地震予知連絡会50年のあゆみ

題字　山岡　耕春

序

この 10 年，我が国の地震学は非常に大きな試練にさらされた．2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震は，多くの研究者が思ってもいなかったマグニチュード 9.0 の地震となり，発生した津波は東北から関東地方の日本海溝側沿岸に大きな被害をもたらした．また福島第一原子力発電所も津波の被害を受け，放射性物質の飛散によりいまだ帰宅できない方々もいる．

このような超巨大地震の発生とその被害を目の当たりにし，地震や地震防災に関する様々な方策が見直された．地震のハザード予測や発生予測に関しては，従来から国が重点としてきた南海トラフ沿いの巨大地震に関する大幅な見直しがされた．地震の想定については，駿河湾から日向灘沖に至る地域が一度に破壊域となる最大クラスの地震モデルも想定することにされた．沿岸各自治体はこの想定を基に，命を守るための対策を進めている．東海地震の予知に基づく応急対応についても，確実な地震の予測は困難であるとし，代わりに南海トラフ全域を対象として，M7 から 8 クラスの地震が発生した場合および従来観測したことがないようなスロースリップが発生した場合に次の大規模地震に備えるための防災対応が検討された．気象庁も，東海地震に関する情報は発表せず，地震発生の可能性が高まった場合に南海トラフ地震に関する臨時の情報が出すことになった．地震予知連絡会の設置根拠となっている科学技術学術審議会測地学分科会の建議も「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」となり，従来の地震予知よりも広く「災害の軽減」を前面に押し出すものとなった．

このような中，地震予知連絡会は，想定していなかった M9.0 の東北地方太平洋沖地震が発生したことを重く受けとめ，臨時に会合を開催するなどあわせて 4 回の会合で東北地方太平洋沖地震について検討した．さらに，われわれの持っている地震学的知見の再点検のために，南海トラフ，南西諸島海溝，千島海溝，相模トラフなどの海溝型地震だけで無く，首都圏直下の地震や内陸地震，さらに日本海側の地震など，国内で発生するあらゆる地震について改めて検討を行った．また，地震予知については，その実力を常に確認し続けるために，「予測実験の試行」を重点検討課題として定期的にとりあげることとし，2019 年度末までに 6 回開催された．2016 年の熊本地震に際しても，重点検討課題の対象課題を急遽変更して検討を行うとともに，フォローアップとして 2 年後にも重点検討課題として取り上げ，課題の整理を行った．

このように，地震予知連絡会は，我が国における地震活動や地殻変動，また地震発生予測にかかわる最前線の研究を常にフォローし，関係研究機関の間で情報共有を行い，より高度な地震のモニタリング手法の実現に貢献する努力を重ねている．毎回，委員による熱心な討議を行い，オブザーバ席も満席となるなど，注目すべき重要なテーマを選んで検討を行ってきた．地震予知連絡会は，このように充実した回を重ねてきているが，それに満足することなく，常に自己点検をおこなって新たな地震予知連を目指して進んでいく必要がある．

最後に，貴重な原稿を寄せていただいた各機関と関係各位，また編集にあたられた事務局の皆様に心から感謝を申し上げる．

令和 2 年 3 月

地震予知連絡会会長

山　岡　耕　春

発刊に寄せて

地震予知連絡会は，昭和 44 年 4 月に発足し，令和元年 4 月で 50 周年を迎えた．この間に開催された本会議は 220 回を数えている．これまで，地震予知連絡会に報告された資料は膨大なものであり，それらは地震予知連絡会会報としてまとめられ，昭和 44 年 8 月の第 1 巻の刊行以来，第 102 巻まで刊行されている．会報は，過去のものを含め，すべて電子化し，地震予知連絡会ホームページにおいて閲覧できるようになっている．

地震予知連絡会では，こうした会報に加え，地震予知連絡会の設置から 10 年ごとの節目にそれまでの活動をとりまとめて,「地震予知連絡会 10 年のあゆみ」(昭和 54 年),「地震予知連絡会 20 年のあゆみ」(平成 2 年),「地震予知連絡会 30 年のあゆみ」(平成 12 年)，そして「地震予知連絡会 40 年のあゆみ」(平成 21 年）を刊行してきた．

近年の地震予知連絡会は，科学技術・学術審議会の建議（平成 25 年 11 月）に基づき,「地震活動・地殻変動などに関するモニタリング結果や地震の予知・予測のための研究成果などに関する情報交換を行うことにより，モニタリング手法の高度化に資する役割を担う」とともに,「地震活動の予測手法の現状を報告，検討することで，地震発生の予知予測に関する研究の現状を社会に伝える」組織として，社会への発信にも力をいれてきたところであり，今回の刊行は，地震予知連絡会に期待されている社会への発信の取組みを更に推進させる意義があると考えている．

本書は，地震予知連絡会が発足してから 50 年を経たことを記念し，これまでの活動を振り返り，地震予知連絡会の 50 年のあゆみについてとりまとめたものであり，そのなかでも，平成 21 年度から平成 30 年度までの最近 10 年間の記述に重点を置いた．特にこの 10 年は，平成 21 年の駿河湾の地震，平成 23 年の東北地方太平洋沖地震と一連の余震，長野県・新潟県県境付近の地震及び静岡県東部の地震，平成 25 年の淡路島付近の地震，平成 26 年の長野県北部の地震，平成 28 年の熊本地震，鳥取県中部の地震及び茨城県北部の地震，平成 30 年の大阪府北部の地震及び北海道胆振東部地震などの被害地震があった．

第 1 部では, 地震予知連絡会とその構成機関の活動が記されている．第 2 部では, 専門家の執筆による, この 10 年間に発生した主な地震についての解説が掲載されている．その他，関連する事項の記述や参考資料があり，また添付の CD-ROM には，本文に入れられなかった資料等も収録されている．

本書が，地震予知研究そして地震一般に関する調査研究並びに地震防災などに広く活用されることを期待する．

本書の作成に当たっては，山岡会長を委員長とする編集委員会において，内容構成や執筆担当者が定められ，地震予知連絡会委員及び委員以外の多くの方々に執筆いただいた．編集並びに執筆の労を執られた各位に心から感謝申し上げる．

令和 2 年 3 月

国土地理院長

黒　川　純　一　良

目　　次

序 …… i
発刊によせて …… ii

第１部　地震予知連絡会の活動

第１章　地震予知連絡会発足から 40 年間の活動 …… 1
　１．地震予知連絡会発足までの背景と経緯 …… 1
　２．1969（昭和 44）年度から 2008（平成 20）年度（第 1 期～第 20 期）までの活動 …… 3
第２章　地震予知連絡会この 10 年の活動 …… 7
　１．総括 …… 7
　２．2009（平成 21）年度から 2018（平成 30）年度（第 21 期から第 25 期）までの活動 …… 10
　３．重点検討課題運営部会と選定課題 …… 11
　４．平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震への対応 …… 16
　５．地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの活動 …… 20
　６．50 周年記念企画　公開シンポジウム「地震予知研究の現状と今後の展望」…… 24
第３章　地震予知連絡会構成機関等の活動（この 10 年を振り返って）…… 27
　１．大学等 …… 27
　　（１）北海道大学大学院理学研究院 …… 27
　　（２）東北大学大学院理学研究科 …… 30
　　（３）東北大学災害科学国際研究所 …… 34
　　（４）筑波大学生命環境系 …… 35
　　（５）千葉大学大学院理学研究院 …… 37
　　（６）東京大学地震研究所 …… 40
　　（７）東京工業大学理学院 …… 49
　　（８）名古屋大学環境学研究科 …… 52
　　（９）京都大学大学院理学研究科・防災研究所 …… 58
　　（10）九州大学大学院理学研究院 …… 63
　　（11）鹿児島大学大学院理工学研究科 …… 65
　　（12）大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 統計数理研究所 …… 67
　２．研究開発法人・行政機関等 …… 77
　　（１）防災科学技術研究所 …… 77
　　（２）海洋研究開発機構 …… 81
　　（３）産業技術総合研究所 …… 85
　　（４）海上保安庁 …… 91

（5）気象庁 …… 93
（6）国土地理院 …… 100

第2部　この10年の主な地震及び地殻活動

第1章　この10年の全国の地震活動状況 …… 105
第2章　この10年の全国の地殻変動状況 …… 118
1．この10年の全国の地殻変動状況（陸域について） …… 118
2．この10年の全国の地殻変動状況（海域について） …… 128
第3章　この10年のスロー地震 …… 131
1．はじめに …… 131
2．スロー地震の概観 …… 131
3．南海トラフ地域のスロー地震 …… 139
（1）国土地理院による観測 …… 139
（2）気象庁・気象研究所による観測 …… 148
（3）防災科学技術研究所による観測 …… 151
（4）産業技術総合研究所による観測 …… 155
（5）海洋研究開発機構による観測 …… 156
（6）海上保安庁による観測 …… 158
4．その他の地域のスロー地震 …… 159
（1）国土地理院による観測 …… 159
（2）防災科学技術研究所による観測 …… 161
5．まとめ …… 165
第4章　この10年の主な地震（2009年～2018年） …… 167
1．駿河湾の地震（2009年8月11日，M6.5） …… 167
2．平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震（2011年3月11日，M9.0） …… 172
3．長野県北部の地震（2011年3月12日，M6.7，M5.9，M5.3） …… 182
4．静岡県東部の地震（2011年3月15日，M6.4） …… 188
5．淡路島付近の地震（2013年4月13日，M6.3） …… 192
6．長野県北部の地震（2014年11月22日，M6.7） …… 194
7．平成28年（2016年）熊本地震（2016年4月14日，M6.5；4月16日，M7.3） …… 202
8．鳥取県中部の地震（2016年10月21日，M6.6） …… 210
9．茨城県北部の地震（2016年12月28日，M6.3） …… 213
10．大阪府北部の地震（2018年6月18日，M6.1） …… 220
11．平成30年北海道胆振東部地震（2018年9月6日，M6.7） …… 224

第３部　関連する組織のこの１０年

１．科学技術・学術審議会測地学分科会（旧：測地学審議会）…… 229
２．地震調査研究推進本部 …… 232
３．中央防災会議…… 236
４．南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会 / 地震防災対策強化地域判定会 …… 239
５．東京大学地震研究所　地震・火山噴火予知研究協議会 …… 244

第４部　参 考 資 料

１．年表 …… 247
２．地震予知連絡会関係資料 …… 266
地震予知連絡会運営要綱 …… 266
委員名簿（第 21 期～第 25 期） …… 267
議事概要（第 181 回～第 222 回） …… 270
重点検討課題一覧 …… 333
３．科学技術・学術審議会（旧：測地学審議会）関係資料 …… 343

第　1　部

地震予知連絡会の活動

第 1 章　地震予知連絡会発足から 40 年間の活動

1．地震予知連絡会発足までの背景と経緯

戦後間もない 1946 年（昭和 21 年）12 月 21 日，中部以西の日本各地に大きな被害をもたらした南海地震が発生した．これに伴い中央気象台(現気象庁)は, 1947 年(昭和 22 年）6 月 10 日，連合軍第 43 気象隊に対し，地震予知を可能にするため各種の観測施設の整備に必要な予算を配慮してほしい旨を記した書簡を送った．これに対して，第 43 気象隊から，地震予知に関して関係機関で協力が得られるか否かを討議せよという回答が寄せられた．このため，中央気象台が中心となって地震予知研究連絡委員会を設け, 予知計画を検討することになった．しかしながら，予知計画は実現せず，地震予知研究連絡委員会の活動も連絡会的な性格となった．なお，その実質的な活動期間は 1947 ～ 1949 年の短いものであったが，終戦直後の状況下にあって，関係者の間で地震予知研究を進めようとする動きが既にあったことを示している. こうした動きは, 十数年後に地震予知計画研究グループの結成によって甦ることになる．

1960 年 5 月の地震学会春期総会において，和達清夫会員から「学会の中に地震予知研究計画を作るための小委員会のようなものを設けてはどうか」との提案がなされた. これを受けて有志による準備会で検討された結果, 地震学会の外に有志の集まりである地震予知計画研究グループが作られることになった．そして，昭和 1962 年 1 月，地震予知のブループリントといわれている「地震予知－現状とその推進計画」が策定された．このブループリントは各方面で大きな関心を呼び，外国大使館からの問い合わせもあり，英語版も印刷された．

1963 年春に地震予知計画の勧告案が日本学術会議に提出され，同年秋の 11 月 8 日に日本学術会議から,「地震予知研究の推進について」の勧告が出された．さらに文部省の測地学審議会が，測地学審議会は地球物理現象も取り扱うとされた上で，この勧告の具体化を担当することとなった．このため，測地学審議会の中に地震予知部会（部会長：萩原尊禮委員）が設けられ，1964 年 6 月から観測項目毎に実行計画が検討され，地震予知研究計画がまとめられていった．1964 年 7 月 10 日の測地学審議会の総会では「地震予知研究計画の実施について」が承認され，即日，関係大臣に建議された．これをうけて，1965 年度予算から研究経費が認められるようになり，ここに，ナショナルプロジェクトとしての地震予知研究の第一歩が始まった．

1965 年 8 月頃から 1967 年 9 月頃まで，長野県長野市松代周辺地域において，いわゆる松代群発地震が発生した．また，1968 年 5 月には十勝沖地震が発生した．これらの地震災害で，地震予知に対する国民の関心は一層高まった．そこで，5 月 24 日政府として今後更に計画的に地震予知を強力に推進しその実用化を図るため，関係諸機関の関係施設等の整備並びに地球物理学的観測及び調査業務の強化拡充に努める旨が閣議了解された．

この閣議了解に続き 1968 年 7 月 16 日付けで測地学審議会の第 2 次地震予知計画に関する建議が行われた．同建議の「Ⅱ 6.　計画の総合的推進体制」には，連絡会の設置に関して次のように述べられている．

「以上の諸計画の円滑かつ効率的な実施をはかり，総合的かつすみやかな成果を期するためには，各分担機関の密接な協力および各種観測資料の能率的な解析と総合的判断が不可欠である．

このため，とりあえず次の措置により，計画の総合的推進体制を確立する必要がある．

(1) 各分担機関の情報交換を常時行なうとともに，それらの情報の総合的判断を行なうため，地震予知に関する連絡会を設ける．(以下省略)」

これらの閣議了解及び測地学審議会建議を踏まえて，1969 年 4 月，国土地理院に事務局を置く地震予知連絡会が発足するに至った．

地震予知連絡会の性格は，国土地理院が編集・刊行している地震予知連絡会会報の第 1 巻（1970 年）の発刊の辞に次のように示されている．

「(前略)　今回作られた総合的計画推進のための体制においては，測地的方法による資料から得られる地震予知に必要な情報は地殻活動検知センター（国土地理院）がとりまとめ，大・中・小地震に関する地震予知に必要な情報は地震活動検測センター（気象庁）がとりまとめ，また大学関係の観測結果から得られる地震予知に必要な情報は地震予知観測センター（地震研究所）がとりまとめ，それぞれこの連絡会に送ることになっている．したがって，地震予知に必要な情報はすべてこの連絡会に送られるわけである．

地震予知研究計画はその発足以来，各担当機関の協力によって成り立ってきたのであるが，この連絡会の委員もまた各担当機関から出ており，この協力体制はさらに強まるにちがいない．

この連絡会は，このようにして収集された地震予知に必要な情報に基づき，ある地域の観測を強化したり，あるいはさらに観測を集中したりすることに対し，学術的な判断を下だすことが大きな任務である．

この連絡会が「観測強化」や「観測集中」などの判断を行った場合，各担当機関はこの判断に協力し，可能な範囲で必要な観測作業を分担し，その後の適確な情報を得るための作業を分担することになる．この連絡会はヘッド・クォーター的性格を持ってはいるが，各担当機関に命令するわけではなく，分担決定は飽くまで各機関の協力という形でそれぞれ自主的に行なわれる．(後略)」

地震予知連絡会の第 1 回会合は，1969 年 4 月 24 日，日比谷公園の松本楼で開催され，萩原尊禮東京大学名誉教授が会長に選出された．

２．1969（昭和 44）年度から 2008（平成 20）年度（第 1 期～第 20 期）までの活動

1969 年 4 月 24 日第 1 回地震予知連絡会（以下，全委員による会議を「本会議」と略記する.）が開催され，萩原尊禮委員を会長に選出（以後，第 6 期まで萩原委員が続けて会長に選出された.）するとともに，地震予知連絡会の目的，機構，運営要綱等の確認が行われた.

1969 年 5 月 9 日第 2 回本会議から，全国にわたる具体的な観測データの報告と検討が行われた.

同年 6 月 27 日第 3 回本会議において，本会議で報告，検討されたデータ等をとりまとめ，事務局である国土地理院が編集して「地震予知連絡会会報」として刊行し，関係者に配付することが定められた．同年 9 月 26 日第 4 回本会議において「地震予知連絡会会報第 1 巻」が配付され，翌年からは，会報を 2 月及び 8 月の年 2 回作成することになった．また，第 4 回本会議 3 日後の 9 月 29 日に初めて記者説明会が開かれ，第 4 回までの報告，検討内容についてまとめて説明が行われた．第 5 回本会議以後は，毎回，会議終了後に記者説明を行うことになった.

発足後数年間の連絡会の活動は，定例的な本会議（1971 年度以後は 2 ～ 3 か月ごとに年間 4 回），臨時に開かれる本会議及びその都度メンバーが指名される小委員会で行われていた．しかし，1975 年 11 月 20 日第 31 回本会議において，必要に応じて緊急的に，かつ，より詳細に討議するため，次の 4 つの作業部会が設けられることになり，委員の中から各部会長及び部会委員が指名された（括弧内の委員が部会長）．①特定部会（萩原尊禮委員），②関東（首都圏及び伊豆を含む）部会（茂木清夫委員），③東海部会（浅田敏委員），④北海道（根室地方）部会（宇津徳治委員）.

1976 年 8 月 23 日第 34 回本会議において，地震予知連絡会の運営に関して討議が行われ，副会長を置くこと等が定められた．その席上，副会長には，浅田敏委員と力武常次委員とが指名された.

1976 年 12 月文部省測地学審議会は「第 3 次地震予知計画の再度一部見直し」を建議した．同建議は主として①東海地域の観測を強化し前兆現象捕捉の可能性を高め，これら各種観測データを集中し常時監視体制を整備する，②更に，観測データに異常が見出された場合，これが大地震に結びつくかどうかを判定する組織を整備するという 2 項目について強調したものであった．この建議の趣旨に沿って，1977 年 4 月地震予知推進本部は「東海地域の地震予知体制の整備について」を決定した．その主な項目は，①観測の強化，②監視体制の充実，③判定組織の整備であった．この決定に基づき，判定組織の整備のため，1977 年 4 月 18 日，地震予知連絡会の内部組織として「東海地域判定会」が発足した．この判定会の庶務は常時監視の重視ということで気象庁が担当することになった．判定会そのものは開かれることはなかったが，定例の打ち合せ会が続けられた．しかし，地震予知連絡会に設置されたこの東海地域判定会は，1978 年 6 月「大規模地震対策特別措置法」の成立を受けて 1979 年 8 月 7 日気象庁に地震防災対策強化地域判定会が設置されるに伴って廃止され，その機能は後者に引き継がれることになった.

1981 年度から第 7 期に入ったが，萩原尊禮委員は第 6 期限りで辞任され，1981 年 4 月 2 日第 54 回本会議において浅田敏委員が第 7 期の地震予知連絡会会長に選出された．副会長には力武常次委員及び茂木清夫委員が指名された．第 54 回本会議では部会の再編成についても討議が行われた．その結果，北海道部会を特定部会に吸収するとともに，関東部会と東海部会とを統合して新たに強化地域部会として発足させることになった．新しい特定部会長には力武常次委員，強化地域部会長には茂木清夫委員がそれぞれ指名された．また，萩原尊禮前会長は，名誉会長に推戴された．以後，第 11 期（1989 ～ 1990 年度）まで会長に浅田敏委員が選出され，力武常次委員及び茂木清夫委員がそれぞれ特定部会長及び強化地域部会長に指名され，あわせて副会長に指名されている.

1991 年 4 月 1 日第 95 回地震予知連絡会において，茂木清夫委員が第 12 期（1991 ～ 1992 年度）の会長として選出され，以後，第 16 期（1999 ～ 2000 年度）まで継続して選出された . また , 浅田敏前会長 , 力武常次前副会長が名誉委員として推薦された．第 12 期から第 16 期までの間，茂木清夫会長より副会長には , 宇津徳治委員（第 12 期～第 14 期），高木章雄委員（第 12 期～第 13 期），青木治三委員（第 14 期～第 15 期），大竹政和委員（第 15 期～第 16 期）及び石井紘委員（第 16 期）が指名され , また , 特定部会長として宇津徳治副会長（第 12 期～第 14 期）, 大竹政和副会長（第 15 期～第 16 期）が，強化部会長として高木章雄副会長（第 12 期～第 13 期）及び青木治三副会長（第 14 期～第 16 期）がそれぞれ兼任した．また，1995 年 4 月 6 日第 114 回地震予知連絡会において，高木章雄前副会長が名誉委員に推薦された.

2001 年 4 月 13 日第 142 回地震予知連絡会では，大竹政和委員が第 17 期（2001 年～ 2003 年度）の会長として選出され，以後，第 20 期まで継続して選出された．また，茂木清夫委員が名誉委員に推薦された．第 17 期

から第 20 期までの間，大竹政和会長より副会長には，島﨑邦彦委員（第 17 期～第 20 期），岡田義光委員（第 17 期～第 19 期），平原和朗委員（第 20 期）が指名された．

わが国の地震予知計画は，1995 年の阪神・淡路大震災を契機に全面的な見直しが行われた．測地学審議会の『地震予知計画の実施状況等のレビューについて（報告）』（1997 年 6 月）は，「今後とも前兆現象に依拠して経験的な「地震予知の実用化」を目指すならば，（中略）地震予知の健全な発展と成果の社会への適切な還元は望めない」と指摘している．また，これ以降の計画においては「到達度の評価が可能な目標を設定して，それに向かって逐次的に計画を推進」することの重要性が強調された．

1999 年度から開始された新しい地震予知計画では，地震サイクルの全過程を解明し，これに基づいて地震発生の予測システムを構築することが目標に据えられた．この目標を達成するために，地殻活動のモニタリングと予測シミュレーションを車の両輪とする観測研究が展開された．2009 年度からは，新計画は火山噴火予知計画と統合され，「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」に移行した．

2008 年 7 月，科学技術・学術審議会は『地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の推進について』を建議した．同建議では，地震予知連絡会の「設立当初からこれまでの活動を積極的に評価し，今後は，観測研究推進委員会と適切に連携・協力しつつ（中略），地震活動・地殻変動等に関するモニタリング結果を中心とした情報交換を行い，モニタリング手法の高度化を検討する場として，その役割を明確化した上で充実する」こととされた．

一方，阪神・淡路大震災の後に「地震防災対策特別措置法」が制定され，これに基づいて，総理府（当時）に地震調査研究推進本部が設置された（後に文部科学省に移管）．これ以後，地震に関する評価は同本部の地震調査委員会が所掌している．このため，第 113 回会合（1995 年 2 月）における兵庫県南部地震の余震活動に関するコメントを最後に，これ以後，地震予知連絡会は地殻活動の評価に関する「統一見解」及び「コメント」のとりまとめは行っていない．

このような状況の変化を踏まえて，地震予知連絡会は数次にわたってワーキンググループ（以下，WG）を設け，その在り方と活動の改善方策について検討を進めてきた．WG の報告に基づき，地震予知連絡会は，その活動内容と運営スタイルを新しい時代に即応させるために幾つかの措置をとってきた．例えば，第 146 回定例会（2002 年 2 月）から，「トピックス」セッションが新設され，その運営を担当するトピックス部会が設置された．第 152 回定例会（2003 年 5 月）からは，会議のテレビカメラによる公開が，2005 年 3 月からは会報の Web サイト上での公開が実施された．一方，第 163 回定例会（2005 年 4 月）では，強化地域部会及び特定部会が廃止され，東日本部会，中日本部会，西日本部会に再編された．第 176 回定例会（2008 年 2 月）では，1970 年に指定（1978 年に見直し）した観測強化地域及び特定観測地域が解消された．第 179 回定例会（2008 年 11 月）では，「トピックス」に代わり「重点検討課題」セッションが新設され，その運営を担当する重点検討課題運営部会が設置された．重点検討課題運営部会のメンバーには，平田直委員（部会長）ほか 8 名の委員が指名された．

地震予知連絡会は，日本全国の地震活動，地殻変動等についての情報交換及び検討を行う本会議と，必要に応じて個別的又は緊急的テーマについて検討する部会によって活動を続けてきた．

以下では，地震予知連絡会の本会議，トピックス部会，特定部会，強化地域部会及び東日本，中日本，西日本の各部会の活動について記述する．

(1) 本会議

地震予知連絡会設置当初は年 5 回程度本会議を開催していたが，第 2 期のころから年 4 回程度の開催となり，第 4 期（1975 年）からは現在と同様に，大地震の発生に伴う緊急な討論や組織運営にかかる議論のために開催された臨時の会議を除き，年 4 回のペースでほぼ 3 か月ごと（5 月，8 月，11 月，2 月）に定例的に開催されるようになった．発足以来 2008 年 2 月までの 40 年間に 180 回の本会議が開催された．

本会議においては，北海道から沖縄までの陸域・海域を含む日本周辺全域にわたる地震活動，地殻変動等に関する関係機関による地震予知に必要な観測データ及び参考資料の報告とそれらに関する専門的立場からの総合的検討が行われ，必要に応じてコメント又は統一見解がまとめられた．報告，検討結果等の主なものについて，毎回本会議終了後の記者説明会で発表及び説明を行ってきた．また，本会議翌日には，事務局である国土地理院によって関係地方公共団体等に対する説明も行われた．なお，地震調査研究推進本部設置後は，コメント及び統一見解の発表，並びに，関係地方公共団体等への説明は行っていない．

(2) トピックス部会

トピックス部会は前述のように，2002 年に設置され，本会議の「トピックス」セッションで検討すべき課題の提案を行う部会となった．トピックス部会は 2007 年までに 4 回開催されたが，「地震予知連絡会　今後の活

動展開の検討 WG（その 2)」の報告を受けてトピックスは重点検討課題へ統合され，トピックス部会は廃止された．

(3) 強化地域部会

強化地域部会は前述のように，1975 年に設置された関東部会と東海部会が 1981 年に再編成されて発足したものであり，南関東及び東海地域の観測強化地域の地震活動についての検討を担当した．

1980 年代に検討・議論された主なものに，掛川～御前崎間の水準測量による御前崎側の地盤の上下変動，伊豆半島東方沖群発地震及び千葉県東方沖の地震がある．また,「首都及びその周辺の地震予知」及び「同（その 2)」をとりまとめ，地震予知連絡会地域部会報告第 2 巻及び第 3 巻として刊行した．

1989 年以後の活動の中では，特定部会と連携し，地震予知観測の成果を，全国を「北海道・東北地域」,「関東・中部地域」及び「近畿・中国・四国・九州・沖縄地域」の 3 つに分割して，地震予知連絡会地域部会報告書（第 4 巻，第 5 巻，第 6 巻）にまとめた．報告書は 1994 年 11 月に公表された．これらの報告書は，一部未刊行の資料を含め，地震予知連絡会会報の各巻に分割掲載されている資料を地震活動，地殻変動，活断層・活構造，地下構造，地磁気・地電流，地下水・地球化学，プレート構造と地震活動の項目に分類して整理統合し，必要に応じ最新の成果を加え，再解析の結果をまとめて編集した．なお，前述のとおり，強化地域部会は第 163 回定例会（2005 年 4 月）において廃止され，東日本，中日本部会，西日本部会に再編された．

(4) 特定部会

特定部会は，1975 年に設置され，1981 年には北海道部会を吸収して，全国 8 か所の特定観測地域の地震及び地殻活動について検討する部会となった．

1980 年代に扱われた主な検討事項に，男鹿半島の地殻変動，1982 年浦河沖地震，1983 年日本海中部地震，1984 年長野県西部地震等がある．1989 年以後の活動としては，1992 年 2 月 17 日から全国の特定地域について地域ごとにレビューを行った．特定観測地域の位置づけの検討も視野に入れながらの議論である．それらの検討の結果は，強化地域部会の担当する南関東，東海地域を含めて，全国を「北海道・東北地域」,「関東・中部地域」及び「近畿・中国・四国・九州・沖縄地域」の 3 つに分割した地震予知連絡会地域部会報告書（第 4 巻, 第 5 巻, 第 6 巻）としてまとめられ，1994 年 11 月に公表された．なお，前述のとおり，特定部会は第 163 回定例会（2005 年 4 月）において廃止され廃止され，東日本，中日本部会，西日本部会に再編された．

(5) 東日本部会，中日本部会，西日本部会

東日本部会，中日本部会，西日本部会は前述のように，強化地域部会，特定部会が 2005 年 4 月に再編成されて発足した．2008 年 6 月 14 日の岩手・宮城内陸地震の発生を受けて，2008 年 7 月 2 日に第 1 回東日本部会が開催された．2008 年までの期間に，中日本部会，西日本部会の開催はなかった．

第 2 章　地震予知連絡会この 10 年間の活動

1．総括

1.1　はじめに

我が国における地震予知研究の状況は，本誌が発行される 2020 年始めの時点で，10 年前と比べて大きな変化を遂げている．戦後の我が国の地震予知は 1962 年に公表された地震予知のブループリントに始まる．1965 年に国の地震予知計画が開始され，松代群発地震など多くの地震が発生する中，災害軽減に関する国民の期待を背景に計画が進められてきた．1970 年代には昭和の東南海地震において駿河湾付近が破壊されずに残っていることが注目され，その影響の大きさから大規模地震特別措置法が制定されて，地震予知を前提とした想定東海地震に対する応急対応策が進められてきた．

しかし，1995 年の阪神・淡路大震災を契機に，日本列島全域の地震ハザードの評価と突発的に発生する地震に対する防災対策が進められることになった．2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震を契機に，大規模地震特別措置法による地震応急対応についても見直しが進められ，確度の高い地震の予測は困難であり東海地震の応急対応策に見合うだけの予測精度は見込めないとされた．気象庁も東海地震に関する情報の公開を停止した．その一方で，ETAS に代表される地震の統計モデルの信頼性は高いとして，地震の統計的性質に基づいた検討から，地震発生の可能性が高まった場合には南海トラフ地震に関する臨時の情報が発表されることとなった．それでも社会が応急的に対応することが可能な 1 週間程度の間の地震が発生する推定確率はあまり高くないものの，国・自治体・企業・住民がそのような不確実な情報を活かすために検討を進めることとなった．

このように，戦後始まった地震予知にかかわる我が国の活動が，過去 50 年の試行錯誤を経て，いま，改めて現実的な対応として動き始めた．地震の予測に関する地震学が蓄積してきた知見を改めて検討することによって，社会の現実的な対応に切り替えたのである．地震予知連絡会も社会のこのような対応に答えるべく今後も努力していく必要がある．本章では，この私たちを取り巻く環境の変化を踏まえつつ，地震予知連絡会の最近の 10 年間の活動状況をとりまとめる．

地震予知連絡会は第 21 期～第 25 期の 10 年間に，第 181 回（2009 年 4 月）から第 222 回（2019 年 2 月）まで，合計 42 回の本会議を開催した．2009 年度から始まる第 21 期では島崎邦彦委員が会長として選出された．第 22 期の途中の 2012 年 11 月に島崎邦彦委員が会長を辞任され，第 197 回地震予知連絡会（2012 年 11 月 21 日）で平原和朗委員が会長に選任された．各期の会長，副会長等については，巻末の参考資料を参照されたい．

年 4 回の本会議においては，地殻活動モニタリング結果に関する検討を行い，情報と意見の交換を行った．特に知見の蓄積及び観測網の発達によってスロースリップなどの動きを捉えることのできるようになったプレート境界域に焦点を当てた検討が行われた．また，モニタリング手法の高度化を目指し地震予知研究にとって特に検討すべき課題を選定した「重点検討課題」の検討を第 21 期当初から実施し，地震予知研究にとって重要な諸問題を集中的に議論した．検討課題に合わせて外部から研究者を招き，延べ 181 人の方にそれぞれの専門的な立場から課題に関する貴重な報告を頂いた．この間，大きな被害地震として 2011 年東北地方太平洋沖地震（M9.0），2016 年熊本地震（M7.3）があるが，これらについても，本会議で重点検討課題として取り上げ議論を行った．

重点検討課題運営部会は，第 179 回本会議（2008 年 11 月）での決定に基づいて設置され，2008 年 12 月に第 1 回会合が開催された．以後，年 2 回，延べ 21 回開催し，重点検討課題として取り上げるテーマ，担当委員の選定を行った．また，大きな地震災害が発生した場合はメールによる意見交換を通じて部会を開催し，次回のテーマを当該地震とする議題変更を決定したこともあった．

地震予知連絡会において各機関及び重点検討課題の招へい者から報告された内容は，「地震予知連絡会会報」に収録されている．この 10 年間には，年 2 回の頻度で第 82 巻から 101 巻まで，計 20 巻の会報を刊行した．また，同時に会報の電子ファイル（PDF ファイル）を作成し，すべてを地震予知連絡会ホームページから公開している．

報道機関に対しては，会議終了後に記者会見を行い，議事内容の要点を説明した．また，第 193 回定例会（2011 年 11 月）からは記者会見の様子を映像資料化して，地震予知連絡会ホームページで公開した．

1.2　我が国の地震予知計画の変遷

我が国の地震予知計画は 1965 年，当時の文部省測地学審議会（現在の科学技術・学術審議会）が策定した研究計画に沿って，全国の大学や関係機関が協力・連携して推進してきた．2009 年度からの計画として，科学技術・学術審議会測地学分科会により「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の推進について（建議）」が示され，地震予知計画は火山噴火予知計画と統合され，

研究資源を地震現象と火山現象の観測研究に有効活用することにより，効率的で効果的な研究を実施するとともに，「予測システムの開発」をより明瞭に志向した研究に重点が置かれた．その後，2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震を受けて，測地学分科会は計画の見直しを検討し，2012 年 11 月に「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の見直し（建議）」がとりまとめられ，超巨大地震の発生機構とそれに起因する現象の解明のための観測研究に重点を置くことが追加された．

2014 年からの計画である「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」では，計画の目的が地震，津波及び火山災害による災害の軽減への貢献であることを明確に打ち出し，地震や火山噴火予知の実現により災害軽減に貢献するというこれまでの方針から，それらに加え，地震や火山噴火が引き起こす災害を知り，研究成果を災害の軽減につなげ，地震学や火山学を中核としつつ，災害や防災に関する各分野と協働して計画を推進する方針に転換された．

2019 年からは前期計画の災害の軽減に貢献することを目標とする考え方をさらに推し進めた，「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 2 次）」に移行している．

このような研究戦略の変遷にともなって，地震予知連絡会には，さらなる貢献が求められている．科学技術・学術審議会の建議「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の推進について」(2013 年 11 月) では，従来から示されている「地震活動・地殻変動などに関するモニタリング結果や地震の予知・予測のための研究成果などに関する情報交換を行うことにより，モニタリング手法の高度化に資する」ことに加え，社会との共通理解の醸成と災害教育のため，「議事公開，重点検討課題などの検討内容の Web 配信などを通じて，モニタリングによる地殻活動の理解の状況，関連する観測研究の現状を社会に伝える．また，地震活動の予測手法の現状を報告，検討することで，地震発生の予知予測に関する研究の現状を社会に伝える」と述べられている．

1.3　東北地方太平洋沖地震への対応

地震予知連絡会では，平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震への対応として，第 190 回地震予知連絡会を臨時的に開催し，その地震の解釈，意味するもの，前兆現象の有無等の議論を行った．その後も，重点検討課題として 3 回選定され，観測・研究結果の報告及び議論を行った．

また，東北地方太平洋沖地震を契機とし，我が国の地震予知の観測計画が見直されるのを踏まえ，地震予知連絡会ではワーキンググループ（将来検討ワーキンググループ，以下，WG）を設け，本連絡会の役割の再確認と今後の方向性等について検討をすすめた．WG では 2011 ～ 2012 年度において計 5 回の会合のほか，随時メールによる議論を行い，以下の内容を報告書にとりまとめた．

(1) 本連絡会の役割の再確認と今後の方向性について
(2)「予知」と「予測」の捉え方
(3) 組織名称の変更の必要性

WG での検討結果は，第 201 回定例会（2013 年 11 月）で報告された．第 202 回定例会では，報告書に基づき，地震予知連絡会運営要綱の前文を改正している．また，検討結果をもとに，重点検討課題のテーマに「予測実験の試行」に向けたレビューや「予測実験の試行」が加えられ，定期的なテーマとされた．「予測実験の試行」については，この 10 年で 5 回の検討が行われた．

1.4　この 10 年での地震モニタリングと科学的理解の状況

この 10 年間に，地震に関するモニタリング技術は大きく向上した．地震のモニタリング技術とは，実際に発生した地震のプロセスや地震後の変動だけでなく，地震に至る様々なプロセスに関する知見を得るための，観測データの取得や解析にかかわる技術である．

この 10 年を振り返ると，地震に関する最も大きな知見をわれわれにもたらしたのは海底における観測技術であろう．特に，海底の地殻変動に関する観測技術である．陸上の地殻変動については，1999 年代以降，それまでのひずみ計・伸縮計などによる計測に代わって GPS（現在では GNSS と呼ばれている）が主役となり，国土地理院が全国に約 1300 点設置した電子基準点による GEONET が地震に関する様々な知見をもたらしてきた．しかし，2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震では海上保安庁が GNSS と音響測距を結合させる技術で繰り返し測定を行ってきた海底地殻変動がこの地震に関する重要な知見をもたらした．海上保安庁が設置していた海底局の位置が最大 24m も海溝側に動いたことが明らかになったのである．その結果，東北地方太平洋沖地震によるプレート間の滑りが最大で 50m を超えたことが明確になった．陸上の観測からでもそのような大きな滑りを推定することは可能であったが，震源近傍における測定結果があることで推定の信頼性が飛躍的に高まったのである．この後も，海上保安庁の精力的な海底測位計測によって，南海トラフ域の固着強度の空間分布が推定されるなど，普段の状態に関する知見も飛躍的に向上した．

海底における観測は GNSS・音響結合による測位にとどまらず，海底ケーブルを用いた観測網の拡充も進められている．南海トラフ域では Do-net と呼ばれる観測網

が海洋研究開発機構によって設置され，陸上から捉えることが困難であったプレート境界域で発生する微小地震や低周波地震の解明に貢献している．さらに海底下にひずみ計を設置することに成功し，浅部のスロースリップに伴う間隙水圧変化も捉えている．また東北地方太平洋沖地震後に日本海溝域に設置されたケーブル式の日本海溝海底地震津波観測網（S-net）により陸から離れた場所の低周波微動の活動が明らかになるなど，革新的な知見が提供されつつある．

宇宙技術を用いたモニタリングも注目すべきである．2014 年からデータ提供が開始されただいち 2 号は，2011 年まで運用されたいただいちにくらべて合成開口レーダの空間分解能が 3 倍以上向上し，3-10m の分解能で変動を観測することが可能となった．その結果，だいち 2 号の提供するデータにより，地震や火山噴火に付随する様々な現象が明らかになった．2016 年に発生した熊本地震では，断層運動に伴う地殻変動を GEONET のデータに比べても圧倒的に詳細に捉えた．もはや M7 クラスの地震の解析には人工衛星による合成開口レーダのデータが不可欠な時代となったことを感じさせる．またそれだけでなく，阿蘇山周辺域の広い範囲において短波長の地形変動は阿蘇カルデラ内の地盤の大規模な移動の詳細を明らかにした．これは地震の結果として我々が観察する地表付近の変動が断層運動という地震本体とどのように関係しているかを知るために非常に重要なデータとなっている．合成開口レーダの解析結果は，従来の地表踏査では発見することが難しかった小さな断層変位も明らかにしている．最近ではあらかじめ合成開口レーダのデータを入手することで効率的に地表に現れた断層を発見することができるようになった．

このように，新たな技術の導入やデータの解析によって地震に関する我々の知見は飛躍的に増加してきた．そのことにより，発生した地震に関する詳細なしくみや地震に至るプロセスも次第に明らかになってきている．さらに，1990 年代後半から運用されてきた Hi-net，GEONET によるデータ，また一元化震源や発震機構などの地震に関する基本的なデータの公開とカタログは，多くの重要な研究成果を生み出してきた．その詳細はここでは書き切れないが，本誌の随所に記載されているので是非参照をしてほしい．

このような進歩が著しい地震モニタリングにもかかわらず，地震の短期的予測の確度向上につながる成果はなかなか得られていない．そのような中でも地震予知連絡会では，地震発生の確率利得など統計的性質に着目した定量的な議論を行ってきた．今後も，地震発生について確率的な定量的評価をもとに，より高い確率利得を持った現象を探す努力が必要となる．そのためには，仕組みの解明に基づく理論的推論，従来の観測で蓄積されたデータの解析，新たな観測量を得るための技術の開発，発生した地震の観測／解析による知見の蓄積など，継続的な努力が今後も必要である．地震予知連絡会はそのような知見の整理と共有に加え，今後の方向性に関する議論も継続的に行っていかなければならない．

1.5　むすび

この 10 年で我が国の人的被害を出した主な地震としては平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（M9.0）が筆頭に挙げられる．その余震と考えられる地震が 2011 年～ 2012 年に集中的に発生し，また同時期，2011 年長野県北部の地震（M6.7），2011 年静岡県東部の地震（M6.4）など，余震域以外でも被害地震が発生している．その後も平成 28 年（2016 年）熊本地震（M7.3），2016 年鳥取県中部の地震（M6.6），2018 年大阪府北部の地震（M6.1），平成 30 年北海道胆振東部地震（M6.7）などが発生し，多くの地震災害が発生した．

このように被害が発生する地震は日本のどこでも発生する可能性があることから，突発的な地震発生に備えた対策は日本の地震防災の大前提である．防災対策の前提となるハザードを明らかにするためにも地震の発生プロセスのさらなる解明は必須である．それに加え，地震の発生可能性の評価力を高めることは防災対策の効率的な推進や，応急対応による災害軽減にも大きく貢献することから地震の予知に関する研究は今後も推進し，さらに社会が効果的に利用できるように地震の発生に関する定量的な確率評価につながる研究を今後も推進していかなければならない．

（山岡　耕春）

2．2009（平成 21）年度から 2018（平成 30）年度（第 21 期から第 25 期）までの活動

1．本会議及び部会の活動

地震予知連絡会では，年 4 回（5 月，8 月，11 月，2 月）の定例の本会議を開催している．本会議では，関係機関から全国の地震活動，地殻変動等のモニタリングの報告が行われた．また，重点検討課題運営部会で選定された課題について，報告及び議論が行われた．これらの活動の結果は，毎回会議終了後に記者説明会にて報告された．この 10 年間では，定例の本会議を合計 39 回開催した．

定例の本会議のほか，組織運営に関わる議論のための会議，「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」に伴う臨時会を，それぞれ 1 回開催した．

これらの本会議のほかに，年 2 回（5 月，11 月），重点検討課題運営部会を開催した．この 10 年間では，この部会を 22 回（打ち合わせ会 2 回を含む）開催した．

本会議の概要は，参考資料（P.270 〜）に掲載した．

2．地震等への対応

この 10 年間では多くの大地震が発生した．気象庁が名称を定めた地震現象としては，平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震，平成 28 年（2016 年）熊本地震，平成 30 年北海道胆振東部地震が挙げられる．

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震では，本会議を臨時会として開催し，その地震の解釈，意味するもの，前兆現象の有無等の議論を行った．その後も，重点検討課題として 4 回選定され，観測・研究結果の報告及び議論を行った．

平成 28 年（2016 年）熊本地震では，重点検討課題として 1 回選定され，観測･研究結果の報告及び議論を行った．

このほか，スロースリップや深部低周波微動・超低周波地震等の現象も，その解釈や意味するもの，その影響について議論した．

3．第 21 期から第 25 期までの人事・組織

第 21 期から第 25 期までの人事・組織は次のとおりである．各期の委員は，委員名簿（P.267 〜 269）に掲載した．

(1) 第 21 期

2009 年 4 月 10 日第 181 回地震予知連絡会において，島﨑委員が会長に選出された．また，大竹前会長を名誉委員とすることが承認された．

2009 年 5 月 15 日第 182 回地震予知連絡会において，会長から平原委員と松澤委員が副会長に指名された．また，東日本部会長には松澤副会長，中日本部会長には小原委員，西日本部会長には平原副会長，重点検討課題運営部会長には山岡委員がそれぞれ指名された．

2010 年 5 月 21 日第 186 回地震予知連絡会において，中日本部会長に山岡委員が指名された．

(2) 第 22 期

2011 年 4 月 26 日第 190 回地震予知連絡会において，島﨑委員が会長に選出され，会長から平原委員と松澤委員が副会長に指名された．また，東日本部会長には松澤副会長，中日本部会長には平田委員，西日本部会長には平原副会長，重点検討課題運営部会長には山岡委員がそれぞれ指名された．

2012 年 9 月 11 日島﨑会長が原子力規制委員会の委員就任により会長を辞任し，会長代理に松澤副会長が就いた．2012 年 11 月 21 日第 197 回地震予知連絡会において，平原委員が会長に選出され，会長から松澤委員と山岡委員が副会長に指名された．また，東日本部会長には松澤副会長，中日本部会長には平田委員，西日本部会長には西上委員，重点検討課題運営部会長には山岡副会長がそれぞれ指名された．このほか，地震予知連絡会の「将来検討ワーキンググループ」の設置が承認され，主査には松澤副会長が指名された．

(3) 第 23 期

2013 年 5 月 30 日第 199 回地震予知連絡会において，平原委員が会長に選出され，会長から松澤委員と山岡委員が副会長に指名された．また，東日本部会長には松澤副会長，中日本部会長には平田委員，西日本部会長には澁谷委員，重点検討課題運営部会長には山岡副会長がそれぞれ指名された．

(4) 第 24 期

2015 年 5 月 22 日第 207 回地震予知連絡会において，平原委員が会長に選出され，会長から松澤委員と山岡委員が副会長に指名された．また，東日本部会長には松澤副会長，中日本部会長には平田委員，西日本部会長には澁谷委員，重点検討課題運営部会長には山岡副会長がそれぞれ指名された．

(5) 第 25 期

2017 年 5 月 19 日第 215 回地震予知連絡会において，平原委員が会長に選出され，会長から松澤委員と山岡委員が副会長に指名された．また，東日本部会長には松澤副会長，中日本部会長には平田委員，西日本部会長には澁谷委員，重点検討課題運営部会長には山岡副会長がそれぞれ指名された．

4．地震予知連絡会会報

関係機関や大学から地震予知連絡会に報告された観測・研究成果は，地震予知連絡会会報として年 2 回定期的に発行している．この 10 年間では，第 82 巻から第 101 巻までを発行した．また，地震予知連絡会ホームページには会報の電子ファイルを公開している．

3．重点検討課題運営部会と選定課題

1．はじめに

第 179 回地震予知連絡会（第 20 期の 2008 年 11 月 17 日）では , 今後の活動展開の検討ワーキンググループ（その 2）の報告（2008 年 11 月 17 日）を受け，モニタリング手法の高度化の検討を目的に，地震予知研究にとって興味深い現象や問題等を「重点検討課題」として選定し集中的に検討すること，また，ここで検討する課題の選定や円滑な運営を行うために重点検討課題運営部会（以下「部会」という）の設置が決定した．

これにより，初回となる部会を 2008 年に開催し当面の運営方針を以下のとおり定め，第 21 期（2009 年度）から開始する重点検討課題の検討に備えた．

○ 2008 年度部会（2008 年 12 月 25 日）
部会長　平田
委員　　谷岡，山岡，橋本，小原，桑原，森，政春
会長　　島崎
当面の運営方針
① 1 回の地震予知連絡会では，一つの重点検討課題について検討する．
②部会は , 年 2 回の開催を標準とし 1 回の開催で少なくとも 2 題の検討会題を選定する．
③地震予知連絡会では，次回に取り上げる重点検討課題の趣旨説明を行う．
④重点検討課題の選定基準は当面以下のとおりとする．
・地震予知研究に関するモニタリング
・多くの委員や研究者が関心をもつ話題
・最新の知見等のホットな話題
⑤趣旨説明者は , 委員又は招聘者として進行を担当する．
⑥報告者は，説明資料と記者説明会資料を作成する．
⑦記者説明会は部会長が担当し , 趣旨説明者も同席する．
⑧重点検討課題と招聘者の選定
・第 182 回地震予知連絡会（2009 年 5 月）
プレート境界深部すべりに係る諸現象
小原委員
・第 183 回地震予知連絡会（2009 年 8 月）
プレート境界浅部の固着とすべりのモニタリング
松澤委員
・第 184 回地震予知連絡会（2009 年 11 月）
地震波干渉法によるモニタリング（仮題）
山岡委員
・第 185 回地震予知連絡会（2010 年 2 月）
内陸地震のモニタリング（仮題）
桑原委員

2．部会開催

○ 2009 年度第 1 回部会
開催日　2009 年 6 月 9 日
出席者
部会長　山岡
委員　　谷岡，松澤，篠原，小原，橋本，桑原，横田政春
会長　　島崎
概　要
第 182 回地震予知連絡会で行った重点検討課題の検討を踏まえ，時間管理，進行担当等の運営に関する改善策を検討した．また，課題選定については，長期的視野も含めて系統性のある課題も選定することとした．
さらに，重点検討課題の資料は会報への掲載とホームページで公開することを決定するとともに，以下の重点検討課題及び趣旨説明者（以下，「検討課題等」という）を選定した．
・第 186 回地震予知連絡会（2010 年 5 月）
プレート境界について
小原委員又は松澤委員
・第 187 回地震予知連絡会（2010 年 8 月）
地震活動について
尾形委員
・第 188 回地震予知連絡会（2010 年 11 月）
プレート境界について
小原委員又は松澤委員

○ 2009 年度第 2 回部会
開催日　2010 年 2 月 15 日
出席者
部会長　山岡
委員　　谷岡，松澤，篠原，小原，桑原，横田，政春
会長　　島崎
副会長　平原
概　要
島崎会長から部会に対し，地殻活動モニタリング結果の新たな検討方法に関する指示を受け，地震予知連絡会の役割をより明確にすることも念頭に地殻活動モニタリングと重点検討課題の検討内容について精査し，記者説明会を活用した社会からの地震予知連絡会に関する理解促進につなげる方策を検討した．

○ 2010 年度第 1 回部会
開催日　2010 年 8 月 20 日
出席者
　部会長　山岡
　委員　　谷岡，松澤，篠原，小原，橋本，青井，桑原
　　横田，政春
　趣旨説明者　尾形
　会長　　島崎
概　要
　この間の重点検討課題の運営を踏まえ，趣旨説明者の役割等について整理し，以下の検討課題等を選定した．
　また，第 21 期（2009 年度から 2010 年度）に実施した重点検討課題の取りまとめについて検討を開始した．
・第 189 回地震予知連絡会（2011 年 2 月）
　海域のモニタリング技術の動向
　篠原委員
・第 190 回地震予知連絡会（2011 年 5 月）
　プレート境界のモニタリングのまとめ（仮）
　山岡部会長
・第 191 回地震予知連絡会（2011 年 8 月）
　地殻変動モニタリングに関する検討（仮）
　橋本委員

○ 2010 年度第 2 回部会
開催日　2011 年 2 月 18 日
出席者
　部会長　山岡
　委員　　谷岡，松澤，篠原，小原，橋本，青井，桑原，
　　舟崎（横田委員代理），政春
　会長　　島崎
概　要
　第 21 期（2009 年度から 2010 年度）で検討した重点検討課題のとりまとめ（案）と記者説明会での配付資料（案）に関する内容を精査し，修正等の議論を行った．

○ 2011 年（平成 23 年）東北地方太平洋沖地震の対応
　東北地方太平洋沖地震の発生により，第 190 回地震予知連絡会（臨時）を開催し，当該地震について集中的な検討を行った．さらに，次回の第 191 回地震予知連絡会においても，当該地震について集中的に検討することを決定した．
　なお，検討する課題は 2010 年度第 1 回部会で選定した検討課題等から参加機関から提出された議題と差し替えた．
・第 190 回地震予知連絡会（臨時）（2011 年 4 月 26 日）
　東北地方太平洋沖地震に関する検討
　－本震のすべり分布について
　－前兆について
　－ M9 になった理由について
　－余震と誘発地震について
　－余効変動について
　島崎会長
・第 191 回地震予知連絡会（2011 年 6 月）
　東北地方太平洋沖地震に関する検討（その 2）
　－第 190 回地震予知連絡会のまとめとそれ以降の新知見について
　－海溝沿いの問題
　山岡部会長

○ 2011 年度第 1 回部会
開催日　2011 年 6 月 13 日
出席者
　部会長　山岡
　委員　　谷岡，松澤，篠原，小原，遠田，青井，桑原，
　　内藤（土井委員代理），齋藤
概　要
　以下の検討課題等を選定した．
・第 192 回地震予知連絡会（2011 年 8 月）
　プレート境界に関するわれわれのイメージは正しいか？その 1（南海トラフ・南西諸島海溝）
　小原委員
・第 193 回地震予知連絡会（2011 年 11 月）
　東北地方太平洋沖地震に関する検討（その 3）
　松澤委員
・第 194 回地震予知連絡会（2012 年 2 月）
　プレート境界に関するわれわれのイメージは正しいか？その 2（千島海溝）
　谷岡委員
・第 195 回地震予知連絡会（2012 年 5 月）
　プレート境界に関するわれわれのイメージは正しいか？その 3（相模トラフ周辺・首都圏直下）
　遠田委員

○ 2011 年度第 2 回部会
開催日　2012 年 2 月 17 日
出席者
　部会長　山岡
　委員　　谷岡，松澤，篠原，小原，遠田，青井，桑原，
　　内藤（土井委員代理），齋藤
　会長　　島崎
　第 21 期で検討した重点検討課題の取りまとめ方針について議論した．また，以下の検討課題等を選定した．
・第 196 回地震予知連絡会（2012 年 8 月）
　内陸で発生する地震について

島崎会長
・第 197 回地震予知連絡会（2012 年 11 月）
世界で発生した超巨大地震について
佐竹委員
・第 198 回地震予知連絡会（2013 年 2 月）
東北地方太平洋沖地震に関する検討（まとめ）
松澤副会長

○ 2012 年度第 1 回部会
開催日　2012 年 8 月 29 日
出席者
部会長　山岡
委員　谷岡，篠原，小原，遠田，青井，桑原，土井，齋藤
会長　島崎
概　要
ホームページを介した重点検討課題の検討に関する周知内容等を議論した．また，以下の検討課題等を選定した．
・第 199 回地震予知連絡会（2013 年 5 月）
日本海で発生する地震と津波
谷岡委員
・第 200 回地震予知連絡会（2013 年 8 月）
短期直前予知手法の検討と評価について
山岡部会長

○ 2012 年度第 2 回部会
開催日　2013 年 2 月 18 日
出席者
部会長　山岡
委員　谷岡，松澤，篠原，小原，青井，桑原，土井，齋藤
会長　平原
概　要
以下の検討課題等を選定した．また，今後の重点検討課題の運営に関係する将来検討ワーキンググループの中間報告及び次期研究計画検討委員会での議論の概要を事務局から報告し，これについて議論した．
・第 201 回地震予知連絡会（2013 年 11 月）
地震・津波即時推定とモニタリング（仮）
土井委員
・第 202 回地震予知連絡会（2014 年 2 月）
物理モデルに基づいた地震発生予測について（仮）
堀委員

○ 2013 年度第 1 回部会
開催日　2013 年 8 月 21 日
出席者
部会長　山岡
委員　谷岡，松澤，遠田，篠原，小原，青井，宍倉，土井，齋藤
会長　平原
概　要
以下の検討課題等を選定した．また，将来検討ワーキンググループの経過報告を受けて，今後の重点検討課題の取り組みについて議論した．なお，趣旨説明者の都合により，第 201 回と第 202 回の重点検討課題を入れ替えることとした．
・第 203 回地震予知連絡会（2014 年 5 月）
日本列島の長期広域変動について（仮）
松澤副会長
・第 204 回地震予知連絡会（2014 年 8 月）
地震発生予測の評価について（仮）
遠田委員

○ 2013 年度第 2 回部会
開催日　2014 年 2 月 17 日
出席者
部会長　山岡
委員　谷岡，松澤，遠田，篠原，小原，青井．宍倉，土井，齋藤
会長　平原
概　要
以下の検討課題等を選定した．また，将来検討ワーキンググループで検討している「予測実験の試行」について，重点検討課題における検討方法を議論した．
・第 205 回地震予知連絡会（2014 年 11 月）
物理モデルに基づいた地震発生予測研究その 2（仮）
複数人の候補から調整
・第 206 回地震予知連絡会（2015 年 2 月）
兵庫県南部地震から 20 年の内陸地震研究の進歩（仮）
複数人の候補から調整

○ 2014 年度第 1 回部会
開催日　2014 年 8 月 22 日
出席者
部会長　山岡
委員　谷岡，松澤，遠田，篠原，小原，青井，宍倉，橋本，今給黎
会長　平原
概　要
以下の検討課題等を選定した．また，予測実験の試行に関する事前打ち合わせ会（2014 年 7 月 16 日）の報告を事務局から報告し，今後の重点検討課題の取り組みに

ついて議論した.
・第 207 回地震予知連絡会（2015 年 5 月）
　予測の根拠となるモニタリングデータと処理方法（仮）
　堀委員（仮）
・第 208 回地震予知連絡会（2015 年 8 月）
　予測実験の試行に向けて（仮）
　今給黎委員（仮）

○ 2014 年度第 2 回部会
開催日　2015 年 2 月 16 日
出席者
　部会長　山岡
　委員　　谷岡，松澤，遠田，篠原，小原，青井，宍倉，
　　橋本，今給黎
　会長　　平原
概　要
　以下の検討課題等を選定した．また，今後，重点検討課題で継続的に検討する「予測実験の試行」に関する検討の内容や議事進行等について議論した.
・第 209 回地震予知連絡会（2015 年 11 月）
　東北地方太平洋沖地震の広域地殻活動への影響（仮）
　高橋委員（仮）
・第 210 回地震予知連絡会（2016 年 2 月）
　予測実験の試行 02（仮）
　今給黎委員（仮）

○ 2015 年度第 1 回部会
開催日　2015 年 8 月 21 日
出席者
　部会長代理　松澤
　委員　　高橋，遠田，篠原，汐見（青井委員代理）
　　宍倉，橋本，前田，今給黎
　会長　　平原
概　要
　以下の検討課題等を選定した. また,「予測実験の試行」に関する今後の運営については，当面は評価手法の検討等を 1 年程度継続し, これによる議論や検討を経て, ルーチン化して本会議での議題とすることが決定した.
なお，趣旨説明者の呼称をコンビーナとすることを決定した.
・第 211 回地震予知連絡会（2016 年 5 月）
　余効変動と粘弾性（仮）
　平原会長
・第 212 回地震予知連絡会（2016 年 8 月）
　予測実験の試行 03（仮）
　松澤副会長

○ 2015 年度第 2 回部会
開催日　2016 年 2 月 22 日
出席者
　部会長　山岡
　委員　　高橋，松澤，遠田，篠原，青井，宍倉，橋本
　会長　　平原
概　要
　以下の検討課題等を選定した.
・第 213 回地震予知連絡会（2016 年 11 月）
　南海トラフ地震（仮）
　山岡部会長
・第 214 回地震予知連絡会（2017 年 2 月）
　海域モニタリング（仮）
　篠原委員（仮）

○ 2016 年熊本地震の対応（2016 年 4 月 27 日）
　4 月 14 日に発生した熊本地震に伴い，メールによる部会を開催し , 2015 年度第 1 回及び第 2 回部会で選定した課題等を以下に変更することを決定した.
・第 211 回地震予知連絡会（2016 年 5 月）
　平成 28 年（2016 年）熊本地震
　平田委員
・第 212 回地震予知連絡会（2016 年 8 月）
　余効変動と粘弾性　－日本列島広域地殻活動予測にむけて－
　平原会長
・第 213 回地震予知連絡会（2016 年 11 月）
　南海トラフ地震
　山岡部会長
・第 214 回地震予知連絡会（2017 年 2 月）
　予測実験の試行 03（仮）
　松澤副会長
・第 215 回地震予知連絡会（2017 年 5 月）
　海域のモニタリング（仮）
　篠原委員

○ 2016 年度第 1 回部会
開催日　2016 年 8 月 22 日
出席者
　部会長　山岡
　委員　　高橋，松澤，遠田，篠原，青井，宍倉，橋本，
　　前田，今給黎
　会長　　平原
概　要
　以下の検討課題等を選定した.
・第 216 回地震予知連絡会（2017 年 8 月）
　首都圏直下地震（仮）

平田委員

○ 2016 年度第 2 回部会
開催日　2017 年 2 月 20 日
出席者
部会長　山岡
委員　高橋, 松澤, 遠田, 篠原, 汐見（青井委員代理）
宍倉，橋本，前田，今給黎
会長　平原
概　要
以下の検討課題等を選定した.
・第 217 回地震予知連絡会（2017 年 11 月）
予測実験の試行 04
堀委員（仮）
・第 218 回地震予知連絡会（2018 年 2 月）
熊本地震で見えてきた課題
遠田委員

○ 2017 年度第 1 回部会
開催日　2017 年 8 月 21 日
出席者
部会長　山岡
委員　松澤，遠田，篠原，青井，今西，青木，橋本，
矢来
会長　平原
概　要
以下の検討課題等を選定した.
・第 219 回地震予知連絡会（2018 年 5 月）
地震と水
今西委員
・第 220 回地震予知連絡会（2018 年 8 月）
千島海溝・北海道東方沖・三陸北部
佐竹委員（仮）

○ 2017 年度第 2 回部会
開催日　2018 年 2 月 23 日
出席者
部会長　山岡
委員　高橋, 松澤, 遠田, 篠原, 青井, 今西, 尾崎（青木委員代理），橋本，矢来
会長　平原
概　要
以下の検討課題等を選定した．また，記者説明会で配付する資料について，作成内容等を検討し理解促進を図ることとした.
・第 221 回地震予知連絡会（2018 年 11 月）
予測実験の試行 05
橋本委員（仮）
・第 222 回地震予知連絡会（2019 年 2 月）
九州南西諸島弧（仮）
後藤委員（仮）

○ 2018 年度第 1 回部会
開催日　2018 年 8 月 24 日
出席者
部会長　山岡
委員　篠原，青井，今西，青木，橋本，矢来
会長　平原
概　要
以下の検討課題等を選定した．また，一般を対象とした重点検討課題の周知を目的とした内容を確認し，これをもとにホームページに掲載することとした.
・第 223 回地震予知連絡会（2019 年 5 月）
西南日本日本海側の地殻活動（仮）
篠原委員
・第 223 回地震予知連絡会（2019 年 8 月）
地殻レオロジーと地震活動（仮）
松澤副会長（仮）

なお，重点検討課題一覧は，参考資料（P.333 〜）に掲載した.

4．平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震への対応

4.1　地震予知連絡会本会議での対応

地震予知連絡会では，平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震への対応として，第 190 回地震予知連絡会を臨時会として開催し，その地震の解釈，意味するもの，前兆現象の有無等の議論を行った．その後も，重点検討課題として 3 回選定され，観測・研究結果の報告及び議論を行った．本項では，それぞれの概要について記述する．

1．第 190 回地震予知連絡会臨時会（2011 年 4 月 26 日）

第 190 回地震予知連絡会は，臨時会として 2011 年 4 月 26 日に開催された．全国の地震活動，地殻変動等に関するモニタリングの報告は行わず，重点検討課題「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」に関して，(1) 本震のすべり分布，(2) 前兆，(3) M9 になった理由，(4) 余震と誘発地震，(5) 余効変動，の観点で観測・研究成果の報告が行われ，議論された．

2．第 191 回地震予知連絡会（2011 年 6 月 13 日）

第 190 回に引き続き，重点検討課題「東北地方太平洋沖地震に関する検討（その 2)」として，3 部に分けて検討が行われた．第 1 部では，「第 190 回地震予知連絡会のまとめとそれ以降の新知見について」の 1 題の報告があった．第 2 部では，海溝沿いの問題として，「津波地震について」「海溝沿い浅部プレート境界について」の 2 題の報告があった．第 3 部では，短期から長期的影響として，「今後の余震･誘発地震･余効変動について」「島弧－海溝系における長期的ひずみ蓄積過程と超巨大ひずみ解放イベントの可能性」の 2 題の報告があった．

3．第 193 回地震予知連絡会（2011 年 11 月 18 日）

重点検討課題「東北地方太平洋沖地震に関する検討（その 3)」として，今後の地殻活動の推移予測や将来における巨大地震発生の予測の枠組みを検討するため，3 部に分けて検討が行われた．第 1 部では，「東北地方太平洋岸の隆起と沈降の履歴についてのレクチャー」と題して報告があった．第 2 部では「陸上モニタリング結果」として 4 機関から，第 3 部では「海底観測結果」として 3 機関から報告があった．

4．第 198 回地震予知連絡会（2013 年 2 月 18 日）

過去 3 回にわたって検討されてきた東北地方太平洋沖地震の議論や検討結果を踏まえ，このような地震がなぜ，どのように発生したのか，また今後，このような巨大地震の発生に備えるために何をどのようにモニタリングすべきかについて，本震発生から 2 年を経過した時点で，重点検討課題「東北地方太平洋沖地震に関する検討（まとめ)」として，3 部に分けて検討が行われた．第 1 部では，「何が起こったのか？今後何をすべきか？」をテーマに 4 機関から報告があった．第 2 部では，「地震の前に異常はなかったか？」をテーマに 1 機関から報告があった．第 3 部では，「何故起こったのか？」をテーマに 1 機関から報告があった．

4.2　地震予知連絡会ワーキンググループの活動

本項では, 第 22 期(2011 ～ 2012 年度)に設置された「将来検討ワーキンググループ」について，経緯，活動概要及び検討結果を記述する.

1．設置経緯

地震予知連絡会（以下「本連絡会」という.）は,「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の推進について（建議：2008 年 7 月)」において「地震活動・地殻変動等に関するモニタリング結果を中心とした情報交換を行い，モニタリング手法の高度化を検討する場」として位置付けられ，平成 21 年には注目すべき地震や地震予知研究に重要な問題等を「重点検討課題」として選定し集中的な検討を行ってきた．しかし，日本海溝から沈み込む太平洋プレートと上盤の境界で発生する巨大地震に関する我々の考えは , 2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震によって，実際とは大きく異なっていることが示された.

このため本連絡会では，プレート境界に関する我々のイメージ，そこで発生する巨大地震の地震像等について重点検討課題として，東北地方太平洋沖地震を踏まえた再検討を行ってきた．一方で，建議の見直し及び建議に基づく次の 5 か年の計画（以下「次期計画」という.）の検討が開始されつつある.

このような状況を踏まえ, 本連絡会では「将来検討ワーキンググループ」を設置し,

・本連絡会の役割の再確認と今後の方向性
・「予知」と「予測」の捉え方
・組織名称の変更の必要性

について検討することを，第 197 回地震予知連絡会(2012 年 11 月 21 日）において決定した.

2．活動概要

(1) ワーキンググループの構成

主査　松澤 暢
委員　平原 和朗，山岡 耕春，平田 直，堀 高峰
　　小泉 尚嗣，土井 恵治，今給黎 哲郎

(2) 第 1 回ワーキング（2012 年 12 月 12 日）

本連絡会の役割の再確認と今後の方向性を検討するために，本連絡会の発足経緯及び変遷を確認し , 学会との違いや地震調査研究推進本部等との関係・協力について議論した．さらに，これまでの活動を振り返り，現在の地震予測能力について等身大の実力を伝える必要性があるとの問題意識から「予測実験を試行し検証・評価する」という提案がされ，何が実施可能であるかについて検討した.

また，本ワーキンググループ専用のメーリングリストを開設し，モニタリングのあり方及び地震調査研究推進本部（以下「地震本部」という.）と本連絡会の役割分担について随時メールによる議論（以下「メール会議」という.）を行うこととした.

(3) 第 2 回ワーキング（2013 年 2 月 26 日）

「予測実験を試行」の導入により，モニタリングとして何が重要なのかを検討していくことが確認された．また，この手法として，重点検討課題で「予測実験の試行」を議論し今後の方向性を示していくことが提案され，これに関する具体的な検討を行った.

(4) 第 3 回ワーキング（2013 年 4 月 30 日）

「予知」と「予測」の捉え方に関する言語学的位置付け，地震本部での定義，用法等を整理した．さらに，社会からの本連絡会に対する期待について議論した.

その後のメール会議では，次期計画に関する測地学分科会からのアンケートへの対応を議論し , 本連絡会の役割の一つに，予知・予測に関する研究の現況を社会に伝えることも記述すべきとして，回答することとした.

(5) 第 199 回地震予知連絡会（2013 年 5 月 30 日）

ワーキンググループの検討状況について中間報告し，了承された.

その後のメール会議では，名称変更をした場合と継続した場合のメリットとデメリットについて議論した.

(6) 第 4 回ワーキング（2013 年 8 月 6 日）

本連絡会の名称変更の必要性について議論をしたが，次期計画の全容が明らかになった後に再度議論することとした.

(7) 第 5 回ワーキング（2013 年 10 月 30 日）

本連絡会の名称変更の必要性と今後の運営について議論した．本連絡会の任務は，今後も地震の予知・予測の現状を正しく社会に伝えることであると整理し，名称変更の必要はないとした．また，モニタリングの高度化については，次期計画で重視する災害誘因（地震動や津波等）を考慮し，災害誘因や災害素因（自然環境や社会の脆弱性）の重要性を確認した.

3．検討結果

(1) 本連絡会の役割の再確認と今後の方向性について

本連絡会の役割は，

①地震発生の予知・予測を目指したモニタリング結果を中心とした情報交換

②モニタリング手法の高度化

③社会に対して，地震発生の予知・予測に関する研究の現状を伝えること

ことであり，次期計画に明示されている．

モニタリング結果を中心とした情報交換は，地震調査研究推進本部地震調査委員会等でも行われているが，モニタリングに関わる多くの機関の専門家と関連する分野の専門家が定期的に一堂に会し，地震の予知・予測を目指して公開で議論しているのは本連絡会以外には皆無であり，今後もこれを継続すべきである．また，モニタリング手法の高度化の議論に際しては，次期計画で重要視されている災害誘因を念頭に，この分野の専門家から情報提供を受けることも検討すべきである．

一方，モニタリングとして何が重要かを検討し，また，今の予測能力の実力を把握・提示するために，重点検討課題で「予測実験の試行」を継続的に行うことが有効であり，加えて，これらの検証・評価手法の検討も進めることが必要である．

このような「予測実験の試行」を実施することで，現在の予知・予測の実力が明らかになり，モニタリングの高度化やモニタリング項目の見直しにおいて重要な役割を果たすと期待される．

さらに，社会に対してその結果を示すことで，現状の科学では「何ができて，何ができないのか」，地震予知・予測に関する等身大の実力を明らかにすることができると期待される．

(2)「予知」と「予測」の捉え方

辞典を含む各種の文献等を調査すると，「予知」は感覚的なものから感覚的でないものまで広く用いられているのに対して，「予測」は感覚的なものは含まれず科学的・統計的根拠に基づく定量的なものに対して用いられることが多い．また，「予知」の用例は限られており，「地震予知」を中心に，危険や災害に関することに使われることが多い．「予知」は，現状の単純な外挿では推し量ることが困難な現象の発生を YES か NO で言い当てる場合に使われることが多く，このために「決定論的」というニュアンスと「定性的で信頼度が低い」という二つのニュアンスが生まれたと思われる．一方，「予測」は，誤差があることを前提にした科学的・統計的推定に用いられることが多い．このために「予測」には，「統計論的」というニュアンスと「定量的で信頼度が高い」というニュアンスがある．

地震学会の「行動計画 2012」の定義では，「予知」を短期の確度の高いもの，「予測」は短期～長期にわたる確率的なものとし，現状では「予測」はある程度可能かもしれないが「予知」は極めて困難としている．

一方，一般の社会では，人それぞれに「予知」と「予測」の捉え方は異なっており，双方を明確に区別している人は少ないと思われる．社会が望んでいることは，自分の行動の指針となるような情報（減災に役立つ情報）であることを忘れてはならない．

(3) 組織名称の変更の必要性

本連絡会は，測地学審議会の建議を踏まえて設置された組織であり，建議の方針に応じて，その役割について自己点検し様々な改革を行ってきたが，「地震予知連絡会」という名称は一貫して使用してきた．しかし，2011 年東北地方太平洋沖地震の後，前述の地震学会の「行動計画 2012」における「予知」と「予測」の再定義等，「予知」という用語を，短期の確度の高いものに限るべきであるとの意見が学界で表明されることが多くなってきた．また，今回建議された次期計画のタイトルにおいては「予知」はおろか「予測」という用語も使われていない．これらを踏まえ，組織の名称についても変更すべきかどうかについて，様々な角度から検討を行った．

今回の建議においては，災害軽減への貢献を目的とすることが明示され，これまでの理学に重点をおいたものからは方針を転換した．本連絡会は，最初の建議を踏まえて設立されたものであるという歴史を考えれば，その名称についても，建議の目的に沿った名称にするのが本来は適切であると考えられる．

しかし，本連絡会の名称を，例えば「地震発生予測連絡会」，又は「予測」を使わず「地殻活動モニタリング連絡会」とした場合，地震発生の予知・予測を目指したモニタリング結果を中心とした情報交換を行うという，次期計画で期待されている本連絡会の役割には近くなるが，「災害の軽減に貢献する」という次期計画の目的からは，むしろ遠ざかってしまう印象を与える．一方，次期計画全体の目的を前面に出した「地震災害軽減連絡会」といった名称は，次期計画に示された本連絡会の役割を超えており，これも適切とは考えられない．

また，一般市民は，自分の行動の指針となるような情報（減災に役立つ情報）が得られるような研究を予知研究と捉えており，ここで「予知」という名称をはずしてしまうことは，むしろ減災に役立つ情報を提供しようとする努力を放棄したという誤ったメッセージとなりかねない．

「地震予知」という用語を使い続けることに対する主

たる批判は，「避難行動に結び付くほどの確度の高い情報が得られる可能性が高いという幻想を与えてしまっている」ということにある．しかし，「予知」と「予測」の前述のニュアンスの違いを考えると，「予測」という用語を使った場合には，逆に，前より信頼度の高い推定が可能になったとの誤解を与える可能性もある．

以上を総合的に判断すれば，組織の名称を変更するよりも，「予測実験の試行」を導入し，災害誘因や災害素因に関する専門家の意見も考慮して，地震の予知・予測の現状と能力を正しく社会に発信していくことを本連絡会の任務の一つとするほうが，正しい方向性であると考えられる．「予知」と「予測」の名称の問題にこだわって名称の変更に多大なエネルギーを費やすよりは，中身の変更にエネルギーを使うべきであり，それこそが社会の期待に正しく応える道であろう．

(4) 今後の課題

今回建議された計画では，災害軽減に貢献することが求められており，本連絡会では，地震発生の予知・予測がどのように災害軽減へ貢献できるのか，その道筋を把握できるような活動を行う必要がある．このために，本ワーキンググループでは，予測実験の試行と，災害誘因も視野に入れたモニタリングの高度化の議論を提案したが，今後も継続して改革を進める必要がある．

また，地震予知連絡会運営要綱にある本連絡会の役割は，検討結果や次期計画の趣旨に沿うように改正すべきである．

4．検討結果の報告

ワーキンググループによる検討結果は，第 201 回地震予知連絡会（2013 年 11 月 22 日）で報告し，これについて質疑が行われた．その後，意見照会の期間を第 202 回地震予知連絡会（2014 年 2 月 17 日）までとして設けたが，特段の意見は寄せられず本報告書は正式に受領された．

また，本報告書を受け第 202 回地震予知連絡会では，地震予知連絡会運営要綱の前文を改正した．改正後の前文を以下に転載する．

「地震予知連絡会運営要綱（前文）

地震の予知・予測により震災軽減に貢献することを目的とし，地震に関する観測・研究を実施している関係機関等が提供する情報を交換するとともに，将来発生する地震の予知・予測に関する学術的検討を行うため，地震予知連絡会（以下「予知連」という．）の運営要綱を下記のとおり定める．」

5．地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの活動

1．設置の目的と経緯

「地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループ（以下「地震 SAR 解析 WG」という.）」は，地震予知連絡会において，国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構（以下「JAXA」という.）の協力のもと陸域観測技術衛星 2 号「だいち 2 号」（以下「だいち 2 号」という.）及び陸域観測技術衛星「だいち」（以下「だいち」という.）の観測データを用いた防災利用実証実験を行い，SAR データの有効性の調査・検討等を実施するために設置されたグループであり，2014 年 2 月の第 202 回地震予知連絡会において設置が承認された.

地震 SAR 解析 WG の活動の目的は,次のとおりである.

①日本域及び海外を対象とした「だいち 2 号」の SAR 観測データによる詳細な地殻変動・地盤変状・災害状況の把握，及びその手法の高度化に関する調査・検討

②地震発生時や異常な地殻活動が検出された場合における，地殻変動等の把握・解析を通した地震発生機構の解明，及び災害対応・災害軽減への応用についての SAR データの有効性の調査・検討

③「だいち 2 号」解析結果の地震予知連絡会や地震調査委員会等に対する報告

地震予知連絡会の事務局を担当する国土地理院は，2014 年 4 月に地震 SAR 解析 WG の活動に関することを盛り込んだ「陸域観測技術衛星 2 号に関する国土地理院と宇宙航空研究開発機構の間の協定書」を JAXA との間で締結した．2014 年 5 月の第 203 回地震予知連絡会において実験協力者を募集し，同年 8 月に実験協力者（9 機関）が決定した．2014 年 10 月には，「陸域観測技術衛星 2 号（ALOS-2）に関する国土地理院と宇宙航空研究開発機構の実施計画書」において，「だいち 2 号」打上げから 3 年間（2014 年 5 月 24 日～ 2017 年 5 月 23 日）にわたる防災利用実証実験の実施計画を定め，地震 SAR 解析 WG の活動が本格的に開始した．3 年の期間中に平成 28 年（2016 年）熊本地震，2015 年に発生したネパールの地震をはじめ，多数の地震において SAR データから詳細な地殻変動が捉えられ，地震予知連絡会において報告と議論が行われた．また，解析結果は，政府の地震調査研究推進本部地震調査委員会（以下「地震調査委員会」という.）にも提出され，地震に伴う地殻変動の評価に活用されている.

上述のとおり，地震 SAR 解析 WG において「だいち 2 号」打上げからの 3 年間に SAR データで得られた成果は地震活動の評価等に活用され，防災利用において有用なデータを提供できることが分かってきた．このことを踏まえ，2017 年 2 月の第 214 回地震予知連絡会において，地震 SAR 解析 WG の活動の継続（2 年間）が認められた．2 年間の延長期間中，平成 30 年北海道胆振東部地震，2017 年に発生したイラン・イラク国境付近の地震，台湾・花蓮の地震，2018 年に発生したキラウェアの地震，インドネシア・ロンボク島の地震，インドネシア・スラウェシ島の地震等，多数の地震において SAR データから詳細な地殻変動が捉えられた．SAR データは地震に伴う地殻変動の迅速な把握や評価において不可欠なツールとなりつつあり，今後も地殻変動を議論する上で有益な数多くの成果が期待できる .このことから，2019 年 2 月の第 222 回地震予知連絡会において，地震 SAR 解析 WG のさらなる活動の継続が認められ，地震 SAR 解析 WG の活動は，2019 年 5 月以降も継続されている.

2．枠組み及び参加機関

地震 SAR 解析 WG 事務局（国土地理院）は，実験協力者の観測要求や成果を取りまとめ，JAXA に報告する役割を担う（図 1）．2019 年 12 月末時点での実験協力者及び研究課題を表 1 に示す.

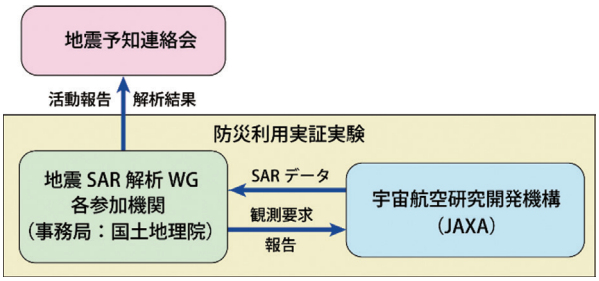


図 1　地震 SAR 解析 WG の枠組み

地震 SAR 解析 WG は，地震発生時に実験協力者からの観測要求を取りまとめたうえで，JAXA に対して緊急観測を提案することができる．JAXA は，地震 SAR 解析 WG からの提案を受けて競合する観測の有無を調査するとともに提案された観測の実現可能性を検討し，可能と判断した場合は緊急観測を実施し，観測データを実験協力者に提供している．この際，SAR 干渉解析が可能となるよう，JAXA は必要な地震発生前の観測データも合わせて提供する．実験協力者は，提供された観測データの解析を実施し，解析結果に基づいて検出された地殻変動に関する議論を電子メールにより行う．その上で，有意な解析結果が得られた場合には，地震予知連絡会や地震調査委員会等に報告され，地震活動の評価，地震

研究等に利用されることになる．

また，JAXA から配信される緊急観測データ以外に，実験協力者は課題研究実施のため，「だいち 2 号」及び「だいち」の観測データをそれぞれ年間最大 50 シーンまで無償で取得できる．課題研究の成果は，緊急観測の解析結果とともに課題別成果報告票及び成果報告書にまとめられ，地震 SAR 解析 WG のウェブページ（https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/about_EQWG.html）にて公開されている．

3．活動報告

地震 SAR 解析 WG は，原則として，地震予知連絡会の関係機関で構成されており，「だいち 2 号」または「だいち」の観測データを用いて地震予知連絡会の活動に貢献する課題研究を実施する．研究は，機関毎に課題を設定して行われ，期間中に 9 課題が実施された（表 1）．

3.1 「だいち 2 号」の改善による地震 SAR 解析 WG の成果

実験協力者にアンケート調査を実施したところ，2006 年から 2011 年まで運用された「だいち」から 2014 年に運用を開始した「だいち 2 号」になったことで良くなった点として下記が挙げられた．

・空間分解能の向上
・リピートパスの軌道間距離が短くなったことによる干渉性の向上
・高分解能モードに加えて広域観測モードでも干渉処理が可能
・左右両方向による観測
・緊急観測要求の受付時間の延長

そこで「だいち 2 号」の性能を生かして地震 SAR 解析 WG の目的を達成するため，各研究課題を実施した．また，「だいち」の運用中に得られたアーカイブデータを用いた研究課題も併せて実施した．

これらの取組によって得られた結果は，地震予知連絡会及び地震調査委員会において地殻変動の検討及び評価に活用された．

平成 28 年（2016 年）熊本地震をはじめ，長野県北部の地震（2014 年 11 月 22 日，M6.7），鳥取県中部の地震（2016 年 10 月 21 日，M6.6），茨城県北部の地震（2016 年 12 月 28 日，M6.3）といった内陸の活断層で発生する地震において，地震波形による解析や GNSS 観測網からは把握できない局所的な詳細な変動を捉えた点で地震 SAR 解析 WG の貢献は大きい．地震 SAR 解析 WG の貢献が拡大した要因としては，「だいち 2 号」は，1）回帰日数が短い，2）左右両方向の観測，3）広域観測モードによる高品質な観測データの取得，を達成したことで，「だいち」に比べて地震発生後により迅速かつ詳細に SAR 干渉画像を得ることが可能となったことが挙げられる．

表 1　実験協力者一覧（2019 年 12 月末時点）

管理番号	代表研究者	所属機関	研究課題名
01	矢来　博司	国土地理院	地殻活動に伴う地殻変動とその時空間変化の詳細把握
02	小澤　拓	防災科学技術研究所	地震に伴う地殻変動の検出を目的とした緊急観測データの解析
03	原田　智史※1	気象庁	地殻変動の詳細把握
04	橋本　学	京都大学	ALOS-2/PALSAR-2 を用いた活断層帯周辺の地震前・時・後の地殻変動の研究
05	古屋　正人	北海道大学	陸域プレート境界周辺の地殻変動様式の解明
06	中尾　茂	鹿児島大学	干渉 SAR 解析を用いた変位急変帯の地震発生ポテンシャルの評価に関する研究
07	大木　真人※2	宇宙航空研究開発機構	PALSAR-2 による地殻変動検出
08	田中　明子	産業技術総合研究所	合成開口レーダを用いた地震活動に伴う地殻変動のモニタリング
09	福島　洋※3	東北大学	SAR 及び GNSS データ解析に基づく奥羽脊梁山脈沿いのひずみ集中機構に関する研究

※1　気象庁の代表研究者は，中村浩二（2015 年度～ 2016 年度），尾崎友亮（2017 年度～ 2018 年度）から原田智史（2019 年度）に変更
※2　宇宙航空研究開発機構の代表研究者は，島田政信（2014 年度），夏秋嶺（2015 年度～ 2016 年度）から大木真人に変更（2017 年度～ 2019 年度）
※3　東北大学の代表研究者は，三浦哲（2014 年度～ 2016 年度）から福島洋（2017 年度～ 2019 年度）に変更

以上から，地震 SAR 解析 WG の活動による成果は，着実に増加してきたといえる．

その後，国内では平成 30 年北海道胆振東部地震（2018 年 9 月 6 日，M6.7）が発生した．この地震は内陸で発生し，GNSS 観測網のみでは捉えきれない局所的な詳細な変動を捉えることができた．また，この地震に伴って実施された緊急観測は，前回観測がいずれも 2 週間前（1 回帰）という極めて近い時期に実施されたことで高い干渉性が得られ，高精度な変動検出を捉えたことが特筆すべき点である．「だいち 2 号」の後継機として 2020 年度に打ち上げ予定の先進レーダ衛星（ALOS-4）では，観測頻度が高くなるため，定常的に高い干渉性が確保されることが期待される．

海外では 2017 年にイラン・イラク国境付近の地震（Mw7.3），台湾・花蓮の地震（Mw6.4），2018 年にパプアニューギニアの地震（Mw7.5），キラウェアの地震（Mw6.9），インドネシア・ロンボク島の地震（Mw6.4，6.9，6.9），インドネシア・スラウェシ島の地震（Mw7.5）等，多数の地震が発生した．これらの地震に伴う詳細な地殻変動を捉えるとともに，震源断層モデルを推定することでメカニズムの解明に寄与することができた．特にキラウェアの地震では，C バンド衛星である Sentinel-1 による観測で非干渉であった領域でも変動を捉えることができ，植生を透過できる L バンド衛星の優位性が示された．また，海外で発生した地震では現地の関係機関に情報が提供され，特にイラン・イラク国境付近やインドネシアの地震では災害対応に役立ったとして関係機関より感謝の意が示された．

3.2　SAR 解析手法の高度化

手法の高度化については，2.5 次元解析，MAI 法，ピクセルオフセット解析，干渉 SAR 時系列解析といった高度な解析手法が定着しつつある．これらは SAR の解析技術や知見の蓄積に加え，「だいち 2 号」の観測データの蓄積によって実現されたものである．

一方，電離層擾乱・対流圏擾乱・RFI（Radio Frequency Interference）などに起因するノイズが地殻変動を詳細に捉える際の障壁となる場合があった．例えば，2018 年のパプアニューギニアの地震（Mw7.5）や大阪府北部の地震（M6.1）では，電離層に起因すると見られる位相変化が存在し，実際の地殻変動の有無や範囲を直ちに判断することが困難であった．電離層起因のノイズは Split spectrum 法の適用が有効であり，ノイズの低減手法の標準化に組み込まれつつある．

今後，「だいち 2 号」の観測データの利活用を拡大するためには，引き続き大規模な地震時における観測データと解析事例を蓄積していくことが必要である．特に，「だいち 2 号」の観測データの蓄積が進むことで，今後は多数の観測データを使用して定常的な変動を検出する干渉 SAR 時系列解析が重要な研究項目の 1 つとなると考えられる．先進レーダ衛星（ALOS-4）は日本周辺で年 20 回の観測が実施される予定であり，干渉 SAR 時系列解析により余効変動のような変動速度の小さい変動を継続的かつ高精度に捉える強力な手段となることが期待される．

4．地震予知連絡会への報告

国内外で発生した地震について，地震 SAR 解析 WG が「だいち 2 号」の観測データを用いた解析結果を地震予知連絡会へ行った報告は，以下の表 2，表 3 のとおりである．

表 2　地震予知連絡会への解析結果報告一覧（国内）

No.	報告した事象	年月日	規模
01	長野県北部の地震	2014 年 11 月 22 日	M6.7
02	平成 28 年（2016 年）熊本地震	2016 年 4 月	最大 M7.3
03	鳥取県中部の地震	2016 年 10 月 21 日	M6.6
04	茨城県北部の地震	2016 年 12 月 28 日	M6.3
05	大阪府北部の地震	2018 年 6 月 18 日	M6.1
06	平成 30 年北海道胆振東部地震	2018 年 9 月 6 日	M6.7
07	北海道胆振地方中東部の地震	2019 年 2 月 21 日	M5.8
08	山形県沖の地震	2019 年 6 月 18 日	M6.7

表 3　地震予知連絡会への解析結果報告一覧（海外）

No.	報告した事象	年月日	規模
01	ネパールの地震	2015 年 4 月 25 日	Mw7.8
02	中国・新疆の地震	2015 年 7 月 3 日	Mw6.4
03	チリの地震	2015 年 9 月 17 日	Mw8.3
04	タジキスタン共和国の地震	2015 年 12 月 7 日	Mw7.2
05	台湾の地震	2016 年 2 月 6 日	Mw6.4
06	エクアドルの地震	2016 年 4 月 17 日	Mw7.8
07	イタリア中部の地震	2016 年 8 月 24 日	Mw6.2
08	イタリア中部の地震	2016 年 10 月 26 日	Mw6.1
09	イタリア中部の地震	2016 年 10 月 30 日	Mw6.6
10	ニュージーランドの地震	2016 年 11 月 13 日	Mw7.8
11	イラン・イラク国境付近の地震	2017 年 11 月 12 日	Mw7.3
12	台湾・花蓮の地震	2018 年 2 月 6 日	Mw6.4
13	パプアニューギニアの地震	2018 年 2 月 25 日	Mw7.5
14	ハワイ島の地震	2018 年 5 月 4 日	Mw6.9
15	インドネシア・ロンボク島の地震	2018 年 7 月 28 日	Mw6.4
16	インドネシア・ロンボク島の地震	2018 年 8 月 5 日	Mw6.9
17	インドネシア・ロンボク島の地震	2018 年 8 月 19 日	Mw6.9
18	インドネシア・スラウェシ島の地震	2018 年 9 月 28 日	最大 Mw7.5
19	インドネシア・クラカタウ火山の噴火	2018 年 12 月 22 日	-
20	米国・カリフォルニア州中部の地震	2019 年 7 月 6 日	最大 Mw7.1

6．50 周年記念企画　公開シンポジウム「地震予知研究の現状と今後の展望」

地震予知連絡会事務局

1．ワーキンググループによる記念企画検討

地震予知連絡会が 2019 年 4 月に発足 50 周年を迎えることに先立ち，第 217 回地震予知連絡会(2017 年 11 月)において 50 周年記念企画を検討することが決定された．

この決定を受け，第 219 回地震予知連絡会（2018 年 5 月）において「地震予知連絡会 50 周年記念企画ワーキンググループ（以下，「WG」という．)」が設置された．WG では，50 周年記念企画として，2018 年度内にシンポジウムを開催し，2019 年度内に「地震予知連絡会 50 年のあゆみ」を刊行することを決めた．

2018 年度内に開催するシンポジウムでは，地震予知研究に関する社会の理解と関心を高めることを目的とし，一般の方を対象とすることにした．テーマを「地震予知研究の現状と今後の展望」とし，シンポジウム前半では地震予知研究の成果や今後の方向性を示す基調講演を行い，後半では地震予知研究に関する社会からの期待や希望に対し，どのような貢献ができるか，などをテーマにしたパネルディスカッションを行うこととした．

第一線で活躍する幅広い分野の有識者に登壇者として参加をいただくとともに，共催機関として地震・火山噴火予知協議会，後援機関として公益社団法人日本地震学会の開催協力が得られた．さらに，東京都をはじめ防災学術連携体，防災関連の NPO 法人などからは，シンポジウムの開催周知に関わる協力が得られた．

2．シンポジウムの概要

2019 年 3 月 16 日（土）に東京大学武田先端知ビル武田ホール（本郷キャンパス）において，地震予知連絡会 50 周年記念企画公開シンポジウム「地震予知研究の現状と今後の展望」を開催した．登壇者 9 名，報道関係者 17 名を含む 211 名の来場者を迎えた．

冒頭では，平原会長から「地震予知研究における現在の実力と今後の方向性に理解を得たうえで，社会の要請にどう応えていくかを共有したい．また，この先 50 年後に地震予知研究が大きく進歩したと評価されることを一研究者として願っている．」との挨拶があった．

表 1　WG の構成

役職	メンバー	所属
主査	山岡副会長	名古屋大学大学院
	平原会長	京都大学
	高橋委員	北海道大学大学院
	遠田委員	東北大学災害科学国際研究所
	篠原委員	東京大学地震研究所
	青井委員	防災科学技術研究所
	今西委員	産業技術総合研究所

地震予知連絡会　平原会長挨拶

会場風景

ポスター

1）基調講演

「経験則による地震予知」－どの程度の予測なのか？－

東京大学地震研究所　中谷正生　准教授

過去に発生した南海トラフの地震では，明らかな半割れのケースが 2 回あり，その後，残りが割れたのは 30 時間後と 2 年後であった．経験回数は少ないが，半割れ後の 3 日間と平常時の 3 日間の地震発生確率を比較すると前者は後者よりも少なくとも 100 倍以上も地震の発生する確率が高い．また，1946 年と 1854 年の地震では，目撃記録や伝承から 2m 級の超大型 SSE を推測することが可能である．メートル級の超大型 SSE の発生には疑問が残り，さらに，大地震は巨大な外部イベントの直後に起きるわけでもないが，南海トラフ域に超大型の SSE が発生した場合には，経験則による地震発生の確率は明らかに高まる．

大地震はいつ発生するかは決まっていることだが，地下の応力と強度の分布を詳細に把握することが困難であり，地震発生は経験則による確率を示すことしかできない．加えて，将来的にも 100 点満点で地震を予知することは不可能であり，現在の実力は 3 点程度でしかなく，原理的限界により獲得可能な得点の上限は 20 点程度だと感じている．

地震発生の確率が 3 日で 10%とは，90% が空振りで 80%が安全とも表現することができるが，確率数字の意味は文字どおりでしかない．この数字の意味を理解し，個々の行動は個々の事情で判断をしてほしい．

東京大学地震研究所　中谷正生 准教授

「地震予知連絡会の これまでとこれから」

東北大学大学院　松澤暢　教授
（地震予知連絡会副会長）

地震予知連絡会は，1969 年第 2 次地震予知計画（建議）に基づき，各分担機関による情報交換とそれらの情報の総合的判断を行うことを目的に設置された．また，この建議には，注視すべき地域を観測強化地域と特定観測地域として指定し，当連絡会はこれらの地域を主な対象としてきた．

しかし，1995 年阪神・淡路大震災の発生を踏まえ地震調査研究推進本部が設置され，2008 年に日本全国を一律に評価した地震予測地図を整備した．これにより，当連絡会が指定した観測強化地域と特定観測地域が解除された．また，建議から求められた当連絡会の役割は，地震予知観測研究に関する情報交換と観測研究の質の向上に努めることへと変わることになった．

さらに，その後に発生した 2011 年東日本大震災に関する検討の結果，建議からは「予知」の言葉が消え，当連絡会には，情報交換の場，モニタリング手法の高度化に資する役割，観測研究の現状を社会に伝えること，が求められることになった．このような大きな環境の変化に対応すべく，「将来検討ワーキンググループ」を設置し，当連絡会の役割と今後の活動方針，組織名称などの検討に入った．この結果，当連絡会は予知予測に関する研究の現状を社会に伝えることを重要視するとともに，予測実験の試行を導入することを決定した．この試行では，群発的な活動を前震とした場合に宮城県や茨城県の地震発生予測の的中率は 3 割程度となり，通常時に比べ数倍高い的中率となった事例がある．また，組織名称の検討では「予知」と「予測」が持つ意味や一般の捉え方を分析し「予知」には災害軽減への願いが含まれるとの結論が得られ，組織名称には「予知」の言葉を残したままで，地震予知研究の現状を社会に伝えることとした．

地震予知が困難な理由は，構造，応力，ひずみ分布，摩擦パラメーターのすべてが不均一で相互作用も非常に複雑であり，加えて，プレート運動の速度が遅く，大地震の頻度も少ないためである．しかし，天気予報は，150 年前には困難とされ 50 年前まで予報精度に激しい批判を受けたが，現在では多くの人から高い信頼を得ている．地震予知は，将来的にも天気予想ほどの信頼度になりえないが，限定的な予知だとしても災害軽減に役立てることは可能である．当連絡会の任務は，これを追究していくことだと考えている．

東北大学大学院　松澤暢 教授（地震予知連絡会副会長）

2）パネルディスカッション

「南海トラフ地震の対応と地震予知研究への期待」

地震の短期予知に基づく対策は，地震予知に基づく応

急対応から観測に基づく南海トラフの防災対応へと大きく変わることから，ディスカッションでは「南海トラフ地震に関して新たに発表される情報について」，「今後の地震研究や地震予知・予測に関する展望・希望・要望」に関して，それぞれの立場から発言を求めることを前提に進行し，パネリストから多様な意見が出された．

パネリスト
　防災科学技術研究所　天野玲子 審議役（元鹿島建設）
　高知県　尾﨑正直 知事
　日本経済新聞　久保田啓介 編集委員兼論説委員
　東北大学　久利美和 講師
　京都大学　平原和朗 名誉教授（地震予知連絡会会長）
進行
　名古屋大学大学院　山岡耕春 教授（地震予知連絡会副会長）

　パネルディスカッションでは，国が主導する防災から自治体主導，ひいては自己責任による地震防災対応に転換していく中，何より重要となっていくのは情報であり，地震予知研究の成果を積極的に発信していくことを求める意見が出された．また，情報発信の重要性についての意見が出され，情報の受け手側である社会の地震予知の現状認識・地震活動に関する理解，社会が「情報の空振り」を許す環境の醸成が必要であることなどの意見が示された．

写真左から，名古屋大学山岡教授，高知県尾崎知事，防災科学技術研究所天野審議役，日本経済新聞久保田編集委員兼論説委員，東北大学久利講師，京都大学平原名誉教授

3．シンポジウムを受けた対応

　シンポジウムでは，来場者にアンケートを実施した．その結果，地震や地震研究に関する知識が深まったなど，好意的な意見が多数寄せられた．一方，当連絡会に対する意見，情報提供を望む声もあり，今後の活動の参考として活かしていく．シンポジウムで示された地震予知研究への期待を受けて，今後も国民の期待に応えられるような活動が望まれる．

第３章　地震予知連絡会構成機関等の活動（この 10 年を振り返って）

１．大学等

（1）北海道大学大学院理学研究院

1．はじめに

北海道大学では，国の地震予知計画に基づき整備された観測所群を統合改組して，1998 年に大学院理学研究院附属地震火山研究観測センターが設置され，国の建議に基づいた観測研究を実施してきている．国立大学の法人化以降，教職員定員や施設経費の削減が続き，地震観測網の維持管理に支障が出てきており，観測点の統廃合を進めざるを得ない状況となっている．

千島海溝南部や北海道日本海東縁部では，この 10 年間の地震活動は非常に静かな状態が続いている．地震本部の「千島海溝南部」にあたる十勝沖から択捉島沖の領域では，2008 年 9 月の十勝沖の M7.1 以降，M6.8 を超える地震が 10 年以上発生していない（図 1）．十勝沖から択捉島中部以西の領域を対象とした M4.5 以上の震源による地震活動モデルでは，2008 年以降 7 年間にわたり地震活動の静穏化が見られた [1]．ISC カタログを用いた解析では，1994 年北海道東方沖地震と 2003 年十勝沖地震の前に静穏化が検出されている [2]．

内陸部では，2018 年に北海道胆振東部地震が発生し，北海道で観測史上初の震度 7 を記録した．本震の深さは 37km と内陸地震としては非常に深く，上部マントルで発生したと考えられる [3]．この地震では，降下火砕堆積物が厚く堆積する地域に強い揺れが作用し，明治以降最大面積の同時多発斜面崩壊が発生した [4]．斜面崩壊により厚真町を中心に多くの死傷者が出たほか，発送電網が被災し北海道全域で広域同時停電（ブラックアウト）が発生した．北海道大学等の地震観測点でも電源喪失のため欠測となった観測点があった．この地震については，別途報告する．

2．千島海溝南部の超巨大地震津波に関する研究

北海道の太平洋沿岸では，北海道大学や産総研の研究から，標高 20m を超える海岸段丘上や，湿原地帯の内陸部など，複数の地域で津波堆積物が発見されている [5), 6)]．津波シミュレーションにより，古津波堆積物の分布を統一的に再現可能な震源モデルの検討が進み，津波高と浸水域を同時に説明可能な断層モデルの推定が行われた．海溝軸付近のプレート境界浅部で 25m 程度のすべり量が必要であること，Mw は 8.8 程度であることが明らかにされた [7]．また，古津波の規模推定を広域比較から行うため，津波堆積物の調査を北海道本島から北方四島域の太平洋沿岸で進めた [8]．

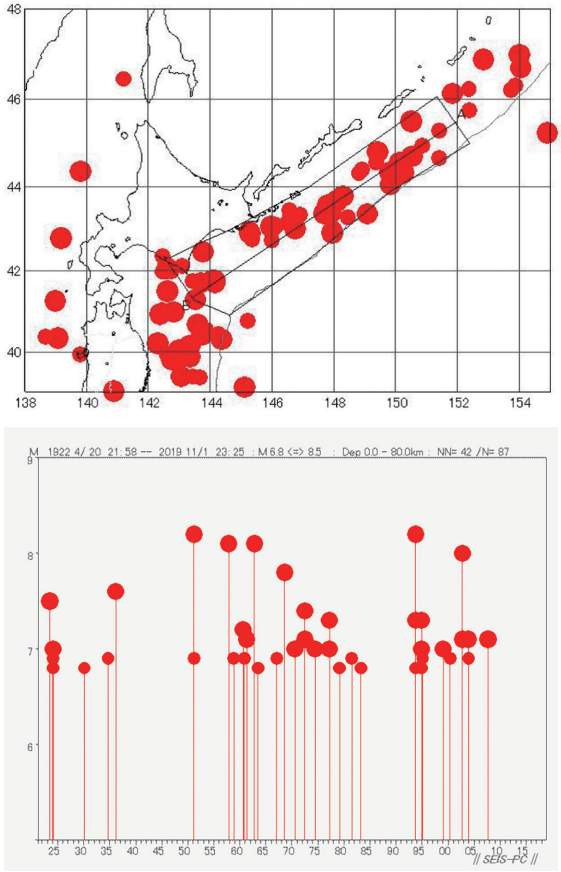


図 1　気象庁震源による 1922 年以降の千島海溝南部（十勝沖から択捉島沖にかけての領域）の M6.8 以上の MT 分布図．2008 年以降地震が発生していない．

国では，千島海溝沿いの長期評価の第三版を 2017 年 12 月に公表した．十勝沖・根室沖・色丹島沖及び択捉島沖に相当する千島海溝南部で，M8.8 程度以上の超巨大震が今後 30 年以内に発生する確率は 7~40% であり，前回の地震から 400 年程度が経過していることから，発生が切迫している可能性が高いと評価した [9]．

想定超巨大地震の震源域に相当する十勝沖から根室沖で発生した中規模地震から，応力降下量の空間不均質性の存在が示された [10]．過去の巨大地震のすべり分布との関連性が示唆されている．また，当該海域において，海底地震計を用いた自然地震の観測も実施した．

この超巨大地震では，巨大津波が発生し，釧路市等の太平洋沿岸部で大規模な浸水被害が予測されている [11]．津波災害の軽減を目指し，S-net 等を用いた津波浸水即時予測システムの開発や [12]，東北大と協力して根室沖に新たに海底地殻変動観測網を設置するなどの観測研究

を進めている．GIS を用いた津波避難経路の検討や，決定精度が低下する北海道東方沖の震源について，北方四島におけるロシア側のデータを用いた震源精度の評価なども実施した．

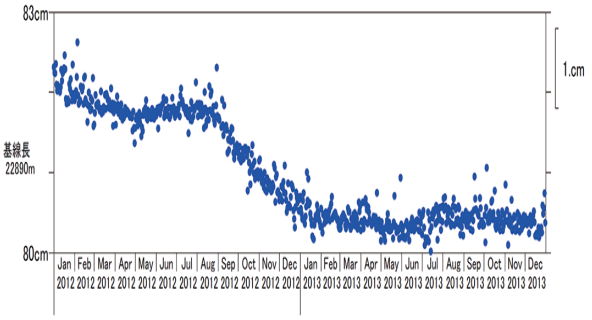


図 2　2012 年から 2013 年にかけて北海道北部の幌延町付近で約 5 か月間に継続したスロー地震時の幌延（020851）と中頓別（020850）間の基線長変化．

3．内陸及び日本海東縁部に関する研究

内陸地震活動が活発な屈斜路カルデラでの電磁気探査や重力測定から地下構造が詳細に調査され，カルデラ中心部にマグマ溜まりの可能性がある低比抵抗体が存在することが明らかにされた [13), 14)]．この場所では，1994 年前後に群発地震とそれに同期する膨張収縮の地殻変動の発生が知られている [15)]．カルデラ内は周辺部よりひずみ速度が大きいことや，弾性層厚が薄くなっている可能性も明らかにされた．これらの構造情報を用いたシミュレーションも行われ，ひずみや応力が集中する機構の概念的な理解が進んだ．

断続的に群発的な地震活動が見られる渡島半島南東部において，詳細な地震波速度構造が調査された．群発地震が発生している高速度の上部地殻に，低速度と地殻深部低周波地震で特徴づけられる中部地殻から流体が供給されているモデルが提案された [16)]．

北海道北部日本海側はアムール・オホーツクプレートの境界域となっていて，地震活動が比較的高い状態にある．2012 年に発生した群発地震に引き続き，スロー地震が発生していたことを GNSS データから発見した [17)]（図 2）．また，この地域のプレート収束速度は 15mm/yr 程度と北海道以南の日本海東縁部やサハリン南部と同程度であることが明らかなった [18)]．

北海道南西部日本海沿岸では，津波堆積物の調査から 1993 年北海道南西沖地震を上回る高さや浸水範囲を示す古津波の存在が明らかになった [19)]．津波堆積物データを用いた断層モデルの検討から，12 世紀の地震は 1983 年日本海中部地震と 1993 年北海道南西沖地震の間を埋めるように発生していて，M は 7.9 程度であることが明らかになった（図 3）[20)]．また，1741 年渡島大島の噴火に伴い発生した寛保津波を山体崩壊のシミュレーションから再現する手法の開発が行われた [21)]．

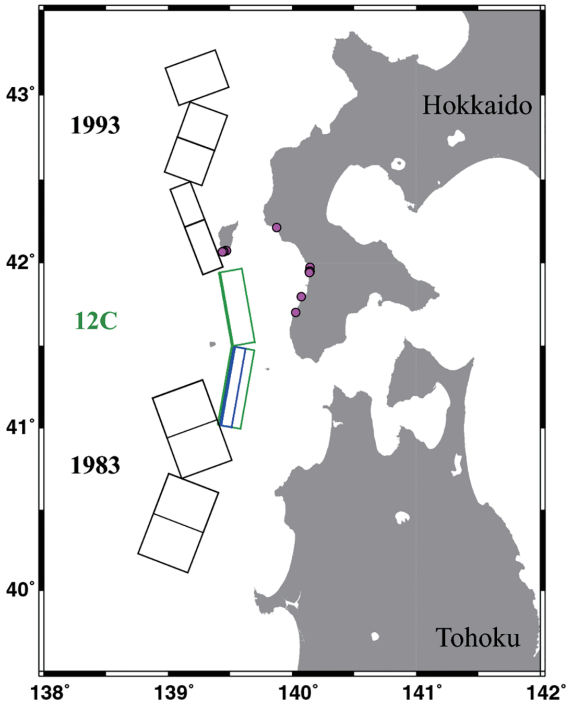


図 3　津波堆積物分布から再現された 12 世紀に発生した北海道南西沖の地震の断層モデル（Ioki and Tanioka, EPS, 2019）．1993 年北海道南西沖地震と 1983 年日本海中部地震の間で発生したと推定された．

4．東北地方太平洋沖地震による広域的地殻変動

ロシアや中国との国際共同研究を進め，東北地方太平洋沖地震の地震時及び余効変動が大陸内部にまで及んでいることを GNSS データから明らかにした [22)]．ロシア沿海州や中国東北部では，現在も余効変動が続いており，その大きさは地震時変動を上回っている（図 4）．広域的な余効変動は上部マントルの粘弾性構造に大きく依存する．余効変動データを用いて，日本海から大陸域に至る島弧海溝系下の粘弾性構造の推定が行われた．

日本海溝や南海トラフで発生する巨大地震は，大陸域まで長期にわたる地殻変動を引き起こすことが観測データから明らかになった．当該地域のプレート運動モデルによる速度は年間数 mm 程度と見込まれている．GNSS が登場して現在までの約 30 年近くの間に計測された地殻変動場には，過去の複数の巨大地震の影響が畳み込まれている可能性があり，プレート運動モデルなどの広域テクトニクスを検討する場合にはその影響を考慮する必要がある．

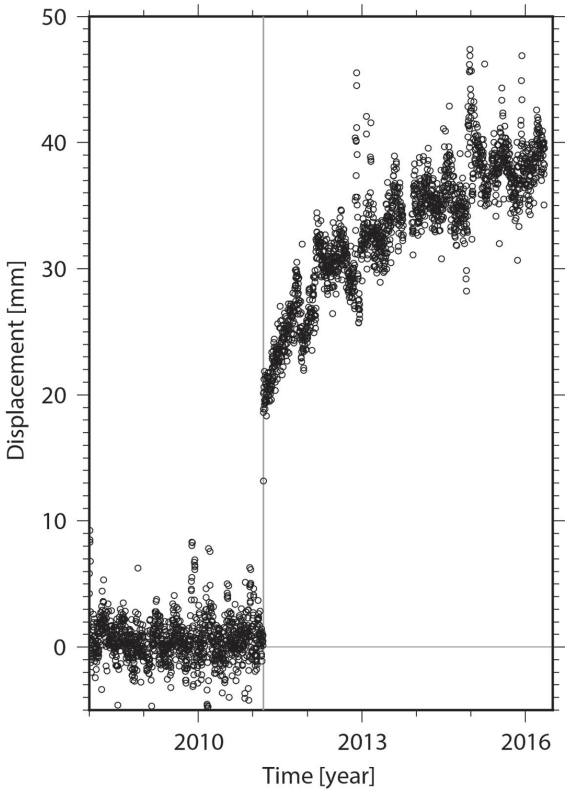


図 4　2011 年東北地方太平洋沖地震による中国東北部・長春の IGS 観測点の水平変位時系列.

5．地殻変動連続観測データの流通

国の地震予知計画等で大学等に整備された地殻変動連続観測点のデータの流通公開一元化を進めた．歪計や傾斜計等のデータについて，全国地震波形流通システム（JDX 網）を用いたリアルタイム流通を実現し，北海道大学が開発したデータベースサーバで一元的にアーカイブを開始した[23]．2011 年霧島新燃岳の噴火では，このシステムを用いて気象庁や大学等の多機関の傾斜計データが一元化され，噴火予知連霧島観測班で活用された．

南海トラフ等の監視や研究においては，地震計や GNSS に加え，数日程度の地殻変動を高感度で観測可能な歪計の利用が必要となる．データの流通を促進することで，多様な研究の推進が期待できる．

6．おわりに

千島海溝南部では，超巨大地震の発生確率が非常に高く，発生が切迫した状態となっている．この 10 年間は大地震が発生していないなど，地震活動の静穏化が検出されている．一方，日本海溝や南海トラフに比べ，調査観測が十分に行われていないのが現状である．海溝軸付近のプレート境界の固着状況は津波被害予測を行う上で重要な情報であるが，国による海底地殻変動観測も実施されていない．

当該地域は，M9 クラスの超巨大地震の準備過程から発生までを高性能・高密度な機器で観測が可能な世界唯一の地域である．国による定期的な海底地殻変動観測が実現すれば，防災上最も重要である津波予測の信頼性評価が期待できる．国による総合的な調査研究の強化を強く要望する．また，地震予知連等で継続的に長・短期的な地殻活動の評価検討を行い，その情報を社会に発信して頂くことを期待する．

（高橋　浩晃）

参考文献

1）松浦律子，2018．地震予知連絡会第 220 回重点検討課題資料.
2）Katsumata, 2017. PAGEOPH, 174, 2427–2442.
3）Iwasaki et al., 2019. EPS, 71, 103.
4）国土交通省，2018．平成 30 年北海道胆振東部地震の崩壊面積は明治以降の地震災害で最大（平成 30 年 10 月 5 日）.
5）平川他，2000．月刊地球号外，31，92-98.
6）七山他，2000．地質調査所速報，No. EQ/00/2, 1-17.
7）Ioki and Tanioka, 2016. EPSL, 433, 133-138.
8）西村他，2019．地球惑星科学連合大会，MIS12-04.
9）地震本部，2017．千島海溝沿いの地震活動の長期評価（第 3 版）.
10）Yamada et al., 2017. PEPS, 4, 17.
11）北海道，2012．北海道太平洋沿岸に係る津波浸水予測図について.
12）Tanioka and Gusman, 2018. PEPI, 283, 82-91.
13）本多他，2011．北海道大学地球物理学研究報告，74，45-55.
14）Ichihara et al., 2013. Tectonophys, 603, 114-122.
15）Fujiwara et al., 2017. EPS, 69, 78.
16）Shiina et al., 2018. JGR, 123, 8732-8747.
17）Ohzono et al., 2015. GJI, 200, 144-148.
18）Ito et al., 2019. EPS, 71:85.
19）Kawakami et al., 2017. Island Arc, 2016. 26:e12197.
20）Ioki et al., 2019, EPS, 71, 54.
21）Ioki et al., 2019. JGR, 124, 1991-2002.
22）Shestakov et al., 2012. Tectonophys, 524-525, 76-86.
23）山口他，2010．測地学会誌，56，47-57.

注意：図の作成には気象庁震源データ・国土地理院 F3 データ・SEIS-PC（中村・石川，2005）及び PAT-ME（中村，1999）を利用した.

（2） 東北大学大学院理学研究科

松澤　暢（東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター）

1．はじめに

東北大学では，地震予知研究計画に基づき，1965 年度に秋田地殻変動観測所，1966 年度に本荘地震観測所，1967 年度に三陸地殻変動観測所，1969 年に北上地震観測所が設置された．青葉山地震観測所（1967 年に青葉山移転に伴い改称）を含めたこれらの観測所からのデータは 1974 年に設置された地震予知観測センターにオンラインで伝送されるようになった．その後，何度かの改組を経て，1997 年に理学部附属地震・噴火予知研究観測センターが設置され，1998 年に大学院附属へと転換して現在に至っている．これらの観測点からのデータや基盤観測網のデータにより，地震の発生に至る過程の解明が進んでおり，ここでは東北大学が中心となって明らかにしてきた最近 10 年間の成果について概要を報告する．なお，2011 年東北地方太平洋沖地震（以後，「東北沖地震」と呼ぶ）に関する成果は別の章でさらに詳しく報告する．

2．プレート境界型地震

小繰り返し地震の高周波成分の相関を調べてみたところ，低周波側で得られた発生時刻差とは異なる発生時刻差が得られる場合があることがわかった．これらの地震では高周波を生み出すパッチが震源域の中で偏った位置にあり，破壊の伝播方向が地震によって異なるために，この高周波パッチの破壊されるタイミングが変化して，このような現象が生じると解釈される [1]．

また，釜石沖の繰り返し地震も，2011 年東北地方太平洋沖地震の余効滑りが押し寄せてきた時期には，普段よりも再来間隔が短くなり，また規模が大きくなる現象が観測された．これは，余効滑りによって応力レートが増加したために，釜石沖のアスペリティの周りの条件付き安定領域でも地震性すべりが起こり，普段よりも規模が大きくなったと考えられる [2]．小繰り返し地震の中には，この余効滑り期間中にのみ生じたグループもあり（図 1），これも同様に条件付き安定領域のパッチが存在していたためと解釈できる [3]．

小繰り返し地震観測データからプレート境界の滑り速度を計算して丹念に調べてみたところ，数年周期で，滑り速度が周期的に変化しており，速度が大きい時期に M5 以上の地震が多発している領域が存在していることが分かった．この現象は陸上の GNSS 観測データからも確認でき，東北沖でもスロースリップイベントが周期的に発生している可能性が高いことが明らかになった [4]．

東北沖地震の主破壊域では，2008 年頃からプレート境界の滑り速度が加速しており，この時期に固着が緩んでいたと考えられる [5]．

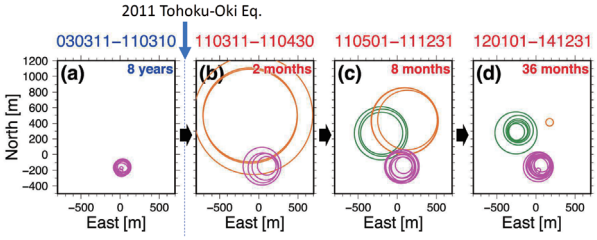


図 1　東北沖地震の余効滑りの時期にのみ観測された小繰り返し地震の例 3）．普段は存在しなかった場所で橙色や緑色で示された地震が発生し，次第に小さくなって消滅した．東北沖地震前から発生していた小繰り返し地震（桃色）も普段より規模が大きくなった．

宮城県沖周辺では，東北沖地震の前から海底地殻変動観測を実施していたので，本震のときの海底の変位分布が詳細に捉えられ [6]，これによって，本震時に海溝付近が約 50m も滑ったことが明確になった [7]．

海底圧力計のデータ等により，2011 年 2 月に東北沖地震の主破壊域のあたりでスロースリップイベントが生じていたことが明らかになっており [8]，これが 2 月の群発地震を発生させたのちに 3 月 9 日の最大前震をトリガし，その前震の余効滑りが本震をトリガしたと考えられる [9]．

この地震の海域の余効変動も海底地殻変動観測によって捉えられ [10]，余効滑りのみならず粘性緩和も大きく生じていることが明らかになった [11]．

波形の相似性から推定されたプレート境界での余震活動については，本震主破壊域では生じていない一方，本震すべり域の周辺で非常に活発に生じていることがわかった [12]．さらに，GNSS 観測データと小繰り返し地震データからも，余効滑り分布が地震時滑り分布と相補的になることが確かめられた [13]．また，太平洋プレートのみならず，フィリピン海プレートの表面でも，滑り速度の加速が見られた [14]．

この地震の震源域周辺の構造を地震波トモグラフィで詳細に調べたところ，主破壊域のあたりの岩盤の地震波速度が高いことがわかった [15) 16)]．これはアスペリティのところの岩盤が固いことを示唆しており，今後，S-net のデータで地震波速度構造が詳細に調べられれば，将来の大地震の発生域の候補を絞り込むことができると期待される．

一方，本震の発生前と後の地震の発震機構解の変化

から，プレート境界にかかっていた剪断応力がこの地震によりほとんどすべて解消されたことがわかった[17) 18)]．これは，プレート境界の強度が数十 MPa 程度しかなくても，M9 の巨大地震を起こせることを意味しており，巨大地震の発生ポテンシャルを評価するうえで，非常に重要な知見である．

この地震を契機として，GNSS 観測データのリアルタイム処理が進み[19)]，海底津波観測データのリアルタイム処理[20)]とあわせて，将来的には津波予測が迅速かつ高精度に行えるようになると期待される[21) 22)]．

3．内陸地震とスラブ内地震

東北沖地震後に福島県から茨城県にかけての領域の地震活動が活発化したが，わずか 5 年 9 ヶ月の間をおいただけで同じ活断層の同じ場所で M6 の地震が発生したことがわかった[23)]．これ以外にも東北地方内陸では東北沖地震後に地震活動が活発化した場所が多数あり[24)]，その多くは震源のマイグレーションが見られる[25)]ことから，東北沖地震の強震動によって地下のシールが破れて流体が流入して地震活動をトリガしたと考えられる．

これらの観測事実や，発震機構解と地形に相関が見られること[26)]は，東北地方内陸で発生している地震は数十 MPa 程度の剪断応力で発生していることを示唆している．実際，2003 年宮城県北部の地震[27)]，2008 年岩手 - 宮城内陸地震[28)]，2011 年福島県浜通り地震[29)]等では本震に伴う応力場の回転が生じており，これは本震前の剪断応力が小さかったことを示している．

また東北沖地震後に仙台[30)]や山形 - 福島県境[31)]で群発地震が生じたが，これらはいずれも震源分布が多数の面状構造を示して深部から浅部へのマイグレーションが見られること（図 2）や，地震活動や断層強度等が同期して時間変化していること[32) 33)]などから，深部からの水の流入によって群発地震が生じたと考えられる．

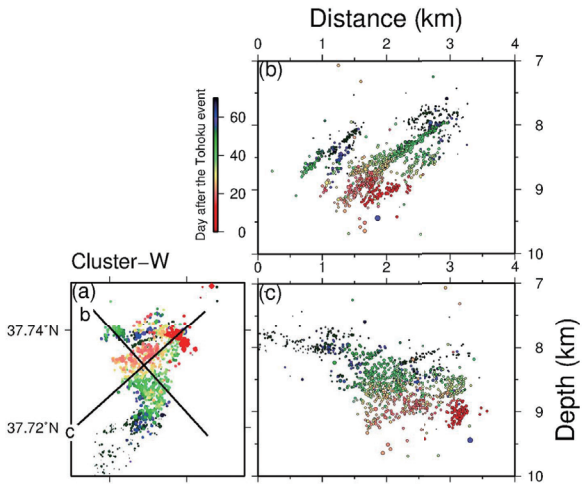


図 2　山形 - 福島県境付近で生じた群発地震活動内の一つのクラスターの震源分布[33)]．(a) 平面図．(b)，(c) 平面図内の黒線の範囲の断面図．色は東北沖地震発生からの日数を表す．

これらの水は沈み込んだスラブから供給されていることが地震波速度構造から示唆されていたが，地震波の減衰構造[34)]や比抵抗構造[35)]からも，この仮説を支持する結果が得られた．また二重深発地震面の上面の地震が活発に生じている場所では，水が存在しない場合に期待される地震波速度よりも遅くなっている[36) 37)]ことが明らかとなり，相転移に伴う脱水により地震活動が活発化している可能性が高いことが確かめられた．

4．おわりに

東北沖地震の発生によって，建議による計画は災害軽減をより一層志向したものに変わってきており，これらの研究を社会にどう生かすのか，ということを深く考えて研究を進めることが要請されている．今後は地震の基礎研究のみならず，地震の発生予測の幅を狭め，またハザードの予測に繋がる研究をさらに進展させる必要があり，それが今後 10 年の大きな課題である．

参考文献

1) Hatakeyama, N., N. Uchida, T. Matsuzawa, T. Okada, J. Nakajima, T. Matsushima, T. Kono, S. Hirahara, and T. Nakayama, 2016. Variation in high-frequency wave radiation from small repeating earthquakes as revealed by cross-spectral analysis. *Geophys. J. Int.*, 20, 1030-1048.

2) Uchida, N., K. Shimamura, T. Matsuzawa, and T. Okada, 2015. Postseismic response of repeating earthquakes around the 2011 Tohoku-oki earthquake: Moment increases due to the fast loading rate. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 120, 259-274.

3) Hatakeyama, N., N. Uchida, T. Matsuzawa, and W. Nakamura, 2017. Emergence and disappearance of interplate repeating earthquakes following the 2011 M9.0 Tohoku-oki earthquake: Slip behavior transition between seismic and aseismic depending on the loading rate. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 122, 5160-5180.

4) Uchida, N., T. Iinuma, R. M. Nadeau, R. Bürgmann, and R. Hino, 2016. Periodic slow slip triggers megathrust zone earthquakes in northeastern Japan. *Science*, 351, 488-492.

5) Uchida, N., and T. Matsuzawa, 2013. Pre- and post-seismic slow slip surrounding the 2011 Tohoku-oki earthquake rupture. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 374, 81-91.

6) Kido,M., Y. Osada, H. Fujimoto, R. Hino, and Y. Ito, 2011. Trench-normal variation in observed seafloor displacements associated with the 2011 Tohoku-Oki earthquake. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L24303.
7) Iinuma T., R. Hino, M. Kido, D. Inazu, Y. Osada, Y. Ito, M. Ohzono, H. Tsushima, S. Suzuki, H. Fujimoto, and S. Miura, 2012. Coseismic slip distribution of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (M9.0) refined by means of seafloor geodetic data. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 117, B07409.
8) Ito, Y., R. Hino, M. Kido, H. Fujimoto, Y. Osada, D. Inazu, Y. Ohta, T. Iinuma, and M. Ohzono, S. Miura, M. Mishina, K. Suzuki, T. Tsuji, J. Ashi, 2013. Episodic slow slip events in the Japan subduction zone before the 2011 Tohoku-Oki earthquake. *Tectonophysics*, 600, 14-26.
9) Ohta, Y., R. Hino, D. Inazu, M. Ohzono, Y. Ito, M. Mishina, T. Iinuma, J. Nakajima, Y. Osada, and H. Fujimoto, K. Tachibana, T. Demachi, S. Miura, 2012. Geodetic constraints on afterslip characteristics following the March 9, 2011, Sanriku-oki earthquake, Japan. *Geophys. Res. Lett.*, 39, L16304.
10) Tomita, F, M. Kido, Y. Ohta, T. Iinuma, and R. Hino, 2017. Along-trench variation in seafloor displacements after the 2011 Tohoku earthquake. *Science Adv.*, 3, e1700113.
11) Sun, T., K. Wang, T. Iinuma, R. Hino, J. He, H. Fujimoto, M. Kido, Y. Osada, S. Miura, and Y. Ohta and Y. Hu, 2014. Prevalence of viscoelastic relaxation after the 2011 Tohoku-oki earthquake. *Nature*, 514, 84-87.
12) Nakamura, W., N. Uchida, and T. Matsuzawa, 2016. Spatial distribution of the faulting types of small earthquakes around the 2011 Tohoku-oki earthquake: A comprehensive search using template events. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121, 2591-2607.
13) Iinuma, T., R. Hino, N. Uchida, W. Nakamura, M. Kido, Y. Osada, and S. Miura, 2016. Seafloor observations indicate spatial separation of coseismic and postseismic slips in the 2011 Tohoku earthquake. *Nature Comm.*, 7:13506.
14) Uchida, N., Y. Asano, and A. Hasegawa, 2016. Acceleration of regional plate subduction beneath Kanto Japan, after the 2011 Tohoku-oki earthquake. *Geophys. Res. Lett.*, 43, 9002-9008.
15) Zhao, D., Z. Huang, N. Umino, A. Hasegawa, and H. Kanamori, 2011. Structural heterogeneity in the megathrust zone and mechanism of the 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw 9.0). *Geophys. Res. Lett.*, 38, L17308.
16) Liu, X., and D. Zhao, 2018. Upper and lower plate controls on the great 2011 Tohoku-oki earthquake. *Science Adv.*, 4, eaat4396.
17) Hasegawa, A., K. Yoshida and T. Okada, 2011. Nearly complete stress drop in the 2011 Mw9.0 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. *Earth Planets Space*, 63, 703-707.
18) Hasegawa, A., K. Yoshida, Y. Asano, T. Okada, T. Iinuma and Y. Ito, 2012. Change in stress field after the 2011 great Tohoku-Oki earthquake. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 355-356, 231-243.
19) Ohta, Y., T. Kobayashi , H. Tsushima, S. Miura, R. Hino, T. Takasu, H. Fujimoto, T. Iinuma, and K. Tachibana, T. Demachi, T. Sato, M. Ohzono, N. Umino, 2012. Quasi real-time fault model estimation for near-field tsunami forecasting based on RTK-GPS analysis: Application to the 2011 Tohoku-Oki Earthquake (Mw 9.0). *J. Geophys. Res.*, 117, B02311.
20) Tsushima, H., R. Hino, Y. Tanioka, F. Imamura, and H. Fujimoto, 2012. Tsunami waveform inversion incorporating permanent sea floor deformation and its application to tsunami forecasting. *J. Geophys. Res.*, 117, B03311.
21) Tsushima, H., and Y. Ohta, 2014. Review on near-field tsunami forecasting from offshore tsunami data and onshore GNSS data for tsunami early warning. *J. Disast. Res.*, 9, 339-357.
22) Tsushima, H., R. Hino, Y. Ohta, T. Iinuma, and S. Miura, 2014. tFISH/RAPiD: rapid improvement of near-field tsunami forecasting based on offshore tsunami data by incorporating onshore GNSS data. *Geophys. Res. Lett.*, 41, 3390-3397.
23) Fukushima, Y., S. Toda, S. Miura, D. Ishimura, J. Fukuda, T. Demachi, and K. Tachibana, 2018. Extremely early recurrence of intraplate fault rupture following the Tohoku-Oki earthquake. *Nature Geo.*, 11, 777-781.
24) Okada, T., K. Yoshida, S. Ueki, J. Nakajima, N. Uchida, T. Matsuzawa, N. Umino, A. Hasegawa, and Group for the aftershock observations of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, 2011. Shallow inland earthquakes in NE Japan possibly triggered by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. *Earth Planets Space*, 63, 749-754.

25) Okada, T., T. Matsuzawa, N. Umino, K. Yoshida, A. Hasegawa, H. Takahashi, T. Yamada, M. Kosuga, T. Takeda, and A. Kato, T. Igarashi, K. Obara, S. Sakai, A. Saiga, T. Iidaka, T. Iwasaki, N. Hirata, N. Tsumura, Y. Yamanaka, T. Terakawa, H. Nakamichi, T. Okuda, S. Horikawa, H. Katao, T. Miura, A. Kubo, T. Matsushima, K. Goto, and H. Miyamachi, 2015. Hypocenter migration and crustal seismic velocity distribution observed for the inland earthquake swarms induced by the 2011 Tohoku-Oki earthquake in NE Japan: implications for crustal fluid distribution and crustal permeability. *Geofluids*, 15, 293-309.

26) Yoshida, K., A. Hasegawa, and T. Okada, 2015. Spatial variation of stress orientations in NE Japan revealed by dense seismic observations. *Tectonophysics*, 647-648, 63-72.

27) Yoshida, K., A. Hasegawa, and T. Okada, 2016. Heterogeneous stress field in the source area of the 2003 M6.4 Northern Miyagi Prefecture, NE Japan, earthquake. *Geophys. J. Int.*, 206, 408-419.

28) Yoshida, K., A. Hasegawa, T. Okada, and T. Iinuma, 2014. Changes in the stress field after the 2008 M 7.2 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake in northeastern Japan. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 119, 9016-9030.

29) Yoshida, K., A. Hasegawa, and T. Okada, 2015. Spatially heterogeneous stress field in the source area of the 2011 Mw6.6 Fukushima- Hamadori earthquake, NE Japan, probably caused by static stress change. *Geophys. J. Int.*, 201, 1060–1069.

30) Yoshida, K., and A. Hasegawa, 2018. Sendai-Okura earthquake swarm induced by the 2011 Tohoku-Oki earthquake in the stress shadow of NE Japan: Detailed fault structure and hypocenter migration. *Tectonophysics*, 733, 132-147.

31) Yoshida, K., A. Hasegawa, and T. Yoshida, 2016. Temporal variation of frictional strength in an earthquake swarm in NE Japan caused by fluid migration. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121, 5953-5965.

32) Yoshida, K., T. Saito, Y. Urata, Y. Asano, and A. Hasegawa, 2017. Temporal changes in stress drop, frictional strength, and earthquake size distribution in the 2011 Yamagata-Fukushima, NE Japan, earthquake swarm, caused by fluid migration. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 122, 10,379-10,397.

33) Yoshida, K., and A. Hasegawa, 2018. Hypocenter migration and seismicity pattern change in the Yamagata-Fukushima border, NE Japan, caused by fluid movement and pore pressure variation. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 123, 5000-5017.

34) Nakajima, J., S. Hada, E. Hayami, N. Uchida, A. Hasegawa, S. Yoshioka, T. Matsuzawa, and N. Umino, 2013. Seismic attenuation beneath northeastern Japan: Constraints on mantle dynamics and arc mgmatism. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 118, 5838-5855.

35) Ichiki, M, Y. Ogawa, T. Kaida, T. Koyama, M. Uyeshima, T. Demachi, S. Hirahara, Y. Honkura, W. Kanda, T. Kono, M. Matsushima, T, Nakayama, S. Suzuki, and H. Toh, 2015. Electrical image of subduction zone beneath northeastern Japan. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 120, 7937-7965.

36) Shiina T., J. Nakajima, and T. Matsuzawa, 2013. Seismic evidence for high pore pressure in the oceanic crust: Implications for fluid-related embrittlement. *Geophys. Res. Lett.*, 40, 2006-2010.

37) Shiina, T., J. Nakajima, T. Matsuzawa, G. Toyokuni, and S. Kita, 2017. Depth variations in seismic velocity in the subducting crust: Evidence for fluid-related embrittlement for intermediate-depth earthquakes. *Geophys. Res. Lett.*, 44, 810-817.

（3） 東北大学災害科学国際研究所

東北大学災害科学国際研究所は，平成 23 年 3 月 11 日の東北地方太平洋地震（東日本大震災）を受け，11 年後の平成 24 年 4 月に設立された．研究所の基本理念は，東日本大震災の経験と教訓を踏まえた上で，わが国の自然災害対策・災害対応策や国民・社会の自然災害への処し方そのものを刷新し，巨大災害科学国際研究所への新たな備えへのパラダイムを作り上げることにある．また，このことを通じて，国内外の巨大災害の被害軽減に向けて社会の具体的な問題解決を志向する実践的防災学の礎を気づくことを目標としている．

設立当初は 7 研究部門 36 分野（災害リスク研究部門，人間・社会対応研究部門，地域・都市再生研究部門，災害理学研究部門，災害医学研究部門，情報管理・社会連携部門，寄附研究部門）から構成され，文理融合を特徴として幅広く災害に関する専門家から構成された．このうち，地震予知連絡会に直接関係する研究部門は，災害リスク研究部門と災害理学研究部門である．前者は今村文彦教授，越村俊一教授など津波工学研究を主体とし，後者は理学研究科と地震・噴火予知観測センターの複数教員が兼務し，同センターとの協力体制で研究を推し進めてきた．災害理学研究部門には，専任として藤村博己教授（現：東北大名誉教授），日野亮太教授（現：東北大学理学研究科教授），木戸元之教授，遠田が所属した．

過去 7 年間，研究所としては，日々の研究活動のほか，周辺自治体や国内外研究機関との連携，平成 27 年 3 月の第 3 回国連防災世界会議における「仙台防災枠組 2015-2030」の策定への貢献など，地震・津波防災に関わるさまざまな対外活動を実施してきた．

地震予知連絡会へは，東北大学理学研究科からの報告への協力の他に，重点検討課題の企画提案やコンビーナ役を務めた．特に，東北地方太平洋地震後の重点検討課題「東北地方太平洋沖地震に関する検討」では，同地震を踏まえた集中検討が続き，その中では理学研究科と当研究所の津波，地震，測地観測のデータや知見が生かされた．同地震の前後の地殻変動においては，当所の海底地殻変動研究分野が海上保安庁など他機関との協力で実施してきた海底観測データを提供し，前駆的変動や余効変動のモデル化に貢献した．また，東北地方太平洋地震後の広域余震活動や誘発地震に関しても，地震・噴火予知観測センターとともに，予知連での議論を主導してきた．平成 28 年熊本地震では，他大学とともに地表地震断層に関する報告を行うとともに，同地震による静的応力変化と広域余震活動に関する計算・分析結果をいち早く公表した．さらに，同地震に関する重点検討課題での議論を主導した．

（遠田　晋次）

（4） 筑波大学生命環境系

1．はじめに

筑波大学は，独自に地震観測網を有しておらず，組織として地震学に関わる研究に取り組む体制にはなっていない．そこで，専ら解析手法の開発や，開発した解析手法を実地震へ適用する研究に取り組んでいる．

この 10 年，我々は，震源過程解析において，グリーン関数の誤差の影響の軽減に取り組み，モデル誤差をデータの共分散行列に近似的に取り込む手法が有用であることを示した[1)]．また，高周波を励起する領域を同定する手法として Back-projection（BP）法があるが，浅い地震に適用すると震源近傍の反射波の影響により結果が歪められ，得られる結果の意味も不明瞭となる問題があった．それらの問題を解決する Hybrid BP（HBP）法を開発した[2)]．

本震の破壊成長過程を理解するには，前震を含めた地震群における一連の破壊現象を解明する必要がある．独自に開発した手法を用いることにより，前震活動を伴った本震の震源過程についても研究を行なっているので，ここで紹介する．

2．震源過程解析手法の開発

2.1　グリーン関数の誤差を考慮した震源過程解析

地震波形は，グリーン関数と断層すべり速度関数の畳み込み積分を断層面で面積分したものに対応する．グリーン関数を計算するには，単純化した地下構造を仮定する必要がある．結果として，我々は真のグリーン関数を得ることはできない．震源過程を解析する上で，グリーン関数の誤差は避けて通れない問題である．多くの研究では，主に速度構造を工夫することによってグリーン関数の改善を目指している．これに対して，我々は，解析に使用するグリーン関数に誤差が含まれていることを前提にした震源過程解析手法の開発に取り組んだ．

グリーン関数の誤差が仮定する地下構造モデルに起因する場合は，多数の地下構造モデルを用いて解析を行い，各地下構造モデルで得られた震源過程モデルの事後確率密度関数を用いて，仮定した地下構造の誤差を考慮したモデルの事後確率密度関数を求めることができる．しかし，このアプローチは莫大な計算コストが必要なため，費用対効果が低いという問題がある．

一方で，グリーン関数にランダムな誤差が含まれていると近似すれば，グリーン関数の誤差構造を，データの共分散行列に組み込むことができる．Yagi and Fukahata (2011)[1)]は，モデル誤差をデータの共分散行列に組み込み，震源過程では必須の強い拘束条件であった非負の拘束条件を用いることなく，安定に解が得られることを示した．

モデル誤差をデータの共分散行列に取り込む解決方法は，他の研究グループによって，異なるデータの解析にも導入され，その有用性が検証されている[3)]．

2.2　Hybrid Back-projection 法

観測波形を波の到達時間を考慮して重合することにより，波の放出源の時空間分布を求める BP 法が開発され，その簡便さと解析結果がロバストであることが評価され多くの地震に適用されてきた．その一方で，得られる結果の物理学的な意味が不明瞭であった．

そこで，Yagi *et al.*（2012）[2)] は観測波形とグリーン関数の相互相関関数を震源に逆投影する HBP 法を提案した．HBP で得られた結果は，すべり速度に対応づけることが可能であり，適用するフィルターによって高周波を励起するすべり速度の時空間変化を抽出することが可能である．Fukahata *et al.*（2013）[4)] は，HBP 法を用いて BP 法の理論背景を明らかにした．これによると BP 法は，HBP 法においてグリーン関数をデルタ関数と近似した場合に対応している．また HBP 法で得られる結果は，Dumped Least Square でダンピングを無限大に持っていた解に相当することになる．このように，HBP 法の登場により，今まで不明瞭であった BP 法の理論的な背景が明らかになった．

3．前震活動と本震の震源過程の関係

3.1　2014 年イキケ地震

2014 年 4 月 1 日にチリ北部のイキケ沖で，モーメントマグニチュード 8.2 の巨大地震が発生した．ここでは，Yagi *et al.*（2014）[5)]の論文の内容について紹介する．この地震が発生する 16 日前から本震の震源から約 40 km 南で前震活動が開始し，本震に向かって約 5km/day で前震域が拡大していった．Incorporated Research Institutions for Seismology-Data Management Center（IRIS-DMC）から入手した遠地実体波にグリーン関数の不確定性を考慮した震源過程解析法を適用し，本震の断層すべりの時空間分布を求めた．得られたモーメント速度関数から，20 秒もの初期破壊が継続した後に，主破壊が開始したことが明らかになった．初期破壊では，前震域に沿って南に向かって高速で破壊が伝播していること，初期破壊が前震域を抜けた後に主破壊がスタートしていることが明らかになった．この結果は，本震の破壊伝播が，前震活動による応力変化の影響を強く受けていることを示す結果である．またこのような前震活動を含めた複雑な破壊伝播過程は，階層アスペリティモデルを用いたシミュレーションで予測された破壊パターン[6)]

に酷似しており，アスペリティの階層性を支持する結果でもある．

3.2　2016 年熊本地震

2014 年 4 月 15 日に熊本県で気象庁マグニチュード 7.3 の大地震が発生した．この地震前に活発な前震活動が本震の震源付近で観測されている．ここでは，Yagi *et al.* (2016)[7] の論文の内容について紹介する．IRIS-DMC から入手した遠地実体波にグリーン関数の不確定性を考慮した震源過程解析法を適用し，本震の断層すべりの時空間分布を求めた．その結果，本震の破壊は日奈久断層帯と布田川断層帯の接合部付近で開始し，開始から 5 秒間は南西方向に伝播し日奈久断層帯で横ずれすべりが発生した．その後破壊は北東方向に伝播し，布田川断層帯で横ずれ成分と正断層成分を含む断層すべりが発生している．破壊は，阿蘇カルデラ周辺のマグマ溜まりが存在すると推測されている領域で急激に減速し，停止している．本震の震源過程は，断層の複雑な形状と火山活動の影響を強く受けていることが明らかになった．

4．おわりに

この 10 年で，震源過程解析の分野は大きく変化していった．広く使用されている解析手法では考慮されていないモデル誤差の問題が広く認知されるようになり，かつ，Back-projection 法の理論背景が明瞭になったことは大きかった．これらの結果を受けて，アメリカ地球物理学会の秋季大会の特別セッション等で，活発な議論が行われ続けている．また，遠地実体波は，巨大地震のみならず中規模の地震の成長過程や震源断層の形状の変化等の情報を有している．さらなる解析手法の改善が必要不可欠ではあるが，震源過程を理解するのに欠かせない観測情報である．

（八木　勇治）

参考文献

1) Yagi, Y. and Y. Fukahata, 2011. Introduction of uncertainty of Green' s function into waveform inversion for seismic source processes. *Geophys. J. Int.*, 186, 711-720.

2) Yagi, Y., Nakao, A., & Kasahara, A. (2012). Smooth and rapid slip near the Japan Trench during the 2011 Tohoku-oki earthquake revealed by a hybrid back-projection method. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 355, 94-101.

3) Duputel, Z., P. S. Agram, M. Simons, S. E. Minson, J. L. Beck, 2014, Accounting for prediction uncertainty when inferring subsurface fault slip. *Geophys. J. Int.*, 197, 464-482.

4) Fukahata, Y., Y. Yagi, L. Rivera, 2013. Theoretical relationship between back-projection imaging and classical linear inverse solutions. *Geophys. J. Int.*, 196, 552-559.

5) Yagi, Y., R. Okuwaki, B. Enescu, S. Hirano, Y. Yamagami, S. Endo, T. Komoro, 2014. Rupture process of the 2014 Iquique Chile earthquake in relation with the foreshock activity. *Geophys. Res. Lett.*, 41, 4201-4206.

6) Noda, H., M. Nakatani, and T. Hori, 2013. Large nucleation before large earthquakes is sometimes skipped due to cascade-up-Implications from a rate and state simulation of faults with hierarchical asperities. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 118, 2924-2952.

7) Yagi, Y., R. Okuwaki, B. Enescu, A. Kasahara, A. Miyakawa, M. Otsubo, 2016. Rupture process of the 2016 Kumamoto earthquake in relation to the thermal structure around Aso volcano. *Earth, Planets and Space*, 68:118.

（5） 千葉大学大学院理学研究院

1．はじめに

千葉大学大学院理学研究科では，地球科学教室における地球物理学分野が中心になって地震に隣接する分野が共同して地震予知に関連した地震・地殻変動の観測と研究を行ってきた．この 10 年は「房総を襲う巨大地震サイクル解明のためのプロジェクト」（図 1）の下に，電磁気観測から地震前兆現象の把握，海域地殻変動調査から房総沖スロースリップ発生域の理解，陸統合地震探査からプレート境界の構造解明，岩石実験から震源断層の摩擦法則構築，変動地形から古地震復元に挑戦し，その成果が顕著になってきた．本稿ではこれらの成果を紹介する．

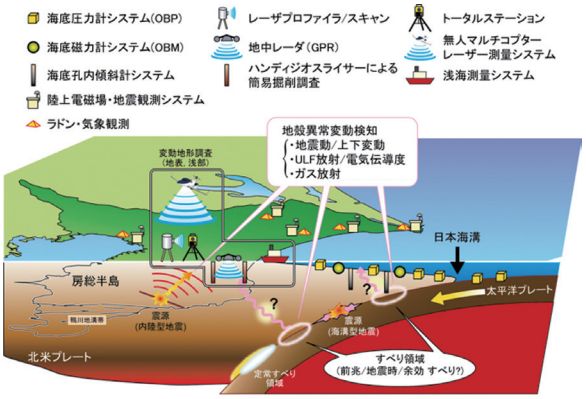


図 1　房総を襲う巨大地震サイクル解明のための地殻変動監視・復元プロジェクトイメージ

2．海溝型地震前兆現象予測のための電磁気観測

これまでに，日本付近について地上地球磁場変動や電離圏総電子数の変動と地震活動について統計解析を実施し，観測された異常と地震との間に統計的に有意な相関があることを示した [1)2)]．これらの異常出現には震央距離依存性や地震規模依存性があり，因果関係の存在も示唆している．また，Molchan Error Diagram（MED）解析から上記の異常には前兆的な情報が含まれ，予測のために有効なパラメータであることも示した．本プロジェクトでは海溝型地震発生予測のための地震電磁気現象の発生機構の観測学的調査を行い，房総地域における陸海空シームレスな ULF 帯地球電磁場変動，電離圏電子変動および陸域ラドン変動の連続ネットワーク観測の確立とデータ蓄積を行い，地震準備段階における観測パラメータの振る舞いを精確に把握し，地震関連前兆現象の発生機構の解明に向けた観測・観測を継続している．

3．房総沖スロースリップ観測

スロースリップの観測を通じて，地震発生サイクルモデルの構築を進めてきた．海溝型巨大地震は通常百年以上の長い間隔で発生し，全地震サイクルを観測し，そのサイクルを解明するには非常に長い時間が必要である．一方房総沖で発生するスロースリップ現象は海溝型（プレート境界型）の激しい地震動を伴わない地殻変動であるが，数年に 1 回繰返しほぼ同じ地域で発生している．地震の規模で表すと M6-7 クラスである．この地殻変動量の正確な把握を陸上の GPS 変位データや地震観測等とあわせて，プレート境界面でのすべり領域の発生やその時空間的規模をモデル化（図 2）し，計算機シミュレーションによって検証を行ってきた [3)]．

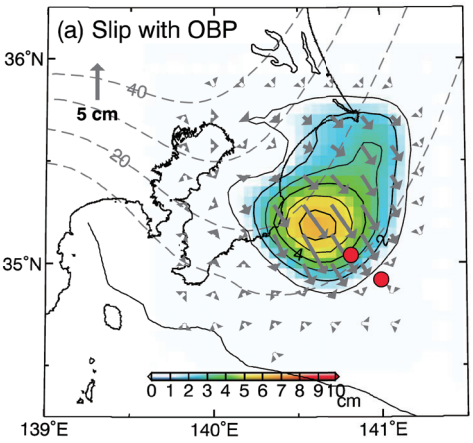


図 2　房総沖スロースリップ（Sato et al., 2017）

4．地震断層の挙動に関する物質科学的実験的研究

より現実に近い地震断層の摩擦法則構築のための物質科学的・実験的研究を行ってきた．沈み込みプレート境界面には，プレート間同士がしっかり固着している領域（アスペリティ）と普段から安定的にすべる領域（非アスペリティ）が分布し，特に大地震につながるプレート境界型地震は“アスペリティの破壊によって起きる”と指摘されている．アスペリティ形成のひとつの要因として海底地形の凹凸が挙げられ，最も代表的なものが「海山」であり，海陸統合型探査により房総半島下に沈み込んだ海山の存在の可能性（図 3）を指摘した [4)]．

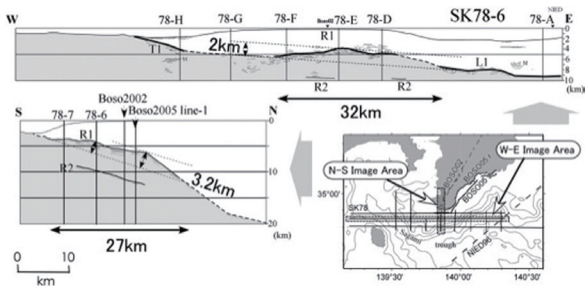


図 3　房総半島下のフィリピン海プレート上面の凹（Tsumura et al., 2009）

海山が摩擦特性に与える影響を評価するために，ガス圧式高温高圧変形装置と回転式高速摩擦試験機を使用し，海山周辺の断層物質及び海山を構成する緑色岩，石灰岩の摩擦特性を定量的に調べた．沈み込みにおける岩石と地震発生の関係性（図 4）が明らかになってきた[5]．

5. 千年スケールの海溝型地震の多様性解明

相模トラフで発生する海溝型大地震･津波については，これまでの数多くの研究によってある程度その発生時期や発生間隔が解明された一方で，同じタイプ・規模の地震が単純に繰り返しているわけではないことも明らかになりつつある．最近 10 年ほどの間に急速に発展・普及した航空レーザー測量や UAV（無人航空機）写真撮影による高解像度の地形データを用いるとともに，掘削等の地質学的調査，地形変化シミュレーションを併用することによって，地形解析を行った．その結果，従来地震性隆起で形成したと考えられてきた南房総海岸は海溝型地震の化石ではなく，定常隆起と海水準変動によって形成される（図 5）ことを示した[6]．今後異なる手法で古地震履歴を解明する必要性を指摘し，海溝型地震の多様性研究の新たなフェーズに入った．

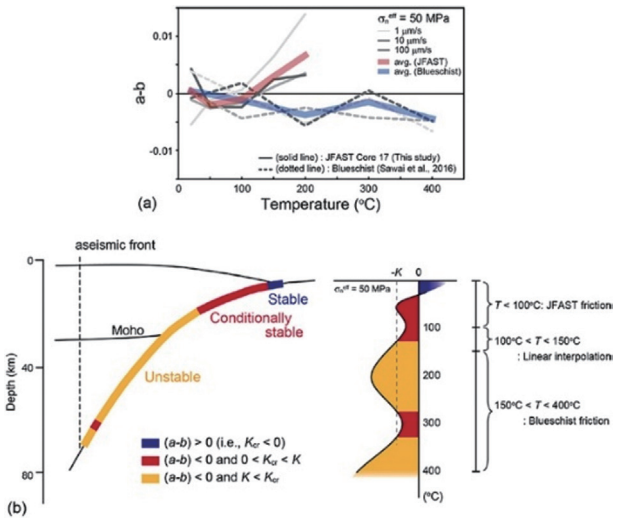


図 4　物質科学的実験による日本海溝沈み込みプレート境界の摩擦特性（Sawai et al.,2017）

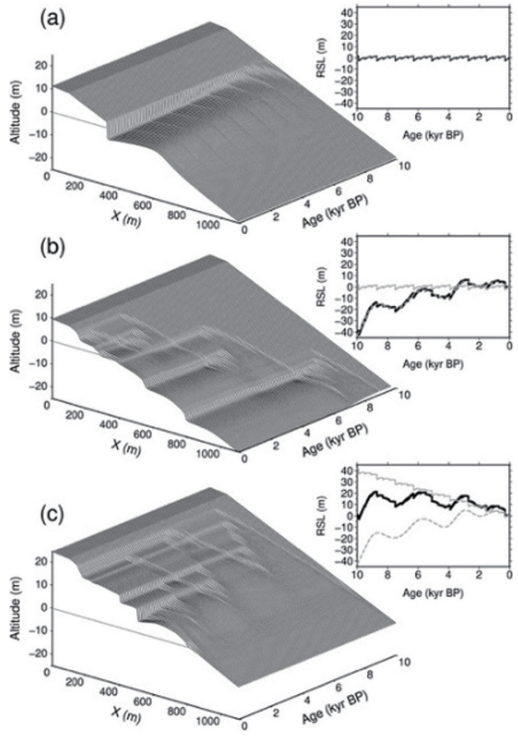


図 5　定常的隆起と海水準変動を考慮した南房総の海岸地形シミュレーション（Noda et al., 2018）

6. おわりに

千葉大学では，地震・測地・電磁気観測研究，地震発生帯の物質科学的・実験的研究，地形・地質調査による過去の地震履歴研究，の学際的な研究をさらに推進する予定である．最終的には房総沖で発生する海溝型巨大地震の発生メカニズム解明に迫り，人材育成を含めて地震予知研究に貢献する拠点形成を目指している．

（宮内　崇裕）

参考文献

1) K. Hattori and P. Han, Statistical Analysis and Assessment of Ultralow Frequency Magnetic Signals in Japan As Potential Earthquake Precursors, Pre-Earthquake Processes: A Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction Studies, edited by Ouzounov et al., 229-240, DOI: 10.1002/9781119156949.ch13, Wiley, 2018.

2) J-Y. Liu, K. Hattori, and Y-I Chen, Application of Total Electron Content Derived from the Global Navigation J Satellite System for Detecting Earthquake Precursors, Pre-Earthquake Processes: A Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction Studies, edited by Ouzounov et al., 305-317, DOI: 10.1002/9781119156949.ch17, Wiley, 2018.

3) T. Sato, S. Hasegawa, A. Kono, H. Shiobara, T. Yagi, T. Yamada, M. Shinohara, N. Usui, 2017, Detection of vertical motion during a slow-slip event off the Boso Peninsula, Japan, by ocean-bottom pressure gauges, Geophys. Res. Lett., 44, 2710-2715.

4) Tsumura, N., Komada, N., Sano, J., Kikuchi, S., Yamamoto, S., Ito, T., Sato, T., Miyauchi, T., Kawamura, T., Shishikura, M., Abe, S., Sato, H., Kawanaka, T., Suda, S., Higashinaka, M. and Ikawa, T. ,2009, A bump on the upper surface of the Philippine

Sea plate beneath the Boso Peninsula, Japan inferred from seismic reflection surveys: A possible asperity of the 1703 Genroku earthquake. *Tectonophysics*, 472, 39-50.

5) Sawai, M., Niemeijer, A., Hirose, T., and Spiers, C., 2017, Frictional properties of JFAST core samples and implications for slow earthquakes at the Tohoku subduction zone, Geophys. Res. Lett., 44, 8822-8831, doi.org/10.1002/2017GL073460.

6) Noda,A., Miyauchi,T., Sato,T. and Matsu' ura, M., 2018, Modelling and simulation of Holocene marine terrace development in Boso Peninsula, central Japan, Tectonophysics, 731-732, 139-154, doi.org/10.1016/j.tecto.2018.03.008.

（6） 東京大学地震研究所

1．はじめに

2009 年から，「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」が始まり，中心的な役割を果たした．2010 年には，地震火山科学に関する共同利用・共同研究拠点となるとともに，4 研究部門，5 研究プロジェクトセンター，3 サイエンスマネジメントセンターに改組を実施した．2012 年には，巨大地震・津波に関する理工学連携である「巨大地震津波災害予測研究センター」を新設した．2014 年からは「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」が始まり，2019 年からは，「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 2 次）」を実施している．2017 年には，「地震火山史料連携研究機構」を東京大学史料編纂所と連携して設置した．

2．地震観測

2.1　広域的地震観測

関東・甲信越，紀伊半島，瀬戸内海内帯西部に展開している高感度地震計を用いた広域的地震観測網による観測，および伊東沖と三陸沖に設置している光ケーブル式海底地震・津波観測システムを用いた海陸境界域の観測を継続し，地震活動と不均質構造との関係を明らかにする研究を進めてきた．

全国の国立大学や研究機関等によって観測されている地震波形データを収集し，本センターのデータと統合して処理している．これらのデータは，日本列島周辺で発生する地震に対して行った臨時観測データと合わせることによって高密度な観測網となり，より詳細な地震活動が明らかになった．

2.2　陸域機動地震観測

2.2.1　内陸地震発生域における不均質構造と応力の蓄積・集中過程の解明

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震以降，本震時のすべりと余効変動により内陸地震の震源断層域の応力状態が変化し，東北地方を中心に地震活動が変化した．阿武隈山地南部では，本震の 1 ヶ月後の 4 月 11 日に福島県浜通りの地震（マグニチュード 7.0）が発生した．また，この地域では地震活動も活発化した．そのため，約 60 点の臨時稠密地震観測網を 2011 年 7 月に展開し観測を続けている．これらのデータからトモグラフィー解析による精密速度構造，地殻内地震の S 波偏向異方性などが求められた [1]．また，臨時観測点データと周辺域の定常観測点のデータとの統合処理を行い，連続波形記録に対して自動処理を施すことで地震活動を多数検出した．茨城県北部側の地震活動度は，福島県南東部に比べて高い状況にあり，南西傾斜と北東傾斜の複数の断層面に沿って地震活動が継続している．

新潟 - 神戸歪集中帯の中に位置し 1891 年に発生した国内最大規模の内陸地震である濃尾地震の断層域において，全国の大学･関係機関と共同で，2009 年から 5 年間，地震観測，地球電磁気観測，GPS 観測等による地球物理的総合観測を実施した．その結果，内陸地震の発生に関しては地表近傍の構造だけでなく，下部地殻の構造や地殻の下に沈み込んでいる海洋プレートから供給される流体の影響が大きいことがわかってきた [2]．

2.2.2　プレート境界域における不均質構造と地震活動の解明

深部低周波微動活動度が異なる地域下での沈み込むプレートやマントルウエッジの構造を高分解能で明らかにし，それらを比較することで，スロースリップや深部低周波微動等の多様なプレート間の滑り現象を規定する地下構造異常を抽出する研究を進めた．

東海地方から紀伊半島を経て四国にいたる地域は，フィリピン海プレートの沈み込みに伴い，低周波微動・地震が発生し，構造的にもプレート境界域に強い反射面が観測されており，この地域での観測研究を継続的に実施した．2009 年から紀伊半島南部の低周波地震発生域直上で稠密自然地震観測を行った．その結果，低周波地震発生域近傍で P 波速度が低下し，V_p/V_s 値が大きくなる傾向がみられた．また，2009 年は紀伊半島での地殻構造探査を実施した．稠密地震計アレイ観測も実施した [3]．2015 年以降，深部低周波微動活動が明瞭な領域の紀伊半島で稠密自然地震観測を実施し，深部低周波微動活動度と沈み込むフィリピン海プレート内の構造不均質との関連が議論されている．また，東海地域において約 80 点から成る稠密地震計アレイを展開し，固着域から深部遷移領域における地下構造の深さ変化を明らかにした [4]．

2011 年東北地方太平洋沖地震前のおよそ 1 ヶ月間に発生した地震活動を解析した結果，本震の破壊開始点へ向かうゆっくりすべりの伝播が，ほぼ同じ領域で 2 度にわたって起きていたことを明らかにした [5]．また，余震分布の特徴と大滑り域の相補関係を東北地方太平洋沖地震の余震活動に適用することで，本震発生時の大滑り域の広がりを推定した．

2.3　海域地震観測

沈み込み帯における地震発生は，プレート境界面における摩擦によってひずみが蓄積し，地震時に蓄えられたひずみエネルギーが解放される現象である．地震発生に

関するプレート境界の性質は，境界の形状および温度や水の含有量といった物性によって決定されると考えられている．低周波イベントからプレート境界型巨大地震まで，その発生メカニズムを理解する上で，プレート境界の固着程度の把握，およびその周辺の構造や物性を詳細に理解することは必要不可欠である．さらには，プレートの沈み込みに伴う脱水反応によって生成された水の挙動が，上盤プレート内の内陸地震の発生に関与していることもわかって来た．そこで，沈み込み帯の全体構造の把握，およびプレートの沈み込みに伴う諸現象の理解を通して地震発生メカニズムの解明をめざし，海域での地震観測や制御震源地震波構造調査などによる研究をすすめている．

房総半島東方沖では，首都圏直下地震発生領域の東縁に接して，6 ～ 7 年の周期を持ってスロースリップが発生している．房総沖での地震活動を把握し，構造との対比から本領域の地震発生メカニズムを解明することを目的として，2009 年から 2010 年にかけて長期観測型海底地震計を用いた海域地震観測を行った．さらに短期観測型海底地震計を加え，海溝軸並行測線で構造調査も行った．ここで得られた観測データを用いて震源と速度構造の同時決定インバージョン解析を進め，フィリピン海プレートの沈み込む形状などを明らかにした [6]．また構造調査からは，沈み込むフィリピン海プレートと太平洋プレートの構造を明らかにした．相模トラフに沿った測線は，房総沖スロースリップ発生域の南限を通っており，この発生域に対応するプレート境界からの反射波振幅強度の増加が見られることを明らかにした [7]．有限差分法による振幅評価を行った結果，スロースリップ発生域周辺のプレート境界の速度は若干遅くする必要があり，水を豊富に含む物質あるいは粘土鉱物が多く含まれている可能性を示した．

スロースリップ発生域周辺では 2012 年から海底圧力計による海底上下変動連続観測を開始し，現在も観測を継続中である．本観測中の 2014 年 1 月にはスロースリップが発生し，海底での上下変動を検出した [8]．

茨城県の東方沖合～ 100 km では，太平洋プレートの沈み込みに伴って，～ 20 年周期でマグニチュード 7 級の地震が繰り返し発生してきた．2004 年の海域構造調査，および 2005 年海域地震観測から，深さ 10 km に海山が沈み込んでおり，繰り返し地震の断層がその沈み込み前縁部に位置すること，また海山上のプレート境界では地震活動が見られないことを明らかにした [9]．2010 年 10 月から，この海山前縁部周辺領域に長期観測型海底地震計を用いた高密度なアレイを構築し，およそ 1 年間の地震観測を行った．またこの観測網を通る測線で，エアガンを人工震源とした構造調査を行った．本観測期間中には東北地方太平洋沖地震が発生し，さらに本震震源域南限に位置した本観測アレイの近傍で最大余震が発生した．本震発生前後での地震活動を比較すると，本震発生後は震源域南限全域で地震活動が活発化しているが，特に沈み込む海山の前縁部周辺域で非常に活発化していることがわかった．また，海山沈み込み最前縁部において，地震活動の空白領域が存在する可能性が示された．さらにこの地震活動と本震および最大余震の発生との関連について詳細に調べたところ，本領域の活動が本震よりも最大余震によって活発化したことを明らかにし，本震のプレート境界面すべりが茨城県沖まで達しなかった可能性について議論した．これまでの海山の沈み込み前方で発生したマグニチュード 7 以上の地震の発生様式を比較すると，海山の沈み込み前方基底部で地震が発生し，その後にプレート境界面上の沈み込み深部を震源としてマグニチュード 7 以上の地震が発生するというパターンが見られる．

三陸沖の北緯 39 度には，南側の地震活動の活発な領域と北側の非活発な領域の境界が存在することが知られていた．2001 年に海域地震波構造調査を行い，地震活動とプレート境界反射波の振幅の間に，良い反相関の関係があることを明らかにしていた [10]．この境界領域は，東北地方太平洋沖地震震源域の北限に当たると考えられ，地震発生前後でプレート境界の反射強度に変化が見られるか確認するために，2013 年 9 月に以前と同じ測線上において構造調査を行った．2013 年構造調査の結果，プレート境界の深さが変化しているように見え，反射波強度の変化も見られた．

2011 年 3 月の東北地方太平洋沖地震発生直後より，海底地震計を用いて日本海溝沿いで余震観測を続けている．本震時にプレート境界が大きくすべった本震震源付近では余震活動が低調であること，また福島県沖から千葉県房総半島沖の震源域南部では余震が少ないことから，本震時の破壊がこの付近で停止したことを明らかにした [11]．その後継続している東北地方太平洋沖地震震源域における海底地震観測は，長期観測型海底地震計を用いてモニタリング的観測を行っていることが特徴である．

2009 年にチリ沖プレート三重会合点付近における海底地震観測を行った．ニュージーランド北島ヒクランギ沈み込み帯における海陸統合地殻構造調査や海域地球物理観測を 2009 年以降継続的に実施している [12]．2017 年からは，メキシコ太平洋沿岸ゲレロ州の沖合において，プレート間固着を明らかにするために，海底地震地殻変動観測を実施している [13]．

3．比抵抗構造探査

電気比抵抗は，温度，水・メルトなど間隙高電気伝導度物質の存在とそのつながり方，化学組成に敏感な物理量である．これらの岩石の物理的性質は，すべて，その変形・流動特性を規定する重要なファクターであり，比抵抗構造と地震学的諸情報をあわせることで，より詳細かつ正確な情報を抽出できる．そこで，観測方法や解析手法の開発を含め，探査を実施してきた．

2009 年には有田川非火山性微小地震域，2012 年には福島県浜通り地震震源域で広帯域 MT 観測を実施し，地震発生を駆動するメカニズム解明に資する構造を推定してきた．2011-2013 年にかけては，濃尾地震断層域でネットワーク MT 観測を実施し，ひずみ集中や地震発生の原因がスラブから供給される水である可能性を指摘した．2002 年から 2012 年の数度にわたるキャンペーン観測による富士山周辺域での MT 観測データや地球化学的観測データ，2010 年から 2013 年に中部東北地方をおおう地域で実施したメッシュ状超長周期 MT 観測データをとりまとめ，それぞれの地域で 3 次元比抵抗構造を推定した．2015 年からは，新潟県阿賀野市から福島県鮫川村に至る 15 観測点での広帯域 MT 法観測を実施している．2016 年からは，豊後水道スロースリップ域やその北側に東西に分布する深部低周波微動域を含んだ広い領域での深部比抵抗構造を決定する目的と，スロー地震発生時の電磁気的信号の有無を検証するため，四国西部においてネットワーク MT 法連続観測を実施している．

ネットワーク MT 法観測では，2015 年 6 月に愛媛県御荘町，城川町の 2 観測点に 3 成分磁力計を設置して磁場 3 成分観測を開始し，2016 年 3 月より，愛媛県から高知県に至る 17 エリアでの長基線地電位差観測を行っている．

2016 年 4 月に発生した熊本地震震源域を取り囲む九州中部の広い領域での広帯域 MT 観測データから地域の 3 次元的構造の特徴の抽出を図った．地殻内の地震活動域と得られた構造との比較から，地震発生域は相対的に高比抵抗域に分布し，その下部や側方に低比抵抗域が分布する [14]．

4．首都圏周辺でのプレート構造調査，震源断層モデルの構築

首都直下地震は，切迫性が高く，推定される被害が甚大であると指摘されている．そのため，首都圏下で発生する地震の姿を明らかにするとともに，建物の耐震構造技術の向上や災害対応体制の確立により被害軽減につなげて行くことを目的として，2011 年度まで文部科学省からの受託研究「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」が実施された．地震研究所では「首都圏周辺でのプレート構造調査，震源断層モデル等の構築等」として，首都圏で中感度地震観測網を構築して自然地震を観測し，このデータに基づいてプレート構造を推定し，制御震源等を用いた地殻構造探査の結果と合わせて首都圏で発生する大地震の震源域の地震学的構造を明らかにした．歴史地震等の記録の収集・整理・再評価を行い，首都圏で発生する大地震の発生時系列を明らかにした．さらに，首都圏で発生する地震の震源断層モデル・地下構造等のモデルを高度化した．フィリピン海プレート等の構造を調査するための中感度地震観測点（MeSO-net）約 300 箇所が関東地域に設置され，自然地震の観測を行っている [15]．その結果，震源分布や地震波速度と非弾性常数の三次元的分布，首都圏下のプレート境界面の形状やプレート内における弱面の存在を把握した [16]．2012 年度からは，受託研究「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」が開始された．多くの機能が集中高度化し，社会経済活動の中枢である首都圏は，災害に対する脆弱性を内在しており，予期せぬ大災害へ発展するおそれがある．そこで，今後予想される首都直下地震や，東海・東南海・南海地震等に対して，都市災害を軽減することを目的としている．地震研究所は，「首都直下地震の地震ハザード・リスク予測のための調査・研究」として，東北地方太平洋沖地震以降の新たな地震像を首都圏に展開した観測もデータから解明するとともに，大規模シミュレーション数値解析法を開発し，災害軽減策の検討に供する都市の詳細な地震被害評価技術を開発した．引き続いて，2017 年度から受託研究「首都圏を中心としたレジリエンス総合力向上プロジェクト」が開始され，「官民連携による超高密度地震動観測データの収集・整備」の一部を地震研究所で担当している．これまでに解明を進めてきた首都圏の地震像の精緻化や都市の詳細な地震被害評価に資するものにするため，MeSO-net と全国規模の地震観測網（K-NET，Hi-net 等）により得られるリアルタイムの観測データ，民間が保有する地震観測データを統合した超高密度地震動観測データを収集・整備して，首都圏の地震ハザード評価に資する．

5．活断層 - 震源断層システム

内陸地震の長期評価や発生メカニズムを理解するには，地震発生層底部から表層に至る一つのシステムとして活断層 - 震源断層を理解する必要がある．このため，地殻スケールから極浅層に至る反射法地震探査による活断層の地下構造の解明に主眼をおいた研究を，文部科学省からの受託研究として，全国の研究者と共同で進めている．2009 年度以降，「神縄・国府津 - 松田断層帯の重点的観測・研究」・「立川断層帯の重点的観測・研究」・「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」・「日本海地震・津

波調査プロジェクト」・「富士川河口断層帯の重点的な調査観測」・「断層帯深部形状の評価に関する活断層調査研究」が実施された．相模湾[17]，関東平野西部，奥尻海盆から函館平野に至る区間と，樺戸山地東縁，駿河湾，中央構造線活断層系（四国地域）[18]などにおいて，海陸統合地殻構造探査，高分解能反射法地震探査を実施し，断層の地下形状を明らかにした．

全国規模での日本列島の震源断層のモデル化は，島弧地殻の変形プロセス[19]，内陸地震の長期予測，強震動予測においても重要であり，2010 年から全国の研究者と共同で，地質・変動地形・重力や地震活動などの地球物理学データに基づいた総合的な日本列島の震源断層のマッピングプロジェクトを進めている．

6．プレート境界型地震に関する海域調査観測

海洋プレートの日本列島下への沈み込みに伴い発生する巨大地震に関する調査観測として，主に長期観測型海底地震計を用いた観測を実施した．2011 年東北地方太平洋沖地震の発生を受けて，文部科学省からの受託研究「東北地方太平洋沖で発生する地震･津波の調査観測」を 2011 年から 3 カ年実施し，長期観測型海底地震計を震源域に稠密展開して，地震直後の地殻活動を把握した[20]．受託研究「東海・東南海・南海地震の連動性評価研究」では，長期観測型海底地震計および高精度水圧計付広帯域海底地震計の稠密展開による自然地震，低周波地震・微動及び上下変動のモニタリングを 2008 年から 5 カ年実施した．観測域は，東南海地震と南海地震の境界域である紀伊半島沖から紀伊水道のトラフよりの海域である．得られたデータには，通常の地震とは異なる低周波まで周波数成分をもつイベントが多数記録されており，低周波イベントの特徴が明らかとなった[21]．2013 年から 8 カ年は，受託研究「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」により，南海トラフから南西諸島海溝にかけて，広帯域海底地震観測を実施し，近年注目されているスロー地震の海底観測を実施した．2012 年まで実施された受託研究「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」では，中越沖において長期観測型海底地震計による観測を 1 年間実施し，詳細な地震活動を明らかにした．

7．巨大地震・津波及び古い地震・津波の研究

津波データや測地データ，地震データを用いて，世界の巨大地震の断層運動の詳細や津波の発生過程について調査している．2011 年東北地方太平洋沖地震を始め，中南米で発生した 1960 年チリ地震，2015 年イヤペル地震，2017 年メキシコ地震やニュージーランド周辺で 2009 年，2016 年に発生した地震などについて，主に津波データから断層面上のすべり分布の推定や太平洋を横断する津波の特性の解明を行った[22]．

津波の伝播速度は，弾性地球や海水の圧縮性の影響を考慮すると長波速度より遅くなり，遠地津波で知られていた津波到達時の遅延を説明できることを明らかにした[23]．また，津波観測点の最適化配置，津波波形の時間逆転による解析，津波波形のインバージョン手法やデータ同化の改良など，津波波形を用いる解析手法の開発をおこなった．

北海道・東北地方を中心とする日本海東縁部で津波の発生が予測される断層モデルを抽出し，様々なパラメータに基づいたシナリオ型津波シミュレーションを行った．日本海の自由振動について，その特性を調べて分類したほか，日本海東縁部の断層について，モード解を用いてそれらの津波励起特性を調べた．

2015 年に鳥島近海で発生した火山性津波地震について，波源近郊（～ 100 km）に設置された海底水圧計アレイや，ケーブル式水圧計記録などに記録された津波波形を解析し，海底カルデラ内部で大きな隆起現象を伴っていたことを示した[24]．さらに，2009 年，2017 年にケルマデック諸島で発生した火山性津波地震についても，その発生機構を調べている．

地震研究所や気象庁などに保存されている古い地震記録を用いて過去に発生した大地震の研究を行った．日本海東縁部で 20 世紀に発生した大地震について地震・津波波形記録を用いて断層パラメータの検証を行った．また，1944 年東南海地震と 1945 年三河地震に対して，地震後に東京帝国大学が行ったアンケート調査の資料から，震度分布の検討を行った．最近の地震観測網による地震学データとの比較に基づき古い地震の震源・メカニズムを決定する新たな手法を構築し，明治・大正期の大地震に適用した．

2017 年度から地震研究所と史料編纂所の部局間連携機構として「地震火山史料連携機構」が設置された．この機構では，地震研究所で刊行されてきた『新収日本地震史料』等の史料集を電子化した上で，原本もしくは翻刻した刊本を参照して点検する校訂作業を行っているほか，各地の日記などに書かれた被害を伴わない地震も含めた「日記史料有感地震データベース」を作成している．これらの史料・データベースに基づいた歴史地震の研究を行っている．また，歴史地震の震源域を有感地震の時空間分布から制約できる可能性を，気象庁震度データベースを用いることで示した．

1855 年安政江戸地震に関して，関東地域で新たな史料調査を行い，神奈川宿についての詳細な被害分布を明らかにした．また，全国スケールでの震度分布を推定した．再検討した震度分布と三次元減衰構造を考慮した震度計算との比較から，この地震は地殻内地震・太平洋プ

レート上面・太平洋プレート内部で発生した可能性は低く，フィリピン海プレートに関連する地震であった可能性が高いことを明らかにした．

三陸沿岸宮古市において津波堆積物の調査を行い，浜堤背後の湿地で過去 2000 年間に発生した 17 層のイベント堆積物を発見した．2011 年東北地方太平洋沖地震の津波堆積物の特徴を考慮して，これらのイベント堆積物の起源を推定した．福島県南相馬市でも 2011 年及び過去に発生した津波堆積物を調査した．また，これらの津波堆積物データを用いて，2011 年東北地方太平洋沖地震・869 年貞観地震の震源モデルの検討を行った．

琉球海溝沿いのサンゴのマイクロアトールの形状・年代から過去の水面変動を復元し，過去の地震による海面変動を調べる目的で，与論島，沖縄本島，石垣島，宮古島などで試料を採取し，解析を行っている．

８．スロー地震学プロジェクト

スロー地震とは，普通の地震に比べてゆっくりした断層すべり現象の総称であり，揺れを生じない，または揺れ方がゆっくりで振幅が小さい．このような特別な地震が，2000 年前後に日本全国に展開された地震・GNSS 観測網によって発見され[25]，その後，環太平洋の各沈み込み帯でも次々と見つかってきた．スロー地震は巨大地震震源域を取り囲むように分布し，種類の異なるスロー地震がしばしば同時に同じ場所，あるいは隣の場所で起こる．つまり，スロー地震同士には，強い相互作用が働いている．したがって，巨大地震震源域の周囲でスロー地震が頻発すると，地震発生の場が次第に変化し，地震発生に繋がるかもしれない[26]．そのため，スロー地震に対する理解を深めることは非常に重要である．そこで，スロー地震による低速変形と普通の地震つまり高速すべりとの関係性を含め，これらの地震現象を統一的に理解することを目指す目的で，科学研究費新学術領域研究「スロー地震学」プロジェクトが 2016 年より 5 年計画で開始した．スロー地震研究は，まだ 20 年にも満たない．基本的な発生様式も分からないことが多い．地下深部にある発生場所の物質･物理条件はまだ不明である．さらに，その支配物理法則は定性的にも分からないことばかりである．そのようなスロー地震の謎を解き明かすため，旧来の地震学・測地学だけではなく，地質学，物理学などのアプローチを結合し，スロー地震の発生様式，発生環境，発生原理の解明に向けて，研究を進めている．地震研究所では，超低周波地震の検出精度を向上させるため，四国西部・九州東部において広帯域地震計の観測継続を行うとともに，南海トラフ近傍で発生する浅部スロー地震を様々な帯域で捉えるため，日向灘において海底圧力計・地震計の観測を行った．また，2019 年度には四国西部の陸域で制御震源を用いた地震波速度構造調査を実施した．

９．大地震の震源過程解析と強震動の生成過程の研究

東日本大震災を引き起こした 2011 年の東北地方太平洋沖地震は，世界で初めて強震と遠地，測地，津波の稠密ネットワークによって観測された超巨大地震である．しかし，個別データセット単独では限られた分解能しか持っていないので，複数のデータセットに対して合同インバージョンを行い，統合震源モデルを構築した[27]．さらに，この地震以前の東北地方太平洋沖におけるすべり欠損の状態や，地震時の強震動パルス源の特定，地震後の余効変動の状況も併せて解析した．

震源過程解析の精度向上のために，三次元グリーン関数の計算手法の研究を進めるとともに，1923 年関東地震，1952 年と 2003 年の十勝沖地震，1995 年兵庫県南部地震などに対して，三次元グリーン関数を用いた震源過程解析を行った．

強震動研究は，地震の震源の破壊過程・地震波波動伝播・震動といった一連の現象を理解することが目的である．強震動をともなう地震は，他の自然災害に比べて稀にしか起こらないため，起こった地震の詳細な震源モデルを着実に蓄積することに格別の重要性がある．これらの震源モデル群からは海溝型地震のスケーリング則などが見出された．また，2007 年新潟県中越沖地震や 2009 年ラクイラ地震などでは広帯域の解析を行い強震動の生成過程を検討した．

１０．地震活動予測実験（CSEP）

国際共同実験である「地震活動予測実験［Collaboratory for the Study of Earthquake Predictability（CSEP）］」に日本も 2009 年から参加して，実験検証センターを地震研究所に設置した．この実験では，事前に厳密な予測のルールを定め，真に将来の地震発生を予測する実験と，その検証を統計的に厳密に行っている．日本の予測検証実験では，対象領域を「海域を含む日本全域」,「陸域だけの全国」,「関東地方」の 3 つとし，予測対象期間を 1 日，3 ヶ月，1 年，3 年とした[28]．提案されている地震予測モデルは 160 を超え，CSEP に参加している研究機関の中でも最多である．東北地方太平洋沖地震後においては，CSEP ルールの枠にとらわれないテスト領域での評価や新たな評価インデックスの開発などを進めた．

１１．地殻変動

房総半島沖では，群発地震活動を伴う M_w 6.6-6.7 のスロースリップが数年間隔で繰り返し発生してきた．これらのスロースリップのメカニズムの理解に向けて，千葉

県の太平洋沿岸で 2011 年以来，GNSS 連続観測を実施してきた．このデータと国土地理院 GEONET の GNSS データを用いて，1996 年から 2014 年に発生した 5 個のスロースリップのすべりの時空間変化を推定した [29]．また，1996 年のスロースリップに対する推定結果を速度・状態依存摩擦構成則を用いてモデル化し，すべり速度の時空間変化が条件付安定の摩擦特性で良く説明できることを明らかにした．

地震研究所が東海地方で行ってきた GNSS 連続観測で得られたデータ及び GEONET のデータを用いて，東海地方でのプレート境界で 2013 年以降に発生した長期及び短期 SSE のすべりの時空間発展を明らかにした

GEONET 及び京都大学の GNSS データから，八重山諸島周辺のプレート境界で 2010 年から 2013 年に発生した 5 個のスロースリップのすべり時空間変化を推定した．

2011 年東北沖地震の余効変動のメカニズムの理解に向けて，摩擦構成則に従う余効すべりとマントルの粘弾性応力緩和を組み合わせた余効変動の物理モデルを構築した．

１２．精密な重力観測

長野県松代において，超伝導重力計を用いた重力連続観測を行っている．重力計の記録から，2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震のあと，年間およそ 10 マイクロガルという大きなレートで重力が減少を続けていることが明らかになった．この観測点は，地震の震源域からは 400km 以上離れており，GEONET による GNSS データから推定される上下変動は比較的小さいにもかかわらず，このように大きな重力変化が見られるのは，地震のあと継続しているアフタースリップあるいは粘弾性緩和による地下の密度変化をとらえていると考えられる．

沖縄県石垣島において，2012 年から超伝導重力計による重力連続観測を行なっている．この地域の地下では，約半年に一度，スロースリップが発生していることがわかっている．この観測では，地下の高圧流体がスロースリップの発生にどのように関わっているかを，重力をとおして解明することを目的としており，大気・海洋・地下水が相互作用を及ぼしあい，重力に複雑な影響を及ぼしていることがわかってきた．

１３．大地震の緊急臨時観測

2009 年以降，日本及び海外で大地震が発生した場合には，緊急観測を実施した．

2010 年 10 月 2 日 12 時 35 分に新潟県上越市でマグニチュード 4.0 の地震が発生した．震源域が高田平野東縁断層帯の近傍に位置するため，10 月 4 日から 21 日まで臨時観測を行った．観測点は，1 Hz3 成分の地震計とオフライン型のレコーダーの組み合わせで，震源域の直上に 4 か所を選定した．

2011 年 3 月 11 日午後 2 時 46 分頃に発生した東北地方太平洋地震（M9.0）については，地震発生直後より，海底地震計を用いて日本海溝沿いで余震観測を続けている．また，東北地方太平洋沖地震にともない活発化した北茨城・いわき地域の誘発地震群を観測するために，高密度な地震観測網を展開した．

2014 年 11 月に発生した長野県北部を震源とする M6.7 の地震について，余震域を含む領域に臨時地震観測点を約 1km 間隔で 163 箇所に設置し，独立型地震観測システム（GSX-3 システム）を用いた稠密余震アレイ観測を実施した．観測は ,2014 年 12 月 3 日から 2014 年 12 月 21 日まで実施した．

2015 年 4 月，ネパール国の首都カトマンズの約 80km 北西で，M_w7.8 のネパール・ゴルカ地震が発生した．詳細な余震分布や地震波速度構造を明らかにすることを目的とし，ネパール科学技術院（Nepal Academy of Science and Technology）とトリブバン大学トリチャンドラ校と共同で，ゴルカ地震の震源域を横切る稠密余震観測を 2015 年 8 月と 11 月の 2 回，実施した [30]．

2016 年 4 月 14 日 21 時 26 分頃，熊本県を震源とするマグニチュード 6.5 の地震が発生し，震度 7 が観測された．震源地は，2000 年 6 月頃にマグニチュード 5.0 の地震を含む群発地震が発生した地域であった．地震発生翌日に現地入りして観測点の復旧と新たな臨時観測点を設置した．その夜，4 月 16 日 1 時 25 分頃，マグニチュード 7.3 の地震が発生して，再び震度 7 を観測したため，全国の機関と共同して，臨時観測点を設置した [31]．

長野県北部では，2016 年 6 月 25 日 13 時 51 分頃，風吹岳大池付近を震源とするマグニチュード 4.8（最大震度 4）の地震が発生した．今回の活動は，非常に浅く，やや活発なことと，徐々に活動域が広がっていることから，震源地の近傍に臨時観測点を 4 点設置して，臨時観測を実施した．

2016 年 10 月 21 日 14 時 7 分頃，倉吉市周辺でマグニチュード 6.6 の地震が発生し，最大震度 6 弱を観測し，臨時地震観測点を展開した．

島根県東部では，2018 年 4 月 9 日 1 時 32 分に，M6.1 の地震が発生し，大田市では震度 5 強を観測した．そこで，京都大学防災研究所，九州大学等と共同で，臨時の観測点を震源域周辺に展開した．

大阪府北部では，2018 年 6 月 18 日 8 時 30 分に，M6.1 の地震が発生し，高槻市や茨木市等では震度 6 強を記録した．そのため，周辺の活断層との関係，今後の地震活動の拡大，周辺の活断層に対する影響等を解明す

るため，京都大学防災研，九州大学および関西大学と共同で臨時観測を行った．臨時観測点としては，固有周期 1 秒の三成分地震計によるテレメータが 4 ヶ所，2Hz もしくは 4.5Hz の上下動地震計による現地収録が約 50 ヶ所であった．

北海道胆振地方東部では，2018 年 9 月 6 日 3 時ころに M6.7 の地震が発生した．そこで，全国の研究者による合同余震観測が行われた．臨時観測点は，主として固有周期 1 秒の三成分型地震計によるオフライン観測 25 点およびテレメータ観測点 3 点である．

2019 年 6 月 18 日 22 時 22 分頃に発生した山形県沖の地震（M_w6.4）について，震源域直上において海底観測を 7 月 5 日から 13 日まで実施した．対象海域が浅海であることから，本観測のために簡便な係留ブイ方式による海底地震計を開発した．

１４．観測・計測技術開発

地震の予測のためには，地震発生に至る過程であらわれる地殻現象を観測によって把握することが必要である．海域は地震地殻変動観測の空白域であるため，海底における地震地殻変動の観測手法の確立をめざした技術開発を行ってきた．

海底ケーブル式地震津波観測システムは，リアルタイムでデータを陸上に伝送することが可能であり，海域における観測研究に大きな役割を果たす．そこで，システムの冗長性により信頼性を確保して，小型・軽量化により，より低コストのインライン型海底ケーブル式地震津波観測システムの開発を行った．開発したケーブル式観測システムは，上記目的を達成するために，インターネット技術を用いていることが特長である．2010 年に 1 号機を新潟県粟島近海 [32] に，2015 年に 2 号機を岩手県釜石市沖に設置した．

従来の長期観測型海底地震計 [33] の高度化を行った，海底上下変動観測のために広帯域海底地震計に精密水圧計を搭載した．また，長期観測型海底地震計に小型広帯域地震計を搭載した小型広帯域海底地震計を開発した．

海底地震観測の高度化として，従来の広帯域海底地震計の地震学的な雑微動雑音レベルを下げるためにセンサー部をデータ記録部から独立させ海底面に埋設する構造の新型広帯域海底地震計を開発し，陸上観測点と比較可能な雑音レベルを確保した [34]．さらに機動的に広帯域地震・傾斜同時観測を行う広帯域海底傾斜地震計の開発を実施した．

海底において，短時間で広域にわたり詳細な重力を計測することを目的として，自律型無人探査機に代表される海中移動体に搭載して，重力データを取得する移動体搭載型海中重力計システムの開発を，2012 年から 2017 年まで行った [35]．沖縄トラフ伊是名海穴において，地下の鉱物資源に起因すると思われる重力異常を検出し，地下構造の推定を行った．

地震・火山現象を理解するためには地下深部の観測が不可欠であるが，機器を設置できるのは地球全体の規模からすると地表に近いごく一部の領域にすぎない．そのため観測機器の精度の向上や観測範囲の拡大を目指して，レーザー干渉計などの光計測を用いた新たな観測機器の開発に取り組んでいる．レーザー干渉計は高精度・低ドリフトの変位センサーであり，地震・地殻変動観測機器へ組み込むことにより観測装置の高精度化や装置の小型化ができる．また光を用いた計測手法は，半導体素子では観測が難しい地下深部・惑星探査など極限環境での高精度観測を可能にする．神岡で進められている重力波望遠鏡建設計画（KAGRA）と連携し，1 桁以上スケールアップした長さ 1500m のレーザー伸縮計を KAGRA トンネル内に建設し，観測を 2016 年から行っている [36]．

（平田　直・佐竹　健治・篠原　雅尚）

参考文献

1) Kato, A., *et al.*, 2013. Imaging the source regions of normal faulting sequences induced by the 2011 M9.0 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, **40**, doi:10.1002/grl.50104.
2) Iidaka, T., *et al.*, 2017. Receiver function images of the distorted Philippine Sea Slab contact with the continental crust: implications for generation of the 1891 Nobi earthquake (Mj 8.0), *Tectonophysics*, **717**, 41-50.
3) Kurashimo, E., *et al.*, 2013. Along-strike structural changes controlled by dehydrationrelated fluids within the Philippine Sea plate around the segment boundary of a megathrust earthquake beneath the Kii peninsula, southwest Japan, *Geophys. Res. Lett.*, **40**, https://doi.org/10.1002/grl.50939.
4) Kato, A., *et al.*, 2010. Variations of fluid pressure within the subducting oceanic crust and slow earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, **37**, L14310, https://doi.org/10.1029/2010GL043723.
5) Kato, A., *et al.*, 2012. Propagation of slow slip leading up to the 2011Mw 9.0 Tohoku-Oki earthquake, *Science*, **335**, 6069, 705-708, https://doi.org/10.1126/science.1215141.
6) Ito, A., *et al.*, 2019. Configuration and structure of the Philippine Sea Plate off Boso, Japan: constraints on the shallow subduction kinematics, seismicity, and

slow slip events, *Earth Planets Space*, **71**, 111, https://doi.org/10.1186/s40623-019-1090-y.

7) Kono, A., *et al.*, 2019. 2D spatial distribution of reflection intensity on the upper surface of the Philippine Sea plate off the Boso Peninsula, Japan, *Tectonophysics*, **774**, https://doi.org/10.1016/j.tecto.2019.228206.

8) Sato, T., *et al.*, 2017. Detection of vertical motion during a slow-slip event off the Boso Peninsula, Japan, by ocean bottom pressure gauges, *Geophys. Res. Lett.*, **44**, 2710–2715, https://doi.org/10.1002/2017GL072838, 2017.

9) Mochizuki, K., *et al.*, 2008. Weak interplate coupling by seamounts and repeating M~7 earthquakes, *Science*, **321**, 5839, 1194-1197, https://doi.org/10.1126/science.1160250.

10) Mochizuki, K., *et al.*, 2005. Intense PP reflection beneath the aseismic forearc slope of the Japan Trench subduction zone and its implication of aseismic slip subduction, *J. Geophys. Res.*, **110**, B01302, https://doi.org/10.1029/2003JB002892.

11) Shinohara, M., *et al.*, 2012. Precise aftershock distribution of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake revealed by ocean bottom seismometer network, *Earth Planets Space*, **64**, 1137-1148.

12) Mochizuki, K., *et al.*, 2019. Recycling of depleted continental mantle by subduction and plumes, Hikurangi Plateau Large Igneous Province, southwest Pacific, *Geology*, https://doi.org/10.1130/G46250.1.

13) Víctor, M. *et al.*, 2018. A seismo-geodetic amphibious network in the Guerrero seismic gap, Mexico, *Seism. Res. Lett.*, https://doi.org/10.1785/0220170173.

14) Aizawa, K., *et al.*, 2017. Seismicity controlled by resistivity structure: the 2016 Kumamoto earthquakes, Kyushu Island, Japan, *Earth Planets Space*, **69**, 4, doi:10.1186/s40623-016-0590-2.

15) Sakai, S., and N. Hirata, 2009. Distribution of the metropolitan seismic observation network, Bull. *Earthq. Res. Inst.* Univ. Tokyo, **84**, 57-69.

16) Matsubara, M., and K. Obara, 2009. Three-dimensional seismic velocity structure beneath the Tokyo metropolitan area obtained by a routine seismic observation network, Bull. *Earthq. Res. Inst.* Univ. Tokyo, **84**, 331-244.

17) Arai, R., *et al.*, 2013. Crustal structure of the Izu collision zone in central Japan from seismic refraction data, *J. Geophys. Res.*, 118, 6258-6268.

18) Sato, H., *et al.*, 2015. Reactivation of an old plate interface as a strike-slip fault in a slip-partitioned system: Median Tectonic Line, SW Japan, *Tectonophysics*, **644-645**, 58-67.

19) Hashima, A., *et al.*, 2016. Simulation of tectonic evolution of the Kanto Basin of Japan since 1 Ma due to subduction of the Pacific and Philippine Sea plates and the collision of the Izu-Bonin arc, *Tectonophysics*, **679**, 1-14.

20) Ito, A., *et al.*, 2017. Tomographic image of crust and upper mantle off the Boso Peninsula using data from an ocean bottom seismograph array, *Earth Planets Space*, **69**, 118, https://doi.org/10.1186/s40623-017-0703-6.

21) Sugioka, H., *et al.*, 2012. Tsunamigenic potential of the shallow subduction plate boundary inferred from slow seismic slip, *Nature Geoscience*, **5**, 414–418, https://doi.org/10.1038/NGEO1466.

22) Fujii, Y., *et al.*, 2011. Tsunami source of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, *Earth, Planets Space*, **63**, 815-820, https://doi.org/10.5047/eps.2011.06.010.

23) Watada, S., *et al.*, 2014. Traveltime delay and initial phase reversal of distant tsunamis coupled with the self-gravitating elastic Earth, *J. Geophys. Res.*, **119**, 5, 4287-4310, doi:10.1002/2013JB010841.

24) Fukao, Y., *et al.*, 2018. Mechanism of the 2015 volcanic tsunami earthquake near Torishima, Japan, Sci. Adv., **4**, 4, eaao0219, https://doi.org/10.1126/sciadv.aao0219.

25) Obara, K., 2002. Nonvolcanic deep tremor associated with subduction in southwest Japan, *Science*, *296*, 5573, 1679-1681, https://doi.org/10.1126/science.1070378.

26) Obara, K., and A. Kato, 2016. Connecting slow earthquakes to huge earthquakes, *Science*, 353, **6296**, 253-257. https://doi.org/10.1126/science.aaf1512.

27) Koketsu, K., *et al.*, 2011. A unified source model for the 2011 Tohoku earthquake, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **310**, 4809-487.

28) Tsuruoka, H., *et al.*, 2012. CSEP Testing Center and the first results of the earthquake forecast testing experiment in Japan, *Earth Planets Space*, **64**, 8, 661-671.

29) Fukuda, J., 2018. Variability of the space-time evolution of slow slip events off the Boso Peninsula, central Japan, from 1996 to 2014. *J. Geophys. Res.*, **123**, 732-760, https://doi.org/10.1002/2017JB014709.

30) Kurashimo, E., *et al.*, 2019. The 2015 Gorkha earthquake: earthquake reflection imaging of the source fault and connecting seismic structure with fault slip behavior, *Geophys. Res. Lett.*, **46**, 3206-3215, https://doi.org/10.1029/2018GL081197.

31) Kato, A., *et al.*, 2016. Foreshock migration preceding the 2016 Mw 7.0 Kumamoto earthquake, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, https://doi.org/10.1002/2016GL070079.

32) Shinohara, M., *et al.*, 2014. New compact ocean bottom cabled seismometer system deployed in the Japan Sea, *Marine Geophys. Res.*, **35**, 231-242, https://doi.org/10.1007/s11001-013-9197-1.

33) 金沢敏彦・他，2009. 海底地震観測の最近の進展 －海底地震観測システムと海底における自然地震観測の進展について－，地震 2，**61**, S55-S68.

34) Shiobara, H., *et al.*, 2013. New step for broadband seismic observation on the sea floor: BBOBS-NX, IEEE-JOE, **38**, 2, https://doi.org/10.1109/JOE.2012.2222792-405.

35) Shinohara, M., *et al.*, 2018. Development of a high-resolution underwater gravity measurement system installed on an autonomous underwater vehicle, IEEE Geoscience and *Remote Sensing Letters*, **15**, 12, 1937 - 1941, https://doi.org/10.1109/LGRS.2018.2863261.

36) Araya, A., *et al.*, 2017. Design and operation of a 1500-m laser strainmeter installed at an underground site in Kamioka, Japan, *Earth Planets Space*, **69**, 77.

（7） 東京工業大学理学院

1．はじめに

東京工業大学理学院（2016 年度の学内組織改革により火山流体研究センターは理学院の組織となった）では，電磁気探査と地震波解析により，内陸地殻および沈み込む海洋プレートの不均質構造，地震活動の理解に向けた研究を行ってきた．ここでは，この 10 年間の主な成果を報告する．

2．電磁気観測による三次元比抵抗構造

地震発生場の流体分布を明らかにすることは重要である．このためには，流体の存在とその繋がりに敏感な物理量である比抵抗分布を解明することが有利であり，電磁気観測による比抵抗構造探査が有用である．これまでの電磁気観測では，測線状に観測点を配置して 2 次元断面解析を行うことがなされてきたが，ここ 10 年間で，観測点を面的に配置して 3 次元比抵抗構造解析を行うことができるようになった．東京工業大学では，地形を含めた 3 次元比抵抗構造解析プログラムを開発した [1–3]．

2.1　地殻・最上部マントルの比抵抗構造

火山体深部から浅部に至る流体分布が 3 次元的に解明された（例えば図 1）[4–9]．火山体深部から内陸地震震源への流体の移送経路も明らかになった [4,10]．

東北地方の広域的な 3 次元比抵抗構造モデリングから脊梁山地に沿ったモホ面から下部地殻に至る低比抵抗分布 [11]やマントルウェッジ内の比抵抗分布が 3 次元的に明らかになった [12]．

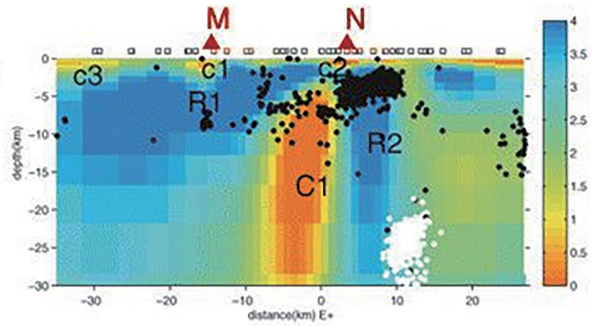


図 1　鳴子火山（N）を横切る地殻比抵抗断面 [4]．比抵抗スケールは対数（ohmm）．

北アナトリア断層についてはこれまで Izmit 地震震源域で比抵抗構造探査を実施してきたが，さらにその西方の延長であるマルマラ海で海底電磁気観測を実施した．マルマラ海東部の海域での 2 次元断面解析から，断層直下の深部延長に流体たまりと思われる低比抵抗異常体を特定した [13]．

2.2　プレート境界の流体分布とプレート間カップリング

New Zealand 北島北東部のヒクランギ沈み込み帯で，稠密な MT 観測を行い，プレート上面の比抵抗分布と GNSS 観測から求められる面積ひずみとの対応が見出した（図 2）[14,15]．さらにプレートのカップリング強度が南から北に向かって徐々に弱まる北島東中央部で稠密な観測を行い，プレート上面の比抵抗が面積ひずみ速度と同じく，北に向かって小さくなることを明らかにした [16]．

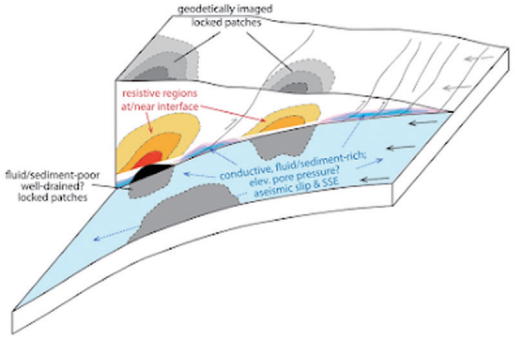


図 2　ニュージーランドヒクランギ沈み込み帯のプレート面上の流体分布とプレートカップリング [15]．

3．地震時の電磁気現象

北アナトリア断層で 1999 年に発生した Izmit 地震について，偶然にもアレイ状の観測点で電磁場観測データが取得されていた．そのデータを解析した結果，地震発生前後で比抵抗変動が見出された [17]．

また地震時には，地球磁場中で地殻が運動するために起電力が生じることを地震ダイナモ効果として提唱し，観測データを説明できるモデルを提案した [18,19]．

4．地震波観測による地殻・上部マントルの不均質構造

4.1　新潟 - 神戸ひずみ集中帯に沿う減衰構造

日本列島の顕著なひずみ集中帯である新潟 - 神戸ひずみ集中帯を含む中部日本の地殻・最上部マントルの 3 次元 P 波減衰構造を推定した [20]．その結果，新潟 - 神戸ひずみ集中帯に沿った下部地殻は高減衰を示し，その広がりは地震波低速度異常域の広がりとほぼ一致することが明らかになった．また，沈み込むフィリピン海スラブは低減衰域として明瞭にイメージングされた．ひずみ集中帯下の下部地殻で減衰が大きいという観測事実は，地表のひずみ集中は下部地殻における弾性・非弾性不均質構造と密接に関係していることを強く示唆している．

4.2　深部低周波地震発生モデルの提案

西南日本の深部低周波発生域に沿う約 1000 km にわたる領域において地震波速度・減衰・異方性構造を推定

した結果，低周波地震発生域と非発生域（関東・伊豆・紀伊水道・九州）ではプレート境界直上の構造が大きく異なることが明らかになった[21]．低周波地震発生域の上盤側では地震波速度・減衰は標準的であり異方性は弱いのに対し，低周波地震非発生域では上盤側の地震波速度は遅く，減衰・異方性が大きい．この特徴は低周波地震発生域直上のマントルウエッジは低速度・高減衰を示すとした従来の研究とは逆のセンスである．得られた結果にもとづき，水が上盤側にほとんど放出されず，プレート境界の間隙水圧上昇に寄与する領域で低周波地震が多く発生するというモデルを提案した（図 3）．

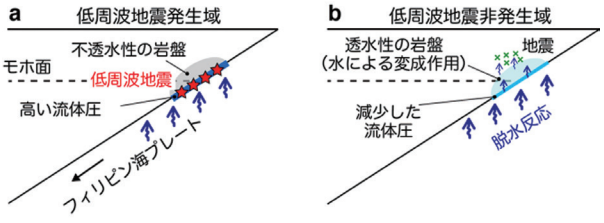


図 3　(a) 低周波地震発生域と (b) 非発生域における水移動の模式図．

4.3　スロースリップに伴う水の放出

茨城県南西部のフィリピン海プレート上部境界面およびその直上で発生している地震の解析から，プレート境界では繰り返し地震の活動が約 1 年周期で活発化すること，その活動と同期してプレート境界直上の地震波の減衰特性が大きくなること，さらにそれから数ヶ月遅れて浅い地震活動が活発化することが明らかになった[22]．繰り返し地震の活発化は，約 1 年周期で発生するプレート境界でのゆっくりすべりが原因であり，ゆっくりすべりに伴ってプレート境界の水が上盤に排出されることで地震波の減衰が大きくなり，また数ヶ月かけて浅部に上昇した水が上盤プレート内で地震を誘発すると考えると，地震活動および減衰構造の時空間変化を説明できる（図 4）．

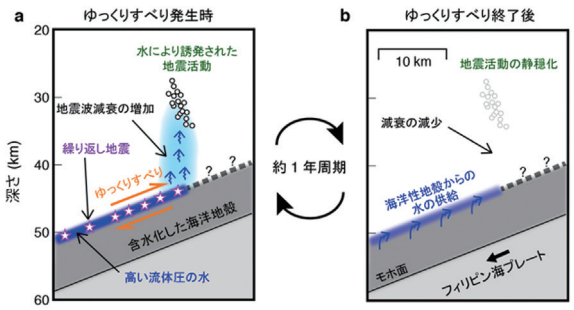


図 4　(a) ゆっくりすべり発生時と (b) ゆっくりすべり終了後の解釈図．

5．まとめ

最近 10 年間の研究により，内陸地震，地殻変形，プレート境界カップリングへの水の寄与やスロースリップに伴う流体の移動，断層や火山体下の地殻・マントルウエッジにおける流体分布をなどに関して新しい知見を得ることができた．今後も地震発生モデルの高度化に資する研究を進めていく予定である．

（小川　康雄・中島　淳一）

参考文献

1) Usui, Y., 2015. 3-D inversion of magnetotelluric data using unstructured tetrahedral elements: applicability to data affected by topography, Geophys. J. Int., 202, 828–849.

2) Usui, Y., Y. Ogawa, K. Aizawa, W. Kanda, T. Hashimoto, T. Koyama, Y. Yamaya, T. Kagiyama, 2017. Three-dimensional resistivity structure of Asama Volcano revealed by data-space magnetotelluric inversion using unstructured tetrahedral elements, Geophys. J. Int., 208, 1359–1372.

3) Usui, Y., T. Kasaya, Y. Ogawa, H. Iwamoto, 2018. Marine magnetotelluric inversion with an unstructured tetrahedral mesh, Geophys. J. Int., 214, 952–974.

4) Ogawa, Y., M. Ichiki, W. Kanda, M. Mishina, K. Asamori, 2014. Three-dimensional magnetotelluric imaging of crustal fluids and seismicity around Naruko volcano, NE Japan, Earth Planets, Space, 66:158.

5) Hill, G.J., H.M. Bibby, Y. Ogawa, E.L. Wallin, S.L. Bennie, T.G. Caldwell, H. Keys, E.A. Bertrand, W. Heise, 2015. Structure of the Tongariro Volcanic system: Insights from magnetotelluric imaging, Earth Planet. Sci. Lett., 432, 115–125.

6) Seki, K., W. Kanda, Y. Ogawa, T. Tanbo, T. Kobayashi, Y. Hino, H. Hase, 2015. Imaging the hydrothermal system beneath the Jigokudani valley, Tateyama volcano, Japan: implications for structures controlling repeated phreatic eruptions from an audio-frequency magnetotelluric survey, Earth Planets Space, 67:6.

7) Seki, K., W. Kanda, T. Tanbo, T. Ohba, Y. Ogawa, S. Takakura, K. Nogami, M. Ushioda, A. Suzuki, Z. Saito, Y. Matsunaga, 2016. Resistivity structure and geochemistry of the Jigokudani Valley hydrothermal system, Mt Tateyama, Japan, J. Volcanol. Geotherm.

Res., 325, 15–26.

8) Aizawa, K., H. Sumino, M. Uyeshima, Y. Yamaya, H. Hase, H.A. Takahashi, M. Takahashi, K. Kazahaya, M. Ohno, T. Rung-Arunwan, Y. Ogawa, 2016. Gas pathways and remotely triggered earthquakes beneath Mt. Fuji, Japan, Geology, 44, 127–130.

9) Yoshimura, R., Y. Ogawa, Y. Yukutake, W. Kanda, S. Komori, H. Hase, T. Goto, R. Honda, M. Harada, T. Yamazaki, M. Kakmo, S. Kawasaki, T. Higa, T. Suzuki, Y. Yasuda, M. Tani, Y. Usui, 2018. Resistivity characterization of Hakone volcano, Central Japan, by three-dimensional magnetotelluric inversion, Earth Planets Space, 70:668.

10) Ichihara, H., S. Sakanaka, M. Mishina, M. Uyeshima, T. Nishitani, Y. Ogawa, Y. Yamaya, T. Mogi, K. Amita, T. Miura, 2014. A 3-D electrical resistivity model beneath the focal zone of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake (M 7.2), Earth Planets, Space, 66:50.

11) Kanda, W., Ogawa, Y., 2014. Three-dimensional electromagnetic imaging of fluids and melts beneath the NE Japan arc revisited by using geomagnetic transfer function data, Earth Planets, Space, 66:39.

12) Ichiki, M., Y. Ogawa, T. Kaida, T. Koyama, M. Uyeshima, T. Demachi, S. Hirahara, Y. Honkura, W. Kanda, T. Kono, M. Matsushima, T. Nakayama, S. Suzuki, H. Toh, 2015. Electrical image of subduction zone beneath northeastern Japan, J. Geophys. Res., 120, 7937–7965.

13) Kaya, T., T. Kasaya, S. B. Tank, Y. Ogawa, M. K. Tuncer, N. Oshiman, Y. Honkura, M. Matsushima, 2013. Electrical characterization of the North Anatolian Fault zone in the Marmara Sea, Turkey by ocean Bottom electromagnetic method, Geophys. J. Int., 193, 664–677.

14) Heise, W., Caldwell, T. G., Bertrand, E. A., Hill, G. J., Bennie, S. L., Ogawa, Y., 2013. Changes in electrical resistivity track changes in tectonic plate coupling, Geophys. Res. Lett., 40, 5029–5033.

15) Heise, W., T. G. Caldwell, S. Bannister, E.A. Bertrand, Y. Ogawa, S.L. Bennie, H. Ichihara, 2017. Mapping subduction interface coupling using magnetotellurics: Hikurangi margin, New Zealand, Geophys. Res. Lett., 44, 9261–9266.

16) Heise, W., Y. Ogawa, E.A. Bertrand, T.G. Caldwell, R. Yoshimura, H. Ichihara, S.L. Bennie, K. Seki, Z. Saito, Y. Matsunaga, A. Suzuki, T. Kishita, Y. Kinoshita, 2019. Electrical resistivity imaging of the inter-plate coupling transition at the Hikurangi subduction margin, New Zealand, Earth Planet. Sci. Lett., 524, 115710.

17) Honkura, Y., Oshiman, N., Matsushima, M., Baris, S., Tunçer, M. K., Tank, S. B., Çelik, C., Çiftgi, E. T.,b 2013. Rapid changes in the electrical state of the 1999 Izmit earthquake rupture zone, Nature Communications, 4, 3116.

18) Honkura, Y., Y. Ogawa, M. Matsushima, S. Nagaoka, N. Ujihara, and T. Yamawaki, 2009. A model for observed circular polarized electric fields coincident with the passage of large seismic waves, J. Geophys. Res., 114, B10103.

19) Matsushima, M., Y. Honkura, M. Kuriki, Y. Ogawa, 2013. Circularly polarized electric fields associated with seismic waves generated by blasting, Geophys. J. Int., 194, 200–211.

20) Nakajima, J., and T. Matsuzawa, 2017. Anelastic properties beneath the Niigata-Kobe Tectonic Zone, Japan, Earth Planets Space, 69:33.

21) Nakajima, J., and A. Hasegawa, 2016. Tremor activity inhibited by well-drained conditions above a megathrust, Nature Communications, 7, 13863.

22) Nakajima, J., and N. Uchida, 2018. Repeated drainage from megathrusts during episodic slow slip, Nature Geoscience, 11, 351–356.

（8） 名古屋大学環境学研究科

1．はじめに

名古屋大学環境学研究科附属地震火山研究センターは，犬山地震観測所（設置 1965 年，以下同），高山地震観測所（1969 年），三河地殻変動観測所（1969 年），地震予知観測地域センター（1975 年）を 1999 年に統合・改組した地震火山地域観測センターを母体としている．当初は理学部附属施設であったが，2002 年に環境学研究科の附属施設になり，2003 年には地域防災分野を加えて，地震火山・防災研究センターとなった．

2012 年に全学組織として減災連携研究センターが設立された．これに伴い，地震火山・防災研究センターは地域防災分野を減災連携研究センターに移し，地震火山研究センターとなった．地震火山研究センターから専任教員 1 名が減災連携研究センターに異動したほか，複数名の教員が連携教員として関わっている．

2017 年には長野県・木曽町・王滝村の協力を得て御嶽山火山研究施設を開設した．

2．御嶽山火山研究施設の開設

2014 年に発生した御嶽山噴火は戦後最大の火山災害を引き起こした．この災害において，地元自治体と専門家との十分な連絡体制ができていなかった反省から，長野県や地元自治体が御嶽山地域への研究施設の必要性を強く希望した．それを受けて，名古屋大学は長野県・木曽町・王滝村の協力を得て 2017 年度に地震火山研究センター内の御嶽山火山防災研究寄附分野を設置し，その活動拠点として御嶽山火山研究施設を木曽町三岳支所内に開設した．現在は長野県の支援による研究スタッフが週末を中心に勤務しており，火山活動状況の把握と評価，住民・行政と連携した防災力向上に積極的に関与していく体制を整えた．

3．最近 10 年の観測網の変遷

最近 10 年で大学を取り巻く環境が大きく変わり，地震・地殻変動観測網を維持する予算が削減されている状況が続いている．これに伴い，観測網の維持管理や通信費等の合理化を実施してきたが，人員削減等もあり定常観測網の維持が困難になりつつある．名古屋大学では複数の定常地震観測施設，および地殻変動観測施設を廃止，あるいは他機関に移管するなどの対応を実施してきた．一方，御嶽山周辺の観測網を充実させるなどを実施し，観測網の「選択と集中」を模索する状況が続いている．

4．主な研究成果

ここでは最近 10 年の主な研究成果をプレート境界域，内陸域，海洋プレート域，火山域，および構造探査に分類して紹介する．

4.1　プレート境界域

4.1.1　海底地殻変動観測

名古屋大学では南海トラフ域，および琉球海溝域に海底地殻変動観測を展開しており，特に南海トラフ域では，フィリピン海プレート上にも海底局を設置することで，海溝軸を挟む海底地殻変動観測を実施している．紀伊半島沖の海底地殻変動観測の結果，海溝軸沿いの最も浅い領域のプレート間の固着率は約 70%と推定された [1,2]．

一方，西南日本の海底地殻変動観測と GEONET の観測結果を統合した地殻変動速度場を用いて，マルコフ連鎖モンテカルロ（MCMC）法を用いた内陸のブロック運動を考慮した解析手法を確立し，南海トラフ域の空間的に不均質なプレート間固着の分布を明らかにした [3]．また，琉球海溝域の海底地殻変動観測により沖縄本島の沖には強い固着領域が存在することを明らかにし，このセグメントは 1791 年の津波イベントの震源域と一致しているが，スロースリップイベントの活動地域と重複していないことを明らかにした [4]．

4.1.2　東海地方における精密制御震源システム

2006 年に岐阜県各務原市で稼働させていた精密制御震源装置を愛知県豊橋市の名古屋大学の三河観測所に移設し，稼働させている．このシステムによる東海地震震源域の固着状態のモニタリングの可能性を静岡大学，気象研究所とともに探っている．この研究の中で，約 10 年間の S 波速度の時間変化を調査したところ，2011 年東北地方太平洋沖地震（以下，2011 年東北沖地震）に伴う S 波速度のステップ的な低下（-0.01 ～ -0.04%），および，S 波速度の経年的な増加（0.002 ～ 0.008 %/year）が観測された．これらの S 波の速度変化は観測領域全体で観測されており，速度変化の方位依存性が存在することを明らかにした [5]．

4.1.3　2011 年東北地方太平洋沖地震

2011 年東北沖地震の地震時の GPS 変位データ，および海底地殻変動データから地震時のすべり分布を求め，宮城沖と福島沖の 2 つの地震間すべり欠損域にまたがるバイモーダルな地震のすべり分布を推定した．宮城沖のすべり欠損域での異常に大きな地震すべりは，基盤となる 300 km サイズのアスペリティの完全な破壊を示唆していることを明らかにした [6]．一方，地震波による解析では，2011 年の地震が過去に発生した M7-8 クラスの地震のアスペリティの連動であったことがわかった．また津波地震である明治三陸地震の震源域では，この地震

でも大きな地殻変動を伴って津波地震となったこともわかった[7]．

地震後には GEONET，および海底地殻変動観測により余効変動が観測された．太平洋プレートの沈み込み帯を 3 次元有限要素法によって表現し，粘弾性応答を含むグリーン関数を用いて，観測された地殻変動時系列データから余効すべりの時空間発展を推定した．2011 年東北沖地震時のすべり域と余効すべり域とは相補的な関係にあることを示した[8]．

一方，東北地方の太平洋沿岸では地震間に地盤沈下が観測されており，2011 年東北沖地震では 1m を超える地盤沈下が生じた．一方，地形学的証拠は，同じ地域で長期的にわずかに隆起していることを示している．この逆説的な上下変動履歴を解釈するために，地震サイクルを考慮した変形モデルを構築した．その結果，アセノスフェアの粘性緩和が地震サイクルの地殻変動パターンに大きく影響し，地震の発生間隔がアセノスフェアの粘性緩和時間よりも長い場合，地震間の変形パターンの時間変化が顕著になることを示した．地震サイクル内の粘弾性応答による不均一な上下変動の変化が，東北日本の不可解な上下変動の原因である可能性を示した[9]．

4.1.4　プレート間の衝突

プレート収束境界では，プレートの衝突とプレート境界面に沿った断層運動によって，プレート間の収束運動が吸収される．プレートの衝突は，プレート内部に応力場を生成することから，プレート内部の応力場のパターンから衝突速度分布を推定する手法を開発し，伊豆半島に適用した．その結果，高い衝突率の帯が伊豆半島の衝突部を取り囲んでおり，中央の衝突帯は，伊豆 - 小笠原島弧の衝突前線と一致していることから推定した衝突率分布がプレートの衝突プロセスを説明していることを示した[10]．

4.2　内陸域

4.2.1　地形効果による地殻応力

岐阜県阿寺断層地域での水圧破砕試験から推定された応力は，断層運動と一致していない．地形荷重による応力を数値計算により求めたところ，最大圧縮応力方向は，水圧破砕深度での測定と一致した．この結果は，浅い深さでの地殻応力に対する地形効果の重要性を示し，水圧破砕から得られた応力が主に地形効果を反映していることを示した[11]．

4.2.2　横ずれ断層の成長過程のシミュレーション

垂直な横ずれ断層形成の初期の段階では，地殻と上部マントルの変形は均質で単純な剪断応力によって支配される．断層が成長するに伴い，下部地殻の剪断応力が局所化し，塑性流動に起因する抵抗により，地震の発生間隔は 1 桁減少する．断層が下部地殻まで完全に発達した後は，断層すべりは断層の相対運動速度に追いつき，地震は周期的に発生し，最初から数十万年で定常状態になる．このモデルは，プレート内の横ずれ断層周辺の応力の進化を再現し，下部地殻の局所的なせん断帯の発達とその相互作用を明らかにし，プレート内地震とレオロジー構造との相互作用の重要性を示した[12]．

4.2.3　歪み集中帯における非弾性変形の重要性

2011 年東北沖地震の地震前，地震時，および地震後の期間の GNSS 解析に基づくひずみ分析によりひずみ集中帯の非弾性プロセスの評価を行った．地震時の東西方向のひずみは弾性伸長を示すが，40 ～ 60 km 幅の短波長成分の局所的な収縮は，地震の前後でも持続しており，非弾性プロセスが持続していることを示した[13]．また，局所的な変形の振幅と水平方向の位置の違いは，地震の前後で異なる変形様式であるとこと示唆している．この変形様式は，上部地殻と下部地殻の一部を切断する断層，および断層の上に位置する幅 40 ～ 60 km の弱い弾性領域によって説明可能であり，ひずみ集中帯の変形機構には弾性と非弾性の両方が不可欠であることを示した[14]．

4.2.4　地震の発生メカニズムと間隙流体の役割

地震のメカニズム解から間隙流体圧場を推定する地震メカニズムトモグラフィー法を開発した[15]．本手法をスイス・バーゼル地熱貯留層で誘発された地震活動に適用し，注水実験に応じた間隙流体圧の時空間変動を推定した．その結果，多くの地震は間隙流体圧の上昇によって引き起こされていることがわかった．これは，断層強度の低下が誘発地震の主な原因であることを示唆し，これまでの理論的考察をデータ解析により実証した[16]．また，同手法のアイデアを使って，2011 年東北沖地震の誘発地震に間隙流体圧の上昇が関与していることを示した[17]．さらに，同手法を御嶽山麓で発生する群発地震活動にも適用し[18]，地震の発生メカニズムと間隙流体の役割について調査した．

4.2.5　絶対応力場の推定

間隙水圧をパラメータとして，地震の震源メカニズム解から 3 次元の絶対応力場を推定する手法を開発した．本手法を南カリフォルニアのメカニズム解カタログに適用し，1992 年ランダース地震の直前の絶対応力場を推定した．その結果，南カリフォルニアの内陸地殻は岩石の標準状態にあり，深さ 5 km および 10 km の最大剪断応力はそれぞれ 44 ± 15MPa および 79 ± 24 MPa と見積もられた[19]．

4.2.6　明治 22 年熊本地震の震度分布

地球科学的観測が始まる前に発生した熊本地震（1889 年 7 月 28 日；M ＝ 6.3）について，地方史や郷土史，

新聞等から被害情報を抽出し，この地震の詳細な震度分布を求めた．現在の表層地盤増幅率（J-shis）と比較すると，地盤の悪い場所にある構造物被害が大きいこと，当時の集落は地盤のよいところに位置していたことなどがわかった．現在の集落は地盤の悪い地域にまで広がっており，当時は被害が小さかった地域でも今後は大きな被害出る可能性があることを示した [20]．

4.2.7　スマトラ島の GNSS 観測網（AGNeSS）

2005 年にスマトラ島の北西部に GNSS 観測網（AGNeSS）を構築し，観測された 2004 年スマトラ－アンダマン地震の余効変動から，粘弾性緩和を考慮した余効すべりを推定した．最適なレオロジー構造を推定して，余効すべり分布を推定した結果，地震のすべり分布と余効すべり分布は互いに補完的であることを明らかにした [21]．一方，スマトラ島の内陸部にはスマトラ断層が存在しており，地震の発生が危惧されていることから，AGNeSS によりスマトラ断層沿いの地震発生ポテンシャルの評価を行った．解析の結果，スマトラ断層の北部地域にてクリープセグメントと固着セグメントが推定され，空間的に不均質な固着状態であることを示し，特に固着セグメントではマグニチュード 7.0 クラスの地震が発生する可能性を指摘した [22]．

4.3　海洋プレート域

4.3.1　非線形レオロジーモデル

AGNeSS によって 2012 年インド洋地震発生後の 2 ヶ月間に急激な変動が生じ，その後に緩やかな推移する余効変動パターンを観測した．この変動パターンを説明するために，不均質構造を考慮した非線形レオロジーの 3 次元有限要素モデルを構築して，応力駆動型の余効すべりモデルと組み合わせて解析した．その結果，地震後の急速な余効変動を再現するためには非線形レオロジーが必要不可欠であることを示した [23]．

4.3.2　海洋プレート内地震とプレートの熱収縮

海洋リソスフェアの年齢に対する海洋プレート内地震の b 値の正の相関を発見した．最も若い（10 Ma 未満）海洋リソスフェアの b 値は約 1.0 であるが，中～古い（> 20 Ma）海洋リソスフェアは 1.5 を超える．この b 値のプレート年齢依存性は温度構造ではなく，ひずみ速度と相関があることを明らかにした [24]．また，海洋プレート内地震と数値シミュレーションによる海洋プレート内の応力解放の解析により，若い海洋リソスフェア（5 ～ 15 Ma）の水平方向の熱収縮について調査した．水平方向の応力解放割合に大きな不均質があることを発見した．これは海洋リソスフェアの熱応力に関する進化の数値シミュレーションと整合的であり，海洋リソスフェアの底面に働く抵抗力が 0.44 MPa 未満である可能性を指摘した [25]．

4.4　火山域

4.4.1　2014 年御嶽山噴火直前の変化

2014 年御嶽山水蒸気噴火前の地震活動は主に 2014 年 8 月から 9 月に浅い火山性地震と長周期地震が発生しており，震源の再決定を行った．その結果，地震は NNW–SSE の方向に垂直に整列し，マグマ - 熱水の流体の通り道で発生したことを示唆した [26]．一方，長周期地震は噴火開始 25 秒前に発生し，噴火口から 300 ～ 1000 m の深さでの垂直クラック亀裂による変動によって発生したと推定された．この亀裂の方向は，地震の分布と一致しており，深部から地表へのガスの上昇により噴火の直前に開かれた既存の断層で発生したと解釈できる [27]．さらに，噴火開始 7 分半前から始まる傾斜変動の解析により，深部からの熱供給による地下水の沸騰や減圧によって生じる水の沸騰と解釈できる波形の特徴が抽出できた．このことから，流体が上方に移動する際に浸透率バリアを破壊して，噴火につながったと解釈できる [28]．また，火山直下の局所応力の変化から，火山活動をモニターする手法を検討した [29]．

4.4.2　箱根山における S 波スプリッティング解析

箱根火山で発生した 2009 年群発地震の震源域周辺で S 波スプリッティング解析を実施した．その結果，群発地震の断層走向に対して平行に整列したクラックと 3.5%～ 5.9%のクラック密度の空間不均質があると推定した．これは，既存のクラック密度の高い領域に地殻流体が選択的に注入され，その結果群発地震が引き起こされたと考えられる [30]．

4.4.3　桜島における精密制御震源システム

桜島に精密制御震源システムを設置し，火山における連続モニタリングを 2012 年から実施している．信号は震源システムから 28 km の地点でも検出され，桜島火山周辺の信号の振幅減衰特性を明らかにした [31]．また，桜島の火山活動に関係して，伝達関数の後続波のエネルギーの減少が確認されている．この後続波のエネルギーの減少は噴火活動に対応し，火山活動に伴う地下構造変化によって引き起こされたと考えられる [32]．

4.5　構造探査

4.5.1　自然地震による構造探査

濃尾平野の地震観測点で得られた自然地震の強震記録に自己相関解析とレシーバー関数解析を適用し，地下構造を推定した．推定された地下構造は既存の 3 次元速度構造モデルや速度モデルと比較して，局所的な構造の特徴および全体的な地下構造に関して良好な一致を示した [33]．

4.5.2　電磁気観測による構造探査

御嶽山の群発地震発生域で 2017 年 6 月 25 日に M5.6

地震が発生した．余震地域周辺で MT 観測を実施し，3 次元比抵抗地下構造を推定した．その結果，2 箇所の導電性領域が推定され，余震域はこれら 2 つの導電性領域の間の非導電性領域に位置している．この特徴は不均一性な岩石，温度，間隙流体分布と関連性を示している可能性があり，比抵抗構造の調査は，潜在的な地震の規模の推定とリスクの評価に貢献する可能性があることを指摘した [34]．

4.5.3　海洋潮汐応答を利用した構造探査

海洋潮汐応答を GNSS 観測網により観測し，解析することで，地下構造を推定する手法を開発した．本手法を北アメリカ大陸西部地域に設置されている 702 点の GNSS 観測網に適用し，アセノスフェアが周囲よりも 50kg/m^3 程度低い密度であることを定量的に示した [35]．

5．おわりに

この 10 年間に，1 名の教員の転出，2 名の教員と 1 名の技術職員の定年退職を迎えた．一方で，新たに 3 名の教員が着任し，当センターの研究分野が大幅に広がった．次の 10 年はこれらの新たな研究分野と既存の研究分野をうまく融合し大きな成果に繋げることを期待してやまない．

（伊藤　武男）

参考文献

1) Tadokoro, K., R. Ikuta, T. Watanabe, M. Ando, T. Okuda, S. Nagai, K. Yasuda, and T. Sakata, 2012, Interseismic seafloor crustal deformation immediately above the source region of anticipated megathrust earthquake along the Nankai Trough, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L10306, doi:10.1029/2012GL051696.
2) Yasuda, K., K. Tadokoro, S. Taniguchi, H. Kimura, and K. Matsuhiro, 2017, Interplate locking condition derived from seafloor geodetic observation in the shallowest subduction segment at the Central Nankai Trough, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, **44**, 3572-3579, doi:10.1002/2017GL072918.
3) Kimura, H., K. Tadokoro, and T. Ito, 2019, Interplate Coupling Distribution along the Nankai Trough in Southwest Japan estimated from the Block Motion Model based on Onshore GNSS and Seafloor GNSS/A Observations, *J. Geophys. Res.*, **124**, 6140-6164, doi:10.1029/2018JB016159.
4) Tadokoro, K., M. Nakamura, M. Ando, H. Kimura, T. Watanabe, and K. Matsuhiro, 2018, Interplate Coupling State at the Nansei-Shoto（Ryukyu）Trench, Japan, Deduced From Seafloor Crustal Deformation Measurements, *Geophys. Res. Lett.*, **45**, 14, 6869-6877, doi:10.1029/2018GL078655.
5) Tsuji S., K. Yamaoka, R. Ikuta, T. Kunitomo, T. Watanabe, Y. Yoshida, and A. Katsumata, 2018, Secular and coseismic changes in S-wave velocity detected using ACROSS in the Tokai region, *Earth Planets and Space*, **70**, 146, doi:10.1186/s40623-018-0917-2.
6) Hashimoto, C., A. Noda, and M. Matsu' ura, 2012, The Mw 9.0 northeast Japan earthquake: total rupture of a basement asperity, *Geophys. J. Int.*, **189**, 1-5, doi:10.1111/j.1365-246X.2011.05368.x.
7) 山中佳子，2012，東北地方太平洋沖地震の震源課程から見えた課題，地震学会，A22-06.
8) Ito, T., S. Suzuki, K. Sato, and M. Hyodo, 2018, Spatio-temporal afterslip distribution following the 2011 Tohoku-Oki earthquake using 3D viscoelastic green' s functions, *AIP Conference Proceedings*, **1987**, 020056, doi:10.1063/1.5047341.
9) Sagiya, T., 2015, Paradoxical Vertical Crustal Movement Along the Pacific Coast of Northeast Japan, *International Symposium on GENAH*, **145**, 73-78, doi:10.1007/1345_2015_189.
10) Hashimoto, C. and T. Terakawa, 2018, Stress data inversion to estimate collision rate distribution and its application to the Izu Peninsula, Japan, *Tectonophysics*, **744**, 47-57, doi:10.1016/j.tecto.2018.06.001.
11) Kumagai, K. and T. Sagiya, 2018, Topographic effects on crustal stress around the Atera Fault, central Japan, *Earth Planets and Space*, **70**, 186, doi:10.1186/s40623-018-0961-y.
12) Zhang, X. and T. Sagiya, 2018, Intraplate strike-slip faulting, stress accumulation, and shear localization of a crust-upper mantle system with nonlinear viscoelastic material, *J. Geophy. Res.*, **123**, doi:10.1029/2018JB016421.
13) Meneses-Gutierrez, A., and T. Sagiya, 2016, Persistent inelastic deformation in central Japan revealed by GPS observation before and after the Tohoku-oki earthquake, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **450**, 366-371, doi:10.1016/j.epsl.2016.06.055.
14) Meneses-Gutierrez, A., T. Sagiya, and S. Sekine, 2018, Crustal deformation process in the Mid-Niigata region of the Niigata-Kobe Tectonic Zone as observed by dense GPS network before, during and

after the Tohoku-oki earthquake, *J. Geophys. Res.*, **123**, 7, doi:10.1029/2018JB015567.

