

平成 25 年 8 月 21 日

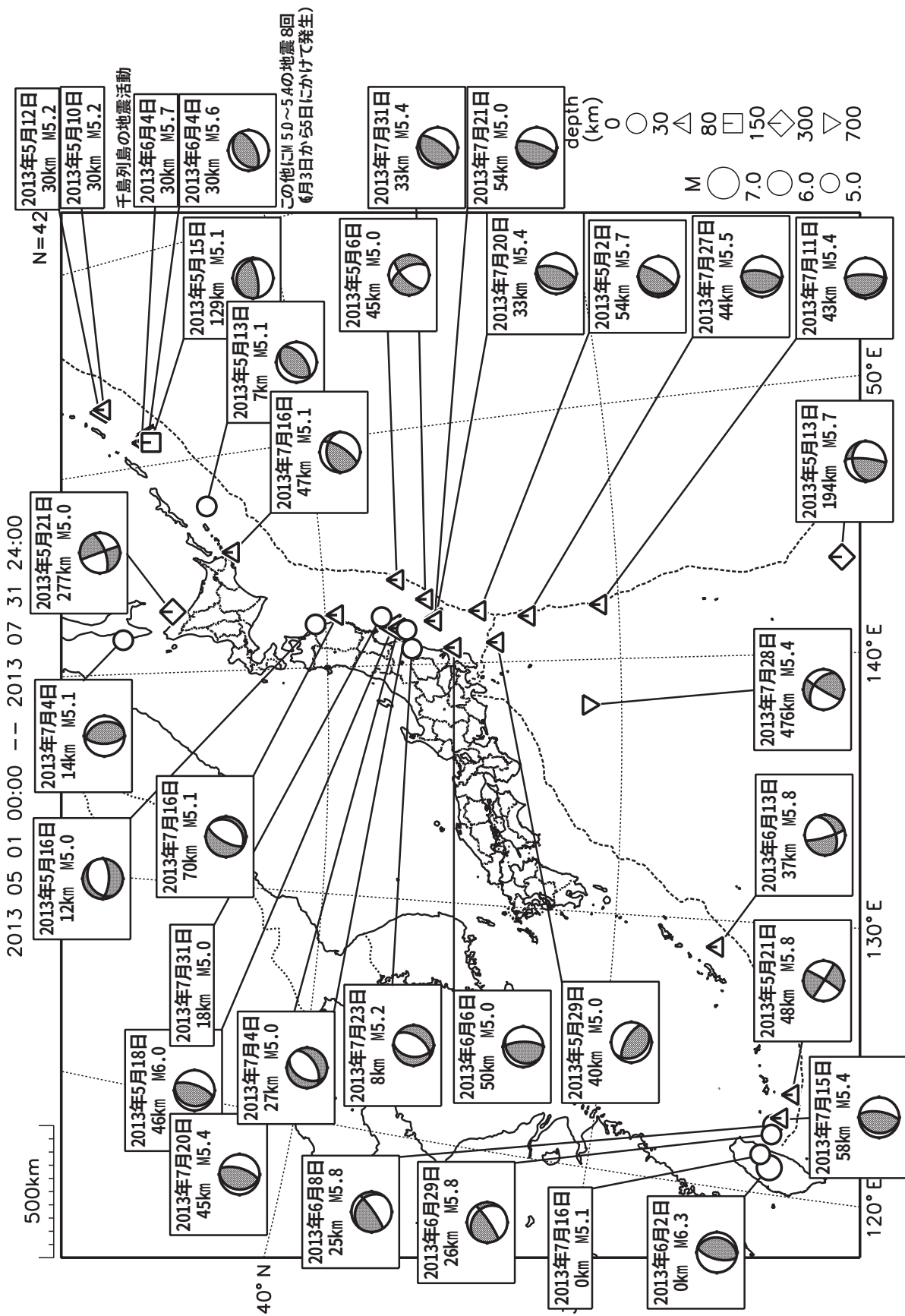
第 200 回 地震予知連絡会

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 (2013年5月～7月、 $M \geq 5.0$)

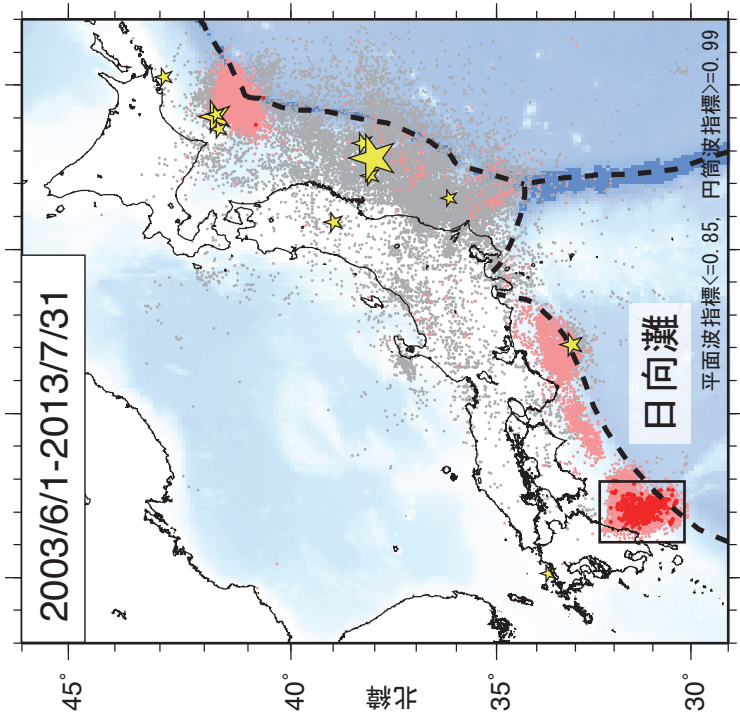


発震機構は気象庁によるCMT解

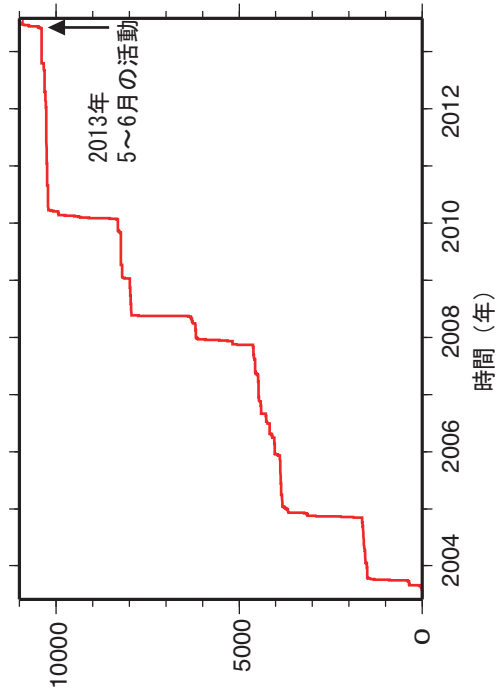
气象厅作成

日本周辺における浅部超低周波地震活動（2013年5月～7月）

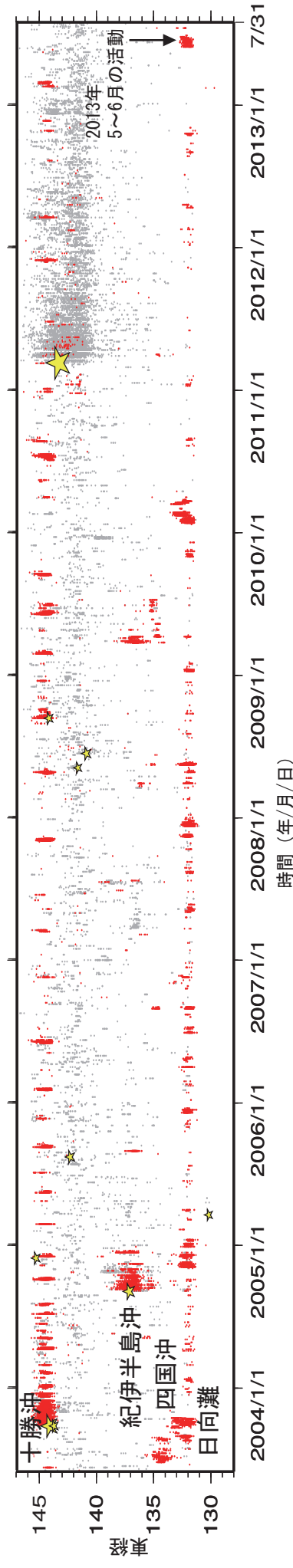
● 5月下旬から6月下旬に日向灘周辺で活発な超低周波地震活動
 （活発な活動としては2010年1月から3月頃の活動以来）



第1図. 2003年6月1日から2013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, 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 (2013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. 日向灘周辺における検出イベントの累積カウンターの時間変化. 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.

