

平成 27 年 2 月 16 日

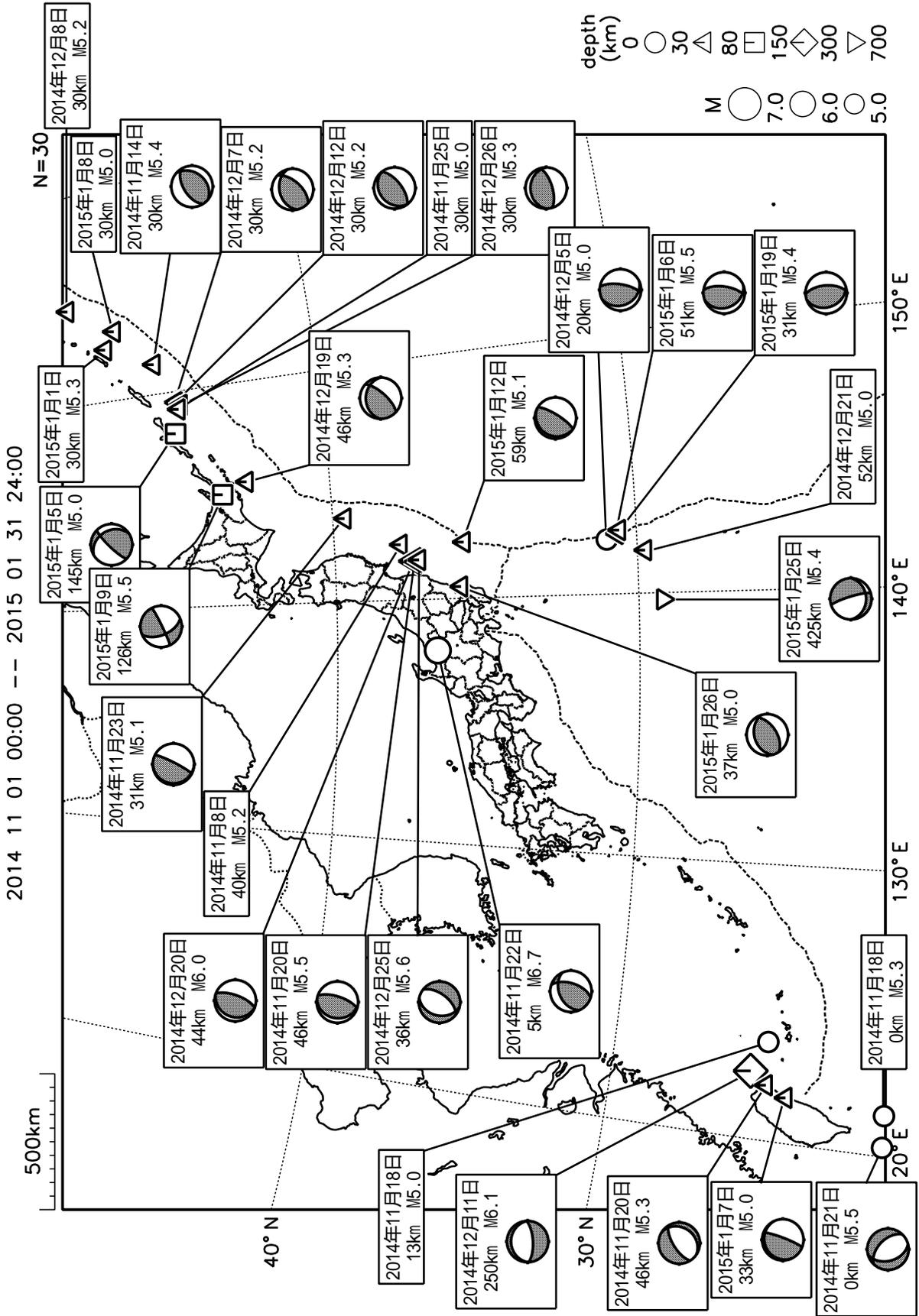
第 206 回 地震予知連絡会

記者レクチャー資料

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（2014年11月～2015年1月、M 5.0）

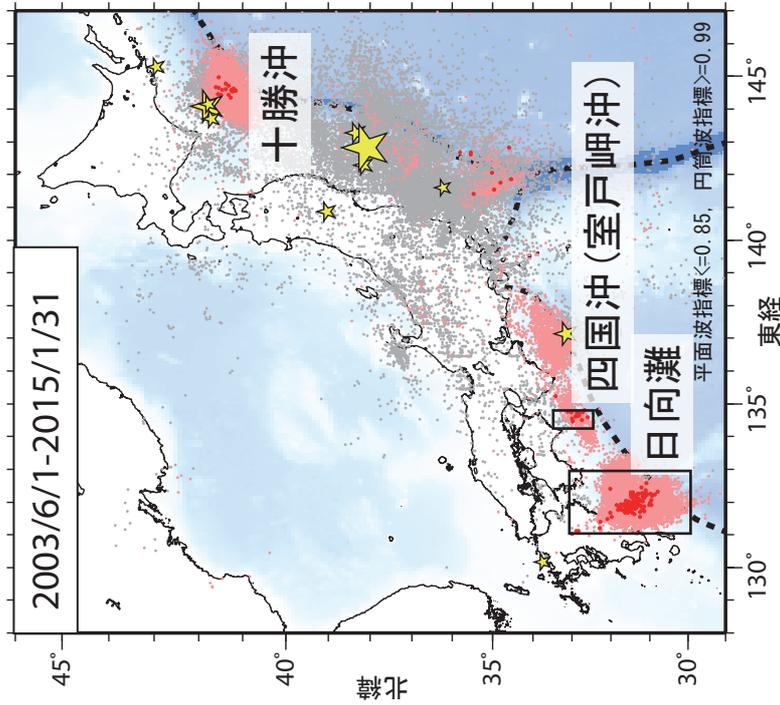


気象庁作成

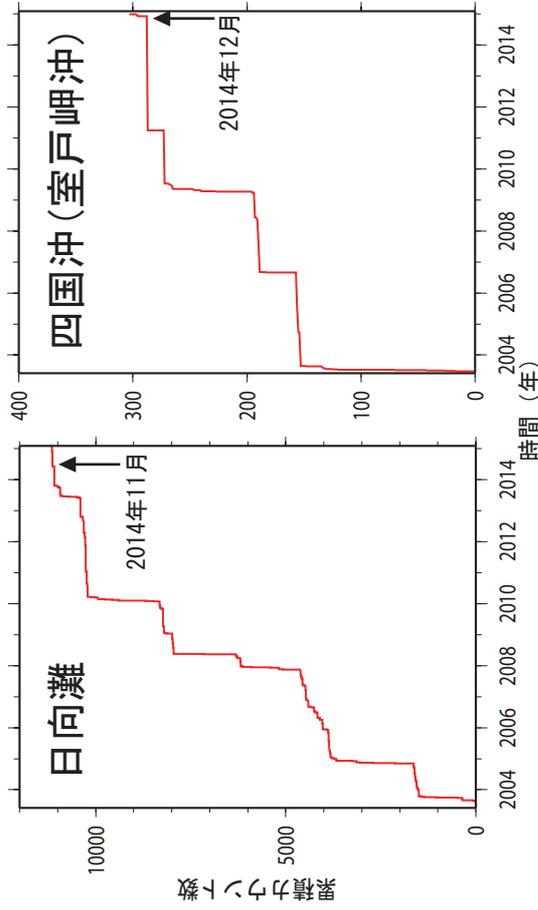
発震機構は気象庁によるCMT解

日本周辺における浅部超低周波地震活動 (2014年11月～2015年1月)

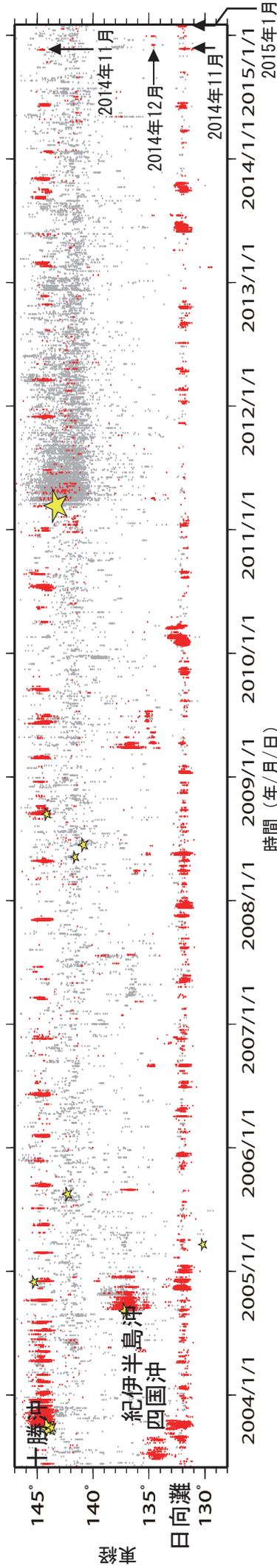
- 十勝沖で11月中旬に超低周波地震活動を検出
- 四国沖(室戸岬沖)で12月に超低周波地震活動を検出 (2011年以来)
- 日向灘で11月中・下旬および1月下旬に超低周波地震活動を検出



第1図. 2003年6月1日から2015年1月31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 (2014年10月31日以前), および赤色 (11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の地震を多数含む. 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日以降は東北地方太平洋沖地震の本震のみ).