15) Terakawa, T., A. Zoporowski, B. Galvan, and S.A. Miller, 2010, High pressure fluid at hypo-central depths in the L' Aquila region inferred from earthquake focal mechanisms., *Geology*, **38**, 11, 995-998, doi:10.1130/G31457.1.

16) Terakawa, T., 2014, Evolution of pore fluid pressures in a stimulated geothermal reservoir inferred from earthquake focal mechanisms, *Geophys. Res. Lett.*, **41**, 21, 7468-7476, doi:10.1002/2014GL061908.

17) Terakawa, T., C. Hashimoto, and M. Matsu' ura, 2013, Changes in Seismic Activity Following the 2011 Tohoku-oki Earthquake: Effects of Pore Fluid Pressure, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **365**, 1, 17-24, doi:10.1016/j.epsl.2013.01.017.

18) Terakawa, T., Y. Yamanaka, H. Nakamichi, T. Watanabe, F. Yamazaki, S. Horikawa, and T. Okuda, 2013, Effects of pore fluid pressure and tectonic stress on diverse seismic activities around the Mt. Ontake volcano, central Japan, *Tectonophysics*, **608**, 138-148, doi:10.1016/j.tecto.2013.10.005.

19) Terakawa, T. and E. Hauksson, 2018, Absolute Stress Fields in the Source Region of the 1992 Landers Earthquake, *J. Geophys. Res.*, **123**, 10, 8874-8890, doi: 10.1029/2018JB015765.

20) 山中佳子, 新井田倫子 , 2018, 明治 22 年熊本地震の詳細震度分布 , 地震 2, **70**, 233-248, doi:10.4294/zisin.2017-7.

21) Gunawan, E., T. Sagiya, T. Ito, F. Kimata, T. Tabei, Y. Ohta, I. Meilano, H. Z. Abidin, Agustan, I. Nurdin, and D. Sugiyanto, 2014, A comprehensive model of postseismic deformation of the 2004 Sumatra–Andaman earthquake deduced from GPS observations in northern Sumatra, *J. Asian Earth Sci.*, **88**, 218-229, doi:10.1016/j.jseaes.2014.03.016.

22) Ito, T., E. Gunawan, F. Kimata, T. Tabei, M. Simons, I. Meilano, Agustan, Y. Ohta, I. Nurdin, and D. Sugiyanto, 2012, Isolating along-strike variations in the depth extent of shallow creep and fault locking on the northern Great Sumatran Fault, *J. Geophys. Res.*, **117**, B06409, doi:10.1029/2011JB008940.

23) Pratama, C., T. Ito, R. Sasajima, T. Tabei, F. Kimata, E. Gunawan, Y. Ohta, T. Yamashina, N. Ismail, I. Nurdin, D. Sugiyanto, U. Muksin, I. Meilano, 2017, Transient rheology of the oceanic asthenosphere following the 2012 Indian Ocean Earthquake inferred from geodetic data, *J. Asian Earth sci.*, **147**, 50-59, doi:10.1016/j.jseaes.2017.07.049.

24) Sasajima, R., and T. Ito, 2016, Strain rate dependency of oceanic intraplate earthquake b-values at extremely low strain rates, *J. Geophy. Res.*, **121**, 6, 4523-4537, doi:10.1002/2016JB013221.

25) Sasajima, R., and T. Ito, 2017, Anisotropic horizontal thermal contraction of young oceanic lithosphere inferred from stress release due to oceanic intraplate earthquakes, *Tectonics*, **36**, 1988-2021, doi:10.1002/2017TC004680.

26) Kato, A., T. Terakawa, Y. Yamanaka, Y. Maeda, S. Horikawa, K. Matsuhiro, and T. Okuda, 2015, Preparatory and precursory processes leading up to the 2014 phreatic eruption of Mount Ontake, Japan, *Earth Planets and Space*, **67**, 111, doi:10.1186/s40623-015-0288-x.

27) Maeda, Y., A. Kato, T. Terakawa, Y. Yamanaka, S. Horikawa, K. Matsuhiro, T. Okuda, 2015, Source mechanism of a VLP event immediately before the 2014 eruption of Mt. Ontake, Japan, *Earth Planets and Space*, **67**, 187, doi:10.1186/s40623-015-0358-0.

28) Maeda, Y., A. Kato, Y. Yamanaka, 2017, Modeling the dynamics of a phreatic eruption based on a tilt observation: Barrier breakage leading to the 2014 eruption of Mount Ontake, Japan, *J. Geophys. Res.*, **122**, 2, 1007-1024, doi:10.1002/2016JB013739.

29) Terakawa, T., A. Kato, Y. Yamanaka, Y. Maeda, S. Horikawa, K. Matsuhiro, T. Okuda, 2016, Monitoring eruption activity using temporal stress changes at Mount Ontake volcano, *Nature Communications*, **7**, 10797, doi:10.1038/ncomms10797.

30) Nihara, Y., K. Tadokoro, Y. Yukutake, R. Honda, and H. Ito, 2013, Spatial distribution of crack structure in the focal area of a volcanic earthquake swarm at the Hakone volcano, Japan, *Earth Planet and Space*, **65**, 1, 51-55, doi:10.5047/eps.2012.05.005.

31) Yamaoka, K., H. Miyamachi, T. Watanabe, T. Kunitomo, T. Michishita, R. Ikuta, and M. Iguchi, 2014, Active monitoring at an active volcano: amplitude-distance dependence of ACROSS at Sakurajima Volcano, Japan, *Earth Planets and Space*,

66, 32, doi:10.1186/1880-5981-66-32.

32) Maeda, Y., K. Yamaoka, H. Miyamachi, T. Watanabe, T. Kunitomo, R. Ikuta, H. Yakiwara, and M. Iguchi, 2015, A subsurface structure change associated with the eruptive activity at Sakurajima Volcano, Japan, inferred from an accurately controlled source, *Geophys. Res. Lett.*, **42**, 13, 5179-5186, doi:10.1002/2015GL064351.

33) Watanabe, T., H. Shimizu, J. Tobita, S. Abe, and K. Shiraishi, 2011, Imaging basement structure beneath the Noubi Plain, central Japan using strong motion records of natural earthquakes, *Proceedings of the 10th SEGJ International Symposium -Imaging and Interpretation-*, 96-99, doi:10.1190/segj102011-001.24.

34) Ichihara, H., J. Kanehiro, T. Mogi, K. Yamaoka, N. Tada, E. A. Bertrand, and M. Adachi, 2018, A 3D electrical resistivity model around the focal zone of the 2017 southern Nagano Prefecture earthquake (M-JMA 5.6) : implications for relationship between seismicity and crustal heterogeneity, *Earth Planets and Space*, **70**, 182, doi:10.1186/s40623-018-0950-1.

35) Ito, T., and M. Simons, 2011, Probing asthenospheric density, temperature and elastic moduli below the Western United States, Science, **322**, 6032, 947-951, doi:10.1126/science.1202584.

（9） 京都大学大学院理学研究科・防災研究所

①理学研究科

海溝型巨大地震の長期予測を目指して，岩石実験から得られた速度・状態依存摩擦則に基づく，地震サイクルシミュレーション研究を行った．断層領域を N 個の小断層に分割して計算を行うが，計算時間およびメモリーは *O(N2)* を要する．南海トラフや日本海溝での巨大地震では N が 10^4 ～ 10^6 となる超大規模計算となり地球シミュレーター等のスパコンでしか計算が出来なかった．そこで階層化行列法を初めて地震サイクルミュレーションに適用し，計算時間を *O(NlogN)*，メモリーを *O(N)* に低減することに成功し，大学の大型計算機センターでの現実的な巨大地震サイクル計算を可能にした [1]．

2011 年東北地方太平洋沖地震に関する研究では，階層アスペリティモデルを構築し，上記手法を用いた地震サイクルサイクル計算を行った [2]．また，粘弾性を考慮した陸域 GNSS および海域の GNSS/A データのインバージョン解析により，余効すべりの時空間発展を求めた [3]．

これまで，上記のように物理モデルに基づくシミュレーション研究と観測データの運動学的インバージョン解析は独立に行われてきたが，大気海洋分野で開発された両者を融合するデータ同化手法を用いて，余効すべりと長期的スロースリップ GNSS データを解析し，摩擦パラメータ推定およびすべりの発展予測を行う 2 手法の開発を行った．一つは，アジョイント法による解析で，2003 年十勝沖地震の余効変動をデータとして摩擦パラメータと余効すべりを推定した [4]．もう一つは，アンサンブルカルマンフィルター法による解析で，八重山および日向灘で繰り返し発生するスロースリップデータを対象に開発を行った．スロースリップに関しては，現在は双子数値実験の手法開発段階であるが，GNSS データを用いた実データ解析が期待される．

また，南海トラフ巨大地震発生前 50 年から地震後 20 年間に西南日本内陸で地震活動が活発化することが知られているが，その物理機構は不明であった．東西圧縮，フィリピン海プレートの沈み込みによるローディングおよび南海トラフ地震による地震時および粘弾性余効変動による応力変動をソースとして，各内陸活断層におけるクーロン破壊関数の時間変動（Δ CFF）を計算したところ，多くの活断層で地震発生直前に Δ CFF がピークに達していることが分かった [5]．このように，今後不均質粘弾性モデルの導入等により，西南日本内陸活断層における地震発生予測に貢献するモデル構築が期待される．

地下トンネルを利用した地殻変動連続観測として六甲高雄観測室（神戸市）では埋設型歪計，伸縮計等による観測を継続している．断層破砕帯を貫く同観測点では地下水流動の観測も拡充させつつあり，地震間の断層破砕帯の挙動に関する研究が行われている．湧水量変化と間隙水圧変化を組み合わせることで，2011 年東北地方太平洋沖地震等による地震動によって断層破砕帯の透水性構造が変化することを明らかにした [6]．

②防災研究所

1．近畿地方中北部の異常地殻活動

大阪府北部から京都府中部，琵琶湖西岸にかけての北摂・丹波山地は，微小地震活動の活発な地域である．いわゆる近畿三角帯の西縁に位置し，また新潟神戸歪集中帯の一翼を担う場所にあたる．北摂・丹波山地内には西山断層，亀岡断層，三峠断層，花折断層など多くの活断層が存在するが，微小地震分布はこれら特定の活断層に沿うのではなく，むしろ小さなクラスターを形成しながら面的にやや広域に広がっており，過去の大地震の余震活動とは考えにくい．有馬高槻構造線を境にして南北で地震活動の様相は対照的で，北側の北摂・丹波山地の活発な活動に対して，南側の大阪平野での活動は極めて低調である．

丹波山地の地震活動の大きな特徴は，地震活動が極めて定常的であることである．積算の地震発生数は時間とともに「右肩上がり」の直線を示す．M3 ～ 5 中規模地震が多数の余震をともなって発生した場合は積算曲線に段差を生じるが，北摂・丹波山地全体を長期にわたって見た場合その影響は少ない．大きな例外として，1995 年 1 月に兵庫県南部地震（M7.3）が発生すると，その震源域に隣接する北摂・丹波山地の地震活動はそれ以前の数倍活発化したが，兵庫県南部地震前後の期間に分けて見ると積算発生数は各々ほぼ一直線を描く．兵庫県南部地震後の活発化した活動も通常の余震活動のような急激な減衰はみられず，ほぼ定常的に高い発生レートを維持してきた．

ところが，2003 年 1 月末ごろ微小地震発生数は突然それ以前の約 7 割に低下し 7），その後静穏状態は長期にわたり一定の低レートを維持して継続していた．また，微小地震活動の変化とほぼ同期して，近畿地方各地に設置した伸縮計（阿武山，屯鶴峯，天ケ瀬，逢坂山）のデータにもトレンド変化が現れた．1946 年南海地震や 1995 年兵庫県南部地震前の時期にこの地域の地震活動が低下したことが知られており，兵庫県南部地震前には伸縮計などの地殻歪変化が現れていたという報告もあった．これらの活動変化の原因は分からないが，中期的には非常に安定している北摂・丹波山地の地殻活動は，周辺の広域応力場の変化に敏感に反応する側面も持ち合わせ

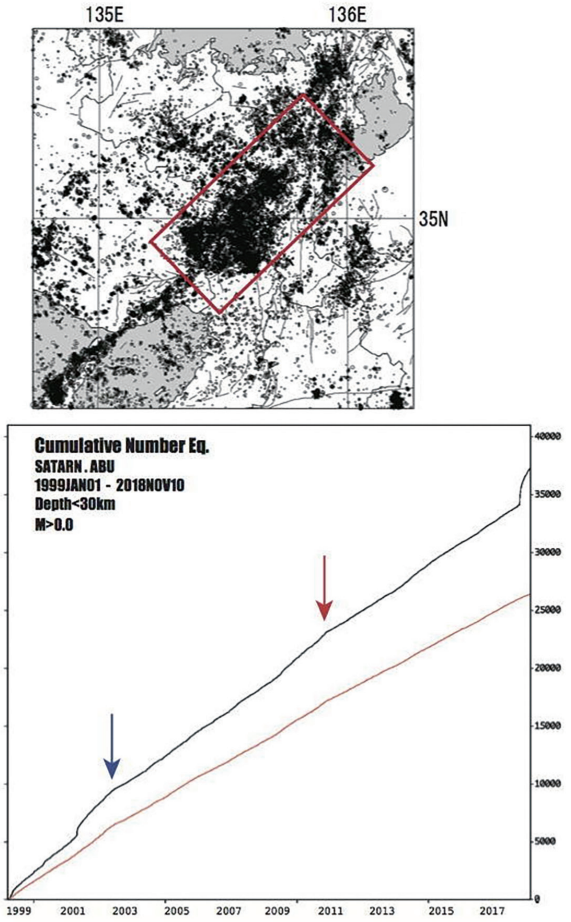


図 1　上に示す近畿地方北部の矩形範囲内における積算地震発生数．1999 年 1 月～ 2018 年 11 月 10 日．30km 以浅．京都大学防災研究所地震予知研究センターによる．青矢印は北摂・丹波山地の静穏化が始まった 2003 年初頭の時期を，赤矢印は東北地方太平洋沖地震前にさらに発生レートが低下した時期を示す．赤線は Reasenberg[9] の方法で除群したカタログに基づく積算発生数．

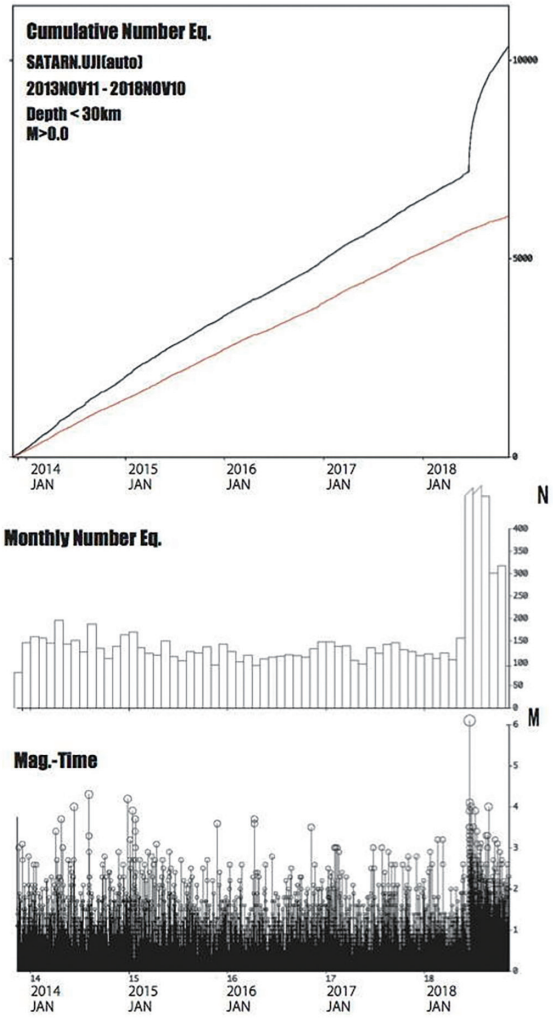


図 2　（上）図 1 の上に示す近畿地方北部の矩形範囲内における積算地震発生数．京都大学防災研究所地震予知研究センターによる．赤線は Reasenberg[9] の方法で除群したものの積算数．2013 年 11 月 11 日～ 2018 年 11 月 10 日，30km 以浅．（中）同範囲内での月別地震発生数．（下）同じく気象庁一元化震源に基づく MT 図．

ているのかもしれない．それらを踏まえて．2003 年の静穏化以降の地殻活動変化に注目し，その推移を地震予知連絡会にも毎回報告を行っていた [7]．

その後，2011 年 1 月末になって，さらに微小地震発生数が減少し，2003 年以来最低のレートを記録している．2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震前後にはとくにレートに変化は見られなかったが，2011 年 2 月以降この低いレート（図 1 の矩形範囲内で約 1400 events/year）が維持されている [8]．この間，北摂・丹波山地およびその周辺では，特筆すべき中規模以上の地震は発生していなかった．2018 年 6 月 18 日の大阪府北部の地震（M6.1）は，従来の「北摂・丹波山地」の微小地震活動域の南限である有馬高槻構造線よりさらに南側の大阪平野側で発生した．余震域の北半部は北摂・丹波山地の従来からの活動域と重なっているが，除群（decluster）操作で余震を取り除いた積算発生数には，その前後でほとんどレートの変化は見られなかった．

2．西南日本の地殻変動のモデル化

京都大学防災研究所では，1990 年代から GNSS 連続観測を開始し，最近 10 年間においても近畿地方，山陰地方，中部地方北部及び九州東部地方（宮崎県）を中心に，内陸のひずみ集中帯や南海トラフ・南西諸島海溝沿いのプレート間相互作用の観測を目的とした GNSS 連続観測網を展開している．これらの観測点と国土地理院の GEONET 等の観測データを合わせて解析することにより，西南日本の詳細な地殻変動場と変動メカニズムを明らかにする研究を続けている．

2.1　南海トラフ沿いのプレート間カップリング

東北地方大洋沖地震前の比較的静穏な時期（2005 年～ 2009 年）の西南日本の地殻変動場（図 3）は，北西～西北西向きの変動速度が太平洋側ほど大きくなっており，このデータから南海トラフから沈み込むフィリピン

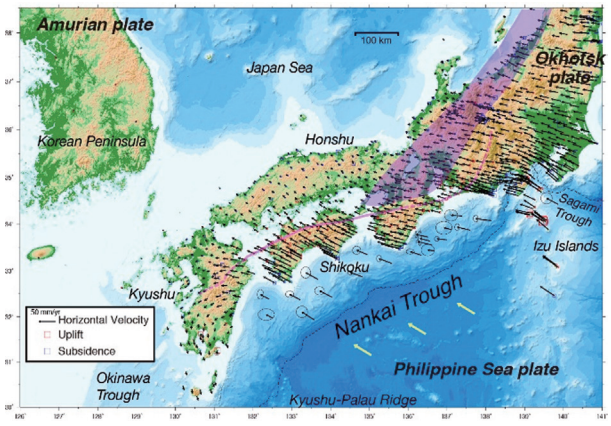


図 3　GNSS と GNSS-A による西南日本の地殻変動速度場（Nishimura et al., 2018）[13]．速度推定に用いたデータ期間は，陸上の GNSS 観測点が 2005 年 4 月 -2009 年 12 月，海底の GNSS-A 観測点は 2004 年 -2016 年．海底観測点のデータに含まれる東北地方太平洋沖地震の地震時・地震後地殻変動は補正により除去している．紫の網掛け領域は新潟―神戸ひずみ集中帯（Sagiya et al., 2000）[11]．

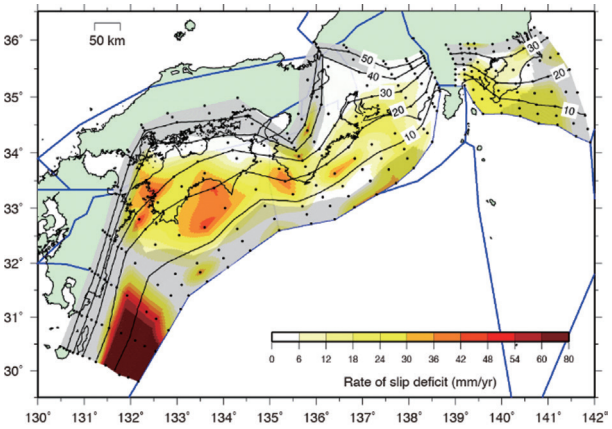


図 4　海陸地殻変動データから推定された南海トラフ及び相模トラフ沿いのすべり欠損速度（Nishimura et al., 2018）[13]．網掛けの領域は推定誤差が 20mm/yr 以上の誤差が大きな領域．10 から 50 までのラベル付き等値線はプレート境界面の深さを表す．

海プレートと陸側プレートの間の固着（プレート間カップリング）分布を推定する研究が多数行われてきた．特に近年は海底での地殻変動観測データ速度を用いることにより，従来の陸上観測データでは解像できなかった沖合の固着分布の不均質性が明らかになった（例えば，Yokota et al., 2016）[10]．一方，陸側プレート内の南海トラフから比較的離れた内陸部や日本海側でもひずみ集中帯と呼ばれる変動速度の急変帯があることが明らかになっており，図 3 でも新潟－神戸ひずみ集中帯（Sagiya et al., 2000）[11]を挟んで東西方向の変位速度は大きく異なっている．このような変動を考慮しないでプレート間の固着分布を推定すると，得られた固着分布に系統的誤差をもたらず原因となる（例えば，Nishimura and Hashimoto, 2006）[12]．そこで，Nishimura et al.（2018）[13]は，東北地方太平洋沖地震発生前で大地震や長期的スロースリップイベント（SSE）がほとんど発生していなかった 2005 年 4 月から 2009 年の GNSS データと 2004-2016 年の GNSS 音響測距結合方式海底地殻変動観測（GNSS-A）データを用いて，陸側プレートを 11 個，海洋プレートを 3 個のブロック（マイクロプレート）に分割し，個々のブロックの剛体回転運動とブロック間の断層における固着分布の推定を行った．推定された南海トラフ及び相模トラフから沈み込むフィリピン海プレートと陸側プレートの間の固着をすべり欠損速度で表した分布を図 4 に示す．すべり欠損速度の大きい場所は，土佐湾や紀伊半島の沖合に存在する．これらは 1944 年東南海地震や 1946 年南海地震でのすべり量の大きな場所（Sagiya and Thatcher, 1999）[14]に概ね対応しており，現在これらの場所が強く固着していて，次の地震へ向けてひずみを蓄積していることがわかった．なお，豊後水道のすべり欠損速度の大きな場所は，長期的 SSE 発生領域に対応しており，SSE の発生領域でも SSE の非発生時は強く固着していることを示している．一方，南九州から種子島の沖合でも大きなすべり欠損速度が推定されたが，この領域ではすべり欠損の推定誤差が大きく，陸域の地殻変動データにも顕著な短縮変形は見られないため，系統誤差である可能性が疑われる．しかし，日向灘南部には海底地殻変動の観測点がなく，陸上データだけから固着の有無を決めることはできない．南海トラフと日向灘以南の南西諸島海溝沿いの地震の連動の可能性やこの地域で発生するスロー地震に伴うすべりを明らかにするために，この地域における海底観測の強化が望まれる．

2.2　内陸のひずみ集中帯

西村（2017）[15]は，Nishimura et al.（2018）[13]のすべり欠損速度分布とほぼ同じモデルを用いて，陸域の GNSS 速度場からプレート境界の固着による弾性変形を除去し，内陸部のひずみ速度の不均質性を明瞭に示した．また，内陸のひずみ速度分布と活断層や内陸地震の震央分布を比較して，それらの関係性を議論した（図 5）．西日本においては，ひずみ速度の大きな場所は概ね主要活断層と対応しているが，活断層周辺でもひずみ速度が比較的小さい地域や山陰地方や九州南部のように主要な活断層がなくてもひずみ速度の大きな地域もある．1923 年以降の M6 以上の地殻内の大地震の多くは，ひずみ速度の大きな場所で発生しており，近年の内陸被害地震（例えば，2016 年熊本地震（M7.3），2016 年鳥取県中部地震（M6.6），2018 年大阪府北部の地震（M6.1）など）も同じ傾向があることから，ひずみ速度の大きな場所は内陸地震が多発する「ひずみ集中帯」として，社会的

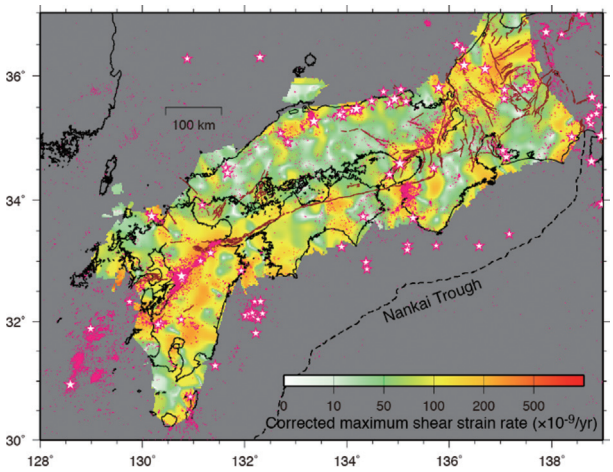


図 5　西南日本の最大せん断ひずみ速度分布（西村，2017）[15]．南海トラフ沿いのプレート間カップリングによる弾性変形はモデルを用いて除去した．茶色線は，地震調査委員会（2019）[17] による主要活断層．星印と赤点は，深さ 20km 以浅の地震の震央を表し，前者が 1923 年～ 2016 年に発生した M6 以上，後者が 1998 年～ 2016 年に発生した M2 以上の震央を表す．

にも注目されるようになった．またこのような相関関係は，内陸地震が地震発生層より深部の非弾性的変形による載荷により発生するという内陸地震の発生メカニズムの仮説（例えば，Iio and Kobayashi, 2002）[16] を支持するものと考えられる．GNSS データなどの測地学的に得られたひずみ速度は，地震を発生させる弾性ひずみと非弾性ひずみの両者を含むことに注意する必要があるが，弾性ひずみの蓄積速度と地震によるモーメント解放速度は長期的には一致すると考えられるので，測地データを用いて内陸地震の発生ポテンシャル評価が可能であると考えられる．ひずみ速度の推定手法は，その計算手法や観測点分布にも依存し，現状の GEONET の観測点密度では，小規模なひずみ集中帯の検出には不十分であることに加え，ひずみ速度から地震発生確率等へ変換する手法も様々なものが提案されおり，確立していない．しかし，今後の 10 年間では，従来主に活断層の発生履歴から評価されてきた内陸地震の長期評価を測地データから補完，補強する新たな長期評価手法を構築していくことが重要であり，この 10 年ではその基礎となる研究が行われたと言えよう．

（平原　和朗，向井　厚志，福田　洋一，片尾　浩，西村　卓也，澁谷　拓郎）

参考文献

1) Ohtani, M., K. Hirahara, Y. Takahashi, T. Hori, M. Hyodo, H. Nakashima and T. Iwashita, 2011. Fast computation of quasi-dynamic earthquake cycle simulation with hierarchical matrices. *Procedia Computer Science*, 4, 1456-1465.

2) Ohtani, M., K. Hirahara, T. Hori, T. and M. Hyodo, 2014. Observed change in plate coupling close to the rupture initiation area before the occurrence of the 2011 Tohoku earthquake: Implications from an earthquake cycle model. *Geophys. Res. Lett*, 41(6), 1899-1906.

3) Yamagiwa, S., S. Miyazaki, K. Hirahara and Y. Fukahata, 2015. Afterslip and viscoelastic relaxation following the 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw9.0) inferred from inland GPS and seafloor GPS/Acoustic data, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 66–73, doi:10.1002/2014GL061735.

4) Kano, M., S. Miyazaki, Y. Ishikawa, Y. Hiroshi, K. Ito and K. Hirahara, Real data assimilation for optimization of frictional parameters and prediction of afterslip in the 2003 Tokachi-oki earthquake inferred from slip velocity by an adjoint method, 2015. *Geophys. J. Int.*, 203(1), 646-663, doi: 10.1093/gji/ggv289.

5) Shikakura, Y., Y. Fukahata and K. Hirahara, Long-term changes in the Coulomb failure function on inland active faults in southwest Japan due to east-west compression and interplate earthquakes, 2014. *J. Geophys. Res.*, 119, doi:10.1002/2013JB010156.

6) 向井厚志・大塚成昭・福田洋一，2016，地震に伴う湧水量および間隙水圧変化から推定された破砕帯の水理学的特徴，測地学会誌，第 62 巻，第 2 号，63-78.

7) 京都大学防災研究所地震予知研究センター（2005），丹波山地における最近の微小地震活動の静穏化，予知連会報，74, 381-383.

8) 京都大学防災研究所地震予知研究センター（2011），近畿北部の地震活動～丹波山地における最近の微小地震活動の静穏化と東北地方太平洋沖地震～，予知連会報，86, 505-508.

9) Reasenberg, P.（1985），Second-Order moment of Central California seismicity, 1969-1982, *J. Geophys. Res.*, 90, B7, 5479-5495.

10) Yokota, Y., T. Ishikawa, S. Watanabe, T. Tashiro, and A. Asada, 2016. Seafloor geodetic constraints on interplate coupling of the Nankai Trough megathrust zone. *Nature*, 534（7607），374.

11) Sagiya, T., S. Miyazaki, and T. Tada, 2000. Continuous GPS array and present-day crustal deformation of Japan. Pure Applied Geophys., 157, 2303-2322.

12) Nishimura, S., and M. Hashimoto, 2006. A model with rigid rotations and slip deficits for the GPS-derived velocity field in southwest Japan. Tectonophysics, 421（3-4), 187-207.
13) Nishimura, T., Y. Yokota, K. Tadokoro, T. Ochi, 2018. Strain partitioning and interplate coupling along the northern margin of the Philippine Sea plate, estimated from GNSS and GPS-A data, Geosphere, 14, doi:10.1130/GES01529.1.
14) Sagiya, T. and W. Thatcher, 1999. Coseismic slip resolution along a plate boundary megathrust: The Nankai Trough, southwest Japan, *J. Geophys. Res.*, https://doi.org/10.1029/98JB02644.
15) 西村卓也，2017. GNSS データから見出される日本列島のひずみ集中帯と活断層及び内陸地震，活断層研究 , 46, 33-39, doi:10.11462/afr.2017.46_33.
16) Iio, Y., and Y. Kobayashi, 2002. A physical understanding of large intraplate earthquakes. Earth, Planets Space, 54（11), 1001-1004.
17) 地震調査委員会，2019. 主要活断層帯の長期評価 . https://www.jishin.go.jp/evaluation/long_term_evaluation/major_active_fault/

（１０）　九州大学大学院理学研究院

１．はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震の発生によって地殻の力学的状態が変化し，地震活動に多くの変化が東北地方を中心として見られた．地震発生の予測へ向けたアプローチにとってこれらの変化を検知することは重要であり，いわゆる“地殻応答”を測るという視点を，従来の観測研究に加えて活動を注視した 10 年であったといえる．九州大学大学院理学研究院の地震火山観測研究センターではこれらの活動変化を捉えるために，定常観測網の品質維持や機動観測によるデータ取得をおこなってきた．また，活動や構造の詳細な把握により，地震発生の空間ポテンシャルの推定を目指して研究を進めてきた．しかしながら国立大学法人化以降，実質的な減員や予算の圧縮などと厳しい状況が続いている．

２. 九州内の地殻活動観測

本研究院は第 5 次地震予知計画から参画し，1984 年以来地震予知研究を推進するために活動を行ってきた．現在は災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の推進について（建議）の研究計画の一部を担っている．防災科学技術研究所による Hi-net，気象庁の観測点とあわせて，九州内はほぼ 20km 間隔で地震観測点が設置されている．これにより，通常の地震活動把握は九州内どこでも均一に行うことが可能となり，我々は地震予知研究にとって特に重要な地域，活動にターゲットを絞って臨時地震観測や GNSS 観測を重点的に行うことができるようになった．特に，2000 年に M5.0 の地震が発生し，微小地震活動の活発な別府 - 島原地溝帯西部（布田川―日奈久断層）において重点的地震観測・GNSS 観測を行ってきた．そしてこの領域で，最大震度 7 を記録し，広範に被害を及ぼした，2016 年熊本地震が発生した．この地域は日本国内でも有数の稠密地震観測がなされていた．その結果，詳細な地殻活動の背景が明らかになった（後述）．図 1 に熊本地震発生前 30 年間の震源分布を示す．この図から，熊本地震は活発な浅発地震活動のあった場所で発生したことを見ることができる．

九州内の地殻活動の背景を理解するために，地殻構造の把握が重要である．従来までに 3 次元速度構造はトモグラフィーの手法によって求められてきた．一方，地震発生要件の一つのパラメータである地殻強度に関係した流体分布の情報がなかったことから，九州内ほぼ全域において比抵抗構造調査を精力的に進めた．地震発生域のみではなく，構造を調査して発生要件，すなわち地震発生空間ポテンシャル把握のための重要な情報を得ることができた．

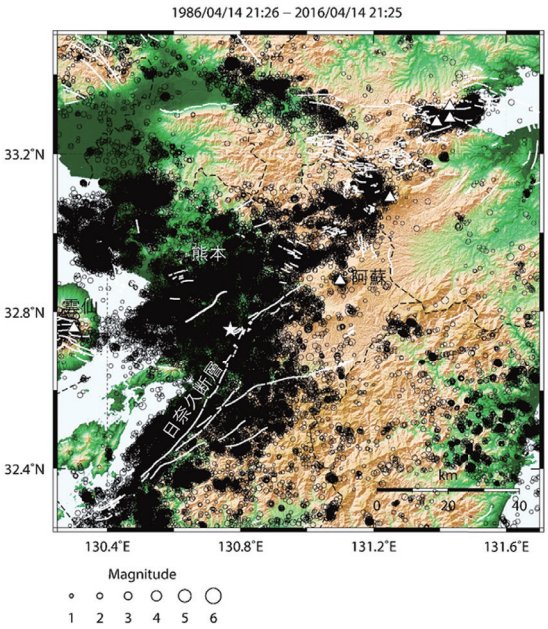


図１　1986 年から熊本地震前までに発生した地震の震央〇（当センタールーチン処理による）．白線は活断層，星は熊本地震の震央を示す．

３．機動地殻活動観測

地震火山観測研究センターでは，九州地域以外でも地殻活動を詳細に把握するために，規模の大きな地震が発生した場合，全国の観測研究機関と協力して機動的に観測を行ってきた．この 10 年では，2011 年東北地方太平洋沖地震，2013 年淡路島，2014 年長野県北部，2016 年鳥取県中部，2018 年島根県西部，大阪府北部，北海道胆振東部地震などの活動に対し，地震観測点を速やかに展開し，詳細な震源分布など活動把握に貢献した．

４．熊本地震

熊本地震は布田川―日奈久断層帯において，2016 年 4 月 14 日に M6.5 の地震（最大前震），16 日には M7.3 の本震が発生した．詳細は別章で述べられているのでここでは地球物理学的な観測によって得られたポイントのみについて述べる．先に述べたように，震源域は布田川―日奈久断層に位置し，すでに 10km − 20km 程度の間隔で地震観測点が展開されていた．さらに最大前震発生後，全国の大学と協力して地震観測点が展開された（図 2）．これらの観測により，詳細な震源データが得られ，断層帯を取り巻く速度構造 [1]，余震活動から得た断層構造 [2] や発震機構解から偏差応力場の把握 [2),3)] がなされた．その結果，破壊の開始点は比較的低速度域の上部に位置していることが見いだされ，従来の多くの大地震断層で見

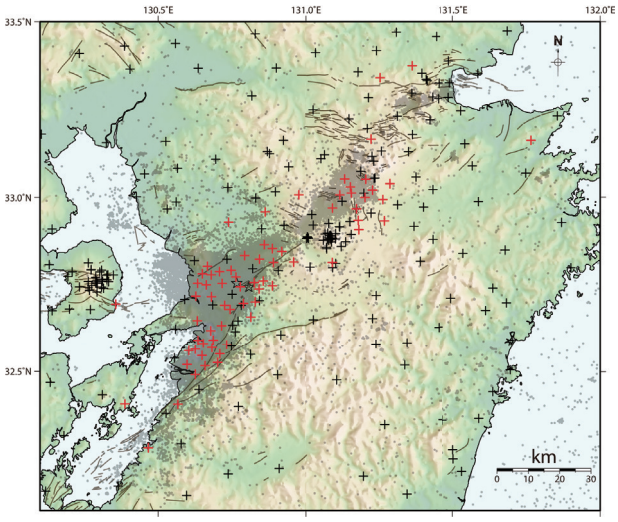


図２　2016 年熊本地震発生領域に展開された地震観測点．＋印が観測点位置．＋は地震発生前から設置，＋は地震発生後に展開された点を示す．

られた特徴を有していることがあきらかになった．また，地震で破壊した断層は日奈久断層走向の北西傾斜した断層①，布田川断層走向の北西傾斜した断層②，①から分岐した南東傾斜の 2 枚の小断層が得られ，最大前震，本震はこれらの小断層から破壊が始まったことが明らかになった．また，地震前応力場は震源域南部で横ずれ，北部で正断層タイプが卓越しており，地震時の複雑な破壊過程[4]に反映していると考えられる．実際，地震前応力場，地震断層形状から期待される地震断層のすべり方向は実際の地震時滑り方向とほぼ一致していることが示され[5]，すべり量は不明なものの，地震前に複雑な滑りの予測可能性が示唆された．また，地震断層は微小地震から求めた非弾性変形領域の端に位置していること[6]，破壊開始点は低比抵抗領域に位置していること[7]などから，地震前に構造・活動を詳細に把握することで，地震発生空間ポテンシャル推定につながることが示された．

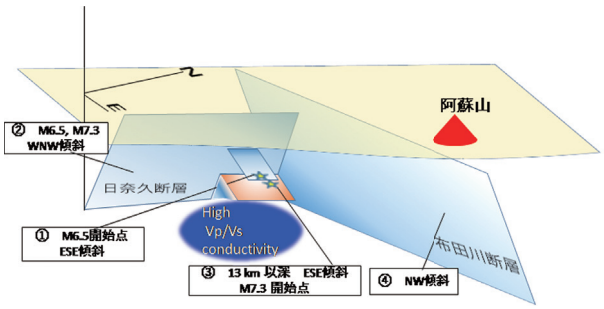


図３　震源分布から求めた断層形状の模式図（光岡・他，2018 を参考）．

５．おわりに

地震火山観測研究センターでは現在も地殻活動把握のための定常･機動地震観測，地殻変動観測を継続している．また，広域な比抵抗構造推定など，他地域では見られない多様で詳細な活動・構造把握を進めている．全国の大学と協力しながら，これらの観測研究を推進してゆく．

（松本　聡）

参考文献

1) Shito, A., S. Matsumoto, H. Shimizu, T. Ohkura, H. Takahashi S. Sakai, S. et al., 2017. Seismic velocity structure in the source region of the 2016 Kumamoto earthquake sequence, Japan. *Geophysical Research Letters*, 44(15), 7766–7772, https://doi.org/10.1002/2017GL074593.

2) 光岡郁穂･松本聡･志藤あずさ･山下裕亮･中元真美･宮崎真大・飯尾能久・酒井慎一・2016 年熊本地震合同観測グループ，2016 年熊本地震震源断層および日奈久断層周辺の応力場の時空間変化について，S08-P15, 日本地震学会 2018 年度秋季大会 .

3) Matsumoto, S., S. Nakao, M. Miyazaki, H. Shimizu et al., 2015. Spatial heterogeneities in tectonic stress in Kyushu, Japan and their relation to a major shear zone. Earth, Planets and Space, 67(1), 172, https://doi.org/10.1186/s40623-015-0342-8.

4) Asano, K., and T. Iwata, 2016. Source rupture processes of the foreshock and mainshock in the 2016 Kumamoto earthquake sequence estimated from the kinematic waveform inversion of strong motion data. Earth, Planets and Space, 68(1). 147. https://doi.org/10.1186/ s40623-016-0519-9.

5) Matsumoto, S., Y. Yamashita, M. Nakamoto, M. Miyazaki, S. Sakai, Y. Iio, Y. et al., 2018. Prestate of stress and fault behavior during the 2016 kumamoto earthquake (M7.3), Geophysical Research Letters, 45 (2), 637–645, https://doi.org/10.1002/2017GL075725.

6) Matsumoto, S., T. Nishimura, T. Ohkura, 2016. Inelastic strain rate in the seismogenic layer of Kyushu Island, *Japan. Earth, Planets and Space*, 68, 207, https://doi.org/10.1186/s40623-016-0584-0.

7) 相澤広記・塚本果織・A. Triahadini・村松弾・林田祐人・湯浅雄平・A. Luthfian・手操佳子・松本 聡，光岡 郁穂，飯尾 能久，酒井 慎一，2016 年熊本地震 合同地震観測グループ，2016 年熊本地震震源域における応力場のモデル化(3)，SSS15-12, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会 .

（１１）　鹿児島大学大学院理工学研究科

１．はじめに

1991 年に鹿児島大学理学部に設置された南西島弧地震火山観測所は，2009 年に大学院の重点化に伴い理工学研究科の附属施設となった．その後，地震火山関連施設の統合のため 2018 年に発足した南九州・南西諸島域共創機構地震火山地域防災センターの附属施設に移行した．当観測所は，2011 年東北地方太平洋沖地震や 2016 年熊本地震の全国大学共同観測において観測研究に参画しているが，ここでは，10 年間の観測網の編成と観測研究の進展について述べる．

２．観測の強化

2.1　微小地震観測

2009 年度からの 10 年間においてこれまでに引き続き南西諸島北部域において観測点の整備を行ってきた．それまで現地収録での観測を行っていた喜界島，奄美大島の知根，悪石島において 2009 年から 2011 年にかけて順次テレメタ化を行った．しかし，屋久島から奄美大島にかけては観測点が少ない状態が続いている．図 1 に他機関の観測点を含め，南九州から南西諸島北部の微小地震観測網を示す．

屋久島から奄美大島の間の観測点が少ない領域に「地震および火山噴火予知のための観測研究計画」の課題の一環として島嶼と海域に観測点を設置し，観測を行ってきた．島嶼域では，無人島であるトカラ列島の横当島，臥蛇島，宇治群島の宇治島において現地収録の観測を行い，年間 2 回程度船をチャーターしてデータ回収を行っている．海域では，京都大学，九州大学，東京海洋大学，東京大学と共同で LOBS による準定常海底地震観測を実施した．図 2 に LOBS の設置位置と島嶼域の地震観測点を示す．

2.2　GNSS 観測

1996 年以降国土地理院が設置運営する GNSS 観測網 GEONET は日本全国をカバーしているが，南西諸島北部域では観測点が少ない．そのため，トカラ列島の宝島，悪石島，口之島（以上有人島），横当島，臥蛇島，宇治群島の宇治島，男女群島の女島（以上無人島）に GNSS を設置し，連続観測を行っている．無人島での観測については，地震観測と同様に年 2 回程度データ回収を行っている．

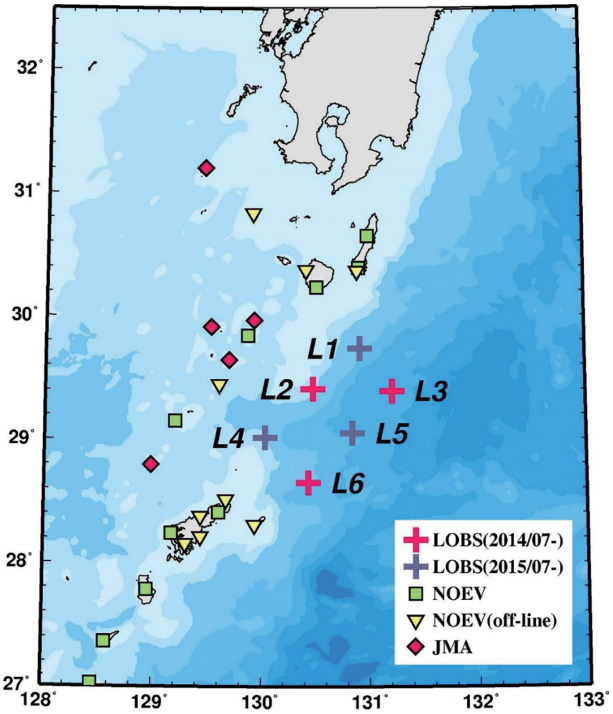


図 1　鹿児島大学定常および臨時地震観測点．背景の灰色点は南西島弧地震換算観測所で 2017 年 1 年間に決定した地震の震央を示す．

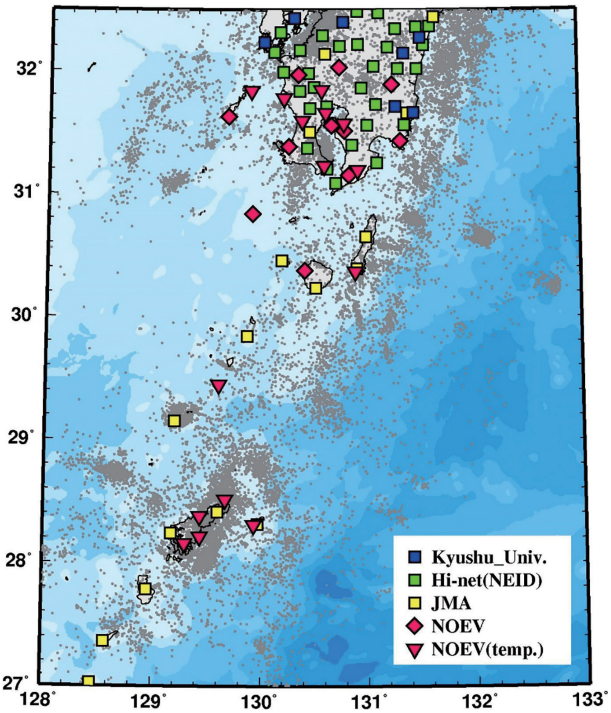


図 2　鹿児島大学の島嶼域の臨時地震観測点と LOBS の設置位置（L1 ～ L6）を示す．

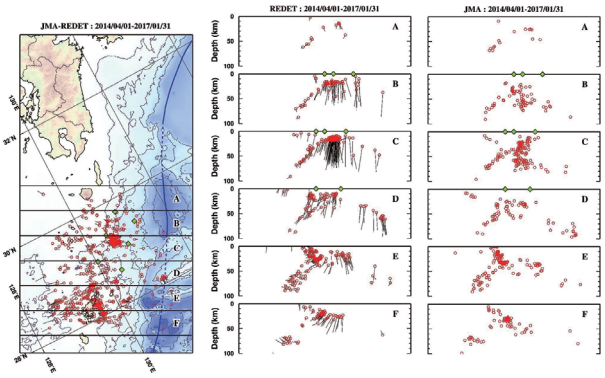


図 3　再決定した震源分布（赤丸）．右図は震央分布，左図は右図内に示した領域の断面図．線の単店は一元化震源を示す．

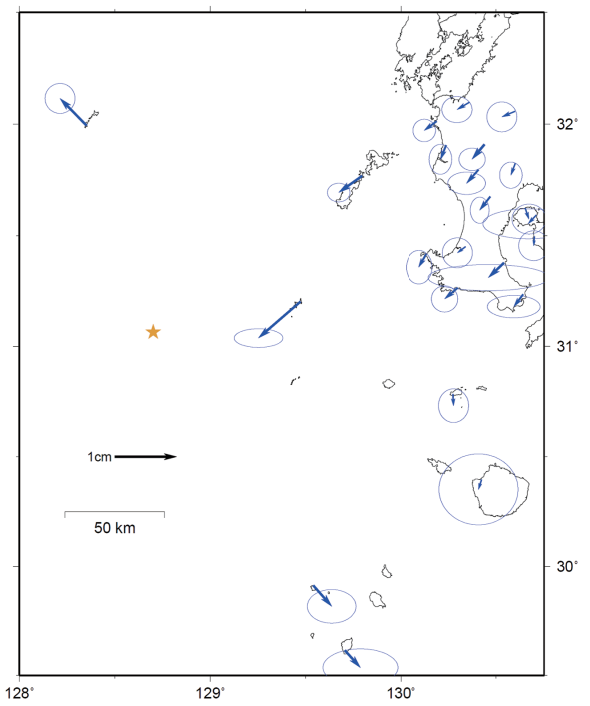


図 4　薩摩半島西方沖地震の地震時変動．99%信頼限界を誤差楕円として示す．黄星は震央を示す．

3．観測結果

南西諸島北部域で海域も含め観測点の増強を図ったので，震源の再決定を行った．図 2 の観測点から得られたデータを用いてトモグラフィーの手法を使い，3 次元の速度構造と観測点補正を求めた．求めた 3 次元速度構造と観測点補正値を使い，震源の再計算を行い，一元化震源と比較した．結果を図 3 に示す．トカラ列島の東側において一元化震源よりも浅く決定され特に断面 C では 50 km程度浅く決定位置が決まっている地震も多い．

1993 年 4 月 1 日から 2017 年 10 月 31 日までの深さ 100 km以浅，マグニチュード 1.5 以上の日向灘から奄美大島までのプレート境界域で発生した地震について相似地震解析を行った．10 グループの相似地震群を見出すことができ，準静的な滑り速度を求めた．2000 年から 2014 年までは年間 2cm 前後の滑り速度が得られたが，2015 年以降 10 グループ中 8 グループで準静的な滑り速度が変化していることを見出した．

GNSS 連続観測データを用いて沖縄トラフ北部の拡大速度の推定を行った．種子島沖合からフィリピン海プレートの沈み込む方向 N303°E に沿って種子島，薩摩硫黄島，黒島，宇治島，女島の観測点データを使い，各観測点のフィリピン海プレートの沈み込む方向の変位速度を求めた．宇治島を基準点とすると女島は年間約 5 ㎜で離れていることがわかった．これは沖縄トラフ北部が拡大していると解釈できる．

2015 年 11 月 14 日に陸域から約 120 km離れた沖縄トラフ内でマグニチュード 7.1 の薩摩半島西方沖地震が発生した．GEONET 観測点のデータと同時に解析を行い，無人島である女島，宇治島，臥蛇島において 0.6cm，0.9cm，0.5cm の地震時変動を観測することに成功した．図 4 に地震時変動のベクトル図を示す．

4．おわりに

海域での準定常観測や GNSS 連続観測を開始し，南西諸島北部での地震活動や地殻変動の解析が進みつつあり，高精度なプレート境界の震源分布を求めることができるようになり，準静的な滑り速度の時間変化も見出すことが出来た．フィリピン海プレートの沈み込み帯におけるプレートのカップリングを明らかにすることは南西諸島北部のテクトニクスを考えるうえでも，この地域の防災・減災を考えるうえでも重要である．そのためには海域での観測は非常に重要であると考える．

（中尾　茂）

（１２）大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 統計数理研究所

１．はじめに

統計数理研究所は 2005 年 4 月にリスク解析戦略研究センターを設置，その下に地震予測解析グループを置いた．その使命は「統計モデルによる地震（余震）活動の計測，異常現象の定量的研究，及び，それらにもとづく地震（余震）の発生確率予測とその評価法，などについて研究する」ことである．

地震予測解析グループが主に取り組んだのは，ETAS モデルや新たに開発した各種の確率点過程モデルを駆使した多様な地震活動の解析，大地震の確率予測について実用化への見通しと，そのための予測評価の研究である．

以下に，この 10 年間地震予知連絡会で報告した内容と，関連する成果について取りまとめた．地震予知連絡会報に掲載された多くの報告の詳細は地震学関連学術誌に掲載されている（引用文献参照）．

２．大地震の確率予測の実用化に向けて

2.1　多重確率予測式

無情報の基での大地震の確率予測（永年確率）は極めて小さいが，何らかの異常現象が現れると，その予測確率は増える．確率予測の計算をするにあたって，前兆事象と異常事象は明確に使い分ける必要がある．前者は既に大地震が起きてしまってから分かる概念であり，後者は「前兆かもしれない普段と違う現象」で，地震予測では異常事象が前兆事象である確率が問題となる．なので，我々は経時観測データの異常を明瞭に定義し，それらが前兆として大地震に至る確率（「適中率，hit rate」）を求める作業をする必要がある．

1970 年代後半，伊豆地域で長期，中期，短期の各種の異常事象が観測された．宇津は「多重確率予測式（multi elements prediction formula）」（図 1 参照）を考案して，予知連での報告に基づき 1978 年の伊豆大島近海地震の予測確率を試算した [1]．また Cao と安芸 [71] は同時期に起こった中国の海城地震や唐山地震などに関して事後的に試算した．決定論的地震予知としては前者が成功，後者が失敗の例として有名であるが，1 日当たりの最終確率は両方とも約 10%であることに留意したい．これらの研究に付随して「確率利得（probability gain）」[70] という重要な概念（図 1 参照）が浮き彫りになった．この概念は，統計地震学の研究で，これまで理論的に散見される．

しかし，その後 40 年も経つのに，確率予測が運用されなかった．これは主に「地震予知」についての希望的目標で，的中率の高い異常現象の発掘を目指したためで，圧倒的多くの大地震が不意打ち的に起きる（予知率が低い）という結果になったためと考えられる．

これを克服する為には，低い適中率でも出来るだけ多くの異常現象を発掘し予知率を高める必要がある [108), 109)]．たとえば，地震活動に適用した ETAS モデルのように，各種観測量の経時変化の標準的なモデルをたて，平時の変動からの，何らかの外れ（不適合）を異常として予知率を高めるべきである．地震活動以外にも，今日では GNSS の変化のデータ解析が有望である（3.2 節参照）．異常事象が前兆なのか，どの程度切迫性があるのかなどの推定には，多くのデータで異常値解析を開発して異常事象を積み重ね，低いなりにも有意な的中率を求める必要がある．

大地震に至る高い適中率や確率利得を出すことは困難であろうが，それでも独立な幾つかの異常の予測因子が重なれば，多重確率予測式によって，大地震予測の確率が実用的なものまで高まることがある [1), 53), 71)]．

現状では，独立性を担保するような短期・中期・長期の予測確率を組み合わせる [45), 99), 108), 109)] のが有望であり，最近筆者も M7.3 熊本地震に関して多重確率予測公式で試算し，異なる前提での予測確率のバラツキを示した [52), 54), 86), 99)]．異常事象の独立性が保証できない場合は，多重確率予測公式を一般化したロジット（logit）関数の展開モデル [63), 69), 72)] で算出し，AIC 比較でモデルが改善できれば確率利得が高まること期待される [99), 108), 109)]．将来的には時空間でも多重確率の予測モデル開発が望まれる [99), 109)]．

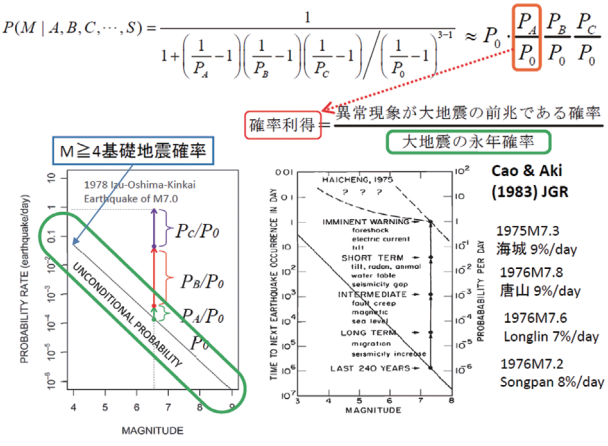


図 1　多重確率予測式（multi elements prediction formula）

2.2　永年確率の評価

広域の地震活動のための階層的時空間 ETAS モデルを提案した [27), 59), 82), 109)]．その結果，将来の M6.0 以上の大地震や歴史被害地震（M7 クラス以上）の大地震の大多数が常時活動度 μ(x,y) の高いところに発生している（図 2 参照）[23), 59)]．大地震の大きさ分布は Gutenberg-Richter（GR）を仮定する [54), 108)]．

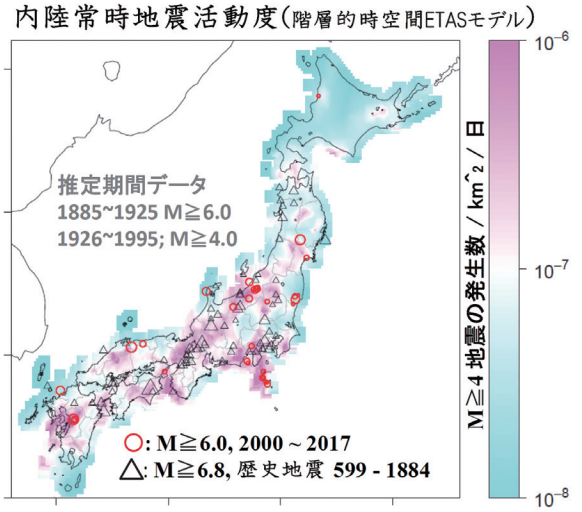


図 2　常時地震活動度の地域性と被害地震

2.3　長期の確率予測

大地震の切迫度を見積るためには地震調査委員会の主要断層破壊の長期予測が参考になる．例えば熊本地震をめぐる多重確率予測の試算に使った確率は九州の地域的な 30 年確率予報を用いた [54), 108)]．

Brownian Passage Time（BPT）更新過程に基づいて，不確定かつ少数の地震発生年代データから更新時間間隔のばらつき度（パラメタ α）の不偏推定法を与えた [28), 60), 64), 101)]．

更新時間の不確定なデータのもと，予測の精度を従来の手法などと比較検証した結果，事後分布のベイズ予測が最も良い精度をもつ [64)]．

2.4　中期の確率予測

大地震が連発するのは珍しくない．日本に於ける各々の大地震について，その後に起きた全ての大地震との時間差と距離を重ね合わせてプロット（図 3 参照）[8), 45), 108)] すると，近傍に別の大地震が起きる頻度（単位面積当たり）は遠方のどこかに起きる場合より数倍高くなっている．これらはストレス変化や地震動による地震の誘発現象を示唆している．ΔCFS（Coulomb failure stress）の空間分布は誘発や静穏化の場所に関する参考になる [6), 7), 12), 14), 16), 17), 19), 46)]．

一般に或る地域で有意な地震活動の異常（静穏化など）を検出しても，そのうち何 % が，どれくらい経って，どの辺りの大地震発生に結びつくか，予測は現状では難しい．しかし余震活動に静穏化が検出されたとき，以下のような経験則が参考になる [8), 45), 108)]．すなわち途中から余震頻度が ETAS モデルの予測発生率に比べて有意に少なくなる現象（相対的静穏化）は 45% ほどの余震列で認められ [98)]，これは特に珍しくない．しかし近辺で別の大きな地震が起こる確率は，余震活動が ETAS で順調に推移している場合より，高くなる．相対的静穏化が長期間（たとえば数ヶ月以上）に及ぶと，日本においては，余震域近辺（たとえば 200km 以内）で，6 年以内の期間に，本震と同規模以上の地震が起きる発生確率利得は，その他の場合より 3 ~ 4 倍以上も高い（図 3 参照）[108)]．

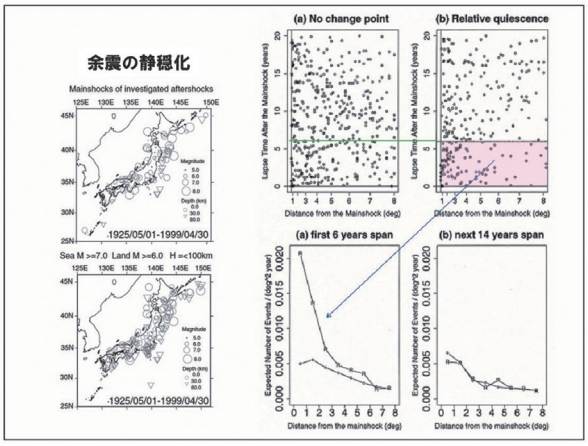


図 3　大地震の誘発頻度を余震の相対的静穏化で分類

2.5　前震の確率予報と検証

「前震かもしれない地震（群）」が実際に「前震」である確率予測を考える．先ずリアルタイムで地震群や孤立地震を定める必要がある．その上で，本震，余震，そして前震の定義を定める．そして前震を識別するために，群の先頭地震の緯度・経度，群内マグニチュード列の増減，群内の地震同士の時間および空間集中度を考慮し，今後，より大きな地震が起きる確率を算定する [31), 34), 55), 58), 63), 69), 72)]．そのような学習期間を経て，予測期間に順次確率予測すると，推定された確率と実際の適中率は概ね整合して有意である結果が得られている [34), 63), 69), 85)]．

独立な GR マグニチュード列で時空間 ETAS 合成データを生成したものより気象庁（JMA）カタログ実データの方が前震予測の実験結果で卓越している [69), 92)]．さらに JMA カタログの実マグニチュード列から生成した時空間 ETAS 合成データの場合の方が，独立な GR マグニチュード列で生成された時空間 ETAS 合成データより卓越している [92)]．

また，前震のマグニチュード列の確率予測列は，独立の GR 則（b = 0.9）に基づく予測列より勝れていると評価された [55), 62), 69)]．

2.6　余震確率予報

本震後 1 日のうちに，大きな余震は全体の半分ほど起きている．連鎖するかもしれない大地震も半分ほどの確率で起きる．したがって，データ取得の悪条件にも関わらず，できるだけ早い機会の予報は被災地で切望される．このために余震のマグニチュードの GR 式と大森宇津の余震減衰公式に併せて，時間経過とともに

改善する余震の検知率（欠測率）のモデルを考え提案した[10), 48), 75), 87), 96), 102), 107)]．これによると本震の規模を超える確率も予測できる．また，大森宇津式の代わりにETAS モデルで将来の余震列のシミュレーションを繰り返すことによる，余震活動の中期確率予測法を提案した[49), 96), 102), 103), 117)]．

最近，防災科学技術研究所と協力して Hi-net の自動処理震源を使ったリアルタイム余震確率予測システムを開発し，本震の 3 時間後から予測を開始している．これは，編集された JMA データに基づくものに比べて遜色ない精度で機能していること，さらに本震発生以前に求められている標準（generic）予測モデルより有意に有効であることを示した[53), 58), 66), 69), 113)]．これまでの 10 例ほどの予測から，本震（と思われていた地震）よりも大きな地震（2016 年熊本地震や 2019 年 California Ridgecrest 地震）の確率予測は，それなりに大きな確率であり，前震予測としても大いに参考になる．

同様に，震災地域と周辺部の各地点で，本震直後からの連続地震計記録の極大振幅（分割小時間区間の最大振幅）列から確率的な極大振幅予測を考えた[69)]．

3．各種異常現象の統計的研究

3.1　余震活動の 時空間的変化とパタン異常

時間 ETAS モデル[6), 7), 9), 12), 14), 16), 17), 19), 104)]や階層的時空間 ETAS モデル[58), 61), 68), 69), 114)]による時空間余震予測を回顧的に実行した．下限マグニチュードが十分であれば，リアルタイムで逐次予測できる状態である．

余震活動の時間送りを大森宇津式で伸縮変換（大森宇津式の積分曲線で時間座標を変換）し，余震群内の時空間的分布を見ると，余震域全域で一様な発生経緯を示す場合もあるが，各部分領域で全く異なったパタンのこともある[18), 24), 41), 52), 78), 80), 104), 109)]．特に，大きな余震が発生する前には局所的な静穏化・活発化パタンや震源移動をすることがある．このようなパタン異常は局所的な slow slip などが余震域の中でも起きている可能性があることを示す．

3.2　地殻変動異常

或る断層ですべり運動があったとすると，GEONET 時系列データで，それに見合った測地学的変化がある．通常では観測基線距離の縮みまたは伸び率が一定であることが期待されるが，内陸の被害地震（2004 年中越地震[11), 19), 77)]，2007 年能登半島地震[21), 83)]，2007 年中越沖地震[22), 83)]，2007 年福岡県西方沖地震[13), 19), 79)]，2006 年千島沖列島の余震活動[20), 24), 80)] 2008 年岩手・宮城内陸地震[25), 29), 81)]）や 2013 年北淡地震の最大余震[41)]の事前に系統的なずれが生じた．これらの異常をターゲット断層内の前駆的なすべりと周辺の地震活動異常で整合的に説明した．

兵庫県南部地震による丹波地域や和歌山地域の地震活動の活発化，浜名湖直下のスロースリップによる中部近畿地方各地の静穏化や活発化など，地震後すべりや間欠的なすべり運動も，周辺部の地震活動の相対的静穏化や活発化を可視化した[5)]．それらの異常変化とすべりによる CFS 変化の増減パタンとは良く一致する．

プレート境界域のスロー地震域付近（房総沖，茨城沖，NZ ヒクランギ沖など）での ETAS モデルによる地震活動の異常解析や，非定常 ETAS モデルで群発地震活動が検出され[69), 90), 93), 100)]，これらに対応した GNSS 測地時系列の異常変化が良く対応している[69)]．GNSS 測地時系列の異常変化とスロー地震，群発地震などの相互関係が指摘されている[69), 100)]

3.3　伊豆東方沖の群発地震活動の推移の予測[51), 69), 105)]

伊豆東方沖における群発地震発生領域では総地震発生数とマグマ貫入量の指標となる地殻内体積歪みの観測量との有意な相関関係が知られている．非定常 ETAS モデルを用いて伊豆東方沖の群発地震活動を解析したところ，地震活動度の変動よりも常時地震活動強度の変動の方が体積歪みの変動に対して勝れて高い相関を持つ．ここで体積歪みの変動データは気圧，潮汐，降水量の影響を取り去り補正した上でコサイスミックな短期変動量を取り除いたものである．そこで，先行する補正済みの体積歪みの観測量時系列から ETAS モデルの常時地震活動強度を予測し，そのうえで群発地震の頻度の予測へと繋げるモデルを提案した．したがって，群発地震の開始位置が分かれば，同一の応答関数によって，体積ひずみ計変化データから半日程経った常時地震活動度が精度良く予測できる．

3.4　小繰り返し地震の統計モデル

プレート境界面の各スポットで発生する小繰り返し地震に対し，ストレスの蓄積・解放を BPT 過程として時空間モデルに発展させた[43), 44), 94), 101), 106)]．過剰な適合を避けるために，時間変動や空間変動の平滑性や不連続性について最適なモデルは ABIC 最小化法に従った[43), 94)]．特に，北日本太平洋沖のプレート境界で観測された小繰り返し地震に当てはめた結果，大地震の前と後の準静的すべり，相対的な固着域など，それぞれの特徴的な時空間変化を捉えている[106)]．本モデルは GEONET 観測網から離れた沖合の海洋底下におけるプレート境界での固着域と応力場の変動の可視化でモニタリングに有用と考えられる．今後，小繰り返し地震の近傍の中小地震による地震時の変化と前後のゆっくり滑りを適切に分離するという課題がある．

3.5　マグニチュードの時系列

大地震の永年確率を求める際や，CSEP における地震

活動予測モデルでは，全域及び全期間にわたって同一の b 値の GR 則に基づく独立分布系列が仮定されている．しかし b 値や非 GR マグニチュード分布は地震活動の履歴などに依存する可能性がある [62), 69), 114)]．これらをどのように活用して，勝れた予測につなげるかの課題が残る [114)]．

3.6　地震発生データと異常時系列との因果関係モデル

従来から地震統計学の分野で議論されているものとして，地震発生の周期性（季節性や潮汐周期など）や地域的関連性などがある．これらの統計解析のために，地震活動の連鎖続発性を組み込んだ点過程モデルが有効である [3), 69), 74), 98), 99), 109)]．

特に，地域的関連性を調べた点過程モデルは，各種異常現象の発生の地震発生への統計的因果関係を議論し，前兆現象たりうるか否かの有意性や時間遅れを調べることにも応用できる．例えば 1982 年から 16 年間にわたる中国北京市付近における日別地電位異常強度データが地震発生（M4 以上）の前兆たりうるかを AIC によるモデル適合度比較によって確かめた [3), 72), 95), 99)]．電位異常強度データを考慮したほうが地震活動の良い予測を得られたが，ETAS に比べた確率利得は高々数倍である．

3.7　確率予測や警告型予測の評価法

地震予測可能性の研究には，予測結果が客観的に評価できることが必要不可欠である．確率の数値予測を出すことが難しい場合の警告型の予測（二値予測）でも，予測結果を評価するための Molchan diagram や ROC 曲線などのグラフ法やギャンブルスコア法が提案されている．これらにも地震の大きさや活動度の経験的な基準確率（相場）の設定が不可欠である．ギャンブルスコア法は相場に基づいた公平な賭けのもと，警告型予測の成功または失敗の結果の得失スコアを比較する評価法である [30), 91), 97)]．基準確率としては，GR 則を地震の大きさの出現頻度とし，時間・空間に一様な地震発生モデル（定常ポアソン過程）が考えられている．しかし，より現実的に，地震活動度に合わせた空間非一様なポアソン過程や地震の連鎖続発過程（例えば ETAS）などを基準モデルに設定すると，従来の警告型予測が良い評価を得るのは難しくなる [97)]．

確率予測では，滅多に起こらない大地震と発生頻度の高い中小の地震では，予測が当たった場合でも外れた場合でも評価値が大きく違う．地震活動度による地域差も評価に関わる．先ず各地域の地震活動に適合した経験的な基準予測を確立する必要がある．かくして確率予測の成績を測るスコアとして情報利得 [50), 88), 97), 109)] が合理的である．

もし将来に地震活動に構造的変化がなければ，赤池情報量規準 AIC や ABIC は提案モデルの将来の予測の良さを予め現在のデータのみで推定できる [50), 97)]．例えば，最適な前震予測式の構成に多用されている [63), 69), 72)]．

筆者らが前震予測計算式 [72), 99)] を提案してから 17 年経った時点で，東北地方太平洋沖地震とその顕著な前震活動を含む確率予測を検証した [34), 69), 85)]．最大地震（本震）が特に大きい（M ≧ 6.5）地震群だけを選び出すと，群れの初期の段階における前震の識別確率は一層明瞭である [34), 85)]．3.5 節のマグニチュード列独立性のテスト [62), 69)] も前震予測を検証する．

4．大地震前後の地震活動の統計的解析

4.1　2008 年岩手宮城内陸地震前の東北地方の地震活動

2008 年 6 月 14 日の岩手・宮城内陸部地震（M7.2）に先立つ 10 年間余りの東北地方の地震活動の相対的静穏化を報告した [25), 81)]．震源断層内の前駆すべりを仮定して，東北地方と周辺部でのクーロン破壊応力の増減に基づいて対応する地震活動の異常変化の説明を試みた．因みに東北地方沖合にも見られた広域地震活動異常パタン [25), 81)] は 2011 年東北沖 M9 地震の前駆的活動異常であった可能性がある（4.3 節参照）．

また M7.2 断層モデルの西部直近の領域で約 1 年前から地震活動が顕著に活発化し，対応する GPS 基線距離異常から，すべりは断層深部延長部に移動したものと考えた [29), 81)]．

余震域の北緯 39 度付近の高密度クラスターは本震の数日後にかなり低くなって，対応するように近隣 GNSS 観測点の地震後変位は加速されたように見える [78)]．

全体の余震活動は東北沖地震後，相対的静穏化した．

4.2　2009 年 8 月駿河湾の地震の余震活動と静岡県中西部地域の地震活動 [26)]

駿河湾の地震（M6.5）が 2009 年 8 月 11 日に発生したが，その後の余震活動を調べた．さらに想定東海地震の震源域を含む静岡県中西部における 1995 年以来の 15 年弱の地震活動の経緯を調べた．各地域の地震（余震）活動に ETAS モデルをあてはめ，有意な活動変化があるか否かを確かめ，その時空間変化を調べた．その上で，地震活動の変化を調和的に説明できる地殻変動のシナリオを考えた．

4.3　2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震

顕著な前震活動は 3 月初めに始まり，3 月 9 日の M7.3 最大前震の後の余震活動（M ≧ 4.0）は 3 月 11 日の M9 の地震まで大森宇津式で良く当てはまったが，p 値は有意に 1 より小さく b 値も極めて低かった [32, 85)]．そして M9 本震が起きると，この余震領域での減衰は極端に静穏化した [32)]．M9 地震までの活動を大森宇津式でデトレンドした変換時間に対する経度や緯度の時空間パタン（3.1 節）は甚だしく非一様であり顕著な震源移動があった [32)]．

沖縄奄美諸島を除く全日本の 1926 年から M9 の地震時までの M5 以上の地震データを確率的除群化で常時地震を得たところ，M9 地震までの 10 年間，日本周辺全域で常時地震が疎らになった [32].

2008 年岩手宮城県内陸地震の前の東北地方と沖合の各地域に見られた地震活動異常パタン [25), 81)] は，宮城・福島県沖の広域スロースリップに基づく地震活動の異常パタンと極めて良く似ている（文献 32 の 7 図）．従って，これらの地震活動異常は M9 地震の前駆的活動異常であった可能性がある．

1923 年以降の東北地域の M5 以上の地震活動を ETAS モデルで当てはめ，M9 の M5 以上の累積余震数と比較すると，ほぼ予測どおりである．しかし 1997 年 10 月の震源の一元化以降のターゲット期間の当てはめだと累積余震数は ETAS 予測の 2 倍ほどになる [36]．後者の場合は一元化からの期間での広域静穏化のためであると考えられる [32].

東北地方太平洋沖地震の余震活動 [36] を大森宇津式でデトレンドした時空間分布で比べた [33].

また東北沖 M9 地震から静的および動的に誘発された内陸地震の余震活動を調べた [33), 35), 38), 90)]．誘発による日本列島 [38)]，南関東（首都圏）[38), 68)] や東北地方および糸魚川静岡構造帯における将来の大地震の長期的発生確率の増加について GR 則を仮定して推定した [35].

M9 余震活動の一環として，2012 年 12 月 7 日に三陸沖で M7.3，2013 年 10 月 26 日に M7.1 の，アウターライズ領域と近辺で正断層型の地震が起きた．M9 余震データには部分的に 2012 年 8 月頃から夫々に相対的な静穏化がみられ，これらはプレート境界深部でのゆっくり滑りを仮定すれば，ストレスシャドウで活動低下の説明ができる [47]．因みに，同様なスロースリップで正断層型の 1933 年三陸沖地震（M8.3）前の地震活動の静穏化について再考した．

4.4　2016 年鳥取県中部の地震前後の活動 [58)]

M6.6 鳥取県中部地震の約 1 ヵ月前からの地震活動について前震の確率を求めた. 内陸部にしては高い確率で，本震後低下した．

余震確率の早期予報の推移が Hi-net 震源カタログで良く予測できている．また ETAS モデルでのシミュレーションによる余震活動の中期予測を試みた．さらに CSEP 日本で検証中の階層的時空間 ETAS モデルによる確率予測動画を高精度版で示した．

前震本震余震活動を ETAS モデルで解析した．活動度の推移は ETAS モデルで良くあてはまるが，9 月の前震活動は北西方向に移動，M4.2 で始まる前震は深い方向に移動，余震活動は西方に拡散している．

4.5　2016 年熊本地震

余震域と周辺部での本震発生前における地震活動の多様性の詳細を定常 ETAS モデル, 非定常 ETAS モデル，およびマグニチュード頻度のモデルを用いて解析検討した．

異なる方法で M6.5 熊本地震の「余震活動」から M7.0 以上の本震が起こる予測確率を求めた．M6.5 熊本地震の余震の M7.3 地震前の前震確率 [55), 114)] は概ね 5% 以上である．これに比べて M7.3 地震や 2005 年 M7.0 福岡県西方沖地震や 2015 年 M7.1 年鹿児島県西方沖地震のような本震 - 余震型系列は 3%以下の低い前震確率を与えている．

早期余震予測を実施し [113)]，欠測を考慮した ETAS モデルのパラメタ推定法を提案した [111)]．CSEP 日本で検証実施中の同一の階層的時空間 ETAS モデルによる予測の高精度動画を示した [114].

余震域には主に深さ方向に非一様な b 値分布が見られる [55), 56), 65), 110)].

4.6　2016 年 4 月 1 日三重県南東沖の地震（M6.1）に続く群発地震活動 [57)]

JMA 震源カタログと，地震波形データから Matched Filter 法で再決定した震源データによる，非定常 ETAS モデルによる解析や非定常 b 値解析を行った．いずれのデータでも震源の拡散や移動が見られ，本震と誘発群発地震がプレート境界で起きたことを示唆している．

その後，南海トラフの巨大地震との関係として短期的な影響は見られなかった．西南日本における地震活動異常としては，昭和の東南海地震や南海地震前後の回顧的な地震活動解析 [4), 73)] が参考になるかもしれない．

4.7　2013 年 4 月 13 日淡路島付近の地震 [41)]

1995 年兵庫県南部地震（M7.2）の震源域における余震活動は数年後僅かながら活発化していた [39)] が，M7.2 本震後の同地域内の余震活動を 5 年後まで ETAS モデルで当てはめ，淡路島付近の地震（M6.3）まで予測を延長すると相対的な活発化が顕著に見える．ETAS 変換時間に関する余震活動の時空間図では余震域が拡大（活発化）し，北東端で最大余震（M5.1）が発生し，南西端への拡張（活発化）の後に淡路島付近の地震（M6.3）が発生している．この経緯について，淡路島付近の地震の断層深部延長部ですべりがあったものと仮定して余震活動域の CFS 増加を調べ，余震活発化との整合性を確認した．さらに，同すべりによる地表の変動方向を描き，GNSS 観測点と繋がる GEONET の基線長の時系列を調べた．

余震活動は，5 月 26 日現在，M1 以上では順調に推移しているように見える [46].

4.8 2018 年大阪北部の地震 [66)]

余震活動のリアルタイム予測システム [113)] で本震の 3 時間後から予測を実施した.

4.9 2018 年北海道胆振東部地震

Hi-net 自動処理震源によるリアルタイム予測システムで本震の 3 時間後から予測を実施した [66), 113)].

余震域と周辺部での本震発生前後における地震活動を ETAS モデル，非定常 ETAS モデルなどを用いて詳細に解析した [67), 116)]．特に余震活動の常時地震活動強度が一時的に 10 倍近く急増し，その後回復している . これに対応して余震群の南端で「群発型」活動が認められる.

余震空間分布には主に深さ方向に非一様な b 値分布が見られる.

4.10 関東地方直下の地震予測

100km 深までの地震活動を解析，予測するために，階層的時空間 ETAS を 3 次元空間に拡張し，さらに M9 東北沖地震の影響を考慮した [68), 112), 115)]．関東直下では三つのプレートが重なって，諸パラメタの空間変化は極めて非均質であるが, 特に常時地震活動度は大地震の予測に, 余震生産性パラメタは短期予測にとって，特徴的パタンを示し，予測の重要な位置情報になる．1926 ~ 2016 年で JMA データ（M ≧ 4）をあてはめた本モデルを使って，3 次元時空間地震活動の予測結果を示した．一例として，2018 年 6 月時点に予測した結果は，その後 1 年に起きた M ≧ 3 の地震発生位置と比べると良好である.

4.11 2004 年 12 月 M9.1 スマトラ地震に先行した地震発生率の変化について [40), 89)]

2004 年 12 月 26 日の M9.1 スマトラ地震の前まで，スマトラ · アンダマン諸島地域における広域地震活動を 1973 年からの期間で調べた．全期間を通じて同じパラメタの定常な ETAS モデルより，ある変化時点を境にして異なるパラメタの ETAS モデル（two-stage ETAS model）を当てはめた場合がデータに良く適合した．しかし USGS の NEIC の震源カタログと ISC カタログでは矛盾した結論になる．前者のデータでは相対的に活発化し，後者では相対的に静穏化した．原因と考えられることは包括的核実験禁止条約（CTBT）に基づく国際データセンター（IDC）のデータの扱いにあると考えられる．NEIC は非採用であったが，ISC カタログは IDC データを含めたために，マグニチュード偏移が起きたと考えられる.

5．おわりに

歴史的記録や地球物理学や地質学の知見に基づいた数々の地震シナリオに加えて，各種観測データに適合した統計モデルを開発し，それを基準に使ってデータから異常事象を検出する作業が求められる．そのうえで異常事象が大地震の前兆たり得るのかを統計的に識別し予知率を高める．異常事象と大地震発生との統計的因果関係を解析するため，時空間的な危険度や切迫度の変化をモデル化して確率的予測に結びつける．そのために確率点過程 [98,109)] の考え方が重要である．一種類の異常事象だけでは十分大きな確率利得や的中率で予測できないかも知れないが，幾種類かの異常事象が観測されれば，確率予測の実用化が拓かれると考える.

2 節ではその骨子を概説し，解説論文 [93), 98), 109)] に取りまとめた．予知率を高めるための異常現象の検出例や方法を異なる観点から 3 節と 4 節に記述したが，異常事象のリアルタイム監視ができる様になるには数多くの課題がある.

（尾形　良彦）

参考文献

予知連絡会報 :

1）宇津徳治（1979）．連絡会報 **21**（7-4）, 164-166.
2）「地震予知連絡会 40 年のあゆみ」統計数理研究所（尾形良彦）85-88, 2009.
3）異常現象データと地震発生の相関解析および複合危険度予測 : 北京付近における日別地電位異常強度データ（1982-1997）を例として，**66**（10-4）, 562-570, 2001.
4）1944 東南海地震および 1946 南海地震前後の地震活動の変化について，**70**（7-3）, 378-383, 2003.
5）統計的時空間モデルで検出された中部・近畿地方の地震活動の変化（1995-2001）, **70**（6-3）, 361-363, 2003.
6）2003 年宮城県北部の前震活動と余震活動および周辺部の地震活動の統計解析，**71**（2-12）, 260-267, 2004.
7）宮城県沖プレート境界型大地震までの東北地方における地震活動，**71**（2-13）, 268-278, 2004.
8）静的トリガリングと統計，**72**（11-7）, 631-637, 2004
9）2003 年十勝沖地震（M8.0）前後の北日本における地震活動の特徴について，**72**（2-7）, 110-117, 2004.
10）地震検出率と b 値の同時推定と余震の確率予測, **73**（11-10）, 666-669, 2005.
11）2004 年新潟県中越地震（M6.8）の余震活動の特徴と地震前の周辺部における地震活動の特徴について，**73**（7-4）, 327-331, 2005.
12）2003 年十勝沖地震（M8.0）と 2004 年釧路沖の地震（M7.1）の余震活動および北海道東部の内陸地震活動の特徴について，**74**（2-6）, 83-88, 2005.
13）2005 年福岡県西方沖の地震（M7.0）前の九州地方及び付近における中期的な地震活動の特徴につい

て，**74**(10-18), 523-528, 2005.
14) 福岡県西方沖の余震活動について：最大余震（M5.8)以前に報告された相対的静穏化と余震域をストレスシャドウにするような前駆すべりのシナリオ，**74**(10-19), 529-535, 2005.
15) 近年の顕著な地震の余震活動について，**75**(11-4), 593-597, 2006.
16) 活動域における顕著な余震活動とそれまでの常時地震活動の様式との比較について，**75**(11-5), 598-601, 2006.
17) 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖地震（M7.2）の周辺部の活動と余震活動について，**75**(3-6), 129-131, 2006.
18) 余震活動の時空間的異常とストレス変化の空間分布，**76**(11-1), 590-597, 2006.
19) 地震活動異常と地殻変動異常 2004 年中越地震と 2005 年福岡県西方沖の地震の前の中期的変化について，**77**(11-4), 452-459, 2007.
20) 千島列島沖の地震活動の時空間パタンとストレス変化，**78**(2-3), 60-66. 2007.
21) 能登半島周辺の地震活動と地殻変動について，**78**(7-11), 399-404, 2007.
22) 2007 年中越沖地震の余震活動および周辺部の地震活動と地殻変動について，**79**(7-3), 345-352, 2007.
23) 最近 30 年の大地震発生と指定地域について，**79**(12-1), 623-625, 2008.
24) 2006 年千島列島沖地震の余震活動の時空間変化とストレス変化 －アウターライズ地震の前駆すべりの可能性－，**80**(12-5), 562-567, 2008.
25) 2008 年岩手・宮城内陸地震前の東北地方の地震活動について，**82**(3-5), 96-105, 2008.
26) 2009 年 8 月駿河湾の地震の余震活動と静岡県中西部地域の地震活動，**83**(6-4), 231-236, 2009.
27) *b* 値と ETAS モデルにもとづく日本列島の標準的地震発生予測，**83**(1-2), 5-8, 2010.
28) 活断層のずれ情報を利用した BPT 過程の事前分布によるベイズ型予測について，**84**(11-11), 231-236, 2010.
29) 2008 年岩手宮城内陸地震前の断層南部周辺の地殻変動について，**84**(3-5), 93-97, 2010.
30) 警報型地震予測の性能評価法について，**85**(12-7), 451-452, 2011.
31) 前震の確率予報の実施，**85**(12-4), 440-444, 2011.
32) 東北地方太平洋沖地震の前震活動と広域的静穏化について，**86**(3-20), 134-141, 2011.
33) 東北地方太平洋沖地震の余震と連鎖地震，**86**(3-19), 126-133, 2011.
34) 前震の確率予報の実施と評価：東北地方太平洋沖地震までの 15 年間，**86**(3-18), 123-125, 2011.
35) 東北地方太平洋沖地震の余震活動と松本付近の誘発地震活動，**87**(12-13), 546-553, 2012.
36) 東北地方太平洋沖地震の余震活動，**88**(3-3),100-103, 2012.
37) 東北地方太平洋沖地震によって誘発された地域の地震活動の長期確率予測，**88**(3-2), 92-99, 2012.
38) 東北地方太平洋沖地震によって誘発された日本列島の中長期確率予測の時空間分布，**88**(1-6), 35-39, 2012.
39) 1995 年兵庫県南部地震によって誘発された地震活動の遡及的予測と解析，**89**(8-2), 278-281, 2013.
40) 2004 年 M9.1 スマトラ地震に先行した地震発生率の変化について，**89**(12-11), 432-440, 2013.
41) 2013 年 4 月 13 日淡路島付近の地震（M6.3）までに至る兵庫県南部地震の余震活動などの異常変化ついて，**90**(8-3), 352-355, 2013.
42) 東北地方太平洋沖地震の余震活動（2011.3.11 - 2013.2.2), **90**(3-2), 104-108, 2013.
43) 時空間非定常 BPT モデルと北日本太平洋沖沈み込み帯の小繰り返し地震（1993.7.15 - 2011.3.10）の解析例 (1), **90**(2-2), 49-53, 2013.
44) 時空間非定常 BPT モデルによる北日本太平洋沖沈み込み帯の小繰り返し地震（1993.7.15 - 2011.3.10）の解析例 (2) －特に主要地震の前と後の変化について－，**90**(2-3), 54-57, 2013.
45) 大地震の確率予測と統計モデル，**91**(12-6), 387-395, 2013.
46) 2013 年 4 月 13 日淡路島の地震 (M6.3) の余震活動 (2011.4.13–2013.11.8), **91**(8-3), 267-268, 2014.
47) 東北地方太平洋沖地震のアウターライズ周辺での余震活動について（2011.3.11–2013.10.26), **91**(3-3), 72-76, 2014.
48) 本震直後の余震のリアルタイム確率予測，**91**(3-2), 66-71, 2014.
49) ETAS モデルによる余震の確率予測，**92**(11-2), 386-389, 2014.
50) 常時地震活動・余震・誘発地震の予測能力と評価，**93**(12-7), 415-426, 2015
51) 伊豆東部の群発地震活動の推移の短期予測について，**94**(5-1), 136-144, 2015.
52) 統計モデルによる地震活動異常のモニタリング，**94**(12-8), 412-423, 2015.
53) 2016 年熊本地震の余震の確率予測，**96**(12-24), 662-667, 2016.
54) 熊本 M7.3 地震の確率予測の試算，**96**(12-23), 658-

661, 2016.
55) 2016 年熊本地震（M7.3）の前震確率予測について, **96**(12-22), 652-657, 2016.
56) 2016 年熊本地震前の九州地域の地震活動および余震活動の統計的モニタリング, **96**(12-21), 642-651, 2016.
57) 2016 年 4 月 1 日三重県南東沖の地震（M6.1）に続く群発地震活動の統計解析, **96**(8-5), 304-310, 2016.
58) 2016 年鳥取県中部の地震(M6.6)前後の活動について, **97**(9-7), 368-374, 2017.
59) 日本列島内陸部の常時地震活動度について, **97**(1-3), 9-12, 2017.
60) 最新の活断層カタログに基づく BPT 予測, **98**(11-5), 443-448, 2017.
61) 2016 年熊本地震の余震活動について **98**(10-3), 386-391, 2017.
62) 次の地震のマグニチュード予測と評価 **99**(12-10), 452-455, 2018.
63) マグニチュードと時空間情報に基づく前震確率評価モデルの識別性能, **99**(12-9), 446-451, 2018.
64) BPT モデルの共通のばらつきパラメタの推定とベイズ型予測, **100**(11-2), 350-355, 2018.
65) 点過程モデルによる熊本地震前後の地震活動の解析, **100**(12-6), 397-404, 2018.
66) 2018 年大阪北部及び胆振地方の地震に対するリアリタイム余震確率予測, **101**(8-18), 407-410, 2019.
67) 北海道胆振東部地震の余震活動の特徴について, **101**(2-7), 73-77, 2019.
68) 首都圏直下の三次元地震活動の時空間統計モデルと詳細予測, **102**(4-5), 123-116, 2019.
69) 第 225 回地震予知連絡会重点検討課題「予測実験の試行 06」リアルタイム短期予測の実施と評価について, 2019 年 11 月 .

その他の論文誌 :

70) Aki, K. 1981. Earthquake Prediction (Maurice Ewing Series, 4), eds. D. W. Simpson and P. G. Richards, Washington, D.C.: American Geophysical Union, 566.4).
71) Cao, T, and Aki, K. 1983. Assigning preobability gain for precursors of four large Chinese earthquakes, *J. Gophys. Res.*, **88**(B3), 2185-2190.
72) Ogata, Y., Utsu, T. and K. Katsura, 1996, Statistical discrimination of foreshocks from other earthquake clusters, *Geophys. J. Int.*, **127**, 17-30.
73) Ogata, Y. 2004. Seismicity quiescence and activation in western Japan associated with the 1944 and 1946 great earthquakes near the Nankai trough, *J. Geophys. Res.*, **109**, B4, B04305, doi:10.1029/2003JB002634.
74) Zhuang J., Vere-Jones D., Guan H., Ogata Y. and Ma L. 2005. Preliminary analysis of observations on the ultra-low frequency electric field in a region around Beijing. *PAGeoph.*, **162**, 1367-1396, doi:10.1007/s00024-004-2674-3 (with data).
75) Ogata, Y. and Katsura, K. 2006. Immediate and updated forecasting of aftershock hazard, *Geophys. Res. Lett.*, **33**, 10, L10305, doi:10.1029/2006GL025888.
76) Ogata, Y. 2006. Monitoring of anomaly in the aftershock sequence of the 2005 earthquake of M7.0 off coast of the western Fukuoka, Japan, by the ETAS model, *Geophys. Res. Lett.*, **33**, 1, L01303, doi:10.1029/2005GL024405.
77) Ogata, Y. 2007. Seismicity and geodetic anomalies in a wide area preceding the Niigata-Ken-Chuetsu earthquake of 23)October 2004, central Japan, *J. Geophys. Res.*, **112**, B10301, doi:10.1029/2006JB004697.
78) Ogata, Y. 2010a. Space-time heterogeneity in aftershock activity, *Geophys. J. Int.*, **181**(3), 1575-1592, doi:10.1111/j.1365-246X.2010.04542.x.
79) Ogata, Y. 2010b. Anomalies of seismic activity and transient crustal deformations preceding the 2005 M7.0 earthquake west of Fukuoka, *PAGeophys.*, **167**(8-9), doi:10.1007/s00024-010-0096-y.
80) Ogata, Y. and Toda, S. 2010. Bridging great earthquake doublets through silent slip: On- and off-fault aftershocks of the 2006 Kuril Island subduction earthquake toggled by a slow slip on the outer rise normal fault the 2007 great earthquake, *J. Geophys. Res.*, **115**, B06318, doi:10.1029/2009JB006777.
81) Kumazawa, T., Ogata, Y. and Toda, S. 2010. Precursory seismic anomalies and transient crustal deformation prior to the 2008 Mw = 6.9 Iwate-Miyagi Nairiku, Japan, earthquake, *J. Geophys. Res.*, **115**, B10312, doi:10.1029/2010JB007567.
82) Ogata, Y. 2011. Significant improvements of the space-time ETAS model for forecasting of accurate baseline seismicity, *Earth Planets Space*, **63**(3), 217-229,

doi:10.5047/eps.2010.09.001

83) Ogata, Y. 2011. Pre-seismic anomalies in seismicity and crustal deformation: case studies of the 2007 Noto Hanto earthquake of M6.9 and the 2007 Chuetsu-oki earthquake of M6.8 after the 2004 Chuetsu earthquake of M6.8, *Geophys. J. Int.*, **186** (1), 331-348, doi:10.1111/j.1365-246X.2011.05033.x. Erratum, *Geophys. J. Int.*, **188** (3), 1454, doi:10.1111/j.1365-246X.2011.05306.x, http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-246X.2011.05306.x/abstract.

84) Nomura, S., Ogata, Y., Komaki, F. and Toda, S. 2011. Bayesian forecasting of the recurrent earthquakes and its predictive performance for a small sample size, *J. Gophys. Res.*, **116**, B04315, doi:10.1029/2010JB007917.

85) Ogata, Y. and Katsura, K. 2012. Prospective foreshock forecast experiment during the last 17 years, *Geophys. J. Int.*, **191** (3), 1237-1244, doi:10.1111/j.1365-246X.2012.05645.x.

86) Ogata, Y. 2013. A prospect of earthquake prediction research, *Statistical Science,* **28** (4), 521-541, doi:10.1214/13-STS439.

87) Omi, T., Ogata, Y., Hirata, Y. and Aihara, K. 2013. Forecasting large aftershocks within one day after the main shock, *Scientific Reports,* **3** (2218), doi:10.1038/srep02218.

88) Ogata, Y., Katsura, K., Falcone, G., Nanjo, K.Z. and Zhuang, J. 2013. Comprehensive and topical evaluations of earthquake forecasts in terms of number, time, space, and magnitude, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **103** (3), 1692-1708, doi:10.1785/0120120063.

89) Bansal, A.R. and Ogata, Y. 2013. A non-stationary epidemic type aftershock sequence model for seismicity prior to the December 26, 2004 M9.1 Sumatra-Andaman Islands mega-earthquake, *J. Gophys. Res.*, **118**, 616-629, doi:10.1002/jgrb.50068.

90) Kumazawa, T. and Ogata, Y. 2013. Quantitative description of induced seismic activity before and after the 2011 Tohoku-Oki Earthquake by non-stationary ETAS models, *J. Gophys. Res.*, **118** (12), 6165-6182, doi:10.1002/2013JB010259.

91) Zechar, J.D. and Zhuang, J. 2014. A parimutuel gambling perspective to compare probabilistic seismicity forecasts, *Geophys. J. Int.*, **199** (1), 60-68, doi:10.1093/gji/ggu137, October 2014.

92) Ogata, Y. and Katsura, K. 2014. Comparing foreshock characteristics and foreshock forecasting in observed and simulated earthquake catalogs, *J. Gophys. Res.*, **119** (11), 8457-8477, doi:10.1002/2014JB011250.

93) Kumazawa, T. and Ogata, Y. 2014. Nonstationary ETAS models for nonstandard earthquakes, Ann. Appl. Statist., **8** (3), 1825-1852, doi:10.1214/14-AOAS759, http://projecteuclid.org/euclid.aoas/1414091236.

94) Nomura, S., Ogata, Y. and Nadeau, R.M. 2014. Space-time model for repeating earthquakes and analysis of recurrence intervals on the San Andreas Fault near Parkfield, California, *J. Gophys. Res.*, **119** (9), 7092-7122, doi:10.1002/2013JB010558.

95) Zhuang, J., Ogata, Y., Vere-Jones, D., Ma, L. and Guan, H. 2014. Statistical modeling of earthquake occurrences based on external geophysical observations: with an illustrative application to the ultra-low frequency ground electric signals observed in the Beijing region, in Seismic Imaging, Fault Damage and Heal, edited by Li Y., Germany: De Gruyter together with China: Higher Education Press, 351-376.

96) Omi, T., Ogata, Y., Hirata, Y. and Aihara, K. 2014. Estimating the ETAS model from an early aftershock sequence, Geophy. Res. Lett., **41**, 850-857, doi:10.1002/2013GL058958.

97) 庄 建倉，尾形良彦 2015. 地震予測の評価法について，統計数理，**63** (1), 29-44.

98) 尾形良彦 2015.「特集 地震予測と統計モデル」について，統計数理，**63** (1), 1-2.

99) 尾形良彦 2015. 地震の確率予測の研究－その展望，統計数理，**63** (1), 3-27.

100) 熊澤貴雄 2015. 地震活動の異常性とモデリング，統計数理，**63** (1), 45-64.

101) 野村俊一 2015. 活断層で繰り返される地震の点過程モデルとその長期確率予測，統計数理，**63** (1), 83-104.

102) 近江崇宏 2015. 本震直後からの余震活動のリアルタイム短期予測と中期予測，統計数理，**63** (1), 65-81.

103) Omi, T., Ogata, Y., Hirata, Y. and Aihara, K. 2015. Intermediate-term forecasting of aftershocks from an early aftershock sequence: Bayesian and ensemble

forecasting approaches, *J. Gophys. Res.*: Solid Earth, **120** (4), 2561–2578, doi:10.1002/2014JB011456.

104) Ogata, Y. and Tsuruoka, H. 2016. Statistical monitoring of aftershock sequences: a case study of the 2015 Mw7.8 Gorkha, Nepal, earthquake, *Earth Planets Space*, **68** (44), doi:10.1186/s40623-016-0410-8.

105) Kumazawa, T., Ogata, Y., Kimura, K., Maeda, K. and Kobayashi, A. 2016. Background rates of swarm earthquakes that are synchronized with volumetric strain changes, *Earth and Planetary Science Letters*, **442**, 51-60, doi:10.1016/j.epsl.2016.02.049.

106) Nomura, S. Ogata, Y., Uchida, N. and Matsu'ura, M. 2016. Spatiotemporal variations of interplate slip rates in northeast Japan inverted from recurrence intervals of repeating earthquakes, *Geophys. J. Int.*, **208** (1), 468-481, doi:10.1093/gji/ggw395.

107) Omi, T., Ogata, Y., Shiomi, K., Enescu, B., Sawazaki, K. and Aihara, K. 2016. Automatic aftershock forecasting: A test using real-time seismicity data in Japan, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **106** (6), 2450-2458, doi:10.1785/0120160100.

108) Ogata, Y. 2017a. Forecasting of a Large Earthquake: An Outlook of the Research, *Seismol. Res. Lett.*, **88** (4), 1117-1126, doi:10.1785/0220170006.

109) Ogata, Y. 2017b. Statistics of Earthquake Activity: Models and Methods for Earthquake Predictability Studies, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, **45**, 497-527, doi:10.1146/annurev-earth-063016-015918.

110) Kumazawa, T., Ogata, Y. and Tsuruoka, H. 2017. Measuring seismicity diversity and anomalies by point process models: Case studies before and after the 2016 Kumamoto Earthquakes in Kyushu, Japan, *Earth Planets Space*, **69**, Article169, https://doi.org/10.1186/s40623-017-0756-6.

111) Zhuang, J., Ogata, Y. and Wang, T. 2017. Data completeness of the Kumamoto earthquake sequence in the JMA catalog and its influence on the estimation of the ETAS parameters, *Earth Planets Space*, **69** (36), doi:10.1186/s40623-017-0614-6.

112) Guo, Y., Zhuang, J. and Hirata, N. 2018. Modeling and forecasting 3D-hypocenter seismicity in the Kanto region, *Geophys. J. Int.*, **214** (1), 520-530, https://doi.org/10.1093/gji/ggy154.

113) Omi, T., Ogata, Y., Shiomi, K., Enescu, B., Sawazaki, K., and Aihara, K. 2018. Implementation of a Real - Time System for Automatic Aftershock Forecasting in Japan, *Seismol. Res. Lett.*, **90** (1), 242-250, https://doi.org/10.1785/0220180213.

114) Ogata, Y., Katsura, K., Tsuruoka, H. and Hirata, N. 2018. Exploring magnitude forecasting of the next earthquake, *Seismol. Res. Lett.*, **89** (4), 1298-1304, doi:10.1785/0220180034, https://doi.org/10.1785/0220180034.

115) Ogata, Y., Katsura, K., Tsuruoka, H. and Hirata, N. 2019 High-resolution 3D earthquake forecasting beneath the greater Tokyo area, *Earth Planets Space*, **71** (113), https://doi.org/10.1186/s40623-019-1086-7.

116) Kumazawa, T., Ogata, Y. and Tsuruoka, H. 2019 Characteristics of seismic activity before and after the 2018 M6.7 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake, *Earth Planets Space* (in press).

117) Shcherbakov, R., Zhuang, J., Zöller, G. and Ogata, Y. 2019. Forecasting the magnitude of the largest expected earthquake, *Nature Comm.*, **10** (4051).

2．研究開発法人・行政機関等

（1） 防災科学技術研究所

1．はじめに

防災科学技術研究所（以下，防災科研）は 1973 年に観測を開始した深度 3500m の岩槻地殻活動観測施設に始まり，関東・東海地殻活動観測網や強震観測網，相模湾海底地震観測施設などを東海地震の地震防災対策強化地域等に重点的に展開してきた．平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震及び平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の発生とそれらに伴う 2 つの大震災を契機に，全国どこでも地震が起こりうるということを前提に，陸域においては空間的に均質な観測を行うとともに，海域においても地震や津波をリアルタイムで観測するよう，日本の防災に向けた地震観測の方針は大きく変革した．本稿では，まず防災科研が全国の陸域に整備してきた基盤観測網について概説し，次に海域における観測網を統合して整備し運用している陸海統合地震津波観測網（MOWLAS）について述べる（図 1）．

2．基盤観測網の運用

2.1　陸域を対象とした観測網

1995 年に発生し 6400 名以上が犠牲者となった阪神・淡路大震災発生当時の当該地域における観測体制は十分であったとはいえず，地震後ただちに事態の全体像を把握することが困難であった．この震災を契機に地震防災対策特別措置法が施行され，そのもとに地震調査研究推進本部（以下，地震本部）が設置された．防災科研では地震本部が策定した基盤的調査観測計画[1)]の方針のもと，全国の陸域をほぼ均一に覆う高精度で確実な観測を行う基盤観測網を構築し運用してきた[2)]．基盤観測網は地震による被害の軽減と地震像の解明を目指し，地震発生の長期評価，地震活動の現状把握･評価，地震ハザード評価，地震情報の早期伝達の四つを目的としている．基盤地震観測網は，微小な揺れを測るための高感度地震観測網（Hi-net：High Sensitivity Seismograph Network of Japan，約 800 観測点）[3) 4)]，強い揺れを測るための二つの強震観測網，全国強震観測網（K-NET：Kyoshin Network，約 1050 観測点）と基盤強震観測網（KiK-net：Kiban-Kyoshin Network，約 700 観測点）[5) 6)]，さらには，周期が数十秒以上に至る広帯域の地震波を測定することができる広帯域地震観測網（F-net：Full-range Seismograph Network of Japan，73 観測点）[7) 8)]から成っている．その一部は地震の翌年の 1996 年から運用を開始し，2000 年頃までには現在の陸域における観測体制が構築された．この他，16 火山に 55 観測点から成る火山観測網（V-net：Fundamental Volcano Observation Network in Japan）[9)]を構築・運用し，火山噴火のメカニズム解明などの基礎的な研究や火山活動監視に貢献している．

最近 10 年では，平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震を初めとする多くの地震の記録を正確に捉えることに成功し，地震発生のメカニズムの解明や余震活動の把握に大きく貢献してきた．例えば，東北地方太平洋

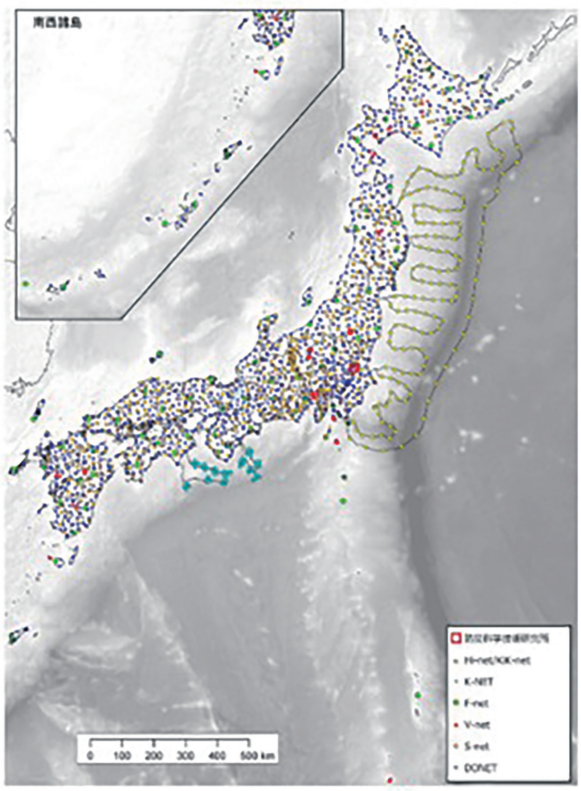


図 1　陸海統合地震津波観測網 MOWLAS の観測点配置．

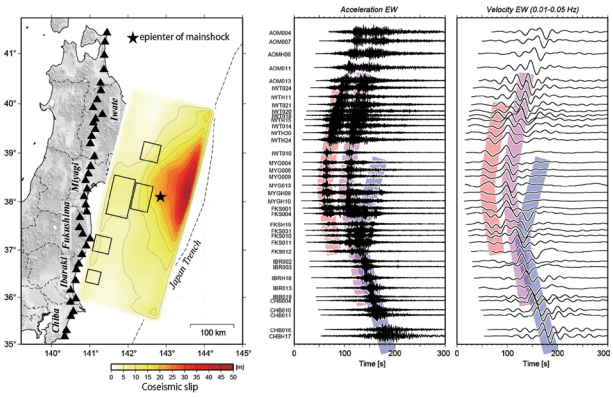


図 2　東北地方太平洋沖地震の強震記録．（左図）プロットに使用した K-NET と KiK-net 観測点の位置．カラーコンターはすべり量分布を，5 つの矩形は強震動発生域を示す．（中図）最大振幅で正規化した加速度記録．（右図）速度波形の EW 成分．複数の波群が伝播していく様子が認められ，本震の震源過程が複雑であることを示している．

沖地震の強震記録（図 2）において，複数の波群が伝播していく様子は，本地震の震源過程が複雑であることを明快に示した[10) 11)]．また，2016 年 4 月の熊本地震では，14 日と 16 日にそれぞれ最大震度 7 の強い揺れを伴う地震が観測され，広範囲にわたり地震活動が活発化した．防災科研は，震源分布の時間変化，強震動分布，震源過程について精密な解析を行い，それらの結果を地震本部の地震調査委員会や地震予知連絡会で報告した．これらの地震に対する解析結果は，学会や学術雑誌，ウェブサイトで発表することにより，社会への迅速で詳細な情報提供が可能となっている．

2.2　海域を対象とした観測網

震源の直上で観測することは，現象の解明という学術の見地からも，地震や津波の即時予測の観点からもメリットが大きい．沖合における地震を直上で観測することで，微小地震や微動の検知や震源・メカニズム決定，地震やスロースリップの震源断層モデル推定などの精度が格段に向上し，優れた研究基盤として学術的な研究成果の創出に大きく貢献することが期待される．

東北地方太平洋沖地震では，東日本の太平洋岸沖合における地震津波の観測体制の不足が津波警報や緊急地震速報の過小評価の一因となったとの指摘がなされた[12)]．東北地方太平洋沖地震当時，海域における海底ケーブル式の地震や津波の観測システムは，設置主体別に，気象庁が整備した東海沖（1979 年），房総沖（1985 年），東南海沖（2008 年），防災科研が整備した相模湾（1996 年），東京大学地震研究所が整備した伊豆東方沖（1994 年），三陸沖（1996 年），（国研）海洋研究開発機構（以下，JAMSTEC）が整備した室戸岬沖（1997 年），釧路・十勝沖（1999 年）などが存在していた．地震直後に防災情報を出すには海底ケーブル式による定常観測が有効であるが，当時の観測網は稠密に空間を覆うかたちでの地震・津波観測体制とはなってはおらず，新たな観測体制の構築が急務であった．

防災科研は，東日本地域太平洋岸沖合における地震や津波の早期検知・情報伝達などを目的として，2011 年度より日本海溝海底地震津波観測網（S-net：Seafloor Observation Network for Earthquakes and Tsunamis along the Japan Trench）[13)]の整備を開始した．S-net は，千葉県房総半島沖から北海道沖日本海溝沿いの海域 150 地点において地震と津波をリアルタイムで観測するケーブル式観測網として，2017 年 3 月に完成した．房総沖，茨城･福島沖，宮城･岩手沖，三陸沖北部，釧路･青森沖，海溝軸外側の 6 つのセグメントの合計約 5500km にわたる光海底ケーブルを敷設し，海底に地震計や津波計からなる観測装置を数珠つなぎに設置した．観測点はおおむね 30 ～ 60km 間隔で設置されており，それぞれの観測地点には津波を観測するための水圧計と地震を観測するための速度計や加速度計が設置されている．

S-net データによる地震波形データの解析により，2016 年 11 月 22 日に発生した福島県沖を震源とする M7.4 の地震の詳細な余震活動が推定された．震源は南東傾斜の断層面に沿って分布し，余震の活動域が本震位置から南西に延びていることを明瞭に示した．また，水圧計により，波源から直接伝播する津波と海岸で反射した津波が北上する様子を捉え[14)]，それらが干渉することで仙台港での最大波をもたらしたことを示した（図 3）．

一方，近い将来巨大地震の発生が懸念されている南海トラフ沿いには，JAMSTEC が整備した地震・津波観測監視システム（DONET：Dense Oceanfloor Network system for Earthquakes and Tsunamis）[15) 16)]がある．東日本大震災発生当時は，熊野灘沖をカバーする DONET1 は当時まだ整備途中であったが，約半数の 10 点で観測を開始していた．2011 年 8 月には 20 観測点での観測を開始し，その後，紀伊水道沖をカバーする DONET2 は，東日本大震災の発生を受け整備計画が前倒された．2016 年 3 月に全 51 点の整備を完了したのち，2016 年 4 月に防災科研に移管された．

即時予測の観点から言えば，海域における観測は人が住んでいないところへの観測網の延長である．S-net や DONET の観測データを用いることで，陸域や沿岸のみで観測する場合と比較して，地震動の検知が最大 30 秒程度，津波に関しては 20 分程度早くなり，気象庁の緊急地震速報や津波警報などの各種警報業務や民間のシステムの制御等における猶予時間の増大や精度向上に貢献できる．2012 年 3 月には DONET1 のデータが気象庁による津波警報の基礎データとして活用され始め，2016 年 7 月には DONET に加えて S-net の海底津波計データの津波情報への活用が始まった．また，2015 年 3 月か

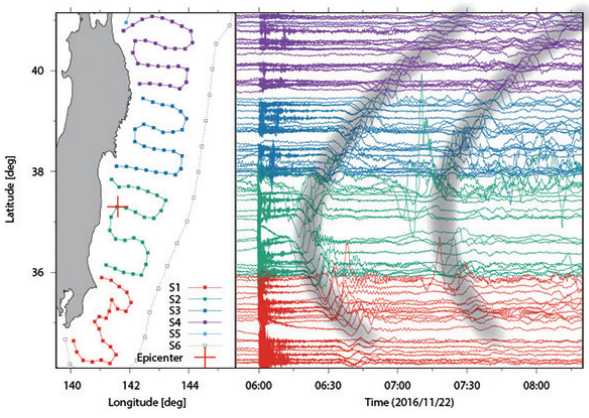


図 3　2016 年福島県沖の地震の S-net 観測点で記録された水圧波形．津波は S-net 観測点へ直接伝播した第一波と沿岸で反射した第二波を観測した．

らは DONET の，2019 年 6 月からは S-net の海底地震計データの気象庁の緊急地震速報への活用が開始された．更に 2017 年 11 月からは S-net 及び DONET の海底地震計データの鉄道事業者への配信を開始し，新幹線の緊急停止などの防災対策への活用がなされている．

3．陸海統合地震津波観測網（MOWLAS）

地震は陸域でも海域でも発生し，海域の地震であってもエネルギーは地震波として陸へ到達して被害を起こす．観測を陸域と海域に分けているのは観測技術の問題に過ぎず，陸域と海域の観測データを統合的に解析することはさまざまなメリットがあるため，観測データの蓄積と統合的な解析を行うための研究および統合データの活用を進展することが重要である．防災科研は，上述の陸海の 6 つの地震観測網及び基盤的火山観測網 V-net の 7 つの観測網を陸海統合地震津波火山観測網 MOWLAS（Monitoring of Waves on Land and Seafloor）[17] として 2017 年 11 月より統合運用している．

MOWLAS の連続波形データは，IP-VPN を用いた伝送網によりリアルタイムで伝送されている．可能な限り帯域が確保された回線を選択すること，網内での伝送遅延を 0.5 秒以内に抑えることで，高速度・高品質のデータ収集を実 現している．データは防災科研に伝送されるだけではなく，気象庁にもリアルタイムで伝送され，緊急地震速報や津波警報などに活用されている．

運用開始から 2019 年末現在，Hi-net により 350 万イベントを超える震源決定，F-net では 4 万イベント近いメカニズム推定がなされるとともに，強震観測網では 1.6 万イベント（約 80 万データ）を超える強震波形が収録されるなど大量の高品質なデータが防災科研のデータセンターでアーカイブ・公開されている．これらのデータは，簡単なユーザー登録をすることで，使用可能となる．MOWLAS の観測データから，各種スローイベントの発見や地下構造モデル構築，極大地震動の取得など，様々な学術的成果が得られている．また，構造設計をはじめとする工学的利用，さらには各種ハザード評価など防災に直結する情報基盤という観点での貢献も大きい．

4．その他の観測網とデータの共有

首都圏で発生する地震の研究とその被害軽減を目的に 2007 年から東京大学地震研究所などによって構築された首都圏地震観測網（MeSO-net：Metropolitan Seismic Observation network）[18] は，2016 年度末に防災科研に移管され，現在は防災科研によって運用されている．観測点は，首都圏の約 300 カ所（東京都，茨城県，神奈川県，千葉県，山梨県，埼玉県）に，直線状（観測点間隔 3km 程度）および面状（4 ～ 10km 間隔）に配置されている．各観測点における地震計は，首都圏の大きなノイズや温度変化を避けるため約 20m の縦孔の底に設置されており，地上には地震データの収録装置，電源装置，通信機器のほか，温度･気圧計を設置している．取得されたデータはリアルタイムで防災科研へ送信され，防災科研および東京大学地震研究所で蓄積されている．MeSO-net では，通信回線の輻輳や停電等で不通になったりする場合に備え，観測点でデータの送信速度をコントロールし，回線復旧後に自動的に再送する自律協調型地震観測装置を使用している．MeSO-net データは，MOWLAS のデータと同様に防災科研のウェブサイトからダウンロード可能となっている．

観測を実施するためには多くの手間と時間が必要であるため，従来，観測データはそれを取得した研究者や組織で使用し公開されることは少なかったが，阪神・淡路大震災を契機に気象庁・大学・研究機関の観測データが一元化された．防災科研は，各機関で観測されたデータをリアルタイムで共有するための仕組み（TDX: Tokyo Data eXchange）を提供している．防災科研は，これら他機関のデータについても収集・アーカイブするとともに，インターネット上での公開の責を担っている．

5．おわりに

図 1 に示したように，防災科研では全体で 2000 を超える観測点を一元的に維持・管理し，かつデータの取得・保存・公開についても，安定した運用を行っている．MOWLAS データの利活用を推進するため，2019 年 4 月には，各観測網データに対してデジタルオブジェクト識別子（DOI: Digital Object Identifier）を取得した [19]．このような安定した運用の実現のためには，天災などにより生じた観測データの異常を直ちに検出して迅速な対応・復旧を行い，老朽化した機器の更新を確実に実施しなければならない．東北地方太平洋沖地震直後においては，停電によるデータの一時的な欠測や強い揺れによる地震計の故障，津波による観測施設の流出などに対する復旧，または膨大な数の地震発生による大量データの処理に対応した経験を踏まえて，今後の激甚災害発生時における業務継続のための技術を強化した．

現在では MOWLAS のデータは気象庁が発表する緊急地震速報，津波警報，震度情報や震源位置決定に使用されているほか，新幹線制御など民間事業者にも活用されつつあるなど，データの社会実装が着実に前進している．これらの社会実装を確実に機能させるためには，今後とも長期間にわたって MOWLAS の安定的運用および観測技術やデータ利活用技術の開発を推進していく必要がある．

（青井　真・汐見　勝彦）

参考文献

1) 地震調査研究推進本部，1997．地震に関する基盤的調査観測計画.
2) Okada, Y., K. Kasahara, S. Hori, K. Obara, S. Sekiguchi, H. Fujiwara, and A. Yamamoto, 2004. Recent progress of seismic observation networks in Japan -Hi-net, F-net, K-NET and KiK-net -. Earth, Planets Space, 56, xv-xxviii.
3) Obara, K., K. Kasahara, S. Hori, and Y. Okada, 2005. A densely distributed high-sensitivity seismograph network in Japan: Hi-net by National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention. Rev. Sci. Instrum. 76, 021301-doi:10.1063/1.1854197.
4) 汐見勝彦・小原一成・針生義勝・松村稔 , 2009. 防災科研 Hi-net の構築とその成果 . 地震 2, 61, S1-S7.
5) Aoi, S., T. Kunugi, H. Nakamura, and H. Fujiwara, 2011. Deployment of new strong motion seismographs of K-NET and KiK-net, in “Earthquake Data in Engineering Seismology” ed. by S. Akkar, P. Gülkan, and T. van Eck. Geotechnical, Geological, and Earthquake Engineering, 14, Springer, Dordrecht, 167-186, doi:10.1007/978-94-007-0152-6_12.
6) 功刀卓・青井真・藤原広行 , 2009. 強震観測－歴史と展望－ . 地震 2, 61, S19-S34.
7) 福山英一・石田瑞穂・堀貞喜・関口渉二・綿田辰吾 , 1996, Freesia Project による広帯域地震観測．防災科学技術研究所報告 , 57, 23 － 31.
8) 松本拓己・堀貞喜・松林弘智 , 2009. 広帯域地震観測－防災科研 F-net の 10 年－．地震 2, 61, S9-S18.
9) Tanada, T., H. Ueda, M. Nagai, and M. Ukawa, 2017. NIED’ s V-net, the fundamental volcano observation network in Japan. J. Disaster Res., 12 (5), 926-931.
10) Suzuki, W., S. Aoi, H. Sekiguchi, and T. Kunugi, 2012. Rupture process of the 2011 Tohoku-Oki mega-thrust earthquake (M9.0) inverted from strong-motion data. Geophys. Res. Lett., 38, L00G16, doi:10.1029/2011GL049136.
11) 青井真・功刀卓・鈴木亘・森川信之・中村洋光・先名重樹・藤原広行，2012. 2011 年東北地方太平洋沖地震の強震動．地震，64，169-182.
12) 気象庁 , 2012. 平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震調査報告．気象庁技術報告 .
13) Kanazawa, T., K. Uehira, M. Mochizuki, T. Shinbo, H. Fujimoto, S. Noguchi, T. Kunugi, K. Shiomi, S. Aoi, T. Matsumoto, S. Sekiguchi, and Y. Okada, 2016. S-net project, cabled observation network for earthquakes and tsunamis. SubOptic 2016, WE2B–3.
14) 青井真，2017. S-net でとらえられた地震と津波．地震本部ニュース 2017 春，8-9.
15) Kaneda, Y., K. Kawaguchi, E. Araki, H. Matsumoto, T. Nakamura, S. Kamiya, K. Ariyoshi, T. Hori, T. Baba, and N. Takahashi, 2015. Development and application of an advanced ocean floor network system for megathrust earthquakes and tsunamis. in ” Seafloor Observatories, A new vision of the Earth from the Abyss” , ed. by P. Favali, L. Beranzoli, and A. De Santis, Springer Praxis Books, Springer, Berlin, Heidelberg, 643-663, doi:10.1007/978-3-642-11374-1_25.
16) Kawaguchi, K., S. Kaneko, T. Nishida, and T. Komine, 2015. Construction of the DONET real-time seafloor observatory for earthquakes and tsunami monitoring. in ” Seafloor Observatories, A new vision of the Earth from the Abyss” , ed. by P. Favali, L. Beranzoli, and A. De Santis, Springer Praxis Books, Springer, Berlin, Heidelberg, 211-228, doi 10.1007/978-3-642-11374-1_10.
17) 青井真・淺野陽一・功刀卓・木村武志・植平賢司・高橋成実・上田英樹・汐見勝彦・松本拓己・藤原広行・地震津波火山ネットワークセンター , 2018. 陸海統合地震津波火山観測網（MOWLAS）の構築 . 日本地震学会 2018 年度秋季大会，S19-04.
18) 笠原敬司・酒井慎一・森田裕一・平田 直・鶴岡弘・中川茂樹・楠城一嘉・小原一成 , 2009. 首都圏地震観測網（MeSO-net）の展開 . 東京大学地震研究所彙報 , 84, 71-88.
19) 防災科学技術研究所，2019．MOWLAS の各観測網にデータ DOI が付与されました.
http://www.mowlas.bosai.go.jp/news/20190408/

（2） 海洋研究開発機構

1．はじめに

海洋研究開発機構では，海溝型巨大地震の震源域での詳細な構造調査に加えて，地震・津波監視システム（DONET）の技術開発，設置・構築を行うとともに，長期孔内システムの開発・DONET への接続によるリアルタイム化，リアルタイム海域観測データを活用する即時津波予測システムの開発･実装を行ってきた．さらに，東北地方太平洋沖地震に対して，構造調査やシミュレーションを活用した研究を進めるとともに，南海トラフ～琉球海溝，日本海東縁等を対象としたプロジェクト研究を進めた．

2．地震・津波観測監視システム（DONET）の構築・活用

2.1　DONET1・2 の構築とモニタリング

DONET（Dense Oceanfloor Network System for Earthquakes and Tsunamis）は，南海トラフの巨大地震の震源域のほとんどを占める，海域で発生する地震・津波を常時観測監視するために，南海トラフ周辺の深海底に設置された地震・津波観測監視システムである．紀伊半島沖熊野灘の水深約 1,900~4,400m の海底に設置された「DONET1」は，2011 年に本格運用を開始．「DONET2」は，紀伊水道から四国沖の水深約 1,000~3,600m の海底に設置された．各観測点には強震計，広帯域地震計，水晶水圧計，微差圧計，ハイドロフォン，精密温度計が設置され，地殻変動のようなゆっくりした動きから大きな地震動まで，あらゆるタイプの海底の動きを観測することができる（図 1）．

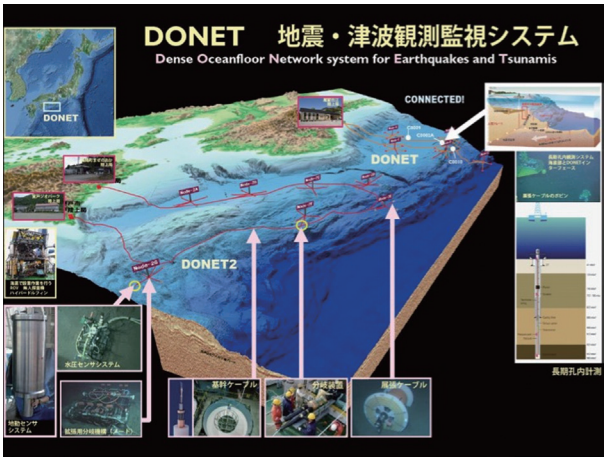


図 1　DONET のシステム概要．長期孔内を含む．

DONET1 による地震観測データを加えることで，紀伊半島沖での地震の検知能力が大きく向上し，震源位置の決定精度（特に深さ）も向上した（図 2）[1]．

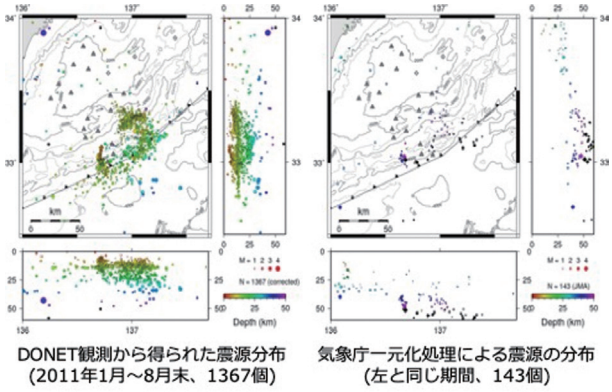


図 2　DONET1 による震源決定能力向上 [1]

DONET は，海洋研究開発機構が文部科学省より，平成 18 年度から受託研究「地震・津波観測監視システム構築」および平成 22 年度から補助事業「地震・津波観測監視システムの開発」として開発・整備を進めたものである．平成 28 年 4 月に，紀伊水道から四国沖にかけて展開する DONET2 が完成したことを受け，DONET1 と合せて，防災科学技術研究所に移管された．

2.2　南海トラフ長期孔内観測システム

より長周期の海底地殻変動等を観測するには，海底面に広がる軟弱な堆積層や，海底に流れる底層流の影響を避ける必要がある．海底下 500-1000 m の掘削孔内に観測センサーを設置することでそれが実現できると考え，地球深部探査船「ちきゅう」で掘削した孔内へ地震・地殻変動等のセンサーを設置する「長期孔内観測システム」の開発を行い，国際深海掘削計画（IODP）における南海掘削計画の一環で，東南海地震震源域沖合の海域に複数点を設置し，DONET に接続することで長期観測を実現した．DONET1・2 ならびに長期孔内観測データを用いたスロー地震の解析は，第 2 部 3 章 3.(5) を参照されたい．

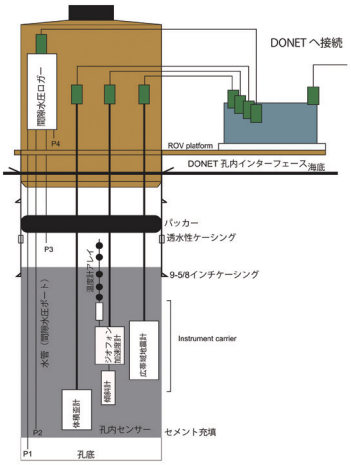


図 3　長期孔内観測システムダイアグラム

2.3　即時津波予測システムと社会実装

沖合の津波発生による DONET の水圧計の変化を捉え，それに対する沿岸での増幅率を事前に多数シミュレーションで計算しておくことで，リアルタイムデータに従って 1 秒毎に津波高・到達時刻・浸水マップを更新していくシステムを開発し [2]，和歌山県・中部電力・尾鷲市等に実装した．和歌山県はこのシステムを用いて，気象庁以外で初めて，市町村の防災担当に向けて，独自の津波予報を知らせる仕組みとなっている．

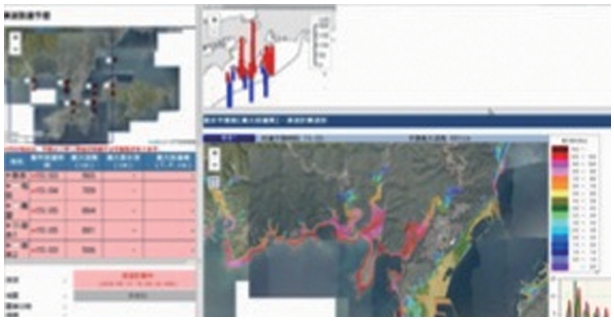


図 4　津波即時予測システム [2]

3．東北地方太平洋沖地震関連

3.1　地震前後の海底地形・地下構造変化

2011 年東北地方太平洋沖地震の発生を受け，海洋研究開発機構では，震源域の構造の把握，断層のイメージングを目的として，主に宮城沖を対象に地形・地下構造調査を実施した．

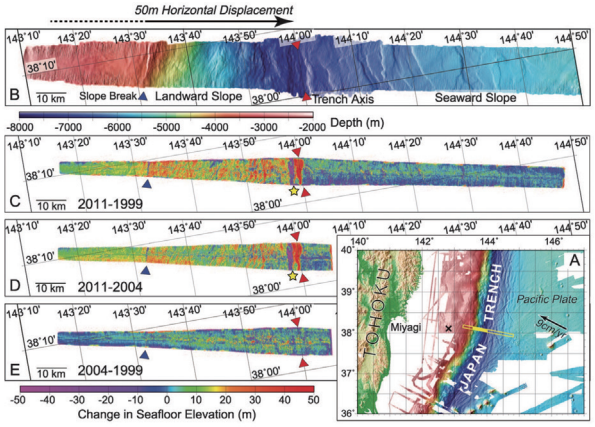


図 5　東北地方太平洋沖地震前後の海底地形比較 [3]

海洋研究開発機構は，以前から，東北沖でマルチナロービーム音響測深器による地形調査を実施してきた．地震発生後，宮城沖の震央付近で過去に調査を実施した測線と同一測線で得られた地形データと，過去に得られたデータを比較したところ，特に海溝軸近傍で最大 50m にも及ぶ地形変化があったことが判明した（図 6）[3]．

この地震では地震に伴う変形が海溝軸近傍まで及んだことが地形調査から明らかになったが，実際の断層はどのように位置し，どのように断層が海底へ達しているかを知るには地下構造調査が必要である．地震後の複数回にわたって反射法地震探査を実施し，地震発生前後での地下構造の変化の抽出を試みた．その結果，海底地形変化が見られた測線と同一の測線において，地震前後で海溝軸近傍に地下構造変化が見られた．高分解能反射法探査の結果明瞭になった海溝軸近傍の堆積層の変形様式をあわせて考えると，地下構造の変化は，この地震によるプレート境界断層に沿った破壊が海溝軸ごく近傍まで 伝播し，海溝底下の堆積層を変形させながら海底へ突き抜けたことによるものであると説明できた．

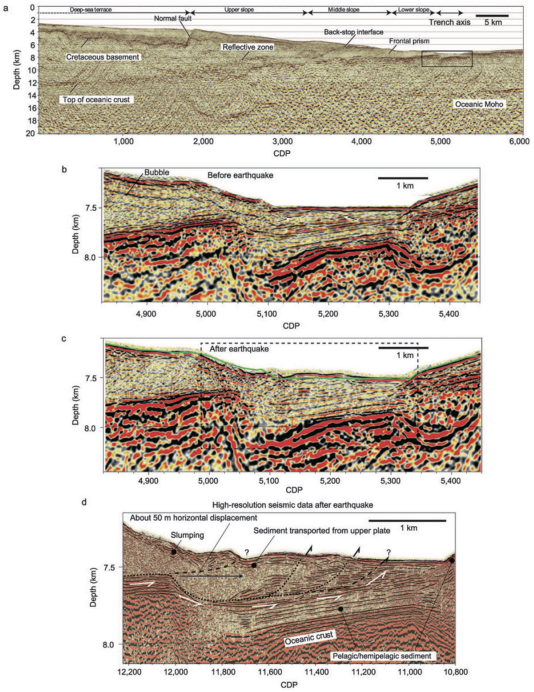


図 6　a）2011 年の地震直後に取得された反射断面．縦横比は 1:1（他は 2:1）．b）1999 年に取得された反射断面の拡大図．c）a）の拡大図．d）高分解能反射断面をもとに解釈を加えたもの [4]．

3.2　東北地方太平洋沖地震とその前後の活動のモデル

2011 年東北地方太平洋沖地震は，それまで高々 M 7 クラスの地震が繰り返していた領域を含めて，M9 クラスの地震として発生した．このような，規模の大きく異なる地震が同一の領域で発生することを再現する階層アスペリティモデルを提案した [5]．

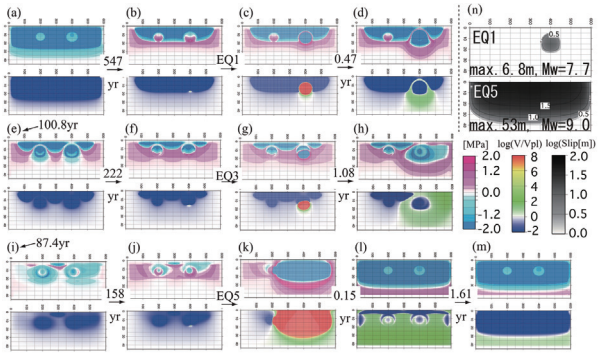


図 7　断層面のせん断応力（上）とすべり速度（下）のスナップショット．右上は地震時すべり分布の例 [5]．

3.3　宮城県沖地震の再来間隔変化の可能性

前述のような階層アスペリティモデルにもとづく，2011 年東北地方太平洋沖地震と，その前後の大地震（M 7 前後）を対象とした日本海溝域における地震発生サイクルの数値シミュレーションを多数行い，東北沖地震前後の観測をある程度再現する 121 のシナリオを見出した．それらのシナリオにもとづくと，M9 クラスの地震が発生してから，次の M7 クラスの宮城県沖地震が発生するまでの時間間隔は，M9 クラスの地震発生前の宮城県沖地震の平均再来間隔の半分より短くなる場合が多いことを指摘した [6]．

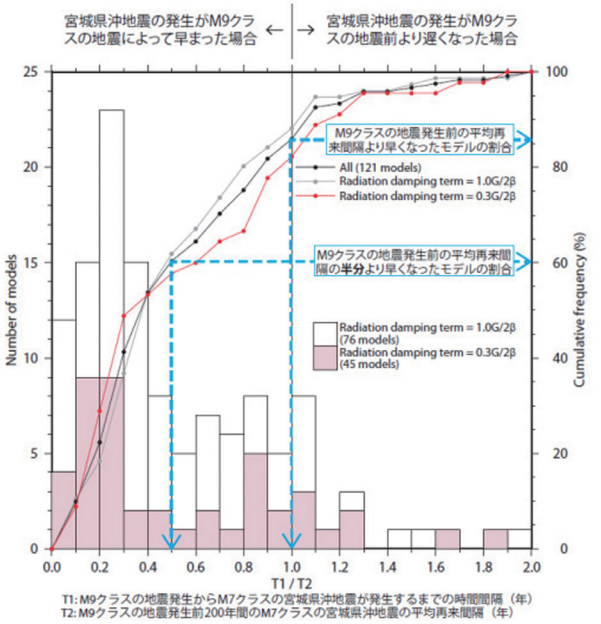


図 8　121 のシナリオにもとづいた，次の宮城県沖地震の発生時期 [6]．

4．南海トラフ～琉球海溝を対象とした調査研究

4.1　琉球海溝南部における沈み込み帯の構造

文部科学省による委託業務「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」の一環として，琉球海溝南部において屈折法探査・反射法探査および海底地震計を用いた地震観測を実施し，それらのデータを解析した．その結果，プレート境界近傍で低周波地震が発生していること，またプレート境界の浅部から深部に高圧な流体が存在し，低周波地震の発生に強く寄与している可能性が高いことを明らかにした．さらに，同地域でプレート境界断層と分岐断層から成る楔形の構造が存在するとともに，これが津波データから推定される 1771 年八重山地震の巨大津波発生源とよく一致することを明らかにした（図 9）[7]．

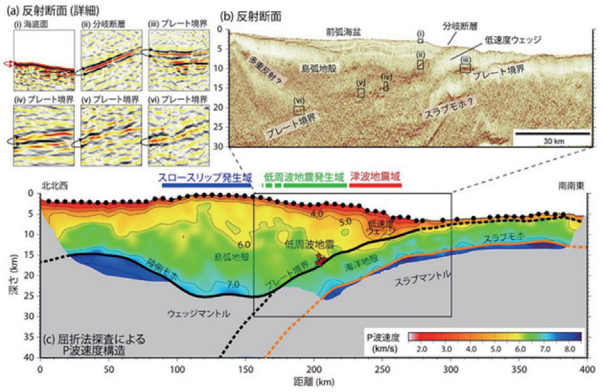


図 9　琉球海溝南部の構造 [7]．a,b）反射法探査イメージ．c）屈折法探査イメージ．

4.2　南海トラフ巨大地震のシナリオや推移予測

文部科学省による委託業務「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」の一環として，南海トラフ巨大地震のシナリオの検討や推移予測手法の開発を行った．例えば，南海トラフにも階層アスペリティモデルを適用することで，宝永をはじめとして，津波石等の地質学的証拠から，より規模が大きかったと考えられる地震が数百年に一度発生することが説明できること [8]，宝永津波での瀬戸内海での被害と整合するには，深部低周波微動の発生する地震発生帯深部まで地震時にすべる必要があること [9]，1968 年日向灘地震の震源域での地震によって南海地震が誘発され，東海地震に先行するシナリオがあり得えること [10] 等を示した．また，多数のシナリオを準備しておき，地殻変動データとの整合性を調べることで，逐次データ同化を行う手法を開発し，東南海（東海）地震後から南海地震までの推移予測の数値実験を行った [11]．さらに，1944 年東南海地震の余震以来，数十年ぶりのプレート境界で発生した M6 クラス地震である 2016 年 4 月 1 日三重県南東沖地震とその後の余効すべりについて，南海トラフ巨大地震との関係を含めた統合的理解を進めた [12]．

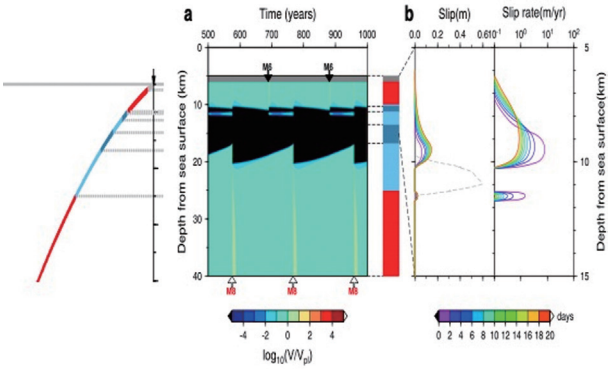


図 10　M8 後の固着のはがれによる M6 発生，余効すべりが浅部でのみ発生するパターンの再現 [12].

5．まとめに

海洋研究開発機構では，今後も海溝型巨大地震震源域での調査観測研究，リアルタイム海底地震・地殻変動・津波ネットワークシステムの開発や掘削技術の活用，データ解析･シミュレーション技術の活用を通して，沈み込み帯の理解を深め，現状把握と推移予測を進めていく．

参考文献

1) Nakano, M., T. Nakamura, S. Kamiya, M. Ohori, and Y. Kaneda, 2013. Intensive seismic activity around the Nankai trough revealed by DONET ocean-floor seismic observations, *Earth Planets Space*, 65, 5-15.

2) Takahashi, N., K. Imai, M. Ishibashi, K. Sueki, R. Obayashi, T. Tanabe, F. Tamazawa, T. Baba, and Y. Kaneda, 2017. “Real-Time Tsunami Prediction System Using DONET,” *J. Disaster Res.*, 12(4), 766-774.

3) Fujiwara, T., S. Kodaira, T. No, Y. Kaiho, N. Takahashi, and Y. Kaneda, 2011. The 2011 Tohoku-Oki earthquake: Displacement reaching the trench axis, *Science*, 334, 1240.

4) Kodaira, S., T. No, Y. Nakamura, T. Fujiwara, Y. Kaiho, S. Miura, ... A. Taira, 2012. Coseismic fault rupture at the trench axis during the 2011 Tohoku-oki earthquake. *Nature Geoscience*, 5(9), 646–650. https://doi.org/10.1038/NGEO1547.

5) Hori, T., and S. Miyazaki, 2011. A possible mechanism of M 9 earthquake generation cycles in the area of repeating M 7 ~ 8 earthquakes surrounded by aseismic sliding. *Earth Planets Space*. 63, 773-777.

6) Nakata, R., T. Hori, M. Hyodo, and K. Ariyoshi, 2016. Possible scenarios for occurrence of M ~ 7 interplate earthquakes prior to and following the 2011 Tohoku-Oki earthquake based on numerical simulation. *Sci. Rep.* 6, 25704; doi: 10.1038/srep25704.

7) Arai, R., T. Takahashi, S. Kodaira, Y. Kaiho, A. Nakanishi, G. Fujie, Y. Nakamura, Y. Yamamoto, Y. Ishihara, S. Miura, and Y. Kanedam 2016. Structure of the tsunamigenic plate boundary and low-frequency earthquakes in the southern Ryukyu Trench. *Nat. Commun.* 7:12255 doi: 10.1038/ncomms12255.

8) Hyodo, M., and T. Hori, 2013. Re-examination of possible great interplate earthquake scenarios in the Nankai Trough, southwest Japan, based on recent findings and numerical simulations, *Tectonophysics*, http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto. 2013.02.038.

9) Hyodo, M., T. Hori, K. Ando, and T. Baba, 2014. The possibility of deeper or shallower extent of the source area of Nankai Trough earthquakes based on the 1707 Hoei tsunami heights along the Pacific and Seto Inland Sea coasts, southwest Japan, *Earth, Planets and Space*, 66:123.

10) Hyodo, M., T. Hori, and Y. Kaneda, 2016. A possible scenario for earlier occurrence of the next Nankai earthquake due to triggering by an earthquake at Hyuga-nada, off southwest Japan, *Earth, Planets and Space*, 68:6 DOI 10.1186/s40623-016-0384-6.

11) Hori, T., M. Hyodo, S. Miyazaki, and Y. Kaneda, 2014, Numerical forecasting of the time interval between successive M8 earthquakes along the Nankai Trough, southwest Japan, using ocean bottom cable network data, *Mar. Geophys.* Res., DOI 10.1007/s11001-014-9226-8.

12) Nakano, M., M. Hyodo, A. Nakanishi, M. Yamashita, T. Hori, S. Kamiya, K. Suzuki, T. Tonegawa, S. Kodaira, N. Takahashi, and Y. Kaneda, 2018. The 2016 Mw 5.9 earthquake off the southeastern coast of Mie Prefecture as an indicator of preparatory processes of the next Nankai Trough megathrust earthquake, *Progress in Earth and Planetary Science*, 5:30 https://doi.org/10.1186/s40645-018-0188-3.

（3） 産業技術総合研究所

1．はじめに

国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下，産総研という）における地震の調査・研究は，旧地質調査所時代から実施されてきたものを引き継ぐとともに，最新の地震科学・地震工学を取り入れながら，その間に幾度かの組織の改変を行いつつ推進されてきた．2009 年から 2019 年の過去 10 年間を振り返ると，2009 年 4 月 1 日に地震災害の軽減に役立つ情報提供を目指し，将来の地震活動と被害の予測研究を進めるため，従来の活断層研究センターと地質情報研究部門に属した地震関連研究グループを統合して，活断層・地震研究センター（当時は独立行政法人）が設立された．その 5 年後の 2014 年 4 月 1 日には産総研地質分野の改組により，従来の活断層・地震研究センターと地質情報研究部門に属する火山関連研究グループなどが一体となり，活断層・火山研究部門が発足し，現在に至る．このように，たびたび名称や組織体制の改変がなされてきたが，産総研の地震予測研究の特徴は，一貫して地質学的手法に軸足を置き，取得された内陸および海溝型地震の発生履歴や規模に関するデータや地下水変化のデータに，地球物理学や地震工学の研究手法や最新の知見を取り込みながら将来の地震活動や大地震の際の被害の予測の手法を確立し，高度化していこうとする立場にある．この間，国内では 2011 年東北地方太平洋沖地震とそれに誘発された 2011 年福島県浜通りの地震や 2014 年長野県北部の地震，2016 年熊本地震をはじめ甚大な被害をもたらした海溝型地震や内陸地震がたびたび発生した．産総研ではこうした大地震が発生すると直ちに緊急現地調査を行い，その結果は地震予知連絡会でも報告してきた．以下では，過去 10 年間における産総研の地震研究のうち，地震予測に関連した研究の成果および主な緊急調査について述べる．

（丸山　正）

2．陸域および沿岸海域の活断層・古地震の研究

本研究では，陸域および沿岸海域に分布する活断層について，その位置・形状および過去の活動を解明し，将来の地震発生予測に資するデータを取得してきた．とくに，文部科学省が進める主要活断層帯の長期評価，活断層の地域評価に関する研究課題を受託・分担して着実に実施し，評価のために必要なデータ取得した[1]．また，活断層評価手法の高度化のため，地形表現が不明瞭な活断層の研究，長大活断層の連動性評価の研究，年代測定手法の改良と適用性の研究について，高解像度地形データを用いた地形解析，現地調査，試料の分析等を継続的に実施した．その結果，地形表現が不明瞭な活断層評価については，DEM を用いた地形解析・表示手法を開発した[2]．長大活断層の連動性評価については，糸魚川―静岡構造線断層帯を対象として，集中的に地形・地質データを取得し，評価手法を開発した[3]．年代測定手法の改良と適用性については，宇宙線生成核種を用いた地形・地質年代測定と連続サンプリングに基づく放射性炭素年代測定の事例研究を実施し，手法の有効性を確認した[4]．さらに，2011 年福島県浜通りの地震，2014 年長野県北部の地震，2016 年熊本地震，2016 年鳥取県中部地震等の大地震が発生した際には，緊急現地調査を実施するとともに，地震調査委員会への資料の提供，ウェブでの情報発信を速やかに実施した（7．参照）．

以上に述べてきた活断層の調査・研究結果は，活断層データベースに収録している[5]．活断層データベースは，2005 年に構築されて以来，一貫して，全国の活断層調査研究結果を網羅的に収集・収録した上で，速やかに公開している．この過程で，活断層調査研究専門家のみならず，一般市民が使いやすいように，表示デザインおよびコンテンツを改修してきた．あわせて，表示機能，脆弱性に関する改修を進めた．また，同データベースの活用方法を含む，活断層・地震に関する自治体防災担当者向けの研修を毎年実施し，データが利活用されるよう工夫を続けている．

（宮下　由香里）

3．海溝型地震・津波堆積物の研究

産総研の海溝型地震履歴研究グループは，2004 年の発足以来，津波堆積物や海岸の隆起・沈降痕跡などを用いて海溝型巨大地震の履歴（発生時期，規模，震源・波源モデルなど）を復元し，長期予測に資するための研究を行ってきた．10 年前の 2009 年当時は，グループ発足時から重点的に実施してきた宮城県南部～福島県沿岸での津波堆積物調査の結果をまとめていた段階であった[6]．この研究により，同地域における 869 年貞観地震の津波浸水域を提示し，巨大津波の再来間隔が 500 ～ 800 年であることを報告していた[7]．地震調査研究推進本部では 2010 年にその成果を取り入れた長期評価の審議を行い，2011 年春に公表予定であったが，2011 年 3 月 11 日に東北地方太平洋地震を迎えてしまった．事前に成果を社会に周知することはできなかったが，結果的に 869 年貞観地震と 2011 年東北の地震による津波浸水域はおおよそ重なり，履歴からみた再来間隔もほぼ満期であったことから，長期予測の妥当性が証明されることになった[8]．以来，津波堆積物をはじめとした地質痕跡や歴史記録による沿岸の古地震・古津波調査が全国的に

様々な機関で行われるようになり，2011 年以降の 8 年で知見の集積が飛躍的に進んだ．しかし一方で過去の津波浸水域を正確に復元することの難しさや，地震の規模や再来間隔の多様性による長期予測の難しさも浮き彫りになってきた[9]．産総研ではこの 8 年で，千島海溝から日本海溝，相模トラフ，南海トラフに面する海岸沿いで津波履歴調査を行うとともに，2011 年東北地方太平洋地震による現世津波堆積物の観察から，古津波堆積物の認定や津波浸水域の復元に関する手法の検討を進めてきた[10,11]．また南海トラフ沿いでは，地域間の履歴の対比から過去の南海トラフ地震の破壊域のより正確な復元を目指して調査を進めている．

（宍倉　正展）

4．地下水等統合観測研究

本研究では，1970 年代後半から開始した東海地震の短期的予知を目的とした地下水・地下ガスの観測研究，および 1995 年兵庫県南部地震を契機とした近畿・中部内陸部における地下水・地殻ひずみの総合的な観測研究を行ってきた．2006 年からは南海トラフ地震の発生予測精度向上の研究のために，主に紀伊半島から四国地域において地下水等の総合観測点の整備を開始した．この観測点は原則として深さ 30 m，200 m，600 m の孔井から構成され，水位計のほか，地震計，水温計，ボアホール型ひずみ計などを設置している．

この 10 年間で，紀伊半島・四国を中心に 4 つの総合観測点を新たに整備し，総計 16 観測点となった[12]．また，産総研は防災科研および気象庁とのそれぞれの共同研究に基づき，産総研の地下水・ボアホールひずみデータと防災科研 Hi-net の傾斜データおよび気象庁のボアホールひずみデータについてリアルタイムで交換を開始し，南海トラフの短期的ゆっくりすべり（SSE）の高精度モニタリングを実施した．2013 年 11 月以降の 5 年間で 162 個の SSE イベントの断層モデルを決定した[13]．また，同総合観測点のボアホールひずみデータや地下水位・地下水圧データを用いて，短期的 SSE が遠地巨大地震によって励起される現象[14]，遠地地震により励起された地下水位の振動波形の新たな定式化と観測された地下水位・ボアホールひずみデータとの比較[15]，密閉された井戸の地下水圧による短期的 SSE の検出とこれを用いた同 SSE のモニタリング高度化[16]などの研究を実施した．

1946 年南海地震前後の地下水変化・潮位変動のデータ収集および解析と，1944 年東南海地震・1946 年南海地震前後の紀伊半島の上下変動時系列を求めた[17]．

地下水・地殻変動観測等による地震の予知・予測研究に関する台湾・成功大学との共同研究を継続し，共同でワークショップを毎年開催し[18]，日本と台湾における同分野での研究交流を進めた．

（松本　則夫）

5．地震災害予測に関する研究

地震の際に災害が発生するプロセスと災害の様相について地質・地形学的知見と地球物理学的データ及び手法を融合した説明性の高い予測・評価を行い，地震防災へ展開することを目指した研究を実施している．近年発生した大地震に伴う被害を鑑み，地震災害予測の観点からは，1）既存の地下構造モデルの妥当性検証，2）断層近傍域の地盤変形や地震動の様相の予測，3）観測データの利活用の必要性が強く認識されている．

5.1　強震動の伝播特性に関する研究

強震動の伝搬・増幅特性をより正確に明らかにするため，大阪，中京，大分，熊本等において，既往データの再解析に加えて，物理探査・地震観測を実施し，新たな知見に基づく地盤構造モデルの作成と検証を，他大学・機関と共同で行った[19]．成果の一部は公開され，国，自治体，企業へも提供されている．また，これら地盤構造モデルを用いて内陸地震の地震動予測を行い，公開した．断層破壊の設定においては，微小地震のメカニズム解等から推定した応力場の下での動力学的断層破壊を取り込むなど，技術的改良も行った．

関東平野では，国，自治体，他機関によって取得されてきた反射法地震探査，屈折法地震探査，重力探査等，数多くの地下構造調査結果が，既存の地下構造モデルや断層の深部形状を含めて，未だ十分には 3 次元地下構造モデルに反映されていない．当所が新たに取得したデータの解析結果に加えて，それら既存データによる知見を含めた新たな 3 次元地下構造モデルを作成中である．

5.2　断層近傍域の地盤変形や地震動の予測

地震時の地盤変形（地表地震断層や地殻変動）の予測のため，実地調査と数値計算の両面から研究を進めた．

地震時地盤変形については，明瞭な地表地震断層が出現した 2008 年岩手・宮城内陸地震，2011 年福島県浜通りの地震，2014 年長野県北部の地震，2016 年熊本地震において，地表踏査･測量．地上 LiDAR，航空レーザー計測等の手法を用いて地表地震断層の出現形態や分布に関する情報を収集した．

数値計算に関しては，深部反射法地震探査でとらえられる深度 10 km 以浅，実際の地盤物性値および岩盤物性値を入力できる深度数 km 以浅，表層地盤内の断層発達過程に関わる深度 100 m 以浅，それぞれのスケールにおいて入力可能な境界条件のもと，解析手法の開発に

取り組んだ．開発した手法をスリップパーティショニング現象の現象解明に活用するほか，上町断層を含むいくつかの断層系に適用し，広域応力場・断層面形状・地盤変形について定量的な評価・考察を行った[20~22]．2016 年熊本地震と 2014 年長野県北部の地震における技術的検証を通して，断層近傍の変位だけではなく局所的な強震動の要因分析についても，手法的な信頼度の向上に取り組んでいる（図 1）．

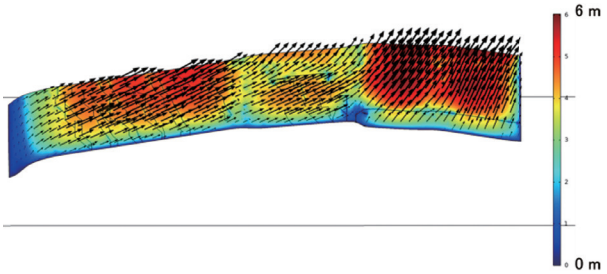


図 1　糸魚川 - 静岡構造線断層帯（北部・中北部）の断層面モデル化とその FEM 解析結果の例．

5.3　観測データの利活用

震源の破壊過程のシミュレーションに断層面の走向・傾斜角の変化をフレキシブルに取り込むなど計算プログラムの高度化を行い，地形・地質情報を取り込んだ動力学的震源モデルの推定が可能になった．さらに，活断層調査や歴史地震の研究から得られる過去の地震像による検証を行いつつ，地震動予測のための地震シナリオ作成手法の適用を進めている．

上町断層帯や 2014 年長野県北部の地震を検討対象として，地形・地質情報を取り込んだ動力学的震源モデルを構築することで，手法の信頼性向上と高度化を進めている（図 2）[23,24]．これらの地震に関する検討も含めて，地形・地質学的情報を活かして過去の地震の震源モデルを推定することにより，逆に活断層調査等の地形・地質学的情報を得るための調査が実施されていない地点における破壊領域の広がり等に関する情報をフィードバックすることが可能となりつつある．また，山崎断層帯や 2016 年熊本地震を検討対象として，動力学的震源モデルを用いて地震ハザード評価を高度化することも試みている．

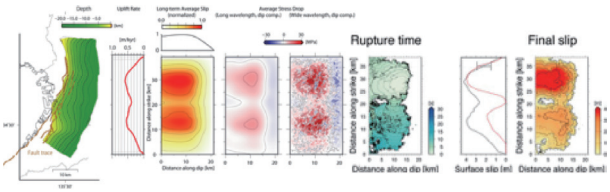


図 2　上町断層帯を例とした動力学的震源モデルと，その解析結果．

（藤原　治）

6．地震発生メカニズムに関する研究

内陸活断層で発生する大地震の発生予測精度を向上させるため，地震観測・データ解析，数値シミュレーション，室内実験，構造地質学等さまざまな手法を統合して，地震発生過程を明らかにし，物理モデルに基づいた地震発生予測モデルの構築・精緻化に関する研究を推進してきた．

将来発生する地震の最大規模や発生様式の予測精度を高めていくためには，高い空間分解能を持つ応力マップの作成が課題である．そのためには可能な限り小さな地震を活用することが鍵であったため，独自に微小地震（マグニチュード 1 以上 3 未満）の解析手法の開発に取り組み，発震機構解とマグニチュードを推定する手法を確立させた．また，3 次元アレイによる微弱信号検出と震源決定法の開発にも成功し，マグニチュード 1 を下回る地震の活用も視野に入り始めた．これまで独自に解析してきた微小地震の発震機構解と気象庁発表のマグニチュード 3 以上の地震の発震機構解を統合し，関東地域の 10 km メッシュの応力マップを纏めた[25]．これは，先行研究のおよそ 3 倍の空間分解能に相当する．その後，関東地域での経験を踏まえ，中国地域の 10 km メッシュの応力マップを試作した．

地震の発生評価に向けた研究にも取り組み，2018 年 9 月 6 日に発生した北海道胆振東部地震（M6.7）の直上には石狩低地東縁断層帯が存在しており，予察的に作成した応力マップから，現在の応力場で動きやすい断層に属していることが判明した．現実的な地下構造（粘弾性構造）を設定し，今後 20 年間にわたる地震の影響を定量的に評価することに成功した[26]．さらに大規模地震発生サイクルシミュレーションの実現に向け，粘弾性応答を高速計算するアルゴリズムの開発にも成功した．

室内実験に関する研究では，脆性から塑性に至る断層変形プロセスの室内実験による解明を通じて地震発生の物理モデルを作ることを目指し，強度や岩石の物性に関するデータを測定し，温度圧力条件等の各種条件との間の関係式を明らかにした[27]．

構造地質学に関する研究では，過去の震源域である断層帯の地質調査に基づき 3 次元断層内部構造の解明をすすめているところである．

（増田　幸治）

7．緊急調査

冒頭でも述べたように，過去 10 年間には，日本国内およびその近海を震源とし，被害をもたらした海溝型地震や内陸地震が多数発生した．産総研では，国内で被害をもたらした規模の大きな地震が発生した際には，緊急調査体制をとり，海溝型地震では，津波の浸水域，津波堆積物，地殻変動などについて，内陸地震では，地表変

状の確認などについての系統的な調査を実施した．これらの結果は，地震発生域の地形・地質学的背景の解説とともにホームページ上で速やかに公表し[28]，地震調査委員会や地震予知連絡会でも報告した．主な緊急調査の概要は以下の通りである．

2011 年東北地方太平洋沖地震：2011 年 3 月 11 日に三陸沖南部から茨城県沖にかけての日本海溝沿いを震源とする超巨大海溝型地震（Mw9.0）が発生した．この地震に伴い広域にわたって生じた津波により，東北地方太平洋側の沿岸地域では未曾有の被害が生じた．産総研では，本震発生の翌日から，海溝型地震履歴研究グループ（当時海溝型地震履歴研究研究チーム）が中心となって，茨城県高萩市から千葉県一宮町にかけての沿岸部で津波の高さの計測等を実施した．その後，甚大な津波被害を受けた地域である仙台・石巻平野を中心に，青森県や福島県の沿岸も含め，広範囲にわたり津波堆積物の特徴や分布範囲に関する調査研究を実施し，津波堆積物の分布限界と実際の津波の浸水域との違いを明らかにした[29]．

2011 年福島県浜通りの地震：東北地方太平洋沖地震の 1 ヶ月後にあたる 2011 年 4 月 11 日に福島県浜通りを震源とする M7.0 の内陸地震が発生した．この地震に伴って既知の活断層である井戸沢断層と湯ノ岳・藤原断層に沿って顕著な正断層型の地震断層が出現した．地震断層の詳細な分布やすべり方向，変位量などを記録するため，井戸沢断層に沿って現れた地震断層については 4 月 17 日から数回にわたり，また湯ノ岳・藤原断層については 2011 年 4 月 21 日から 4 月 30 日の間に現地調査を実施した．その結果，井戸沢断層，湯ノ岳・藤原断層ともに約 13 km にわたって地震断層が出現し，最大上下変位量は井戸沢断層中央部で約 2.2 m に達することなどが確認された．

2014 年長野県北部の地震：2014 年 11 月 22 日に，長野県北部を震源とした M6.7 の地震が発生した．産総研では，本震発生翌日の 11 月 23 日から 11 月 25 日までと 12 月 1 日から 12 月 6 日までの 2 回にわたって震源域全体の踏査を実施し，地表地震断層とその変位量の分布を調査した．その結果，糸魚川 - 静岡構造線断層帯北部を構成する神城断層に沿って，地表地震断層が約 9km の区間で断続的に認められた[30]．一方，小谷 - 中山断層と姫川断層に沿っては，地すべりやそれに伴う短縮変形など地表変状は確認されたが，地表地震断層は認められなかった．さらに，2015 年 2 月には，緊急的なトレンチ掘削調査を実施し，2014 年地震を含めて過去 3 回の活動時期等を明らかにした．その結果，先行する活動は西暦 1718 年正徳小谷の地震に対比される可能性が高く，最近 2 回の発生間隔は 300 年と極めて短い可能性等を指摘した[31]．産総研では，地表地震断層に関する緊急調査のほか，斜面変動や温泉湧出に関する緊急調査も実施した．

2016 年熊本地震：2016 年 4 月 14 日 21 時 26 分，熊本県熊本地方を震源とする M6.5 の地震が発生し，その約 28 時間後の 4 月 16 日 1 時 25 分に M7.3 の地震が発生した．同県益城群益城町では両地震で震度 7 を観測した．これらの地震に伴い，既往調査で活断層として認定されていた布田川断層帯布田川区間および日奈久断層帯高野 - 白旗区間のほか，従来活断層が認定されていなかった布田川区間北東延長部の阿蘇カルデラ内などで地震断層が出現した．産総研では，4 月 16 日から約 3 週間にわたって震源域周辺の緊急現地調査を実施し，地震断層の位置，分布，形状，変位量などを記録した．その結果，地震断層は約 34 kn にわたって出現し，最大約 2.2 m の右横ずれが地震断層全体の中央部にあたる布田川区間において生じたことなどが明らかになった[32]．

2016 年鳥取県中部の地震：2016 年 10 月 21 日 14 時 07 分に鳥取県中部において，深さ 11 km を震源とする M6.6 の地震が発生した．震源メカニズム解と余震の分布状況から，北北西 - 南南東走向の断層面で左横ずれの断層運動が生じたと考えられた．産総研では，この地震による地表地震断層の出現の有無と被害状況の確認のため，2016 年 10 月 26 日と 27 日の 2 日間に緊急現地調査を実施した．地表地震断層の出現の有無に関しては，余震分布の帯及び国土地理院から公開されている InSAR 画像で地殻変動境界にあたるような地域を横切る道路やそれらの直上に位置する集落を対象としたが，地表地震断層の出現は認められなかった．

2016 年茨城県北部の地震：2016 年 12 月 28 日に茨城県北部を震源とする M6.3 の正断層型の地震が発生し，高萩市では最大震度 6 弱を観測した．国土地理院が公表した干渉 SAR の緊急解析結果を受けて，2017 年 1 月 5 日に地表地震断層に関する現地調査を実施した．その結果，干渉 SAR によって捕らえられた NW-SE 方向の地殻変動の不連続線に沿って，約 2.5 km 区間の 4 地点において水平伸張を伴う地表地震断層が出現し，道路や橋梁などの構造物の破損を確認した．また，それらの地点における構造物の破損状況から，今回の地震以前にも同様の地表地震断層が出現していたことが推定された．同地域では，東北地方太平洋沖地震直後の 2011 年 3 月 19 日にも M6.1 の正断層型の地震が発生しており，今回の地震に先行して出現した地震断層は 2011 年 3 月 19 日の地震によるものの可能性が高い．今回の地震およびそれより前の変位を合わせた水平伸張量として，最大で 29 cm を計測した．

（丸山　正）

参考文献

1）宮下由香里・杉田匠平・下釜耕太・亀高正男・佐護浩一，2016．福岡県宇美断層におけるボーリング調査．活断層・古地震研究報告，16，79–98.

2）粟田泰夫，2017．ステレオ等高線地形解析図による高解像度 DEM の可視化．活断層･古地震研究報告，17，117–136,

3）近藤久雄, 2015．長大活断層系の連動性評価と課題．地震予知連絡会会報，94，390–396.

4）白濱吉起・宮下由香里・亀高正男・鈴木悠爾・宮入陽介・横山祐典，2018．トレンチ調査と放射性炭素年代高密度測定によって明らかとなった熊本県甲佐町白旗山出地区における堆積環境の変遷．活断層・古地震研究報告，18，125–160.

5）産業技術総合研究所「活断層データベース」. https://gbank.gsj.jp/activefault/（2019 年 11 月 13 日閲覧）.

6）宍倉正展･藤原　治･澤井祐紀･藤野滋弘･行谷佑一，2009．沿岸の地形・地質調査から連動型巨大地震を予測する．地質ニュース，663，23–28.

7）岡村行信・佐竹健治・宍倉正展・藤原　治・澤井祐紀･小松原純子･藤野滋弘･行谷佑一･藤井雄士郎･Than Tin Aung，2010．地質調査・津波シミュレーションにもとづく地震発生履歴に関する研究．宮城県沖地震における重点的調査観測平成 17 － 21 年度統括成果報告書（文部科学省），186–268, https://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/miyagi_juten/h17_21/h17-21_3_4.pdf

8）Sawai, Y., Y. Namegaya, Y. Okamura, K. Satake and M. Shishikura, 2012. Challenges of anticipating the 2011 Tohoku earthquake and tsunami using coastal geology, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L21309, doi:10.1029/2012GL053692.

9）Shishikura, M., 2014. Recent issues affecting forecast of subduction zone great earthquakes in Japan through paleoseismological study. *Jour. Disas.* Res., 9, 330–338.

10）Matsumoto, D., Y. Sawai, K. Tanigawa, O. Fujiwara, Y. Namegaya, M. Shishikura, K. Kagohara and H. Kimura, 2016. Tsunami deposit associated with the 2011 Tohoku‐oki tsunami in the Hasunuma site of the Kujukuri coastal plain, Japan. *Island Arc*, 9, 330–338.

11）Tanigawa, K, Y. Sawai and Y. Namegaya, 2016. Diatom assemblages within tsunami deposit from the 2011 Tohoku-oki earthquake along the Misawa coast, Aomori Prefecture, northern Japan. *Marine Geology*, 396, 6–15.

12）小泉尚嗣，2013．地下水観測による地震予知研究－地下水位変化から地殻変動を推定することによる地震予測－．シンセシオロジー，6，24–33.

13）落　唯史･板場智史･松本則夫･北川有一･木口　努･木村尚紀・木村武志・松澤孝紀・汐見勝彦 , 2019. 東海・紀伊半島・四国における短期的スロースリップイベント（2018 年 5 月～ 2018 年 10 月）．地震予知連絡会会報，101，印刷中.

14）Itaba, S. and R. Ando, 2011. A slow slip event triggered by teleseismic surface waves, *Geophys. Res. Lett.*, 38, doi:10.1029/2011gl049593.

15）Kitagawa Y., S. Itaba, N. Matsumoto and N. Koizumi, 2011. Frequency characteristics of the response of water pressure in a closed well to volumetric strain in the high‐frequency domain. *J. Geophys. Res.*, 116, doi: 10.1029/2010JB007794.

16）Kitagawa, Y. and N. Koizumi, 2013. Detection of short-term slow slip events along the Nankai Trough via groundwater observations, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 6079–6083.

17）梅田康弘・板場智史，2018．1944 年東南海地震及び 1946 年南海地震時の海水位変化を利用した紀伊半島沿岸部における上下変動時系列の推定．地質調査研究報告，69，81–89.

18）Matsumoto, N. and C-L. Shieh eds., 2019. Proceedings of the 18th Japan-Taiwan International Workshop on Hydrological and Geochemical Research for Earthquake Prediction, https://unit.aist.go.jp/ievg/tectonohydr-rg/topics/workshop/2019/18thProceedings.pdf.

19）林田拓己・吉見雅行・堀川晴央，2014．中京地域堆積盆地における表面波群速度の推定―Hi‐net 連続地震観測記録を用いた地震波干渉法に基づく検証―．地震，66，127–145.

20）竿本英貴，2019．FEM による断層変位のスリップパーティショニング発生条件の探索―逆断層と横ずれ断層の組み合わせ例―. 土木学会論文集 A1(構造･地震工学)，75(4)，I_25–I_35.

21）竿本英貴，2018．松田式を考慮した FEM による断層変位評価とその上町断層系への適用．土木学会論文集 A1（構造・地震工学），74（4），I_59–I_71.

22）竿本英貴，加瀬祐子，森　宏，吉見雅行，堀川晴央，阿部信太郎，2015．位相最適化に基づく断層形状推定手法の開発．土木学会論文集 A1（構造・地震工学），71(4)，I_21–I_31.

23）Sekiguchi, H. and Y. Kase, 2015. Fault specific,

dynamic rupture scenarios for strong ground motion prediction. Proceedings of 15th World Conference of Earthquake Engineering.

24) Sekiguchi, H. and Y. Kase, 2015. Dynamic source modeling under stress distribution derived from geological and geographical data. Proceedings of French Japanese Symposium on Earthquakes and Triggered Hazards.

25) 今西和俊，内出崇彦，大谷真紀子，松下レイケン，中井未里，2019．関東地域の地殻内応力マップの作成．地質調査研究報告，70，273–298.

26) Ohtani, M. and K. Imanishi, 2019. Seismic potential around the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake assessed considering the viscoelastic relaxation, *Earth, Planets and Space*, 71, doi: 10.1186/s40623-019-1036-4.

27) Takahashi, M., S. Uehara, K. Mizoguchi, I. Shimizu, K. Okazaki and K. Masuda, 2011. On the transient response of serpentine (antigorite) gouge to stepwise changes in slip velocity under high-temperature conditions, *J. Geophys. Res.*, 116, B10405, doi:10.1029/2010JB008062.

28) 産業技術総合研究所活断層・火山研究部門「緊急調査」．https://unit.aist.go.jp/ievg/report/index.html (2019 年 11 月 13 日閲覧).

29) 宍倉正展・藤原　治・澤井祐紀・行谷佑一・谷川晃一朗，2012．2011 年東北地方太平洋沖地震による津波堆積物の仙台・石巻平野における分布限界．活断層・古地震研究報告，12，45 − 61.

30) 勝部亜矢・近藤久雄・谷口　薫・加瀬祐子，2017．2014 年長野県北部の地震（Mw6.2）に伴う地表地震断層の分布と変位量．地質学雑誌，123，1–21.

31) Katsube, A., H. Kondo and H. Kurosawa, 2017. Surface rupturing earthquakes repeated in the 300 years along the ISTL active fault system, central Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 44, doi:10.1002/2017GL073746.

32) Shirahama, Y., M. Yoshimi, Y. Awata, T. Maruyama, T. Azuma, Y. Miyashita, H. Mori, K. Imanishi, N. Takeda, T. Ochi, M. Otsubo, D. Asahina and A. Miyakawa, 2016. Characteristics of the surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto earthquake sequence, central *Kyushu, Japan. Earth Planets and Space*, 68:191, doi: 10.1186/s40623-016-0559-1.

（4） 海上保安庁

1．はじめに

海上保安庁海洋情報部は，地震調査研究に係る測地学的観測として，GNSS- 音響測距結合方式（GNSS-A）による海底地殻変動観測及び人工衛星レーザー測距（SLR; Satellite Laser Ranging）観測を継続的に実施している．

海底地殻変動観測は，プレート境界地震の（想定）震源域直上の海底の動きを調べることで，断層での固着分布の推定や，発生した地震のすべり域の推定，地震後の緩和過程のモデル化等に資する基礎データを提供する．

SLR 観測は，国際的な枠組みに参画して測地衛星までの距離を観測することにより，より全球的な基準座標系の維持管理やプレートの動きの推定に貢献する．

本稿では，これらの観測に関して，この 10 年に実施した取り組みを紹介する．

2．海上保安庁の実施する測地学的観測の概要と観測の高度化に向けた取り組み

2.1　海底地殻変動観測

GNSS-A 海底地殻変動観測の概念図を図 1 に示す．GNSS-A は，測量船の位置を決めるための GNSS と，海底局と呼ばれる音響トランスポンダとの距離を測定する音響測距を組み合わせて海底局の位置を GNSS のように地球基準座標系上で測定する手法である．

この 10 年での主要なハード面での進展としては，(1) 測量船底への音響トランスデューサの艤装による航走観測の実現による観測の効率化及びデータ配置の改善，(2) 複数海底局へのマルチ測距による観測の効率化，が挙げられる．これらの技術的な進展により，特に観測効率が飛躍的に向上し，観測点数の増加が可能になり，観測頻度も向上した．また，ソフト面では，(1) マルチエポックのアレイ形状固定解析の導入，(2) 傾斜音速場のモデル化，等の解析手法の高度化により，高精度化や位置時系列の安定化を実現した．海底地殻変動観測のここ 10 年の主要な成果については，第 2 部第 2 章 2．を参照されたい．

2.2　人工衛星レーザー測距観測

海上保安庁では，第五管区海上保安本部下里水路観測所（和歌山県那智勝浦町）において，1982 年以降，継続して SLR 観測を実施している．主に測地衛星「Ajisai」,「LAGEOS-I」及び「LAGEOS-II」等に対するレーザー測距観測を実施し，取得したデータを国際レーザー測距事業（ILRS）に提供している．同時に，世界中の SLR 局で取得されたデータと合わせて解析して，地球の重心に対する下里の位置を決定している．

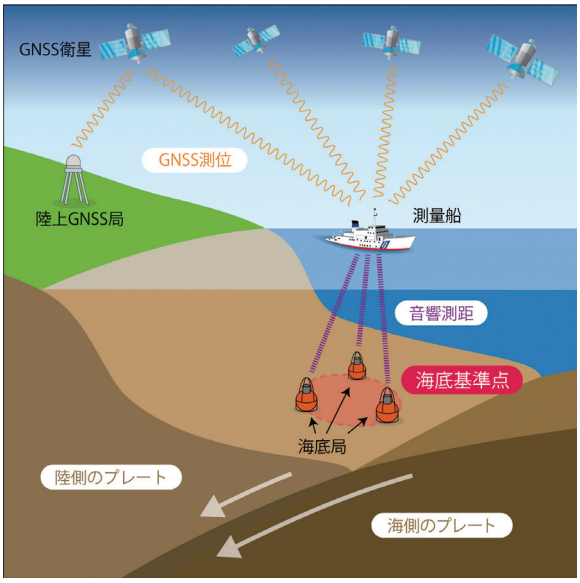


図 1　GNSS-A 海底地殻変動観測の概念図．この 10 年では，船底へのトランスデューサ装備及びそれによる航走観測の実現，複数海底局へのマルチ測距による観測の効率化などの技術面での進展があった．

この 10 年で実施した主要なアップデートは，2015 年にキャリブレーションターゲットを望遠鏡内に設置し，レンジバイアスのばらつきが軽減された．2018 年末にはレーザー装置を更新し，従来の 5 Hz 発振から最大 1 kHz 発振が可能なキロヘルツレーザーを導入した．また，観測データの解析ソフトウエアについては 2018 年から c5++（Otsubo et. al, 2016 [1)]）を導入している．

図 2　下里水路観測所における観測風景

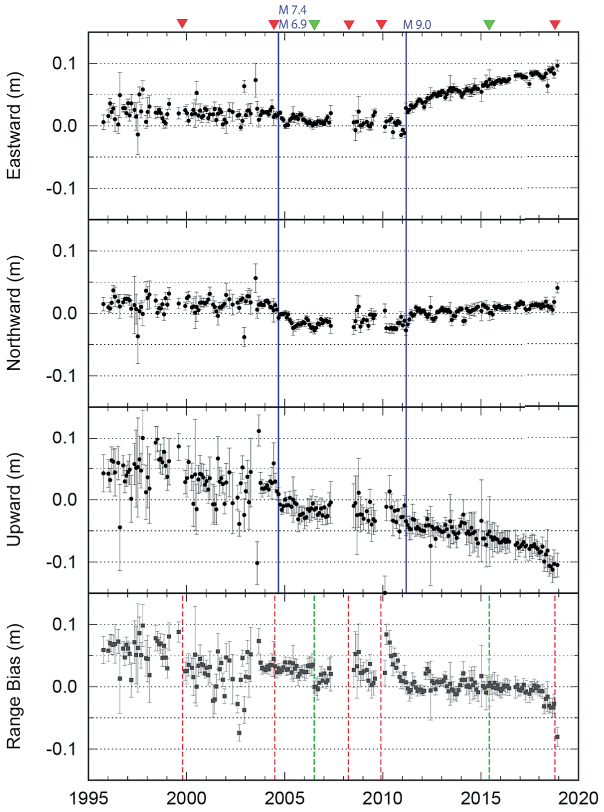


図 3　ITRF 2014 の速度を適用した上で求めた，2018 年までの下里レーザー不動点の変位及びレンジバイアスの値（1 か月解）．変位量は，解が比較的安定している 2005 年 1 月の局位置解を基準とし，局地直交座標系において示している．ITRF 2014 における地震に伴う変位は補正していない．エラーバーは 1 σの範囲を示す．青線は，2004 年紀伊半島南東沖地震（M 7.4 及び M 6.9，2004 年 9 月 5 日）及び 2011 年東北地方太平洋沖地震（M 9.0，2011 年 3 月 11 日）の発生日を示す．赤三角・赤破線及び緑三角・緑線は，それぞれ観測装置及びキャリブレーションターゲットの更新日のうち主要なものを示す．

（楠　勝浩）

参考文献

1）T. Otsubo, K. Matsuo, Y. Aoyama, K, Yamamoto, T. Hobiger, T. Kubo-oka and M. Sekido, 2016, Effective expansion of satellite lase ranging network to improve global geodetic parameters, *Earth, Planets and Space*, **68**, 65.

（5） 気象庁

1．はじめに

気象庁は長年にわたって全国の地震活動を観測・監視し，緊急地震速報，津波警報等の防災情報を社会へ発信するとともに，地震活動の評価や調査研究の基礎となる地震活動のデータベースを作成・提供してきた．

この 10 年の間に，平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（以下，東北地方太平洋沖地震という）や平成 28 年（2016 年）熊本地震（以下，熊本地震という）などの大きな被害をもたらす地震が発生し，地震や津波の防災情報に関する課題が生じた．一方で，科学の進歩や ICT 技術の進展，海域での地震津波観測網の充実などにより，気象庁が行う防災情報の発表や，地震活動の解析に関わる環境も大きく変わってきた．ここではこの 10 年の気象庁の取組みを概観する．

2．地震観測データの一元化処理の改善

気象庁では，平成 9 年 10 月以降，全国の関係機関の地震観測データをリアルタイムで収集し，震源決定等の処理を一元的に行っている（一元化処理）．その結果は「地震カタログ」として公表され，地震の活動評価や調査研究等に利用されている．

従来の作業では，トリガ方式で自動検知された全てのイベントを手動検測（地震波の到着時刻・振幅の読み取り）し，震源を決定してきた．そのため，地震が多発すると処理に時間を要し，地震活動の早期把握が困難となっていた．また，近年の日本海溝や南海トラフ等における海域観測網の整備によって，検知できる地震数の増加が見込まれた．そこで，従来のトリガ方式に加え，新たな地震検知・検測の自動処理手法として PF 法を導入し，その検測値及び震源を利用した新たな作業手順を平成 28 年 4 月に導入した．

PF 法とは，各観測点で多数の地震波の到着時刻と最大振幅を自動検測し，それらの最適な組み合わせを，過去震源分布等の先験的な情報を加味しベイズ推定を用いて探索する震源推定手法である（相組み合わせ探索，Phase combination Forward search）．

新たな一元化処理では，地域と深さに応じて設定した M のしきい値（例えば内陸の浅い地震は M1.7 など）を設けて，閾値以上の規模の地震は従来同様の手動検測を行う．一方，閾値より規模の小さい地震は自動処理結果を大幅に活用した検測処理を行い，地震カタログの精度維持と処理能力向上のバランスをとった処理としている．

また，西南日本の南海トラフ沿いの深部低周波地震については，従来のトリガ方式に加え，新たな地震検知手法として Matched Filter 法を用いた自動処理を平成 30 年 3 月に導入した．この処理では，過去の深部低周波地震の震源と波形をテンプレートとして，その震源近傍のイベント波形が類似することを利用して地震を検知し，処理対象地震とテンプレート震源との相対的な震源位置を求める．

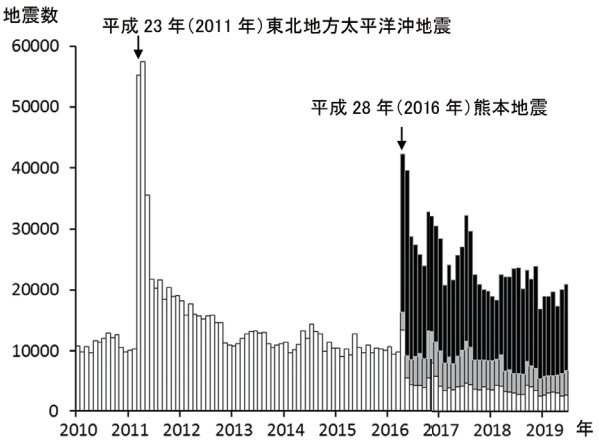


図 1　一元化震源カタログの月別地震数（2010 年 1 月～2019 年 6 月）．グラフの白色は精査検測震源，灰色は簡易検測震源，黒色は自動震源を示す．

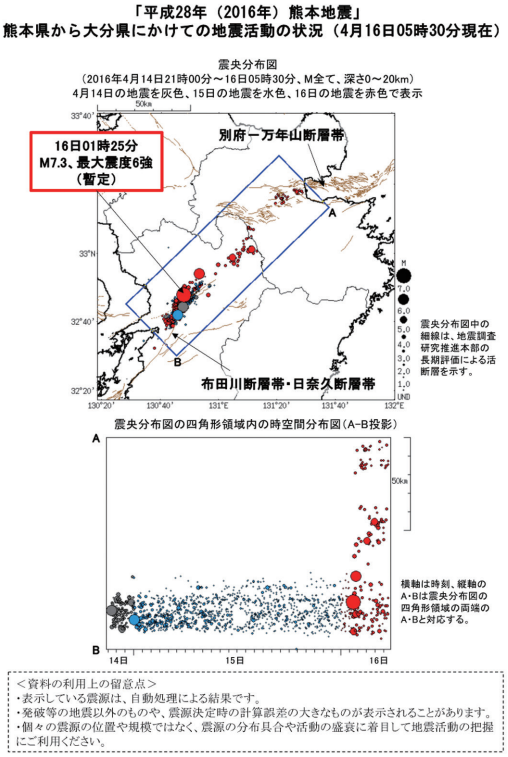


図 2　平成 28 年（2016 年）熊本地震の一連の活動のうち，2016 年 4 月 16 日 M7.3 の地震発生から約 6 時間後の気象庁報道発表第 8 報．

これにより，相の立ち上りが明瞭でなく一般の地震と同手法での自動検知が難しい多くの深部低周波地震を検知できるようになった．

これらの導入に伴い，地震カタログに登録された全国の地震数は，導入前の約 2 倍となり，自動震源が全体の約 6 割（導入前は全て手動検測による震源）となった（図 1）．また，大地震直後においても，精度の良い規模の小さな地震を含むより多くの自動処理震源データを迅速に提供できるようになり，大地震発生後の活発な地震活動の推移を迅速に把握できるようになった（図 2）．

3．地震活動に関する見通し情報の改善

被害を伴うような規模の大きな地震が発生すると，一般的にはその後も活発な地震活動が継続し，その地震活動によって被害が拡大する可能性もあることから，大地震後の地震活動の見通しを示すことは防災上重要である．

気象庁では，従前，地震調査委員会が平成 10 年にとりまとめた手法[1)]にもとづき，大地震後の防災上の呼びかけで，余震確率を用いた注意喚起を適宜行ってきた．

平成 28 年の熊本地震では，4 月 14 日 21 時 26 分に M6.5 の地震が発生し，熊本県益城町で震度 7 を観測し，その後，地震活動は活発に推移した．気象庁では，従来通り余震確率の評価手法にもとづき，M6.5 を本震として，余震発生確率を計算し，4 月 15 日に「今後の余震活動について，ところによって震度 6 弱以上の揺れとなる余震が発生する可能性は，2016 年 4 月 15 日 16 時から 3 日間で 20%，震度 5 強以上となる可能性は 40%」と発表した．しかし，M6.5 の地震発生から約 28 時間後の 4 月 16 日 1 時 25 分に，より規模の大きい M7.3 の地震が発生し，熊本県の西原村と益城町で再び震度 7 が観測された．

この事例により，従来の余震確率に基づく地震活動の見通しの発表に関して，本震―余震型の判定条件や「余震」という用語の用い方などの課題が明らかになった．

地震調査委員会は，この課題に対し，地震活動の予測的な評価手法検討小委員会で平成 28 年 6 月から 8 月にかけて検討を行い，同年 8 月に「大地震後の地震活動の見通しに関する情報の在り方」(報告書)[2)]をとりまとめた．

この報告書では，地震発生直後から 1 週間程度までは，一般に本震―余震型で地震活動が推移するかどうかの見極めが困難であるため，最初の大地震と同程度の規模の地震への注意を呼びかけることを基本とし，過去事例や地域特性にもとづいた見通しを呼びかけることとされた．地震発生から 1 週間程度経過した後，上記に加え，それまでの地震活動に本震―余震型の特徴が見られる場合には，余震確率にもとづいた数値的な見通しを付加して呼びかけることとされた．ただし，地震活動への注意を呼び掛ける際には，受け手側が理解しやすいように，確率の数値ではなく，最大震度〇以上となる地震の発生確率は，「当初の 1/〇程度」，「平常時の約△倍」等の表現を用いることが適切とされた．

また，「余震」という言葉は，最初の地震よりも規模の大きな地震は発生しないという印象を与えることから，大地震後の地震活動についての防災上の呼びかけにおいては，不用意に「余震」という言葉を使うのではなく，「地震」という言葉を使用することが望ましいとされた．

気象庁は，この新たな報告書の方針にもとづき，大地震後の地震活動の見通しに関する注意喚起を行っている．

4．南海トラフ地震に関連する情報

気象庁は，1979 年から約 40 年，地震防災対策強化地域判定会を運営し，東海地域を対象に地震予知に基づく情報を発表する体制をとってきた．しかし，東北地方太平洋沖地震の発生をきっかけとして，地震の予測可能性や南海トラフ地震に対する新たな防災対策の議論が行われ，その結果，南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会を新たに設置し，南海トラフ全域を対象に「南海トラフ地震に関連する情報」を発表する体制へと移行した．

この 10 年における，東海地震を対象とした情報の変遷及び新たな「南海トラフ地震に関連する情報」の詳細については，第 3 部 4. を参照いただきたい．

5．津波警報の改善

5.1　東北地方太平洋沖地震を踏まえた改善

東北地方太平洋沖地震による未曾有の災害，特に津波による甚大な被害は，気象庁の津波警報のあり方に大きな課題を提起するものであった．

気象庁は津波警報の改善を図るため，有識者等からなる検討会等を開催し，津波警報の初期段階に推定した地震の規模や，それにもとづき予想した津波が実際より過小となった要因，発表した津波警報の内容・タイミング等を検討・検証した上で，2012 年までに津波警報改善の方向性や発表基準，避難行動に資する情報文のあり方等をとりまとめた．これらの結果に基づき，2013 年 3 月から以下の点等について改善した津波警報や津波観測に関する情報の運用を開始した．

①津波警報の改善

津波警報は 3 分程度で発表する必要があるが，マグニチュード 8 を超えるような巨大地震では，正確な地震の規模を即時に推定できず，過小に評価してしまう危険性がある．そのため，地震の規模が過小評価されている可能性を速やかに判定し，その可能性が確認された場合は，地震が発生した海域で想定される最大級の津波高を

用い，安全サイドに立った津波警報の第一報を発表することとした．このような場合には，予想される津波の高さは「巨大」や「高い」という言葉で発表して非常事態であることを伝え，その後，正確な地震の規模が分かった時点で津波警報を更新し，予想される津波の高さを数値で発表することとした．

②津波観測に関する情報の改善

津波は後からやってくる波の方が大きい場合も多い．そのため，津波の観測状況を伝える津波観測に関する情報では，観測値が予想される津波の高さより大幅に低い間は，観測結果を数値では表さず「観測中」と発表し，安心情報と受け取られないようにすることとした．

5.2　沖合での津波観測の充実

気象庁では，沿岸に加え，沖合の津波観測データも監視している．この 10 年，沖合で津波や波浪の観測を行う海底津波計[3]や GPS 波浪計[4]の設置が進み，特に北海道から関東地方や三重県から高知県にかけての沖合には世界でも例を見ない高密度な沖合津波観測網が展開されている．これらのデータは，沿岸に到達する前に津波を観測できる可能性があり，防災上の効果が大きいことから，関係機関の協力も得てリアルタイムで入手し，津波警報・注意報の更新や「沖合の津波観測に関する情報（2013 年 3 月新設）」の発表に利用している．2019 年 11 月現在，情報で観測値を発表する沖合観測点は，海底津波計 214 地点及び GPS 波浪計 18 地点となっている．

また，複数の沖合観測点で観測される津波波形データから波源を推定し，その波源から津波が伝播する過程を，あらかじめ計算しておいた理論的な津波波形を合成することで把握し，沿岸への津波到達前に，沿岸での津波の高さを精度良く予想する手法（tFISH[5]）を開発し，2019 年 3 月より，津波警報の更新に活用している．

6．緊急地震速報の改善

気象庁は 2007 年 10 月に緊急地震速報の一般提供を開始し，同年 12 月には気象業務法を改正し同情報を地震動の予警報に位置付けた．以後 10 年余りが経過し，TV・ラジオのほか，緊急速報メール等により誰もがいつでも容易に同情報を受信できるようになった．

この間，2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震では，大きな二つの課題が明らかになった．一つは，震源域が広範囲に及び，従前の推定震源に基づく手法では関東地方など震源から遠い地域に対して適切に警報を発表できなかったこと，もう一つは，活発な余震活動により，ほぼ同時に発生した複数の地震を一つの地震として処理し，震源および地震の規模を適切に推定できず，しばしば震度を過大に予測したことである．これらの課題に対応するため，IPF（Integrated Particle Filter）法および PLUM（Propagation of Local Undamped Motion）法という新たな手法を開発し技術的改善を図った．

IPF 法は，一つの地震か否かを判別する際，P 波の到達時刻に加えて揺れの大きさの情報も活用し，また従来別々に用いていたデータや手法を統合的に用いることで，同時に発生した地震を高い確度で識別し，より安定して精度の良い震源を推定する手法である．

PLUM 法は，震源や地震の規模の推定は行わず，観測された揺れの強さから近傍の予測地点の震度を直接求める手法であり，予測してから揺れがくるまでの時間的猶予は短くなるが，広い震源域を持つ巨大地震であっても精度良く震度を予測できる．

また，海底地震計では堆積層による地震波の増幅や地震時の強震動に伴う海底地震計の傾動・揺動によりマグニチュード推定が過大となることから，上下動のみの振幅の利用や震源近傍の観測データを除外するなどの対策を行って観測データを活用し，海域で発生する地震に対する震度の予測精度向上と情報発表の迅速化を図った．2009 年 8 月に東海・東南海沖のケーブル式常時海底地震観測システム，2015 年 3 月に地震・津波観測監視システム（DONET1）の一部観測点，2019 年 6 月には日本海溝海底地震津波観測網（S-net）および地震・津波観測監視システム（DONET2）の活用開始と，DONET1 の活用観測点の拡大を行った．

なお，これらの技術開発は公益財団法人鉄道総合技術研究所，国立研究開発法人防災科学技術研究所，国立大学法人京都大学防災研究所と気象庁との共同研究や技術協力の成果である．

7．長周期地震動に関連する情報

大地震に伴って発生する長周期地震動は，震源から遠く離れた地域で長大構造物等を大きく揺らし，被害を発生させる．東北地方太平洋沖地震では，大阪市内の高層建造物で，内装材の被害やエレベーター閉じ込めが発生した．

このため，気象庁では，2011 年度以降，有識者による検討会（2011 年度：長周期地震動に関する情報のあり方検討会，2012 ～ 2018 年度：長周期地震動に関する情報検討会．以下，検討会）を開催し，長周期地震動に関する情報のあり方について検討を進めた．

この検討結果を受け，2013 年 3 月に，高層建造物高層階等での揺れによる行動の困難さなどを表す指標として長周期地震動階級（階級 1 ～ 4）を定め，気象庁ホームページで同階級等の観測情報の試行提供を行い，必要な改善を行った上で，2019 年 3 月本運用を開始した．

長周期地震動の予測情報については，2013 年度から

検討を進め，気象庁が用いる同階級の予測式として，Dhakal et al.（2015）[6]の距離減衰式を用いることとした．

また，検討会では，同予測情報の発表方法として，国民に広く注意・警戒を呼びかけるため緊急地震速報に同階級 3 以上が予測される地域を追加すること，民間事業者による個々の高層建造物等への機械制御等も含めた利活用に資するきめ細かな「多様なニーズに対応する予測情報」を提供することが必要であるとされた．

後者については検討会の下に設置された「多様なニーズに対応する予測情報検討ワーキンググループ（以下，WG）」で利活用方法，予測技術，利活用にあたっての留意事項についてさらに検討・検証を行い，とりまとめた結果を報告書として 2019 年 3 月に発表した．

気象庁は，WG で整理した予測情報の社会実装に向け，防災科学技術研究所・民間事業者の協力の下，具体的な検討・検証を進めるため実証実験を実施している．

8．国際津波情報提供体制の強化

太平洋沿岸諸国が津波災害軽減の目的で組織した太平洋津波警戒・減災システム政府間調整グループ（ICG/PTWS）の枠組みの下，気象庁は，北西太平洋域で津波発生のおそれがある大きな地震が発生した際に，地震や津波に関する情報を速やかに周辺各国に提供する北西太平洋津波情報センター（NWPTAC: Northwest Pacific Tsunami Advisory Center）の業務を 2005 年 3 月から実施している．

NWPTAC は，北西太平洋域でマグニチュード 6.5 以上の地震が発生した際，震源及びマグニチュードに基づき，データベース上の津波数値シミュレーション結果から沿岸での津波の到達時刻及び高さを予測し，津波情報を発表していたが，2019 年 2 月からは，その後の地震観測データの解析から地震のメカニズムが判明した場合，それを用いた数値シミュレーションをリアルタイムで実施し，その予測結果に基づき，情報の更新を行うことで予測精度の向上を図っている．

また，2006 年 7 月から，南シナ海沿岸にも暫定的に津波情報を提供してきたが，2019 年 11 月 5 日，中国が南シナ海津波情報センターの運用を開始したことから，同情報の暫定提供を終了した．

さらに，2019 年 8 月から，ニカラグアでも中米津波警報センターが試験運用を開始した．ニカラグアでのセンターの運用開始にあたり，気象庁は，JICA「中米津波警報センター能力強化プロジェクト」に協力し，短期専門家の派遣及び気象庁での研修を通じ，同センター職員の技術力向上に貢献している．

現在運用中の太平洋域における津波情報を提供するセンターを図 3 に示す．この 10 年で，新たに 2 つの地域津波情報センターが運用を開始し，太平洋における津波情報の提供体制が強化されてきた．

インド洋沿岸諸国に多くの被害を与えた 2004 年 12 月のスマトラ島沖の地震で発生した大津波を契機に，気象庁は，2004 年 3 月から，インド洋に津波警報体制が構築されるまでの間，インド洋沿岸諸国にも暫定的に津波情報提供していた．2011 年 3 月から，太平洋と同様な目的で設立されたインド洋津波警戒・減災システムの政府間調整グループの枠組みにおいて，インド，インドネシア，オーストラリアが津波情報の提供を開始したため，2013 年 3 月に暫定情報の提供を終了した．

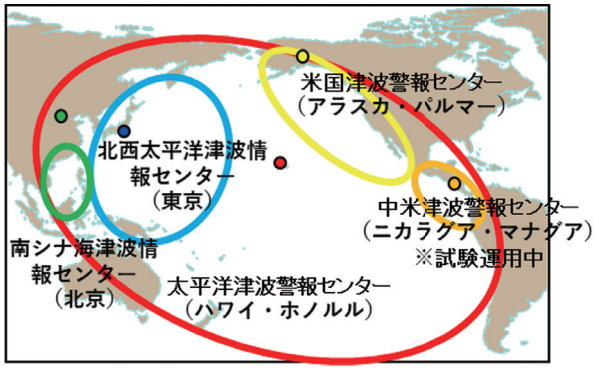


図 3　現在運用中の太平洋の津波情報センター

9．システム等の整備・強化

気象庁では，国内外の地震・津波や地殻変動等をリアルタイムに監視し，地震発生後の緊急地震速報，津波注・警報，南海トラフ地震に関連する情報及び地震・津波情報等を迅速かつ的確に発表するため，地震活動等総合監視システム（EPOS）を整備し，適切な業務運営に努めてきた．EPOS は，1987 年に初代を整備し現在運用中の EPOS は 5 代目となる．

2008 年～ 2009 年には，それまで各管区気象台・沖縄気象台に分散整備していた地震津波監視システム（ETOS），北西太平洋津波監視システム等の機能を統合するとともに，大規模災害時等においても確実に情報提供を継続できるよう，気象庁本庁及び大阪管区気象台を二中枢とし，両中枢間で冗長構成（地域冗長）を図り EPOS（4 代目）を更新・整備した．併せて，地域地震情報センターデータ処理システム（REDC）についても業務変更にあわせてシステム構成を見直し，二中枢にサーバを集約する等の整備をしている．なお，同 REDC は，1997 年に整備した初代に継ぐ 2 代目となる．（図 4）

更に，2010 年以降，防災科学技術研究所等データ（DONET 等）を活用した緊急地震速報の迅速化，津波シミュレーション技術を導入した津波警報等の精度向上と高度化等に伴い，順次 EPOS の処理機能を強化した．

また，東北地方太平洋沖地震で顕在化した巨大地震

に対するマグニチュードの過小評価や津波警報の内容等に係る課題を解決するため，地震津波観測網（広帯域強震計等整備）を強化するとともに，EPOS のハードウェア性能向上，処理機能を強化した．併せて長周期地震動分析装置を整備し，2013 年 3 月より長周期地震動に関する観測情報の試行（2019 年 3 月本運用に移行）にも対応してきている．

2015 年～ 2016 年には，更なる情報改善・高度化を図るため，現在運用中の 5 代目 EPOS を整備し，併せて 3 代目 REDC を整備した．

5 代目 EPOS は，津波評価解析装置等の統合，地震識別等自動処理の新規機能追加（同時多発地震対策（IPF 法），巨大地震・見逃し対策（リアルタイム震度の導入，PLUM 法等））及び津波警報等の更新に係る機能強化（CMT，W-phase 解析による Mw の活用，沖合津波計の高度利用（tFISH））のために必要な処理能力を確保するとともに，防災科学技術研究所が整備した S-net 等の観測データの大幅増に対応すべく処理能力を増強した．また，業務の信頼性確保，作業者の操作習熟及びソフトウェア変更時の評価・動作確認等のため，試験環境を新たに整備した．

3 代目 REDC は，地震多発時でもマグニチュード 2.0 以上の地震を確実に処理できるよう，サーバ機能を増強させ，地震識別等自動処理機能を強化した．これにより，地震登録数は倍以上に増え，かつ準リアルタイムで処理することが可能となった．一方で EPOS と REDC 間で機能（システム監視，データ収録等）を共通化し，サブシステムを集約・再配置することで経済性も確保した．

更に 2016 年以降には，2016 年 4 月の熊本地震の課題を受け，地震活動等の推移をリアルタイムで監視し迅速かつ的確に地震活動状況を把握するため，地震活動推移監視装置を整備した．その他，2017 年には，中央防災会議防災対策実行会議（南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応検討ワーキンググループ）の検討結果を受け，新たに「南海トラフ地震に関連する情報」の発表を開始するため EPOS の情報発表機能を強化した．

１０．気象研究所

気象研究所は，この 10 年間，海溝型の巨大地震，緊急地震速報，津波，地震活動・地殻変動に関する研究を継続的に取り組んできた．

東北地方太平洋沖地震は東北沖の日本海溝沿いの広

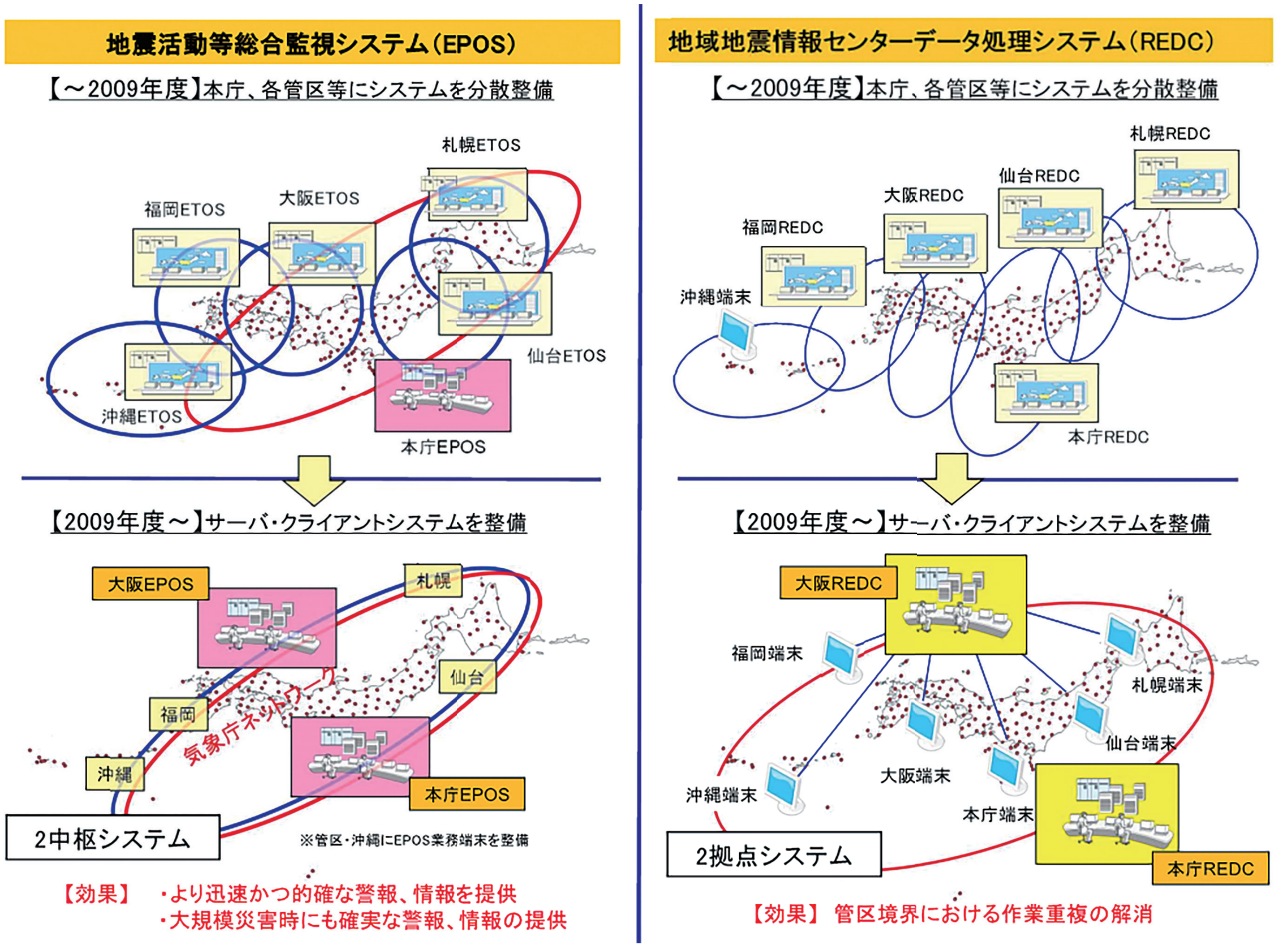


図４　４代目 EPOS ／２代目 REDC のシステム構成概要

い範囲で断層すべりが発生し[7]，東日本に未曾有の大災害を引き起こした．この地震に際し，地震の規模の過小評価，多発した余震による緊急地震速報の精度低下，津波警報の切り替えなどの課題が浮き彫りになった．規模の過小評価に対しては，巨大地震に対する早期で適切な規模推定手法の開発[8]を行い，平成 25 年に気象庁の津波警報の改善の手法として実用化された．多発した余震による緊急地震速報の精度低下を改善すべく，「揺れから揺れを予測する」研究[9]の一環の PLUM 法[10]を開発するに至り，平成 30 年に緊急地震速報の改善として実用化された．また，沖合津波観測点の計算波形と観測波形との比較で津波波源を推定し，同時に沿岸でも予測波形を算出する手法 tFISH[11]を開発し，平成 31 年に実用化された．

地震活動・地殻変動に関する研究として，前震に関する研究[12]や繰り返し地震の研究[13]など，また，GNSS データの定量的な視覚化により，南海トラフ沿いのスロースリップを検出する研究[14]，気象庁等のボアホール型のひずみ計の監視を高精度化する研究[15]がなされ，一部実用化されている．新たな地殻変動観測装置としてレーザー式変位計の開発や精密制御震源の研究に取り組み，単一の装置で短期的スロースリップと長期的スロースリップが観測可能であることやプレートからの反射波のミリ秒単位の地震波速度変化を確認した[16]．また，地震発生シミュレーションは，対象を東海地震から南海トラフや東北日本海溝沿いの領域と広域に展開し，地震発生の再現計算を行った．

ここで，地震活動のモニタリングにおいて，特記すべき研究として，自動震源処理について記述する．自動検測された P 波・S 波の到着時刻をパーティクルフィルターを用いて，最適なデータの組み合わせで震源計算を行う自動震源決定法を開発した[17]．この技術をもって，平成 28 年 4 月から一元化震源において自動処理された精度のよい震源をそのまま最終震源とする運用が気象庁業務として開始された．これにより，より微小な地震の震源決定も可能となり，地震決定数が大幅に増加することとなった（図 5）[18]．

１１．これまでの成果と今後の課題

この 10 年に発生した 2 つの大きな被害地震である，2011 年の東北地方太平洋沖地震と，2016 年の熊本地震の発生は，気象庁における地震津波業務に大きな変革を迫るものであった．その結果は先に述べた通り，緊急地震速報や津波警報の改善へと繋がっていった．また，広帯域強震計の整備や監視システムの更新，他機関による海底地震・津波計データ等の入手により，監視体制においてもより強固なものになった．

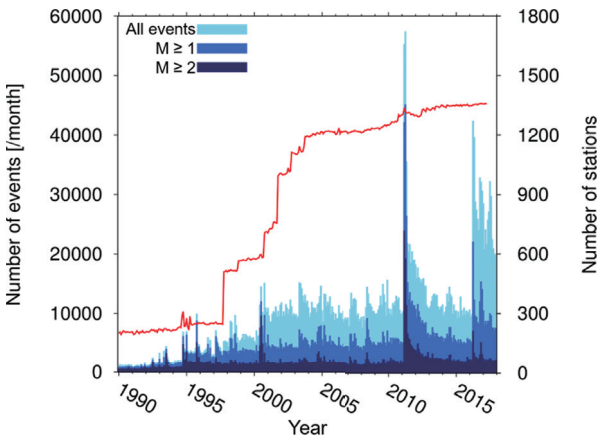


図５　気象庁における震源決定処理数の変遷．気象研で開発された自動処理技術が導入され，2016 年 4 月以降，飛躍的に処理数が増加している．

情報発表についても，長周期地震動に関する観測情報や南海トラフ地震に関連する情報の提供開始，大地震後の地震活動の見通しに関する情報の改善など，よりわかりやすく有益な情報提供にも努めているところである．一方で，既存の情報を含めた多岐にわたる情報が，住民の避難行動や防災対応に有効に生かされているかどうかについて，引き続き検証を進め改善に努めていく必要がある．

今後も気象庁は，関係機関の協力のもと，利用可能な観測データや解析結果を積極的に活用し，地震津波防災に対する国民のニーズを的確に捉えながら，これに応える迅速かつ的確な情報提供と成果の蓄積，情報が有効に活用されるための国民への普及啓発や自治体の防災対応の支援に努めていく．

参考文献および注

1）　地震調査研究推進本部地震調査委員会 ,1998,「余震の確率評価手法について」報告書.
2）　地震調査研究推進本部地震調査委員会 ,2016,［大地震後の地震活動の見通しに関する情報のあり方］報告書.
3）　防災科学技術研究所，海洋研究開発機構，東京大学地震研究所，気象庁により設置.
4）　国土交通省港湾局により設置.
5）　tFISH は tsunami Forecasting based on Inversion for initial sea-Surface Height の略．気象研究所で開発.
6）　Dhakal, Y. P.,W. Suzuki, T.Kunugi, and S. Aoi ,2015, Ground Motion Prediction Equations for Absolute Velocity Response Spectra（1 - 10s）in Japan for Earthquake Early Warning, 日本地震工学会論文集 , 15 巻 , 91 - 111.
7）Yoshida, Y., H. Ueno, D. Muto, and S. Aoki, 2011.

Source process of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake with the combination of teleseismic and strong motion data, Earth, Planets and Space, 63, 565-569.

8) 気象研究所地震津波研究部，2017，海溝沿い巨大地震の地震像の即時的把握に関する研究，気象研究所技術報告，77.

9) Hoshiba, M., and S. Aoki, 2015. Numerical Shake Prediction for Earthquake Early Warning: Data assimilation, Real-Time Shake Mapping, and Simulation of Wave Propagation. Bull. of Seism. Soc. Am., 105, 1324-1338.

10) Kodera, Y., Y. Yamada, K. Hirano, K. Tamaribuchi, S. Adachi, N. Hayashimoto, M. Morimoto, M. Nakamura, and M. Hoshiba, 2018, The Propagation of Local Undamped Motion（PLUM）method: a simple and robust seismic wavefield estimation approach for earthquake early warning. Bulletin of Seismological Society of America, 108（2), 983-1003.

11) Tsushima, H., R. Hino, H. Fujimoto, Y. Tanioka, and F. Imamura, 2009. Near-field tsunami forecasting from cabled ocean bottom pressure data, J. Geophys. Res., 114, B06309.

12) Maeda, K., and F. Hirose, 2012. Prediction Performance of Empirically Defined Foreshocks and Its Application to the 2011 Off Tohoku Earthquake, Abstracts of international symposium on statistical modeling and real-time probability forecasting for earthquakes, 14.

13) 気象庁気象研究所地震火山研究部・地震火山部・気象大学校・札幌管区気象台・仙台管区気象台・大阪管区気象台・福岡管区気象台・沖縄気象台 ,2014. 日本各地域の繰り返し相似地震発生状況に関する研究，気象研究所技術報告，72.

14) Kobayashi, A.,2017. Objective detection of long-term slow slip events along the Nankai Trough using GNSS data（1996-2016), Earth, Planets and Space, 69:171.

15) 木村一洋 , 露木貴裕 , 菅沼一成 , 長谷川浩 , 見須裕美 , 藤田健一 , 2015: タンクモデルによる体積ひずみ計データの降水補正について . 験震時報 , 78, 93-158.

16) 気象研究所地震津波研究部，2011，東海地震の予知精度向上及び東南海・南海地震の発生準備過程の研究，気象研究所技術報告，63.

17) 溜渕 功史・森脇 健・上野 寛・束田 進也（2016）: ベイズ推定を用いた一元化震源のための自動震源推定手法 , 験震時報 , 79, 1-13.

18) Tamaribuchi, K., Y. Yagi, B. Enescu and S. Hirano, Characteristics of foreshock activity inferred from the JMA earthquake catalog, Earth, Planets and Space, 70:90.

（6） 国土地理院

1．はじめに

国土地理院では，国土地理院基本測量長期計画並びに「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」及び「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」に基づき，この 10 年間各種の測量を実施してきた．ここでは，主なものについて簡単に振り返る．

2．GNSS 連続観測システムの発展と成果

GEONET（GNSS Earth Observation Network System）は，全国に設置された電子基準点（GNSS 連続観測局）と茨城県つくば市に設置された GNSS 中央局からなる．測量と地殻変動監視を本来目的とする GNSS 連続観測システムである．

1994 年（平成 6）年度から始まった国土地理院による GNSS 連続観測は，1996 年に 600 点を超える電子基準点を中心とした GEONET となった．その後，2003 年に電子基準点の数は 1200 点となり，国土を約 20km 間隔で覆う観測網ができあがった．こうして GEONET により，時々刻々と進行する我が国の地殻変動を全国ほぼ一様に監視することができるようになった．2009 年以降の 10 年間にみられた GEONET の様々な発展と成果について，以下に述べる．

2.1　GEONET の発展

2009 年 4 月から第 4 世代解析ストラテジによる GEONET 定常解析の運用を開始した．これにより，年周変化や座標値のばらつきが軽減され微少な地殻変動の検出が可能となった．

2010 年，既存の IP-VPN 回線に加え，新たに携帯電話を利用した通信回線を整備し，通信の二重化を図った．

2011 年 3 月 11 日に発生した平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（以下「東北地方太平洋沖地震」という．）に伴い，電子基準点「牡鹿」（宮城県石巻市，牡鹿半島）において，東南東方向へ約 5.4m の変位，上下変動では約 1.1m の沈降を観測した（水藤ほか，2011[1]）（図 1）．

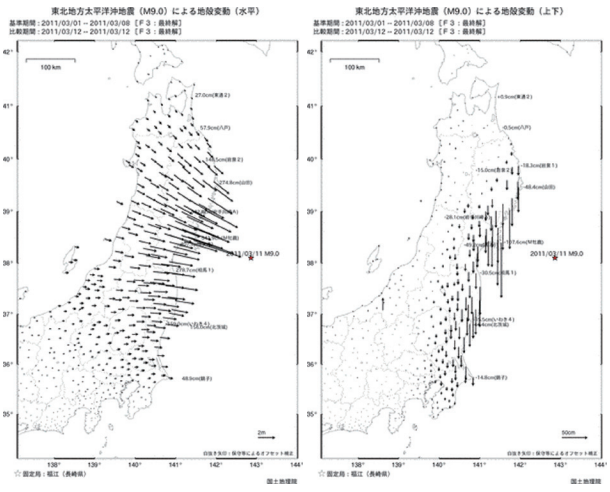


図 1　東北地方太平洋沖地震による地殻変動

本地震により東北地方から関東甲信越地方の広範囲で顕著な地殻変動が観測されたため，5 月 31 日に新たな測量成果（ITRF2008 準拠，元期 5 月 24 日）を公表した．

2012 年から 2013 年にかけて，電子基準点の防災対応力強化として，停電時にも 72 時間継続して観測できる無停電装置を一部の離島などを除く電子基準点に整備した．さらに，ほぼ全ての電子基準点において，GPS 衛星だけでなく準天頂衛星及び GLONASS 衛星の信号を受信できる GNSS アンテナ及び受信機へ更新した．

2012 年 7 月，東北地方などの 187 点の電子基準点で準天頂衛星及び GLONASS 衛星の観測データの提供を開始し，2013 年 5 月には，全国の電子基準点で提供できるようになった．

2016 年 4 月，電子基準点 786 点において Galileo 及び近代化 GPS の L5 信号のデータ提供を開始した．

以上のように，この 10 年間に GEONET は，第 4 世代解析ストラテジによる定常解析の運用，マルチ GNSS への対応，東北地方太平洋沖地震を教訓とした防災対応力の向上により，安定した高品質のデータの取得と提供ができるようになった．

2018 年 3 月末現在，電子基準点の数は 1318 点であり，日々日本全国の地殻変動を監視している（図 2）．

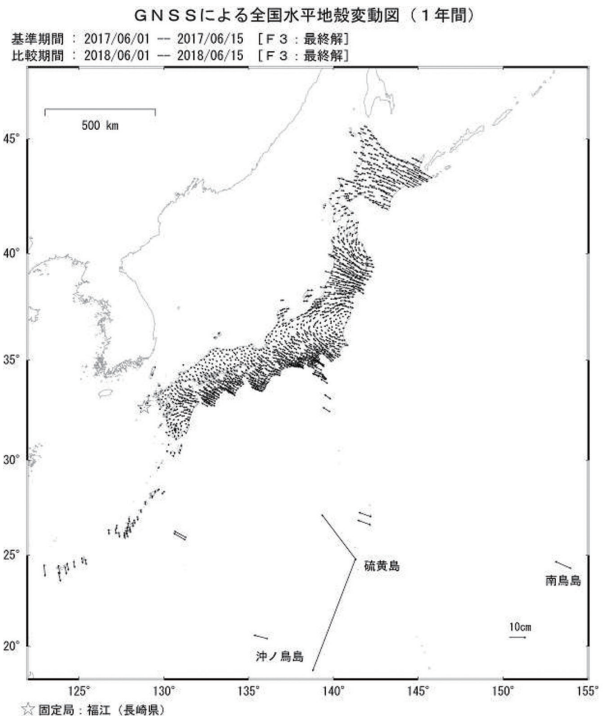


図 2　日本全国の水平地殻変動

2.2　GEONET による主な成果

2009 年に GEONET データから求められた水蒸気量が，気象庁の数値予報に取り込まれ，そのスコアを改善している（気象庁・国土地理院，2009[2]；小司，2015[3]）．

2009 年 4 月以降，電子基準点の日々の座標値から作られたセミ・ダイナミック補正パラメータが公開され，精度を要する公共測量に適用されるようになった（田中ほか，2006[4]；檜山ほか，2010[5]）．

東北地方太平洋沖地震では，GEONET によって観測された地殻変動から震源断層モデルの推定，並びに，地震時及び地震後のすべり分布の解析を行い，この地震の全体像を明らかにした（Ozawa et al.,2011[6]）．また，地震の発生直後から東日本全体で東北地方太平洋沖地震の震源域に向かう余効変動が観測されている．上下方向の余効変動は，岩手県三陸沿岸と奥羽脊梁山脈付近で沈降が見られる一方，宮城県から千葉県の太平洋沿岸では隆起傾向が見られる．最大の変動量は，地震発生後から 2019 年 1 月までに水平方向で約 1.5m，上下方向で約 0.6m の隆起である．

熊本地震でも地震に伴う地殻変動が詳細に捉えられ，前震及び本震の震源断層モデルが推定された（矢来ほか ,2016）．このほかの地震でも GEONET によって地殻変動が捉えられている（第 2 部第 2 章 1．を参照）．

このほか，東海，紀伊水道，豊後水道，日向灘，房総半島において繰り返し発生している長期的スロー地震を GEONET の観測で検出している．また，ここ 10 年の間に長期的スロー地震だけでなく，短期的スロー地震も検出できるようになってきている（詳細は，第 2 部第 3 章 3．（1）を参照）．

2.3　REGARD（電子基準点リアルタイム解析システム）

東北地方太平洋沖地震では，地震計の特性により巨大な地震について即時に正確なマグニチュードの算出ができなかったため，津波高の予測が過小評価となった．国土地理院には，より信頼度の高い津波予測支援への利用を視野に，GEONET のリアルタイムデータを用いた概略の地殻変動結果から巨大地震の地震規模を即時に推定するシステム開発への期待が寄せられた．このような背景を踏まえ，常時 RTK 測位を行い即時に概略の地殻変動を把握する機能を実装した電子基準点リアルタイム解析システム（REGARD:Real-time GEONET Analysis System For Rapid Deformation monitoring）を開発した（図 3）．

REGARD は，東北大学や気象研究所との共同研究により開発したもので，巨大地震発生時に概略の地殻変動を即時に検出して地震規模を推定し，津波予測支援に役立てることができる．2016 年 4 月 1 日から運用を開始した REGARD は，およそ 2 週間後の熊本地震においてその機能を発揮し，即時に概略の地殻変動を検出し地震規模を推定できることが確認された（図 4）．

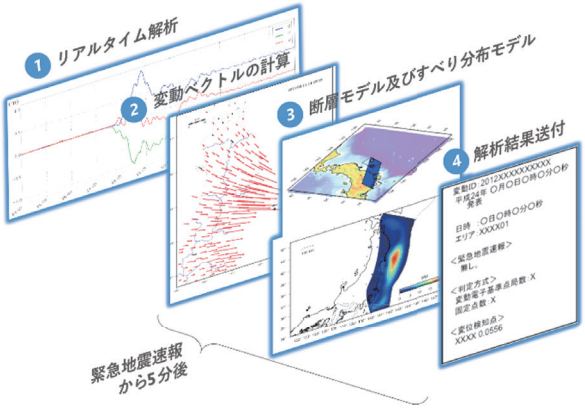


図 3　REGARD の計算フロー

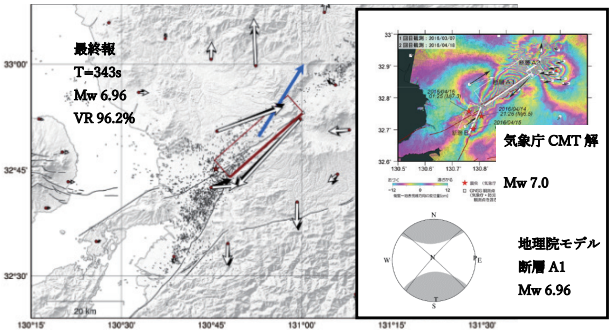


図 4　REGARD によるリアルタイム断層モデル推定結果

3．観測強化地域等における測量

国土地理院では，東海・南関東の観測強化地域において，周期の短い繰り返し観測や連続観測を行ってきた．近年は「南海トラフ地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法」等で指定している地震防災対策推進地域において，観測周期の短い水準測量を実施し，地殻の上下変動を監視している．また，水準測量の際には，水準路線近傍の電子基準点及び験潮場等に水準点からの高さの取り付け観測を実施し，その結果を統合的に解析し，地殻変動の様相を総合的に監視している．その中でも，東海地域の掛川～御前崎においては，プレートの沈み込みに伴う地殻変動を把握する上で重要な路線と位置付け，現在も水準測量を年 2 回行っている．なお，東海地域で実施していた長距離水管傾斜計，ボアホール型の歪計・傾斜計等による地殻変動連続観測は，2017 年（平成 29 年度末）で観測を終了した．

東北地方太平洋沖地震では，電子基準点の観測データにより東北地方から関東・甲信越地方にかけての広い範囲で顕著な地殻変動が明らかになったため，三角点約 44,000 点，水準点約 1,400 点の測量成果の公表を停止した．その後，2011 年 10 月 31 日に三角点約 43,300 点，

2012 年末までに水準点約 2,800 点の新しい測量成果を公表した．しかし，地震後も続く余効変動により 2016 年 3 月時点で成果との乖離が 30cm 以上の地域があることが確認されたため，2016 年から 2017 年まで東北地方を中心に水準点の再測量を行い，2017 年 2 月 28 日に 573 点，2018 年 2 月 28 日に 787 点の水準点成果の改定，公表を行っている．

熊本地震では，三角点等 4,169 点，水準点 296 点の測量成果の公表を停止し，2016 年 9 月 12 日までに新しい測量成果を公表した．

4．SAR（合成開口レーダー）

国土地理院では，火山活動，地盤沈下等に伴う地殻・地盤変動の監視を目的として，陸域観測技術衛星「だいち」（ALOS）及び陸域観測技術衛星 2 号「だいち 2 号」（ALOS-2）に搭載された L バンド合成開口レーダー（Synthetic Aperture Radar:SAR）の観測データを用いて SAR 干渉解析を定常的に実施してきた．また，地震や火山等活動による災害が発生した場合には，その災害状況の把握や復興作業の情報提供を目的として，緊急解析を実施してきた．

このほか，「衛星データを用いた地震・地盤変動データ流通及び解析グループ」（2008 ～ 2013 年度），及び「地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループ」（2014 年度～）の事務局を務め，地震災害発生時の緊急観測の取りまとめや，地震予知連絡会及び地震調査委員会への解析結果の報告等を行ってきた（地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの詳細については第 1 部第 2 章 5．を参照）．

ALOS は 2006 年 1 月に打上げられ，2011 年 5 月まで運用された．この 10 年の間，運用終了までに SAR 干渉解析を実施した主な地震・火山活動は，2011 年の霧島山（新燃岳）の火山活動，東北地方太平洋沖地震などが挙げられる．

東北地方太平洋沖地震では，地殻変動が東北地方から関東及び中部地方まで及んでいたことが捉えられ，牡鹿半島における変動量は GEONET で得られた結果と整合していた．また，内陸で発生した誘発地震に伴う局所的な地殻変動を検出し，GEONET のみでは把握が困難な断層近辺の詳細な変動を明らかにした（図 5）．

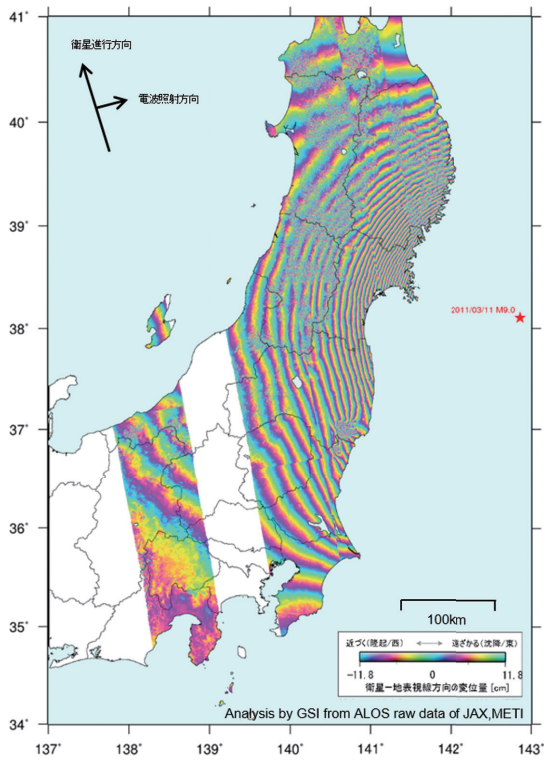


図 5　東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動を表した SAR 干渉画像（★星印は震央を示す）

ALOS-2 の運用開始以降，SAR 干渉解析を実施した国内の主な地震・火山活動としては，2014 年の御嶽山の火山活動，2015 年の箱根山の火山活動，2015 年の口永良部島の火山活動，平成 28 年（2016 年）熊本地震，2018 年の霧島山（えびの高原（硫黄山））の火山活動，平成 30 年北海道胆振東部地震，西之島の火山活動などが挙げられる．

2015 年の箱根山の火山活動では，火山活動の活発化を受けて高頻度な緊急観測が実施された．国土地理院では緊急解析を実施し，他の地上観測機器では捉えることの難しい，直径 200m 程度の範囲における局所的な変動を高頻度に捉えた．得られた地殻変動情報は火山噴火予知連絡会等の関係機関に提出され，噴火警戒レベル及び立入規制範囲の検討に活用された．

平成 28 年（2016 年）熊本地震では，布田川断層帯及び日奈久断層帯に沿って顕著な変動が見られたほか，MAI（Multiple Aperture Interferometry）法を適用することで，標準的な SAR 干渉解析では捉えられなかった断層近傍の変動が明らかになった．得られた地殻変動情報は地震調査委員会による地震活動の評価，基準点の測量成果停止及び改定範囲の決定，小変位の地表断層群の抽出に活用された．

このほか，海外の地震・火山災害では，2017 年のイラン・イラク国境付近の地震，2018 年のインドネシア・ロンボク島の地震，2018 年のインドネシア・スラウェシ島の地

震などにおいて，発災後の災害対応に役立ててもらうことを目的に，現地の関係機関に解析結果を提供した．

国土地理院では，SAR 干渉解析手法の高度化にも継続的に取り組んでいる．この 10 年間では，とりわけ SAR 干渉解析における主な誤差要因である水蒸気及び電離層の影響について，それぞれ軽減する手法を新たに取り入れ，干渉画像の判読性向上が図られた．また，ALOS-2 による観測データが蓄積してきたことにより，多数枚の SAR 干渉画像を用いることで変動の検出精度を向上させる，干渉 SAR 時系列解析が可能となってきており，国土地理院においても現在試行しているところである．今後打上げられる予定の「先進レーダ衛星（ALOS-4）」の運用が開始され，定常的に高頻度な観測が行われることで，干渉 SAR 時系列解析のさらなる高精度化及び実運用化が期待される．

5．VLBI

国土地理院では，国内測地網の規正及びプレート運動の把握のため，国内に設置している VLBI 観測局において観測を実施してきた．また，1999 年に国際 VLBI 事業（IVS）が設立されて以来，国土地理院はその構成機関として国際観測に参加するとともに，相関局，解析局としても活動し，国際的な測地基準系の構築や地球の自転変化の監視に貢献している．地殻変動の把握のために実施していた国内観測は 2013 年で終了し，新十津川，姶良，父島の観測局は順次運用を停止した．その一方で，2014 年に IVS のサブグループとして設立されたアジア・オセアニア VLBI グループ（AOV）において積極的な役割を担い，アジア・オセアニア地域の測地基準系の構築や地殻変動の把握に努めている．

東北地方太平洋沖地震では，東日本を中心に大規模な地殻変動が生じたため，測量成果の改定が行われ，新成果の算出の際は地震後に計測したつくば局の座標値が重要な役割を果たした．その後，次世代の VLBI 観測装置の仕様（VGOS）に基づいて新たに石岡測地観測局を設置し，2015 年より運用を開始した．これに伴い，つくば局は 2016 年に運用を停止した．現在は，石岡測地観測局で IVS や AOV による国際 VLBI 観測に参加している．

6．重力

国土地理院は，高精度で安定した重力値を提供するとともに国際的に合意された基準に基づく日本の重力基準網の構築を目的として，全国で重力測量を実施している．2002 年から 2016 年までに国土地理院が実施した重力測定結果を用いて，国内の重力値の基準を 40 年ぶりに更新し，2016 年度に「日本重力基準網（JGSN2016）」を公表した．また，東海地震の発生が懸念されている東海地域の重力変化の監視を目的として，東京大学地震研究所と共同で，1996 年から御前崎市における絶対重力測定を実施している．2018 年度には，これまで観測を継続してきた施設の取り壊しに伴い，同市内の別の場所に観測点を移転した．このほか，東北地方太平洋沖地震及び熊本地震発生後に，地震による地殻変動に伴う重力変化の検出を目的とした重力測量を実施した．

7．ジオイド

国土地理院では，衛星測位を用いた測量業務の効率化の一環として，GNSS 測量により 3 級水準測量に相当する標高の決定を可能とするため，高精度なジオイド・モデルの構築を進めてきた．2013 年度に四国，中国及び九州地方のジオイド・モデルを改定して「日本のジオイド 2011+2000」を公開した．2014 年度には，北海道から近畿地方及び沖縄本島のジオイド･モデルを改定して「日本のジオイド 2011」（Ver.1）を公開し，さらに，2016 年度に全国の離島部のジオイド・モデルを改定して「日本のジオイド 2011」（Ver.2）を公開した．

8．験潮

国土地理院では，土地の高さの基準を決めるために，全国 25 か所の験潮場において潮位の連続観測を行っている．その内 14 か所では，災害時を想定し，専用の IP-VPN 回線に加えて携帯電話回線を利用した通信の二重化が図られている．これらの回線を使用して，潮位データは国土地理院に送信され，リアルタイムで監視されるとともに，気象庁にリアルタイムで転送されている．

東北地方太平洋沖地震では，津波により相馬験潮場が倒壊したため，2011 年 6 月から 2015 年 9 月までは福島県相馬港検潮所での潮位観測を行い，その後は新たに設置した相馬験潮場で潮位観測を継続した．

伊豆半島東部の地殻変動の監視のために設置された真鶴（神奈川県真鶴町），初島（静岡県熱海市）の潮位観測は地殻上下変動の監視を近傍の電子基準点で代替可能なため，2013 年 3 月末で観測を終了した．

参考文献

1）水藤尚, 西村卓也, 小沢慎三郎, 小林知勝, 飛田幹男 , 今給黎哲郎，原慎一郎，矢来博司，矢萩智裕，木村久夫，川元智司（2011）．GEONET による平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震に伴う地震時の地殻変動と震源断層モデル．国土地理院時報，**122**，29-37.

