

平成 26 年 5 月 19 日

第 203 回 地震予知連絡会

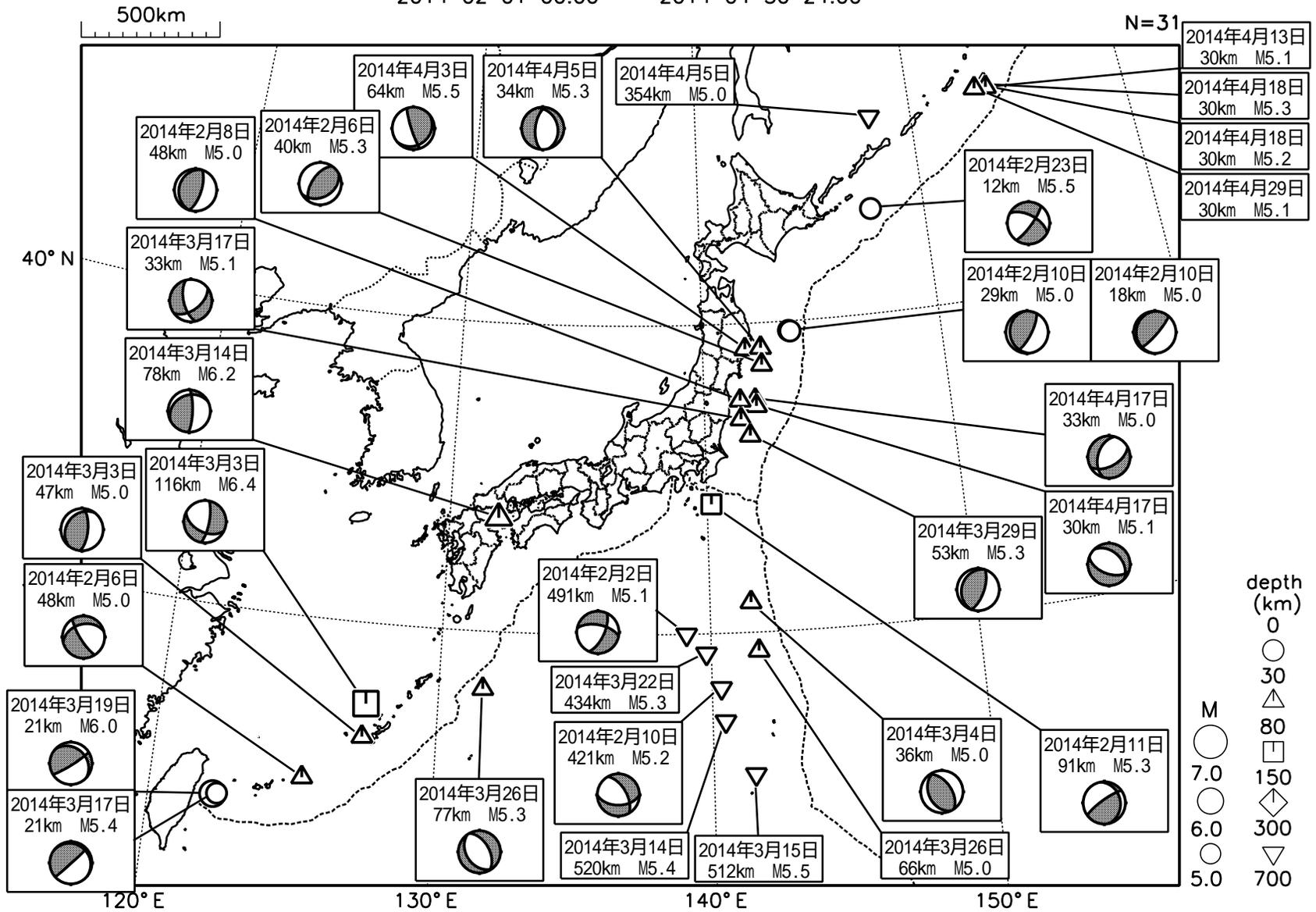
記者レクチャー資料

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2月～4月、M 5.0）

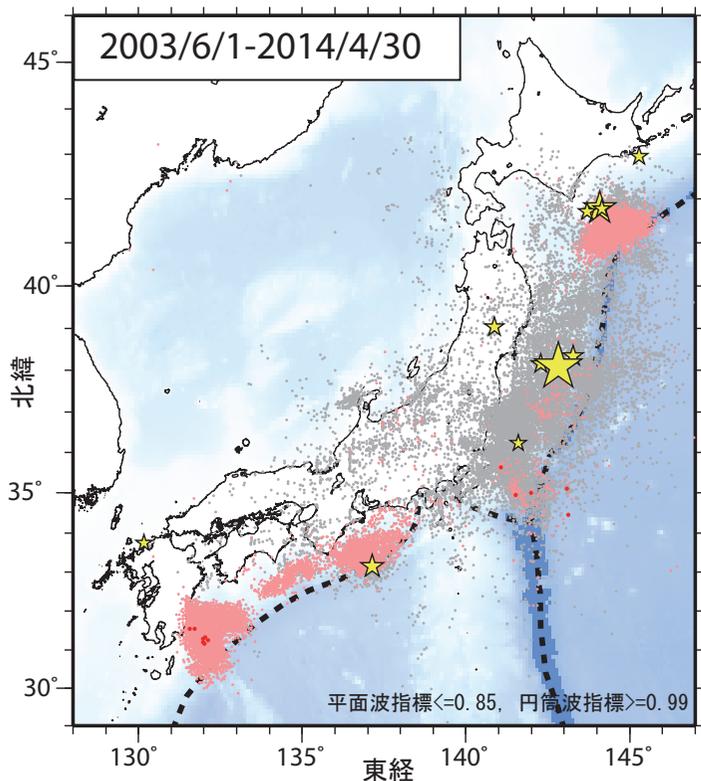
2014 02 01 00:00 -- 2014 04 30 24:00



発震機構は気象庁によるCMT解

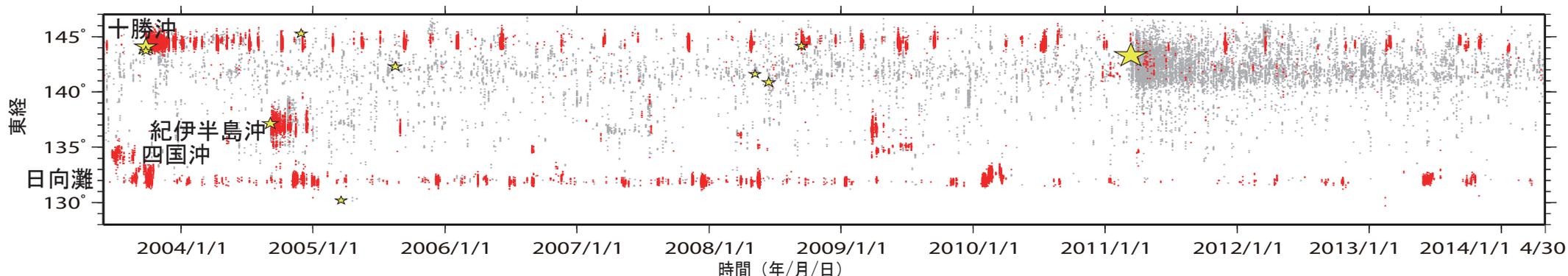
気象庁作成

日本周辺における浅部超低周波地震活動（2014年2月～4月）



- 期間内に北海道，本州，四国，および九州の周辺において，目立った浅部超低周波地震活動は検出されなかった。
- 3月下旬に日向灘において浅部超低周波地震が検出された。

第1図. 2003年6月1日から2014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（2014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）.



