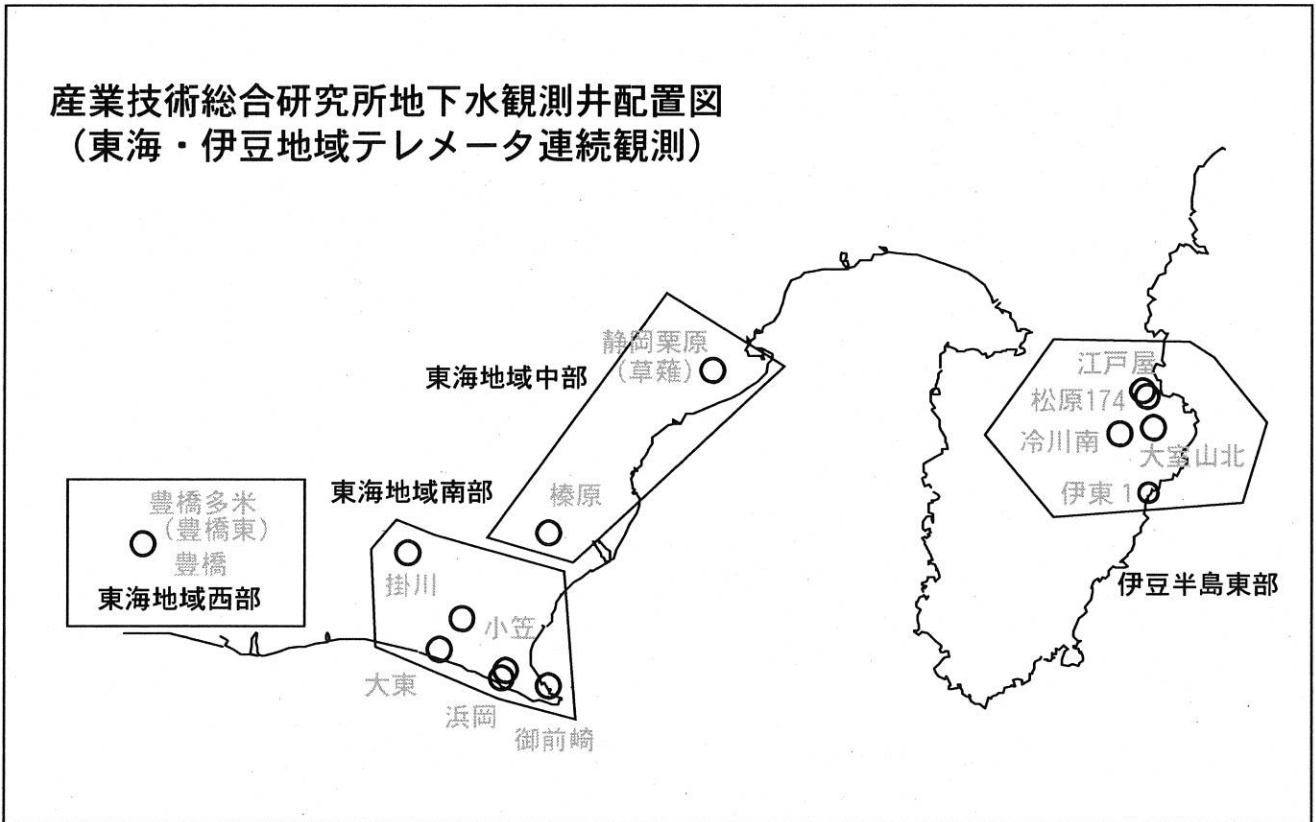


# 東海・伊豆地域等の地下水観測結果

産業技術総合研究所地下水観測井配置図  
(東海・伊豆地域テレメータ連続観測)



# 【資料目次】

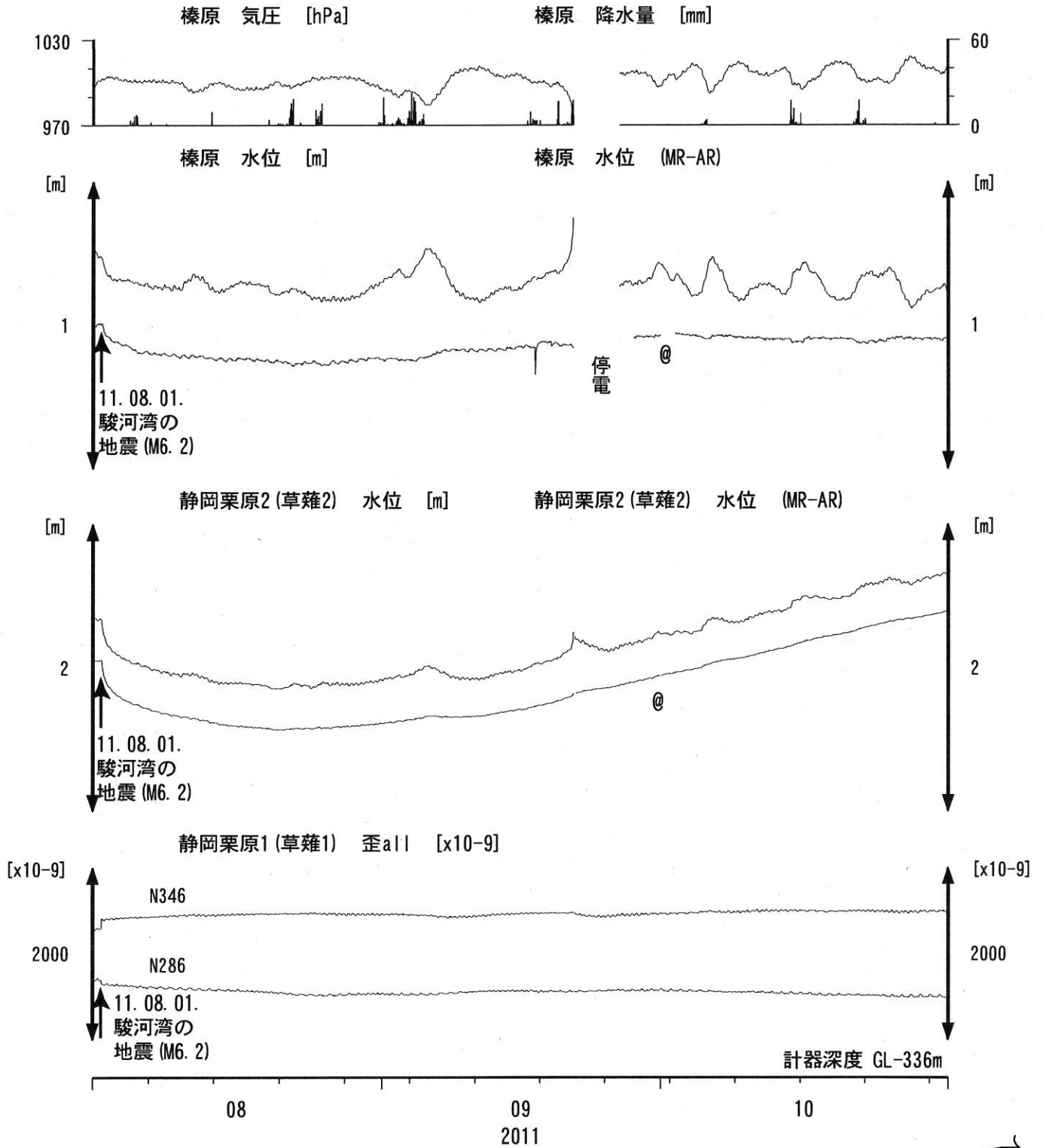
## 表紙

1. 東海地域中部 [榛原, 静岡栗原(草薙)] 地下水 3成分歪;中期
- 1-b. 東海地域中部 [静岡栗原(草薙)] 3成分歪;中期
2. 東海地域中部 [榛原, 静岡栗原(草薙)] 地下水 3成分歪;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
- 7-b. 伊豆半島東部 [大室山北, JMA東伊豆, 冷川南, 松原174, 江戸屋]地下水・歪;中期
- 7-c. 伊豆半島東部 [大室山北, JMA東伊豆, 冷川南, 松原174, 江戸屋]地下水・歪;短期
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
9. 関東地域 [つくば1] 地下水;中期
10. 関東地域 [つくば1] 地下水;長期

## 別紙

- ・紀伊半島～愛知県の地下水・歪等観測結果
- ・榛原・浜岡の降雨グラフ

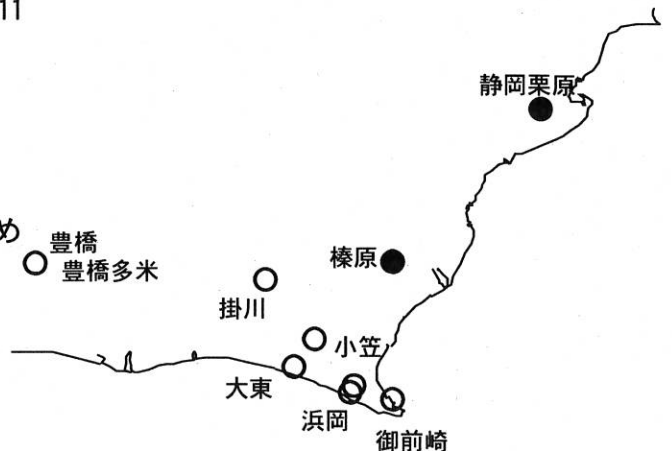
東海地域中部 (榛原・草薙) 中期 (時間値)  
 (2011/08/01 00:00 - 2011/11/01 00:00)



コメント：\*;雨量補正不十分。\$;保守。

@;月初めの補正値のギャップは、  
 解析プログラムの見かけ上のものである。

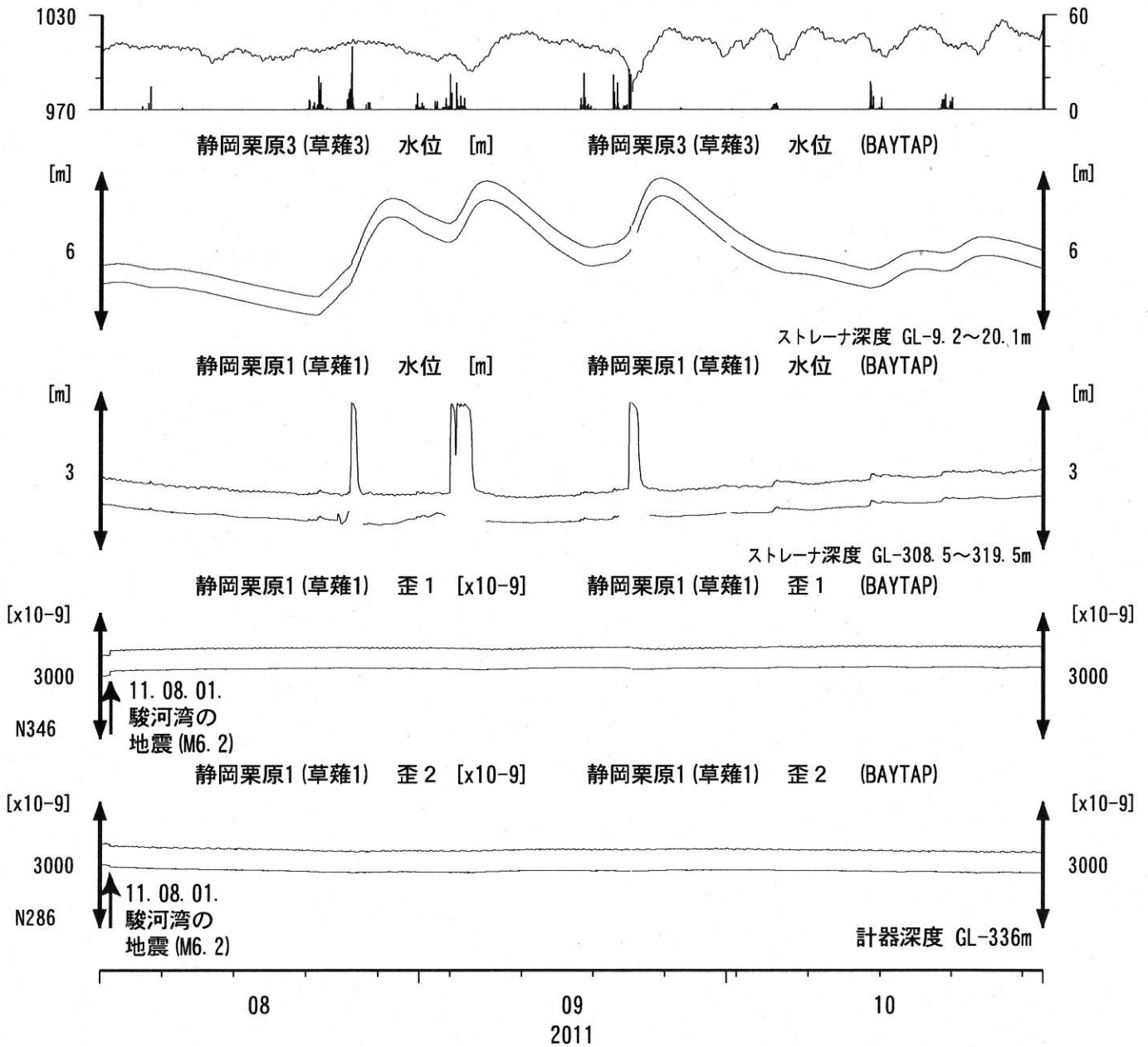
歪3 (N226成分) は2009年6月16日の雷で故障したため  
 表示していない。



東海地域中部（草薙・歪）中期（時間値）

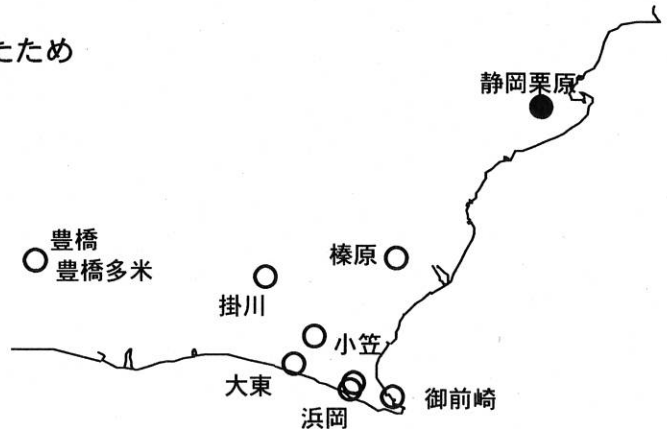
(2011/08/01 00:00 - 2011/11/01 00:00)

静岡栗原(草薙) 気圧 [hPa]      静岡栗原(草薙) 降水量 [mm]



コメント：\$;保守.

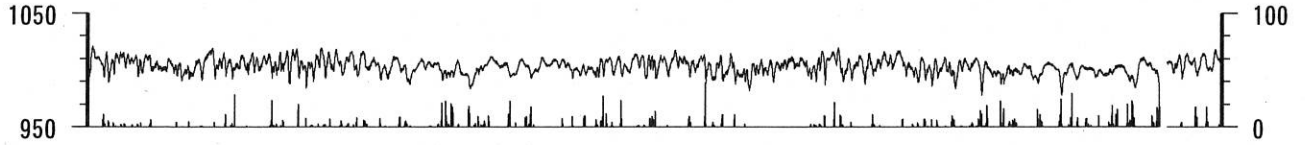
静岡栗原1の降雨に伴う水位変化は地表から水が流れ込むためと思われる。  
歪3 (N226成分) は2009年6月16日の雷で故障したため表示していない。



東海地域中部（榛原・草薙）長期（時間値）  
 (2009/11/01 00:00 - 2011/11/01 00:00)

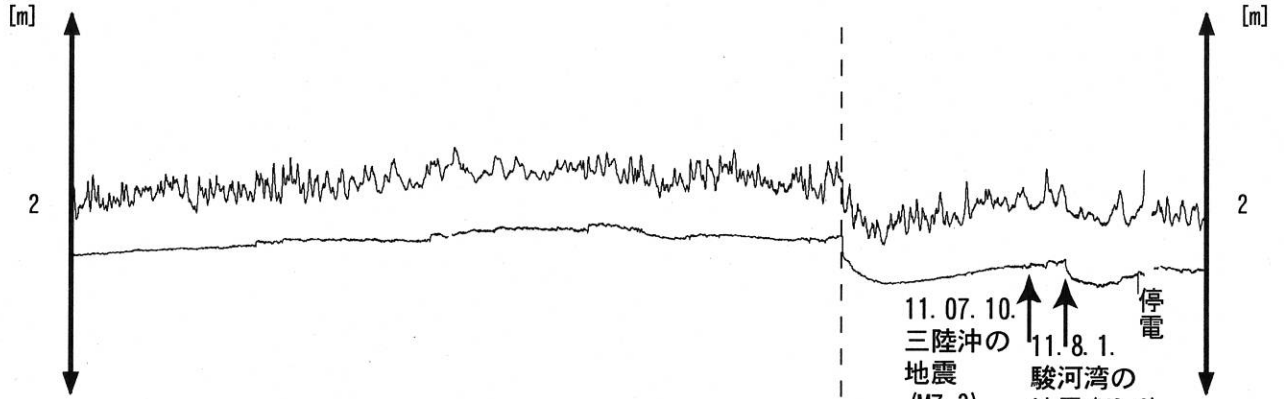
榛原 気圧 [hPa]

榛原 降水量 [mm]



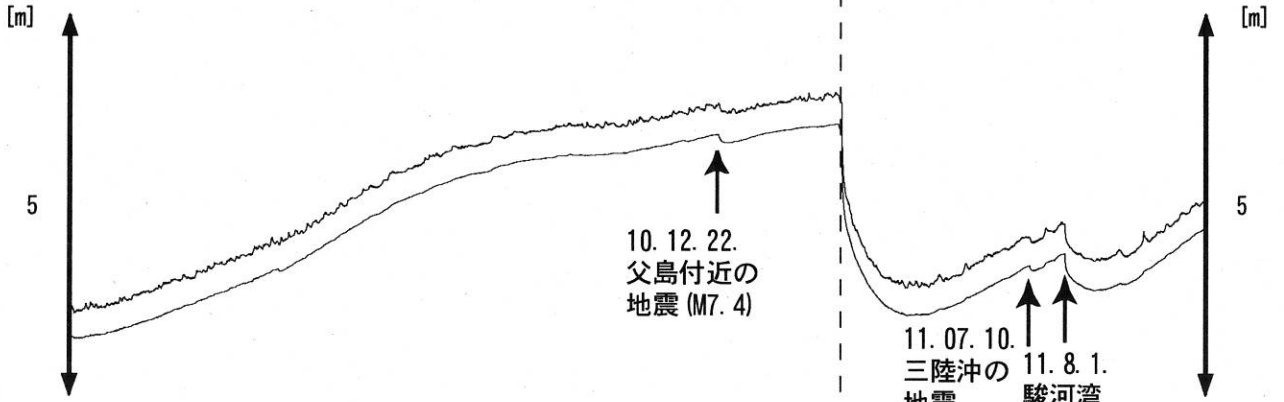
榛原 水位 [m]

榛原 水位 (MR-AR)

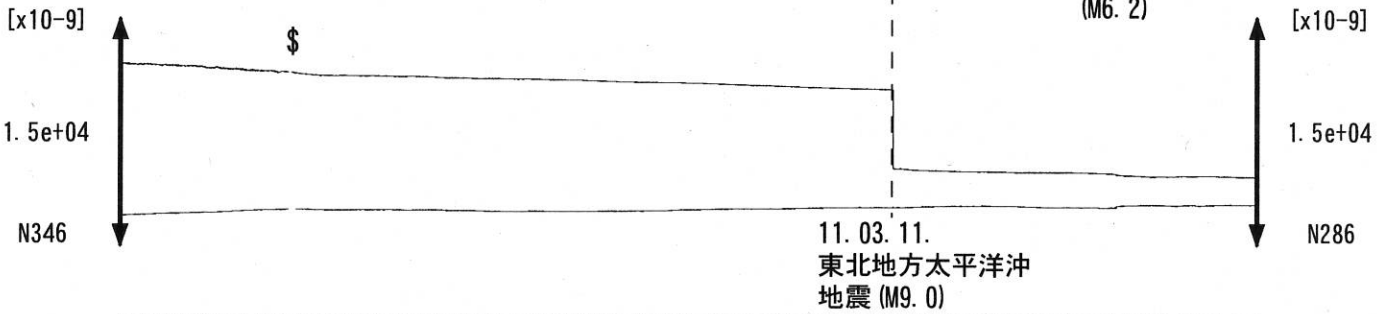


静岡栗原2 (草薙2) 水位 [m]

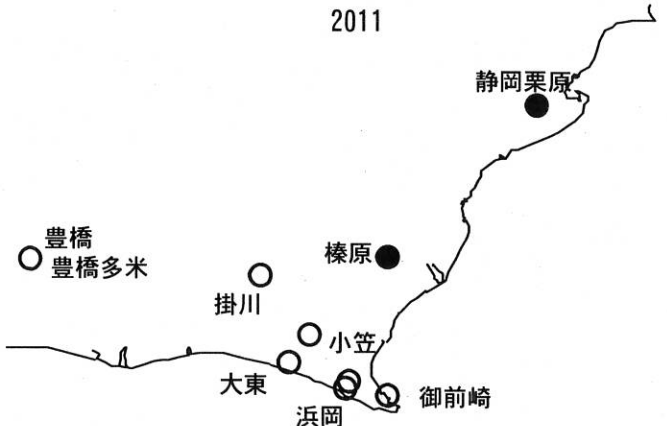
静岡栗原2 (草薙2) 水位 (MR-AR)



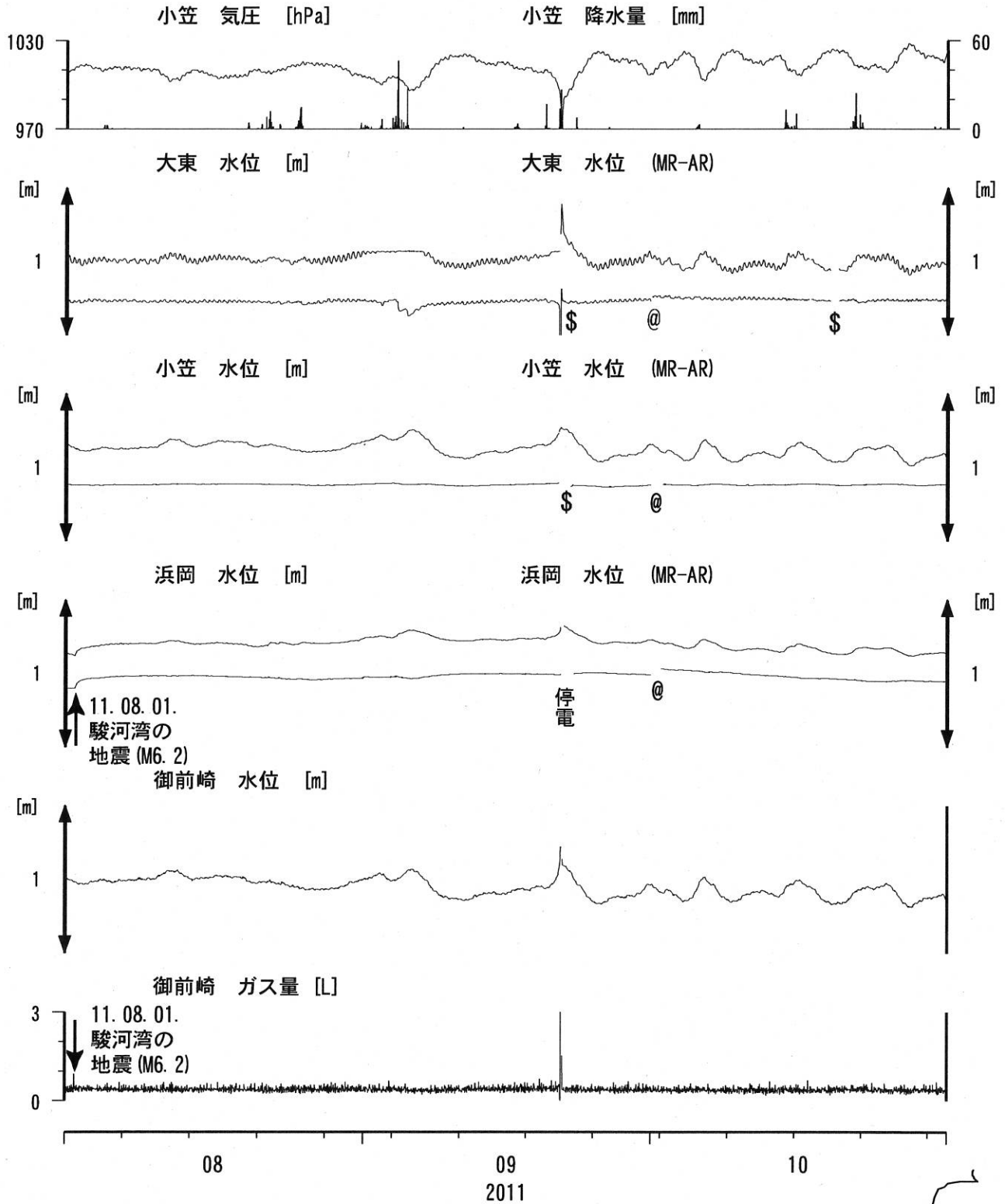
静岡栗原1 (草薙1) 歪all [x10<sup>-9</sup>]



コメント：\*;雨量補正不十分。?;原因不明。  
 歪N226成分が2009年6月16日の雷で故障した。



東海地域南部 地下水観測結果 中期 (時間値)  
 (2011/08/01 00:00 - 2011/11/01 00:00)

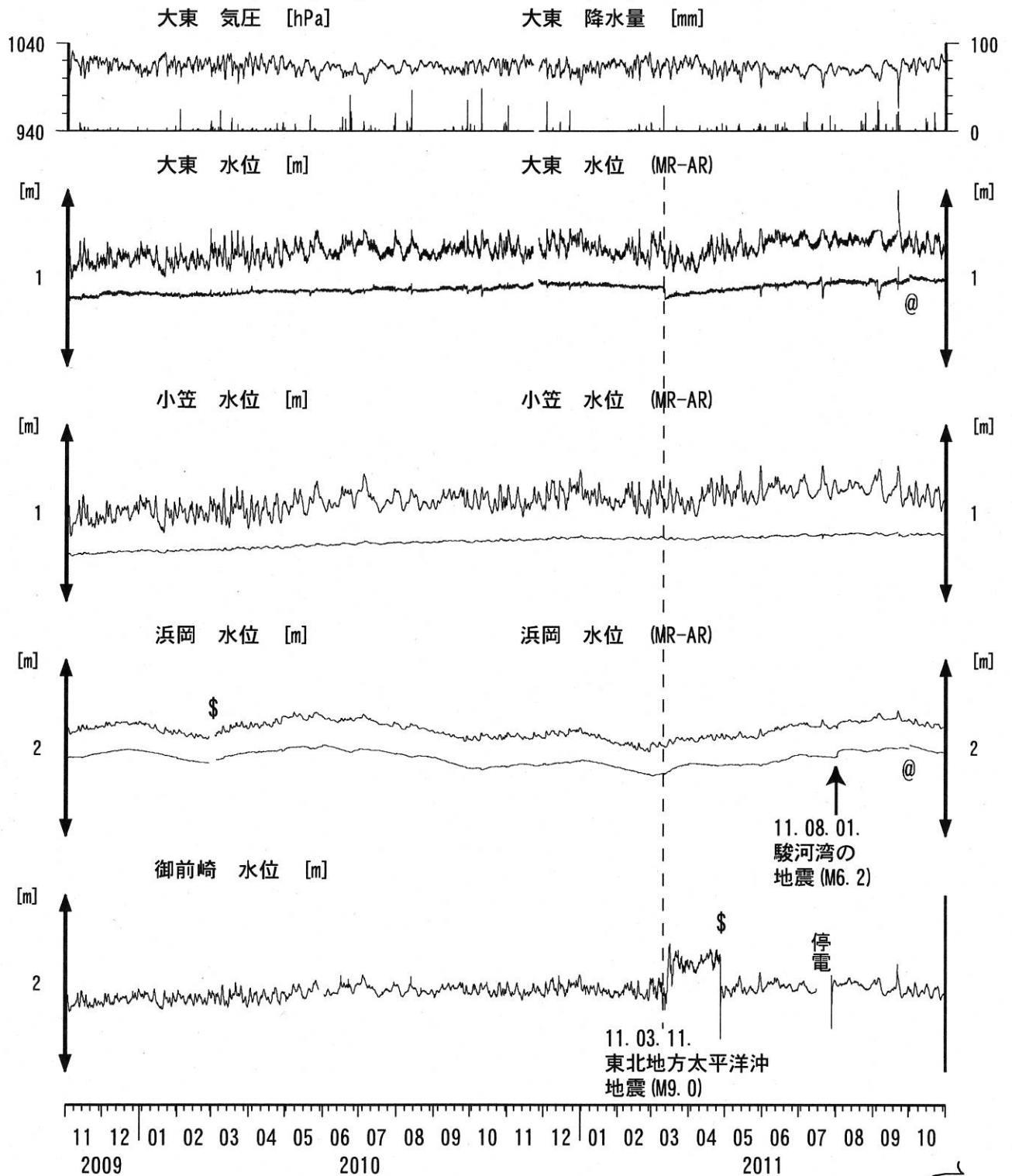


コメント:

\*;雨量補正不十分, \$:保守. ?;不明.  
 @;月初めの補正值のギャップは,  
 解析プログラムの見かけ上のものである.  
 2011年9月初めの大東の補正值の低下は,  
 井戸口から水が溢れたので, 観測値が  
 見かけ上一定になってしまったためである.  
 2011年9月21日大東・小笠の井戸口の管を  
 延長したので, 水位が正確に測れるようになった.

