

平成28年11月11日

# 第213回 地震予知連絡会

## 記者会見資料

事務局：国土地理院

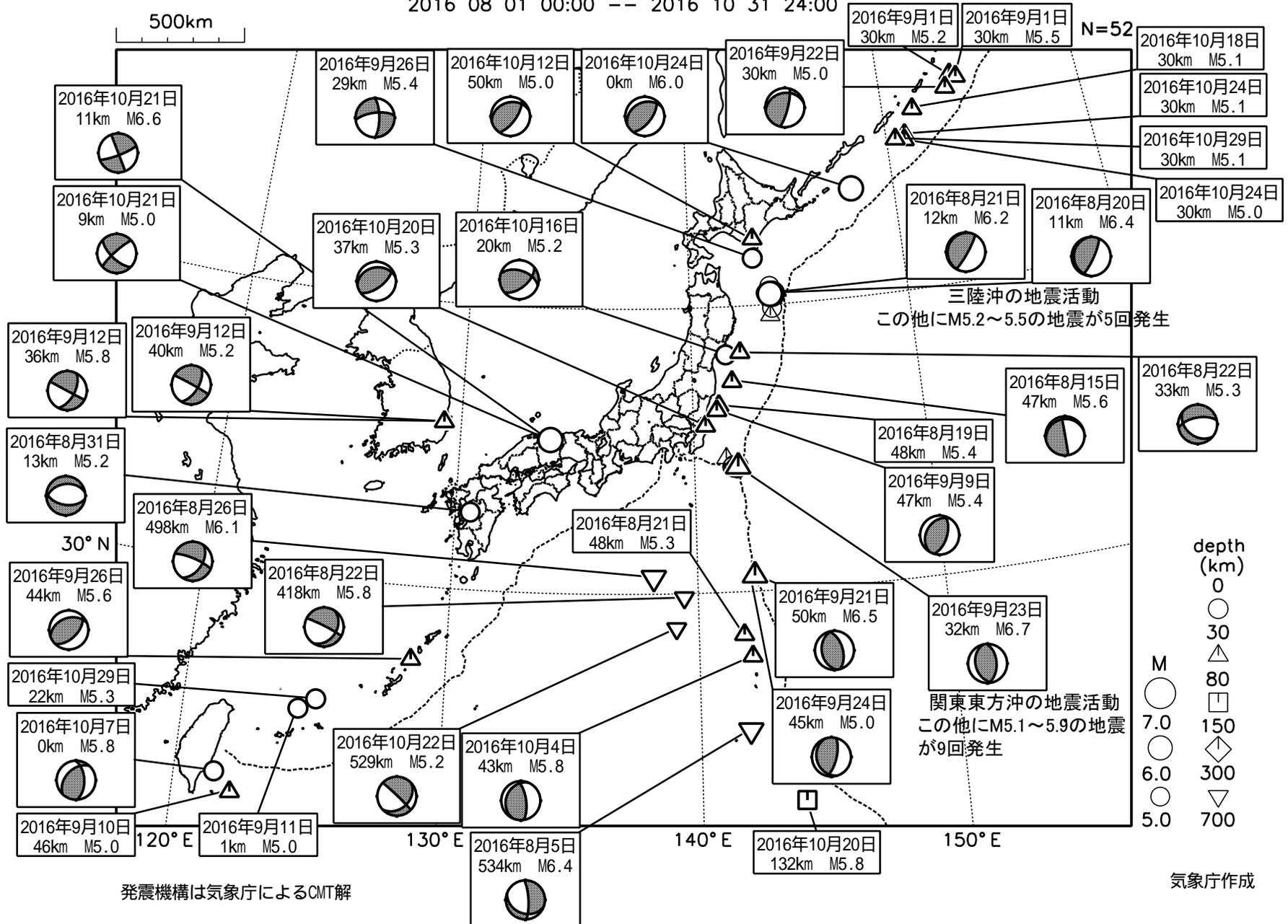


# 地殻活動モニタリングに 関する検討



# 日本とその周辺の地震活動（2016年8月～10月、M 5.0）

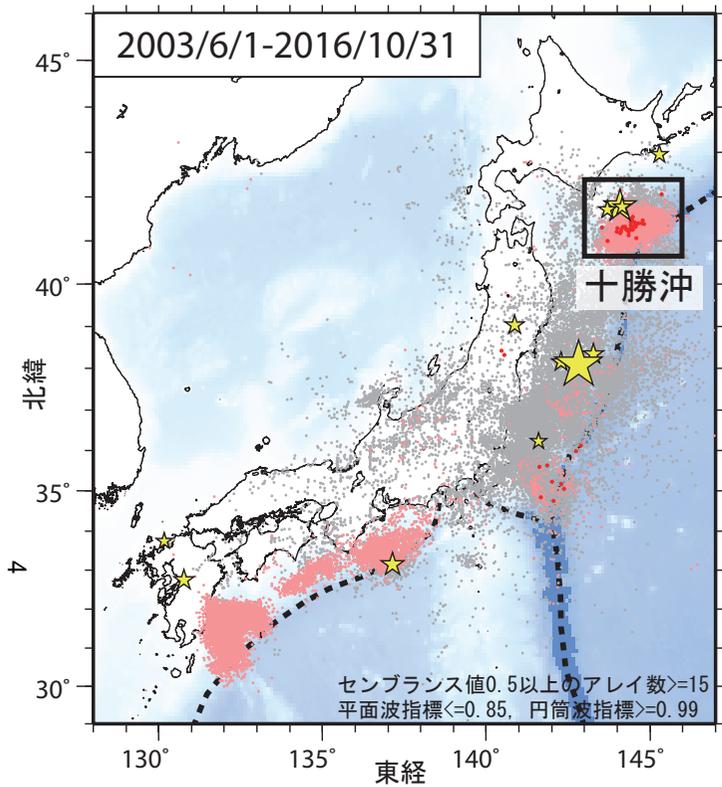
2016 08 01 00:00 -- 2016 10 31 24:00



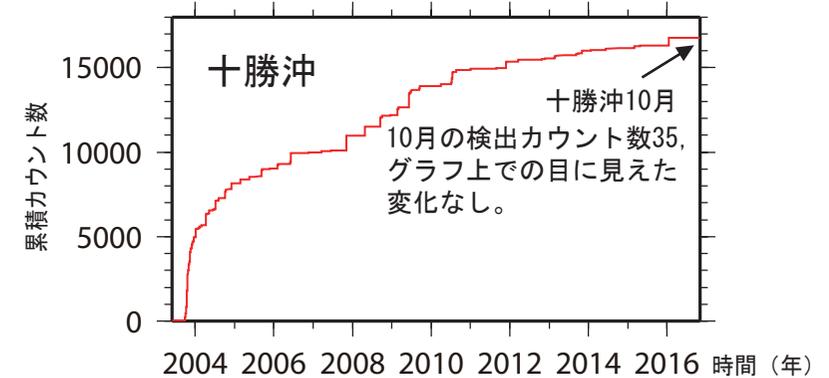
※三陸沖の地震活動、関東東方沖の地震活動は、M6.0以上の地震に吹き出しを記載

# 日本周辺における浅部超低周波地震活動（2016年8月～10月）

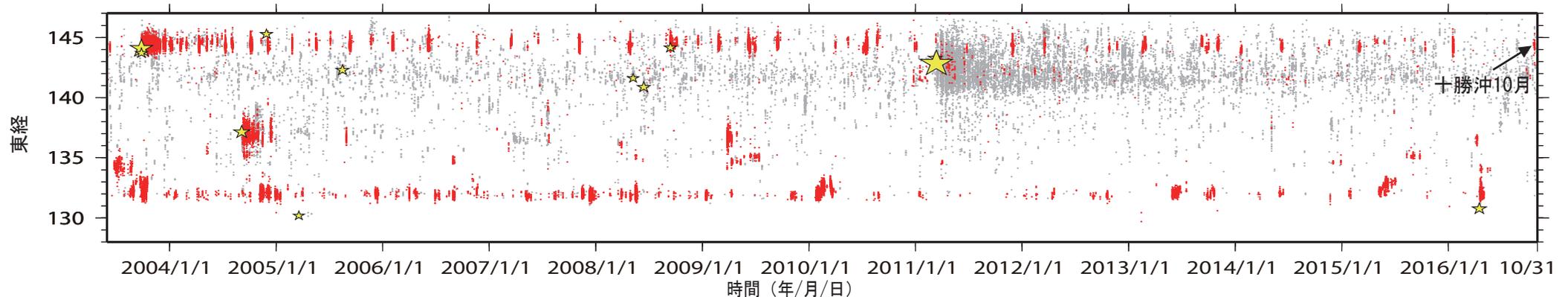
- 十勝沖で10月下旬に超低周波地震活動
- その他に目立った活動なし



第1図. 2003年6月1日から2016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 (2016年4月30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含む. 期間内に発生した  $M7$  以上の地震 (ただし, 2011年～2015年の期間は東北地方太平洋沖地震の本震のみ) の震央を黄色星印で示す.



第2図. 十勝沖における検出イベントの累積カウンント数の時間変化. 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カウンントと数えるよう定義した.



第3図. 2003年6月1日から2016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.

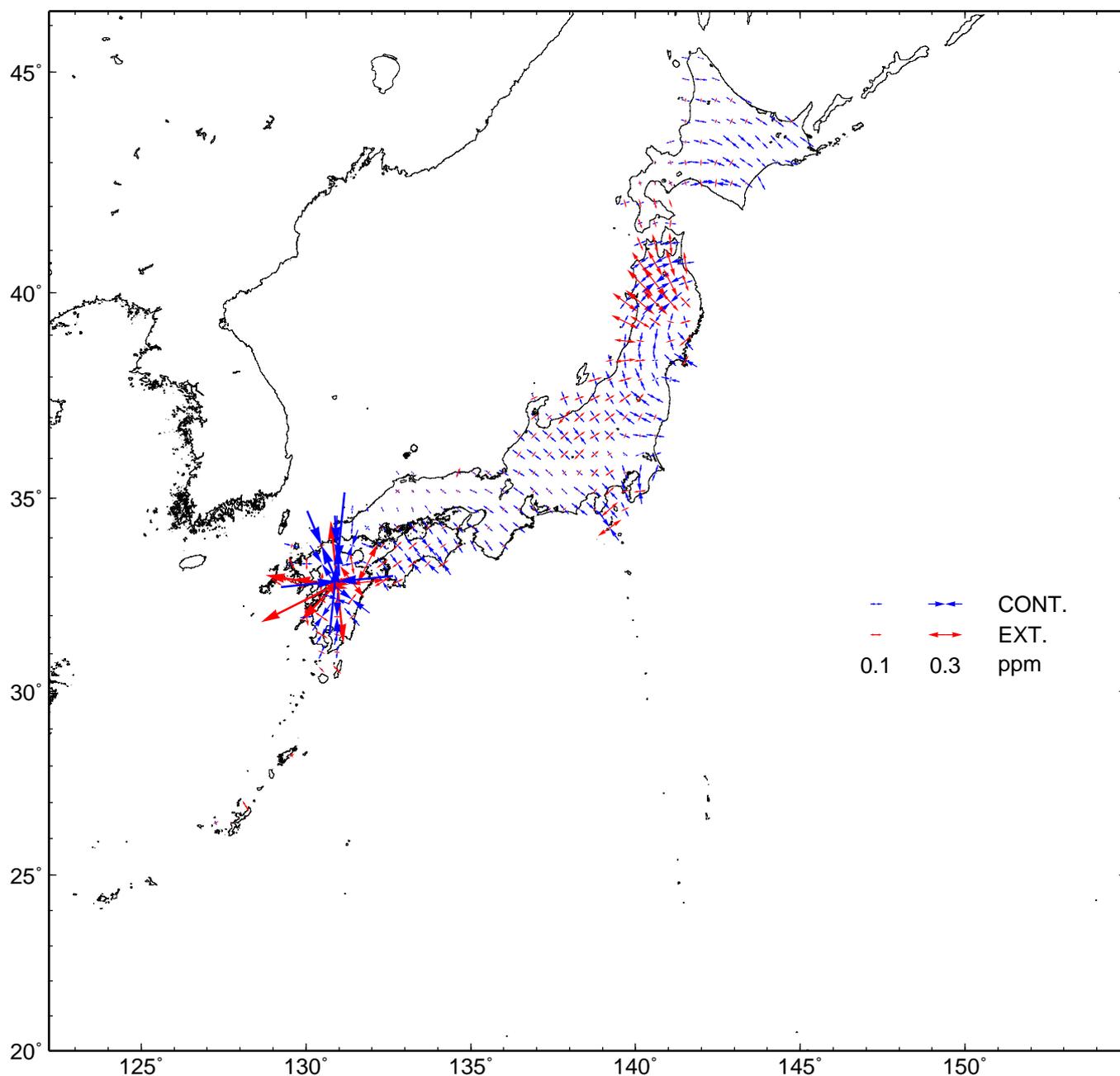
## GNSS 連続観測から推定した日本列島のひずみ変化

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。

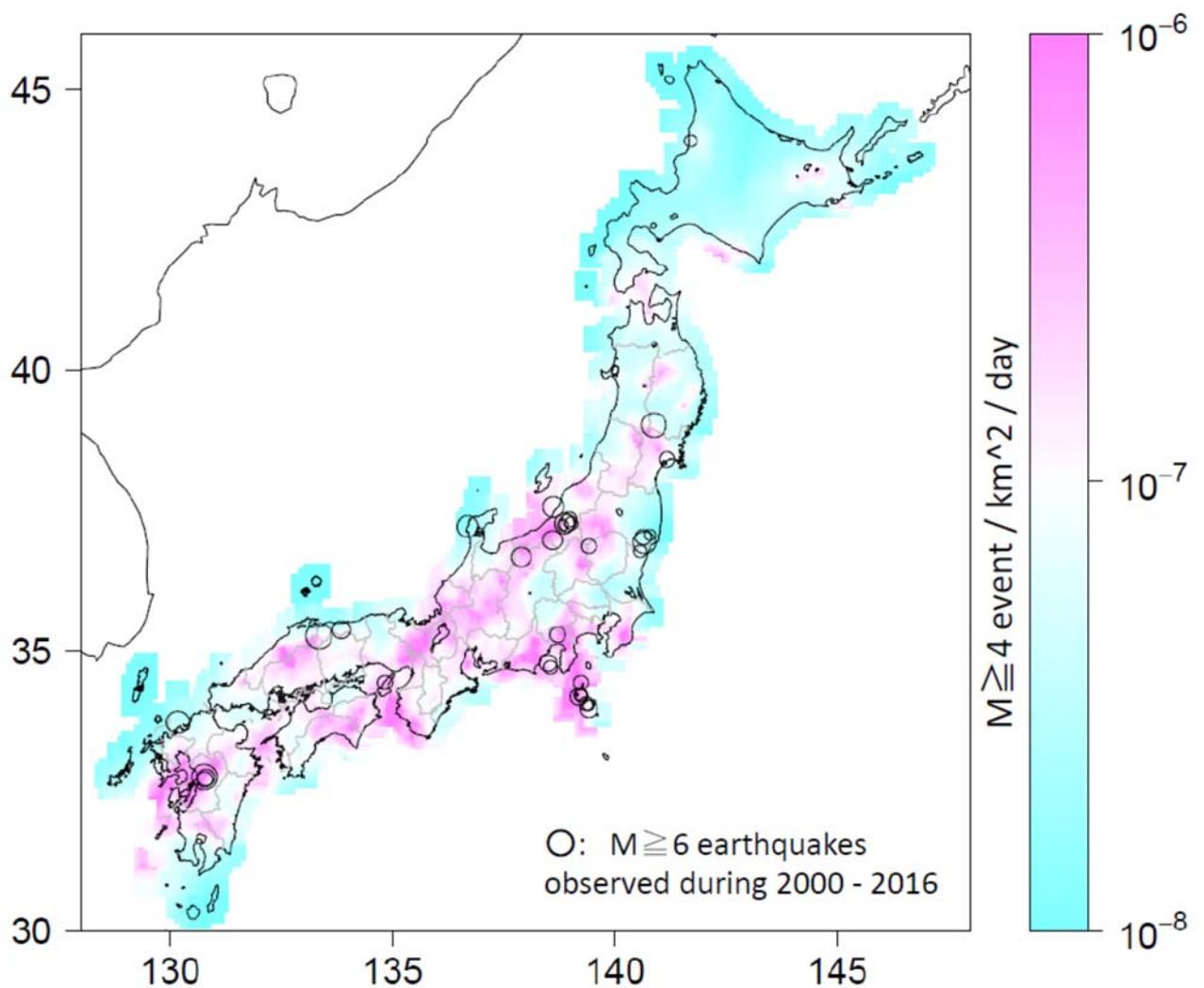
2016年4月に発生した熊本地震に伴う地殻変動の影響によるひずみが見られる。

基準期間：2015/09/24 - 2015/10/08 [F 3：最終解]

比較期間：2016/09/24 - 2016/10/08 [F 3：最終解]

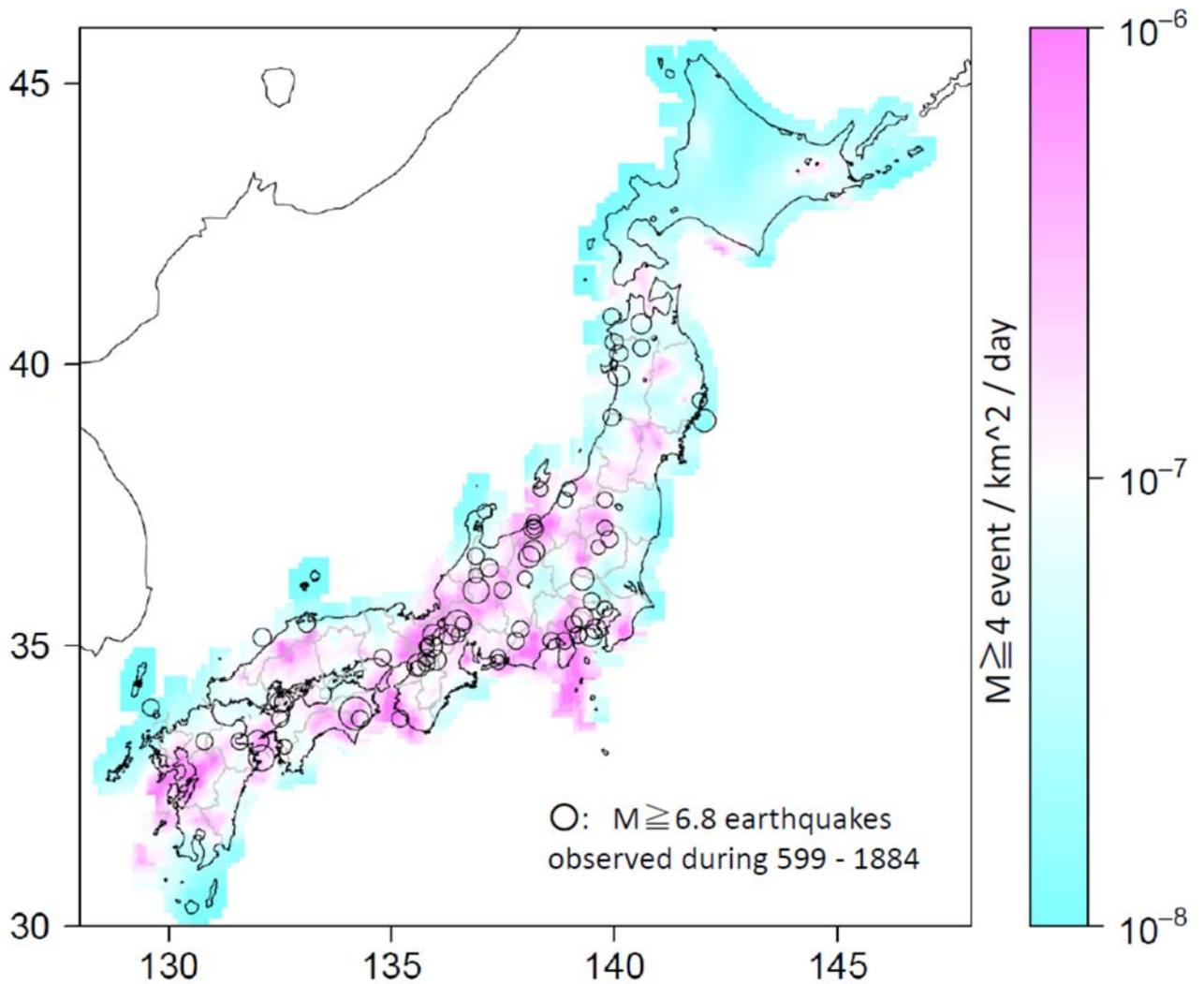


- ・ GNSS 連続観測による変位ベクトルからひずみ変化図を作成した。
- ・ 座標値の 15 日分の平均値から 1 年間の変位ベクトルを算出し、それに基づいてひずみを計算している。



第2図 階層時空間ETASモデルの常時地震活動度の地域性。第1図と同じ数値データであるが配色が違ふ。さらに2000~2016年4月までのM6.0以上の内陸直下型地震の震央を重ねている。

Fig. 2. Colors indicate background seismicity values of values that are same as those in the panels of Figure 1. In addition, all the inland earthquakes of  $M \geq 6.7$  that occurred during the period 2000-2016 are superimposed.