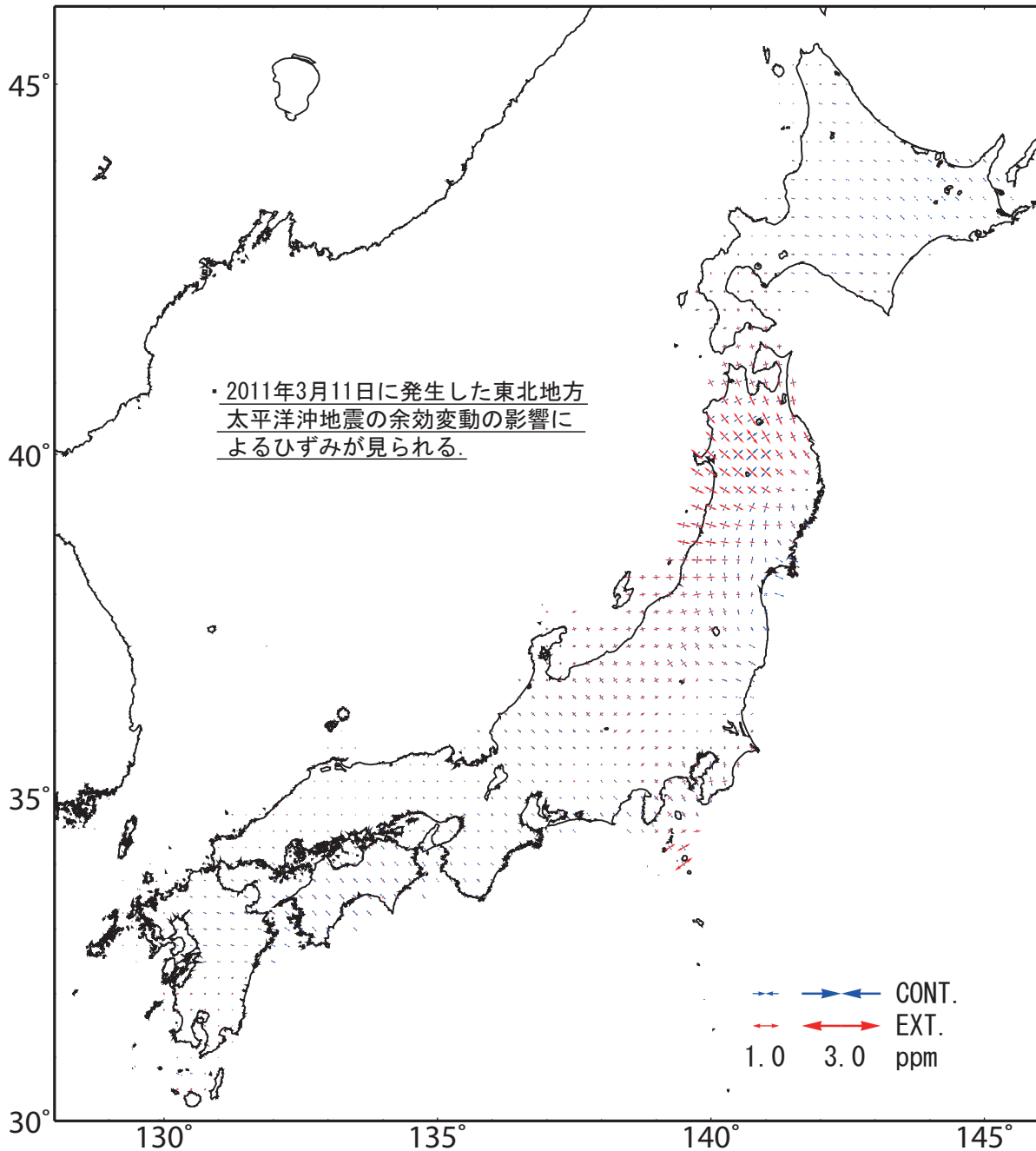


第3図. 2003年6月1日から2013年7月31日までの期間に検出されたイベントの時空間分布. 検出されたイベントを防災科研 Hi-net 手動, または自動検測震源と照合し, 対応する地震が見出されたイベントを灰色で, それ以外を赤色の点でそれぞれ示す. その他は第1図に同じ.

G N S S連続観測から推定した日本列島のひずみ変化

基準期間:2012年06月29日 ― 2012年07月13日 【F3:最終解】

比較期間:2013年06月29日 ― 2013年07月13日 【F3:最終解】



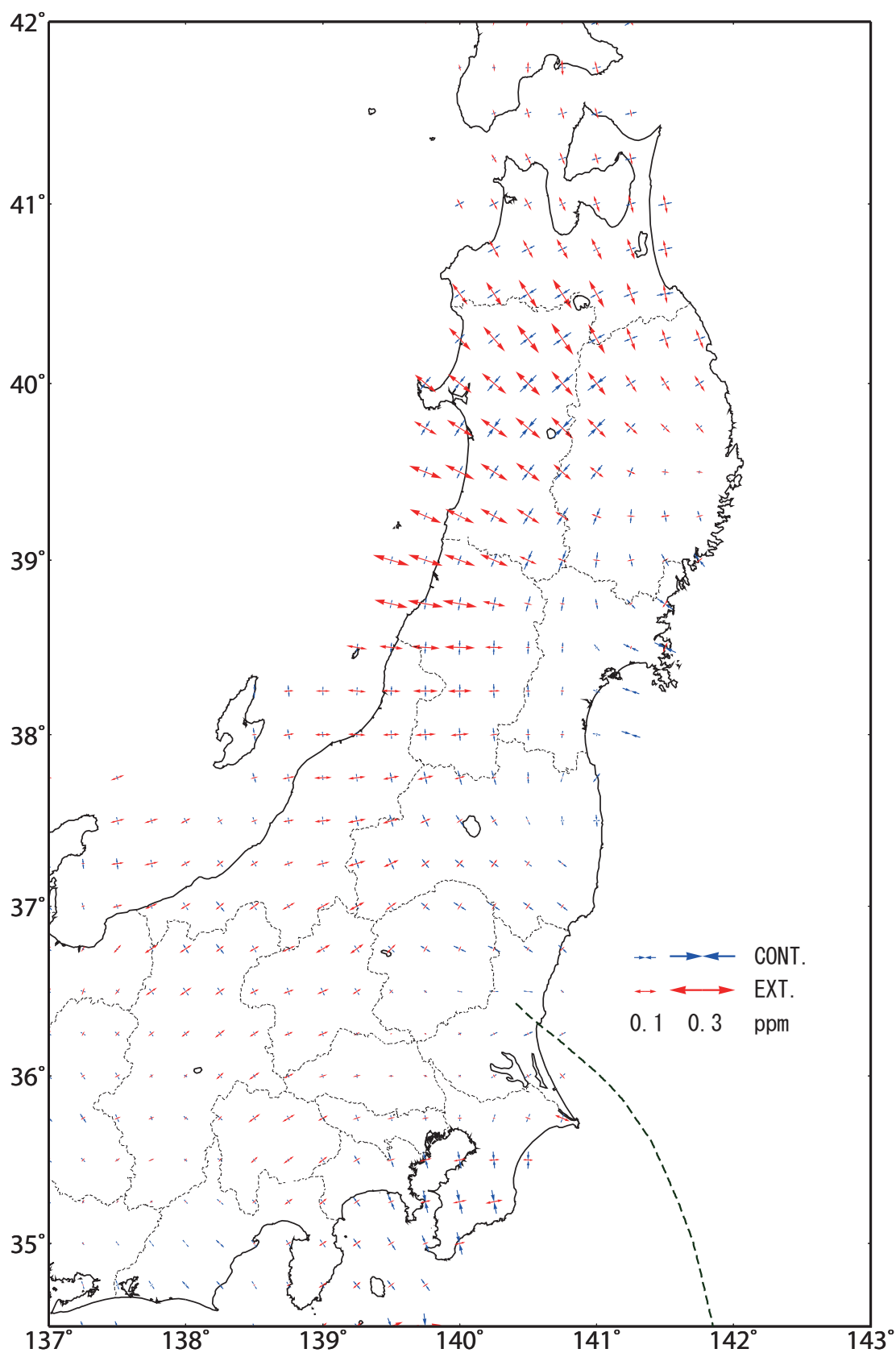
G N S S座標値データに基づいて1年間のひずみ変化図を作成した。座標値の15日分の平均値から1年間の変位ベクトルを算出し、それに基づいてひずみを計算している。

G N S S連続観測データから推定した地震後のひずみ変化（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:2013年03月30日 -- 2013年04月13日 【F3:最終解】

比較期間:2013年06月29日 -- 2013年07月13日 【F3:最終解】



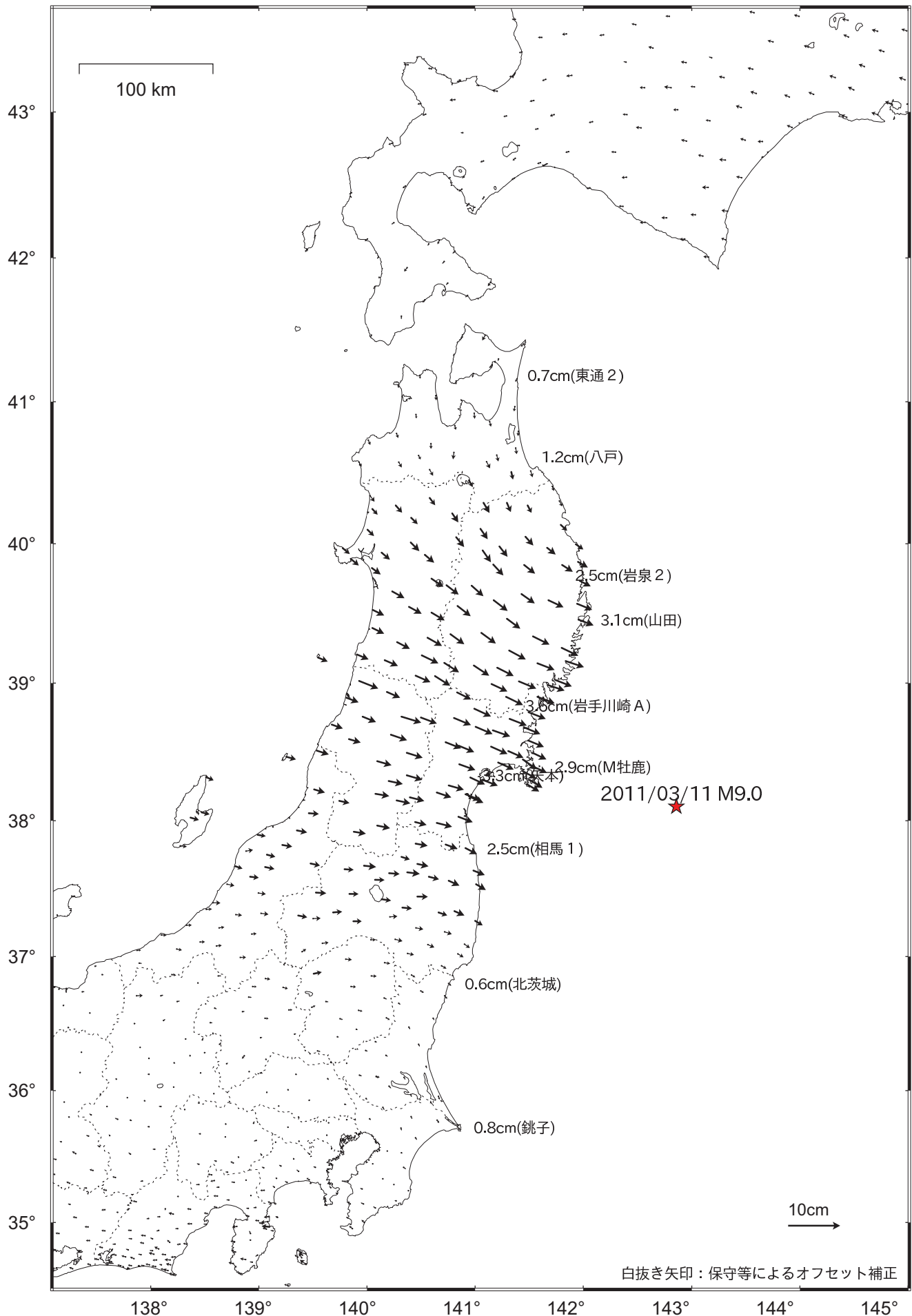
・太点線はフィリピン海スラブの北東端 (Uchida et al., 2010, JGR)

