

平成 26 年 8 月 22 日

第 204 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

今後の地震予知連絡会で検討を行う重点検討課題名

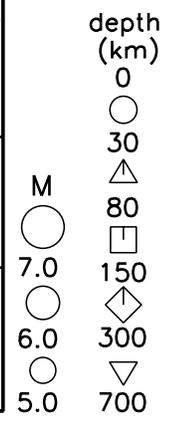
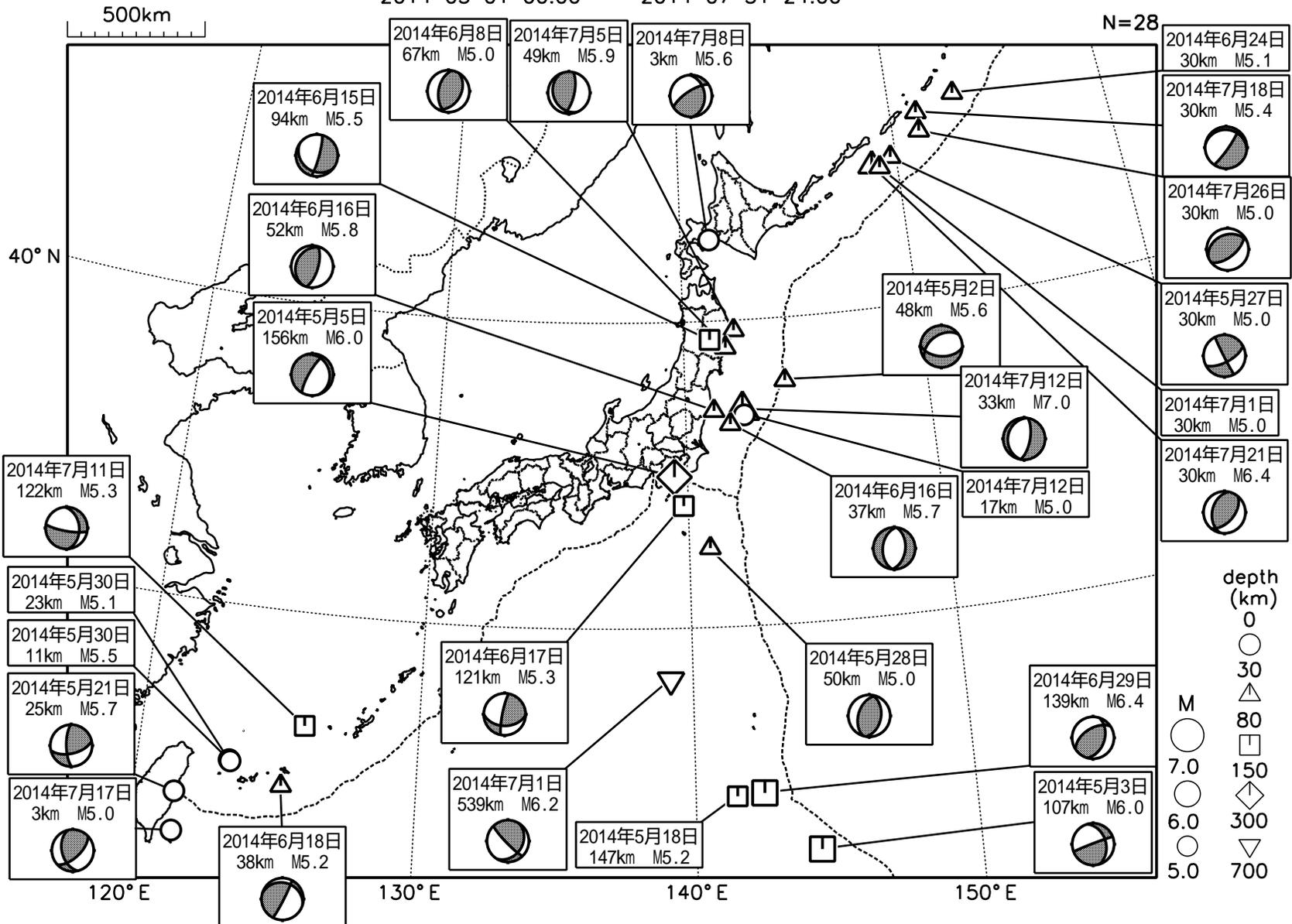
1. 第205回地震予知連絡会
課題名：物理モデルに基づいた地震発生予測研究 その2
趣旨説明者：平原会長
2. 第206回地震予知連絡会
課題名：兵庫県南部地震から20年の内陸地震の研究（仮）
趣旨説明者：穴倉委員
3. 第207回地震予知連絡会
課題名：予測の根拠となるモニタリングデータと処理方法（仮）
趣旨説明者：堀委員
4. 第208回地震予知連絡会
課題名：予測実験の試行に向けて（仮）
趣旨説明者：今給黎委員

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5月～7月、M 5.0）

2014 05 01 00:00 -- 2014 07 31 24:00

N=28

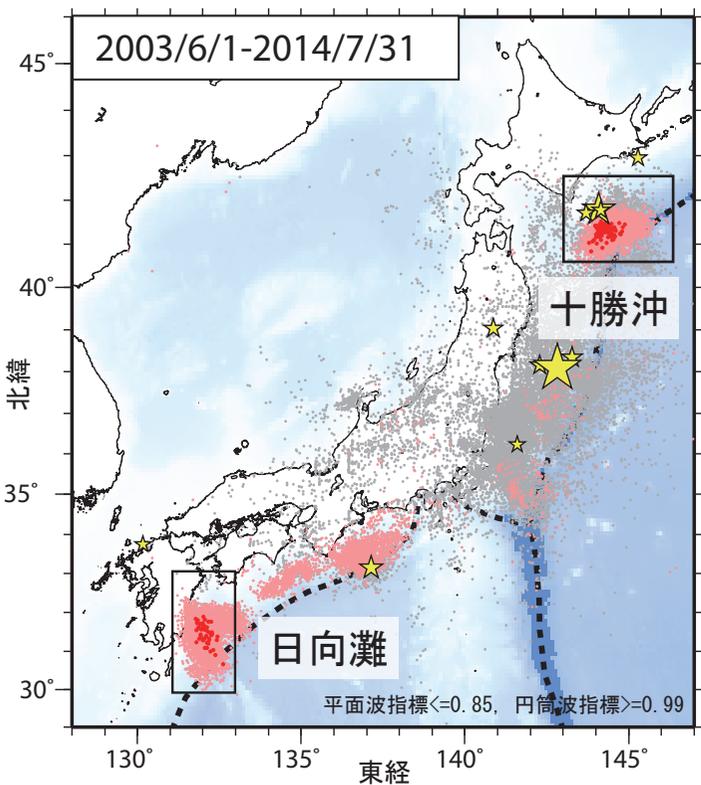


発震機構は気象庁によるCMT解

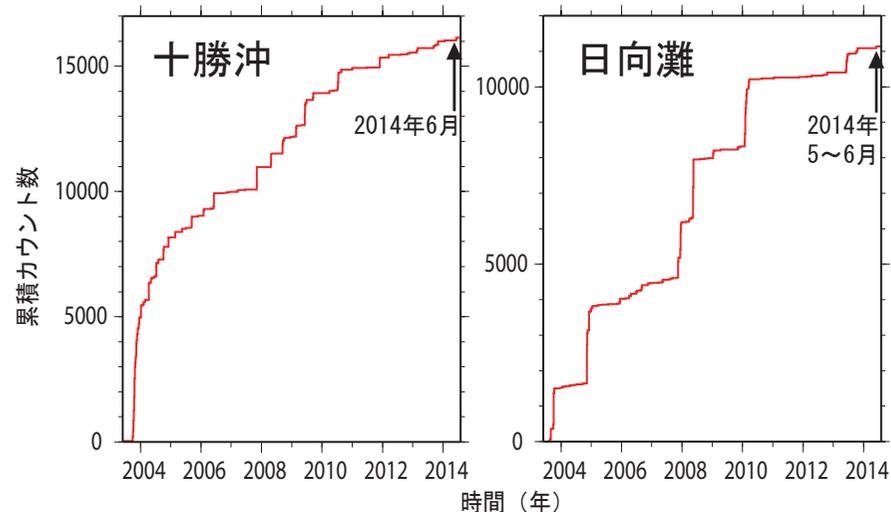
気象庁作成

日本周辺における浅部超低周波地震活動（2014年5月～7月）

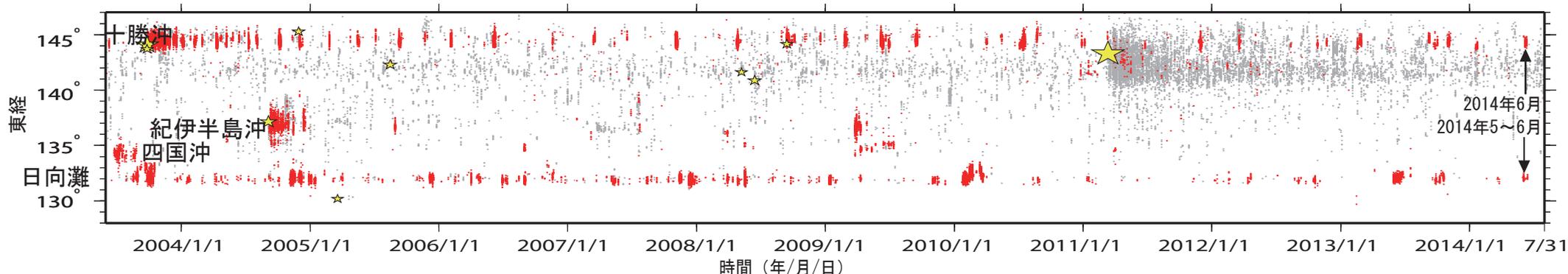
- 5月下旬から6月上旬、中旬に日向灘周辺で超低周波地震活動を検出
- 6月上旬に十勝沖周辺で超低周波地震活動を検出



第1図. 2003年6月1日から2014年7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4月30日以前), および赤色 (5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. 十勝沖および日向灘周辺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.