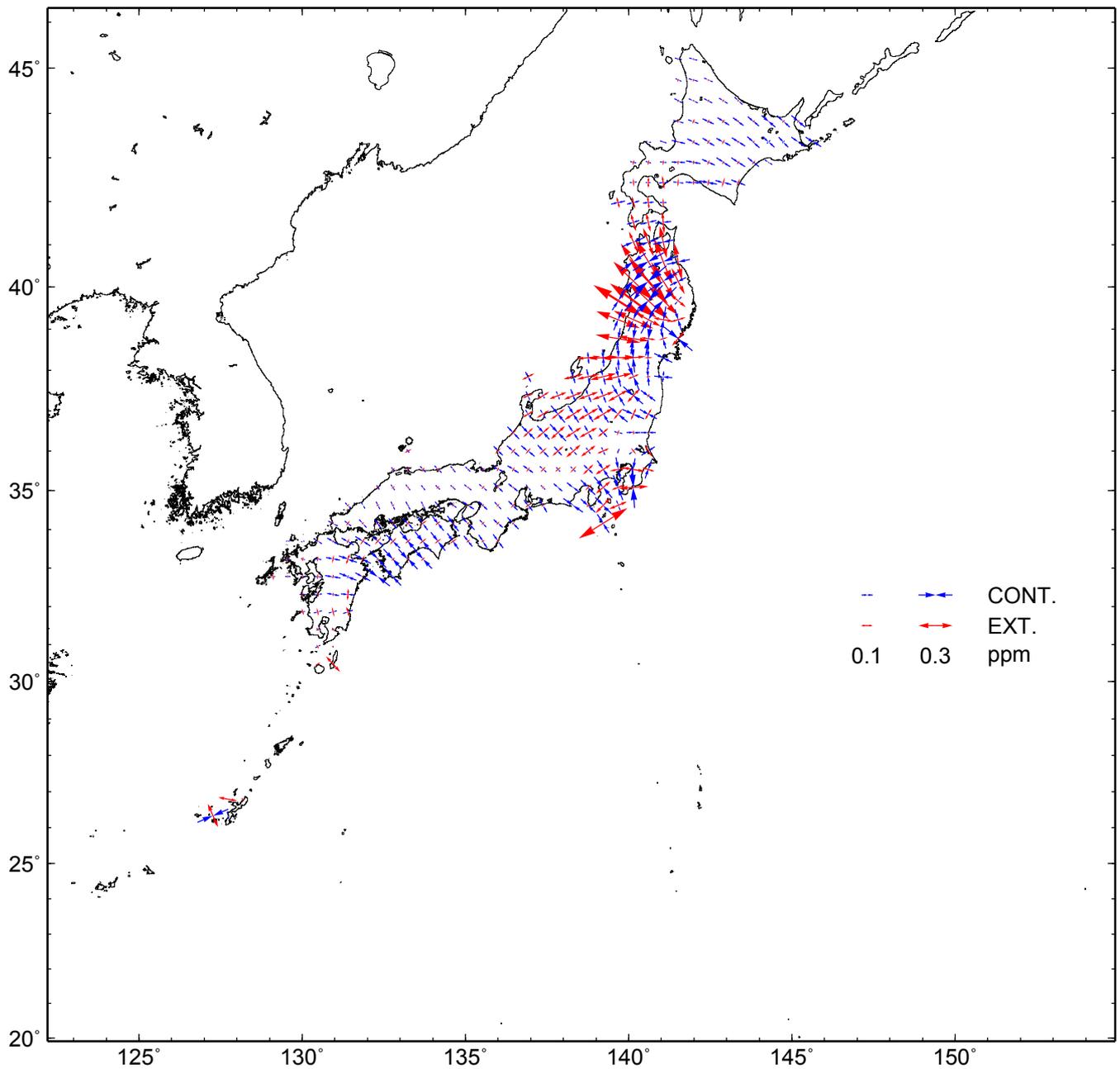
第2図. 2003年6月1日から2014年4月30日までの期間に検出されたイベントの時空間分布. 検出されたイベントを防災科研 Hi-net 手動，または自動検測震源と照合し，対応する地震が見出されたイベントを灰色で，それ以外を赤色の点でそれぞれ示す. その他は第1図に同じ.

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。

基準期間：2013/03/29 – 2013/04/12 [F3：最終解]

比較期間：2014/03/29 – 2014/04/12 [F3：最終解]



- ・ GNSS 座標値データに基づいて1年間の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。

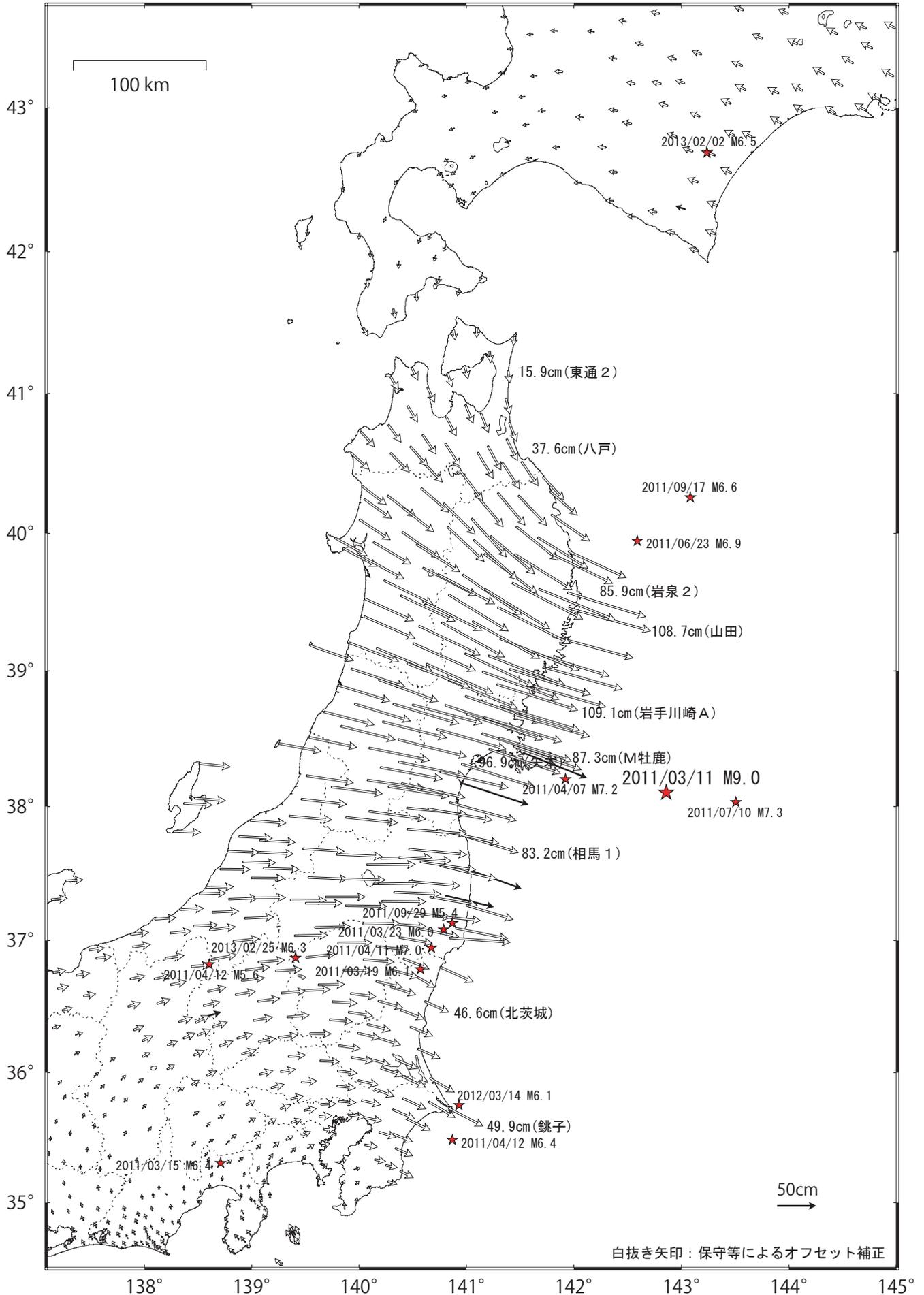
国土地理院資料

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 : 2014/04/06 -- 2014/04/12 [F 3 : 最終解]



☆ 固定局 : 福江 (長崎県)

