平成 25 年 2 月 18 日

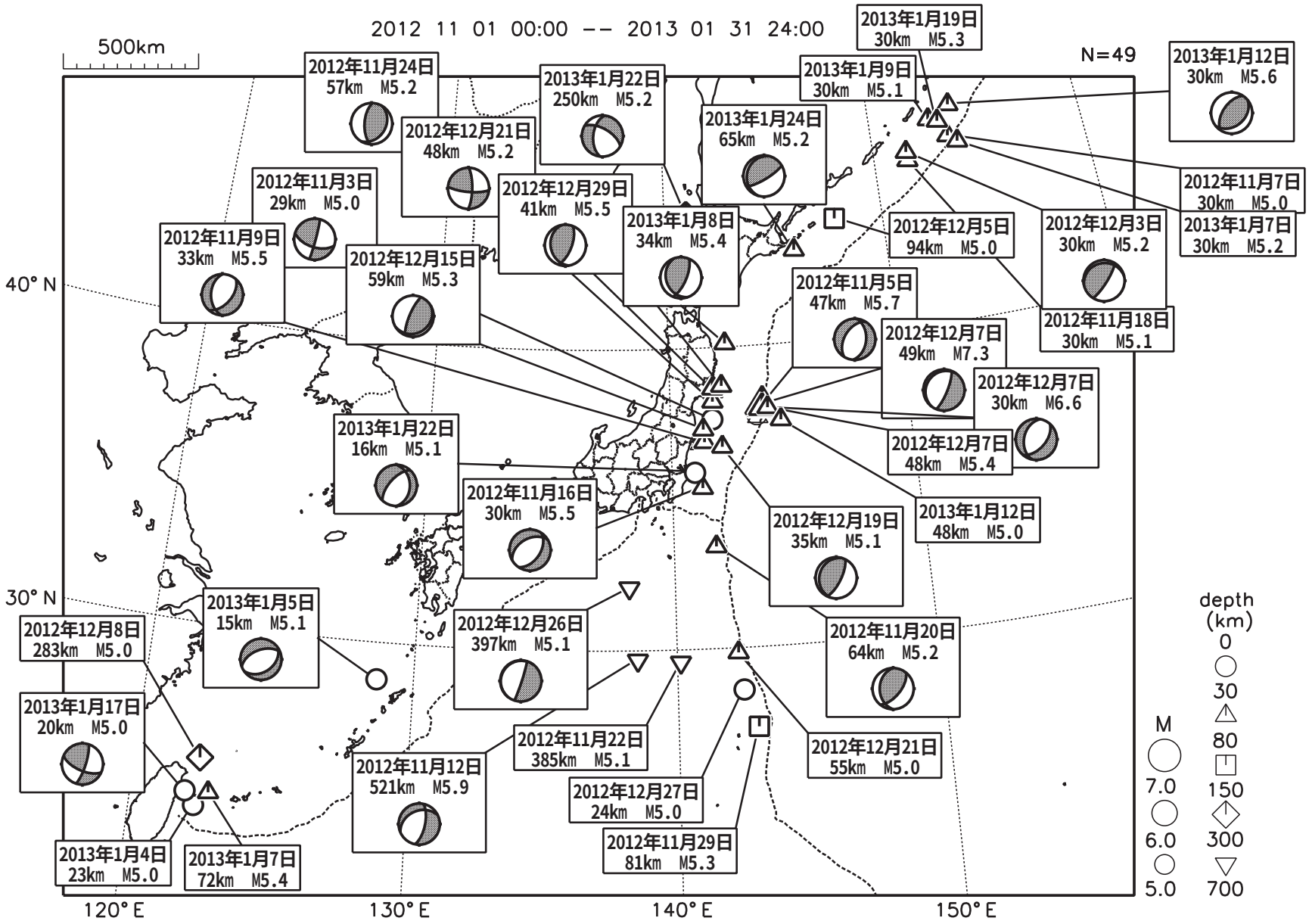
第 198 回　地震予知連絡会

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（2012年11月～2013年1月、M≧5.0）

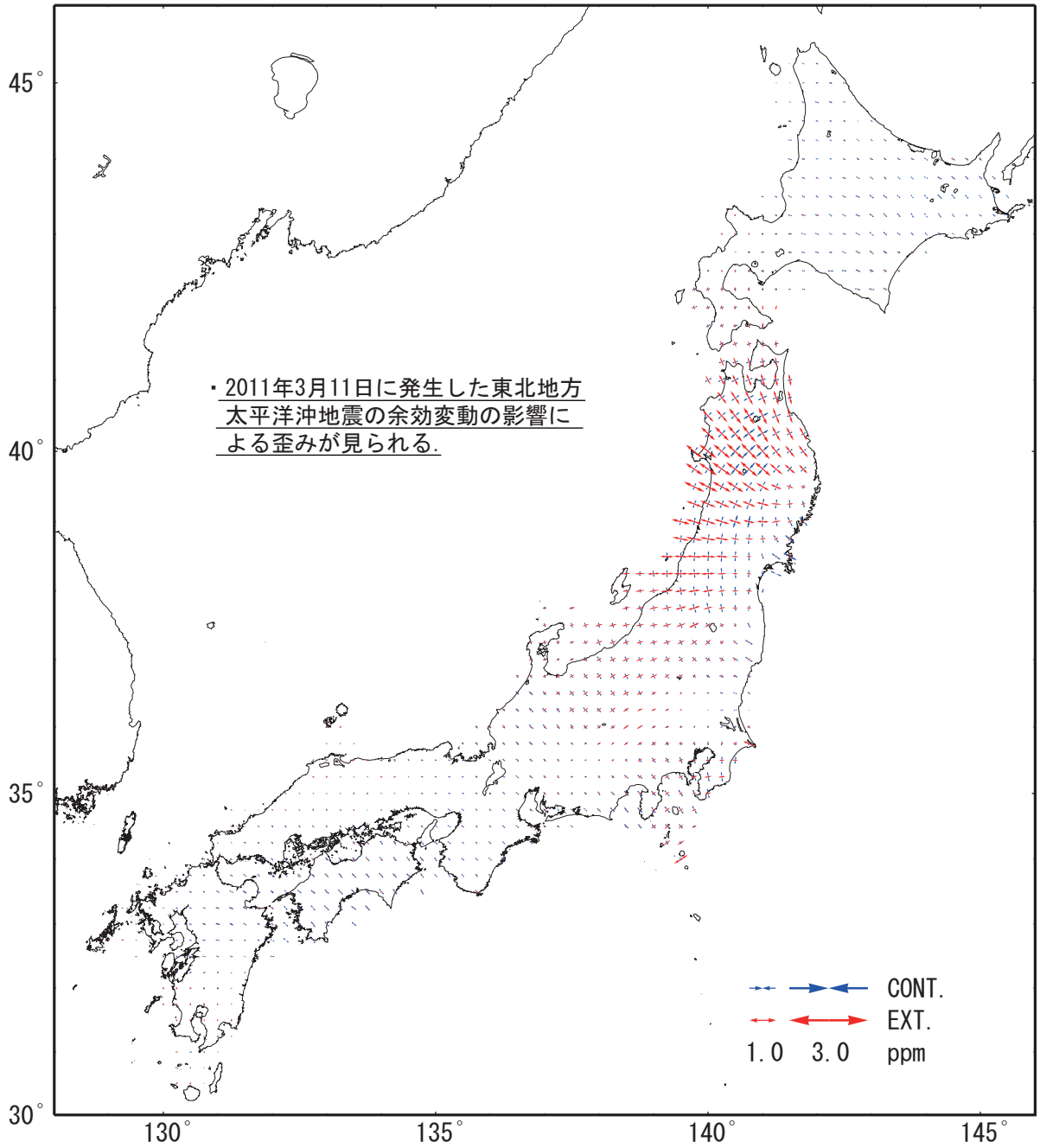


発震機構は気象庁によるCMT解

気象庁作成

ＧＮＳＳ連続観測から推定した日本列島の歪み変化

基準期間:2011年12月29日 -- 2012年01月12日【F3:最終解】
比較期間:2012年12月29日 -- 2013年01月12日【F3:最終解】

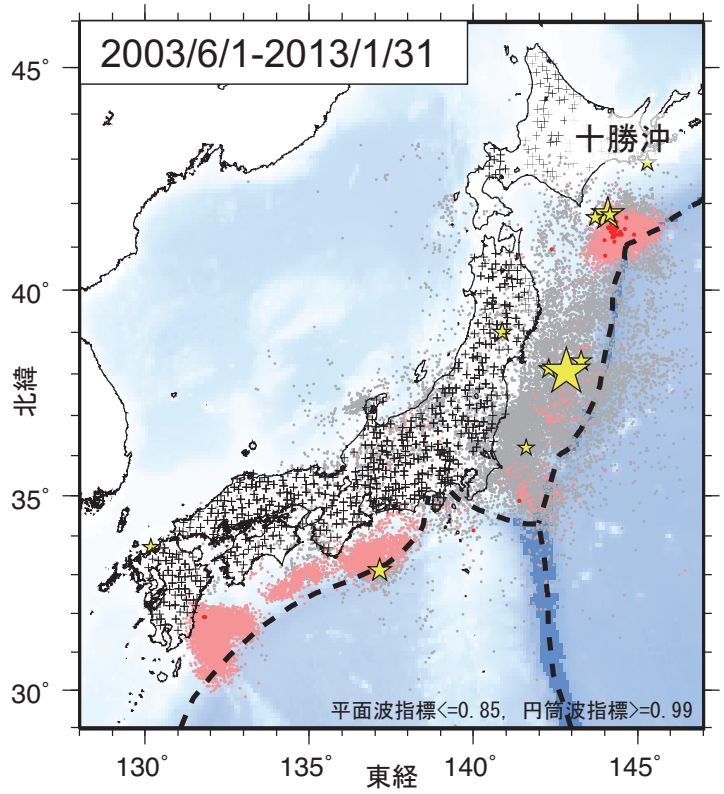


ＧＮＳＳ座標値データに基づいて1年間の歪み変化図を作成した．座標値の15日分の平均値から１年間の変位ベクトルを算出し，それに基づいて歪みを計算している.

国土地理院資料

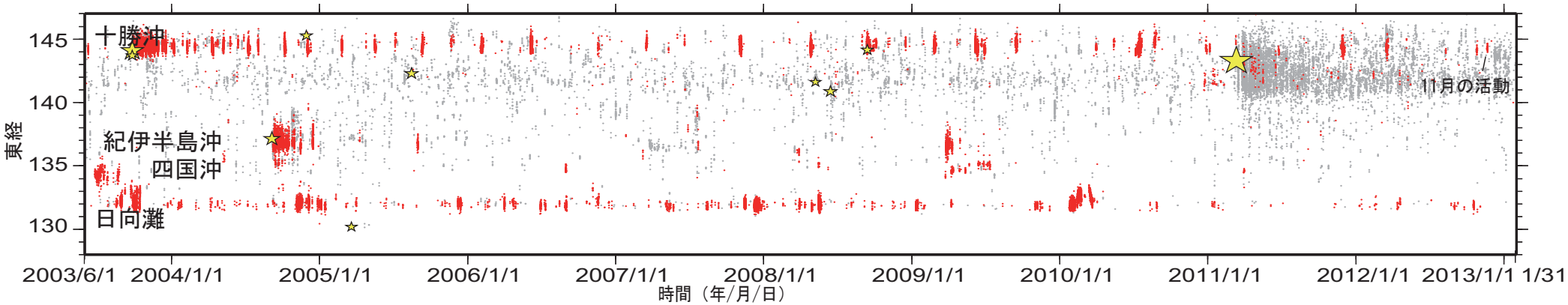
日本周辺における浅部超低周波地震活動（2012年11月～2013年1月）

防災科学技術研究所



- 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
- その他に目立った活動無し

第１図．2003年6月1日から2013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，または自動験測震源と照合し，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（2012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）．