東北地方太平洋沖地震（M9.0）後の地殻変動（水平）－3ヶ月－

東北地方を中心に東向きの変動が見られる。

基準期間：2013/04/07 -- 2013/04/13 [F 3：最終解]

比較期間：2013/07/07 -- 2013/07/13 [F 3：最終解]



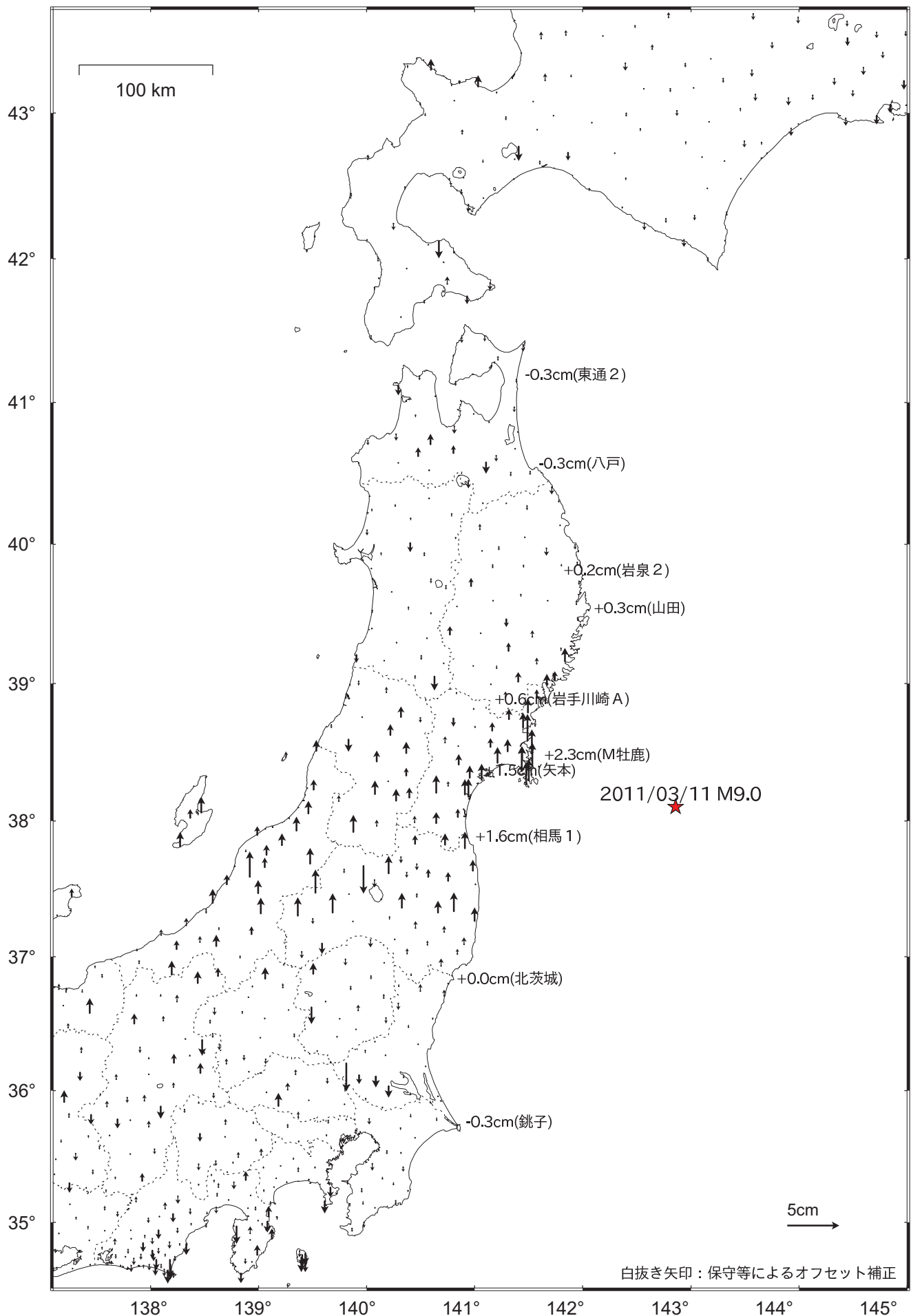
☆ 固定局：福江（長崎県）

東北地方太平洋沖地震（M9.0）後の地殻変動（上下）－3ヶ月－

宮城県付近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：2013/04/07 -- 2013/04/13 [F 3：最終解]

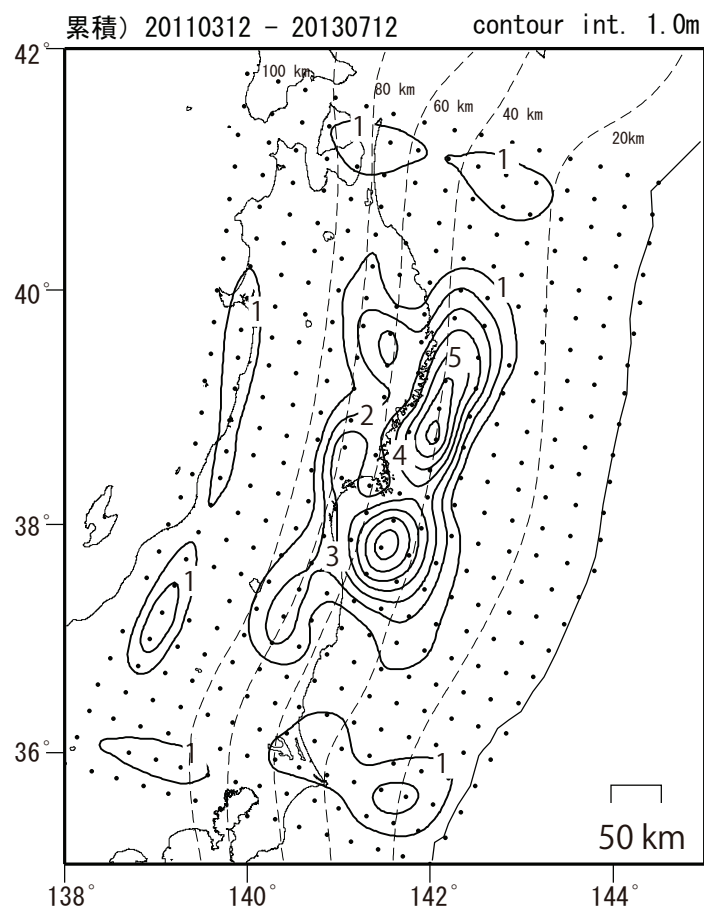
比較期間：2013/07/07 -- 2013/07/13 [F 3：最終解]



☆ 固定局：福江（長崎県）

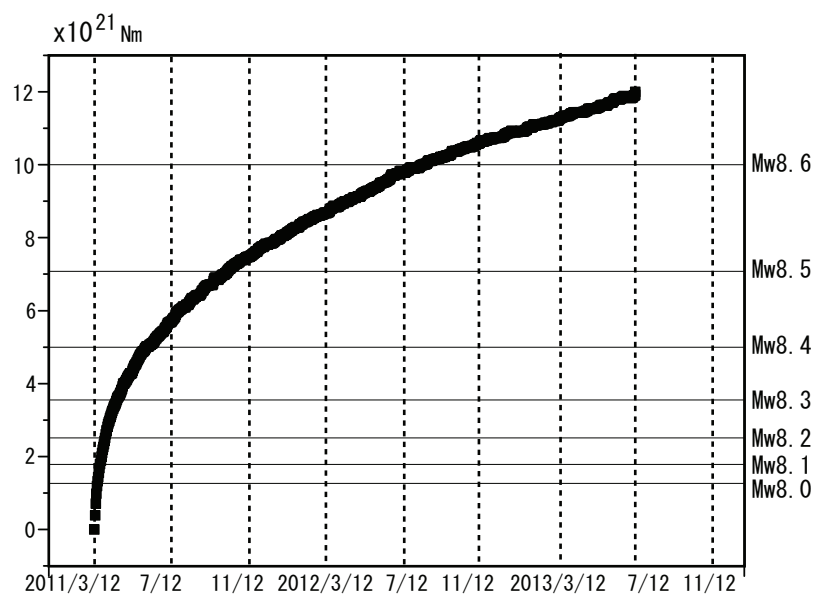
平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震後の プレート境界面上の滑りの時間変化（5）（暫定）【モデル1】