国土地理院資料

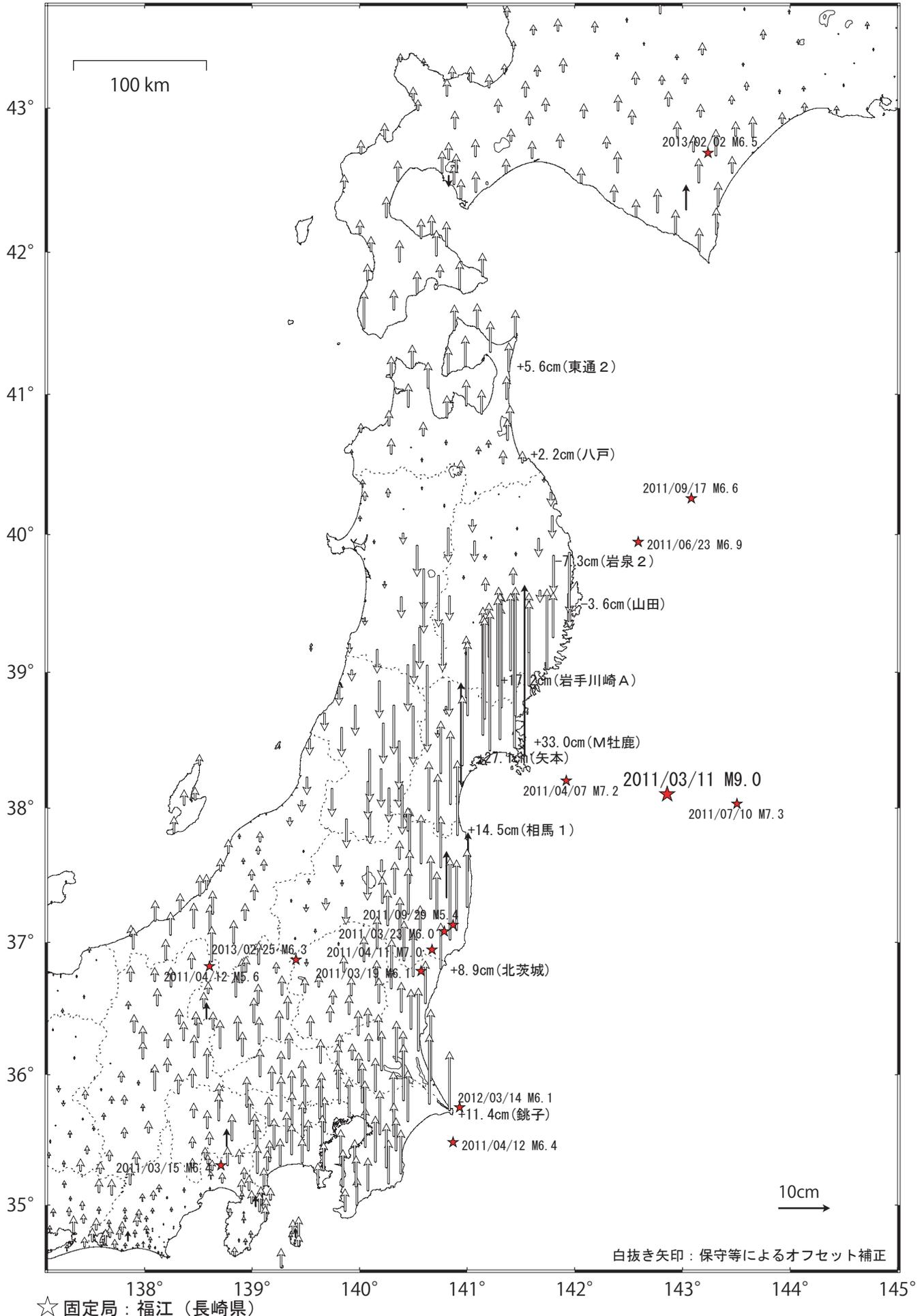
東北地方太平洋沖地震（M9.0）後の地殻変動（上下）一累積一

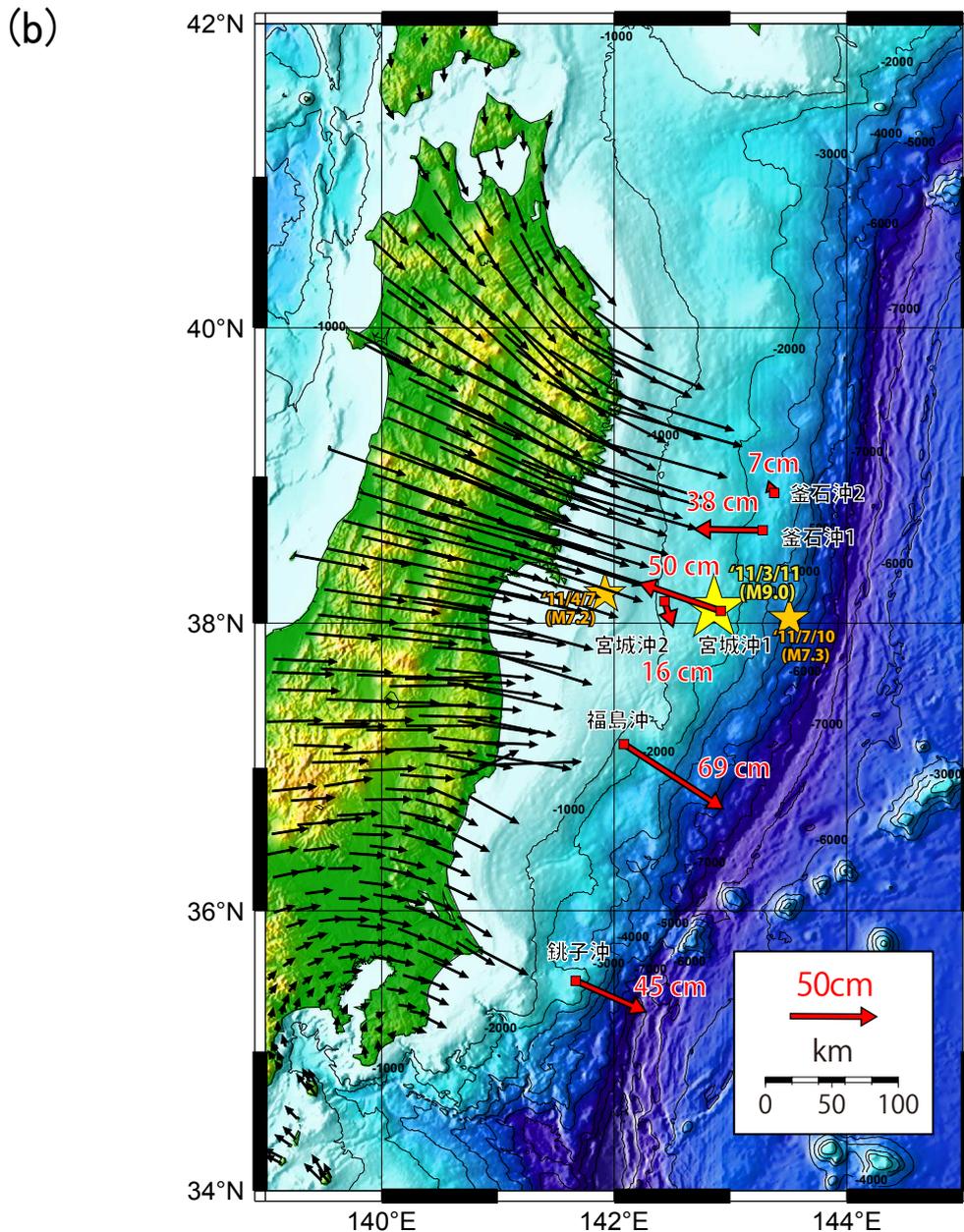
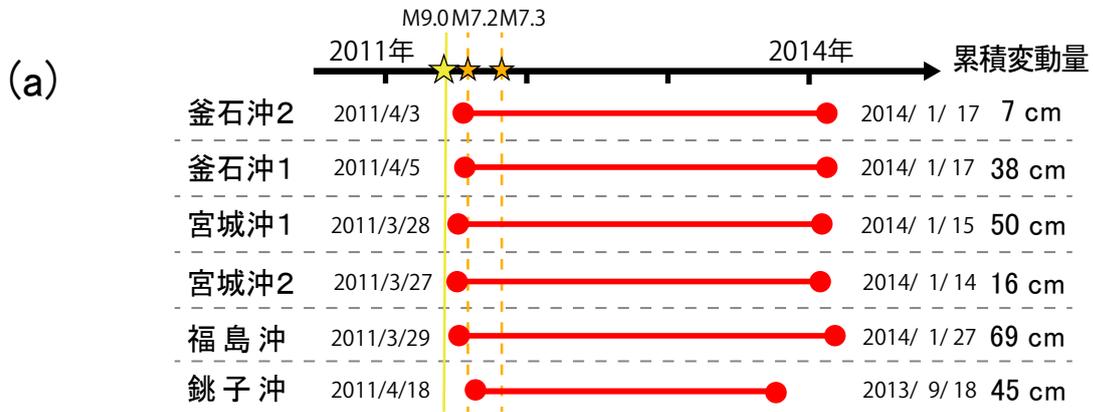
宮城県から千葉県にかけての太平洋沿岸に隆起が、岩手県沿岸と奥羽脊梁山脈付近に沈降が見られる。

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見られる。

基準期間：2011/03/12 -- 2011/03/12 [F3：最終解]

比較期間：2014/04/06 -- 2014/04/12 [F3：最終解]