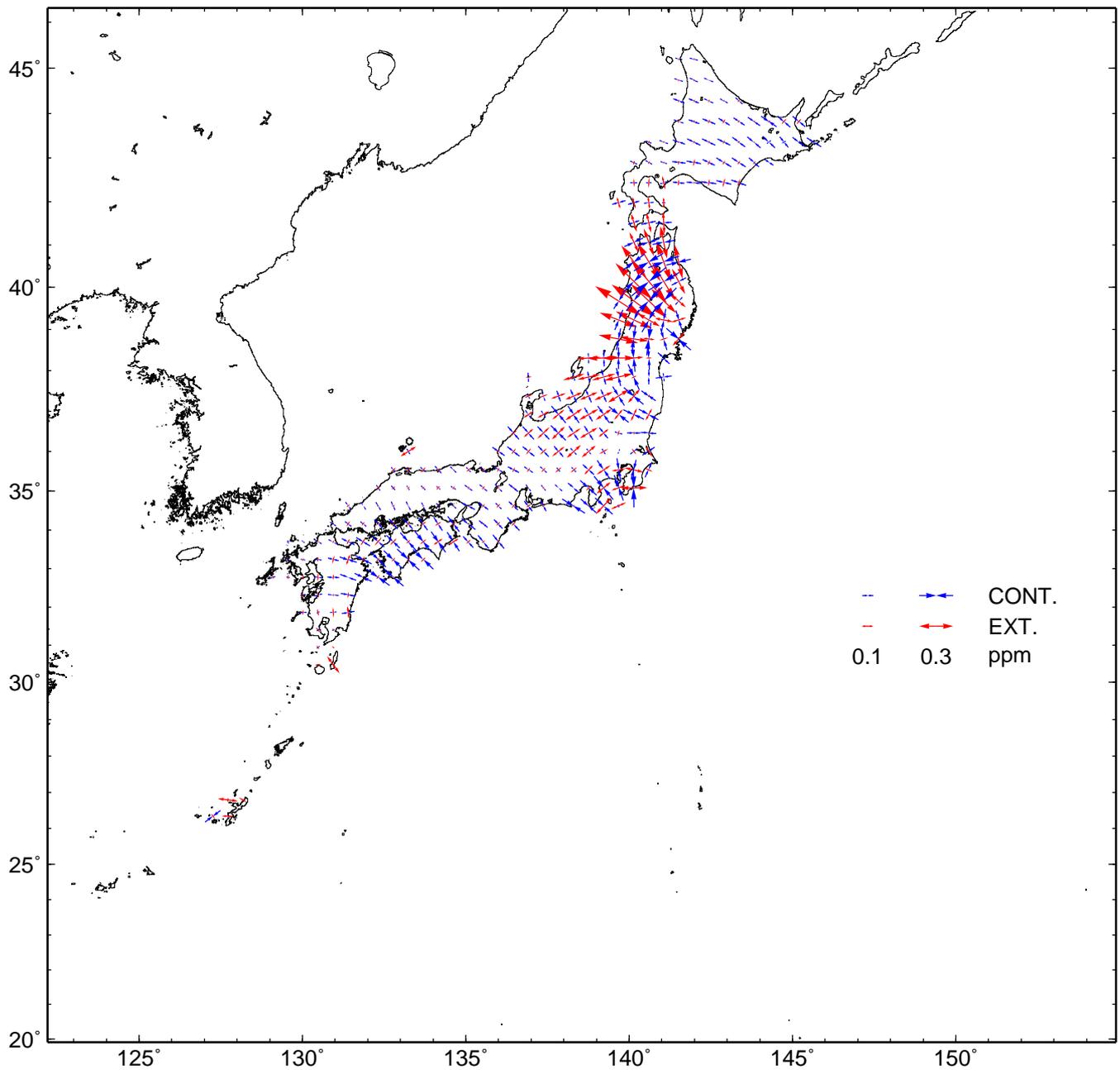
第3図. 2003年6月1日から2014年7月31日までの期間に検出されたイベントの時空間分布. 検出されたイベントを防災科研 Hi-net 手動検測震源と照合し, 対応する地震が見出されたイベントを灰色で, それ以外を赤色の点でそれぞれ示す. その他は第1図に同じ.

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。

基準期間 : 2013/06/28 - 2013/07/12 [F 3 : 最終解]

比較期間 : 2014/06/28 - 2014/07/12 [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。

国土地理院資料

7月8日 胆振地方中東部の地震

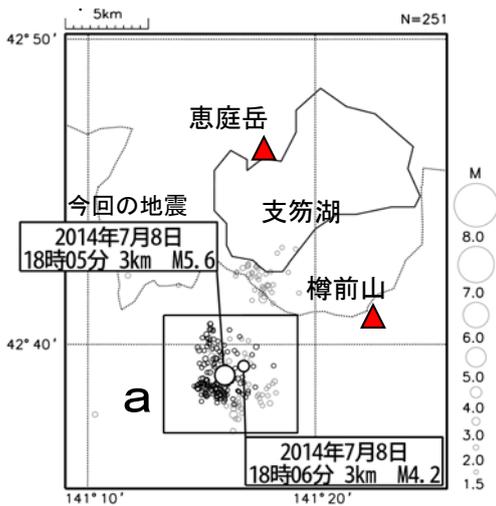
情報発表に用いた震央地名は「石狩地方南部」である。

震央分布図
(2001年10月1日～2014年7月31日、
深さ0～30km、 $M \geq 1.5$)
2014年7月の地震を濃く表示

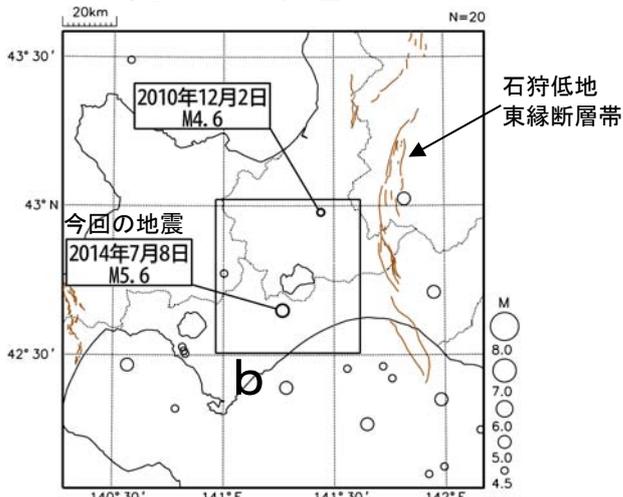


図中の細線は地震調査研究推進本部による主要活断層帯を示す

上図の矩形領域内の拡大図 (深さ0～15km)



震央分布図
(1923年1月1日～2014年7月31日、
深さ0～60km、 $M \geq 4.5$)



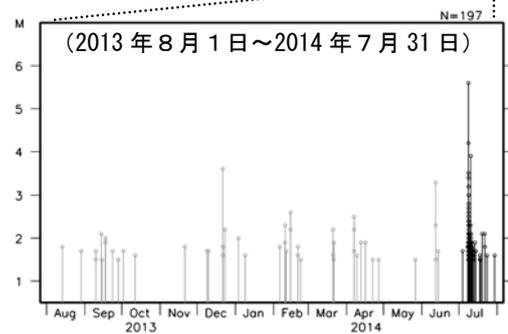
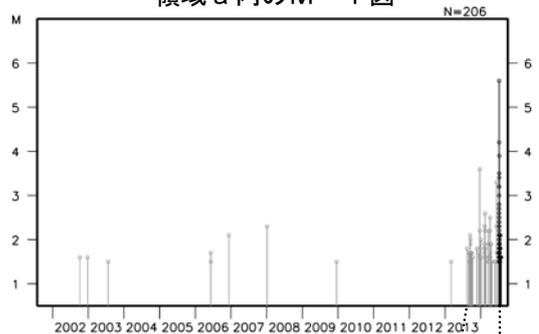
図中の細線は地震調査研究推進本部による主要活断層帯を示す

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(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横ずれ断層型である。この地震により、負傷者3人などの被害を生じた(北海道による)。10日までに震度1以上を観測する余震が7回(最大規模の地震は8日18時06分のM4.2の地震(最大震度3))発生したが、その後、余震回数は減少している。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。

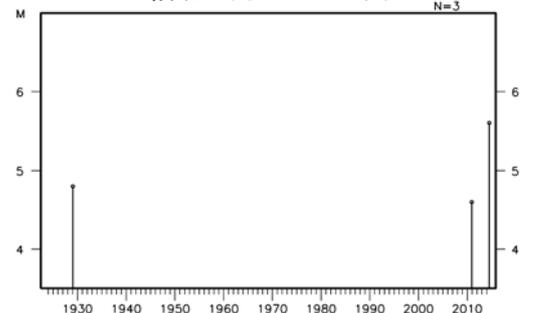
2001年10月以降の活動を見ると、今回の地震の震源付近(領域a)では、2013年8月からM2～3程度の地震がしばしば発生している。