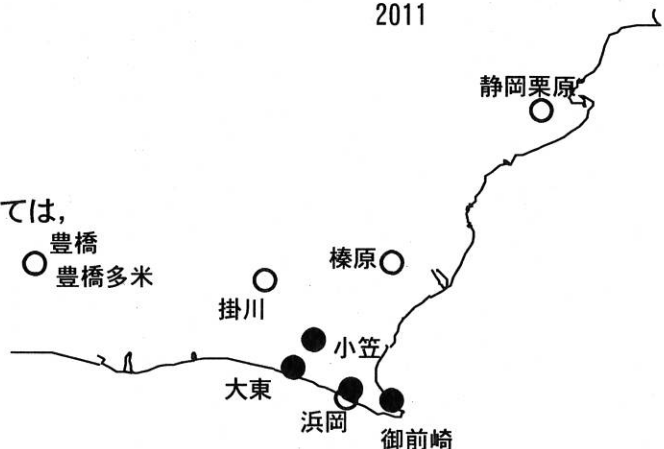


東海地域南部 地下水観測結果 長期 (時間値)  
(2009/11/01 00:00 - 2011/11/01 00:00)

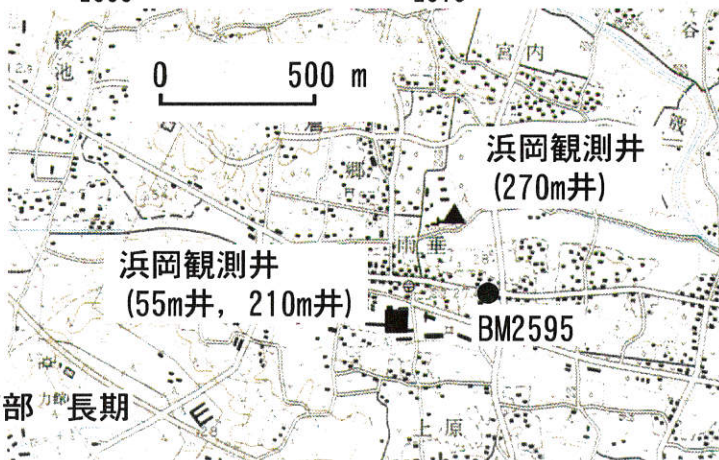
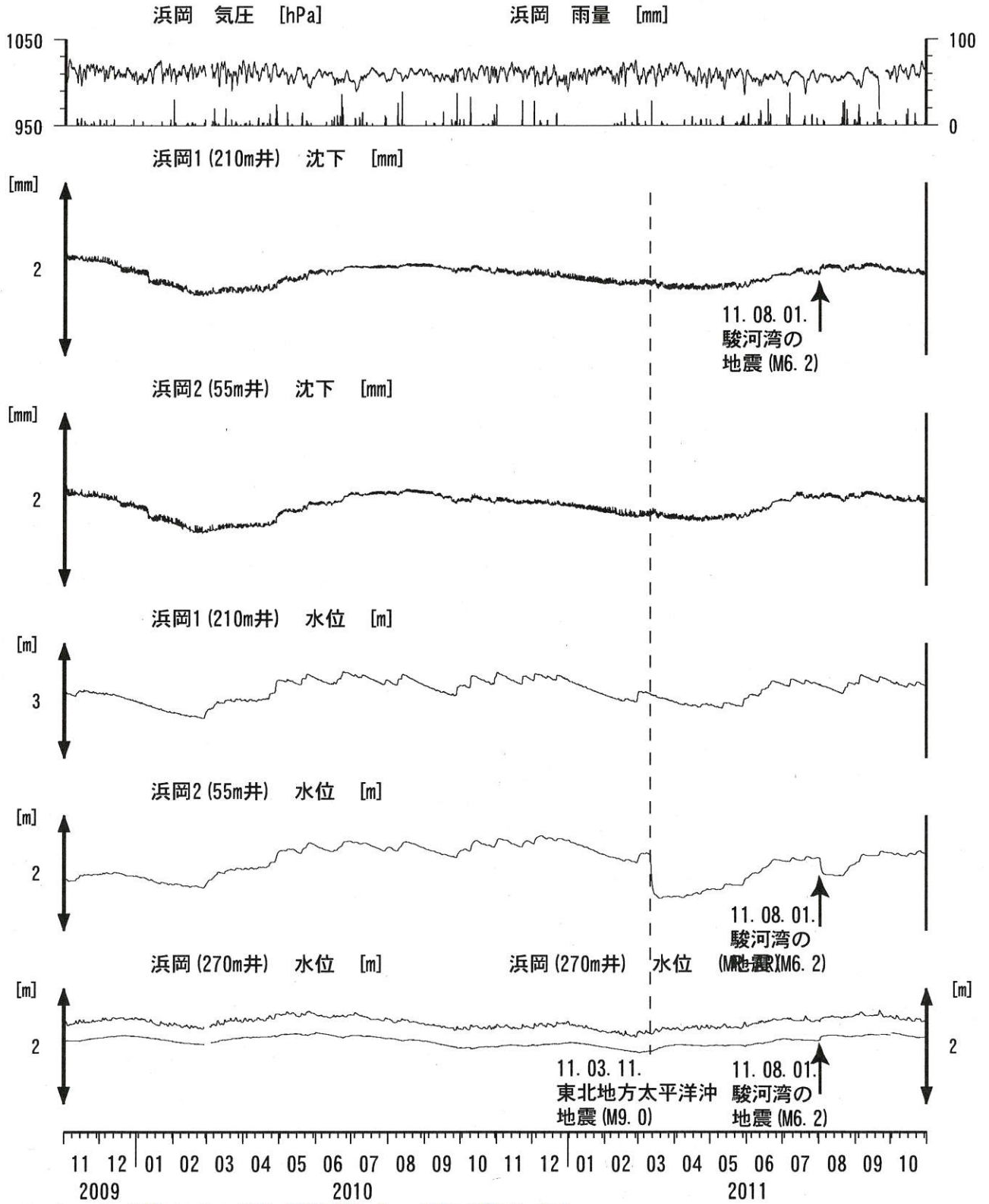


コメント:

\*;雨量補正不十分. \$;保守.  
@;月初めの補正値のギャップは、  
解析プログラムの見かけ上のものである。  
2011年3月15日頃～4月28日の水位の上昇については、  
ガス測定システムの故障によると思われる。  
大東・小笠の井戸口から水が時々溢れるようになっ  
たので、2011年9月21日に井戸口の管を  
延長した。



浜岡沈下・水位 (時間値)  
 (2009/11/01 00:00 - 2011/11/01 00:00)

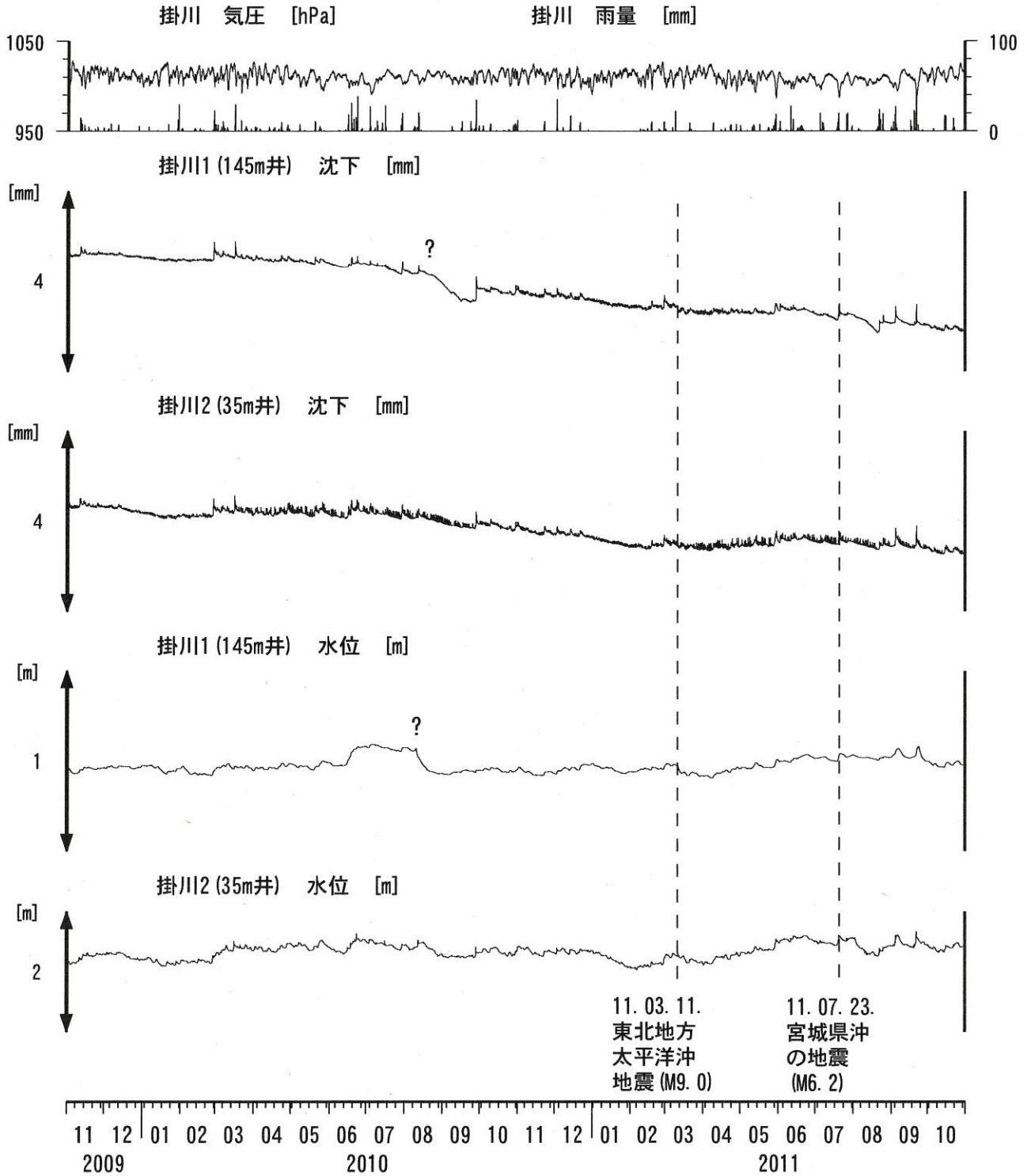


コメント：\$;保守.





掛川沈下・水位 (時間値)  
(2009/11/01 00:00 - 2011/11/01 00:00)



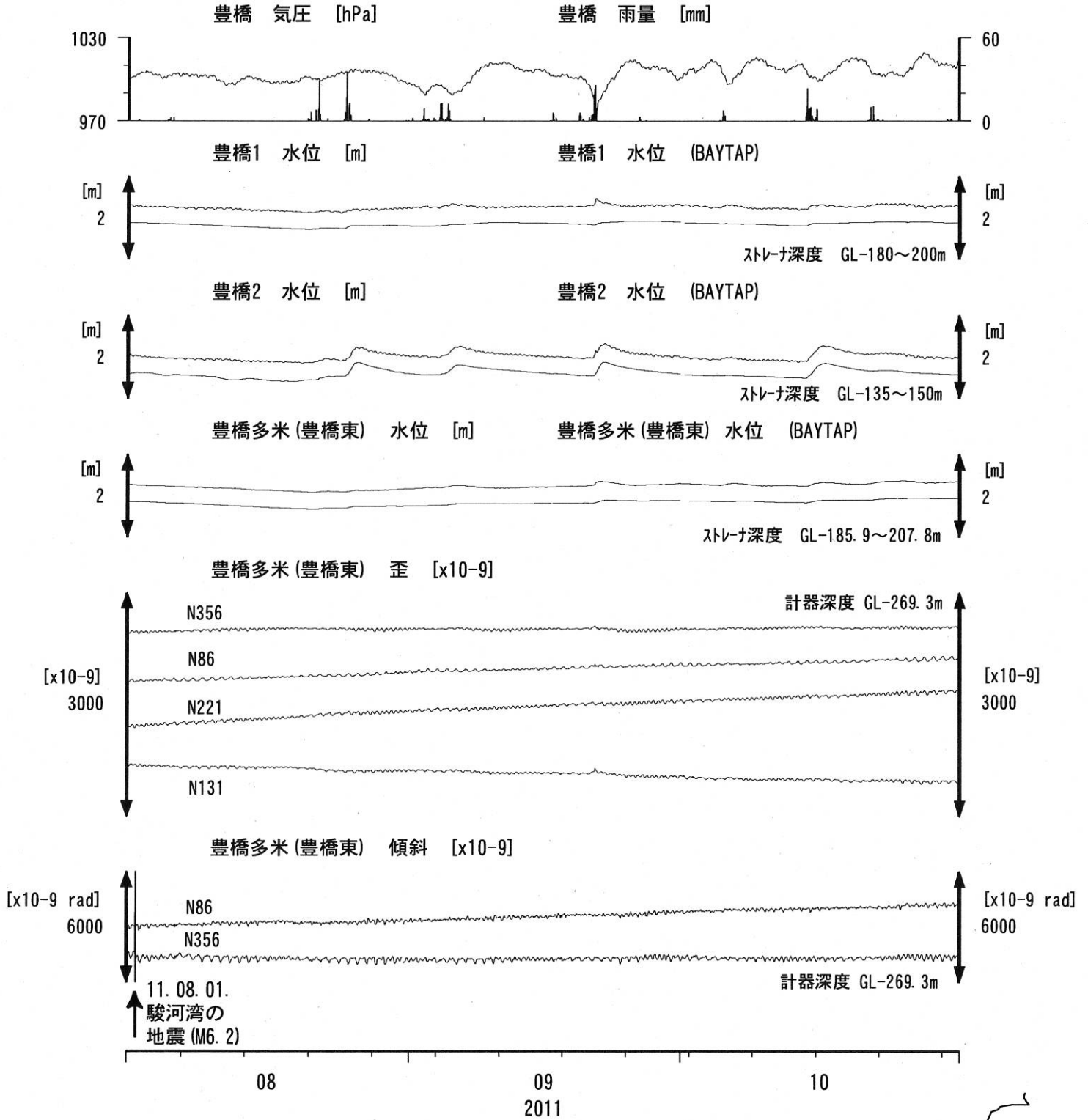
コメント: \$;保守.  
?;原因不明.



0 500 m



東海地域西部（豊橋・豊橋東）中期（時間値）  
 (2011/08/01 00:00 - 2011/11/01 00:00)



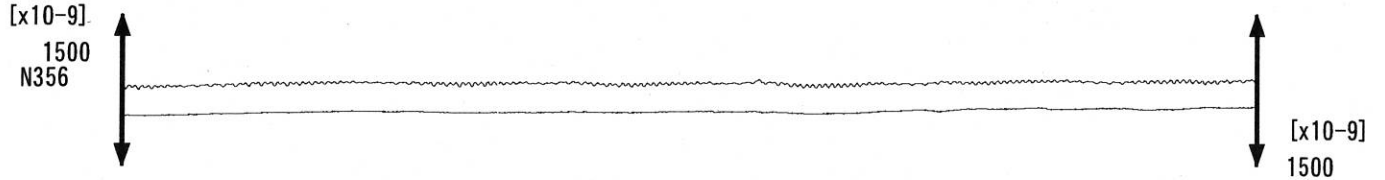
コメント：\$;保守。?;原因不明.



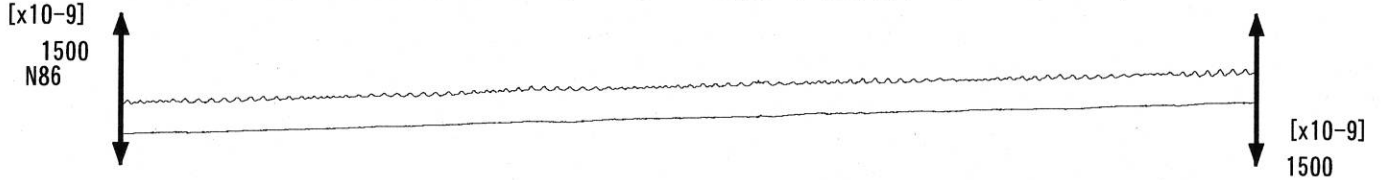
東海地域西部（豊橋東 歪）中期（時間値）

(2011/08/01 00:00 - 2011/11/01 00:00)

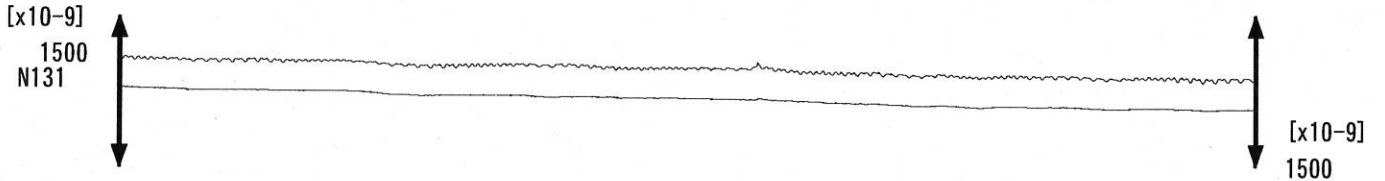
豊橋多米（豊橋東）歪N356E [x10<sup>-9</sup>]    豊橋多米（豊橋東）歪N356E (BAYTAP)



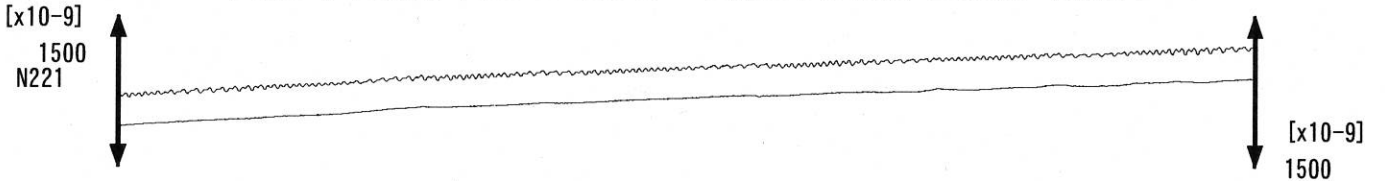
豊橋多米（豊橋東）歪N86E [x10<sup>-9</sup>]    豊橋多米（豊橋東）歪N86E (BAYTAP)



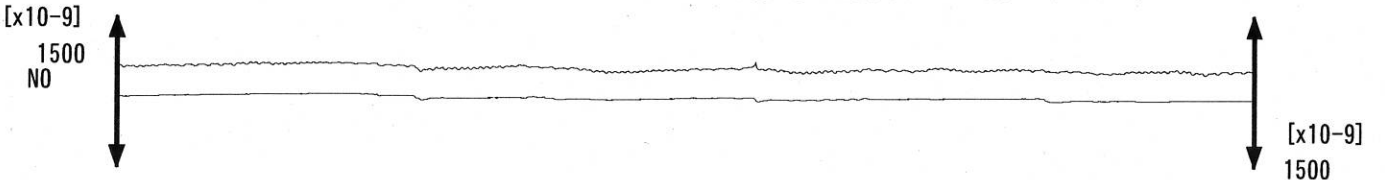
豊橋多米（豊橋東）歪N131E [x10<sup>-9</sup>]    豊橋多米（豊橋東）歪N131E (BAYTAP)



豊橋多米（豊橋東）歪N221E [x10<sup>-9</sup>]    豊橋多米（豊橋東）歪N221E (BAYTAP)



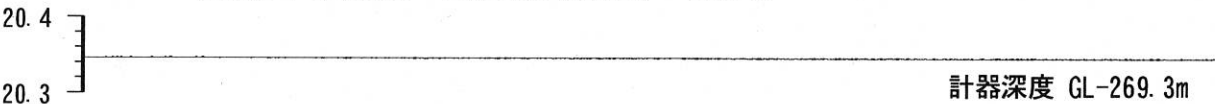
豊橋多米（豊橋東）歪鉛直 [x10<sup>-9</sup>]    豊橋多米（豊橋東）歪鉛直 (BAYTAP)



豊橋多米（豊橋東）磁力 N356E [nT]



豊橋多米（豊橋東）歪計温度（水晶式） [deg. C]

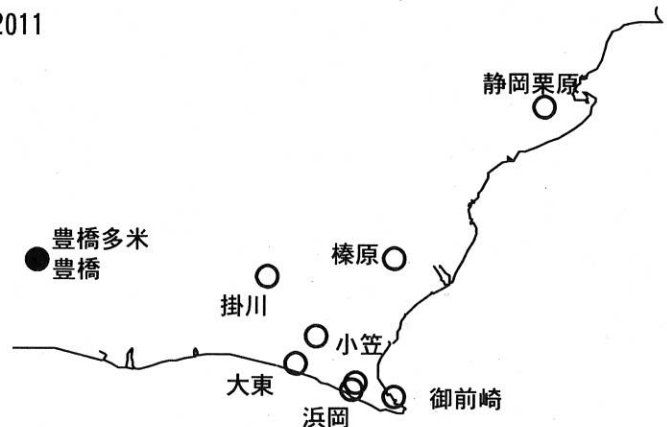


08

09  
2011

10

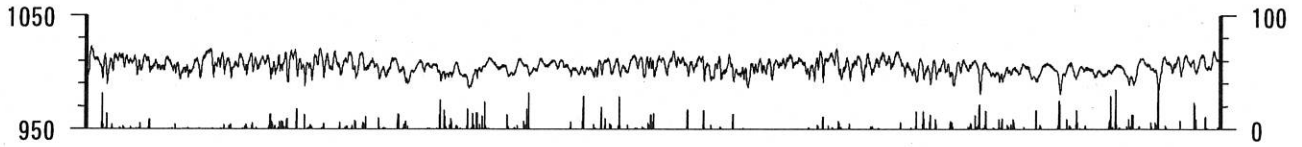
コメント：\$;保守. ?;原因不明.



東海地域西部（豊橋・豊橋東）長期（時間値）  
 (2009/11/01 00:00 - 2011/11/01 00:00)

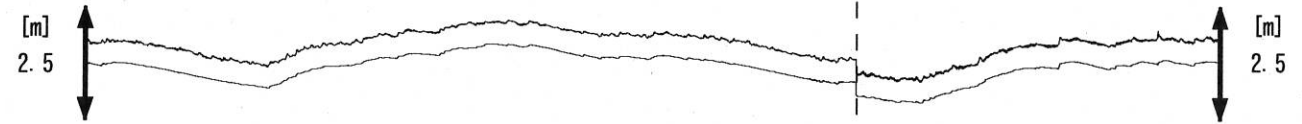
豊橋 気圧 [hPa]

豊橋 雨量 [mm]



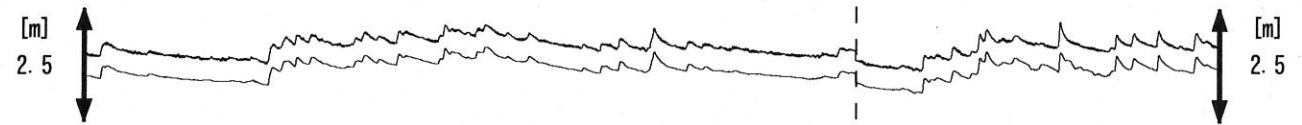
豊橋1 水位 [m]

豊橋1 水位 (BAYTAP)



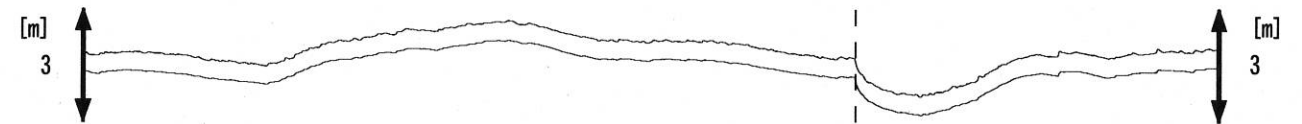
豊橋2 水位 [m]

豊橋2 水位 (BAYTAP)

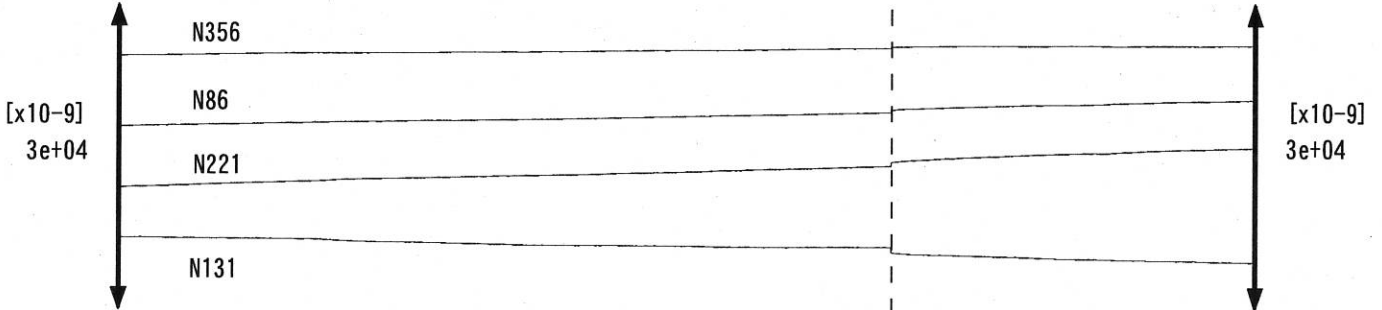


豊橋多米 (豊橋東) 水位 [m]

豊橋多米 (豊橋東) 水位 (BAYTAP)



豊橋多米 (豊橋東) 歪 [x10-9]

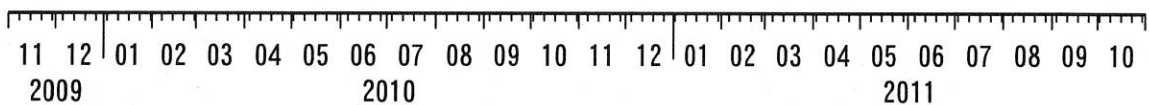


豊橋多米 (豊橋東) 傾斜 [x10-9]

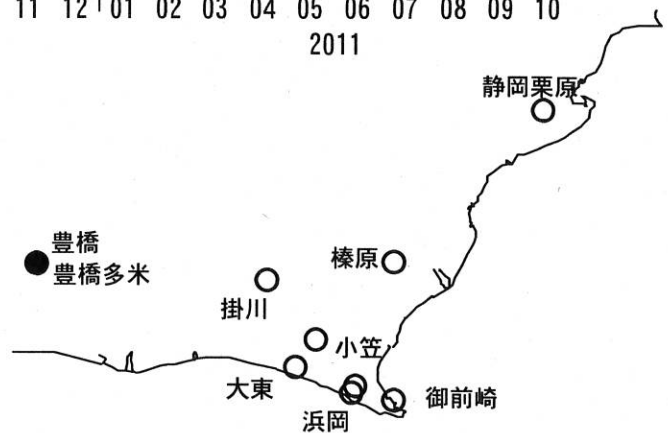


11. 03. 11.  
 東北地方太平洋沖  
 地震 (M9. 0)

11. 08. 01.  
 駿河湾の  
 地震 (M6. 2)



コメント：\$;保守. ?;原因不明.  
 傾斜計データの処理方法を変えたので、  
 地震時のパルス状の変化が見えにくくなった。



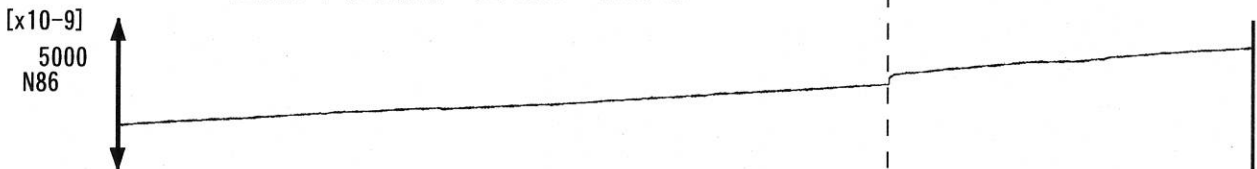
東海地域西部 (豊橋東 歪) 長期 (時間値)

(2009/11/01 00:00 - 2011/11/01 00:00)

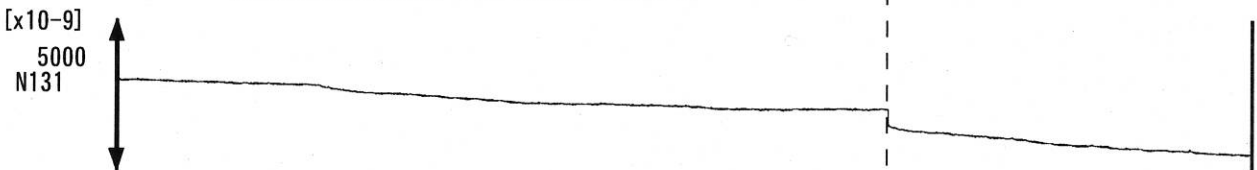
豊橋多米 (豊橋東) 歪 N356E [x10<sup>-9</sup>]



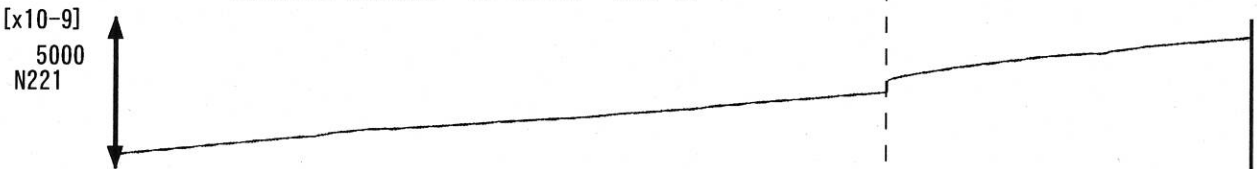
豊橋多米 (豊橋東) 歪 N86E [x10<sup>-9</sup>]



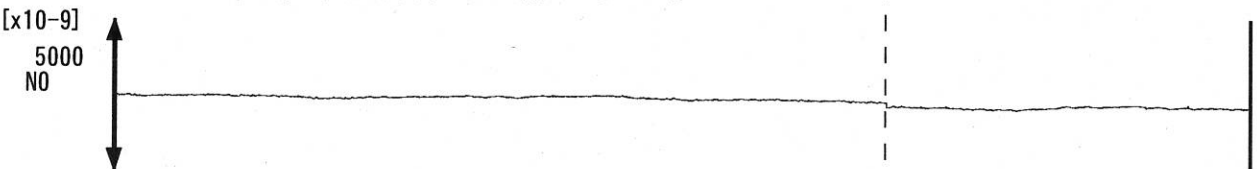
豊橋多米 (豊橋東) 歪 N131E [x10<sup>-9</sup>]



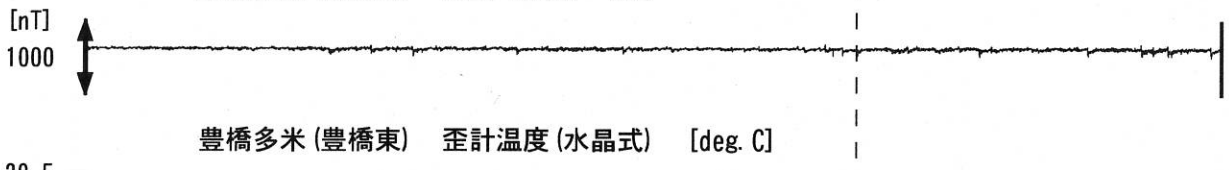
豊橋多米 (豊橋東) 歪 N221E [x10<sup>-9</sup>]



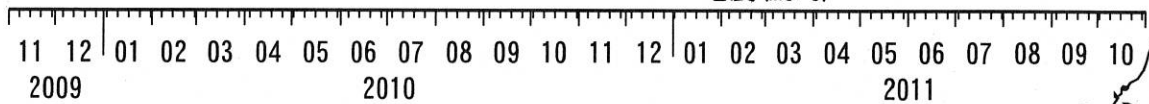
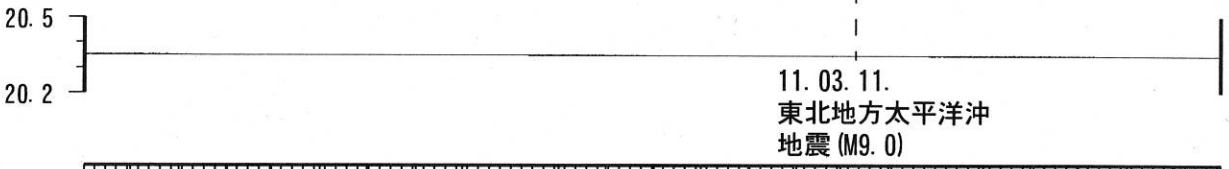
豊橋多米 (豊橋東) 歪 鉛直 [x10<sup>-9</sup>]



豊橋多米 (豊橋東) 磁力 N356E [nT]

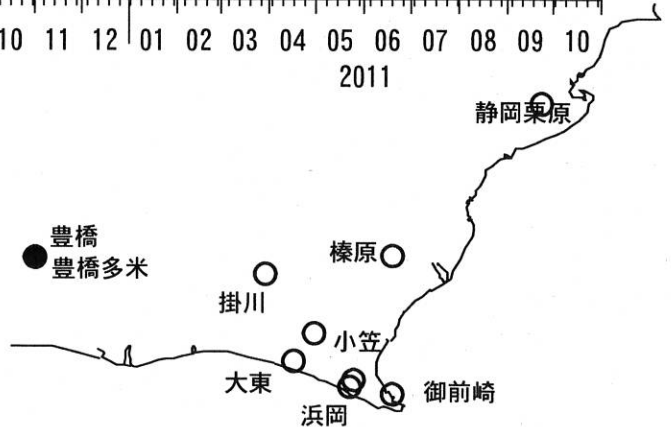


豊橋多米 (豊橋東) 歪計温度 (水晶式) [deg. C]



11.03.11.  
東北地方太平洋沖  
地震 (M9.0)

コメント: \$;保守. ?;原因不明.