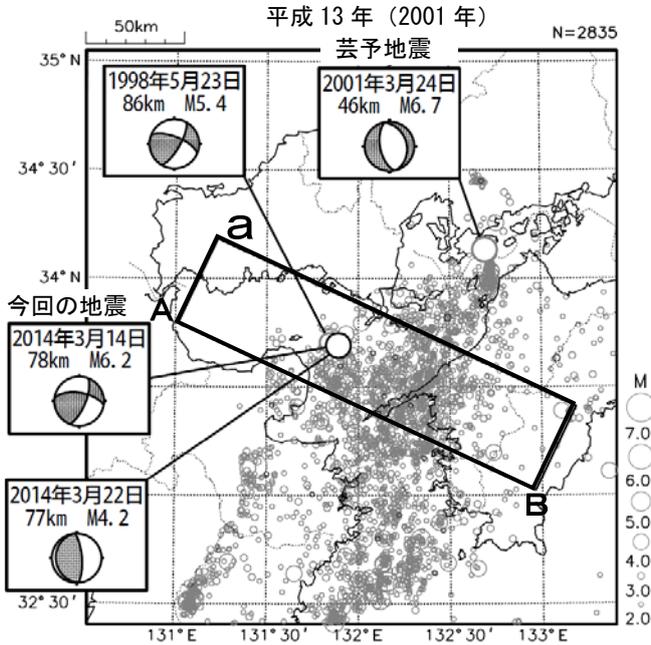


第2図 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動（累積）【電子基準点「福江」固定】
 (a) 観測期間と累積変動量, (b) 累積変動ベクトル

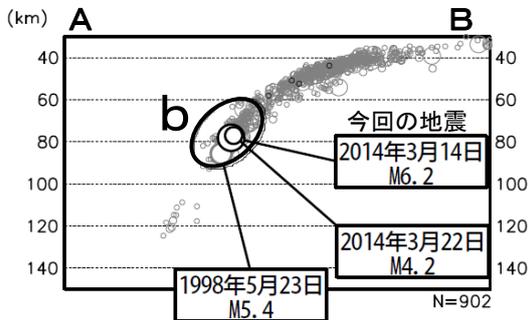
※赤の矢印は、海上保安庁の海底基準点における地震後の累積変動ベクトル、
 黒の矢印は、国土地理院の電子基準点における地震後の累積変動ベクトルを示す。
 ※図中の星は観測点近傍で起きた主な地震（黄色は本震、橙色は余震）を示す。
 ※累積変動量及び変動ベクトルには、余震による地殻変動が含まれている。

3月14日 伊予灘の地震

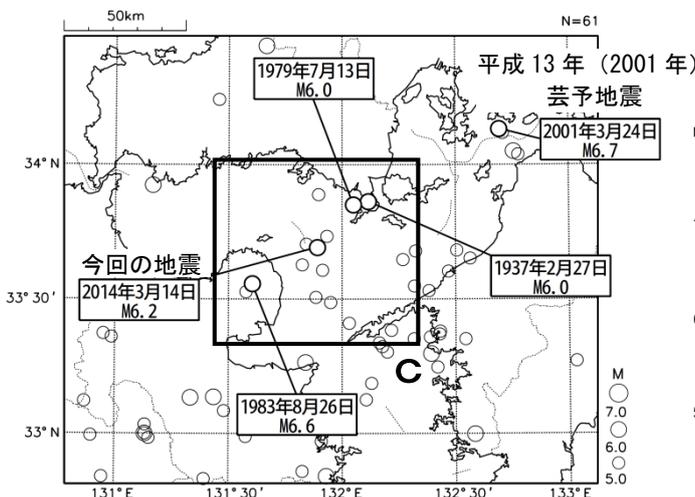
震央分布図
(1997年10月1日～2014年3月31日、
深さ30～150km、 $M \geq 2.0$)
2014年3月の地震を濃く表示



領域a内の断面図 (A-B投影)



震央分布図
(1923年1月1日～2014年3月31日、
深さ0～150km、 $M \geq 5.0$)

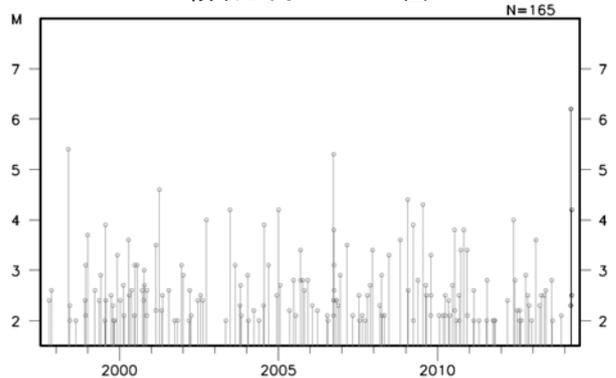


2014年3月14日02時06分に伊予灘の深さ78kmでM6.2の地震(最大震度5強)が発生した。この地震は、発震機構が東北東-西南西方向に張力軸を持つ型で、フィリピン海プレート内部で発生した。この地震により、広島県や愛媛県などで負傷者21人、住家の一部破損の被害が生じた(3月14日現在。総務省消防庁による)。余震活動は低調で、震度1以上を観測した余震は、3月22日に伊予灘の深さ77kmで発生したM4.2の地震(最大震度3)のみである。

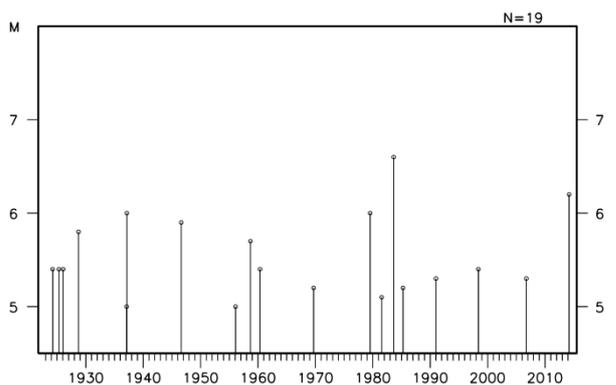
1997年10月以降の活動を見ると、今回の地震の震源付近(領域b)では定常的な地震活動がある。1998年5月23日にM5.4の地震(最大震度4)が発生しているが、M6.0以上の地震は今回が初めてである。また、今回の地震から北東に約100km離れたところで、「平成13年(2001年)芸予地震」(M6.7、最大震度6弱)が発生した。

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c)では、1983年8月26日にM6.6の地震が発生し、広島市内で負傷者1人、ガラス破損、山崩れなどの被害が生じた(「日本被害地震総覧」による)。

領域b内のM-T図



領域c内のM-T図



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 (2014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：四国東部～中部，4月13日～18日。
- 上記以外の主な微動活動：東海地方，2月2日～7日。紀伊半島南部，2月15日～19日。四国中部，2月1日～5日。豊後水道，2月21日～25日

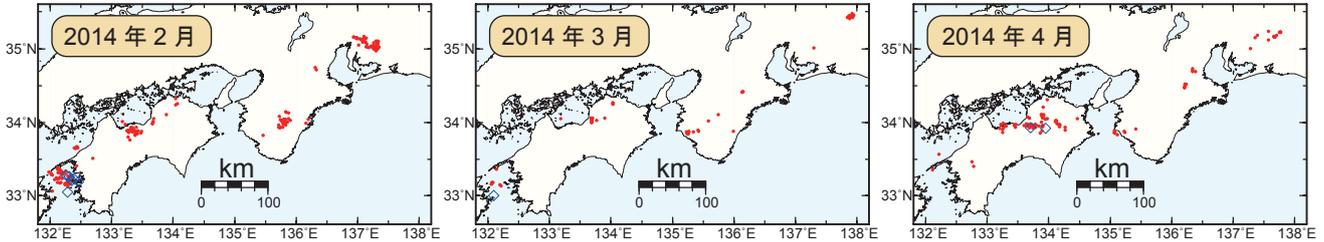


図1. 西南日本における2014年2月～4月の月毎の深部低周波微動活動。赤丸はエンベロープ相関・振幅ハイブリッド法 (Maeda and Obara, 2009) およびクラスタ処理 (Obara et al., 2010) において、1時間毎に自動処理された微動分布の重心である。青菱形は周期20秒に卓越する深部超低周波地震 (Ito et al., 2007) である。

