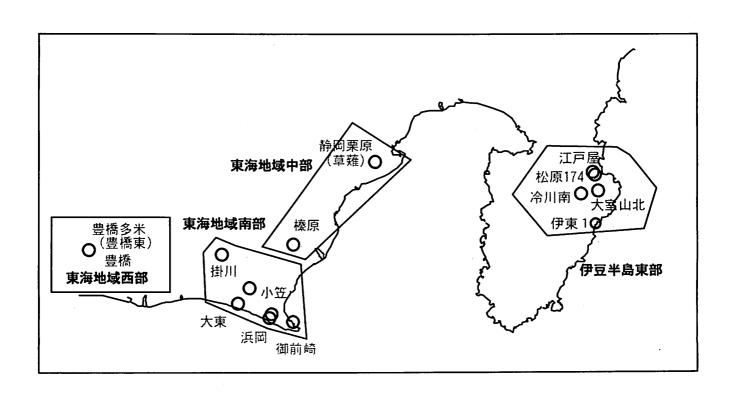
## 第333回

## 地震防災対策強化地域判定会

産業技術総合研究所

# 地質調査総合センター資料

産総研地質調査総合センター地下水観測井配置図 (伊豆・東海地域テレメータ連続観測)



平成26年1月20日

### 【資料目次】

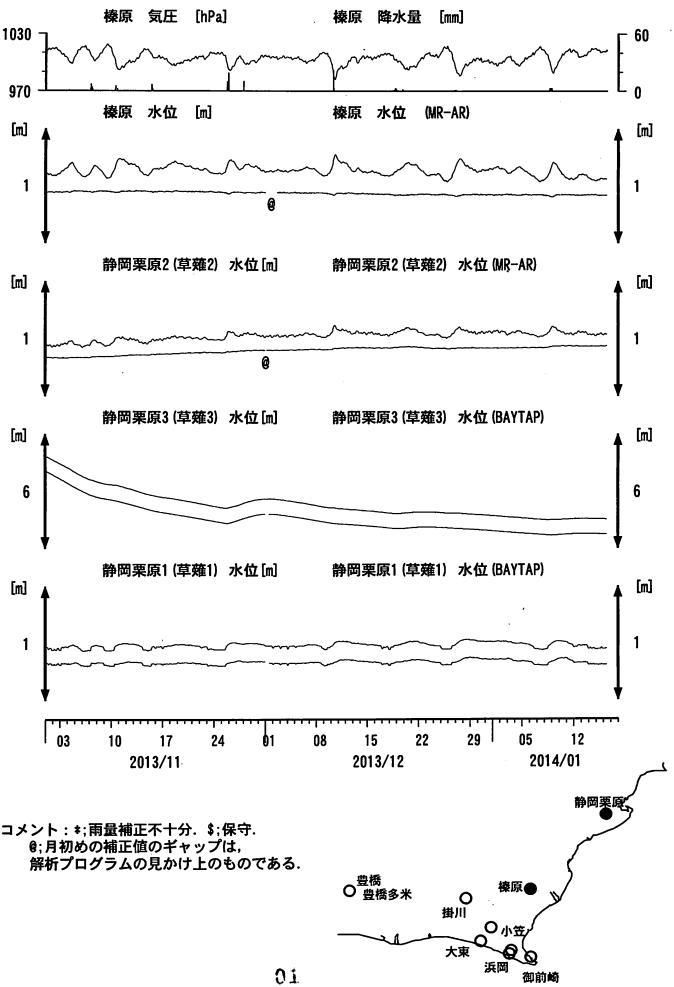
#### 表紙

- 1. 東海地域中部 [榛原,静岡栗原(草薙)] 地下水;中期
- 2. 東海地域中部 [榛原,静岡栗原(草薙)] 地下水;長期
- 3. 東海地域南部 [大東,小笠,浜岡,御前崎] 地下水;中期
- 4. 東海地域南部 [大東,小笠,浜岡,御前崎] 地下水;長期
- 4-b. 東海地域南部 [浜岡] 地下水·沈下;長期
- 4-c. 東海地域南部 [掛川] 地下水·沈下;長期
- 5. 東海地域西部 [豊橋,豊橋多米(豊橋東)] 地下水·歪·傾斜:中期
- 5-b. 東海地域西部 [豊橋多米(豊橋東)] 歪等:中期
- 6. 東海地域西部 [豊橋·豊橋多米(豊橋東)] 地下水·歪·傾斜;長期
- 6-b. 東海地域西部 [豊橋多米(豊橋東)] 歪等;長期
- 7. 伊豆半島東部 [松原174,江戸屋,大室山北,冷川南,伊東1] 地下水;中期
- 8. 伊豆半島東部 [松原174,江戸屋,大室山北,冷川南,伊東1] 地下水;長期

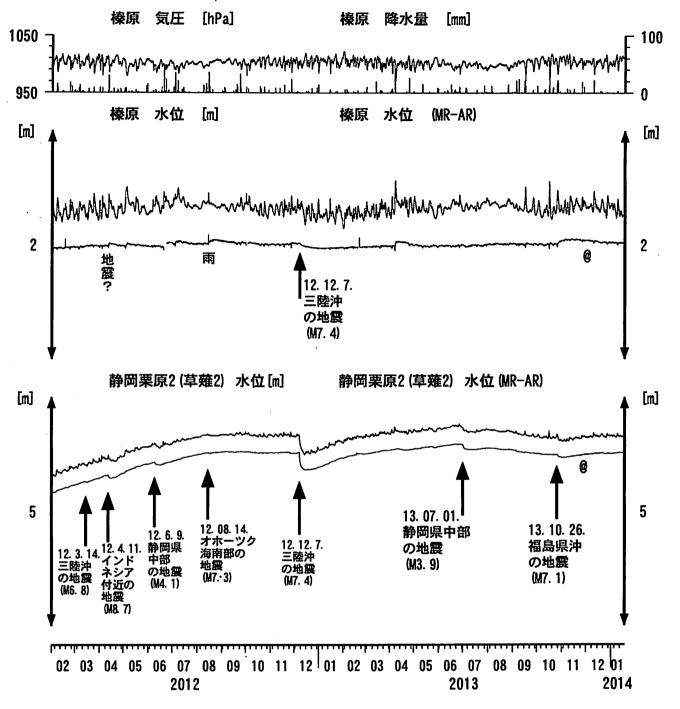
#### 別紙

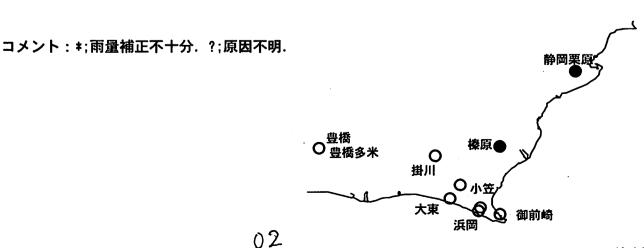
- ・榛原・浜岡の降雨グラフ
- ・紀伊半島~愛知県の地下水・歪等観測結果
- ・豊橋多米の地殻歪の長期変化
- ・2014年1月9日~13日の三重県での微動活動に関する一考察