第2図. 日向灘および四国沖(室戸岬沖)周辺における検出イベントの累積カウント数の時間変化. 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2015年1月31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の手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.

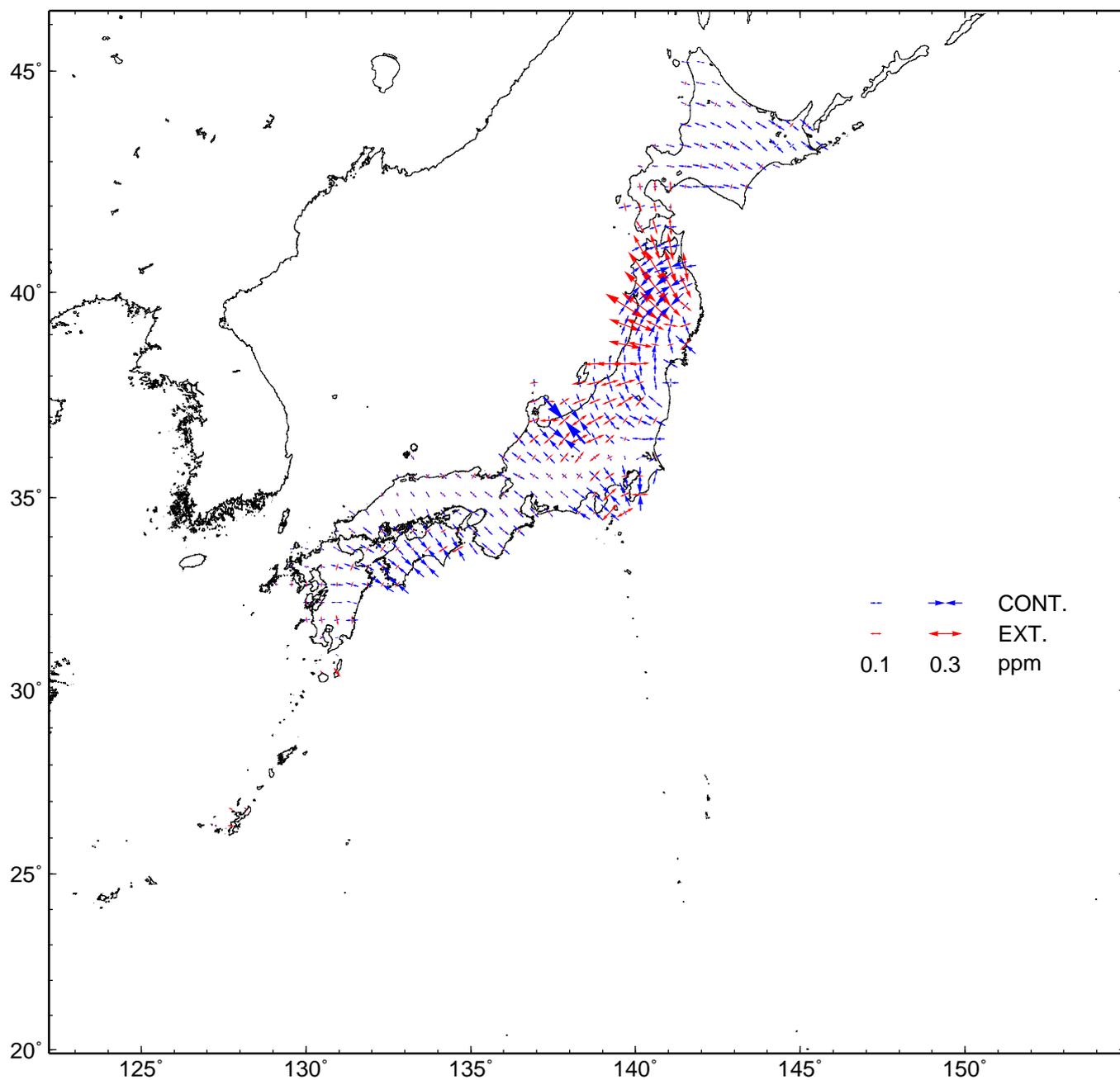
GNSS 連続観測から推定した日本列島のひずみ変化

2011年3月11日に発生した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。

2014年11月22日に発生した長野県北部の地震に伴う地殻変動の影響が見られる。

基準期間：2013/12/27 - 2014/01/10 [F 3：最終解]

比較期間：2014/12/27 - 2015/01/10 [F 3：最終解]



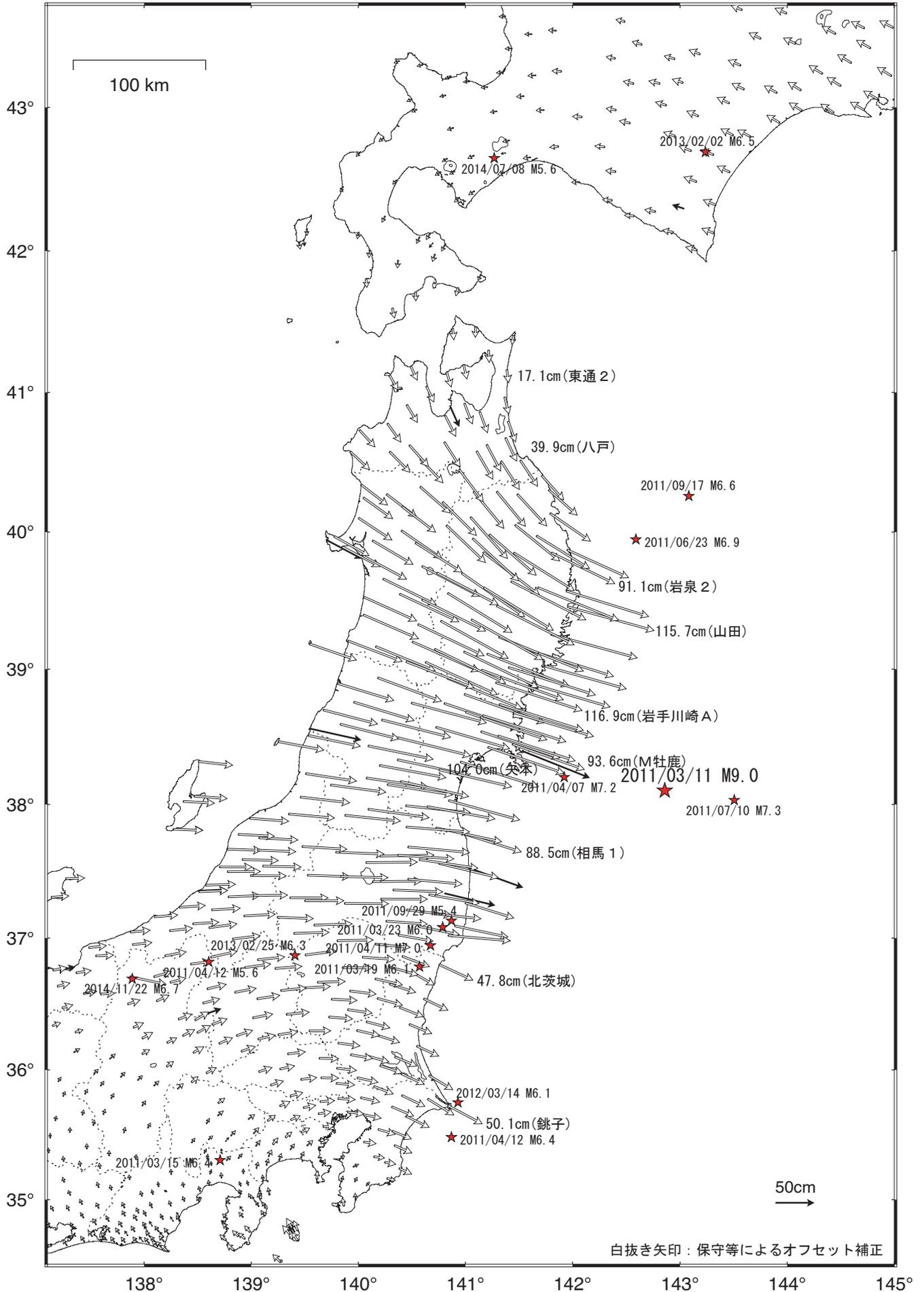
- ・ GNSS 連続観測による変位ベクトルからひずみ変化図を作成した。
- ・ 座標値の15日分の平均値から1年間の変位ベクトルを算出し、それに基づいてひずみを計算している。

東北地方太平洋沖地震 (M9.0) 後の地殻変動 (水平) 一累積一

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。

基準期間 : 2011/03/12 -- 2011/03/12 [F 3 : 最終解]

比較期間 : 2015/01/04 -- 2015/01/10 [F 3 : 最終解]