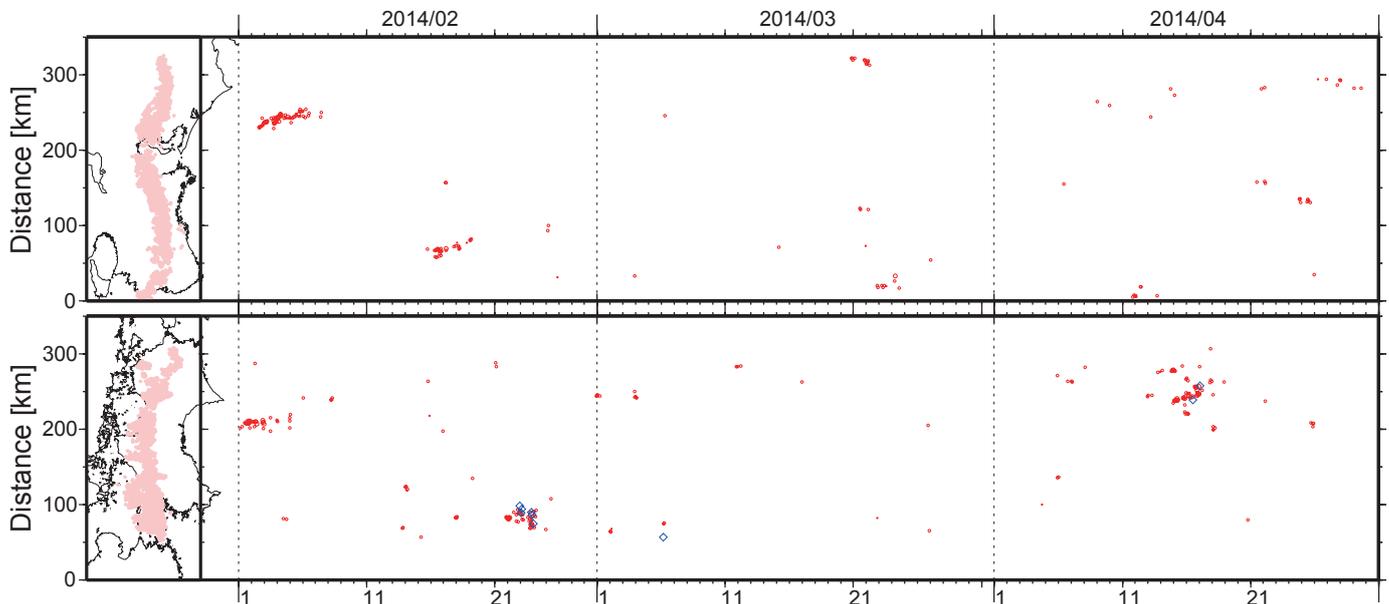


図2. 2014年2月～4月の深部低周波微動 (赤) および、深部超低周波地震 (青菱形) の時空間分布。

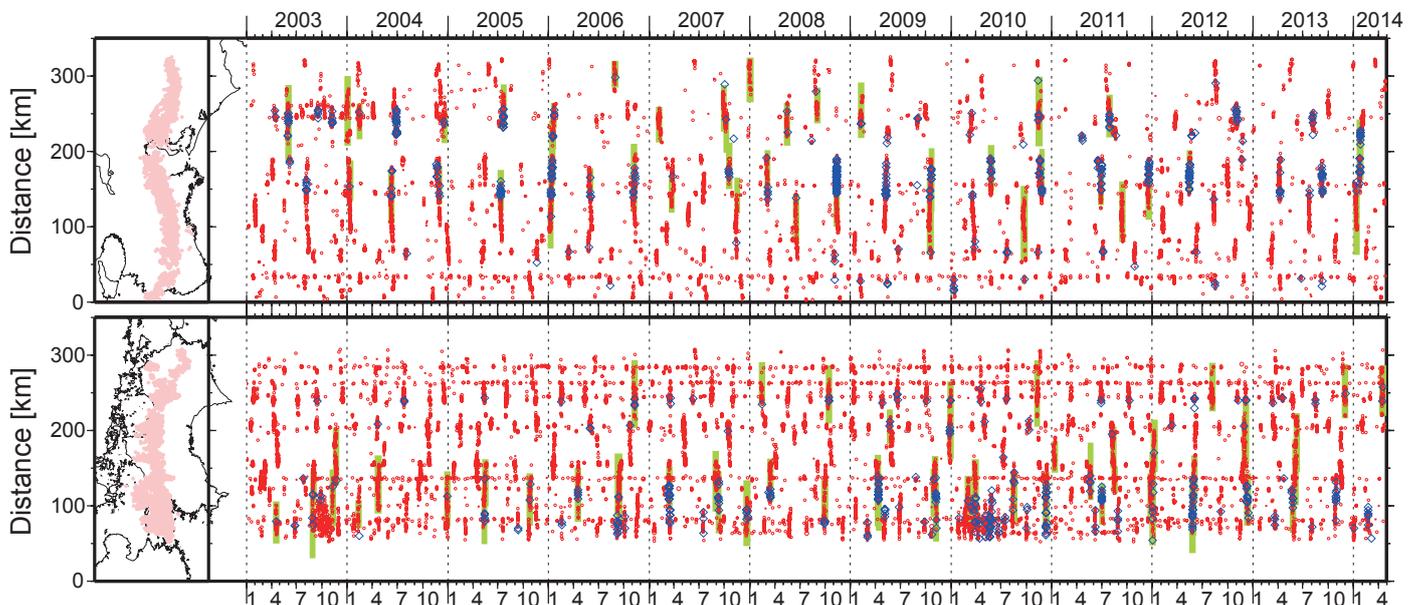


図3. 2003年1月～2014年4月までの深部低周波微動 (赤) および、深部超低周波地震 (青菱形) の時空間分布。緑太線は、傾斜変動から検出された短期的スロースリップイベント。

4月2日 チリ北部沿岸の地震に先行した地震活動、及び余震活動

2014年4月2日08時46分（日本時間）にチリ北部沿岸（南緯19.8度、西経70.8度）で発生したMw8.1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。

本震に先行した2回の地震活動（3月17日～19日及び3月22～25日）のb値はいずれも0.8程度と、通常の値の範囲内である（下表参照）。

本震後の余震活動は大森-宇津公式によく適合している。p値は1.37とやや高めである。

本資料中のMwは気象庁CMT解によるモーメントマグニチュードの値であり、その他の震源要素はUSGSによる。発震機構解は気象庁CMT解による。

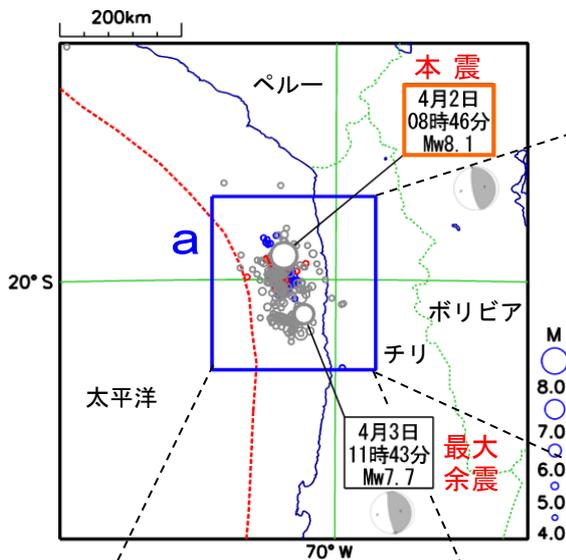
震央分布図
(2014年3月10日～4月30日24時、深さ0～60km、M4.0以上)

震央の凡例：

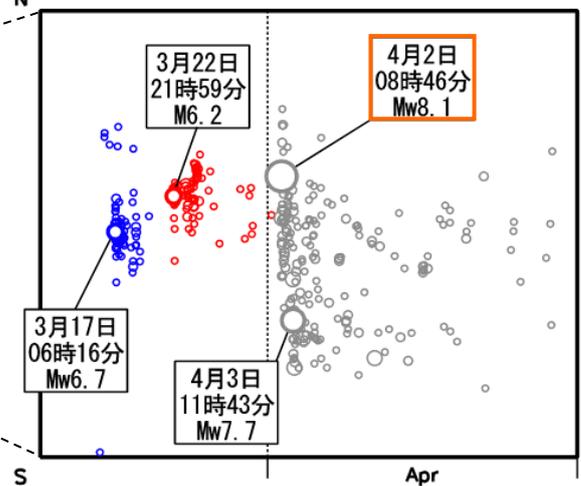
3月10日～3月21日：○

3月22日～4月1日：●

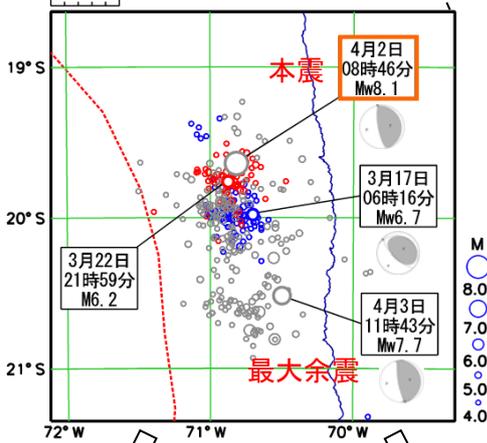
4月2日～4月30日：○



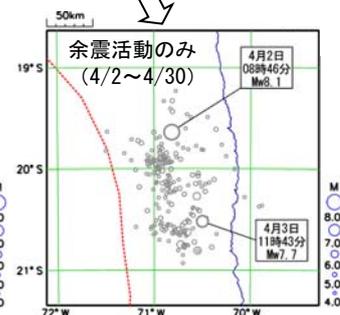
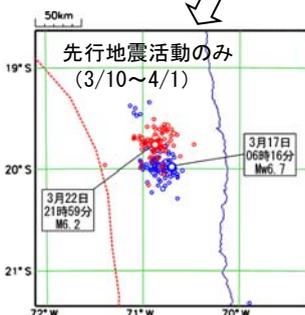
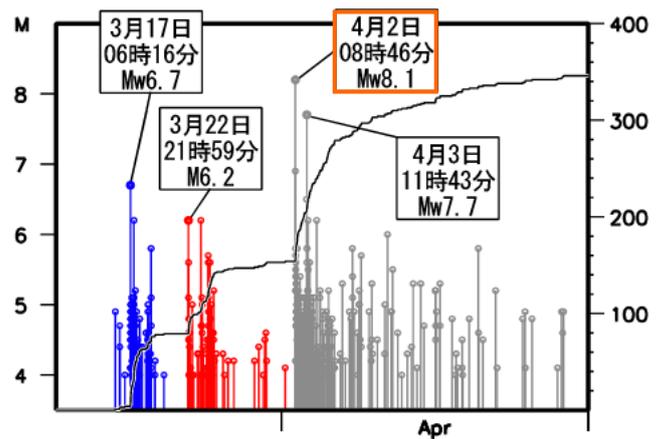
領域 a 内の時空間分布図 (南北投影)



