平成29年11月22日

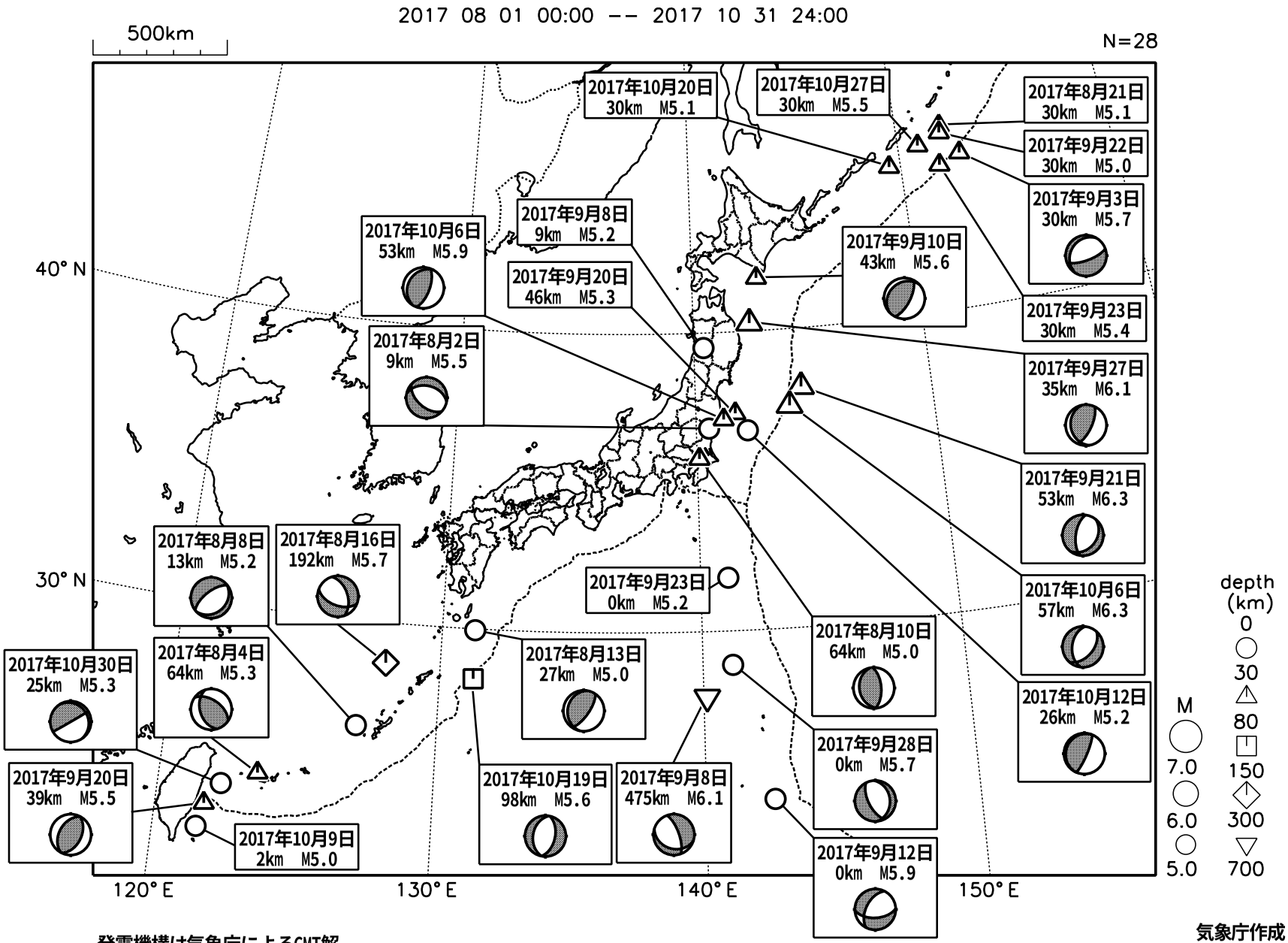
第217回　地震予知連絡会

記者会見資料

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（2017年8月～10月、M≧5.0）

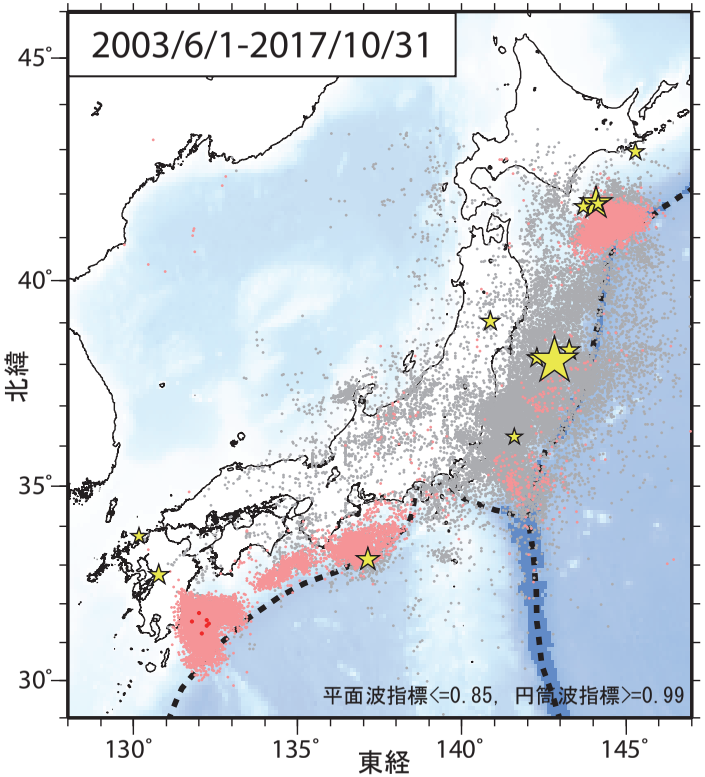


発震機構は気象庁によるCMT解

気象庁作成

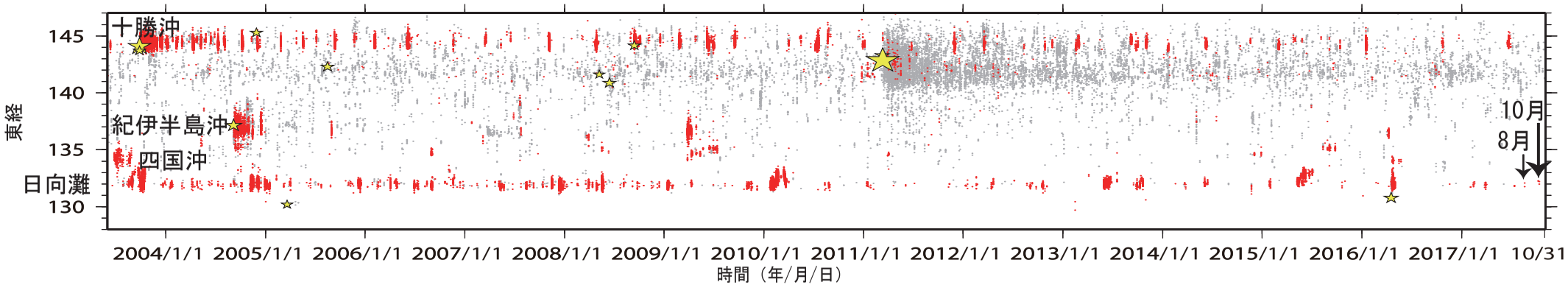
日本周辺における浅部超低周波地震活動（2017年8月～10月）

防災科学技術研究所



● 期間内に目立った浅部超低周波地震活動は検出されなかったが，8月中旬と10月上旬に日向灘で超低周波地震が検出された．

第１図．2003年６月１日から2017年10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（2016年７月31日以前），および赤色（８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～2015年は東北地方太平洋沖地震の本震のみ）．



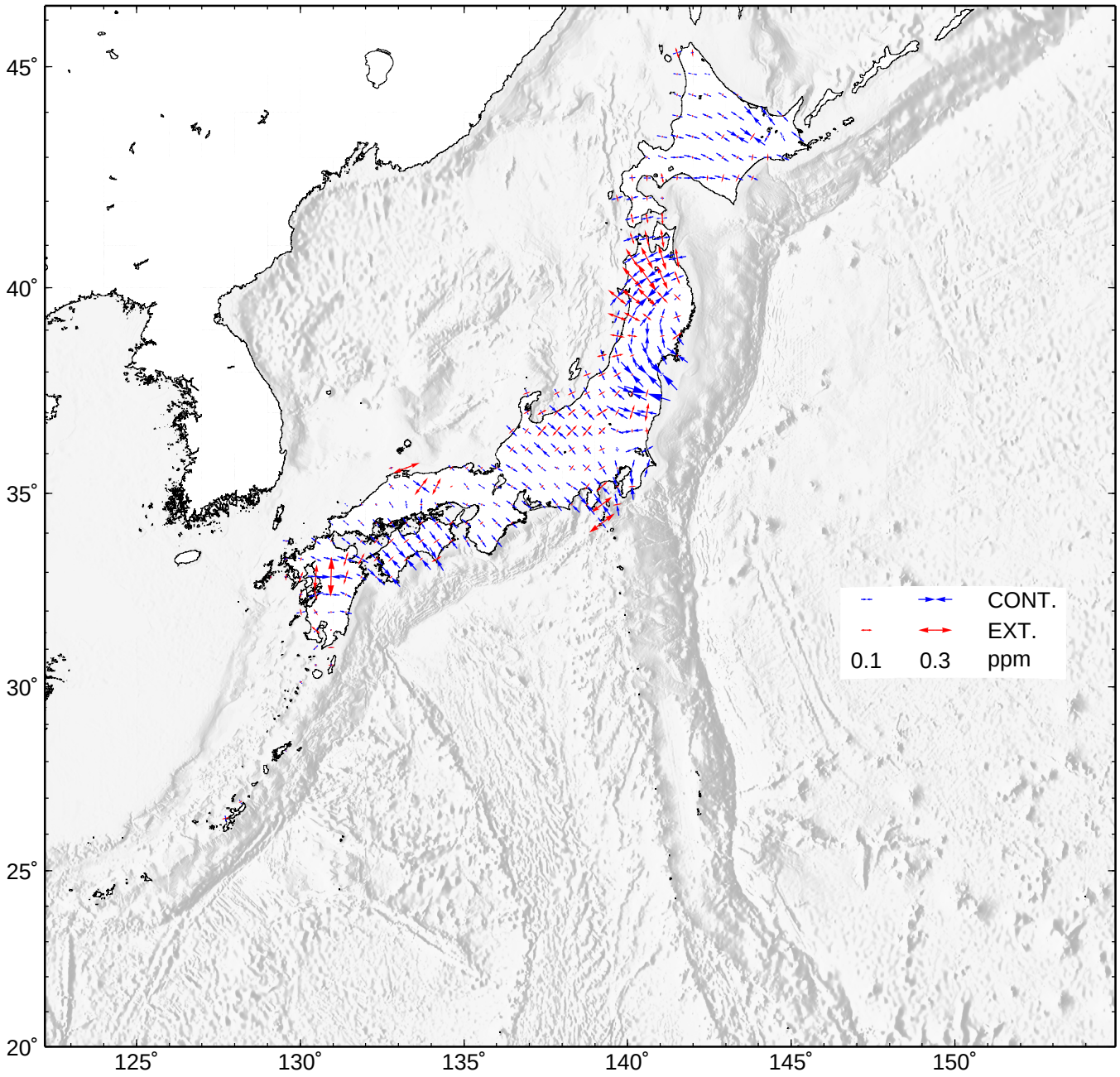
第２図．2003年６月１日から2017年10月31日までの期間に検出されたイベントの時空間分布．検出されたイベントを防災科研 Hi-net 手動，または自動験測震源と照合し，対応する地震が見出されたイベントを灰色で，それ以外を赤色の点でそれぞれ示す．その他は第１図に同じ．

防災科学技術研究所資料

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 日の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.
2016 年 4 月の熊本地震の余効変動の影響によるひずみが見られる.
2016 年 10 月 21 日の鳥取県中部の地震に伴う地殻変動の影響によるひずみが見られる.
2016 年 11 月 22 日の福島県沖の地震に伴う地殻変動の影響によるひずみが見られる.
2016 年 12 月 28 日の茨城県北部の地震に伴う地殻変動の影響によるひずみが見られる.