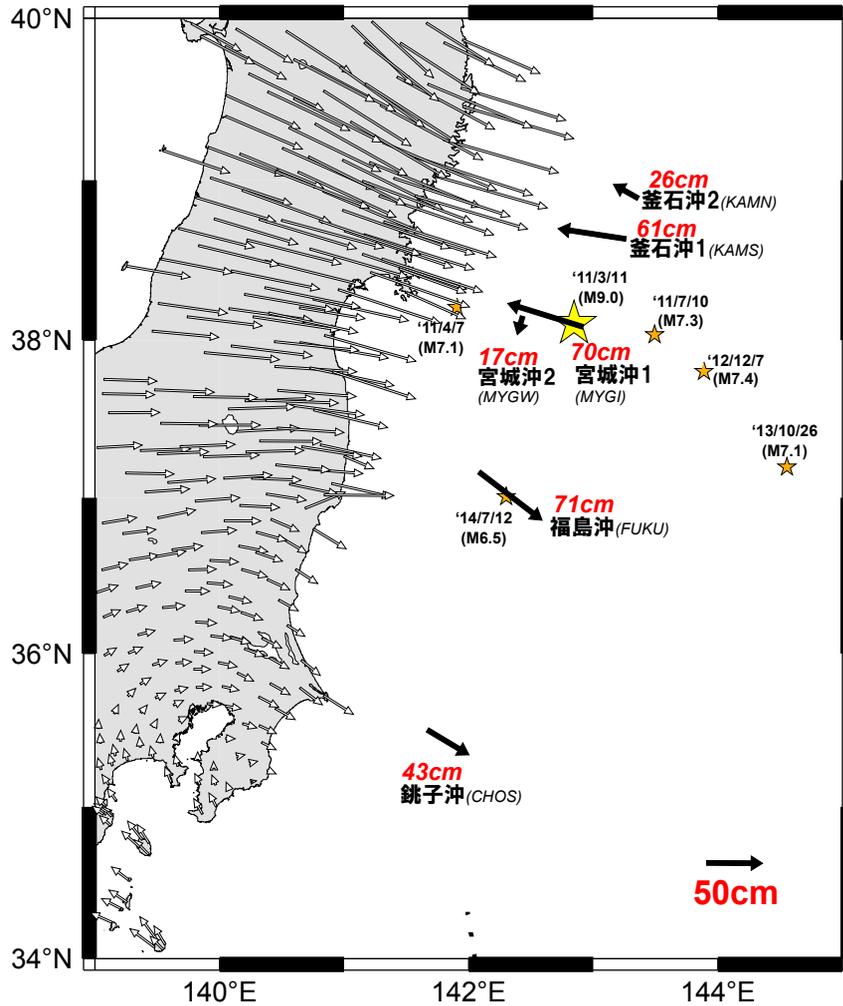


第3図 階層時空間 ETAS モデルの常時地震活動度の地域性。第1図の各パネルと同じ数値データであるが配色が違う。宇津<sup>4)</sup>による599-1884年までのM6.8以上の内陸と近辺の地震が追加されている。

Fig. 3. Colors indicate background seismicity values of values that are same as those in the panels in Figure 1. In addition, the inland earthquakes of  $M \geq 6.8$  from the Japan historical catalog of disastrous earthquake compiled by Utsu (<http://iisee.kenken.go.jp/utsu/index.html>) are superimposed.

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	2016/7/22	2016/7/23	2016/7/24	2016/7/24	2016/7/26	2016/5/24	2016/7/19-7/25
水平変位量	26cm	61cm	70cm	17cm	71cm	43cm	

- 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。

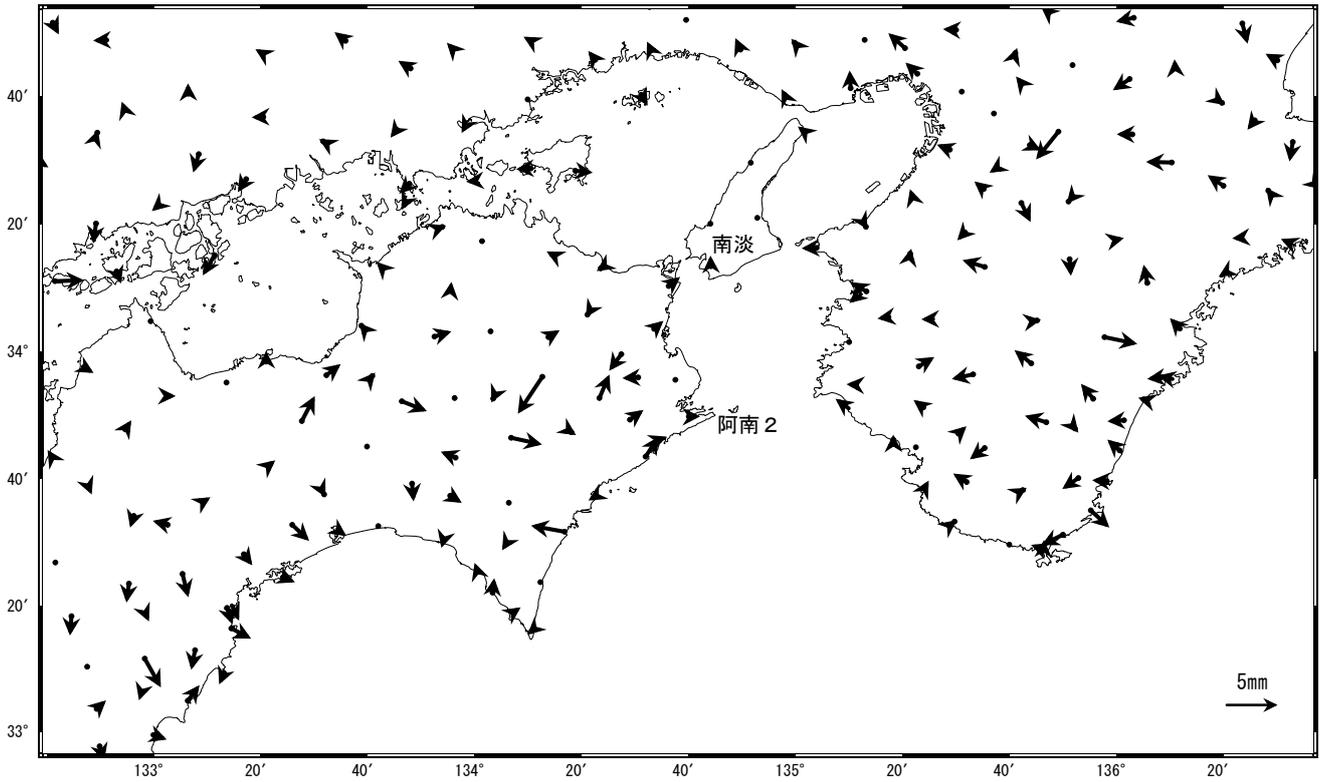
# 紀伊水道周辺の非定常的な地殻変動（1）

紀伊水道周辺で2014年半ば頃から観測された非定常的な地殻変動は、全般的にはほぼ収まったように見える。

地殻変動(水平) (一次トレンド・年周成分・半年周成分除去)

基準期間: 2016/07/01~2016/07/15 [F3: 最終解]  
比較期間: 2016/10/09~2016/10/15 [F3: 最終解]

計算期間: 2012/05/01~2014/05/01

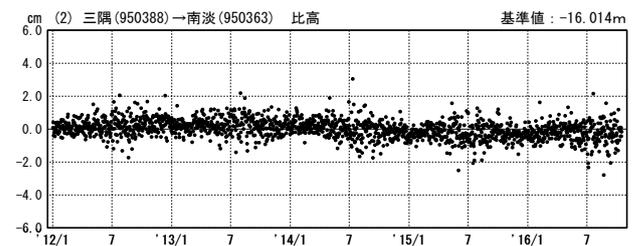
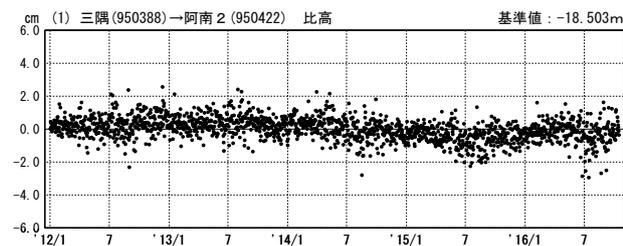
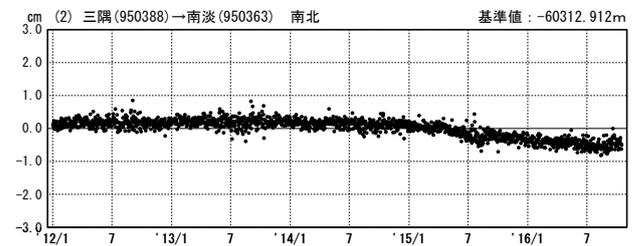
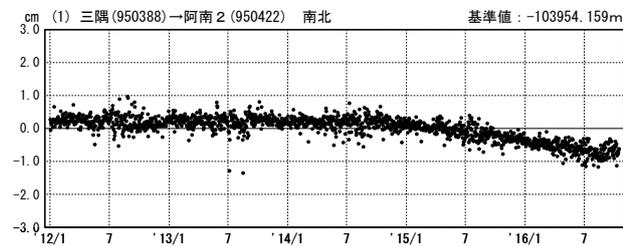
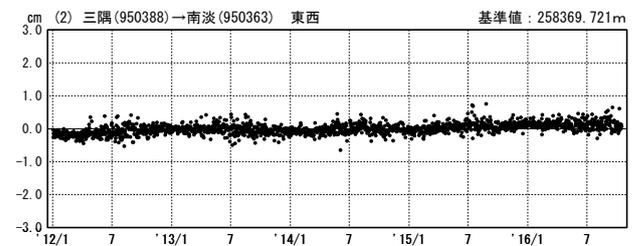
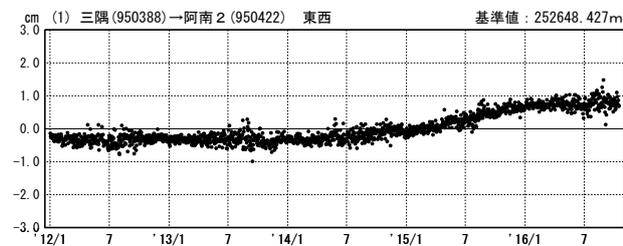


固定局: 三隅 (950388)

## 一次トレンド・年周成分・半年周成分除去後グラフ

期間: 2012/01/01~2016/10/15 JST

期間: 2012/01/01~2016/10/15 JST 計算期間: 2012/05/01~2014/05/01



●— [F3: 最終解]

※三隅及び高知県、愛媛県、広島県の観測局には2016年4月の熊本地震に伴う地殻変動の補正を行った。

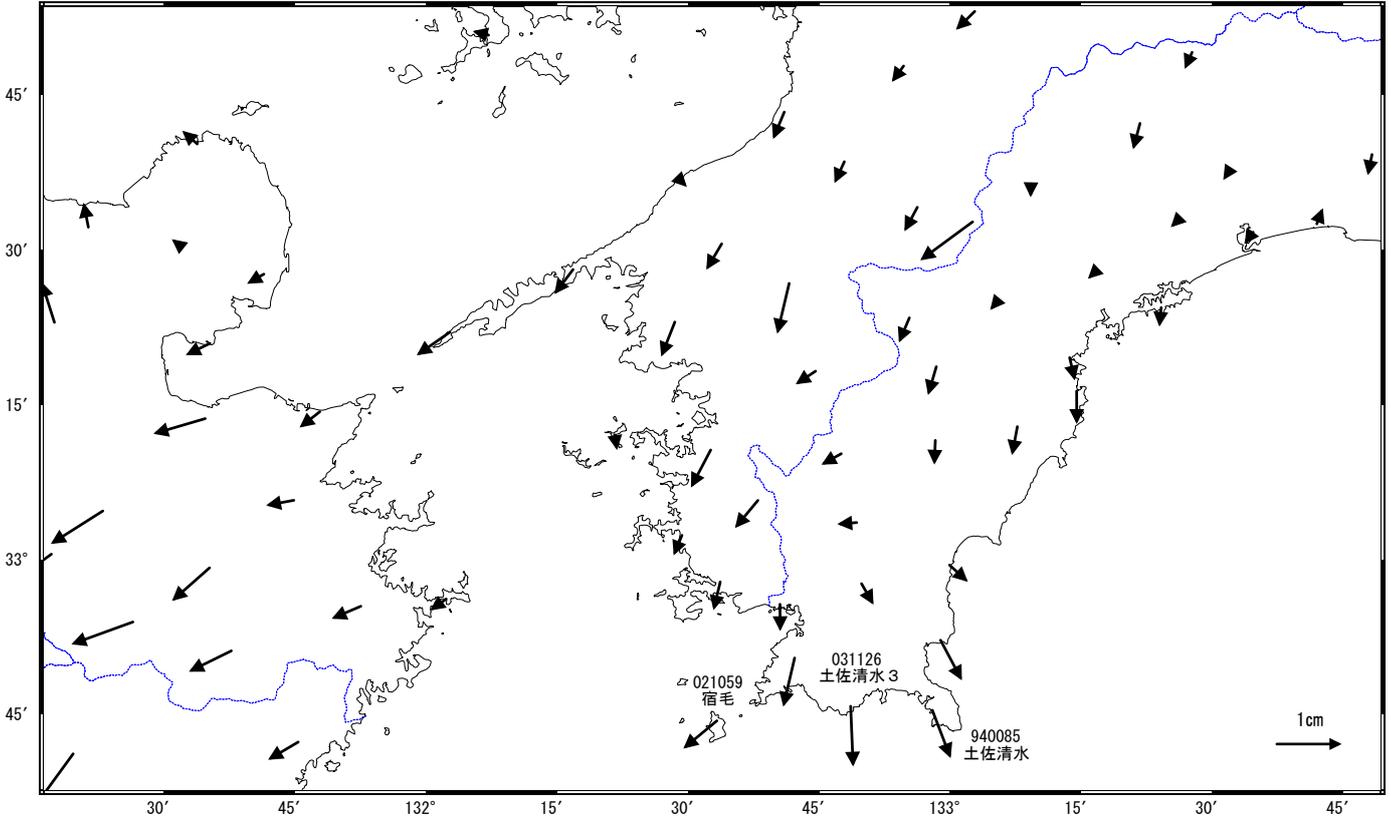
# 豊後水道周辺の非定常的な地殻変動（１）

豊後水道周辺で2015年12月頃から観測されている非定常的な地殻変動は、現在は鈍化している。

基準期間：2015/12/01～2015/12/15 [F3:最終解]  
比較期間：2016/10/15～2016/10/29 [R3:速報解]

## 地殻変動（水平）（一次トレンド除去）

計算期間：2006/01/01～2008/01/01

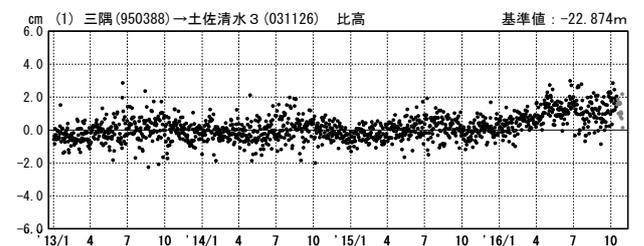
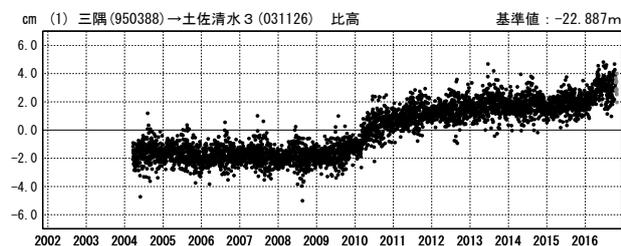
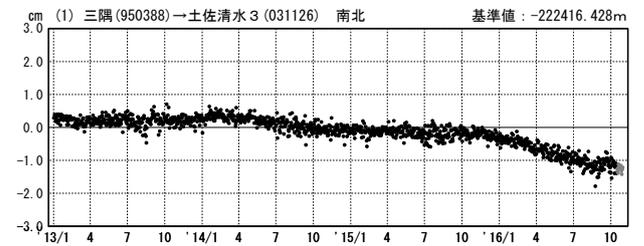
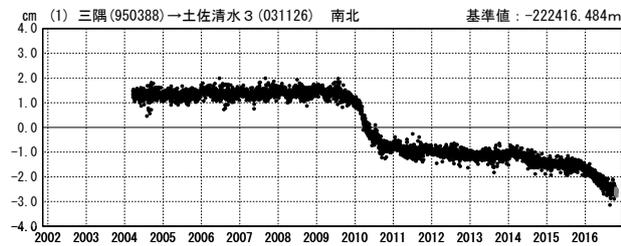
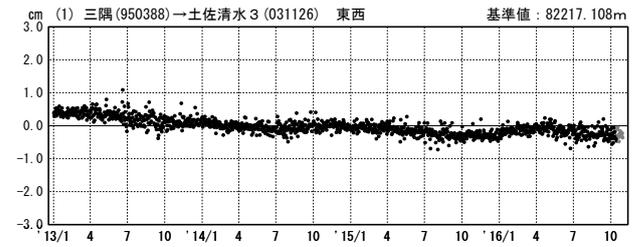
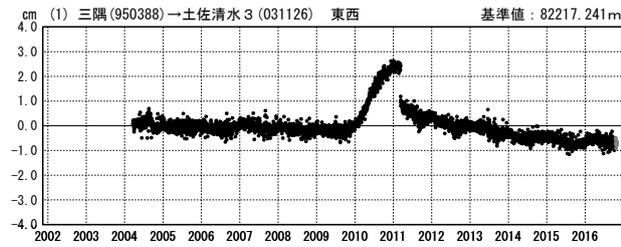