領域 a の拡大図



領域 a 内のM-T図及び回数積算図



先行した2回の地震活動と余震活動のb値

期間	b値
3/17～3/19	0.78
3/22～3/25	0.81
4/2～4/30	0.99

余震活動の大森-宇津公式パラメータ

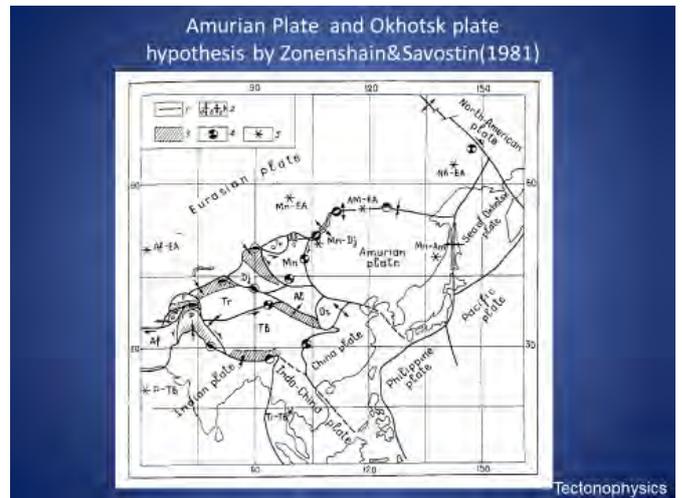
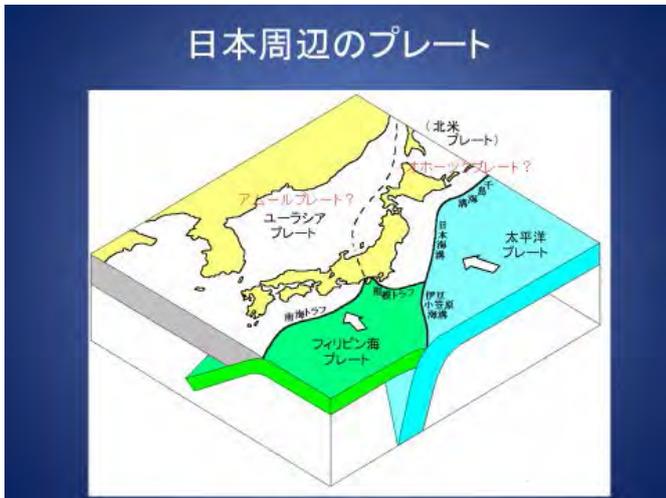
K	115.64
c	1.00
p	1.37

重点検討課題の検討

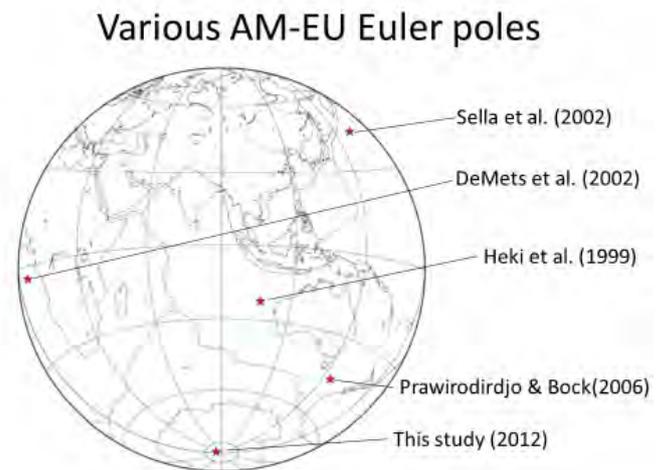
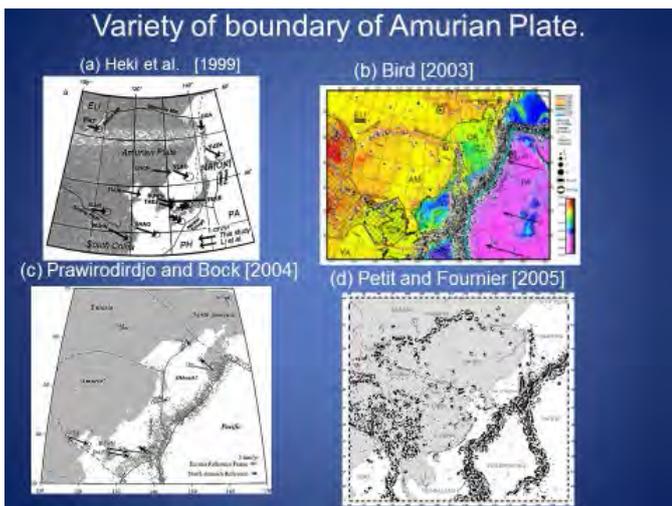
「日本列島の長期広域変動について」

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



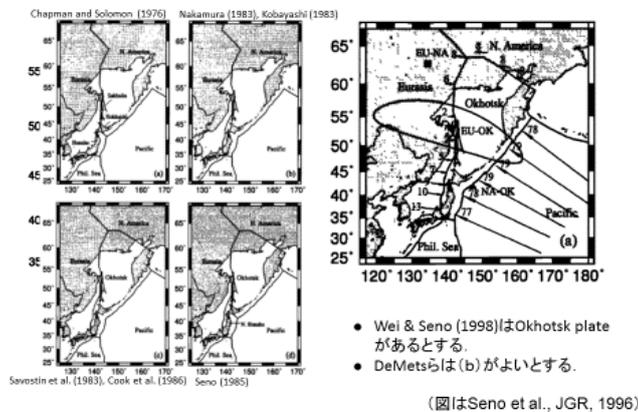
日本列島周辺は収束するプレート境界にあり、太平洋側からは太平洋プレート、フィリピン海プレートがもぐりこんでいる（上図左）。これらの海洋性プレートはほぼ剛体的と考えられる。一方、日本列島の乗っている大陸側はユーラシアプレート、北米プレート上にあると考えられているが、アムールプレート、オホーツクプレートなどの存在も提唱されている（上図右）。これらに関する研究は日本列島の地震発生場の研究にとっても重要と考えられる。発表では、まず、これらのプレートに関する最近の研究成果・知見について概観した。



アムールプレートについてはこれまでも数多くの研究があるが（上図左）、その存在は確定していない。このプレートの形状や回転極の位置は研究によって異なり、一意的に定まっていない。我々はモンゴルに3点の固定観測点を設置して10年近い観測を行っているが、これらを用いた研究でも、他の研究に整合するような回転極位置は求められていない（上図右）。この原因はアムールプレートの速度が周囲の速度に比べて極めて小さく、信号（速度）に比べて誤差が大きいため、使うデータによって、解が安定しないためであると考えられる。また、周囲のプレートとの境界（特に南側）が明確でないこともアムールプレートの存在が確定しない一因と言

えよう.

