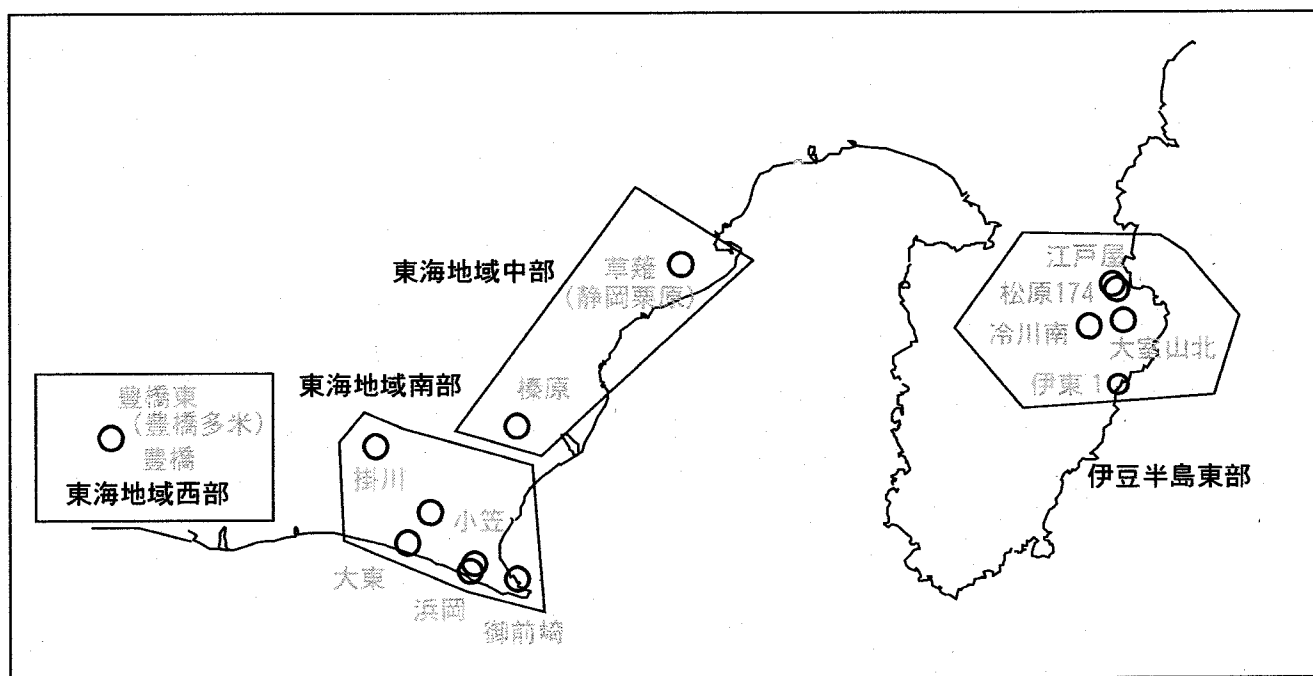


第300回 地震防災対策強化地域判定会

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23年4月25日

【資料目次】

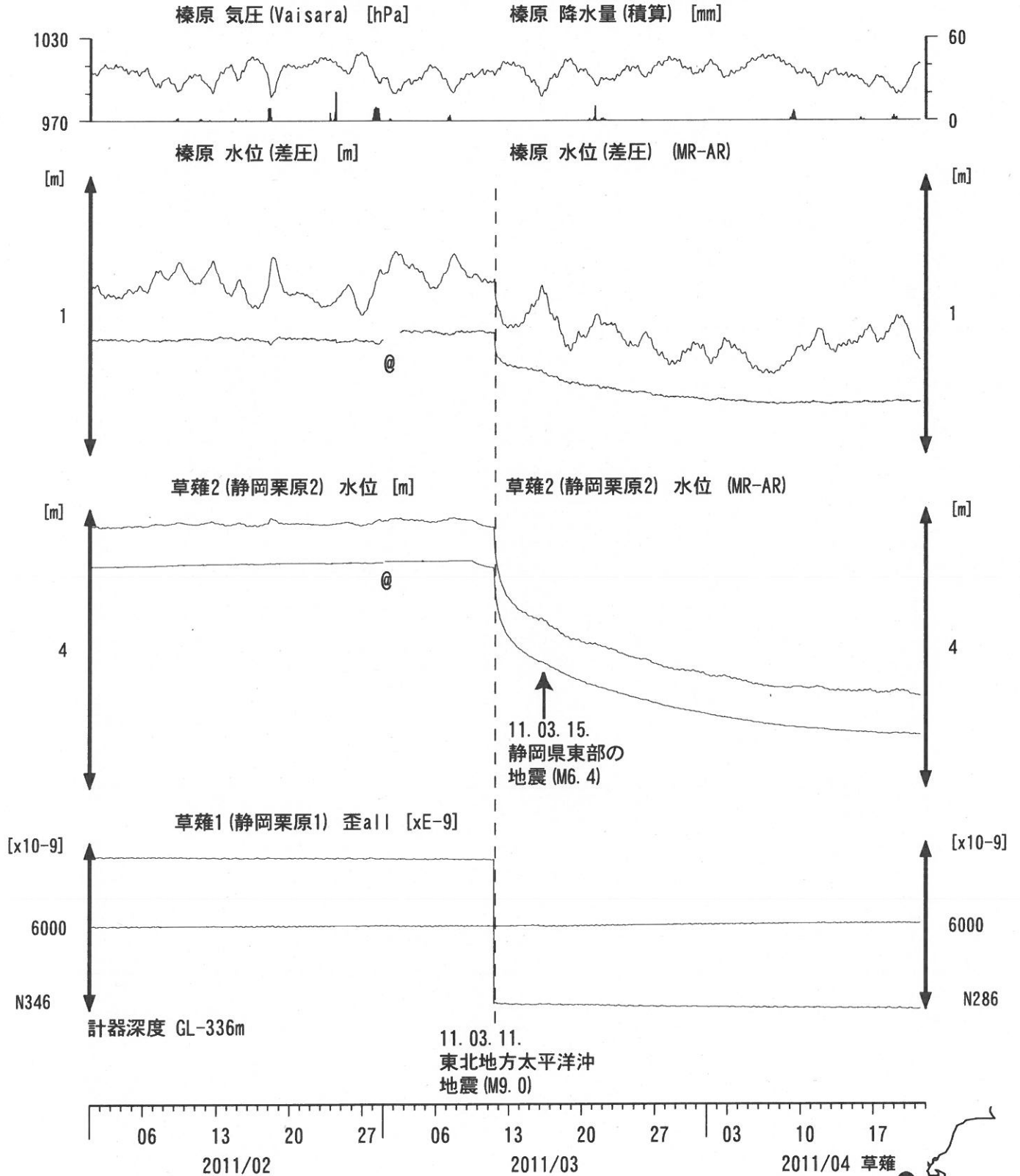
表紙

1. 東海地域中部 [榛原, 草薙(静岡栗原)] 地下水 3成分歪;中期
- 1-b. 東海地域中部 [草薙(静岡栗原)] 3成分歪;中期
2. 東海地域中部 [榛原, 草薙(静岡栗原)] 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, 豊橋東(豊橋多米)] 地下水・歪・傾斜;中期
- 5-b. 東海地域西部 [豊橋東(豊橋多米)] 歪等;中期
6. 東海地域西部 [豊橋・豊橋東(豊橋多米)] 地下水・歪・傾斜;長期
- 6-b. 東海地域西部 [豊橋東(豊橋多米)] 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
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
- ・2011年東北太平洋沖地震(M9.0)に伴う東海～四国周辺における地下水・地殻歪変化

東海地域中部 (榛原・草薙) 中期 (時間値)
 (2011/02/01 00:00 - 2011/04/22 00:00)



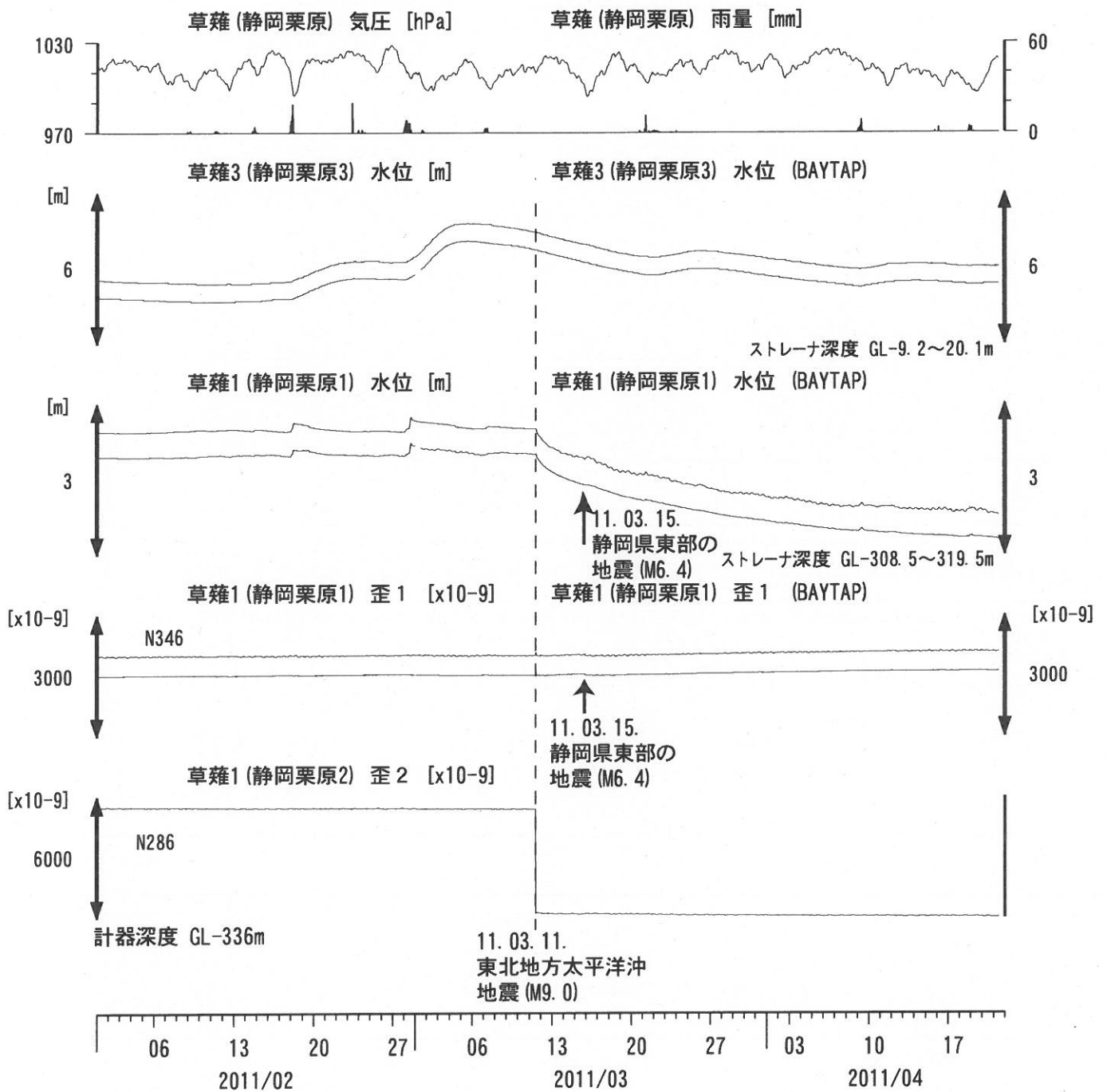
コメント：*;雨量補正不十分. \$;保守.

@;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。

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。

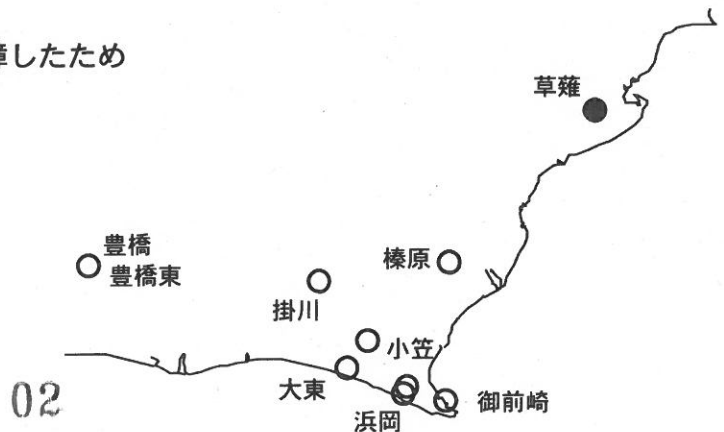


東海地域中部（草薙・歪）中期（時間値）
 (2011/02/01 00:00 - 2011/04/22 00:00)

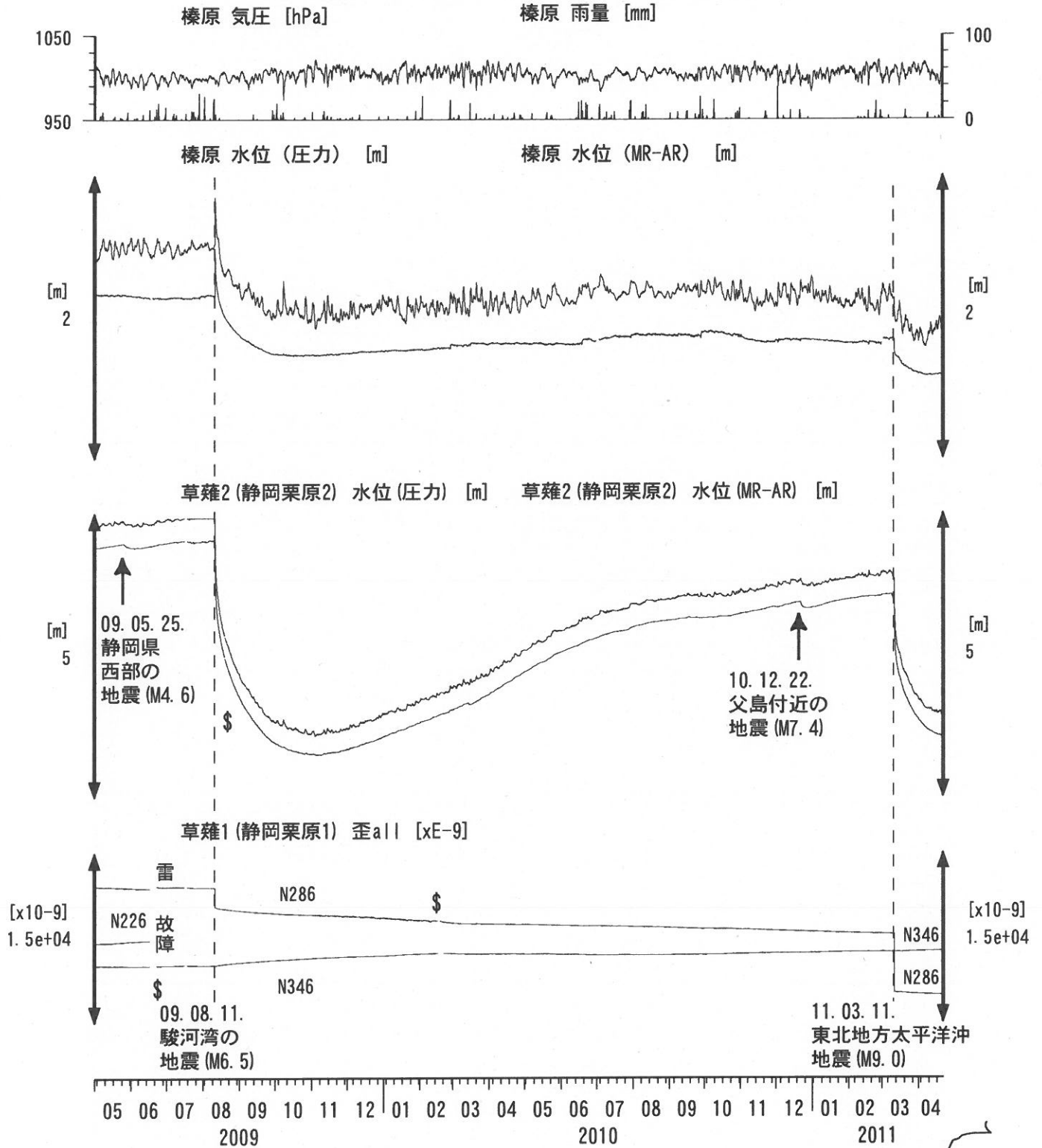


コメント：\$;保守.

草薙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)
 (2009/05/01 00:00 - 2011/04/22 00:00)

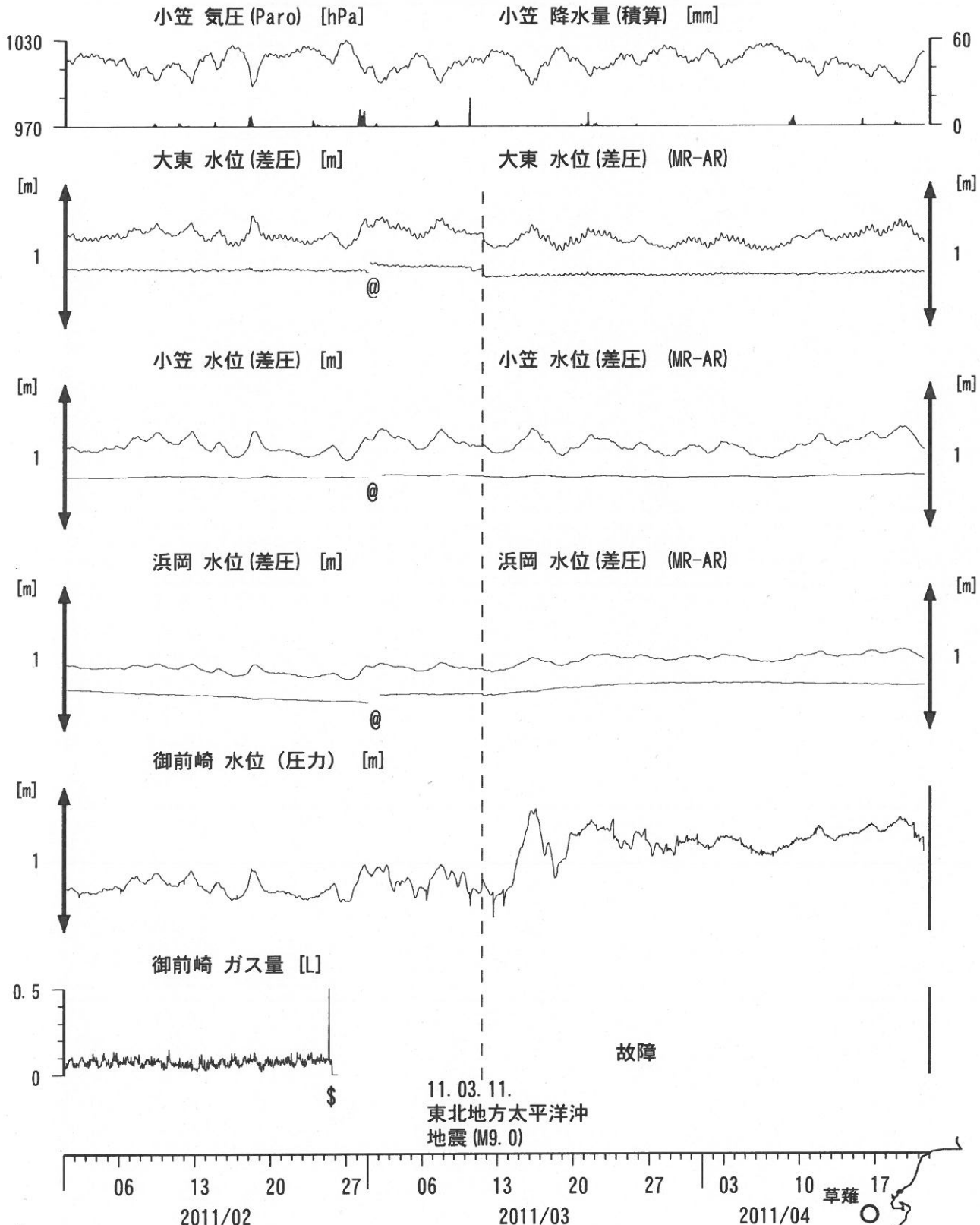


コメント：*;雨量補正不十分。?;原因不明。
 歪N226成分が2009年6月16日の雷で故障した。
 草薙2の水位は2009年7月中旬に井戸口から溢れたので2009年8月11日の地震まで一定値になっているように見える。