基準期間：2016/10/07 – 2016/10/21 ［Ｆ３：最終解］
比較期間：2017/10/07 – 2017/10/21 ［Ｆ３：最終解］



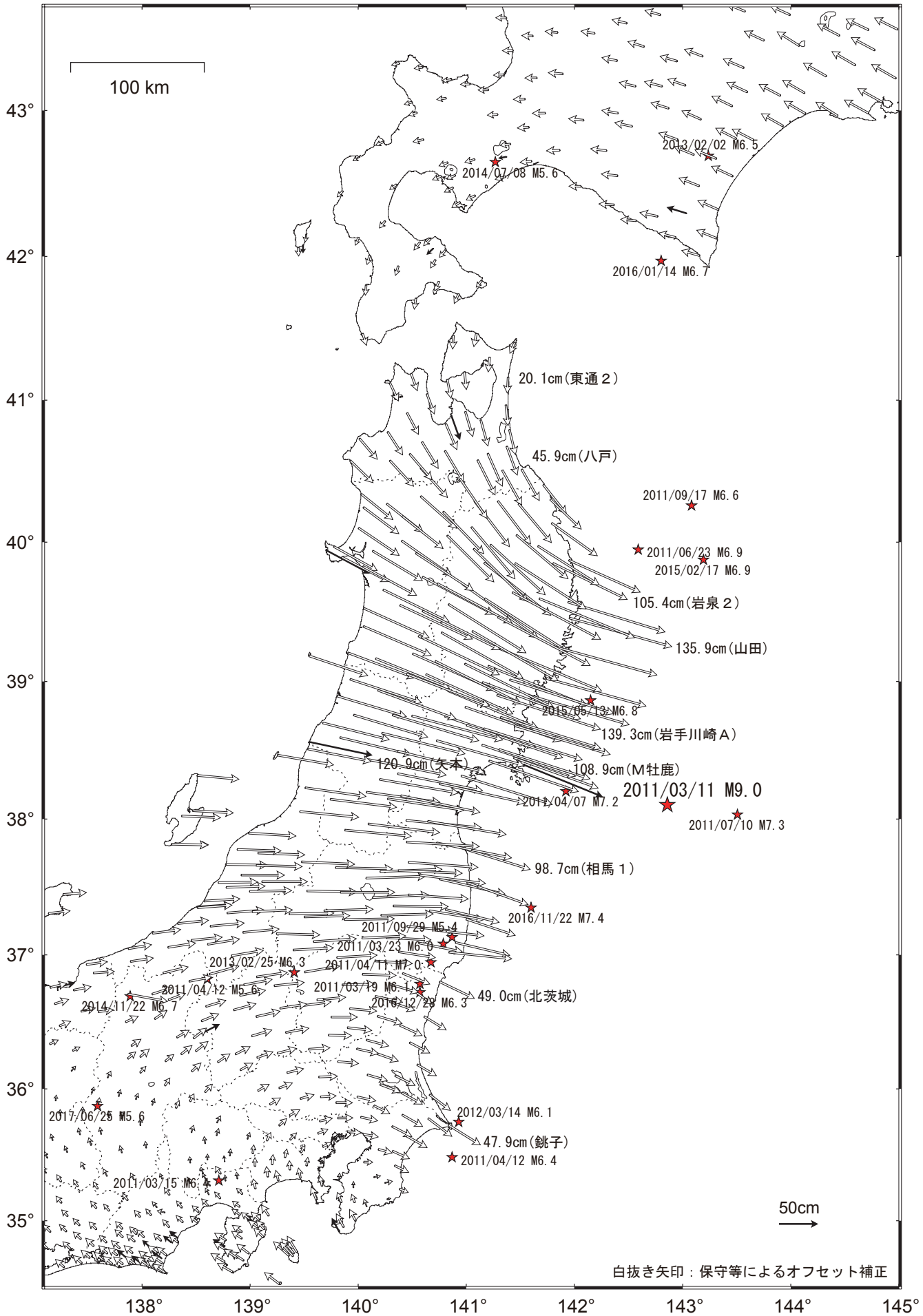
・ GNSS 連続観測による変位ベクトルからひずみ変化図を作成した.
・ 座標値の 15 日分の平均値から 1 年間の変位ベクトルを算出し，それに基づいてひずみを計算している.
・ 海底地形データは ETOPO1（Amante, C. & B. W. Eakins(2009)）を使用した.

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）ー累積ー

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 ［Ｆ３：最終解］
比較期間 ： 2017/10/15 -- 2017/10/21 ［Ｆ３：最終解］



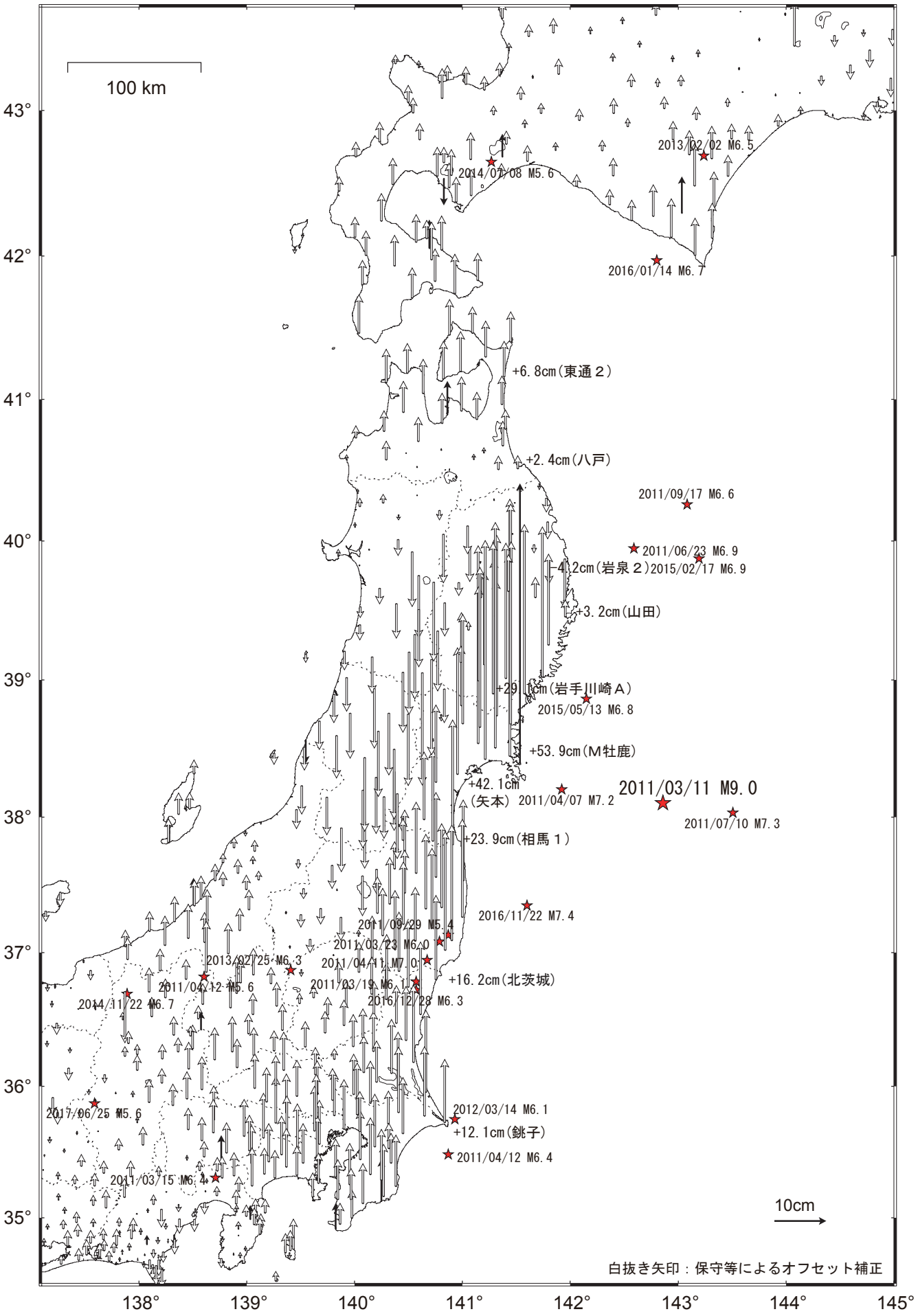
固定局：福江（長崎県）

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）ー累積ー

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 ： 2017/10/15 -- 2017/10/21 ［Ｆ３：最終解］



固定局：福江（長崎県）

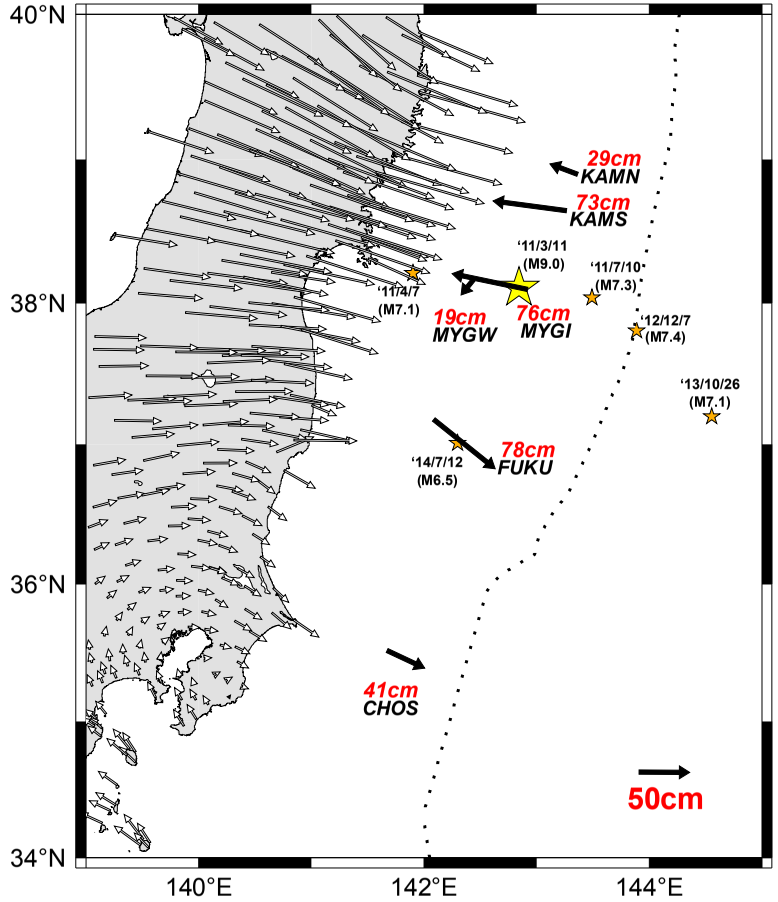
国土地理院資料

平成 29 年 11 月 22 日

海　上　保　安　庁

東北地方太平洋沖地震後の海底地殻変動観測結果

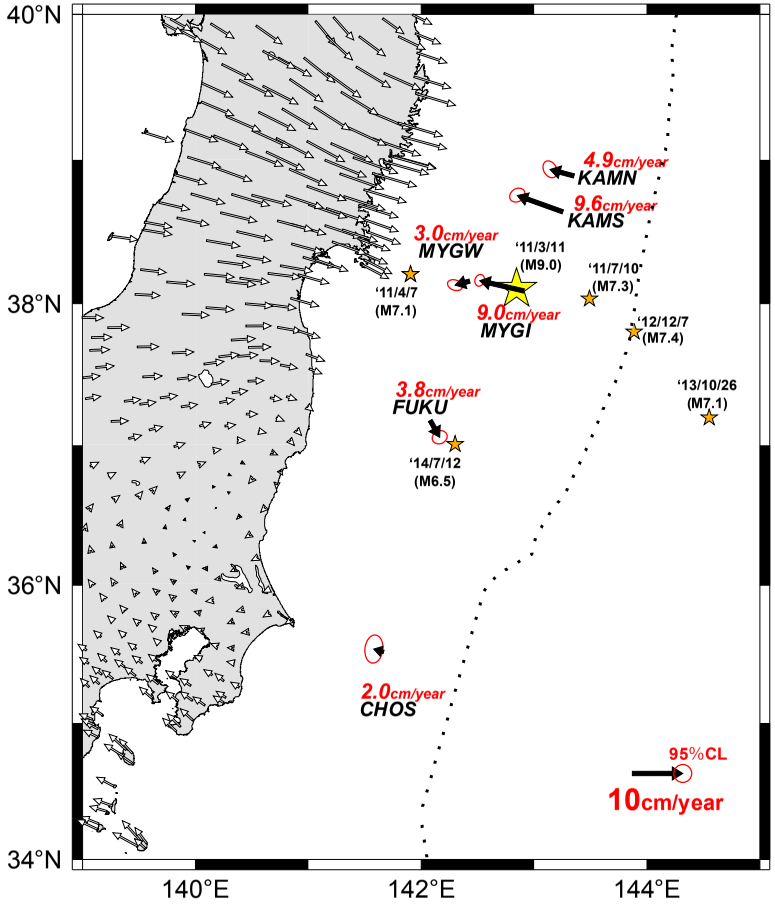
東北地方太平洋沖地震後の水平変位【電子基準点「福江」固定】



観測点	KAMN	KAMS	MYGI	MYGW	FUKU	CHOS	電子基準点
基準エポック	2011/4/3	2011/4/5	2011/3/28	2011/3/27	2011/3/29	2011/4/18	2011/3/29-4/4
比較エポック	2017/8/20	2017/ 8/20	2017/8/19	2017/ 8/19	2017/8/18	2017/ 8/23	2017/8/17- 8/23
水平変位量	29cm	73cm	76cm	19cm	78cm	41cm	

■解析には国土地理院提供の電子基準点 1 秒データ及び F3 解を使用している。
■黄色の星は本震，オレンジの星は1cm以上の変動が推定される余震を示す。
■余震は，気象庁一元化震源を使用している。余震による変動の推定は，Okada [1992] の手法を用いた。