2）気象庁，国土地理院（2009）．国土地理院電子基準点

観測データ（GPS データ）の活用による気象庁メソ数値予報の改善について～水蒸気データをとりこむことにより，予報精度が向上します～，報道発表資料. http://www.jma.go.jp/jma/press/0910/27a/MSM_GPS.pdf（accessed May 26, 2017）.

3）小司禎教（2015）. GNSS 地上観測網による水蒸気量推定と気象学への応用に関する研究－ 2015 年度日本気象学会賞受賞記念講演－. 天気, **62**(12), 3-19.

4）田中愛幸，岩田和美，豊田友夫，平井英明，川口保，松坂茂，畑中雄樹，飛田幹男，黒石裕樹，今給黎哲郎（2006）. セミ・ダイナミックな測地系の構築に向けた取り組みについて. 国土地理院時報, **110**, 1-9.

5）檜山洋平，森下遊，山尾裕美，湯通堂亨，越智久巳一，岩田昭雄（2010）. セミ・ダイナミック補正の導入について. 国土地理院時報, **120**, 55-61.

6）Ozawa, S., Nishimura, T., Suito, H., Kobayashi, T., Tobita, M. and Imakiire, T. (2011). Coseismic and postseismic slip of the 2011 magnitude-9 Tohoku-Oki earthquake. *Nature*, **475**, 373-376, doi:10.1038/nature10227.

第　2　部

この10年の主な地震及び地殻活動

第 1 章　この 10 年の全国の地震活動状況

気象庁

1．はじめに

2009 ～ 2018 年度（平成 21 年 4 月～平成 31 年 3 月）の 10 年間で，日本とその周辺の海域においてマグニチュード 6.5 以上の地震は 93 回発生した（図 1）．これはその前 10 年間（1999 ～ 2008 年度:76 回）の約 1.2 倍，前 40 年間の平均（1969 ～ 2008 年度：217 回，10 年当たり約 54 回）の約 1.7 倍である．このうち半数近く（45 回）は，2011 年 3 月以降に「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」(以下, 東北地方太平洋沖地震という）の余震域（2.2 項参照）で発生している．

この 10 年間で最も大きな被害を伴ったのは，2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震（M9.0）である．死者・行方不明者合わせて 2 万人以上などの甚大な被害が生じ，政府は「東日本大震災」と命名した．太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した地震で，震源域は岩手県沖から茨城県沖まで及び，この近傍を中心に強震動（最大震度 7）と高い津波を観測した．また，直後から非常に活発な余震活動がみられたほか，余震域以外でも大きな地震や活発な地震活動が見られた．国内観測史上最大の地震であり，当時の長期評価でもこの規模は想定されておらず，我が国の地震・津波防災対策における想定のあり方が見直されることとなった．

次に大きな被害を伴ったのは，2016 年 4 月 14 日に始まった「平成 28 年（2016 年）熊本地震」である．布田川断層帯・日奈久断層帯で起きた地震であり，最初の地震（M6.5）の約 28 時間後に最大規模の地震（M7.3）が発生し，一連の活動で震度 7 を 2 回観測する初の事例となった．内陸地殻内の M6.4 以上の地震は本震とみなすという経験則が妥当でなくなり，地震調査委員会は様々な事例に対応可能な大地震後の地震活動の見通しを踏まえた防災上の呼びかけ方の指針をとりまとめた．

これらのほかに今期間で震度 7 を観測した地震として，2018 年 9 月 6 日に発生した「平成 30 年北海道胆振東部地震」（M6.7）がある．この地震活動は，国内でも特異な地下構造が認められる日高山脈南部の周辺地域で発生し，通常の陸域の浅い地震に比べてやや深い場所を震源としており，その発生メカニズムや近傍の石狩低地東縁断層帯との関係性などについて議論されている．

このほか，糸魚川－静岡構造線断層帯を構成する神城断層の一部が活動した 2014 年 11 月 22 日の長野県北部の地震（M6.7），被害地震が中国地域では他に比べて活発と長期評価されていた中国地域北部で 2016 年 10 月 21 日の鳥取県中部の地震（M6.6）などが発生した．

この 10 年で震度 6 弱以上を観測した地震を示す（表 1）．

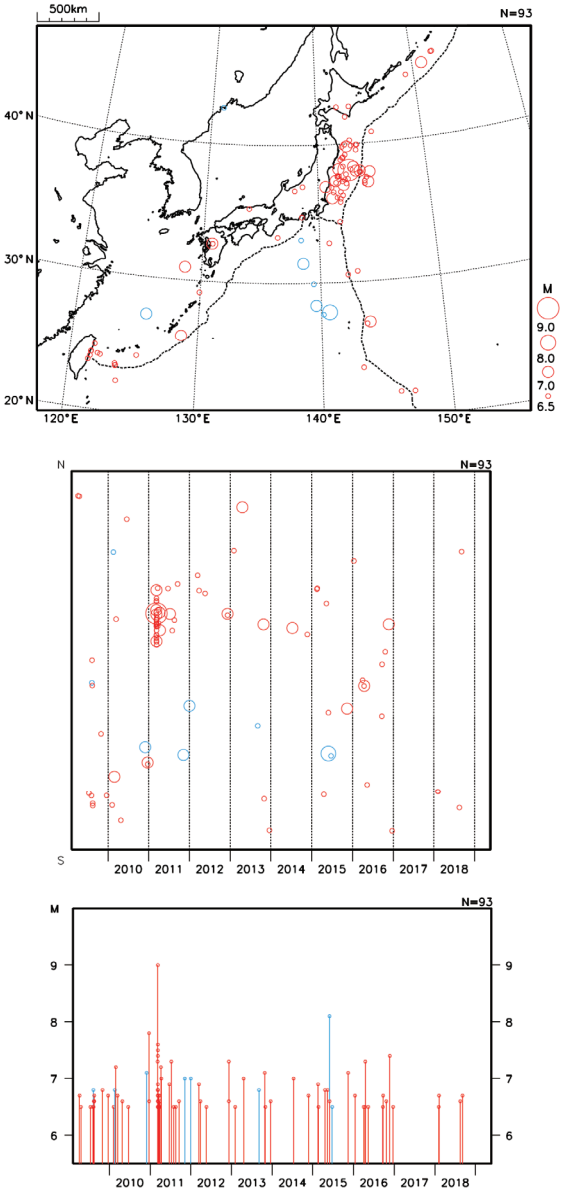


図 1　2009 年 4 月～ 2019 年 3 月に日本とその周辺海域で発生した地震（M6.5 以上，深さ 0 ～ 700km，深さ 150km までの地震を赤，150km より深い地震を青で表示）
（上）震央分布図
（中）時空間分布図（南北投影）
（下）M － T 図

これらの主な地震活動については，第 4 章で詳細に説明されるため，本稿においては簡潔に触れることとし，地域ごとの地震活動概要について以降紹介する．

表１　日本とその周辺海域の主な地震（震度６弱以上を観測した地震，2009 年４月～ 2019 年３月）

発生年月日	発生時分	M	震央地名等	最大震度	津波	人的被害	物的被害
平成21年 (2009年)8月11日	05時07分	6.5	駿河湾	6弱	36cm	死1 負319	住家半壊6棟 同一部破損8,672棟等
平成23年 (2011年)3月11日	14時46分	9.0	三陸沖※1	7	9.3m 以上※2	死19,689 不明2,563 負6,233 ※3	住家全壊121,995棟 同半壊282,939棟 同一部破損748,109棟等
平成23年 (2011年)3月11日	15時15分	7.6	茨城県沖#	6強	※4	※5	※5
平成23年 (2011年)3月12日	03時59分	6.7	長野県・新潟県県境付近	6強		死3 負57 ※6	住家全壊73棟 同半壊427棟 同一部破損2,589棟等 ※6
平成23年 (2011年)3月12日	04時31分	5.9	長野県・新潟県県境付近	6弱		※6	※6
平成23年 (2011年)3月12日	05時42分	5.3	長野県・新潟県県境付近	6弱		※6	※6
平成23年 (2011年)3月15日	22時31分	6.4	静岡県東部	6強		負80	住家半壊18棟 同一部破損3,475棟等
平成23年 (2011年)4月7日	23時32分	7.2	宮城県沖#	6強		死4※5	※5
平成23年 (2011年)4月11日	17時16分	7.0	福島県浜通り#	6弱		死4※5	※5
平成23年 (2011年)4月12日	14時07分	6.4	福島県中通り#	6弱		※5	※5
平成25年 (2013年)4月13日	05時33分	6.3	淡路島付近	6弱		負35	住家全壊8棟 同半壊101棟 同一部破損8,305棟等
平成26年 (2014年)11月22日	22時08分	6.7	長野県北部	6弱		負46	住家全壊77棟 同半壊137棟 同一部破損1,626棟等
平成28年 (2016年)4月14日	21時26分	6.5	熊本県熊本地方※7	7		死273 負2,809 ※7	住家全壊8,667棟 同半壊34,719棟 同一部破損163,500棟等 ※7
平成28年 (2016年)4月14日	22時07分	5.8	熊本県熊本地方※7	6弱		※7	※7
平成28年 (2016年)4月15日	00時03分	6.4	熊本県熊本地方※7	6強		※7	※7
平成28年 (2016年)4月16日	01時25分	7.3	熊本県熊本地方※7	7		※7	※7
平成28年 (2016年)4月16日	01時45分	5.9	熊本県熊本地方※7	6弱		※7	※7
平成28年 (2016年)4月16日	03時55分	5.8	熊本県阿蘇地方※7	6強		※7	※7
平成28年 (2016年)4月16日	09時48分	5.4	熊本県熊本地方※7	6弱		※7	※7
平成28年 (2016年)6月16日	14時21分	5.3	内浦湾	6弱		負1	住家一部破損3棟
平成28年 (2016年)10月21日	14時07分	6.6	鳥取県中部	6弱		負32	住家全壊18棟 同半壊312棟 同一部破損15,095棟等
平成28年 (2016年)12月28日	21時38分	6.3	茨城県北部	6弱		負2	住家半壊1棟 同一部破損25棟
平成30年 (2018年)6月18日	07時58分	6.1	大阪府北部	6弱		死6 負462	住家全壊21棟 同半壊483棟 同一部破損61,266棟等
平成30年 (2018年)9月6日	03時07分	6.7	胆振地方中東部※8	7		死43 負782	住家全壊469棟 同半壊1,660棟 同一部破損13,849棟等
平成31年 (2019年)1月3日	18時10分	5.1	熊本県熊本地方	6弱		負4	住家一部破損60棟
平成31年 (2019年)2月21日	21時22分	5.8	胆振地方中東部※8	6弱		負6	住家一部破損19棟

津波は津波観測施設における最大の高さを示し，人的被害・物的被害は以下にことわりのあるものを除き総務省消防庁（消防白書，消防庁災害情報）による．

※１　「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」（以下，本文で示した略称を使用）

※２　東北地方太平洋沖地震の余震（本表内では＃）による被害のほか平成23年３月11日以降に発生した余震域外の地震による被害の区別が不可能なものを含む．

※３　観測施設が津波により被害を受けたためデータを入手できない期間があり，後続の波でさらに高くなった可能性がある．

※４　東北地方太平洋沖地震による津波が非常に大きかったため，この地震による津波は観測記録からははっきりとは分からない．

※５　記載されたもの以外の被害は，本震の被害数に含まれている．

※６　新潟県及び長野県による．同日発生した余震（下2行）による被害も含む．

※７　「平成28年（2016年）熊本地震」の一連の活動であり，これによる被害は最初の地震（4月14日，M6.5）の欄に含めて記載．

※８　「平成30年北海道胆振東部地震」の一連の活動．

2．地域ごとの地震活動の状況

2.1　北海道とその周辺

2009 年 4 月以降，北海道周辺の深さ≦ 100 km では M ≧ 6.5 の地震が 4 回発生しているが，M ≧ 7.0 の地震は発生していない．M ≧ 7.0 の地震は 2008 年 9 月 11 日の十勝沖の地震（M7.1）以降発生しておらず，M ≧ 8.0 になると「平成 15 年（2003 年）十勝沖地震」（M8.0）以降発生していない．

図 2 に 2009 年 4 月以降に北海道とその周辺で発生した M ≧ 5.5，深さ≦ 100km の地震の震央分布図を示す．このうち M ≧ 6.5 の地震に吹き出しを付けている．

吹き出しを付けた地震の中で，2018 年 9 月 6 日 03 時 07 分に発生した「平成 30 年北海道胆振東部地震」（M6.7）では，北海道で震度観測を開始して以来初めて震度 7 を観測し，死者 43 人，大規模な土砂災害や家屋の倒壊など甚大な被害を生じた（被害は総務省消防庁による）．

十勝沖から根室半島南東沖にかけての領域 a は，海溝型のプレート間大地震が繰り返し発生している場所であるが，今期間は地震活動が低調となっており，M ≧ 5.5 の地震はほとんど発生していない．

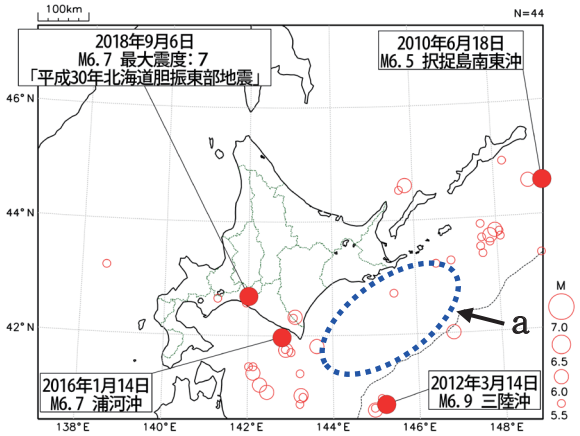


図 2　2009 年 4 月～ 2019 年 3 月に北海道とその周辺で発生した地震（M ≧ 5.5，深さ 0 ～ 100km）の震央分布図

a）十勝地方南部の地震

2012 年 8 月 25 日 23 時 16 分に十勝地方南部の深さ 49km で M6.1 の地震が発生した（図 3）．この地震の発震機構は，初動解が北西－南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で，この付近の太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した地震にみられるものであるが，CMT 解はこれと異なり南北方向に圧力軸を持つ逆断層型であった．この領域のプレート境界で発生した地震としては余震活動が多いこと，さらにその余震活動はプレート境界と考えられる深さより浅い場所で発生していることなどの特徴もみられ，主破壊が初期破壊と異なっていたと考えられる複雑な地震であった．

また，今回の地震の 3 日前の 8 月 22 日 10 時 33 分にほぼ同じ場所で M5.2 の地震が発生しているが，この地震の発震機構は初動解及び CMT 解ともに北西－南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で，太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した地震である．

b）内浦湾の地震

2016 年 6 月 16 日 14 時 21 分に内浦湾の深さ 11km で M5.3 の地震が発生した（図 4）．この地震は，陸のプレートの地殻内で発生した．発震機構は北東－南西方向に圧力軸を持つ逆断層型である．今回の地震活動は，北北西－南南東方向にのびる長さ約 10 km，幅約 5km の範囲で発生していて，以前から地震活動の活発な領域で発生し

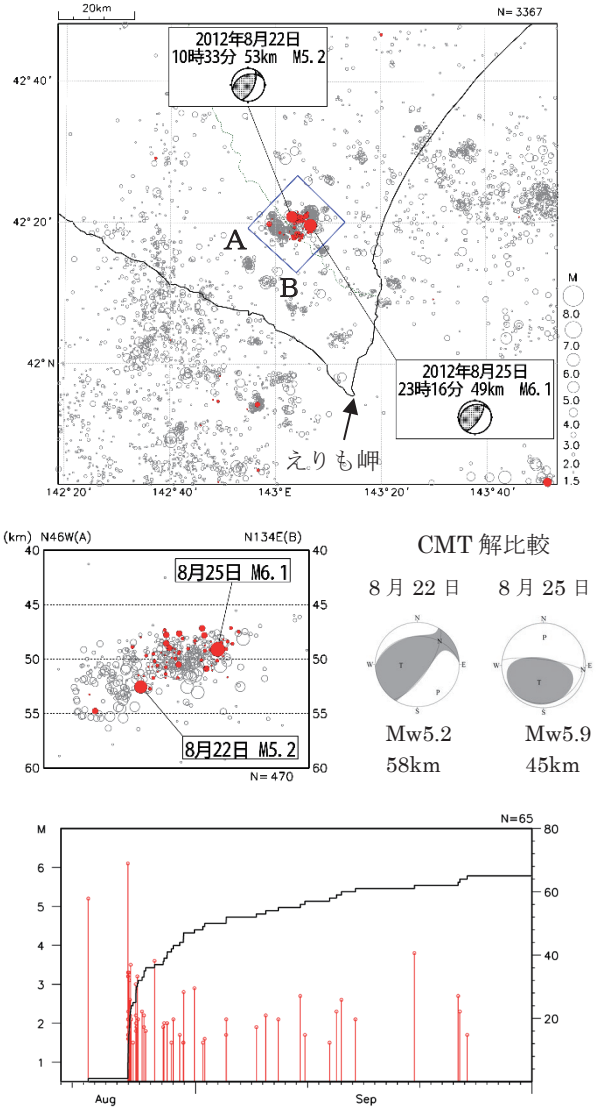


図 3　2012 年 8 月 25 日の十勝地方南部の地震活動
（上）震央分布図（2009 年 4 月～ 2019 年 3 月，M ≧ 1.5，深さ 40 ～ 60km，2012 年 8 月 20 日～ 9 月 30 日の地震を赤く表示）
（中左）矩形内の断面図（A － B 投影，水平:鉛直比は約 7:5）
（中右）8 月 22 日と 8 月 25 日の CMT 解比較
（下）矩形内の M － T 図及び回数積算図（2012 年 8 月 20 日～ 9 月 30 日）

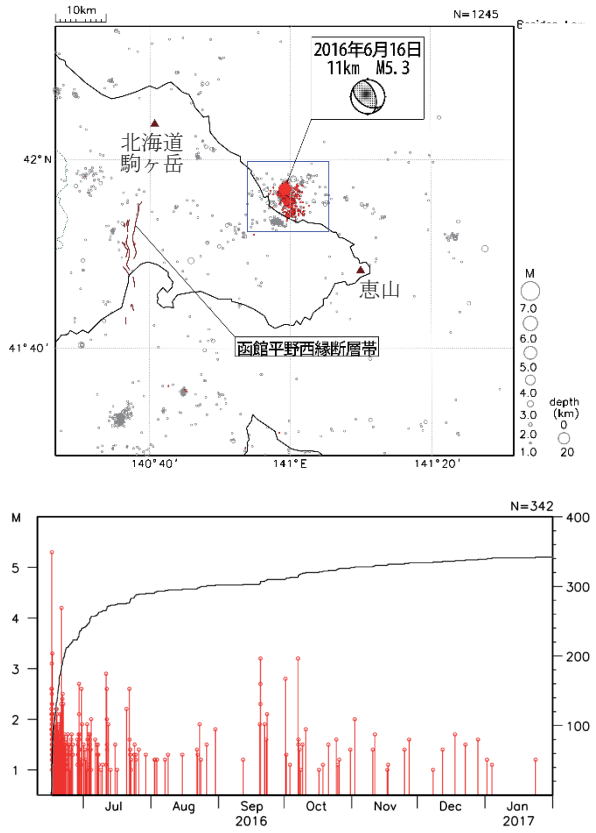


図 4　2016 年 6 月 16 日の内浦湾の地震活動
（上）震央分布図（2009 年 4 月～ 2019 年 3 月, M ≧ 1.0, 深さ 0 ～ 20km，2016 年 6 月 10 日～ 2017 年 1 月 31 日の地震を赤く表示）
（下）矩形内の M － T 図及び回数積算図（2016 年 6 月 10 日～ 2017 年 1 月 31 日）

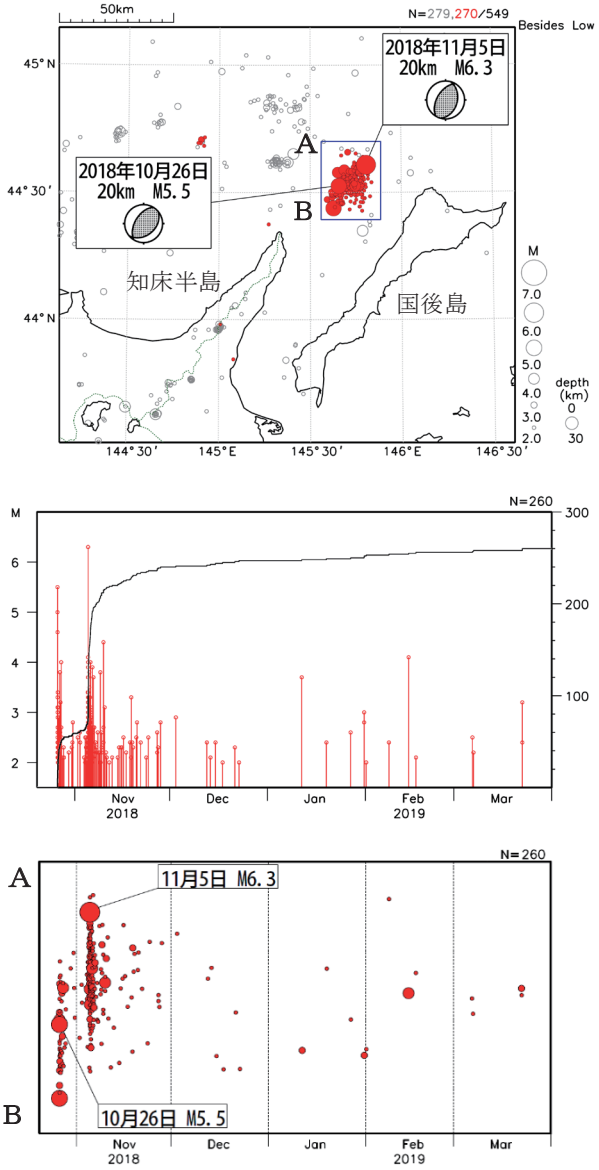


図 5　2018 年 11 月 5 日の国後島付近の地震活動
（上）震央分布図（2009 年 4 月～ 2019 年 3 月, M ≧ 2.0, 深さ 0 ～ 30km，2018 年 10 月 20 日～ 2019 年 3 月 31 日の地震を赤く表示）
（中）矩形内の M － T 図及び回数積算図（2018 年 10 月 20 日～ 2019 年 3 月 31 日）
（下）矩形内の時空間分布図（A － B 投影）（2018 年 10 月 20 日～ 2019 年 3 月 31 日）

た．また，今回の活動域を含む渡島半島の南部は，同程度の規模の地震がまとまって発生する活動も見られる場所である．

c）国後島付近の地震

2018 年 11 月 5 日 04 時 26 分に国後島付近の深さ 20 km で M6.3 の地震が発生した（図 5）．この地震は，陸のプレートの地殻内で発生した．発震機構（CMT 解）は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型である．今回の地震とほぼ同じ場所で，前月の 10 月 26 日 12 時 04 分に M5.5 の地震が発生しており，発震機構（CMT 解）も同じ型である．

10 月 26 日の地震は活動域の西側で発生し，11 月 5 日の地震は活動域の最も北東側で発生しており，11 月 5 日の地震の余震活動は 2 つの地震の間を埋めるように発生した．

2.2　東北地方とその周辺

2009 年 4 月以降，東北地方周辺で発生した最大規模の地震は東北地方太平洋沖地震（Mw9.0，最大震度 7）である．この地震は，太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した巨大地震であった．図 6 に 2009 年 4 月以降に東北地方とその周辺で発生した，地震の震央分布図を示す．この期間に M ≧ 6.0 の地震が 157 回発生した．図 6 中の矩形領域内（以下，この領域を東北地方太平洋沖地震の「余震域」とする．）では本震発生後 M7.0 以上の地震が 10 回発生した．

また，図 7 に示すように東北地方太平洋沖地震の発生以降，秋田県内陸南部，秋田県沖，福島県会津から山形県置賜地方の県境付近など，東北地方太平洋沖地震の

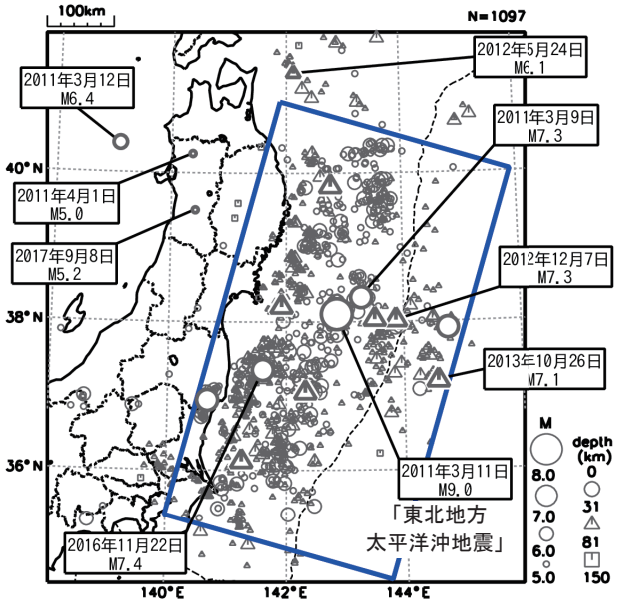


図 6　2009 年 4 月～ 2019 年 3 月に東北地方とその周辺で発生した地震（M ≧ 5.0, 深さ 0 ～ 150km）の震央分布図
※矩形領域は東北地方太平洋沖地震の余震域である . また , 本節で取り上げた地震と余震域内の M7.0 以上の地震を白抜きで示す .

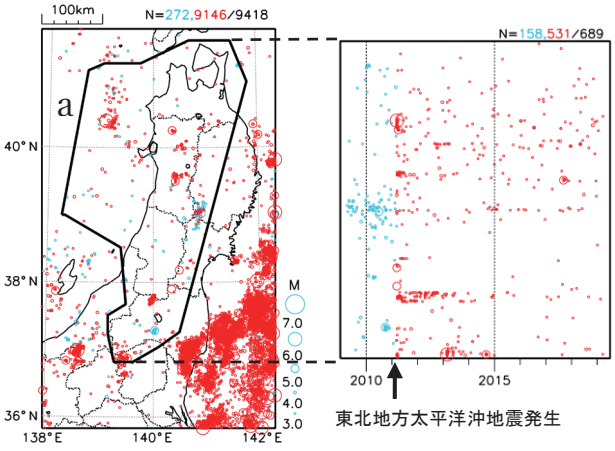


図 7　東北地方太平洋沖地震の余震域外での地震活動
（青：東北地方太平洋沖地震発生前，赤：同地震以降）
（左）震央分布図（2009 年 4 月～ 2019 年 3 月, M ≧ 3.0, 深さ 0 ～ 30km）
（右）左図の領域 a 内の時空間分布図（南北投影）

余震域以外の地域において地震活動が活発になったところが見られた.

この 10 年間に東北地方とその周辺で発生した主な地震活動については，別項で詳しく紹介されているので，ここではそれ以外の活動について述べる.

a）海域で発生した地震

2011 年 3 月 9 日 11 時 45 分に三陸沖で M7.3 の地震が発生した．この地震の発震機構は西北西－東南東方向に

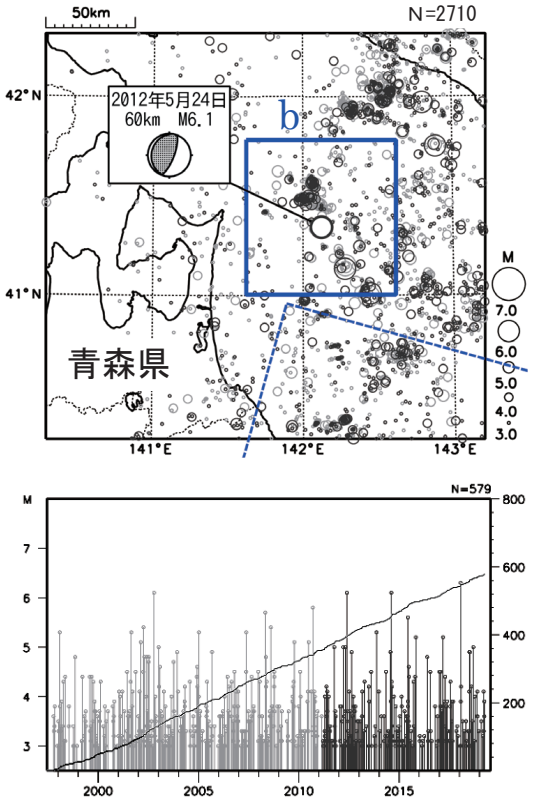


図 8　2012 年 5 月 24 日の青森県東方沖の地震活動
（上）震央分布図（1997 年 10 月～ 2019 年 3 月, M ≧ 3.0，深さ 0 ～ 120km，2011 年 3 月 11 日以降を濃く表示）
破線は , 東北地方太平洋沖地震の余震域
（下）上図の領域 b 内の M － T 図及び回数積算図

圧力軸を持つ逆断層型で，太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した．この地震により，岩手県大船渡で最大 55cm の津波を観測した.

2011 年 3 月 12 日 04 時 46 分に秋田県沖の深さ 24km で M6.4 の地震が発生した．この地震の発震機構は東北東－西南西方向に圧力軸を持つ型であった．「昭和 58 年（1983 年）日本海中部地震」の本震震央付近で発生し，余震域内で M6.0 以上の地震が発生したのは 1983 年 6 月 21 日の M7.1 の地震以来である.

2012 年 5 月 24 日 00 時 02 分に青森県東方沖の深さ 60km で M6.1 の地震が発生した．この地震の発震機構は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で，太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した（図 8）. 東北地方太平洋沖地震の余震域よりも北側で発生し，震央付近（領域 b 内）では東北地方太平洋沖地震の発生前後で活動に変化は見られなかった.

2012 年 12 月 7 日 17 時 18 分に三陸沖で M7.3 の地震が発生した．この地震の発震機構は西北西－東南東方向に張力軸を持つ正断層型で，日本海溝付近の太平洋プレート内部で発生した．また，この地震の直前に，この地震の震源近傍で M7 クラスと推定される地震が発生し

た．これらの地震により，石巻市鮎川で最大 98cm の津波を観測した．

2013 年 10 月 26 日 02 時 10 分に福島県沖で M7.1 の地震が発生した．この地震の発震機構は東西方向に張力軸を持つ正断層型で，日本海溝の東側（アウターライズの領域）の太平洋プレート内部で発生した．この地震により，石巻市鮎川で最大 36cm の津波を観測した．この地震の後，26 日中に M5.0 以上の地震が 5 回発生するなど，ややまとまった地震活動があった．

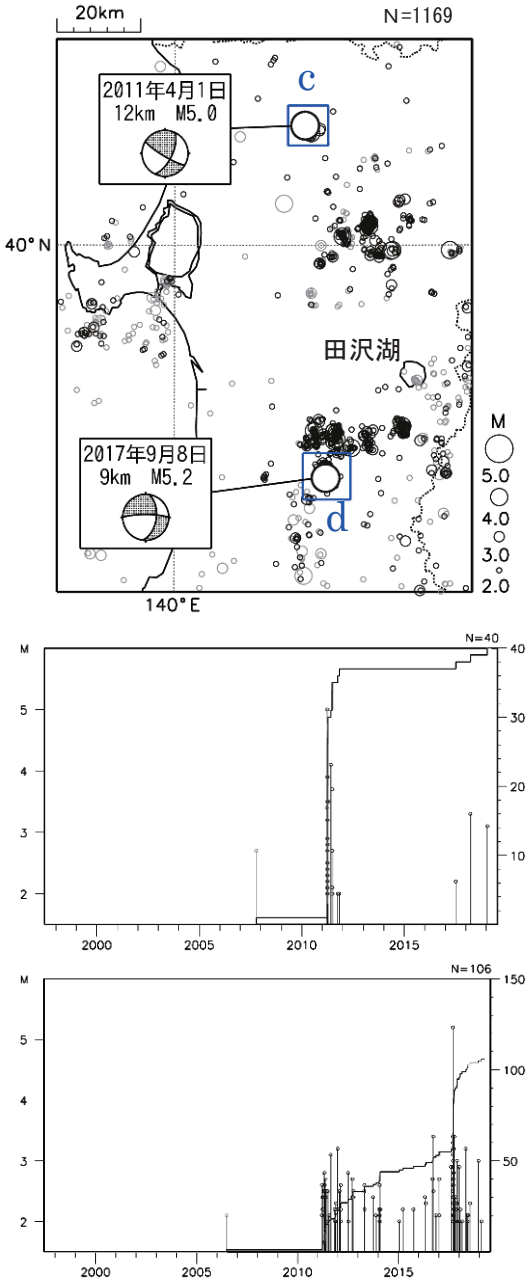


図 9　秋田県内陸北部・内陸南部の地震活動
（上）震央分布図（1997 年 10 月～ 2019 年 3 月，M ≧ 2.0，深さ 0 ～ 20km，2011 年 3 月 11 日以降を濃く表示）
（中）上図の領域 c 内の M － T 図及び回数積算図
（下）上図の領域 d 内の M － T 図及び回数積算図

2016 年 11 月 22 日 05 時 59 分に福島県沖の深さ 12km（CMT 解による）で M7.4 の地震が発生した．この地震は陸のプレートの地殻内で発生した．この地震の発震機構は北西－南東方向に張力軸を持つ正断層型であった．この地震により，仙台港で最大 144cm の津波を観測した．

b）陸域で発生した地震

2011 年 4 月 1 日 19 時 49 分に秋田県内陸北部の深さ 12km で M5.0 の地震が発生した．この地震の発震機構は北北西－南南東方向に張力軸を持つ横ずれ断層型で，地殻内で発生した（図 9：領域 c）．

2017 年 9 月 8 日 22 時 23 分に秋田県内陸南部の深さ 9km で M5.2 の地震が発生した．この地震の発震機構は北西－南東方向に張力軸を持つ横ずれ断層型で，地

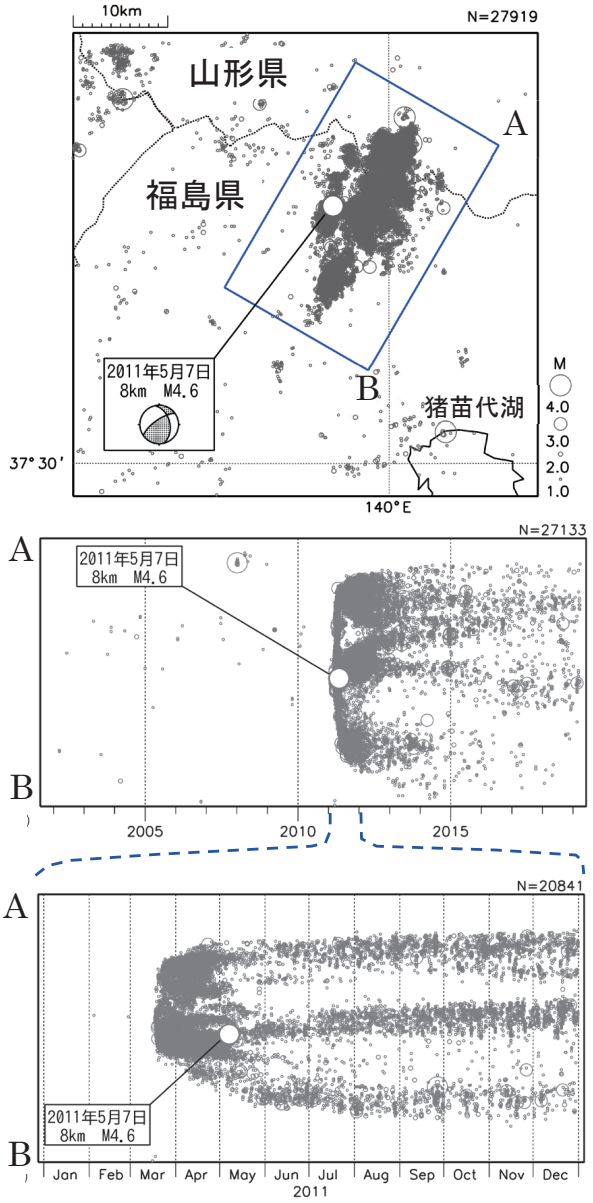


図 10　福島県会津から山形県置賜地方にかけての地震活動
（上）震央分布図（2001 年 10 月～ 2019 年 3 月，M ≧ 1.0，深さ 0 ～ 20km）
（下）上図の矩形領域内の時空間分布図（A － B 投影）

殻内で発生した（図 9：領域 d）．この地震の震源付近では，東北地方太平洋沖地震の発生以降に活動が活発化しており，この 10 年間ではこの地震が最大規模の地震である．

福島県会津から山形県置賜地方にかけての地殻内（深さ 5 ～ 10km 程度）で，2011 年 3 月 18 日以降まとまった地震活動が見られるようになった．これ以前は地震活動があまり見られなかったところである．地震活動は徐々に北東および南西へ広がった（図 10）．全体的には 2011 年 4 月末頃まで非常に活発で，その後は消長を繰り返しながらも活動は継続している．2011 年 5 月 7 日 13 時 34 分にこれまでの最大規模の地震（M4.6，最大震度 4）が発生した．これらの地震の発震機構は圧力軸が概ね東西方向から北西－南東方向の逆断層型が多く，東北地方太平洋沖地震の発生前から東北地方の内陸地殻内の地震でよく見られているタイプである．

2.3　関東・中部地方

2009 年以降に関東・中部地方で発生した M ≧ 4.0，深さ≦ 80km の地震を図 11 に示す．この期間にいくつかの顕著な地震活動が発生しているが，これらについては第 4 章で個別に詳細に報告されているので，ここではごく簡単にその概要を述べるにとどめ，それ以外の活動についてやや詳しく紹介する．

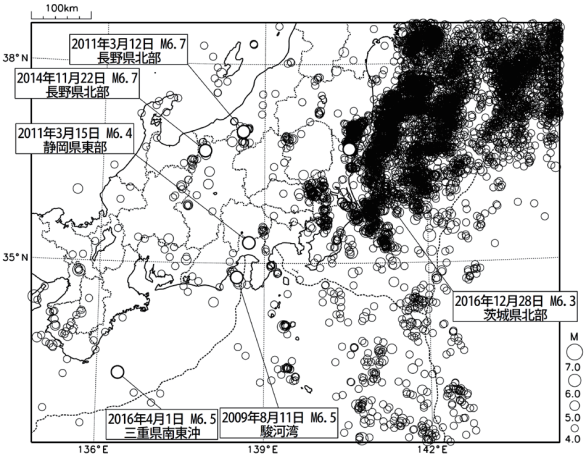


図 11　2009 年 4 月～ 2019 年 3 月に関東・中部地方に発生した地震（M ≧ 4.0，深さ 0 ～ 80km）の震央分布図

a）関東・中部地方の顕著な地震活動

2009 年 8 月 11 日に駿河湾で M6.5 の地震が発生した．フィリピン海プレート内部で発生した地震であった．ひずみ計で地震発生時のステップ変化に続いてゆっくりとした変化がみられたが，プレート境界すべりによるものとは異なる旨の東海地震観測情報を発表した．

2011 年 3 月 12 日に長野県北部（長野県と新潟県の県境付近）で M6.7 の地震が発生した．この地震が発生した後，震度 6 弱を観測する地震が 2 回発生するなどのまとまった地震活動が見られた．

2011 年 3 月 15 日に静岡県東部で M6.4 の地震が発生した．震源断層は北東－南西走向で南東傾斜の左横ずれ断層と考えられる．ひずみ計では地震発生時のステップ変化以外は見られなかった．

2014 年 11 月 22 日に長野県北部で M6.7 の地震が発生した．この地震は，糸魚川－静岡構造線断層帯の一部である神城断層の一部とその北方延長が活動したことで発生したと地震調査委員会で評価された．

2016 年 12 月 28 日に茨城県北部で M6.3 の地震が発生した．この付近では 2011 年 3 月 19 日に M6.1 の地震が発生しており，震源過程解析からこれらは同じ断層面で発生したが破壊過程は異なっていたと考えられる [1)]．

以上のうち，2014 年長野県北部を除く 2011 年 3 月以降の地震は，東北地方太平洋沖地震の発生に伴って，地震活動が活発になった領域で発生した．

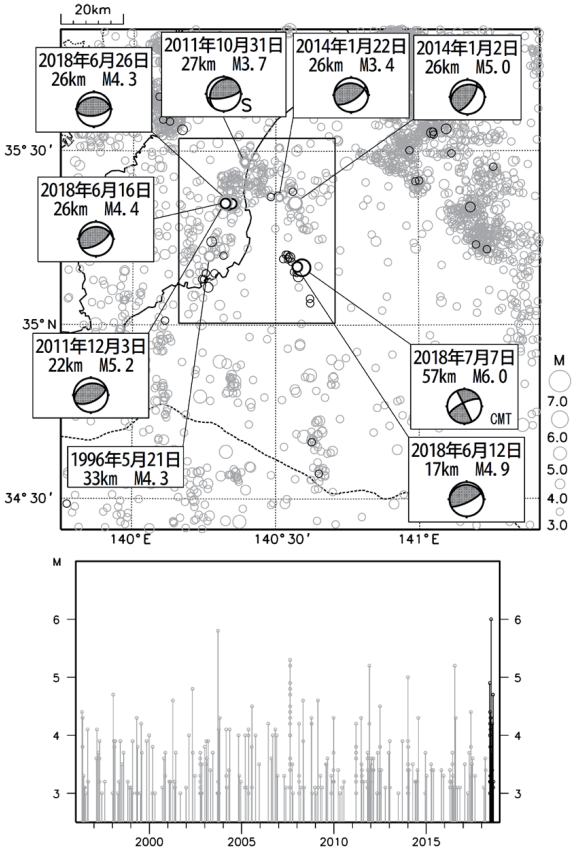


図 12　房総半島南東部から南東沖にかけての地震活動
（上）震央分布図（1996 年 5 月～ 2018 年 8 月，M ≧ 3.0，深さ 0 ～ 120km，2018 年 6 月以降を濃く表示，発震機構解の S は参考解を示す）
（下）矩形領域内の M － T 図

b）房総半島南東部から南東沖にかけての地震活動

2018 年 6 月 3 日以降，房総半島南東部から南東沖にかけて地震活動が活発となり，6 月 12 日に M4.9，6 月

16 日に M4.4，6 月 26 日に M4.3 の地震が発生した（図 12）．これらの地震の発震機構はおおむね北北西－南南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で，フィリピン海プレートと陸のプレートの境界で発生したと考えられる．これらの地震活動の震源付近では，ゆっくりすべりとまとまった地震活動が同期して発生することが知られており，これまで，1996 年，2002 年，2007 年，2011 年，2014 年にも発生している．今回は GNSS・傾斜データに加えて，ひずみ計でもゆっくりすべりに伴う変化が捉えられた [2]．

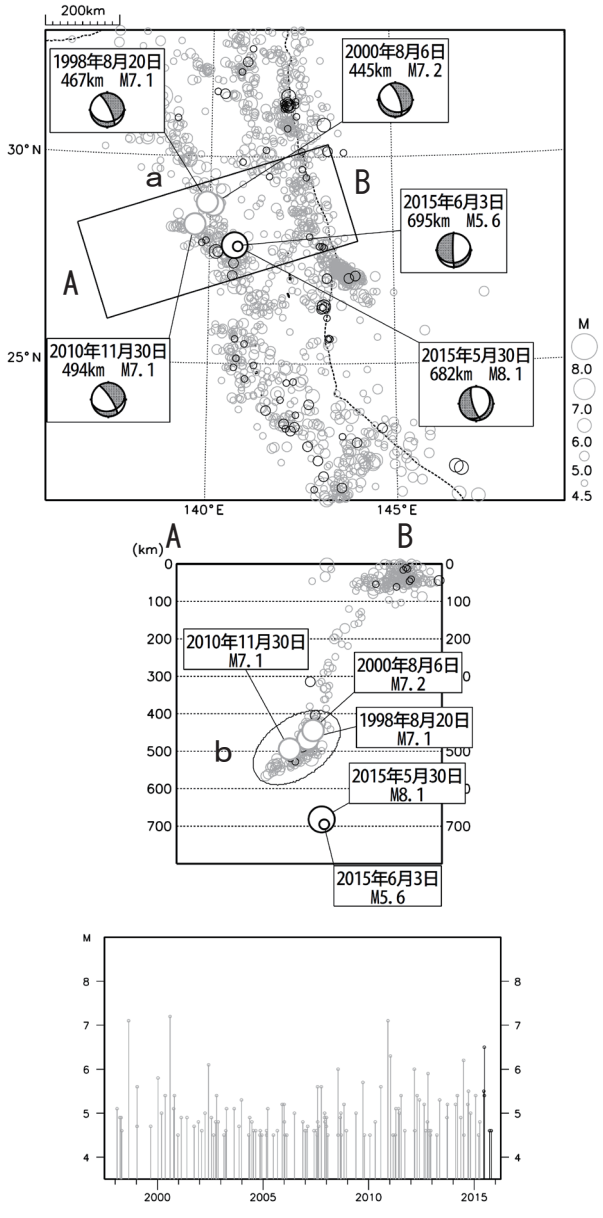


図 13　小笠原諸島西方沖の地震活動
（上）震央分布図（1997 年 10 月～ 2015 年 12 月，M ≧ 4.5，深さ 0 ～ 700km，2015 年 5 月以降を濃く表示）
（中）矩形領域 a 内の断面図（A － B 投影）
（下）領域 b 内の M － T 図

c）2015 年 5 月の小笠原諸島西方沖の地震活動

2015 年 5 月 30 日 20 時 23 分，小笠原諸島西方沖の深さ 682km で M8.1 の地震が発生した（図 13）．これまで気象庁が地震観測を行ってきた中で最も深い地震であった．この地震の発震機構は東西方向に張力軸を持つ型で，太平洋プレート内部で発生した．

この地震により，小笠原諸島と神奈川県で最大震度 5 強を観測したほか，明治 17 年（1884 年）の震度観測開始後で初めて 47 都道府県全てで震度 1 以上を観測した．特に，沈み込む太平洋プレート内を伝わった地震波により，小笠原諸島から東日本にかけて揺れが大きくなった（異常震域）．余震活動は低調で，最大規模の余震は 6 月 3 日 06 時 04 分の M5.6 の地震（最大震度 1）である．

1997 年 10 月以降の活動では，この地震の震央周辺の深さ 500km 程度の場所では定常的な地震活動が見られるが，この地震の震源付近ではこれまで地震活動が見られていなかった．

この地震のように深さが 600km を超える M8 程度の地震は，1970 年にコロンビア付近の深さ 645km で M8.0 の地震や 1994 年にボリビア付近の深さ 632km で M8.2 の地震などであり，世界的に見ても事例が少ない [3]．

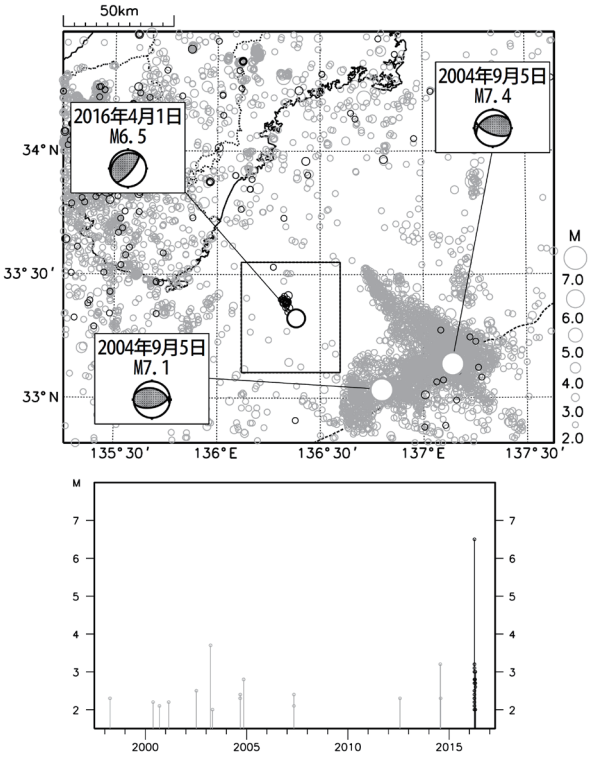


図 14　三重県南東沖の地震活動
（上）震央分布図（1997 年 10 月～ 2016 年 12 月，M ≧ 2.0，深さ 0 ～ 80km，2016 年 4 月以降を濃く表示）
（下）矩形領域内の M － T 図

d）2016 年 4 月の三重県南東沖の地震活動

2016 年 4 月 1 日 11 時 39 分，三重県南東沖で M6.5 の地震が発生した（図 14）．この地震の発震機構は北西－南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で，フィリピン海プレートと陸のプレートの境界で発生した地震である．この地震発生直後は，規模の小さな余震がまとまって発生したが，次第に減衰した．4 月 19 日にも一時的にややまとまった活動が見られた．一方，この地震発生の 2 日後から，トラフ軸付近を中心として低周波イベントのまとまった活動が見られた（4 月 3 日～ 18 日）[4]．

1997 年 10 月以降の活動では，この地震の震央付近（矩形領域）の地震活動は低調であり，M6.0 以上の地震は初めてであった．南東側のトラフ軸付近では，2004 年 9 月 5 日 23 時 57 分に M7.4，同日 19 時 07 分に M7.1 の地震が発生している．

2.4　近畿・中国・四国地方

2009 年 4 月以降に近畿・中国・四国地方で発生した M ≧ 5.0，深さ≦ 100km の地震を図 15 に示す．この内，M6.0 を超える地震は 2013 年 4 月 13 日の淡路島付近の地震（M6.3），2014 年 3 月 14 日の伊予灘の地震（M6.2），2016 年 10 月 21 日の鳥取県中部の地震（M6.6），2018 年 4 月 9 日の島根県西部の地震（M6.1），2018 年 6 月 18 日の大阪府北部の地震（M6.1）であった．

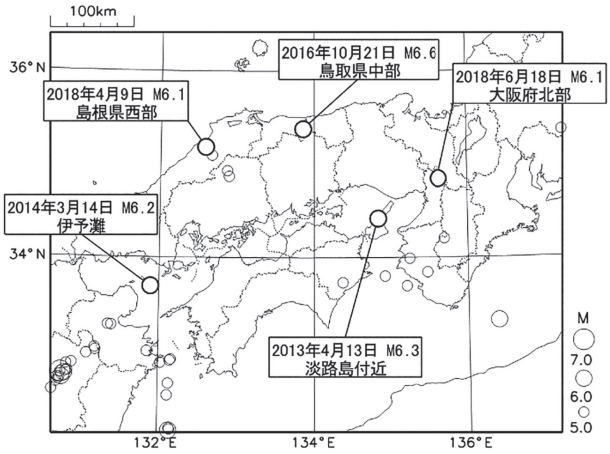


図 15　2009 年 4 月～ 2019 年 3 月に近畿・中国・四国地方で発生した地震（M ≧ 5.0，深さ 0 ～ 100km）の震央分布図

a）2013 年 4 月 13 日の淡路島付近の地震

2013 年 4 月 13 日 05 時 33 分，淡路島付近の深さ 15km で M6.3 の地震が発生した．この地震は「平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震」（M7.3）の活動域の南西端に近接する領域で発生した．発震機構は東西方向に圧力軸を持つ逆断層型で，地殻内で発生した地震である．

b）2014 年 3 月 14 日の伊予灘の地震

2014 年 3 月 14 日 02 時 06 分，伊予灘の深さ 78km で M6.2 の地震が発生した．発震機構は東北東－西南西方向に張力軸を持つ型で，沈み込むフィリピン海プレート内部で発生した地震である．1997 年 10 月以降の活動をみると今回の地震の震源付近では定常的な地震活動があり，M5.0 以上の地震も発生しているが，M6.0 以上は今回の地震が初めてであった．また，今回の地震の北東側では 1905 年 6 月 2 日の芸予地震（M7.2）と「平成 13 年（2001 年）芸予地震」（M6.7）が発生している（図 16）．

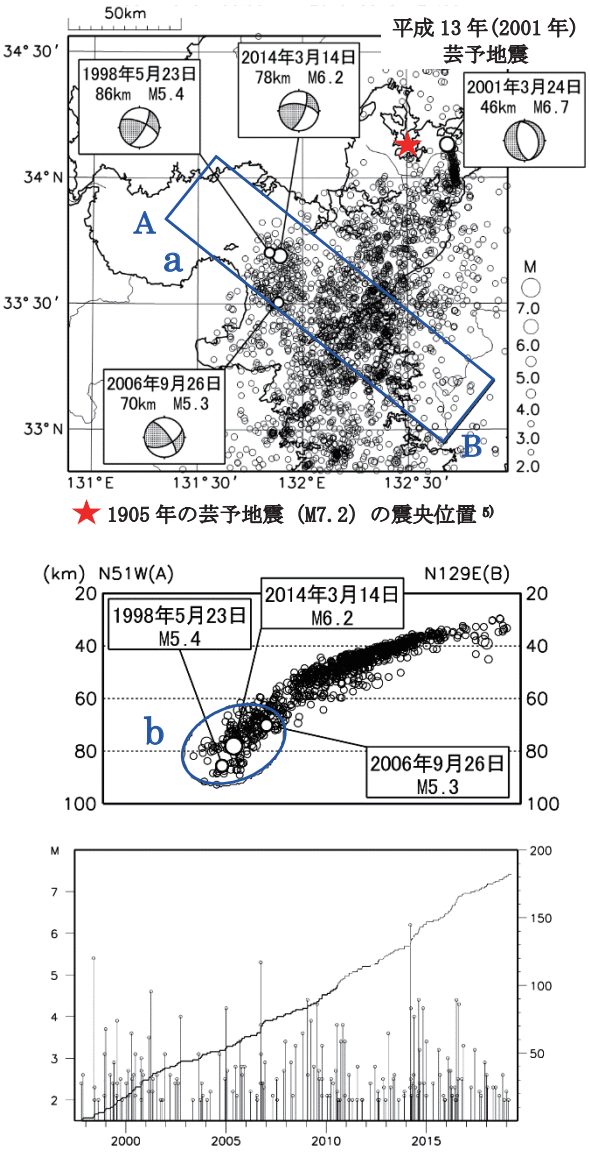


図 16　2014 年 3 月 14 日の伊予灘の地震
（上）震央分布図（1997 年 10 月～ 2019 年 3 月，M ≧ 2.0，深さ 20km ～ 100km）
（中）上図領域 a 内の A － B 断面図
（下）上図領域 b 内の M － T 図および回数積算図

c）2016 年 10 月 21 日の鳥取県中部の地震

2016 年 10 月 21 日 14 時 07 分，鳥取県中部の深さ 11km で M6.6 の地震が発生した．発震機構は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型で，地殻内で

発生した地震である．この地震の発生後，今回の地震を中心に北北西－南南東方向に延びる領域と北東方向に延びる領域で地震活動が活発になった．

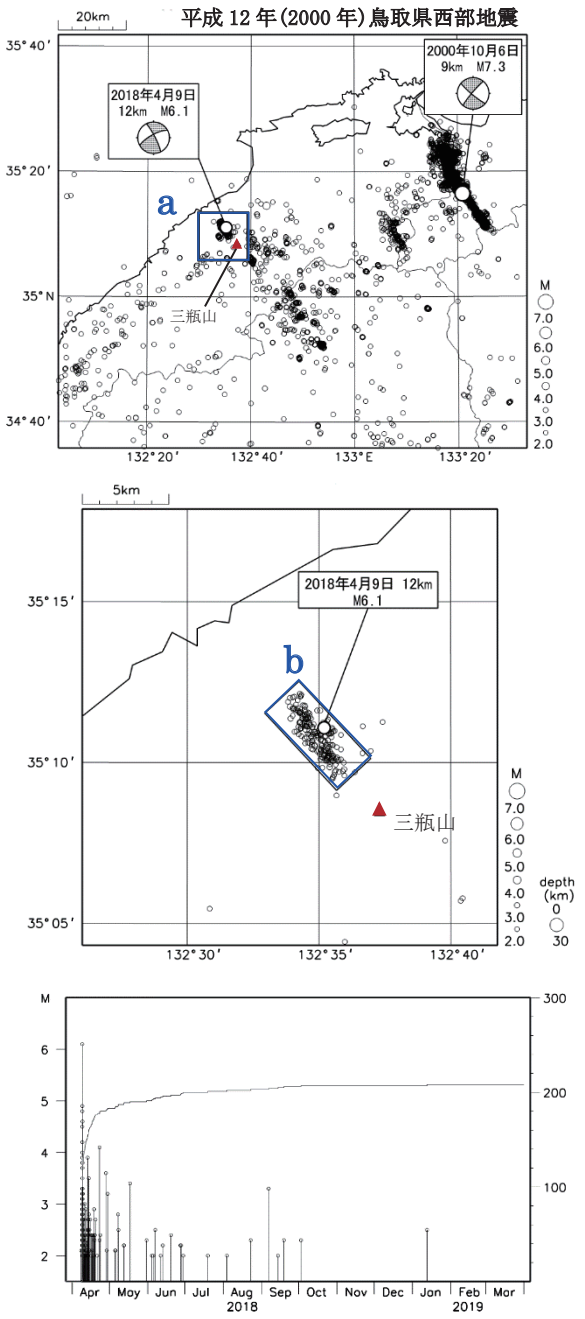


図 17　2018 年 4 月 9 日の島根県西部の地震
（上）震央分布図（1997 年 10 月～ 2019 年 3 月，M ≧ 2.0, 深さ 0 ～ 30km）
（中）上図領域 a 内の震央分布図（2018 年 4 月～ 2019 年 3 月 ,M ≧ 2.0, 深さ≦ 30km）
（下）上図領域 b 内の M － T 図および回数積算図

d）2018 年 4 月 9 日の島根県西部の地震

2018 年 4 月 9 日 01 時 32 分，島根県西部の深さ 12km で M6.1 の地震が発生した．発震機構は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型で，地殻内で発生した地震である．この地震の発生後，今回の地震を中心に北西－南東方向に延びる領域で地震活動が活発になった．また，今回の地震の東側では「平成 12 年（2000 年）鳥取県西部地震」（M7.3）が発生している（図 17）．

e）2018 年 6 月 18 日の大阪府北部の地震

2018 年 6 月 18 日 07 時 58 分，大阪府北部の深さ 13km で M6.1 の地震が発生した．発震機構は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ型で，地殻内で発生した地震である．周辺には東西方向に延びる有馬－高槻断層帯，および南北方向に延びる生駒断層帯と上町断層帯などが存在している．この地震の発生後，今回の地震を中心に北東－南西方向に延びる領域と北西－南東方向に延びる領域で地震活動が活発になった．

2.5　九州地方

2009 年 4 月以降に九州地方で発生した M ≧ 4.0，深さ 0 ～ 90km の地震を図 18 に示す．この期間に図 18 中で発生した M ≧ 6.0 以上の地震は 12 回であった．このうち M ≧ 7.0 の地震は，2015 年 11 月 14 日に薩摩半島西方沖で発生した M7.1 の地震と，2016 年 4 月 16 日に熊本県熊本地方で発生した M7.3 の地震（「平成 28 年（2016 年）熊本地震」の最大規模の地震）であった．

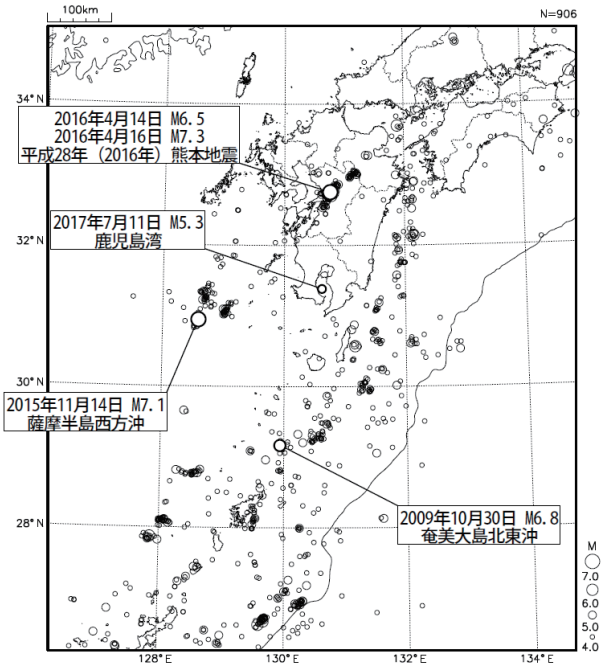


図 18　2009 年 4 月～ 2019 年 3 月に九州地方で発生した地震（M ≧ 4.0, 深さ 0 ～ 90km）の震央分布図

a）奄美大島北東沖の地震

2009 年 10 月 30 日に奄美大島北東沖で M6.8 の地震（最大震度 4）が発生した．発震機構（CMT 解）は北西－南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で，フィリピン海プ

レートと陸のプレートの境界で発生した地震と考えられる．この地震により，鹿児島県と沖縄県で小さな津波を観測した．

b）薩摩半島西方沖の地震活動

2015 年 11 月 14 日に薩摩半島西方沖で M7.1 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震は，発震機構（CMT 解）が北西－南東方向に張力軸を持つ横ずれ断層型で，陸のプレートの地殻内で発生した．この地震により，鹿児島県の中之島（海上保安庁）で 30cm の津波を観測した．この地震の後，震央周辺で活発となった地震活動が 2016 年 3 月頃まで継続した．また，この地震活動の東側でも 2016 年 5 月から地震活動がやや活発になった（図 19）．

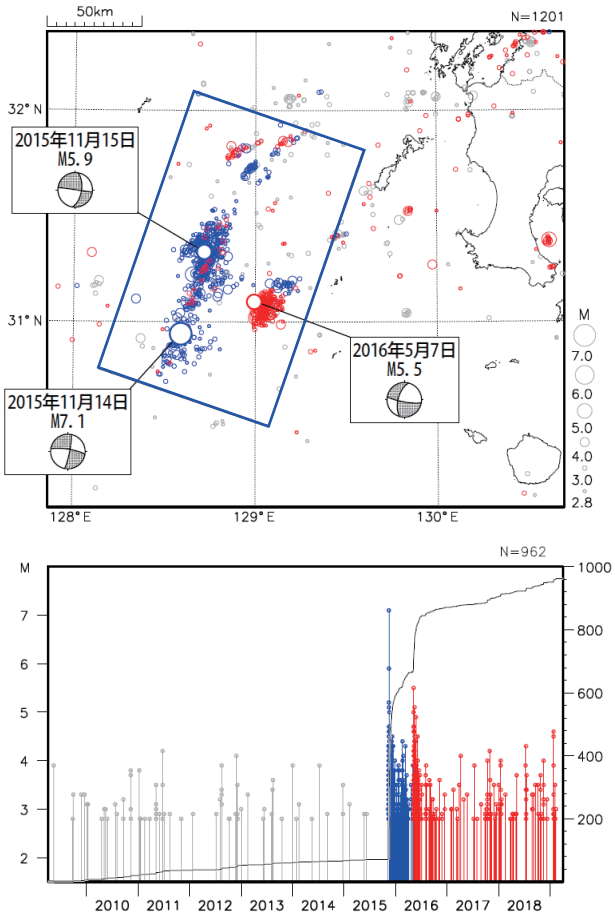


図 19　薩摩半島西方沖の地震活動
（上）震央分布図（2009 年 4 月～ 2019 年 3 月，M ≧ 2.8，深さ 0 ～ 30km，2015 年 11 月 14 日以降の地震を青，2016 年 5 月以降の地震を赤で表示）
（下）矩形領域内の M － T 図及び回数積算図

c）「平成 28 年（2016 年）熊本地震」

2016 年 4 月 14 日に熊本県熊本地方の深さ 11km で M6.5 の地震（最大震度 7）が発生したほか，4 月 16 日にも同じ熊本県熊本地方の深さ 12km で M7.3 の地震（最大震度 7）が発生した．M7.3 の地震の後，熊本県熊本地方から阿蘇地方，大分県中部にかけて地震活動が活発になった（「平成 28 年（2016 年）熊本地震」の一連の地震活動については，第 4 章であらためて紹介する）．

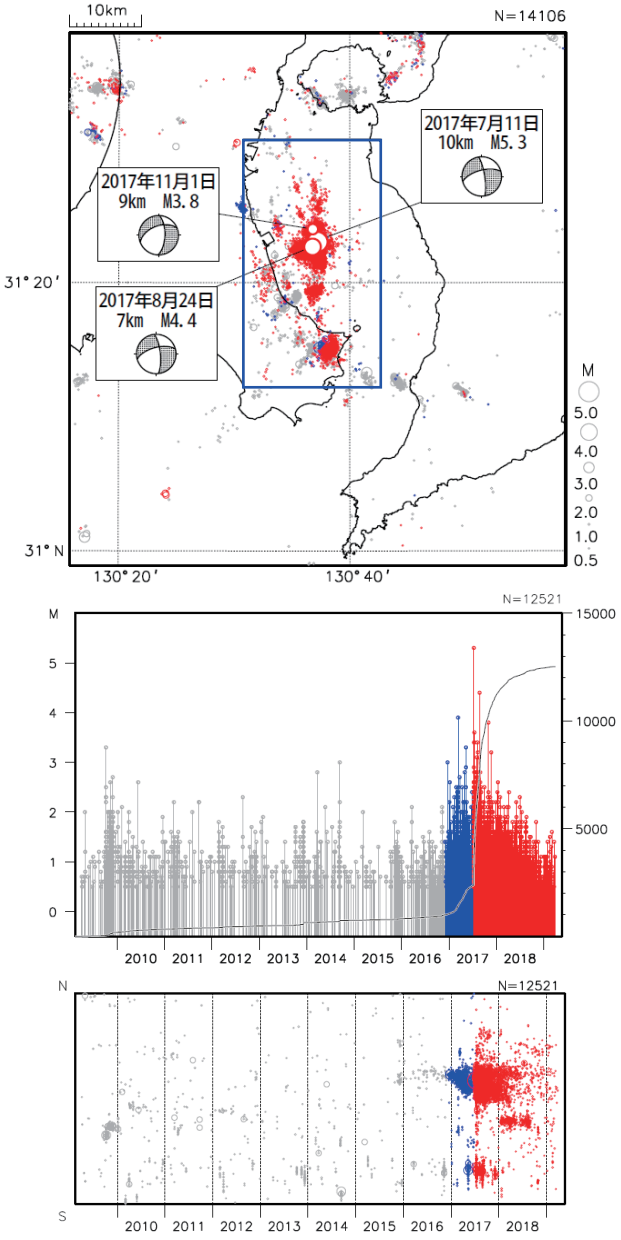


図 20　鹿児島湾の地震活動
（上）震央分布図（2009 年 4 月～ 2019 年 3 月，M ≧ 0.5，深さ 0 ～ 20km，2016 年 12 月以降の地震を青，2017 年 7 月 11 日以降の地震を赤で表示）
（中）矩形領域内の M － T 図及び回数積算図
（下）矩形領域内の時空間分布図（南北投影）

d）鹿児島湾の地震活動

2016 年 12 月頃から鹿児島湾で地震活動がやや活発となっていたところ，2017 年 7 月 11 日に M5.3（深さ 10km，最大震度 5 強）の地震が発生した．この地震以降，8 月 24 日に M4.4 の地震（深さ 7km，最大震度 4），11 月 1 日に M3.8 の地震（深さ 9km，最大震度 4）が発生

するなど，地震活動が活発な状態で推移した（図 20）．この地震活動は地殻内で発生した．

2.6　沖縄地方

2009 年以降に沖縄地方において発生した M ≧ 4.0, 深さ≦ 100km の地震の震央分布図を図 21 に示す．この期間に M ≧ 6.0 以上の地震が 38 回発生している．ここでは，この期間において特に顕著であった沖縄地方の地震活動について紹介する．

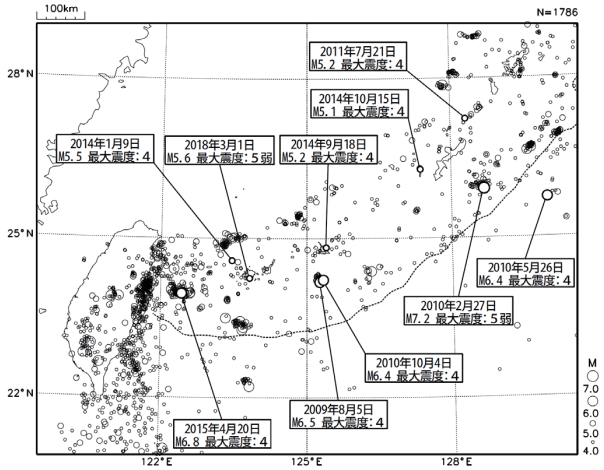


図 21　2009 年 4 月～ 2019 年 3 月に沖縄地方で発生した地震（M ≧ 4.0, 深さ 0 ～ 100km）の震央分布図

a）沖縄本島周辺の地震活動

最近 10 年間（2009 年～ 2018 年）の沖縄地方で発生した最大規模の地震は，2010 年 2 月 27 日に沖縄本島近海で発生した M7.2 の地震（最大震度 5 弱）である（図 22）．この地震により，南城市安座真で 0.1m，南大東漁港で微弱な津波を観測した．また，発震機構は北西－南東方向に張力軸をもつ横ずれ断層型であった．この地震発生後，地震活動が活発となり，2010 年 4 月までにこの地震を含め震度 1 以上を観測した地震が 10 回発生した．今回の震央周辺で M6.5 を超える地震が発生したのは，1980 年 3 月 3 日の沖縄本島北西沖の地震（M6.7）以来である [6]．

2011 年 11 月 8 日に，沖縄本島北西沖の深さ 217km で M7.0 の地震（最大震度 4）が発生した（図 23）．この地震の発震機構は東西方向に張力軸を持つ型で，フィリピン海プレート内部で発生した．なお，この震源付近では，同日 12 時 57 分に M4.5 の地震が発生したが，その後の地震活動は低調であった．

b）与那国島近海の地震活動

2015 年 4 月 20 日に与那国島近海で M6.8 の地震（最大震度 4）が発生した（図 24）．この地震の発震機構は，南北方向に圧力軸を持つ逆断層型であった．この地震の発生後，同日 20 時 45 分に M6.0 の地震（最大震度 3），

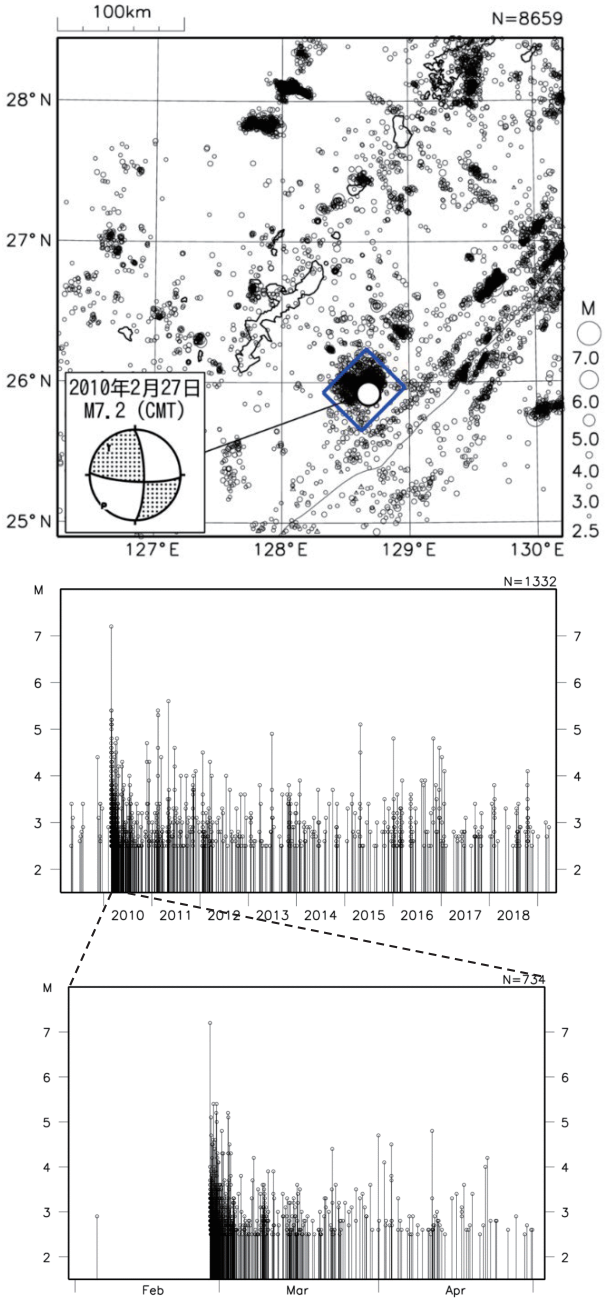


図 22　2010 年 2 月 27 日の沖縄本島近海の地震活動
（上）震央分布図（2009 年 4 月～ 2019 年 3 月，M ≧ 2.5, 深さ 0 ～ 60km）
（中）矩形領域内の M － T 図
（下）M - T 図（2010 年 2 月 1 日～ 4 月 30 日）

20 時 59 分に M6.4 の地震（最大震度 2）が発生した．今回の地震の震源付近では，1994 年 5 月にも M6.1 の地震の約 1 日後に M6.6 の地震が発生しており，今回の事例とともに海域において規模が近い大きな地震が続発した事例の一つとして挙げられている [7]．なお，2018 年 10 月には，これらの活動の東側で M6.1 の地震の約半日後に M6.3 の地震が発生している．

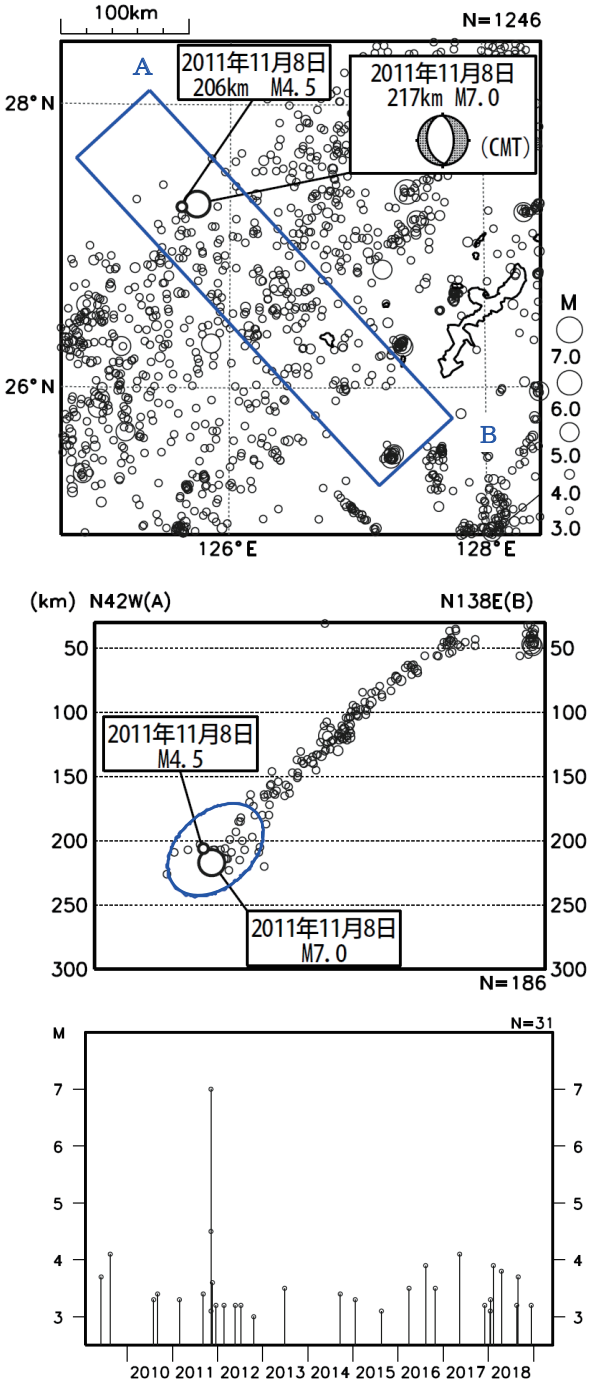


図 23　2011 年 11 月 8 日の沖縄本島北西沖の地震活動
（上）震央分布図（2009 年 4 月～ 2019 年 3 月，M ≧ 3.0, 深さ 30 ～ 300km）
（中）上図の矩形領域内の断面図（A － B 投影）
（下）中図の楕円領域内の M － T 図

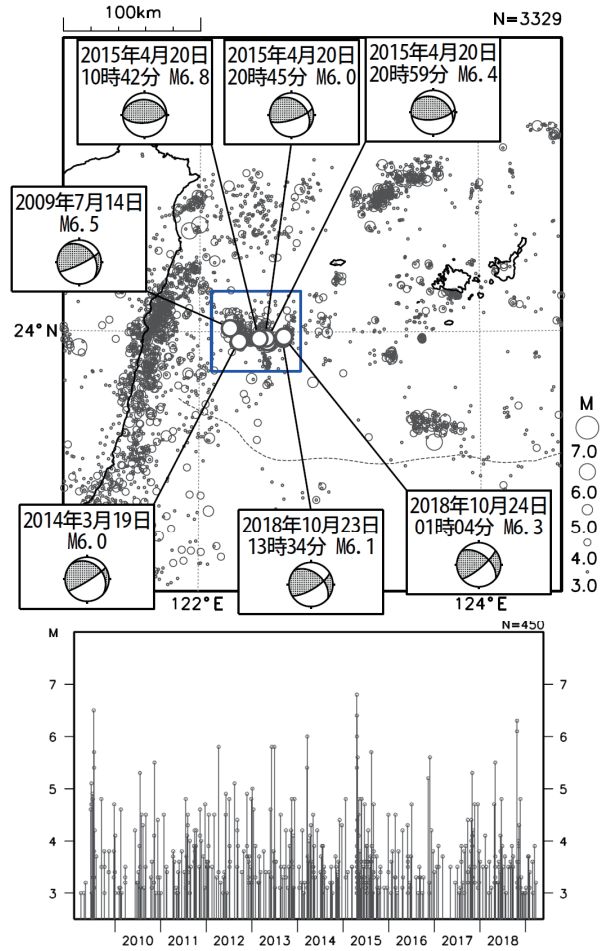


図 24　2015 年 4 月 20 日の与那国島近海の地震活動
（上）震央分布図（2009 年 4 月～ 2019 年 3 月，M ≧ 3.0, 深さ 0 ～ 50km）
図中の発震機構解は CMT 解
（下）矩形領域内の M － T 図

参考文献

1）田中美穂・岩切一宏，2017．験震時報，81，7.
2）気象庁地震予知情報課，2019．関東・中部地方とその周辺の地震活動．地震予知連会会報，101，135-143.
3）気象庁地震予知情報課，2015．関東・中部地方とその周辺の地震活動．地震予知連会会報，95，109-118.
4）気象庁地震予知情報課，2016．関東・中部地方とその周辺の地震活動．地震予知連会会報，96，112-127.
5）茅野一郎･宇津徳治，2001．日本の主な地震の表，「地震の事典」第 2 版，朝倉書店，569-641.
6）沖縄気象台，2010．沖縄地方とその周辺の地震活動（2009 年 11 月～ 2010 年 4 月）．予知連会報，84，418.
7）地震調査研究推進本部地震調査委員会，2016．規模が近い地震が続発した事例（海域）．大地震後の地震活動の見通しに関する情報のあり方，40-43.

第2章 この 10 年の全国の地殻変動状況

1．この 10 年の全国の地殻変動状況（陸域について）

国土地理院

1．はじめに

2009 ～ 2018 年度（平成 21 年 4 月～平成 31 年 3 月）の 10 年間において GEONET（GNSS 連続観測網）によって地殻変動が観測された地震とその最大変動量を表 1 にまとめた．この期間には，平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（M9.0）（以下「東北地方太平洋沖地震」という．）や平成 28 年（2016 年）熊本地震（M6.5, M7.3）（以下「熊本地震」という．）のような甚大な被害を伴う地震が発生し，GEONET，干渉 SAR 等によって顕著な地震時地殻変動や余効変動が観測されたほか，房総半島沖や南海トラフ沿いのプレート境界などの様々な地域で多くの長期的スロースリップが検出されるなど，プレート境界の固着状態に関する重要なデータが蓄積された．

本稿では，GEONET による観測結果に基づき，地殻活動概要を記述する．2．には全国の地殻変動に見られる主な特徴を中心に記載し，個々の地震に伴う地殻変動については，3．に地域ごとに概要する．なお，長期的スロースリップに関係する地殻変動については，3 章の詳細な説明に譲り，本章では割愛する．

表 1 日本とその周辺海域で発生した地震に伴う地殻変動（2009 年 4 月～ 2019 年 3 月）

発生年月日	発生時分	Mj	震央地名等	水平変動		上下変動	
				最大変動量（cm）	観測点	最大変動量（cm）	観測点
2009/06/05	12:30	6.4	十勝沖	1.0	えりも 1	--	
2009/08/11	05:07	6.5	駿河湾	1.3	焼津 A	1.6	焼津 A
2009/10/30	16:03	6.8	奄美大島北東沖	1.4	十島	--	
2010/02/27	05:31	7.2	沖縄本島近海	1.2	宜野座	--	
2010/03/14	17:08	6.7	福島県沖	0.8	P 相馬	--	
2010/09/29	16:59	5.7	福島県中通り	0.5	下郷	--	
2010/12/22	02:19	7.8	父島近海	1.6	母島	--	
2011/03/09	11:45	7.3	三陸沖	3.0	大船渡	--	
2011/03/11	14:46	9.0	三陸沖※ 1	539.5	M牡鹿	-107.1	M牡鹿
2011/03/12	03:59	6.7	長野県・新潟県県境付近	38.8	松之山	21.5	松之山
2011/03/15	22:31	6.4	静岡県東部	2.8	裾野 1	--	
2011/03/19	18:56	6.1	茨城県北部	2.4	里見	--	
2011/03/23	07:12	6.0	福島県浜通り	5.7	いわき 2	2.3	いわき 2
2011/04/07	23:32	7.2	宮城県沖	2.8	M牡鹿	5.1	M牡鹿
2011/04/11	17:16	7.0	福島県浜通り	29.0	いわき 2	5.7	いわき 2
2011/04/12	07:26	5.6	長野県北部	2.6	長野栄	--	
2011/04/12	08:08	6.4	千葉県東方沖	1.1	銚子	--	
2011/06/23	06:50	6.9	岩手県沖	1.5	岩泉 2	--	
2011/06/30	08:16	5.4	長野県中部	1.3	松本	--	
2011/07/10	09:57	7.3	三陸沖	0.7	S 石巻	--	
2011/09/17	04:26	6.6	岩手県沖	0.6	S 普代	--	
2011/09/29	19:05	5.4	福島県浜通り	1.4	いわき	--	

発生年月日	発生時分	Mj	震央地名等	水平変動		上下変動	
				最大変動量（cm）	観測点	最大変動量（cm）	観測点
2011/10/05	18:59	5.4	富山県東部	1.7	立山Ａ	0.6	立山Ａ
2012/03/14	21:05	6.1	千葉県東方沖	1.0	銚子	-1.1	銚子
2013/02/02	23:17	6.5	十勝地方南部	0.6	えりも	2	--
2013/02/25	16:23	6.3	栃木県北部	3.0	栗山	--	
2013/04/13	05:33	6.3	淡路島付近	1.2	洲本	--	
2013/04/17	17:57	6.2	三宅島近海	2.1	三宅４	--	
2013/04/17	--:--	-.-	与那国島近海	4.7	与那国	--	
2014/07/08	18:05	5.6	胆振地方中東部	1.8	M樽前山Ａ	--	
2014/11/22	22:08	6.7	長野県北部	29.2	白馬	-13.0	白馬
2015/02/17	08:06	6.9	三陸沖	0.7	岩泉１	--	
2015/04/20	10:42	6.8	与那国島近海	0.5	波照間島	--	
2015/05/13	06:12	6.8	宮城県沖	2.0	大船渡	-1.6	大船渡
2015/11/14	05:51	7.1	薩摩半島西方沖	0.5	鹿児島鹿島	--	
2016/01/14	12:25	6.7	浦河沖	1.3	えりも１	1.3	えりも１
2016/04/14	21:26	6.5	熊本県熊本地方※２	20	城南４	4	熊本
2016/04/16	01:25	7.3	熊本県熊本地方※２	98	長陽	24	長陽
2016/04/18	20:41	5.8	熊本県阿蘇地方	1.5	久住	--	
2016/04/29	15:09	4.5	大分県中部	1.6	湯布院	--	
2016/10/21	14:07	6.6	鳥取県中部	7.1	羽合	2.2	羽合
2016/11/22	05:59	7.4	福島県沖	4.1	小高	--	
2016/12/28	21:38	6.3	茨城県北部	2.5	里美	--	
2017/06/25	07:02	5.6	長野県南部	1.4	三岳	--	
2018/04/09	01:32	6.1	島根県西部	1.0	大田	-2.0	大田
2018/06/18	07:58	6.1	大阪府北部	0.5	箕面 - 宇治	--	
2018/09/06	03:07	6.7	胆振地方中東部※３	5.4	門別	-3.4	門別
2019/01/08	21:39	6.0	種子島近海	1.7	西之表	--	

・Mj は，気象庁マグニチュード.
・最大変動量は，電子基準点で観測された変動量.
・上下変動の最大変動量の -- は，有意な変動が観測されなかったことを示す.
※１「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」
※２「平成 28 年（2016 年）熊本地震」の一連の活動
※３「平成 30 年北海道胆振東部地震」（以下「北海道胆振東部地震」という .）の一連の活動

2．全国の地殻活動の概況

2009 ～ 2018 年度の 10 年間に観測された地殻変動については，東北地方太平洋沖地震及び熊本地震に伴う地震時変動が際だって大きなものであるが，これらについては 3．に記載し，ここではそれ以外の地殻変動をこれらの地震を境に期間を分けて概説する．

2.1　2009 年から 2011 年２月まで

東北地方太平洋沖地震以前の 2009 年 3 月から 2011 年 2 月までの期間について，GEONET による観測結果から推定した全国の水平地殻変動を図 1 に，上下地殻変動を図 2 に，地殻水平ひずみ変化を図 3 に示す．この期間には，地殻変動が観測された地震がいくつか発生したが，いずれも地震時変動は 1 cm 程度と小さい（表 1）．北海道から東北地方にかけての太平洋岸を中心に太平洋プレートの沈み込みに伴う北西－南東から東西方向の短縮，道東地方の沈降，三陸から関東にかけての太平洋岸の沈降，東北地方日本海側の隆起が見られる．十勝付近の隆起は 2004 年十勝沖地震の余効変動によるものである．南海トラフ沿いには，フィリピン海プレートの沈み込みに伴う北西－南東方向の短縮と御前崎の沈降が見える．また，潮岬と室戸岬は僅かに沈降しており，その内陸側は隆起となっている．足摺岬付近の隆起は 2009 年から 2011 年にかけて発生した長期的スロースリップの影響である．新潟から神戸に至る帯状の地域に見られる西北西－東南東方向の短縮は，Sagiya et al. (2000)1) が「新潟－神戸ひずみ集中帯」として指摘したものである．九州では南北方向の伸長が見られる．

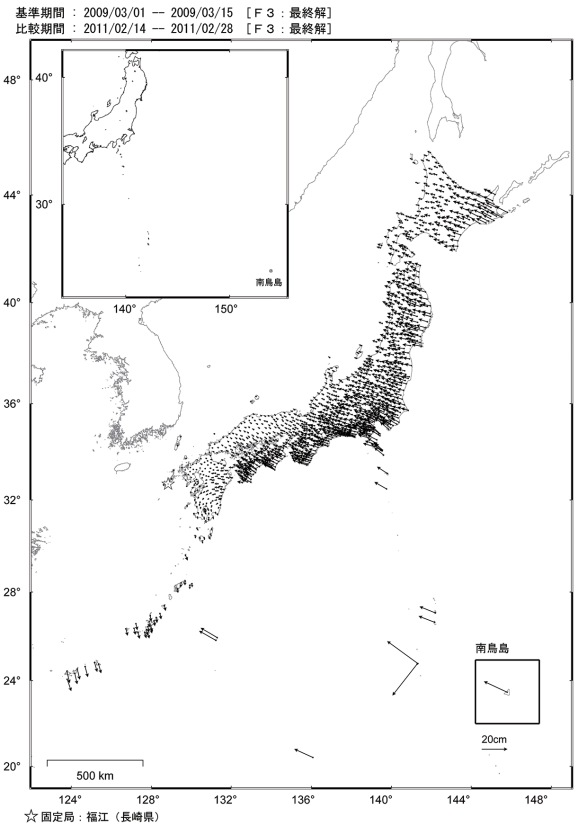


図 1　東北地方太平洋沖地震以前の 2009 年 3 月から 2011 年 2 月までの期間の水平変動ベクトル図

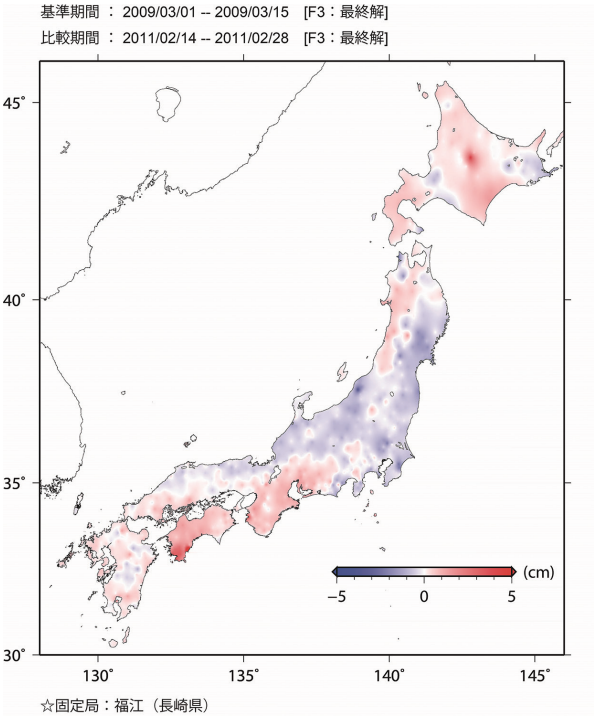


図 2　東北地方太平洋沖地震以前の 2009 年 3 月から 2011 年 2 月までの期間の上下変動図

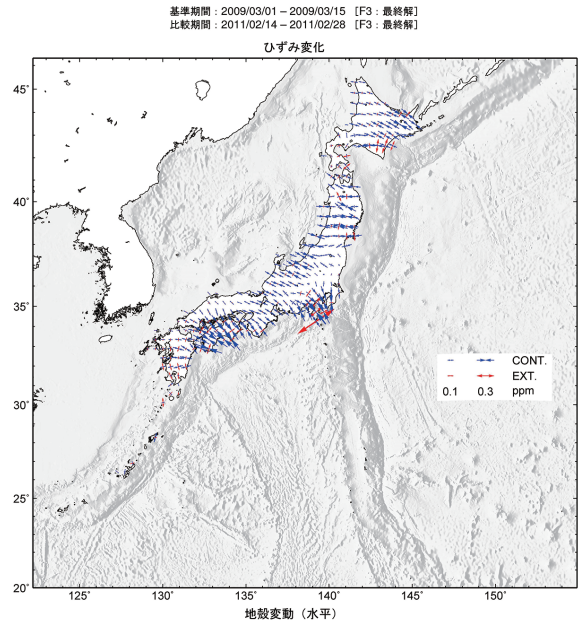


図 3　東北地方太平洋沖地震以前の 2009 年 3 月から 2011 年 2 月までの期間の水平ひずみ変化

2.2　2011 年 4 月から 2016 年 4 月まで

東北地方太平洋沖地震によって，広域で大きな地殻変動が観測されたが，これについては 3.2 に記し，ここでは，その後の変動について記載する．

2011 年 4 月から 2016 年 4 月の熊本地震の直前までの約 5 年間について，全国の水平地殻変動を図 4 に，上下地殻変動を図 5 に，地殻水平ひずみ変化を図 6 に示す．ベクトル等の変動量を示すスケールが，図 1 ～ 3 とは異なることに注意されたい．この期間には 2011 年 3 月 12 日の長野県・新潟県県境付近の地震（松之山観測点で水平成分 38.8cm）や，2014 年 11 月 22 日の長野県北部の地震（白馬観測点で水平成分 29.2cm）など，顕著な地殻変動を示した地震が多く発生している（表 1）．

東北地方太平洋沖地震の余効変動によって，広域的な地殻変動の様相が地震前とは大きく変わったことが読み取れる．まず，東日本は地震前の概ね東西方向の短縮から，震源方向に引き伸ばされるような変動場となった．余効変動が顕著にみられる範囲は北海道から近畿地方までの広域に及び，地震の翌日から 2016 年 4 月までの累積変動の最大値は，水平変動で 120cm，上下変動で 40cm を超えた．上下変動については，三陸地方の南部から関東地方にかけての太平洋岸で地震直後から隆起が続き，当初は沈降していた三陸地方北部も約 1 年後には隆起に転じた．一方，奥羽山脈より日本海側の地域は，地震前とは逆に沈降している．また，震源域から少し離れた津軽海峡付近や関東甲信越地方に見られる隆起も，この余効変動の特徴である．

東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響を大きく受けた地域以外の変動の傾向については，地震前の地殻変動と概ね同様である．

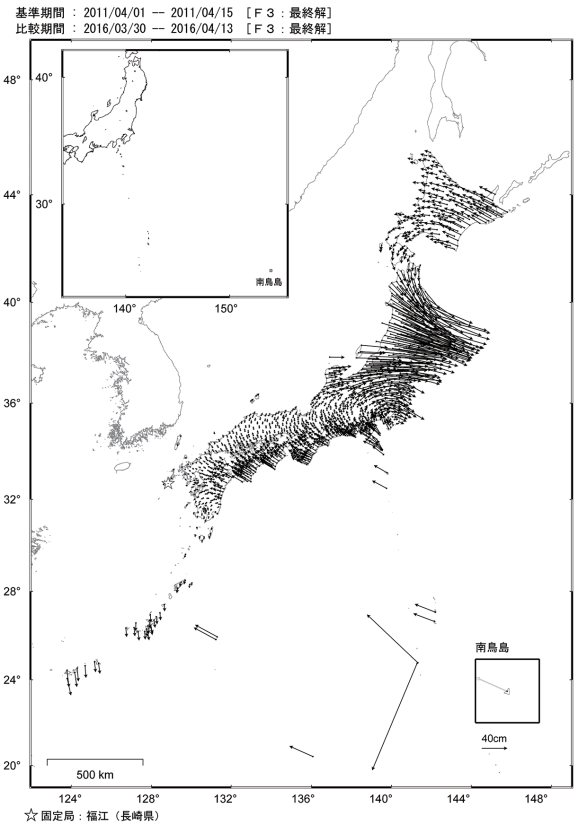


図 4　2011 年 4 月から 2016 年 4 月の熊本地震の直前までの期間の水平変動ベクトル図

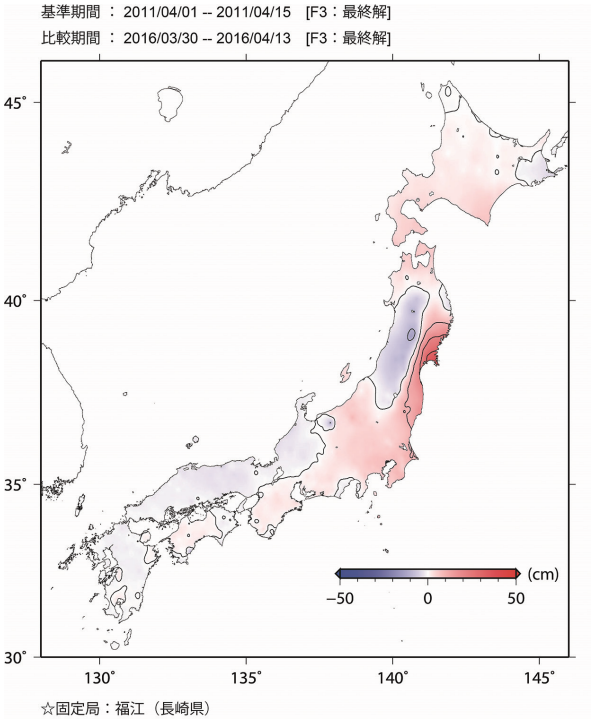


図 5　2011 年 4 月から 2016 年 4 月の熊本地震の直前までの期間の上下変動図

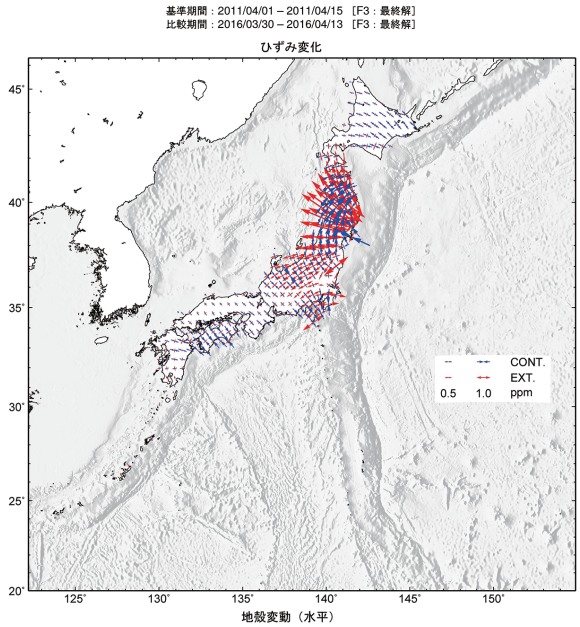


図 6　2011 年 4 月から 2016 年 4 月の熊本地震の直前までの期間の水平ひずみ変化

2.3　2016 年 4 月から 2019 年 3 月まで

熊本地震直後の 2011 年 4 月から 2019 年 3 月までの約 3 年間について，全国の水平地殻変動を図 7 に，上下地殻変動を図 8 に，地殻水平ひずみ変化を図 9 に示す．この期間で顕著な地殻変動を伴った地震には，北海道胆振東部地震（門別観測点で水平成分 5.4cm）のほか，2016 年 10 月 21 日の鳥取県中部の地震（羽合観測点で水平成分 7.1cm）がある（表 1）．

東北地方太平洋沖地震の大きな余効変動は，その速度が地震直後に比べると小さくなっているものの，引き続き広域的に見られ，水平変動及び上下変動の空間的なパターンも 2016 年 3 月までとほぼ同様であり，地震前の変動とは異なる状況が続いた．地震の翌日から 2019 年 3 月までの累積変動の最大値は，水平変動で 140cm を超え，上下変動も 60cm 近くに達した．

九州地方の地殻水平ひずみがそれ以前の期間と異なるのは，主に，2016 年 4 月に発生した熊本地震（M6.5,M7.3）後に長期間続いた余効変動の影響である．

北海道胆振地方の地殻水平ひずみに普段とは異なる南北方向の伸びの成分が見られるのは，北海道胆振東部地震に伴う地殻変動の影響である．

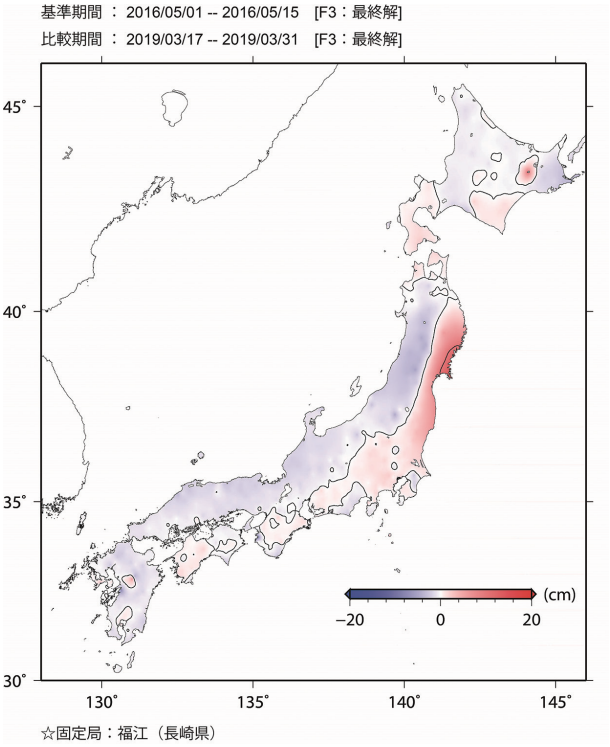


図 8　熊本地震直後の 2011 年 4 月から 2019 年 3 月までの期間の上下変動図

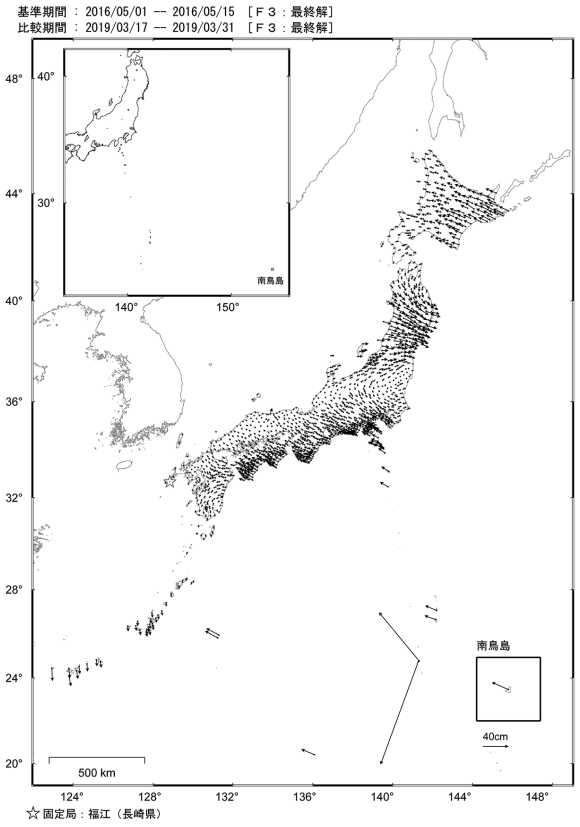


図 7　熊本地震直後の 2011 年 4 月から 2019 年 3 月までの期間の水平変動ベクトル図

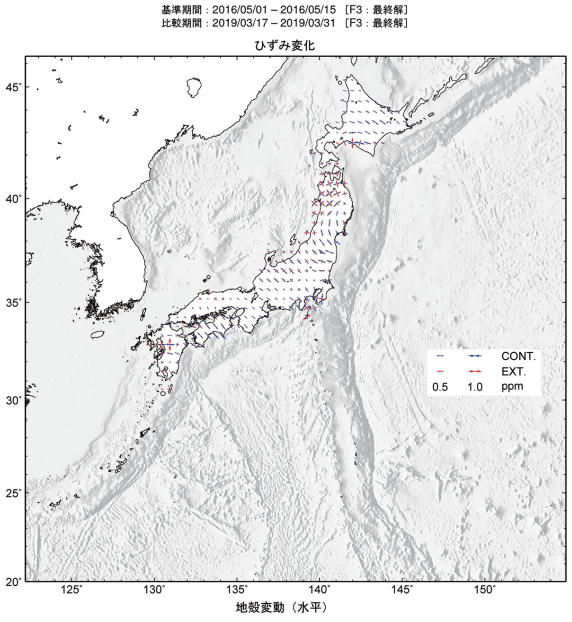


図 9　熊本地震直後の 2011 年 4 月から 2019 年 3 月までの期間の水平ひずみ変化

3．地域ごとの地殻活動の状況

3.1　北海道とその周辺

2009 年 4 月以降に北海道地方において，地震に伴う地殻変動を観測した回数は 5 回であった．ここでは，この期間において特に顕著であった地殻活動について紹介する．

a ）浦河沖の地震

2016 年 1 月 14 日 12 時 25 分頃に浦河沖で発生した地震（M6.7，深さ 52km，最大震度 5 弱）に伴う小さな地殻変動が，震源域周辺の電子基準点で観測された．電子基準点「えりも 1 」（北海道えりも町）で東方向へ約 1.3cm と約 1.3cm の隆起など，北海道太平洋沿岸の複数の電子基準点で地殻変動が観測された．

b）平成 30 年北海道胆振東部地震

2018 年 9 月 6 日 3 時 7 分頃に発生した北海道胆振東部地震（M6.7，深さ 37km，最大震度 7 ）に伴う地殻変動が，震源域周辺の電子基準点で観測された．電子基準点「門別」（北海道日高町）で南方向に約 5.4cm と約 3.4cm の沈降など，周辺の電子基準点で地殻変動が観測された（図 10）．地震後の余効変動はほとんど見られなかった．だいち 2 号の SAR 干渉解析によると，震央周辺で最大約 7 cm の隆起及び，隆起域の東側で最大約 4 cm の東向きの地殻変動が観測された（図 11）．

電子基準点及び SAR 干渉解析で観測された地殻変動を基に震源断層モデルを推定した結果，ほぼ南北走向で傾斜角が 74 度と高角の断層面での逆断層運動が推定された．長さ約 14 km，幅約 16 kmの断層ですべり量は約 1.3m と推定され，計算されたモーメントマグニチュードは約 6.6 であった．断層面の上端の深さは約 16 kmと推定され，陸域で発生した地震としてはやや深いという点が特徴的であった．

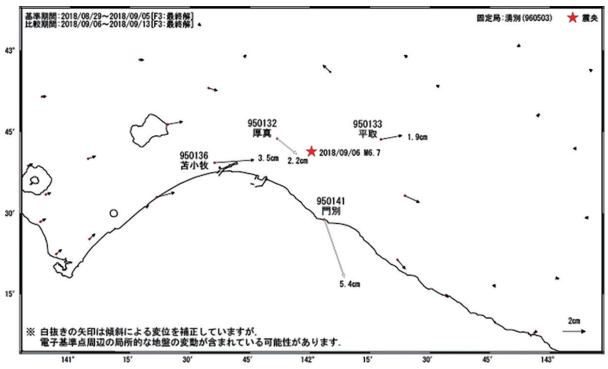


図 10　北海道胆振東部地震に伴う水平変動ベクトル図

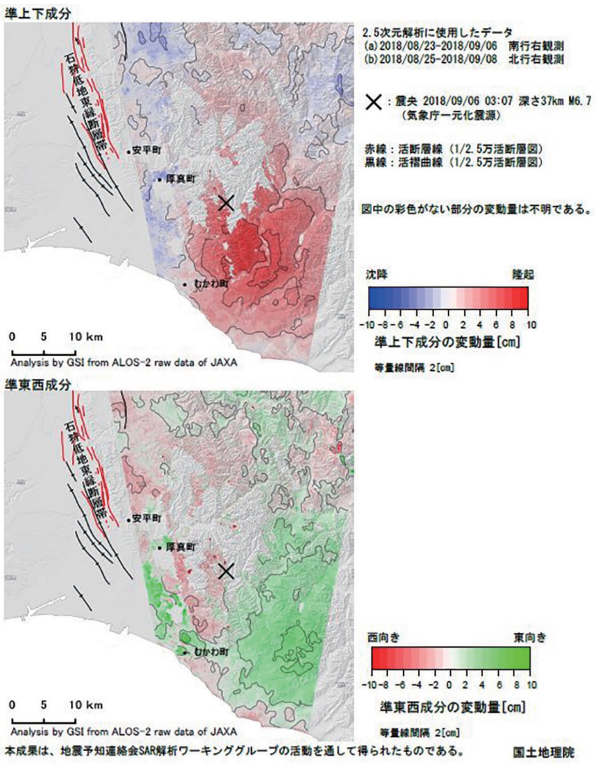


図 11　SAR 干渉解析による地殻変動分布図（2.5 次元解析）

3.2　東北地方とその周辺

2009 年 4 月以降に東北地方において，地震に伴う地殻変動を観測した回数は 14 回であった．ここでは，この期間において特に顕著であった地殻活動について紹介する．

a ）三陸沖を震源とする地震

2011 年 3 月 9 日 11 時 45 分頃に発生した三陸沖の地震（M 7.3, 深さ 8 km, 最大震度 5 弱）に伴う地殻変動が，東北地方の太平洋岸の地域の電子基準点で観測された．電子基準点「 大船渡 」（岩手県大船渡市）で東南東方向へ約 3 cm など，多くの電子基準点で 2 cm 前後の地殻変動が観測された．電子基準点で観測された地殻変動を基に震源断層モデルを推定した結果，余震分布の位置に約 1.5m の逆断層すべりが推定された．

b）平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震

2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分頃に発生した東北地方太平洋沖地震（M 9.0，深さ 24km，最大震度 7 ）に伴う記録的な地殻変動が，全国の広い範囲の電子基準点で観測された．電子基準点「M 牡鹿 」（宮城県南三陸町）で東南東方向へ約 5.4 m と約 1.1m の沈降など，北海道から近畿地方にかけての広い範囲で地殻変動が観測された（図 12）．

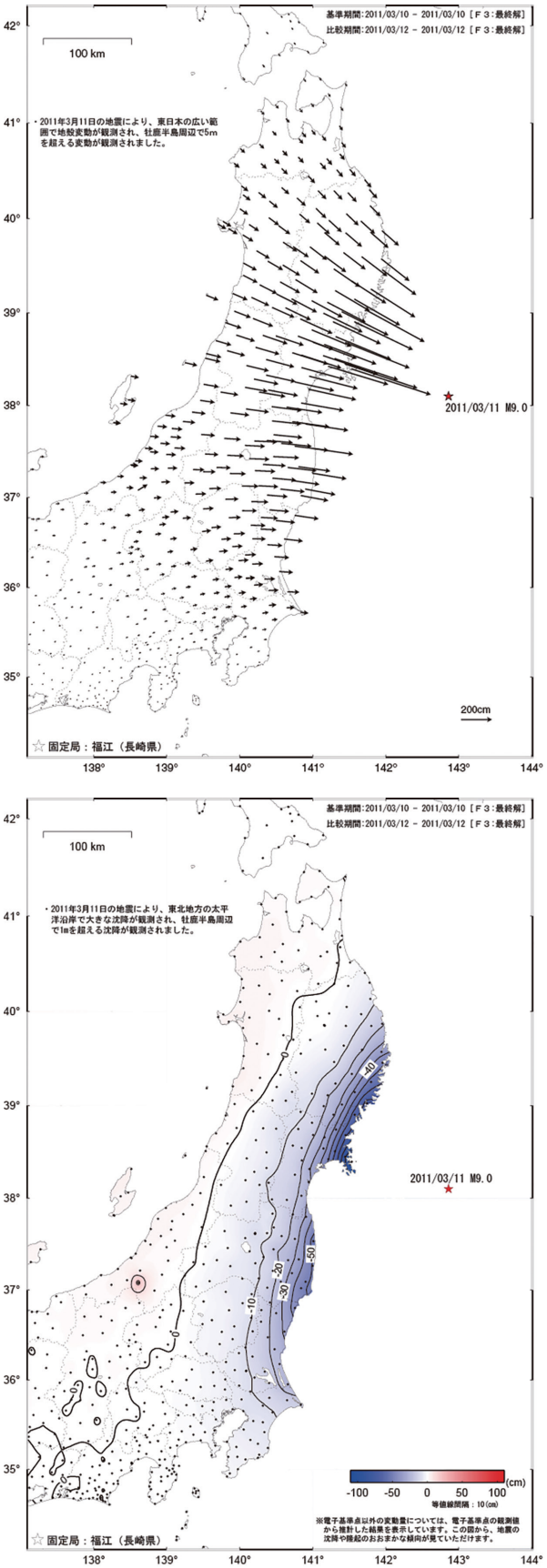


図 12　東北地方太平洋沖地震に伴う水平変動ベクトル図（上）と上下変動コンター図（下）．いずれの図も本震後十数時間分の余効変動による変動量を含んでいる．

だいち 2 号の SAR 干渉解析によると，広い範囲で大きな地殻変動が見られ，牡鹿半島先端で最大約 4 m の衛星 - 地表間の距離伸長が見られた．

電子基準点で観測された地殻変動を基に 2 枚の矩形断層を仮定して震源断層モデルを推定した結果，逆断層で，すべり量は北側の断層で約 25m，南側の断層で約 6 m，断層の総延長は約 380km と推定された．

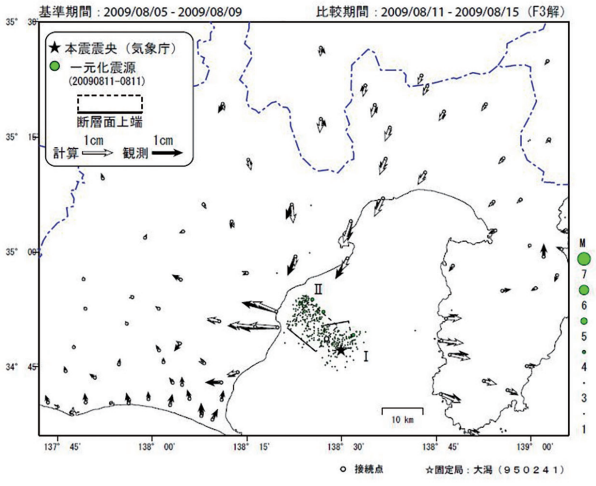
3.3　関東・中部地方

2009 年 4 月以降に関東・中部地方において，地震に伴う地殻変動を観測した回数は 15 回であった．ここでは，この期間において特に顕著であった地殻活動について紹介する．

a）駿河湾を震源とする地震

2009 年 8 月 11 日 5 時 7 分頃に発生した駿河湾を震源とする地震（M6.5，深さ 23km，最大震度 6 弱）に伴う小さな地殻変動が，静岡県焼津市及びその周辺の電子基準点と水準測量で観測された．電子基準点「焼津 A」（静岡県焼津市）で西方向へ約 1.3cm と約 1.6cm の隆起など，周辺の電子基準点で地殻変動が観測された．水準測量では，静岡県牧之原市北部から静岡市で，最大 1 cm 超の隆起が見られた．

電子基準点で観測された地殻変動を基に震源断層モデルを推定した結果，東西走向で南に傾き下がる断層面が左横ずれ成分を伴って逆断層的に動き（すべり量約 39cm），北西 - 南東走向で北東に傾き下がる断層面が右横ずれ成分を伴って逆断層的に動いた（すべり量約 62cm）と推定された（図 13）．



	緯度	経度	上端深さ km	長さ km	幅 km	走向	傾斜	滑り角	滑り量 m	Mw
I	34.84°	138.45°	15.7	6.0	10.0	80°	50°	59°	0.39	5.8
II	34.78°	138.43°	16.7	9.0	10.0	310°	35°	117°	0.62	6.1

図 13　震源断層モデルと地殻変動

b）父島近海を震源とする地震

2010 年 12 月 22 日 2 時 19 分頃に発生した父島近海の地震（M7.4，深さ 8 km，最大震度 4）に伴う小さな地殻変動が，父島及び母島に設置されている電子基準点で観測された．電子基準点「 母島 」（東京都小笠原村）で西方向へ約 1.6cm など，周辺の電子基準点「父島 A」「P 父島 A」（東京都小笠原村）で地殻変動が観測された．

c）長野県・新潟県県境付近の地震

2011 年 3 月 12 日 3 時 59 分頃に発生した長野県・新潟県県境付近の地震（M 6.7，深さ 8 km，最大震度 6 強）に伴う大きな地殻変動が，震源域周辺の電子基準点で観測された．電子基準点「 松之山 」（新潟県十日町市）で北東方向へ約 38.8cm と約 21.5cm の隆起など，周辺の電子基準点で地殻変動が観測された．

d）静岡県東部の地震

2011 年 3 月 15 日 22 時 31 分頃に発生した静岡県東部の地震（M 6.4，深さ 14km，最大震度 6 強）に伴う小さな地殻変動が，震源域周辺の電子基準点で観測された．電子基準点「 裾野 1 」(静岡県裾野市)で東方向へ約 2.8cm など，周辺の電子基準点で 1 ～ 3 cm の地殻変動が観測された．

電子基準点で観測された地殻変動を基に震源断層モデルを推定した結果，北北東 - 南南西走向の逆断層成分を含む左横ずれのすべりが推定された．

e）千葉県東方沖の地震

2012 年 3 月 14 日 21 時 5 分頃に発生した千葉県東方沖の地震（M6.1，深さ 15km，最大震度 5 強）に伴う小さな地殻変動が，電子基準点で観測された．電子基準点「銚子」（千葉県銚子市）で東方向へ約 1.0cm と約 1.1cm の沈降の地殻変動が観測された．

電子基準点で観測された地殻変動を基に震源断層モデルの推定を行った．断層面が東傾斜の場合と西傾斜の場合の二種類について推定した結果，いずれの場合にも，正断層型の断層運動により観測値をよく説明できることが分かった．

f）栃木県北部の地震

2013 年 2 月 25 日 16 時 23 分頃に発生した栃木県北部の地震（M6.3，深さ 3 km，最大震度 5 強）に伴う小さな地殻変動が，震源域周辺の電子基準点で観測された．電子基準点「栗山」(栃木県日光市)で北西方向へ約 3.0cm の地殻変動が観測された．

電子基準点で観測された地殻変動を基に震源断層モデルを推定した結果，断層の深さはごく浅く推定され，三次元構造を用いて推定された余震分布（気象庁による）に近い位置に決まった．

g）三宅島近海の地震

2013 年 4 月 17 日 17 時 57 分頃に発生した三宅島近海の地震（M6.2，深さ 9 km，最大震度 5 強）に伴う小さな地殻変動が，震源域周辺の電子基準点で観測された．電子基準点「三宅 4 」（東京都三宅村）で北東方向へ約 2.1cm など，三宅島及び御蔵島の電子基準点で地殻変動が観測された．

電子基準点で観測された地殻変動を基に震源断層モデルを推定した結果，断層面が南北走向の場合，縦ずれ成分を伴う横ずれ型の断層運動で，モーメントマグニチュードは 5.9 と推定された．また，気象庁の一元化震源に東西方向に伸びる余震分布も見られたことから，断層面が東西方向の場合についても推定した結果，東西方向の断層モデルでも観測値を説明できることが分かった．

h）長野県北部の地震

2014 年 11 月 22 日 22 時 8 分頃に発生した長野県北部の地震（M6.7，深さ 5 km，最大震度 6 弱）に伴う大きな地殻変動が，震源域周辺の電子基準点で観測された．電子基準点「白馬」（長野県白馬村）で南東方向へ約 29.2cm と約 13.0cm の沈降の地殻変動が観測された．その後の観測では，余効変動が見られた．

だいち 2 号の SAR 干渉解析でも，地震に伴う地殻変動が明らかになった．地震前後に観測したデータから，白馬村を中心とする東西約 30km，南北約 30km の地域に地殻変動の面的な広がりが見られた（図 14）．また，震央

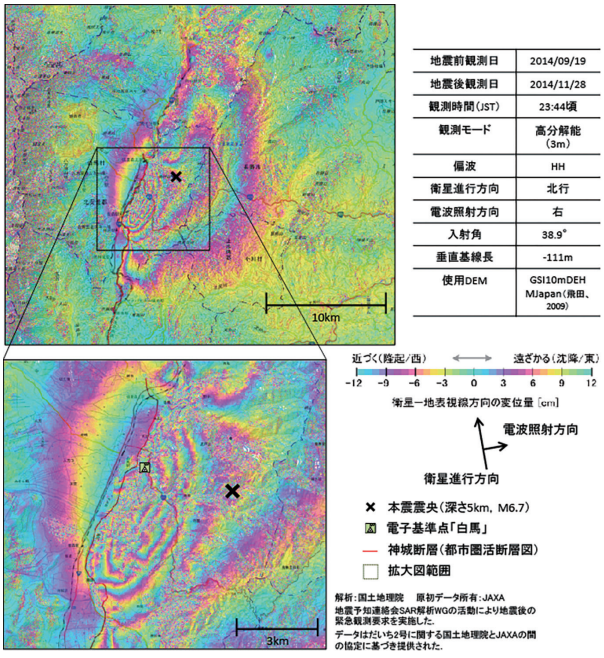


図 14　SAR 干渉解析による地殻変動分布図

西側の神城断層に隣接する領域で特に大きな地殻変動が見られ，西向・上方に最大 1 m 程度の変位が観測された．

電子基準点及び SAR 干渉解析で観測された地殻変動を基に震源断層モデルを推定した結果，単一の傾斜角を持つ断層面でのすべりを説明することは困難であることが分かった．深さ 2 km を境として，深部では高角（60°），浅部でやや低角（40°）の断層面を仮定し，この断層面上でのすべり分布を推定した結果，全体としては左横ずれ成分を含む逆断層性のすべりが推定され，震源断層の長さは約 20km と推定された．

3.4　近畿・中国・四国地方

2009 年 4 月以降に近畿・中国・四国地方において，地震に伴う地殻変動を観測した回数は 4 回であった．ここでは，この期間において特に顕著であった地殻活動について紹介する．

a）淡路島付近の地震

2013 年 4 月 13 日 5 時 33 分頃に発生した淡路島付近の地震（M6.3，深さ 15km，最大震度 6 弱）に伴う小さな地殻変動が，震源域周辺の電子基準点で観測された．電子基準点「洲本」（兵庫県洲本市）で南方向へ約 1.2cm など，周辺の電子基準点で地殻変動が観測された．

b）鳥取県中部の地震

2016 年 10 月 21 日 14 時 7 分頃に発生した鳥取県中部の地震（M6.6，深さ 11 k m，最大震度 6 弱）に伴う地殻変動が，震源域周辺の電子基準点で観測された．電子基準点「羽合」（鳥取県湯梨浜町）で北北東方向へ約 7.1cm と約 2.2cm の隆起など，鳥取県内の複数の電子基準点で地殻変動が観測された．

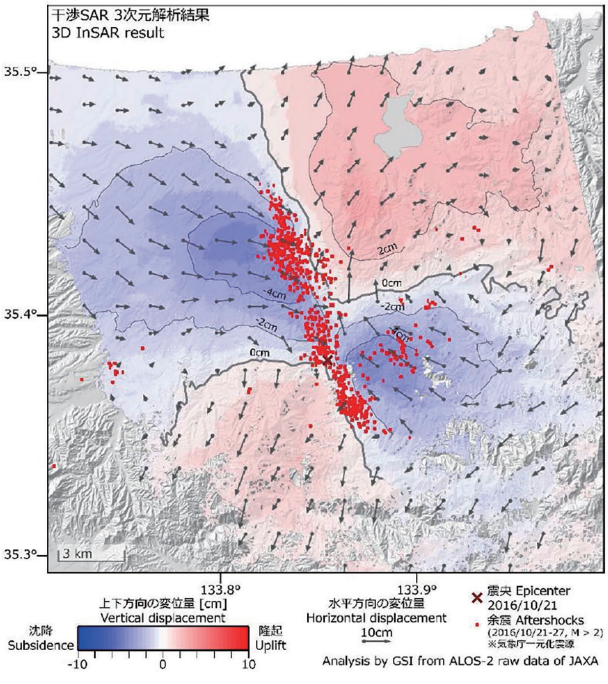


図 15　SAR 干渉解析による地殻変動分布図（3 次元解析）

だいち 2 号の SAR 干渉解析でも，地震に伴う地殻変動が明らかになった．地震前後に観測したデータから，北北西 - 南南東走向でほぼ鉛直の断層での左横ずれ断層運動と調和的な地殻変動が捉えられた（図 15）．

電子基準点及び SAR 干渉解析で観測された地殻変動を基に震源断層モデルを推定した結果，北北西 - 南南東走向のほぼ鉛直の断層が左横ずれ運動し，長さ約 8km，幅約 7km で北北西 - 南南東走向のほぼ鉛直の断層が約 1.3m 左横ずれ運動したと推定された．

c）島根県西部の地震

2018 年 4 月 9 日 1 時 32 分頃に発生した島根県西部の地震（M6.1，深さ 12km，最大震度 5 強）に伴う小さな地殻変動が，震源域周辺の電子基準点で観測された．電子基準点「大田」（島根県大田市）で南東方向へ約 1.0cm と約 2.0cm の沈降など，周辺の電子基準点で地殻変動が観測された．

d）大阪府北部の地震

2018 年 6 月 18 日 7 時 58 分頃に発生した大阪府北部の地震（M6.1，深さ 13km，最大震度 6 弱）に伴うごく僅かな地殻変動が，震源域周辺の電子基準点で観測された．震央を東西に挟む電子基準点「箕面」（大阪府箕面市）－「宇治」（京都府宇治市）の基線で約 0.5cm の短縮，南北に挟む電子基準点「交野」（大阪府交野市）－「亀岡」（京都府亀岡市）の基線で約 0.4cm の伸長があった．だいち 2 号の SAR 干渉解析では，震央付近で僅かに衛星に近づく向きの位相変化が見られたが，ノイズレベルを超える変動は見られなかった．

3.5　九州地方

2009 年 4 月以降に九州地方において，地震に伴う地殻変動を観測した回数は 7 回であった．ここでは，この期間において特に顕著であった地殻活動について紹介する．

a）平成 28 年（2016 年）熊本地震

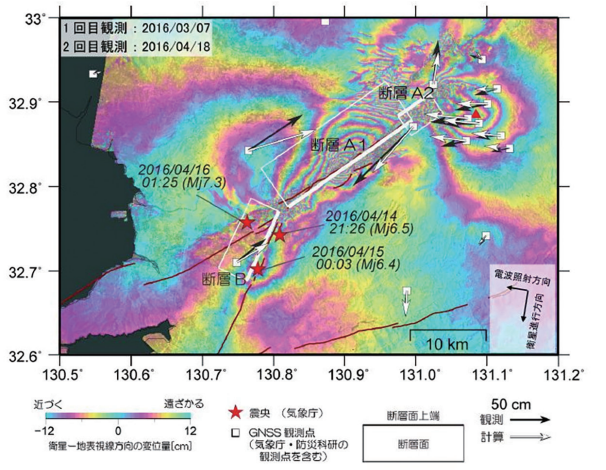
2016 年 4 月 14 日 21 時 26 分頃に発生した熊本県熊本地方の地震（M6.5，深さ 11km，最大震度 6 弱）及び 2016 年 4 月 15 日 0 時 3 分頃に発生した熊本県熊本地方の地震（M6.4，深さ 7 km，最大震度 6 強）に伴う大きな地殻変動が，震源域周辺の電子基準点で観測された．電子基準点「城南」（熊本県熊本市）で北東方向へ約 20cm，「熊本」（熊本県熊本市）で約 4 cm の隆起など，周辺の電子基準点で地殻変動が観測された．

また，2016 年 4 月 16 日 1 時 25 分頃に発生した熊本県熊本地方の地震（M7.3，深さ 12km，最大震度 7）に伴う大きな地殻変動が，震源域周辺の電子基準点で観測された．電子基準点「長陽」（熊本県南阿蘇村）で南西方向へ約 98cm と約 24cm の隆起など，熊本県を中心とした地域で地殻変動が観測された．その後の観測では，明瞭な余効変動が見られており，時間経過と共に減衰しつつあるものの，2019 年 3 月時点においても，余効変動が僅かながら継続している．

だいち 2 号の SAR 干渉解析でも，地震に伴う地殻変動が明らかになった．熊本県熊本地方から阿蘇地方にかけて地殻変動の面的な広がりがみられ，布田川断層帯の布田川区間沿い及び日奈久断層帯の高野－白旗区間沿いに大きな変動がみられた．

このほか，地殻変動の全体像を把握するため，緊急 GNSS 観測を実施し，最大で約 2.1m の沈降が確認された．

電子基準点，SAR 干渉解析等で観測された地殻変動を基に震源断層モデルを推定した結果，4/14 及び 4/15 に発生した地震では，北東 - 南西走向のやや西に傾き下がる高角の断層が右横ずれ運動したと推定された．4/16 に発生した地震では，3 枚の矩形断層を仮定して，布田川断層帯では北西傾斜の断層面とその東側延長に南東傾斜の断層面，日奈久断層帯では北西傾斜の断層面で，それぞれ右横ずれ運動が生じたと推定された（図 16）．



	経度 [°]	緯度 [°]	上端深さ [km]	長さ [km]	幅 [km]	走向 [°]	傾斜 [°]	滑り角 [°]	滑り量 [m]	M_w
断層 A1	130.996	32.878	0.6	20.0	12.5	235	60	209	4.1	6.96
断層 A2	130.975	32.883	0.2	5.1	6.6	56	62	178	3.8	6.36
断層 B	130.807	32.770	0.8	10.2	13.0	205	72	176	2.7	6.65

※矩形断層 3 枚での推定結果。位置は断層の左上端を示す。

図 16　GNSS 観測及び SAR 干渉解析による震源断層モデル

b）種子島近海の地震

2019 年 1 月 8 日 21 時 39 分頃に発生した種子島近海の地震（M6.0，深さ 30km，最大震度 4）に伴う小さな地殻変動が，震源域周辺の電子基準点で観測された．電子基準点「西之表」（鹿児島県西之表市）で南東方向へ約 1.7cm など，周辺の電子基準点で地殻変動が観測された．その後の観測では，余効変動が見られた．その変動量は地震後の約 3 か月間で地震時変動の半分程度であり，向きは地震時変動と同様に南東方向であった．

3.6　沖縄地方

2009 年 4 月以降に沖縄地方において，地震に伴う地殻変動を観測した回数は 3 回であった．ここでは，この期間において特に顕著であった地殻活動について紹介する．

a）沖縄本島近海を震源とする地震

2010 年 2 月 27 日 5 時 31 分頃に発生した沖縄本島近海を震源とする地震（M7.2，深さ 37km，最大震度 5 弱）に伴う小さな地殻変動が，沖縄本島及びその周辺に設置されている電子基準点で観測された．電子基準点「宜野座」（沖縄県宜野座村）で北西方向へ約 1.2cm など，沖縄本島及びその周辺に設置した電子基準点で地殻変動が観測された．

b）与那国島近海・石垣島北西沖の地震

与那国島近海・石垣島北西沖において，2013 年 4 月 18 日 23 時 08 分頃の地震（M 6.1，深さごく浅い，最大震度 1）をはじめとして，4 月 17 日から 18 日を中心に地震活動があった．この地震活動に伴う地殻変動が，震源域周辺の電子基準点で観測された．電子基準点「与那国」（沖縄県与那国町）で南南西方向へ約 4.7cm など，周辺の電子基準点で地殻変動が観測された．

電子基準点で観測された地殻変動を基に，東西走向の正断層を仮定した場合とダイクの貫入を仮定した場合の二種類のモデルを推定した．いずれの場合でも，観測値を説明することはできた．なお，正断層として推定した場合，モーメントマグニチュードは 6.9 と推定され，最大地震（M6.1）よりも大きな値となった．

c）与那国島近海の地震

2015 年 4 月 20 日 10 時 42 分頃に発生した与那国島近海の地震（M6.8，深さ 22km，最大震度 4）に伴う僅かな地殻変動が，震源域周辺の電子基準点で観測された．電子基準点「波照間島」（沖縄県竹富町）で南島方向へ約 0.5cm など，周辺の電子基準点で地殻変動が観測された．

参考文献

1) Sagiya, T., Miyazaki, S. and Tada, T. (2000). Continuous GPS array and present-day crustal deformation of Japan. *Pur. Appl. Geophys.*, **157**(81), 2302-2322. doi:10.1007/PL00022507.

2．この 10 年の全国の地殻変動状況（海域について）

楠　勝浩（海上保安庁）

1．はじめに

海上保安庁海洋情報部は，地震調査研究に係る測地学的観測として，GNSS- 音響測距結合方式（GNSS-A）による海底地殻変動観測を実施している．

本稿では，海底地殻変動観測により得られた海域における地殻変動の成果を紹介する．海底地殻変動観測については第 1 部第 3 章 2.(4)を参照されたい．

2．海底地殻変動観測の主要な観測成果

2.1　2011 年東北地方太平洋沖地震前の観測で得られた日本海溝沿いの海底地殻変動

GNSS-A 海底地殻変動観測は，海底の位置を，地球を基準とした座標系の上で表現できるという点において，長周期～定常の動きに主たる感度を持つ観測手法であるといえる．こうした特性を持つため，特に平均的な海底の移動速度を算出することができ，それはほかの測位技術とも容易に比較可能である．

Sato et al.（2013）[1]は，2011 年 3 月の東北地方太平洋沖地震までに実施した海底地殻変動観測の結果から，各観測点の平均移動速度を算出した（図 1）．比較的データ数が多く信頼性の高い宮城県から福島県沖のデータを比較すると，福島県沖の海底の動く速度は宮城県沖に比して小さいことがわかる．この速度の差は，東北地方太平洋沖地震時の変動の空間パターンとも定性的に類似しており，地震間と地震時の動きがコヒーレントであるということを示す一例であるといえる．

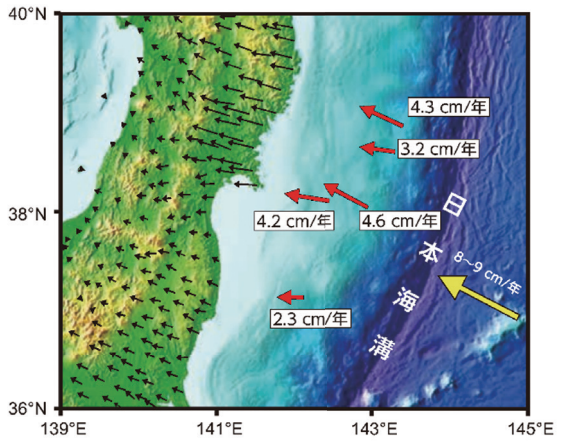


図 1　東北地方太平洋沖地震前の平均移動速度．陸上の結果は国土地理院 GEONET の F3 解から求めたもの．

2.2　2011 年東北地方太平洋沖地震前後の観測で得られた日本海溝沿いの海底地殻変動

2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震（M 9.0）の発生を受け，海上保安庁では，同年 3 月末から 4 月にかけて日本海溝沿いに設置している観測点の位置を測定し，その直前の観測値と比較した結果，水平 20 m，上下 1 m を超える大規模な変位が検出された（Sato et al., 2011b[2]，図 2）．

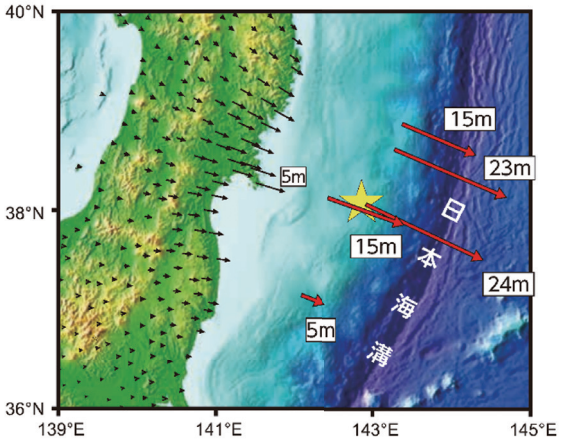


図 2　東北地方太平洋沖地震時の地殻変動．陸上の結果は国土地理院 GEONET の F3 解から求めたもの．星印は東北地方太平洋沖地震の震央．

大きな変位は複数の観測点で捉えられており，これらの結果から，20 m を超える大規模な海底変位が，南北方向数十キロメートルにわたって発生したことが明らかとなった．上下変位については，海溝軸に直交する方向のバリエーションも捉えられた．なお，Kido et al.（2011）[3]も同様の手法で，より沖合の観測点において 30 m を超える変位を検出しており，こうした観測成果は地震時のすべり分布を推定する上で重要な役割を果たしている（e.g., Iinuma et al., 2012[4]）．

2.3　2011 年東北地方太平洋沖地震後の観測で得られた日本海溝沿いの海底地殻変動

東北地方太平洋沖地震後も日本海溝沿いの各観測点で海底地殻変動観測を継続し，余効変動による変位を調査している．地震後の余効変動にはいくつかの緩和過程が併存しているが（e.g., Wang et al., 2012[5]），陸域の GEONET 観測点での余効変動は余効すべりのメカニズムでも概ね説明できていた．しかし，海底地殻変動観測の結果は，陸域の地殻変動とは大きく異なるものであった（図 3）．Watanabe et al.（2014）[6] は，海域で観測さ

れた変位の向きが太平洋プレートの運動方向を向いており，陸域の海溝に向かう変位とは正反対であること，また，その変位速度が地震前の太平洋プレートの沈み込み速度より顕著に大きいこと，さらに各観測点がいずれも沈降傾向を示していることから，これらの観測点の動きは，アセノスフェアにおける粘弾性緩和の影響を強く受けている可能性が高いことを示した．

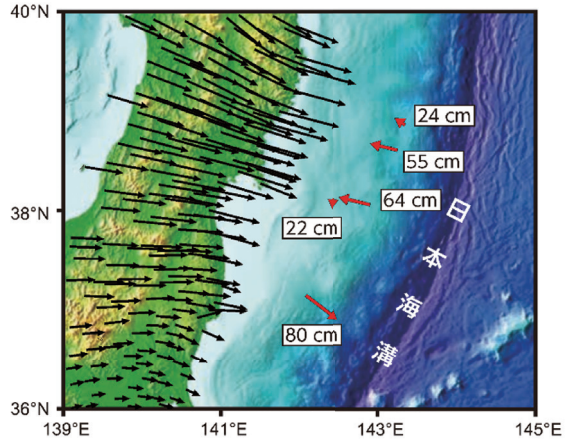


図 3　東北地方太平洋沖地震後の余効変動．2011 年 3 月から 2017 年 12 月までの累積値．陸上の結果は国土地理院 GEONET の F3 解から求めたもの．

これらの観測データを説明するモデルは Sun et al. (2014) [7]等いくつも提案され，研究が進められている．このように海底地殻変動データは地震後の地殻変動研究の基礎的なデータとして役立てられている．

2.4　フィリピン海プレート上で検出された地殻変動

Watanabe et al. (2015) [8] は，フィリピン海プレート上に設置した観測点での観測結果から，それらが伊豆前弧のブロックに乗って動いていることを確認した．また，相模湾の海底地殻変動観測結果と伊豆半島の GNSS 観測結果（GEONET）を比較し，伊豆半島の東部海域で発生した 1980 年伊豆半島東方沖地震（M 6.7）の断層が固着していることを明らかにした．

2.5　南海トラフ沿いで検出された地殻変動とすべり欠損速度分布の推定

将来，巨大プレート境界地震の発生が懸念される南海トラフ沿いの海域においても，繰り返し海底地殻変動観測を実施している．2011 年度には東北地方太平洋沖地震の発生を受け，より広く面的なデータを得られるように観測点を増設した．

Yokota et al. (2016) [9] は，2015 年までのデータについて，前述した東北地方太平洋沖地震の影響を補正したうえで，西南日本のプレート境界面上のすべり欠損速度分布を推定した（図 4，図 5）．

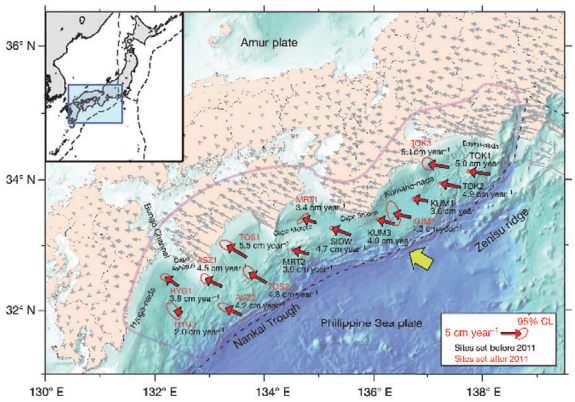


図 4　海底地殻変動観測の 2006 年 3 月から 2009 年 12 月までの結果から算出した，南海トラフの各観測点の年間の地殻変動量（赤矢印）．陸上の結果は国土地理院 GEONET の F3 解から求めたもの．

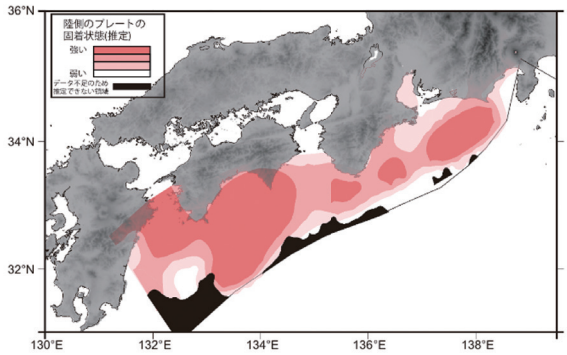


図 5　海底地殻変動観測結果から算出した，南西日本のプレート境界面上のすべり欠損速度分布図

海底地殻変動データは観測点密度・観測期間・観測間隔・観測精度の面で陸域のデータよりも不利であるものの，陸域から推定することができない領域で面的な分布を推定できた点で非常に重要な成果であるといえる．

この結果からは，多くの新しい知見が得られた．1 つめは南海トラフ想定震源域の全域が固着しているという事実である．2 つめはその固着状態には場所によって強弱が存在していることである．トラフ軸と平行な東西方向だけでなく，豊後水道の沖合では南北方向（トラフ軸との直交方向）にも強弱が見られた．またこの発見によって，1940 年代の M 8 クラスの地震は主に強固着状態の領域で発生していたことも確認された．これらのことから，プレート境界での巨大地震と固着状態の強弱には関係性があることもはっきりした．加えて，超低周波地震（VLFE）が弱固着域に集中して発生していることも確認されており，こうした成果はプレート境界面上の物理過程に関する今後の研究のためのデータとして活用されることが期待される．

2.6　紀伊水道沖でのスロースリップの検出

解析技術の進展や観測頻度の向上により，海底で発生する非定常的なイベントの検出も可能となり，2018 年には紀伊水道沖のプレート境界浅部で発生したとみられるスロースリップのシグナルを検出することに成功している．本観測結果については，第 2 部第 3 章 3.（6）に記載されているので参照されたい．

3．おわりに

海底地殻変動観測は，質・量ともにこの 10 年で非常に大きく進展し，この手法でなければ知りえなかった様々な現象を見出すに至った．その背景には，2.1 節で示したようないくつかの重要なアップデートだけではなく，ルーチンの観測・解析を丁寧かつ地道に進め，また観測点の増設・維持管理のために貢献した多くの職員の存在がある．また，SLR 観測も持続的な運用が重要であるように，こうした時間スケールの長い測地観測を継続することが，地震調査研究においても非常に価値のあることであるといえる．他方で，まだこれらの観測には多くの技術的な課題も残されており，次の 10 年でも観測技術を引き続き向上させていくことが求められる．今後もこうした課題に取り組みつつ，長期にわたりデータを提供することで，地震調査研究に貢献できると期待している．

参考文献

1) M. Sato, M. Fujita, Y. Matsumoto, T. Ishikawa, H. Saito, M. Mochizuki and A. Asada, 2013, Interplate coupling off northeastern Japan before the 2011 Tohoku-oki earthquake, inferred from seafloor geodetic data, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL.* 118, 1-10.
2) M. Sato, T. Ishikawa, N. Ujihara, S. Yoshida, M. Fujita, M. Mochizuki and A. Asada, 2011, Displacement Above the Hypocenter of the 2011 Tohoku-Oki Earthquake, *SCIENCE*, Vol332, 1395.
3) M. Kido, Y. Osada, H. Fujimoto, R. Hino and Y. Ito, 2011, Trench-normal variation in observed seafloor displacements associated with the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 38, L24303.
4) T. Iinuma, R. Hino, M. Kido, D. Inazu, Y. Osada, Y. Ito, M. Ohzono, H. Tsushima, S. Suzuki, H. Fujimoto and S. Miura, 2012, Coseismic slip distribution of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake（M9.0）refined by means of seafloor geodetic data, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 117, B07409.
5) K. Wang, Y. Hu and J. He, 2012, Deformation cycles of subduction earthquakes in a viscoelastic Earth, *Nature*, VOL. 484, 327-332.
6) S. Watanabe, M. Sato, M. Fujita, T. Ishikawa, Y. Yokota, N. Ujihara and A. Asada, 2014, Evidence of viscoelastic deformation following the 2011 Tohoku-Oki earthquake revealed from seafloor geodetic observation, *Geophysical Research Letters*, 41, 5789–5796.
7) T. Sun, K. Wang, T. Iinuma, R. Hino, J. He, H. Fujimoto, M. Kido, Y. Osada, S. Miura, Y. Ohta and Y. Hu, 2014, Prevalence of viscoelastic relaxation after the 2011 Tohoku-oki earthquake, *Nature*, VOL. 514, 84-96.
8) S. Watanabe, T. Ishikawa and Y. Yokota, 2015, Non-volcanic crustal movements of the northernmost Philippine Sea plate detected by the GPS-acoustic seafloor positioning, *Earth, Planets and Space*, 67, 184.
9) Y. Yokota, T. Ishikawa, S. Watanabe, T. Tashiro and A. Asada, 2016, Seafloor geodetic constraints on interplate coupling of the Nankai Trough megathrust zone, *Nature*, VOL. 534, 374-387.

第 3 章　この 10 年のスロー地震

小原　一成（東京大学地震研究所）

1．はじめに

スロー地震は，2000 年前後の西南日本におけるスロースリップイベント（SSE）や深部低周波微動の発見[1,2]を端緒として，環太平洋の各沈み込み帯などで次々と発見されてきた．10 年前の「地震予知連絡会 40 年のあゆみ」[3]では，陸域に展開された地震・地殻変動観測網による様々なスロー地震の検出とこれらの主な特徴が紹介されたが，その後，日本周辺海域における新たなスロー地震の発見が相次いだ．本章では各機関から報告を踏まえ，最近 10 年間のスロー地震に関するモニタリング結果に基づいて，スロー地震それぞれの特徴や相互作用等について概観する．

2．スロー地震の概観

スロー地震とは，通常の地震を引き起こす断層すべりに対してすべり速度や破壊伝播速度が遅く，観測される卓越周期や時定数が通常の地震に比べて長い地震現象の総称であり，これまでに数種類のスロー地震の存在が明らかになっている．図 1 は，沈み込み帯で発生するスロー地震を巨大地震震源域（固着域）に対する発生深度と特徴的時間で分類したものである．世界各地域で検出されるスロー地震は様々であるが，南海トラフ周辺では最も多くの種類のスロー地震が検出されているため，ここではそれについて示している．特徴的時間スケールでは，地震波を放射せず地殻変動のみが観測される測地学的イベントと地震波が観測される地震学的イベントに分類される．測地学的イベントはさらに数か月から数年の継続時間を有する「長期的 SSE」と数日程度の継続時間を有する「短期的 SSE」に，地震学的イベントは周期数 10 秒に卓越する「超低周波地震（VLF）」と数 Hz に卓越する「低周波微動」に分類される．

1．深部スロー地震

南海トラフの固着域のすぐ深部側には長期的 SSE が，さらにその深部側には深部低周波微動，深部 VLF，短期的 SSE が同時発生する ETS（Episodic Tremor and Slip）が分布する．また，これらの現象に比べると深度は浅いものの，房総 SSE も固着域の深部側に発生する現象である．

1.1　深部低周波微動

1995 年阪神・淡路大震災を契機として防災科学技術研究所（以下，防災科研）が全国に展開した高感度地震観測網（Hi-net）[4]により，陸域における微小振動に対する検知能力が格段に向上したことが背景となり，深部低周波微動が世界に先駆けて発見された[2]．微動は長野県南部から豊後水道に至る長さ約 600 ㎞の範囲にわたり，沈み込むフィリピン海プレートの等深線に沿って帯状に分布するが，いくつかのセグメントに分かれ，それぞれのセグメントではおおむね一定の周期で活発な微動エピソードが繰返し発生する[5]．微動エピソードは通常 1 日約 10 ㎞の速度でセグメント内をプレート走向方向に移動するが，時には隣接するセグメントに連動することもある[6]．微動エピソードは ETS として短期的 SSE や深部 VLF とともに発生する．つまり，微動は短期的 SSE すべり面内の小規模なパッチ破壊であり，微動の移動は短期的 SSE のすべりフロントの伝播と解釈される．なお，ETS を構成するなかでは，現象と観測網の特性から微動が最も検出されやすく，微動を ETS の代表，つまり短期的 SSE のプロキシとして取り扱うことが多い．

微動活動を詳細に観察すると，幅の狭い活動域の中でも深さ依存性を示し，最も深部側では小規模の微動がより頻繁に発生する[7]．また，1 日約 10 ㎞の速度で移動する中でもそれとは逆方向に高速度で移動する現象（Rapid Tremor Reversal: RTR）やプレート傾斜方向にさらに高速度で移動する現象も検出されている[8),9)]．

一方，微動は他の現象によって誘発されるという非常に敏感な性質を有する．例えば，遠地地震による表面波が伝播する際，10~100 秒の長周期表面波の各位相に対応して微動が活発化したり[10]，12 時間あるいは 24 時間周期で活発化する地球潮汐応答[11]が知られている．また，しばしばスラブ内地震によってもトリガーされることがあるが，実体波の到達から数分後に一時的に微動が発生することが多く，その遅延も含めて誘発微動のメカニズムはまだ明らかではない．

微動は低周波地震の群発であり[12]，初動の立ち上がりを検出することが困難であるため，エンベロープを用いた震源決定がなされてきている[2),13)]が，気象庁では通常の震源決定と同様の手法で低周波地震の震源を決定し，一元化カタログに掲載している[14]．近年では，過去に発生した低周波地震をテンプレートとして連続波形記録から相関解析によりイベントを抽出するマッチドフィルター法[12]が盛んに用いられているが，気象庁でも 2018 年 3 月 22 日よりこの手法を導入し，大量の低周波地震を自動的に処理できるようになった[15]．一方，微動

の振幅はこれまであまり評価されてこなかったが，放射エネルギーの推定を適切に行いつつ微動源を再評価した結果，微動エネルギーの空間分布がフィリピン海プレート収束速度に比例することが明らかになった[16]．さらに，微動パッチ密度の不均質分布に関する研究などにも活用されている[17]．

1.2　深部 VLF

深部 ETS に同期し，周期数 10 秒に卓越する超低周波地震（VLF）が 2007 年に発見された[6]．この現象は，モーメントテンソル解析によりフィリピン海プレートの沈み込みに伴う逆断層の発震機構解を有することが推定され，このことは ETS そのものがプレート境界での逆断層すべり現象である重要な証拠となった．深部 VLF の規模は Mw4 以下であり，その分布は深部低周波微動の分布に比べると空間的不均質性が強い[18]．しかし，微動（低周波地震）の発生をリファランスに広帯域波形をスタックすることで，深部低周波微動の活動領域全体に深部 VLF が起きていることが確認された[19]．また，そこで得られた発震機構解をテンプレートとしたマッチドフィルター法によって深部 VLF の網羅的検出がなされ，その時空間的特徴が明らかにされた[20]．

1.3　短期的 SSE（ETS）

北米大陸西海岸の Cascadia では 2001 年に短期的 SSE が発見され[21]，西南日本での微動発見を契機として短期的 SSE と微動の同時発生現象である ETS が 2003 年に世界で初めて報告された[22]．この観測事実に基づいて，西南日本でも微動に同期した SSE が予想され，防災科学技術研究所の高感度地震観測網 Hi-net に併設された傾斜計（高感度加速度計水平動成分 DC 出力）[23]によって実際に短期的 SSE が 2004 年に確認された[24]．

当初は防災科研の傾斜計で把握されるのみであったが，2005 年の東海地域で発生した短期的 SSE が気象庁ひずみ計で初めて認識されて以降，気象庁及び産業技術総合研究所のひずみ計でも頻繁に検出されるようになった．また，地表変位パターンのフィッティングにより国土地理院の GNSS でも短期的 SSE の検出が可能となり[25]，さらに観測事例が増加している．

短期的 SSE と微動との関係について時空間発展インバージョンに基づくすべりと微動の分布を比較すると，微動はすべりのピークにほぼ一致する[26]．このことは，微動が SSE 断層（非地震性すべり）面に分布する地震性パッチの遅れ破壊であることを示すとともに，すべりのインディケーターとして微動が利用できることを意味している．一方，微動と短期的 SSE が必ずしも一致しない場合がある．例えば，東海と紀伊半島のセグメントでは通常それぞれ独立に ETS が発生するが，たまに 2 つのセグメントが連動し，両セグメントにおける微動の時間発展が一つの線形回帰直線で近似できるような挙動を示すことがある．その際に，中間の伊勢湾では常に微動は検知されないが，傾斜計等によってすべりの発生が推定される[27]．つまり，ETS が伊勢湾を超えてセグメントを超える際にセグメント境界では微動を起こさずにすべりだけが連続的に進行することを示している．このように，ギャップを挟んで微動が連続的に移動する例は四国中部・東部でも見られ[28]，ここではギャップでのすべりそのものは観測されないが，伊勢湾と同様のことが起きていると推測される．このような微動とすべりの不一致はおそらく断層面上の微動パッチの不均質分布を反映するものと考えられる．

ETS はその浅部側で発生する長期的 SSE にトリガーされる場合がある（次節）．一方，微動エピソードの発生タイミングで GNSS データをスタックした結果，深部の微動域から少し浅部側に離れた固着域下端部でもわずかな滑りが検出されたとの報告が最近なされた[29]．このような現象は，プレート境界のレオロジーや流体移動に関係する可能性がある．

1.4　深部長期的 SSE

固着域より深部で発生する長期的 SSE は，国土地理院 GNSS 連続観測システム GEONET が全国展開されたことにより，1997 年に豊後水道で[1]，2000 年後半に東海地域で[30]発見された．最近の約 10 年間では紀伊水道[31]，四国中部[32),33]，宮崎県沿岸北部[34), 35]，宮崎県沿岸南部[36]，などでも検出が相次ぎ，ETS 域と巨大地震震源域との間のギャップを徐々に埋めてきた．

長期的 SSE の規模や継続時間，発生間隔はそれぞれの場所で概ね定まった特性を有する．豊後水道では Mw6.8 前後の SSE が半年程度継続し，1997 年以降は 2003 年，2010 年と約 6 ～ 7 年の間隔で繰り返し発生してきた．その後，同規模の SSE は 2019 年に発生したが，その間の 2014 年と 2016 年に Mw6.3 前後の小規模な SSE が発生しており，これらの小規模な SSE によって部分的に応力が解放され，大規模 SSE の発生を遅らせた可能性がある．また，豊後水道を含む宮崎県沿岸南部から四国中部にかけての地域では SSE がいくつかのセグメントに分かれ，それぞれ周期的に発生するとともに南西から北東に向かって繰り返し連動している[35]．したがってそれぞれの SSE は隣接する SSE に影響を受けるとともに，これらの SSE のすべり分布は浅部側における大地震時のすべり分布と相補的な関係にあることから，その領域のプレート間カップリングに支配されている可能性がある．東海では Mw7 級の SSE が 2000 年後半か

ら 5 年程度継続したが，その前後では 1989 年から 2 年程度 [37]，及び 2013 年から 2 年程度，小規模な SSE が発生しており [38]，周期性は必ずしも規則的とは言えない．

豊後水道で発生する長期的 SSE については，その下端側に分布する深部低周波微動が SSE 活動期間中に活発化するという相互作用が度々観測される [39]．微動の活発化は微動域の中でも浅部，つまり長期的 SSE の断層面に接する部分のみに限られ，深部の微動活動は長期的 SSE の発生の有無にかかわらずほぼ一定レートで発生していることから，相互作用は主たるイベントからの距離に大きく依存する．例えば，2014 年と 2016 年の小規模な長期的 SSE が発生したとき，前者は活発な微動活動を伴う一方，後者は微動活動を伴わなかったが，SSE の発生位置が前者は北側，つまり微動域に隣接する領域であったのに対して，後者はやや南方に離れていたためと考えられる．

1.5　房総 SSE

房総半島の東岸部及び沖合では SSE が約 6 年周期で発生し，それぞれの規模は Mw6.5 前後，継続期間は 1 週間程度である．この SSE は深さ約 10 ～ 20 km と前節までの西南日本の深部スロー地震よりは浅い．また，通常の地震の群発活動や小繰返し地震が房総 SSE に伴ってそのすべり域の下端側で発生する [40]．2018 年 6 月に発生した房総 SSE の際には地震調査研究推進本部地震調査委員会が中規模程度の地震との関連性について言及し [41]，実際に震度 4 の地震が発生した．平均間隔は 2010 年までは約 6 年であったが，2011 年の東北地方太平洋沖地震（以下，東北沖地震）でリセットされて短くなり，その後は間隔が長くなる傾向にある．東北沖地震の発生時は余震や余効すべりの影響で GNSS や傾斜計に SSE の有意な変化をとらえることはできないが，小繰返し地震が検出されたことから，小規模な SSE が発生していたと推定される [42]．また，房総 SSE の時空間発展解析から，群発地震の移動がすべりの移動によって引き起こされていること，2014 年の SSE ではすべりの急速な発展の 1 か月前から徐々に加速していく様子が明らかにされた [43]．

2．浅部スロー地震

沈み込みプレート境界の固着域と南海トラフとの間の領域でも多様なスロー地震の検出が報告されている．ここでは南海トラフだけでなく日本・千島海溝および南西諸島付近に発生するスロー地震を概観する．

2.1　浅部 VLF

浅部におけるスロー地震活動としては，防災科研 F-net の連続波形データに基づいて浅部 VLF の存在が 2003 年に明らかになり [44]，その後防災科研 Hi-net の高感度加速度計データを用いて浅部 VLF が南海トラフ陸側の数か所で時空間的に集中して発生していることが明らかになった [45]．この浅部 VLF の発見はその後の深部 VLF の発見 [6] につながった．一方，浅部 VLF は南海トラフだけでなく南西諸島海溝付近 [46]，十勝沖 [47] や日本海溝付近 [48] でも検出された．浅部 VLF の発震機構解についてはプレート境界面よりはやや高角に傾斜した逆断層のメカニズムが推定され，付加体内の分岐断層との関連が指摘された [49]．

以上は陸域の広帯地震観測網のデータを用いた解析であったが，最近 10 年間で海域の臨時・定常観測に基づく研究成果が次々と発表されてきた．紀伊半島南東沖に展開された機動的広帯域地震観測網によって浅部 VLF が検出され，ほぼ水平の断層面を有する発震機構解が得られた [50]．このことは，浅部 VLF がデコルマ面やプレート境界面でのすべりであることを示唆する．その後，紀伊半島南東沖や紀伊水道沖に展開されたケーブル式海底地震計観測網 DONET-1,2 を用いて浅部 VLF の検出がなされている [51]．DONET を用いた重要な成果のひとつは，1~10 秒帯域におけるスロー地震現象の発見である [52]．この帯域は微動と VLF の間で脈動が卓越しているため現象の検出が困難であったが，2016 年紀伊半島南東沖の地震後に同海域における微動や VLF が活発化し，それらをもとにスタッキングした結果，検出が可能となった．

一方，解析手法の進展により，陸域の広帯域データを用いて VLF 活動の詳細な描像が明らかになってきた．南海トラフ付近では 3 次元グリーン関数を用いた CMT 解析により，海底地震計による結果と同様の低い傾斜角を有する発震機構解が得られ [53]，さらに CMT 解析を利用した長期間カタログによる VLF 活動度の時空間変化が明らかになった [54]．東北沖ではプレート境界面における逆断層すべりを仮定して計算された理論波形をテンプレートにしたマッチドフィルター法により浅部 VLF が網羅的に検出され，東北沖地震の大すべり域とその周辺の余効すべり域とでは，東北沖地震前後の時系列変化が逆になることが見い出された [55]．

十勝沖で検出された浅部 VLF は，2003 年の十勝沖地震の直後に活発化し，その後次第に活動が低下していった [47] が，その VLF 地震活動積算個数変化は十勝沖地震の余効すべりによって生じた地殻変動パターンと非常によく似ており，浅部 VLF がプレート間すべりを反映していることが示唆される．

浅部 VLF は，深部スロー地震と同様に他の現象によって誘発されることがある．例えば，2003 年十勝沖地震

によって日向灘で，また 2004 年紀伊半島南東沖地震によって同地域の VLF が活発化した [47]．また，南西諸島の VLF は干潮時に活動が最大になるという潮汐応答を示し，その応答の程度は地域依存性や季節依存性を有する [56]．

2.2　浅部微動

紀伊半島南東沖の機動的海底地震観測により，海底下での低周波微動が 2009 年に初めて観測された [57]．また日向灘の浅部 VLF 活動域でも機動的海底地震観測によって 1 か月程度継続する活発な低周波微動が捉えられた [58]．この微動活動は陸域観測網で捉えられた浅部 VLF と震央位置及び時系列変化がほぼ一致し，浅部微動と浅部 VLF が一体的に発生することを示す初めての結果である．また，震源直上で精度の良い微動分布が得られ，速度約 20 km/day と約 200 km/hour の 2 種類の微動移動モードが存在することがわかった．後者の高速移動は前者の低速移動に対して逆向きであり，深部微動における RTR とよく似ている．以上の観測事実から，浅部でも深部同様の ETS 活動が発生し，サイスミックなスロー地震現象の背後で浅部 SSE が起きていることが予想された．

一方，東北地方太平洋沖には，2011 年東北沖地震発生前から海底地震計が設置されており，その解析から浅部微動の発生が指摘された [59]．その後防災科研によってケーブル式海底地震・津波観測網 S-net が構築され，日本海溝付近における低周波微動が発見された [60),61]．この低周波微動は浅部 VLF とほぼ同期して発生し，また明瞭な移動現象を伴うことから，深部の微動活動と非常によく似た特徴を有している．

2.3　浅部 SSE

南西諸島では，その南西部に位置する西表島付近にて，継続期間約 1 カ月，Mw6.7 程度の SSE が約半年周期で繰り返し発生している [62]．さらに継続期間が数日程度で Mw6.4 程度の 短期 SSE が沖縄島付近などでも検出されている [63]．これらの SSE の多くは深部スロー地震に分類されると考えられるが，一部は海溝付近に推定されており，また浅部 VLF 等との相互作用も見られるため，海溝軸付近の浅部スロー地震としての活動を含んでいる可能性がある．

一方，紀伊半島南東沖に設置された間隙水圧計によって，浅部 VLF や微動に同期した圧力変化が観測され，トラフ付近の逆断層面で発生した浅部 SSE であることが明らかにされた [64]．海底の間隙水圧変化と浅部 VLF との関係については室戸沖で既に報告されている [65]が，浅部 SSE と認識されたのはこれが初めてである．しかもその圧力変化パターンが，それに同期して発生した浅部 VLF の積算モーメントの時系列変化と非常に良く一致し，両者が同一断層面における共通のすべり過程で生成することを示すとともに，浅部でも深部同様の ETS が起きている証拠を示した重要な結果である [51]．

近年，海上保安庁の音響 GNSS 観測点が南海トラフに沿って広く多点展開されるようになった結果，海域におけるプレート間カップリングの空間分布が明らかにされた [66]．また，紀伊水道沖では複数の観測点で 2018 年から約 2 年程度ゆっくりと変化する海底変位が捉えられ，南海トラフにほぼ接するような断層面が推定されたとともに，これと同様の長期的な SSE は 2009 年にもほぼ同じ場所で観測されている [67]．これらの長期的 SSE に同期して，浅部 VLF が移動を伴って活発化したという報告もある [68]．

東北地方太平洋沖では，東北沖地震発生前から設置されていた海底圧力計にて，2008 年および 2011 年の東北地震発生前に浅部 SSE が捉えられていた [69]．また，東北沖地震発生の 1 か月前と 2 日前にそれぞれ前震活動が起こり，陸域の高感度地震観測網のデータ解析から，いずれの前震活動も東北沖地震本震破壊開始点に向かって移動していたこと，およびこれらの活動の中には小繰り返し地震が含まれていたことが明らかになった [70]．このことは，東北沖地震発生直前に SSE が 2 回発生し，いずれも本震破壊開始点に向かって移動したことで破壊開始点付近に応力を載荷させ，その結果として東北沖地震が発生した可能性を示唆する．

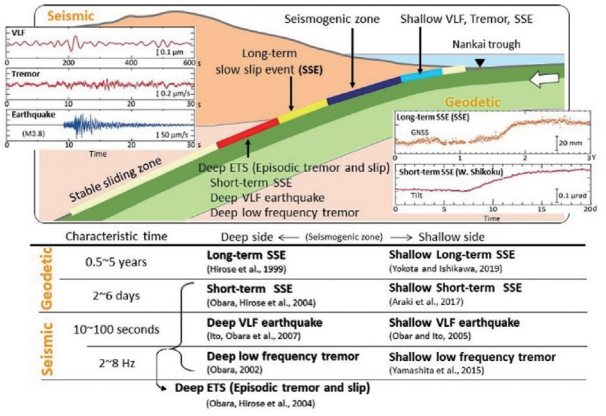


図 1　南海トラフ沈み込み帯におけるスロー地震の模式的断面図と分類表

参考文献

1) Hirose, H., K. Hirahara, F. Kimata, N. Fujii, and S. Miyazaki, 1999. A slow thrust slip event following the two 1996 Hyuganada earthquakes beneath the Bungo Channel, southwest Japan. *Geophysical Research Letters*, 26, 3237-3240.

2) Obara, K., 2002. Nonvolcanic deep tremor associated with subduction in southwest Japan, *Science*, 296,

1679-168.

3) 小原一成，2009．13．短期的スロースリップ・深部低周波微動，地震予知連絡会 40 年のあゆみ，27-33.

4) Okada, Y., K. Kasahara, S. Hori, K.Obara, S. Sekiguchi, H. Fujiwara, & A. Yamamoto, 2004. Recent progress of seismic observation networks in Japan—Hi-net, F-net, K-net and KiK-net. *Earth, Planets and Space*, 56(8), 15-18, https://doi.org/10.1186/BF03353076

5) Obara, K., 2010. Phenomenology of deep slow earthquake family in southwest Japan: Spatiotemporal characteristics and segmentation, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 115, B00A25, https://doi.org/10.1029/2008JB006048.

6) Ito, Y., K. Obara, K. Shiomi, S. Sekine, & H. Hirose, 2007. Slow earthquakes coincident with episodic tremors and slow slip events, Science, 315, 503-506.

7) Obara, K., S. Tanaka, T. Maeda, & T. Matsuzawa, 2010. Depth-dependent activity of non-volcanic tremor in southwest Japan, *Geophysical Research Letters*, GL43679.

8) Obara, K., T. Matsuzawa, S. Tanaka, & T. Maeda, 2012. Depth-dependent mode of tremor migration beneath Kii Peninsula, Nankai subduction zone, *Geophysical Research Letters*, 39, L10308, https://doi.org/10.1029/2012GL051420

9) Shelly, D.R., G.C. Beroza, & S. Ide, 2007a. Complex evolution of transient slip derived from precise tremor locations in western Shikoku, Japan, *Geochem. Geophys. Geosyst.* 8, Q10014, https://doi.org/10.1029/2007GC001640.

10) Miyazawa, M., & J. Mori, 2006. Evidence suggesting fluid flow beneath Japan due to periodic seismic triggering from the 2004 Sumatra‐Andaman earthquake, *Geophysical Research Letters*, 33, L05303, https://doi.org/10.1029/2005GL025087.

11) Nakata, R., N. Suda, & H. Tsuruoka, 2007. Non-volcanic tremor resulting from the combined effect of Earth tides and slow slip events, *Nature Geoscience*, 1, 676—678.

12) Shelly, D., G. Beroza, & S. Ide, 2007b. Non-volcanic tremor and low-frequency earthquake swarms, Nature 446, 305–307, https://doi.org/10.1038/nature05666.

13) Ide, S., 2010. Striations, duration, migration and tidal response in deep tremor, *Nature*, 466, 356–360, https://doi.org/10.1038/nature09251.

14) Katsumata, A. & N. Kamaya, 2003. Low-frequency continuous tremor around the Moho discontinuity away from volcanoes in the southwest Japan. *Geophysical Research Letters*, 30, https://doi.org/10.1029/2002GL015981.

15) 気象庁，2018. 南海トラフ周辺の地殻活動（2017 年 11 月～ 2018 年 4 月），地震予知連絡会報 , 100, 219-239, https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou100/08_05.pdf.

16) Annoura, S., K. Obara, & T. Maeda, 2016. Total energy of deep low-frequency tremor in Nankai subduction zone, southwest Japan, *Geophysical Research Letters*, 43, 2562–2567, https://doi.org/10.1002/2016GL067780.

17) Kano, M., A. Kato, R. Ando, & K. Obara, 2018. Strength of tremor patches along deep transition zone of a megathrust. *Scientific Reports*, 8, 3655, https://doi.org/10.1038/s41598-018-22048-8.

18) Ito, Y., K. Obara, T. Matsuzawa, & T. Maeda, 2009. Very low frequency earthquakes related to small asperities on the plate boundary interface at the locked to aseismic transition, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 114, B00A13, https://doi.org/10.1029/2008JB006036.

19) Ide, S., & S. Yabe, 2014. Universality of slow earthquakes in the very low frequency band, *Geophysical Research Letters*, 41, 8, 2786-2793, https://doi.org/10.1002/2014GL059712.

20) Baba, S., A. Takeo, K. Obara, A. Kato, T. Maeda & T. Matsuzawa, 2018. Temporal Activity Modulation of Deep Very Low Frequency Earthquakes in Shikoku, Southwest Japan, *Geophysical Research Letters*, 45, 2, 733-738, https://doi.org/10.1002/2017GL076122.

21) Dragert, H., K. Wang, & T. S. James, 2001. A silent slip event on the deeper Cascadia subduction interface, *Science*, 292, 1525–1528, https://doi.org/10.1126/science.1060152.

22) Rogers, G., & H. Dragert, 2003. Episodic tremor and slip on the Cascadia subduction zone: The chatter of silent slip, *Science*, 300, 1942–1943, https://doi.org/10.1126/science.1084783.

23) Obara, K., K. Kasahara, S. Hori, & Y. Okada, 2005. A densely distributed high-sensitivity seismograph network in Japan: Hi-net by National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, *Rev. Sci. Instrum.*, 76, 021301, https://doi.org/10.1063/1.1854197.

24) Obara, K., H. Hirose, F. Yamamizu, & K. Kasahara, 2004. Episodic slow slip events accompanied by non-volcanic tremors in southwest Japan subduction zone, *Geophysical Research Letters*, 31 (23), L23602, https://doi.org/10.1029/2004GL020848.

25) Nishimura, T., T. Matsuzawa, & K. Obara, 2013. Detection of short-term slow slip events along the Nankai Trough, southwest Japan, using GNSS data, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 118, 6, (3112-3125), https://doi.org/10.1002/jgrb.50222.

26) Hirose, H., & K. Obara, 2010. Recurrence behavior of short-term slow slip and correlated nonvolcanic tremor episodes in western Shikoku, southwest Japan, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 115, B00A21, https://doi.org/10.1029/2008JB006050.

27) Obara, K., & S. Sekine, 2009. Characteristic activity and migration of episodic tremor and slow-slip events in central Japan, *Earth, Planets and Space* 61, 853-862.

28) Obara, K., T. Matsuzawa, S. Tanaka, T. Kimura, and T. Maeda, 2011. Migration properties of non-volcanic tremor in Shikoku, *Geophysical Research Letters*, 38, L09311, https://doi.org/10.1029/2011GL047110.

29) Kano, M., A. Kato, & K. Obara, 2019. Episodic tremor and slip silently invades strongly locked megathrust in the Nankai Trough, *Scientific Reports*, 9, 9270, https://doi.org/10.1038/s41598-019-45781-0.

30) Ozawa, S., M. Murakami, M. Kaidzu, T. Tada, Y. Hatanaka, H. Yarai, & T. Nishimura, 2002. Detection and monitoring of ongoing aseismic slip in the Tokai region, Central Japan, *Science*, 298, 1009-1012, https://doi.org/10.1126/science.1076780.

31) Kobayashi, A. 2014. A long-term slow slip event from 1996 to 1997 in the Kii Channel, Japan, *Earth, Planets and Space*, 66, 9, https://doi.org/10.1186/1880-5981-66-9.

32) Kobayashi, A., 2017. Objective detection of long-term slow slip events along the Nankai Trough using GNSS data (1996–2016), *Earth, Planets and Space*, 69 (1), 171, https://doi.org/10.1186/s40623-017-0755-7.

33) Takagi, R., K. Obara, & T. Maeda, 2016. Slow slip event within a gap between tremor and locked zones in the Nankai subduction zone, *Geophysical Research Letters*, 43, 1066–1074, https://doi.org/10.1002/2015GL066987.

34) Ozawa, S., 2017. Long - term slow slip events along the Nankai trough subduction zone after the 2011 Tohoku earthquake in Japan, *Earth, Planets and Space*, 69(1), 56, https://doi.org/10.1186/s40623-017-0640-4.

35) Takagi, R., N. Uchida, & K. Obara, 2019. Along - strike variation and migration of long - term slow slip events in the western Nankai subduction zone, Japan, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124, 3853–3880, https://doi.org/10.1029/2018JB016738.

36) Yarai, H., & S. Ozawa, 2013. Quasi - periodic slow slip events in the afterslip area of the 1996 Hyuga - nada earthquakes, Japan, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 118, 2512–2527, https://doi.org/10.1002/jgrb.50161.

37) Yamamoto, E., S. Matsumura, & T. Ohkubo, 2005. A slow slip event in the Tokai area detected by tilt and seismic observation and its possible recurrence, *Earth, Planets and Space*, 57, 917–923, https://doi.org/10.1186/BF03351871.

38) Ozawa, S., M. Tobita, & H. Yarai, 2016. A possible restart of an interplate slow slip adjacent to the Tokai seismic gap in Japan, *Earth, Planets and Space*, 68, 54, doi:10.1186/s40623-016-0430-4.

39) Hirose, H., Y. Asano, K. Obara, T. Kimura, T. Matsuzawa, S. Tanaka, & T. Maeda, 2010. Slow earthquakes linked along dip in the Nankai subduction zone, *Science*, 330, 1502.

40) Hirose, H., H. Kimura, B. Enescu, & S. Aoi, 2012. Recurrent slow slip event likely hastened by the 2011 Tohoku earthquake, *Proc. National Academy Sciences USA*, 109, 38, 15157–15161, https://doi.org/10.1073/pnas.1202709109.

41) 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2018. 2018 年 6 月の地震活動の評価, https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2018/2018_06.pdf.

42) Kato A, T. Igarashi, & K. Obara, 2014. Detection of a hidden Boso slow slip event immediately after the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki earthquake, Japan, *Geophysical Research Letters*, 41, 5868–5874, https://doi.org/10.1002/2014GL061053.

43) Fukuda, J., 2018. Variability of the space-time evolution of slow slip events off the Boso Peninsula, central Japan, from 1996 to 2014, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123, 732–760,

https://doi.org/10.1002/2017JB014709.

44) Ishihara, Y., 2003. Major existence of very low frequency earthquakes in background seismicity along subduction zone of south-western Japan, *Eos Trans. AGU*, 84(46), Fall Meet. Supl. Abstract, S41C-0107.

45) Obara, K. & Y. Ito, 2005. Very low frequency earthquake excited by the 2004 off the Kii peninsula earthquake: A dynamic deformation process in the large accretionary prism, *Earth, Planets and Space*, 57, 321-326.

46) Ando, M., Y. Tu, H. Kumagai, Y. Yamashita, & C. H. Lin, 2012. Very low-frequency earthquakes along the Ryukyu subduction zone, *Geophysical Research Letters*, 39, L04303, https://doi.org/10.1029/2011GL050559.

47) Asano, Y., K. Obara, & Y. Ito, 2008. Spatiotemporal distribution of very-low frequency earthquakes in Tokachi-oki near the junction of the Kuril and Japan trenches revealed by using array signal processing, *Earth, Planets and Space*, 60, 871–875.

48) Matsuzawa, T., Y. Asano, & K. Obara, 2015. Very low frequency earthquakes off the Pacific coast of Tohoku, Japan, *Geophysical Research Letters*, 42, 4318–4325, https://doi.org/10.1002/2015GL063959.

49) Ito, Y., K. & Obara, 2006. Dynamic deformation of the accretionary prism excites very low frequency earthquakes, *Geophysical Research Letters*, 33, L02311, https://doi.org/10.1029/2005GL025270.

50) Sugioka, H., T. Okamoto, T. Nakamura, Y. Ishihara, A. Ito, K. Obana, M. Kinoshita, K. Nakahigashi, M. Shinohara & Y. Fukao, 2012. Tsunamigenic potential of the shallow subduction plate boundary inferred from slow seismic slip, *Nature Geoscience*, 5(6), 414–418, https://doi.org/10.1038/ngeo1466.

51) Nakano, M., T. Hori, E. Araki, S. Kodaira, & S. Ide, 2018. Shallow very-low-frequency earthquakes accompany slow slip events in the Nankai subduction zone, *Nature Communications*, 9(1), 984, https://doi.org/10.1038/s41467-018-03431-5.

52) Kaneko, L., S. Ide, & M. Nakano, 2018. Slow earthquakes in the microseism frequency band (0.1–1.0 Hz) off Kii Peninsula, Japan, *Geophysical Research Letters*, 45, 2618–2624, https://doi.org/10.1002/2017GL076773.

53) Takemura, S., T. Matsuzawa, T. Kimura, T. Tonegawa, & K. Shiomi, 2018. Centroid moment tensor inversion of shallow very low-frequency earthquakes off the Kii Peninsula, Japan, using a three-dimensional velocity structure model, *Geophysical Research Letters*, 45, 6450–6458, https://doi.org/10.1029/2018GL078455.

54) Takemura, S., T. Matsuzawa, A. Noda, T. Tonegawa, Y. Asano, T. Kimura, & K. Shiomi, 2019. Structural characteristics of the Nankai Trough shallow plate boundary inferred from shallow very low frequency earthquakes, *Geophysical Research Letters*, 46(8), 4192– 4201, https://doi.org/10.1029/2019GL082448.

55) Baba, S., A. Takeo, K. Obara, T. Matsuzawa, & T. Maeda, 2019. Comprehensive detection of very low frequency earthquakes off the Hokkaido and Tohoku Pacific coasts, northeastern Japan, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, https://doi.org/10.1002/2019JB017988.

56) Nakamura, M., & K. Kakazu, 2017. Tidal sensitivity of shallow very low frequency earthquakes in the Ryukyu trench, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122, 1221-1238, https://doi.org/10.1002/2016JB013348.

57) Obana, K., & S. Kodaira, 2009. Low-frequency tremors associated with reverse faults in a shallow accretionary prism, *Earth and Planetary Science Letters*, 287(1-2), 168-174, https://doi.org/10.1016/j.epsl.2009.08.005.

58) Yamashita, Y., H. Yakiwara, Y. Asano, H. Shimizu, K. Uchida, S. Hirano, K. Umakoshi, H. Miyamachi, M. Nakamoto, M. Fukui, M. Kamizono, H. Kanehara, T. Yamada, M. Shinohara, & K. Obara, 2015. Migrating tremor off southern Kyushu as evidence for slow slip of a shallow subduction interface, *Science*, 348(6235), 676–679, https://doi.org/10.1126/science.aaa4242.

59) Ito, Y., R. Hino, S. Suzuki, & Y. Kaneda, 2015. Episodic tremor and slip near the Japan Trench prior to the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geophysical Research Letters*, 42, 1725–1731.

60) Tanaka, S., T. Matsuzawa, & Y. Asano, 2019. Shallow low frequency tremor in the Northern Japan Trench subduction zone, *Geophysical Research Letters*, 46, 5217–5224, https://doi.org/10.1029/2019GL082817.

61) Nishikawa, T., T. Matsuzawa, K. Ohta, N. Uchida, T. Nishimura, & S. Ide, 2019. The slow earthquake spectrum in the Japan Trench illuminated by the S-net seafloor observatories, *Science*, 365, 808-813, https://doi.org/10.1126/science.aax5618.

62) Heki, K., & T. Kataoka, 2008. On the biannually repeating slow slip events at the Ryukyu trench, southwestern Japan, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 113, B11402, https://doi.org/10.1029/2008JB005739.
63) Nishimura, T., 2014. Short-term slow slip events along the Ryukyu trench, southwestern Japan, observed by continuous GNSS, *Progress in Earth and Planetary Science*, 1(1), 22, https://doi.org/10.1186/s40645-014-0022-5.
64) Araki, E., D. M. Saffer, A. J. Kopf, L. M. Wallace, T. Kimura, Y. Machida, S. Ide, E. Davis, & IODP Expedition 365 shipboard scientists, 2017. Recurring and triggered slow - slip events near the trench at the Nankai Trough subduction megathrust, Science, 356(6343), 1157-1160, https://doi.org/10.1126/science.aan3120.
65) Davis, E.E., K. Becker, K. Wang, K. Obara, Y. Ito, & M. Kinoshita, 2006. A discrete episode of seismic and aseismic deformation of the Nankai subduction zone accretionary prism and incoming Philippine Sea plate, *Earth and Planetary Science Letters*, 242, 73-84.
66) Yokota, Y., T. Ishikawa, S. Watanabe, T. Tashiro, & A. Asada, 2016. Seafloor geodetic constraints on interplate coupling of the Nankai Trough megathrust zone, *Nature*, 534(7607), 374– 377, https://doi.org/10.1038/nature17632.
67) Yokota, Y., & T. Ishikawa. 2020. Shallow slow slip events along the Nankai Trough detected by GNSS-A, *Science Advances*, 6, eaay5786, https://doi.org/ 10.1126/sciadv.aay5786.
68) Takemura, S., A. Noda, T. Kubota, Y. Asano, T. Matsuzawa, & K. Shiomi, 2019b. Migrations and Clusters of Shallow Very Low Frequency Earthquakes in the Regions Surrounding Shear Stress Accumulation Peaks Along the Nankai Trough, *Geophysical Research Letters*, 46, 21, 11830-11840, https://doi.org/10.1029/2019GL084666.
69) Ito, Y., R. Hino, M. Kido, H. Fujimoto, Y. Osada, & D. Inazu, 2013. Episodic slow slip events in the Japan subduction zone before the 2011 Tohoku-Oki earthquake, Tectonophysics, 600, 14-26, https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.08.022.
70) Kato, A., K. Obara, T. Igarashi, H. Tsuruoka, S. Nakagawa, & N. Hirata, 2012. Propagation of slow slip leading up to the 2011 Mw9.0 Tohoku-Oki earthquake, *Science*, 335(6069), 705–708, https://doi.org/10.1126/science.1215141.

3．南海トラフ地域のスロー地震

（1）　国土地理院による観測

国土地理院

1．はじめに

国土地理院では，GNSS 連続観測点網（GEONET）の観測結果を用い，全国の地殻変動のモニタリングを行っている．南海トラフ沿いについては，プレート境界の固着・すべりのモニタリングを行い，その結果を地震予知連絡会や南海トラフ評価検討会等に報告している．

南海トラフ地域では，フィリピン海プレートと陸側プレートの境界面において長期的スロー地震（SSE）が複数の地域で繰り返し発生している（図 1）ことが，GNSS 観測により検出されてきた．また，長期的 SSE の深部延長で，低周波地震（微動）に伴い，短期的 SSE が発生している [1)-2)]．これまで GNSS 観測では検出困難とされてきたが，最近，いくつかの手法が試みられている．

ここでは，この 10 年間で観測された南海トラフ沿いでの長期的 SSE について紹介するとともに，GNSS 観測結果に基づく短期的 SSE 検出技術の進展について紹介する．

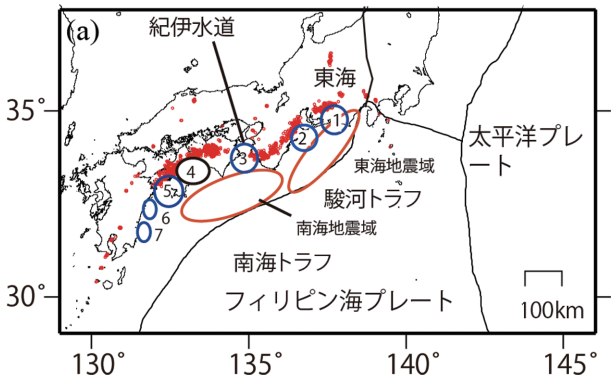


図 1　日本地域のテクトニクス図．赤点は，気象庁一元化震源による低周波地震（微動）．1：東海 SSE，2：志摩半島 SSE，3：紀伊水道 SSE，4：四国西部 SSE，5：豊後水道 SSE，6：日向灘北部 SSE，7：日向灘南部 SSE．赤線で囲まれた領域は，想定される東海及び南海地震の震源域を示す．

2．GNSS データによる長期的 SSE 解析

地殻変動のモニタリングにおいて非定常的な地殻変動が検出された際には，その地殻変動がプレート境界面上でのすべりに起因すると考えられる場合に，非定常地殻変動成分からプレート境界面上のすべりの推定を行っている．すべりの推定にあたっては，定常成分及び年周等の周期成分を除去して得られた非定常地殻変動成分の時系列データに対し時間依存インバージョンを適用し，プレート間のすべり分布及びその時間変化の推定を行っている．

南海トラフ沿いにおいては，2009 年からの 10 年間に，東海，紀伊水道，豊後水道，日向灘の各地域で長期的 SSE を検出している．本節では，これらの事例について紹介する．

2.1　東海 SSE

東海地方では，2000 年秋から 2005 年夏頃にかけて長期的 SSE が発生したことが知られている [3)-5)]．その際に観測された非定常的な地殻変動を図 2 に示す．この長期的 SSE の終息以降は，非定常的な地殻変動は観測されていなかったが，2011 年 3 月の東北地方太平洋沖地震の発生に伴い，この地域にも地震後の余効変動の影響が及び，モニタリングに影響を与えている．そのような中，2013 年頃から，東北地方太平洋沖地震の余効変動とは異なる非定常的な地殻変動が観測され，東海 SSE が再び発生した可能性が指摘された [6)]．図 3 に 2011 年以降の地殻変動時系列を幾つかの観測点に対して示している．

フィリピン海プレート境界面上のすべりを把握するためには，非定常的な地殻変動に重畳している余効変動を考慮する必要がある．ここでは便宜的に余効変動を太平洋プレート境界面でのすべりに起因すると仮定し，フィリピン海プレート境界面に加え，東北地方を含む広域で太平洋プレート境界面でのすべりも同時に推定することで，余効変動の影響の軽減を図ることとした．図 3 の上段は定常変動と周期成分を差し引いた地殻変動時系列を，下段は余効変動をプレート境界のすべりによるものとしてモデル化し，地殻変動データから差し引いた時系列図を示している．図 3 の下段に示されるように，南東方向の遷移的な変動が見える．東北地方太平洋沖地震の余効変動を除去した地殻変動の空間分布を図 4 に示す．浜名湖の西側で南東方向，東側で東南東方向の変動が見られる．この変動は，2000-2005 年の地殻変動（図 2）と非常によく似ており，東海地域での長期的 SSE の発生を示唆する．図 5 に，図 4 の非定常地殻変動から推定したプレート境界面上のすべりの推定結果を示す．

すべりの中心は浜名湖付近に推定された．推定されたモーメントマグニチュード（Mw）は，6.6 程度となっている．前回の SSE のすべり分布（灰色のコンター）と比較すると，すべりの中心がやや南側に位置している．2013 年頃に始まった東海 SSE は 2017 年頃には収束したと考えられる．

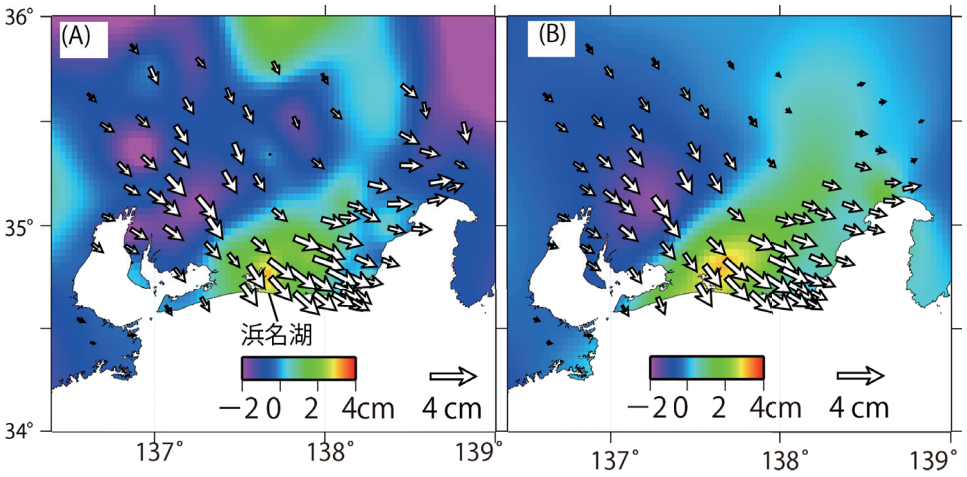


図 2　2000 ～ 2008 年の非定常地殻変動．定常期間は，2008 年 1 月から 2011 年 1 月で推定している．白矢印が水平変動，カラーが上下変動を示す．（A）観測値．（B）時間依存インバージョンによる計算値．

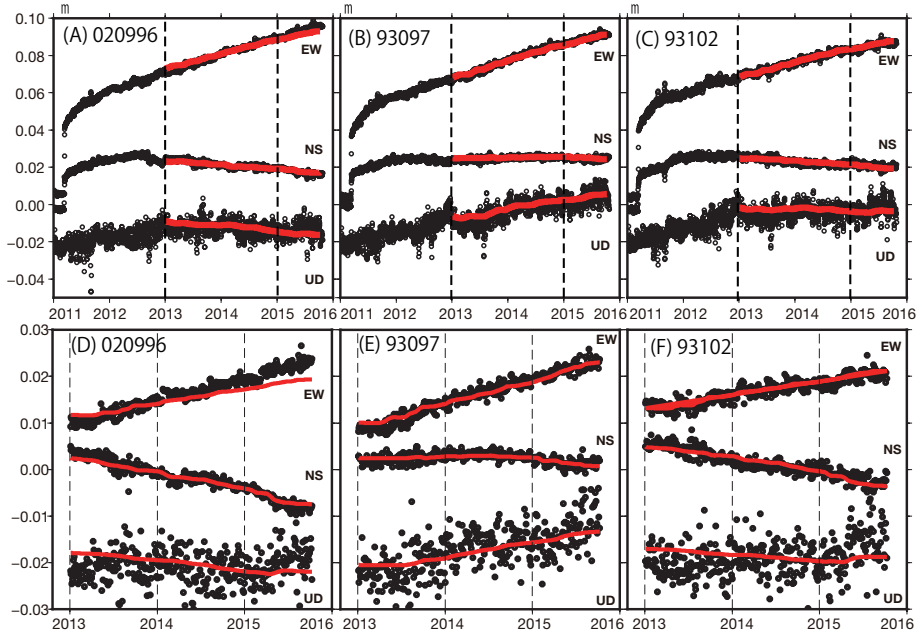


図 3　(A)-(C)　定常変動と周期成分を差し引いた地殻変動．定常変動は 2008 年 1 月から 2011 年 1 月，周期成分は 2012 年 1 月から 2015 年 10 月の観測結果から推定している．黒が観測値，赤は推定されたフィリピン海プレート上面のすべりから計算された値．観測点の位置は図 4 に示されている．
(D)-(F)　東北地方太平洋沖地震の余効変動を太平洋プレート上面のすべりによるものとしてモデル化し上段の図から差し引いたもの．

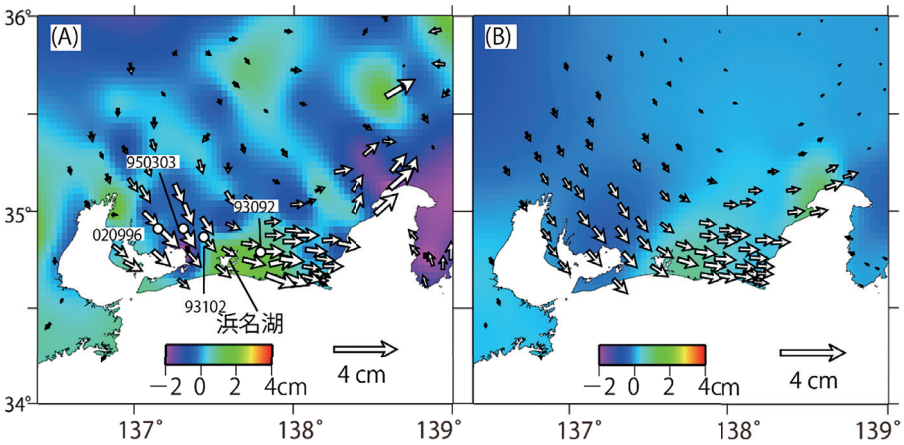


図 4　東北地方太平洋沖地震の影響を取り除いた地殻変動．白矢印が水平変動，カラーが上下変動．（A）観測値．（B）計算値．

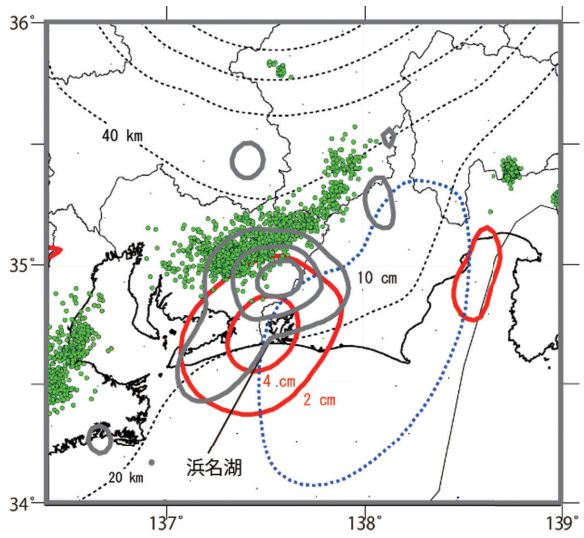


図 5　推定されたプレート間すべり．赤は 2013 年 1 月 -2015 年 10 月の推定すべり．浜名湖付近にすべりが見られる．灰色は 2000-2005 年の SSE．青破線は東海地震の想定震源域．緑丸は，気象庁一元化震源による低周波地震（微動）の震央．黒破線はプレート境界の等深線．

2.2　紀伊水道 SSE

2014 年頃から 2016 年 8 月頃にかけて，四国東部と紀伊半島で南東～東南東方向の非定常地殻変動が観測された 7)．この非定常的な地殻変動に基づき，時間依存インバージョンによりプレート境界面上のすべりを推定したところ，紀伊水道を中心としたすべりが推定された（図 7)．イベント全体での Mw は 6.5 程度と推定された．

紀伊水道では，1996-1997 年，2000-2002 年にも長期的 SSE が発生していたことが報告されている [8-9]．今回のイベントでもほぼ同じ領域ですべりが生じており，紀伊水道は，東海地域や豊後水道などと同様に長期的 SSE が繰り返し発生する領域と考えられる．

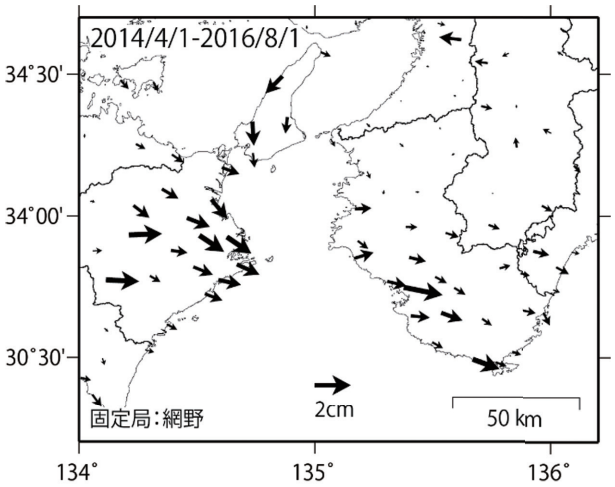


図 6　紀伊水道周辺の非定常地殻変動．定常期間は 2017 年～2018 年で推定している．

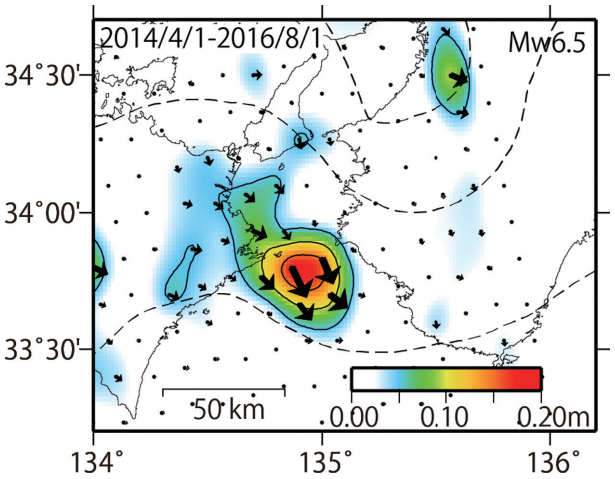


図 7　推定すべり分布．カラーと矢印が推定されたプレート間すべりを示す．

2.3　豊後水道 SSE

豊後水道では，1996-1998 年，2003-2005 年，2009-2011 年，2018-2019 年の 4 回，長期的 SSE が発生している [10)-14)]．これら 4 回の SSE の際の水平及び上下の非定常地殻変動を，それぞれ図 8 及び図 9 に示す．定常期間の設定は，2018-19 年のイベントについては 2017 年 1 月～ 2018 年 1 月を，それ以外については 2006 年 3 月～ 2009 年 4 月の変動を定常期間としている．豊後水道周辺で南東向きの 3cm に達する地殻変動が 4 回の SSE で観測されている．

また，四国西南部の豊後水道周辺では隆起となっている．この地殻変動に基づき推定された豊後水道域のプレート境界すべりを図 10 に示す．豊後水道でのプレート間すべりが推定されている．

図 11 は，2018-2019 年に発生したプレート境界すべりの時空間変化を示す．この図に示されるように，日向灘北部で 2018 年 6 月頃に長期的 SSE が発生し，10 月頃に減衰し，その後豊後水道及びその周辺でプレート間すべりが発生している．このすべり過程は，最大すべり速度時に四国側から九州側へとすべり域が移動していた過去の豊後水道 SSE[13] と異なっており，熊本地震による応力変化の擾乱が影響している可能性がある．

なお，豊後水道では，上記の規模の大きな長期的 SSE 以外にも，2014 年及び 2015 年に小規模な長期的 SSE が発生している [15),16)]．過去には 2006 年に小規模な長期的 SSE が発生しており [17)]，6 ～ 7 年周期の大規模な長期的 SSE の間に小規模な長期的 SSE も発生する領域といえる．

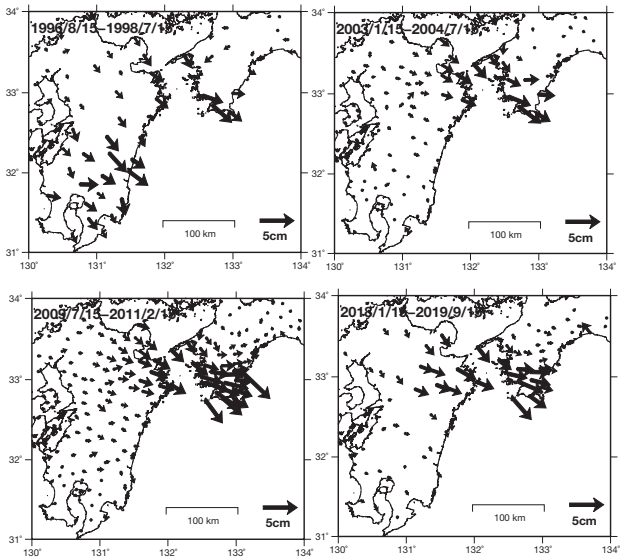


図 8　遷移的な地殻水平変動

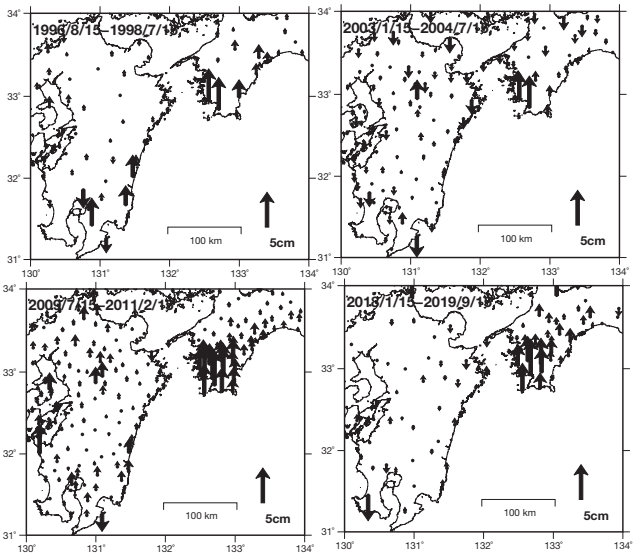


図 9　遷移的な地殻上下変動

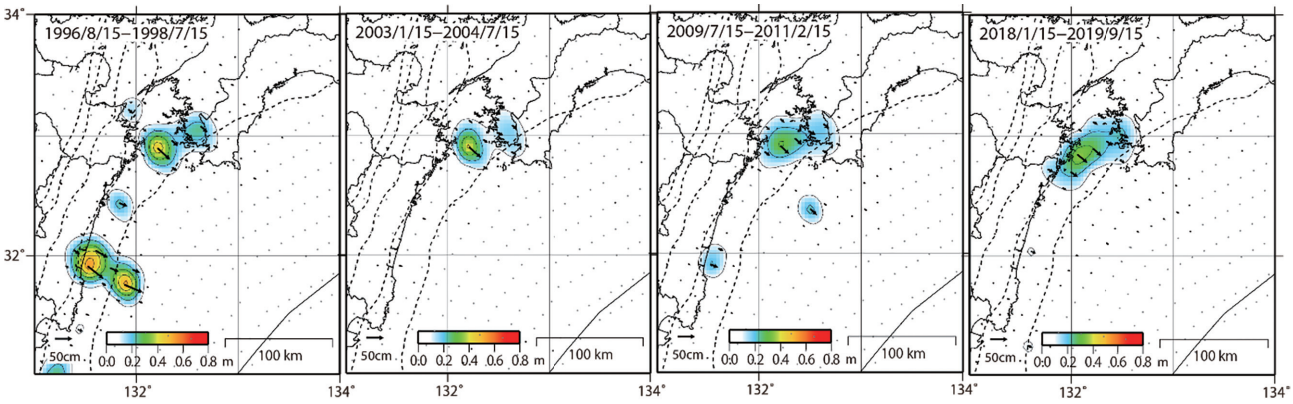


図 10　豊後水道の推定すべり分布．1996-1998 年の日向灘域のプレート間すべりは，主に 1996 年の日向灘地震のアフタースリップを示している．

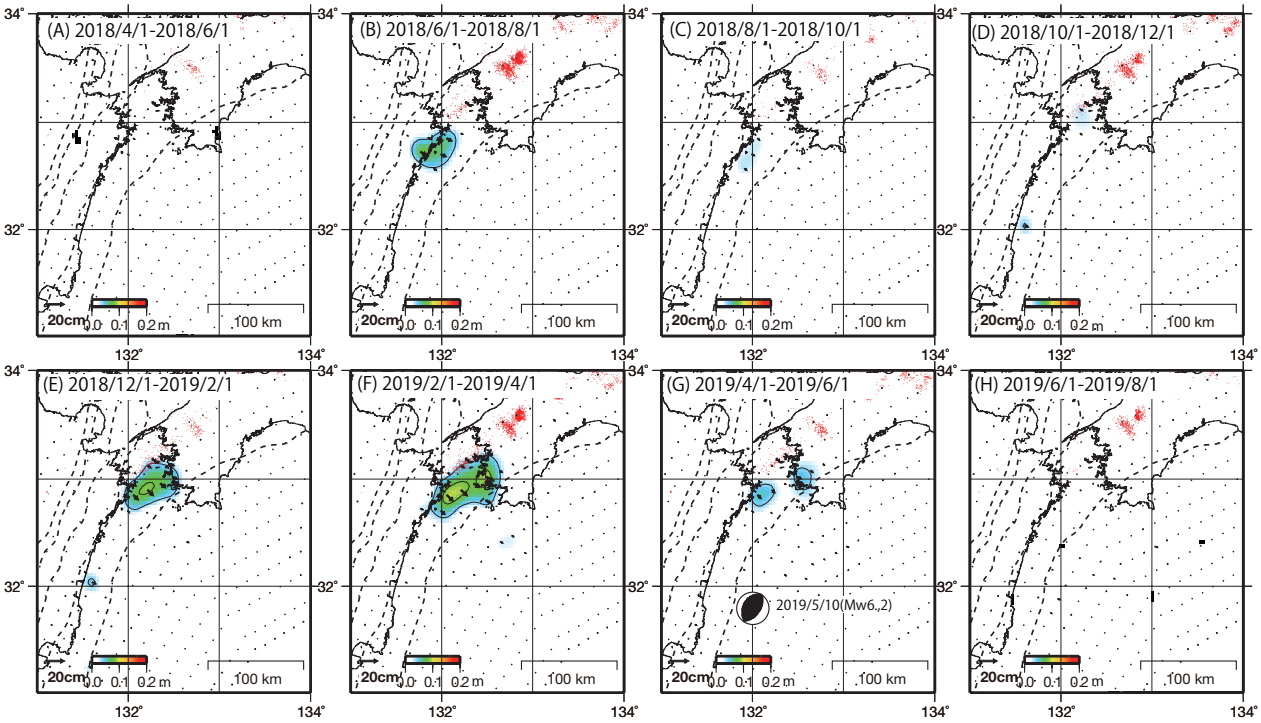


図 11　2018-2019 年の SSE の推定すべり分布．赤点は，気象庁一元化震源による低周波地震（微動）．

2.4　日向灘 SSE

日向灘では，長期的 SSE が繰り返し発生している [18)-19)]．図 13 に，図 12 に示した日向灘周辺の各観測点の非定常地殻変動時系列を示す．図 13 に示されるように，定常成分と周期成分を除いた時系列データに遷移的な変動が見て取れる．特に 021088，950483 観測点での南北成分には，2004 年頃から 2 年程の間隔で遷移変動が検出されている．

図 14 に日向灘におけるプレート境界すべりを時間依存のインバージョンで推定した結果を示す．1996 年の日向灘地震の余効すべりが推定されており，その減衰の後に 2004 年頃から日向灘南部で 2 年程の間隔をあけて，1 年程の期間をかけて SSE が発生している様子が推定されている．

図 15 に 2013 年以降の九州域での定常成分と周期成分を除いた非定常地殻変動時系列を示す．

図 15 に示されるように遷移的な変動が見て取れる．この非定変動データを元に推定された 2013 年以降のプレート境界すべりを図 16 に示す．

図 16 に示されるように，2013 年に日向灘南部，北部で SSE が同時に発生し，2014 年に豊後水道で規模の小さな SSE が発生している．2015 年には日向灘南部で SSE が発生して，2016 年の熊本地震前には，日向灘南部，北部，四国南西端で長期的 SSE が発生していた様子が推定されている [19)]．

また，GNSS データの解析により，日向灘北部の SSE は，平均して 5 ～ 6 年程の間隔で繰り返し発生しているとの報告がされている [20)]．

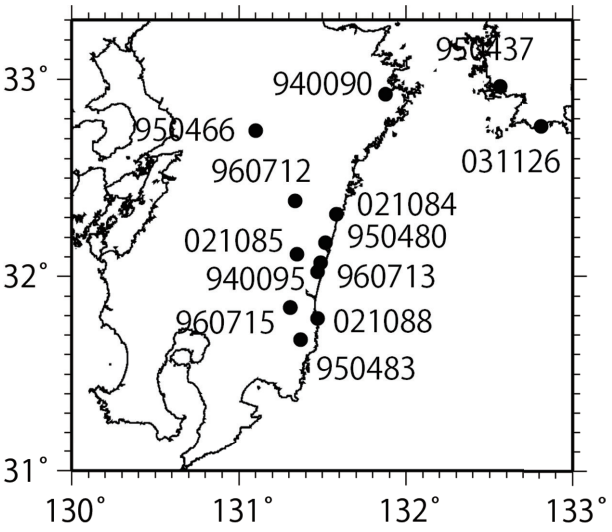


図 12　図 13 に時系列を示す GNSS 観測点の位置図

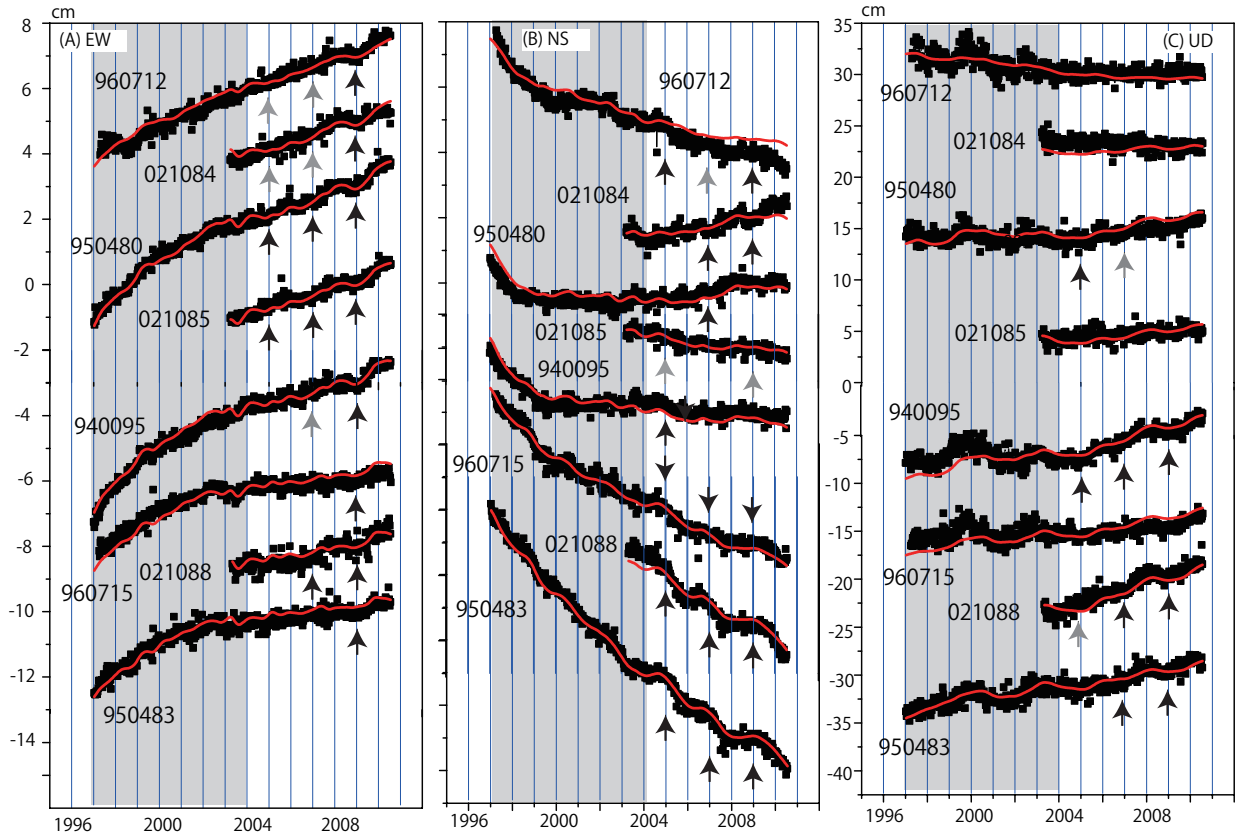


図 13　非定常地殻変動時系列．黒が観測，赤が計算．周期成分は 1997 年 1 月～ 2010 年 7 月までで推定した．一次トレンドは，2007 年 1 月から 2009 年 3 月までで推定している．

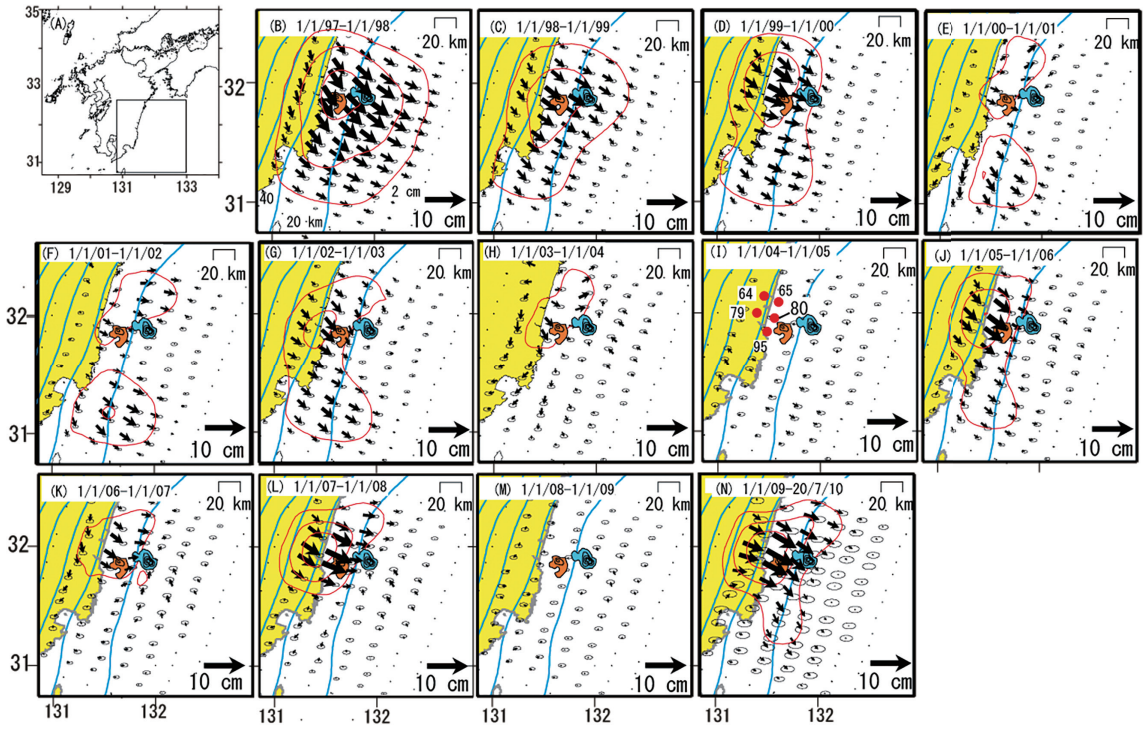


図 14　時間依存のインバージョンによる推定すべり分布．オレンジと青色の領域は，1996 年の日向灘地震のすべり域を示している．

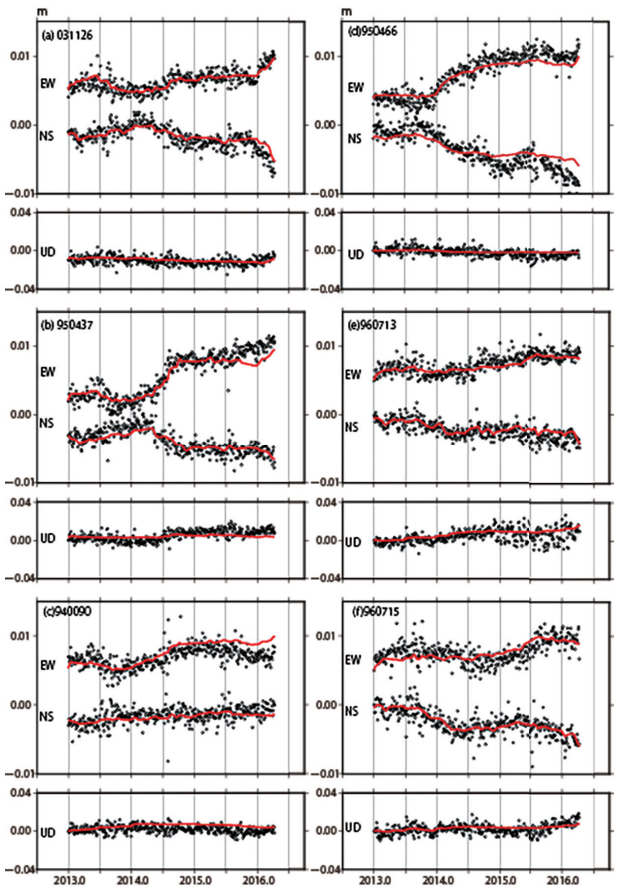


図 15　非定常地殻変動時系列．黒は観測値，赤は計算値を示す．周期成分は 2012 年 1 月～2016 年 4 月で推定している．一次トレンドは 2012 年 1 月～2013 年 1 月で推定した．

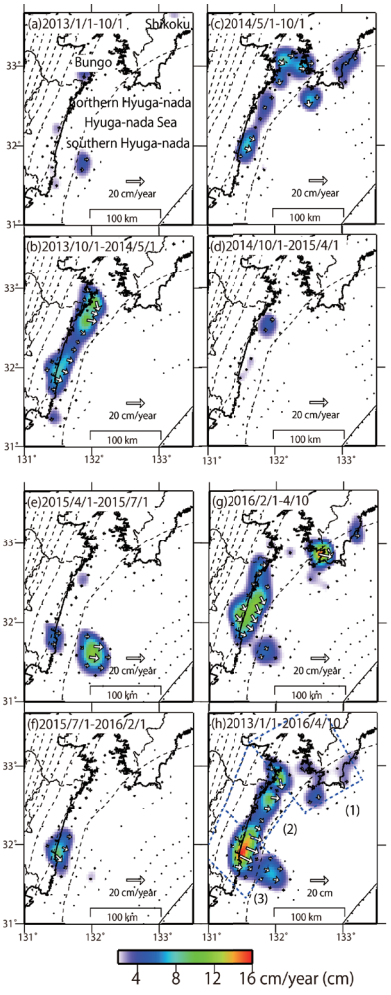


図 16　時間依存インバージョンによる推定すべり分布．破線はプレート境界の等深線を示す．カラーがすべり速度の大きさを示す．

3．短期的 SSE

数日から 10 日の時定数を持つ短期的 SSE については，傾斜計やひずみ計によって観測されているが，GNSS では地表の変位が数㎜程度とノイズレベル以下であるため検出できないと考えられてきた．しかし，近年の GNSS 解析技術の向上や変位の検出手法の改良等により，GNSS による短期的 SSE の検出が可能となりつつある．

例として，GNSS 観測結果の時系列データから，ステップ的な変動の有無を AIC で評価することで短期的 SSE を検出する手法がある [21)-22)]．図 17 に観測点配置と気象庁一元化震源による低周波地震（微動）の震央が示されている．

図 18 に地殻変動にステップがある場合とない場合の AIC の差が示され，有意な AIC の変化が数多く検出されている．図 19，図 20 には，検出された地殻変動の例が示されている．

また，時間依存インバージョン手法を用いた短期的 SSE の検出も試みられている．現時点では，M6 程度以上のやや規模が大きい場合に限られるものの，イベントの検出や，イベントでのすべりの時間変化も捉えられるようになってきている [23)-24)]．例として，2018 年 3 月に発生した四国西部での短期的 SSE について，時間依存インバージョンで推定したプレート間すべり分布及び低周波地震（微動）の発生域を図 21 に示す．このイベントでは低周波地震（微動）の発生域が時間とともに西から東へと移動したが，それと同期してすべり域が東に移動していく様子が推定されている．

図 22 は，短期的 SSE の時期に相当する地殻変動の観測結果と計算結果を示している．図 22 に示されるように GNSS 観測により南東方向への変動が検出されており，計算結果はそれと調和的な結果となっている．

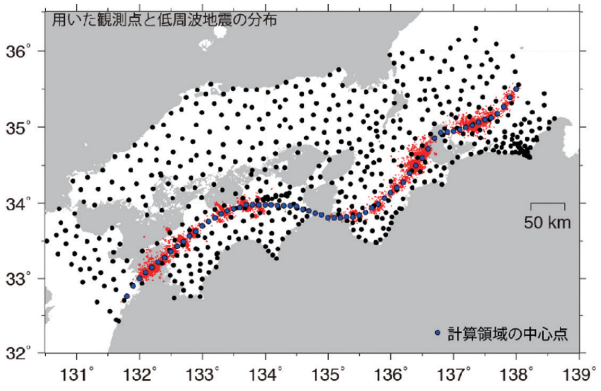


図 17　用いた観測点の分布及び AIC を計算した領域の中心点. 赤点は, 気象庁一元化震源による低周波地震（微動）の震央．N45° W 方向に長さ 160km，幅 50km の領域をとって AIC の計算を行っている．

以上のようにここ 10 年で，GNSS データから短期的 SSE を検出する手法が発達してきた．今後さらに GNSS 解析技術の向上や変異の検出方法の改良などにより，短期 SSE に関する新たな知見が得られるようになることが期待される．

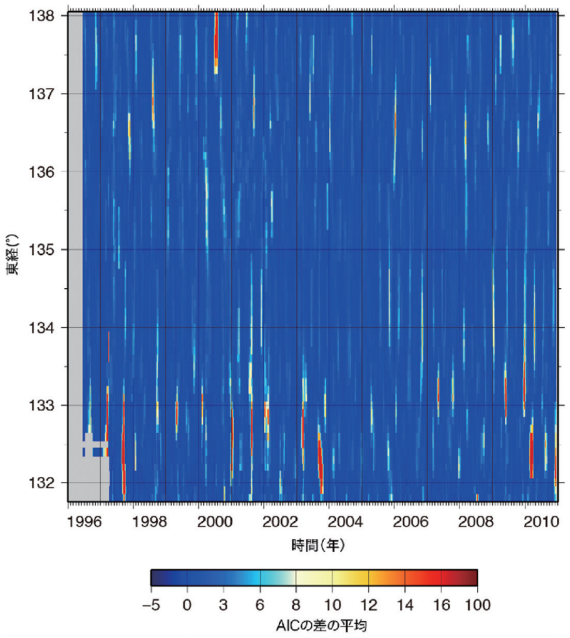


図 18　ステップを仮定した場合と仮定しない場合の一次関数をフィッティングしたときの AIC の差．AIC の差が大きい場合ほど，ステップを仮定したことがよい事を示す．四国西部や紀伊半島北部などに多数のイベントが見られる．

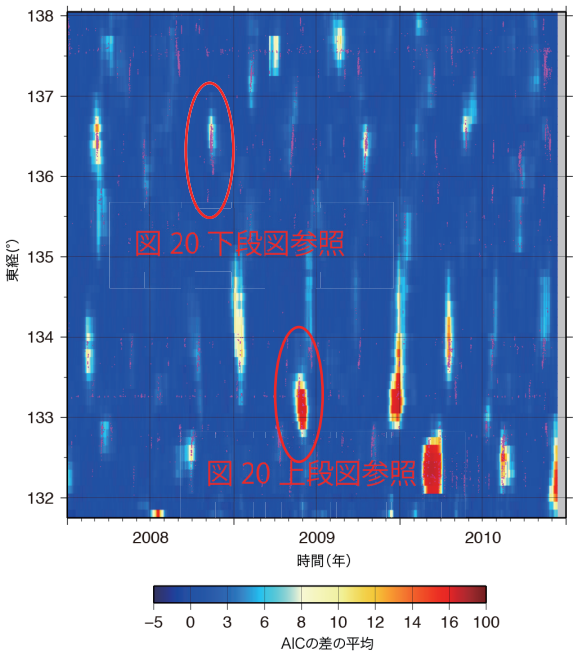


図 19　上図は図 18 の一部を拡大した図．2008-2010 年の AIC の差．ゼロ点は気象庁一元化震源による低周波地震（微動）．

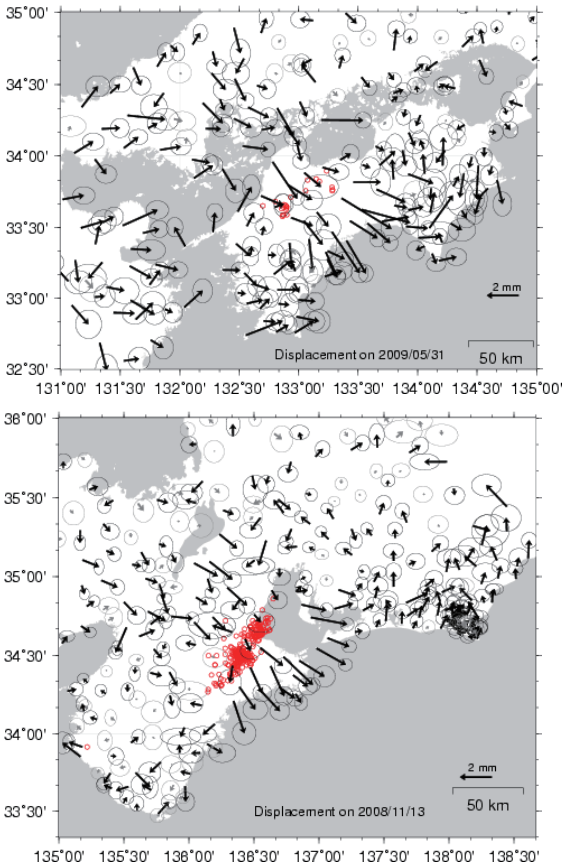


図 20　図 19 で，特徴的な期間における水平変動ベクトル．赤丸は気象庁一元化震源による低周波地震（微動）．下段の低周波地震（微動）は図中に示した変動日の前後 5 日間分を示している．

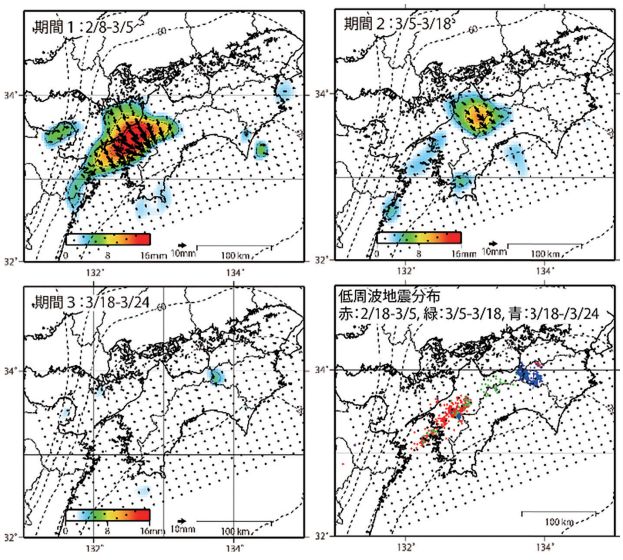


図 21　時間依存のインバージョンにより推定された 2018 年 3 月の四国西部の短期的 SSE の時空間変化．矢印がすべりを示し，カラーがすべりの大きさを表している．気象庁一元化震源の低周波地震（微動）の震央の期間による変化が右上に示されている．低周波微動も時間と共に東側に移動しており，推定されたすべりの時空間変化と調和的である．

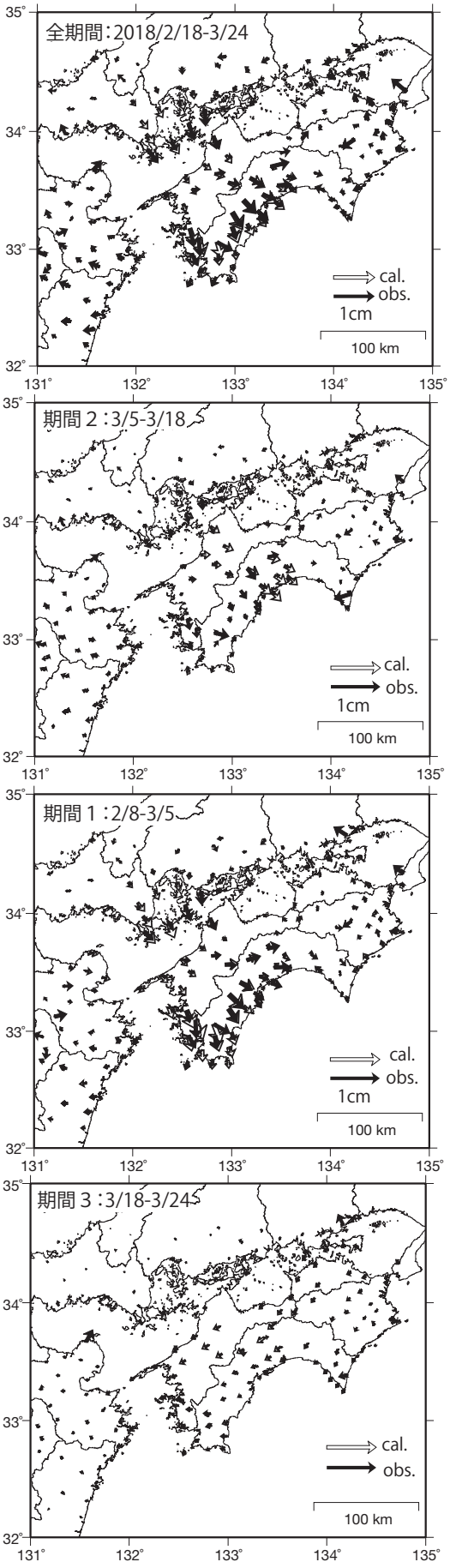


図 22　短期的 SSE に伴う地殻変動観測（黒矢印）と計算値（白矢印）の比較

参考文献

1) Obara, K. (2002) Nonvolcanic deep tremor associated with subduction in southwest Japan Science 296: 1679, doi: 10.1126/science.1070378.
2) Hirose, H. and K. Obara (2005) Repeating short- and long-term slow slip events with deep tremor activity around the Bungo channel region, southwest Japan. Earth Planets and Space 57, doi: 10.1186/BF03351875.
3) Ozawa, S., M. Murakami, M. Kaidsu, T. Tada, T. Sagiya, Y. Hatanaka, H. Yarai, and T. Nishimura (2002) Detection and monitoing of ongoing aseismic slip in the Tokai regeion, central Japan., Science, 298, 10009-1012.
4) Miyazaki, S., P. Segall, J. McGuire, T. Kato and Y. Hatanaka (2006) Spatial and temporal evolution of stress and slip rate during the 2000 Tokai slow earthquake. J Geophys Res 111:B03409. doi:10.1029/2004JB003426.
5) Liu, Z., S., Owen, D. Dong, P. Lundgren, F. Webb, E. Hetland and M. Simons (2010) Integration of transient strain events with models of plate coupling and areas of great earthquakes in southwest Japan. Geophys J Int 181:1292-1312.
6) Ozawa, S., M. Tobita, and H. Yarai (2016), A possible restart of an interplate slow slip adjacent to the Tokai seismic gap in Japan, Earth Planets Space, 68:54.
7) 国土地理院，2016，近畿地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，95, 286-287.
8) Kobayashi, A. (2014), A long-term slow slip event from 1996 to 1997 in the Kii Channel, Japan, Earth Planets Space 66.
9) Kobayashi, A. (2016), Objective detection of long-term slow slip events along the Nankai trough using GNSS data, Earth Planets Space 69, 171.
10) Hirose, H., K. Hirahara, F. Kimata, N. Fujii, S. Miyazaki (1999) A slow thrust slip event following the two 1996 Hyuga-nada Earthquakes beneath the Bungo Channel, southwest Japan. Geophys. Res Lett 26: 3237-3240.
11) Ozawa, S., M. Murakami and T. Tada, (2001) Time-dependent inversion study of the slow thrust event in the Nankai trough subduction zone, southwest Japan. J. Geophys. Res. 106:787-802.
12) Ozawa, S., H. Yarai, T. Imakiire, M. Tobita (2013) Spatial and temporal evolution of the long-term slow slip in the Bungo Channel, Japan. Earth Planets Space 65:67-73.
13) Yoshioka, S., Y. Matsuoka and S. Ide (2015). Spatiotemporal slip distributions of three long‐term slow slip events beneath the Bungo Channel, southwest Japan, inferred from inversion analyses of GPS data.
Geophysical Journal International, 201(3), 1437-1455. https://doi.org/10.1093/gji/ggv022.
14) 国土地理院，2019, 九州・沖縄地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，102, 364-368.
15) 国土地理院，2015，中国・四国地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，94，330-336.
16) 国土地理院，2016，中国・四国地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，96，371-378.
17) 国土地理院，2011，中国・四国地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，85，318-332.
18) Yarai, H., S. Ozawa (2013) Quasi-periodic slow slip events in the afterslip area of the 1996 Hyuga-nada earthquakes, Japan. J Geophys Res Solid Earth 118:2512-2527, doi: 10.1002/jgrb.50161.
19) Ozawa, S (2017) Long-term slow slip events along the Nankai trough subduction zone after the 2011 Tohoku earthquake in Japan. Earth Planets Space 69, 56 doi:10.1186/s40623-017-0640-4.
20) Takagi, R., N. Uchida and K. Obara (2019) Along‐Strike Variation and Migration of Long‐Term Slow Slip Events in the Western Nankai Subduction Zone, Japan, J. Geophys Res., https://doi.org/10.1029/2018JB016738
21) 国土地理院，2011, 中国・四国地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，86，555-558.
22) Nishimura, T., T. Matsuzawa and K. Obara (2013) Detection of short‐term slow slip events along the Nankai Trough, southwest Japan, using GNSS data, J. Geophys. Res. Solid Earth, 118, 3112– 3125, doi:10.1002/jgrb.50222.
23) Sakaue, H., T. Nishimura, J. Fukuda and T. Kato (2019) Spatiotemporal evolution of long‐ and short‐term slow slip events in the Tokai region, central Japan, estimated from a very dense GNSS network during 2013–2016. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 124. https://doi.org/10.1029/2019JB018650.
24) 国土地理院，2019, 中国・四国地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，100, 298-300.