1923年1月以降の活動を見ると、今回の地震の震央周辺(領域b)では、2010年12月2日に石狩地方中部で発生したM4.6の地震(最大震度3)により、ガラスのひび割れ、天井の亀裂、斜面の崩れなどの被害を生じた(「日本被害地震総覧」による)。

領域a内のM-T図



領域b内のM-T図

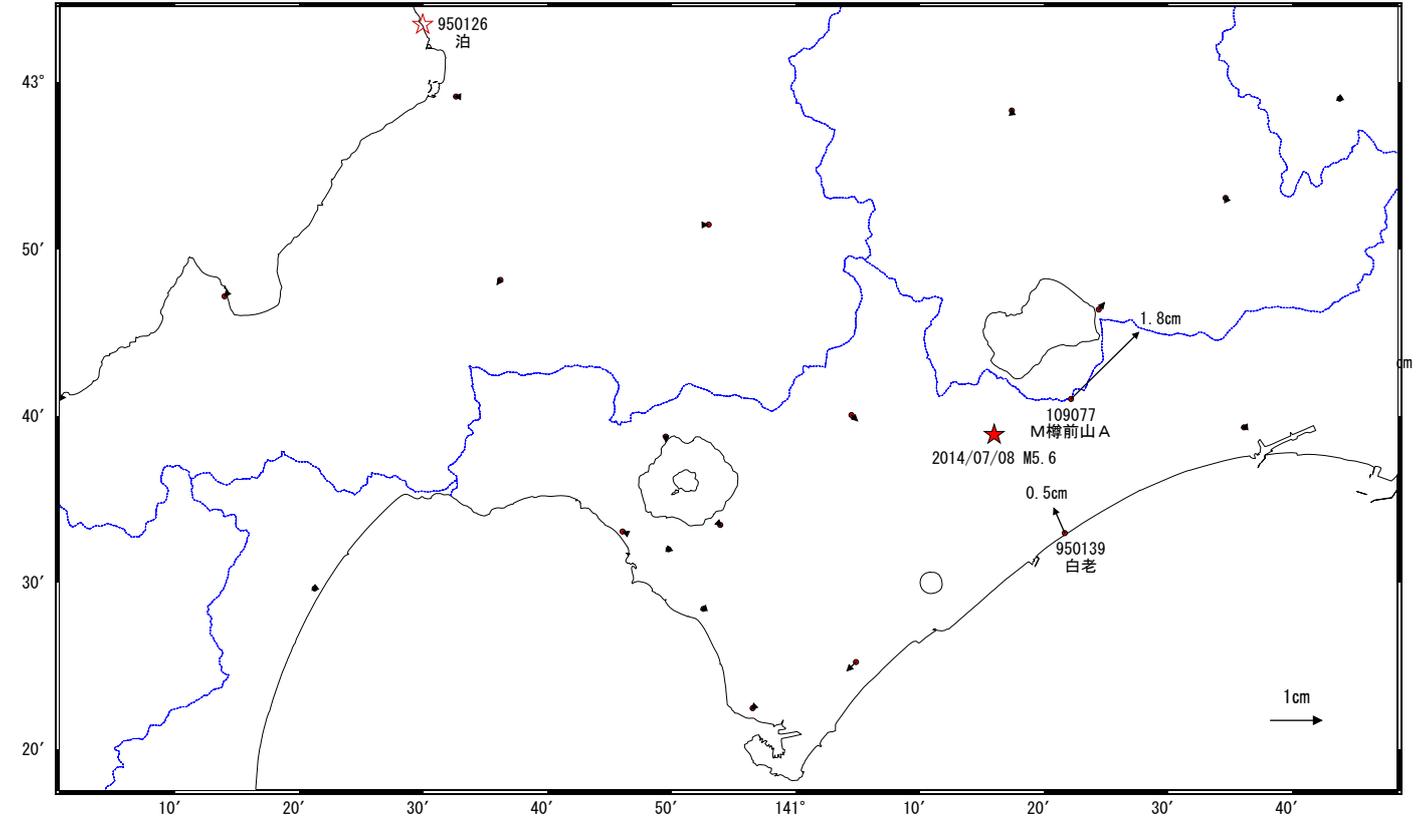


胆振地方中東部の地震(7月8日 M5.6)前後の観測データ

この地震に伴う小さな地殻変動が観測された。

地殻変動 (水平)

基準期間: 2014/07/01~2014/07/07 [F3: 最終解]
比較期間: 2014/07/09~2014/07/15 [F3: 最終解]

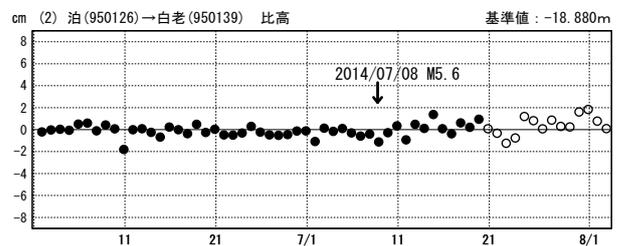
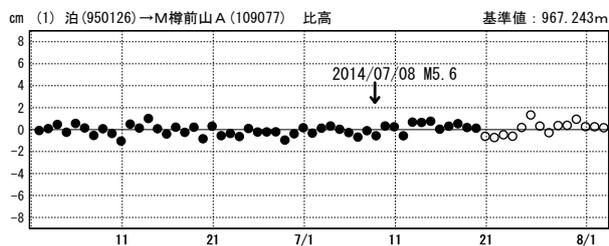
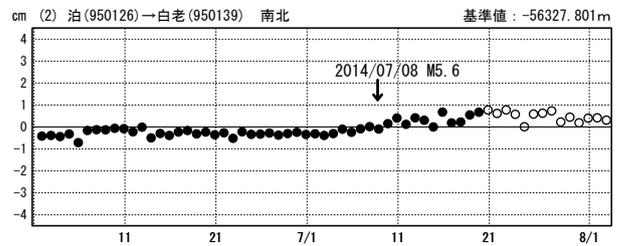
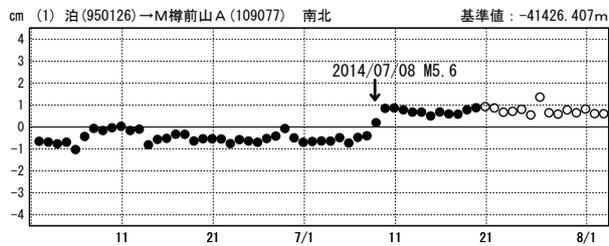
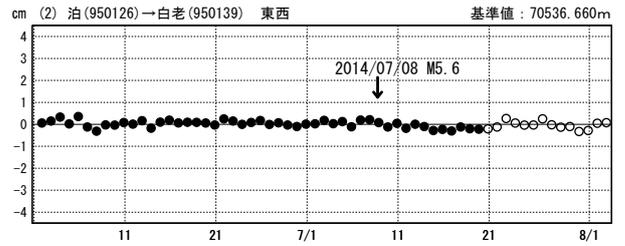
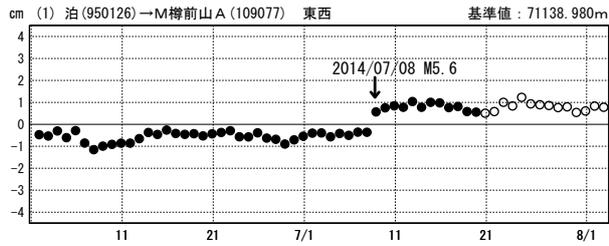


☆ 固定局: 泊 (950126)