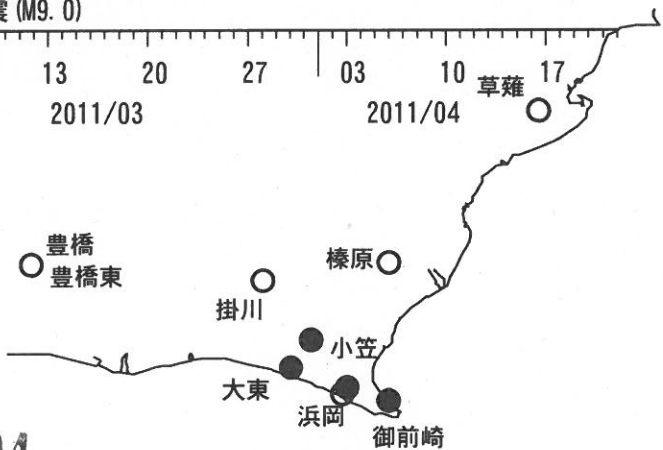
東海地域南部 地下水観測結果 中期 (時間値)

(2011/02/01 00:00 - 2011/04/22 00:00)

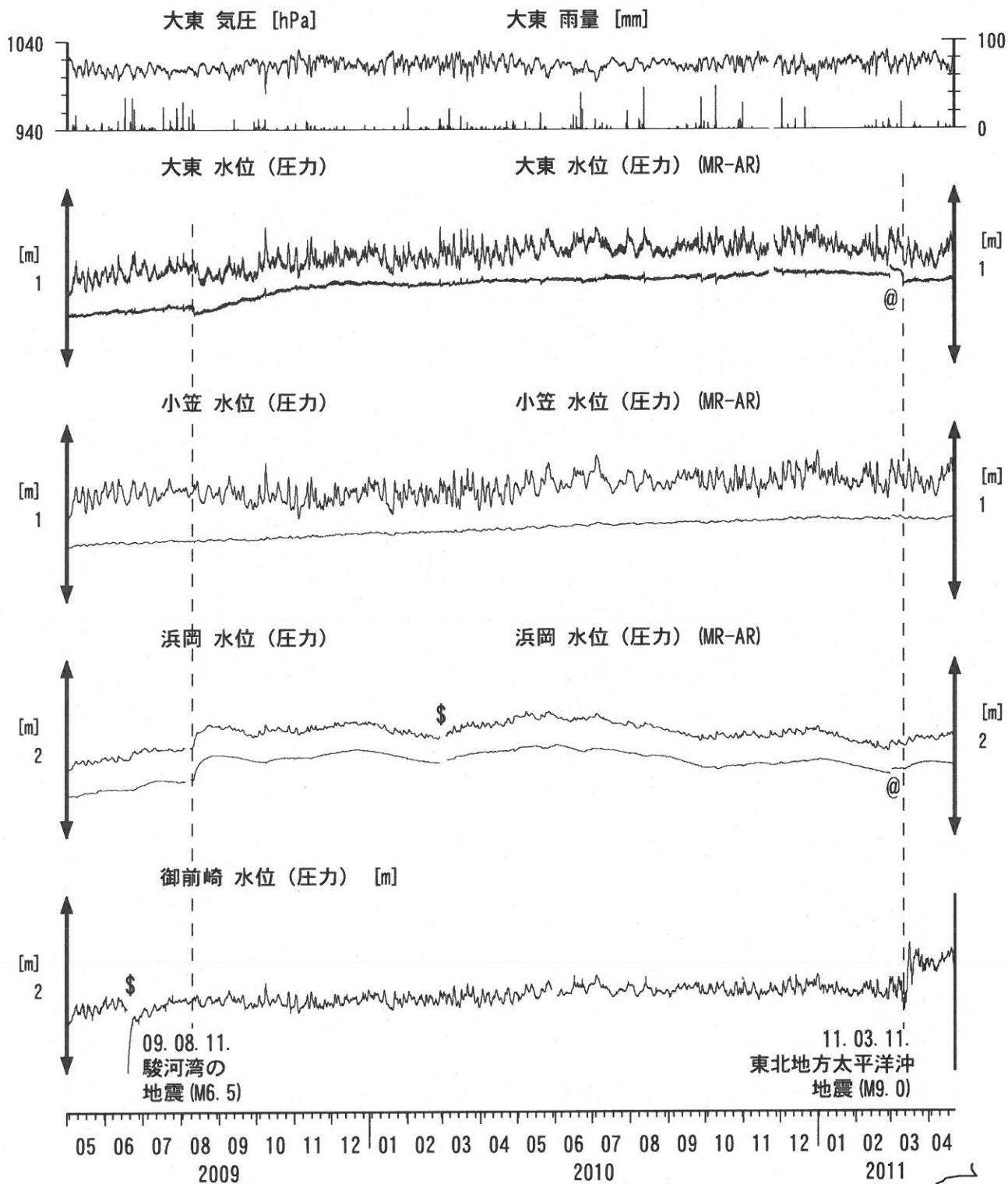


コメント:

*;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。
 御前崎の水位が時々パルス状に変化するの
 は、間欠的な泡の発生のためと考えられる。

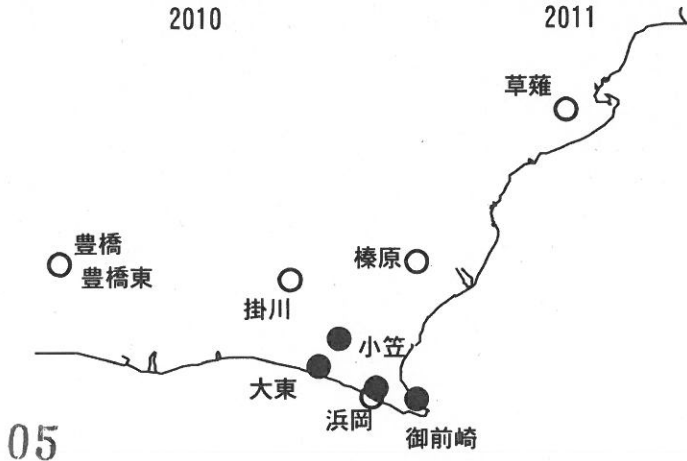


東海地域南部 地下水観測結果 長期 (時間値)
 (2009/05/01 00:00 - 2011/04/22 00:00)



コメント:

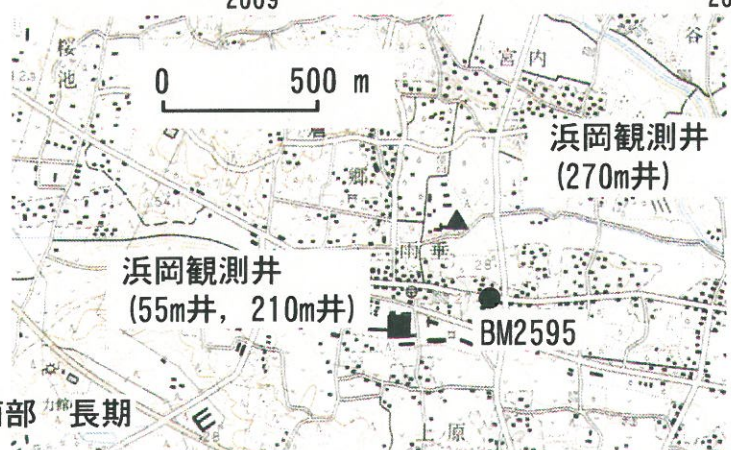
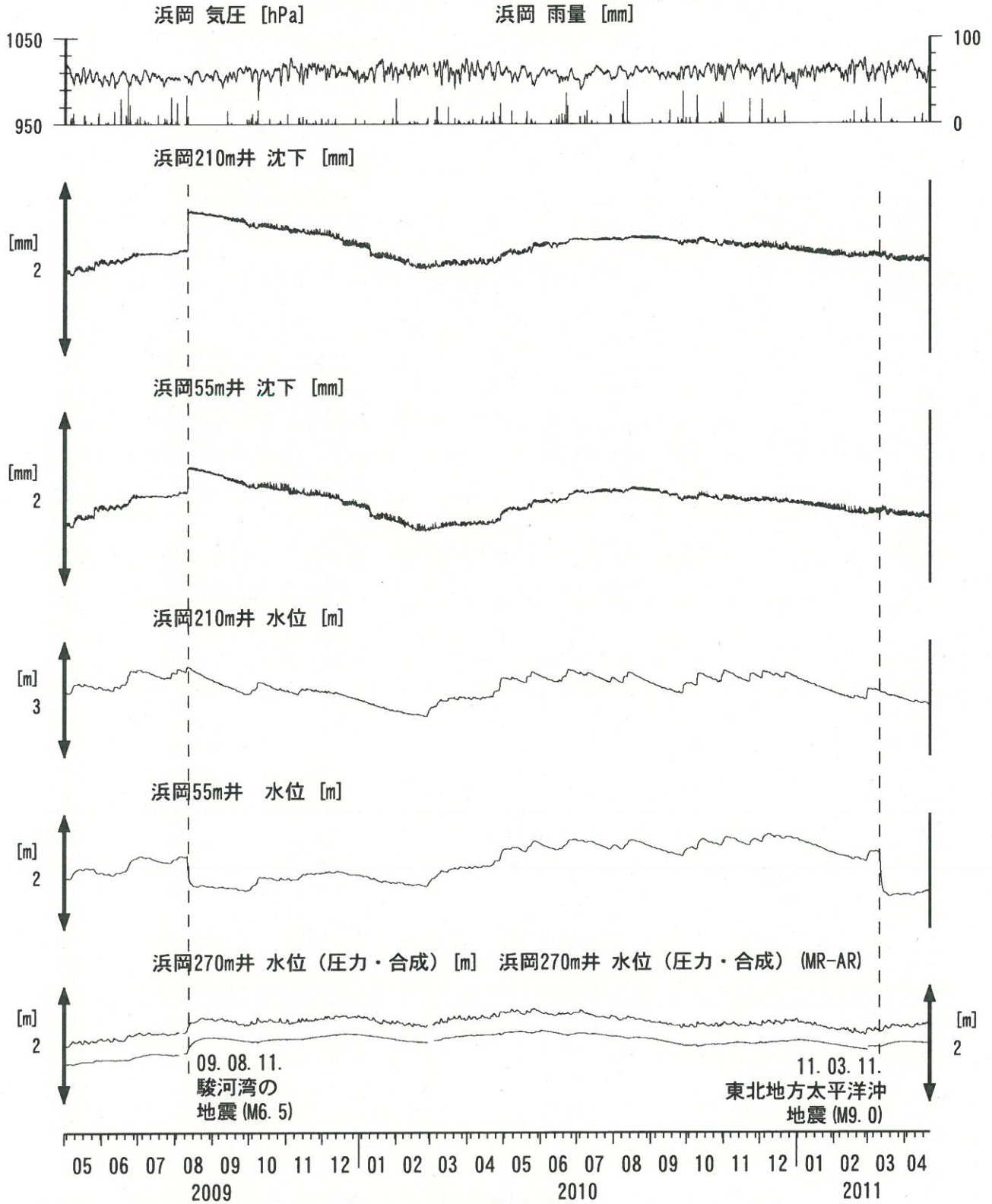
*;雨量補正不十分. \$;保守.
 @;月初めの補正值のギャップは,
 解析プログラムの見かけ上のものである.



05

浜岡沈下・水位 (時間値)

(2009/05/01 00:00 - 2011/04/22 00:00)

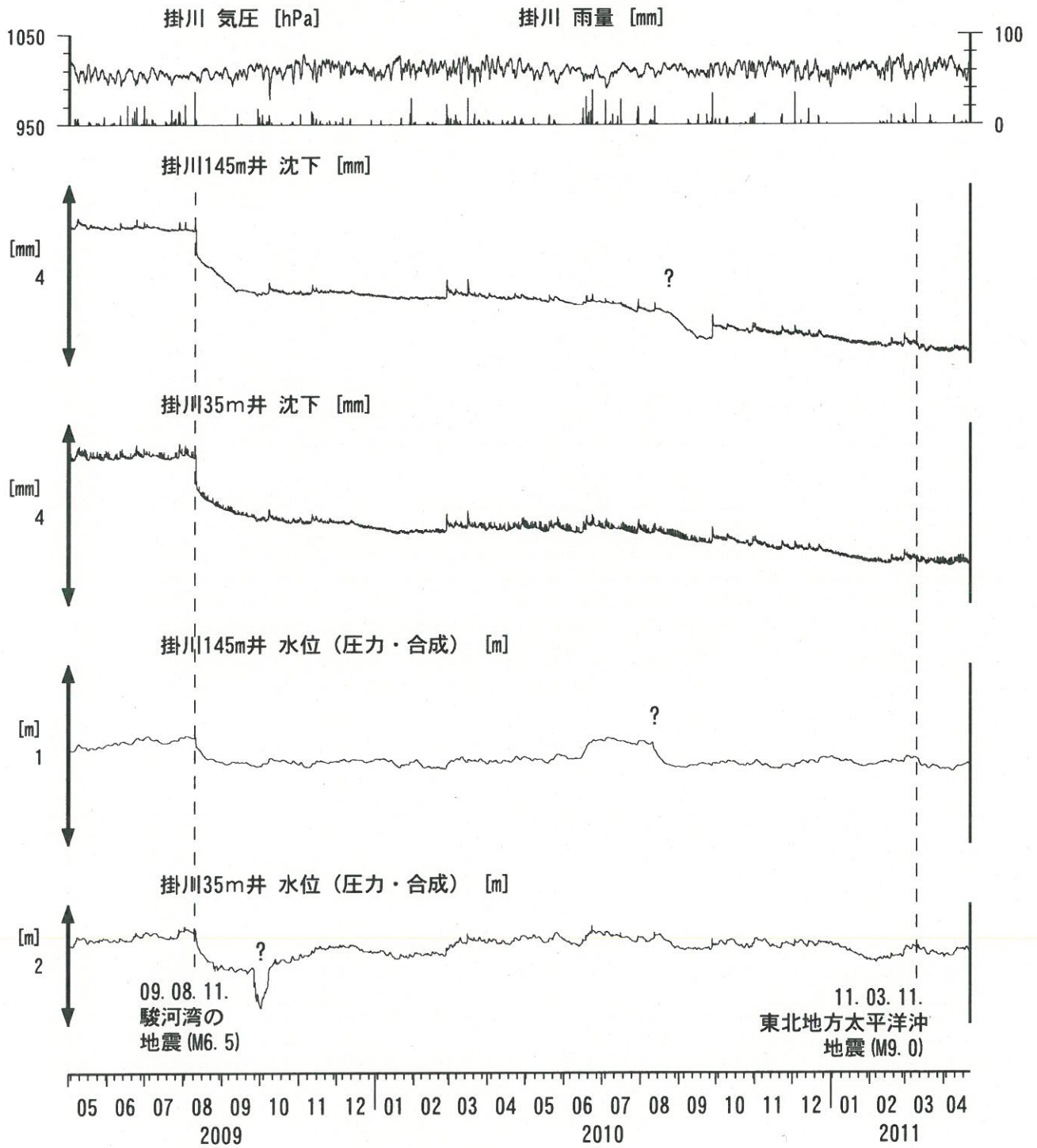


コメント: \$; 保守.

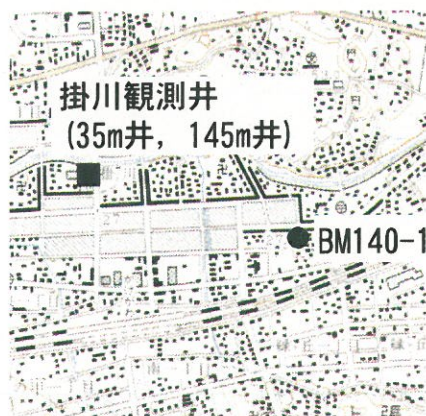


掛川沈下・水位（時間値）

(2009/05/01 00:00 - 2011/04/22 00:00)



コメント：\$;保守。
?;原因不明。

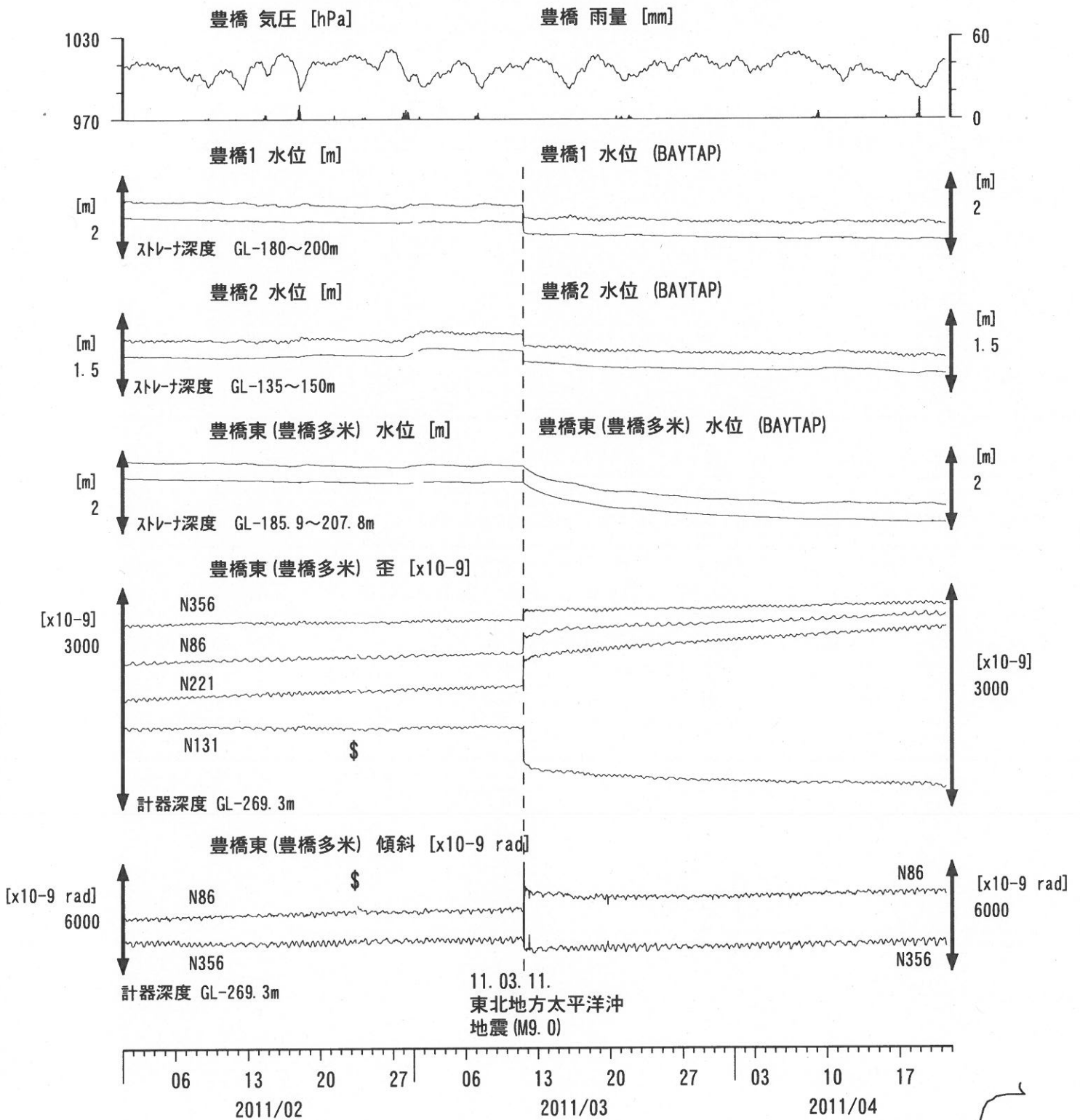


0 500 m



07

東海地域西部（豊橋・豊橋東）中期（時間値）
 (2011/02/01 00:00 - 2011/04/22 00:00)