（2） 気象庁・気象研究所による観測

1．はじめに

気象庁および気象研究所では，東海地域を含む南海トラフ領域の周辺に設置されているひずみ計および GEONET の GNSS のデータを用い，東海地震，南海トラフ地震の監視を行うと共に，この地域のプレート境界深部に発生する短期的ゆっくりすべり（以下，SSE），長期的 SSE の観測，解析を行ってきている．本稿ではこれらの解析結果を紹介する．

2．ひずみ計による短期的 SSE 解析

気象庁では静岡県，愛知県および長野県に，体積ひずみ計 16 地点，多成分ひずみ計 9 地点を設置している．加えて，静岡県および産業技術総合研究所（以下，産総研）設置のひずみ計データの提供を受けており，これらを用い，主に東海地域に沈み込むフィリピン海プレート境界深部で発生している短期的 SSE を捉え，規模や断層モデル推定などの解析を行っている．

多くの場合，短期的 SSE には低周波地震（微動）を伴うので，低周波地震（微動）の発生によって短期的 SSE の発生を検知し，解析を開始する．図 1 には，例として板場ほか（2012）[1]の手法を用いて求めた 2019 年 2 月の短期的 SSE の断層モデル（赤い矩形）および低周波地震（微動）の震央（青い丸印）を示す．この例では愛知県の低周波地震（微動）の発生場所付近に Mw5.9 相当のすべりが解析された．なお，一連の活動期間中にひずみの変化速度や極性などに変化が認められた場合には，活動期間を分けて期間毎の変化量に基づいた複数の断層モデルを求め，すべりの拡大や移動を監視している．

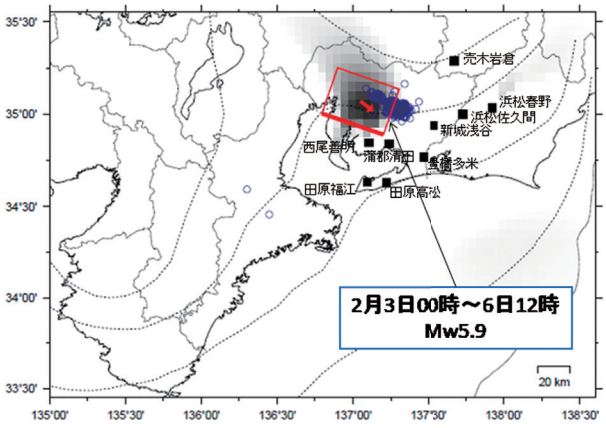
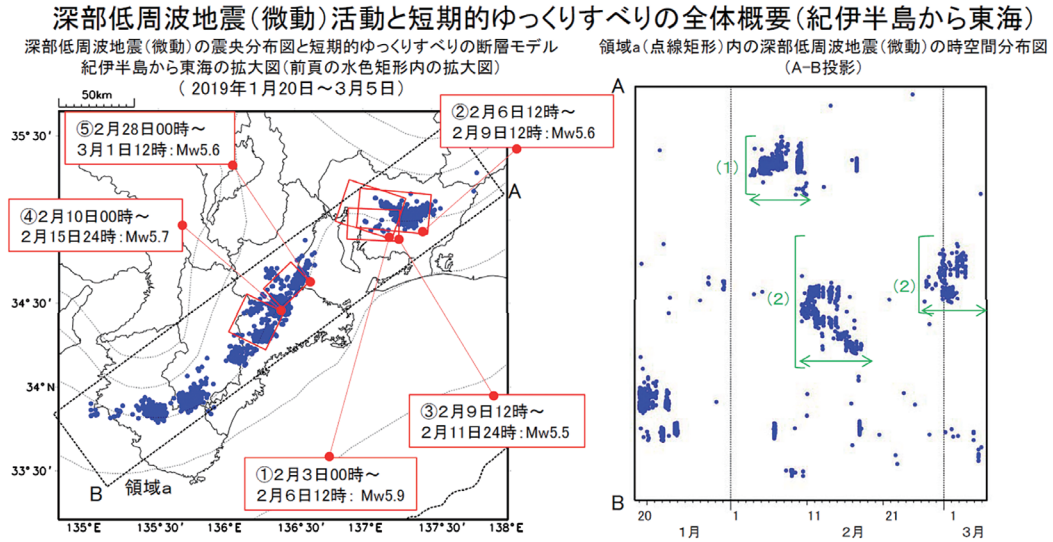


図 1　東海地域で観測された短期的 SSE の断層モデル
（2019 年 2 月 3 日～2 月 6 日，Mw5.9 相当）



深部低周波地震（微動）活動と短期的ゆっくりすべり

深部低周波地震（微動）活動			地殻変動を観測した期間と短期的ゆっくりすべりの規模
活動場所		活動の期間	
(1)	東海	2月3日～2月10日	①2月3日00時～2月6日12時：Mw5.9 ②2月6日12時～2月9日12時：Mw5.6 ③2月9日12時～2月11日24時：Mw5.5
(2)	紀伊半島北部	2月10日～2月18日 2月26日～3月3日	④2月10日00時～2月15日24時：Mw5.7 ⑤2月28日00時～3月1日12時：Mw5.6

図 2　深部低周波地震（微動）活動と短期的 SSE の概要図（評価検討会資料 [2] に加筆・修正）

現在，気象庁で毎月開催している南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会（以下，評価検討会）においては，プレート境界の固着状況の変化を捉えることを目的に，短期的 SSE および低周波地震（微動）活動の詳細な資料を提出している．図 2 にその一例を示す[2]．

過去に発生した個々の短期的 SSE 解析結果から，この地域におけるプレート境界のすべりモーメント解放量の時間変化を把握することができる．図 3 には東海地域（愛知県中部～東部）の短期的 SSE のモーメント積算図を示した．南海トラフにおいて，長期的 SSE の発生がその深部側の低周波微動活動や短期的 SSE に影響を与えることが報告されている[3)など]．東海地域においては，2000 ～ 2005 年と 2013 ～ 2016 年に長期的 SSE が発生しており（図 5 参照），その時期に短期的 SSE によるモーメント解放レートが上がっていることが見て取れる．

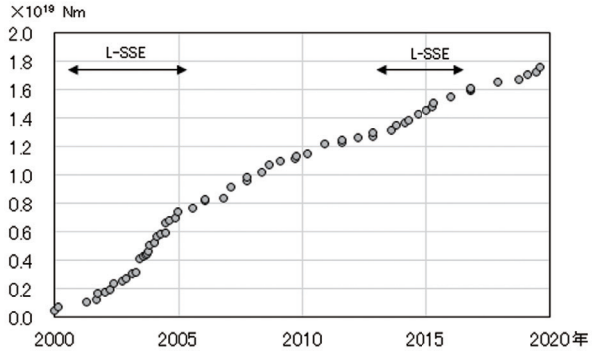


図 3　東海地域（愛知県中部～東部）の短期的 SSE のモーメント積算図．図中の‘L-SSE’は長期的 SSE の発生時期を示す．

3．ひずみ計による長期的 SSE 解析

ボアホール型ひずみ計は感度や時間分解能が高く，短期的 SSE の検出に有効な一方で，長期的な安定性に劣り，GNSS で捉えられるような長期的 SSE の検出は困難であるとの報告がある[4]．しかし，観測点数の増加や近年の観測機器の検出精度，安定性の向上，各種補正，解析手法の進展により，継続時間が数ヶ月から数年に及ぶ長期的 SSE の解析が可能となってきている．

そのような中，東海地域の 2013 年から 2016 年の長期的 SSE がひずみ計で捉えられ，そのモーメント解放量の時間変化をモニターすることができた[5]．概ね，活動が収まった 2016 年末までのすべりは Mw6.8 相当で，国土地理院の GNSS データによる解析結果[6]と調和的であった（図 4）．

この他，産総研が四国に設置しているひずみ計で 2018 年秋頃からの豊後水道の長期的 SSE が捉えられている[7]．

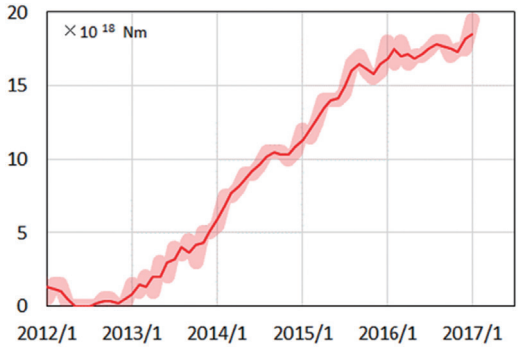


図 4　ひずみ計を用いた解析による東海長期的 SSE のモーメント解放量の時間変化

4．GNSS による長期的 SSE 解析

Kobayashi（2017）[8]は，GNSS 座標値データを用い南海トラフ沿いの長期的 SSE を客観的に検出した．気象研究所では，この手法による図の更新版を定期的に評価検討会や地震予知連絡会に報告[9]などしている（図 5）．同手法により，既に報告されていた以外に，2000 ～ 2002 年（K2），2014 ～ 2016 年（K3）の紀伊水道付近，2017 ～ 2018 年（SH）志摩半島付近[10]の長期的 SSE（図 6）が新たに検出された．

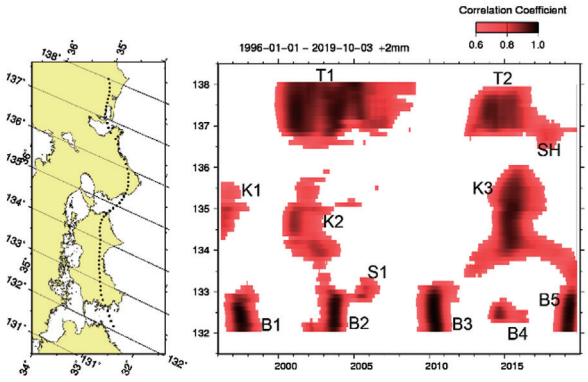


図 5　南海トラフ沿い長期的 SSE 客観検知図（1996 年から 2019 年 9 月）．相関係数が大きいほど SSE の可能性が高い．

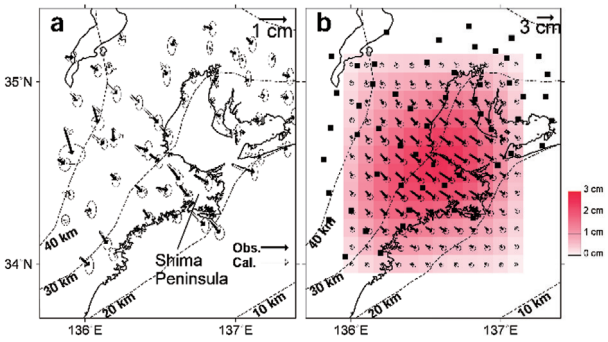


図 6　志摩半島付近の非定常変位（a）と推定されたすべり分布（b）（2017 年 4 月から 2018 年 10 月）．

このほか，GNSS 観測が始まる前の期間について，水準測量と潮位データを用いて上下変位が解析され，1977-1980 年頃に高知市付近[11]，1980 年頃から豊後水道付近[12]でくり返し長期的 SSE が発生していたことが明らかになった．

（宮岡　一樹・小林　昭夫）

謝辞

本稿および引用した各資料等では，静岡県および産総研のひずみ計データおよび国土地理院による GEONET の GNSS データを使用させていただいた．

参考文献

1）板場智史, 松本則夫, 北川有一, 小泉尚嗣, 松澤孝紀 , 2012. 歪・傾斜・地下水統合解析による短期的スロースリップイベントのモニタリング，日本地球惑星科学連合 2012 年大会 .
2）気象庁，2019，深部低周波地震活動と短期的 SSE の概要図, 南海トラフ地震評価検討会（2019 年 3 月）資料.
3）Hirose, H., Y. Asano, K. Obara, T. Kimura, T. Matsuzawa, S. Tanaka, and T. Maeda, 2010. Slow earthquakes linked along dip in the Nankai Subduction Zone, Science, 330, 1502, doi:10.1126/science.1197102.
4）Yamamoto, T., A. Kobayashi, A. Katsumata, and S. Mori, 2008. Evaluation of detection level of crustal deformation observation in the time domain through power spectrum analysis, *J. Geod. Soc. Japan*, 54, 81-91.
5）宮岡一樹，木村久夫，2016. ひずみ計によるスタッキング法を用いた長期的ゆっくりすべりの検出．験震時報 , 79, 15-23.
6）国土地理院 , 東海地方の地殻変動 , 地震予知連絡会報 , 99, 216-225.
7）気象庁，2018，南海トラフ周辺の地殻活動（2018 年 11 月～ 2019 年 4 月），地震予知連絡会報，100，259.
8）Kobayashi, A., 2017. Objective detection of long-term slow slip events along the Nankai Trough using GNSS data（1996-2016）. *Earth, Planets and Space*, 69, 171, doi:10.1186/s40623-017-0755-7.
9）気象研究所，2018，南海トラフ沿いの長期的スロースリップの客観検知，地震予知連絡会報，100，280-283.
10）Kobayashi, A. and T. Tsuyuki, 2019. Long-term slow slip event detected beneath the Shima Peninsula, central Japan, from GNSS data. *Earth, Planets and Space*, 71, 60, doi:10.1186/s40623-019-1037-3.
11）小林昭夫，2012，高知市付近で 1977 ～ 1980 年頃に発生した長期的スロースリップ，地震 2，64，63-73.
12）Kobayashi, A. and T. Yamamoto, 2011. Repetitive long-term slow slip events beneath the Bungo Channel, southwestern Japan, identified from leveling and sea level data from 1979 to 2008, *J. Geophys. Res.*, 116, B04406, doi:10.1029/2010JB007822.

（3） 防災科学技術研究所による観測

1．はじめに

防災科学技術研究所（以下，防災科研という）では，南海トラフにおいて発生するスロー地震として，深部低周波微動（以下，微動という），深部・浅部超低周波地震，短期的スロースリップイベント（以下，短期的 SSE という）のモニタリングを実施し，地震予知連絡会に報告してきた．2008 年までの 10 年はスロー地震の発見の時代といえ，小原（2009）[1]に詳しく紹介されているように活動の地域特性など，その基本的な特徴が明らかになった．その後，防災科研が各種スロー地震のモニタリングに使用している解析手法の論文が 2010 年までにそれぞれ出版され，同一手法での解析が現在も継続されている．2018 年までの 10 年は，このようにスロー地震モニタリング手法が確立され，安定運用の段階に入った時代であり，得られた長期の活動状況から，長期的スロースリップイベント（以下，長期的 SSE という）発生との関係などの議論が可能となった．以下では，南海トラフ周辺における，防災科研のスロー地震モニタリングについて述べる．

2．深部低周波微動

2.1　観測データとイベント検出方法

微動の検出においては，南海トラフ付近に位置する防災科研 Hi-net の速度型地震計の記録を使用している．従来はエンベロープ相関法[2]により走時差情報のみを使用して震源が推定されてきたが，現在はこれらの観測記録について，Maeda and Obara（2009）[3]で提案されたエンベロープ相関による走時差情報と振幅情報を利用したハイブリッド方式の解析法（以下，ハイブリッド法という）により，微動源を推定している．なお震源の深さは，Shiomi et al.（2008）[4]のレシーバー関数解析によって得られた海洋性モホ面から 5km 浅部に固定している．ハイブリッド法の微動源は 1 分毎に推定されるが，まとまった活動のみを抽出するために，Obara et al.,（2010）[5]の方法により，1 時間毎にクラスタリング処理を行った結果を定常の資料に掲載している．この処理は完全に自動化されており，後述の深部・浅部超低周波地震の解析とともに SPA システム（Slow-events Parallel Analysis system）[6]と呼ばれるサーバ群上で常時稼働している．

2.2　長期的な活動状況

継続的なモニタリングにより，南海トラフ周辺の長期のスロー地震活動履歴が得られている（図 1）．微動活動のセグメントや繰り返し間隔などの地域的な特徴について，長期にわたる系統的な変化は特段みられない．2011 年東北地方太平洋沖地震の前後についても，南海トラフ周辺の活動状況に顕著な変化はみられなかった[7]．

ただし，年程度の時間スケールでの変動はみられており，例えば豊後水道における数か月から 1 年程度の活発化は顕著である．こうした活動状況の変化は，微動発生領域に近接したプレート境界の浅い側で発生する長期的 SSE に起因すると考えられる．Hirose et al.（2010）[8]は，2003 年および 2010 年の長期的 SSE 時に，豊後水道の深部低周波微動域のうち，浅い側（南東側）でのみ活動度が高くなることを示した（図 2）．また，足摺沖のトラフ軸付近で発生する浅部超低周波地震も同時に活発化していることを指摘した．その後，豊後水道における活動においては，やや規模の小さな長期的 SSE の存在も報告され[9]，2014 年の長期的 SSE 時には対応する微動活動の活発化がみられるが，2016 年前半に発生した長期的 SSE に際しては，その変化は顕著でない．こうした活動の相違は，長期的 SSE のすべり分布がそれぞれ異なる[9]ことによる可能性が考えられる．さらに最近では，2018 年後半から 2019 年初めにかけて，長期的 SSE[10]に同期した微動活動の活発化がみられる（図 2）．

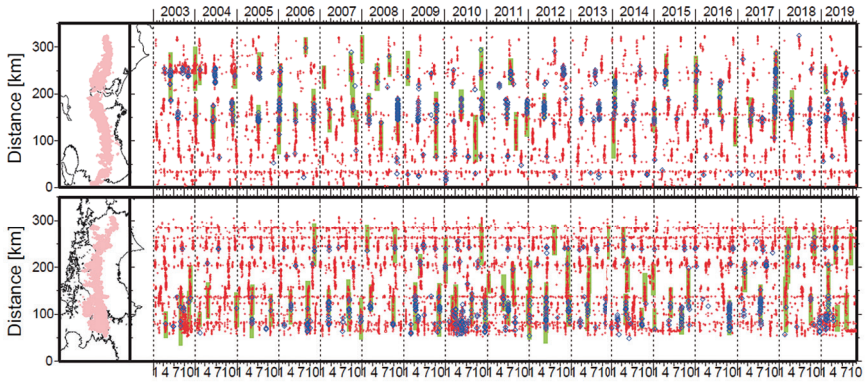


図 1　西南日本で発生した深部低周波微動（赤丸）及び深部超低周波地震（青菱形）の 2003 年から約 17 年間の時空間分布．黄緑色太線は，傾斜変動から検出された短期的スロースリップイベントを示す．

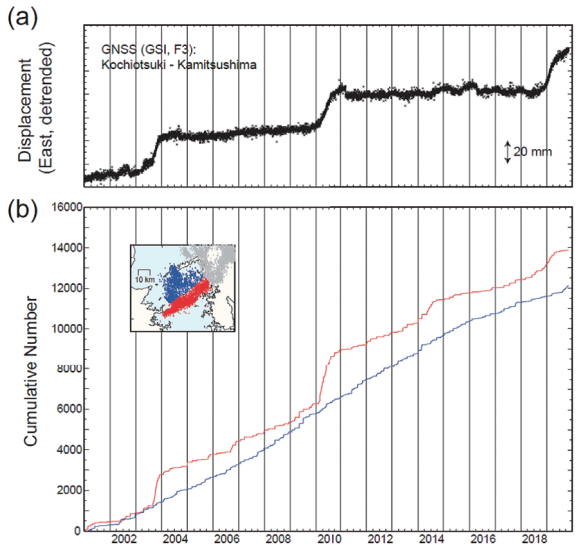


図 2　(a) GNSS データ（国土地理院 GEONET F3 解）による，上対馬を基準点とした高知大月の東方向の変位．2013 年一年間のデータを用いてトレンドを除去した．(b) 豊後水道南東側（赤線）及び北西側の領域（青線）における 2001 年からの微動活動積算個数．図中の地図に南東側，北西側に位置する微動の分布をそれぞれ赤丸，青丸で示す．灰丸は上記以外の領域の微動分布を示す．

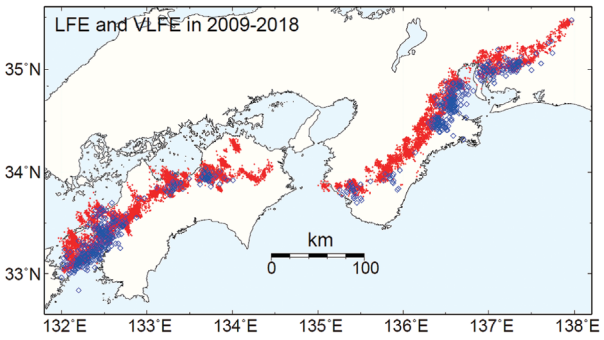


図 3　2009 ～ 2018 年に発生した深部超低周波地震（青菱形）および深部低周波微動（赤丸）の分布．

他の領域においても，長期的 SSE のすべりに近接した領域での微動活動の活発化がみられている．紀伊水道では，2014 ～ 2016 年前半に長期的 SSE が発生しており[11]，近傍での微動活動の活発化がみられた[12]．一方，東海地方の長期的 SSE に対し，2003 ～ 2004 年頃には活発化がみられていたが，2013 ～ 2016 年前半に発生した長期的 SSE[13]に際しては，微動の顕著な活発化はみられない．

3．深部超低周波地震

南海トラフの微動発生域においては，微動活動とともに周期 10 秒から 100 秒程度に卓越する深部超低周波地震が発生している．深部超低周波地震の検出・解析においては，Ito et al. (2010)[14]による Grid MT と CMT 解析を組み合わせた手法を採用している．この手法ではまず，F-net 広帯域地震計記録を用いて，グリッド状に配置した仮想震央上の MT 解を常時計算する．さらにこの結果から候補イベントを一定基準で選出し，F-net 広帯域地震計および Hi-net 高感度加速度計記録を用いて CMT 解を推定する．最終的には，Variance Reduction と使用観測点数の基準を満たすイベントについて遠地地震やノイズ等の状況を目視で確認した後，深部超低周波地震として決定している．

図 3 に，この 10 年間の深部超低周波地震の分布を微動とともに示す．微動発生域が帯状に分布する一方，決定された深部超低周波地震はそのうちの限られた場所に分布する．ただし Ide and Yabe（2014）[15]は，波形記録をスタックした解析から，南海トラフの微動発生域のほぼ全域で超低周波地震の卓越する帯域にシグナルをもつイベントが，マグニチュードの差はあるものの発生していることを示した．さらに，図 3 のような微動と深部超低周波地震の分布の差異が生じる原因として，深部超低周波地震のマグニチュードが大きな地域のみで，同地震が個別のイベントとして検出されることによる可能性を指摘している．

4．浅部超低周波地震

南海トラフのトラフ軸付近では，超低周波地震が発生しており，浅部超低周波地震と呼ばれる．防災科研では，Hi-net 高感度加速度計によるマルチアレイ解析[16]によるモニタリングを実施している．また定常的なモニタリング結果は，十勝沖から日向灘までを含む日本全国を対象地域として地震予知連絡会に資料を提出している．この詳細については，本誌の第 2 部第 3 章 4．(2)[17]を参照されたい．

紀伊半島南東沖から室戸沖においては，浅部超低周波地震がたびたび活発化している．2009 年 3 ～ 7 月の活動では，室戸沖で活動が開始した後，6 月頃にその東側のクラスターに活動域が移動した．その際，東側のクラスターの近傍において M_w4.4 の通常の地震が発生した[18]．この地震はその後の解析により，プレート境界で発生した地震であることが示された[19]．また，2016 年 4 月 1 日に三重県南東沖で発生した M6.5 の地震の後，震源より浅い側において浅部超低周波地震が活発化している[20), 21)]．微動や超低周波地震は背後に存在する SSE によるゆっくりすべりを反映していると解釈されるため，こうした地震とスロー地震の関係の解明は，大地震発生に関する知見を得るうえで有用と考えられる[22]．

5．スロースリップイベント

5.1　観測データとイベント検出

南海トラフの微動発生域においては，微動活動の活発

化と同期して継続時間が数日～ 10 日程度の短期的 SSE が発生している．防災科研では，Hi-net に併設されている地中の高感度加速度計により得られる傾斜変動データを用いて，短期的 SSE の断層モデルの推定を行っている [23), 24)]．断層モデルの推定の際には，20Hz サンプリングで収集されている高感度加速度計記録を 1 時間サンプリングにデシメーション後，データに含まれる潮汐応答成分や気圧応答成分を BAYTAP-G[25)] により補正し，各データの背景トレンドを直線で近似して除き，解析している．

短期的 SSE の検出にあたっては，自動で検出される微動の活動状況を参考に微動が活発化した期間の傾斜変動データを目視により確認し，短期的 SSE に伴う変動を判別している．約 0.05μ rad 以上の変動が 2 ～ 3 観測点以上で確認できた場合に，断層モデルの推定を行っている．また，傾斜変動データのみから短期的 SSE を自動で検出する手法の開発も行っている [26)]．

断層モデルとしてプレート収束方向と逆向きのすべり角をもつ矩形断層を仮定し，断層の長さ・幅・深さを含む位置・走向・傾斜の 7 つの非線形パラメータについては遺伝的アルゴリズム，すべり量については線形最小二乗法によりモデル推定を行う [23), 24)]．通常は 1 枚の矩形断層モデルを仮定するが，SSE 発生中に傾斜変動パターンの明瞭な時間変化が確認できた場合には，解析期間を複数に分割し，それぞれの期間に対して 1 枚ずつ断層モデルを推定する．

5.2　長期的な活動状況

2009 年から 2018 年の 10 年間で，防災科研が断層モデルを推定した短期的 SSE の数は，四国地域で 37，紀伊半島で 15，愛知県域では 6 である．これに加えて，2017 年 11 月～ 12 月には紀伊半島北部から愛知県域に至る広い領域において，微動活動域の移動と同期した短期的 SSE のすべり域の移動が確認できた [27)]．この領域では，2006 年 1 月にも同様の大規模なすべり域の移動が確認されている [28)]．期間中のすべての短期的 SSE の断層モデルを図 4 に示す．

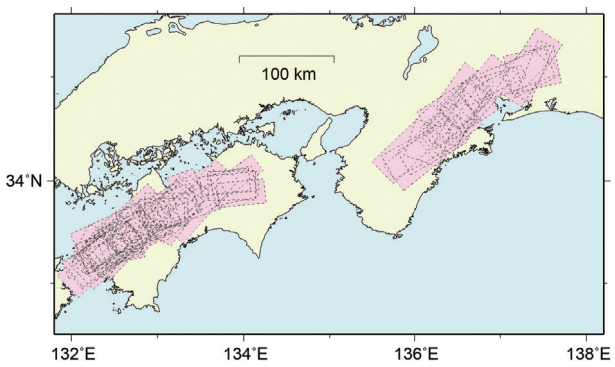


図 4　2009 年から 2018 年で傾斜変動データから推定された断層モデル（ピンク矩形）．

期間中で最大の短期的 SSE は，豊後水道から四国東部に至る広い領域において発生したイベントで，2018 年 2 月 21 日から 3 月 25 日までの 1 ヶ月以上の継続時間をもち，その規模は M_w6.4 であった [27)]．このイベントは，傾斜変動データを用いて解析されている 2001 年以降のカタログ [29)] の中でも最大のものである．紀伊半島及び愛知県域での最大の短期的 SSE は，両領域にまたがって 2017 年 11 月～ 12 月に発生したイベントで，その規模は M_w6.2 であった [27)]．一方で，期間中の全領域で最小の短期的 SSE は，2011 年 7 月に四国西部で発生した M_w5.6 のイベントであった [30)]．

（松澤　孝紀・木村　武志・浅野　陽一・田中　佐千子）

謝辞

図の作成にあたり，国土地理院のデータを使用させていただきました．

参考文献

1) 小原一成 , 2009, 短期的スロースリップ・深部低周波微動，地震予知連絡会 40 年のあゆみ．219–227.
2) Obara, K., 2002, Nonvolcanic deep tremor associated with subduction in southwest Japan. *Science*, 296, 1679–1681.
3) Maeda, T., and K. Obara, 2009, Spatiotemporal distribution of seismic energy radiation from low-frequency tremor in western Shikoku, Japan. *J. Geophys. Res.*, 114, B00A09.
4) Shiomi, K., M. Matsubara, Y. Ito, and K. Obara, 2008, Simple relationship between seismic activity along Philippine Sea slab and geometry of oceanic Moho beneath southwest Japan. *Geophys. J. Int.*, 173, 1018–1029.
5) Obara, K., S. Tanaka, T. Maeda, and T. Matsuzawa, 2010, Depth-dependent activity of non-volcanic tremor in southwest Japan. *Geophys. Res. Lett.*, 37, L13306.
6) 松澤孝紀・浅野陽一・田中佐千子・木村武志・小原一成・前田拓人・伊藤喜宏・廣瀬仁・芝崎文一郎 , 2015, 日本列島周辺におけるスロー地震モニタリングと数値モデリング．日本地震学会 2015 年秋季大会．
7) 防災科学技術研究所 , 2016, 東北地方太平洋沖地震前後のスロー地震活動の変化 , 地震予知連絡会会報．95, 447-451.
8) Hirose, H., Y. Asano, K. Obara, T. Kimura, T. Matsuzawa, S. Tanaka, and T. Maeda, 2010,

Slow earthquakes linked along dip in the Nankai subduction zone. *Science*, 330, 1502.

9) Ozawa, S., 2017, Long-term slow slip events along the Nankai trough subduction zone after the 2011 Tohoku earthquake in Japan. *Earth Planets Space*, 69:56.

10) 国土地理院 , 2019, 九州・沖縄地方の地殻変動．地震予知連絡会会報 , 102, 359-370.

11) 国土地理院 , 2016, 近畿地方の地殻変動．地震予知連絡会会報 , 95, 285-287.

12) 防災科学技術研究所 , 2016, 西南日本における深部低周波微動活動（2015 年 11 月～ 2016 年 4 月）．地震予知連絡会会報 , 96, 363-370.

13) Ozawa, S., M. Tobita, and H. Yarai, 2016, A possible restart of an interplate slow slip adjacent to the Tokai seismic gap in Japan. *Earth Planets Space*, 68:54.

14) Ito, Y., K. Obara, T. Matsuzawa, and T. Maeda, 2009, Very low frequency earthquakes related to small asperities on the plate boundary interface at the locked to aseismic transition. *J. Geophys. Res.*, 114, B00A13.

15) Ide, S., and S. Yabe, 2014, Universality of slow earthquakes in the very low frequency band. *Geophys. Res. Lett.*, 41, 2786-2793.

16) Asano, Y., K. Obara, and Y. Ito, 2008, Spatiotemporal distribution of very-low frequency earthquakes in Tokachi-oki near the junction of the Kuril and Japan trenches revealed by using array signal processing. *Earth Planets Space*, 60, 871-875.

17) 浅野陽一・松澤孝紀・木村尚紀 , 2019, 防災科研によるその他の地域のスロー地震モニタリング．地震予知連絡会 50 年のあゆみ（本誌）.

18) 防災科学技術研究所 , 2010, 2009 年 7 月四国沖の地震：周辺域における浅部超低周波地震の活動，地震予知連絡会会報．83，455-457.

19) Takemura, S., A. Noda, T. Kubota, Y. Asano, T. Matsuzawa, and K. Shiomi, 2019, Migrations and clusters of shallow very low frequency earthquakes in the regions surrounding shear stress accumulation peaks along the Nankai Trough. *Geophys. Res. Lett.*, 46, 11830-11840.

20) 防災科学技術研究所 , 2016, 日本周辺における浅部超低周波地震活動（2015 年 11 月～ 2016 年 4 月）．地震予知連絡会会報 , 96, 5-7.

21) Nakano, M., T. Hori, E. Araki, S. Kodaira, and S. Ide, 2018, Shallow very-low-frequency earthquakes accompany slow slip events in the Nankai subduction zone. *Nat. Commun.*, 9:984.

22) Nishikawa, T., T. Matsuzawa, K. Ohta, N. Uchida, T. Nishimura, and S. Ide, 2019, The slow earthquake spectrum in the Japan Trench illuminated by the S-net seafloor observatories. *Science*, 365, 808-813.

23) Obara, K., H. Hirose, F. Yamamizu, and K. Kasahara, 2004, Episodic slow slip events accompanied by non-volcanic tremors in southwest Japan subduction zone. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L23602.

24) Hirose, H., and K. Obara, 2005, Repeating short- and long-term slow slip events with deep tremor activity around the Bungo channel region, southwest Japan. *Earth Planets Space*, 57, 961-972.

25) Tamura, Y., T. Sato, M. Ooe, and M. Ishiguro, 1991, A procedure for tidal analysis with a Bayesian information criterion. *Geophys. J. Int.*, 104, 507-516.

26) Kimura, T., K. Obara, H. Kimura, and H. Hirose, 2011, Automated detection of slow slip events within Nankai subduction zone. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L01311.

27) 防災科学技術研究所，2018，西南日本における短期的スロースリップイベント（2017 年 11 月～ 2018 年 4 月）．地震予知連絡会会報，100，301-306.

28) Obara, K., and S. Sekine, 2009, Characteristic activity and migration of episodic tremor and slow-slip events in central Japan. *Earth Planets Space*, 61, 853-862.

29) Sekine, S., H. Hirose, and K. Obara, 2010, Along - strike variations in short-term slow slip events in the southwest Japan subduction zone. *J. Geophys. Res.*, 115, B00A27.

30) 防災科学技術研究所，2012，西南日本における短期的スロースリップイベント（2011 年 6 月～ 2011 年 10 月）．地震予知連絡会会報，87，430-437.

（4） 産業技術総合研究所による観測

産業技術総合研究所（以下，産総研）では 2006 年から南海トラフ地震予測の研究のために，紀伊半島から四国地域にかけて地下水・ひずみ・地震等の総合観測点の整備を開始した．この観測点は原則として深さ 30m，200m，600m の 3 つの孔井から構成され，水位計のほか，地震計，水温計，ボアホール型ひずみ計などを設置している．この 10 年間で 4 観測点を新たに整備し，計 16 観測点となった [1)]．

2011 年より，産総研は防災科学技術研究所（防災科研）との共同研究契約に基づき，産総研の地下水・ボアホールひずみデータと防災科研 Hi-net の傾斜データの相互交換を開始した．さらに，気象庁地震火山部との共同研究契約により，2013 年より双方のひずみデータ等のリアルタイムで交換を開始し，3 つの機関のデータを用いた南海トラフの短期的ゆっくりすべり（SSE）の高精度モニタリングを開始した .2013 年 11 月以降の 5 年間で 162 個の SSE イベントの断層モデルを決定した [2)]．

同総合観測点のボアホールひずみデータや地下水位・地下水圧データを用いて，短期的 SSE が遠地巨大地震によって励起される現象 [3)]，密閉された井戸の地下水圧による短期的 SSE の検とこれを用いた同 SSE のモニタリング高度化 [4)]などの研究を実施した．

深部低周波微動の研究に関しては，同総合観測点の 3 つの異なる深度の地震データを用いて，深部低周波微動を高感度で検出する手法を開発した [5)]．また，防災科研 Hi-net および同総合観測点等の地震データを用いて深部低周波微動の震源メカニズム決定手法を開発した [6)]．

（松本　則夫）

参考文献

1) 小泉尚嗣 , 2013. 地下水観測による地震予知研究－地下水位変化から地殻変動を推定することによる地震予測－．シンセシオロジー，6，24-33.
2) 落　唯史・板場智史・松本則夫・北川有一・木口　努・木村尚紀・木村武志・松澤孝紀・汐見勝彦，2019. 東海・紀伊半島・四国における短期的スロースリップイベント（2018 年 5 月～ 2018 年 10 月）．地震予知連絡会会報，101，245-257.
3) Itaba, S. and R. Ando, 2011. A slow slip event triggered by teleseismic surface waves. *Geophys. Res. Lett.*, 38, doi:10.1029/2011gl049593.
4) Kitagawa, Y. and N. Koizumi, 2013. Detection of short-term slow slip events along the Nankai Trough via groundwater observations. *Geophys. Res. Lett.*, 40, 6079-6083.
5) Imanishi, K., N. Takeda, Y. Kuwahara and N. Koizumi, 2011. Enhanced detection capability of non‐volcanic tremor using a 3‐level vertical seismic array network, VA-net, in southwest Japan. *Geophys. Res. Lett.*, 38, doi:10.1029/2011GL049071.
6) Imanishi, K., T. Uchide and N. Takeda, 2016. Determination of focal mechanisms of nonvolcanic tremor using S wave polarization data corrected for the effects of anisotropy. *Geophys. Res. Lett.*, 43, 611-619.

（5） 海洋研究開発機構による観測

1．はじめに

海洋研究開発機構では，南海トラフにおいて地震・津波観測監視システム（以下「DONET」）の海底地震計のデータおよび，DONET に接続した掘削孔内での間隙水圧等の連続観測データの解析にもとづいて，プレート境界浅部におけるスロー地震の解析を行ってきた．ここでは，DONET1 と 2 が整備された後の解析結果を示す．

2．浅部超低周波地震

紀伊半島の西岸沖から室戸沖にかけてカバーする DONET2 の観測開始後の 2015 年 8 月から 10 月にかけて，紀伊水道沖，潮岬沖，熊野海盆の順に，浅部超低周波地震の発生を DONET1 と 2 で相次いで捉えた．震源深さ，断層メカニズム解から，付加体底部のプレート境界すべりと推定した．これにより，陸から離れた場所で数年に一度発生する現象を，真上で確実に捉えられることを示した（図 1）[1]．

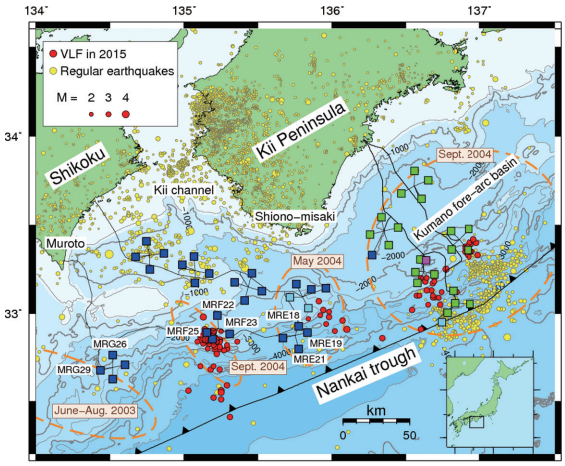


図 1　超低周波地震の分布（赤）と通常地震（黄）の比較 [1]．

3．浅部ゆっくりすべり

1944 年の東南海地震の震源域（熊野灘沖）とその沖合の 2 か所の掘削孔内での間隙水圧等の連続観測データ，及び，DONET で得られた海底地震計データを 2011 年～ 2016 年の 6 年間について解析したところ，南海トラフ巨大地震の発生が想定されている震源域の海溝軸近傍において，何度も繰り返し「ゆっくりすべり」が発生していることが明らかになった [2]．

観測された「ゆっくりすべり」は，8 ～ 15 か月間隔で繰り返しており，地震によって誘発されたり，低周波微動を伴って活動したりしていることがわかった．これらの「ゆっくりすべり」によって解放される歪（ひずみ）は，海洋プレートの沈み込みによって発生する歪の 30 ～ 55% に相当することから，海溝軸近くでは，「ゆっくりすべり」によって頻繁に蓄積された歪を解放することが，海底及び海底下での高感度かつ連続的な観測データに基づいた解析で，世界で初めて明らかになった（図 2）．

この結果は，最新の海底測地観測の結果と合わせると，「ゆっくりすべり」が地震発生帯固着域で進行している歪エネルギー蓄積のプロセスと深い関係があることを示唆している．

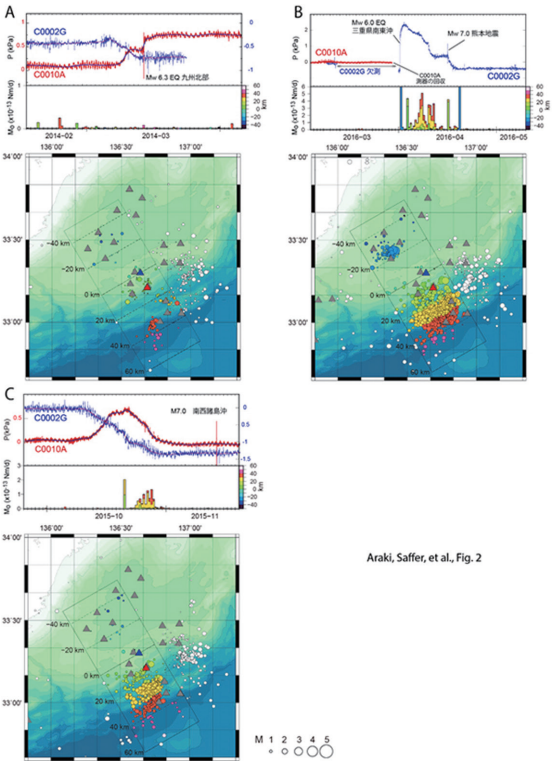


図 2　間隙水圧記録（青線・赤線，上段）を超低周波地震活動のモーメント解放量の時系列（中段），及び，低周波微動の発生場所（下段地図）を比較したもの [2]．

4．超低周波地震とゆっくりすべりの関係

プレート境界で起きたと考えられる三重県南東沖地震（Mw=5.9）が 2016 年 4 月 1 日に発生し，その直後から浅部超低周波地震の活発な活動が DONET によって観測された．同時に，浅部ゆっくりすべりが長期孔内観測システムによって観測され，これらのイベントは地震発生後，約 2 週間継続した．間隙水圧の変化と浅部超低周波地震による滑りの総量（累積モーメント解放量）を比較すると，4 月 3 日以降両者は非常によく似た時間変化を示す（図 3）[3]．さらに，最終的なモーメント解放量が同程度であることも分かった．これらの結果から，浅部超低周波地震と浅部スロースリップが，共通のプレート境界断層すべりによって発生したと考えられる．

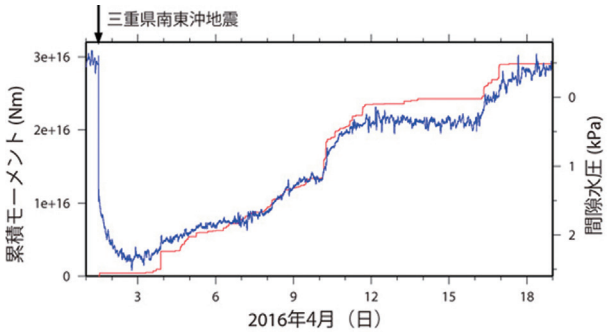


図３　超低周波地震の累積モーメント変化（青）とゆっくりすべりによる歪変化（青）の比較 [3].

５．浅部超低周波地震と付加体先端部構造の関係

広帯域地震計と水圧計のデータから，海底でのレーリー波の変位／水圧を測定することで，DONET の各観測点下における 1 次元 S 波速度構造を推定した．その速度構造から，付加体先端部の深さ 5 ～ 10 km 付近に S 波速度が低下する領域が，南海トラフ沿いに新たに 2 箇所あることを発見し，また，その分布が浅部超低周波地震の震央分布と良く一致することを明らかにした（図 4）[4].

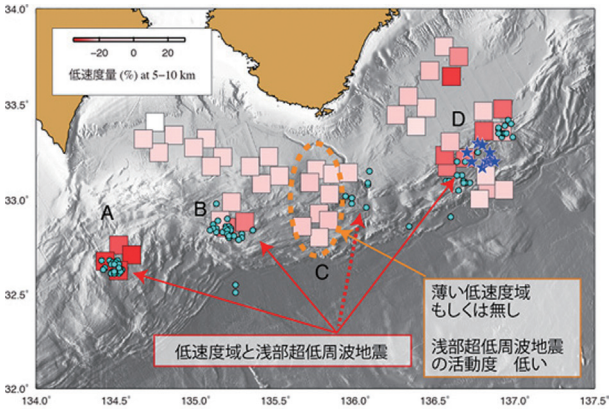


図４　低速度域の分布と海底観測によって決定された浅部超低周波地震の震央分布の比較 [4].

６．おわりに

以上のように，トラフ軸に近い浅部スロー地震の震源域の真上で，高感度な歪観測することができたおかげで，ゆっくりすべりを捉えることに成功した．さらに，超低周波地震の発生する場所の付加体が低速度を示す傾向があることを明らかにした．

（堀　高峰）

参考文献

1) Nakano, M., T. Hori, E. Araki, N. Takahashi, and S. Kodaira, 2016. Ocean floor networks capture low-frequency earthquake event, *Eos*, 97, https://doi.org/10.1029/2016EO052877.

2) Araki, E., Saffer, D.M., Kopf, A.J., Wallace, L.M., Kimura, T., Machida, Y., Ide, S., Davis, E., 2017. Recurring and triggered slow-slip events near the trench at the Nankai Trough subduction megathrust. Science 356, 1157. https://doi.org/ 10.1126/science.aan3120.

3) Nakano M, Hori T, Araki E, Kodaira S, Ide S, 2018. Shallow very-low-frequency earthquakes accompany slow slip events in the Nankai subduction zone. Nat Commun 9:984. https://doi.org/10.1038/s41467-018-03431-5.

4) Tonegawa T., Araki E., Kimura T., Nakamura T., Nakano M., Suzuki, K., 2017. Sporadic low-velocity volumes spatially correlate with shallow very low frequency earthquake clusters, Nat Commun 8, 2048, doi:10.1038/s41467-017-02276-8.

（6） 海上保安庁による観測

海上保安庁が南海トラフに展開している GNSS- 音響測距結合方式による海底地殻変動観測点のうち，紀伊水道沖の観測点において 2017 年末頃からそれまでの傾向とは異なる地殻変動が観測された [1)]．

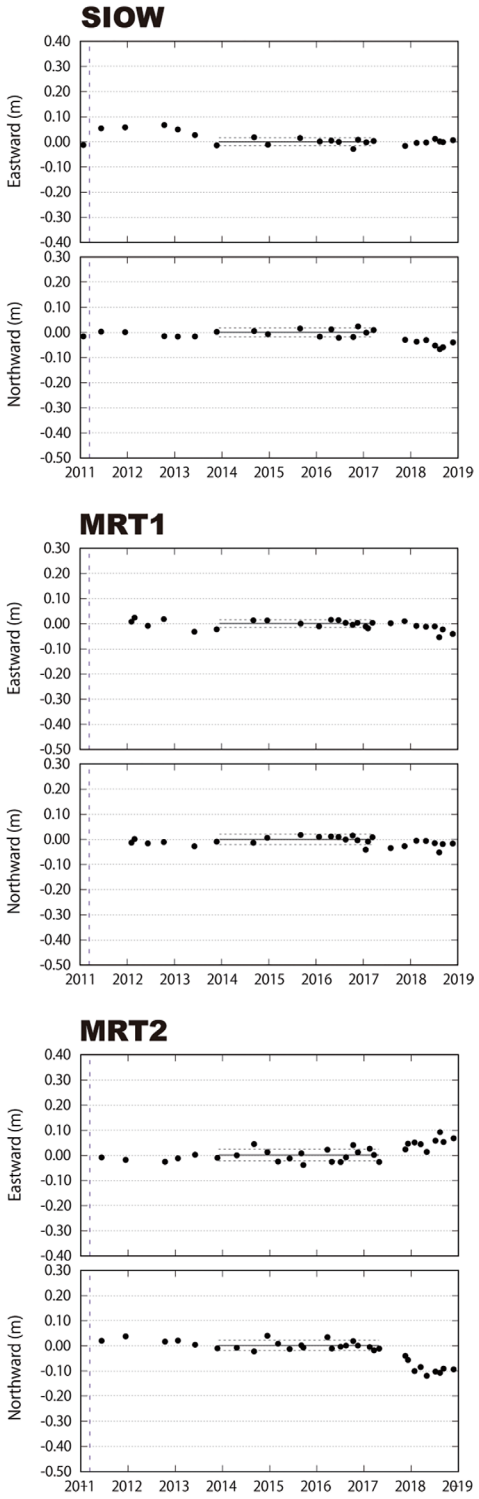


図 1　紀伊水道沖の観測点における 2011 年以降の時系列．2013 年 11 月から 2017 年 6 月までの 1 次トレンド（実線）を除去している．トレンドの上下の点線はトレンドからのデータのばらつきの標準偏差の幅．

図 1 にその時系列を示す．2017 年末頃から 2018 年初頭にかけてステップ状の非定常な変動が生じている．2013 年 11 月から 2017 年 6 月までの平均値と 2018 年 2 月から 9 月までの平均値の差から求めた非定常変動のベクトルを図 2 に示す．また，陸上の GNSS の観測点及びこの 3 点以外の海底観測点では同時期に顕著な変化は表れていない．

これらの変動を説明するプレート境界の矩形断層モデルをグリッドサーチにより推定した．最適解を図 2 の赤四角で示す．この推定結果から，時系列にあらわれた非定常な変動はプレート境界浅部におけるスロースリップによるものと考えられる．なお，観測頻度が年数回程度であることから，イベントの開始終了の正確な時期の特定は困難であるが，数ヶ月から 1 年程度の継続期間のすべりであると推測される．

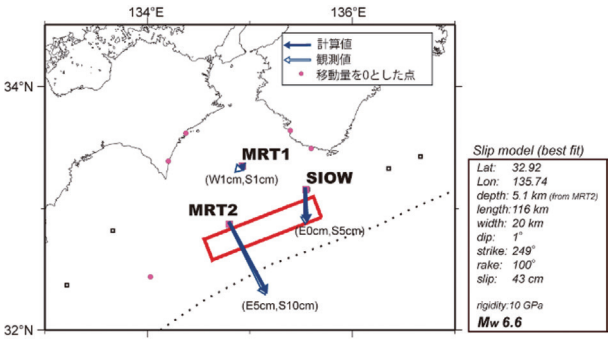


図 2　非定常変動のベクトル図と変動を説明する矩形断層モデル．白抜き矢印が観測結果．桃色の点は断層モデル推定の際に移動量を 0 とした点．赤四角がグリッドサーチで求めた矩形断層モデルの最適解で，右側の囲みにその諸元を示す．青矢印は矩形断層モデルによる変動量の計算値．

（楠　勝浩）

参考文献

1)　Yokota, Y. and T. Ishikawa, 2020, Shallow slow slip events along the Nankai Trough detected by GNSS-A. *Scien-ce Advances*, 6, eaay5786.

4．その他の地域のスロー地震

（1）　国土地理院による観測

房総半島沖合では，SSE が 1996, 2002, 2007, 2011, 2013, 2018 年の 6 回起きていることが知られている[1)-5)]．図 1 に国土地理院の GNSS 観測網により検出された地殻変動を示す．どの SSE の発生時期にも，南東方向への地殻変動が観測されている．これらの地殻変動に基づき推定したすべり分布を図 2 に示す．規模は様々であるが，すべての SSE で房総半島南東沖合にすべり域が求まっている．2018 年の SSE の規模が最大であったことがわかる[5)]．

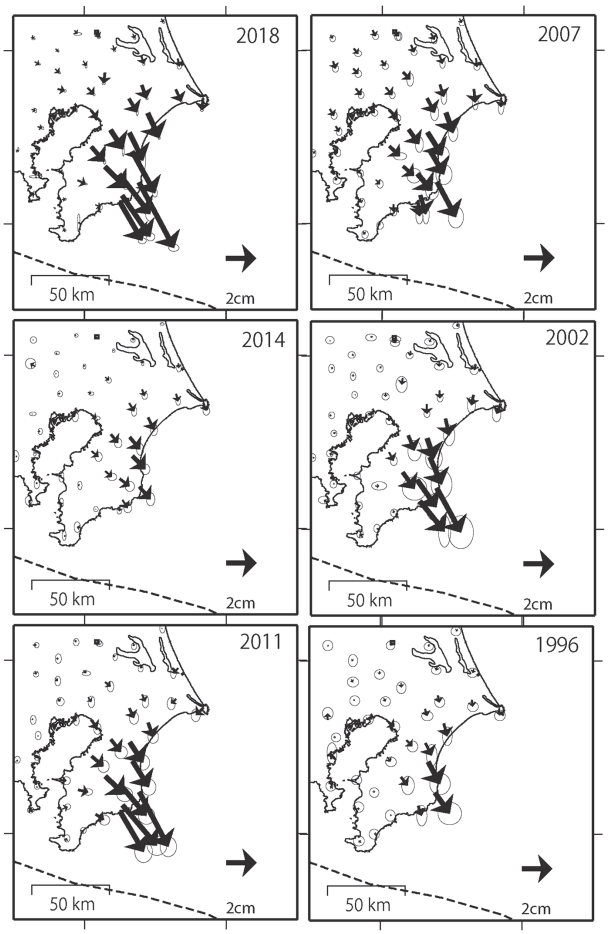


図 1　過去 6 回の房総半島沖合の SSE 時の遷移変動.

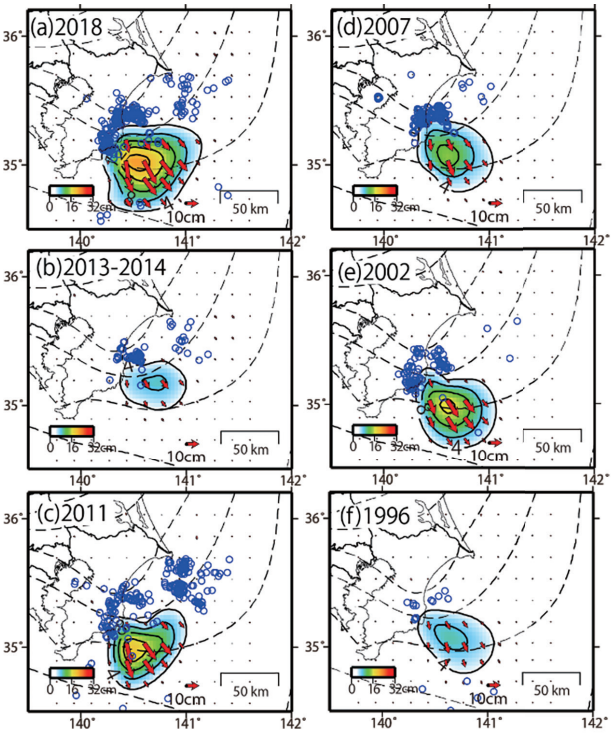


図 2　過去 6 回の SSE のトータルの滑り分布. 青丸は, プレート境界の地震の震央（気象庁一元化震源より）

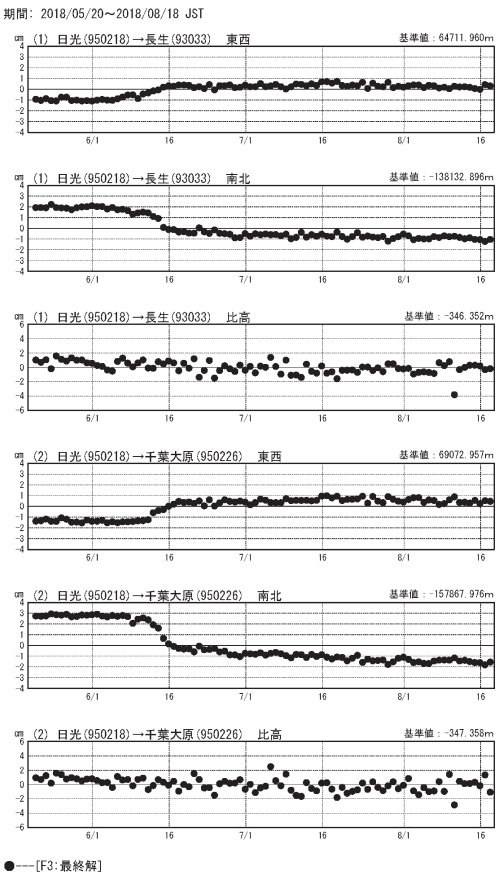


図 3　2018 年の房総半島非定常地殻変動の時系列グラフ.

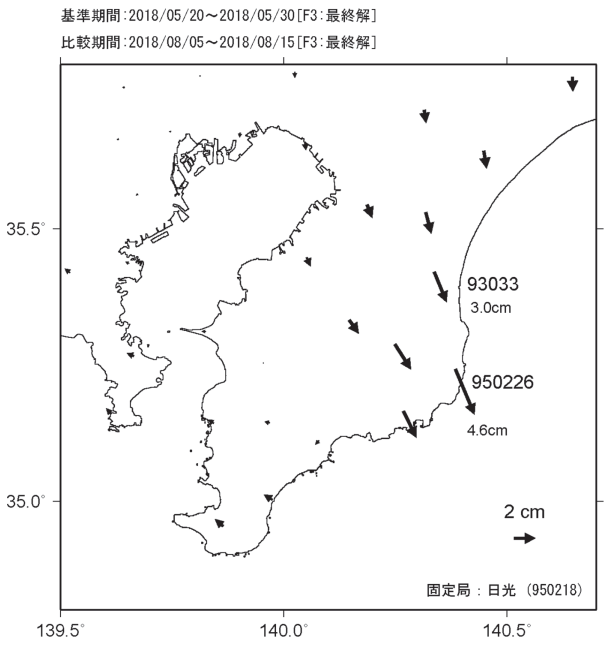


図 4　2018 年の房総半島非定常変動のベクトル図.

参考文献

1) Fukuda, J. (2018). Variability of the space - time evolution of slow slip events off the Boso peninsula, central Japan, from 1996 to 2014. *J. Geophys. Res.*, **123**(1), 732-760. doi:10.1002/2017JB014709.

2) Hirose, H., Kimura, H., Enescu, B. and Aoi, S. (2012). Recurrent slow slip event likely hastened by the 2011 Tohoku earthquake. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **109**(38), 15157-15161. doi:10.1073/pnas.1202709109.

3) Hirose, H., Matsuzawa, T., Kimura, T. and Kimura, H. (2014). The Boso slow slip events in 2007 and 2011 as a driving process for the accompanying earthquake swarm. *Geophys. Res. Lett.*, **41**(8), 2778-2785. doi:10.1002/2014GL059791.

4) Ozawa, S. (2014). Shortening of recurrence interval of Boso slow slip events in Japan. *Geophys. Res. Lett.*, **41**(8), 2762-2768. doi:10.1002/2014GL060072.

5) Ozawa, S., Yarai, H., Kobayashi, T. (2019). Recovery of the recurrence interval of Boso slow slip events in Japan. *Earth Planets Space*, **71**(1), 78. doi:10.1186/s40623-019-1058-y.

（2） 防災科学技術研究所による観測

1．はじめに

南海トラフに沿って発生するさまざまスロー地震や防災科学技術研究所（以下，防災科研という）におけるモニタリングについては，既に第 2 部第 3 章 3.(3)で紹介した．それらに加えて本節では，他の地域も含めた全国的なモニタニングについて紹介する．定常的に資料提供を行っている全国的なモニタリングとしては，高感度地震観測網 Hi-net に併設の高感度加速度計によるマルチアレイ解析が挙げられる [1)]．この解析は，周期 20 秒から 50 秒において効率よく表面波を励起するような浅部超低周波地震の検出に適している．これによって，十勝沖や日向灘では，紀伊半島沖や四国沖と比べて比較的高い頻度で浅部超低周波地震活動が起きていることが報告されてきた．

一方で，より規模が小さなイベントや表面波の励起が弱い深部超低周波地震の検出などはこの解析方法では困難である．このような活動の検出については，目視でのイベント検出とそれをテンプレートイベントとした Matched filter 解析が有効な場合がある．東北地方太平洋沖の超低周波地震 [2)]はこのような解析によって検出された活動の一つである．また，比較的少ない観測点数の広帯域地震観測網（F-net）の記録での解析も可能であることから，Matched filter 解析は日向灘以南における超低周波地震のモニタリングにも有効である [3)]．

以上のように高感度加速度計や広帯域速度計によって検出されうる超低周波地震のみならず，防災科研ではスロースリップイベントのモニタリングも行っている [4) 5) 6)]．南海トラフ沿いを除く他の地域では，房総半島沖において群発地震活動を伴うスロースリップイベントが繰り返し発生しており，最近 10 年間では 3 回のイベントを検出された．以下では，これらについて紹介する．

2．マルチアレイ解析による浅部超低周波地震のモニタリング

防災科研では，Hi-net に併設された高感度加速度計の記録をフィルター処理（通過帯域 0.02-0.05Hz）した後にアレイ解析することによって，主として超低周波地震の検出とその震央推定を行い，その結果を 2008 年より資料提供してきた．より具体的には，半径 50km 程度の地震計アレイを全国の 110 箇所に構成し，それぞれのアレイについてセンブランス解析を行うことによってコヒーレントな波群を検出するとともに，局所的な平面波入射を仮定して波群到来方向を推定する．その後に，同時間帯における各アレイでの波群到来方向を説明するような震央位置を推定する．この段階では，遠地や近地で発生する通常の地震や気象，海象現象に伴う震動源も含まれるため，これらを取り除いて残ったイベントを検出イベントと定義している [1)]．このようにして認定された検出イベントはその多くが超低周波地震であるが，取り除くことができなかった誤認イベントも含まれる．特に，房総半島沖の三重会合点付近や南海トラフ・南西諸島海溝会合部などが遠地や近地の地震の地震波を散乱する二次波源として振る舞い，それらが誤認イベントとして検出されることもある．このような誤認の克服も将来的な課題ではあるが頻度は比較的低く，継続期間が数日間を超えるような超低周波地震活動の検出には大きな問題はない．

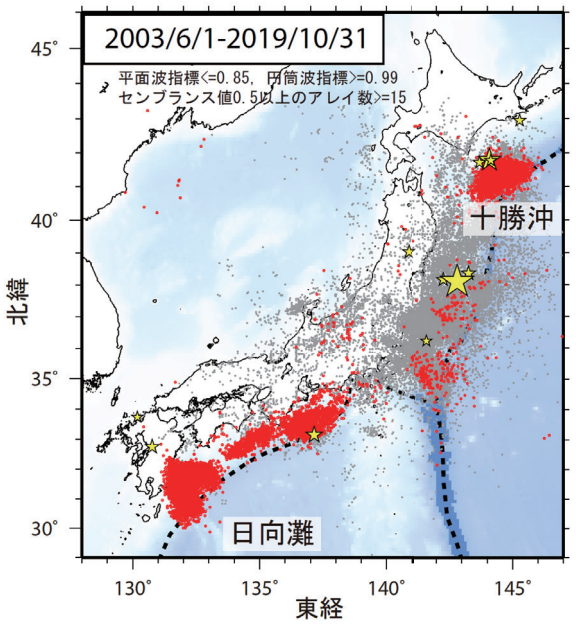


図 1　アレイ解析によるイベントの分布．検出イベントを赤色の点，防災科研 Hi-net による震源リストとの照合によって通常の地震として除去されたイベントを灰色の点でそれぞれ示す．期間内に発生した M7 以上の地震の震央を黄色星印で併せて示す（ただし，2011 年 3 月 11 日以降の東日本は東北地方太平洋沖地震の本震のみ図示）．

防災科研では，上記の様な解析を 2003 年 6 月の記録に遡って行うとともに，最新の記録については準リアルタイムでの解析を行ってきた（図 1，図 2）．その結果，既に 3．3 において報告の四国沖や紀伊半島沖以上に，十勝沖や日向灘では高い頻度で超低周波地震の活動が発生していることが明らかになっている（図 2）．このうち十勝沖では平成 15 年（2003 年）十勝沖地震の発生後に超低周波地震活動が活発化し，その後は経過時間とともに順調に頻度が減じた [1)]．そして，2017 年以降は概ね年に 1 度程度となっている（図 2）．

日向灘においても年に 1 度以上の頻度で活動が検出されてきた．このうち，2003 年，2010 年，および 2015 年

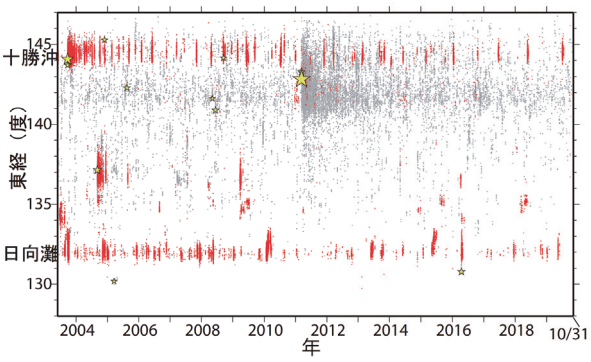


図２　アレイ解析によるイベントの時空間分布．シンボルは図１に同じ．

の活動においては，足摺岬の南方沖に達するような広域に亘る活動が捉えられた．少なくとも 2003 年と 2010 年は豊後水道における長期的スロースリップとの対応[7]が指摘されており，海陸プレート間におけるより広域的なすべりの理解のためにも継続的なモニタリングが重要といえる．一方で，日向灘はこのアレイ解析における観測網の縁辺部に位置しており，観測点カバリッジが良くない．このために精度良い位置推定や南西諸島海溝へと続く活動のモニタリングは困難であり，少ない観測点数の F-net 記録などからも超低周波地震活動のマイグレーションが捉えられている Matched filter 解析[3]のルーチン化も期待される．

３．東北地方太平洋沖のスロー地震

東北地方太平洋沖における超低周波地震活動は，Matsuzawa et al.（2015）[2]により初めて報告された（図 3）．これらのイベントは，波形が比較的明瞭な場合でも Mw3.4 ～ 3.6 と規模が小さく，上述のアレイ解析からは，十分に検出することは難しい．このため防災科研では，F-net のデータを利用した，Matched filter 解析によって検出・位置決定を行っている．

図 3 に示すように，超低周波地震は日本海溝沿いに大きく分けて 3 つの領域でクラスター状に分布している．2011 年東北地方太平洋沖地震発生後は，同地震のすべり域の南北端に位置する日本海溝南部と北部側で活動が活発化した一方，中部の領域では活動が検出されていない．こうした活発化は，地震すべりにおける応力の再分配により，周囲のゆっくりすべりが誘発されたことによる可能性が考えられる．

一方，最近の進展として，2016 年 8 月から順次運用を開始した日本海溝海底地震津波観測網（S-net）の地震計記録からは，十勝沖から房総沖にかけての広い領域で低周波微動が発生していることが明らかとなった（Tanaka et al., 2019[8]; Nishikawa et al., 2019[9]）．低周波微動は超低周波地震と同期して発生しており，これらスロー地震と大地震のすべり域が相補的に分布していることが明らかとなった．このようなモニタリングのルーチン化も将来的な課題の一つと言える．

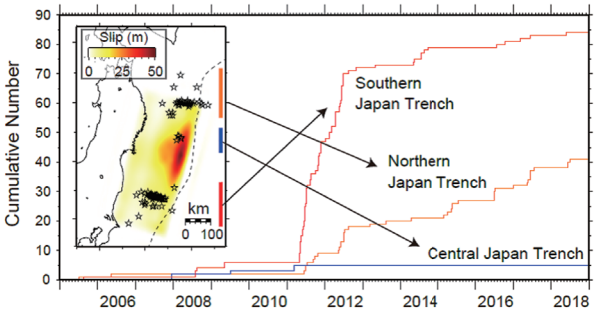


図３　東北地方太平洋沖で発生した超低周波地震のクラスター毎の積算個数変化．Matsuzawa et al.（2015）[2]，Nishikawa et al.（2019）[9]の結果に，2018 年 12 月までの暫定解析結果を加えたものを示す．橙線，青線，赤線はそれぞれ日本海溝北部（岩手沖），中部（大すべり域付近），南部（福島・茨城沖）のクラスターでの活動に対応する．図内の地図には，超低周波地震の震央を星印で示し，Suzuki et al.（2011）[10]による 2011 年東北地方太平洋沖地震のすべり量分布を色で示す．

４．房総半島沖のスロー地震

関東地方ではフィリピン海プレートが沈み込み，このプレートと陸側プレートの境界では，1923 年関東地震やスロー地震などの現象が発生する．房総半島沖では，Hi-net に併設された高感度加速度計（傾斜計）により，スロー地震による地殻変動が 2002，2007，2011，2014，2018 年に捉えられている．房総半島沖スロー地震は，それ自体では地震波を放出しないが，最大 M4 － 5 程度の地震を含む群発地震活動を伴うという特徴がある．また，Hi-net 以前の関東東海地震観測網による観測によって，1983，1990，1996 年にも類似した活動がとらえられてきた．すなわち，過去 40 年間に 2 － 7 年間隔で繰り返してきたことが明らかとなっている（図 4）．

房総半島沖スロー地震の活動域は 1923 年関東地震や

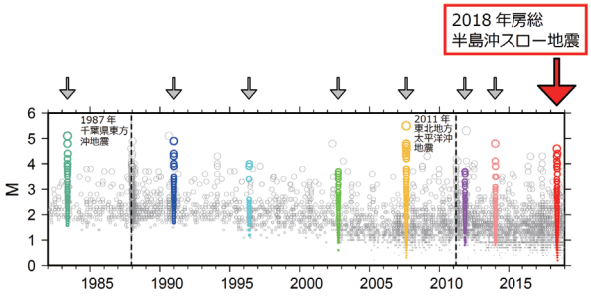


図４　房総半島沖の地震の発生時系列．房総半島沖スロー地震を矢印で，スロー地震に伴う地震を色付きシンボルで示す．

その最大余震等の巨大地震震源域に近接しており，その活動を把握することは，応力蓄積状況を理解するうえで重要である．このため，防災科研では予知連等への資料提供を行うとともに，関係機関と連携して，房総半島沖スロー地震に関する情報を発信してきた[4)5)6)]．

2018 年に発生した房総半島沖スロー地震においては，6 月 3 日頃より傾斜変動がはじまり，傾斜変化は約 1.0 μ rad に達した（図 5）．このような傾斜変化データを説明する断層モデルの推定が可能である．その結果（図 6）によると，過去 10 年間のいずれのスロー地震についても房総半島沖のほぼ同じ場所ですべりを繰り返しているものとみられる[4) 5) 6)]．

また，房総半島沖スロー地震の再来間隔に着目すると，2011 年のイベントまでは約 4 年 2 ヶ月，2014 年のイベントまでは約 2 年 3 ヶ月，2018 年のイベントまでは約 4 年 5 ヶ月であった．2011 年のイベントまでの再来間隔はそれ以前の標準的な再来間隔とくらべて短く，これは直前に発生した東北地方太平洋沖地震およびその余効すべりによる応力増加の影響が考えられる[12)]．2014 年のイベントまでの再来期間はさらに短かったが，このイベントの規模は小さく，そのために発生が早まった可能性がある．2018 年は，2014 年より再来間隔が長く，規模もふくめて東北地方太平洋沖地震以前に近い．これらのことは，東北地方太平洋沖地震から時間が経過することで，房総半島沖スロー地震の活動が，東北地方太平洋沖地震以前の状態に戻りつつあることを示している可能性がある．今後の推移を明らかにするため，引き続き観測を継続する必要がある．

（浅野　陽一・松澤　孝紀・木村　尚紀）

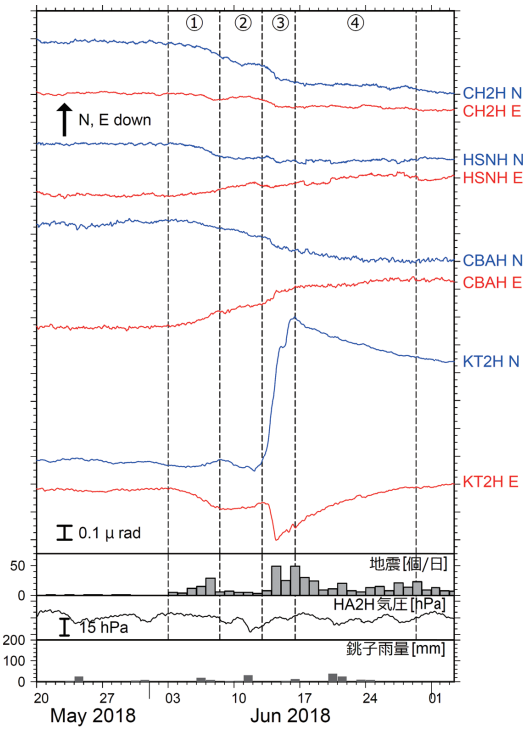


図 5　2018 年房総半島沖スロー地震に伴う傾斜時系列．BAYTAP-G[11)]により潮汐・気圧応答成分を除去し，地震時のステップおよび直線トレンドを補正した．房総半島沖の地震活動度，気圧・雨量をあわせて示す．

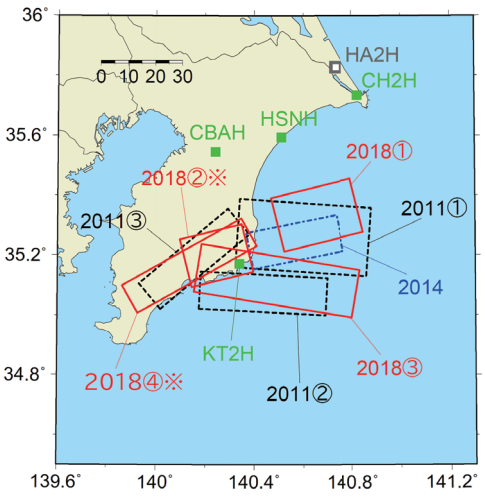


図 6　傾斜変化データから推定した最近 10 年間における房総半島沖スロー地震の断層モデル．2018 年については，①～④は図 5 に示す各期間の変動源それぞれ示す．②および④については，推定精度が低いため参考として示す．

参考文献

1) Asano, Y., Obara, K., Ito, Y., 2008. Spatiotemporal distribution of very-low frequency earthquakes in Tokachi-oki near the junction of the Kuril and Japan trenches revealed by using array signal processing. *Earth Planets Space*, 60, 871-875.

2) Matsuzawa, T., Y. Asano, and Y., Obara, K., 2015. Very low frequency earthquakes off the Pacific coast of Tohoku, Japan. *Geophys. Res. Lett.*, 42, 4318-4325, doi:10.1002/2015GL063959.

3) Asano, Y., K. Obara, T. Matsuzawa, H. Hirose, and Y. Ito, 2015. Possible shallow slow slip events in Hyuga-nada, Nankai subduction zone, inferred from migration of very low frequency earthquakes. *Geophys. Res. Lett.*, 42, doi:10.1002/2014GL062165.

4) 防災科学技術研究所, 2012. 房総半島沖スロースリップイベント（2011 年 10 - 11 月）．地震予知連絡会会報，87，185-190.

5) 防災科学技術研究所，2014．2014 年 1 月房総半島沖スロースリップイベント．地震予知連絡会会報，92, 108-116.

6) 防災科学技術研究所, 2019. 房総半島沖スロースリップイベント（2018 年 6 月）．地震予知連絡会会報，101，168-171.

7) Hirose, H., Y. Asano, K. Obara, T. Kimura, T. Matsuzawa, S. Tanaka, and T. Maeda, 2010. Slow earthquakes liked along dip in the Nankai subduction zone. *Science*, 330, 1502.
8) Tanaka, S., T. Matsuzawa, and Y. Asano, 2019. Shallow low-frequency tremor in the northern Japan Trench subduction zone. *Geophys. Res. Lett.*, 46, 5217-5224, doi:10.1029/2019GL082817.
9) Nishikawa, T., T. Matsuzawa, K. Ohta, N. Uchida, T. Nishimura, and S. Ide, 2019. The slow earthquake spectrum in the Japan Trench illuminated by the S-net seafloor observatories. *Science*, 365, 808-813, doi:10.1126/science.aax5618.
10) Suzuki, W., S. Aoi, H. Sekiguchi, and T. Kunugi, 2011. Rupture process of the 2011 Tohoku-Oki mega-thrust earthquake (M9.0) inverted from strong-motion data. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L00G16, doi:10.1029/2011GL049136.
11) Tamura, Y., T. Sato, M. Ooe, M. Ishiguro, 1991, A procedure for tidal analysis with a Bayesian information criterion, Geophys. J. Int., 104, 507-516.
12) Hirose, H., H. Kimura, B. Enescu, and S. Aoi, 2012, Recurrent slow slip event likely hastened by the 2011 Tohoku earthquake. *Proc. Natl. Acad. Sci.* USA, 109, 15157-15161.

5．まとめ

小原　一成（東京大学地震研究所）

スロー地震が 2000 年前後に発見された直後の 10 年は主として陸域観測網によって，その次の 10 年は主として海域観測網によって新たな知見が得られてきた．特に，トラフ軸付近の浅部でも固着域より深部側と同様のスロー地震現象が発見されたことは，温度や圧力条件が大きく異なる環境でも同様の遷移的現象を引き起こすすべり・摩擦特性を提供し得ることを示すものであり，今後解明すべき大きな課題の一つである．

また，最近 10 年の成果として，スロー地震活動の系統性や多様性がそれぞれ明確になってきたことが挙げられよう．例えば，深部の長期的 SSE については当初，東海と豊後水道のみで検出されていたが，最近 10 年間でそれ以外の領域でも検出されるようになり，ETS と固着域のギャップを埋めるものとして認識されるようになってきた．つまり，少なくとも南海トラフではプレートの沈み込み方向に沿って，浅部スロー地震，固着域，長期的 SSE，深部 ETS と現象が系統的に棲み分ける描像が明確になった．さらに，長期的 SSE も複数のセグメントに分かれ，セグメント間での連動も明らかとなり，時空間的スケールは異なるものの ETS と同様の特徴を有することがわかってきた．長期的 SSE と ETS という時定数の異なる現象を分ける一つの要因としては，プレート境界におけるレオロジーの違いが挙げられる．つまり，ETS 域と固着域が摩擦的挙動を示すのに対して，長期的 SSE 域では粘性的性質が含まれると考えられ[1]，それぞれマントルウェッジと島弧下部地殻という上盤側の構造の違い[2]が影響しているのかもしれない．

これまでの結果に基づくと，南海トラフ沈み込み帯では異なるタイプのスロー地震がプレート境界面の深さに応じて系統的に棲み分けており，同様の深さでは同一現象が複数のセグメントを形成するという不均質性を示すのに対して，最近日本海溝付近で発見された浅部スロー地震は同一の深さでプレート走向方向に固着域と棲み分けており，不均質の程度がさらに強くなっているように見える[3]．これと同様の走向方向の不均質については，南海トラフの浅部スロー地震についても見られる[4]．

また，スロー地震間の相互作用もより明確になってきた．特に興味深いのは，深部と浅部のスロー地震間にみられる相互作用である．2003 年と 2010 年に発生した豊後水道の長期的 SSE 活動期間中に深部側の微動が活発化したことはすでに述べたとおりだが，同時に足摺岬沖での浅部 VLF も活発化していた[5]．このことは，長期的 SSE のすべり域が南海トラフ近傍の浅部 VLF 震源域まで延びていたとして解釈され，これらのプレート沈み込み方向に並んだスロー地震が 1946 年の南海地震の破壊を遮ったものとも考えられる．さらに，小繰り返し地震によって明らかにされたプレート間準静的すべりとスロー地震活動の時空間変化から，南海トラフ全域における大規模な移動現象が明らかにされた[6]．これらは，広範囲にわたる現象間相互作用とみなすことができ，スロー地震活動域に隣接する巨大地震震源域に対しても同様の影響を及ぼしていることは十分に考えられる[7]．実際に，東北沖地震や 2014 年のチリ・イキケ地震の際にも巨大地震の発生に先立ってスロー地震の移動が検出されており[8), 9)]，そのような観点でスロー地震を継続的にモニタリングすることは非常に重要であろう．

参考文献

1) Kano, M., A. Kato, & K. Obara, 2019. Episodic tremor and slip silently invades strongly locked megathrust in the Nankai Trough, *Scientific Reports*, 9, 9270, https://doi.org/10.1038/s41598-019-45781-0.

2) Uchida, N., R. Takagi, Y. Asano, & K. Obara, 2019. Migration of shallow and deep slow earthquakes toward the locked segment of the Nankai megathrust, *Earth and Planetary Science Letters*, https://doi.org/10.1016/j.epsl.2019.115986.

3) Nishikawa, T., T. Matsuzawa, K. Ohta, N. Uchida, T. Nishimura, & S. Ide, 2019. The slow earthquake spectrum in the Japan Trench illuminated by the S-net seafloor observatories, *Science*, 365, 808-813,

4) Takemura, S., A. Noda, T. Kubota, Y. Asano, T. Matsuzawa, & K. Shiomi, 2019b. Migrations and Clusters of Shallow Very Low Frequency Earthquakes in the Regions Surrounding Shear Stress Accumulation Peaks Along the Nankai Trough, *Geophysical Research Letters*, 46, 21, 11830-11840, https://doi.org/10.1029/2019GL084666.

5) Hirose, H., Y. Asano, K. Obara, T. Kimura, T. Matsuzawa, S. Tanaka, & T. Maeda, 2010. Slow earthquakes linked along dip in the Nankai subduction zone, *Science*, 330, 1502.

6) Kato, A., T. Iidaka, R. Ikuta, Y. Yoshida, K. Katsumata, T. Iwasaki, S. Sakai, C. Thurber, N. Tsumura, K. Yamaoka, T. Watanabe, T. Kunitomo, F. Yamazaki, M. Okubo, S. Suzuki, & N. Hirata, 2010. Variations of fluid pressure within the subducting oceanic crust and slow earthquakes, *Geophysical*

Research Letters, 37, L14310, https://doi.org/10.1029/2010GL043723.

7) Obara, K. & A. Kato, 2016. Connecting slow earthquakes to huge earthquakes, *Science* 353, 253–257.

8) Kato, A., K. Obara, T. Igarashi, H. Tsuruoka, S. Nakagawa, & N. Hirata, 2012. Propagation of slow slip leading up to the 2011 Mw9.0 Tohoku-Oki earthquake, *Science*, 335（6069）, 705–708, https://doi.org/10.1126/science.1215141.

9) Kato, A., & S. Nakagawa, 2014. Multiple slow-slip events during a foreshock sequence of the 2014 Iquique, Chile Mw 8.1 earthquake, *Geophysical Research Letters*, 41, 5420-5427, https://doi.org/10.1002/2014GL061138.

第 4 章　この 10 年の主な地震（2009 年～ 2018 年）

1．駿河湾の地震（2009 年 8 月 11 日，M6.5）

伊藤　武男（名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山研究センター）

1．はじめに

平成 21 年（2009 年）駿河湾の地震は 2009 年 8 月 11 日 5 時 7 分に静岡県御前崎の北東 35km 沖の駿河湾の深さ 23km を震源として発生した．気象庁マグニチュードは 6.5，モーメントマグニチュードは 6.3 と推定され，静岡県内で最大震度 6 弱を観測した（図 1）．静岡県内で震度 6 弱以上を観測したのは，1944 年昭和東南海地震以来の 65 年ぶりである．この地震による被害は 1 都 4 県と比較的広範囲にわたって発生し，死者 1 名，負傷者 319 名，住宅 6 棟が半壊，8672 棟が一部破損した．さらに，地すべりによって東名高速道路の路肩が崩落，静岡県所有の駿河湾深層水施設が被災し，深層水の供給が一部停止するなどの被害が報告されている [1)]．また，初めて「東海地震観測情報」が出された地震でもある．

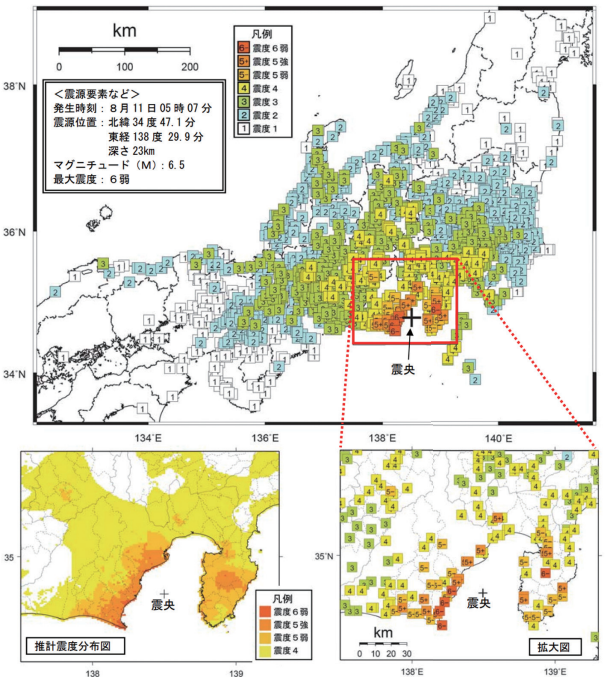


図 1　本震発生時の各震度観測点における震度分布と推計震度分布．＋は震央位置（気象庁資料 [2)]）．

2．地震発生の背景

西南日本では，フィリピン海プレートがユーラシアプレートの下に沈み込み，100 年から 200 年の間隔で巨大地震が発生する．マグニチュード 8 クラスの地震が発生する南海トラフは，南海，東南海および，東海の 3 つのセグメントに区分されており，1944 年と 1946 年には，2 つの巨大地震が東南海と南海のセグメントを破壊した．ただし，その時点では遠州灘から駿河湾にある東海セグメントは破壊されていない．このことから，駿河湾から静岡県の内陸部を想定震源域とする東海地震の発生が危惧されている．

一方，駿河湾周辺域は伊豆・小笠原島弧の北端部にあたる伊豆半島の西側であることから伊豆・小笠原島弧と本州弧の衝突ならびに，駿河トラフでのフィリピン海プレートの沈み込みという 2 つのテクトニクスによって特徴づけられる．この影響により，駿河湾周辺では伊豆半島の南端の石廊崎付近から北西に伸びる駿豆構造線沿いおよび，その南部での地震活動が比較的活発であり，地震活動の P 軸は北東―南西方向を向いているのに対して，T 軸は安定しておらず，逆断層や横ずれ断層が混在している．これは，伊豆・小笠原島弧と本州弧との衝突作用によりフィリピン海プレートの北西進が妨げられており，その衝突領域を中心とした放射状の圧縮応力が生じることで説明される．このモデルに基づくと，フィリピン海プレートの沈み込みに対して上盤側の抵抗力が小さくなると横ずれ型，抵抗力が大きくなると，逆断層型の地震が発生すると指摘されている（Ukawa，1991）．

駿河湾の地震が発生した領域での地震活動は，時々マグニチュード 2 から 3 の地震が発生する程度であり，周辺の地震活動と比較すると，比較的低調な領域であった．伊豆半島周辺から銭洲海嶺及び，三宅島付近を含む伊豆諸島域では，地震活動が約 8 年の間隔で周期的に繰り返し発生しており，それぞれの活動期間は 1 年以下である．活動期にはマグニチュード 6 クラスの地震が広域にわたり発生し，1930 年代から 8 回の活動期が繰り返し発生しているとしている（溝上，2000）．今回の駿河湾の地震が 9 回目の活動期であると考えられる．

3．想定東海地震との関係

駿河湾の地震は，東海地震の想定震源域内で発生したため，8 月 11 日 7 時 15 分に「東海地震観測情報（東海地震に」の第 1 号が出され，同日 11 時 20 分の第 3 号により「想定される東海地震に結びつくものではない」と発表された．これは，平成 16 年（2004 年）に東海地震に関する初期段階の情報における名称が「（東海地震）解説情報」から「（東海地震）観測情報」に変更し，その位置付けなどが変更されて以降初めての発表である．

また, 1979 年に気象庁に「地震防災対策強化地域判定会」が設置されて以降，初となる臨時の委員打合せ会が招集されている．臨時の委員打合せ会では，駿河湾の地震は震源の深さ，発震機構解および，余震分布から沈み込むフィリピン海プレート内で発生したスラブ内地震であることと，地震後にゆっくりとした地殻変動変化が継続していたが，想定される東海地震の前兆滑りによる変化ではないと判断したことから，駿河湾の地震およびそれに伴う地殻変動は想定される東海地震に結びつくものではないと発表した．なお，平成 29 年 11 月 1 日から「南海トラフ地震に関連する情報」の運用が開始されたため，現在は東海地震のみに着目した「東海地震に関連する情報」の発表は実施されていない．

4．本震および余震活動

4.1　発震機構，余震活動域および，過去の地震活動

気象庁一元化震源による本震の震源位置は，北緯 34 度 47.1 分，東経 138 度 29.9 分，深さ 23km である．この付近での M6.0 以上の地震は，1974 年の伊豆半島沖地震（M6.9）が最後であり，今回の地震は過去 35 年間で最大規模の地震である．本震および余震の震央分布を図 2 に示す．余震域の北西側と南東側とでそれぞれ異なる面に沿って震源が分布しており，いずれの面も発震機構解と調和的であり，北東部よりも北西部で余震活動は活発になっている．また，P 波初動分布により本震のメカニズム解と CMT 解を図 3 に示す．いずれの解も北北東―南南西方向の圧縮軸で横ずれ成分を持つ逆断層型であり，衝突領域を中心とした放射状の圧縮応力方向と整合的である．

今回の地震の余震活動は，本震発生から数時間の間は非常に活発であった．その後，地震活動は次第に減衰したが，本震の約 7km 北西の本震直後の活動がやや低調であった箇所で 8 月 13 日 18 時 11 分に M4.5 の最大余震が発生した（図 2）．また，震源域周辺部の藤枝市付近では，8 月 12 日に M2.5 の地震が発生し数日間地震活動が活発になった．この地震は西北西―東南東方向の圧縮軸をもつ低角逆断層型の発震機構であり，駿河湾の地震の前には地震活動がなかったことから，駿河湾の地震に誘発された地震活動であると考えられる [5]．

図 4 は 8 月 11 日から 18 日までに発生した余震活動の震源について，ダブル・ディファレンス法 [6] により再決定した震源分布を示している．これらの結果から，余震域の北西側と南東側の領域に別れて震源が分布しており，それらの断面図から余震域は 1 面の平板のような単

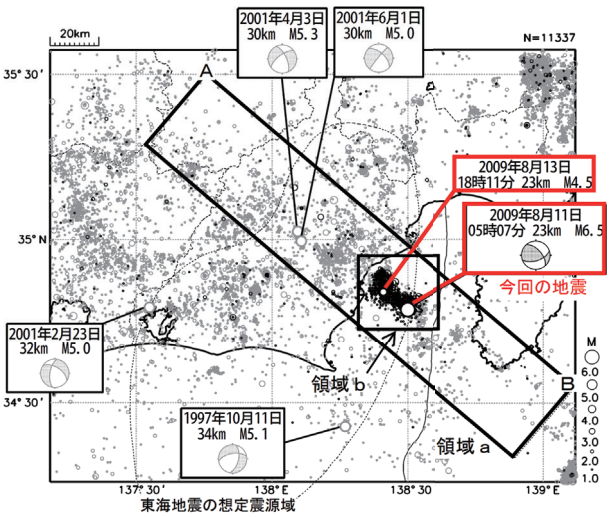


図 2　1997 年 10 月 1 日～2009 年 11 月 25 日の震央分布（深さ 60km 以浅，M ≧ 1.0）．2009 年 8 月 11 日以降の地震を濃く表示（気象庁資料 [5]）．

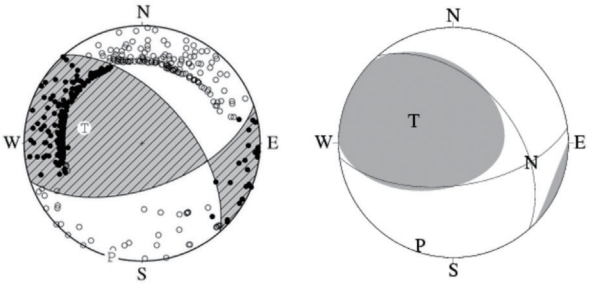


図 3　左図：P 波初動分布による本震のメカニズム解．
右図：CMT 解（気象庁資料）．

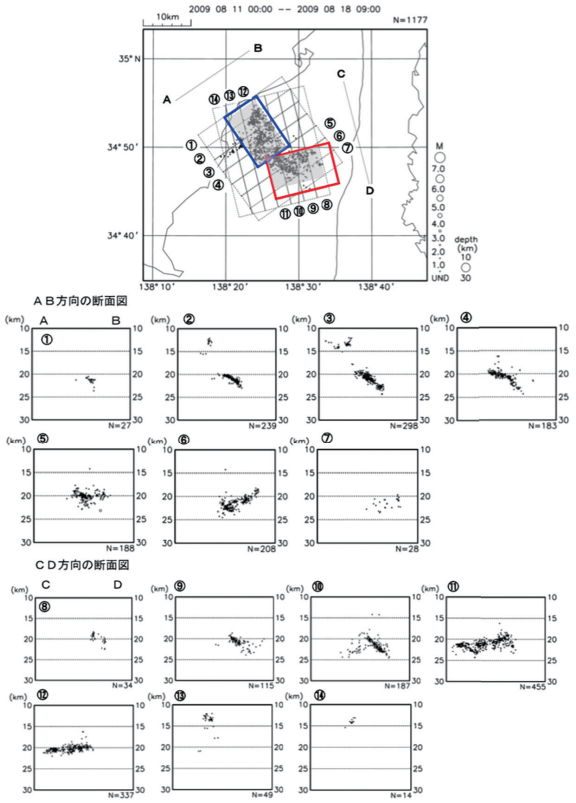


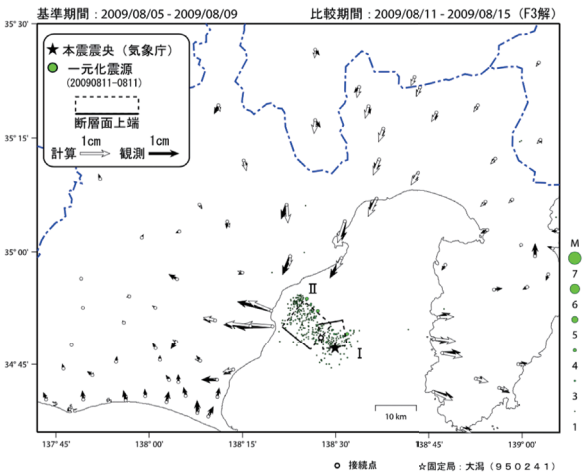
図 4　ダブル・ディファレンス法による本震および余震分布（気象庁資料 [5]）．

純なものではなく，余震域北西側は N34°W の走向と傾斜 34°，南東側は N76°W の走向と傾斜 41°を持つ 2 つの平面に沿って余震が発生している事がわかる．このように，2 つの領域において，傾斜方向が大きく異なっている [5]．

駿河地震の震源域周辺で発生した最大規模の地震は 1935 年 7 月 11 日の静岡地震（M6.4）と 1965 年 4 月 20 日の静岡県中部の地震（M6.1）である．これらの地震と 2009 年駿河湾の地震は類似性が高く，観測波形も相似性が比較的高い．沈み込むフィリピン海プレートの内部に発生した地震であり，これらの地震は同じ応力場を反映した地震であると考えられる [5]．

4.2　震源断層モデルおよび，震源破壊過程

地震時の地殻変動は，震源の西側にあたる焼津市付近で西向きに約 1cm の変動が観測され，北側の清水市付近では南西方向に数 mm，東側の伊豆半島西部では東向きに数 mm の水平変動を観測した（図 5）．また，名古屋大学ら [8] が駿河湾内に設置された海底ベンチマークの再測量を実施し，少なくとも南西方向に 2cm 程度の有意な水平変位が認められた．一方，地震の前後には明瞭なプレスリップや余効変動は観測されていない．GEONET で観測された地震時の地殻変動に基づき，一様すべりの矩形断層を仮定した逆解析により 2 枚の震源断層モデルの断層パラメターを推定している（図 5）．断層面 I は東西走向の南に傾き下がる断層面で左横ずれ成分を伴った逆断層的なすべり（すべり量約 39cm），断層面 II は北西 - 南東走向の北東に傾き下がる右横ずれ成分を伴った逆断層的にすべり（すべり量約 62cm）と推定された．なお，断層面は本震震源及び余震分布の中央付近を通過している．



	緯度	経度	上端深さ km	長さ km	幅 km	走向	傾斜	滑り角	滑り量 m	Mw
I	34.84°	138.45°	15.7	6.0	10.0	80°	50°	59°	0.39	5.8
II	34.78°	138.43°	16.7	9.0	10.0	310°	35°	117°	0.62	6.1

図 5　駿河湾の地震による地殻変動と震源断層モデル．水平変動ベクトル観測値を黒塗り，計算値を白抜きの矢印で表現（国土地理院資料 [7]）．

震源破壊過程の解析はいくつかのグループにより実施されている．防災科研のグループの解析結果を例として示す [9]．震源域近傍の K-NET，KiK-net の強震波形記録を用いて解析した結果，破壊は主として破壊開始点から西方に伝搬し，2 つの断層セグメントの接合点付近にすべりの大きい領域が広がっている．最大すべり量は 0.79m であり，破壊開始点の西へ 6km のセグメント II 上の領域に推定されている（図 6）．なお，この地震の発生の約 690 秒前にアンダマン諸島で M7.6 の地震が発生していたため，その表面波の影響により遠地実体波解析は難しい（山中 2009）．

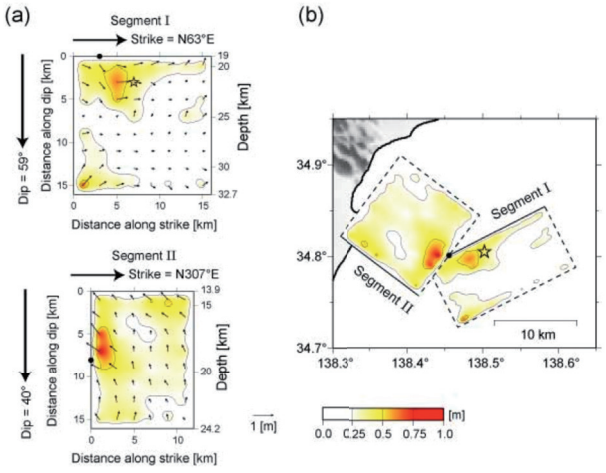


図 6　(a) 断層面上のすべり分布．矢印の方向は上盤側のすべりの接合点を示す．(b) 地図上に投影したすべり分布．☆印は破壊開始点．黒丸は 2 つのセグメントの接合点（防災科学技術研究所資料 [9]）．

4.3　駿河湾の地震の前後の地震活動の変化

本震の発震機構は，P 波初動解・CMT 解共に，北北東―南南西方向の圧縮軸をもち，横ずれ成分を含む逆断層型のメカニズム解であった（図 3）．余震のメカニズム解は逆断層から横ずれ断層型の間に分布しており（図 7），本震前の応力場は主に横ずれ断層型が卓越していたが，地震後には異なる応力場に変化したと指摘されている（今西他，2009）．

バックグラウンドの地震活動は stress rate に比例すると考えられることから，微小地震活動の発生率変化から，想定東海地震の固着域周辺での stress rate の変化を捉える事ができる（Dieterich（1994））．図 7 は長期的スロースリップが進行していた期間（1999 年 8 月から 2005 年 4 月）の相対的地殻活動変化（stress rate の変化に対応）を示している．比較対象となる地震活動はフィリピン海

スラブ内の M1.5 以上のデクラスタリングした微小地震（1986 年 6 月から 1996 年 5 月）である．赤（青）は，スロースリップ期間で活性化（静穏化）していた部分，オレンジの枠は Matsumura（1997）によって推定された固着域を示している．地震活動が活性化した場所 A,B,C は松村ら（2008）によってアスペリティとして指摘された場所である．本地震の震央（星印）は推定固着域の枠外にあるが，地震活動の活性化域のひとつとして，スロースリップ期間中に応力集中していた場所のひとつと考えられている [15]．

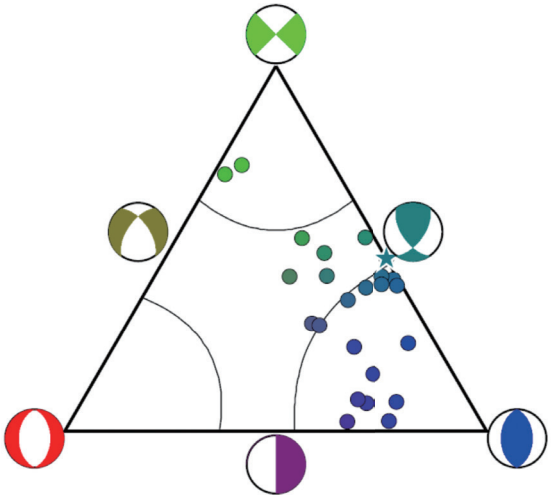


図 7　本震および余震の三角ダイアグラム（本震を星印）（気象庁資料 [5]）．

5．津波と海底地すべり

駿河湾の地震に伴い津波が発生し，焼津で最大 62cm（引き波），御前崎では最大 36cm の津波を観測した．この津波に伴い，静岡県と伊豆諸島に津波注意報が発表された．これらの津波は駿河湾の地震に起因する地殻変動のみでは説明が困難であることが指摘された [16]（図 9）．一方，駿河湾の地震の震源域における高精細な海底地形を取得し調査した結果，焼津市の沖合約 5km の海底において，幅約 450m，比高約 10 ～ 15m の馬蹄形の滑落崖と，緩やかな海底谷に沿った泥流の跡が発見された．断層運動による地殻変動と海底地すべりによる質量の移動が同時に発生したと仮定した津波の数値シミュレーションでは，断層運動のみに基づくシミュレーションよりも，津波観測記録が説明できると報告されている [17]．

6．想定東海震源域への影響

防災科学研究所の研究グループ [18, 19] は駿河湾の地震が東海地震の震源域に与える影響についてクーロン応力変化（Δ CFS）を用いて評価を実施している．Δ CFS の対象となる断層運動は，東海地震の想定震源域におけるプレートの相対運動方向と逆向きの断層運動である．図 10 は近地強震記録を用いて推定した 2009 年駿河湾の地震すべり分布を用いて，想定東海地震の震源断層となるプレート境界面での Δ CFS を示している．本震の震源域から西側に Δ CFS が正となる領域が広がるパターンを示している．なお，断層面直上のプレート境界では Δ CFS は負である．Δ CFS の推定値は，駿河湾の地震の震源の北西の内陸地域で主に正であり，断層の先端から最大 8 km までで 0.1 MPa を超え，約 15 km で徐々に 0.03 MPa に減少した [19]．

これらの解析から得られた Δ CFS が増加した領域では，地震後数ヶ月間の地震活動が地震前の数倍から 10 倍程度地震活動が活発になることが予測される．実際に駿河湾の地震後に発生した地震のほとんどは Δ CFS が正の領域で発生しており，さらにそれらの地震（M ～ 2.0）の発震機構は，逆断層型を示していることからプレート界面での地震の誘発を示唆する結果となっている．想定

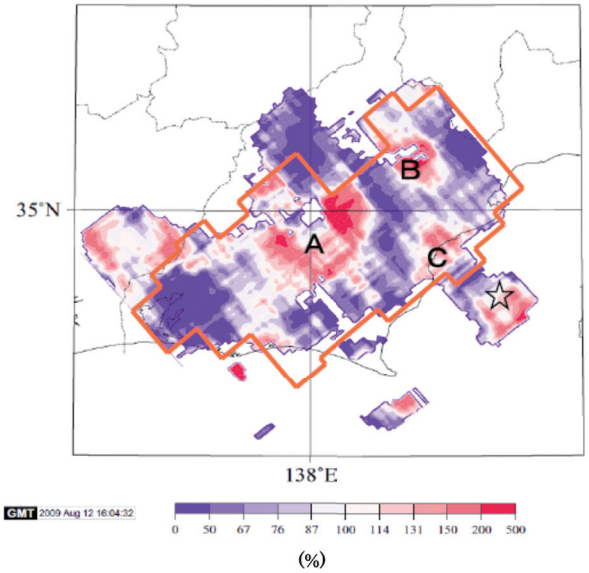


図 8　長期スロースリップが進行していた期間（1999 年 8 月～ 2005 年 4 月）での相対的地震活動変化（青：静穏化，赤：活性化）．（防災科学技術研究所資料 [15]）．

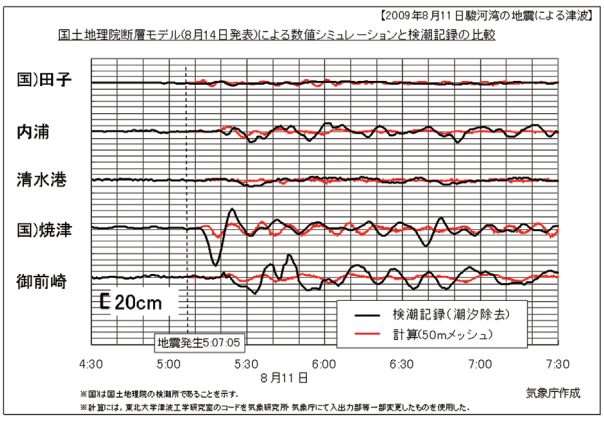


図 9　津波観測波形とシミュレーション波形の比較（気象庁資料 [16]）．

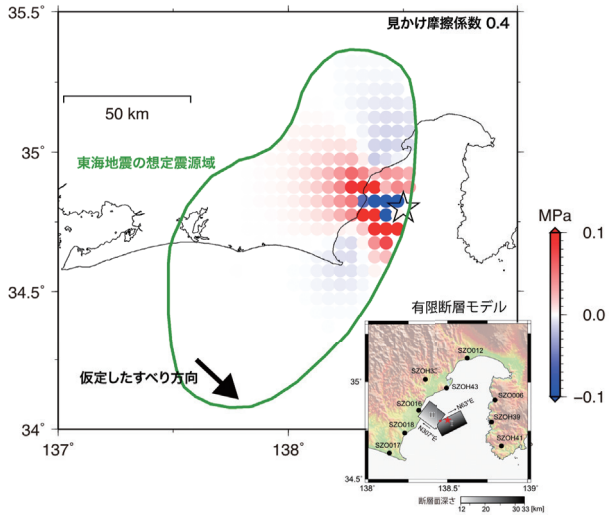


図 10　断層モデルを用いて，2009 年駿河湾の地震による東海地震の想定震源域に対する Δ CFS の分布（防災科学技術研究所資料 [18]）.

東海地震の震源域内のアスペリティ領域のほとんどは Δ CFS が正の領域内にあることから，その破壊をトリガーにして東海地震につながる可能性は否定できないと指摘されている [19].

参考文献

1）気象庁，2009，災害時地震・津波速報 平成 21 年 8 月 11 日の駿河湾の地震，東京管区気象台 災害時自然現象報告書，2009 年第 1 号.

2）気象庁，2009，特集．平成 21 年 8 月 11 日の駿河湾の地震，平成 21 年 8 月 地震・火山月報（防災編），ISSN 1343-4977.

3）Ukawa, M., 1991, Collision and fan-shaped compressional stress pattern in the Izu Block at the northern edge of the Philippine Sea Plate, J. Geophys. Res., 96, 713-728.

4）溝上恵，2000，伊豆諸島地域における M6 クラスの地震活動とその特性について，月刊 地球，22，11，737 − 746.

5）気象庁, 2010, 2009 年 8 月 11 日 駿河湾の地震（M6.5）について，地震予知連会報，83，211-230.

6）Waldhauser, F. and W. L. Ellsworth, 2000, A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the Northern Hayward fault, Bull. Seismol. Soc. Am., 90, 1352–1368.

7）国土地理院，2010，東海地方の地殻変動，地震予知連会報，83，273-349.

8）名古屋大学，2010，2009 年 8 月 11 日に発生した駿河湾の地震による海底地殻変動観測，地震予知連会報，83，383-385.

9）防災科学研究所，2010，2009 年 8 月 11 日駿河湾の地震：近地強震記録による震源過程，地震予知連会報，83，259-262.

10）山中佳子，2009，8 月 11 日駿河湾の地震（M6.5），NGY 地震学ノート，20，http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/2009/NGY20.html.（2019 年 12 月 9 日確認）

11）今西和俊・武田真人・松下ケイレン，2009，2009 年駿河湾の地震の余震分布と震源域の応力場，活断層・地質研究センターニュース，6，3-7.

12）Dietrich, J., 1994, A constitutive law for rate of earthquake production and its application to earthquake clustering, Journal of geophysical research, 99, B2, 2601-2618.

13）Matsumura, S., 1997, Focal zone of a future Tokai earthquake inferred from the seismicity pattern around the plate interface, Tectonophysics, 273, 271-291.

14）松村正三・里村幹夫・内海さや香，2008，東海地震のアスペリティの推定（東海地域の地震活動変化と地殻変動：その 5），地震 2，60，267-277.

15）防災科学研究所，2010，東海地域推定固着域における長期地震活動変化，地震予知連会報，83，208-210.

16）気象庁，2009，平成 21 年 8 月 11 日の駿河湾の地震で発表した津波注意報について，https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/tsunamihyoka/20090811suruga-wan/index.html（2019 年 12 月 9 日確認）.

17）Baba, T., H. Matsumoto, K. Kashiwase, T. Hyakudome, Y. Kaneda, and M. Sano, 2012, “Micro-bathymetric Evidence for the Effect of Submarine Mass Movement on Tsunami Generation During the 2009 Suruga Bay Earthquake, Japan”, Submarine mass movements and their consequences, Advances in Natural and Technological Hazards Research, 31, 485-495.

18）防災科学研究所，2010，2009 年 8 月 11 日駿河湾の地震：ΔCFF による東海地震に与える影響評価，地震予知連会報，83，265-267.

19）Aoi, S., Enescu, B., Suzuki, W., Asano, Y., Obara, K., Kunugi, T. and K. Shiomi, 2010, Stress transfer in the Tokai subduction zone from the 2009 Suruga Bay earthquake in Japan, Nature Geoscience, 3, 496-500, doi:10.1038/ngeo885.

2．平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（2011 年 3 月 11 日，M9.0）

松澤　暢（東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター）

1．はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震（M9.0；以下「東北沖地震」と呼ぶ）は日本の観測史上で最大の地震であり，全半壊家屋が約 40 万戸，死者・行方不明者が 1 万 8 千人を超えるという大震災をもたらした．震災から 8 年が経過した 2019 年 3 月の時点でも，いまだ 2 千 5 百名以上の方々が行方不明のままとなっている．このような大災害をもたらした地震について，我々はその予知はおろか，発生ポテンシャルすら正しく評価できなかった．その反省のもと，この地震とその主な余震について，以下に概要を述べる．紙幅の関係で，ここでは主として日本で行われた研究を取り上げているが，東北沖地震については，すでに優れたレビュー [1) 2) 3) 4) 5) 6)] が存在しており，特に Lay(2018)[7] は包括的なレビューとなっているので，詳しくはそちらを参照されたい．なお，以下で示すマグニチュード（M）は，Mw 以外は気象庁マグニチュードを表している．

2．東北沖地震前の状況

東北地方太平洋沖は日本で最も地震活動が活発な領域であるが，南海トラフでこれまで発生してきたような M8.5 を超えるような地震は知られていなかった．一方，東北地方内陸の活断層から期待される歪速度よりも測地学的に推定される歪速度は 1 桁大きく，また太平洋沿岸は少なくとも 100 年間は沈降が続いていたが地形学的にはいつかは隆起しなければならず，このような矛盾は 100 年以上の再来間隔を持つ巨大地震で解消される可能性が指摘されていた [8) 9)]．

一方，「日本三代実録」に記載されている「貞観地震」の実態が，津波堆積物の解析から次第に明らかになり，貞観地震の規模が M8.4 であれば，見つかっている津波堆積物の分布を説明できることがわかった [10]．実際には M8.4 を越えても津波堆積物の分布は説明可能であったが，そのような巨大な地震の可能性を真剣に考えた研究者はおそらく誰も居なかったと思われる．

1990 年代半ばから展開された GNSS 観測データからプレート境界の固着状況が調べられ [11) 12) 13)]，宮城県沖から福島県沖にかけての広い範囲で固着していることが示された．代表例として図 1 に Suwa et al.（2006）[11] の解析結果を示す．しかし，これらの研究では海溝付近では固着はしていないという仮定のもとに解析されていたため，固着の中心は陸に近い側に求められていた．実際には宮城県沖の海溝付近が強く固着していると仮定して

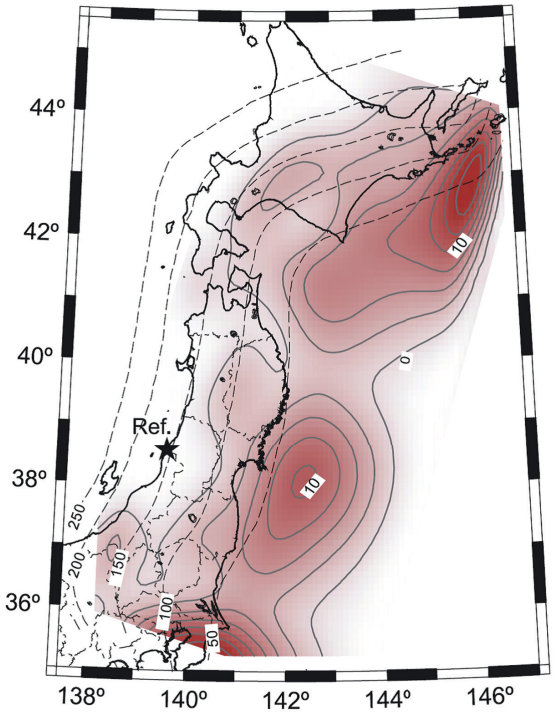


図 1　1997 年から 2001 年にかけてのすべり欠損レートの分布 [11]．単位は cm/ 年．

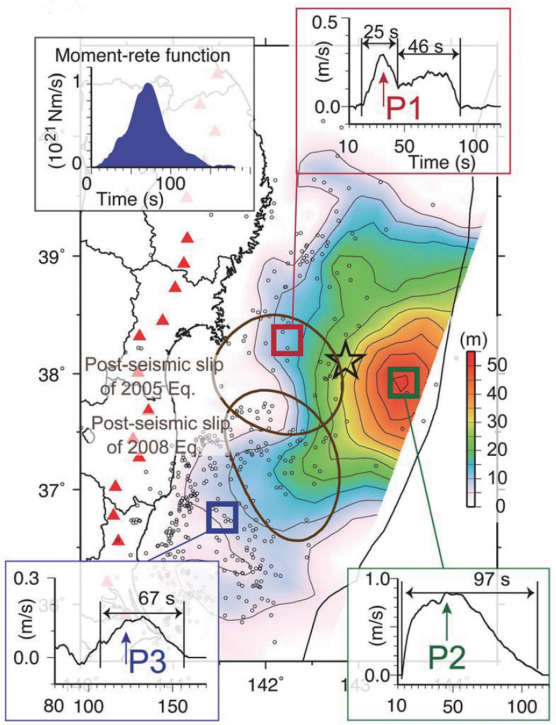


図 2　遠地地震波形から推定した東北沖地震の滑り量分布と震源時間関数 [28]．強震動（P1-P3）が生成したと推定される時期と場所およびその場所の滑り速度関数も示す．

も，GNSS データの残差は変わらない [14) 15) 16)]．

このような幅広い固着は 2000 年代後半から緩んでいたように見えることが GNSS [17) 18)] や小繰り返し地震 [19)] のデータから指摘されている．しかし，GNSS で固着が強いように見えた 1990 年代の福島県沖は地震活動が異常に静穏化しており，それが 1980 年代以前の地震活動の活発な状況に戻ったのが，2000 年代後半であった [20)]．つまり，2000 年代後半の「固着の剥がれ」は異常ではなく，むしろ 1990 年代から 2000 年代前半にかけての「固着の強化」と「地震活動の静穏化」のほうが異常であった可能性があることに注意する必要がある．

3．東北沖地震の発生過程

3.1　東北沖地震発生直前の状況

2011 年 2 月に M5 クラスの地震を含む群発地震活動が宮城県沖の海溝近くで生じた．この群発地震は，この付近で生じたスロースリップイベントによるものであることが，海底観測データ等の解析により明らかになっている [21)]．このスロースリップイベントはやがて 3 月 9 日の最大前震（M7.3）[22)] をトリガし，この最大前震の余効滑りが南に進展し，東北沖地震をトリガしたと考えられる [23) 24)]．

3.2　東北沖地震の滑り分布

3 月 11 日 14 時 46 分に東北沖地震（M9.0）が発生した．宮城県沖では東北沖地震の前から海底地殻変動観測点が設置されていたことにより，M9 の地震に伴う海底の変位が世界で初めて明らかになり [25)]，最も海溝に近い観測点が東南東に 31m，上方向に 3.9m も動いたことが明らかになった [26)]．陸上の地震観測や測地観測のデータ，津波観測データだけでは，プレート境界だけが動いたのか，それとも分岐断層も動いたのかを判別することは困難である．東北沖地震では巨大な津波が生じたことから，当初は分岐断層が大きく動いたと考える研究者が多かったが，この海底地殻変動観測データが得られたことにより，プレート境界が大きく滑った可能性が高くなった．さらに，東北沖地震前と後の海底地形と構造の調査結果を比較した結果，今回の地震では分岐断層に目立ったすべりは無く，海溝軸付近の堆積物だけは非弾性変形しているものの，プレート境界で海溝軸近傍まで大きな地震性すべりを生じていたことが確実となった [27)]．

この地震の滑り量分布について，地震観測データのみならず測地データや津波観測データを用いた様々な解析がなされている．ここでは，遠地地震観測データを用いた解析の代表例として Yagi and Fukahata（2011）[28)] の結果を図 2 に，海陸の測地データを用いた解析の代表例として Iinuma et al.（2012）[29)] の結果を図 3 に，および

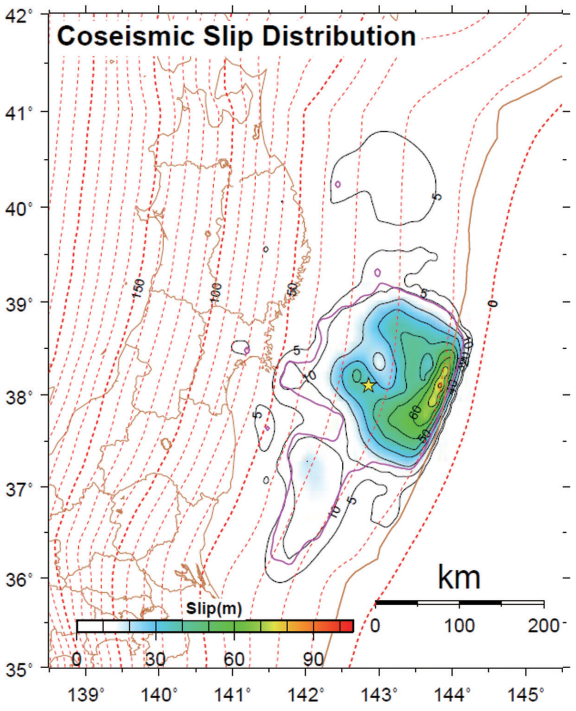


図 3　海陸の測地観測データから推定された東北沖地震のすべり分布 [29)]．

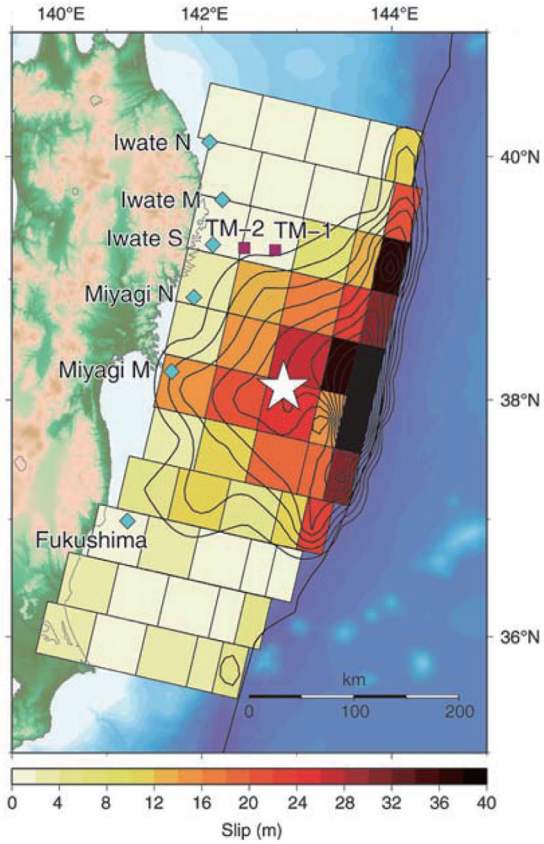


図 4　津波観測データを用いて，破壊伝播も考慮して推定された東北沖地震のすべり分布 [30)]．

津波波形データを用いた解析の代表例として Satake et al.（2013）[30]の結果を図 4 に示す．

地震波形から推定されるのはあくまでもモーメント解放量分布であり，それを滑り量分布に換算する際には剛性率を仮定しなければならない．海溝軸近くのプレート境界付近では剛性率がかなり小さくなっていることを考慮しないで，地震波形のインバージョンから滑り量分布を推定すると，海溝付近の滑り量を過小評価することに注意が必要である [31) 32)]．この意味で，海溝付近については，海底地殻変動観測データや津波観測データのほうが高い信頼度で滑り量分布が推定できると考えられるが，陸に近い深部になると，測地観測データや津波観測データは相対的に感度が小さくなってしまう．また得られた滑り量分布に対して均質な剛性率を仮定して応力降下量を推定すると間違った分布が得られてしまうことにも注意が必要である [32)]．

図 2 から図 4 の結果はいずれも，海溝付近で 50m 以上の非常に大きな滑りがあり，陸に近い側では牡鹿半島沖と福島県南部沖では大きな滑りがあるという共通の特徴が見て取れる．一方，津波波形から得られた図 4 の結果では，岩手県沖の北緯 40 度付近の海溝近くにも大きな滑りが見られるが，地震波形から得られた図 2 や海陸の測地観測から得られた図 3 には，そのような特徴は見られない．

Satake et al.（2013）[30]によれば，この岩手県沖の海溝近くの滑りは，断層が滑り始めてから 3~4 分後にゆっくりと生じていた．地震波形の振幅はモーメントレートに比例するので，非常にゆっくりとした滑りでは，地震波形の振幅は非常に小さくなってしまう．実際図 2 に示された震源時間関数で示されたように，地震波からは 150 秒（2 分半）くらいで断層の滑りがほとんど終わったように見える．一方，海底地殻変動観測点は当時，岩手県沖の海溝付近には存在していなかった．このため，図 4 で見られた岩手県沖の海溝近くのゆっくりとした滑りは図 2 や図 3 で見えなくても不思議ではない．この場所は 1896 年の明治三陸津波地震の震源域にも相当しているので，ゆっくりとした滑りはこの場所の特徴となっているかもしれないが，もし，プレート境界すべりであれば，前の地震から 100 年程度経過しただけで大きな滑りが生じ得たのは何故なのか，あるいは海底地すべりが生じて津波だけが大きくなったのか，といった疑問は今後解明すべき重要な課題である．

3.3　東北沖地震の短周期地震波生成域の分布

以上のように大きな滑りが海溝軸近傍で生じた一方で，強震観測から推定された強震動生成域（Strong-Motion Generation Area; SMGA）や，遠地地震波形から推定された短周期地震波の生成域 [33) 34) 35)] は陸に近い場所に位置していることが明らかになっている．ここでは代表例として Kurahashi and Irikura（2013）[36)] による SMGA の分布を図 5 に示す．

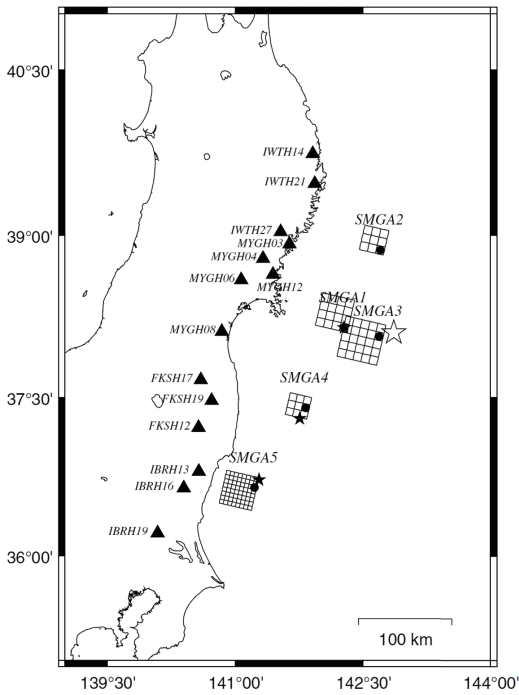


図 5　東北沖地震の強震動生成域の分布 [36)]．メッシュと黒丸，黒星，白星はそれぞれ震動生成域の位置と破壊開始点，経験的グリーン関数として使った地震の震央，本震の震央を表す．

以上見てきたように，海溝近傍で滑り量が大きく，陸地に近いところで強震動を生成したという東北沖地震の特徴が，津波災害と地震災害を大きくした要因の一つであったと考えられる．

4．東北沖地震の余震活動

気象庁（2019）[37)] による本震発生から 2019 年 2 月までの M5 以上の地震の震央分布と主な地震の CMT 解を図 6 に示す．本震発生の 22 分後の 15 時 8 分に余震域の北端付近のプレート境界で M7.4 の余震が発生し，その 7 分後の 15 時 15 分に余震域の南端付近のプレート境界で M7.6 の最大余震が発生した．その 10 分後の 15 時 25 分に余震域の東端付近の海溝外側で M7.5 の正断層型の余震が発生した．その後，3 月中は M7 以上の余震は発生しなかったが，4 月に入ると，4 月 7 日に余震域西端のスラブ内部で M7.1 の余震が発生し，4 月 11 日に福島県南東部で M7.0 の正断層型の余震が発生した．

3 月 11 日 15 時 8 分に発生した M7.4 の地震と 15 時 15 分に発生した M7.6 の地震について，Nishimura et al.（2011）[38)] は図 7 に示すように GNSS 観測データから断層パラメーターを求めている．彼らの結果によると 15

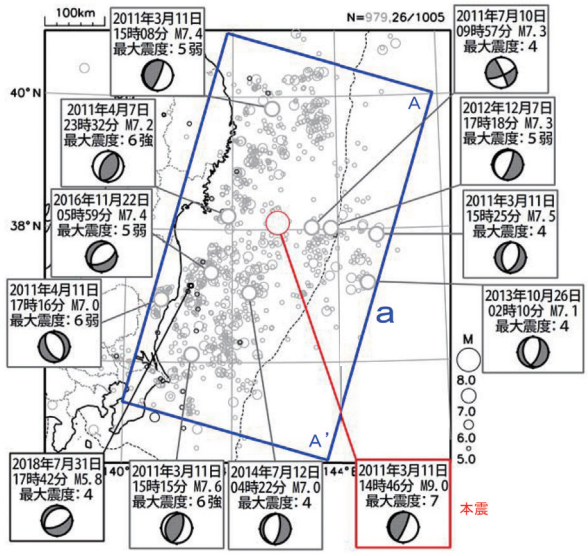


図 6　2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分から 2019 年 2 月 28 日までの M5 以上の地震の震央分布 [37]．M7 以上と 2018 年 7 月 31 日の M5.8 の地震について CMT 解を示す．本震発生から 7 年後以降の地震を濃く表示している．

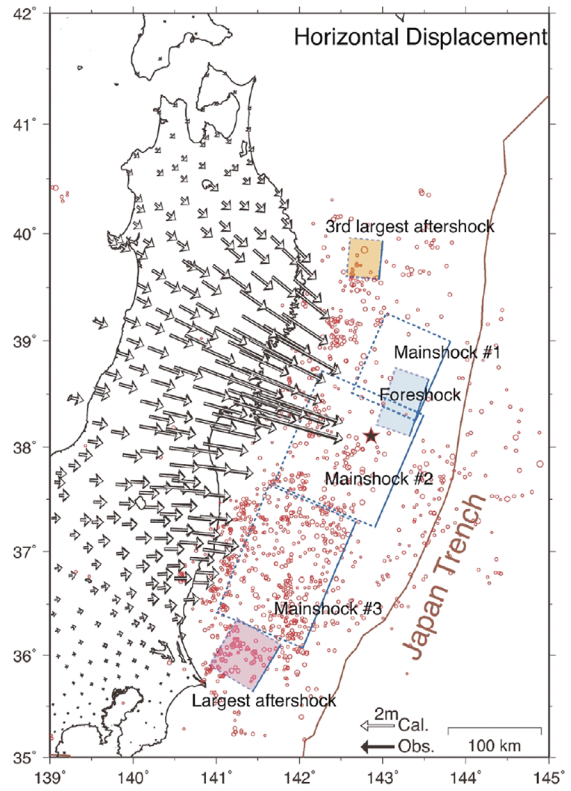


図 7　GNSS 観測データによって推定した東北沖地震（M9.0）と 3 月 9 日の最大前震（M7.3）および 3 月 11 日 15 時 8 分（M7.4）と 15 時 15 分（M7.6）に発生した余震の断層モデル [38]．

時 8 分の余震は Mw7.2 で 15 時 15 分の余震は Mw7.8 となり，また後者は Kubo et al.（2013）[39] によれば Mw7.9 となっているので，この二つの地震については気象庁マグニチュードの差以上にモーメントマグニチュードの差が大きいことに注意が必要である．

Nishimura et al.[38] による 15 時 8 分の地震の断層の位置と，Yamanaka and Kikuchi（2004）[40] による 1960 年 3 月 21 日の地震（M7.2）や 1989 年 11 月 2 日の地震（M7.1）の断層の位置はほぼ同じであり，15 時 8 分の地震（M7.4）は，これらの地震の再来の可能性がある．また Kubo et al.[39] によれば 15 時 15 分の地震（M7.6）は 1923 年 6 月 2 日の地震（M7.1）の再来の可能性がある．いずれも過去の地震より規模が大きくなっているが，応力レートが高い時には速度弱化特性の強い領域だけでなく条件付き安定領域でも地震性すべりを起こせる [41] ので，応力レートが高くないときより大きな地震となってもおかしくないと考えられる．

3 月 11 日 15 時 25 分に海溝外側で発生した M7.5 の正断層型地震とその余震活動については Obana et al.（2012）[42] が海底観測により詳細に調べている．彼らの求めた震源分布と発震機構解を図 8 に示す．海溝付近の海洋プレート内では，ベンディングに伴って浅部で正断層型，深さ 30-40km 付近で逆断層型の地震が発生していることが知られていた [43] が，東北沖地震によってこの付近の水平方向の張力場が強まり，深さ 40km 付近まで正断層型地震が発生していることがわかる．

東北沖地震震源域の西側の海洋プレート内部では，上

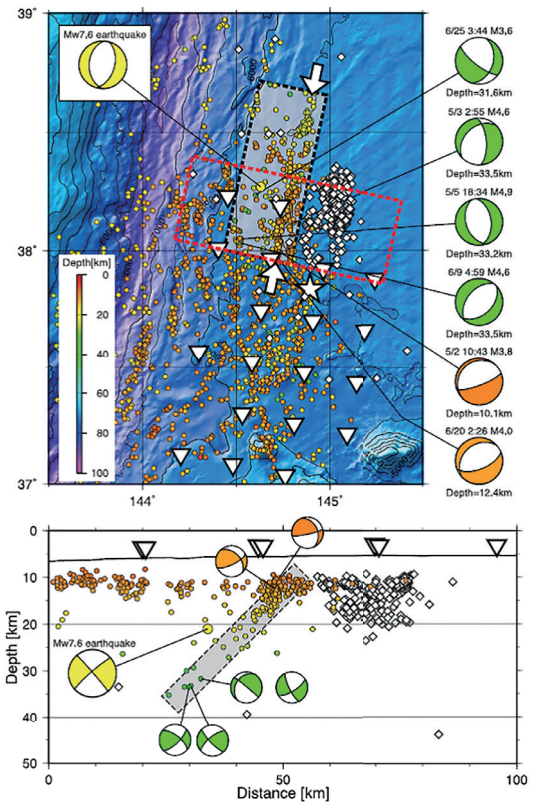


図 8　2011 年 3 月 11 日 15 時 25 分に発生した M7.5 の余震の断層モデルと余震分布 [42]．白菱形は 2005 年 Mw7.0 の地震の余震分布．

記とは逆に逆断層型の応力場が強まることが期待され，実際にそのような位置で 4 月 7 日に M7.1 の地震が発生した．Nakajima et al.（2011）[44] が求めたこの地震の余震分布と断層面に沿った S 波速度分布を図 9 に示す．余震分布の広がりと S 波速度の低速度領域の広がりがほぼ一致しており，また，余震分布と発震機構解から推定される断層面がプレート境界に対して約 60 度と高角になっていることがわかる．これらの観測事実は，前述の 3 月 11 日 15 時 25 分の地震のように，海溝外側で作られた正断層が弱面として保存されてプレートが沈み込み，相転移に伴う間隙圧の上昇で強度が下がり，逆断層の応力場が強まったときに再活動したものと推定される．

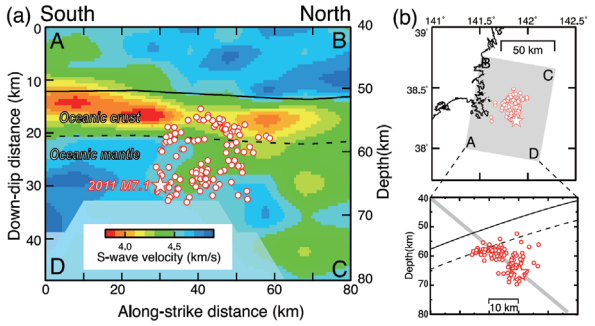


図 9　2011 年 4 月 7 日に宮城県沖のスラブ内で発生した M7.1 の地震の余震分布と断層に沿った S 波速度の分布 [44]．

図 10 に Asano et al.（2011）[45] による東北沖地震発生前と後の CMT 解の分布の違いを示す．断面図からわかるように，東北沖地震前はプレート境界型地震（赤色）が圧倒的に多かったが，東北沖地震後は西縁以外ではプレート境界型地震は姿を消し，上盤も下盤も正断層型地震（青色）が卓越していることがわかる．逆断層型地震（緑色）については，下盤の西縁で増えているが，これはプレート境界が大きく動いたときの応力場の変化と整合的である．

また，この図から，東北地方内陸も東西引張の応力場が強まることが期待されるが，実際に 4 月 11 日に福島県南東部で M7.0 の正断層型の余震が発生し，その後，茨城県北部にかけて活発な群発地震的活動が続いている．この地震活動域での臨時観測データを用いて，Kato et al.（2013）[46] が求めた P 波速度構造と震源分布の断面

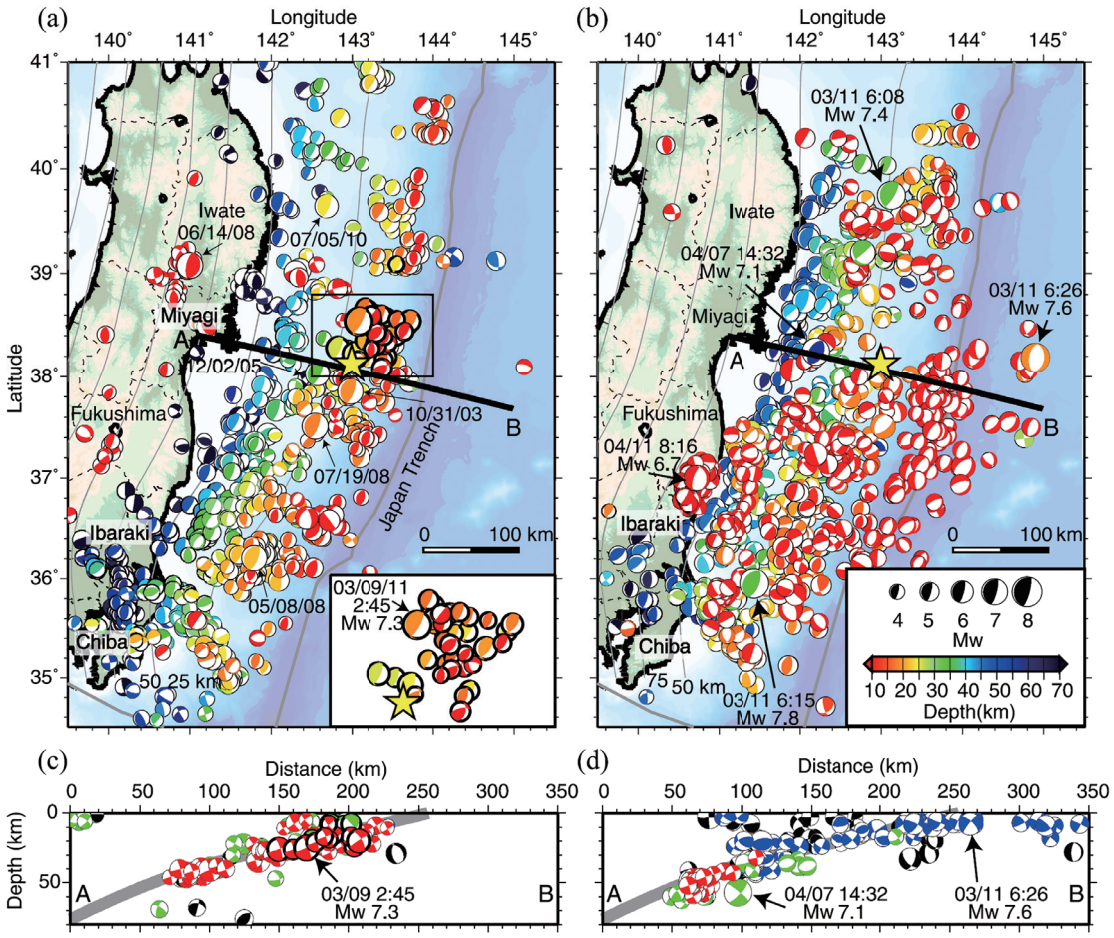


図 10　2003 年から東北沖地震前まで（(a) と (c)）と東北沖地震後から 2011 年 5 月 24 日まで（(b) と (d)）の CMT 解の分布の比較 [45]．(a) と (c) は平面図で，色はセントロイドの深さを表し，(b) と (d) は平面図中の AB 断面で，色は地震のタイプ（赤：プレート境界型，緑：逆断層型，青；正断層型，黒：その他）を表す．

図を図 11 に示す．余震は数多くの面状に分布しており，基本的に高速度域（青色）で発生しているものの，そのすぐ下では赤色や橙色の低速度域が存在しており，地下の流体がこの群発的地震活動の誘因となっていることを示唆する．

以上のように，東北沖地震は大きな余震活動を伴っているが，M7 以上の余震は 2016 年 11 月 22 日の M7.4 の正断層型地震以降は起こっていない．しかし，これまでの最大余震が M7.6 であり，M9.0 の地震の最大余震は M8 級になってもおかしくなく，再来間隔が数百年のオーダーだと考えれば，1896 年の明治三陸地震の後に 40 年近くたって 1933 年の昭和三陸地震が発生したように，本震から数十年たってから M8 級の最大余震が発生しても不思議ではないことに注意が必要である．

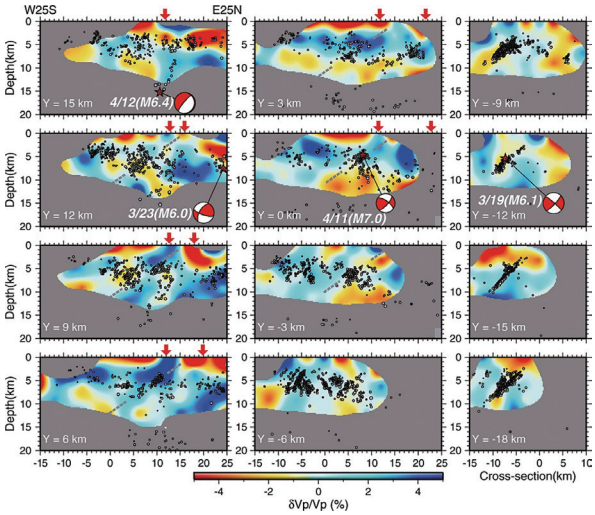


図 11　4 月 11 日に福島県南東部で発生した M7.0 の正断層型の余震を含む一連の地震活動の震源分布と P 波速度偏差分布 [46]．

5．東北沖地震の余効変動と今後の地殻変動

国土地理院（2019）[47] による，東北沖地震後 8 年間の累積地殻変動を図 12 に示す．この地震のあと，陸地は本震時と同様に東に動いているが，太平洋沿岸は地震時とは逆に隆起が続いている．また，海底地殻変動観測点も，地震時には東に動いていたが，その後は宮城県沖については西向きが卓越している [48]，これは余効滑りだけでは説明できず，粘性緩和が進行している [49] ことを示している．東北沖地震のような巨大な地震は，東北地方太平洋沖で 500 年から 800 年程度の再来間隔で繰り返してきたらしいということが，津波堆積物の調査から明らかになってきている [50]．仮にこの再来間隔を約 600 年として，粘性構造を入れたシミュレーションを行ってみると，本震後の隆起が約 200 年続き，それから約 200 年かけて隆起から沈降へと転じて，その後に沈降が約 200 年続い

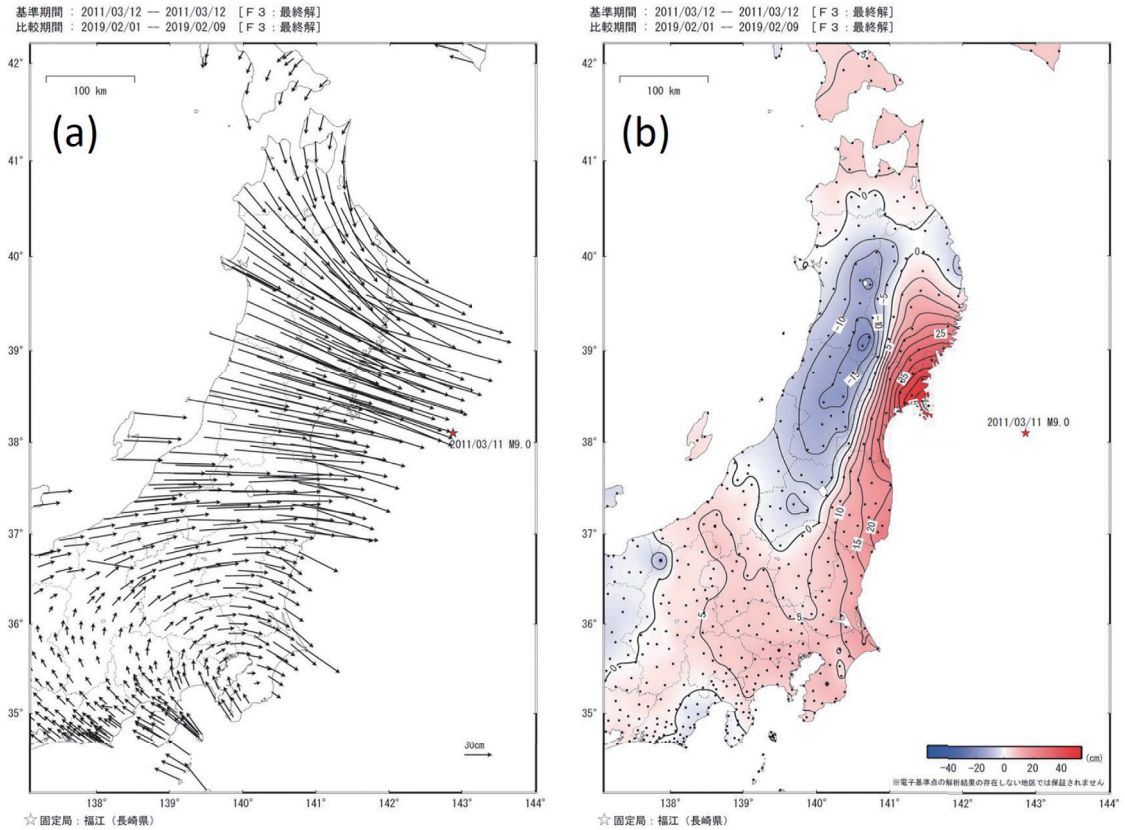


図 12　東北沖地震の発生翌日から 8 年間の累積地殻変動 [47]．(a) 水平変動．(b) 上下変動

たのち，次の巨大地震が発生するというサイクルをたどることがわかってきた[51) 52) 53)]．

このシミュレーション結果が正しければ，現在，生きている人々が死ぬ前に，東北地方の太平洋沿岸が隆起から沈降に転ずるのを見ることは無いということになり，今後，海岸の隆起対策を検討し続けていく必要がある．

6．東北沖地震の発生原因

日本海溝に沈み込む太平洋プレートの年齢は 1 億年を超えており，このような古くて冷たいプレートが沈み込んでも固着が弱いために，巨大な地震は起こしにくいと考えられていた．最初に述べたように，南海トラフのように M8.5 を超えるような地震は東北沖では知られておらず，普段の地震活動が活発なのも，固着が弱いことを反映していると考えられていた．

東北沖地震が起こった直後は，「固着が弱いという仮説は間違っていたかもしれない」と多くの研究者は考えたが，本震前後の地震の発震機構を使って応力を推定してみたところ，地震前にプレート境界にかかっていた応力は，数十 MPa 以下[54) 55)]であり，今回の地震でプレート境界の剪断応力はほぼ解消された[28) 32) 54)]ことがわかってきた．

固着が弱いということと，巨大な地震との関係がわかりにくいが，そのパラドクスを解く鍵は，今回の地震ですべり量が非常に大きかったが，断層サイズが巨大であったために，応力降下量は 10-20MPa 程度であったということにある．これはつまり，数十 m もの非常に大きなすべり欠損があったとしても，巨大な固着領域であれば，剪断応力の増加は数十 MPa 以下であり，それを支える程度の強度があれば，M9 の地震は起こせるということを意味する[2)]．東北地方に沈み込む太平洋プレートは冷たいので，世界的に見ても例外的に深さ 60km 付近までプレート境界型地震を起こせて，かつ低角に沈み込んでいるために，結果として，プレート境界型地震を起こせる領域の幅が約 200km もある．この広大な領域が固着していれば，数百年かけてすべり欠損が浅部で数十 m にまで達しても，この付近の剛性率が小さいために剪断応力は数十 MPa 以下しか増加しないので，強度が弱くても十分支えることができる．

さらに，東北沖では条件付き安定領域がかなり分布している[41)]ことがわかってきたので，このような領域が密集している場所の隣で巨大な地震が起これば，お付き合いでその領域も地震性滑りを起こし，結果として広大な面積で地震性滑りを起こすことになる[56)]．また，海溝近くで thermal pressurization を起こしたり[57) 58)]，プレート境界断層が高速領域で速度弱化の特性を持っていた[59)]ことにより，断層滑りは海溝近くで減速することなく突き抜けることができ，結果として滑り量が倍近くになりうる．おそらく，以上のようなことが起こって，巨大な地震が 500 年から 800 年に一度，発生してきたのであろう．

7．おわりに

東北沖地震は世界中の地震学者を驚かせた．そのショックは大きかったが，この地震から我々は多くの事を学んだ．しかし，次の M9 の地震は，東北沖地震とはまったく別の様相を見せるかもしれない．たとえば，東北沖地震では分岐断層が大きく動いた証拠は見つかっていないが，南海トラフでの巨大地震では分岐断層が動く可能性が高いと思われる．思い込みを極力排して，あらゆる可能性について，それが完全に否定されるまでは検討の俎上にのせる必要がある，ということが，今回の地震から学んだ最大の教訓であり，今後も，それを忘れずに地震災害軽減に向けて努力していく必要がある．

参考文献

1) 加藤愛太郎，2012．2011 年東北地方太平洋沖地震の特徴について．地球化学，46，87-98.
2) 飯尾能久・松澤暢，2012．東北地方太平洋沖地震の発生過程：なぜ M9 が発生したのか？．地質学雑誌，118，248-277.
3) Tajima, F., J. Mori, and B.L.N. Kennett, 2013. A review of the 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw 9.0): large-scale rupture across heterogeneous plate coupling. *Tectonophysics*, 586, 15–34.
4) Pararas-Carayannis, G., 2014. The great Tohoku-Oki earthquake and tsunami of March 11, 2011 in Japan: a critical review and evaluation of the tsunami source mechanism. *Pure Appl. Geophys.*, 171, 3257–3278.
5) Hasegawa, A., and K. Yoshida, 2015. Preceding seismic activity and slow slip events in the source area of the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki earthquake: a review. *Geosci. Lett.*, 2:6.
6) Hino, R., 2015. An overview of the Mw 9, 11 March 2011, Tohoku earthquake. In: Summary of the *Bulletin of the International Seismological Centre*, Thatcham, United Kingdom, 48, 100–132.
7) Lay, T., 2018. A review of the rupture characteristics of the 2011 Tohoku-oki Mw 9.1 earthquake. *Tectonophysics*, 733, 4-36.
8) 池田安隆，1996．活断層研究と日本列島の現在のテクトニクス．活断層研究，15，93-99.
9) 池田安隆・岡田真介・田力正好，2012，東北日本島弧 - 海溝系における長期的歪み蓄積過程と超巨大歪

解放イベント，地質学雑誌 , 118, 294-312.
10) 佐竹健治・行谷佑一・山木滋，2008．石巻・仙台平野における 869 年貞観津波の数値シミュレーション．活断層・古地震研究報告，8，71-89.
11) Suwa, Y., S. Miura, A. Hasegawa, T. Sato, and K. Tachibana, 2006. Interplate coupling beneath NE Japan inferred from three-dimensional displacement field. *J. Geophys. Res.*, 111, B04402.
12) Hashimoto, C., A. Noda, T. Sagiya, and M. Matsu' ura, 2009. Interplate seismogenic zones along the Kuril-Japan trench inferred from GPS data inversion. *Nature Geosci.*, 2, 141–144.
13) Loveless, J.P., and B.J. Meade, 2010. Geodetic imaging of plate motions, slip rates, and partitioning of deformation in Japan. *J. Geophys. Res.*, 115, B02410.
14) Loveless, J.P., and B.J. Meade, 2011. Spatial correlation of interseismic couling and coseismic rupture extent of the 2011 Mw = 9.0 Tohoku-oki earthquake. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L17306.
15) Hashimoto, C., A. Noda, and M. Matsu' ura, 2012. The Mw 9.0 northeast Japan earthquake: total rupture of a basement asperity. *Geophys. J. Int.*, 189, 1–5.
16) 西村卓也，2012．測地観測データに基づく東北日本の最近 120 年間の地殻変動．地質学雑誌，118，278-293.
17) Suito, H., T. Nishimura, M. Tobita, T. Imakiire, and S. Ozawa, 2011. Interplate fault slip along the Japan Trench before the occurrence of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake as inferred from GPS data. *Earth Planets Space*, 63, 615-619.
18) Yokota, Y., and K. Koketsu, 2015. A very long-term transient event preceding the 2011 Tohoku earthquake. *Nature Comm.*, 6, 5934. doi:10.1038/ncomms6934.
19) Uchida, N., and T. Matsuzawa, 2013. Pre- and post-seismic slow slip surrounding the 2011 Tohoku-oki earthquake rupture. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 374, 81-91.
20) Katsumata, K., 2017, Long-term seismic quiescences and great earthquakes in and around the Japan subduction zone between 1975 and 2012. *Pure Appl. Geophys.*, 174, 2427-2442.
21) Ito, Y., R. Hino, M. Kido, H. Fujimoto, Y. Osada, D. Inazu, Y. Ohta, T. Iinuma, M. Ohzono, S. Miura, M. Mishina, K. Suzuki, T. Tsuji, and J. Ashi, 2013. Episodic slow slip events in the Japan subduction zone before the 2011 Tohoku-Oki earthquake. *Tectonophysics*, 600, 14-26.
22) Ohta, Y., R. Hino, D. Inazu, M. Ohzono, Y. Ito, M. Mishina, T. Iinuma, J. Nakajima, Y. Osada, H. Fujimoto, K. Tachibana, T. Demachi, and S. Miura, 2012. Geodetic constraints on afterslip characteristics following the March 9, 2011, Sanriku-oki earthquake, Japan. *Geophys. Res. Lett.*, 39, L16304.
23) Kato, A., K. Obara, T. Igarashi, H. Tsuruoka, S. Nakagawa, and N. Hirata, 2012. Propagation of slow slip leading up to the 2011 Mw 9.0 Tohoku-oki earthquake. *Science*, 335, 705–708.
24) Hino, R., D. Inazu, Y. Ohta, Y. Ito, S. Suzuki, T. Iinuma, Y. Osada, M. Kido, H. Fujimoto, and Y. Kaneda, 2014. Was the 2011 Tohoku-oki earthquake preceded by aseismic preslip? Examination of seafloor vertical deformation data near the epicenter. *Mar. Geophys. Res.*, 35, 181-190.
25) Sato, M., T. Ishikawa, N. Ujihara, S. Yoshida, M. Fujita, M. Mochizuki, and A. Asada, 2011. Displacement above the hypocenter of the 2011 Tohoku-Oki earthquake. *Science*, 332, 1395.
26) Kido, M., Y. Osada, H. Fujimoto, R. Hino, and Y. Ito, 2011. Trench-normal variation in observed seafloor displacements associated with the 2011 Tohoku-Oki earthquake. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L24303.
27) Kodaira, S., T. No, Y. Nakamura, T. Fujiwara, Y. Kaiho, S. Miura, N. Takahashi, Y. Kaneda, and A. Taira, 2012. Coseismic fault rupture at the trench axis during the 2011 Tohoku-oki earthquake. *Nature Geosci.*, 5, 646–650.
28) Yagi, Y., and Y. Fukahata, 2011. Rupture process of the 2011 Tohoku-oki earthquake and absolute elastic strain release. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L19307.
29) Iinuma T., R. Hino, M. Kido, D. Inazu, Y. Osada, Y. Ito, M. Ohzono, H. Tsushima, S. Suzuki, H. Fujimoto, and S. Miura, 2012. Coseismic slip distribution of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (M9.0) refined by means of seafloor geodetic data. *J. Geophys. Res.* Solid Earth, 117, B07409.
30) Satake, K., Y. Fujii, T. Harada, and Y. Namegaya, 2013. Time and space distribution of coseismic slip of the 2011 Tohoku earthquake as inferred from tsunami waveform data. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 103, 1473–1492.
31) Lay, T., C.J. Ammon, H. Kanamori, L. Xue, and M.J.

Kim, 2011. Possible large near-trench slip during the 2011 Mw 9.0 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. *Earth Planets Space*, 63, 687–692.

32) 深畑幸俊・八木勇治・三井雄太，2012．2011 年東北地方太平洋沖地震による絶対歪の解放：遠地実体波インバージョン解析と動的摩擦弱化．地質学雑誌，118，396-409.

33) Wang, D., and J. Mori, 2011. Rupture process of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (Mw 9.0) as imaged with back-projection of teleseismic P-waves. *Earth Planets Space*, 63, 603–607.

34) Koper, K.D., A.R. Hutko, and T. Lay, 2011. Along-dip variation of teleseismic short-period radiation from the 11 March 2011 Tohoku earthquake (Mw 9.0). *Geophys. Res. Lett.*, 38, L21309.

35) Ishii, M., 2011. High-frequency rupture properties of the Mw 9.0 off the Pacific coast of Tohoku earthquake. *Earth Planets Space*, 63, 609–614.

36) Kurahashi, S., and K. Irikura, 2013. Short-period source model of the 2011 Mw 9.0 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 103, 1373-1393.

37) 気象庁，2019.「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」について ～ 8 年間の地震活動～.「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」以降の地震活動の評価, 地震調査委員会, 2019 年 3 月 11 日.

38) Nishimura, T., H. Munekane, and H. Yarai, 2011. The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and its aftershocks observed by GEONET. *Earth Planets Space*, 6, 631–636.

39) Kubo, H., K. Asano, and T. Iwata, 2013. Source-rupture process of the 2011 Ibaraki-oki, Japan, earthquake (Mw 7.9) estimated from the joint inversion of strong-motion and GPS data: Relationship with seamount and Philippine Sea plate. *Geophys. Res. Lett.*, 40, 3003–3007.

40) Yamanaka, Y., and M. Kikuchi, 2004. Asperity map along the subduction zone in northeastern Japan inferred from regional seismic data. *J. Geophys. Res.*, 109, B07307.

41) Uchida, N., K. Shimamura, T. Matsuzawa, and T. Okada, 2015. Postseismic response of repeating earthquakes around the 2011 Tohoku-oki earthquake: Moment increases due to the fast loading rate. *J. Geophys. Res.* Solid Earth, 120, 259-274.

42) Obana, K., G. Fujie, T. Takahashi, Y. Yamamoto, Y. Nakamura, S. Kodaira, N. Takahashi, Y. Kaneda, and M. Shinohara, 2012. Normal-faulting earthquakes beneath the outer slope of the Japan Trench after the 2011 Tohoku earthquake: implications for the stress regime in the incoming Pacific plate. *Geophys. Res. Lett.*, 39, L00G24.

43) Gamage, S.S.N., N. Umino, A. Hasegawa, and S.H. Kirby, 2009. Off-shore double-planed shallow seismic zone in the NE Japan forearc region revealed by sP depth phases recorded by regional networks. *Geophys. J. Int.*, 178, 195-214.

44) Nakajima, J., A. Hasegawa, and S. Kita, 2011. Seismic evidence for reactivation of a buried hydrated fault in the Pacific slab by the 2011 M9.0 Tohoku earthquake. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L00G06.

45) Asano, Y., T. Saito, Y. Ito, K. Shiomi, H. Hirose, T. Matsumoto, S. Aoi, S. Hori, and S. Sekiguchi, 2011. Spatial distribution and focal mechanisms of aftershocks of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. *Earth Planets Space*, 63, 669–673.

46) Kato, A., T. Igarashi, K. Obara, S. Sakai, T. Takeda, A. Saiga, T. Iidaka, T. Iwasaki, N. Hirata, K. Goto, H. Miyamachi, T. Matsushima, A. Kubo, H. Katao, Y. Yamanaka, T. Terakawa, H. Nakamichi, T. Okuda, S. Horikawa, N. Tsumura, N. Umino, T. Okada, M. Kosuga, H. Takahashi, and T. Yamada, 2013, Imaging the source regions of normal faulting sequences induced by the 2011 M9.0 Tohoku-Oki earthquake. *Geophys. Res. Lett.*, 40, 1-6.

47) 国土地理院，2019．東北地方太平洋沖地震（M9.0）後の地殻変動 ―本震翌日から 8 年間の累積―,「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」以降の地震活動の評価, 地震調査委員会, 2019 年 3 月 11 日.

48) Tomita, F, M. Kido, Y. Ohta, T. Iinuma, and R. Hino, 2017. Along-trench variation in seafloor displacements after the 2011 Tohoku earthquake. *Science* Adv., 3, e1700113.

49) Sun, T., K. Wang, T. Iinuma, R. Hino, J. He, H. Fujimoto, M. Kido, Y. Osada, S. Miura, Y. Ohta and Y. Hu, 2014. Prevalence of viscoelastic relaxation after the 2011 Tohoku-oki earthquake. *Nature*, 514, 84-87.

50) Sawai, Y., Y. Namegaya, Y. Okamura, K. Satake, and M. Shishikura, 2012. Challenges of anticipating the 2011 Tohoku earthquake and tsunami using coastal geology. *Geophys. Res. Lett.*, 39, L21309.

51) Sagiya, T., 2015. Paradoxical vertical crustal movement along the Pacific coast of northeast Japan. Int. Assoc. *Geod. Symp.*, 145, 73–78.

52) Hashima, A., and T. Sato, 2017. A megathrust

earthquake cycle model for Northeast Japan: bridging the mismatch between geological uplift and geodetic subsidence. *Earth Planets Space*, 69:23.

53) Sasajima, R., B. Shibazaki, H. Iwamori, T. Nishimura, and Y. Nakai, 2019. Mechanism of subsidence of the Northeast Japan forearc during the late period of a gigantic earthquake cycle. *Sci. Rep.*, 9:5726.

54) Hasegawa, A., K. Yoshida and T. Okada, 2011. Nearly complete stress drop in the 2011 Mw9.0 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. *Earth Planets Space*, 63, 703-707.

55) Hasegawa, A., K. Yoshida, Y. Asano, T. Okada, T. Iinuma, and Y. Ito, 2012. Change in stress field after the 2011 great Tohoku-Oki earthquake. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 355-356, 231-243.

56) Hori, T., and S. Miyazaki, 2011. A possible mechanism of M 9 earthquake generation cycles in the area of repeating M 7-8 earthquakes surrounded by aseismic sliding. *Earth Planets Space*, 63, 773–777.

57) Mitsui, Y., N. Kato, Y. Fukahata, and K. Hirahara, K., 2012. Megaquake cycle at the Tohoku subduction zone with thermal fluid pressurization near the surface. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 325-326, 21–26.

58) Mitsui, Y., Y. Iio, and Y. Fukahata, 2013. A scenario for the generation process of the 2011 Tohoku earthquake based on dynamic rupture simulation: role of stress concentration and thermal fluid pressurization. *Earth Planets Space*, 64, 1177–1187.

59) Ujiie, K., H. Tanaka, T. Saito, A. Tsutsumi, J.J. Mori, J. Kameda, E.E. Brodsky, F.M. Chester, N. Eguchi, S. Toczko, and Expedition 343 and 343T Scientists, 2013. Low coseismic shear stress on the Tohoku-oki megathrust determined from laboratory experiments. *Science*, 342, 1211–1214.

3．長野県北部の地震（2011 年 3 月 12 日，M6.7，M5.9，M5.3）

佐藤　比呂志（東京大学地震研究所地震予知研究センター）

1．はじめに

2011 年 3 月 12 日午前 3 時 59 分に，長野県・新潟県県境付近で，M6.7 の地震が発生した（山田，2014[1]）．長野県栄村で震度 6 強，新潟県津南村，十日町市で震度 6 弱を記録した（気象庁，2011[2]）．同 12 日，午前 4 時 31 分には M5.9 最大余震，5 時 42 分には M5.3 の余震が発生し，いずれも最大震度 6 弱の地震となった（気象庁，2011[3]，気象庁地震予知情報課，2011[4]）．この地震による被害は，長野県栄村を中心として災害関連死 3 名，全壊 73 棟，半壊 427 棟に及んだ（長野県危機管理部，2012[5]；新潟県防災局危機対策課，2012[6]）．この地震は 2011 年東北地方太平洋沖地震の約 13 時間後に発生したもので，規模の大きな誘発地震と考えられる．日本海拡大時のリフト帯の東縁の厚い堆積物に覆われた逆断層 - 褶曲帯で発生した地殻内地震であり，断層は地表には現れていない．

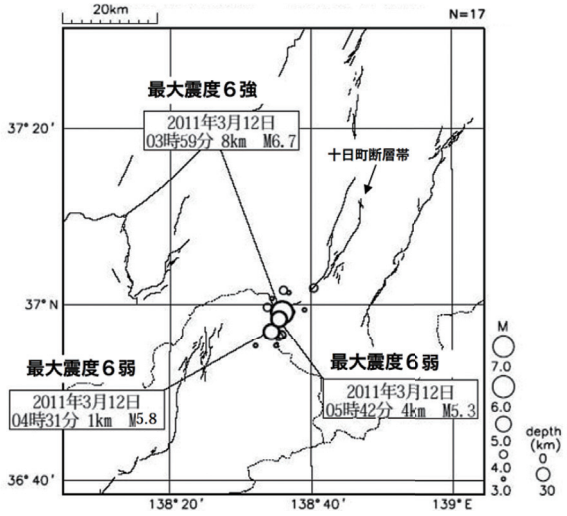


図 1　2011 年長野県北部地震の震央分布図（気象庁，2011[3]）．2011 年 3 月 12 日 03 時～07 時 00 分，深さ 30km 以浅，M3.0 以上．

2．震源域の地質

新潟から長野県北部にかけての地域は，2000 万から 1500 万年前の日本海拡大期に大きな伸張変形を受けた地域で，大規模な堆積盆地が形成され厚い堆積物が分布している．盆地内の厚い堆積層はその後の短縮変形により褶曲帯を形成している．2011 年長野県北部地震の震源は，堆積盆地の南東端に位置する．大局的には日本海形成時の東北日本の反時計回転運動に伴って活動した，西北西 - 東南東方向の断層との交差部に相当し（図 2），地質構造的には複雑な形状を示す地域である．震源域西側の堆積盆地には厚さ 6 km 程度の堆積層が分布し，東側の越後山地では新第三系の堆積層は厚さ 1km 程度になる（佐藤ほか，2012[8]）．震源域の周辺には，北方では十日町断層帯が，南西方向には信濃川縁断層帯が分布する（図 3）．震源域は厚い堆積物の東縁が北東から南西に移動し，その間ではこの境界は東西走向に変化する．

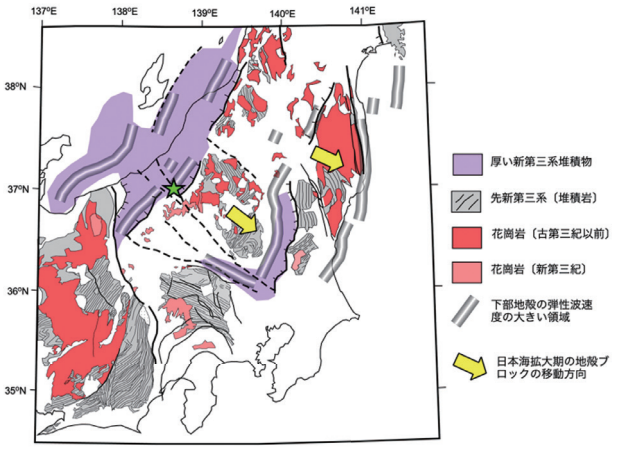


図 2　本州中央部の地殻構造の概要（佐藤，2014[7]）と 2011 年長野県北部地震．星印：2011 年長野県北部地震の震央．

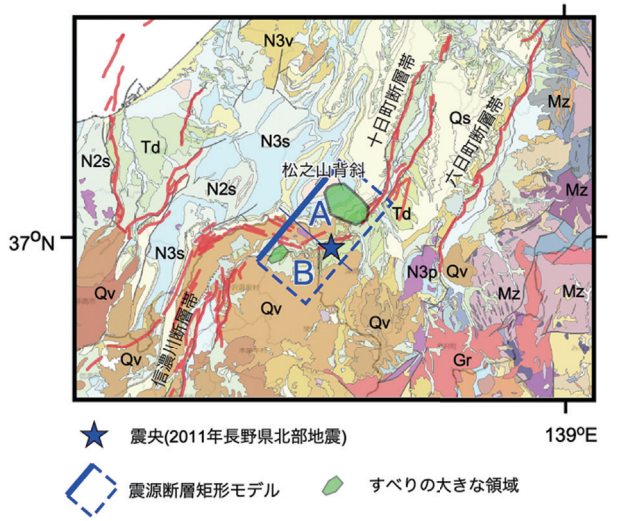


図 3　震源域周辺の地質．地質図・活断層は産業技術総合研究所　地質調査総合センター「地質図 Navi」による．震源断層のモデルとすべり量分布は気象庁（2012）[9]による．矩形の実線部分が上面．Mz: 中世界・古生界，Gr. 花崗岩類，N2S: 中新世堆積岩，N3S: 後期中新世～鮮新世堆積岩，N3V: 後期中新世～鮮新世火山岩，N3P: 後期中新世～鮮新世深成岩，Qs: 第四系堆積物，QV: 第四系火山岩，Td: 段丘堆積物 .A と B，震源断層の北東側と南西側（防災科学研究所，2011[10]による）．

3．地震活動と地震のメカニズム解

長野県北東部から中越地域にかけては，褶曲 - 断層帯を形成し，被害地震が多数発生している．震源域南東方では 1848 年の善光寺地震（M7.4）の他，マグニチュード 6 を越える地震が発生している．2011 年東北地方太平洋沖地震前の震源域周辺の広域応力場は，発震機構解からは最大主圧力軸が WNW-ESE 方向の逆断層型の応力場が卓越している（Terakawa and Matsu'ura, 2010[11]）．

2011 年長野県北部地震の本震の発震機構解は，P 波初動解やモーメントテンソル解によって，NW-SE 方向から WNW-ESE 方向に主圧力軸をもつ逆断層型であることが報告されている（表 1，図 4）[2,12,13]．気象庁によるこの地震の発震機構解 [1]は，北西 - 南東方向に主圧力軸をもつ逆断層型である．ただし，機関ごとに得られている断層面は必ずしも一致しておらず（泰ほか，2012[14]），複雑な破壊が進行した可能性がある．

表 1　モーメントテンソル解のパラメーター

	断層面解 1			断層面解 2		
	走向	傾斜	すべり角	走向	傾斜	すべり角
気象庁 [12]	60	31	110	216	61	78
防災科技 [13]	29	56	70	242	38	117

単位：度

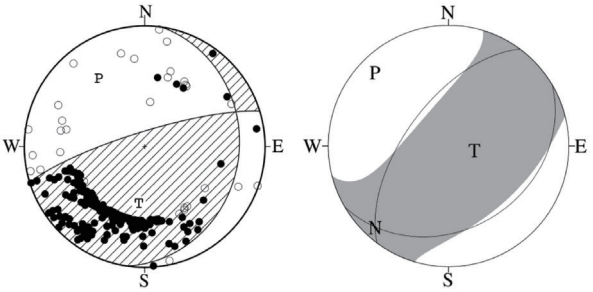


図 4　2011 年長野県北部地震の P 波初動解（左）とモーメントテンソル解（右）（気象庁 [11]）

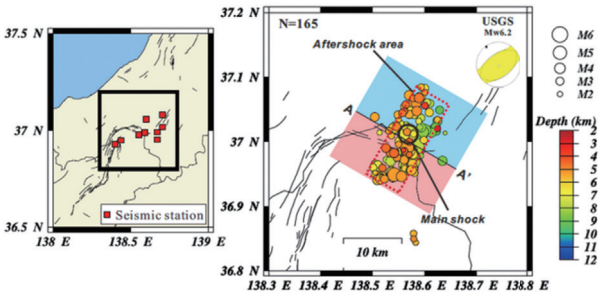


図 5　波形相関データを用いた DD 法による精密震央分布（2011　3/11, 21:00-3/12,9:00）（左）稠密地震観測網の位置図．防災科学技術研究所（2011）[10]による．

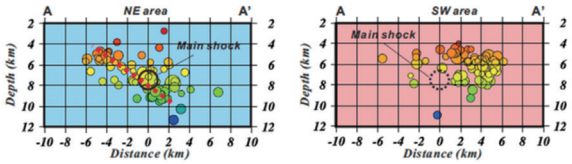


図 6　図 5 の A-A' 断面に震源を投影した図（左は北東域，右は南西域）[10]．

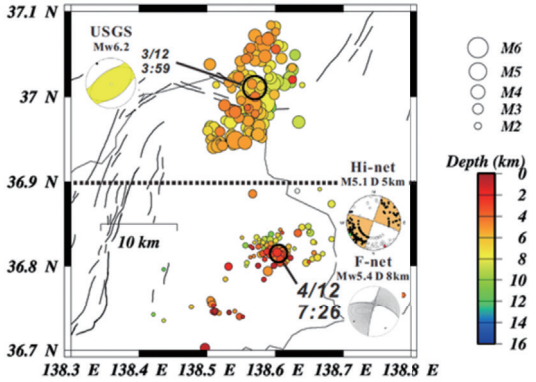


図 7　震央分布（防災科学技術研究所，2011[10]）．北緯 36.9 ˚以北は「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」によるオフライン観測点データの解析から得られた精密震央分布．2011　3/11_21:00-3/12_9:00）．北緯 36.9 ˚以南は Hi-net 定常処理による震央分布を示す（2011_3/15_10:40-4/12_8:30）．Hi-net および F-net の発震機構解を合わせて示す．

2011 年長野県北部地震の発生時，震源域では防災科学技術研究所が「ひずみ集中帯の重点的調査観測･研究」の一環として，稠密なオフライン自然地震観測が実施されていた（図 5）．このデータを用いて波形相関データを用いた DD 法により震源が決定されている．この震源は，他機関のデータに比べ最も精度が高い．本震の震源は深さ約 8 km，12 日 9:00 までに発生した余震の分布は，本震を中心として北北東 - 南南西方向に約 17 km の広がりを持ち，深さ 4 ～ 10 km に集中している．防災科学技術研究所の研究グループによれば，余震域の北東側と南西側では余震分布の特徴に違いがあり，北東側の余震域では，余震が 37 ˚ 程度の南東傾斜の面状に分布するが，南西側では明瞭ではない．このことから，北東側と南西側では断層面の形状が異なっている可能性が指摘されている．

3 月 12 日午前 3 時 59 分の本震に続いて，4 時 31 分には M5.9 の最大余震が，同日 5 時 42 分には M5.3 の余震が発生した（図 1）．一ヶ月後の 2011 年 4 月 12 日 7 時 26 分頃に長野県北部を震源とする M5.6（気象庁暫定値）の地震が発生し，長野県栄村と木島平村で最大震度 5

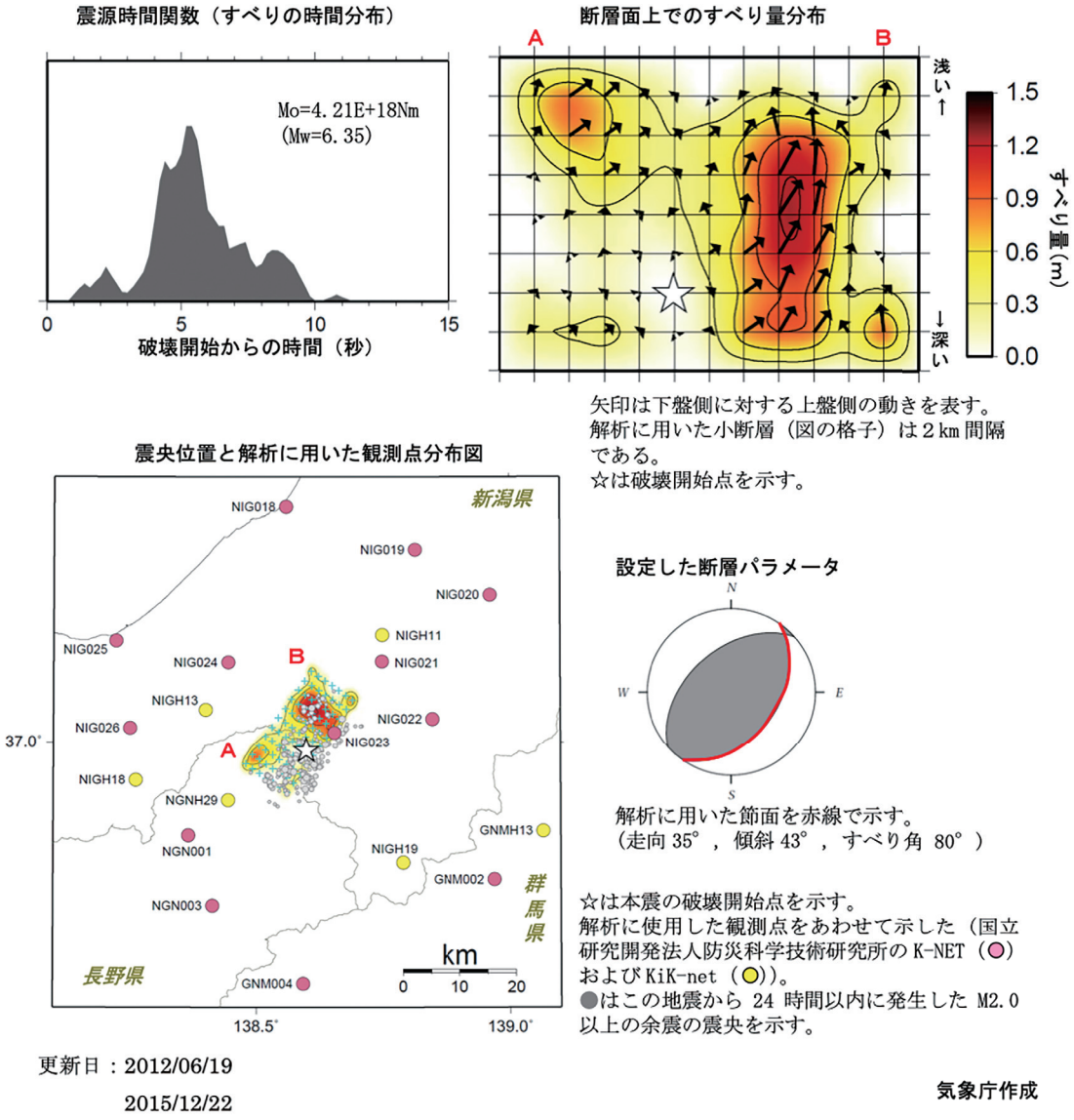


図 8　3 月 12 日長野県北部の地震 - 近地強震波形による震源過程解析（暫定）-．気象庁（2012）[9]による．

弱の揺れが観測された．この地震の震央は 3 月 12 日の震央から約 20 km 南に位置し，震源の深さは約 5 km であった（図 7）．この地震の Hi-net および F-net の発震機構解はともに北北西－南南東圧縮の横ずれ断層型を示す．こうした本震を発生させた方向と直交する方向の断層は，日本海拡大時のリフト形成期に形成されたもので，4 月 12 日の余震もこうした断層が再活動したものと推定される．

4．近地強震波形による震源過程解析

気象庁の近地強震波形による震源過程解析（図 8）では，走向 N35° E，南東方向に 43° 南東傾斜の断層面を設定して解析している．この断層の傾斜は，防災科学技術研究所の震源域北東部の余震分布から推定した傾斜（約 37°）よりやや角度が大きい．気象庁の解析では，震源域全体を一つの矩形で近似している．得られた断層面上でのすべり分布は断層の北東部で大きく，震源断層面の南西部分の浅部でもすべり量の大きい解析結果が得られている．すべりの大きな領域は，北東部と南東部に孤立して分布するが，この境界は防災科学技術研究所によって指摘されている北東部と南西部の境界（図 5）とほぼ一致する．

5．地殻変動

2011 年長野県北部の地震に伴う地殻変動は，GNSS 観測点と合成開口レーダーの解析（宇宙航空開発機構，2011[16]）から得られている．GNSS 観測点の変動は，震源域の北方に位置する松之山の観測点が 23cm の隆起と

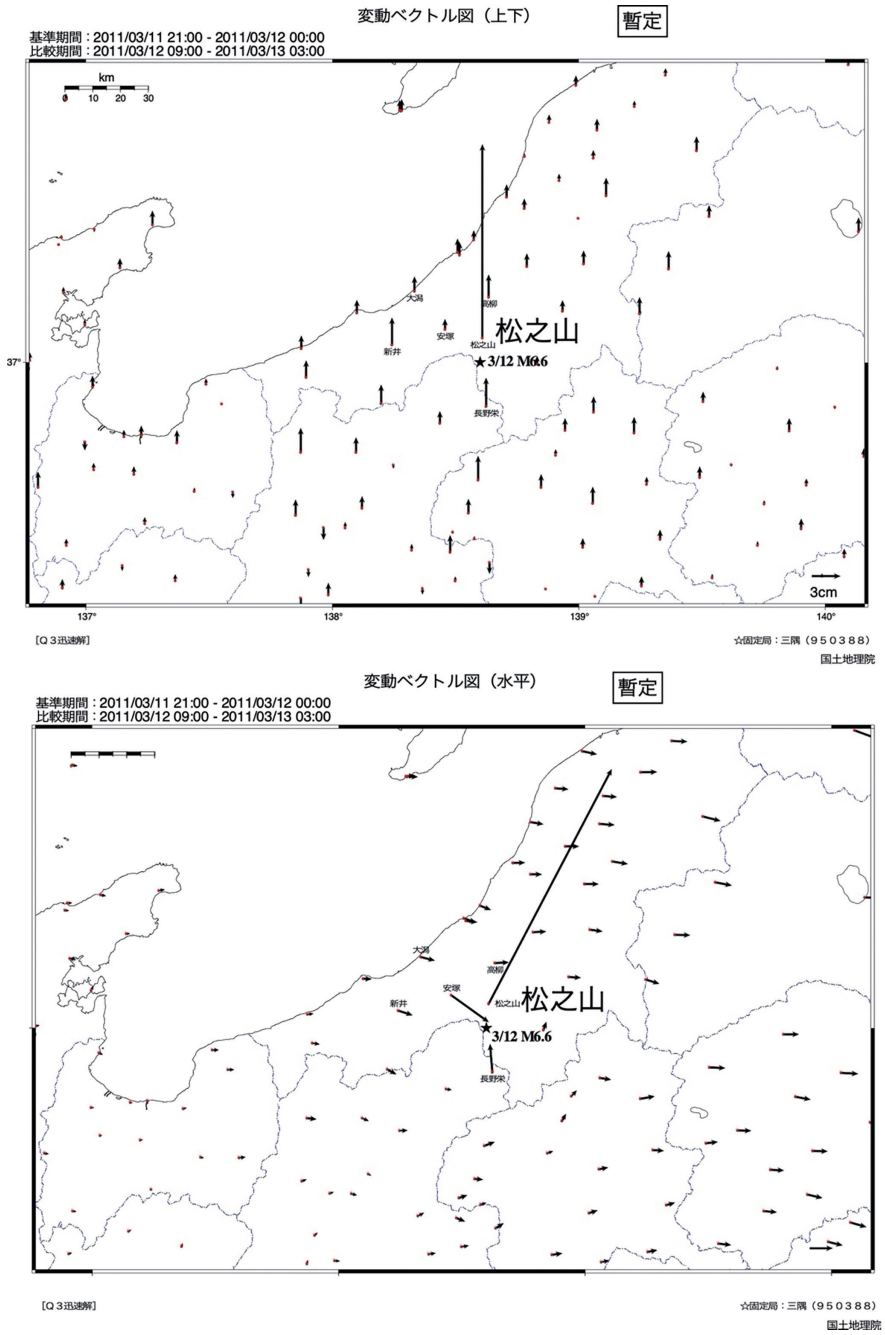


図９　長野県・新潟県県境付近の地震（3 月 12 日，M6.7）に伴う地殻変動（国土地理院，2011[15]）．

37cm の北東への移動を示している（図 9）．松之山観測点の北西に位置する安塚では周辺の観測点に比べて隆起成分が小さい．L バンド合成開口レーダの SAR 干渉画像（図 10）では，松之山を中心として隆起パターンが観測されている．松之山観測点は，松之山背斜の北東側に位置する．松之山背斜は軸跡が北東 - 南西方向で軸長 6 km，ドーム状の背斜である（竹ノ内ほか，2000[17]）．余震分布からは南東傾斜の逆断層が推定されており，その浅部の地表部が松之山背斜周辺に相当することになる．この領域は，近地強震記録から推定されたすべりの大きい領域の地表延長部に相当することになり（図 2），地殻変動の観測結果とも調和的である．

6．地表地震断層

震源付近には，活断層として東北東－西南西走向の宮野原断層が認定されている（池田ら，2002[19]）．地表地震断層については，松多ほか（2011）[20]・廣内ほか（2012）[21]・中埜ほか，2012[18]などによって調査されている．宮野原断層周辺を含め，明確な地表地震断層を確認するには至っていない．

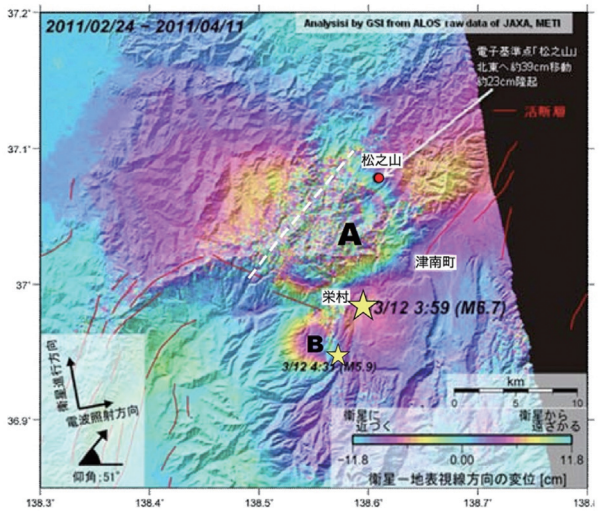


図 10　SAR 干渉画像[16]と主な被害分布（中埜ほか，2012[18]）．星印は本震と最大余震の震央，A と B は，それぞれ本震および最大余震に伴う地殻変動．白波線は，中埜ほか（2012[18]）による震源断層の地表投影位置．背景は電子国土基本図を使用．

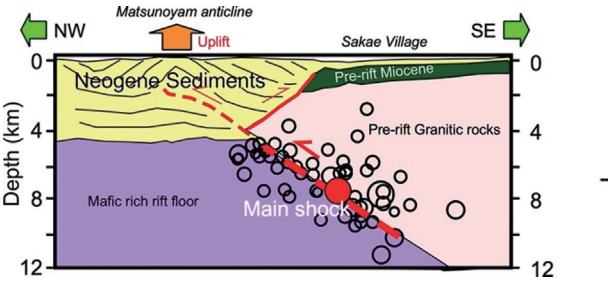


図 11　震源域を北西 - 南東方向に横切る構造断面概念図．測線位置は，図 5 の A-A’ による．円：震源（防災科学技術研究所，2011[10]による）．

7. 地殻構造と震源断層

震源域を通過する制御震源による地殻構造探査は実施されていないが，近傍を横切るものとしては，六日町 - 直江津測線，飯山 - 小谷測線がある（佐藤，2014[22]）．新潟 - 北部フォッサマグナ地域は，日本海拡大時のリフト帯であり，厚い堆積物が堆積している（図 1）．二つの測線の速度構造からは，Vp が 5.3km/s より早い層は，震源域のリフト内では深さ 6 km ほどに位置し，リフト内は約 5 km ほどの堆積物が充填していると推定される．自然地震トモグラフィではリフト構造は下部地殻の高速度領域として抽出できる（佐藤，2014[7]; Matsubara et al., 2017[23]）．このようなリフト帯の縁では苦鉄質岩の逆入により，リフト軸から離れる方向に傾斜した岩質境界が形成され，そのシステムが短縮変形を受けるとリフト軸の外側に傾斜した逆断層が形成される．飯山 - 小谷測線ではこうした楔型の断層が判別され，深部の断層の傾斜と堆積層を変位させる断層が逆の傾斜になっている．1847 年の善光寺地震は震源断層が南東傾斜であったと推定され，今回の 2011 年長野県北部地震と類似の構造形態をとるものと考えられる．こうした震源断層の形状はその直上での栄村や津南村に大きな被害をもたらしたものと推定される．

東頸城山地では厚い堆積物が褶曲 - 断層帯を構成するが，松之山背斜などに代表されるように軸長が短い褶曲をなし，リフト内では顕著な隆起帯が形成されていない．塑性変形が卓越し，とくに新第三系下部の泥岩が流動変形している可能性が高い．こうした物性を反映して，東頸城山地の中では泥火山が形成されている（加藤ほか，2009[24]）．したがって，堆積層中での断層は複雑な形状・連結性を示し，こうした地質構造が明瞭な地表地震断層の出現を困難にしている可能性が高い（図 11）．

8．誘発地震としての 2011 年長野県北部地震

本地震が発生したのは 2011 年東北地方太平洋地震発生の 13 時間後であり，M9 の超巨大地震とは密接な関係を有していることは想像に難くない．東北太平洋沖地震に，上盤プレート内の応力状態が大きく変化したことが知られている．この地震は逆断層型の地震であり，地震前に比べ圧縮成分が減少した応力状態で発生したことは矛盾する．Terakawa et al. (2013)[25]は，その余震も含めて，発震機構解をモール円にプロットした上で，水の関与について論じている．

9．まとめ

2011 年長野県北部地震は，新潟 - 北部フォッサマグナ東縁の断層が WNW-ESE 方向の横ずれ断層と交差する，複雑な地質構造が推定される箇所で発生した．防災科学技術研究所の稠密な地震観測網で決定された震源断層は南東方向の傾斜を示す．断層の走向はリフト軸と平行し傾斜の方向はリフト軸の外側に傾斜し，本震は日本海拡大時のリフト縁の断層の再活動であるが高い．この震源断層は厚い堆積層の下で伏在断層となり，このため地表地震断層は出現していない．東北地方太平洋沖地震によって誘発された地震であるが，この巨大地震によって上盤プレート内で生じた応力変化はむしろ地震の発生を抑制する．巨大地震によって発生した応力状態の変化によって，間隙水圧が増大し，これによって誘発された可能性が大きい（Terakawa et al., 2013）[25]．プレート境界での巨大地震後には，誘発地震が発生する可能性は極めて高い．こうした誘発地震を理解する上で，また日本海東縁の褶曲 - 断層帯の伏在断層による地震を理解する上で重要な地震であった．

参考文献

1）山田真澄，2014. 2011 年 3 月 12 日長野県北部の地震 東日本大震災合同調査報告，共通編 1 地震と地震動，5.4 節，pp. 196-202, 東日本大震災合同調査報告書編集委員会 .
2）気象庁，2011. 報道発表資料,「平成 23 年 3 月 12 日 03 時 59 分頃の長野県北部の地震について」. https://www.jma.go.jp/jma/press/1103/12c/kaisetu201103120500.pdf
3）気象庁，2011. 報道発表資料,「平成 23 年 3 月 12 日 03 時 59 分頃の長野県北部の地震について（第 2 報）」. https://www.jma.go.jp/jma/press/1103/12d/kaisetsu201103120800.pdf
4）気象庁地震予知情報課，2011. 2011 年 3 月 12 日長野県・新潟県県境付近の地震（M6.7）について . 地震予知連絡会会報，8, 468-473.
5）長野県危機管理部，2012. 長野県北部の地震による県内への影響について. https://www.pref.nagano.lg.jp/bosai/kurashi/saigai/documents/241001n.pdf
6）新潟県地震災害対策本部，2011.「平成 23 年 312 日 03 時 59 分頃の長野県北部の地震」の被害状況について（速報第 10 報）. https://www.pref.niigata.lg.jp/upload/attachment/59952.pdf
7）佐藤比呂志，2014. 日本列島の生い立ちと長期地殻応力・歪の起源 . 予知連会報 , 92, 431-433.
8）佐藤比呂志・岩崎貴哉・石山達也・加藤直子 , 2012. 六日町 - 直江津沖測線地殻構造探査 . ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究（平成 23 年度）成果報告書 , 211-254.
9）気象庁，2012.3 月 12 日長野県北部の地震－近地強震波形による震源過程解析（暫定）－. http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/sourceprocess/event/201103120359near.pdf
10）防災科学技術研究所，2011. 2011 年 3 月 12 日 -4 月 12 日長野県北部の地震 . http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/n-nagano11032/
11）Terakawa, T. and M. Matsu' ura, 2010.The 3-D tectonic stress fields in and around Japan inverted from centroid moment tensor data of seismic events, Tectonics, 29, TC6008, doi:10.1029/2009TC002626.
12）気象庁，主な地震の発震機構解 . https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/mech/index.html
13）防災科学技術研究所,「防災科学技術研究所 F-net Project による広帯域地震波形を用いたメカニズム解析結果 . https://www.fnet.bosai.go.jp/event/joho.php?LANG=ja
14）秦吉弥・村田晶・野津厚・宮島昌克 , 2012. サイト特性置換手法に基づく 2011 年長野・新潟県境地震における栄村横倉集落での地震動の評価 . 日本地震工学会論文集 12(2)，60-77.
15）国土地理院 ,2011. 平成 23 年（2011 年）3 月 12 日 3 時 59 分頃の長野県北部の地震に伴う地殻変動について . http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi_naganohokubu.html
16）宇宙航空開発機構，2011，陸域観測技術衛星「だいち」（ALOS）による中部地方の観測結果 . http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img_up/jdis_pal_chubueq_110411.htm
17）竹内圭史・吉川敏之・釜井俊孝，2000. 松之山温泉地域の地質．地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅），地質調査所，76p.
18）中埜貴元・小荒井衛・乙井康成・小林知勝，2012. 2011 年 3 月 12 日長野県・新潟県県境付近の地震に伴う災害の特徴 , 国土地理院時報 , No.123, 35-48.2012.
19）池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志 , 2002. 第四紀逆断層アトラス . 東京大学出版会 .
20）松多信尚，杉戸信彦，廣内大助，2011. 2011 年 3 月 12 日長野県・新潟県県境付近の地震に伴う地表変状（速報）. http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/INFO/tohoku20110311/chihyou_110317.pdf
21）廣内大助・松多信尚・杉戸信彦・竹下欣宏 ,2012, 3 月 12 日長野県北部の地震に伴う地変と栄村周辺地域の活断層，長野県北部地震災害調査研究報告書, 9-15, 2012-01-27, 信州大学山岳科学総合研究所 .
22）佐藤比呂志 , 2014. 反射法・屈折法による地殻構造調査 . 文部科学省委託研究「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」総括成果報告書 , 57-63, 2014.
23）Matsubara, M., H. Sato, T. Ishiyama, A. Van Horne, 2017. Configuration of the Moho discontinuity beneath the Japanese islands derived from three-dimensional seismic tomography, Tectonophysics, 710-711, 97-107.
24）加藤 進・早稲田 周・西田英毅・岩野裕継，2009. 新潟県東頸城地域における泥火山および周辺の原油・ガスの地球化学．地学雑誌 , 118, 455-471.
25）Terakawa, T., C. Hashimoto and M. Matsu'ura, 2013. Changes in seismic activity following the 2011 Tohoku-oki earthquake: Effects of pore fluid pressure. Earth and Planetary Science Letters, 365, 17-24.

4．静岡県東部の地震（2011 年 3 月 15 日，M6.4）

橋本　徹夫（気象研究所地震津波研究部）

1．はじめに

2011 年 3 月 15 日 22 時 31 分に静岡県東部の深さ 14 km で M6.4 の地震（最大震度 6 強）が発生し，山形県から島根県までの広範囲で震度 1 以上が観測された（図 1）．この地震により重傷者 2 人，軽傷者 48 人，住家の一部破損 521 棟等の被害が生じた [1]．また，3 月 28 日の第 299 回地震防災対策強化地域判定会において，この地震も含めて「最近の東海 地域とその周辺の地震・地殻活動」として，東海地震に直ちに結びつくような変化は観測されていませんとのコメントが発表されている [2]．

2．本震及び余震活動

この地震は，静岡県と山梨県の県境付近で発生し，富士山直下付近に位置する（図 2）．この地震の発震機構は，北北西－南南東方向に圧力軸を持つ型で，余震分布は，北北東－南南西方向に伸びており，震源断層は北北東―南南西に走向を持つ東南東に傾斜した高角の断層であると推定される．この地震は，震源の深さから陸のプレート内の地震と考えられる．桃色のプロットは，低周波地震のフラッグが付いている [3]地震が示されている．これら低周波地震は，今回の地震より北側でやや深部に位置し，活動がすみ分けられている．低周波地震の発生している付近の 7–17 km の地震波速度構造は低 VP，低 VS かつ 低 VP/VS 異常であると推定されている [4]．

余震活動は本震発生直後の 22 時 40 分に M4.2 の地震が 2 回発生するなど活発であったが，徐々に減衰したが，水色の地震回数積算の傾きが 2011 年以前には，戻っておらず，同領域の地震活動はまだ続いているように見える（図 3）．

この地震に伴った地殻変動も観測されており，国土地理院の GNSS 連続観測 [5]，および気象庁のひずみ計の観測 [6]事例を図 4 に示す．地震に伴うコサイスミックな変化とその後のゆっくりした変動が GNSS 観測から見て取れる．

この地震について，（独）防災科学技術研究所が展開する強震観測網（以下，K-NET），基盤強震観測網（以下，KiK-net）の観測点の強震波形を用いた震源過程解析結果 [7]を図 5 に示す．主なすべりは破壊開始点より浅い部分にあり，破壊は上方に進んだと考えられ，主な破壊継続時間は約 5 秒となっている．断層の大きさは長さ約 6km，幅約 10km（最大破壊伝播速度を 2.0km/s と仮定した場合）であり，最大のすべり量は約 1.0m で，モーメントマグニチュードは 6.0 となっている．この地震は低周波地震と同じような低速の地震波速度構造の領域で発生しているが，特段，破壊に通常の地震と大きな相違はないように思われる．

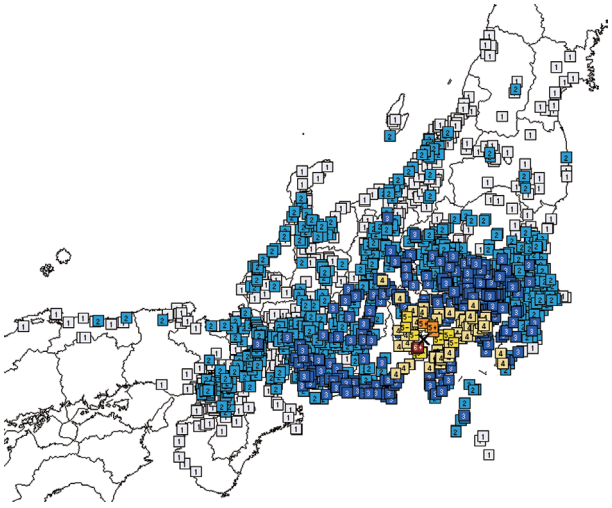


図 1　静岡県東部の地震（2011 年 3 月 15 日，M6.4）の震度分布

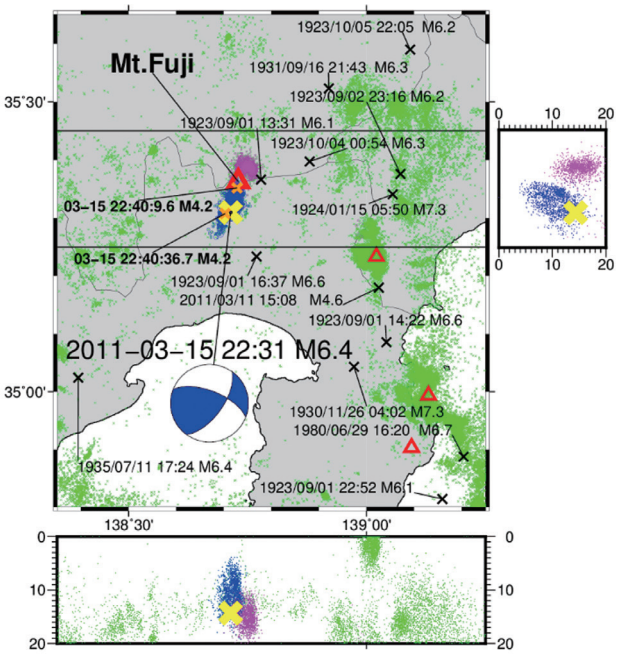


図 2　気象庁データによる 2011 年 3 月 15 日の静岡県東部の地震の地震活動．本震は黄色×，最大余震は橙色×．青色が今回の地震の活動域の地震，桃色は富士山直下の深部低周波地震．黄緑は周辺の地震．今回の地震の周辺の地震が緑色．黒×が M6 以上の地震等．震央分布図の矩形の範囲の東西断面図（下），今回の地震の活動域と低周波地震の南北断面図（横）．赤△は火山．震源および発震機構解データは気象庁によるもの．作図は P. Wessel and W. H. F. Smith の GMT による．

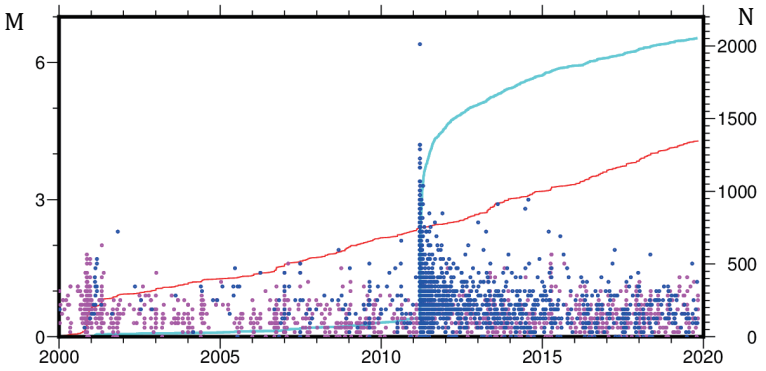


図 3　2000 年 1 月―2019 年 10 月の M-T 図と地震回数積算図．今回の地震の活動域の地震（青色）および低周波地震（桃色）で，それぞれの地震活動の M-T 図と地震回数積算図をそれぞれ水色線，赤線で示す．

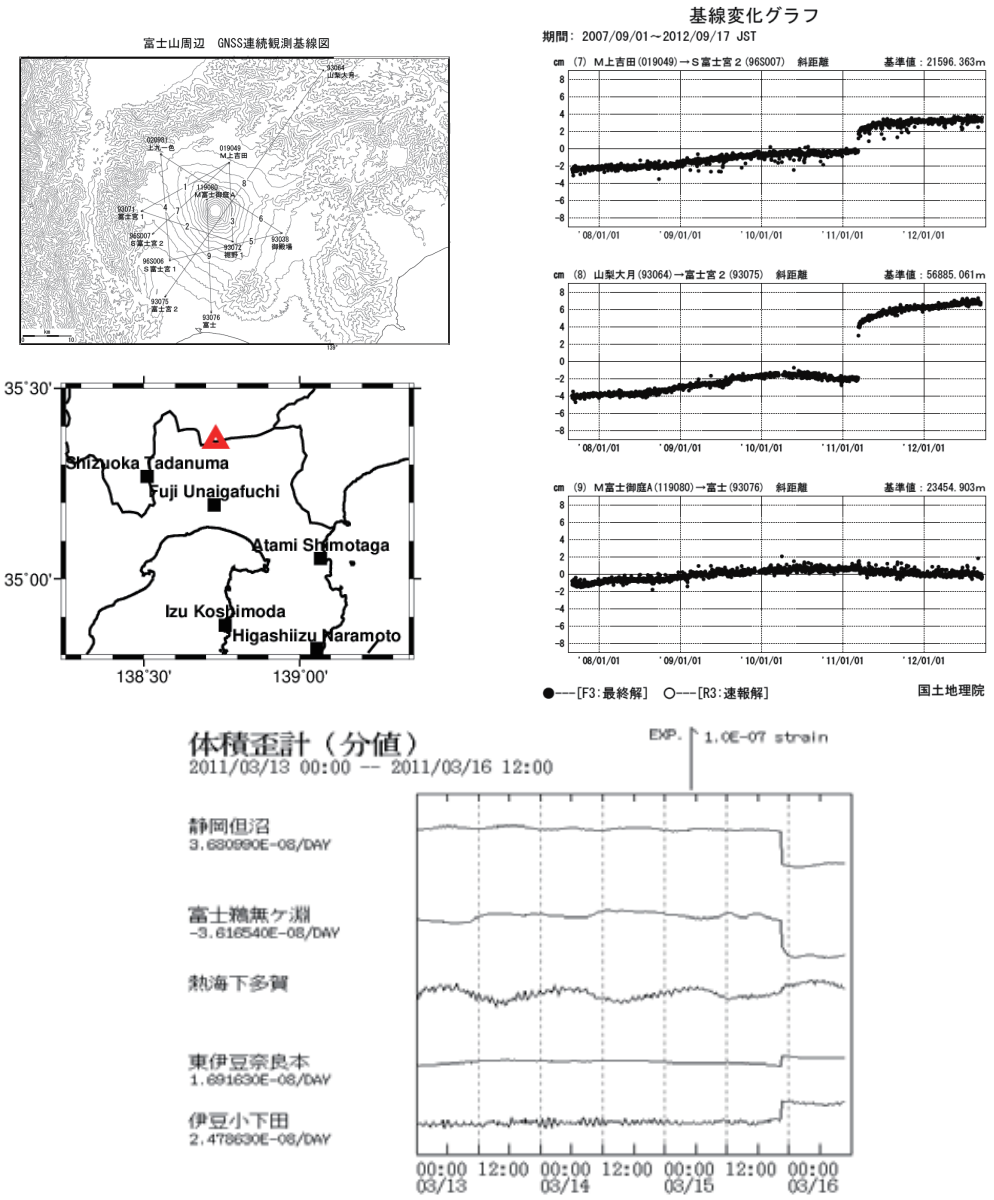


図 4　火山噴火予知連絡会会報 123 巻の国土地理院の GNSS 連続観測，および地震予知連絡会会報 86 巻の気象庁のひずみ観測の図の部分抜粋と追加．

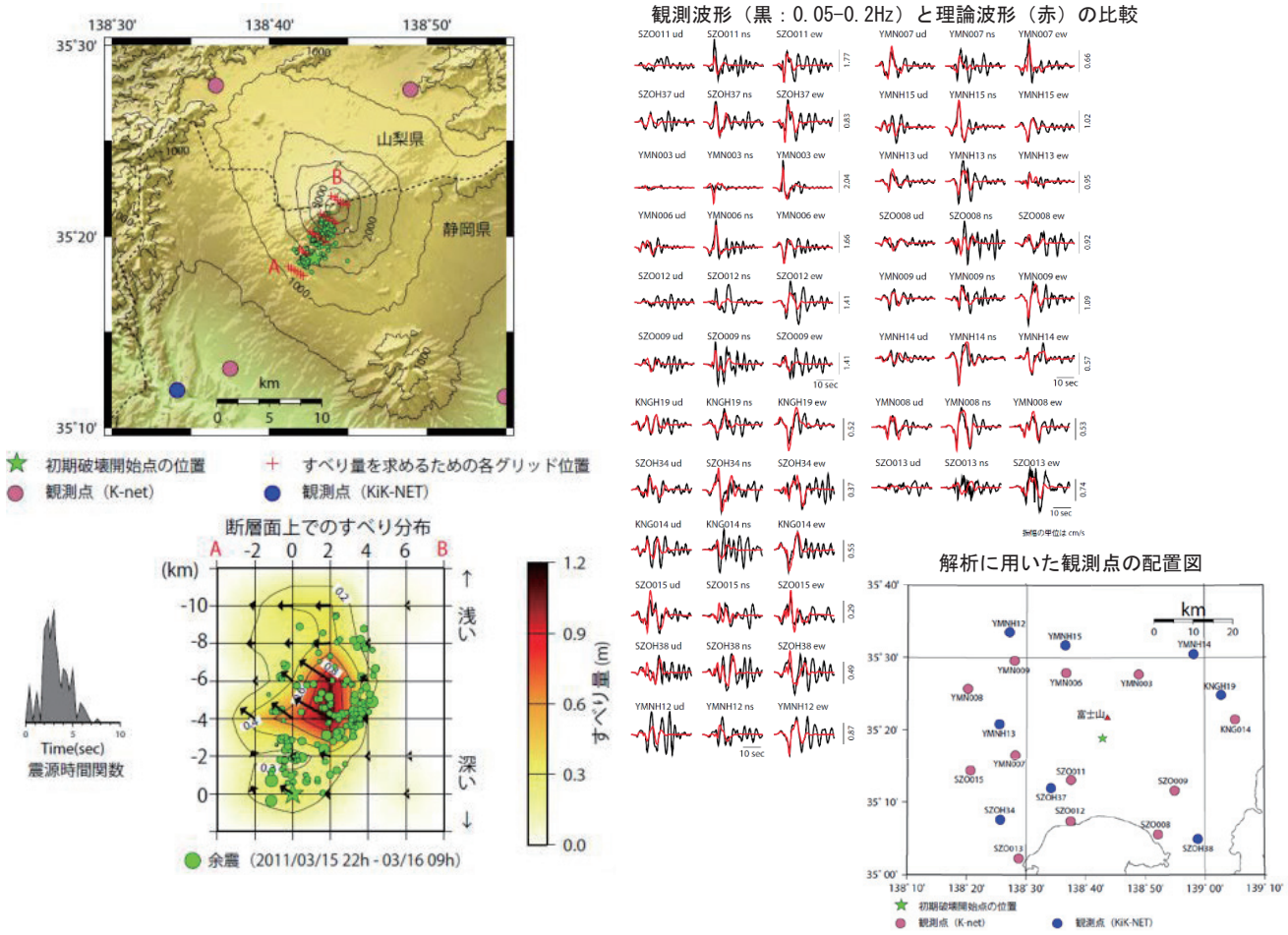


図５　静岡県東部の地震の近地強震波形による震源過程解析

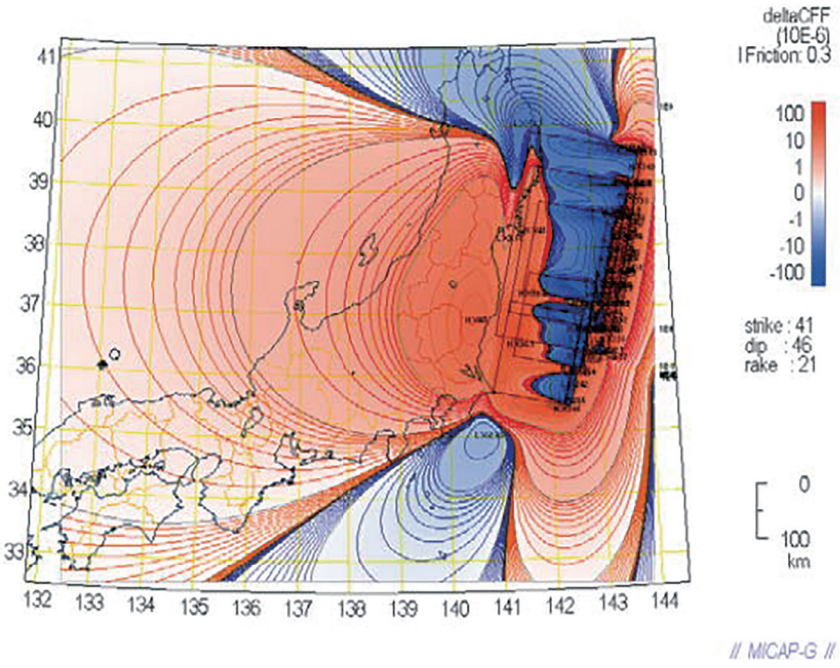


図６　平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による静岡県東部の地震の北北東―南南西の断層面における Δ CFF.

３．平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震との関連と過去の周辺の地震活動

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（以下，東北地震）によるこの地震に対するΔ CFF [6]を 図 6 に示す．初動発震機構解の節面のうち，余震分布とあう北北東―南南西の節面に対するΔ CFF は，その大きさが地震を促進する方向へ地球潮汐の数十倍程度であった．この地震は東北地震によって誘発された地震といってもよいだろう．

これまでに，この地震の周辺では，M6 以上の地震は，1923 年以降の地震に限ると，あまり発生していなかった（図 2）ことがわかる．1923 年の関東地震の余震が周辺でみられるが，それ以外はない．今回の地震活動の領域では，図 3 の 2000 年からの MT 図の青色のプロットに示されるように，地震が少なかった．低周波地震の地震回数積算の赤線の傾きの変化からは，東北地震で活動が変化しているようには見えない．なお，低周波地震は，2000 年頃に活動が活発化しており，2000 年の伊豆諸島北部の活動にあわせて活発化したことが知られている [8]．また，東北地震発生直後に，箱根の南部では，2011 年 3 月 11 日に M4.2 の地震も誘発されて発生していた（図 2）．このように東北地震に影響を受けたと見える活動とたとえ近傍であっても影響のないものがある．なお，低周波地震の発生域にマグマだまりを設定して，東北地震と今回の地震の影響が検討され，静岡県東部の地震によって，噴火が抑制されたと考えられている [8]．

参考文献

1) 静岡県ホームページ：3 月 15 日静岡県東部の地震に関する被害情報［第 5 報］.
2) 気象庁ホームページ：https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/gaikyo/hantei20110328/mate02.pdf.
3) 西出則武，橋本徹夫，舟崎淳，中沢博志，岡正善，上野寛，山田尚幸，笹川巌，前田憲二，杉本和 信，高嶋 鉄也 , 地震データの一元的処理に より把握された地殻下部の低周波地震活動，2000，地球惑 星科学関連学会 2000 年合同大会予稿集，Sk-P002.
4) Nakamichi, H., H. Watanabe and T. Ohminato, Three-dimensional velocity structures of Mount Fuji and the South Fossa Magna, central Japan. 2007, JGR.,112, B03310,doi:10.1029/2005JB004161.
5) 国土地理院，富士山の地殻変動，2011, 火山噴火予知連絡会報，110，43 － 49.
6) 気象庁 2011 年 3 月 15 日の静岡県東部の地震（M6.4）について，2011，地震予知連絡会報，86，421-424.
7) 気象庁ホームページ：http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/index.html#higai
8) Fujita, E., H. Ueda, H. Ueda, Y. Ida, T. Kozono, Y. Kohno and S. Yoshioka, Stress field change around the Mount Fuji volcano magma system caused by the Tohoku megathrust earthquake, Japan, 2013, Bulletin of Volcanology.

5．淡路島付近の地震（2013 年 4 月 13 日，M6.3）

澁谷　拓郎・片尾　浩（京都大学防災研究所地震予知研究センター）

1．はじめに

2013 年 4 月 13 日 5 時 33 分に淡路島付近を震源とする気象庁マグニチュード（以下 M と記す）6.3 の地震が発生した[1]．淡路市で震度 6 弱を観測したほか，近畿地方を中心に中部地方から九州地方にかけて有感となった[2]．この地震による負傷者は 35 人，被害住宅は 8,414 棟に上った[3]．

2．余震分布

1976 年までさかのぼって，京都大学防災研究所と気象庁の読み取り値をマージしたものに，1997 年からの一元化震源データの読み取り値と，九州大学大学院理学研究院，東京大学地震研究所および京都大学防災研究所による余震臨時観測点を含む 2013 年 4 月～5 月の京都大学防災研究所による読み取り値を加えたデータセットに対して，連結震源決定法[4]による再決定を行った．

図 1 に示すように，2013 年淡路島付近の地震は，1995 年兵庫県南部地震（M7.3）の余震域の南西端付近で発生した．本震のメカニズム解はほぼ東西方向に P 軸をもつ逆断層型である．図 2 に示す余震分布の東西断面図からわかるように西下がりの節面が本震の断層面である．

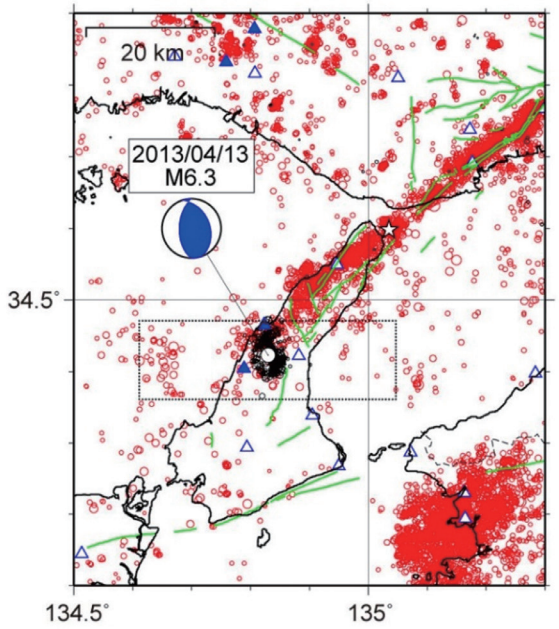


図 1　淡路島付近の震央分布．2013 年淡路島付近の地震の余震を黒丸で示す．白抜きの黒丸は本震であり，そのメカニズム解を左上に示す．赤丸は 2013 年 4 月 13 日より前の地震であり，白抜きの星印は 1995 年兵庫県南部地震の本震である．地震観測点を三角で示す．このうち青三角は臨時点である．活断層を緑線で示す．

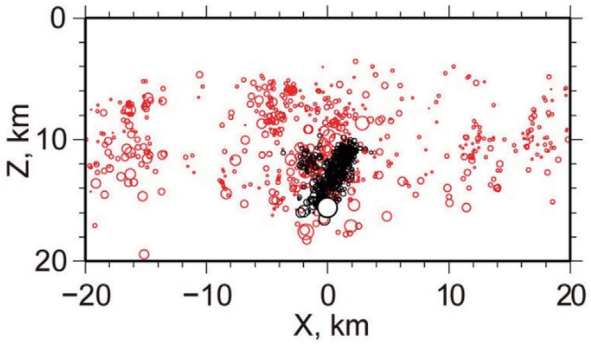


図 2　淡路島付近の震源分布の東西断面図．図 1 の点線の四角の範囲の地震をプロットした．2013 年淡路島付近の地震の余震を黒丸で示す．白抜きの黒丸は本震である．赤丸は 2013 年 4 月 13 日より前の地震である．

3．余震の発震機構

本震以降，5 月 9 日までの余震約 350 個について，P 波初動の押し引きから Maeda et al.（1992）[5]の方法により発震機構を求めた．それらのうち 4 象限型で押し引き分布を説明できている割合（スコア値）が高く，解の任意性が少ない等の条件を満たす精度の良いもの 90 個について解析を行った．

図 3 はこれら 90 個の余震の P 軸の方位分布を示すローズダイヤグラムである．全体として東西方向の圧縮が卓越しているが，北東方向に向くものが少なからず存在していることがわかる．図 4 は Frohlich（1992）[6]に従って断層タイプの分布を三角形のダイヤグラムにプロットしたものである．逆断層型，横ずれ断層型，およびそれら

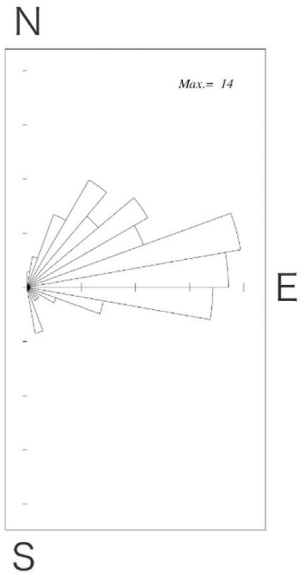


図 3　余震の P 軸方位の 10 度毎の頻度分布．

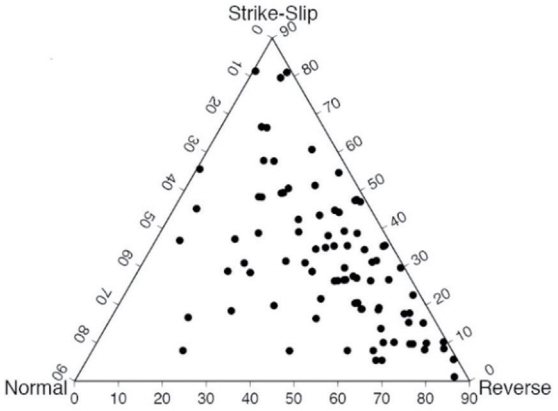


図 4　Frohlich（1992）[6] の方法で示す断層型の分布.