### 東海地域中部(榛原・草薙)中期 (時間値) (2013/11/01 00:00 - 2014/01/18 00:00 (JST))

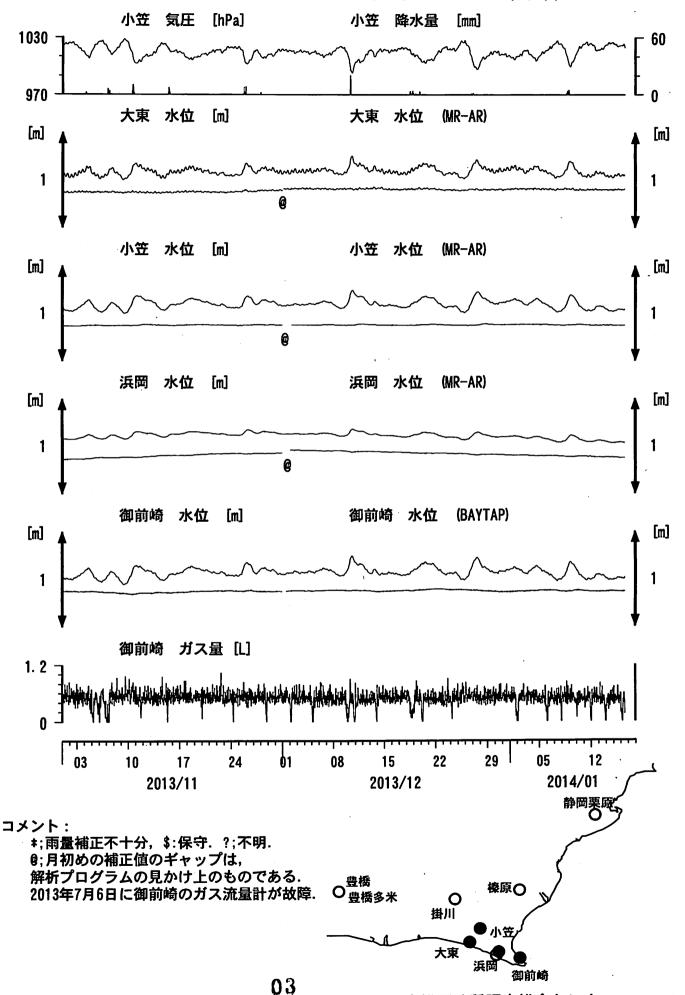


### 東海地域中部(榛原・草薙)長期 (時間値) $(2012/02/01 \ 00:00 - 2014/01/18 \ 00:00 \ (JST))$

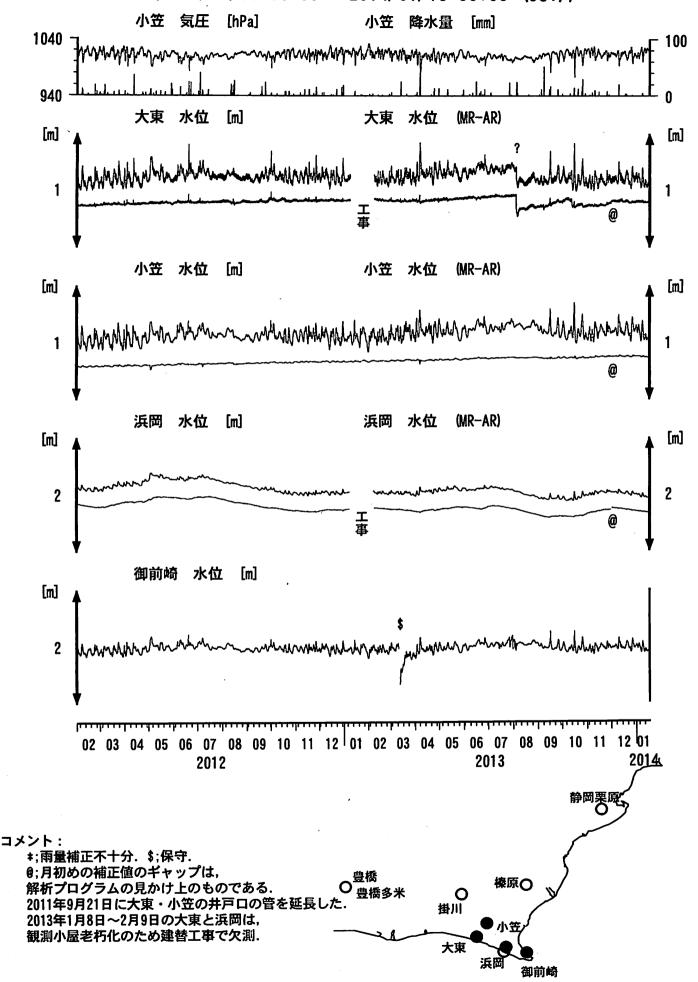




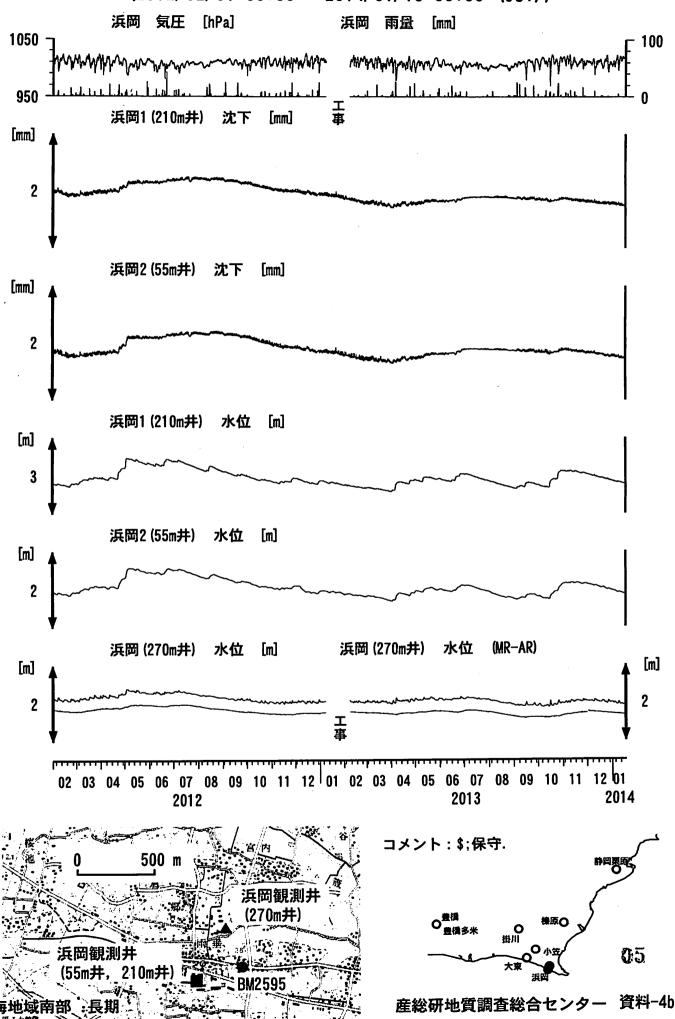
## 東海地域南部 地下水観測結果 中期 (時間値) (2013/11/01 00:00 - 2014/01/18 00:00 (JST))



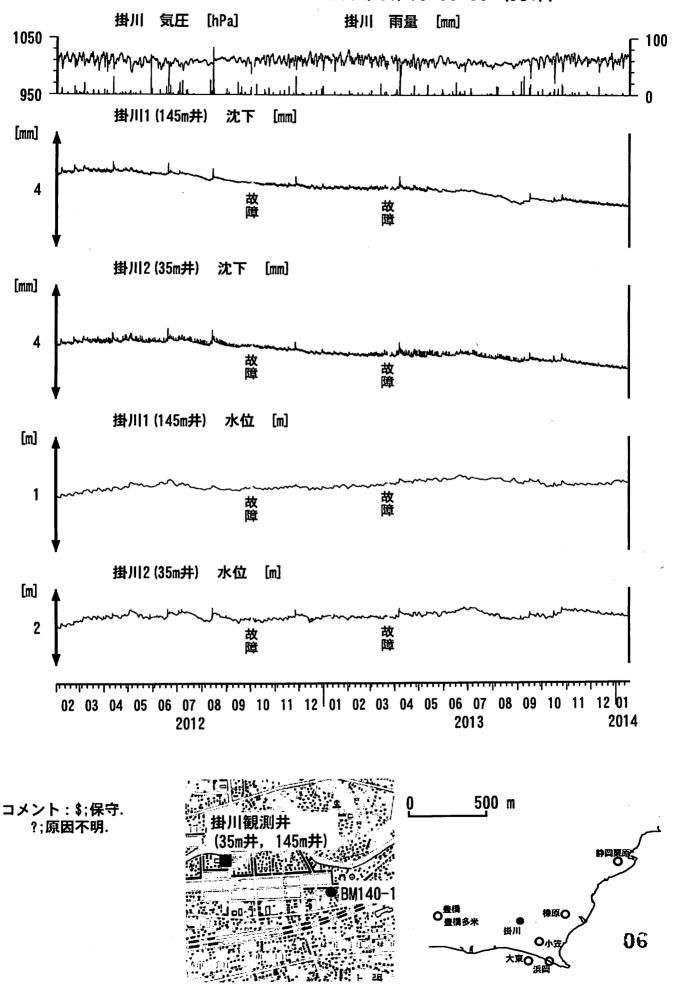
## 東海地域南部 地下水観測結果 長期 (時間値) (2012/02/01 00:00 - 2014/01/18 00:00 (JST))



浜岡沈下・水位 (時間値) (2012/02/01 00:00 - 2014/01/18 00:00 (JST))

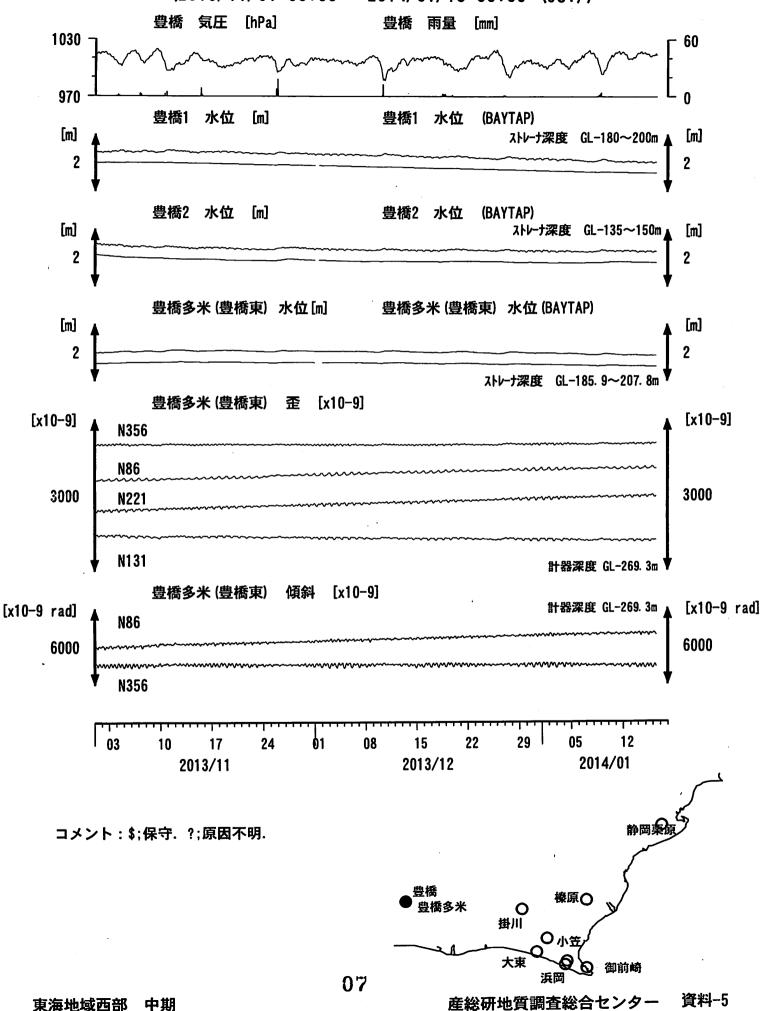


掛川沈下・水位 (時間値) (2012/02/01 00:00 - 2014/01/18 00:00 (JST))



産総研地質調査総合センター 資料-4c

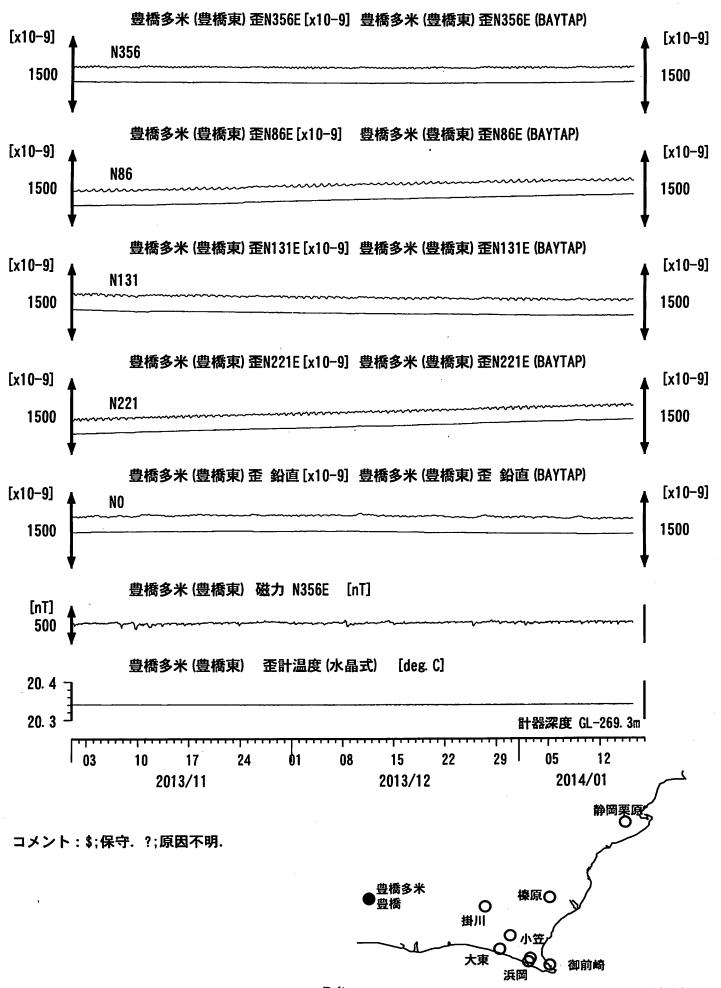
### 東海地域西部(豊橋・豊橋多米)中期 $(2013/11/01 \ 00:00 - 2014/01/18 \ 00:00 \ (JST))$