☆ 固定局：三隅 (950388)

## 一次トレンド除去後グラフ

期間：2002/01/01～2016/10/29 JST

期間：2013/01/01～2016/10/29 JST 計算期間：2006/01/01～2008/01/01



●—[F3:最終解] ●—[R3:速報解]

※全観測局に2016年4月の熊本地震に伴う地殻変動の補正を行った。

# 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 (2016年8月～10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：紀伊半島北部から東海地方，7月25日～8月5日．豊後水道から四国西部，10月23日～30日．
- 上記以外の主な微動活動：東海地方，10月16日～21日．紀伊半島北部，8月19日～23日．紀伊半島南部，8月12日～15日．四国東部，10月29日～11月4日．四国東部から西部，8月1日～9月7日（断続的な活動）．

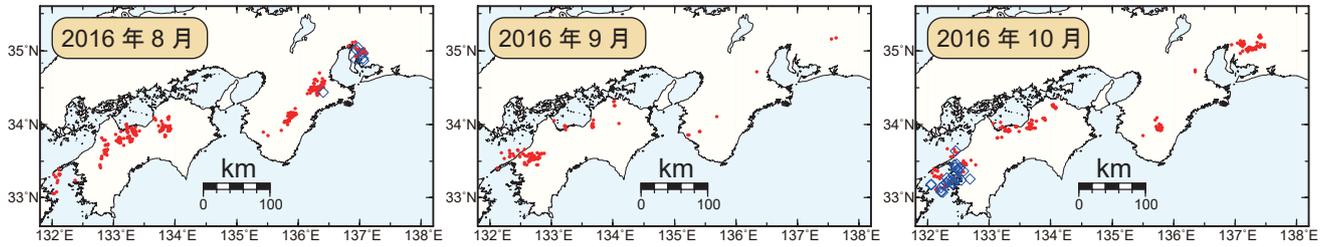


図1. 西南日本における2016年8月～10月の月毎の深部低周波微動活動．赤丸はエンベロープ相関・振幅ハイブリッド法 (Maeda and Obara, 2009) およびクラスタ処理 (Obara et al., 2010) において，1時間毎に自動処理された微動分布の重心である．青菱形は周期20秒に卓越する深部超低周波地震 (Ito et al., 2007) である．

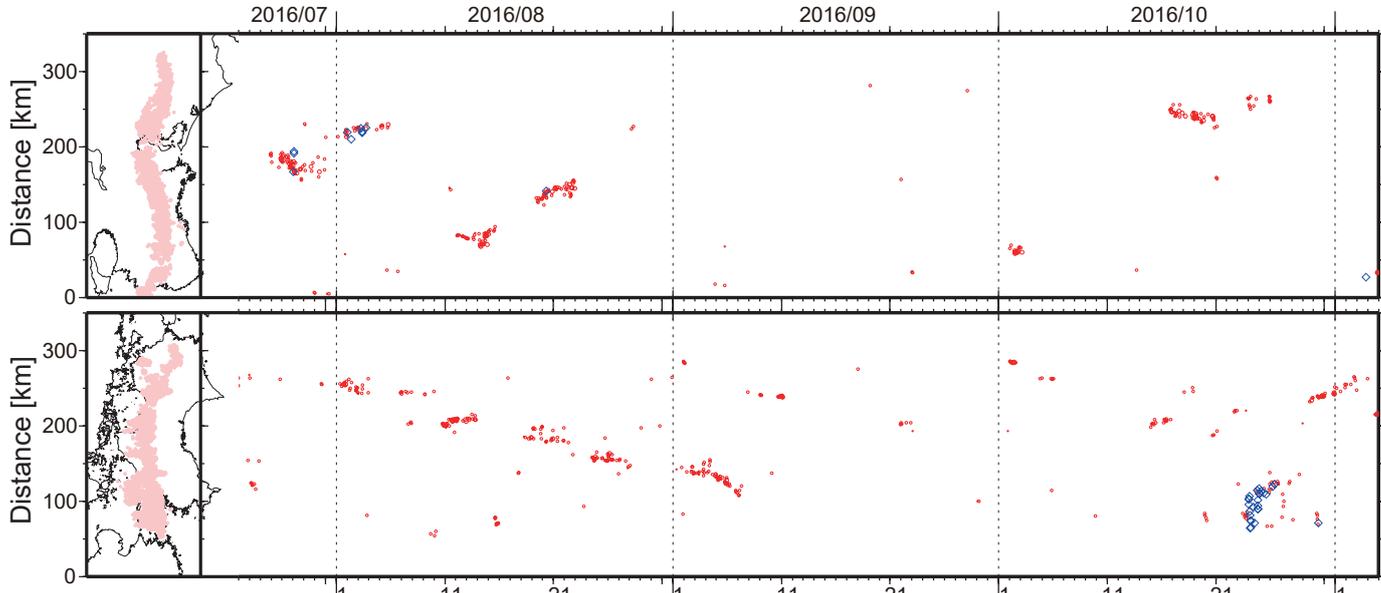


図2. 2016年7月23日～11月4日の深部低周波微動（赤）および，深部超低周波地震（青菱形）の時空間分布．

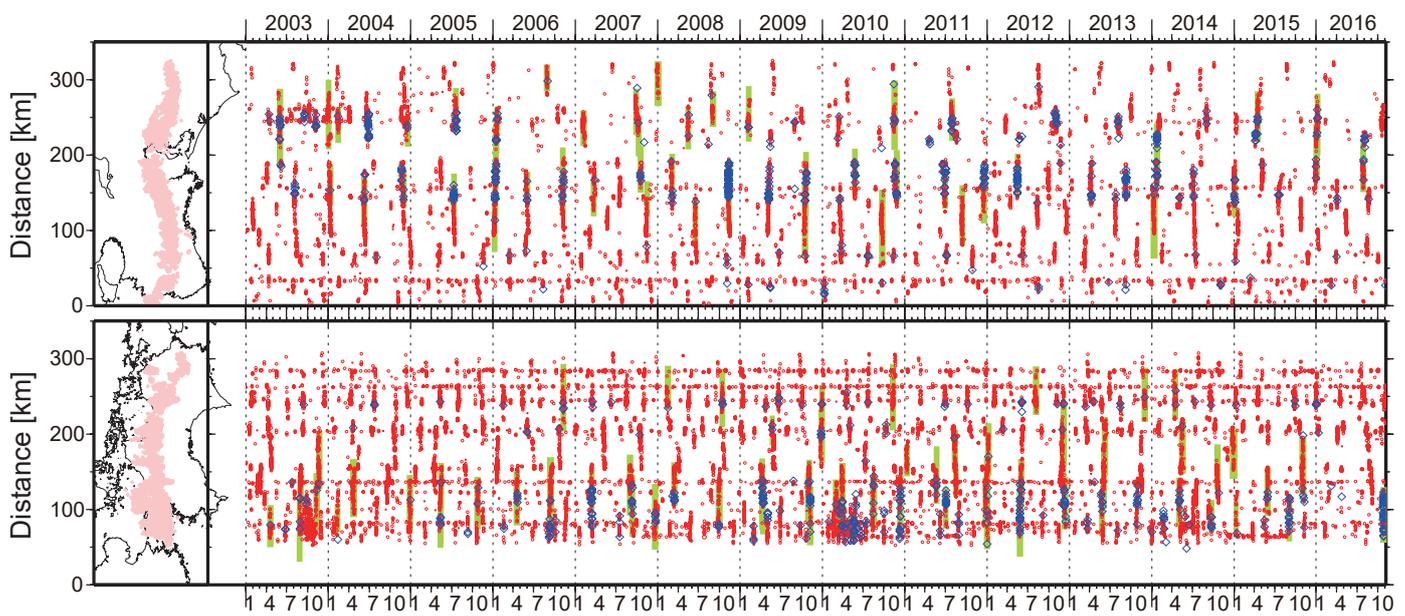
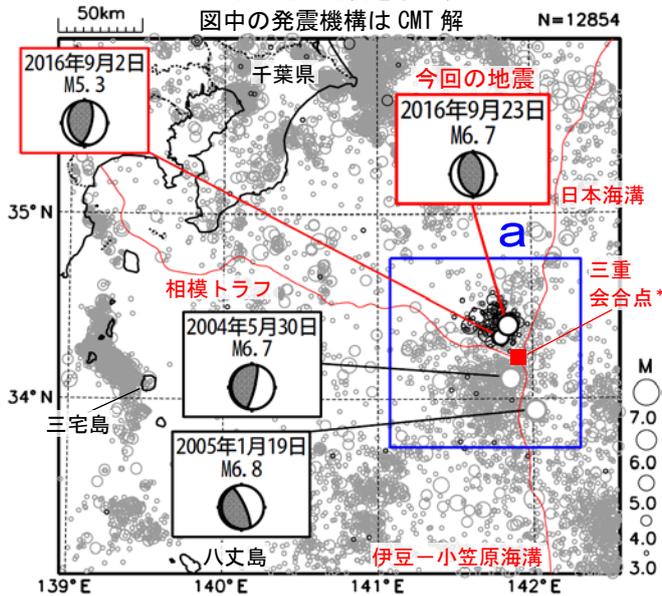


図3. 2003年1月～2016年11月4日までの深部低周波微動（赤）および，深部超低周波地震（青菱形）の時空間分布．緑太線は，傾斜変動から検出された短期的スロースリップイベント．

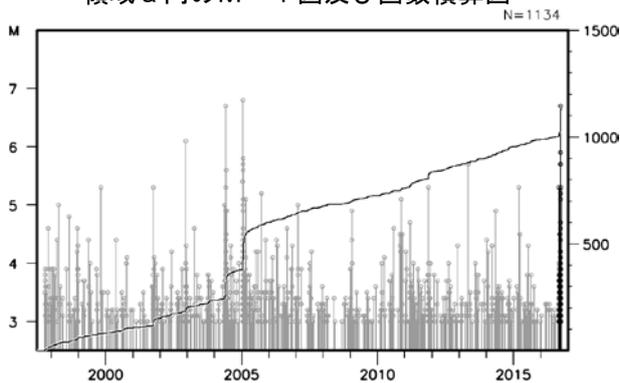
# 9月23日 関東東方沖の地震

震央分布図

(1997年10月1日～2016年9月30日、  
深さ0～100km、 $M \geq 3.0$ )  
2016年9月の地震を濃く表示  
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

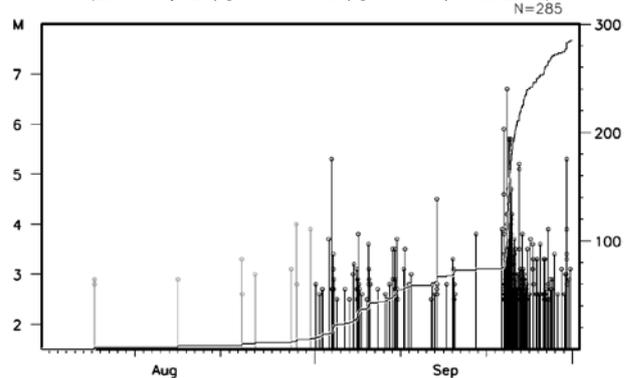


2016年9月23日09時14分に関東東方沖(プレート三重大会合点\*付近)の深さ15km(CMT解による)でM6.7の地震(最大震度1)が発生した。この地震は、発震機構(CMT解)が東西方向に圧力軸を持つ逆断層型であった。この地震により、八丈島八重根の巨大津波観測計(観測単位は0.1m)で高さ0.2mの津波を観測した。今回の地震の震央周辺(領域a)では、9月になってから地震活動が活発になっていて、9月2日にはM5.3の地震が発生している。この地震を含め、9月30日までにM5.0以上の地震が9回発生した。

1997年10月以降の活動をみると、領域a内では、M6.0以上の地震が時々発生している。このうち、2005年1月19日に発生したM6.8の地震(最大震度1)では、三宅島坪田で高さ39cmの津波を観測した。

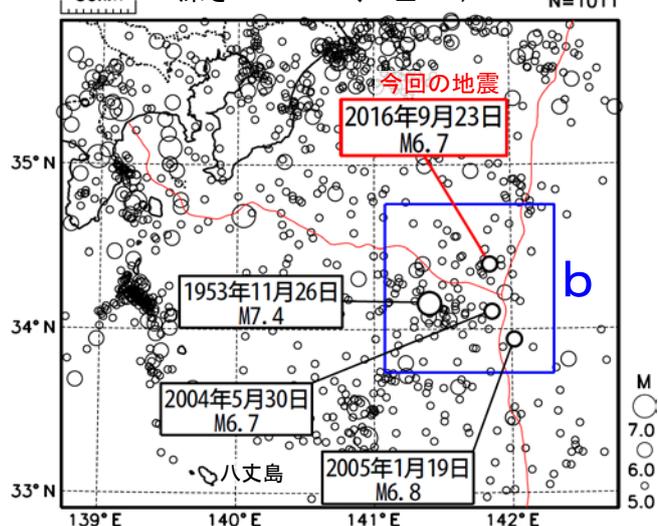
領域a内のM-T図及び回数積算図

(2016年8月1日～9月30日、 $M \geq 2.5$ )



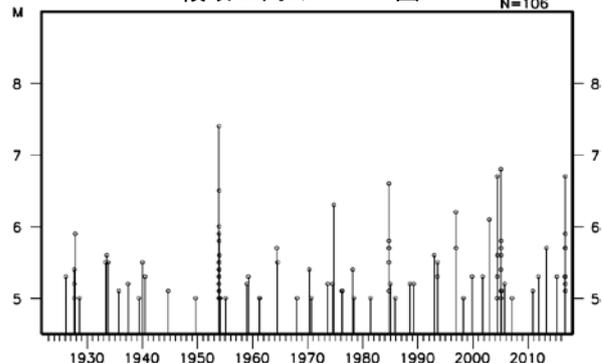
震央分布図

(1923年1月1日～2016年9月30日、  
深さ0～100km、 $M \geq 5.0$ )



1923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、M6.0以上の地震が時々発生している。このうち1953年11月26日に発生したM7.4の地震(最大震度5)では、八丈島八重根で高さ150cmの津波が観測されたほか、北海道地方から四国地方にかけての太平洋沿岸で津波が観測された。

領域b内のM-T図



\*三重大会合点：三つのプレートが一点で接する場所。房総半島の南東約150km沖では、日本海溝、伊豆-小笠原海溝、相模トラフが交わる海溝-海溝-海溝型の三重点がある。

## 2016年10月21日 鳥取県中部の地震

### (1) 概要

2016年10月21日14時07分に、鳥取県中部の深さ11kmでM6.6の地震が発生し、鳥取県倉吉市、湯梨浜町、北栄町で震度6弱、鳥取県鳥取市、三朝町、岡山県真庭市、鏡野町で震度5強を観測したほか、中国地方を中心に、関東地方から九州地方にかけて震度5弱～1を観測した。

この地震により、負傷者28人、住家全壊2棟、住家半壊3棟などの被害を生じた（11月2日9時00分現在、総務省消防庁による）。気象庁はこの地震に対して、最初の地震波の検知から12.1秒後の14時07分36.4秒に緊急地震速報（警報）を発表した。

気象庁では、気象庁機動調査班（JMA-MOT）等を派遣し、この地震により震度6弱～5強を観測した震度観測点及びその周辺において、震度観測点の観測環境及び地震動による被害状況について現地調査を実施した。現地調査の結果、震度5強以上を観測した地点の観測環境に異常は認められなかった。

今回の鳥取県中部の地震による被害状況を表1-1に、震度1以上の最大震度別地震回数表、及び震度1以上の日別地震回数グラフを次頁に示す。

表1-1 2016年10月21日の鳥取県中部の地震による被害状況

（2016年11月2日9時00分現在、総務省消防庁による）

都道府県名	人的被害			住家被害			非住家被害	
	死者	負傷者		全壊	半壊	一部破損	公共建物	その他
		重傷	軽傷					
人	人	人	棟	棟	棟	棟	棟	
大阪府			1					
兵庫県			3					
鳥取県		4	17	2	3	8,894		7
岡山県		1	2			19		1
合計		5	23	2	3	8,913		8

## (2) 地震活動

### ア. 地震の発生場所の詳細及び地震の発生状況

2016年10月21日14時07分に、鳥取県中部の深さ11kmでM6.6の地震（最大震度6弱）が発生した。

この地震発生以降、地震活動が非常に活発になり、10月31日までにM4.0以上の地震が11回、最大震度4以上の地震が9回発生している。地震活動は、北北西-南南東方向に延びる長さ約10kmの領域を中心に発生しており、減衰しつつも継続している。