【参考】2014年以降の年平均地殻変動量【電子基準点「福江」固定】

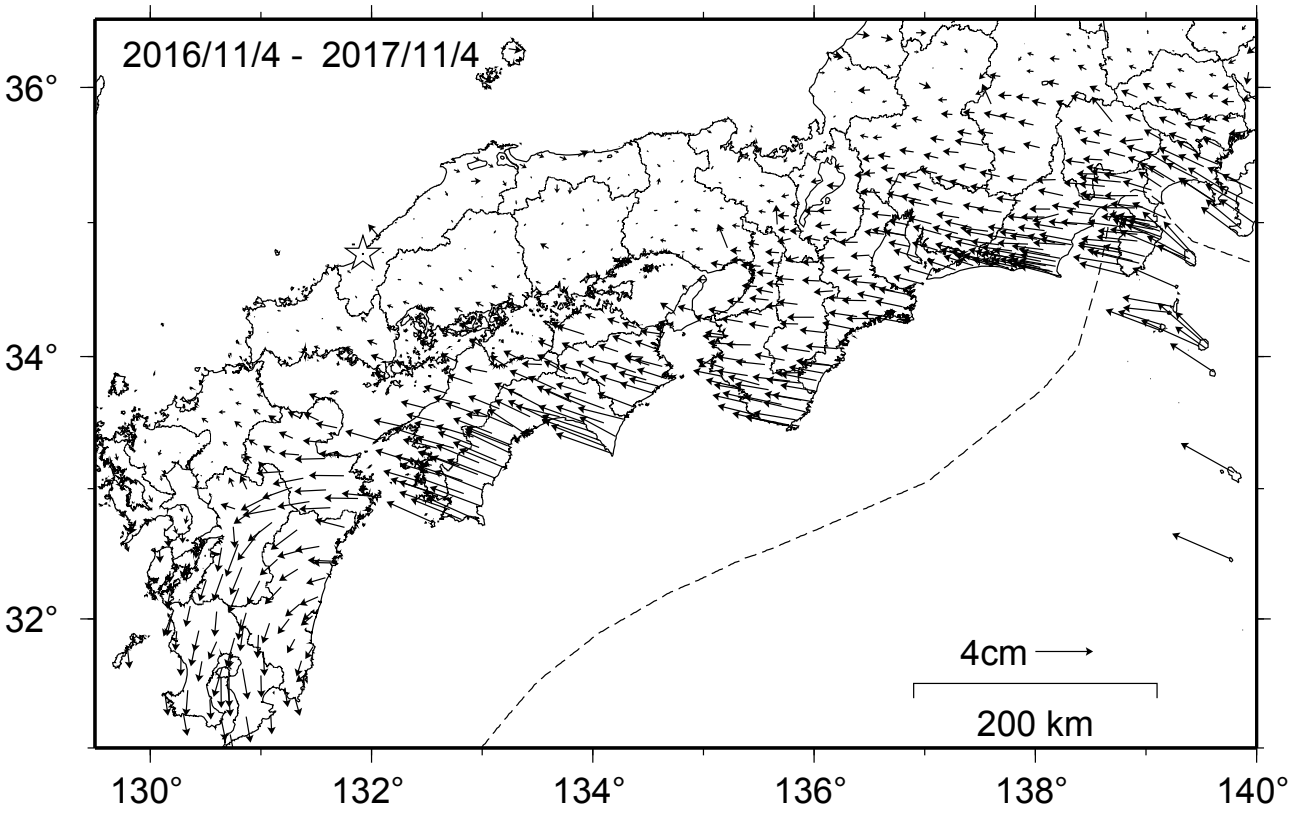


■陸上の移動速度は国土地理院電子基準点の 2014 年 1 月～2017 年 8 月の F3 解を線形回帰したものである。

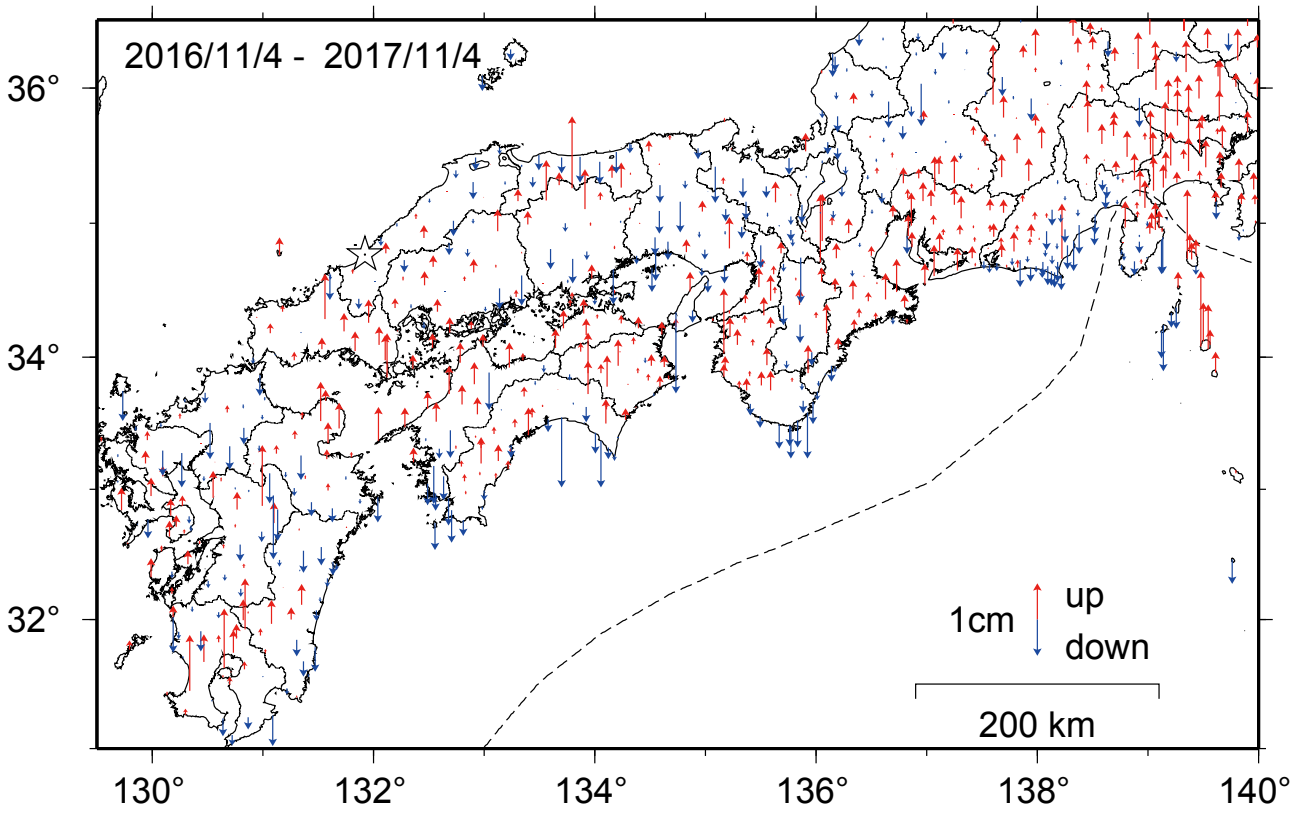
海上保安庁資料

南海トラフ沿いの地殻変動（1年間）【固定局：三隅】

【水平変動】



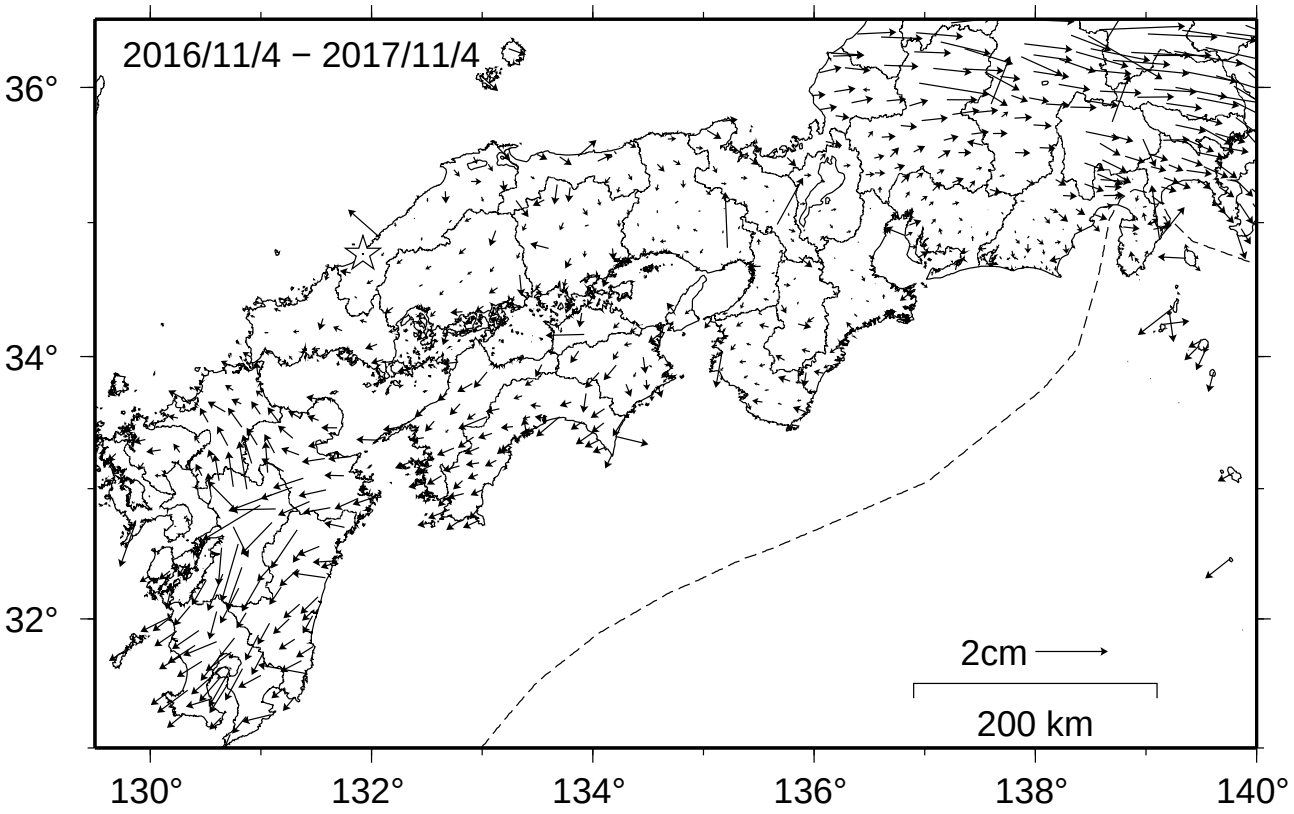
【上下変動】



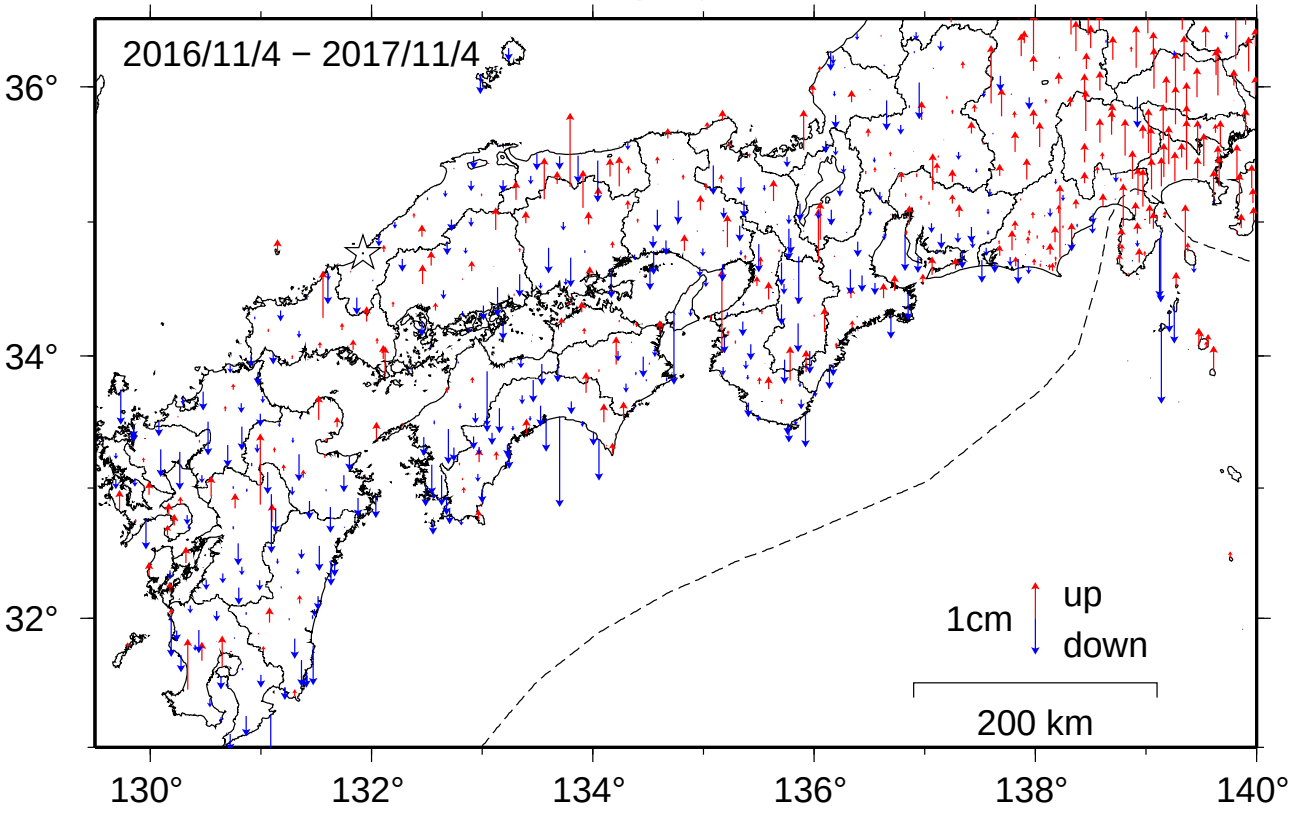
国土地理院資料

南海トラフ沿いの非定常地殻変動（１年間）【固定局：三隅】

【水平変動】



【上下変動】



・非定常地殻変動時系列から、１年間の変動量を示している。
※非定常地殻変動時系列：
・2006 年 1 月から 2009 年 1 月のデータから平均変動速度、年周・半年周成分を推定して、元の時系列データから除去した時系列。

