

地震防災対策強化地域判定会検討結果

11 月 28 日に気象庁において第 367 回地震防災対策強化地域判定会（定例）を開催し、気象庁は「最近の東海地域とその周辺の地殻活動」として次の調査結果を発表した（図 2～図 17）。

現在のところ、東海地震に直ちに結びつくと思われる変化は観測していません。

1. 地震の観測状況

10 月 16 日から 21 日、及び 24 日から 26 日にかけて、愛知県のプレート境界付近を震源とする深部低周波地震（微動）を観測しています。

また、11 月 26 日以降、長野県のプレート境界付近を震源とする深部低周波地震（微動）を観測しています。

2. 地殻変動の観測状況

G N S S 観測及び水準測量の結果では、御前崎の長期的な沈降傾向は継続しています。

平成 25 年はじめ頃から静岡県西部から愛知県東部にかけての G N S S 観測及びひずみ観測にみられている通常とは異なる変化は、小さくなっています。

また、10 月 16 日から 20 日にかけて、及び 24 日に、愛知県、静岡県及び長野県の複数のひずみ観測点でわずかな地殻変動を観測しています。

3. 地殻活動の評価

平成 25 年はじめ頃から観測されている通常とは異なる地殻変動は、浜名湖付近のプレート境界において発生している「長期的ゆっくりすべり」に起因すると推定しており、現在は、「長期的ゆっくりすべり」は緩やかになっていると考えられます。

そのほかに東海地震の想定震源域ではプレート境界の固着状況に特段の変化を示すようなデータは今のところ得られていません。

一方、上記の深部低周波地震（微動）及びひずみ観測点で観測した地殻変動は、想定震源域より西側の愛知県のプレート境界深部において発生した「短期的ゆっくりすべり」に起因すると推定しています。

以上のように、現在のところ、東海地震に直ちに結びつくと思われる変化は観測していません。

なお、G N S S 観測の結果によると「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」による余効変動が、小さくなりつつありますが東海地方においてもみられています。

大規模な地震から国民の生命・財産を保護することを目的として、昭和 53 年（1978 年）12 月に施行された「大規模地震対策特別措置法」では、大規模な地震の発生のおそれがあり、その地震によって大きな被害が予想されるような地域を予め「地震防災対策強化地域」（以下、「強化地域」という。）として指定し、地震予知のための観測施設の整備を強化し、予め地震防災に関する計画をたてる等、各種の措置を講ずることとしている。強化地域は平成 14 年（2002 年）4 月に見直しが行われ、現在、静岡県全域と東京都、神奈川・山梨・長野・岐阜・愛知及び三重の各県にまたがる 157 市町村（平成 24 年 4 月現在）が強化地域に指定されている。強化地域では、マグニチュード 8 クラスと想定されている大地震（東海地震）が起こった場合、震度 6 弱以上（一部地域では震度 5 強程度）になり、沿岸では大津波の来襲が予想されている。

気象庁では、いつ発生してもおかしくない状態にある「東海地震」を予知すべく、東海地域の地震活動や地殻変動等の状況を監視している。また、これらの状況を定期的に評価するため、地震防災対策強化地域判定会を毎月開催して委員の意見提供等を受け、現在の状況を取りまとめたコメント「最近の東海地域とその周辺の地殻活動」を発表している。

【地震防災対策強化地域判定会検討結果の頁で使われる用語】

・「想定震源域」と「固着域」

東海地震発生時には、「固着域」（プレート間が強く「くっついている」と考えられている領域）あるいはその周辺の一部からゆっくりしたずれ（前兆すべり）が始まり、最終的には「想定震源域」全体が破壊すると考えられている。

・「クラスタ」、「クラスタ除去」

地震は時間空間的に群（クラスタ：cluster）をなして起きることが多くある。「本震とその後に起きる余震」、「群発地震」などが典型的なクラスタで、余震活動等の影響を取り除いて地震活動全体の推移を見ることを「クラスタ除去」と言う。図 2 の静岡県中西部の場合、相互の震央間の距離が 3 km 以内で、相互の発生時間差が 7 日以内の地震群をクラスタとして扱い、その中の最大の地震をクラスタに含まれる地震の代表とし、地震が 1 つ発生したと扱う。

・「長期的ゆっくりすべり（長期的スロースリップ）」

主に浜名湖周辺下のフィリピン海プレートと陸のプレートの境界が、数年間にかけてゆっくりとすべる現象で、十数年程度の間隔で繰り返し発生していると考えられており、前回は 2000 年秋頃～2005 年夏頃にかけて発生した。

・「深部低周波地震（微動）」

深さ約 30km～40km で発生する、長周期の波が卓越する地震を「深部低周波地震」と言う。長野県南部～日向灘にかけては帯状につながる深部低周波地震の震央分布が見られる。深部低周波微動は、現象的には深部低周波地震と同じであるが、解析手法に違いがあるため、深部低周波地震が観測されない場合にも観測されることがある。

・「短期的ゆっくりすべり（短期的スロースリップ）」

「短期的ゆっくりすべり」は、深部低周波地震（微動）の発生領域とほぼ同じ領域での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考えられている。数日～1 週間程度継続する「短期的ゆっくりすべり（短期的スロースリップ）」が観測されるときは、ほぼ同時に深部低周波地震（微動）活動が観測されることが多い。

なお、地震活動および地殻活動の解析には Hirose et al. (2008)* によるフィリピン海プレートと陸のプレートの境界データを使用している。

* Hirose, F., J. Nakajima, and A. Hasegawa (2008), Three-dimensional seismic velocity structure and configuration of the Philippine Sea slab in southwestern Japan estimated by double-difference tomography, *J. Geophys. Res.*, 113, B09315, doi:10.1029/2007JB005274.

東海地域の地震活動指数

（参考）

（クラスタを除いた地震回数による） 2016 年 11 月 21 日現在

	① 静岡県中西部		② 愛知県		③ 浜名湖周辺			④ 駿河湾
	地殻内	フィリ ピン海 プレート	地殻内	フィリ ピン海 プレート	フィリピン海プレート内			全域
					全域	西側	東側	
短期活動指数	6	4	3	3	5	5	5	2
短期地震回数 (平均)	8 (5.29)	6 (7.00)	9 (13.16)	11 (14.15)	5 (3.72)	2 (1.43)	3 (2.28)	3 (6.06)
中期活動指数	6	3	2	4	5	5	4	4
中期地震回数 (平均)	21 (15.87)	16 (21.00)	31 (39.48)	42 (42.44)	9 (7.44)	4 (2.87)	5 (4.57)	12 (12.12)

*Mしきい値： 静岡県中西部、愛知県、浜名湖周辺：M≥1.1、駿河湾：M≥1.4

*クラスタ除去：震央距離がΔr以内、発生時間差がΔt以内の地震をグループ化し、最大地震で代表させる。

静岡県中西部、愛知県、浜名湖周辺：Δr=3km、Δt=7日

駿河湾：Δr=10km、Δt=10日

*対象期間： 静岡県中西部、愛知県：短期30日間、中期90日間

浜名湖周辺、駿河湾：短期90日間、中期180日間

*基準期間： おおむね長期的スロースリップ（ゆっくり滑り）発生前の地震活動を基準とする。

静岡県中西部、愛知県：1997年－2001年（5年間）、駿河湾：1991年－2000年（10年間）、

浜名湖周辺：1997年－2000年 および 2006年－2012年（11年間）

[各領域の説明]

① 静岡県中西部：プレート間が強く「くっついている」と考えられている領域（固着域）。

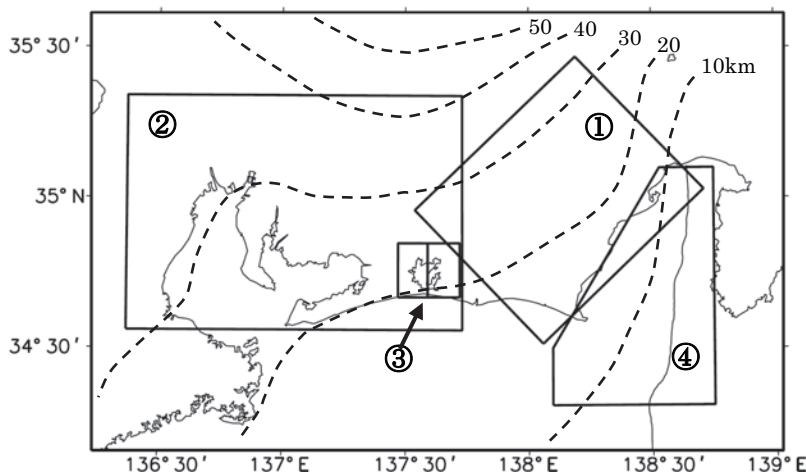
② 愛知県：フィリピン海プレートが沈み込んでいく先の領域。

③ 浜名湖周辺：固着域の縁。長期的スロースリップ（ゆっくり滑り）が発生する場所であり、同期して地震活動が変化すると考えられている領域。

④ 駿河湾：フィリピン海プレートが沈み込み始める領域。

2009年8月11日の駿河湾の地震（M6.5）と2011年8月1日の駿河湾の地震（M6.2）

の余震域の活動を除いた場合での活動指数についても求めた（次ページ）。



*Hirose et al. (2008) によるプレート境界の等深線を破線で示す

指数	確率 (%)	地震数
8	1	多い
7	4	やや多い
6	10	
5	15	
4	40	ほぼ平常
3	15	
2	10	やや少ない
1	4	
0	1	少ない