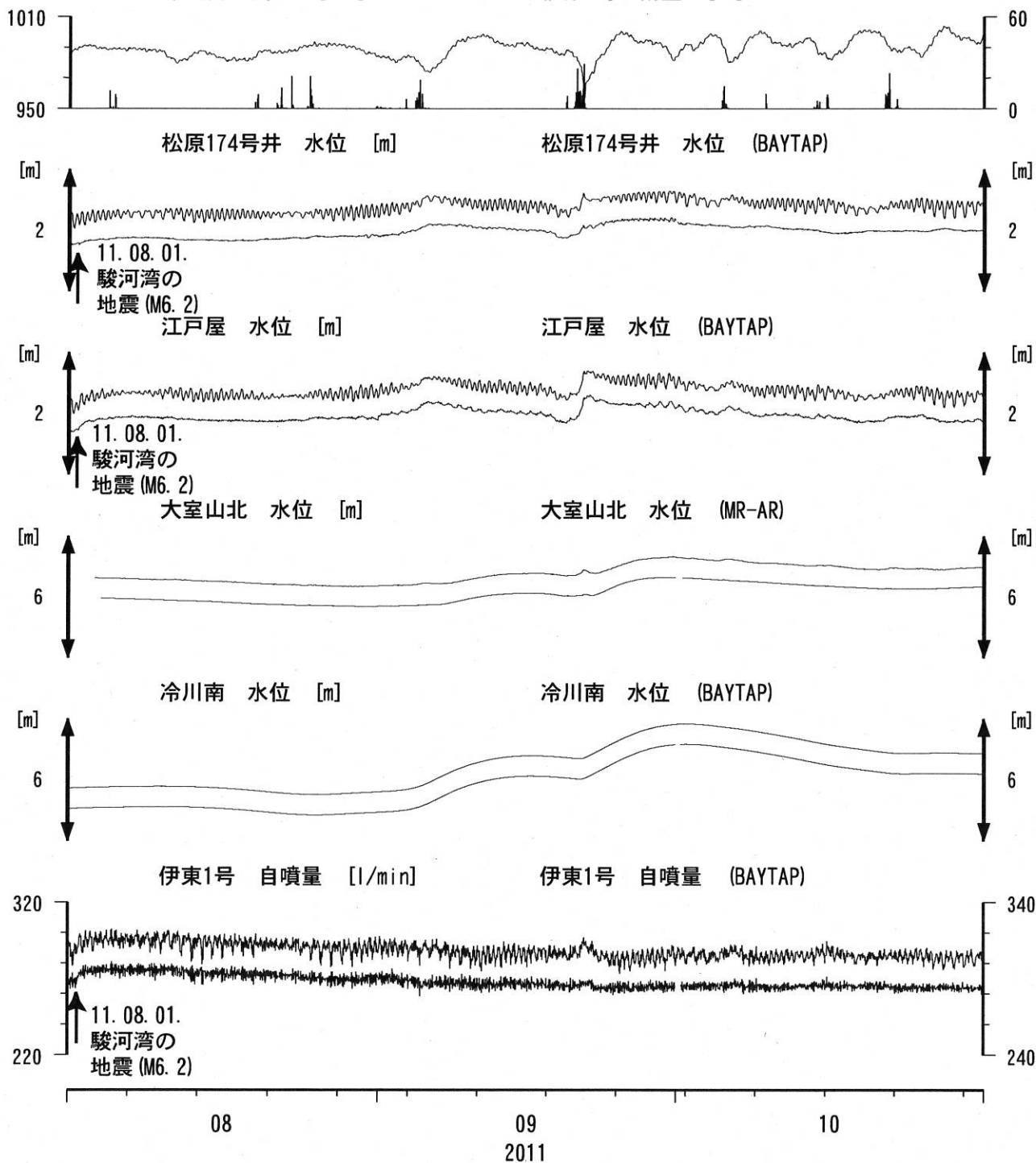


# 伊豆半島東部 地下水位・自噴量 中期 (時間値)

(2011/08/01 00:00 - 2011/11/01 00:00)

冷川南 気圧 [hPa]

伊東6号 雨量 [mm]



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

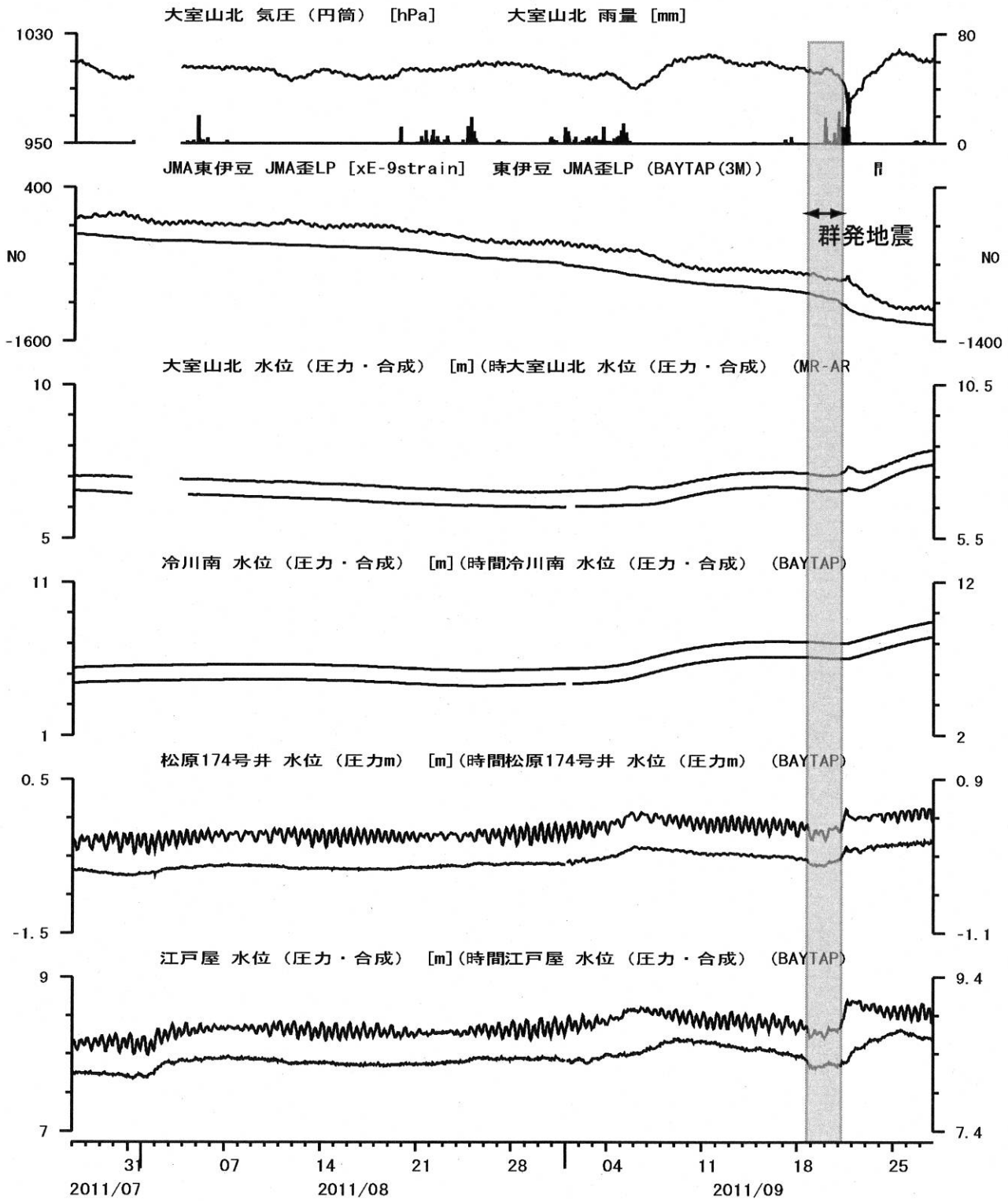
温泉使用量が増加するため, 自噴量が減少する.

伊東1の自噴量は, 量が少なくなると

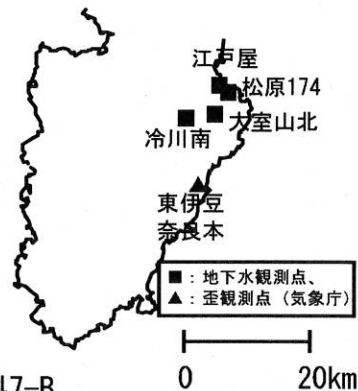
配管構造のため, 見かけ上, 値がばらつく.



# 大室山北・東伊豆 (2011/07/27 00:00 - 2011/09/27 23:00)

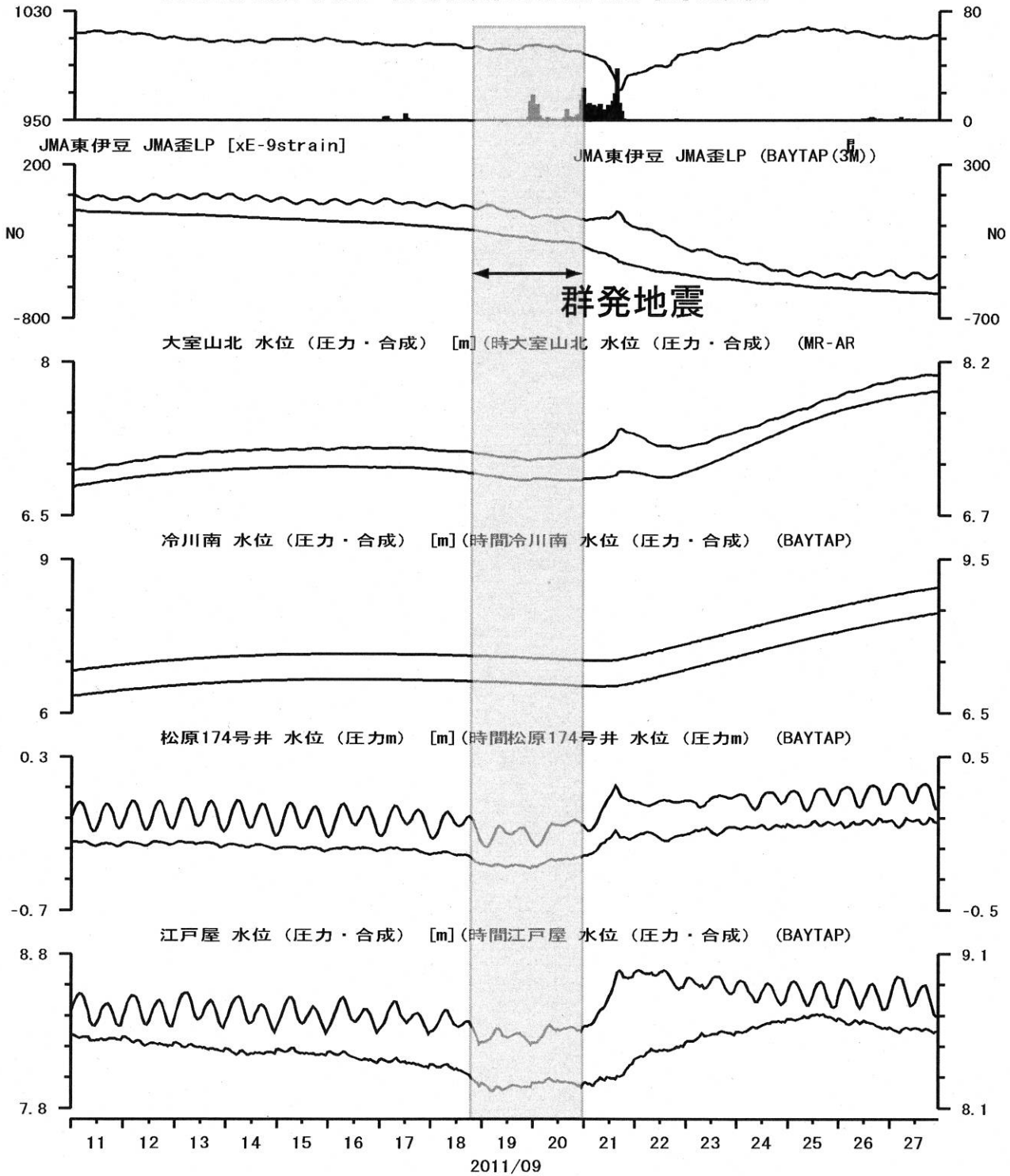


冷川南と大室山北は、同様な季節変化を示す。  
冷川南は体積歪変化に対して鈍感だが、大室山北は体積歪変化に対して敏感である。

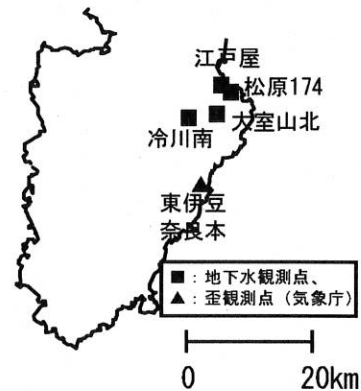


大室山北・東伊豆  
(2011/09/11 00:00 - 2011/09/27 23:00)

大室山北 気圧 (円筒) [hPa] (時間値) 大室山北 雨量 [mm] (時間値)



大室山北が地震前に低下しているようにも見えるが、季節変化として下がりかけているようにも見え、地震前の低下は明瞭ではない。松原174と江戸屋は、群発地震期間中に明瞭に低下している。

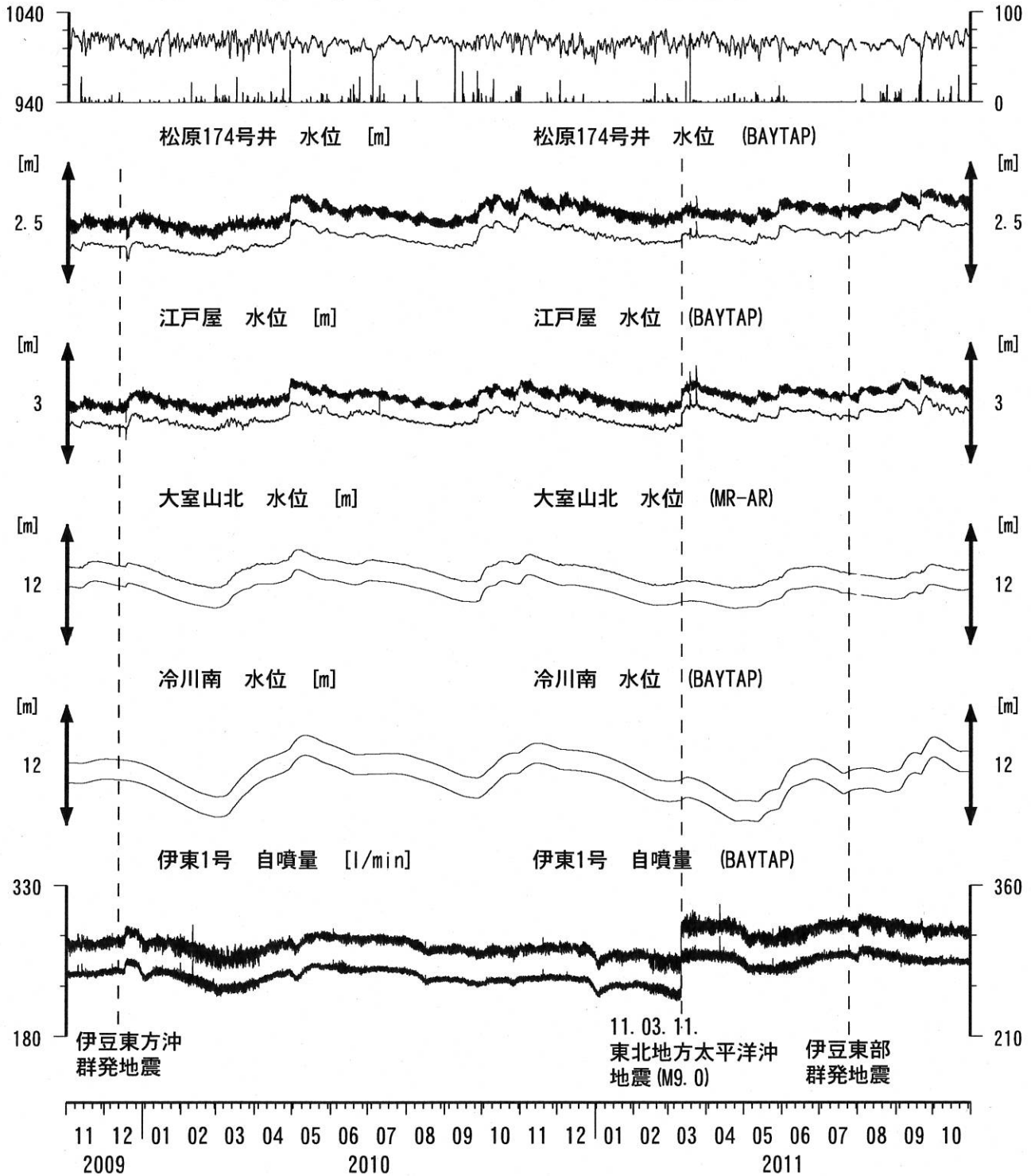




# 伊豆半島東部 地下水位・自噴量 長期 (時間値) (2009/11/01 00:00 - 2011/11/01 00:00)

大室山北 気圧 [hPa]

大室山北 雨量 [mm]



コメント：\$;保守. ?;原因不明.

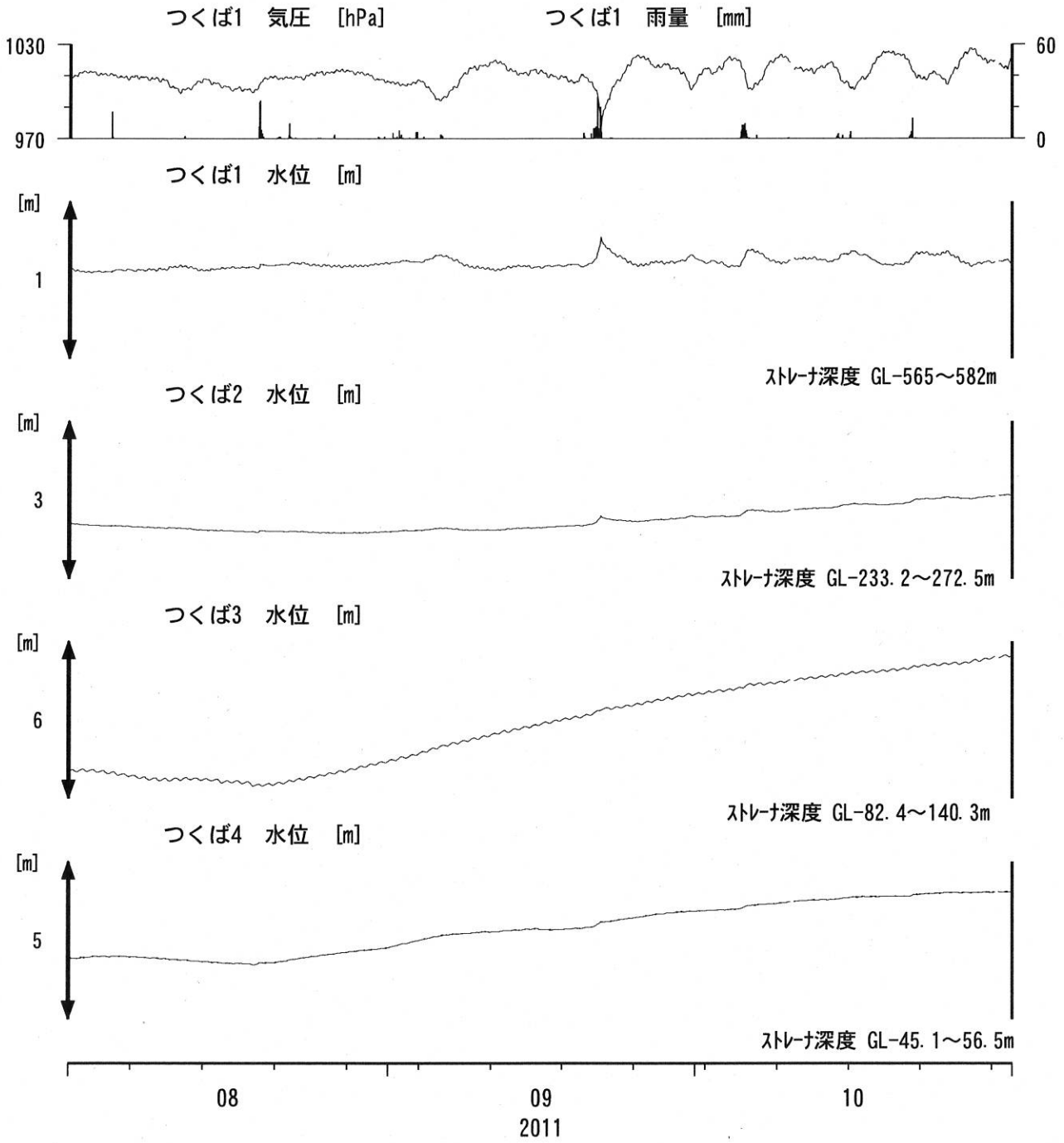
松原174号井は静岡県による観測.

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.

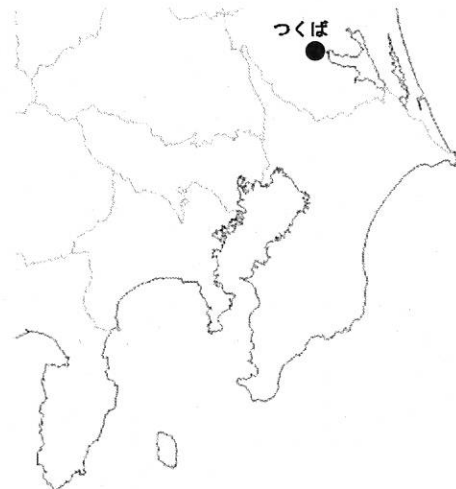
伊東1の自噴量は、量が少なくなると配管構造のため、見かけ上、値がばらつく.



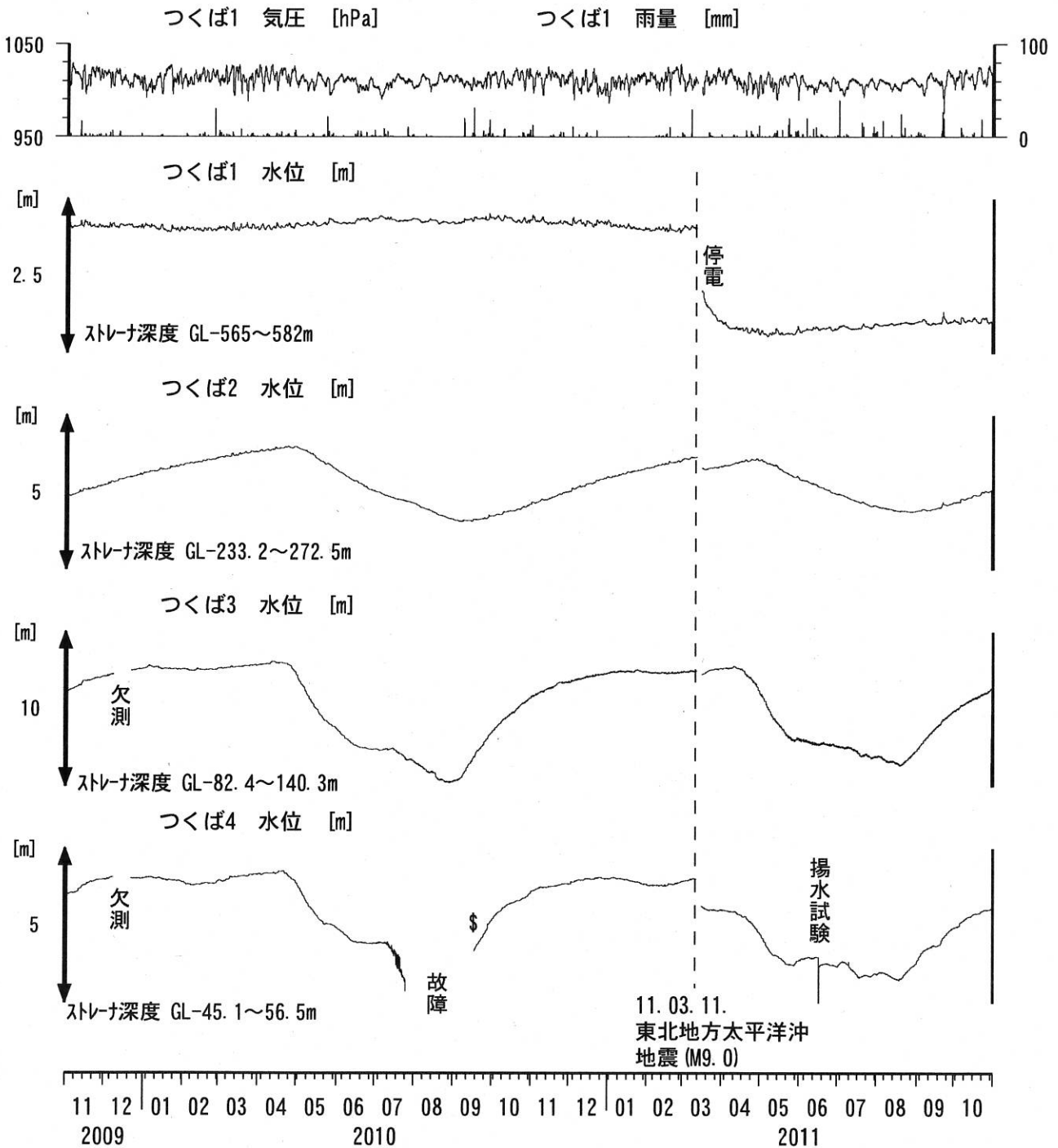
関東地域 地下水観測結果 中期 (時間値)  
 (2011/08/01 00:00 - 2011/11/01 00:00)



コメント：\$;保守.  
 つくば2~4の水位が、例年春~秋に低下するのは、  
 周囲の揚水によると考えられる。



関東地域 地下水観測結果 長期 (時間値)  
(2009/11/01 00:00 - 2011/11/01 00:00)



コメント：\$;保守.

つくば2~4の水位が、例年春~秋に低下するのは、周囲の揚水によると考えられる。

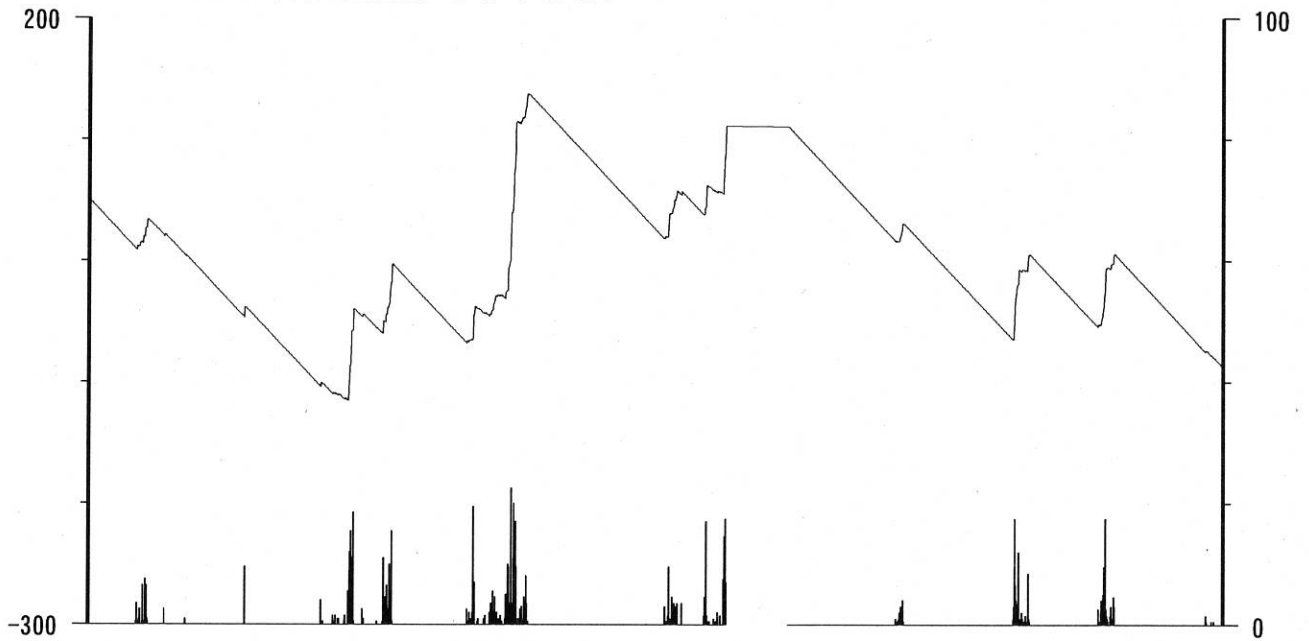
2009年12月7日~22日はつくば3,4の井戸を使った実験を行っているため水位は欠測。

2010年7月中旬からつくば4の水位計が故障していたが、2010年9月中旬に水位計を更新した。

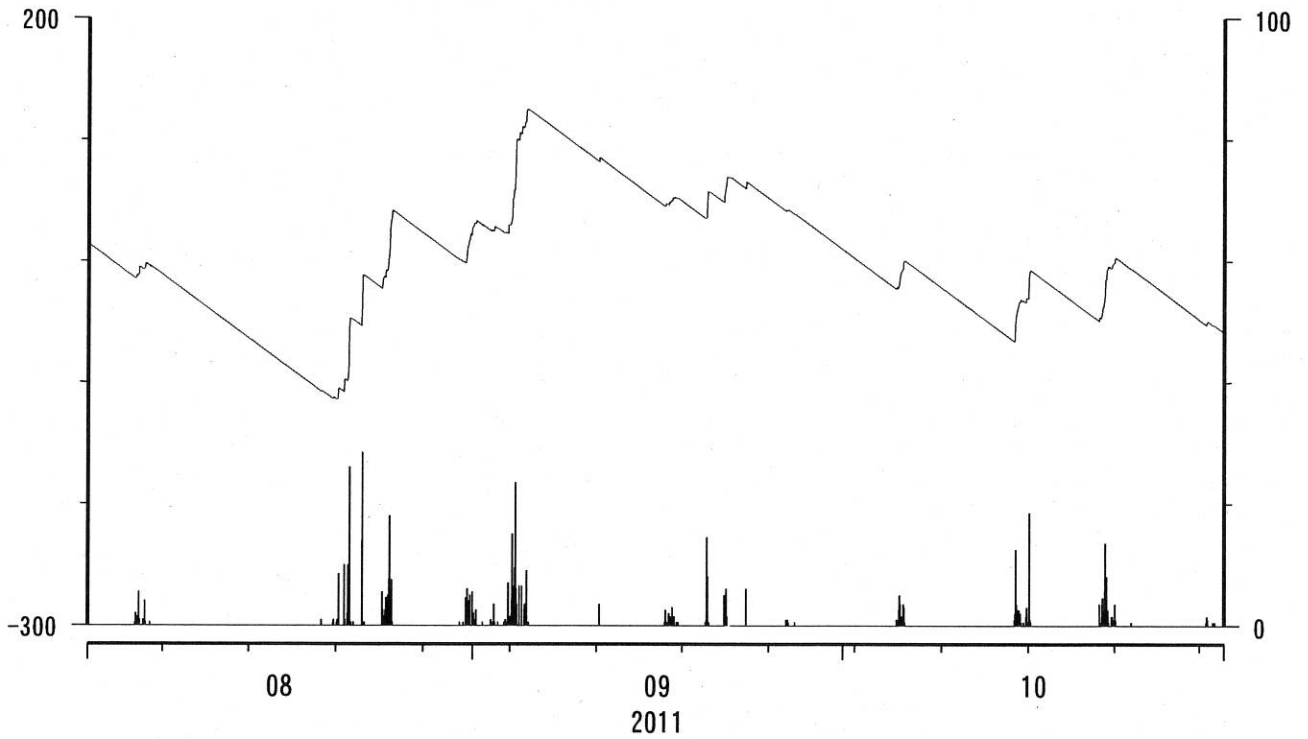


榛原・浜岡観測井 直近3ヶ月の積算降雨量トレンド除去グラフ [mm]  
(2011/08/01 00:00 - 2011/11/01 00:00)

榛原 降水量(積算) [mm] (時間値)



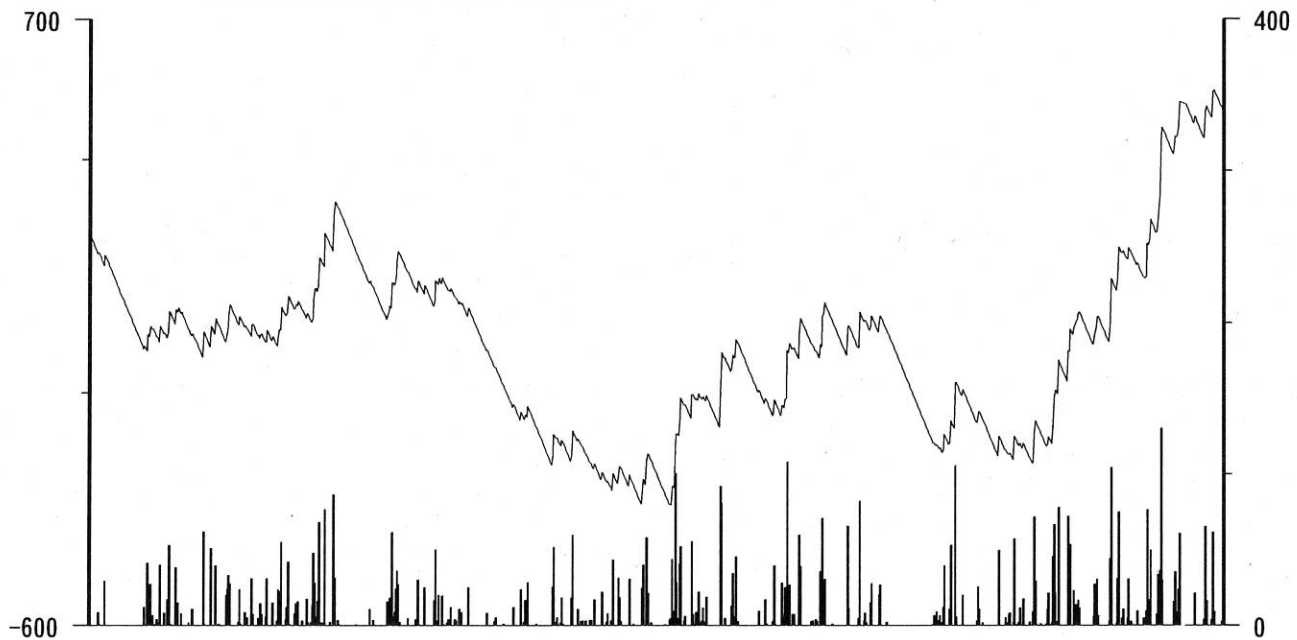
浜岡 降水量(積算) [mm] (時間値)



