

平成30年5月25日

第219回 地震予知連絡会

記者会見資料

事務局：国土地理院

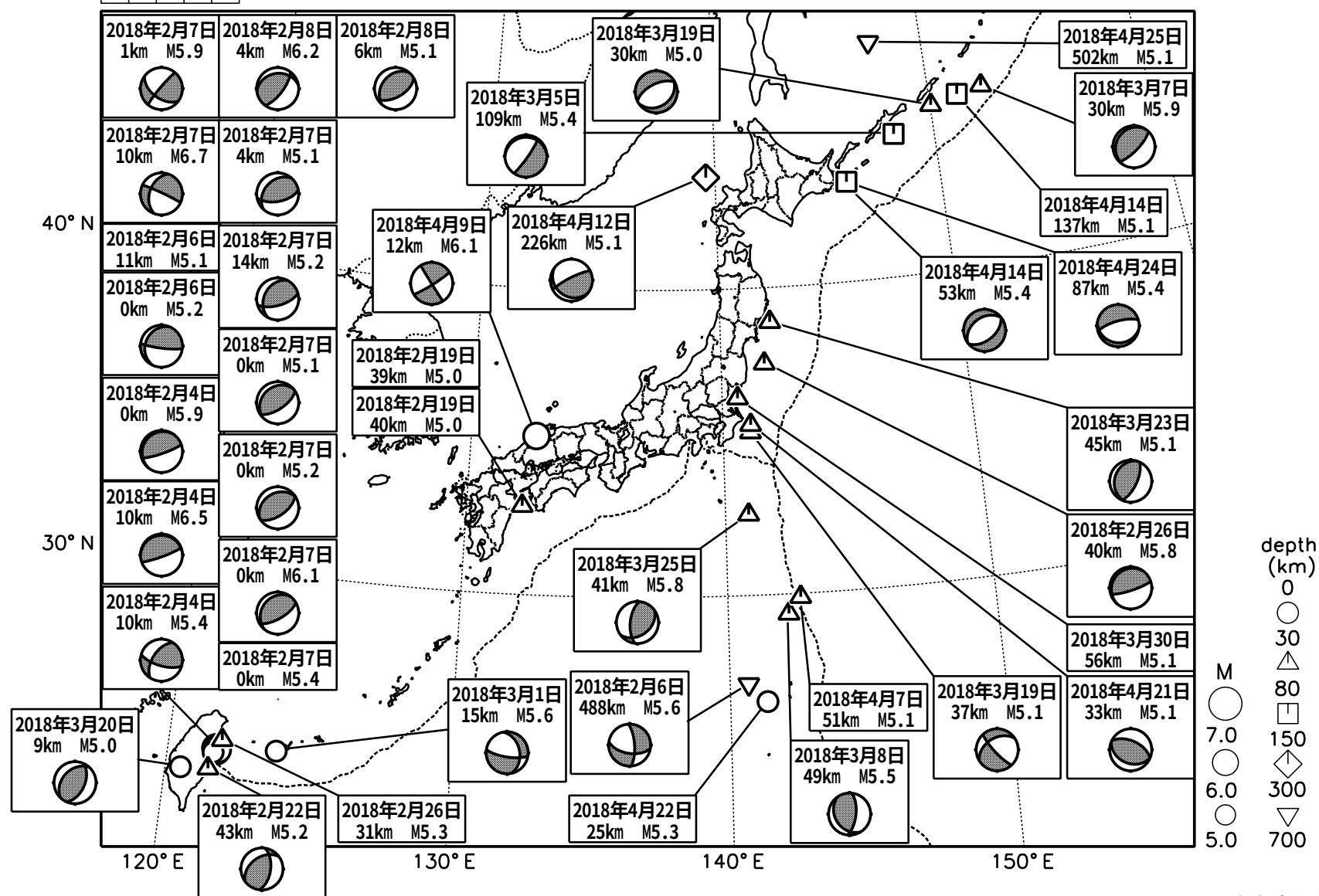
地殻活動モニタリングに 関する検討

日本とその周辺の地震活動 (2018年2月~4月、M $\geq$ 5.0)

2018 02 01 00:00 -- 2018 04 30 24:00

N=40

500km



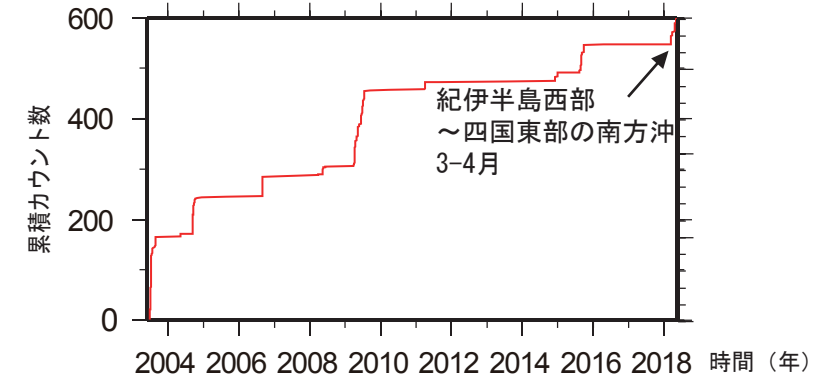
発震機構は気象庁によるCMT解

気象庁作成

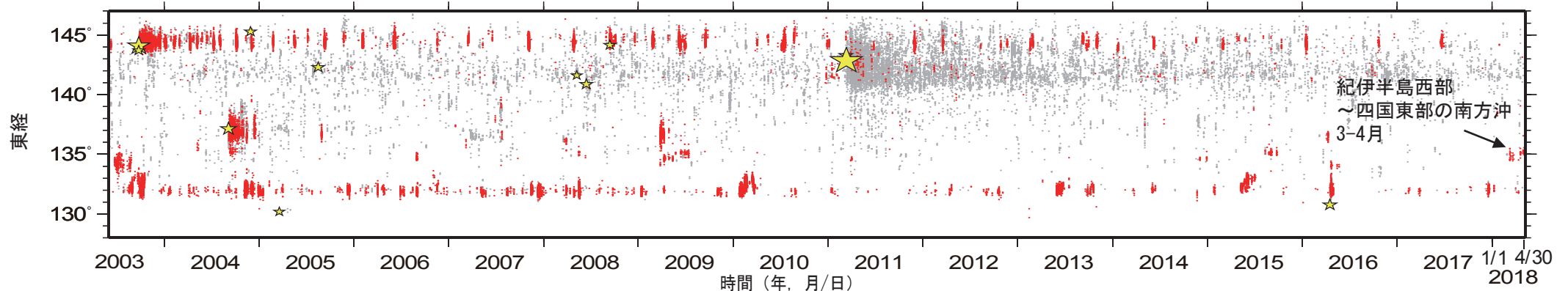
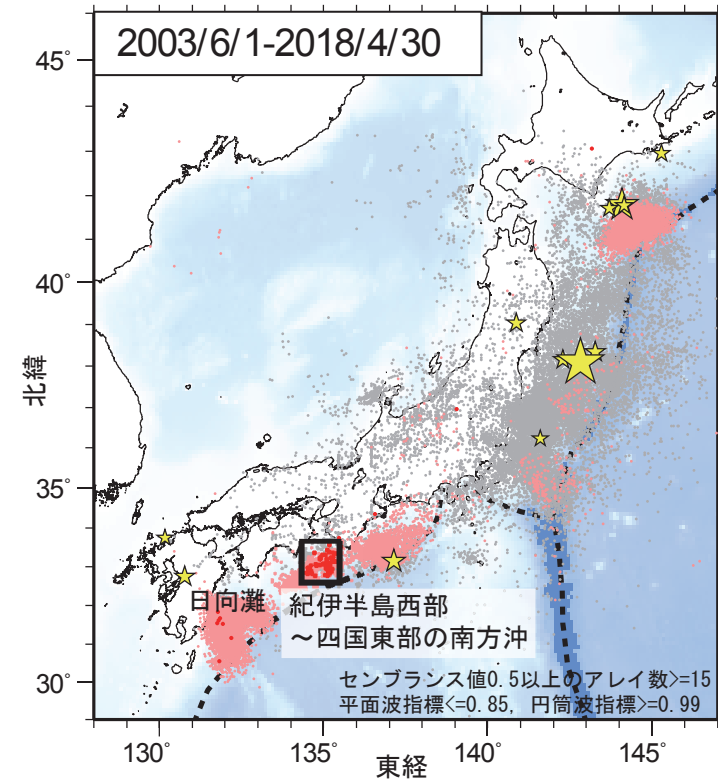
日本周辺における浅部超低周波地震活動（2018年2月～4月）

- 紀伊半島西部～四国東部の南方沖において、3月から4月に超低周波地震活動（2015年9月以来、約2年ぶり）。
- 日向灘においても4月上旬～中旬に超低周波地震が検出されたが、種子島・屋久島以南における活動の誤決定とみられる。

第1図. 2003年6月1日から2018年4月30日までの期間にアレイ解析によって検出されたイベントの震央分布. 検出イベントを防災科研 Hi-net の手動または自動検測震源と照合し、対応する地震が見出されたイベントを灰色で、それ以外を桃色（2018年1月31日以前）、および赤色（2月1日以降）の点でそれぞれ示す. これらは主として周期10秒以上に卓越する超低周波地震を表すが、東北地方太平洋沖地震の発生以降は、除去しきれない通常地震を含む期間内に発生した $M7$ 以上の地震（ただし、2011年～2015年の期間は東北地方太平洋沖地震の本震のみ）の震央を黄色星印で示す.



第2図. 紀伊半島西部～四国東部の南方沖における検出イベントの累積カウンタ数の時間変化. 幅60秒間の解析時間窓を15秒毎に設定し、それぞれの解析時間窓内にイベントが検出される度に1カウントと数えるよう定義した.



第3図. 2003年6月1日から2018年4月30日までの期間に検出されたイベントの時空間分布. 検出されたイベントを防災科研 Hi-net 手動または自動検測震源と照合し、対応する地震が見出されたイベントを灰色で、それ以外を赤色の点でそれぞれ示す. その他は第1図に同じ.

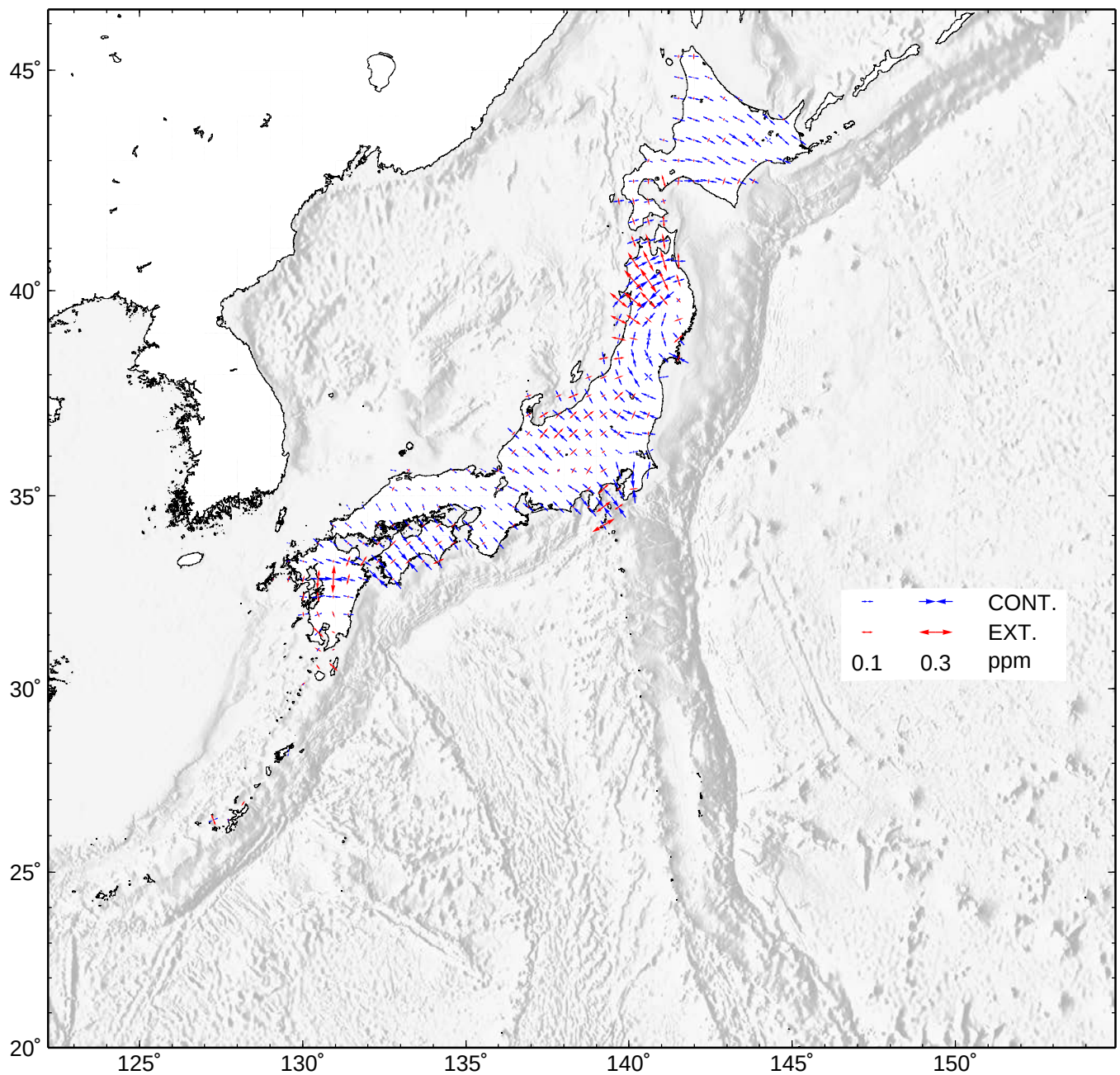
GNSS 連続観測から推定した日本列島のひずみ変化

2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響によるひずみが見られる。

2016 年 4 月の熊本地震の余効変動の影響によるひずみが見られる。

基準期間：2017/04/07 – 2017/04/21 [F 3：最終解]