“Okhotsk plate” hypothesis



ロシア極東GPS機動観測網

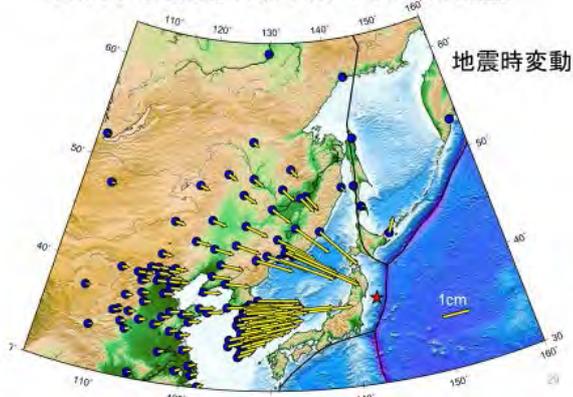
(高橋提供)



オホーツクプレートについてもその境界には諸説ある。地震のスリップベクトルに基づく研究ではオホーツクプレートが北米プレートから独立しているとする研究と否定的な研究がある（上図左）。北大を中心とするグループはロシアの研究者のとともにロシア極東地域にGPS観測網を建設して観測を続けている（上図右）。GPS観測からはオホーツクプレートの存在に調和的な結果が得られている。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く、今後長期の観測がこれらプレートの同定には必要と考えられる。

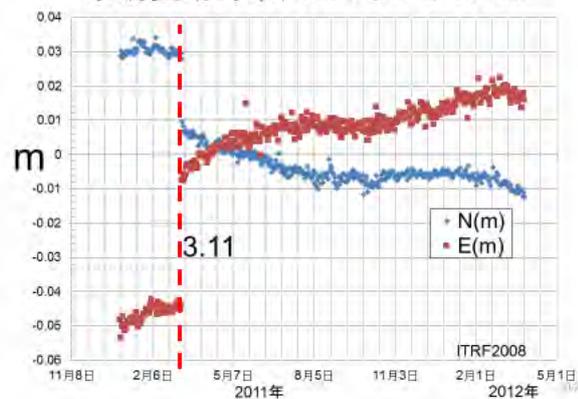
2011年東北地方太平洋沖地震

(高橋提供)



余効変動時系列atウラジオストク

(高橋提供)



2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震はユーラシア極東地域にも影響を及ぼしている。地震に伴う変位が観測された（上図左）ほか、地震後の余効変動も観測されており（上図右）、これが地殻・上部マントルの粘弾性緩和の効果によるものとする今後長期に継続する可能性が考えられ、プレート運動の推定にも大きな影響があると考えられる。

(以上)

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

現在の日本列島の地殻構造とくに地質学的な時間帯域の塑性変形は、日本列島の形成過程、とくに日本列島がアジア大陸の東端から離れて、日本海の拡大とともに現在の位置に定置したプロセスに大きな影響を受けている

(図 1)。また、背弧拡大後に島弧-島弧の衝突が発生し北海道中軸部、伊豆衝突帯での短縮変形が形成された。背弧拡大の際には、背弧海盆の主要部よりも火山フロントに近い場所で、しばしばリフト帯が形成される。これらのリフト帯は顕著な強度低下を示し、その後の圧縮応力によって褶曲断層帯が形成されている。その一つは、日本海沿岸から北部フォッサマグナに至る褶曲-断層帯と山陰-北陸地域の宍道褶曲帯である

(図 2)。伊豆衝突帯の西側で大きな短縮変形は伊豆-小笠原弧の背弧リフトの沈み込みによる強度低下も重要な原因となっている。日本列島の位置する陸側のプレートは、プレート沈み込みによるひずみを広範なプレート内変形で消費しており、しばしば線として表現される日本海東縁のプレート境界には実体がない。日本列島の地質・地形帯域に及ぶ地殻の塑性変形は、地殻活動予測のためのモデル化としても重要な拘束条件を提供する。

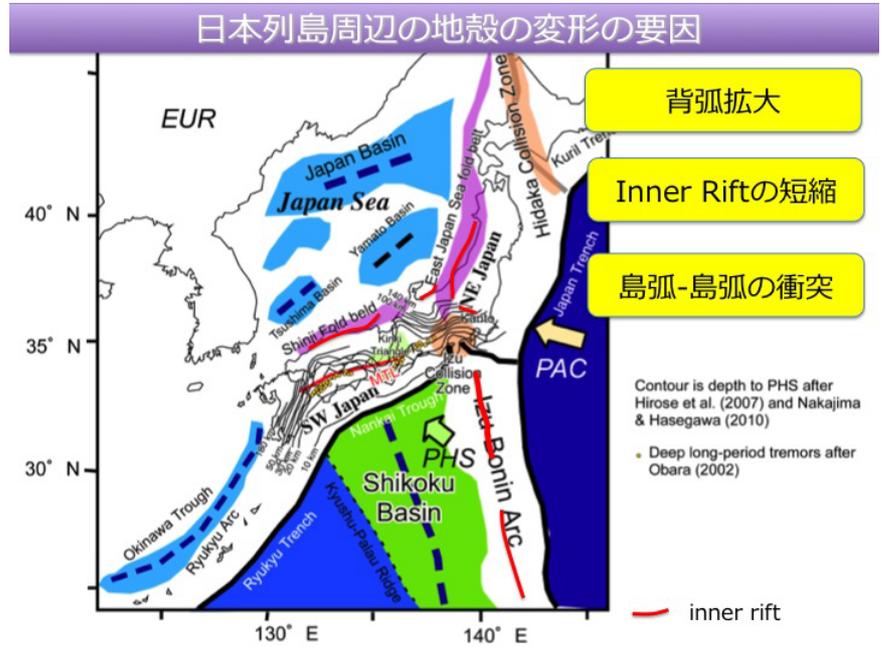
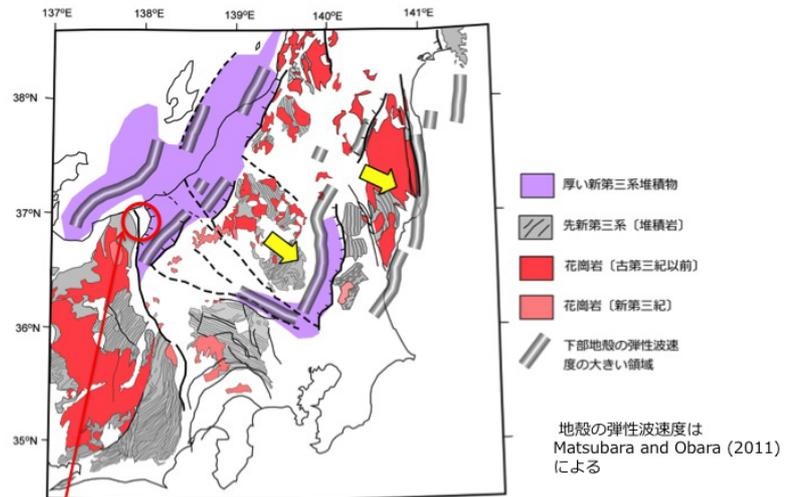


図 1. 日本列島周辺の地殻変形

本州中央部の日本海拡大時のリフトの分布



糸静最北部は初期中新世でも大きな変位を担っていない。

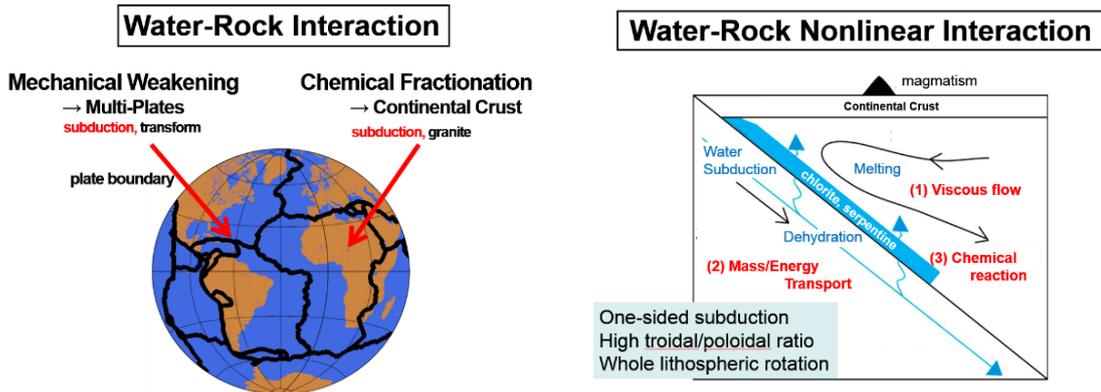
図 2. 本州中央部の日本海拡大時のリフトの分布

黄色矢印：日本海拡大時の運動方向。赤紫の領域は、厚いリフト後の堆積層と下部地殻の高速化を示し、リフト帯の形成による地殻の薄化を示す。

日本列島の温度構造と地殻流体の分布

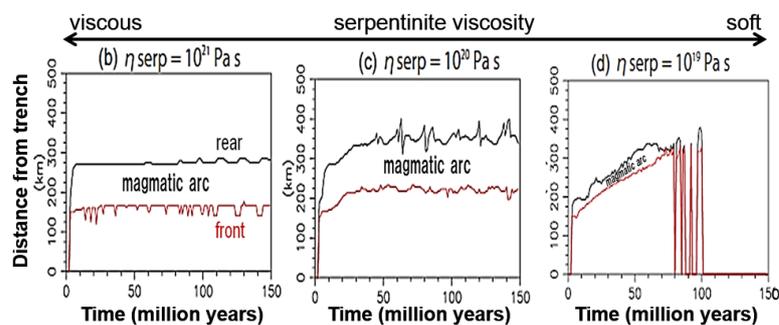
岩森 光 (海洋研究開発機構)