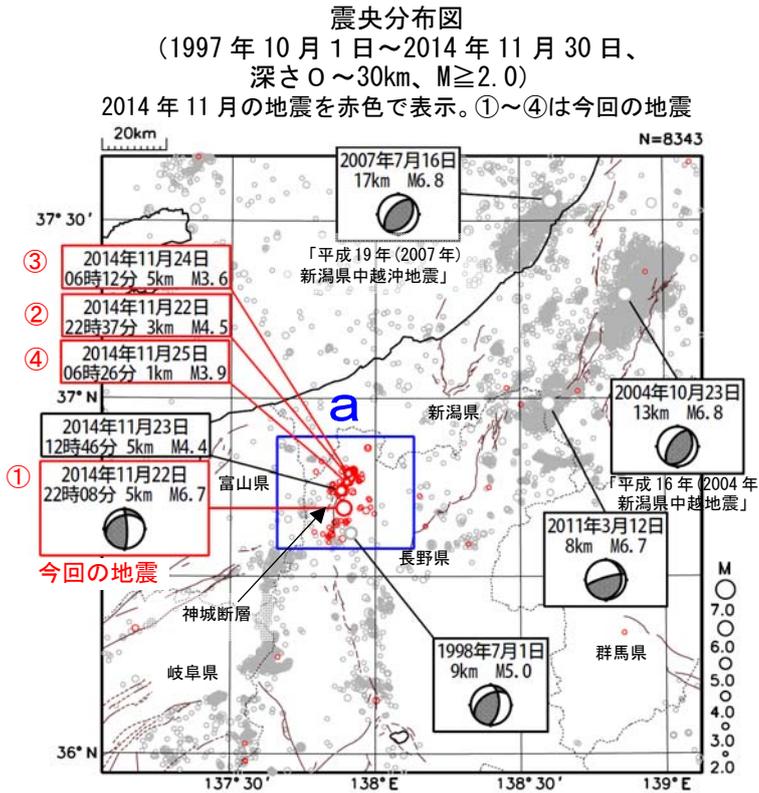


☆ 固定局 : 福江 (長崎県)

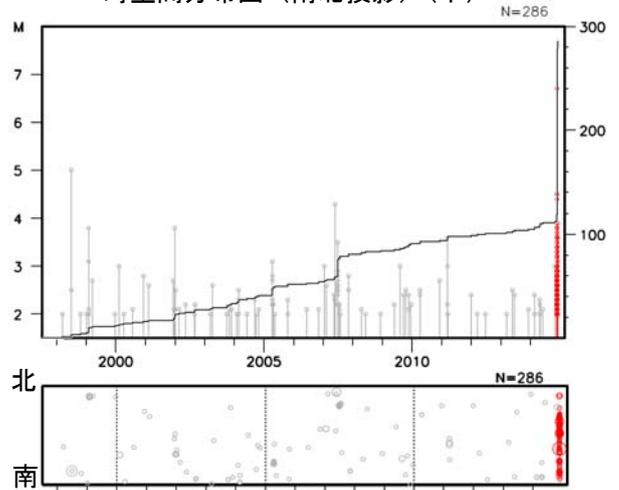
11月22日 長野県北部の地震

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、①）が発生した。この地震により負傷者46人、住家全壊77棟、住家半壊137棟などの被害を生じた（2015年1月5日現在、総務省消防庁による）。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。

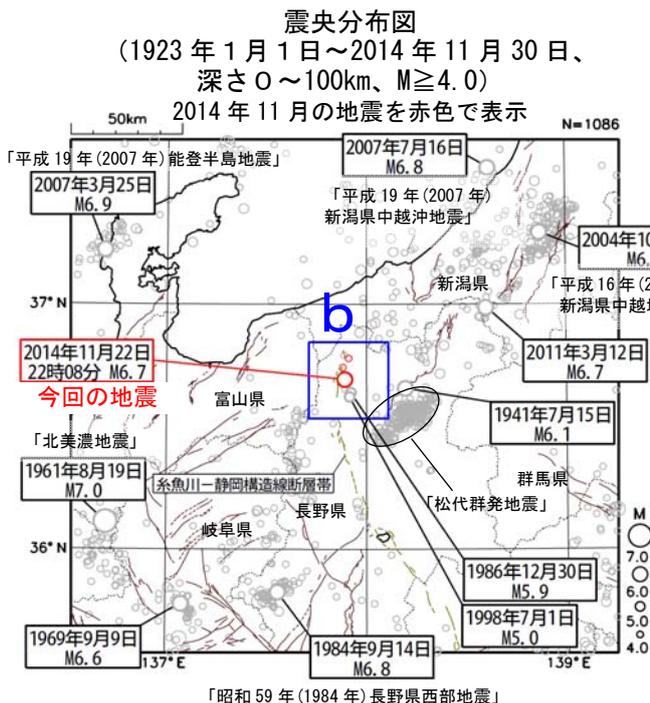
この地震の発生後、小谷村から白馬村にかけての南北約20kmの領域で余震活動がみられた。余震は次第に減少してきている。最大規模の余震は同日22時37分に発生したM4.5の地震（最大震度5弱、②）である。このほか、24日06時12分にM3.6の地震（最大震度4、③）、25日06時26分にM3.9の地震（最大震度4、④）など、11月30日までに震度1以上を観測した余震が100回発生した。これらの余震活動がみられた領域は、糸魚川-静岡構造線活断層系の一部である神城（かみしろ）断層の位置にほぼ一致している。



領域 a 内の M-T 図及び回数積算図 (上)、
時空間分布図 (南北投影) (下)



図中の茶細線は地震調査研究推進本部による主要活断層帯を示す

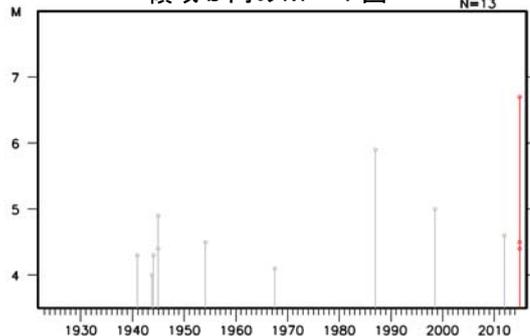


図中の茶細線は地震調査研究推進本部による主要活断層帯を示す

1997年10月以降の活動を見ると、今回の地震の震央付近（領域 a）では、1998年7月1日にM5.0の地震（最大震度4）が発生している。

また、1923年1月以降の活動を見ると、今回の地震の震央付近（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、道路被害4ヶ所などの被害を生じている（「日本被害地震総覧」による）。

領域 b 内の M-T 図

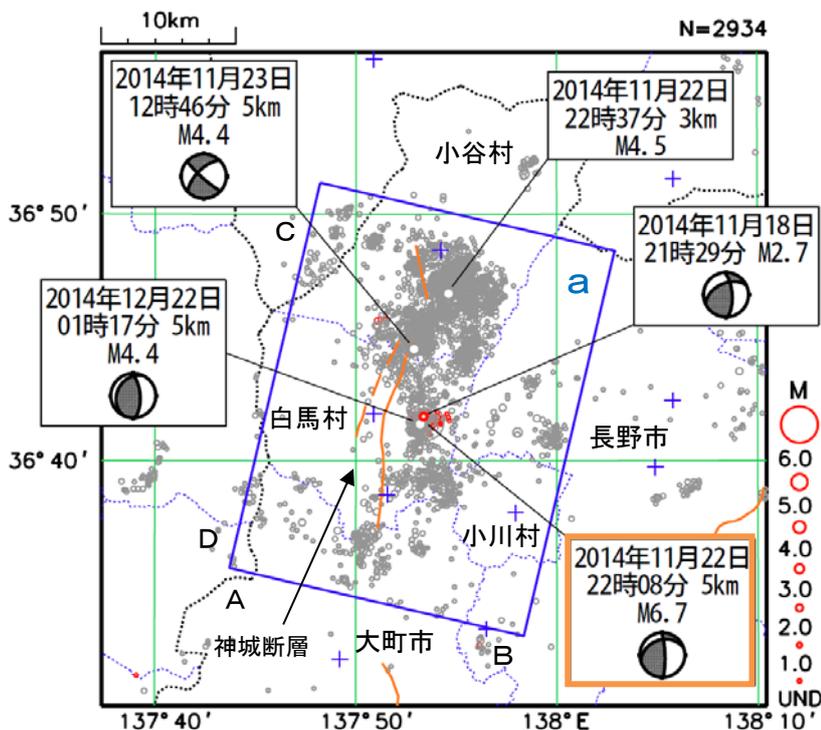


11月22日 長野県北部の地震 前後の地震活動

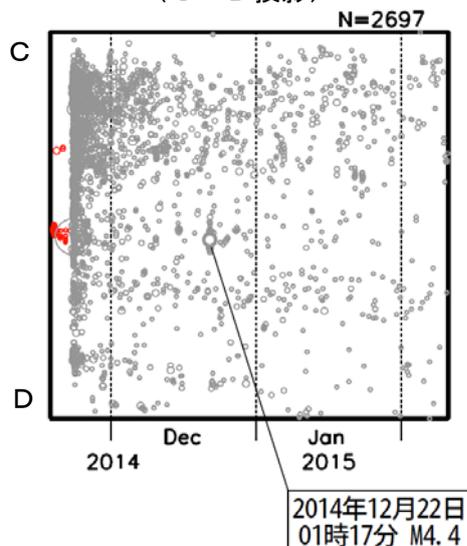
2014年11月22日22時08分に発生した長野県北部のM6.7の地震（最大震度6弱）の震源付近では、11月18日から規模の小さな地震活動がみられた。22日のM6.7の地震発生後、同日22時37分に最大規模の余震（M4.5、最大震度5弱）、11月23日にM4.4の余震（最大震度3）が発生した。その後、12月22日には、本震とほぼ同じ場所を震源とするM4.4の余震（最大震度3）が発生した。