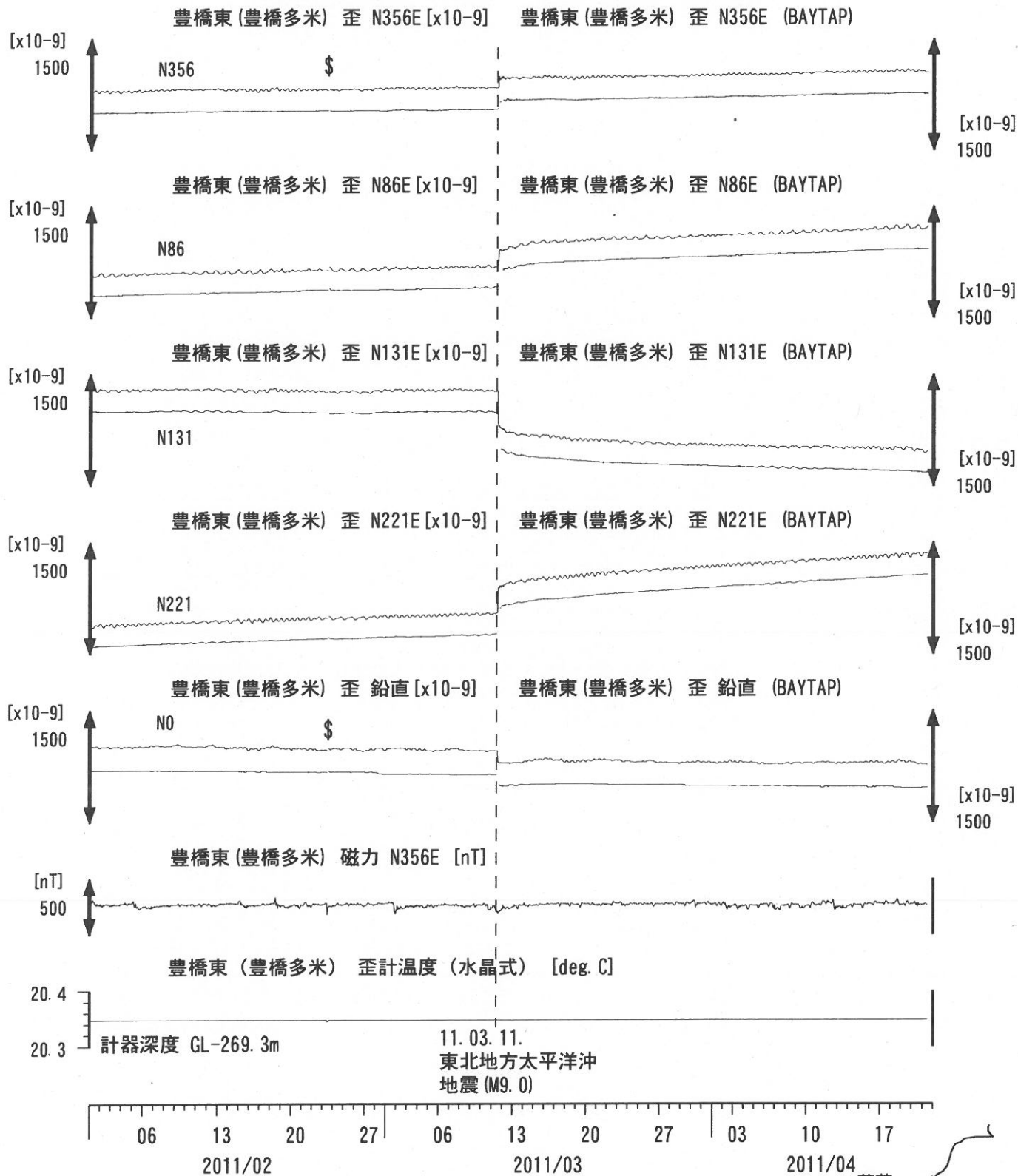


11. 03. 11.
 東北地方太平洋沖
 地震 (M9.0)

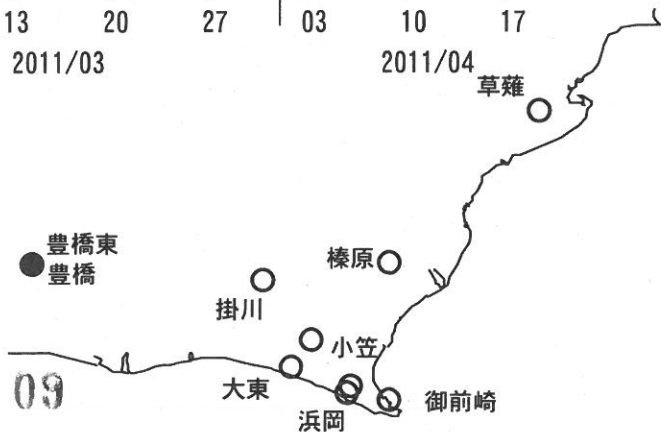
コメント：\$;保守. ?;原因不明.
 傾斜計データの処理方法を変えたので、
 地震時のパルス状の変化が見えにくくなった。



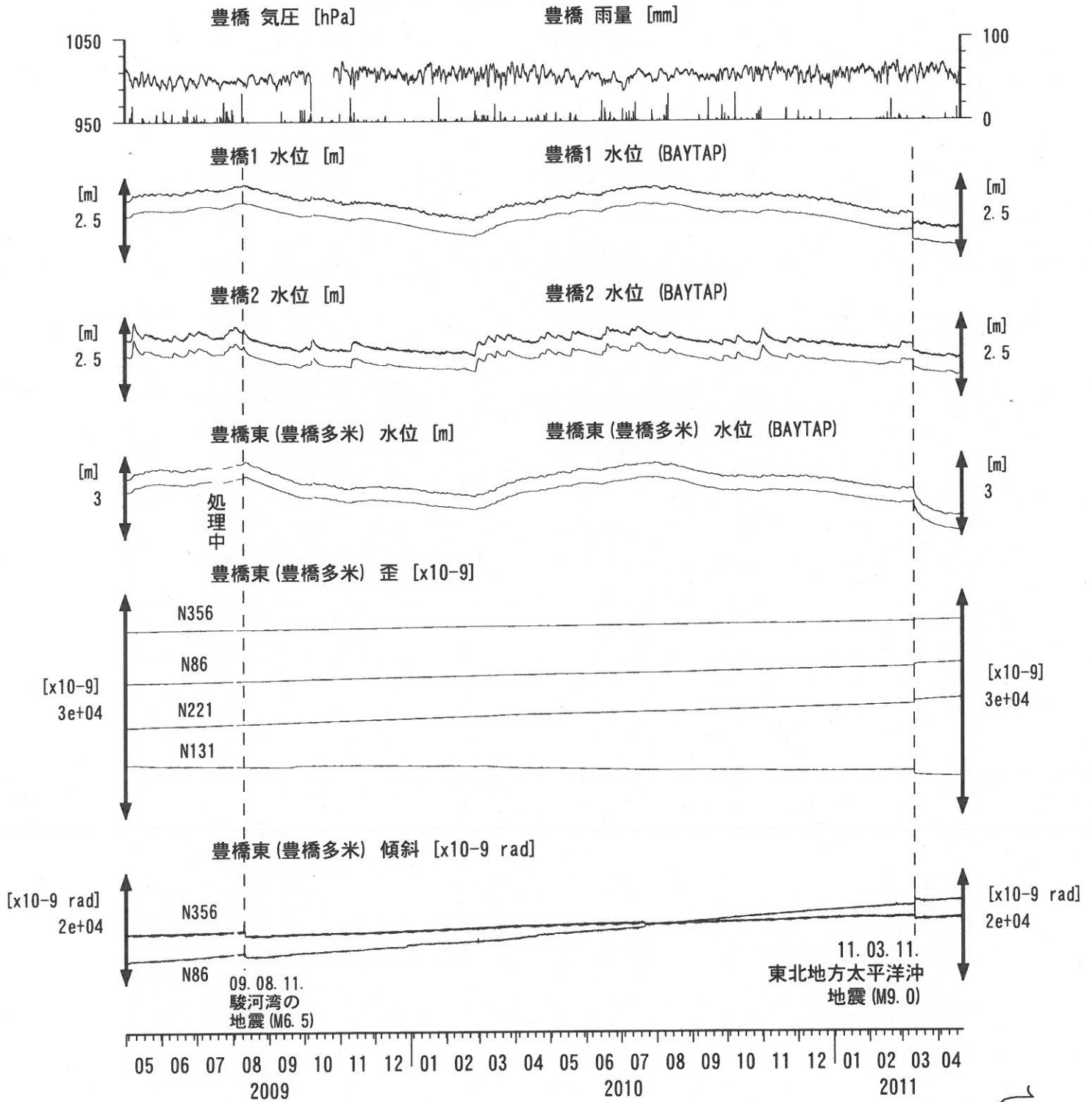
東海地域西部（豊橋東 歪）中期（時間値）
 (2011/02/01 00:00 - 2011/04/22 00:00)



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）
 (2009/05/01 00:00 - 2011/04/22 00:00)



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)

(2009/05/01 00:00 - 2011/04/22 00:00)

豊橋東 (豊橋多米) 歪 N356E [x10⁻⁹]



豊橋東 (豊橋多米) 歪 N86E [x10⁻⁹]



豊橋東 (豊橋多米) 歪 N131E [x10⁻⁹]



豊橋東 (豊橋多米) 歪 N221E [x10⁻⁹]



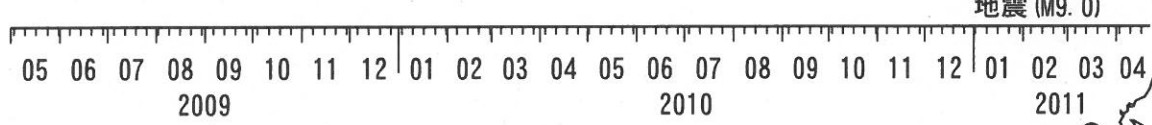
豊橋東 (豊橋多米) 歪 鉛直 [x10⁻⁹]



豊橋東 (豊橋多米) 磁力 [nT]



豊橋東 (豊橋多米) 歪計温度 (水晶式) [deg. C]



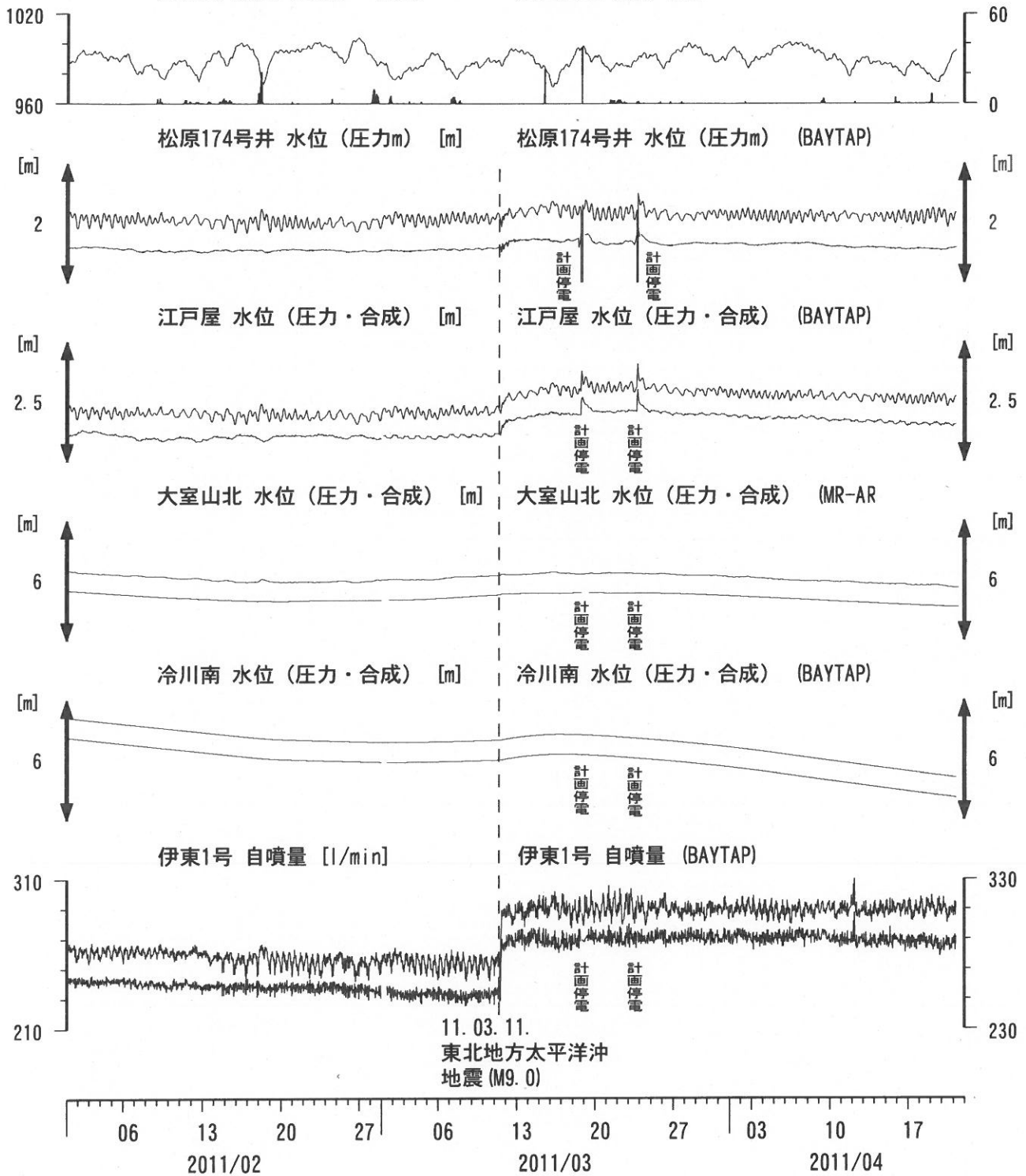
コメント: \$;保守. ?;原因不明.



伊豆半島東部 地下水位・自噴量 中期 (時間値)

(2011/02/01 00:00 - 2011/04/22 00:00)

冷川南 気圧 (円筒) [hPa] 大室山北 雨量 [mm]



コメント：\$;保守. ?;原因不明.

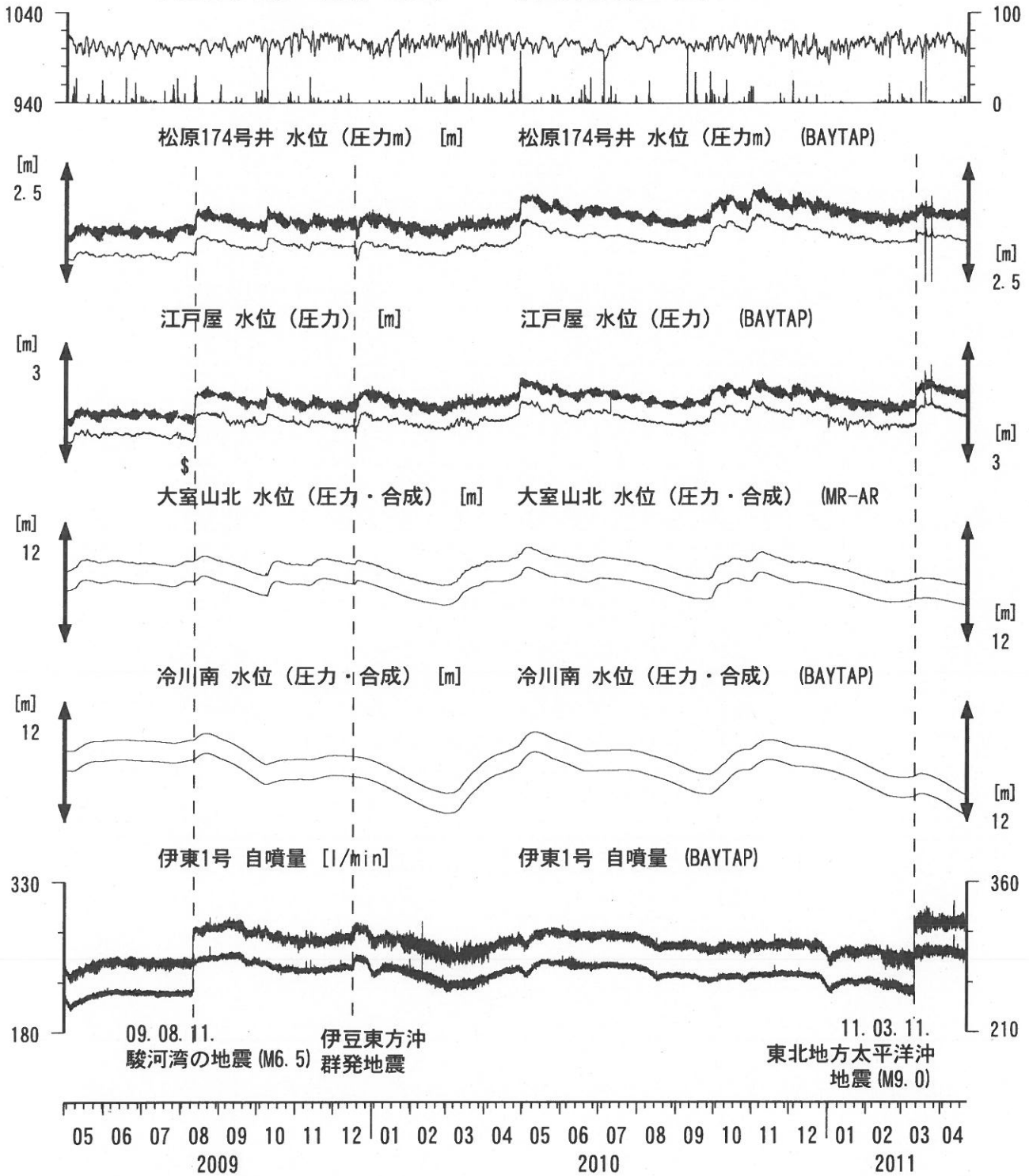
松原174号井は静岡県による観測.
 伊東1は, 休日・年末年始に周囲の温泉使用量が増加するため, 自噴量が減少する.
 伊東1の自噴量は, 量が少なくなると配管構造のため, 見かけ上, 値がばらつく.



伊豆半島東部 地下水位・自噴量 長期 (時間値)

(2009/05/01 00:00 - 2011/04/22 00:00)

大室山北 気圧 (円筒) [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.

2009年7月28日に江戸屋の水位計を更新した.

