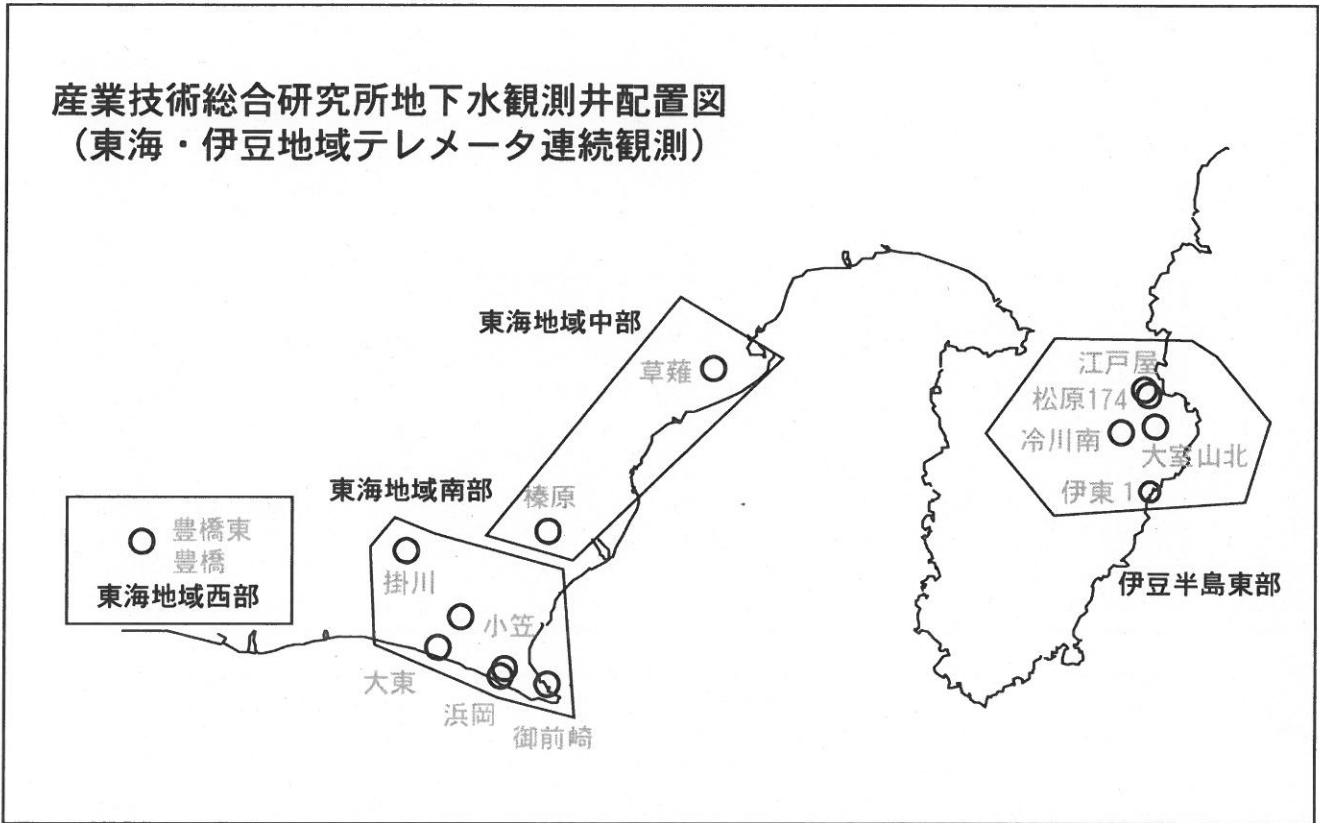


東海・伊豆地域等の地下水観測結果

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, 草薙)地下水 3成分歪; 中期
- 1-b. 東海地域中部(草薙)3成分歪; 中期
2. 東海地域中部(榛原, 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, 豊橋東)地下水・歪・傾斜; 中期
- 5-b. 東海地域西部(豊橋東)歪等; 中期
6. 東海地域西部(豊橋・豊橋東)地下水・歪・傾斜; 長期
- 6-b. 東海地域西部(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
9. 関東地域(つくば1, 川崎)地下水; 中期
10. 関東地域(つくば1, 川崎)地下水; 長期

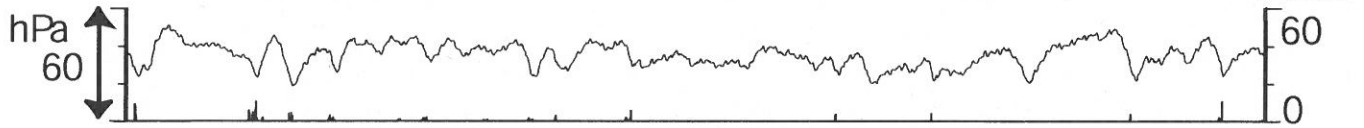
別紙

- ・紀伊半島南部の地下水・歪等観測結果
- ・浜岡・榛原の降雨グラフ

東海地域中部（榛原・草薙）中期（時間値）
 (2009/11/01 00:00 - 2010/02/01 00:00)