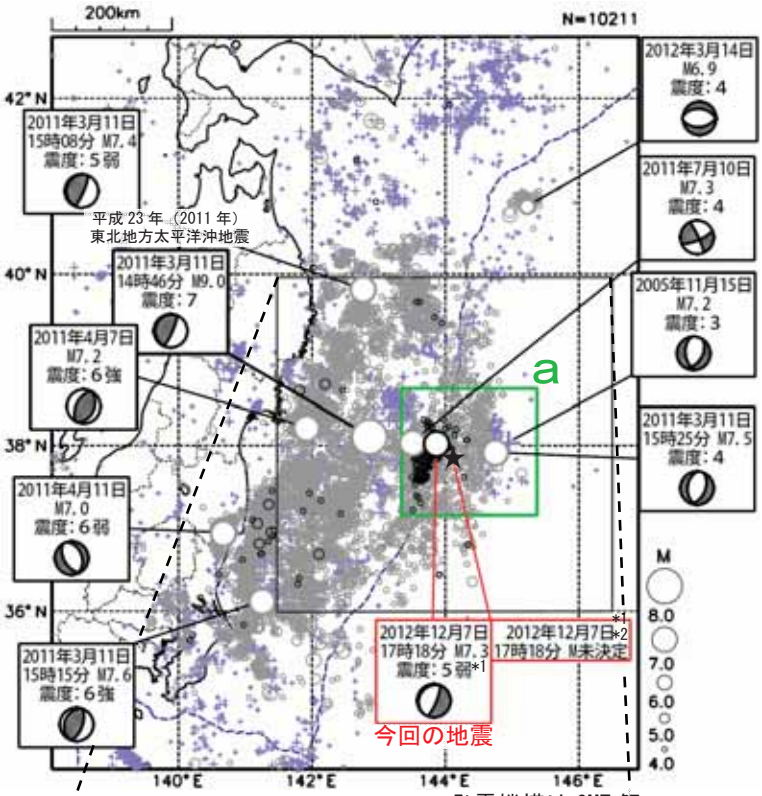


第２図．2003年6月1日から2013年1月31日までの期間に検出されたイベントの時空間分布．検出されたイベントを防災科研 Hi-net 手動験測震源と照合し，対応する地震が見出されたイベントを灰色で，それ以外を赤色の点でそれぞれ示す．その他は第１図に同じ．

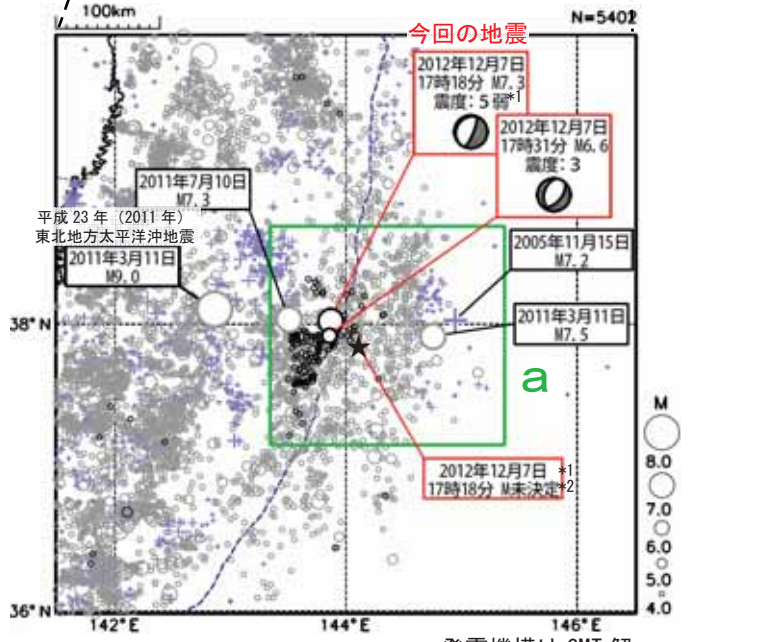
防災科学技術研究所資料

12 月 7 日　三陸沖の地震

震央分布図
（1997 年 10 月 1 日～2012 年 12 月 31 日、深さ 0 ～100km、M≧4.0）
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以降に発生した地震を薄い○、2012 年 12 月 7 日の M7.3 の地震以降に発生した地震を濃い○で表示



発震機構は CMT 解



発震機構は CMT 解

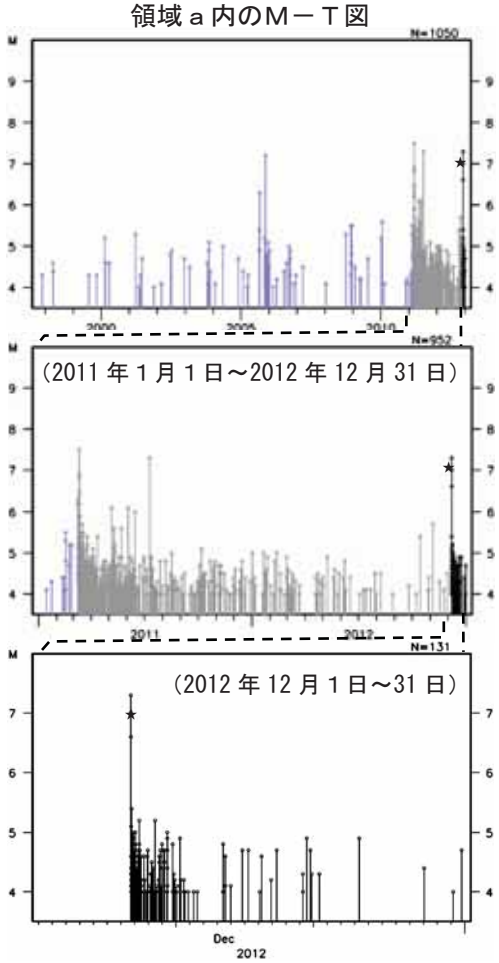
2012 年 12 月 7 日 17 時 18 分に三陸沖で M7.3 の地震（最大震度５弱*1）が発生した。発震機構（CMT 解）は西北西－東南東方向に張力軸を持つ正断層型である。また、この地震の約８秒前にも M７クラスと推定*2 される地震*1 が発生した。これらの地震は日本海溝付近の太平洋プレート内部で発生した。ともに「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」の余震域内で発生した地震である。

気象庁は今回の地震の発生に伴い、同日 17 時 22 分に宮城県に対して津波警報（津波）を、青森県太平洋沿岸、岩手県、福島県、茨城県に対して津波注意報を発表した（同日 19 時 20 分にすべて解除）。今回の地震により津波が発生し、石巻市鮎川で 98cm など、東北地方の太平洋沿岸で津波を観測した。

今回の地震により、死者１人、負傷者 15 人等の被害が生じた（総務省消防庁による）。また、今回の地震の発生後、同日 17 時 31 分に M6.6 の地震（最大震度３）が発生するなど、活発な余震活動が見られた。

*1: この２つの地震は近接した地域でほぼ同時に発生したため、震度の分離ができない。
*2: 直後に発生した M7.3 の地震の影響でマグニチュードを正確に決定することができない。この資料の震央分布図及びM－T図では、参考のため M7.0 のところに★印で表示した。

領域ａ内のＭ－Ｔ図



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前、今回の地震の震央付近（領域ａ）では、M5.0 以上の地震が時々発生していたほか、2005 年 11 月 15 日には M7.2 の地震（最大震度３）が発生した。2005 年の M7.2 の地震では岩手県の大船渡で高さ 42cm、宮城県の石巻市鮎川で 16cm の津波を観測している。

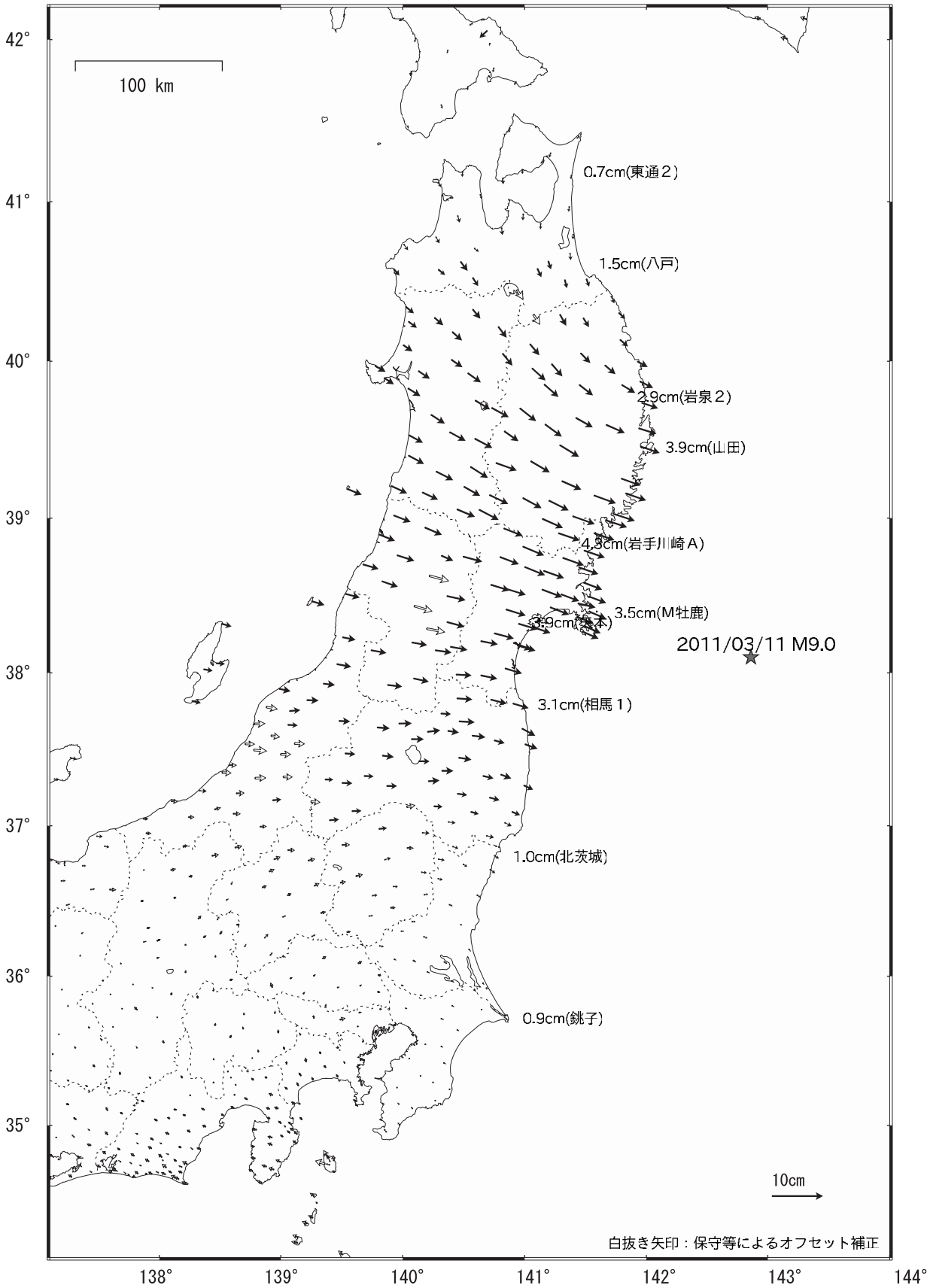
東北地方太平洋沖地震の発生以降は、直後の 2011 年３月 11 日 15 時 25 分に M7.5 の地震（最大震度４）が発生するなど地震活動がそれまでよりも活発化した。その後活動は徐々に低下してきていたが、東北地方太平洋沖地震の発生前よりも活発な状態が続いていた。

気象庁作成

東北地方太平洋沖地震（M9.0)後の地殻変動（水平）－３ヶ月－

東日本で東向きの変動が見られる.