震央分布図

(2014年11月18日～2015年2月10日、深さ0～20km、Mすべて)
2014年11月22日22時07分までの地震を赤で示す

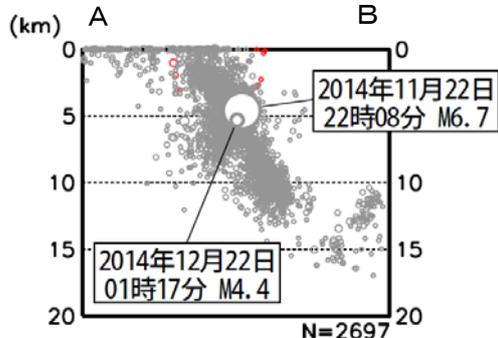


領域a内の時空間分布図 (C-D投影)

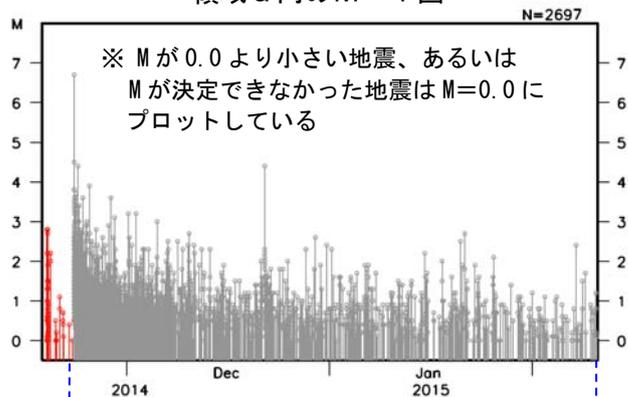


図中の細線 (橙色) は、地震調査研究推進本部による主要活断層帯を示す。青い+印は地震観測点を示す。

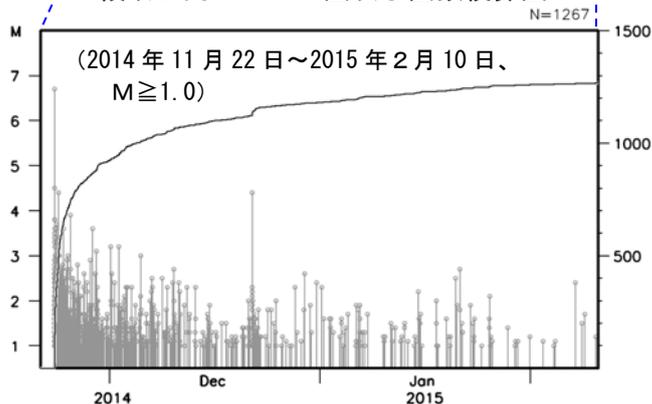
領域a内の断面図 (A-B投影)



領域a内のM-T図



領域a内のM-T図及び回数積算図



気象庁作成

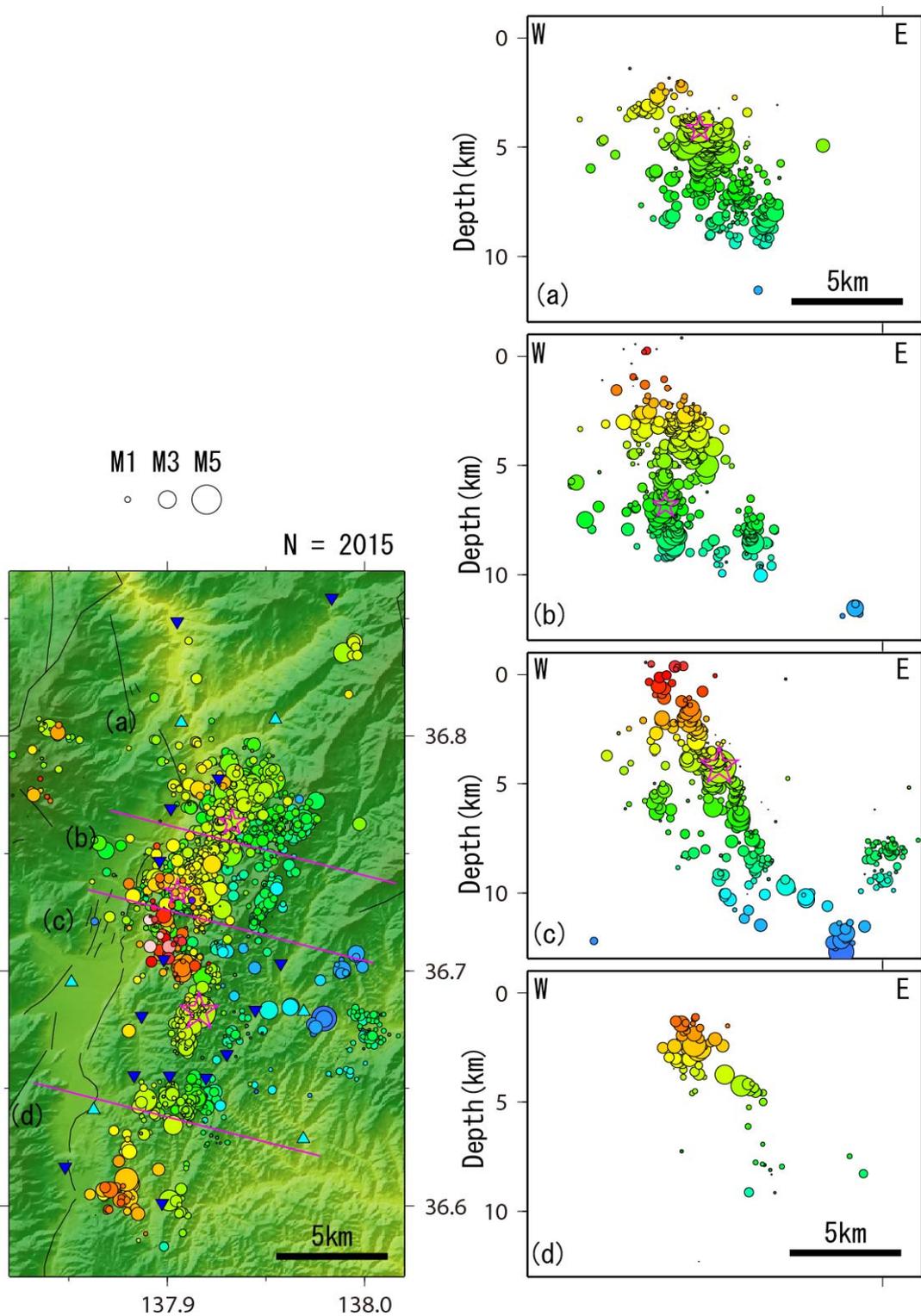


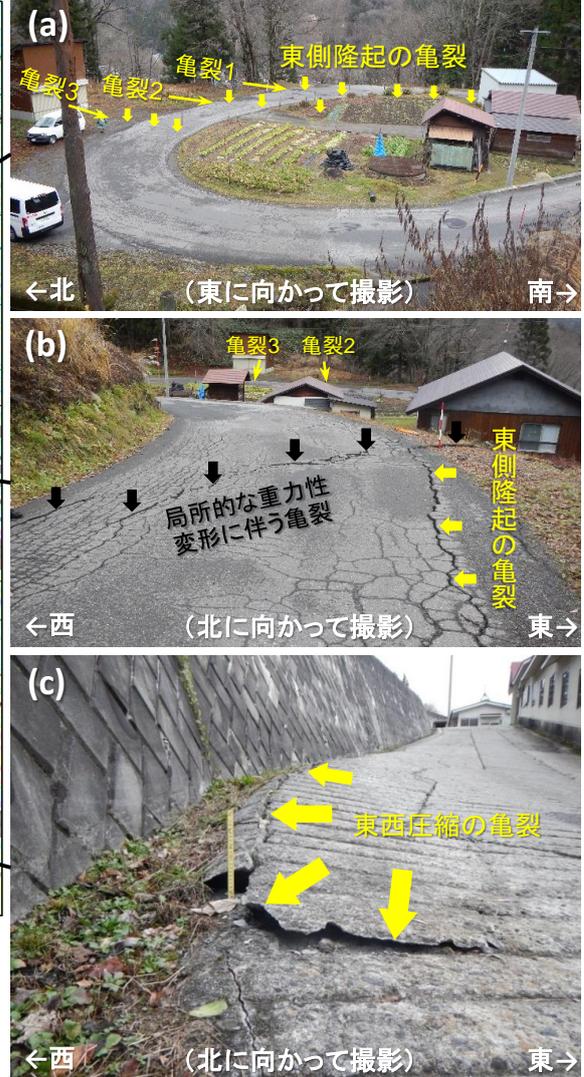
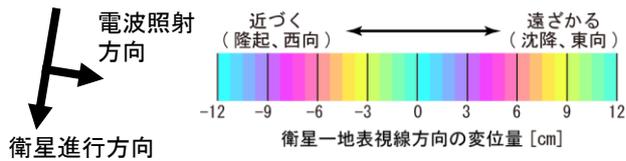
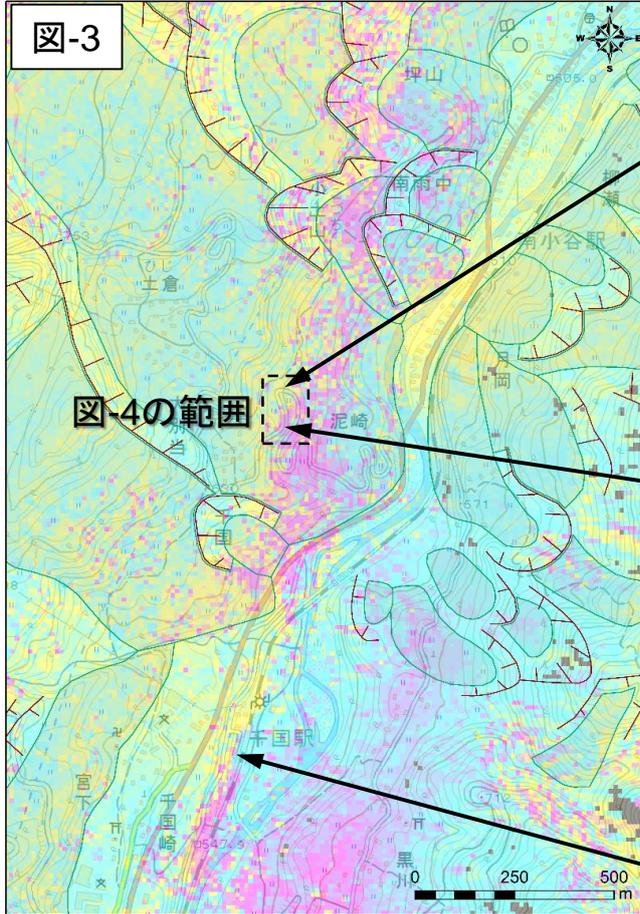
図3 本震と余震分布 (11月18日～25日)。色は震源の深さを表し、暖色が浅い。右図は、左の地域を15度回転した深さ断面図 (縦横比は1:1)。☆は、本震とM4級の余震。