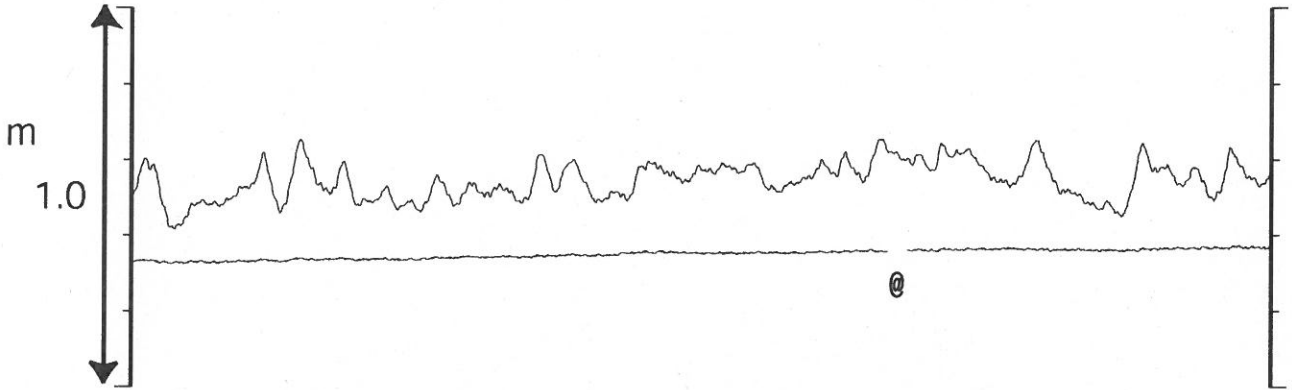
榛原 気圧 (Vaisara) [hPa]

榛原 降水量 (積算) [mm]



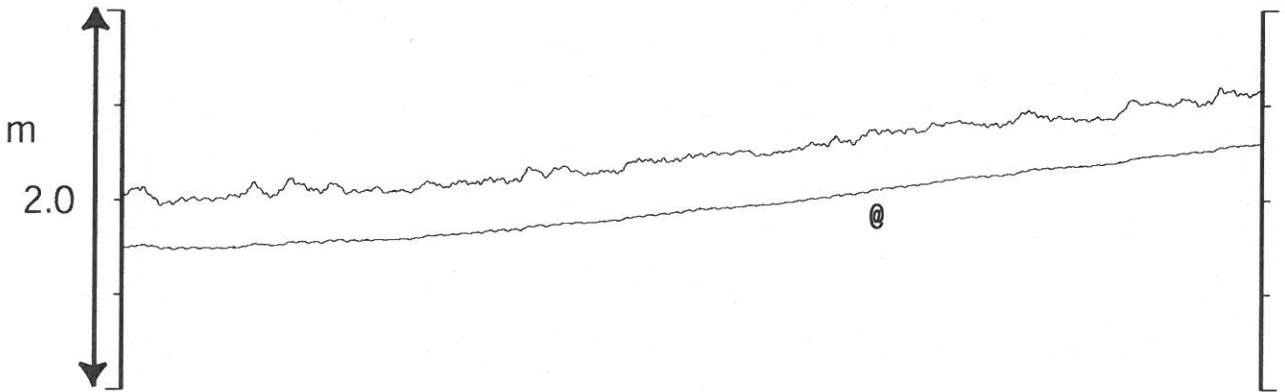
榛原 水位 (差圧) [m]

榛原 水位 (差圧) (MR-AR)

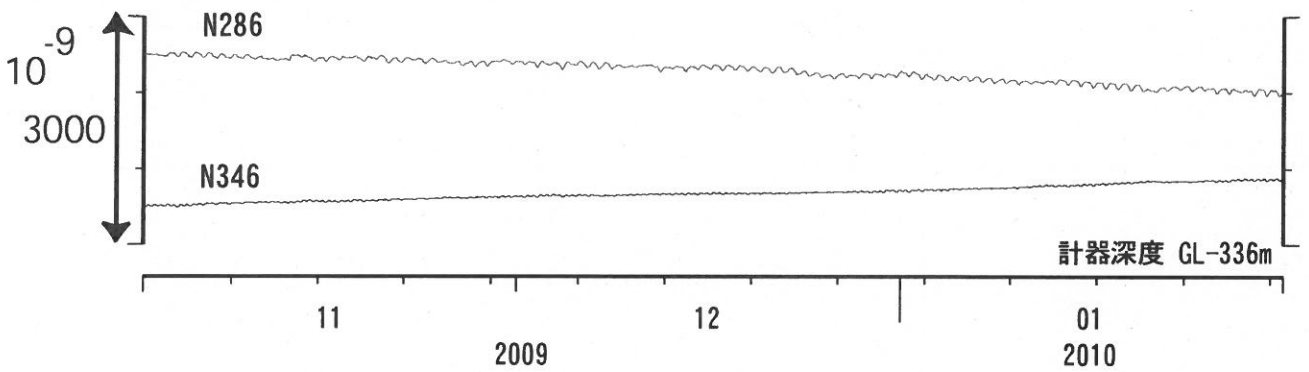


草薙2 水位 (差圧) [m]