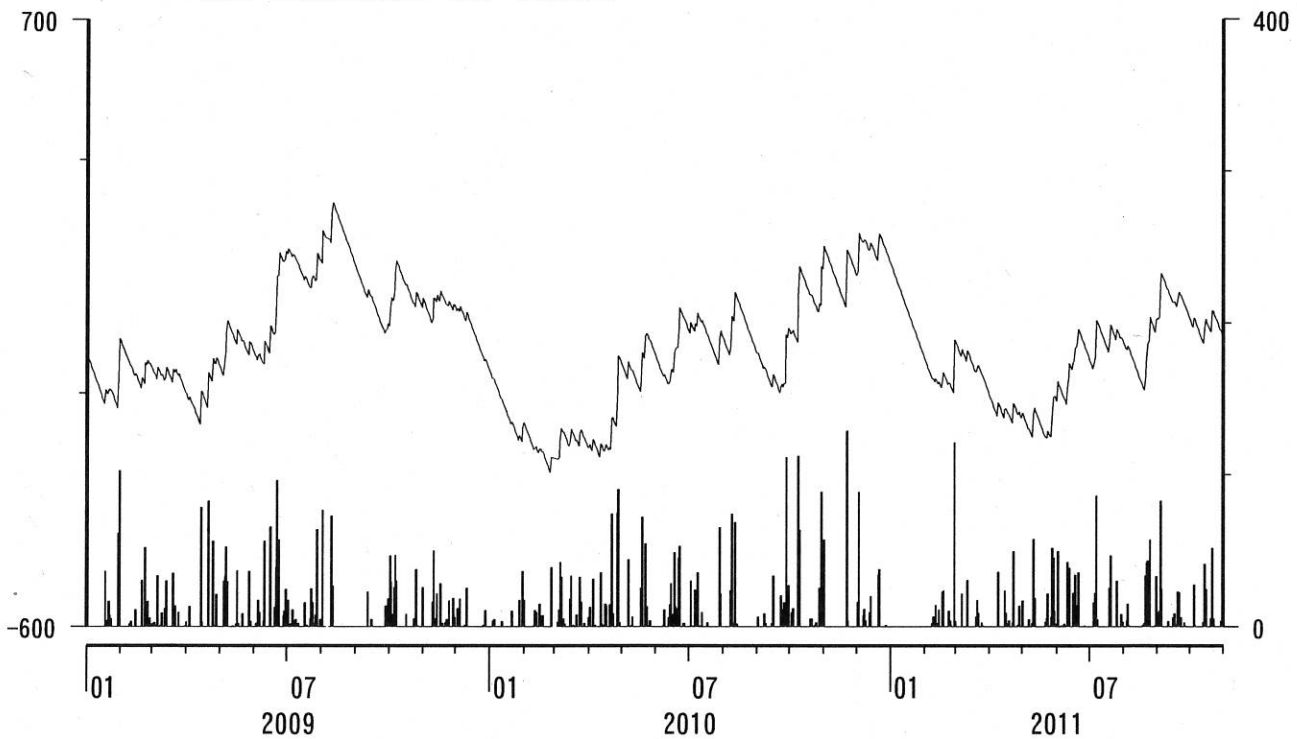
コメント：トレンドは、グラフに示している期間で求めている。

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 - 2011/11/01 00:00)

榛原 降水量 (積算) [mm] (時間値)



浜岡 降水量 (積算) [mm] (時間値)



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。

# 近畿地域の地下水位・歪観測結果（2011年8月～2011年10月）

産業技術総合研究所

2011年8月～2011年10月の近畿地域におけるテレメータによる地下水位およびボアホール型歪計による地殻歪（水平3成分）の観測結果を報告する。観測点は14点（観測井は16井戸）である（第1図）。同期間中に第1図で示す範囲内で、M4以上で深さ30kmより浅い地震は、無かった。M4以上で深さ30kmより深い地震は、2011年8月10日8時13分頃に発生した和歌山県北部の地震（M4.7、深さ61km）、2011年9月16日7時15分頃に発生した和歌山県北部の地震（M4.3、深さ67km）である。

第2～6図には、2011年5月～2011年10月における地下水位1時間値の生データ（上線）と補正值（下線）を示す。ボアホール型歪計が併設してある観測点については、同期間における歪3成分の観測値（生データ）も示す。歪の図において「N120E」などと示してあるのは、歪の方向が北から120度東方向に回転していることを示す。水位補正值（corrected）は、潮汐解析プログラムBAYTAP-Gによって、気圧・潮汐・不規則ノイズの影響を除去した結果である。なお、tkz・ysk・yst1・yst2およびyst3は地上より上に水位が来るので、井戸口を密閉して水圧を測定し、それを水位に換算している。hksではケーシングを二重にして、外管で浅い方の地下水位（hks-o）を、内管で深い方の地下水位（hks-i）をそれぞれ測定し、別々の観測井にカウントしている。

tnnの歪の2011年8月の欠測は電源の故障のため（第4図）。hrbの地下水位の短期的な上下変化は口元から雨が流れ込んだためと思われる（第4図）。

これらのデータ（グラフ等）は、<http://riodb02.ibase.aist.go.jp/gxwell/GSJ/index.shtml>で公開されている。（北川有一・小泉尚嗣・高橋誠・佐藤努・松本則夫・大谷竜・板場智史・桑原保人・佐藤隆司・木口努・長郁夫）

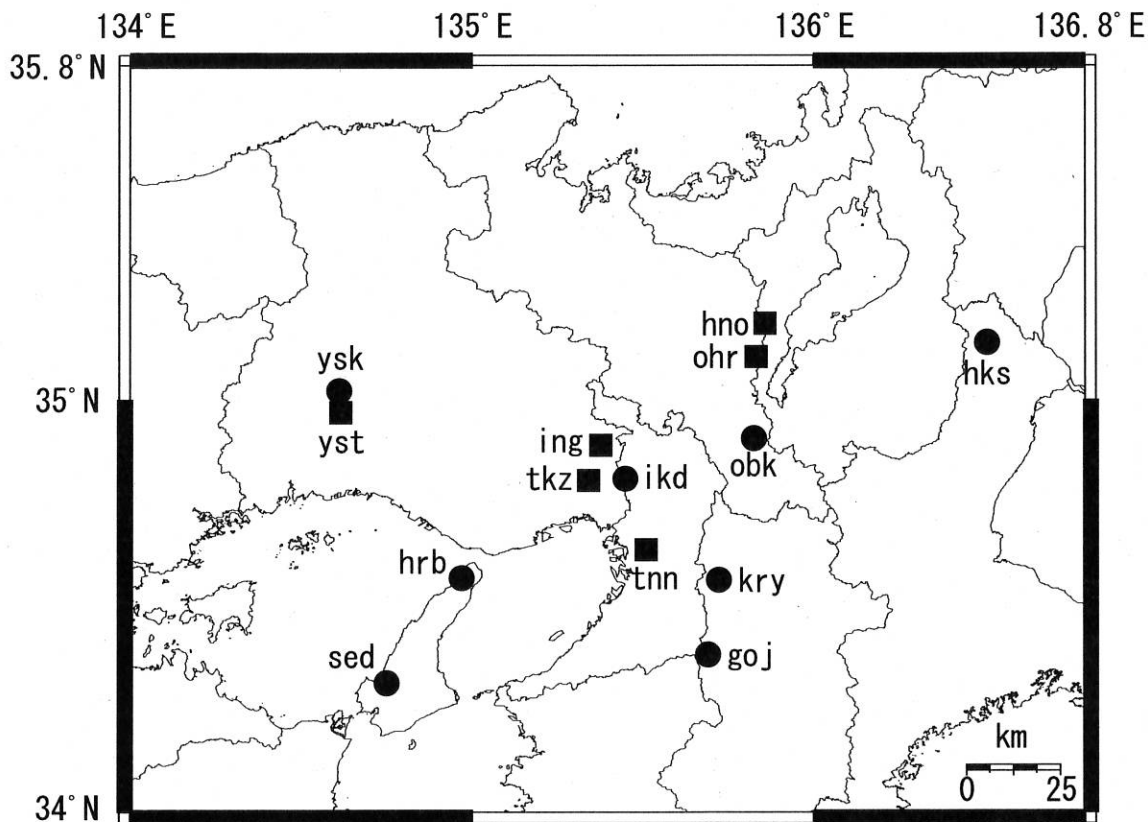


Fig.1 観測点分布図（●・■）。●は地下水のみの観測点で、■はボアホール型歪計を併設している観測点。

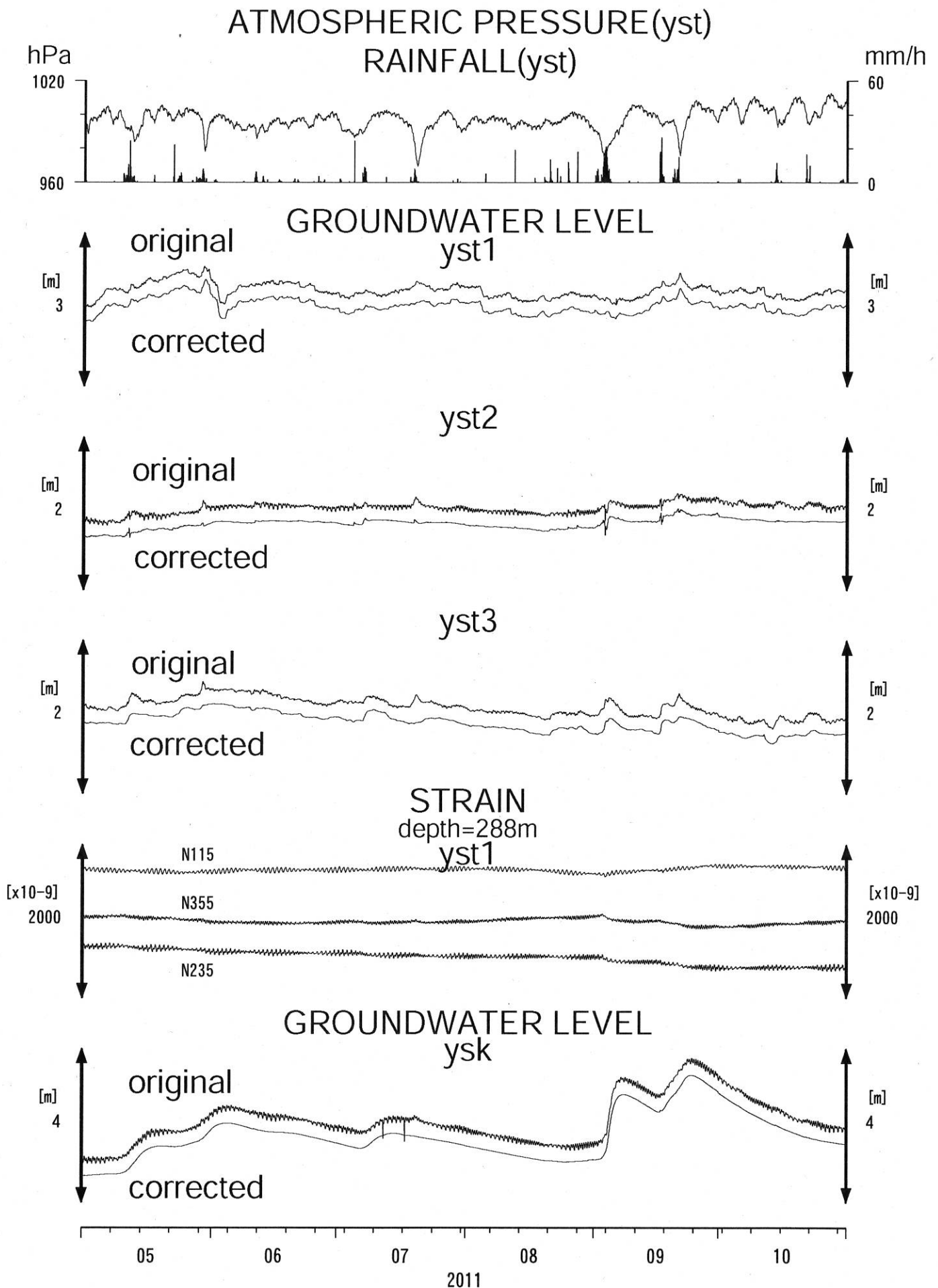


Fig.2

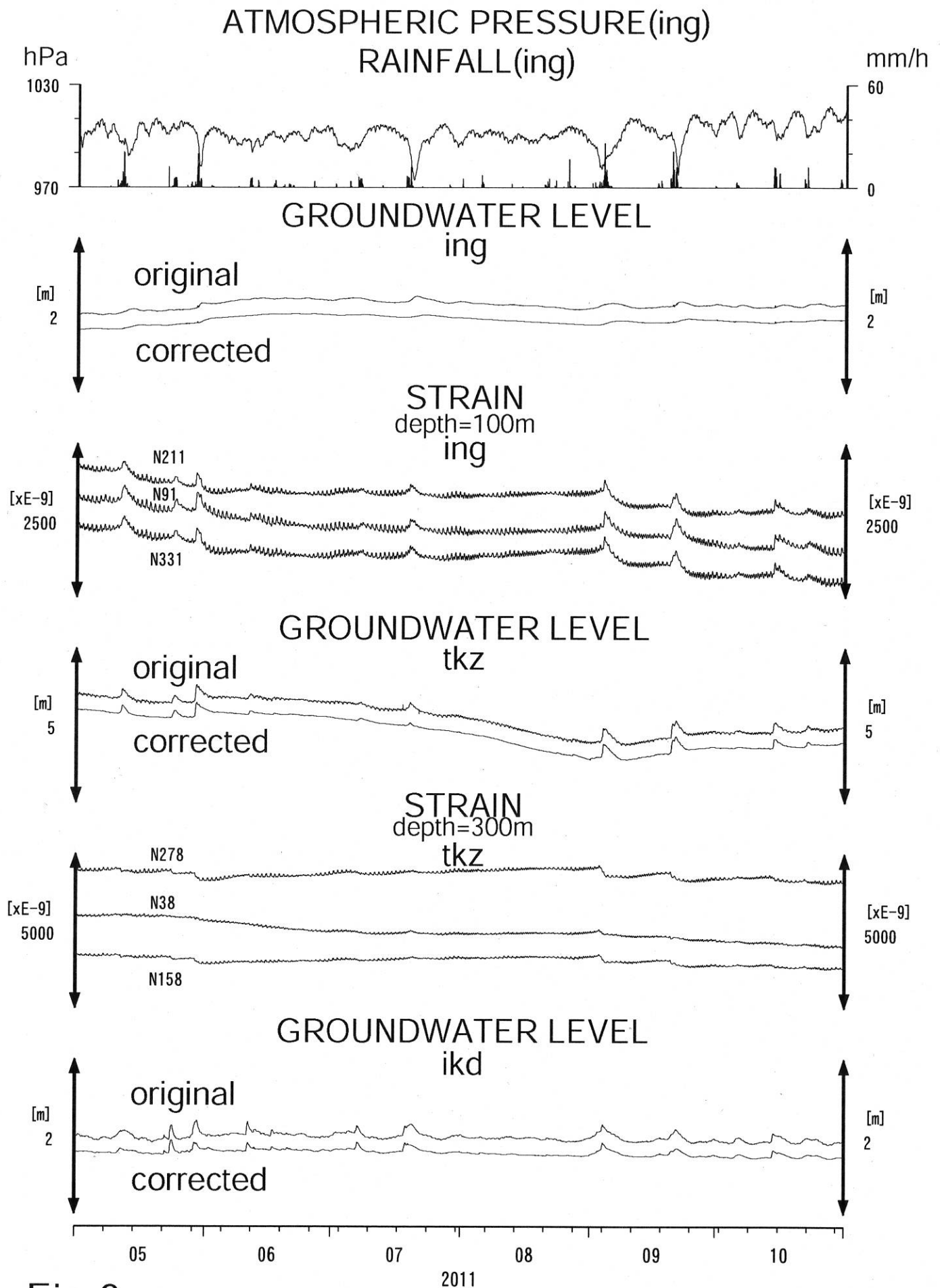


Fig.3



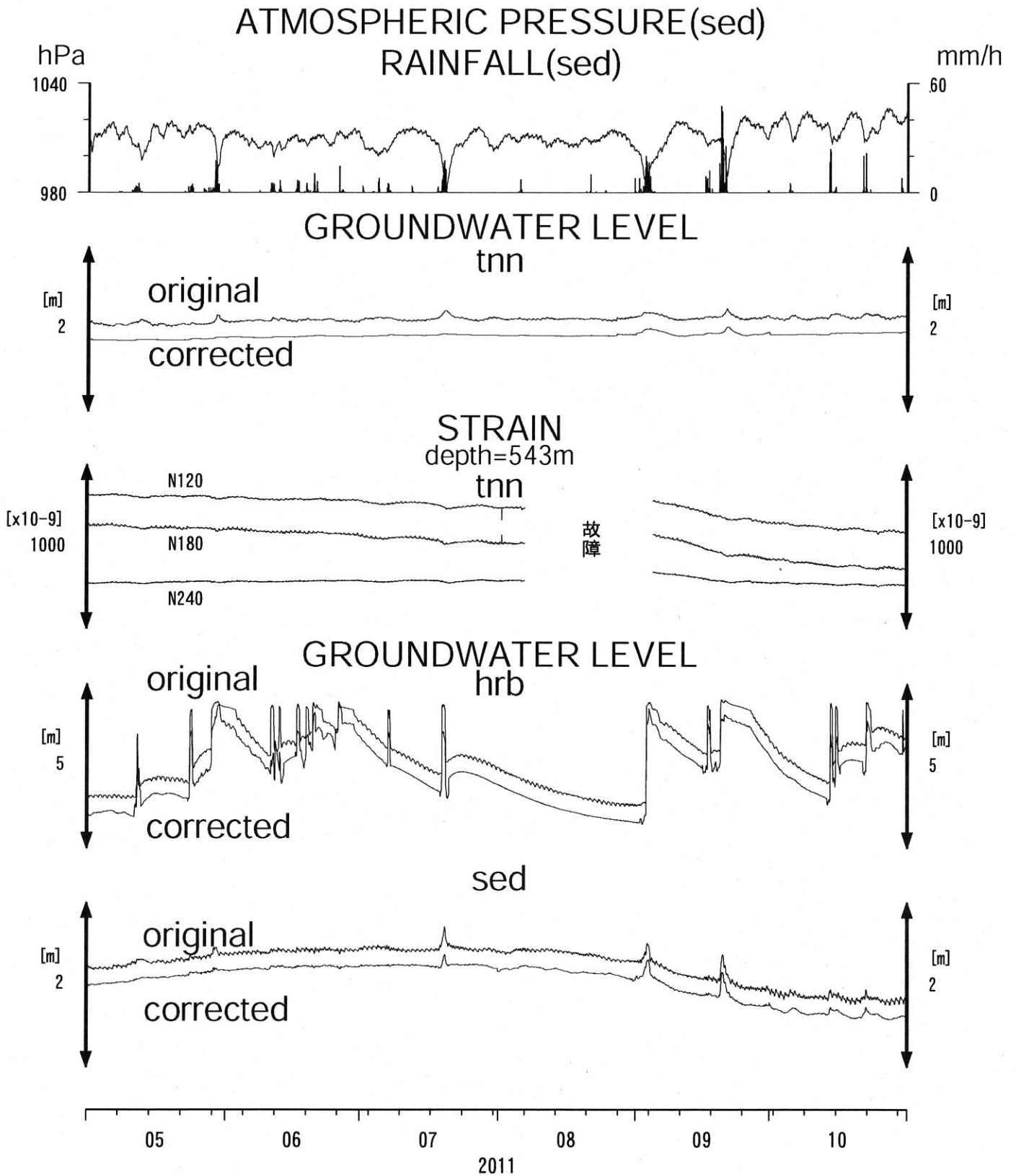


Fig.4

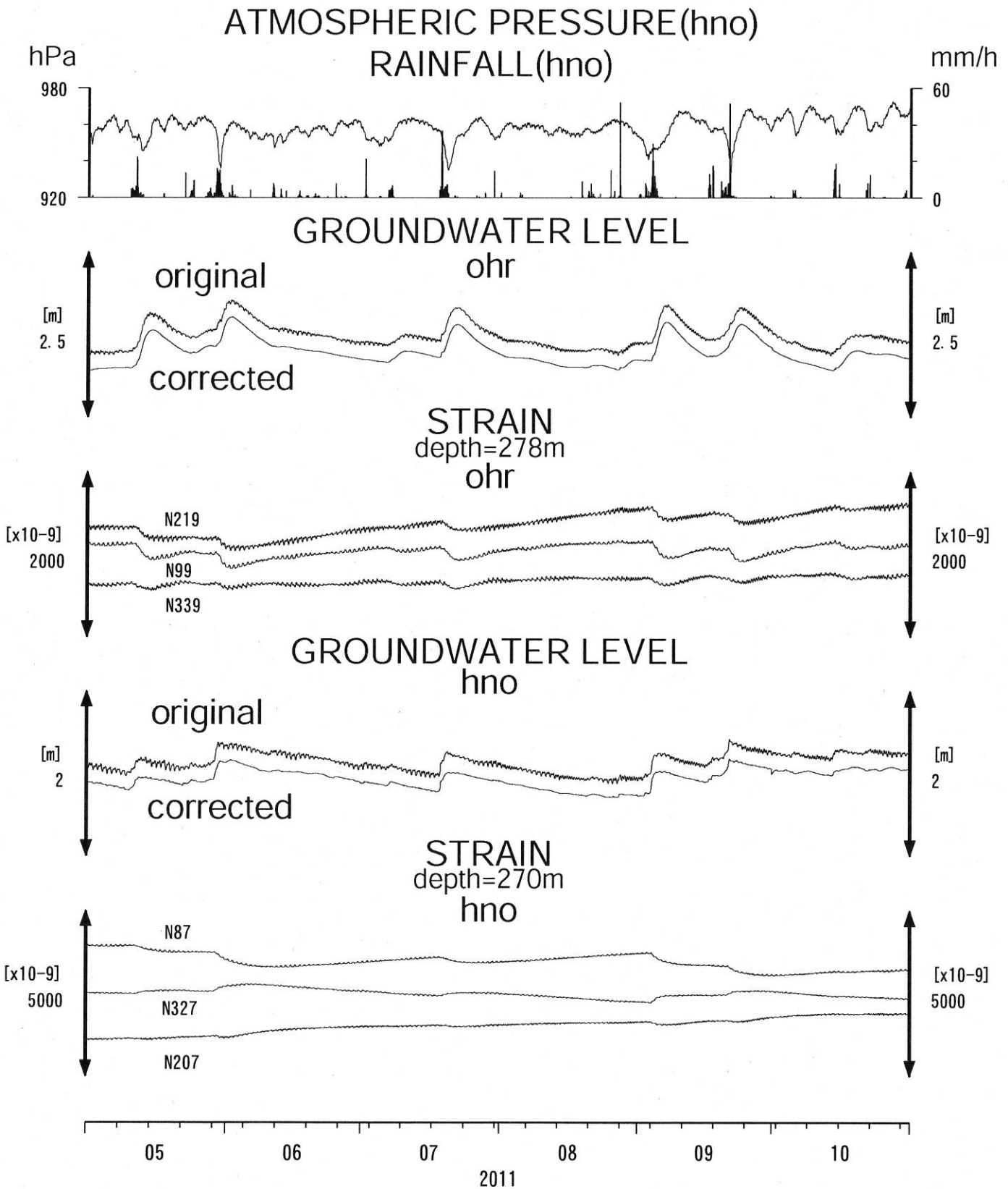


Fig.5

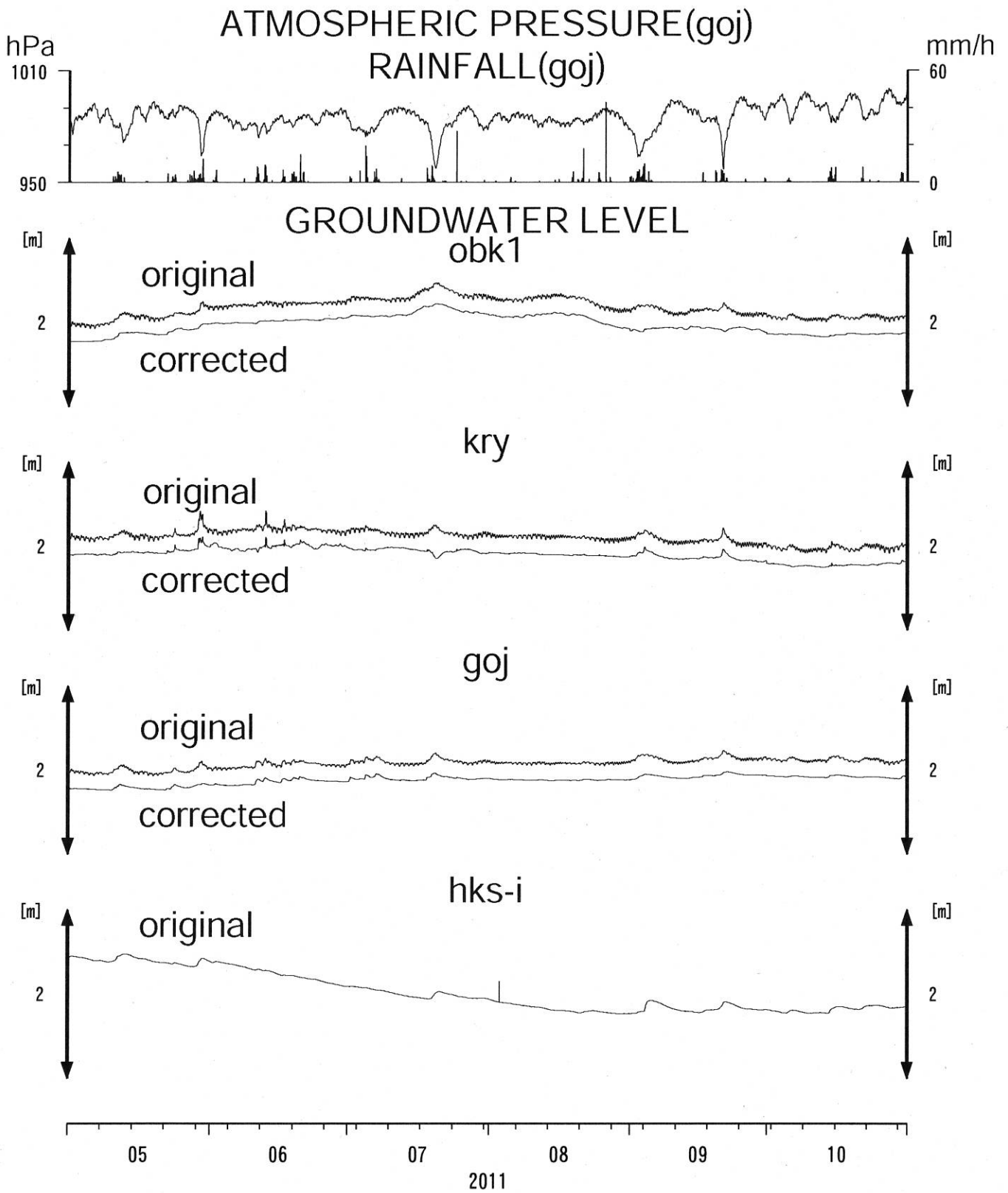


Fig.6

# 神奈川県西部地域の地下水位観測 (2011年8月～ 2011年10月)

神奈川県温泉地学研究所・産業技術総合研究所

## 1. はじめに

神奈川県温泉地学研究所では、神奈川県西部地震の予知研究の一環として、第1図・第1表に示した6箇所に地下水位観測施設を整備し地下水位の連続観測を行っている。2011年8月-2011年10月の期間に重点をおいた観測結果を報告する。

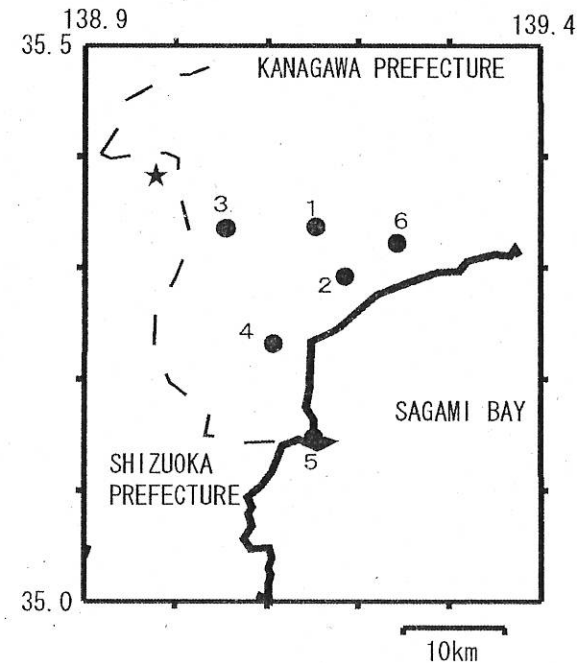
## 2. 観測

第1図の6箇所の観測点では、地下水位の他、気圧・降水量も1分サンプリングで観測を行っている。得られたデータは、1日1回テレメータにて温泉地学研究所に送信される。

## 3. 結果 (第2～3図)

結果を第2図 (原則1時間値, 真鶴・二宮のみ24時間平均値) と第3図 (原則0時の瞬時値) に示す。第1図の範囲内 (北緯35～35.5度, 東経138.9～139.4度) で、2011年8月～2011年10月に深さ30km以浅でM4以上の地震はない。また、同期間で、観測点周辺で震度2以上の揺れをもたらした地震は、

- 1) 8月1日の23時58分頃に発生した駿河湾の地震 (M6.2, 深さ23km, 観測点周辺の震度は2-3),
  - 2) 8月2日12時37分頃に発生した千葉県北西部の地震 (M4.1, 深さ64km, 観測点周辺の震度は1-2),
  - 3) 8月12日3時22分頃に発生した福島県沖の地震 (M6.1, 深さ52km, 観測点周辺の震度は1-2),
  - 4) 8月19日14時36分頃に発生した福島県沖の地震 (M6.5, 深さ51km, 観測点周辺の震度は1-2),
  - 5) 8月29日13時34分頃発生した静岡県東部の地震 (M3.4, 深さ17km, 観測点周辺の震度は1-2),
  - 6) 8月31日18時32分頃発生した東京湾の地震 (M4.6, 深さ72km, 観測点周辺の震度は1-2),
  - 7) 9月4日5時52分に発生した埼玉県南部の地震 (M4.7, 深さ90km, 観測点周辺の震度は1-2),
  - 8) 9月15日17時頃に発生した茨城県沖の地震 (M6.3, 深さ51km, 観測点周辺の震度は2)
- の8つであるが、これらの地震の前後に特に異常な変化はない (板寺一洋・原田昌武・小泉尚嗣)。



### 参考論文

横山尚秀・他, 1995, 神奈川県西部地震予知のための地下水位観測施設と地下水位解析, 温泉地学研究所報告, 26, 21-36.