「だいち2号」 SAR干渉画像に基づく 2014年長野県北部の地震に伴う地表変形の現地調査結果（3）

小谷村泥崎地区、千国地区周辺のSAR干渉画像と
地すべり地形分布図※1の重ね合わせ及び現地調査結果

20141002-20141127（南行軌道）

※1: 防災科学技術研究所(2000)

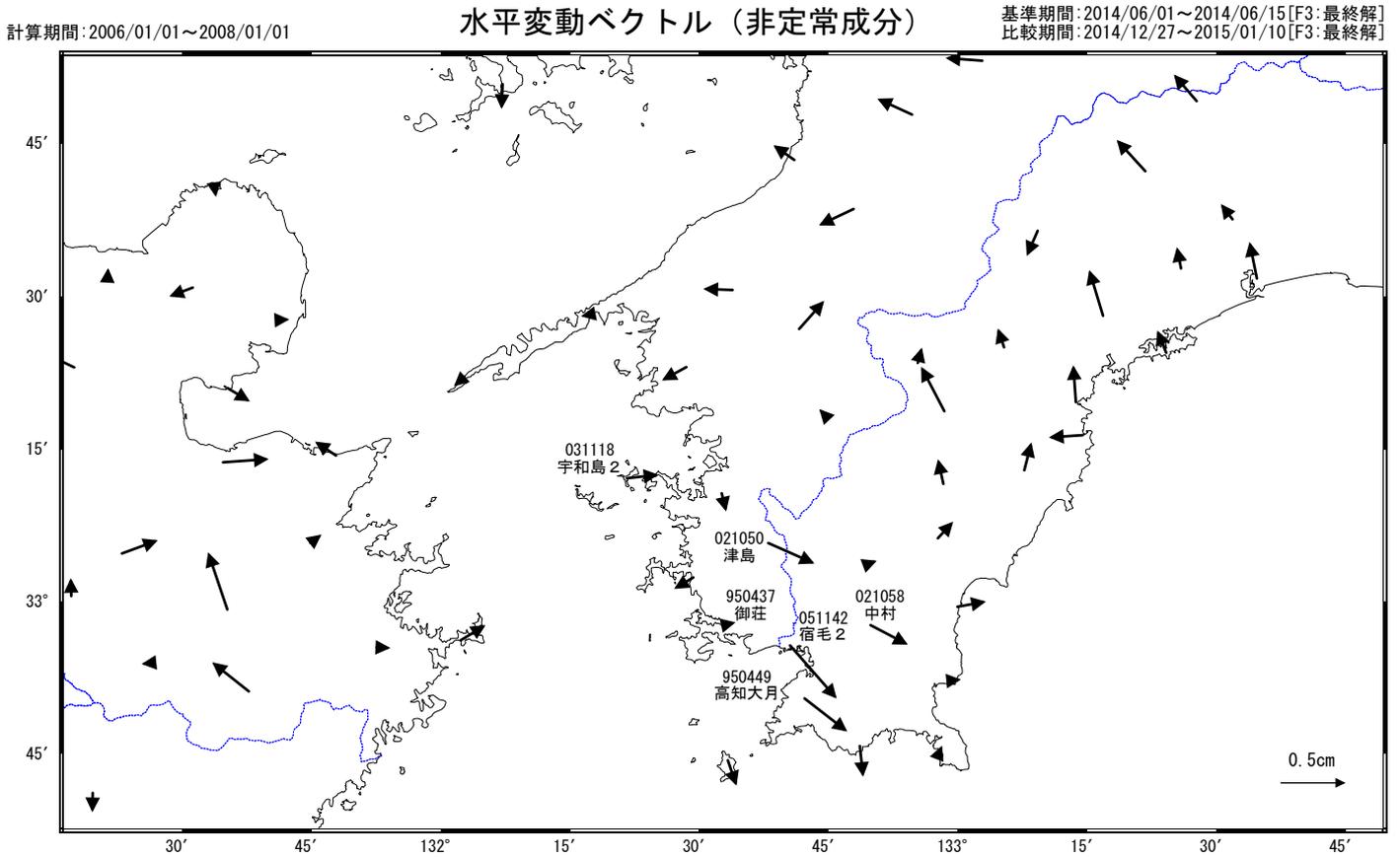


- 写真(a): 小谷村泥崎地区で確認した走向NSからN25°Eの3列の短縮性亀裂(黄色矢印部). 亀裂1と亀裂2の地表変形は, 東側隆起が卓越し, 南側の耕作地及び家屋(車庫)まで変位が続いている.
- 写真(b): 小谷村泥崎地区の東側隆起の亀裂(黄色矢印部)と局所的な重力性変形に伴う亀裂(黒矢印部). 東側隆起の亀裂は, (a)の亀裂2延長線上に位置する.
- 写真(c): JR千国駅西側の路面で確認したほぼ南北方向の走向を持つ東西短縮変形による隆起と頂部亀裂. 写真右上に見える屋根付き歩道上にも, 写真の亀裂と平行な隆起と頂部亀裂を確認した.

解析: 国土地理院 原初データ所有: JAXA
地震予知連絡会SAR解析WGの活動により地震後の緊急観測要求を実施した.
データはだいち2号に関する国土地理院とJAXAの間の協定に基づき提供された.

豊後水道周辺の非定常的な地殻変動 (1)

豊後水道周辺で非定常地殻変動が検出された。非定常地殻変動は、2014年夏頃から始まり、現在はほぼ停滞している。

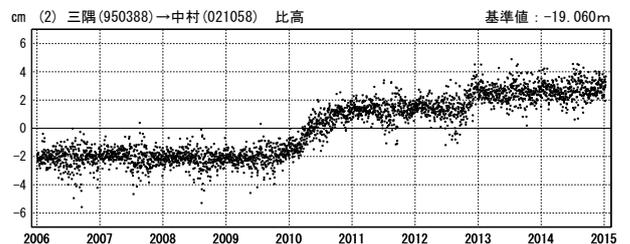
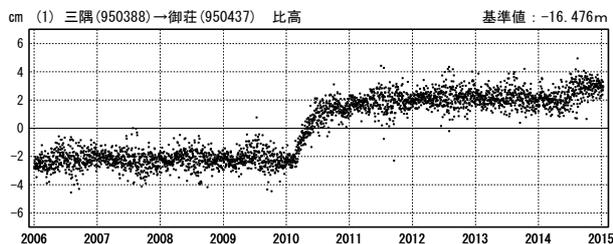
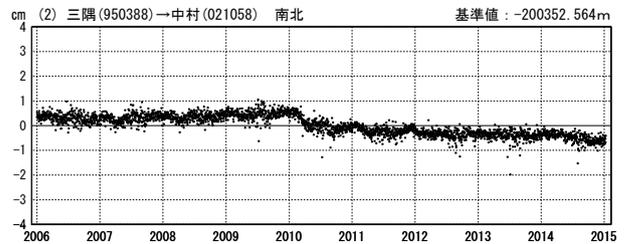
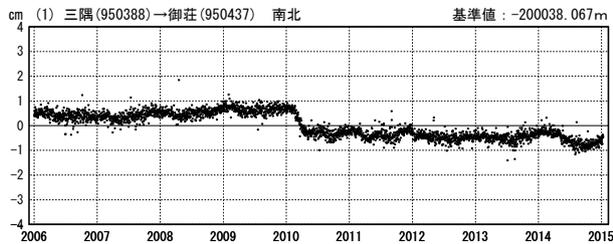
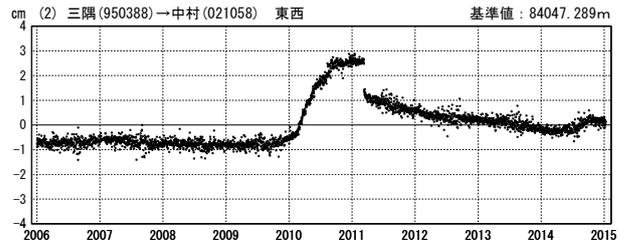
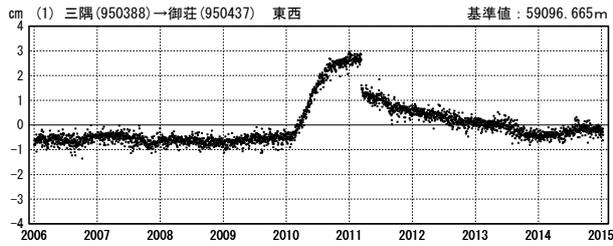