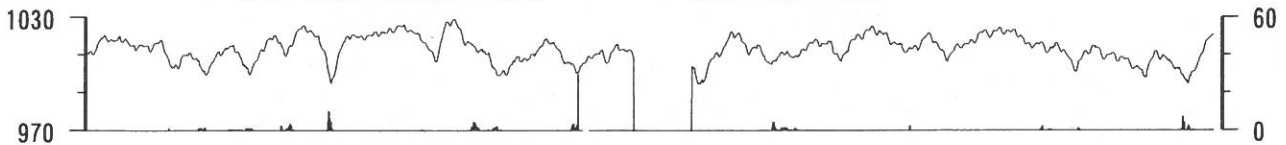


関東地域 地下水観測結果 中期 (時間値)

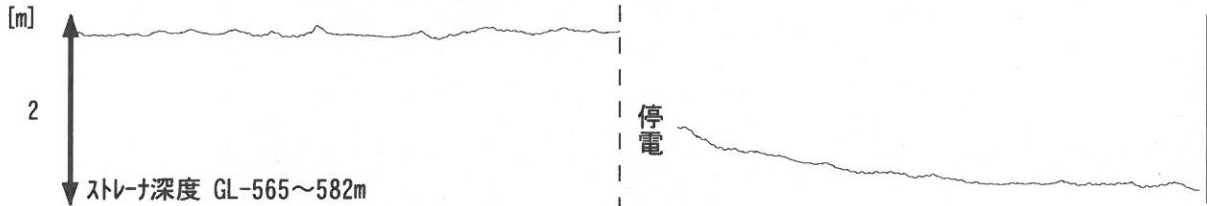
(2011/02/01 00:00 - 2011/04/22 00:00)

つくば1 気圧 (円筒) [hPa]

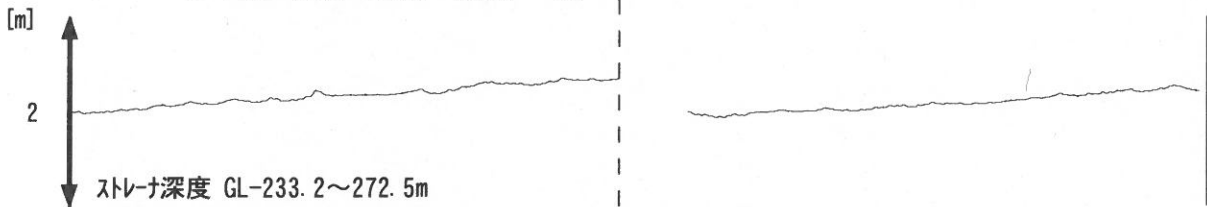
つくば1 雨量 [mm]



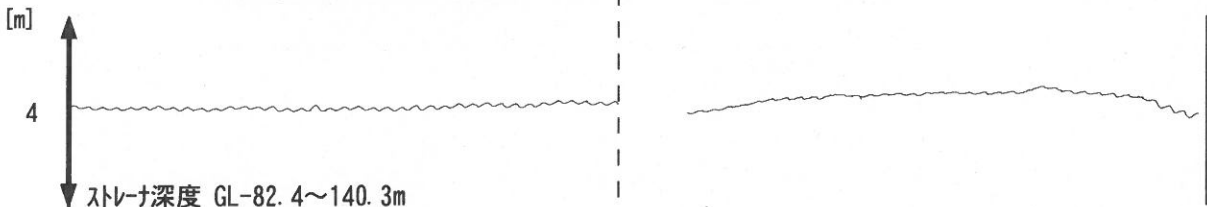
つくば1 水位 (圧力・合成) [m]



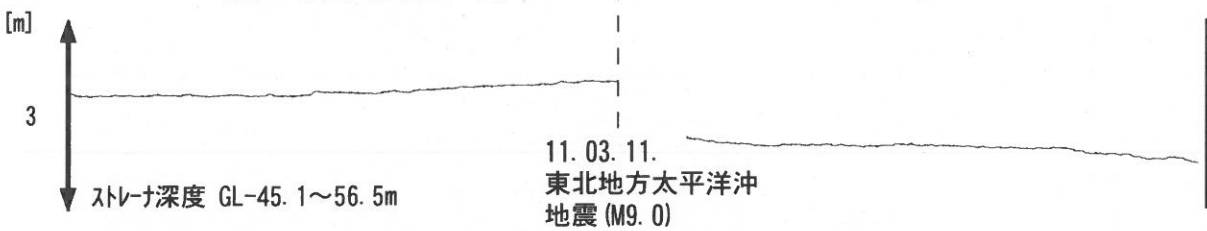
つくば2 水位 (圧力・合成) [m]



つくば3 水位 (圧力・合成) [m]



つくば4 水位 (圧力) [m]



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。

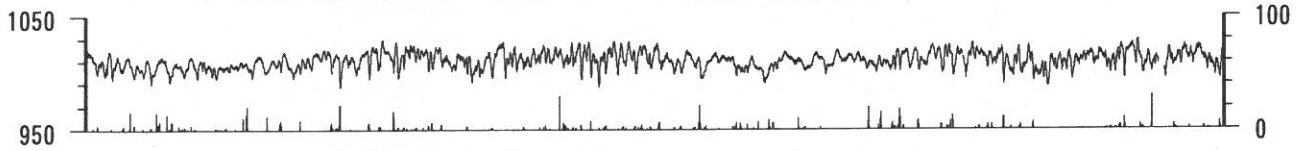


関東地域 地下水観測結果 長期 (時間値)

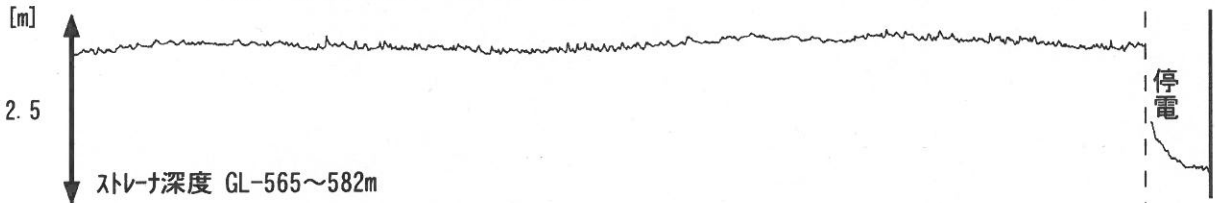
(2009/05/01 00:00 - 2011/04/22 00:00)

つくば1 気圧 (円筒) [hPa]

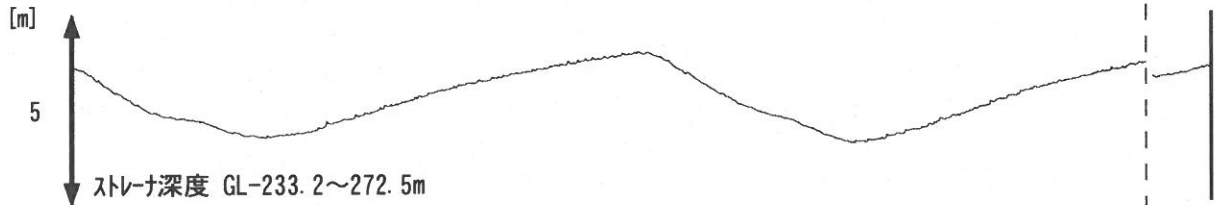
つくば1 雨量 [mm]



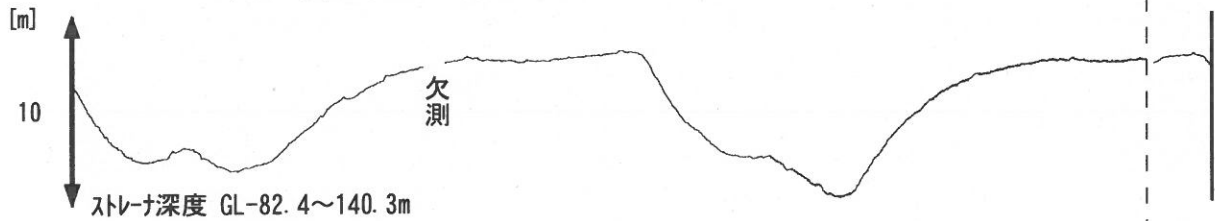
つくば1 水位 (圧力・合成) [m]



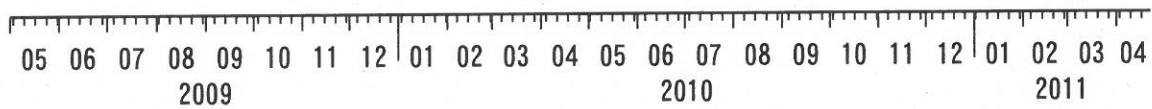
つくば2 水位 (圧力・合成) [m]



つくば3 水位 (圧力・合成) [m]



つくば4 水位 (圧力) [m]



コメント: \$;保守.

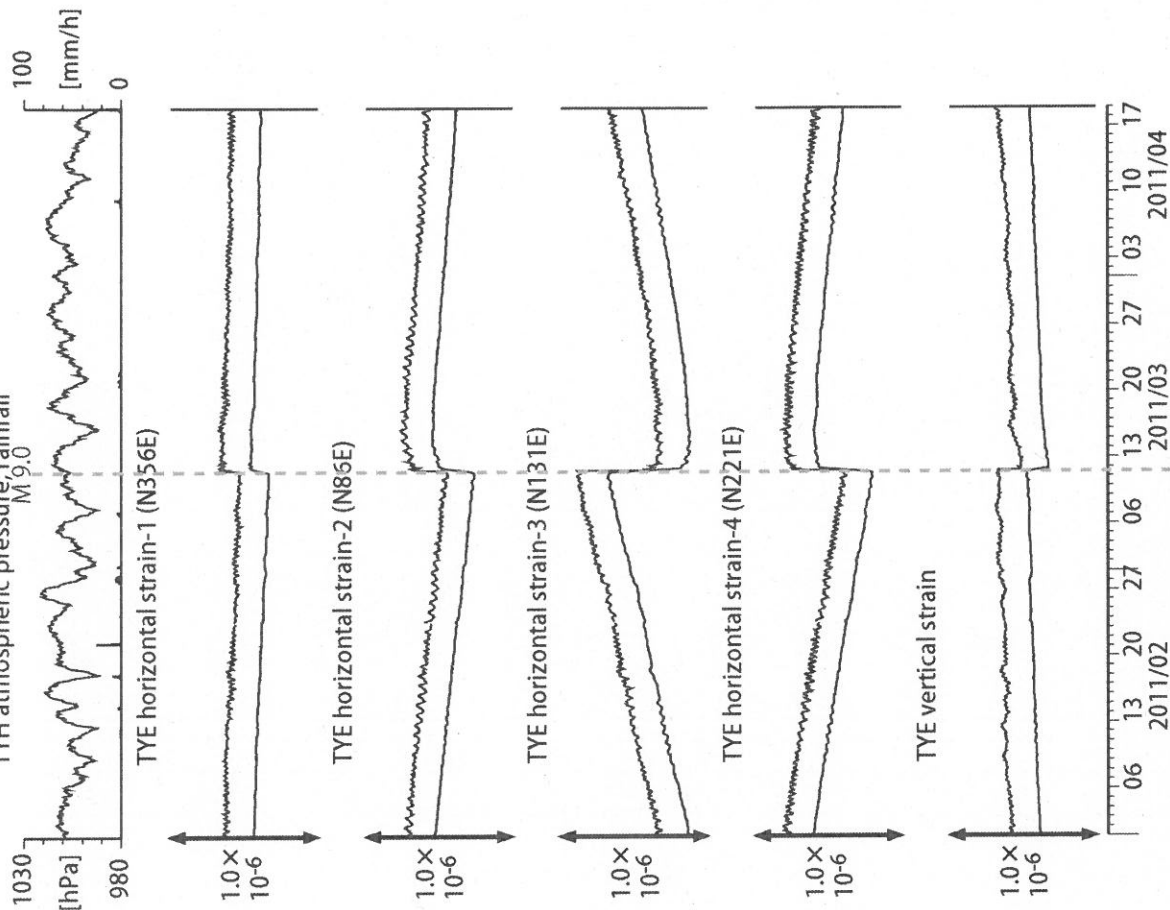
つくば2~4の水位が、例年春~秋に低下するのは、周囲の揚水によると考えられる。

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。



図2: Crustal strain changes at TYE (時間値)
(2011/02/01 00:00 - 2011/04/19 00:00)
TYH atmospheric pressure, rainfall
M 9.0



観測点名: 豊橋多米 (旧名称: 豊橋東, TYH(豊橋)は変更無し)
Strainmeter depth = 266.5-267.9 [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

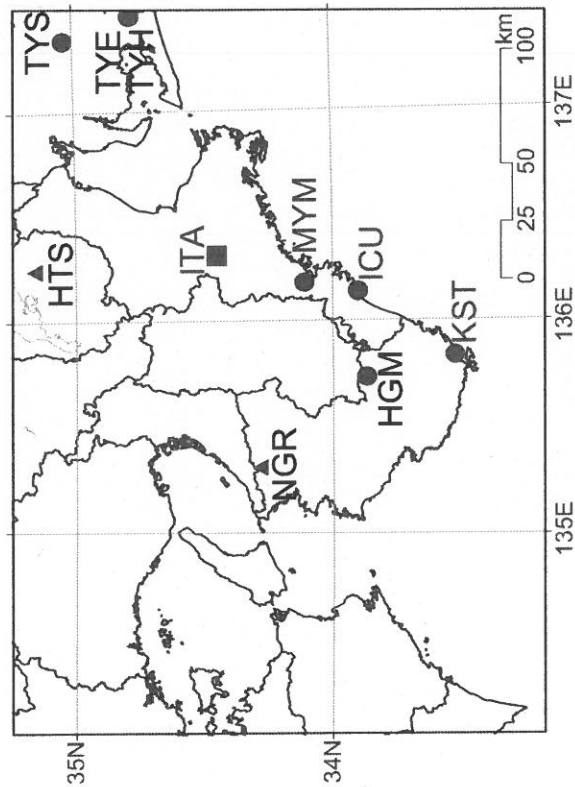


図1: 紀伊半島～愛知県における地下水等総合観測施設の分布図(●・■・▲)はデジタル方式の石井式歪計・傾斜計を併設している観測点、■は Gladwin 式歪計・ミットヨ式傾斜計を併設している観測点、▲はアナログ方式の石井式歪計を併設している観測点を示す。

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た。なお、3文字コード変更しない。

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
TYE	豊橋東	→ 豊橋多米	とよはしため	愛知県豊橋市	2,3
HTS	秦荘	→ 秦荘香之庄	あいしょうこうのしょう	滋賀県愛知郡愛荘町	4
ITA	飯高赤桶	→ 松阪飯高	まつざかいいたか	三重県松阪市	5,6
MYM	海山	→ 紀北海山	きほくみやま	三重県北牟婁郡紀北町	7,8
ICU	井内浦	→ 熊野磯崎	くまのいそざき	三重県熊野市	9,10
HGM	本宮三越	→ 田辺本宮	たなべほんぐう	和歌山県田辺市	11,12
KST	串本津荷	→ 変更無し	くしもとつが	和歌山県東牟婁郡串本町	13,14
NGR	根来	→ 岩出東坂本	いわでひがしざかもと	和歌山県岩出市	15

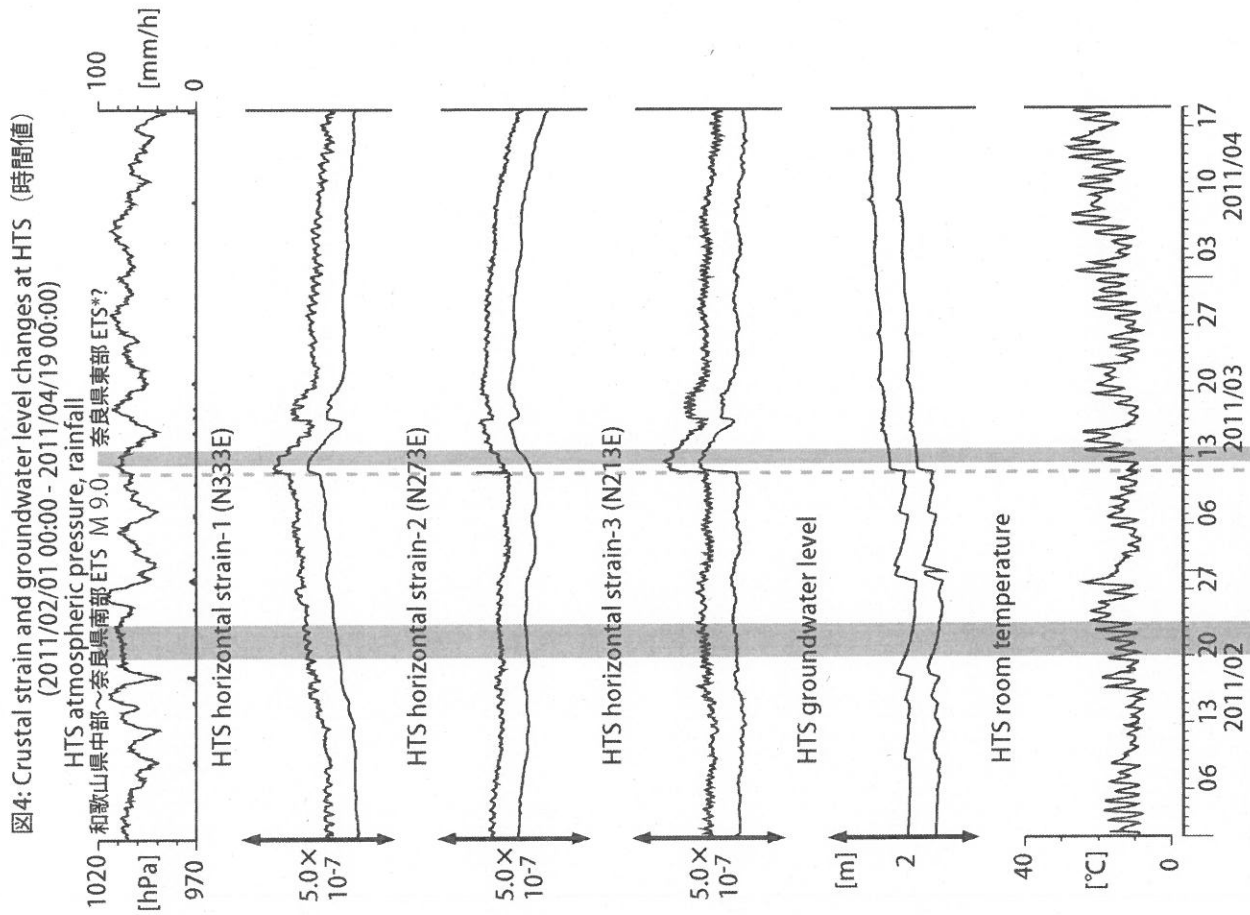
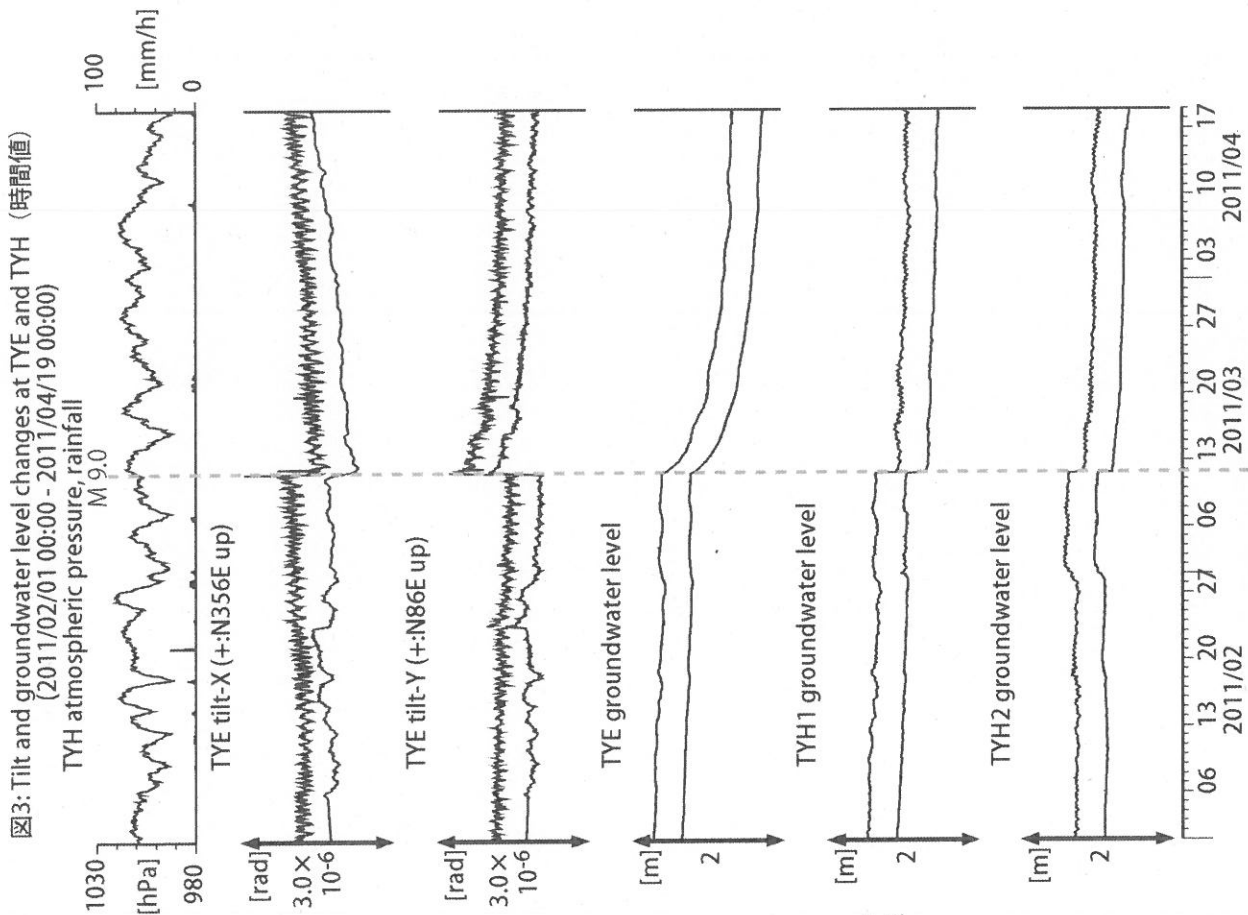
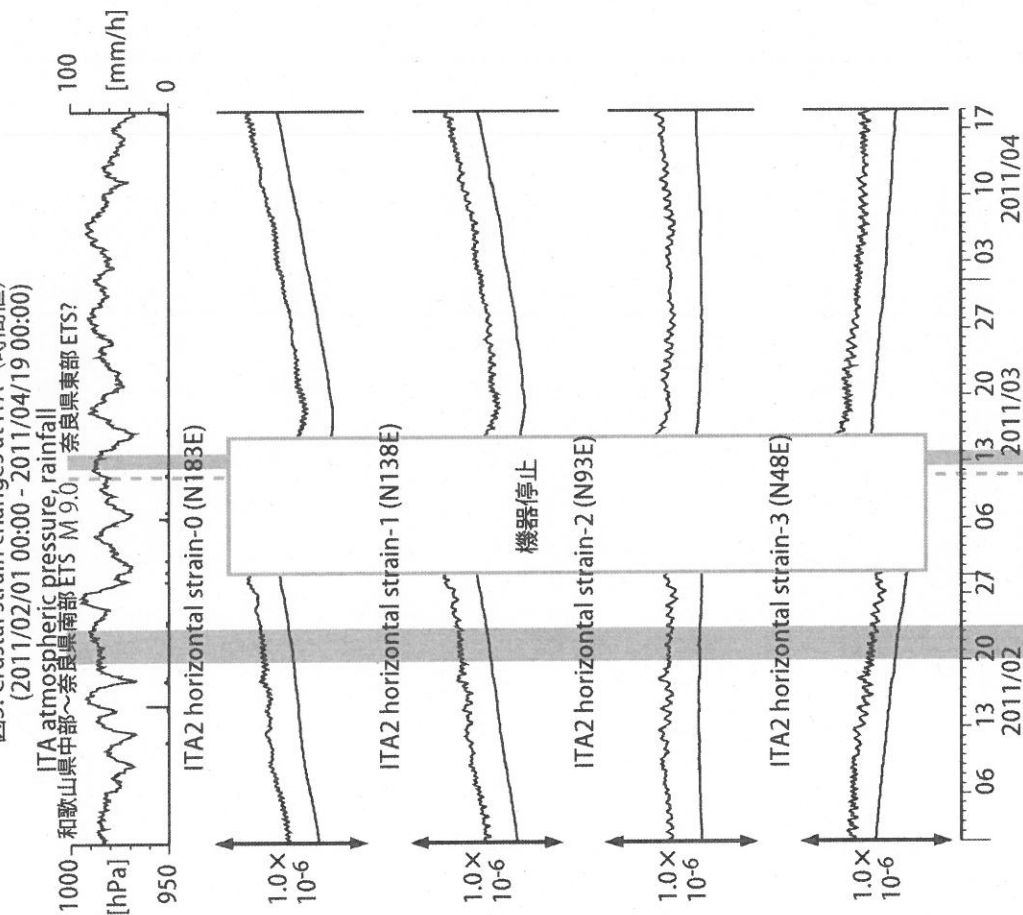
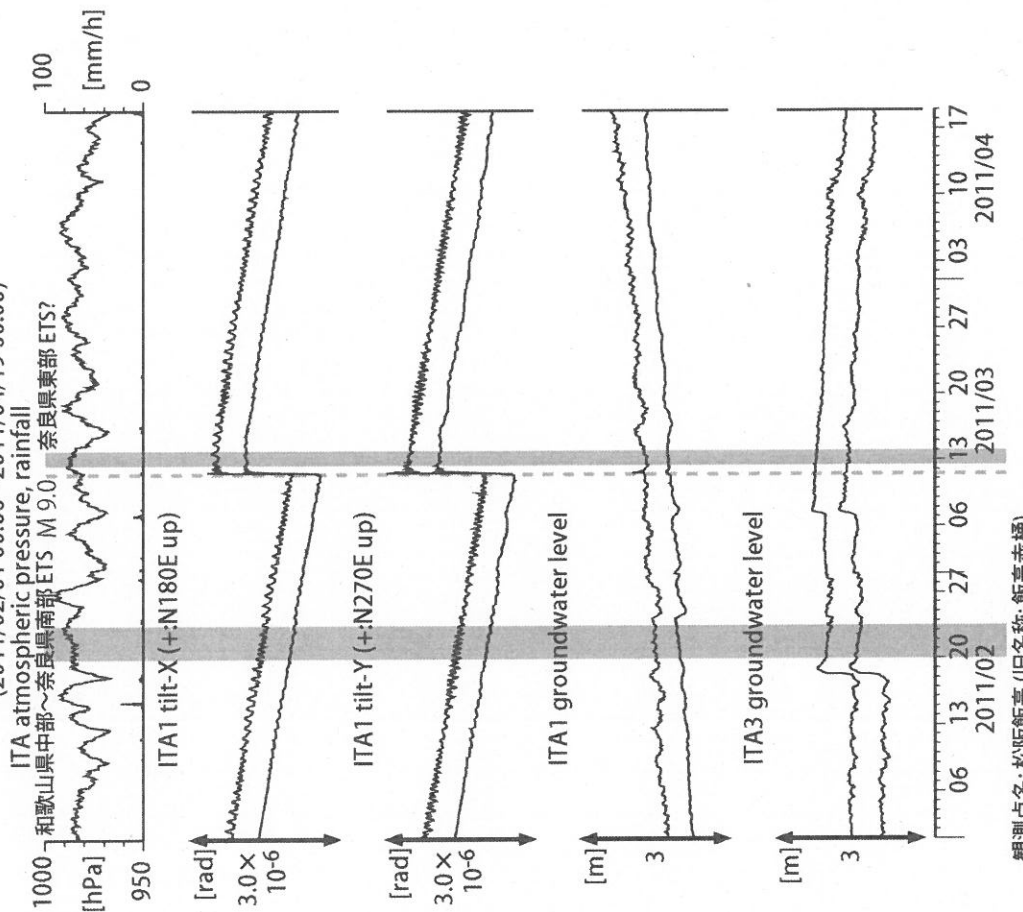