東海地域西部

中期

## 東海地域西部(豊橋多米 歪)中期 (時間値) (2013/11/01 00:00 - 2014/01/18 00:00 (JST))



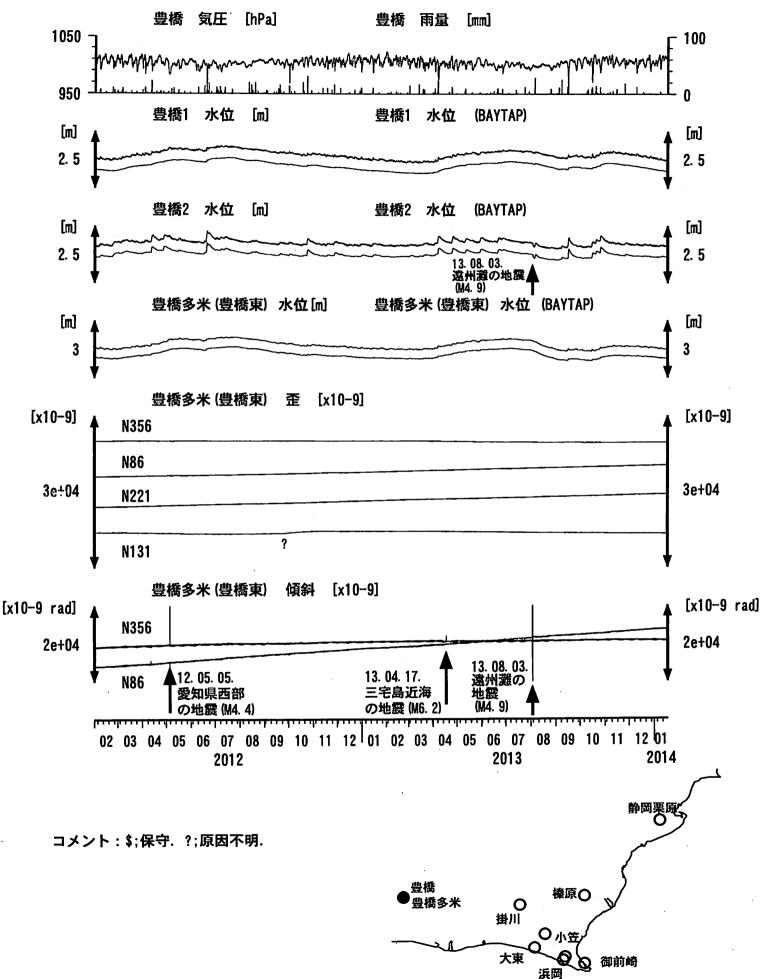
08

東海地域西部 中期

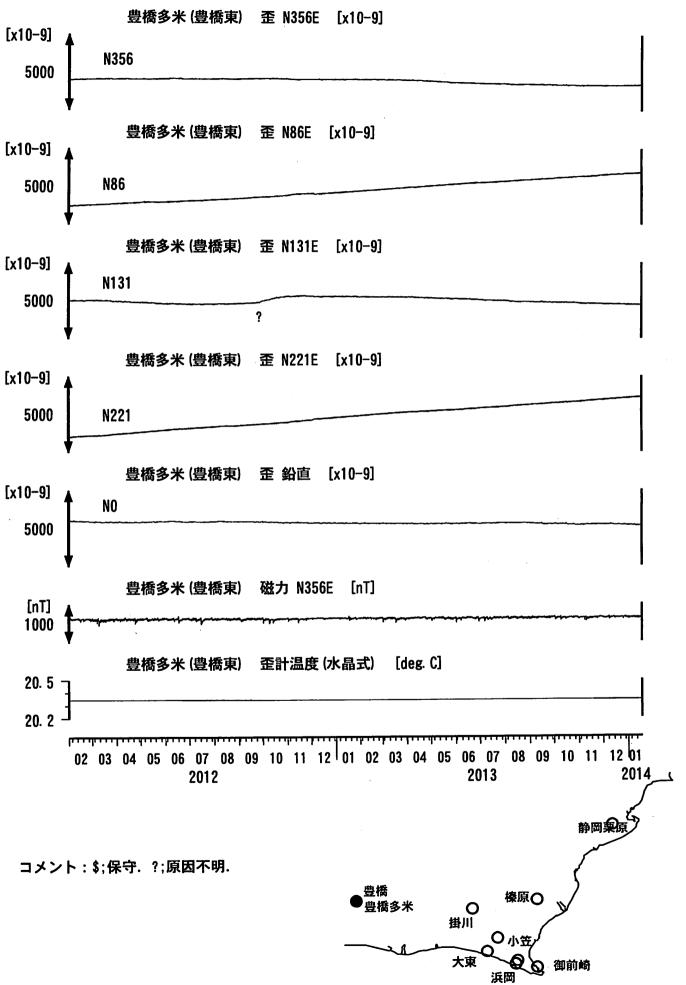
資料-5b

産総研地質調査総合センター

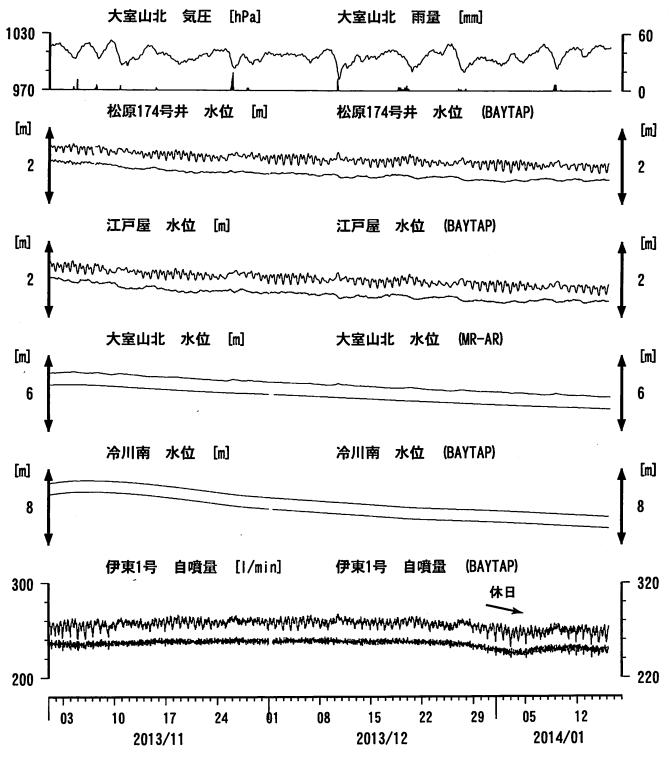
## 東海地域西部(豊橋・豊橋多米)長期 (時間値) (2012/02/01 00:00 - 2014/01/18 00:00 (JST))



## 東海地域西部(豊橋多米 歪)長期 (時間値) (2012/02/01 00:00 - 2014/01/18 00:00 (JST))



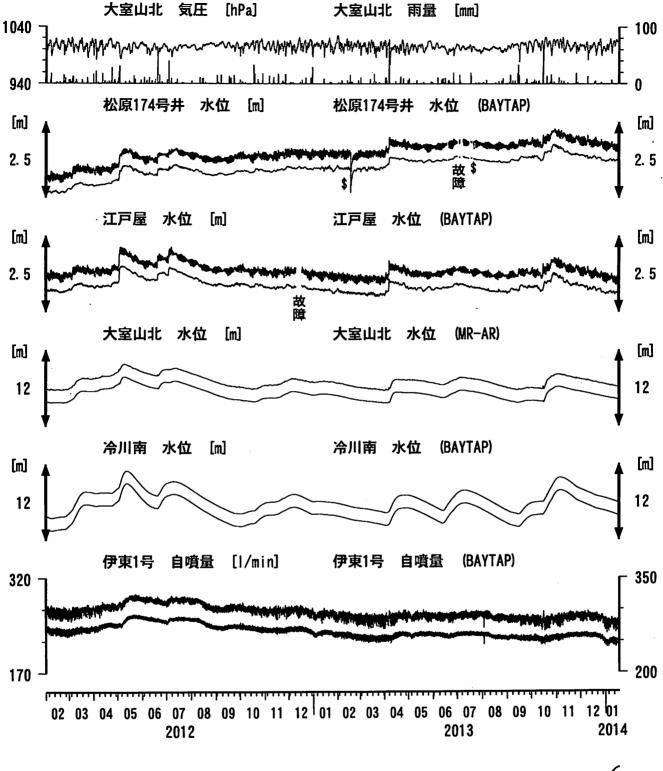
### 伊豆半島東部 地下水位・自噴量 中期 (時間値) (2013/11/01 00:00 - 2014/01/18 00:00 (JST))



コメント: \$;保守.?;原因不明. 松原174号井は静岡県による観測. 伊東1は、休日・年末年始に周囲の 温泉使用量が増加するため、自噴量が減少する. 伊東1の自噴量は、量が少なくなると 配管構造のため、見かけ上、値がばらつく.