基準期間 : 2012/10/06 -- 2012/10/12 ［Ｆ３：最終解］
比較期間 : 2013/01/06 -- 2013/01/12 ［Ｆ３：最終解］



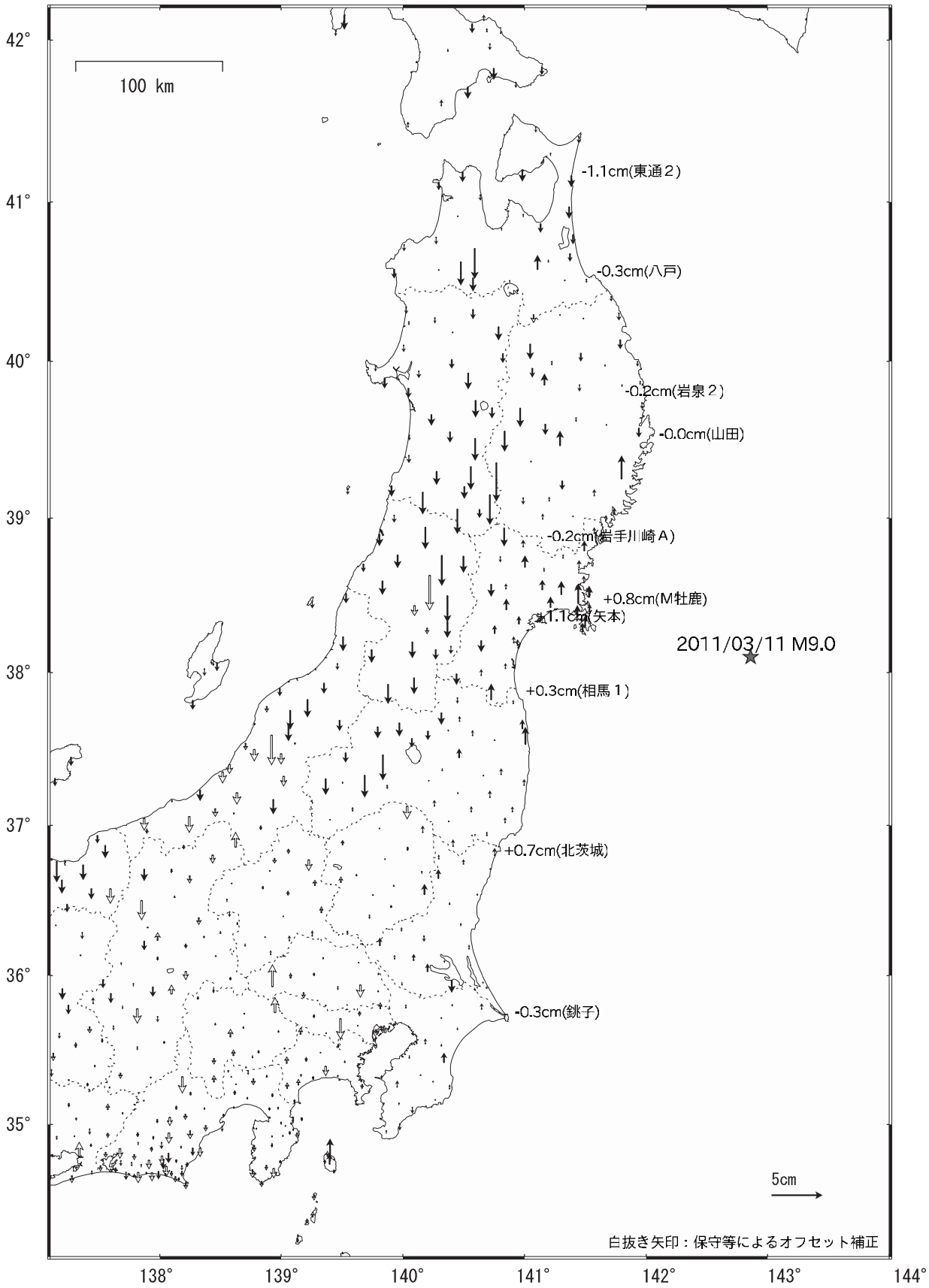
☆固定局：福江（長崎県）

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）－３ヶ月－

太平洋沿岸の一部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.

基準期間 : 2012/10/06 -- 2012/10/12 ［Ｆ３：最終解］
比較期間 : 2013/01/06 -- 2013/01/12 ［Ｆ３：最終解］



☆固定局：福江（長崎県）

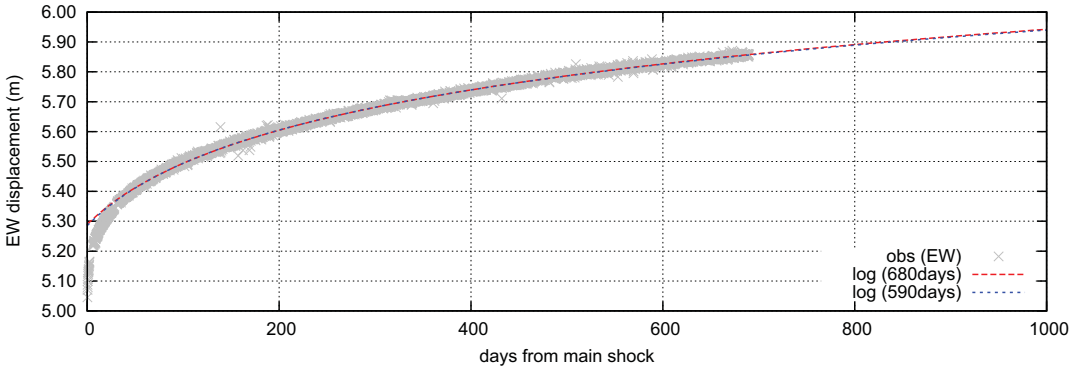
国土地理院資料

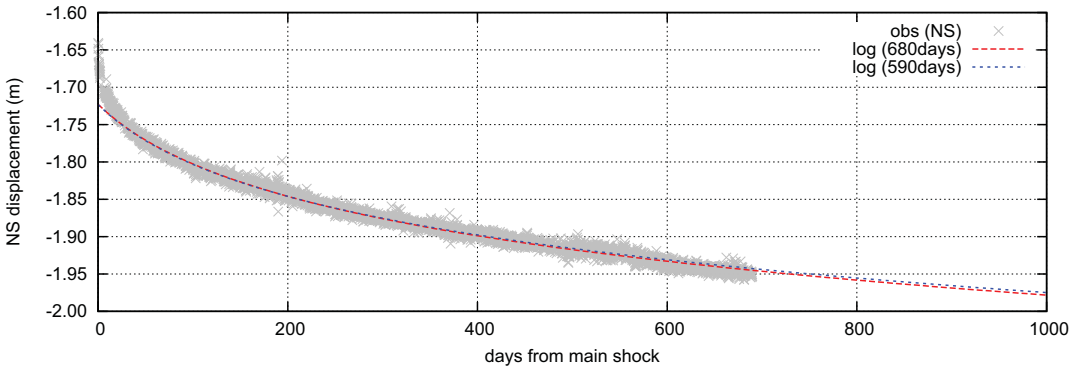
東北地方太平洋沖地震後の地殻変動　対数関数近似（6）

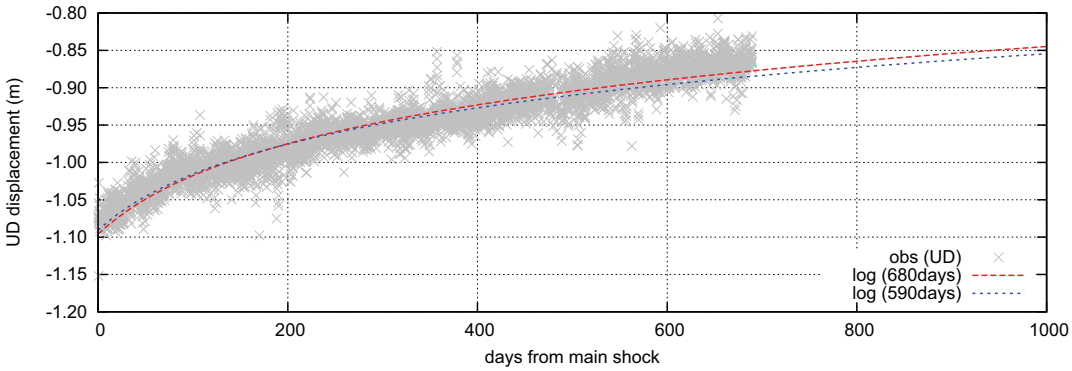
地震後 30 日間のデータを除外して推定

表示期間　2011/03/11 18:00:00 ~　2013/01/29 06:00:00【Q3 解】

福江（950462）　－　M牡鹿 (059071)







地震後 680 日までのデータによる推定値

$\mathrm{disp} = a\log(1 + t/b) + c$

成分	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2
東西	+0.2499	79.27	+5.2900	
南北	-0.0978	79.27	-1.7229	1.73
上下	+0.0963	79.27	-1.0963	

9 日間予測残差平均 (東西/南北/上下)

+0.0004/-0.0046/+0.0172 [m]

地震後 590 日までのデータによる推定値

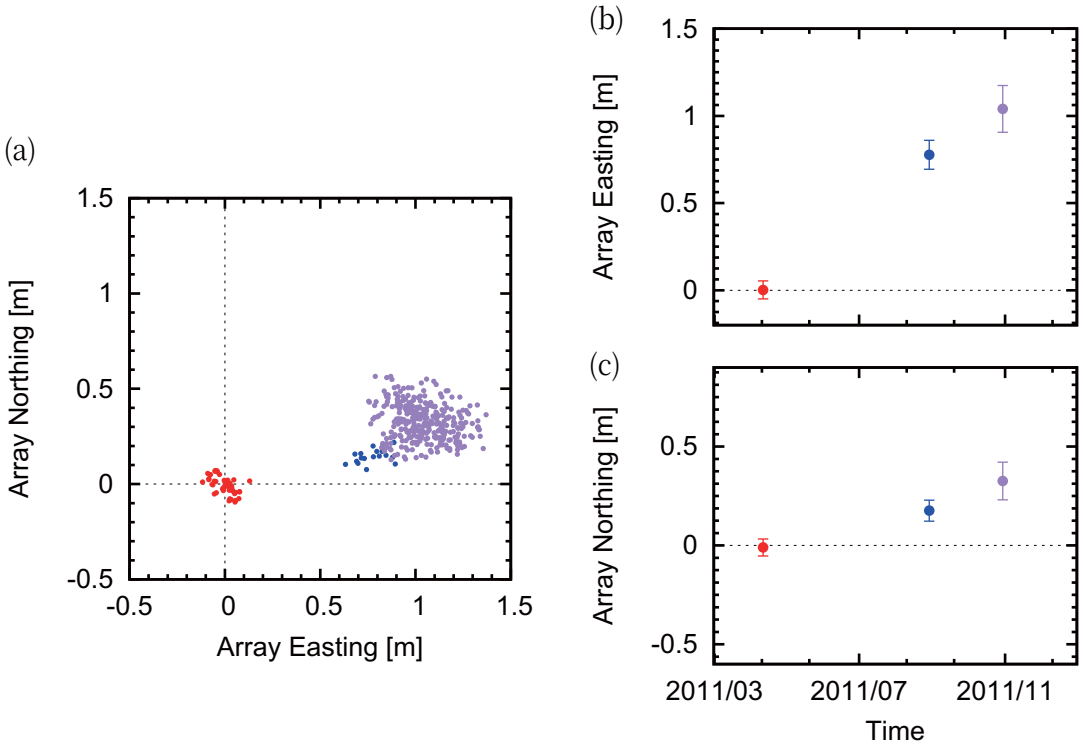
$\mathrm{disp} = a\log(1 + t/b) + c$

成分	a [m]	b [day]	c [m]	χ^2
東西	+0.2453	74.62	+5.2855	
南北	-0.0944	74.62	-1.7231	1.70
上下	+0.0886	74.62	-1.0910	

99 日間予測残差平均 (東西/南北/上下)

+0.0020/-0.0060/+0.0199 [m]