☆ 固定局: 三隅 (950388)

時系列図 (非定常成分)

期間: 2006/01/01~2015/01/10 JST

期間: 2006/01/01~2015/01/10 JST 計算期間: 2006/01/01~2008/01/01



●--- [F3:最終解]

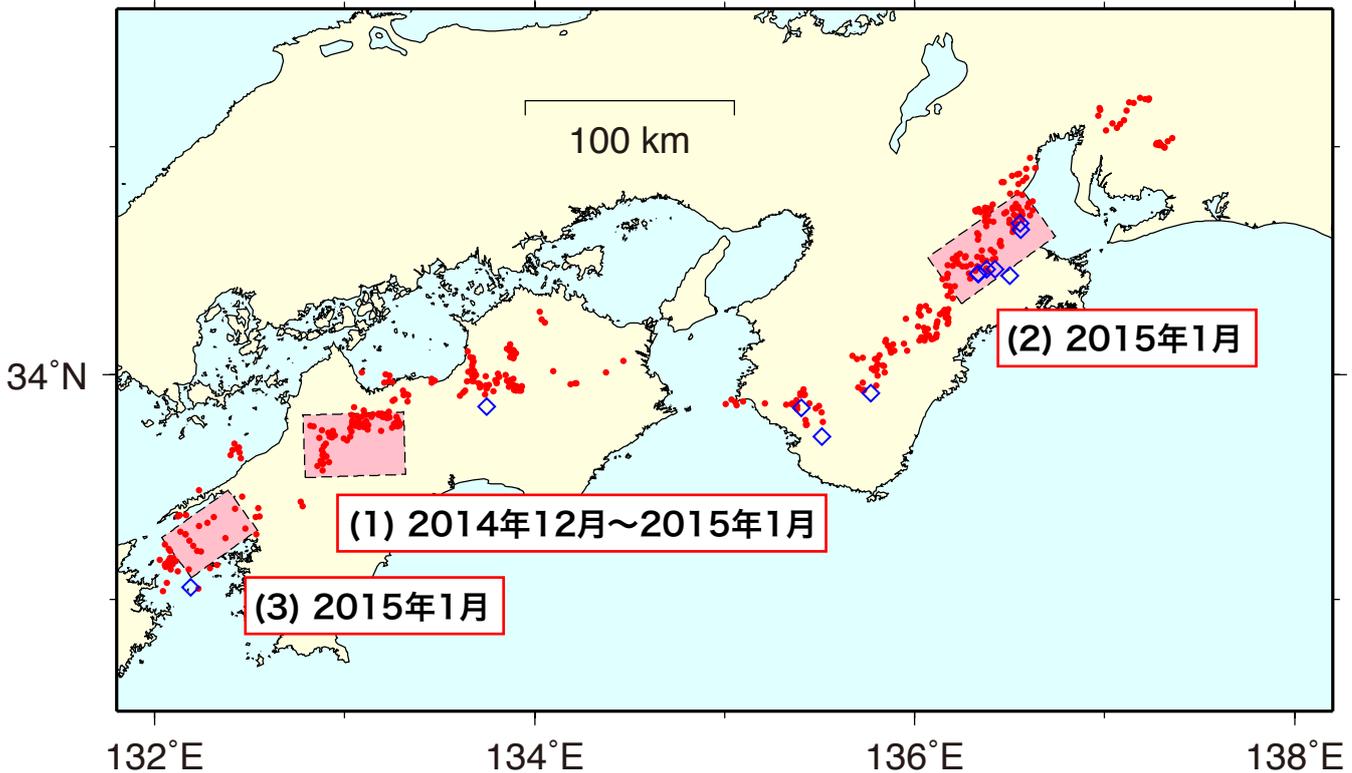


図1: 2014年11月1日～2015年1月31日の3ヶ月間の深部低周波微動(赤点), 深部超低周波地震(青菱形), 短期的スロースリップイベント(SSE:ピンク四角).

1. 2014年12月～2015年1月 四国中部(Mw 5.9)

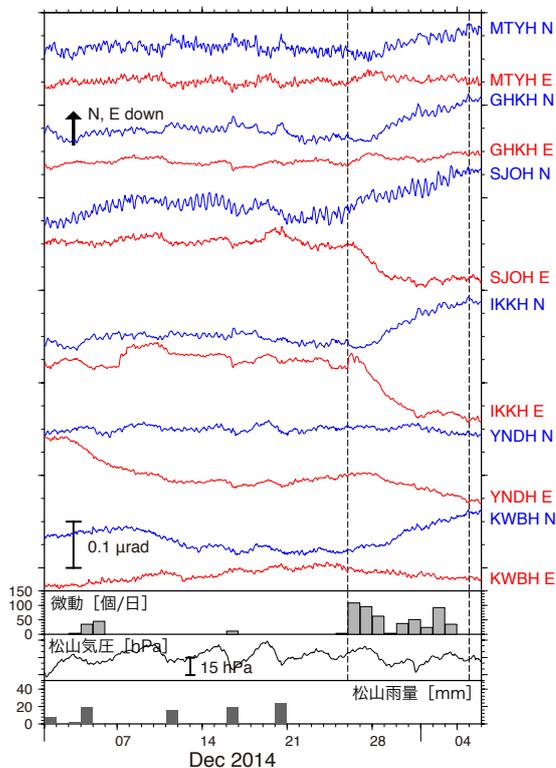


図2: 2014年12月1日～2015年1月5日の傾斜時系列. 上方方向への変化が北・東下がり傾斜変動を表し, BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答成分を除去した. 12月26日～1月4日の傾斜変化ベクトルを図2に示す. 四国中部での微動活動度・気象庁松山観測点の気圧・雨量をあわせて示す.

2014年5月のSSE(四国中西部, Mw 6.2)以来, 約7ヶ月ぶり

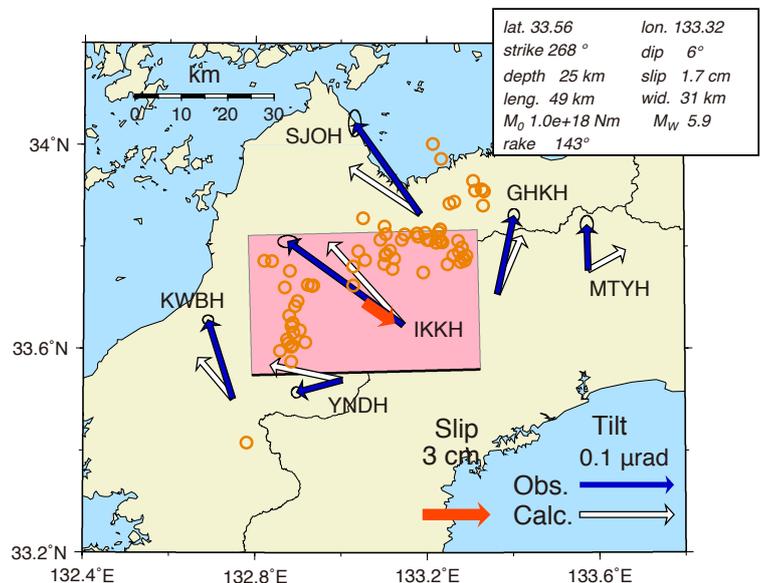


図3: 2014年12月26日～2015年1月4日に観測された傾斜変化ベクトル(青矢印), 推定されたスロースリップイベントの断層モデル(赤矩形・矢印), モデルから計算される傾斜変化ベクトル(白抜き矢印)を示す. 1時間ごとの微動エネルギーの重心位置(橙丸)もあわせて示す. すべり角はプレート相対運動方向に固定している.