第1図 地下水観測点の分布 (●) と8月29日の静岡県東部の地震 (M3.4) の震央 (★)。

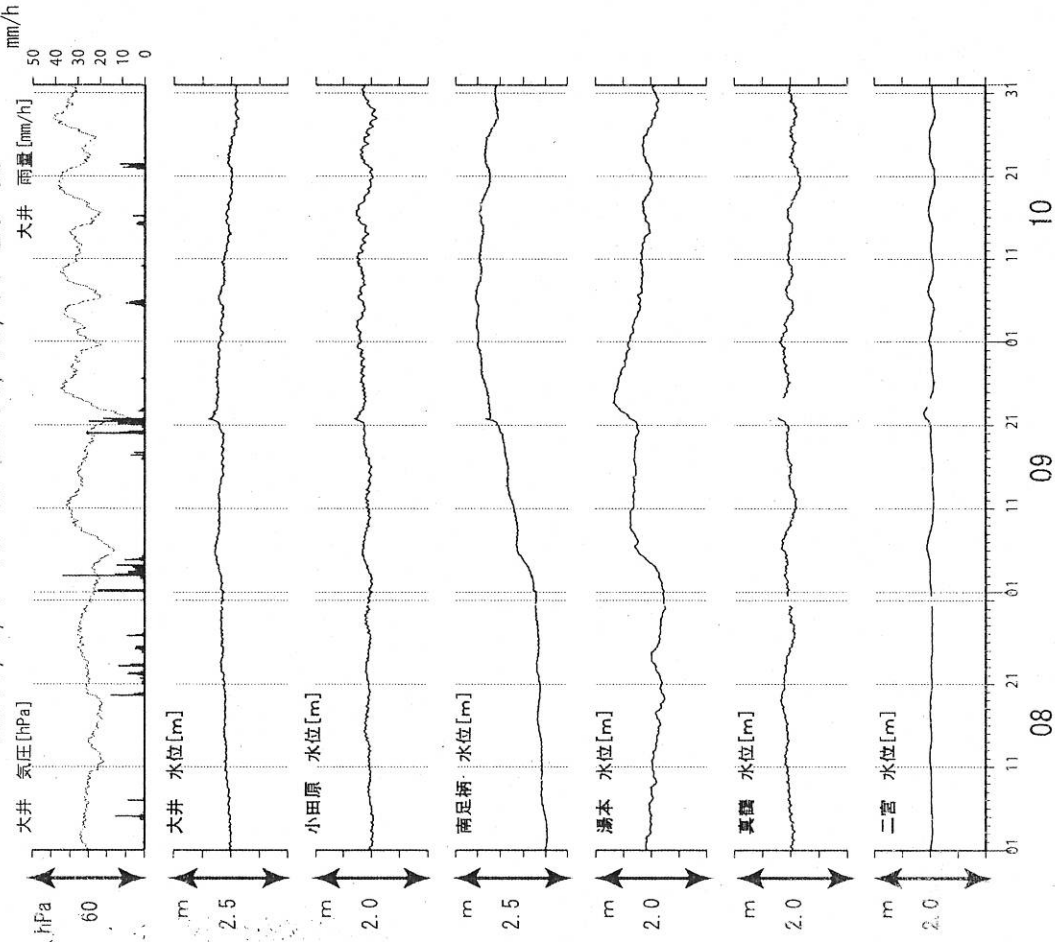
● 1 : 大井, ● 2 : 小田原, ● 3 : 南足柄, ● 4 : 湯本, ● 5 : 真鶴, ● 6 : 二宮。

第1表 : 地下水観測点の概要 (横山・他, 1995)

観測点名	標高 (m)	深度 (m)	スクリーン (m)	センサー位置 (m)	帯水層の地質
大井	47	300	270~300	18	更新統(固結レキ層)
小田原	22	300	270~300	15	更新統(固結泥岩層)
南足柄	143	150	120~150	32	足柄層群(固結レキ層)
湯本	67	300	250~300	20	早川凝灰角レキ岩
真鶴	40	300	250~300	43	箱根古期外輪山溶岩
二宮	51	500	450~500	13	先第四系(固結レキ層)

# 神奈川県西部地域の地下水位観測 中期(時間値)

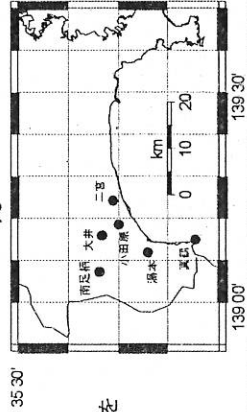
2011/8/1 00:00-2011/10/31 23:00



コメント：特記事項なし

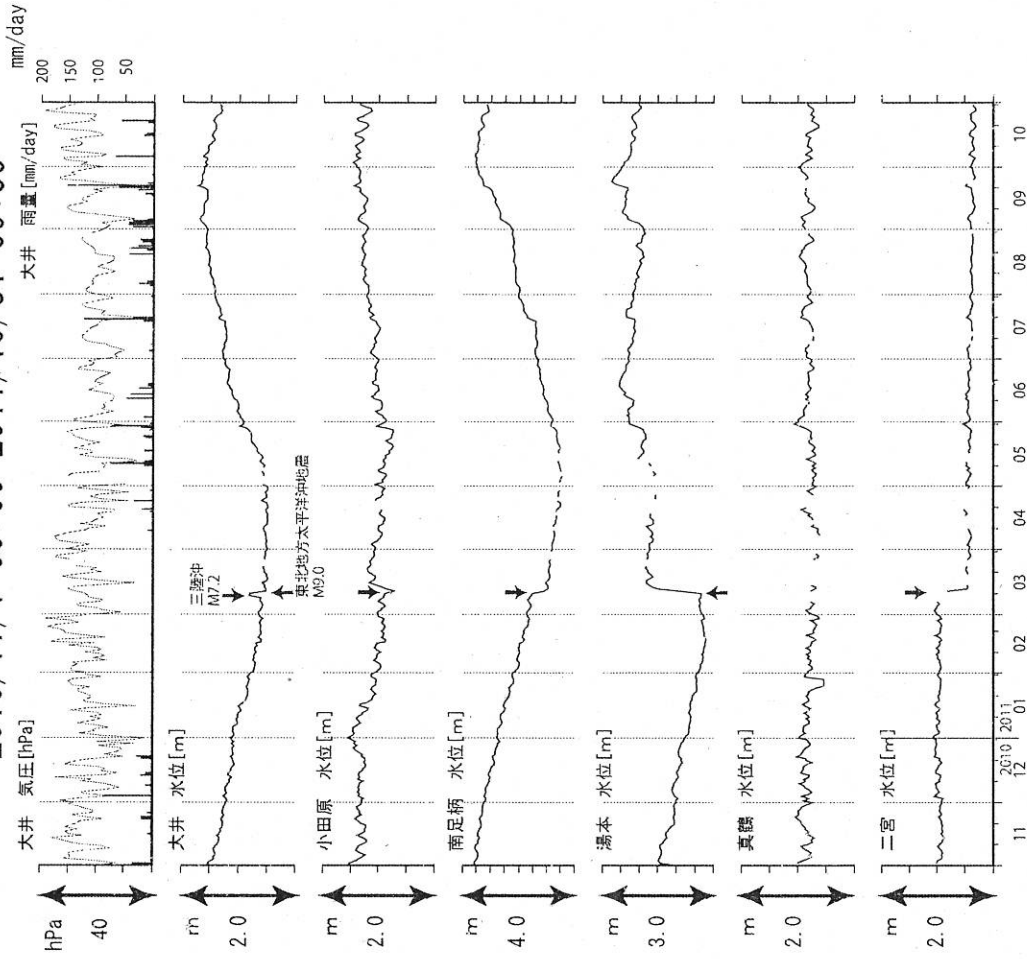
真鶴・二宮は潮汐の影響が大きいので日平均値を示している。他は一時間値(生データ)台風等にもなう停電による欠測を含む。

## 第2図



# 神奈川県西部地域の地下水位観測 長期

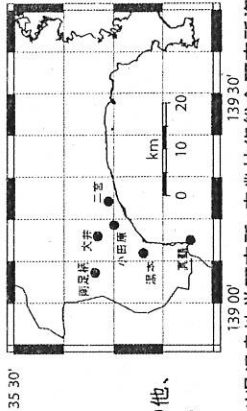
2010/11/1 00:00-2011/10/31 00:00



コメント：特記事項なし

真鶴・二宮以外は1日1回の観時値を示している。2010年9月下旬の欠測はシステム更新による。その他、通信およびデータ登録の不具合による欠測を含む。

## 第3図



# 鳥取県・岡山県・島根県における温泉水・地下水変化（2011年8月～ 2011年10月）

鳥取大学工学部・産業技術総合研究所

## 1. はじめに

鳥取県・島根県・岡山県は温泉が多く、その所在も地震活動と関連していると考えられる。この地方の特徴を生かし、国際ロータリー第2690地区、鳥取県西部地震義援金事業の一環として、温泉水の時間変化を観測網を山陰地方（鳥取県西部地震周辺及び鳥取県東部・岡山県北部地域）に整備し、地震活動との関連を調べている。

## 2. 観測

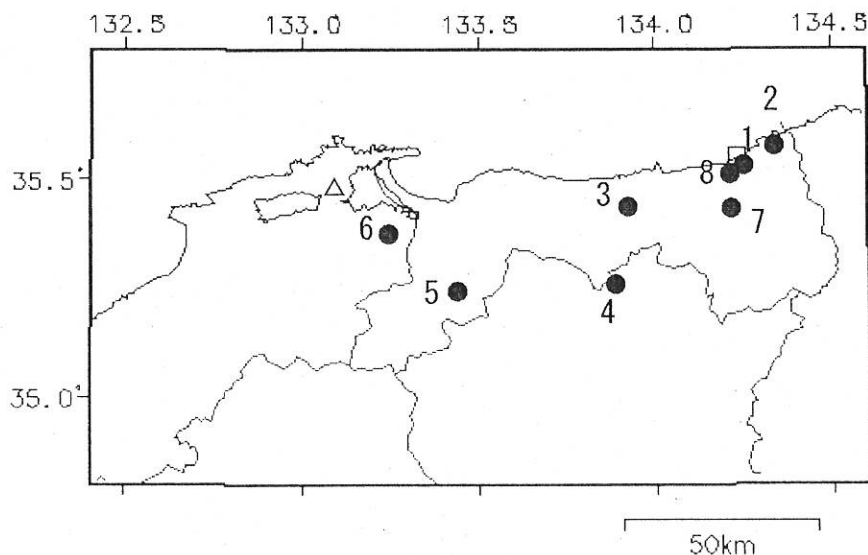
現在観測を行なっている地点は8点である（第1図）。観測方法としては、温泉井に水位計や温度計（分解能：1/100℃）を設置し、測定値をデータロガーにいったん収録した後、観測センター（鳥取大学工学部）へ電話回線を利用して転送する。観測センターには、データの回収・記録・解析システムを設置し、温泉データを地震データ等と比較して関係を調べる。解析の結果は、速報として観測センターのホームページで公開している（[http://www.geosd.jp/onsen\\_k/index.htm](http://www.geosd.jp/onsen_k/index.htm)）。

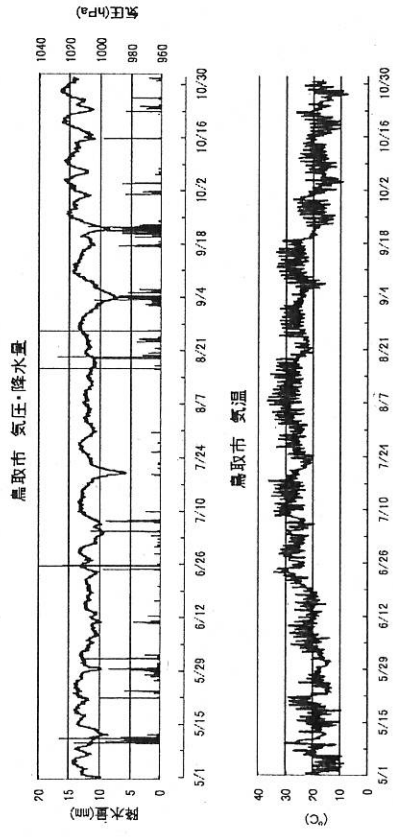
水位・水温の測定インターバルは10秒で1分間の平均値を記録している。温度センサーは、事前の温度検層により、湯谷温泉等を除いて、最も温度変化の大きい位置（深さ）に設置している（鳥取温泉175m、岩井温泉150m、三朝温泉25m、奥津温泉130m、日野町100m等）。なお、湯谷（第1図の7）と吉岡（8）では、2012年度からデータを現地集録に切り替える。また、三朝（3）と日野町（5）の観測点は2012年度から観測を停止する予定である。

## 3. 結果（第2～5図）

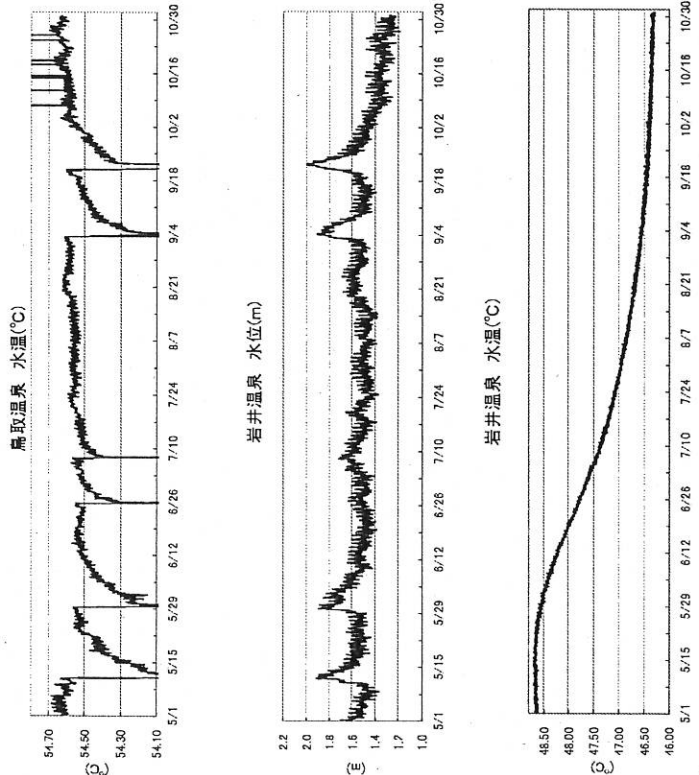
結果（原則として1時間値）を第2～5図に示す。気圧や気温の記録は、鳥取や松江の気象台の測定値を用いている。奥津（4）、日野町（5）、鷺の湯（6）の観測点では落雷による通信機器の故障により欠測状況が続いている。2011年8月～2011年10月の間に、第1図の範囲内（北緯34.8～35.8度、東経132.4～134.6度）で深さ30km以浅でM4以上の地震はない。上記以外で観測点周辺に震度2以上の揺れをもたらした地震は、1)2011年8月1日の23時58分頃発生した駿河湾の地震（M6.2、深さ23km、観測点周辺での震度1-2）である。この地震に対して特に異常な変化はない（野口竜也・香川敬生・西田良平・小泉尚嗣）。

第1図 鳥取気象台（□）と松江気象台（△）および温泉水・地下水観測点（●）の分布。  
1：鳥取温泉， 2：岩井温泉， 3：三朝温泉， 4：奥津温泉， 5：日野町， 6：鷺の湯温泉，  
7：湯谷温泉， 8：吉岡温泉

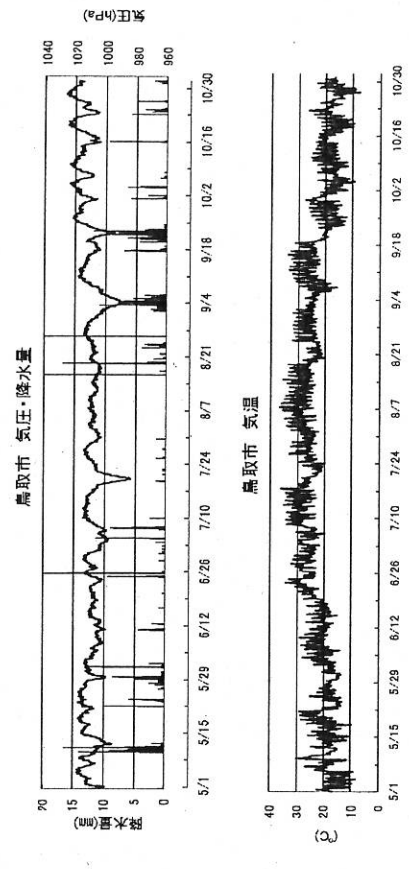




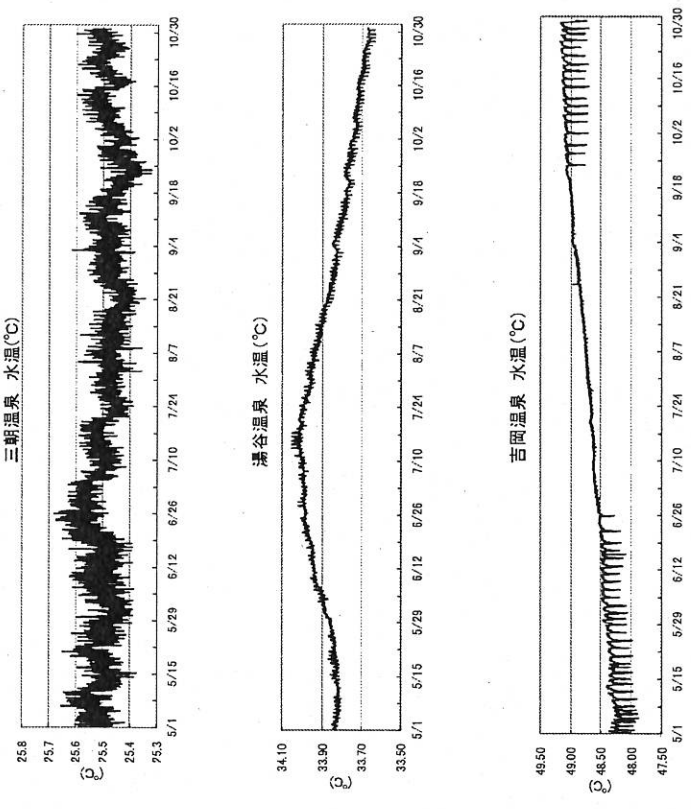
\*2009/03/01より計器の故障により欠損



第2図

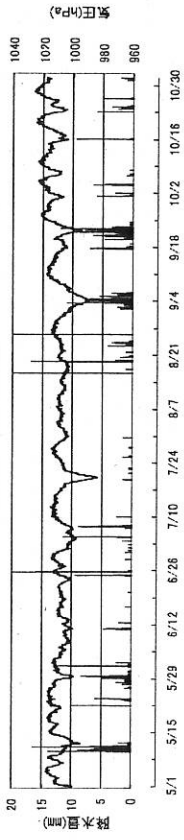


\*2009/04/10より計器の故障により欠損

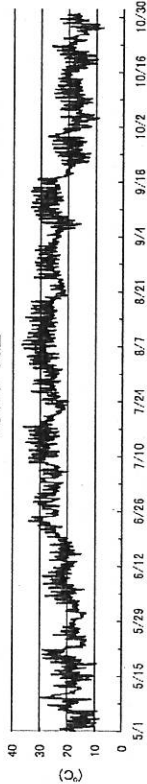


第3図

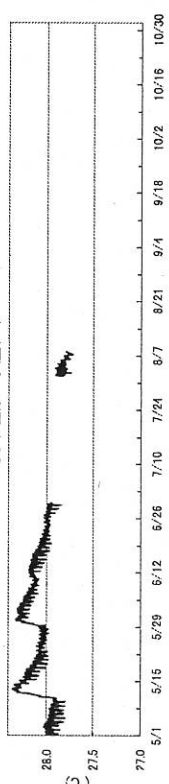
鳥取市 気圧・降水量



鳥取市 気温

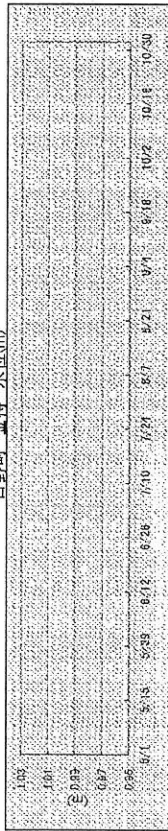


奥津温泉 水温(°C)

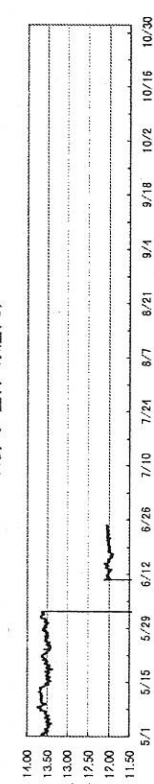


\*2011/7/1より計器故障によりデータ欠損。

日野町 金持 水位(m)



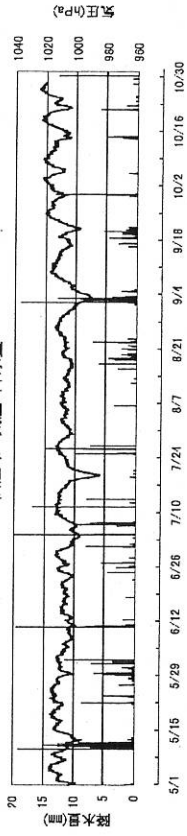
日野町 金持 水温(°C)



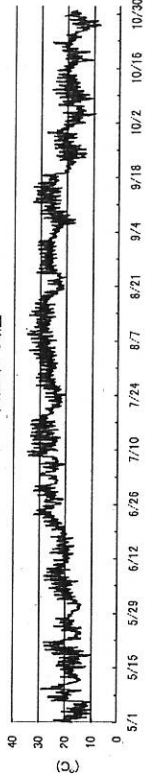
\*水位データ、2010/8/20から、水温データ、2011/6/24から計器故障によりデータ欠損。

第4図

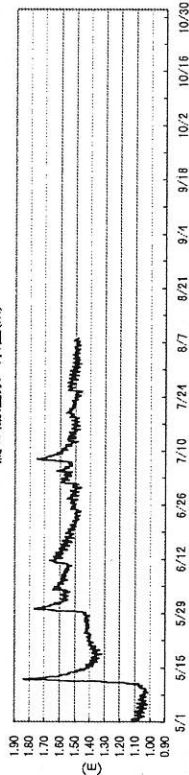
松江市 気圧・降水量



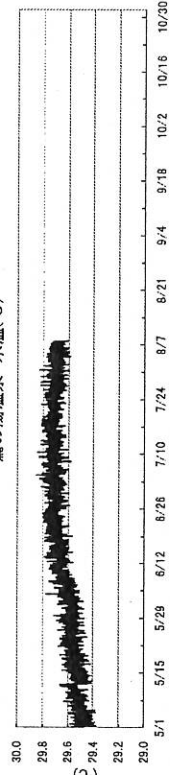
松江市 気温



鷺の湯温泉 水位(m)



鷺の湯温泉 水温(°C)



\*鷺の湯温泉、水位、水温とも計器故障のためデータ欠損。

第5図



産業技術総合研究所(産総研)では、2007年度から東海・紀伊半島・四国の14点で地下水等総合観測施設を順次整備し、地下水・歪等の観測を開始している。既存の3観測点と合わせて、観測点配置図を第1図に示す。

第2～34図には、2011年2月～8月における歪・傾斜・地下水位の1時間値の生データ(上線)と補正值(下線)を示す。歪・傾斜の図において「N120E」などと示してあるのは、歪・傾斜の測定方向が北から120度東方向に回転していることを示す。補正值は、潮汐解析プログラムBAYTAP-G[Tamura et al., 1991]によって、気圧・潮汐・不規則ノイズの影響を除去した結果である。歪・傾斜のグラフについては、直線トレンド(1次トレンド)を除去している。第35～40図には、産総研で決定した、エンベロープ相関法による深部低周波微動の震源の時空間分布および個数を示す。

東海全体(RT0～3)で微動の発生回数が50個/日以上の日を含む期間(その期間については、回数が20個/日以上で活動開始、20個/日未満で活動終了と判断する)については、第2～6図および第31図に灰色網掛けにてその期間を主な活動地域(RT0～3)と共に表示した。紀伊半島全体(RK0～4)で微動の発生回数が50個/日以上の日を含む期間(その期間については、回数が20個/日以上で活動開始、20個/日未満で活動終了と判断する)については、第6～17図および第32図に灰色網掛けにてその期間を主な活動地域(RK0～4)と共に表示した。四国東部(RS4-RS6)の合計で微動の発生回数が25個/日以上の日を含む期間(その期間については、回数が10個/日以上で活動開始、10個/日未満で活動終了と判断する)については、第18～24図および第33図に灰色網掛けにてその期間を主な活動地域(RS4～6)と共に表示した。四国西部(RS0～RS3)の合計で微動の発生回数が100個/日以上の日を含む期間(その期間については、回数が20個/日以上で活動開始、20個/日未満で活動終了と判断する)については、第25～30図および第33図に灰色網掛けにてその期間を主な活動地域(RS0-3)と共に表示した。

2011年より、産総研の歪等の地下水等総合観測網の歪・傾斜計等と、防災科学技術研究所(防災科研)のHi-net高感度加速度計(傾斜計)等との相互データ交換を開始した(第41図)。板場ほか[2011]では、歪計・傾斜計の統合解析による短期的SSE断層モデルの推定手法を開発した。今後、歪観測点の密度が高く、傾斜計のノイズレベルが小さく、比較的規模の大きい短期的SSEが発生する、三重県中部において、両者で有意な変化が観測されたイベントについては、原則として統合解析の結果を報告するほか、準備が整い次第対象地域を広げていく予定である。断層モデル推定手法については、解析結果の後に示す。

2011年9月12日～15日午前にかけて、三重県中部において活発な深部低周波微動活動が観測され(第42図)、産総研の歪3観測点、傾斜1観測点と、防災科研の傾斜5観測点において変化が観測された(第43図)。広域を対象に断層面の大きさを固定した1段階目での解析結果を第44図に示す。歪のみの場合は微動域の南東端付近に残差が小さい領域が、傾斜のみおよび統合後の場合は微動域全体に残差が小さい領域が広がっている。この領域周辺を対象にした詳細な2段階目の解析で、残差最小の断層面を推定した結果を第45図に示す。統合解析では、微動域をやや広めに囲う断層面が推定された。すべり量は5mm、Mwは5.8と推定された。

2011年10月28日午後～30日にかけて、奈良県南部において活発な深部低周波微動が観測された(第46図)。28日昼頃～29日昼頃までは南西側部分のみの小規模な活動であったが、29日昼頃からは北東側に広がって活発化した。周辺の歪観測点において、微動活動活発化に対応した歪変化が観測された(第47図)。これらの観測結果を用いて29日12時～31日0時における短期的SSEの断層モデル推定を行った。広域を対象に断層面の大きさを固定した1段階目の解析では、微動の中心付近に断層面を仮定した場合に、歪の観測値と計算値(期待値)の残差が小さくなる(第48図)。この領域周辺を対象にした詳細な2段階目の解析で、残差最小の断層面を推定したところ、微動域を含み、西側および北側(深部側)に広い断層面が推定された(第49図)。この領域の東側の三重県中部～奈良県東部県境付近では、上述の通り約1.5ヶ月前に短期的SSEが発生したと推定されている。この期間に推定された断層モデルを第49図に追記している。なお、すべり量は3mm、Mwは5.4と推定された。

紀北海山では水平歪3(N12E)において、伸び→縮みの大きな変化が認められるが、他の3成分では認められない。水平4成分の歪計は鉛直方向に並んでおり、それぞれ深度が異なる(第50図)。センサー近傍でローカルな変位(例えばクラック中の間隙水圧変化)が生じた場合、その位置の違いから、4成分の整合性が悪くなる。一方で、歪計から十分に離れた場所をソースとする地殻変動が生じた場合(例えば短期的SSE)、その位置の違いは無視できるため、4成分は整合的な変化となる。イベント前半期間だけを対象にすると4成分の整合性は悪く、この水平歪3(N12E)の変化はローカルな影響を受けたものか、計器内部に起因するものであると推測できる(第51、52図)。一方で、イベント全期間で見ると、4成分の整合性は比較的良好(第52図)。そのため、全期間で見ると、ローカルな影響はキャンセルされて無視できるレベルと判断として、解析の対象からは外さなかった。

## 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・傾斜2成分の記録を用いる。歪・傾斜ともに、観測波形からBAYTAP-G [Tamura et al., 1991]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で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。断層面は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、推定された結果の一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(=残差が小さい領域)付近で、位置及びすべり量に加えて、断層面の幅および長さを10～50km(奈良県東部、三重県中部～北部のイベントでは長さのみ10～80km)、それぞれ5km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2点以下の場合や、断層面と観測点配置の関係によっては一意性が低くなるので注意が必要である。なお、異種間測値を統合して解析するため、各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 $2\sigma$ 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。

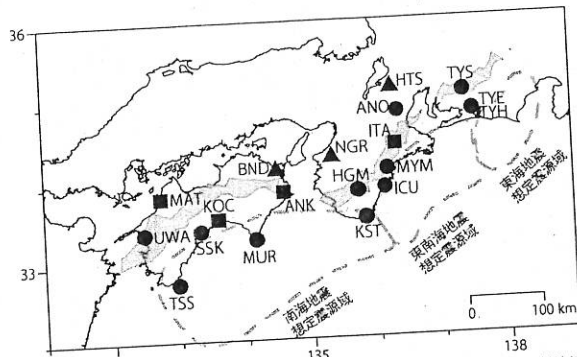
## 謝辞

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。ここに記して感謝します。

(板場智史・北川有一・小泉尚嗣・高橋誠・松本則夫・武田直人)

## 参考文献

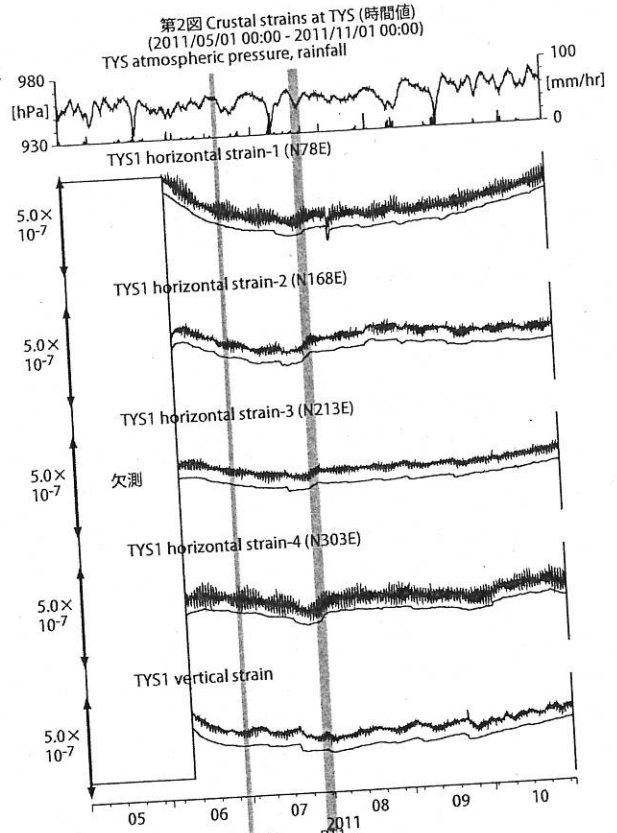
- 板場智史, 松本則夫, 北川有一, 小泉尚嗣, 木村武志, 木村尚紀, 廣瀬仁, 針生義勝, 歪・傾斜統合解析による短期的SSE断層モデルの推定, *日本地震学会*, 2011年度秋期大会, 静岡, 10月, 2011.
- Okada, Y., Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **82**, 1018-1040, 1992.
- Tamura, Y., T. Sato, M. Ooe and M. Ishiguro, A procedure for tidal analysis with a Bayesian information criterion, *Geophys. J. Int.*, **104**, 507-516, 1991.
- 弘瀬冬樹, 中島淳一, 長谷川昭, 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*, **60**, 1-20, 2007.
- Matsumoto, N., O. Kamigaichi, Y. Kitagawa, S. Itaba, and N. Koizumi, 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, 2010.