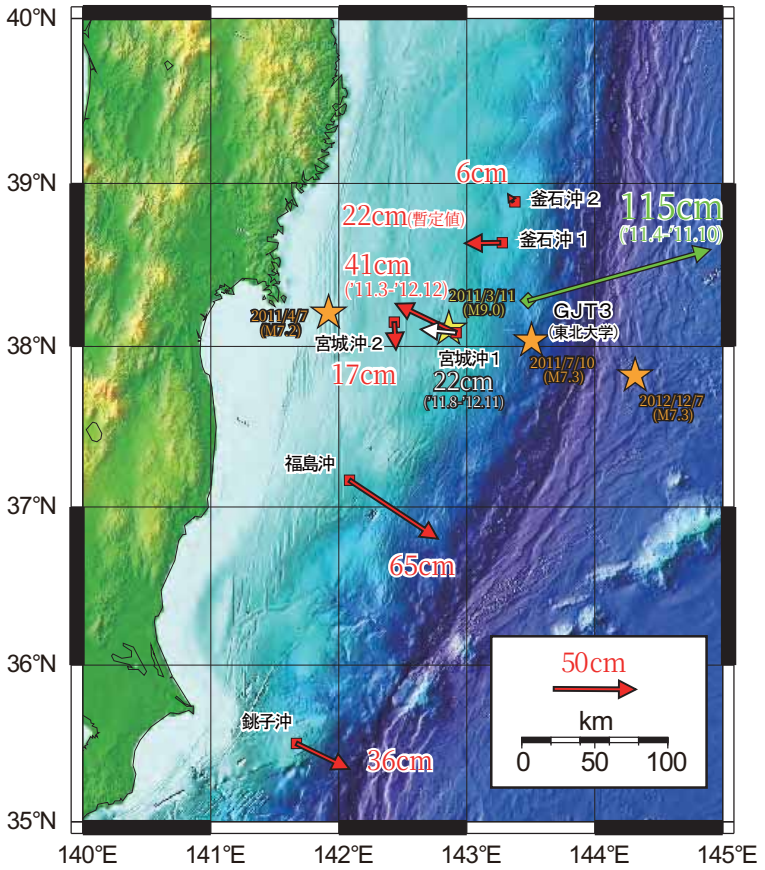
国土地理院



第 4 図　東北大学の「GJT3」海底基準点の位置変化（ITRF2008 基準）

(a) 水平分布図　(b) 東西方向時系列　(c) 南北方向時系列

※赤，青，紫は，それぞれ 2011 年 4 月，8 月，11 月の観測結果を示す．



第5図　東北大学の「GJT3」海底基準点の地震後の水平変動ベクトル（ユーラシアプレート安定域固定）

※第 1 図 (b) に，東北大学の「GJT3」の結果を加筆（緑矢印）．

（ITRF2008 基準の変位ベクトルから NUVEL-1A モデルによる EU プレートの動きを減算）

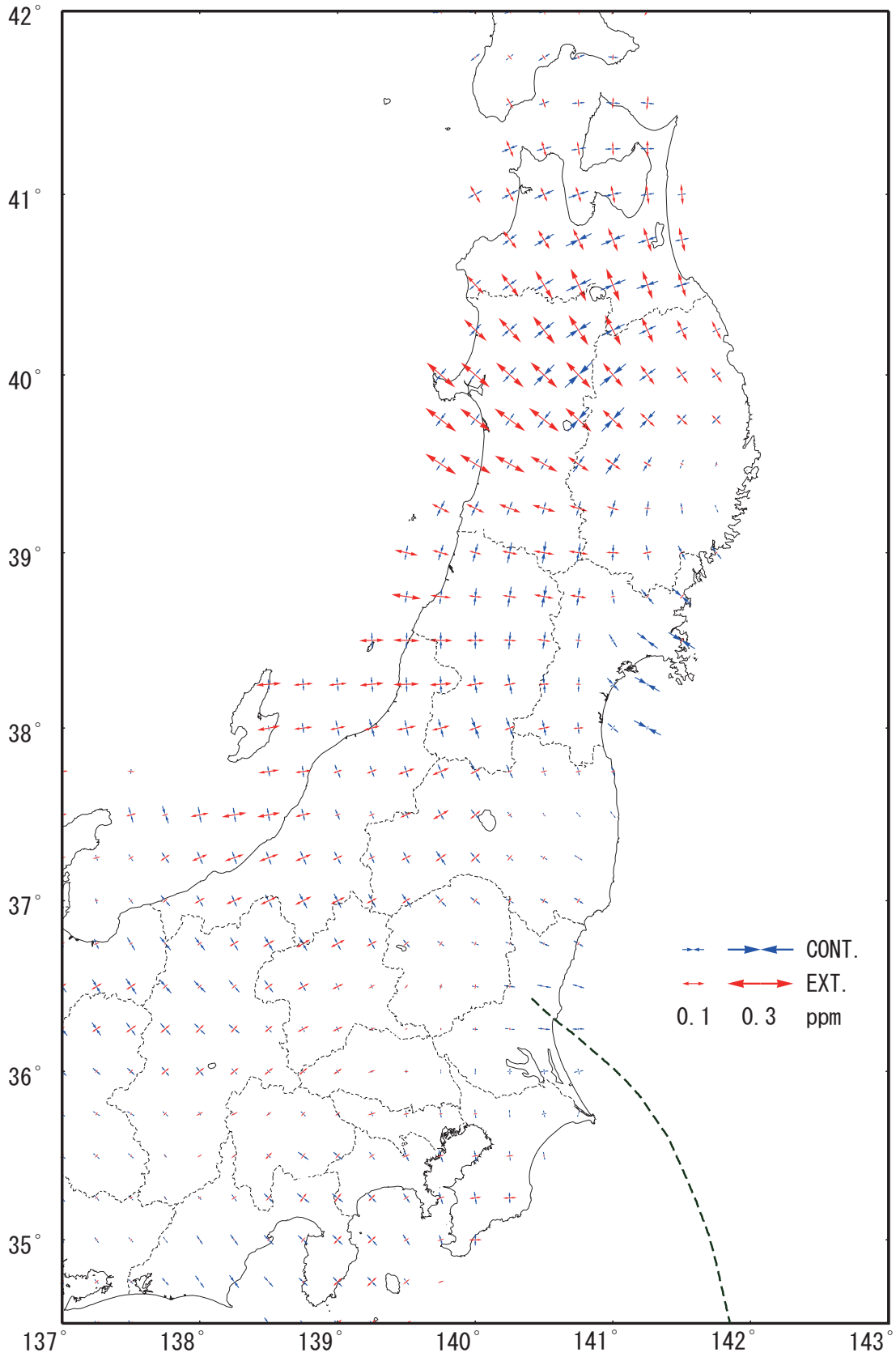
※赤矢印及び白矢印は，海上保安庁の結果を示す．

※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．

ＧＮＳＳ連続観測データから推定した地震後の歪み変化（東日本）３ヶ月

東北地方太平洋沖地震後の余効変動の影響が見られる.

基準期間:2012年09月29日 -- 2012年10月13日【F3:最終解】
比較期間:2012年12月29日 -- 2013年01月12日【F3:最終解】

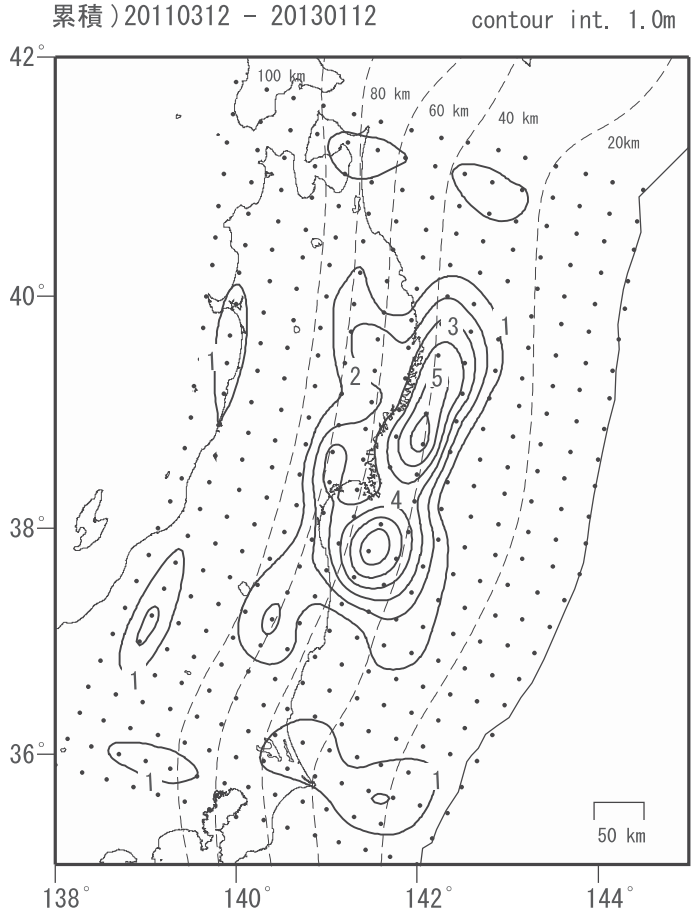


・太点線はフィリピン海スラブの北東端（Uchida et al.,2010,JGR）

国土地理院資料

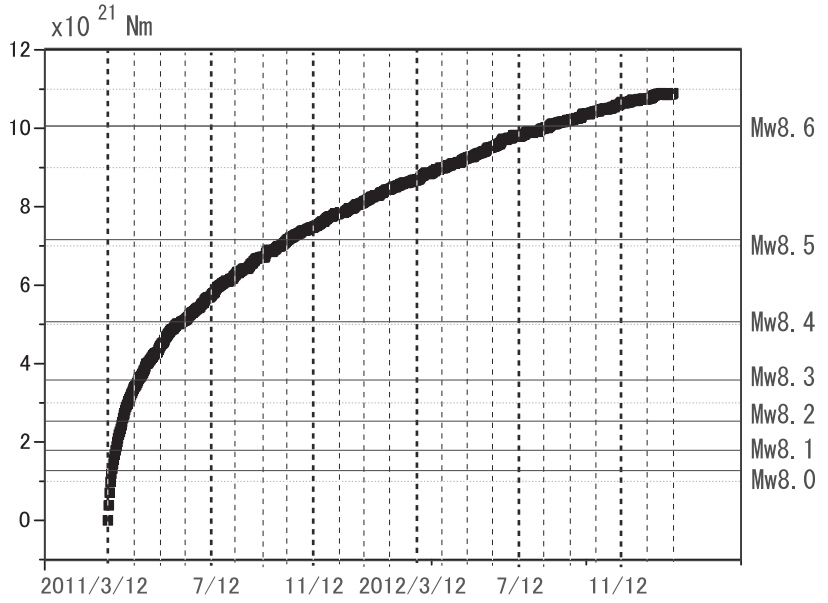
平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震後の
プレート境界面上の滑りの時間変化（4）（暫定）【モデル２】

顕著な滑りの移動は見られない．



時間と共にモーメントの解放速度が小さくなっている

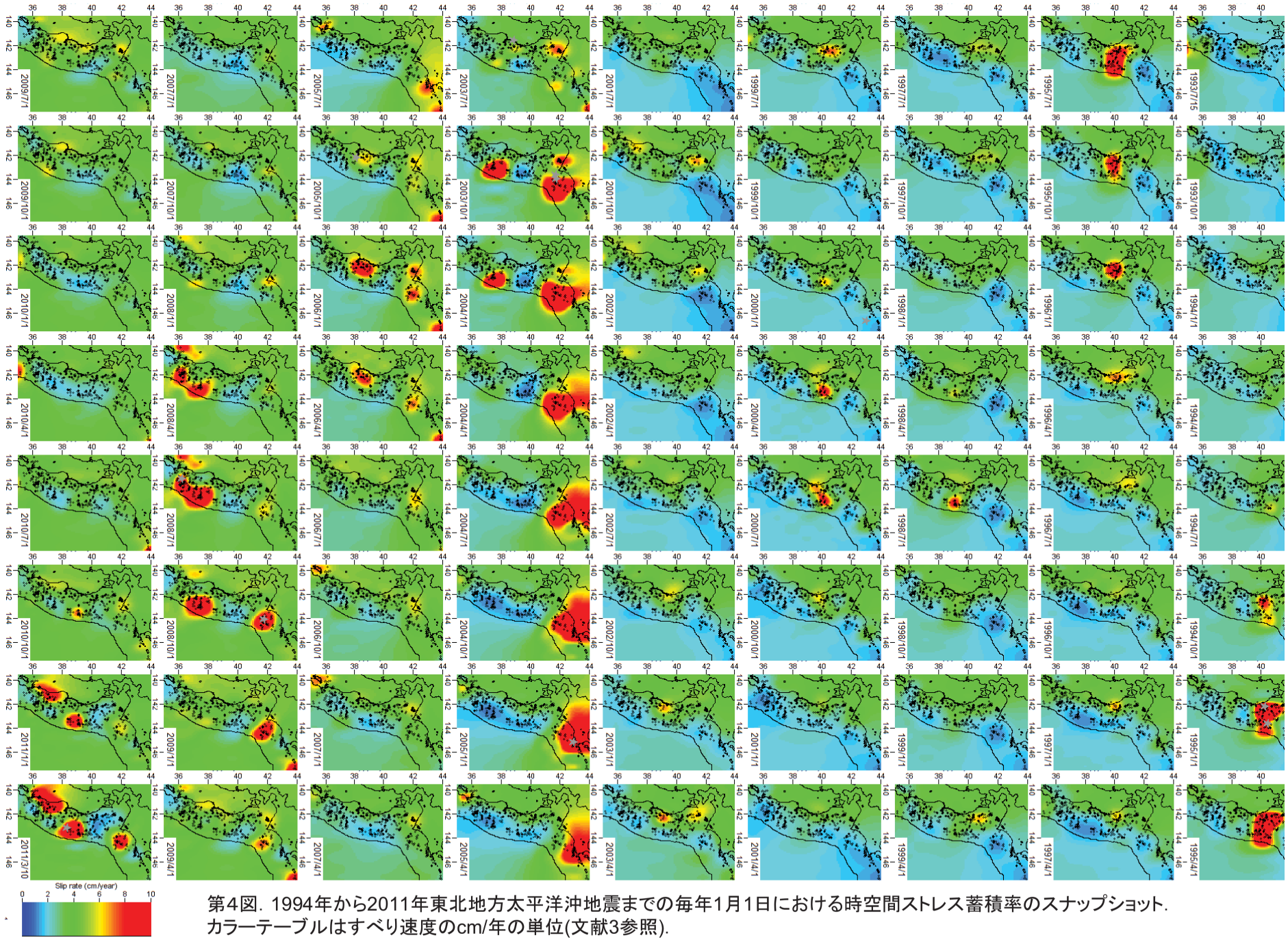
データ期間　20110312 - 20130112【F3 最終解（R3 速報解も含む）】



（剛性率：40GPa）

地震直後の約 30 時間のモーメント増加量は含まれていない．

国土地理院資料



第4図. 1994年から2011年東北地方太平洋沖地震までの毎年1月1日における時空間ストレス蓄積率のスナップショット.
カラーテーブルはすべり速度のcm/年の単位(文献3参照).
Fig. 4. Snapshots of space-time loading rate at 1st January of each year from 1994 till the 2011Tohoku earthquake.
Color table in bottom right shows slip-rate with unit of cm/year (cf., reference 3)..