比較期間：2018/04/07 – 2018/04/21 [F 3：最終解]



- ・ GNSS 連続観測による変位ベクトルからひずみ変化図を作成した。
- ・ 座標値の 15 日分の平均値から 1 年間の変位ベクトルを算出し、それに基づいてひずみを計算している。
- ・ 海底地形データは ETOPO1 (Amante, C. & B. W. Eakins(2009)) を使用した。

国土地理院資料

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（2018 年 2 月～4 月） その 1

- 短期的スロースリップイベントを伴う顕著な微動活動：
四国西部から中部，2 月 21 日～3 月 11 日． 四国東部 3 月 17 日～25 日．
紀伊半島北部から中部，4 月 13 日～20 日．
- 上記以外の主な微動活動：紀伊半島南部，2 月 11 日～15 日．

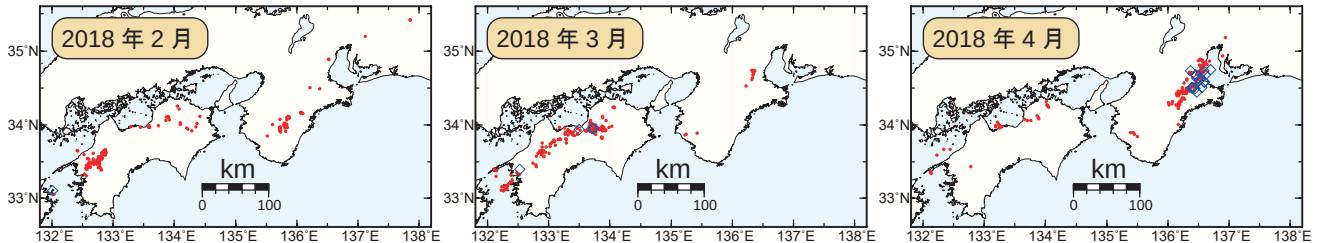


図 1. 西南日本における 2018 年 2 月～4 月の月毎の深部低周波微動活動．赤丸はエンベロープ相関・振幅ハイブリッド法 (Maeda and Obara, 2009) およびクラスタ処理 (Obara et al., 2010) において，1 時間毎に自動処理された微動分布の重心である．青菱形は周期 20 秒に卓越する深部超低周波地震 (Ito et al., 2007) である．

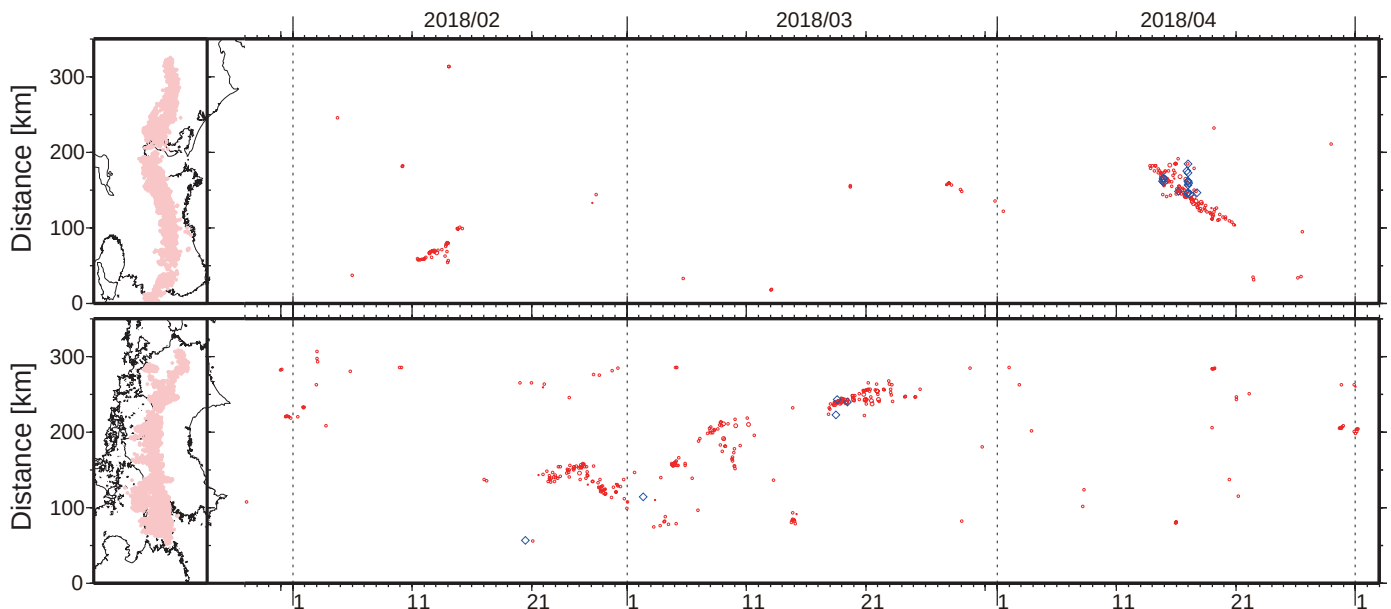


図 2. 2018 年 1 月 28 日～5 月 2 日の深部低周波微動（赤）および，深部超低周波地震（青菱形）の時空間分布．

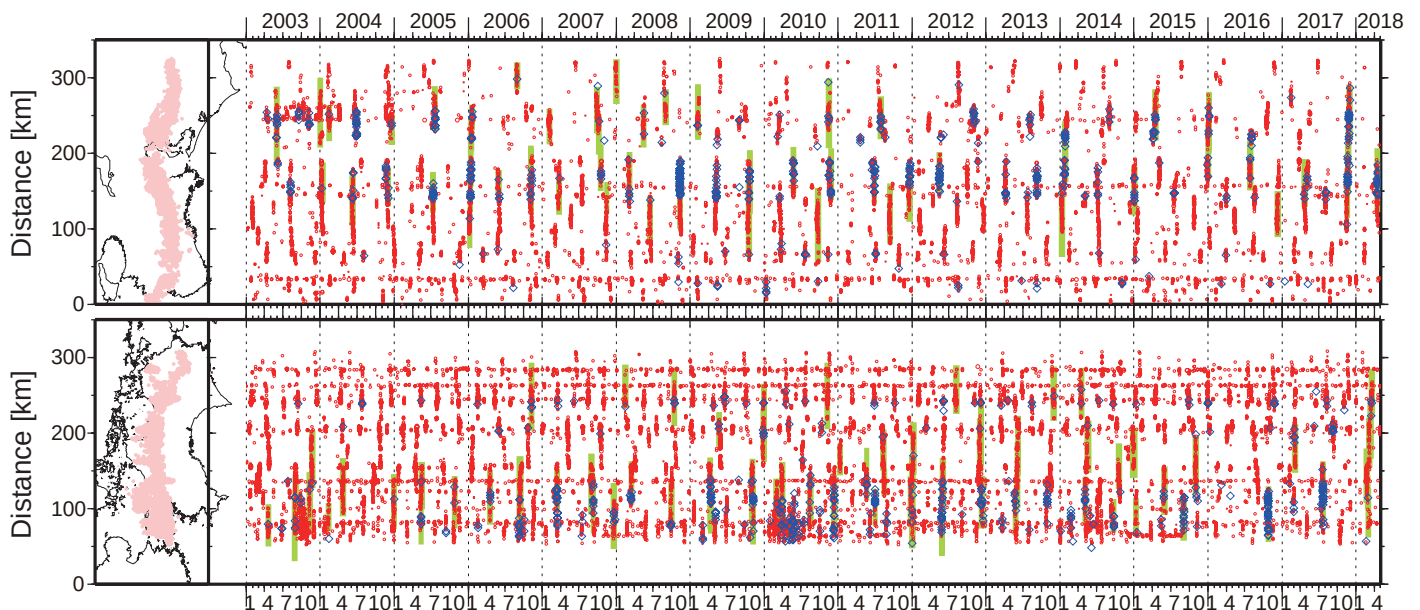


図 3. 2003 年 1 月～2018 年 5 月 2 日までの深部低周波微動（赤）および，深部超低周波地震（青菱形）の時空間分布．緑太線は，傾斜変動から検出された短期的スロースリップイベント．

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（2018年2月～2018年4月） その3 スロースリップイベントによる傾斜変動ー

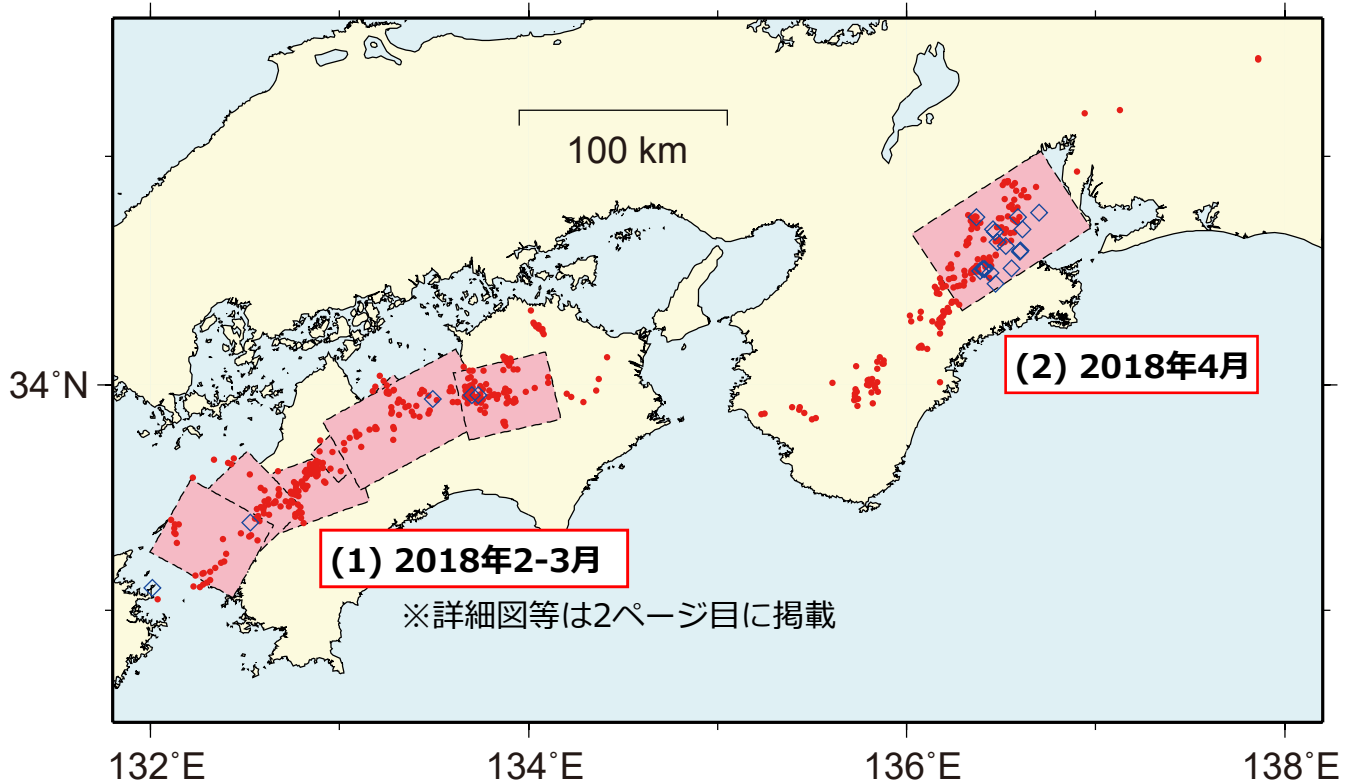


図1：2018年2月1日～2018年4月30日の3ヶ月間の深部低周波微動（赤点），深部超低周波地震（青菱形），短期的スロースリップイベント（SSE：ピンク四角）。

2. 2018年4月 紀伊半島北部（Mw 6.0）

2017年11-12月SSE（Mw 6.2）以来，約4ヶ月ぶり

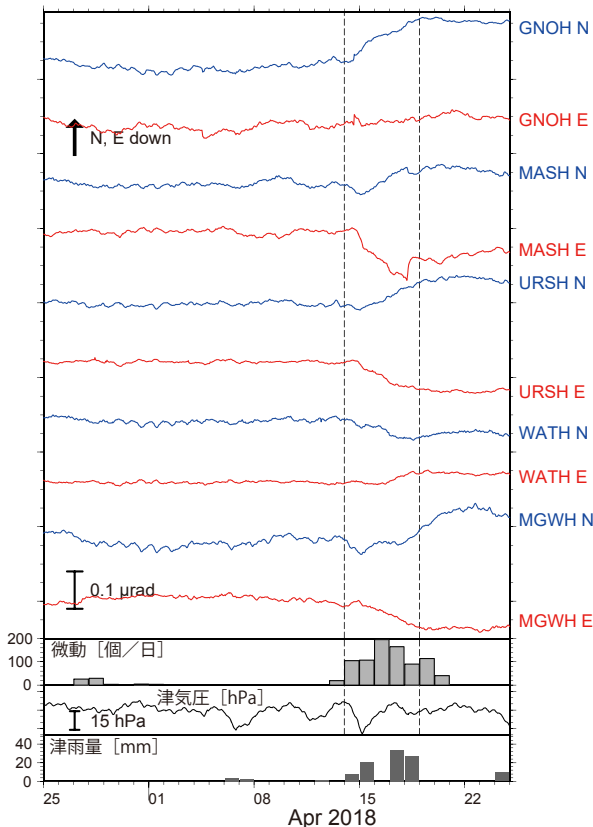


図5：2018年3月25日～4月24日の傾斜時系列。上方向への変化が北・東下がりの傾斜変動を表し，BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答成分を除去した。2018年4月14日～18日の傾斜変化ベクトルを図3に示す。紀伊半島北部での微動活動度・気象庁津観測点の気圧・雨量をあわせて示す。