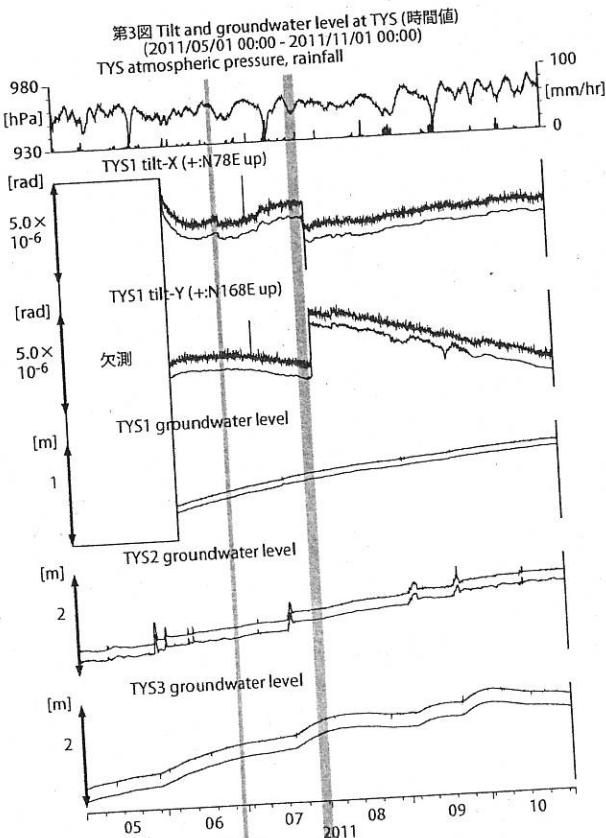
第1図: 地下水位観測点の分布図 (●・■・▲)。●はデジタル方式の石井式歪計・傾斜計を併設している新規観測点、■はGladwin式歪計・ミットヨ式傾斜計を併設している新規観測点、▲はアログ方式の石井式歪計を併設している既存の観測点。灰色の領域は短期的SSE及び深部低周波微動が定期的に発生していると考えられる地域。

第1表: 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。

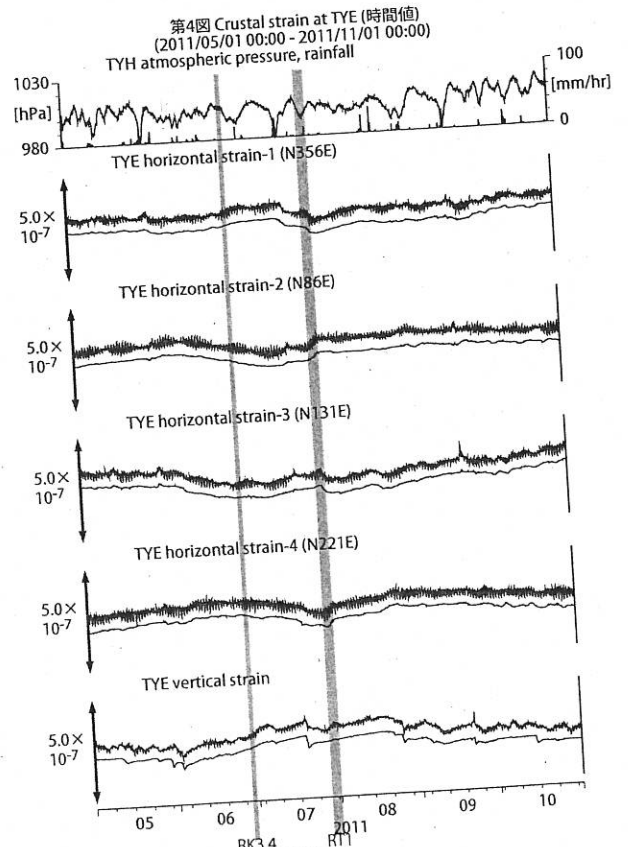
3文字コード (変更無し)	旧名称	新名称	新名称ふりがな	市区町村	図
TYS	豊田下山	豊田神原	とよたかんの	愛知県豊田市	2,3
TYE	豊橋東	豊橋多米	とよはしため	愛知県豊橋市	4,5
HTS	桑狂	桑狂善之庄	あししょうごのしょう	滋賀県愛知郡愛荘町	6
ANO	安濃	津安濃	つあのう	三重県津市	7,8
ITA	飯高赤橋	松原飯高	まつせかいいたか	三重県松阪市	9,10
MYM	海山	紀北海山	きほくみやま	三重県北牟婁郡紀北町	11,12
ICU	井内浦	野野崎	ののさき	三重県熊野市	13,14
HGM	本宮三越	田辺本宮	たなべほんぐう	和歌山県田辺市	15,16
KST	串本津南	串本津南	くしもつが	和歌山県東牟婁郡串本町	17,18
NGR	根来	岩出真坂本	いわでまがしきかもと	和歌山県岩出市	19
BND	板東	鳴門大坂	なるとおおさき	徳島県鳴門市	20
ANK	阿南桑野	阿南桑野	あなんくわの	徳島県阿南市	21,22
MUR	瀬戸	瀬戸岬	せのつみ	高知県瀬戸市	23,24
KOC	高知市	高知五台山	こうちごだいせん	高知県高知市	25,26
SSK	須崎	須崎大谷	すさきおおたに	高知県須崎市	27,28
TSS	土佐清水	土佐清水松尾	とさしみずまつお	高知県土佐清水市	29,30
UWA	宇和	西宇和	せいようわ	愛媛県西予市	31,32
MAT	松山	松山南江戸	まつやまみなみえど	愛媛県松山市	33,34



Strainmeter depth = 586.7-588.1 [GL-m]  
上: 1次トレンドを除去  
下: BAYTAP-Gi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

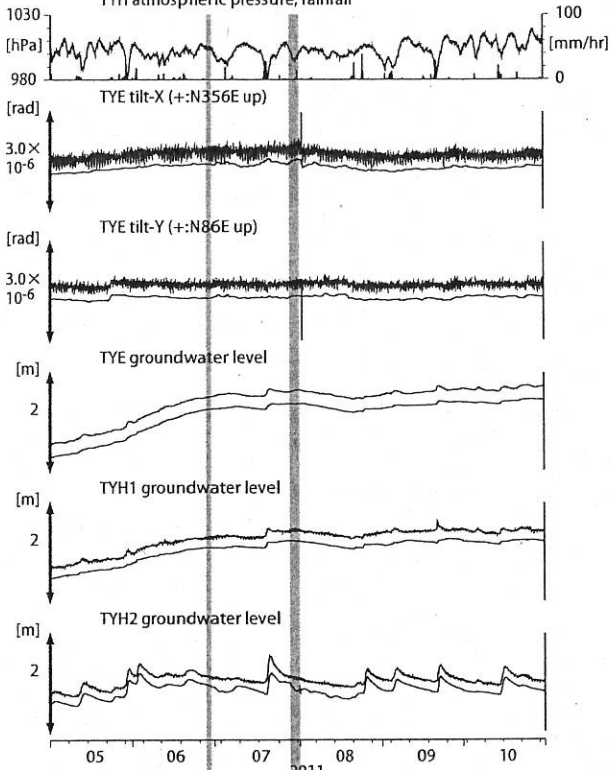


Strainmeter depth = 585.9-586.7 [GL-m]  
Screen depth = 404.8-426.7 [GL-m]  
Screen depth = 148.8-154.3 [GL-m]  
Screen depth = 26.8-32.3 [GL-m]  
1次トレンド除去  
AP-Giにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分を除去、tiltは1次トレンドも除去



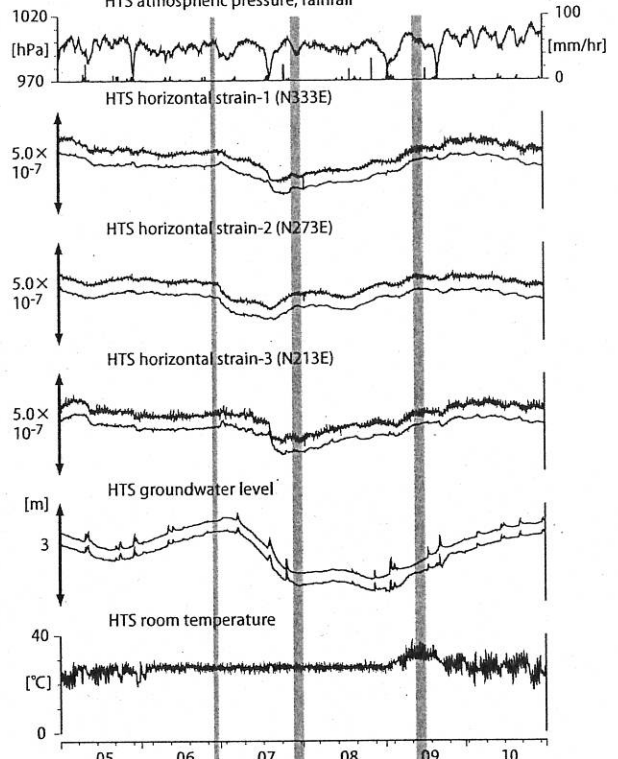
Strainmeter depth = 266.5-267.9 [GL-m]  
上: 1次トレンドを除去  
下: BAYTAP-Giにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分を除去後、1次トレンドも除去

第5図 Tilt and groundwater level at TYE and TYH (時間値)  
(2011/05/01 00:00 - 2011/11/01 00:00)



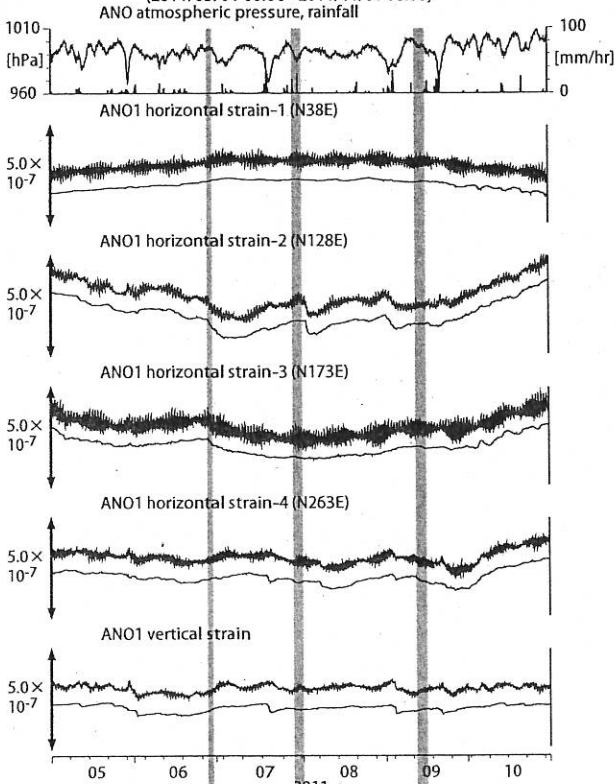
TYH atmospheric pressure, rainfall  
Tiltmeter depth = 265.6-266.5 [GL-m]  
TYE : Screen depth = 185.9-207.8 [GL-m]  
TYH1 : Screen depth = 178.6-200.4 [GL-m]  
TYH2 : Screen depth = 133.7-150.0 [GL-m]  
上: tiltは1次トレンドを除去  
下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分を除去、tiltは1次トレンドも除去

第6図 Crustal strains and groundwater level at HTS (時間値)  
(2011/05/01 00:00 - 2011/11/01 00:00)



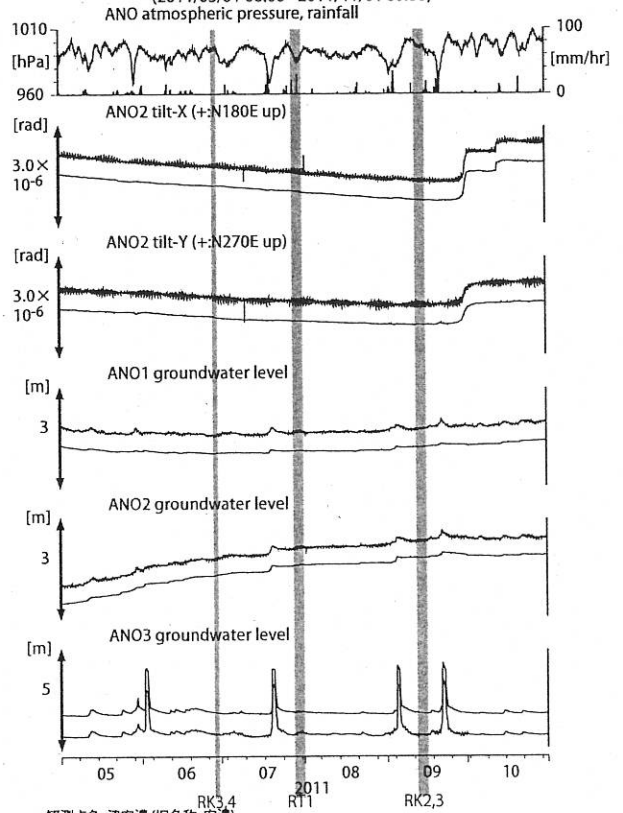
HTS atmospheric pressure, rainfall  
Strainmeter depth = 433.5-436.5 [GL-m]  
Screen depth = 338.3-360.1 [GL-m]  
上: strainは1次トレンドを除去  
下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分を除去後、strainは1次トレンドも除去

第7図 Crustal strains at ANO (時間値)  
(2011/05/01 00:00 - 2011/11/01 00:00)

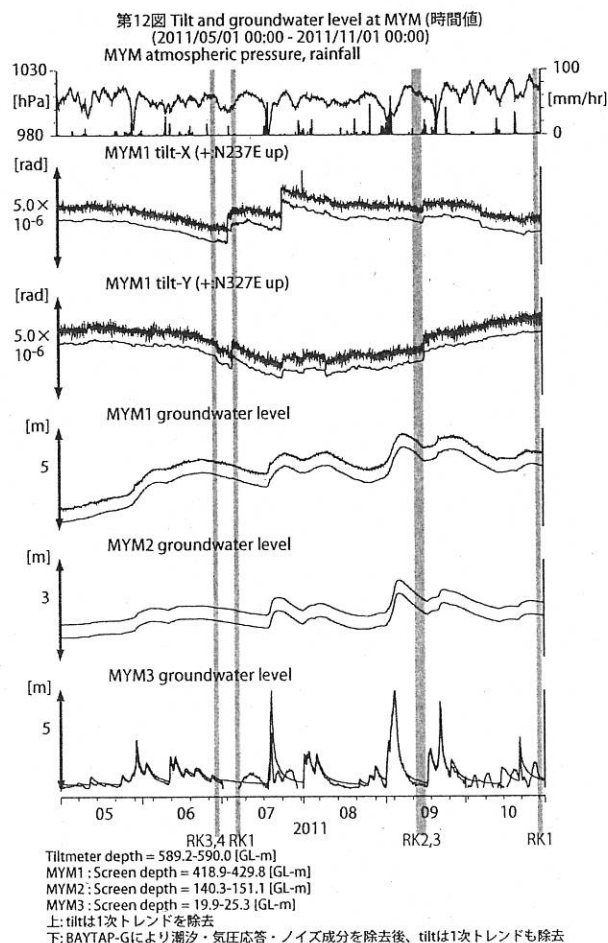
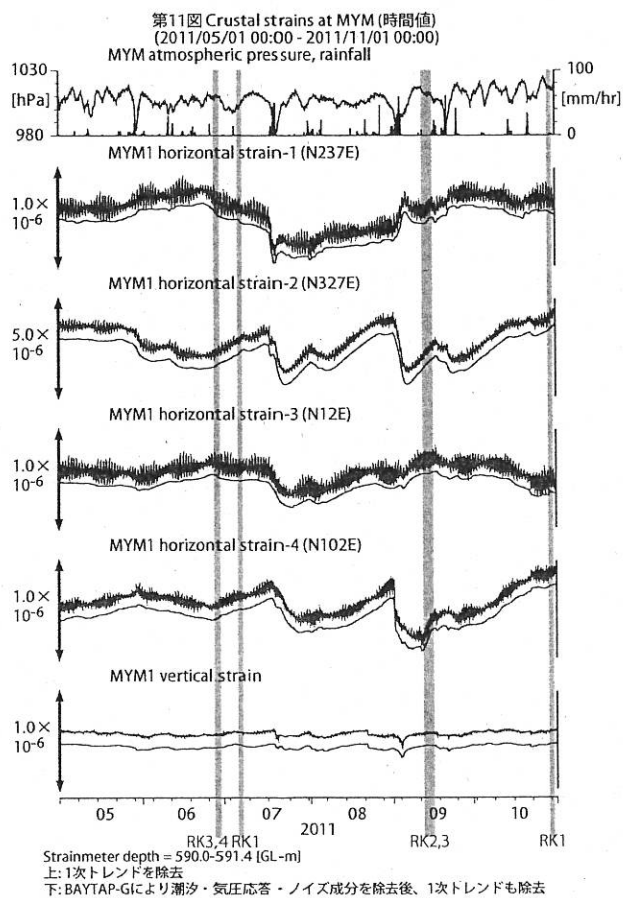
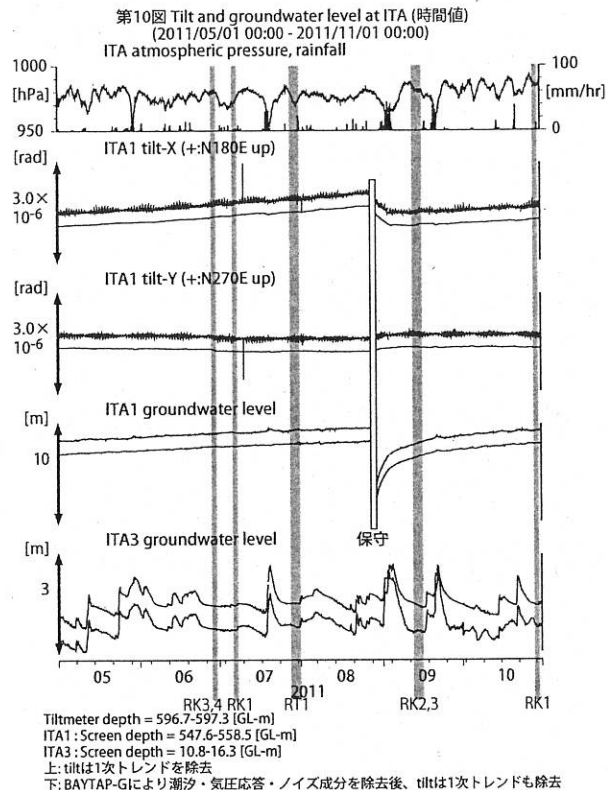
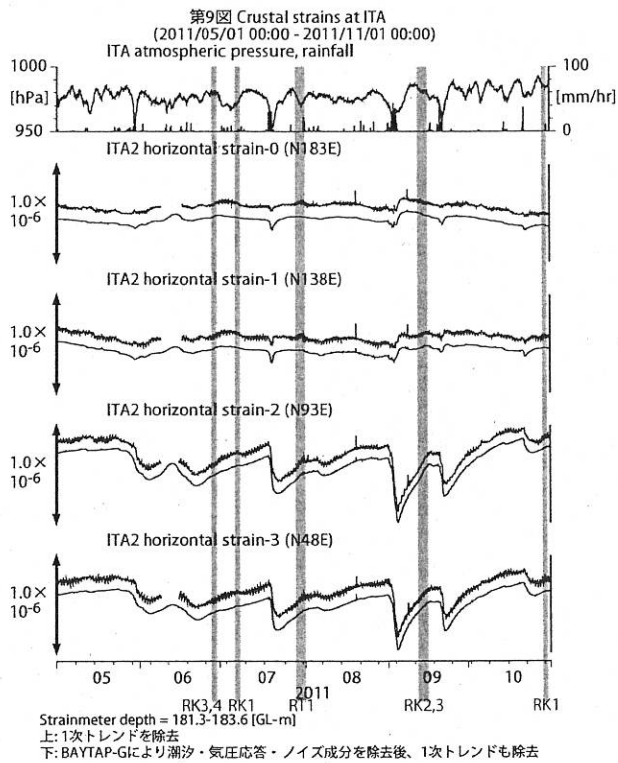


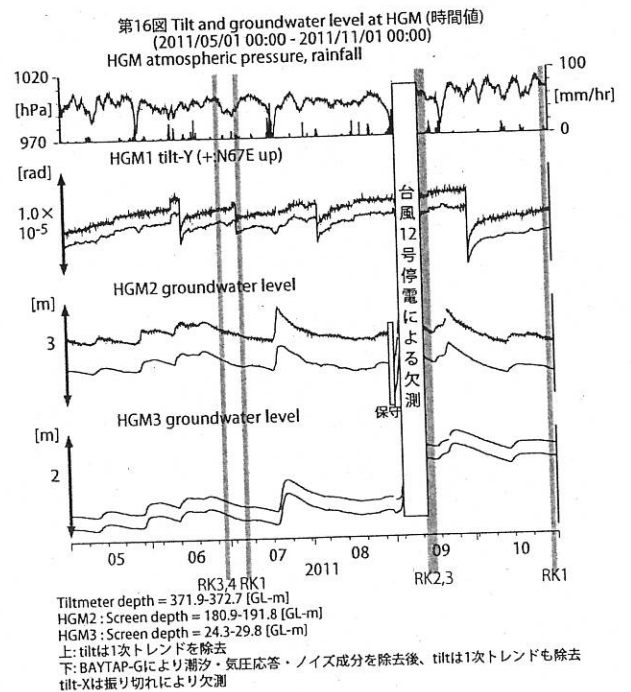
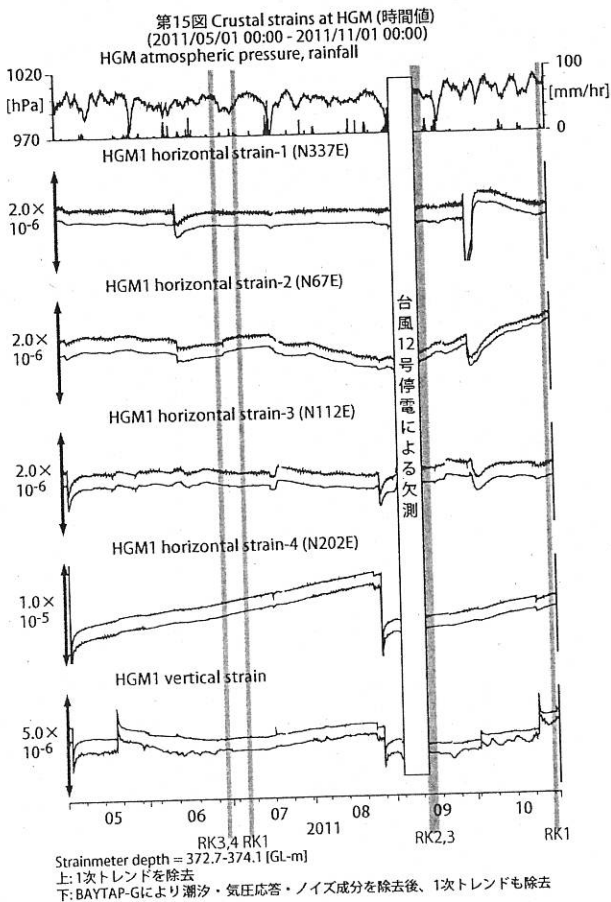
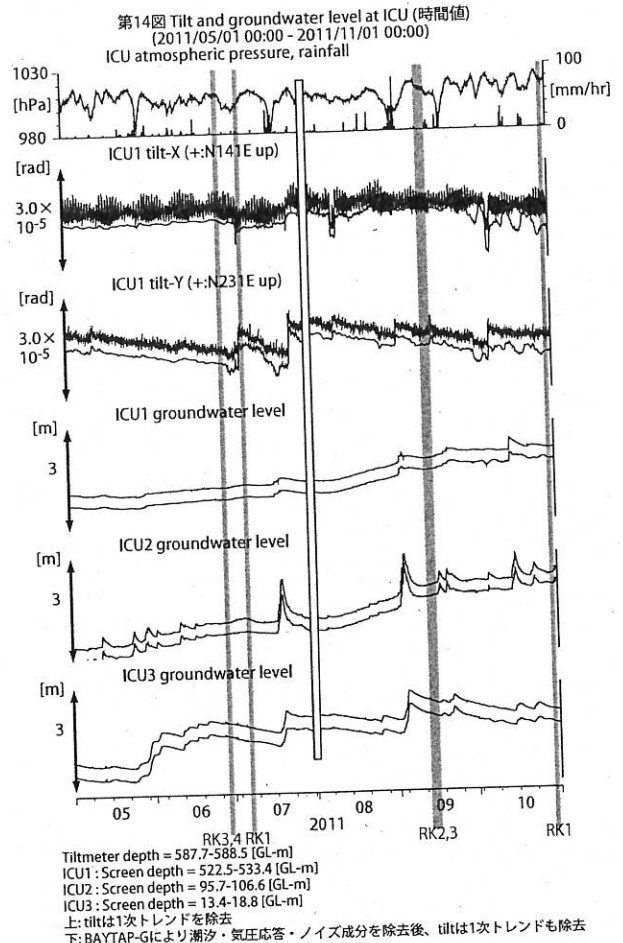
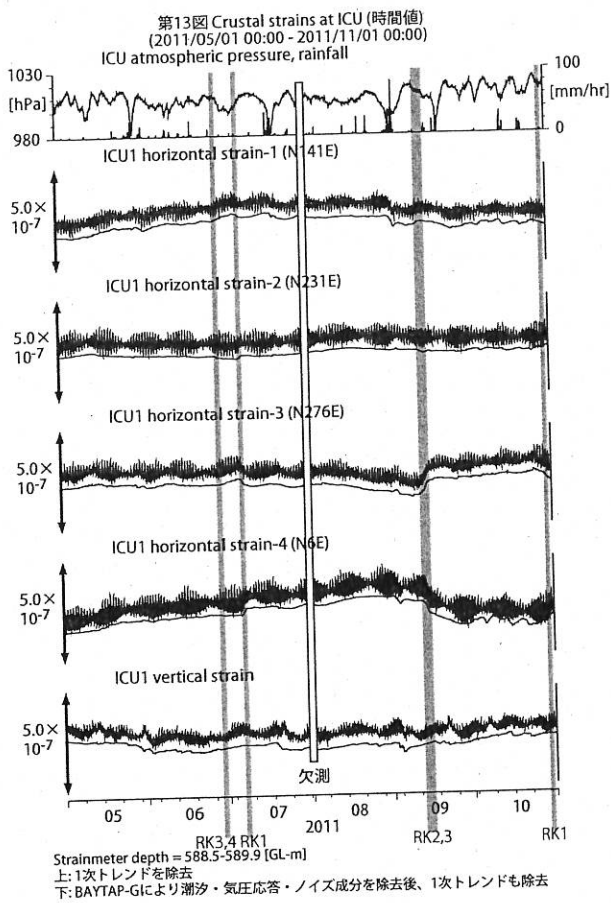
ANO atmospheric pressure, rainfall  
観測点名: 津安濃 (旧名称: 安濃)  
Strainmeter depth = 588.9-590.3 [GL-m]  
上: 1次トレンドを除去  
下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分を除去後、1次トレンドも除去

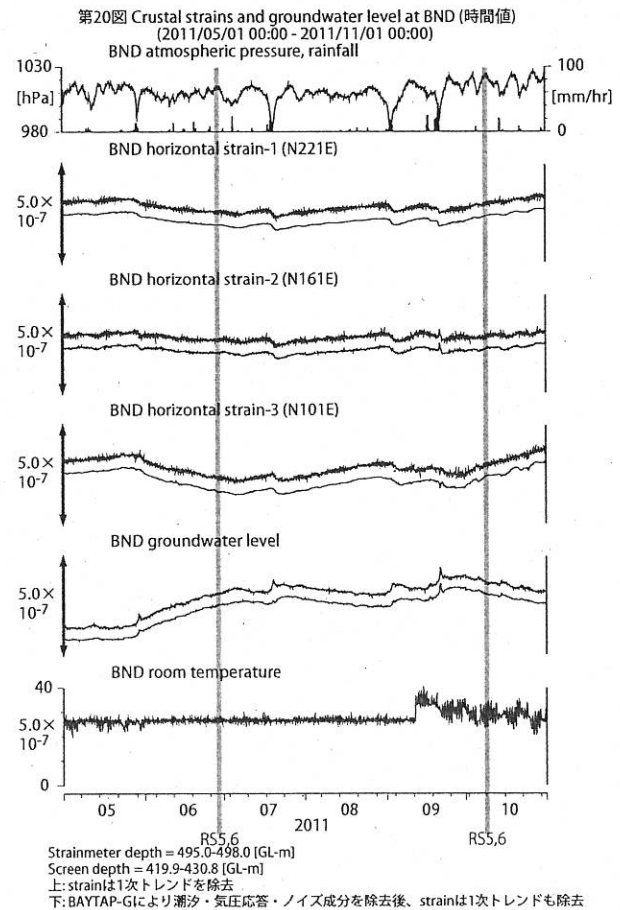
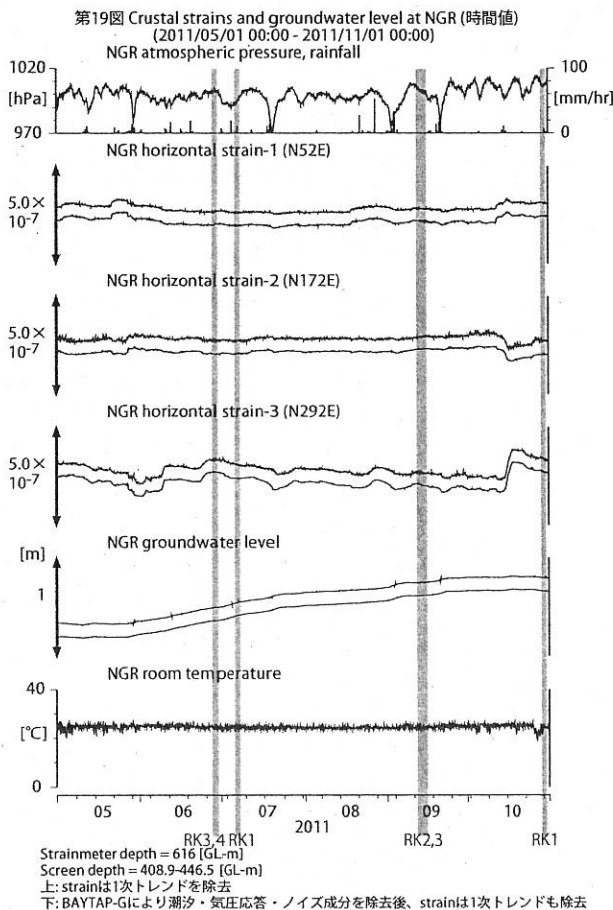
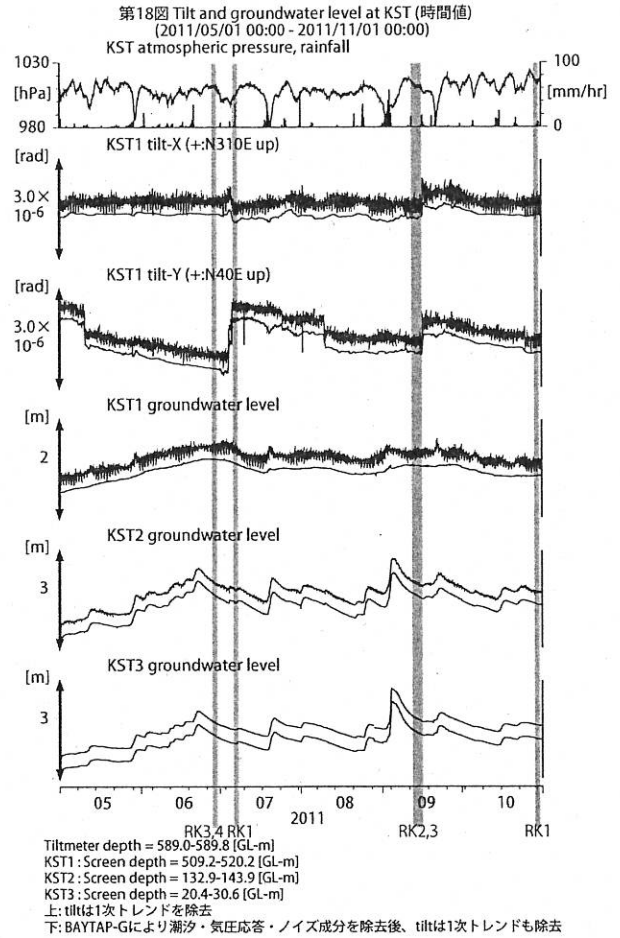
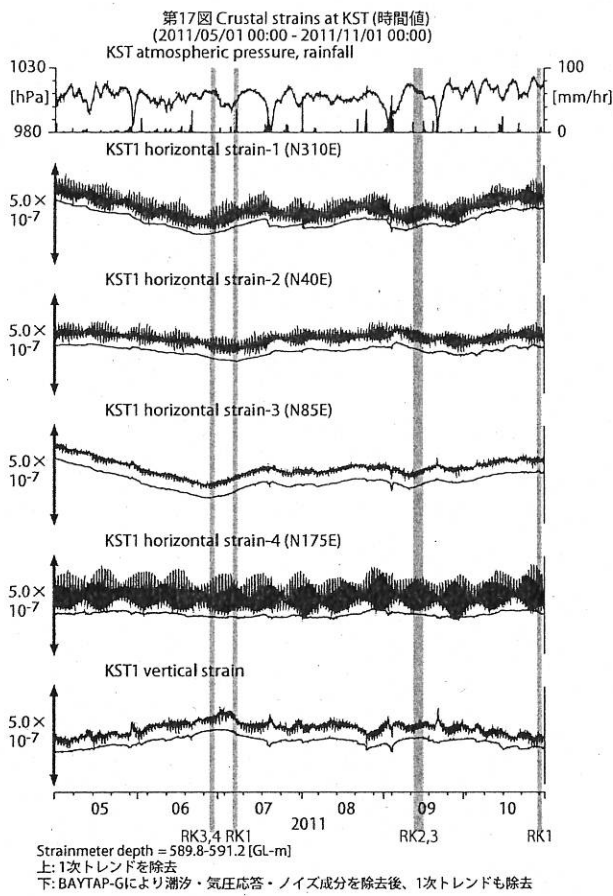
第8図 Tilt and groundwater level at ANO (時間値)  
(2011/05/01 00:00 - 2011/11/01 00:00)