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（2012 年 11 月～ 2013 年 1 月）その 1

防災科学技術研究所

- 短期的スロースリップイベント (SSE) を伴う顕著な微動活動：四国，11 月 17 日～ 12 月 16 日．
- 上記以外の主な活動：
  東海地方，10 月 31 日～ 11 月 6 日，11 月 19 日～ 26 日．紀伊半島中部，12 月 16 ～ 22 日．

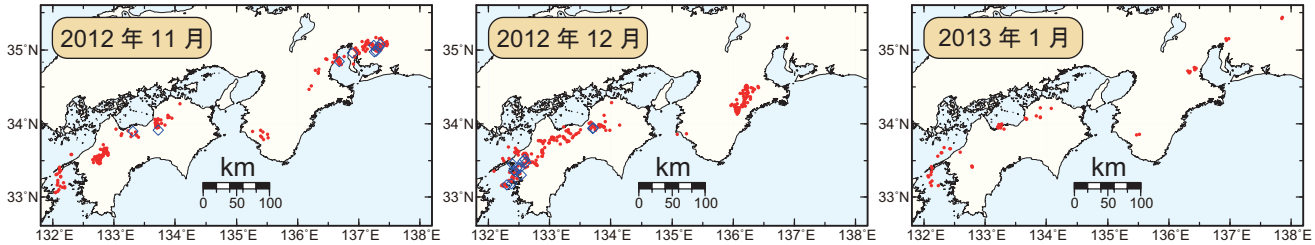


図 1. 西南日本における 2012 年 11 月～ 2013 年 1 月の月毎の深部低周波微動活動．赤丸はエンベロープ相関・振幅ハイブリッド法 (Maeda and Obara, 2009) およびクラスタ処理 (Obara et al.，2010) において，1 時間毎に自動処理された微動分布の重心である．青菱形は周期 20 秒に卓越する深部超低周波地震 (Ito et al., 2007) である．

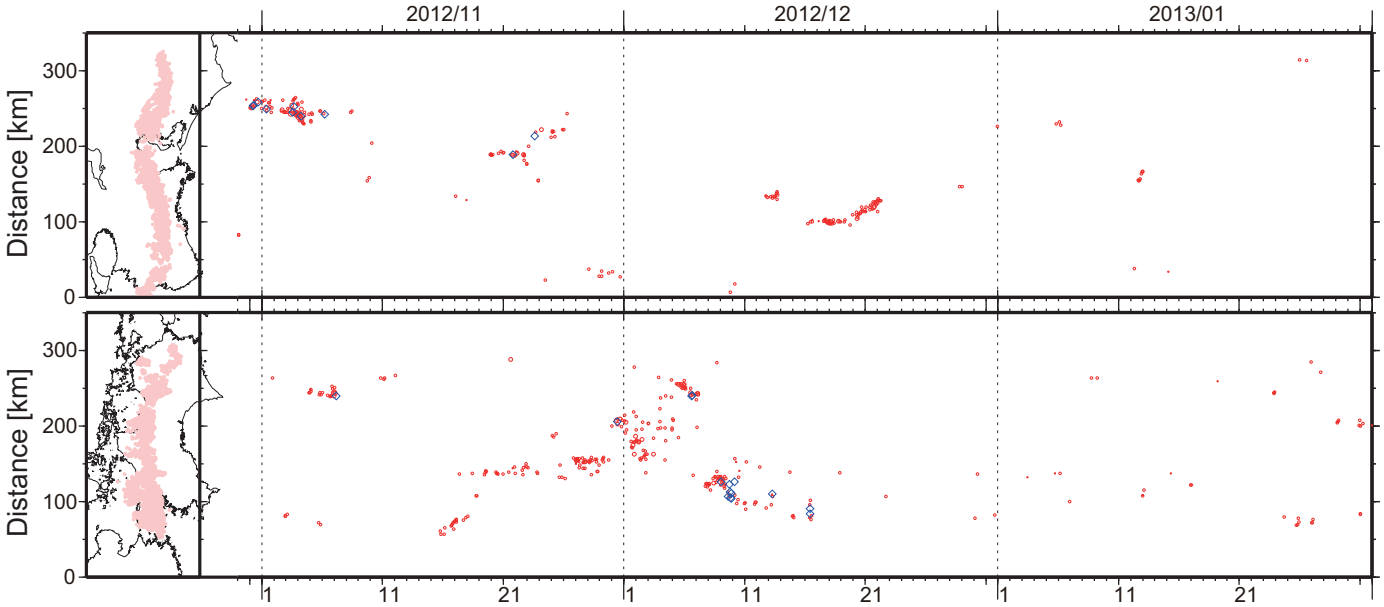


図 2. 2012 年 10 月 30 日～ 2013 年 1 月の深部低周波微動（赤）および，深部超低周波地震（青菱形）の時空間分布．

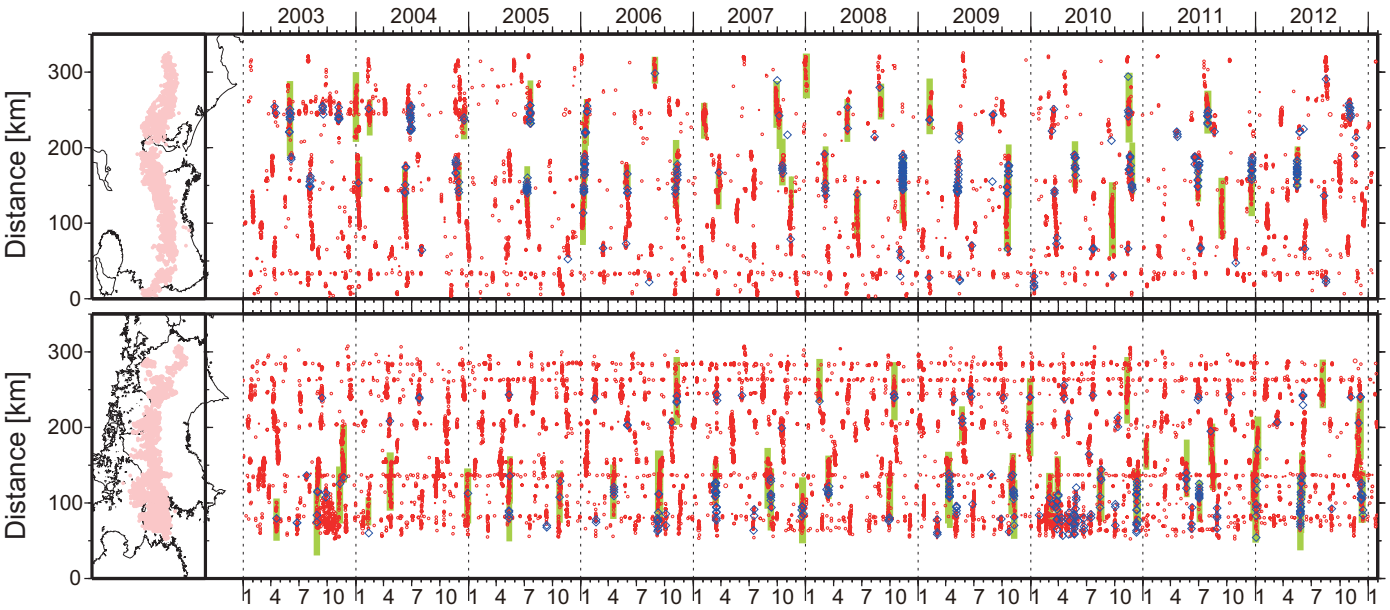
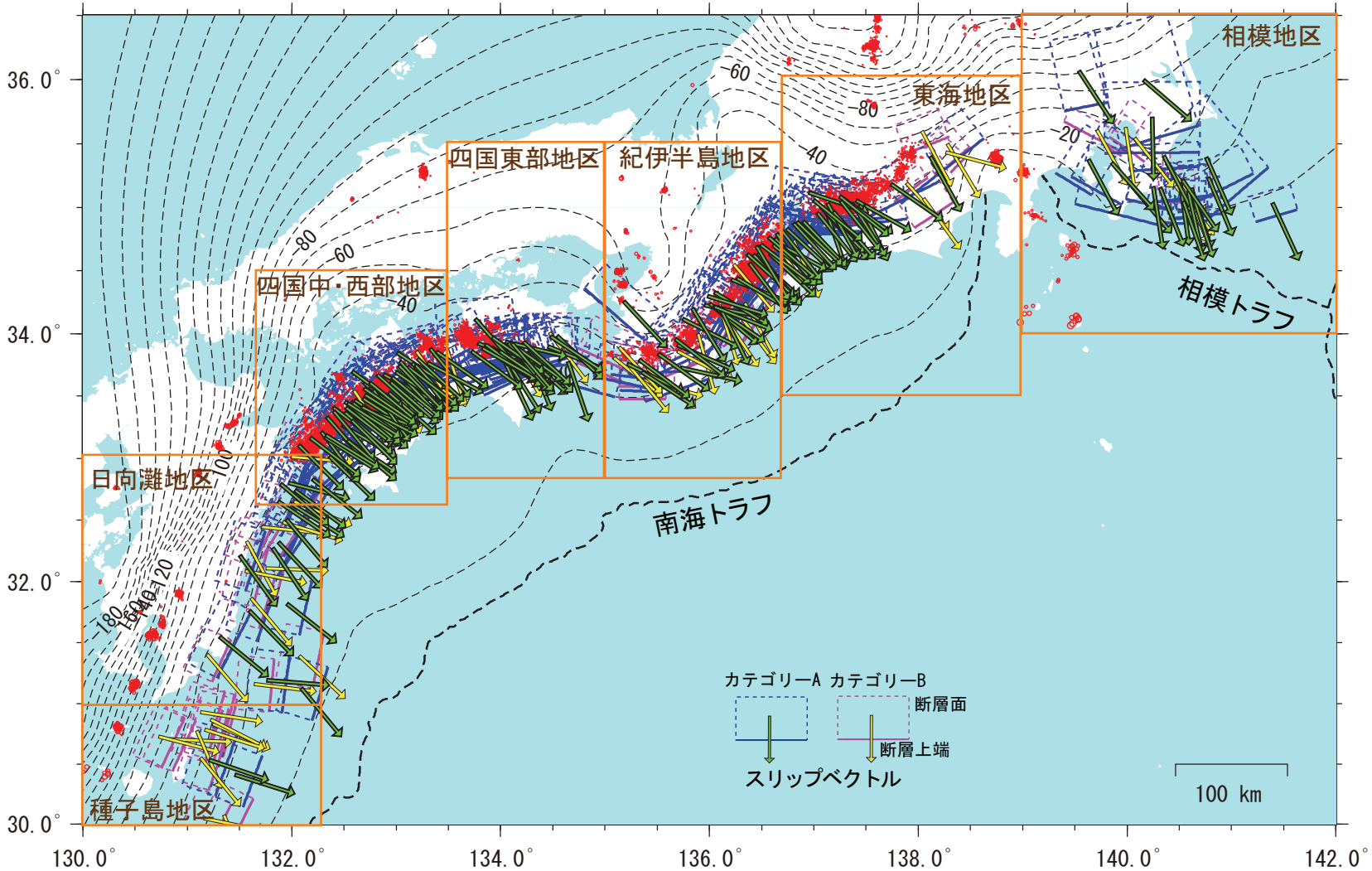


図 3. 2003 年 1 月～ 2013 年 1 月までの深部低周波微動（赤）および，深部超低周波地震（青菱形）の時空間分布．緑太線は，傾斜変動から検出された短期的 SSE．

防災科学技術研究所資料

ＧＮＳＳ観測から推定される短期的ＳＳＥの断層モデル（１）

断層モデル分布図



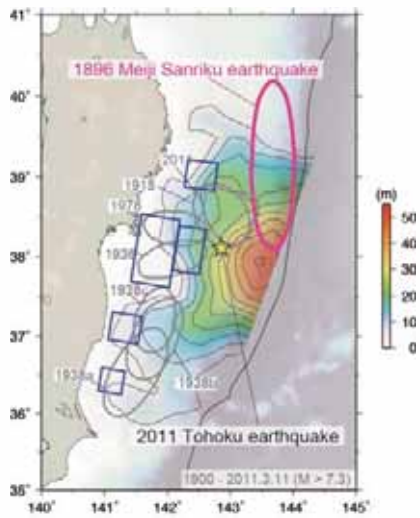
・対象とするSSEの期間は，1996/6/19（相模トラフのみ1994/7/24）～2012/10/7
・破線は，弘瀬（気象研）によってコンパイルされたフィリピン海プレート上面（Baba et al., 2002, Nakajima and Hasegawa, 2007, Hirose et al.,2008, 弘瀬・他, 2008, Nakajima et al., 2009）を内挿・外挿して作成したプレート境界面.
・赤丸は気象庁一元化震源による低周波地震.