成分変化グラフ

期間: 2014/06/01~2014/08/02 JST

期間: 2014/06/01~2014/08/02 JST



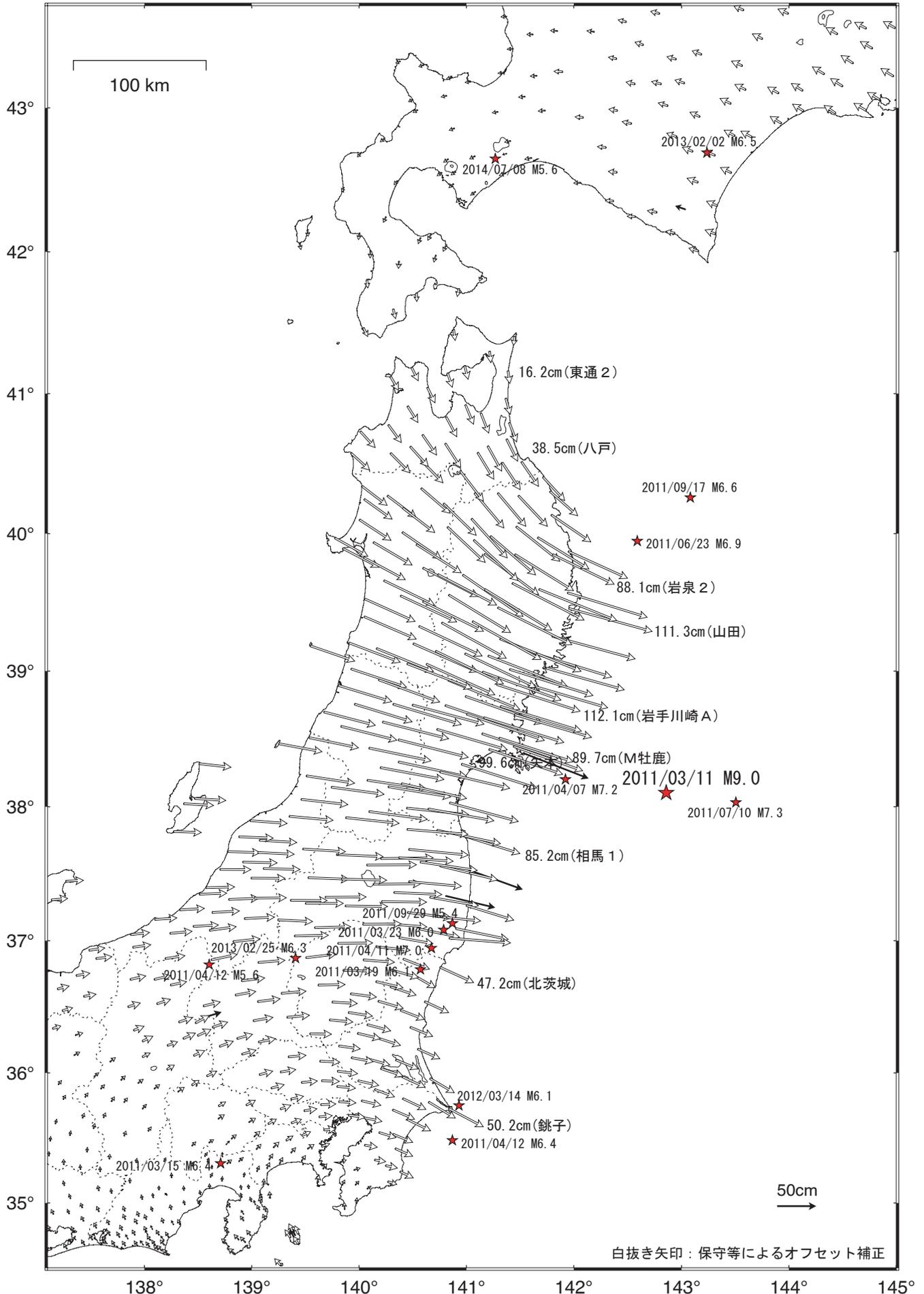
●--- [F3: 最終解] ○--- [R3: 速報解]

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 : 2014/07/06 -- 2014/07/12 [F 3 : 最終解]



☆ 固定局 : 福江 (長崎県)

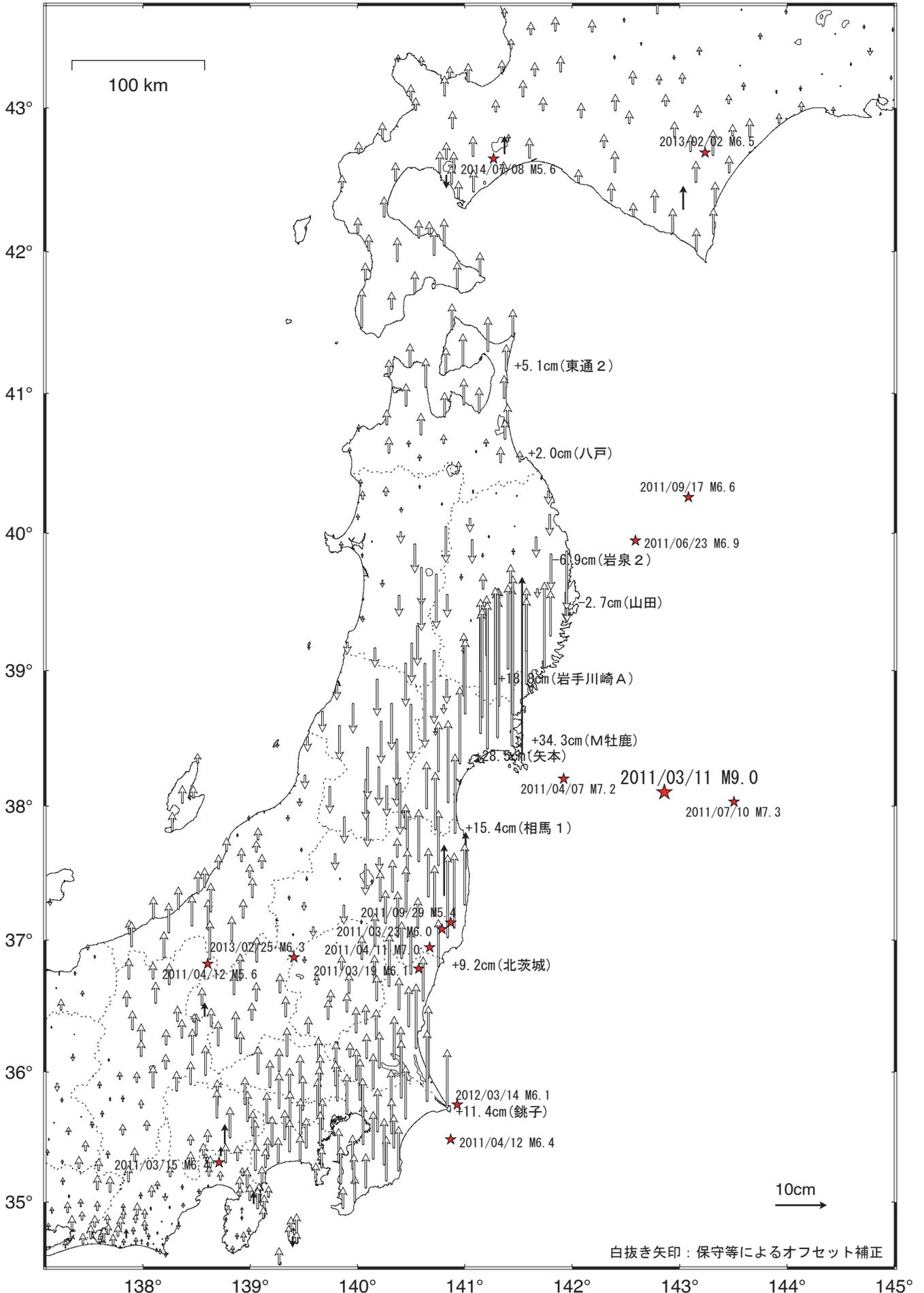
国土地理院資料

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、岩手県沿岸と奥羽背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]

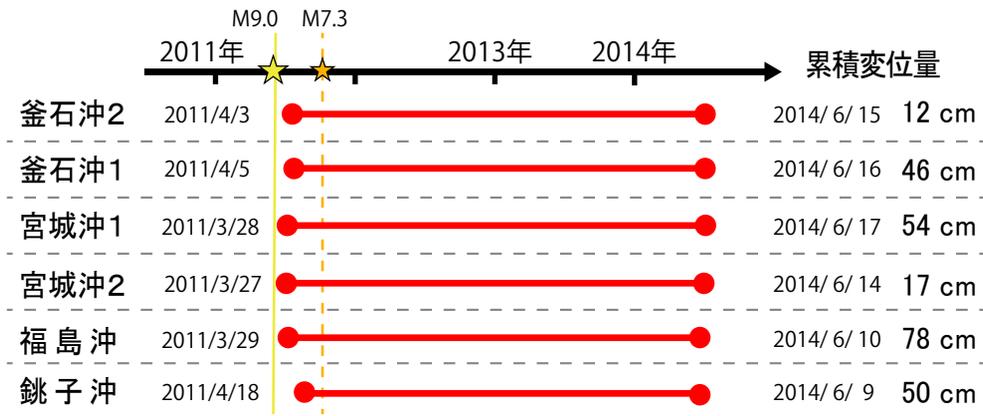
比較期間：2014/07/06 -- 2014/07/12 [F3：最終解]