草薙2 水位 (差圧) (MR-AR)



草薙1 歪all [xE-9]



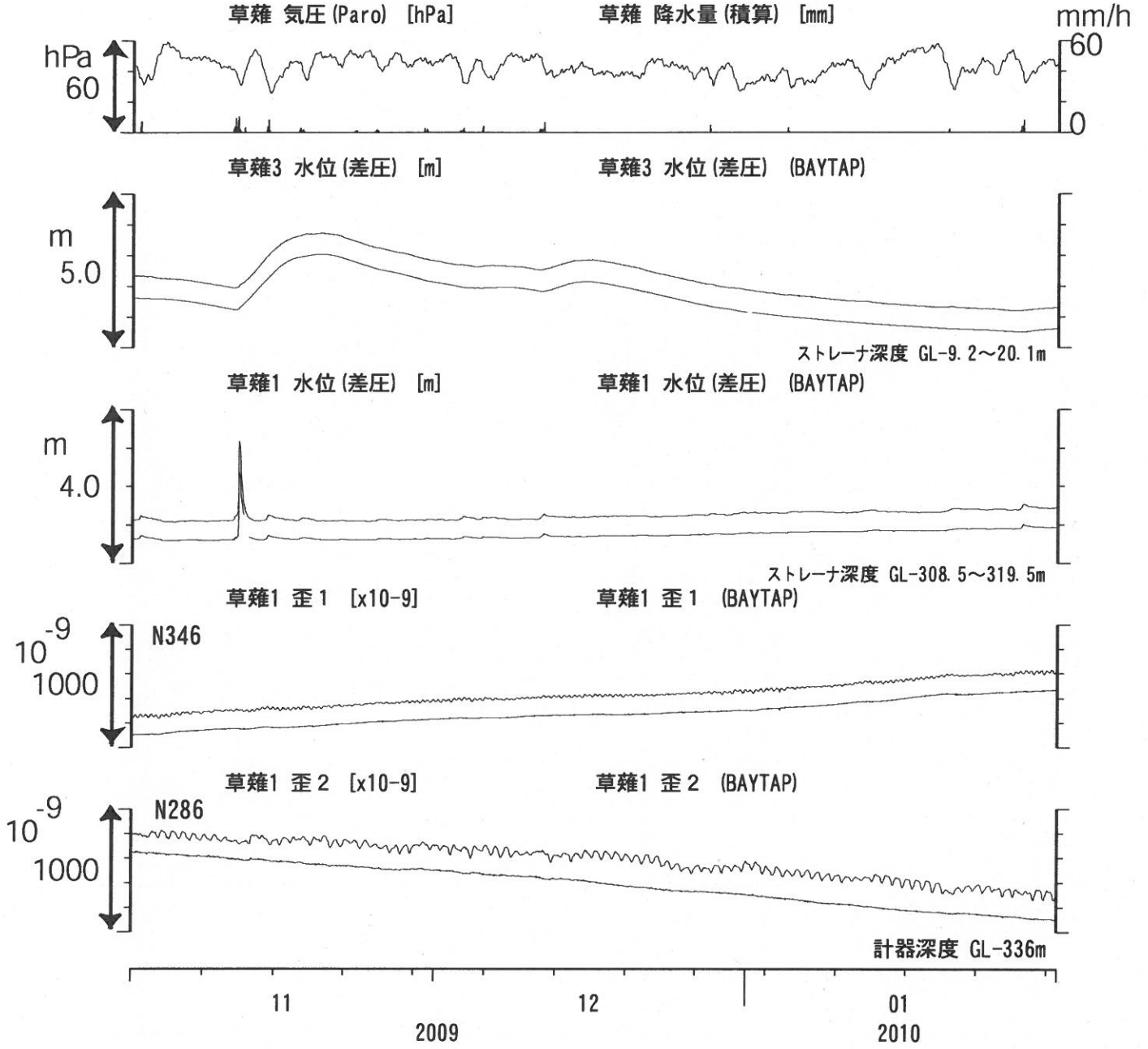
コメント：\$;保守.