国土地理院資料

重点検討課題の検討

「東北地方太平洋沖地震に
関する検討（まとめ）」

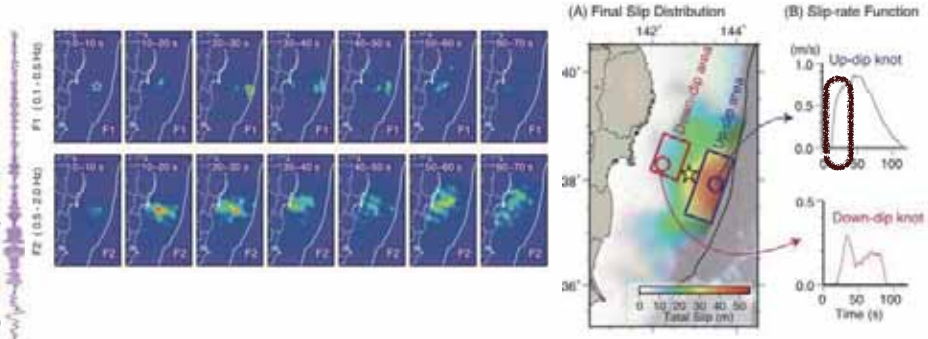
巨大地震・津波地震・M7地震 in 東北沖



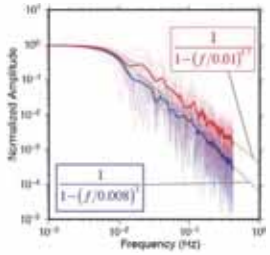
- 20 km より深いところでM7クラスの大地震が発生、また、東北沖地震の強震動生成領域
- 海溝付近で波動エネルギーの放射効率が悪い津波地震（明治三陸地震）が発生
- 巨大地震の震源域と津波地震が発生する領域は重なっている。

すべり分布 (Yagi and Fukahata, 2011)、震源域、強震動生成域（青枠；Kurahashi and Irikura, 2011)

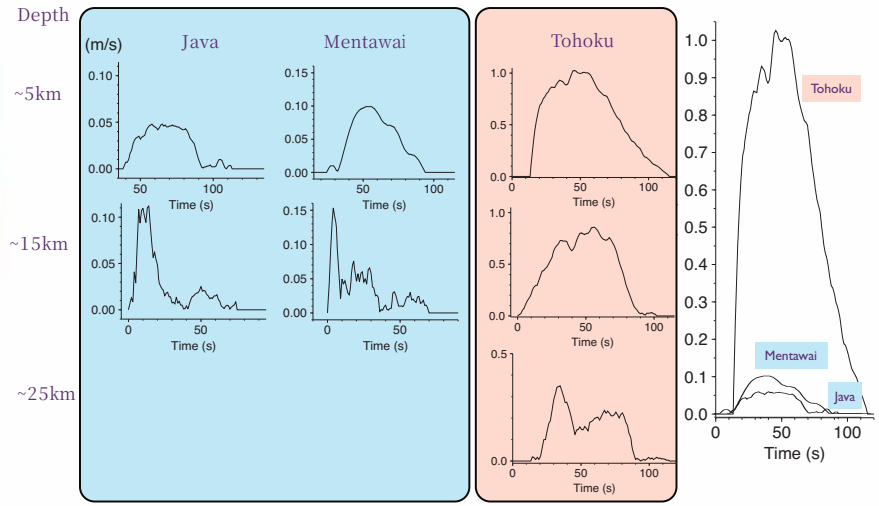
スナップショット



すべり特性の深さ分布は、インバージョンで得られたすべり時間関数で確認することができる。
本来、BPは、ダミーのイメージを写しやすいので、こういった議論は、高分解能のすべり時間関数を求めることができる、インバージョンの結果から議論するべき（現在は、Yagi and Fukahata, 2011, GJI の方法しか存在しない）。



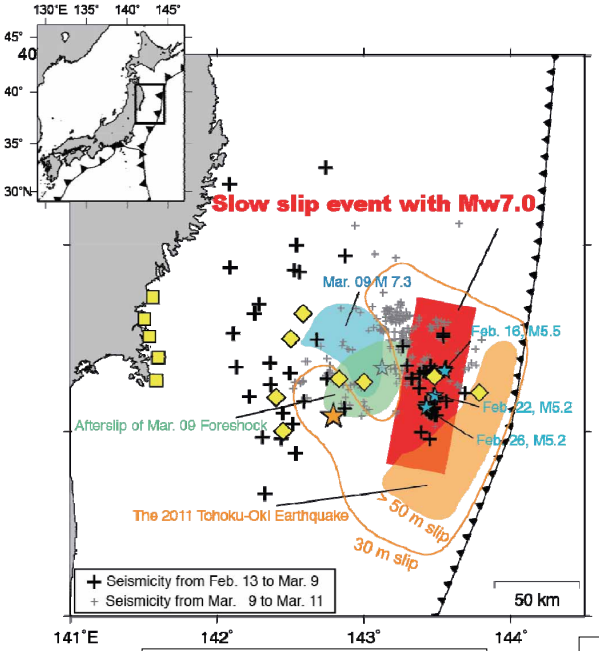
巨大地震と津波地震のすべり速度関数

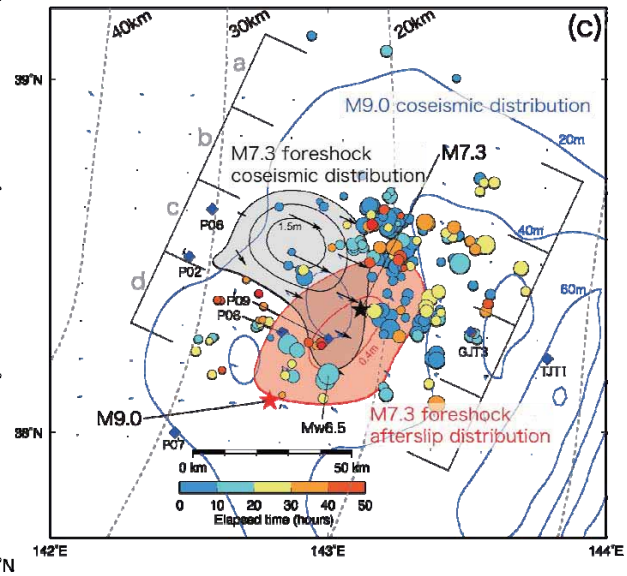


すべり速度関数の周波数特性は類似しているが、すべり加速度が大きく違う。
結果として、すべり速度の最大値が十倍程違う。何故か？

筑波大学　八木勇治　資料

本震発生に先行したすべりイベント





- 2月に10日間程度のSSE
  すべり量：0.4 m, M_W 7.0
- 地震活動の活発化

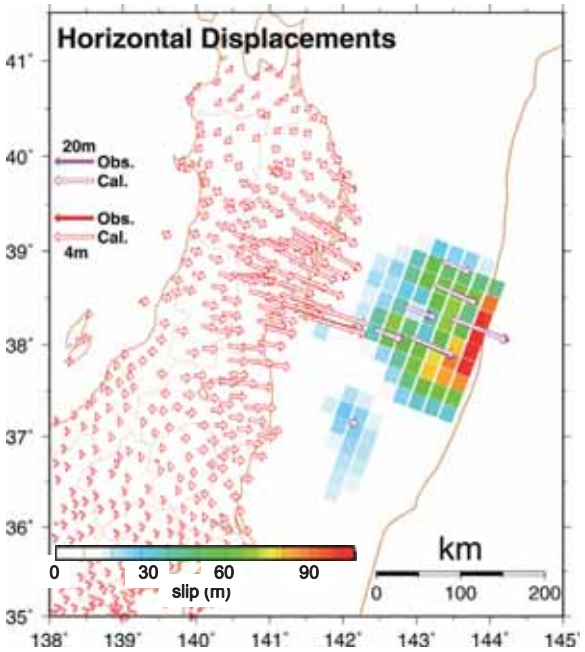
- 3/9　：最大すべり量：1.7m, M_w7.2
- 3/9~11：最大すべり量：0.4m, M_w6.8
- 地震時すべりの浅部延長＋南側で余効すべりが発生

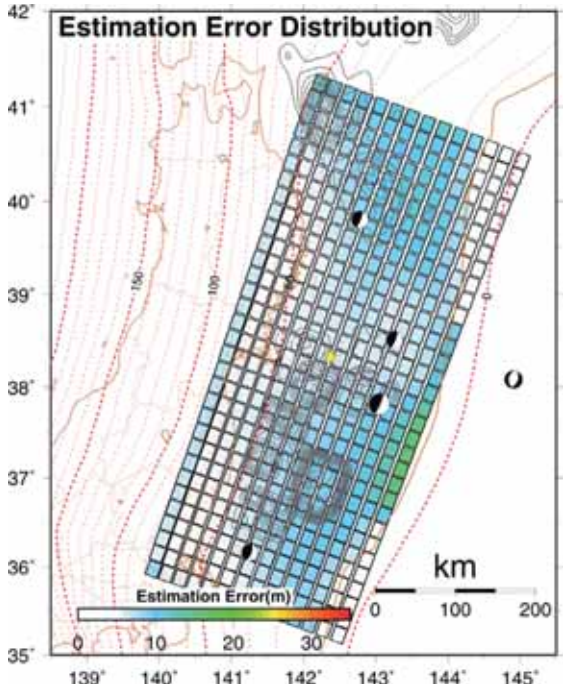
1

Ito et al. (Tectonophys., 2013)

Ohta et al. (GRL., 2012)

地震時変動とすべり分布





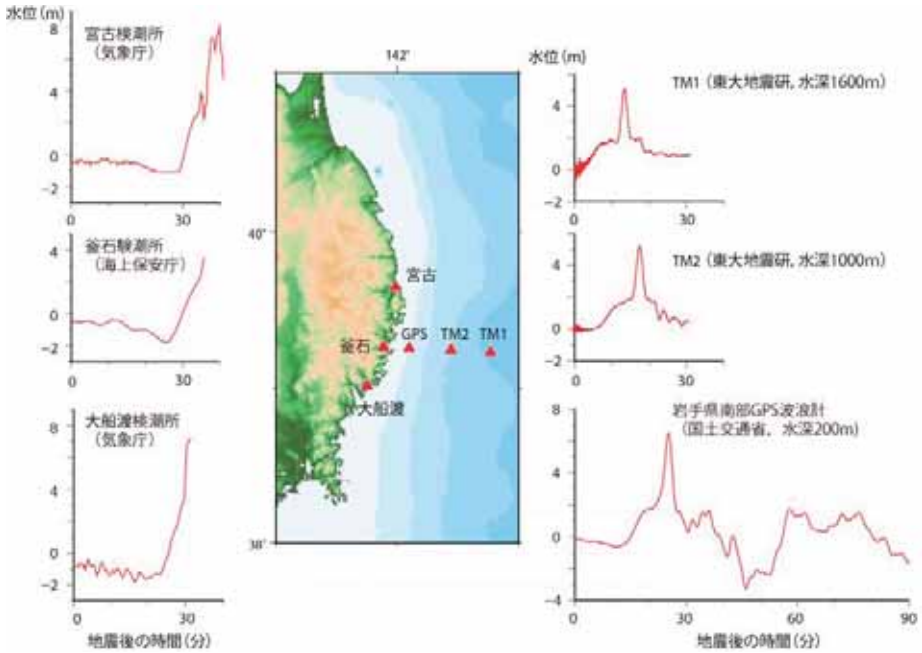
地震時水平変動とすべり分布

推定誤差

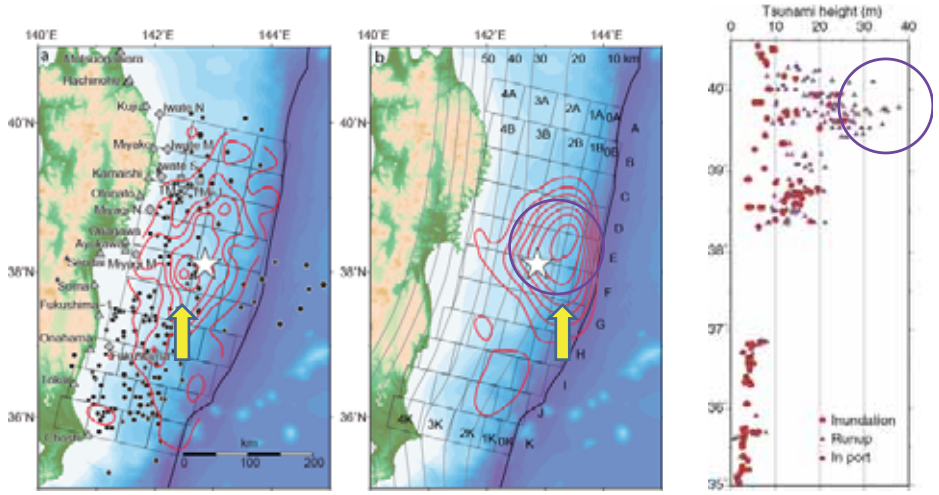
Iinuma et al. (JGR, 2012)