また、同日12時12分には、この地震の震央付近の深さ10kmでM4.2の地震（最大震度4）が発生し、その後、ややまとまった地震活動が発生していた。

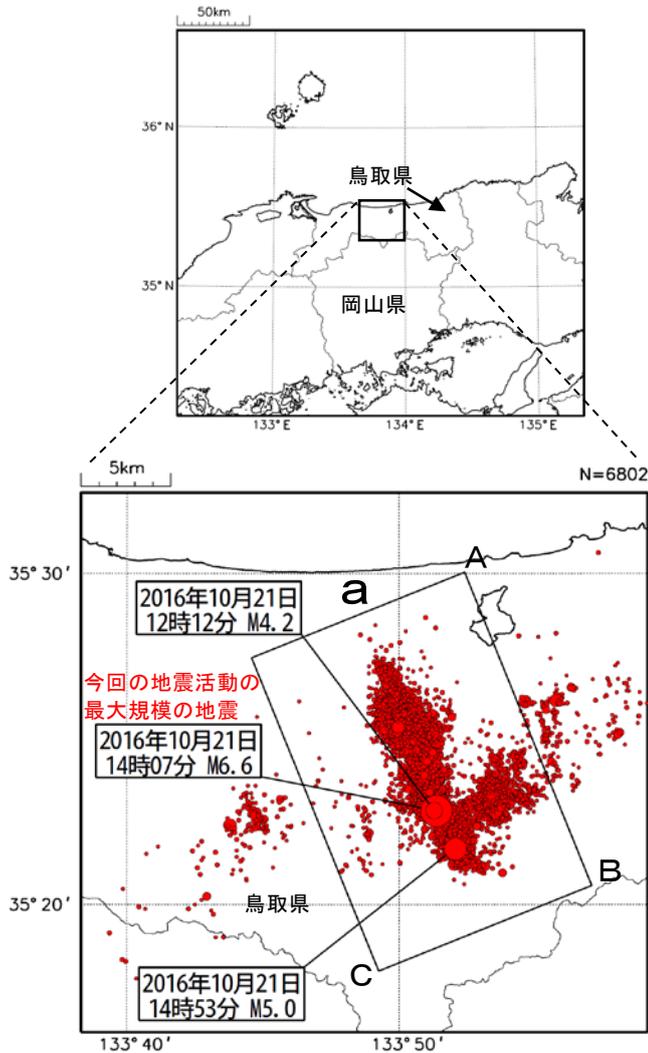


図2-1 震央分布図  
(2016年10月21日～2016年10月31日  
深さ0～20km、M0.5以上)

表2-1 領域a内の最大震度4以上の地震の表

番号	発震時	震央地名	深さ	M	最大震度
1	10月21日 12時12分	鳥取県中部	10	4.2	4
2	10月21日 14時07分	鳥取県中部	11	6.6	6弱
3	10月21日 14時08分	鳥取県中部	7	3.7	4
4	10月21日 14時30分	鳥取県中部	10	4.4	4
5	10月21日 14時33分	鳥取県中部	5	4.4	4
6	10月21日 14時46分	鳥取県中部	9	3.8	4
7	10月21日 14時53分	鳥取県中部	9	5.0	4
8	10月21日 16時52分	鳥取県中部	6	4.1	4
9	10月21日 17時59分	鳥取県中部	9	4.3	4
10	10月29日 13時43分	鳥取県中部	7	4.5	4

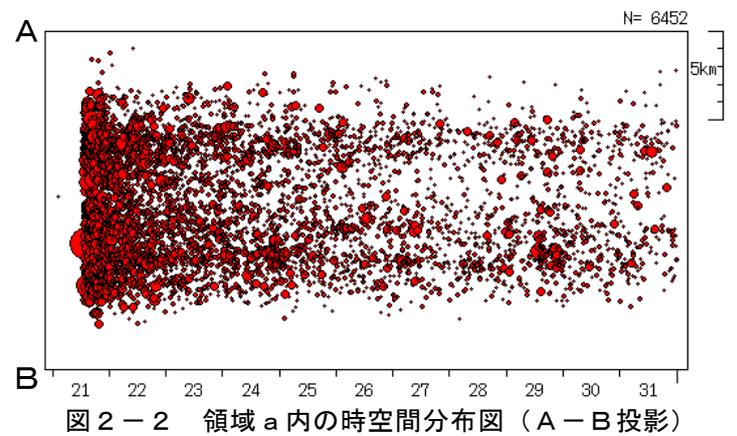


図2-2 領域a内の時空間分布図（A-B投影）

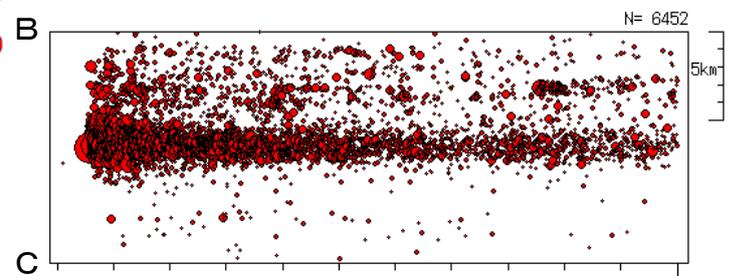


図2-3 領域a内の時空間分布図（B-C投影）

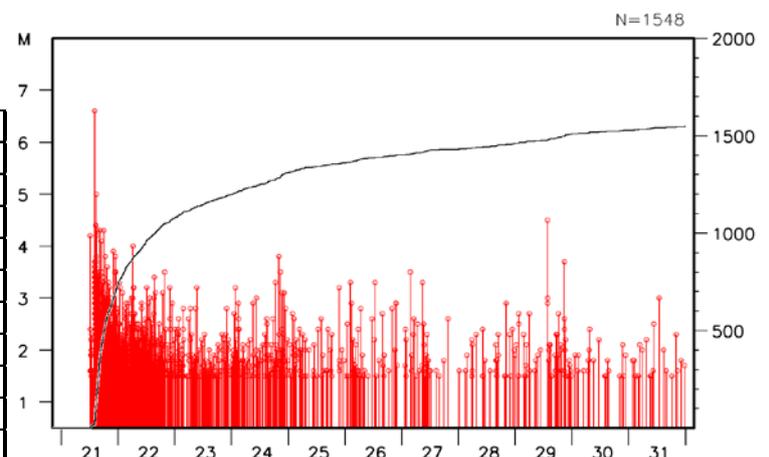


図2-4 領域a内のM-T図  
及び回数積算図（M≥1.5）

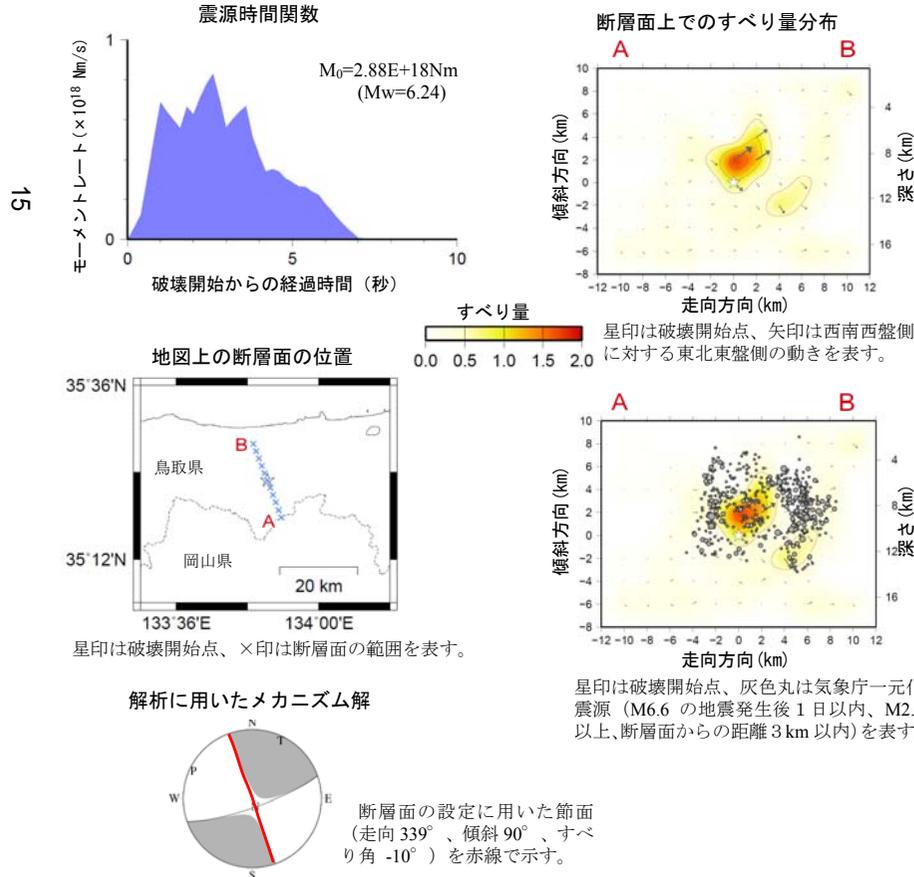
# 2016年10月21日 鳥取県中部の地震 — 近地強震波形による震源過程解析（暫定） —

2016年10月21日14時07分（日本時間）に鳥取県中部で発生した地震（M<sub>JMA</sub>6.6）について、国立研究開発法人防災科学技術研究所の強震観測網（K-NET、KiK-net）及び気象庁震度計の近地強震波形を用いた震源過程解析を行った。

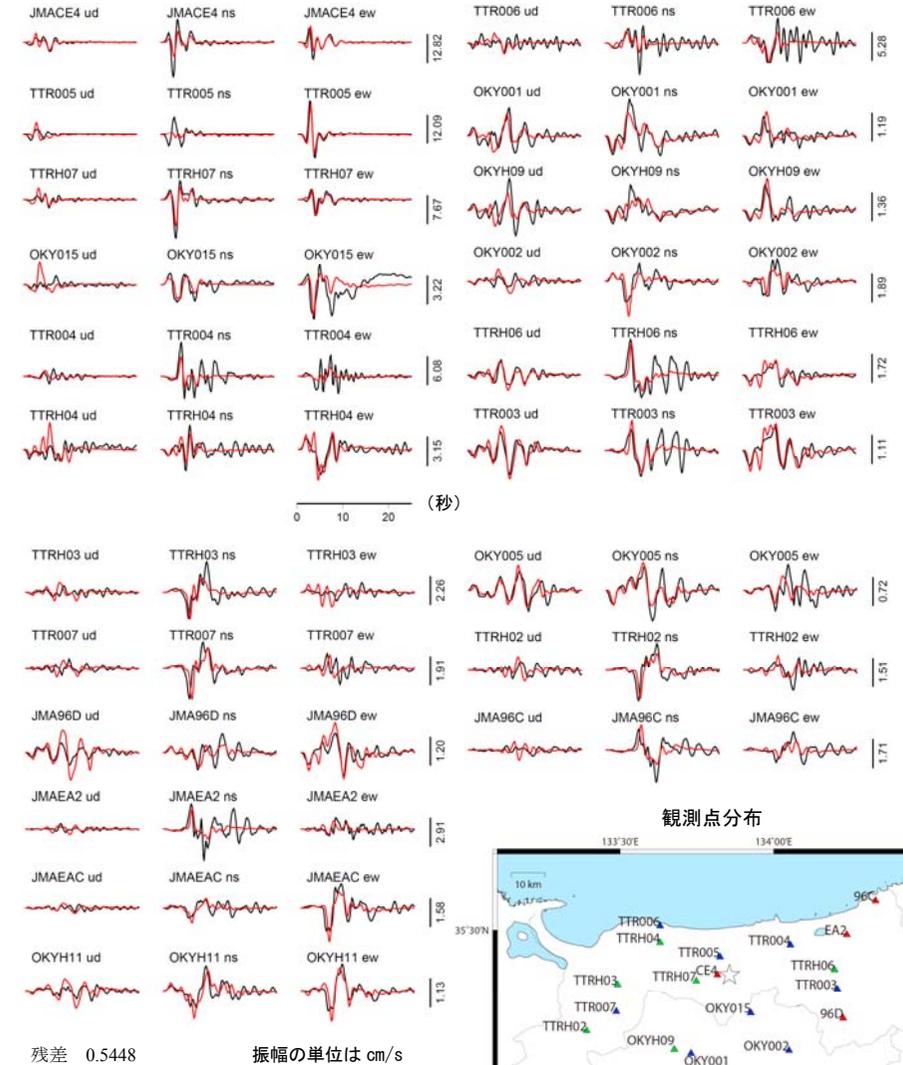
破壊開始点は、気象庁による震源の位置（35° 22.8′ N、133° 51.3′ E、深さ11km）とした。断層面は、気象庁 CMT 解の2枚の節面のうち、余震分布に整合的な北北西-南南東走向の節面（走向339°、傾斜90°）を仮定して解析した。最大破壊伝播速度は2.6km/sとした。理論波形の計算には、Koketsu et al. (2012)の結果を参考に設定した地下構造モデルを用いた。

- 主な結果は以下のとおり（この結果は暫定であり、今後更新することがある）。
- ・主なすべり領域は走向方向に約8km、傾斜方向に約8kmであった。
  - ・主なすべりは破壊開始点から浅い領域に広がっている。
  - ・最大すべり量は1.7mであった（周辺の構造から剛性率を31GPaとして計算）。
  - ・主な破壊継続時間は約7秒であった。
  - ・モーメントマグニチュード(M<sub>w</sub>)は6.2であった。

結果の見方は、[http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/sourceprocess/about\\_srcproc.html](http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/sourceprocess/about_srcproc.html)を参照。



## 観測波形（黒：0.05Hz-0.5Hz）と理論波形（赤）の比較



謝辞 国立研究開発法人防災科学技術研究所の強震観測網（K-NET、KiK-net）を使用しました。

参考文献  
 Koketsu, K., H. Miyake and H. Suzuki, Japan Integrated Velocity Structure Model Version 1, paper no. 1773. Paper Presented at the 15<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, International Association for Earthquake Engineering, Lisbon, 24-28 Sept. 2012.

# DD法による2016年10月21日鳥取県中部の震源分布

- 1943年鳥取地震の震源断層西端付近にある活動も含め、鳥取県中部では北北西-南南東に並ぶ地震活動が何列も連なる。
- 2016年9月下旬の活動は西側1kmほど離れており別の断層による活動の可能性が高い。

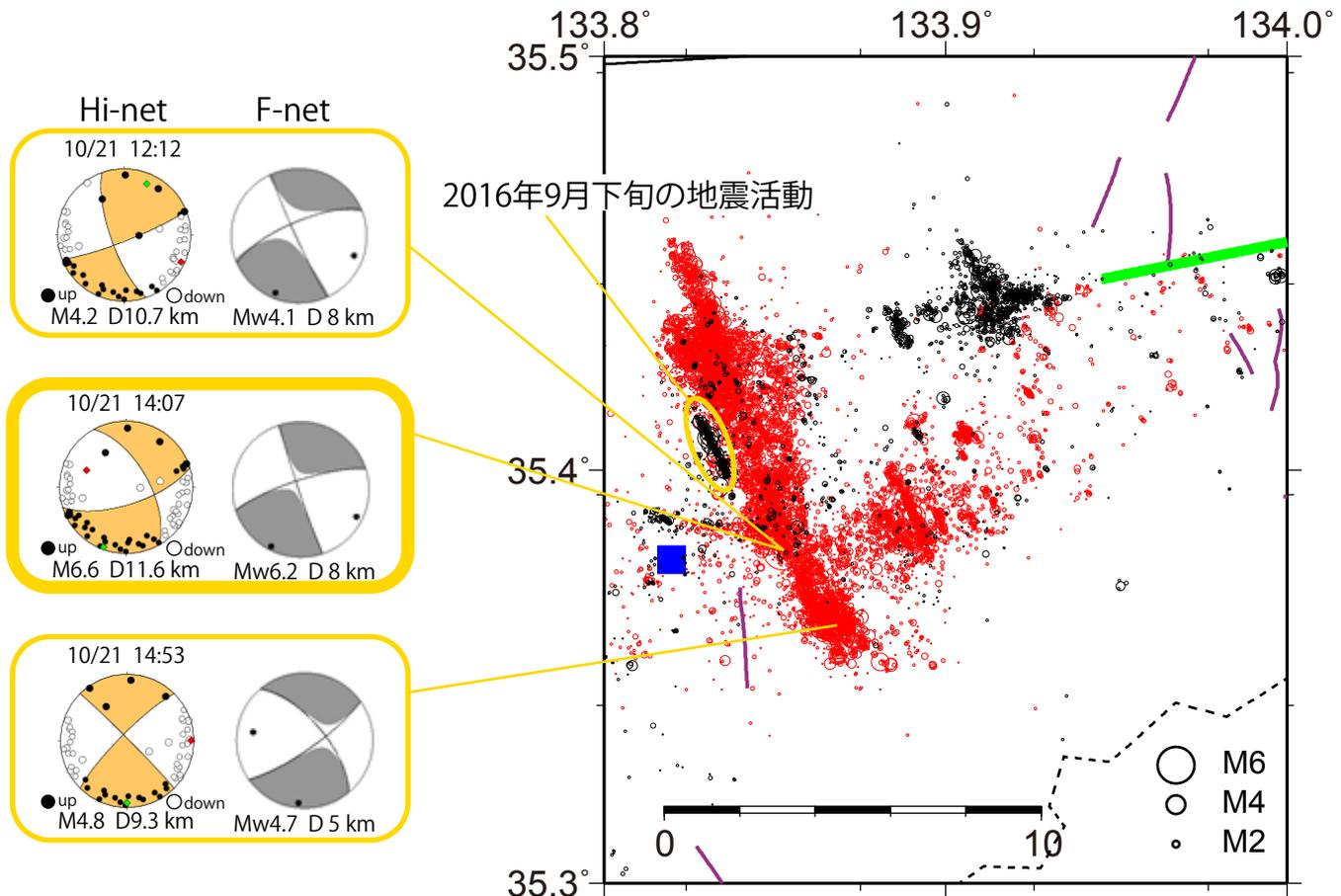
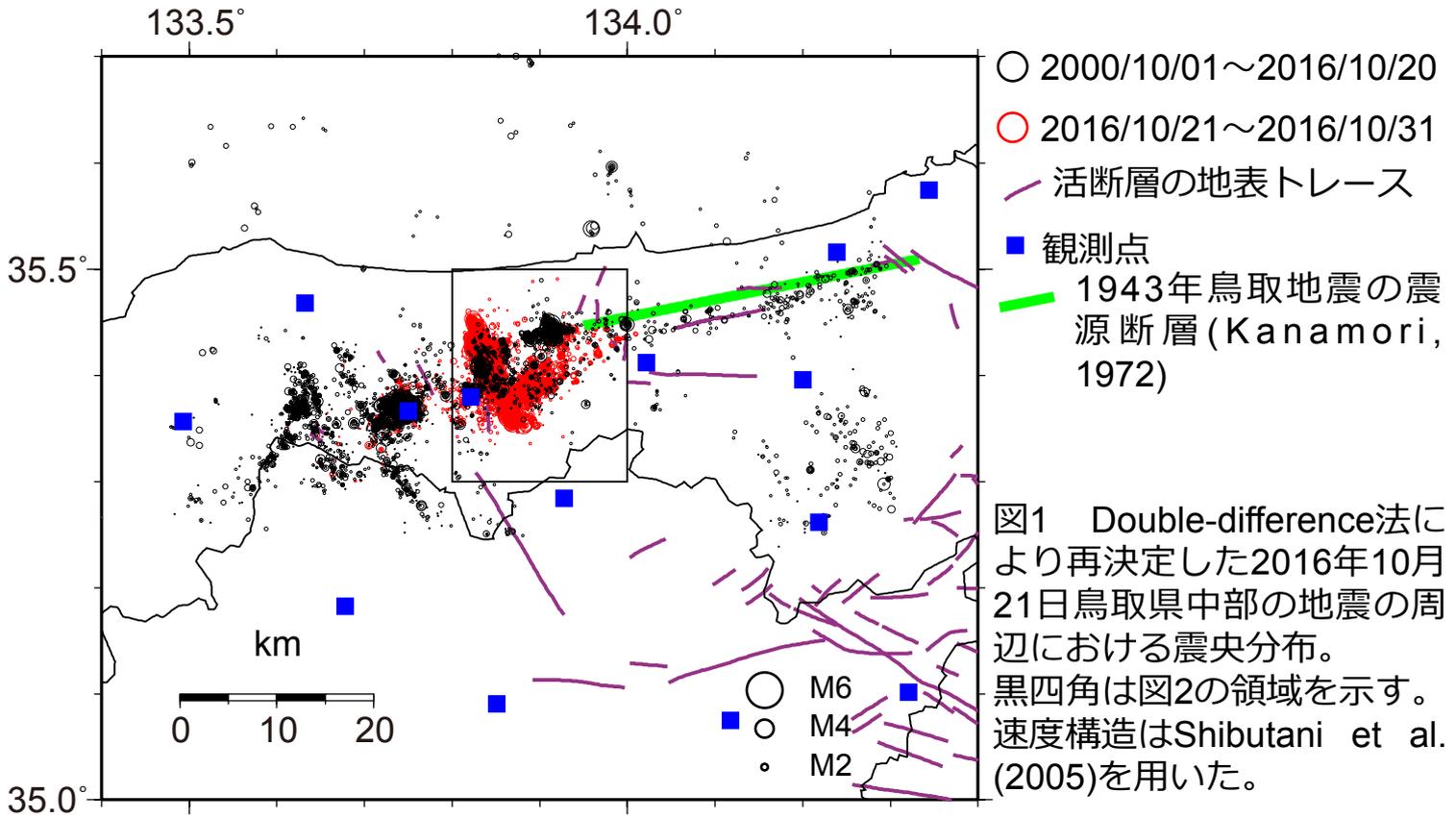