図2 東海地域の地震活動指数

気象庁作成

地震活動指数の推移（中期活動指数）

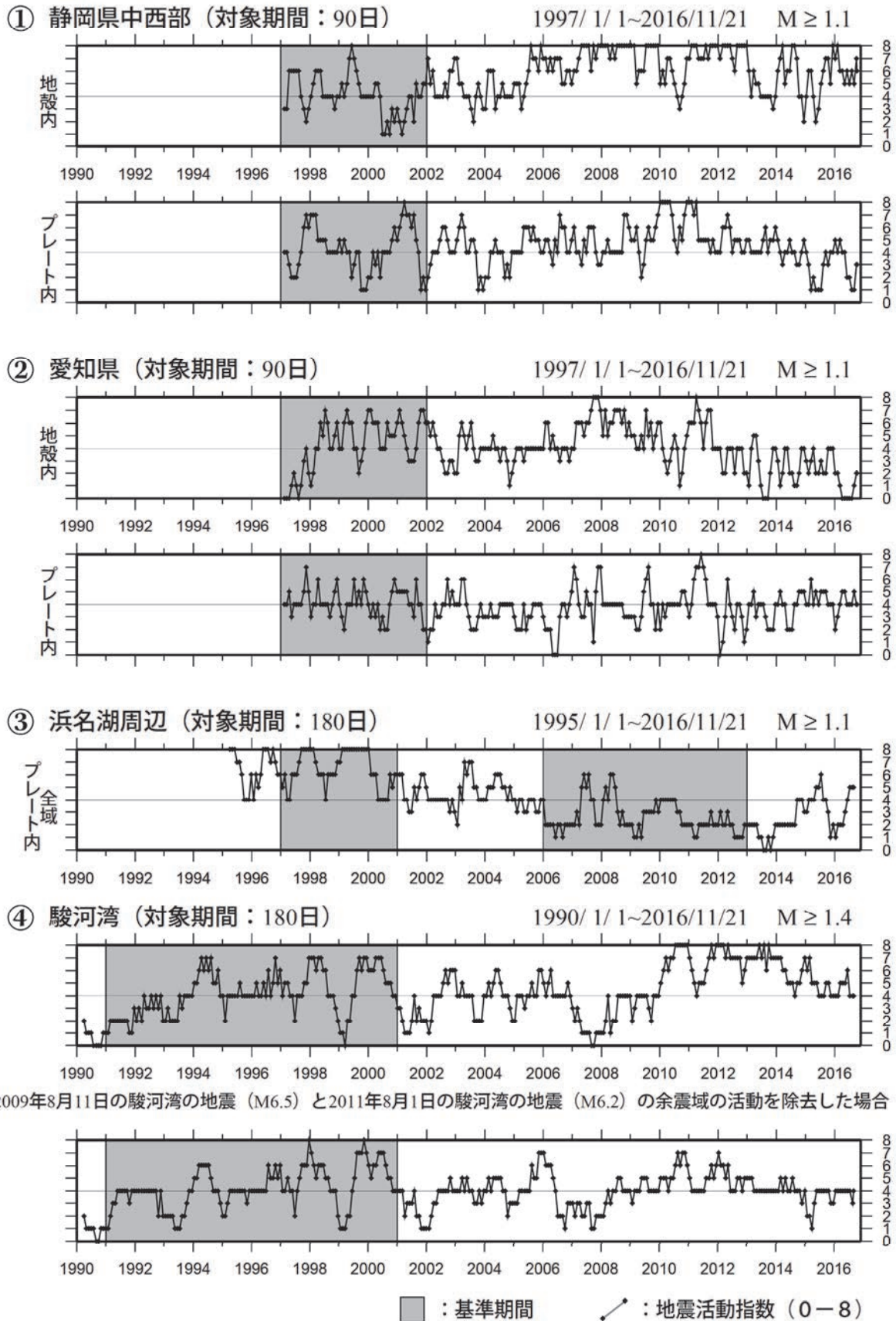
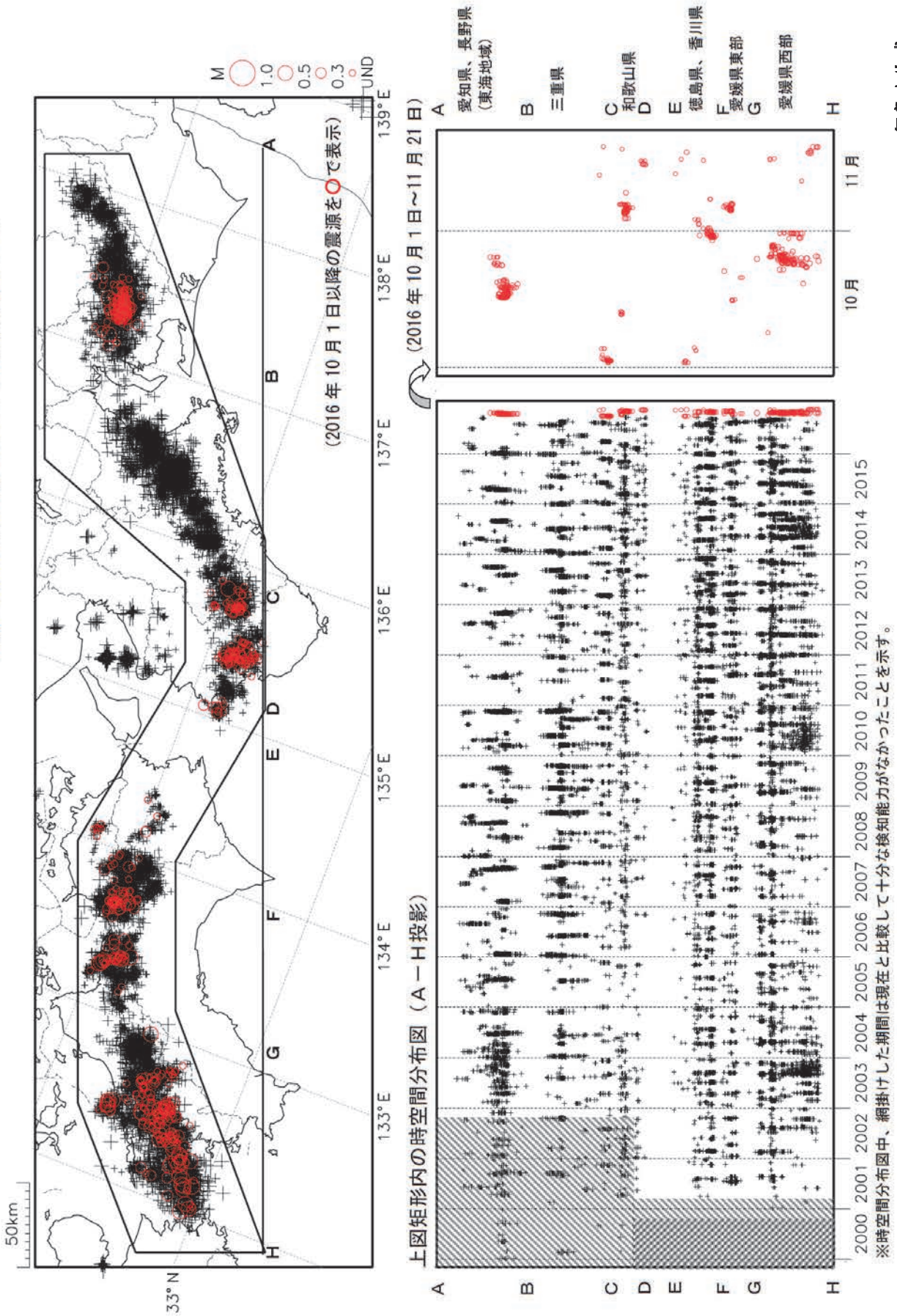


図3 東海地域の地震活動指数の推移

愛知県地殻内では、地震の発生頻度の低い状態が続いている。その他の地域では概ね平常レベルである。

気象庁作成

深部低周波地震活動 (2000 年 1 月 1 日～2016 年 11 月 21 日) 深部低周波地震は、「短期的ゆっくりすべり」に密接に関連する現象とみられており、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。



気象庁作成

図 4 深部低周波地震活動 (2000 年 1 月 1 日～2016 年 11 月 21 日)

紀伊半島・東海地域の深部低周波微動活動状況 (2016 年 10 ~ 11 月)



● 10 月 16 ~ 21 日頃に東海地方において、やや活発な活動。

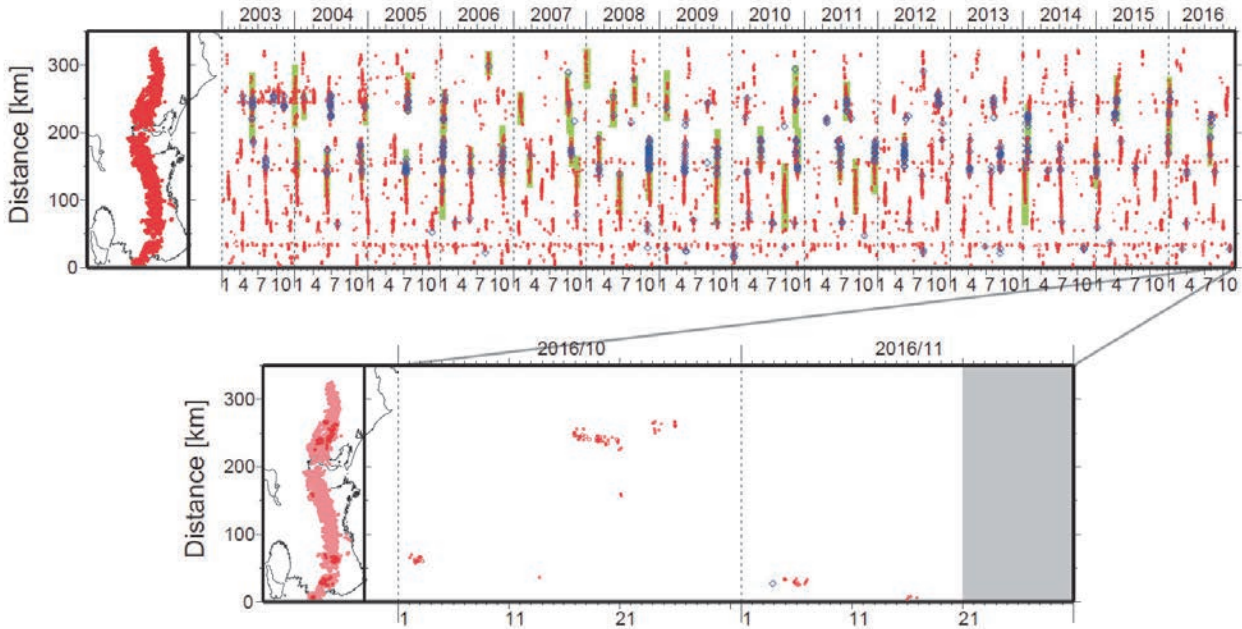


図 1. 紀伊半島・東海地域における 2003 年 1 月～2016 年 11 月 20 日までの深部低周波微動の時空間分布(上図)。赤丸はエンベロープ相関・振幅ハイブリッド法 (Maeda and Obara, 2009) およびクラスタ処理 (Obara et al., 2010) によって 1 時間毎に自動処理された微動分布の重心である。青菱形は周期 20 秒に卓越する超低周波地震 (Ito et al., 2007) である。黄緑色の太線はこれまでに検出された短期的スロースリップイベント (SSE) を示す。下図は 2016 年 10 ~ 11 月の拡大図である。10 月中旬以降については、10 月 16 ~ 21 日頃に愛知県中部でやや活発な活動がみられた。この活動では、西方向への活動域の移動がみられた。10 月 24 ~ 26 日頃には、愛知県東部で小規模な活動がみられた。この活動域は、10 月 16 ~ 21 日の活動域の東側に位置する。また、11 月 4 ~ 6 日頃には、和歌山県中部で小規模な活動がみられた。この領域からやや離れた西側の領域では、11 月 15 ~ 16 日頃にごく小規模な活動がみられた。