東北大学　日野亮太　資料

津波波形データ



断層面上のすべり量分布と津波高さ



余震（1日間，気象庁）
すべり量分布
強震計記録
Yokota et al. (2011)

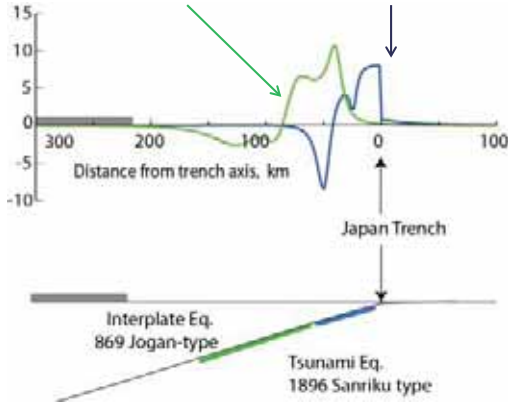
すべり量分布
GPS and GPS/A
国土地理院(2011)

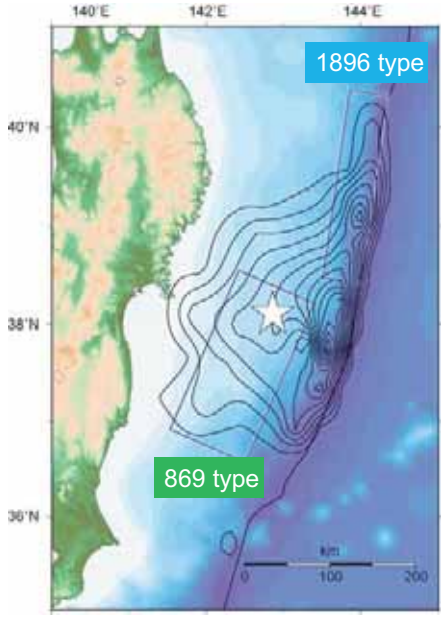
津波高さ
都司ほか (2011)

浅部 (津波地震型）と深部（貞観モデル型）のすべり

貞観モデル型
- 長波長
- 長周期
- 長い遡上距離

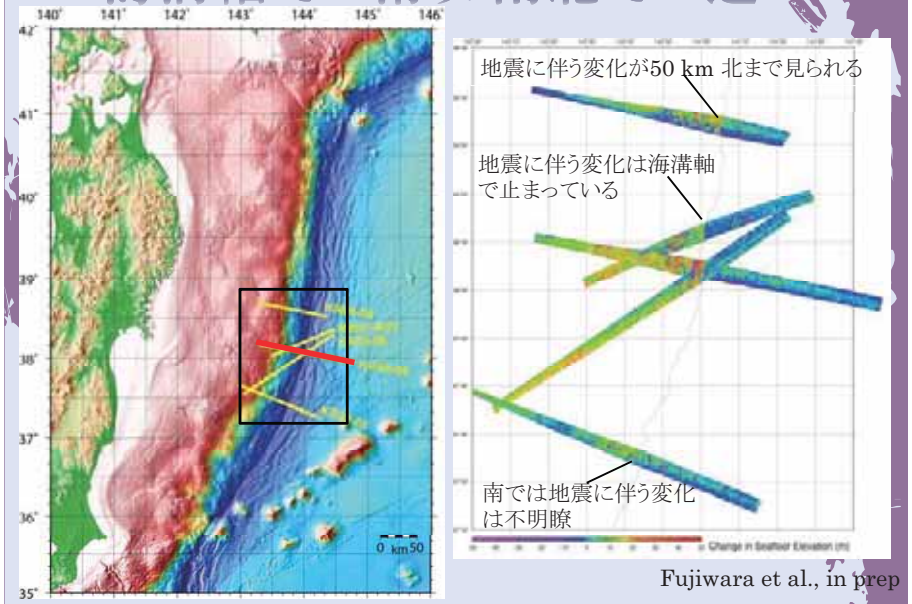
津波地震型
- 短波長
- 短周期
- 短い遡上距離





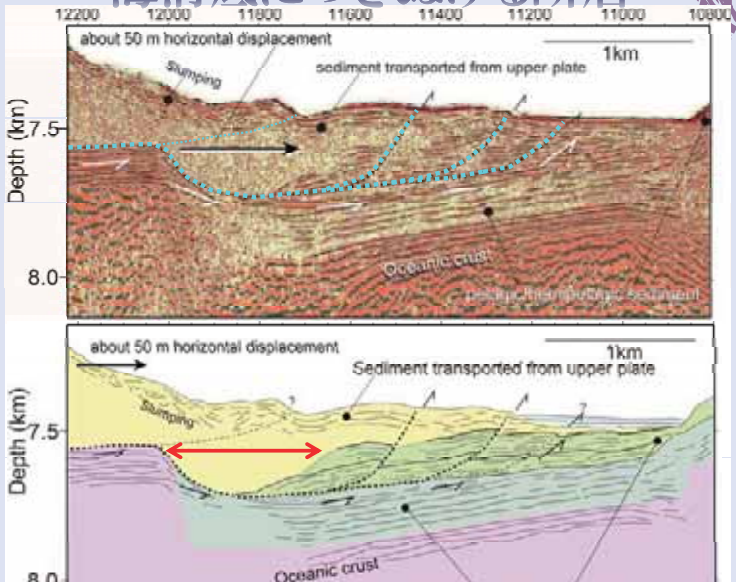
繰り返し: ~800 年　　繰り返し: <100 年

海溝軸での滑り: 南北での違い



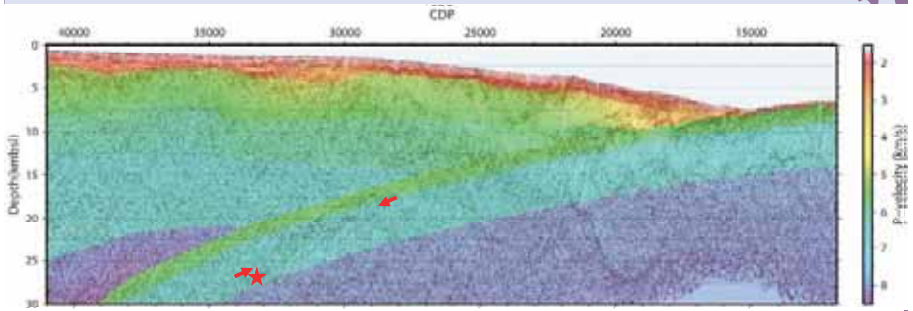
Fujiwara et al., in prep

海溝底につきぬける断層



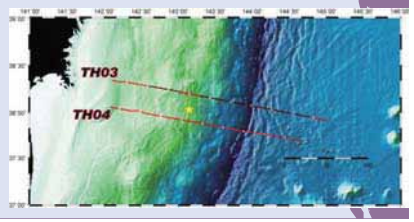
変形構造は1度きりのイベントで作られたものではない

反射面とプレート境界の位置関係



Hypocenter location, Suzuki et al., 2011; Seismic velocity image, Miura et al., 2003

破壊開始点付近の強反射面は沈み込む海洋地殻の内部にある



地震活動の前兆的変化のまとめ

前兆の種類	特徴		発現期間
静穏化	時間	定義によりまちまち．1987年11月頃，1996年頃，2001年頃，2007年頃から静穏化がみられる．	23年前～ および 10数年前～ および 4年前～
	空間	定義によりまちまち．震源域の深部縁辺や北部の他，西南日本を含む日本全国で静穏化が現れた．	
地球潮汐との相関	時間	2000年頃から，前震・本震付近での中規模地震の発生に地球潮汐との強い相関あり．	約10年前～
	空間	前震・本震付近で地球潮汐との強い相関あり．	
b値	時間	遅くとも2005年頃からb値は低下． 前震活動で更に低下．	6年以上前～ および 1ヶ月～ および 2日前～
	空間	低b値域と本震で大きく滑った領域の対応が良い．	
前震	時間	2011年2月中旬頃からまとまった活動．本震直前の3月9日頃からさらに活発化．	1か月前～ および 2日前～
	空間	本震破壊開始点の北東側で群発的な前震活動が発生．前震活動は徐々に本震方向へ移動した． 移動速度（2月：2→5km/day，直前2日間：10km/day）	

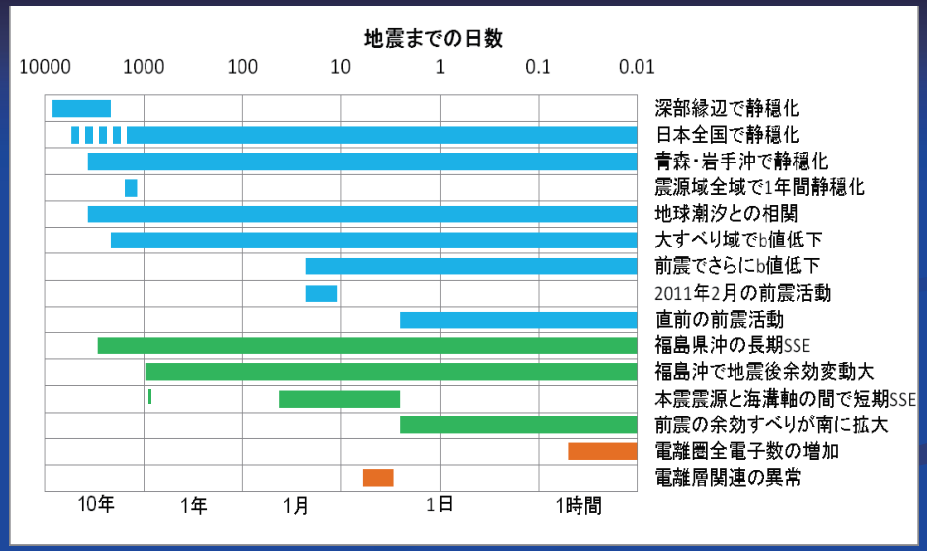
18

地殻変動・電離層関係の前兆的変化のまとめ

前兆の種類	特徴		発現期間
長期的スロースリップ	時間	・2003年頃から本震までスロースリップ ・積算モーメントはMw7.7程度	約10年前～
	空間	本震震源の南西部の宮城県沖から茨城県沖にかけて	
長期的スロースリップ（余効変動大）	時間	・2008年と2010年の福島県沖の地震後 ・本震より余効変動のモーメントの方が大	約3年前～
	空間	福島県沖および周辺	
短期的スロースリップ	時間	・2008年11月下旬にMw6.8のスロースリップ ・2011年1月下旬～最大前震直前までMw7.0のスロースリップ	約2年前～ および 約40日前～
	空間	・本震震源と海溝軸の間	
短期的スロースリップ（前震の余効変動）	時間	・2011年3月9日の最大前震（M7.3）以降本震まで ・すべりの加速は見られなかった	約2日前～
	空間	前震のすべり域の南側に余効変動が拡大　Mw6.8	
電離層関係	時間	2011年3月7日～8日頃から、あるいは本震の約1時間前から	数日前～ および 約1時間前～
	空間	・直前の電離圏全電子数（TEC）異常は本震震源域全体．・数日前のTEC異常はインド洋から西太平洋までの広域．・2～3日前の外向き長期放射は岩手県沖．・3日前の低軌道電離層トモグラフィの異常は北緯45～46度（稚内相当）．	