国土地理院資料

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（2017 年 8 月～ 10 月）その 1

防災科学技術研究所

● 主な微動活動：
四国東部，8 月 8 日～ 14 日．四国中部，9 月 9 日～ 16 日．
豊後水道，10 月 14 日～ 20 日．

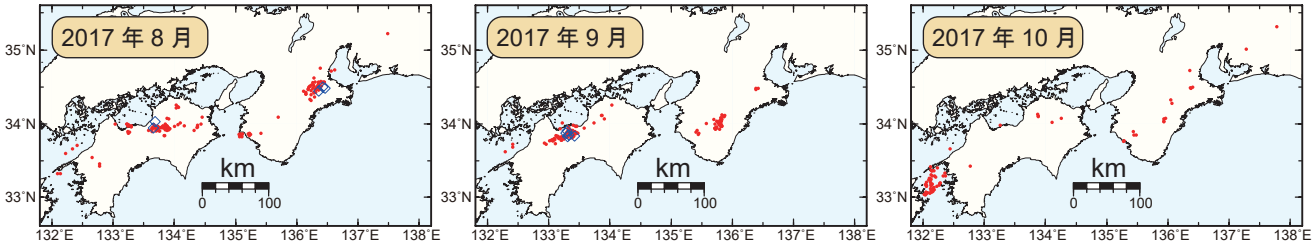


図 1. 西南日本における 2017 年 8 月～ 10 月の月毎の深部低周波微動活動．赤丸はエンベロープ相関・振幅ハイブリッド法 (Maeda and Obara, 2009) およびクラスタ処理 (Obara et al.，2010) において，1 時間毎に自動処理された微動分布の重心である．青菱形は周期 20 秒に卓越する深部超低周波地震 (Ito et al., 2007) である．

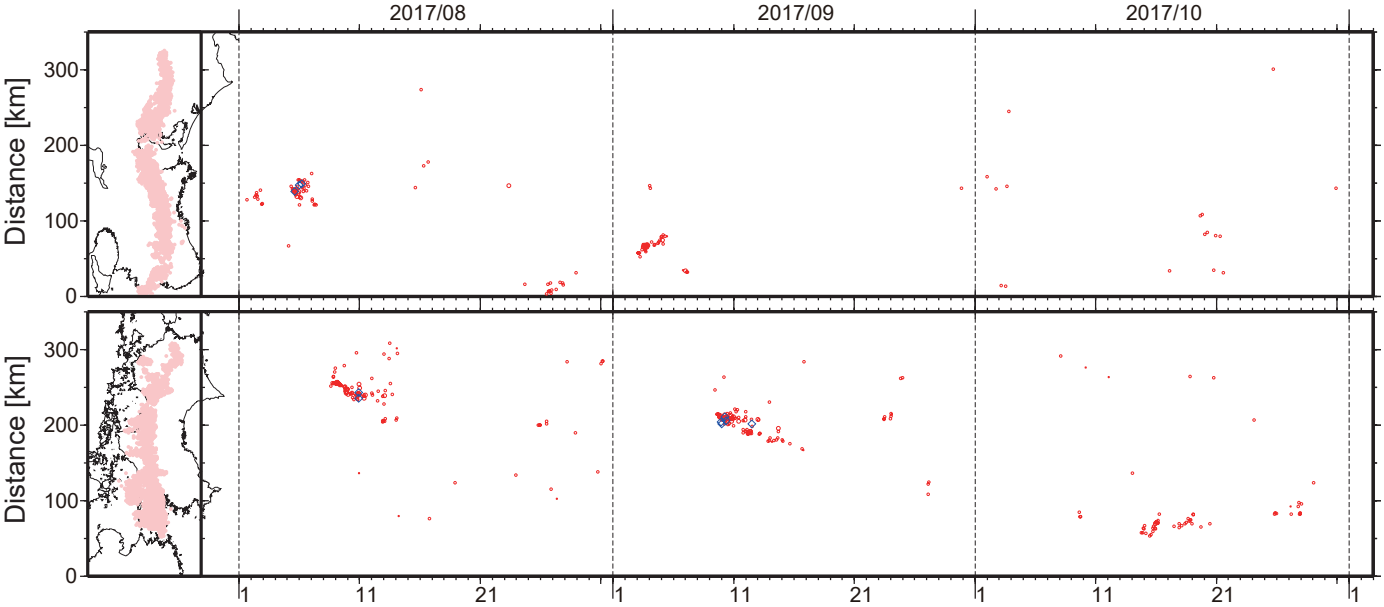


図 2. 2017 年 8 月 1 日～ 11 月 2 日の深部低周波微動（赤）および，深部超低周波地震（青菱形）の時空間分布．

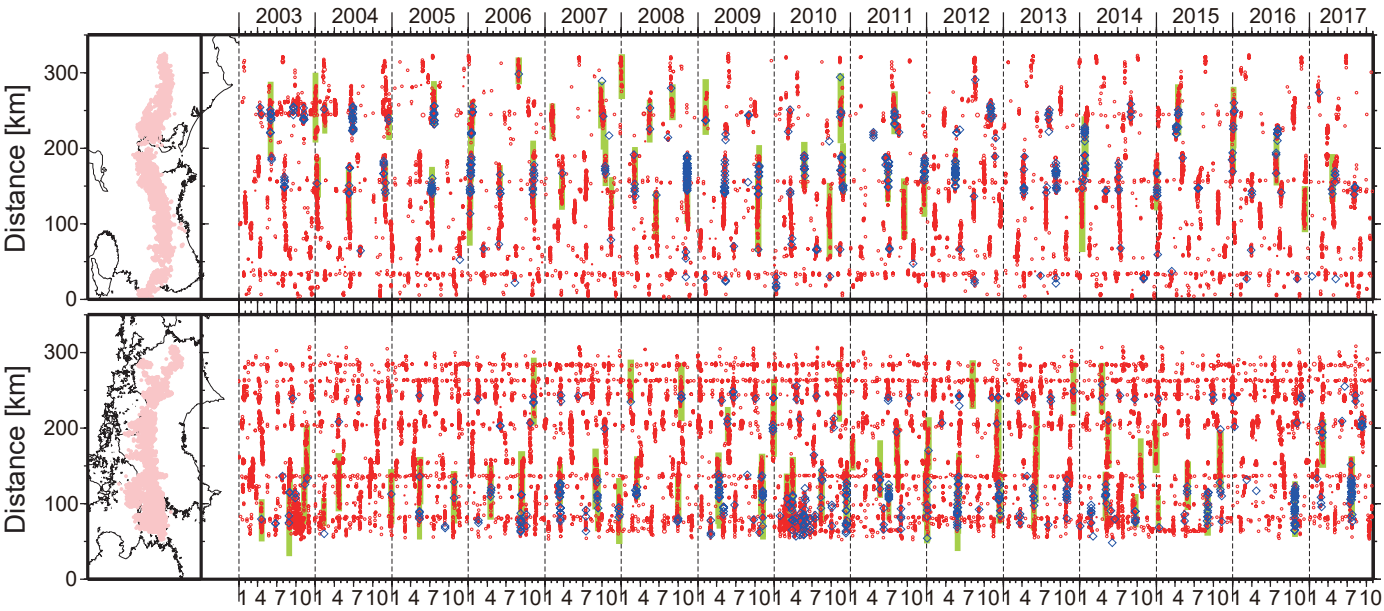
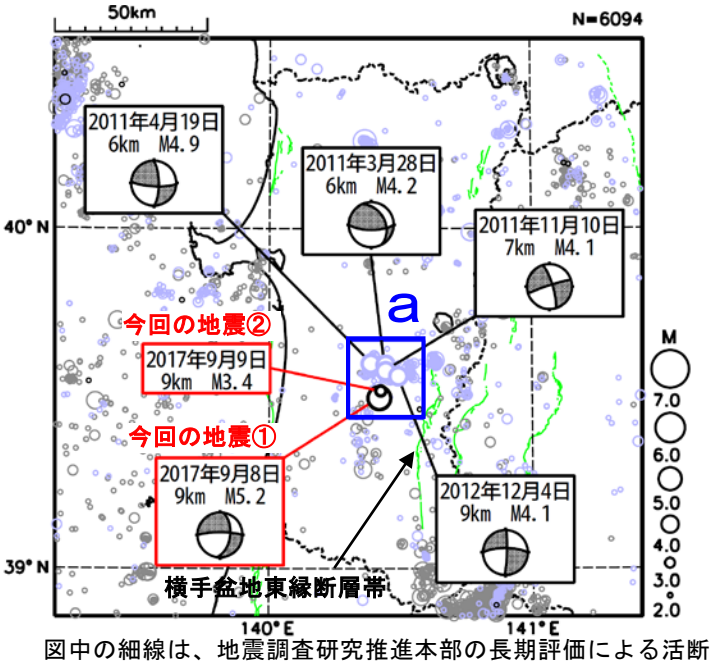


図 3. 2003 年 1 月～ 2017 年 11 月 2 日までの深部低周波微動（赤）および，深部超低周波地震（青菱形）の時空間分布．緑太線は，傾斜変動から検出された短期的スロースリップイベント．

防災科学技術研究所資料

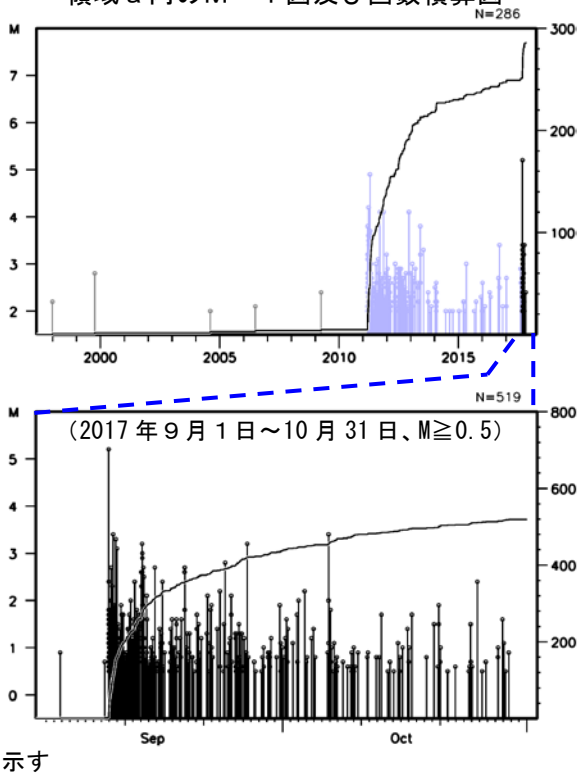
９月８日、９日　秋田県内陸南部の地震

震央分布図
（1997 年 10 月１日～2017 年 10 月 31 日、
深さ 0～30km、M≧2.0）
東北地方太平洋沖地震より前に発生した地震を薄い○、
東北地方太平洋沖地震発生以降に発生した地震を○、
2017 年９月以降の地震を濃い○で表示



図中の細線は、地震調査研究推進本部の長期評価による活断層を示す

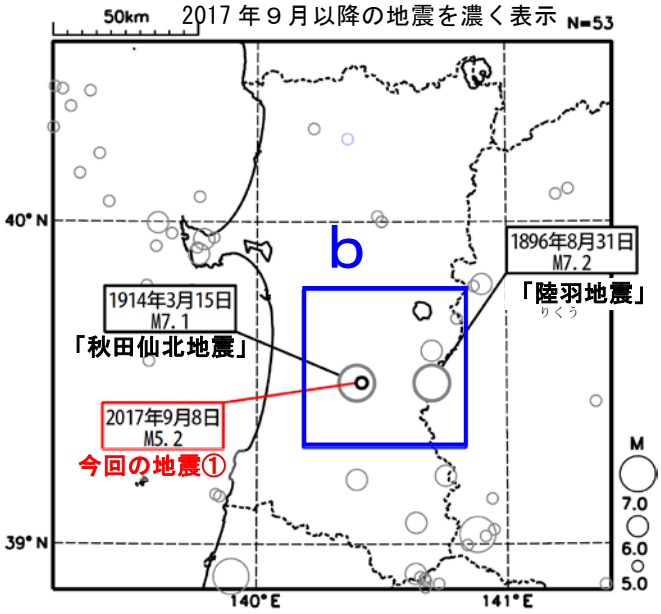
領域ａ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図



2017 年９月８日 22 時 23 分に秋田県内陸南部の深さ９km で M5.2 の地震（最大震度５強、今回の地震①）が発生した。この地震により、住家一部損壊４棟の被害が生じた（総務省消防庁による）。また翌９日 11 時 42 分にもほぼ同じ場所で M3.4 の地震（最大震度４、今回の地震②）が発生した。これらの地震は地殻内で発生した。地震①は発震機構が北西－南東方向に張力軸を持つ横ずれ断層型であった。地震①の発生以降まとまった地震活動がみられており、領域ａ内では最大震度１以上を観測する地震が 10 月 31 日までに 54 回（震度５強：１回、震度４：１回、震度３：２回、震度２：13 回、震度１：37 回）発生している。