図5: Crustal strain changes at ITA (時間値)
(2011/02/01 00:00 - 2011/04/19 00:00)



観測点名: 大阪飯高 (旧名称: 飯高赤桶)
Strainmeter depth = 181.3-183.6 [GL-m]
上: 1次トレンド除去
下: BAYTAP-GIにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分除去後に1次トレンド除去

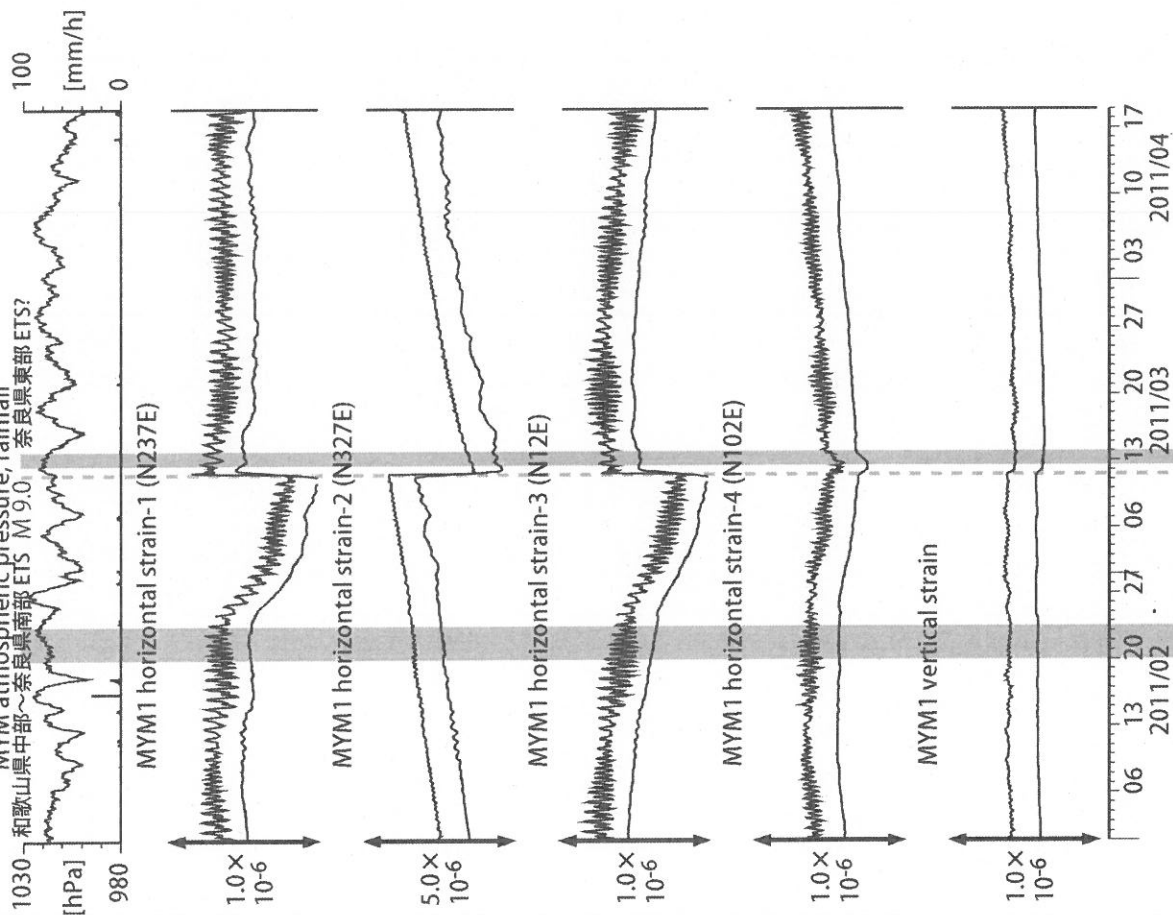
図6: Tilt and groundwater level changes at ITA (時間値)
(2011/02/01 00:00 - 2011/04/19 00:00)



観測点名: 大阪飯高 (旧名称: 飯高赤桶)
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-GI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7: Crustal strain changes at MYM (時間値)
(2011/02/01 00:00 - 2011/04/19 00:00)

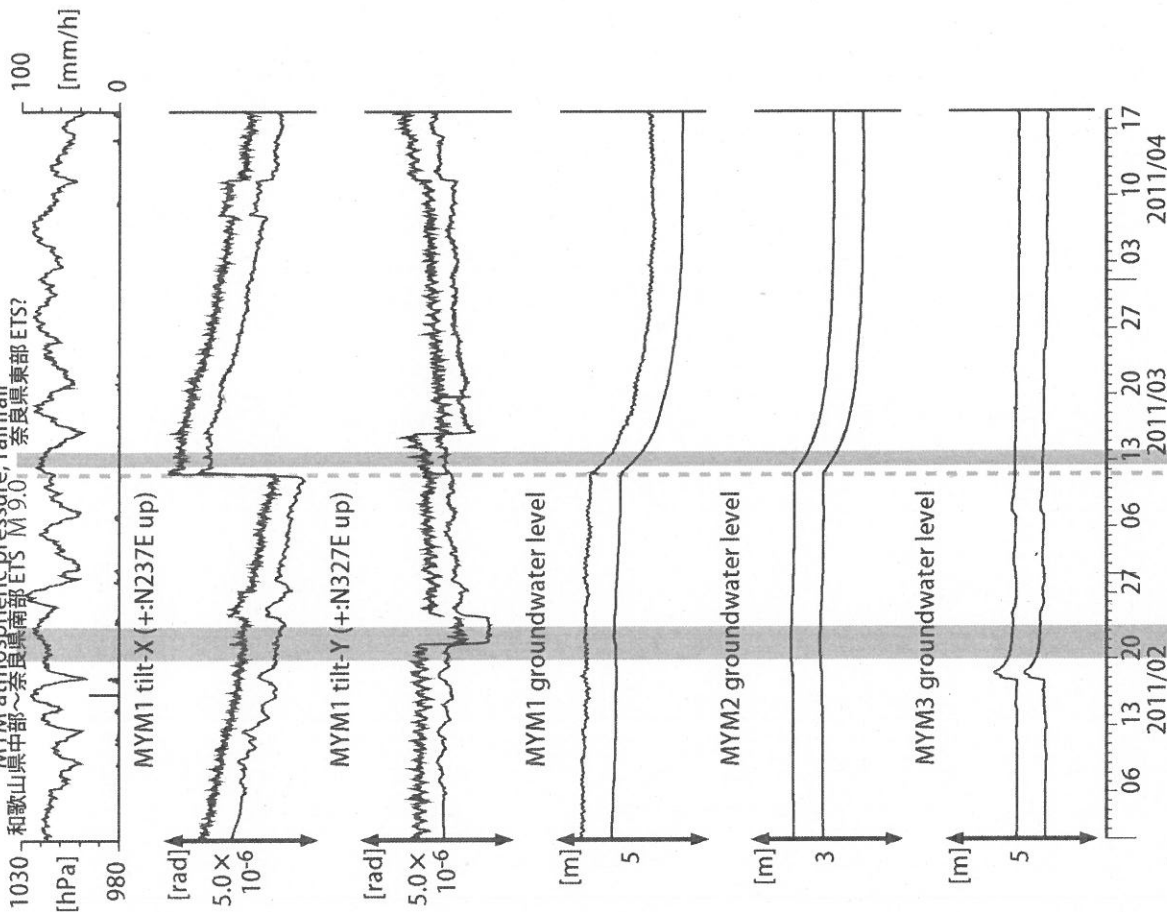
MYM atmospheric pressure, rainfall
和歌山県中部~奈良県南部 ETS M 9.0 奈良県東部 ETS?



観測点名: 紀北海山 (旧名称: 海山)
Strainmeter depth = 590.0-591.4 [GL-m]
上: 1次トレンド除去
下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分除去後に1次トレンド除去

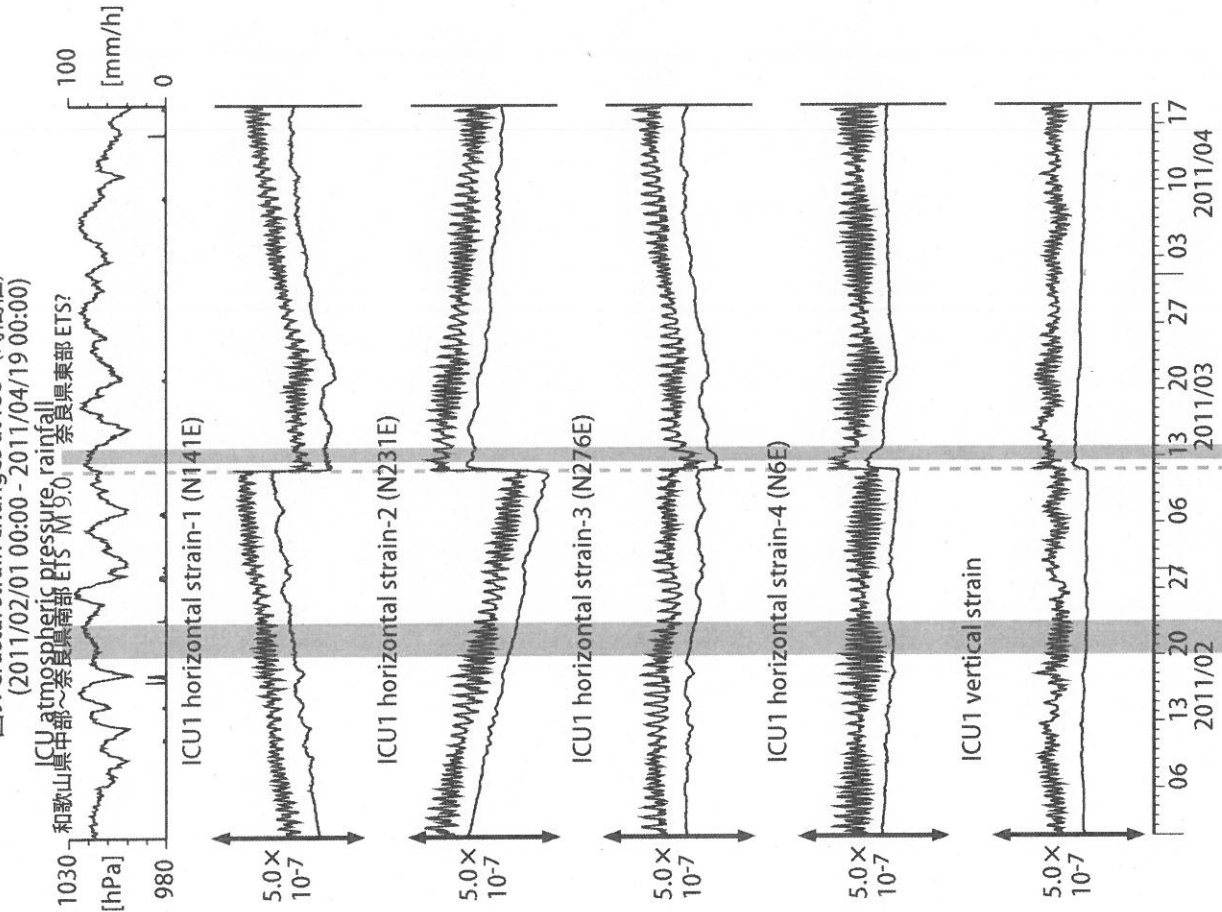
図8: Tilt and groundwater level changes at MYM (時間値)
(2011/02/01 00:00 - 2011/04/19 00:00)

MYM atmospheric pressure, rainfall
和歌山県中部~奈良県南部 ETS M 9.0 奈良県東部 ETS?



観測点名: 紀北海山 (旧名称: 海山)
Tiltmeter depth = 589.2-590.0 [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9: Crustal strain changes at ICU (時間値)
(2011/02/01 00:00 - 2011/04/19 00:00)



観測点名: 熊野磯崎 (旧名称: 井内浦)
Strainmeter depth = 588.5-589.9 [GL-m]
上: 1次トレンド除去
下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分除去後に1次トレンド除去

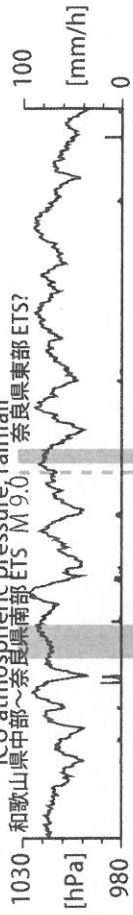
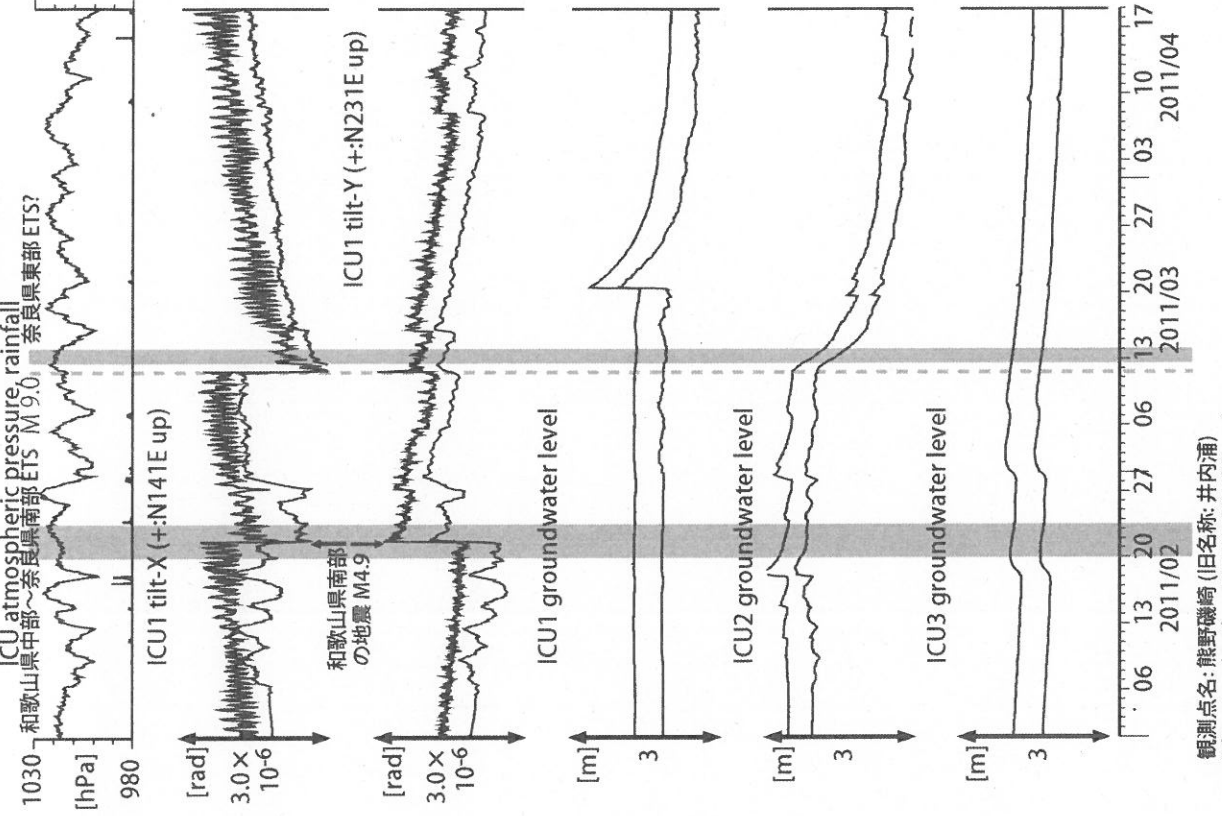