図2 Double-difference法により再決定した2016年10月21日鳥取県中部の地震の震央分布および防災科研Hi-net, F-netにより発震機構解(初動解およびMT解)。図1の黒四角領域の拡大図。シンボルは図1と同じ。

- ・震源から北側と南側で震央分布の走向に違いがみられ、南側ではやや東に振れる。(図3a)
- ・本震の震源の北側ではほぼ鉛直な面上に震源が並ぶ(図3b)が、南側ではやや西に傾斜する面上に載り(図3c)防災科研F-netのMT解によるdip(88°)と一致する。

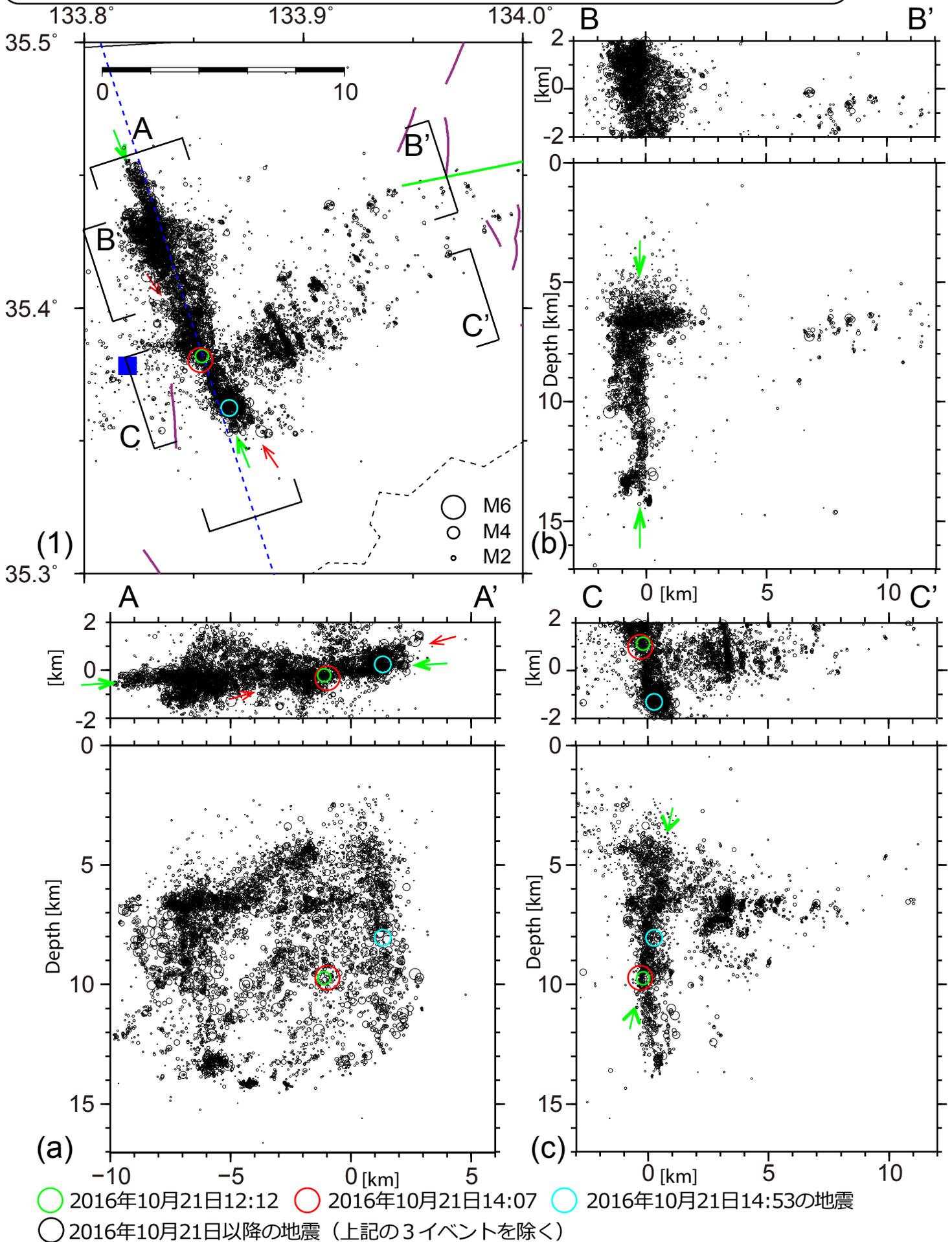


図3 (1)震央分布および(a)~(c)鉛直断面図。(a)断層走向162°に沿った鉛直断面図。(b)震源から北側における鉛直断面図。(c)本震の震源を含む鉛直断面図。(1)~(c)の矢印は震源分布の並びを示す。

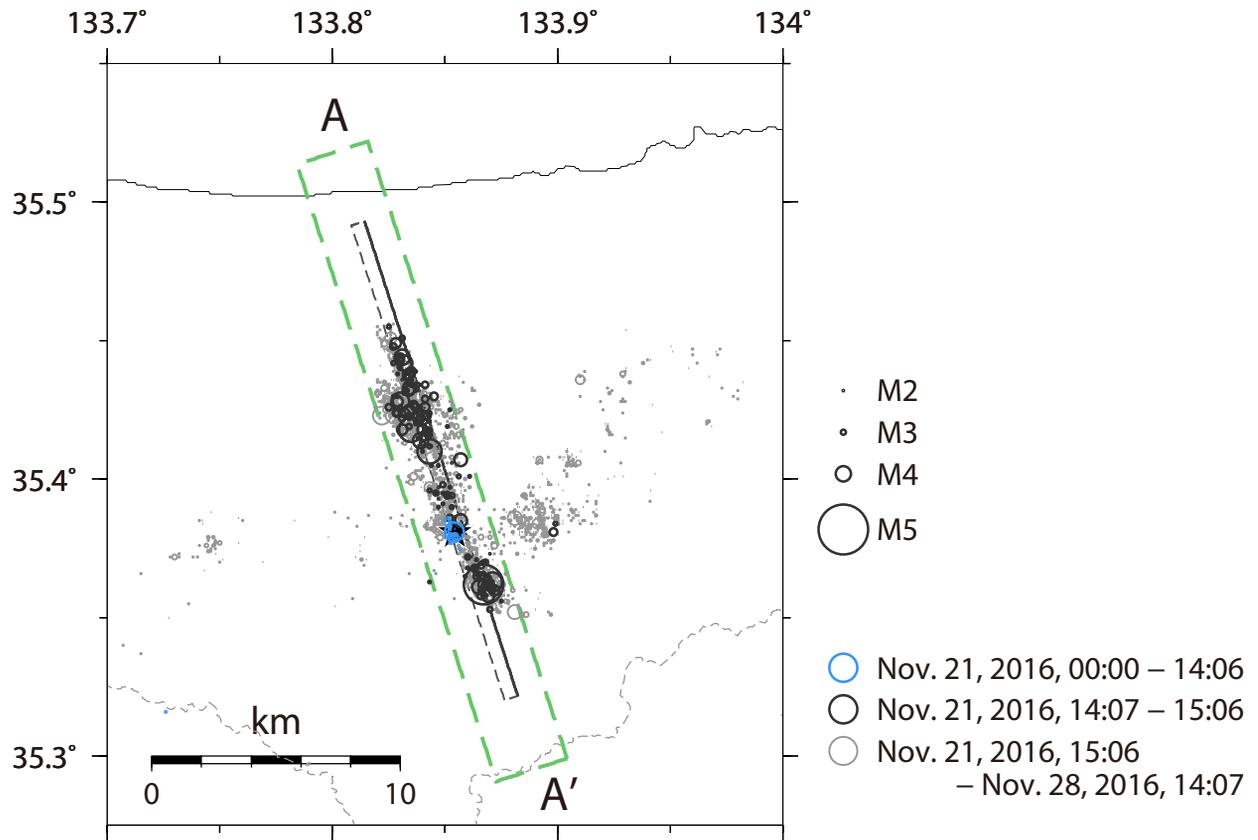


図5：2016年10月21日から28日までの地震活動の震央分布。ここではHi-netによる震源情報を用いた。星印は破壊開始点を示す。

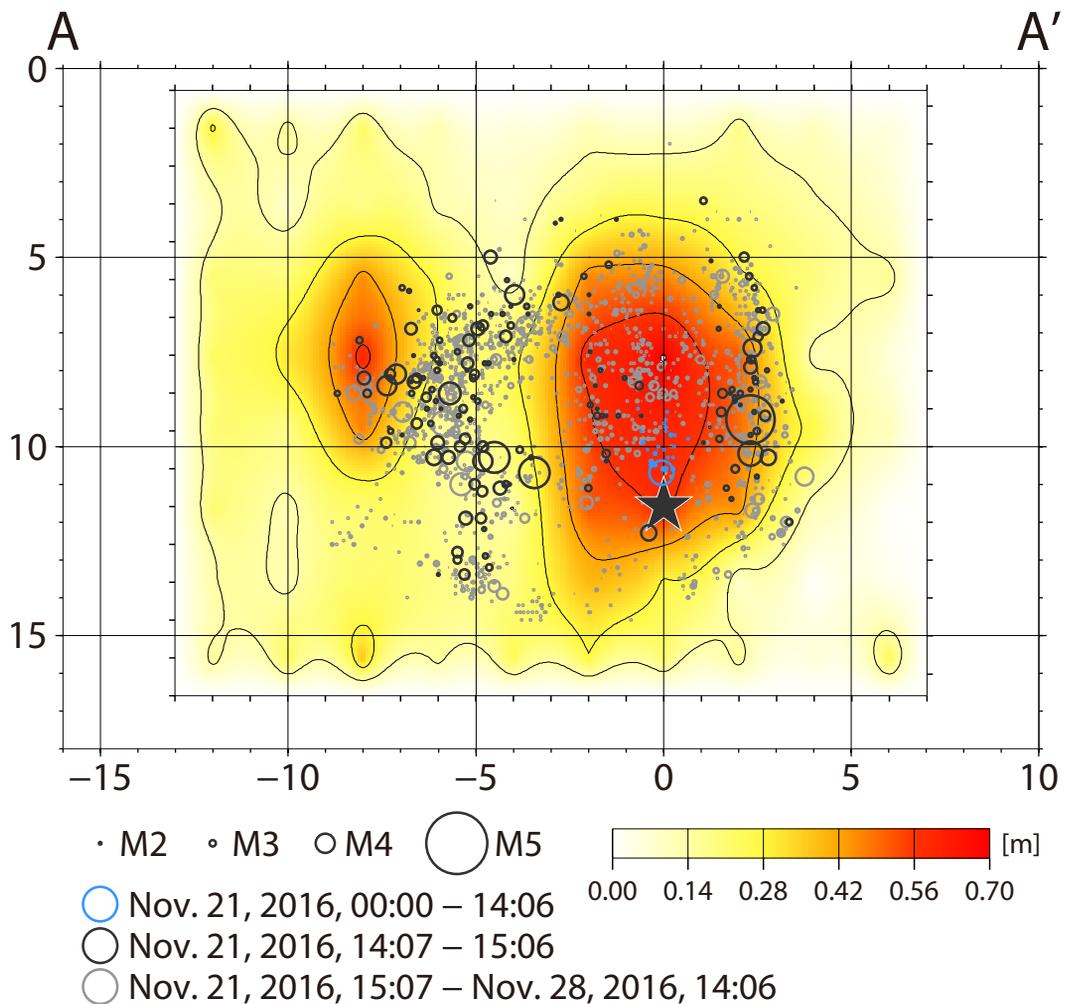


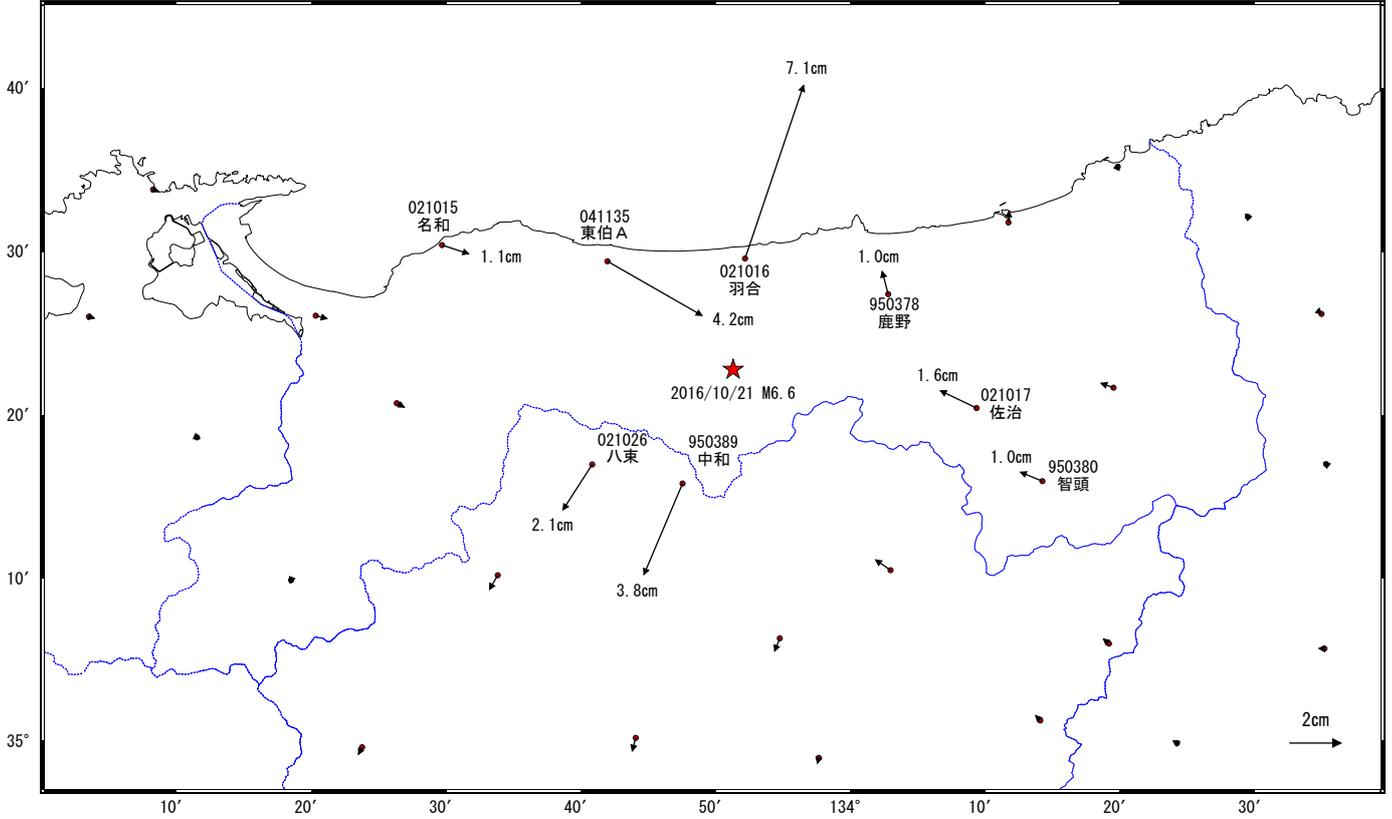
図6：図5の緑枠内の地震の鉛直分布と2016年10月21日鳥取県中部の地震の最終すべり分布の比較。