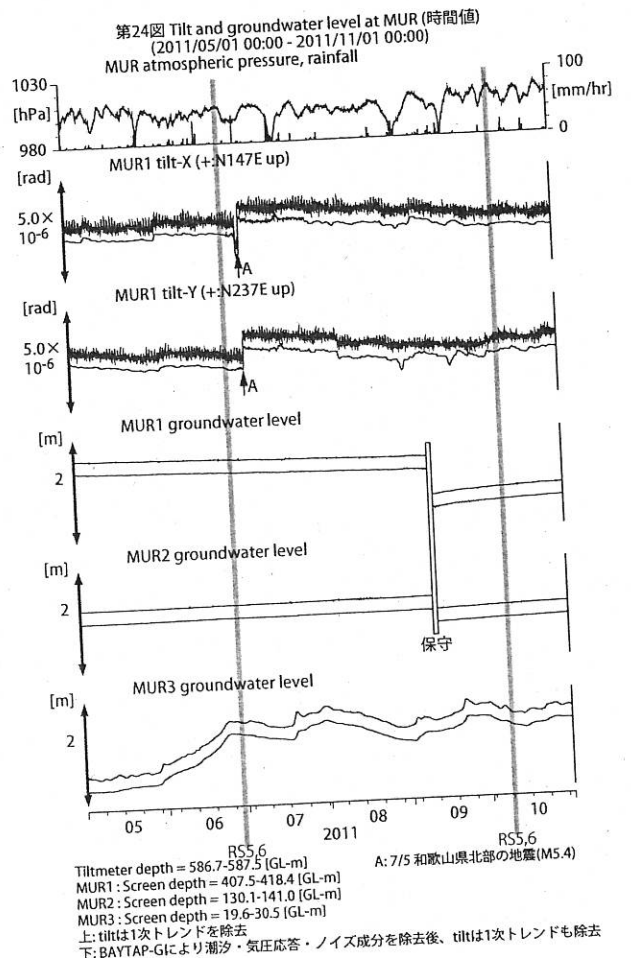
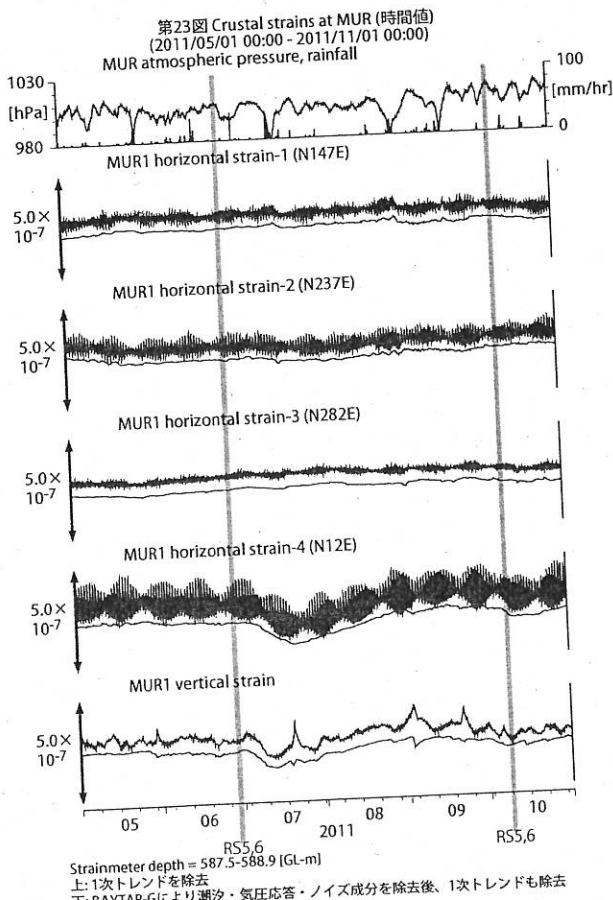
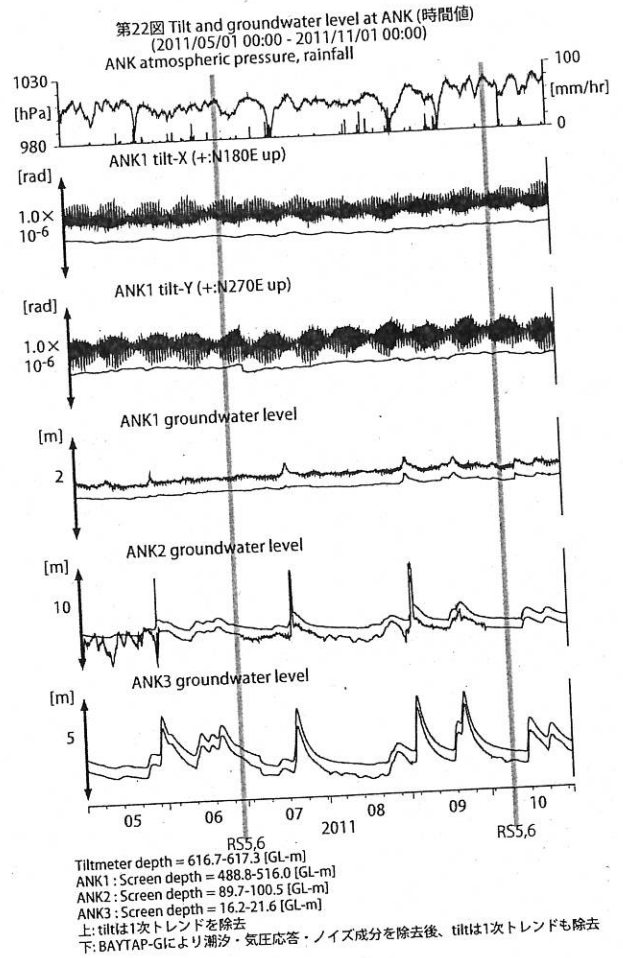
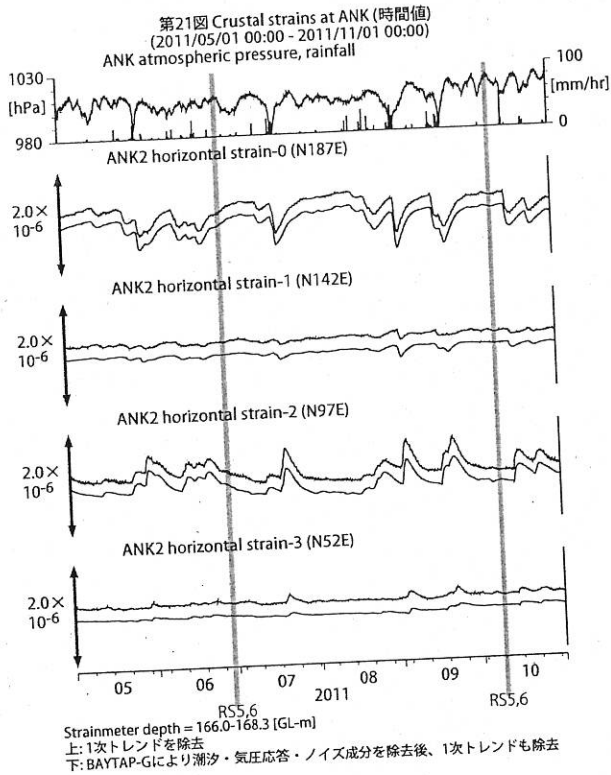


ANO atmospheric pressure, rainfall  
観測点名: 津安濃 (旧名称: 安濃)  
Tiltmeter depth = 236.6-237.3 [GL-m]  
ANO1 : Screen depth = 502.7-513.6 [GL-m]  
ANO2 : Screen depth = 197.5-208.5 [GL-m]  
ANO3 : Screen depth = 12.0-22.9 [GL-m]  
上: tiltは1次トレンド除去  
下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分を除去、tiltは1次トレンドも除去

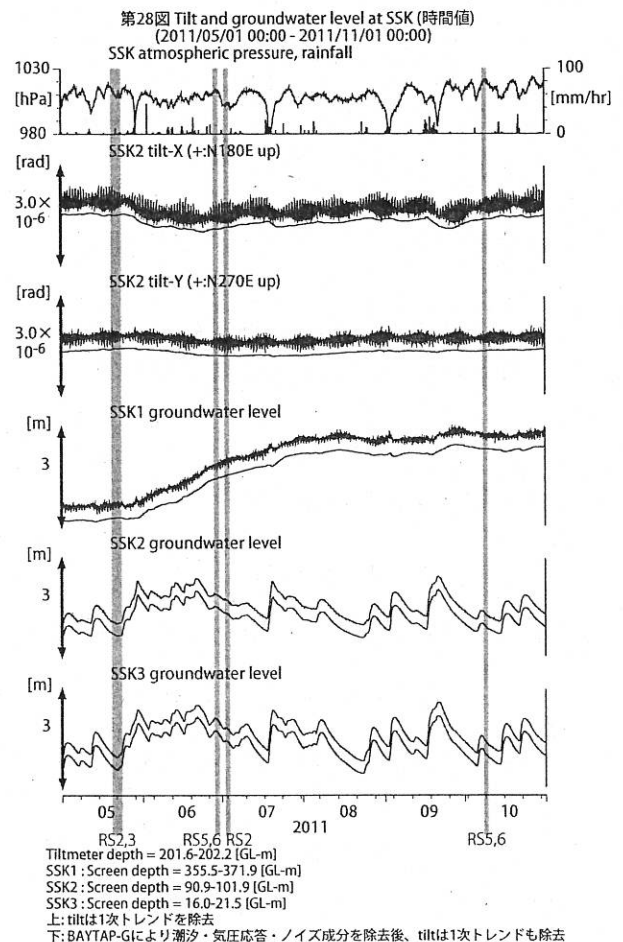
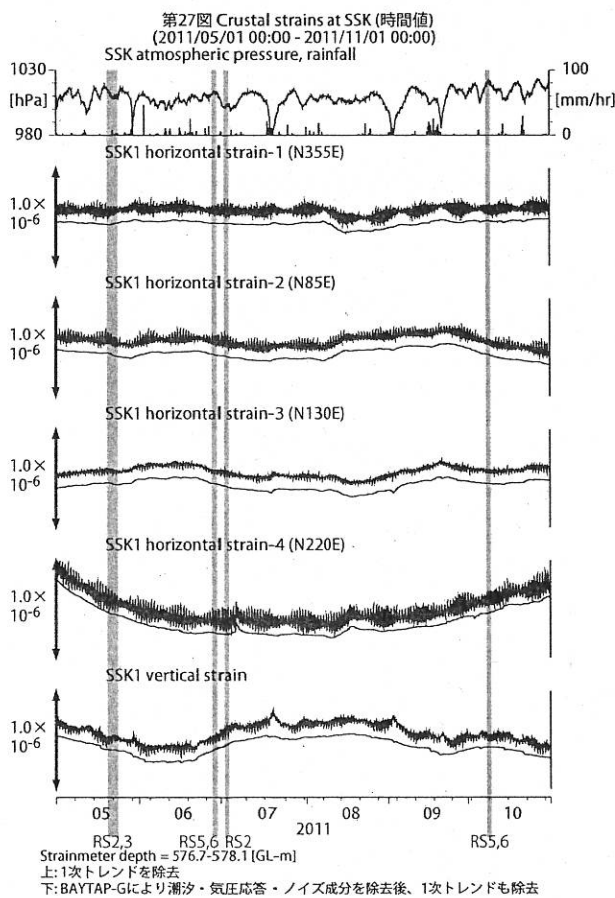
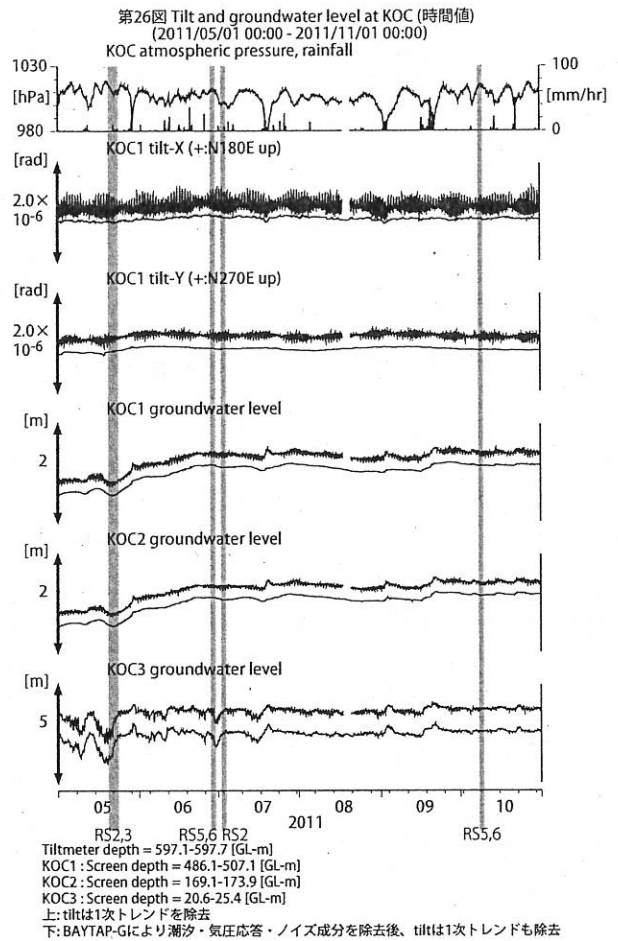
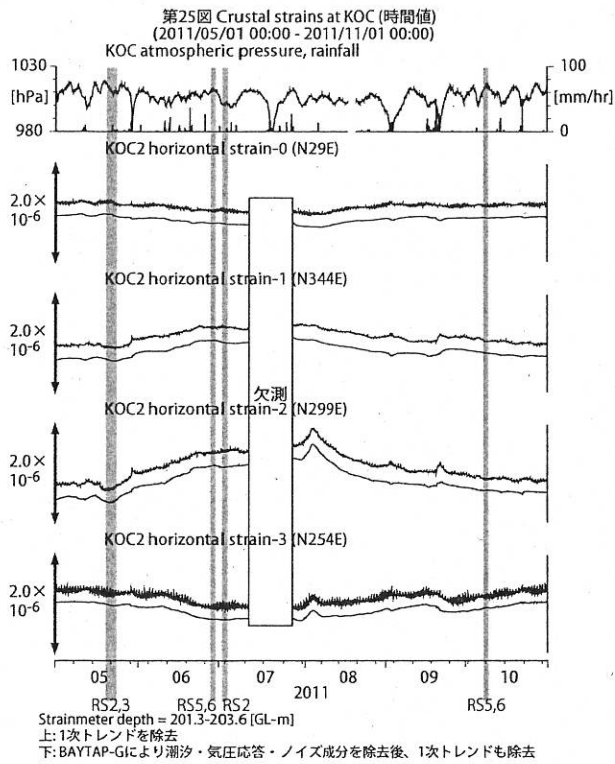


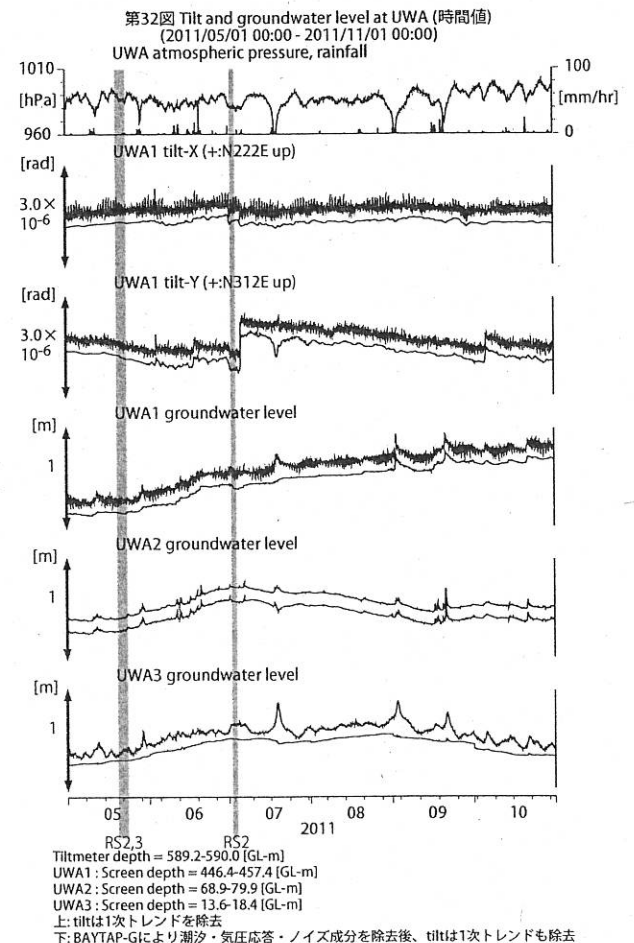
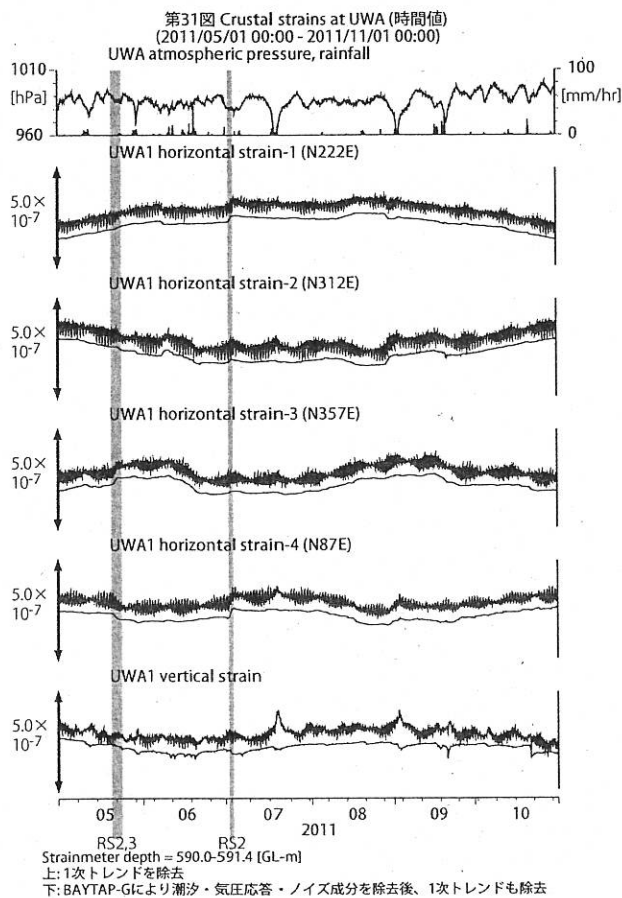
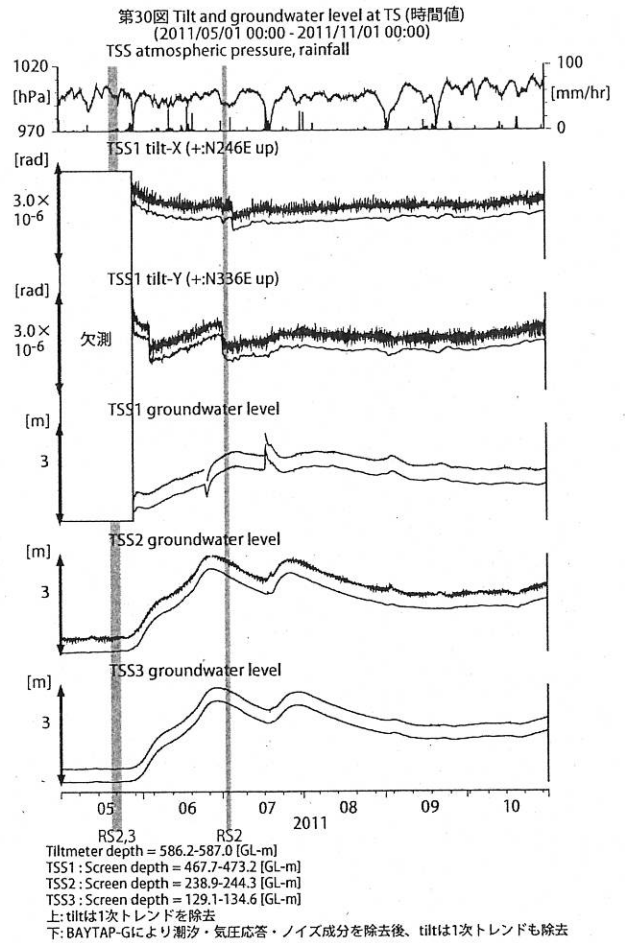
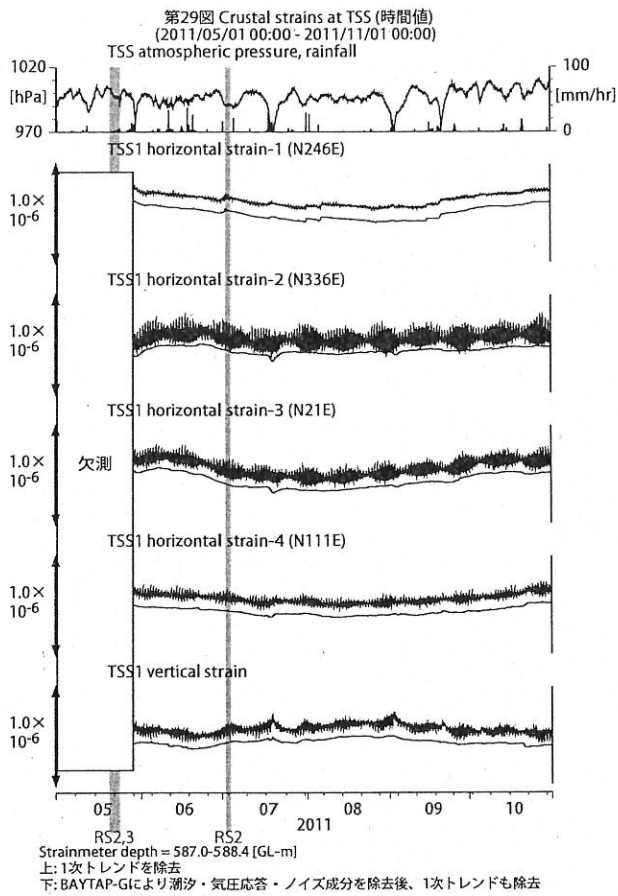


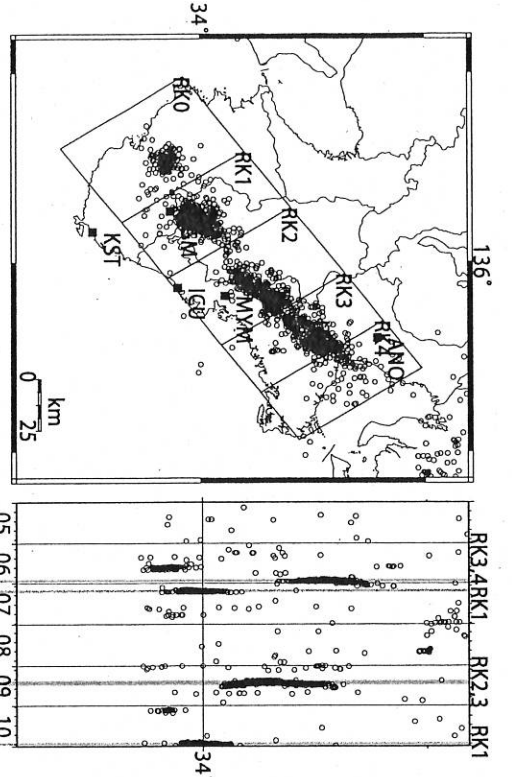






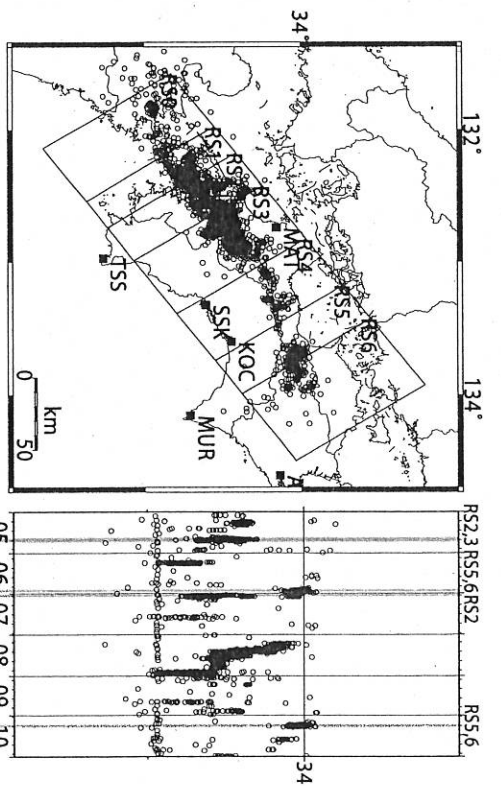
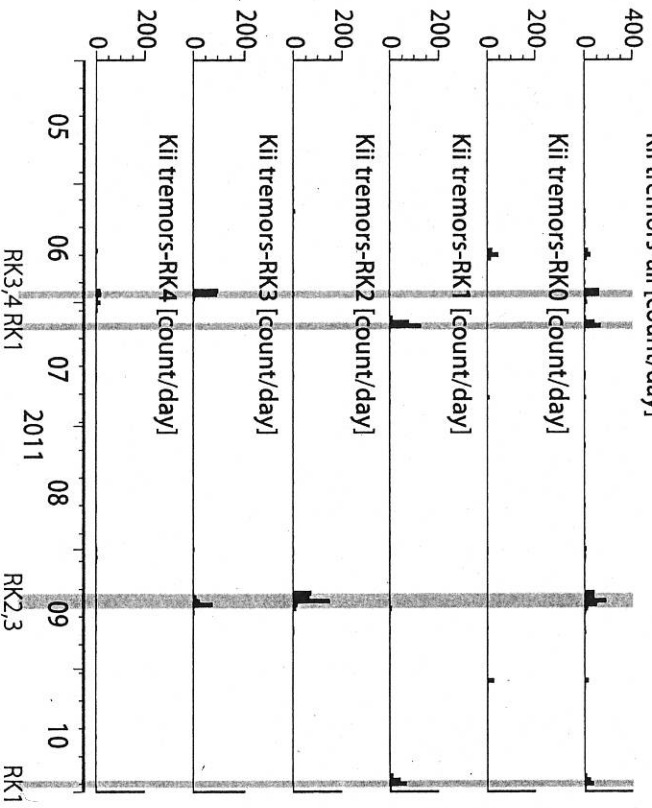






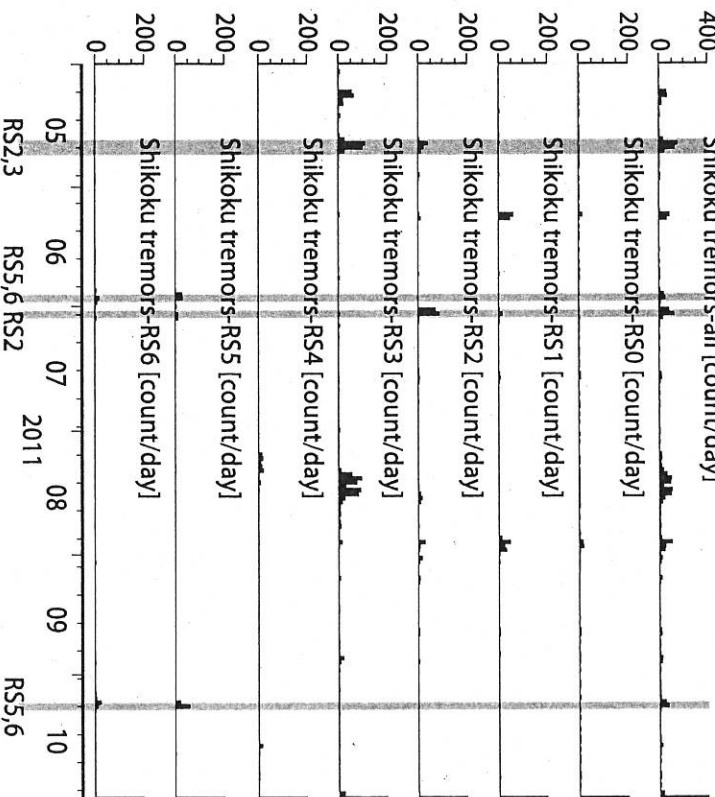
第37図 紀伊半島における深部(低周波)微動の時空間分布図(産総研による決定)

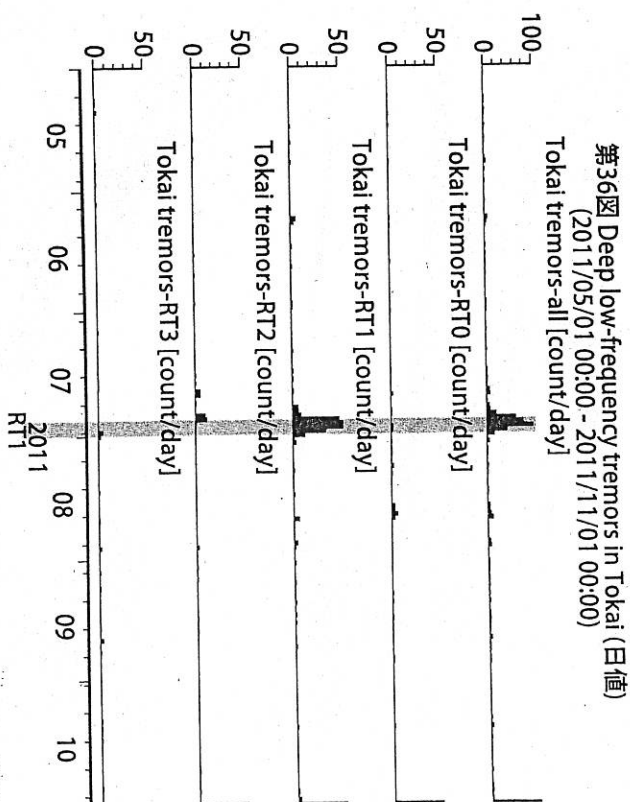
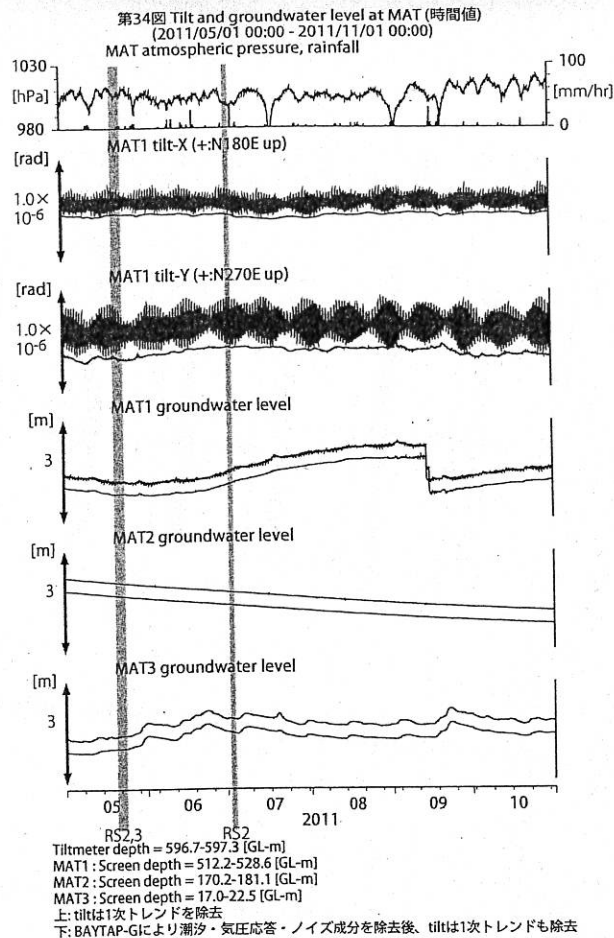
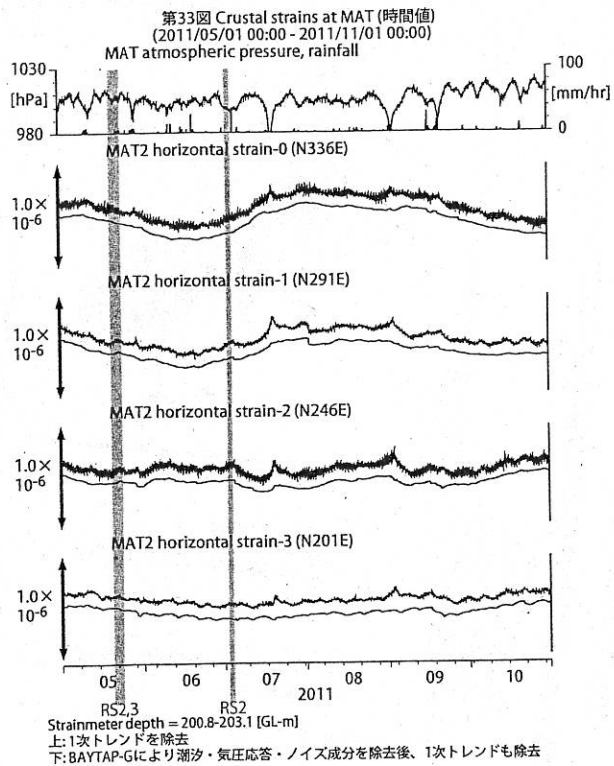
第38図 Deep low-frequency tremors in Kii Peninsula (日値)  
(2011/05/01 00:00 - 2011/11/01 00:00)



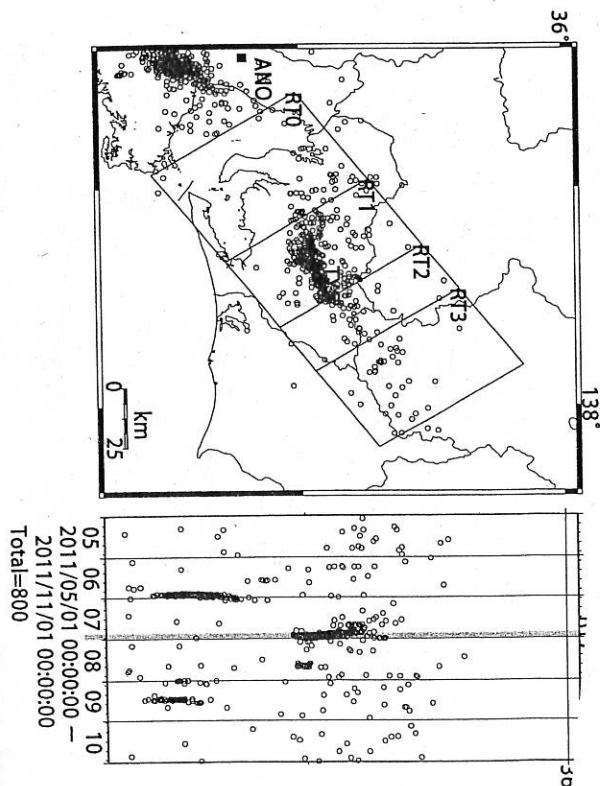
第39図 四国地方における深部(低周波)微動の時空間分布図(産総研による決定)