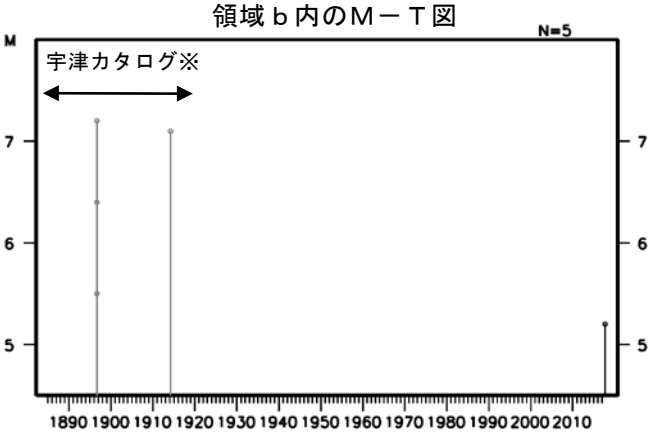
1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ａ）では、「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」（以下、東北地方太平洋沖地震）の発生以降に活動が活発化しており、今回の地震①が最大規模の地震であった。

震央分布図
（1885 年１月１日～2017 年 10 月 31 日、
深さ０～50km、M≧5.0）
2017 年９月以降の地震を濃く表示



1885 年１月以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｂ）では、1914 年３月 15 日に「秋田仙北地震（強首地震とも呼ばれる）」（M7.1）が発生し、死者 94 人、負傷者 324 人、住家全壊 640 棟等の被害が生じる（被害は「日本被害地震総覧」による）など、M7.0 を超える地震が２回発生している。

領域ｂ内のＭ－Ｔ図

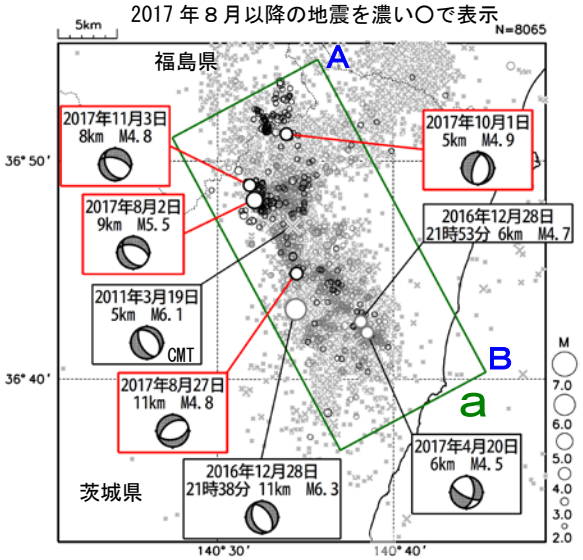


※宇津（1982, 1985 など）による

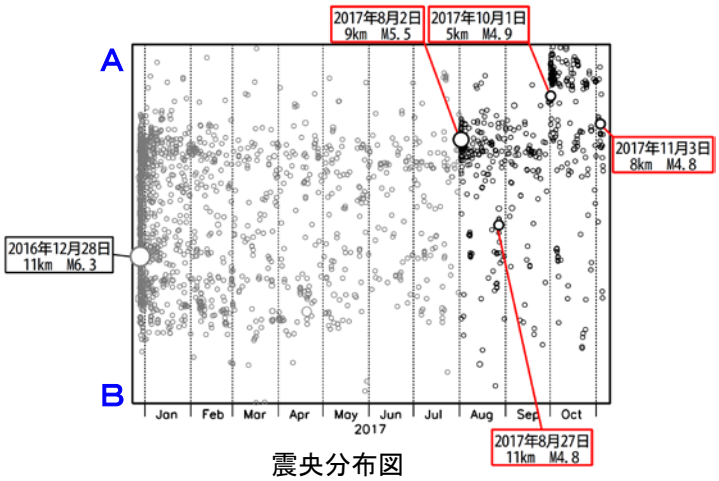
気象庁作成

2016 年 12 月 28 日からの茨城県北部の地震活動

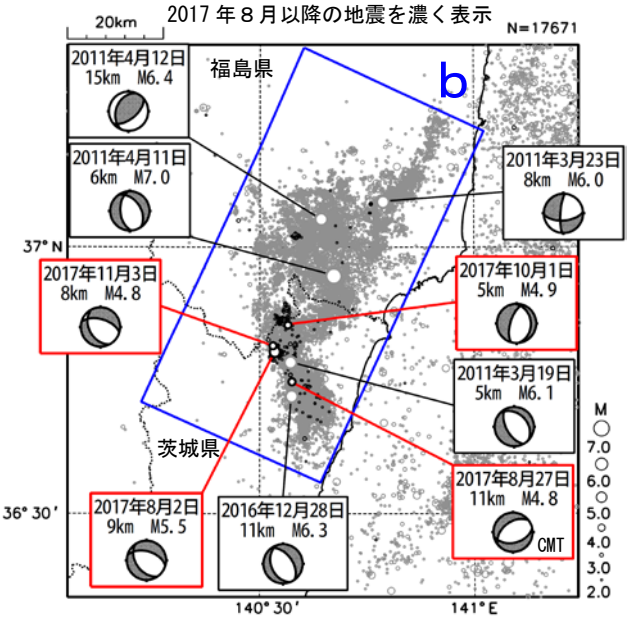
震央分布図
（2011 年１月１日～2017 年 11 月５日、
深さ０～20km、M≧2.0）
2016 年 12 月 27 日までの地震を薄い×で表示
2016 年 12 月 28 日から 2017 年７月 31 日の地震を薄い○で表示
2017 年８月以降の地震を濃い○で表示



領域ａ内の時空間分布図（Ａ－Ｂ投影）
（2016 年 12 月 28 日～2017 年 11 月５日、M≧1.5）



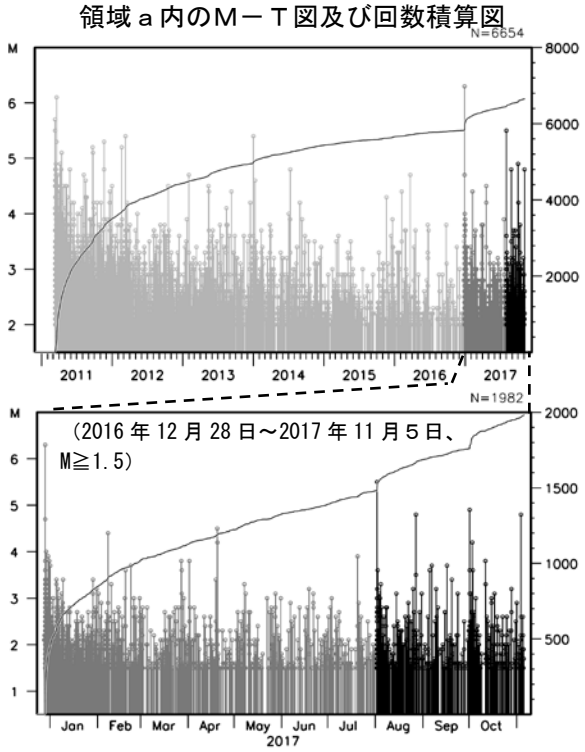
震央分布図
（1997 年 10 月１日～2017 年 11 月５日、
深さ０～30km、M≧2.0）
2017 年８月以降の地震を濃く表示



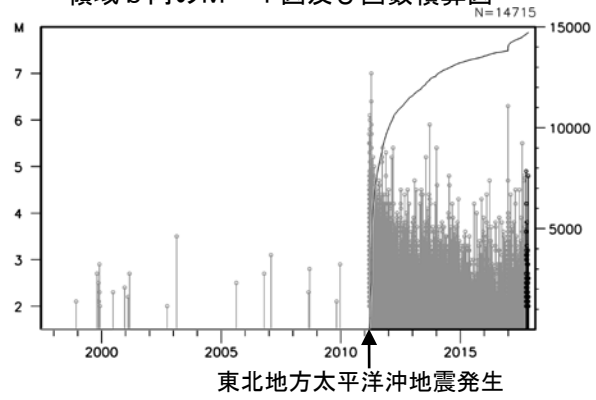
2016 年 12 月 28 日の M6.3 の地震（最大震度６弱）の発生以降にまとまった地震活動がみられている領域およびその周辺（領域 a）では、今期間（2017 年８月～10 月）、８月２日に M5.5 の地震（最大震度４）、８月 27 日に M4.8 の地震（最大震度３）、10 月１日に M4.9 の地震（最大震度３）、11 月３日に M4.8 の地震（最大震度３）が発生するなど地震活動が活発な状況が継続している。この地震活動は地殻内で発生した。領域ａ内では、最大震度１以上を観測する地震が８月１日から 11 月５日までに 36 回（震度４：１回、震度３：４回、震度２：９回、震度１：22 回）発生している。

1997 年 10 月以降の活動をみると、福島県浜通りから茨城県北部にかけての地殻内（領域ｂ）では、東北地方太平洋沖地震の発生後に地震活動が活発化し、2011 年４月 11 日に発生した M7.0 の地震では、死者４人等の被害が生じた（被害は総務省消防庁による）。この活発な地震活動は現在も継続している。

領域ａ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図

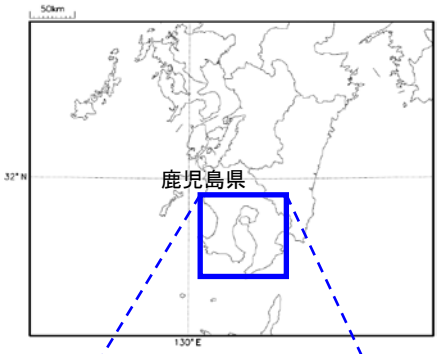


領域ｂ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図

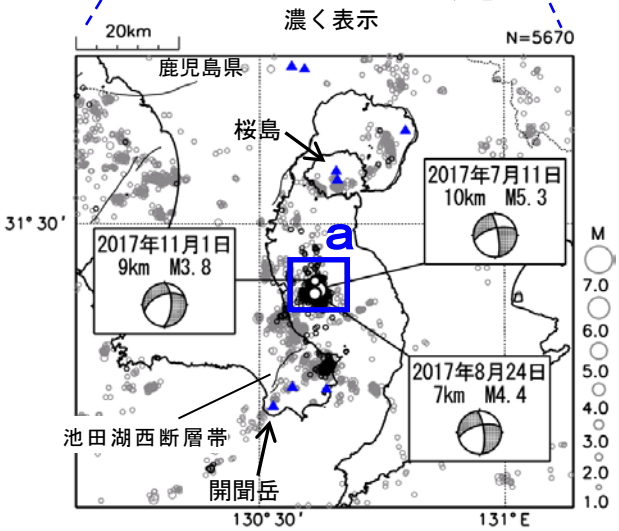


気象庁作成

2016 年 12 月からの鹿児島湾の地震活動

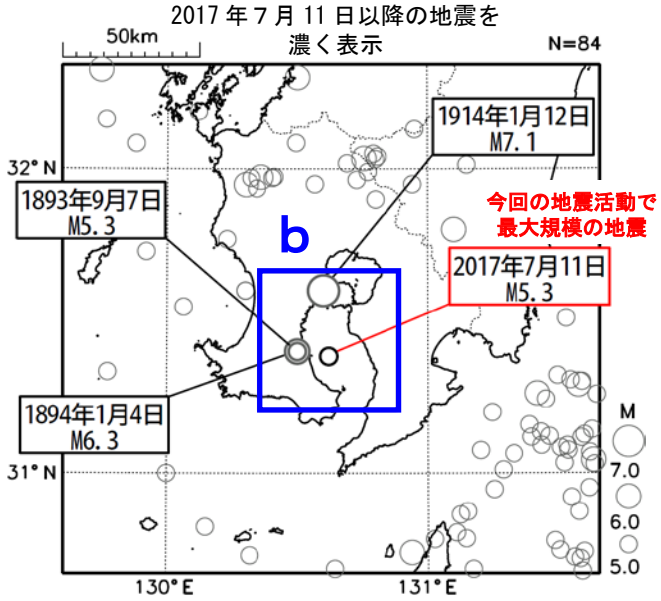


震央分布図
（2000 年 10 月 1 日～2017 年 11 月 1 日、
深さ 0～20km、M≧1.0）
2017 年 7 月 11 日以降の地震を
濃く表示



図中の細線は地震調査研究推進本部の
長期評価による活断層を示す

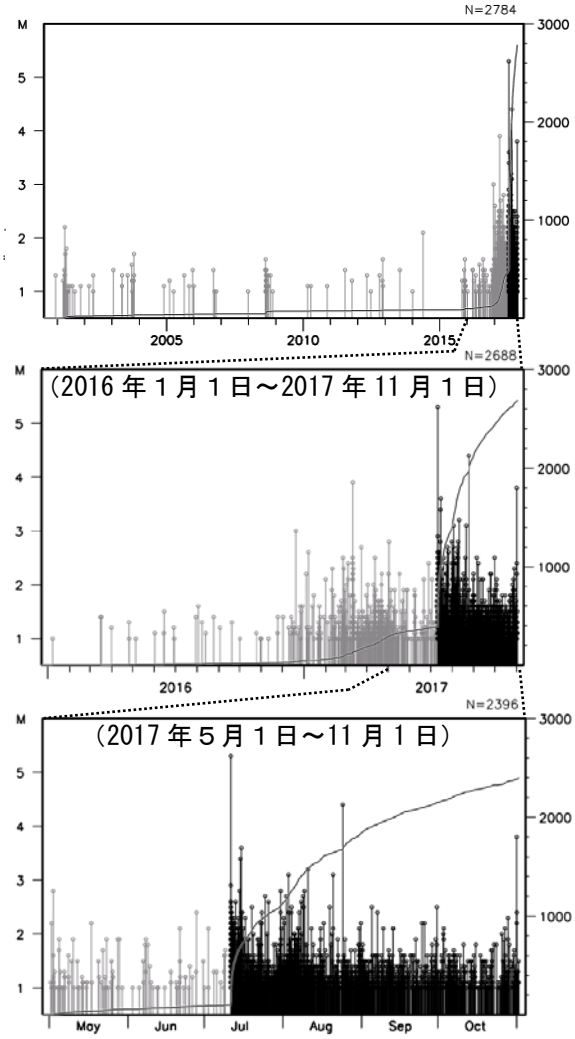
震央分布図
（1885 年 1 月 1 日～2017 年 11 月 1 日、
深さ 0～100km、M≧5.0）
2017 年 7 月 11 日以降の地震を
濃く表示