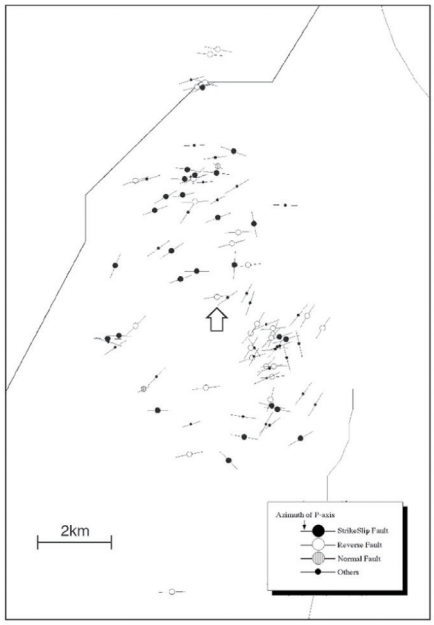


図 5　断層型と P 軸方位の分布．震央が黒丸のものは横ずれ断層，白丸◯のものは逆断層，網掛け丸のものは正断層．震央に付した「バー」は P 軸の方位を表す．太い矢印は本震を表す.

の中間に位置する様々なタイプが混在している．図 5 は断層型で分類した震央を P 軸方位とともに地図上に示したものである．断層型の分類は，Katao et al.（1997）[7] に従った．全体としては，東西圧縮の逆断層型と横ずれ断層型が混在している．少数ながら正断層型のものも見受けられる．矢印で示されている本震の南東に，P 軸が北東―南西方向を向いた逆断層型が多数存在しているのが特徴的である.

4．おわりに

2013 年淡路島付近の地震（M6.3）は，1995 年兵庫県南部地震（M7.3）の余震域の南西端付近で発生した．ほぼ南北の走向をもつ西下がりの高角な断層面が逆断層運動をしたと考えられる．したがって，この地震は，1995 年兵庫県南部地震の断層とは斜交する長さ 10 km 程度の断層によって引き起こされたことになる.

余震の発震機構では，P 軸の方位にかなりの幅があり，逆断層型と横ずれ断層型，およびそれらの中間型が混在している．これは，この地震の震源域の応力場が不均質であった可能性を示唆する．上述のように，この地震は，1995 年兵庫県南部地震の断層の終端付近に位置するので，震源域は不均質で高い応力状態にあったと考えられる．実際，この地震の発生前の震源域の b 値は 0.72 と小さく，震源域の応力が高かったことが示唆される.

参考文献

1）気象庁，2013．平成 25 年 4 月 13 日 05 時 33 分頃の淡路島付近の地震について（第 2 報）．http://www.jma.go.jp/jma/press/1304/13d/201304131130.html2）気象庁，2013．平成 25 年 4 月 13 日 05 時 33 分頃の淡路島付近の地震について．http://www.jma.go.jp/jma/press/1304/13a/201304130730.html

3）消防庁，2013．淡路島付近を震源とする地震（確定報）．https://www.fdma.go.jp/disaster/info/assets/post713.pdf

4）Kissling, E., W. L. Ellsworth, D. Eberhart- Phillips, and U. Kradolfer, 1994. Initial reference models in local earthquake tomography, J. Geophys. Res., 99, 19635–19646.

5）Maeda, N., 1992. A method of determining focal mechanisms and quantifying the uncertainty of the determined focal mechanisms for micro-earthquakes, Bull. Seism. Soc. Am., 82, 2410-2429.

6）Frohlich, C., 1992. Triangle diagrams : ternary graphs to display similarity and diversity of earthquake focal mechanisms, Phys. Earth Planet. Interiors, 75, 193-198.

7）Katao, H., N. Maeda, Y. Hiramatsu, Y. Iio and S. Nakao, 1987. Detailed Mapping of Focal Mechanisms in/around the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake Rupture Zone, J. Phys. Earth, 45, 105-119.

6．長野県北部の地震（2014 年 11 月 22 日，M6.7）

佐藤　比呂志（東京大学地震研究所地震予知研究センター）

1．はじめに

2014 年 11 月 22 日 22 時 8 分頃，長野県北部を震源とするマグニチュード 6.7 の地震が発生した（図 1）．この地震で，長野県長野市，小谷村，小川村で震度 6 弱，長野県白馬村，信濃町で震度 5 強を観測した（気象庁，2014）[1]．この地震にともなって糸魚川 - 静岡構造線活断層系・神城断層に沿って，約 9 km の区間で地表地震断層が出現した（廣内ほか, 2015[2]; 中埜ほか, 2015[3]など）．この地震による被害は，白馬村・小谷村を中心として，重軽傷者 46 名，全壊 77 棟，半壊 136 棟に及んだ（消防庁災害対策本部，2015[4]）．この地震は，糸魚川 - 静岡構造線断層帯として地震調査推進本部での長期評価が行われていた断層帯で発生した地震で，活断層に基づく評価方法を検討する上でも重要な地震となった．

2．震源域の地質

糸魚川 - 静岡構造線北部は，日本海の拡大の際に大規模な右横ずれを伴って活動した大規模な断層であり（図 2），その後，日本海の拡大とともに回転し，現在の北東 - 南西方向のリフトが形成された．したがって，糸静線北部は横ずれ断層として，その後，東側低下の正断層として活動し，リフト内には厚さ数 5 km に及ぶ堆積物が充填された（佐藤ほか，2013[5]）．リフト内の下部地殻にはＰ波速度の顕著な高速化が認められ，リフト形成期

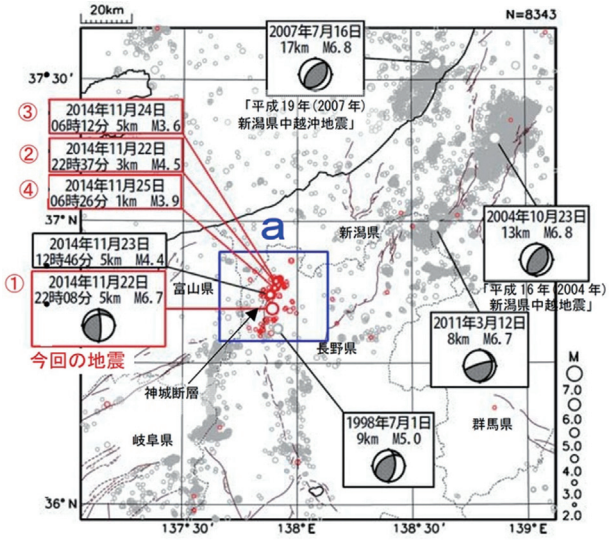


図 1　震央分布図（1997 年 10 月 1 日～ 2014 年 11 月 30 日，深さ 0 ～ 30 km，M ≧ 2.0）2014 年 11 月の地震を赤色で表示．①～④は今回の地震．気象庁（2014）[1]による．

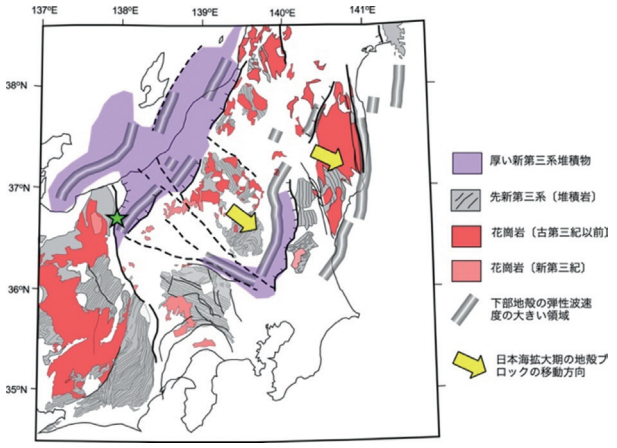


図 2　本州中央部の地殻構造の概要（佐藤，2014[6]）と 2014 年長野県北部地震．星印：2014 年長野県北部地震の震央．

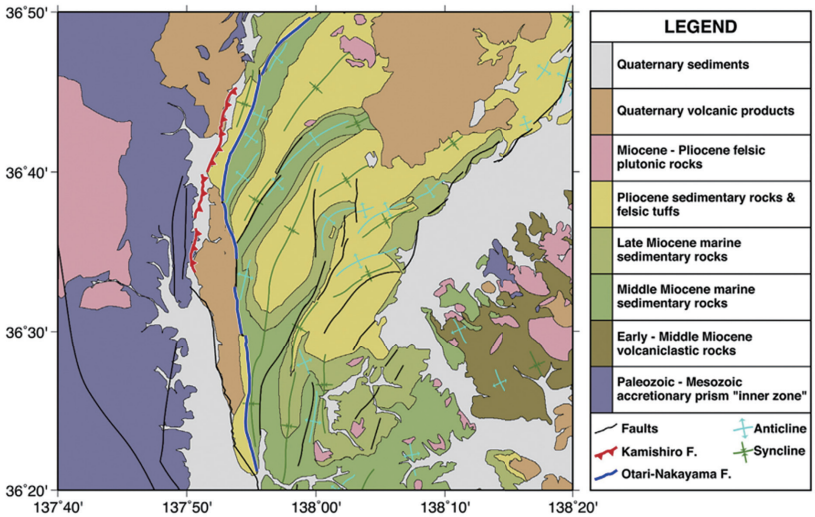


図 3　震源域周辺の地質概略図（Panayotopros et al., 2016[7]: 関東土木地質図編集委員会編集，1996[8]）．赤線：神城断層 青線：小谷 - 中山断層

の苦鉄質岩の迸入を示している．北部フォッサマグナは鮮新世以降から短縮変形を被り，褶曲 - 逆断層帯が形成された．これらの短縮変形に寄与したのは，信濃川断層帯などのリフトの東縁の断層群であり，糸静線北部沿いの活断層は既存の構造方向と，広域的な西北西 - 東南東方向からの圧縮応力に対応して，左横ずれと逆断層運動が進行している．

3．地震活動

震源域周辺では，1714 年（M6.3）正徳小谷地震（勝部ほか, 2017[9]），1858 年（M5.7）の史料地震のほか（宇佐美, 2003[10]; 地震本部[11]），1918 年の大町地震（M6.5）（多田・橋本，1988[12]; 鷺谷，2003[13]），1986 年（M5.9, 佃ほか，1989[12]）などの被害地震が発生している．

本震発生の 4 日前には，南北方向に広がるほぼ中央部で前震（M2.9）が発生している（Panayotopros et al., 2016[7]）．発震機構解は本震とほぼ同様であった．

本震の発震機構解は，気象庁[15]や防災科学技術研究所[16]などによって報告されている（表 1，図 4）．

表 1　モーメントテンソル解のパラメーター

	断層面解 1			断層面解 2		
	走向	傾斜	すべり角	走向	傾斜	すべり角
気象庁[15]	251	33	161	358	80	129
防災科技[16]	241	47	117	25	50	65

単位: 度

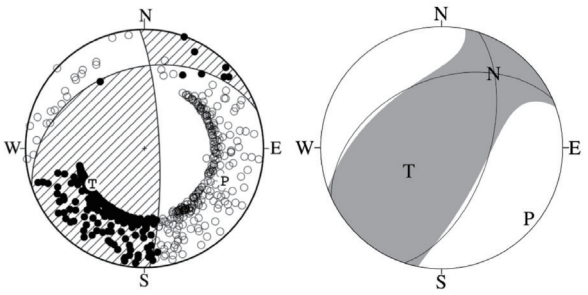


図 4　2014 年長野県北部地震の P 波初動解（左）とモーメントテンソル解（右）（気象庁，2014[15]）

4．地震のメカニズム

本震の発震機構解は，P 波初動解やモーメントテンソル解によって，NW-SE 方向に主圧力軸をもち左横ずれを伴う逆断層型であることが報告されている（図 4）．P 波初動解とモーメントテンソル解はやや異なる．P 波初動解はより左横ずれ成分が卓越し，節面も高角となる．これに対し，モーメントテンソル解はより逆断層成分にとみ，節面の角度もより小さい．これらは，余震分布にも現れているように，破壊が高角度の断層の右横ずれ運動によって発生し，その後 60 度前後の南傾斜の断層面の活動につながったためと解釈されている（Panayotopros et al. (2016)[7]）．

5．余震分布

地震活動は，気象庁[1]や防災科学技術研究所[17]や大学などの観測機関により観測され，一元化震源として共有されている．Panayotopros et al. (2016)[7]は一元化震源に対して，DD 法による震源の再決定を行った（図 5）．求められた本震の深さは，3.5 km となり，気象庁や防災科学技術研究所の報告[17]より浅くなっている．再決定された余震の震源は，地表で地震断層が出現した神城断層の東側に沿って南北方向に分布する．余震が分布する領域は北北東 - 南南西方向に長さ約 27 km，深さ 10 km となる．余震は面状に集中し，概ね 4 km 以浅では傾斜 30-45 °となり，これ以深の領域では，50-65 °となる．浅層部での傾斜の地表延長は，神城断層に，深部の傾斜の地表延長は，小谷 - 中山断層となる．こうした震源断層の形状は，地質学的あるいは反射法地震探査による推定と調和的である（佐藤・平田，1998[18]）．余震はグループ 1: WNW-ESE 方向の主圧力軸をもつ横ずれ成分を伴う逆断層とグループ 2: WNW-ESE 方向の主圧力軸をもつ横ずれ断層である．横ずれの発震機構を有する断層群は，推定される震源断層から離れた領域に分布する傾向がある（図 5）．発震機構解による二つの地震のグループは発生時期によっても傾向があり，前震と本震から 24 時間以内では，グループ 1 の逆断層タイプの地震が多く，それ以降はグループ 2 の横ずれ主体の地震が卓越する（Panayotopros et al., 2016[7]）．また，横ずれ型の地震は，領域 IV（図 5）の神城断層の下盤側で多く発生している．この領域は大局的には南北方向の地質構造上の糸魚川 - 静岡構造線の通過位置に近く，南北方向の既存の弱面の影響を受けている可能性がある．

6．地殻変動

2014 年長野県北部地震に伴う地殻変動は，周辺の GNSS 観測点によって観測された（図 6，国土地理院, 2014a[19], Kobayashi et al., 2018[20]）．また，ALOS 衛星に搭載された PULSAR を用いて干渉画像が作成され詳細な地殻変動が明らかになった（図 7，国土地理院, 2014b[19], Kobayashi et al., 2018[20]）．干渉 SAR と MAI（Multiple Aperture Interferometry）の両方のデータから推測された三次元地殻変動図（図 7）によれば，断層の南部ではより西部でのすべり量が大きく，北西方向に移動している．これに対して北部では断層の東側で，北方から北北東方向への運動が卓越している．Kobayashi et

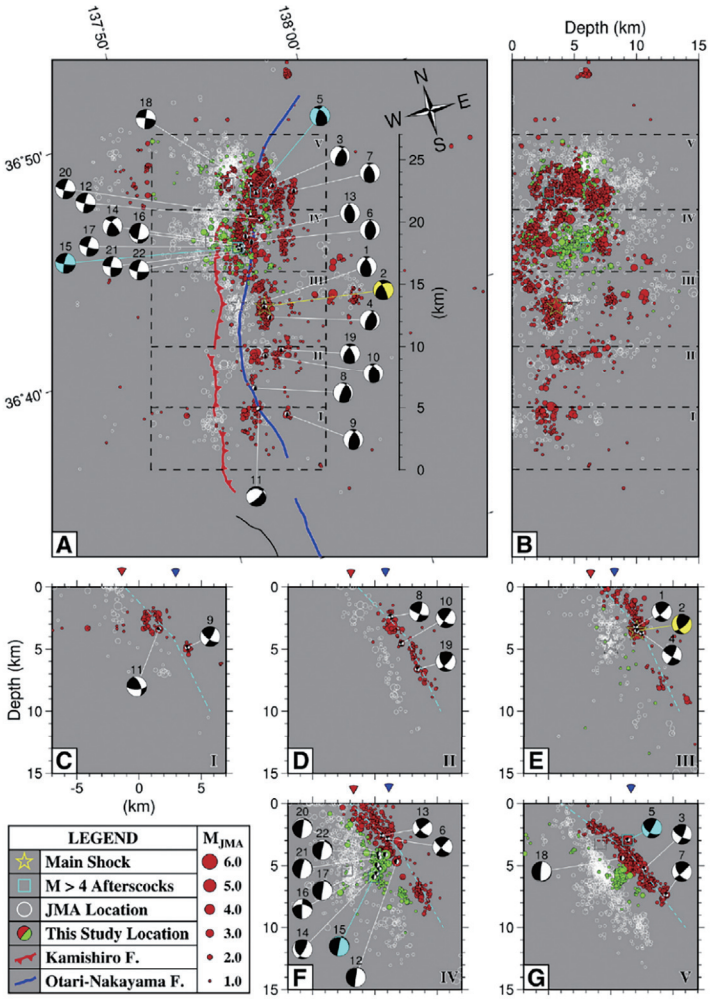


図 5　一元化震源に対して DD 法により再決定した震源分布（Panayotopros et al.（2016[7]）による）．白丸：一元化震源，赤丸：再決定後の震源．黄色：本震，シアン：余震 MN4，発震機構解は下半球投影．断面 C-G は図 A の領域 I – V に相当．発震機構解は壁面投影．水色波線は推定した震源断層．赤三角：神城断層（地表地震断層），青三角：小谷 - 中山断層の位置，赤：グループ I の地震，緑：グループ II の地震．

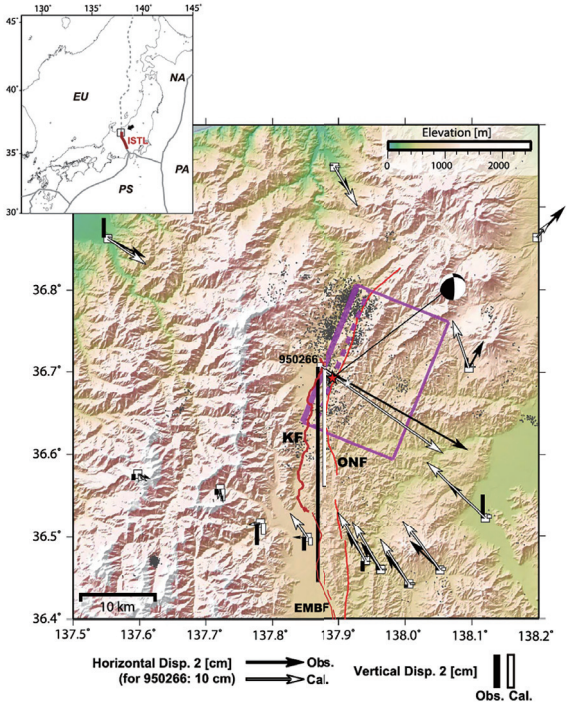


図 6　神城断層周辺の地殻変動（Kobayashi et al., 2018[20]）　赤星印：気象庁による本震の震央，白星印：Panayotopoulos et al.（2016）[7]による震央，白四角：GEONET の観測地点名．矢印は水平方向の変位ベクトル，黒は観測値，白は理論値．柱状は垂直変位，黒は観測値，白は理論値．赤は断層トレース．赤紫の矩形は震源断層モデル．

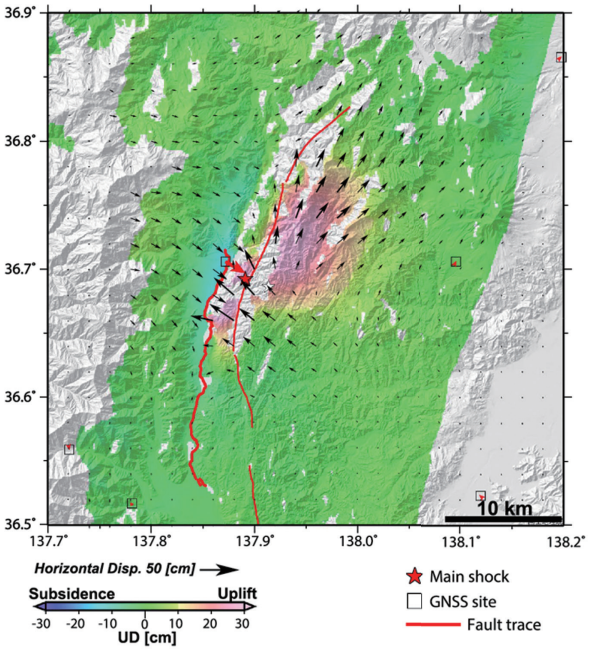


図 7　干渉 SAR と MAI（multiple Aperture Interferometry））のデータから求められた地殻変動図（Kobayashi et al., 2018[20]）．背景色は垂直方向の変位を示す．ベクトルは，0.02°の間隔で描かれた水平方向の変位．赤矢印は，GNSS による地震時変位．

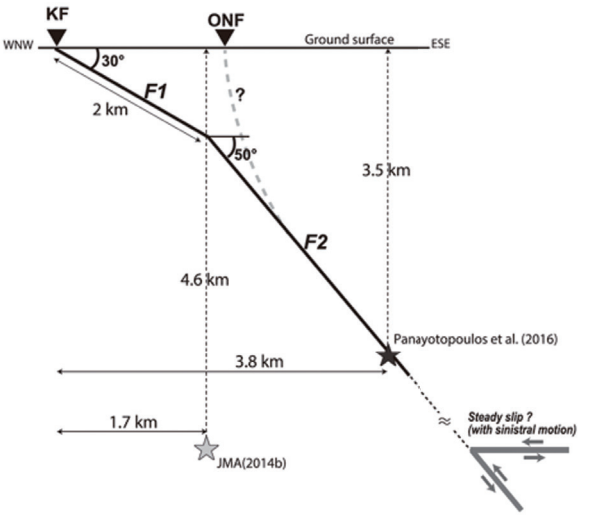


図 8　断層面の形状と震源との関係（Kobayashi et al., 2018[18]）．WNW–ESE 方向断面．黒星：Panayotopoulos et al. (2016)[6] による震源．黒星：気象庁 (2014)[1] による震源．深部定常すべりの概念図は，F2 断層の下方延長に図示．

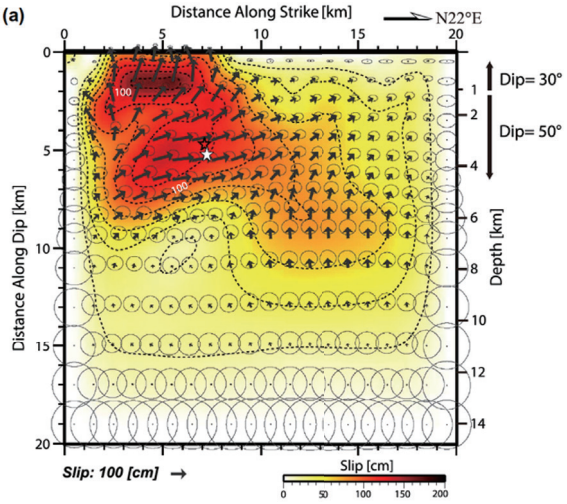


図 9　断層面のすべり分布（Kobayashi et al., 2018[20]）．星印は断層面に投影された本震の震源．赤星：気象庁 (2014b)[22] 白星：Panayotopoulos et al（2016）[7]．断層面の位置は，図 6 参照．エラー楕円は 68%の信頼レベルを示す．

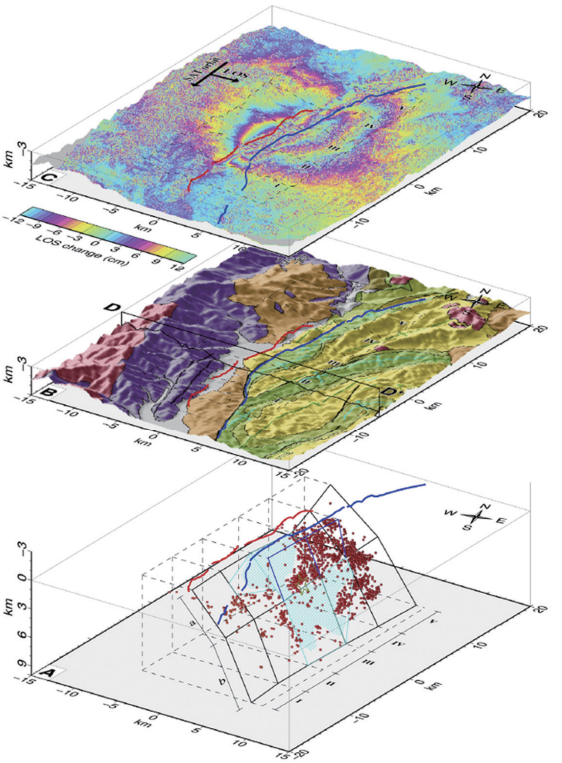


図 10　断層モデルと地殻変動および地表地質 - 地形との相関図（Panayotopros et al., 2016[7]）．赤線：神城断層．青線：小谷中山断層．A）震源のクラスタリングにより導出された 3 次元断層モデル．推定された震源断層モデルから ± 1 km 以内の余震のみを表示．シアンの斜線部分は，主要な地震活動のギャップを表す．星印：本震．黒いポリゴン：震源断層．水色：主要なすべり領域．青いポリゴン：小谷 – 中山断層の浅い部分（0–4 km）B）神城断層に沿った表面地質と地形の 3D マップ．北端の表面表現セグメント IV と V の震源断層は，おそらく第四紀の火山噴出物によって覆われている．C: 国土地理院による InSAR イメージ[21]．

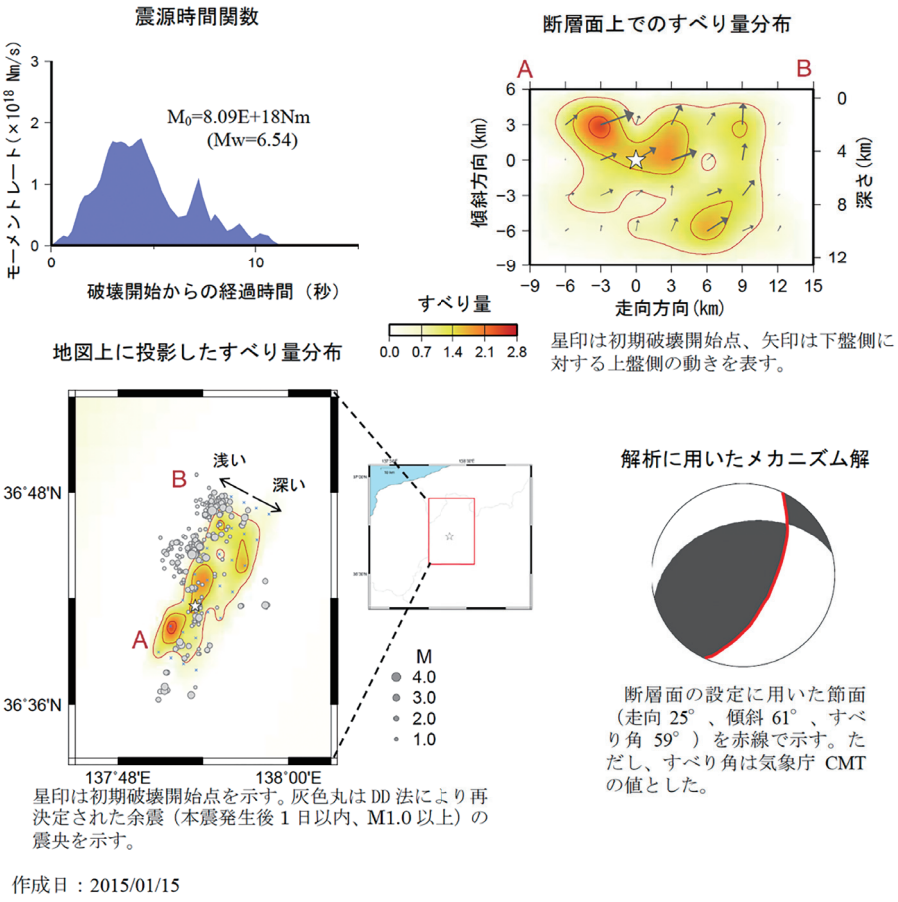


図 11　2014 年長野県北部の地震 - 近地強震波形による震源過程解析（暫定）-. 気象庁（2015）[23] による.

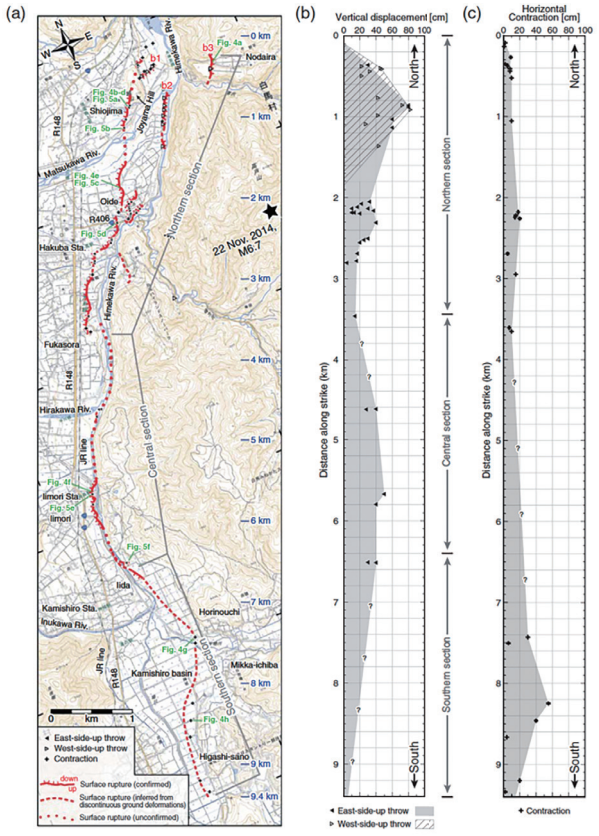


図 12　地表地震断層の分布と変位（Okada et al., 2015[27]）（a）神城断層に沿った 2014 年の地表地震断層のストリップマップ．基図は国土地理院 1：25,000 の地形図を使用．b1，b2，および b3: 西側隆起のバックスラスト．神城断層に沿った地表地震断層の（b）垂直変位量（c）断層法線方向の短縮量.

al.（2018）[20]は，浅部の断層傾斜を 30°，深さ 1 km 以深の傾斜を 50°として断層モデルを用いて断層面上のすべり分布を求めた．求められた変位ベクトルは，地表地震断層が出現した断層南部において，浅部のすべり量が大きく，変位ベクトルは断層面に直交する逆断層成分が卓越する．これに対して，北部ではより深部での大きくなっている．また，余震の少ない領域（図 5B）については地震時のすべり量が大きい領域として，マッピングされており，整合的な解析結果となっている．Kobayashi et al.（2018）[20]は，中角度の傾斜を示す深部の断層が左横ずれの変位が卓越し，浅部の低角度逆断層では逆断層成分が卓越することから，スリップパーティショニングが生じていたと述べている．

7．近地地震による破壊過程

気象庁（2015）[23]は近地地震波形を用いて，断層面上のすべり分布を求めている（図 11）．このモデルでは，断層を一枚の矩形断層として近似している．震源断層の南部の浅部ですべり量が大きく，北部では深部が大きいという測地から求めた結果と共通の特徴を示してする．但し，変位ベクトルについては，とくに浅部で横ずれ成分が卓越している点で Kobayashi et al.（2018）[20]とは異なる．

8．地表地震断層とトレンチ調査

地震に伴って震源域南部の約 9 km の区間に渡って地表地震断層が出現した．これら地表地震断層は，概ね活断層として知られていた神城断層（東郷ほか，1999[24]）に沿っている（松多ほか，2018[25]）．地表地震断層については，廣内大助ほか（2015）[26]，勝部亜矢ほか（2017）[9]，Okada et al.（2015）[27]（図12），Lin et al.（2015）[28]，Ishimura et al.（2019）[29] 等によって調査・研究が行われている．最大垂直変位量は 80 cm 程度で，地表地震断層出現域の北部に位置し，短縮量は南部で 60 cm 程度と南ほど大きい傾向がある（図 12）．

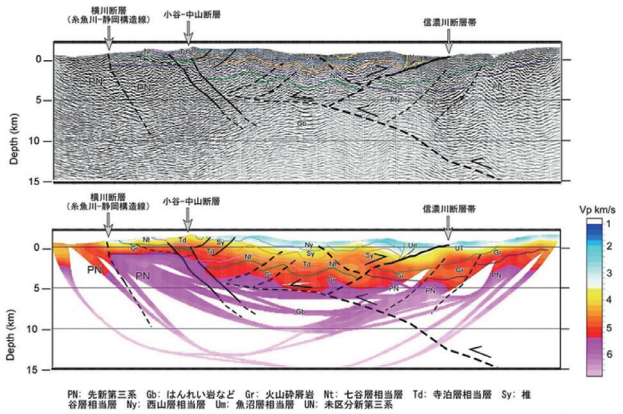


図 13　小谷 - 飯山測線地殻構造探査断面（佐藤ほか，2013[5]）．（上）反射方地震探査断面と地質学的解釈，（下）屈折トモグラフィ法による P 波速度構造．

Ishimura et al.（2019）[29]は，航空レーザー計測を行い地表地震断層周辺の数値地形モデルを作成した．このモデルと，地震発生前に同様の航空レーザー計測によって得られていたモデルと差分をとることにより，地震時の詳細な地殻変動を抽出している．今後，合成開口レーダーの干渉解析よりも，より詳細な地形変化を捉えることに繋がる手法である．

地表地震断層についてトレンチ調査も実施されている．Katsube et al.（2017）[30]によれば，今回の地震以前に 2 回の古地震イベントが認められ，新期のイベントは 1714 年の正徳小谷地震に対応する．この地震の被害域の広がりなどから想定して，同様の規模の地震が約 300 年間で繰り返したものと判断される．古地震イベントから推定される平均変位速度は，より長期の平均変位速度（松多ほか，2006[31]）より小さく，将来，今回および 1714 年の正徳小谷地震より大規模な地震の発生が予想される[30]．

9．地殻構造

震源域の北西に近接した飯山から小谷に WNW-ESE 方向に北部フォッサマグナを横断する地殻構造探査が実施されている（佐藤ほか，2013[5]）．図 13 に反射断面の解釈と屈折速度構造断面を示す．この測線では小谷 - 中山断層と糸静線北部を横切る．北部フォッサマグナ堆積盆地の形成に大きく関与している断層は，小谷 - 中山断層で糸静線ではない．糸静線はより高角で日本海初期の右横ずれ変位に寄与して以降，大きな変位を示していない．トモグラフィーの速度構造から推定される小谷 - 中山断層の傾斜は，今回の地震の震源の配列から推定される形状と調和的である．本震の深さは 3.5 km と推定されているが，震源域の北部フォッサマグナ堆積盆地では 5km ほどのリフト充填堆積物が存在している（Panayotopros et al., 2016[7]）．したがって，本震は新第三系と先新第三系の境界部で発生したものであり，異常に浅い本震の発生深さについては未解決の問題を提起している．

10．まとめ

2014 年長野県北部の地震は，陸域の活断層として大きな平均変位速度を示す糸魚川 - 静岡構造線活断層系の北端部が活動したものであるが，発生した地震は地震調査推進本部の長期予測（地震調査研究推進本部地震調査委員会，2015[32]）より一回り規模の小さなものであった（鈴木ほか，2015[33]）．この地震に伴って震源域の南

部に地表地震断層が出現した．地表地震断層や地殻変動の詳細については，多くの研究が行われている．50 ～ 60°程度傾斜した震源断層が左横ずれを伴う逆断層運動することにより地震が発生し，より低角度の神城断層沿いに逆断層として地表に現れた．地殻変動のインバージョンからは，高角度の断層（小谷 - 中山断層）は横ずれ成分が主体で，浅い断層は逆断層が卓越するというスリップパーティショニングが発生している．長期の平均変位速度とトレンチ調査や今回の地表地震断層の変位量を考慮すると，小規模な地震が短い間隔で繰り返しており，また平均変位速度から，より規模の大きな地震発生も予測されている．この地震を引き起こした断層は，成熟度の高い断層であり，小さい摩擦係数を反映して地震の発生様式が多様であることが明瞭になった．未解決の問題が残されているものの，今後の内陸地震の長期予測に対して，重要な知見が得られた地震であった．

参考文献

1) 気象庁 , 2014. 平成 26 年 11 月 22 日 22 時 08 分頃の長野県北部の地震について . 報道発表資料 平成 26 年 11 月 23 日 00 時 00 分 , https://www.jma.go.jp/jma/press/1411/23a/kaisetsu201411230000.pdf
2) 廣内大助・松多信尚・杉戸信彦・熊原康博・石黒聡士・金田平太郎・後藤秀昭・楮原京子・中田　高・鈴木康弘・渡辺満久・澤　祥・宮内崇裕，2014 年神城断層地震変動地形調査グループ , 2015. 糸魚川－静岡構造線北部に出現した 2014 年長野県北部の地震（神城断層地震）の地表地震断層 , 活断層研究 ,43, 149-162.
3) 中埜貴元・飛田幹男・中島秀敏・神谷　泉 , 2015. 干渉 SAR で捉えた 2014 年 11 月 22 日長野県北部を震源とする地震に伴う地表変位．活断層研究 , 43, 69-82.
4) 消防庁災害対策本部 , 2015．長野県北部を震源とする地震（第 21 報）．https://www.fdma.go.jp/disaster/info/assets/post763.pdf
5) 佐藤比呂志・岩崎貴哉・石山達也・蔵下英司・加藤直子，2013．飯山 - 小谷測線地殻構造探査 , ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究（平成 24 年度）成果報告書 , 228-268.
6) 佐藤比呂志 , 2014. 日本列島の生い立ちと長期地殻応力・歪の起源 . 予知連会報 , 92, 431-433.
7) Panayotopoulos, Y., N. Hirata, A. Hashima, T. Iwasaki, S. Sakai and H. Sato, 2016. Seismological evidence of an active footwall shortcut thrust in the Northern Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line derived by the aftershock sequence of the 2014 M 6.7 Northern Nagano earthquake. Tectonophys, 679, 15–28, doi:10.1016/j.tecto.2016.04.019.
8) 関東地方土木地質図編纂委員会，1996. 関東地方土木地質図および説明書 . 国土開発技術研究センター , 768 p.
9) 勝部亜矢・近藤久雄・谷口薫・加瀬祐子，2017. 2014 年長野県北部の地震（Mw6.2）に伴う地表地震断層の分布と変位量．地質学雑誌，123，1-21.
10) 宇佐美龍夫 , 2003.『日本被害地震総覧』. 東京大学出版会 , 605p.
11) 地震調査推進本部，長野県の地震活動の特徴 . https://www.jishin.go.jp/regional_seismicity/rs_chubu/p20_nagano/
12) 多田　堯・橋本　学，1988. 1918 年（大正 7 年）大町地震の断層モデルとその地学的意義 . 地震　第 2 輯 , 41, 259-262.
13) 鷺谷　威，2003. 1918 年大町地震の震源断層モデル―水準測量データの再検討と関連データの総合的解釈に基づく新たなモデル―. 地震　第 2 輯 , 56, 199-211.
14) 佃為成・酒井要・小林勝・橋本信一・羽田敏夫，1989．広義の前震・余震活動を伴った 1986 年長野県北西部大町付近の地震（M5.9）の震源過程と地震テクトニクス．地震研究所彙報，64, 433-456.
15) 気象庁，主な地震の発震機構解 . https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/mech/index.html
16) 防災科学技術研究所，F-net 地震のメカニズム情報（詳細）．http://www.fnet.bosai.go.jp/event/joho.php?tm=201411&LANG=ja&VIEW=300000&TSORT=desc
17) 防災科学技術研究所，2014. 2014 年 11 月 22 日長野県北部の地震，Hi-net 高感度地震観測網. http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/n-nagano141122/?LANG=ja&m=dd
18) 佐藤比呂志・平田　直 , 1998. 活断層の深部構造と日本列島の成立．科学，68，63-71.
19) 国土地理院，2014a，長野県北部の地震（11 月 22 日 M6.7（暫定値）前後の観測データ（1）．http://www.gsi.go.jp/common/000097756.pdf
20) Kobayashi. T., Y. Morishita, H. Yarai, 2018. SAR-revealed slip partitioning on a bending fault plane for the 2014 Northern Nagano earthquake at the northern Itoigawa–Shizuoka tectonic line. Tectonophysics, 733, 85–99.
21) 国土地理院，2014b，長野県北部を震源とする地震に関する情報，だいち 2 号干渉 SAR による変動の検出について．http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h26-nagano-earthquake-index.html

22）気象庁，2014b. 2014 年 11 月 22 日長野県北部の地震の評価 11 月 22 日長野県北部の地震（Double Difference 法による震源）地震調査研究推進本部. http://jishin.go.jp/main/chousa/14dec_nagano/p25.htm,

23）気象庁，2015. 2014 年 11 月 22 日 長野県北部の地震 - 近地強震波形による震源過程解析（暫定）- . http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/sourceprocess/event/20141122near.pdf

24）東郷正美・池田安隆・今泉俊文・澤　祥・松多信尚，1999，都市圏活断層図「大町」，国土地理院技術資料 D・1-No.368.

25）松多信尚・石村大輔・楮原京子・後藤秀昭・廣内大助，2018. 都市圏活断層図「白馬岳（改訂版）」，国土地理院技術資料 D1-No.884.

26）廣内大助・松多信尚・杉戸信彦・熊原康博・石黒聡士・金田平太郎・後藤秀昭・楮原京子・中田　高・鈴木康弘・渡辺満久・澤　祥・宮内崇裕・2014 年神城断層地震変動地形調査グループ，2015. 糸魚川－静岡構造線北部に出現した 2014 年長野県北部の地震（神城断層地震）の地表地震断層 . 活断層研究 , 43, 149-162.

27）Okada, S., D. Ishimura, Y. Niwa, and S. Toda, 2015. The First Surface-Rupturing Earthquake in 20 Years on a HERP Active Fault is Not Characteristic: The 2014 Mw 6.2 Nagano Event along the Northern Itoigawa–Shizuoka Tectonic Line. Seismol. Res. Lett., 86, 1287-1300. doi: 10.1785/0220150052

28）Lin, A., M. Sano, B. Yan, M. Wang, 2015. Co-seismic surface ruptures produced by the 2014 Mw 6.2 Nagano earthquake, along the Itoigawa–Shizuoka tectonic line, central Japan. Tectonophysics, 656, 142-153.

29）Ishimura, D., T. Shinji, S. Mukoyama, S. Homma, K. Yamaguchi, and N. Takahashi, 2019. 3D Surface Displacement and Surface Ruptures Associated with the 2014 Mw 6.2 Nagano Earthquake Using Differential Lidar. Bull. Seismol. Soc. America, 109, 780–796, doi: 10.1785/0120180020

30）Katsube, A., H. Kondo, and H. Kurosawa, 2017. Surface rupturing earthquakes repeated in the 300 years along the ISTL active fault system, central Japan. Geophys. Res. Lett., 44, 6057–6064, doi:10.1002/2017GL073746.

31）松多信尚・澤　祥・安藤俊人・廣内大助・田力正好・谷口薫・佐藤善輝・石黒聡士・内田主税・佐野滋樹・野澤竜二郎・坂上寛之・隈元崇・渡辺満久・鈴木康弘，2006，写真測量技術を導入した糸魚川－静岡構造線断層帯北部（栂池－木崎湖）の詳細変位地形・鉛直平均変位速度解析．活断層研究，41，105-120.

32）地震調査研究推進本部，2015. 糸魚川 - 静岡構造線断層帯の長期評価（第二版）．60 p.

33）鈴木康弘・渡辺満久・廣内大助，2015. 長野県神城断層地震が提起する活断層評価の問題 . 科学，85，175-171.

7．平成 28 年（2016 年）熊本地震（2016 年 4 月 14 日，M6.5；4 月 16 日，M7.3）

遠田　晋次（東北大学災害科学国際研究所）

1．はじめに

平成 28 年（2016 年）4 月 14 日 21 時 26 分，熊本市東部の深さ 11km を震源とする M6.5 の地震が発生し，熊本県上益城郡益城町で震度 7 のゆれを記録した．その後，この地震の余震活動は布田川断層と日奈久断層の合流点（屈曲部）あたりで活発化し，約 3 時間後の 4 月 15 日 0 時 3 分の M6.4 の地震に続き，約 28 時間後の 4 月 16 日 1 時 25 分に M7.3 の本震が発生した．この本震では，益城町で再び震度 7，西原村でも震度 7，熊本市と南阿蘇村で震度 6 強を観測し，広範囲で建物の倒壊等の甚大な被害が発生した（図 1）．短時間に同一地点で震度 7 が 2 回記録されたのは観測史上初めてであった．防災科学技術研究所の KiK-net 益城（KMMH16）では，前震で 1580gal，本震で 1362gal を記録した [1]．人的被害は，死者 273 名（間接死も含む），負傷者 2809 名，住宅被害は全壊 8667 棟，半壊・一部損壊 198,219 棟，火災 15 件に上る [2]．

4 月 14 日の M6.5 を 16 日 M7.3 の前駆的活動としての前震とみるか，後者が前者の余震の 1 つとみるかは見解が分かれるところである．M6.5 を「前本震」，M7.3 を「後本震」などと称する場合もあるが，メカニズムは別として，ここでは紛らわしさをさけるため，前者を「前震」，後者を「本震」と呼ぶことにする．

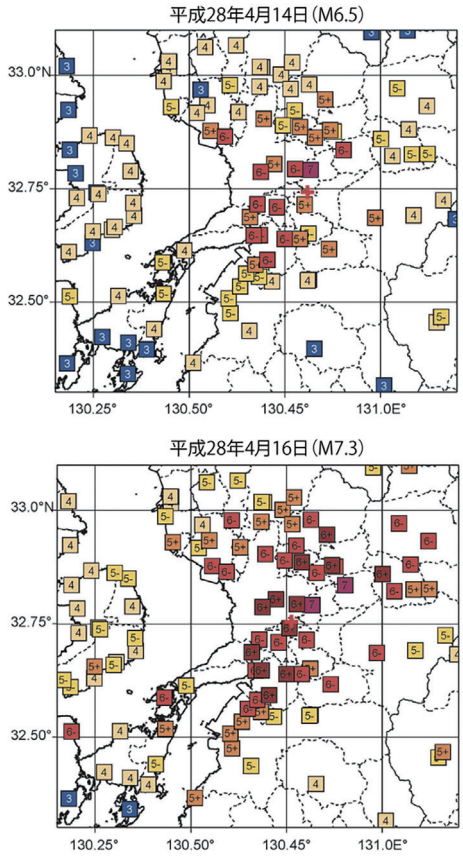


図 1　(a) 4 月 14 日 M6.5（前震）の震度分布と (b) 4 月 16 日 M7.3（本震）の震度分布．

2．地震活動の推移

2.1　前震活動

前震（M6.5）のメカニズム解は，東西に最大圧縮軸をもつ横ずれ断層である [3]．M6.5 直後の余震群がほぼ日奈久断層帯北部と重なるように分布することから，日奈久断層帯と整合的な北東走向の右横ずれ断層と推定される．約 3 時間後の M6.4 を含め，この地震の余震活動は活発で，この間の b 値は 0.5-0.8 程度の顕著に低い値を示した [4]（ただし本震直前に上昇）．

Kato et al.（2016）[5] は一連の地震活動の時空間発展を分析し，前震以降に地震活動域（M6.5 の余震域）が震源断層の走向方向と傾斜方向に拡大したことを示した．さらに，ゆっくりすべりとも連動することによって，本震断層面へのクーロン応力が増大することで本震発生が促されたと推定した．

一連の地震活動と既知の活断層との関係を明らかにするため，清水ほか（2019）[6] は詳細な地震波速度構造に基づいて震源再決定を行った．その結果，前震（M6.5）は日奈久断層本体ではなく，隣接する高角東傾斜の断層であるとした．また，本震の破壊開始点も東傾斜の断層が関係したとし，震源断層分布や破壊プロセスの複雑さを示した．

2.2　本震―余震活動

本震に伴う余震活動については，震源断層沿いだけではなく，北東へは阿蘇市周辺や大分県由布市や別府市周辺，南西へは八代市にまで，広範囲で活発化した．特に，本震から 32 秒後に由布市で発生した M5.7 の地震は，別府市などに震度 6 強のゆれをもたらした（当初は本震によるものとされていた）．この地震は本震の地震波通過に伴う動的応力変化による誘発作用で説明されている [7]．続いて，4 月 16 日午前 3 時 3 分と 3 時 55 分には阿蘇市で M5.9（最大震度 5 強）と M5.8（最大震度 6 強）などの余震も発生した．由布―別府の活動を別としても，北東―南西に約 100km 長にわたり余震活動が広がった（図 2b）．震源断層長の 2 倍を超える．余震のメカニズム解は東西方向の圧縮軸を持つ横ずれ断層と東西走向の正断層を主とし，熊本地震前に推定されていた応力場 [8] と整合する．

広域の余震活動は，両震源断層端を超えて広がるだけではなく，熊本市直下から島原湾にかけて東西に帯状にも広がる．これらの余震のメカニズム解は概ね東西走向の正断層で，雲仙地溝帯の構造とも整合的である．2016 年 8 月 31 日には，この余震域で宇城市と熊本市で最大震度 5 弱を記録する M5.2 の地震が発生した．これらの余震の広がりは，本震による静的クーロン応力変化で概ね説明される [9]．

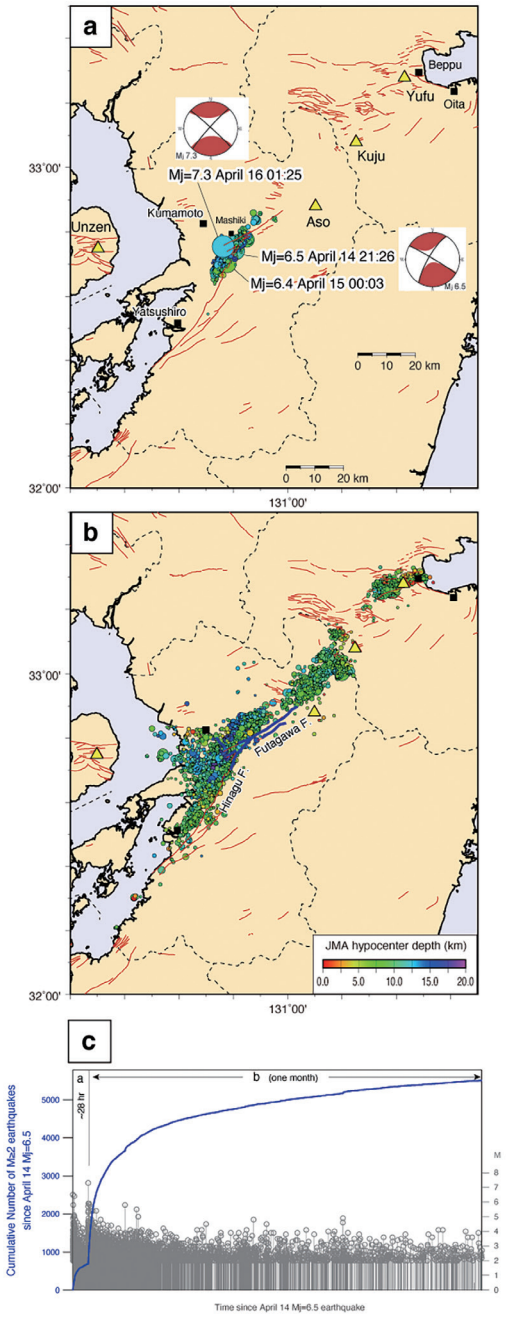


図 2　熊本地震の地震活動（気象庁一元化震源による）．(a) 前震～本震までの M2 以上の震央分布．赤線は活断層，黄色三角は活火山．(b) 本震後 1 ヵ月間の M2 以上の震央分布．太青線は熊本地震の地表地震断層 (c) 前震～本震後 1 ヵ月の M2 以上の時系列．

3．波形・測地インバージョンによる震源断層モデル

Kubo et al.（2016）[10] は，防災科学技術研究所の K-NET, KiK-net, F-net の波形データを用いて，地表断層トレースや余震分布に基づく屈曲した震源断層を想定した時間発展波形インバージョンを行った（図 3）．その結果，北西に高角度で傾斜する布田川断層中央部で最大変位 3. 8m を示す震源断層モデルを構築した．このモデルでは，全域で右横ずれを示すものの，この最大変位部周辺では正断層変位も顕著である．この傾向は後述する干渉 SAR の結果や，地表地震断層調査の結果とも整合する．同様の震源インバージョン解析は Asano and Iwata（2016）[11] でも示されている．ただし，震源断層北東端について，Kubo et al.（2016）[10] が阿蘇カルデラ北部の阿蘇市にまで延ばしているのに対し，Asano and Iwata（2016）[11] はカルデラ西部までとしている．

一方，熊本地震では陸域観測技術衛星 2 号（以下 ALOS-2）によって，地震後に迅速かつ高空間分解能の観測が行われ，同地震による地殻変動が解明された．衛星進行方向に対して左右両方向からの電波照射によって観測頻度も向上し，深部震源断層の推定のみならず，数 cm 程度の微小変位を伴った地表地震断層の正確な位置

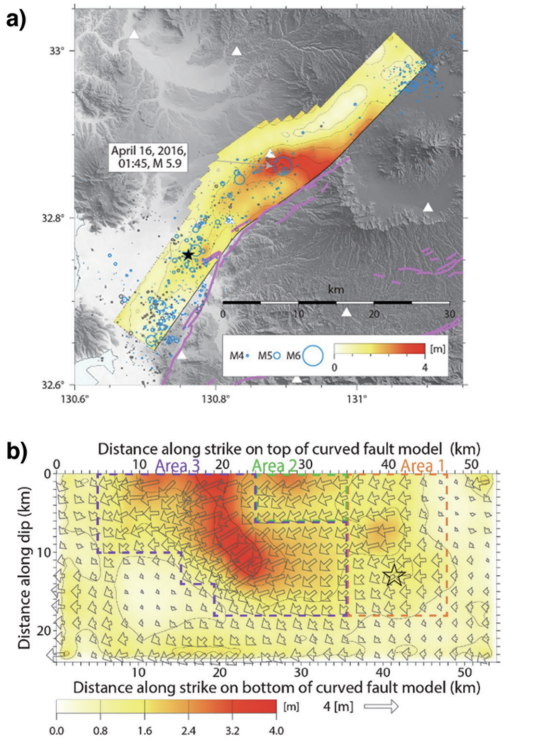


図 3　波形インバージョンによる熊本地震の震源断層モデル [10]．(a) 最終すべり量分布の平面投影図．コンターは 0.8m．星印は震央，薄い青円は本震後 1 日以内の M ≥ 1 余震，灰色円は 1 ヵ月以内の M ≥ 1 余震．(b) 最終すべり量分布の断面投影．ベクトルは上盤側でのすべりの向きと大きさを示す．

や変位量の把握にも寄与した．前震（M6.5）では，布田川断層帯の北西部で最大約 9cm の北西向きまたは隆起の変動が認められ，南西部では最大約 12cm の東向きまたは沈降の変動が検出された[12),13)]．本震（M7.3）では，複数の干渉 SAR による組み合わせから 2.5 次元解析が実施され，布田川断層による顕著な右横ずれだけではなく，同断層中央部に向かって北側が最大約 1.5m 沈降する地殻変動が見いだされた[12)]．国土地理院（2016）[14)]は，これらの SAR 解析および GNSS 観測から，3 つの断層から構成される震源断層モデルを提案した（図 4）．このうち，断層 A1 は布田川断層に対応し，北傾斜 60°°で右横ずれだけではなく正断層成分も含む．断層 B は日奈久断層北端に相当し，北西傾斜の右横ずれ断層である．断層 A2 は南東に傾斜するのが特徴で，既知の活断層への対応はないが，地表は後述する地表地震断層に対応する．

4．地表地震断層

熊本地震の本震に伴って，北東に延びる長さ約 30 km の地表地震断層（以下，地震断層）が甲佐町・御船町・益城町・西原村・南阿蘇村にかけて出現した[15), 16)]（図 5）．地震断層は，地震調査研究推進本部（2013）[17)]の定義した日奈久断層帯高野―白旗区間の北部と布田川断層帯布田川区間に沿って現れ，益城町堂園で最大 2.2 m の右横ずれ変位を記録した（以下では，日奈久断層帯高野―白旗区間の北部を日奈久断層北端，布田川断層帯布田川区間を単に布田川断層とする）．これらの地震断層位置は，前述の震源断層モデル，余震分布などから推定された地表の到達位置におおむね整合する．変位量についても，地表踏査による計測値は震源断層モデルよりもやや小さいものの，分布傾向に大きな矛盾はみられない．なお，今回の地震では干渉 SAR による断層位置を手掛かりに微小地表変位を確認した地点もある．

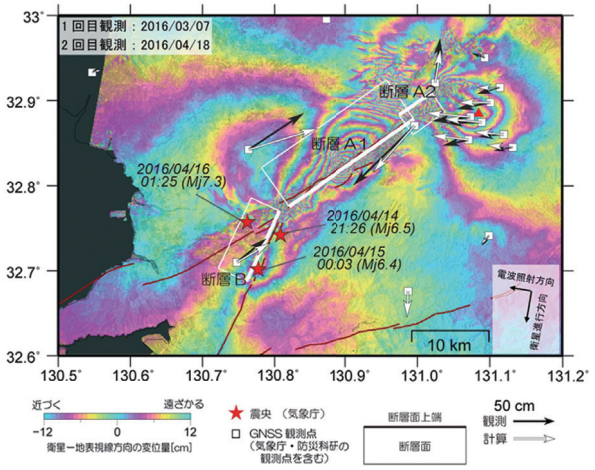


図 4　国土地理院による干渉 SAR 解析結果と震源断層モデル[14)]．

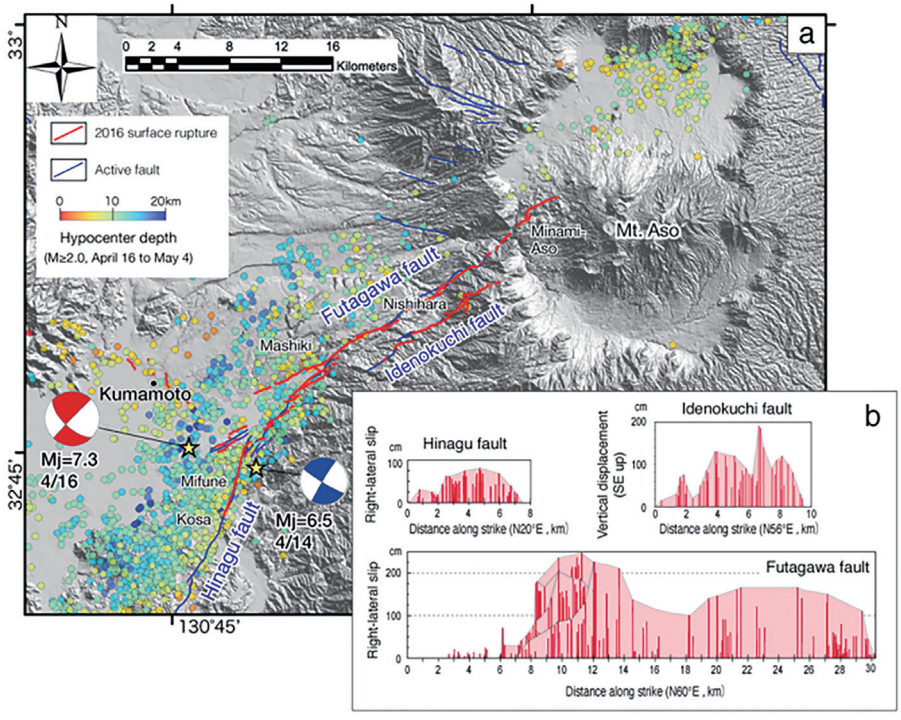


図 5　2016 年熊本地震の地震断層[15)]．a）地震断層と既知の活断層，余震分布の関係．b）日奈久断層および布田川断層沿いに出現した地震断層の右横ずれ変位量分布，出ノ口断層沿いの上下変位量分布．

4.1　布田川断層沿いの地震断層

単一地点で最大右横ずれ変位が観測されたのは，益城町堂園地区である．当地区では畑の畦や畝が断層によって 2.2m 食い違っていた（図 6a）．断層はこの堂園地区から西へ大きく 2 つに分岐する．北側の地震断層は，木山川周辺の水田に約 4km にわたって出現し，さらに西に向かって被害の大きかった益城町の中心部まで延びる．この断層トレースは，ほぼ木山断層 [18] に沿うが，変動地形は明瞭ではなく既存の活断層図には示されていなかった．一方，南側の地震断層は山麓沿いの既知の布田川断層に沿って西南西に延び，日奈久断層に合流する．これらの断層トレースはすべて顕著な右横ずれ変位を伴い，複数の断層トレース上での変位量を合算すると，最大 2.5m に達する．

益城町堂園地区から東の西原村でも，既知の布田川断層沿いに明瞭な右横ずれ断層変位が確認された．ただし，益城町側ほど連続性は良くなく，分布が断続的となる区間もある．西原村では，地震断層は農業用の大切畑ダムの堤体を約 1.5m 右横ずれさせて横切る．地震断層はさらに西原村を抜け南阿蘇村へ連続する．この部分は既知の北向山断層に一致する [18), 19)]．地震断層は外輪山を構成する第四紀火山岩類を基盤とする鞍部列などの断層変位地形沿いに現れた．南阿蘇村立野地区では，立野溶岩など後カルデラ期の数万年前の溶岩を横切り，カルデラ内に延びる．

阿蘇カルデラ内の地震断層は南阿蘇村立野地区から黒川を隔てて北東に連続する．落橋した阿蘇大橋の向かいの水田では，約 1.5m の右横ずれを示す地震断層が観察された．地震断層はさらに北東に向かって被害の大きかった黒川地区の集落内を通過する．その後，北にステップして，東海大学阿蘇校舎，阿蘇ファームランド内を横切り，南阿蘇村と阿蘇市の境界付近まで延びる．

4.2　出ノ口断層沿いの地震断層

干渉 SAR 解析から明らかになった布田川断層中央部での北落ちの上下変位は，現地でも断続的に確認された．この上下変位は，布田川断層帯東部では，布田川断層から 1 － 2km 南に並走する出ノ口断層沿いで顕著になる．この新鮮な正断層崖は同断層沿いに約 10km にわたって出現し，最大約 2m に達する（図 6b）．布田川断層沿いの右横ずれと出ノ口断層沿いの正断層変位が並走する状況は，震源断層での斜め横ずれ変位が地表でスリップパーティショニングを起こしたものと解釈されている [20]．

4.3　日奈久断層沿いの地震断層

布田川断層から続く地震断層は，南西に向かって日奈久断層上へ連続する（図 6c）．両断層の接合部から北西へも断続的に地震断層が約 2.5 km 連続するが，これらの変位は概ね 20 cm 以下である．日奈久断層上の約 5km にわたる地震断層はきわめて連続性が良く並走や分岐はみられず，上下変位はほとんど観察されない．布田川断層と同様に右横ずれを示す．御船町高木地区で最大約 70 cm である．目視で確認できる地震断層の南端は甲佐町の緑川右岸付近である．

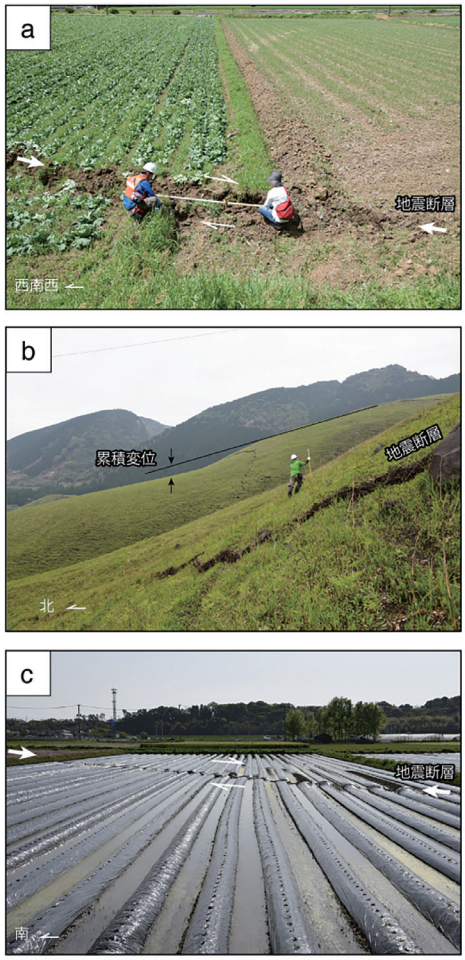


図 6　熊本地震の地震断層．(a) 益城町堂園地区における 2.2m の右横ずれ変位．(b) 西原町小森牧野における出ノ口断層沿いの正断層変位．(c) 御船町小坂地区における約 50cm の右横ずれ変位．

4.4　その他の地震断層

熊本地震では，干渉 SAR 解析によって，主地震断層帯から 10km 以上遠方にまで多数の断層変位が確認された [21]．このような小変位は 200 個所以上にのぼり，最大で 40cm もの変位が検出されている（図 7）．一部は地表踏査でも分布が確認され，既知の活断層に沿って出現したものも多数存在する（例えば [22]）．また，後日実施されたトレンチ調査によって，同様の変位が過去にも繰り返されたことが明らかにされている（例えば [23]）．これらの断層では，ごく一部を除いて余震が認められず，地

震動生成にも全く寄与していない．そのため，断層変位は地震発生層上端以浅と考えられ，「お付き合い断層」とも称される[24]．また，必ずしも本震による静的歪み変化で説明はできず，本来蓄積されていた浅部の歪みが地震動で誘発されたものと推定されている[25]．

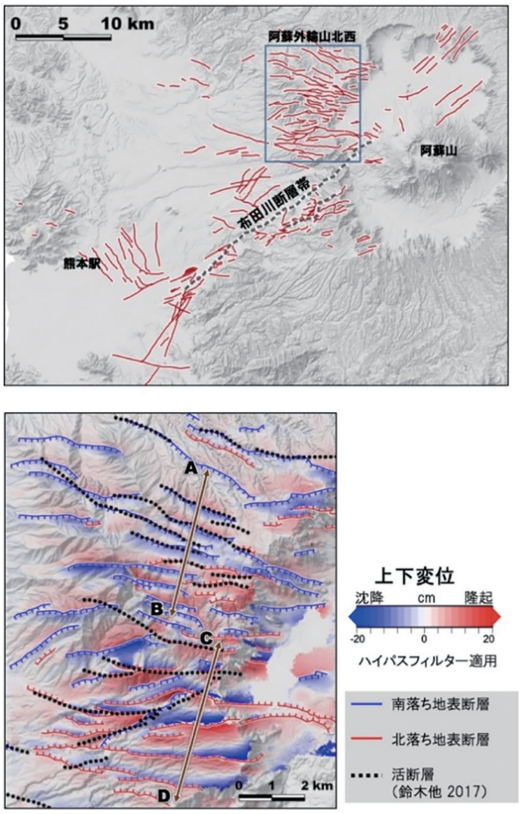


図 7　干渉 SAR 解析から明らかになった阿蘇外輪山北西における熊本地震時の小断層変位と活断層との関係[21]（第 218 回地震予知連絡会記者会見資料より）．

5．余効変動と長期余震活動

熊本地震では，明瞭な余効変動も干渉 SAR 解析から捉えられている．国土地理院（2016）[12]による解析では，日奈久断層帯北端，出ノ口断層など，地震時に変位した断層の一部で余効すべりが検出されている．断層のごく浅部で余効すべりが継続していることが示唆される．また，中尾ほか（2018）[26]は国立大学法人 GNSS 観測グループと国土地理院 GEONET の連続観測データに基づき，日奈久断層帯周辺の余効変動を明らかにした．それによると，地震後の日奈久断層での右横ずれ余効すべりは約 18cm に達し，2019 年 4 月現在でも余効変動は継続している．

一方で，空間的に長波長の変動も観測されている．布田川断層帯周辺では隆起と西向きの変動が，その周辺では沈降と東向きの変動が確認されている．布田川断層に沿って変位不連続は認められないことから，下部地殻・上部マントルによる粘性緩和による余効変動と考えられている（例えば[27]）．上記の中尾ほか（2018）[26]も，GNSS の時系列を説明するために，余効すべりだけではなく粘性緩和効果を加えている．

日奈久断層帯での余効すべりは，御船町高木にて目視でも確認される．正確な計測値ではないが，同地区で地震時に 50cm の右横ずれを示したブロック塀（図 8a）が 1 年後には約 70cm にまで変位が拡大した（図 8b）．その他，地震後にアスファルト補修工事が行われたにも関わらず，雁行状の亀裂発生が確認されている（図 8c）．

熊本地震の余震は順調に減衰しているものの，広域性は長期にわたって保たれている．令和元年（2019 年）1 月 3 日には熊本―福岡県境付近の熊本県和水町で震度 6 弱を観測する M5.3 の地震が発生した．地震調査研究推

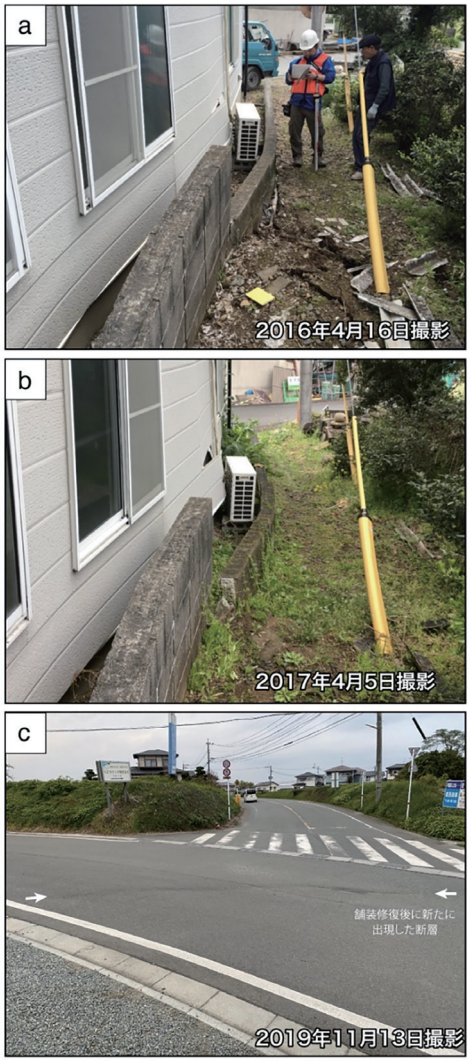


図 8　御船町高木地区における日奈久断層の余効すべり．（a）熊本地震本震直後．地震断層は家屋とブロック塀をほぼ垂直に横切り，ブロック塀が屈曲している．（b）本震から約 1 年後．変位が進み，ブロック塀が破壊されて変位している．（c）地震後に舗装修復されたアスファルト道路に再度亀裂が出現．国道 443 号線の西約 150m の地点．

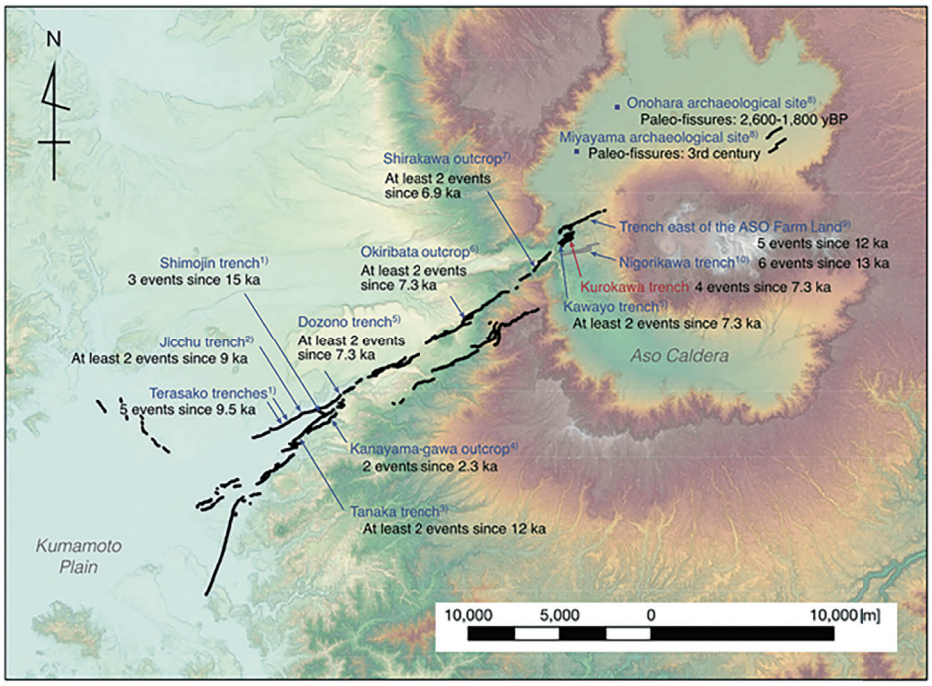


図 9　熊本地震の地震断層沿いのトレンチ調査結果のまとめ [31].

進本部は熊本地震との関係を否定しているが [28]，熊本地震による静的クーロン応力によって活発化した地域の 1 つという見方もある [29]．一方で，Nanjo et al. (2019)[30] は熊本地震時に活動しなかった日奈久断層帯中央部で熊本地震後に顕著に低い b 値と p 値を検出している．本震による応力載荷に加えて，余効変動による影響も考察されている．

6．熊本地震前後の長期評価

第 4 節で示したように，本震（M7.3）時に日奈久断層北端と布田川断層が活動し，長さ約 30km の区間にわたって地震断層が現れた．布田川断層は地震調査研究推進本部が長期評価を行っている約 100 の主要活断層の 1 つであり，長期評価の公表後に顕著な断層変位を伴った地震が発生したのは神城断層以来 2 例目となった．熊本地震発生前の評価では，布田川断層の平均活動間隔は 8,100 ～ 26,000 年，最後の活動が約 6,900 年前～ 2,200 年前とされ，30 年確率は「ほぼ 0 ～ 0.9%」と評価されていた [17]．

しかし，地震発生後に各種研究機関が実施した調査結果をみると，布田川・日奈久断層帯の熊本地震活動区間の活動間隔は 2,000 ～ 4,000 年程度で，地震前の評価よりも顕著に短い（例えば [31]，図 9）．また，最新活動時期は約 2000 年前とする調査結果も複数報告されており，熊本地震時に経過率（最新活動からの年数／平均活動間隔）が 1 を上回っていた可能性もある．一方，日奈久断層帯日奈久区間など，熊本地震時に動かなかった区間の調査や取りまとめ作業も進行中であり（例えば [32]），両断層帯の長期的連動性や今後の未破壊区間の地震発生ポテンシャルなどを議論する資料が整いつつある．

7．おわりに

平成 28 年熊本地震は，都市を襲った内陸大地震としては平成 7 年の兵庫県南部地震以来となった．また，主要活断層帯の 1 つが活動したという意味で，長期評価の予測向上へつながる要点や限界，問題点も明らかとなった．さらに，活断層帯近傍の M6.5 という一回り小さな地震から活動が始まり，活断層による M7.3 の本震へとつながった．このような地震活動の時空間変化のみならず地殻変動についても詳細なデータが記録され，活動域の拡大やプレスリップを示唆する地殻変動も指摘されている．長期評価と短期的な変動を結びつける評価法が必要とされる．奇しくも，2019 年 7 月にはカリフォルニア州東部で類似のシーケンスでリッジクレスト地震が発生した（M6.4 発生 34 時間後に近傍で地表地震断層を伴う M7.1 地震が発生）[33]．この地震でも，共役関係の複数の断層が関係するなど，複雑な断層形状も熊本地震と共通している．熊本地震が必ずしも希な現象ではなく，熊本地震の観測データや研究成果が今後の中短期予測の改善に役立つものと思われる．なお，「遅れ破壊」という観点からは，現在も余効変動が継続中であり，今後も詳細な地震と地殻活動のモニタリングに基づく周辺活断層への影響評価が急がれる．

参考文献

1) 防災科学技術研究所，2016．平成 28 年（2016 年）熊本地震による強震動，
http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/html20160414212621/main_20160414212621.html，
http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/html20160416012405/main_20160416012405.html

2) 総務省消防庁，2019．熊本県熊本地方を震源とする地震（第 121 報），
https://www.fdma.go.jp/disaster/info/items/kumamoto.pdf

3) 気象庁，2016．平成 28 年 4 月 14 日 21 時 26 分頃の熊本県熊本地方の地震について，
http://www.jma.go.jp/jma/press/1604/14a/kaisetsu201604142330.pdf

4) Nanjo, K. Z., and A. Yoshida, 2017. Anomalous decrease in relatively large shocks and increase in the p and b values preceding the April 16, 2016, M7.3 earthquake in Kumamoto, Japan. *Earth, Planets, and Space*, 69, 13,
doi:10.1186/s40623-017-0598-2.

5) Kato, A., J. Fukuda, S. Nakagawa and K. Obara, 2016. Foreshock migration preceding the 2016 Mw 7.0 Kumamoto earthquake, Japan. *Geophys. Res. Lett.*,
doi: 10.1002/2016GL070079.

6) 清水　洋・松本　聡・松島　健・相澤広記・塚島祐子・神薗めぐみ・志藤あずさ・千葉慶太・内田和也・塚本香織・光岡郁穂・村松　弾・山下裕亮，断層帯周辺の地殻構造の解明のための調査観測，2019．平成 28 年熊本地震を踏まえた総合的な活断層調査，平成 28 ～ 30 年度成果報告書（文部科学省研究開発局・国立大学法人九州大学），439-483.

7) Yoshida, S., 2016, Earthquakes in Oita triggered by the 2016 M7.3 Kumamoto earthquake. *Earth, Planets, and Space*, 68:176.
doi:10.1186/s40623-016-0552-8.

8) Matsumoto, S., S. Nakao, T. Ohkura, M. Miyazaki, H. Shimizu, Y. Abe, H. Inoue, M. Nakamoto, S. Yoshioka, and Y. Yamashita, 2015. Spatial heterogeneities in tectonic stress in Kyushu, Japan and their relation to a major shear zone, *Earth, Planets and Space*, 67, 172,
doi:10.1186/s40623-015-0342-8.

9) Stein R.S., and Toda S., 2016. How a M=6 earthquake triggered a deadly M=7 in Japan. *Temblor*, http://doi.org/10.32858/temblor.009.

10) Kubo, H., W. Suzuki, S. Aoi, and H. Sekiguchi, 2016. Source rupture processes of the 2016 Kumamoto, Japan, earthquakes estimated from strong-motion waveforms. *Earth, Planets and Space*, 68:161,
doi: doi:10.1186/s40623-016-0536-8.

11) Asano, K. and T. Iwata, 2016. Source rupture processes of the foreshock and mainshock in the 2016 Kumamoto earthquake sequence estimated from the kinematic waveform inversion of strong motion data. *Earth, Planets and Space*, 68:147,
doi:10.1186/s40623-016-0519-9.

12) 国土地理院, 2016. 平成 28 年熊本地震に関する情報.
http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html.

13) Kobayashi, T., 2017. Earthquake rupture properties of the 2016 Kumamoto earthquake foreshocks (Mj 6.5 and Mj 6.4) revealed by conventional and multiple-aperture InSAR. *Earth, Planets and Space*, 69:7,
doi:10.1186/s40623-016-0594-y.

14) 国土地理院，2016．平成 28 年熊本地震の震源断層モデル（暫定）．
https://www.gsi.go.jp/common/000140781.pdf

15) 熊原康博・後藤秀昭・中田　高・石黒聡士・石村大輔・石山達也・岡田真介・楮原京子・柏原真太郎・金田平太郎・杉戸信彦・鈴木康弘・竹竝大士・田中　圭・田中知季・堤　浩之・遠田晋次・廣内大助・松多信尚・箕田友和・森木ひかる・吉田春香・渡辺満久，2016．2016 年熊本地震に伴う地表地震断層の分布とその特徴．2016 年 5 月 25 日，日本地球惑星科学連合連合大会 2016 年大会講演要旨，
https://confit.atlas.jp/guide/event-img/jpgu2016/MIS34-05/public/pdf?type=in.

16) Shirahama, Y., Yoshimi, M., Awata, Y., Maruyama, T., Azuma, T., Miyashita, Y., Mori, H., Imanishi, K., Takeda, N. Ochi, T., Otsubo, M., Asahina, D. and Miyakawa, A., 2016. Characteristics of the surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto earthquake sequence, central Kyushu, Japan. *Earth, Planets and Space*, doi 10.1186/s40623-016-0559-1.

17) 地震調査研究推進本部地震調査委員会，2013. 布田川断層帯・日奈久断層帯の評価（一部改訂），
https://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/93_futagawa_hinagu_2.pdf

18) 渡辺一徳・籾倉克幹・鶴田孝三，1979．阿蘇カルデラ西麓の活断層群と側火口の位置．第四紀研究，18, 89-101.

19) 活断層研究会編 ,1991.「新編 日本の活断層－分布図と資料－」, 東京大学出版会 , 437p.

20）Toda, S., H. Kaneda, S. Okada, D. Ishimura, and Z. Mildon, 2016. Slip-partitioned surface ruptures for the Mw 7.0 16 April 2016 Kumamoto, Japan, earthquake. *Earth, Planets and Space*, 68, 188.

21）Fujiwara, S., H. Yarai, T. Kobayashi, Y. Morishita, T. Nakano, B. Miyahara, H. Nakai, Y. Miura, H. Ueshiba, Y. Kakiage and H. Une, 2016. Small-displacement linear surface ruptures of the 2016 Kumamoto earthquake sequence detected by ALOS-2 SAR interferometry. *Earth, Planets and Space*, 68, 160.

22）Goto, H., Tsutsumi H., Toda, S., and Kumahara, Y., 2017. Geomorphic features of surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto earthquake in and around the downtown of Kumamoto City, and implications on triggered slip along active faults. *Earth Planets and Space*, doi:10.1186/s40623-017-0603-9.

23）石村大輔・熊原康博・堤　浩之・遠田晋次・市原季彦・高橋直也・高田圭太・加藤佑一，2018．2016 年熊本地震に伴う微小変位地点における古地震調査．日本地球惑星科学連合 2018 年大会．講演要旨，https://confit.atlas.jp/guide/event/jpgu2018/subject/SSS08-07/detail

24）宇根　寛・中埜貴元・佐藤　浩・八木浩司・小村慶太朗，2018．トレンチ掘削による阿蘇外輪山北西部の「お付き合い地震断層」の累積性の確認と活断層評価におけるその意義．日本地球惑星科学連合 2018 年大会，講演要旨，https://confit.atlas.jp/guide/event/jpgu2018/subject/SSS08-11/detail

25）遠田晋次・石村大輔，熊本地震など内陸大地震で見いだされた誘発性地表地震断層と短い活断層の評価，第四紀研究，58，121-136.

26）中尾　茂・八木原　寛・榊原直美・伊藤武男・松廣健二郎・西村卓也・山崎健一・小松信太郎・田部井隆雄・大久保慎人・山品匡史，2019．断層帯の三次元的形状・断層帯周辺の地殻構造の解明のための調査観測，平成 28 年熊本地震を踏まえた総合的な活断層調査，平成 28 ～ 30 年度成果報告書（文部科学省研究開発局・国立大学法人九州大学），484-517.

27）Pollitz, F. F., Kobayashi, T., Yarai, H., Shibazaki, B., & Matsumoto, T., 2017. Viscoelastic lower crust and mantle relaxation following the 14–16 April 2016 Kumamoto, Japan, earthquake sequence. *Geophys. Res. Lett.*, 44, 8795– 8803, https://doi.org/10.1002/2017GL074783.

28）地震調査研究推進本部地震調査委員会，2019，2019 年 1 月 3 日熊本県熊本地方の地震の評価（平成 31 年 1 月 15 日公表），https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2019/20190103_kumamoto_2.pdf

29）Toda, S., and R. S. Stein, 2019. Quake Connectivity: 3 January 2019 M=5.1 Japan shock was promoted by the April 2016 M=7.0 Kumamoto earthquake. *Temblor*, http://doi.org/10.32858/temblor.003.

30）Nanjo, K. Z., J. Izutsu, Y. Orihara, M. Kamogawa, and T. Nagao, 2019. Changes in seismicity pattern due to the 2016 Kumamoto earthquakes identify a highly stressed area on the Hinagu fault zone, *Geophys. Res. Lett.*, https://doi.org/10.1029/2019GL083463.

31）遠田晋次・鳥井真之・奥野　充・今野明咲香・小野大輝・高橋直也，2019．熊本地震地表地震断層の阿蘇カルデラ内の完新世活動履歴 －南阿蘇村黒川地区トレンチ調査－，活断層研究，51，印刷中.

32）岡村行信・宮下由香里・阿部信太郎・粟田泰夫・吾妻　崇・東郷徹宏・白濱吉起・丸山　正・大上隆史・井村隆介・堤　浩之・後藤秀昭・熊原康博・鳥井真之，2019．活断層の活動区間を精確に把握するための詳細位置・形状等の調査及び断層活動履歴や平均変位速度解明のための調査観測，平成 28 年熊本地震を踏まえた総合的な活断層調査，平成 28 ～ 30 年度成果報告書（文部科学省研究開発局・国立大学法人九州大学），5-438.

33）Stein, R. S., T. Hobbs, C. Rollins, G. Ely, V. Sevilgen, and S. Toda, 2019. Magnitude 7.1 earthquake rips northwest from the M6.4 just 34 hours later. *Temblor*, http://doi.org/10.32858/temblor.037.

8．鳥取県中部の地震（2016 年 10 月 21 日，M6.6）

澁谷　拓郎・西村　卓也（京都大学防災研究所地震予知研究センター）

1．はじめに

2016 年 10 月 21 日 14 時 7 分に鳥取県中部を震源とする気象庁マグニチュード（以下 M と記す）6.6 の地震が発生した[1]．倉吉市，湯梨浜町，北栄町で震度 6 弱，鳥取市，三朝町，岡山県鏡野町，真庭市で震度 5 強を観測したほか，中国地方を中心に関東地方から九州地方にかけて有感となった[1]．この地震による負傷者は 32 人，被害住宅は 15,425 棟に上った[2]．

2．地震活動

図 1 に鳥取県中部地域の震央分布を示す．連結震源決定法[3]によって推定された 1 次元速度構造と観測点補正値を用いて震源再決定を行った．BB’ の近傍にある 2 つの星印のうち北北西側の大きい方が 2016 年鳥取県中部の地震の震央である．この地震の発震機構は，西北西－東南東方向に圧力軸をもつ横ずれ断層型である[1]．

AA’ に沿って北西－南東方向に伸びる 1983 年鳥取県中部の地震（M6.2）の余震域で，2015 年 10 月 18 日から M4.2 と M4.3 を主震とする群発的な活動が始まった（青丸）[4]．約 10 か月後の 2016 年 8 月には群発活動域の西側（水色）と，2016 年 9 月には BB’ で示す 2016 年鳥取県中部地震の震源域近傍（緑丸）で小規模な活動が発生した．本震後には，震源域の南南東端付近で，14 時 53 分に M5.0 の最大余震が発生した．その後，震源域南東部の東側に余震活動が拡大した．

図 2 に 1983 年鳥取県中部地震の余震分布の走向（図 1 の AA’）での地震の深さ分布を示す．赤い星印は 1983 年の本震である．余震分布が断層面の広がりを表すとすると，1983 年の地震は南東側の深い部分から北西側の浅い部分に向かって破壊したと考えられる．青色で示す 2015 年の活動は，1983 年の破壊の終端部分の延長上に

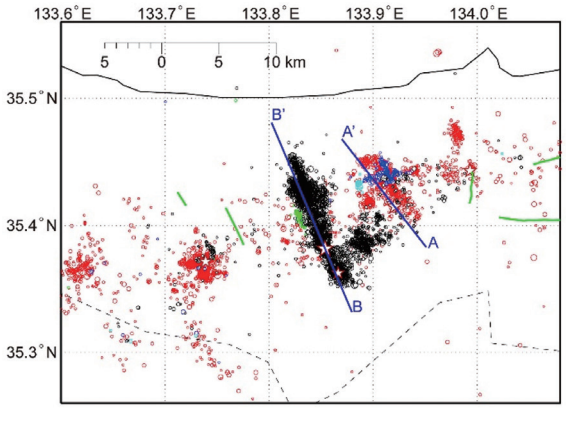


図 1　鳥取県中部域の震央分布．赤丸は 1976 年 6 月～2015 年 9 月，青丸は 2015 年 10 月～2016 年 7 月，水色の丸は 2016 年 8 月～2016 年 9 月 25 日，緑色の丸は 2016 年 9 月 26 日～2016 年 10 月 20 日，黒丸は 2016 年の本震以降に発生した地震を示す．白抜きの星印は M5 以上の地震を示す．活断層を緑線で示す．破線は県境である．AA’ と BB’ での地震の深さ分布をそれぞれ図 2 と図 3 に示す．

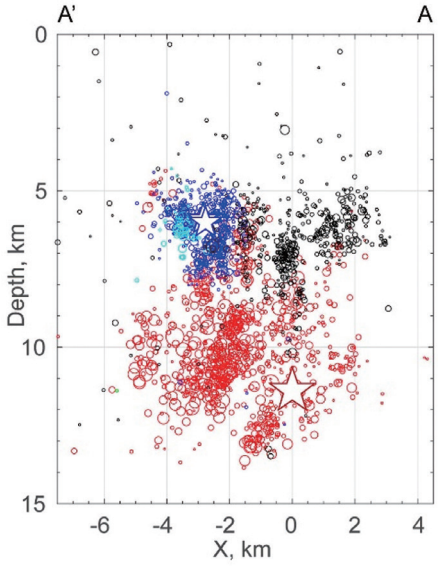


図 2　1983 年鳥取県中部の地震の余震分布に沿う断面（図 1 の AA’）での地震の深さ分布．赤丸は 1976 年 6 月～2015 年 9 月，青丸は 2015 年 10 月～2016 年 7 月，水色の丸は 2016 年 8 月～2016 年 9 月 25 日，黒丸は 2016 年の本震以降に発生した地震を示す．赤い星印は 1983 年鳥取県中部の地震の本震，青い星印は 2015 年の群発的地震活動の主震を示す．

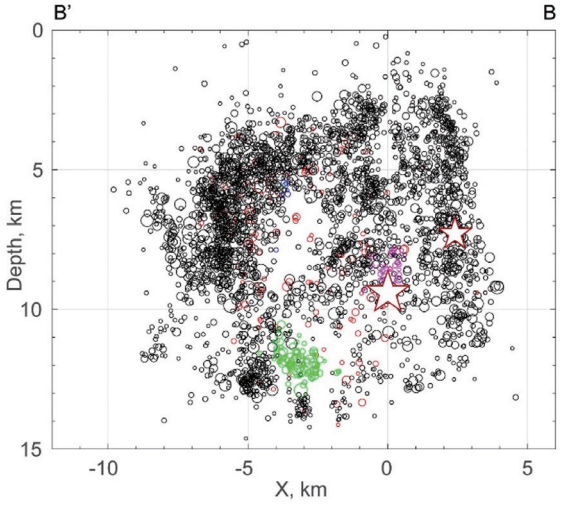


図 3　2016 年鳥取県中部地震の余震分布に沿う断面（図 1 の BB’）での地震の深さ分布．赤丸は 1976 年 6 月～2015 年 9 月，緑色の丸は 2016 年 9 月 26 日～2016 年 10 月 20 日，マゼンタ色の丸は 2016 年 10 月 21 日 0 時～ 14 時 07 分，黒丸は本震以降に発生した地震を示す．赤い星印は本震と最大余震を示す．

位置しているように見える．水色は 2016 年 8 月～ 9 月の活動であるが，2015 年の活動の近傍で発生している．

図 3 に 2016 年鳥取県中部の地震の余震分布の走向（図 1 の BB’）での地震の深さ分布を示す．2 つの赤い星印のうち深い方にある大きいものが本震（M6.6）である．本震の約 1 か月前に始まった活動を緑色の丸で，約 2 時間前に本震近傍で発生した前震活動をマゼンタ色の丸で示す．黒丸で示す余震の分布からこの地震の断層面が，約 10 km × 10 km の広がりをもつことが推定される．

3．GNSS 観測による地殻変動

2016 年鳥取県中部の地震の震源域周辺において京都大学防災研究所が 2014 年から行っている GNSS 稠密観測点のデータを，周辺の GEONET 点のデータとともに解析することにより，地震前・地震時・地震後の地殻変動を推定した．なお，GNSS 観測点の日座標値の計算には，米国ジェット推進研究所（JPL）による GIPSY6.2 ソフトウェアのバイアス整数化精密単独測位法（PPP-AR）を用い，衛星軌道暦として，地震前の解析には JPL 最終暦を，地震時および地震後の解析には JPL 速報暦を利用した．また，地震時以降においては，地震発生日（10 月 21 日）の日座標値は，本震発生以降（GPS 時刻の 5 時 10 分以降）のデータのみを使用して算出したものであり，地震前のデータは含まない．

この地震の震源域は，「山陰ひずみ集中帯」として指摘されていた場所[5]であり，地震前 2 年間（2014 年 9 月－ 2016 年 9 月）の平均速度場を見ると，瀬戸内側に対して日本海側が相対的に東向きに動くような右横ずれ変形が集中する幅 30 － 50 km 程度の領域が，海岸線に沿って存在する．震源域周辺の観測点における GNSS 座標時系列から，定常的な東向きの変動と季節変動が確認されるが，地震前に顕著な変化は見られなかった．

図 4 の黒矢印・黒棒は，10 月 11 日～ 20 日の平均値と 10 月 21 日の値の差を取って算出した地震時の変位を示す．半無限弾性体媒質中の矩形断層の一様すべりを仮定して，この観測値を説明する断層パラメータを推定した．その結果を表 1 に示す．その理論値は，図 4 の白矢印・白棒であるが，観測値とよく一致している．このことから，2016 年鳥取県中部の地震は，図 4 に青線で示すような北北西－南南東走向の鉛直の断層が左横ずれしたことによって生じたと考えられる．

この震源断層モデルを用いて，周辺でのクーロン応力変化（Δ CFS）を計算した．本震の震源断層から東西に外れた地震の多くは Δ CFS の増加域で発生していることがわかった．

地震後の地殻変動では，震源域近傍の観測点においてのみ余効変動が見られた．余効変動の時間変化を対数関数でフィッティングすると特定数は 2.2 日となり，1 か月程度で顕著な余効変動は終了した．余効変動のメカニズムは，本震すべり域よりも浅部の領域における余効すべりと推定されており，詳細は参考文献[6]を参照されたい．

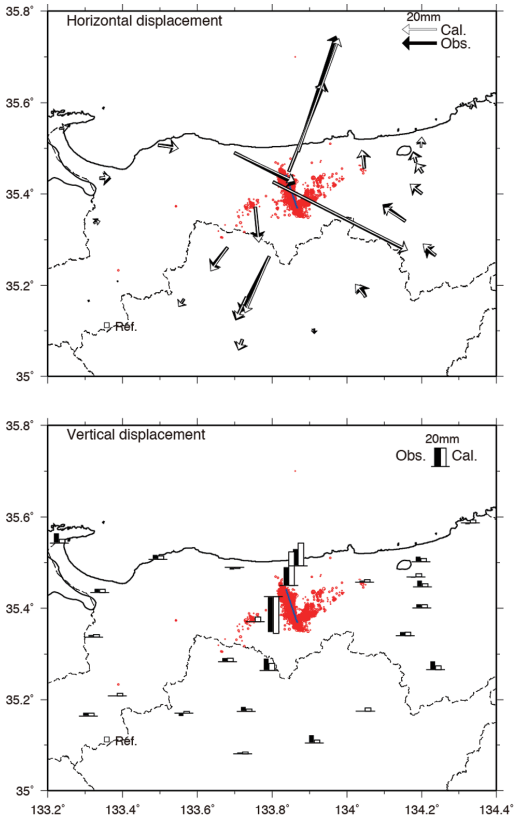


図 4　2016 年鳥取県中部の地震における地震時の変位．（上図）水平変位．（下図）鉛直変位．黒矢印・黒棒は観測値，白矢印・白棒は表 1 に示す矩形断層モデルによる理論値である．青線は矩形断層の位置を示す．赤丸は余震分布である．

表 1　2016 年鳥取県中部の地震の震源断層モデルのパラメータ

緯度（°）	経度（°）	上端深さ（km）	長さ（km）	幅（km）	走向（°）	傾斜（°）	滑り角（°）	滑り量（m）	M_w
35.370	133.867	1.9	8.3	9.5	342	90	1	0.88	6.15

緯度・経度は矩形断層の北上端の位置を示す．剛性率は 30 GPa を仮定した．

４．おわりに

2016 年鳥取県中部の地震（M6.6）は，1983 年鳥取県中部の地震（M6.2）の震源域の約 7 ～ 8 km 西側に位置するほぼ平行な断層面で発生した．

鳥取県中部域では，2016 年の本震の約 1 年前から地震活動が活発化した．まず，1983 年鳥取県中部の地震の余震域の北側上端の延長域で，M4.2 と M4.3 を主震とする群発的な活動が発生した．その 10 か月後（本震の 2 か月前）には群発活動域から西側に隣接する領域で，1 か月前には将来の断層面の近傍の深い領域で小規模な活動が発生した．本震の 2 時間前には破壊開始点の近傍で前震が発生した．このようにこの地震には特徴的な先駆的地震活動が伴った．

GNSS 観測により求められた地殻変動から，2016 年鳥取県中部の地震は，山陰ひずみ集中帯の中で発生したと考えられる．地震時の変位の解析から，矩形断層を仮定した断層面の大きさは，長さ 8.3 km ×幅 9.5 km と推定された．これは図 3 に示す余震域の広がりと調和的である．震源域近傍の観測点では地震後の 1 か月程度，余効変動が観測された．

参考文献

1) 気象庁，2016．平成 28 年 10 月 21 日 14 時 07 分頃の鳥取県中部の地震について（第 2 報）．https://www.jma.go.jp/jma/press/1610/22a/201610221000.html
2) 消防庁，2016．鳥取県中部を震源とする地震（第 38 報）．https://www.fdma.go.jp/disaster/info/assets/post825.pdf
3) Kissling, E., W. L. Ellsworth, D. Eberhart- Phillips, and U. Kradolfer, 1994. Initial reference models in local earthquake tomography, J. Geophys. Res., 99, 19635–19646.
4) 京都大学防災研究所 , 2015. 鳥取県中部の地震（2015 年 10 月 18 日），地震予知連絡会会報 , 95, 330–337.
5) Nishimura T., and Y. Takada, 2017. San-in shear zone in southwest Japan, revealed by GNSS observations, Earth Planets Space, 69:85, doi:10.1186/s40623-017-0673-8.
6) Meneses-Gutierrez, A., T. Nishimura, and M. Hashimoto, 2019. Coseismic and postseismic deformation of the 2016 Central Tottori earthquake and its slip model, J. Geophys. Res.: Solid Earth, 124, 2207–2217, https://doi.org/10.1029/2018JB016105.

9．茨城県北部の地震（2016 年 12 月 28 日，M6.3）

佐藤　比呂志（東京大学地震研究所地震予知研究センター）

1．はじめに

2016 年 12 月 28 日 21 時 38 分頃，茨城県北部を震源とするマグニチュード 6.3 の地震が発生した（図 1）. 茨城県高萩市で震度 6 弱を，日立市で震度 5 強・常陸大田市で震度 5 弱を観測した（気象庁 , 2017[1], 地震調査研究推進本部地震調査委員会 , 2016[2]）. この地震による被害は , 北茨城市・高萩市・石岡市などで，軽傷 2 名 , 半壊 1, 一部損壊 25 棟であった（茨城県危機防災課 , 2017）[3].2011 年東北地方太平洋沖地震後に，茨城県北部において地震活動が活発化したが，この地震も大局的にはその一連の地震活動の中で発生した地殻内の地震である．とくに 2011 年 3 月 19 日に発生した M6.1 とほぼ同様の断層で発生した地震であったことが，地殻変動や地表地震断裂から指摘されており [4]，短い期間でほぼ同一の震源断層が活動した特異な地震であった．

2．震源域の地質

震央は阿武隈山地の南部に位置し，ここでは白亜紀花崗岩類が分布する（図 1）．この花崗岩体の西側には，北北西 - 南南東走向の棚倉破砕帯が位置する．この断層は，阿武隈型花崗岩類と西南日本に広く分布する領家型花崗岩類を隔てる日本列島の地体構造上重要な断層である．この断層に沿って日本海拡大時に狭小な堆積盆地が形成され，新第三系が分布する（大槻，1975[5]）．太平洋側の地域でも第三系が分布する．初期中新世にはハーフグラーベンが形成され，北西 - 南東方向の正断層が卓越する．これらの断層の一部は，変動地形学的な特徴から活断層としてマッピングされている（中田・今泉 , 2002[6]）．2016 年の茨城県北部地震の北方では，2011 年 4 月 11 日に福島県浜通りの地震（M7.0）に伴って，既存の断層に沿って地表地震断層が出現したが，2016 年の地震については，対応する地質構造は認められない．

東北地方の火山フロントよりも東側の地殻構造は，日本列島開裂前の地殻構造が保存されており，震源域周辺の大規模な地殻構造は，北北西 - 南南東方向に配列している．震源域に明瞭な活断層は知られていないが，震源断層の走向については，地質構造の卓越方向が影響を与えている可能性がある．

3．地震活動

震源域の周辺では，2011 年の東北地方太平洋沖地震直後から，地震活動が活発化した（図 2B）．これらの震央は，とくに阿武隈山地南部で全体として北北西 - 南南東方向に配列する領域に分布する（図 2A）．2016 年茨城県北部の地震は，この領域の南西部に位置する．震源の深さは，11 km（気象庁，2017[1]）もしくは 10 km（防災科学技術研究所，2016[8]）と報告されている．

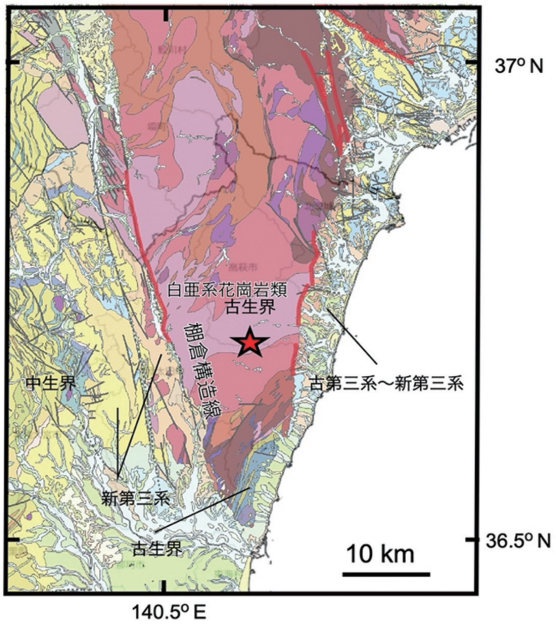


図 1　震源域周辺の地質と活断層．地質図は産業技術総合研究所地質調査総合センター・地質図 Navi による . 赤星印 : 2016 年 12 月 28 日茨城県北部の地震の震央，赤実線 : 活断層（地質図 Navi による）

4．地震のメカニズム

2016 茨城県北部地震の本震の発震機構解は，P 波初動解やモーメントテンソル解によって，NE-SW 方向に主張力軸をもつ正断層型であることが報告されている（図 3）. 地震モーメントの値については , 気象庁は Mw 6.2 と推定している．

5．余震分布

余震分布は，ほぼ北北西 - 南南東方向に約 15 km の長さで配列し，配列方向に直交する断面では西に中角度で傾斜した分布を示す（図 4）. 震源は，2016 年 12 月 31 日までの余震分布域の最深部に位置する（図 4）.

6．地殻変動と震源断層モデル

2016 年茨城県北部の地震に伴って出現した地殻変動は , 国土地理院によって GNSS や干渉 SAR のデータ（図 5）から解析されている．震源域を隔てた GNSS の観測

点では，震源断層の走向とほぼ直交方向に移動する地殻変動が観測されていおり，震源断層モデル・発震機構解と調和的である．また SAR 干渉解析では，震源域の北東部で NW-SE 方向で長さ 2 km に渡って変位の不連続が観測されている．国土地理院の研究チームは，干渉画像をもとに矩形断層一様すべりの 2 枚の震源断層モデルを構築した（図 6，表 2[9]）．短く浅部に位置する南西傾斜の断層面と北北西－南南東（南東）走向の深い断層である．傾斜は 60 度と 50 度の正断層である．二つの断層による地震モーメントは Mw 5.85 となる．地殻変動から求められた震源断層は，5 km よりも浅い領域で滑りが大きいこと，とくに浅部の断層の上端は地表近傍まで及んでいることが示されている．重要な特徴として，2011 年 3 月 19 日に発生した地震（M6.1）で観測された地殻変動とほぼ同じ領域[10]に地殻変動が観測されたことである[9]．2011 年 3 月 19 日の地震に伴う地殻変動と推定された断層モデルについては，図 7 にこの地震に伴う合成開口レーダーによる地殻変動の解析結果を示す．震源断層の形状や地殻浅部でのすべりなど，2016 年の地震とよく類似する．

2016 年の茨城県北部地震に類似する 2011 年 3 月 19 日の茨城県北部地震の震源過程解析の結果は，震源断層の形状の他，地殻変動から推定した断層モデルとすべり量の大きな領域が類似する点でよく一致する．

表 1　モーメントテンソル解のパラメーター

	断層面解 1			断層面解 2		
	走向	傾斜	すべり角	走向	傾斜	すべり角
気象庁[1,7]	307	52	-118	168	46	-59
防災科技[8]	324	29	-105	160	62	-82

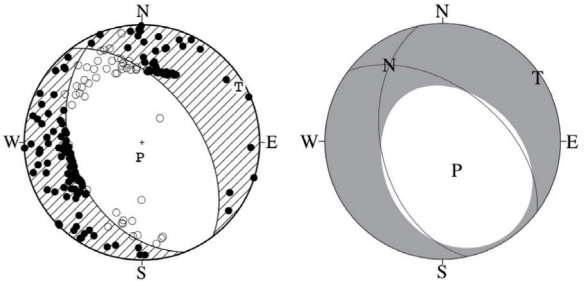
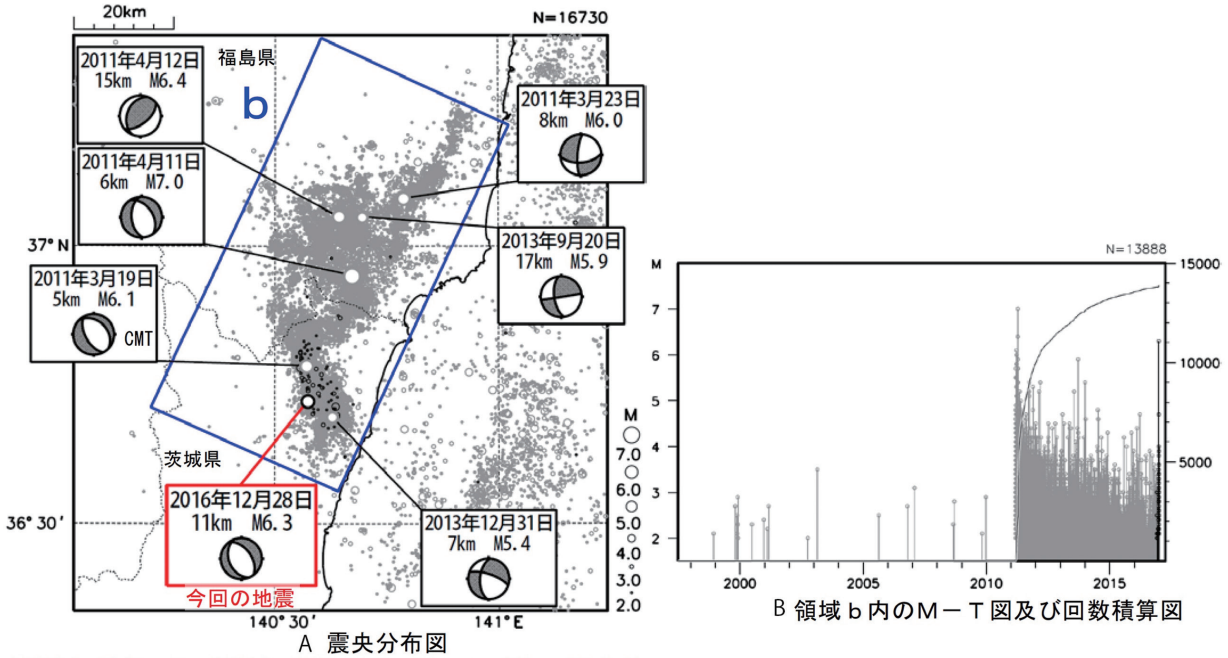


図 3　2016 年茨城県北部地震の P 波初動解（左）とモーメントテンソル解（右）（気象庁[7]）



A 震央分布図
（1997 年 10 月 1 日～2016 年 12 月 31 日、深さ 0～30km、M≧2.0）
2016 年 12 月の地震を濃く表示

B 領域 b 内の M－T 図及び回数積算図

図 2　2016 年 12 月 28 日茨城県北部の地震と関連する地震活動．気象庁（2016）[2]による．

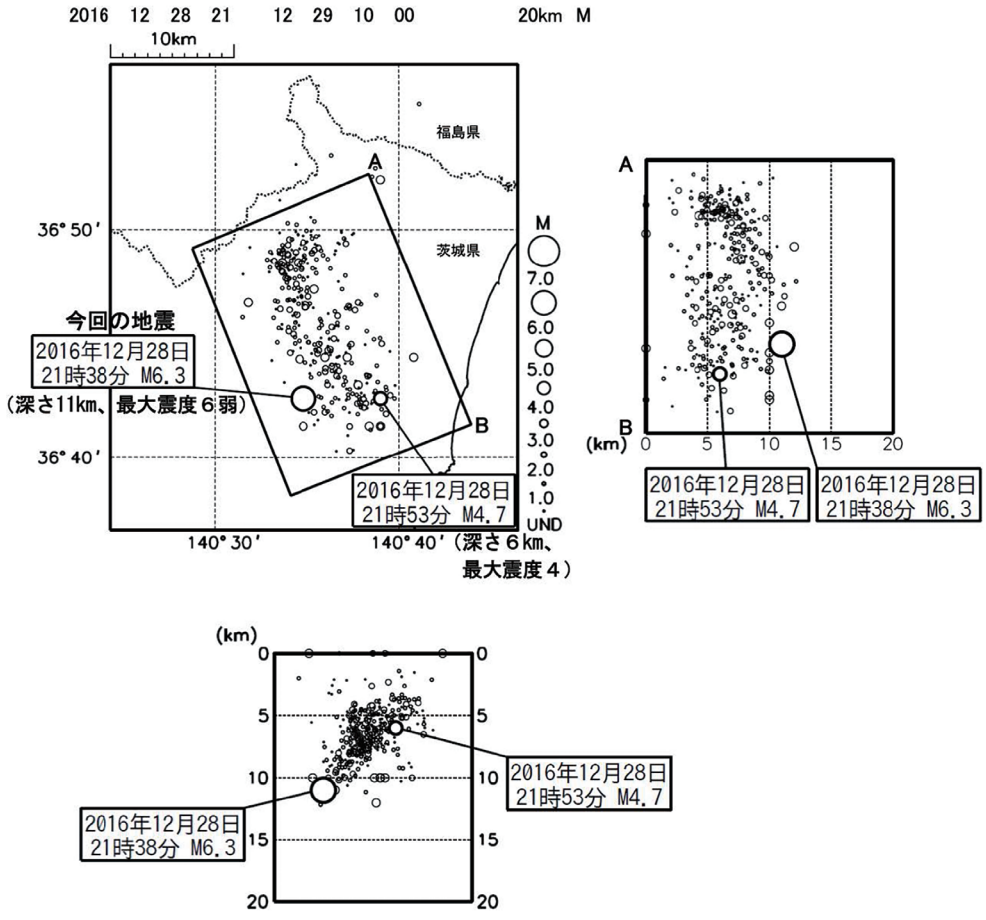


図 4　2016 年 12 月 28 日 21 時 -29 日 15 時までの震源分布（気象庁，2016[2)]）

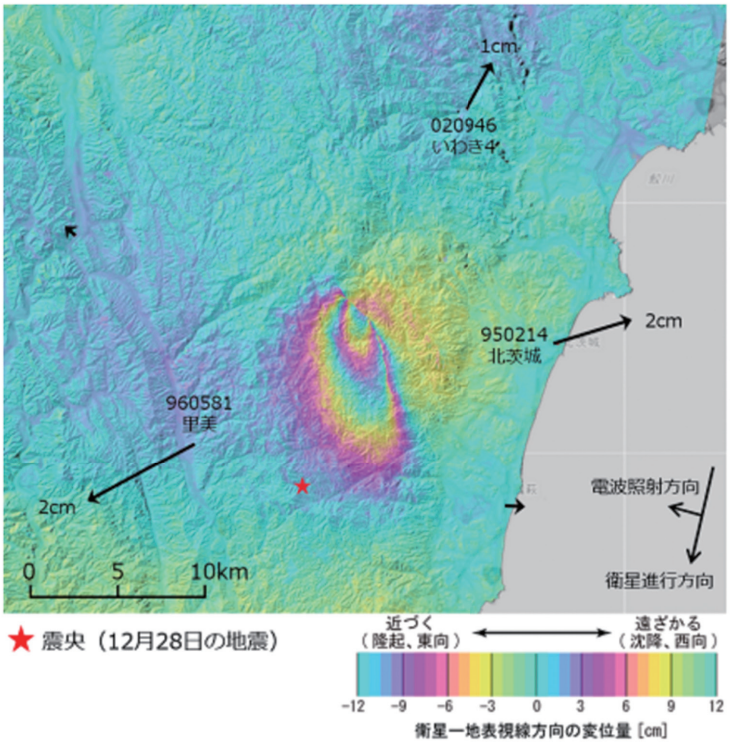


図 5　茨城県北部の地震「だいち 2 号」による SAR 干渉解析結果（地震調査委員会，2016[2)]）．
2016 年 11 月 17 日～ 2016 年 12 月 29 日の解析結果．

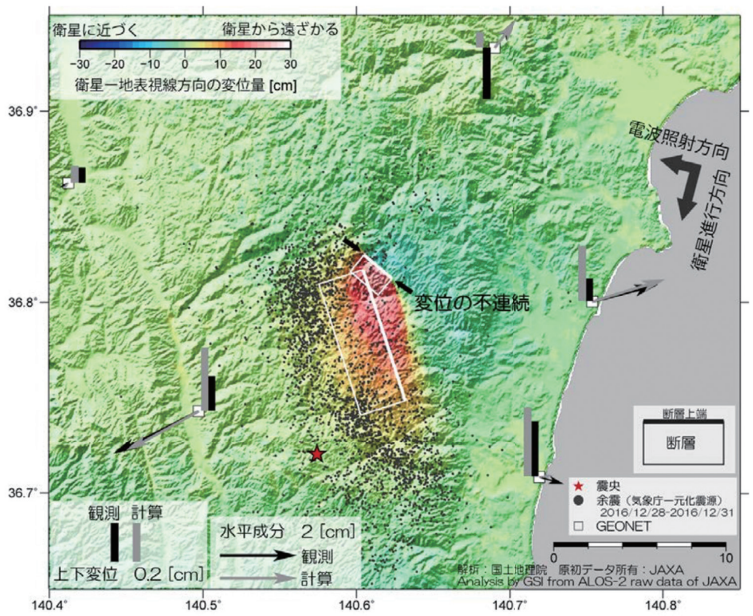


図 6　干渉 SAR 解析から得られた地殻変動（地震調査委員会，2017[9]）

表 2　推定された断層パラメータ [9]

断層	緯度	経度	深さ km	長さ km	幅 km	走向	傾斜	滑り角	滑り量 m	M_w
1	140.604 (0.003)	36.817 (0.005)	2.1 (0.4)	8.0 (0.9)	4.2 (0.9)	162 (5)	50 (6)	-72 (12)	0.7 (0.3)	5.83
2	140.605 (0.002)	36.825 (0.002)	0.1 (0.0)	2.1 (0.1)	2.4 (0.4)	130	59 (11)	-102 (32)	0.4 (0.1)	5.15
計										5.85

※位置は断層の左上端　（ ）は誤差（1σ）

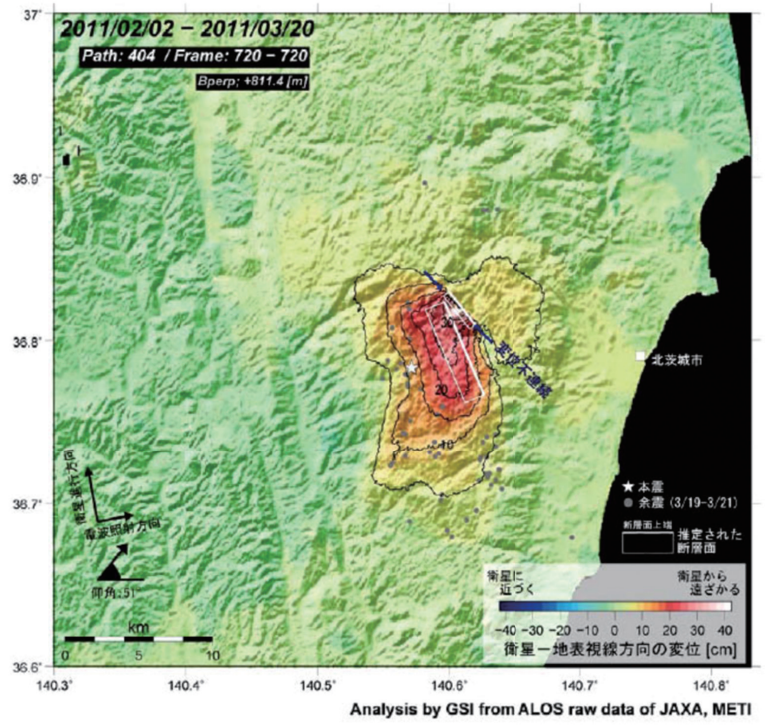


図 7　2011 年 3 月 19 日茨城県北部の地震（M6.1）に関する合成開口レーダー解析結果（国土地理院，2011[10]）.

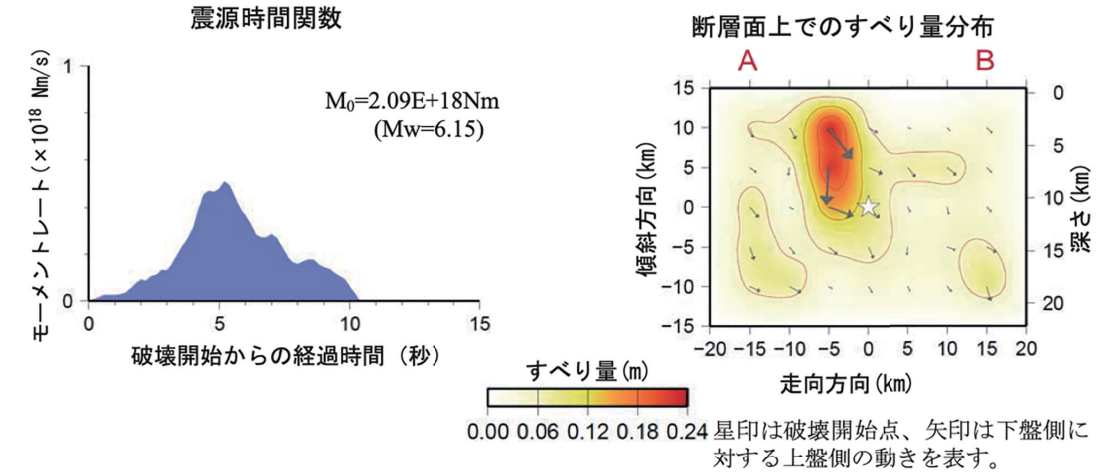


図 8　2016 年茨城県北部地震の近地強震波形による震源過程解析（気象庁，2017[1)]）

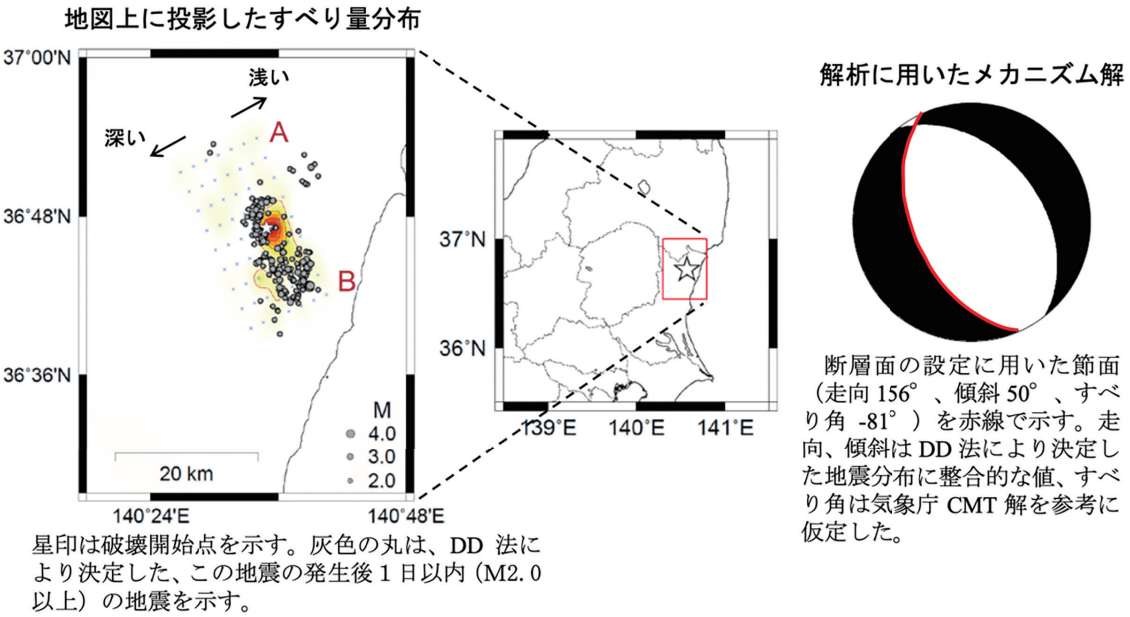


図 9　2011 年 3 月 19 日の茨城県北部地震の近地地震波形による震源過程解析（気象庁，2017[11)]）.

7．地表地震断裂

干渉 SAR によって検出された変位の不連続線（図 6）に沿って，約 2.5 km 区間の 4 地点において水平伸張を伴う地表断裂が確認された（栗田･吾妻，2017[12]）．道路･橋梁などの構造物の破損状況から（図 10），今回の地震以前にも同様の断裂が出現していたことが推定されている．今回の地震およびそれより前の変位を合わせた水平伸張量として，最大で 29 cm が計測されている．

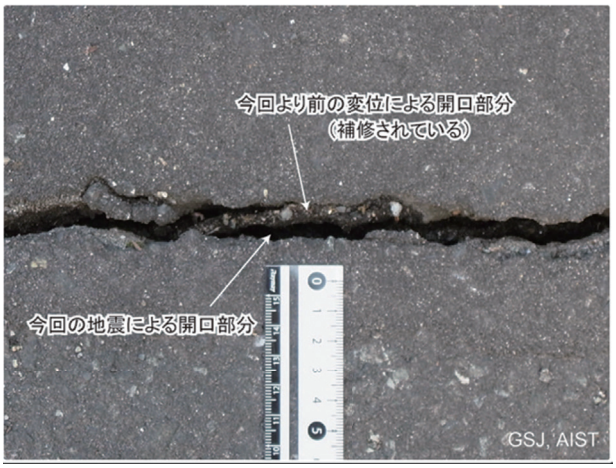


図 10　路面にあらわれた断裂の拡大写真（栗田・吾妻，2017[12]）．補修された古い開口断裂に沿って今回の地震に伴う新しい開口断裂があらわれた．

8．地震の特徴

今回の地震は，2011 年東北地方太平洋沖地震後の余効すべりや粘性緩和などが作用する上盤プレートの伸張変形一連の応力場で生じた地震であり，本震 - 余震型の孤立して発生する地殻内地震とは，その様相を異にしている．2016 年の地震が発生した領域は，東北地方太平洋沖地震後に地震活動が活発化した地域であり，3 月 19 日には M6.1 の正断層型の地殻内の浅い地震が発生した．この地震発生後も，震源域を含む東北地方太平洋側の海溝側への水平移動は継続しており，観測されている震源域周辺の地震活動は顕著な低下を示していない（図 2）．2011 年 3 月 19 日の地震以降，5 年 9 ヶ月を経て再び地震が発生した．この地震は，地表断裂の変位から判断して（栗田・吾妻，2017[12]），少なくとも地表近傍では同一の断層が活動した可能性が高いと判断される．また，干渉 SAR による地殻変動，余震分布，近地地震波形による震源過程などによって推定される断層モデルは，これまで述べてきたように，二つの地震において類似性が高い．このため早期の地震により，割れ残りが残存した可能性は小さいものとみなされる．したがって，解析精度の範囲内ではほぼ同一の震源断層が短い期間の中で繰り返し活動したものと推定される．このような短い期間で再活動した点については，超巨大地震である東北地方太平洋沖地震後に進行した変位速度が大きい伸張変形に起因するものと推定される．

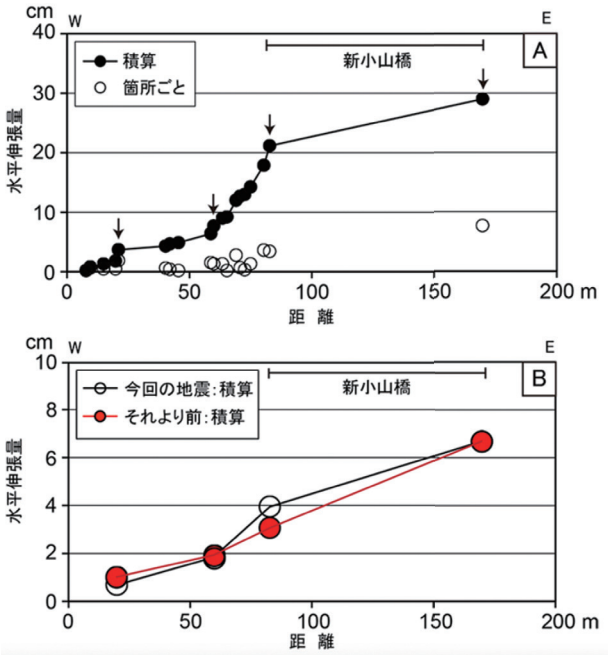


図 11　新小山橋周辺において計測できた今回の地震およびそれより前の変位による水平伸張量の分布（栗田・吾妻，2017[12]）．A：E-W 方向の測線における水平伸張量の分布．道路に沿って計測した個々の箇所での伸張量（白丸）と測線の西端から東に向かって積算した量（黒丸）を示す．いずれも今回の地震およびそれよりより前の変位を合わせた量．矢印は今回の地震による伸張量とそれ以前の変位による伸張量を区別して計測できた箇所．B：今回の地震による伸張量（白丸）とそれ以前の変位による伸張量（赤丸）の比較．いずれも測線に沿って積算した量を示す．

9．まとめ

2016 年茨城県北部地震は，地震活動や地殻変動の観点からは 2011 年の東北太平洋沖地震後の余効変動・粘性緩和などと密接に関連して発生した地震である．この地震に伴う諸現象は，稠密な観測網による地震・測地観測，ALOS 衛星に搭載された InSAR 干渉解析によって高い精度で解析された．上部地殻の浅部に大きなすべり領域をもつ地殻内地震であり，地表では約 2km の区間に渡って地表断裂が出現した．地表断裂の調査結果も含め，この地震が 2011 年 3 月 19 日の地震の震源断層の，短い期間での再活動によって発生した可能性が大きい．このような短い期間での再活動については，超巨大地震後の大きな歪み速度をもつ伸張運動が継続したことなどが要因として考えられる．プレート境界での巨大地震発生後の上盤プレートでの被害地震を想定する上で重要な知見が得られた．

参考文献

1）気象庁，2017. 特集 2016 年 12 月 28 日 茨城県北部の地震 . 平成 28 年 12 月 地震・火山月報（防災編），58-60,
http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/gaikyo/monthly/201612/201612tokushuu1_1.pdf

2）地震調査研究推進本部地震調査委員会 , 2016,2016 年 12 月 28 日茨城県北部の地震の評価 . 平成 28 年 12 月 29 日地震調査研究推進本部地震調査委員会資料 . https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2016/20161228_ibaraki.pdf

3）茨城県防災危機管理課，2017. 12 月 28 日（水）21 時 38 分頃発生した最大震度 6 弱の地震について（平成 29 年 1 月 4 日 17 時 15 現在）.
https://www.pref.ibaraki.jp/seikatsukankyo/bousaikiki/kiki/documents/2901041715.pdf

4）栗田泰夫・吾妻　崇 , 2017.「2016 年 12 月 28 日茨城県北部の地震（Mj 6.3）」の現地調査報告 , 平成 28 年（2016 年）12 月 28 日の茨城県北部の地震に関する情報，産業技術総合研究所地質調査総合センター .
https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/ibaraki2016/report20170105.html

5）大槻憲四郎，1975.　棚倉破砕帯の地質構造 . 東北大学理学部地質学古生物学邦文報告，76，1-71.

6）中田高・今泉俊文（編），2002.　活断層詳細デジタルマップ．東京大学出版会.

7）気象庁，主な地震の発震機構解 . https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/mech/index.html

8）防災科学技術研究所 ,「防災科学技術研究所 F-net Project による広帯域地震波形を用いたメカニズム解析結果 . https://www.fnet.bosai.go.jp/event/joho.php?LANG=ja

9）地震調査研究推進本部地震調査委員会 , 2017.2016 年 12 月 28 日茨城県北部の地震の評価 . 平成 29 年 1 月 13 日地震調査研究推進本部地震調査委員会資料 . 10p.
https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2016/20161228_ibaraki_2.pdf

10）国土地理院，2011. 平成 23 年（2011 年）3 月 19 日茨城県北部の地震（M6.1）に関する合成開口レーダー解析結果 , 第 224 回地震調査委員会資料「2011 年 3 月の地震活動の評価」.https://www.jishin.go.jp/main/chousa/11apr/p12.htm

11）気象庁，2017. 2011 年 3 月 19 日 茨城県北部の地震 - 近地強震波形による震源過程解析（暫定）-. http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/sourceprocess/event/20110319near.pdf

12）産業技術総合研究所地質調査総合センター , 2017. 震源域周辺の地質と活断層 , 平成 28 年（2016 年）12 月 28 日の茨城県北部の地震に関する情報 .
https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/ibaraki2016/index.html

１０．大阪府北部の地震（2018 年 6 月 18 日，M6.1）

飯尾　能久（京都大学防災研究所地震予知研究センター）

１．はじめに

大阪府北部の地震は，2018 年 6 月 18 日 7 時 58 分に，大阪府高槻市付近，深さ 13km を震源として発生した．気象庁マグニチュードは M6.1 である．この地震により，大阪市北区，高槻市，枚方市，茨木市，箕面市で震度 6 弱が観測された [1]．人的被害及び住家被害としては，死者 6，負傷者 369，全壊 18，半壊 512，一部損壊 55,081 と報告されている（2018 年 11 月 2 日時点）[2]．

２．余震活動

大阪府北部の地震の本震と 6 月中に発生した余震の震央分布を図 1 に示す．余震の震央分布は，有馬 - 高槻断層帯の地表トレースの付近にあるが，断層に沿う線状の分布を示すのではなく，複雑な分布を示していることが分かる．

本震発生直後から，余震域の直上において，京大・九大・東大地震研・関大合同地震観測班による臨時地震観測が行われ，約 100 点の高感度地震観測点が設置された．図 2 は，オンラインの 4 点と周辺の定常観測点（防災科研，気象庁，産総研，京大による）を合わせて決定された余震分布である [3]．余震の深さは 9km から 13km と，地震

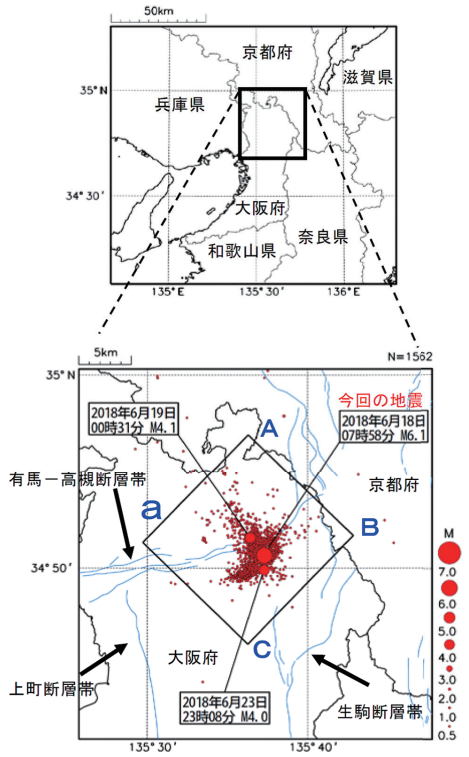


図２－１　震央分布図
（2018 年 6 月 18 日～2018 年 6 月 30 日
深さ 0～20km、M0.5 以上）
震央分布図中の細線は地震調査研究推進本部の長期評価による活断層を示す

図１　気象庁による余震の震央分布と周辺の活断層の分布 [1]．

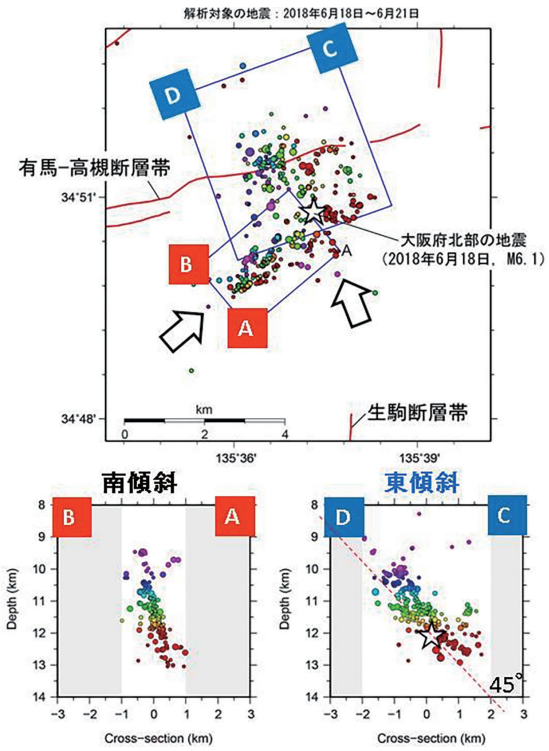


図２　京大・九大・東大地震研・関大合同地震観測班による本震発生直後約 4 日間の余震分布．下側の 2 つのパネルは矢印の向きに見た余震の深さ分布．星印は気象庁による本震の震源．東京大学地震研究所 第 319 回地震調査委員会資料を加筆修正 [3]．

発生域の下半分となっている．図 1 の余震分布が複雑なのは，北側（CD 内）の東に傾斜している分布と南側（AB 内）のほとんど垂直で南に少し傾斜している分布の 2 つの面状の分布から構成されているためである．この付近では，東西の主圧縮応力による横ずれ型と逆断層型の微小地震が混在することが知られており [4]，北側の余震分布は，断層の東側の岩盤が西側に対してせり上がる逆断層型の断層に伴うもの，南側は，断層の南東側が北西側に対して左へずれる横ずれ型の断層に伴うものであると推定される．

図 3 は，オフライン点も含めて決定された余震のメカニズム解の P 軸（水平面へ投影）と T 軸の plunge の分布を示したものである [5]．赤系統の余震は，T 軸が鉛直に近い逆断層型であり，北側に多いことが分かる．P 軸の方位と傾斜および T 軸の plunge とも色々な値をとっており，近年の内陸大地震で報告されているように，個々の余震の断層の大部分は，本震の推定断層面と平行ではなく，様々な向きを向いていることが分かる [6]．このことから，余震域における応力場が，北側では逆断層型，南側では横ずれ型であると推定される．

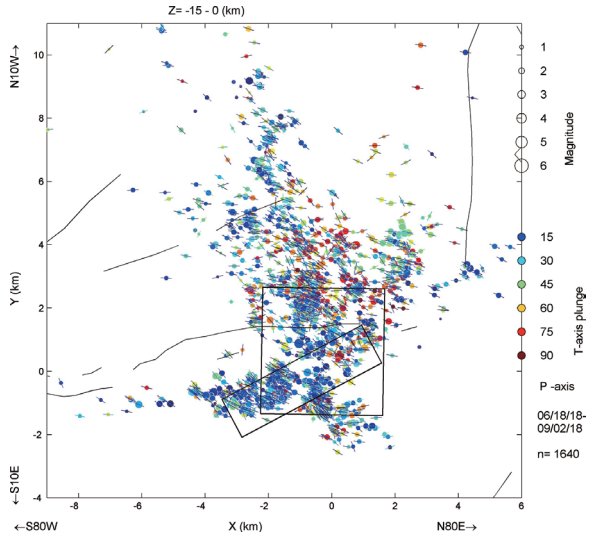


図３　京大・九大・東大地震研・関大合同地震観測班による余震の P 軸の方位分布 [5]．○の塗りつぶしの色で T 軸の plunge を示す．6 月 18 日から 9 月 2 日までのデータ．四角は図 4 に示した 2 つの推定断層面を水平面に投影したもの．

3．震源過程

強震記録から推定された大阪府北部の地震のすべり分布とすべり方向を図 4 に示す [1]．余震分布などに基づき，南側の高角の断層面（N52°E，77°南傾斜），および，北側の東傾斜の断層面（N351°E，50°東傾斜）を仮定し，マルチタイムウインドウ波形インバージョン解析によって得られたものである．2 つの断層面は破壊開始点で交わるように設定されている．図 4 の矢印が，推定断層の上盤側のすべりの方向を示している．図左の高角の断層面ではすべり方向が水平からやや上向きとなっており，余震活動から推定された横ずれ型の応力場と調和的である．右の東傾斜の断層面では，すべり方向はほぼ鉛直であり，これも推定された逆断層的な応力場と調和的である．

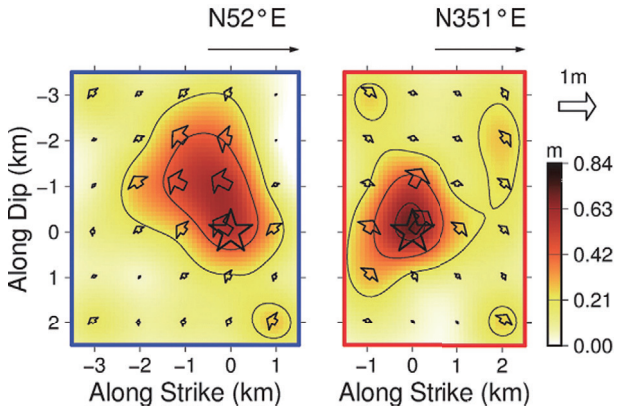


図４　大阪府北部の地震のすべり分布とすべり方向．左：南側の横ずれ型の断層．右：北側の逆断層型の断層．京都大学防災研究所地震災害研究分野（浅野公之）による [1]．星印は本震の震源（破壊開始点）．

4．活断層

図 1 に青線で示されているように，余震域周辺には，有馬 - 高槻断層帯以外にも，上町断層帯や生駒断層帯など，多くの活断層が存在する．余震域は大阪平野の北東端付近に位置するが，隣の京都盆地には宇治川断層，盆地の西側には京都西山断層帯が存在する（図 5 参照）．推定された南側の高角の横ずれ型の断層の走向を，周辺の活断層の地表トレース等の向きと比較すると，有馬 - 高槻断層帯の大局的な方向とは約 30 度の差があるが，その東端付近の高槻 - 天王山間の部分とは調和的な向きであり，また宇治川断層とは約 10 度の差となっている．

一方，北側の逆断層型の断層に関しては，断層面を 45 度で地表まで延長すると，上町断層の地表トレース付近に達する．しかしながら，上町断層帯における重点的な調査観測によると，上町断層の深部の傾斜はより高角度に推定されている [7]．生駒断層帯については，南北に近い地表トレースを北方に延長すると余震域付近に達するが，生駒断層帯は東へ傾斜する逆断層であるので，深部においても同じように延長した場合，余震域付近では，その位置は東へ外れることになる．

有馬 - 高槻断層帯付近を境に北側が山地で南側が平野であることから，有馬 - 高槻断層帯は横ずれであるが北側隆起であると推定されている．上記の応力場を考慮すると，高角度で北へ傾斜している可能性が高いのに対して，南側の高角の横ずれ型の断層は南へ傾斜しており，また，図 4 のように推定断層の北側が沈降するセンスにある．これらの特徴は，有馬 - 高槻断層帯沿いの地溝帯の南側を限る断層と調和的である．

この地域では，阪神・淡路大震災以降，大規模な地下構造調査や主要な活断層を横切る反射法地震探査が行われてきた [8-11]．特に，大都市大震災軽減化特別プロジェクト（大大特プロジェクト）では，舞鶴から新宮にかけての大規模な地殻構造探査が行われ，生駒市から高槻市に至る区間ではバイブロサイスを震源とする詳細な反射法地震探査（生駒－高槻測線）も行われた [12]．また，このプロジェクトの一環として，重力探査に基づいて大阪平野北東部の基盤構造が推定された [13]．図 5 は，これらの結果を再検討して新たに推定された，この地域の活断層の分布である [14]．有馬 - 高槻断層帯を構成する真上断層の東の延長は男山丘陵の南側の地質境界へ延びること，枚方とう曲の北方延長は淀川低地帯の南西縁を限って，上記の真上断層の東方延長部まで延びることが新たに提唱された．これにより，基盤構造や枚方丘陵の地質構造などをうまく説明出来ている．大阪府北部の地震の南側の高角の断層面は，新たに発見された枚方とう曲の北東への延長部や交野断層と調和的な向きとなっている．

5．地震活動

図 6 に示すように，近畿地方中北部では，北摂・丹波山地の直下にかたまりとなった地震の活動域があるのに対して，有馬 - 高槻断層帯付近を境に，その南側では微小地震の活動は非常に低い[15]．ただし，有馬 - 高槻断層帯の地表トレースの数 km 南に，N70°E 方向に並ぶ地震の線上配列が知られていた[16]．これは，図 6 に示されている 1987 年の M4 クラスの地震をきっかけとして見つかったものであり，また，兵庫県南部地震の最大余震は，実はこの線上配列で起こっている．大阪府北部の地震はその線上配列の東端付近で発生した．

北摂・丹波山地の地震の活動域の直下には，顕著な S 波の反射面が存在することが知られている[17]．最近，満点計画による稠密地震観測データを用いて，傾斜層を考慮したイメージングが行われ，図 7 に示すような S 波の反射面が捉えられた[18]．反射面の北端付近には深部低周波地震の活動域があり，反射面は深部からの流体の通路である可能性が指摘されている．反射面は有馬 - 高槻断層帯に向かって浅くなっているが，その南側でどうなっているかは，現時点ではまだよく分かっていない．

6．おわりに

大阪府北部の地震は，近畿地方中部の活断層の密集している領域で発生した．余震の震央分布は，有馬 - 高槻断層帯の地表トレース付近に推定されているが，余震分布から推定された本震の断層の走向・傾斜は，有馬 - 高槻断層帯の主部とは調和的ではない．ただし，この地域は地形や地殻構造が急変する付近であるため，活断層

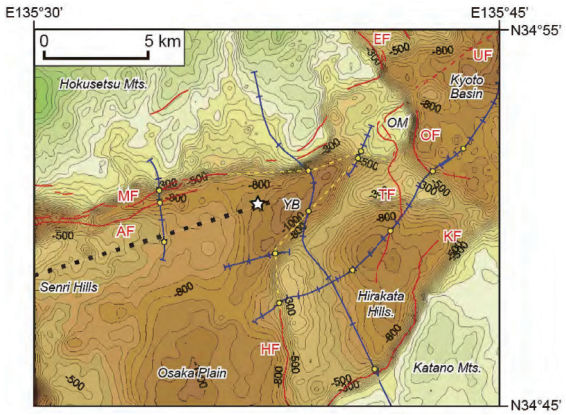


図 5　地下構造探査結果の再解釈から新たに発見された埋没活断層（黄色の破線）[14]．赤線は以前から特定されている活断層，MF: 真上断層，AF: 安威断層，EF: 円明寺断層，UF: 宇治川断層，OF: 男山断層，TF: 田口断層，KF: 交野断層，HF: 枚方とう曲．背景は重力基盤地図[13]．青線：反射法探査測線，測線上の黄色の円は，反射法で特定された断層の位置．青点線は微小地震活動の線上配列（リニアメント）．星印は，大阪府北部の地震の震央．OM: 男山丘陵，YB: 淀川地溝．

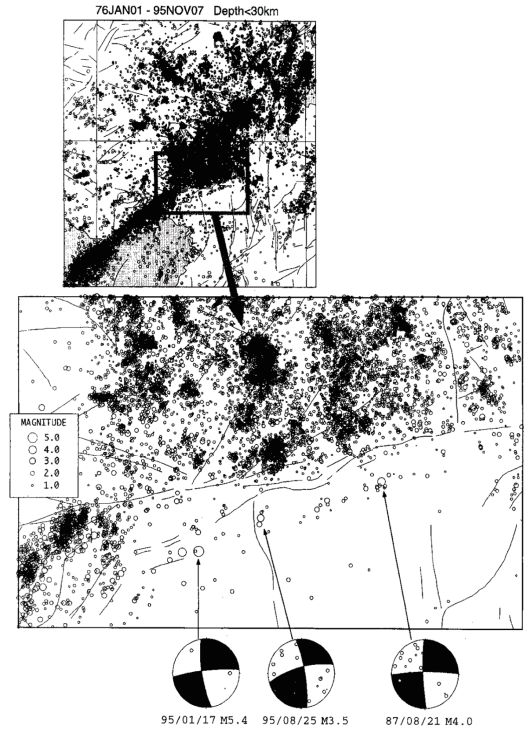


図 6　有馬高槻断層帯の南側にみられる微小地震のリニアメントと主な地震のメカニズム解[15]．M5.4 の地震が兵庫県南部地震の最大余震．京都大学防災研究所（1996）に加筆修正．星印が大阪府北部の地震の震央．

との位置関係については，3 次元の速度構造等を考慮したさらに詳細な検討が必要である．周辺の活断層は，上町断層などの南北に近い走向の逆断層，交野断層や有馬 - 高槻断層帯の高槻 - 天王山間のように北西 - 南東走向の横ずれ型の断層など，近畿地方の大局的な応力場に調和的なものから，有馬 - 高槻断層帯の主部のように，かなり東西に近い走向の横ずれ型の断層，花折断層のように南北に近い走向の横ずれ型の断層など，広域的な応力場とは必ずしも調和的でないように見える活断層も存在し，それらがどうして活動するかも含めて，大阪府北部の地震との関係の解明が重要である．図 7 に示した S 波の反射面や深部低周波地震の解析が一つの鍵となると考えられる．北側の東下がりの逆断層を西へ向かって延長すると上町断層の地表トレース付近に達するが，上町断層の詳細な深部形状は今のところ不明であり，それとの関係も今後の課題となる．ただし，大阪府北部の北側の断層が，南側の高角の断層より南側に延びていない場合，つまり，高角の断層を突っ切っていない場合は，淀川地溝内に逆断層が続かないと考えられるため，上町断層との関係は薄いことになる．余震分布等を詳しく検討することにより，大阪府北部の地震の 2 つの断層の相互関係を明らかにすることが重要である．

大阪府北部の地震は，微小地震のリニアメントの東端で発生したが，兵庫県南部地震の最大余震はリニアメン

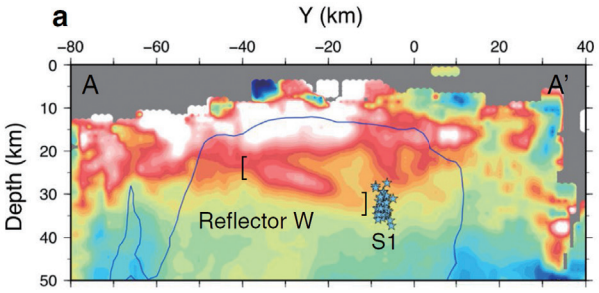


図 7　有馬 - 高槻断層帯の北側にみられる S 波の反射面（Reflector）[18]．南北断面における相対的な S 波の反射強度（A が南）．断面の位置は大阪北部の地震の震源の約 5km 西．S1 は気象庁による深部低周波地震．有馬 - 高槻断層帯は Y=-40 付近を通る．

トの西端付近で起こった．そもそも，六甲 - 淡路島断層帯から有馬 - 高槻断層帯は，1596 年の慶長の大地震で活動したと考えられるが [19]，それにも関わらず 1995 年兵庫県南部地震が六甲 - 淡路島断層帯で発生し [20]，その最大余震と今回の地震が有馬 - 高槻断層帯付近のリニアメントの西端と東端付近で発生した理由を明らかにする必要がある．

参考文献

1）地震調査委員会 , 2018. 2018 年 6 月 18 日大阪府北部の地震の評価 . http://www.kaiho.mlit.go.jp/syoukai/soshiki/soumu/seika/h19/h19_05.pdf.

2）大阪府防災・危機管理指令部 , 2018. 大阪府北部を震源とする地震に関する被害状況等について. http://www.pref.osaka.lg.jp/attach/33785/00294862/2018111021400zentai.pdf.

3）東京大学地震研究所 , 2018. 2018 年 6 月 18 日大阪北部の地震後の地震活動 . 第 319 回地震調査委員会資料 .

4）Iio, Y., 1996. Depth-dependent change in the focal mechanism of shallow earthquakes: implications for brittle-plastic transition in a seismogenic region. J Geophys Res 101:11209–11216.

5）飯尾能久・片尾 浩・冨阪和秀・澤田麻沙代・澁谷拓郎・長岡愛理・中川 潤・大柳修慧・原 将太・阪口　光・阿武山サポーター有志・松本 聡・松島 健・神薗めぐみ・酒井慎一・増田正孝・田中伸一・林 能成 , 2019. 大阪府北部の地震の余震域とその周辺の応力場 . 日本地震学会講演予稿集 S08-25.

6）Yukutake, Y., Y. Iio, H. Katao, and T. Shibutani, 2007. Estimation of the stress field in the region of the 2000 Western Tottori Earthquake: Using numerous aftershock focal mechanisms. J. Geophys. Res., 112, B09306, doi:10.1029/2005 JB004250.

7）地震調査研究推進本部 , 2013. 上町断層帯における重点的な調査観測 平成 22 ～ 24 年度　成果報告書 .

8）川崎慎治・戸田　茂・中川康一・小林芳正，1994. 有馬－高槻構造線東端部における反射法地震探査 . 地震 2，47，173 － 182.

9）戸田　茂・川崎慎治・竹村恵二・岡田篤正，1995. 反射法地震探査の断面に見られる有馬－高槻構造線に沿う地溝帯 . 地震 2，48，511 － 520.

10）京都市，2001. 平成 13 年度京都盆地の地下構造に関する調査成果報告書 . https://www.hp1039.jishin.go.jp/kozo/KyotoCty6frm.htm.

11）大阪府，2002，平成 14 年度大阪平野地下構造調査に関する調査成果報告書. http://www.hp1039.jishin.go.jp/kozo/Osaka7frm.htm.

12）伊藤　潔・佐藤比呂志・梅田康弘・松村一男・澁谷拓郎・廣瀬一聖・上野友岳・森下可奈子・伊藤谷生・平田　直・川中　卓・黒田　徹・阿部　進・須田茂幸・斎藤秀雄・井川　猛，2005，近畿圏における大大特プロジェクトⅠの地下構造調査，京都大学防災研究所年報，48B，243 － 258.

13）赤松純平・中村佳重郎・西村敬一・駒澤正夫，2007b，大阪盆地北東部の脈動による地盤震動特性と重力基盤構造との関係について，京都大学防災研究所年報，50B，133-142.

14）堤　浩之・飯尾能久 , 2019. 地形・地質・物理探査データに基づく 2018 年大阪府北部の地震の震源域周辺の活構造の再検討 , 地震 2, 72, 57-67.

15）京都大学防災研究所 , 1996. 兵庫県南部地震余震域周辺の地震活動 . 地震予知連絡会会報 , 55, 508-515.

16）飯尾能久 , 1989. 有馬・高槻構造線の南側で発生した小地震（M ＝ 4.2）について . 地震予知「きんき・けいはんしん」研究論文集，412-415.

17）片尾　浩 , 1994. 近畿地方の微小地震活動域直下に存在する顕著な地殻内反射面 . 地球惑星科学関連学会 1994 年合同大会予稿集 , E12-05.

18）Katoh, S., Iio, Y., Katao, H., Sawada, M., Tomisaka, K., Miura, T., and Yoneda, I., 2018. The relationship between S-wave reflectors and deep low-frequency earthquakes in the northern Kinki district, southwestern Japan. Earth, Planets and Space, 70(1), 149. https://doi.org/ 10.1186/s40623-018-0921-6.

19）寒川 旭 , 1992. 地震考古学 . 中央公論社 ,251.

20）飯尾能久 , 2015. 兵庫県南部地震とはどんな地震だったのか？. 地震ジャーナル , 59, 1-12.

11．平成 30 年北海道胆振東部地震（2018 年 9 月 6 日，M6.7）

高橋　浩晃（北海道大学理学研究院）

1．はじめに

2018 年 9 月 6 日 3 時 7 分ころ，北海道胆振地方中東部を震源とする M6.7 の地震が発生した．震源に近い厚真町鹿沼の気象庁震度観測点で，北海道では観測史上初となる震度 7 を記録したほか，安平町，むかわ町で震度 6 強の強い揺れを観測した．震源から約 60km 離れた札幌市東区でも震度 6 弱となり，道央を中心に広範囲に強い揺れとなった．気象庁はこの地震を「平成 30 年北海道胆振東部地震」と命名した．

この地震では，強震動により明治以来最大面積となる同時多発斜面崩壊が震源に近い厚真町を中心に発生した[1]．直接死 41 名のうち，厚真町の 36 名は全員斜面崩壊によるものであった．強い揺れによる発送電設備の損傷などにより，日本初となる同一エリア全域大規模停電（北海道ブラックアウト）が発生し，生活・産業･物流に大きな影響が出た．北海道大学の札幌キャンパスもブラックアウトと同時に停電となったが，非常用自家発電装置が自動起動し，地震波形のテレメータ処理系を運用することが出来た．しかし，震源域に近い地震観測点では，停電により欠測となった事例もあった．震源から 50km 以上離れた札幌市清田区や東区では，埋め立て盛土の液状化が発生し，住宅地の地盤などに大きな被害が出た．

2．震源メカニズム・余震活動・断層すべり分布

震源域は，石狩低地帯南東縁部に位置する．余震域の西側には，主要活断層である石狩低地東縁断層帯南部の地表トレースが隣接している．

気象庁によるこの地震の震源の深さは 37km で，陸側プレート内で発生する地震としては極めて深い．本震の震源メカニズムは，東北東―西南西方向に圧力軸を持ち，初動解では横ずれ成分を含む逆断層，CMT ではほぼ純粋な逆断層であった[2]．初期破壊から主破壊に至る過程でメカニズムが変化した可能性がある．GNSS と InSAR による地震時地殻変動データより推定された断層パラメータは，CMT 解析から得られた震源メカニズム解の東落ちの高角節面とよく一致する[3]．

余震は，南北走向の約 30km の範囲で発生している（図 1）．この余震域の広がりは，本震直後には既に形成されていて，時間とともに拡大したようには見えない．余震は，深さ 15-40km の東落ちの高角面上に分布し，震源メカニズム解のうち東傾斜の節面にほぼ一致する．また，余震は，深さ 15-20km と 25-40km の二つの領域に分かれて発生しているように見える．中央部の余震活動が低

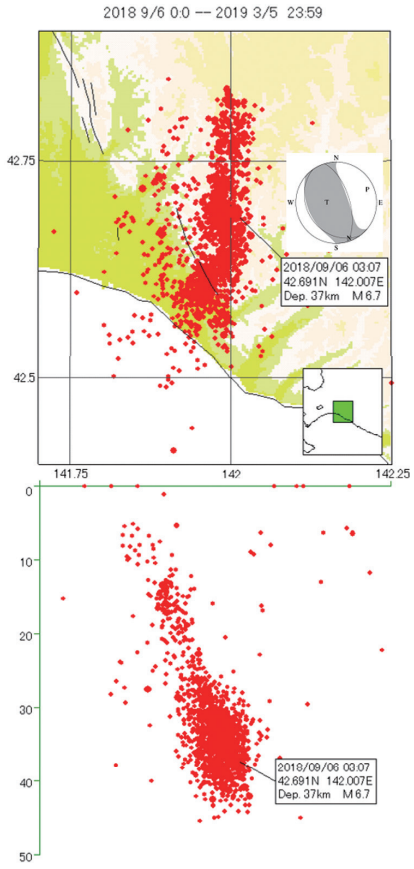


図 1　気象庁震源による平成３０年北海道胆振東部地震の半年間の余震の震央分布（上）と東西方向に投影した深さ分布（下）．マグニチュード 1.5 以上．メカニズム解は気象庁による CMT 解．

調な領域は，本震時の大すべり域にほぼ一致しているように見える[4), 5), 6)]．大すべり域を取り囲むように余震活動が活発である現象は，一般的に見られる性質である．

断層破壊は，南北方向に延びた余震域の中央付近の最深部にあたる深さ 35-40km 付近から始まった．しかし，この場所での相対的なすべり量は小さい．大きくすべった領域は，それよりも 10km 程度浅い，深さ 20-30km 付近に位置している（図 2）[4), 5), 6)]．破壊は，震源から南および北方向に進展した．最終的なすべり量は，余震域の南半分で大きい．一方，多くの被害を出した同時多発斜面崩壊は，余震域の北半分に集中して発生している．余震域の北半分の領域では，斜面崩壊の素因となった表層の降下火砕堆積物が，南側に比べて厚いことが知られている．

余震数は，時間とともにべき乗で減少する本震余震型の特徴を示していて，ETAS モデルで概ね説明可能である[7)]．これまでの最大余震は，2019 年 2 月 21 日に発生した M5.8 で，厚真町鹿沼で最大震度 6 弱を観測した．

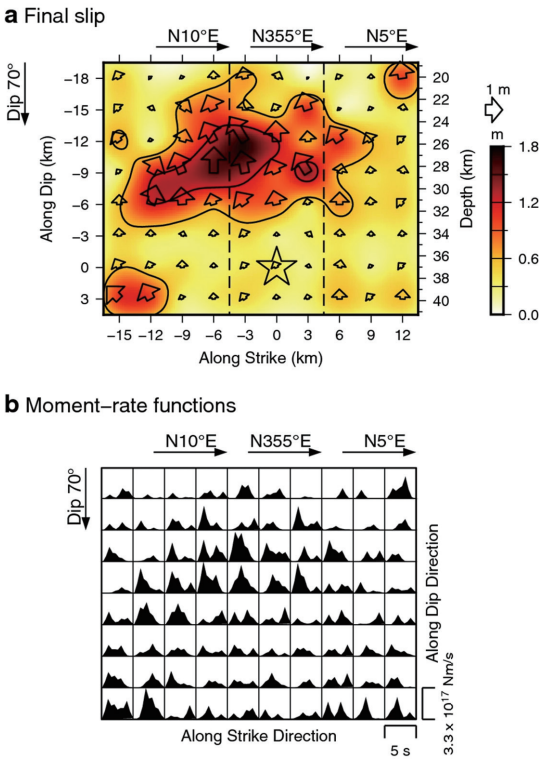


図 2　Asano and Iwata（2019）[6]によるすべり量分布（上）モーメントレート関数（下）．星印は本震の震源を示す．図の左側が南側である．

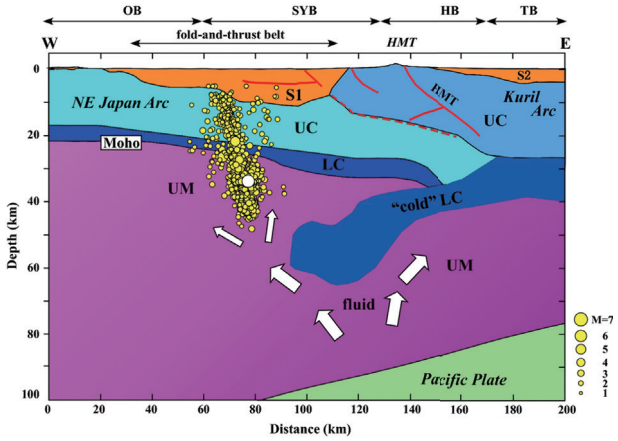


図 3　Iwasaki et al.（2019）[12]による震源域を含む日高衝突帯の詳細な地下構造．本震および余震の多くは上部マントル内で発生している．千島弧の下部地殻の下部がデラミネーションして震源域の近くまで西進している．震源域の浅部には低速度の厚い堆積層が存在する．

今回の余震域の西側には，主要活断層である石狩低地東縁断層帯南部の地表トレースが隣接して存在する．この活断層の形状は，北北西―南南東走行の上端深さ 0km とする低角東落ちとされている[8]．一方，今回の地震の余震域は，石狩低地東縁断層帯南部に比べ有意に深く，メカニズム解や余震分布も高角の東落ち傾斜といったように，活断層の形状とは違っている．

InSAR 解析によって，震源域の地表に，リニアメント状の地殻変動が発見された[9]．このリニアメント状地殻変動の位置や走行は，石狩低地東縁断層帯の地表トレースの南方延長部に相当する．しかし，この地表リニアメントと今回の深い震源断層，あるいは，既存活断層との関係については不明である．地震断層から離れた場所での副次的な地殻変動は，2007 年新潟県中越沖地震[10]や 2016 年熊本地震[11]でも確認されており，活断層や褶曲構造の発達を考えるうえで興味深い現象である．

3．震源域周辺の地下構造

制御震源地震探査データから，震源域を含む日高衝突帯の複雑な地下構造が明瞭にイメージングされた．震源域での地殻の厚さは 16-22km と薄く，モホ面の深さは 25km 程度であり，本震を含む多くの余震が上部マントル内で発生していることが明らかになった（図 3）[12]．本震時の断層すべりモデルとの比較では，大すべり域は下部地殻に相当する可能性がある．東に緩く傾斜する東北日本弧地殻の表層部には，厚さ 8-10km 以上にも及ぶ地震波速度が遅い堆積層が存在すること，千島弧の下部地殻の下部がデラミネーションしていることも改めて確認された．

自然地震を用いた広域的な地震波速度トモグラフィーからは，震源域が東西方向の速度構造境界付近に位置し[3), 13)]，余震は厚化した下部地殻内で発生しているとする考えが示されている[13)]．また，震源域は減衰構造の境界にもなっている[13), 14), 15)]．比抵抗構造探査からは，低分解能ながら震源域付近に低比抵抗体の存在が示唆されている[16)]．

本震の震源が 37km と非常に深く，余震も深部で多く発生している原因として，震源域での低い地殻熱流量との関係が指摘されている[12), 13)]．制御震源による構造モデルでは，デラミネーションした千島弧の下部地殻が震源域の東側深さ 60km 付近まで達している様子が描かれている．この特異な構造ために，最上部マントルでの熱循環が妨げられ，深部での脆性破壊を可能とするモデルが提案されている[12)]．また，断層面傾斜が約 70 度と高角であり，高圧の間隙流体が関与していた可能性もある[12), 15)]．

4．震源域周辺の地殻活動と将来予測

今回の震源域である胆振地方中東部では，1942 年の M5.0 や 1949 年の M5.1 などの地震が発生していたが，M6 を超える地震は今回が初めてであった．

1988 年 7 月 21-22 日には，今回の震源域とほぼ同じ場所で群発的な活動があり，M3.8 の最大地震を含め 6 回の地震があった．うち 3 回は厚真町などで震度 1-2 の揺れを記録している．なお，深さは 25-28km に推定さ

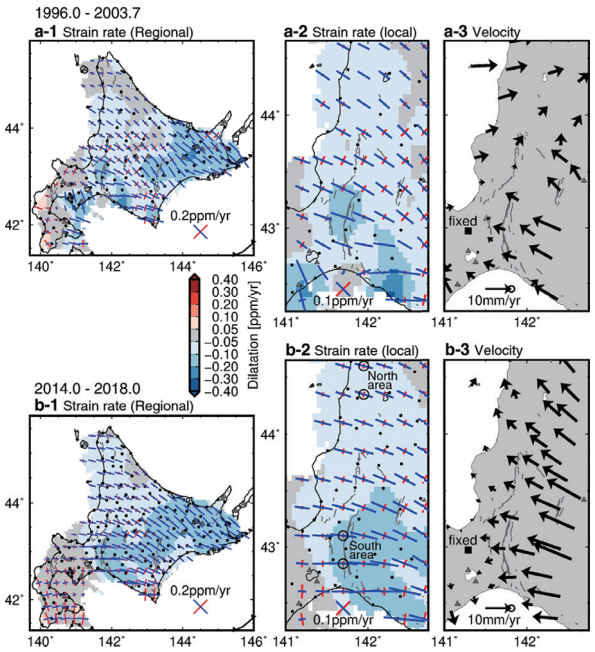


図 4　Ohzono et al.（2019）[18]による石狩低地地帯のひずみ速度空間分布．1996 年から 2003 年十勝沖地震前まで（上），2014 年から 2018 年まで（下）．石狩低地帯では周辺より一桁程度大きな圧縮ひずみ場となっている．

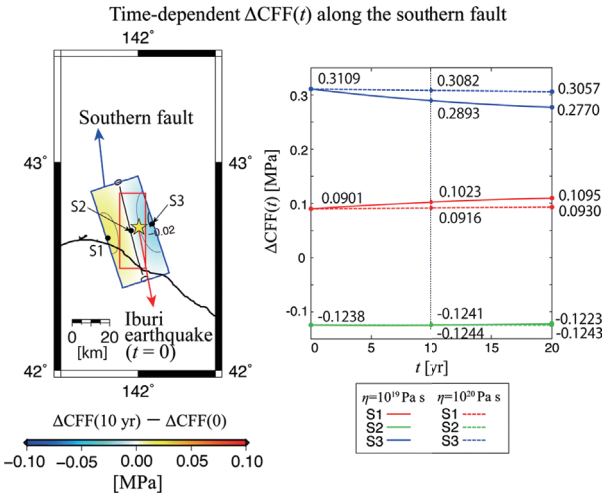


図 5　Ohtani and Imanishi（2019）[19]による石狩低地東縁断層帯南部での Δ CFF の時間発展．

れている [17]．ほぼ同じ場所では，1993 年に深さ 20km の M4.4，2002 年に深さ 12km の M3.5 も発生している．2017 年 7 月 1 日には，今回の震源域から西に約 10km 離れた深さ 27km で M5.1 の地震が発生し，安平町早来で震度 5 弱，厚真町京町で震度 4 を観測した．このように，今回の地震の震源域では，深さ 20km を超える地震が散発的に発生していた．

長期間 GNSS データの解析によると，今回の地震の震源域を含む石狩低地帯は，ひずみ速度が周辺部よりも 1 桁程度大きい「ひずみ集中帯」となっている（図 4）．ひずみが集中する原因として，弾性定数が小さい厚い堆積層の影響が検討されている [18]．石狩低地帯東縁断層からサハリンに抜ける南北ラインが，現在もテクトニックブロックの境界として機能しているとする考えもある．

今回の地震の断層運動は，隣接する石狩低地東縁断層帯で想定されている逆断層運動を促進する静的応力変化をもたらした [3), 19)]．粘弾性効果を含めた推定からは，石狩低地東縁断層帯で数十年にわたり応力上昇が続く可能性が指摘されている（図 5）[19]．石狩低地帯東縁断層帯では，地震本部により M7.7 ～ 7.9 程度が評価されており，今後の地殻活動を注意深く監視していく必要がある．

5．おわりに

平成 30 年北海道胆振東部地震は，規模が M6.7 と中規模で震源が 37km と深いにも関わらず，強震動により同時斜面崩壊やブラックアウトなどの大きな災害を引き起こした．このような深い場所で地震が起こる原因について，日高山脈周辺の複雑な地殻マントル構造という条件の中で，地殻流体や地殻熱流量の影響などを含め，より詳細な地下のイメージングからモデル化を進めることが期待される．

札幌市をはじめ，震源距離 100km 程度までの範囲では，一般的な距離減衰式を上回る最大加速度や最大速度となった [20]．防災面からは，今回のような上部マントルを震源とする地震の強震動について，震源と地盤特性の両面から検討を進める必要がある．

地表で見られる活断層の深部形状については，いまだ未解明な点が多い．地表で見られる石狩低地東縁断層帯と，今回の地震の深い震源断層との関係の有無も不明である．震源断層と地表活断層の実態を明らかにする調査研究をさらに進めることが望まれる．

参考文献

1）国土交通省，2018. http://www.mlit.go.jp/river/sabo/h30_iburitobu/181005_sediment_volume.pdf.
2）Katsumata et al., 2019. *Earth Planets Space*, 71, 53.
3）Kobayashi et al., 2019. *Earth Planets Space*, 71:62.
4）Kobayashi et al., 2019. *Earth Planets Space*, 71, 63.
5）Kubo et al., 2019. *Earth Planets Space*, 71, 98.
6）Asano and Iwata, 2019. *Earth Planets Space*, 71, 101.
7）Kumazawa et al., 2019. *Earth Planets Space*, 71, 130.

8）地震本部，2010. 石狩低地帯東縁断層帯の長期評価（一部改訂）.
9）Fujiwara et al., 2019. *Earth Planets Space*, 71, 64.
10）Nishimura et al., 2008. Geophysical Res. Lett., 35, L13301.
11）Fujiwara et al., 2016. *Earth Planets Space*, 68:160.
12）Iwasaki et al., 2019. *Earth Planets Space*, 71, 103.
13）Kita, 2019. *Earth Planets Space*, 71, 122.
14）Nakamura and Shiina, *Earth Planets Space*, 71, 114.
15）Hua et al., 2019. Scientific Reports, 9, 13914.
16）Ichihara et al., 2019. *Earth Planets Space*, 71, 100.
17）札幌管区気象台, 2000. 北海道の地震活動（第 2 版）.
18）Ohzono et al., 2019. *Earth Planets Space*, 71, 50.
19）Ohtani and Imanishi, 2019. *Earth Planets Space*, 71, 57.
20）高井・重藤，2019. 地震ジャーナル，67，10.

第　3　部

関連する組織のこの10年

1．科学技術・学術審議会測地学分科会（旧：測地学審議会）

1．はじめに

科学技術・学術審議会測地学分科会は，その前身である測地学審議会が 1964 年 7 月に「地震予知研究計画の実施について」と題する建議を行って以来，我が国の地震予知研究計画の推進について，概ね 5 年ごとに文部科学大臣（中央省庁等改革以前は文部大臣）を始めとする関係各大臣に建議を行ってきた（表 1）.

2001 年 1 月には，中央省庁等改革の一環として測地学審議会が他の 5 審議会と統合され，科学技術・学術審議会の中の測地学分科会にその機能が移された. また，同審議会により 2008 年 7 月に建議された「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の推進について」では，これまで地震と火山に分かれていた計画が発展的に統合された.

我が国の地震予知研究は，このような研究計画が関係者の不断の努力により着実に実施されることで，多くの成果を上げている．本稿では，最近 10 年間の動きについて概観する.

2．地震及び火山噴火予知のための観測研究計画

2.1　概要

科学技術・学術審議会による 2008 年の建議「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の推進について」（2009 ～ 2013 年度）は，これまでの基礎的な観測研究やモニタリングの成果に基づき，「予測システムの開発」をより明瞭に志向した研究を推進するとともに，稠密（ちゅうみつ）な地震・地殻変動の観測網などの研究資源を有効活用することにより，効率的で効果的な研究の実施を目指すものであった.

2.2　平成 23 年東北地方太平洋沖地震を踏まえた見直し

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震では，我が国として初めてマグニチュード 9 クラスの超巨大地震が発生し，海溝軸付近のプレート境界で 50m を超える滑りが観測された．また，固着域でも従来の考え方で説明できない大きな滑りが観測されている．測地学分科会では，事前にこのような超巨大地震の発生の可能性を追究できなかったことを真摯に反省し，計画の見直しの方向性を検討し，意見公募や学協会の意見，さらには海外研究者からの評価や次期計画に向けた外部評価委員会の意見・提言などを踏まえ，2012 年 11 月 28 日に「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の見直しについて」と題した建議を取りまとめた．同建議では，超巨大地震の発生可能性を追究できなかった主な要因が，観測網が充実している陸域から遠く離れた海溝軸付近のプレート境界の固着状態の推定の困難さ，地形学・古地震学・地質学の情報を取り入れる努力の不足及びプレート境界滑りモデルの不完全さなどであると認識した上で，「超巨大地震に関する当面実施すべき観測研究の推進」の項目を新しく計画に追加した．同建議により追加された研究には，超巨大地震の発生サイクル・震源過程の解明，巨大津波の予測及び誘発される内陸地震や火山活動等の解明などが含まれる.

表 1　測地学審議会及び科学技術・学術審議会の建議一覧（地震に関する研究計画の建議に限る）

建議年月日	件名	実施期間	審議会
1964 年 07 月 18 日	地震予知研究計画の実施について	1965-1968 年度	測地学審議会
1968 年 07 月 16 日	地震予知の推進に関する計画の実施について	1969-1973 年度	
1973 年 06 月 29 日	地震予知の推進に関する第 3 次計画の実施について	1974-1978 年度	
1975 年 07 月 25 日	第 3 次地震予知計画の一部見直しについて		
1976 年 12 月 17 日	第 3 次地震予知計画の再度一部見直しについて		
1978 年 07 月 12 日	地震予知の推進に関する第 4 次計画の実施について	1979-1983 年度	
1983 年 05 月 31 日	第 5 次地震予知計画の推進について	1984-1988 年度	
1988 年 07 月 28 日	第 6 次地震予知計画の推進について	1989-1993 年度	
1993 年 07 月 30 日	第 7 次地震予知計画の推進について	1994-1998 年度	
1995 年 04 月 20 日	第 7 次地震予知計画の見直しについて		
1998 年 08 月 05 日	地震予知のための新たな観測研究計画の推進について	1999-2003 年度	
2003 年 07 月 24 日	地震予知のための新たな観測研究計画（第 2 次）の推進について	2004-2008 年度	科学技術・学術審議会
2008 年 07 月 17 日	地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の推進について	2009-2013 年度	
2012 年 11 月 28 日	地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の見直しについて		
2013 年 11 月 08 日	災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の推進について	2014-2018 年度	
2019 年 01 月 30 日	災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 2 次）の推進について	2019-2023 年度	

3．災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画

測地学分科会が 2012 年 10 月 26 日に取りまとめた「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」の外部評価において，国民の命を守る実用科学としての研究の推進，低頻度・大規模な地震・火山噴火研究の充実，中・長期的な研究目標の設定などが課題として指摘された．また，科学技術・学術審議会が 2013 年 1 月 17 日に建議した「東日本大震災を踏まえた今後の科学技術・学術政策の在り方について」では，「社会のための，社会の中の科学技術」等の観点を踏まえ，地震研究等について，人文・社会科学も含めた研究体制の構築の総合的かつ学際的な推進の必要性が指摘された．

これらの指摘を踏まえ，科学技術・学術審議会は 2013 年 11 月 8 日に「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の推進について」（2014 ～ 2018 年度）を建議した．同建議では，地震火山観測研究計画を災害科学の一部として推進する方針に転換し，その最初の 5 年間と位置付けた．具体的には，以下のとおり 3 項目の研究及びその推進のための体制整備の計 4 項目に分けて，計画を推進することとした．

① 災害の根源である地震と火山噴火の仕組みを自然科学的に理解する「地震・火山現象の解明のための研究」
② 地震や火山噴火を科学的に予測する手法を研究する「地震・火山噴火の予測のための研究」
③ 地震動，津波，火山灰や溶岩の噴出など災害の誘因となる自然現象の事前評価・即時予測を研究する「地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究」
④ 長期的な取組で計画を推進し，成果が防災・減災に効果的に利活用される仕組みをつくるため「研究を推進するための体制の整備」

さらに，東北地方太平洋沖地震，南海トラフの巨大地震及び首都直下地震などに関しては，上記 4 項目を横断して総合的な研究が実施されることとなった．

4．災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 2 次）

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」についても，2017 年 7 月 13 日に測地学分科会によって外部評価報告書が取りまとめられ，以下の課題が指摘された．

- 災害の軽減に貢献するための研究の一層の推進
- 理学，工学，人文・社会科学の研究者間のより一層の連携強化
- 研究目標と目標に対する達成度の明確化

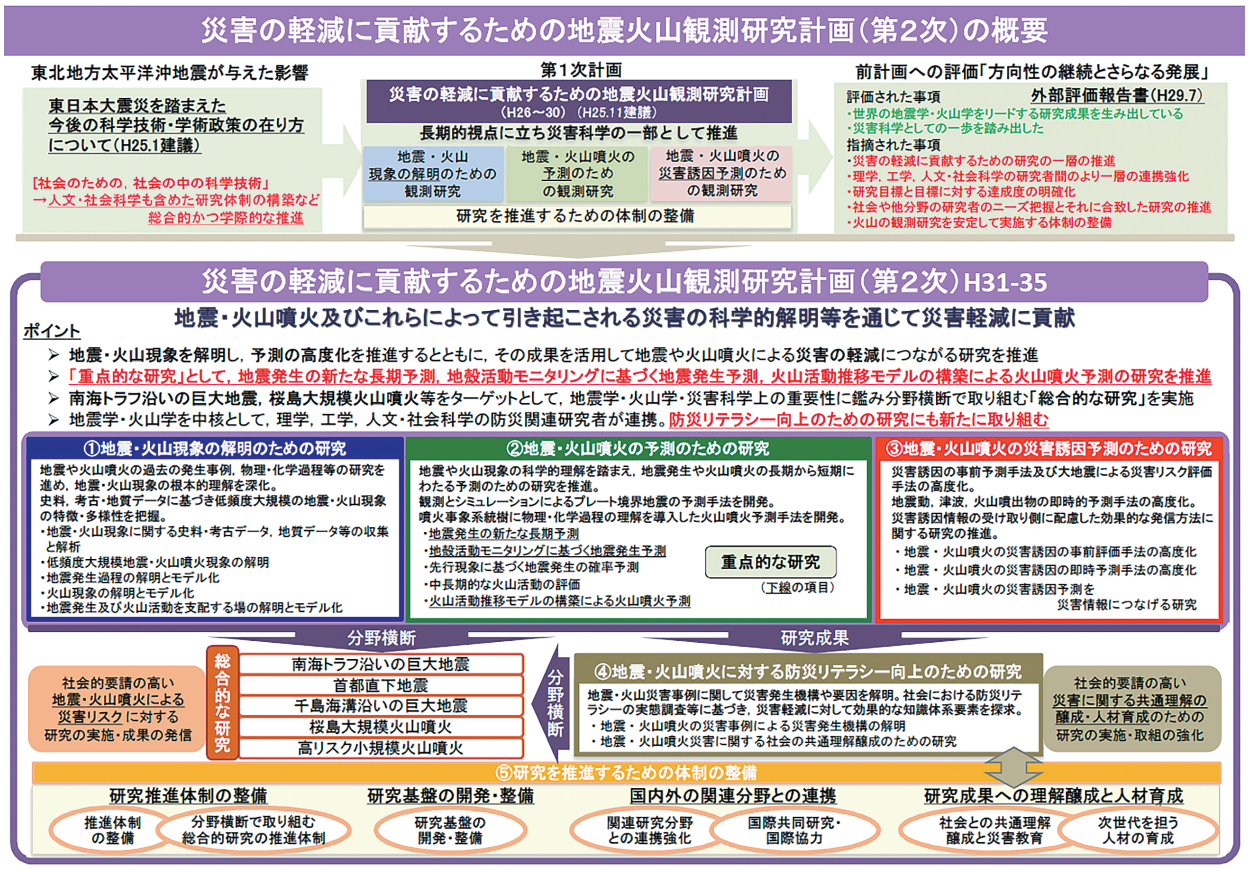


図 1　災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 2 次）の概要

・社会や他分野の研究者のニーズ把握とそれに合致した研究の推進

科学技術・学術審議会は，上記の課題を踏まえて 2019 年 1 月 30 日に「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 2 次）の推進について」（2019 ～ 2023 年度）と題する建議を行った（図 1）．第 2 次計画では，前計画の 4 項目の分類は引き続き有効であるとして，以下のような方向性で進めることとされた．

・地震・火山現象を解明し，予測の高度化を推進するとともに，その成果を活用して地震や火山噴火による災害の軽減につながる研究を推進
・「重点的な研究」として，地震発生の新たな長期予測，地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測，火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測の研究を推進
・南海トラフ沿いの巨大地震，桜島大規模火山噴火等をターゲットとして，地震学・火山学・災害科学上の重要性に鑑み分野横断で取り組む「総合的な研究」を実施
・地震学・火山学を中核として，理学，工学，人文・社会科学の防災関連研究者が連携するとともに，防災リテラシー向上のための研究にも新たに取り組む

また，第 2 次計画においても，前計画の 4 項目に防災リテラシー向上のための研究を加えた 5 項目を横断した総合的な研究の対象として，南海トラフ沿いの巨大地震，首都直下地震及び千島海溝沿いの巨大地震などが選定された．

（文部科学省研究開発局地震・防災研究課）

2．地震調査研究推進本部

1．地震調査研究推進本部の概要

1995 年 1 月に発生した阪神・淡路大震災の教訓を踏まえ，全国にわたる総合的な地震防災対策を推進するため，地震防災対策特別措置法（平成 7 年法律第 111 号）が議員立法によって 1995 年 6 月に制定された．そして，行政施策に直結すべき地震に関する調査研究の責任体制を明らかにし，これを政府として一元的に推進するため，同法に基づき，同年 7 月，政府の特別の機関として，地震調査研究推進本部（以下「地震本部」という．）が，総理府に設置（現在は文部科学省に設置）された．

地震本部は，「地震防災対策の強化，特に地震による被害の軽減に資すること」を基本的な目的として，地震防災対策特別措置法に定められている以下の役割を担っている．

①地震に関する観測，測量，調査及び研究の推進について総合的かつ基本的な施策を立案すること．
②関係行政機関の地震に関する調査研究予算等の事務の調整を行うこと．
③地震に関する総合的な調査観測計画を策定すること．
④地震に関する観測，測量，調査又は研究を行う関係行政機関，大学等の調査結果等を収集し，整理し，及び分析し，並びにこれに基づき総合的な評価を行うこと．
⑤上記による評価に基づき，広報を行うこと．

地震防災対策特別措置法において，地震本部の長は，地震調査研究推進本部長（以下「本部長」という．）とし，文部科学大臣をもって充てることとしている．本部長は地震本部の事務を統括し，本部には地震調査研究推進本部員（以下「本部員」という．）が置かれることとなっている．本部員については，関係行政機関の職員から本部長が任命することとしており，現在の本部員は内閣官房副長官，内閣府事務次官，総務事務次官，文部科学事務次官，経済産業事務次官，国土交通事務次官となっている．なお，地震調査研究推進本部会議（以下「本部会議」という．）については，地震本部の決定により，気象庁長官，国土交通省国土地理院長が常時出席者とされている．

地震本部の下には，関係行政機関の職員及び学識経験者から構成される政策委員会と地震調査委員会が設置されている（図 1）．各委員会の下には，部会や小委員会等が置かれ，それぞれ専門的な事項の検討を行っている．地震本部の上記の役割について，政策委員会は①～③，⑤を，地震調査委員会は④を担当している．

地震に関する観測，測量，調査又は研究については，文部科学省，国土地理院，気象庁，海上保安庁，大学，(国）防災科学技術研究所，(国）海洋研究開発機構，(国）産業技術総合研究所，（国）情報通信研究機構及び消防庁消防大学校消防研究センターが行っている．これらの関係機関は，地震本部が定めた「地震に関する観測，測量，調査及び研究の推進について総合的かつ基本的な施策」及び「地震に関する総合的な調査観測計画」等に基づき調査研究等を推進しており，関係機関から提供された調査観測データ及び研究成果については，地震調査委員会において審議し，地震に関する評価として公表している．

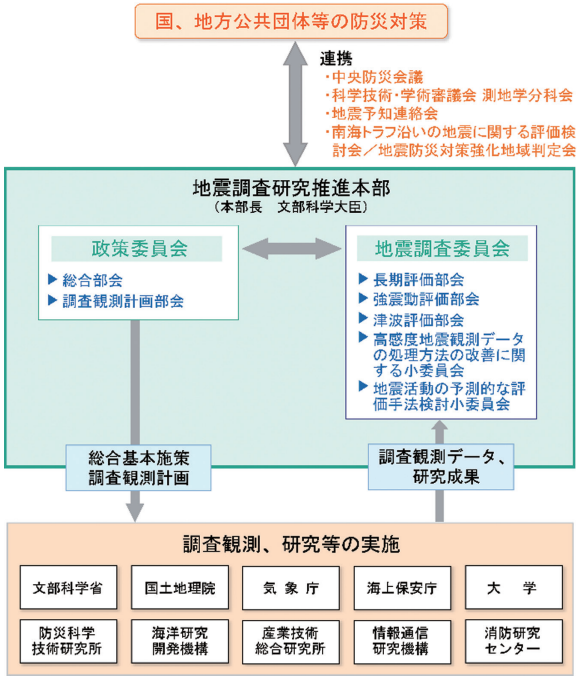


図 1　地震調査研究推進本部の体制（2019 年 4 月現在）

2．政策委員会の活動概要

2.1　総合的かつ基本的な施策の策定等

地震本部は，2009 年 4 月に「新たな地震調査研究の推進について－地震に関する観測，測量，調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策－」（以下「新総合基本施策」という．）を決定した．

新総合基本施策を踏まえて，関係機関で地震調査研究を推進していた中で，2011 年 3 月に東北地方太平洋沖地震が発生した．この地震で明らかになった課題・教訓等を踏まえ，同年 12 月に，政策委員会の「総合部会」において新総合基本施策の見直しに着手した．関係機関や地方公共団体，民間企業からも広く意見を聴取したうえで，国民からも意見募集を行い，中央防災会議から意見を聴いたうえで，地震本部は，2012 年 9 月に「新たな地震調査研究の推進について－地震に関する観測，測量，調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策－（改訂）」（以下「新総合基本施策（改訂）」とい

う.）を決定した．新総合基本施策（改訂）では，地震動即時予測の高度化や，津波即時予測技術の開発及び津波予測に関する調査観測の強化が打ち出された.

政策委員会は，2017 年 3 月に，これまでの地震調査研究の動向，更には，社会の変化等を踏まえつつ，現在の施策の進捗状況を改めて確認し，今後の総合基本施策の推進に役立てるため，「新総合基本施策レビューに関する小委員会」を設置した．ここでは，着実な進捗が見られるとの評価を受けるとともに，今後，地震災害の被害軽減に向けた調査研究にオールジャパンで取り組む体制を実現するよう提言がなされた.

この評価と提言を踏まえ，2019 年からの 10 年間を見越した新たな総合基本施策を策定するべく，2018 年 6 月に「第 3 期総合的かつ基本的な施策に関する専門委員会」を設置した．関係機関のほか，地方公共団体，関連学会等からも意見を聴取して検討を進め，国民からも意見募集を行い，中央防災会議から意見を聴いたうえで，地震本部は，2019 年 5 月に「地震調査研究の推進について－地震に関する観測，測量，調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策（第 3 期）－」（以下「第 3 期総合基本施策」という.）を決定した.

第 3 期総合基本施策では，新たな科学技術を積極的に活用した調査研究を推進させ，社会の期待とニーズを適切に踏まえた成果を創出することを，これからの地震本部の役割として掲げ，当面 10 年間に取り組むべき地震調査研究として，「海域を中心とした地震調査研究」，「陸域を中心とした地震調査研究」，「地震動即時予測及び地震動予測の高度化」，「社会の期待を踏まえた成果の創出 ～新たな科学技術の積極的な活用～」の 4 項目を設定した.

2.2　地震に関する総合的な調査観測計画の策定等

政策委員会は，地震に関する総合的な調査観測計画を策定するために，「調査観測計画部会」を設置している.

2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震の後，2012 年 9 月に新総合基本施策が見直されたことを受けて，調査観測計画部会では，地震本部において策定してきた種々の調査観測計画を 1 つの体系的な計画として見直すこととした．関係機関や地震本部の各部会等から意見を聴取したほか，国民からも意見募集を行った上で，地震本部は，2014 年 8 月に「総合的な調査観測計画」を決定した.

この計画では，沿岸域における津波予測に必要な浅海域及び沿岸陸域の地形調査や，低頻度で発生する超巨大海溝型地震等を把握するための古地震・古津波調査が，広い範囲を対象に長期間安定的に調査観測を行う「基盤的調査観測等」に新たに位置付けられた．また，防災・減災に向けた工学及び社会科学研究との連携強化に向けた調査観測を行うこととした.

2.3　地震に関する調査研究予算等の事務の調整

政策委員会は，地震調査研究に関する予算等の事務の調整を行うために，総合部会を設置している．総合部会では，毎年，政策委員会がとりまとめた「地震調査研究推進本部における予算等の事務の調整の進め方について」に基づき，次年度の概算要求に向けて，関係行政機関を対象としたヒアリング等を実施した上で，地震調査研究関係予算の概算要求内容をとりまとめ，「地震調査研究関係予算の概算要求について」の立案を行っている．当該案については，本部会議を経て地震本部決定となり，財政当局をはじめとする関係機関に通知している.

2.4　地震に関する評価の広報

総合部会では併せて，地震調査研究の成果の効果的な普及方策等の検討を行っている．国民や地方公共団体等の防災・減災対策等のニーズを正確に把握した上で地震調査研究を推進するとともに，その成果等を分かり易く国民に示すための方策について，地方公共団体や，工学・社会科学分野の専門家にヒアリング調査を実施するなどしながら，検討を進めた．その過程で東北地方太平洋沖地震が発生したため，その際の課題も踏まえた上で，「地震調査研究推進本部の成果の効果的な普及方策について」を取りまとめ，2014 年 3 月に政策委員会で決定した.

また，国民や地方公共団体のニーズを把握するためのヒアリングやアンケート調査を 2010 年度から毎年実施し，その結果は地震本部の各部会等に報告され，様々な検討に活用されている．また，政策委員会及び総合部会での評価を踏まえ，読者層に応じた複数のパンフレットの制作や，ホームページの改訂などを 2013 年から行っている.

3．地震調査委員会の活動概要

3.1　地震活動の現状評価の実施

地震調査委員会は，毎月定例の会合を開催し，全国の地震活動の現状について関係機関から提供された調査観測結果等を分析して，総合的な評価をとりまとめ，即日公表している．また，被害を伴うような大きな地震が発生した場合や，注意すべき地殻変動が観測された場合には，その社会的な影響に応じて臨時の全体会議，小会議，またはもちまわり小会議を開催し，当該地震について速やかに評価を行い，公表している．2009 年 4 月から 2019 年 3 月の 10 年間に 16 回の臨時会を開催した.

3.1.1　地震活動の予測的な評価手法の検討

地震調査委員会は，予測的な内容を含んだ地震活動評価を行うため，2009 年 8 月に「地震活動の予測的な評価手法検討小委員会」を設置した．この小委員会では，群発地震の性質等，過去の地震活動から得られる特徴の抽出・整理を行い，地震活動の推移・見通しについての評価手法を検討し，2010 年 9 月に「伊豆東部の地震活動の予測手法」報告書を取りまとめ公表した．

また，地震調査委員会は，地震学の知見を防災対策に有効に利用するため，大地震が発生した際の余震確率の評価手法について，1998 年 4 月に「余震の確率評価手法について」を取りまとめ公表していた．しかし，「平成 28 年（2016 年）熊本地震」において，この手法が適用できない事象が発生した．これを受けて，地震調査委員会は，余震確率の評価手法の改良のみならず，大地震後における地震活動の見通しや防災上の呼びかけ等の指針を検討し，2016 年 8 月に「大地震後の地震活動の見通しに関する情報のあり方」報告書を取りまとめ公表した．

3.1.2　衛星データを用いた地震活動の資料の評価，衛星データの活用方策の検討

地震調査委員会は，地震活動の現状評価の高度化に衛星データを活用する方策を検討するために，「衛星データ解析検討小委員会」を設置している．この小委員会では，地震調査の基礎資料として標準的な解析方法及び解析結果の表現方法を取りまとめ，広域の定常的な地殻変動の検出方法の開拓，観測誤差の原因推定，信頼性の評価などに，一定の成果が上げられた．これらを集約して，2011 年 10 月に「合成開口レーダーによる地震活動に関連する地殻変動観測手法」報告書を公表した．

3.1.3　高感度地震観測データの処理方法の改善

「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」の発生以降，地震の発生数が著しく増加し，また，日本海溝や南海トラフなどの海域では地震観測点の整備による地震の検知能力の向上が見込まれることから，より効果的・効率的な震源決定の処理を行う必要がある．こうした背景を踏まえ，地震調査委員会は，2013 年 6 月に「高感度地震観測データの処理方法の改善に関する小委員会」を設置した．この小委員会では，高感度地震観測データの利活用状況の現状を考慮しつつ，より充実した地震カタログとするための方向性として，地震検知能力の維持，検知された全ての地震の地震カタログへの掲載，精度に段階を付けた品質管理を挙げた．これらを踏まえた処理の改善策として，2014 年 2 月に「高感度地震観測データの処理方法の改善に関する報告書」を公表した．

3.2　地震発生可能性の長期的な観点からの評価の実施

地震調査委員会は，長期的な観点からの地震発生の評価及びその評価手法の検討等を行うため，「長期評価部会」を設置している．長期評価部会においては，「長期的な観点からの地震発生可能性の評価手法の検討と評価」と「地域別の地殻変動，活断層，過去の地震等の資料に基づく地震活動の特徴の把握」及びその他必要な事項を審議している．

3.2.1　活断層の長期評価と地域評価

長期評価部会は，基盤的調査観測対象として追加された活断層帯の評価や補完調査を踏まえた評価の見直しを行い，評価結果については，地震調査委員会の審議を経て順次公表した．一方で，活断層の長期評価手法の継続的な見直し，新たな評価手法の導入，及び，評価手法の高度化を図るため「活断層評価手法等検討分科会」を設置している．この分科会での検討結果に基づき，対象地域に分布する活断層で発生する地震を総合的に評価する「地域評価」の導入，評価対象とする活断層の見直し，地表の長さが短い活断層における震源断層の位置・形状の評価等を含めた新たな評価手法を，2010 年 11 月に「活断層の長期評価手法（暫定版）」として公表した．また，活断層の地域的な評価を審議するため，2010 年 2 月に「活断層分科会」を設置した．新しい評価手法に基づく活断層の地域評価を実施し，2013 年 2 月に「九州地域の活断層の長期評価（第一版）」を公表した．その後，関東地域，中国地域，四国地域の活断層の長期評価（第一版）を順次公表し，全国の評価地域に対する評価を進めている．

3.2.2　海溝型地震の長期評価

海域で発生する地震の長期評価は，2004 年 12 月に一通り終了した．「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」の発生を受けて，2011 年 11 月に，その時点で得られていた知見等を組み込み，「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価（第二版）」を公表した．また，従来の長期評価手法を見直し，過去に発生した地震のデータから想定した最も起こりうる地震のみならず，史料や観測記録で発生が確認されていないが，より低頻度でより大規模な地震についても科学的根拠に基づき想定できるよう，評価手法の改善を図ることとした．こうした背景を踏まえ，長期評価部会は，海溝型地震の長期評価や新たな評価手法の検討を行うため，2011 年 6 月に「海溝型分科会（第二期）」を設置し，南海トラフ，相模トラフ，千島海溝，日本海溝の長期評価を順次公表し，評価地域に対する評価を進めている．

3.2.3　海域活断層の長期評価

長期評価部会は，海域活断層による地震津波防災対策に貢献できるように，海域活断層の長期評価や評価手

法の検討を行うため，2017 年 4 月に「海域活断層評価手法等検討分科会」を設置した．海域活断層の標準的な評価手法の提案，個別の海域活断層の評価，海域の地域評価を順次進めている．

3.2.4　日本の地震活動

「地殻変動，活断層，過去の地震等の資料に基づく地震活動の特徴の把握」としては，初版・追補版の刊行から約 10 年が経過し，最近の被害地震の記述や地震調査委員会が公表した長期評価等の内容を追加し，2009 年 3 月に「日本の地震活動－被害地震から見た地域別の特徴－」第 2 版を刊行した．その後，2020 年 3 月から地方別にさらに改訂を進めている．

3.3　活断層で発生する地震，海溝型地震を対象とした強震動評価の推進

地震調査委員会は，地震が発生した際の強い揺れ（強震動）の予測手法を検討するとともにそれを用いた強震動の評価を行うため，「強震動評価部会」を設置している．

強震動評価部会は，地震調査委員会において実施してきた強震動評価に関する検討結果から，強震動予測手法の構成要素となる震源特性，地下構造モデル，強震動計算，予測結果の検証の現状における手法や震源特性パラメータの設定にあたっての考え方を取りまとめた「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）」を 2005 年 3 月に公表している．その後，強震動評価に関する新知見を随時反映し，2009 年 12 月，2016 年 6 月，2017 年 4 月に「レシピ」の大幅な改訂をした．

また，強震動予測に必要な地下構造モデルについて，2009 年 9 月に「想定東海地震，東南海地震，宮城県沖地震を想定した長周期地震動計算に用いたモデル」，2012 年 1 月に「全国 1 次地下構造モデル（暫定版）」，2016 年 10 月に「相模トラフ巨大地震による長周期地震動計算に用いたモデル」を順次公表した．そして，地震本部で作成した地下構造モデルの作成法を基準に，構造モデルを作成する場合の一般的な作成方法や注意事項を加えて，地下構造モデル作成の際に指針となる考え方と手順をまとめた「地下構造モデル作成の考え方」およびそれに基づいて作成された「関東地方の浅部・深部統合地盤構造モデル」を 2017 年 4 月に公表した．

3.4　長期評価，強震動評価を統合した地震動予測地図の全国版作成

地震調査委員会は，地震動予測地図の高度化を図るため，「地震動予測地図高度化ワーキンググループ」を設置している．このワーキンググループでの検討結果を踏まえ，2009 年 7 月に全面的な改訂を行い，名称を「全国を概観した地震動予測地図」から「全国地震動予測地図」に変更し，公表した．その後，2010 年 5 月に 2010 年版を公表し，2011 年版も公表する予定であったが，「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」の発生を受け，確率論的地震動予測地図について解決すべき多くの課題が指摘されたことなどにより公表を見送った．作成手法の基本的な枠組みの有効性を確かめるとともに，指摘された課題を検討し，2012 年 12 月，2013 年 12 月にはその時点での検討結果を順次公表した．そして，これらの検討結果の総括として 2014 年 12 月に「全国地震動予測地図 2014 年版」を公表した．その後，2016 年 6 月，2017 年 4 月，2018 年 6 月にそれぞれ活断層および海溝型地震の新たな長期評価結果に基づいて，全国地震動予測地図を更新し，公表している．

3.5　長周期地震動予測地図の試作

地震調査委員会は，長周期地震動の予測を進めるべく，手法の高精度化と予測結果の公表方法について検討を行ってきた．2009 年 9 月に想定東海地震，東南海地震，及び宮城県沖地震を対象とした「長周期地震動予測地図 2009 年試作版」を公表した．その後，長周期地震動予測地図の高度化に向けて，震源モデルや地下構造モデルなどの改良の検討を進め，2012 年 1 月に南海地震（昭和型）を対象とした「長周期地震動予測地図 2012 年試作版」を，2016 年 10 月に多数の高層建物が集中する首都圏を対象とした相模トラフ沿いの巨大地震に伴って発生する長周期地震動の評価「長周期地震動評価 2016 年試作版」を公表した．さらに現象の不確定性やばらつきの扱いを含めた一層の技術的検討はもとより，予測結果を広く社会に活かすため，その提示のあり方などについても防災関係者や研究者との間で議論を進めている．

3.6　地震に伴う津波の評価

地震調査委員会は，東日本大震災における津波による甚大な被害を踏まえ，我が国の津波防災に貢献するため，地震により発生する津波の予測手法を検討するとともに，それを用いた津波の評価を行うため，2013 年 2 月に「津波評価部会」を設置した．まずは，地震に伴う津波を対象に，波源断層モデルの設定から沿岸域までの津波の予測や評価のための手法を検討し，2017 年 1 月に「波源断層を特性化した津波の予測手法（津波レシピ）」を公表した．その後，長期評価の改訂が実施された海域の地震に伴う津波について，順次評価を進めている．

（文部科学省研究開発局地震・防災研究課）

3．中央防災会議

1．はじめに

この 10 年の中央防災会議の活動を振り返るにあたって特筆すべき点は，2011 年の東日本大震災を契機として，日本の災害対策が大きな見直しを迫られたことである．本稿では，東日本大震災とそれに引き続く各災害の教訓を踏まえて，中央防災会議を通じて日本の災害対策がどう見直され，今後想定される大規模災害にどのように備えているのかについて，中央防災会議及び同専門調査会の活動状況を振り返りながら，紹介したい．

2．中央防災会議の位置づけと専門調査会の変遷

災害対策基本法の規定に基づき，国の防災基本計画の作成及びその実施の推進，内閣総理大臣の諮問に応じた防災に関する重要事項の審議など，災害対策の総合性，計画性を確保するため，国家行政組織法の第 8 条第 1 項に規定する附属機関として総理府（当時）に設置された中央防災会議は，1962 年 7 月 10 日の発足以後，地震防災対策を中心とした災害対策全般の推進においてその役割を果たしてきたが，2001 年 1 月 6 日の省庁再編に伴い，内閣の「重要政策に関する会議」の一つとして位置付けられ，その機能も強化されることとなった．

具体的には，防災担当大臣から中央防災会議への諮問権が付与されるとともに，中央防災会議は同大臣の諮問に応じて防災に関する重要事項を審議することが新たにできることとなった．さらに，これに関連して，内閣総理大臣及び防災担当大臣に対し，中央防災会議が自ら意見を述べることができるようになっている．

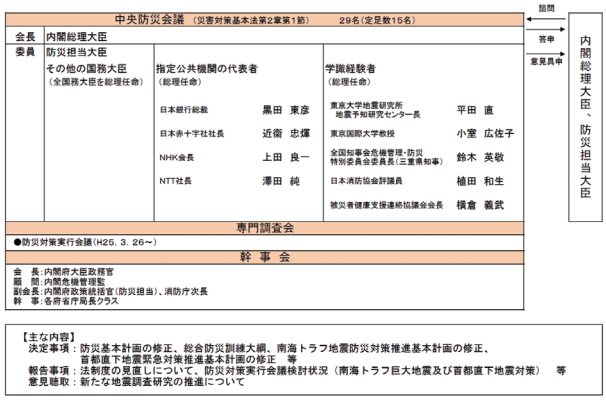


図 1　中央防災会議の組織　（2019 年 3 月時点）

中央防災会議は，専門的事項を調査させるため，その議決により専門調査会を設置することができることとされているところ，極めて甚大な被害のあった東日本大震災を踏まえ，2011 年に新たな専門調査会として「防災対策推進検討会議」が設置された．同会議は，未曽有の甚大な被害をもたらした東日本大震災における政府の対応を検証し，同大震災の教訓の総括を行うとともに，首都直下地震や東海・東南海・南海地震（いわゆる「三連動地震」）等の大規模災害や頻発する豪雨災害に備え，防災対策の充実・強化を図るための調査審議を行うものであり，計 13 回の会議を開催した後，2012 年 7 月 31 日に最終報告を決定・公表した．これを受けて，その後災害対策基本法等の見直しが行われたところ．

その後，引き続き，これらに基づく防災対策の諸施策を具体的に実行に結びつけることが必要であるとして，2013 年に，新たな専門調査会として「防災対策実行会議」が設置された．具体的には，「災害対策法制の見直し等を受けた実行上の課題とその対策」・「南海トラフの巨大地震や首都直下地震に関する政府全体の行動計画」等について議論を行うこととされた．その後，現在に至るまで，同会議の下に各種のワーキンググループが設置され，重要テーマごとに防災・減災対策に係る議論が行われてきている．防災対策実行会議のこれまでの活動の詳細については後述する．

3．中央防災会議の活動状況

中央防災会議は，2001 年の省庁再編後，2019 年 3 月までに，持ち回り開催も含め計 43 回（うち直近 10 年間では 23 回）開催されており，近年（2013 年度以降）の開催状況は表 1 のとおりである．

2011 年から 2013 年にかけて，東日本大震災の教訓を踏まえた災害対策法制・防災基本計画等の修正を行ったほか，近年は，南海トラフ地震・首都直下地震など，今後想定される大規模災害への対策や，年度毎に策定する

表 1　近年の中央防災会議の主要議事一覧（2013 年度以降）

2013 年度	
2014.1.17	○　南海トラフ地震防災対策推進地域及び南海トラフ地震津波避難対策特別強化地域の指定について ○　首都直下地震緊急対策区域の指定について ○　防災基本計画の修正について ○　首都直下地震対策検討WG最終報告及び政府業務継続計画案について　等
2014.3.28	○　南海トラフ地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法関係 ○　首都直下地震対策特別措置法関係 ○　大規模地震防災・減災対策大綱について ○　平成２６年度総合防災訓練大綱について　等
2014 年度	
2014.11.28	○　防災基本計画の修正について
2015.3.31	○　防災基本計画の修正について ○　平成２７年度総合防災訓練大綱について ○　首都直下地震の地震防災戦略について
2015 年度	
2015.7.7	○　防災基本計画の修正について　等
2016.2.16	○　活動火山対策特別措置法関係 （基本指針（案）について、警戒地域の指定について） ○　防災基本計画の修正について　等
2016 年度	
2016.5.31	○　防災基本計画の修正について ○　平成２８年度総合防災訓練大綱について
2017 年度	
2017.4.11	○　防災基本計画の修正について ○　平成２９年度総合防災訓練大綱について
2018 年度	
2018.5.29	○　平成３０年度総合防災訓練大綱について
2018.6.29	○　防災基本計画の修正について ○　災害救助法の一部改正について ○　大阪府北部を震源とする地震への対応　等

「総合防災訓練大綱」の決定等のため，毎年度 1，2 回程度開催しているところであり，これらの主要テーマについてこの 10 年の動きは以下のとおりである．

3.1　東日本大震災の教訓を踏まえた災害対策法制・防災基本計画等の修正

防災対策推進検討会議において取りまとめられた東日本大震災に係る検証と教訓の総括を踏まえ，2012 年，2013 年の 2 度にわたって災害対策基本法の改正を行うとともに，復興の基本的な枠組みを定める「大規模災害からの復興に関する法律」を制定した．

これらの法改正，法制定により，地方公共団体間の相互応援等の円滑化や，被災地方公共団体からの要請を待たない「プッシュ型」の物資供給，被災住民の広域的な受入，防災教育の強化が可能となった．さらに，避難所・避難場所の指定や，避難行動要支援者名簿の作成・利用制度及び地区防災計画制度の創設がなされるとともに，災害復旧事業に係る工事の国による権限代行が可能となり，防災・減災対策が大きく前進した．

これと並行して，防災基本計画においても，2011 年に地震・津波対策の抜本的な見直しを行ったうえで，大規模災害・原子力災害への対策を毎年強化してきたところである．

3.2　大規模地震対策

大規模な被害が想定される南海トラフ地震，日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震，首都直下地震等については，2011 年にまとめられた中央防災会議「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」の報告等を踏まえ，それぞれ被害想定，地震対策大綱，基本計画，具体的な応急対策活動に関する計画等の策定を進めているところである．2012 ～ 2014 年度は，南海トラフ地震及び首都直下地震について，被害想定の報告，基本計画等を策定した．2015 年度は，南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告を公表した．また，日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震を対象とした被害想定の見直し，相模トラフ沿いの巨大地震等による長周期地震動対策についても検討を進めている．

南海トラフ地震については，防災対策実行会議の下に「南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応検討ワーキンググループ」を設置し，その下に設置した「南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会」においては，現在の科学的知見では確度の高い地震の予測は困難である旨，2017 年 8 月に報告書が取りまとめられた．これを受け，同ワーキンググループにおいては大規模地震対策特別措置法による現行の防災対応が適切なのか検討するとともに，異常な現象の観測時におけるその評価情報を活かした防災対応のあり方等について検討を行い，同年 9 月に報告書が取りまとめられた．これを踏まえて，南海トラフ沿いで異常な現象が観測された場合の防災対応の在り方や，防災対応を実行するに当たっての社会的な仕組み等について検討するため，2018 年 3 月，防災対策実行会議の下に「南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応検討ワーキンググループ」を設置し，同年 12 月に報告書が取りまとめられた．これを受け，2019 年 5 月，中央防災会議において，「南海トラフ地震防災対策推進基本計画」を変更し，南海トラフ地震の発生可能性が相対的に高まったと評価された場合の対策等を追加した．

3.3　水害対策

2012 年 9 月の中央防災会議において，特に首都圏に甚大な浸水被害を及ぼすと想定される利根川，荒川の洪水氾濫や東京湾の高潮浸水による大規模な水害を想定した「首都圏大規模水害対策大綱」が決定されたことを踏まえ，大規模な氾濫が発生する前の避難準備及び避難のあり方，大規模な氾濫が発生した後の応急対応のあり方等について検討を進めることとされている．また，2015 年 9 月に発生した関東・東北豪雨災害を受けて防災対策実行会議の下に設置された「水害時の避難・応急対策検討ワーキンググループ」の最終報告（2016 年 3 月）では，実効性のある避難計画の策定や適切な避難行動を促す情報伝達について提言がなされた．一方，三大都市圏をはじめとする人口稠密地域における大規模水害発生時の避難の在り方については，今後の検討課題とされた．これらを踏まえ，内閣府では，避難時の大混雑や多数の孤立者の発生が懸念される首都圏等における洪水や高潮氾濫からの大規模かつ広域的な避難の在り方について，防災対策実行会議の下に「洪水・高潮氾濫からの大規模・広域避難検討ワーキンググループ」を立ち上げて検討し，2018 年 3 月に報告書を取りまとめた．2018 年度からは，東京都とともに「首都圏における大規模水害広域避難検討会」を設置し，大規模・広域避難の実装に向けた検討を進めている．

平成 30 年 7 月豪雨を教訓とし，避難対策の強化を検討するため，防災対策実行会議の下に設置した「平成 30 年 7 月豪雨による水害・土砂災害からの避難に関するワーキンググループ」では，2018 年 12 月に，住民は「自らの命は自らが守る」との意識を持ち，地域の災害リスクやとるべき避難行動等を把握することとともに，行政は住民が適切な避難行動をとることができるよう，避難に関する情報等をわかりやすく提供することとの提言がなされた．本提言を踏まえ，2019 年 3 月に「避難勧告等に関するガイドライン」を改定した．

3.4　総合防災訓練大綱

総合防災訓練大綱は，防災訓練を総合的かつ計画的に実施する際の指針を示すとともに，防災訓練を通じて，より多くの国民が防災や減災に関する意識を高めることができるよう，国等の防災関係機関が訓練を実施する際の基本的な考え方を示すものであり，毎年度，実災害で明らかとなった課題や社会状況等を踏まえた見直しを行い，中央防災会議において決定している．

この 10 年においては，東日本大震災，平成 28 年熊本地震，平成 30 年 7 月豪雨等の災害対応を踏まえた見直しを行い，平成 28 年度総合防災訓練大綱からは計画的･体系的な訓練実施のための防災訓練中期計画を作成する等の見直しを行ってきた．

その結果，令和元年度総合防災訓練大綱では，

① 政府における総合防災訓練等として，地震･津波災害，風水害，火山災害，雪害，事故災害，原子力総合防災，業務継続計画検証，大規模地震時医療活動，緊急輸送のための交通確保，物資の調達・供給，在日米軍等と連携，被災市区町村への応援職員派遣に関する訓練の実施，

② 地方公共団体等における防災訓練等の方針

が定められている．

4．防災対策実行会議の活動状況

2013 年に設置された防災対策実行会議は，持ち回り開催も含めて 2019 年 3 月までに計 13 回開催されており，開催状況は表 2 のとおりである．

表 2　防災対策実行会議の開催状況

2013 年度	
2013.6.14（第 1 回）	○会議の趣旨、今後の進め方　等
2013.8.16（第 2 回）	○各防災機関、企業団体等における業務継続体制の在り方　等
2013.12.24（第 3 回）	○首都直下地震対策検討WG最終報告及び政府業務継続計画案　等
2014.3.18（第 4 回）	○南海トラフ地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法関係　等
2014 年度	
2014.7.29（第 5 回）	○災害対策標準化WGの設置について ○防災関連調査研究の戦略的推進WGの設置について　等
2014.10.20（第 6 回）	○総合的な土砂災害対策検討WGの設置について ○火山防災対策推進WGの設置について　等
2015 年度	
2015.10.26（第 7 回）	○水害時の避難・応急対策検討WGの設置について
2016 年度	
2016.6.28（第 8 回）	○洪水・高潮氾濫からの大規模・広域避難検討WGの設置について ○南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応検討 WG の設置について 等
2016.7.26（第 9 回）	○熊本地震を踏まえた応急対策・生活支援策検討WGの設置について
2017 年度	
2017.9.26（第 10 回）	○南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応のあり方について 等
2018.3.27（第 11 回）	○南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応検討WGの設置について 等
2018 年度	
2018.8.31（第 12 回）	○平成 30 年 7 月豪雨による水害・土砂災害からの避難に関するWGの設置について、 ○大規模噴火時の広域降灰対策の検討WGの設置について
2019.1.8（第 13 回）	○平成 30 年 7 月豪雨を踏まえた水害・土砂災害からの避難のあり方について、 ○南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応のあり方について 等

防災対策実行会議の下には，2019 年 3 月時点で 2 つの WG が設置されており，その活動の概要は以下のとおり．

4.1　標準化推進ワーキンググループ

災害時において，関係機関が円滑かつ効率的な災害対応を行うために，2015 年 3 月に災害対策標準化推進ワーキンググループを設置し，災害対策の標準化に向けた検討を進めてきた．これまでに，災害時の業務継続等に関する事項や災害対応業務に関する事項，マネジメントに関する事項について整理を行うとともに，関係機関の情報の共有及び利活用について特に優先して検討を進めるため，2017 年にこのワーキンググループの下に『国と地方・民間の「災害情報ハブ」推進チーム』を設置し，迅速かつ効率的な情報収集，共有のための標準的な手順を検討している．

4.2　降灰ワーキンググループ

大規模噴火時には山麓のみならず，火山から離れた遠隔地域においても火山灰が堆積し，国民生活，社会経済活動に大きな混乱が生じることが懸念されている．このことから，2018 年 8 月に防災対策実行会議の下に設置した「大規模噴火時の広域降灰対策検討ワーキンググループ」において，都市機能が集積した首都圏等を含む広域な地域における大規模噴火時の応急対策の在り方等を検討している．

なお，これまでに調査を終えたワーキンググループは 10 あり（2019 年 3 月現在），その概要は表 3 のとおりである．

（伊藤　慶矢）

表 3　既に調査を終えた WG

名称	設置　～　報告とりまとめ
首都直下地震対策検討WG	2012年3月7日～2013年12月24日（※）
防災関連調査研究の戦略的推進WG	2014年7月29日～2017年4月11日
総合的な土砂災害対策検討WG	2014年10月20日～2015年6月4日
火山防災対策推進WG	2014年10月20日～2015年3月26日
水害時の避難・応急対策検討WG	2015年10月26日～2016年3月31日
洪水・高潮氾濫からの大規模・広域避難検討WG	2016年6月28日～2018年3月27日
南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応検討WG	2016年6月28日～2017年9月26日
熊本地震を踏まえた応急対策・生活支援策検討WG	2016年7月26日～2016年12月20日
南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応検討WG	2018年3月27日～2019年1月8日
平成30年7月豪雨による水害・土砂災害からの避難に関するWG	2018年8月31日～2019年1月8日

※首都直下地震対策検討WGについては、当初、中央防災会議防災対策推進検討会議の下に設置されていたが、同会議の廃止に伴い、2013年6月に防災対策実行会議の下に移管。

4．南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会 / 地震防災対策強化地域判定会

気象庁

1．はじめに

気象庁では，1978 年に制定された大規模地震対策特別措置法及び同法による地震防災対策強化地域の指定に対応するため，1979 年より約 40 年間，地震防災対策強化地域判定会（以下「判定会」という）を運用し，東海地域を対象に地震予知に基づく情報を発表する体制を整えてきた．しかし，東北地方太平洋沖地震の発生をきっかけとした地震の予測可能性の検証や南海トラフ地震に対する新たな防災対策の議論の結果，判定会に加えて南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会(以下「評価検討会」という）を新たに開催し，南海トラフ全域を対象に不確実性を前提とする情報を発表する体制に移行するという，大転換点を迎えた．この 10 年の歩みを，以下時系列に沿って整理した．これ以前の経緯については，「地震予知連絡会 40 年のあゆみ」等を参考いただきたい．また，この 10 年間に判定会及び評価検討会が評価した主な地震及び地殻活動については，本誌第 2 部を参考いただきたい．

2．「東海地震に関連する調査情報」の提供開始（2011 年）

気象庁では，「東海地震に関連する情報」について，2004 年 1 月 5 日から東海地震予知情報，東海地震注意情報，東海地震観測情報の 3 種類の情報を発表する体制となっていた．しかし，2009 年 8 月 11 日に駿河湾で発生した地震に対して東海地震観測情報を発表した際に「情報名称から，東海地震が発生（したことを観測）したときの情報と思った」等の指摘があったことから，気象庁では，有識者による「東海地震に関連する情報の理解促進のための検討会」を開催し情報名称等の検討を行った．その結果，「東海地震観測情報」を「東海地震に関連する調査情報」と名称変更するのが適切である等の提言を受けた．

この提言等を踏まえて，2011 年 3 月 24 日から，「東海地震観測情報」を「東海地震に関連する調査情報（臨時）」に名称変更するとともに，従来は報道発表のみだった定例の判定会の調査結果を「東海地震に関連する調査情報（定例）」として発表することにした（情報名の変遷は図 1 も参照）．また，3 つの情報は，各情報の危険度に応じ，赤・黄・青のカラーレベルを情報文に示すことにした．

3．中央防災会議における新たな防災対応の検討

詳細は第 3 部「3．中央防災会議」を参考いただきたいが，ここでは 3.1 で大きな検討の流れを俯瞰した上で，3.2 以降で予測可能性等，地震学的な点に特に絞って検討の詳細を記述する．

3.1　中央防災会議での検討経過

中央防災会議では，2011 年 3 月の東北地方太平洋沖地震をきっかけに，2012 年 3 月に「南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ」を設置して，南海トラフ地震に対する防災対策についても見直しの検討を開始した．このワーキンググループの下に地震の予測可能性等を検討するための有識者会議「南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会」（座長：山岡耕春 名古屋大学大学院環境学研究科・教授，以下「調査部会」という）が設置され，2013 年 5 月にそれぞれが報告書をとりまとめた．[1)2)]

その後，現状の予測可能性を踏まえた南海トラフ地震に対する防災対応を検討するために 2016 年 6 月に中央防災会議の下に「南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応検討ワーキンググループ」が設置され，この下に調査部会が再設置され，2017 年 8 月に調査部会が，翌 9 月にワーキンググループが報告書をとりまとめた．[3)4)]

このワーキンググループを引き継ぎ，より具体的な防災対応を検討するために 2018 年 3 月に新たに「南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応検討ワーキンググループ」が設置され（以下，この二つのワーキンググループをあわせて「南海トラフ WG」という），その下に防災対応をとるべき現象の基準を検討するために「防災対応のための南海トラフ沿いの異常な現象に関する評価基準検討部会」（座長：山岡耕春 名古屋大学大学院環境学研究科･教授）が設置され（以下「基準検討部会」という），それぞれが 2018 年 12 月に報告書をとりまとめた．[5)6)]

この報告書に基づく防災対応を自治体や企業が実施する際の参考となるよう，2019 年 3 月に内閣府が「南海トラフ地震の多様な発生形態に備えた防災対応検討ガイドライン」（以下「ガイドライン」という）をとりまとめる [7)] とともに，2019 年 5 月の中央防災会議において，南海トラフ WG で整理された事項を盛り込む南海トラフ地震防災対策推進基本計画（以下「基本計画」という）の変更が行われた．

3.2　大規模地震の予測可能性

前述の通り中央防災会議では，2011 年の東北地方太平洋沖地震をきっかけに，南海トラフ地震に対する防災対策についてもワーキンググループを設置して見直しの検討を開始した．この検討では，想定する巨大地震の発生時期が予測できるか否かが重要な論点となることが見込まれ，以下の趣旨で「南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ」の下に調査部会が設置された．

想定東海地震は数時間～数日前の直前予知の可能性がある我が国で唯一の地震とされており，仮に，現行の観測体制と知見に基づき想定東海地震の前兆すべりが検出された場合に，それによって発生する地震が，想定東海地震にとどまるのか，南海トラフ地震につながるものとするのかによって，直前予知がなされた際の地震防災応急対策をとるべき対象地域が変わることになる．そのため，科学的知見を整理した上で，想定東海地震の前兆すべりが検出された場合に想定東海地震と連動して地震が発生する範囲の考え方や，そもそも南海トラフの巨大地震の発生時期の予測可能性について，現時点における科学的知見を収集，整理することが重要である．

調査部会は，2013 年 5 月 28 日に一度報告書をとりまとめた後，その後の最新の知見を踏まえた検討を行い，その結果を 2017 年 8 月 25 日にとりまとめている．後者の報告書における予測可能性についての特に重要な指摘を以下に抜粋する．

・地震の規模や発生時期の予測は不確実性を伴い，直前の前駆すべりを捉え地震の発生を予測するという手法により，地震の発生時期等を確度高く予測することは困難である．
・これまで観測されたことがない前駆すべりを含め，プレート間の固着状態の変化を示唆する現象が発生している場合，ある程度規模が大きければ検知する技術はあり，検知された場合には，定性的には地震発生の可能性が高まっていることは言えるであろう．
・現時点においては，地震の発生時期や場所・規模を確度高く予測する科学的に確立した手法はなく，大規模地震対策特別措置法に基づく警戒宣言後に実施される現行の地震防災応急対策が前提としている確度の高い地震の予測はできないのが実情である．このことは，東海地域に限定した場合においても同じである．

この報告書をきっかけに，東海地域を含む南海トラフ全域について，突発的に大規模地震が発生する前提に立った防災対応がより強く推進され，これに加えて，南海トラフ全域を対象として不確実ではあるものの，地震発生の可能性が相対的に高まっているという情報を活用した防災対応の検討が進められた．

3.3　南海トラフで発生しうる典型的な 4 つのケース

調査部会では，確度の高い予測は困難とする一方で，南海トラフで発生する大規模地震に対して，事前に言えることはまったくないのか，という観点でも議論を行った．そして，2017 年の報告書で，南海トラフ沿いで観測される可能性が高く，かつ大規模地震につながる可能性がある現象として社会が混乱するおそれがあると思われる 4 つの事例について検討が行われた．特に，防災対応に活かすには，予測可能性を定量的に評価できることが望ましいという要請から，下記のケース 1，2 については，世界中の過去の地震事例から統計的な評価を行うことで，定量的な評価を試みた．

元々の問題意識は，昭和や安政の南海トラフ地震のように，時間差をもって大規模地震が発生した場合に，最初の大規模地震の発生後，次の大規模地震に備えてどのような防災対応が可能か，という観点であった．これは，下記の 4 類型のうち，ケース 1 として検討が行われた．

（ケース 1）南海トラフの東側の領域で大規模地震が発生した場合 [8]
⇒全世界で 1900 年以降に発生した M8.0（本稿の中では，特に断りがない限り M は Mw を指す）以上の地震 96 事例のうち，3 日以内に 10 事例で隣接領域で同程度の地震が発生 [9]．その後の発生頻度は時間とともに減少．
（ケース 2）南海トラフ沿いで M7 クラスの地震が発生した場合
⇒全世界で 1900 年以降に発生した M7.0 以上の地震 1368 事例のうち，7 日以内に 24 事例で同じ領域で同規模以上の地震が発生 [9]．その後の発生頻度は時間とともに減少．
（ケース 3）ゆっくりすべりや前震活動などの現象が多種目で観測されている場合
⇒短期的に大規模地震の発生につながると直ちに判断できない．
（ケース 4）東海地震予知情報の判定基準とされるようなプレート境界面での前駆すべりや，これまで観測されたことがないような大きなゆっくりすべりが見られた場合
⇒地震発生の可能性が相対的に高まっているといった評価はできるが，現時点において大規模地震の発生の可能性の程度を定量的に評価する手法や基準はない．

3.4　南海トラフ地震に対する新たな防災対応

中央防災会議の下に設置された南海トラフ WG では，前述の調査部会の整理を踏まえて，それぞれのケースで，どのような防災対応を，どの程度の期間取るべきか検討を進めた．特に，防災対応の検討では，大規模地震の発生可能性の高低によって，適切な防災対応は異なるのではないかという議論から，最終的には，2018 年 12 月 25 日に公表された報告書において，過去の地震事例に基づく統計的な評価から大規模地震が発生する可能性がもっとも高いケース 1（本報告書で「半割れ（大規模地震）/ 被害甚大ケース」と呼ばれた）では地域によっては 1

週間の避難を求めるべきであるとした（この防災対応は，ガイドラインでは「巨大地震警戒対応」と呼ばれた）．一方，定量的な評価ができるものの，過去の地震事例によれば，ケース 1 と比べて大規模地震が発生した頻度が一桁小さいケース 2（同，「一部割れ（前震可能性地震）/ 被害限定ケース」）と，定量的な評価ができないケース 4（同，「ゆっくりすべり / 被害なしケース」）が同じ水準の防災対応と整理され，避難は求めず日頃からの地震への備えの再確認をするべきとした（この防災対応は，ガイドラインでは「巨大地震注意対応」と呼ばれた）．

各ケースに対応した防災対応を実施するためには，発生した現象がどのケースに該当するか速やかに決定する必要がある．そこで，基準検討部会が設置され，各ケースと評価する基準について検討を行った．

2018 年 12 月 25 日に基準検討部会がとりまとめた報告書では，「地震学の知見のみからは，評価基準となるしきい値を明示することは難しい」という前提のもと，南海トラフ WG がしきい値について検討できるよう，様々な M の地震について，地震活動の統計モデルに基づく大規模地震につながる確率やスケーリング則に基づく破壊域の面積等を推定したほか，想定震源域周辺を含めた監視すべき領域の範囲や基準より小さな地震が連発した場合の評価方法等，実際に南海トラフ沿いで地震活動や地殻変動を監視・評価する際に必要になる様々な論点についても整理が行われた．

2018 年の南海トラフ WG の報告書では，基準検討部会の検討を踏まえ，南海トラフで発生した大規模地震の中で規模が最小である昭和東南海地震の M8.2[10] を基準に，この規模の地震を捕捉できるよう，M の推定誤差を見込んだ M8.0 を巨大地震警戒対応の下限とし，想定震源域内のプレート境界において発生する後発地震の発生確率が M8.2 の地震と比較して 10 分の 1 程度となる M7.0 の地震を巨大地震注意対応の下限値とする考え方が示された．

これら南海トラフ WG で整理された事項を盛り込む，南海トラフ地震防災対策推進基本計画の変更が 2019 年 5 月 31 日の中央防災会議において行われ，東北地方太平洋沖地震後の一連の南海トラフ地震に対する防災対応の見直しの検討は，まずは一通りの整理を終え，これに基づく具体的な各地域における新しい防災対応の検討が進められている．

4．中央防災会議の検討を受けた気象庁の対応

4.1　南海トラフ地震に関連する情報の提供開始と南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会の開催（2017 年）

2017 年 9 月 26 日に南海トラフ WG が報告書をとりまとめた際は，調査部会による「大規模地震対策特別措置法に基づく警戒宣言後に実施される現行の地震防災応急対策が前提としている確度の高い地震の予測はできないのが実情である」という報告が前月にとりまとめられたばかりで，前述のような新しい防災対応の詳細はまだ決まっていなかった．しかし，いつ南海トラフ地震が発生するかわからないという観点で，同報告書では，南海トラフ沿いで発生する大規模地震につながる可能性がある現象を観測し，その分析や評価結果を防災対応に活かすことができるよう，適時的確な情報の発表に努めることが重要であり，また，国・地方公共団体はあらかじめ当面の暫定的な防災体制を定めておく必要があると指摘された．

この指摘を受けて，報告書がとりまとめられた同じ日に，中央防災会議幹事会が開催され政府の当面の防災対応が整理され，気象庁では，2017 年 11 月 1 日から前述ケース 1，2，4 として整理されたような現象が発生した際に南海トラフ地震の発生可能性が高まった旨等を伝える「南海トラフ地震に関連する情報（臨時）」の発表を開始した．これに伴い，東海地震のみに着目した情報（東海地震に関連する情報）の発表は行わないこととした．1979 年の大規模地震関連情報以降，約 40 年間，東海地震について観測結果に基づく予知や注意喚起の情報を発表する事象が発生することはなかった．なお，2004 年に 3 段階の情報体系（東海地震予知情報，東海地震注意情報，東海地震観測情報）に改めた以降では，2. でも触れた 2009 年の駿河湾の地震の際に，東海地震観測情報として，想定される東海地震との関連性について調査した結果，東海地震に結びつく地震ではないと評価した旨を発表したことがある．

また，2017 年の南海トラフ WG の報告書では，地震発生時の破壊領域の広がりやプレート間の固着状態の変化を示唆する現象の評価等を緊急に実施するために，気象庁に，迅速に対応できる学識経験者による評価体制の整備が必要であると指摘された．これを踏まえ気象庁では，新しい情報の運用開始にあわせ，南海トラフ地震の想定震源域全体を評価対象とする新たな評価体制として「南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会」を開催することとした．これまで定例の判定会の評価結果を「東海地震に関連する調査情報（定例）」として発表していたのと同様に，定例の評価検討会の評価結果を「南海トラフ地震に関連する情報（定例）」として発表すること

表1　2009 年度～ 2018 年度における地震防災対策強化地域判定会及び
南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会の会長及び委員の変遷

地震防災対策強化地域判定会						
2008 年度末	阿部勝征会長	島崎邦彦委員	吉井敏尅委員	加藤照之委員	平田直委員	吉田明夫委員
2012 年 4 月 1 日	阿部勝征会長	島崎邦彦委員	加藤照之委員	平田直委員	吉田明夫委員	小原一成委員
2012 年 9 月 11 日	阿部勝征会長	加藤照之委員	平田直委員	吉田明夫委員	小原一成委員	
2012 年 12 月 1 日	阿部勝征会長	加藤照之委員	平田直委員	吉田明夫委員	小原一成委員	大久保修平委員
2016 年 4 月 1 日	平田直会長	加藤照之委員	小原一成委員	大久保修平委員	横田崇委員	古村孝志委員
南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会　及び　地震防災対策強化地域判定会						
2017 年 11 月 1 日	平田直会長	加藤照之委員	小原一成委員	大久保修平委員	横田崇委員	古村孝志委員
2018 年 4 月 1 日	平田直会長	小原一成委員	大久保修平委員	横田崇委員	古村孝志委員	山岡耕春委員
2019 年 4 月 1 日	平田直会長	小原一成委員	横田崇委員	古村孝志委員	山岡耕春委員	加藤尚之委員

とし，2017 年 11 月 27 日に開催された第 1 回評価検討会において，初めて「南海トラフ地震に関連する情報（定例）」を発表した．また，「南海トラフ地震に関連する情報（臨時）」は，後述の情報発表体系が替わる 2019 年 5 月 31 日までの間，一度も発表されなかった．

なお，評価検討会委員は判定会委員も兼ねて，従来の東海地域を対象とした判定会と一体となって検討を行う体制とした．

この 10 年間の判定会及び評価検討会の委員の変遷は表 1 を参照いただきたい．

4.2　南海トラフ地震臨時情報の提供開始（2019 年）

2018 年の南海トラフ WG の報告書では，世界の統計から，最初の地震発生直後ほど，さらなる地震発生の可能性が高くなっていることを踏まえ，可能な限り早い段階から情報提供を行い，情報に注意する旨を住民や企業等に対し，周知する必要があるとされた．これを受けて，気象庁では地震発生後 5 ～ 30 分後に，まず調査を開始した旨の情報を発表し，その後，評価検討会の評価結果を地震発生後最短 2 時間後に発表することとした．後者の発表後，国から地方公共団体への指示や，地方公共団体等が予め定めた地域防災計画等に基づく防災対応が実施される．上述のように防災対応が変わるきっかけとなる情報を「南海トラフ地震臨時情報」という新たな名前で発表し，「南海トラフ地震臨時情報」発表後の地震活動や地殻変動の状況の推移や，評価検討会の定例会合での評価結果を発表する場合は「南海トラフ地震関連解説情報」という名前で発表することとした（両情報をあわせた総称を「南海トラフ地震に関連する情報」とする）．

このうち，「南海トラフ地震臨時情報」については，情報の受け手が防災対応をイメージし，適切に実施できるよう，防災対応等を示すキーワードを情報名に付記することとした．このキーワードはガイドラインで用いられている用語を踏まえた次の 4 種類である．各キーワードを付した情報を発表する条件は基本計画で整理されている．

(1) 調査中

観測された異常な現象が南海トラフ沿いの大規模な地震と関連するかどうか調査を開始した場合，または調査を継続している場合

(2) 巨大地震警戒

南海トラフ沿いの想定震源域内のプレート境界において M8.0 以上の地震が発生したと評価した場合

(3) 巨大地震注意

・南海トラフ地震の想定震源域内のプレート境界において M7.0 以上，M8.0 未満の地震が発生したと評価した場合
・想定震源域のプレート境界以外や，想定震源域の海溝軸外側 50km 程度までの範囲で M7.0 以上の地震が発生したと評価した場合 [11)]
・ひずみ計等で有意な変化として捉えられる，短い期間にプレート境界の固着状態が明らかに変化しているような通常とは異なるゆっくりすべりが観測された場合

(4) 調査終了

巨大地震警戒，巨大地震注意のいずれにも当てはまらない現象と評価した場合

このような内容の追加を含む基本計画の変更が 2019 年 5 月 31 日に行われたことを受けて，気象庁では，地方公共団体や企業等がこの基本計画に基づく防災対応をすぐにでも実施できるように，同日より，新たに「南海トラフ地震臨時情報」と「南海トラフ地震関連解説情報」の提供を開始した．基本計画変更後，初めて開催された 2019 年 6 月 7 日の評価検討会の定例会合において，初めて「南海トラフ地震関連解説情報」を発表した．

<table>
<tr><th>実施期間</th><th colspan="5">情報の種類</th></tr>
<tr><td>1979(昭和54)年8月7日
～
1998(平成10)年12月15日</td><td>大規模地震関連情報</td><td>判定会招集連絡報</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">1998(平成10)年12月16日
～
2004(平成16)年1月4日</td><td rowspan="2">大規模地震関連情報</td><td rowspan="2">判定会招集連絡報</td><td colspan="2">東海地域の地震・地殻活動に関する情報</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>観測情報</td><td>解説情報</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2004(平成16)年1月5日
～
2011(平成23)年3月23日</td><td colspan="5">東海地震に関連する情報</td></tr>
<tr><td>（警戒宣言後の情報）
東海地震予知情報</td><td>東海地震注意情報</td><td colspan="2">東海地震観測情報</td><td></td></tr>
<tr><td>2011(平成23)年3月24日
～
2017(平成29)年10月31日</td><td>（警戒宣言後の情報）
東海地震予知情報</td><td>東海地震注意情報</td><td>東海地震に関連する調査情報(臨時)</td><td>東海地震に関連する調査情報(定例)</td><td></td></tr>
</table>

東海地域のみに着目した情報から

南海トラフ全域に対する情報へ

<table>
<tr><td rowspan="2">2017(平成29)年11月1日
～
2019(令和元)年5月30日</td><td colspan="2">南海トラフ地震に関連する情報</td></tr>
<tr><td>南海トラフ地震に関連する情報(臨時)</td><td>南海トラフ地震に
関連する情報(定例)</td></tr>
<tr><td>2019(令和元)年5月31日
～</td><td>南海トラフ地震臨時情報</td><td>南海トラフ地震
関連解説情報</td></tr>
</table>

図 1　東海地震・南海トラフ地震に関連する情報名の変遷

参考文献および注

1）中央防災会議 防災対策実行会議 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ，2013, 南海トラフ巨大地震対策について（最終報告）.