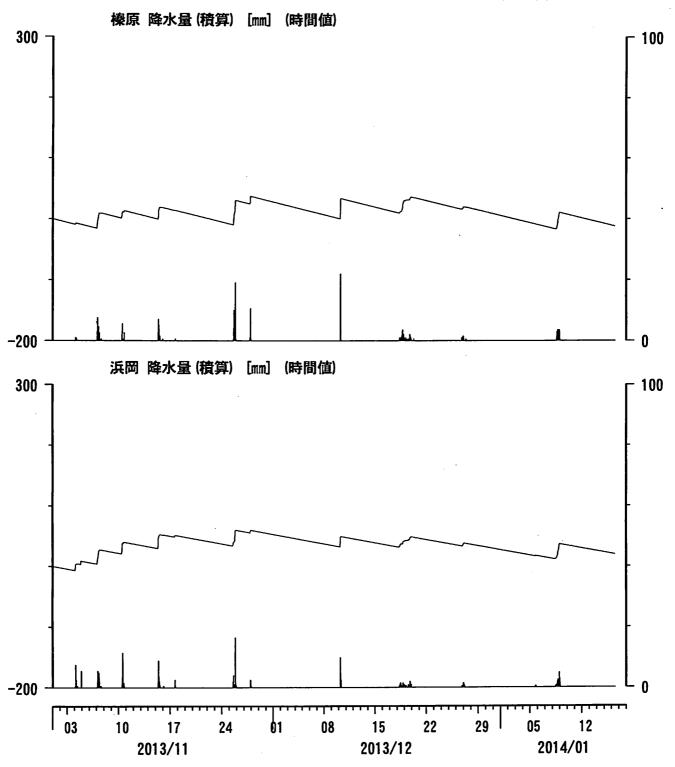
### 伊豆半島東部 地下水位·自噴量 長期 (時間値) (2012/02/01 00:00 - 2014/01/18 00:00 (JST))



コメント: \$;保守.?;原因不明. 松原174号井は静岡県による観測. 伊東1は,休日・年末年始に周囲の温泉使用量が増加するため,自噴量が減少する. 伊東1の自噴量は,量が少なくなると配管構造のため,見かけ上,値がばらつく.



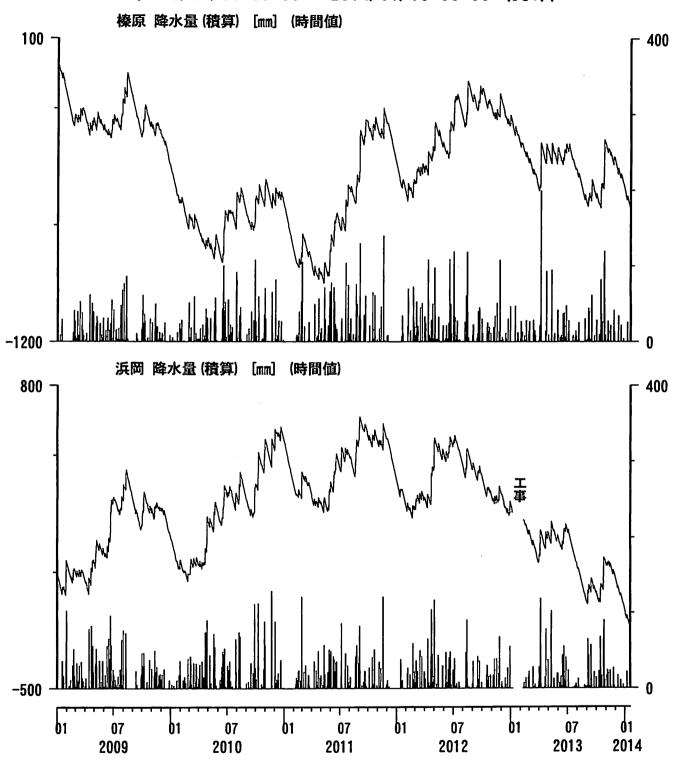
榛原・浜岡観測井 直近3ヶ月の積算降雨量トレンド除去グラフ [mm] (2013/11/01 00:00 - 2014/01/18 00:00 (JST))



コメント:トレンドは、グラフに示している期間で求めている.

別紙

榛原・浜岡観測井 降雨量の積算からトレンド除去後のグラフ [mm] (2009/01/01 00:00 - 2014/01/18 00:00 (JST))



コメント:トレンドは、グラフに示している期間で求めている.

産業技術総合研究所

産業技術総合研究所(産総研)の紀伊半島~愛知県の10観測点(図1)における2013年11月1日から2014年1月16日までの歪・傾斜・地下水および気象観測結果を図2~19に示す。また、産総研がエンベロープ相関法を用いて決定した、深部低周波微動の震源時空間分布および個数を図20・21に示す。

2014年1月9日~13日頃にかけて、三重県中部~奈良県東部付近において活発な深部低周波微動活動が観測され(図22)、三重県および奈良県における産総研の多成分歪2観測点、傾斜1観測点、防災科研のHi-net高感度加速度計(傾斜)2観測点おいて変化が観測された(図23). 期間を2つに分けて断層面の推定を行った結果を図24-25に示す。推定されたMwはいずれの期間も5.6であった。

この領域では167日前の2013年7月23日午後~26日午前にかけて、Mw5.8の短期的SSEが発生したと推定されている(図24-25)。

#### 解析方法

短期的SSEの断層面推定には、それぞれの観測点の水平歪4成分、体積歪、地下水圧、若しくは傾斜2成分の記録を用いる。地下水圧は、O1およびM2分潮の振幅をBAYTAP-G [Tamura et al., 1991]により計算し、GOTIC2 [Matsumoto et al., 2001]により推定した地球固体潮汐および海洋荷重潮汐(O1およびM2分潮)との振幅比を用いて、体積歪に変換する。歪・地下水・傾斜ともに、観測波形からBAYTAP-Gにより、気圧応答成分、潮汐成分およびホワイトノイズ成分を取り除く。また、イベント直前の期間を用いて1次トレンドも取り除く。微動活動も参考にして、数時間~半日単位で活動開始・終了時期を判断し、その期間の変化量を短期的SSEによる変化量とする。その際、歪についてはMatsumoto et al. [2010]の手法で理論潮汐歪を用いてキャリブレーションを行っている。

断層面の推定は、計算時間の短縮と、推定された結果の一意性を確認するために2段階で行う。断層面推定は板場ほか[2012]の手法を用いた.フィリピン海プレート境界面上[弘瀬ほか, 2007]に多数の断層面を仮定してグリッドサーチにより推定する. 仮定した断層面上のすべりによって各観測点で期待される歪変化の計算にはOkada [1992]のプログラムを用いる. 1段階目には、断層面のサイズは固定(幅・長さ共に20km)、断層面の位置(0.1°間隔)およびすべり量(1~100mmの間で1mm間隔)のみ可変として広範囲で計算を行う. 1段階目の結果を示す図では、それぞれの断層面において最適なすべり量を与えたときの、観測値と計算値(期待値)との残差分布を示している. これにより、短期的SSEが生じている可能性が高い領域を絞り込むとともに、推定された結果の任意性を確認することが出来る. 2段階目には、1段階目で絞り込んだ領域(三残差が小さい領域)付近で、位置及びすべり量に加えて、断層面の長さを10~80km、幅を10~50km、それぞれ1km間隔で可変として計算を行なう. その結果、観測値との残差が最小となる断層面が1つ計算されるが、計算に使用している観測点数が少ない場合や、断層面と観測点配置の関係によっては任意性が高くなるので注意が必要である. なお、異種観測値を統合して解析するため、観測点ごとに残差をノイズレベルによって規格化している. ノイズレベルは、気圧応答、潮汐成分およびホワイトノイズ成分を取り除いた後(微動活動が活発な期間および周辺の日雨量50mmを超える時期を除く)の24時間階差の2σとした.

深部低周波微動の検出・震源決定には,エンベロープ相関法を用いている.

#### 謝辞

短期的SSEの断層モデル推定には、防災科研Hi-net高感度加速度計(傾斜計)および気象庁の多成分歪計および体積歪計の記録とキャリブレーション係数を使用しました。微動の解析には、防災科研Hi-net、気象庁、東京大学、京都大学、名古屋大学、高知大学、九州大学の地震波形記録を使用しました。低周波地震の震央位置表示には、気象庁の一元化カタログを使用しました。ここに記して感謝します。

#### 参考文献

- 弘瀬冬樹, 中島淳一, 長谷川昭 (2007), Double-Difference Tomography法による西南日本の3次元地震波速度構造およびフィリピン海プレートの形状の推定, 地震2,60,1-20.
- 板場智史, 松本則夫, 北川有一, 小泉尚嗣, 松澤孝紀, 歪・傾斜・地下水統合解析による短期的スロースリップイベントのモニタリング, 日本地球惑星連合2012年大会, 千葉, 5月, 2012.
- Matsumoto, K., T. Sato, T. Takanezawa, and M. Ooe, GOTIC2: A Program for Computation of Oceanic Tidal Loading Effect, J. Geod. Soc. Japan, 47, 243-248, 2001.
- Matsumoto, N., O. Kamigaichi, Y. Kitagawa, S. Itaba, and N. Koizumi (2010), In-situ Calibration of Borehole Strainmeter Using Green's Functions for Surface Point Load at a Depth of Deployment, *Eos, Trans. AGU*, Abstract G11A-0626.
- Okada, Y. (1992), Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 82, 1018-1040.
- Tamura, Y., T. Sato, M. Ooe and M. Ishiguro (1991), A procedure for tidal analysis with a Bayesian information criterion, *Geophys. J. Int.*, **104**, 507-516.