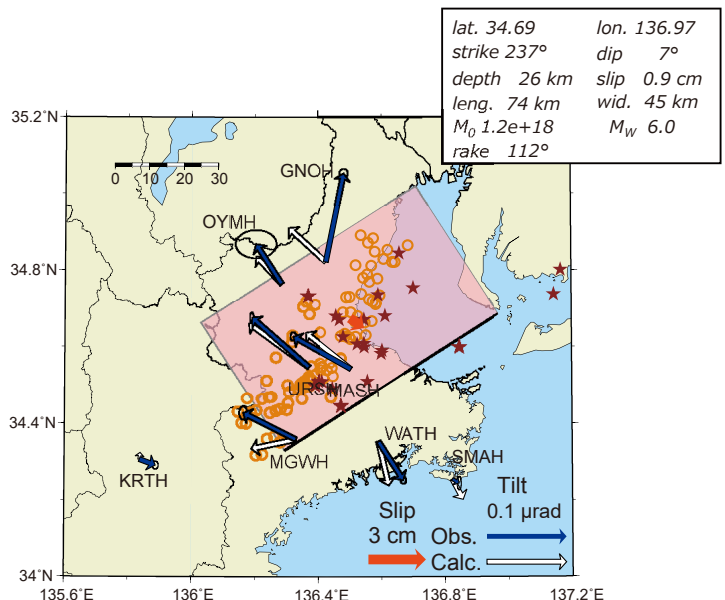
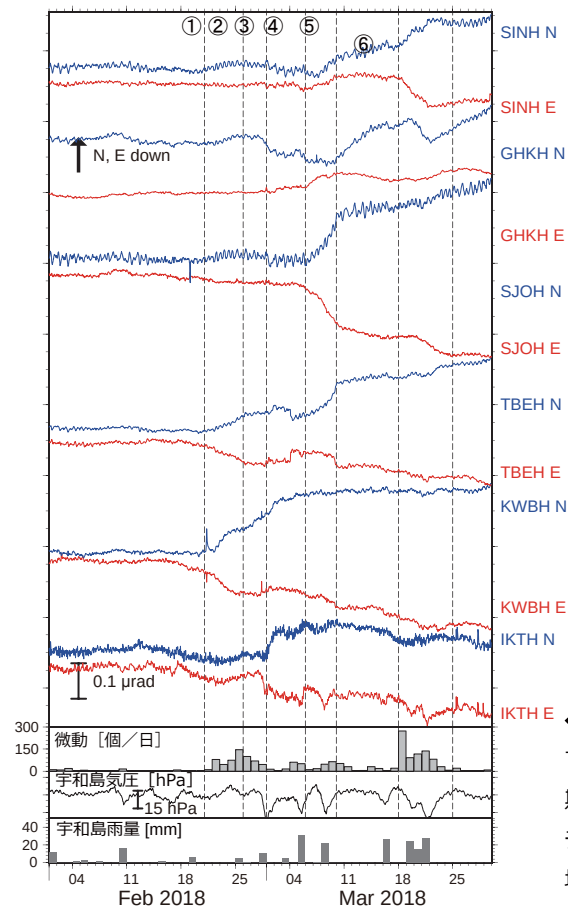


図6：2018年4月14日～18日に観測された傾斜変化ベクトル（青矢印），推定されたスロースリップイベントの断層モデル（赤矩形・矢印），モデルから計算される傾斜変化ベクトル（白抜き矢印）を示す。1時間ごとの微動エネルギーの重心位置（橙丸），深部超低周波地震の震央（茶星印）もあわせて示す。すべり角はプレート相対運動方向に固定している。

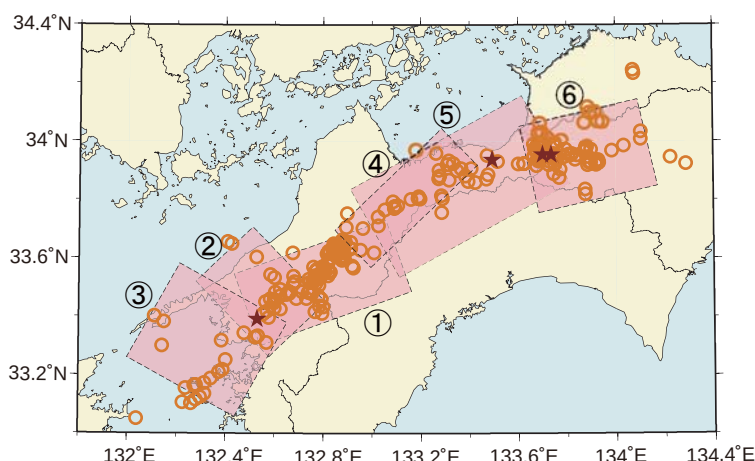
謝辞

気象庁のWEBページで公開されている気象データを使用させて頂きました。記して感謝いたします。

1. 2018年2～3月 四国地域 (Mw 6.3)



2017年7月SSE (Mw 6.0) 以来、約9ヶ月ぶり



↑図3: 図2の期間①～⑥に観測された傾斜変化から推定された短期的スロースリップイベントの断層モデルベクトル (赤矩形), 1時間ごとの微動エネルギーの重心位置 (橙丸), 超低周波地震の震央 (茶星印) を示す。

←図2: 2018年2月1日～3月29日の傾斜時系列. 上方向への変化が北・東下がり傾斜変動を表し, BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答成分を除去した. 期間①～⑥の傾斜変化から推定した短期的スロースリップイベントの前断層モデルを図3に, 各機関の傾斜変化ベクトルと断層モデルを図4に示す. 四国地域での微動活動度・気象庁宇和島観測点の気圧・雨量をあわせて示す。

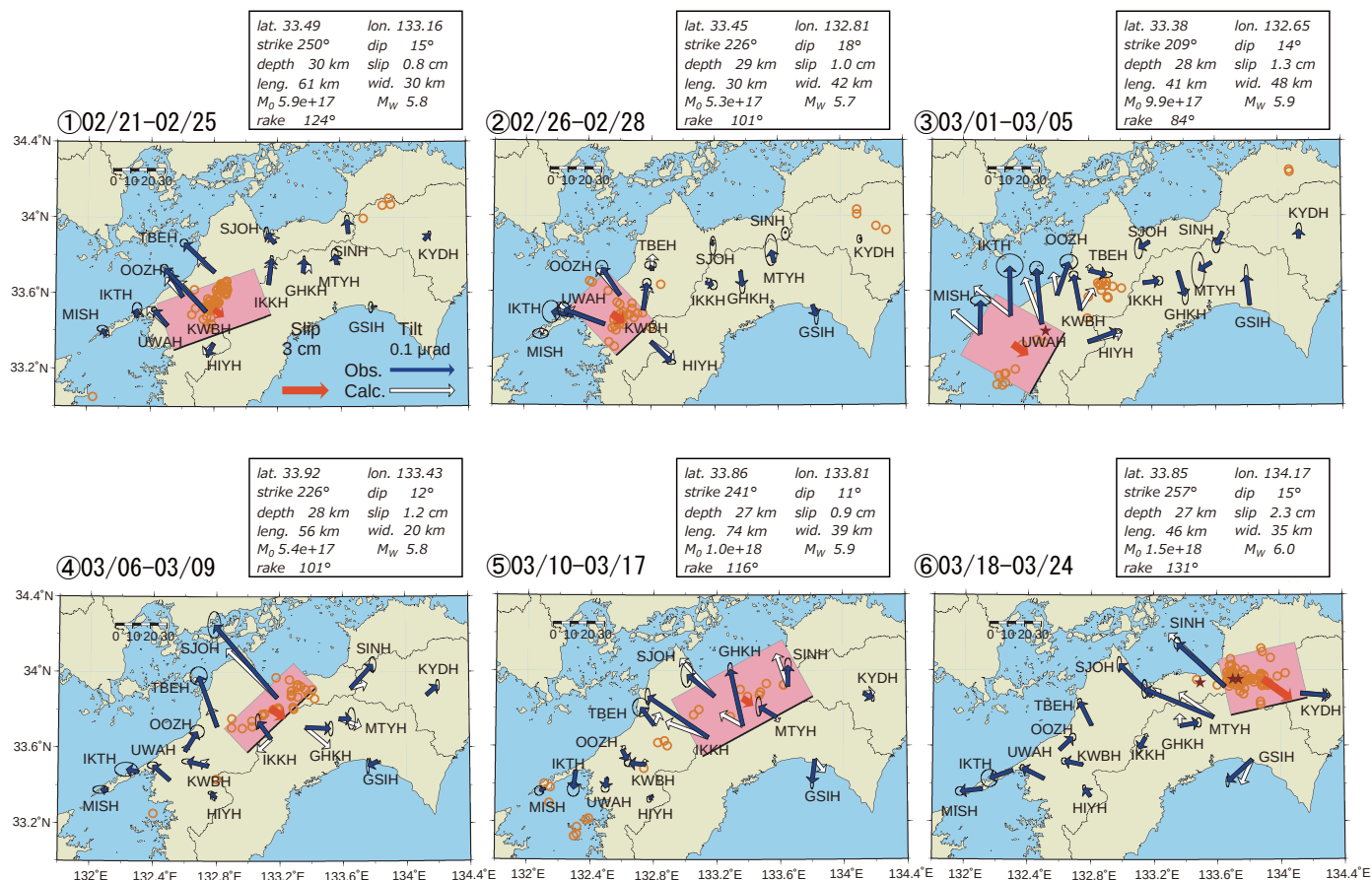


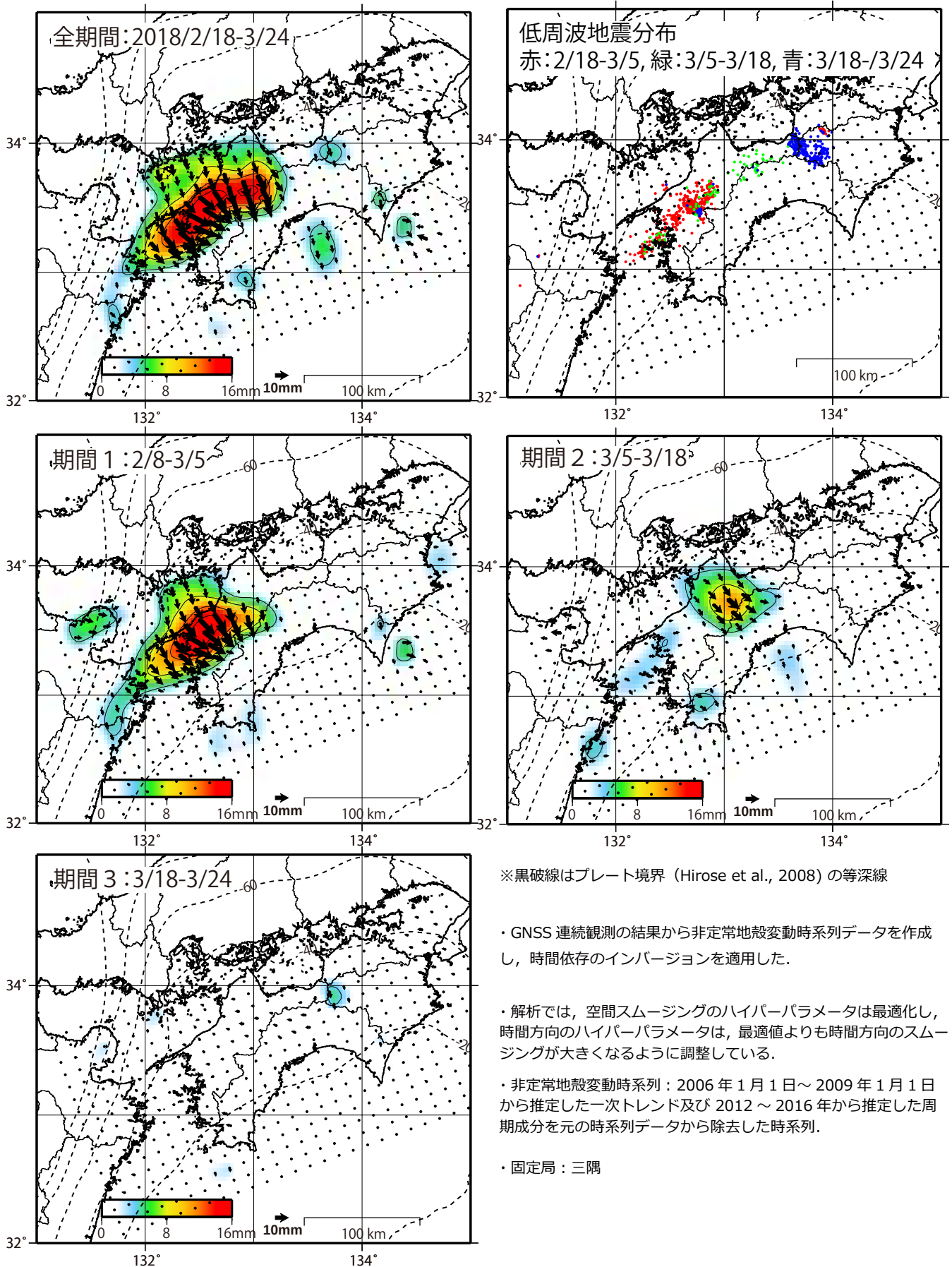
図4: 期間①～⑥に観測された傾斜変化ベクトル (青矢印), 推定された短期的スロースリップイベントの断層モデル (赤矩形・矢印), モデルから計算される傾斜変化ベクトル (白抜き矢印) を示す. 1時間ごとの微動エネルギーの重心位置 (橙丸), 超低周波地震の震央 (茶星印) もあわせて示す. すべり角はプレート相対運動方向に固定している。