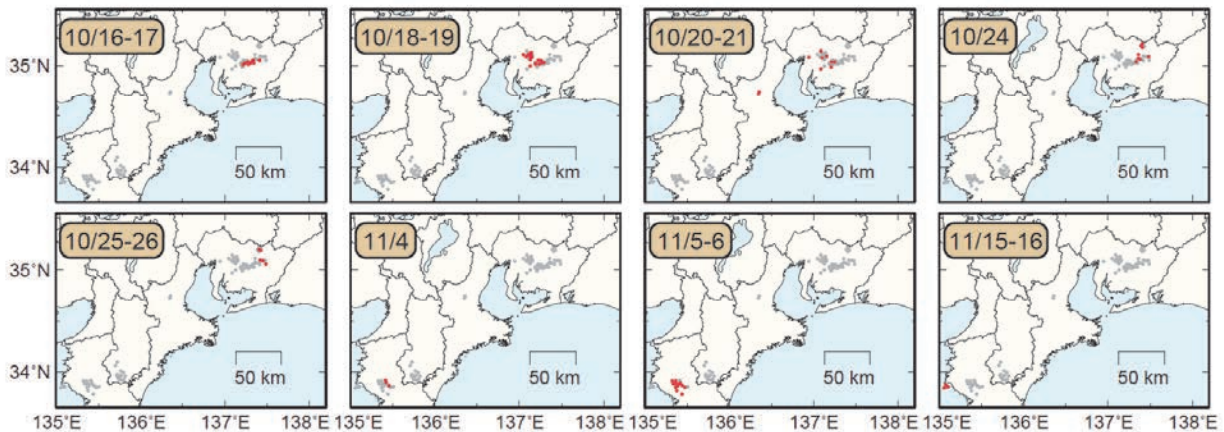


図 2. 各期間に発生した微動分布 (赤丸) および超低周波地震 (青菱形)。
灰丸は、図 1 の拡大図で示した期間における微動分布を示す。

防災科学技術研究所資料

図 5 紀伊半島・東海地域の深部低周波微動活動状況

ひずみ変化の時系列 (断層モデル候補の推定に使用した期間)

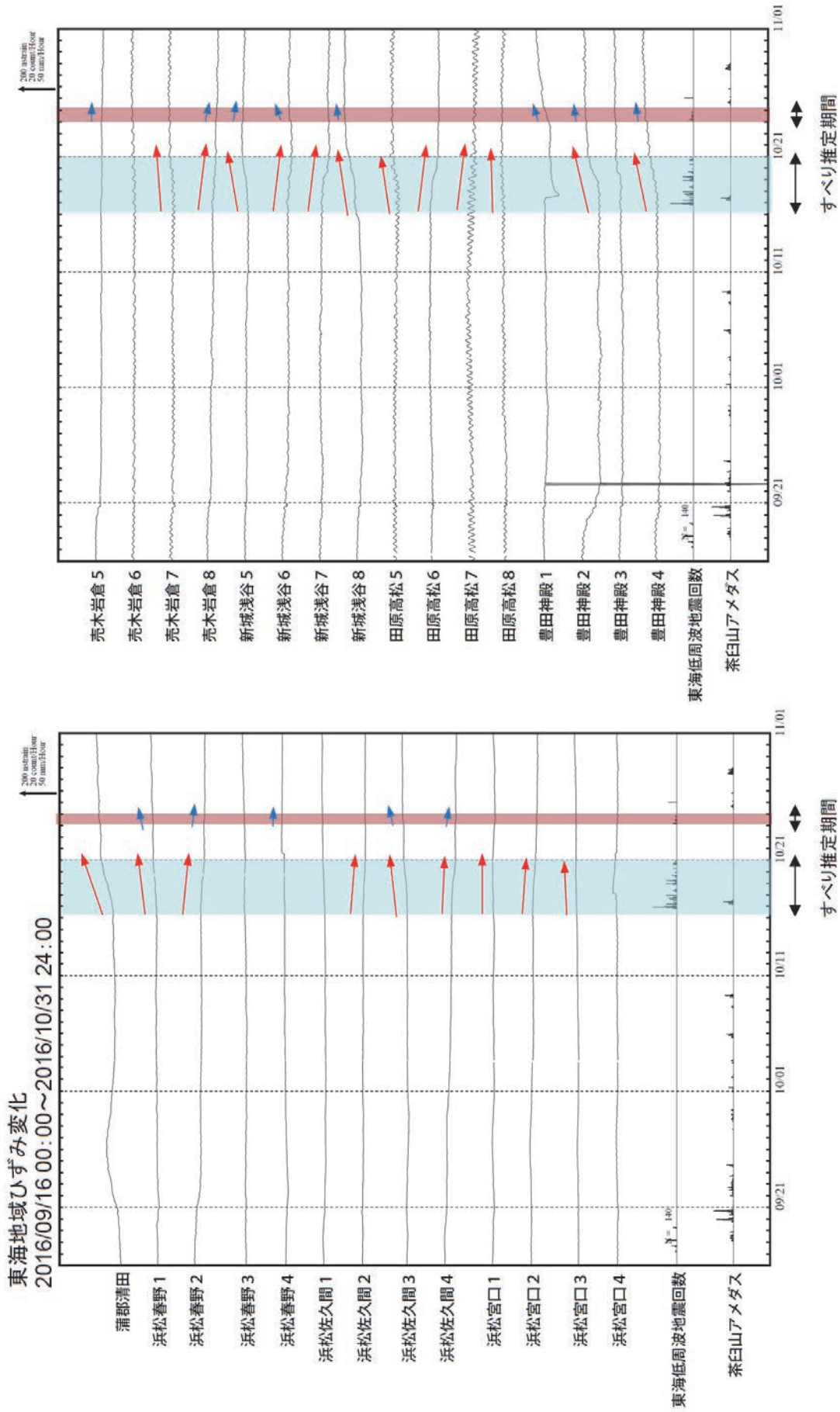
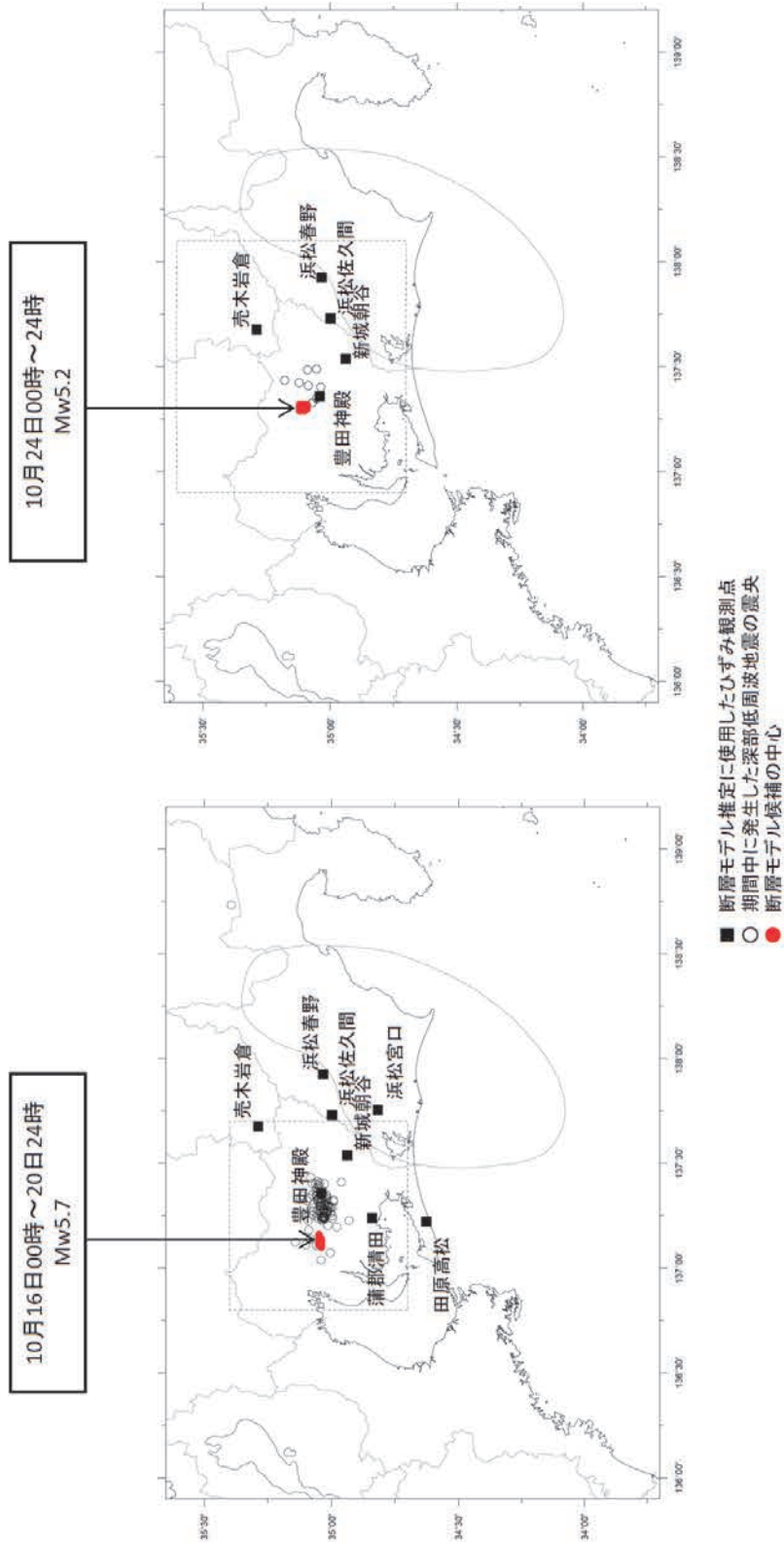