2）南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会 ,2013, 南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性について.

3）中央防災会議 防災対策実行会議 南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応検討ワーキンググループ，2017, 南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応のあり方について（報告）.

4）南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会，2017, 南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性について　※ 2013 年の報告書を基に，必要な追記をする形で作成された.

5）中央防災会議 防災対策実行会議 南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応検討ワーキンググループ, 2018, 南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応のあり方について（報告）.

6）中央防災会議 防災対策実行会議 南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応検討ワーキンググループ 防災対応のための南海トラフ沿いの異常な現象に関する評価基準検討部会，2018, 防災対応のための南海トラフ沿いの異常な現象に関する評価基準検討部会とりまとめ.

7）内閣府（防災担当），2019, 南海トラフ地震の多様な発生形態に備えた防災対応検討ガイドライン【第 1 版】.

8）調査部会の報告書や 2017 年の南海トラフ WG の報告書では，脚注で「南海トラフにおいては，過去に西側の領域が先に破壊した明確な事例は確認されていないが，その可能性を否定するものではないことに留意」と書くに止めていたが，東側の方が先に破壊されやすいという科学的根拠があるわけではないので，それ以降の議論では，よりニュートラルに南海トラフで M8 以上の地震が発生した場合という書き方になった.

9）ケース 1，2 に該当する事例数は，その後，最新の統計データに基づき精査され，2018 年の南海トラフ WG の報告書ではケース 1：103 事例中 3 日以内に 6 事例，ケース 2：1437 事例中 7 日以内に 6 事例と改められた.

10）津波の痕跡等に対するインバージョン解析で求めた断層モデルを参考にして求めた値．計算方法の詳細は基準検討部会の報告書 P.22 参照.

11）基準検討部会の報告書で，このような地震もプレート境界で発生する地震に比べ直接的な影響は少ないと考えられるものの，プレート境界に影響を与えると考えられ注意することが重要であると指摘されたことによる措置.

5．東京大学地震研究所　地震・火山噴火予知研究協議会

1．地震及び火山噴火予知のための観測研究計画（平成 21 ～ 25 年度）

1.1　地震研究計画と火山噴火研究計画との統合

平成 21 年度から，それまで独立に行われてきた地震予知研究計画（昭和 40 年開始）と火山噴火予知計画（昭和 49 年開始）が統合され，「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」が 5 ヶ年計画で開始した．地震と火山噴火は，一方が地下の岩石の脆性的な破壊現象であるのに対して，もう一方はマグマの上昇と噴出という異なる現象であるが，日本列島周辺では，海洋プレートが大陸プレートの下に沈み込むことにより，プレート境界や内陸で地震が発生し，また日本列島の地下の上部マントルではマグマが生成され火山活動に至るなど，地震と火山噴火は地球科学的に共通のバックグラウンドで理解される．そのため，観測項目や解析手法の一部が共通であると同時に，長い発生間隔に適した長期の観測データを効率的に蓄積するデータベースが重要であるなど，両研究計画を統合して実施する利点が多くある．相互の研究分野の長所を取り入れて研究の幅を広げることにより，地震及び火山噴火予知研究の両方を一層発展させることを目指して，両研究計画の統合が行われた．

この統合に先立ち，これまで別々であった地震予知研究協議会（昭和 53 年設置）と火山噴火予知研究協議会（平成 12 年設置）を平成 18 年 5 月に統合し，地震・火山噴火予知研究協議会（以下「予知協議会」）が発足した．この予知協議会は，地震及び火山噴火予知研究を行っている全国の 12 大学・研究機関の連携と協力関係を強化し，「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」（科学技術・学術審議会が建議）で立案された研究を推進することを目的としている．

この建議に基づく予知研究全体を円滑に実施するため，予知協議会の下に研究計画の企画，立案，調整を行う企画部が設けられている．東京大学地震研究所の教員数名（内 1 名は予知研究流動的教員）と，他大学所属の 2 名の客員教員で構成された．更に，全国の大学の研究者が独自の発想で実施する個別研究を，建議に書かれた項目に区分し，項目毎に効率的かつ調和的に予知研究を推進するために，12 の計画推進部会が設置された．平成 22 年には文部科学省より地震研究所が地震火山科学の「共同利用･共同研究拠点」に認定されたことに伴い，予知協議会は地震火山噴火に関する研究を大学間の緊密な連携のもとで進める上でより重要な組織となった．

1.2　東北地方太平洋沖地震後の見直し

本研究計画の成果があがりつつあった平成 23 年 3 月に東北地方太平洋沖地震が発生した．この地震はマグニチュード 9.0 の超巨大地震であったが，それまでこのような超巨大地震発生の可能性についてほとんど追求されていなかった．予知協議会では地震発生直後に，大学が実施する研究計画の一部を変更し，この地震について解明するための観測研究を開始した．

平成 24 年 3 月に，「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」の実施状況等のレビューについて，科学技術・学術審議会　測地学分科会から報告されたが，予知協議会はその報告書の作成や評価のための資料作成の実務を担った．

その後実施された外部評価（平成 24 年 10 月）では，「東北地方太平洋沖地震のような超巨大地震やこれに伴う大規模な津波の発生による被害軽減に貢献できなかったことは大きな課題として捉えなければならない」と指摘された．一方，世界の地震学・火山学をリードする研究成果もあること，及び地震研究と火山噴火研究が統合されたことにより研究資源の供用や両研究分野における研究者の共同研究が促進されたことなどが高く評価された．

平成 24 年 11 月に，「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の見直しについて」が科学技術・学術審議会から建議された．そこでは，超巨大地震の発生機構とそれに起因する現象を解明するために速やかに実施すべき観測研究を推進することが提示された．

2．災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（平成 26 ～ 30 年度）

2.1　災害科学を取り込んだ計画

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」（科学技術・学術審議会が建議）が平成 26 年度から 5 ヶ年計画で進められた．前観測研究計画では，全国の研究者は地震及び火山噴火の現象解明や予測のための研究を行ってきたが，東北地方太平洋沖地震により，超巨大地震の研究が不十分であることが明らかになった．また，地震や火山噴火に関する科学的理解を災害軽減に役立てるための研究の重要性が強く認識された．このような課題を解決するために，新しい観測研究計画は，史料・考古データに基づき過去の巨大地震や巨大噴火を解明する研究や，工学や社会科学に基づく災害科学研究を取り込んだものとなった．

工学，人文・社会科学分野との連携を強化したことに伴い，予知協議会への参加機関が増え，15 大学，1 研究機関となった．平成 28 年からは，それまでオブザーバ参加だった行政機関・研究開発法人が正規参加となり，国土地理院や気象庁の研究者も予知研究流動的教員として選出されるようになった．予知協議会のもとには，

個々の研究課題が全体の観測研究計画と調和的に推進されるように企画部，計画推進部会，予算委員会が置かれていたが，本計画開始時に，観測研究計画全体を調和的に推進するため企画部のもとに戦略室が設置された（図 1）．また，計画推進部会は，建議の多項目にわたって横断的に研究を推進することを意識し，8 部会からなる構成とした．

毎年度末に開催している成果報告シンポジウムでは，全国の研究者による研究発表やそれに基づく討論が行われ，研究計画全体の進捗状況を参加研究者が共通に理解し，さらに研究を推進させるための重要な場となっている．予知連絡会では毎回，大学から研究報告がなされているが，その多くは本観測研究計画による成果である．また，平成 31 年 3 月に開催された「地震予知連絡会 50 周年記念企画公開シンポジウム」では予知協議会が共催した．

2.2　京都大学防災研究所との拠点間連携共同研究

本観測研究計画では地震・火山の研究成果を災害軽減に役立てることを重要な目標としている．これを実現するために，地震研究所と自然災害に関する総合防災学の共同利用・共同研究拠点である京都大学防災研究所が連携して，地震・火山に関する理学研究と防災に関する工学・社会科学研究を融合した新たな研究を推進していくこととなった．両拠点の連携研究を進めるために，地震研究所と防災研究所で拠点間連携共同研究委員会を設置して共同研究の内容を検討したうえで，南海トラフ巨大地震の災害リスク等に関する共同研究を開始した．

2.3　外部評価

平成 29 年 1 月に実施状況等のレビュー報告書が出され，平成 29 年 7 月に外部評価が行われた．ゆっくり滑りと大地震の発生の関係を発見するなど，世界の地震学・火山学をリードする研究成果をあげていることが高く評価された．また，災害軽減につなげることを強く意識して関連研究分野（歴史学，考古学，防災に関連する工学，人文・社会科学）との連携を強め，積極的に新たな挑戦を行い，災害科学の一部としての一歩を踏み出したことが評価された．さらに，京都大学防災研究所との拠点間連携共同研究を推進するために，組織的な連携研究体制が構築されてきたことも高く評価された．一方，災害の軽減に貢献することを意識した研究の推進が必ずしも十分でないので，そのような研究を一層推進するよう求められた．

3．災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 2 次）

平成 31 年より「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 2 次）」が始まった．本研究計画からは，防災リテラシー向上のための研究にも新たに取り組み，また，分野横断型の総合的な研究を強化することとなった．全国の大学・研究機関の研究者は，予知協議会のもとに集結し連携・協力しながら，地震調査研究推進本部などとの連携もさらに進めて，観測研究計画を実施している．

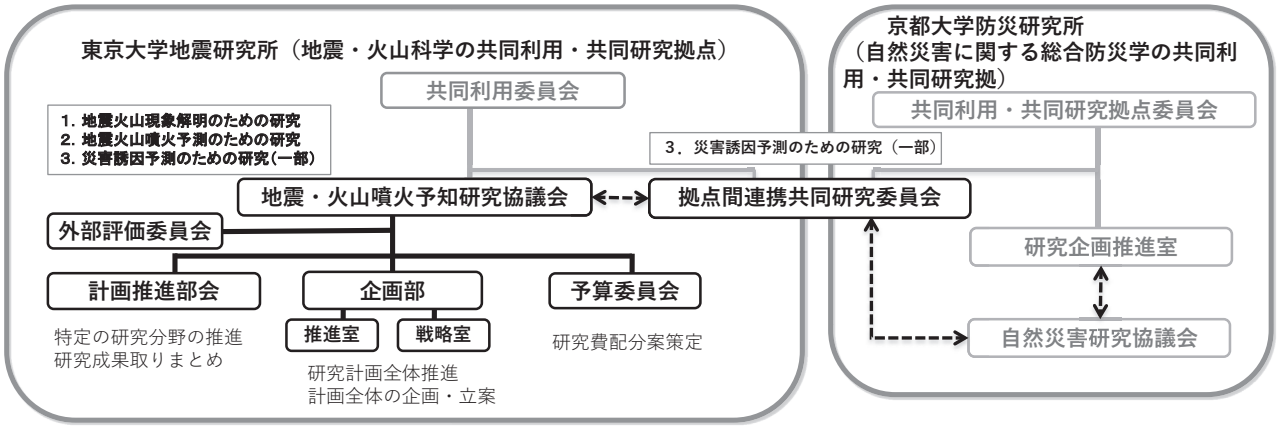


図 1　地震・火山噴火予知研究協議会の体制

（吉田　真吾）

第 4 部

参 考 資 料

1．年表

年　月　日	地震予知連絡会の活動	関連組織の動き	主な地震
1962 年 1 月		地震予知計画研究グループが「地震予知－現状とその推進計画」（ブループリントを公表）	
1963 年 5 月		文部省測地学審議会に地震予知部会を設置	
1963 年 10 月 1 日		日本学術会議は「地震予知研究推進について」を勧告	
1964 年 6 月 16 日			新潟地震（M7.5）
1964 年 7 月 18 日		測地学審議会「地震予知研究計画の実施について」を建議（第 1 次計画）	
1965 年 3 月		日本学術会議は地球物理学研究連絡委員会に地震予知小委員会を設置，第 1 次地震予知研究 5 ヵ年計画を立案	
1965 年 8 月 3 日			松代群発地震（最大地震 M5.4，1970 年まで）
1965 年 12 月 1 日		測地学審議会「地震予知計画の推進について」を関係各省の大臣に要望	
1966 年 5 月 12 日		「北信地域地震活動情報連絡会」発足（気象庁）	
1967 年 4 月		「海岸昇降検知センター」設置（国土地理院）	
1968 年 2 月 1 日			えびの地震（最大地震 M6.1）
1968 年 4 月 1 日			1968 年日向灘地震（M7.5）
1968 年 5 月 16 日			1968 年十勝沖地震（M7.9）
1968 年 5 月 24 日		「地震予知の推進について」閣議了解	
1968 年 7 月 16 日		測地学審議会「地震予知の推進に関する計画の実施について」を建議（第 2 次計画）	
1969 年 4 月 1 日		「地殻活動検知センター」（国土地理院）「地震予知観測センター」（東大地震研究所）が発足．「地震活動検測センター」（気象庁）活動開始（1970 年 4 月 17 日発足）	
1969 年 4 月 24 日	第 1 回地震予知連絡会（地震予知連絡会発足）		
1969 年 5 月 19 日	第 2 回地震予知連絡会（九州国見岳周辺の変動他）		
1969 年 6 月 27 日	第 3 回地震予知連絡会（房総，三浦地区の変動他）		
1969 年 9 月 26 日	第 4 回地震予知連絡会（今市付近の地震活動他）		
1969 年 11 月 28 日	第 5 回地震予知連絡会（東海地方の指定，特定観測地域他）		
1970 年 2 月 6 日	地震予知連絡会特定地域小委員会を設置		
1970 年 2 月 20 日	第 6 回地震予知連絡会（関東南部の地殻変動，松代群発地震他）（観測強化地域 1 ヵ所，特定観測地域 8 ヵ所を指定）		
1970 年 4 月 27 日	第 7 回地震予知連絡会（広島県北東部の地震活動，関東南部の調査状況他）		
1970 年 7 月 6 日	第 8 回地震予知連絡会（関東南部の地殻変動，広島県北東部の地震活動他）		
1970 年 9 月 28 日	第 9 回地震予知連絡会（関東南部の地殻変動，地震活動他）		
1970 年 11 月 30 日	第 10 回地震予知連絡会（秋田県南東部の地震活動，東海地方の地殻変動他）		
1971 年 2 月 16 日	第 11 回地震予知連絡会（関東南部の地殻変動他）		
1971 年 4 月 19 日	第 12 回地震予知連絡会（関東南部の地殻変動，新潟県南西部の地震活動他）		
1971 年 5 月		中央防災会議は「大都市震災対策推進要綱」を決定	
1971 年 6 月 28 日	第 13 回地震予知連絡会（関東南部の地震活動，地殻変動他）		
1971 年 10 月 1 日	第 14 回地震予知連絡会（北海道東部の地震活動，地殻変動他）		
1972 年 1 月 17 日	第 15 回地震予知連絡会（関東南部の地殻変動，地震活動，東海地方の地殻変動他）		

年　月　日	地震予知連絡会の活動	関連組織の動き	主な地震
1972 年 4 月 17 日	第 16 回地震予知連絡会（関東南部の地殻変動，地震活動他）		
1972 年 7 月 10 日	第 17 回地震予知連絡会（関東南部の地殻変動，地震活動他）		
1972 年 10 月 16 日	第 18 回地震予知連絡会（関東南部の地殻変動，地震活動，高田群発地震他）		
1972 年 12 月 4 日			1972 年 12 月 4 日八丈島東方沖地震（M7.2）
1973 年 1 月 22 日	第 19 回地震予知連絡会（関東南部の地殻変動，地震活動，岩木山麓群発地震他）		
1973 年 4 月 18 日		測地学審議会が改組され，地震火山部会を設置	
1973 年 4 月 19 日	第 20 回地震予知連絡会（関東南部の地殻変動，地震活動他）		
1973 年 5 月 4 日		測地学審議会地震火山部会に地震予知特別委員会を設置	
1973 年 6 月 17 日			1973 年 6 月 17 日根室半島沖地震（M7.4）
1973 年 6 月 26 日	第 21 回地震予知連絡会（根室半島沖地震，統一見解発表）		
1973 年 6 月 29 日		測地学審議会「地震予知の推進に関する第 3 次計画の実施について」を建議	
1973 年 7 月		地震予知関係諸機関の研究，観測体制の調整推進に関する中央防災会議の申し合わせ	
1973 年 8 月 23 日	第 22 回地震予知連絡会(根室半島沖地震，結論他）		
1973 年 11 月 29 日	第 23 回地震予知連絡会（東海地方の地殻変動，地震活動他）		
1974 年 2 月 28 日	第 24 回地震予知連絡会（東海地方の地殻変動他，東海地方を観測強化地域に指定）		
1974 年 5 月 9 日			1974 年伊豆半島沖地震（M6.9）
1974 年 6 月 20 日	第 25 回地震予知連絡会（伊豆半島沖地震他）		
1974 年 9 月 26 日	第 26 回地震予知連絡会（伊豆半島沖地震他）		
1974 年 11 月 7 日		地震予知研究推進連絡会議を総理府に設置（科学技術庁）	
1974 年 12 月 5 日	第 27 回地震予知連絡会（多摩川下流城の地盤隆起他）		
1974 年 12 月 27 日	地震予知連絡会会長「最近における多摩川下流地域の地盤隆起現象について」を報告		
1975 年 2 月 27 日	第 28 回地震予知連絡会（多摩川下流城の地盤隆起他）		
1975 年 5 月 6 日	第 29 回地震予知連絡会（関東南部の地殻変動，地震活動，大分県中部地震他）		
1975 年 7 月 25 日		測地学審議会は「第 3 次地震予知計画の一部見直しについて」を関係各省の大臣に建議	
1975 年 8 月 7 日	第 30 回地震予知連絡会（多摩川下流城の地震活動，地殻変動他）		
1975 年 11 月 20 日	第 31 回地震予知連絡会（関東地方及び多摩川下流城の地殻変動，地震活動他），(特定，関東，東海，北海道の各部会を設置）		
1975 年 12 月 18 日	地震予知連絡会部会運営協議会		
1976 年 1 月 9 日	特定部会（地震予知の戦略，特定地域の条件）		
1976 年 1 月 23 日	関東部会（当面の活動方針，対象地域の検討他）		
1976 年 2 月 19 日	第 32 回地震予知連絡会（伊豆半島群発地震他）		
1976 年 2 月 19 日	北海道部会（活動方針について）		
1976 年 3 月 4 日	関東部会（伊豆半島の群発地震活動について）		
1976 年 3 月 24 日	特定部会（特定地域およびの図示方法，活断層の評価・見直しのすすめ）		
1976 年 3 月 30 日	東海部会（東海部会の作業方針について）		

年　月　日	地震予知連絡会の活動	関連組織の動き	主な地震
1976 年 4 月 9 日	関東部会（伊豆半島の群発地震，南関東地震予知のまとめ）		
1976 年 5 月 19 日	関東部会（多摩川下流域の異常隆起，伊豆半島の地殻隆起）		
1976 年 5 月 24 日	第 33 回地震予知連絡会「多摩川下流域の異常隆起に関する調査結果について，伊豆半島東部における地盤隆起および群発地震について」報告		
1976 年 5 月 24 日	北海道部会（北海道東部地域の活動について）		
1976 年 6 月 22 日	北海道部会（1973 年根室半島沖地震の諸問題）		
1976 年 7 月 2 日	関東部会（伊豆半島の地殻隆起，山梨県東部地震，関東部会のあり方）		
1976 年 7 月 5 日	特定部会 WG（特定地域の選定について）		
1976 年 7 月 6 日	東海部会（東海地域の観測網の現状について，駿河湾地震について）		
1976 年 8 月 18 日	関東部会（伊豆半島の地殻隆起・地震活動）		
1976 年 8 月 23 日	第 34 回地震予知連絡会（伊豆半島東部の地盤隆起，群発地震，各部会統一見解他）		
1976 年 8 月 23 日	特定部会（今後の地震予知計画と体制のあり方，各機関の予知業務の現況）		
1976 年 8 月 23 日	北海道部会（1973 年根室半島沖地震と潮位，重力変化，今後の観測計画）		
1976 年 8 月 23 日	地震予知連絡会運営要綱の改正		
1976 年 9 月 29 日	特定部会・東海部会（今後の地震予知計画と体制について）		
1976 年 10 月 1 日	北海道部会（部会報告をまとめて最終回とする）		
1976 年 10 月 29 日		閣議決定により内閣に地震予知推進本部を設置（科学技術庁）	
1976 年 11 月 11 日		事務次官等会議の申し合わせにより地震予知推進連絡会議を廃止	
1976 年 11 月 16 日	関東部会（伊豆半島でのその後の地殻隆起・地震活動の推移）第 35 回地震予知連絡会（伊豆半島，東海地方の地殻変動，地震活動，北海道部会報告他）		
1976 年 11 月 29 日	第 35 回地震予知連絡会（伊豆半島，東海地方の地殻変動，地震活動，北海道部会報告他）		
1976 年 12 月 17 日		測地学審議会は「第 3 次地震予知計画の再度一部見直しについて」を建議	
1977 年 2 月 10 日	特定部会（地震予知連絡会運営決議事項について，東海地域判定会の要項について，副会長の任命について，オブザーバーの出席について）		
1977 年 2 月 18 日	関東部会（伊豆半島の地殻隆起，多摩川下流の地殻隆起について）		
1977 年 2 月 21 日	第 36 回地震予知連絡会（関東南部，東海地方の地殻変動，地震活動他），東海部会		
1977 年 3 月 18 日	特定部会（東海地域の予知体制の整備について，東海地域判定会細則，委員について）		
1977 年 4 月 18 日	地震予知連絡会に「東海地域判定会」（事務局：気象庁）を設置		
1977 年 5 月 16 日	関東部会（伊豆半島の地殻隆起，地震活動）		
1977 年 5 月 23 日	第 37 回地震予知連絡会（伊豆半島の地盤隆起，地震活動他），東海部会		
1977 年 6 月 27 日	関東部会（房総半島沖群発地震）		
1977 年 7 月 25 日	東海部会（巨大地震の再来周期について他）		
1977 年 8 月 26 日	第 38 回地震予知連絡会（房総沖群発地震，伊豆半島の地震活動他）		
1977 年 9 月 29 日	地震予知連絡会島根県東部地殻変動研究委員会		
1977 年 11 月 4 日	関東部会（伊豆半島の地震活動について・房総半島について）		
1977 年 11 月 28 日	第 39 回地震予知連絡会（伊豆半島の地盤隆起，地震活動他）		

年　月　日	地震予知連絡会の活動	関連組織の動き	主な地震
1977 年 11 月 28 日	関東部会（最近の伊豆半島の地殻活動について）		
1977 年 12 月 5 日	特定部会（大規模地震予知体制特別措置法案要綱について）		
1978 年 1 月 14 日			1978 年伊豆大島近海の地震（M7.0）
1978 年 1 月 15 日	関東部会（1978 年伊豆大島近海地震について）		
1978 年 1 月 20 日	関東部会，東海判定会と合同（伊豆大島近海地震について）		
1978 年 1 月 27 日	特定部会（観測強化・集中の区分け，長期予知等の用語について，地域指定について）		
1978 年 2 月 7 日	関東, 東海合同部会（伊豆大島近海地震について）		
1978 年 2 月 20 日	第 40 回地震予知連絡会（伊豆大島近海地震他）		
1978 年 3 月 16 日	特定部会 WG（特定観測地域の選定について）		
1978 年 5 月 20 日	関東，東海合同部会（伊豆半島及び東海地方の地殻変動他）		
1978 年 5 月 22 日	第 41 回地震予知連絡会（伊豆大島近海地震他）		
1978 年 6 月 12 日			1978 年宮城県沖地震（M7.4）
1978 年 6 月 14 日	特定部会 WG（宮城県沖地震について，特定地域の見直しについて）		
1978 年 6 月 15 日		大規模地震対策特別措置法公布	
1978 年 6 月 21 日	特定部会（特定観測地域の見直しについて）		
1978 年 6 月 21 日	第 42 回地震予知連絡会（宮城県沖地震，特定観測地域の見直し）		
1978 年 7 月 5 日	特定部会 WG（特定観測地域の選定について）		
1978 年 7 月 12 日		測地学審議会「地震予知の推進に関する第 4 次計画の実施について」を建議	
1978 年 7 月 19 日	特定部会（特定観測地域の見直しについて）		
1978 年 8 月 21 日	第 43 回地震予知連絡会（特定観測地域等の見直し，観測強化地域 2 ヵ所，特定観測地域 8 ヵ所指定）（東海地方の地殻変動他）		
1978 年 8 月 21 日	関東，東海合同部会（伊豆半島及び東海地方の地殻変動）		
1978 年 10 月 20 日	地震予知連絡会臨時部会（青森県深浦町付近の地震活動について）		
1978 年 11 月 20 日	第 44 回地震予知連絡会（東海地方の地殻変動，深浦群発地震他）		
1978 年 11 月 1 日			伊豆半島川奈崎沖で群発地震
1978 年 11 月 27 日	関東部会（伊豆半島東部の群発地震について）		
1978 年 12 月 14 日		大規模地震対策特別措置法施行	
1979 年 2 月 16 日	関東部会（伊豆半島周辺及び房総から四国沖の活動について）		
1979 年 2 月 19 日	第 45 回地震予知連絡会（伊豆半島の地殻変動，地震活動他）		
1979 年 5 月 21 日	第 46 回地震予知連絡会（函館群発地震，伊豆半島及び東海地方の地殻変動，地震活動他）		
1979 年 5 月 21 日	関東部会（伊豆半島川奈崎沖の群発地震活動について）		
1979 年 8 月 7 日		内閣総理大臣が東海地域を「地震防災対策強化地域」に指定	
1979 年 8 月 7 日		気象庁に「地震防災対策強化地域判定会」が発足（地震予知連絡会の東海地域判定会廃止）	
1979 年 8 月 20 日	第 47 回地震予知連絡会（伊豆半島及び東海地方の地殻変動，地震活動他）		
1979 年 10 月 17 日	関東部会（伊豆半島の地震・地殻活動について，関東部会 WG の発足について）		
1979 年 11 月 8 日	関東部会 WG（首都圏における地震予知の現状について）		
1979 年 11 月 19 日	第 48 回地震予知連絡会（長野県王滝村付近の群発地震，御岳山噴火他）		

年　月　日	地震予知連絡会の活動	関連組織の動き	主な地震
1979 年 12 月 10 日	関東部会 WG（首都圏における地震予知の現状について）		
1980 年 1 月 16 日	関東部会 WG（首都圏における地震予知の現状について）		
1980 年 2 月 18 日	第 49 回地震予知連絡会（伊豆半島及び東海地方の地殻変動，地震活動他）		
1980 年 2 月 29 日	関東部会 WG（首都圏における地震予知の現状について）		
1980 年 4 月 24 日	関東部会 WG（首都圏における地震予知の現状について）		
1980 年 5 月 26 日	第 50 回地震予知連絡会（伊豆半島及び東海地方の地殻変動，地震活動他）		
1980 年 6 月 4 日	特定部会（検討会）（関東･東海地方の地殻変動他）		
1980 年 6 月 29 日			伊豆半島東方沖の地震（M6.7）
1980 年 7 月 1 日	関東部会（伊豆半島東方沖の群発地震活動について）		
1980 年 7 月 11 日	関東部会 WG（首都圏における地震予知の現状について）		
1980 年 7 月 16 日	関東部会（部会報告について）		
1980 年 8 月 18 日	第 51 回地震予知連絡会（伊豆半島東方沖地震他）		
1980 年 11 月 10 日	第 52 回地震予知連絡会（伊豆半島及び東海地方の地殻変動，地震活動他）		
1981 年 2 月 16 日	第 53 回地震予知連絡会（伊豆半島及び東海地方の地殻変動，地震活動，宮城県沖の地震他）		
1981 年 3 月 31 日	関東部会 WG（首都圏及びその周辺の地震予知について）		
1981 年 4 月 2 日	第 54 回地震予知連絡会（会長の選出・部会の構成（各地域部会を強化地域部会及び特定部会へ変更）		
1981 年 4 月 30 日	強化地域部会 WG（首都圏について今後の検討）		
1981 年 5 月 16 日	強化地域部会 WG（検討会）（首都圏の観測施設の配置について）		
1981 年 5 月 18 日	第 55 回地震予知連絡会（伊豆半島及び東海地方の地殻変動，地震活動他）		
1981 年 5 月 29 日	強化地域部会 WG（首都圏の観測施設について）		
1981 年 6 月 30 日	強化地域部会 WG（首都圏の観測施設について）		
1981 年 8 月 7 日	強化地域部会 WG（首都圏の観測施設について）		
1981 年 8 月 17 日	第 56 回地震予知連絡会（伊豆半島及び東海地方の地殻変動，地震活動他）		
1981 年 8 月 17 日	強化地域部会（伊豆半島及び東海地方の最近の活動）		
1981 年 11 月 16 日	第 57 回地震予知連絡会（伊豆半島及び東海地方の地殻変動，地震活動他）		
1981 年 11 月 16 日	強化地域部会（伊豆半島及び東海地方の最近の活動）		
1982 年 2 月 1 日	第 58 回地震予知連絡会（男鹿半島の地殻変動，伊豆半島及び東海地方の地殻変動，地震活動他）		
1982 年 2 月 1 日	特定部会（地震予知連絡会の運営について，男鹿半島の地殻変動について）		
1982 年 3 月 21 日			昭和 57 年（1982 年）浦河沖地震（M7.1）
1982 年 4 月 1 日	特定部会（1982 年浦河沖地震について，観測体制及び地域指定について）		
1982 年 5 月 24 日	第 59 回地震予知連絡会（東海及び伊豆半島地方の地殻変動，地震活動，浦河沖地震他）		
1982 年 8 月 16 日	第 60 回地震予知連絡会（東海及び伊豆半島地方の地殻変動，地震活動，茨城県沖の地震，特定観測地域指定及び指定基準について他）		
1982 年 8 月 16 日	特定部会（浦河地域の指定問題について，特定観測地域の指定基準について）		

年　月　日	地震予知連絡会の活動	関連組織の動き	主な地震
1982 年 11 月 22 日	第 61 回地震予知連絡会（東海及び伊豆半島地方の地殻変動，地震活動他）		
1983 年 1 月 27 日	強化地域部会（伊豆半島東方沖の群発地震活動について）		
1983 年 2 月 14 日	第 62 回地震予知連絡会（東海及び伊豆半島地方の地殻変動，地震活動，三宅島近海の地震他）		
1983 年 4 月 13 日	強化地域部会（掛川・御前崎間の水準測量の季節変化について他）		
1983 年 5 月 16 日	第 63 回地震予知連絡会（東海及び伊豆半島地方の地殻変動，地震活動他）		
1983 年 5 月 24 日		中央防災会議は「当面の防災対策の推進について」を申し合わせ	
1983 年 5 月 26 日			昭和 58 年（1983 年）日本海中部地震（M7.7）
1983 年 5 月 31 日		測地学審議会「第 5 次地震予知計画の推進について」を建議	
1983 年 6 月 1 日	特定部会（1983 年日本海中部地震について）		
1983 年 8 月 8 日	第 64 回地震予知連絡会（日本海中部地震，東海及び伊豆半島地方の地殻変動，地震活動他）		
1983 年 11 月 17 日	強化地域部会（観測強化地域における最近のデータの検討）		
1983 年 11 月 21 日	第 65 回地震予知連絡会（東海及び伊豆半島地方の地殻変動，地震活動他）		
1984 年 2 月 20 日	第 66 回地震予知連絡会（東海及び伊豆半島地方の地殻変動，地震活動他）		
1984 年 5 月 21 日	第 67 回地震予知連絡会（東海及び伊豆半島地方の地殻変動，地震活動他）		
1984 年 8 月 20 日	第 68 回地震予知連絡会（東海及び伊豆半島地方の地殻変動，地震活動，山崎断層の地震他）		
1984 年 8 月 20 日	特定部会（山崎断層の地震について）		
1984 年 9 月 4 日	強化地域部会（伊豆半島東方沖の群発地震活動について）		
1984 年 9 月 14 日			昭和 59 年（1984 年）長野県西部地震（M6.8）
1984 年 9 月 20 日	特定部会（1984 年長野県西部地震について）		
1984 年 11 月 19 日	第 69 回地震予知連絡会（長野県西部地震，伊豆半島東方沖群発地震，東海及び伊豆半島地方の地殻変動，地震活動他）		
1985 年 2 月 25 日	第 70 回地震予知連絡会（東海及び伊豆半島地方の地殻変動，地震活動他）		
1985 年 5 月 20 日	第 71 回地震予知連絡会（東海及び伊豆半島地方の地殻変動，地震活動他）		
1985 年 8 月 12 日	第 72 回地震予知連絡会（東海及び伊豆半島地方の地殻変動，地震活動，特定観測地域の見直し他）		
1985 年 8 月 12 日	特定部会（特定観測地域の見直しについて）		
1985 年 11 月 8 日	特定部会 WG（特定地域の見直しの検討資料について）		
1985 年 11 月 18 日	第 73 回地震予知連絡会（東海及び伊豆半島地方の地殻変動，地震活動他）		
1985 年 12 月 13 日	特定部会 WG（特定地域の見直しの検討課題について）		
1986 年 1 月 23 日	強化地域部会（観測強化地域における最近のデータの検討）		
1986 年 2 月 17 日	第 74 回地震予知連絡会（特定観測地域の見直し東海及び伊豆地方の地殻変動，地震活動他）		
1986 年 2 月 17 日	特定部会 WG（特定観測地域の見直しについて，長野市の地割れについて）		
1986 年 5 月 19 日	第 75 回地震予知連絡会（東海及び伊豆半島地方の地殻変動，地震活動他）		

年　月　日	地震予知連絡会の活動	関連組織の動き	主な地震
1986 年 8 月 18 日	第 76 回地震予知連絡会（東海及び伊豆半島地方の地殻変動，地震活動他）		
1986 年 11 月 17 日	第 77 回地震予知連絡会（東海及び伊豆半島地方の地殻変動，地震活動他）		
1986 年 11 月 22 日	強化地域部会（伊豆大島噴火にともなう地殻活動について）		
1987 年 2 月 23 日	第 78 回地震予知連絡会（東海及び伊豆半島地方の地殻変動，地震活動，伊豆大島噴火に伴う地震活動について統一見解発表他）		
1987 年 2 月 23 日	強化地域部会（東海・伊豆地方の地殻変動・地震活動）		
1987 年 5 月 12 日	強化地域部会（伊豆半島東方沖の地震活動について）		
1987 年 5 月 18 日	第 79 回地震予知連絡会（東海及び伊豆半島地方の地殻変動，地震活動，福島県沖の地震活動，伊豆半島東方沖の地震活動について統一見解発表他）		
1987 年 5 月 18 日	特定部会（福島県沖の地震活動について）		
1987 年 8 月 27 日	第 80 回地震予知連絡会（東海及び伊豆半島地方の地殻変動，地震活動他）		
1987 年 11 月 16 日	第 81 回地震予知連絡会（東海及び伊豆半島地方の地殻変動，地震活動他）		
1987 年 12 月 17 日			千葉県東方沖の地震（M6.7）
1988 年 1 月 7 日	強化地域部会（千葉県東方沖地震について）		
1988 年 2 月 15 日	第 82 回地震予知連絡会（千葉県東方沖地震，東海地方の地殻変動，地震活動千葉県東方沖の地震について統一見解発表他）		
1988 年 5 月 16 日	第 83 回地震予知連絡会（東海及び伊豆半島地方の地殻変動，地震活動，東京東部の地震他）		
1988 年 7 月 15 日	強化地域部会（首都圏及びその周辺の地震予知に関するデータについて）		
1988 年 7 月 28 日		測地学審議会「第 6 次地震予知計画の推進について」を建議	
1988 年 8 月 1 日	強化地域部会（伊豆半島東方沖の群発地震について）		
1988 年 8 月 22 日	第 84 回地震予知連絡会（東海地方の地殻変動，地震活動，伊豆半島東方沖の群発地震，同群発地震活動について統一見解発表他）		
1988 年 9 月 29 日	強化地域部会（1988 年 9 月 26 日の千葉県東方沖の地震について）		
1988 年 11 月 21 日	第 85 回地震予知連絡会（東海及び伊豆半島地方の地殻変動，地震活動他）		
1989 年 2 月 20 日	第 86 回地震予知連絡会（東海及び伊豆半島地方の地殻変動，地震活動他）		
1989 年 3 月 24 日	強化地域部会（「首都圏及びその周辺の地震予知」の続報の刊行について）		
1989 年 5 月 22 日	第 87 回地震予知連絡会（東海地方の地殻変動及び地震活動，伊豆半島東部の群発地震活動千葉県北西部の地震，銚子沖の地震他）		
1989 年 7 月 5 日	強化地域部会，見解「1989 年 7 月の伊豆半島東方沖の群発地震活動について」		
1989 年 7 月 13 日			伊東沖海底火山噴火
1989 年 7 月 13 日	強化地域部会，見解「1989 年 7 月の伊豆半島東方沖の群発地震活動について（その 2）」		
1989 年 8 月 7 日	第 88 回地震予知連絡会（東海地方の地殻変動及び地震活動，伊豆半島東部の群発地震活動及び地殻変動，統一見解「伊豆半島東方沖の群発地震活動について」発表他）		
1989 年 11 月 20 日	第 89 回地震予知連絡会（東海地方及び伊豆地方の地殻変動，地震活動，三陸沖の地震活動他）		
1989 年 11 月 20 日	特定部会（三陸沖の地震活動について）		

年　月　日	地震予知連絡会の活動	関連組織の動き	主な地震
1990 年 2 月 19 日	第 90 回地震予知連絡会（東海地方の地殻変動他，三陸沖の地震活動，滋賀県南部の地震他）		
1990 年 5 月 21 日	第 91 回地震予知連絡会（東海地方の地殻変動他，三陸沖の地震活動，最近の深発地震活動他）		
1990 年 8 月 13 日	第 92 回地震予知連絡会（東海地方及び伊豆地方の地殻変動，地震活動，神奈川県西部の地震，銚子沖の地震他）		
1990 年 11 月 17 日			雲仙岳噴煙活動及び地震活動活発化
1990 年 11 月 26 日	第 93 回地震予知連絡会（東海地方及び伊豆地方の地殻変動，地震活動，鳥取西部の地震，島原半島の群発地震活動他）		
1991 年 2 月 18 日	第 94 回地震予知連絡会（東海地方及び伊豆地方の地殻変動，地震活動，新潟県南部の地震，鳥取西部の地震，島原半島の群発地震活動，西表島付近の地震活動他）		
1991 年 4 月 1 日	第 95 回地震予知連絡会（第 12 期役員選挙）		
1991 年 5 月 20 日	第 96 回地震予知連絡会（東海地方及び伊豆地方の地殻変動，地震活動，島原半島の群発地震活動，西表島付近の地震活動他）		
1991 年 8 月 29 日	第 97 回地震予知連絡会（東海地方及び伊豆地方の地殻変動，地震活動，島原半島の群発地震活動，西表島付近の地震活動他）		
1991 年 11 月 18 日	第 98 回地震予知連絡会（東海地方及び伊豆地方・北海道地方の地震活動と地殻変動，島根県東部の地震，周防灘の地震，島原半島の群発地震活動他）		
1992 年 2 月 17 日	第 99 回地震予知連絡会（東海地方及び伊豆地方の地殻変動，地震活動，伊豆半島周辺の地震活動，東京湾の地震，千島列島の地震，浦河沖の地震，島原半島の群発地震活動他）		
1992 年 2 月 17 日	特定部会（地震予知連絡会特定部会の今後の活動について）		
1992 年 2 月 28 日	強化地域部会（各機関が取り組んでいる観測研究について他）		
1992 年 5 月 18 日	特定部会（九州・四国・中国地方の特定地域に関する報告・討議）		
1992 年 5 月 18 日	第 100 回地震予知連絡会（東海地方及び伊豆地方の地殻変動，地震活動，東京東部の地震，島原半島の群発地震活動他）		
1992 年 6 月 2 日	地震予知連絡会 100 回開催記念講演会		
1992 年 6 月 26 日	強化地域部会（強化地域の地震予知に関して）		
1992 年 8 月 17 日	特定部会（近畿・中部地方部の特定地域に関する報告・討議）		
1992 年 8 月 17 日	第 101 回地震予知連絡会（東海地方の地殻変動，地震活動，伊豆半島東部の地殻変動，伊豆半島周辺の地震活動，三陸はるか沖の地震活動，島原半島の群発地震活動他）		
1992 年 9 月 21 日	強化地域部会（強化地域内のプレートの研究・最近の地殻変動に関して）		
1992 年 11 月 30 日	特定部会（近畿・中部地方西部の特定地域に関する報告・討議）		
1992 年 11 月 30 日	第 102 回地震予知連絡会（東海地方及び伊豆半島東部の地殻変動，伊豆半島周辺の地震活動，島原半島の群発地震活動，西表島の群発地震活動他）		
1992 年 12 月 21 日	強化地域部会（フィリッピン海プレート北部の観測・研究について）		
1993 年 1 月 15 日			平成 5 年（1993 年）釧路沖地震（M7.5）
1993 年 2 月 15 日	特定部会（東北地方北部・北海道地方の特定地域に関する報告・討議）		

年　月　日	地震予知連絡会の活動	関連組織の動き	主な地震
1993 年 2 月 15 日	第 103 回地震予知連絡会（東海地方及び伊豆半島東部の地殻変動，地震活動，釧路沖の地震，能登半島沖地震，西表島の群発地震活動他）		
1993 年 5 月 17 日	第 104 回地震予知連絡会（東海地方の地殻変動，地震活動，長野県西部の群発地震活動他）		
1993 年 5 月 18 日	特定部会（特定部会報告の刊行について）		
1993 年 5 月 31 日	強化地域部会（伊豆半島東方沖群発地震について）		
1993 年 6 月 7 日	強化地域部会（伊豆半島東方沖群発地震について）		
1993 年 7 月 12 日			平成 5 年（1993 年）北海道南西沖地震（M7.8）
1993 年 7 月 15 日	特定部会（平成 5 年 7 月 12 日北海道南西沖地震（M7.8）について）		
1993 年 7 月 30 日		測地学審議会「第 7 次地震予知計画の推進について」を建議	
1993 年 8 月 23 日	第 105 回地震予知連絡会(東海地方の地殻変動他，平成 5 年北海道南西沖地震他）		
1993 年 11 月 15 日	第 106 回地震予知連絡会(東海地方の地殻変動他，北海道南西沖の地震活動他）		
1994 年 2 月 21 日	第 107 回地震予知連絡会(東海地方の地殻変動他，鹿児島県北部の地震他）		
1994 年 5 月 16 日	第 108 回地震予知連絡会(東海地方及の地殻変動，地震活動，伊豆半島周辺の地震活動他）		
1994 年 8 月 22 日	第 109 回地震予知連絡会（関東・東海地方の GPS 連続観測点の変動，宮城・福島県沖の地震活動，京都府中部の地震，根室半島沖と青森三陸沖の地震活動の関連性他）		
1994 年 10 月 4 日			平成 6 年（1994 年）北海道東方沖地震（M8.2）
1994 年 10 月 11 日	特定部会（平成 6 年北海道東方沖地震）		
1994 年 11 月 21 日	特定部会・強化地域部会合同会議（地震予知連絡会地域部会報告について，特定地域における観測研究の進め方について，伊豆半島周辺の地震活動）		
1994 年 11 月 21 日	第 110 回地震予知連絡会（東海地方及び伊豆半島東部の地震活動他）		
1994 年 11 月 21 日	地震予知連絡会地域部会報告を刊行		
1994 年 12 月 28 日			平成 6 年（1994 年）三陸はるか沖地震（M7.6）
1994 年 12 月 29 日	特定部会（平成 6 年 12 月 28 日三陸はるか沖地震について）		
1995 年 1 月 17 日			平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震（M7.3）
1995 年 1 月 18 日	第 111 回地震予知連絡会（見解発表「平成 7 年（1995 年）兵庫県南部 地震について」）		
1995 年 1 月 27 日	第 112 回地震予知連絡会（見解発表「 平成 7 年（1995 年）兵庫県南部 地震の余震活動について」）		
1995 年 2 月 20 日	第 113 回地震予知連絡会（兵庫県南部地震，東海地方及び伊豆半島東部の地震活動，地殻変動，伊豆半島周辺の地震活動，関東地方の地震活動，北海道地方の地震活動，三陸はるか沖地震他），（見解発表「 兵庫県南部地震の余震活動について 」）		
1995 年 4 月 6 日	第 114 回地震予知連絡会（第 14 期役員選挙，新潟県北部の地震），「情報交換を検討する会」WG の設置（島崎邦彦主査）		
1995 年 4 月 22 日		測地学審議会「第 7 次地震予知計画の見直しについて」を建議	
1995 年 5 月 22 日	第 115 回地震予知連絡会（兵庫県南部地震，東海地方の地震活動，地殻変動，新潟県北部の地震，北海道東方沖地震，三陸はるか沖地震，飛島の地殻変動他）		

年　月　日	地震予知連絡会の活動	関連組織の動き	主な地震
1995 年 7 月 18 日		地震防災対策特別措置法施行，総理府に地震調査研究推進本部を設置	
1995 年 8 月 21 日	第 116 回地震予知連絡会（東海地方の地震活動，地殻変動，兵庫県南部地震他）		
1995 年 10 月 16 日	強化地域部会（伊豆半島東方沖の群発地震活動，東海地域の活動）		
1995 年 11 月 20 日	第 117 回地震予知連絡会（東海地方の地震活動・地殻変動，伊豆半島東部の地震活動，兵庫県南部地震以降の周辺地域の地震活動，奄美大島近海の地震活動他）		
1996 年 1 月		地震調査研究推進本部「当面推進すべき地震に関する調査観測」を決定	
1996 年 2 月 19 日	第 118 回地震予知連絡会（東海地方及び伊豆半島東部の地震活動・地殻変動，松前周辺の群発地震活動・地殻活動，福島県沖の地震活動，兵庫県南部地震以降の地震活動他）		
1996 年 5 月			房総半島東方沖のスロースリップイベント
1996 年 5 月 20 日	第 119 回地震予知連絡会（東海地方の地震活動・地殻変動，山梨県東部の地震，伊豆半島周辺の地震活動，東京周辺の浅発地震活動他）		
1996 年 8 月 19 日	第 120 回地震予知連絡会（宮城・秋田・山形県境付近の地震活動，東海地方の地震活動・地殻変動，房総半島東部の地殻活動他）		
1996 年 11 月 25 日	第 121 回地震予知連絡会（東海地方及び伊豆半島東部の地震活動・地殻変動，九州地方の地震・地殻活動他）		
1997 年 2 月 17 日	第 122 回地震予知連絡会（東海地方及び伊豆半島東部の地震活動・地殻変動，西表島付近の地震活動他）		
1997 年 3 月 26 日			鹿児島県薩摩地方の地震（M6.5）
1997 年 4 月 18 日	第 123 回地震予知連絡会（第 15 期役員選挙（「今後の会議のすすめ方について」の小グループメンバーも選出（島崎邦彦代表））		
1997 年 5 月 19 日	第 124 回地震予知連絡会(東海地方の地殻変動他，丹沢山地の上下変動，薩摩地方の地震）		
1997 年 6 月		測地学審議会「地震予知計画の実施状況等のレビューについて」を報告	
1997 年 8 月 11 日	第 125 回地震予知連絡会(東海地方の地殻変動他，山口県東部の地震活動，鹿児島県北西部の地震活動）		
1997 年 10 月 17 日	地震予知連絡会特定部会打ち合わせ会（山形市周辺の地震活動）		
1997 年 11 月 17 日	第 126 回地震予知連絡会(東海地方の地殻変動他，釧路沖・鳥取県西部の地震活動）		
1998 年 1 月		震災対策に関する行政監察結果に基づく勧告（地震予知連絡会について，業務は終了しており，同連絡会の業務等の整理が必要と明記）	
1998 年 2 月 16 日	第 127 回地震予知連絡会(東海地方の地殻変動他，北海道・鹿児島県北部の地震活動他），「地震予知連絡会の活動に関する WG」を設置（島崎邦彦主査）		
1998 年 3 月 9 日	地震予知連絡会の活動に関する WG（地震予知連絡会の機能と会議の進め方）		
1998 年 5 月 18 日	第 128 回地震予知連絡会(東海地方の地殻変動他，九州・沖縄の地震活動），地震予知連絡会の活動に関する WG の活動経過報告（地震予知連絡会の機能について，会議の進め方について）		
1998 年 8 月			長野・岐阜県境（上高地）での群発地震活動
1998 年 8 月		測地学審議会「地震予知のための新たな観測研究計画の推進について」を建議	

年　月　日	地震予知連絡会の活動	関連組織の動き	主な地震
1998 年 8 月 17 日	第 129 回地震予知連絡会（長野・岐阜県境の群発地震，東海地方及び伊豆地方の地殻変動）トピックス（上高地の地震活動，東海地方のプレート間カップリング）		
1998 年 11 月 24 日	第 130 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動他），トピックス（東海地方のプレート間カップリング（前回からの続き），岩手県内陸北部の地震）		
1999 年 2 月 15 日	第 131 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動他），トピックス（地震予知における電磁気現象について）		
1999 年 4 月 16 日	第 132 回地震予知連絡会（第 16 期役員選挙，トピックスの候補について）		
1999 年 4 月 23 日		地震調査研究推進本部「地震調査研究の推進について－地震に関する観測，測量調査　及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策－」を策定	
1999 年 5 月 17 日	第 133 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動他），トピックス（近畿地方の最近の地殻活動について）		
1999 年 8 月 23 日	第 134 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動他），トピックス（陸域及び沿岸海域の活断層調査結果の報告）「地震予知連絡会在り方検討 WG」の設置（大竹政和主査）		
1999 年 10 月 1 日	地震予知連絡会あり方検討 WG（地震予知連絡会の在り方に関する基本的な考え方）		
1999 年 11 月 15 日	地震予知連絡会あり方検討 WG（地震予知連絡会の運営について，情報公開等について）		
1999 年 11 月 15 日	第 135 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動他），「地震予知連絡会のあり方検討 WG」の活動状況，トピックス（1999 年トルコの地震，1999 年台湾の地震，）		
2000 年 2 月 21 日	第 136 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動，北海道東方沖の地震他），「地震予知連絡会のあり方検討 WG」の第一次報告，トピックス（GPS による地殻変動検出）		
2000 年 4 月		地震予知研究協議会「企画部」及び「計画推進部会」発足	
2000 年 4 月 25 日	「地震予知連絡会のあり方検討 WG」（今後のトピックスについて）		
2000 年 5 月 15 日	第 137 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動他），トピックス（有珠山の活動について，活断層調査（2））		
2000 年 6 月～ 8 月			三宅島・神津島・新島近海における地震活動
2000 年 6 月 20 日	地震予知連絡会特定部会（6 月 8 日熊本県熊本地方の地震について）		
2000 年 7 月 20 日	地震予知連絡会強化地域部会（三宅島の火山噴火に関連した地震活動）		
2000 年 8 月 21 日	第 138 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動，新島・神津島・三宅島周辺の地殻活動他）		
2000 年秋			東海スロースリップイベント（2005 年夏まで）
2000 年 10 月 6 日			平成 12 年（2000 年）鳥取県西部地震（M7.3）
2000 年 10 月 10 日	第 139 回地震予知連絡会（鳥取県西部地震と西南日本の地殻活動）		
2000 年 11 月 24 日	第 140 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動他），トピックス（鳥取県西部地震に関連した地殻変動）		
2001 年 1 月 6 日	地震予知連絡会運営要綱の改正		
2001 年 2 月 16 日		文部科学省科学技術・学術審議会発足	

年　月　日	地震予知連絡会の活動	関連組織の動き	主な地震
2001 年 2 月 19 日	第 141 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動他），トピックス（日本海東縁部地域の地震活動）		
2001 年 3 月 24 日			平成 13 年（2001 年）芸予地震（M6.7）
2001 年 4 月 13 日	第 142 回地震予知連絡会（第 17 期役員選挙，芸予地震，静岡県中部の地震他），地震予知連絡会の在り方について検討 WG（第二次）の設置（島崎邦彦主査）		
2001 年 5 月 21 日	第 143 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動，富士山の地震活動他），トピックス（地震予知における電磁気現象）		
2001 年 5 月 30 日	地震予知連絡会の在り方について検討 WG（第二次）（トピックス等について）		
2001 年 7 月 27 日	地震予知連絡会強化地域部会（東海地域における最近の地殻変動（東海地方のスロースリップ）		
2001 年 7 月 30 日		地震防災対策強化地域判定会 委員打合せ会（東海地方のスロースリップ）	
2001 年 8 月 20 日	第 144 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動他），トピックス（兵庫県南部地震の前兆）		
2001 年 11 月 19 日	第 145 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動他），トピックス（沈み込みプレート境界におけるアスペリティ）		
2001 年 11 月 30 日	地震予知連絡会の在り方について検討 WG（第二次）（地域指定について）		
2002 年 2 月 8 日	地震予知連絡会の在り方について検討 WG（第二次）（地震予知連絡会の果たすべき役割と意義，会議の具体的な運営等）		
2002 年 2 月 18 日	第 146 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動，与那国島近海の地震他），「地震予知連絡会のあり方検討 WG」の第二次報告，トピックス（海底諸観測の開発状況）		
2002 年 4 月 2 日		科学技術・学術審議会測地学分科会地震部会から「地震予知のための新たな観測研究計画の実施状況のレビューについて」の報告	
2002 年 4 月 16 日	第 1 回地震予知連絡会トピックス部会の開催（部会の名称をトピックス部会と決定）		
2002 年 5 月 20 日	第 147 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動他），トピックス（東海地域のスロースリップとその意味）		
2002 年 8 月 19 日	第 148 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動他），トピックス（地殻活動予測シミュレーション・モデルの開発と実用化へ向けての問題点）		
2002 年 11 月 18 日	第 149 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動等），トピックス（2000 年鳥取県西部地震のその後）		
2002 年 12 月 5 日	地震予知連絡会強化地域部会（東海地域の地殻変動に関する観測・研究成果の報告）		
2003 年 1 月 15 日	第 2 回地震予知連絡会トピックス部会の開催		
2003 年 2 月 17 日	第 150 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動他），トピックス（活断層の深部構造と地震・地殻活動（その 1））		
2003 年 4 月 14 日	第 151 回地震予知連絡会（第 18 期役員選挙）		
2003 年 5 月 19 日	第 152 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動他），トピックス（低周波微動・低周波地震），会議をテレビカメラにより公開開始		
2003 年 5 月 26 日			宮城県沖の地震（M7.1）
2003 年 6 月 6 日	地震予知連絡会特定部会（宮城県沖の地震）		
2003 年 7 月 24 日		科学技術・学術審議会「地震予知のための新たな観測研究計画（第 2 次）の推進について」（第 2 次新計画）を建議	

年　月　日	地震予知連絡会の活動	関連組織の動き	主な地震
2003 年 7 月 26 日			宮城県北部［宮城県中部］の地震（M5.6，M6.4，M5.5）
2003 年 8 月 18 日	第 153 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動，宮城県北部の地震他）		
2003 年 9 月 26 日			平成 15 年（2003 年）十勝沖地震（M8.0）
2003 年 10 月 21 日	第 154 回地震予知連絡会（十勝沖地震）		
2003 年 11 月 17 日	第 155 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動他），トピックス（地震や地殻変動に関する観測の精度）		
2004 年 2 月 16 日	第 156 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動他），トピックス（地震のトリガリング）		
2004 年 3 月 17 日	第 18 期第 1 回地震予知連絡会トピックス部会の開催		
2004 年 5 月 17 日	第 157 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動，豊後水道スローイベント他），トピックス（活断層の深部構造と地殻活動（その 2））		
2004 年 8 月 23 日	第 158 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動等），予知連絡会の在り方について検討 WG（第二次）答申への対応（報告），トピックス（応力・メカニズムの現状評価）		
2004 年 8 月 24 日	地震予知連絡会運営要綱の改正		
2004 年 9 月 5 日			紀伊半島沖［三重県南東沖］の地震（M7.1），東海道沖［三重県南東沖］の地震（M7.4）
2004 年 9 月 17 日	第 159 回地震予知連絡会（紀伊半島沖及び東海道沖の地震）		
2004 年 10 月 23 日			平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震（M6.8）
2004 年 11 月 4 日	第 160 回地震予知連絡会（新潟県中越地震）		
2004 年 11 月 15 日	第 161 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動他），トピックス（2004 年パークフィールド地震について）		
2004 年 11 月 29 日			釧路沖の地震（M7.1）
2005 年 2 月 21 日	第 162 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動他），トピックス（東南海・南海地震の前兆的変化）		
2005 年 3 月	地震予知連絡会会報を Web 上で公開開始	地震調査研究推進本部「全国を概観した地震動予測図」を作成・公表	
2005 年 3 月 17 日	地震予知連絡会特定部会打ち合わせ会（釧路・根室付近の地殻変動）		
2005 年 3 月 20 日			福岡県西方沖［福岡県北西沖］の地震（M7.0）
2005 年 4 月 7 日	第 163 回地震予知連絡会（第 19 期役員選挙，部会の変更（強化地域部会･特定部会を東日本部会･中日本部会･西日本部会へ，福岡県西方沖の地震）		
2005 年 5 月 16 日	第 164 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動他），トピックス（スマトラ地震・津波）		
2005 年 5 月 17 日	第 19 期第 1 回地震予知連絡会トピックス部会の開催		
2005 年 8 月 16 日			宮城県沖の地震（M7.2）
2005 年 8 月 22 日	第 165 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動，千葉県北西部の地震，宮城県沖の地震他）		
2005 年 8 月 30 日		地震調査研究推進本部「今後の重点的調査観測について」策定	
2005 年 11 月 21 日	第 166 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動，三陸沖の地震他），トピックス（「宮城県沖地震」と 2005 年 8 月 16 日宮城県沖の地震）		
2006 年 2 月 20 日	第 167 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動他），トピックス（東南海・南海地震のアスペリティ）		

年　月　日	地震予知連絡会の活動	関連組織の動き	主な地震
2006 年 5 月 22 日	第 168 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動，四国西部における深部低周波微動活動他），トピックス（十勝沖・根室沖のプレート間カップリングの時空間的変化）		
2006 年 6 月 5 日	第 19 期第 2 回地震予知連絡会トピックス部会の開催		
2006 年 7 月 18 日	地震調査研究推進本部政策委員会総合的かつ基本的な施策の評価に関する小委員会「地震調査研究の推進について－地震に関する観測，測量，調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策－」の評価	地震調査研究推進本部政策委員会総合的かつ基本的な施策の評価に関する小委員会「地震調査研究の推進について－地震に関する観測，測量，調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策－」の評価	
2006 年 8 月 21 日	第 169 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動他），トピックス（沈み込み帯における非地震性すべり（1）東海スロースリップ）		
2006 年 11 月 20 日	第 170 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動，西南日本の深部低周波微動他），トピックス（沈み込み帯における非地震性すべり（2）短期的スロースリップ）		
2007 年 1 月 15 日		科学技術・学術審議会測地学分科会地震部会「地震予知のための新たな観測研究計画（第 2 次）の実施状況のレビューについて」の報告	
2007 年 2 月 19 日	第 171 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動他），トピックス（近畿の地殻活動）		
2007 年 3 月 25 日			平成 19 年（2007 年）能登半島地震（M6.9）
2007 年 4 月 9 日	第 172 回地震予知連絡会（第 20 期役員選挙，能登半島地震他）		
2007 年 5 月 14 日	第 173 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動，三重県中部の地震他），「地震予知連絡会における今後の活動展開の検討ワーキンググループ」を設置（島崎邦彦主査），トピックス（連動型巨大地震）		
2007 年 6 月 7 日	第 20 期第 1 回地震予知連絡会トピックス部会の開催		
2007 年 6 月 28 日		地震及び火山噴火予知研究計画に関する外部評価委員会「地震及び火山噴火予知研究計画に関する外部評価」報告	
2007 年 7 月 16 日			平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震（M6.8）
2007 年 8 月 3 日	地震予知連絡会における今後の活動展開の検討ワーキンググループ（地震予知連絡会の目的・役割の一層の明確化，地域指定等）		
2007 年 8 月 20 日	第 174 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動，新潟県中越沖地震，千葉県東方沖の地震他）		
2007 年 10 月 15 日	地震予知連絡会における今後の活動展開の検討ワーキンググループ（地震予知連絡会の地域指定）		
2007 年 11 月 19 日	第 175 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動他），「地震予知連絡会における今後の活動展開の検討ワーキンググループ」の中間報告，トピックス（地震予知連絡会が実施してきた地域指定のレビュー）		
2008 年 2 月 6 日	地震予知連絡会における今後の活動展開の検討ワーキンググループ（地震予知連絡会の地域指定，会議の運営方法等）		
2008 年 2 月 18 日	第 176 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動他），「地震予知連絡会における今後の活動展開の検討ワーキンググループ」の報告（報告に基づき観測強化地域及び特定観測地域を解消），トピックス（地震破壊の始まりの検知とその後の予測可能性）		
2008 年 5 月 7 日	「地震予知連絡会における今後の活動展開の検討ワーキンググループ（その 2）」の設置（島崎邦彦主査）		

年　月　日	地震予知連絡会の活動	関連組織の動き	主な地震
2008 年 5 月 8 日			茨城県沖の地震（M7.0）
2008 年 5 月 19 日	第 177 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動，茨城県沖の地震他），トピックス（地震活動の時間変化と大地震の関係）		
2008 年 6 月 10 日	地震予知連絡会における今後の活動展開の検討ワーキンググループ（その 2）（地震予知連絡会において議論するテーマの考え方，会議の運営方法等）		
2008 年 6 月 14 日			平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震（M7.2）
2008 年 7 月 2 日	2008 年度　第 1 回地震予知連絡会東日本部会（岩手・宮城内陸地震）		
2008 年 7 月 17 日		科学技術・学術審議会「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の推進について」を建議	
2008 年 8 月 18 日	第 178 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動，岩手・宮城内陸地震他），「地震予知連絡会における今後の活動展開の検討ワーキンググループ（その 2）」の経過報告		
2008 年 9 月 11 日			十勝沖の地震（M7.1）
2008 年 10 月 15 日	地震予知連絡会における今後の活動展開の検討ワーキンググループ（その 2）（テーマ運営に関する部会の設置，地震予知連絡会会長の選出手続き等）		
2008 年 11 月 17 日	第 179 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動），「地震予知連絡会における今後の活動展開の検討ワーキンググループ（その 2）」の報告，トピックス（観測技術の最前線）		
2008 年 11 月 17 日	重点検討課題運営部会を設置		
2008 年 12 月 25 日	第 20 期　第 1 回重点検討課題運営部会を開催（今後の重点検討課題の選定等）		
2009 年 2 月 16 日	第 180 回地震予知連絡会（全国の地震活動，地殻変動），（重点検討課題「プレート境界深部すべりに係わる諸現象」の趣旨説明）		
2009 年 2 月 16 日	地震予知連絡会 40 周年記念行事　地震予知連絡会講演会（「地震予知研究の歴史に学ぶ」講師：泊次郎氏）		
2009 年 4 月 10 日	第 181 回地震予知連絡会（第 21 期地震予知連絡会の会長選出，地震予知連絡会会報及び会議資料等の著作権についての議論）		
2009 年 4 月 21 日		地震調査研究推進本部「新たな地震調査研究の推進について－地震に関する観測，測量，調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策－」策定	
2009 年 5 月 15 日	第 182 回地震予知連絡会（第 21 期地震予知連絡会副会長，各部会長及び部会委員の紹介，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「プレート境界深部すべりに係わる諸現象」の報告）		
2009 年 8 月 21 日	第 183 回地震予知連絡会（重点検討課題運営部会の報告，駿河湾地震に関する検討，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「プレート境界浅部の固着とすべりのモニタリング」の報告）		
2009 年 11 月 20 日	第 184 回地震予知連絡会（地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「地震波干渉法」の報告）		
2009 年 12 月 15 日		地震調査研究推進本部「長周期地震動予測地図 2009 年試作版」を作成・公表	
2010 年 2 月 15 日	第 185 回地震予知連絡会（地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題運営部会の報告，重点検討課題「内陸地震準備過程のモニタリング」の報告）		

年　月　日	地震予知連絡会の活動	関連組織の動き	主な地震
2010 年 5 月 21 日	第 186 回地震予知連絡会（中日本部会長及び委員の交代，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「プレート境界の固着とすべりのシミュレーション － モニタリングによって何が検知されると期待されるのか？」」の報告）		
2010 年 8 月 20 日	第 187 回地震予知連絡会（地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「地震活動について」の報告）		
2010 年 11 月 19 日	第 188 回地震予知連絡会（地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「プレート境界すべり現象に関する今後のモニタリング戦略」の報告）		
2011 年 2 月 18 日	第 189 回地震予知連絡会（地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「海域のモニタリング技術の動向」の報告）		
2011 年 3 月 9 日			三陸沖の地震（M7.3）
2011 年 3 月 11 日			東北地方太平洋沖地震（M9.0）
2011 年 4 月 7 日			宮城沖の地震（M7.2）
2011 年 4 月 11 日			福島県浜通りの地震（M7.0）
2011 年 4 月 26 日	第 190 回地震予知連絡会【臨時会】（第 22 期地震予知連絡会の会長選出及び副会長と部会長の指名，東北地方太平洋沖地震に関する集中検討）		
2011 年 6 月 13 日	第 191 回地震予知連絡会（地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「東北地方太平洋沖地震に関する検討（その 2)」の報告）		
2011 年 8 月 22 日	第 192 回地震予知連絡会（地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「プレート境界に関するわれわれのイメージは正しいか？（その 1）南海トラフ・南西諸島海溝」の報告）		
2011 年 11 月 18 日	第 193 回地震予知連絡会（地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「東北地方太平洋沖地震に関する検討（その 3)」の報告）		
2012 年 2 月 17 日	第 194 回地震予知連絡会（地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題運営部会の報告，重点検討課題「プレート境界に関するわれわれのイメージは正しいか？（その 2）千島海溝」の報告）ホームページを介して記者会見の動画配信を開始		
2012 年 3 月 31 日		科学技術・学術審議会測地学分科会「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」の実施状況等のレビューについて（報告）	
2012 年 5 月 30 日	第 195 回地震予知連絡会（地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「プレート境界に関するわれわれのイメージは正しいか？（その 3）相模トラフ周辺・首都圏直下」の報告）		
2012 年 8 月 29 日	第 196 回地震予知連絡会（地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題運営部会の報告，重点検討課題「内陸で発生する地震について」の報告）		
2012 年 9 月 6 日		地震調査研究推進本部「新たな地震調査研究の推進について－地震に関する観測，測量，調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策－」改訂	
2012 年 10 月 26 日		科学技術・学術審議会測地学分科会「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画に関する外部評価報告書」	
2012 年 11 月 21 日	第 197 回地震予知連絡会（第 22 期地震予知連絡会の会長選出及び副会長と部会長の指名，将来検討ワーキンググループを設置，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「世界の巨大地震・津波」の報告）		
2012 年 11 月 28 日		科学技術・学術審議会測地学分科会「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の見直しについて（建議)」	

年　月　日	地震予知連絡会の活動	関連組織の動き	主な地震
2012 年 12 月 7 日			三陸沖の地震（M7.3）
2013 年 2 月 18 日	第 198 回地震予知連絡会（地震予知連絡会運営要綱の改正，将来ワーキンググループの中間報告，重点検討課題運営部会の報告，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「東北地方太平洋沖地震に関する検討（まとめ）」の報告）		
2013 年 5 月 30 日	第 199 回地震予知連絡会（第 23 期地震予知連絡会の会長選出及び副会長と部会長の指名，将来検討ワーキンググループの経過報告，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「日本海で発生する地震と津波」の報告，次回「地震の短期予測の現状と評価」の趣旨説明）		
2013 年 8 月 21 日	第 200 回地震予知連絡会（将来検討ワーキンググループの経過報告，重点検討課題運営部会の報告，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「地震の短期予測の現状と評価」の報告）		
2013 年 10 月 26 日			福島県沖の地震（M7.1）
2013 年 11 月 8 日		科学技術・学術審議会測地学分科会「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の推進について」を建議	
2013 年 11 月 22 日	第 201 回地震予知連絡会（将来検討ワーキンググループの報告，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「物理モデルに基づいた地震発生予測研究」の報告）		
2014 年 2 月 17 日	第 202 回地震予知連絡会（将来検討ワーキンググループ報告書の承認及び同ワーキンググループの解散，地震予知連絡会運営要綱の改正及び地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの設置承認，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「地震・津波即時予測とリアルタイムモニタリング」の報告）		
2014 年 5 月 19 日	第 203 回地震予知連絡会（地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの報告，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「日本列島の長期広域変動について」の報告）		
2014 年 7 月 12 日			福島県沖の地震（M7.0）
2014 年 8 月 22 日	第 204 回地震予知連絡会（地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの報告，重点検討課題運営部会の報告，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「地震・地殻変動予測能力の現状評価」の報告）		
2014 年 8 月 27 日		地震調査研究推進本部「地震に関する総合的な調査観測計画～東日本大震災を踏まえて～」策定	
2014 年 11 月 28 日	第 205 回地震予知連絡会（地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの報告，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「物理モデルに基づいた地震発生予測研究　その 2」の報告）		
2015 年 2 月 16 日	第 206 回地震予知連絡会（地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの報告，重点検討課題運営部会の報告，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「兵庫県南部地震から 20 年活断層研究の進展と課題」の報告）		
2015 年 5 月 22 日	第 207 回地震予知連絡会（第 24 期地震予知連絡会の会長選出及び副会長と部会長の指名，地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの報告，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「予測の根拠となるモニタリングデータと処理方法」の報告）		
2015 年 5 月 30 日			小笠原諸島西方沖の地震（M8.1）
2015 年 8 月 21 日	第 208 回地震予知連絡会（地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの報告，重点検討課題運営部会の報告，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「予測実験の試行について」の報告）		

年　月　日	地震予知連絡会の活動	関連組織の動き	主な地震
2015 年 11 月 27 日	第 209 回地震予知連絡会（地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの報告，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「東北地方太平洋沖地震がもたらす広域地殻活動」の報告）		
2016 年 2 月 22 日	第 210 回地震予知連絡会（地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの報告，重点検討課題運営部会の報告，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「予測実験の試行 02」の報告）		
2016 年 4 月 14 日			熊本地方地震（M6.5）
2016 年 4 月 16 日			熊本地方地震（M7.3）
2016 年 5 月 18 日	第 211 回地震予知連絡会（地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの報告，重点検討課題運営部会の報告（熊本地震発生に伴う検討課題の変更），地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「平成 28 年（2016 年）熊本地震」の報告）		
2016 年 8 月 22 日	第 212 回地震予知連絡会（地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの報告，重点検討課題運営部会の報告，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「余効変動と粘弾性－日本列島広域地殻活動予測に向けて」の報告，次回「南海トラフ地震」の趣旨説明）		
2016 年 11 月 11 日	第 213 回地震予知連絡会（地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの報告，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「南海トラフ地震」の報告）		
2016 年 11 月 22 日			福島県沖の地震（M7.4）
2017 年 1 月 16 日		科学技術・学術審議会測地学分科会「「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」の実施状況等のレビュー報告書」	
2017 年 2 月 20 日	第 214 回地震予知連絡会（地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの報告，重点検討課題運営部会の報告，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「予測実験の試行 03」の報告，次回「海域モニタリングの進展」の趣旨説明）		
2017 年 5 月 19 日	第 215 回地震予知連絡会（第 25 期地震予知連絡会の会長選出及び副会長と部会長の指名，地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの報告，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「海域モニタリングの進展」の報告）		
2017 年 7 月 13 日		科学技術・学術審議会測地学分科会「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画に関する外部評価報告書」	
2017 年 8 月 21 日	第 216 回地震予知連絡会（地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「首都圏直下地震」の報告，次回「地震と水（仮）」の趣旨説明）		
2017 年 11 月 22 日	第 217 回地震予知連絡会（将来検討 WG の報告方針の提示，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「予測実験の試行 04」の報告，次回「予測実験の試行 04」の趣旨説明）		
2018 年 2 月 23 日	第 218 回地震予知連絡会（将来検討 WG の報告方針の提示，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「熊本地震で見えてきた課題」の報告，次回「地震と水（仮）」の趣旨説明）		
2018 年 5 月 25 日	第 219 回地震予知連絡会（将来検討 WG の報告方針の提示，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「地震と水」の報告，次回「千島海溝・北海道東方沖と三陸北部における巨大地震」の趣旨説明）		
2018 年 8 月 24 日	第 220 回地震予知連絡会（将来検討 WG の報告方針の提示，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「千島海溝・北海道東方沖と三陸北部における巨大地震」の報告，次回「予測実験の試行 05」の趣旨説明）		
2018 年 9 月 6 日			北海道胆振東部地震（M6.7）

年　月　日	地震予知連絡会の活動	関連組織の動き	主な地震
2018 年 11 月 30 日	第 221 回地震予知連絡会（将来検討 WG の報告方針の提示，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「予測実験の試行 05」の報告，次回「南西諸島域の地殻活動」の趣旨説明）		
2019 年 1 月 30 日		科学技術・学術審議会測地学分科会「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 2 次）の推進について（建議）」	
2019 年 2 月 21 日			北海道胆振地方中東部地震（M5.8）
2019 年 2 月 22 日	第 222 回地震予知連絡会（将来検討 WG の報告方針の提示，地殻活動モニタリング結果報告，重点検討課題「南西諸島域の地殻活動」の報告，次回「南西諸島域の地殻活動」の趣旨説明，平成 31 年 3 月 16 日開催する「地震予知連絡会 50 周年記念シンポジウム」の概要等の報告）		
2019 年 3 月 16 日	地震予知連絡会 50 周年記念公開シンポジウム「地震予知研究の現状と今後の展望」を開催　（基調講演「経験則による地震予知－どの程度のよそくなのか？」講師：中谷正生氏，「地震予知連絡会のこれまでとこれから」講師：松澤幌氏）		

2．地震予知連絡会関係資料

地震予知連絡会運営要綱

昭和44年4月24日制定
昭和51年8月23日改正
平成13年1月　6日改正
平成16年8月23日改正
平成25年2月18日改正
平成26年2月17日改正

地震の予知・予測により震災軽減に貢献することを目的とし，地震に関する観測・研究を実施している関係機関等が提供する情報を交換するとともに，将来発生する地震の予知・予測に関する学術的検討を行うため，地震予知連絡会（以下「予知連」という.）の運営要綱を下記のとおり定める.

記

1．予知連は，委員30人以内で組織するものとし，必要に応じて臨時委員を置くことができる.
2．委員および臨時委員は，学識経験者および関係機関の職員のうちから国土地理院長がそれぞれ委嘱する.
3.　委員の任期は，2年とし，その欠員が生じた場合の補欠委員の任期は，前任者の残任期間とする.
4.　予知連に会長を置き，委員の互選によってこれを定める．会長は，会務を総理する.
　会長の選出は，新しい期の最初の予知連において行う.
　会長の任期は，あらたに会長が定まるまでとする.
5．予知連に副会長を置く.
　副会長は，委員の中から会長が指名する.
6．会長に事故あるときは，あらかじめ会長が指名する副会長がその職務を代理するものとし，早期に会長の選出を行う.
7．特別の事項を調査検討する必要があるときは，予知連に部会を置くことができる.
　部会は，委員及び臨時委員で構成する.
　部会には，部会長を置き，部会長は，会長が指名する.
8．予知連は，必要に応じ，会長が招集する.
　部会は，部会長が招集する.
9．会長は，予知連に専門家を招聘し，意見を聴取することができる.
　部会長は，部会に専門家を招聘し，意見を聴取することができる.
10.　予知連の運営に関し，必要な事項は，予知連の議を経て会長が定める.
11.　予知連の庶務は，国土地理院において処理する.

委　員　名　簿　（第 21 期～第 25 期）

第 21 期　（2009 年 4 月 1 日～ 2011 年 3 月 31 日）

会長　島崎邦彦　　副会長　平原和朗，松澤　暢

所　属	氏　名	摘　要	所　属	氏　名	摘　要
北海道大学	谷岡勇市郎		防災科学技術研究所	野口伸一	
筑波大学	八木勇治		海洋研究開発機構	金田義行	
東京大学	島崎邦彦		産業技術総合研究所	桑原保人	
東京大学理学系研究科	池田安隆		海上保安庁	仙石　新	2010 年 4 月 1 日加藤幸弘に
東京大学地震研究所	佐藤比呂志		気象庁	横田　崇	
〃	吉田真吾		〃	土井恵治	2010 年 4 月 1 日長谷川洋平に
〃	岩崎貴哉		気象研究所	吉川澄夫	
〃	佐竹健治		国土地理院	稲葉和雄	
〃	篠原雅尚		〃	政春尋志	
東京工業大学	小川康雄		〃	今給黎哲郎	
東北大学	松澤　暢		地震調査研究推進本部地	阿部勝征	
名古屋大学	山岡耕春		震調査委員会委員長		
京都大学理学研究科	平原和朗		地震防災対策強化地域判	〃	
京都大学防災研究所	橋本　学		定会会長		
〃	西上欽也		（臨時委員）		
九州大学	松本　聡		東京大学地震研究所	小原一成	2010 年 5 月 6 日から
鹿児島大学	宮町宏樹	2010 年 4 月 1 日後藤和彦に	（名誉委員）	高木章雄	
統計数理研究所	尾形良彦		〃	茂木清夫	
防災科学技術研究所	小原一成	2010 年 5 月 6 日青井　真に	〃	大竹政和	

第 22 期　（2011 年 4 月 1 日～ 2013 年 3 月 31 日）

会長　　島崎邦彦　　副会長　平原和朗，松澤　暢　（2012 年 9 月 11 日まで）
会長代理　松澤　暢　　副会長　平原和朗　（2012 年 9 月 12 日から会長選出まで）
会長　　平原和朗　　副会長　松澤　暢，山岡耕春　（2012 年 11 月 21 日から）

所　属	氏　名	摘　要	所　属	氏　名	摘　要
北海道大学	谷岡勇市郎		防災科学技術研究所	青井　真	
筑波大学	八木勇治		〃	汐見勝彦	
東京大学	島崎邦彦		産業技術総合研究所	桑原保人	
東京大学理学系研究科	池田安隆		海上保安庁	加藤幸弘	
東京大学地震研究所	佐藤比呂志		気象研究所	横田　崇	
〃	平田　直		気象庁	土井恵治	
〃	小原一成		〃	長谷川洋平	2012 年 5 月 16 日齋藤　誠に
〃	佐竹健治		国土地理院	稲葉和雄	2012 年 5 月 16 日村上真幸に
〃	篠原雅尚		〃	齊藤　隆	
東京工業大学	小川康雄		〃	今給黎哲郎	
東北大学	松澤　暢		地震調査研究推進本部地	阿部勝征	
名古屋大学	山岡耕春		震調査委員会委員長		
京都大学理学研究科	平原和朗		地震防災対策強化地域判	〃	
京都大学防災研究所	遠田晋次		定会会長		
〃	西上欽也	2012 年 10 月 1 日澁谷拓郎に	（名誉委員）	高木章雄	
九州大学	松本　聡		〃	茂木清夫	
鹿児島大学	後藤和彦		〃	大竹政和	
統計数理研究所	尾形良彦		〃	島崎邦彦	
海洋研究開発機構	金田義行	2012 年 4 月 1 日堀　高峰に			

※島崎会長は原子力規制委員会の委員に専任するため任期途中で会長を辞任した．これにより第 197 回地震予知連絡会（2012 年 11 月 24 日）で平原委員が第 22 期会長に選出されるまでの期間は松澤副会長が会長代理に就いた．

第 23 期　（2013 年 4 月 1 日～ 2015 年 3 月 31 日）

会長　平原和朗　　副会長　松澤　暢，山岡耕春

所　属	氏　名	摘　要	所　属	氏　名	摘　要
北海道大学	谷岡勇市郎		防災科学技術研究所	青井　真	
東北大学	松澤　暢		〃	汐見勝彦	
〃	遠田晋次		海洋研究開発機構	堀　高峰	
筑波大学	八木勇治		産業技術総合研究所	宍倉正展	
東京大学理学系研究科	池田安隆		海上保安庁	岩渕　洋	
東京大学地震研究所	佐藤比呂志		気象研究所	横田　崇	
〃	平田　直		〃	前田憲二	
〃	小原一成		気象庁	土井恵治	
〃	佐竹健治		〃	橋本徹夫	
〃	篠原雅尚		〃	青木　元	
〃	上嶋　誠		〃	吉田康宏	
東京工業大学	岩森　光	2014 年 3 月 7 日小川康雄に	国土地理院	村上真幸	2014 年 6 月 2 日齊藤　隆に
名古屋大学	山岡耕春		〃	齊藤　隆	2014 年 6 月 2 日今給黎哲郎に
京都大学理学研究科	平原和朗		〃	飛田幹男	2014 年 6 月 2 日から
京都大学防災研究所	澁谷拓郎		（名誉委員）	高木章雄	
〃	片尾　浩		〃	茂木清夫	
九州大学	松本　聡		〃	大竹政和	
鹿児島大学	後藤和彦		〃	島崎邦彦	
統計数理研究所	尾形良彦				

第 24 期　（2015 年 4 月 1 日～ 2017 年 3 月 31 日）

会長　平原和朗　　副会長　松澤　暢，山岡耕春

所　属	氏　名	摘　要	所　属	氏　名	摘　要
北海道大学	高橋浩晃		鹿児島大学	後藤和彦	
東北大学	松澤　暢		統計数理研究所	尾形良彦	
〃	遠田晋次		防災科学技術研究所	青井　真	
筑波大学	八木勇治		〃	汐見勝彦	
東京大学理学系研究科	池田安隆		海洋研究開発機構	堀　高峰	
東京大学地震研究所	佐藤比呂志		産業技術総合研究所	宍倉正展	
〃	平田　直		海上保安庁	岩淵　洋	2016 年 4 月 1 日長屋好治に
〃	小原一成		気象庁	橋本徹夫	
〃	佐竹健治		気象研究所	前田憲二	
〃	篠原雅尚		国土地理院	飛田幹男	2016 年 6 月 2 日宇根　寛に
東京工業大学	小川康雄		〃	今給黎哲郎	
名古屋大学	山岡耕春		（名誉委員）	高木章雄	
京都大学理学研究科	平原和朗		〃	茂木清夫	
京都大学防災研究所	澁谷拓郎		〃	大竹政和	
九州大学	松本　聡		〃	島崎邦彦	

第 25 期 （2017 年 4 月 1 日～ 2019 年 3 月 31 日）

会長　平原和朗　　副会長　松澤　暢，山岡耕春

所　属	氏　名	摘　要	所　属	氏　名	摘　要
北海道大学	高橋浩晃		鹿児島大学	中尾　茂	
東北大学	松澤　暢		統計数理研究所	尾形良彦	
〃	遠田晋次		防災科学技術研究所	青井　真	
筑波大学	八木勇治		〃	汐見勝彦	
千葉大学	宮内崇裕		海洋研究開発機構	堀　高峰	
東京大学地震研究所	佐藤比呂志		産業技術総合研究所	今西和俊	
〃	平田　直		海上保安庁	長屋好治	2018 年 4 月 1 日楠　勝浩に
〃	小原一成		気象庁	青木　元	
〃	佐竹健治		気象研究所	橋本徹夫	
〃	篠原雅尚		国土地理院	宇根　寛	
東京工業大学	中島淳一		〃	矢来博司	
名古屋大学	山岡耕春		（名誉委員）	高木章雄	
京都大学理学研究科	平原和朗		〃	茂木清夫	
京都大学防災研究所	澁谷拓郎		〃	大竹政和	
九州大学	松本　聡		〃	島崎邦彦	

議事概要

第 181 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2009 年 4 月 10 日（金）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

島崎，谷岡，松澤，八木，池田，佐藤，吉田，岩崎，佐竹，篠原，尾形，平原，西上，宮町，小原，野口，金田，桑原，仙石，横田，土井，吉川，稲葉，政春，今給黎，阿部

議事概要

1　第 21 期の地震予知連絡会の会長選出について

第 179 回地震予知連絡会で定められた手続きにより第 21 期地震予知連絡会会長の選出が行われ，島崎邦彦委員が新会長となった．副会長，部会長は今後指名され，5 月の地震予知連絡会で報告されることになった．また，大竹前会長を名誉委員に推す提案があり，承認された．

部会については，これまで設置されていた 3 つの地域部会と重点検討課題運営部会が第 21 期も継続して設置されることとなった．

2　地震予知連絡会会報の著作権について

地震予知連絡会会報の著作権に関する議論が行われ，今後も引き続き検討して行くこととなった．

第 182 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2009 年 5 月 15 日（金）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

島崎，平原，松澤，山岡，谷岡，八木，池田，佐藤，吉田，岩崎，佐竹，望月（篠原委員代理），小川，尾形，橋本，西上，松本，宮町，小原，野口，中村（金田委員代理），桑原，仙石，横田，土井，吉川，稲葉，政春，今給黎，阿部

（招聘報告者）

中田（海洋研究開発機構），宮澤（東京大学地震研究所）

議事概要

1　第 21 期の地震予知連絡会の構成について

島崎会長から，新たに副会長に指名された平原委員，松澤委員が紹介された．また，新たに東日本部会長に指名された松澤副会長，中日本部会長に指名された小原委員，西日本部会長に指名された平原副会長，重点検討課題運営部会長に指名された山岡委員が紹介され，各部会長からそれぞれの部会の委員が紹介された．

2　地殻活動モニタリング結果に関する検討

（1）全国の地震活動について

国内で 2009 年 2 月から 4 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 24 個であった．

（2）日本列島の歪み変化

GPS 連続観測データによる最近 1 年間の日本列島の歪み変化図からは，2008 年 9 月 11 日に発生した十勝沖の地震の変動の影響が見られ，伊豆諸島北部では，北東南西の伸びが依然として顕著である．また，2008 年 5 月 8 日に発生した茨城県沖の地震，2008 年 6 月 14 日に発生した平成 20 年岩手・宮城内陸地震，2008 年 7 月 19 日に発生した福島県沖の地震の影響が見られる．

（3）岩手県沖（種市沖）の固有地震的地震活動

平成 6 年（1994 年）三陸はるか沖地震の最大余震（1995 年 1 月 7 日，M7.2）の近傍で 2 つのグループの固有地震的活動が報告された．これらの地震は，プレート境界上に存在する同じアスペリティの破壊により準周期的に繰り返し発生していると考えられる．間隔約 16 年で M6 程度の地震グループでは，最後の地震が 1993 年 12 月に発生した．

（4）宮城・福島・茨城県太平洋岸の地殻変動

2008 年 5 月 8 日に発生した茨城県沖の地震（M6.8），2008 年 7 月 19 日に発生した福島県沖の地震（M7.0）の余効変動と考えられる地殻変動が報告された．東向きの変化のほか 2009 年に入ってから，楢葉観測点以南の点で南向きの変動が見られることが示された．この変動の原因は，今のところはっきりしていない．

（5）東海地域の地殻変動

東海地域の水準測量結果（年周補正後）において，掛川市の水準点 140-1 に対して，御前崎市の水準点 2595 は前回と比較してわずかに沈降しており，2005 年夏以降の最近の沈降トレンド上にある．GPS 連続観測データから得られた東海地方の地殻変動は，スロースリップ開始以前の状況に戻っているように見える．

(6) 西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

三重・奈良県境中部で 5 月 3 日から深部低周波微動活動が開始し，5 月 6 日から北東方向に移動を開始したことが報告された．この活動に同期して周辺の観測点では，傾斜変動が観測されている．2006 年 1 月には今回の活動とほぼ同じ場所から微動活動が始まり，北東方向に移動し，最終的には愛知県側にまで微動・スロースリップイベントが連動した．今回のイベントは現在も継続中で，その動向を見ている．

3　重点検討課題（プレート境界深部すべりに係わる諸現象）の検討

この課題の目的は，プレート境界深部でのプレート間滑りの様々な現象（深部低周波微動，深部低周波地震，深部超低周波地震，短期的スロースリップ）のモニタリングの現状，検知能力の向上，相互関係，トリガリングに関する検討を行い，プレート境界地震の予測精度の向上に貢献しようというものである．深部低周波微動・深部超低周波地震・短期的スロースリップイベントの空間分布が報告され，深部低周波微動はまんべんなく広がり発生しているが，深部超低周波地震，短期的スロースリップイベントは局在化していることが示された．深部低周波微動活動は，時間とともに空間的に移動することが多く，その方向にある傾向が見られるとの報告があった．また，微動活動から換算した四国・紀伊半島付近の 6 点におけるプレート間すべり量の積算変化が報告され，ほぼプレートの相対運動に等しいことが示された．

全国の深部低周波地震の震央分布は，深部低周波微動に比べて空間的なギャップがあり，いくつかのクラスターを形成していることが報告された．

気象庁により観測された歪み変化から 1997 年後半以降のスロースリップイベントの検出事例が報告された．また，歪み変化から東海短期的スロースリップのモーメント開放履歴が推定され，長期的スロースリップと短期的スロースリップのモーメント解放には何らかの関連があることが指摘された．

産業技術総合研究所による地下水等総合観測の成果が報告され，2009 年 2 月の愛知県での地殻歪み変化と短期的スロースリップのモデル推定が行われ，総合観測の重要性が示された．

新宮のボアホール観測点で 12 個の歪み変化イベントが検出され，短期的スロースリップの断層モデルが提示された．微動活動を伴わずに発生したイベントも報告された．

地球潮汐が深部低周波微動の発生サイクルに影響を及ぼしていることが Δ CFF の計算及び摩擦構成則に基づくシミュレーションをとおして示された．また，遠地地震により四国西部の低周波微動がトリガーされた結果が報告された．

第 183 回地震予知連絡会 議事概要

日　時　2009 年 8 月 21 日（金）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

島崎，平原，松澤，山岡，谷岡，八木，池田，酒井（佐藤委員代理），吉田，岩崎，佐野（佐竹委員代理），篠原，小川，尾形，橋本，西上，松本，宮町，小原，野口，金田，桑原，仙石，横田，土井，吉川，稲葉，政春，今給黎，阿部

（招聘報告者）

岡田（気象研究所）

議事概要

1　2009 年 8 月 11 日の駿河湾の地震

2009 年 8 月 11 日 5 時 7 分に駿河湾の深さ 23km で M6.5 の地震（最大震度 6 弱）が，発生した．発震機構は北北東－南南西方向に圧力軸を持ち，震源の深さ及び余震分布から，沈み込むフィリピン海プレートの内部で発生した地震と考えられる．

3 次元地震波速度構造と tomoDD 法による詳細な余震の再決定により，本震の震源付近では，南側に高角（約 50 度）に傾斜した余震面があり，本震の北西部では，東北東に低角（約 35 度）に傾斜した余震面のあることが示された．

今回の駿河湾の地震は，伊豆半島南部の石廊崎断層を通る北西－南東走向の構造線にそって起きたとの見解が示された．

本震は，フィリピン海プレート境界上面よりも約 10km 深いところで発生しており，震源位置は低速度領域と高速度領域の境界付近の高速度領域内に位置することが報告された．

GEONET による GPS 連続観測では，震源西側の焼津付近で約 1cm の西向きの変動などが観測された．また，GEONET の座標時系列グラフによれば，地震時にステップ状の変化が見られる一方，明瞭なプレスリップや地震後の顕著な地殻変動は観測されなかった．

DD 法による詳細な余震分布を参考に 2 つのセグメント（セグメントⅠ，セグメントⅡ）からなる断層面を仮定して震源過程の推定を行った結果が報告された．また，GEONET で観測された地殻変動は，北西

－南東走向の北東に傾き下がる断層がやや右横ずれ成分を伴って逆断層的に動くことにより説明されることが示された．

駿河湾の地震の各種断層モデルから東海地震の想定震源域における Δ CFF が計算され，震源の西の領域及び北側で応力の増加が示された．この Δ CFF の分布は静岡県藤枝付近で本震後に発生した地震活動と調和的である．

2　地殻活動モニタリング結果に関する検討

（1）全国の地震活動について

国内で 2009 年 5 月から 7 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 14 個であった．

（2）日本列島の歪み変化

GPS 連続観測データによる最近 1 年間の日本列島の歪み変化図からは，北海道では 2008 年 9 月 26 日及び 2009 年 6 月 5 日の十勝沖の地震の変動の影響が見られ，伊豆諸島北部では，北東－南西の伸びが依然として見られる．2008 年 6 月 14 日に発生した平成 20 年岩手・宮城内陸地震，2008 年 7 月 19 日に発生した福島県沖の地震の影響が見られる．また，2008 年頃から富士・箱根周辺で，北北東－南南西方向の伸びが見られる．

（3）東海地域の地殻変動

東海地域の水準測量結果（年周補正後）において，掛川市の水準点 140-1 に対し御前崎市の水準点 2595 は，前回と比較してわずかに沈降しており，2005 年夏以降の沈降のトレンド上にある．

（4）7 月 22 日　室戸岬沖（四国沖）の地震

2009 年 7 月 22 日 23 時 51 分に昭和南海地震（1946 年 ,M8.0）の震源域内である室戸沖（四国沖）の深さ 29km で M4.6（最大震度 4）の地震が発生した．また，この地震の約 1 時間後の 23 日 00 時 47 分にも，ほぼ同じ場所で M4.1 の地震（最大震度 3）が発生した．1997 年 10 月以降の活動を見ると，今回の震源付近で M4.0 を超える地震は発生していなかった．

3　重点検討課題（プレート境界浅部の固着とすべりのモニタリング）の検討

この課題の検討目的は，太平洋プレートやフィリピン海プレートの沈み込み境界浅部における固着とすべりの状況についての最新のモニタリング結果を検討し，固着やすべりの地域性とアスペリティの破壊の複雑性について理解を深めようというものである．

各地域のすべり欠損分布の共通性と多様性・地域性が報告され，北海道根室沖，宮城県沖，室戸岬沖ですべり欠損値が大きいことが示された．東海地方を例として，陸域の観測点のみでは，海域でのすべり欠損の推定の解像度が低いこと，またすべり欠損を推定する際に，固定局の影響により見え方が変わることがあり，注意が必要であることが示された．

宮城県沖・福島県沖で観測された海底地殻変動の結果はバックスリップモデルから推定されるこの地域の地殻変動速度ベクトルと若干異なるが調和的であることが報告された．また，海底地殻変動観測の結果から，海底基準点「宮城沖 1」,「宮城沖 2」の付近では，プレート境界の固着が強く，海底基準点「福島沖」の付近では固着が弱いと推定され，これらの結果は小繰り返し地震の分布などと調和的であることが報告された．

2006 年 1 月～ 2009 年 7 月までの 1 か月ごとの小繰り返し地震の震央分布から，2008 年 2 月頃から東北地方南部の海溝側での活動が活発であることが示された．この地域では，2008 年 5 月と 7 月に茨城県沖と福島県沖でそれぞれ M7.0，M6.9 のプレート境界地震が発生した．2009 年中頃でも小繰り返し地震の活発な状態が続いており，2003 年十勝沖地震後の活発化に匹敵する広がり・継続時間にも見えるとの報告があった．また，すべり量の推定の問題に関して，2008 年 7 月の福島県沖の地震の例では，小繰り返し地震から推定される余効すべりで期待される歪変化と観測された歪計による歪変化が一致しないことが報告された．

関東地方の相似地震クラスター毎のすべり履歴について報告があり，相似地震から推定した関東地方のフィリピン海プレート・太平洋プレート上のすべりは，すべり速度がほぼ一定であり，房総スロースリップイベントに伴う加速及び太平洋プレートの銚子付近の M6 クラスの地震に先行するすべりの減速が見られることが報告された．

日向灘・南西諸島北部域の小繰り返し地震について報告があり，空間分布，発生頻度に関する知見が得られた．

中～大規模の繰り返し地震について，その位置，大きさ，発生頻度が報告された．

小繰り返し地震の周期性とゆらぎに基づく発生予測とそのモデル検証について報告があり，北海道南部から関東にかけての太平洋側の地域で 2008 年 1 年間の繰り返し地震の発生確率が計算され，観測結果と比較したところ整合的であることが示された．ただし，同地域での 2009 年 1 月～ 6 月の比較では，あまり観測結果と整合しなかった．このような小繰り返し地震の長期予測では，むしろ予測から外れる場合が重要であり，プレート運動の変化の有無を定量的に検証できる可能性がある．大変重要な研究であるとのコメントがあった．

第 184 回地震予知連絡会

議事概要

日　時　2009 年 11 月 20 日（金）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

島崎，平原，松澤，山岡，谷岡，八木，池田，佐藤，吉田，岩崎，佐竹，篠原，小川，尾形，西上，松本，宮町，小原，野口，中村（金田委員代理），桑原，仙石，横田，舟崎（土井委員代理），吉川，稲葉，政春，今給黎，阿部

（招聘報告者）

渡辺（名古屋大学），横井（建築研究所），吉本（横浜市立大学）

議事概要

1　地殻活動モニタリング結果に関する検討

（1）全国の地震活動について

国内で 2009 年 8 月から 10 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 31 個であった．

（2）日本列島の歪み変化

GPS 連続観測データによる最近 1 年間の日本列島の歪み図からは，北海道では 2003 年 9 月 26 日の十勝沖地震及び 2008 年 9 月 11 日の十勝沖の地震の余効変動，2009 年 6 月 5 日の十勝沖の地震に伴う地殻変動の影響が見られ，東北地方では，2008 年 6 月 14 日に発生した平成 20 年岩手・宮城内陸地震の影響が見られる．伊豆諸島北部では，北東－南西方向の伸びが依然として見られる．また，2008 年頃から富士・箱根周辺で，北北東－南南西方向の伸びが見られる．駿河湾周辺では，2009 年 8 月 11 日に発生した駿河湾の地震に伴う地殻変動の影響が見られる．

（3）北海道周辺の太平洋プレート内部の地震活動度

北海道周辺の太平洋プレート内部の地震活動度に関して，根室沖では 2005 年 10 月頃から静穏化が始まり，現在も継続中であるとの報告があった．

（4）2009 年 8 月 11 日の駿河湾の地震

余震は次第に減少しており，これまでの余震で最大のものは 8 月 13 日 18 時 11 分の M4.5（最大震度 3）であることが報告された．

牧ノ原市から富士市に至る海岸沿いの路線の水準測量結果には，牧ノ原市北部から静岡市にかけて，駿河湾の地震による最大1cm超の隆起が見られた．一方，牧ノ原市の一部で見られる沈下は，軟弱地盤による局所的なものであることが報告された．

海底地殻変動観測に関する報告があった．駿河湾の地震の震央から北北東に約 20km の場所に位置する観測点（SNW）で，過去の結果から推定した地震直前の座標値と地震後の座標値から南に 6.6 ± 5.6cm，西に 4.2cm ± 2.4cm の変動が認められた．この変動は国土地理院の震源断層モデルによる計算値とは一致しないが，地震後 2 回の観測値がほぼ同じであるため，変動があったことは事実だと考えられるとの報告があった．

（5）東海地域の地殻変動

東海地域の水準測量結果（年周補正後）において，掛川市の水準点 140-1 に対し御前崎市の水準点 2595 は，前回と比較してわずかに沈降しており，2005 年夏以降の沈降のトレンド上にある．

（6）西南日本の深部低周波微動と短期的スロースリップ活動の状況

2009 年 10 月 12 日から 22 日にかけて紀伊半島中部で発生した微動活動は，北東及び南西方向に移動したが，北東方向の活動が活発であった．2009 年 10 月 29 日から 11 月 10 日にかけて四国西部で発生した微動は，北東へ移動したのち南西へ移動した．2009 年 8 月 21 日から 9 月 2 日，9 月 30 日から 10 月 3 日にかけては愛知県中部で微動活動があった．

（7）9 月 30 日 スマトラ南部（インドネシア）の地震

2009 年 9 月 30 日 19 時 16 分（日本時間），インドネシアのスマトラ南部で発生した地震は Mw7.5 で，スマトラ島の下に沈み込むインド・オーストラリアプレートの内部で発生した地震であり，発震機構は北西 - 南東方向に圧力軸を持つ型であることが報告された．

2　重点検討課題「地震波干渉法」の検討

本課題の目的は，「地震波干渉法」の概要について再認識するとともに，地下構造調査への応用，モニタリング手法としての可能性を秘めた構造の時間変化への応用について，それらの可能性を検討することである．はじめに「地震波干渉法」の理論と応用に関するレビューが報告され，その後実際のデータを用いた解析・応用事例が報告された．

「地震波干渉法」とは，波動場を異なる 2 地点で同時に観測した場合，それらの地震波形の相互相関処理を行うことにより，一方を震源，他方を受振点とした場合に観測される波形を合成する手法であり，相互相関解析，仮想震源法とも呼ばれている．

地下の地盤や地殻構造の推定への応用事例として，関東地方の地震基盤深度，日本列島各地域の S 波速度構造の推定結果が報告された．

関東地方の地震基盤深度は，北東で浅く南西に向かって深くなる傾向が見られ，特に利根川・荒川沿いや横浜・房総半島南西域で基盤深度が深いことが報告された．

日本列島各地域の S 波速度構造は，北海道では道北から石狩にかけて低速度領域が帯状に拡がり，道東

（根室－釧路）でも低速度領域が見られ，その他では高速度領域が拡がっていることが報告された．また北海道では日高衝突帯下，東北地方では火山帯下，中部・関東地方では関東平野と新潟－神戸構造帯下，西南日本では四万十付加帯と火山帯下で低速度域が存在していることが報告された．また，中部・関東地方の下部地殻ではモホ面に沿って低速度域が拡がっていることが示された．

地震に伴う地震波速度の変化を検出した事例として，2005 年福岡県西方沖の地震，2007 年能登半島地震，2007 年大分県中部の群発地震の 3 件が報告された．

2005 年福岡県西方沖の地震発生前には，地震波速度の変化は見られなかったが，地震発生直後から約 0.1 秒ほどの遅れが検出され，その遅れが 4 年経っても続いていることが報告された．

2007 年能登半島地震の例では，地震発生約 2 週間前に地震波速度に変化が見られ地震発生とともに元のレベルに回復したことや，地震発生後に変化が検出され 2 年半経っても元のレベルに回復していないことが報告された．

2007 年 6 月と 10 月の大分県中部の群発地震活動の例でも地震波速度の変化が検出され，6 月の活動時には約 4 か月，10 月の活動時には 3 か月かけて元のレベルに回復したことが報告された．

人工的に弾性波を連続的に放射させる能動震源を用いた地震波速度の時間変化を捉える試みの結果には，気温と降水量に相関が見られた．より深い場所での地震波速度の時間変化を捉えるためには，気象の影響を適切に補正する必要があることが報告された．

第 185 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2010 年 2 月 15 日（月）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

島崎，平原，松澤，山岡，谷岡，八木，池田，佐藤，吉田，岩崎，佐竹，篠原，小川，尾形，飯尾（橋本委員代理），西上，宮町，小原，野口，金田，桑原，仙石，横田，土井，吉川，稲葉，政春，今給黎，阿部

（招聘報告者）

芝崎（建築研究所）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

（1）全国の地震活動について

国内で 2009 年 11 月から 2010 年 1 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 18 個であった．

（2）日本列島の歪み変化

GPS 連続観測データによる最近 1 年間の日本列島の歪み図からは，北海道では 2003 年 9 月 26 日の十勝沖地震の余効変動及び 2008 年 9 月 11 日の十勝沖の地震の余効変動，2009 年 6 月 5 日の十勝沖の地震に伴う地殻変動の影響が見られ，東北地方では，2008 年 6 月 14 日に発生した平成 20 年岩手・宮城内陸地震の余効変動の影響が見られる．伊豆諸島北部では，北東－南西方向の伸びが依然として見られる．また，2008 年頃から富士・箱根周辺で，北北東－南南西方向の伸びが見られる．駿河湾周辺では，2009 年 8 月 11 日に発生した駿河湾の地震に伴う地殻変動の影響が見られる．

（3）平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震の予測

平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震（M6.8）に先行した地震の静穏化現象について報告があった．それによると，この地震の前，2000 年くらいから震源域近傍で地震活動の静穏化があり，2005 年に震源域の深部において広義の前震があったと考えてよいことが報告された．

（4）2009 年 12 月 24 日房総半島東岸の地震

2009 年 12 月 24 日に房総半島東岸のほぼ同じ場所で M4 クラスの地震が 2 回発生したが，どちらもプレート境界の相似地震であった．また，この地震に伴う傾斜変化が勝浦東観測点で 2009 年 12 月 16 日頃から 27 日頃にかけて観測されたが，これはプレート境界のスロースリップを示唆する可能性があるとの報告であった．

（5）伊豆半島東方沖の地震活動

2009 年 12 月 17 日から伊豆半島東方沖で地震活動が始まり，17 日 23 時 45 分の M5.0，18 日 8 時 45 分の M5.1 の地震でそれぞれ震度 5 弱を観測した．19 日 23 時以降，地震活動は低下し，今回の活動以前の状態に戻ってきている．多くの地震の発震機構は概ね北西－南東方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型であり，従来からこの付近で見られるものと同様である．

この地域での群発地震の活動領域は同じ傾いた面上で少しずつずれた場所であったが，2000 年代は比較的規模の小さなやや深い部分での活動であった．今回の活動も同じ傾いた面上で開始したが，深さ約 6.5km から浅い領域に広がって鉛直の面上での活動になり，2000 年以降としては新たな領域に広がった．

東伊豆の体積歪計では，12 月 16 日深夜から縮みの

変化が始まり，周辺の傾斜計でもそれに同期した変化が見られた．その後，17 日に入って歪み変化が加速するとともに地震活動も活発化した．これらの変化は，20 日昼頃からほぼ活動開始前の傾向に戻り，地震活動も低調となった．

傾斜計データでは時間とともに傾斜方向の変化が見られ，これは岩脈の貫入した深さが 18 日午後以降浅くなったとしておおよそ説明可能であった．

GEONET の F3 解，水準測量データ，辺長測量データによる力源モデル（矩形ダイク，M5 クラスの地震に対応する右横ずれ断層）によれば，ダイク上端の深さは約 2.4km であり，貫入したマグマの総量は 3.6 × 106m^3 と推定される．

(6) 東海地域の地殻変動

東海地域の水準測量結果（年周補正後）において，掛川市の水準点 140-1 に対し御前崎市の水準点 2595 は，前回と比較して沈降しており，2005 年夏以降の沈降のトレンド上にある．

(7) 西南日本の深部低周波微動と短期的スロースリップ活動の状況

2009 年 12 月 27 日から 31 日にかけて，四国中部で微動・低周波地震活動と同期した傾斜変化が観測された．29 日の前後で傾斜変動パターンに変化が見られたことから，その前後の期間に分けて短期的スロースリップイベントの震源モデルを推定したところ，微動活動の移動と同期したすべり域の拡大が見られた．

(8) ハイチの地震

2010 年 1 月 13 日 6 時 53 分（日本時間），中米のハイチで Mw7.1 の地震が発生した．この地震の発震機構は西北西－東南東方向に張力軸を持つ横ずれ断層型であった．

「だいち」PALSAR データによれば，地殻変動の集中する領域は，首都ポルトープランスから西へ約 20 ～ 50km の位置にみられ，南行軌道で最大約 70cm の衛星－地表間の距離短縮が観測された．2 枚のセグメントで矩形断層一様すべりを仮定した震源断層モデルによると，断層長は約 35km で，逆断層成分を含んだ左横ずれのすべり量が約 5m と推定されることが示された（暫定）．

2　重点検討課題「内陸地震準備過程のモニタリング」の検討

本課題の目的は，内陸地震の発生に至る準備過程の定量的モデル作成に有効な各種観測・モニタリング結果，及び理論的研究をレビューし，特定の断層域への応力集中過程のモニタリングの方向性を検討すること，議論の範囲として，定性的・定量的なモデル構築に向けての 1．測地学的観測による歪み集中の特徴と地殻と最上部マントルの不均質性と物性に関わる観測，2．内陸地震発生域への応力集中過程の解明のための観測とモデル化の現状レビューを行うことである．

海溝型大地震に比べて，内陸大地震の発生過程のモデル化の一般化された枠組みはない．ここでは 1 つの枠組みを紹介する．地震波速度構造，電磁気構造，地震活動，地温勾配，活断層等の観測結果から岩石構造，間隙水圧の分布，熱構造，既存断層等を取り入れた島孤地殻，最上部マントルの不均質なレオロジー構造のモデルを作成し，プレート間相互作用を取り入れて，島孤内の内的変形のシミュレーションを行い，観測事実に整合するようなモデリングを行う．このようなモデル化の結果，断層深部の挙動として，地震間では深部における粒径依存クリープによる局在化した流動と遷移領域におけるすべり加速が起き，地震後には，深部安定領域における余効すべり，粒径依存クリープによる局在化した流動，深部におけるべき乗型クリープによる粘弾性緩和がシミュレーションにより推定された．

また，地下の速度構造の推定結果から，西南日本では断層直下は深くなるにつれて周囲に比べて低速度になる傾向があり，東北日本では，周囲に比べてやや高速度になることが示された．これらの結果は，深さ方向の速度偏差を調べることにより，伏在断層の抽出につながる可能性を示唆している．

日本の内陸地震地域の比抵抗構造の推定結果が示され，内陸地震域では，地震発生層は，地殻の高比抵抗部に存在し，その下方に非常に顕著な低比抵抗異常が存在していることがわかった．またニュージーランド国アルパイン断層周辺の電磁探査結果が紹介された．それによると，ニュージーランド南島では，長さ 500km にわたる右横ずれ断層であるアルパイン断層が北東―南西方向に島を横断しており，南島北部のマルボロ地域では，アルパイン断層に平行する 5 つの横ずれ断層が存在し，南東に向けて順に若くなり，断層の年代と断層の地下構造との関係が紹介された．それによると，南東側の若い断層では，まだ未固結な堆積層の中で破砕することによって，低比抵抗体内部で地震が発生している．より内陸の横ずれ断層帯では，脆性―塑性境界下方に低比抵抗異常が分布し，トラップされている被圧流体が，上方に移動して地震を誘発するモデルあるいは流体を含み変形が容易な下部地殻があり，その上方の地殻で地震が起きているモデルで説明できる．アルパイン断層のさらに北側では，プレート深部から流体が供給される鉛直状の低比抵抗異常が存在している．この地域では豊富な流体が存在することによって空隙圧が高まり，高角の逆断層が発生し

うると考えられる．この特徴は東北日本でも見出されているものと共通することが紹介された．

GEONET により検出された日本列島の歪速度から，内陸域では活断層周辺等に歪速度の大きい領域が見られることが示された．しかし，活断層周辺の地殻変動に関する諸問題に応えるためには，現在の観測点密度では十分とはいえない．このため，比較的活動度の高いと考えられる断層周辺で GPS の稠密観測によって地殻変動の詳細な空間分布を解明する調査・研究が行われている．糸魚川―静岡構造線断層帯周辺では，稠密観測によって，断層帯北部の短縮歪みの大きな領域の東縁が長野盆地西縁断層帯に一致することや，断層帯北部では断層の西側まで歪みの大きな領域が分布する傾向が示された．活断層周辺に非地震時の地殻変動が集中する原因としては，活断層の深部延長において，局在化したせん断帯があるためであると考えられており，下部地殻全体が流動するモデルでは説明が難しいということが紹介された．また地震後の余効変動の結果から地下の粘性構造に関する研究が紹介され下部地殻よりも上部マントルの方が粘性率が小さいという結果が紹介された．

跡津川断層に平行な基線とそれを横切る基線の Vp, Vs 異常が示され，地震発生域の下部に低速度層があることが示された．また稠密な地殻変動速度の観測結果は，水平相対速度が 1mm/year 以下となる範囲は跡津川断層の地表トレースとほぼ一致することが示され，こうした地殻変動のパターンから将来の地震発生領域の広がりを非地震時の地殻変動パターンから推定できる可能性を示唆する結果が得られた．これらの観測結果に対して，地殻深部で非地震時に変形が起こり，その結果活断層域にストレスがたまっていくという概念的なモデルが紹介された．

山陰地域では海岸線にほぼ平行に地震活動帯が存在する．この地震帯にそった広帯域 MT 観測により推定された比抵抗構造は地震帯直下の南側に低比抵抗構造が存在し，第四紀火山を横切る観測線では，相対的に浅部から低比抵抗領域となっていることが示された．また山陰地域の地震帯に関して，応力インバージョンによる応力場の推定と FEM によるモデリングを行った結果，地震帯において応力場の回転が起こっており，それは下部地殻の不均質構造により説明可能であることが分かった．

Vp/Vs から推定される東北日本弧の深部構造は，火山列に沿って最上部マントルに非常に柔らかい物質（おそらくは主としてマグマ）が存在していることを示す．また，東北日本弧には脊梁に沿った領域と日本海東縁及び宮城県北部の 3 本の南北に伸びる「歪み集中帯」の存在が GPS 観測によって推定されており，多くの微小浅発地震は，この歪み集中帯で生じていることが示された．これらの観測結果のモデルとして，地殻が水平方向に均質ではなく，脊梁直下では，深部から供給された溶融体の熱と，溶融体の固結によって放出された水の影響で下部地殻が局所的に軟化しており，この状況でプレート運動起源の東西圧縮の応力が働くとその軟化域の直上に応力と歪みが集中する．東西の短縮変形に伴って地震活動と地殻の隆起が生じ，その両側に存在する過去の正断層が逆断層として活動することになる．軟化域の分布には，南北でも変化があり，火山の下では，軟化が進み，火山と火山の間の領域では「変形遅れ」が生じて，そこに応力が集中する．その結果，やがて断層が動いて大地震として応力を開放するというモデルが紹介された．

東北地方の内部構造に基づく 3 次元モデルを用いて，シミュレーションが行われ，東北地方の脊梁山脈周辺の変形過程をある程度再現する結果が紹介された．すなわち，脊梁山脈の隆起が起き，脊梁山脈の両側で応力が高くなり，断層が形成されていくという地殻変動の様子が示された．

以上の成果報告に対して，地質学的なデータとの不整合があることが指摘され，今後こういったデータを活用してほしい，とのコメントがあった．また，別のコメントとしては，地下構造の不均質を用いるのもいいが，単純な構造を突き詰める研究を進めていくことも必要ではないかとの指摘もあった．また以上の発表には断層面の不均質性に関する報告があまりなかったが，この点も今後調査していく必要性が指摘された．

第 186 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2010 年 5 月 21 日（金）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員及び臨時委員）

島崎，平原，松澤，山岡，谷岡，八木，池田，佐藤，吉田，岩崎，篠原，小川，橋本，松本，後藤，青井，野口，金田，桑原，西澤（加藤委員代理），横田，長谷川，吉川，稲葉，政春，今給黎，阿部，小原

（招聘報告者）

堀･有吉（海洋研究開発機構），弘瀬（気象研究所），松澤（防災科学技術研究所）

議事概要

1　委員の交代について

(1) 委員交代

鹿児島大学・宮町宏樹委員が後藤和彦委員に，防災科学技術研究所・小原一成委員が青井真委員に，海上保安庁・仙石新委員が加藤幸弘委員に，気象庁・土井恵治委員が長谷川洋平委員に交代した．

(2) 臨時委員

東京大学地震研究所・小原一成委員が新たに委嘱された．

(3) 中日本部会長

防災科学技術研究所・小原一成委員から名古屋大学・山岡耕春委員に交代した．

2　地殻活動モニタリングに関する検討

(1) 地殻活動の概要

ア　全国の地震活動について

国内で 2010 年 2 月から 4 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 40 個であった。最大の地震は 2 月 27 日の沖縄本島近海の地震で M7.2 であった．

イ　日本列島の歪み変化

GPS 連続観測データによる最近 1 年間の日本列島の歪み図には，2010 年 3 月 14 日に発生した福島県沖の地震に伴う地殻変動の影響等が見られる．

ウ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

日向灘沖から足摺岬沖の領域で 2010 年 1 月下旬から 3 月下旬に活発な浅部超低周波地震活動があったことが報告された．

(2) プレート境界の固着状態とその変化

ア　日本海溝・千島海溝周辺

a　宮城・福島沖の海底地殻変動

宮城・福島沖の海底地殻変動が報告された。宮城沖の海底地殻変動は陸側より大きいことが示された．

b　福島県沖の地震

2010 年 3 月 14 日に福島県沖で M6.7 のプレート境界地震が発生した．今回の地震の震央付近では，M6.4-6.7 の地震が 21-25 年に 1 回の割合で発生しており，繰り返し地震と考えられる．この地震は 2008 年 7 月 19 日の福島県沖地震の余効すべり領域のくびれの部分で発生した可能性が指摘された．また今回の地震発生前に，地震活動の静穏化領域とその領域を地震活動の活発化領域がドーナッツ状に取り囲むパターンが観測された．今回の地震は静穏化領域の西縁で発生した．

イ　相模トラフ周辺・首都圏直下

a　東京都東部の地震

2010 年 5 月 9 日に東京都東部のフィリピン海プレート境界付近で M4.0 及び M3.8 の地震が発生した．この地域で M4 クラスの地震が発生するのは約 10 年ぶりであった．

ウ　南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　東海地域の地殻変動

東海地域の水準測量結果（年周補正後）では，掛川市の水準点 140-1 に対し御前崎市の水準点 2595 の変動量はわずかな沈降であり，長期的な沈降の傾向に特段の変化は見られない．東海地方の水平地殻変動には特段の変化は見られないが，最近のすべり欠損分布は，スロースリップ発生前の状態に完全には戻っていない．

b　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

2010 年 2 月から 3 月に，豊後水道で顕著な深部低周波微動活動が観測された．また豊後水道では 1 月末より断続的に活発化し，四国東部では 4 月に活動が観測された．3 月には東海地方と紀伊半島で微動が観測された．

c　豊後水道の長期的なスロースリップ

2009 年後半から四国南西部及び豊後水道周辺で非定常な地殻変動が観測された．観測された非定常変動と豊後水道南東側の深部低周波微動及び足摺岬沖の浅部超低周波地震の活動とは同期している傾向があることが報告された．検出された非定常変動から，四国南西部及び豊後水道で 2009 年後半から長期的なスロースリップが発生したことが推定された．すべり領域は四国南西部で始まり，2010 年 2 月頃からすべり速度が加速し，豊後水道にすべり領域が拡大し現在まで続いている．

(3) その他の地殻活動等

ア　チリ中部沿岸の地震

2010 年 2 月 27 日（日本時間）にチリ中部沿岸で Mw8.8 のプレート境界地震が発生した．この地震により翌日日本国内で津波が観測された．

3　重点検討課題「プレート境界の固着とすべりのシミュレーション ー モニタリングによって何が検知されると期待されるのか？」の検討

本課題の目的は，太平洋プレートやフィリピン海プレートの沈み込み境界における固着とすべりに関する現状のシミュレーションの成果やその限界を理解することにより，観測モニタリングの指針を得ることである．議論の範囲は，1．様々なタイプのイベントが生じる条件，2．アスペリティ破壊の規模，再来間隔，震源過程のゆらぎをもたらす原因，3．大地震の前に生起する現象及び想定される現象に対する検知能

力の検証である．2 部に分かれて検討が行われ，第 1 部では数値シミュレーション研究の成果について，第 2 部では大地震前の変化等の検知能力について説明があった．

第 1 部：釜石沖の地震を例に，固有地震的に発生する M5 クラスの地震と，その地震間の後半に続発する M2 ～ 3 の地震の発生サイクルが，階層的アスペリティモデルによって再現できるという報告がなされた．また，超巨大地震のサイクルの中で一回り小さい地震が発生するような類似のケースへの階層的モデルの適用可能性についても議論された．東海地域の割れ残りと長期スローイベントとの関係が報告され，近年の大規模な東海スロースリップは 1944 年の東南海地震で東海地域が割れ残ったことに起因する可能性が示された．また，このシミュレーションでは紀伊半島沖から破壊が開始することが示され，その場合は約 1 か月前に GPS でプレスリップが観測可能と推定された．南海トラフ沿いの巨大地震発生前のスローイベントの挙動の変化の報告では，大地震発生サイクルにおける長期的･短期的スロースリップイベントを数値シミュレーションで再現でき，大地震発生前には，スロースリップの発生間隔が短くなる傾向が示された．また大地震発生前に固着域とスロースリップの発生領域の間ですべりの加速が起きることが報告された．イベント間の相互作用と大地震前後の周囲の活動変化に関する報告では，小アスペリティの連鎖破壊モデルを適用することにより，超低周波地震の移動現象が再現できることが報告された．また，余効すべりが通過すると，浅い領域では繰り返し地震・浅部超低周波地震が，深い領域ではスロースリップが発生することが示された．

第 2 部：歪計による短期的スロースリップの検知能力が報告され，短期的スロースリップの検出限界の規模が Mw5 前半であることが示された．また同様な報告が GPS 観測網に関してなされ，観測データのノイズレベルにもよるが，西南日本では Mw6.0 前後以上，北海道・東北地方ではおよそ Mw6.5 以上で検知が可能であることが報告された．短期的スローイベントと微動の準リアルタイムでの検知能力の報告がされ，傾斜計によって検出される短期的スローイベントの下限は Mw5.5 であると示された．また短期的スロースリップを傾斜計の変化から自動検出する試みが報告され，その有効性が示された．

第 187 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2010 年 8 月 20 日（金）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員及び臨時委員）

島崎，平原，松澤，山岡，谷岡，八木，池田，佐藤，吉田，岩崎，佐竹，篠原，小川，尾形，橋本，西上，松本，後藤，青井，野口，有吉（金田委員代理），桑原，西澤（加藤委員代理），横田，長谷川，吉川，稲葉，政春，今給黎，阿部，小原

（招聘報告者）

平田（東京大学地震研究所），弘瀬・前田（気象研究所），遠田（京都大学防災研究所），勝俣（北海道大学），松村（防災科学技術研究所），井出（東京大学）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

(1) 地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2010 年 5 月から 7 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 33 個であった。地震の発生数や地域分布に特に目立った点は見られなかった．

イ　日本列島の歪み変化

GPS 連続観測データによる最近 1 年間の日本列島の歪み図には，2009 年後半から発生した豊後水道スロースリップに伴う地殻変動の影響等が見られた．

ウ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

2010 年 7 月に十勝沖で活発な超低周波地震活動があった．前回予知連で報告された足摺岬沖の超低周波地震活動は，その後見られない．

(2) プレート境界の固着状態とその変化

ア　相模トラフ周辺・首都圏直下

a　千葉県北東部の地震

2010 年 7 月 23 日に千葉県北東部のフィリピン海プレート境界付近で M4.9 の地震が発生した．本震及び最大余震の発震機構解は，北西―南東方向に圧縮軸を持つ逆断層型であった．しかし，ほとんどの余震は北東―南西方向の張力軸をもつ正断層型であり，同じ断層面が破壊する余震発生パターンとは異なっていることが報告された．本震によるクーロン応力変化は正断層型の地震が起きやすい状態となっている事が示された．

イ　南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　東海地域の地殻変動

東海地域の水準測量結果では，掛川市の水準点

140-1 に対し御前崎市の水準点 2595 の変動はわずかであり，長期的な沈降の傾向に特段の変化は見られなかった．東海地方の水平地殻変動には特段の変化は見られないが，最近のすべり欠損分布は，スロースリップ発生前の状態に戻りつつある．

b　南海トラフにおける海底地殻変動

西南日本の沖合の海底地殻変動観測点の 2006 年以降の変動の結果が示された．一部の観測点ではデータのばらつきが大きく，安定した結果が得られているとはいえず，さらに 3 年ぐらい観測を続けることが必要との報告がなされた．

c　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

2010 年 5 月から 7 月に，紀伊半島南部，四国中部・西部・東部，及び豊後水道で深部低周波微動が活発化した．豊後水道の活動は，6 月以降はやや発生レートが減少している．

d　豊後水道の長期的なスロースリップ

2009 年後半から発生した豊後水道の長期的なスロースリップに伴う地殻変動は，前回の報告に比べて大きくなっている結果が報告された．また，GPS 観測局の座標時系列で見ると 6 月以降地殻変動が鈍化しているように見えることが報告された．傾斜計の観測結果もこれを支持している．推定された積算モーメントは，2003 年のレベルに近づきつつあることが報告された．

2　重点検討課題「地震活動について」の検討

本課題の目的は，主に以下の 2 つである．第 1 に，地震活動の標準的予測モデルを公募しそれらの性能を検証する CSEP 研究プロジェクトの日本に於ける取り組みについての紹介と議論である．第 2 に，地震活動や余震活動における種々の異常現象の検出法，その有意性，大地震や大きな余震の予測の確率利得を向上させる方策についての議論である．これらに関して，2 部に分けて検討が行われた．

第 1 部：始めに，日本における CSEP の取り組みについて説明がなされた．第一回地震発生予測検証実験が 2009 年 11 月から開始され，各実験モデルによる予測性能評価の中間結果の報告がなされた．内陸の深さ 30km 以浅における M5.0 以上の地震が 1 年間に発生する確率の推定に，マグニチュードの上限値を設定する MGR モデルを適用したところ，従来の G-R 則を用いる場合と比べて，地震発生率の過大評価を避けて適切に評価できることが報告された．課題「b 値と ETAS モデルにもとづく日本列島の標準的地震発生予測について」は資料の配布のみ行われた．2009 年 5 月イタリア・ラクイラで行われた国際地震予測委員会による実用的な地震予測についての検討内容及びイタリア・市民保護部（DPC）への勧告に関する報告がなされた．CSEP 日本版へ最適化した応力伝播・地震活動時間発展モデルを 1890 年以降の地震に適用した結果が紹介された．応力蓄積速度が遅い列島内陸域では，現在の地震活動は過去の大地震による影響を引きずっていることが報告された．

第 2 部：前震の事前識別による短期予測の確率利得，及び時空間 ETAS モデルを用いた中期予測の確率利得について説明がなされた．また，中国地震局などが試行している大地震の警告型予測の精度評価手法として Gambling score が紹介された．2003 年十勝沖地震前の地震活動静穏化に関して報告がなされた．その結果，Z 値を用いた地震活動静穏化の有意性を数値シミュレーションから評価すると，観測された Z 値の変化が出現する確率はランダムな発生過程では説明しにくいことが示された．茨城県沖，十勝沖における地震活動の時空間変化を調べたところ，固有地震の発生前に地震活動が特有の変化を示すことが報告された．また，東海・東南海地域の最近の地震活動パターンが，1944 年の東南海地震前の状態と類似していることが報告された．前震活動を利用した本震の予測について報告がなされた．北日本の太平洋海域の地震を対象に検証した結果，茨城県沖や宮城県沖などの限られた領域に絞ると，前震活動による本震の予測が有効である可能性が示された．群発地震の性質等から地震活動の推移について評価する手法が，地震調査委員会の下の小委員会で検討されていることが報告された．伊豆東部の群発地震活動が検討対象の 1 つになっており，この活動においては活動初期の段階でマグマ貫入量が推定できれば地震活動の規模を予測可能であることが報告された．スロースリップに伴う群発地震に ETAS モデルを適用した研究が紹介された．その結果，東京湾の群発地震はスロースリップを伴っている可能性があることが指摘された．中国栄昌天然ガス田を例とした注水誘発地震の統計的な特徴が説明された．複数の解析手法と地震活動統計パラメータの統合により，地震活動や地殻応力の臨界性を把握するための指針を構築できる可能性などが報告された．

第 188 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2010 年 11 月 19 日（金）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員及び臨時委員）

島崎，松澤，山岡，谷岡，八木，池田，佐藤，宮澤（吉田委員代理），岩崎，佐竹，篠原，小川，尾形，遠田（橋本委員代理），澁谷（西上委員代理），松本，後藤，汐見（青井委員代理），野口，有吉（金田委員代理），桑原，加藤，横田，長谷川，吉川，稲葉，政春，今給黎，阿部，小原

（招聘報告者）

井出（東京大学），望月・加藤（東京大学地震研究所），木村・廣瀬（防災科学技術研究所），後藤（京都大学），吉田・木村（気象研究所），西村（国土地理院），小泉（産業技術総合研究所）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

（1）地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2010 年 8 月から 10 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 28 個であった．全体的に，地震の発生数や地域分布に特に目立った点は見られなかった．

イ　日本列島の歪み変化

GPS 連続観測データによる最近 1 年間の日本列島の歪み図からは，目立った状況の変化はなかった．

ウ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

2010 年 8 月下旬に十勝沖で超低周波地震活動があった．日向灘でも 8 月に活動があった．

（2）プレート境界の固着状態とその変化

ア　南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　東海地域の地殻変動

東海地域の水準測量結果では，掛川市の水準点 140-1 に対し御前崎市の水準点 2595 の変動はわずかであり，長期的な沈降の傾向に特段の変化は見られなかった．

b　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

8 月 12 － 19 日に四国西部，9 月 18 － 29 日に紀伊半島中部～南部でスロースリップが発生したことが報告された．10 月 11 － 13 日に四国中部で深部低周波微動が発生したことが報告された．豊後水道における 2010 年 1 月以降の断続的な深部低周波微動活動は低調になっている．

c　豊後水道の長期的なスロースリップ

2009 年後半から発生した豊後水道の長期的なスロースリップは，鈍化傾向となっているとの報告がなされた．

d　南西諸島海溝（琉球海溝）付近の海底地殻変動

海底地殻変動の観測から，沖縄本島南方沖合の海底に設置された観測点が，沖縄の GPS 観測点の動きとは異なり，ユーラシアプレートに対して，北西方向に約 4cm/year の速度で移動していることが報告された．

イ　その他

a　スマトラ南部の地震

2010 年 10 月 25 日スマトラ南部でユーラシアプレートとインド・オーストラリアプレートの境界で Mw7.7 の地震が発生した．この地震によりインド洋沿岸で津波が観測されたことが報告された．

2　重点検討課題「プレート境界すべり現象に関する今後のモニタリング戦略」の検討

本課題の目的は，プレート境界で発生する多様なすべり現象について，シミュレーションで予測された特徴を含めその発生状況を的確に把握し，今後の巨大地震発生予測に資するため，プレート間すべり現象のモニタリング手法高度化に向けた検討を行うことである．これらに関して，3 部に分けて検討が行われた．

第 1 部　プレート境界すべり現象モニタリング最新結果

深部低周波微動の深さ依存性について報告がなされた．小規模の微動活動は深部側に集中しており，特に紀伊・四国西部では深い側と浅い側の 2 列に分布して，四国東部では孤立的に活動するという特徴が紹介された．四国西部の深部低周波微動の線状構造・継続時間・移動様式・潮汐応答について報告がなされた．微動がスラブの沈み込み方向に沿って線状に分布することが示され，過去及び現在のフィリピン海プレートの沈み込み方向が関与していることが紹介された．

第 2 部　プレート境界すべり現象と関連の深い地下構造に関する最新研究成果

茨城県沖の M7 級地震の発生域と地殻構造調査から発見された海山の関係を調べたところ，破壊領域は海山の沈み込む前方に形成され，海山自体はアスペリティにはなっていないことが報告された．房総沖の相似地震は沈み込むフィリピン海プレート最上部の火山性砕屑物・火山岩（VCR）層の下面に沿って発生していることが紹介され，活動的な深部底付け作用が進行していることが示唆された．東海地域の深部低周波微動は，高 Vp/Vs 比をもつマントルウェッジ先端部と海洋性地殻との境界面上に分布していることが示さ

れた．また，長期的スロースリップのすべり速度と海洋性地殻内の流体圧分布に相関があることが報告された．紀伊半島沖での電磁探査から，深部低周波微動や浅部超低周波地震の発生域は低比抵抗であることが報告された．低比抵抗は深部低周波微動発生域上部の下部地殻にも認められ，流体の存在が示唆された．

第３部　今後のモニタリング手法高度化への取り組み

アクロスによるプレート境界状態変化の検出の試みについて報告がなされた．東海地域の深部低周波微動活動が活発だった時期に，微動の発生域を通過する波群のエネルギーの増加が認められ，微動に伴ってプレート境界面の反射係数が増加した可能性が示唆された．歪計による短期的スロースリップの検出能力について報告が行われた．観測条件が整えば 5nano-strain 程度の歪変化の検出が可能であり，短期的スロースリップの検出限界の規模は Mw5 前半であることが示された．GPS による短期的スロースリップの検出能力について報告が行われた．空間フィルタによるノイズ軽減処理を適用すると，スロースリップの発生を示唆する変位パターンが認められる場合があり，GEONET でも検出できる可能性が示された．傾斜データを用いた短期的スロースリップの自動検出及び地震波形の相関解析による浅部超低周波地震の検出を試みた取り組みが紹介された．歪計と傾斜計の両方を利用した短期的スロースリップの検知能力を向上させる取り組みが紹介された．また，地震計鉛直アレイ観測による波形データにセンブランス解析を適用すると，従来のエンベロープ相関法より深部低周波微動の検知能力が 10 倍程度向上することが報告された．

第 189 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2011 年 2 月 18 日（金）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員及び臨時委員）

島崎，平原，松澤，山岡，谷岡，八木，池田，佐藤，吉田，岩崎，篠原，小川，尾形，橋本，遠田（西上委員代理），松本，後藤，青井，野口，有吉（金田委員代理），桑原，加藤，舟崎（横田委員代理），長谷川，吉川，稲葉，政春，今給黎，阿部，小原

（招聘報告者）

山田（東京大学地震研究所），佐藤（海上保安庁），田所（名古屋大学），望月（東京大学），藤本（東北大学）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

(1) 地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2010 年 11 月から 2011 年 1 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 46 個であった．通常より多めであるが，12 月 22 日の小笠原近海の地震の余震が 28 個含まれているためである．

イ　日本列島の歪み変化

GPS 連続観測データによる最近 1 年間の日本列島の歪み図からは，北海道では 2003 年 9 月 26 日の十勝沖地震及び 2008 年 9 月 11 日と 2009 年 6 月 5 日の十勝沖の地震の余効変動の影響が見られる．東北地方では，2008 年 6 月 14 日に発生した平成 20 年岩手・宮城内陸地震の余効変動の影響が見られる．伊豆諸島周辺では，北東－南西方向の伸びが依然として見られる．また，2008 年頃から富士・箱根周辺で，北北東－南南西方向の伸びが見られる．2010 年 3 月 14 日に発生した福島県沖の地震に伴う地殻変動の影響が見られる．豊後水道周辺ではスロースリップによる地殻変動の影響が見られる．この 3 か月では新たな現象の追加はない．

ウ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

2010 年 12 月末～ 2011 年 1 月初旬に十勝沖で小規模な活動があった．また，2011 年 1 月中旬に日向灘で小規模な活動があったものの掲載基準を満たすイベントは僅少であった．

(2) プレート境界の固着状態とその変化

ア　日本海溝・千島海溝周辺

a　宮城県・福島県沖の地震の余効変動

2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震（M7.2），2008 年 5 月 8 日の茨城県沖の地震（M7.0），2008 年 7 月 19 日の福島県沖の地震（M6.9）及び 2010 年 3 月 14 日の福島県沖の地震（M6.7）の余効変動に関して報告がされ，地震時と地震後のプレート境界面上の滑りの比較が示された．その結果，宮城県沖及び福島県沖では，地震発生域を含む形で地震後の余効滑りの領域とその大きさが推定された．福島県沖の余効滑りは，地震時の滑りよりも大きいことが示された．

イ　相模トラフ周辺・首都圏直下

2010 年 11 月 5 日の茨城県南部の地震に関する調査により，プレート境界面上でいくつかの相似地震が発生しており，これらから求められた平均滑り速度はこの付近のフィリピン海プレートの沈み込み速度と矛盾しないことが報告された．

ウ　南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　東海地方の地殻変動

東海地方の水準測量結果（年周補正後）において，掛川市の水準点 140-1 に対し御前崎市の水準点 2595 は，前回と比較して沈降しており，従来の沈降のトレンド上にある．また，東海地方の最近のすべり欠損は，スロースリップ発生前の状態に次第に戻りつつある．

b　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

短期的なスロースリップを伴う顕著な微動活動が，東海地方では 2010 年 11 月 13 ～ 19 日，紀伊半島北部では 2010 年 11 月 26 ～ 27 日，四国中部から東部では 2010 年 11 月 9 ～ 22 日，四国西部では 2010 年 12 月 9 ～ 16 日及び 2011 年 1 月 9 ～ 15 日にあった．またそれ以外の深部低周波微動活動が，紀伊半島北部で 2010 年 11 月 15 ～ 23 日，四国西部で 2010 年 11 月 16 ～ 20 日にあった．

c　日向灘で繰り返し発生するスロースリップ

2005 年以降，日向灘のプレート境界でスロースリップが繰り返し発生していることが報告された．スロースリップは，1996 年の日向灘の地震の余効滑り域の深部側とほぼ同じ領域で起きていることが報告され，検討が行われた．

2　重点検討課題「海域のモニタリング技術の動向」の検討

本課題の目的は，海域におけるモニタリング技術の動向の把握，及びその高度化に向けた検討を行うことである．議論は，1）海域における地震モニタリング観測，2）海域における地殻変動モニタリング観測，の 2 部に分けて行われた．

第 1 部　海域における地震モニタリング観測

長期観測型の海底地震計による繰返し観測について報告がなされ，根室沖から房総沖にかけての震源分布やプレート境界の 3 次元形状を求めた成果などが紹介された．気象庁によるケーブル式常時海底地震観測システムについて報告があり，海底地震計を用いることにより震源の深さの決定精度が向上する事例が紹介された．地震・津波観測監視システム（DONET）によるモニタリングが紹介され，熊野灘の地震（2011/1/8）の観測事例などを通じて，地震・津波の早期検知が可能となることが報告された．海底における高密度地震観測のために新規開発された小型のケーブル式海底地震観測システムが紹介され，粟島沖に設置したシステムではノイズの少ない結果が得られていることが報告された．

第 2 部　海域における地殻変動モニタリング観測

宮城県沖の GPS/ 音響測距による海底地殻変動観測で，地震発生からひずみの蓄積開始までの一連の地殻変動を検出することに成功したことが報告された．名古屋大学の GPS/ 音響測距観測システムが紹介され，熊野灘及び駿河湾の観測でプレートの収束に伴う地殻変動が検出された事例と海上多点方式による海中音速の推定に関する試みが報告された．観測の自動化・効率化を目指した，AUV（自律型無人潜水機）と海底ケーブル技術を取り入れた新しい海底地殻変動観測システムの開発の取り組みが紹介された．GPS/ 音響測距観測において測位精度を低下させる最大の要因である海中音速の水平方向の違いを，海底局を追加することにより推定する試みが紹介された．

第 190 回地震予知連絡会 議事概要

日　時　2011 年 4 月 26 日（火）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

島崎，平原，松澤，平田，山岡，谷岡，池田，佐藤，佐竹，篠原，小原，小川，尾形，西上，遠田，松本，後藤，青井，汐見，堀（金田委員代理），桑原，西澤（加藤委員代理），土井，長谷川，横田，稲葉，齊藤，今給黎，阿部

議事概要

1　地震予知連絡会第 22 期委員紹介

(1) 委員交代

東京大学地震研究所・吉田真吾委員及び岩崎貴哉委員が平田直委員に，東京大学地震研究所・小原一成臨時委員が臨時委員から委員に，京都大学防災研究所・橋本学委員が遠田晋次委員に，防災科学技術研究所・野口伸一委員が汐見勝彦委員に，気象庁・吉川澄夫委員が横田崇委員に，気象庁・横田崇委員が土井恵治委員に，国土地理院・政春尋志委員が齊藤隆委員に交代した．

(2) 中日本部会長交代

名古屋大学・山岡耕春委員から東京大学地震研究所・平田直委員に交代した．

2　重点検討課題「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」の検討

(1) 本震のすべり分布について

遠地実体波，近地強震記録，陸上の GPS データ，陸上の GPS データ及び海底地殻変動データを用いた地震時のすべり分布モデルが報告された．いずれのモデルも震源の東側の海溝近くで最大すべり（25-35m

程度）が推定された．また，宮城沖の海溝付近の最大隆起量は 6-8m 程度に達している一方，福島県・茨城県沖では海溝軸近くに大きなすべりはみられなかった．

(2) 前兆について

遠地実体波を使用して 3 月 9 日の M7.3 の地震のすべり分布が報告された．主なすべりは震源よりも深い領域で起きていたことが示された．3 月 9 日の前震後に地震活動が本震の破壊開始点に接近していったことが報告された．3 月 9 日に発生した地震と本震の間の地震活動の b 値は 0.4 程度で，それ以前の約 10 年間の地震活動の b 値（0.6-0.7）に比べ非常に小さい結果が報告された．GEONET 連続観測により，2000 年前後から福島県・茨城県で，2003 年頃から宮城県で東向きの非定常成分が増加していることが報告された．1997-2000 年及び 2007-2010 年のプレート境界の結合状態が推定され，2007-2010 年の結果では震源域付近のプレート間の結合が有意に小さくなっていたことが報告された．小繰り返し地震から推定されるプレート境界の結合のはがれが推定され，2008 年以降，本震の震源域の浅部ですべり速度が増加していたことが示された．

(3) M9 になった理由について

地形から推定される太平洋岸の隆起量と地質学的に観測されるひずみ速度及び潮位データによる沈降速度を総合的に説明するためには，M9 級の巨大地震が繰り返し発生する必要があるとするモデルが示された．1993 年から 2007 年に発生した小繰り返し地震から推定されるプレート間のカップリング率の分布が報告された．本震のすべり域は，カップリングが比較的強い場所であること，海溝沿いでもカップリングが大きいことが示された．GEONET 連続観測により，2008 年の茨城県・福島県沖の地震後及び 2010 年の福島県沖の地震後，太平洋岸で東向きの変動が顕著に見られることが示された．また，2000 年前後から福島県・茨城県で，2003 年頃から宮城県で東向きの非定常成分が増加していることが示された．M9 の地震を引き起こすメカニズムを説明した 4 つのモデルが紹介された．いずれのモデルも強度の大きい領域の存在，広域のすべり欠損の蓄積が発生の条件として必要であることが示された．

(4) 余震と誘発地震について

本震後に東日本で内陸地震活動が活発化した地域が報告された．活発化した地域では本震に伴う静的クーロン応力変化が正となることが示された．本震によって誘発された日光・足尾の地震活動について報告がなされた．地震活動が活発化した原因として，振動によるトリガー，ローカルな応力変化，火山体直下の流体の関与が示唆された．関東地方における本震後 3 週間以内の浅部及び深部の地震活動が報告された．活動が活発化した領域では静的クーロン応力変化は正となっていることが示された．茨城県北部・福島県東部の地震活動について報告があり，4 月 11 日に発生した M7.0 の地震前に周辺域の地震活動の静穏化が認められることが示された．

(5) 余効変動について

GEONET による余効変動の観測結果が報告された．岩手県沿岸部では沈降傾向が継続している一方，牡鹿半島周辺・銚子周辺では隆起傾向が見られることが示された．宮城県周辺の沿岸部の GPS 観測により，4 月の初め頃から江島・金華山の観測点で隆起が見られることが報告された．陸域及び海域の GPS データから推定されたすべり分布が報告された．地震時のすべりの中心よりもプレート境界の深い側で余効すべりが続いていること，銚子沖の余効すべりは本震の破壊域よりも南に広がっていることが示された．17 世紀に発生した地震の調査から，北海道の太平洋沿岸部では，数百年間隔で起こる連動型巨大地震の余効変動による隆起が，地震前及び地震時の沈降を解消する一因となっていることが示された．

第 191 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2011 年 6 月 13 日（月）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

島崎，平原，松澤，山岡，谷岡，八木，池田，佐竹，篠原，小原，小川，尾形，西上，遠田，松本，後藤，青井，汐見，高橋（金田委員代理），桑原，西澤（加藤委員代理），内藤（土井委員代理），齋藤，横田，村上，齊藤，今給黎，阿部

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

(1) 地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2011 年 2 月から 2011 年 5 月までの 4 か月間に発生した M5 以上の地震は 579 個であった．

イ　日本列島の歪み変化

GPS 連続観測データによる最近 1 年間の日本列島の歪み図には，2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震の影響が見られる．

ウ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

2011 年 3 月 10 日 22 時頃から 11 日 0 時頃に十勝

沖で小規模な超低周波地震活動が検出された．3 月 28 日から 4 月 3 日には，四国沖で小規模な活動が検出された．

(2) プレート境界の固着状態とその変化

ア　南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

短期的スロースリップを伴う顕著な微動活動が，四国西部で 5 月 20 ～ 23 日にあった．紀伊半島南部では 2 月 21 ～ 23 日に，四国西部・東部では 3 月 12 ～ 15 日に活動があった．自動モニタシステムによる西南日本の短期的スロースリップの初めての検出事例が報告された．GPS 連続観測データを用いた短期的スロースリップの検出事例が報告された．

2　重点検討課題「東北地方太平洋沖地震に関する検討 (その 2)」

第 190 回に引き続き，東北地方太平洋沖地震についての検討が 3 部に分けて行われた．

第 1 部　第 190 回地震予知連絡会のまとめとそれ以降の新知見について

本震発生前の GPS 連続観測データから推定された東北地方の歪み変化が紹介され，2006 年頃から福島県内及びその周辺の東西短縮が小さくなっていたことが報告された．本震前の地震活動について報告がされ，北海道の一部を除き日本列島における地震活動が低調であったことが示された．三陸沖～宮城県沖にかけての海溝型地震の前震及び余震活動に関する特徴が紹介された．3 月 9 日の前震（M7.3）に比較的大きめの余震が多かったのは，この領域における海溝近傍の地震発生場の特徴である可能性が指摘された．前震（M7.3）後の余効変動観測から，余効すべりが地震時のすべり領域より南側に進展した可能性が示唆された．GEONET データを用いた解析から，本震の約 40 分前から震源域上空の電離圏で最大 5TECU に達するゆっくりとした正の異常が観測されたことが報告された．津波堆積物調査から，砂質堆積物の到達限界と津波の浸水限界に 1-2km の差があることが報告された．津波波形データ及び陸上 GPS・海底 GPS 音響観測による地殻変動データを用いた本震のすべり量分布が紹介され，海溝に近いところで約 40m の大きなすべりが起きていることが示された．強震記録を用いた震源過程の解析から，宮城県沖で発生したすべりが，60-100 秒後に大規模なすべりに発展し，その後福島県・茨城県沖へと破壊が伝搬したことが報告された．GPS リアルタイムキネマティック解析による地殻変動データから，震源断層モデルの即時推定できる可能性があることが報告された．固有地震のすべり残しとしてプレート間に蓄積された歪みが，より長い周期（スーパーサイクル）で発生する超巨大地震として解放されるというモデルが紹介された．

第 2 部　海溝沿いの問題

(1) 津波地震について

津波データを用いた地震時のすべり分布モデルが報告された．二機関の結果が紹介され，いずれも海溝側に大きなすべり領域があり，最大 45m のすべりが推定された．続けて日本周辺及び海外で過去に発生した津波地震のレビューが行われた．過去 400 年間に日本で発生した 12 例の津波地震のうち 6 例は海溝型地震により発生したことが紹介された．また，国内外の地震の解析事例から，津波地震の多くは海溝近傍のすべりにより発生したことが紹介された．

(2) 海溝沿い浅部プレート境界について

海底地形調査から，海溝より陸側が約 7m の隆起を伴って東南東方向へ最大約 50m 移動したこと，海溝軸付近で発生した海底地すべりに伴う堆積物（長さ 1.5km，厚さ 50m）が観測されたことが報告された．観測された地震発生前後の海底地形変化を基にした津波シミュレーションにより，海底水圧計で観測された波高記録がほぼ再現できることが紹介された．

第 3 部　短期から長期的影響

(1) 今後の余震・誘発地震・余効変動について

余震の時間的推移の紹介がされ，大森・宇津公式に則って余震活動が減衰していることが報告された．余効すべりの解析結果が紹介され，すべりがプレート境界の深部延長でおきていること，岩手県沖・銚子沖で相対的に大きなすべりが推定されることが報告された．対数関数近似による今後の余効変動の推移予測が示された．

(2) 島弧 - 海溝系における長期的歪み蓄積過程と超巨大歪解放イベントの可能性

東北日本における水平短縮歪み及び垂直変位量に関する紹介がされた．地質構造やアイソスタシーモデルに基づいて推定される水平短縮速度は，GPS 等の測地観測から得られる値より一桁小さいことが報告された．また，太平洋岸の潮位データによる最近約 50 年間の垂直変動は継続して沈降を示す一方，海成・河成段丘高度から推定される過去約 12 万年間の長期的変動は隆起を示すことが紹介された．これらの地学的観測と測地学的観測の歪み蓄積の食い違いを解消するような，深部でのすべりが今後発生する可能性があることが示唆された．

第 192 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2011 年 8 月 22 日（月）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

島崎，平原，松澤，平田，山岡，勝俣（谷岡委員代理），八木，池田，佐竹，篠原，小原，小川，尾形，西上，遠田，松本，後藤，青井，汐見，小平（金田委員代理），桑原，西澤（加藤委員代理），土井，齋藤，横田，村上，齊藤，今給黎，阿部

（招聘報告者）

松岡（高知大学），中村（琉球大学），堀（海洋研究開発機構），弘瀬（気象研究所）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

（1）地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2011 年 6 月から 7 月までの 2 か月間に発生した M5 以上の地震は 56 個であった．東北地方太平洋沖地震の震源域で多数の地震が発生し，7 月 10 日には三陸沖で M7.3 のスラブ内地震が発生している．また，そのほかに M6 以上の地震が 7 つ発生している．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

2011 年 6 月 23 日～ 26 日頃に，十勝沖でごく小規模な超低周波地震活動があった．

ウ　日本列島の歪み変化

GPS 連続観測データによる最近 1 年間の日本列島の歪み図に，東北地方太平洋沖地震の震源域に向かって伸びる歪みが見られる．

（2）プレート境界の固着状態とその変化

ア　日本海溝周辺

a　東北地方太平洋沖地震の前震活動

M7.3 の前震の震源域から M9.0 の本震の震源域に向かう震源の移動が，2 月中旬～下旬（伝播速度：2 ～ 5km/day）及び 3 月 9 日～ 11 日（約 10km/day）に，小繰り返し地震を伴っておきていたことが報告された．小繰り返し地震を用いた準静的なプレート間滑りの推定によると，2 月中旬からの震源移動の際に M7.3 の震源域南部で滑りが始まった．続いて，M7.3 の地震発生後，その震源域の中部から北部にかけては，余効滑りに類似した滑り量の増加を示し時間の経過とともに滑り速度が減速する一方で，南部では，準静的な滑りが本震の震央（南南西）方向に伝播するとともに滑りは直線的な増加を示した．

b　東北地方太平洋沖地震の余効変動

東北地方太平洋沖地震後の余効変動を対数及び指数関数で近似した結果から，地震時の沈降が地震後の隆起によって短期間で回復する可能性は低いと考えられる．観測された余効変動から，プレート境界面の余効滑りが推定され，モーメントの放出速度は時間とともに減衰していく様子が見られた．このモデルは観測値をよく再現する．

イ　南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

2011 年 6 月～ 8 月に，短期的なスロースリップを伴う顕著な微動活動があった．

（3）その他の地殻活動等

ア　2011 年 6 月 30 日長野県中部の地震

2011 年 6 月 30 日に長野県中部を震源とする M5.4 の横ずれの地震が地殻内で発生した．この地震により，最大震度 5 強が観測された．またこの地震の発生の前日から地震活動が起きていたことが報告された．震央は牛伏寺断層の地表トレースより 2km 西に位置する．余震活動は北北西―南南東と西北西―東南東方向に線上に広がり，後者の余震分布の東端は牛伏寺断層の近くに達する．7 月中旬にはその東端で活動が活発になった．

イ　8 月 1 日駿河湾の地震

8 月 1 日に駿河湾の深さ 23km で M6.2 の逆断層の地震が，フィリピン海プレート内で発生した．発生した場所は東海地震想定震源域外である．

ウ　8 月 12 日の遠州灘の地震

8 月 12 日に遠州灘で M5.2 の地震が発生した．この地震の発震機構は北西―南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で，プレート境界周辺で発生した地震である．傾斜角が 40 度以上とやや高角であるため，プレート境界型ではないと考えられる．過去にも同地域近傍でプレート境界型ではない同規模の地震が発生していた．

2　重点検討課題「プレート境界に関するわれわれのイメージは正しいか？（その 1）南海トラフ・南西諸島海溝」の検討

本課題の目的は，今後の巨大地震発生確率が高いとされる南海トラフ及びそれに連続する南西諸島海溝について，プレート境界に関するイメージやそこで発生する巨大地震の地震像が正しいかどうか，再検討を行うことにある．これらに関して，4 部に分けて検討が行われた．

第 1 部　スーパーサイクルを含む南海トラフ・南西諸島海溝巨大地震の発生様式

津波堆積物の調査から解明されてきた，過去 3500 年間の南海トラフ沿いの巨大地震による津波履歴について報告がされた．比較的規模の大きい南海地震は 300 年程度の周期でおきており，さらに，より発生サイクルの長い規模の大きな津波も存在する可能性が指摘された．1771 年八重山地震津波についての研究成果が報告され，波源域として南西諸島海溝で発生したプレート間地震の可能性が高いことが示された．また，これまでの研究から分かってきた南西諸島海溝での固着領域の分布が紹介された．

第 2 部　シミュレーション研究から見た南海トラフ・南西諸島海溝超巨大地震の可能性

階層アスペリティモデルを適用したシミュレーション計算から，地震発生帯浅部や深部でも地震性の高速滑りが発生し得ることが示唆された．また，南西諸島海溝の地震ポテンシャルについて議論がなされ，観測研究による固着域の更なる検証の必要性が指摘された．南海トラフ沿いの地震発生シミュレーションの研究成果が報告され，東海地域が割れ残ったり，東海と豊後水道で長期的スロースリップが繰り返し発生する等の特徴が再現できることが示された．一方，東海地震が単独で発生するケースを再現するモデルの構築には至っていないことも報告された．

第 3 部　日本海溝緊急調査の成果と南海トラフ地震発生帯との比較

東北地方太平洋沖地震の発生域における構造探査から，プレート境界での摩擦が小さいことを反映すると考えられる正断層システムが海溝域まで発達していることが報告された．南海トラフ先端の掘削結果から，トラフ軸付近においても地震性滑りが起きていた可能性が示唆された．

第 4 部　東北地方太平洋沖地震を踏まえた南海トラフ地震系列の再検討

歴史地震・歴史津波を，地震動と広い浸水域を伴う貞観型と破壊的で高い遡上高を伴う津波地震型に分けて考えることが提案された．南海トラフの地震では，津波地震やその可能性のあるものは検討されているが，貞観型の存在の有無を把握するため浸水域の調査が重要であることが指摘された．また，海溝軸に近い分岐断層を津波地震の結果と捉えて再考することが提案された．

第 193 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2011 年 11 月 18 日（金）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

島崎，松澤，平田，山岡，谷岡，八木，池田，佐竹，篠原，小原，小川，尾形，西上，遠田，松本，後藤，青井，汐見，小平（金田委員代理），桑原，加藤，土井，齋藤，前田（横田委員代理），村上，齊藤，今給黎，阿部

（招聘報告者）

宮内（千葉大学），日野（東北大学）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

(1) 地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2011 年 8 月から 10 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 57 個であった．そのうち 9 個は M6 以上であった．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

2011 年 8 月から 10 月までに解析対象領域内で目立った超低周波地震活動は検出されなかった．単発的に発生する超低周波地震が福島～茨城県沖で検出された．十勝沖でも掲載基準に達しない超低周波地震が検出された．

ウ　日本列島の歪み変化

GPS 連続観測データによる最近 1 年間の日本列島の歪み図に，東北地方太平洋沖地震の震源域に向かって伸びる歪みが見られる．

(2) プレート境界の固着状態とその変化

ア　日本海溝周辺

a　東北地方太平洋沖地震の前震活動

東北地方太平洋沖地震の余効変動は減衰しながらも継続している．GPS データを用いた推定によると，東北地方太平洋沖地震後のプレート境界面上の滑りは，本震時の滑り領域の周囲で起きていることが報告された．海底地殻変動観測によると，銚子沖及び福島沖では東南東向きの変動が見られる一方，本震震央付近では大きな変動は見られない．

イ　相模トラフ周辺

a　房総半島沖のスロースリップ

千葉県東方沖で 10 月 25 日頃からフィリピン海プレートと陸のプレート境界で北北西－南南東方向に圧力軸を持つ逆断層型の地震が多発した．

同時期に傾斜計でゆっくりとした変動が観測され，スロースリップの滑り領域は地震活動とともに南へ移動したと推定された．GPS 観測でも同時期に南南東方向への非定常地殻変動が検出され，滑り領域の中心が南へ移動したと推定された．1996 年，2002 年，2007 年にも今回と同様に地震活動が発生している．スロースリップ発生の繰り返し間隔が示され，前回と今回のスロースリップの発生間隔は約 50 か月であったことが報告された．GPS データにより推定されたプレート境界面上の滑り分布モデルが示され，過去 3 回発生したスロースリップとほぼ同じ場所で起きていることが報告された．

ウ　南海トラフ・南西諸島海溝周辺

ａ　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

2011 年 8 月～ 10 月に，短期的スロースリップを伴う顕著な微動活動があった．

2　重点検討課題「東北地方太平洋沖地震に関する検討（その 3)」の検討

本課題の目的は，今後の地殻活動の推移予測や将来の巨大地震発生の予測の枠組みの検討を行うことにある．これらに関して，3 部に分けて検討が行われた．

第 1 部　東北地方太平洋岸の隆起と沈降の履歴についてのレクチャー

三陸海岸の第四紀後期隆起プロセスに関するレクチャーが行われた．三陸海岸北部での隆起の不足を補うためには，海岸隆起を伴うイベントが発生する可能性が示された．三陸沖の変動地形に基づいて，西傾斜の逆断層型の断層モデルが提示された．

第 2 部　陸上モニタリング結果

余震活動は次第に低下しつつあるものの，本震発生前と比べると活発な状況が続いていることが報告された．福島県会津から山形県置賜地方では，逆断層型～横ずれ断層型の地震が継続して発生していることが報告された．11 月 15 日から 30 日間における余震域での M7 以上の地震の発生確率は約 15％であることが報告された．岩手県北部を除き，太平洋沿岸では減衰しながらも隆起が継続していることが報告された．余効変動データの対数関数近似曲線を用いて地震時沈降の回復時間を推定すると，銚子周辺を除いて，数十年以内に全沈降量が余効変動によって回復するのは困難であることが示唆された．プレート境界面の深い場所で約 3m の滑りが生ずれば，地震時沈降の回復が可能と試算された．繰り返し地震による余効滑りの推定結果が示された．宮城県北部から岩手県沿岸では，地震時滑りの深部延長で大きな滑りが見られる一方，福島県南部から茨城県沖では，海岸直下のプレート境界深部よりもやや沖合側で大きな余効滑りが見られることが報告された．余震活動の時空間分布の解析から，海溝沿いの活動が最近 3 か月間静穏化しているように見えることが報告された．また，9 月 17 日岩手県沖地震（M6.6）の余震活動の特徴として大きめの地震が多いが，この領域ではもともとｂ値が低くｐ値が高い傾向があり，余震の減衰が早いことが示唆された．

第 3 部　海底観測結果

GPS/A 観測による地震時の海底水平変動の結果から，変位は宮城県沖に集中しており，海溝軸に近づくほど変位が増大していることがわかった．海陸全測地データから推定された地震時滑り分布によると，震源より海溝側に大きな滑りが集中し，南北にも限られた広がりであることが報告された．また，地震後の地殻変動観測から，余効変動パターンが複雑であることが示唆された．岩手県沖から茨城県沖にかけて設置した海底地震計観測による余震分布が紹介され，震源付近のプレート境界では余震がほとんど発生していない等の結果が示された．地震発生前後の海底地形データによると，数十 m 規模の変動は分岐断層等に沿っては起こっていないことが示唆された．また，海溝軸では大規模地滑りを伴いながら滑りが進行し，一部分岐断層として海底に抜けていることがわかった．

第 194 回地震予知連絡会 議事概要

日　時　2012 年 2 月 17 日（金）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

島崎，平原，松澤，酒井（平田委員代理），山岡，谷岡，八木，池田，篠原，小原，小川，尾形，西上，遠田，松本，後藤，青井，汐見，堀（金田委員代理），桑原，加藤，土井，齋藤，横田，齊藤，今給黎，阿部

（招聘報告者）

内田（東北大学），浅野（防災科学技術研究所），勝俣・西村・東（北海道大学）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

(1) 地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2011 年 11 月から 2012 年 1 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 34 個であった．

うち，M7 以上は 2 個であった．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

十勝沖で 11 月下旬から 12 月上旬に浅部超低周波地震活動があった．活発な活動としては 2010 年 7 月以来約 1 年半ぶりである．日向灘で 1 月中旬に小規模な浅部超低周波地震活動があった．

ウ　日本列島の歪み変化

GPS 連続観測データによる最近 1 年間の日本列島の歪み図に，東北地方太平洋沖地震の震源域に向かって伸びる歪みが見られる．東日本の最近 3 か月間の歪み変化では，一部に地震時とは異なる歪みの分布が見られる．房総半島では 2011 年 10 月 26 日から 11 月 8 日までにかけて発生したスロースリップの影響が見られる．

(2) プレート境界の固着状態とその変化

ア　日本海溝・千島海溝周辺

a　海底地殻変動観測

重心推定法を用いて再解析された，東北地方太平洋沖地震発生前の日本海溝から南海トラフにかけての海底地殻変動速度が報告された．

b　東北地方太平洋沖地震の余効変動

青森から北海道南西部にかけて隆起が観測されている．地震後の余効変動は減衰しながらも継続しており，その時間変化は対数関数でよく近似できる．GPS データを用いた東北地方太平洋沖地震後のプレート境界面上の滑りの推定から，1 月 12 日までに，Mw8.5 の地震に相当するエネルギーが放出されたことが示された．海底地殻変動観測によると，宮城県沖の海底で 23cm の西北西向きの変動が検出された．

イ　相模トラフ周辺・首都圏直下

a　1 月 28 日山梨県東部・富士五湖の地震

2012 年 1 月 28 日に山梨県東部・富士五湖の深さ 18km で M5.4 の地震が発生した．震源分布は南東方向に傾斜する曽根丘陵断層帯の深部延長上に並んでいるように見え，この地域で推定されている速度境界面とも整合的である．

ウ　南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　南海トラフ沿いの地殻変動

紀伊半島の先端部及び室戸岬の先端部が長期間沈降していることが水準測量の結果で示された．

b　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

短期的なスロースリップを伴う顕著な微動活動が，紀伊半島北部で 12 月 16 ～ 22 日に，四国中部～西部で 12 月 22 ～ 28 日及び 12 月 31 日から 1 月 10 日までに発生した．四国西部で発生したスロースリップの規模は Mw6.2 であり，時間とともに発生場所が移動していることが示された．

2　重点検討課題「プレート境界に関するわれわれのイメージは正しいか？（その 2）千島海溝」の検討

本課題の目的は，千島海溝沿いのプレート境界で発生する巨大地震発生を予測するための枠組みの検討を行うことにある．これらに関して，2 部に分けて検討が行われた．

第 1 部　千島海溝沿いのプレート境界のモニタリング状況

GPS で観測された北海道周辺の地殻変動データを用いた計算から，十勝～釧路沖の海溝寄りと根室半島～色丹島沖の陸寄りに強い固着が推定されることが報告された．北海道東方沖及び宮城県沖の海溝近傍では，地震活動が低調でかつ相似地震が発生していない領域が存在することが示された．相似地震の解析から，その領域の周辺は比較的強い固着が広域に推定され，一部はプレート境界地震の発生域下限まで強く固着していることなどがわかった．十勝沖で発生する超低周波地震は，2003 年十勝沖地震の余効滑り域内で発生し，通常の地震の発生域と棲み分けていることが示された．また，時間とともに発生場所が移動していく特徴などが報告された．2010 年までの 45 年間の地震活動の解析から，宮城県沖，福島県沖，房総半島沖で静穏化の傾向が見られ，特に宮城県沖，福島県沖では，東北地方太平洋沖地震時の滑り域の周辺で静穏化していたことが示された．1968 年十勝沖地震及び 1973 年根室半島沖地震の発生域周辺で，それぞれ 2004 年，2006 年以降に静穏化の傾向が見られることが報告された．

第 2 部　千島海溝沿いの巨大地震

津波堆積物調査研究の現状と課題について報告がなされた．津波堆積物の粒径や構成物の特徴を利用して堆積物を対比することにより古津波の規模の推定を目指す研究などが紹介された．これまでの北海道太平洋沖における地震波構造探査についてのレビューが行われ，稠密な海底地震観測により，高精度な震源分布や詳細なプレート形状の推定が可能になったことなどが報告された．十勝～根室沖における地震発生サイクルの数値計算結果が紹介された．応力状態次第で余効滑り域でも別のサイクル時に地震性滑りが発生する場合があり，余効滑り域と地震性滑り域は長期的には共存する可能性があることが示された．

第 195 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2012 年 5 月 30 日（金）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

島崎，平原，松澤，平田，山岡，谷岡，八木，池田，佐藤，佐竹，篠原，酒井（小原委員代理），小川，尾形，西上，遠田，後藤，青井，汐見，堀，桑原，加藤，土井，齋藤，横田，村上，齊藤，今給黎，阿部

（招聘報告者）

木村（防災科学技術研究所），小沢・西村（国土地理院），中島（東北大学），石辺（東京大学地震研究所），藤原・宍倉（産業技術総合研究所）

議事概要

1　委員の交代について

海洋研究開発機構　金田義行委員が堀高峰委員に交代した．

2　地殻活動モニタリングに関する検討

(1) 地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2012 年 2 月から 4 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 58 個であった．M6 以上の地震は 8 個，M7 以上はなかった．

イ　日本列島の歪み変化

GNSS 連続観測データによる最近 1 年間の日本列島の歪み図では，東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響が顕著に見られる．

ウ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

2 月 13 日に福島県沖で超低周波地震があった．3 月 14 日に発生した M6.9 の地震の後，3 月 20 日頃にかけて十勝沖でやや活発な超低周波地震活動があった．4 月 12 日から 19 日頃に，日向灘で小規模な超低周波地震活動があった．

エ　日本の中・長期の地震確率予測

東北地方太平洋沖地震の発生前及び発生後における深さ 100 km 以浅の地震の中・長期発生確率が報告された．

(2) 東北地方太平洋沖地震関連

過去 3 か月間の水平変動では，東北地方太平洋沖地震後の東向きの余効変動が見られる．

上下変動では，太平洋沿岸の一部観測点で隆起傾向が見られるが，隆起速度は小さくなってきている．

水平歪みの図では，東北地方太平洋沖地震後の余効変動の影響が見られる．

地殻変動の時系列データの図では，対数関数により観測データがよく説明されていることが示された．

余効変動から推定した太平洋プレート上面の滑りでは，滑り域の顕著な移動は見られず，地震モーメントの解放が時間と共に小さくなっていることが示された．

(3) プレート境界の固着状態とその変化

ア　南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

やや活発な微動活動が，3 月 23 日から 28 日に東海で，4 月 14 日から 16 日に紀伊半島北部で，2 月 6 日から 11 日に紀伊半島中部で，2 月 1 日から 8 日に四国東部で，3 月 10 日から 14 日に四国中部でみられた．

3　重点検討課題「プレート境界に関するわれわれのイメージは正しいか？（その 3）　相模トラフ周辺・首都圏直下」の検討

関東地方の今後の短中期的な大地震発生の可能性，首都直下大地震や相模トラフ沿いの巨大地震の規模と繰り返しについて議論が行われた．これらに関して，2 部に分けて検討が行われた．

第 1 部　東北地方太平洋沖地震後の関東の地震活動と地殻変動

太平洋プレート，フィリピン海プレート，陸のプレートが互いに接する境界付近で地震活動が活発化した領域が見られる一方，太平洋プレート内の二重地震面の下面では活発化が見られないことが報告された．福島県浜通りから茨城県北部・銚子付近などでは地殻内での地震活動が活発化していることが示された．

相似地震の発震機構解は，東北地方太平洋沖地震前と同様にプレート境界の滑りと調和的な低角逆断層であることが報告された．相似地震発生の繰り返し間隔は，東北地方太平洋沖地震以前より短くなったことが示された．

海底地震計の観測から，茨城県沖では陸側プレート内にも活発な余震活動が見られること，余震分布の南限は太平洋プレートとフィリピン海プレートが接する領域と一致していることなどが報告された．

GEONET データの解析から，関東地方の余効変動は広い領域にわたって隆起を伴った東方向への変位を示し，太平洋プレート上面の滑りでほぼ説明可能であることが報告された．ただし太平洋プレート単独のモデルより，フィリピン海プレートを組み込んだモデルの方が統計的により良いことが示された．

東北地方太平洋沖地震による静的応力変化と一般的な摩擦構成則パラメータ値から，関東地方の地震発生数の時間推移を再現できることが示された．首都直下

における M7 以上の地震発生確率の算定は，地震サイズ分布を制御する b 値の見積もりが大きく影響し，推定される確率値には大きな幅があることがわかった．

第２部　地震テクトニクス，古地震学的研究レビュー

1921 年茨城県南部の地震（M7.1），1987 年千葉県東方沖地震（M6.7）は，フィリピン海プレート東端部にある蛇紋岩化域の西縁で発生したことが示された．1923 年関東地震前後の M7 クラスの地震の続発は，フィリピン海プレートと蛇紋岩化域西縁での相互作用により定性的に説明できることが紹介された．

トモグラフィ解析による速度構造と反射法地震探査などからフィリピン海プレート上面の等深度分布が得られ，東京湾周辺では，従来考えられていた上面より約 10km 程度浅いことなどがわかった．

GEONET を用いた地震間地殻変動解析によると，三浦半島沖から房総半島東方沖まで強いプレート間固着が推定される一方，東京湾北部の固着は弱いことが報告された．房総スロースリップ領域の南半分は固着しており，歪みを蓄積中であることが示された．

震源メカニズム解を利用した震源深さの推定から，1921 年茨城県南部の地震や 1922 年浦賀水道付近の地震などはプレート境界面ではなくフィリピン海プレート内部で発生したことが示された．1894 年明治東京地震の波形記録から読み取った S-P 時間をもとに震源位置の推定が試みられた．

房総半島から三浦半島にかけて見つかっている津波堆積物について報告がなされた．歴史記録と照合すると地震の再来間隔が 220 ～ 415 年と見積もられることが示された．

房総半島の海岸段丘の調査などから，相模湾を震源域とする大正型の地震は平均 400 年，大正型震源域に加えて房総半島東方沖までを震源域とする元禄型は平均 2300 年の再来間隔で発生してきたことが報告された．また元禄型地震の破壊域の東側では，地形・地質データから推定される地震時滑り量と測地データから推定される滑り欠損量の収支に食い違いがあることが示され，外房沖の断層のみで発生する地震のタイプが提案された．

第 196 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2012 年 8 月 29 日（水）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

島崎，平原，平田，山岡，谷岡，八木，池田，佐藤，佐竹，篠原，小原，小川，尾形，西上，遠田，後藤，青井，汐見，堀，桑原，松本（加藤委員代理），土井，齋藤，前田（横田委員代理），村上，齊藤，今給黎

（招聘報告者）

竹村・堤（京都大学），今泉（東北大学），杉山（産業技術総合研究所）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

(1) 地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2012 年 5 月から 7 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 58 個であった．M6 以上の地震は 8 個，M7 以上はなかった．最大のマグニチュードは 5 月 20 日の三陸沖で発生した地震の M6.5 であった．

イ　日本列島の歪み変化

GNSS 連続観測データによる最近 1 年間の日本列島の歪み図では，東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響が顕著に見られる．

ウ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

2012 年 5 月～ 7 月にかけては，目立った超低周波地震活動は無かった．6 月 12 日に福島県沖～茨城県沖で，7 月 4 日に日向灘で超低周波地震が検出された．

(2) 東北地方太平洋沖地震関連

2012 年 6 月 18 日宮城県沖の地震の震源付近における M6 クラスの繰り返し地震に関する報告がなされた．

過去 3 か月間の水平変動には，東北地方太平洋沖地震後の東向きの余効変動が見られる．

上下変動については，太平洋沿岸の一部観測点で隆起傾向が見られるが，隆起速度は小さくなってきている．

海底地殻変動観測結果には，宮城沖 1 観測点で地震後に約 30cm の西向きの変動が見られる．

水平歪みの図には，東北地方太平洋沖地震後の余効変動の影響が見られる．

地殻変動の時系列データの図では，対数関数により観測データがよく説明されていることが示された．

余効変動から推定した太平洋プレート上面の滑りには，顕著な滑り域の移動は見られず，モーメントの解放速度が時間と共に小さくなっていることが示された．

(3) プレート境界の固着状態とその変化

ア　南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

短期的スロースリップイベントを伴う微動活動

が，5 月 14 日から 23 日にかけて紀伊半島北部で，5 月 25 日から 6 月 10 日にかけて四国西部～中部で，6 月 8 日から 14 日にかけて紀伊半島南部でみられた．

2　重点検討課題「内陸で発生する地震」の検討

西日本の活断層で発生する地震及び東北地方太平洋沖地震の誘発地震について議論が行われた．これらに関して，5 つの話題について報告され，検討が行われた．

近畿・中国地方東部では，歴史的に被害地震のほとんどが南海トラフ沿いの M8 クラスの巨大地震前後に発生していることが報告された．前回の東南海・南海地震により起震応力が低下して発生が抑制されたとみられる断層での地震が増加する兆候が見られ，地震の活動期に入っている可能性が示唆された．

盆地・山地の配列，活断層の分布，重力異常などの観点から近畿地方における地震テクトニクスに関する考察が紹介された．地球物理学的情報から得られた基盤構造などを基に得られた大阪堆積盆地形成のシミュレーション結果などが示された．

地表の活断層分布，地質・地下構造，重力異常分布等のデータを総合的に用いた断層帯の位置，形状，活動規模等の評価について報告がなされた．本評価手法の適用による主要活断層帯の延長及び新たな活断層の認定によって九州地方の活断層の長期評価が変わる可能性などが報告された．

過去及び新たに行われた活断層調査から，従来，鮎川付近が北端と考えられていた柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部が，福井港沖にある越前堆列の北東－南西方向の活断層・背斜付近まで延びていることなどが報告された．さらに，柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯の分岐断層である浦底－柳ヶ瀬山断層帯が，従来の結果よりさらに約 10km 北西に延びていることなどが報告された．

2011 年 4 月に発生した福島県浜通りの地震では，断層変位地形が明瞭とはいえない独立した 2 条の断層が同時に破壊したことが報告された．トレンチ掘削調査により，一万数千年前にも井戸沢断層において正断層型の地震が発生していたことがわかった．

第 197 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2012 年 11 月 21 日（水）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，松澤，山岡，平田，西上，谷岡，池田，佐竹，篠原，小原，小川，尾形，福島（澁谷委員代理），松本，後藤，青井，汐見，堀，桑原，加藤，土井，齋藤，木村（横田委員代理），村上，齊藤，今給黎，阿部

（招聘報告者）

宍倉（産業技術総合研究所），藤野（筑波大学），室谷（東京大学地震研究所），藤井（建築研究所），西村（国土地理院）

議事概要

1　第 22 期の地震予知連絡会の体制などについて

全会一致で京都大学・平原和朗委員が会長に選出された．平原会長により，新たに，山岡委員が副会長に，西上委員が西日本部会長に指名された．島崎前会長が名誉委員に推挙され承認された．

また，地震予知連絡会の「将来検討 WG（仮称）」の設置が全委員によって認められた．

2　地殻活動モニタリングに関する検討

(1) 地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2012 年 8 月から 10 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 35 個であった．そのうち，M6 以上の地震は 2 個であり，8 月 25 日に北海道十勝地方の陸のプレート内で M6.1 の地震が，10 月 2 日に三陸沖で M6.3 の地震が発生した．

イ　日本列島の歪み変化

GNSS 連続観測データによる最近 1 年間の日本列島の歪み図では，東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響が顕著に見られる．

ウ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

2012 年 10 月 16 日から 21 日頃に日向灘で超低周波地震活動があった．十勝沖でも，8 月上旬及び 10 月下旬に超低周波地震が検出された．

(2) 東北地方太平洋沖地震関連

過去 3 か月間の水平変動には，東北地方太平洋沖地震後の東向きの余効変動が見られる．上下変動については，太平洋沿岸の一部観測点で隆起が見られるが，隆起速度は小さくなってきている．

GNSS 観測点の水平変動は対数関数近似でよく説明できることが示されたが，上下変動に関しては，対数関数ではよく近似できない観測点が幾つか存在することが報告された．

過去 3 か月間の水平歪みの図には，東北地方太平洋沖地震後の余効変動の影響が見られる．

余効変動から推定した太平洋プレート上面の滑りには，顕著な滑り域の移動は見られず，モーメントの解放速度が時間と共に小さくなっていることが示された．

(3) プレート境界の固着状態とその変化

ア　南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　紀伊半島の地殻変動

1931 年を基準とした紀伊半島東側各水準点の高さの経年変化が報告され，1944 年東南海地震及び 1946 年南海地震をはさんで紀伊半島先端域が隆起し，その後 1980 年代以降から半島先端の沈降が続いていることが示された．

b　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

短期的スロースリップを伴う顕著な微動活動が四国東部（8 月 2 日から 9 日），東海地方（8 月 16 日から 25 日，10 月 31 日から 11 月 6 日），紀伊半島北部（8 月 11 日から 14 日，9 月 29 日から 10 月 4 日），紀伊半島南部（10 月 16 日から 30 日）に発生した．

3　重点検討課題「世界の巨大地震・津波」の検討

世界各地の沈み込み帯における巨大地震と津波に関する研究成果をレビューするとともに，M9 クラスの巨大地震の断層パラメータや繰り返し間隔に関する共通性を見出すことを目的として，2 部に分けて検討が行われた．

冒頭，世界で発生したプレート間巨大地震の多様性などを示した資料をもとに，本検討課題の趣旨説明がなされた．

第 1 部　世界の沈み込み帯における巨大地震・津波の履歴

1960 年チリ地震についての研究成果が紹介された．津波堆積物の調査から，1960 年チリ地震型の巨大地震は平均 300 年間隔で発生し，前回は 1575 年に発生した可能性が高いことが報告された．潮位変化の調査から，地震時の沈降域より陸側で，地震後，最大約 2m の隆起が起きた可能性が指摘された．

カスケード沈み込み帯における巨大地震の研究史が紹介された．古地震データから地震規模ごとの発生履歴などが明らかになりつつあることが報告された．

アラスカ・アリューシャン・カムチャッカの巨大地震に関する津波研究について報告がなされた．津波波形データの解析などにより推定された断層運動や海底地滑りの発生モデルなどが紹介された．また，津波堆積物調査の結果，約 100 年から 300 年の間隔で 5m 以上の津波に襲われていることがわかった．

タイの PhraThong 島における津波堆積物の調査結果から，約 2500 年前以降 4 回の津波が発生した痕跡が見つかり，少なくとも M8.5 以上の地震の発生が示唆されることがわかった．離水サンゴの記録から，インドネシアの Simeulue 島で 1394 年から 1450 年の間に隆起が 3 度起きたことがわかった．これら調査結果には，1000 年頃及び 1400 年代に巨大地震が発生したことを示唆する記録が共通に認められることがわかった．

2004 年スマトラ地震に先行した地震発生率の変化について報告がなされ，地震活動の活発化が 2000 年 7 月の半ばから始まったことが示された．また，時空間 ETAS モデルを適用した結果，常時地震活動がスマトラ・アンダマン諸島地域全体を通して活性化していたことがわかった．

地中海地域における巨大地震・津波に関する研究成果が紹介された．海域における歪みエネルギー蓄積・解放過程が十分に解明されていないことが指摘された．今後，海底地殻変動，高解像度探査，ボーリング等の調査で日本が貢献できることが期待される．

第 2 部　共通性

地震の最大規模についての考察が紹介された．プレート境界の連続性を考えると，理論上の最大マグニチュードは M11 に達しないことが示された．M10 クラスの地震が過去に発生した証拠はなく，将来も必ず発生するとは言えない．それでも，仮に M10 の地震が発生した場合に何が起こるのかを事前に理解しておくことの重要性が指摘された．M9 の発生頻度について，断層サイズ等の仮定をすることで先験確率を推定する試みが紹介された．

地震の規模と滑り量分布やアスペリティの大きさ等との関係式（スケーリング則）の巨大地震への適応可能性について報告がなされた．20 世紀以降世界で発生した M9 クラスの巨大地震について調べたところ，M9 クラスより小さい地震で求められたスケーリング則が M9 クラスの巨大地震にも成り立つことが示された．

測地観測から推定された環太平洋とスマトラ周辺のプレート間の固着域が紹介され，沈み込み帯ごとに，平均的な固着度の強弱があることが示された．一方，アリューシャン列島などのように，同じ沈み込み帯でも，沈み込み帯の走向方向に，固着度に大きな変化がある場合も多いことが示された．

津波波形データを用いた津波地震の津波波源域を推定した研究成果が紹介された．津波地震は断層幅が狭く海溝軸寄りに大きな滑りが推定されるという特徴が示された．

第 198 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2013 年 2 月 18 日（月）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，松澤，山岡，平田，西上，谷岡，八木，池田，佐藤，佐竹，篠原，小原，小川，尾形，澁谷，松本，後藤，青井，汐見，有吉（堀委員代理），桑原，松本（加藤委員代理），土井，齋藤，村上，齊藤，今給黎，阿部

（招聘報告者）

日野（東北大学），中村（海洋研究開発機構），前田（気象研究所）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

(1) 地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2012 年 11 月から 2013 年 1 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 49 回であった．そのうち M6 以上の地震は 2 回(内, M7 以上は 1 回)であった．この期間では，主に太平洋沿岸を中心に地震が発生した．

イ　日本列島の歪み変化

GNSS 連続観測データによる最近 1 年間の日本列島の歪み図では，東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響が見られる．

ウ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

2012 年 11 月から 2013 年 1 月の期間では，十勝沖で 11 月 19 日から 20 日頃に小規模な超低周波地震活動があった．

エ　2012 年 12 月 7 日三陸沖の地震

2012 年 12 月 7 日に三陸沖で M7.3 の地震が発生した．発震機構は西北西―東南東方向に張力軸を持つ正断層型であった．また，この地震の約 8 秒前にも M7 クラスと推定される地震が発生した．これらの地震は日本海溝付近の太平洋プレート内部で発生した．共に 2011 年東北地方太平洋沖地震の余震域で発生した地震であった．

(2) 東北地方太平洋沖地震関連

過去 3 か月間の水平変動には，東北地方太平洋沖地震後の東向きの余効変動が見られる．上下変動については，太平洋沿岸の一部の観測点で隆起傾向が見られるが，その大きさは小さくなってきている．

GNSS 観測点の水平変動は対数関数近似でよく説明できることが示されたが，上下変動に関しては，対数近似ではよく説明できない観測点が幾つか存在している．

東北地方太平洋沖地震後の海底地殻変動の観測結果は, 宮城県沖の数観測点で西向きの変動を示す一方, より海溝に近い東北大学の観測点は有意な東向きの変動を示す．

過去 3 か月間の水平歪みの図には，東北地方太平洋沖地震後の余効変動の影響が見られる．

余効変動から推定した太平洋プレート上面の滑りには，顕著な滑り域の移動は見られず，モーメントの解放速度が時間と共に小さくなっていることが示された．

繰り返し地震の観測結果に基づいて，1994 年から 2011 年東北地方太平洋沖地震までの応力の蓄積率の空間分布と時間変化に関する解析結果が示された．その結果，1994 年三陸はるか沖地震，2003 年十勝沖地震，2005 年宮城県沖の地震，2008 年茨城県沖の地震，福島県沖の地震及びそれらの余効滑り等の影響が明瞭に見られた．

(3) プレート境界の固着状態とその変化

ア　南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

短期的スロースリップを伴う顕著な微動活動が四国（11 月 17 日から 12 月 16 日），東海地方（10 月 31 日から 11 月 6 日, 11 月 19 日から 11 月 26 日），紀伊半島中部（12 月 16 日から 22 日）に発生した．

また GNSS 観測から，関東－東海－四国－九州－種子島までの領域において短期的なスロースリップが検出された．東海－四国－九州の領域では主として低周波地震の発生領域で，短期的なスロースリップが発生している様子が示された．

2　重点検討課題「東北地方太平洋沖地震に関する検討（まとめ）」の検討

過去 3 回にわたって検討されてきた東北地方太平洋沖地震の議論や検討結果を踏まえ，このような地震がなぜ・どのように発生したのか，また今後，このような巨大地震の発生に備えるために何をどのようにモニタリングすべきかについて，本震発生から 2 年を経過した時点でのまとめを行うことを目的として，3 部に分けて検討が行われた．

第 1 部　何が起こったのか？今後何をなすべきか？

海溝付近で本震時の大きな滑りが推定されたものの，その波動エネルギーの放射効率は低く，強震動は 20km より深いところで生成されたことが報告された．Hybrid Back Projection 法や波形インバージョン法により，断層滑り速度とその時間発展は，深さの違いによって異なることが解析によって示された．海溝付近で滑らかに断層すべりが加速しており，近年発生した津波地震と比較すると加速度は大きいことが報告された．

本震発生の 1 か月ほど前にスロースリップ及び地震活動の活発化があったことが紹介された．3 月 9 日の前震は Mw7.2 であったこと，その余効滑りは Mw6.8 で地震時滑りの浅部延長及び南側で発生したことが紹介された．陸域及び海底地殻変動データの解析から，

本震時の滑り量は海溝沿いで大きいことが紹介された．

津波高は，地震時の滑り量が最大の領域より約 100km 北で最大となることが紹介された．今回の地震や 869 年貞観地震で仙台平野の奥まで津波が遡上したことを説明するためには，深部での滑りが必要であることが示された．

地震に伴う海溝軸付近の海底地形の変化は，本震の震源の北側約 50km でも確認できるが，南側約 70km では不明瞭であることが紹介された．海溝軸付近の構造探査の結果から，海溝底に突き抜けた断層が認められることが紹介された．震源付近で確認された強い地震波の反射面が，従来の研究で考えられていたプレート境界面より深い位置にあることが報告された．

第 2 部　地震の前に異常はなかったか？

地震活動，地殻変動，電離層関係の前兆的変化に関する研究のレビューがなされた．地震活動では，静穏化，地球潮汐との相関，b 値の低下，及び前震活動が見られたことが報告された．これらの発生時期は研究により異なるが，静穏化は本震の 4 ～ 23 年前から，地球潮汐との相関は約 10 年前から，b 値の低下は遅くとも 6 年前から，前震は 1 か月前及び 2 日前に認められた．地殻変動では，本震の約 10 年前からプレート境界面上の固着の弱まりが見られ，2008 年及び 2010 年の福島県沖の地震では余効滑りのモーメント解放が本震より大きい規模で進行していたことが報告された．また，震源近傍で約 2 年前と 1 か月前に短期的スロースリップが見られた．本震の数日前から数十分前に電離圏全電子数（TEC）異常や外向き長期放射異常の電離層関係の変化が見られた．

第 3 部　何故起こったのか？

M9 級の巨大地震の発生モデルに関するレビューがなされた．これまで提示されているモデルは，周期的に発生し準備過程が認められるものや確率的に発生し準備過程が不明瞭なものなど多岐にわたることが紹介された．階層アスペリティモデルや強パッチアスペリティモデルでは，地震後のアスペリティの周囲の固着の仕方等に違いが見られることが示された．ThermalPressurization（TP）モデルでは，地震時の摩擦熱による間隙水圧の変化により，強パッチを必要とせず浅部の大きな滑りや長い地震発生サイクルを再現可能であることが示された．動的破壊と TP の組み合わせモデルでは，地震の発生様式は多様となり，大地震直前まで固着する場合もあれば，近くで発生した地震をきっかけに破壊が開始し大きな地震性滑りになることもあることが示された．Critical Taper モデルによると，中間的な傾斜角のプレート境界面の領域では，堆積物の脱水が活発に進行することにより，摩擦が低下し伸長場が形成される．大きな地震時滑りはこのような摩擦が低下した領域で発生すると考えられる．

第 199 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2013 年 5 月 30 日（木）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，松澤，古本（山岡委員代理），平田，澁谷，谷岡，遠田，エネスク（八木委員代理），池田，佐藤，佐竹，篠原，小原，上嶋，岩森，尾形，片尾，松本，後藤，青井，汐見，堀，宍倉，岩渕，土井，青木，横田，村上，齊藤，今給黎

（招聘報告者）

小平（海洋研究開発機構），西村（京都大学防災研究所），岡村（産業技術総合研究所），平川（北海道大学），松浦（地震予知総合研究振興会）

議事概要

1　第 23 期の地震予知連絡会の体制について

全会一致で平原和朗委員が会長に選出された．

平原和朗会長により，山岡耕春委員，松澤暢委員が副会長に，松澤暢委員が東日本部会長に，平田直委員が中日本部会長に，澁谷拓郎委員が西日本部会長に指名された．

東北大学・遠田晋次教授，東京大学・上嶋誠准教授，東京工業大学・岩森光教授，京都大学・片尾浩准教授，産業技術総合研究所・宍倉正展海溝型地震履歴研究チーム長，海上保安庁・岩渕洋海洋調査課長，気象庁・青木元地震情報企画官が新たに委員に就任した．

2　将来検討ワーキンググループについて

地震予知連絡会の役割の再確認と今後の活動の方向性を示すことを目的に第 197 回地震予知連絡会で設置された将来検討ワーキンググループにおいて検討された内容の経過報告が行われた．

3　地殻活動モニタリングに関する検討

（1）地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2013 年 2 月から 4 月までの 3 か月間に発生した M5.0 以上の地震は 58 回であった．2013 年 2 月 2 日に北海道十勝地方の深さ約 100km で M6.5，2 月 25 日に栃木県で M6.3，4 月 17 日に三宅島の近海で M6.2，4 月 13 日に淡路島で M6.3，4 月 17 日から 18 日に与那国島近海で M5.6，M6.1 の地震が

発生した．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

2013 年 2 月中旬から 3 月上旬に十勝沖でやや活発な超低周波地震活動があった．

ウ　日本列島の歪み変化

GNSS 連続観測データによる最近 1 年間の日本列島の歪み図では，東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響が見られる．

(2) 東北地方太平洋沖地震関連

過去 3 か月間の東北地方の歪み変化及び水平変動には，依然として東北地方太平洋沖地震の影響が見られる．

上下変動には，宮城県付近の一部の観測点で隆起傾向が見られるが，その大きさは小さくなってきている．

GNSS 観測点の水平変動の時間推移は対数関数近似でよく説明できることが示されたが，上下変動に関しては，対数関数からややずれる観測点が幾つか存在する．

余効変動から推定した太平洋プレート上面の滑り分布には，顕著な滑り域の移動は見られず，モーメントの解放速度が時間と共に小さくなっていることが示された．

(3) プレート境界の固着状態とその変化

ア　南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

顕著な微動活動が，紀伊半島南部で 3 月 7 日から 14 日にかけて，四国中部で 3 月 7 日から 24 日にかけて，紀伊半島北部で 4 月 5 日から 12 日にかけて発生した．

(4) その他の地殻活動等

ア　三宅島近海の地震

2013 年 4 月 17 日 10 時過ぎから三宅島近海で地震活動が活発となり，同日 17 時 57 分に三宅島の近海の深さ 9km で M6.2 の地震が発生した．DD 法による詳細な解析では，南北方向に延びる震源分布のほか，東西方向に延びるものもみられる．

GNSS 観測結果には，三宅島とその周辺において最大約 2cm の変動が見られる．この地殻変動データは南北走向又は東西走向の震源断層モデルのどちらでも説明できることが示された．

イ　淡路島付近の地震

2013 年 4 月 13 日に淡路島の深さ 15km で M6.3 の地震が発生した．本震の発震機構解及び余震分布から，南北走向で西傾斜の逆断層と考えられる．

GNSS 観測結果には，最大で約 1cm の変動が見られる．

ウ　与那国島近海の地震活動

2013 年 4 月 15 日頃から与那国島近海で地震活動が始まり，17 日 13 時頃から活動が活発化し，M5 程度の地震がまとまって発生した．このうち最大規模の地震は，4 月 18 日 23 時 08 分に石垣島北西沖で発生した M6.1 の地震であった．

GNSS 観測結果には，与那国島で南南西に約 5cm の変動が見られる．この地殻変動データを説明する震源断層モデルが示された．

4　重点検討課題「日本海で発生する地震と津波」の検討

日本海東縁部で発生する大地震について，最新の陸・海構造探査，地殻変動観測，海底地形・地質調査，最新の津波堆積物調査，歴史地震記録等を基に，3 部に分けて検討が行われた．

第 1 部　構造探査・地殻変動観測から震源像にせまる

ひずみ集中帯での海陸統合地殻構造探査の結果が報告された．厚い背弧海盆堆積中には，デタッチメントが形成されて断層関連褶曲が形成されていることや伏在する活断層が多く存在していること等が示された．

構造探査の結果から，日本海東部の地殻構造は島弧地殻，厚い海洋地殻，海洋地殻の 3 つのタイプに分類されることが示された．庄内沖地震・新潟地震・新潟県中越沖地震等は島弧地殻内で，日本海中部地震は島弧地殻と海洋地殻の境界付近で発生したことがわかった．

GEONET データの解析により，陸域においては秋田県以南に比べて青森県以北の短縮変形が明瞭でないことが示された．日本海東縁では東西方向のプレート間相対運動が進行しており，その速度は南ほど大きいことが紹介された．ひずみ集中帯では最大約 0.2ppm/ 年の速度で西北西－東南東方向の短縮が進行していること，ひずみ集中域の東側ではひずみ速度が小さいこと等が示された．マントルの粘弾性を考慮し，地殻を断ち切る断層の深部定常滑りモデルによって，越後平野付近の水平短縮や沈降を同時に説明できることが示された．

第 2 部　地形・地質学的調査から震源像にせまる

地形・地質学的調査から得られた海域の活断層分布等について報告がなされた．日本海東縁部及び中部では活断層の存在が明瞭であり，過去の地震の震源断層との一致が良いことが示された．一方，日本海西部の活断層は不明瞭であり，断層運動の様式は主に横ずれであることが示された．

津波堆積物調査及びそれに基づいて推定される津波波源・震源域が報告された．奥尻島周辺，津軽沖，庄内沖飛島周辺，佐渡島周辺では，いずれも 1000 年程度の再来間隔で津波が発生していることが示された．津波は 1900 年頃以降に発生が集中しており，9 － 11 世紀にも集中して起きた可能性が示唆された．

第３部　歴史地震学的調査から震源像にせまる

日本海沿岸での過去の津波災害が紹介された．日本海側においても数 m の津波が過去に到来しており，近世以降の大きな津波は新潟以北の地震が原因であることが示された．一方，西日本においては，近世以降大きな津波は認められないことが示された．

第 200 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2013 年 8 月 21 日（水）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，松澤，山岡，平田，澁谷，谷岡，遠田，池田，佐竹，篠原，小原，上嶋，尾形，片尾，松本，後藤，青井，汐見，堀，宍倉，岩渕，土井，青木，横田，村上，齊藤，今給黎

（招聘報告者）

鶴岡・吉田（東京大学地震研究所），宮澤（京都大学防災研究所），鴨川（東京学芸大学）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

(1) 地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2013 年 5 月から 7 月までの 3 か月間に発生した M6 以上の地震は，5 月 18 日に福島県沖で発生した地震（M6.0）の 1 回であった．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

2013 年 5 月下旬から 6 月下旬に日向灘周辺で活発な活動があった．

ウ　日本列島の歪み変化

GNSS 連続観測によると，最近 1 年間の日本列島のひずみには，東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響が見られる．

(2) 東北地方太平洋沖地震関連

過去 3 か月間の東北地方のひずみ変化及び水平変動には，依然として東北地方太平洋沖地震の影響が見られる．

最近 3 か月間のひずみの様子は前回のひずみの様子とほぼ同じであった．上下変動には，宮城県付近の一部の観測点で隆起傾向が見られるが，その大きさは小さくなってきている．

余効変動から推定した太平洋プレート上面の滑り分布には，滑り域の顕著な移動は見られず，モーメントの解放速度が時間と共に小さくなっていることが示された．

東北地方太平洋沖地震の直後に岩手県付近で沈降が見られたが，時間と共に隆起に転じつつあることが示された．陸域直下の太平洋プレート上面の滑りの減衰が，海側の太平洋プレート上面の滑りに比べてやや遅いことが，その原因として考えられる．

(3) プレート境界の固着状態とその変化

ア　南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

西南日本で発生した最近 3 か月の深部低周波地震活動について報告された．

短期的スロースリップを伴う顕著な微動活動が，四国西部－中部で 5 月 20 日から 6 月 13 日にかけて発生した．それ以外の主な微動活動が，紀伊半島中部（7 月 23 日から 26 日），四国東部（5 月 23 日から 28 日，6 月 27 日から 7 月 1 日），豊後水道（7 月 29 日から 8 月 4 日）で発生した．

(4) その他の地殻活動等

ア　本震直後の余震のリアルタイム確率予測

余震の検出率が低い本震後数時間のデータを用いてリアルタイムに余震発生の確率予測を行う手法を，東北地方太平洋沖地震後のデータに適用した結果が紹介され，その有効性が示された．

2　重点検討課題「地震の短期予測の現状と評価」の検討

地震の短期予測に関して，(1) 予測の評価，(2) 震源核，(3) トリガリング，(4) 電磁気学的予測，(5) 短期予測と統計モデル，の 5 つの課題を中心に議論が行われた．

(1) 予測の評価

CSEP（Collaboratory for the Study of Earthquake Predictability）で用いられている地震発生の予測手法についてレビューが行われた．予測結果の評価手法やそれに基づいた東北地方太平洋沖地震前・後の地震発生予測結果の評価が紹介された．

(2) 震源核

震源断層における高速破壊の前に形成される震源核についてレビューが行われた．臨界滑り量とアスペリティサイズが比例する場合は，大きな地震の発生前に大きな前駆滑りが起こることが示された．地震発生サイクルシミュレーションの結果から，本震の直前にアスペリティの縁で前駆滑りが進行する様子が示された．

(3) トリガリング

外的要因による地震の誘発作用についてレビューが行われた．地震の誘発には，自然現象や人工的な活動まで様々な誘発作用があることが紹介された．他の地震による誘発の主なメカニズムは，震源からの距離や

誘発されるまでの経過時間によって，静的，準静的及び動的応力変化に分類されることが示された．

(4) 電磁気学的予測

電磁気学的現象による地震の短期予測についてレビューが行われた．地震に先行した電離圏電子密度の減少や夜間の VLF 電磁波強度の減少などの事例が紹介され，電磁気学的地震先行現象と地震発生には統計的相関がある可能性が示された．

(5) 短期予測と統計モデル

前震の確率予測についてレビューが行われた．1978 年伊豆大島近海の地震発生に関して，複数の前兆現象を考慮した複合的な発生確率の試算に関する研究が紹介された．また，東北地方太平洋沖地震における前震の確率予報について報告がなされた．

第 201 回地震予知連絡会 議事概要

日　時　2013 年 11 月 22 日（金）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，松澤，山岡，平田，澁谷，谷岡，八木，池田，篠原，小原，上嶋，岩森，尾形，片尾，松本，後藤，汐見，堀，宍倉，岩渕，土井，青木，前田（横田委員代理），村上，齊藤，今給黎

（招聘報告者）

橋本（名古屋大学），日野（東北大学）

議事概要

1　地震予知連絡会将来検討ワーキンググループの報告

地震予知連絡会の役割の再確認と今後の活動の方向性を示すことを目的に第 197 回地震予知連絡会で設置された将来検討ワーキンググループにおいて検討された内容の報告が行われ，報告書が会長に提出された．

2　地殻活動モニタリングに関する検討

(1) 地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2013 年 8 月から 10 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震のうち，主なものとして，9 月 20 日に福島県浜通りで発生した地震（M5.9），10 月 26 日に福島県沖で発生した地震（M7.1）が挙げられた．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

2013 年 9 月上旬及び 9 月下旬から 10 月上旬に十勝沖周辺で，9 月中旬から 10 月中旬に日向灘周辺で超低周波地震活動があった．

ウ　日本列島の歪み変化

GNSS 連続観測によると，最近 1 年間の日本列島のひずみには，東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響が見られる．

(2) 東北地方太平洋沖地震関連

東北地方太平洋沖地震後，現在までの水平変動の累積には，東北地方から関東甲信越にかけて東向きの変動が見られる．また，上下変動には，宮城県から千葉県にかけての太平洋沿岸と関東甲信越地方及び青森県から北海道の襟裳岬付近にかけた地域に隆起が，岩手県沿岸と奥羽脊梁山脈付近に沈降が見られる．

東北地方太平洋沖地震後の海底地殻変動のデータには，釜石沖 1，2 及び宮城沖 1 の観測点に西向きの変動が見られる．

過去 3 か月間の東北地方のひずみ変化には，依然として東北地方太平洋沖地震の影響が見られる．

余効変動から推定した太平洋プレート上面の滑り分布には，滑り域の顕著な移動は見られず，モーメントの解放速度が時間と共に小さくなっていることが示された．

(3) プレート境界の固着状態とその変化

ア　南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

顕著な深部低周波微動が，東海地方（8 月 3 日から 12 日，9 月 29 日から 10 月 7 日），紀伊半島北部（9 月 6 日から 12 日），紀伊半島南部（10 月 26 日から 11 月 1 日），四国中部（8 月 14 日から 18 日，10 月 1 日から 4 日），四国西部から豊後水道（10 月 25 日から 11 月 3 日），豊後水道（7 月 29 日から 8 月 4 日）で発生した．

(4) その他の地殻活動等

ア　10 月 26 日の福島県沖の地震

10 月 26 日に福島県沖で東西方向に張力軸を持つ正断層型の地震（M7.1）が，日本海溝の東側の太平洋プレートの内部で発生した（いわゆる，アウターライズ地震）．この地震により，岩手県から福島県の沿岸で津波が観測された．

3　重点検討課題「物理モデルに基づいた地震発生予測研究」の検討

物理モデルに基づいたプレート境界地震の発生予測に向けた研究の現状と課題について議論が行われた．

(1) 地震発生の物理に基づく予測シミュレーション

地震の予測シミュレーションは，プレート相対運動・断層構成関係・滑り応答関数の 3 つの要素で構成される発生サイクルモデルにより実現されることが説明された．有効な地震発生シナリオを作成するためには，

地震の発生サイクルを数値シミュレーションにより再現し，観測データ・解析から得られる実際の発生サイクルを元に検証を重ねることが課題であることが指摘された．

(2) プレート境界滑り時空間変化の推移予測

1 つのシナリオに従う決定論的な滑りの推移予測ではなく，シミュレーションに基づいて複数のシナリオを作成し，観測データとの比較に基づいて各シナリオの重み付けを行って推移を予測することの重要性が説明された．

(3)「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」における物理モデルに基づく地震発生予測

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」（平成 25 年建議）において，物理モデルに基づいた数値シミュレーションを利用して地震発生の長期評価手法の高度化や地震活動予測を目指す研究課題が立案されていることが紹介された．地震発生予測に向けた研究では複数の研究要素が連携していることが示され，シミュレーションの基礎となる物理モデルの高度化のためには，観測で得られる実際の滑り現象の多様性や相互作用等についての理解が重要であることが説明された．また，東北沖地震や豊後水道のスロースリップなどを対象とした予測の試行が重要である一方で，その試行にはデータ同化（数値シミュレーションに観測データを取り入れる手法）の方針や予測結果の非唯一性等に課題があることが指摘された．

第 202 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2014 年 2 月 17 日（月）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，松澤，山岡，平田，澁谷，谷岡，遠田，八木，池田，佐藤，佐竹，篠原，小原，上嶋，岩森，尾形，片尾，松本，後藤，青井，汐見，堀，宍倉，岩渕，土井，青木，前田（横田委員代理），村上，齊藤，今給黎

（招聘報告者）

東田･中村（気象庁），干場（気象研究所），宮川（国土地理院），山本（鉄道総合技術研究所）

議事概要

1　地震予知連絡会将来検討ワーキンググループ報告書の承認

地震予知連絡会将来検討ワーキンググループで検討された内容をまとめた報告書が，全会一致で承認された．

2　地震予知連絡会運営要綱の改正

地震予知連絡会の運営要綱の改正について審議が行われ，全会一致で承認された．

3　地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの設置

「だいち 2 号」の SAR 観測データの流通と解析結果の検討を行うことを目的としたワーキンググループ（略称「地震 SAR 解析 WG」）の設置に関する審議が行われ，全会一致で承認された．

4　地殻活動モニタリングに関する検討

(1) 地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2013 年 11 月から 2014 年 1 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震のうち，特段の大きな地震はなかったが，2013 年 12 月 31 日に茨城県で発生した地震（M5.4）で震度 5 弱が観測された．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

2013 年 11 月上旬及び 2014 年 1 月中旬から下旬に十勝沖周辺で，超低周波地震活動があった．

ウ　日本列島のひずみ変化

GNSS 連続観測によると，最近 1 年間の日本列島のひずみには，東北地方を中心として，東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響が見られる．

(2) 東北地方太平洋沖地震関連

東北地方太平洋沖地震後，現在までの水平変動の累積には，東北地方から関東甲信越にかけて東向きの変動が見られ，山田観測点，岩手川崎 A 観測点では最大約 106cm に達することが報告された．また，上下変動には，宮城県から千葉県にかけての太平洋沿岸と関東甲信越地方及び青森県から北海道の襟裳岬付近にかけた地域に隆起が，岩手県沿岸と奥羽脊梁山脈付近に沈降が見られ，M 牡鹿観測点で最大約 31cm の隆起が観測されている．

東北地方太平洋沖地震後の海底地殻変動のデータには，宮城沖 1 の観測点に西向きの変動が見られ，宮城沖 2 の観測点では南への変動が見られる．

過去 3 か月間の東北地方のひずみ変化には，依然として東北地方太平洋沖地震の影響が見られる．また房総半島のスロースリップの影響も見られる．

余効変動から推定した太平洋プレート上面の滑り分布には，滑り域の顕著な移動は見られず，モーメントの解放速度が時間と共に小さくなりながら継続していることが示された．

(3) プレート境界の固着状態とその変化

ア　房総半島沖

房総半島でスロースリップに伴う地震活動・地殻

変動が観測された．地震活動は，12 月 31 日頃から始まり，房総半島東側の沖で 1 月 2 日から 5 日にかけて活発化した．震源域は時間とともに西南西方向へ移動した．地震活動が活発化した時期は，震源域に近接した GNSS 観測点で非定常的な地殻変動が見られる時期と一致する．GNSS 観測データによるフィリピン海プレート面上の滑りの推定結果によると，地震活動域の東側で発生した滑りは，12 月末頃から急激に加速して南側に拡大するとともに，東から西へその中心が移動していることが示された．この結果は震源の移動の向きと調和的である．

今回の地震活動は，過去のスロースリップに伴う地震発生域の北端周辺で活発であった．傾斜変動から推定された滑り域の位置は，2007 年及び 2011 年の時のスロースリップの滑り域とほぼ同じであるが，規模は小さいことがわかった．

GNSS 観測から，房総半島の非定常地殻変動は 1 月 2 日頃から始まり，10 日頃に終息したことがわかった．GNSS データを基にした計算によると，最大約 15cm のフィリピン海プレート面上の滑りが推定され，滑り領域が時間と共に南側に拡大したことがわかった．

イ　南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

短期的スロースリップを伴う顕著な深部低周波微動活動が，愛知県西部～紀伊半島北部（1 月 22 日から 28 日），紀伊半島中部（1 月 9 日から 13 日），四国中部～東部（11 月 29 日から 12 月 4 日）に発生した．

5　重点検討課題「地震・津波即時予測とリアルタイムモニタリング」の検討

地震・津波の即時予測に関して，リアルタイムモニタリングによる即時推定及び処理手法・システムの現状や今後の技術開発の展望について議論が行われた．

(1) リアルタイムモニタリングシステムの構築

地震や津波に関するリアルタイムモニタリングシステムの開発の歴史等が紹介された．19 世紀中頃から存在した早期警報のアイディアが，1980 年代頃から実用的なシステムとして開発され始め，その後，システムのネットワーク化や自動処理化等が進んで全国規模での運用が実現し，現在は予測精度の向上が課題となっていることが示された．

(2) 波動場の把握に基づく地震動の予測

緊急地震速報による揺れの予測精度向上を目的とした新しい地震動の予測手法が紹介された．現在の手法では，一旦，震源位置やマグニチュードを推定した後にそれを基に揺れを予測するが，新しい手法では，地震の揺れをリアルタイムで把握しながら，まだ揺れの到達していない地域の地震動を輻射伝達理論を基に予測する．東北地方太平洋沖地震への適用例について，強い揺れが到達する約 10 秒前に予測できることが示された．

(3) 強震モニタリングシステムー防災科学技術研究所の例ー

防災科学技術研究所が運用する強震モニタリングシステム等が紹介された．強震観測網（KiK-net, K-NET）を用いて 1 － 2 秒毎にリアルタイムで震度等の情報を WEB 上に提供するシステム，地震発生直後の初動対応の意思決定等に役立つ被害推定情報を提供する「リアルタイム地震被害推定システム（J-RISQ）」等が紹介された．

(4) 津波予測の技術

気象庁による津波予測の技術について紹介がなされた．想定される津波の数値シミュレーション結果をあらかじめデータベースとして蓄積しておき，地震時にそれらを検索・利用することで，地震後概ね 3 分程度で津波警報・注意報を発表することを実現していることが紹介された．また，巨大地震の際の津波警報発表方法の改善や今後の予測精度向上に向けた技術開発についても紹介 がなされた．

(5) GNSS 変位データを用いた即時地震規模推定

GNSS による変位データを用いて地震規模を即時推定するシステム「REGARD」が紹介された．地震発生後，GEONET による観測データから 10cm 程度の精度で地殻変動量を即時に計算し，それを基にして震源断層モデルを自動的に構築することで，M7 後半以上の地震については，地震発生後概ね 3 分程度で規模を推定できることが紹介された．

(6) 地震動・津波予測の利活用

鉄道分野における地震波の予測情報の活用について紹介がなされた．新幹線等に利用される早期地震警報システムは，即時性と信頼性を高めるために，複数の警報手法，単独観測点処理とネットワーク型処理，多重化されたハードウェア等を用いていることが示された．現在は，緊急地震速報や津波警報・注意報等の他の情報を組み合わせた活用及び活用の検討が行われつつあることが紹介された．

第 203 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2014 年 5 月 19 日（月）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，松澤，山岡，平田，澁谷，谷岡，遠田，八木，池田，佐藤，佐竹，篠原，小原，上嶋，小川，尾形，片尾，松本，後藤，汐見，中野（堀委員代理），宍倉，石川（岩渕委員代理），橋本，吉田，前田，村上，齊藤，今給黎

（招聘報告者）

加藤（東京大学地震研究所），岩森（海洋研究開発機構），吉田（東北大学）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

（1）地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2014 年 2 月から 2014 年 4 月までの 3 か月間に発生した地震のうち，主なものとしては，2014 年 3 月 14 日の伊予灘の地震（M6.2），3 月 3 日の沖縄本島の北西の深さ 116km の地震（M6.4）が挙げられる．それ以外では目立った活動はなかった．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

2014 年 2 月から 2014 年 4 月までの 3 か月間で本州・四国・九州において目立った浅部超低周波地震活動は検出されなかった．2014 年 3 月下旬に日向灘において浅部超低周波地震活動が検出された．

ウ　日本列島のひずみ変化

GNSS 連続観測によると，最近 1 年間の日本列島のひずみには，東北地方を中心として，東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響が見られる．

（2）東北地方太平洋沖地震関連

東北地方太平洋沖地震後の累積変動は，岩手川崎観測点で最大 109cm の東方向への変位が観測されている．また，上下変動については，M 牡鹿観測点で最大約 33cm の隆起が観測されている．

東北地方太平洋沖地震後の海底地殻変動の観測によると，宮城沖 1 の観測点に西向きの変動が見られ，宮城沖 2 の観測点では南への変動が見られる．

（3）伊予灘の地震

2014 年 3 月 14 日伊予灘の深さ 78km で M6.2 の地震（最大震度 5 強）が発生した．この地震は，発震機構が東北東―西南西方向に張力軸を持つ型で，フィリピン海プレート内部で発生した．この領域で M6.0 以上の地震は，1923 年以降初めてである．余震活動は低調である．

（4）プレート境界の固着状態とその変化

ア　南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

短期的スロースリップを伴う顕著な深部低周波微動活動が，四国東部から中部で 4 月 13 日－ 18 日にかけて発生した．それ以外の微動活動としては東海で 2 月 2 日－ 7 日，紀伊半島南部で 2 月 15 日－ 19 日に，四国中部で 2 月 1 日－ 5 日，豊後水道で 2 月 21 日－ 25 日にかけて観測されている．

（5）チリ北部沿岸の地震

2014 年 4 月 2 日に M8.1 の地震がチリ北部沿岸で発生した．この地震に先行して M5 － M6 級の地震活動が 2 回発生し，本震発生後には活発な余震活動が発生した．これらの先行地震は，本震の震源に近づくように発生していた．

2　重点検討課題「日本列島の長期広域変動について」の検討

日本列島の長期広域変動の観点から，東北地方を中心とした内陸の地震発生過程について理解を深めることを目的として，（1）日本列島とその周辺のプレート運動，（2）日本列島の生い立ちと長期地殻応力・歪の起源，（3）日本列島の温度構造と地殻流体の分布，（4）日本列島内陸の現在の応力・歪と強度，について最新の知見を整理し，議論が行われた．

（1）日本列島とその周辺のプレート運動

日本列島周辺での地殻活動を考える上で重要な，日本周辺のプレート運動に関する研究が紹介された．GPS による観測結果から，東アジアの変位速度場が詳細に明らかになってきている．しかし，アムールプレートもオホーツクプレートも変位速度が極めて遅いために，これらのプレートを同定するためには，長期の観測が必要であることが指摘された．また，2011 年東北地方太平洋沖地震は東アジアの広範囲にわたって大きな影響を与えた．有意な余効変動も広域で観測されており，粘弾性の影響を見極めるためにも，長期・広域の観測が必要であることが挙げられた．

（2）日本列島の生い立ちと長期地殻応力・歪の起源

日本列島の構造発達に関する現時点での理解が紹介された．日本列島の地殻の変形は，地殻活動予測の上でも重要であるが，地質学的な情報を用いることによって，日本列島の塑性変形についての理解が可能となる．日本列島周辺の地殻の変形は，背弧拡大，島弧－島弧衝突，その間に形成された断層の再活動によって特徴付けられること，火山フロントの近傍に形成されるリフト帯は，強度が弱くひずみ集中の原因となっ

ていること等が紹介された．

(3) 日本列島の温度構造と地殻流体の分布

日本列島の温度構造と地殻流体に関する研究が紹介された．沈み込むスラブに含まれる水の量，蛇紋岩の粘性率，背弧温度構造をパラメータとしてシミュレーションを行った結果，東北日本弧において火山分布や地殻熱流量，地震波トモグラフィーの特徴をよく説明する結果が得られ，温度構造，マントルの対流場，流体の分布を整合的に説明できることが紹介された．

(4) 東北日本地殻内の応力場の詳細な空間分布と絶対応力・断層強度の推定

稠密基盤観測網データに臨時観測データを加え，応力テンソル・インバージョンにより東北日本地殻内の応力場を詳細に推定した結果について紹介があった．2011 年東北地方太平洋沖地震の前の応力場は，従来言われていた単純な西北西－東南東逆断層場ではなく，地域によって異なっており，地形の影響を受けていること，東北地方太平洋沖地震前後での主応力軸方向の変化が，地震による静的応力変化とよく一致すること，東北地方での内陸大地震の震源域で主応力軸方向が空間的に不均質であることが示された．これらから，東北日本の偏差応力が 20MPa 以下と非常に小さいことが指摘された．

第 204 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2014 年 8 月 22 日（金）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，松澤，山岡，平田，澁谷，谷岡，遠田，池田，佐竹，篠原，小原，上嶋，尾形，片尾，松本，後藤，青井，汐見，堀，宍倉，岩渕，橋本，吉田，前田，齊藤，今給黎，飛田

（招聘報告者）

越後（地域地盤環境研究所），木村（防災科学技術研究所），岡田・吉川（気象研究所）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

(1) 地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2014 年 5 月から 2014 年 7 月までの 3 か月間に発生した地震のうち，主なものとしては，2014 年 7 月 8 日の胆振地方中東部の地震（M5.6），7 月 12 日の福島県沖の地震（M7.0）が挙げられる．また 5 月 5 日に関東直下の深さ 150km で M6.0 の地震が発生し，東京で震度 5 弱が観測されている．それ以外では目立った活動はなかった．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

2014 年 5 月から 2014 年 7 月までの 3 か月間で 5 月下旬から 6 月上旬，中旬に日向灘周辺で超低周波微動活動が検出された．また 2014 年 6 月上旬に十勝沖周辺で超低周波地震活動が検出されている．

ウ　日本列島のひずみ変化

北海道南部から中部・北陸地方にかけて，東北地方太平洋沖地震後の余効変動の影響による顕著なひずみが見られた．

(2)　胆振地方中東部の地震

2014 年 7 月 8 日 18 時 05 分に，胆振地方中東部の深さ 3km で M5.6 の地震が発生した．この地震は地殻内で発生し，発震機構は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型である．この地震の後，10 日までに震度 1 以上を観測する余震が 7 回発生した．この地震の震源付近では，2013 年 8 月から M2 ～ 3 程度の地震がしばしば発生していた．なお，今回の地震の発生前後で樽前山の火山活動に特段の変化は認められない．また，発震機構に調和的な地殻変動が捉えられている．

(3) 東北地方太平洋沖地震関連

東北地方太平洋沖地震後の累積変動は，岩手川崎 A 観測点で最大 112cm の東方向への変位が観測されている．また，上下変動については，M 牡鹿観測点で約 34cm の隆起が観測されている．東北地方太平洋沖地震後の海底地殻変動の観測によると，釜石沖 1，宮城沖 1 の観測点に西向きの変動が見られ，宮城沖 2 の観測点では南への変動が見られる．全ての点で傾向は変わっていないことが報告された．

(4) 福島県沖の地震

2014 年 7 月 12 日 04 時 22 分に，福島県沖で M7.0 の地震が発生した．この地震の発震機構（CMT 解）は東西方向に張力軸を持つ正断層型であり，プレート境界の地震ではなかった．この地震により，津波が発生し，石巻市鮎川（宮城県）で 17cm など，岩手県から福島県にかけての沿岸で津波を観測した．同日，最大震度 1 を観測する余震が 4 回（最大規模は M5.0）発生した．

(5) プレート境界の固着状態とその変化

ア　南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

短期的スロースリップを伴う顕著な深部低周波微動活動が，四国中部から豊後水道で 5 月 1 日～ 19 日に発生した．それ以外には，紀伊半島北

部から南部にかけて 7 月 3 日～ 20 日に活動があり，また四国西部から豊後水道では断続的な活動があった（7 月 3 日～ 8 日，7 月 17 日～ 21 日，7 月 24 日～ 27 日）．

2　重点検討課題「地震・地殻変動予測能力の現状評価」の検討

これまで報告されてきた地震・地殻変動やプレート境界沿いの諸現象を予測能力という視点で見直し，以下の各項目の予測能力の現状を整理するとともに，本質的・定性的な指摘も含めた議論が行われた．