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 - 20130712 【F3最終解（R3速報解も含む）】



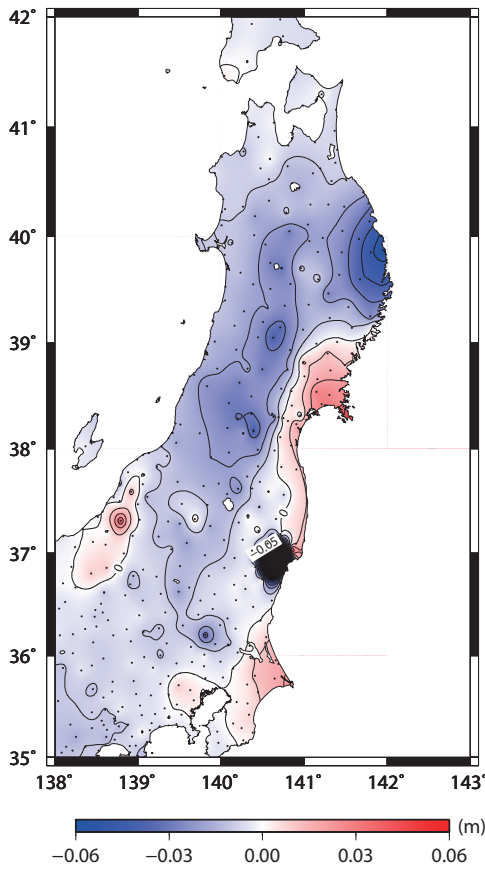
地震直後の約30時間のモーメント増加量は含まれていない。

（剛性率：40GPa）

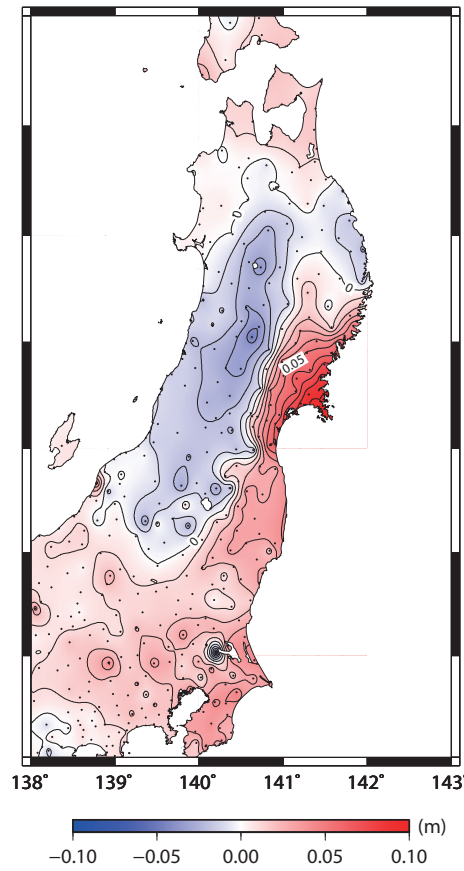
平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震後の 3つの期間における上下変動と滑り分布