@;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。

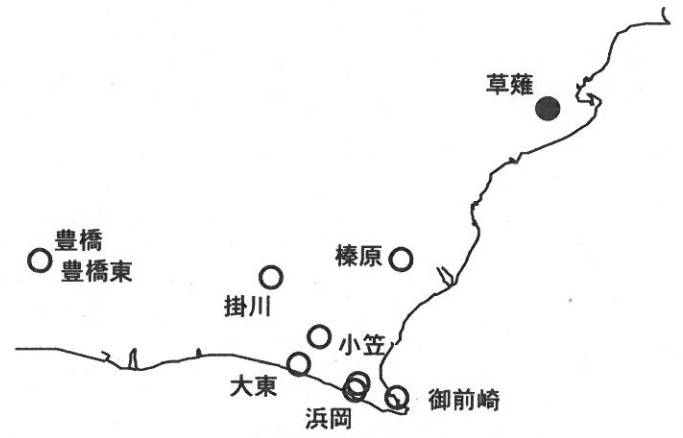
歪3 (N226成分) は2009年6月16日の雷で故障したため
 表示していない。



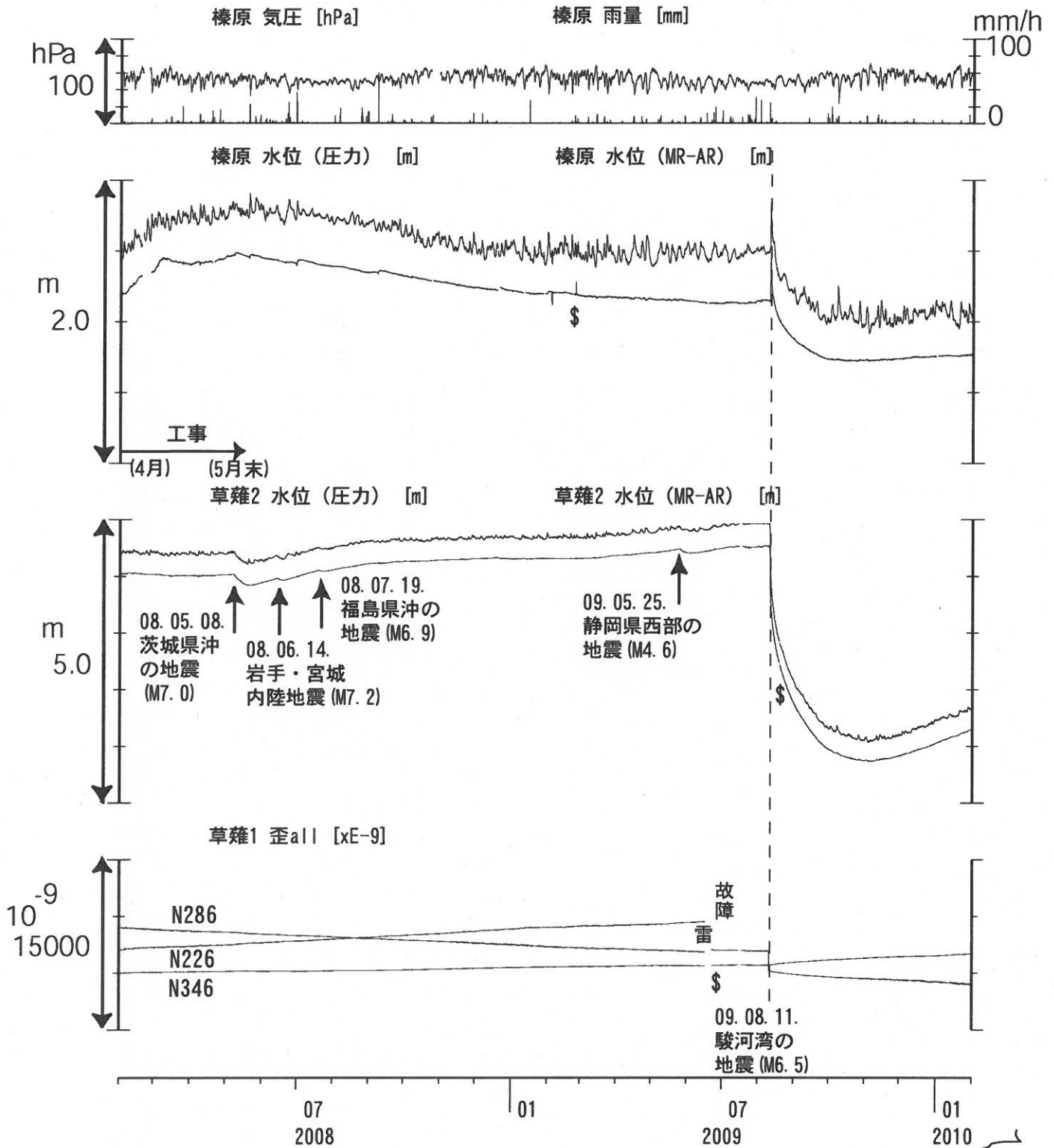
東海地域中部 (草薙・歪) 中期 (時間値)
 (2009/11/01 00:00 - 2010/02/01 00:00)