図 6 ひずみ変化の時系列 (断層モデル候補の推定に使用した期間)

豊田神殿は産業技術総合研究所の観測点である。浜松春野は静岡県の観測点である。

気象庁作成

ひずみ変化を説明する断層モデル候補



豊田神殿は産業技術総合研究所の観測点である。浜松春野は静岡県の観測点である。

すべり候補領域は、中村・竹中 (2004) ¹⁾によるグリッドサーチの手法※により求めた。プレート境界と断層面の形状はHirose et al. (2008) ²⁾による。

※ すべり候補領域の位置とその規模 (Mw) を、すべりがプレート境界面上でプレートの沈み込み方向と反対に発生したと仮定し、考え得る全ての解を前提として得られる理論値と観測値を比較し、合致するものを抽出する手法

1) 中村浩二・竹中潤, 東海地方のプレート間すべり推定ツールの開発, 地震時報, 68, 25-35, 2004

2) Hirose F., J. Nakajima, A. Hasegawa, Three-dimensional seismic velocity structure and configuration of the Philippine Sea slab in southwestern Japan estimated by double-difference tomography, J. Geophys. Res., 113, B09315, doi:10.1029/2007JB005274, 2008

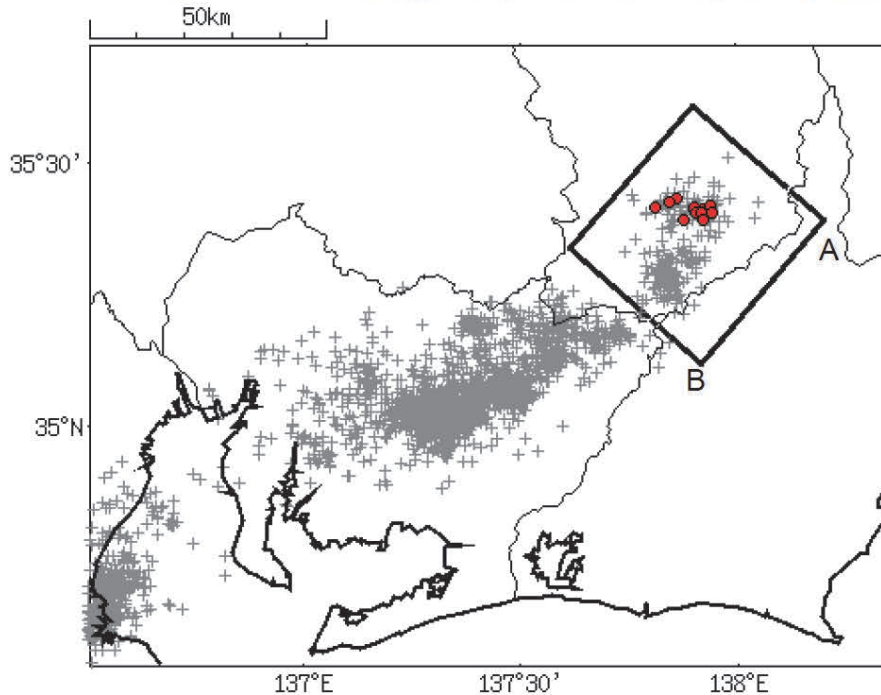
図 7 ひずみ変化を説明する断層モデル候補

長野県南部の深部低周波地震(微動)活動

2016年11月26日から、長野県南部を震央とする深部低周波地震(微動)を観測している。

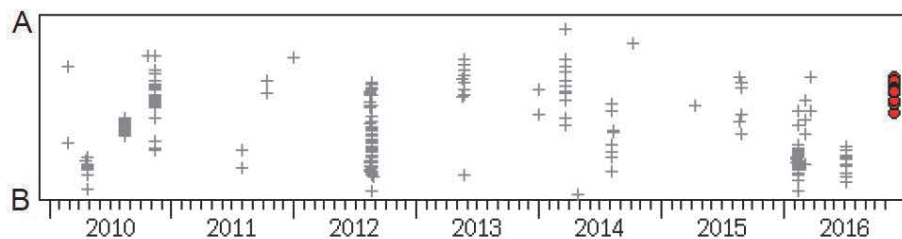
深部低周波地震(微動)活動

深部低周波地震(微動)の震央分布図(2010年1月1日～2016年11月28日07時)
2016年11月26日以降の地震●で表示、それ以外の期間の地震+で表示

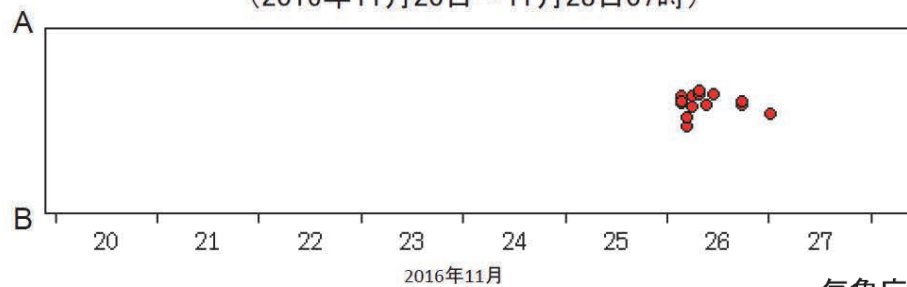


矩形領域内のAB方向の時空間分布図

(2010年01月01日～2016年11月28日07時)



(2016年11月20日～11月28日07時)



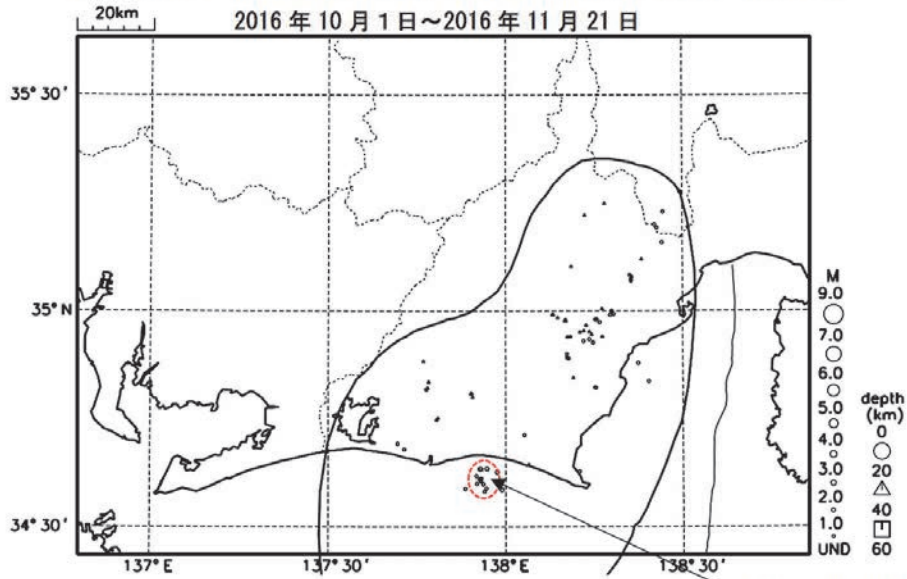
気象庁作成

図 8 長野県南部の深部低周波微動活動

プレート境界とその周辺の地震活動(最近の活動状況)

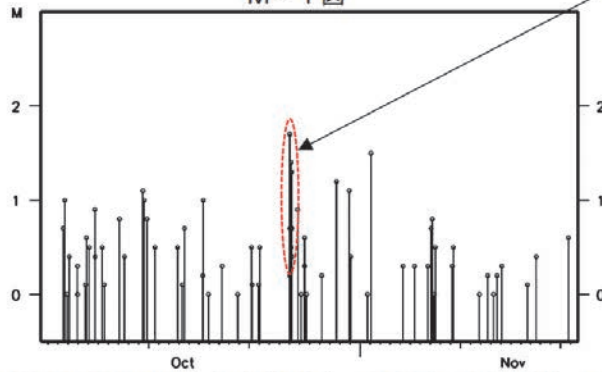
(Hirose et al. (2008)によるフィリピン海プレート上面深さの±3kmの地震を抽出)

プレート境界とその周辺の地震の震央分布 (最近約1ヶ月半、Mすべて)



M-T図

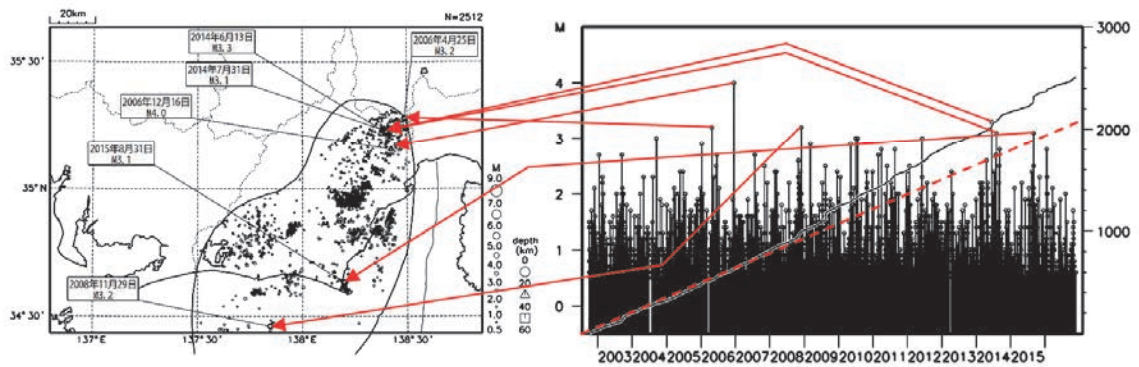
10月25日の遠州灘の活動



プレート境界とその周辺の地震の震央分布 (2002年10月以降、M≥0.5)