- (1) 地球を特徴づける (a) 硬いプレートと弱いプレート境界の共存、(b) 大陸の存在：いずれに対しても沈み込み帯流体過程が重要な役割を果たしている(左下図)。



- (2) 沈み込み帯流体過程は、力学-化学作用が非線形にカップリングする(右上図)。
- (3) 数値シミュレーションにより、(2)を評価: 沈み込むスラブに含まれる初期含水量、蛇紋岩や含水カンラン岩のレオロジー、背弧温度構造をパラメータとした一連の計算結果から、火山列の位置と広がり、最もパラメータに敏感かつ地下構造やダイナミクスを反映することが分かった(Horiuchi, Ph.D. thesis, Univ. Tokyo)

Effect of serpentinite viscosity



- (4) これらの解析の結果から、東北日本弧に対応するベストフィット解(上図中央の(c))は、火山分布に加え、地殻熱流量や地震波トモグラフィーの特徴を良く説明し(Horiuchi and Iwamori, in prep.)、温度構造、マントル対流場、流体分布を統合的に説明することができる。

以上

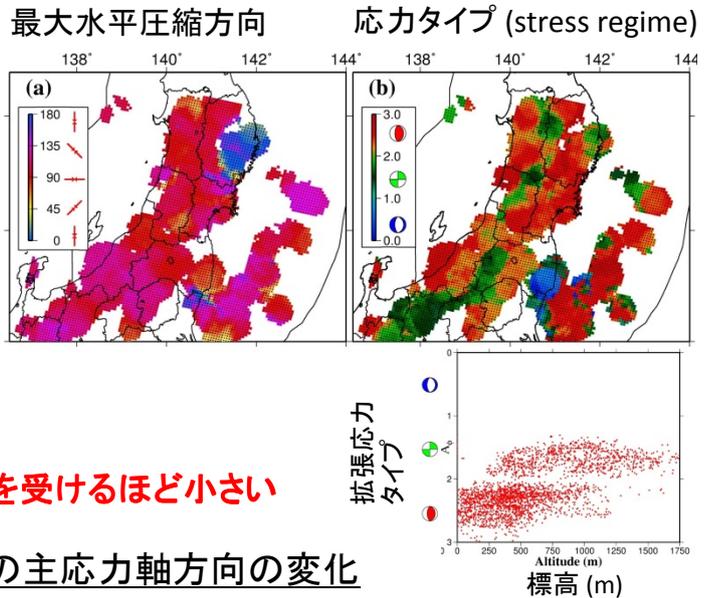
メカニズム解から推定した現在の東日本地殻内の応力場

東北日本に展開された稠密基盤観測網データに、臨時観測データを加えて、
 応力テンソル・インバージョン法により、詳細な主応力軸方向・応力比の空間分布を調べた

● 2011年東北沖地震前の応力場

東北日本の応力場は、従来から知られていたような単純な西北西－東南東逆断層場ではないことがわかってきた。すなわち、

- ・ 島弧・背弧域では西北西－東南東圧縮場であるが、前弧域では大きく異なる
 - 北上山地：南北圧縮場
 - 阿武隈山地浅部：正断層場
- ・ 応力タイプが地表の標高の影響を受ける
 - 平野部下では逆断層場
 - 山間部下では横ずれ断層場



→ 地殻内の偏差応力が、地形の影響を受けるほど小さい

● 2011年東北地方太平洋沖地震前後の主応力軸方向の変化

- ・ 2011年東北地方太平洋沖地震前後で、主応力軸方向が有意に異なる
- ・ 地震後の主応力軸の方向が、2011年東北地方太平洋沖地震の静的応力変化と良く一致

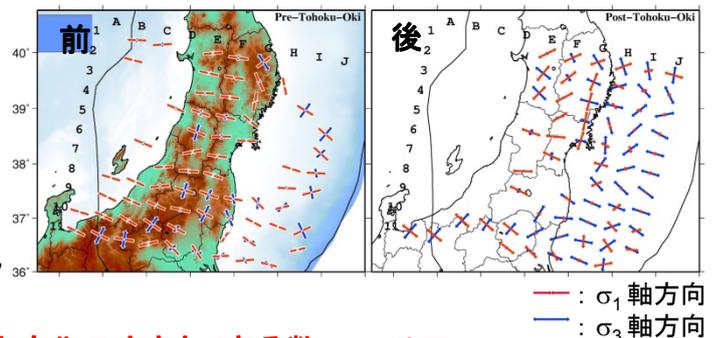
2つの可能性

- ① 2011年東北沖地震の静的応力変化により、東北日本の主応力軸方向が回転した

→ 地震前の東北日本の差応力が、静的応力変化の大きさである数 MPa 以下

- ② 東北日本の主応力軸方向が、元々非常に空間不均質で、静的応力変化に見合った領域で地震活動が活発化

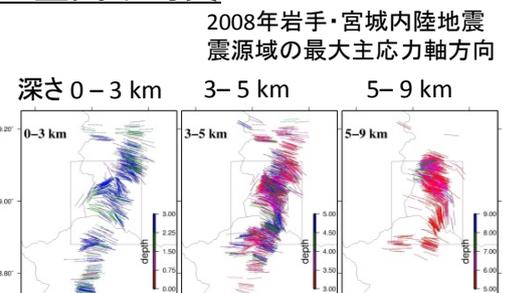
→ 主応力軸方向の強い空間不均質の存在は、偏差応力の絶対値が小さいことを示唆？



● 東北日本発生の内陸大地震震源域の主応力軸方向の空間不均質

- ・ 2008年岩手・宮城内陸地震、2011年福島県浜通りの地震の震源域の主応力軸方向は、本震すべり域を中心に強い空間不均質を持ち、それが震源域で発生した地震の静的応力変化のパターンとよく一致する

→ 静的応力変化により、震源域の主応力軸方向が回転した可能性を強く示唆：震源域の差応力が約 20 MPa 以下



各々の観測結果が、東北日本の偏差応力が非常に小さく、地震の静的応力変化や地形の存在により主応力軸方向が容易に擾乱してしまうことを示唆

第 204 回地震予知連絡会 重点検討課題

「地震・地殻変動予測能力の現状評価（仮）」

趣旨説明者 東北大学災害科学国際研究所 遠田晋次

東北地方太平洋沖地震は、その M9.0 という地震規模から、予知はおろか長期予測の失敗例とされる。単純化された固有地震モデルの破綻とも指摘される。しかし、2003 年十勝沖地震など、長期予測という点では成功に近い例もある。希有で散発的な大地震の予測評価は簡単ではなく、全てを否定することのない公平な評価が必要である。一方で、連続データトレンドを近未来に外挿しやすい地殻変動に関してはどうか。例えば、予知連では東北地方太平洋沖地震の余効変動の観測データと近似曲線が毎回示され、至近の予測と検証が無意識のうちに進められてきた。今となって客観的にその「実力」を振り返ることが可能である。スロー地震や小繰り返し地震、深部低周波微動に関しても、膨大なデータが収集され、発生パターンの規則性の有無が検討されている。さらに、地震活動のうち、余震活動は時空間クラスタリングが顕著で、大地震に比較して予測のハードルは低いように見える。

予測モデルの評価に関して、透明性・客観性・再現性を担保した地震発生予測検証実験（CSEP）が世界各所で行われ始めた。今後の地震活動に対し予測モデルを提出し、その後はテストセンター（第三者）に評価を委ねる点が画期的である。しかし、検証期間が短いため余震など中規模地震の評価になりがちで、大地震評価に直接なりうるか現時点では判断できない。長年議論の中心であった静穏化現象などとの関連性も検証が難しい。さらに、上記のような地殻変動やプレート境界沿いの諸現象、地震空白域仮説、古地震データに基づく長期予測などの評価手法は、いずれ別途必要となる。

これらを踏まえ、第 204 回の重点検討課題では、普段連絡会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（predictive power）という視点で見直す。ここでは、発生してしまった事象に対してあえて回顧的（retrospective）に評価を試みる。以下の各項目の予測能力の現状を各専門家に整理していただくとともに、本質的・定性的な指摘も含めて議論したい。

- 1) 余効変動の予測能力評価
- 2) スロースリップ、SSE の予測能力評価
- 3) 繰り返し小地震に対する予測能力評価
- 4) 「地震空白域」による予測能力評価
- 5) 前兆としての地震活動静穏化現象による予測能力評価
- 6) 余震・誘発地震の予測能力評価