上下変動

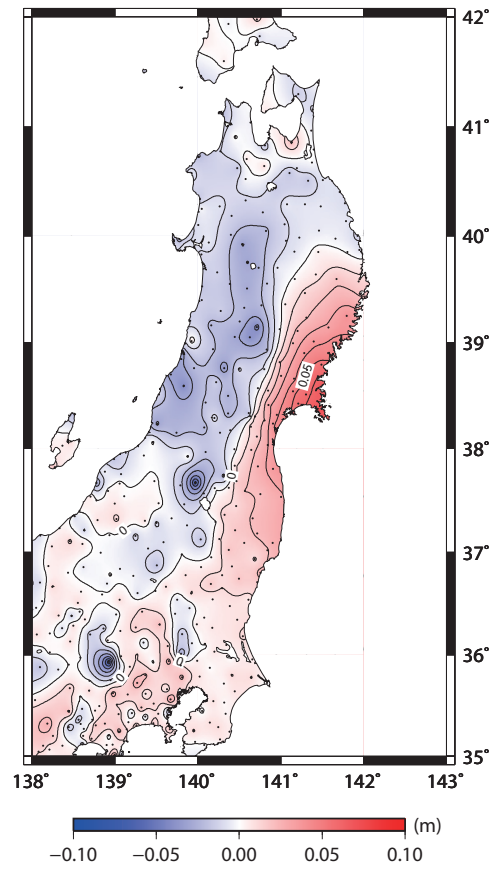
2011/4-2011/7



2011/7-2012/7

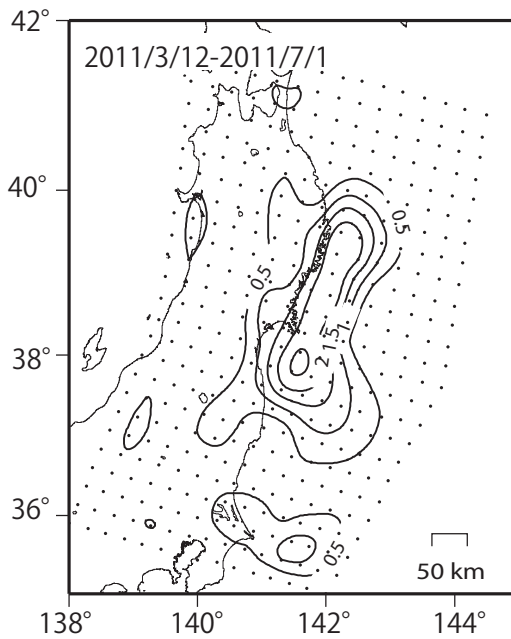


2012/7-2013/7

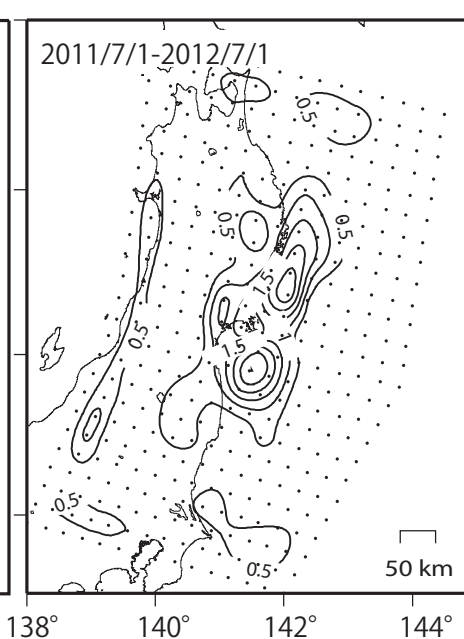


滑り分布

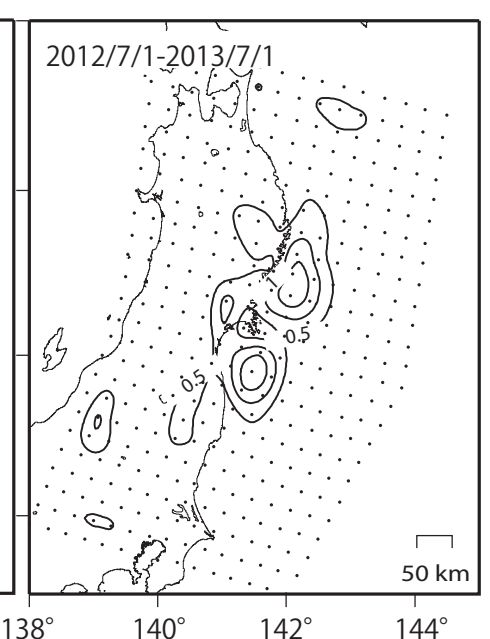
2011/3/12-2011/7/1



2011/7/1-2012/7/1

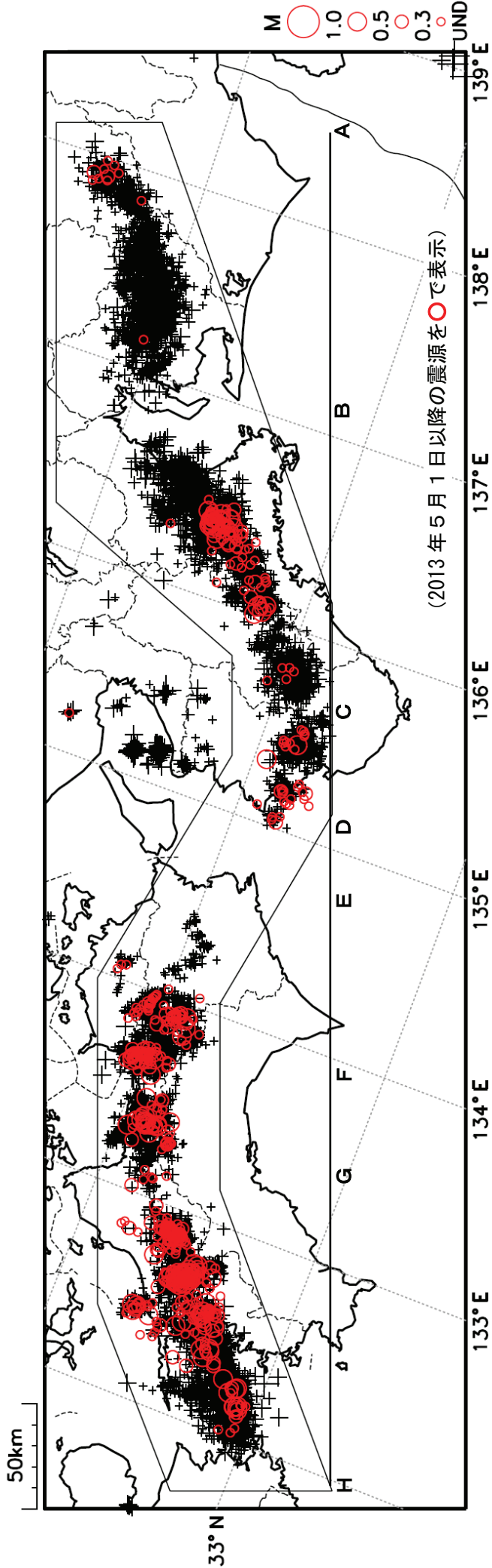


2012/7/1-2013/7/1

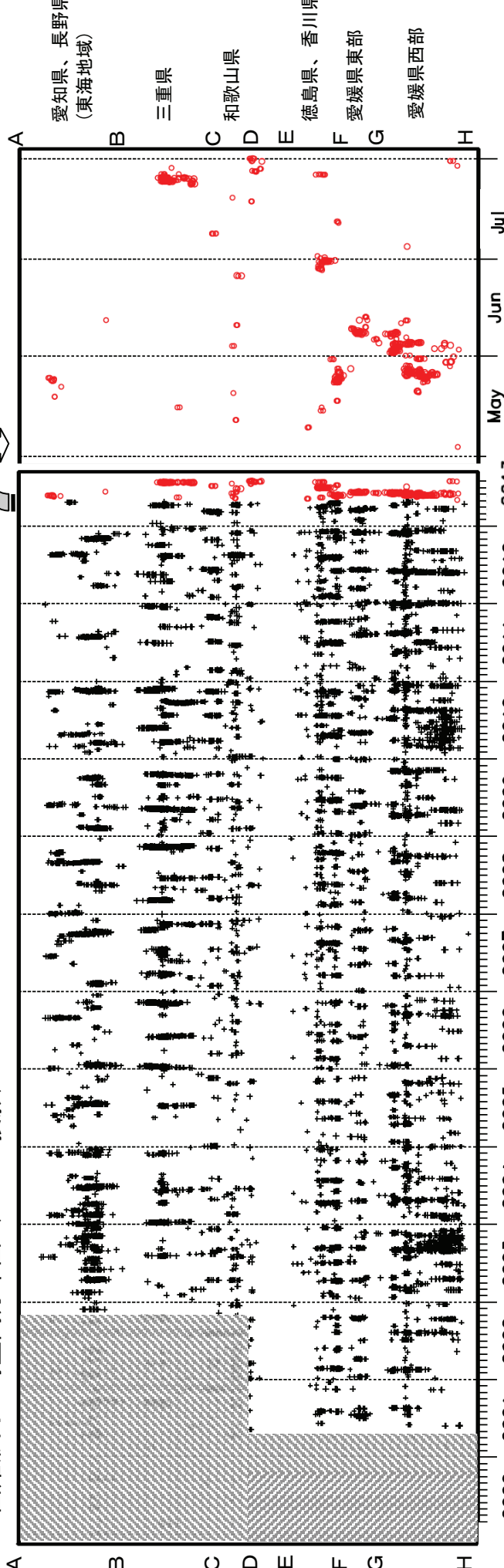


深部低周波地震活動（2000 年 1 月 1 日～2013 年 7 月 31 日）

深部低周波地震は、フィリピン海プレートと陸のプレートの境界のすべりと同期して発生している地震で、プレート境界の状態の変化を監視するために、その活動を監視している。



上図矩形内の時空間分布図（A－H 投影）



※時空間分布図中、網掛けした期間は現在と比較して十分な検知能力がなかったことを示す。

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（2013 年 5 月～7 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～中部，5 月 20 日～6 月 13 日．
- 上記以外の主な活動：紀伊半島中部，7 月 23 日～26 日．
四国東部，5 月 23 日～28 日，6 月 27 日～7 月 1 日．豊後水道，7 月 29 日～8 月 4 日．

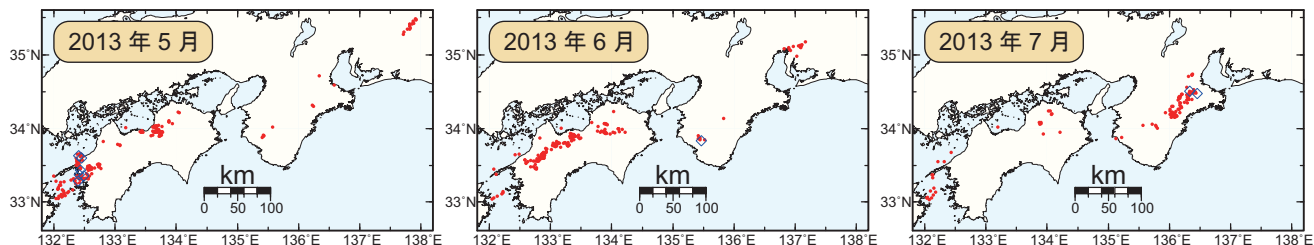


図 1. 西南日本における 2013 年 5 月～7 月の月毎の深部低周波微動活動．赤丸はエンベロープ相関・振幅ハイブリッド法 (Maeda and Obara, 2009) およびクラスタ処理 (Obara et al., 2010) において，1 時間毎に自動処理された微動分布の重心である．青菱形は周期 20 秒に卓越する深部超低周波地震 (Ito et al., 2007) である．