重点検討課題の検討

「兵庫県南部地震から 20 年
活断層研究の進展と課題」

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 活断層・火山研究部門 丸山 正

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？
 大(～中)地震の証拠はいつも地層や地形に記録されるのか？

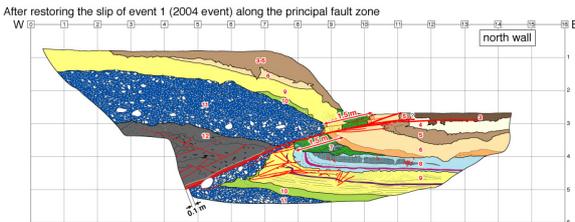


2004年中越地震, 2008年岩手・宮城内陸地震, 2011年福島県浜通りの地震で出現した地震断層を対象として古地震調査を実施

2004年中越地震(M6.8)

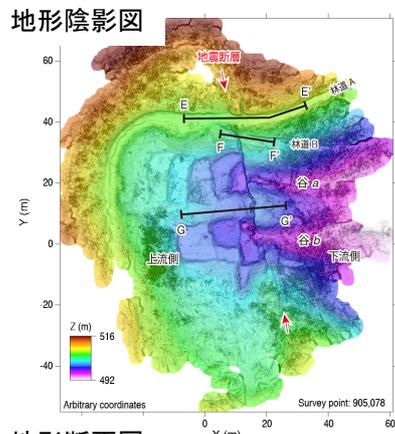


トレンチ壁面スケッチ
 (2004年地震のすべりを戻した状態)

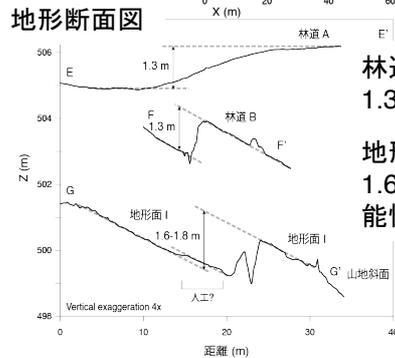


- 2004年地震に先行する2回の古地震イベントはいずれも約1.5 mのすべり(dip-slip)を伴う(撓みを含めると変位量はさらに大きくなる)
- 2004年地震は一回り小さいイベントの可能性
- 2004年のような活動を検出することは困難

2011年福島県浜通りの地震(M7.0)

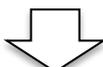


井戸沢断層(斉道地区)
 2011年の地震で上流側が低下し、せき止め池が形成
 過去にも上流側が低下する活動があったことを示唆する断層上流側の袋状の地形



林道や河床の上下変位量は1.3m(2011地震の変位量)
 地形面の上下変位は1.6-1.8m(累積変位の可能性)

- 先行するイベントの上下変位量は2011年地震よりも有意に小さい
- 同様の特徴はトレンチ調査からも報告(堤・遠田, 2012)

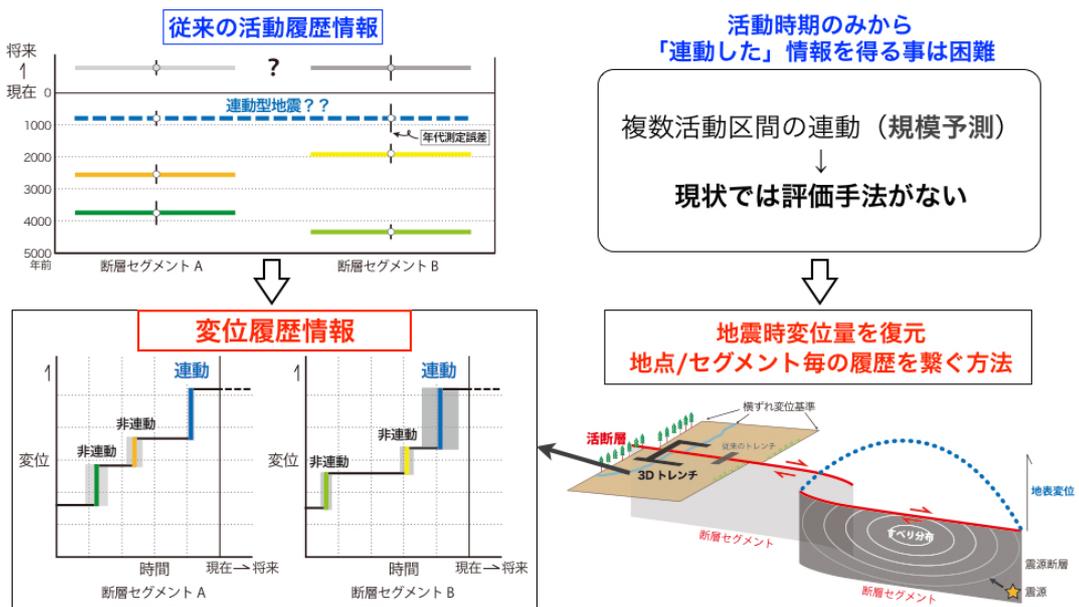


- 活断層沿いの同一地点でも活動毎にすべり量に大きな違いが生じる場合がある。
- トレンチ調査からは、被害をもたらす可能性のある大(～中)地震の証拠が検出できない場合がある。その場合発生頻度を過小評価することになる。
- 地形や地層に記録された過去の地震よりも大きなずれを伴う地震断層が出現する場合がある。

「長大活断層系の連動性評価と課題」

産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門 近藤久雄

陸域に分布する活断層系の中には、長さが数十 km から数百 km にわたる長大な活断層系があります。これらの活断層系では、別々の区間（断層セグメント）に分かれて活動し、異なる規模の大地震（マグニチュード7以上）を生じることが明らかになりつつあります。特に、隣り合う複数の断層セグメントが同時に活動した場合には、より規模の大きな「連動型地震」が生じるため、地震動や被害分布域の予測にとって重要な課題となってきました。しかし、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からでは、複数の断層セグメントが同時に連動したかどうかを判別することが困難でした。そこで、我々は、トルコの北アナトリア断層系（長さ約 900km）において、過去の地震に伴うずれ量を三次元的なトレンチ調査から復元し、ずれ量の大きさから過去の連動型地震を判別する評価手法を開発してきました。この結果、セグメント境界周り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わかりました。さらに近年では、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（長さ約 160km）において、同評価手法を適用・検証する試みを実施しています。



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

はじめに 兵庫県南部地震以降、地震調査推進本部による活断層調査が開始され、反射法地震探査を中心とした地下構造探査による活断層のイメージングが大きく伸展した。震源断層は、地質時代に現在とは異なる応力場で形成され、既存の断層が現在の応力場で再活動している場合が多い。震源断層の位置や形状は、地表近傍の形状を単純に外挿して推定できるものではなく、地質構造の中で捉える必要がある。活断層と震源断層の関係やそれらの形状を明らかにする上で、実際のイメージングは重要である。

断層の再活動 日本列島は日本海の形成に伴って大規模な地殻変動を経験したが、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く、かつての正断層に沿って、右横ずれと逆断層を伴う斜めすべりが発生した 2007 年能登半島地震など、正断層の逆断層としての再活動には多数の例がある。中央構造線は、より古い地質時代にメガスラストとして形成され、反射法地震探査によって中角度で北に傾斜する形状が明らかにされている。中角度の横ずれ断層の例は、2013 年のパキスタン、アワーレン地震に見ることができる。

プレート境界からの分岐断層 伊豆衝突帯の周辺では浮揚性沈み込みが進行し、メガスラストからの分岐断層が陸上に露出する。国府津-松田断層など反射法地震探査によって、メガスラストとの関係が明らかになり、活断層の長期評価にも大きな影響を及ぼした。

リフト帯の断層関連褶曲 日本海沿岸のリフト帯には厚い堆積層が分布し、褶曲-断層帯を形成する。

褶曲の形成は中新世の泥岩層中に異常高圧帯が形成され、そこで発生するデタッチメントが重要な役割を果たしている。こうした地層境界に発達する弱面の影響で、褶曲帯においては楔状の衝上断層 (wedge thrust) など、断層関連褶曲を伴う複雑な地質構造を示す。

こうした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 東北太平洋沖地震は、内陸被害地震とプレート境界での地震に強い相関があることを改めて認識させた。プレート境界から駆動される応力・歪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である。このためには精度の高い震源断層の位置・形状やすべり角を求め、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。

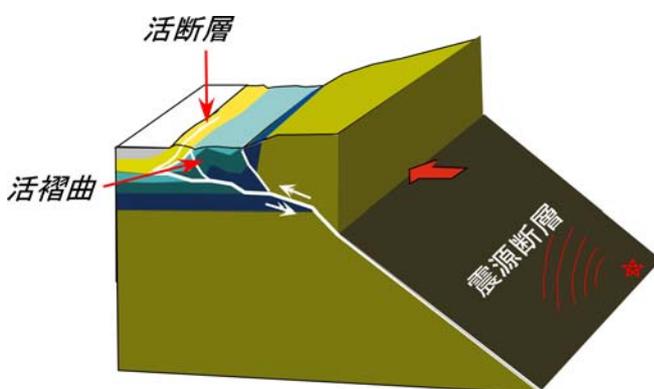


図 1 震源断層-活断層システムの概念図

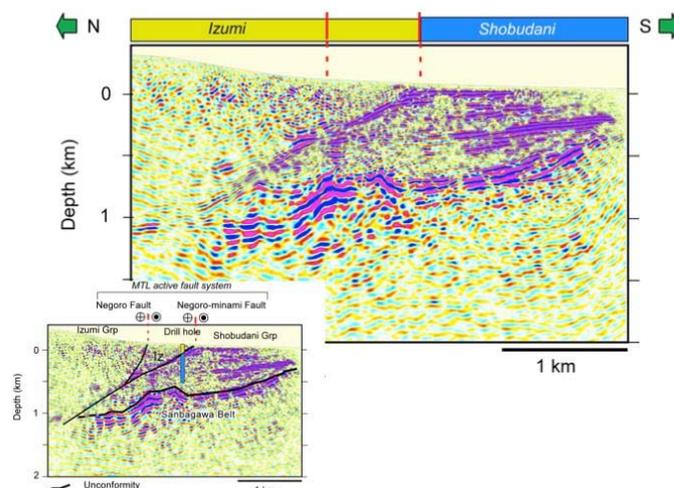


図 2 紀ノ川沿いの中央構造線を横切る反射法地震探査断面 (Sato et al., in press)