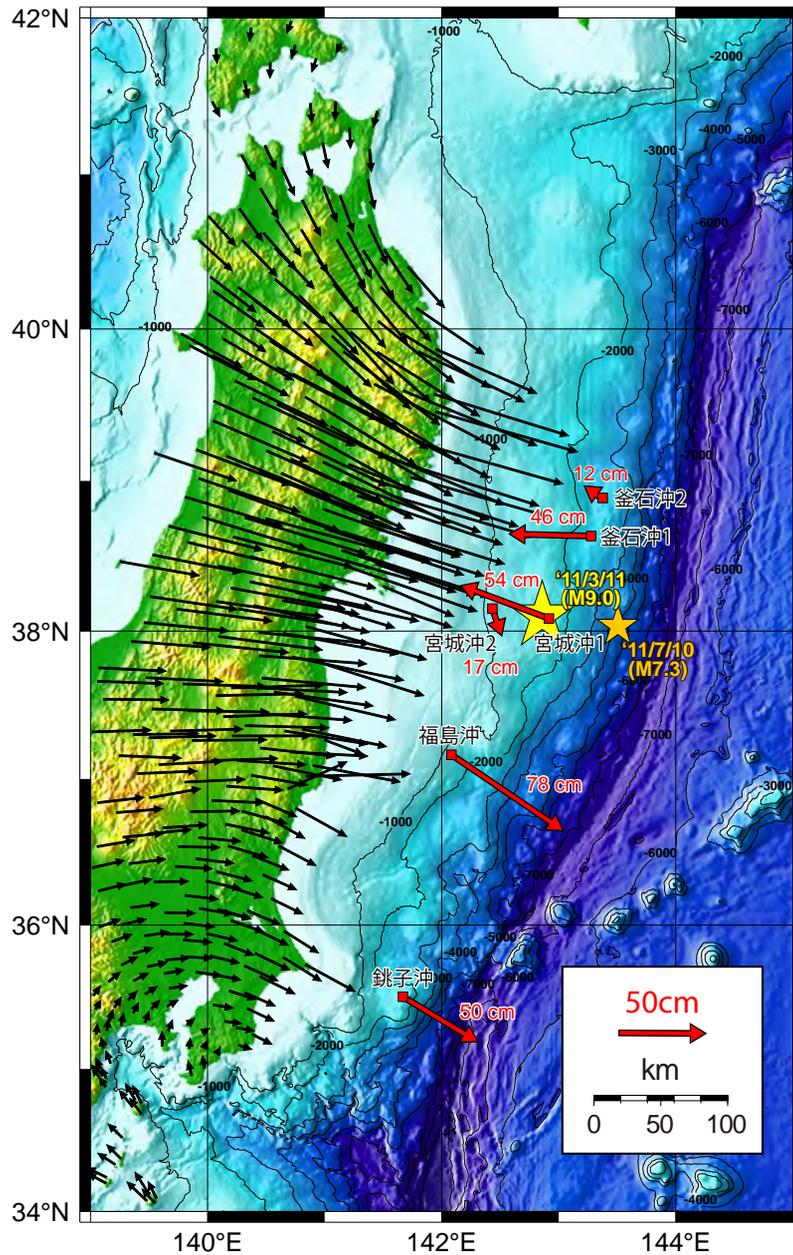
☆ 固定局：福江（長崎県）

国土地理院資料

(a)



(b)



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) 観測期間と累積変位量, (b) 累積変位ベクトル

※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位ベクトル、
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位ベクトルを示す。
※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。
※観測結果には、余震による地殻変動が含まれている。

7月12日 福島県沖の地震

(1) 概要

2014年7月12日04時22分に福島県沖でM7.0の地震（最大震度4）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る。この地震は2011年3月11日の「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）の余震域内で発生した。

気象庁はこの地震に伴い、同日04時26分に岩手県、宮城県、福島県の沿岸に対して津波注意報を発表した（同日06時15分に全て解除）。この地震により、宮城県の石巻市鮎川で17cm、福島県の相馬で15cm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。

また、気象庁はこの地震に対して、地震検知から17.2秒後の04時22分39.0秒に緊急地震速報（警報）を発表した。

この地震により、負傷者1人の被害が生じた（総務省消防庁による）。

また、この地震の発生後、この地震の震源付近で、最大震度1を観測する余震が29日までに6回発生した。

(2) 地震活動

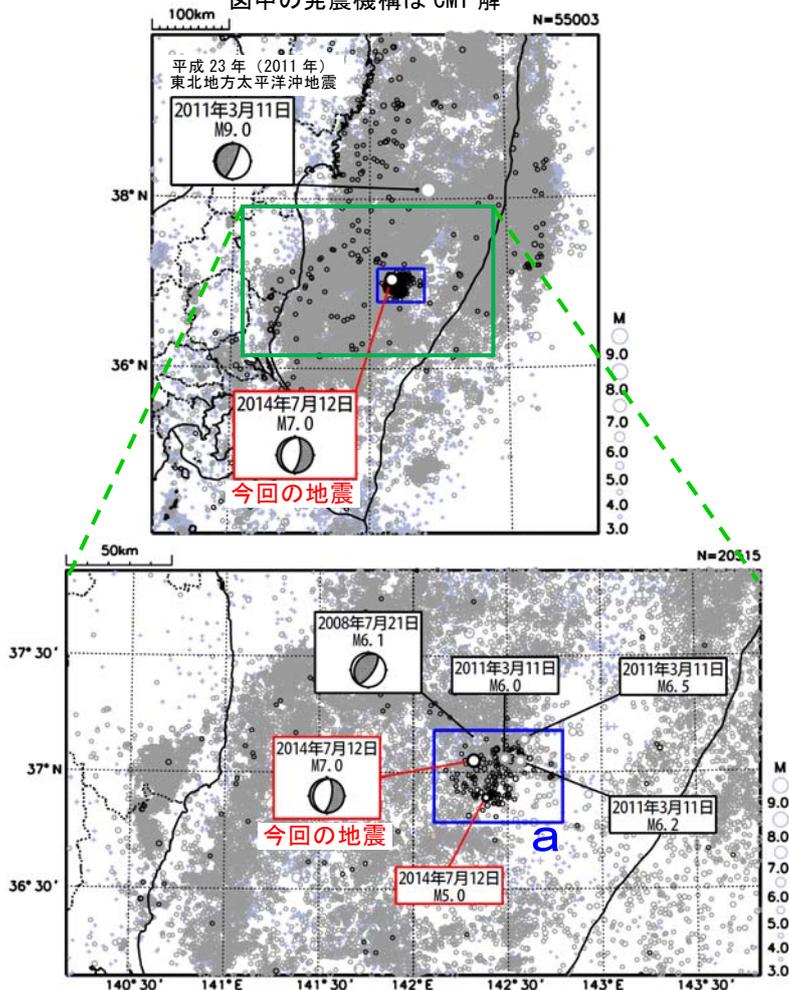
ア. 最近の地震活動

1997年10月以降の活動を見ると、東北地方太平洋沖地震の発生以前、今回の地震の震央付近（領域a）では、M5程度の地震が時々発生していた。東北地方太平洋沖地震の発生以降は、地震活動が活発化したが、2011年6月以降はM5.0以上の地震は発生しておらず、地震活動は徐々に低下してきていた。

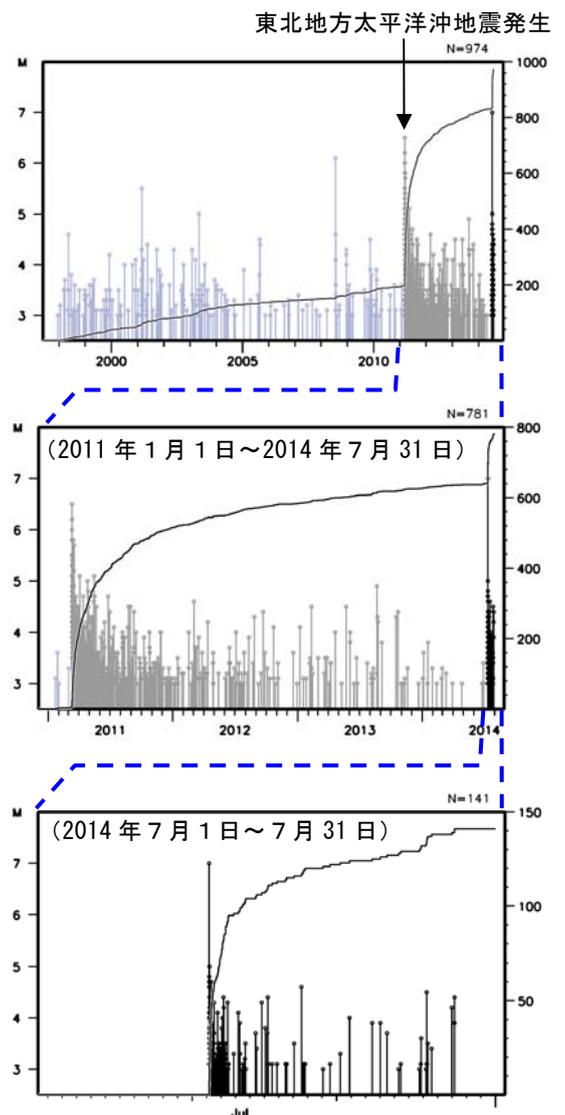
震央分布図

(1997年10月1日～2014年7月31日、
深さ0～150km、M≥3.0)

東北地方太平洋沖地震以前に発生した地震を+、
東北地方太平洋沖地震発生以降に発生した地震を薄い○、
2014年7月の地震を濃い○で表示、
図中の発震機構はCMT解



領域a内のM-T図及び回数積算図



気象庁作成

重点検討課題の検討

「地震・地殻変動予測能力の現状評価」

余効変動の予測能力評価

国土地理院 飛田幹男

1. はじめに

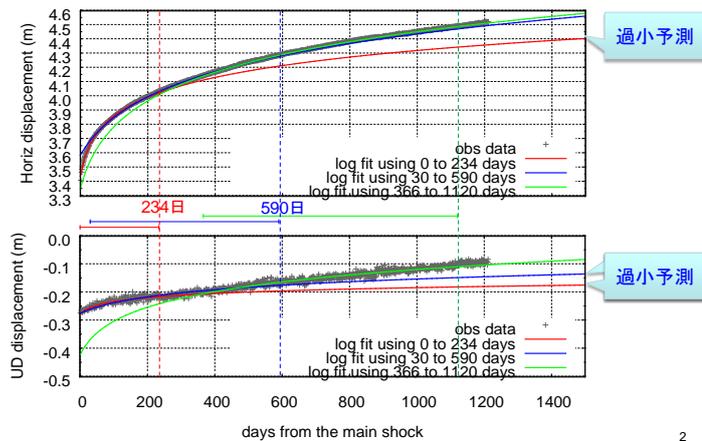
地震予知連絡会で示されてきた東北地方太平洋沖地震の余効変動の観測データと、曲線近似について、その実力を振り返る。

- (1) 毎回提示してきた対数関数近似による余効変動各成分の外挿予測が 2014 年 7 月時点でどの程度当たっているか？【実測値による評価】
- (2) 地震時沈降の回復時間予測結果はどう変わったか？
【最新予測値による当初予測値の評価、当初予測の信頼性の評価】