図10: Tilt and groundwater level changes at ICU (時間値)
(2011/02/01 00:00 - 2011/04/19 00:00)



観測点名: 熊野磯崎 (旧名称: 井内浦)
Tiltmeter depth = 587.7-588.5 [GL-m]
ICU1 : Screen depth = 522.5-533.4 [GL-m]
ICU2 : Screen depth = 95.7-106.6 [GL-m]
ICU3 : Screen depth = 13.4-18.8 [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

図11: Crustal strains changes at HGM (時間値)
(2011/02/01 00:00 - 2011/04/19 00:00)

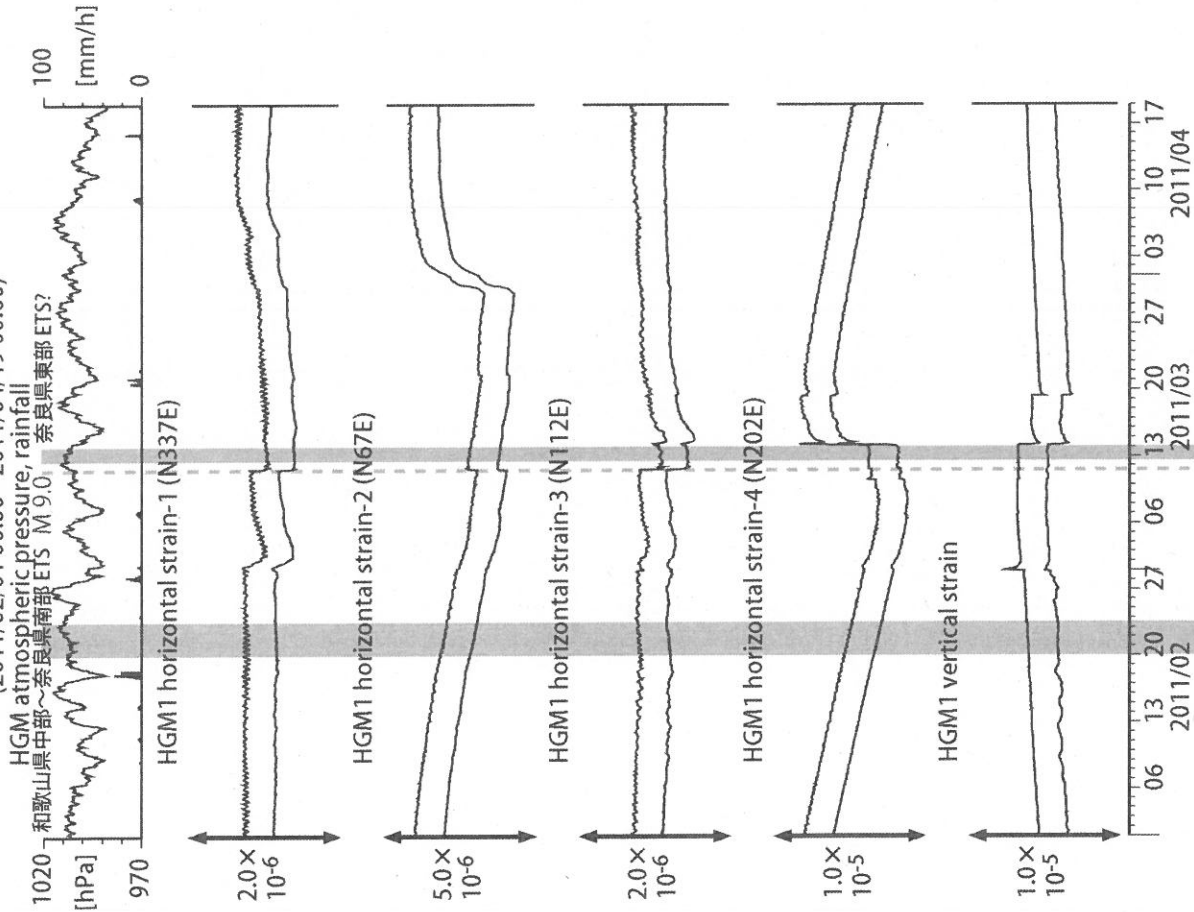


図12: Tilt and groundwater level changes at HGM (時間値)
(2011/02/01 00:00 - 2011/04/19 00:00)

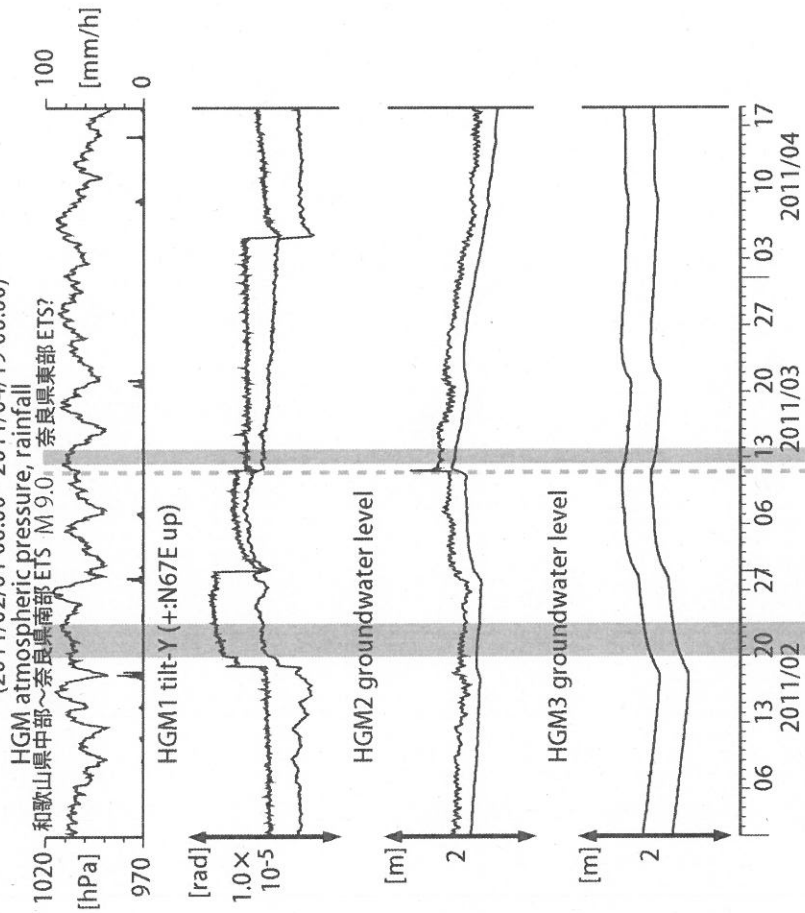
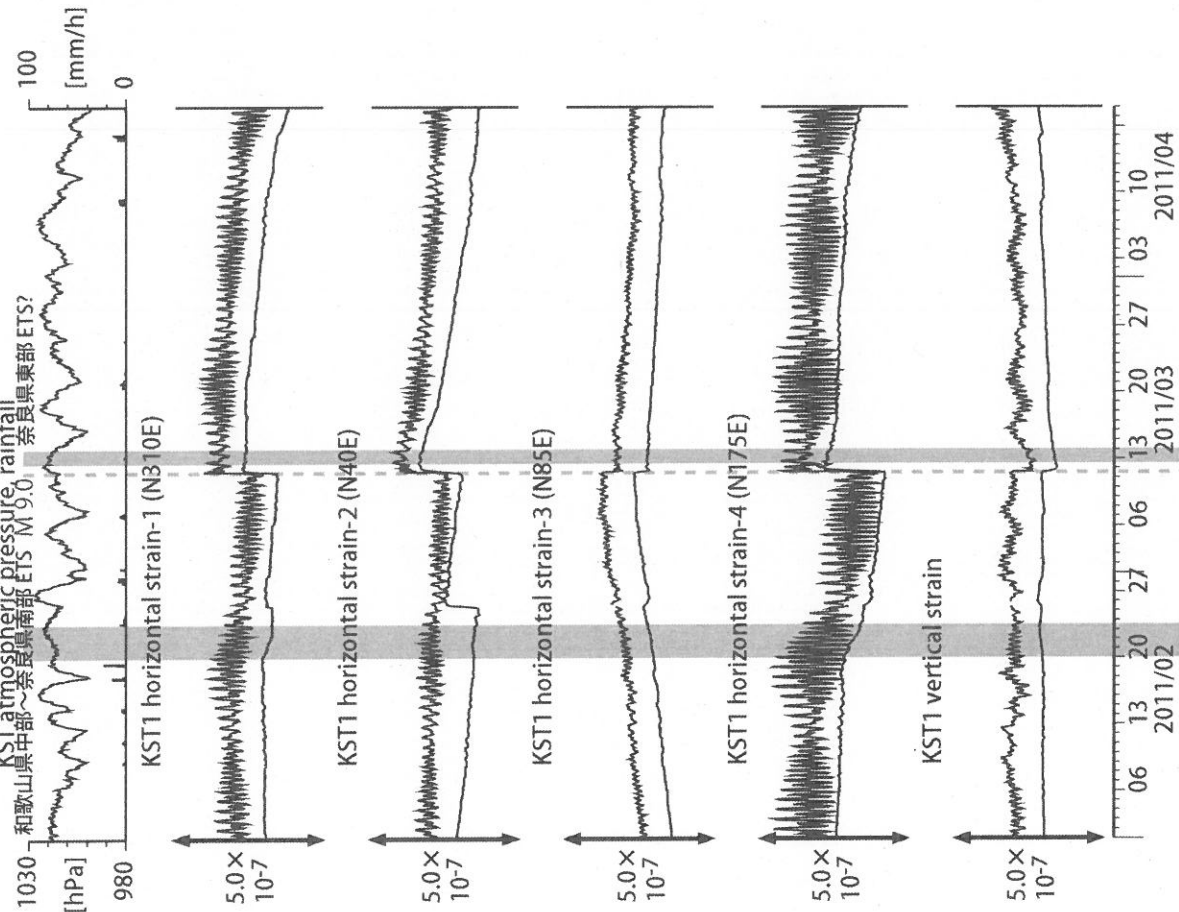
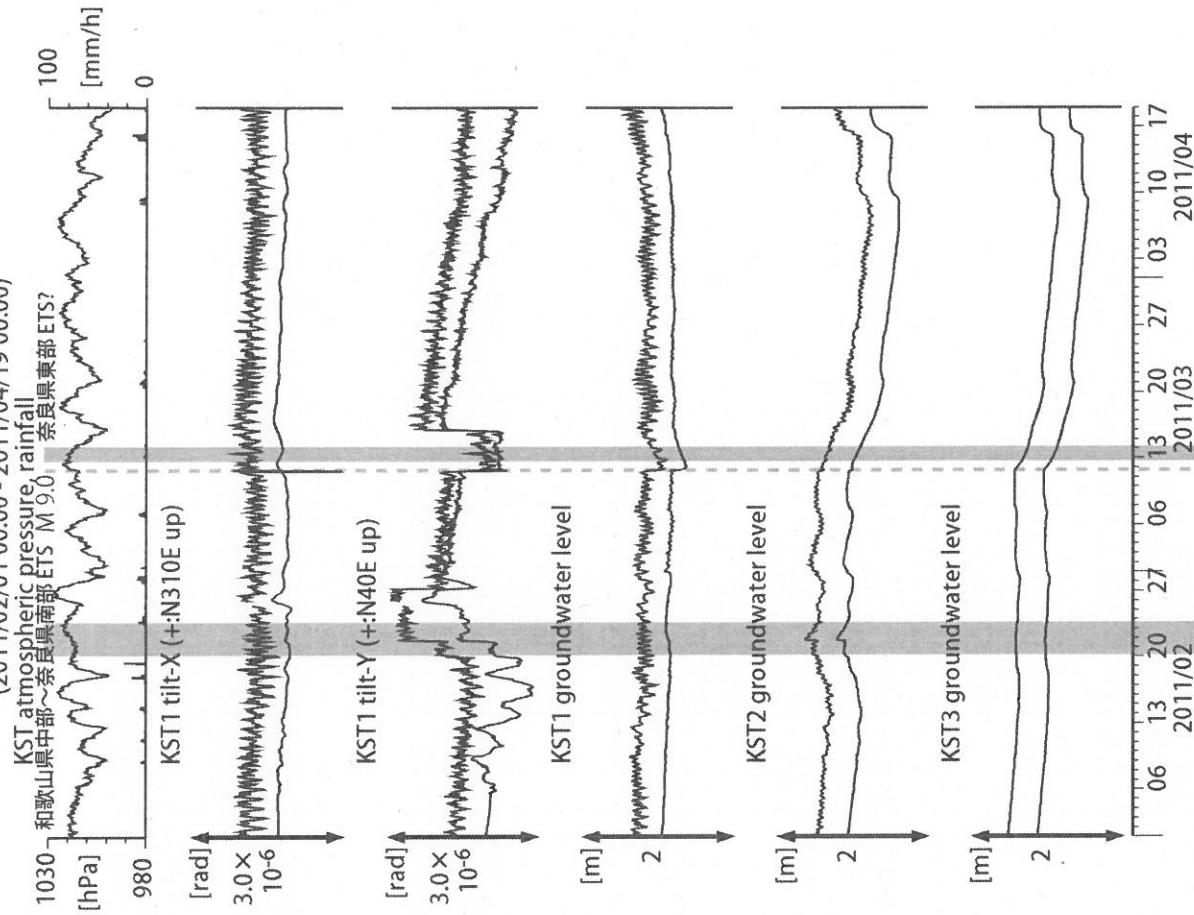


図13: Crustal strain changes at KST (時間値)
(2011/02/01 00:00 - 2011/04/19 00:00)



観測点名: 串本津荷 (変更無し)
Strainmeter depth = 589.8-591.2 [GL-m]
上: 1次トレンド除去
下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分除去後に1次トレンド除去

図14: Tilt and groundwater level changes at KST (時間値)
(2011/02/01 00:00 - 2011/04/19 00:00)



観測点名: 串本津荷 (変更無し)
Tiltmeter depth = 589.0-589.8 [GL-m]
KST1 : Screen depth = 509.2-520.2 [GL-m]
KST2 : Screen depth = 132.9-143.9 [GL-m]
KST3 : Screen depth = 20.4-30.6 [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

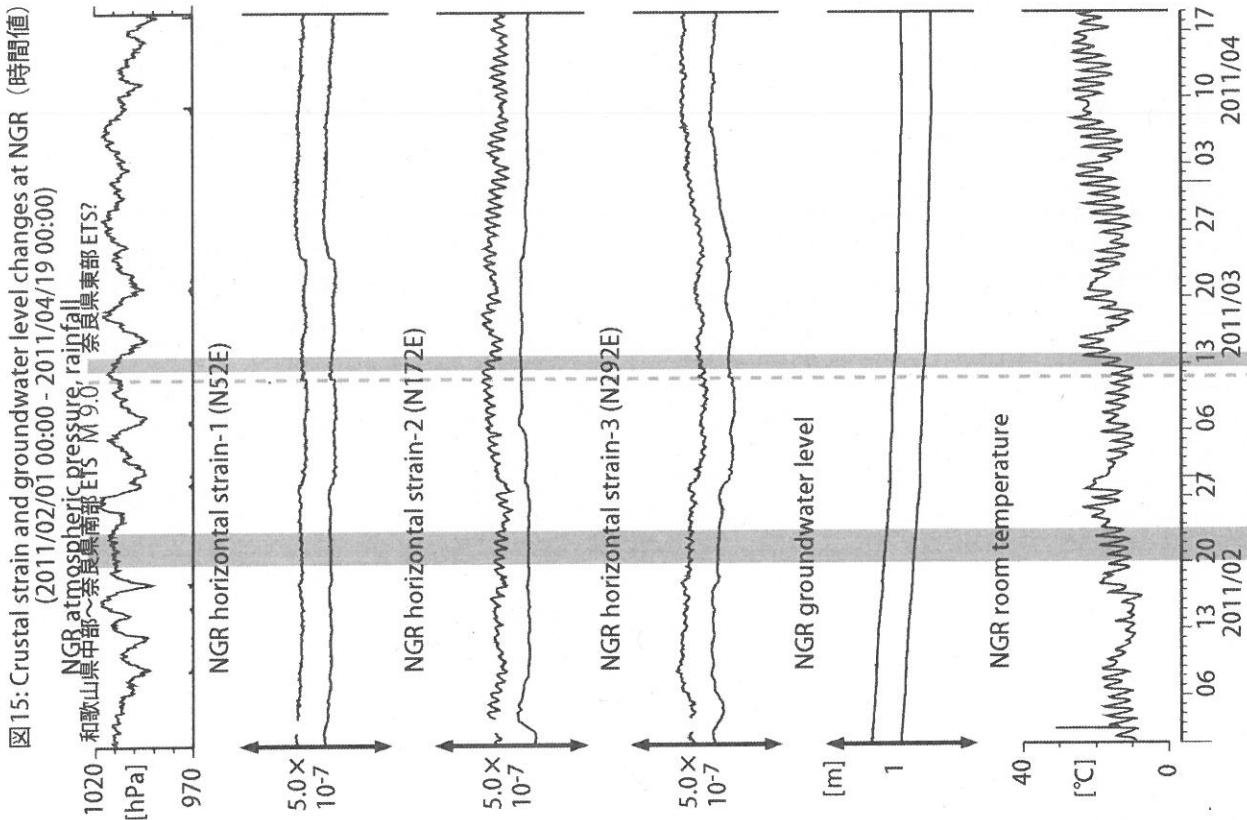
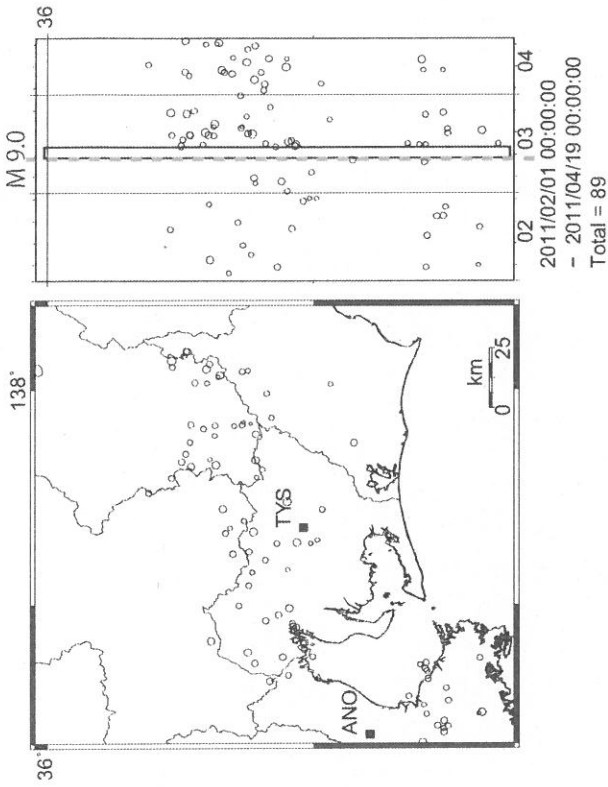


図 15: Crustal strain and groundwater level changes at NGR (時間値)
 (2011/02/01 00:00 - 2011/04/19 00:00)
 和歌山県中部～奈良県南部 EFS M 9.0 奈良県東部 ETS?