鹿児島湾（震央分布図領域ａ）では、2016 年 12 月頃から地震活動がやや活発となり、2017 年 7 月 11 日に M5.3 の地震（最大震度５強、深さ 10km）、８月 24 日に M4.4 の地震（最大震度４、深さ７km）、11 月 1 日に M3.8 の地震（最大震度４、深さ９km）が発生するなど、現在も地震活動が継続している。この地震活動は地殻内で発生している。この地震活動により、2017 年５月から同年 11 月 1 日までに震度 1 以上を観測した地震が 49 回（最大震度５強：1 回、最大震度４：2 回、最大震度３：2 回、最大震度２：4 回、最大震度１：40 回）発生した。７月 11 日の地震では負傷者１人などの被害が生じた（総務省消防庁による）。

1885年１月以降の活動をみると、今回の地震活動付近（領域ｂ）では、1893年９月７日にM5.3の地震が発生し、知覧（現在の南九州市知覧町付近）で土蔵破損10、居宅半倒１、倒家２などの被害が生じた。また、1894年１月４日にM6.3の地震が発生し、山崩れ29、道路決潰11などの被害が生じた。1914年１月12日にはM7.1の地震が発生し、鹿児島市内で死者13人、負傷者96人、住家全壊39棟などの被害が生じた（被害はいずれも「日本被害地震総覧」による）。

領域ａ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図



気象庁作成

2017 年 11 月イラン・イラクの地震に関する SAR 干渉解析結果

2017 年 11 月 12 日にイラン・イラク国境付近で発生した地震（Mw7.3）について，だいち 2 号のデータの解析を行った．得られた結果は以下のとおりである．

- サルポレザハブ（Sarpol-e Zahab）から北北西に約 20km の付近を中心として、最大約 90cm の隆起及び最大約 50cm の西向きの変動が見られる（図 2）。震央付近では、最大約 30cm の沈降及び最大 35cm の西向きの変動が見られる。10cm 以上の変動が生じた地域は、直径約 80km にわたっている。
- 地震の断層運動による変動の他にも、局所的な変動が山地斜面で多数見られ、地震の揺れによって誘発されたものである可能性がある。
- SAR 干渉解析結果から震源断層モデルを推定したところ、震央のやや南側を中心として、最大約 3m の滑りが推定された。モーメントマグニチュード（Mw）は 7.36（地震モーメント：1.4×10^{20}Nm）である。

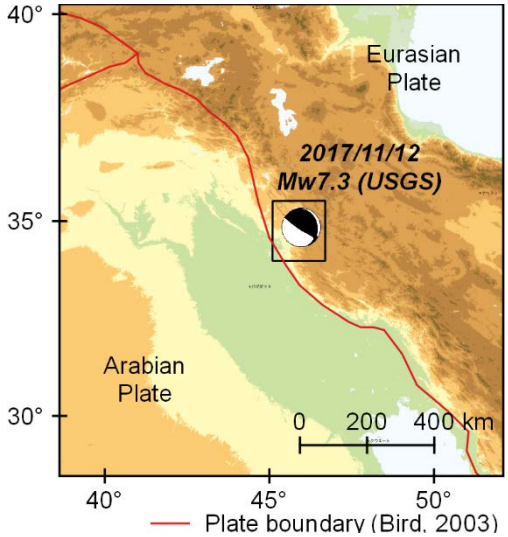


図 1　解析範囲

表 1　使用データ

図番号	観測日	観測時間 (UTC)	衛星進行方向	電波照射方向	観測モード	入射角（震央付近）	垂直基線長
3	2016/08/09 2017/11/14	20:59 頃	北行	右	広域観測 (Normal)	47°	-70m
4	2017/10/04 2017/11/15	08:49 頃	南行	右	広域観測 (Normal)	47°	+160m

本成果は，地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの活動を通して得られたものである．

国土地理院

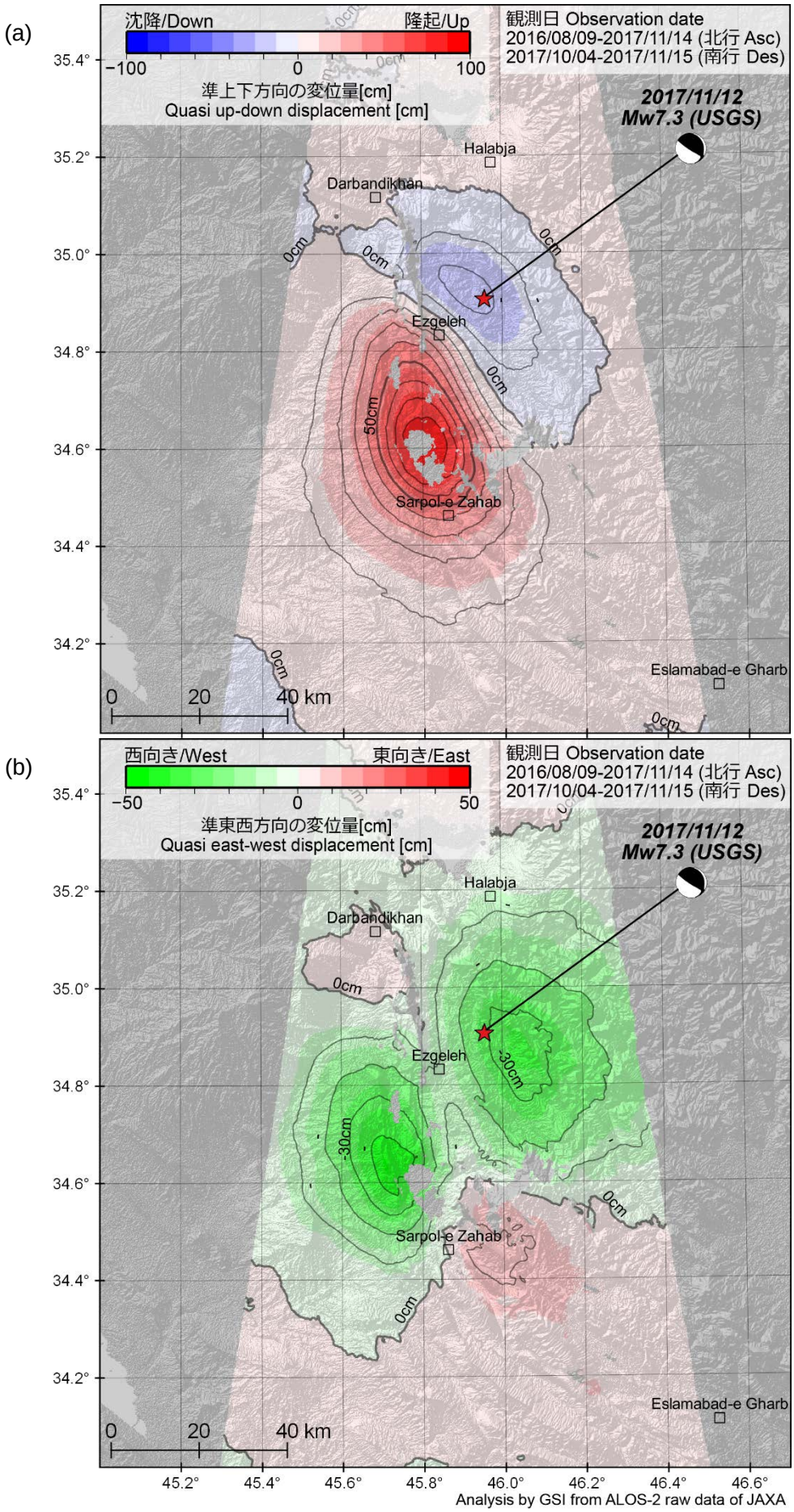


図 2　変動の (a) 準上下成分及び (b) 準東西成分

重点検討課題の検討

「予測実験の試行 04」

第217回地震予知連絡会 重点検討課題 趣旨説明

「予測実験の試行 04」について

コンビーナ 海洋研究開発機構　堀　高峰

平成 23 年(2011年)東北地方太平洋沖地震の発生を受けて、地震予知連絡会は将来検討WG を設置し、予知連の今後の活動の方向性について議論を行った。平成 25 年 11 月に取りまとめられた報告書では、「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、今後、予測実験の試行を行うことが有効であると考えられる。」ということを提言している。これを受けて、重点検討課題運営部会で議論がなされ、平成 27 年 8 月 21 日に開催された第 208 回地震予知連絡会で、重点検討課題として「予測実験の試行」を取り上げることとなった。

これまで３回の「試行」は以下のような概要であった。（１）定式化された手法を過去のデータに適用して、現在までの状況を予測した事例が紹介された。具体的には、CSEPの地震活動予測、繰り返し地震の予測、前震活動による予測、および余効変動の予測が報告された。（２）前回発表時以降の地震発生や地殻変動について、実際の発生状況あるいは変動の進行がどの程度適合しているのかが紹介された。また、ある予測手法が「当たり前の予測」よりもどの程度優秀であるのかを示す拡張ブライアスコアの有用性についても解説された。（３）これまでのCSEP・繰り返し地震・前震活動に基づく地震の予測や東北地方太平洋沖地震の余効変動の予測が、その後一年間の実際のデータとどの程度適合していたのかを検討するとともに、直近に発生した大地震について、事前にどの程度の予測が可能であったのか検討した。

今回は、地震活動や地殻変動のデータにもとづく地震の予測のうちで、新たに取り組まれつつある手法の紹介を中心に行う。また、これまでの予測がどの程度適合していたのかを検討するとともに、予測実験に移行するための課題についても議論する予定である。

話題提供者〔敬称略〕

１．マグニチュードと時空間情報に基づく前震確率評価モデルの識別性能

統計数理研究所　野村 俊一

２．次の地震のマグニチュード予測と評価

統計数理研究所　尾形 良彦

３．本震前に現れるG-R則からの逸脱と，その特徴に基づいた地震予測モデルの提案

気象庁気象研究所　弘瀬 冬樹

４．b値にもとづく全地球規模の大地震発生予測のモデル

静岡県立大学グローバル地域センター　楠城 一嘉

５．Mw8.0 以上の地震に先行した地震活動長期静穏化

北海道大学地震火山研究観測センター　勝俣 啓

６．経験則から期待される大地震発生の確率:相場のレビュー

東京大学地震研究所　中谷 正生

マグニチュードと時空間情報に基づく前震確率評価モデルの識別性能

統計数理研究所　野村俊一，尾形良彦

本震に先駆けて起こる前震群は，群内のマグニチュード差，時空間的距離に見られる特徴と地域性に基づき，他の地震群との完全な区別はできないまでも，それが前震である確率を本震が起こる前に評価することができる。これらの特徴は，地震群内の地震数 N と最大マグニチュード M_1 に依存して変化するものの，その 2 つが同条件の下では図 1 のように前震群と他の地震群の分布のしかたに違いを見ることができる。図 1 では，(a) 群内の最大マグニチュード M_1 と二番目に大きいマグニチュード M_2 の差，(b) 地震群の継続期間 T（日），(c) 群内の平均震央間距離 D（km），(d) 群内の中心経度 X，緯度 Y の各々に対する，相対的な前震群の割合の変化を確率利得として推定している。図 1 (a)～(d) それぞれ単体の情報による前震の識別性能には限界があるが，図 1 (a)～(d) のそれぞれで推定された確率利得を合算して前震確率を評価することで，より高い識別性能を得ることができる。

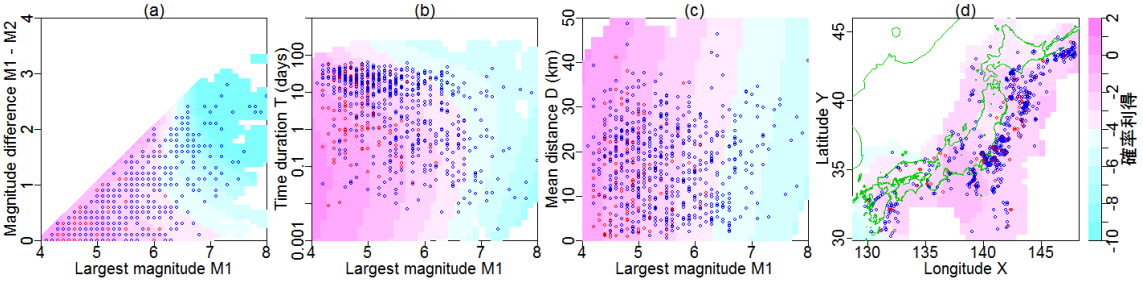


図 1.　地震数 N= 4 の前震群（赤点）と他の地震群（青点）の分布の違い。両者の分布の違いから推定された確率利得（高いほど前震確率が上昇）をカラースケールで示している。