2002年10月1日~2016年11月21日

回数積算図とM-T図



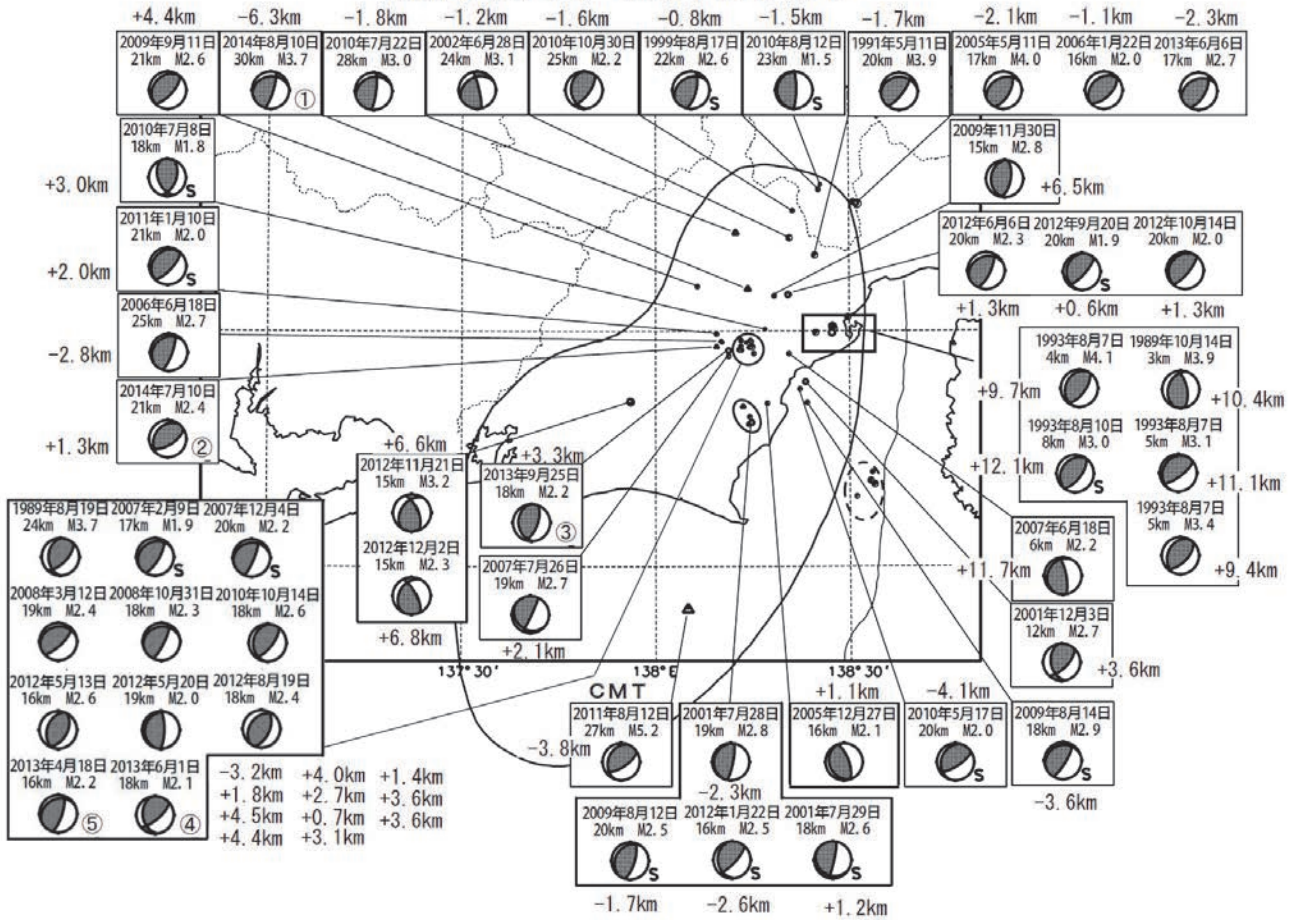
2002年10月以降 (M≥0.5) で見ると、東海地域のプレート境界とその周辺の地震活動は、2007年中頃あたりからやや活発に見える。なお、2009年8月11日以降は、駿河湾の地震 (M6.5) の余震活動の一部を抽出している。M3を超える地震については、その震央を矢印で示しているが、これらの地震の発震機構解は想定東海地震のものとは類似の型ではない。

気象庁作成

図9 プレート境界とその周辺の地震活動(最近の活動状況)

想定東海地震の発震機構解と類似の型の地震

1987 年 9 月 1 日～2016 年 11 月 21 日



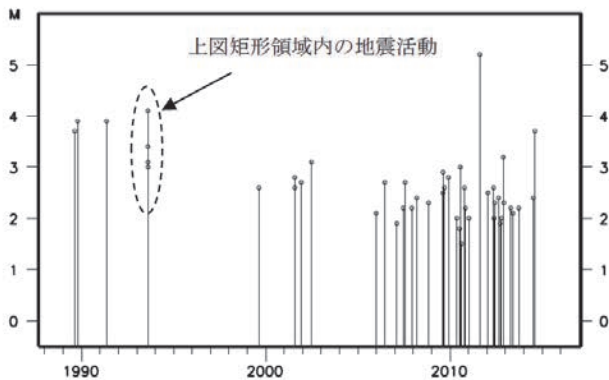
吹き出しの傍に書かれた値は、Hirose et al. (2008)によるプレート境界からの鉛直方向の距離。+はプレート境界より浅く、-は深いことを示す。

最近発生した5つの地震については、丸数字で順番を示す。

想定東海地震の発震機構解と類似の型の地震を抽出した。抽出条件は、P軸の傾斜角が45度以下、かつP軸の方位角が65度以上145度以下、かつT軸の傾斜角が45度以上、かつN軸の傾斜角が30度以下とした。

プレート境界で発生したと疑われる地震の他、明らかに地殻内またはフィリピン海プレート内で発生したと推定される地震も含まれている。また、2009年までに発生した地震については、Nakamura et al. (2008)の3次元速度構造で震源とメカニズム解を再精査し、いくつかの地震は候補から削除されている。点線楕円で囲まれた地震は、2011年8月1日に発生したM6.2の地震の余震で、フィリピン海プレート内の地震である。

なお、吹き出し図中、震源球右下隣りにSの表示があるものは、発震機構解に十分な精度がない。



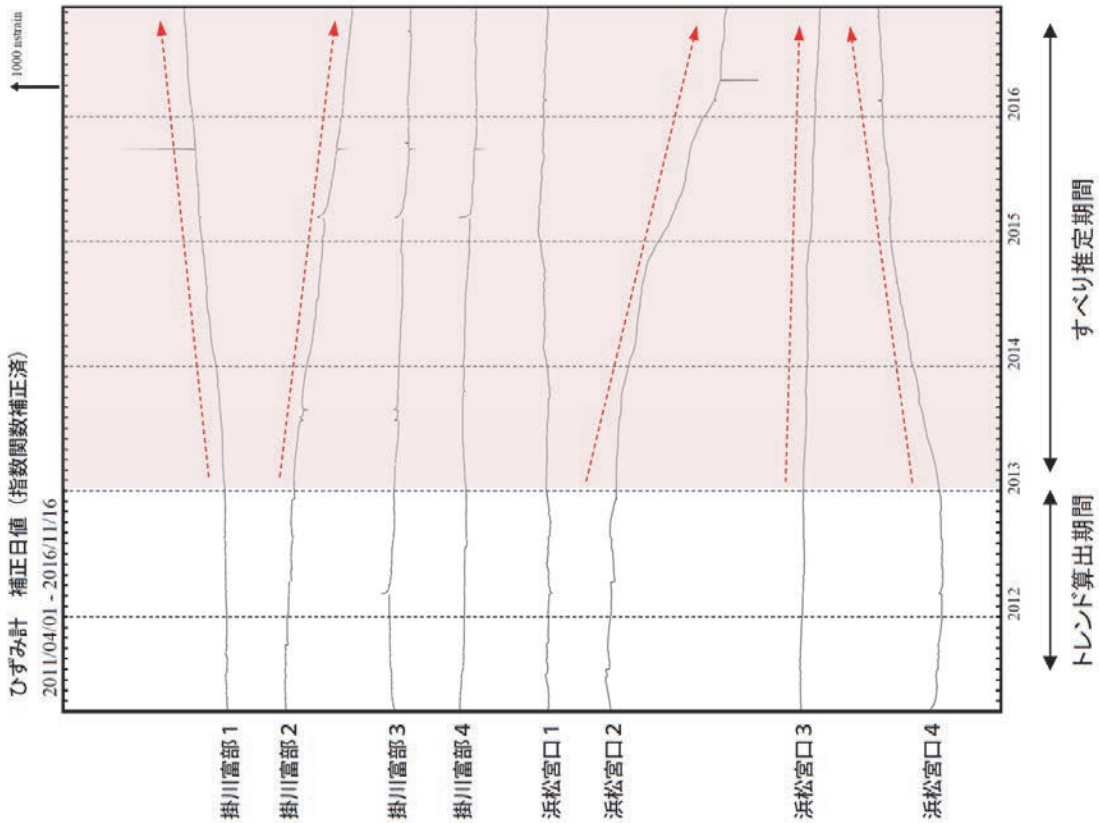
上図イベントの、想定震源域内におけるM-T図。

気象庁作成

図 10 想定東海地震の発震機構解と類似の型の地震

ひずみ変化と長期的ゆっくりすべりのすべり推定

ひずみ計の観測結果から、長期的ゆっくりすべりに対応すべりに対応すると思われる変化を読み取り、グリッドサーチの手法で、変動源の断層モデルを推定した。その推定方法は、短期的ゆっくりすべりの解析で行っているものと同じであり、仮定している断層のスケーリングが、ターゲットとしている長期的ゆっくりすべりに当てはまらない可能性がある。また、解析に使用してきた観測点は2点のみであり、この結果の精度はあまり高くはない。