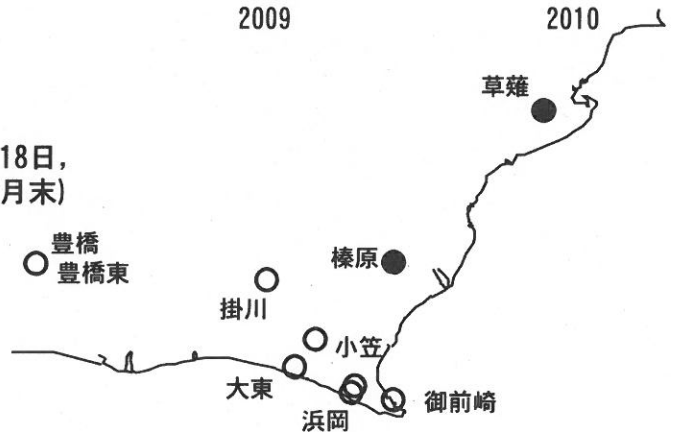
コメント：\$;保守.
 2009年11月中旬の水位上昇は降雨により
 地表から水が流れ込んだためと思われる。
 歪3 (N226成分) は6月16日の雷で故障したため
 表示していない。



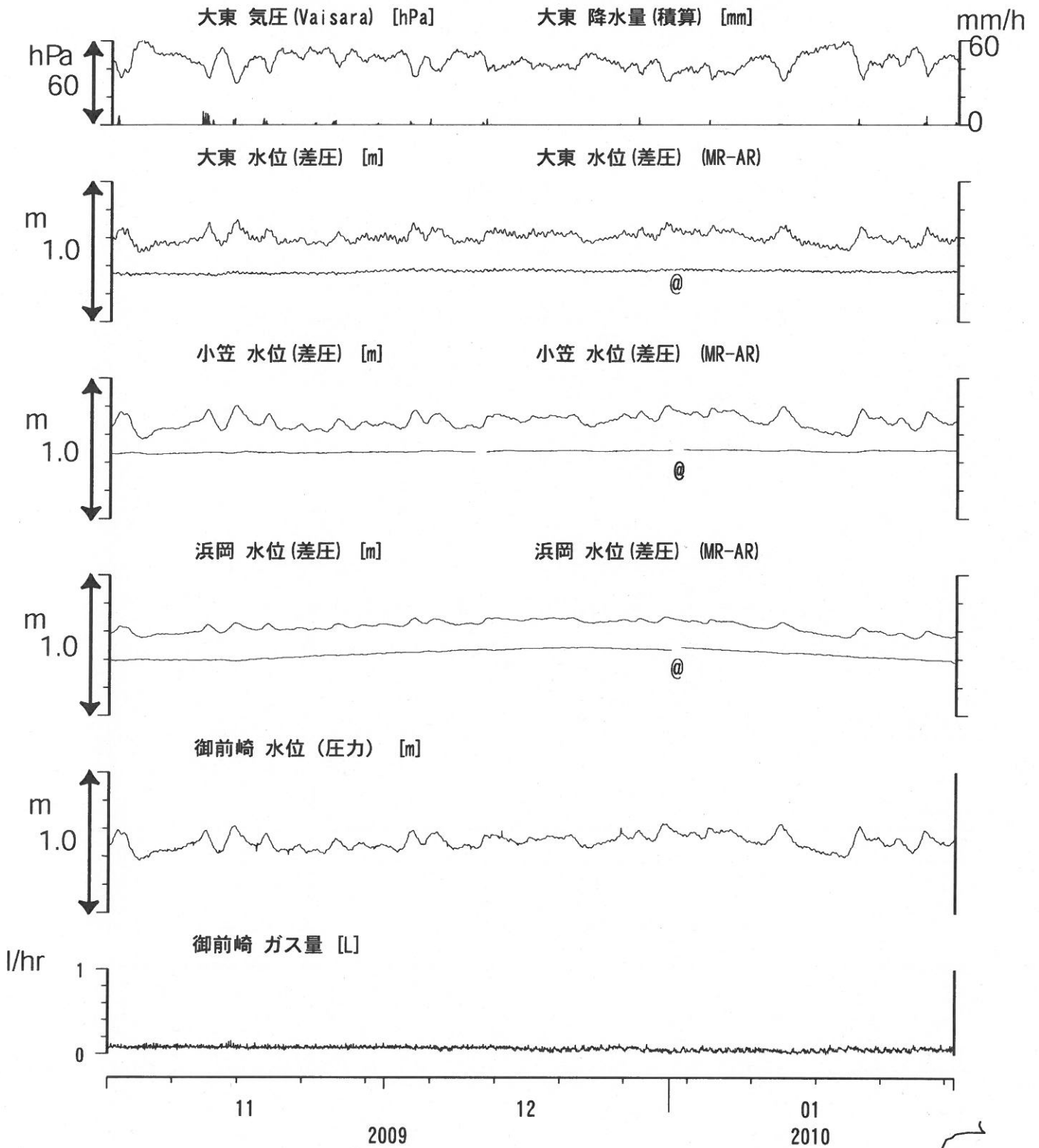
東海地域中部（榛原・草薙）長期（時間値）
 (2008/02/01 00:00 - 2010/02/01 00:00)