観測点名: 岩出東坂本 (旧名称: 根来)
 Strainmeter depth = 616 [GL-m]
 Screen depth = 408.9-446.5 [GL-m]
 上: strainは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、strainは1次トレンドも除去



Deep low-frequency tremors in Tokai (日値)
 (2011/02/01 00:00 - 2011/04/18 00:00)

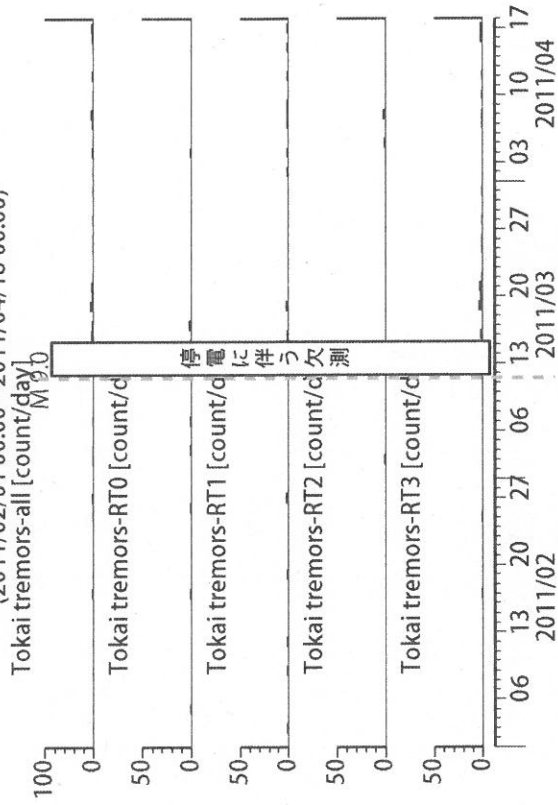


図 16: 愛知県およびその周辺における深部低周波微動の時空間分布 (上段)、各領域における発生頻度 (日値)。エンベロープ相関法により決定した。防災科研 Hi-net、気象庁、東京大学、京都大学、名古屋大学、高知大学、九州大学の地震波形記録を用いました。

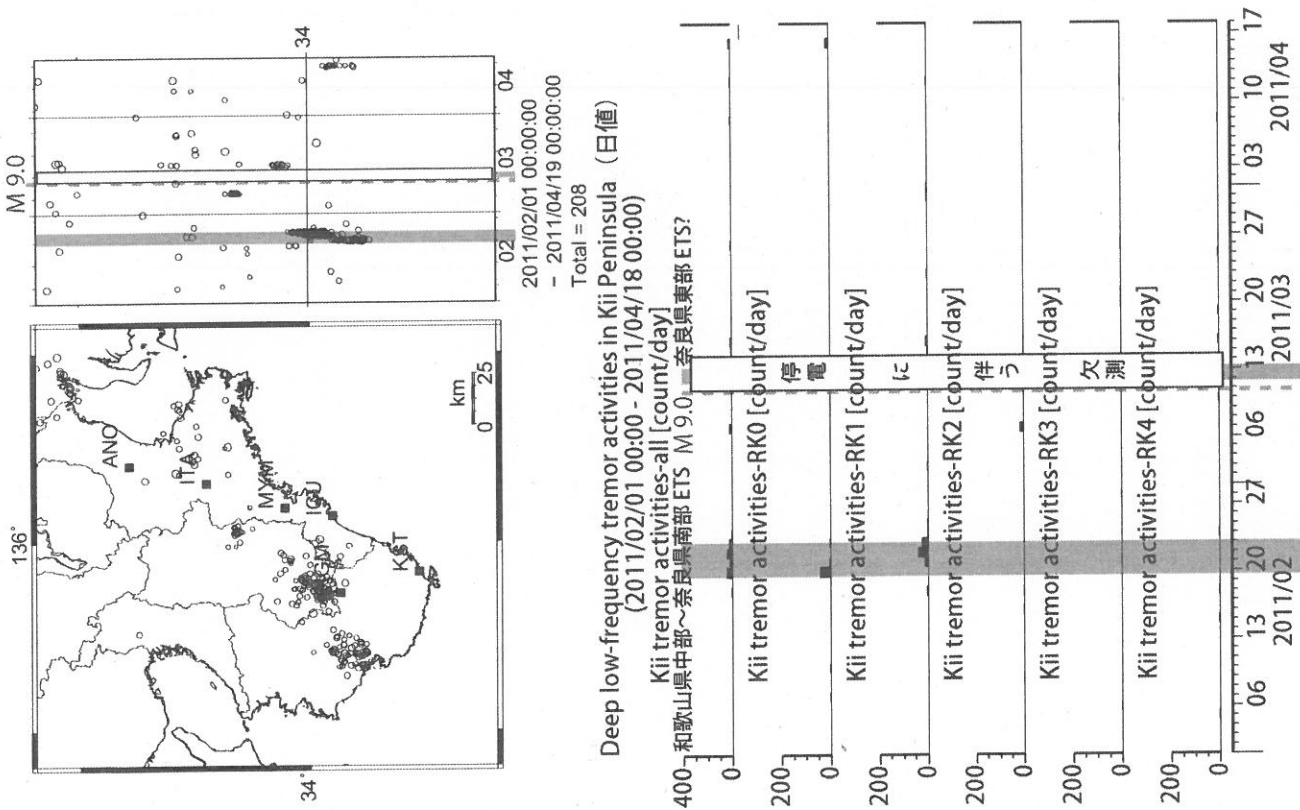


図 17: 紀伊半島～愛知県における深部低周波微動の時空間分布(上段)、各領域における発生頻度(日値)。エンペロップ相関法により決定した。防災科研 Hi-net、気象庁、東京大学、京都大学、名古屋大学、高知大学、九州大学の地震波形記録を用いました。

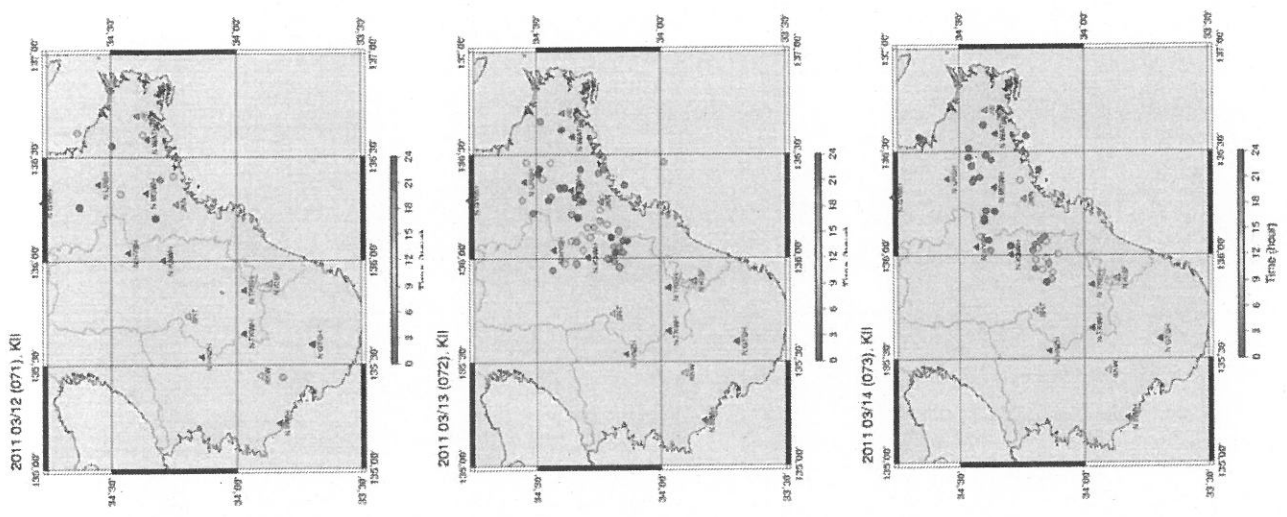
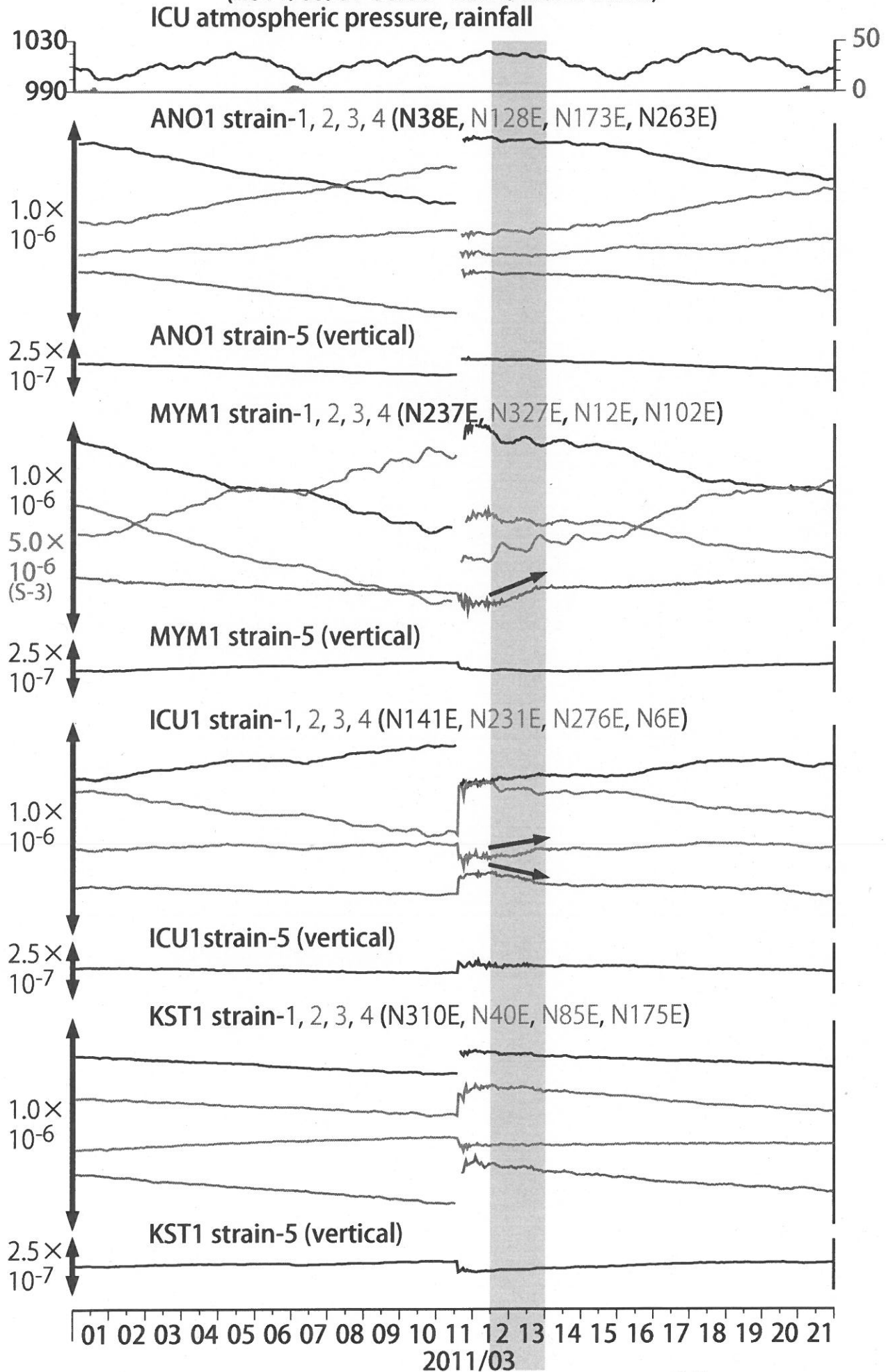


図 18: 広島大学の低周波微動自動モニタリングシステム (ATMOS) による 2011/3/12-14 の紀伊半島におけるモニタリング結果 <http://tremor.geol.sci.hiroshima-u.ac.jp/index.html>

図19: 紀伊半島における歪観測結果 (時間値)
 (2011/03/01 00:00 - 2011/03/22 00:00)



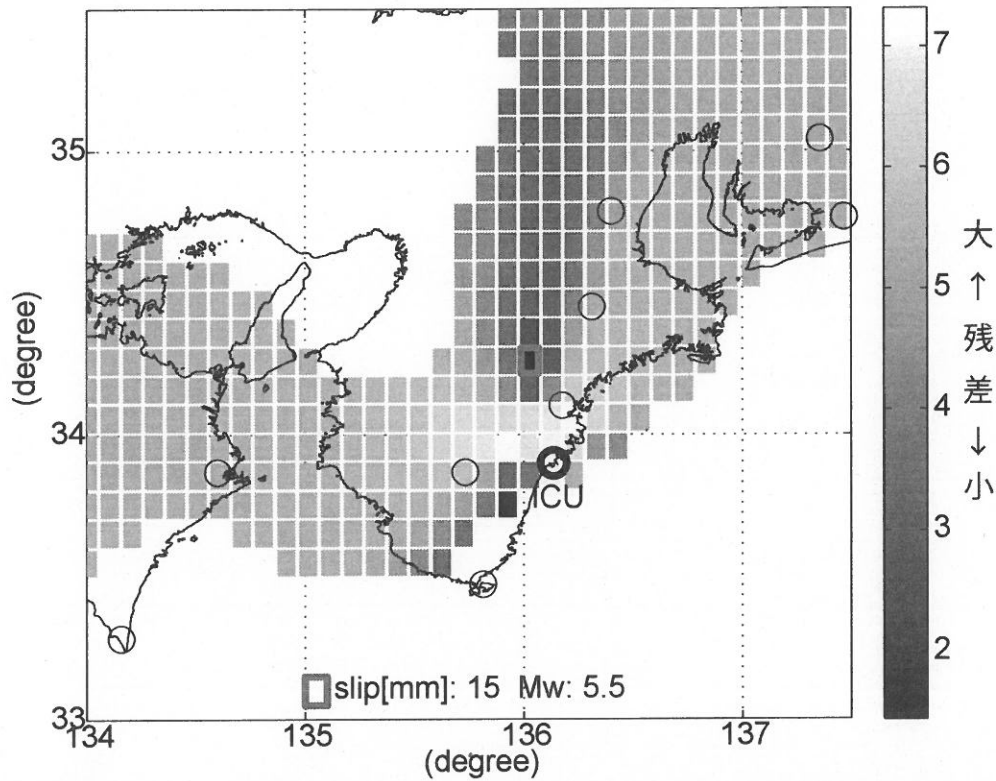


図20: プレート境界面上のパッチ(断層面)をすべらせた際の、歪3成分の観測値と計算値の残差分布図。パッチサイズは20×20km、すべり量は5-500mmで可変(5mm間隔)。赤線は最小残差のパッチ。このパッチのすべり量、Mwを下部に示している。太黒丸は計算に使用した観測点を示す。残差が小さい領域と微動が活発な領域(図19)は概ね一致する。

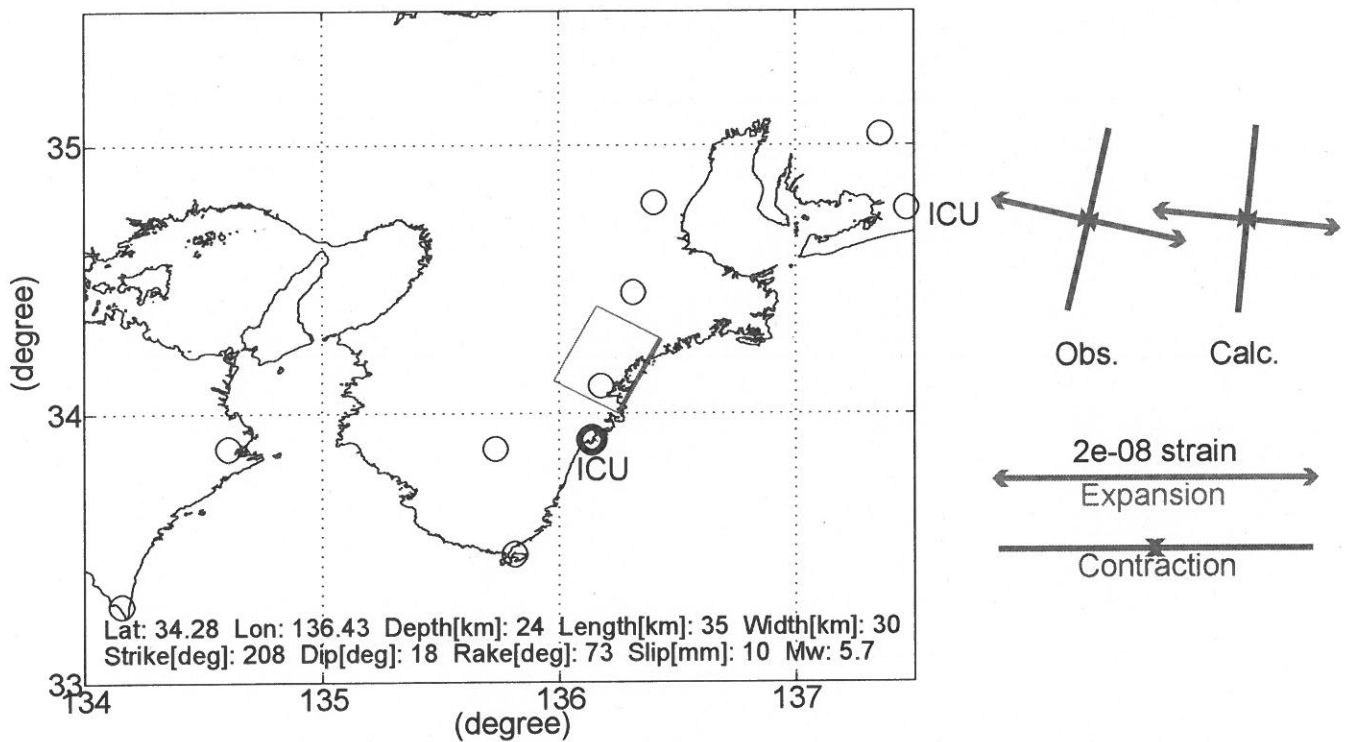


図21: プレート境界面上のグリッドサーチによる断層面推定結果。青丸は産総研による深部低周波微動震央。断層位置は経緯度方向に0.1度間隔、断層面の幅と長さはそれぞれ10~50kmまで5km間隔、すべり量は5~500mmまで5mm間隔で計算した。太黒丸は計算に使用した観測点を示す。右側に、主歪の観測値と、推定された断層面による計算値との比較を示す。計算に使用したのは1地点のみであり、一意性は低い。

2011年東北太平洋沖地震 (M9.0) に伴う東海～四国周辺における地下水・地殻歪変化

産業技術総合研究所

1. 歪ステップから推定した2011年東北地方太平洋沖地震の断層モデル

2011年3月11日の東北太平洋沖地震による断層変位に伴い、産総研が東海・紀伊半島・四国に展開している歪観測網で 10^{-5} オーダーの歪地震動と、 10^{-7} オーダーのstrain stepが観測された。本報告では、それらの観測結果と、歪ステップから推定される東北地方太平洋沖地震の断層モデルについて紹介する。

歪ステップ量は次の手順で求めた。下処理として、3/11の24時間分の記録から1次トレンドを取り除く。その後、本震や余震の揺れによる影響を避けるために、15:00-10の間の平均値から、14:35-45の平均値を除いて、これら4成分の値を、Matsumoto *et al.* (2010)によってキャリブレーションしたものを観測値とした。このキャリブレーションによって、観測された歪変化値は概ね1/2~1/3の大きさになる。断層面は、太平洋プレート境界面上[Kita *et al.*, 2010; Nakajima and Hasegawa, 2006; Nakajima *et al.*, 2009]に1枚の均質な滑りの断層面を仮定してグリッドサーチにより推定する。断層面の中心の位置は、経緯度共に 0.1° ごと、すべり量は1~30mの間で0.5m間隔、断層面の幅・長さをそれぞれ50~500kmの間で50km間隔で可変、すべり方向は太平洋プレートの沈み込み方向[Wei and Seno, 1998]に平行(N115° E)として計算を行なった。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た。

断層面を推定した結果を図1aに、GPS観測結果から推定したプレート境界面上のすべり分布モデル(暫定)[国土地理院, 2011]を図1b示す。また、観測データの例を図2と図3に示す。断層面の長さは150km、幅は100km、すべり量は27.0m、 M_w は8.7と推定された。観測値と、推定した断層面から期待される値は概ね一致している。国土地理院の結果は、3/9 11:45に発生した M_{jMA} 7.3の前震や、本震後数時間分の余震、余効変動による変動が含まれているが、歪ステップから推定したモデルは本震を含む35分間のみのデータで推定しており、相対的に本震の情報をより多く含んでいると考えられる。2つのモデルを比較すると、地理院のモデルで20mを超える大きなすべりが推定される領域と、本報告で推定した断層面の位置がよく一致していることが分かる。