謝辞

気象庁のWEBページで公開されている気象データを使用させて頂きました。記して感謝いたします。

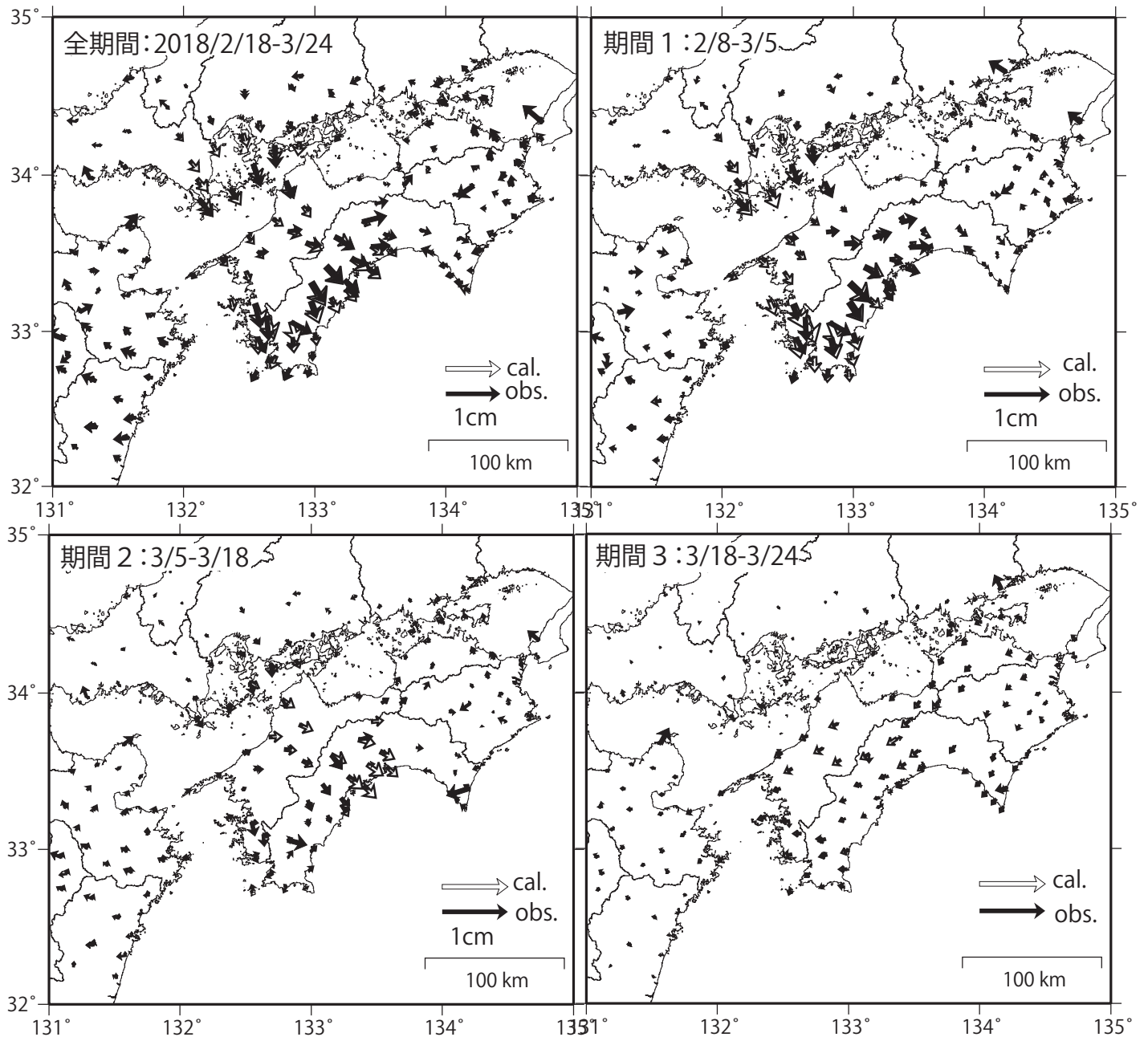
四国地方の非定常的な地殻変動（３）

非定常地殻変動から推定されるプレート境界面上の滑り分布



四国地方の非定常的な地殻変動（４）

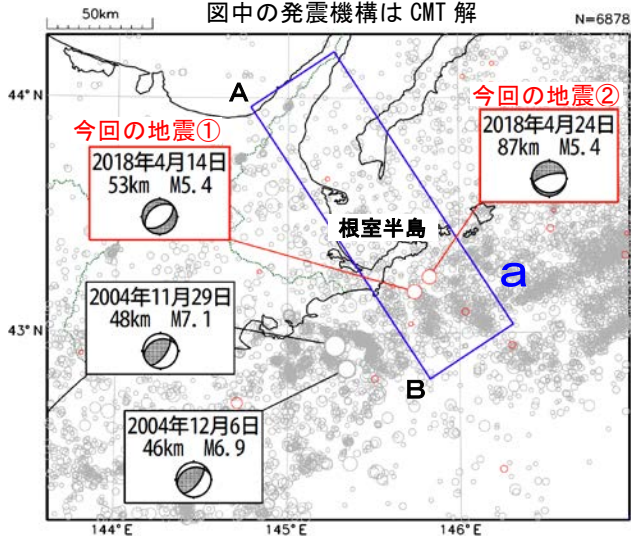
観測値（黒）と計算値（白）の比較



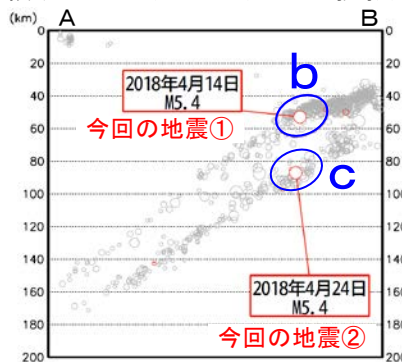
- ・GNSS 連続観測の結果から非定常地殻変動時系列データを作成し，時間依存のインバージョンを適用した。
- ・解析では，空間スムージングのハイパーパラメータは最適化し，時間方向のハイパーパラメータは，最適値よりも時間方向のスムージングが大きくなるように調整している。
- ・非定常地殻変動時系列：2006 年 1 月 1 日～2009 年 1 月 1 日から推定した一次トレンド及び 2012～2016 年から推定した周期成分を元の時系列データから除去した時系列。
- ・固定局：三隅

4月14日、4月24日 根室半島南東沖の地震

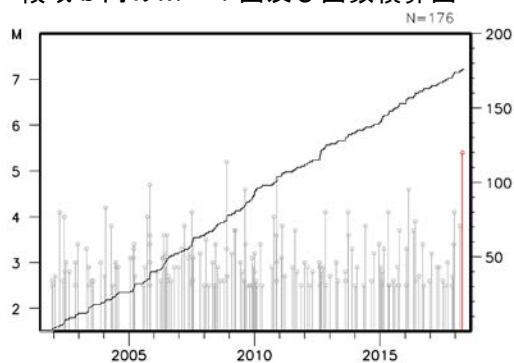
震央分布図
(2001年10月1日～2018年4月30日、
深さ0～200km、 $M \geq 2.5$)
2018年4月の地震を○で表示
図中の発震機構はCMT解



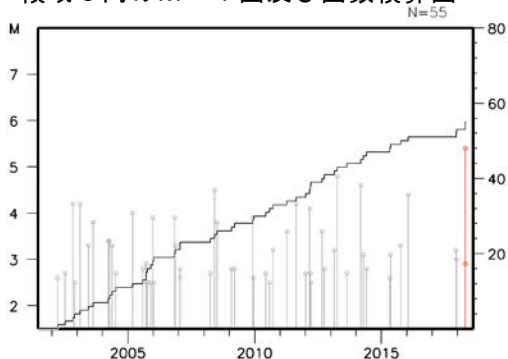
領域a内の断面図 (A-B投影)



領域b内のM-T図及び回数積算図



領域c内のM-T図及び回数積算図

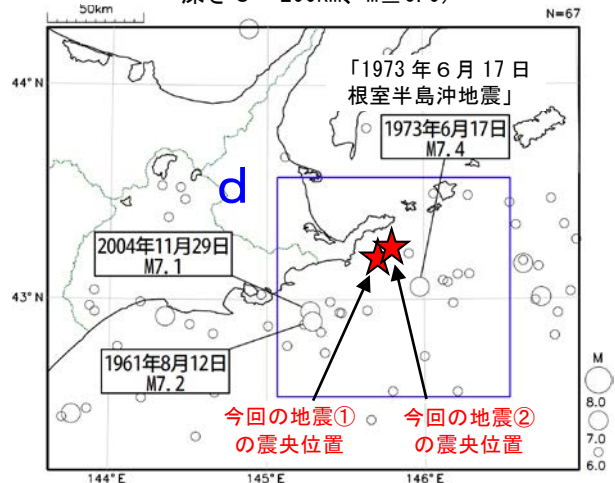


2018年4月14日04時00分に根室半島南東沖の深さ53kmで $M5.4$ の地震(最大震度5弱)(今回の地震①)が発生した。この地震は発震機構(CMT解)が北西-南東方向に張力軸を持つ正断層型で、太平洋プレート内部で発生した。24日17時53分には、今回の地震①の震央付近の深さ87kmで $M5.4$ の地震(最大震度4)(今回の地震②)が発生した。この地震は発震機構(CMT解)が太平洋プレートの沈み込む方向に張力軸を持つ型で、太平洋プレート内部(二重地震面の下面)で発生した。

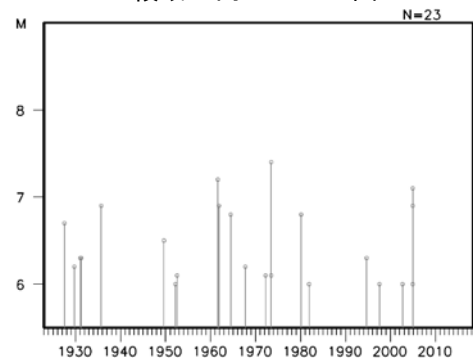
2001年10月以降の活動をみると、今回の地震①の震源付近(領域b)では、今回の地震①を含めて $M5.0$ 以上の地震が2回発生している。また、今回の地震②の震源付近(領域c)では、 $M5.0$ 以上の地震が発生したのは今回の地震②が初めてである。

1923年1月以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺(領域d)では、 $M7.0$ 以上の地震が3回発生しており、最大規模の地震は「1973年6月17日根室半島沖地震」($M7.4$ 、最大震度5)で、負傷者28人、住家被害5,153棟などの被害が生じた。また、根室市花咲で280cm(平常潮位からの最大の高さ)の津波を観測した。(「昭和48・49年災害記録 北海道」による)。

震央分布図
(1923年1月1日～2018年4月30日、
深さ0～200km、 $M \geq 6.0$)