コメント：*;雨量補正不十分。?;原因不明。
 静岡空港建設工事 (2002年7月～2003年2月,
 2003年5月～2004年3月, 2004年8月末～2005年5月18日,
 2005年5月21日～2006年8月, 2007年4月～2008年5月末)
 が榛原で行われている。
 歪N226成分が6月16日の雷で故障した。
 草薙2の水位は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)
 (2009/11/01 00:00 - 2010/02/01 00:00)

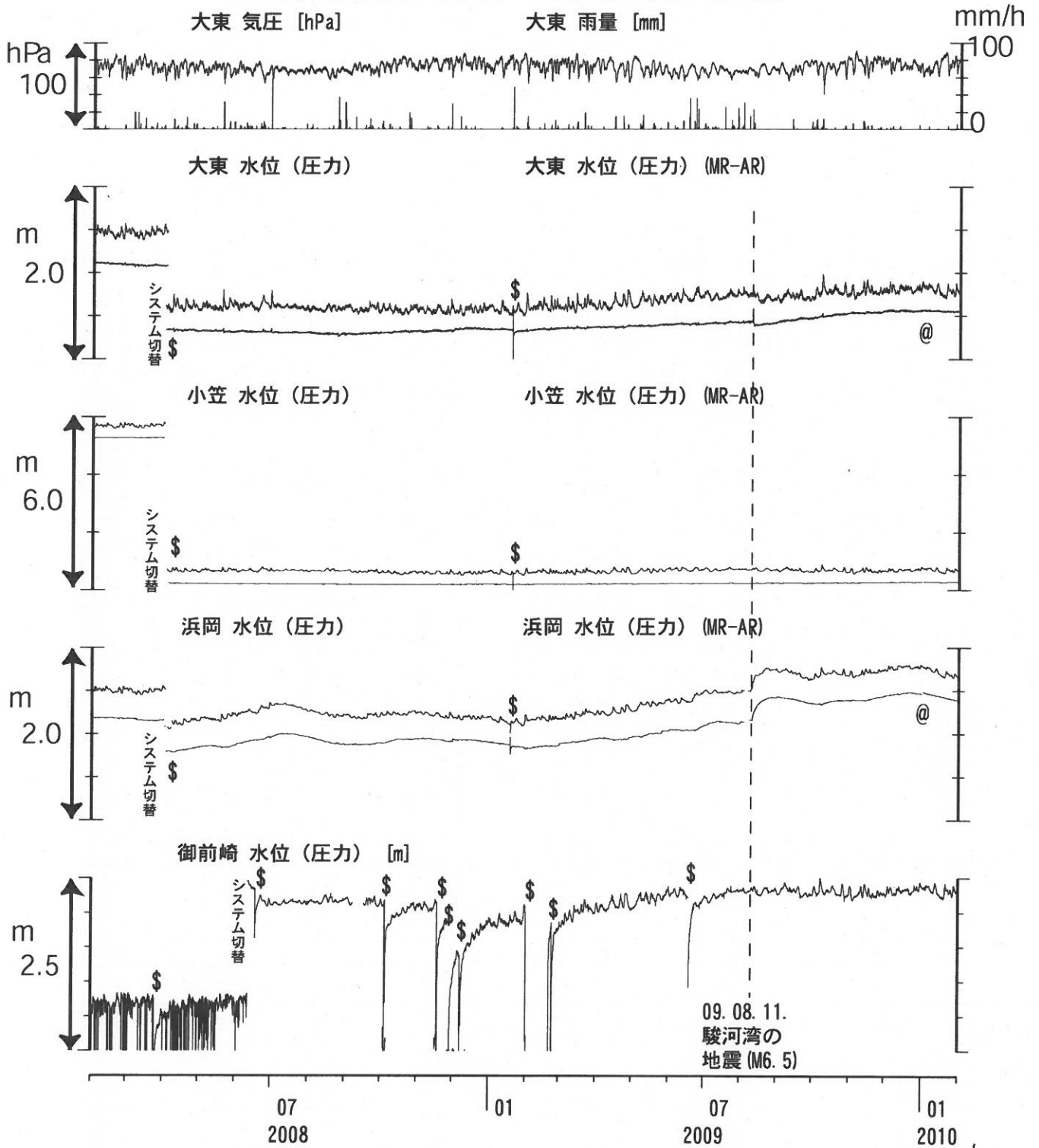


コメント:

*;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.