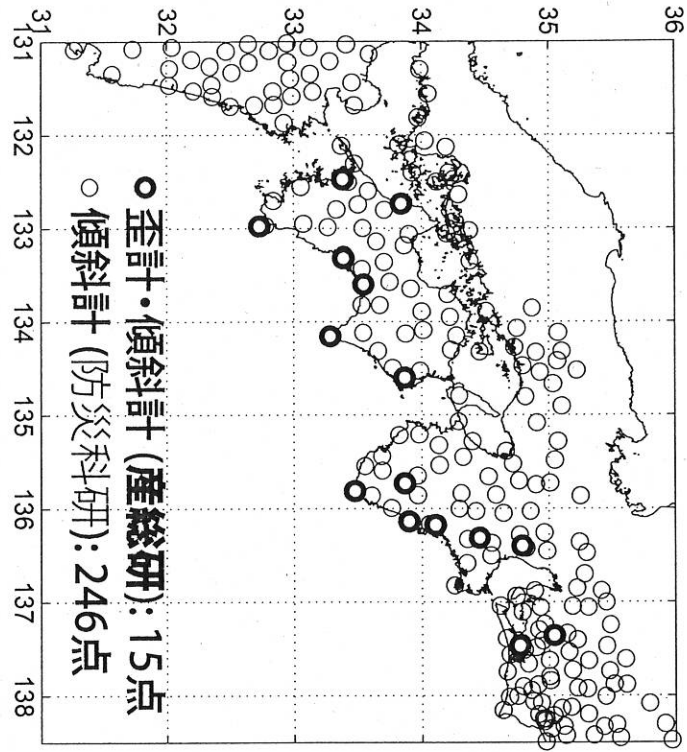
第40図 Deep low-frequency tremors in Shikoku (日値)  
(2011/05/01 00:00 - 2011/11/01 00:00)



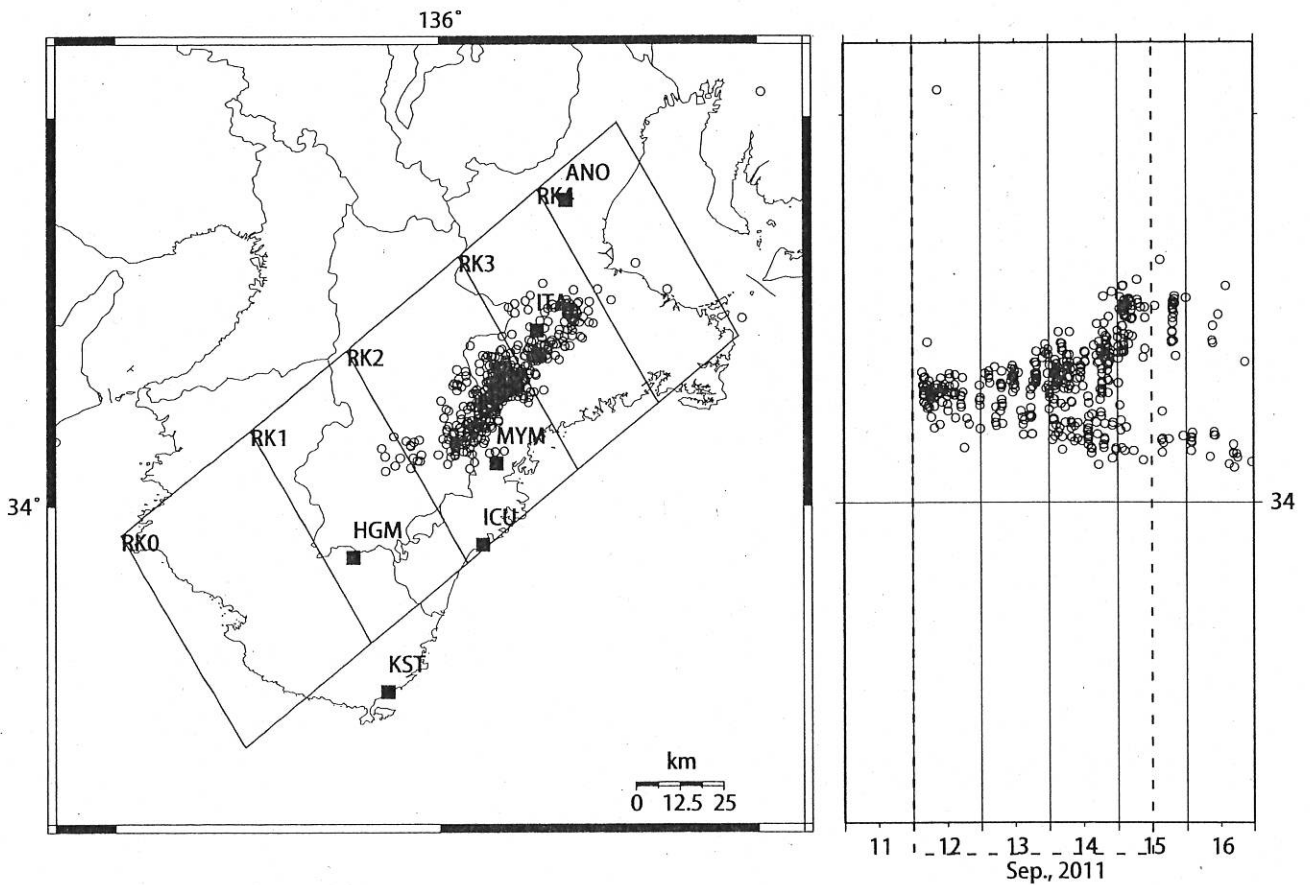


第35図 東海地方における深部低周波微動の時空間分布図(産総研による決定)



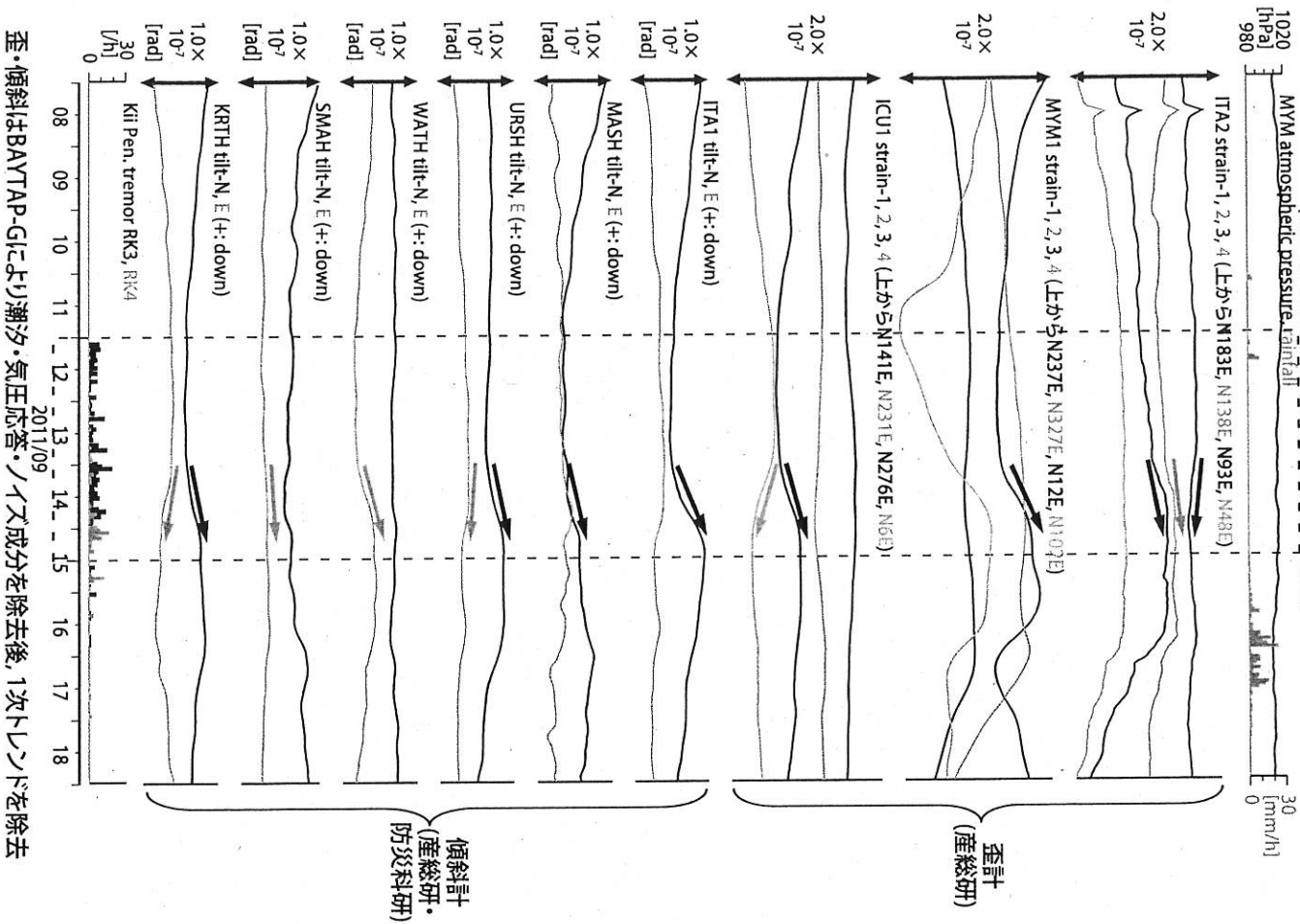


第41図:相互データ交換を行っている、産総研および防災科研の観測点位置図(東海・紀伊半島・四国およびその周辺を抜粋)。産総研の観測点には歪計および傾斜計が、防災科研の観測点には傾斜計がそれぞれ設置されている。

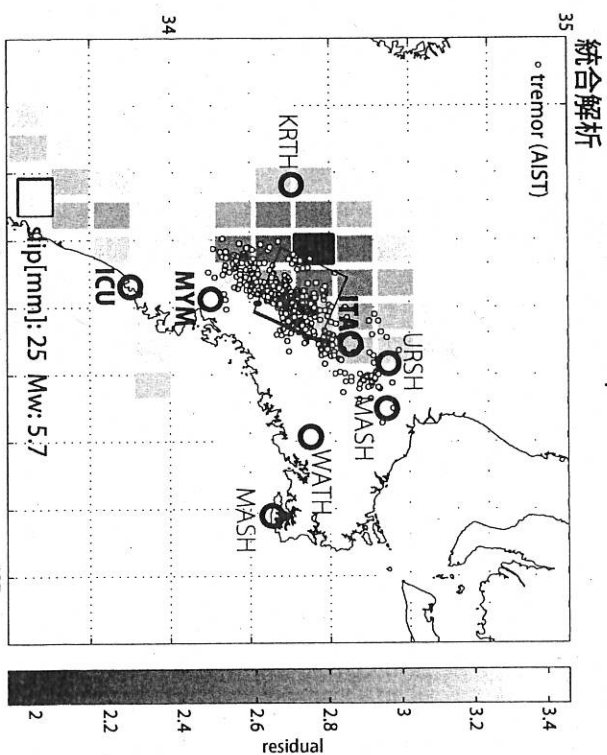
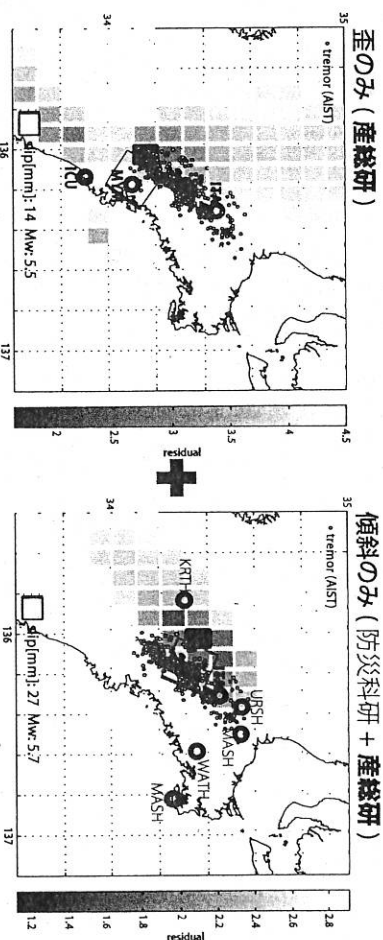


第42図: 2011/9/11 0:00 - 9/17 0:00 における紀伊半島の深部低周波微動の時空間分布図。エンベロープ相関法により決定。

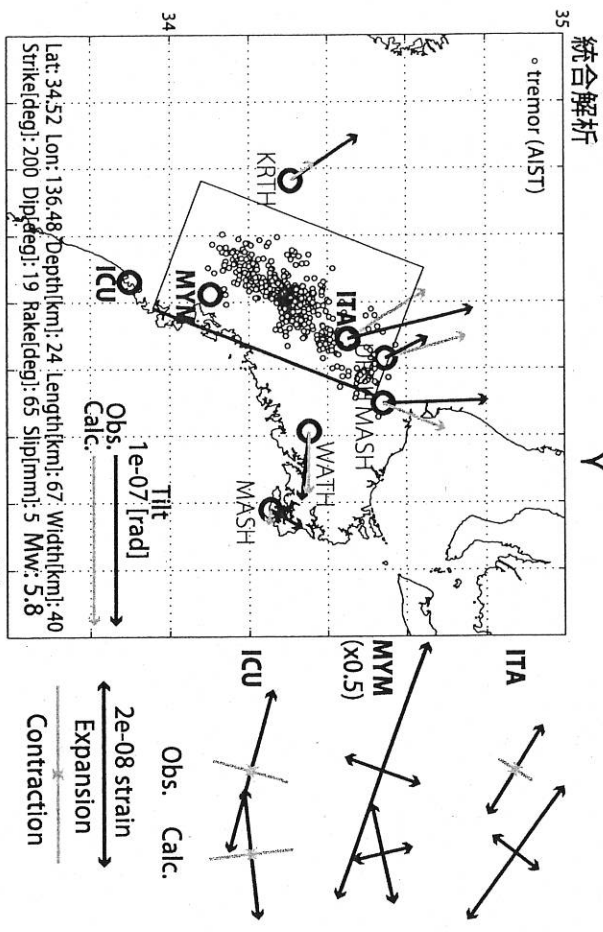
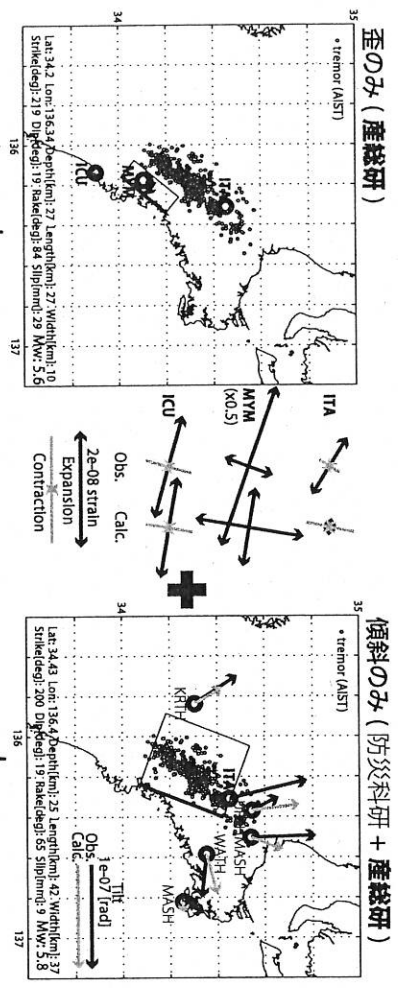
第43図 紀伊半島における歪・傾斜観測結果 (時間値)  
(2011/09/08 00:00 - 2011/09/19 00:00)



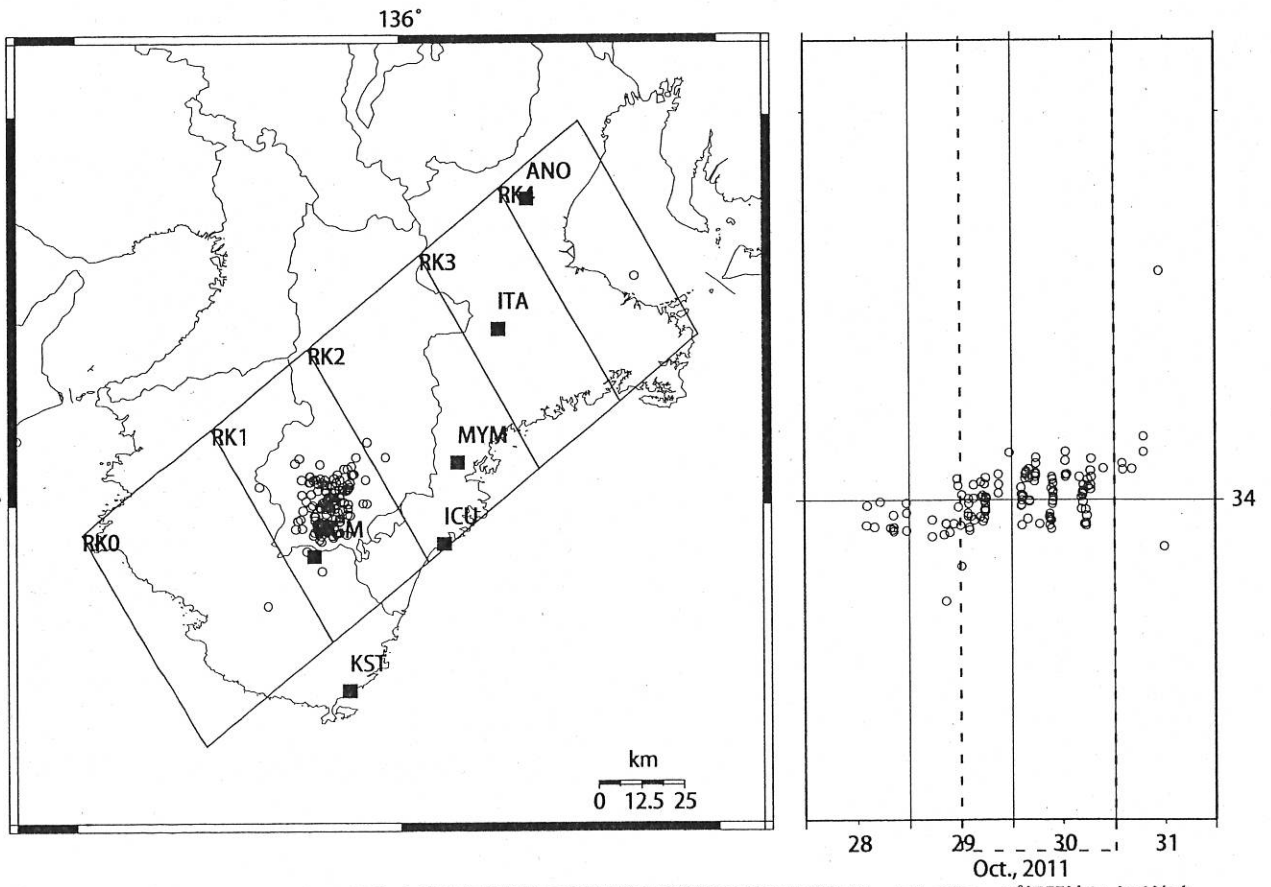
歪・傾斜はBAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分を除去後、1次トレンドを除去



第44図: プレート境界面上のバッチ (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。小さい丸印は産総研による深部低周波微動震央。バッチサイズは20×20km、すべり量は1-100mmで可変(1mm間隔)表示している。グリッドは断層面下端中央の位置を示す。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このバッチのすべり量、Mwを下部に示している。太黒丸は計算に使用した観測点を示す。

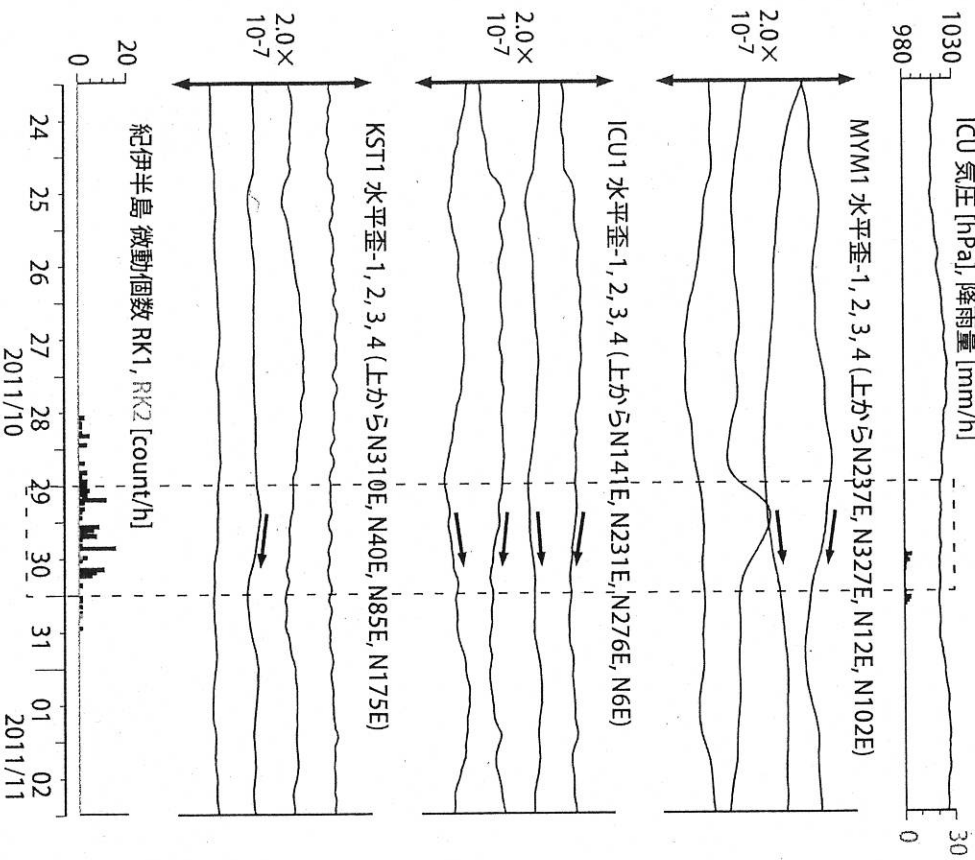


第45図: プレート境界面上のグリッドサーチによる断面面推定結果(矩形)。小さい丸印は産総研による深部低周波微動震央。層位置は経緯度方向に0.1度間隔、断面面の幅は10~50km、長さは10~80kmまでそれぞれ5km間隔、サベリ量は1~100mmまで1mm間隔で計算した。歪を使用した解析では、右側に主歪の観測値と、推定された断面面による計算値との比較を示す。

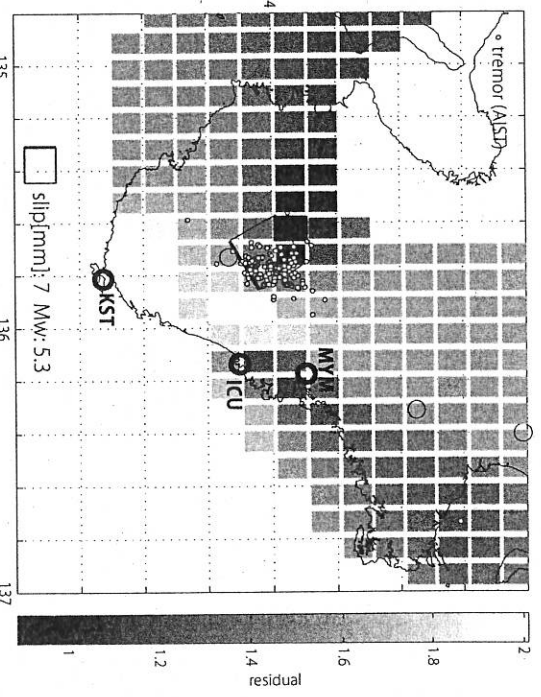


第46図: 2011/10/28 0:00 - 11/1 0:00 における紀伊半島の深部低周波微動の時空間分布図。エンベロープ相関法により決定。

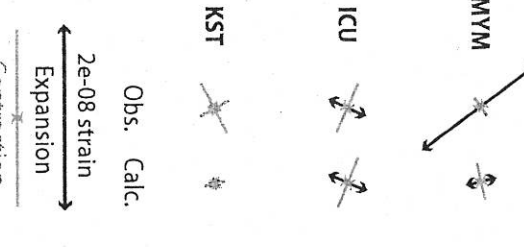
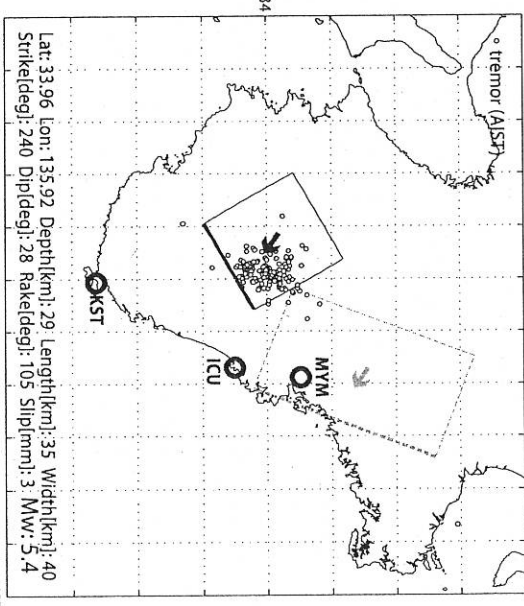
第47図 紀伊半島における歪観測結果(時間値)  
(2011/10/24 00:00 - 2011/11/03 00:00)



歪・傾斜はBAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分を除去後、1次トレンドを除去

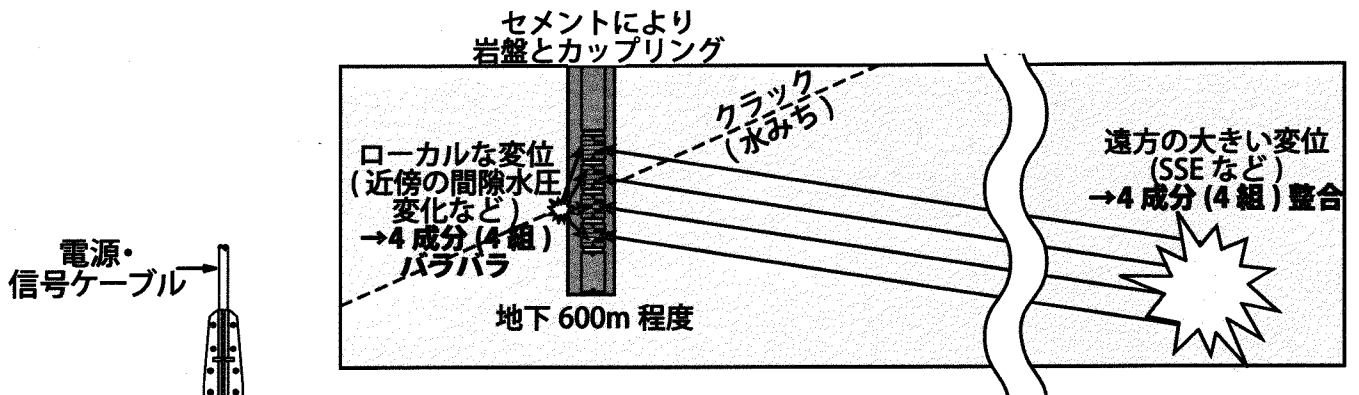


第48図: プレート境界面上のバッチ断層面をすべらせた際の、観測値と計算値の残差分布図。小さい丸印は産総研による深部低周波微動震央。バッチサイズは20×20km、すべり量は1-100mmで可変(1mm間隔)、表示しているグリッドは断層面下端中央の位置を示す。黒色矩形は最小残差の断層面を表す。このバッチのすべり量、Mwを下部に示している。太黒丸は計算に使用した観測点を示す



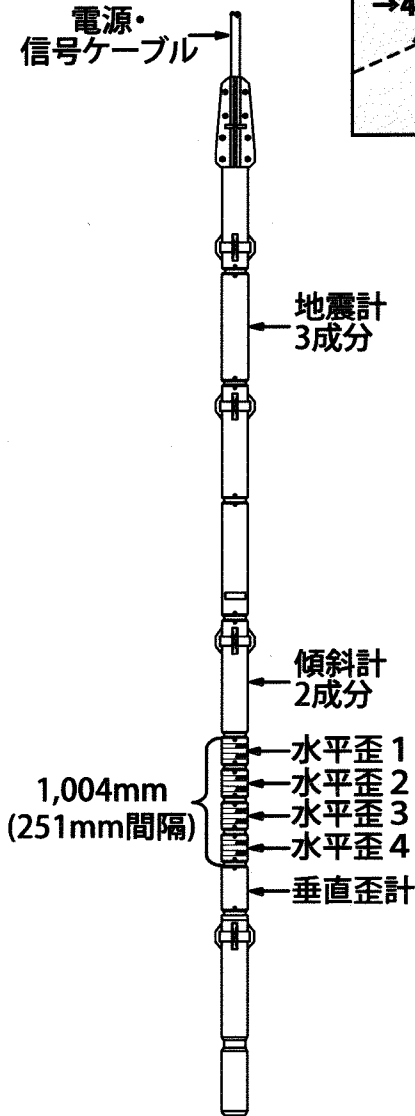
第49図: プレート境界面上のグリッドサイズによる断層面推定結果(矩形)。小さい丸印は産総研による深部低周波微動震央。層位置は経緯度方向に0.1度間隔、断層面の幅と長さそれぞれ10~50kmまで5km間隔、すべり量は1~100mmまで1mm間隔で計算した。右側に、主歪の観測値と推定された断層面による計算値との比較を示す。2011年9月中旬に三重県中部~奈良県東部県境付近で発生した短期的SSE断層面推定位置(図45参照)を灰色破線以示す。



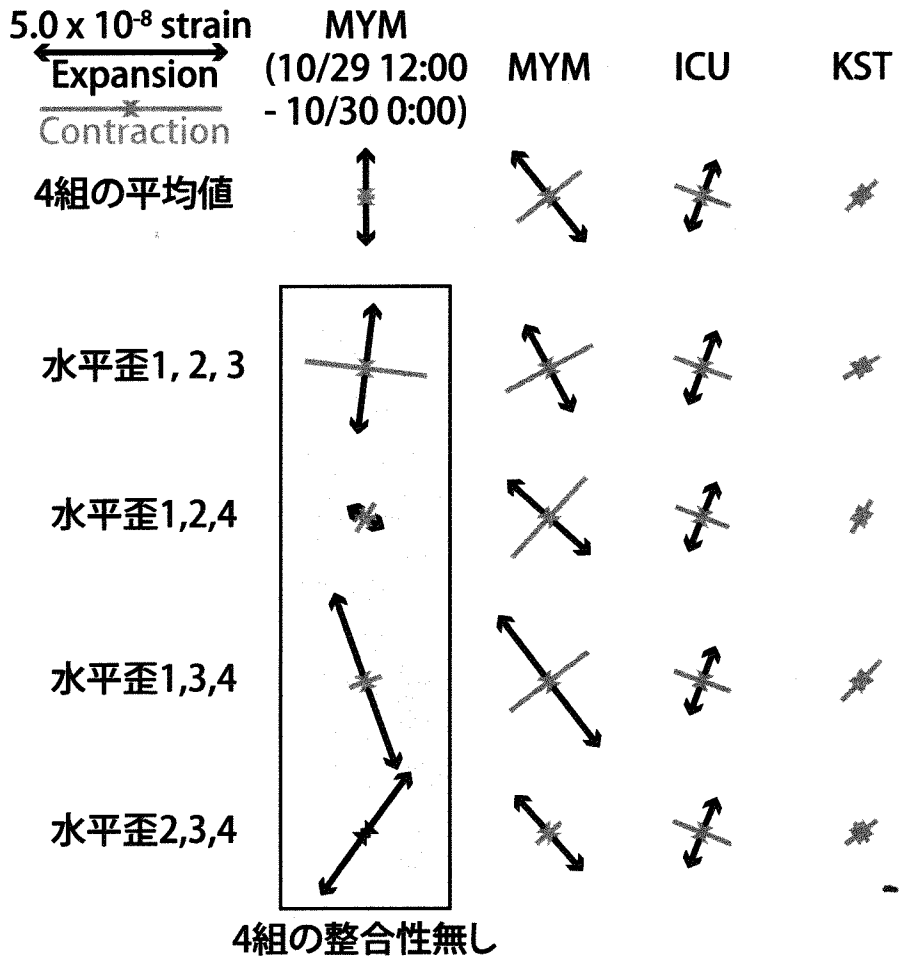


第51図: ボアホール内の歪計に歪変化が生じる模式図。4成分の水平歪は鉛直方向のアレイ構造となっており、センサー近傍のローカルな変位に対しては4成分の歪変化の整合性が悪くなり、4組の主歪もばらつきが大きくなる。遠方の変位に対しては、鉛直方向の位置の違いは無視できるため、この時ローカルな変位や計器内部の問題がなければ、4成分は整合するため、4組の主歪のばらつきは小さくなる。

この原理を利用すると、4組のばらつきが大きさから、ローカルな変位、若しくは一部のセンサーのみの内部的問題の有無を推定することができる。



第50図: 石井式歪計 [Ishii et al., 2002] を内蔵する、デジタル式地殻活動総合観測装置の立面図。水平歪4成分は鉛直方向に251mm間隔で並んでおり、それぞれのセンサーは独立した容器に収納されている。水平歪4成分から3成分の組み合わせ4組の主歪を計算することが出来る。全長は約6.8m、歪計部の外径は88mmである。



第52図: 3観測点における、4組の主歪およびその平均値。MYMの前半部分(左1列)は振幅・方位ともに大きくばらつくため、ローカルな変位の影響を受けた物と推測される。一方、イベント全期間(右側3列)の主歪は、4組とも方位・振幅に大きなばらつきは無いいため、ローカルな影響はあまり受けていないと推測される。