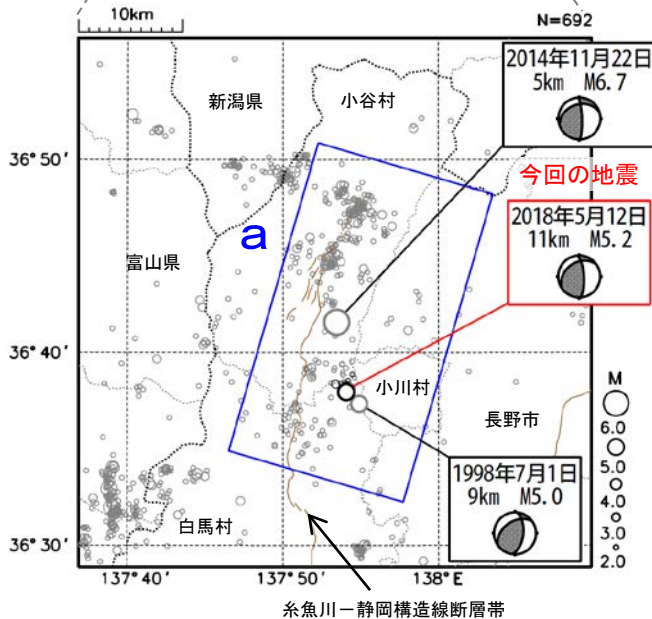
領域d内のM-T図



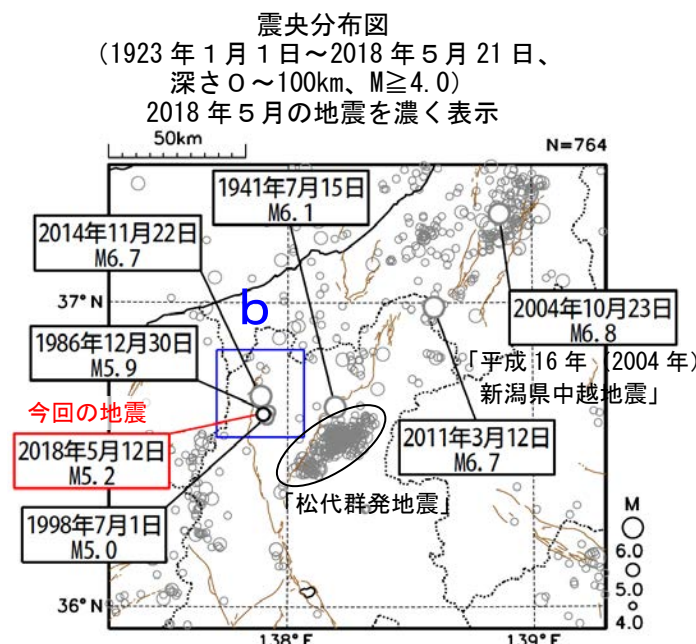
5月12日 長野県北部の地震



震央分布図
(1997年10月1日～2018年5月21日、
深さ0～20km、M≥2.0)
2018年5月の地震を濃く表示



図中の茶色の細線は、地震調査研究推進本部の長期評価による活断層を示す。



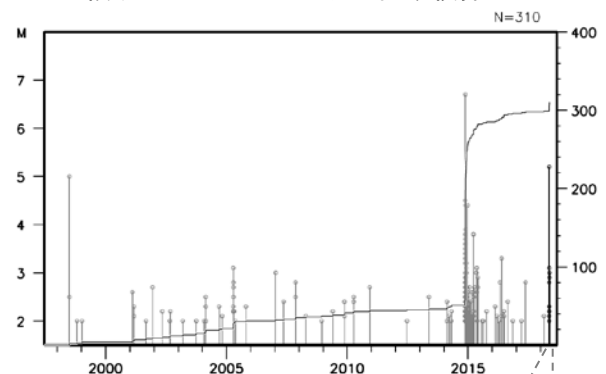
図中の茶色の細線は、地震調査研究推進本部の長期評価による活断層を示す。

2018年5月12日10時29分に長野県北部の深さ11kmでM5.2の地震(最大震度5弱)が発生した。この地震は、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型である。

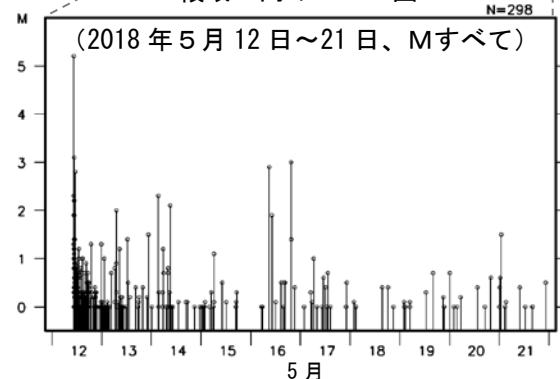
1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近(領域a)では、1998年7月1日にM5.0の地震(最大震度4)の地震が発生している。また、2014年11月22日にM6.7の地震(最大震度6弱)が発生し、負傷者46人、住家全壊77棟などの被害が生じた(被害は、総務省消防庁による)。この地震について、地震調査研究推進本部地震調査委員会は「神城断層(糸魚川-静岡構造線断層帯の構成断層のひとつ)の一部とその北方延長が活動したと考えられる」と評価した。

1923年以降の活動をみると、今回の震央付近(領域b)では、1986年12月30日にM5.9の地震(最大震度4)が発生している。また、領域bの周辺で1965年から1971年にかけて発生した「松代群発地震」では、負傷者15人、住宅全壊10棟などの被害が生じた(「日本被害地震総覧」による)。

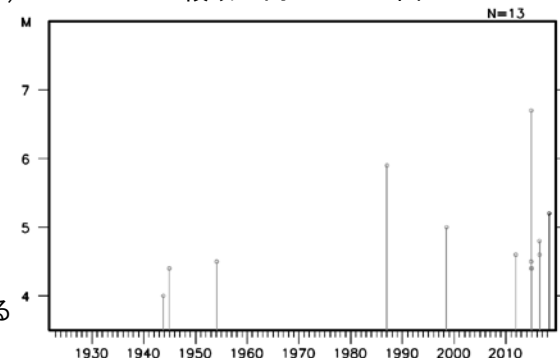
領域a内のM-T図及び回数積算図



領域a内のM-T図



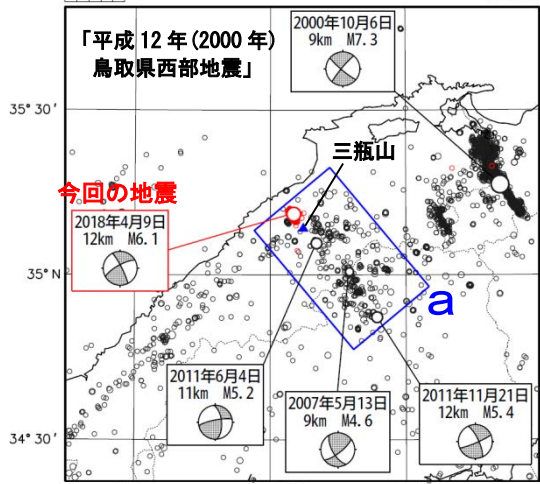
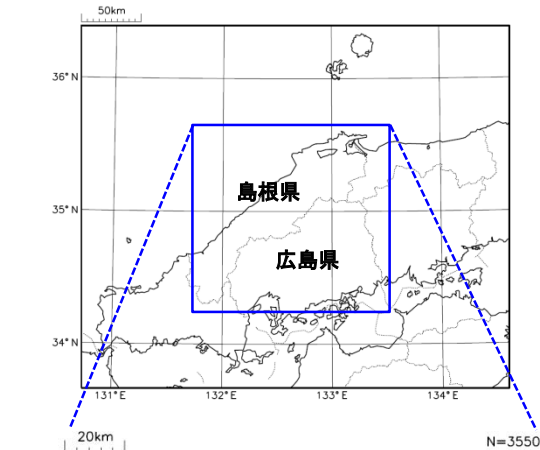
領域b内のM-T図



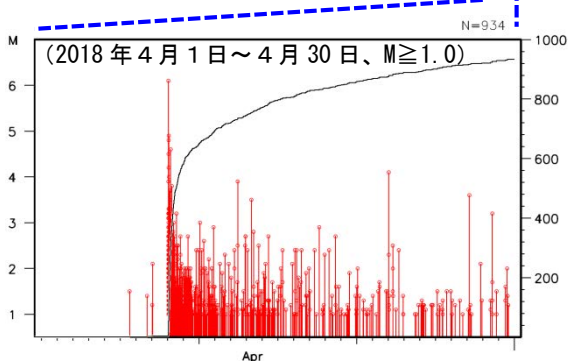
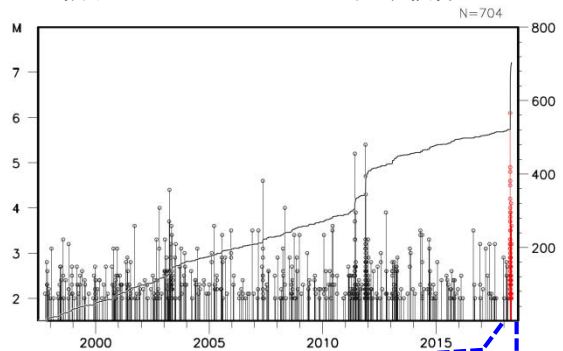
気象庁作成

4月9日 島根県西部の地震

震央分布図
(1997年10月1日～2018年4月30日、
深さ0～20km、 $M \geq 2.0$)
2018年4月の地震を○で表示
▲は活火山を示す



領域 a 内の M-T 図及び回数積算図

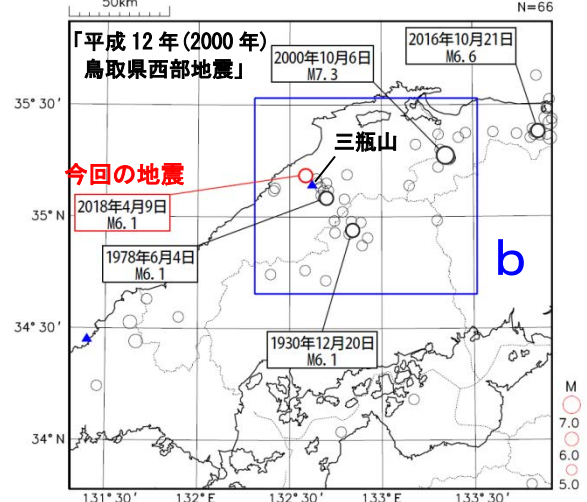


2018年4月9日01時32分に島根県西部の深さ12kmでM6.1の地震（最大震度5強）が発生した。この地震は地殻内で発生した。発震機構は西北西-東南東方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型であった。この地震の発生以降、震源付近で地震活動が活発となり、9日02時10分にM4.9の地震（最大震度4）が発生するなど、震度1以上を観測する地震が4月30日までに今回の地震も含め、47回発生した（震度5強：1回、震度4：4回、震度3：4回、震度2：14回、震度1：24回）。この地震により重傷2人、軽傷7人、住家被害1,570棟などの被害が生じた（5月8日現在、総務省消防庁による）。

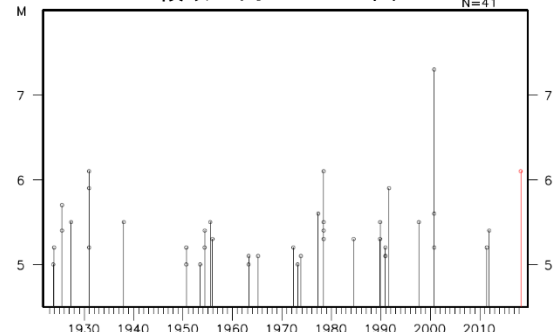
1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域a）では、2011年11月21日にM5.4（最大震度5弱）の地震が発生し、重傷1人、軽傷1人などの被害が生じた（「日本被害地震総覧」による）。

1923年1月以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域b）では、M6.0以上の地震が時々発生している。「平成12年(2000年)鳥取県西部地震」(M7.3)では、重傷39人、軽傷143人などの被害が生じた（総務省消防庁による）。

震央分布図
(1923年1月1日～2018年4月30日、
深さ0～20km、 $M \geq 5.0$)
2018年4月の地震を○で表示
▲は活火山を示す



領域 b 内の M-T 図



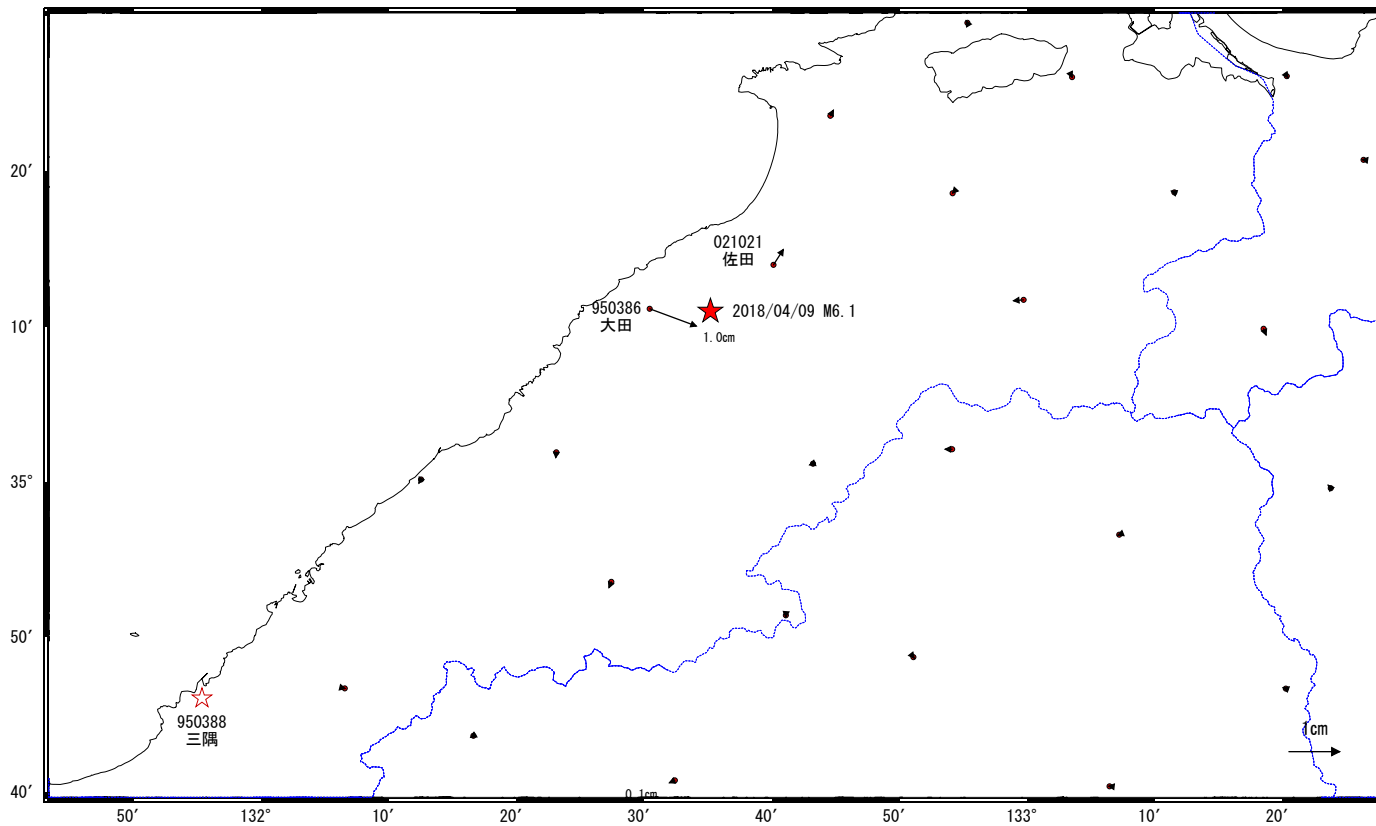
気象庁作成

島根県西部の地震(4月9日 M6.1)前後の観測データ

この地震に伴い小さな地殻変動が観測された。

地殻変動（水平）

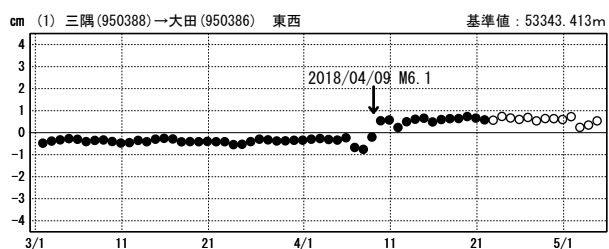
基準期間: 2018/04/01~2018/04/08 [F3: 最終解]
比較期間: 2018/04/10~2018/04/17 [F3: 最終解]