2. 2011年東北太平洋沖地震 (M9.0) に伴う東海～四国周辺における地下水変化

産業技術総合研究所が東海・近畿・四国に展開している観測井で、地震に伴う地下水位・水圧・自噴量に変化が観測された。47観測点の観測井82本(図4)における地下水の観測結果を紹介する。複数の観測井がある観測点では、深い観測井から順に1, 2, 3と番号を付けている。図5に観測例を示す。地震波に伴うダイナミックな振動・ステップ状の変化・地震直後からの上昇あるいは低下が観測された。海岸沿いの観測井の一部では大津波に伴う振動が観測された。

地震時のステップ状の変化および地震後の変化を以下の方法で計算した。まず、地震直前の値を2011/3/1114:35-14:45 (JST)の平均値とする。次に、地震直後の値を2011/3/11 15:00-15:10 (JST)の平均値とする。更に、地震後1日目の値を2011/3/1214:35-14:45 (JST)の平均値とする。そして、地震時のステップ状の変化は地震直後の値と地震直前の値との差とする。地震後1日間での変化は地震後1日目の値と地震前の値との差とする。変化の大きさが水位10mm以下(自噴量では $10\text{cm}^3/\text{min}$ 以下)の場合は変化なしと決めた。図4aに地震時のステップ状の変化を示す。上昇した観測井が12本、低下した観測井が32本、変化なしの観測井が38本であった。最も水位が上昇した観測井はHGM2で250mm上昇した。最も水位が低下した観測井はANO2で511mm低下した。伊豆半島では全般に上昇した。それ以外の地域では低下の割合が大きかった。図4bに地震後1日間での変化を示す。上昇した観測井が14本、低下した観測井が56本、変化なしの観測井が12本であった。最も水位が上昇した観測井はODGで403mm上昇した。最も水位が低下した観測井はKNG2で926mm低下した。伊豆半島では全て上昇した。それ以外の地域では低下の割合が非常に大きかった。複数の観測井がある観測点では、最も深い観測井の水位が上昇している傾向が見られた。国土地理院による暫定の断層モデル(国土地理院, 2011)を用いて、地震の断層変位による静的な体積歪変化をMICAP-G(内藤・吉川, 1999)によって計算した。全ての観測井は膨張の領域にあることが分かった。推定された体積歪変化量は $+10^{-8}$ から $+10^{-7}$ の桁であった。地震による変化は主に低下であり、低下傾向は地震の断層変位による静的な体積歪変化で説明可能である。しかしながら、幾つかの観測井では上昇であり、それは静的な体積歪変化では説明できない。

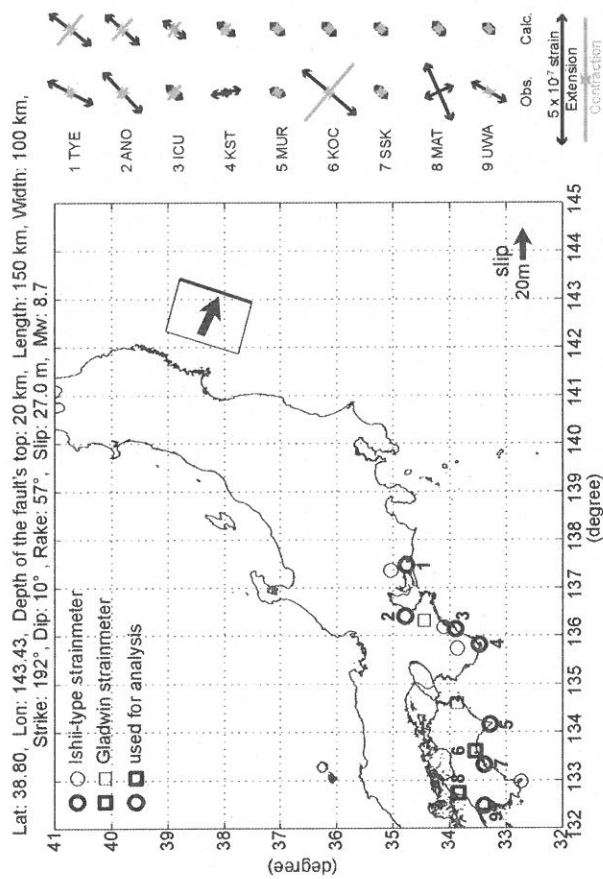


図1a 観測された歪ステップから推定された断層モデル。主歪について、観測値と、推定した断層モデルからの計算値の比較を右側に示す。

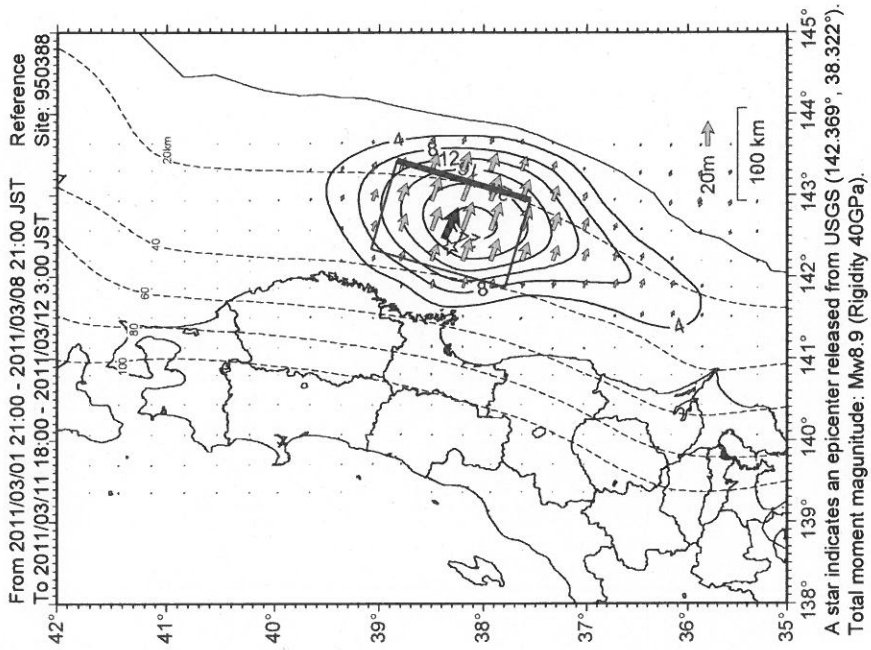


図1b GPSデータにより推定された歪ベリモデルと、本研究で推定した断層モデルの比較。(国土地理院, 2011 に加筆)

図2: Crustal strain at TYE (時間値)
(2011/02/21 00:00 - 2011/03/22 00:00)

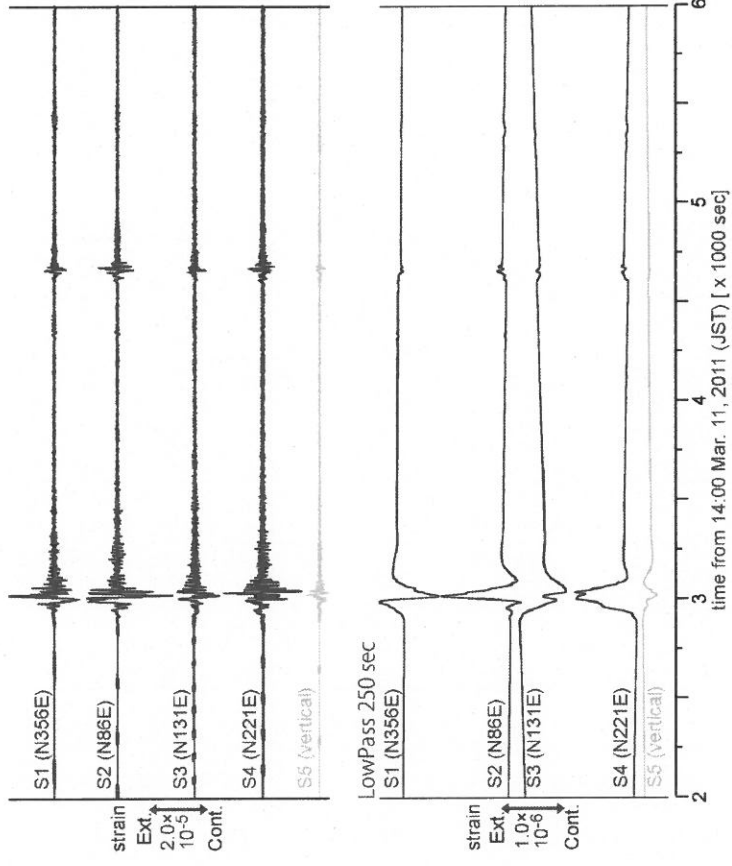
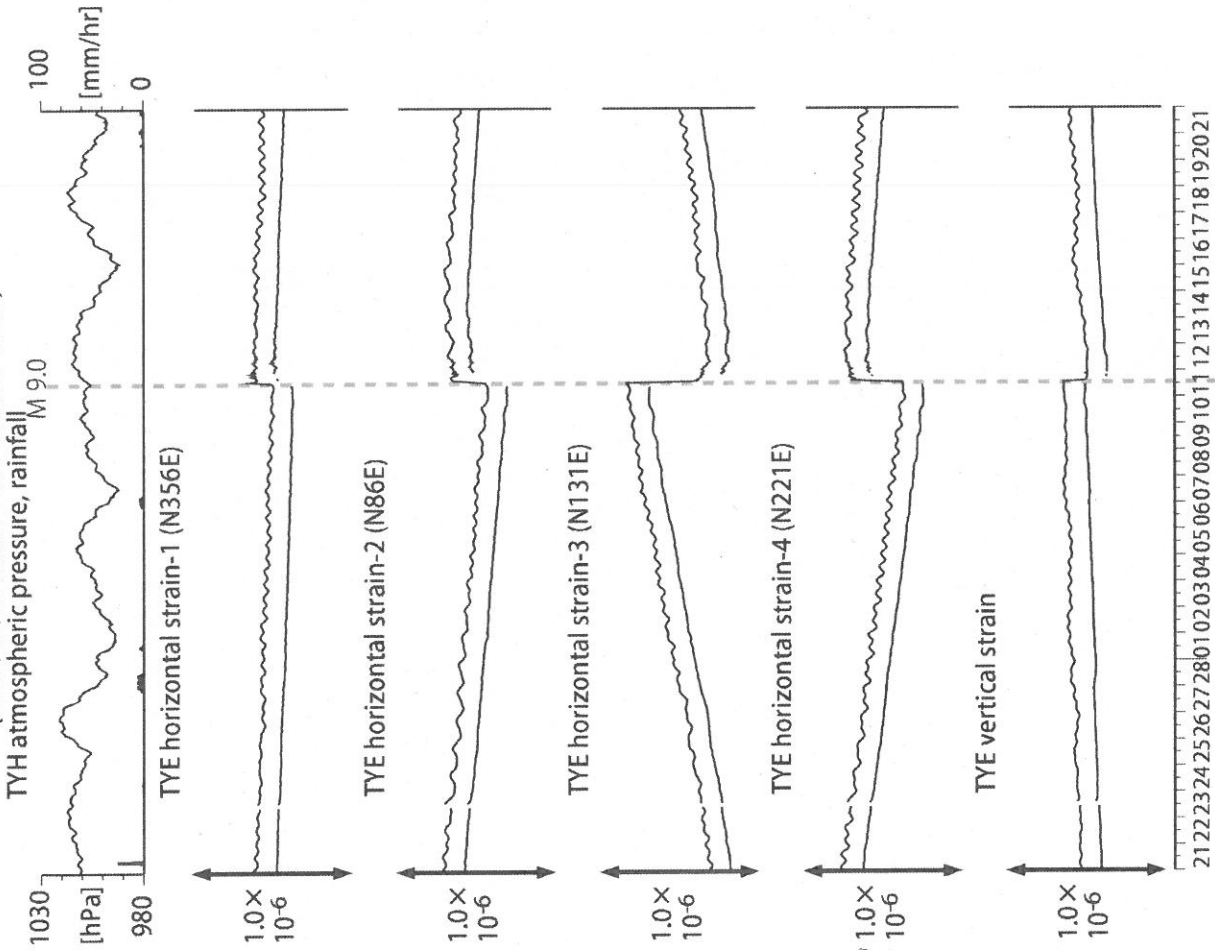


図3: TYEにおける歪地震動観測結果 (20Hz)
上図が生データ, 下図は250秒のローパスフィルターを
かけたデータ。

観測点名: 豊橋多米 (旧名称: 豊橋東, TYH(豊橋)は変更無し)
Strainmeter depth = 266.5-267.9 [GL-m]
上: 1次トレンドを除去
下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答成分を除去後、1次トレンドも除去

2011/02 21 22 23 24 25 26 27 28 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 2011/03

図4a 産総研の観測井における地震時のステップ状の地下水変化の分布と地震の断層変位による静的な体積歪変化

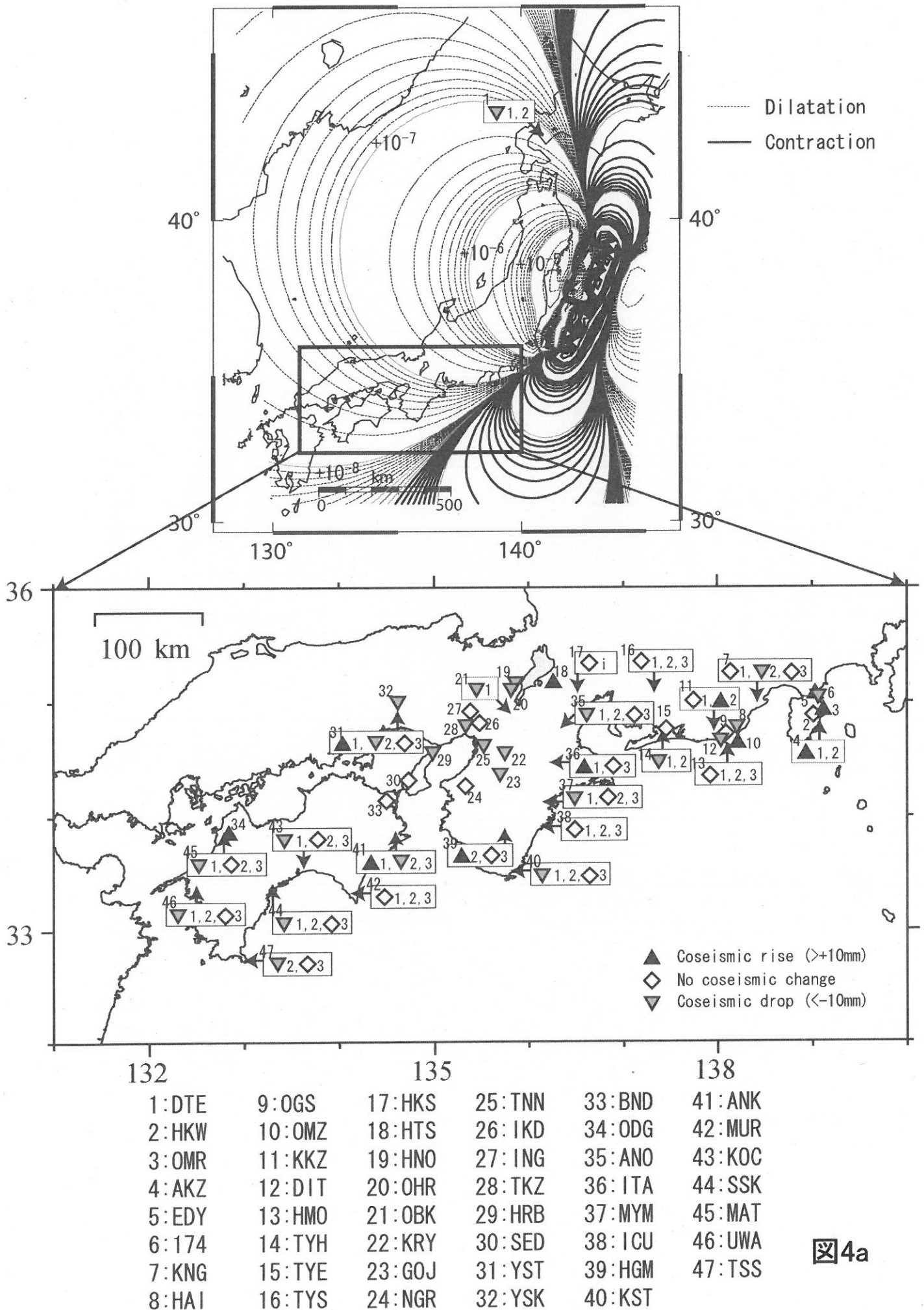


図4a

図 4b 産総研の観測井における地震後1日間での地下水変化の分布と地震の断層変位による静的な体積歪変化

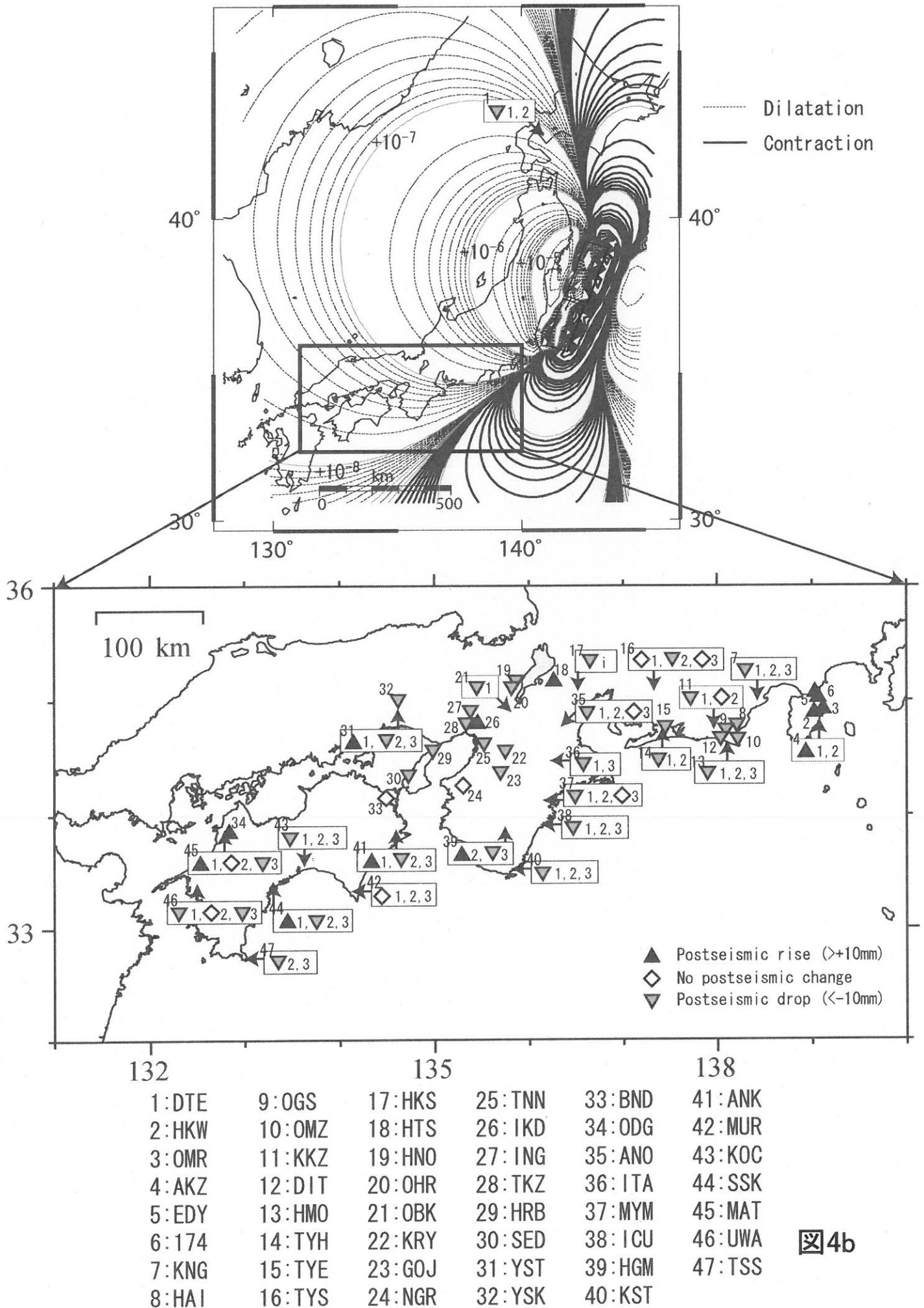


図4b