2. 対数関数近似による予測結果

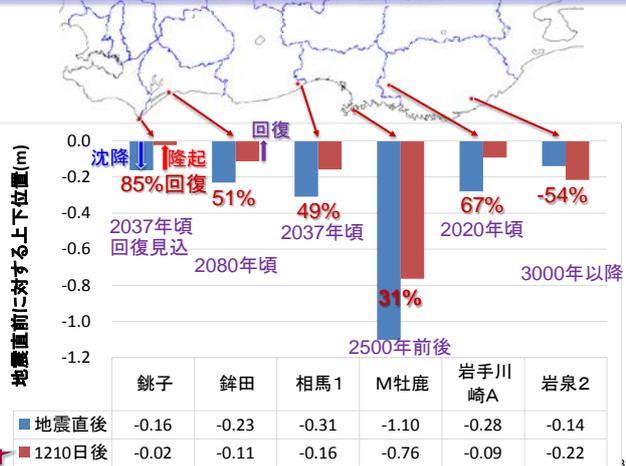
3 時期の近似関数を合体表示

「岩手川崎A」(04 051145) GEONET F3解 固定局: 福江



3. 地震時沈降の回復率と予測回復年(2014年7月時点)

地震時沈降が回復する時期の予測は、現在の隆起傾向に基づいている。地震後の隆起傾向と予測回復年も変化してきている。今後も変化するとみられる。



4. まとめ

- (1) 対数関数近似による余効変動の予測誤差
 - 1) 水平成分で、+2~+12%/yr。
 - 2) 上下成分で、+11~42%/yr。
 - 3) 多くの場合、過小予測。
- (2) 沈降が回復する年数予測の評価結果

当初、回復年数が数年から 10 億年超まで、広い範囲に予測されていたが、回復年数は大きく変化(多くが短縮・一部延長)し、岩手県南部以南の観測点の最近(2014 年 7 月時点)の予測では、数十年から数百年の範囲に収まっている。

予測誤差の主要因は、時定数の長い粘弾性緩和の影響が相対的に大きくなってきたため、と考えられる。

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

越後智雄(一般財団法人 地域地盤環境研究所), 宍倉正展(産業技術総合研究所 地震火山研究部門)
 宮内崇裕(千葉大学), 小林大育(神奈川県), 伊藤谷生(帝京平成大学), 荒井良佑(川崎地質(株))
 副田宜男(西日本技術開発(株)), 武田大典(株)パスコ, 栗林知史(徳島県教員)

<研究の背景>

奥尻島には、図1に示すとおり第四紀後期に形成された海成段丘が複数のレベルで分布している(宮内ほか,1994など)。

一般に、海成段丘の成因は地震時の地殻変動に伴う間欠的な隆起によると理解されており、奥尻島においても、地震時の地殻変動によって浅海性の海成面が離水して形成されたと考えられていた。

1993年7月に発生した北海道南西沖地震では、図2に示す通り島全体が沈降した。宮内・宍倉(1994)によると、沈降量は島の北側で小さく南へ行くに従い大きくなるとしており、全体で一様ではなく傾動して沈降した事が報告されている。つまり1993年の北海道南西沖地震では、事前の予測と反対の傾向の地殻変動が発生したことになる。

奥尻島の海成段丘が形成された原因については、1993年の北海道南西沖地震とは異なる震源の地震で奥尻島を隆起させるような地震が今後起こるのか?それとも、地震間の長期的な変動によって形成されたものなのか?いまだに解明されていない。

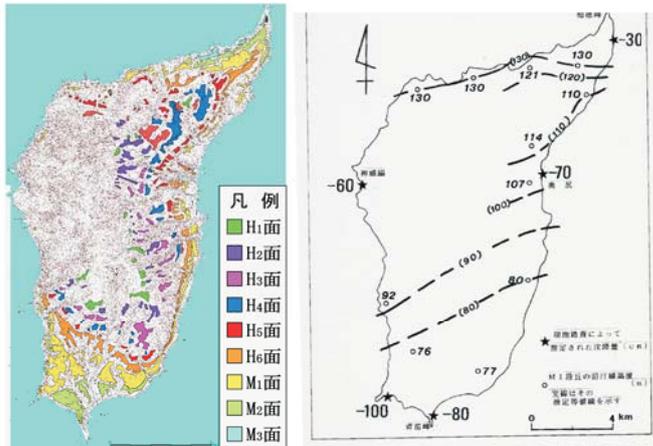


図1 奥尻島に分布する海成段丘 (宮内ほか(1994)を一部改変)
 図2 中位段丘(5m)の旧汀線高度と地震時の変位量 (宮内・宍倉(1994))

<研究の目的と調査方法>

本研究では、1993年7月に発生した北海道南西沖地震の地殻変動の矛盾を考察するため、奥尻島における地殻変動を面的に捉える事を目的とした。

測定点: 図3に示すとおり島内の沿岸部に25か所の測量基準点を独自に設置した。

- 測定時期:
- ① 1993年7月12日(1週間後)
 - ② 1993年8月(1ヶ月後)
 - ③ 1997年7月(4年後)
 - ④ 2003年7月(10年後)
 - ⑤ 2013年7月(20年後)

測定方法: ハンドレベル, オートレベル, レーザー距離計, トータルステーション, GPSによるRTKを使い、時間海面から基準点までの比高を測定。測定値について潮位補正を行って絶対標高に換算を行う。近傍に水準点がある場合は、水準点からBMまでの水準測量を実施。GPSによるRTKでは、水準点での測定を実施して測量精度の検証を行ない、誤差は概ね数cmと評価している。

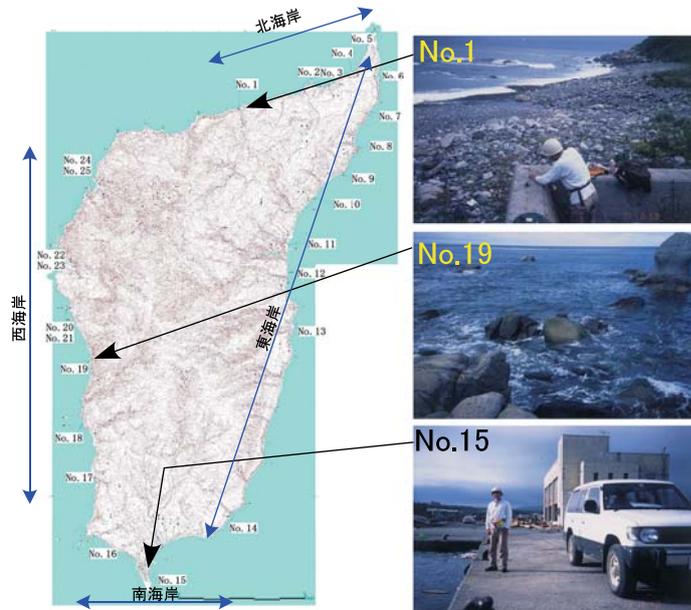


図3 奥尻島内での測定地点の配置図と1993年当時の状況
 (左) 基図は国土地理院2万5千分の1地形図「奥尻」「神威脇」「赤石」「青苗」を一部改変
 (右) 上からNo.1 大岩生川左岸発電所跡, No.19 湯浜キノコ岩, No.15 青苗漁港北岸

<調査結果>

No.1~25における5回の測定結果(4期間)を図4に示す。

- ◆ 1993年7月~8月(地震直後の1カ月)
 北海岸で最大約30cm, 西海岸で約10~20cmの沈降。
- ◆ 1993年8月~1997年8月(地震発生から約4年間)
 島の全域で10~20cm程度の沈降が継続。
- ◆ 1997年8月~2003年7月(地震発生後4~10年)
 北海岸で約1~5cmの隆起傾向を確認,
 その他の地点では10cm未満の沈降。
- ◆ 2003年7月~2013年7月(地震発生後10~20年)
 北海岸では僅かに沈降。
 東海岸でも10cm未満の沈降が継続。
 西海岸では約4~8cmの隆起傾向を確認。

<まとめ>

- ・余効変動に伴う地殻変動をとらえていると考えられる。
- ・沈降については、一部港湾構造物の自重に伴う変形の可能性がある。
- ・隆起については、ノンテクトニックな変動は考えにくい
- ・奥尻島が隆起する1993年と異なる震源の存在?
- ・島を面的にカバーする長期的な測地が必要。

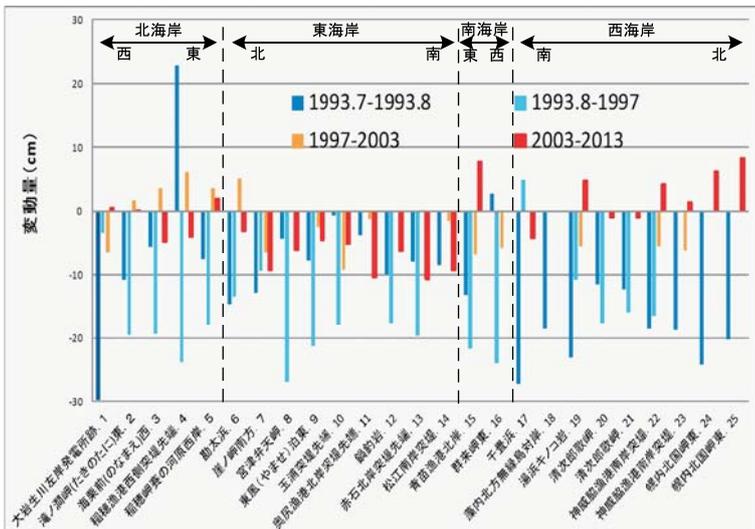
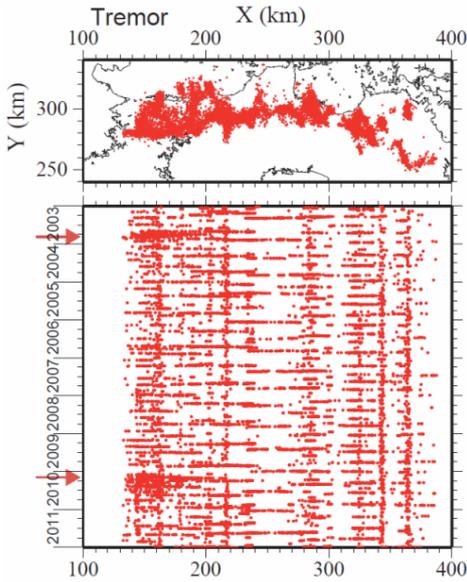