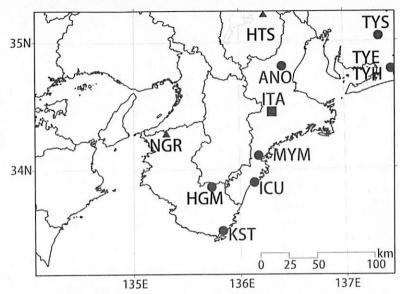
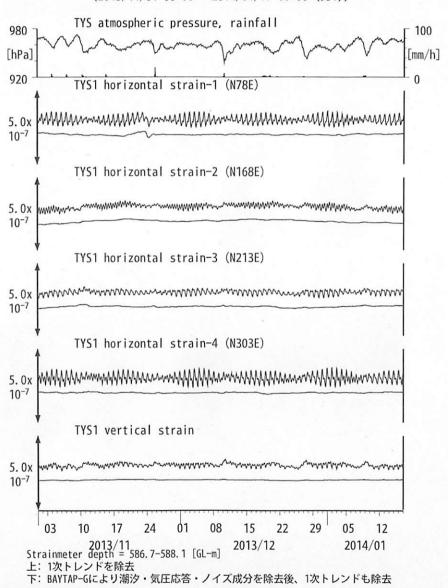


図 1:紀伊半島〜愛知県における地下水等総合観測施設の分布図 (●・■・▲)。●はデジタル方式の石井式歪計・傾斜計を併設している観測点、■は Gladwin 式歪計・ミットヨ式傾斜計を併設している観測点、▲はアナログ方式の石井式歪計を併設している観測点を示す。

表 1: 産総研観測点の新名称。平成 23 年 1 月 17 日から「市町村名」+「町・字名等」を基本とする名称に変更している。なお、3 文字コードは変更していない。

旧名称		新名称	新名称 ふりがな	市区町村	×
豊田下山	<b>→</b>	豊田神殿	とよたかんどの	愛知県豊田市	2,3
豊橋東	<b>→</b>	豊橋多米	とよはしため	愛知県豊橋市	4,5
秦荘	<b>→</b>	愛荘香之庄	あいしょうこのしょう	滋賀県愛知郡愛荘町	6
安濃	<b>→</b>	津安濃	つあのう	三重県津市	7,8
飯高赤桶	<b>→</b>	松阪飯高	まつさかいいたか	三重県松阪市	9,10
海山	<b>→</b>	紀北海山	きほくみやま	三重県北牟婁郡紀北町	11,12
井内浦	<b>→</b>	熊野磯崎	くまのいそざき	三重県熊野市	13,14
本宮三越	<b>→</b>	田辺本宮	たなべほんぐう	和歌山県田辺市	15,16
串本津荷	変更無し	串本津荷	くしもとつが	和歌山県東牟婁郡串本町	17,18
根来	<b>→</b>	岩出東坂本	いわでひがしさかもと	和歌山県岩出市	19
	豊田下山 豊橋東 秦荘 安濃 飯高赤桶 海内川浦 本宮三越 串本津荷	豊田下山 → 豊橋東 → 秦荘 → 安濃 → 飯高赤桶 → 海山 → 井内浦 → 本宮三越 → 串本津荷 変更無し	豊田下山 → 豊田神殿 豊橋東 → 豊橋多米 秦荘 → 愛荘香之庄 安濃 → 津安濃 飯高赤桶 → 松阪飯高 海山 → 紀北海山 井内浦 → 熊野磯崎 本宮三越 → 田辺本宮 串本津荷 変更無し 串本津荷	豊田下山 → 豊田神殿 とよたかんどの 豊橋東 → 豊橋多米 とよはしため 秦荘 → 愛荘香之庄 あいしょうこのしょう 安濃 → 津安濃 つあのう 飯高赤桶 → 松阪飯高 まつさかいいたか 海山 → 紀北海山 きほくみやま 井内浦 → 熊野磯崎 くまのいそざき 本宮三越 → 田辺本宮 たなべほんぐう 串本津荷 変更無し 串本津荷 くしもとつが	豊田下山 → 豊田神殿 とよたかんどの 愛知県豊田市 豊橋東 → 豊橋多米 とよはしため 愛知県豊橋市 秦荘 → 愛荘香之庄 あいしょうこのしょう 滋賀県愛知郡愛荘町 安濃 → 津安濃 つあのう 三重県津市 飯高赤桶 → 松阪飯高 まつさかいいたか 三重県松阪市 海山 → 紀北海山 きほくみやま 三重県北年婁郡紀北町 井内浦 → 熊野磯崎 くまのいそざき 三重県熊野市 本宮三越 → 田辺本宮 たなべほんぐう 和歌山県田辺市 串本津荷 変更無し 串本津荷 くしもとつが 和歌山県東牟婁郡串本町

図2: Crustal strains changes at TYS 豊田神殿 (時間値) (2013/11/01 00:00 - 2014/01/17 00:00 (JST))



 $\infty$ 

図3: Tilt and groundwater level changes at TYS 豊田神殿(時間値) (2013/11/01 00:00 - 2014/01/17 00:00(JST))

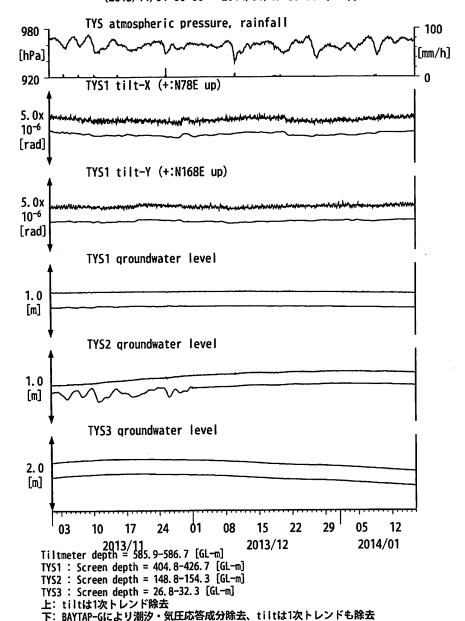
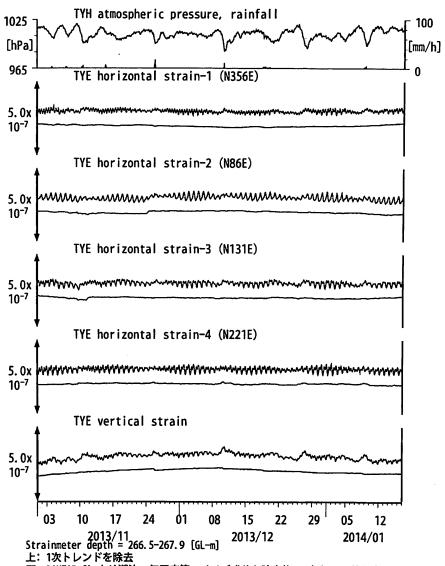
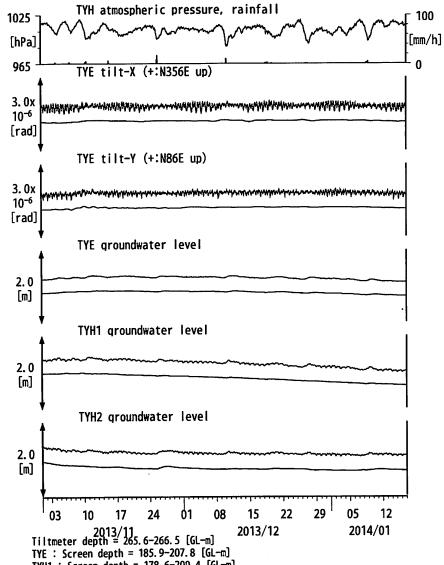


図4: Crustal strain changes at TYE 豊橋多米 (時間値) (2013/11/01 00:00 - 2014/01/17 00:00 (JST))



下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分を除去後、1次トレンドも除去

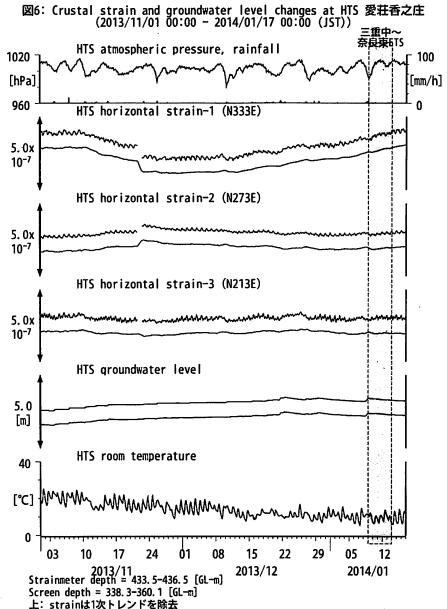
図5: Tilt and groundwater level changes at TYE and TYH 豊橋多米・豊橋 (2013/11/01 00:00 - 2014/01/17 00:00 (JST))



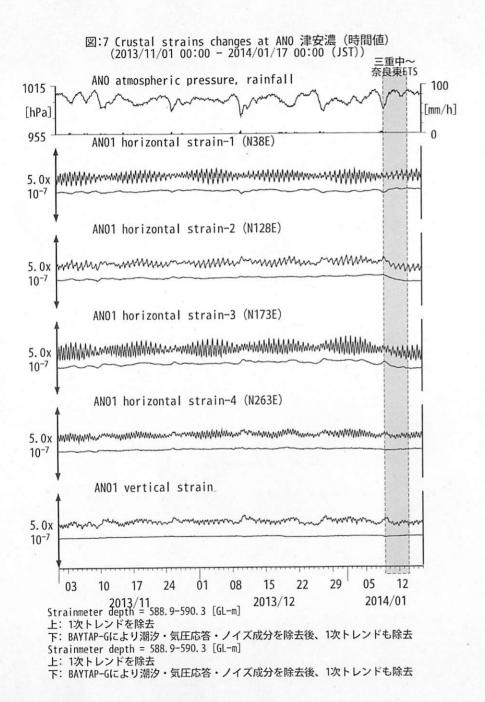
TYH1: Screen depth = 178.6-200.4 [GL-m] TYH2: Screen depth = 133.7-150.0 [GL-m]

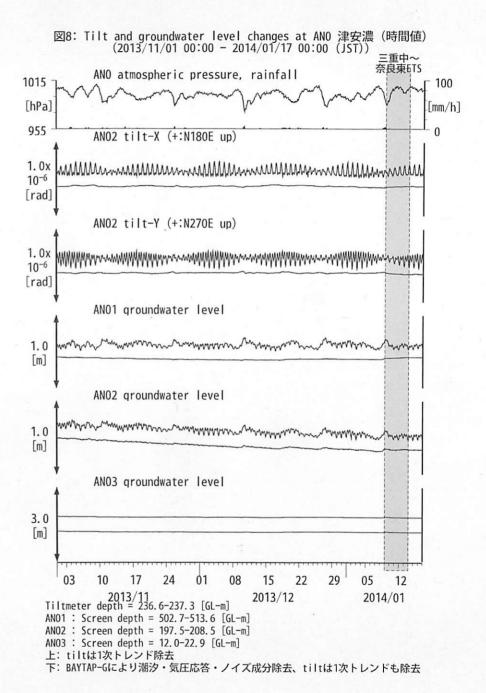
上: tiltは1次トレンドを除去

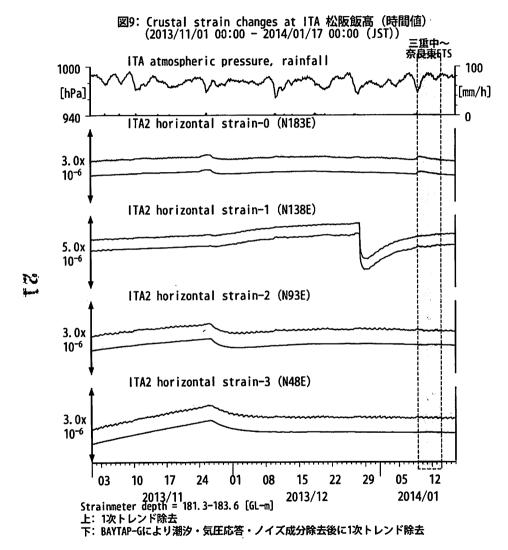
下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分を除去、tiltは1次トレンドも除去