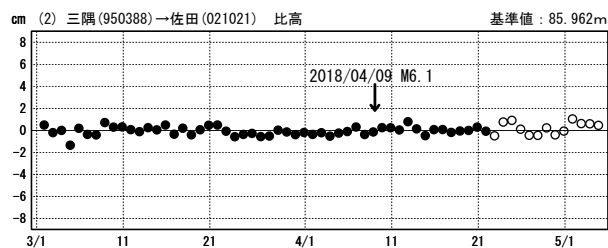
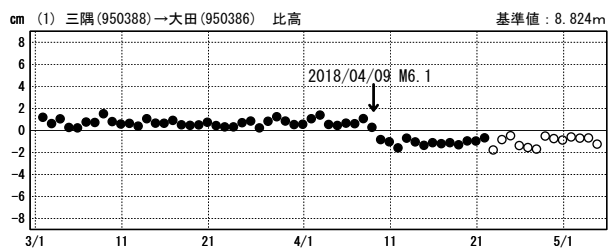
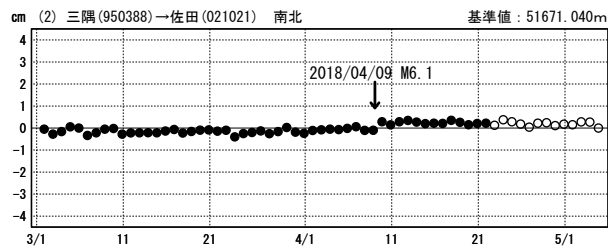
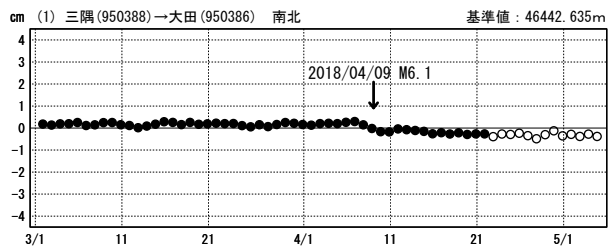
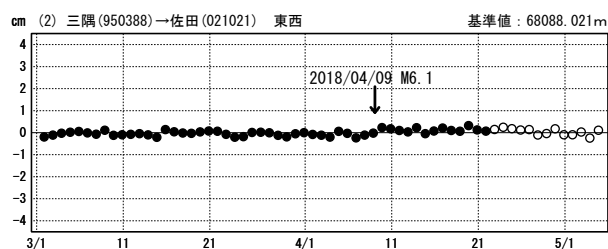
☆ 固定局: 三隅 (950388)

成分変化グラフ

期間: 2018/03/01~2018/05/05 JST



期間: 2018/03/01~2018/05/05 JST



●—[F3: 最終解] ○—[R3: 速報解]

3月1日 西表島付近の地震

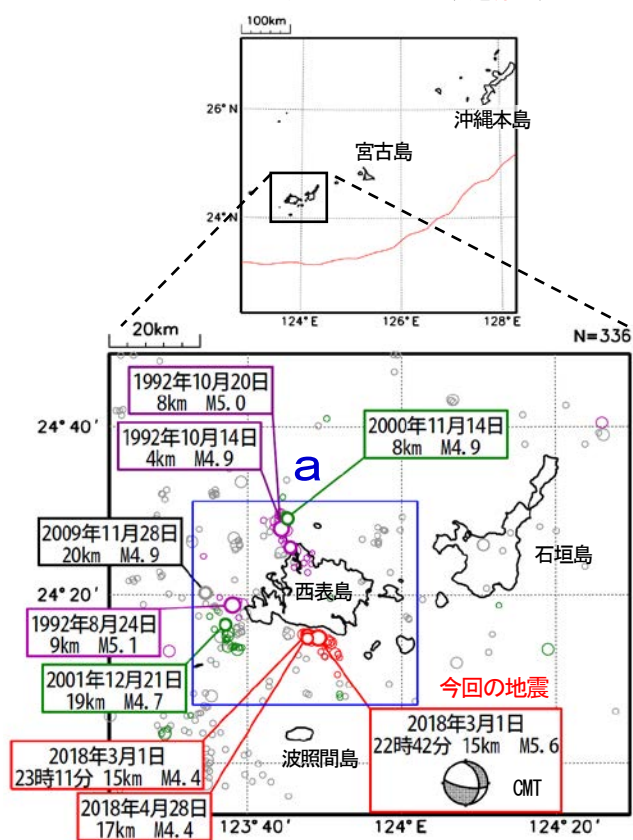
震央分布図

(1992 年 1 月 1 日～2018 年 4 月 30 日、
深さ 0 km～30 km、 $M \geq 3.0$)

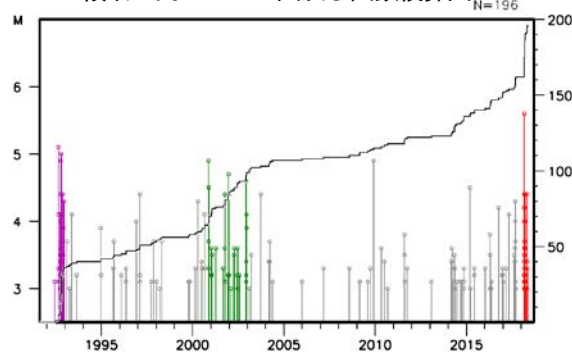
1992 年 12 月までの地震を紫で、

2000 年 11 月から 2003 年 2 月までの地震を緑で

2018年2月28日以降の地震を赤で表示

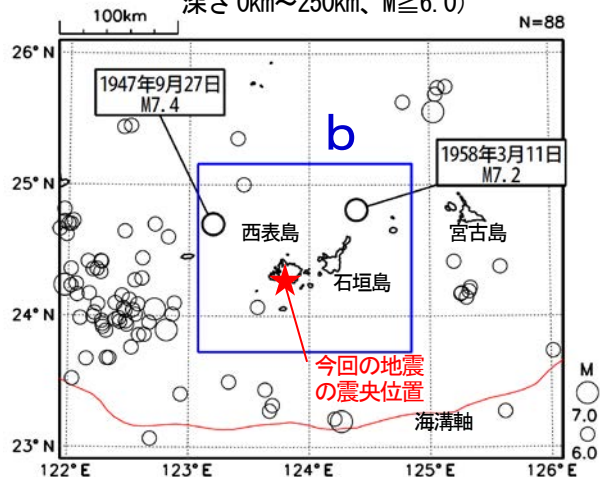


領域 a 内の M-T 図及び回数積算図



震央分布図

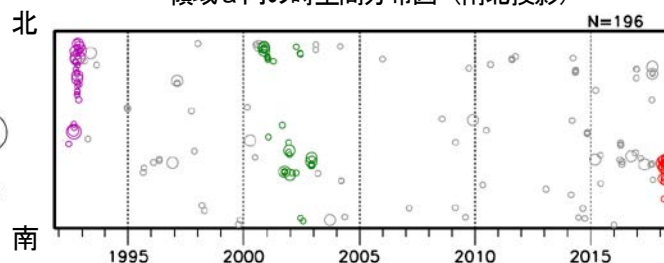
(1923 年 1 月 1 日～2018 年 4 月 30 日、
深さ 0km～250km、 $M \geq 6.0$)



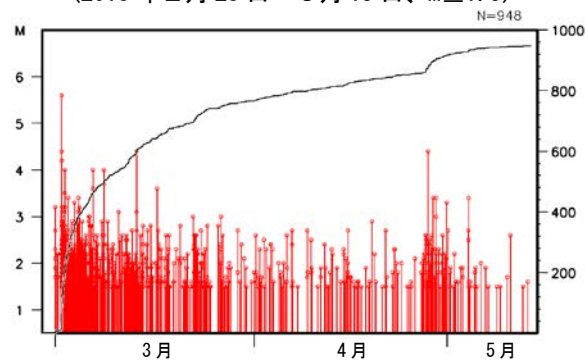
2018年3月1日22時42分に西表島付近の深さ15kmでM5.6の地震（最大震度5弱）が発生した。この地震は陸のプレートの地殻内で発生した。発震機構（CMT解）は、北東－南西方向に張力軸を持つ型であった。この地震の発生後、3月下旬にかけて地震活動が活発な状態で推移した。4月28日に発生したM4.4の地震（最大震度3）の前後で一時的に活発となったが、地震活動は低下してきている。今回の地震を含めて、5月13日までに震度1以上を観測する地震が47回（最大震度5弱：1回、最大震度3：4回、最大震度2：9回、最大震度1：33回）発生している。なお、2月28日23時16分にもほぼ同じ場所でM3.2の地震（最大震度1）が発生している。

1992年1月以降の活動をみると、今回の地震活動周辺（領域a）では、M5程度を最大規模とする地震活動が時々発生している。そのうち1992年の活動では、壁の亀裂、石垣の崩落等の被害が発生している（「日本被害地震総覧」による）。

領域 a 内の時空間分布図（南北投影）

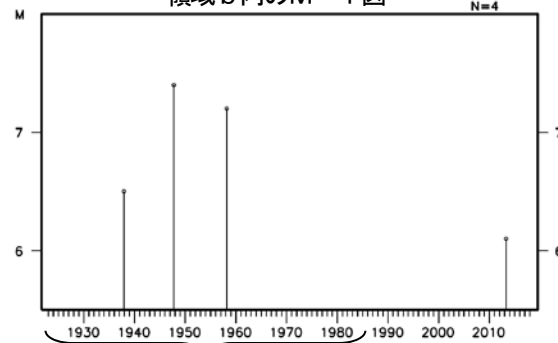


領域 a 内の M-T 図及び回数積算図
(2018 年 2 月 28 日～5 月 13 日、 $M \geq 1.5$)



1923年1月以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域b）では、1947年9月27日にM7.4の地震（最大震度5）が発生し、石垣島で死者1人、西表島で死者4人の被害が生じている。（被害は「日本被害地震総覧」による）。

領域 b 内の M-T 図



(この期間は検知能力が低い)

気象庁作成

重点検討課題の検討

「地震と水」

第 219 回地震予知連絡会 重点検討課題 趣旨説明

「地震と水」について

コンビーナ 産業技術総合研究所 今西和俊

地震の発生には、地下の流体が何らかの形で関与していると古くから考えられてきた。例えば、アメリカのコロラド州デンバーでは、1962 年に軍の施設が化学廃液を地下に注入したところ、まもなく周辺の地震活動が活発になった。注水を中断すると地震は減少し、再開すると地震がまた増加することも確認され、地下への水の注入が地震を誘発していることが明らかになった。この現象の基本的なメカニズムは、間隙水圧の増加による断層の強度低下、もしくは応力変化による断層滑りの促進、として解釈可能である。一方、テクトニックな地震発生にも流体が関与したことを示唆する事例がある。1965 年から数年に渡り活発に続いた松代群発地震がその顕著な例であろう。地下からの大量の湧水が観察されるとともに明瞭な隆起変動も観測され、地震発生との関係が議論されてきた。

近年の基盤観測網の整備により、地震発生域における流体の存在が地殻構造の異常として捉えられるようになってきた。特に稠密な臨時観測が行われるようになり、空間解像度が数 km へと飛躍的に増加したことが大きい。内陸地震については、流体による地殻深部の局所的な弱化がもたらす不均質な変形により、周囲の既存断層に応力集中が生じ、地震発生に至るというモデルが提案されている。プレート境界においては、スロー地震と流体分布との関係が議論できるようになってきた。また、高精度な震源分布に基づき流体移動を強く示唆する震源の拡散的な移動現象を見出すとともに、メカニズム解の情報から流体圧の時空間分布を推定するなど、流体の定量的な解釈も進みつつある。そのほか、数値シミュレーションにより沈み込むスラブの脱水による地殻流体の発生と移動、そして地震発生との関係を説明することも試みられている。物質科学的な側面から、岩石変形に対する水の効果についての研究も大きな進展を見せている。さらにシェールガス開発に伴う誘発地震が大きな社会問題となっていることを受け、観測・実験・シミュレーション研究が集中的に行われ、テクトニックな地震発生機構の理解の深化へフィードバックし得る知見が蓄積されている。