図4 1993年北海道南西沖地震以降奥尻島での変動量の測定結果

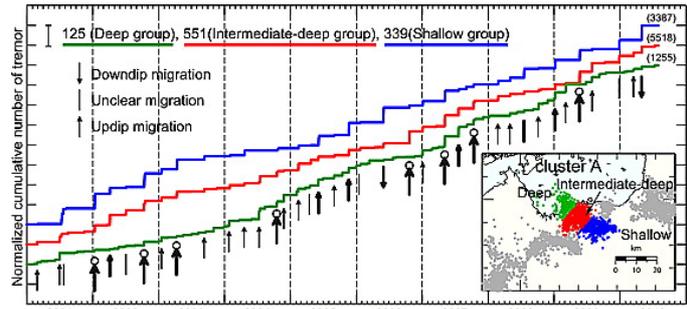
NIED スロー地震モニタリングからわかってきた特徴

●セグメント構造・周期性↓



←微動の時空間分布

●微動発生パターンの深さ依存性↓ [Obara et al., 2011]



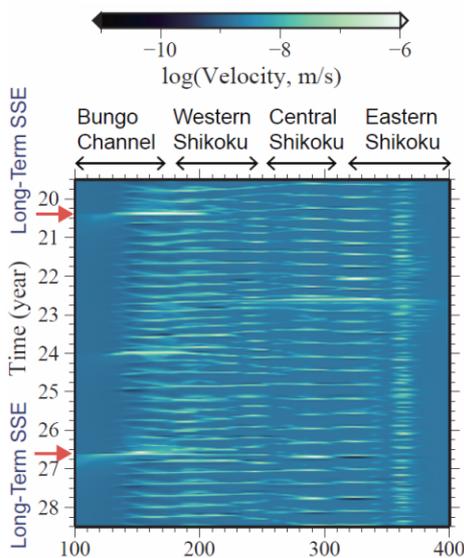
その他

- 微動活動域の移動
- 豊後水道における浅部と深部スロー地震の同期
[Hirose et al., 2010]

深部：連続的
浅部：間欠的

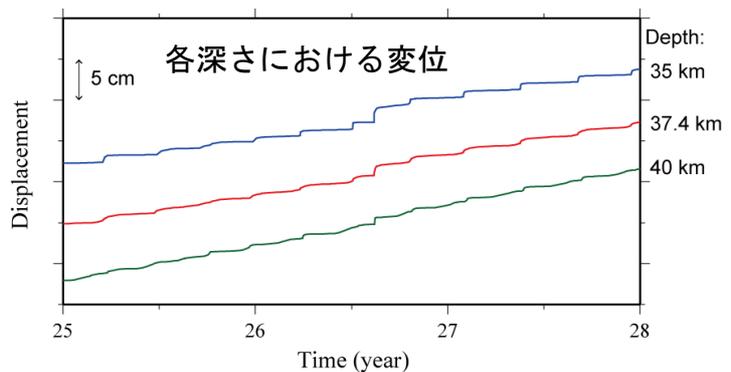
数値シミュレーションによる特徴の再現例

●セグメント構造・周期性↓



すべり速度の時空間分布（短期的SSE）

●微動発生パターンの深さ依存性↓



Matsuzawa et al. [2013]

重点検討課題「繰り返し小地震に対する予測能力評価」

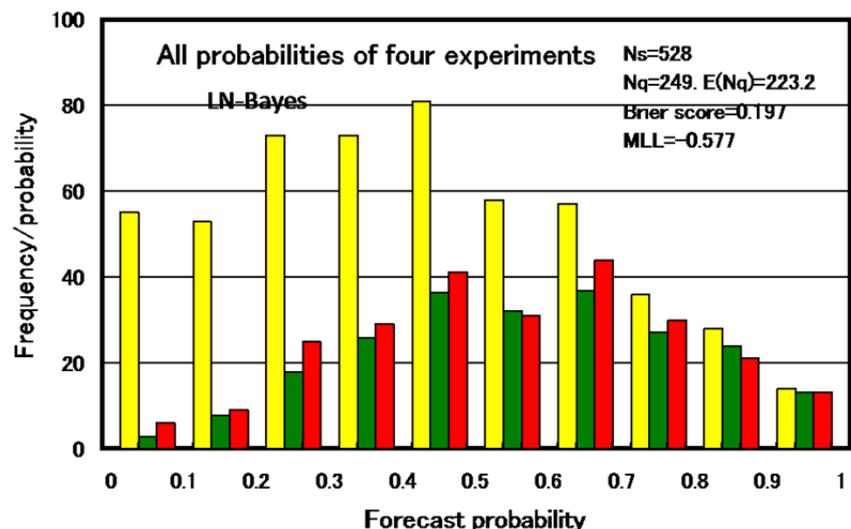
岡田正実（気象研究所地震津波研究部客員研究員）

ほぼ同じ場所で同程度の地震が繰り返し発生する事例が、プレート境界や活断層などで所々に存在する。このような“繰り返し地震”は、いろいろな予測が試みられ、“的中”した例も少なからずあるが、“外れた”ものもかなり多い。繰り返し地震の予測可能性を調べるために、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”の事前予測とそれを検証する実験を、東北大学及び気象研究所の関係者と共同で実施した。

“繰り返し小地震”は、波形が極めてよく似ており、“相似地震”とも呼ばれる。プレート運動に伴って、小さな固着域（アスペリティ）が破壊されることで発生すると考えられている。同一の系列に属するかどうかは、地震波形の相似性からほぼ確実に識別することができる。実験には地震が5個以上ある系列のみを使用した。地震数が少ないものが多い。発生確率を計算する際は、発生間隔分布のパラメータの推定誤差に対処するために、ベイズ統計などで計算・処理した。

予測成績は実験ごとに変動し、2006年7月～07年6月と2008年はかなり良かった。予測確率の高い系列で該当地震が多く発生し、低いものはあまり発生しなかった。2009年は成績が最も悪かった。この年は福島県から茨城県の沖合で、前年からのプレート間滑りが継続したことで、予測確率の非常に小さな系列でも該当地震が発生し、成績が下がった。2010年は成績がかなり回復した。2011年は3月に巨大地震が発生した年であるが、「該当地震が発生するかどうか」の予測成績はさほど悪くなかった。しかし、同じ系列で1年間に複数個発生する割合が、以前の10倍以上に達しており、系列毎の発生個数を予測していたとすれば、極めて悪い成績であった。2012年以降は予測実験を継続することができなかった。代わりに、“繰り返し中規模地震”対象に、今後3年間の確率予測を試みた。

総合的な評価を行うために、2011年を除いた、すべての予測結果（528回）を集計した。予測確率を10%ごとに分け、該当する系列数（黄色）、それらの予測確率の合計（緑色）、予測期間にイベントが発生した系列数（赤色）を右図に示す。予測（緑色）と観測結果（赤色）がよく似た分布をしており、予測がかなり良かったことが分かる。天気予報の降水確率予報（東京）に例えるならば、5日先の予報と同程度の成績である。