(1) 余効変動の予測能力

国土地理院が予知連に報告してきた対数関数近似による余効変動の外挿予測について，2014 年 7 月の時点でどの程度予測が正しかったのか，また，最新のデータを含めて対数関数近似を行った場合，地震時沈降の回復時間予測は当初の予測とどの程度変わるのかについて評価を行った．その結果，2014 年 7 月時点の実データを用いて評価した対数関数近似による余効変動の予測誤差は最大で，水平で 12%/ 年，上下で 42%/ 年程度であり，ほとんどの観測点で過少評価になる傾向になること，また当初数年から 10 億年超まで広い範囲に及んでいた地震時沈降の回復年数が，最新のデータを含めると，数十年から数百年の範囲に収まっていることが報告された．また，従来の対数関数に加え，指数関数を加えて近似を行うことで，予測が改善する可能性があることが示された．

(2) 奥尻島における 1993 年北海道南西沖地震（M7.8）以降 20 年間の地殻上下変動

1993 年の北海道南西沖地震（M7.8）の際に，震源近傍の奥尻島は全体として沈降したが，一方で奥尻島には第四紀後期に形成された海成段丘が分布しており，長期的に見ると隆起していることが想定される．その原因を探る一環として地震後の地殻変動を把握することを目的として，地震後 20 年間に計 5 回の測量を行い，地震間の地殻上下変動を調べた．その結果，地震後の上下変動は基本的には沈降であるが，北海岸，西海岸では最近になって隆起傾向に転じたことがわかった．今までのところ，海岸段丘に見られる長期的な隆起の原因の解明には至っていないが，反射法構造探査の結果から，奥尻海脚の西縁に東傾斜の逆断層を想定した先行研究があることが報告された．

(3) スロースリップ，SSE の予測能力

西南日本で発生するスロー地震のモニタリングから，深部低周波微動の時空間分布が詳細に調べられ，深部低周波微動がセグメント構造をもち，セグメント毎に異なる周期性を持つこと，また，微動の発生パターンは深さに依存し，深部では連続的であるのに対し，浅部では間欠的であるなどの特徴があることが明らかになっている．また，豊後水道については，長期的スロースリップの繰り返し間隔が数年であること，また長期的スロースリップの発生中に短期的スロースリップの活動が活発化することなどの特徴がある．それらの特徴を再現するため，現実的なプレート形状を考慮した上で，微動分布や微動パターンの深さ依存性を反映した摩擦則を断層面上で与え，3 次元半無限弾性体における時間発展を計算する数値シミュレーションを行った結果，上記の特徴を再現することに成功したとの報告があった．

(4) 繰り返し小地震に対する予測能力

ほぼ同じ場所で同程度の地震が繰り返し発生する「繰り返し小地震」に対して，その予測可能性を調べた．2006 年から 2011 年にかけて，関東～北海道の沖合などで起きている「繰り返し小地震」について，地震波形の相似性を用いて系列を同定したうえで，発生間隔が対数正規分布に従うとの仮定のもと，ベイズ統計などの手法を用いて分布を推定し，それに基づいて地震の発生を予測した．実験の結果，2010 年までに限れば，予測成績は良好であり，天気予報に例えると，東京の 5 日先の降水確率予報と同程度であることが報告された．

(5) 地震活動静穏化に基づく予測能力

国内の M7 クラス以上の大地震（M ≧ 6.7，震度 5 以上，深さ 0?150km，1987 ～ 2011）を対象に地震活動の静穏化・活発化解析手法（eMAP 法）を適用し，大地震に先行する静穏化現象の検出と定量化が行われた．その結果，調査対象となった全 26 個の大地震の内 15 個について地震発生前の静穏化現象が確認された．破壊開始点と静穏化領域中心との距離には地震規模に関するスケーリング則が認められることから，静穏化の原因は地震発生前の非地震性すべりによる応力変化であることが示唆される．また，静穏化領域の長径及び先行時間のそれぞれに地震規模に関するスケーリング則が認められた．この法則に基づけば，発生場所，地震規模及び発生時期について推定が可能ということになるが，その一方，静穏化現象の先行時間にはばらつきがあり，経験式から大きく外れる場合や静穏化現象の出現が地震の発生と無関係の場合もある．また地震発生前に顕著な静穏化現象が観測されない事例（約 43%）も存在することが報告された．

(6) 常時地震活動・余震・誘発地震の予測能力

地震の確率予測の評価に際しては，標準的なモデルに基づく地震発生確率との比である確率利得を評価するべきである．地震の確率予測の予測能力は対数尤度や AIC を用いて評価することができ，データに当て

はめる統計モデルの選択やパラメータ推定には最大尤度法や AIC 最小化が適用可能であることが報告された．大地震について，観測された異常現象が前兆なのか，どの程度切迫性があるのかなどの不確定さを見積もるためには，大地震の発生確率の確率利得を評価すればよく，そのためには，異常現象と大地震の因果性を記述する点過程モデルの作成が必要である．また大地震を少しでも高い確率で予測するために，各種の観測データの有意な異常現象を多数考慮して，統計モデルで確率利得を高め，複合的に予測することが有力であり，そのためには異常現象の複合性を記述する点過程モデルの作成が必要であることが報告された．

第 205 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2014 年 11 月 28 日（金）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，松澤，山岡，平田，澁谷，谷岡，遠田，エネスク（八木委員代理），池田，佐藤，佐竹，篠原，小原，上嶋，尾形，片尾，松本，後藤，青井，汐見，堀，宍倉，石川（岩渕委員代理），橋本，吉田，前田，齊藤，今給黎，飛田

（招聘報告者）

弘瀬（気象研究所），松澤（防災科学技術研究所），有吉（海洋研究開発機構）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

（1）地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2014 年 8 月から 2014 年 10 月までの 3 か月間に発生した地震のうち，M6 以上のものは 8 月 10 日，10 月 11 日の青森県東方沖の地震（いずれも M6.1），8 月 29 日の日向灘の地震（M6.0）が挙げられる．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

2014 年 8 月から 2014 年 10 月までの 3 か月間で 10 月 12 ～ 13 日に十勝沖で超低周波地震が検出された．それ以外は目立った活動はなかった．

ウ　日本列島のひずみ変化

北海道南部から中部・北陸地方にかけて，東北地方太平洋沖地震後の余効変動の影響による顕著なひずみが見られた．

（2）青森県東方沖の地震

2014 年 8 月 10 日に青森県東方沖の深さ 51km で M6.1 の地震（最大震度 5 弱）が発生した．またこの地震の東方約 80km で 10 月 11 日に M6.1 の地震，同日 M5.6 の地震が発生した．これらの地震はいずれも発震機構が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型でプレート境界において発生している．1997 年 10 月以降の活動を見ると今回の地震の震源付近では 2002 年 10 月 14 日に M5.6 の地震が発生するなど M5.0 以上の地震が時々発生している．

（3）東北地方太平洋沖地震関連

東北地方太平洋沖地震後の累積の地殻変動は，岩手川崎 A 観測点で最大約 115cm の東方向への変位が観測されている．また，上下変動については，M 牡鹿観測点で約 38cm の隆起が観測されている．東北地方太平洋沖地震後の海底地殻変動の観測によると，釜石沖 1，宮城沖 1 の観測点に西向きの変動が見られ，宮城沖 2 の観測点では南への変動が見られる．全ての点で傾向は変わっていないことが報告された．

（4）プレート境界の固着状態とその変化

ア　南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　豊後水道の長期的スロースリップ

GNSS 観測による非定常地殻変動の時間・空間パターンは，2014 年夏頃から豊後水道付近で南東方向を向く変動を示しており，長期的スロースリップ（SSE）に伴う変動と考えられる．この非定常変動から推定した長期的 SSE のすべり領域は四国西部～豊後水道付近に分布している．豊後水道の長期的 SSE の領域に隣接する浅部側低周波微動活動が 2014 年初め以降，通常のレートよりも活発化し始め GNSS 観測でも 2014 年半ばから変化が見られている．これは，ごく小規模な長期的 SSE が発生したことを示唆する．今回の発生間隔は過去に比べて短いように見えるが，これは東北地方太平洋沖地震の影響の可能性がある．

b　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

短期的 SSE を伴う顕著な深部低周波微動活動が，豊後水道で 9 月 21 日～ 24 日に，四国西部で 10 月 17 ～ 26 日に発生した．それ以外には，東海地方で 8 月 30 日～ 9 月 6 日に活動があり，四国東部で 9 月 13 日～ 26 日，四国中部で 10 月 9 日～ 12 日に発生している．

（5）長野県北部の地震

2014 年 11 月 22 日 22 時 08 分に，長野県北部の深さ 5km で M6.7 の地震（最大震度 6 弱）が発生した．この地震の発震機構は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ型であり，神城断層で発生したと考えられ

る．この地震の後，同日 22 時 37 分には，深さ 3km で M4.5 の余震（最大震度 5 弱）が発生した．糸魚川－静岡構造線活断層系付近の 1700 年以降の活動では M7 の地震は発生していない．DD 法による震源決定では，震央の北側，南側で東傾斜の余震分布が見られた．震央付近では，浅い領域の地震があまり見られない．また本震の発生前 11 月 18 日から震源域で地震活動が起きていたことが報告された．2002 ～ 2009 年に行われた糸魚川－静岡構造線周辺での GNSS 観測によれば，今回の地震の震源域では東西圧縮の傾向が見られることが報告された．白馬周辺の GNSS 観測結果は，震源域付近で東南東方向の変動を示している．この地殻変動データから東傾斜の横ずれ成分を含む逆断層のモデルが推定された．また GNSS 連続観測網の白馬観測点は東南東方向へ約 29cm 水平移動し，約 3cm 沈降した．だいち 2 号のデータの SAR 干渉解析の結果は，神城断層付近で地殻変動に伴う位相変化が見られ，震央西側の地表地震断層付近で特に大きな地殻変動が見られた．東北大学，名古屋大学や，産業技術総合研究所等の調査によれば長野県北部の地震に伴う地表地震断層及び地表変状の分布は神城断層に沿っており，神城断層で地震が発生したことを示唆している．

2　重点検討課題「物理モデルに基づいた地震発生予測研究　その 2」の検討

海溝型巨大地震発生予測の鍵を握ると期待される，SSE（ゆっくりすべりとも言われる）のシミュレーションを取り上げ，巨大地震発生予測といった観点から各種 SSE の発生が議論された．以下の SSE 発生シミュレーション研究に関して，本質的・定性的な指摘も含めた議論が行われた．

(1) 南海トラフ沿い巨大地震とスロースリップ

東海沖から九州沖での地震発生サイクルのシミュレーションが報告された．過去の大地震の繰り返し間隔が 100 ～ 150 年であること，東海地域に沈み込んだ海嶺が存在すること，浜名湖の北側や豊後水道の下部のプレート境界付近には水の存在が示唆されていることなどを考慮してパラメータを設定した結果，紀伊半島沖を破壊開始点とする東南海地震・南海地震が約 120 年のサイクルで発生し，2 回に 1 回は東海地域も破壊するモデルが得られた．地震サイクル中に，浜名湖の北側領域で約 15-18 年，豊後水道で約 6-10 年の周期を持つ長期的 SSE が発生し，その周期は時間とともに短くなり，規模は大きくなる傾向が示された．また，与えるパラメータによっては，豊後水道の長期的 SSE が加速し，南海トラフ沿い巨大地震のトリガーとなるパターンも現れた．また，小アスペリティの破壊が巨大地震の核形成を代用する Cascade-up 型の地震が，複雑な 3 次元形状の場合でも起こり得るのか，紀伊半島沖に小アスペリティを設定し，プレスリップの挙動について調査した結果，Cascade-up 型の地震が発生し，プレスリップの大きさは大小アスペリティの大きさの比に反比例して小さくなった．色々な特性の小アスペリティを設定し，仮想的な観測点での地殻変動を計算したところ，プレスリップを陸上観測点で検知できないまま，巨大地震が発生する可能性もあることが報告された．

(2) 南海トラフにおける長期的・短期的スロースリップイベントとプレート間大地震準備過程の数値モデリング

平板のプレートを用いた地震発生サイクルの数値計算が行われ，SSE の基本的な挙動が再現された．また大地震サイクル間における固着域と SSE 領域間のすべり状態の変化に伴い SSE 発生間隔が変化する可能性が示唆された．次に四国地域について実際のプレート形状と SSE の分布を考慮したモデルが報告され，豊後水道付近で 6 ～ 7 年周期で繰り返す SSE と，高知市付近で発生する SSE の 2 つのタイプの長期的 SSE が再現された．また，深部低周波微動領域において数箇月間隔で発生する短期的 SSE についても再現された．数値モデルの結果からは，高知市付近の長期的 SSE の発生間隔が 10 年以上と長く，かつ不定期である可能性が示唆された．このように，ゆっくり地震によるすべりがプレート間大地震発生域周辺において，間欠的かつ階層的に発生することにより，地震の準備過程が進展していく描像が数値モデルから得られた．

(3) 巨大地震サイクルに伴うゆっくり地震の活動変化と検知可能性

浅部超低周波地震の活動に関するシミュレーションが行われ，浅部超低周波地震の局所性の原因及び 2011 年東北地方太平洋沖地震との関係に関する報告が行われた．シミュレーションの結果，超低周波地震の局所性はプレート間固着の領域を反映している可能性が指摘された．このことは，超低周波地震のモニタリングによって固着域の状態を推定できる可能性を示唆する．東北地方太平洋沖地震の発生後に超低周波地震が静穏化した宮城沖は，強い固着域の中央部であり，活発化した福島・茨城沖は，強い固着域の外縁部であることを示しているという報告が行われた．東南海沖における超低周波地震活動から，東南海～南海のセグメント境界は提案されたモデルよりも東側である可能性，豊橋沖での超低周波地震の不活発化は東海～東南海のセグメント境界の固着が強い可能性，そして DONET をはじめとする海底ケーブルの活用が有効ではないかということが指摘された．

(4) 地震発生に至るプロセスとしてのゆっくりすべりと予測における役割

巨大地震震源域内で観測されたゆっくりすべりに関する報告が行われ，地震発生サイクルのシミュレーションの結果が示された．次にシミュレーション結果を，巨大地震震源域内でゆっくりすべりや本震に向けたすべりの加速が起こるような系に適用した試みが報告され，理想的な条件下では地震が近づいているという情報が取り出せる可能性があることが示された．また地震発生の予測実験の試行に向けたモニタリング及び推移予測項目が提案され議論が行われた．予測実験の試行における懸案事項についても議論が行われた．この予測実験の試行では，様々な時間スケールがあることに留意すべきであること，何を発表し議論するのか，発表のタイミングに関して意見が述べられた．

第 206 回地震予知連絡会 議事概要

日　時　2015 年 2 月 16 日（月）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，松澤，山岡，平田，澁谷，谷岡，遠田，エネスク（八木委員代理），池田，佐藤，篠原，小原，上嶋，小川，尾形，片尾，松本，後藤，青井，汐見，堀，宍倉，石川（岩渕委員代理），橋本，吉田，前田，齊藤，今給黎，飛田

（招聘報告者）

丸山･近藤･吾妻（産業技術総合研究所），青柳（電力中央研究所）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

(1)　地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2014 年 11 月から 2015 年 1 月までの 3 か月間に発生した地震のうち，M6 以上のものは 11 月 22 日の長野県北部の地震（M6.7），12 月 11 日の石垣島北西部の地震（M6.1），12 月 20 日の福島県沖の地震（M6.0）が挙げられる．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

2014 年 11 月から 2015 年 1 月までの 3 か月間で，十勝沖において 11 月中旬に超低周波地震活動が検出された．また四国沖（室戸岬沖）で 12 月に超低周波地震活動を検出している．これは 2011 年以来となる．日向灘では 11 月中下旬及び 1 月下旬に超低周波地震活動が検出された．

ウ　日本列島のひずみ変化

北海道南部から中部・北陸地方にかけて，東北地方太平洋沖地震後の余効変動の影響及び長野県北部の地震の影響による顕著なひずみが見られた．

(2)　東北地方太平洋沖地震関連

東北地方太平洋沖地震後の累積の地殻変動は，岩手川崎 A 観測点で最大約 117cm の東方向への変位が観測されている．また，上下変動については，M 牡鹿観測点で約 37cm の隆起が観測されている．

(3) 長野県北部の地震

2014 年 11 月 22 日に発生した長野県北部の地震発生後の余震活動は次第に減少してきている．これらの余震活動がみられた領域は，糸魚川－静岡構造線活断層系の一部である神城断層の位置にほぼ一致している．本震付近では 11 月 18 日から規模の小さな地震活動がみられた．本震の発生後同日に最大余震（M4.5），11 月 23 日に M4.4 の余震が発生した．その後 12 月 22 日には，本震とほぼ同じ場所を震源とする M4.4 の余震が発生した．本震発生前に臨時観測点が設置されており，高精度な余震分布が得られた．その結果本震の位置は気象庁一元化震源に比べて約 2.5km 東にずれた．西北西－東北東の本震を含む断面で見ると東傾斜の震源分布が見られる．また本震の北側の断面では東傾斜に加えて，縦に並ぶ震源分布が見られた．だいち 2 号 SAR 干渉解析結果に基づく長野県北部の地震に伴う現地調査から，小谷村で地震断層の可能性がある地表の短縮変形が確認された．

(4) プレート境界の固着状態とその変化

ア　南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　豊後水道の長期的スロースリップ

2014 年夏頃から始まった豊後水道付近の長期的スロースリップ（SSE）に伴う非定常的な地殻変動は，現在ほぼ停滞している．

b　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

短期的 SSE を伴う顕著な深部低周波微動活動が，紀伊半島北部で 1 月 1 日～ 8 日に，四国中部で 12 月 25 日～ 1 月 3 日に，豊後水道で 1 月 9 日～ 16 日に発生した．それ以外には，紀伊半島中部で 1 月 7 日～ 12 日及び 1 月 18 日～ 22 日に活動があり，四国東部で 1 月 30 日～ 2 月 1 日，四国中部で 1 月 7 日～ 13 日に発生している．

2　重点検討課題「兵庫県南部地震から 20 年　活断層研究の進展と課題」の検討

兵庫県南部地震以降，20 年における活断層研究の進展と，明らかになった課題を取り上げ，地表地震断

層のトレンチ調査等から明らかになった活動の多様性や長大活断層の連動性評価，地下構造探査などによる活断層の地下の位置・形状や構造発達史に関する知見の整理，また地表で明瞭に痕跡が残りにくい活動や短い活断層の評価の現状，及び中規模内陸地震の地表変位の検出に関する最新の話題が紹介され，今後の内陸地震の評価に向けた議論が行われた．

(1) 近年出現した地表地震断層の履歴調査からみた滑り量の多様性

活断層は，活動毎に同じような活動を繰り返してきたのか，また大（～中）地震の証拠はいつも地層や地形に記録されるのかといった問題に対し，2004 年中越地震，2008 年岩手・宮城内陸地震，2011 年福島県浜通りの地震で出現した地震断層を対象とした古地震調査の結果が紹介された．調査の結果，活断層沿いの同一地点でも活動毎に滑り量に大きな違いが生じる場合があることが分かった．また，トレンチ調査からは，被害をもたらす可能性のある大（～中）地震の証拠が検出できない場合があり，発生頻度を過少評価する可能性があることが分かった．また，地形や地層に記録された過去の地震よりも大きなずれを伴う地震断層が出現する場合があることが明らかにされた．

(2) 長大活断層系の連動性評価と課題

陸域に分布する活断層系の中には，長さが数 10km から数百 km にわたる長大な活断層系がある．従来の活断層調査によって整備されてきた過去の活動時期だけでは，複数の断層セグメントが同時に連動したどうかを判別することが困難であった．トルコの北アナトリア断層系において過去の地震に伴うずれ量を 3 次元的なトレンチ調査から復元した結果，セグメント境界周辺でずれ量を復元すれば過去に連動したかどうかを判別できる可能性があることがわかってきた．この評価手法を，日本で最も地震発生可能性が高い内陸活断層系の 1 つである糸魚川－静岡構造線活断層系に対して適用・検証する試みが報告された．

(3) 地下構造探査による活断層 - 震源断層システムのイメージング

反射法地震探査を中心とした地下構造探査により，活断層のイメージングが大きく伸展した．日本列島は日本海の形成に伴って正断層を形成するような伸張の変形を経験したが，この際に形成された断層群は，現在の震源断層の骨格をなす場合が多い．中央構造線，伊豆衝突帯，日本海沿岸の事例が紹介された．日本海沿岸のリフト帯の短縮変形によって形成された活褶曲帯では，リフト形成時に作られた断層システムが，断層のセグメンテーションにも重要な影響を与えている．過去のリフトシステムの理解など，形成史を考慮に入れることにより，セグメント区分や地震の規模予測をより有効に行える可能性がある．

今後の課題としては，プレート境界から駆動される応力・ひずみによる内陸地震の発生を物理的に理解することが物理的な長期予測の鍵となる．このためには精度の高い震源断層の位置・形状や滑り角を求め，統合地殻構造モデルの中での応力蓄積を検討していくことが重要な課題となるという報告がされた．

(4)「孤立した短い活断層」から発生する地震の規模評価について

地表で認められている長さが短い活断層においては，その長さから推定されるよりも規模が大きな地震がその周辺で発生することがあり，地震防災においてその評価は重要である．しかし，これまでの活断層調査においては，活動性が高い主要な活断層に対象が限られ，短い活断層や活動性が低い活断層の調査や評価はあまり進展していない．ここでは，孤立した短い活断層について，詳細な地形判読と地下構造との関係を検討した研究事例が紹介された．既存の活断層カタログから約 100 の対象断層を抽出し，大縮尺の空中写真とデジタル標高モデル（DEM）を用いた地形解析を行った．さらに，地質図に示されている断層及び重力異常図から推定される地下構造との比較検討を行い，その結果に基づいた「孤立した短い活断層」から発生する地震規模の評価手法についての考察が報告された．その結果，47 の対象断層で断層長が伸びる可能性が認められた．今後の課題として，活動度の代わりに平均変位速度を用いて定量的な評価手法に発展させることが期待される．

(5) 中規模内陸地震（M5-6 クラス）による地表変位の検出

地殻内地震に伴って地表に断層が生じる場合，その最大変位量は地表地震断層の長さと正の相関があることが経験的に知られている．ただし，M6 以下の地震の場合には，地表地震断層の観測データが少ないため，こうした経験式がどこまで短い断層に適用できるのかよく分かっていない．1990 年代から合成開口レーダー（SAR）センサを搭載した人工衛星が運用されており，地殻変動を詳細に捉えられるようになってきた．

1996 年～ 2013 年に日本で発生した 17 個の中規模地殻内地震（Mw5.0-6.9，大半は Mw<6.0）を対象にして，SAR 干渉解析により地表変位の検出を試みた結果，12 個の地震については断層運動に関連した地殻変動が認められ，そのうち 8 個の地震については干渉縞に明瞭な不連続が認められた．これらの不連続を断層変位として評価し，その長さと最大変位量を測定した結果，最大変位量と断層長には正の相関が認められ

た．観測された地表変位の形状は，狭い範囲での撓曲変形を示唆しているため，厳密な意味での断層変位とは区別すべきかもしれないが，M5-6 クラスの地震に対応した小規模の断層も含めて，その地表変位の予測のために断層長の把握が有効であることが分かった．

第 207 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2015 年 5 月 22 日（金）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，松澤，山岡，平田，澁谷，高橋，遠田，八木，池田，佐藤，佐竹，小川，尾形，後藤，青井，汐見，堀，宍倉，石川（岩渕委員代理），橋本，前田，飛田，今給黎

（招聘報告者）

田中（防災科学技術研究所），鴨川（東京学芸大学）

議事概要

1　第 24 期の地震予知連絡会の体制について

全会一致で平原和朗委員が会長に選出された．平原会長により，松澤暢委員と山岡耕春委員が副会長に指名された。松澤暢委員が東日本部会長に，平田直委員が中日本部会長に，澁谷拓郎委員が西日本部会長に，山岡耕春委員が重点検討課題運営部会長に指名された．北海道大学・高橋浩晃准教授が新たに委員に就任した．

2　地殻活動モニタリングに関する検討

（1）地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2015 年 2 月から 2015 年 4 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 35 回であった．目立った活動としては，2 月 17 日の三陸沖の地震（M6.9），4 月 20 日の与那国島近海の地震（M6.8）が挙げられる．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

2 月末から 3 月上旬及び 4 月下旬から 5 月初めにかけて十勝沖で，5 月上旬から日向灘周辺で超低周波地震活動があった．

ウ　日本列島のひずみ変化

東北地方太平洋沖地震後の余効変動の影響や長野県北部の地震の影響が見られる．

（2）東北地方太平洋沖地震関連

東北地方太平洋沖地震以降の累積水平変動には，東北地方から関東甲信越にかけて東向きの変動が見られ，岩手川崎 A 観測点で最大約 119cm に達している．また，上下変動には，宮城県から千葉県にかけての太平洋沿岸と関東甲信越地方及び青森県から北海道の襟裳岬付近にかけた地域に隆起が，岩手県沿岸と奥羽脊梁山脈付近に沈降が見られ，M 牡鹿観測点で最大約 40cm の隆起が観測されている．2015 年 1 月までの海底地殻変動のデータには，宮城沖 1 及び釜石沖 1 で西向きの地殻変動が引き続き見られる．

（3）プレート境界の固着状態とその変化

ア　日本海溝・千島海溝周辺

a　三陸沖の地震

2015 年 2 月 17 日に三陸沖で M6.9 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震の発震機構は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で，太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した．この地震は東北地方太平洋沖地震の余震域で発生した．岩手県の久慈港で 27cm の津波を観測したほか，北海道から岩手県の太平洋沿岸で微弱な津波を観測した．今回の地震の発生後，この地震の震央周辺で，最大震度 1 以上を観測する地震が 2 月 28 日までに 12 回発生し，地震活動が活発になった．2 月 17 日の三陸沖の地震に伴い，わずかな地殻変動が検出された．

b　宮城県沖の地震

2015 年 5 月 13 日に宮城県沖で M6.8 の地震（最大震度 5 強）が発生した．この地震は，発震機構が東西方向に圧力軸を持つ逆断層型で，太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した．また，今回の地震に伴い，約 2cm の地殻変動が GNSS 観測により検出された．

イ　南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　豊後水道の長期的スロースリップ

2014 年夏頃から始まった豊後水道付近の長期的スロースリップは，現在は停滞している．

b　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

短期的スロースリップを伴う顕著な微動活動が，東海地方（4 月 14 日から 19 日）で発生した．それ以外の主な微動活動が，東海地方（4 月 4 日から 7 日），四国東部（1 月 30 日から 2 月 1 日及び 4 月 16 日から 20 日），四国中部（2 月 7 日から 14 日），豊後水道（3 月 25 日から 29 日）で発生した．

（4）その他の地殻活動

ア　鳥島近海の地震

2015 年 5 月 3 日に鳥島近海で M5.9 の地震が発生した．この地震により，東京都の八丈島八重根で 0.5m の津波を観測したほか，伊豆諸島で 0.1m から

0.3m の津波を観測した．

イ　与那国島近海の地震

2015 年 4 月 20 日に与那国島近海で M6.8 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震の発震機構は，南北方向に圧力軸を持つ逆断層型であった．今回の地震の発生後，同日 20 時 45 分に M6.0 の地震（最大震度 3），20 時 59 分に M6.4 の地震（最大震度 2）が発生する等，最大震度 1 以上を観測する余震が 4 月 30 日までに 4 回発生した．

ウ　ネパールの地震

2015 年 4 月 25 日にネパールにおいて，深さ 15km で Mw7.9 の地震が発生した．この地震の発震機構は南北方向に圧力軸を持つ逆断層型であった．余震は，本震の震央から東南東方向へ約 200km にわたり発生している．最大規模の余震は，5 月 12 日に発生した M7.3 の地震（深さ 15km）である．だいち 2 号のデータを用いた SAR 干渉解析により，最大約 1.2m の地殻変動が検出された．

3　重点検討課題「予測の根拠となるモニタリングデータと処理方法」の検討

予測の根拠となるモニタリングデータや予測につなげるための処理方法及びどのような予測情報が得られるかについてレビューが行われ，予測実験の定量的評価方法や予測実験の試行の進め方等の議論が行われた．

(1) 統計モデルによる地震活動異常のモニタリング

ETAS モデルから期待される地震活動度を基準とした異常の検知方法により，地震活動の相対的静穏化等を捉えた事例が紹介された．地震活動の異常を抽出するために，地殻特性等の地域性にあった標準予測モデルの構築が必要であることが指摘された．

(2) 地震活動の潮汐相関にもとづく予測

地震活動と地球潮汐との間の相関関係に関する研究事例が紹介された．東北地方太平洋沖地震やスマトラ沖地震等の発生前に顕著な地震活動との潮汐相関が見られることが示された．過去の大地震に遡り，現象の特性や普遍性の程度を明らかにしていくとともに，系統的なモニタリングを実施し，潮汐相関が出現した事例に対する追跡・検討調査を進めていく重要性が指摘された．

(3) 種々のモニタリングデータにもとづく予測

地震学的，測地学的，地球化学的，地球電磁気的手法等を用いた地震発生の先行現象候補の事例が紹介された．異常の出現報告は比較的多いものの，地震発生率の算出例は多くないことが示された．機械的な先行現象確率予測のために，地震発生率未算出の先行現象事例についての更なる研究の必要性が指摘された．

(4) シミュレーションと観測データにもとづく予測

観測や数値シミュレーションで見られる固着状態の変化に関する考察が紹介された．シミュレーションによる地震発生サイクルモデルによると，固着のはがれやゆっくり滑りの発生は，自発的に大地震が起こる状況に近づいている場合があることを示唆することが指摘された．また，固着のはがれが進んでいると，近傍の地震のみならず，遠方で発生した大地震や近傍で進行するゆっくり滑りにより，地震が誘発される可能性もあることが指摘された．

第 208 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2015 年 8 月 21 日（金）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，松澤，平田，澁谷，高橋，遠田，エネスク（八木委員代理），佐竹，篠原，小原，小川，尾形，松本，後藤，浅野（青井委員代理），汐見，堀，宍倉，石川（岩渕委員代理），橋本，前田，飛田，今給黎

（招聘報告者）

鶴岡（東京大学地震研究所）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

(1)　地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2015 年 5 月から 2015 年 7 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震のうち，主なものとして，5 月 13 日の宮城沖の地震（M6.8），5 月 30 日の小笠原諸島西方沖の深発地震（M8.1），5 月 31 日の鳥島近海の地震（M6.6），6 月 11 日の岩手沖の地震活動（最大 M5.9）があった．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

5 月から 7 月にかけて日向灘及び足摺岬沖で超低周波地震活動があった．5 月上旬に日向灘で活動が開始し，6 月上旬までに足摺岬の南方沖に到達した後，7 月上旬までには活動がほぼ終息した．足摺岬沖における顕著な活動は，豊後水道のスロースリップと同期して発生した 2010 年以来である．

ウ　日本列島のひずみ変化

GNSS 連続観測によると，最近 1 年間の日本列島のひずみには，東北地方太平洋沖地震後の余効変動や長野県北部の地震の影響が見られる．

(2) 東北地方太平洋沖地震関連

東北地方太平洋沖地震以降の累積水平変動には，東北地方から関東甲信越にかけて東向きの変動が見られ，岩手川崎 A 観測点で最大約 123cm に達している．また，上下変動には，宮城県から千葉県にかけての太平洋沿岸と関東甲信越地方及び青森県から北海道の襟裳岬付近にかけた地域に隆起が，岩手県沿岸と奥羽脊梁山脈付近に沈降が見られる．M 牡鹿観測点で最大約 40cm の隆起が観測されている．

(3) プレート境界の固着状態とその変化

ア 日本海溝・千島海溝周辺

a 宮城県沖の地震

2015 年 5 月 13 日に宮城県沖の深さ 46km で M6.8 の地震（最大震度 5 強）が発生した．この地震は発震機構が東西方向に圧力軸を持つ逆断層型で太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した．この地震の発生域では，M6 クラスの地震が繰り返し発生してきたことが報告された．この地震に伴う地殻変動から，プレート境界における西傾斜の逆断層滑り（Mw6.8）が推定された．

イ 南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a 南海トラフ沿いの海底地殻変動観測結果

東北地方太平洋沖地震の影響を除去した海底地殻変動のデータには，アムールプレートに対する年間最大 5.8cm の速度の北西向きの変動が見られる．

b 西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

短期的スロースリップを伴う顕著な微動活動が，四国西部(5 月 26 日から 6 月 2 日)で発生した．それ以外の主な微動活動が，紀伊半島北部（5 月 4 日から 10 日及び 7 月 17 日から 25 日），紀伊半島南部（6 月 4 日から 8 日），四国中部（5 月 31 日から 6 月 5 日）で発生した．

(4) その他の地殻活動

ア 小笠原諸島西方沖の地震

2015 年 5 月 30 日に小笠原諸島西方沖の深さ 682km で M8.1 の地震が発生した．この地震は，東西方向に張力軸を持つ型で，太平洋プレート内部で発生した．深さ 500km 程度の場所では定常的に地震活動が見られているが，今回の震源付近は，これまで地震の発生が見られない領域であった．

2 重点検討課題「予測実験の試行について」の検討

前回に引き続き，「予測実験の試行」に関する検討が行われた．今回は，定式化された手法を過去のデータに適用して，現在までの状況を予測する事例が紹介され，議論が行われた．

(1) CSEP に基づく地震活動予測の検証

将来の地震の数を予測する地震活動予測モデルを，地震カタログを基に比較・検証する CSEP の事例が紹介された．地震予測結果を評価するためには，予測領域の分割の仕方や地震が起きない情報の活用等が重要であることが指摘された．また，東北地方太平洋沖地震後については，地震数の評価が重要であり，ETAS モデルあるいは改良大森公式による外挿処理が効果的であることが報告された．

(2) 気象庁における繰り返し地震の調査の取り組み

宮古島の繰り返し地震の発生予測等に関する報告がなされた．一例として，地震波形の相似性を基に区分された宮古島周辺の繰り返し地震のうち 1 つのタイプについて，BPT 分布モデルを用いた分析から，2015 年 3 月 14 日時点で，次の地震が 2017 年 3 月～2018 年 1 月の期間に 70% の確率で発生すると予測されることが紹介された．

(3) 前震活動に基づく地震発生の経験的予測

前震活動を伴いやすい 3 つの領域（日本海溝沿，伊豆半島沖，長野県北中部）について，本震を予測するための有効な前震候補の選択条件及びそれを基にした事後予測の結果が紹介された．本手法を適用することにより，3 領域の地震予測に関して高い確率利得が得られた．適中率（前震候補のうち真の前震の割合）はそれぞれ約 22%，22%，11%であり，予知率（予測された本震の割合）は約 27%，68%，45%であったことが報告された．

(4) 東北地方太平洋沖地震の余効変動の予測実験

東北地方太平洋沖地震の余効変動の関数近似による予測実験が紹介された．余効変動時系列について，対数関数と指数関数を組み合わせたモデルによって良好な近似や短期的予測結果が得られること等が報告された．また，粘弾性緩和と余効滑りの分離は現状では困難なことや定常速度成分が予測結果を左右すること等が指摘された．

(5) 平常的な地震活動と「予測」の価値　ー当たり前の地震についてー

予測の価値について平常的な地震活動を基にした考察が報告された．ポワソン過程による確率を用いることで，対象とする事象の予測の価値を評価する事例が紹介された．研究者にとっては当たり前の結論でも社会に伝えていく必要性があることが指摘された．

第 209 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2015 年 11 月 27 日（金）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，松澤，山岡，平田，澁谷，高橋，八木，池田，佐藤，佐竹，篠原，小原，小川，尾形，松本，後藤，青井，汐見，堀，松本（宍倉委員代理），岩渕，橋本，前田，飛田

（招聘報告者）

日置（北海道大学），水藤（国土地理院），松澤（防災科学技術研究所）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

（1）地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2015 年 8 月から 2015 年 10 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 33 個であった．8 月 17 日の種子島近海の深さ 7km で起きた M5.0 の地震は正断層型でこの地域ではやや珍しい地震である．それ以外には特に目立った地震は見られなかった．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

十勝沖で 8 月上旬及び 10 月中旬に，紀伊水道沖で 8 月中旬，下旬，9 月上旬及び下旬に，日向灘周辺で 10 月中旬及び下旬に超低周波地震活動があった．

ウ　日本列島のひずみ変化

GNSS 連続観測によると，最近 1 年間の日本列島のひずみには，東北地方太平洋沖地震の余効変動や長野県北部の地震の影響が見られる．

（2）東北地方太平洋沖地震関連

東北地方太平洋沖地震以降の累積水平変動には，東北地方から関東甲信越にかけて東向きの変動が見られ，岩手川崎 A 観測点で最大約 126cm に達している．また，上下変動は，宮城県から千葉県にかけての太平洋沿岸，関東甲信越地方及び青森県から北海道の襟裳岬付近にかけた地域に隆起が，岩手県沿岸及び奥羽脊梁山脈付近に沈降が見られる．M 牡鹿観測点で最大約 42cm の隆起が観測されている．海底地殻変動観測結果は，釜石沖 1，釜石沖 2，宮城沖 1 で陸側へ，福島沖，銚子沖では海溝側への変動が起きている．

（3）プレート境界の固着状態とその変化

ア　南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　紀伊水道の地殻活動

紀伊水道に近い四国東部，紀伊半島西部で低周波微動活動が 2014 年半ば頃から，活発化しており同時期に GNSS 観測に変位が見られている．GNSS 観測により，紀伊水道周辺で 2014 年半ば頃から非定常的な地殻変動が観測されている．非定常地殻変動に基づく解析により，紀伊水道のプレート境界面で最大 3cm 程度の滑りが推定されている．

b　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

短期的スロースリップを伴う顕著な微動活動が，四国中部から西部（10 月 29 日から 11 月 8 日），豊後水道（9 月 1 日から 9 月 6 日）で発生した．それ以外の主な微動活動が，紀伊半島中部（10 月 24 日から 28 日），四国東部（9 月 25 日から 10 月 4 日），四国中部（10 月 19 日から 22 日）で発生した．

（4）その他の地殻活動

ア　薩摩半島西方沖の地震

2015 年 11 月 14 日に薩摩半島西方沖で M7.1 の地震が発生した．この地震は地殻内で発生し，発震機構は北西―南東方向に張力軸を持つ横ずれ断層型である．この地震により津波が発生し，トカラ列島の中之島で 0.3m の津波が観測されている．この地震は 1923 年以降，九州の西方沖で発生した最大規模の地震であった．この地震の震源に近い観測点を含めた解析で，余震域が沖縄トラフの走向にほぼ平行で 60km 程度の長さであることが示された．

イ　チリ中部沿岸の地震

2015 年 9 月 17 日（日本時間）に，チリ中部沿岸の深さ 21km で Mw 8.3 の地震が発生した．この地震はナスカプレートと南米プレートの境界で発生した．この地震に伴い国内では北海道から沖縄にかけての太平洋沿岸で津波が観測された．また合成開口レーダーの解析により，震央の北側 50-70km 付近の沿岸部を中心に 1m 以上の変動が観測され，震源断層の滑りの中心域は南緯 31° 付近と考えられる．

2　重点検討課題「東北地方太平洋沖地震がもたらす広域地殻活動」の検討

東北地方太平洋沖地震前後での広域的な地殻活動の変化の特徴が紹介され，議論が行われた．

（1）東北地方太平洋沖地震後の日本列島周辺域のプレート運動速度の変化

海溝型地震である 2003 年十勝沖地震及び東北地方太平洋沖地震の後に，震源域の両側の領域で GNSS 観測局の陸向きの速度が高まった．また，東北地方太平洋沖地震後に海溝軸を中心とする地域で重力変化

が見出されている．さらに，宮城沖の日本海溝の両側において，高速な陸向きの地殻変動が見られている．加えて，太平洋プレート上にある南鳥島 GNSS 観測局の速度が東北地方太平洋沖地震前後で変化している可能性が報告された．これらの原因として，海溝でプレート境界型の地震が起こると，プレート間のカップリングが喪失しスラブに働く力の均衡が破れ，一時的にスラブの加速が起きたのではないかという解釈が示された．また重力の変化は地震後のアセノスフェアの粘性緩和に伴う物質流動のためであるという解釈が示された．さらに宮城沖の海底の西向きの動きはスラブの加速と固着の回復でも解釈できることが報告された．なお，南鳥島の速度変化には不確定性があることが報告された．

(2) 東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動の変化

東北地方太平洋沖地震前（1999 年）と後（2014 年）での GNSS 観測に基づく全国の地殻変動の特徴が報告された．その結果，地震前の水平変動は，北西―西北西の変動が卓越していたが，地震後は東北日本の広い範囲及び北信越・近畿から中国地方北部で東向きの変動が見られた．ひずみ場は，地震前には日本列島全域で北西―南東から東西方向の短縮が卓越していたが，地震後は北海道南西部，東北地方北部，日本海側，中日本で伸張が卓越している．東北地方太平洋側は，地震後は東向きの変動であるが，伸張場ではなく短縮場となっている．牡鹿半島周辺は東西短縮，奥羽山脈周辺は南北短縮が卓越している．また上下変動では，地震前後で隆起・沈降のセンスが逆転，もしくは地震後に隆起が卓越していることが報告された．東北地方太平洋側は沈降から隆起が卓越するようになっている．また関東・甲信越では，地震前は顕著な傾向がなかったが，地震後は隆起が卓越している．東北地方日本海側では隆起から沈降に傾向が変化している．東北地方での隆起・沈降の境は奥羽山脈に沿っており，時間的に変化していないことが報告された．

(3) 平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震前後の全国の地震活動の変化

東北地方太平洋沖地震前後の海域の地震活動変化は，東北地方を除いて全国的に顕著な変化は見られない．東北地方太平洋沖地震の前震・本震・余震の発生状況は，震源域の沿岸部付近の地震活動が残ってはいるものの，全体的にはかなり減衰している．2014 年には震源北側の領域で活動が一時低下していたようにも見える．地震の滑り域から外れた日本海溝付近においても地震活動の活発化が見られ，その後，徐々に活動は低下している．また，内陸の地震活動は，東北地方太平洋沖地震の発生直後から秋田県内陸や福島・茨城県北部，長野県などで地殻内の地震活動が活発化し，震源域周辺では正断層型の地震が発生している．クーロン応力の増加が予測された糸魚川－静岡構造線断層帯付近では活発な地震活動が見られる．

(4) 東北地方太平洋沖地震前後のスロー地震活動の変化

十勝沖では超低周波地震の活動が 2003 年十勝沖地震の後に活発化していたが，徐々に低調になってきている．この傾向は，2011 年東北地方太平洋沖地震の後も継続しており，東北地方太平洋沖地震に伴う顕著な変化は見られていない．東北地方太平洋沖については，近年，超低周波地震の発生が，東北地方太平洋沖地震の大すべり域付近及び，岩手沖や福島・茨城沖の領域で報告されている．岩手沖や福島・茨城沖の活動は東北地方太平洋沖地震後に活発化し，その後徐々に低調になりながらも活動が検出されている．一方，大すべり域の活動は地震後には検出されていない．海底水圧計や海底地震計を用いた研究からは，東北地方太平洋沖地震前に SSE や低周波微動が発生していたことも報告されている．房総半島沖のスロースリップの活動間隔は地震前に比べて短くなっている．南海トラフ沿いのスロー地震活動は東北地方太平洋沖地震前後で顕著な変化は見られない．

(5) 東北地方太平洋沖地震前後の広域的な地殻活動の変化

ロシア沿海州や中国東北部では，地震時に最大で 5cm 程度の変位が観測され，広域的な余効変動が現在も継続中である．ウラジオストク周辺では余効変動による変位量が地震時変位を上回りつつあり，粘弾性モデルから予測されるものよりも大きい．中国東北部の断層帯でクーロン応力の増加が予測されているが，地震活動に顕著な変化は見られない．現在と同じレートで余効変動が数百年継続する可能性があり，今後地震活動に変化が現れる可能性もあるという報告がされた．また東北地方太平洋沖地震の震源域を除く日本列島全域の地震活動の ETAS モデルによると，2014 年頃から地震活動の低下傾向が見られる．東北沖に隣接する千島海溝南西部，伊豆小笠原海溝北部及び九州内陸部では，東北地方太平洋沖地震前後で顕著な地震活動の変化は無いように見える．千島海溝南西部の十勝沖・根室沖・色丹島沖の領域では，2007 年頃からの地震活動度の低下が，東北地方太平洋沖地震で変化することなく現在まで継続していることが報告された．

第 210 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2016 年 2 月 22 日（月）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，松澤，山岡，平田，澁谷，高橋，遠田，八木，池田，佐竹，篠原，中島（小川委員代理），尾形，松本，後藤，青井，汐見，宍倉，岩渕，橋本，前田，飛田

（招聘報告者）

鶴岡（東京大学地震研究所），林（気象研究所）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

（1）地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2015 年 11 月から 2016 年 1 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 27 回であった．目立った活動としては，2015 年 11 月 14 日の薩摩半島西方沖の地震（M7.1），2016 年 1 月 14 日の浦河沖の地震（M6.7）が挙げられる．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

2016 年 1 月 14 日の浦河沖の地震（M6.7）の発生後，20 日頃まで十勝沖で活発な超低周波地震活動があった．

ウ　日本列島のひずみ変化

GNSS 連続観測によると，最近 1 年間の日本列島のひずみには，東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響が見られる．

（2）東北地方太平洋沖地震関連

東北地方太平洋沖地震以降，東北地方から関東甲信越にかけて東向きの変動が見られ，累積水平変動は岩手川崎 A 観測点で最大約 128cm に達している．また，上下変動は，宮城県から千葉県にかけての太平洋沿岸と関東甲信越地方及び青森県から北海道の襟裳岬付近にかけた地域に隆起が，岩手県沿岸及び奥羽脊梁山脈付近に沈降が見られ，M 牡鹿観測点で最大約 43cm の隆起が観測されている．海底地殻変動のデータには，釜石沖 1，釜石沖 2，宮城沖 1 で陸側へ，福島沖，銚子沖では海溝側への変動が見られる．

（3）プレート境界の固着状態とその変化

ア　千島・日本海溝周辺

a　浦河沖の地震

2016 年 1 月 14 日に浦河沖の深さ 52km で M6.7 の地震（最大震度 5 弱）が発生した．この地震は発震機構が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で，太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した．この地震に伴い，えりも岬周辺の GNSS 観測点で最大約 1cm の東向きの変動と隆起が観測された．

イ　駿河トラフ・南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　駿河トラフ及び南海トラフ沿いの海底地殻変動観測結果

東北地方太平洋沖地震の影響を除去した海底地殻変動のデータには，アムールプレートに対する年間最大 5.1cm の速度の北西向きの変動が見られる．

b　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

短期的スロースリップを伴う顕著な微動活動が，紀伊半島北部から東海地方（12 月 28 日から 1 月 14 日），四国中部から西部（10 月 29 日から 11 月 8 日）で発生した．それ以外の主な微動活動は，紀伊半島南部（11 月 25 日から 28 日，1 月 8 日から 13 日），四国東部から中部（12 月 26 日から 1 月 5 日），四国中部（1 月 8 日から 12 日），豊後水道（11 月 8 日から 12 日）で発生した．傾斜データを用いたモデル計算から，伊勢湾周辺でスロースリップが発生したことが推定された．

2　重点検討課題「予測実験の試行について 02」の検討

第 208 回に引き続き，「予測実験の試行」に関する検討が行われた．今回は，第 208 回と同じ手法によって，前回発表時以降の地震発生や地殻変動について，実際の発生状況あるいは変動の進行がどの程度適合しているかが紹介され，議論が行われた．

（1）CSEP 参加グループによる予測手法：予測と実際の活動の比較検証

将来の地震の数を予測する地震活動予測モデルを，地震カタログを基に比較・検証する CSEP の事例が紹介された．空間分布の予測のための Relative Intensity モデルに地震数を予測する大森宇津則を組み込んだモデルを用いることにより，関東地方における将来 3 か月の予測が実際の地震発生を良く説明することが報告された．

（2）沖縄地方の繰り返し地震の確率論的発生予測手法：予測と実際の発生状況の比較検証

宮古島で発生する 4 つの繰り返し地震のグループに対して，BPT 分布モデルを用いた地震発生予測を過去に遡って実施した結果が報告された．このうち，M4 程度の繰り返し地震が 2 － 3 年おきに発生するグループにおいては，7 つの予測について 4 事例が適中した．

(3) 群発的地震活動を前震活動と仮定して行う本震の発生予測手法：最近の活動事例による検証

前震活動を伴いやすい領域（日本海溝沿い，伊豆半島沖，長野県北中部）における発生予測の結果が示された．2015 年 8 月以降，前震候補も対象地震も発生しなかったことから，予知率及び適中率に変化はなかった．また，長野県北中部地域に対して得られている最適パラメータを日本の内陸地震に適用したところ，福島県東部，銚子付近，鹿児島県西方沖で前震活動が見られることが紹介された．

(4) 東北地方太平洋沖地震の余効変動の予測実験

東北地方太平洋沖地震の余効変動の関数近似による予測実験が紹介された．対数関数と指数関数を組み合わせた混合モデルによって，余効変動時系列の短期予測が向上したことが報告された．この結果を受けて，東海地方の長期的スロースリップ等の地殻活動監視に活用されていることが紹介された．また，中長期予測は，定常速度及び長期の時定数に強く依存し，これらの安定した推定が今後の課題であることも示された．

(5) 確率予測と二値予報の採点法　～採点の適正さと利用者の効用の観点から導出する採点式とその適用例～

予測を適正な方法で採点することの重要性と，確率予測の新しい採点手法である拡張ブライアスコアが紹介された．基準予測との比較が組み込まれたこのスコアで，予測手法の性質を把握できることが，相似地震への適用を通じて示された．

第 211 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2016 年 5 月 18 日（水）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，松澤，山岡，平田，澁谷，高橋，遠田，八木，池田，佐竹，篠原，小原，小川，尾形，松本，後藤，青井，汐見，堀，宍倉，長屋，橋本，前田，宇根，今給黎

（招聘報告者）

熊原（広島大学）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

(1) 地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2016 年 2 月から 2016 年 4 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 37 回であった．目立った活動としては，2016 年 4 月 1 日の三重県南東沖の地震（M6.5），2016 年 4 月 14 日以降の熊本地震（最大 M7.3）が挙げられる．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

日向灘では，4 月 16 日以降に超低周波地震活動が活発化し，足摺岬や室戸岬沖においても活動があった．また紀伊半島沖においても，4 月上旬に超低周波地震活動があった．

ウ　日本列島のひずみ変化

GNSS 連続観測によると，最近 1 年間の日本列島のひずみには，東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響が見られる．

(2) 東北地方太平洋沖地震関連

東北地方太平洋沖地震以降，東北地方から関東甲信越にかけて東向きの変動が見られ，累積水平変動は岩手川崎 A 観測点で最大約 130cm に達している．また，上下変動は，宮城県から千葉県にかけての太平洋沿岸と関東甲信越地方及び青森県から北海道の襟裳岬付近にかけた地域に隆起が，岩手県沿岸及び奥羽脊梁山脈付近に沈降が見られ，M 牡鹿観測点で最大約 46cm の隆起が観測されている．海底地殻変動のデータには，釜石沖 1，釜石沖 2，宮城沖 1 で陸側へ，福島沖，銚子沖では海溝側への変動が見られる．

(3) プレート境界の固着状態とその変化

ア　駿河トラフ・南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　紀伊水道周辺の非定常地殻変動

2014 年半ば頃から，紀伊水道を挟んで西側の四国東部で南東向きの，東側の紀伊半島西部で東向きの非定常的な地殻変動が観測されている．紀伊水道のプレート境界面上で最大約 15cm の滑りが推定された．

b　豊後水道周辺の非定常地殻変動

2015 年 12 月頃から，豊後水道周辺で南東向きの非定常地殻変動が観測されている．四国西部と豊後水道付近のプレート境界面上で最大約 7cm の滑りが推定された．

c　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

主な微動活動として，紀伊半島北部（4 月 1 日から 4 月 4 日），紀伊半島南部（3 月 30 日から 4 月 2 日），四国東部（4 月 14 日から 4 月 22 日），四国中部（4 月 29 日から 5 月 3 日）で発生した．

d　三重県南東沖の地震

2016 年 4 月 1 日に三重県南東沖で M6.5 の地震が発生した．発震機構は北西－南東方向に圧力軸を持つ逆断層型でフィリピン海プレートと陸のプ

レート境界で発生した．今回の地震の震央周辺では 2004 年に M7.4 及び M7.1 の地震が海洋プレート内部で発生している．1923 年 1 月以降の活動を見ると，今回の地震の震央周辺では 1944 年 12 月 7 日に M7.9 の東南海地震，1946 年 12 月 21 日に M8.0 の南海地震が発生している．震源分布の詳細な解析によると，本震と余震は約 10km 離れている．低周波地震が 2015 年 9 月 1 日から 2016 年 4 月 30 日まで海溝軸付近に集中して発生している．本震の 2 日後からまとまった低周波地震の活動があった．

2　重点検討課題「平成 28 年（2016 年）熊本地震」の検討

「平成 28 年（2016 年）熊本地震」に関して，(1) 発生の背景・原因，(2) 主要イベントの地震像・前震発生直前から本震に至る過程のモニタリング，(3) 今後の活動，に関して議論が行われた．

(1) 発生の背景・原因に関すること

ア　地震の概要

平成 28 年 4 月 16 日 1 時 25 分に深さ 12km で M7.3 の地震が発生した．これに先立ち，4 月 14 日に M6.5 の地震が，15 日に M6.4 の地震が本震の震央付近で発生した．また，熊本県熊本地方，阿蘇地方，大分県中部等の範囲でも地震活動が活発となった．一連の地震活動領域には，布田川断層帯，日奈久断層帯，別府－万年山断層帯が存在している．初動解及び CMT 解は，それぞれ北西－南東方向及び南北方向に張力軸を持つ横ずれ断層型を示す．一連の地震の多くは概ね南北方向に張力軸を持つ横ずれ型の発震機構解をもつ．今回の地震活動の付近では，1889 年 7 月 28 日に M6.3 の地震が発生している．

イ　発生場

震源領域では垂直応力成分と水平最大圧縮応力がほぼ等しく，複雑な断層運動が形成されやすい場であることが指摘された．

(2) モニタリングに関すること

ア　震度分布

本震により震央付近の熊本県益城町，西原村で震度 7 の揺れを観測した．また 14 日発生の M6.5 の地震により熊本県益城町で震度 7 の揺れを観測した．これらの地震を含めて，5 月 6 日までに震度 6 弱以上を観測した地震は 7 回発生した．大分県中部では，本震とほぼ同時に M5.7 の地震が，同日 7 時 11 分に M5.4（最大震度 5 弱）の地震が発生した．

イ　応力場・震源過程・震源分布・地殻変動

起震応力場の推定から，日奈久－布田川断層帯の北部では最小主応力軸（σ3 軸）が南北に近い正断層場が，南部では σ3 軸が北北西－南南東に近い横ずれ断層場が卓越することが報告された．前震（M6.5）の波形インバージョン解析の結果，破壊開始点付近とその北北東の浅い領域に大きな滑り（最大 0.7m）が推定された．本震の波形インバージョン解析から，震央の北東 10 ㎞から 30 km 程度の領域に大きな滑り（最大 4.6m）が求まり，阿蘇山付近にまで及ぶことがわかった．浅い領域の滑りは，地表踏査で確認された地表地震断層と整合的である．主たる破壊は地震発生から 5 － 15 秒後に生じ，約 20 秒で収束した．本震直後に大分県で誘発された地震について，観測波形や最大地表加速度の距離減衰から，K-NET 湯布院観測点のごく近傍で 1 時 25 分 40 秒頃に M5.5 の地震が発生したと考えられる．SAR 干渉解析から，日奈久断層帯と布田川断層帯の東端から北東に延びる領域において，変位の急勾配が見られた．得られた地殻変動は，4 枚の断層によって概ね説明することができることが報告された．震源の鉛直分布から，複雑な断層面で破壊が起きたことが示唆された．本震後の布田川断層周辺では正断層運動の地震が多く見られた．本震の初動解と CMT 解の発震機構には顕著な違いが見られることが指摘された．

ウ　地殻変動

GNSS 連続観測から，本震に伴い最大 98 ㎝の地殻変動が検出された．だいち 2 号による SAR 干渉解析から，布田川断層帯及び日奈久断層帯に沿って，顕著な地殻変動が検出された．SAR 及び GNSS 観測結果から推定された滑り分布モデルは，布田川断層帯及び日奈久断層帯に沿った位置に震源断層が推定され，布田川断層帯では北西傾斜の断層面とその東側延長に南東傾斜の断層面，日奈久断層帯では北西傾斜の断層面で，それぞれ右横ずれ的な動きが生じたと推定された．

エ　地表地震断層調査

日奈久断層帯では高野－白旗区間の北部約 6km にわたって，布田川断層帯では布田川区間をやや超える約 28km にわたって地表地震断層が出現したことが報告された．これらの断層は，従来指摘されていた活断層にほぼ一致する場所に出現しているが，布田川断層帯では，これに加えて複数の平行な断層や幅広い変形帯を伴っている．日奈久断層帯沿いでは高木地区において最大約 75 ㎝の変位が，布田川断層帯沿いでは堂園付近で最大 2.2m の横ずれ変位があった．

現地調査から約 31km の長さの地表地震断層が確

認された．布田川断層帯から日奈久断層帯沿いの地表地震断層の変位は右横ずれ変位を主体とし，右横ずれ変位は最大約 2m，上下変位は最大約 80cm であった．出ノ口断層沿いでは，左横ずれ変位（最大約 1m）を伴う北落ちの正断層（最大約 2m）があった．

(3) 今後の活動に関する議論

ア　前震・余震活動に関する確率予測

4 月 14 日の地震（M6.5）の前震確率は概ね 5%であったことが報告された．熊本県熊本地方，阿蘇地方，大分県中部地方における余震は，ETAS モデルで予測される時間推移と調和的である．

イ　余効変動

GNSS 連続観測により，本震後約 3 週間で最大約 2cm の余効変動が検出された．余効変動は時間経過とともに減衰している．

ウ　日向灘の地震と九州内陸の地震の関係

1900 年以降に日向灘及び九州内陸で発生する地震活動を調べたところ，日向灘で発生した地震の前後 0.5 年間の九州内陸で発生する地震の回数が顕著に多いことが報告された．

エ　熊本地震による静的応力変化

本震に伴い，緑川断層帯東部，雲仙断層群，別府－万年山断層帯東部，佐賀平野東縁断層帯等で，クーロン応力の増加が見られることが報告された．

第 212 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2016 年 8 月 22 日（月）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，松澤，山岡，平田，澁谷，高橋，遠田，八木，佐藤，佐竹，篠原，小原，中島（小川委員代理），尾形，汐見，堀，宍倉，石川（長屋委員代理），橋本，前田，宇根，今給黎

（招聘報告者）

飯沼（海洋研究開発機構），武藤（東北大学），橋間（東京大学地震研究所），水藤（国土地理院）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

(1) 地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2016 年 5 月から 2016 年 7 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 38 回であった．目立った活動としては，2016 年 6 月 16 日の内浦湾の地震，2016 年 5 月 16 日の茨城県南部の地震，7 月 27 日の茨城県北部の地震，8 月 20 日及び 21 日の三陸沖の地震活動が挙げられる．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

室戸岬沖では超低周波地震活動が 4 月中旬から 5 月下旬まで断続的に継続した．

ウ　日本列島のひずみ変化

GNSS 連続観測によると，最近 1 年間の日本列島のひずみには，東北地方太平洋沖地震の余効変動と熊本地震の影響が見られる．

(2) プレート境界の固着状態とその変化

ア　日本海溝・千島海溝周辺

a　三陸沖の活動

2016 年 8 月 20 日から 21 日にかけて三陸沖で地震活動があった（最大 M6.4）．活動域は北と南に 2 つあり，そのうち北側の活動域は 1994 年三陸はるか沖地震の初期破壊開始点付近に位置する．

b　茨城県北部の地震

2016 年 7 月 27 日に茨城県北部の深さ 57km で M5.4 の地震（最大震度 5 弱）が発生した．この地震は，発震機構が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で，太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した．この領域では，平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の発生以降，地震活動が活発になっており，2012 年 3 月 1 日には M5.3 の地震（最大震度 5 弱）が発生している．

イ　相模トラフ周辺・首都圏直下

a　茨城県南部の地震

2016 年 5 月 16 日に茨城県南部の深さ 42km で M5.5 の地震（最大震度 5 弱）が，6 月 12 日に茨城県南部の深さ 40km で M4.8 の地震（最大深度 4）が，7 月 17 日及び 20 日に茨城県南部の深さ 42km で M5.0 の地震（最大震度 4）が発生した．これらの地震は，発震機構が北西－南東方向から北北西－南南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で，いずれもフィリピン海プレートと陸のプレート境界で発生した．

ウ　駿河トラフ・南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　南海トラフ沿いの海底地殻変動観測結果

東北地方太平洋沖地震の影響を除去した海底地殻変動のデータには，アムールプレートに対する年間最大 5.1cm の速度の北西向きの変動が見られる．

b　紀伊水道周辺の非定常地殻変動

2014 年半ば頃から，紀伊水道周辺で非定常的な地殻変動が観測されている．紀伊水道のプレート境界面上で最大約 15cm の滑りが推定された．

c　四国・九州地域の非定常地殻変動

2015 年 12 月頃から，豊後水道周辺で非定常的な地殻変動が継続して観測されている．

2013 年 10 月頃から 2014 年 10 月頃までに，日向灘，宮崎北部及び豊後水道のプレート境界でスロースリップが発生していたことが推定された．日向灘，宮崎北部では最大約 10cm の滑りが，豊後水道付近では最大約 3cm の滑りが推定された．また，2015 年 6 月頃から，日向灘及び四国西部のプレート境界でスロースリップが発生していたことが推定された．日向灘では最大約 5cm の滑りが，豊後水道付近では最大約 4cm の滑りが推定された．豊後水道においては，2014 年のスロースリップがプレート境界のやや深い領域で，2015 年末以降はそれより南側の浅い領域で発生している．

d　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

短期的スロースリップを伴う顕著な微動活動が紀伊半島北部から東海地方にかけて 7 月 25 日から 8 月 5 日にかけて発生した．それ以外の主な微動活動は，紀伊半島中部（5 月 10 日から 5 月 15 日），四国中部（4 月 29 日から 5 月 3 日）で発生した．

(3) その他

ア　内浦湾の地震

2016 年 6 月 16 日に，北海道南部・内浦湾の深さ 11km で M5.3 の地震（最大震度 6 弱）が発生した．この地震は，陸のプレートの地殻内で発生し，発震機構は北東 - 南西方向に圧力軸を持つ逆断層型であった．震央付近では，M5.3 の地震の前からまとまった地震活動が続いていた．

イ　熊本地震

平成 28 年（2016 年）熊本地震の地震活動は，熊本県熊本地方及び阿蘇地方では減衰しつつも継続している．7 月に震度 1 以上を観測した地震は 114 回あり，最大規模の地震は 7 月 9 日に有明海で発生した M4.5 の地震（最大震度 4）であった．GNSS 連続観測により，本震後約 3 か月半で最大約 4cm の余効変動が検出された．この余効変動から，布田川断層帯，その東側に延びる断層面，日奈久断層帯での滑りが推定された．

2　重点検討課題「余効変動と粘弾性　－日本列島広域地殻活動予測に向けて－」の検討

地震後に生じるゆっくりとした地殻変動である余効変動とその主要因である粘弾性緩和について，今後の地殻活動予測の観点から議論が行われた．

(1) 趣旨説明と概説

ア　余効変動と粘弾性　―基本的理解―

余効変動の発生要因（間隙弾性反発，余効滑り，粘弾性緩和）に関する基礎的事項が説明された．粘弾性緩和による変動の理解とその取扱いが，広域地殻活動の予測に重要であることが指摘された．

(2) 東北地方太平洋沖地震の余効変動

ア　東北地方太平洋沖地震の余効変動　－海域における観測と粘弾性モデル－

海底地殻変動観測データをもとに構築された粘弾性緩和モデルが紹介された．地震時に大きな滑りが生じた宮城県から福島県沖では粘弾性緩和が，福島県南部から茨城県の沖合では余効滑りが，余効変動の主要因としてそれぞれ挙げられた．また，岩手県から青森県の沖合においては，プレート境界浅部での顕著な余効滑りを示唆する結果が得られないことも示された．

イ　不均質岩石レオロジーを考慮した東北沖地震余効変動解析

火山直下の低粘性体等の不均質構造を考慮した粘弾性緩和モデルが紹介された．内陸の不均質性を考慮することにより，陸海域の水平及び上下変動を説明できることが示された．また，粘弾性緩和に加えて，本震の滑り域下端において余効滑りが生じていることが示された．

ウ　2011 年東北沖地震後の地殻変動データを用いた粘性構造と余効すべりの推定

粘弾性緩和と余効滑りの両方の効果を考慮して構築されたモデルが紹介された．水平及び上下変動を説明するには，大陸側の深さ 150 － 300km の領域と沈み込む海洋プレートの屈曲部分の底部に低粘性領域が必要であることが示された．余効変動の主要因として，東北南部では粘弾性緩和が，関東と東北北部では余効滑りが，それぞれ挙げられた．

エ　東北地方太平洋沖地震の粘性緩和による変動と粘性構造の不均質の重要性

粘性構造の不均質が余効変動に及ぼす影響について報告がなされた．一様な粘性構造では観測される上下変動とのかい離が大きくなることから，粘性構造の不均質がモデル化には不可欠であることが指摘された．特に，マントルウェッジ，海洋マントル，海洋プレート下の低粘性領域の粘性率の違いや粘性構造の深さ依存性を考慮する必要性が示された．

(3) 日本列島広域地殻活動予測に向けて

ア　日本列島とその周辺の 3 次元粘弾性不均質モデル構築に向けて

3 次元粘弾性不均質モデル計算の高度化に関する報告がなされた．京コンピューターを用いた大規模

有限要素解析の技術開発が進められており，これにより粘弾性緩和の挙動を制御する粘性率と余効滑り等のプレート境界面上の断層滑りを同時に推定することが可能となりつつあることが報告された．

第 213 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2016 年 11 月 11 日（金）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，山岡，平田，澁谷，高橋，遠田，八木，池田，佐藤，小原，小川，尾形，松本，後藤，青井，汐見，堀，宍倉，石川（長屋委員代理），橋本，前田，宇根，今給黎

（招聘報告者）

古村・加藤（東京大学地震研究所），高橋（防災科学技術研究所），松本（産業技術総合研究所），横田（海上保安庁）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

(1) 地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2016 年 8 月から 2016 年 10 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 52 回であった．目立った活動としては，8 月 20 日及び 21 日の三陸沖の地震活動，9 月 23 日の関東東方沖の地震，10 月 21 日の鳥取県中部の地震が挙げられる．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

十勝沖で 10 月下旬に超低周波地震活動があった．

ウ　日本列島のひずみ変化

GNSS 連続観測によると，最近 1 年間の日本列島のひずみには，東北地方太平洋沖地震の余効変動と熊本地震の影響が見られる．

エ　日本列島内陸部の常時地震活動度

階層的時空間 ETAS モデルから推定される常時地震活動度が報告された．2000 年以降発生した M6.0 以上の地震及び 599 年から 1884 年に発生した M6.8 以上の内陸地震と比較すると，その多くが定常地震活動度が高い場所で発生していることがわかった．

(2) 東北地方太平洋沖地震関連

海底地殻変動のデータには，釜石沖 1，釜石沖 2，宮城沖 1 で陸側へ，福島沖，銚子沖では海溝側への変動が見られる．

(3) プレート境界の固着状態とその変化

ア　駿河トラフ・南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　紀伊水道周辺の非定常地殻変動

2014 年半ば頃から，紀伊水道周辺で非定常的な地殻変動が観測されてきたが，2016 年 5 月頃から鈍化し，現在はほぼ収まったように見える．

b　四国・九州地域の非定常地殻変動

豊後水道周辺で 2015 年 12 月頃から観測されている非定常的な地殻変動は，2016 年 9 月頃から鈍化している．

c　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

短期的スロースリップを伴う顕著な微動活動が紀伊半島北部から東海地方にかけて 7 月 25 日から 8 月 5 日に，豊後水道から四国西部にかけて 10 月 23 日から 30 日に発生した．それ以外の主な微動活動は，東海地方（10 月 16 日から 21 日），紀伊半島北部（8 月 19 日から 23 日），紀伊半島南部（8 月 12 日から 15 日），四国東部（10 月 29 日から 11 月 4 日），四国東部から西部（8 月 1 日から 9 月 7 日）で発生した．

(4) その他

ア　関東東方沖の地震

2016 年 9 月 23 日に関東東方沖（プレート三重会合点付近）の深さ 15km で M6.7 の地震が発生した．この地震は，発震機構が東西方向に圧力軸を持つ逆断層型であった．今回の地震の震源周辺では，9 月から地震活動が活発になっており，9 月 2 日に M5.3 の地震が発生している．この地震を含め，9 月 30 日までに M5.0 以上の地震が 9 回発生した．

イ　鳥取県中部の地震

2016 年 10 月 21 日 14 時 07 分に鳥取県中部の深さ 11km で M6.6 の地震が発生した．この地震は，陸のプレートの地殻内で発生した．発震機構は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型であった．地震活動は，北北西－南南東方向にのびる長さ約 10km の領域を中心に発生した．同日 12 時 21 分にほぼ同じ場所で M4.2 の地震が発生するなど，ややまとまった地震活動が見られていた．近地強震波形から推定された滑り分布では，主要な滑り域が破壊開始点から浅い領域に広がっており，最大滑り量は 1.7m，モーメントマグニチュードは 6.2 と推定された．

DD 法による 2000 年以降の地震の震源再決定の結果から，鳥取県中部では，北北西―南南東にのびる震源分布が複数列見られる．今回の地震の余震活動は，北側と南側で走向方向にやや違いが見られる．また，北側ではほぼ鉛直な面上に震源が並ぶが，南側ではやや西に傾斜する．強震波形から推定され

た滑り分布では，滑り量の大きな領域が南と北の 2 か所見られる．最大滑り量は 0.7m で，左横ずれ断層運動を示す．

GNSS 観測では，この地震に伴い湯梨浜町の羽合で最大約 7cm などの地殻変動が観測された．干渉 SAR データから推定された 3 次元変位場によると，左横ずれ断層運動を示唆する変動が観測された．GNSS 及び干渉 SAR 解析結果を用いて推定された震源断層モデルでは，北北西－南南東走向の鉛直の断層面での左横ずれ運動が推定された．滑りの中心域は震源よりやや北側の深さ約 5km に位置しており，モーメントマグニチュードは 6.2 である．

階層時空間 ETAS モデルで解析した鳥取県中部の地震の前後の地震活動の空間確率の予測が示され，本震の発生前に地震の発生確率が高くなっている状況であったことが示された．また，余震確率のリアルタイム予測法による結果が示され，予測分布は実際の気象庁データによる頻度分布と概ね一致していることが報告された．

ウ　熊本地震

熊本地方及び阿蘇地方における平成 28 年（2016 年）熊本地震の一連の地震活動は，全体として引き続き減衰しつつも，活動は継続している．大分県中部の活動は低下した．

2　重点検討課題「南海トラフ地震」の検討

南海トラフ地震に関する過去の地震の調査，地殻変動や地震等の観測結果，地震発生シミュレーション等の最新の知見が報告され，議論が行われた．

(1)「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」震源モデル・シナリオ研究の成果と概要

資料の精査に基づく南海トラフ地震の発生履歴と連動性について報告がなされた．南海トラフ地震の証拠とされてきた資料の中には，信頼性の低いものがあり，地震発生の規則性がこれまで考えられていたものより強くない可能性があることが示された．資料の正当性や妥当性を多面的に精査することが重要であることが指摘された．

(2) DONET による震源域のモニタリング

地震・津波観測システム「DONET」の品質評価とモニタリングについて報告がなされた．2016 年 5 月に DONET が完成し，地震活動，スローイベント，地殻変動等の地殻活動が広帯域でモニタリングされていることが示された．また，東南海地震と南海地震の連動性評価のためには，南海地震震源域でのリアルモニタリングを行う新たなシステム「DONET2」の完成が必要であることが指摘された．

(3) 陸上ボアホール地殻変動観測による震源のモニタリング

歪・傾斜・地下水等の統合データに基づく南海トラフ沿いのゆっくり滑りの検出に関する報告がなされた．Hi-net の傾斜や気象庁の歪のデータを加えることにより，プレート境界面上のスロースリップの検知能力が向上することが示され，2012 年から 2015 年の 3 年間で計 91 のスロースリップを検出し，その断層モデルを推定できたことが報告された．

(4) 海底地殻変動観測による震源のモニタリング

面的に展開された海底地殻変動観測網のデータを用いて推定された南海トラフ沿いの滑り欠損速度の分布が報告された．海域の地殻変動データを加えることで，従来の陸上のみの観測データでは見られなかった海域における固着分布の空間的な強弱が明瞭になった．また，超低周波地震（VLFE）の発生域と固着の強い領域には相補的な関係があることが示された．

(5) 南海トラフで発生しているスロー地震について

南海トラフ沿いで発生する様々なタイプのスロー地震について世界の事例と比較しつつ報告がされた．スロー地震の発生によって，その周囲に応力を加えることがあるために，隣接した領域における断層破壊を促進する可能性があることが示された．今後，巨大地震の切迫度評価手法の構築も含めて，スロー地震のモニタリングを注意深く，高精度に継続することの重要性が指摘された．

(6) モニタリングから何がわかるか

数値シミュレーション手法について，現状のレビューや直近の事象の予測可能性について報告がなされた．観測データから地下で何が起きているかの解析をリアルタイムで行うことが必要であり，その上で解析結果をいかに大地震発生評価に結び付けるかが重要であることが指摘された．観測データの解析結果を評価する手法の 1 つとしてシミュレーションが挙げられることが示された．

第 214 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2017 年 2 月 20 日（月）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，松澤，山岡，澁谷，高橋，遠田，八木，池田，佐藤，佐竹，篠原，小原，中島（小川委員代理），松本，後藤，青井，汐見，堀，宍倉，長屋，橋本，前田，宇根，今給黎

（招聘報告者）

鶴岡（東京大学地震研究所），藤原（国土地理院）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

（1）地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2016 年 11 月から 2017 年 1 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 38 回であった．目立った活動としては，11 月 22 日の福島県沖の地震活動が挙げられる．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

十勝沖で 12 月中旬に超低周波地震が検出された．

ウ　日本列島のひずみ変化

GNSS 連続観測によると，最近 1 年間の日本列島のひずみには，東北地方太平洋沖地震の余効変動，熊本地震，鳥取県中部の地震，福島県沖の地震，茨城県北部の地震の影響が見られる．

（2）プレート境界の固着状態とその変化

ア　駿河トラフ・南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

短期的スロースリップを伴う顕著な微動活動が紀伊半島北部から中部にかけて 12 月 5 日から 18 日に発生した．それ以外の主な微動活動は，四国東部（10 月 29 日から 11 月 4 日，11 月 21 日から 28 日），四国中部（11 月 4 日から 8 日）で発生した．

（3）その他

ア　福島県沖の地震

2016 年 11 月 22 日に福島県沖の深さ 12km で M7.4 の地震が発生した．この地震は陸のプレートの地殻内で発生し，発震機構は北西－南東方向に張力軸を持つ正断層型であった．この地震により，宮城県の仙台港で 144cm の津波を観測するなど，北海道から和歌山県にかけての太平洋沿岸及び伊豆・小笠原諸島で津波を観測した．その後，この地震の震源付近では M5 以上の地震が 2017 年 1 月 31 日までに 13 回発生した．この地震に伴う地殻変動は，南東傾斜の断層面での正断層の滑りで説明されることが報告された．

イ　茨城県北部の地震

2016 年 12 月 28 日に茨城県北部の深さ 11km で M6.3 の地震が発生した．この地震は地殻内で発生し，発震機構は東北東－西南西方向に張力軸を持つ正断層型であった．地震活動は北北西－南南東方向に延びる長さ約 15km の領域で西南西方向に傾斜して発生している．今回の地震の震央付近では 2011 年 3 月 19 日に M6.1 の地震が発生している．

GNSS 観測により，この地震に伴い震央周辺の観測点で地殻変動が観測された．だいち 2 号のデータを用いた SAR 干渉解析では，最大約 27cm の衛星－地表間の距離伸張が観測され，最大の地殻変動が観測される領域では，長さ約 2km の変位の不連続が見られた．地殻変動に基づく震源断層モデルは，2 枚の断層を仮定して推定され，北北西（北西）－南南東（南東）走向で南西傾斜の断層面で，最大変位域の浅部に局所的な滑りが推定された．SAR 干渉解析の結果は，今回の地震の地殻変動が 2011 年 3 月 19 日の地震とほぼ同じ領域で観測されており，特に地表付近では 2011 年の地震とほぼ同じ位置で滑りが生じたことを示唆する．

ウ　鳥取県中部の地震

2016 年 10 月 21 日からの鳥取県中部地震の地震活動は，全体として引き続き減衰しつつも，活動は継続している．

エ　ニュージーランドの地震

2016 年 11 月 13 日にニュージーランドの南島の深さ 22km で Mw7.8 の地震が発生した．発震機構は西北西―東南東方向に圧力軸を持つ型であった．

だいち 2 号のデータを用いた SAR 干渉解析の結果は，今回の地震により非常に複雑な断層運動が生じたことを示唆する．

2　重点検討課題「予測実験の試行 03」の検討

第 210 回重点検討課題にて行われた「予測実験の試行 02」に引き続き，地震活動の予測可能性に関して議論が行われた．

（1）CSEP 参加グループによる予測手法（予測と実際の活動の比較検証）

CSEP（地震活動予測実験）参加グループによる 3 か月間の予測では，2016 年 2 月 1 日からの 4 回分の評価結果が報告された．その結果，東北地方太平洋沖地震後においては，地震数の予測と空間分布の予測を分離して大森・宇津式で地震数を算出する地震活動予測モデルが有効であることが報告された．

（2）群発的地震活動を前震活動と仮定して行う本震の発生予測手法（最近の活動事例による検証）

群発的地震活動を前震活動と仮定し，その統計的性質から本震発生を経験的に予測した場合，日本海溝の 3 領域，伊豆半島沖及び長野県北中部では，比較的効率よく予測できる．これらの地域についての 210 回以降の状況及び，熊本地震と鳥取中部の地震に関連して九州中部地域及び山陰地域についての同手法の予測効率について報告された．九州中部地域については，熊本地震の直前の活動は今回得られた前震条件を満たした．山陰地域については 2016 年末までの

データを用いた場合，昨年の鳥取県中部の地震の直前の活動は前震条件を満たしたが，2015 年末までのデータを用いて前震条件を求めた場合，満たさなくなった．確率利得はあるものの実用的には的中率も予知率も低く，本手法を予報等に活用するためには，特に適中率が低い場合についての更なる検討が必要である．

(3) 沖縄地方の繰り返し地震及び東北地方太平洋沖地震の余震活動（予測と実際の発生状況の比較検証）

沖縄地方の繰り返し地震及び東北地方太平洋沖地震の余震活動に関する報告が行われた．宮古島付近の繰り返し地震の 4 グループの内 2 つのグループにおいて，発生確率 70%と予測されていた期間内に新たな地震が 1 回発生した．沖縄本島近海の繰り返し地震では，発生確率 70%の予測期間内に地震が発生した割合（的中率）は 2/6 ～ 7/8 であった．東北地方太平洋沖地震の余震域内では，2015 年末までの M5.0 以上の地震発生状況から 2016 年に M7.0 以上の余震が年 0 ～ 1 回程度発生することが予測され，実際の発生状況とよく一致した．余震活動を領域別に見ると，M6.0 以上の余震については，沿岸領域に比べて沖合・海溝付近では合いが良くないが，活動特性の違いに起因することが考えられる．

(4) 東北地方太平洋沖地震の余効変動の予測実験

東北地方太平洋沖地震の余効変動を 2 つの対数関数，1 つの指数関数及び定常速度の和でモデル化し，将来予測を行う手法について，短期予測（～ 6 年）と，長期予測（～ 20 年）の検証が報告された．その結果，局所的変動が短期予測での微小なずれや，長期予測での近似期間の違いによるブレの原因となる可能性があることが示された．また推定された短期成分の空間分布は余効滑り，長期成分は物理的なモデルで推定された粘弾性緩和による地殻変動とそれぞれ対応することが報告された．

(5) 気象庁震度データベースを用いた地震予測

気象庁震度データベースを用いた地震予測では，定常的な地震活動を仮定して定常ポワソン過程に基づく「中期予測」（3 ～ 12 か月）をしても，震度 4 程度の地震（動）であれば相当の「適中率」が見込めること，「予測」の対象期間を長くする，あるいは，対象領域を広く取ると「適中率」は見かけ上向上することが報告された．また単純な「予測」を通じて定常的地震活動がイメージ可能な対象期間の確率で説明 / 理解できることが示された．予測情報を評価するには，まず定常ポワソン過程による予測と比較して情報の価値を見極める必要があることが示された．2011 年を境に，日本全体として地震活動が活発化しているため，2001 年～ 2010 年の地震活動を基準とした予測は，直前 3 年を基準にした予測より，特に 3 か月予測で成績が悪くなることが報告された．

第 215 回地震予知連絡会 議事概要

日　時　2017 年 5 月 19 日（金）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，松澤，山岡，平田，澁谷，高橋，遠田，八木，宮内，佐藤，佐竹，篠原，小原，中島，尾形，松本，後藤，高橋（青井委員代理），汐見，堀，今西，長屋，青木，橋本，宇根，矢来

（招聘報告者）

高橋（防災科学技術研究所），荒木（海洋研究開発機構），石川（海上保安庁），木戸（東北大学），前田（東京大学地震研究所），干場（気象研究所）

議事概要

1　第 25 期の地震予知連絡会の体制について

全会一致で平原和朗委員が会長に選出された．平原会長により，松澤暢委員と山岡耕春委員が副会長に指名された．松澤暢委員が東日本部会長に，平田直委員が中日本部会長に，澁谷拓郎委員が西日本部会長に，山岡耕春委員が重点検討課題運営部会長に指名された．千葉大学・宮内崇裕教授，東京工業大学・中島淳一教授，産業総合研究所・今西和俊地震テクトニクス研究グループ長，気象庁・青木元地震予知情報課長，国土地理院・矢来博司地殻変動研究室長が新たに委員に就任した．

2　地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループ成果報告及び期間延長

地震 SAR 解析 WG（平成 26 年 2 月設置）の 3 年間の活動成果が報告された．活動期間については，第 214 回に 2 年間の延長が承認済みである．

3　地殻活動モニタリングに関する検討

(1) 地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2017 年 2 月から 2017 年 4 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 23 回であった．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

2 月末から 3 月上旬及び 4 月下旬から 5 月初めにかけて十勝沖で，5 月上旬から日向灘周辺で超低周波地震活動があった．

ウ　日本列島のひずみ変化

GNSS 連続観測によると，最近 1 年間の日本列島

のひずみには，東北地方太平洋沖地震の余効変動，熊本地震，鳥取県中部の地震，福島県沖の地震，茨城県北部の地震の影響が見られる．

(2) プレート境界の固着状態とその変化

ア　日本海溝・千島海溝周辺

a　福島県沖の地震

2017 年 2 月 28 日に福島県沖の深さ 52km で M5.7 の地震が発生した．この地震は発震機構が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で，太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した．この地震の震源付近では 2017 年 4 月 30 日までに M5.0 以上の地震が 3 回発生した．

イ　駿河トラフ・南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

短期的スロースリップを伴う顕著な微動活動が紀伊半島北部から中部にかけて 4 月 19 日から 30 日に，四国東部から中部にかけて 3 月 2 日から 11 日に発生した．それ以外の主な微動活動は，東海地方（2 月 13 日から 18 日），東海地方から紀伊半島北部（3 月 27 日から 4 月 1 日），紀伊半島中部（3 月 2 日から 8 日），四国西部（2 月 7 日から 10 日，2 月 26 日から 3 月 3 日）で発生した．

(3) その他

ア　茨城県北部の地震活動

2016 年 12 月 28 日の地震（M6.3）以降も，北北西－南南東方向に延びる長さ約 15km の領域で M4.0 以上の地震が 2 月 7 日と 4 月 20 日に計 3 回発生する等，地震活動は減衰しつつも継続している．

イ　熊本地震の地殻活動

広域にわたる余効変動が継続していることが GNSS 連続観測により検出された．熊本地震の発生から約一年間にわたる余震活動の活動推移を調べた結果，背景地震活動と余震発生強度が共に緩やかに減衰していることがわかった．

4　重点検討課題「海域モニタリングの進展」の検討

海域における地震・津波・地殻変動モニタリングについての報告と今後の進展の方向性についての議論が行われた．

(1) 防災科研が運用する地震津波海域観測網 -DONET & S-net-

南海トラフ及び日本海溝沿いに展開される海域観測網 DONET 及び S-net の運用状況について報告された．DONET については，DONET2 の埋設作業が完了し，最終的な品質確認を経てデータが公開される予定であることが報告された．S-net については，全ケーブルシステムの構築が終了したことが報告された．2016 年 8 月 20 日発生の三陸沖地震等で，詳細な震源分布の把握や津波の観測ができたことが報告された．

(2) 南海トラフ長期孔内観測システムによる観測

南海トラフの海底下で，地震・地殻変動・孔内間隙水圧等の観測を行う「長期孔内観測システム」の開発と設置状況について報告された．観測機器は，地球深部探査船「ちきゅう」によって南海トラフ海底に掘削した孔内に設置され，DONET に接続されていることが紹介された．現在，東南海地震震源域の 2 か所に設置されており，三重県南東沖地震では，余効変動や浅部ゆっくり滑りが検出されたことが報告された．

(3) GPS-A 海底地殻変動観測のこれまでの進展と今後の展望

海底の絶対位置を測定する GPS- 音響測距結合方式（GPS-A）による海底地殻変動観測の現状について報告された．これまでの観測の結果，東北地方太平洋沖地震後の余効変動の検出や南海トラフのプレート間固着の推定といった成果が得られていることが紹介された．今後は，さらなる観測点の展開，測位精度の向上，無人機によるリアルタイム・連続観測に向けた技術開発が課題であることが指摘された．

(4) 海底間音響測距観測の現状について

音波の往復時間を計測することで測器間の距離変化を計測する海底間音響測距観測の現状や今後の展開について報告された．海底間音響測距は，GNSS 音響計測と比べると観測精度が高く，1km の基線で 2-5mm の繰り返し観測精度が得られることが示された．今後，リアルタイムデータ取得に向けて，海底ケーブルに接続する必要性が指摘された．また，将来的には，測器を鎖状や面的に配列することで，広域のひずみ観測を展開できる可能性が示唆された．

(5) 海域稠密観測時代の津波即時予測研究とその展望

津波の即時予測に関する現状と展望について報告された．数値シミュレーションによる予測結果を稠密な観測網の津波記録と同化して現在時刻の津波波動場を直接推定する「津波データ同化法」を適用することにより，津波の到達までに波動場を再現できることが示された．また，現在構築されつつある海域観測網により，予測時間の短縮が見込めることが示された．課題としては，波源域で海底と海水が同期している間は，水圧計で津波の観測ができないことが指摘された．将来的には，さらなる時間短縮のために津波生成の物理とそのデータ活用手法の研究が必要であることが指摘された．

(6) 海底データを用いたモデル計算：地震動即時予測 －“揺れの数値予報”の適用例－

地震の揺れの即時予測に関する現状と海底データを利用する効果について報告された．地震の揺れの伝播に関する情報を逐次取り込みながら揺れを計算することで，正確な揺れの分布を予測できることが，熊本地震等の事例を通じて紹介された．海域で発生する巨大地震を想定して海底地震計の利用の有効性を検証した結果，陸上に揺れが到達する前に揺れを予測できることから，特に沿岸に近い地域で効果があることが示された．

(7) 総合討論

海域モニタリングのリアルタイム化に向けた展望や，観測の時間分解能と空間分解能のどちらを重視すべきか等について議論が行われた．

第 216 回地震予知連絡会 議事概要

日　時　2017 年 8 月 21 日（月）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，松澤，山岡，平田，澁谷，遠田，八木，宮内，佐藤，篠原，小原，中島，尾形，松本，八木原（後藤委員代理），青井，汐見，堀，今西，長屋，青木，橋本，宇根，矢来

（招聘報告者）

吉田（気象大学校），酒井・加藤（東京大学地震研究所），矢田（新潟大学）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

(1) 地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2017 年 5 月から 2017 年 7 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 29 回であった．最大震度 5 弱以上を観測した地震は 5 回であった．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

十勝沖で 6 月中旬から下旬に超低周波地震活動が約 7 か月ぶりに検出された．

ウ　日本列島のひずみ変化

GNSS 連続観測によると，最近 1 年間の日本列島のひずみには，東北地方太平洋沖地震の余効変動，熊本地震の余効変動，鳥取県中部の地震，福島県沖の地震，茨城県北部の地震の影響が見られる．

(2) プレート境界の固着状態とその変化

ア　駿河トラフ・南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　南海トラフ沿いの海底地殻変動観測結果

西南日本の沖合の海底において，年間 2 － 5cm の速度で北西方向の地殻変動が見られる．

b　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

短期的スロースリップを伴う顕著な微動活動が四国西部から豊後水道にかけて 7 月 20 日から 26 日に発生した．それ以外の主な微動活動は，紀伊半島北部（5 月 4 日から 13 日），紀伊半島西部（7 月 25 日から 28 日），豊後水道（5 月 3 日から 6 日）で発生した．

(3) その他

ア　長野県南部の地震

2017 年 6 月 25 日に長野県南部の深さ 7km で M5.6 の地震が発生した．この地震は地殻内で発生し，発震機構は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であった．この地震は，昭和 59 年（1984 年）長野県西部地震（M6.8）とその後の活動域の北東端付近で発生した．

イ　鹿児島湾の地震

2017 年 7 月 11 日に鹿児島湾の深さ 10km で M5.3 の地震が発生した．この地震は地殻内で発生し，発震機構は西北西－東南東方向に張力軸を持つ横ずれ断層型であった．この地震の震央付近では，2016 年 12 月頃からやや活発な地震活動がみられていたが，この地震発生以降，地震活動はより活発となった．

2　重点検討課題「首都圏直下地震」の検討

首都圏の直下で発生する地震と地震動の特徴について議論が行われた．

(1) 相模トラフ沿いの地震長期評価（第二版）

地震調査委員会による「相模トラフ沿いの地震活動の長期評価（第二版）」について，相模トラフ沿いの M8 クラスの地震と，南関東地域の直下で発生する M7 クラスの地震に関する長期評価の基礎となる科学的知見や考え方について報告があった．相模トラフ沿いの地震については，従来の「元禄型」「大正型」のタイプ別による評価から，固有地震に固執せずに震源域の多様性を考慮した評価となったこと等が紹介された．また，南関東地域直下の地震については，元禄地震と大正地震の間に発生した地震も考慮した評価となったこと等が紹介された．

(2) 関東地域の活構造への東北地方太平洋沖地震の影響について

東北地方太平洋沖地震後の粘弾性緩和を考慮した応力変化が関東地域の活構造に与える影響について報告があった．関東平野下には伏在活断層が分布し，多くは推定平均変位速度が 0.1mm/year 以下の C 級の活動度であることが示された．東北地方太平洋沖地震

後 100 年間の応力変化を計算した結果，伏在活断層の多くは地震活動が抑制される傾向にあるが，断層の形状により促進される断層もあることがわかった．

(3) 関東下のプレート構造と地震活動

関東地方のプレート構造と地震テクトニクスの関係について報告があった．1921 年茨城県南部の地震や 1987 年千葉県東方沖地震の発生メカニズムが，プレート東側の沈み込み遅れで説明できることが紹介され，プレートの構造不均質を詳細に考慮することで地震活動の理解が深まることが示された．フィリピン海プレート境界面の絶対的な深さや陸のモホ面の深さ等の理解に不十分な点が残されている点や，温度構造等との統合的な理解によるプレートの摩擦特性や強度分布の定量化が今後の課題であることが指摘された．

(4) 首都圏の速度構造・Q 構造と地震活動

首都圏地震観測網等のデータから得られた地震波の速度構造と減衰構造について報告があった．データの解析により，フィリピン海プレートの上面の深さが従来のモデルより浅くなったことやプレート内の速度構造や減衰構造の不均質が明らかになったことが紹介された．また，東北地方太平洋沖地震前後の地震活動度とプレート構造との関係を調べたところ，フィリピン海プレート上面と太平洋プレート上面で地震活動の活発化が見られることが示された．

(5) 地震活動・房総半島沖のゆっくり滑りと群発活動

関東地方の非地震性滑りの時空間発展と房総半島沖のゆっくり滑りについて報告があった．東北地方太平洋沖地震に伴い，非地震性滑りが一時的に加速した後，緩やかに低下したことが示され，プレートの沈み込む速度の変化により，プレート境界やその付近の地震活動が高まったと考えられることが指摘された．また，房総半島沖で発生するゆっくり滑りでは，滑り領域の広がりや伝播方向がイベント毎に異なり，その発生履歴が複雑であること等が示された．

(6) 1855 年安政江戸地震と史料

家屋倒壊率を再検討して史料を分析した場合の 1855 年安政江戸地震の被害について報告があった．歴史地震の規模を導き出す家屋倒壊率において，従来の研究では半潰の記述の解釈が不適切であり，従来示されていた幸手市付近の大きな被害域は存在しない可能性が示された．広域の被害報告書をもとに全壊家屋倒壊率を調べたところ，被害が江戸付近に限られる可能性が指摘された．前近代の地震研究では，史料とその詳細な検討が必要であることが指摘された．

第 217 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2017 年 11 月 22 日（水）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，山岡，勝俣（高橋委員代理），平田，西上（澁谷委員代理），遠田，八木，宮内，佐藤，佐竹，小原，中島，尾形，松本，中尾（後藤委員代理），汐見，堀，松本（今西委員代理），石川（長屋委員代理），青木，橋本，宇根，矢来

（招聘報告者）

野村（統計数理研究所），弘瀬（気象研究所），楠城（静岡県立大学），中谷（東京大学地震研究所）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

(1) 地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2017 年 8 月から 2017 年 11 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 28 回であった．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

期間内に目立った浅部超低周波地震は検出されなかったが，8 月中旬と 10 月上旬に日向灘で超低周波地震が検出された．

ウ　日本列島のひずみ変化

GNSS 連続観測によると，最近 1 年間の日本列島のひずみには，東北地方太平洋沖地震の余効変動，熊本地震の余効変動，鳥取県中部の地震，福島県沖の地震，茨城県北部の地震の影響が見られる．

(2) 東北地方太平洋沖地震関連

東北地方太平洋沖地震以降，東北地方から関東甲信越にかけて東向きの変動が見られ，累積水平変動は岩手川崎 A 観測点で最大約 139cm に達している．また，上下変動は，宮城県から千葉県にかけての太平洋沿岸では隆起が，岩手県沿岸と奥羽脊梁山脈付近では沈降が見られる．海底地殻変動観測によると，釜石沖，宮城沖で陸側へ，福島沖，銚子沖で海溝側への変動が見られる．2014 年以降では福島沖，銚子沖の年平均地殻変動量が小さくなっている．

(3) プレート境界の固着状態とその変化

ア　駿河トラフ・南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　南海トラフ沿いの海底地殻変動観測結果

東海・紀伊半島・四国・九州の太平洋側ではフィリピン海プレートの沈み込みに伴う西北西方向の地殻変動が顕著に見られる．上下変動では，御前崎，潮岬，室戸岬のそれぞれの周辺で沈降が見ら

れる．2006 年から 2009 年までの変動速度を定常状態と仮定すると，最近 1 年間で顕著な変化は見られない．

b　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

主な微動活動として，四国東部（8 月 8 日から 14 日），四国中部（9 月 9 日から 16 日），豊後水道（10 月 14 日から 20 日）で発生した．

（4）その他

ア　秋田県内陸南部の地震

2017 年 9 月 8 日に秋田県内陸南部の深さ 9km で M5.2 の地震が発生した．この地震は地殻内で発生し，発震機構は北西－南東方向に張力軸を持つ横ずれ断層型であった．この地震の発生以降，9 月 9 日には M3.4 の地震が発生する等，最大震度 1 以上を観測する地震が 10 月 31 日までに 54 回発生した．この地域では，東北地方太平洋沖地震以降，地震活動が活発になっていた．

イ　茨城県北部の地震活動

2016 年 12 月 28 日の M6.3 の地震以降に地震活動が活発化した領域とその付近では，8 月から 11 月の間に M4.5 以上の地震が 4 回発生するなど，活発な状況が継続している．

ウ　鹿児島湾の地震

鹿児島湾では，2016 年 12 月頃から活発な地震活動がみられており，2017 年 7 月 11 日に M5.3，8 月 24 日に M4.4，11 月 1 日に M3.8 の地震が発生する等，活発な状況が継続している．

エ　イラン・イラク国境付近の地震

2017 年 11 月 12 日にイラン・イラク国境付近で発生した Mw7.3 の地震について，だいち 2 号のデータを用いた干渉 SAR 解析を行った結果，最大約 90cm の隆起及び最大約 50cm の西向きの変動が捉えられた．推定された断層滑りはやや右横ずれ成分を含む逆断層運動で，震源よりも浅い側で最大約 3m の滑りが推定された．

2　重点検討課題「予測実験の試行 04」の検討

地震活動のデータにもとづく地震の予測において，新たに取り組まれつつある手法の紹介とこれまでの予測がどの程度適合していたのかの検討及び予測実験に移行するための課題が議論された．

（1）マグニチュードと時空間情報に基づく前震確率評価モデルの識別性能

地震群が前震である確率を評価するモデルについて報告があった．地震群のマグニチュード差及び時空間距離の情報に基づいて，1926 年から 1999 年までの気象庁カタログから推定した前震確率の評価モデルを，2000 年以降の同カタログに適用して前震確率を計算した結果が示された．前震確率の評価値と実際の適中率は概ね整合的であることが報告された．

（2）地震マグニチュードの予測モデル

地震のマグニチュードの確率予測を行う試みについて報告があった．過去の震源データからマグニチュードの予測確率密度分布を逐次再計算する手法を適用することで，b 値（地震の規模別発生頻度に関するパラメータ）を一定とした予測に比べて，予測の性能が向上することが示された．今後の課題として，地震発生履歴の特徴に関係するマグニチュード予測モデルの探求の必要性等が指摘された．

（3）本震前に現れる G-R 則からの逸脱と，その特徴に基づいた地震予測モデルの提案

地震の規模別発生頻度に関する法則（G-R 則）からの逸脱率（η 値）を基にした予測モデルに関して報告があった．1990 年以降の地震に予測モデルを適用した結果，対象地震の規模に応じた余震域に対応する半径を用いることで確率利得や予知率が高まることが示された．

（4）b 値にもとづく全地球規模の大地震発生予測のモデル

地震の規模別発生頻度に関するパラメータである b 値に基づく予測モデルについて報告があった．1980 年以降の国内外の M8 以上の地震を対象に，b 値の変化に基づく予測の試行実験の結果が示された．今後の課題として，b 値の予測モデルの最適化やリアルタイムの事前予測システムの構築が指摘された．

（5）Mw8.0 以上の地震に先行した地震活動長期静穏化

1990 年から 2017 年に発生した国内外の Mw8.0 以上の地震 20 個における地震前の静穏化の有無について報告があった．解析の結果，すべての地震において，発生前に 10 年間程度より長い静穏化が見られたことが示された．また，20 個中 12 個の地震では，同程度の静穏化が震源域の周囲にただ 1 つだけ存在し，大地震と静穏化が一対一に対応していたことが報告された．

（6）経験則から期待される大地震発生の確率：相場のレビュー

経験則による大地震発生の確率予測について報告があった．M6 以上の地震を対象に，過去に提案されてきた複数の予測手法から得られる予測範囲，時間，確率等のパラメータが比較・検討された．予測に関する幾つかのパラメータのうち，情報の受け手にとって適中率が重要であることが指摘された．

第 218 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2018 年 2 月 23 日（金）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，松澤，山岡，平田，片尾（澁谷委員代理），高橋，遠田，八木，宮内，佐藤，佐竹，篠原，小原，中島，尾形，松本，後藤，青井，汐見，今西，長屋，尾崎（青木委員代理），橋本，宇根，矢来

（招聘報告者）

宮下（産業技術総合研究所），藤原・小林（国土地理院），加藤（東京大学地震研究所），熊澤（統計数理研究所）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

（1）地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2017 年 11 月から 2018 年 1 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 30 回であった．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

2017 年 12 月中旬から下旬に日向灘及びその周辺域において超低周波地震が検出された．1 月上旬にもほぼ同様の領域で活動があった．

ウ　日本列島のひずみ変化

GNSS 連続観測によると，最近 1 年間の日本列島のひずみには，東北地方太平洋沖地震及び熊本地震の余効変動の影響が見られる．

（2）東北地方太平洋沖地震関連

東北地方太平洋沖地震以降，東北地方から関東甲信越にかけて東向きの変動が見られ，累積水平変動は岩手川崎 A 観測点で最大約 141cm に達している．また，上下変動は，宮城県から千葉県にかけての太平洋沿岸では隆起が，岩手県沿岸と奥羽脊梁山脈付近では沈降が見られる．海底地殻変動観測によると，最近の 3 年間では，福島沖，銚子沖の南東方向への年平均速度が，2011 年から 2014 年の平均速度に比べて小さくなっている．

（3）プレート境界の固着状態とその変化

ア　駿河トラフ・南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

短期的スロースリップを伴う顕著な微動活動が紀伊半島中部から東海地方にかけて 11 月 15 日から 12 月 5 日に発生した．それ以外の主な微動活動は，四国東部（11 月 22 日から 30 日），紀伊半島西部（1 月 2 日から 6 日）で発生した．11 月 15 日から 12 月 5 日に発生したスロースリップでは，GNSS 連続観測でも変動が捉えられており，プレート間の滑りを推定した結果，三重県北部から愛知県西部にかけて最大約 10 ㎜の滑りが推定された．

（4）その他

ア　青森県東方沖の地震

2018 年 1 月 24 日に青森県東方沖の深さ 34km で M6.3 の地震が発生した．この地震の発震機構は東西方向に圧力軸を持つ逆断層型で，太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した．ほぼ同じ場所で 2001 年 8 月に M6.4 の地震が発生しており，これらが相似地震の可能性があることが指摘された．

イ　台湾付近の地震

2018 年 2 月 4 日に台湾付近の深さ 10km で M6.5 の地震が発生し，2 月 7 日には深さ 10km で M6.7 の地震が発生した．これらの地震を含め，2 月 19 日までに M6.0 以上の地震が 4 回発生した．また「だいち 2 号」の SAR データ解析から，台湾・花蓮市の米崙断層（Milun Fault）から嶺頂断層（Lingding Fault）北部にかけて，約 15 ㎞にわたって断層沿いに顕著な地殻変動が生じたことが明らかとなった．

2　重点検討課題「熊本地震で見えてきた課題」の検討

熊本地震の最新の研究成果が報告され，内陸地震予測への調査研究の方向性などについて議論された．

（1）2016 年熊本地震と日奈久断層帯の古地震履歴

布田川断層帯及び日奈久断層帯の未破壊区間の古地震調査について報告があった．調査の結果，日奈久断層帯では，海陸のいずれにおいても，既存の活動評価より高い頻度（平均 2000 年から 3000 年程度）で地震を起こしてきたことがわかった．時間分解能の良い地層が堆積する場所を選定し，トレンチ壁面で観察された断層の位置づけを検討することの重要性等が指摘された．

（2）ALOS-2 の SAR で見つかった平成 28 年熊本地震による地表断層群

「だいち 2 号」のレーダー観測による熊本地震の地殻変動について報告があった．地震を引き起こした主要な断層運動による地殻変動だけではなく，地震に誘発され受動的に動いたと考えられる 230 程の地表断層群が阿蘇外輪山北西等で発見された．これらの断層群は，今までの活断層のイメージを変える多様性を持っており，活断層とは何かについて理学面・防災面から再検討すべきであることが指摘された．

（3）2016 年熊本地震　ー地震観測から得られた地震像ー

稠密な地震観測により得られた震源について報告が

あった．解析の結果，日奈久断層帯や布田川断層帯に関連した複数の断層面が捉えられ，これらの断層面群により複雑な地震活動が起きたことがわかった．また，断層周辺の応力分布を調べたところ，熊本地震の複雑な断層の滑りは，地震前の断層にかかる応力場が一様でないために引き起こされたことが示された．

(4) 2016 年熊本地震の本震前に見られた前震域の拡大

地震活動の時空間発展について報告があった．解析の結果，4 月 14 日の前震発生以降，ゆっくり滑りの伝播によると考えられる地震発生域の拡大が捉えられ，本震の破壊開始点へ向かう動きが見られた．前震やゆっくり滑りによる断層面の固着の剥がれによって，本震の断層面に応力が加わり，本震の発生が促された可能性があることが指摘された．

(5) 点過程モデルによる熊本地震前後の地震活動の解析

熊本地震発生前後の地震活動について報告があった．解析の結果，地震前には布田川断層帯北側のごく狭い領域のみで群発地震や東北地方太平洋沖地震による誘発地震が見られた．また，本震前に発生した M6.4 の地震直後からは有意な地震活動の静穏化が認められた．本震後の余震活動からは，断層強度が徐々に回復していることや阿蘇地域での地震の大部分が本震の応力変化の誘発により起きていること等がわかった．

(6) 熊本地震の余効変動

「だいち 2 号」のレーダー観測による熊本地震後に進行する地殻変動（余効変動）について報告があった．解析の結果，布田川断層帯周辺の地盤が広域に隆起及び西向きに動いていること等がわかった．日奈久断層帯の余効滑りに加えて，下部地殻・上部マントルがゆっくりと変形する粘弾性緩和により余効変動が引き起こされていることが示され，内陸地震における粘弾性緩和の重要性が指摘された．

第 219 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2018 年 5 月 25 日（金）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，松澤，山岡，平田，澁谷，高橋，八木，宮内，佐藤，佐竹，篠原，中島，尾形，松本，中尾，青井，汐見，飯沼（堀委員代理），今西，楠，青木，橋本，宇根，矢来

（招聘報告者）

加藤（東京大学地震研究所），寺川（名古屋大学），行竹（神奈川県温泉地学研究所），雷（産業技術総合研究所），渡邊（富山大学），吉岡（神戸大学）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

(1) 地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2018 年 2 月から 2018 年 4 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 40 回であった．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

紀伊半島西部から四国東部の南方沖において，2018 年 3 月から 4 月に超低周波地震が検出された．

ウ　日本列島のひずみ変化

GNSS 連続観測によると，最近 1 年間の日本列島のひずみには，東北地方太平洋沖地震及び熊本地震の余効変動の影響が見られる．

(2) プレート境界の固着状態とその変化

ア　駿河トラフ・南海トラフ・南西諸島海溝周辺

ａ　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

短期的スロースリップを伴う顕著な微動活動が四国西部から中部（2 月 21 日から 3 月 11 日），四国東部（3 月 17 日から 3 月 25 日），紀伊半島北部から中部（4 月 13 日から 4 月 20 日）で発生した．それ以外の主な微動活動は，紀伊半島南部（2 月 11 日から 2 月 15 日）で発生した．2 月 21 日から 3 月 25 日に発生したスロースリップでは，GNSS 連続観測でも変動が捉えられており，プレート間の滑りを推定した結果，豊後水道から愛媛県西部にかけて最大約 20 ㎜の滑りが推定された．滑りの中心が時間と共に西側から東側へ移動していることが分かった．

(3) その他

ア　根室半島南東沖の地震

2018 年 4 月 14 日に根室半島南東沖の深さ 53km で M5.4 の地震が発生した．発震機構は北西－南東方向に張力軸を持つ正断層型で，太平洋プレート内部で発生した．

イ　長野県北部の地震

2018 年 5 月 12 日に長野県北部の深さ 11km で M5.2 の地震が発生した．発震機構は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ型であった．この震源付近では 2014 年 11 月 22 日に M6.7 の地震が発生している．

ウ　島根県西部の地震

2018 年 4 月 9 日に島根県西部の深さ 12km で M6.1 の地震が発生した．発震機構は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型であった．この地震の発生以降，震源付近で地震活動が活発とな

り，震度 1 以上を観測する地震が 4 月 30 日までに 47 回発生した．この地震に伴い，GNSS 連続観測点（大田）が東南東方向に 1cm 移動する等，地震のメカニズム解と整合する地殻変動が観測された．

エ　西表島付近の地震

2018 年 3 月 1 日に西表島付近の深さ 15km で M5.6 の地震が発生した．この地震は陸のプレートの地殻内で発生した．発震機構は，北東－南西方向に張力軸を持つ型であった．この地震の発生後，地震活動が活発となり，5 月 13 日までに震度 1 以上を観測する地震が 47 回発生した．

2　重点検討課題「地震と水」の検討

地震と水に関する最新の研究成果が報告され，水等の地下の流体が地震発生過程に果たす役割等について議論された．

(1) 地震発生への水の役割

時間スケールの違いから見た水の役割について報告があった．長期的な時間スケールでは，断層の深部延長に存在する流体が，近傍の変形を促進して既存断層への応力集中をもたらす役割を果たすことが示された．一方，短期的な時間スケールでは，間隙水圧の増加や地下水のくみ上げ等の表層荷重変化による地震活動への影響が見られることが示された．

(2) 地震の発生における応力と流体の役割

地震のメカニズム解から，地殻内の間隙流体圧の時空間変化を推定する手法とその応用事例について報告があった．開発された手法を用いることにより，地震活動と間隙流体圧の時間発展の関係を調べることが可能になり，スイスのバーゼル地熱貯留槽の注水実験では，断層強度の低下による地震活動の活発化が認められたこと等が紹介された．

(3) 箱根火山における群発地震と地殻流体との関係

2009 年の群発地震活動の解析結果について報告があった．群発地震はほぼ鉛直な面上に分布し，時間とともに拡散的に拡大していること等が示され，断層破砕帯中を高圧流体が拡散する過程で群発地震が誘発された可能性が指摘された．

(4) 長期・短期注水による誘発地震に関する研究

中国・四川盆地での注水活動から得られた結果について報告があった．注水による誘発地震の発生頻度は注水履歴に強く依存していることや，地震の多くは注水した層の上部及び下部の脆性的な堆積層中の既存断層に集中すること等が示された．また，誘発地震は余震をトリガーする能力が低いことが示された．

(5) 地震波速度・電気伝導度から推定される地殻内の流体分布

含水岩石の弾性波速度・電気伝導度の実験結果をもとに考察された地殻内の流体について報告があった．観測から得られる電気伝導度及び地震波速度の変化は，地殻内のチューブ状に連結するクラックが増加することで説明可能であることが指摘された．

(6) 関東下における海洋プレートの温度・脱水分布と微小地震の発生の関連性について

3 次元熱対流沈み込みモデルにより推定された温度構造や含水量分布と関東下の微小地震の発生メカニズムの関連性について報告があった．太平洋プレートの地殻内地震は，岩石の相転移に伴う脱水域とよく対応している一方，太平洋プレート深部の地震活動は，フィリピン海プレートの影響により深部に運ばれた水が脱水する領域とよく対応していることが示された．

第 220 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2018 年 8 月 24 日（金）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，松澤，山岡，澁谷，勝俣（高橋委員代理），遠田，八木，宮内，佐藤，佐竹，篠原，小原，中島，松本，中尾，青井，汐見，堀，今西，石川（楠委員代理），青木，橋本，宇根，矢来

（招聘報告者）

宍倉（産業技術総合研究所），松浦（地震予知総合研究振興会），植平（防災科学技術研究所），小平（海洋研究開発機構）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

(1) 地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2018 年 5 月から 7 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 26 回であった．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

紀伊半島西部～四国東部の南方沖における超低周波地震は 5 月も断続的に発生した．また，十勝沖では 5 月中旬から 6 月上旬に超低周波地震活動があった．

ウ　日本列島のひずみ変化

GNSS 連続観測によると，最近 1 年間の日本列島のひずみには，東北地方太平洋沖地震，熊本地震の余効変動及び房総半島スロースリップの影響が見られる．

(2) 東北地方太平洋沖地震関連

東北地方太平洋沖地震以降，東北地方から関東甲信越にかけて東向きの変動が見られ，累積水平変動は岩手川崎 A 観測点で最大約 143cm に達している．また，上下変動は，宮城県から千葉県にかけての太平洋沿岸では隆起が，岩手県沿岸と奥羽脊梁山脈付近では沈降が見られる．海底地殻変動観測によると，釜石沖，宮城沖で陸側へ，福島沖，銚子沖で海溝側への変動が見られる．

(3) プレート境界の固着状態とその変化

ア　相模トラフ周辺

a　千葉県東方沖から千葉県北東部及び南部付近にかけての地震活動

2018 年 6 月 3 日から，千葉県東方沖から千葉県北東部及び千葉県南部付近にかけて地震活動が活発となり 6 月 30 日までに震度 1 以上の地震が 26 回発生した．これらの地震は主にフィリピン海プレートと陸側のプレートの境界で発生した．過去にもこの地域ではスロースリップと同期して活動が活発化している．

b　房総半島のスロースリップ

房総半島で 6 月初旬頃から非定常な地殻変動が GNSS 及び傾斜計で検出された．解析の結果，房総半島沖合で陸側のプレートとフィリピン海プレートの境界で滑りが発生したことが推定された．今回のイベントは 1996 年以降では過去最大の地殻変動を伴い，滑りの規模も最大であった．

c　千葉県東方沖の地震

2018 年 7 月 7 日に千葉県東方沖の深さ 57km で M6.0 の地震が発生した．発震機構は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型で，太平洋プレート内部で発生した．

イ　駿河トラフ・南海トラフ・南西諸島海溝周辺辺

a　南海トラフ沿いの海底地殻変動観測結果

西南日本の沖合いの海底において，北西方向の地殻変動が見られる．熊野灘の観測点の変動には，2017 年に発生した短期的スロースリップの影響が見られる．また，紀伊水道の観測点では，2017 年以降，南向きの変動が見られる．

b　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

紀伊半島西部から南部（6 月 22 日から 25 日），四国中部から東部（6 月 13 日から 26 日），四国西部（7 月 21 日から 27 日），豊後水道（7 月 18 日から 20 日）で低周波微動が発生した．

(4) その他

ア　長野県北部の地震（5 月 12 日 M5.2）

2018 年 5 月 12 日長野県北部の深さ 11km で M5.2 の地震が発生した．発震機構は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ型であった．この地震の付近では 2014 年 11 月 22 日に M6.7 の地震が発生している．

イ　長野県北部の地震（5 月 25 日 M5.2）

2018 年 5 月 25 日に長野県北部の深さ 6km で M5.2 の地震が発生した．発震機構は北北西－南南東方向に圧力軸を持つ横ずれ型であった．

ウ　大阪府北部の地震

2018 年 6 月 18 日に大阪府北部の深さ 13km で M6.1 の地震が発生した．発震機構は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ型であった．この地震の発生以降，震源付近で地震活動が活発となり，震度 1 以上の地震が 7 月 31 日までに 55 回発生した．今回の地震活動で発生した M4.0 以上の発震機構は，これまでの活動と調和的であった．大阪府北部地震の前に，阿武山観測点の歪計や逢坂山観測点の水位に急激な変化が観測された．地震波形の解析から，北側に位置する東傾斜の断層では主に逆断層，南側の南東傾斜の断層では主に右横ずれの滑りが推定された．また，この地震の発震機構と調和的な地殻変動が，GNSS によって検出された．

2　重点検討課題「千島海溝・北海道東方沖と三陸北部における巨大地震」の検討

三陸沖北部・千島海溝における巨大地震のプレート境界構造やその履歴・今後の発生可能性等について，最近の知見を中心に議論された．

(1) 地震調査委員会の「千島海溝沿いの地震活動の長期評価（第三版）」について

地震調査委員会により 2017 年 12 月に公表された「千島海溝沿いの地震活動の長期評価（第三版）」に関する報告があった．超巨大地震の今後 30 年以内に発生する発生確率は 7 － 40%であり，M8.8 程度以上の規模が想定されることが示された．また，これまで考慮されていなかった海溝軸付近の津波地震や海溝軸外側の正断層地震についての評価が追加されたことも報告された．

(2) 千島海溝・日本海溝北部沿いの超巨大地震履歴

北海道東部の地質記録の分析により，17 世紀に発生した超巨大地震では巨大な津波を伴い，余効変動により沿岸部が 1 － 2m 隆起したことがわかった．また，超巨大地震が平均約 340 － 380 年の間隔で発生してきたことがわかった．17 世紀の津波堆積物は北方四島及び北海道西部から東北地方北部でも見られることから，1611 年慶長三陸地震との関連が指摘された．

(3) 北海道東方沖の相対的地震活動度の静穏化と現状

北海道東方沖では，地震活動が 2008 年 10 月頃か

ら約 7 年間静穏化し，2015 年後半から定常状態に戻りつつあることが示された．東北地方太平洋沖地震前にも東北沖で静穏化が見られたこともあり，地震活動や地殻変動等のモニタリングを強化すべきことが指摘された．また，津波計算で仮定する断層形状によって津波の到達範囲等の結果が変わり得ることが示され，17 世紀の超巨大地震と 1611 年慶長三陸地震との関係性を再考する必要性が指摘された．

(4) 日本海溝海底地震津波観測網（S-net）の概要と地震検知能力

日本海溝沿いに設置された海底地震津波観測網（S-net）は，2016 年 2 月からデータ伝送が開始され，海溝軸外側の海域も含めて，現在，150 観測点が稼働していることが報告された．S-net の整備により，海溝軸外側付近まで概ね M1.5 以上の地震の検知が可能となったこと，海域で発生する地震の震源決定精度が上ったこと等が示された．

(5) 日本海溝地震発生帯の地下構造とその地震学的意義

日本海溝の海溝軸外側から海溝軸までの地下構造探査に関する報告があった．海溝軸外側から海溝軸の領域には局所的に海洋性堆積層が薄い領域があり，北緯 39.5 度付近では遠洋性粘土層の連続性が乱されていることが示された．このような堆積層構造が，東北地方太平洋沖地震の断層滑りの北方への伝播を止めた構造的要因と考えられることが指摘された．

第 221 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2018 年 11 月 30 日（金）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，松澤，山岡，平田，澁谷，高橋，遠田，八木，宮内，佐藤，篠原，小原，中島，尾形，松本，中尾，青井，汐見，堀，松本（今西委員代理），楠，青木，橋本，宇根，矢来

（招聘報告者）

鶴岡・加藤（東京大学地震研究所）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

(1) 地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2018 年 8 月から 10 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 40 回であった．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

8 月下旬，10 月下旬に日向灘で超低周波地震活動が検出された．

ウ　日本列島のひずみ変化

GNSS 連続観測によると，最近 1 年間の日本列島のひずみには，東北地方太平洋沖地震，熊本地震の余効変動，房総半島スロースリップ，及び北海道胆振東部地震の影響が見られる．

エ　全国の海底地殻変動観測結果化

海底地殻変動観測によると，最近 4 年間の水平移動速度には，東北地方太平洋沖地震の余効変動，フィリピン海プレートの沈み込みに伴う変動が見られる．

(2) 東北地方太平洋沖地震関連

東北地方太平洋沖地震以降，東北地方から関東甲信越にかけて東向きの変動が見られ，累積水平変動は岩手川崎 A 観測点で最大約 145cm に達している．また，上下変動は，宮城県から千葉県にかけての太平洋沿岸では隆起が，岩手県沿岸と奥羽脊梁山脈付近では沈降が見られる．海底地殻変動観測によると，釜石沖，宮城沖で陸側へ，福島沖，銚子沖で海溝側への変動が見られる．

(3) プレート境界の固着状態とその変化

ア　駿河トラフ・南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　南海トラフ沿いの海底地殻変動観測結果

西南日本の沖合いの海底において，北西方向の地殻変動が見られる．紀伊水道の観測点では，2017 年以降，南向きの非定常な変動が見られ，紀伊水道沖合いでプレート間滑りが推定された．

b　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

短期的スロースリップイベントを伴う顕著な微動活動が四国西部から豊後水道（9 月 29 日から 10 月 6 日），四国東部から中部（10 月 31 日から 11 月 8 日）で発生した．それ以外の主な微動活動は，東海地方（10 月 7 日から 10 日），紀伊半島北部から南部（9 月 18 日から 10 月 1 日），四国東部から中部（10 月 10 日から 15 日），四国中部（8 月 6 日から 12 日）で発生した．そのうち，紀伊半島北部から南部及び四国西部から豊後水道の微動活動に同期した短期的スロースリップに伴う地殻変動が GNSS で検出され，プレート間滑りが推定された．

c　九州北部の非定常地殻変動

2017 年 1 月から 2018 年 1 月の期間を定常変動とした場合，2018 年 4 月から 10 月にかけて九州北部を中心に南東向きに最大 1 ㎝程度のわずかな非定常変動が見られた．この非定常変動から，日向灘北部で最大 14cm に達するプレート間滑りの発生が推定された．

（4）その他

ア　平成 30 年北海道胆振東部地震（9 月 6 日 ～最大 M6.7）

2018 年 9 月 6 日に胆振地方中東部の深さ 37km で M6.7 の地震が発生し，最大震度 7 を記録した．この地震は陸のプレート内で発生した．発震機構は東北東－西南西方向に圧力軸を持つ逆断層型であった．この地震の発生以降，地震活動が活発になり，10 月 31 日までに M4.0 以上の地震が 53 回，最大震度 4 以上の地震が 23 回発生した．地震活動は，南北方向に延びる長さ約 30km の領域を中心に発生しており，減衰しつつも継続している．地震は，地震本部が長期評価を行った断層の位置から離れた場所で発生している．SAR 及び GNSS で観測された地殻変動から，ほぼ南北走向の高角な断層面における逆断層運動が推定された．断層の上端は深さ約 16km に位置し，Mw6.6 と推定された．本震後約 24 日後から余震活動が統計的なモデルの予測値からかい離する傾向が見られた．これは，対応する様に余震群の南端に群発型の群れが発生し始めたためである．また余震の b 値の増加傾向が認められ，これは b 値の高い浅い場所での余震活動の割合が増えたためと考えられる．本震発生後 3 時間の地震データに基づくリアルタイム余震確率予測から，本震後に大きい地震が発生する確率が大阪北部地震より高いことが示された．

イ　インドネシア・スラウェシ島，ミナハサ半島の地震（9 月 28 日 Mw7.5）

2018 年 9 月 28 日にインドネシア・スラウェシ島，ミナハサ半島の深さ 10km で Mw7.5 の地震が発生した．この地震の発震機構は北西－南東方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型であった．SAR 解析の結果，震央付近から南側で顕著な変動が見られ，変動域は約 160 ㎞の範囲に及んでいることが分かった．震源域の南部では約 5m 程度の変位が見られ，南北走向の断層に沿った左横ずれ運動と調和的である．

2　重点検討課題「予測実験の試行 05」の検討

これまで行ってきている予測実験の試行の報告を行うとともに，スロースリップの地震活動への影響や北海道東方沖の地震活動の静穏化に関する地殻活動の現状について検討が行われた．

（1）群発的地震活動を前震活動と仮定して行う本震の発生予測手法（最近の活動事例による検証）と沖縄地方の繰り返し地震

群発的地震活動を基にした最近 1 年間の本震の発生予測に関する報告があった．日本海溝沿い等の領域を対象に試行した結果，前震と判断され，その後本震が発生する事例はなかった．さらに，沖縄地方における繰り返し地震の発生状況とその発生予測について報告があった．宮古島近海や沖縄本島近海（国頭村東方沖）における 2018 年の活動では，発生確率が 70% と予測された期間内に繰り返し地震が発生した領域があったことが報告された．

（2）CSEP 参加グループによる予測手法：予測と実際の活動の比較検証（3）

関東の地震活動の予測の評価について報告があった．モデルの改良により，予測性能を示す情報利得値が向上することが示された．一方，地震発生数の予測については，予測モデル毎に結果に差があることが示され，発生数の予測精度を考慮したモデルの改良も重要であることが指摘された．

（3）スロー地震と巨大地震の関係

海外のプレート境界付近の固着域周辺で発生した最近のスロー地震と巨大地震の関係について紹介があった．スロー地震のすべりが，巨大地震発生前に加速を示す事例は見つかっておらず，長期評価と組み合わせて，プレート境界の滑り速度の変化に基づいた確率論的な地震発生予測モデルの構築が必要不可欠であることが指摘された．

（4）北海道東部の最近の地殻変動

GEONET 観測による最近の地殻変動と潮位観測による長期間の上下変動について報告があった．地震活動の静穏化が終息以降，GNSS 観測において顕著な変化は見られないものの，根室付近の沈降速度がわずかに増加している可能性が示唆された．潮位データから推定される地盤の上下変動に近年見られる変化には，東北地方太平洋沖地震による広域の地殻変動や海面上昇の影響が含まれる可能性があることが指摘された．

（5）北海道東方沖の地震活動の相対的静穏化を受けた他の物理量変化の検討

北海道東方沖における地震活動や地殻変動の解析で見られている相対的な変化について紹介があった．2015 年頃まで，地震活動の顕著な静穏化，地震の発生数と規模の関係を示す b 値の低下，プレート間固着の変化が見られていたことが報告された．先行的な変化が中・長期的に見られていることから，戦略的な多種目の調査と解析の検討に今後取り組む必要性が指摘された．

第 222 回地震予知連絡会
議事概要

日　時　2019 年 2 月 22 日（金）

場　所　国土地理院関東地方測量部地震予知連絡会会議室

出席者（委員）

平原，松澤，山岡，澁谷，高橋，遠田，宮内，佐藤，佐竹，篠原，小原，中島，尾形，松本，中尾，青井，汐見，有吉（堀委員代理），楠，青木，橋本，宇根，矢来

（招聘報告者）

新井（海洋研究開発機構），浅野（防災科学技術研究所），西村（京都大学防災研究所），八木原（鹿児島大学），中村（琉球大学）

議事概要

1　地殻活動モニタリングに関する検討

（1）地殻活動の概況

ア　全国の地震活動について

国内で 2018 年 11 月から 2019 年 1 月までの 3 か月間に発生した M5 以上の地震は 32 回であった．期間外の 2 月 21 日の北海道胆振地方の地震では，震度 6 弱が観測された．

イ　日本周辺における浅部超低周波地震活動

日向灘で 1 月上旬に超低周波地震活動を検出した．11 月中旬にも超低周波地震活動を検出したが，この活動は種子島の東方沖以南が活動の中心と思われる．1 月下旬にもほぼ同領域にて，各指標が掲載基準に達しない超低周波地震活動を検出した．

ウ　日本列島のひずみ変化

GNSS 連続観測によると，最近 1 年間の日本列島のひずみには，東北地方太平洋沖地震，熊本地震の余効変動，房総半島スロースリップ，及び北海道胆振東部地震の影響が見られる．

エ　全国の海底地殻変動観測結果

海底地殻変動観測によると，最近 4 年間の水平移動速度には，東北地方太平洋沖地震の余効変動，フィリピン海プレートの沈み込みに伴う変動が見られる．

（2）プレート境界の固着状態とその変化

ア　駿河トラフ・南海トラフ・南西諸島海溝周辺

a　南海トラフ沿いの海底地殻変動観測結果

西南日本の沖合いの海底において，北西方向の地殻変動が見られる．紀伊水道の観測点では，2017 年以降，南向きの非定常な変動が見られ，紀伊水道沖合いでプレート間滑りが推定されてきた．現在はプレート間滑りは終息している．

b　西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

短期的スロースリップを伴う顕著な微動活動が四国東部から中部（10 月 31 日から 11 月 8 日）で発生した．それ以外の主な微動活動は，紀伊半島南部（1 月 19 日から 23 日）で発生した．2018 年後半より豊後水道南東側の微動の発生率増加が見られる．

c　九州北部・豊後水道の非定常地殻変動

2017 年 1 月から 2018 年 1 月の期間を定常変動とした場合，2018 年 4 月から 10 月にかけて九州北部を中心に南東向きに最大 1 ㎝程度，2018 年 10 月から 2019 年 1 月にかけて豊後水道周辺で南東向きに最大 1cm 程度のわずかな非定常変動が見られた．この非定常変動から，2018 年 4 月から 10 月まで日向灘北部で最大 10cm，2018 年 10 月から 2019 年 1 月まで豊後水道で最大 9cm に達するプレート間滑りの発生が推定された．豊後水道周辺の非定常地殻変動は 2019 年初頭からその速度が増加している．

（3）その他

ア　熊本県熊本地方の地震（1 月 3 日 M5.1，26 日 M4.3）

2019 年 1 月 3 日に熊本県熊本地方の深さ 10km で M5.1 の地震（最大震度 6 弱）が発生した．この地震は地殻内で発生した．発震機構は，南北方向に張力軸を持つ横ずれ断層型であった．この地震の発生以降，震源付近で地震活動が活発になり，31 日までに震度 1 以上を観測した地震が 8 回発生した．このうち，26 日に深さ 10km で M4.3 の地震（最大震度 5 弱）が発生した．この地震の発震機構は南北方向に張力軸を持つ型であった．地震活動は北西－南東方向に延びる長さ約 5km の領域を中心に発生しており，減衰しつつも継続している．

イ　種子島近海の地震（1 月 8 日　M6.0）

2019 年 1 月 8 日に発生した種子島近海の M6.0 の地震に伴い，震源近くの西之表電子基準点が南東に 2cm 程変動した．

ウ　首都圏直下の三次元地震活動の時空間統計モデルと詳細予測

東北沖地震の影響や地震活動度の深さを考慮した時空間 ETAS モデルが作成された．作成されたモデルは，首都圏地域での実際の地震発生をよく予測できている．

エ　インドネシア・クラカタウ火山の噴火

2018 年 12 月 22 日にインドネシアのアナク・クラカタウ火山の噴火を原因とする津波が発生した．

だいち 2 号が撮像した噴火前後の強度画像の比較から，島の南西部で明瞭な地形変化が認められた．また，SAR 干渉解析より，アナク・クラカタウ島付近を中心として衛星から遠ざかる変動が見られた．

オ　胆振地方中東部の地震（2 月 21 日　M5.8）

2019 年 2 月 21 日に胆振地方中東部の深さ約 35km で M5.8（暫定値）の地震（最大震度 6 弱）が発生した．昨年 9 月 6 日に発生した平成 30 年北海道胆振東部地震の震源を含む南北約 30km の領域で地震活動が継続しており，今回の地震はその領域内で発生した．地震の発震機構は東西方向に圧力軸を持つ型であった．GNSS 観測の結果（速報）及び陸域観測技術衛星 2 号「だいち 2 号」の合成開口レーダー干渉解析の結果によると，今回の地震に伴う有意な地殻変動は観測されていない．

2　重点検討課題「南西諸島の地殻変動」の検討

陸・海域の地震観測や地殻変動観測，構造探査等で明らかになった南西諸島の地殻活動が紹介され，その現状について議論された．

(1) 琉球海溝におけるプレート沈み込み構造と地震活動

琉球海溝で実施された地殻構造探査の結果が報告された．琉球海溝の南部では，1771 年八重山地震の津波発生域において分岐断層があることが示された．北部では，1995 年奄美大島近海地震の震源域において奄美海台が沈み込んでいることやプレートが途中で断裂していることが示された．

(2) 南西諸島北部～日向灘における地震・超低周波地震活動の特徴

西南日本における浅部超低周波地震の共通点や地域性等について報告があった．南西諸島では，西南日本の中でも超低周波地震が頻度高く発生している領域であること等が示された．機動観測のデータを追加した解析から，奄美大島の北東沖で超低周波地震の震源が南西方向に移動していること等が示された．

(3) GNSS データから推定された南西諸島の短期的スロースリップイベント

南西諸島で発生するスロースリップは，様々な深度や継続期間を持って発生しており，南海トラフ沿いで発生するスロースリップとは異なる特徴を持つことが示された．また，スロースリップは通常の中小地震や過去の大地震の発生領域とは重ならないことが多く，低周波地震はスロースリップの発生領域の周辺域で主に発生する傾向があることが指摘された．

(4) 海域及び島嶼域観測による南西諸島北部域の地震活動・地殻変動モニタリング

準定常海底地震観測により低周波微動が検出され，それらがスロースリップと同期して発生している可能性があること等が指摘された．また，2015 年頃からプレート境界における準静的滑りの速度が広域でほぼ同時に変化したことが報告された．背弧側にある女島での GNSS 観測により，沖縄トラフ北端部が約 5 mm/yr の速度で拡大していることを初めて定量的に捉えたこと等が紹介された．

(5) 南西諸島海溝沿いにおける海底地殻変動観測に基づくプレート間カップリング

南西諸島中部の沖縄島沖におけるプレート間の固着域は，1791 年の津波地震の震源域と一致している一方，スロースリップの発生域とは重ならないことが指摘された．また，南西諸島南部の波照間島沖では南方向の動きが観測されているものの，プレート間の固着の有無については現段階では不明であることが報告された．

重点検討課題一覧

回	重点検討課題名	報告課題	報告者
182	「プレート境界深部すべりに係わる諸現象」 コンビーナ 防災科学技術研究所 小原 一成	産総研地下水等総合観測による最近の成果	産業技術総合研究所　小泉 尚嗣
		GEONET で見る短期的 SSE	国土地理院　今給黎 哲郎
		新宮ボアホールひずみ計で捉えた短周期スロースリップイベント	名古屋大学・東濃地震科学研究所 山岡 耕春
		1．深部低周波地震 2．空間分布 3．時空間分布（移動性・周期性） 4．長期的スロースリップ発生前の深部低周波地震活動変化 5．深部低周波地震のクラスターと歪変化の関係 6．歪変化から推定される東海短期的スロースリップのモーメント解放履歴	気象庁　土井 恵治
		1．各現象の特徴と検出・解析手法 2．現象の全体像 3．時系列的特徴 4．特徴的な活動事例 5．諸現象の関係 6．短周期スロースリップ・深部低周波微動	防災科学技術研究所　小原 一成
		発生メカニズムに関する研究の現状の紹介	海洋研究開発機構　中田 令子
183	「プレート境界浅部の固着とすべりのモニタリング」 コンビーナ 東北大学 松澤 暢	1．各地域のすべり欠損分布の共通性と多様性・地域性 2．小領域での解析の詳細 3．中領域での解析の詳細 4．すべり欠損分布のモニタリングにおける問題点	国土地理院　水藤 尚
		海底地殻変動から見たプレート境界の固着とすべりの状況	海上保安庁　佐藤 まり子
		小繰り返し地震から見た千島弧から東北日本弧にかけてのプレート境界のすべりの時空間分布 プレート境界すべりの推定の感度・分解能・信頼度・仮定	東北大学　内田 直希
		相似地震クラスター毎のすべり履歴	防災科学技術研究所　小原 一成 他
		日向灘・南西諸島北部域の小繰り返し地震	鹿児島大学　後藤 和彦
		中～大規模（M4 ～ M6）の繰り返し地震についての規則性と不規則性	気象庁　土井 恵治
		繰り返し地震の発生の規則性と不規則性に関する研究の現状	気象庁気象研究所　岡田 正実
184	「地震波干渉法」 コンビーナ 名古屋大学 山岡 耕春	地震波干渉法の原理と概要	名古屋大学　渡辺 俊樹
		微動アレイ探査法と地震波干渉法	建築研究所　横井 俊明
		地盤・地震基盤構造調査への応用	横浜市立大学　吉本 和生
		Hi-Net データの地震ノイズ干渉法解析から見える北海道の地殻構造	北海道大学　谷岡 勇市郎
		静岡県森町に設置した弾性波アクロス送信装置を用いた解析	気象庁気象研究所　吉田 康宏
		東北大学大学院理学研究科における地震波干渉法に関する研究	東北大学　中原 恒
		単独微小地震観測点の雑微動の自己相関関数を利用した地下構造の時間変化検出の可能性	京都大学防災研究所　大見 士朗
		地震波干渉法によって検出された 2007 年大分県中部の群発地震に伴う地震波速度変化	防災科学技術研究所　小原 一成
		地震波干渉法を用いた日本列島 S 波速度構造の時間変化の検出に向けて	東京大学地震研究所　西田 究

回	重点検討課題名	報告課題	報告者
185	「内陸地震準備過程のモニタリング」 コンビーナ 産業技術総合研究所 桑原 保人	地下構造と地震活動・活断層の空間分布の特徴	防災科学技術研究所　松原 誠
		活断層深部の比抵抗構造と物性	東京工業大学　小川 康雄
		測地観測による断層周辺での地殻変動分布の特徴と断層深部すべり	国土地理院　西村 卓也
		東北日本のひずみ集中域の空間分布と地下構造・地震活動の関係，応力集中機構の解明	東北大学　松澤 暢
		中部日本活断層域における地殻変動・レオロジー構造と応力蓄積過程	名古屋大学　山岡 耕春
		西南日本のひずみ集中域の地下構造・断層強度の観測と応力集中機構のモデル化	京都大学防災研究所　西上 欽也
		歪集中帯（跡津川断層域）における地殻内不均質構造と内陸震源域への歪・応力集中プロセス	東京大学地震研究所　岩崎 貴哉
		内陸大地震発生過程のモデル化の枠組み―東北日本脊梁山脈周辺を中心に―	建築研究所　芝崎 文一郎
186	「プレート境界の固着とすべりのシミュレーション - モニタリングによって何が検知されると期待されるのか？」 コンビーナ 東北大学 松澤 暢	アスペリティの階層構造と破壊の連動性	海洋研究開発機構　堀 高峰
		東海の割れ残りとスローイベントとの関係	気象庁気象研究所　弘瀬 冬樹
		南海トラフ沿いの巨大地震発生前のスローイベントの挙動の変化	防災科学技術研究所　松澤 孝紀
		様々なイベント間の相互作用と大地震前後の周囲の活動変化	海洋研究開発機構　有吉 慶介
		歪計による短期的スローイベントの検知能力	気象庁　木村 一洋
		プレート境界面上のすべりの検知能力	国土地理院　水藤 尚
		短期的スローイベントと微動の準リアルタイムでの検知能力	防災科学技術研究所　小原 一成
187	「地震活動について」 コンビーナ 統計数理研究所 尾形 良彦	CSEP 日本の取り組みについて	東京大学地震研究所　平田 直
		G-R 則および改良 G-R 則を用いた地震発生予測モデル － MGR モデル－	気象庁気象研究所　弘瀬 冬樹
		b 値と ETAS モデルにもとづく日本列島の標準的地震発生予測	統計数理研究所　尾形 良彦
		Operational forecasting の勧告について	名古屋大学　山岡 耕春
		CSEP 日本版クローンモデル	京都大学防災研究所　遠田 晋次 防災科学技術研究所　Bogdan Enescu
		地震活動の短期・中期予測の確率利得と警報型地震予測の性能評価について	統計数理研究所　尾形 良彦
		2003 年十勝沖地震前の静穏化	北海道大学　勝俣 啓
		地震活動特有パタンの再現と固有地震	防災科学技術研究所　松村 正三
		前震による確率予測	気象庁気象研究所　前田 憲二
		地震活動の予測的な評価手法の検討について	気象庁　宮岡 一樹
		房総半島周辺の群発地震の統計分析と東京湾のゆっくりすべりの可能性検討	東京大学　井出 哲
		注水誘発地震の統計的な特徴	産業技術総合研究所　桑原 保人

回	重点検討課題名	報告課題	報告者
188	「プレート境界すべり現象に関する今後のモニタリング戦略」コンビーナ 東京大学地震研究所 小原 一成	深部低周波微動の深さ依存性	東京大学地震研究所　小原 一成
		深部微動の線状構造・継続時間・移動様式・潮汐応答	東京大学　井出 哲
		茨城沖におけるアスペリティと地下構造	東京大学地震研究所　望月 公廣
		房総沖 SSE と底付け作用	防災科学技術研究所　木村 尚紀
		東海における長期的 SSE・微動と地下構造	東京大学地震研究所　加藤 愛太郎
		プレート境界における電磁気学的地下構造探査 －海洋プレート沈み込み開始から低周波微動域へ－	京都大学　後藤 忠徳
		アクロスによるプレート境界状態変化検出の試み	気象庁気象研究所　吉田 康宏
		歪計による短期的 SSE の検知能力	気象庁　木村 一洋
		GPS による短期的スロースリップイベント検出の可能性	国土地理院　西村 卓也
		モニタリング手法の高度化への取り組み	防災科学技術研究所　廣瀬 仁
		ひずみ計多点展開の効果，地震計鉛直アレイによる微動検出	産業技術総合研究所　小泉 尚嗣
189	「海域のモニタリング技術の動向」コンビーナ 東京大学地震研究所 篠原 雅尚	長期観測型 OBS を用いた繰り返し観測によるモニタリング	東京大学地震研究所　山田 友朗
		気象庁の海底ケーブル観測システム	気象庁　長谷川 洋平
		地震・津波観測監視システム（DONET）によるモニタリング	海洋研究開発機構　有吉 慶介
		新たに開発したインライン式海底地震観測システム	東京大学地震研究所　篠原 雅尚
		海上保安庁の GPS/A 観測システムとその結果	海上保安庁　佐藤 まり子
		名古屋大学の GPS/A 観測システムとその成果	名古屋大学　田所 敬一
		AUV と海底ケーブルを用いた GPS/A 海底地殻変動観測システム	東京大学生産技術研究所　望月 将志
		GPS/A 観測，海底上下変動観測と海底測距観測	東北大学　藤本 博己
190	重点検討課題なし		
191	「東北地方太平洋沖地震に関する検討（その 2）」コンビーナ 名古屋大学 山岡 耕春	第 190 回地震予知連絡会のまとめとそれ以降の新知見について	名古屋大学　山岡 耕春
		津波地震について	北海道大学　谷岡 勇市郎
		海溝沿い浅部プレート境界について	海洋研究開発機構　高橋 成実
		今後の余震・誘発地震・余効変動について	京都大学防災研究所　遠田 晋次
		島弧 ―- 海溝系における長期的歪み蓄積過程と超巨大歪解放イベントの可能性	東京大学　池田 安隆
192	「プレート境界に関するわれわれのイメージは正しいか？（その 1）南海トラフ・南西諸島海溝」コンビーナ 防災科学技術研究所 小原 一成	津波堆積物から見た南海トラフ沿いの巨大地震履歴	高知大学　松岡 裕美
		1771 年八重山地震津波	琉球大学　中村 衛
		海溝付近や固着域深部（微動発生域）まで高速破壊するか？	海洋研究開発機構　堀 高峰
		東海地震のシミュレーション	気象庁気象研究所　弘瀬 冬樹
		日本海溝緊急調査の成果と南海トラフ地震発生帯との比較	海洋研究開発機構　小平 秀一
		初めて見たプレートの沈み込みと南海トラフの地震系列	地震予知連絡会　島崎 邦彦

回	重点検討課題名	報告課題	報告者
193	「東北地方太平洋沖地震に関する検討（その 3）」 コンビーナ 東北大学 松澤 暢	三陸海岸の第四紀後期隆起プロセス	千葉大学　宮内 崇裕
		余震活動と誘発された地震の活動の推移，および今後の大きな余震の見通しについて	気象庁　齋藤 誠
		余効変動の推移と今後の隆起・沈降の見通しについて	国土地理院　飛田 幹男
		2011 年東北地方太平洋沖地震前後の繰り返し地震の規模変化について	東北大学　松澤 暢
		東北沖 M9 地震の余震活動モニタリングについて	統計数理研究所　尾形 良彦
		東北地方太平洋沖地震（M 9.0）に伴う地殻変動	東北大学　日野 亮太
		海底観測から得られた余震活動の特徴	東京大学　篠原 雅尚
		地形，地下構造調査から推定された変動現象	海洋研究開発機構　小平 秀一
194	「レート境界に関するわれわれのイメージは正しいか？（その 2）千島海溝」 コンビーナ 北海道大学 谷岡 勇市郎	千島海溝沿いすべり欠損分布について	国土地理院　西村 卓也
		千島海溝沿い相似地震の解析結果について	東北大学　内田 直希
		十勝沖の浅部超低周波地震の観測によって分かってきたこと	防災科学技術研究所　浅野 陽一
		地震活動から見るプレート境界の状況	北海道大学　勝俣 啓
		北海道における古津波研究の現状と課題	北海道大学　西村 裕一
		北海道太平洋沖海底構造調査結果及び海底地震観測レビュー	北海道大学　東 龍介
		地震発生サイクルモデルから見た十勝～根室沖での地震発生の特徴と今後検討すべきこと	海洋研究開発機構　堀 高峰
195	「プレート境界に関するわれわれのイメージは正しいか？（その 3）相模トラフ周辺・首都圏直下」 コンビーナ 東北大学 遠田 晋次	「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」前後の関東地方の地震活動について	気象庁　齋藤 誠
		関東地方の相似地震活動とその変化について	防災科学技術研究所　木村 尚紀
		海底地震計による東北沖地震震源域南部の余震活動	東京大学　篠原 雅尚
		関東地方の余効変動	国土地理院　小沢 慎三郎
		東北沖地震による関東地域の応力変化と誘発地震活動について	京都大学　遠田 晋次
		関東地方の地震テクトニクスと M7 クラスの地震について	東北大学　中島 淳一
		首都圏直下における最新のプレート構造モデル	東京大学　酒井 慎一
		関東南部の地震間地殻変動とプレート間カップリング	国土地理院　西村 卓也
		1885 年以降に南関東で発生した M7 級地震の類型化	東京大学　石辺 岳男
		津波堆積物から見た関東地震の再来間隔	産業技術総合研究所　藤原 治
		相模トラフ沿いの海溝型地震の新しい解釈	産業技術総合研究所　宍倉 正展
196	「内陸で発生する地震について」 コンビーナ 地震予知連絡会 島崎 邦彦	西南日本内陸地震の活動期	海洋研究開発機構　堀 高峰
		近畿のテクトニクスについて －西南日本のテクトニクスの中で－	京都大学　竹村 恵二
		短い活断層等，九州の例	東北大学　今泉 俊文
		沿岸海域の活断層 －柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯の若狭湾－越前・加賀沖への延長部の例－	産業技術総合研究所　杉山 雄一
		東北地方太平洋沖地震に誘発された福島県浜通りの地震	京都大学　堤 浩之

回	重点検討課題名	報告課題	報告者
197	「世界の巨大地震・津波」 コンビーナ 東京大学地震研究所 佐竹 健治	南米（1960 年チリ地震を中心に）	産業技術総合研究所　宍倉 正展
		カスケード沈み込み帯における巨大地震の研究史	東京大学地震研究所　佐竹 健治
		アラスカ・アリューシャン・カムチャッカの巨大地震	北海道大学　谷岡 勇市郎
		インド洋	筑波大学　藤野 滋弘
		2004 年 M9.1 スマトラ地震に先行した地震発生率の変化について	統計数理研究所　尾形 良彦
		地中海地域	海洋研究開発機構　金田 義行・堀 高峰
		地震の最大規模（Mmax）について	東北大学　松澤 暢
		M9 クラス巨大地震のすべり量分布とスケーリング	東京大学地震研究所　室谷 智子
		プレート間カップリング	国土地理院　西村 卓也
		津波地震	建築研究所　藤井 雄士郎
198	「東北地方太平洋沖地震に関する検討(まとめ)」 コンビーナ 東北大学 松澤 暢	断層すべり特性の深さ依存について	筑波大学　八木 勇治
		地殻変動観測からの描像と展望	東北大学　日野 亮太
		津波観測からの描像と展望	東京大学地震研究所　佐竹 健治
		地震断層のイメージングと地震に伴う構造変化	海洋研究開発機構　中村 恭之
		2011 年東北太平洋沖地震前に見られた前兆的現象 -	気象庁気象研究所　前田 憲二
		考えられるモデルのレビュー	京都大学　平原 和朗
199	「日本海で発生する地震と津波」 コンビーナ 北海道大学 谷岡 勇市郎	最新の陸域構造調査結果	東京大学地震研究所　佐藤 比呂志
		日本海東縁地震発生帯と地下構造の関係	海洋研究開発機構　小平 秀一
		地殻変動観測結果	京都大学防災研究所　西村 卓也
		地形・地質調査から分かる震源像	産業技術総合研究所　岡村 行信
		日本海東縁の津波堆積物	北海道大学名誉教授　平川 一臣
		日本海沿岸での過去の津波災害	地震予知総合研究振興会　松浦 律子
200	「地震の短期予測の現状と評価」 コンビーナ 名古屋大学 山岡 耕春	予測の評価	東京大学地震研究所　鶴岡 弘
		震源核	東京大学地震研究所　吉田 真吾
		トリガリング	京都大学防災研究所　宮澤 理稔
		電磁気学的予測	東京学芸大学　鴨川 仁
		短期予測と統計モデル	統計数理研究所　尾形 良彦
201	「物理モデルに基づいた地震発生予測研究」 コンビーナ 海洋研究開発機構 堀 高峰	地震発生の物理に基づく予測シミュレーション	名古屋大学　橋本 千尋
		プレート境界すべり時空間変化の推移予測	海洋研究開発機構　堀 高峰
		「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」における物理モデルに基づく地震発生予測	東北大学　日野 亮太
202	「地震・津波即時予測とリアルタイムモニタリング」 コンビーナ 気象庁 土井 恵治	リアルタイムモニタリングシステムの構築	気象庁　東田 進也
		強震モニタリングシステム - 防災科学技術研究所の例 -	防災科学技術研究所　青井 真
		津波予測の技術	気象庁　中村 浩二
		GNSS 変位データを用いた 即時地震規模推定	国土地理院　宮川 康平
		地震動・津波予測の利活用	鉄道総合技術研究所　山本 俊六

回	重点検討課題名	報告課題	報告者
203	「日本列島の長期広域変動について」 コンビーナ 東北大学 松澤 暢	日本列島とその周辺のプレート運動	東京大学地震研究所　加藤 照之
		日本列島の生い立ちと長期地殻応力・歪の起源	東京大学地震研究所　佐藤 比呂志
		日本列島の温度構造と地殻流体の分布	海洋研究開発機構　岩森 光
		臨時観測データを用いて求めた 東北日本地殻内の応力場の詳細な空間分布と 絶対応力・断層強度の推定	東北大学　吉田 圭佑・長谷川 昭・岡田 知己
204	「地震・地殻変動予測能力の現状評価」 コンビーナ 東北大学 遠田 晋次	余効変動の予測能力評価	国土地理院　飛田 幹男・赤司 貴則
		奥尻島における 1993 年北海道南西沖地震（M7.8）以降 20 年間の地殻上下変動	地域地盤環境研究所　越後 智雄
		スロースリップ，SSE の 予測能力評価	防災科学技術研究所　木村 武志
		繰り返し小地震に対する予測能力評価	気象庁気象研究所　岡田 正実
		地震活動静穏化に基づく予測能力評価	気象庁気象研究所　吉川 澄夫
		常時地震活動・余震・誘発地震の予測能力と評価	統計数理研究所・東京大学地震研究所　尾形 良彦
205	「物理モデルに基づいた地震発生予測研究　その 2」 コンビーナ 京都大学 平原 和朗	南海トラフ沿い巨大地震とスロースリップ	気象庁気象研究所 弘瀬 冬樹・前田 憲二・藤田 健一
		南海トラフにおける長期的・短期的スロースリップイベントとプレート間大地震準備過程の数値モデリング	防災科学技術研究所　松澤 孝紀
		巨大地震サイクルに伴うゆっくり地震の活動変化と検知可能性	海洋研究開発機構　有吉 慶介
		地震発生に至るプロセスとしてのゆっくりすべりと予測における役割	海洋研究開発機構　堀 高峰
206	「兵庫県南部地震から 20 年　活断層研究の進展と課題」 コンビーナ 産業技術総合研究所 宍倉 正展	近年出現した地震断層の活動履歴調査で認められたすべり量の多様性	産業技術総合研究所　丸山 正
		長大活断層系の連動性評価と課題	産業技術総合研究所　近藤 久雄
		地下構造探査による活断層 －震源断層システムのイメージング－	東京大学地震研究所　佐藤 比呂志
		「孤立した短い活断層」から発生する地震の規模評価について	産業技術総合研究所　吾妻 崇
		中規模内陸地震（M5-6 クラス）による地表変位の検出	電力中央研究所　青柳 恭平
207	「予測の根拠となるモニタリングデータと処理方法」 コンビーナ 海洋研究開発機構 堀 高峰	地震活動の潮汐相関にもとづく予測	防災科学技術研究所　田中 佐千子
		種々のモニタリングデータにもとづく予測 先行現象検知による確率予測	東京学芸大学　鴨川 仁
		シミュレーションと観測データにもとづく予測実験の試行	海洋研究開発機構　堀 高峰
208	「予測実験の試行について」 コンビーナ 国土地理院 今給黎 哲郎	CSEP に基づく地震活動予測の検証	東京大学地震研究所　鶴岡 弘
		気象庁における繰り返し地震の調査の取り組み	気象庁　橋本 徹夫
		前震活動に基づく地震発生の経験的予測	気象庁気象研究所　前田 憲二
		東北地方太平洋沖地震の余効変動の予測実験	国土地理院　飛田 幹男
		平常的な地震活動と「予測」の価値 - 当たり前の地震について -	国土地理院　今給黎 哲郎
209	「東北地方太平洋沖地震がもたらす広域地殻活動」 コンビーナ 北海道大学 高橋 浩晃	東北地方太平洋沖地震前後の全国の地殻変動の変化	国土地理院　水藤 尚
		東北地方太平洋沖地震前後のスロー地震活動の変化	防災科学技術研究所　松澤 孝紀
		東北地方太平洋沖地震前後の 広域的な地殻活動の変化	北海道大学　高橋 浩晃
		東北地方太平洋沖地震後の日本列島周辺域のプレート運動速度の変化	北海道大学理学研究院　日置 幸介

回	重点検討課題名	報告課題	報告者
210	「予測実験の試行 02」 コンビーナ 国土地理院 今給黎 哲郎	CSEP 参加グループによる予測手法： 予測と実際の活動の比較検証	東京大学地震研究所　鶴岡 弘
		沖縄地方の繰り返し地震の確率論的発生予測手法： 予測と実際の発生状況の比較検証	気象庁　橋本 徹夫
		群発的地震活動を前震活動と仮定して行う本震の発生予測手法： 最近の活動事例による検証	気象庁気象研究所　前田 憲二
		東北地方太平洋沖地震の余効変動の予測実験	国土地理院　飛田 幹男
		気象庁震度データベースを用いた地震予測 2015 年の活動で見た「予測」と実際の比較	国土地理院　今給黎 哲郎
		確率予測と二値予報の採点法 －採点の適正さと利用者の効用の観点から導出する採点式とその適用例－	気象庁気象研究所　林 豊
211	「平成 28 年(2016 年)熊本地震」 コンビーナ 東京大学地震研究所 平田 直	地震活動の履歴 地震活動全般	気象庁　橋本 徹夫
		九州地方の地殻変動（水平）－熊本地震前 5 年間－ GNSS 連続阿観測による九州周辺のひずみ分布 約 10 年間の測地観測による九州周辺のひずみ分布 九州地方の上下変動 薩摩半島西方沖の地震（11 月 14 日 M7.1）に伴う地殻変動 平成 28 年（2016 年）熊本地震前の地殻変動	国土地理院　矢来 博司
		活断層評価の概説	産業技術総合研究所　穴倉 正展
		熊本平野における活断層分布の再検討	東京大学　池田 安隆
		震源域およびその周辺における震源分布 DD 法により再決定した地震分布 震源域周辺のメカニズム解と応力場の特徴 震源過程：4 月 14 日 21 時 26 分の地震（M 6.5） 震源過程：4 月 16 日 1 時 25 分の地震（M 7.3） 誘発された地震による大分県での強震動 地震および余震による高周波エネルギー輻射量 PALSAR-2/InSAR による地殻変動	防災科学技術研究所　汐見 勝彦
		平成 28 年（2016 年）熊本地震	九州大学　松本 聡
		地殻変動 GNSS 連続観測時系列 緊急 GNSS 観測による変動量 MAI 法による断層近傍の地殻変動 震源断層モデル 滑り分布 布田川断層帯周辺の地表の亀裂分布図 土砂崩壊地分布図 南阿蘇村河陽・黒川地区の断層について	国土地理院　矢来 博司
		地表地震断層および古地震・地質構造からみた 2016 年熊本地震	産業技術総合研究所　穴倉 正展
		2016 年熊本地震の地表地震断層の分布とその特徴	広島大学　熊原 康博
		2016 年熊本地震をめぐる地震活動および余震活動に関する確率予測問題	統計数理研究所　尾形 良彦
		熊本地震の震度と加速度，長周期地震動等いついて	気象庁　橋本 徹夫
		平成 28 年（2016 年）熊本地震（4 月 16 日 M7.3）の余効変動 「だいち 2 号」による地震後地殻変動分布図	国土地理院　矢来 博司
		九州内陸の地震と日向灘で発生する地震の時間的関係	名古屋大学　山岡 耕春
		熊本地震による静的応力変化と広域余震活動	東北大学　遠田 晋次

回	重点検討課題名	報告課題	報告者
212	「余効変動と粘弾性－日本列島広域地殻活動予測に向けて－」 コンビーナ 京都大学 平原 和朗	余効変動と粘弾性 －基本的理解－	京都大学　平原 和朗
		東北地方太平洋沖地震の余効変動 －海域における観測と粘弾性モデル－	海洋研究開発機構　飯沼 卓史
		不均質岩石レオロジーを考慮した東北沖地震余効変動解析	東北大学　武藤 潤
		2011 年東北沖地震後の地殻変動データを用いた粘性構造と余効すべりの推定	東京大学地震研究所　橋間 昭徳
		東北地方太平洋沖地震の粘性緩和による変動と粘性構造の不均質の重要性	国土地理院　水藤 尚
		日本列島とその周辺の 3 次元粘弾性不均質モデル構築に向けて	海洋研究開発機構　堀 高峰
213	「南海トラフ地震」 コンビーナ 名古屋大学 山岡 耕春	「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」震源モデル・シナリオ研究の成果と概要 - 1	東京大学地震研究所　古村 孝志
		DONET による震源域のモニタリング	防災科学技術研究所　高橋 成実
		陸上ボアホール地殻変動観測による震源のモニタリング	産業技術総合研究所　松本 則夫
		海底地殻変動観測による震源のモニタリング	海上保安庁海洋情報部　横田 裕輔
		南海トラフで発生しているスロー地震について	東京大学地震研究所　加藤 愛太郎
		モニタリングからなにがわかるか	海洋研究開発機構　堀 高峰
214	「予測実験の試行 03」 コンビーナ 東北大学 松澤 暢	沖縄地方の繰り返し地震及び東北地方太平洋沖地震の余震活動（予測と実際の発生状況の比較検証）	気象庁地震火山部　橋本 徹夫
		CSEP 参加グループによる予測手法： 予測と実際の活動の比較検証（2）	東京大学地震研究所　鶴岡 弘
		群発的地震動を前震活動と仮定して行う本震の発生予測手法： 最近の活動事例による検証（3）	気象研　前田 憲二・弘瀬 冬
		気象庁震度データベースを用いた地震予測 2015 年～ 2016 年の活動で見た「予測」と実際の比較	国土地理院　今給黎 哲郎・ 滋賀県立大学　小泉 尚嗣
		東北地方太平洋沖地震の 余効変動の予測実験	国土地理院　藤原 智
215	「海域モニタリングの進展」 コンビーナ 東京大学地震研究所 篠原 雅尚	防災科研が運用する地震津波海域観測網 － DONET & S-net －	防災科学技術研究所　高橋 成実
		南海トラフ長期孔内観測システムによる観測	海洋研究開発機構　荒木 英一郎
		GPS － A 海底地殻変動観測のこれまでの進展と今後の展望	海上保安庁　石川 直史
		海底間音響測距観測の現状について	東北大学災害科学国際研究所 木戸 元之
		海域稠密観測時代の津波即時予測研究とその展望	東京大学地震研究所　前田 拓人
		海底データを用いたモデル計算：地震動即時予測 －「揺れの数値予報」の適用例－	気象庁気象研究所　干場 充之
216	「首都圏直下地震」 コンビーナ 東京大学地震研究所 平田 直	『相模トラフ沿いの 地震長期評価（第二版）」について	気象庁気象大学校　吉田 康宏
		関東地域の活構造への東北地方太平洋沖地震の影響について	東京大学地震研究所　佐藤 比呂志
		関東下のプレート構造と地震活動	東京工業大学理学院　中島 淳一
		首都圏の速度構造・Q 構造と地震活動	東京大学地震研究所　酒井 慎一
		地震活動・房総半島沖のゆっくり滑りと群発活動	東京大学地震研究所　加藤 愛太郎
		1855 年安政江戸地震と史料	新潟大学　矢田 俊文

回	重点検討課題名	報告課題	報告者
217	「予測実験の試行 04」 コンビーナ 海洋研究開発機構 堀 高峰	マグニチュードと時空間情報に基づく前震確率評価モデルの識別性能	統計数理研究所　野村 俊一
		次の地震のマグニチュード予測と評価	統計数理研究所　尾形 良彦
		本震前に現れる G-R 則からの逸脱と，その特徴に基づいた地震予測モデルの提案	気象庁気象研究所　弘瀬 冬樹
		b 値にもとづく全地球規模の大地震発生予測のモデル	静岡県立大学　楠城 一嘉
		Mw8.0 以上の地震に先行した地震活動長期静穏化	北海道大学　勝俣 啓
		経験則から期待される大地震発生の確率 : 相場のレビュー	東京大学地震研究所　中谷 正生
218	「熊本地震で見えてきた課題」 コンビーナ 東北大学 遠田 晋次	2016 年熊本地震と日奈久断層帯の古地震履歴	産業技術総合研究所　宮下 由香里
		ALOS-2 の SAR で見つかった平成 28 年熊本地震による地表断層群	国土地理院　藤原 智
		2016 年熊本地震 －地震観測から得られた地震像－	九州大学地震火山観測研究センター 松本 聡
		2016 年熊本地震の本震前に見られた前震域の拡大	東京大学地震研究所　加藤 愛太郎
		点過程モデルによる熊本地震前後の地震活動の解析	統計数理研究所　熊澤 貴雄
		2016 年熊本地震の余効変動 － SAR が捉えた広域・局所変動の詳細－	国土地理院　小林 知勝
219	「地震と水」 コンビーナ 産業技術総合研究所 今西 和俊	地震発生への水の役割	東京大学地震研究所　加藤 愛太郎
		地震の発生における応力と流体の役割	名古屋大学　寺川 寿子
		箱根火山における群発地震と地殻流体との関係	神奈川県温泉地学研究所　行竹 洋平
		長期・短期注水による誘発地震に関する研究	産業技術総合研究所　雷 興林
		地震波速度・電気伝導度から推定される地殻内の流体分布	富山大学　渡邊 了
		関東下における海洋プレートの温度・脱水分布と微小地震の発生の関連性について	神戸大学　吉岡 祥一
220	「千島海溝・北海道東方沖と三陸北部における巨大地震」 コンビーナ 東京大学地震研究所 佐竹 健治	地震調査委員会の「千島海溝沿いの地震活動の長期評価（第三版）」について	東京大学地震研究所・地震調査委員会長期評価部会長　佐竹 健治
		千島海溝・日本海溝北部沿いの超巨大地震履歴	産業技術総合研究所　宍倉 正展
		北海道東方沖の相対的地震活動度の静穏化と現状	地震予知総合研究振興会　松浦 律子
		日本海溝海底地震津波観測網（Snet）の概要と地震検知能力	防災科学技術研究所　植平 賢司
		日本海溝地震発生帯の地下構造とその地震学的意義	海洋研究開発機構　小平 秀一
221	「予測実験の試行 05」 コンビーナ 気象庁気象研究所 橋本 徹夫	群発的地震活動を前震活動と仮定して行う本震の発生予測手法（最近の活動事例による検証）と沖縄地方の繰り返し地震	気象庁気象研究所　橋本 徹夫
		CSEP 参加グループによる予測手法：予測と実際の活動の比較検証（3）	東京大学地震研究所　鶴岡 弘
		スロー地震と巨大地震の関係	東京大学地震研究所　加藤 愛太郎
		北海道東部の最近の地殻変動	国土地理院　矢来 博司
		北海道東方沖の地震活動の相対的静穏化を受けた他の物理量変化の検討	海洋研究開発機構　堀 高峰

回	重点検討課題名	報告課題	報告者
222	「南西諸島域の地殻活動」 コンビーナ 鹿児島大学 中尾 茂	琉球海溝におけるプレート沈み込み構造と地震活動	海洋研究開発機構　新井 隆太
		南西諸島北部～日向灘における地震・超低周波地震活動の特徴	防災科学技術研究所　浅野 陽一
		GNSS データから推定された南西諸島の短期的スロースリップイベント	京大防災研　西村 卓也
		海域及び島嶼域観測による南西諸島北部域の地震活動・地殻変動モニタリング	鹿児島大学　八木原 寛
		南西諸島海溝沿いにおける 海底地殻変動観測に基づくプレート間カップリング	琉球大学　中村 衛
223	「西南日本日本海側の地殻活動」 コンビーナ 東京大学地震研究所 篠原 雅尚	西南日本の日本海側における堆積物による津波履歴調査	新潟大学　卜部 厚志
		西南日本と日本海南部の震源断層	東京大学地震研究所　佐藤 比呂志
		日本海南西部の海底活断層による沿岸部の津波高	東京大学地震研究所　佐竹 健治
		南海トラフの固着による西南日本の震源断層における応力蓄積	東京大学地震研究所　橋間 昭徳

3．科学技術・学術審議会（旧：測地学審議会）関係資料

地震及び火山噴火予知のための観測研究計画の見直しについて（建議）

2012 年 11 月　科学技術・学術審議会

Ⅰ．地震及び火山噴火予知のための観測研究の推進の基本的考え

（東北地方太平洋沖地震の検証と計画見直しについて）

平成 23 年 3 月 11 日にマグニチュード（M）9 クラスの超巨大地震である東北地方太平洋沖地震が発生し，多くの尊い人命が失われ，大きな被害がもたらされた．測地学分科会では，事前に超巨大地震発生の可能性を追究できなかったことを真摯に反省し，関係学会などにおける議論も踏まえた上で，現行計画の総点検を行った．これまでの研究により，地震活動の特性や地震発生の仕組みなどに関する理解が進み，地震発生の長期評価などに役立てられるようになったが，一般的に，「いつ（時期）」，「どこで（場所）」，「どの程度の大きさ（規模）」の地震が起こるかを地震発生前に予測することは，現在の科学技術の水準では困難であることを改めて認識した．このため，測地学分科会では，地震発生のメカニズムを理解するための基礎研究を一層推進すべく，これまでに得られた教訓や課題について整理をするとともに，今後の研究の方向性について検討を行った．

（地震と火山噴火予知研究の経緯）

昭和 40 年に始まった地震予知計画においては，平成 10 年度の第 7 次計画まで，地震活動の地域ごとの特徴，地震発生の仕組みなどに関する知見が蓄積されたが，地震の前兆現象の観測に基づく手法だけでは，予知の実現は難しいことも分かってきた．このため，平成 11 年度に始まった「地震予知のための新たな観測研究計画」（第 1 次新計画）では，地震の発生に関する基礎的研究を進め，地震発生に至る地殻活動をモデル化し，モニタリングとモデルに基づいて地殻活動の推移予測を行うことを新たな目標として掲げ，平成 16 年度からの第 2 次新計画では，地震発生の準備過程の解明を進め，地殻活動の推移予測を目的とした現実的な物理モデルに基づいた数値シミュレーションモデルを開発することを目指し計画を推進してきた．しかしながら，現状の地震予知は，中・小規模の繰り返し地震や特定の領域の群発地震については，その発生予測と検証が進んでいるが，短期予知の観点や発生頻度の低い大規模な地震の中・長期予測についてはその手法の確立に至っていない．

一方，火山噴火予知計画は，昭和 49 年度の第 1 次計画から 5 か年ごとに平成 20 年度の第 7 次計画まで推進され，マグマ供給系･熱水系がモデル化された火山では，観測データから噴火に先立つ流体移動の把握が可能となった．また，適切な観測体制が取られた火山では噴火時期をある程度予測できるようになり，活動的な火山については，活動度の把握に基づいて噴火警戒レベルを設定することができるようになった．しかし，噴火の様式や規模等の噴火推移予測については，経験則に基づく予測が成立する場合以外は依然として困難な状況にある．

地震及び火山噴火は，同じ地球科学的背景を持つ自然現象であり，測地学的・地震学的手法による共同での観測研究は，それぞれの現象解明に有効である．現行の計画では，これまで独立の計画としてきた地震予知研究と火山噴火予知研究を発展的に統合した計画として推進しており，「予測システムの開発」をより明瞭に指向した研究に重点を置くこととして，「地震・火山現象予測のための観測研究」，「地震・火山現象解明のための観測研究」，「新たな観測技術の開発」，「計画推進のための体制の強化」の 4 項目を柱として推進してきた．

（超巨大地震を予測できなかった理由）

地震発生に関するシミュレーション技術は急速に進歩し，過去に発生した地震についてその発生の特徴を再現することが可能なレベルに達しているものの，発生履歴が詳しく知られていない地震については，その規模や発生間隔を推定することすら基本的に困難である．東北地方太平洋沖において地震の発生を説明できるとされていた従来のアスペリティ（用語解説参照）モデルは，東北地方太平洋沖のプレート境界の広い範囲が一度に滑るような超巨大地震を発生させ得るモデルとはなっていなかった．この事実は，様々な規模の地震の発生を説明し，地震発生を予測するモデルの構築がいまだ研究の課題であること示している．

海溝軸付近のプレート境界における固着や滑りに関しては，地震の解析やシミュレーションのために必要なプレート境界の海溝側の境界条件の確立ができていなかった．その要因として，阪神淡路大震災以降に整備された陸上の観測網だけでは十分な分解能を持ったデータが得られていなかったことや，近年実用的な運用がなされてきた海底地殻変動観測についても，必要な時空間分解能を得るだけの十分な観測網が整備されていなかったことが挙げられる．そのため，海溝軸付近は太平洋プレートの固着が弱く，常にずるずると滑っているため地震時には大きく滑らないという仮定の基に，地震の解析やシミュレーションの検討が進められていた．

また，変動地形学的，古地震学的，地質学的手法を

用いた超巨大地震の発生履歴に関する研究成果を取り入れる努力が不足していた．古文書などに残っている地震の詳細な記録は，そのほとんどが江戸時代以降のため，東北地方太平洋沖地震のように発生間隔の非常に長い地震の場合，情報の欠落などにより，精度の高い情報を得ることは困難であった．また，津波堆積物や地質調査による地震発生履歴調査については，異なった場所での年代測定の結果に系統的な差異があることもあり，信頼性の高いデータを得ることはなかなか容易ではない．そのため，精度の高い近代的な観測データと，信頼性の評価が困難なこれらの調査結果を併合して，超巨大地震の発生可能性を評価する取組が不足していた．

このように，単純なアスペリティモデルにとらわれすぎていたこと，海溝軸付近のプレート境界に関する知見が不足していたこと，さらに，現行の計画では津波堆積物調査等を含む古地震調査の研究の観点が不足していたことなどが主な問題となって，東北地方太平洋沖の広い範囲で一度に滑るような超巨大地震について発生可能性の指摘ができなかったことが明らかになった．

（東北地方太平洋沖地震の発生により明らかになったこと）

東北地方太平洋沖地震については，その発生直後から内外の多くの研究者・研究機関が地震発生過程の解析を進め，その結果，この地震で何が起きたかが明らかになってきた．これらのほとんどの研究には，我が国がこれまで計画的に整備をしてきた陸上の地震計及び GPS 観測によるデータが利用されているほか，近年に整備された海域の津波計・波浪計，さらに，実用的な計測が可能となった海底における地殻変動観測によるデータが用いられており，海底下で発生した地震としては，これまでに世界中で発生したいかなる地震よりも精緻な研究結果が得られている．これらの研究結果は，関連研究組織や学協会によるシンポジウム，さらに，建議に基づき設置された地震予知連絡会などを通じて早期から検討が進められ，学術誌を通じて国内外に広く発信されている．このような検討作業の結果，従来にない精度と分解能で東北地方太平洋沖におけるプレート境界での滑りの発展過程が明らかになるとともに，少なくとも海溝付近において 50m 以上の急激な滑りがあったことがほぼ確実であることがわかった．今回の地震で明らかになったプレート境界での滑りの特徴は，今後の地震・津波防災対策にとって非常に重要な知見である．

（地震発生予測研究の現状と限界）

今回の東北太平洋沖地震の発生前にもプレート境界の地震発生については精力的な観測研究が行われていた．プレート境界面の摩擦則を用いたシミュレーション技術の向上が図られ，繰り返し発生する巨大地震や大地震の特徴が再現できるようになっていた．また，地震計や GPS などの観測網が充実し，それらのデータ処理や解析技術の進展により，地震時の断層運動だけでなく，ゆっくり滑りについても観測できるようになっていた．これらシミュレーションと観測の双方から，プレート間滑りの多様性に関する理解が進み，プレート境界の滑りと固着についてのモニタリングとそれを用いたシミュレーションが進められていた．特に，南海トラフ沿いのプレート境界深部で短期的な微動・ゆっくり滑りや長期的なゆっくり滑りが発生していることが分かるようになり，大地震発生過程を考える上で重要な情報が得られてきている．

一方，日本海溝沿いでは，過去に何度か発生した大地震の滑り分布などから，その地震発生の時間的空間的特徴が次第に明らかになってきていた．その結果，非地震性滑りの進行により固着領域（アスペリティ）に応力が集中し，やがて地震発生に至るというモデル（アスペリティモデル）が有力であるとされ，M8 程度以下の地震の発生場所と規模を説明することが可能であるとされていた．しかし，観測研究計画推進委員会を中心とした研究者らにより企画されたシンポジウムで指摘されたように，100 年程度の短期間のデータにより比較的単純なモデルでプレート境界の仕組みを理解しようとしたこと，陸域の観測データにより海溝近くの固着状態を推定していたため，東北地方太平洋沖の地域において超巨大地震の発生可能性について十分検討していなかったこと等から，平成 23 年東北地方太平洋沖地震の発生を予見することが出来なかった．また，日本地震学会でも，特別シンポジウムなどの場で，同様の指摘がなされたほか，現在も災害軽減における地震学の果たすべき役割について真剣な議論が行われている．測地学分科会としても，超巨大地震発生の可能性を追究できなかったことについて真摯に反省し，以下のように今後の課題として反省点を整理した．

（今後の課題）

今回の地震の発生機構，すなわち，なぜこのように大きな滑りにまで発展したのかという原因については，いまだ最終的な結論には至っていない．例えば，比較的海溝に近いプレート境界の固着が強く，大きなひずみエネルギーを蓄積していたという考え方や，滑りによる摩擦熱によって間隙水圧が上昇し，摩擦の度合いが極端に減少し，大きな滑りに至ったという考え方など，多くの地震発生モデルが提唱され，現在もまだ議論が続いている．プレート間の摩擦特性の物理的メカニズムを解明すると共に，その地学的理解を深化させる観測研究も必要で

ある．また，地震発生履歴を解明するためには，沿岸域の津波堆積物調査のみならず直接深海底において地形・地質学的調査をすることが必要である．このような超巨大地震の発生機構を解明することは，今後，ほかの地域で発生の可能性がある超巨大地震による災害を軽減する上でも非常に重要な課題となる．

測地学分科会では，このような事態を真摯に受け止め，今回の計画見直しにより，これまで地震の発生機構の基本的考え方であったアスペリティモデルを再検討するとともに，他の多様なモデルについても検討を行い，古地震調査等の研究も含めて超巨大地震の発生の可能性について徹底的に検討することとする．本計画の研究課題の内容を見直し，超巨大地震の研究に研究資源を集中させるために，地震破壊過程の項目などに係る個別課題のうち 3 課題については中止し，地震発生予測システムなどに係る課題については大幅な計画の縮小を行い，超巨大地震の発生機構の解明とこの地震に起因する地殻活動に関する観測研究を強く推し進めることが必要と判断した．超巨大地震に関する観測研究の最終的な目標は，東日本大震災のような甚大な地震・津波災害の軽減に資することである．このため，社会学，考古学，歴史学等の人文・社会科学系を含む様々な分野の知見を統合して推進することが重要である．得られた成果については，社会に対してより速やかに伝える必要があるとともに，国内でも関係する機関の協力を広げ，国際的に広く意見交換を行うなどして我が国にとどまらない英知の結集を図る必要がある．さらに，今後の計画策定については，海外の専門家からの意見も取り入れ，地質学や電磁気学的観点など，研究の可能性の幅を広げる努力も必要である．なお，超巨大地震に起因する余効的な地殻変動や誘発された地震活動などは，現在も進行中の現象であることから，これらの研究成果を踏まえた検証作業は引き続き行い，外部評価も加えた計画全体の再構築に向けて今後更に検討を行うこととする．

Ⅱ．基本的方針

(1) 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

地震・火山噴火予知のためには，観測を通じて地殻やマントルで進行している諸過程を迅速に把握し，地殻活動を予測する数値シミュレーションへのデータ同化，又は噴火シナリオに基づく火山活動の予測を行う必要がある．このために，地震・火山現象のモニタリングシステムを整備し，高度化する．同時に，地震・火山現象を予測するシステムをそれぞれ構築し，さらに，地震・火山現象のデータベースを構築して，情報の統合化を図る．

《地震・火山現象のモニタリングシステムの高度化》

日本列島全域に整備された稠密（ちゅうみつ）な地震・地殻変動等の観測網及び全国の火山に配備された地震・地殻変動・熱・全磁力等の火山活動観測網から得られるデータを活用し，地震活動・地殻変動及び火山活動を的確にモニターするとともに，活動の予測に有用な情報の収集に努める．このために必要な観測網の維持・強化や常時観測体制の整備を行うとともに，活動の的確な把握と評価に役立つ新たな観測手法等の導入を進めて，モニタリングシステムの性能向上を図る．さらに，大地震の発生や火山噴火の可能性の高い地域では，活動の予測に有用な情報を数多く収集することが必要であり，地震現象・火山現象モニタリングの観測項目の多項目化，観測点の高密度化や観測データの実時間処理システムの一層の整備に努める．本計画では，地殻活動予測シミュレーションへのデータ同化とシミュレーション結果の検証及び噴火シナリオに基づく火山現象の予測を行うために，地震・火山現象の組織的なモニタリングを行う．

《地震・火山現象に関する予測システムの構築》

（地震発生予測システム）

地震発生に至る物理・化学過程の理解に基づいて，プレート境界の応力・ひずみ等の推移を予測するシミュレーションモデルを構築する．常時モニタリングシステムによって得られる観測データを予測シミュレーションモデルに取り込む手法を開発して，データ同化実験を行い，予測を試行する．同時に，これらのシミュレーションを継続的に高度化していくために，地震発生の物理・化学過程に関する基礎的なシミュレーション研究を推進する．統計モデルや物理モデルに基づいて地震活動を評価し，時空間的に高分解能な地震活動評価を行う手法を確立するために，地震活動予測手法の妥当性を評価・検証する枠組みを構築する．

（火山噴火予測システム）

これまでの火山噴火予知研究の成果に加え，地質調査・解析による噴火履歴の解明等に基づき，噴火シナリオを我が国の主要な活火山について順次作成する．モニタリングシステムによって得られた観測データから火山活動の評価を行い，噴火シナリオに基づいた火山活動の推移予測を試行する．さらに，過去の噴火活動時の観測データの詳細な検討や研究成果に基づいて噴火シナリオの高度化を図る．

《地震・火山現象に関するデータベースの構築》

地震・火山活動を解明して予測するために，日本列島及びその周辺域の地震・火山現象の基礎データベースを

構築するとともにデータの流通を図る．また，それらの情報を統合化し，地殻活動予測シミュレーションに活用するとともに，噴火シナリオに基づく噴火予測に活用することを目指す．

(2) 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

地震・火山現象の予測システムの構築のためには，地殻やマントルで進行している諸過程の正しい理解とそのモデル化が不可欠である．このために，日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象，地震・火山噴火に至る準備過程，地震発生先行･破壊過程と火山噴火過程，地震発生・火山噴火素過程の解明のための観測研究を推進する．

《日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象》

日本列島及びその周辺域の地震・火山現象は，列島とその周辺に位置する複数のプレートの相互作用に起因する応力・ひずみ場やマグマの挙動に支配されている．したがって，長期的あるいは広域の地震・火山現象を解明するために，日本列島及びその周辺域で，長期的なプレート運動とそれに伴う応力場を明らかにし，上部マントルにおける水の供給・輸送過程とマグマの生成・上昇機構を明らかにする研究を推進する．これらの研究に加え，マグマ等の地殻流体の分布を含む広域の地殻・上部マントル構造を明らかにすることや，地震現象と火山現象に共通する原因であるプレート運動の影響を正確に評価するために，地震活動と火山活動の相互作用に関する研究を推進する．また，地震現象の予測精度向上に不可欠な地震発生サイクルに関する理解を深めるために，アスペリティやセグメントの破壊様式についての過去の活動履歴を明らかにする．同時に，長期的な内陸の地殻ひずみの時空間分布を解明する．

《地震・火山噴火に至る準備過程》

(地震準備過程)

地震発生の準備過程を解明するために，地殻とマントルで応力が特定の領域に集中し地震発生に至る過程を明らかにする観測研究を実施する．プレート境界地震に関しては，プレート境界面上で進行する非地震性滑りの時空間変化を高精度に把握するとともに，地震性滑りとの関係を明らかにする．アスペリティの分布やアスペリティ間の相互作用を含む破壊過程の特徴を精査し，アスペリティの概念に基づいた地震発生モデルを再検討する．また，超巨大地震も対象とする統合的な地震発生モデルの構築を目指すため，地震発生メカニズムの多様性についての理解を深め，当面はその特性を組み込んだ複数の地震発生モデルの研究を進める．さらに，地殻及びマントルの性質や境界面の形状と滑り特性との関係の調査も進める．内陸地震に関しては，地震発生層である上部地殻と下部地殻・最上部マントルの不均質とその変形の空間分布を把握し，ひずみ集中帯の形成・発達と地震発生に至る過程に関する定量的なモデルの構築を目指す．また，スラブ内地震の発生機構を解明するため，スラブ内の震源分布や地震波速度構造を詳細に明らかにすることにより，スラブ内に取り込まれた流体の地下深部における分布と挙動の解明を図る．

(火山噴火準備過程)

火山下の地殻内における多様なマグマの上昇・蓄積過程を解明するために，複数の火山において多項目の観測や探査を実施して，火山体構造とマグマ供給系及び火山体浅部における火山流体の状態と変動を把握する．噴火履歴とマグマの発達過程を解明するために，地質調査や岩石学的研究により，高精度の噴火履歴を復元し，噴火の推移及びマグマ供給系の変遷の把握を行う．

《地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程》

(地震発生先行過程)

地震発生予測の時間精度を高め，短期予測を可能にするためには，地震発生の直前に発生する不可逆的な物理・化学過程（直前過程）を理解して，予測シミュレーションモデルにそれらの知見を反映させ，直前過程に伴う現象を的確に捕捉して活動の推移を予測する必要がある．このために，地震に先行する地殻やマントルの諸過程を地震発生先行過程と位置付けて研究し，その発生機構を明らかにして，特定の先行過程が地震準備過程や直前過程のどの段階にあるかを評価する研究を行う．

(地震破壊過程と強震動)

大地震の断層面の不均質性と動的破壊特性及び強震動･津波の生成･伝播（でんぱ）過程を理解するために，震源解析及び震源物理に基づく破壊過程の研究を一層推進し，震源モデルや地下構造モデルの高度化を図る．

(火山噴火過程)

噴火機構の解明のためには，火道浅部におけるマグマの移動・発泡や物性変化などの噴火過程の詳細を高時空間分解能で明らかにして，爆発的噴火のモデル化を行う．また，噴火現象の総合的な観測に基づき，噴火推移の多様性を支配する要因を理解することを目指す．

《地震発生・火山噴火素過程》

地殻・上部マントル構成物質の変形・破壊について，実験・理論的手法により従来よりも広い条件範囲にわ

たって物理的・化学的素過程を明らかにする．地下深部の岩石の物性及び環境をリモートセンシングにより推定することができるようにするため，可観測量との関係を様々な条件の下で定量的に求める．さらに，室内実験で得られた知見を実際の自然現象に適用できるようにするため規模依存性を明らかにする．また，火山噴火のモデル化のために，マグマの分化・発泡・脱ガス過程を明らかにするとともに，それらのパラメータを取り込んだマグマ上昇の数値モデルを作成することを目指す．

(3) 新たな観測技術の開発

新たな観測技術の開発や既存技術の高度化により，従来にない質・量の観測データが得られると，地震・火山現象に関する理解が飛躍的に進む．そのため，海底における観測技術の開発をはじめとして，地下の状態のモニタリングや噴火活動域における観測技術の高度化，宇宙技術等の利用の高度化を進める．

《海底における観測技術の開発と高度化》

日本列島周辺の海域では，多くのプレート境界地震が発生しており，さらに，活動的な火山島も存在する．このため，海底における地殻変動をはじめとした各種観測データを安定して取得するための技術開発が，地震及び火山噴火予知に有用な観測データを取得するために必要である．海底における地殻変動観測技術及び地震観測技術の高度化と海底における各種データを実時間で利用できるシステムの開発を図る．

《宇宙技術等の利用の高度化》

GPS や衛星搭載合成開口レーダー（SAR）等の宇宙測地技術を利用した解析技術の高度化を図る．地震や火山活動をより高い精度で面的に把握する人工衛星や航空機を用いたリモートセンシング手法の実現を目指す．

《観測技術の継続的高度化》

地震発生場や火山などにおいて，地下の状態をモニタリングする技術や，センサー技術や観測ネットワーク技術など，データを量・質的に増大させる技術開発を進める．断層面の固着状態，マグマなどの地殻流体の移動，またそれらに付随する現象のモニタリングのために，精密に制御された弾性波震源・電流源，宇宙線等を用いた技術の高度化を図る．地震活動の高い地域や噴火活動域近傍でのデータは非常に貴重な情報をもたらす．このために，山間地・離島・火山近傍など電源・通信事情の不十分な場所における効率的データ取得のためのセンサー技術やネットワーク技術の高度化を図る．また，気象変化による擾乱（じょうらん）や人工的な雑音から離れ，高品質のデータを取得するため，大深度ボアホールにおける計測技術の開発が必要である．

(4) 計画推進のための体制の強化

《計画を推進する体制の整備》

本計画に基づいた計画遂行を担う各大学や関係機関が，それぞれの機能に応じた役割分担と密接な協力・連携の下に，計画全体を組織的に推進する体制の確立及び評価体制の充実を図る．このために，観測研究計画推進委員会を充実し，地震予知連絡会の役割を明確化する．さらに，地震調査研究推進本部が策定する「新しい総合的かつ基本的な施策」に，本計画に盛り込まれる実施内容が反映されることを期待する．また，火山監視観測網の整備と火山観測研究の充実を図るために，火山噴火予知連絡会の機能強化を行う．

《基礎的な観測研究体制の強化》

長期にわたる継続的かつ基礎的な観測研究の主な担い手である国立大学法人が，本計画を推進するために，個々の法人の枠を超え全国の国公私立大学の研究者が連携して拠点を形成し，観測研究を実施していく必要性がある．関係する全国の国公私立大学間及び研究機関間の継続的連携・協力の一層の強化が不可欠であり，同時に工学・人文社会科学等の他の研究分野との共同研究を促進する必要がある．したがって，全国共同利用の役割はこれまで以上に重要なものとなることから，例えば，地震・火山噴火予知研究協議会が置かれている東京大学地震研究所を中核的な研究拠点として，各大学の地震・噴火予知関連研究センターとの連携を一層強化することが必要である．

《計画を実施するための予算的措置》

国，各大学及び関係機関においては，地震予知研究及び火山噴火予知研究が本計画に沿って着実に推進されるよう，予算・人材面での適切な措置を講じるべきである．特に国立大学法人については，全国共同利用による人的・物的資源の効率化を図りつつ，必要な経費を運営費交付金等により支援されることが望まれる．また，本計画は長期間を見通しつつ，段階的に予知の実現を目指すものであるため，特に萌芽（ほうが）的な研究や基礎基盤的な研究等に対しての予算的配慮が期待される．

《人材の確保，特に若手研究者の養成》

地震・火山噴火の予知の実現という最終目標を達成するためには，長期的な観測研究が不可欠である．このため，大学は，教育研究環境の向上を図るなど，長期的な視野に立って大学院生の確保に努めるとともに，観測研

究を生かした教育活動を継続して若手研究者の育成に努力する．研究者のキャリアパスの確保と若手研究者支援の方策を検討し，研究資金制度の充実などを通じて，研究者が充分に活躍できる環境をつくることに努める．

《国際共同研究・国際協力の推進》

地震や火山噴火に関する事例を効率的に集積し，地震予知及び火山噴火予知の研究を推進するためには，国内外を問わず多様な地震・火山活動の比較研究及び緊急時の国際共同調査研究による研究成果・知識の交換が必要である．このため，国際共同研究の推進，研究者の交流等による研究成果の普及･発信，緊急調査体制の整備，観測データの継続的な交換と技術支援等に取り組む．

《研究成果の社会への還元》

本計画を進めることによって得られる知見は地震や火山噴火に対する防災・減災に有益であるため，積極的に研究の成果を社会に伝える必要がある．研究成果の普及は，防災意識の向上のためにも重要であり，本計画推進への理解を得るためにも積極的に進める必要がある．このため，地震・火山に関する普及活動を組織的に推進する．また，地震，火山噴火による被害軽減に資するため，情報や報道発表内容の質的向上を図り，的確かつ迅速に提供するように努める．

(5) 超巨大地震に関する当面実施すべき観測研究の推進

現行の計画では，今回発生した平成 23 年東北地方太平洋沖地震のような M9 クラスの地震（超巨大地震）の発生予測の観測研究の推進が十分ではなかった．超巨大地震やそれに起因する現象を予測するためには，基礎的な研究を進める必要がある．このため本見直し計画では，超巨大地震の発生機構とそれに起因する現象を解明するために速やかに実施すべき観測研究を推進し，次に，超巨大地震やそれに起因する現象を予測するための観測研究に着手する．さらに，これら解明と予測のための観測研究に必要な新技術の開発を行う．

《超巨大地震とそれに起因する現象の解明のための観測研究》

超巨大地震の発生機構とそれに起因する現象を解明するための観測研究を進める．超巨大地震の発生機構を理解するには，地震発生サイクル，震源域の大きさや滑り量について，超巨大地震とこれまで知られている大地震の関係を解明する必要がある．このために，幅広い規模にわたる地震の発生サイクルや震源域の時空間的な階層性についての研究を進める．超巨大地震発生に先行して現れた現象について調査研究を行う．平成 23 年東北地方太平洋沖地震発生後は余震活動が活発であり，M7 クラスの余震も発生している．震源域付近ではプレートがゆっくり滑る余効的な地殻変動が継続し，新たな大地震の発生の可能性もある．超巨大地震の発生に伴い，日本列島の応力場が変化したことが原因と考えられる，日本列島の内陸や火山周辺で地震活動が活発になる現象が見られており，これらを理解するための観測研究を推進する．

《超巨大地震とそれに起因する現象の予測のための観測研究》

超巨大地震やそれに起因する現象を予測するために，地殻活動の現状把握のためのモニタリングや過去の地震発生履歴の調査を強化する．超巨大地震は低頻度の現象のため，その発生予測には，新しい統計的な手法を用いた予測手法の開発を行うことが必要である．また，超巨大地震の発生に伴う津波について予測手法を開発する研究を進める．

《超巨大地震とそれに起因する現象の解明と予測のための新技術の開発》

超巨大地震とそれに起因する現象を解明して予測するには，陸域からの観測だけでは精度が不足しており，海溝軸付近の地殻変動や地震活動等を即時的に精度よく観測する必要がある．深海底での観測には，既存の海底観測技術を高度化するための技術開発が必要である．さらに，沈み込み帯で発生する超巨大地震の発生履歴を理解するためには，沿岸域での古地震調査だけでは限界がある．海溝軸付近の深海底における，地震活動履歴を明らかにすることのできる技術を開発する．

Ⅲ．計画の実施内容

１．地震・火山現象予測のための観測研究の推進

(1) 地震・火山現象のモニタリングシステムの高度化

○地震現象と火山現象の予測精度を向上させるためには，日本列島域を対象としたモニタリングシステムに加え，大地震の発生が予想される特定の地域や火山噴火の可能性の高い地域における地震・火山現象モニタリングが重要である．そのため，高密度かつ多項目の諸観測を一層整備するとともに，既存の観測網の着実な維持・更新を行う必要がある．こうした地域では，活動の予測に有用な情報を数多く収集することが必要であり，より詳細かつ定量的な活動の把握と評価を行うことができるよう，モニタリングシステムの高度化を推し進める．地震発生の可能性が高い地域の中でも，

東海・東南海・南海地域は，その切迫性が極めて高く，この地域における地震予知への取組は，社会的要請に応えるという観点からも大きな意味を持っており，以下ではこれらを分けて記述する．

(2) 地震・火山現象に関する予測システムの構築

2-1 地震発生予測システム

○地震発生予測システムを構築するために，これまで，地震発生に至る物理・化学過程の理解に基づいて，プレート境界の応力・ひずみ等の推移を予測するシミュレーションモデルを開発してきた．この開発した予測シミュレーションモデルに実際の観測データを取り入れることにより，定量的な地殻活動予測を行うことを目指す．予測シミュレーションモデルとモニタリングを総合化したものとしての予測システムの構築を目指す．

○「地殻活動」とは，ひずみエネルギーの蓄積・応力の集中から大地震の発生に至る一連の過程及びそれに付随する諸現象のことを指す．大地震発生に至る一連の物理過程を理解・再現する延長上で大地震を予測する「地殻活動予測」が目標である．こうした目的のために，地殻活動予測シミュレーションの改良，シミュレーションに観測情報を取り込むためのデータ同化手法の開発を進め，実データと予測シミュレーションを結合させたデータ同化実験を実施する．また，モデルパラメータや観測情報の不確定さによる予測シミュレーションの誤差を適切に評価するための手法を開発する．さらに，現在の大規模予測シミュレーションでは考慮されていない物理過程や破壊の非線形性・規模依存性等を考慮した地震発生の数値モデルを構築することにより，大規模シミュレーションモデル高度化のための研究を進める．内陸の活断層についても，予測シミュレーションに向けての研究を行う．

○地震活動のデータに基づく確率論的な予測を行うために，地震発生の準備過程や素過程を考慮した新しい地震活動予測手法を開発し，これを用いて地震活動の予測実験を行う．また，地震・火山現象に関するデータベースの構築と連携して，予測の性能を評価するために必要な地震活動データを整備する．その際，同種の研究を行っているアメリカ，ヨーロッパ等の研究グループとの国際連携を図る．

2-2 火山噴火予測システム

○より高度な火山噴火予知を目指して，噴火規模，様式，推移の予測を行うためには，噴火シナリオ（予想される噴火前駆現象や噴火活動推移を網羅した噴火事象系統樹）を作成することが有用である．そのため，地震・火山現象に関するデータベースを活用するとともに，地質調査・解析によって明らかにされた噴火履歴を参照して，噴火シナリオを我が国の主要な活火山について順次作成する．また，過去の噴火時の観測データの再検証や研究成果を取り入れて噴火シナリオを高度化する．活動的な火山について，観測データと噴火シナリオに基づき，火山活動の現状を評価し推移予測を試行する．

(3) 地震・火山現象に関するデータベースの構築

○地震現象や火山現象に関する予測のために必要な基礎データベースを構築するとともに，それらに関する情報の統合化を図り，「地震・火山現象に関するデータベース」として体系化することを目指す．すなわち，関係機関が長期にわたって蓄積してきた素材的データや，モニタリングシステム及び観測研究で新たに得られるデータを集積・流通させ，利用しやすい基礎データベースを構築する．これから，地震発生や火山噴火の予測に用いられるデータが作られる．さらに，基礎データと研究成果の統合化により，プレート構造データベース・地震破壊過程データベース，火山地質図などの統合データベースを作成する．

2．地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

○日本列島の周辺で発生する地震現象や火山現象の予測にとって基本的に重要である長期的なプレート運動とそれに伴う広域の応力場を明らかにする．また，上部マントルにおけるマグマの生成・上昇機構を解明する．これらに加え，マグマ等の地殻流体の分布を含む広域の地殻・上部マントル構造を明らかにする研究や，地震活動と火山活動の相互作用に関する研究を推進して，プレートの沈み込みがどのように地震現象・火山現象全体に影響するかを統一的に理解する研究を進める．

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

2-1 地震準備過程

○プレート境界の地震発生の準備過程を理解するために，海洋及び陸側の地殻とマントルで応力が特定の領域に集中し地震発生に至る過程を明らかにする観測研究を実施する．M7 ～ M8 クラスの大地震の発生領域を調査してアスペリティの分布を解明し，アスペリティ間の相互作用を含む破壊過程の特徴を精査する．また，大地震から超巨大地震までの様々な規模の地震の発生様式を解明し，アスペリティモデルを用いた地震発生モデルが適用できる時空間的範囲を再検討す

る．さらに，地震発生の準備過程の多様性についての理解を深め，その特性を組み込んだ複数の地震発生モデルの研究を進める．同時に，地殻とマントルの境界面の形状と滑り特性との関係を明らかにする観測的及び理論的研究を実施する．内陸地震については，広域の応力によって非弾性的な変形が進行して，特定の震源断層に応力が集中する過程を定量的にモデル化する．そのために，ひずみ集中帯の観測を強化し，地殻・マントルの不均質構造と変形様式を詳細に明らかにすることで，ひずみの集中機構を解明する．また，スラブ内地震の発生機構を理解するために，スラブ内に取り込まれた流体の分布と挙動を明らかにする．

2-2 火山噴火準備過程

○観測に基づき火山活動の現状を評価し，噴火の時期と規模を予測するために，複数の火山において多項目の地球物理学的観測や探査及び地質調査を実施して，マグマ上昇・蓄積過程の多様性の理解とモデル化を目指した研究を推進する．また，これらのマグマ上昇・蓄積を支配する火山体構造や，水蒸気爆発の準備過程の理解に必要な火山体浅部における火山流体の状態と変動についても解明を進める．

○噴火間隔，規模，様式についての規則性や時間的変化を理解するため，全国の活火山の地質調査・岩石学的研究を実施して精度の高い噴火履歴を解読するとともに，マグマ溜まりにおけるマグマの分化や混合などのマグマ発達過程を解明することを目指す．

(3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

3-1 地震発生先行過程

○地震発生の予測の時間精度を高め，短期予測を可能にするためには，地震発生の直前に発生する非可逆的な物理・化学過程（直前過程）を理解して，予測シミュレーションモデルにそれらの知見を反映させ，直前過程に伴う現象を的確に捕捉して活動の推移を予測する必要がある．これまでの研究によって，地震に先行して発生する現象は多種多様であり，地震発生準備過程から直前過程にまたがって発生する現象の理解を進める必要性が認識されてきた．このために，①地震に先行する地殻等の諸過程を地震発生先行過程と位置付けて研究し，②そのメカニズムを明らかにして，特定の先行過程が地震準備過程や直前過程のどの段階にあるかを評価し，③数値モデルを作成し，④モデルを予測シミュレーションシステムに組み込む必要がある．地震発生予測システムの研究で行う③と④の研究に資するために，地震発生先行過程に関する研究では，上記のうち①と②を実施する．

3-2 地震破壊過程と強震動

○大地震の断層面の不均質性と動的破壊特性及び強震動・津波の生成・伝播（でんぱ）過程を理解するために，震源解析及び震源物理に基づく破壊過程の研究を推進する．プレート境界のアスペリティ分布及び内陸活断層やスラブ内地震の強震動生成域を事前に推定するために，強震動生成域と地震活動や地殻不均質構造等との関連性を調査する．短周期強震動の生成に関わる，断層滑りの動的特性とアスペリティ内の微細構造との関連を重点的に調査する．不均質な地下構造や詳細な海底地形及び断層破壊の動的特性を正しく評価した震源モデルを用いて，強震動及び津波の大規模数値シミュレーションを行い，マグニチュード（M）8 クラスの海溝型地震から M6 クラスの内陸地震まで，幅広い規模の地震に用いることができる強震動・津波の予測手法の開発を目指す．

3-3 火山噴火過程

○火山噴火の規模や爆発性を支配する要因を理解するために，火山浅部でのマグマの上昇と火山爆発現象のモデル化を行うことを目標とする．そのために，繰り返し発生する噴火を対象として集中的な地球物理学・物質科学的観測を行い，火道浅部におけるマグマの移動，発泡，脱ガス等に伴う諸過程やマグマの物性変化を高時空間分解能で明らかにする．

○また，噴火の推移を支配する物理・化学的要因を理解するために，新たに噴火が発生した火山において地球物理学・地球化学・物質科学的観測を実施する．さらに，火道の構造やマグマの動態を理解するために，ボーリング探査を実施する．これらの観測結果や地質学的情報に基づいて，噴火推移に関する定量的な噴火シナリオの開発研究を行う．

(4) 地震発生・火山噴火素過程

○地球構成物質の変形・破壊の特性を，広い条件範囲にわたって実験的に明らかにする．地下深部の岩石の変形・破壊特性を推定するために，地震波速度や比抵抗等の地球物理学的観測による推定が可能な物理量と変形・破壊特性との定量的関係を室内実験により解明する．地震発生モデルで利用するために，変形・破壊の物理・化学的素過程を理解して，実験結果の実験条件範囲外での適用可能性について検討する．様々な規模の地震破壊を至近距離で観察できる鉱山の誘発地震等を用いて，変形・破壊現象の規模依存性を明らかにするための実験・観測研究を行う．さらに，火山噴火においては，変形・破壊以外に，マグマの性質と挙動を理解することが不可欠であるので，噴出物

の分析・解析や室内実験を行うとともに，それらの結果を考慮した噴火過程の検討を行う．

3．新たな観測技術の開発

(1) 海底における観測技術の開発と高度化

○日本列島は海に囲まれており，巨大地震のほとんどは海域で起こるほか，伊豆諸島をはじめ多くの活動的な火山島が海域に存在する．そのため，海域においても，陸域の観測網と同等のデータを取得する必要があり，地殻変動帯域から地震帯域までの広い周波数帯域で，高ダイナミックレンジの観測を実施する必要がある．しかし，現在の観測技術では，海域で陸域と同じ観測を行うことは難しい．そこで，海底における諸観測技術，特に地殻変動と地震観測技術の開発と一層の高度化を行う．

○日本周辺のプレート境界における地震活動及び固着状態を高精度でモニターするためには，海域における地殻変動及び地震活動の実時間観測が不可欠である．海底での実時間観測と実時間データ伝送に関する技術の開発を行う．

(2) 宇宙技術等の利用の高度化

○ GPS や衛星搭載 SAR 等の宇宙技術は，地震及び火山活動を深く理解するとともにそれらの活動を的確に把握するための観測手段として重要な役割を果たしている．それらのデータを利用した解析技術の高度化を図ることにより，より高精度な測地手法の実現や様々な地震や火山活動をより高い精度で把握するリモートセンシング手法の実現を目指す．特に，「だいち」などによる衛星観測は，国内国外の地震・火山現象の解明に有用なデータを提供しており，地球観測衛星が継続して打ち上げられることが極めて重要である．

(3) 観測技術の継続的高度化

○地震・火山噴火予知研究では，従来の観測手法の高度化により，地震活動・地殻変動や火山活動に関する質・量的に新たな情報を得ることが可能となり，飛躍的な進歩を遂げてきた．そのため，新たな観測技術の開発と同時に継続的な高度化が必要である．特にプレート境界面あるいは断層面の結合状態，マグマや流体の移動，また，それらに付随する地殻現象のモニタリング技術の高度化が必須である．そのために，自然の信号源である地震波や宇宙線を用いた方法に加え，人工的に精密に制御された弾性波震源や電流源等を用いる技術の開発と高度化を推進する．

○また，地震活動の活発な地域や噴火活動域において地震・測地・地球電磁気観測等の多項目観測データを広域かつ稠密に取得するために，山間地・離島・火口近傍等の電源や通信事情が不十分な場所でデータを効率よく取得する技術を開発する．さらに，首都圏をはじめとする人工的雑音の多い地域や堆積層が厚い地域での観測，降雨等の気象の影響を避けた高精度の地震活動・地殻変動の観測を行うために大深度ボアホール内観測の高度化を図る．

4．計画推進のための体制の強化

(1) 計画を推進する体制の整備

（観測研究計画推進委員会の充実及び関係機関の役割の明確化）

○地震・火山現象を理解し，予測するためには，長期にわたる継続的な観測データの取得が不可欠であるとともに，今後発生する事象については，可能な限りの高精度のデータを取得することが重要であることから，国として，継続的な観測とそれを実現する体制の更なる整備が必要である．

○現在，測地学分科会地震火山部会の下に設置された観測研究計画推進委員会は，地震及び火山噴火予知のための観測研究に関する①計画の進捗状況の把握，②計画の達成度の評価，③計画の実施に関する問題点と今後の課題の整理，④各機関の実行計画に関する情報交換及び協力・連携体制の検討を目的とし，その目的達成に向けて関係各機関が協力して，定期的な進捗状況の把握，実施計画及び研究成果の取りまとめ，研究の評価を実施する．

○一方，地震予知連絡会については，設立当初からこれまでの活動を積極的に評価し，今後は，観測研究計画推進委員会と適切に連携・協力しつつ，「1 地震・火山現象予測のための観測研究の推進」を図るために，地震活動・地殻変動等に関するモニタリング結果を中心とした情報交換を行い，モニタリング手法の高度化を検討する場として，その役割を明確化した上で充実する．

○大学は，引き続き地震・火山噴火予知研究協議会の機能を強化して，関係機関とのより緊密な連携の下，主として，基礎的な観測研究の推進を図り，観測研究計画推進委員会の活動に貢献する．

（地震調査研究推進本部が策定する新しい総合的かつ基本的な施策への反映）

○本計画は，予知の実用化を目指し，研究者の自由な発想に基づいた議論の上で策定され，地震予知研究，火山噴火予知研究を大学や関係機関が役割分担をしながら推進するための計画であるのに対して，地震本部が策定作業を進めている「新しい総合的かつ基本的な

施策」は，国として今後 10 年間に推進すべき地震調査研究の基本を定めるトップダウン型の計画である

○これまでの地震予知研究の推進により，特に海溝型地震の理解が進み，物理モデルに基づく中期予測も視野に入りつつある．また，南海トラフにおける巨大地震の連動性などの理解も進んでおり，さらに，ひずみ集中帯，糸魚川－静岡構造線断層帯，首都直下地震，海溝型地震を対象とした地震本部の重点調査観測において，基礎研究面を中心として連携を図ってきた．今後も引き続き，本計画に盛り込まれる実施内容が，「新しい総合的かつ基本的な施策」の策定に際して，十分に反映されることを期待する．

（火山監視観測網の整備と火山観測研究の充実，火山噴火予知連絡会の機能強化）

○気象庁は我が国の 47 の火山において連続監視を実施しているが，今後も，火山噴火予知連絡会の検討結果・提言を踏まえて，監視観測網の強化に努める．その上で，各大学，研究機関は，火山研究予算の厳しい状況等も直視しつつ，火山噴火予知の高度化を目指して，観測機器等の研究資源を特定の火山に集中するなど，観測研究の効率化・重点化を図ることを検討する．

○さらに，このような重点化を受け，例えば防災科学技術研究所等の研究機関において，大学の観測研究の支援を目的とした共通基盤的な観測体制を整備すること等についても検討する．その際，観測点数や観測項目等を含む整備計画の立案に関しては，火山噴火予知連絡会が積極的な役割を果たしていくことを期待する．

○また，火山噴火発生時に的確な予測を行い，火山災害を軽減するための情報を発表するために，火山噴火予知連絡会の機能の更なる充実を図る．具体的には，火山の監視・観測データに基づく火山活動の総合的評価，成果・情報の交換及び発信，ハザードマップや噴火シナリオ作成，緊急時の観測研究体制の整備等がより的確に行われるよう努める．

（2）基礎的な観測研究体制の強化

○地震・火山現象を理解し，予測するためには，長期にわたる継続的かつ基礎的な観測研究が不可欠である．これまでの継続的な観測研究によって多くの新事実が発見され，新しい概念と新モデルの創出が図られた．その主な担い手は国立大学であり，これまで全国共同利用研究所や附属研究センター等を中心に整備が図られてきたところであるが，平成 16 年の法人化により各大学の自主的・自律的判断の下，大学全体の運営方針の中で位置付けられることとなり，より競争的な研究環境となった．

○一方，本計画の推進には，継続的かつ基礎的な観測研究を個々の法人の枠を超え全国の国公私立大学及び研究機関の研究者が連携して拠点を形成して実施して行く必要性がますます高まっている．そのための制度的な位置付けを明確化する必要がある．

○また，災害及び防災に関する総合研究に資するため，工学・人文社会科学等の他の研究分野との共同研究を促進する．防災科学の共同利用・共同研究拠点としての京都大学防災研究所の役割を活用して，地震学・火山学と地震工学，地盤工学，砂防工学，社会科学的な総合防災研究を行う必要がある．

○このような状況においては，全国共同利用研究所の役割はこれまで以上に重要なものとなることから，例えば，地震・火山噴火予知研究協議会が置かれている東京大学地震研究所を中核的な研究拠点として，各大学の地震・噴火予知関連研究センターとの連携を一層強化することが必要である．

（3）計画を実施するための予算的措置

○国，各大学及び関係機関においては，地震予知研究及び火山噴火予知研究が本計画にのっとり着実に推進されるよう，予算・人材面での適切な措置を講じるべきである．特に国立大学法人については，全国共同利用による人的・物的資源の効率化を図りつつ，必要な経費を運営費交付金等により支援されることや，関係機関における共通基盤的な観測網の整備及び維持について，国による予算的な配慮が必要である．

○また，本研究は，短期間で目標を達成できるようなものではないことに留意する必要がある．研究者の自由な発想に基づく個々の基礎的研究の果たす役割が大きく，それらの着実な積み重ねにより，より長期間を見通しつつ，段階的に予知の実現を目指すものである．このため，本計画のうち，特に萌芽（ほうが）的な研究や基礎基盤的な研究等に対して，国として支援を行うための研究資金制度等の充実を期待する．

（4）人材の確保，特に若手研究者の養成

○大学は，教育研究環境の向上を図るなど，長期的な視野に立って大学院生の確保に努めるとともに，観測研究を生かした教育活動を継続して若手研究者の育成に努力する．また，地震予知研究及び火山噴火予知研究に携わる次世代の人材を確保するため，国，大学及び研究機関，更には研究者自身が，関連する他分野との連携を図り，高等学校や大学等での地学等関連する

教育の充実・強化に努める．

○大学や研究機関等においては，地震予知研究及び火山噴火予知研究に携わる研究者のキャリアパスを確保するため，若手の准教授，助教等のポストの確保や，ポストドクターの年齢制限等採用要件の柔軟な運用，民間企業等との共同研究を通じた就職先支援等の具体策を講じるよう努力する．また，若手研究者の研究資金を確保するため，国において，特に若手研究者を対象とした競争的研究資金制度等の充実を期待する．

(5) 国際共同研究・国際協力の推進

○地震・火山現象に関する理解を深め，地震予知及び火山噴火予知の研究を推進し，災害軽減に資するためには，国内外の地震・火山活動に関する国際共同観測・比較研究，多国間の観測データの持続的交換，知識・経験の交換・共有，技術の交換・支援や人材の交流・育成が有効かつ不可欠である．そこで，関係機関は，それぞれの実績や機能を踏まえ，かつ，相互に連携を図りながら，これらの実施に当たる．相互に連携して国際共同研究･国際協力を推進するため，当面は地震･火山噴火予知研究協議会，自然災害研究協議会，防災研究フォーラム等の既存の組織を活用しつつ，新たな連携の仕組みの構築を目指す．

○大学は，全国共同利用の地震研究所の国際地震・火山研究推進室の機能を活用して継続的に研究者の招聘（しょうへい）・派遣を行い，地震・火山噴火予知研究に関する国際共同研究を推進する．諸外国で発生する大規模な地震・津波・火山活動に対する緊急調査のために必要な体制の整備を図りつつ，機動的に調査を実施する．また，地震・火山噴火予知研究に関する我が国での国際シンポジウムの開催，及び諸外国で開催される国際会議の企画や研究者の派遣を行う．さらに，留学生や研修生の受入れ等により国際的な人材の育成に努め，国際共同研究推進の基礎を作る．

○防災科学技術研究所は，アジア・太平洋・中南米の開発途上国において，地震・火山噴火にかかわる災害軽減のための国際共同研究や観測網整備・運用に対する技術支援を行う．

○海洋研究開発機構は，環太平洋及びインド洋における地震発生帯研究推進のため，米国，カナダ並びにインドネシア等の大学研究機関との共同研究・連携研究を実施する．また，米国，カナダ及び欧州の国際的な海底観測ネットワークの研究グループと連携を図り，海底観測の技術開発並びにデータ活用を推進する．

○産業技術総合研究所は，アジア太平洋地域を中心に東・東南アジア地球科学計画調整委員会（CCOP）などを通じて，地震・火山情報の共有化のための研究集会などを行う．

○気象庁は，国際地震センター，米国地質調査所，包括的核実験禁止条約機構，米国大学間地震学研究連合（IRIS）及び近隣国との地震観測データの交換を継続するとともに，組織的な連携・協力を行う．また，航空路火山灰情報センター，北西太平洋津波情報センター及びインド洋津波監視情報関連の業務を引き続き行う．さらに，開発途上国における地震・火山の観測体制や，津波の警報体制の整備に対して技術的な支援を行う．

○国土地理院は，国際 GNSS 事業（IGS）に参加し，IGS 観測局の運用・データの IGS データセンターへの提供を継続することにより，プレート運動や地殻変動の高精度な監視に必要な GPS 衛星の精密軌道の決定に貢献するとともに，国際 VLBI 事業に参加し VLBI 国際共同観測を定常的に実施することで，地殻変動やプレート運動監視の基準となる ITRF 座標系の構築等に貢献する．また，アジア太平洋地域の広域地殻変動を把握するため，アジア太平洋 GIS 基盤常置委員会を通じて，当該地域の国家測量機関と連携した測地観測データの交換・収集を行う．

○海上保安庁は，国際レーザー測距事業（ILRS）に参加し，レーザー測距データの提供を継続することにより，日本周辺のプレート運動を把握する．

○建築研究所は，開発途上国の地震災害軽減に資するために，これらの国の研究者・技術者に対して地震学及び地震工学に関する研修（国際地震工学研修）を行い，地震学，地震工学，地震防災対策，津波防災の専門家の育成に努める．

(6) 研究成果の社会への還元

○国民に対して，地震予知・火山噴火予知研究の成果を分りやすく継続的に伝えることは，地震及び火山噴火に関する防災意識の向上に貢献し，防災・減災対策に有益である．同時に，研究成果の発信は，地震・火山噴火予知研究の重要性と本計画を推進することへの理解を得るためにも重要である．このため，本計画によって得られた研究成果を社会に分かりやすく伝えることに一層努力して取り組む．

○地震に関しては，最新の科学的な知見や情報を基に，地震本部地震調査委員会が地震活動評価や地震発生可能性の長期評価及び強震動評価を行い，その結果を公表している．本計画の成果を，地震調査委員会の評価に適切に活用されるように努める．東海地震予知について，気象庁は，関係機関の協力を得て観測された地殻活動の状況に応じて情報を発表している．本計画で得られた知見を地震防災対策強化地域判定会で

の議論に随時反映させる．

○火山噴火に関しては，気象庁は，火山防災に関する情報を公表している．気象庁は，情報の質的向上を図るため，火山噴火予知連絡会及び関係機関の協力の下，防災対応を分かりやすく表現した噴火警戒レベルを導入する火山を順次増やす．また，海上保安庁は，引き続き，船舶の安全航行確保のため，航行警報による情報提供を行う．本研究計画の成果が，これらの防災情報の改善に寄与できるように努める．

○研究成果の普及のためには，関係機関が連携して，計画全体として組織的な情報の発信に努める必要がある．例えば，ホームページ等の充実，講演会の開催，講師の派遣，パンフレットや解説書の発行，防災関係者との研究会や勉強会，さらに，マスメディアへの解説を積極的に行うなど，固体地球科学の分野についてアウトリーチ活動を幅広く強化し，研究成果に基づく正確な科学的な知見の普及活動を進めていくことが必要である．

○その際，より効果的な普及活動として，防災に関する各種説明会等と連携することにより，より大きな効果が得られることが期待される．また，このような直接的な普及活動以外にも，国や地方自治体の各種委員会等を通して研究成果が社会に生かされることも重要である．

5．超巨大地震に関する当面実施すべき観測研究の推進

(1) 超巨大地震とそれに起因する現象の解明のための観測研究

○平成 23 年東北地方太平洋沖地震のような M9 クラスの地震（超巨大地震）やそれに起因する現象を予測するための基礎的な知見は少ない．このため，本見直しの計画では，まず超巨大地震の発生機構解明を目的とする観測研究を実施する．プレート境界では近年の我が国の研究によって，低周波微動・低周波地震やゆっくり滑りなど，多様な滑りとプレートの固着の形態が発見されている．これらの知見に基づいて，プレート境界で発生する超巨大地震の発生機構を理解する必要がある．

○これまで知られていた M8 クラスの巨大地震の発生サイクルと超巨大地震の発生サイクルの関係を理解することは，地震発生の準備過程を解明するために重要である．このためには，幅広い規模にわたる地震の発生サイクルや，サイクルの階層性についての研究を進める必要がある．このためには長期間にわたる歴史地震や地質学データなどの古地震学的な研究を推進する必要がある．

○平成 23 年東北地方太平洋沖地震の震源断層は，従来考えられていた複数の M8 クラスの巨大地震の震源断層領域を含み，地震時の滑り量も M8 クラスの巨大地震より一桁大きく，海溝軸近くの浅部の滑り量は特に大きかった．こうした超巨大地震の震源過程の詳細を明らかにすることは，M8 クラスの巨大地震の発生機構を理解するためにも重要である．なお，超巨大地震は甚大な被害を与えるが，極めてまれな現象である．一方，M8 クラスの巨大地震，内陸地震，スラブ内地震は，より発生頻度の高い被害地震となる可能性がある．これらの研究のバランスを取ることが重要である．

○超巨大地震の発生を理解するためには，超巨大地震に先行して起きた各種現象を調査研究して超巨大地震の地震発生メカニズムや準備過程として進行する現象を理解する事が必要である．

○平成 23 年東北地方太平洋沖地震発生後は余震活動が活発であり，M7 クラスの余震も発生している．東北地方太平洋沖地震後にプレート境界がゆっくり滑ること等による余効的な地殻変動が東北地方の太平洋側沿岸部を中心に継続し，新たな大地震の発生の可能性もある．超巨大地震の発生に伴う日本列島の応力場の変化が原因と考えられる，日本列島の内陸や火山周辺で地震活動が活発になる現象が見られており，応力やひずみの再配分を明らかにするための観測研究が必要である．

ア．超巨大地震の発生サイクルの解明

○大学と産業技術総合研究所は，千島海溝沿い，日本海溝沿い，南海トラフ沿い，及び，世界の沈み込み帯の超巨大地震の発生サイクルを，地球物理学的，変動地形学的，古地震学的，地質学的手法を用いて解明する．

○高性能計算（high-performancecomputing，HPC）等により，沈み込み帯で発生する地震に関する大規模シミュレーション等を行い，超巨大地震発生サイクルの解明を目指す．

イ．超巨大地震の発生とその前後の過程の解明

○平成 23 年東北地方太平洋沖地震に先行して発現した地震活動や地殻変動の特徴を調べ，地震発生の準備過程の推移として理解する．とりわけ，震源域を含むプレート境界付近における地震活動の時間的・空間的推移，地震数の規模依存性に関する理解を深め，直前の前震活動とゆっくり滑りの解明を進める．

○大学は，平成 23 年東北地方太平洋沖地震の震源過程を解明するために，海域で観測研究を実施する．海域での観測によって推定された数十メートルに及ぶ地震時滑りの実体解明とその特殊性や一般性についての理

解を深める．
○大規模に進行している余効滑りを含む平成 23 年東北地方太平洋沖地震後の地殻変動とそれに伴う応力の再配分に関する観測研究を進める．
○余効滑りの時空間的変化と，地質学的研究による地殻上下変動の長期的収支の関係を解明するための水準測量等を含む観測研究を行う．
○大学と産業技術総合研究所は，地球物理学的，変動地形学的，古地震学的，地質学的手法を用いて南海トラフ超巨大地震の発生履歴を解明する．

ウ．超巨大地震に誘発された内陸地震や火山活動等の解明

○平成 23 年東北地方太平洋沖地震とその余効的な地殻変動によって変化した日本列島全域の地殻とマントルの応力状態を把握し，内陸地震発生や火山活動への影響を解明する．
○大学等は，地殻活動の活発な内陸の活構造地域や火山地域等において，超巨大地震に起因した応力変化の影響を解明するために観測及び数値モデリングに基づく研究を実施する．

(2) 超巨大地震とそれに起因する現象の予測のための観測研究

○超巨大地震やそれに起因する現象を予測するための基礎的な知見は必ずしも多くないが，予測のためには地殻活動の現状把握のためのモニタリングを行う．
○超巨大地震の発生可能性や頻度を予測するために，地形・地質学的手法など古地震学的手法を用いた地震発生履歴の調査を強化する必要がある．これらは，陸上での調査だけでなく，海底地形・地質の調査も重要である．これらの成果は，(1) 超巨大地震の発生機構の解明のための観測研究にも利用される．
○超巨大地震は低頻度の現象であるため，その発生予測には，新しい統計的な手法を用いた低頻度現象の予測手法の開発を行う必要がある．同時に，歴史地震学，地質学などのデータを用いた低頻度現象の事象発生シナリオとその分岐確率を求める研究を始める必要がある．
○超巨大地震に伴い発生する現象として津波がある．超巨大地震に伴う津波の予測手法を開発する研究を進める必要がある．

ア．超巨大地震の震源域における地殻活動のモニタリング

○陸域と海域の観測によって，平成 23 年東北地方太平洋沖地震震源域における地震活動などの地殻活動の予測のための地震・地殻変動のモニタリングを行う．
○防災科学技術研究所は，日本海溝海底地震津波観測網を整備し，日本海溝沿いの地震活動及び津波のモニタリングの強化を図る．
○海洋研究開発機構は，沈み込み帯域での地殻活動，地殻構造調査研究を行う．
○海上保安庁及び大学は，多項目・高精度な海底地殻変動観測によってプレート境界付近の地殻活動のモニタリングを行う．
○気象庁は，関係機関の地震津波観測網のデータも併せて，地震活動及び津波のモニタリングを行う．

イ．超巨大地震の長期評価手法

○古地震学的な手法等による地震発生サイクルの研究とそれに基づく巨大地震の発生可能性（地震発生ポテンシャル）と発生頻度の評価（長期評価）の高度化を図る．
○超巨大地震のような低頻度の事象については，史料や地質データに基づいて，事象発生シナリオと分岐確率の評価の研究を始める．
○大学は，まれにしか発生しない超巨大地震の長期評価を統計的手法に基づいて行う手法を開発して，全世界の地震データに基づいて検証する研究を行う．統計地震学的モデルと震源物理学的モデルに基づく数値実験的手法を統合した新しい手法を開発して，巨大地震発生の超過確率を評価する研究を行う．

ウ．超巨大地震から発生する津波の予測

○防災科学技術研究所は，日本海溝海底地震津波観測網を整備して津波予測の高度化に資する研究を進める．
○大学及び気象庁は，陸上及び海域の観測データ，海底観測データを用いて即時的に超巨大地震によって発生する津波を予測するシステムの研究開発を行う．

(3) 超巨大地震とそれに起因する現象の解明と予測のための新技術の開発

○超巨大地震の発生の準備過程，震源過程，余効滑りとそれに伴う地殻変動と地震活動を精度よく観測するためには，海溝軸付近の海底の地殻変動を観測する必要がある．この領域の地殻変動を陸域の観測から推定するだけでは精度が不足するため，海溝軸付近の深海底での観測が不可欠である．このため，既存の海底地殻変動の観測技術を高度化する技術開発が必要である．なお，新しい海底観測による研究を強化すると同時に，既存の陸上の地震・地殻変動観測網を維持する必要がある．
○沈み込み帯で発生する超巨大地震の発生履歴の調査

研究は，沿岸域での古地震調査だけでは限界がある．海溝軸付近の深海底において，海底地形調査や地質調査を行うことができれば，超巨大地震の発生履歴の解明に貢献できる．このためには，深海底で高分解能の反射法地震探査や掘削調査等から地震活動履歴を明らかにすることのできる技術を開発する必要がある．

ア．超巨大地震のための海底地殻変動観測技術

○大学は，深海型の海底地殻変動観測システムを開発する．

イ．海底地形・堆積物調査技術

○プレート境界断層の活動履歴を解明するために，深海底で地形・地質学的調査に基づく古地震学的研究手法を開発する．

なお，超巨大地震に関する観測研究の最終的目標は，東日本大震災のような甚大な地震・津波災害の軽減に資することである．このため，断層運動と地震動の生成・伝搬から，地表での強震動，建物の揺れなどを，地震学，地震工学，地盤工学などの分野が連携して総合的に理解し，建物などの構造物の被害予測の研究を行うことが重要である．また，幅広い分野の知見を生かし，本研究で得られた観測研究の成果を，地震や火山噴火の災害軽減に役立てられるように，社会に対してより速やかに伝える必要がある．さらに，本計画推進への理解を得るため，本計画の方向性や内容についても，地球科学関連学界や広く社会に対して，より積極的に伝えていく十分な努力が必要である．発生頻度の低い超巨大地震・巨大噴火や津波予測に関する研究においては，世界の他の地域のデータを用いた研究を推し進めることが重要であり，国内の関係機関の協力はもちろん，国際共同研究や国際協力をより一層推進する必要がある．特に，米国や欧州などの地震や火山噴火の多い国との共同研究や，データの交換を進め，各国の地震火山のデータベースと国際的なデータベースとの整合性を図る必要がある．加えて，本研究に関する予算や人事面についてもメリハリを利かせた適切な措置を講じるとともに本計画の実施機関においても幅広く協力していくべきである．また，今後は地震調査研究推進本部が策定する調査観測計画に，本計画の研究成果が適切に反映されることを期待する．

災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の推進について（建議）

2013 年 11 月　科学技術・学術審議会

Ⅰ．現状の認識と長期的な方針

1．地震及び火山噴火予知のための観測研究に関する現状認識

プレート沈み込み帯に位置する我が国では，地震及び火山噴火が多発することは必然である．これまで，地震や火山噴火による災害が度々発生し，多くの国民の生命や暮らしが奪われるなど多大な被害を受けてきた．平成 7 年の阪神・淡路大震災（兵庫県南部地震）では，建造物崩壊や火災により 6400 人以上が犠牲となり，平成 23 年の東日本大震災（東北地方太平洋沖地震）では，津波による死者・行方不明者が 2 万人近くに上った．平成 12 年の三宅島噴火では，約 4000 人の全島民が島外へ避難し，長期間にわたり不便な生活を強いられた．

特に，東北地方太平洋沖地震では，その震源域で大地震が発生する可能性が従来危惧され，これまで多くの調査研究が行われていた．しかし，その規模がマグニチュード 9 に達する超巨大地震となる可能性については，これまでの観測研究計画の中で追究されていなかった．これを受け，観測研究計画の問題点を以下のように総括し，超巨大地震に関する観測研究を強化するなどの計画の見直しを行い，平成 24 年 11 月に計画を建議した．