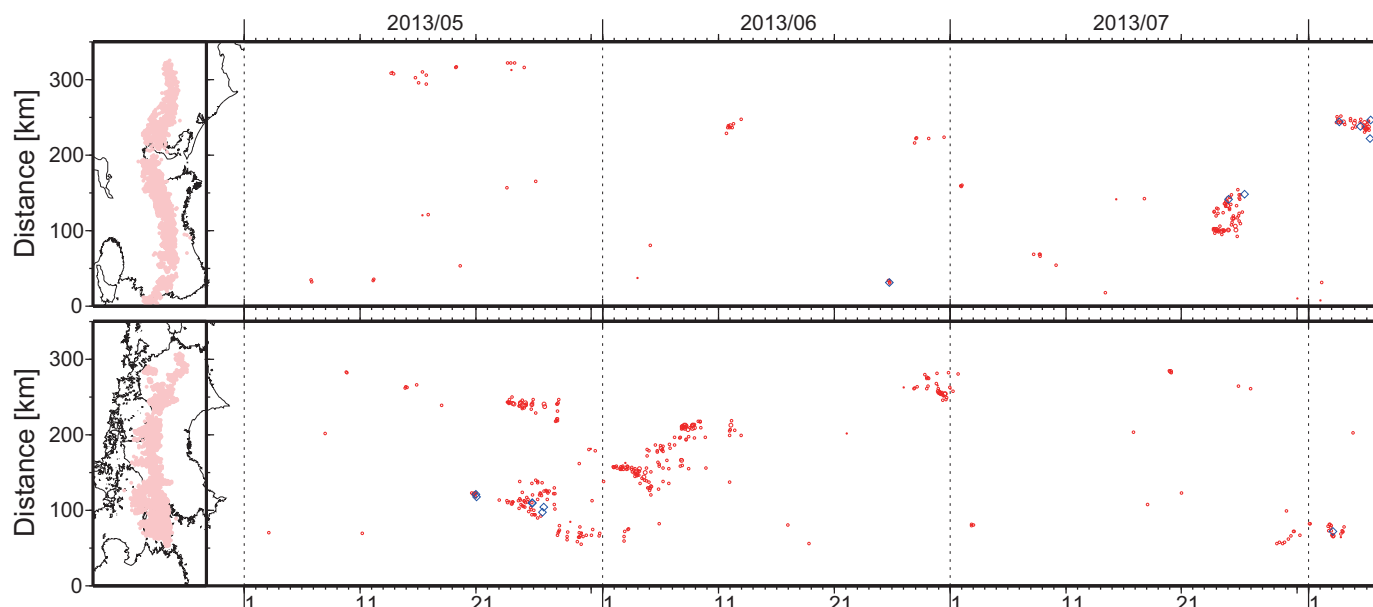


図 2. 2013 年 5 月～8 月 6 日の深部低周波微動（赤）および，深部超低周波地震（青菱形）の時空間分布．

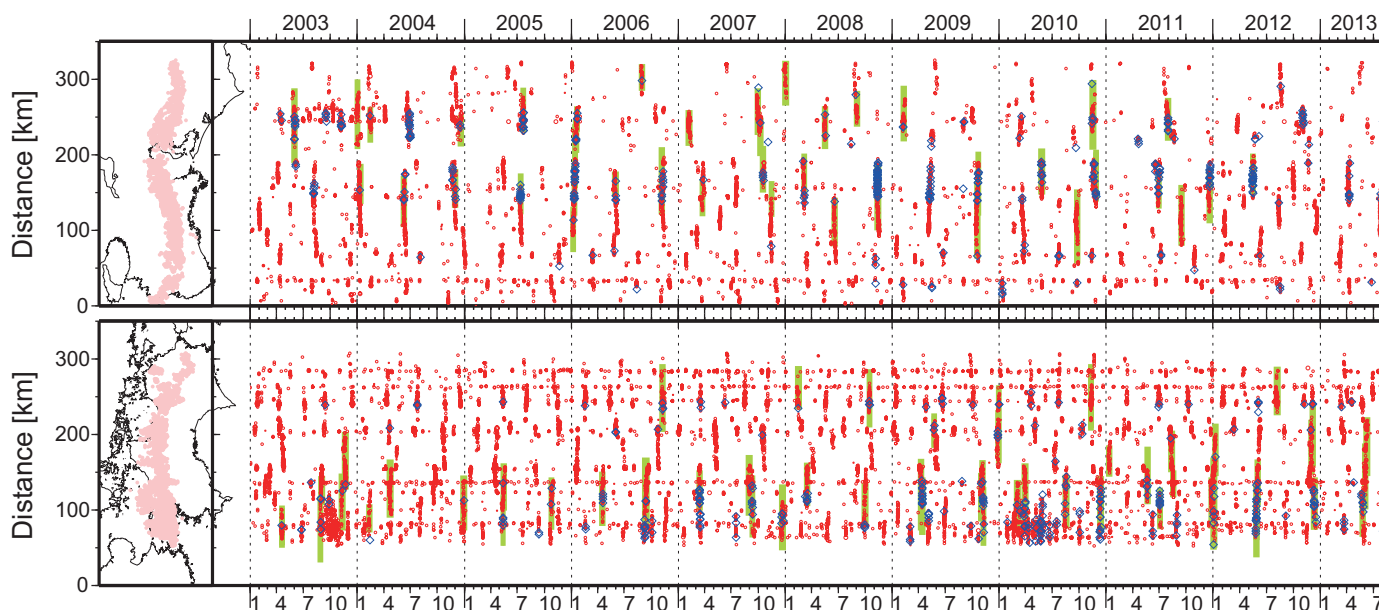
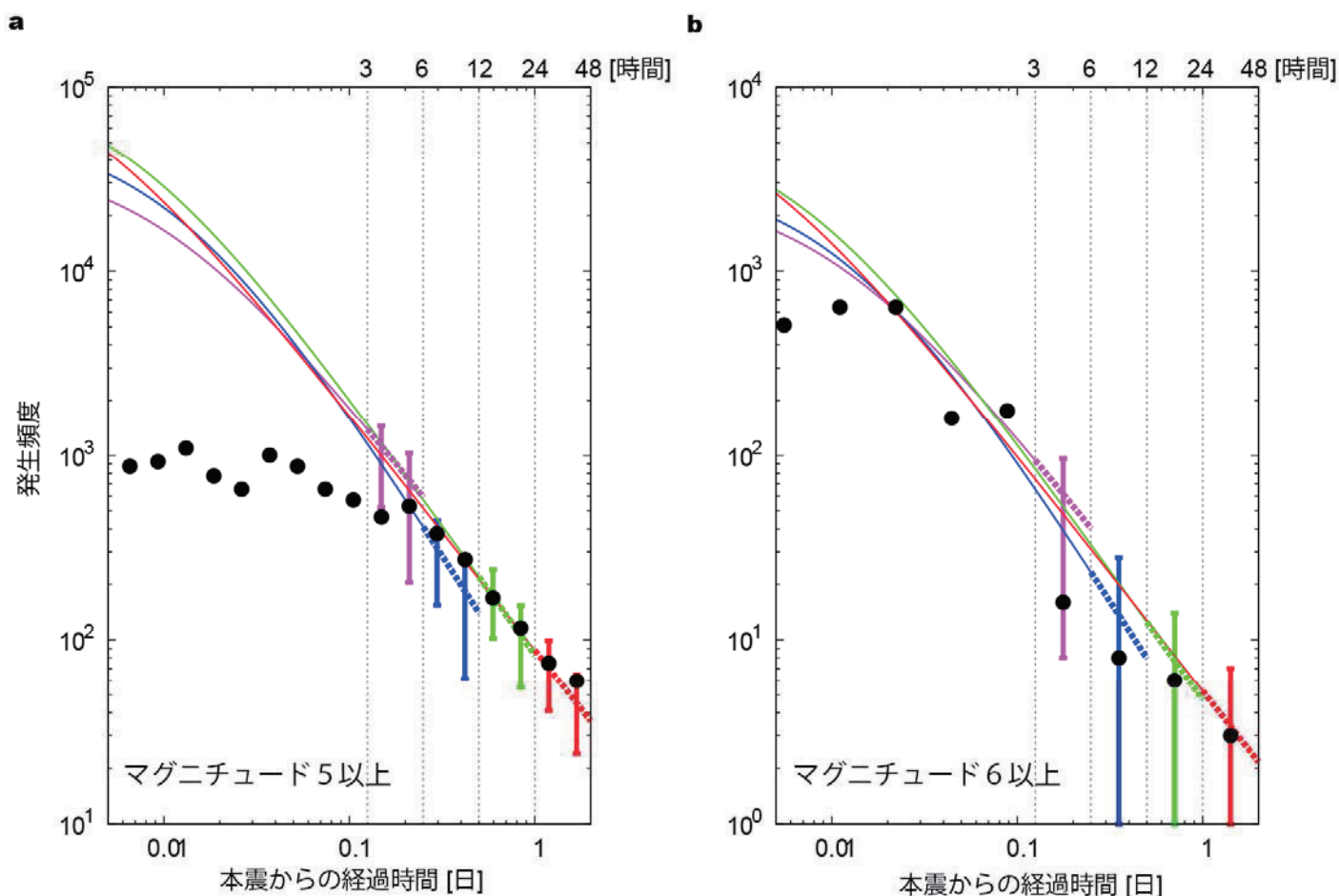


図 3. 2003 年 1 月～2013 年 8 月 6 日までの深部低周波微動（赤）および，深部超低周波地震（青菱形）の時空間分布．緑太線は，傾斜変動から検出された短期的スロースリップイベント (SSE)．



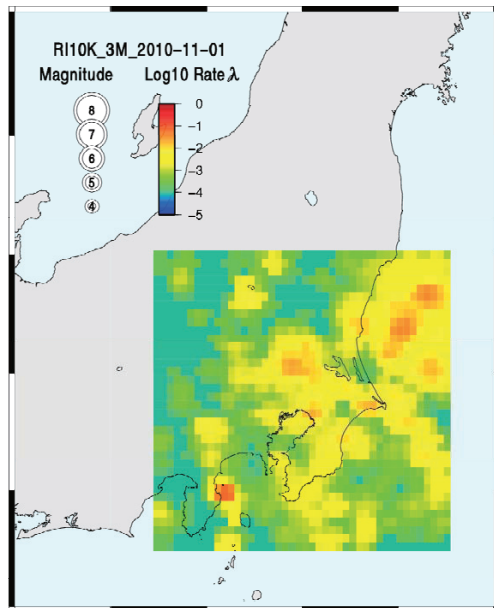
第5図。余震発生率の予測と発生頻度の結果(左図はM5以上、右図はM6以上)。本震後3、6、12、24経過時までには得られたデータからそれぞれ実際に起きていた余震の発生率を推定し(それぞれピンク、青、緑、赤の曲線)、その後、各々6、12、24、48経過時までの余震の予測発生率(対応する色の太い延長点線)。黒丸は実際の頻度率と誤差。

Figure 5. Forecast of underlying aftershocks and observed aftershocks. Closed circles represent empirical occurrence rates ($\# / \text{day}$) of observed aftershocks with magnitude (a) $M \geq 5.0$ and (b) $M \geq 6.0$. Occurrence rates of underlying aftershocks with magnitude (a) $M \geq 5.0$ and (b) $M \geq 6.0$, estimated for a learning period (solid curve) and forecasted for the following period of the same duration (dashed curve). Learning periods are 3 (magenta), 6 (blue), 12 (green), and 24 (red) h after the main shock. Bars indicate 95% predictive intervals of empirical occurrence rates (see Supplementary Information).

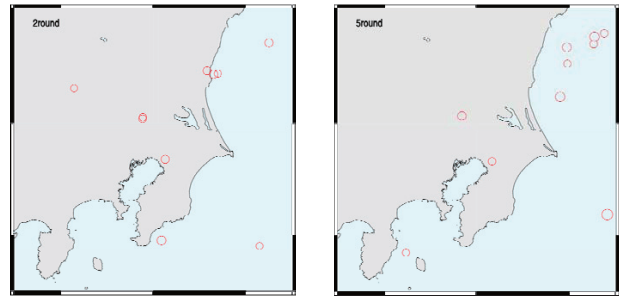
重点検討課題の検討

「地震の短期予測の現状と評価」

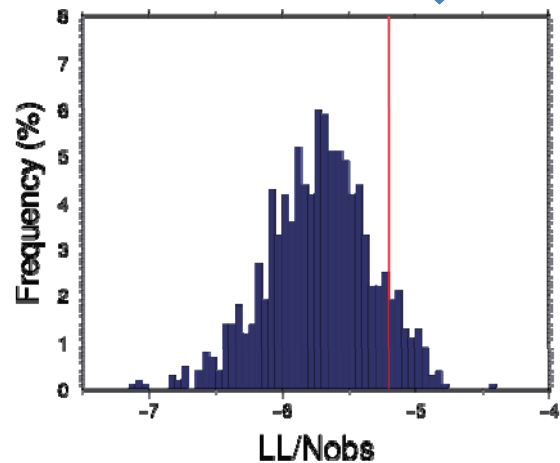
地震発生予測モデルによる
期待値マップ(RI10K)



疑似カタログ (x 1000個)



対数尤度値の分布

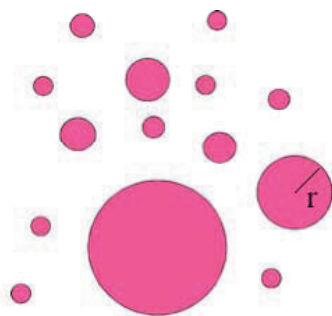


3month 6th 2011/02/01-2011/05/01

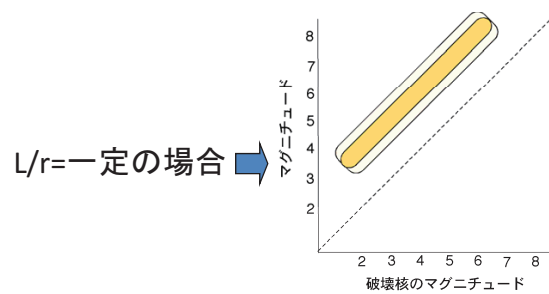
TEST		L	N(under)	N(over)	M	S	forecast(obs)	fore/obs
MODEL	LL(L)	gamma	delta1	delta2	kappa	zeta	forecast(obs)	fore/obs
HISTETAS7PA	-26311.15385	0.000	0.00000	1.00000	0.000	0.000	126.75051(3702.0)	0.03
HISTETAS5PA	-26439.18496	0.000	0.00000	1.00000	0.000	0.000	126.75947(3702.0)	0.03
RI100K	-26482.17245	0.000	0.00000	1.00000	0.000	0.000	119.41082(3702.0)	0.03
RI50K	-26766.78596	0.000	0.00000	1.00000	0.000	0.000	119.41082(3702.0)	0.03
RI30K	-26964.84176	0.000	0.00000	1.00000	0.000	0.000	119.41082(3702.0)	0.03
TRIPLES1011	-27729.81732	0.000	0.00000	1.00000	0.000	0.000	118.55716(3702.0)	0.03
RI10K	-27800.54045	0.000	0.00000	1.00000	0.000	0.000	119.41082(3702.0)	0.03
MARFS	-27890.97891	0.000	0.00000	1.00000	0.000	0.000	114.74027(3702.0)	0.03

* 2011年東北沖地震を含むラウンド

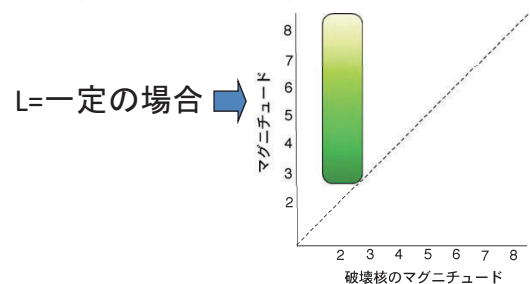
前駆すべりと地震の最終的サイズとの関係



アスペリティ分布.
 r : アスペリティサイズ.
 L : 臨界すべり量.