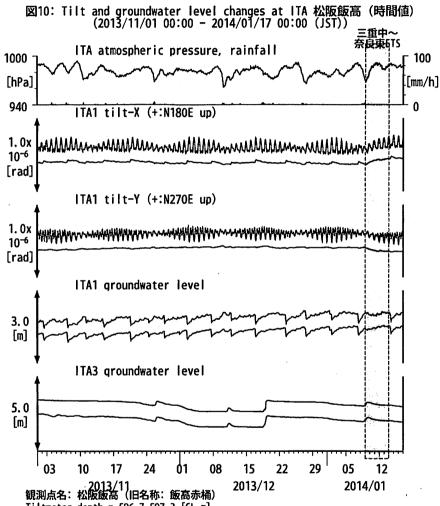


下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分を除去、strainは1次トレンドも除去









Tiltmeter depth = 596.7-597.3 [GL-m]
ITA1 : Screen depth = 547.6-558.5 [GL-m]
ITA3 : Screen depth = 10.8-16.3 [GL-m]

上: tiltは1次トレンド除去

下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分除去、tiltは1次トレンドも除去



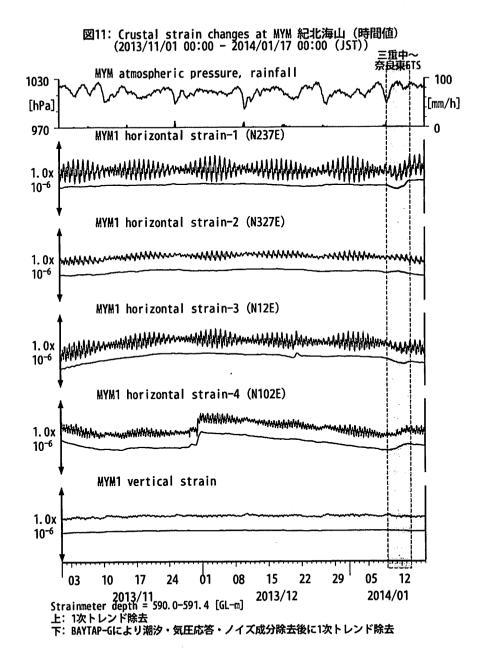
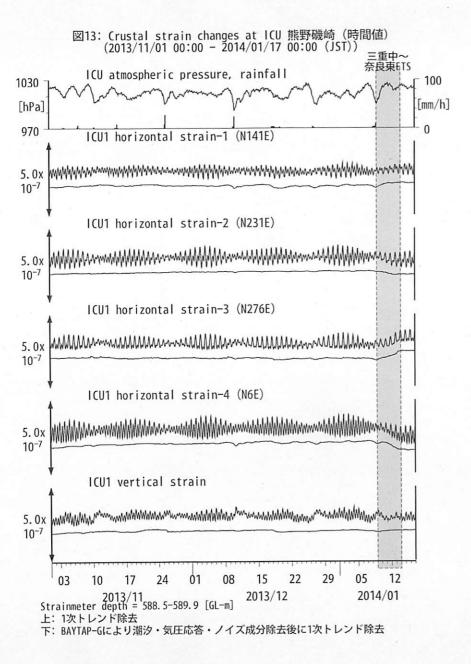


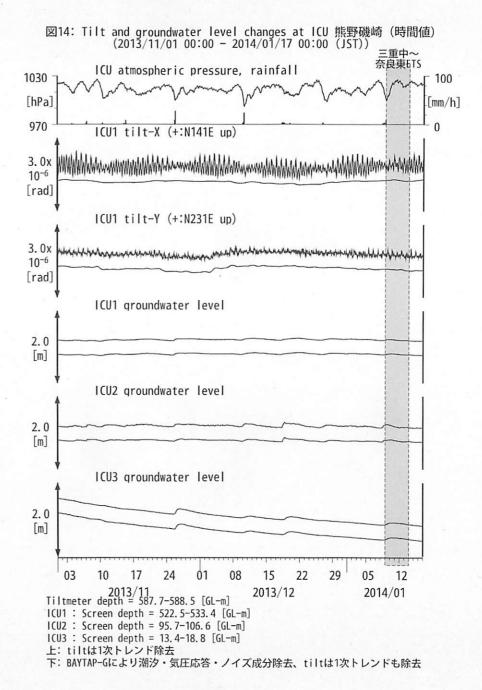
図12: Tilt and groundwater level changes at MYM 紀北海山(時間値) (2013/11/01 00:00 - 2014/01/17 00:00 (JST)) 奈良事fTS MYM atmospheric pressure, rainfall 1030 100 [hPa] [mm/h] 970 MYM1 tilt-X (+:N237E up) 3.0x 10-6 [rad] MYM1 tilt-Y (+:N327E up) 10-6 [rad] MYM1 groundwater level 3.0 [m] MYM2 groundwater level 3.0 [m] MYM3 groundwater level 5.0 [m] 24 22 12 15 29 05 2014/01 2013/12 2013/11 Tiltmeter depth = 589.2-590.0 [GL-m] MYM1: Screen depth = 418.9-429.8 [GL-m]

MYM1 : Screen depth = 418.9-429.8 [GL-m]
MYM2 : Screen depth = 140.3-151.1 [GL-m]
MYM3 : Screen depth = 19.9-25.3 [GL-m]

上: tiltは1次トレンド除去

下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分除去、tiltは1次トレンドも除去





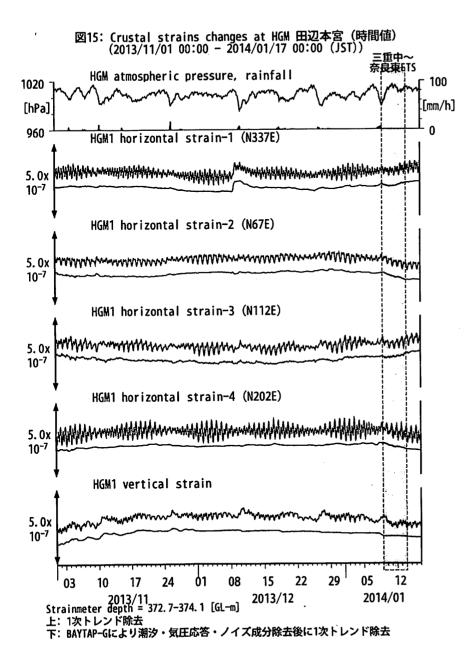
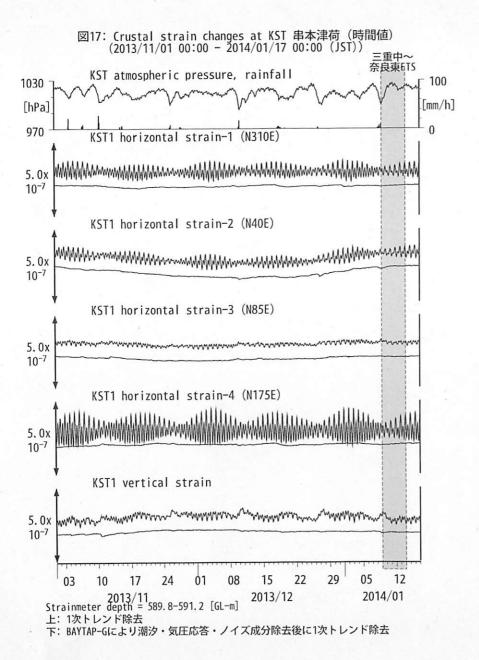


図16: Tilt and groundwater level changes at HGM 田辺本宮 (時間値) (2013/11/01 00:00 - 2014/01/17 00:00 (JST)) 三面中~ 奈良東6TS HGM atmospheric pressure, rainfall 1020 100 [hPa] [mm/h] 960 HGM1 tilt-Y (+:N67E up) 2. 0x 10-6 [rad] HGM1 groundwater level 3.0 [m] HGM2 groundwater level 3.0 [m]HGM3 groundwater level 2.0 ſml 10 05 12 2013/12 2014/01 2013/11 Tiltmeter depth = 371.9-372.7 [GL-m] HGM1: Screen depth = 320.4-331.3 [GL-m] HGM2: Screen depth = 180.9-191.8 [GL-m]

上: tiltは1次トレンド除去 下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分除去、tiltは1次トレンドも除去 tilt-Xは振り切れにより欠測

HGM3 : Screen depth = 24.3-29.8 [GL-m]