ひずみ変化を説明しうる断層モデル候補

Mw6.6~6.9

■ 断層モデル推定に使用したひずみ計観測点(多成分ひずみ計)
● 断層モデル候補の中心

断層モデル候補は、中村・竹中(2004)¹⁾によるグリッドサーチの手法※により求めた。プレート境界と断層面の形状はHirose et al.(2008)²⁾による。
※断層モデル候補の中心とその規模(Mw)を、すべりがプレート境界面上でプレートの沈み込み方向と反対に発生したと仮定し、考え得る全ての解を前提として得られる理論値と観測値と比較し、合致するものを抽出する手法
1)中村浩二・竹中潤, 東海地方のプレート間すべり推定モデルの開発, 地震時報, 68, 25-35, 2004
2)Hirose F., J. Nakajima, A. Hasegawa, Three-dimensional seismic velocity structure and configuration of the Philippine Sea slab in southwestern Japan estimated by double-difference tomography, J. Geophys. Res., 113, B09315, doi:10.1029/2007JB005274, 2008

図 11 ひずみ変化と長期的ゆっくりすべりのすべり推定

ひずみ日値のスタッキングによる長期的ゆっくりすべりの検出について

○各グリッドでの時系列変化

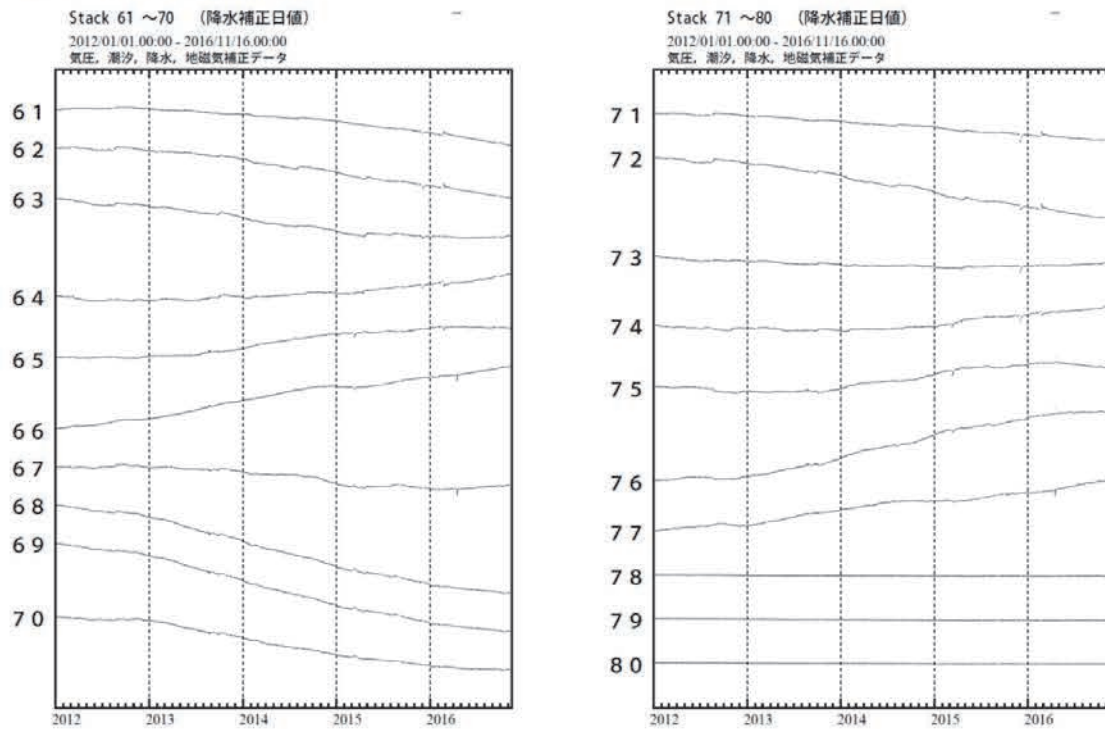


図 1 : 日値スタッキング波形。番号は監視グリッド (図 2 参照) を示す。

- データ : 補正日値 (体積ひずみ計と 1998 年から 2002 年整備の多成分ひずみ計)
 主な地震および短期的 SSE による変化をオフセットとして除去
 ひずみ計の長期変化について、指数関数で近似して補正
- ノイズレベル : 2011 年 6 月～2012 年 12 月の、60 日階差 (単純な階差) の標準偏差
- 理論値計算 : 0.15° ごとの各グリッドを中心とする、20×20km の断層
- トレンド : 2012 年 7 月～12 月の期間のトレンドを除去している

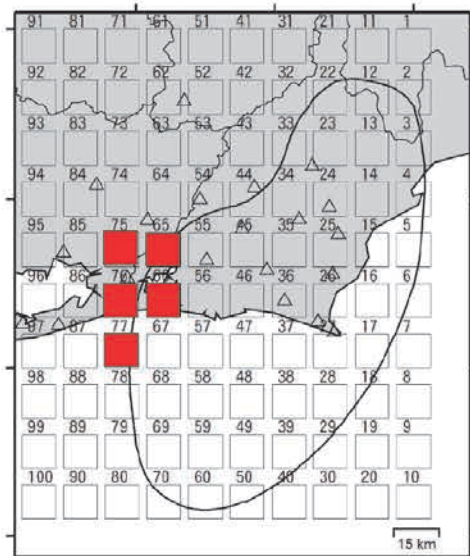


図 2 : グリッド配置およびすべり位置

グリッド No.65, 66 及び 75～77 に明瞭な変化が見られている。総すべり量は Mw6.7 相当となる。

□ スタッキンググリッド

* スタッキング手法は、複数のひずみ計のデータを重ね合わせることによって、微小な地殻変動のシグナルを強調させて、検知能力を向上させる解析方法である。

参考文献

宮岡一樹, 横田 崇 (2012) : 地殻変動検出のためのスタッキング手法の開発—東海地域のひずみ計データによるプレート境界すべり早期検知への適用—, 地震 2, 65, 205-218.

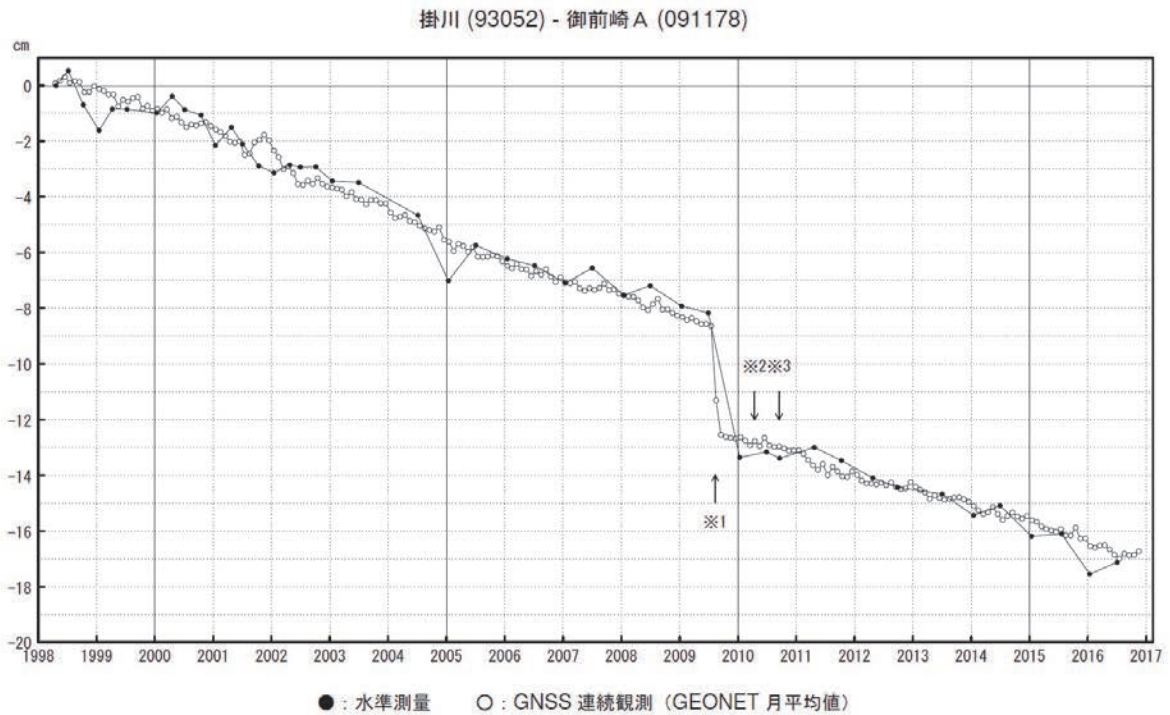
気象庁・気象研究所作成

図 12 ひずみ日値のスタッキングによる長期的ゆっくりすべりの検出について

御前崎 電子基準点の上下変動

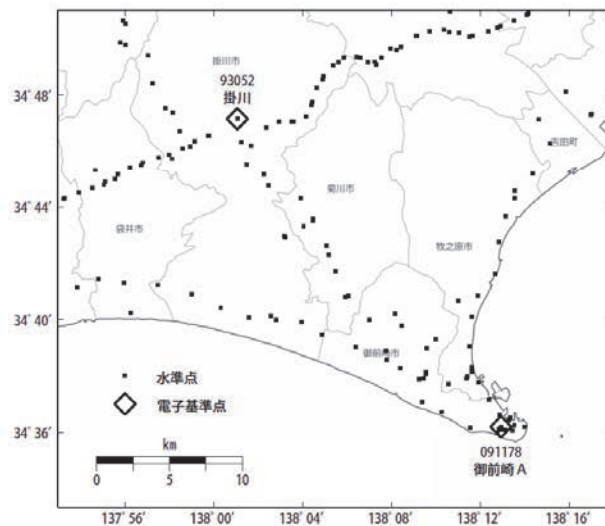
水準測量と GNSS 連続観測

掛川に対して、御前崎が沈降する長期的な傾向が続いている。



・ 最新のプロット点は 11/01~11/05 の平均。

- ※1 電子基準点「御前崎」は 2009 年 8 月 11 日の駿河湾の地震 (M6.5) に伴い、地表付近の局所的な変動の影響を受けた。
- ※2 2010 年 4 月以降は、電子基準点「御前崎」をより地盤の安定している場所に移転し、電子基準点「御前崎 A」とした。上記グラフは電子基準点「御前崎」と電子基準点「御前崎 A」のデータを接続して表示している。
- ※3 水準測量の結果は移転後初めて変動量が計算できる 2010 年 9 月から表示している。