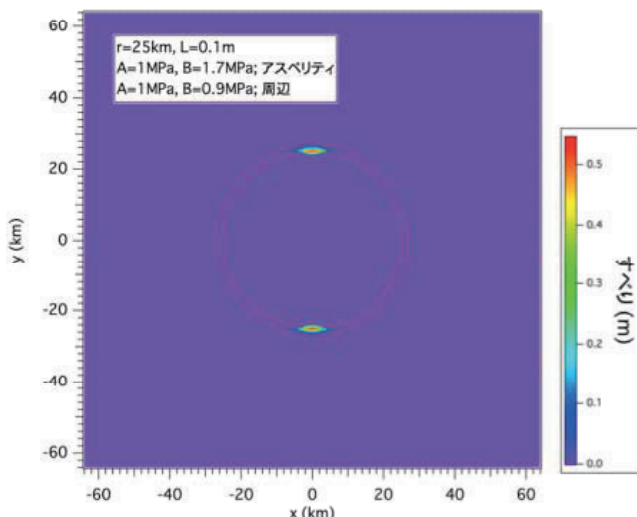
L が r に比例する場合は、大きな地震の前に大きな前駆すべりが起こる.



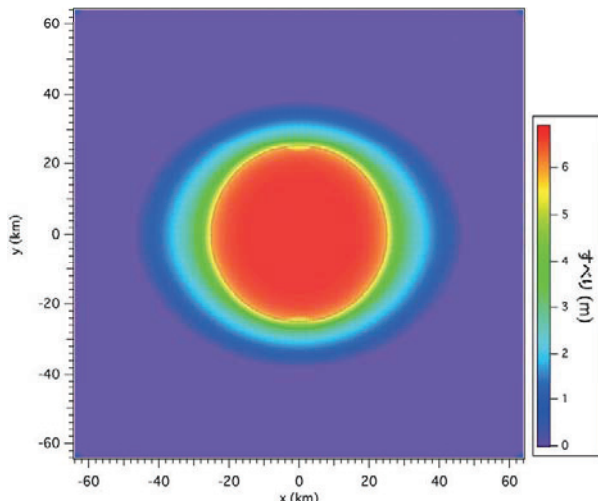
L がアスペリティサイズ r によらず一定であれば、前駆すべりの大きさは、最終的な地震の規模にほとんど依存しない.

吉田・加藤 (地震2005)

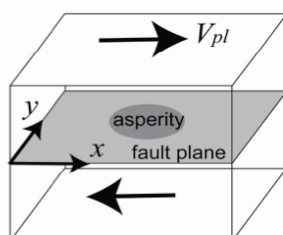
前駆すべりと本震時のすべり(composite lawを仮定)



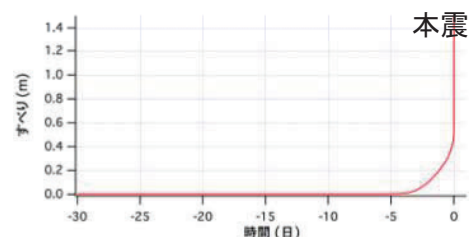
本震前1週間の前駆すべり分布



本震時のすべり分布



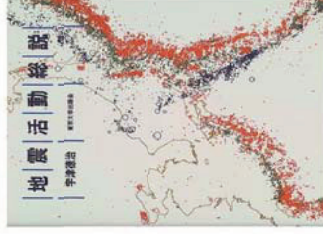
アスペリティモデル



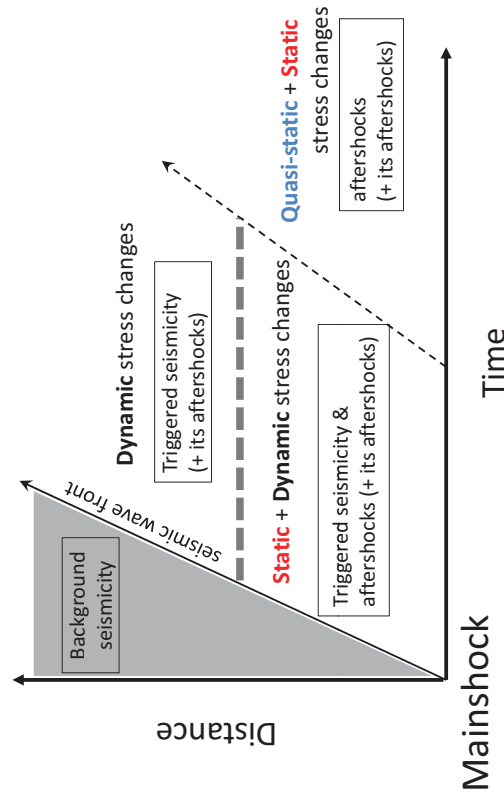
震源核での前駆すべりと本震時のすべり

「地震活動総説」に掲載の誘発作用の項目例

- 気圧変化・降雨などの気象要素
- 地球潮汐・海洋潮汐
- 他の地震による誘発作用
- その他自然現象による誘発作用
- ダムと地震
- 水の注入
- 油田・ガス田など
- 荷重の除去
- 山はね・鉱山地震
- 地下核実験に伴う地震



Triggering by Earthquake



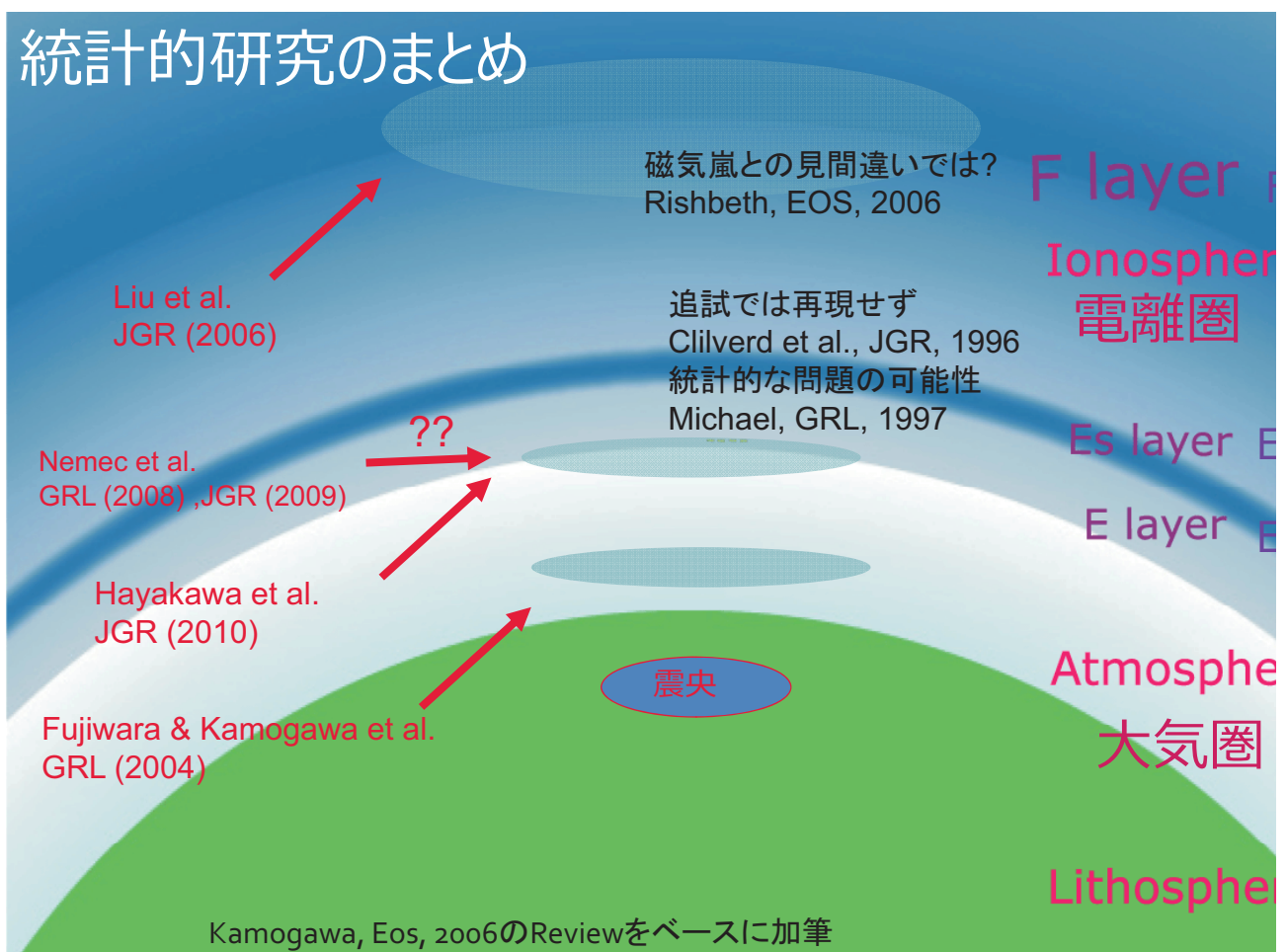
まとめ

- 地震の誘発作用
 - 断層が破壊に近い状態
 - 外部からの些細なきっかけ(閾値?)
 - (大きな)外的応力変化は、誘発のための必要条件
 - 誘発メカニズムは ΔCFF で説明可?
- 実際の地震活動
 - 複数の現象が複雑に関連
 - 科学的に説明する努力が必要