このような背景を踏まえ、第219回の重点検討課題では、各方面の専門家を招聘し、地震と水に関する最新の知見を共有する。そして、地殻流体が地震発生過程に果たす役割の理解を深め、今後の地震研究の方向性などについて議論する。

話題提供者〔敬称略〕

1. 地震発生への水の役割

東京大学地震研究所 加藤 愛太郎

2. 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

3. 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

4. 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

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

富山大学 渡邊 了

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

神戸大学 吉岡 祥一

地震発生への水の役割

加藤愛太郎（東京大学地震研究所）

地震の発生と水との関連性については、長年にわたって議論がおこなわれてきています（e.g., Mogi, 1989; Hainzl and Fischer, 2002; Shapiro et al., 2002; Miller et al., 2004; Vidale et al., 2006）。水がどのような仕組みで地震の発生を促進しているのか、という地震発生過程を考える上で根本的な課題について、下記の3つの観点から議論を進めます。

一つ目は、震源断層への応力載荷過程などの長期的な時間スケールにおける水の役割です。これまでの多くの先行研究により、内陸地震の震源域の深部延長には、水などの流体が存在する可能性が指摘されています（e.g., Iio et al., 2002）。もし流体が震源断層域の深部延長に局在化している場合、その近傍の岩石の変形強度が周囲よりも低下することで変形が進み、その上部に位置する既存断層への応力（ひずみ）集中をもたらすことが考えられます。たとえば、日本海拡大時に形成されたリフト内（上部地殻）の既存断層の深部には、地震波速度が遅い領域や低比抵抗体が存在しており、応力載荷過程において流体が重要な役割を担っている可能性が指摘されています（e.g., Kato et al., 2009）。

短期的な時間スケールにおいては、間隙水圧の一時的な増加による断層強度の低下に関連した地震活動が挙げられます。たとえば、2011年東北地方太平洋沖地震の発生直後には、東北日本の内陸部において活発な地震活動が発生しました（Okada et al., 2015）。いくつかの地震活動においては、時間とともに地震活動域が拡散様式に従って拡大する現象が確認されています。また、震源域の深部には、地震波が低速度で高い電気伝導度の領域が存在しており、水などの流体の関与が考えられことが指摘されています（e.g., Kato et al., 2013; Okada et al., 2015; Umeada et al., 2015）。これらの誘発地震活動は、東北地方太平洋沖地震による静的な応力変化に加えて、地下深部からの流体移動により間隙水圧が一時的に上昇し、断層強度が低下することで活発化したと解釈されます。また、海外のドイツ南部の山岳地域においては、降雨量と地表付近の地震活動度に良い相関がみられることが報告されています。降雨の地下への浸透により、震源域において間隙水圧がわずかに増加（約1 kPa：地球潮汐による応力変化程度）することで、地震活動が活発化するという数理モデルが提案されており、降雨量等の関数として地震活動の予測実験も試行されています（e.g., Hainzl et al., 2006; 2013）。

上記に加えて、地下水の汲み上げや融雪にともなう地表付近の荷重変化により、震源域への応力変化が引き起こされ、地震活動度に季節変動性が見られることが近年報告されています。たとえば、スペインにおいては約50年間の地下水の汲み上げにより、2011年にM5.1の地震が発生したと指摘されています。地下水の汲み上げに伴う震源断層面上における応力変化は、約10 kPaと推定されています

（González et al., 2012）。さらに、アメリカ合衆国の西部においても、灌漑用水の利用や融雪等による表層荷重の変化が、震源断層上に約1 kPaの応力変動を生み出すことにより、夏から秋にかけて地震活動が高まる傾向にあることが解釈されています（e.g., Johnson et al., 2017）。

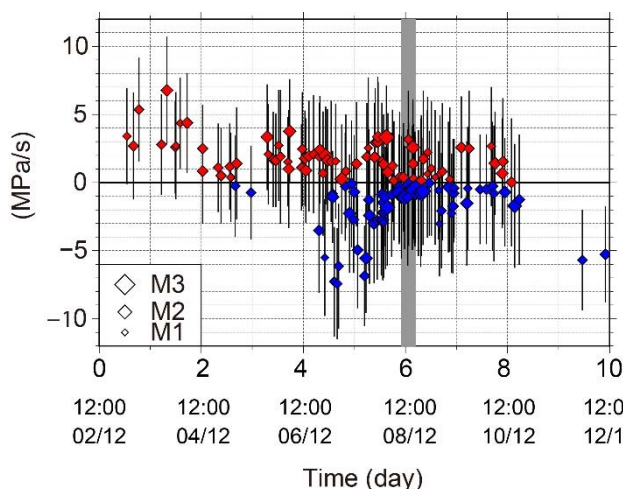
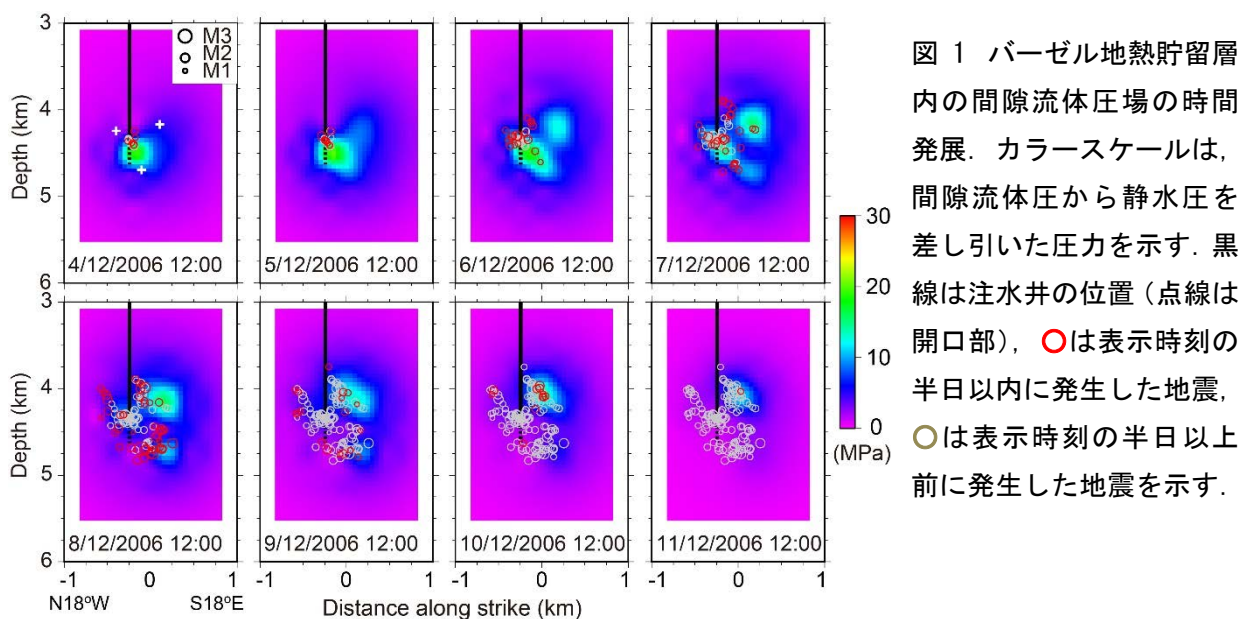
以上3つの観点から議論しましたが、長期的時間スケールにおいては、応力載荷過程に対する水の効果に関するより定量的な評価を進める必要があります。また、短期的な時間スケールにおいては、わずかな間隙水圧や表層荷重変化により地震活動度が影響を受けている可能性が考えられ、今後の継続的な研究が重要な段階です。

地震の発生における応力と流体の役割

概要

地震のメカニズム解から、地殻内の間隙流体圧場の時間発展を推定する手法を開発した [Terakawa, 2014].

- ・地震活動と間隙流体圧場（断層強度）の時間発展との関係を調べることが可能となった。
- ・注水実験による誘発地震のデータの解析を通じ、多くの誘発地震は断層帯内の間隙流体圧の上昇による断層強度の低下により引き起こされたことを実証した。
- ・間隙流体圧の上昇による断層強度の低下は、地震発生のきっかけを作るが、大地震に成長するかどうかは震源周辺域の応力状態に依存する。



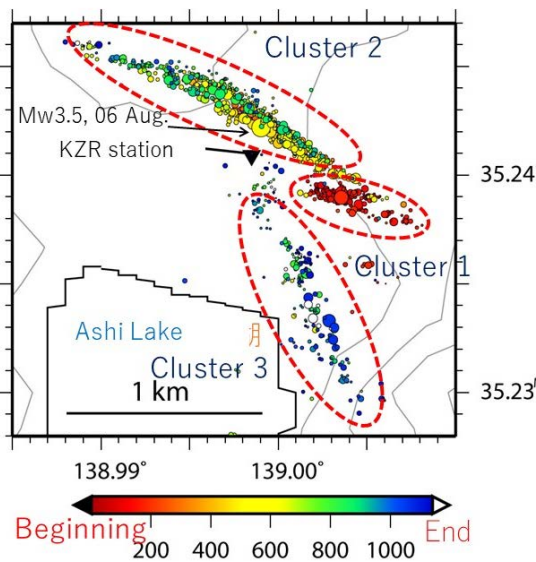
箱根火山における群発地震と地殻流体との関係

行竹洋平（神奈川県温泉地学研究所）

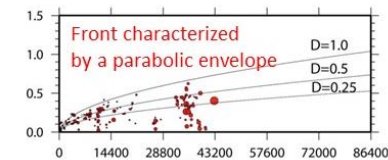
概要

- 群発地震はほぼ鉛直な面上に分布、活動域は拡散的に拡大（図1）。
- 断層破碎帯中を高压流体が拡散する過程で群発地震がトリガーされた可能性
- 地震波トモグラフィー法により深さ 10km 付近にマグマ溜まり、浅部にマグマ起源の流体やガスが豊富な領域を検出（図2）。
- マグマ起源の地殻流体が群発地震の発生及び地表での地熱活動に影響を与えている。

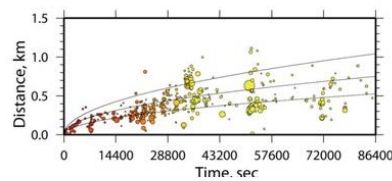
震央分布



Cluster 1



Cluster 2



Cluster 3

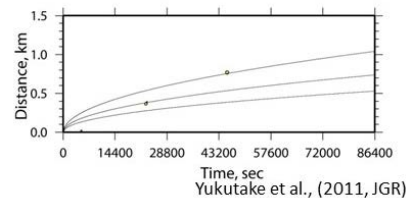


図1 箱根群発地震の震央分布図（左）と各クラスターにおいて最初に発生した地震と各地震との経過時間と距離との関係（右）

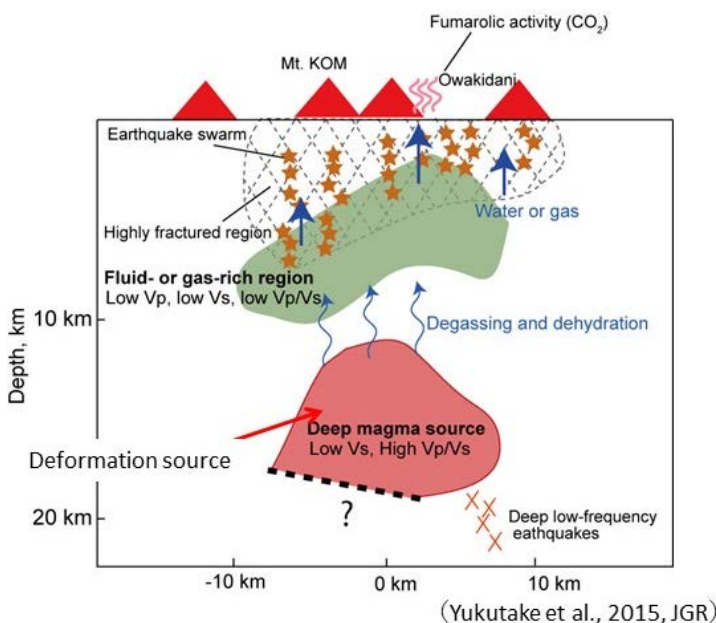


図2 地震波トモグラフィーに基づく箱根の速度構造とマグマ-熱水系を示す模式図。深さ 10km 付近にマグマの存在を、より浅部にマグマ由来の熱水やガスの存在を示す速度構造が推定。群発地震はその上部で発生する。

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

背景

流体の地下深部圧入は地熱開発・シェールガス生産・CO₂ 地下貯留・工業廃水の地下処分などの分野で利用されている。近年、これらの産業アプリケーションの急発展に伴い注水と関連した誘発地震活動が顕著な増加傾向を示した。マグニチュード5クラスの被害性誘発地震の例も数件報告された。熱応力、間隙圧拡散、岩盤や既存の亀裂・断層の破壊強度の低下等が注水誘発地震を支配する主要素とされているが、断層の再活動に関連するリスク評価・被害性地震予測と回避技術開発が不十分であることが現状である。実例研究を通して誘発地震の特徴と被害性誘発地震の発生条件を解明することは、重要かつ緊急な課題となっている。