# 鳥取県中部の地震(10月21日 M6.6)に伴う地殻変動(1)

この地震に伴い地殻変動が観測された。

## 地殻変動(水平)

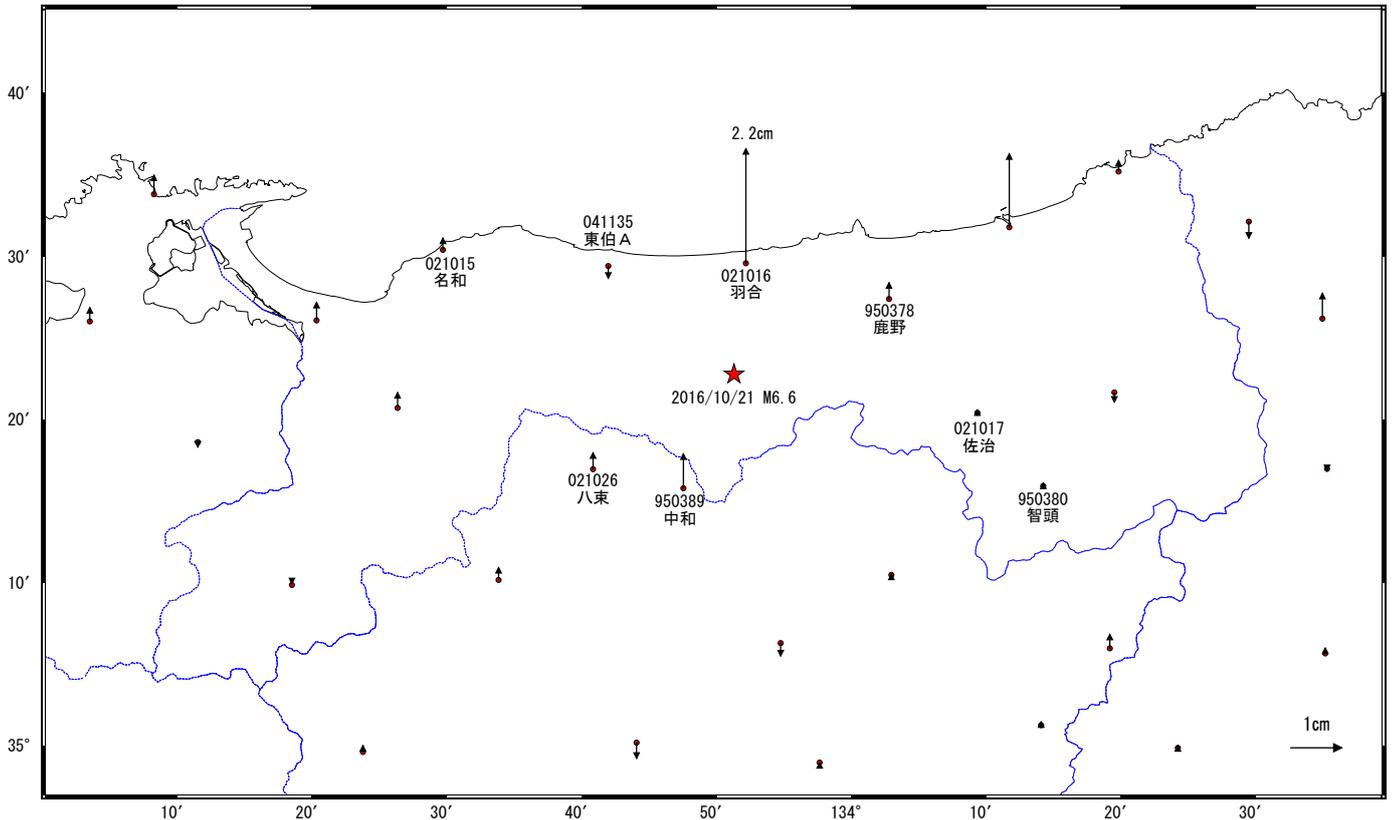
基準期間: 2016/10/14~2016/10/20[R3:速報解]  
比較期間: 2016/10/22~2016/10/28[R3:速報解]



☆ 固定局: 三隅(950388)

## 地殻変動(上下)

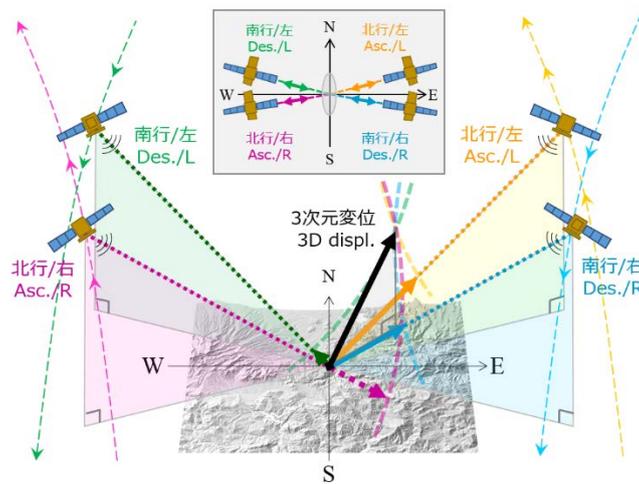
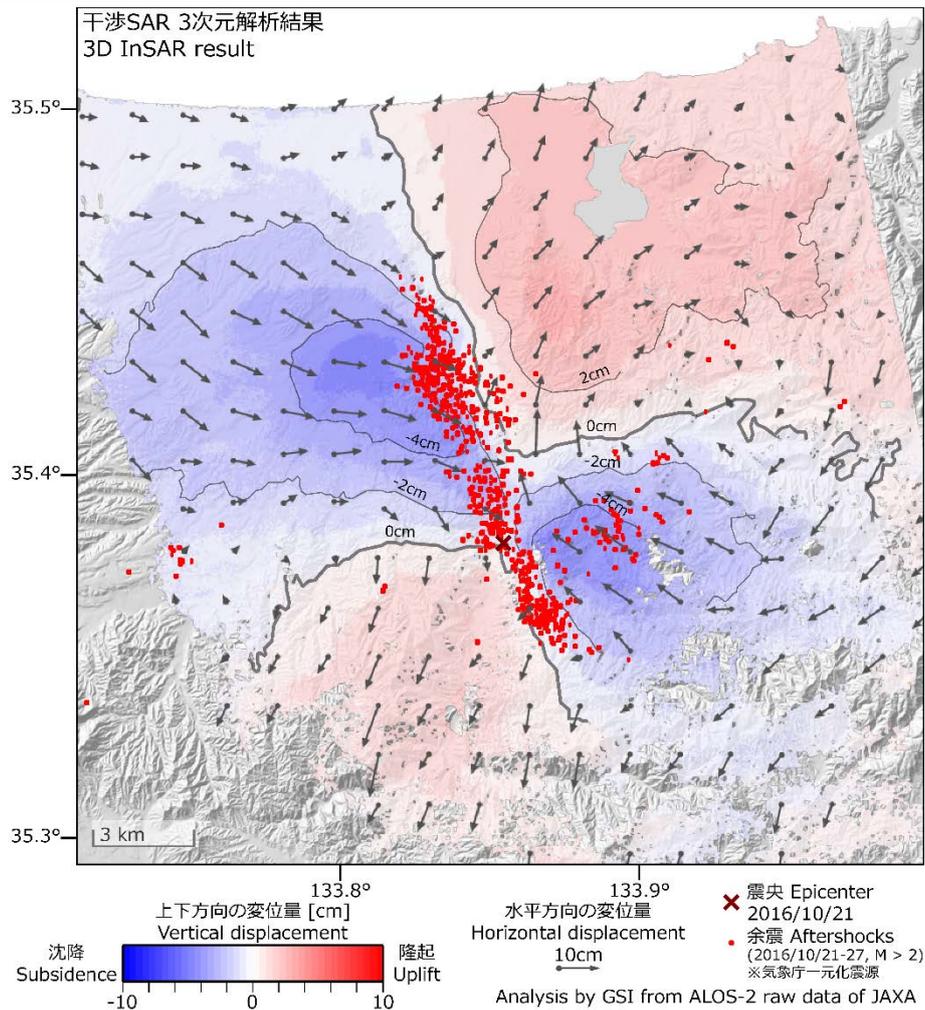
基準期間: 2016/10/14~2016/10/20[R3:速報解]  
比較期間: 2016/10/22~2016/10/28[R3:速報解]



☆ 固定局: 三隅(950388)

# 干渉 SAR 3次元解析によって求められた鳥取県中部の地震の地殻変動分布

北北西-南南東方向に延びる左横ずれ断層運動を示唆する地殻変動が見られる。



干渉 SAR 3次元解析の原理図

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す。

## 鳥取県中部の地震の震源断層モデル（滑り分布モデル）

SAR（だいち2号）及びGNSSで観測された地殻変動を基に推定された滑り分布モデルの特徴は以下の通りである。

- 1) 北北西－南南東走向の垂直な断層面上における左横ずれ運動が推定される。
- 2) 滑りの中心域は、震源よりやや北側の深さ約5kmに位置する。
- 3) 推定された地震モーメントは $2.64 \times 10^{18}$  Nm（モーメントマグニチュード：6.21）である。

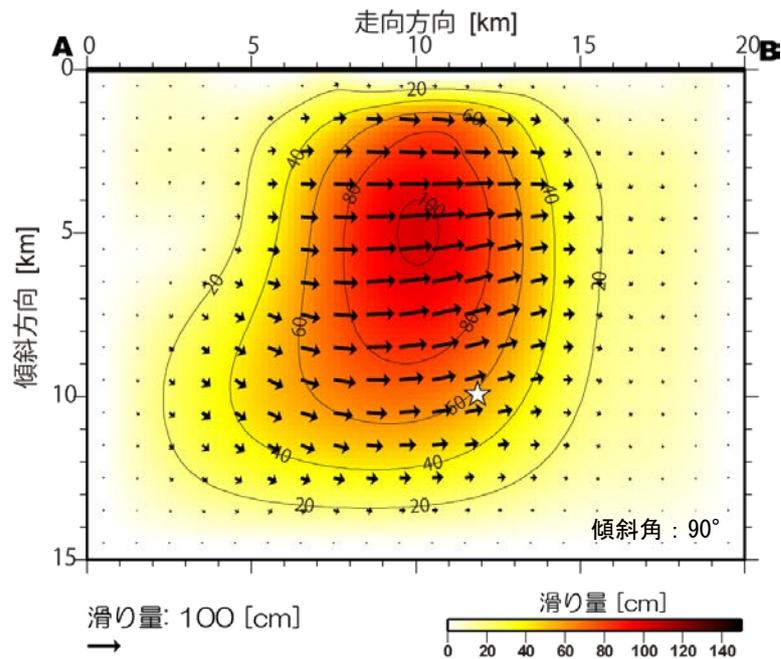


図1 滑り分布モデル。☆印は、震源の断層面上への投影位置。

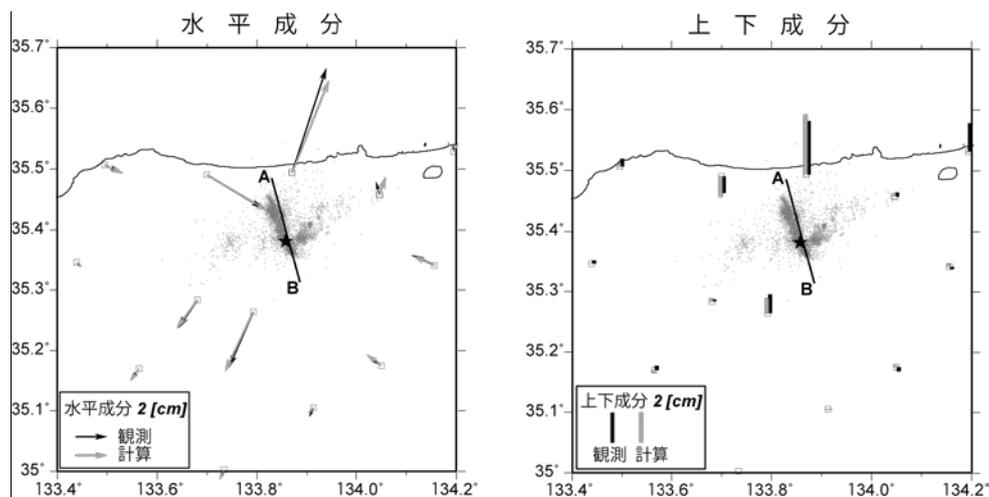
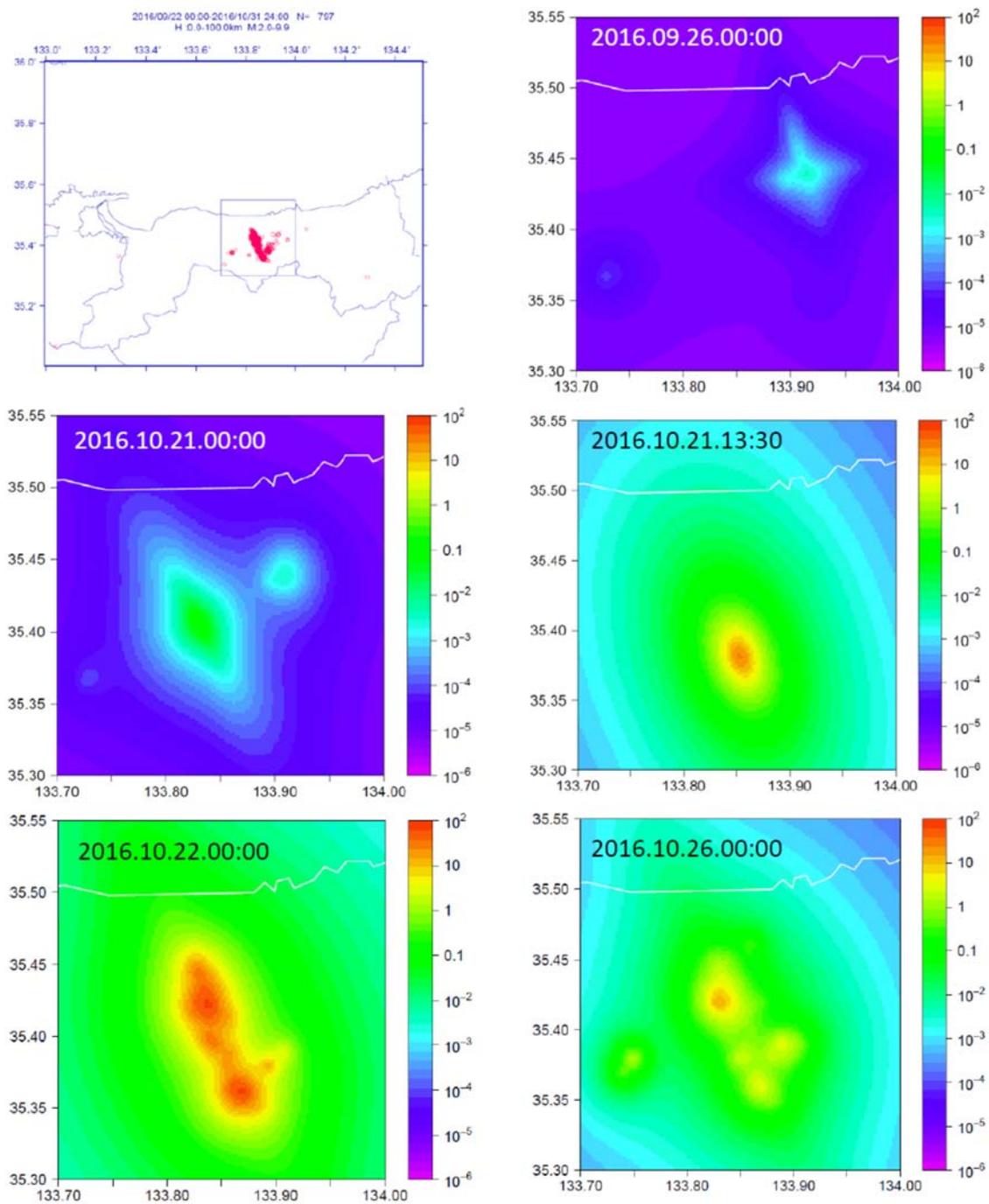


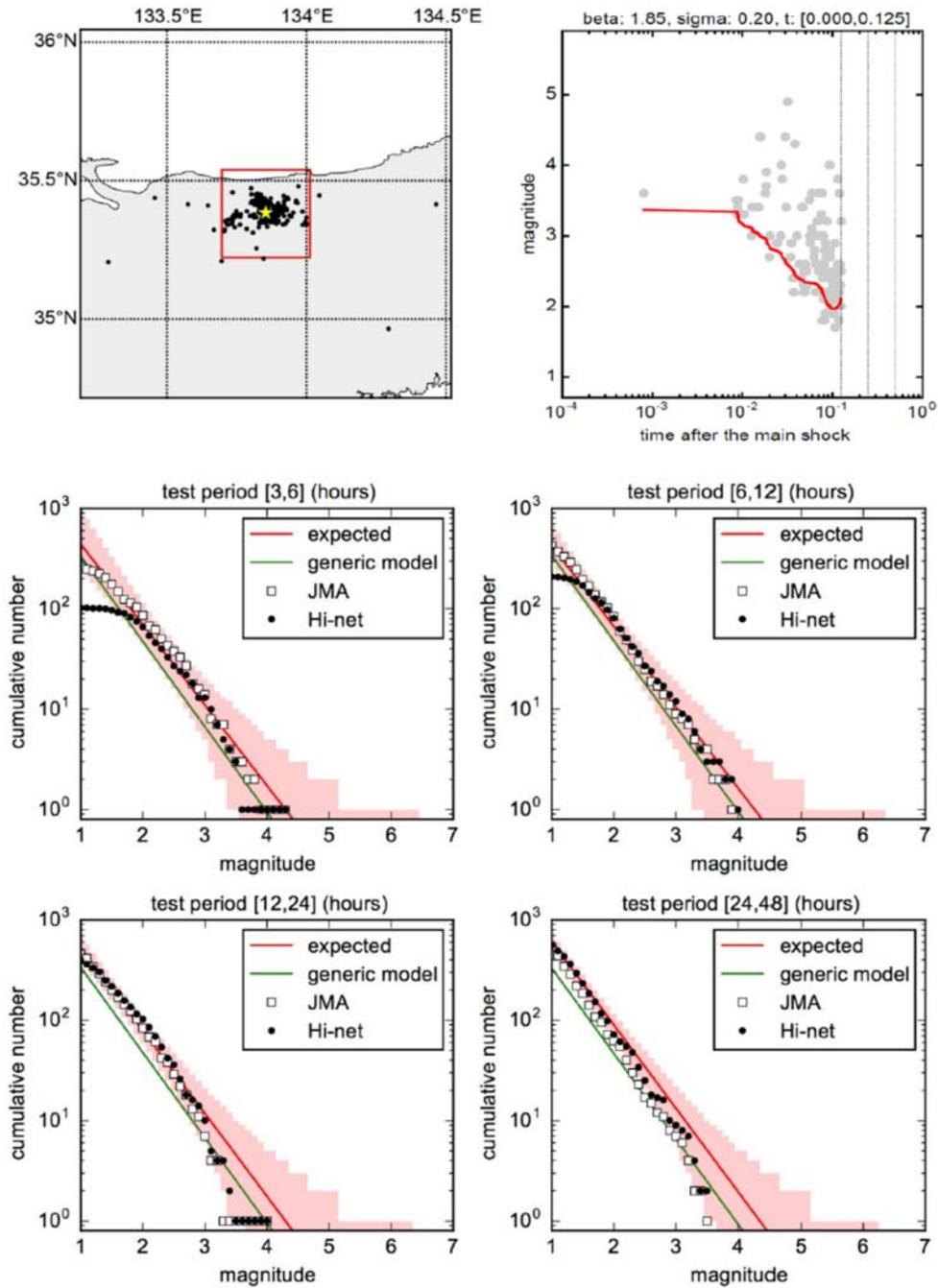
図2 GNSSデータの観測値と計算値。

（左）水平成分、（右）上下成分。実線は断層の上端位置。★印は震源。

灰色点は余震（気象庁一元化震源：2016/10/21～2016/10/27）。



第2図。HIST-ETASモデルによる2016年鳥取県中部の地震(M6.6)の前後の地震活動の空間確率(10x10 km<sup>2</sup>あたり)の予測の各記入時刻におけるスナップショット。CSEP日本検証センターに提出されたモデルを用いている。



第5図。余震確率のリアルタイム確率予測法<sup>3)</sup>による予測と結果。赤線、およびピンクの領域が Hi-net の自動震源処理カタログ (web version) を用いた期待予測値とその95%信頼区間。予測モデルは大森-宇津則と Gutenberg-Richter 則を用い、パラメータ値は初期の余震のデータ欠損を考慮して推定されている。予測分布はベイズ型予測を用いて求めた。概ね予測分布がその後の JMA データの経験分布と一致している。