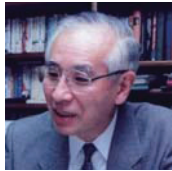
電磁気学的予測について

- 地球電磁気学的地震先行現象と地震発生には統計的相関があるように見える。
- それらのしくみは未解明
- 電磁氣的誘発地震の存在の可能性がある。
- 報告されている先行現象は電磁氣的誘発地震の交絡因子では？ (Kamogawa, Eos, 2006)

統計的研究のまとめ

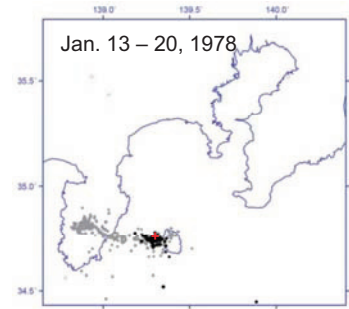


1978年1月14日12 時24 分伊豆大島近海の地震(M7.0)



宇津 (1978予知連会報)

予測地震をM6 $\frac{1}{2}$ 以上としての前兆確率の試算



項目A: 1976年初からの隆起域の広がり等から考えて、
隆起が始ってから 5 年以内にかかる確率1/3 (0.02% per day)

項目B: 石廊崎と網代の埋込式体積ひずみ計に現れた異常や伊豆半島でのラドン、
井戸水位等の異常、前年の12月中旬から1 か月以内にかかる確率1/10 (0.3% per day)

項目C: 1月14日午前大島西方の地震活動、前震確率1/10。
始ってから3日以内にかかる確率1/35 (1% per day)

項目O: 大地震の基礎確率 P_0 : 対象地域内で
30年に1回の割合で起っている場合 (Case I) (0.009% per day)
100年に1回の割合で起っている場合 (Case II) (0.003% per day)

複合的確率予測公式(宇津, 1977「地震」)

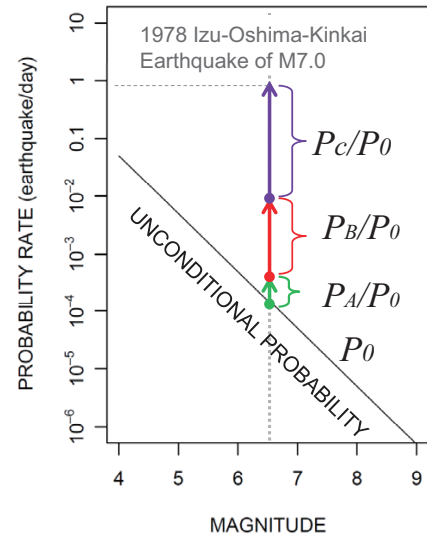


$$P = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{P_A} - 1\right) \left(\frac{1}{P_B} - 1\right) \left(\frac{1}{P_C} - 1\right) \dots \left(\frac{1}{P_S} - 1\right) / \left(\frac{1}{P_0} - 1\right)^{N-1}}$$

$$\approx P_0 \cdot \frac{P_A}{P_0} \cdot \frac{P_B}{P_0} \cdot \frac{P_C}{P_0} \dots \frac{P_S}{P_0} \quad (41\% \text{ per day})$$

$$\approx P_0 \cdot \frac{P_A}{P_0} \cdot \frac{P_B}{P_0} \cdot \frac{P_C}{P_0} \dots \frac{P_S}{P_0} \quad (89\% \text{ per day})$$

確率利得 = $\frac{\text{異常現象が大地震の前兆である確率}}{\text{大地震の基礎確率}}$



Aki(1981,
Ewing series)

前震の確率予報

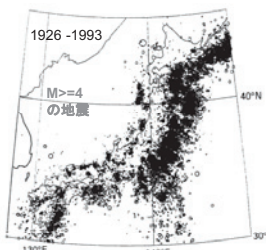
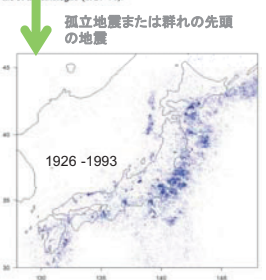
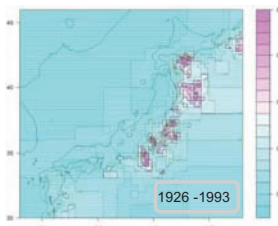


Figure 1. Epicentres of earthquakes ($M_s \geq 4.0$, depth ≤ 100 km) in the Izu-Oshima-Kinkai region (1926-93).



推定

孤立地震または群れの先頭の地震が前震である予測確率



複数個地震の群れの場合

時間間隔、相互距離、
マグニチュード差の
単位立方体への非線形変換

$$t_{i,j}^c = t_j^c - t_i^c$$

$$r_{i,j}^c = \sqrt{(x_i^c - x_j^c)^2 + (y_i^c - y_j^c)^2}$$

$$g_{i,j}^c = M_j^c - M_i^c$$

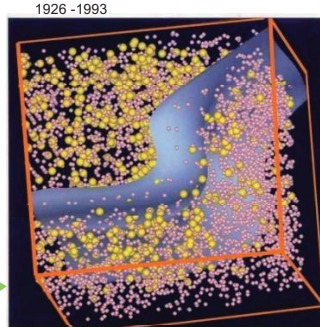
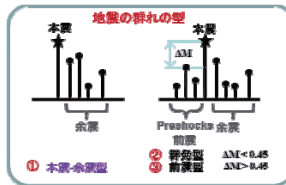
$$\downarrow$$

$$(t_{i,j}^c, r_{i,j}^c, g_{i,j}^c)$$

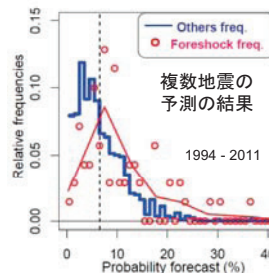
$$\downarrow$$

非線形変換

$$(\tau_{i,j}^c, \rho_{i,j}^c, \gamma_{i,j}^c) \in [0,1]^3$$

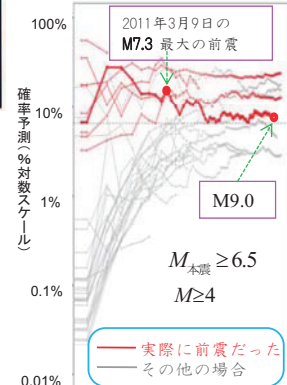
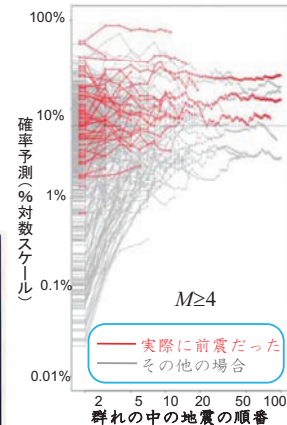


複合確率予測



最初の地震の予測の結果

1994 - 2011



Ogata, Y. and K. Katsura (2012) Geophys. J. Int.

平成25年8月21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

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201回	平成25年11月22日（金）
第202回	平成26年 2月17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

3. 地震予知連絡会事務局メールアドレス

yochi-clerical@gsi.go.jp

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201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
趣旨説明者：堀 委員
2. 第202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
3. 第203回地震予知連絡会
課題名：日本列島の長期広域変動について（仮）
趣旨説明者：松澤副会長
4. 第204回地震予知連絡会
課題名：地震発生予測の評価について（仮）
趣旨説明者：遠田委員

第 201 回 地震予知連絡会 重点検討課題

タイトル「物理モデルに基づいた地震発生予測研究」

趣旨説明者 海洋研究開発機構 堀 高峰

日本列島周辺で発生し、広域な被害をもたらす所謂海溝型巨大地震は、沈み込み帯のプレート境界で発生する地震であり、プレート境界地震については震源の物理モデルが定式化され、それに基づいた地震発生予測の研究が近年行われている。本重点検討課題では、どのような物理モデルにもとづいているのか、また震源の物理を解明するだけでなく予測を行おうとした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を紹介し、それらについて議論する。

(1) 地震発生物理にもとづく予測シミュレーション

近年の地震発生物理の研究により、プレート間の力学的相互作用に起因する震源域での準静的な応力蓄積、地震時の急激な応力解放を伴う動的破壊の伝播、地震後のアセノスフェアでの応力緩和による地殻応力の再配分と断層での強度回復過程からなる地震発生サイクルの全過程を記述する基礎方程式にもとづく数値シミュレーションが行われるようになってきた。ここでは、その内容とともに、それにもとづく地震発生予測の考え方や東北地方太平洋沖地震の震源域への適用例を紹介する。

(2) プレート境界すべり時空間変化の推移予測

プレート境界では、地震だけでなくゆっくりしたすべりも間欠的に発生する。その多様性がどの程度シミュレーションで再現可能となっているかをレビューするとともに、地震発生を含むすべりの時空間変化をモニタしつつ、その後の推移を予測する手法について紹介する。

(3) 地震予知研究次期計画案における物理モデルにもとづく地震発生予測

上記の研究を含めて、今後の地震発生予測の基礎研究において、物理モデルにもとづく研究をどのように進める計画が提案されているのかを紹介する。