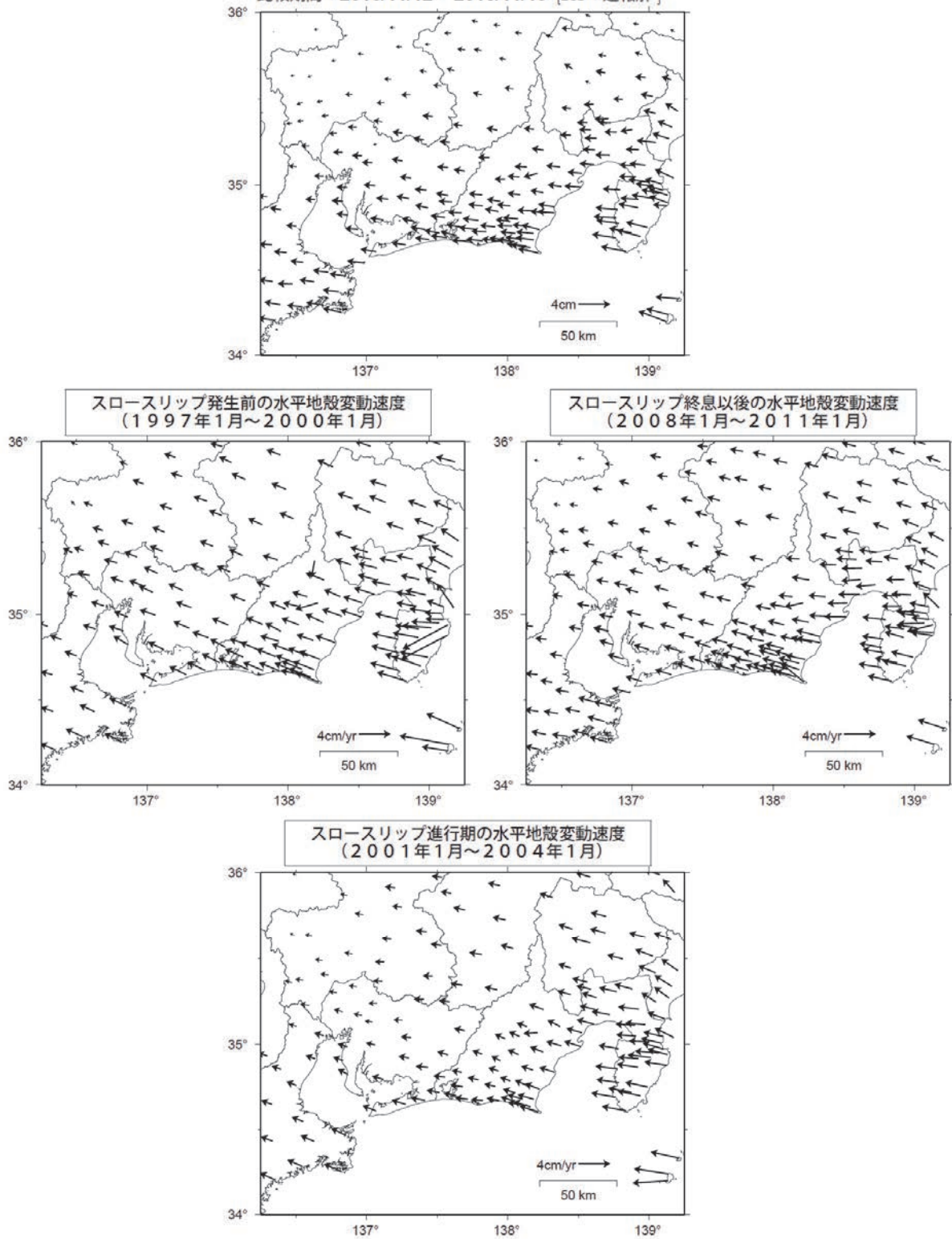
国土地理院

図 13 国土地理院 GNSS 観測結果及び水準測量による御前崎の上下変動

掛川から見た御前崎の上下変動を示したものである。掛川に対して御前崎が沈降するという長期的な傾向に変化は見られない。

東海地方の水平地殻変動【固定局：三隅】 (2015年11月～2016年11月)

基準期間：2015/11/12 - 2015/11/19 [F3：最終解]
比較期間：2016/11/12 - 2016/11/19 [R3：速報解]



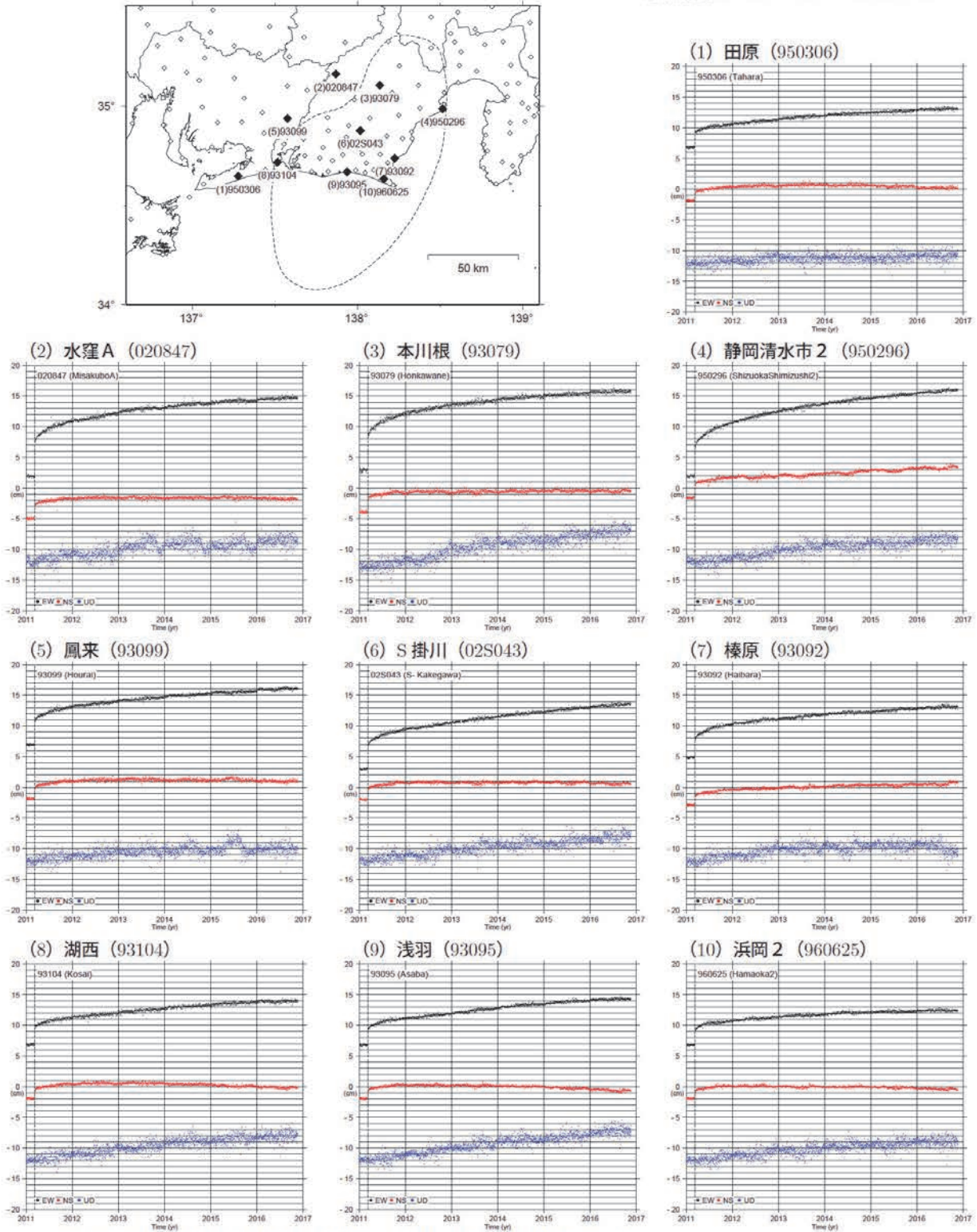
・2016年4月に発生した熊本地震による固定局三隅の地殻変動は補正している。

国土地理院

図 14 国土地理院 GNSS 観測結果による、東海地方の水平地殻変動

東海地方の非正常地殻変動時系列【固定局：三隅】

速報解含む 2011/1/1 - 2016/11/19



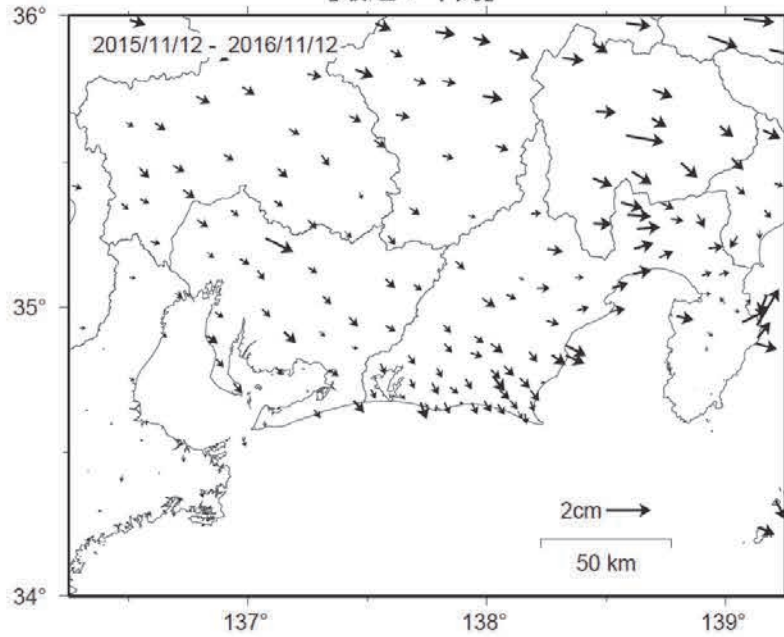
- 2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動の影響は取り除いていない。
- 2008 年 1 月 1 日～2011 年 1 月 1 日のデータから平均変動速度、年周/半年周成分を推定して、元の時系列データから除去している。
- 2016 年 4 月に発生した熊本地震による固定局三隅の地殻変動は補正している。