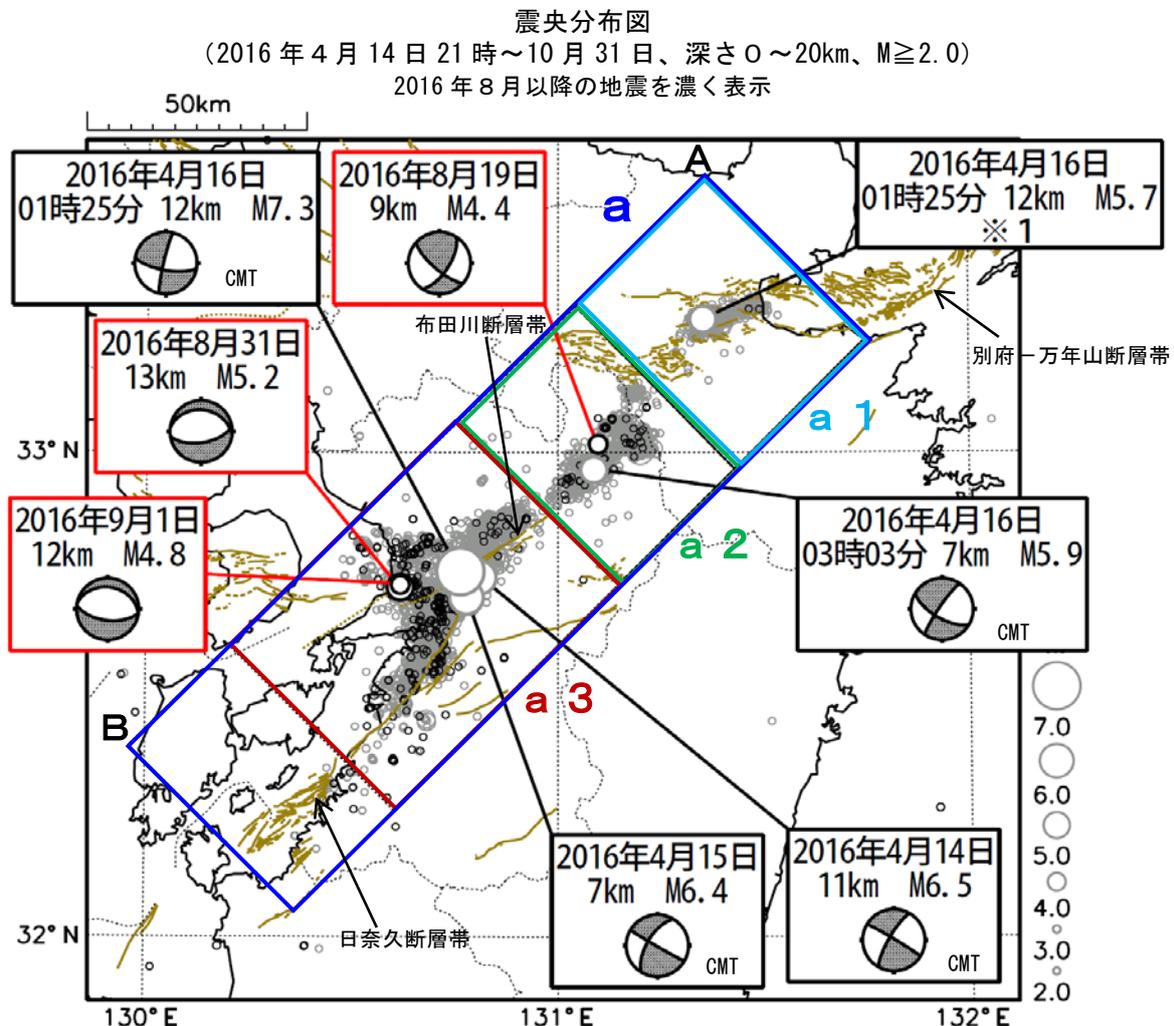
## 「平成 28 年（2016 年）熊本地震」

今期間（2016 年 8 月～10 月）、「平成 28 年（2016 年）熊本地震」の活動で最大規模の地震は、8 月 31 日 19 時 46 分に熊本県熊本地方で発生した M5.2 の地震（最大震度 5 弱）である。発震機構は、南北方向に張力軸を持つ正断層型である。この地震により軽傷 2 人などの被害が発生した（9 月 7 日 12 時 00 分現在、総務省消防庁による）。その後、9 月 1 日には、この地震とほぼ同じ場所で、M4.8 の地震（最大震度 4）が発生した。今期間における阿蘇地方での最大規模の地震は 8 月 19 日 11 時 05 分に発生した M4.4 の地震（最大震度 4）である。

熊本県熊本地方（領域 a 3）及び阿蘇地方（a 2）における「平成 28 年（2016 年）熊本地震」の一連の地震活動は、全体として引き続き減衰しつつも、活動は継続している。大分県中部（a 1）の活動は低下した。

今期間に震度 1 以上を観測した地震は 240 回（最大震度 5 弱：1 回、最大震度 4：4 回、最大震度 3：14 回、最大震度 2：54 回、最大震度 1：167 回）発生した。

今回の一連の地震活動により、死者 140 人、負傷者 2,586 人、住家全壊 8,305 棟などの被害が発生した（11 月 2 日 10 時 00 分現在、総務省消防庁による）。



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

M6.0 以上の地震と領域 a1、a2 における 4 月 14 日以降の最大規模の地震に吹き出し（黒色）をつけている。また、本文中の 3 地震にも吹き出し（赤色）をつけている。

※1 M7.3 の地震の発生直後に発生したものであり、M の値は参考値。

# 重点検討課題の検討

「南海トラフ地震」



## 第 213 回地震予知連絡会 重点検討課題

### 「南海トラフ地震」

コンビーナ 名古屋大学大学院環境学研究科 山岡耕春

南海トラフでは過去 100 年から 200 年間隔で巨大地震が発生してきたとされている。南海トラフの地震は、人口密度が高く、産業の集積している西日本の広い範囲に被害を与える可能性の高いものであり、首都圏直下地震とならんで我が国の中で地震防災上もっとも関心の高い地震である。直近の昭和の南海地震から今年で 70 年であり、次の地震の切迫性も議論されている。また地震予知連絡会における重点検討課題として第 192 回（2011 年 8 月 22 日）に取り上げられてから 5 年が経過し、前回以降、2011 年 12 月に内閣府から最大規模の地震の想定が発表され、2013 年 5 月には地震本部から南海トラフの地震活動の長期評価の改定が公表された。このようなことから、最近の南海トラフ地震に関する研究成果を重点検討課題で取り上げ、議論を行いたい。

社会的には、次の南海トラフ地震がどのような地震なのか、どの程度切迫しているのか、短期的な予測はどの程度可能なのか、といった点に関心が高い。このような社会の関心に十分答えるためには、プレート境界面の強度分布、プレート境界域の物性分布などのような場に依存する量に加え、過去に発生した地震の滑り履歴を反映した直近の地震後の応力状態、さらにスロー地震などによるプレート境界面の応力・ひずみ分配過程について十分に正確に知る必要がある。この重点検討課題では南海トラフ域に関する上記の知見について、現時点での整理と検討を行うことを目的とする。すなわち、プレート境界地域の構造について、プレートの固着について、過去に発生した地震について、低周波地震・微動やスローイベントについて、ひずみ計・GNSS 等によるモニタリングについて、さらにそれらを総合したプレート境界地震発生シミュレーションの現状についての報告を受け、議論を行う。

話題提供者〔敬称略〕

1. 「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」

震源モデル・シナリオ研究の成果と概要

東京大学地震研究所 古村 孝志

2. DONET による震源域のモニタリング

防災科学技術研究所 高橋 成実

3. 陸上ボアホール地殻変動観測による震源のモニタリング

産業技術総合研究所 松本 則夫

4. 海底地殻変動観測による震源のモニタリング

海上保安庁海洋情報部 横田 裕輔

5. 南海トラフで発生しているスロー地震について

東京大学地震研究所 加藤 愛太郎

6. モニタリングからなにがわかるか

海洋研究開発機構 堀 高峰

「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」 震源モデル・シナリオ研究の成果と概要

東京大学地震研究所 古村 孝志

「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」(研究代表者：金田義行)は、南海トラフ地震に備え、地震津波の被害予測とその対策、地震後の有効な復旧・復興対策を検討するとともに、地域研究会を通じて行政等の連携と成果の社会実装を目指すことを目的とする理・工・社会学連携研究である。平成 25～32 年度の文科省委託研究により、多数の機関が参画するオールジャパン体制で進められている。話題提供では、過去及び将来の南海トラフ地震の震源モデルと地震発生シナリオの研究を進める「シミュレーション分野」の成果の中から、特に、史料の精査に基づく南海トラフ地震の発生履歴と連動性について報告した。

南海トラフ地震は、『日本書紀』に記された西暦 684 年白鳳地震を最古として、以来、1300 年以上にわたって発生履歴が詳しく調べられており、その結果、およそ 100～150 年の周期で M～8 級の地震が規則的に起きてきたと一般的に理解されてきた。しなしながら、その証拠となった史料を精査すると、その中には西日本の内陸地震による強震被害、遠地地震による津波被害、あるいは被害に根拠がなく文学上の創作と判断されるものなど、信憑性が低いものもいくつかカウントされている可能性が見えてきた。史料の正当性と妥当性を多面的に精査(史料批判)し、ランク付けを行うことが重要である。また、地域が限定された史料だけからは被害の広がりや評価をすることができないことや、刻時精度がないために南海トラフ地震と遠地地震の津波を区別することができないなど本質的な限界もある。

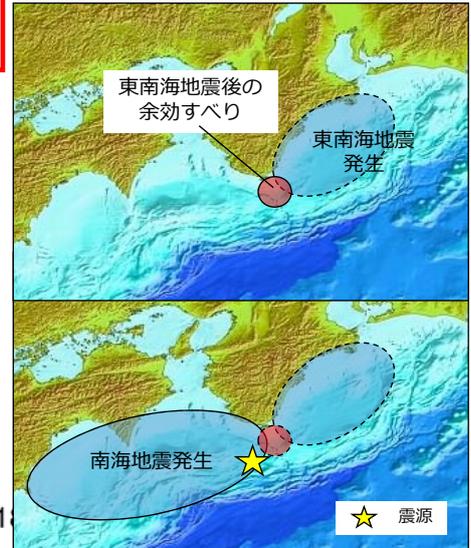
存在が確定できない地震を除くと、南海トラフ地震の周期性や、駿河湾～足摺岬(あるいは日向灘)までの連動の不規則性は、これまで考えていた以上に大きくなる。陸域と海域の GNSS 地殻変動データの統合解析により、四国沖と遠州灘沖の強い固着域と、紀伊半島沖のやや弱い固着の対比が見えてきた。こうした固着強度の違いが、南海トラフの複雑な地震発生・連動パターンを作り出している可能性がある。いずれにせよ、まだ見つかっていない地震がある可能性を含め、史料の継続調査が必要である。

次の地震の発生時期を考える上で、昭和東南海地震が、安政東海地震からわずか 90 年という短い期間で起きた原因を探ることも重要である。昭和東南海地震と安政東海地震の震源域は重なっており、短い期間に地震が再来したのか、それとも安政東海地震の残りの部分で東南海地震が起きたのかを区別することが先決である。このためには、複数の研究者により提唱された、強震動や地殻変動、津波解析に基づく東南海地震の震源モデルを精査し東南海地震の震源像を確定すること、紀伊半島での津波と強震被害の記録を精査して安政東海地震の震源域の南西端を抑えることが急がれる。

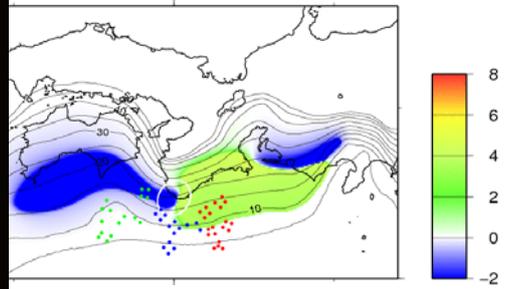
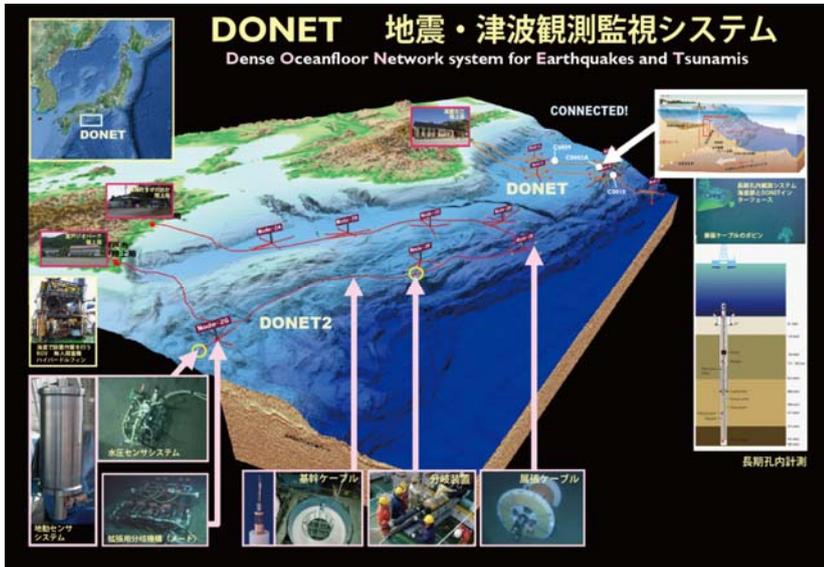
# DONET完成

**2016年5月に全51観測点の構築が終了した。  
現在、埋設等記録の品質向上に取り組んでいる。**

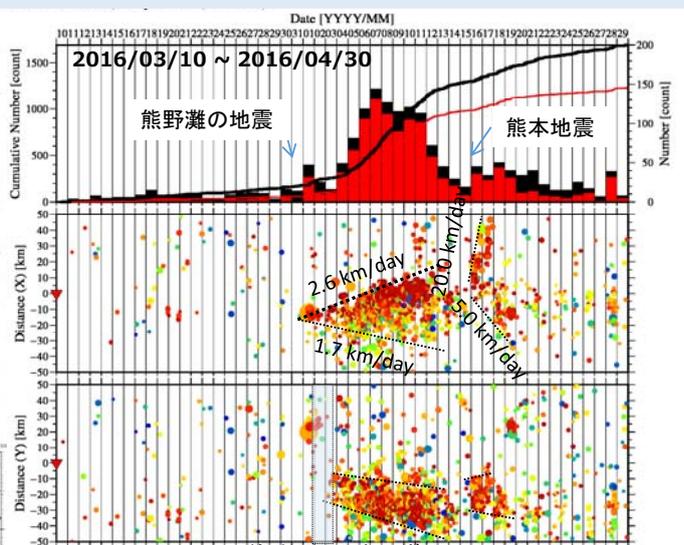
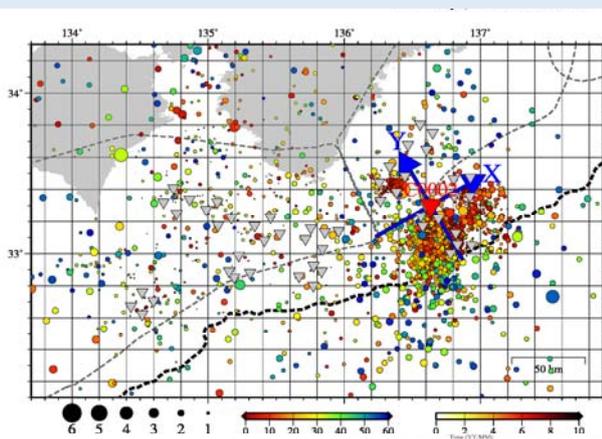
DONET1は、**東南海地震震源域**でリアルタイムモニタリングを行う非常に重要なシステム  
しかし、**東南海地震と南海地震の連動性評価**のためには**南海地震震源域**でのリアルタイムモニタリングを行う新たなシステムDONET2が必要



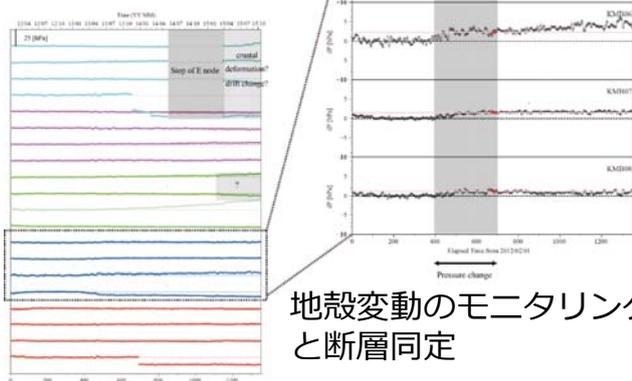
22



## 地殻活動モニタリング実施中



### DONET水圧計



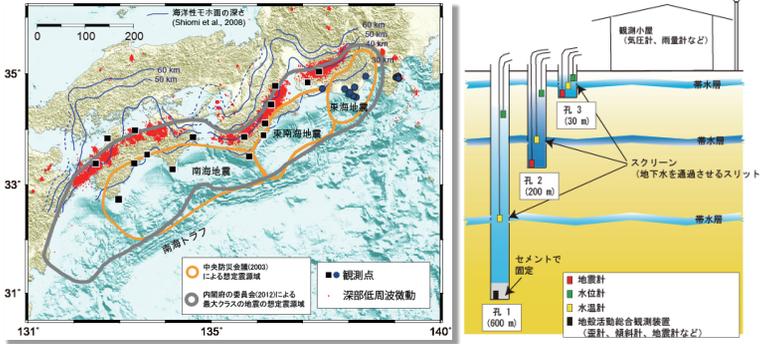
地殻変動のモニタリングと断層同定

地震活動、スローイベント、地殻変動等  
広帯域な地殻内活動をリアルタイムモニタリング

断層推定、応力場変化の検知  
津波が発生すれば即時津波予測へ

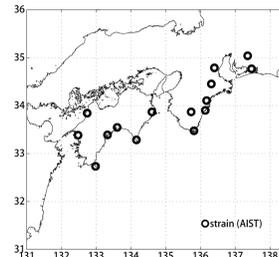
東海・東南海・南海地震予測のための  
地下水等総合観測施設 (2006~)

- ① 昭和南海地震前の地殻変動や地下水位変化を念頭に置き、南海トラフ地震の想定震源域の地下水位変化や地殻変動を高精度にモニタリング
- ② 「すべり現象」(深部ゆっくりすべり(SSE)・前駆すべり...)を詳細に把握

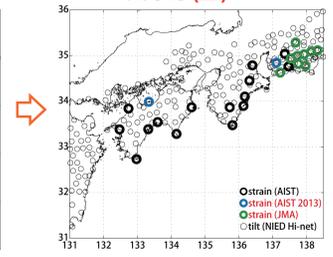


産総研がSSE解析に用いた  
歪・傾斜・地下水データ (産総研・防災科研・気象庁)  
ボアホール 観測点

2010年度  
産総研 (歪+傾斜)