30

前兆的現象の発現期間



31

M9超巨大地震発生（サイクル）モデル

・周期的
広域準備過程

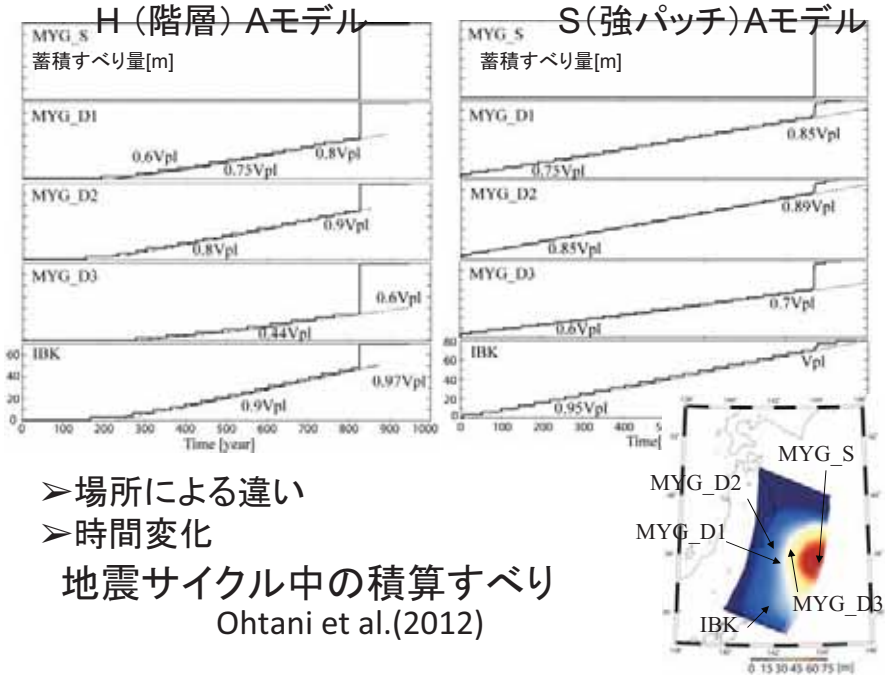
◎アスペリティモデル(準動的地震サイクル)(速度状態依存則)
・階層(HA)モデル(概念モデル)(Hori & Miyazaki,2011)
・強パッチ(SA)モデル(2D) (Kato & Yoshida,2011)
・HA・SAモデル比較(Ohtani et al., 2012)(3D)
・2状態変数(Shibazaki et al., 2011)
・強パッチ→TPパッチ(Mitsui et al., 2012)(2D)

◎動的破壊＋TP地震サイクル(Noda & Lapsuta,2013)

・確率的
広域準備過程？

◎動的(すべり弱化則)
・TP(Mitsui et al.,2011,2012)
・クリティカルテーパー (Accretionary wedge)
(McKenzie & Jackson,2012, Kimura etal,2012, 深尾・他2012)
・Poro-plastic wedge (Ma, 2011)(Off-fault poro-plasticity)
・海山の沈み込み(Duan, 2012)
・Overshoot (Ide et al.,2011)
・Multi-scale cascade dynamic rupture
(Aochi & Ide,2011, Ide & Aochi,2012)

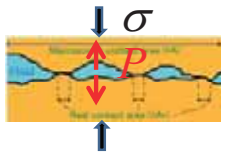
(松澤,2011)
に加筆



➢場所による違い
➢時間変化
地震サイクル中の積算すべり
Ohtani et al.(2012)

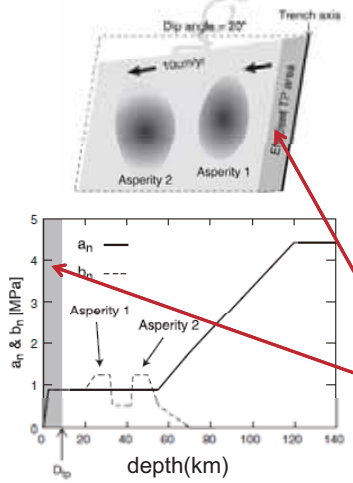
間隙流体：地震サイクルに及ぼすTPの影響

地震時摩擦発熱により流体が膨張してPが大きくなる

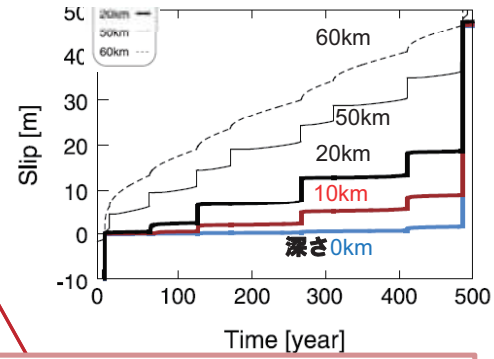


Mitsui et al. (2012):
:Kato&Yoshida(2011)+TP

$$\tau_f = \mu(\sigma - P)$$

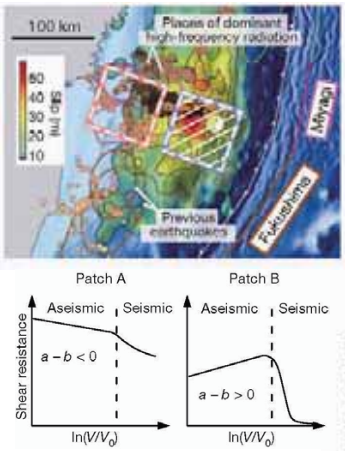


2011年東北地方太平洋沖地震サイクル
TPモデル

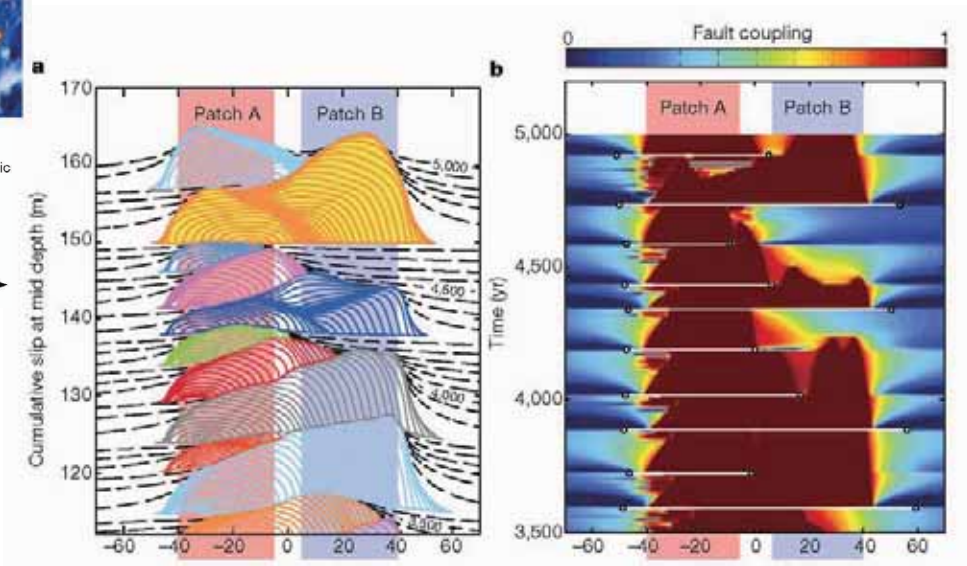


浅部の強パッチK&Y(2011)
の代わりにTP(Thermal Pressuroization)
→浅部特大すべり・長い地震サイクル

Noda&Lapsuta(2013)



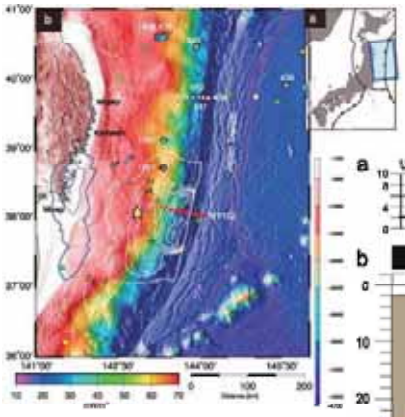
パッチA:
速度弱化＋No　TP
パッチB:
速度強化＋TP



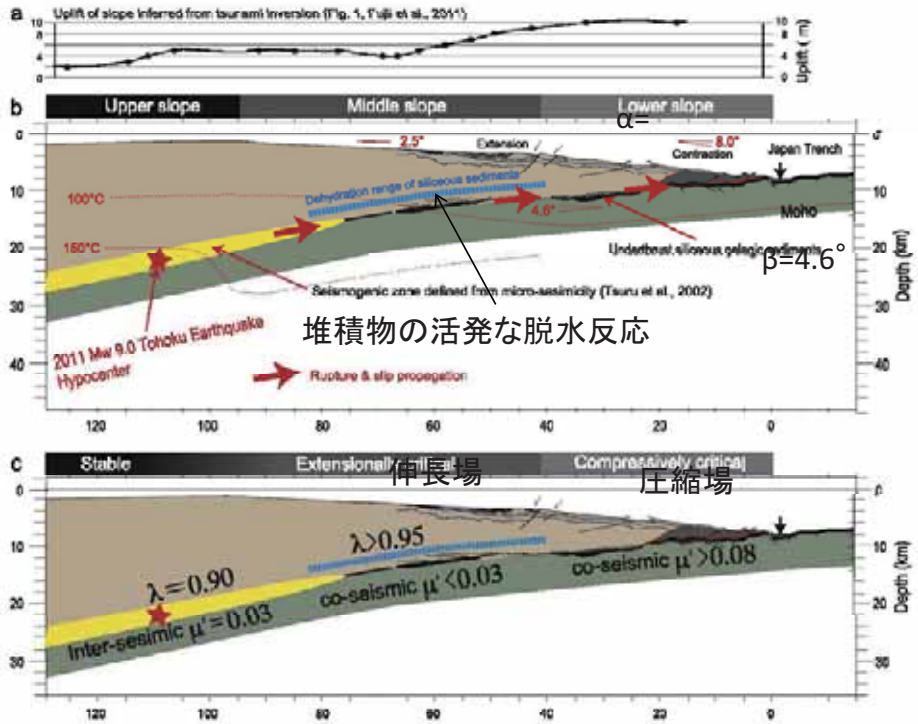
中間深さにおける積算すべり量　　断層カップリング時間変化
実線:地震時　1秒間隔　点線:地震間　50年間隔

地震と地震の間にゆっくり滑る事もあれば大地震直前まで固着している場合もあり、また、近くで発生した地震破壊を止めるバリアとして働く場合もあれば、そのような地震破壊にきっかけを得て自らも破壊し、大きな地震性滑りを起こす事もある。

Critical taper　Kimura et al.(2012)



特大すべり
地震時にMiddle slopeのプレート境界摩擦が低下して伸張場
Lower slopeのプレート境界摩擦が上昇し圧縮場



京都大学　平原和朗　資料

第１９９回地震予知連絡会重点検討課題について
タイトル「日本海で発生する地震と津波」

趣旨説明者　北海道大学　地震火山研究観測センター　谷岡勇市郎

2011 年 3 月 11 日に M9.0 の東北地方太平洋沖地震が発生したことを受けて，地震予知連絡会では，重点検討課題として、巨大地震の発生原因等について検討してきた．第 190 回，191 回，193 回では「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」についての検討が行われ、第 192 回，194 回，195 回では「プレート境界に関するわれわれのイメージは正しいか？」と題して，南海トラフ・南西諸島海溝，千島海溝，相模トラフ・首都圏直下におけるプレート境界に対する現状の考え方について整理・検討を行ってきた.

そこで第199回地震予知連絡会では、残された日本海側の巨大地震や津波について議論することとなった。日本海東縁部では過去にM8クラスの巨大地震が幾度も発生し、その津波による被害も甚大であった。その日本海東縁部では、プレート境界が南北方向に分布する何条かの断層・褶曲帯（ひずみ集中帯）より成り、幅をもった領域全体で圧縮力によるひずみを解消するものと考えられている。そのため、陸域から海域にかけた地下構造は複雑で、震源断層の分布も複雑になると考えられている。それらを理解するために、「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究プロジェクト」が立ち上がり、最近多くの成果が得られている。

今回は、現在までに得られた、日本海東縁部での最新の陸・海構造探査の成果、地殻変動観測による成果、海底地形・海底地質調査結果、最新の津波堆積物調査結果、さらには歴史地震の成果のまとめから、日本海東縁部で発生する大地震の震源断層に対する理解を深めることを目的とする。

平成２５年２月１８日
地震予知連絡会事務局

平成２５年度地震予知連絡会の開催について

１．平成２５年度地震予知連絡会の開催日（案）

平成２５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１９９回	平成２５年　５月３０日（木）
第２００回	平成２５年　８月２１日（水）
第２０１回	平成２５年１１月２２日（金）
第２０２回	平成２６年　２月１７日（月）

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１９９回地震予知連絡会
　課題名：日本海で発生する地震と津波
　趣旨説明者：谷岡委員

２．第２００回地震予知連絡会
　課題名：短期予知手法の検討と評価
　趣旨説明者：山岡副会長

３．第２０１回地震予知連絡会
　課題名：　地震・津波即時推定とモニタリングの役割（仮）
　趣旨説明者：土井委員

４．第２０２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（仮）
　趣旨説明者：（未定）