1926 年から 1999 年までの気象庁カタログから前震確率（最後の前震から 30 日以内に，前震を上回るマグニチュードの本震が発生する確率）の評価式を学習し，2000 年から 2017 年 10 月までの同カタログに適用して地震群の地震数が増えるごとに前震確率を評価した。群内地震数が N = 2, 4, 8 となった時点での前震確率の評価値を 10%区切りの階級に分け，適中率すなわち実際の前震割合と比較した結果を表 1 に示す。適中率は，該当の地震群数が少ない階級を除いて，各階級の前震確率評価値と概ね整合的である。

表 1.　2000 年以降の前震確率評価値の度数分布と適中率（＝前震群数／全地震群数）。

前震確率の評価値		0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	合計
N = 2	全地震群数	463	483	227	64	14	2	0	0	1253
	前震群数	32	74	47	20	4	2	0	0	179
	適中率	7%	15%	21%	31%	29%	100%	N/A	N/A	14%
N = 4	全地震群数	151	98	54	22	14	5	1	2	347
	前震群数	14	16	10	8	2	1	1	2	54
	適中率	9%	16%	19%	36%	14%	20%	100%	100%	16%
N = 8	全地震群数	82	17	10	2	6	5	2	0	124
	前震群数	7	3	4	1	3	2	2	0	22
	適中率	9%	18%	40%	50%	50%	40%	100%	N/A	18%

地震マグニチュードの予測モデル

基準モデル: Gutenberg-Richter 則 （b＝定数 ~ 0.9）

$$GR(M) = 10^{a-b(M-M_c)}$$

Gutenberg-Richter 則 （b＝位置依存, Ogata, 2011 *EPS*）

$$GR(M \mid x, y) = 10^{a(x,y)-b(x,y)(M-M_c)}$$

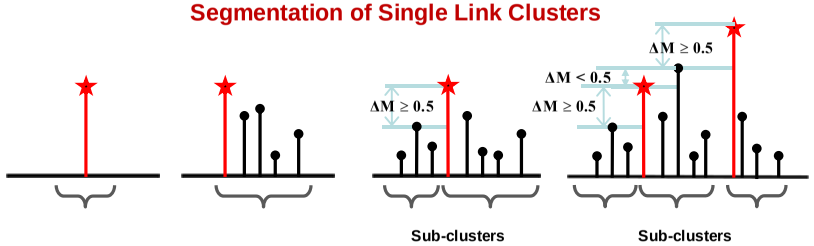
履歴に依存するマグニチュード分布

$$\Gamma(M \mid H_t)\, dM = P\left(M < Magnitude \le M + dM \mid H_t\right)$$

但し.

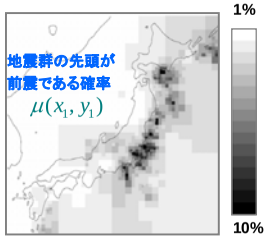
$$H_t = \left\{ (t_j, x_j, y_j, M_j);\ t_j < t \right\}$$

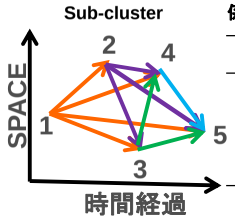
Segmentation of Single Link Clusters



$p_{c|n}$ ＝ 地震群 c の n 番目の地震でマグニチュードが0.5以上の更新確率

$$\ln \frac{1-p_{c|n}}{p_{c|n}} = \ln \frac{1-\mu(x_1, y_1)}{\mu(x_1, y_1)} + \frac{1}{\#\{i<j\}} \sum_{i<j<n} \left[a_1 + \sum_{k=1}^{3} b_k \gamma_{i,j}{}^k + \sum_{k=1}^{3} c_k \rho_{i,j}{}^k + \sum_{k=1}^{3} d_k \tau_{i,j}{}^k \right]$$





係数 from Ogata, Utsu and Katsura, 1996, *GJI*

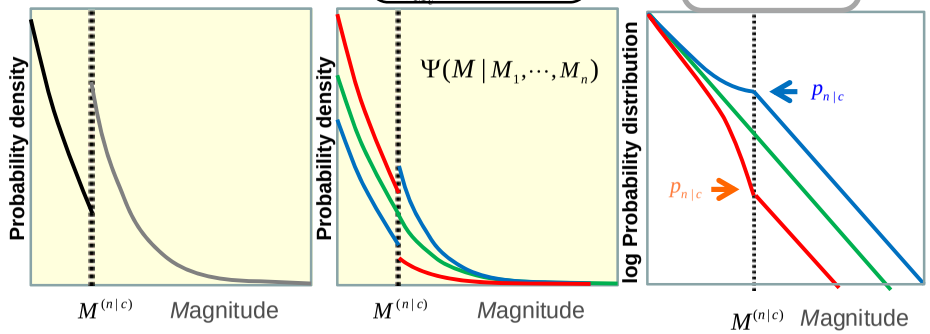
k	a_k	b_k	c_k	d_k
1	8.018	−33.25	−1.490	−10.92
2		62.77	2.805	295.09
3		−37.66	−2.190	−1161.50

Magnitude Gap : $M^{(n|c)} = \max\{M_k;\ k = 1, \cdots, n \mid \text{in cluster } c\} + 0.5$

Probability of M≧Mmax+0.5 of the next magnitude; $p_{n|c} = P\left\{M_{n+1} > M^{(n|c)} \mid in\ c\right\}$

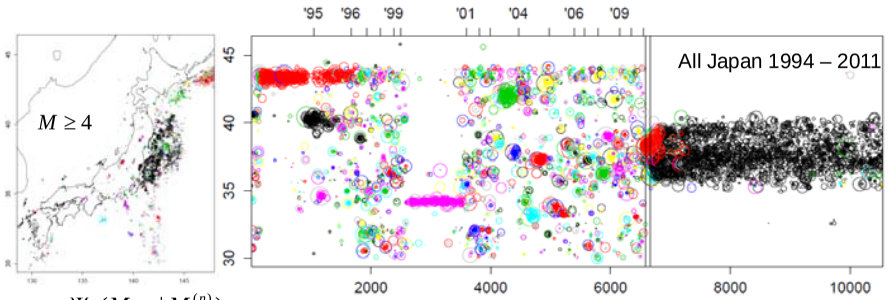
If $(t_{n+1}, x_{n+1}, y_{n+1})$ is connected to c,

$$\Psi(M \mid M_1, \cdots, M_n) = (1 - p_{n|c}) \frac{1_{(M_c, M^{(n|c)})}(M) \cdot 10^{-bM}}{\int_{M_c}^{M^{(n|c)}} 10^{-bM}\, dM} + p_{n|c}(M) \frac{1_{(M^{(n|c)}, \infty)} \cdot 10^{-bM}}{\int_{M^{(n|c)}}^{\infty} 10^{-bM}\, dM}$$

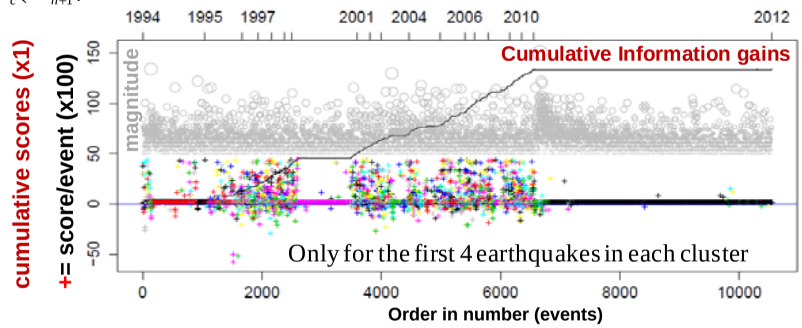


Otherwise, the reference model $\Psi(M) = 1_{(M_c, \infty)}(M) \cdot 10^{-bM} \Big/ \int_{M_c}^{\infty} 10^{-bM}\, dM$

log likelihood-ratio = information gain: $\log L/L_0 = \sum_c \sum_{n=1}^{\#c} \log \frac{\Psi_c(M_{n+1} \mid M_c^{(n)})}{\Psi_c(M_{n+1})}$



$\log \frac{\Psi_c(M_{n+1} \mid M_c^{(n)})}{\Psi_c(M_{n+1})}$ = **Information gain score per earthquake (+ signs)**



本震前に現れる G-R 則からの逸脱と，その特徴に基づいた地震予測モデルの提案

弘瀬冬樹（気象研究所）

地震の規模別頻度分布は大局的には Gutenberg-Richter（G-R）則に従うが，詳細にみれば上に凸になったり蛇行したりするなど G-R 則に従わないこともある．1990 年以降に東日本の太平洋沖で発生した M7.0 以上の本震前の規模別頻度分布は G-R 則から逸脱し，本震後に G-R 則に従う傾向にあることがわかった（図 1）．G-R 則からの逸脱の程度はパラメータ η 値［宇津, 1978, 地震 2］で表すことができる．規模別頻度分布が G-R 則に従う場合の理論値は 2 で，2 未満だと上に凸の分布，2 より大きいと下に凸の分布となる．例えば，100 個のデータから求めた η 値が 1.70 以下であれば，統計的には有意水準 5%で G-R 則から逸脱していると判断できる．

そこで我々は，η 値に基づいたシンプルな予測モデルを作成し，実データに回顧的に適用した．その結果，予測対象地震の規模に応じたデータ抽出半径を用いた場合，確率利得は 2–3 倍程度と低いものの，無作為な予測よりは良い成績となった．現在，関東東方～南東沖などの地域で低 η 値を示す領域が現れており（図 2），今後の地震活動の推移に注目している．

詳細については，弘瀬・前田［2017, 地震 2］を参照．

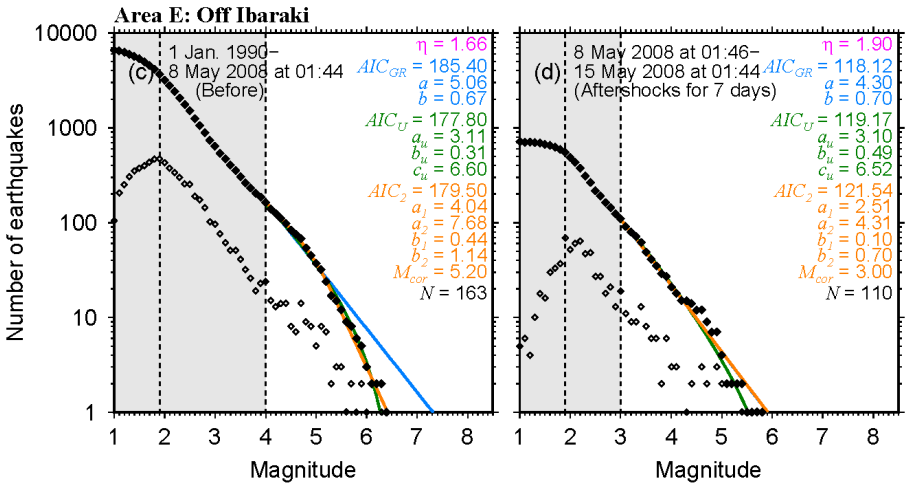


図 1. 2008 年 5 月 8 日に茨城沖で発生した M7.0 の（左）本震前，（右）本震後（本震は含まない）の規模別頻度分布．◇は各 M のイベント数，◆は◇のイベント数を積算したもの．青線は G-R 則，緑線は改良 G-R 則，橙線は二区間 G-R 則で近似．規模別累積頻度分布（◆）に注目すると，本震前は上に凸となって G-R 則から逸脱しているが，本震後は G-R 則に概ね従っている．

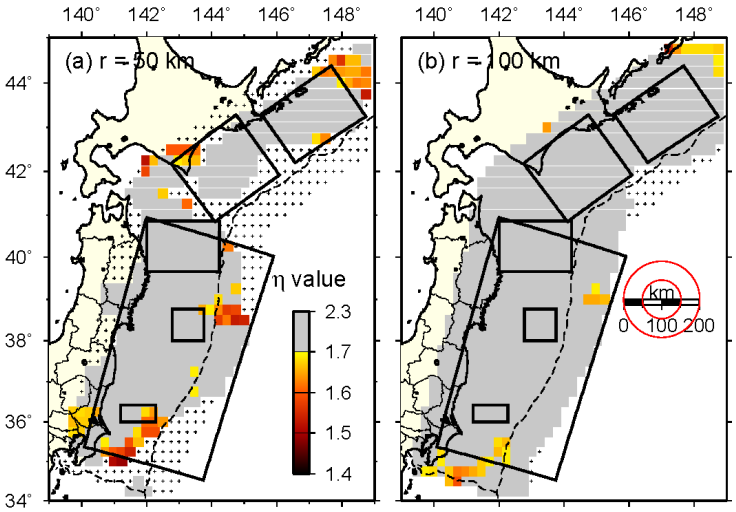


図 2. （左）M7 前半，（右）M7 後半～M8 前半の地震が将来，暖色系（低 η 値）の領域を余震域に含んで発生するという予測マップ．1990 年～2017 年 10 月 31 日のデータを用いて，2017 年 11 月 1 日～の予測をしている．
M7 前半（M7.0-7.5）の地震を予測対象とした場合，内陸では北海道十勝及び茨城付近，海域では北海道東方沖，宮城沖のアウターライズ，及び関東東方沖に顕著な低 η 値の塊がある．
M7 後半～M8 前半（M7.6-8.5）の地震を予測対象とした場合，北海道東方沖及び関東東方沖～南東沖に顕著な低 η 値の塊がある．