「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

(独) 産業技術総合研究所 吾妻 崇

活断層の長さはそこから発生する地震規模を評価するうえで重要なパラメータであるが、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（マグニチュード6～7程度）がその周辺で発生することがある。このような中規模地震であっても極近傍や新断層の上盤側では大きな地震動が記録されており、個々の施設や自治体規模の地震防災においては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ていて、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のが実情である。

「孤立した短い活断層」が存在する理由としては、1) 地震発生時に明瞭な地表地震断層が局地的にしか出現しないものと、2) 地震発生時には明瞭な地表地震断層が出現したが、その後消失（浸食、埋積）してしまったものに大別することができる。前者のような地震の規模評価については、地球物理学的なデータの解釈に依存するしかないが、後者については詳細な地形地質調査によって評価精度を向上させることが可能である。

本発表では、後者のような断層について、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について紹介する。そのなかでは、「孤立した短い活断層」の定義を設定して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2mメッシュの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およ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ない、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考察した。

最後に、この研究課題に関する今後の課題として挙げておく。まず、現段階では地形情報以外は文献資料に基づく検討のみであるので、今後は現地調査によるデータを蓄積していくことが最優先課題である。また、断層変位地形の消失には浸食速度や堆積速度の影響が大きいと考えられるため、地質条件や気候条件といったパラメータの地域性を評価手法に取り入れていくことも重要である。さらに、地震発生時に明瞭な地表地震断層が局地的にしか出現しないような地震の規模評価についても事例を集めながら検討を深める必要がある。

なお、本発表の内容は、平成22年度に独立行政法人原子力安全基盤機構から受託した研究成果に基づくものであり、その内容については日本地球惑星科学連合2012年大会で発表した。

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の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。この規模の地震で想定される30cm未満の地表変位は、仮に生じていたとしても、特に山間部では見つからない場合が多いと思われる。

一方、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、二時期の画像の差分干渉処理を行うことによって、その間の地殻変動を詳細に捉えられるようになってきた。このInSARという技術は、cmスケールの地殻変動を捉えられる可能性があるため、前述のような微小変位の検出にも適していると思われる。

本研究では、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、InSAR解析により地表変位の検出を試みた。その結果、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。我々はこれらの不連続を断層変位として評価し、その長さ最大変位量を測定した。ただし、ここで得られる変位量は、地表変位を衛星からの視線(LOS)方向（用いたデータでは入射角が30°前後）に捉えたものであり、実際の変位量よりは小さくなる。そこで、発震機構に基づくスリップベクトルが地表まで変わらないと仮定し、観測されたLOS変位量から実際の変位量を換算することも試みた。その結果、LOS変位量をそのまま用いた場合でも、換算後の変位量を用いた場合でも、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（rupture）とは区別すべきかもしれない。それでもなお、上述した結果は、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を示している。

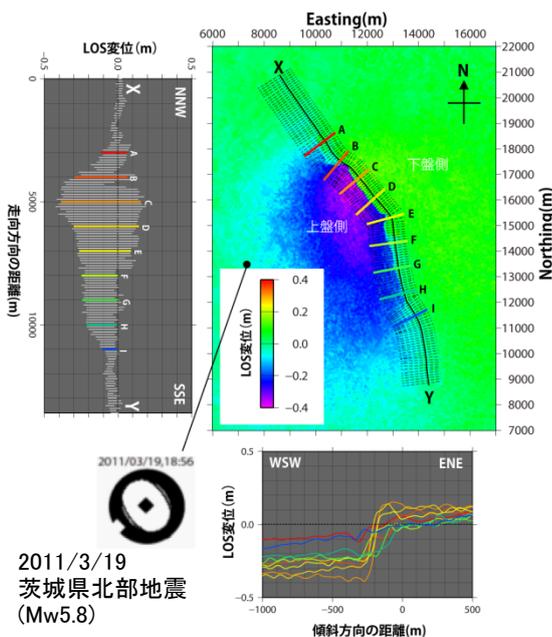


図1. InSAR解析による断層変位の抽出例

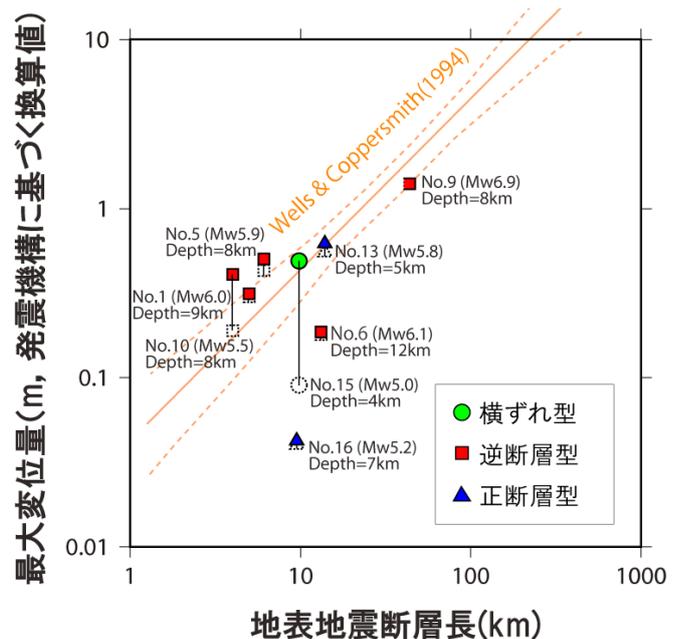


図2. 最大変位量と地表地震断層長の関係

第 207 回 地震予知連絡会 重点検討課題

タイトル「予測の根拠となるモニタリングデータと処理方法」

趣旨説明者 海洋研究開発機構 堀 高峰

昨年度の将来検討ワーキンググループの報告書の中で、「本連絡会の重要な役割は、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とモニタリング手法の高度化である。また、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ことも、本連絡会の役割の一つであることが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、地震本部の地震調査委員会や地震学会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及び関連する分野の専門家が定期的に一堂に会して、公開で地震の予知・予測を目指して議論する場合は、本連絡会以外には無く、今後も継続すべきである。」と書かれている。

この「地震の予知・予測を目指した」議論を、普段からより深めるとともに、わかりやすい形で社会に伝えていく必要がある。そのための手段として、また、「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」、予測実験の試行を行うこととなり、「どのような手法や運営がありうるのかについては、しばらくは重点検討課題の一つとして検討を進めることが適切である。」とされ、地震の予知・予測を目指した地震活動やシミュレーション研究についての紹介が、ここ数回の重点検討課題で行われてきた。

今回はそこで紹介された研究を含めて、予測の根拠となるモニタリングデータとしてどのようなものがあるか、予測につなげるためにどのような処理方法がなされているか、どのような形での予測情報がそこから得られるかについて紹介する場を設け、予測実験の試行の具体化に向けた議論を行いたい。とりあげる項目としては、地震活動（静穏化・潮汐相関・ b 値変化・前震活動・余震活動等）、地殻変動（プレスリップ・SSE・固着状態変化等）、その他の各種モニタリングデータ（地下水・電磁気等）を考えており、委員を含めて、レビュー的な紹介や議論をして頂ける専門家の方々に講演をお願いする予定である。

平成27年2月16日
地震予知連絡会事務局

平成27年度地震予知連絡会の開催について

1. 平成27年度地震予知連絡会の開催日

平成27年度地震予知連絡会の開催を下記のとおり予定しています。

回	年 月 日
第207回	平成27年 5月22日 (金)
第208回	平成27年 8月21日 (金)
第209回	平成27年11月27日 (金)
第210回	平成28年 2月22日 (月)

2. 地震予知連絡会議事の流れ

- (1) 事務的議事
- (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
 - 2) 東北地方太平洋沖地震関連
 - 3) プレート境界の固着状態とその変化
 - 4) その他の地殻活動等
- (3) 重点検討課題の検討 (別紙参照)
 - 1) 重点検討課題の検討
 - 2) 次回の趣旨説明
- (4) その他の議事

今後の地震予知連絡会で検討を行う重点検討課題名

1. 第207回地震予知連絡会
課題名：予測の根拠となるモニタリングデータと処理方法
趣旨説明者：堀委員

2. 第208回地震予知連絡会
課題名：予測実験の試行にむけて
趣旨説明者：今給黎委員

3. 第209回地震予知連絡会
課題名：東北地方太平洋沖地震がもたらす広域地殻活動（仮）
趣旨説明者：谷岡委員

4. 第210回地震予知連絡会
課題名：余効変動と粘弾性（仮）
趣旨説明者：平原会長