・プレート境界の巨大地震発生機構に関して限られたモデルに固執していた．
・観測環境の厳しい海溝付近の観測網を整備するには至っておらず，十分なデータがなかったためプレート境界での滑り特性を理解することができていなかった．
・史料，考古データや津波堆積物の地質学的調査研究などの広い研究分野の成果の活用が不十分であった．
・数百年間に一度という低頻度現象であっても，発生すれば極めて甚大な災害をもたらす大規模な地震や火山噴火の研究への取組が不足していた．
・行政機関等と協力して，地震や火山の研究成果を防災や減災に役立てることを十分に考慮した研究計画になっていなかった．

これらの問題点のうち，直ちに対応できることは，計画を見直した際に対処した．

しかし，平成 25 年度末までの限られた残りの計画期間では，全ての問題点に対応することは難しく，残された問題点を考慮に入れて，今後の計画を策定する必要がある．

また，「東日本大震災を踏まえた今後の科学技術・学術政策の在り方について（建議）」（平成 25 年 1 月）では，

特に，地震研究において，大地震の発生やそれに伴う巨大津波の発生の可能性を事前に国民に十分に伝えられなかったことが，大きな問題であると指摘された．その対応として，地震，火山分野だけでなく，防災分野や人文・社会科学分野を含めた研究体制で総合的かつ学際的に研究を推進することや，低頻度で大規模な自然現象についても正しく理解し，防災・減災に貢献できる体制にすることなどが必要であるとされた．また，地震学・火山学の現状を丁寧に説明するとともに，地方自治体等が適切な防災対策を取れるように，科学的見地から助言を与える取組なども必要とされた．

さらに，平成 24 年 10 月には，「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」の外部評価がまとめられ，地震や火山噴火による災害の多い我が国において，地震や火山に関する科学的な研究成果を防災・減災につなげていくことが重要であるとされた．学術的には，国際的に見ても重要な研究成果が挙げられていることは高く評価された．さらに，地震予知計画と火山噴火予知計画を統合して計画を進めることは有効であり，今後も一層統合に努めるべきであるとされた．しかし，東北地方太平洋沖地震の発生を踏まえて，以下の課題を改善すべきとし，40 年以上にわたる予知に関わる計画の抜本的見直しが必要であるという指摘を受けた．

・国民の命を守る実用科学としての地震・火山研究の推進・低頻度ながら大規模な地震及び火山噴火に関する研究の充実
・研究計画の中・長期的なロードマップの提示
・世界的視野での観測研究の一層の推進
・火山の観測・監視体制の強化
・研究の現状に関する社会への正確な説明
・社会要請を踏まえた研究と社会への関わり方の改善

これまでは自然現象としての地震・火山噴火の予知に基づいて災害軽減に貢献することを目標に計画を推進してきたが，今後はこの方針を転換し，以下のような考えに基づいて計画を推進する必要がある．すなわち，地震や火山噴火による災害は，地震や火山噴火が引き起こす地震動，津波，火山灰や溶岩の噴出などの外力（「災害誘因」）が，人の暮らす社会や自然環境の脆弱性（「災害素因」）へ作用することによって生じる．地震・火山災害を軽減するためには，災害を予測して，それに備えることが基本であることから，今後の計画は，災害誘因の予測に基づき災害の軽減に貢献することを最終的な目標と位置付ける．

以上を踏まえ，かつ以下に記述するこれまでの観測研究計画の経緯と成果に鑑みて，本計画を策定した．

2．地震及び火山噴火予知のための観測研究のこれまでの経緯と成果

2-1 地震及び火山噴火予知のための観測研究のこれまでの経緯

全国の大学，行政機関，国の研究機関が連携し，地震予知のための観測研究計画を昭和 40 年から進めてきた．昭和 40 年度に開始された第 1 次計画から，平成 6 年度に開始された第 7 次計画まで，調査観測体制の整備を着実に進め，全国に整備した高感度の地震観測網や地殻変動観測網の観測データから地震の前兆現象を見つけ出すことにより，地震予知を目指すことに力を注いだ．計画の進捗に伴い，地震や地殻変動の観測データが蓄積されるとともに，研究者も増加し，地震学は着実に進歩したが，地震予知は実現できていなかった．そのような状況の下で，平成 7 年に阪神・淡路大震災（兵庫県南部地震）が発生し，それを契機に計画を総括した．その際，地震の前兆現象の発現様式は複雑かつ多様であり，その中に系統性が見いだせるほどにはデータが蓄積していない．また，同じ前兆現象が確実に発現するとは限らず，前兆現象のみに基づく地震予知には限界があると結論付けた．このため，地震の前兆現象の発見に重点を置いていた研究の方針を大きく転換することになった．

平成 11 年度に開始された「地震予知のための観測研究計画」では，地震の様々な特性を知り，その発生機構を知ることが地震予知の実現に着実につながるとの考え方に立ち，地震発生に関する基礎的研究を重視した．地震の発生機構を理解し，それに基づく物理モデルと観測データにより，地殻活動の推移予測を目指して計画を進めてきた．高感度・高密度の地震及び地殻変動観測網から得られるデータから，地震に先行する現象の観測事例が増加し，地震現象の理解は一層深まった．例えば，釜石沖で繰り返し発生するマグニチュード 5 クラスの地震は，その発生時期・規模の予測が可能な場合があることが明らかになった．さらに，世界に先駆けて，ゆっくり滑りや低周波微動などの現象が西南日本などで発見され，プレート境界滑りの多様性が明らかになった．それらの物理過程についても理解が進み，プレート境界における大地震の発生過程との関連についても研究が進展し，大地震の発生を含むプレート境界での多様な滑りの数値シミュレーションができるまでになっている．歴史地震研究においては，地震史料集の編纂が進み，江戸時代より前の地震・噴火史料のデータベース化が進んだ．さらに，考古データから地震災害を読み取る地震考古学という学術分野ができるなど大きな進展があった．

このように，計画開始当時に比べて，地震現象についての科学的知見は格段に増えたが，それに伴い地震現象の複雑さも明らかになり，大地震の発生予測の実現には

いまだ至っていない．また，東日本大震災では，歴史地震研究による成果を，十分には活用できなかった．

一方，昭和 49 年度に開始された火山噴火予知計画では，火山噴火予知の実用化を目標に，個々の火山の活動度の把握と，火山現象の理解に基づく火山噴火の仕組みの総合的理解を目指して計画が推し進められてきた．第 1 次計画以来，年次的に観測網の整備と実験観測を推進し，活動的火山における観測点の高密度化・高精度化と観測内容の多項目化が進んだ．その結果，観測網が整備された幾つかの火山については，噴火の先行現象の検知とそれに基づく噴火開始前の情報発信が可能になった．また，組織的な地質調査，系統的な岩石の化学分析や年代測定が実施された火山では，火山活動の長期予測と噴火ポテンシャル評価の基礎となる情報を得た．

地震や地殻変動の定常的観測や臨時観測のデータなどにより火山体の地下構造や周辺の応力場とマグマ蓄積の関係が明らかになった火山では，マグマ供給系・熱水系のモデル化が行われ，観測データから噴火に先立つマグマの移動を捉えることも可能になった．また，宇宙線（ミューオン）による火道透視技術や，人工衛星や航空機，ヘリコプターによるリモートセンシング技術が，噴火現象の理解や活動評価に有効であることが実証された．さらに，掘削試料や噴出物の解析及び火山ガス組成測定により，マグマの上昇や脱ガスなどの噴火過程に関する理解が進展した．近年では，火口近傍での広帯域地震観測，地殻変動観測，空気振動観測，火山ガスの連続測定により，火山性地震や微動の発生機構，爆発と火山ガス放出の関係についての研究が進み，火山噴火をマグマや揮発性成分の運動と関連させて議論できるようになった．近年，マグマの物性とマグマ上昇速度などと噴火規模・様式の関連が見られる例も見つかり，火山噴火予知のために重要な知見が蓄積された．

火山監視体制の強化と噴火前に現れる地震活動や地殻変動に基づき，有珠山や三宅島などでは噴火発生の予知が実践された．また，これらの実績を踏まえて，気象庁は平成 19 年より，防災機関や住民が取るべき防災対策と連動した噴火警戒レベルを火山ごとに順次運用を開始している．さらに，火山噴火予知研究の成果を防災に役立てるため，大学及び関係機関は地方自治体等との連携を進めている．

しかし，噴火の規模や様式，活動推移の予測に成功するまでには，火山噴火現象の理解は進んでいない．例えば，平成 12 年の三宅島噴火の際，山頂カルデラ形成や火山ガスの長期噴出を活動初期には予測できなかった．また，平成 23 年の新燃岳噴火では，その噴火規模・様式を予測できなかった．また，国立大学の法人化に伴い，大学においては老朽化した火山観測網の更新や高度化が進まず，観測研究の縮小が危惧される．外部評価では，この点を踏まえて火山観測・監視体制の維持についての検討が必要であると指摘された．

平成 21 年度からの計画では，地震予知研究と火山噴火予知研究が統合され，プレートの沈み込みという共通の地球科学的環境で発生する地震と火山噴火の相互作用の研究が始まるとともに，観測基盤の有効利用が進められた．

マグマの発生や地震発生に重要な役割を果たす沈み込む海洋プレート（スラブ）からマントルウェッジへの水の供給に関して，スラブの上方に地震波低速度で低比抵抗の領域が日本列島の多くの地域で確認され，その実態が明らかになりつつある．また，広域の三次元地震波速度構造や比抵抗構造の調査により，上部マントルにおけるマグマの発生と上昇経路について理解が進んだ．さらに，伊豆大島で発生する火山性地震は，マグマの貫入と広域応力場による応力変化で発生し，震源での岩石の物性の違いによりその発生様式が異なることが明らかになりつつある．

2-2 地震・火山噴火の防災や減災につながる成果

これまでの研究の進捗により，多くの学術的成果が得られてきた．そのうち，地震や火山噴火の防災や減災に役立つと見込まれる成果を以下に挙げる．

地震予知研究では，地震の発生機構，断層モデル，地震波伝播過程などの研究や古地震の調査が進展し，科学的な理解に基づき，地震発生の長期評価や，地震による強震動，津波の予測が行われるようになった．特に，以下に挙げる例は，地震の防災・減災に活用可能な成果である．

- 地震動や津波の即時予測に関するこれまでの研究成果は，気象庁の緊急地震速報や津波警報などに活用されている．
- 陸域の高密度の地震及び GNSS 観測網に加え，海域の地震観測や地殻変動観測網とそのデータ解析手法開発により，東北地方太平洋沖地震を始めとする多くの地震について，震源断層の詳細な滑り分布や，本震発生に至る過程の理解が深化した．特に，近年実用化された海底地殻変動観測の貢献は大きく，今後も，プレート境界のひずみ蓄積過程の解明や地震発生ポテンシャル評価などでの利用が期待されている．
- 東北地方太平洋沖地震で発生した巨大津波は，海底に敷設したケーブル式津波計により沿岸到着の約 20 分前に捉えられていた．この観測システムはこれまでの観測研究計画で開発されたものであり，この実績に基づき，政府により太平洋岸に海底観測網の敷設が整備されつつある．

・陸域の GNSS 観測網の即時解析から，超巨大地震の規模を短時間で正確に把握できる手法が開発された．この手法の気象庁の津波警報等への活用も検討されている．
・上記の方法による地震規模の推定や，海底観測やブイによる沖合の津波計データを即時的に解析し，津波浸水域を高精度に推定する手法の開発が進められている．また，直近のデータを逐次的に処理し，津波浸水域の予測を高精度化する研究も進められている．さらに，これらの実用化についても進められている．

火山噴火予知研究では，多項目の地球物理学観測及び物質科学的調査に基づく火山活動のモニタリングの進展により，マグマ蓄積や火道浅部活動の理解が進み，噴火活動の評価が行われるようになった．それにより，以下に挙げるような火山の噴火規模や様式，その推移の予測に関する新たな研究成果が得られた．

・富士山の地下構造とその活動史の解明が進み，地殻の中・深部のマグマの混合により，マグマの多様性や噴火様式の違いが生じ得ることが明らかとなった．また，桜島でもマグマの成分が年代と共に変化し，それに伴い噴火様式も変化していることが明らかになった．このように，マグマ特性の物質科学的分析を進めることにより，火山噴火活動の予測などにつながることが期待されている．
・繰り返し発生する小規模な噴火現象の発生時間や規模，様式と，火口近傍で観測された山体膨張などの先行現象との間の相関が得られた．限られた事例ではあるものの，この関係は噴火規模や様式の予測に新たな経験則として利用できることが期待されている．
・噴火履歴の解読や近年の地震・地殻変動データに基づき，三宅島や桜島，伊豆東部火山群，霧島山新燃岳などの火山について，火山噴火事象系統樹（噴火シナリオ）の高度化が図られた．噴火事象系統樹は，火山活動の推移を俯瞰的に理解して防災・減災対策を立てるときに役立てられ，地域防災計画の中で参考にされている．

地震研究と火山研究の連携では，伊豆半島東方沖におけるマグマの貫入による地殻変動と群発地震活動度の関係が明らかになり，火山活動が地震活動に及ぼす影響についての理解が進展すると同時に，その知見は気象庁の発表する「地震活動の見通しに関する情報」に応用された．

３．観測研究計画の長期的な方針

3-1 基本的方針

地震・火山の観測研究計画は，国民の生命と暮らしを守るための災害科学の一部として，計画を推進すべきと考える．地震・火山災害は，地震や火山噴火の発生により生じる強震動，津波，火山灰や溶岩の噴出などの災害誘因が，人の住む自然環境や社会環境に作用し，その脆弱性により発生する．地震や火山に関する災害科学とは，災害を引き起こす地震や火山噴火の発生から災害の発生や推移を総合的に理解し，その知見を防災・減災に生かすための科学であり，理学，工学，人文・社会科学などの研究分野が学際的かつ総合的に進める必要がある．一旦発災すると被害が甚大となる地震，津波，火山噴火による災害を軽減するためには，長期的展望に基づき，災害を起こす原因にまで遡った理解に基づく方策を探る必要がある．つまり，自然現象である地震や火山噴火を理解し，それらが引き起こす災害の姿を予あらかじめ知る必要がある．この際に，地震や火山噴火の発生の場所，規模，時期などの予測に始まり，災害の発生から地震や火山噴火現象の発展段階に応じて起こり得る災害の推移を予測することが重要である．観測研究計画は，以上を踏まえ，防災・減災にも貢献できる計画として機能すべきである．これまでは，地震や火山噴火の発生予測ができればおのずと防災・減災に貢献できるという考え方で計画が進められてきた．この考え方を見直し，地震・火山噴火の発生予測とともに地震・火山噴火による災害誘因の予測の研究も行い，それらの成果を活用することにより防災・減災へ貢献するという考え方へと移行する．今がまさにその転換点にあると認識する．

これまでの計画では，地震及び火山噴火「予知」という言葉を使用してきた．予知という言葉は，一般的には「予め（前もって）知る」ことに関して幅広い意味で用いられているため，地震や火山噴火に関する最近の理学研究では，定量性を念頭に置いた限定的な語感を持つ「予測」という言葉が好んで使われるようになっている．しかしながら，理学，工学，人文・社会科学の研究分野の専門知を結集して，総合的かつ学際的に研究を進める災害科学においては，むしろ「前もって認知し，災害に備える」ことを幅広く捉えて「予知」という言葉を用いる方が妥当である．災害の根本原因である地震や火山噴火の発生と，それらが引き起こす災害誘因を共に予測して，地震や火山噴火による災害の軽減につなげることの意味は重く，必要性も大きい．これからは，自然現象である地震や火山噴火の発生予測にとどまらず，災害の発生までを視野に入れた災害の予知を目指す学術研究として，計画を推進する必要がある．

3-2 課題への対応

新たに計画を策定するに当たり，現状認識に挙げた課題を以下のようにまとめた．

・国民の命を守る実用科学としての地震・火山研究を推

進すること，
・低頻度大規模現象について取り組むこと，その際，地震や火山噴火の発生間隔の長さや頻度の低さを考慮して，歴史学，考古学，地質学などの関連研究分野と協力して研究を推進するとともに，国外の事例も取り入れて研究すること，
・中長期的な視点で計画を策定すること，
・研究成果を防災・減災につなげるため防災学，人文・社会科学などの関連研究分野と協力して研究を推進すること，
・研究の社会への関わり方を改善すること．

（実用科学）

本計画では，外部評価で指摘された「実用科学」を，地震・火山研究の科学的知見を防災・減災に活用し，国民の生命と暮らしを守る災害科学として推し進めることと捉えた．そのため，自然現象である地震・火山現象の理解を深めつつ，地震や火山噴火の発生の予測を目指した研究を継続的にかつ着実に実施することに加えて，地震動や津波，火山灰や溶岩の噴出など災害を引き起こす現象の予測を含めた災害の予知に貢献する研究を推進する．

大地震の発生時期を予測することは現段階では難しいが，釜石沖の繰り返し地震や伊豆東部の群発地震の活動予測などの限られた事象ではあるが，地震発生予測に関連した新たな成果が生まれている．また，火口近傍での観測により，噴火規模の予測に結び付く可能性の高い新たな知見も得られている．このような事例を参考に，地震発生と火山噴火の予測を目指した研究を継続する．その際，多様なデータ，手法，モデルを取り入れ，地震・火山現象の物理・化学過程の理解に基づく地震発生や火山噴火の予測の研究を進めると同時に，十分な精度を持つ観測データや調査結果に裏付けられた経験則も，その適用範囲を考慮した上で活用する．

海底観測装置の開発や高度化，地域防災計画の参考にされた噴火事象系統樹（噴火シナリオ）など，これまでの観測研究計画の成果が社会に役立てられている例も多い．また，津波浸水域の高精度逐次予測，GNSS 即時処理による巨大地震震源域の即時推定などは，実用化に向けた研究が進んでいる．今後の計画では，ここで挙げられたような災害の予知に役立つ研究成果を増やし，社会に貢献する．

（低頻度・大規模現象）

巨大地震や大規模噴火現象は，発生頻度が低いため未解明な部分が多い．そのため，それらに起因する災害の軽減を図るためには，その発生機構の解明が必要である．東北地方太平洋沖地震という超巨大地震の発生機構を理解するとともに，この地震が隣接域の地殻活動に及ぼす影響を研究することは，同じ地学的環境にある他の地域の防災・減災に資することが期待できる．これらの成果を後世に引き継ぐことが東日本大震災を経験した我々の大きな責務だと考える．また，これまでに南海トラフで発生した巨大地震の特性の解明に力を入れる．大規模噴火は近年日本では発生していないものの，史料，考古データ，地形・地質データからこれまで繰り返して発生してきたことは明らかである．歴史学，考古学，地質学，地形学などの研究者と連携し，近代的観測開始以前の地震や火山噴火の特性を理解する．また，日本以外の事例との比較が重要であるため，世界の他の地域のデータを用いた研究を推し進めることも重要であり，国際共同研究や国際協力をより一層推進する必要がある．その際，マグニチュード 8 クラスの巨大地震，内陸地震，スラブ内地震についても大きな被害をもたらす可能性があることから，計画の中でバランスを取りつつ研究を進める．

（中長期的な展望）

地震・火山噴火による災害を軽減するため，観測研究計画では次のような取組を中長期的な展望の下，体系的に実施する必要がある．

(1) 地震や火山噴火が引き起こす災害がどのようなものがあるかを解明し，国民や関係機関に広く知らせること，
(2) 地震や火山噴火が，どこで，どのくらいの頻度・規模で発生し，それらによる地震動，地盤変形，津波，噴火規模・様式がどのようなものかを想定して，長期的な防災・減災対策の基礎とすること，
(3) 地震や火山噴火の発生直後に，地震動や津波，火砕流や降灰，溶岩流などを予測することにより避難に役立てること，
(4) 地震の発生や火山噴火の発生や推移を事前に予測することにより防災・減災対応を取ること．

(1) については，地震や火山噴火が引き起こす災害の特徴を科学的に解明して，その災害について，専門家と社会との共通理解を醸成する．自然現象として数十年に一度発生する程度の地震や火山噴火現象によって引き起こされる災害の理解は進められてきたが，低頻度で発生する巨大地震や大規模噴火の理解は不足し，その災害についての知見も限られている．今後 10 年程度，歴史学や考古学，地質学などに基づく地震，津波，火山災害の研究を系統的・組織的に推進し，国内外で発生した大規模な地震・噴火現象と災害事例を集積することにより低頻度大規模現象についても一定の知見が得られると期待される．

(2) では，観測データ，史料，考古学データ，地質学データ等に基づく地震の統計学的解析や火山噴火の活

動履歴の調査により，地震や火山噴火とそれによって引き起こされる災害の発生場所や規模・頻度を推定し，長期的な防災・減災対策の基礎的知見を得る．これまでも，地震・火山研究の成果に基づき地震発生の長期評価や地震による揺れの予測図（地震ハザードマップ），降灰や溶岩流を予測した火山ハザードマップなどが作成され，防災行政や避難計画の策定などに貢献している．今後 10 年程度は，地震の統計的性質も考慮した大地震の長期予測手法の開発や，発生の繰り返し間隔や規模のゆらぎに関する理論的研究を進める．火山噴火に対しては，地質調査を着実に推進し，国内火山の詳細な噴火履歴の作成に努める．

（3）では，自然現象としての地震発生や火山活動を観測により即時的に把握して，地震動や津波，火砕流や降灰，溶岩流，噴石などを予測する．近年，地震発生による強い揺れや津波到来の即時的な予測が可能となり，緊急地震速報や津波警報などに活用されている．また，火山噴火に伴う噴石や降灰の予測手法の開発が，現在進められている．このような予測は，避難や防災行動に直接的に結び付き，その精度向上は短期的には最も効果が高いと思われる．そのため，今後 5 年間は，既に実用化されているものについてはその信頼性や精度の向上を図り，開発中のものは開発を効率的に進める．また，情報通信網等の社会基盤の発展や，社会の構造変化により，求められる情報が時代と共に変化することも考慮し，今後の災害情報の在り方についての研究も同時に進める．

（4）で示す地震や火山噴火の発生が予測できれば，防災・減災への応用範囲は広く，効果も大きいと考えられる．地震や火山噴火の発生前の現象を検知し，経験的な法則や理論的な裏付けのあるモデルを用いて，地震発生や火山噴火の予測を目指す．予測のためには観測データは不可欠であり，震源近傍や火口付近などでの観測を強化することが重要である．地震現象や火山噴火現象は非線形性が強く，これまでの研究の蓄積があるにも関わらず，予測が確実に行える状況ではなく，予測の実現には今後も息の長い取組が必要である．

プレート境界地震の短期予測については，断層摩擦滑りの物理モデルと観測データを統合して，地震を含めた断層滑りの時空間発展の予測をする研究を進める．そのために，観測，実験，理論研究により物理モデルを高度化することと，モニタリングデータの利用法の高度化を目指した研究を重視し，この計画の中で予測実験を試行する．内陸地震については，地震発生機構の物理モデルが確立していない．そのため，まず，モデル構築のための研究に集中し，モデルとデータを統合した予測の準備を行い，プレート境界地震と同じように予測のための研究を行うことを目指す．また，多様な観測から得られる大地震の先行現象に関する経験則を利用した地震発生予測を試行するため，地震活動の変化などの先行現象の研究を進め，今後 10 年程度で先行現象についての統計評価を行う．

火山噴火予測では，観測データに現れる異常現象を基に噴火発生を予測する研究を中心に進める．起こり得る火山現象を網羅的に示した噴火事象の系統樹を活用し，火山活動の進行により発現する事象を支配している物理・化学過程を，観測データや火山噴出物や火山ガスの解析結果，理論的な研究成果から明らかにする．個々の事象が発現する機構の理解の積み重ねと，それに基づく事象分岐論理の解明により，予測の実現を目指す．噴火履歴に基づく噴火事象系統樹の作成と高度化を着実に進めるとともに，この計画期間中に，火山事象分岐の判定方法を加えた新たな噴火事象系統樹の原型（プロトタイプ）を作成する．その後も，基礎研究の成果を取り入れながら，実際の火山噴火活動の判断基準として試用し，高度化を進める．

（関連分野との協力）

前述のように，発生間隔が極めて長い低頻度で大規模な地震・火山現象を理解するためには，史料，考古データ，地形・地質データの利用が不可欠であり，歴史学，考古学，地質学や地形学などの研究者と連携した研究を開始する．また，観測研究計画が，災害科学に貢献すべきとの観点から，理学だけでなく，防災研究に関わる工学，社会科学の研究分野と連携し，災害誘因予測研究を行う．このような関連研究分野と連携して計画を推進するには，体制の整備も必要であり，その取組も行う．

（研究の社会への関わり方の改善）

地震や火山噴火が引き起こす災害がどのようなものがあるか，研究から得られた防災や減災に資する成果を，国民や関係機関に広く知らせることが，観測研究には求められている．そのため，過去の地震・火山災害事例や災害の発生機構に関する研究も実施する．また，それらを含めた地震や火山噴火に関する研究成果を，社会に分かりやすく伝えるための取組を行う．さらに，研究成果を生かした被害軽減のための災害情報の高度化についての研究も実施する．

3-3 観測研究計画実施体制の整備と計画の推進

国民の生命と暮らしを守る実用科学として，地震・火山災害に関する科学（災害科学）が活用され，防災・減災に効果的に役立つためには，地震発生・火山噴火の仕組みを理解する基礎研究，それらを予測する応用研究，さらに，防災・減災に役立てる方策を示す開発研究のそれぞれを体系的・組織的に進める必要がある．

東日本大震災を踏まえた科学技術・学術政策の在り方

の検討の中で，基礎研究，応用研究，開発研究のいずれの段階でも，研究者の内在的動機に基づく学術研究，政府が設定する目標などに基づく戦略研究，政府の要請に基づく要請研究の三つの方法によって進められるべきであることが指摘された．また，学術研究においても課題解決とともに自ら研究課題を探索し発見する行動が求められている．さらに，地震・火山噴火研究においては，人文・社会科学も含めた研究体制の構築，海外の地震・火山噴火多発国との連携強化，防災や減災に十分貢献できるような研究体制の見直しなどが指摘されている．（東日本大震災を踏まえた今後の科学技術・学術政策の在り方について（建議），平成 25 年 1 月 17 日）

観測研究計画は，地震や火山災害の軽減という社会の要請を踏まえた課題解決を目指し，全国の大学，研究開発法人，行政官庁が協力して推進する研究計画である．地震・火山の災害軽減に必要な災害の予知は，その手法がいまだ確立していないので，研究者の創意工夫に基づいて体系的かつ継続的に推進する必要がある．そのため，学術的な基礎研究を主体として実施する観測研究の推進体制が必要である．また，成果を社会の防災・減災に効果的に役立てるためには，政府の地震・火山防災施策で設定する要請や目標を十分考慮し，防災・減災に貢献できる体制を構築する必要がある．

大規模な地震・火山噴火の発生間隔は人間の生活時間に比べて長いため，長期的かつ継続的に，観測･調査，観測データ・資料の蓄積，及び総合的な解析を地震・火山噴火研究全体として実施する体制が必要である．観測データ・資料及び研究成果のデータベースの構築などの研究基盤の開発・整備に努める一方，現在の技術では困難に見える観測や解析の新展開を図るため，新たな技術開発を行う．

地震・火山噴火などの自然現象に起因する災害誘因だけでなく，地形・地盤などの自然環境や人間社会の持つ脆弱さが災害素因となり，災害の大きさが決まる．本計画を災害科学の一部として捉えた場合，これまで実施してきた災害誘因としての地震・火山噴火研究に加えて，災害素因との関係を意識して研究を進めることが必要となる．このため，理学だけではなく，防災学に関連する工学，人文・社会科学などの関連研究分野との連携を図りつつ，計画を推進する．また，地震や火山噴火現象の推移を理解して予測するには，近代的な観測の実施期間が短すぎることから，歴史学，考古学などと連携して過去の事例を調査する歴史災害研究を行うことが不可欠である．ただし，過去の地震と噴火の史料，考古データを収集して歴史災害研究を行う組織が存在せず，後継者養成も行われていない状況は，従来から大きな問題となっていた．歴史災害に関する学際的研究は，これを解決する長期的な見通しをもって行われる必要がある．

長期的な展望の下に，防災力の高い社会に変えていくための研究と防災業務に携わる人材の養成を行う必要がある．若手研究者や防災業務を担当する人材の育成だけでなく，地震・火山の専門教育を受けたものが防災・科学技術に係る行政，企業，教育機関に携わる取組を強化し，地震・火山災害に強い国家の構築を支援する．

研究成果が適切に理解され，実際の防災・減災に活用されるため，その内容を分かりやすく社会に伝える組織的な活動が重要である．地震・火山科学が社会に発信する情報の在り方を含め，広く災害情報についても検討する．さらに，そのための人材の確保を図る必要がある．

低頻度の災害の予知を研究するためには，日本だけでなく海外の他の地域の事例を取り入れるなどの国際的な共同研究を行う必要がある．同時に，本計画の成果を海外，特にアジア諸国の地震・津波，火山災害の軽減に役立ててもらうことは，災害科学の先進国である我が国の責務である．そのような観点から国際共同研究・国際協力を実施する必要がある．

Ⅱ．本計画策定の基本的な考えと計画の概要

1．本計画策定の基本的な考え

前章の観測研究計画の長期的な方針に従い，これまでの計画のように地震や火山噴火予知の実現により災害軽減に貢献するという方針から，次のように方針を転換する．すなわち，地震発生・火山噴火の予測を目指す研究を継続しつつも，計画の目標を広げ，地震・火山噴火による災害誘因の予測の研究も組織的・体系的に進め，国民の生命と暮らしを守る災害科学の一部として計画を推進する．つまり，地震や火山現象の理解にとどまらず，地震や火山噴火が引き起こす災害を知り，研究成果を地震，津波及び火山噴火による災害の軽減につなげる．そのため，地震学や火山学を中核とし，災害や防災に関連する理学，工学，人文・社会科学などの分野の研究者が参加し，協働して計画を推進する．このような方向転換の最初の 5 か年として，計画を策定する．

本計画では，地震・火山災害の根本原因から発災までを視野に捉え，以下の研究を連携させて計画を進める．すなわち，地震と火山噴火の仕組みを自然科学的に理解する研究，発災の原因である地震発生や火山噴火を科学的理解に基づき予測する手法の研究，地震動や津波，降灰，火砕流や溶岩噴出などの自然現象を事前に評価するとともに，それらの原因となる地震や火山噴火発生直後に即時的に予測する手法開発や災害情報の高度化に関する研究である．これらの観測研究を進め，その成果が防災・減災に効果的に利活用されるためには，長期的な

取組が必要であり，そのために本計画の推進体制を整備する．

以上の方針に基づき，以下の項目に分けて，計画を推進する．

1.「地震・火山現象の解明のための研究」では，地震・火山噴火予測や災害の予知の基礎とするために，地震や火山噴火の特性を解明し，地震や火山噴火が発生する場や地震・火山噴火現象の物理・化学過程を解明する．
2.「地震・火山噴火の予測のための研究」では，多様なデータや考え方を取り入れ，地震や火山噴火の発生を予測する手法を開発する．物理・化学的過程に基づく演繹的手法や先行現象の観測事例に基づく帰納的手法を用いて，予測を目指す．
3.「地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究」では，地震や火山噴火がどのように災害をもたらすかに照準を合わせて，地震・火山研究の成果を災害軽減に役立てる．地震学・火山学的な手法により災害を予測する研究を推進するとともに，これを災害軽減に結び付けるための研究を行う．
4.「研究を推進するための体制の整備」では，関連機関，研究分野と連携を取りながら，計画の進捗状況を把握して研究を効果的に推進する体制を構築し，観測網やデータベースなどの研究基盤を整備・拡充する．研究者，技術者などの育成，国際共同研究，本計画の現状を知ってもらうための取組を組織的に行う．

本計画の実施に当たり，優先度の高い地震・火山噴火については，特にこれらの項目を横断した実施計画を立てて推進する必要がある．例えば，東北地方太平洋沖地震，南海トラフの巨大地震，首都直下地震，桜島火山噴火については，本計画実施期間に災害科学の発展に着実に貢献できることや，発生した場合の社会への影響の甚大さを考慮して，上記 1．～ 4．の全ての項目を含む総合的な研究として優先して推進する．

２．本計画の概要

2-1 地震・火山現象の解明のための研究

地震・火山噴火現象を科学的に解明することは，それらの発生予測やそれに伴って生じる地震動，津波，火山灰，マグマの噴出などによる災害に備えるための基本として重要である．近代的観測データだけでなく史料，考古データ，地形・地質データ等も活用して，また，特に低頻度で大規模な現象に注目して，過去の地震や火山噴火の理解を進める「地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理」，「低頻度大規模地震・火山現象の解明」を行う．また，多項目の観測に基づき地震・火山噴火の発生場の理解を進め，地震・火山現象の物理・化学過程の理解に基づくモデルを構築するため，「地震・火山噴火の発生場の解明」，「地震現象のモデル化」，「火山現象のモデル化」を行う．

(1) 地震･火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

地震・火山現象とそれに伴う災害を長い時間スケールにわたって正確に把握するために，史料の解読・解釈，考古データの集約・分析，地質調査データ等の調査・分析を行う．近代的な観測データや現在の地震・火山噴火に関する資料と対比・統合することを考慮して，データベース化を進める．

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

低頻度で大規模な地震・火山現象の発生過程や，それによる強震動，津波，噴火現象を理解するために，現在の地震学や火山学の知見と対比しながら，近代的観測データの解析や史料，考古データ，地形・地質データの解読・分析を進める．海外の事象も対象として事例を増やすとともに，最新のデータが得られている平成 23 年東北地方太平洋沖地震及びその津波の発生機構や余震・余効変動，近い将来発生が懸念される南海トラフでの巨大地震の予測及び災害軽減に資する研究を実施する．

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

過去の大地震の震源断層周辺の構造，マグマ溜まりや火道などの構造や物質科学的特性，震源域や火山周辺の応力・ひずみの時空間分布を明らかにし，地震発生や火山噴火現象のモデル化の研究を進めるため，地震・地殻変動観測や電磁気探査などを実施する．これにより，地震と火山の相互作用や，平成 23 年東北地方太平洋沖地震及びその余効変動による大きな応力場の擾乱が，地震活動や火山活動に及ぼす影響を調べる．

(4) 地震現象のモデル化

地震発生予測のためのシミュレーションや高精度の地震動・津波のシミュレーションを効率的に行い，地震発生機構の定量的な理解や，プレート境界での多様な滑りを再現するためには，プレート境界面深度や地震波速度などの構造モデル，地殻やマントルの変形特性やプレート境界面の摩擦特性の推定が必要である．このため，これまでに得られたデータや，新たな観測データを取得して，多くの研究で共通に利用可能な日本列島域の標準構造モデルを構築する．さらに，摩擦構成則や複雑な破壊現象を考慮した現実をより良く説明できる断層物理モデルを構築する．

(5) 火山現象のモデル化

大規模な災害を引き起こす可能性があるマグマ噴火と，噴火としての規模は小さいが突然発生するために発災の危険性が高い水蒸気爆発や火山ガス噴出の発生を予測するため，多項目の観測データや火山噴出物の解析から，先行現象やそれに続く様々な火山現象を捉え，それらの諸現象の発生機構や，それぞれの現象の相関・因果関係を明らかにする．その際，火山の性質や噴火様式に着目し，火山ごとの噴火活動の類似・相違点を比較検討する．さらに，マグマの挙動についての理論的及び実験的研究の成果を取り入れて，観測された火山現象の物理・化学過程を明らかにし，そのモデル化を進める．

2-2 地震・火山噴火の予測のための研究

科学的理解に基づいた地震や火山噴火の予測を目指した研究を実施する．長期的な地震の防災・減災計画の基礎となる地震の規模や頻度の予測の高度化を目指した「地震発生長期評価手法の高度化」，観測データと物理・統計モデルに基づくプレート境界の地震発生や地殻活動の定量的理解と予測を試みる「モニタリングによる地震活動予測」，さらに，地震に先行すると報告されている現象の統計学的検証と発現過程理解に基づき地震発生の短期予測を目指す「先行現象に基づく地震活動予測」の研究を行う．また，可能性のある噴火現象の推移を俯瞰的視点でまとめるとともに，火山活動の事象分岐の論理を取り込み，噴火の発生，規模，様式，及び推移の予測を目指して「事象系統樹の高度化による火山噴火予測」の研究を行う．

(1) 地震発生長期評価手法の高度化

地震発生の長期評価は，計画的に地震災害に備えるのに有用であり，その信頼性や精度の向上は重要である．史料，考古データ，地質データなどに基づき推定された長期間の地震の繰り返し特性を理解し，さらに，近年の観測データや高性能計算機による数値シミュレーションなどを利用する手法を開発して，地震発生の長期評価手法の高度化を行う．

(2) モニタリングによる地震活動予測

観測網の充実により地殻活動の詳細を正確に把握することが可能になってきた．地殻活動予測を行うために，地震・火山噴火の発生場についての研究成果や，地震現象のモデル化の研究で開発された物理モデルに基づき，高性能計算機などにより数値シミュレーションを実施し，観測データと比較する．これにより，地殻内の状態を定量的に推定し，地殻活動予測を試みる．また，様々な地震発生予測モデルを用いて地震活動の予測を行い，その予測の性能を評価する．

(3) 先行現象に基づく地震活動予測

地震発生に先行して発現する事象（地震の先行現象）が観測できれば，それを利用して地震の短期予測をすることは可能になるであろう．これまで地震の先行現象を観測したとの報告は多いが，内容は非常に多様であり，それらの系統性は必ずしも明瞭ではない．先行現象の捕捉を目指した観測を行い，これまでに得られているデータも含めて，観測された現象と地震の関係を統計的に評価する．様々な観測された現象と地震発生との関係について統計的な有意性を確かめつつ，その物理学的根拠を研究する．

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

近い将来に火山災害が懸念される火山について，火山活動の推移を俯瞰的に理解してその予測を目指すために，史料，考古データ，地質調査，火山噴出物の解析，地球物理観測の研究成果を多角的に取り入れ，可能性のある火山活動や噴火現象を網羅してその時系列を整理した噴火事象系統樹を作成する．また，火山活動の活発化や噴火の発生，噴火発生後の噴火規模や様式の急激な変化の予測を行うため，これまでの火山学的知見や本計画の成果を基に，観測データの特徴，火山噴出物の解析などから，事象分岐の条件や論理を導き出す．これにより，火山噴火の予測を目指す．

2-3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

東日本大震災以降，社会の要請に応えた地震・火山噴火に関する研究の推進が強く望まれている．災害とは，地震・火山噴火という自然現象（根本的原因）が引き起こす地震動や津波，火山灰や溶岩の噴出などの「災害誘因」が，自然・社会の脆弱性である「災害素因」に働きかけ，その作用・影響が顕在化して被害が発生することである．地震・火山噴火研究の成果を効果的に社会還元するためには，理学，工学，人文・社会科学などの複合領域の専門知を有機的につなげ，地形・地盤・海岸線の形状などの自然素因や人口，社会基盤，経済などの社会素因への影響・被害という視点から，災害誘因の研究を推進する必要がある．このため，地震や火山噴火の発生から災害に至るまでの過程を史料や調査・観測記録から解明する「地震・火山噴火の災害事例の研究」，災害誘因が自然や社会の脆弱性などの災害素因に与える作用力とその波及効果を明らかにする「地震・火山噴火の災害発生機構の解明」，災害誘因の発生可能性を事前に評価する手法の高精度化を目指す「地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化」，災害誘因を地震・火山噴

火発生直後に即時的に予測する「地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化」，さらに，「地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化」の研究を行う．

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

強震動，津波，火山灰や溶岩の噴出などの災害誘因が，地形・地盤など災害の自然素因と建造物などの脆弱性などの社会素因とどう結び付いて災害を出現させたかを，近代的な観測や調査データ，近代的観測開始以前の史料を含めて，長期的視点から明らかにする．近代的な観測・調査データや史料に基づき，地震・火山災害の特性を社会環境の時代的変化に留意して理解する．さらに，国内外の事例研究により社会の地域的特性と地震・火山災害との関係を明らかにする．

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

地震発生・火山噴火によって生じる災害誘因が，社会の損傷・破壊などに与える影響，被害拡大や社会混乱の波及効果を理解し，災害発生機構の解明を進める．社会の地震・火山災害への脆弱性は，災害誘因，例えば，揺れの強さなどによって異なることに留意する．さらに，二次災害の抑止，被害の軽減化，社会混乱の防止などの防災・減災に資するための誘因研究の新たなモデルを総合的かつ学際的に構築する．特に，社会的影響の大きな首都圏などの大都市圏で想定される地震災害に関する研究を，重点的に推し進める．

(3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

地震・火山噴火による災害対策に資するため，地震や火山噴火に伴う地震動，津波，地滑り，山体崩壊などを，地震や火山噴火前に高精度に評価する手法を開発する．そのために，本計画で得られる地震発生や火山噴火の理解や，構造モデルなどの最新の研究成果を利用して，災害の予知に資する研究を行う．

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

地震・火山噴火に伴う地震動や津波，火山灰や溶岩の噴出などの災害誘因を，地震・火山噴火発生直後に高精度かつ即時的に予測するために，各種観測データの利用法や解析手法を開発し，高度化する研究を進める．

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

地震・火山噴火の予測に関する情報は，観測データに基づく決定論的あるいは確度の高い情報，長期的な活動履歴に基づき確率を算出した予測情報，データの総合的判断に基づく定性的な情報など，その性質は多様である．特に，決定論的あるいは確度の高い予測情報を発信することは難しい場合が多い．このような不確実な予測情報を災害軽減のために有効に役立てるための方法を検討する．また，地震発生・火山噴火に関わる平常時の「災害啓発情報」，発災直前の「災害予測情報」，発災直後の「災害情報」，復旧・復興期の「災害関連情報」の内容や発表方法についても，災害素因の影響も考慮したリスク・コミュニケーションの方法論などに基づいて探求し，災害情報の高度化を進める．

2-4 研究を推進するための体制の整備

観測研究の成果が防災・減災に効果的に役立つためには，行政機関等の関連機関との連携の下に，適切な計画推進体制を整備する必要がある．さらに，長い時間スケールをもつ地震・火山現象の理解とその予測には，その基盤となる観測網の維持･拡充を進めるとともに，データの継続的取得と膨大なデータの効率的利用が重要である．発生すると甚大な被害をもたらす低頻度で大規模な地震・火山現象の理解を深め，それによる災害を軽減するためには，防災研究に関連する工学や人文・社会科学の研究分野との連携を強化し，総合的かつ学際的に研究を進める必要がある．また，長い時間間隔で発生する地震・火山研究の推進や研究成果が適切に利活用されるためには，長期的視点に立って継続的に人材を育成する必要がある．さらに，観測事例を増やすために国際的な共同研究を推進するとともに，国際交流を進め，各国の防災研究を学ぶことも必要である．

(1) 推進体制の整備

国民の生命と暮らしを守る実用科学としての地震・火山研究を実施し，成果が防災・減災に効果的に役立てられる計画として推進する体制を作る．このために，社会の中の科学としての観点から，本計画が地震・火山防災行政，自然災害研究の中でどのように貢献するべきかを十分に踏まえた上で実施計画を立案し，推進する．特に，地震調査研究推進本部（以下，地震本部）との一層の連携を図る．さらに，計画の進捗状況を把握し，計画の達成度を計画立案の趣旨に沿って評価し，計画実施に関する問題点と今後の課題の整理を行い，次の実施計画に反映させる体制を整備する．このために，各機関の実施計画に関する情報交換及び協力・連携方策の検討を行い，成果が効果的に利活用される仕組みを構築する．

(2) 研究基盤の開発・整備

防災情報の発表や，地震や火山活動の評価，防災・減災の基盤となる地震・火山研究に必要な観測データを取得するため，行政機関，研究開発法人や全国の大学が協力して，日本全土の陸域に展開されている地震や地

殻変動などの観測基盤を維持・拡充するとともに，近年新たに設置が進められている海域や火口近傍における観測体制を強化する．これらの観測網で取得される大量の地震・火山観測データを効率的に流通するためのシステムを維持・拡充する．本計画で得られる観測データ・調査資料などの基礎的資料や研究成果である構造モデル，解析結果やソフトウエアなどをデータベース化し，これらを研究者間で共有する仕組みを構築する．さらに，地震や火山噴火時に全国の研究者が連携して効率的に臨時観測を行うための体制を整える．新たな観測技術の開発や，地殻活動モニタリングなどの技術の高度化を行い，計画を推進する．

(3) 関連研究分野との連携の強化

本計画が災害科学の一部として機能すべきであるという観点から，理学だけではなく工学，人文・社会科学などの関連研究分野との連携を図る．近代的な観測の行われた期間は，地震や火山噴火現象の推移を理解して予測するには短すぎることから，過去の事例を調査する歴史災害研究を行うことが不可欠であり，歴史学や考古学との連携は重要である．また，成果が効果的に防災・減災に役立てられるようにするには，防災研究分野との連携も必要である．これらの観点から，地震・火山災害の軽減という課題を解決するための総合的かつ学際的研究を推進する体制を構築する．

(4) 研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成

地震・火山噴火の発生予測の方法の構築とその検証には，世代を超えた継続的な観測研究の推進とそれを支える人材育成が不可欠である．また，物理学，化学のような基礎的な学術分野だけでなく，地質学，地形学，歴史学などのフィールド調査が重要な分野や数値計算技術，観測技術開発などの科学技術まで幅広い知識が必要であり，若手研究者の育成は極めて重要である．さらに，地震科学や火山科学の基礎知識を習得したものが防災・科学技術に関わる行政，企業，教育機関に携わることも重要である．このような観点から，複数の教育・行政機関が連携し，観測研究を生かした教育活動を継続して，若手研究者・技術者，防災業務，防災対応に携わる人材の育成を行う．

(5) 社会との共通理解の醸成と災害教育

関連機関が協力して，災害の根本原因である地震や火山噴火に関する研究成果を社会に分かりやすく伝えるための取組を強化し，社会との共通理解の醸成をはかる．なお，その基礎として学校教育，社会教育などで，体系的で創造的な防災教育を行う取組を強化する必要がある．また，地震や火山噴火に関して社会に発信する災害情報の在り方についても広い視点で検討する．

(6) 国際共同研究・国際協力

大規模な地震・津波，火山災害は，世界各地で発生することから，国際的な防災・研究機関と連携を強める．特に，低頻度の災害の研究を推進するためには，日本だけでなく海外の他の地域の事例も研究する必要があることから，国際的な共同研究を行う体制を整備する．さらに，災害科学の先進国である我が国の責務として，開発途上国における地震・火山災害の防止・軽減に貢献する体制の維持・整備を行う．

Ⅲ．計画の実施内容

1．地震・火山現象の解明のための研究

地震や火山噴火が引き起こす災害の予知の基本となる地震・火山現象の科学的理解の深化を目指す．過去の地震や火山噴火の事例，地震や火山噴火を引き起こす構造や応力場などの研究を進め，地震・火山現象の物理・化学過程を理解する．特に，発生すると甚大な被害をもたらす低頻度大規模の地震・火山現象は，発生間隔が長いことから史料・考古・地質データ等の収集から始め，近代的な観測データを統合して，その全体像を把握する．その際，事例を増やすために国際的な共同研究も推進する．また，地震や火山噴火の予測に利用するため，地震や火山噴火の発生場，地震発生過程，火山活動，火山噴火過程のモデル化を進める．

(1) 地震・火山現象に関する史料，考古データ，地質データ等の収集と整理

歴史地震・歴史噴火に関わる史料の収集・データベース化と校訂・解釈作業を進める．その際，広い意味での災害史データにも目を配り，史料の新たな収集を行う．地震・火山災害に関する考古データの集約は相対的に整備が遅れており，データベース化を進めつつデータ収集を強化する．さらに，地震・火山噴火現象に関係する過去の事象と現在の状況を把握するための地質データ等の調査・分析を進める．これまで独立に集められてきた史料，考古データ，地質データ等を系統的かつ体系的に整理し，近代的な観測データと対比・統合しやすいデータベースを構築する．

ア．史料の収集とデータベース化

○大学は，過去の地震や火山噴火現象，それに関連する地変や地下水異常などの諸現象，それによる災害に関

する史料の収集，調査，解読などを進め，近代的な観測データとの対比可能なデータベースを構築する．また，世界の地震・火山災害史に関する国際共同研究を進める．特に，中国史料を中心に東アジアにおける地震・火山災害史料のデータを集積し，その解析を進める．

○気象庁は，過去の火山噴火，これに伴う異常現象や先行現象などのデータの整備を図るとともに，国際的データベース作成にも寄与する．

イ．考古データの収集・集成と分析

○大学は，考古遺跡の発掘調査資料などを収集・分析し，地震や津波，火山噴火被害に関する検討を行うとともに，近代的な観測データとの統合を意図したデータベース化を行う．

ウ．地質データ等の収集と整理

○大学は，地質調査で確認された津波堆積物などの試料を収集・分析し，津波の浸水範囲について検討するとともに，近代的な観測データとの統合を含めたデータベース化を行う．

○産業技術総合研究所は，地形・地質調査に基づく活断層や津波堆積物などの情報について，収集と整理を行い，データベース化及びその更新・維持を行う．

○大学は，マグマ噴火が想定される火山について，火山ガスのデータの蓄積を行い，岩石学的知見と統合したデータの整理を行う．

○産業技術総合研究所は，活動的火山の地質図整備を推進し，火山に関する基礎データの収集と整理を行い，データベースの更新・維持を行う．

○海洋研究開発機構は，海底火山の噴火を予測する基礎データとして，伊豆・小笠原・マリアナ海洋性島弧の海底火山や海洋底の調査を実施する．さらに，他の海洋性島弧の試料解析を行い，地質・噴出物データの収集を行う．

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

史料，考古学的な発掘痕跡調査，地形・地質調査などのデータと近代的な観測データを対比・統合することによって，近代的な観測開始以前の地震，火山噴火，津波の具体像を明らかにする．大規模な地震や火山噴火について，海外で発生したものも含め，主に近代的観測データの解析に基づき発生機構を解明する．特に，高密度な観測データが記録された東北地方太平洋沖地震については，その発生機構や津波励起過程，余震・余効変動の解明を進める．また，南海トラフで発生したこれまでの巨大地震や現在の地殻活動について研究を進める．過去の大規模現象については，観測データのある近代以降の現象を参考に，低頻度・大規模な地震・火山現象の特徴を抽出し，現象の理解を進める．

ア．史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

○大学は，津波堆積物調査を含む地質学的・地形学的調査と津波の数値モデリングから，過去に発生したプレート境界型巨大地震の震源過程を解明する．また，南海トラフ沿いでの海溝型巨大地震の発生が懸念される東海・南海地域や首都直下地震の発生が懸念される関東地方などを対象地域として，史料，考古データ，地形・地質データなどのデータベースを用いて，地震動や津波，火山噴火による被害分布を基に，近代的な観測データやそれを用いた数値計算結果と比較検討し，過去の地震・津波・噴火の実像を解明する．

○海洋研究開発機構は，千島海溝や琉球海溝を含む世界の沈み込み帯で，高分解能地下構造探査･深海掘削･地質学的調査により低頻度大規模地震の発生履歴を解明する．

○産業技術総合研究所は，糸魚川―静岡構造線活断層系などにおいて，断層セグメントの連動履歴を解明することで古地震シナリオを構築し，地震規模予測及び長期予測の高度化について検討する．また，千島海溝から日本海溝，相模トラフ・南海トラフ，琉球海溝沿いで，過去約 3000 年間の巨大地震・巨大津波の履歴と規模を，津波堆積物調査や過去の地殻変動の調査などで明らかにし，地震シナリオ構築を目指す．

○大学及び産業技術総合研究所は，カルデラ噴火について，支笏，姶良，摩周，十和田及び鬼界カルデラなどを対象に，先行する噴火活動の規模・様式，引き続くカルデラ噴火の推移を，野外調査及びトレンチ・ボーリングのデータを基に調べる．また，カルデラ噴火に至るマグマ蓄積や噴火の周期性を，噴出物の物質科学的分析を時間軸に着目して行い，大規模噴火の発生過程を調べる．

○大学は，山体崩壊現象について，磐梯山や雲仙岳を対象に，史料の解読及び地質調査を基に先行現象と崩壊過程を調べる．さらに，北日本の日本海東縁の火山体を対象として，大地震により誘発された可能性のある火山体崩壊現象の規模と頻度を地質学的手法により予察的に検討する．

○大学は，昭和南海地震の観測記録と文献との比較によりその実体を詳細に解明し，その成果から過去に繰り返し発生した南海トラフでの巨大地震の具体像を類推し，繰り返し特性を解明する．

○大学は，桜島大正噴火や磐梯山明治噴火などの顕著な

国内の噴火について，当時の地震記録と文献の調査を行う．また，桜島地震の規模・震源・発震機構を当時の地震記録から推定する．

イ．プレート境界巨大地震

○大学，気象庁及び海上保安庁は，東北地方太平洋沖地震震源域や日本海溝及び南海トラフ沿いの海溝で，海底での地震及び地殻変動の観測を実施し，地震活動，余効変動，固着回復過程などの詳細を調べ，構造との関係を明らかにする．海洋研究開発機構は，東北地方太平洋沖地震の巨大な滑り現象の理解のため，地震時の海底地形及び海底下の変動を推定する．また，日本海溝周辺の海域で，海溝軸までの大滑りを伴った大地震の時空間分布を調べるとともに，高分解能地下構造調査と地質学的調査（採泥）を実施する．大学は，これらの結果を用いて，プレート境界での状態を模した環境下で摩擦実験を行い，多様な滑り現象が起こる条件を明らかにする．摩擦構成則の定式化に基づく数値シミュレーションを行い，日本海溝に沈み込むプレート境界で起こる滑り現象の多様性の統一的な説明を試みる．

○大学は，日本海溝や南海トラフなどを対象に詳細な海底地形データを取得し，これを利用して，過去の地震の震源域を推定する．また，プレート境界の巨大地震の詳細な破壊過程を分析・比較することにより，その発生様式を解明する．以上の成果を利用して，南海トラフで今後発生すると予想される巨大地震も念頭に入れ，巨大地震の震源断層モデルを推定する．

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

大地震が発生するプレート境界やプレート内，活断層や火山の分布する内陸は，それぞれ地学的性質に違いがあるので，プレート境界，海洋プレート内部，内陸の三つに分類し，それぞれの場の特徴について研究を進める．プレート境界において，地震性滑りや非地震性滑りが生じる場を，構造調査や岩石実験，数値シミュレーションから調べ，地震発生に影響を及ぼすプレート境界の摩擦特性や応力の不均一性を調べる．アウターライズ地震やスラブ内地震が発生する海洋プレート内部の構造や応力場，温度場，水分布を，観測や室内実験などにより明らかにする．内陸地殻の非弾性変形，流体の存在，複数の断層の相互作用などに着目し，観測や岩石実験により内陸断層への応力集中機構を調べる．また，火山体やマグマ供給系の物理的構造を観測などにより調べる．火山近傍から広域までの応力の時空間変化と，火山活動や地震活動，及び両者の相互作用を調べる．

ア．プレート境界地震

○大学，気象庁，防災科学技術研究所及び海洋研究開発機構は，千島海溝や南海トラフから琉球海溝の国内の沈み込み域，ニュージーランドなどの海外の沈み込み帯において，プレート境界面の形状とプレート境界周辺の地下構造，並びに微小地震・低周波微動・ゆっくり滑りの発生域の分布とその周辺の構造を明らかにする．また，南海トラフなどにおける海底下深部掘削により地震発生帯の構成物質の試料を採取し，その分析に基づき摩擦特性を明らかにする．さらに，その際に作られた掘削孔に長期孔内観測システムを設置し，高精度で地殻変動を観測する．また，ゆっくり滑りの発生に伴う地震学的構造の変化，重力・電磁力場に現れる間隙流体圧の変化の検出を試み，ゆっくり滑りの発生機構の理解を深める．

○海上保安庁は，和歌山県下里の観測所において人工衛星レーザー測距（SLR）観測を実施し，広域のプレート相対運動決定に資するデータを取得する．

○防災科学技術研究所は，プレート境界型地震の震源モデルの精度向上のため，短周期地震波や津波の生成伝播過程の解明を進める．

イ．海洋プレート内部の地震

○大学及び海洋研究開発機構は，日本海溝の海側斜面における地震・地殻変動観測と構造探査を実施し，東北地方太平洋沖地震の影響で進行している太平洋プレート内の変形とそれに伴う応力変化を明らかにする．プレート内地震発生領域の地下構造を広域に推定する．また，沈み込んだ海洋プレート（スラブ）内部で発生する地震を詳細に解析し，スラブ内地震の震源分布と不均質構造の空間分解能向上を図る．さらに，大学は，比抵抗構造モデルの高度化や地殻熱流量の収集を進め，沈み込み帯下の温度構造・水分布モデルを構築する．室内実験により，スラブ中に存在する含水鉱物の脱水に伴う脆性変形過程を明らかにし，含水鉱物の脱水とマントル融解を考慮したスラブ内地震の発生過程を，数値シミュレーションと観測データの比較から明らかにする．

○大学は，南関東（首都圏）下に沈み込んでいるフィリピン海プレートと太平洋プレート内部で発生する地震の発生機構を，観測，室内実験，数値シミュレーションを総合して解明する．

ウ．内陸地震と火山噴火

○大学は，多項目の高密度観測により，東北地方太平洋沖地震後のひずみ速度場の変動を観測・解析し，地震学的構造・比抵抗構造及び実験・物質科学的知見に

基づくシミュレーションと比較することにより，東北日本弧のレオロジー構造を定量的に明らかにする．また，精密な震源分布や発震機構解などを基にして，誘発地震域で見られる地震活動の移動現象と地殻流体との関係を明らかにする．

○大学は，西南日本のひずみ集中帯などにおいて，高密度地震観測と電磁気観測などの実施と既存データの再解析により，断層の深部延長や断層両端部における不均質構造と，横ずれ断層への応力集中機構を説明できる物理モデルを構築する．また，断層強度の時間変化や，沈み込むフィリピン海プレートと島弧地殻・上部マントルの相互作用を調べる．

○大学は，九州，本州，北海道域の活動的火山とその周辺地域において，高密度な地震，地殻変動，電磁気，重力などの観測を実施し，火山噴火発生場における地震学的構造，比抵抗構造，変形場，応力場，温度構造を推定する．これらと室内実験や野外調査などの結果と合わせることにより，地殻深部から火山体浅部における流体分布など，マグマ供給系を明らかにする．また，火山周辺域で発生する低周波地震の発生機構や火山構造性地震活動と応力の時空間発展の関係を明らかにし，火山活動が，周辺断層の応力場に与える影響を評価し，地震と火山噴火の相互作用に関する研究を進める．

○大学は，列島規模及び特定地域を対象に，地質・地球物理・地球化学的手法により，地殻・マントルにおける水やマグマ分布，応力場，流動変形場，温度構造を推定し，地殻流体やマグマ生成，地震・火山噴火発生場を理解する．また，断層破砕帯を通過した深部流体を含む温泉水などの溶存成分をモニタリングし，その時間変化と断層の応力状態との比較から，内陸地震の載荷機構を調べる．

○国土地理院は，ひずみ集中帯などにおいて，GNSS・SAR 干渉解析・水準測量による高密度地殻変動観測を実施し，非地震時及び東北地方太平洋沖地震発生後の余効変動発生下における地殻変動を明らかにする．東北地方太平洋沖地震の粘弾性緩和に伴う地殻変動の数値シミュレーションを実施する．過去に発生したマグニチュード 6 ～ 7 クラスの地震について，断層モデルの推定と余効変動の解析を行う．

(4) 地震現象のモデル化

これまでの研究で得られた日本列島周辺のプレート境界面の形状や地震波速度構造，地震発生層の下限などの構造情報を整理し，それらを評価して，多くの研究者が利用できる標準的な構造共通モデルを構築する．また，構造についての情報が不足している領域での観測や，現時点で未推定の粘弾性などの物理パラメータを得るための観測を実施し，共通モデルを補う．さらに，摩擦構成則や複雑な破壊現象を取り入れたより現実に近い断層物理モデルを構築する．これらの構造共通モデルと断層物理モデルを利用して，地震発生機構の定量的な理解を進め，地震やプレート境界での滑り過程を再現するシミュレーションに応用する．

ア．構造共通モデルの構築

○大学及び海洋研究開発機構は，日本列島全体及びその周辺域を対象領域とする構造共通モデルの構築を進める．東北地方太平洋沖地震後の地殻変動・地震活動などを支配するひずみ・応力状態の定量的な評価に必要な構造要素を考慮しつつ，沈み込むプレート境界，リソスフェア・アセノスフェア境界，モホ面，地震発生層の下限，震源断層の形状，日本列島下のマントル及び地殻の岩石・レオロジーモデルを構築する．

イ．断層滑りと破壊の物理モデルの構築

○大学は，プレート境界，活断層，その他の地震発生域における地球物理及び地球化学観測や野外観察，室内実験や数値シミュレーションなどを通じて，断層帯の微細構造や間隙流体の存在が断層強度や破壊過程に及ぼす物理･化学的影響を明らかにする．その上で，断層周辺の不均質構造と地震断層破壊との力学的相互作用や，断層帯の間隙流体と摩擦滑りとの非線形相互作用を取り入れた定量的な地震発生モデルを構築する．また，大学及び防災科学技術研究所は，各種実験に基づく摩擦構成則の改良や複数の素過程の相互作用を考慮した断層滑りモデルを構築し，地震発生モデルの高度化を進める．また，地震発生場における物理量分布の統計的性質と地震活動の特徴を比較し，大地震発生に至る過程における地震活動変化の特徴を明らかにする．さらに，粘弾性媒質中でのプレート境界地震と内陸地震を連成させた地震サイクルシミュレーションを行い，プレート境界地震と内陸地震との力学的相互作用について理解する．

(5) 火山現象のモデル化

大規模な災害を引き起こす可能性があるマグマ噴火や，噴火規模は小さいものの発生の予測が困難で災害を引き起こす可能性が高い水蒸気爆発や火山ガスの噴出を予測するため，火口近傍や火山周辺における多項目の観測や火山噴出物の解析から，先行現象とそれに続く噴火現象を把握し，それら諸現象のモデル化を行う．その際，火山の性質や噴火様式の共通性や相違に着目し，主にマグマ噴火を主体とする火山，及び水蒸気爆発の発生しや

すい熱水系が発達した火山に分けて，比較検討する．マグマの挙動についての理論的及び実験的研究の成果を取り入れて，両タイプの火山のモデル化を図る．

ア．マグマ噴火を主体とする火山

○大学は，マグマ噴火を主体とする活動的火山である有珠山，浅間山，伊豆大島，桜島などを対象にして，火山性地震，地盤変動などの火山現象，火山体の地震波速度や比抵抗の構造とその時間変化，火山灰・火山ガスなどの成分変化を総合的に理解し，火山現象の定量化を行う．噴火に先行するマグマの蓄積・上昇過程と初期噴火発生後のマグマの移動と発泡・破砕などの過程の多様性を理解し，そのモデル化を行う．また，他の火山も含めて，海外の火山との比較研究を定量的な解析結果を中心に進め，マグマ活動に見られる共通性を抽出し，室内実験や数値計算の結果との比較から，より一般的化された噴火過程のモデル構築を目指す．

○産業技術総合研究所は，桜島，伊豆大島，浅間山などにおいて，火山ガスや固形噴出物の分析・解析，電磁気観測に基づいてマグマ活動機構の解明とモデル化を行う．

○気象庁及び国土地理院は，火山活動に伴う地殻変動源のモデル化及び即時推定と変動予測の研究を行う．

○海上保安庁は，南方諸島及び南西諸島の海域火山において，航空機を使用した目視観測，熱画像撮影や磁気測量などの定期巡回監視を実施し，火山内部の磁気的・熱的構造の異常や時間変化を求める．また，測量船を使用して海底地形調査，地殻構造探査や噴出物採取などの多項目にわたる観測を実施する．また，伊豆諸島海域において GNSS 連続観測を実施し，火山活動に伴う地殻変動を検出する．

イ．熱水系の卓越する火山

○大学は，熱水系の卓越する十勝岳，吾妻山，草津白根山，阿蘇山，口永良部島，焼岳などの火山を対象に，火口近傍を含む火山体周辺において地震観測，地殻変動観測や地球電磁気観測，物質科学的分析を行う．これらにより，火山熱水系の構造についての物理的・化学的特性や時空間変化を明らかにするとともに，火口浅部のマグマや火山性流体に関わる異常現象の検知事例を増やし，その機構の定量的な理解を深める．また，水蒸気爆発の履歴やマグマ噴火への移行について，物質科学的・地質学的手法による再検討を行い，熱水系が卓越する火山の中長期的活動を把握する．

○大学は，海域火山の火山性流体の化学組成の特徴を明らかにし，海域火山の活動を評価する新たな手法の開発を目指す．

○気象庁は，雌阿寒岳，草津白根山などにおいて，全磁力の連続観測及び繰り返し測量を実施し，火山活動の消長に応じた空間的・時間的な磁場変動とその原因を客観的に評価する手法の開発を進める．

○産業技術総合研究所は，電磁気・熱及び地球化学観測に基づき熱水系の実態を明らかにするとともに，シミュレーション手法を活用して熱水系の時間変動を定量的に解析する．

２．地震・火山噴火の予測のための研究

地震や火山噴火現象の科学的理解に基づき，地震発生や火山噴火，及び地震活動や火山活動の予測研究を行う．地震発生予測では，近年プレート境界の固着状況が明らかになり，観測と数値シミュレーションとの対比が可能になりつつあるプレート境界地震の長期評価に研究の重点を置く．中・短期的な予測を目指すため，観測データと数値シミュレーションの比較や統計学的な地震活動評価手法を開発する．また，地震に先行して発生した現象のうち，十分な精度を持つ観測から得られたものを統計的に評価し，その物理･化学過程の理解を進める．火山噴火予測では，幾つかの活動的な火山において，噴火履歴に基づいて，噴火事象系統樹を作成する．さらに，噴火規模・その推移の予測を目指して，観測や理論研究に基づき噴火事象の分岐過程と観測データの関係を明らかにし，事象分岐論理の構築を進めて，火山噴火の規模，推移，様式の予測を目指す．

(1) 地震発生長期評価手法の高度化

史料，考古データ，地質データ等と近年の観測データとを統合して得られる地震発生の繰り返し特性の多様性を加味し，地震発生長期評価の高度化のための研究を行う．プレート境界で発生する大地震については，観測データから推定されるプレート固着状態を考慮した数値シミュレーション等により，新たな地震発生の長期評価手法の開発を行う．

○大学及び海洋研究開発機構は，超巨大地震や連動型地震などを含めた地震発生サイクルの数値モデリングを行い，地震再来間隔と規模に多様性が生じる発震機構を明らかにするとともに，南海トラフや日本海溝，千島海溝などにおける大地震の発生パターンとの比較を行う．さらに，実際の地震発生履歴に類似した発生のパターンを再現できる複数のシナリオを用意して，地殻変動や津波などの観測データとの比較等により，モデルと観測との整合性を評価する．

○大学は，航空レーザー測量による数値標高モデルを利用して，活断層とずれ量のマッピングを実施する．変動地形に基づき活断層で発生する大地震のモデルを

構築する手法を開発し，活断層の活動特性を推定する．

(2) モニタリングによる地震活動予測

物理モデルに基づく数値シミュレーションと地震活動や測地データ等の観測データを比較することにより，プレート境界滑りの時空間発展機構の包括的理解を目指す．さらに，プレート境界滑りを予測する手法を開発する．また，地殻ひずみ・応力の変動を，断層滑りや広域応力場を基に推定し，地震・火山現象に及ぼす影響を評価する．統計的モデルを用いて，地震活動の予測実験を行うとともに，その予測性能を評価する．

ア．プレート境界滑りの時空間発展

○大学及び国土地理院は，海陸の地殻変動観測データから，マイクロプレート運動や背弧拡大の効果を考慮に入れて，プレート運動とプレート境界における固着状態の推定を行う．大学及び防災科学技術研究所は，日本列島及び世界で発生する小～中規模相似地震カタログを作成し，その活動度からプレート境界における固着状態の時空間変化を高精度にモニタリングする手法を開発する．海洋研究開発機構は，長期坑内計測を含む海底ケーブルネットワークを中心としたリアルタイム・モニタリングシステムを構築・運用し，海底でのプレート境界の固着状態の時空間変化の即時的な検出に努める．海上保安庁は，海底地殻変動等の観測を強化し，プレート境界の固着状態の把握に努める．

○大学，気象庁及び産業技術総合研究所は，日本各地で発生する各種ゆっくり滑りとそれに誘発される群発地震，低周波地震，低周波微動の活動を観測し，これらの時空間発展を明らかにし，ゆっくり滑りを含む多様な滑り現象との相互作用の理解を進める．大学，気象庁，防災科学技術研究所，産業技術総合研究所及び海洋研究開発機構は，これら滑り現象のモニタリングと数値シミュレーションに基づくプレート境界滑りのモデル構築や地震発生予測を試みる．また，大学は，過去のデータの再解析を行い，ゆっくり滑りの発生履歴を長期にわたって調査し，ゆっくり滑りと大地震の発生サイクルとの関係を明らかにする．

○大学及び海洋研究開発機構は，数値シミュレーションと地殻活動データとの比較により，現在のプレート運動を説明できる摩擦パラメータ等を推定するデータ同化手法を開発する．さらに，大地震発生前後に観測される地殻変動場を，このデータ同化手法に準即時的に適用する技術の開発を進める．ゆっくり滑りや東北地方太平洋沖地震前後の地殻活動を対象として，データ同化手法の検証実験を行う．また，東北地方太平洋沖地震後の地殻活動や南海トラフのプレート境界滑りを対象として，予測の試行を行う．

○気象庁，防災科学技術研究所及び海洋研究開発機構は，海陸の地震観測網等から得られるデータなどを逐次的に解析することによりプレート境界滑りの異常を検知する技術や，将来発生する海溝型巨大地震の切迫度を評価する手法の開発を進める．産業技術総合研究所は，過去の南海地震前の地下水変化のメカニズム解明の研究を進める．

イ．地殻ひずみ・応力の変動

○大学は，高密度な観測によるデータを利用して，内陸で発生する地震の高精度な震源位置，発震機構解，相似地震のカタログを作成し，地震活動と応力場などの関係を明らかにする．また，複雑な断層構造と地震活動の関係を調べる．大学及び産業技術総合研究所は，微小地震や深部低周波微動の解析から応力の時空間変動を推定する手法を開発する．

○大学は，鉱山等において，震源ごく近傍での絶対応力・ひずみ変化を測定し，応力と地震活動の関係を調べる．

ウ．地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

○大学は，統計モデルや物理モデルに基づいて現在と過去の地震活動を評価し，将来の地震活動を予測し，観測データに基いて予測の妥当性を評価・検証する定量的予測・検証実験を継続する．同時に，大地震や巨大地震の確率的予測の検証方法を検討する．なお，日本全体の地震活動予測とともに，首都圏を含む関東地域などの限定された地域での地震活動の予測・検証実験も行う．先行現象に基づく予測の検証実験にも取り組む．

○地球規模の広域な地震活動や，世界の様々な地域の地震活動の予測・検証実験を行うために，国際的な地震活動予測可能性共同実験（Collaboratoryforthe Study of EarthquakePredictability：CSEP）に継続して参加する．世界標準の地震発生予測モデルや検証方法の改善，実験方法の改良にも貢献する．

○大学は，断層の空間分布や地震活動履歴，余震活動などを考慮して，地震サイクルの中の地震活動の特徴の変化を明らかにする．また，世界の多様な地震活動を再解析して，各地域の地震発生場の階層構造の特徴付けを行う．これらの特徴を，既存の確率論的地震活動モデルに取り入れる方法を開発して予測を試行する．

(3) 先行現象に基づく地震活動予測

これまで報告されている地震に先行して発生したとされる現象について，地震発生との関係の有意性を統計的

に評価する．また，先行現象と地震発生を結び付ける物理・化学過程を明らかにし，先行現象と地震発生の関連を科学的に検証することを目指す．

○大学は，地震活動や電磁気現象などの大地震に先行すると報告されている種々の現象について，現象と地震発生の相関を客観的に評価する．また，それぞれの現象の予測能力を定量的に評価する手法を開発する．

○大学は，中・短期的な地震活動変化の客観的検出に基づいた大地震発生の予測モデルを開発し，その統計的評価を行う．また，最近世界各地で発見され始めた極微小な地震からなる前震活動の検出例を増やし，その特徴を調査する．岩石実験における試料の破壊や不安定滑りに先行する微小破壊についても，新たな計測方法による実験のデータを用いて再検討し，大地震の前震活動との対応も考慮して，その特徴を明らかにする．

○大学は，全国の放射線管理施設の協力の下，大気中ラドン濃度のデータを広範囲に収集・分析し，地震・火山噴火・ゆっくり滑り・地殻ひずみなどの活動と比較する．また，地震に伴う電磁気現象の観測を ULF, VLF, VHF 帯にわたり総合的に行い，さらに，衛星データも利用して，電磁気現象と地震発生との関係について統計的に検証するとともに，その発生メカニズムの追及のため地圏，大気圏，電離圏結合に関する観測研究を行う．地下水に現われる地震の先行現象の発生機構をモデル化し，観測によって検証する．

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

これまで作成してきた幾つかの火山の噴火事象系統樹に，最新の噴火履歴の情報や，マグマ供給系の進化に関する知見を加え，噴火事象系統樹の高度化を行う．現在の火山学的知見及び本研究計画から得られる成果に基づいて，火山噴出物の特性や観測データと，噴火事象の分岐の関係からその機構を明らかにし，噴火予測に結び付く事象分岐論理を構築する．

○大学及び産業技術総合研究所は，噴火履歴・推移，マグマ供給系の時間変遷，及び地球物理・地球化学観測研究の成果に加え，実験等で得られた物理モデルを導入することにより，これまでに作成されてきた噴火事象系統樹の高度化を目指す．また，浅間山，十勝岳及び阿蘇山の噴火事象系統樹を作成する．さらに，富士山や低頻度大規模噴火について噴火事象系統樹を試作し，データの整理と作成上の問題点を洗い出す．

○大学は，火山噴火の発生や規模，様式，推移の予測や中長期的な火山活動の変化の予測を目指し，地震・地殻変動・電磁気現象などの地球物理学観測，火山ガスや火山噴出物の物質科学的解析，理論・実験研究の成果などから，噴火事象及び火山活動の事象分岐論理を構築する．その際，海外の火山の例も参考にする．

○防災科学技術研究所は，火山の噴火様式や推移予測，火山活動分岐判断のため，基盤的火山観測網によるデータの解析，噴火予測システムの開発，数値シミュレーション技術の開発，及び国際火山データベース WOVOdat の運用により，火山活動分岐判断に資する研究を実施する．

3．地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

地震・火山噴火という自然現象が引き起こす地震動，津波，火山灰や溶岩の噴出などの「災害誘因」が，自然・社会の「災害素因」に働きかけ，その作用・影響が顕在化して災害が発生するという視点から，地震・火山噴火による災害誘因の自然素因への作用，社会素因への影響，社会的影響の波及効果を総合的に研究する．このため，理学，工学，人文学，社会科学などの専門知を有機的につなげた複合学術領域として研究を推進し，成果を効果的に社会還元する．地震･火山噴火の災害事例の研究や，地震･火山噴火の災害発生機構の解明を進めるとともに，地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法や即時予測手法についても研究を進める．また，災害軽減のための情報発信について研究を実施することにより，防災・減災に貢献する．特に，災害情報の高度化のためには，関連する多くの研究分野の研究者や行政機関と連携し，地震・火山現象や災害の基礎情報の啓発や予測情報の利用方法に関する研究も行う．

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

強震動，津波，火山灰や溶岩の噴出などの災害誘因が，地形・地盤など災害の自然素因のみでなく，災害への曝露人口，建造物の脆弱性，社会の回復力などの社会素因とどう結び付いて災害を出現させたかを，近代的な観測や調査データ，近代観測開始以前の史料に残る地震・津波・噴火の記載に基づき長期的視野をもって明らかにする．近代的な観測・調査データや史料より，地震･火山災害の特性や地域性を明らかにし，データベース化を図るとともに，地震・火山噴火による災害と社会環境の関係を明らかにする．さらに，国内外の事例研究により社会の地域的特性と地震・火山災害との関係を明らかにする．

○大学は，近代的な観測や調査データ，近代観測開始以前の史料データベースなどの解析から，歴史時代の地震・津波・火山噴火における対応や教訓などを多角的に分析するとともに，自然災害史の立場から今後の防災・減災施策に有用な知見を得る．また，地域特性を持つ過去の災害事例について，その災害誘因を明らかにする．

○我が国だけでなく，海外の災害の事例を収集して，異なる社会的環境での地震・火山噴火がもたらす災害誘因の影響を解明する．

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

地震・火山噴火がもたらす災害誘因が災害素因に与える作用力だけでなく，自然環境や社会が受ける損傷，破壊などの影響，災害による経済機能の低下，被害拡大，社会混乱などの社会・経済的影響の波及効果を検証し，災害発生機構を解明する．それらの誘因と素因の関係において，二次災害の抑止，被害の軽減化，社会混乱の防止などの防災・減災に資するための誘因研究の新たなモデルを構築する．特に，社会的影響の大きな首都圏など大都市圏で想定される地震災害については，災害発生機構を重点的に解明する．

○大学は，強震動が増幅され，人口密度が高い場合が多い堆積平野・堆積盆地などを対象にして，地震災害の素因と誘因の関係や災害発生機構を多面的に分析し，災害を制御する要件を明らかにする．特に，首都圏や阪神圏などの大震災の可能性に関する研究を進める．

○大学は，誘因の原因となった地震や火山噴火と被害の地理的分布との関係を調べ，脆弱性概念と結び付けて災害要因（素因と誘因）を分析する．高知県，三重県，静岡県等，南海トラフの巨大地震被害が想定される地域を対象に住民の意識調査などを行い，地域の課題解決の筋道を見出す．

(3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

断層破壊過程の推定や伝播過程の計算手法改良などにより，地震動と津波の事前評価手法の高度化を行う．火山噴火や山体崩壊による津波についても検討する．また，甚大な被害を及ぼす強震動や火山噴火が引き起こす地滑り現象の発生ポテンシャル評価と事前評価手法の高度化を行う．

○大学及び産業技術総合研究所は，過去のプレート境界型地震や内陸地震などによる強震動や長周期地震動・津波災害の発生要因の検証に基づいて，震源断層モデルや堆積盆地などの地下構造モデルの高度化を進めるとともに，それらに立脚した広帯域強震動・津波評価手法を研究する．

○大学は，地震動や火山噴火に伴って発生する地滑り現象について，地形・地質的要因の調査・分析，地震動観測，シミュレーションなどを行い，発生のポテンシャル評価と事前評価手法の高度化を進める．

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

地震発生後の地震波・津波などの観測データや，それらから速やかに推定される震源特性を用いて，強震動と津波の即時予測手法の高度化を行う．火山噴火の特性の即時推定や，それらによる様々な災害の予知につながる方法を検討する．また，火山灰の監視技術の向上と，数値シミュレーションを用いた予測方法の高度化を図る．

○大学，気象庁及び国土地理院は，大地震の即時的規模・断層面推定と高精度津波即時予測のため，GNSS 観測データ，地震観測データ，沖合地震津波観測網の津波観測データ，津波が生成する磁場観測記録などを活用し，海陸の地殻変動を自動検知する技術を高度化する．また，発震機構や断層面上の滑り量分布や余震分布を早期に自動推定する手法を開発する．大学及び気象庁は，即時的地震，地殻変動，津波波形情報などにより，地震動や津波などを高速かつ高精度に予測する手法を開発する．

○大学は，定量的降灰予測に資する，爆発的噴火に伴う火山灰噴出率，噴煙柱の到達高度や粒子密度の時空間変化を，GNSS データの準即時的解析やレーダー観測，数値シミュレーションなどにより推定する方法を構築する．気象庁は，レーダーや衛星などを用いた噴煙などの観測手法の高度化，移流拡散モデルによる降灰・噴石の数値予測手法の高度化，地震・空振・地盤変動データを用いた噴火規模の把握方法の開発を行う．

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

平常時における「災害啓発情報（特に，地震・火山噴火に関わる科学的情報）」，発災直前の「災害予測情報」，発災直後の「災害情報（特に，地震・火山噴火がもたらす二次自然災害の可能性）」，復旧・復興期の「災害関連情報（特に，当該災害を受けて今後の災害発生の見通し）」など時には不確実さを伴う情報を災害軽減に有効に役立てるための方法を検討し，災害素因の影響も考慮したリスク・コミュニケーションの方法論を研究する．

○大学は，地震の長期評価，強震動ハザードマップなどの災害情報が災害軽減に有効に活用されるための情報コミュニケーション手法について研究する．

○大学は，桜島火山等をモデルケースとして，火山噴火事象系統樹及び火山活動の分岐論理を避難計画の立案・実施などの地域防災対策などに反映させる方策について研究する．

○大学は，地理空間情報を活用し，土地利用や人口，避難施設などの地域情報や住民の避難行動，災害関係の情報流通などを分析し，地域開発と災害に対する社会脆弱性との関係を明らかにする．

○気象庁は，最新の研究成果，技術の進展や社会要請等を踏まえて実施する津波警報，緊急地震速報，長周

期地震動に関する情報，噴火警報，降灰予報などの防災情報の改善のための検討で得られた知見や成果を共有する．これにより，研究の推進に資する．

4．研究を推進するための体制の整備

観測研究の成果を国民の防災・減災に効果的に役立てられるように，行政機関等の関連機関との連携の下に，適切な計画推進体制を整備し，計画を推進する．地震火山現象の理解とその予測研究に必要な，基盤となる観測網の維持・拡充を進め，データを継続的に取得するとともに，膨大なデータを効率的に運用できる体制を検討する．発生すると甚大な被害をもたらす低頻度で大規模な地震･火山現象を十分に理解して災害の軽減を図るには，防災研究に関連する工学，人文・社会科学の研究分野との連携が不可欠であることから，総合的かつ学際的研究を進める体制を構築する．また，長い時間間隔で発生する地震・火山噴火を対象とした研究の継続的な推進や研究成果の適切な利活用のために，長期的視点に立ち人材を育成する．さらに，観測事例を増やすために国際的な共同研究を推進するとともに，国際交流を進め，各国の防災研究を学ぶことにも努める．

(1) 推進体制の整備

社会の中の科学としての観点から，地震・火山防災行政，自然災害研究の中で本計画がどのように貢献するべきかを十分に踏まえた上で計画を推進する体制を整備する．計画の推進のためには，進捗状況の把握，計画の達成度の評価，計画実施に関する問題点と今後の課題の整理を常に行う必要がある．また，各機関の実行計画に関する情報交換及び協力・連携方策の検討を行い，成果が効果的に利活用される仕組みを構築することも重要である．以上の点を考慮し，計画を推進する体制を強化する．

○地震・火山防災行政，防災研究全体の中で本計画がどのように貢献すべきかを十分に踏まえた上で実施計画を立案する．特に，地震本部の策定する「新たな地震調査研究の推進について」との整合性にも留意する．

○地震火山部会は，学術的な研究の動向にも配慮しつつ，各年次の計画立案，進捗の把握，取りまとめを行い，毎年の研究成果を取りまとめて公表するとともに，3年次に計画全体の自己点検を行い，外部評価等を行う．また，計画進捗，成果について地震本部と情報交換し，「新たな地震調査研究の推進について」との整合性を確認する．なお，各年次の計画の立案にあっては，本計画の実施項目をそれぞれ独立して推進するのではなく，項目間の連携を強化し，総体的に計画を推進するように留意する．

○本計画は，地震学と火山学を中核とし，防災学に関連する工学や人文・社会科学の研究者が参加する総合的な学際研究として推進することから，学術的な災害研究関連組織との連携が不可欠であり，推進体制を一層強化する必要がある．そのためには，研究推進体制の抜本的改革を目指した制度設計を，大学の地震・火山噴火予知研究協議会を中核として行う．

○「地震・火山科学の共同利用・共同研究拠点」である東京大学地震研究所と「自然災害に関する総合防災学の共同利用・共同研究拠点」である京都大学防災研究所とは，地震発生・火山噴火が災害誘因となる事象に関して共同研究を推進し，複合学術領域としての地震・火山噴火に関する災害科学の発展のために，拠点間連携を図る．

○地震予知連絡会は，地震活動・地殻変動などに関するモニタリング結果や地震の予知・予測のための研究成果などに関する情報交換を行うことにより，モニタリング手法の高度化に資する役割を担う．

○火山噴火予知連絡会は，火山活動の総合評価や，噴火警報・火山情報の質の向上に向けた技術的検討を通じて火山防災に資するとともに，研究成果・観測結果の情報交換，火山観測データの流通・共有の促進，活発化した火山における臨時観測に関する総合的な調整，研究成果の社会への発信などを通じて，火山噴火予知研究の推進に寄与する．

(2) 研究基盤の開発・整備

日本全国に展開される地震観測網や地殻変動観測網などの観測基盤を維持するとともに，近年新たな研究成果が得られている海域や火口近傍などにおける観測体制を強化する．観測データ等の基礎的資料，構造モデルやソフトウエアを含む研究成果，観測データの自動解析結果をデータベース化し，これらを共有することにより効率的に研究を進める．これらの観測網による大量の地震･火山観測データを効率的に流通させるためのシステムを構築する．また，関連機関が連携して効率的に臨時観測等を行う体制を整える．海域や火口近傍などの観測困難域において使用可能な観測機器開発を行うとともに，宇宙技術による地殻活動や地下状態のモニタリング技術の高度化を図る．

ア．観測基盤の整備

○防災科学技術研究所は，基盤的地震観測網について安定的な運用を継続するとともに，日本海溝海底地震津波観測網の整備・運用を行い，良質な観測データの取得・流通を図る．また，重点的に観測を強化すべき火山について観測施設の整備・運用を行う．これにより得られる観測データについては，全国の大学が運用

する観測網のデータとの共有化を進める．

○大学は，全国の陸域，海域及び火山周辺に設置された地震・地殻変動などの各種観測網から得られるデータを即時的に流通させるシステムを運用するとともに，大容量かつ多項目の観測データを確実に，かつ効率的に流通させるための通信方式等の開発を行う．

○気象庁は，津波警報や地震情報等を適切に発表するため全国に展開している地震計及び震度計，東海地域を中心に展開しているひずみ計などの観測を継続するとともに，文部科学省と協力して，大学，防災科学技術研究所など関係機関の地震観測データを合わせて一元的に処理し，その結果を大学，関係機関に提供することにより，研究の推進に資する．

○国土地理院は，GNSS 連続観測（GEONET）による地殻変動連続観測を継続的に実施し，南海トラフ巨大地震の想定震源域において地殻変動連続観測，絶対重力観測，及び水準測量を行う．また，局所的な地殻変動を詳しく捉えるために水準測量，GNSS 測量，重力測量，自動測距・測角装置などによる観測を行う．全国を網羅する密度での地磁気の連続観測と富士山中腹における全磁力の連続観測を行う．陸域観測技術衛星 2 号（ALOS-2）等を利用した SAR 干渉解析を定期的に実施し，地震・火山活動などに関連する地殻変動情報を整備・更新する．

○気象庁，国土地理院及び海上保安庁は，潮位連続観測を継続し，地殻変動に伴う地盤の上下動を連続的に検知するとともに，津波の発生状況を把握･公表する．また，国土交通省の関係機関が所有する潮位データを集約して即時的に共有し，国土交通省防災情報提供センター等において引き続き公表する．

○国土地理院は，航空機 SAR により全国の活動的な火山の火口等の地形測量を実施し，活発な噴火の際には地形変化を明らかにする．また，地殻活動が活発化した地域等において GNSS 火山変動リモート観測装置による連続観測及び重力観測を行う．また，超長基線電波干渉法（VLBI）測量を実施し，国際地球基準座標系（ITRF）に基づいた位置基準を維持管理して，各観測局の位置情報の算出と日本列島の位置基準の高精度化を行う．

○気象庁は，噴火警報等の情報の発表のため，火山噴火予知連絡会において選定された，火山防災のために監視・観測体制の充実などの必要な 47 火山について，監視観測を継続するとともに，それ以外の火山も含め，火山活動に変化が生じた場合などに，必要に応じて火山機動観測を実施し，関係機関の協力も得ながら監視体制の強化を行うことにより，研究の推進に資する．さらに，地殻の活動や火山活動を的確に検出するため地磁気の基準観測と，日本全域の全磁力分布の解析に資するための全磁力精密観測を継続する．

○海上保安庁は，東北地方太平洋沖地震震源域や日本海溝及び南海トラフ沿いの海溝で，海底地殻変動観測を実施するとともに，プレート境界域等において海底変動地形等の調査を実施する．また，伊豆諸島海域において GNSS 連続観測を実施するとともに，DGPS 局のデータを利用して地殻変動を検出する．さらに，海域火山において航空機や無人測量船等などによる機動的観測や人工衛星によるリモートセンシング技術を活用した観測を実施し，船舶の安全航行確保のため，必要に応じて迅速に航行警報等による情報提供を行う．

○産業技術総合研究所は，南海トラフの巨大地震発生予測のため，東海～紀伊半島～四国周辺で地下水等総合観測網を整備・運用する．また，気象庁にリアルタイムで観測データを提供する．さらに，観測データのグラフを公開して毎日更新する．

イ．地震・火山現象のデータベースとデータ流通

○気象庁は，全国地震カタログを作成するとともに，発震機構解析及び大地震時の震源過程解析を実施し，それらの成果の公表を継続する．過去に遡った震源決定を行うとともに，大学等による検測値を取り込み，総合的な地震カタログの作成を継続する．

○国土地理院は地殻活動総合解析システムのデータベース（水準測量，GNSS 連続観測（GEONET），潮位観測）を維持･更新するとともに，ユーザーインターフェースの改良や機能拡張を行う．また，監視・観測体制の充実などが必要とされた火山を対象に，火山防災に資する基礎的な地理空間情報を整備する．さらに，全国活断層帯情報（都市圏活断層図）を整備する．GNSS 連続観測の観測点やデータの所在などの情報を一元的に得ることのできる GNSS データクリアリングハウスを維持管理し，GNSS データの流通に寄与する．

○大学は，ひずみ・傾斜データ全国流通システムを GNSS データ等にも拡張し，震源・津波・火山噴火の即時推定などに利用できる基盤データを整備する．また，機動的な臨時観測で取得する多項目のデータを即時的に流通，処理，管理するシステムを開発する．さらに，過去に取得した地震，地殻変動，電磁気，火山ガスなどの観測データや，地震波速度構造モデルや解析ソフトウエアを含む本計画の研究成果をデータベース化し，計画参加者が共有できるシステムを構築する．

○海上保安庁は，海域火山基礎情報図の作成を継続し，海域火山データベース等の高度化を図る．

○産業技術総合研究所は，地震･火山に関するデータベー

スを引き続き更新・運用する．アジア・太平洋地域の地震・火山災害情報に関するデータベースを，住民が容易に利用できるようにするため，ワークショップの開催等により意見を集約し，課題解決に努める．

○気象庁は，地磁気基準観測及び全磁力精密観測の成果を引き続きデータベース化し，迅速に公開するとともに，国際的なデータセンターに提供する．

ウ．観測・解析技術の開発

○大学は，海底に設置する広帯域地震計の精度向上，海底面の上下変動や傾斜を測定するセンサーを面的に展開する技術の実用化に向けた開発を行う．また，巨大地震の滑り域での観測を可能にする超深海域の測地観測の技術の開発や海域観測網の高度化を進める．

○大学は，光技術等を利用し，地下深部の高温下において地震・地殻変動などを総合的に観測できる装置の開発を行う．また，高密度アレイ観測や臨時観測に利用できる小型のひずみセンサーの開発を行う．

○大学は，噴火時に火口撮影や火山ガスの採取，各種観測を火口近傍で安全に実施する技術開発を行う．火山浅部の構造を高分解能で得られる宇宙線（ミューオン）を利用した観測装置の開発を進める．また，人工衛星を利用したリアルタイム火山観測システムの高度化を進める．

○大学は，地震･火山噴火発生場におけるひずみの変化，地殻内流体の移動などによる微小な地震波速度構造の時間変化を捉えるための探査技術の開発を進める．

○海上保安庁及び大学は，GPS－音響測距結合方式による海底地殻変動観測の一層の高度化を進め，従来よりも短時間で2～3センチメートルの観測精度が得られるよう，効率的で安定した計測技術の開発を行う．

○国土地理院は，電子基準点観測データの誤差特性を総合的に分析する手法を開発し，GNSS連続観測網の地殻変動情報を高度化する．GPS以外の測位衛星への対応を進めるとともに，急速に進行する地殻変動の時間推移を精度良く推定する技術開発を行う．

○大学及び防災科学技術研究所は，宇宙航空研究開発機構と連携して航空機SARデータの高度利用による火山活動モニタリング手法の開発を行う．

○情報通信研究機構は，航空機搭載及び地上設置の先進的なリモートセンシング技術の開発をとおして，地震及び火山の被害状況把握やモニタリングの技術開発を行う．

○国土地理院は，GNSSデータを利用してSAR干渉画像内に含まれる電離圏の影響による誤差を低減する手法の開発を行う．国土地理院及び防災科学技術研究所は，複数のSAR画像を用いる干渉SAR時系列解析の技術開発を行い，地殻変動計測の精度向上を図る．また，これまで計測できなかった衛星進行方向の地殻変動成分の計測技術について研究を行う．

○海洋研究開発機構は，大学，宇宙航空研究開発機構と連携して，海底地殻変動観測技術の開発，構築と運用，深海型のシステムの開発を行う．

○防災科学技術研究所は，火山ガス・温度等の把握を目的とした航空機搭載型光学センサーの観測・解析技術の開発を進める．また，気象災害に関する研究と連携し，噴煙災害予測の高度化を目的とした噴煙観測技術の開発を進める．

(3) 関連研究分野との連携の強化

本計画が災害科学の一部として機能すべきであるという観点から，理学だけではなく工学，人文・社会科学などの関連研究分野との相互理解に努め，連携を強化する．地震や火山噴火現象の推移を理解して予測するには，近代的な観測の行われている期間が短すぎることから，過去の事例を調査する歴史災害研究を行うことが重要であり，歴史学や考古学との連携を進める．また，成果が効果的に防災・減災に役立てられるように，防災研究分野との連携も進める．

○近代的な観測の実施された期間を超える長期間の地震や火山噴火現象の推移を理解して，予測に役立てるとともに，歴史上重要な災害の研究を行うために，歴史学との連携を強化する．歴史学，考古学，地震学，火山学，地質学などとの学際研究は，長期的な見通しをもって行われる必要がある．このため，過去の地震と火山災害の史料，考古データを収集，集積し，地形・地質データと共に分析するために必要な歴史災害研究を行う組織の設立や研究者養成の方策を検討し，地震・火山災害軽減のための学際研究の推進に努める．

○災害科学に貢献すべきであるという認識から，理学だけではなく工学，人文・社会科学などの関連研究分野との連携を図り，地震・火山災害軽減の課題を解決するための学際研究を進める．このために，実施計画の立案，実施，成果報告の各段階で，関係研究分野の研究者の参画の仕組みを構築する．

○大学は，日本史史料の研究資源化に関する研究拠点と共同研究を始める．また，考古学との連携は新しい取組であり，全国の考古学の研究拠点である奈良文化財研究所と協力するなどし，考古学的な地震・火山噴火痕跡の調査・分析の方法について既存の学術領域を越えた議論を行い，そのデータ蓄積に着手する．

(4) 研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成

地震・火山噴火の発生予測の方法の構築とその検証のために，長期的な視点に立った人材の育成が不可欠である．その際，基礎的な学術分野だけでなく，観測や地質調査のフィールドワーク技術等の幅広い技術を習得した人材を，世代を超えて継続的に育成する必要がある．さらに，地震・火山災害の軽減を効果的に進めるため，地震・火山の専門教育を受けた人材が防災・科学技術に係る行政・企業・教育機関に携わる必要がある．このような観点から，複数の教育・防災業務機関が連携し，観測研究を生かした教育活動を継続して，若手研究者，技術者や，防災業務・防災対応に携わる人材を育成する．

○数十年から数百年を超える時間スケールを持つ地震・火山現象の理解と，地震・火山噴火の発生予測の方法の構築とその検証を行うために，継続的な人材育成を行う．その際，物理学，化学などの基礎的な学術分野だけでなく，観測や地質調査などのフィールド調査，観測機器の開発や数値計算技術などの幅広い技術が習得できるよう留意する．

○大学や研究機関等においては，観測研究に携わる研究者のキャリアパスを確保するため，若手の准教授，助教等のポストの確保や，ポストドクターの年齢制限等採用要件の柔軟な運用，民間企業等との共同研究を通じた就職先支援等の具体策を講じるよう努力する．また，若手研究者の研究資金を確保するため，国において，特に若手研究者を対象とした競争的研究資金制度等の充実を期待する．

○地震・火山の専門教育を受けた者が防災行政に携わることは，地震・火山防災を進める上で有効である．全国の大学や関連する行政機関が連携し，計画の推進による成果を若手・技術者と共有し，防災行政に携わる人材を育成する．

○本計画による地震や火山噴火の災害科学に関する成果を公表する成果報告会を毎年開催して，地球科学の専門家の研究推進や防災業務の改善に資する情報を提供する．

(5) 社会との共通理解の醸成と災害教育

国民や行政機関の担当者などに，防災・減災に関連する地震・火山現象の科学的知見や，現在の地震・火山の監視体制，予知や予測情報の現状を正しく認識してもらうため，関連機関が協力して，研究成果を社会に分かりやすく伝えるための取組を強化する．その基礎として学校教育や社会教育などに，地震・火山噴火についての豊富で体系的な情報を，自然科学的知識のみでなく，災害史や防災学など人文・社会科学分野の知識も含めて提供する．

○行政機関の担当者や国民に，防災・減災に関連する地震・火山現象の科学的知見や，現在の地震・火山の監視体制，予知や予測情報の現状を知ってもらうため，関連機関が協力して，研究成果を社会に分かりやすく伝えるための取組を強化する．

○自治体の担当者や住民に公開講座や公開講義を実施しながら，地震・火山現象の科学的知見や監視体制，予測情報の現状を分かりやすく伝えるための活動を推進する．また，災害対策に必要な情報を火山情報に連動させて収集・統合させてリアルタイムで表示するシステムを利用し，地方自治体や住民に火山防災対策の重要性を伝える．

○気象庁は，全国の気象台などで推進する地震・津波・火山に関する防災啓発活動において，専門家，関係機関，教育機関と連携し，防災担当者，国民，児童などに対して，監視体制等の現状，防災情報の利活用とともに，地震・火山の研究成果について社会に分かりやすく伝える．

○地震予知連絡会は，議事公開，重点検討課題などの検討内容の Web 配信などを通じて，モニタリングによる地殻活動の理解の状況，関連する観測研究の現状を社会に伝える．また，地震活動の予測手法の現状を報告，検討することで，地震発生の予知予測に関する研究の現状を社会に伝える．

○火山噴火予知連絡会は，火山噴火予知に関する科学的知見やそれに基づく火山活動の総合評価，噴火警報・火山情報の質の向上に向けた取組などを，社会に分かりやすく発信し，防災・減災に資する．

(6) 国際共同研究・国際協力

地球規模で発生する地震・津波，火山災害を，国際的な防災・研究機関と連携して研究する取組を強化する．日本だけでなく海外の他の地域の事例を研究する国際的な共同研究を行う仕組みを整備して国際交流を進め，各国の防災研究に学び，幅広い知見を得ることによって低頻度の災害の研究を行う．特に，欧米や地震・火山噴火が多発する国との共同研究やデータの交換を進め，国際的なデータベースの構築に協力し，それを用いた研究を推進する必要がある．さらに，開発途上国における地震・火山災害の防止・軽減に国際貢献するための体制の維持・整備を行う．

○低頻度の災害の研究をするために，国際的な共同研究によって海外の他の地域の事例を研究する．同時に，災害の軽減という観点から，本計画の成果を海外，特にアジア諸国の地震・津波，火山災害の軽減に役立ててもらう取組を行う．大学及び海洋研究開発機構は，

プレート境界浅部で発生するゆっくり滑りの発生メカニズムの解明を目指して，同様の現象が観測される海外の沈み込み帯において国際共同研究を継続的に実施する．

○気象庁は，国際地震センター，米国地質調査所，包括的核実験禁止条約機構，米国大学間地震学研究連合（IRIS）及び近隣国との地震観測データの交換などの組織的な連携・協力を通じて，また，航空路火山灰情報センター及び北西太平洋津波情報センターの国際協力業務や開発途上国における地震・火山の観測や津波警報の発表などの体制整備に必要な技術的な支援を通じて，国際的な研究活動の進展に寄与する．

○国土地理院は，アジア太平洋地域（キリバス，インドネシア，フィリピン）における GNSS 観測を継続して，現地機関への技術移転を行うとともに，これらの地域で発生する主な地震・火山噴火などに関連する地殻変動の検出を SAR 干渉解析により行う．

○海上保安庁は，国際レーザー測距事業（ILRS）に参加し，レーザー測距データの提供を継続することにより，日本周辺のプレート運動を把握する．

○大学は，海外の優れた地震・火山研究者や地震・火山噴火が多発する国の研究者を招聘する取組を行い，本計画の成果を積極的に海外に普及させるとともに，海外の優れた成果を取り込み，計画の効果的な推進を図る．その際，本計画で構築するデータベースは，国際的な学術交流を促進するように，海外の学術データベースとの整合性にも十分配慮して設計する．

○大学は，中国史料を中心に東アジアにおける地震・火山災害史料のデータを集積・研究するなど，東アジア及び世界の地震･火山災害に関する共同研究を進める．

災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第２次）の推進について（建議）

2019 年 1 月科学技術・学術審議会

序文

我が国では，阪神・淡路大震災や東日本大震災のような巨大な災害をはじめ，平成 3 年の雲仙岳噴火災害，平成 26 年の御嶽山噴火災害，平成 28 年熊本地震による災害など，地震や火山噴火による災害にたびたび見舞われてきた．地震や火山噴火の発生は今後も避けることはできないが，これらによる災害を軽減するためには，地震や火山についての科学的理解を進展させるとともに，これらが原因でもたらされる災害についても研究を進める必要がある．

科学技術・学術審議会では，研究者の内在的動機に基づく地震や火山に関する学術研究を推進し，この成果を活用することにより災害の軽減に貢献することを目標として，平成 25 年 11 月に「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」（平成 26 ～ 30 年度の 5 か年計画）を建議し，関係機関においてこの計画に基づく観測研究が実施されてきた．

このたび，災害の軽減に貢献することを目標とする考え方をさらに推し進めるべく，平成 31 年度からの 5 年間に実施する観測研究計画として「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第 2 次）」を取りまとめた．

本計画では，地震や火山現象の解明と予測に関する理学的研究を地震・火山災害に科学的に対処するための基礎と位置づけて引き続き発展させるとともに，災害の軽減に貢献することを意識した研究を推進するという視点をより明確にし，関連研究分野との一層の連携強化や観測研究の成果を活用して災害軽減に役立てるための方策の研究等を進めていくこととしている．計画の推進にあたっては，政府の地震調査研究推進本部など，関連する組織やプロジェクトとの連携をさらに進めて，学術研究の成果をもって社会に積極的に貢献することを目指していく．

Ⅰ．現状の認識と長期的な方針

１．地震火山観測研究計画のこれまでの経緯と位置づけ

1-1 地震火山観測研究計画のこれまでの経緯

地震や火山噴火による災害に頻繁に見舞われてきた我が国では，こうした災害による被害の軽減を目指して，地震や火山噴火についての観測研究が進められてきた．地震や火山噴火の発生位置，規模，時期を精度良く予測することを目指して，昭和 40 年から地震予知計画が，

昭和 49 年から火山噴火予知計画が，複数次の 5 か年計画として推進された．地震予知計画については，平成 7 年の阪神・淡路大震災を契機に総括し，前兆現象の捕捉のみに基づく地震予知には限界があると結論づけ，それまでの方針を転換し，地震発生の物理過程の解明とモデル化に基づいて地殻活動の推移予測を目指す「地震予知のための新たな観測研究計画」を平成 11 年度から開始した．この計画では，観測・実験事実や物理モデルに基づく地震発生モデルの構築が進められ，モデルと観測データの定量的な比較ができるまでになった．

火山噴火予知計画については，研究成果の蓄積により観測体制が整備された火山においては噴火時期をある程度予測できるようになった．また，マグマ供給系・熱水系のモデル化やマグマの上昇・脱ガスなどの噴火過程に関する理解が進展した．平成 21 年度からは，地震と火山噴火は海洋プレートが日本列島下に沈み込むという共通の地球科学的条件の下で発生するものであり，観測研究手法にも共通する部分があることから，地震予知と火山噴火予知の計画を統合し，「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」を開始した．

このように，これまでの長年にわたる計画により，地震・火山観測体制の整備が進み，地震や火山噴火の発生機構など現象の理解は進んだが，信頼性の高い予測は簡単ではないことも明らかになっている．地震現象については，大地震の長期評価には大きな不確実性がともなうとともに，大地震の短期的な発生予測の実現には至っていない．火山現象についても，噴火の規模や様式，推移の予測はある程度経験則が成立する場合以外は依然として困難な状況である．

平成 23 年には東北地方太平洋沖地震が発生し，主に津波により，死者・行方不明者が約 2 万人にのぼるなどの大きな被害がもたらされた．それまでの観測研究計画では，プレート境界大地震については多くの研究が行われていたが，我が国周辺においてマグニチュード 9 に達するような超巨大地震が発生する可能性は十分に検討されず，津波などの災害誘因の研究も不十分であった．この反省を踏まえて計画の見直しを行い，超巨大地震に関する当面の観測研究を推進することを主な内容とした計画を平成 24 年 11 月に建議した．しかしながら，5 か年計画の 4 年目での見直しであったため，東日本大震災の発生で明らかになった課題の全てに対応することは難しく，抜本的な見直しは平成 26 年度からの計画に持ち越された．

平成 24 年 10 月に「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」の外部評価がまとめられ，地震や火山噴火を科学的に理解し，適切な防災・減災につなげていくための観測研究に対する社会的な要請は極めて強いとされた．一方で，それまでの計画では社会の防災・減災に十分に貢献できていないことが指摘され，国民の命を守る実用科学としての地震・火山観測研究の推進，低頻度大規模な地震及び火山噴火の研究の充実，計画の中長期的なロードマップの提示，社会要請を踏まえた研究と社会への関わり方の改善などが求められた．この外部評価結果や，地震・火山学分野だけでなく防災学分野や人文・社会科学分野を含めた総合的かつ学際的研究の必要性が指摘された「東日本大震災を踏まえた今後の科学技術・学術政策の在り方について（建議）」（平成 25 年 1 月）を受けて，平成 25 年 11 月に「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」が建議され，平成 26 年度から実施されてきたところである．

1-2 地震火山観測研究計画の位置づけ

地震や火山噴火に関する新たな観測・解析手法の開発や，新たな地球科学現象の発見とモデル構築の多くは，研究者の自由な発想に基づく学術研究によって進展してきた．本計画は，このような研究者の内在的動機に基づく学術研究を推進し，その成果に基づき地震・火山噴火による災害の軽減に貢献することを目的としている．その実現のため，全国の大学，行政機関，国の研究機関等が連携して，本計画に基づく様々な観測研究を実施している．

一方，我が国の地震の調査研究は，阪神・淡路大震災後に設置された政府の地震調査研究推進本部（以下，「地震本部」）の下で一元的に推進されている．地震本部が推進する調査研究は，政府が設定する目標などに基づく戦略研究や政府の要請に基づく要請研究であり，既に確立している手法に基づいて実施され，成果についての見通しが立ちやすい内容となっている．こうした地震本部の調査研究の科学的・技術的な裏付けとなるのが，本計画による基礎的研究であり，地震本部の調査研究が今後も持続的に高度化されるためには，地震調査研究における課題を理解した上での学術研究が必要不可欠である．地震本部による「新たな地震調査研究の推進について－地震に関する観測，測量，調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策－」（平成 21 年 4 月，平成 24 年 9 月改訂）では，地震の調査研究は，科学技術・学術審議会測地学分科会（以下，「測地学分科会」）での議論の上で策定されてきた本計画による基礎的研究の積み重ねに基づいて実施されており，基礎的研究の進展なしには達成できないと述べられている．今後の地震調査研究についても，本計画による基礎的研究の成果を取り入れて推進していくことが

必要とされており，地震調査研究の高度化のためには，本計画は極めて重要な役割を担っている．また，本計画

による基礎的研究の成果は気象庁による防災情報などにも活かされており，基礎的研究の成果をより有効に活用するために，地震本部や行政機関等との連携を一層強化することが重要である．

火山の調査研究については，本計画で得られた火山活動や噴火機構，観測技術などに関する長年の基礎的な研究成果が，火山噴火予知連絡会における火山活動の評価，気象庁の火山監視業務や噴火警戒レベルの設定，活動火山対策特別措置法に基づいて地方自治体が設置する火山防災協議会における活用など，国や地方自治体の施策に活かされている．また，文部科学省は，平成 28 年度より本計画の基礎的研究の成果等を科学的・技術的な裏付けとして，我が国の火山観測研究をさらに飛躍させるとともに火山災害軽減への貢献を目指す「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」を実施している．今後も，こうした国等の施策と連携しながら計画を実施していくことが重要である．

2．「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」の成果と課題

2-1「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」の成果

平成 26 年度からの計画である「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」では，従来の地震や火山噴火の発生予測に重点を置く考え方から，地震・火山噴火の予測を目指す研究に加えて地震・火山噴火による災害誘因予測の研究も行い，国民の生命と暮らしを守る災害科学の一部として計画を推進するという方針転換を行った．この計画には，災害や防災に関連する理学，工学，人文･社会科学分野の研究者，近代観測以前の地震･火山噴火の解明のために歴史学・考古学分野の研究者が新たに参加し，従来からの地震学・火山学研究者との連携により，地震･火山現象の理解にとどまらず，地震･火山噴火による災害を知り，研究成果を災害の軽減につなげることを目指して実施されてきた．

計画開始以降，関連研究分野間の組織的な連携が進められ，地震・火山科学の共同利用・共同研究拠点である東京大学地震研究所と，自然災害に関する総合防災学の共同利用・共同研究拠点である京都大学防災研究所が拠点間連携共同研究を推進し，理工連携による南海トラフ巨大地震のリスク評価のための研究などを実施している．また，地震研究所と史料編纂所により，地震火山史料連携研究機構が東京大学に設置され，近代観測以前の地震・火山噴火を解明するため，歴史記録の網羅的な分析・データベース化を開始した．計画に参加する大学が連携して計画を推進するために設置されている東京大学地震研究所地震・火山噴火予知研究協議会（以下，「予知研究協議会」）には，平成 28 年度から行政機関や国立研究開発法人も含め，計画に参加する全ての機関が参加し，より強い連携の下で計画を推進する体制が整った．

地震・火山噴火に対する防災・減災に貢献するための基本となる地震・火山現象の解明と予測のための研究では着実に研究成果が得られている．南海トラフ沿いにおいて，海底地殻変動観測等によりプレート境界の固着状況の詳細が明らかになり，次の巨大地震の震源域推定に有用な成果が得られた．平成 23 年東北地方太平洋沖地震の発生前に，プレート境界でゆっくり滑りが発生し地震活動にも影響を及ぼした可能性が指摘されるなど，地震に先行して発生する現象の理解が進んだ．また，噴火の際の観測データや地質調査結果などに基づき，複数の火山について，起こりうる火山活動や噴火現象を時系列的にまとめた噴火事象系統樹の高度化が進み，噴火警戒レベルの設定や避難計画などの策定の際に科学的知見として活用されることが期待されている．新たに取り組んだ災害誘因予測の研究では，地震や火山噴火の発生直後に，地震や津波の規模，火山噴火の状況を実時間で把握し，さらに降灰の即時予測に役立てるための研究などが進展した．これらは，地震学・火山学の研究成果が災害軽減に直接的に貢献できる成果である．

東北地方太平洋沖地震，南海トラフの巨大地震，首都直下地震，桜島火山噴火については，総合的な研究を実施し，地震・火山に関する理学的研究成果を災害軽減につなげるための手法開発等の研究を異なる分野の研究者が連携して取り組んでいる．

平成 26 年度からの 5 か年計画の実施期間中，平成 26 年 9 月の御嶽山噴火や平成 28 年 4 月の熊本地震が発生し，大きな災害をもたらした．御嶽山噴火については，噴火直前に急激な山体膨張を観測し，比較的規模が小さい噴火であっても直前予測の可能性を示したほか，噴火前の火山活動の変化と応力場の関係が明らかになった．また，火山災害情報の在り方に関して住民への調査を行うなど，文理融合研究が実施された．熊本地震については，前震から本震に至るまでの過程が地震活動と地殻変動により詳細に解明されたほか，大きな被害をもたらした地滑りの発生過程の解明や避難行動に関する調査など，地震現象の解明研究のみではなく，地震による災害に関する研究が行われた．なお，御嶽山については，戦後最大の噴火災害をもたらしたことを受け，平成 26 年 11 月に「御嶽山の噴火を踏まえた今後の火山観測研究の課題と対応について」が測地学分科会地震火山部会によってまとめられ，今後の火山観測研究の体制や方向性，戦略が検討された．

2-2「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」における課題とその対応

地震学・火山学の研究成果を災害軽減につなげるために，災害や防災に関連する理学，工学，人文・社会科学などの分野の研究者と連携して推進するという方針転換後の最初の 5 か年計画である「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」のもとで，これまでに述べたように，分野連携で計画を推進するための様々な取組を行い，災害軽減につながる研究成果も出始めている．しかし，異なる研究分野の研究者が互いの研究について十分に理解するには時間がかかるため，異分野間の連携研究は萌芽的な内容が多いのも事実である．

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」の実施状況等のレビュー報告書（平成 29 年 1 月）などの資料に基づいて，平成 29 年 7 月にまとめられた外部評価では，防災・減災に貢献するための基本となる地震・火山現象に関する基礎的知見を生み出し，社会的波及効果の期待できる研究成果もあらわれてきており，災害の軽減に貢献する方向へ方針転換したことは適切と評価された．災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究をより一層推進していく必要があるとされた一方で，今後改善すべき点として，以下の指摘があった．

・災害の軽減に貢献することを意識した研究の一層の推進
・理学，工学，人文・社会科学の研究者間のより一層の連携強化
・研究目標と目標に対する達成度の明確化
・社会や他分野の研究者が本計画に求めるニーズの把握，ニーズに合致した研究の推進
・火山の観測研究を安定して実施する体制の整備

これらを踏まえ，次の 5 か年計画において，地震・火山研究を「国民の生命を守る実用科学」と位置づける考え方をさらに推進していく．関連研究分野の研究者間の連携を一層強化することにより，災害軽減につながる連携研究の成果を得ることを目指す．研究目標と目標に到達するまでの道筋を示すとともに，特に重点的に取り組む研究については，5 年間の計画中に達成を目指す内容を明示する．地震・火山研究の成果を災害軽減に活かすためには，研究成果を社会に広めることが必要であることから，これを有効に実施するための文理融合研究を新たに始める．

3．地震火山観測研究の長期的な方針

3-1 基本的方針

地震や火山噴火が多発する我が国において，地震，火山噴火及びこれらによる災害を科学的に解明することにより，災害軽減に貢献することを目指して，地震・火山の観測研究計画を推進する．そのために，地震学，火山学を中核として，災害や防災に関連する理学，工学，人文・社会科学などの分野の研究者が連携して，地震・火山現象を解明し，それらの予測の高度化を進めるとともに，その成果を活用して災害軽減に役立てるための方策を研究する．

地震や火山噴火が，どこで，どの程度の頻度で発生し，その発生機構はどのようなものであるかを解明することは，これらによる災害に科学的に対処するために，最も基本的で重要なことである．そのため，地震・火山現象を観測し，実験的・理論的手法なども用いて，現象の解明を行う．高品質のデータの解析による地震・火山噴火の発生過程や先行現象の把握や理解を進めるとともに，先端的な観測技術による新しい物理・化学的データの解析により発生機構や発生場の解明を進める．また，計算機技術を活用して地震発生や火山性流体の挙動のモデル化や観測データとの比較を進め，地震や火山現象の定量的な理解を進める．さらに，史料・考古データ，地質データを最大限利用して，長期間における地震や火山活動を理解する．

地震や火山噴火の予測精度の向上は，災害軽減や防災対策の立案に役立てられることが期待できるため，今後も重要な目標の一つである．数十年以上の時間スケールで地震の発生可能性を評価する長期予測は，おもに過去の地震の発生履歴に基づいて行われてきたところであり，地質データや史料・考古データをさらに活用して地震の発生履歴をより詳細に解明することにより，長期予測精度の改善のためのデータを蓄積する．加えて，これまでは十分に活用されていなかった観測データや地震発生の物理モデルの利用により，長期予測の高度化を目指す．数週間から数日の時間スケールでの地震の短期予測については，中央防災会議防災対策実行会議南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応検討ワーキンググループによる平成 29 年の報告「南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応のあり方について」にあるように，現時点においては，地震の発生時期や場所・規模を確度高く予測する科学的に確立した手法はなく，大規模地震対策特別措置法に基づく警戒宣言後に実施される現行の地震防災応急対策が前提としている確度の高い地震の予測はできないのが実情である．しかし，海底観測を含めた観測技術の進展と観測網の充実により，プレート境界等で発生している現象の把握は従来よりも高精度でなされるようになってきており，断層滑り等の物理モデルの発展も相まって，観測される現象の物理的理解も深まっている．観測される現象の意味を明らかにし，それが大地震に発展する可能性を評価して，災害軽減に役立てるための研究を進めることは重要である．

火山噴火の長期予測は，地質データや史料の分析をもとに行われてきた．今後は，これまで調査が難しかった規模の小さな噴火についても本格的に研究対象とし，火山噴火のデータベースの充実をはかる．併せて，数日から数週間の短期予測，あるいは数ヶ月から数年の中期予測については，長年の研究観測計画により蓄積されてきた多項目観測データの分析を進める．噴火した事例のみならず，噴火には至らなかったものの，顕著な異常現象を捉えた事例についても比較研究を進める．さらに，マグマや火山性流体の挙動に関するモデル化を進め，火山活動の評価方法の構築や噴火発生を含む事象分岐の判断基準の構築を進める．また，近年の観測網の充実により，規模の小さな噴火であっても，数時間から数分前に顕著な異常現象が捉えられる事例が少なからずあることが明らかとなった．噴火発生メカニズムの解明とともに，災害軽減に結びつく直前予測方法の構築を推し進めることも重要である．

地震の断層運動により生じる地震動や津波，火山噴火による噴石や火山灰，溶岩の噴出，津波などの災害誘因が，自然・社会の災害素因に働きかけることにより災害が発生する．災害軽減に貢献することを目標とする本計画では，地震・火山噴火の発生だけではなく，これらの災害誘因の予測研究を行うとともに，災害誘因と災害素因の相互作用も考慮して，災害が発生する過程を理解することが重要である．過去の事例や理論モデルなどに基づく地震・火山噴火の解明が進むほど，災害誘因の事前予測の確からしさや精度は向上すると考えられるため，地震・火山現象解明の研究成果を適切に取り入れることが重要である．また，地震動などの災害誘因の予測は構造物被害に関する研究などと組み合わせることにより被害予測に直結する．災害誘因の事前予測研究の成果を利用して，地震や火山噴火のリスク評価を改善するための研究を理工連携で取り組む．災害誘因の即時予測については，地震・火山現象解明の成果を利用するとともに，最新の観測システムの利用や計測・解析技術の開発により予測の精度や早さの改善を目指す．また，災害誘因の予測情報は不確実性を含んでいるなど，災害軽減に活用するためには課題も多い．予測情報の有効な活用法の研究についても文理融合で取り組む．

これまでの研究により，地震や火山噴火についての理解は大きく進展し，地震本部や気象庁などから，地震や火山噴火に関して多くの情報が発表されるようになっている．これらの情報をより一層活用し，地震学や火山学に基づく研究成果を災害軽減につなげるためには，地震や火山噴火に関する知見や情報を，いかに発信し，どのように活用してもらうかを研究することは極めて重要である．地震や火山に関する情報が適切な防災行動や防災対応につながるには，情報の受け手にも地震や火山及びそれらに起因する災害についての理解が必要となるが，そのような理解を効果的に広める手法については十分に研究されていなかった．今後，このような防災リテラシー向上のための研究も本格的に進めていく．

3-2 長期的方針に基づく当面の取組の方向性と進め方

地震や火山噴火による災害を軽減するためには，様々な手段を用いる必要がある．その手段には，比較的短い期間で進展が期待できるものから，短期間での実現は難しいが時間をかけて着実に進展させるべきものまであり，それぞれについて計画的に取り組むことが重要である．平成 26 年度からの「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」では，地震・火山災害の軽減のために，中長期的な展望の下，体系的に取り組む内容を次のように整理した．

(1) 地震や火山噴火が引き起こす災害にはどのようなものがあるかを解明し，国民や関係機関に広く知らしめること，
(2) 地震や火山噴火が，どこで，どの程度の頻度・規模で発生し，それらによる地震動，地盤変形，津波，噴火様式等がどのようなものかを想定して，長期的な防災・減災対策の基礎とすること，
(3) 地震や火山噴火の発生直後に，地震動や津波，火砕流や降灰，溶岩流などの災害を予測することにより対策に役立てること，
(4) 地震の発生や火山噴火の発生とその推移を事前に予測することにより有効な防災・減災対応を取ること．

このような分類は今後も有効と考えられ，計画の進捗に伴い，それぞれの項目における具体的な内容を更新していくことが重要である．

(1) は，地震・火山噴火の発生や，それらが引き起こす災害を科学的に解明して，その理解に基づいて災害に備えることが，合理的な地震・火山災害対策の基本であるべきとの考えに基づいている．そのため，地震や火山噴火がどのように災害を引き起こしてきたかを歴史記録なども活用して明らかにし，これらに関するデータベースを構築・公開する．一般の国民，行政機関，報道機関等によって，地震・火山災害について理解すべき内容は必ずしも同一ではないと考えられるので，それぞれに対して効果的に理解してもらうための手法を研究し，その成果に基づき対応を促す取組が重要である．

(2) については，過去にどのような地震・火山噴火が発生したかを科学的に明らかにすることが基本である．近代的な観測機器によるデータは 100 年程度の蓄積しかないが，巨大地震や大規模噴火の発生間隔は少なくとも数十年を超えるため，史料・考古データ，地質データも

利用して，地震や火山噴火の発生履歴を明らかにし，過去に発生した災害も考慮して，長期的な災害対策の基礎とする．地震については，過去の発生履歴をより詳細に明らかにするとともに，地震の発生間隔や規模のゆらぎを考慮し，理論的研究の成果も併用して地震の長期予測の高度化を行う．火山噴火については，地質調査を着実に進め，小規模な噴火も含むデータベースを充実させるとともに，個々の火山の噴火の発生頻度や噴火活動の推移の特徴を明らかにし，災害発生の視点も加えて最適な観測体制の構築に役立てる．また，海底地殻変動観測を含む測地学的観測技術の近年の進展により，陸域の活断層やプレート境界でのひずみの蓄積状況や，火山直下のマグマ溜まりの活動状況等が把握できるようになってきているため，これらを地震や火山噴火の長期予測に利用する手法を開発する．さらに，その長期予測に基づいて災害誘因をより詳細に解明し，これらがどのような被害を引き起こしてきたか，また，今後どのような被害をもたらす可能性があるかについても検討する．

（3）では，地震発生による地震動や津波，火山噴火による溶岩流，火砕流，噴石，降灰，津波などの災害誘因を，地震や火山噴火の発生直後に観測されるデータに基づいて即時的に予測し，その予測情報を避難等の防災行動につなげることにより災害軽減に貢献する．近年，地震動・津波・火山灰の即時予測手法の開発に取り組み，大きな進展が得られている．海底観測網の充実等により利用できる観測データも増えてきているため，即時予測手法の更なる高度化を進め，国や地方公共団体等での社会実装を目指した研究を進めていく．研究を進めるに際して，社会的ニーズの変化に対応した，最適な災害誘因の即時予測情報の内容や発信方法について，情報発信の実施機関とも連携しながら考えていくことが重要である．

（4）については，地震や火山噴火の発生や推移の予測ができれば，その情報に基づいて多くの防災対応を取ることができるため，災害の軽減には極めて効果的と考えられる．地震や火山噴火に先行して様々な現象の観測が報告されており，これらの観測データを蓄積し，その確からしさを統計的に評価し，先行現象の物理・化学過程について理論的･実験的な研究を推進する．これにより，地震・火山噴火発生予測に利用可能な現象を科学的に明確にして，中短期予測の実現を目指す．大地震の連続発生及びその後の地震活動の予測，火山活動の推移予測は長年の課題となっており，今後も継続的に研究を進め予測の高度化を目指す．

このように，地震学・火山学の成果を，関連分野の研究と連携させて，災害軽減につなげるための様々な取組を継続的に行うことが重要である．各分野における研究の発展段階はまちまちであるため，研究成果を社会実装につなげることを考える段階にあるものもあれば，実用化までには長期的な取組が必要なものもある．特に，観測データを利用した地震発生の新たな長期予測，地殻活動モニタリングと物理モデルに基づく地震発生中短期予測，火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測については，将来の社会実装に向けて着実に研究の進展が期待できることから，本計画の 5 年間に重点的に取り組む．

さらに，災害誘因と災害素因の相互作用により地震・火山災害が発生することを考慮して，本計画では災害科学として重要な対象を選定し，地震学・火山学の研究者と災害や防災に関連する理学，工学，人文・社会科学などの分野の研究者の協力のもと総合的な研究に取り組むこととする．平成 31 年度からの 5 か年計画では，南海トラフ沿いの巨大地震，首都直下地震，千島海溝沿いの巨大地震，桜島大規模火山噴火，高リスク小規模火山噴火を対象に総合的な研究を実施する．

3-3 観測研究計画実施体制の整備と計画の推進

地震や火山噴火により多くの災害に見舞われてきた我が国では，長期間にわたって地震・火山噴火に関する調査研究が行われているが，その中で本計画は体系的・組織的な基礎的研究と位置づけられる．地震・火山噴火の研究を継続的に高度化していくためには，研究者の内在的動機に基づく先端的な研究が重要である．一方，災害軽減に着実につながる研究成果を得るためには，研究者の知的好奇心にまかせるだけではなく，地震・火山災害軽減のための課題を整理した上で，研究成果が災害軽減につながるまでの道筋を明確に意識して研究を進める必要がある．そのためには，地震・火山災害軽減のための課題に直面している地震本部や行政機関等と連携し，課題の抽出や研究成果についての情報交換を行い，基礎研究の成果を発展させた応用研究・開発研究の可能性や成果の社会実装について検討すべきである．また，災害は地震や火山噴火による地震動・津波・降灰などの災害誘因と自然・社会の災害素因との相互作用により発生するため，構造物や社会的脆弱性等の災害素因に関する研究を行う工学や人文・社会科学の研究者との連携も欠かせない．さらに，地震や火山噴火の予測に関する不確実性を含む情報を有効に利用して災害軽減に役立てるための研究や，地震や火山についての科学的な知見を広め社会との共通理解を醸成するための手法についての研究を行うためにも，関連研究分野の研究者との連携が必要である．

発生間隔が長い地震や火山噴火を解明･予測するには，長期にわたる観測研究が必要であり，そのため継続的な観測データの取得や地震学・火山学及び関連研究分野

の人材育成が重要である．行政機関，国立研究開発法人，大学等は，それぞれの役割や目的をもとに連携して観測を実施し，データの流通や共有により観測データを有効に活用するとともに最新の研究成果を共有しながら，協力して観測研究を進める必要がある．また，これら観測データは関連研究分野や海外の研究の進展にも貢献し，成果のフィードバックが期待されることから，適切なデータ公開に関しても検討を進める必要がある．研究，監視，防災対応をともに向上させ地震・火山災害から国民の生命と財産を守ることにつなげるためには，観測の維持及び更新，高精度観測技術の導入が必要である．また，近代的観測以前の地震や火山噴火を解明するためには，史料・考古データ，地質データの長期的保存や有効利用についても組織的な取組が必要である．人材育成については，大学において学生に地震学・火山学及び関連分野の幅広い知識や専門を深く追求する能力の習得を促すとともに，若手研究者のキャリアパス確保のため大学，行政機関，国立研究開発法人等が協力して取り組むことが重要である．火山調査研究においては，地震本部のような国が一元的に調査研究を推進する組織が存在せず，関係機関が連携して観測設備の維持及び高度化を行う体制の整備が進んでいない．特に，平成 16 年度の国立大学の法人化以降，大学の観測設備の多くでこの問題が深刻化している．一方で，活動火山対策特別措置法に基づき地方自治体が設置する火山防災協議会において，火山専門家は行政に助言をすることを期待され，火山調査研究とそれを支える研究基盤が一層重要になってきている．このことから，継続的な火山調査研究の推進とそれを支える研究基盤の整備を，国全体として一元的に進める仕組みの構築を目指す時期に来ている．

Ⅱ．本計画策定の基本的な考え方と計画の概要

1．本計画策定の基本的な考え方

平成 26 年度に開始された「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」では，地震発生・火山噴火の予測を目指す研究を継続しつつ，研究対象を広げ，地震・火山噴火による災害誘因の予測に関する研究が組織的･体系的に進められた．地震学や火山学を中核とし，災害や防災に関連する理学，工学，人文・社会科学などの関連研究分野の研究者が計画に参加し，協働して計画が実施された．一方で，地震学・火山学と関連研究分野との共同研究は萌芽的なものが多いのが現状であった．

本計画では，上記の方針を踏襲しつつ，地震学・火山学と関連研究分野間の連携をより一層強化することで，地震や火山噴火による災害の軽減につながる研究を推進する．すなわち，地震・火山現象の根本的理解とそれらの発生予測，地震動，津波とその浸水域，斜面崩壊，降灰，火砕流や溶岩噴出などの災害誘因の予測，災害情報の活用に関する研究を実施する．加えて，有効な防災対策を推進するためには，地震火山に関する国民の基本的な理解を深めることが欠かせないため，社会の共通理解の醸成を効果的に行うための手法開発に関する研究を新たに開始する．また，本計画で得られる研究成果及び技術が行政機関等で将来的に利活用されるように，関係各機関との緊密な連携を図るための体制を整備する．

以上の方針に基づき，以下の 5 つの項目に分けて計画を推進する．

1)「地震・火山現象の解明のための研究」では，地震・火山現象の根本的な理解を深めるために，低頻度大規模現象を含む多様な地震・火山現象の特性を把握し，それらが発生する仕組みや発生する場を観測・理論・実験に基づいて解明する．

2)「地震・火山噴火の予測のための研究」では，多様な観測データや，活動履歴，地震・火山噴火の物理・化学過程の数理モデルに基づき，地震・火山噴火の発生予測手法や活動の推移予測手法を開発する．

3)「地震･火山噴火の災害誘因予測のための研究」では，地震・火山噴火の解明・予測研究の成果を災害軽減に結びつけるために，震源過程・火山噴火現象の複雑さを考慮し，地震や火山噴火がもたらす災害誘因を事前及び発生後即時的に，高精度に予測する手法の開発を進める．同時に，災害誘因予測を災害情報につなげる研究にも取り組む．

4)「地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究」では，地震や火山噴火による災害事例に基づく災害発生機構の解明を行うとともに，地震・火山現象に関する社会の共通理解を促すための効果的な手法の確立を目指す．

5)「研究を推進するための体制の整備」では，参加機関や研究分野間の連携を強化し，研究を総合的・効率的に推進する体制を整備する．観測網，データ流通網，データベース，解析ソフトウェアなどの研究基盤を整備・拡充するとともに，新たな観測・解析技術の開発，国際共同研究の推進，社会との共通理解の醸成と災害教育，研究者・技術者などの人材の育成を組織的に行う．

これらの中で，将来の社会実装を目指して重点的に取り組む研究，災害科学として分野横断で取り組む総合的研究を以下のように設定する．

・重点的に取り組む研究

本計画の 5 年間に，地震発生の新たな長期予測，地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測，火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測について重

点的に研究を実施する．専ら過去の大地震の発生履歴に頼っていた地震の長期評価手法に，地震・地殻変動等の観測データと物理・統計モデルを導入することにより，新たな長期予測手法を開発する．また，陸域及び海域における観測データ等を用いて地殻活動をモニタリングし，プレート境界の滑りの時空間変化や地震先行現象などに基づいて中短期の大地震の発生確率を計算する手法を開発し，実際のデータを利用した予測実験の試行をもとに手法の有効性を検証する．観測データや理論等による噴火推移の支配要因の理解に基づき，噴火の準備過程から噴火の発生，終息までを記述する火山活動推移モデルを開発し，これを利用した火山噴火予測の定量化を目指す．

・分野横断で取り組む総合的研究

本計画の実施にあたり，南海トラフ沿いの巨大地震，首都直下地震，千島海溝沿いの巨大地震，桜島大規模火山噴火，高リスク小規模火山噴火については，地震学・火山学的な見地のみならず災害科学的な重要性も鑑みて，複数の実施項目を横断する総合的な研究として推進する．総合的な研究を通して，専門分野の枠を超えた学際連携を現状よりも一層進め，地震学・火山学の成果を災害の軽減につなげるための方策を提案する．

２．本計画の概要

2-1 地震・火山現象の解明のための研究

地震・火山現象の根本的な理解なくして，それらの発生予測や災害誘因予測の高度化を成し遂げることは極めて困難である．ひとたび発生すれば甚大な広域災害がもたらされる低頻度で大規模な地震・火山噴火現象に注目して，長期間における地震･火山活動を把握する「地震･火山現象に関する史料・考古データ，地質データ等の収集と解析」を実施する．そして，それらのデータと近代的観測データとの比較研究や，低頻度大規模な現象の事例蓄積を通して，「低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明」の研究を進める．また，観測データの解析，数値シミュレーション，室内実験，物質科学的分析等に基づき，「地震発生過程の解明とモデル化」及び「火山現象の解明とモデル化」を行う．さらに，構造や，応力場，変形場などを明らかにすることにより，「地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化」を実施する．

(1) 地震･火山現象に関する史料･考古データ，地質データ等の収集と解析

地震・火山現象に関する史料・考古データ，地質データ等の収集と解析長期間における地震・火山現象とそれに伴う災害を正確に把握するために，史料･考古データ，地質データ等を収集して調査・分析を行うことで，データベースを整備・拡充する．その際，種類の異なるデータ間の対比等を行うことで，各データの信頼度について検証する．

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

低頻度で大規模な地震・火山噴火現象の発生履歴，規模，場所を解明するために，史料・考古データ，地質データ等の分析を行う．加えて，近代的な観測データとの比較により過去の地震・火山現象をできる限り定量的に理解する．海外の事例も含め，低頻度大規模地震・火山噴火の特徴やその発生機構の理解を進める．特に，東北地方太平洋沖地震の震源域，南海トラフ沿い及び千島海溝沿いの巨大地震に関する研究を実施する．また，カルデラ噴火を含む低頻度・大規模噴火現象に関して，噴火準備段階からの活動の推移･履歴を把握するとともに，噴火の発生場所や発生時等の推定精度を上げる手法の開発・改良を進める．

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

断層滑りの多様性，地震時の動的破壊過程，複雑な断層系における断層間の力学的相互作用，地震活動の階層性等に関する研究を通して地震発生過程の解明を進める．また，地球物理・地球化学的観測，野外観察，海域・陸域の科学掘削，室内実験や数値シミュレーションなどを通して，断層面の摩擦特性や地殻流体の挙動等に関する理解を深め，地震断層滑りの物理・化学モデルの構築を行う．

(4) 火山現象の解明とモデル化

多様な火山現象を理解するために，活火山周辺や火口近傍において多項目高密度の地球物理・地球化学的観測を実施し，火山下で進行する現象を時空間的に定量化する．さらに，火山噴出物の分析，マグマの流動･破砕･脱ガス・結晶化などの物理・化学的な実験及びマグマ上昇過程などの数理モデルによる理論解析を進める．深部マグマ溜まりから浅部へのマグマの上昇，浅部活動から噴火の発生を一連の過程と捉えて噴火規模や様式を定量的に理解し，火山活動や噴火機構のモデル化を進める．

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

プレート境界域や海洋プレート内部及び内陸を含む地殻・マントル内の地震発生域及び火山地域において，地震波速度・減衰構造，地震活動，応力場，変形場，比抵抗構造，レオロジー構造等を明らかにすることで，地震や火山活動が発生する場のモデル化を進める．また，大地震によって火山噴火が誘発される可能性や火山活動

が地震活動へ及ぼす影響など，地震火山の相互作用に関する研究を進める．

2-2 地震・火山噴火の予測のための研究

地震発生や火山噴火の科学的な予測手法の構築に関する研究を実施する．長期的な地震・火山噴火発生履歴の解明や近代的観測研究により蓄積されつつある知見を最大限に活用し,「地震発生の新たな長期予測」及び「中長期的な火山活動の評価」を実施する．また，地震・地殻変動等のモニタリングデータの解析と，理論・実験等に基づく物理・統計モデルとの統合を通して，地震発生の予測を試みる「地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測」を行う．さらに，地震先行現象の統計的評価に基づき大地震の発生確率の計算手法の開発を進め「先行現象に基づく地震発生の確率予測」を行う．火山現象を網羅してその時系列を整理した噴火事象系統樹の高度化を進めるとともに，噴火の前兆から終息までを一連の活動として捉え,「火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測」に関する研究を実施する．

(1) 地震発生の新たな長期予測

史料・考古データ，地質データで得られる過去の大地震の発生履歴の解明に基づいて従来の長期評価の改善に資するとともに，観測データと物理・統計モデルに基づく新たな長期予測手法を開発する．海域のプレート境界地震に関しては，海域における地殻変動観測・地質調査研究等の推進により，長期間にわたる滑り遅れや地震モーメント蓄積量の空間分布を推定し，数値シミュレーション等に基づく大地震の発生予測手法を構築する．内陸地震に関しては，明治以降の測地データや地震活動データ等に基づく大地震の発生予測手法を開発し，活断層の活動履歴のみに基づく現行の手法と統合することで長期予測手法の高度化を図る．

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

海陸統合の観測データを活用することでプレート境界の滑りの時空間変化を推定し，数理モデルの構築を通して，中短期の時間スケールで，大地震の発生確率や地震発生可能性の相対的な高まりを評価する手法を構築する．また，地震活動データに基づく地震発生予測モデルを用いて地震活動の予測を行い，統計的手法に基づいて予測性能を評価する．過去の多様な地震活動や地殻変動等の時間的推移を整理した地震活動事象系統樹を作成し，地震活動の予測手法の高度化につなげる．

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

地震活動の変化や電離圏の状態など大地震の発生に先行する現象の事例蓄積を継続するとともに，中短期の地震先行現象の統計的評価に基づき大地震の発生確率を推定する手法を開発する．また，地殻変動や地震活動のデータに限らず，電磁気学的データや地下水データを含む多様なデータに対して，機械学習等のデータ駆動科学の最新手法を取り入れることで，新たな先行現象の抽出及び統計的評価に着手する．さらに，これらの先行現象の発現メカニズムの解明も進める．

(4) 中長期的な火山活動の評価

火山噴火予測のためには，噴火発生のポテンシャルやマグマの蓄積状態などを評価する必要がある．長期的な時間スケールに関しては，史料や地質データ等に基づく噴火履歴のデータベースを活用し，火山ごとに噴火の特徴を明らかにする．また，階段ダイアグラムの高精度化や物質科学的解析に基づいて，噴火活動のポテンシャル評価を行う．数ヶ月から数年の中期的な時間スケールについては，多項目の地球物理学的・地球化学的なモニタリングにより火山の状態を把握することで，火山現象と噴火発生の関係を定量的に明らかにする．

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

起こりうる火山活動や噴火現象を網羅的にまとめその時系列を整理した噴火事象系統樹をさらに発展させ，火山噴火に先行する現象，噴火発生，噴火規模や様式の時間変化，終息までを一連の現象として捉えた火山活動推移モデルを構築する．観測データや物質科学的解析及び数理モデルから推定された噴火ダイナミクスの支配要因に基づき，火山活動の推移を決定する条件を明らかにする．モデルの構築にあたっては，噴火未遂及びやや広域の地殻活動変化にも着目し，過去の観測記録や文献調査等も活用する．これにより火山噴火の予測精度の向上を図る．

2-3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

地震・火山噴火という自然現象が引き起こす地震動，津波，火山噴出物，斜面崩壊などの災害誘因が，自然や社会に潜在的に存在する脆弱性などの災害素因に働きかけ，これらの誘因と素因の組み合わせと相互作用の状態に応じて様々な規模の災害が発生する．そのため災害誘因予測の高度化は，災害の軽減に結びつく有効な手段の一つである．このような視点から，災害誘因や災害リスクを事前に高い精度で評価する手法を開発する「地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化」を行う．同時に，地震や火山噴火が発生した直後に，高精度かつ即時的に災害誘因を予測する手法を開発する「地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化」を実施する．

また，災害誘因予測を防災対策の推進に効果的に結びつけるために，「地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究」に取り組む．

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

地震動，津波，断層のずれ，火山噴出物，地震動や火山活動による斜面崩壊などの災害誘因を，地震や火山噴火の発生前に高精度に評価する手法を開発する．また，大地震等による災害リスク評価手法の高度化に取り組む．

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

地震や火山噴火が発生した直後に，地震動，津波とその浸水域，火山噴出物などの災害誘因を高精度かつ即時的に予測する手法を開発する．また，地震・火山噴火による斜面崩壊や山体崩壊で発生する津波の即時予測手法についても検討する．

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

不確実で小さいという印象を与えがちな大地震・火山噴火の発生確率に関する情報や，地震・火山噴火発生可能性の相対的な高まりを示す情報を防災対策の推進につなげるために，切迫度に対する社会の認知等に着目した地震・火山情報の内容や発信方法について検討する．また，火山の状況を即時的に把握する手法の開発と，災害対応のために必要な災害誘因予測情報を効果的に提供する手法を検討する．さらに，火山周辺自治体や観光客等に対する災害情報の発信に関する研究を進める．

2-4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

災害を軽減するためには，地震や火山現象に関する科学的な理解を深め，現象を予測するだけでは必ずしも十分ではなく，現象の理解・予測を災害の軽減につなげるための具体的な手法について検討する必要がある．そこで，地震・火山噴火による災害誘因の災害素因への作用に着目し，「地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明」に取り組む．また，地震や火山に関する科学的な理解や過去の災害事例，想定される地震・火山噴火により引き起こされる災害などについて，社会が利活用可能な要素･知識体系を整理することを目指す「地震･火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究」を推進する．

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

史料・考古データベースに基づき，時代性や地域性を考慮して地震・火山災害の特徴を明らかにし，今後の防災･減災施策や復興施策の検討に資する要素を抽出する．また，近年の地震や火山災害における事例を対象とし，暴露人口や建造物の脆弱性などの社会素因と災害誘因との関連性に焦点を絞り，災害の発生機構を明らかにする．災害からの復旧・復興過程に関して社会の回復力に着目した研究にも取り組む．

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

将来発生が懸念される地震・火山災害に着目し，社会における防災リテラシーの実態を調査する．調査結果に基づき，社会が被害の発生を抑止，あるいは軽減する対策を考えるために必要な知識体系を明らかにすることを目指す．知識体系を明らかにする過程で，必要な知識要素を特定し，それらの要素を組み合わせることで，実践的な研修プログラムを構築する．さらに，特定の地域を対象として研修プログラムの効果を検証し，実効性を高める．

2-5 研究を推進するための体制の整備

本計画で得られる成果を災害の軽減に効果的に役立てられるように，計画の参加機関間で緊密な情報共有を図るとともに，計画の実施項目間の連携を強化して計画を推進する．その試みとして，分野横断で取り組む総合的研究を実施する．また，地震発生・火山噴火現象の解明とその予測研究を進める上で必要不可欠な，基盤的な観測網の維持・整備を行うとともに，観測データや構造共通モデル・解析ソフトウェアを含む研究成果をデータベース化し，これらを共有することにより効率的に研究を進める．同時に，観測困難地域での観測技術の開発及び高度化に取り組む．さらに，学際的に研究を進めるため関連分野との連携を強化するとともに，地震・火山噴火現象や災害に関する知見を広げるために国際的な共同研究を推進する．社会との共通理解の醸成のために，組織的なアウトリーチ活動を推進する．また，発生間隔の長い大規模な地震・火山噴火の継続的な研究の進展を図るため，世代を超えた長期的な視点に基づいて人材を育成する．

(1) 推進体制の整備

本計画の進捗状況の把握，研究成果の取りまとめを行うとともに，計画の実施項目間及び参加機関の連携を強化することで，効率的に計画を推進する．行政機関や地

震本部等の関係機関との技術的・制度的な連携を進め，本計画による研究成果・技術が災害軽減に貢献できるよう，災害・防災対策に係る社会ニーズを的確に把握することに努める．安定的な火山観測及び火山研究のため，中長期的視点に立った観測体制及び研究推進体制のあり方について検討を進める．地震学・火山学の成果を災害軽減に活用するために，拠点間連携共同研究をさらに発展させる．

(2) 分野横断で取り組む総合的研究を推進する体制

南海トラフ沿いの巨大地震，首都直下地震，千島海溝沿いの巨大地震，桜島大規模火山噴火，高リスク小規模火山噴火については，それらが発生した場合の社会への影響に鑑み，地震・火山現象の理解を災害軽減につなげるために，研究分野横断による総合的な研究として実施する．これらの総合的な研究の対象はそれぞれ異なる特徴を持つものであり，ここで得られる知見を他の大地震や火山噴火に適用することで，より一層の災害軽減への貢献が期待される．

(3) 研究基盤の開発・整備

地震・火山現象の解明と予測のための研究を着実に進展させて，災害関連情報の迅速な発信や，地震・火山活動の評価の高度化につなげるため，行政機関，研究開発法人や全国の大学が協力して，国内の陸域及び海域に展開されている地震や地殻変動等の観測基盤を維持・整備するとともに，近年新たな研究成果が得られている海域や火口近傍等における観測体制を強化する．また，関連機関の連携により機動的な観測を実施するための体制を整備する．さらに，観測対象を広げるための新たな技術開発を進める．観測網で得られる大量のデータを効率的に流通，解析，可視化する技術の高度化を行なう．また，研究成果や観測データ等をデータベース化し，これらを迅速に共有し，相互利用できる仕組みを構築する．

(4) 関連研究分野との連携強化

地震・火山研究の成果を災害軽減に役立てるために，理学にとどまらず，工学，人文・社会科学などの関連研究分野間の相互理解に努め，連携をより一層強化する．また，低頻度大規模地震･火山噴火現象の規模，発生頻度，発生機構等を明らかにするために，近代観測以前の地震･火山現象の解明を目指し，引き続き歴史学・考古学と連携して計画を進める．さらに，進展の著しい数理科学，情報科学，計算機・計算科学等の研究分野の成果を取り入れるために，これらの研究分野との連携を強化する．

(5) 国際共同研究・国際協力

地震・火山災害は国内に限らず世界各地で発生することから，国際的な防災・研究機関との連携を強化する．また，海外での国際共同研究を通じて観測研究事例を増やすことにより，低頻度で発生する大規模な地震・火山噴火現象の理解を促進する．さらに，研究成果を活用し，開発途上国における地震・火山災害の軽減に貢献する体制の維持・整備を行う．

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

地震・火山噴火現象と災害に関するアウトリーチ活動を積極的かつ組織的に展開する．

その際，研究成果のみならず研究の進捗や見通しについても説明を加える．また，本計画の防災リテラシー向上のための研究成果を活用して，研究成果や地震・火山災害に関する知識や災害軽減の対策に必要な知識体系等を社会に効果的に伝える．

(7) 次世代を担う研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成

地震・火山噴火現象の理解，予測手法の高度化とその検証及び防災リテラシーの向上には，世代を超えた継続的な観測研究の進展を担う人材や，関連研究分野の推進を担う人材の育成が極めて重要である．そのためには，地震学，火山学，地質学，地形学，歴史学，災害科学，社会科学，数理科学，計算機科学，観測・調査技術開発などの幅広い分野において，地震・火山災害の軽減を志す若手研究者や技術者を育成することが欠かせない．さらに，地震・火山の専門教育を受けた人材が防災・科学技術に関わる行政・企業・教育に携わることも非常に重要である．このような観点から，複数の教育・研究開発法人・行政機関が連携し，観測研究を生かした教育活動を継続して，若手研究者・技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成を行う．火山分野においては，次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトも活用し，次世代の火山研究者を育成する．

Ⅲ．計画の実施内容

1．地震・火山現象の解明のための研究

地震・火山災害を軽減するためには，地震・火山現象の根本的な理解を深めることが重要である．長期間にわたる過去の地震や火山噴火の発生事例，地震・火山現象の物理・化学過程や，構造，応力場，変形場などに関する研究を進め，地震や火山噴火が発生する仕組みを解明する．一旦発生すれば甚大な被害をもたらす低頻度大規模の地震・火山噴火現象に関しては，新たな観測データ

の解析に加えて，史料･考古データ，地質データ等の収集･拡充を進めて事例を増やし近代的な観測データとの比較研究を行うことで，その特徴や多様性を把握する．また，地震・火山噴火の発生予測やそれらが引き起こす災害誘因の予測を高度化するために，地震発生過程と火山現象の解明・モデル化に加えて，地震発生及び火山活動を支配する場の解明・モデル化を進める．

(1) 地震･火山現象に関する史料･考古データ，地質データ等の収集と解析

地震・火山噴火現象に関係する過去の事象を理解し，現在の状況の把握，ならびに将来の活動推移の予測に資するために，史料，考古資料，地質の調査から得られた情報を活用する．現存する膨大な史料の中から，文献として信頼できる地震・火山活動関連史料を抽出し，信頼性の高い史料データベースを構築する．考古情報については，これまでに公開されている 10 万冊以上に及ぶ考古遺跡の調査報告書から，地震・火山現象に関連する遺物や災害痕跡などの資料を収集し，データベース化を進める．地質情報については，活断層の位置，形状に関する情報の取得とその過去の活動履歴･地震規模を解明し，データベースの整備を進める．また，地震に伴う地質学的な痕跡を調査し，データの収集，整理を行うとともに，津波堆積物等の識別手法の高度化と年代決定精度の向上をめざす．火山噴火に関しては，地形・地質調査により活動的火山の噴火堆積物等の基礎データを蓄積するとともに，海底火山や海洋底の調査を行い，地質・岩石学的データの収集･整理を行い，データベース化を進める．

ア．史料の収集とデータベース化

○大学は，既刊の地震・火山関連史料集のデータベースを構築する．データベース化にあたっては校訂作業をほどこして正確な情報を提供する．また，史料中に現れる地名に位置情報を与え，史料を地図表示できるようにして利便性を図る．

○大学は，既刊の地震史料集に収録されていない地震・火山関連史料を収集する．特に，同一地点における有感地震記録の長期的な把握及び近代的な観測データのない明治初年の関係史料の発見に重点をおく．また，地震・火山関連史料を単体ではなく，史料群としての性格も把握することによって，史料から適切な理解を導き出せるように努める．

○大学は，史料に記述された地震・火山現象に関連する言語表現が，どのような自然現象をとらえたものであるのか，各種史料の比較検討によって確定し，地震・火山活動の規模や態様を推定するための指標として活用することを目指す．また，史料から検出できる家屋倒壊率を震度推定として適切に活用する方法について各種の事例から検討する．

○大学は，近世・近代の村絵図，国絵図，地籍図等から得られる地理空間情報を分析して，地形の歴史的変遷を考察する．それによって，過去の地震災害の実態解明を進めるとともに，将来発生が懸念されている災害の被害軽減への活用を図る．

イ．考古データの収集・集成と分析

○奈良文化財研究所は，全都道府県の既存考古データを網羅するとともに，災害痕跡考古資料の収集とデータベース作成・公開事業をさらに拡充する．その上で，南海トラフ沿いの巨大地震などを念頭に，特定地域の災害考古資料の収集と災害履歴の再構築・分析を行う．

○大学は，災害痕跡考古データベースと，文献史料から得られた地震・火山活動のデータベースを統合して検索することが可能なシステムを構築し，成果の活用を図る．

ウ．地質データ等の収集・集成と分析

○大学及び海洋研究開発機構は，津波堆積物の認定・対比手法の確立や，年代決定手法の改良を進め，津波をもたらした海溝型巨大地震の発生履歴とその規模の解明を進める．同時に，既存の津波堆積物データの再検討に加え，国内外での堆積物調査を実施する．

○産業技術総合研究所は，津波堆積物等の調査結果に基づき，津波による浸水履歴データベースの整備・更新を行う．また，地形・地質調査により，全国の活断層のセグメント区分の見直しや活動評価を進め，熊本地震後の調査などの最新知見に基づく活断層データベースの整備・更新を行う．さらに，複数セグメントにわたる連動型地震の履歴を解明し，地震の発生頻度や地震規模，破壊の多様性を明らかにする．

○大学は，火山噴火の規模や継続時間，爆発性，噴火活動の推移を評価する上で重要となる噴出量等の基礎データを収集・整理する．特に，火山噴出物を用いて岩石・鉱物学的解析を行い，マグマ溜まりの深度や温度，含水量等の情報を得る．

○産業技術総合研究所は，火山防災のために監視・観測体制の充実が必要な火山を対象として火山地質図の整備を推進する．また，全国の火山を対象として，噴出量や歴史記録を含めた噴火年代等の基礎的な地質情報を収集した火山データベースの整備･更新を行う．さらに，火山噴出物から噴火年代を高分解能で推定する年代測定手法を開発する．

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

史料・考古データ，地質データ等と近代的な観測データを対比・統合することによって，近代的な観測開始以前の現象の規模・発生場所を明らかにし，地震，津波，火山噴火の発生履歴を解明する．低頻度大規模地震については，海外で発生した事例も含め近代的観測データを解析し，その特徴を手掛りに史料･考古データ，地質データ等の分析を進める．特に，東北地方太平洋沖地震及び南海トラフ沿い・千島海溝沿いの巨大地震に関する研究を優先的に実施する．火山に関しては，カルデラ噴火を含む低頻度の大規模噴火も対象とし，活動的火山の噴火履歴及びマグマの発達過程を高い精度で明らかにする．また，噴火推移・履歴の時空間解像度を上げるため，地質学的解析手法，岩石鉱物の微細組織解析及び年代学的手法の開発・改良を進める．

○大学は，南海トラフ沿いの巨大地震・津波や西南日本内陸部など，過去に繰り返し大規模な地震が発生している地域について，海外所在の史料も含め新資料の発掘に努める．津波痕跡に関しては，津波堆積物の形成過程を分析することによって，現存する堆積物から過去の現象の規模を推定する手法の構築を目指す．

○産業技術総合研究所は，日本列島周辺の各海溝沿いで発生する低頻度大規模地震について，津波堆積物や海岸地形など地質学的調査により，発生履歴及び津波波源を解明し，震源断層モデルを構築する．

○大学，防災科学技術研究所，海洋研究開発機構及び産業技術総合研究所は，東北地方太平洋沖地震の震源域，南海トラフ沿いや千島海溝沿いにおける地震活動や中規模以上の地震の震源過程を調べ，巨大地震の発生との関連に関する研究を実施する．

○大学は，低頻度大規模地震後の余効変動を理解するために，東北地方太平洋沖地震後の重力変化を追跡することにより，地下で進行している物質移動や密度変化の要因を明らかにする．

○海洋研究開発機構は，日本海溝沿いや南海トラフ沿いにおいて，高精度な海底下3次元構造調査を実施し，海底震源断層の連続性やセグメント化に関する評価方法について検討する．

○大学は，伊豆大島や霧島山等での爆発指数（VEI）が4～5クラスの大規模噴火を対象として，地質調査や，噴出物に対する物質科学的解析，数値モデル解析を行い，マグマ供給系の実体を解明する．また，近代以降，海外で発生した大規模噴火について，古記録などをもとに噴火の先行現象や噴火推移，被害状況を整理する．

○大学は，洞爺や阿蘇等のカルデラ火山を対象として，放射非平衡を利用した年代測定法などを適用し，カルデラ噴火に至るマグマの蓄積や分化の過程を解明する．また，鬼界カルデラ等の海底カルデラを対象として物質科学的研究を進める．

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

プレート間で生じる低速変形から高速滑りまでの多様な滑り過程を包括的に理解するために，スロー地震を含む地震活動の特徴や，スロー地震と通常の地震の発生メカニズムの類似性・関連性及び海域のプレート間の固着状態等を明らかにする．また，地震時の動的破壊過程や，複雑な断層系における断層間の相互作用による連鎖的な破壊現象，地震活動の階層性等に関するデータ解析や理論研究を実施する．さらに，地球物理・地球化学的観測や野外観察，科学掘削で採取された試料の解析，室内実験や数値シミュレーションなどの研究を通して，地震発生や下部地殻・上部マントルのレオロジー特性に与える地殻流体の効果や，滑りの多様性を生み出す断層面の摩擦特性及び断層破砕帯の微細構造等に関する理解を深め，地震断層滑りの物理・化学モデルを構築する．

ア．地震発生機構の解明

○大学，防災科学技術研究所及び海洋研究開発機構は，陸域及び海域における長期間の観測により，プレート境界で発生する様々な時間スケールをもつ滑り現象を明らかにする．日本海溝沿いでは，東北地方太平洋沖地震発生後のプレート間の固着状態と，周辺の応力場の時空間変化を明らかにする．また，南海トラフ沿いでは，モニタリング手法の高度化を進めるとともに，プレート境界周辺の詳細な不均質構造を推定し，多様な滑り現象の発生機構を解明する．

○大学及び海洋研究開発機構は，地震・地殻変動観測に基づいて震源分布，地震波速度構造，ひずみ・応力場等を推定するとともに，室内実験や数値シミュレーションに基づいて，複雑な断層系における断層間の相互作用及び連鎖的な動的破壊過程についての理解を深める．

○大学は，地震活動の階層性を定量化する手法を開発する．また，世界各地の沈み込み帯を対象とした国際共同研究を推進し，異なる地質学的環境における地震活動の階層性の特徴を明らかにする．

○大学は，鉱山で得られた掘削コア等の分析と，震源のごく近傍で取得された観測データの解析から，応力と地震活動の関係を明らかにする．

○大学及び海洋研究開発機構は，地球物理・地球化学的観測や室内実験，数値シミュレーション，野外観察に基づいて，地震発生及び下部地殻・上部マントルのレオロジー特性に及ぼす流体の影響や地殻流体の存在形態を明らかにする．

イ．地震断層滑りのモデル化

○大学及び海洋研究開発機構は，国内外の海域及び陸域の科学掘削で採取された試料や，地球物理・地球化学的観測，室内実験，数値シミュレーション，野外観察から得られた情報を統合して，断層面の摩擦特性の解明など地震断層滑りの物理・化学モデルの高度化に取り組む．

○大学及び海洋研究開発機構は，応力載荷速度の変化などの様々な擾乱に対する断層滑りの応答を室内実験や理論により解明し，観測データと比較することで，断層滑りのダイナミクスを明らかにする．また，摩擦特性が不均一な断層における複雑な滑り及び地震サイクルの複雑性に関する理解を深める．

○産業技術総合研究所は，地質調査に基づいて，岩石のレオロジーの空間的不均質が断層の滑り挙動に与える影響を評価する．また，断層破砕帯の微細構造解析及び室内実験に基づいて，断層の滑り機構・強度や脆性―塑性遷移領域におけるひずみの集中過程を明らかにする．

(4) 火山現象の解明とモデル化

噴火の推移や多様性を理解するためには，現象の発生源にできるだけ近づき，多項目観測を実施することが不可欠である．一方，地表付近の現象の理解には，深部からのマグマ供給過程の理解も重要である．そのため，活火山周辺や火口近傍において地球物理・地球化学的観測，火山噴出物や火山ガスの分析からなる多項目同時観測・採取・解析を行い，火山の深部から浅部で進行する様々な過程や噴火現象を時空間的に定量化する．また，火山現象はマグマの動きや状態の変化に支配されるため，マグマの流動・破砕・脱ガス・結晶化などの各素過程の物理・化学的な実験研究や，数理モデルによる理論解析を進め，マグマ溜まりや火道内過程のモデル化を行う．さらに，噴火様式の分岐条件や噴煙形成の支配因子を定量化し，多くの火山に適用することを念頭に置いて噴火機構モデルの一般化を目指す．

ア．火山現象の定量化と解明

○大学及び海洋研究開発機構は，霧島山，阿蘇山，伊豆大島等，海域を含む国内外の活動的な火山や最近噴火した火山を対象に，火山周辺や火口近傍における多項目観測，リモートセンシング観測，噴出物の物質科学分析を行い，噴火発生前，噴火継続中，噴火終息後の火山活動の推移やその多様性を把握する．これらの結果と素過程の理解に基づいて，マグマの蓄積，上昇，噴火を統一的に理解し，火山活動のモデル化を進める．また，新たな観測・分析手法の開発や既存の手法の高度化にも取り組む．

○防災科学技術研究所は，基盤的火山観測網やリモートセンシング技術等による多項目の火山観測データを活用し，多様な火山現象の発生機構の解明や火山災害過程を把握するための研究開発を進める．また，火山体周辺や火口近傍において火山観測網を補完する機動的な調査観測を行うほか，遠隔で火山ガスや火山灰等の分析を行うモニタリング技術を開発し，火山現象の定量化を図る．

○産業技術総合研究所は，活動的な火山において火山ガスの観測を実施する．マグマ性の噴火を繰り返して大量の火山ガス放出を継続している火山においては，噴火活動推移の多様性をもたらす火山ガス放出過程のモデル化を行う．また，熱水の関与が見られる火山においては，熱水系とマグマ性ガスの相互作用を明らかにする．

○産業技術総合研究所は，三宅島等のマグマ噴火を繰り返す火山を対象として，火山活動履歴に基づく活動推移の類型化を行う．また，桜島等を対象として，火山灰粒子の岩石・鉱物学的特徴の経時変化と，地球物理・地球化学的観測データを比較することで，爆発的・非爆発的噴火の分岐メカニズムの解明を行う．これと共に，噴火準備段階から噴火に至るまでのマグマ挙動の解明に向けて，噴火履歴に沿った噴出物の岩石・鉱物学的特徴の解明及び高温高圧実験装置を用いた実験岩石学的研究を行う．特に，大規模カルデラ火山に対して，マグマ供給系の時間発達過程を解明することで，大規模噴火の準備過程や噴火の開始に関する研究を行う．

イ．マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

○大学及び防災科学技術研究所は，火道モデルや噴煙拡散等の数値モデル解析を行い，噴火に伴う諸現象とその推移，噴出量・噴出率などの物理パラメータ，マグマ供給系の実体とその時間変化を解明する．また，マグマ溜まりや火道内過程を支配するマグマの流動・脱ガス・結晶化などの各素過程に対する物理・化学的な実験を行い，噴火様式を支配するマグマの物質科学的性質を明らかにする．数値モデル解析の結果と素過程の理解に加えて，地球物理・地球化学的観測や物質科学分析の結果を組み合わせることにより，噴火機構及び噴火推移の理解を深める．

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

地質学的環境の特性に応じて，プレート境界域と海洋プレート内部，内陸を含む地殻・マントル内の地震発生

域，火山地域に分けて，震源分布，構造，応力場，ひずみ場，流体分布等を観測により明らかにする．特に，プレート境界域においてはスロー地震活動等の滑りの多様性を明らかにし，内陸地震発生域においては，実験・物質科学的知見に基づくレオロジー構造モデルの構築や震源断層への応力載荷過程についての理解を深める．さらに，火山周辺地域に関しては，観測データの解析と物質科学的研究を統合し，熱水系及びマグマ供給系を含む火山体浅部からやや深部までの構造を明らかにする．

地震活動と火山活動の誘発・抑制現象の事例を引き続き蓄積するとともに，地震発生及び火山現象を支配する場の理解に加えて，室内実験，理論モデルを通して地震と火山活動の相互作用に関する研究を推進する．

海域から陸域までを包括した地震波速度・減衰構造，構造境界の分布の精緻化を進めるとともに，比抵抗構造，応力場，変形場などの情報を含めることにより，多くの研究者が利用できる標準的な構造共通モデルをより一層発展させ，地殻活動データ解析や地震発生数値シミュレーション，強震動の事前評価・即時予測手法，火山災害予測手法などの高度化につなげる．

ア．プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

○大学，海洋研究開発機構及び産業技術総合研究所は，日本周辺及びニュージーランドなどの海外の沈み込み帯において，プレート境界面の形状とプレート境界周辺の地下構造及び応力場，ならびに通常の地震活動とスロー地震活動の分布等を明らかにする．

○大学及び海洋研究開発機構は，長期孔内観測システムを含む海域における地殻変動観測を推進し，ゆっくり滑りや地震の発生等の地殻活動の現状を把握する．また，ゆっくり滑り発生領域及びその周辺の地震学的・電磁気学的構造の時間変化の検出を試み，ゆっくり滑りの発生場の理解を深める．

○大学及び海洋研究開発機構は，日本海溝アウターライズ域周辺の地震観測と構造探査を実施し，沈み込む前の海洋プレート内の地下構造や震源断層の分布，地震発生域における流体分布を推定する．また，地球化学的観測に基づいて，プレート境界周辺域の流体変動のモニタリングを行う．

○大学及び海洋研究開発機構は，日本海溝周辺や関東地方などの稠密な地震観測が行われている地域を対象に，スラブ内地震の震源域における不均質構造を高い空間分解能で推定する．さらに，スラブ中の含水鉱物の脱水やマントルの主要構成岩石の相転移に着目して，スラブ内地震の発生機構の理解を深める．

イ．内陸地震

○大学及び海洋研究開発機構は，東北地方太平洋沖地震後の地震活動・応力場・ひずみ場の時間変化を捉え，地震波速度･減衰構造，比抵抗構造及び室内実験･物質科学的知見に基づいて，レオロジー構造モデルの高度化を図る．

○大学は，東北地方太平洋沖地震前後の地殻応答シミュレーションを実施し，地震・地殻変動等の観測結果や古地震学的知見との比較により，内陸地震震源断層への応力載荷過程の解明を進める．また，誘発地震発生域などでは，地震活動及び発震機構解の特徴に基づいて地殻流体の時間発展を推定し，内陸地震の発生に及ぼす地殻流体の役割を分析し，内陸地震発生モデルの構築を目指す．

○大学は，西南日本のひずみ集中帯や島弧会合部などにおいて，高密度地震観測と電磁気観測などの実施に加えて，既存データの再解析により，内陸地震の震源断層周辺の不均質構造や変形場，流体分布を捉え，断層への応力載荷過程及び間隙流体が断層の強度低下に及ぼす影響を明らかにする．

○大学は，断層破砕帯における地球物理・地球化学的観測に基づいて，断層破砕帯の透水性及びその構造を推定する．また，地殻流体のモニタリング手法を開発する．

○国土地理院は，ひずみ集中帯などにおいて，GNSS・SAR干渉解析・水準測量による高密度地殻変動観測を実施し，東北地方太平洋沖地震発生後の地殻変動を明らかにする．

ウ．火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

○大学は，草津白根山，蔵王山，御嶽山等，近年噴火したが地下構造の推定が不十分な火山，あるいは活発な火山活動に伴い顕著な地殻変動や地震活動が最近認められる火山を対象として，自然地震や雑微動を用いた地震学的解析や地下の比抵抗を求めるMT法により，地表から深さ10㎞程度までの地下構造を推定する．将来噴火する可能性が高い火山についても，山体内部の構造や状態を把握するための基礎的観測を実施する．

○大学及び海洋研究開発機構は，鬼界カルデラ等において地球物理学的観測等を実施し，カルデラ噴火を引き起こした火山のマグマ供給系を明らかにする．

エ．地震発生と火山活動の相互作用の理解

○大学は，地震及び活火山の分布や地震学的構造，電磁気学的構造，応力場，温度場，地球化学的特性，

数値シミュレーションなどを組み合わせ，地震の発生しやすい領域とマグマなどの地殻流体の生成と蓄積が起きる領域との関係を明らかにする．これらの研究を基に地殻・マントルの変形場を理解し，地震発生と火山活動の相互作用の理解を目指す．

○大学は，大地震によって火山噴火が誘発される現象や火山活動が地震活動や断層の動的破壊過程へ及ぼす影響など，観測の実施と過去のデータ解析を通して引き続き事例を蓄積する．

オ．構造共通モデルの構築

○大学及び防災科学技術研究所，海洋研究開発機構，産業技術総合研究所は，日本列島及びその周辺域を対象とする海域から陸域までを包括した地震波速度・減衰構造，構造境界の分布の精緻化を進めるとともに，比抵抗構造や応力場，変形場，震源断層の形状などの情報を含めた構造共通モデルの構築を進める．

○大学は，陸域及び海域における地殻変動データに加えて，衛星重力データを用いて列島規模の広域粘弾性モデルを開発する．

２．地震・火山噴火の予測のための研究

地震・火山現象の科学的な理解に基づき，地震発生や火山噴火の予測研究を進める．地震発生予測では，海域のプレート境界の固着状態や地震の発生履歴，数値シミュレーション等に基づいて，プレート境界地震の新たな長期予測手法を開発する．現行の活断層の活動履歴に基づく内陸地震の長期評価手法に対して，地殻変動や地震活動のデータを活用した新たな予測手法を提案する．また，地殻活動のモニタリングデータと物理モデルや統計モデルに基づく中短期的な地震発生予測手法を開発する．さらに，地震発生に先行する現象の発現メカニズムを解明するとともに，先行現象の統計的評価に基づいて大地震の発生確率を推定する手法を開発する．火山噴火予測では，多項目観測の継続を通じて，数ヶ月から数年スケールの火山活動の特性を明らかにすることで中期的な活動推移に対する定量的評価手法の研究を行う．噴火履歴データベースの活用や活火山下のマグマ生成率の推定により長期的な噴火ポテンシャルを評価する．また，噴火の準備段階，噴火，噴火の終息までの火山活動全体をそれぞれ独立した現象ではなく，相互に密接に関連する一連の活動と捉える火山活動推移モデルを構築する．推移モデルに現れる各事象の分岐条件をデータや理論に基づき明らかにすることにより，火山噴火の規模，推移，様式の予測精度の向上を目指す．

(1) 地震発生の新たな長期予測

海域のプレート境界で発生する巨大地震に関しては，史料・考古データ，地質データで得られる過去の地震の発生履歴や，陸域及び海域で得られている測地データに基づいて，プレート境界での滑りの時空間変化を定量的に把握することで，長期間の滑り遅れや地震モーメント蓄積量を推定し，数値シミュレーション等に基づいて巨大地震の発生予測手法を新たに構築する．内陸地震に関しては，測地データや地震活動データ，数値シミュレーション等に基づく新たな長期予測手法を開発し，現行の活断層の活動履歴に基づく長期評価手法と組み合わせることで長期予測手法の高度化のための研究を進める．また，従来の活断層評価などで想定されてきた内陸地震の震源断層モデルを近年の観測例に基づいて検証する．さらに，物理モデルに立脚した長期予測に向け，プレート境界とプレート内部を一つの力学的システムとして統合し，観測された地殻変動・応力状態を説明可能なレオロジー構造モデルを構築する．

ア．海溝型巨大地震の長期予測

○大学は，史料に記述された数百年間の有感地震の記録を活用して，大地震の発生前後の中・小規模の地震活動を抽出する．また，史料から推定された有感地震記録と，近代的な機器観測による中・小地震データとの比較を通して，大地震発生後の地震活動の特徴から大地震の規模推定を試みる．

○大学及び海洋研究開発機構は，日本列島を含む広範な領域を対象とした３次元のレオロジー構造モデルを構築し，観測された地殻変動・応力状態を最も良く説明するプレート間の固着状態の時空間変化を推定する．

○海上保安庁，大学及び海洋研究開発機構は，海溝沿いの巨大地震想定震源域や海溝軸近傍において，GNSS- 音響測距結合方式等による海底地殻変動観測を実施し，プレート境界の固着状態を推定する．

○防災科学技術研究所及び海洋研究開発機構は，室内実験及び大規模シミュレーション等の成果に基づき，海溝型巨大地震の長期予測手法の高度化に資する地震発生モデルを構築する．

○大学及び海洋研究開発機構は，測地データや地震活動データ，大規模数値シミュレーション等に基づく新たな海溝型巨大地震の長期予測手法を開発する．

イ．内陸地震の長期予測

○大学は，測地データに基づいてひずみ集中域を特定することにより新たな内陸地震の長期予測手法を開発し，予測モデルを試作する．その際，定常的地震活動度や地震の規模別頻度分布などの地震活動データも

予測モデルに取り込む．

○大学は，従来の活断層評価などで想定されてきた内陸地震の震源断層モデルを，地表地震断層の調査や地震波解析等から推定される震源過程の特徴に基づき検証する．また，プレート境界の固着状態や，断層セグメントの連鎖的破壊などの観測結果を取り入れた内陸地震の発生モデルを提案し，内陸地震の長期予測手法の高度化を図る．

○大学は，大地震発生前に取得可能な広域応力場や断層の幾何学的形状，古地震履歴，応力蓄積率などを考慮した物理モデルを構築し，数値シミュレーションを実行することで，動的破壊過程を含む地震の規模や発生時期及びそのばらつきを予測する手法を検討する．

○防災科学技術研究所及び海洋研究開発機構は，室内実験及び大規模数値シミュレーション等の成果に基づき，内陸地震の長期予測手法の高度化に資する地震発生モデルを構築する．

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

陸域及び海域における地震・地殻変動等の観測データと，物理モデルに基づく数値シミュレーションや数理モデルとを比較することにより，様々な時定数で特徴づけられるプレート境界滑りの時空間変化を推定し，その予測に基づいて大地震の発生確率や地震発生可能性の相対的な高まりを評価する手法の構築を目指す．また，地震活動の時空間変化を高精度かつ迅速に把握する手法を高度化するとともに，地震活動データを用いた統計モデルに基づいて地震活動の予測実験を行い，その予測性能を統計的に評価する．さらに，過去の多様な地震活動や地殻変動等の履歴を整理して地震活動事象系統樹を作成することで，地震活動予測の新たな手法の開発を進める．

ア．プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

○大学，防災科学技術研究所，海洋研究開発機構，産業技術総合研究所，気象庁及び国土地理院は，日本各地で発生する様々なスロー地震活動を観測し，それらの時空間変化を明らかにすることで，滑り現象の多様性と相互作用の理解を深める．さらに，繰り返し地震・微小地震の検出や海底地殻変動観測などプレート境界滑り現象の時空間変化をモニタリングする手法を高度化し，滑り速度が異なる現象間の相互作用を明らかにする．そして，これらの滑り現象のモニタリングと数値シミュレーション等に基づいて，プレート境界大地震の発生可能性の時間的変化を評価する手法を開発する．

○大学及び海洋研究開発機構は，測地データや地震活動データ等を用いて，プレート間の固着状態を逐次的にモニターする手法を開発し，固着状態の時空間変化に基づく地震発生予測手法の構築を目指す．

○大学及び海洋研究開発機構は，データ同化手法を地殻変動観測データに適用することで，ゆっくり滑りの時空間発展を予測する手法を開発する．

○気象庁，国土地理院，防災科学技術研究所，産業技術総合研究所及び海洋研究開発機構は，陸域及び海域の地震観測網等から得られるデータを逐次的に解析することで，プレート境界滑りを評価する指標を見いだし地殻活動の監視技術を高度化する．

イ．地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

○大学は，地震活動の時空間変化を高精度かつ迅速に把握するための手法を開発する．逐次的に更新される地震活動データに地震活動の統計モデルを適用することで，地震発生確率の時空間変化を評価する手法を開発する．また，地表の荷重変化や潮汐等の応力擾乱に対する地震活動の応答を評価する．

○大学は，地球規模の広域な地震活動や，世界の様々な地域の地震活動の予測・検証実験を行うために，国際的な地震活動予測可能性共同実験（CSEP）に継続して参加する．世界標準の地震発生予測モデルや検証方法の改善，実験方法の改良にも貢献する．

○大学は，過去の観測データ・地震の発生履歴・文献資料等を収集し，海溝型巨大地震や内陸大地震の発生前・発生後の地殻活動等を整理することで，地震活動事象系統樹を作成する．さらに，大地震発生前後の特徴的な地震活動等の発現頻度等を把握し，地震発生予測手法の高度化に資する．

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

地震活動や電磁気現象などの中短期の地震先行現象の統計的評価に基づき，大地震の発生確率を推定する手法を開発する．また，地震先行現象のうち，統計的評価がなされていないものについては事例を蓄積しつつ統計的評価に着手する．さらに，機械学習等のデータ駆動科学の最新手法を取り入れることで，新たな先行現象の抽出及び統計的評価を行う．理論や室内実験等により，先行現象の発現メカニズムの解明も進める．

○大学は，従来から地震発生に先行する傾向があると示唆されている地震活動や電磁気現象などの現象に対して，過去のデータを用いて機械学習等のデータ駆動科学の最新手法を含む客観的手法で予測を行い，予測性能を統計的に評価する．

○大学及び海洋研究開発機構は，地震先行現象のうち物理的なメカニズムが推察されている現象について，

理論や室内実験に基づき，そのメカニズムから期待される予測能力向上への効果について検討する．

○大学は，各種先行現象候補による客観的な手法に基づいた地震発生予測マップの作成と予測能力の定量的評価，類似する時間空間スケールをもつ先行現象による予測の合致度合の調査を実施する．また，海外の関連機関のデータも活用して国際共同研究を推進する．

○大学は，地震波形データの解析と室内の岩石破壊実験等を活用して，主破壊に先行する微小破壊の活動様式や発生機構を明らかにし，大地震の発生確率評価への適用可能性について検討する．

(4) 中長期的な火山活動の評価

火山噴火の予測を高度化するためには，多項目の調査・観測によって噴火履歴や火山活動の状態を把握し，噴火発生のポテンシャルやマグマの蓄積状態などを評価する必要がある．過去の長期的な活動の評価に関しては，史料・地質データ等に基づいて作成される噴火履歴データベースを活用して，噴火様式や規模，マグマの種類を明らかにするとともに，マグマ供給系の長期的な時間変化を検討する．さらに，物質科学的解析に基づいて，マグマ供給系の長期的な時間変化を推定し噴火活動のポテンシャル評価に活用する．また，数ヶ月から数年の中期的時間スケールの評価に関しては，地表観測や衛星観測など様々な手法を駆使して火山性地震，山体・地殻変形，地震波速度，地磁気，熱，火山ガス等のモニタリングを行い，火山の状態を把握する．さらに，新たなモニタリング技術及び解析手法の開発も進める．得られた多項目データの解析結果を用いて，中期的時間スケールの様々な火山現象と噴火発生の関係を定量的に評価する．

ア．火山噴火の長期活動の評価

○大学及び産業技術総合研究所は，長期的な噴火活動のポテンシャル評価を実施するために，火山に関する地質データベース等を活用しつつ，各噴火の様式，規模，噴出物に対する物質科学的検討及びマグマ供給系の長期的な時間変化の検討を行う．

○山梨県富士山科学研究所は，富士山を対象としてトレンチ調査を含む地質調査等を実施し，噴火年代，噴火推移，噴出量等の詳細な噴火データを収集する．それらの結果を基に噴火履歴の解明を進めることで，噴火事象系統樹の精緻化に取り組む．

○大学及び海洋研究開発機構は，南海トラフや九州南方などの海域において地球物理・地球化学的観測を実施し，海底で発生する火山噴火，地震や海底地滑りなど，海底で起こる現象に起因する災害の発生ポテンシャル・発生リスクの評価を行う．

イ．モニタリングによる火山活動の評価

○大学は，有珠山，十勝岳，吾妻山，阿蘇山等，数年から 20 年程度の間に噴火を含む火山活動の活発化が見られた国内外の火山を対象として，地震活動・地殻変動・比抵抗・地磁気・重力・熱・応力場等のモニタリングを行う．衛星画像によるリアルタイム火山観測システム等を活用し，観測網が十分に整備されていない火山も対象とする．各火山で得られた観測量の特性とその変化を抽出して火山同士の比較研究を進め，異常現象の検知手法を含む火山活動の評価手法を開発する．

○大学は，火山ガスによる火山活動モニタリング技術の高度化として，二酸化硫黄などの火山ガス放出量の測定に加え，ガス組成の測定を進め，火山内部の火山性流体挙動の解明を行う．また，アプローチの難しい離島火山や遠隔地の火山にも展開可能な火山ガスモニタリング技術の開発を行う．

○気象庁は，全国の常時観測火山を中心に地震観測，GNSS・傾斜計・SAR 干渉解析等による地殻変動観測，全磁力観測，火山ガス・噴気温度観測を実施すると共に，過去の観測データも含めた解析を行う．これらにより，火山の地殻変動や火山ガス放出のモデル化など火山体内の物理・化学過程，火山活動の活発化や噴火に至る過程の解明を進め，観測データを用いた火山活動評価の高度化を図る．特に伊豆大島については，地殻変動観測に加え，重力観測，地表放熱量観測を実施し，地下のマグマ・揮発性成分収支モデルを構築することで，火山活動評価手法の高度化を進める．

○国土地理院は，GNSS・SAR 干渉解析等の地殻変動観測を実施すると共に，火山活動評価の高度化のために，地殻変動源の詳細なモデル化を行い，その時間変化の推移も高精度に把握する．

○北海道立総合研究機構は，雌阿寒岳や十勝岳等を対象として，地殻変動や重力観測，噴気や温泉に対する地球化学的モニタリングを行う．また，過去の観測データの再解析も含めて，地殻変動や地震活動のメカニズムを総合的に検討することにより，火山体に発達する熱水系構造を把握する．

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

先行現象の発現，噴火の発生，噴火規模の拡大・様式の変化などの推移，終息までを一連の火山活動推移とするモデルを構築する．推移モデルの構築にあたっては，噴火事象系統樹をさらに発展させ，各事象に先行して現れる物質科学的・地球物理学的データの相違点や共通点の整理，数理モデルの高度化を進める．また，次の事象に至るまでの時間や観測事象の時間変化率などを新たな

指標として加える．さらに，地震活動の活発化や山体膨張等の先行現象が発現したにもかかわらず噴火に至らない噴火未遂現象や火山体から離れたやや広域の地殻活動変化にも着目し，過去の観測記録や文献調査等も活用する．火山活動推移モデルの基礎となる噴火事象系統樹については，その作成を継続すると共に作成手法の高度化と標準化を進める．

○大学は，火山活動推移モデルの構築を目指し，地球物理学的観測や物質科学的分析から得られる各種パラメータに基づいて噴火現象の分岐指標を整理し，分岐判定に対する論理的評価方法を開発するとともに，噴火準備過程から噴火終了までの火山活動推移の類型化を行う．特に，水蒸気噴火に対しては，浅部熱水系の時間発展に着目した数値シミュレーションと多項目観測データとを比較し，モデルの構築に活かす．

○大学は，桜島火山を対象として，火山ガス・マグマなどの火山性流体の貫入・噴出の量やその時間変化率などに着目し，噴火先行現象，噴火発生，噴火規模・様式の変化など，先行現象から噴火終息までの一連の活動推移をモデル化する．過去 20 年間の観測データ及び新たに取得する観測データの解析，過去の観測記録や文献調査による大正噴火・昭和噴火及び南岳活動期の物理量評価，噴出物の岩石･鉱物学的解析等を基に，大正噴火クラス（VEI=5）の大規模噴火の事象分岐条件も含め，火山活動推移モデルの構築を進め，火山噴火予測手法の高度化を進める．

○大学，産業技術総合研究所，山梨県富士山科学研究所及び防災科学技術研究所は，全国の主要な活火山を対象として，最新の調査結果及び先行研究の成果を基に，火山・噴火活動に関する事象系統樹を作成するとともに，山体構造や地質学的環境が火山活動に及ぼす影響のモデル化を行う．火山活動の活発化や噴火発生時には，現象の科学的解釈や今後進展しうる事象の分岐予測にこれらの成果を活用する．

3．地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

災害の発生は，地震・火山噴火という自然現象が引き起こす地震動，津波，火山噴出物，斜面崩壊などの災害誘因が，自然や社会に潜在的に存在する脆弱性などの災害素因に働きかけることで引き起こされる．そのため，災害誘因を正確に予測することは，災害の軽減にとって重要である．災害誘因を事前に評価する手法及び大地震による災害リスク評価手法の高度化を進める．災害誘因のうち，地震動，津波，火山噴出物については発生後即時的かつ高精度に予測する手法を高度化する．災害誘因情報が情報の受け手側に配慮した災害情報として発信されない場合には，必ずしも防災対策に効果的に活用されない場合があるため，災害誘因情報を効果的に発信するために必要な研究を開始する．

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

断層運動の不確定性や，破壊の伝播効果などによる強震動の特性，断層のずれが地表に到達する場合に生成される強震動の特徴などを従来の強震動評価手法に取り込むことで，強震動の事前評価手法の高度化を行う．過去の巨大津波の知見とプレート境界の固着状態に関する情報を統合することで，津波の事前予測手法の高度化を進める．また，強震動，津波，地滑りなどに起因する災害リスクの評価手法の高度化に関する研究を実施する．地震動や火山活動に伴い発生する斜面崩壊については，地球物理的観測や地質調査，数値シミュレーション等により，その発生ポテンシャルの評価手法を開発する．さらに，噴火に先行する事象に基づいて火砕流の発生を事前に予測する手法や，火山灰堆積分布量から火山泥流（土石流）発生ポテンシャルを評価する手法を開発する．

ア．強震動の事前評価手法

○大学は，短周期から長周期までの広帯域強震動予測の高度化のために，強震動の成因と影響を強震観測データに基づき把握し，プレート境界地震や地殻内･プレート内地震を対象に，断層運動の不確定性を考慮した震源断層モデル化手法に関する研究を行う．同時に，強震動の事前評価に使用されている既往の地下構造モデルに対して，中～大規模地震の実地震記録を対象とした地震動シミュレーションを行い，地下構造モデルの妥当性の検証と改善を進める．

○大学は，兵庫県南部地震時に確認された破壊伝播による大振幅地震波や，熊本地震時に観測された地震断層近傍における特異な長周期パルス波など，建物被害に直結する震源域での強震動特性を理解することで，将来発生する強震動の評価手法の高度化に向けた研究を進める．

○大学は，地表地震断層の滑り量・形状と浅部地盤構造を調査し，強震動の分布と被害分布との対応関係を明らかにすることで，断層のずれが地表に到達する場合の強震動生成モデルに関する研究を実施する．

イ．津波の事前評価手法

○大学，産業技術総合研究所及び海洋研究開発機構は，津波堆積物等に基づく過去の超巨大津波の知見とプレート境界の固着状態を統合した津波の事前評価手法を開発する．

ウ．大地震による災害リスク評価手法

○大学及び海洋研究開発機構は，震源・深部地下構造・浅部地盤構造・強震動予測・構造物被害・リスク評価・情報伝達までを一貫して扱った研究を推進し，地滑り，津波，火災などの二次災害も含めた災害リスク評価手法の高度化に関する研究を行う．また，断層運動の不確定性を考慮することで，評価結果に幅をもたせた災害リスク評価手法を確立する．

○大学は，人口密度が高く災害リスク評価において脆弱と捉えられている堆積平野・堆積盆地などを対象に，地震災害の素因と誘因の関係や災害発生機構を多面的に分析し，災害を軽減するための要件を明らかにする．

○大学は，地震被害想定の不確実性を低減するために，震源断層モデルや地下構造モデルの精緻化，地域固有の構造物被害・リスク評価の高度化を地域の自治体と連携して進める．また，想定結果を広く住民に伝える手法についても地域の自治体と共に検討する．

○北海道立総合研究機構は，積雪寒冷や暗夜条件下での津波による最大リスク評価手法に加えて，地域の人口や土地利用の経年変化を考慮した津波防災対策効果の評価手法を開発する．また，モデル地域において，住民や自治体と共に津波避難計画や津波防災地域づくり計画の作成に参画する．

エ．地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

○大学は，大規模数値シミュレーションを活用し，短周期から長周期までの広帯域強震動による斜面崩壊等の自然環境への影響の事前評価手法を検討する．

○大学は，火山灰層内部に滑り面を持つ斜面崩壊が近年の地震で多く見られたことを踏まえ，既往崩壊地及び近傍未崩壊斜面において，物理探査，掘削試料の土質試験，掘削坑内での物理観測を実施する．

○大学は，地震動や火山活動などによる地滑り現象と地形・地質的要因の関連を，現地調査や室内試験，地震動観測などに基づいて明らかにし，地震動に伴う地滑り発生ポテンシャル評価と事前評価手法の高度化に関する研究を行う．

オ．火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

○大学は，桜島等を対象として，噴火に前駆する地震及び地盤変動から火砕流発生予測，ならびにその規模を事前に評価する手法を開発する．また，遠隔観測及び地上観測から火山灰堆積分布量を推定して火山泥流（土石流）発生ポテンシャルを評価する手法を構築する．

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

大地震によって引き起こされる強震動・津波・長周期地震動などを，地震・測地・津波等の陸域及び海域における単独もしくは複数の観測量に基づいて，即時的かつ高精度に推定する手法を開発する．さらに，地震・火山噴火による斜面崩壊や山体崩壊による津波の即時予測手法の開発に向けた研究に着手する．また，火山の遠隔観測及び地上観測により，火山灰・火砕流・溶岩流・火山泥流・土石流を即時的に予測する技術を開発する．

ア．地震動の即時予測手法

○大学は，高密度に配置された自治体震度計のデータを用いて地震動即時予測手法を高度化し，防災実務での利活用方法について検討する．

○気象庁は，地震動の実況把握から地震動予測を行う時間発展型の手法の高度化を図り，強震動及び長周期地震動の即時予測の迅速化や精度向上のための研究を行う．

イ．津波の即時予測手法

○大学は，リアルタイム GNSS を用いて，断層滑りの不確実性を定量的に評価する断層即時推定手法の開発を行い，津波即時推定手法の高度化を進める．

○大学は，震源過程など地震学的描像を必要としないデータ同化手法に基づく津波伝播の状況把握から，地震やそれ以外の災害誘因による津波を，可能な限り即時的かつ高精度に推定する手法の開発を行う．

○気象庁及び海洋研究開発機構は，津波波源推定方法や海底・沿岸地形等のモデルの改良により，津波の発生・伝播・減衰に至る全過程を再現する津波モデルの高精度化を図るとともに，津波の実況監視に寄与するため，津波の発生・伝播の状況を迅速に把握する手法の開発を進める．

ウ．火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

○大学は，火山噴火に伴う溶岩流出や火山灰噴出などの地表現象を即時的に把握し，事象分岐判断に必要となる噴出量・噴出率などの物理パラメータを迅速かつ高精度に推定するための手法開発を行う．噴火が切迫している火山については，噴火現象の即時把握や噴出物データの迅速な取得を可能とする機動的観測手法を検討し，実際の噴火発生の際には適用を試みる．

○大学は，桜島等を対象として，火山地形と局所的気象要素を考慮することで，火山灰の堆積分布をより迅速かつ高精度に予測する手法を開発する．また，河川近傍の地球物理・水文観測に基づき，土石流量を即時的に把握する技術を開発する．

○気象庁は，気象レーダーや衛星観測の高度利用に基づいて，大気中への火山灰供給源モデルの改善や火山灰輸送予測の精度向上，噴煙の構造や火山灰などの物理パラメータを活用した火山灰データ同化システムと移流拡散モデルに基づく解析・予報サイクルのシステム導入のための研究を行う．

○防災科学技術研究所は，関係機関と協力し，噴火時の火山灰分布・噴出量を現地調査により迅速に把握し，降灰の各種インフラへの影響に関する実験結果等と組み合わせることで，事前評価と即時把握結果を災害情報として活用する方策の研究を実施する．

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

大地震や火山噴火の予測結果は確率で表されるが，往々にして誤差が大きく数値自体が小さいためにリスクが小さいという印象を与えがちである．また，大地震に先行する地殻活動の発現など，大地震の発生可能性が相対的に高まっていることを示す情報が得られたとしても，災害発生の切迫性を社会に的確に伝える方法はいまだ確立していない．一方，噴火の危険性が十分に理解されないまま火口や噴気地帯に観光客が近付くことにより，小規模な噴火が大きな被害に繋がりかねない観光地も少なくない．本質的に不確実性を含む災害誘因予測が，気象庁の防災情報等として適切に伝えられることで少しでも災害の軽減に生かされるよう，受け手側に配慮した地震・火山噴火情報のあり方を検討すると共に，防災担当者による火山噴火情報の活用を支援する方法に関する研究も進める．

○大学は，地震・火山噴火の予測情報に対する，住民・企業・地方公共団体などのユーザのニーズや活用実態の調査を通じて，被害軽減に繋がる地震・火山噴火情報のあり方に関する研究を行う．

○大学は，火山噴火活動について，火山噴火が切迫した段階や噴火中に刻々と変化する地殻変動をリアルタイムで把握するための自動処理システムを開発し，そこから得られる情報を準リアルタイム火山情報表示システムに組み込むための開発研究を行う．また，これらの情報を，地元の自治体や防災担当者が活用するための方策を検討する．

○大学は，火山噴火に関連して発生する土石流について，事前評価と即時予測結果を災害情報として活用する方策を検討する．さらに，災害情報に基づく避難行動や災害復旧に関する意思決定を支援するシステムを試作し，地域への効果的な情報伝達方法を検討する．

4．地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

地震・火山現象の理解・予測を災害の軽減につなげるためには，地震･火山現象に関する科学的な理解を深め，現象を予測するだけでは必ずしも十分ではなく，地震・火山現象の理解・予測の研究成果を社会に適切に還元する必要がある．そのために，過去から近年までに発生した地震・火山災害の事例に対して，地震・火山噴火によって引き起こされる地震動や津波，降灰などの災害誘因が建物の脆弱性や暴露人口等の社会素因へ与える作用に焦点を当てながら，災害が発生した仕組みや要因を解明する．さらに，社会における防災リテラシーの実態調査等を通して，社会が被害の発生を抑止，あるいは軽減する対策を考えるために必要な知識体系を解明する．それに基づいて，災害の軽減に結びつく効果的な知識要素を特定し，防災リテラシー向上に資する実践的な研修プログラムを開発する．

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

史料・考古データ，地質データ等に基づく先史時代から現代に至るまでの災害事例のデータベースを活用するとともに，近年発生した地震・津波・火山災害の事例検証を通して，地震動・津波・火山噴出物などの災害誘因が，居住地の空間構造，コミュニティ構造，社会的脆弱性などの社会素因とどのように関連し被害をもたらすのか，その発生過程の解明に向けた文理融合による研究を行う．また，過去に起きた地震・津波・火山災害事例を対象に，災害からの復旧・復興過程に関して社会の回復力に焦点を当てた研究を進める．さらに，地震・火山研究で得られた知見の社会への発信に関しては，地域の行政機関やステークホルダーと連携する．

○大学は，過去に起きた地震・津波・火山災害事例を対象に，当時の社会情勢や周辺環境との関係を検討して被害の実態や人々の対応，復旧・復興過程を明らかにし，時代的・地域的な特性を導き出す．

○大学は，明治時代や江戸時代の史料をもとに古地形等を復元・可視化し，地形と災害被害の関連性を明らかにする．加えて，歴史的な地形変遷から将来の災害を予測し，災害予防と防災意識の啓発等への活用を図る．

○大学は，近年の地震災害に注目して，被害の地理的・社会的分布の分析と，コミュニティの社会的脆弱性や防災対策，リスク認知や防災意識などの検討を通して，地域的な災害発生機構を解明する．また，災害発生機構と防災リテラシーとの関連性を調査し，防災リテラシーを向上させるための方策を提案する．

○大学は，火山地域における災害軽減策に寄与するた

め，地域の行政機関やステークホルダーと連携して地震・火山研究の知見を整理し，社会へ適切に発信する手法について検討する．

○気象庁は，地震・津波・火山噴火に関する地域の災害特性や過去の災害履歴等の把握に資するデータベースの整理を進めることで，地域の特性や災害リスクの認知，防災リテラシーの向上を図る．

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

社会が地震・火山噴火災害による被害の発生を抑止，あるいは軽減する対策を考えるために必要な知識体系を明らかにすることを目的として，活動的な火山や想定巨大地震などを対象に社会の防災リテラシーの実態やニーズ調査を実施する．知識体系を明らかにする過程で，実効性のある防災対策に必要な知識要素を特定する．さらに，それらの知識要素を組み合わせることで構築した実践的な防災リテラシーの研修プログラムを，特定の地域において開発し，その効果を検証することで実効性を高める．また，マイクロジオデータやオープンサイエンスの手法を活用することで，社会の共通理解の醸成と防災リテラシーの向上を図る．

○大学及び防災科学技術研究所は，活動的な火山や想定巨大地震に着目し，住民や行政に対し防災リテラシーの実態やニーズ調査を実施する．自然災害事例マップやモニタリング情報等を積極的に活用しながら，実効性のある防災対策に必要な知識体系を明らかにし，それに基づいて知識体系を構成する要素を特定する．それらの知識要素を組み合わせることで，実践的な研修プログラムを開発し，その効果を検証する．

○大学は，地理空間情報，GIS，衛星測位データを統合して時空間データベースを構築し，避難行動に関するマイクロジオデータ等を収集して，防災・減災に関して社会的有効性の高い統合的な情報活用法を開発する．

○大学は，一般市民と研究者とが共同して観測研究や災害軽減の取り組みを進める「オープンサイエンス」の手法により，防災リテラシーの向上に向けた研究を進める．

5．研究を推進するための体制の整備

観測研究の成果を災害軽減に効果的に活かすためには，関連する諸機関との強い連携の下に適切に研究を実施する体制を整備することが不可欠である．また，計画を災害科学の一部として推進することによって災害軽減という大きな目標を達成するためには，研究項目間の連携を強化し，分野を横断する総合的な研究の実施が効果的である．地震・火山現象を解明して予測につなげるためには長期的視点に立った継続的な観測，観測対象を広げるための技術開発，得られたデータを蓄積し将来にわたって活用するためのデータベース構築が不可欠である．また，災害科学は総合科学であり，理学，工学，人文・社会科学，歴史学，考古学，数理科学，情報科学等との連携を強化し学際的に研究を進める必要がある．地震・火山噴火災害は地球規模の課題であり，国際的な視点に立って研究を実施することが肝要である．研究成果を効果的に災害軽減に活かすため，情報の受け手である社会における地震・火山災害の共通理解の醸成にも取り組む必要がある．これら多様な要求を満たすため，幅広い分野において，地震・火山災害の軽減を志す若手研究者や技術者を育成し，社会の様々な関連分野に地震・火山の専門教育を受けた人材を供給することが重要である．

(1) 推進体制の整備

本計画は，地震学・火山学の成果を災害軽減に活用する観点から，地震学と火山学を中核とし，災害や防災に関連する理学，工学，人文・社会科学などの分野を含んだ，総合的な学際研究として推進する．そのために，測地学分科会は行政や社会のニーズを踏まえた計画の推進に努め，計画の進捗状況を把握し，研究成果を取りまとめて研究者及び社会に還元する．本計画を効率的に推進するため，予知研究協議会は計画に参加する機関による情報交換等を通じて連携の強化を図る．また，東京大学地震研究所と京都大学防災研究所による拠点間連携共同研究をさらに発展させ，地震学・火山学の成果の活用方法について組織的な研究を推進する．

○測地学分科会は，学術的な研究の動向にも配慮しつつ，各年次の全体計画の立案，進捗の把握，取りまとめを行い，毎年の研究成果を公表するとともに，3 年次に計画全体の自己点検を行い，外部評価等を行う．また，計画進捗，成果についても地震本部と情報交換し，地震本部による地震調査研究の基本施策との整合性を確認する．なお，各年次の全体計画の立案にあっては，地震・火山防災行政，防災研究全体，特に地震本部の施策に本計画がどのように貢献すべきかを十分に踏まえるとともに，本計画の実施項目をそれぞれ独立して推進するのではなく，項目間の連携を強化し，総体的に計画を推進するように留意する．

○測地学分科会は，行政機関や地震本部等の関係機関との技術的・制度的な連携を進め，本計画による研究成果や観測・解析技術が災害軽減に貢献できるよう，災害・防災対策に係る行政や社会のニーズを踏まえた計画の推進に努める．

○活動火山対策特別措置法で火山専門家が各地の火山

防災協議会に参加する仕組みが定められ，科学的な知見が現場の火山防災に実践的に活用されるようになってきている一方で，火山研究分野には地震研究分野における地震本部のような基礎研究と社会ニーズを組織的･計画的に結びつける機関がない．測地学分科会は，火山調査研究及びそれを支える研究基盤の整備を国全体として一元的に進める仕組みが，関係機関の協力のもと構築されることを期待する．

○予知研究協議会は，関係機関と緊密に連携して観測研究計画を協議し，計画の有効な推進を図る．そのため，予知研究協議会企画部を中心に観測研究計画を立案して測地学分科会に提案し，観測研究計画参加機関間での調整を行って観測研究の実施を推進する．

○各実施機関は，それぞれの機関の実施計画及びその進捗について，予知研究協議会において情報交換を行うなど，計画の実施項目間及び研究分野間の連携を強化して，効率的に計画を実施する．

○「地震・火山科学の共同利用・共同研究拠点」である東京大学地震研究所と「自然災害に関する総合防災学の共同利用・共同研究拠点」である京都大学防災研究所は，地震発生・火山噴火が災害誘因となる事象に関して共同研究を推進し，複合学術領域としての地震・火山噴火に関する災害科学の発展のために，拠点間連携を継続する．

○地震予知連絡会は，地震活動・地殻変動などに関するモニタリング結果や地震の予知・予測のための研究成果などに関する情報交換を行うことにより，モニタリング手法の高度化に資する役割を担う．

○火山噴火予知連絡会は，火山活動の総合評価や，噴火警報・火山情報の質の向上に向けた技術的検討を通じて火山防災に資するとともに，研究成果・観測結果の情報交換，火山観測データの流通・共有の促進，活発化した火山における臨時観測に関する総合的な調整，研究成果の社会への発信などを通じて，火山噴火予知研究の推進に寄与する．

(2) 分野横断で取り組む総合的研究を推進する体制

本計画における 1. ～ 5. の複数の項目間の連携を強化して，災害科学として重要な以下の対象について分野横断で総合的研究を実施する．なお，本計画実施中に地震・火山噴火による大きな災害が発生した場合は，必要に応じて測地学分科会での検討に基づき総合的研究の対象とする．予知研究協議会は，関連研究分野の連携をより一層促し総合的研究の円滑な推進のための体制を整える．

ア．南海トラフ沿いの巨大地震

過去の大地震の発生履歴に加えて，測地データや地震活動データ，数値シミュレーション等に基づいて南海トラフ沿いの巨大地震の新たな長期予測手法を開発する．また，陸域及び海域における観測データ等を用いて地殻活動をモニタリングし，中短期における巨大地震の発生可能性の相対的な高まりを評価する手法の構築を目指す．さらに，巨大地震発生の切迫度に対する社会の認知等に着目した地震情報の内容や発信方法に関する検討を行う．災害軽減に向けて，地震発生から災害誘因予測，被害予測，リスク評価に至るまでをそれぞれ関係の深い研究領域において実施し，目的に応じて必要な情報が社会に向かって発信される構図の形成を目指すとともに，各研究領域間の連携を強化するために活発な情報交換を行う．また，拠点間連携共同研究や委託研究プロジェクト等との連携も考慮する．

イ．首都直下地震

首都直下地震は，一旦発生すれば首都機能や我が国の経済活動全体に深刻なダメージを与える可能性が高い．想定される多様な震源について，発生メカニズムや発生可能性を評価する研究を進める．詳細な地盤構造や多様な震源モデルによる揺れの予測に，稠密観測データや地震史料の情報を反映し，新たな地震動予測手法の開発を目指す．また，複雑な地殻構造を用いた大規模数値シミュレーションに基づいて，地震動を高精度に予測する手法を高度化する．さらに，各項目の研究成果を有機的に結び付け，高度に集約化された社会環境下での防災リテラシー向上に資する総合的研究を実施する．

ウ．千島海溝沿いの巨大地震

千島海溝沿いでは，東北地方太平洋沖地震と類似性した巨大地震が繰り返し発生しており，その発生の切迫性が地震本部により指摘されている．津波による大きな被害も予想されているところであり，これまでの研究成果を最大限に活用し，津波堆積物の調査や，地殻活動の現況把握に関する手法の高度化，強震動・津波の事前評価手法及び即時予測手法の高度化，地域防災力の向上を目指した総合的研究を実施する．

エ．桜島大規模火山噴火

活発な噴火活動を 60 年以上続け，今後，大規模噴火の発生が予想される桜島を対象に，各研究項目間で緊密な連携と成果の共有を図り，住民避難を視野に入れた総合的研究を推進する．観測研究を通じて，マグマの動きとマグマ供給系への理解を深め火山活動推移モデルを高度化することで，噴火発生予測研究を進展させる．噴

火発生前の規模の予測と，噴火発生直後の噴出物の把握を即時的に行うことで災害予測研究を進める．災害予測に基づき，住民への情報伝達などの火山災害情報に関する研究と，避難や交通網の復旧などの対策に資する研究を行う．他の火山における類似研究と連携し，都市，中山間地域，離島などの地理的，社会的環境による対策の違いなど幅広い研究を目指す．

オ．高リスク小規模火山噴火

火山では，噴気地帯や山頂火口近傍に，多くの観光客や登山客が訪れたり，観光施設が設けられていることが多く，平成 26 年の御嶽山噴火や平成 30 年の草津本白根山噴火のように，規模が小さくても人的・物的被害等が生ずる場合がある．また，小規模な噴火は発生頻度が相対的に高いことから，観光客や登山客等の災害リスクの低減という観点から重要な研究対象である．そこで，噴火災害に関する史料の収集，地質調査による水蒸気噴火等の噴火履歴調査，各種観測による活動把握，災害誘因である噴石や土石流などの予測研究，災害情報の発信に関する研究等を実施する．これらの成果を総合的に検討し，研究の課題や方向性を明らかにする．

(3) 研究基盤の開発・整備

地震・火山研究の推進，高度化にとって不可欠である観測データを安定的・継続的に取得するために，日本全国に展開されている陸域及び海域の地震，地殻変動，津波，潮位，電磁気等の観測基盤を維持するとともに，関連機関が連携して効率的に多項目観測や機動観測等を行う体制を整備・強化する．観測・解析技術の高度化として，地上観測が困難な地域での有人・無人航空機や宇宙技術による観測技術開発及び海域の地殻変動観測技術の高度化を進めるとともに，新たな通信手段の導入などを図り，これまで取得困難であったデータや従来と比べ高精度なデータを取得する．

観測データや解析結果等を有効に活用し研究を加速させるためには，それらの流通，データベース化，公開を進める必要がある．観測網によって取得された大量の地震・火山観測データを効率的に流通させるためのシステムを構築する．さらに，観測データ等の基礎的資料や，構造共通モデル・解析ソフトウェアを含む研究成果をデータベース化し，これらを共有することにより効率的に研究を進める．

地震分野においては，地震本部の調査観測計画に基づき関係機関によって整備・運用されている基盤的調査観測等による観測データも活用して，本計画による研究を進めるとともに，その成果を通して地震本部の調査研究の推進に貢献する．火山分野においては，次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトと連携し，同プロジェクトで構築が進められているデータネットワークも活用してデータの共有化を進め，火山研究の推進に貢献する．

ア．観測基盤の整備

○防災科学技術研究所は，陸海統合地震津波火山観測網の安定的運用を行うとともに，関連施設の更新を図る．また，重点的に強化すべき火山について観測施設の整備・運用を推進する．関係機関との観測データの共有や利用促進を図り，国内外の関係機関における研究，業務遂行や我が国の地震・津波及び火山に関する調査研究の進展に貢献する．

○気象庁は，津波警報や地震情報等を適切に発表するため全国に展開している地震計及び震度計，東海地域を中心に展開しているひずみ計などの観測を継続するとともに，文部科学省と協力して，大学，防災科学技術研究所，海洋研究開発機構など関係機関の地震観測データを合わせて一元的に処理し，その結果を大学，関係機関に提供することにより，研究の推進に資する．

○国土地理院は，全国の GNSS 連続観測点を平均 20 キロメートル間隔の配置として維持し，観測を継続する．重点的な観測地域において観測点密度を考慮した観測体制の充実を目指す．また，GNSS の発展・最新の ITRF 座標系の実現等に伴い GEONET の解析手法の高度化を図る．

○国土地理院は，衛星 SAR データを使用して日本全国の SAR 干渉解析を定常的に実施し，日本国内における火山，地盤沈下，斜面変動等による地殻・地盤変動を検出する．地震発生や火山活動活発化の際には臨時解析を実施する．打ち上げに向けて現在開発が進められている先進レーダー衛星（ALOS-4）に対応するため，解析手法やシステム構成の検討を進め，切れ目なく地殻・地盤変動の監視を継続する．

○大学は，全国の陸域，海域及び火山周辺に設置された地震・地殻変動などの各種観測網から得られるデータを即時的に流通させるシステムを運用するとともに，大容量かつ多項目の観測データを確実に，かつ効率的に流通させるための通信方式等の開発を行う．また，長期的な観測の継続性を保つため，観測データの品質を評価するための基準作成を進める．

○大学は，大地震や火山噴火の発生時の迅速な機動的観測や，構造探査等の調査研究観測を実施できるように，必要な観測機材や人的資源を共有できる体制を整備する．

○気象庁，国土地理院及び海上保安庁は，潮位連続観測を継続し，地殻変動に伴う地盤の上下動を連続的に検知するとともに，津波の発生状況を把握・公表する．

また，国土交通省の関係機関が所有する潮位データを集約して即時的に共有し，国土交通省防災情報提供センター等において公開する．

○産業技術総合研究所は，南海トラフ沿いの巨大地震発生予測のため，東海～紀伊半島～四国周辺で地下水等総合観測網を整備・運用する．また，気象庁にリアルタイムで観測データを提供する．さらに，観測データのグラフを公開して毎日更新する．

○気象庁は，地球電磁気学的観測による地殻活動及び火山活動の研究に資するため，精密な地磁気観測データを提供する．地磁気基準点において，数十年～ 100 年スケールにわたる安定した地磁気観測を実施し，精密な磁場データを毎日リアルタイムで提供する．あわせて観測データの精度向上及び編集・解析作業の効率化を図る．

○国土地理院は，航空重力測量により全国を網羅する標高基準の精度を上げ，GNSS 測位によって容易に信頼性の高い標高が得られる環境を整備する．また，地上における重力の繰り返し観測及び地磁気の連続観測を行い，地震や火山活動の監視，現象の理解に資する基礎資料を整備する．

○国土地理院は，航空機 SAR を利用して全国の活動的な火山における火口等の観測を実施し，地形の情報を蓄積する．また，火山活動活発化の際には迅速に観測を行い，地形の変化を明らかにする．

○山梨県富士山科学研究所は，富士山における火山性地震のモニタリングを進めて火山性地震の発生状況を明らかにするとともに，重力の多点連続観測及び地下水観測の継続を通して，地殻流体の移動検出を目指す．

○北海道立総合研究機構は，雌阿寒岳，十勝岳等の火山において，熱観測，噴気や温泉水に対する地球化学的観測，地殻変動観測，重力観測及び地下水位観測を継続し，火山活動の変化を把握する．観測データは，気象庁や大学などと共有する．

○国土地理院は，国際 VLBI 事業と連携して VLBI 測量を，海上保安庁は，国際レーザー測距事業（ILRS）と連携して SLR 観測を実施することで，国際測地基準座標系の構築に貢献し，測量の基準となる基準座標系を維持する．

○国土地理院は，地殻変動連続観測を継続すると共に，観測設備の安定的・継続的な運用を行う．また，防災情報の発信への活用のため引き続き関係機関と潮位データの共有化を行う．活動的な火山においては，電子基準点を補完する GNSS 連続観測を実施する．南海トラフ沿いの地震に関しては水準測量を継続し，地震サイクル全過程の地殻変動データの収集を目指す．また，ひずみ集中帯などにおいて水準測量を実施する．

○気象庁は，大学や防災科学技術研究所等関係機関の協力の下，火山噴火予知連絡会で監視・観測体制の充実等が必要とされた 50 火山において，常時観測を継続する．また，機動観測として，GNSS 繰り返し観測，熱観測，火山ガス観測等の調査観測を計画的に実施するとともに，火山活動に異常が認められた場合には，緊急観測を実施して火山活動の詳細を把握する．関係機関による新規観測点のデータのうち火山監視に必要と考えられる観測点についてはデータ交換の対象に追加する．

イ．観測・解析技術の開発

○大学及び海洋研究開発機構は，海域での地震・地殻変動観測の高度化のため，超深海を含む海域で，陸上と同等な広帯域地震観測を機動的に行う技術の開発，海底面での水圧測定による上下変動観測と傾斜観測技術の実用化及び定常的な海域観測網の高度化等に引き続き取り組む．

○大学は，火口域での連続多点地震観測手法の高度化や，精密に制御された人工電磁信号を利用した火山の 3 次元比抵抗構造を常時モニターするシステム，宇宙線を用いた観測手法などの新たな火山活動モニタリング手法の開発を進める．

○大学は，新たな無線通信帯域・技術を活用したデータ伝送システムの開発及びこれを利用した地震・火山活動状況を高精度かつ迅速に把握可能なシステムの開発を進める．

○大学は関連機関と協力し，火口近傍や離島など観測困難域での観測技術の高度化を進めるために，衛星技術やドローンなどの飛行体を用いた観測手法・観測装置を開発する．また，海域での観測手法の開発や，携帯電話通信網を利用した機動観測に適するテレメータ装置の開発，光技術の応用等を進める．

○気象庁は，地震動･津波の即時予測の高精度化のため，地震動のデータ同化，津波予測における津波波源推定や海底・沿岸地形等のモデル要素の改良等，解析技術の高度化を進める．

○国土地理院は，地殻変動を即時的・高時間分解能で把握可能な，電子基準点リアルタイム解析システムの高度化を行うとともに，地殻変動を高時間分解能で把握するための電子基準点キネマティック解析システムについて，解析結果の信頼性及び精度を向上させるための技術開発を行う．また，汎用低価格受信機を用いた地殻変動観測システムの開発を行う．さらに，得られた解析結果の精度向上や異常値を判定する仕組みを構築することで，より信頼性の高い災害関連情報の発信を図る．

○海上保安庁，大学及び海洋研究開発機構は，日本近海の海溝型巨大地震の発生が想定される海域においてGNSS－音響測距結合方式や海底間音響測距，海底圧力観測による海底地殻変動観測を継続するとともに，観測･解析技術の高度化のための研究開発を行う．
○防災科学技術研究所及び海洋研究開発機構は，海域における地震・地殻変動観測データの解析を高度化するために，海域の不均質な地下構造を考慮した新たな解析手法を開発する．
○情報通信研究機構は，地震や火山等の自然災害発生時における被災地の状況把握を詳細かつ迅速に行うための次世代航空機搭載 SAR の開発を行う．

ウ．地震・火山現象のデータ流通

○大学は，GNSS や地殻変動連続観測など多項目観測データを全国に流通させるシステムを運用・高度化する．地殻変動研究の基盤となるデータの収集や共有のみならず，解析システムの構築･運用･高度化を行う．
○大学は，全国規模のデータ流通及びデータ処理で広く用いられているプログラムの機能向上を図る．
○防災科学技術研究所は，共同研究の促進，研究分野･組織間の連携強化，データの活用促進等に資することを目的として，大学や研究機関等が多項目の火山観測データを迅速に共有・利活用できるシステムを開発する．

エ．地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

○大学は，データの効率的な公開と利用の促進をはかるため，観測で得られたデータについて，適切な引用や引用履歴の追跡を可能とする DOI 等の永続的な識別子をつけて公開することを検討し，実際に公開を進める．
○気象庁は，総合的な地震カタログの作成と発震機構解析及び大地震時の震源過程解析を進め，それらの成果を公表する．海域観測網の地震波形データを一元化処理へ取り込み，地震波形の分析や震源決定等の処理の改善を進める．また，大学等の検測値を取り込んで過去にさかのぼった震源決定を行い，総合的な地震カタログに反映させる．
○気象庁は，定常観測点及び調査観測点における地磁気4成分連続観測データを，継続して地磁気観測所データベースに登録，公開するとともに，定常観測点のデータを国際的なデータセンターに提供する．また，地磁気アナログデータのデジタルデータへの変換を継続して実施し，過去に遡ってより長期間のデータ解析が可能な環境を整備する．
○気象庁は，常時観測を行っている 50 火山について常時観測データの収集，解析を行い，蓄積する．また，繰り返し観測などの機動観測により得られたデータや，火山活動に異常が認められた場合の緊急観測データも解析し，蓄積する．観測データの蓄積にあたっては活火山総覧改訂に活用できるようにデータベース化する．各種観測で得られた成果は，防災情報や防災資料の作成に利用するほか，気象庁 HP 等で公表する．地元自治体による災害対策の意志決定を支援するため，火山防災協議会に対する観測成果の共有を進める．
○産業技術総合研究所は，日本国内の活断層・津波・火山に関する最新の知見に基づく地質情報の整備を行い，火山地質図やデータベースとして公表する．また，東･東南アジア地球科学計画調整委員会（CCOP）等，アジア - 太平洋地域の大学・研究機関等と連携を進めることで，複数国に影響を及ぼすような規模の大きな地震・津波・火山ハザード情報の共有化を進める．また，微小地震の解析に基づき，高い空間分解能を有する全国規模の地殻応力データベースの整備を進める．
○国土地理院は，GNSS データの利活用のため，GNSS データクリアリングハウスに登録されている GNSS 連続観測局の所在変更が生じた場合，あるいは，GNSS 連続観測局が追加された場合には，データベースを随時更新する．また，現在公開している国土地理院と海上保安庁以外の機関が管理する GNSS 連続観測データの所在情報データベースについても整備する．
○国土地理院は，観測データをホームページで公開するとともに，地震予知連絡会，南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会及び南海トラフ沿い地震防災対策強化地域判定会に適宜報告する．
○国土地理院は，監視・観測体制の充実などが必要とされた火山を優先して，火山防災に資する基礎的な地理空間情報を整備する．また，地震災害の軽減に資するため，地形分類情報の整備を進めるほか，全国活断層帯情報（活断層図）を整備する．
○海上保安庁は，火山噴火現象の把握及び船舶の航行安全確保のため，日本周辺の海域火山の航空機による定期巡回監視及び測量船による海域火山基礎情報の整備，海域火山データベースの整備及び公表を実施する．

(4) 関連研究分野との連携強化

理学にとどまらず，工学，人文・社会科学などの関連研究分野との相互理解に努め，それらの分野間の連携をより一層強化することは，地震・火山研究の成果を災害軽減に役立てるために不可欠な要素である．低頻度大規模地震・火山噴火現象の規模，発生頻度，発生機構等

を明らかにするためには，近代的な観測データが取得されていない期間のデータが必要である．そのために，歴史学・考古学等との連携をさらに進める．さらに，災害誘因予測と災害素因との相互作用に着目し，災害や防災に関連する理学，工学，人文・社会科学との連携を一層進展させる．進展の著しい数理科学，情報科学，計算機・計算科学等の研究分野の成果を取り入れつつ，これらの研究分野との連携を強化する．

○低頻度大規模な地震や火山噴火現象を理解するために，歴史学，考古学，地質学との学際研究を通じて，過去の地震と火山災害の史料・考古データ，地質データ等の収集・拡充を継続して進める．史料の収集・解析に関しては平成 29 年に東京大学に設置された地震火山史料連携機構の機能も活用するなど，全国の関係機関と連携して効率的に研究を推進する．

○地震・火山噴火現象による災害誘因と社会や自然に内在する災害素因との相互作用に着目した研究のため，理学だけではなく，情報科学や計算機・計算科学，工学，人文・社会科学などの関連研究分野との連携を図り，地震・火山災害軽減の課題を解決するための学際研究を進める．

○地震発生，火山噴火，地震動，津波伝播などの大規模数値シミュレーションの更なる高度化のため，情報科学や計算機・計算科学との連携を図る．

(5) 国際共同研究・国際協力

国内だけでなく海外で発生する地震・火山噴火やそれらによる災害の知見を幅広く集約し比較検討することは，低頻度の地震･火山噴火現象の特徴･多様性の把握や，災害研究を進める上で極めて重要である．そこで，国際的な防災・研究機関と連携して共同研究を進め，より多くの事例研究を実施する．特に，欧米や地震・火山噴火の発生頻度の高い諸外国との共同研究やデータ交換を進め，国際的なデータベースの構築に協力し，それを用いた研究も推進する．さらに，開発途上国における地震･火山災害の軽減に貢献するための体制の維持・整備を行い，国際的な科学技術協力プログラム等も利用して国際貢献を推進する．

○大学は，低頻度で大規模な大地震の発生履歴・様式を理解するために，海外における津波堆積物調査を実施する．また，複雑な断層系の相互作用や断層端の特性を理解するために，複数の活断層で連鎖的に破壊が起きた海外の地震を対象にして国際共同研究を行う．さらに，地震発生過程の理解を深めるために，海外の鉱山等で発生する地震を対象に，震源域における掘削調査及び至近距離における地震観測等を実施する．

○大学及び海洋研究開発機構は，プレート境界浅部で発生する津波地震とゆっくり滑りの特徴や発生場の解明を目指して，同様の現象が観測される海外の沈み込み帯において国際共同研究を実施する．

○大学は，近代の日本では未経験な，大規模火山噴火災害が発生している海外の火山を対象として，火山活動推移モデル構築及び事象分岐条件設定のための調査観測研究を行う．

○気象庁は，国際地震センター，米国地質調査所，包括的核実験禁止条約機構，米国大学間地震学研究連合（IRIS）及び近隣国との地震観測データの交換などの組織的な連携・協力を通じて，また，航空路火山灰情報センター及び北西太平洋津波情報センターの国際協力業務や開発途上国における地震・火山の観測や津波警報の発表などの体制整備に必要な技術的な支援を通じて，国際的な研究活動の進展に寄与する．

○国土地理院は，SAR 干渉解析を実施することで，世界で発生する主な地震・火山噴火などに関連する地殻変動を検出する．また，VLBI による国際共同観測を通して，地殻変動やプレート運動の監視基準となる国際測地基準座標系の構築に協力する．

○海上保安庁は，国際レーザー測距事業（ILRS）に参加し，レーザー測距データの提供を継続することにより，日本周辺を含めた広域のプレート間相対運動の把握に資するデータを取得する．

○産業技術総合研究所は，アジア太平洋地域の研究機関と連携し，地震火山総合データベースとして，地震･活断層・津波・火山関連データの整備・更新を行うとともに，地震・火山現象に関する地質情報の国際的な共有化を進める．

○大学は，海外の卓越した地震・火山研究者や地震・火山噴火が多発する国の研究者を招聘する取組を行い，本計画の成果を積極的に海外に普及させるとともに，海外の優れた成果を取り込み，計画の効果的な推進を図る．

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

社会との共通理解の醸成を図るために，地震・火山噴火現象及び地震・火山災害に関するアウトリーチ活動を積極的，かつ組織的に展開する．地震・火山噴火の予測研究の等身大の現状や，最新の研究成果，地震・火山災害に関する基本的な知識等を社会に効果的に伝えるための情報発信方法について検討する．研究成果の情報発信にあたっては，研究の進捗や今後の見通しについても説明を加える．

○行政機関の防災担当者や国民に，地震・火山現象の科学的知見や，現在の地震・火山の監視体制，予測情報の現状を知ってもらうため，関連機関が協力して，

研究成果を社会に分かりやすく伝えるための取組を強化する．

○大学は，住民，報道関係者，行政等の防災担当者などを対象とした公開講義やセミナーなどを開催し，地震・火山噴火予測研究の現状や地震・火山噴火の基礎的な理解を深めてもらうための取り組みを継続的に行う．予知研究協議会は，本計画の取り組みや成果を広く理解してもらうため，計画参加機関が連携して，パンフレットの発行等の組織的な取り組みを行う．

○気象庁は，津波警報，緊急地震速報，長周期地震動に関する情報，噴火警報等の各種防災情報の改善のための検討で得られた知見や成果を広く共有する．

○気象庁は，地域特性に応じた災害リスクの認知を高め，緊急時に情報が防災対応に活用されるよう，防災情報の読み解きに資する取組を行うとともに，地域特性や過去の災害履歴の関連自治体との認識共有，防災情報の利活用等のための関連自治体等を対象とした実践的な勉強会の実施，関連自治体等との緊急時の対応の振り返り等の取組を進める．また，住民に対するよりわかりやすい情報の提供・伝え方の工夫や周知広報など，地域の防災力向上に向けた取組を関係機関と連携して行う．

○地震予知連絡会は，議事内容や重点検討課題，モニタリングにより把握された地殻活動の状況等を社会に発信する．また，地震活動の予測手法の現状を検討し，かつ報告することで，地震発生の予知・予測に関する研究の現状を社会に伝える．

○火山噴火予知連絡会は，火山噴火予知に関する科学的知見やそれに基づく火山活動の総合評価，噴火警報・火山情報の質の向上に向けた取組などを，社会に分かりやすく発信し，各地の火山防災協議会にも提供して防災・減災に資する．

(7) 次世代を担う研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成

地震・火山噴火の現象の理解，被害発生予測手法の高度化とその検証には，世代を超え継続的な観測研究の推進を支える人材の育成が極めて重要である．研究者，技術者，防災・災害対応実務に携わる人材の育成においては，地震学，火山学，地質学，地形学，歴史学，数理科学などの分野に加えて，それらの進歩を加速させる計算機科学，観測技術開発・地質調査技術開発，技術を社会に適応させるための社会科学などの幅広い分野における研究の進展と，若手研究者や技術者の育成が欠かせない．また，研究分野間の相互連携が必要であり，分野間連携を推進するための人材も重要である．さらに，地震・火山・防災の専門教育を受けた人材が防災・科学技術に係る行政・企業・教育に携わることも大切な点である．

○大学や研究機関等においては，観測研究に携わる研究者のキャリアパスを確保するため，若手の准教授，助教等のポストの確保や，ポストドクターの採用要件の柔軟な運用，民間企業等との共同研究を通じた就職先支援等の具体策を講じるよう努力する．また，若手研究者の研究資金を確保するため，国において，特に若手研究者を対象とした競争的研究資金制度等の充実を期待する．

○地震・火山の専門教育を受けた者が防災行政に携わることは，地震・火山防災を進める上で有効である．全国の大学や関連する行政機関，自治体などが連携し，計画の推進による成果を共有し，防災行政に携わる人材を育成する．

○火山研究分野においては，次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトとも連携し，次世代の火山研究者を育成する．

○本計画による地震や火山噴火の災害科学に関する成果を公表する成果報告会を毎年開催して，地球科学の専門家の研究推進や，防災業務の改善，次世代の研究者育成に資する情報を提供する．

地震予知連絡会 50 周年記念誌　編集委員会

主査（編集長）	山岡　耕春	名古屋大学大学院環境学研究科　教授
委　員	松澤　暢	東北大学大学院理学研究科　教授
委　員	小原　一成	東京大学地震研究所　教授
委　員	高橋　浩晃	北海道大学大学院理学研究院　教授
委　員	遠田　晋次	東北大学災害科学国際研究所　教授
委　員	篠原　雅尚	東京大学地震研究所　教授
委　員	青井　真	国立研究開発法人防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター長
委　員	堀　高峰	国立研究開発法人海洋研究開発機構 海域地震火山部門・地震津波予測研究開発センター長
委　員	楠　勝浩	海上保安庁海洋情報部海洋調査課長
委　員	中村　浩二	気象庁地震火山部地震予知情報課長
委　員	藤原　智	国土地理院地理地殻活動研究センター長

事務局

畑中 雄樹，坂部 真一，加川 亮，大滝 修，篠原 將人，菅原 安宏，
岩下 知真子，小柳 拓真，池田 君代

地震予知連絡会 50 年の歩み

令和 2 年 3 月 26 日　刊行

編集者　地震予知連絡会

刊行者　国土地理院
茨城県つくば市北郷 1 番
TEL（029）864-1111

印　刷　朝日印刷株式会社 つくば支社
茨城県つくば市東 2-11-15
TEL 029-851-1188