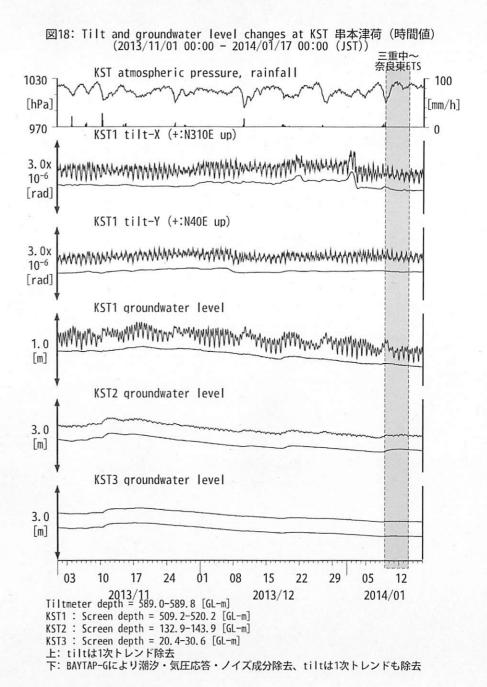
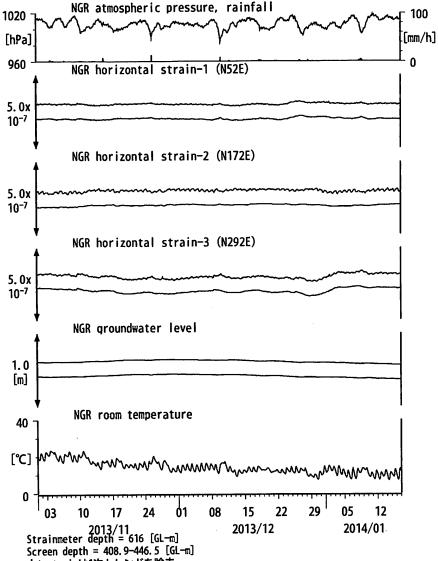
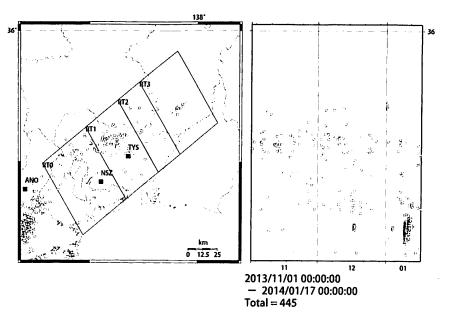


図19: Crustal strain and groundwater level changes at 岩出東坂本(時間値) (2013/11/01 00:00 - 2014/01/17 00:00(JST))



上: strainは1次トレンドを除去

下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分を除去、strainは1次トレンドも除去



Deep low-frequency tremors in Tokai (日値) (2013/11/01 00:00 - 2014/01/17 00:00 (JST))

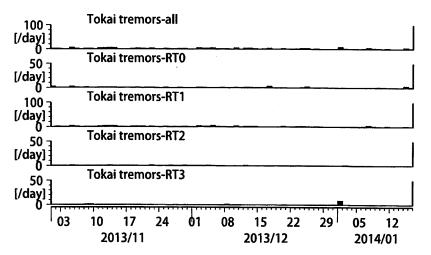
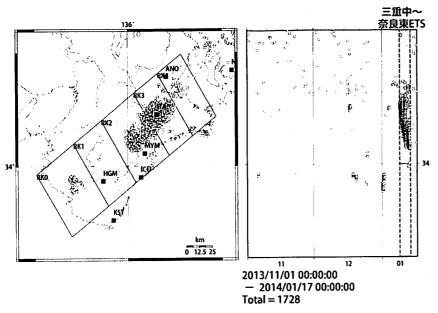


図 20: 愛知県およびその周辺における深部低周波微動の時空間分布(上段)、各領域にお ける発生頻度(日値)。



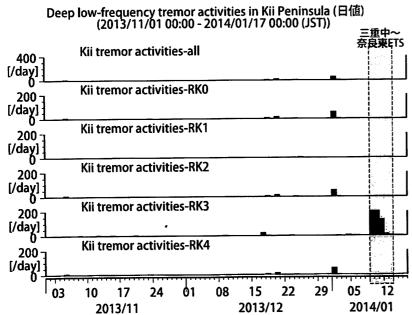


図 21:紀伊半島における深部低周波微動の時空間分布 (上段)、各領域における発生頻度 (日値)。

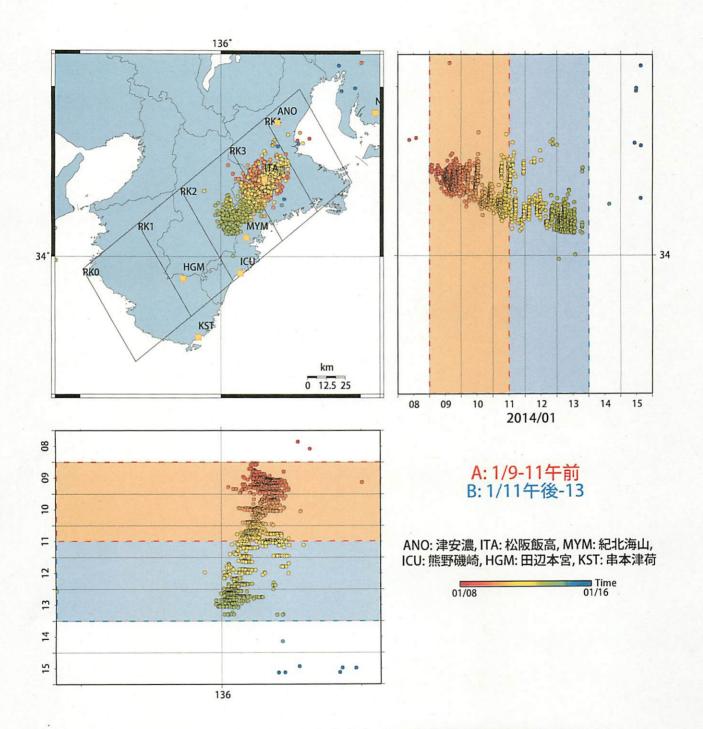
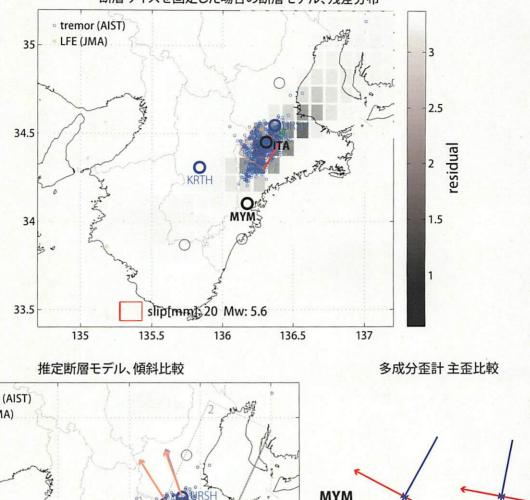


図22: 2014/1/8 0:00 - 1/16 0:00 における紀伊半島周辺の深部低周波微動の時空間分布図。エンベロープ相関法により決定。

図23: 紀伊半島における歪・傾斜観測結果 (2013/12/28 00:00 - 2014/01/16 00:00 (JST)) A: 1/9-11午前 MYM(紀北海山) atmospheric pressure, rainfall B: 1/11午後-13 1030 -- 30 [hPa] [mm/h] 980 ANO(津安濃)1 strain-1, 2, 3, 4 (N38E, N128E, N173E, N263E) 2.0x 10-7 MYM(紀北海山)1 strain-1, 2, 3, 4 (N237E, N327E, N12E, N102E) 2.0x 10-7 ICU(熊野磯崎)1 strain-1, 2, 3, 4 (N141E, N231E, N276E, N6E) 2.0x 10-7 HGM(田辺本宮)1 strain-1, 2, 3, 4 (N337E, N67E, N112E, N202E) 2.0x 10-7 ITA(松阪飯高1 tilt-N, E (+: down) 2.0x 10-7 [rad] URSH (Hi-net) tilt-N, E (+: down) 2.0x 107 [rad] KRTH (Hi-net) tilt-N, E (+: down) 2.0x 10-7 [rad] tremor RKO, RK1, RK2, RK3 50 -[/h] 28 29 30 31 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 2014/01 2013/12

#### A: 2014/1/9-11午前





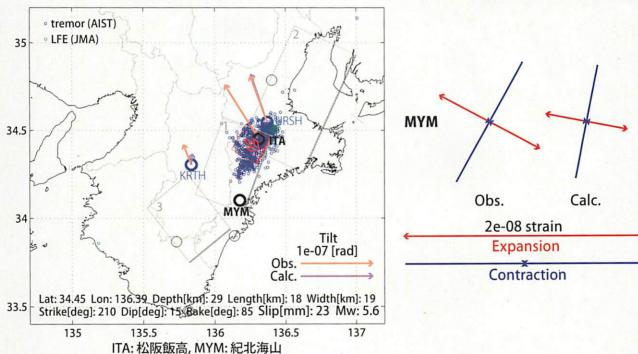


図24: (上段)プレート境界面上のパッチ(断層面)をすべらせた際の、歪・傾斜の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。赤色矩形は最小残差の断層面を表す。このパッチのすべり量、Mwを下部に示している。

(下段) 断層面推定結果(赤色矩形)。灰色の矩形は、最近周辺で発生した短期的SSEの推定断層面を示す。 1:2013年7月23日午後-26日午前(Mw5.8), 2:同年9月8-10日(Mw5.8), 3:同年10月26-27日(Mw5.5) 傾斜の観測値・モデルからの計算値との比較を地図内に、主歪の観測値・モデルからの計算値との比較を右側に示す。

(共通)小さい青色丸印は産総研による深部低周波微動、緑色丸印は気象庁一元化カタログによる低周波イベントの震央位置を示す。黒色は産総研の、青色は防災科研Hi-netの観測点を示す。