東海地域南部 地下水観測結果 長期 (時間値)
 (2008/02/01 00:00 - 2010/02/01 00:00)

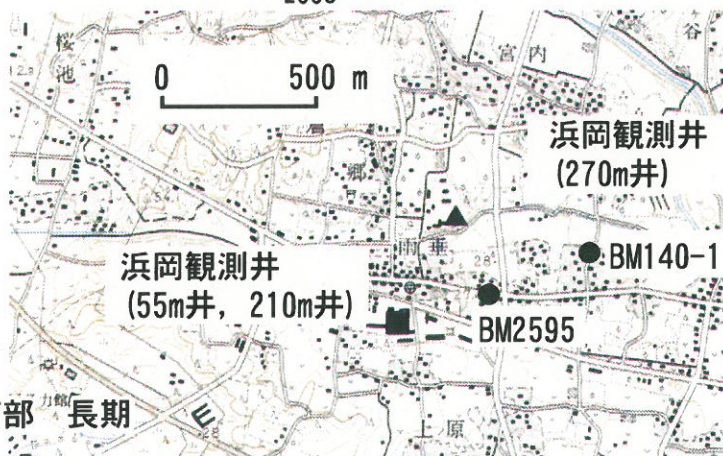
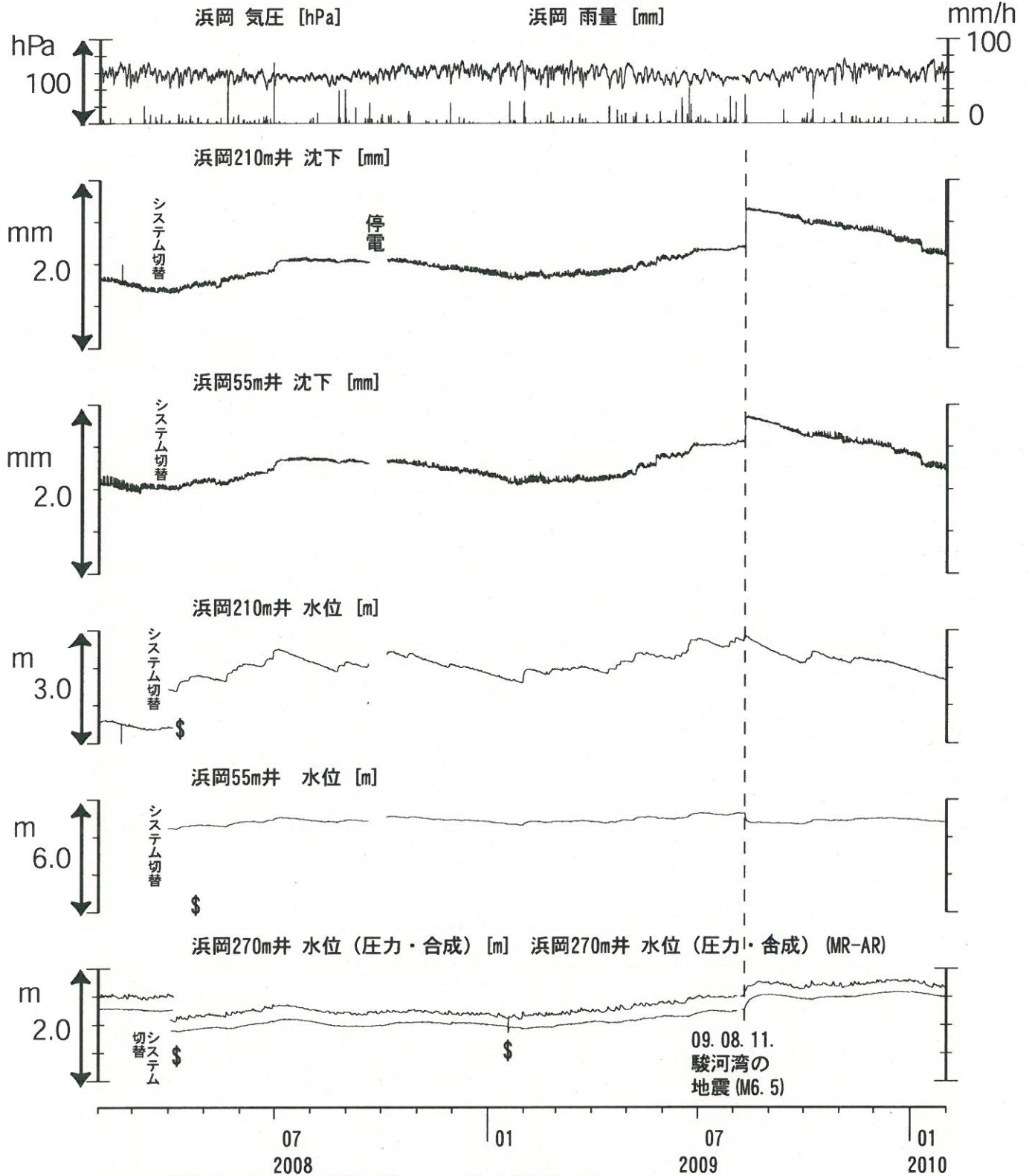