本研究は，前田憲二氏（前気象研地震津波研究部長）との共同研究の成果による．

b 値にもとづく全地球規模の大地震発生予測のモデル

静岡県立大学　楠城一嘉

地震の規模別発生頻度を、横軸にマグニチュード(*M*)、縦軸に累積頻度の対数をとってプロットすると、直線で近似できる。これは、グーテンベルグ・リヒター則と呼ばれ、直線の傾きの値(*b* 値)と地震発生域の差応力の大きさの間に相関があると知られている。一般に、断層のアスペリティのような応力集中のところでは、*b* 値は小さい。一方、差応力が小さいところ、例えば、間隙水圧が大きなところでは、*b* 値は大きい。既往研究から、上記を支持する結果が得られており、例えば、*M*9 クラスの 2004 年スマトラ島沖地震や 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源付近で、それぞれの地震の前の 10 年程度にわたり、*b* 値の減少があった報告がある(Nanjo et al. 2012)。これらの観測事実を踏まえれば、次の課題は、*b* 値が予測に有効か実力を把握することであり、試行実験を行う必要がある。

本講演では、この実験を行うために、*b* 値に基づく予測モデルの構築を開始したことを報告する。地球上の大地震を対象とした(今回は *M*≥8 を対象)、毎年警報を出すモデルである(図 1)。現在のところ、警報を出すルールは単純で、*b* 値の減少が観測された場合(今回は 8 年間の *b* 値の時間変化が、1 年間あたり *b* 値が 0.03 の割合で減少した場合)、次の 5 年間には警報を出すというものである。一方、*b* 値の減少が観測されない場合、警報は出さないとした。また、地震数の足りない地域を評価外とし、また、*M*≥8 の地震後の 5 年間は余震の効果を取り込まないために、評価外とすることなどもルールとした。モデルは未だ構築中だが、予測の有意性を示す結果も出てきた。今後の課題として、*b* 値の予測モデルを最適化すること、また、リアルタイムに事前予測できるようにモデルを拡張することが挙げられる。

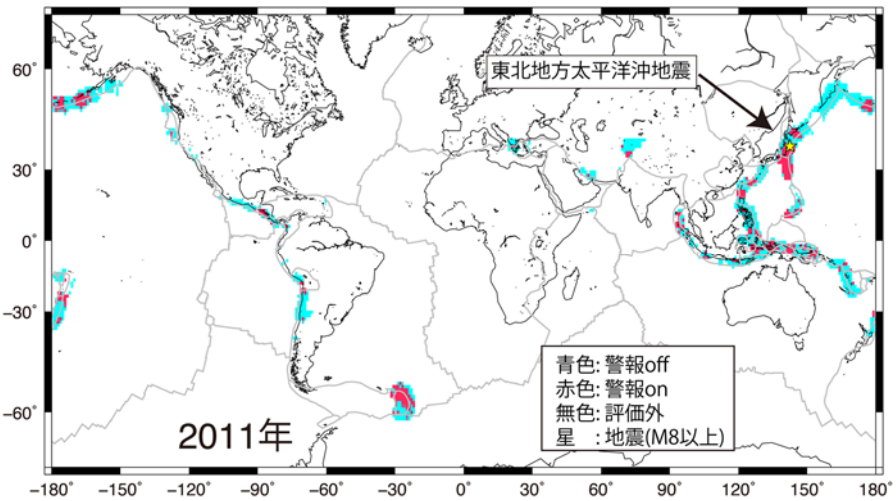


図 1. 2011 年の *M*≥8 を対象とした予測地図。2010 年末までの地震を *b* 値で解析した結果に基づく。東北地方太平洋沖地震の震源付近で警報が出ていることが分かる。

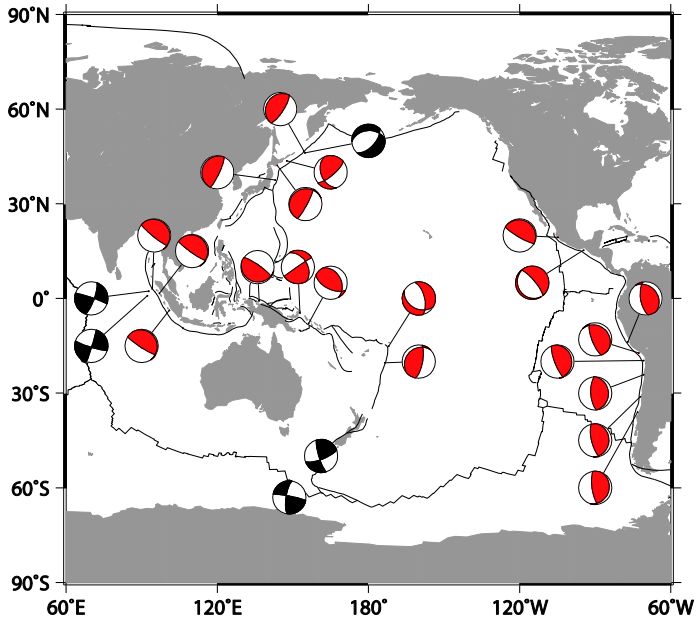
重点検討課題「予測実験の試行０４」
Mw8.0 以上の地震に先行した地震活動長期静穏化

北海道大学　地震火山研究観測センター
勝俣　啓

大地震の前になると今まで定常的に続いていた地震活動が異常に低下するという事例が多数報告されている．これを地震活動の「静穏化」と呼び，大地震の長期的な前兆現象だとする仮説が提唱されている．本研究では，1990～2017 年に発生し，深さ 68km より浅く，さらに Mw8.0 以上の地震 20 個について地震前の静穏化の有無を調査した（下図参照）．調査には国際地震センター(International Seismological Center, ISC)が公表しているデータベースを使用し，検知能力が一定だと考えられる M5.0 以上の地震を選択し，発生レートの時間変化を解析した．その際，余震や群発地震などは ETAS モデルを用いて取り除いた．

その結果，調査した 20 個の地震すべてにおいて地震前に長期静穏化が見つかった．静穏化開始から本震発生までの時間は，短いもので 8.6 年，長いもので 25.1 年であった．また，20 個中 12 個の地震では，同程度の静穏化は震源域の周囲にただ一つだけ存在し，大地震と静穏化が一対一に対応していた．

以上の結果から，Mw8.0 以上の地震では，必ず 10 年間程度より長い静穏化が先行しているので，地震活動に静穏化が見られない場所では，「Mw8.0 以上の地震は今後 10 年間程度は発生しない」というような情報が出せるかも知れない．ただし，南海トラフのように定常的な地震活動が低い場所では，静穏化の有無が判断できないのでこの手法は使えないだろう．



1990 年から 2017 年までに発生した浅い Mw8.0 以上の地震（Global CMT カタログより）．
赤：今回静穏化を調査した 20 個の地震
黒：定常的な地震活動が低いので静穏化の有無が判断できなかった地震

北海道大学　勝俣 啓　資料

経験則から期待される大地震発生の確率：相場のレビュー

中谷正生 (東京大学地震研究所)

これこれの事象が観察されたあと一定の期間T内に，ある空間領域Rで，あるM以上の地震がおこる確率Q_{ON}はいくらであるか?「経験則による大地震発生の確率予測」とは，過去に「これこれの事象」がおきた事例を集めて，何例中何回で地震が実際におきたかという実績(適中率)を調べておき，次にその事象が観察されれば，Mいくつの地震がRTで発生する確率がQ_{ON}（実際には，母比率の区間推定)になったと発表する作業である．アラーム型の予測も，予測確率値がQ_{ON}とQ_{OFF}の二種しかないだけで実質的には確率予測である．また，統計モデルといわれるものは「これこれの事象」の有無ではなく，その程度を連続値として把握して，出力Qに0と1の間のあらゆる値を許すだけで，これも，純粋な経験則である．

もちろん，「これこれの事象」なしに地震が起きることはあり，地域xの長期平均の大地震発生レート($\lambda_0(x)$，発/単位時空)にRTを乗じて得られるベース確率$Q_0(x)$よりQ_{ON}が大きくなければ，その事象の観察は，確率予測の濃淡を増す効果がない． M>6を対象に確率ゲイン$G = Q_{ON}/Q_0$（正確にはλ_{ON}/λ_0)が有意に>1であることが示されている経験的な先行事象から期待されるR, T, Q_{ON}, Gを計算してみた(下表)．

	データ *はprospective	M	R, km	T	適中率 (Q_{ON})	警報分率 †地域補正済	予知率	Gain †地域補正済
#1. M8 Kossobokov, 2017	広域地震活動 世界, 1992-2016*	8+	1000	6年	**33** [27, 57]% 日本のλ_0を仮定	29.8%†	15/23 [43, 84]%	2.2† [1.8, 3.8]
#2. MSc Kossobokov, 2017	広域地震活動 世界, 1992-2016*	8+	500	6年	**20** [10, 32]% 日本のλ_0を仮定	14.8%†	9/23 [20, 62]%	2.6† [1.3, 4.1]
#3. RTP Shebalin, 2004,2012	広域地震活動 日本, 1975-2011*	7+	1000	9ヶ月	**~50%**	7.7%	14/15 [68, 99]%	12 [8.8, 13]
#4. 余震静穏化 Ogata, 2012, 2017	余震活動 日本, 1926-2000	7+	200	1年	**2%**			~10
#5. 前震な確率 Ogataら, 2012	群発活動 日本, 1994-2011*	Δ0.45+	30	30日	**~0 - 15%**			
#6. 前震識別 前田ら, 2016	群発活動 三陸, 1994-2011	6+ 7+	50	4日	13/44 = **30%** **3%**	0.1%	11/29 [21, 58]%	380 [210, 580]
#7. ETASに閾値 Lippielloら, 2012	地震活動 南加, 1987-1999	6+ 7+	10	1日	**~0 - 3%** **~0 - 0.3%**	?0.15%†	5/6 [36, 99]%	?550† ?[240, 660]
#8. 前震な確率 Lippielloら, 2012	群発活動 南加, 1987-1999	6+ 7+	10	1日	**5 - 40%** **0.5 - 4%**	0.002%†	5/6 [36, 99]%	38320† [18000,49500]
#9. GIM TEC Leら, 2011	GIM TEC 世界, 2002-2010	浅7+	300	1日	**0.07%** 日本のλ_0を仮定	4.4%	10/65 [8, 26]%	3.5 [1.7, 5.9]
#10. GNSS TEC Hekiら, 2015, 2018	GNSS TEC 世界, 1992-2016	~8+	400	1時間	≫ **0.001%** 日本のλ_0を仮定	≪ 10%	12/12 [74,100]%	≫ 10
#11. ゲイン掛算 Ogata, 2017	長,中,短期 熊周, 1923-2016	7+	90	30日 1日	**39 - 79%** **2 - 10%**			2200-9600† 3400-37000†
#11'. 前震のみ Ogata, 2017	短期 熊周, 1923-2016	7+	90	30日 1日	**5%** **0.17%**			290-620† 290-630†

第 218 回地震予知連絡会　重点検討課題　趣旨説明
「熊本地震で見えてきた課題」について

コンビーナ　東北大学災害科学国際研究所　遠田晋次

2016 年４月 16 日熊本地震（M7.3）では、日奈久断層北端と布田川断層が活動し、長さ約 30km の区間にわたって地表地震断層が現れた。地震調査研究推進本部が長期評価を行っている約 100 の主要活断層の中で、長期評価の公表後に顕著な断層変位を伴った地震が発生したのは神城断層以来２例目であった。ただし、熊本地震発生前の評価では、布田川断層の平均活動間隔は 8,100～26,000 年、最後の活動が約 6,900 年前～2,200 年前で、 30 年確率が「ほぼ０～0.9%」とされていたことから、特に大地震発生が切迫していると考えられていたわけではなかった。

しかし、地震発生後の１年半の間に各種機関が実施した調査結果をみると、布田川・日奈久断層帯の活動間隔は 2,000～4,000 年程度で、地震前の評価よりも頻繁に活動してきたことが見えてきた。また、日奈久断層帯日奈久区間など、熊本地震時に動かなかった区間の調査も進んでいる。確率の信頼性を担保するデータ量や質など、長期予測の向上へつながる要点や、長期評価の限界も見えつつある。

一方で、震源決定精度向上や干渉 SAR などの観測技術の進展により、地表断層と震源断層との関係も詳しく把握されつつある。特に、地表断層変位の詳細な分布・変動量の可視化は著しい。熊本地震では、布田川・日奈久断層帯以外にも 200 個所以上で小変位が誘発されたことが確認された。そのなかには、活断層とされていたものも多数含まれ、すべての活断層が必ずしも個別に大地震を起こさず、受動的に変位することも示唆される。大地震の「結果としての活断層」なのか、「原因としての活断層」なのか、活断層の再定義・再評価につながる研究成果が得られている。

また、地形・地質調査による長期評価を活かすためにも、中短期の変動を加味することが重要と思われる。熊本地震では、日奈久断層帯北端付近で本震の 28 時間前に M6.5、25 時間前に M6.4 の地震活動があり、活動域の拡大やプレスリップを示唆する地殻変動が指摘されている。さらに遡ると、2000 年には同地域で M5 も発生している。これらの活動域は、布田川断層と日奈久断層の屈曲部にあたり、King らが 1980 年代に示した破壊開始・停止に関わる断層幾何形状モデルの再考を促すとともに、内陸地震発生予測への手掛かりとなることも期待される。さらに、「遅れ破壊」という観点からは、現在も余効変動が継続中であり、地表地震断層での変位の成長も確認されている。震源断層沿いの経時的な変形や、周辺活断層への影響評価が急がれる。

これらを踏まえ、第 218 回の重点検討課題では、各方面の専門家を招聘し、熊本地震の最新の知見を共有する。そのうえで、活断層と内陸地震発生機構への理解を深め、内陸地震予測への調査研究の方向性などについて議論する。