#### B: 2014/1/11午後-13

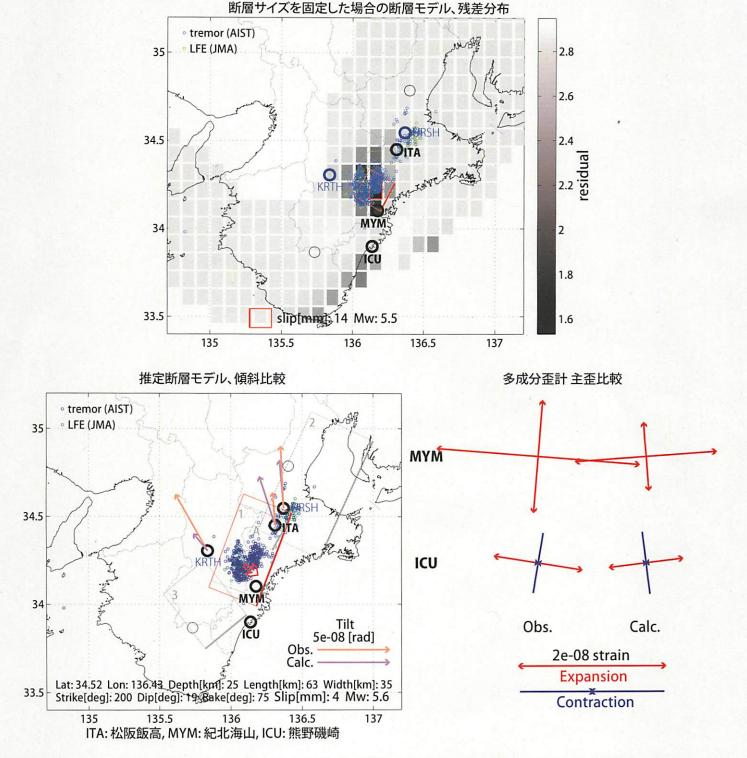
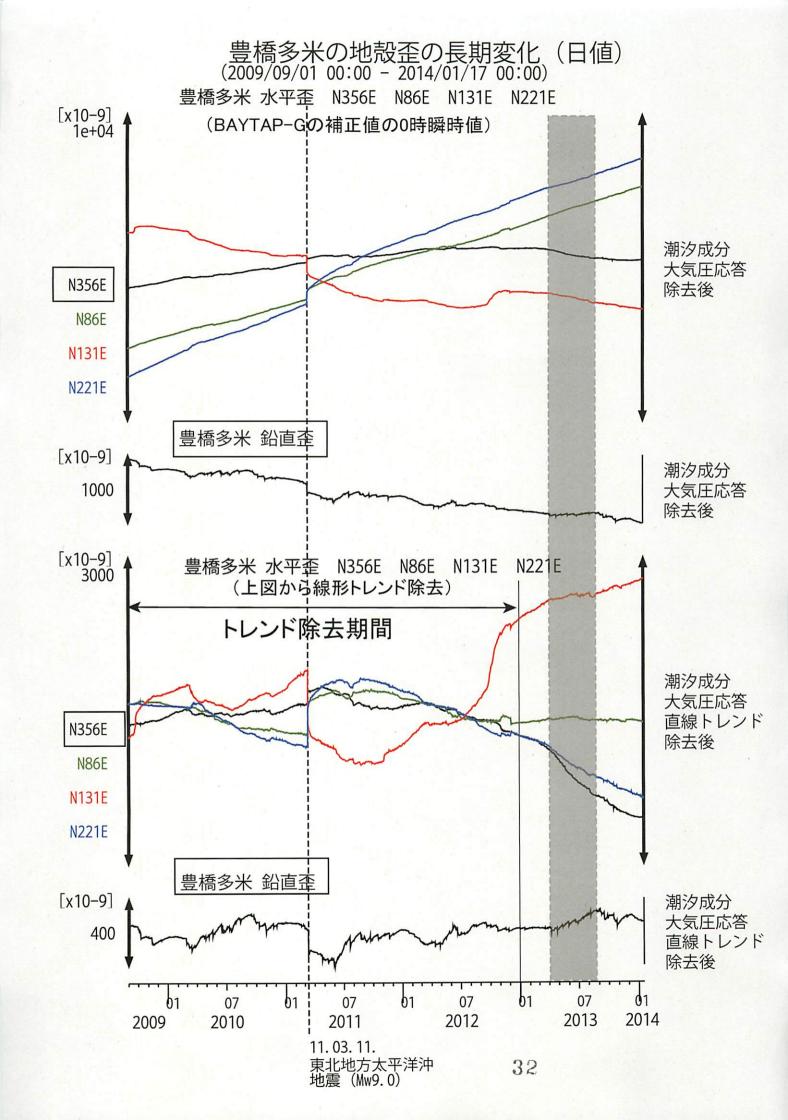


図25: (上段)プレート境界面上のパッチ(断層面)をすべらせた際の、歪・傾斜の観測値と計算値の残差分布図。断層面サイズは固定(20x20km)。赤色矩形は最小残差の断層面を表す。このパッチのすべり量、Mwを下部に示している。

(下段) 断層面推定結果(赤色矩形)。灰色の矩形は、最近周辺で発生した短期的SSEの推定断層面を示す。 1:2013年7月23日午後-26日午前(Mw5.8), 2:同年9月8-10日(Mw5.8), 3:同年10月26-27日(Mw5.5), A:2014年1月9-11日午前(Mw5.6)

傾斜の観測値・モデルからの計算値との比較を地図内に、主歪の観測値・モデルからの計算値との比較を右側に示す。

(共通)小さい青色丸印は産総研による深部低周波微動、緑色丸印は気象庁一元化カタログによる低周波イベントの震央位置を示す。黒色は産総研の、青色は防災科研Hi-netの観測点を示す。



#### 2014年1月9日~13日の三重県での微動活動に関する一考察

2014年1月9日~13日に三重県で発生した深部低周波微動の発生個数が、過去5年の中で若干多めに見えるので、実際どの程度かを調査した.

図1は2008年7月以降の紀伊半島の深部低周波微動活動(産総研微動カタログ v3.07j:注)の様子である。紀伊半島を図に示すように  $RK0\sim RK4$  の 5 つの領域に分け,同時に活動する傾向にある  $RK2\sim RK4$  の微動活動状況について調べた。これらの 3 領域内で 1 日当たりの発生個数が 10 個以上の日が連続し,その総和が 100 個を超えた場合の活動を抜き出したところ,23 回のイベントがあった。(ただし,⑧,⑫,⑬は間で 10 個以下の日が数日あったが,ここでは一つのイベントとした。)イベント①~③は  $RK2\sim RK4$  全ての領域で活動があった。その他は,1 つもしくは 2 つの領域のみでの活動であった。イベント③,④,⑯は RK1まで活動が広がっていたが,微動の発生個数は  $RK2\sim RK4$  内のみを数えた。

図2は微動発生個数の日毎の増加の様子である.今回のイベント図の増加率 (グラフの傾き) は全体の中で大きめであるが、同程度のイベントもいくつか見受けられる.

時空間的な広がりの詳細を図 3 上図に示す. 比較のために 3 つの領域全てで微動活動があったイベント①を図 3 下図に示す. 今回のイベント②は RK2, RK3 のみで, RK4 (伊勢湾の方) の小セグメントでは活動が無い. RK2, RK3 での広がりはイベント①と同程度である. 微動発生個数は 2 つの領域のみで活動があった場合では最大であるが, 上記のように特に面積が広いとは言えない.

また発生間隔に関しては、RK2,RK3の両方で起きたイベント(図1の橙線)だけを抜き出した場合平均は $6 ext{ } ext{$ 

これらをまとめると、今回のイベントは単位面積当たりの微動発生数は若干多いものの、 特に異常な活動では無いように思えるが、微動活動状況の定量的な評価は今後の課題であ る.

注:第328回判定会の産総研追加資料にて説明。

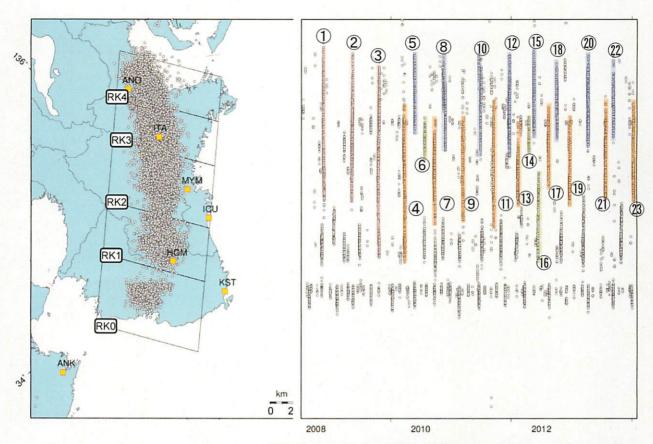


図1. 2008/07/01~2014/01/15の紀伊半島に於ける微動活動. (AIST微動カタログv3.07jを元に12時間・10km以内の条件でクラスタリングフィルタ処理)

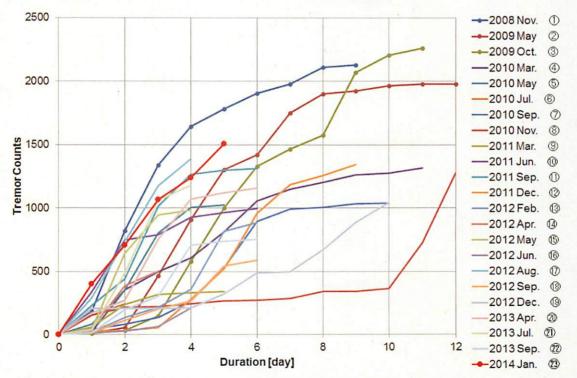


図2. 紀伊半島三重県周辺の微動活動の時間発展の様子. (AIST微動カタログv3.07j)

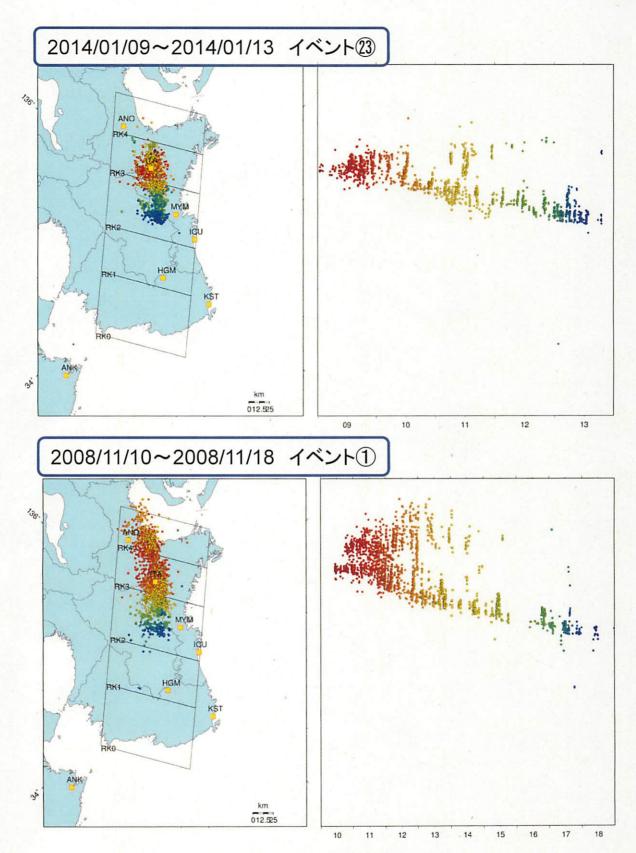


図3. 微動イベントの時空間分布の比較.