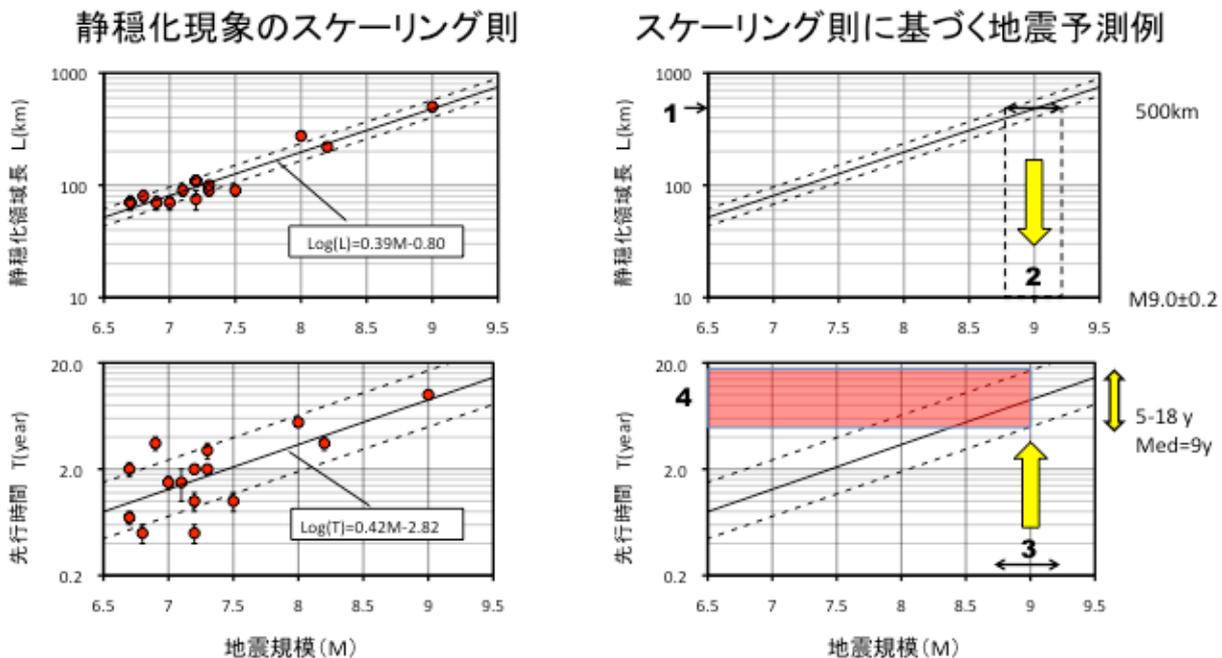
重点検討課題「地震・地殻変動予測能力の現状評価」

地震活動静穏化に基づく予測能力評価

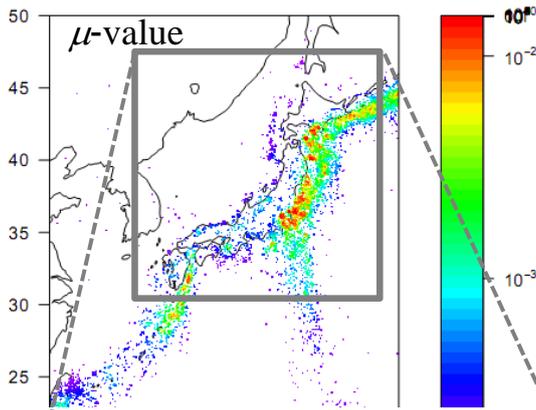
吉川澄夫（気象研究所客員研究員）

大地震に先行して地震活動の静穏化があったという報告は国の内外で古くから数多くあるが現実的な地震発生予測には結びつかなかった。これは静穏化現象の解析手法が研究者によって異なるために現象の把握手法に差異があることが主な原因と考えられる。そこで改めて国内のM7クラス以上の大地震（ $M \geq 6.7$ ，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(*)を適用することにより大地震に先行する静穏化現象の検出と定量化を行った。この結果，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。静穏化現象には周囲に活発化領域が接する事例が多く，いわゆるドーナツパターンが見られる。本震の震源は静穏化領域の縁辺部に発生することがほとんどで，領域中心からの距離は領域サイズ（長径）と比例関係を示すと共に地震規模に関するスケーリング則も示す。これは地震発生前の非地震性すべりによる応力低下が静穏化現象を発生させる要因であることを示唆する。同時に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る（左図）。この法則に基づけば，発生場所，地震規模および発生時期について推定が可能ということになる（右図）。

以上のような地震発生予測の可能性がある一方，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。



* eMAP：対象とする全ての震源を中心とする円領域で，個々に基準期間と評価対象期間の地震発生率を比較することにより地域毎の地震活動に応じ静穏化現象の状況を表示する手法。気象庁で2008年頃に開発された。



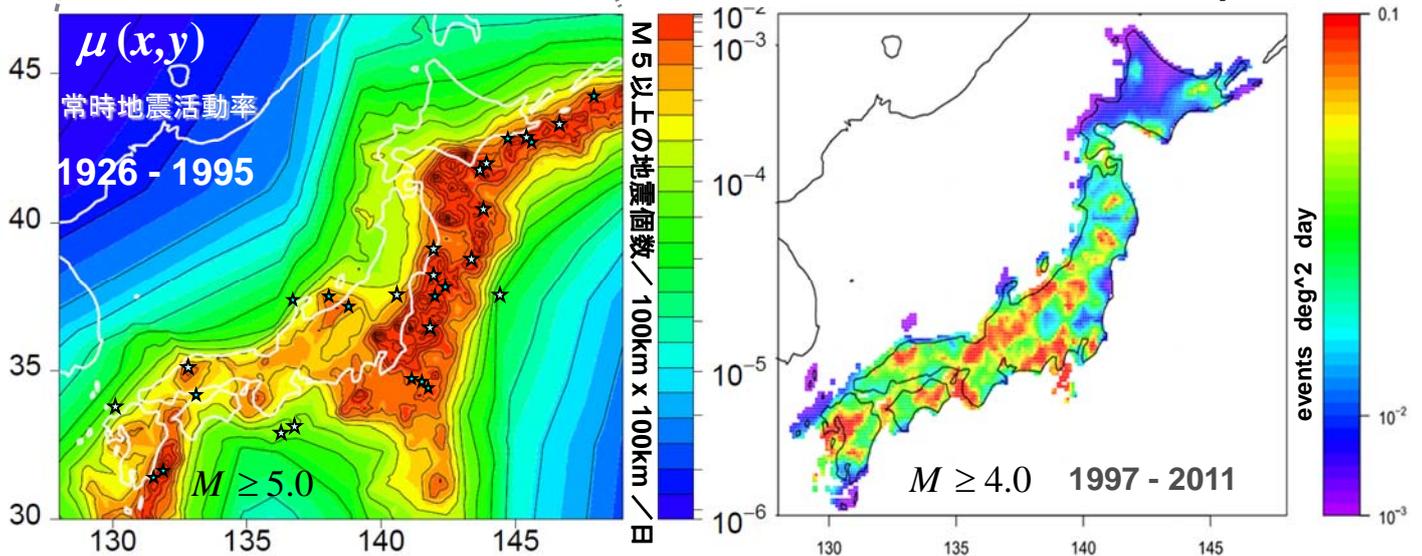
Background seismicity rates of space-time ETAS model

$$\lambda(t, x, y) = \mu(x, y) + \sum_{\{j; t_j < t\}} \frac{K(x, y)}{(t - t_j + c)^{p(x, y)}} \times \left[\frac{(x - x_j, y - y_j) S_j (x - x_j, y - y_j)^t}{e^{\alpha(x, y)(M_j - M_c)} + d} \right]^{-q(x, y)}$$

1926-1995の期間の $M \geq 5.0$ の地震データから推定

☆ 1996 - 2009の期間で起きた $M \geq 6.7$ の大地震

Restricted to inland Japan



☞ 確率予測の予測能力は対数尤度で評価できる。データに当て嵌める統計モデルの選択やパラメータ推定は最大尤度法やAIC最小化によって予測力を上げることができる。

☞ 各地域に適した基準の地震活動の確率予測(長期・短期予測の相場のモデル)を与える(CSEP)。

→ 統計的点過程モデルの改訂を進める。

☞ 異常現象が、大地震の前兆なのか、どの程度切迫性があるのかなどの不確定さを見積もる。

→ 大地震の発生確率を、基準のものと比べて、この範囲、この期間、この程度まで増加・減少させる(確率利得)と言えるようになればよい。これらを偏りなく見積もる必要がある。

→ 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

☞ 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る。

→ 異常現象の複合性を記述する点過程モデルの作成

第 205 回地震予知連絡会 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」

趣旨説明者 京都大学大学院理学研究科 平原和朗

2011 年東北地方太平洋沖地震の発生後設けられた将来検討ワーキンググループにおいて、予測実験の試行を行うことが提案され、重点検討課題においてその検討・準備を進めている。物理モデルに基づいた地震発生予測研究は、第 201 回地震予知連絡会重点検討課題で取り上げられ、海溝型巨大地震の発生シミュレーションは、どのような物理モデルに基づいているのか、また予測を行う際にどのような課題があるのかなど、地震発生予測に向けた研究の現状と課題について議論された。

今回はその 2 として、海溝型巨大地震発生予測の鍵を握ると期待される、スロースリップイベント (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る。西南日本下に沈み込むフィリピン海プレート境界で観測されている SSE の発生様式は多様で、すべりの継続時間・発生間隔や放射される地震波の周波数帯により区別され、海溝型巨大地震震源域より浅部に発生する浅部超低周波地震、および巨大地震震源域の深部延長域に発生する、長期的 SSE、短期的 SSE (深部低周波微動を伴う) といったように、摩擦特性に応じ SSE 発生域の住み分けが見られる。

こういった SSE 発生に対して、摩擦構成則に基づくシミュレーションが行われ、すべり継続時間・繰り返し間隔、すべりの移動現象などの多様な発生様式が再現されている。また、巨大地震を加えたシミュレーションでは、発生前に SSE 活動の変動が見られ、南海トラフ巨大地震の発生予測に繋がる可能性が指摘されている。この変動はシミュレーションから示唆されているだけであるが、東北地方太平洋地震前に震源域周辺では数回の SSE 活動が報告されており、巨大地震発生に至る準備過程としての SSE 活動も注目を集めている。

これらを踏まえ、既に発表された講演内容を一部含むが、以下のように、現在行われている SSE 発生シミュレーション研究に用いられている摩擦構成則やパラメータの相違点や共通点を専門家に整理していただき、特に巨大地震発生予測といった観点から各種 SSE の発生を議論したい。また、最後に重点検討課題運営部会からの要請に基づき、モニタリングデータと処理方法に関する話題についても序論的に議論する。

- 1) 南海トラフ沿い巨大地震とスロースリップ
- 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
- 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
- 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