経緯

中国内陸の中心部に位置する四川盆地には、1千億トン以上の大規模ガス田を含め、多数の天然ガス田が発見された。四川盆地の西境界は有名な地震帯であるが、盆地の内部は天然地震活動が低く、安定的な地域である。1970年代から、ガス生産に伴う汚染水を断続的に枯渇ガス田に圧入した。また、2014年からシェールガスの開発が急展開してきた。これらの注水活動に伴い、地震活動が多発し始めた。これまで、M5クラスの地震は4回、M4クラスは50回以上も観測され、世界でも稀なケースとなった。産総研は、2006年ごろから四川盆地の注水誘発地震活動に注目しはじめ、中国地震局及び中国科学院関連研究機関の協力のもとで注水誘発地震について包括研究を展開してきた。今まで、四川盆地ガス田に発生した地震活動と廃水処分のための注水活動との関係を明らかにし、地震活動の統計的な特徴を解明した。最近では、四川盆地のシェールガス開発現場の水圧破碎による誘発地震に着目し、誘発地震の特徴と被害性誘発地震の発生条件の解明を目指した。

研究内容と主な結果

まず、統計的な ETAS モデルを用いて解析を行った。通常、自然地震に比べ、地震は自分の余震をトリガーする能力は非常に低いことが分かった。地震の発生頻度は注水履歴に強く依存し、注水が停止或いは終了すると、地震頻度が急減することが数多く確認できた。

そして、相対震源決定手法を用いて地震の震源を再決定した。地震の多くは、注水ターゲット層、その上部及び下部の脆性的な堆積層に発達している既存断層に集中することが分かった。マグニチュード3.5以上の地震に対し、広帯域地震計の波形データを使用して地震の震源モメントテンソルを求めた。殆どの地震は断層のせん断破壊によるもの、得られた震源メカニズム解は既存断層系と調和的であることが判明された。

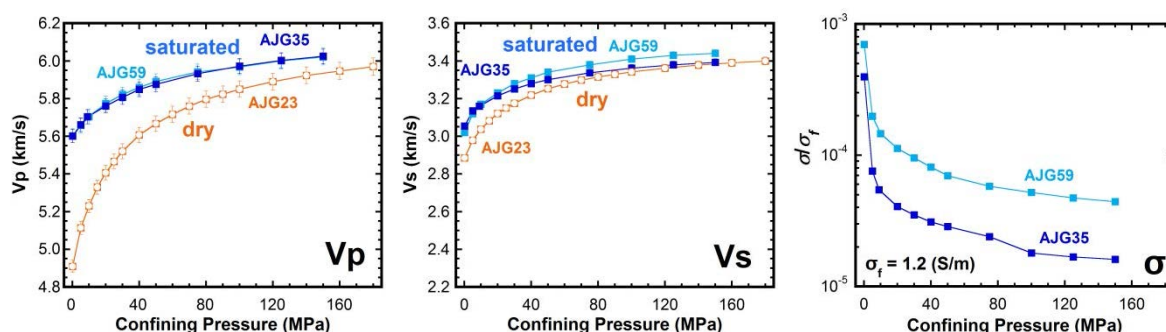
また、注入圧と注入量の他、既存断層の密度、規模、成熟度、そして、応力場のレベルは誘発地震の規模を支配することが分かった。一連の研究を通して、テクトニックな地震発生機構の理解を深める知見が蓄積されていると思う。今後は、今までの成果を基に、石油工学などの専門家と連携し、断層の再活動に関して、地球物理学と断層力学の両方の観点から、被害性誘発地震が起きやすい条件やタイミングについて定量的な評価方法を確立する。

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

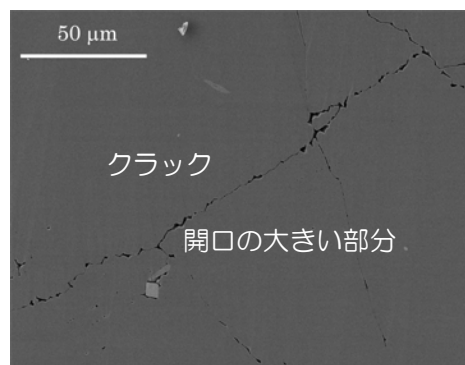
渡邊 了 (富山大学)

実験から得られた含水岩石の弾性波速度・電気伝導度をもとに、観測されている地震波速度・電気伝導度構造から地殻内の流体分布を推定した。

含水岩石の地震波速度と電気伝導度（庵治花崗岩の例）

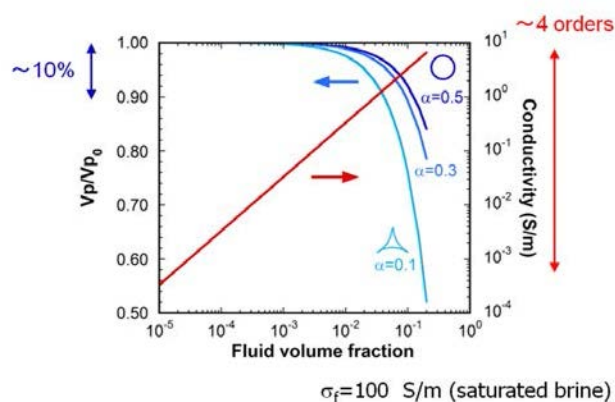


- ・ 岩石に加わる圧力の増加により岩石内部のクラックが閉鎖し、地震波速度は増加し、電気伝導度は低下する。
- ・ 低圧での電気伝導度の大きな低下は、クラックの閉鎖により、クラックの連結したネットワークが失われることによるものである。
- ・ 高圧ではクラックがほぼ閉鎖しているが、クラック開口の大きな部分が線状につながって伝導経路を維持していると考えられる。



岩石研磨面のSEM像

- ・ 地殻内においても、クラックはほぼ閉じており、開口の大きな部分が連結を維持していると考え、観測されている4桁にわたる電気伝導度変化、小さな地震波速度の変化を説明できる。電気伝導度が10 S/mという高伝導度領域は、飽和状態の塩水が体積分率10%程度存在すれば説明できる。



流体がチューブ状に存在する場合の地震波速度と電気伝導度

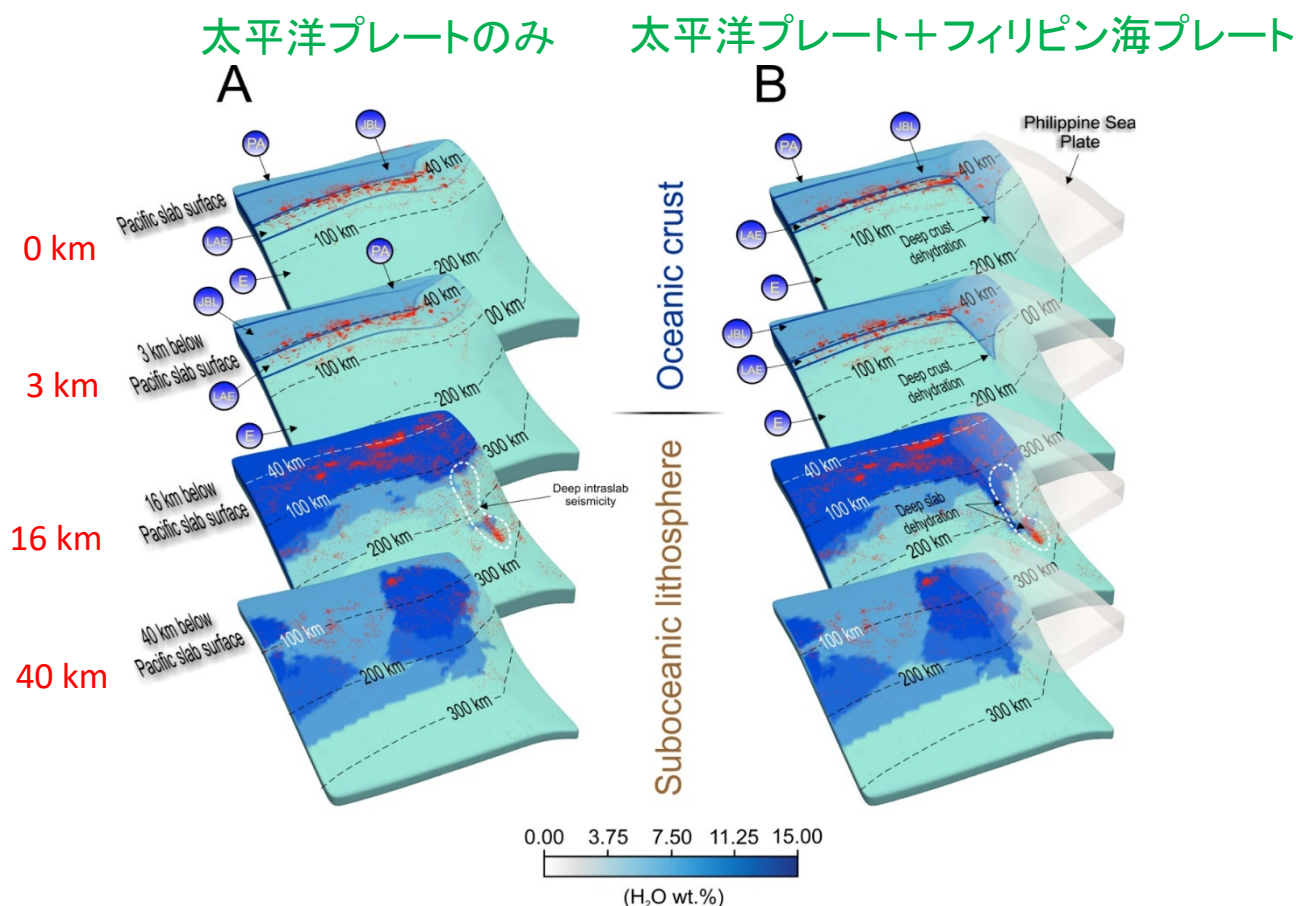
関東下における海洋プレートの温度・脱水分布と微小地震の発生に関連性について

○吉岡 祥一^{1,2}・季 穎鋒¹・Vlad C. Manea³・Marina Manea³

(1 神戸大学 都市安全研究センター 2 神戸大学 大学院理学研究科

3 メキシコ国立自治大学)

- ・ 関東下で太平洋・フィリピン海プレートの同時沈み込みに伴う高解像度の3次元温度構造モデリングを実現
- ・ 太平洋プレートの地殻内地震は、翡翠・青色片岩・ローソン石からローソン石・角閃石・エクロジャイトへの相転移に伴う脱水域とよく対応
- ・ フィリピン海プレートが太平洋プレートの温度場・含水量・地震分布に及ぼす影響
 - 太平洋プレートとの接触域で温度が低下
 - 接触域で、含水鉱物の相転移が遅れ、 H_2O がより深部に運ばれる
 - 接触域で、より深部に運ばれた H_2O の脱水と太平洋プレートの深部の地震活動がよく対応



太平洋プレート内の異なる深さでの含水鉱物の最大含水量（カラー）と微小地震（赤い点）の空間分布。上から下へ向かって、太平洋プレート上面からの深さが 0 km、3 km、16 km、40 kmでの分布図。微小地震の震源は、プレート上面からの深さが 0 km、3 kmのとき、その面から±2 kmの深さ範囲、16 km、40 kmのとき、±4 kmの深さ範囲のイベントをプロット。0 km、3 kmの面では玄武岩からエクロジャイトへの相転移と微小地震活動がよく対応。左図：太平洋プレートのみで、フィリピン海プレートが存在しない非現実的なモデル。右図：太平洋プレートとフィリピン海プレートを考慮した現実的なモデル。16 kmの面で、深部の地震活動と最大含水量の変化域がよく対応。

第 220 回地震予知連絡会 重点検討課題 趣旨説明

「千島海溝・北海道東方沖と三陸北部における巨大地震」について

コンビーナ 東京大学地震研究所 佐竹健治

地震調査委員会の長期評価によれば、根室沖は南海トラフとともに M8 クラスの巨大地震の発生確率が最も高い地域である。千島海溝におけるプレート境界のモニタリング及び巨大地震の発生については、第 194 回（2012 年 2 月）の重点検討課題で検討されたが、今回は、2011 年東北地方太平洋沖地震の震源域より北側の、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巨大の履歴・今後の発生可能性について、最近の発展を中心に議論する。

地震調査委員会は平成 29 年 12 月に千島海溝の地震活動の長期評価（第三版）を公表し、超巨大地震（17 世紀型）の発生確率が初めて評価された。これは、北海道東部沿岸で発見された津波堆積物の調査結果に基づくものである。津波堆積物は過去 6500 年の間に最大 18 層確認され、平均発生間隔は約 340～380 年と見積もられた。最新の発生時期は 17 世紀であったことから、次の超巨大地震の発生が切迫していると指摘されている。17 世紀の津波堆積物は北海道南部や東北地方北部太平洋沿岸でも見つかりつつあり、その波源の解明が課題となっている。また、2009 年頃から見られる北海道東方沖の相対的地震活動度の静穏化は、東北地方太平洋沖地震の十数年前から 10 年間ほど表れた相対的静穏化に匹敵するものであり、400 年に 1 度程度と言われる 17 世紀型の切迫性との関係が危惧されている。

最近、日本海溝海底地震津波観測網（S-net）が完成し、地震計及び水圧計の観測が開始され、気象庁の津波予報にも使われている。さらに、海溝軸の海側も含めた海底探査が行われ、東北地方太平洋沖地震破壊域北端付近の海底変動や地下構造、千島海溝から日本海溝アウターライズの構造変化や地震活動が明らかになってきている。