国土地理院

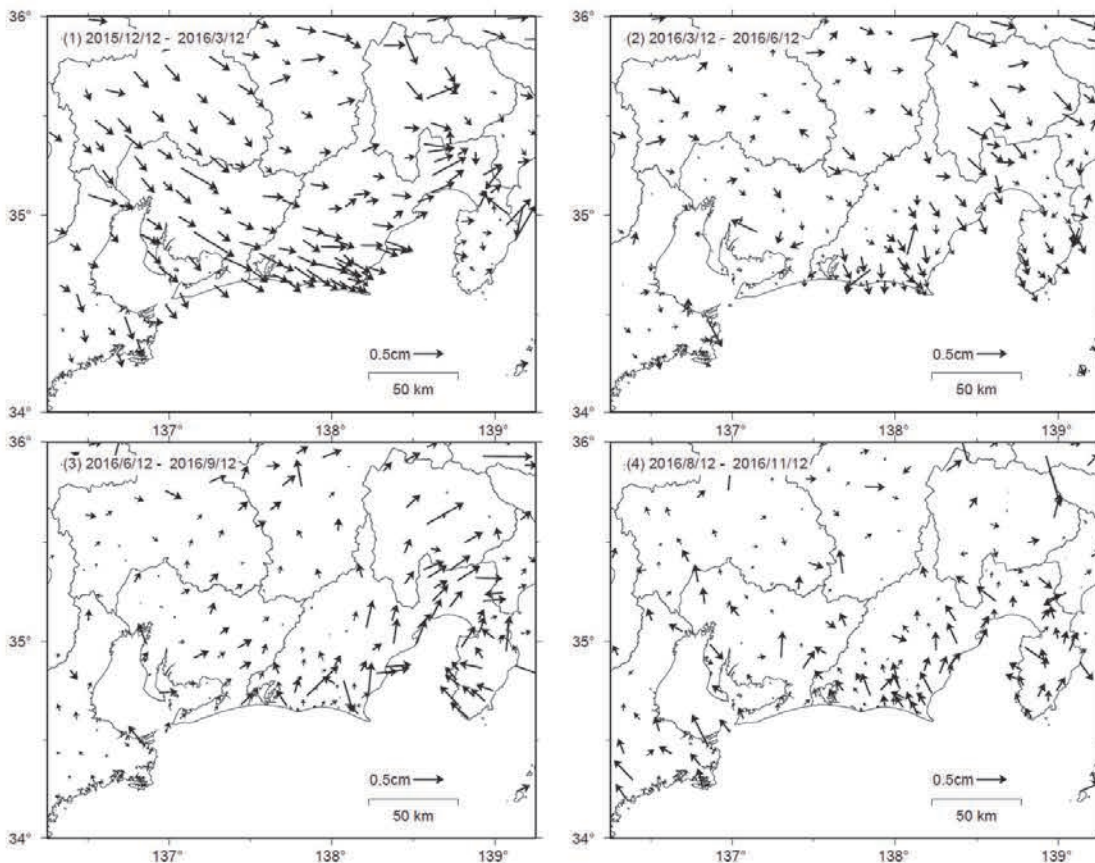
図 15 国土地理院 GNSS 観測結果による、東海地方の非正常地殻変動時系列

「平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震」による余効変動が、小さくなりつつあるが、東海地方においてもみられている。

東海地方の非定常水平地殻変動【固定局：三隅】
（2015 年 11 月～2016 年 11 月）
【最近 1 年間】



【最近 1 年間 3 ヶ月ごと】

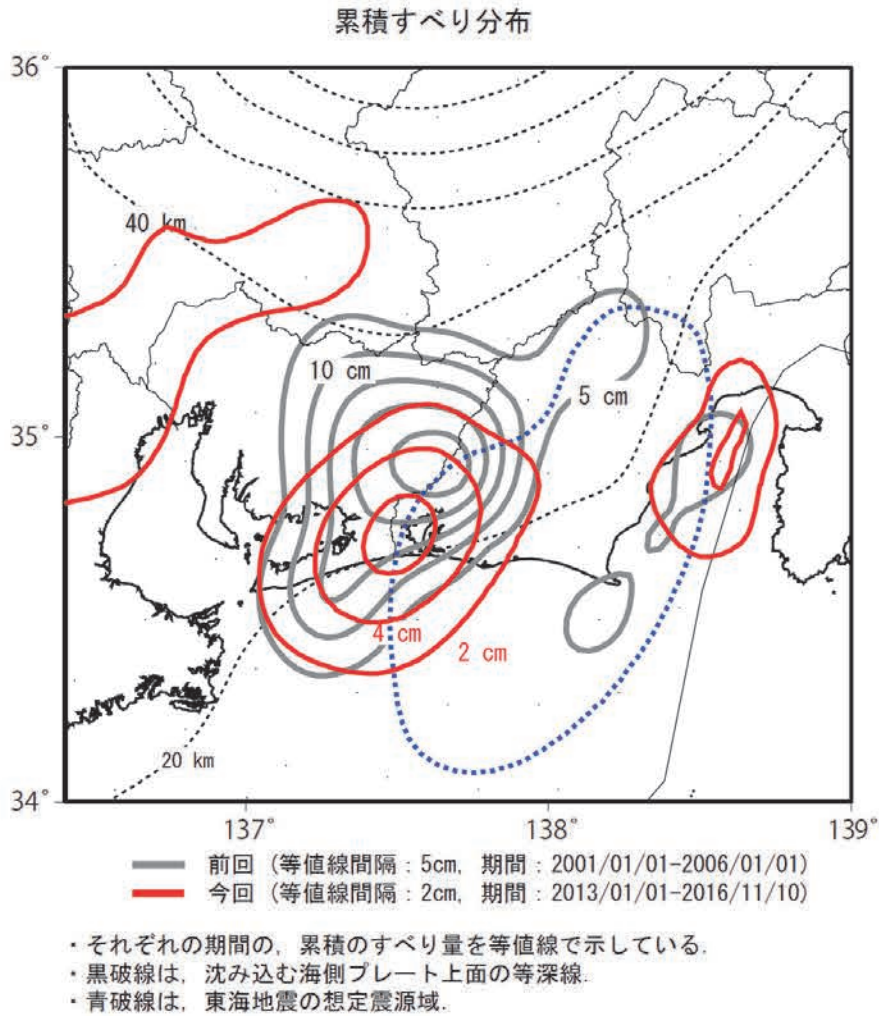


- ・非定常地殻変動時系列から、1年間と3ヶ月間の変動量を表示している。
- ※非定常地殻変動時系列：
2008年1月～2011年1月のデータから平均変動速度、年周/半年周成分を推定して、元の時系列データから除去した時系列。
- ・2016年4月に発生した熊本地震による固定局三隅の地殻変動は補正している。

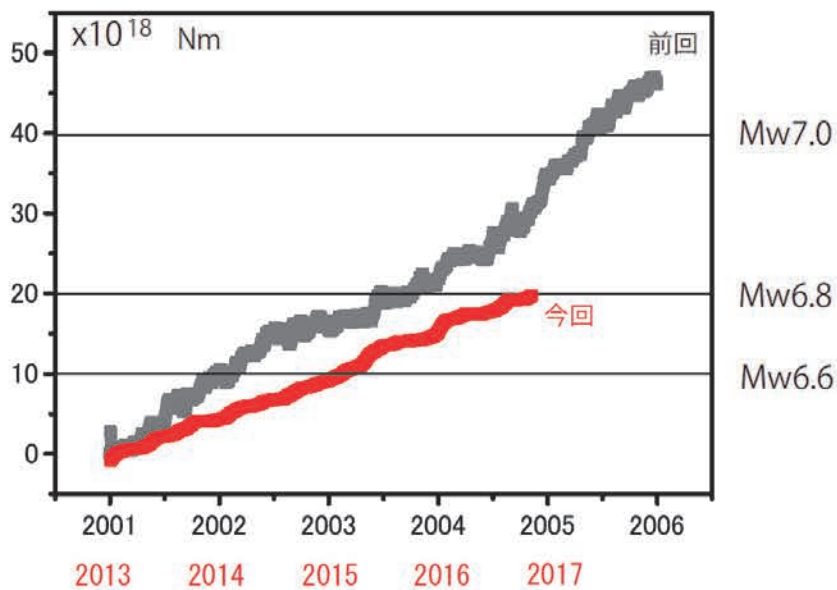
国土地理院

図 16 国土地理院 GNSS 観測結果による、東海地方の非定常水平地殻変動

非正常地殻変動から推定される累積すべり分布及びモーメントの時間変化（暫定）



モーメントの時間変化



・それぞれの期間のモーメントの時間変化を、横軸を重ねて示している。

国土地理院

図 17 国土地理院 GNSS 観測結果による、長期的ゆっくりすべりの発生を示唆する非正常地殻変動から推定される累積すべり分布及びモーメントの時間変化の比較