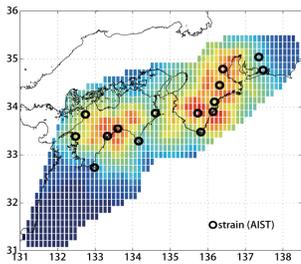
2013年度以降  
産総研 (歪+傾斜+地下水)  
防災科研Hi-net (傾斜)  
気象庁(歪)



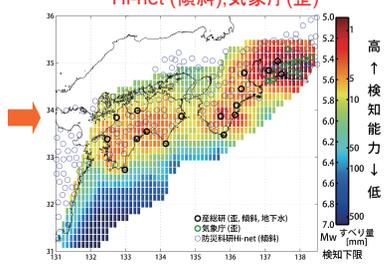
(Itaba and Kimura, 2013)

プレート境界でのすべりの検知能力の向上

2010年度 産総研 (歪+傾斜)



2013年度以降  
産総研 (歪+傾斜+地下水)  
Hi-net (傾斜), 気象庁(歪)

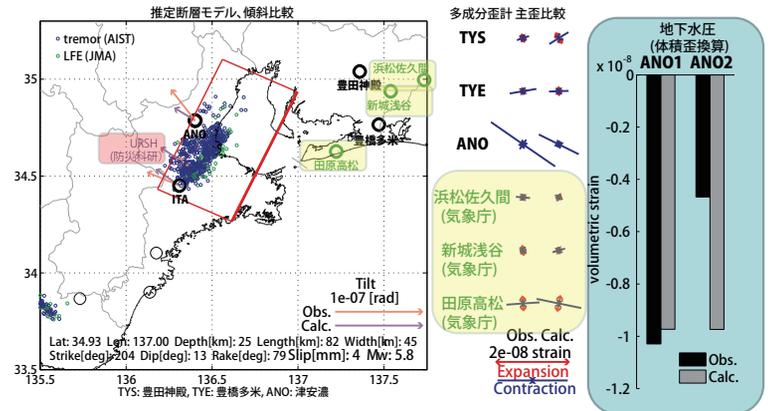


- 0.1° メッシュ
- 幅30×長さ50kmの断層面 (下端中心を表示)
- 閾値: ノイズレベル (24時間階差の2σ)
- 3 観測点以上で閾値超過で検知できると仮定

四国~紀伊半島: Mw5.3 ~ 5.7  
東海: Mw5.0 以上

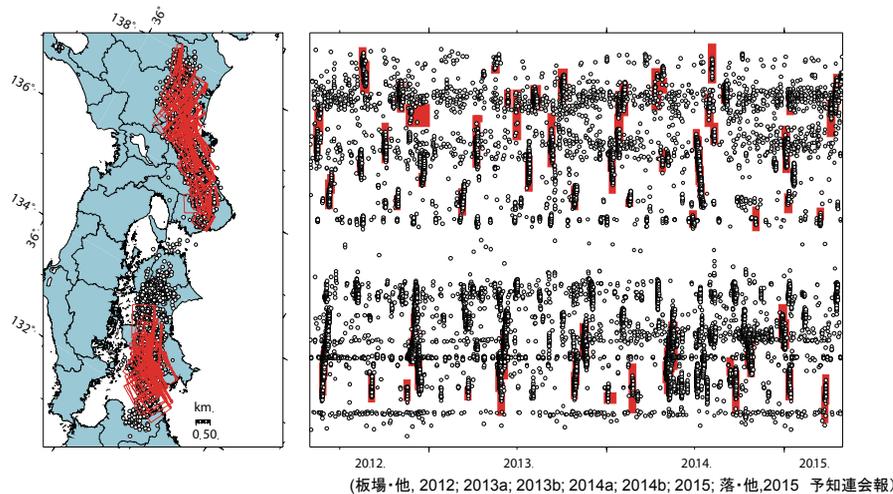
(Itaba and Kimura, 2013)

歪・傾斜・地下水統合データによるSSE解析



(板場ほか, 2013)

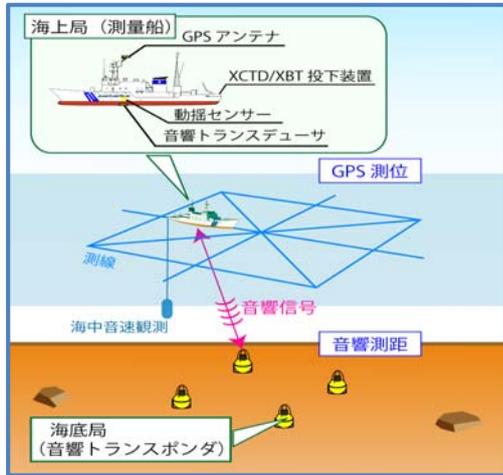
産総研・防災科研・気象庁データによる SSE 推定



2012年5月~2015年4月 (3年間) 計91イベント

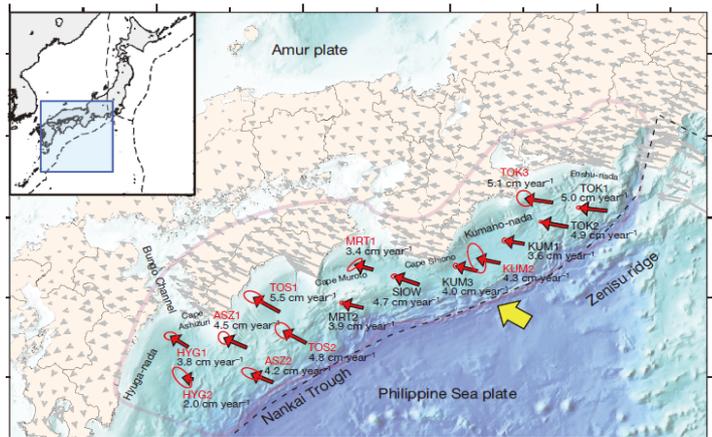
## 南海トラフにおける海底地殻変動観測

手法:GPS-音響測距結合方式 (GPS-A)



数 cm の精度で  
海底の位置を決定

観測結果:不均質な海底の移動速度場  
(~2015/06)

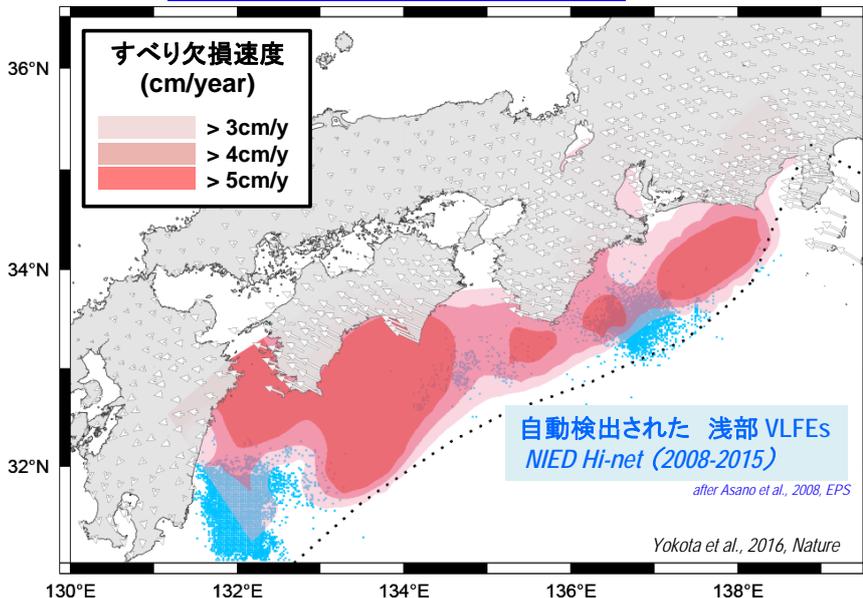


Yokota et al., 2016, Nature



## 南海トラフのすべり欠損速度分布

推定されたすべり欠損速度分布と浅部VLFの分布



自動検出された 浅部 VLFs  
NIED Hi-net (2008-2015)  
after Asano et al., 2008, EPS

Yokota et al., 2016, Nature

高度化に向けて

次のステージは、  
広範囲・高頻度+高精度

精度向上のための解析手法の改良

高頻度化のための装置の改修

- ・未観測地域の固着状態の観測
- ・非地震性の地殻変動の検知



# 南海トラフで発生しているスロー地震について

加藤愛太郎（東京大学地震研究所）

スロー地震とは、同規模の通常の地震に比べて断層がゆっくりと滑る（すべる）現象の総称です。スロー地震には、特徴的な時定数の短い順に、低周波地震（低周波微動）、超低周波地震、短期的スロースリップ、長期的スロースリップと、様々な特徴的な時定数を有する滑り現象が存在することがわかっています。南海トラフ沿いのスロー地震は、フィリピン海プレートと陸側プレートが固着している領域に対して、その深部延長と浅部延長で概ね発生しています（図1）（e.g., Obara and Kato, 2016）。特に、深部のスロー地震発生域は、東海地域から紀伊半島、さらに四国を横断する全長約 600 km にわたる帯状の分布を示します。つまり、スロー地震発生域はプレート境界の固着域を挟みこむ形で分布しており、固着域から非固着域へ遷移する中間的な領域で起きていると解釈されています。しかしながら、浅部のスロー地震発生域は深部に比べて不連続な分布をしており、すべり遅れに関する解釈には注意が必要です。スロー地震発生域を詳細に把握し、スロー地震による滑り遅れの蓄積と解放の時間的変遷を長期間にわたって把握することができれば、大地震が発生する領域の広がりに関する有益な情報をもたらすことが期待されています（e.g., Dixon et al., 2014）。

スロー地震が起きた場所では応力が解放されるものの、その周辺域では逆に応力が増えます。スロー地震の発生域がプレート境界の固着域に隣接しているということは、スロー地震が起きるたびに固着域へ応力が少しずつ加わることを意味します。僅かな量ですが、スロー地震が起きるたびに大地震の発生へと近づくこととなります。スロー地震の発生中に M7 以上のプレート境界型の大規模地震が起きた事例が東北沖・メキシコ沖・チリ沖などにおいて、近年いくつか報告されています（e.g., Kato et al., 2012; Herman et al., 2016; Radiguet et al., 2016）。しかしながら、スロー地震が大地震の短期的発生予測に関してどの程度貢献できるのかは、まだよくわかっていないのが現状です。大地震の震源域が最終的に破壊されるかどうかは、震源域が破壊に対してどの程度切迫しているのか（断層の応力蓄積状況と断層の破壊強度との差）によるからです。今後、大地震の切迫度評価手法の構築も含めて、スロー地震のモニタリングを注意深く、高精度に継続することが重要です。

## 【参考文献】

Dixon et al. (2014), *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 10.1073/pnas.1412299111.

Herman et al. (2016), *Earth Planet. Sci. Lett.*, 447, 119–129.

Kato et al. (2012), *Science*, 335, 705–708, doi: 10.1126/science.1215141.

Obara and Kato (2016), *Science*, 353(6296), 253–257, doi:10.1126/science.aaf1512.

Radiguet et al. (2016), *Nat. Geosci.*, doi: 10.1038/NGEO2817.

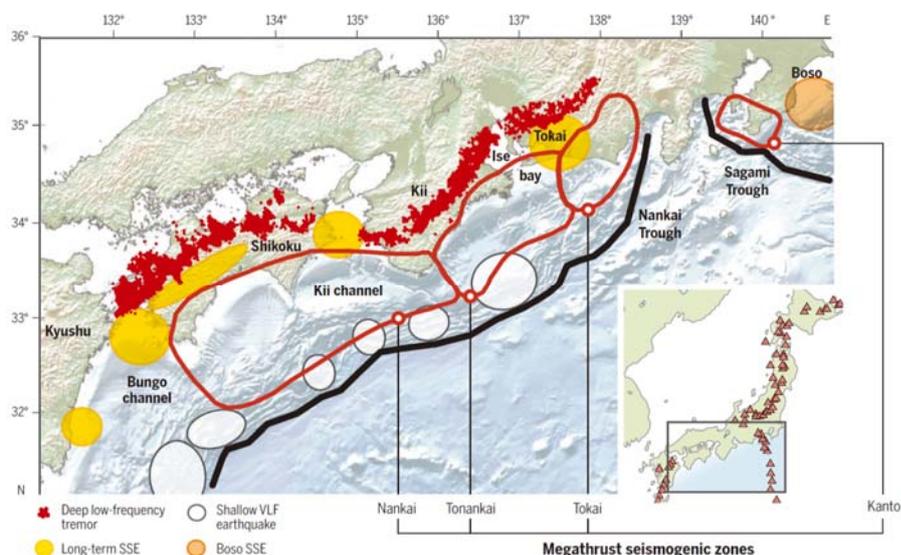


図1. 南海トラフ沿いのスロー地震の分布（Obara and Kato, 2016）。

# 観測→モニタリング→評価

## モニタリングから何がわかるか 堀 高峰(海洋研究開発機構)

- 観測データから、まずやることは地下で何が起きているかの解析(固着・すべり分布や震源の時空間分布)。現状では時間をかければある程度できるようになってきているが、これをリアルタイムに行うことが必要。その上で今起きていることが、大地震との関係で何を意味するかを評価する手法の研究が次に必要。シミュレーションはその手法の1つ。

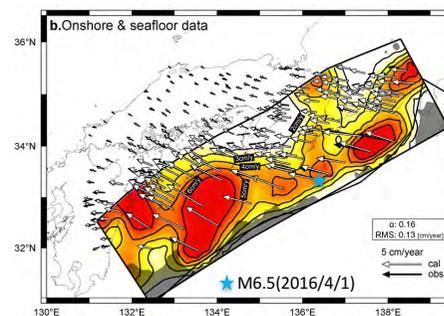
- 観測
  - 地震計、水圧計、傾斜計、歪計、etc.
- 解析・解釈＝モニタリング
  - モニタリングは単なる観測のことでなく、モデルを介した解析&解釈をした結果を見ること
  - 介在するモデル
    - 地震波速度構造(→震源決定)
      - ETAS等地震活動モデル(→相対的静穏化など)
    - 弾性構造&ディスロケーションモデル(→固着・すべり推定)
      - 摩擦すべり等地震発生サイクルモデル(→固着・すべりの推移)
  - モニタリングを(準)リアルタイムに行うにはリアルタイム観測&データ転送&データ解析の一体化と高速解析のためのHPC環境&アプリケーション開発&データ解析の体制が必要
- 評価
  - 解析・解釈結果を見るだけでは大地震発生の評価にならない
    - 定常的な活動から期待される確率の算出は可能:第1段階の評価(CSEP)
    - 定常活動からのずれ→指標の設定&実験による検証が必要
      - 相対的静穏化:ETASからのずれや継続期間の閾値
      - 潮汐相関:p値の閾値や継続期間の閾値
      - 前震の事前評価:いくつか指標を設定し、実験も行われている(Ogata & Katsura, 2013)
      - etc.

ここをもっと研究する必要

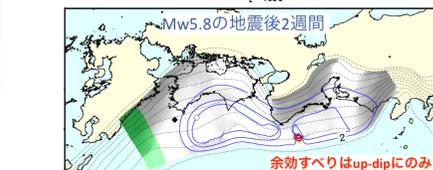
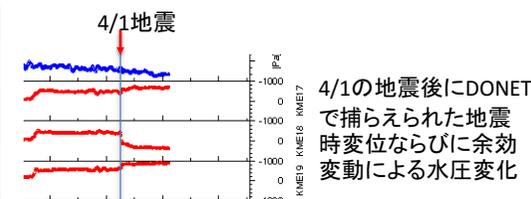
## 評価

- 解析・解釈結果を見るだけでは大地震発生評価にならない
  - 解析結果をいかに大地震発生評価に結びつけるか?
    - 指標の設定とそのための研究が必要
      - 準備過程(切迫度評価)
        - すべり遅れ率と地震履歴からの応力場評価
        - 相対的静穏化:ETASからのずれや継続期間の閾値
        - 潮汐相関:p値の「異常」値や継続期間の閾値
        - b値低下:b値の「異常」値や継続期間の閾値
        - 地震波速度変化?電磁気異常?
      - 誘発&震源核形成過程
        - 前震判定:尾形法、前田法、Lippiello法
        - すべりの時空間変化:震源域外SSE=誘発するかどうか、震源域内SSE=震源核形成過程に移行するかどうか
      - すべりの時空間変化:余効すべりの起こり方の特異性は両方を含む
        - 切迫度の高い状態では余効すべりの起こり方が異なり、誘発されやすい
    - 普段から評価して検証する実験研究が必要
      - 尾形法はすでに実験phaseを経ている(Ogata & Katsura, 2012)
      - 地震予知連の「予測実験の試行」の活用
      - 建議の研究でも実験的なものを増やす必要

## 震源域内での地震と余効すべりとその推移



Yokota et al. (2016)  
海底地殻変動データを加えたすべり欠損の解析結果。固着状態の強弱が明瞭に見られる。星印は4/1に起きたM6.5の震央。



左の結果を考慮した摩擦パラメタの不均質分布で行ったシミュレーションのうち、より固着した状態でM6クラスが震源域内で起きた結果

- 従来、南海トラフは固着の強い領域と認識されていたが、海底地殻変動観測データの解析により、固着の弱い領域も存在することが明らかになった[Yokota et al., 2016]。さらに、固着の比較的弱い領域内で起きた2016/4/1の熊野灘の地震(Mjma6.5)では、地震後の余効変動が顕著であり、プレート境界での余効すべりの可能性がある。こうした観測事実を受けて、固着の弱い条件と強い条件の両方を同時に考慮したモデルで地震発生様式やM6クラス地震後の振る舞いが検討されている[兵藤・堀, 2016]。

## 第 214 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 03」について

コンビーナ 東北大学大学院理学研究科 松澤 暢

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し、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した。

この最初の「試行」では、まず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 に基づく地震活動予測、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について報告が行われた。さらに、平常的な地震活動の単純な外挿による「当たり前の予測」でどの程度の予測が可能か示され、議論が行われた。

この結果を受けて、その半年後の平成 28 年 2 月 22 日に開催された第 210 回地震予知連絡会の重点検討課題では、2 回目の「予測実験の試行」が行われ、第 208 回で提案された手法によって、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が行われた。

このような予測実験の試行は、当初は半年に一回行う予定であったが、特に大きな地震がなければ半年に一度では前回からの予測からの差分が小さいこと、他の重点検討課題の検討が進まない等の問題があることがわかり、重点検討課題運営部会で議論した結果、予測実験の試行は年に一回程度実施するのが適切であると判断された。

以上の背景により、前回から一年後の平成 29 年 2 月 20 日行われる第 214 回地震予知連絡会の重点検討課題で、三回目の「予測実験の試行」を行うことにした。今回は、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、この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。また、最近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についても検討を行う。