コメント:

*;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。
 2007年11月中旬から
 御前崎の水位データに異常が認められるが、
 水位計の不具合の可能性が高い。
 2008年6月末に水位計を更新した。



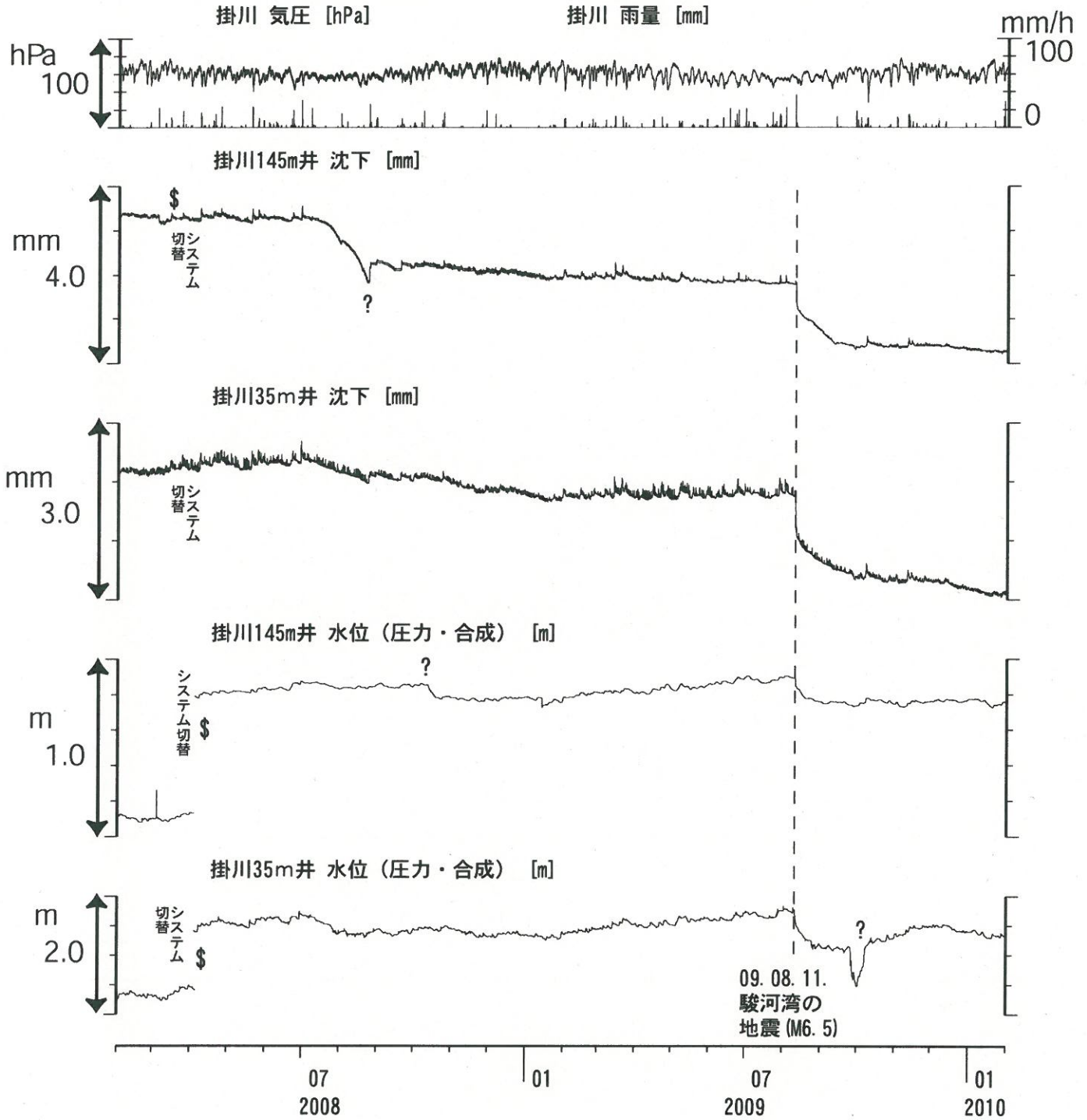
浜岡沈下・水位（時間値） (2008/02/01 00:00 - 2010/02/01 00:00)



コメント：\$;保守.



掛川沈下・水位 (時間値) (2008/02/01 00:00 - 2010/02/01 00:00)



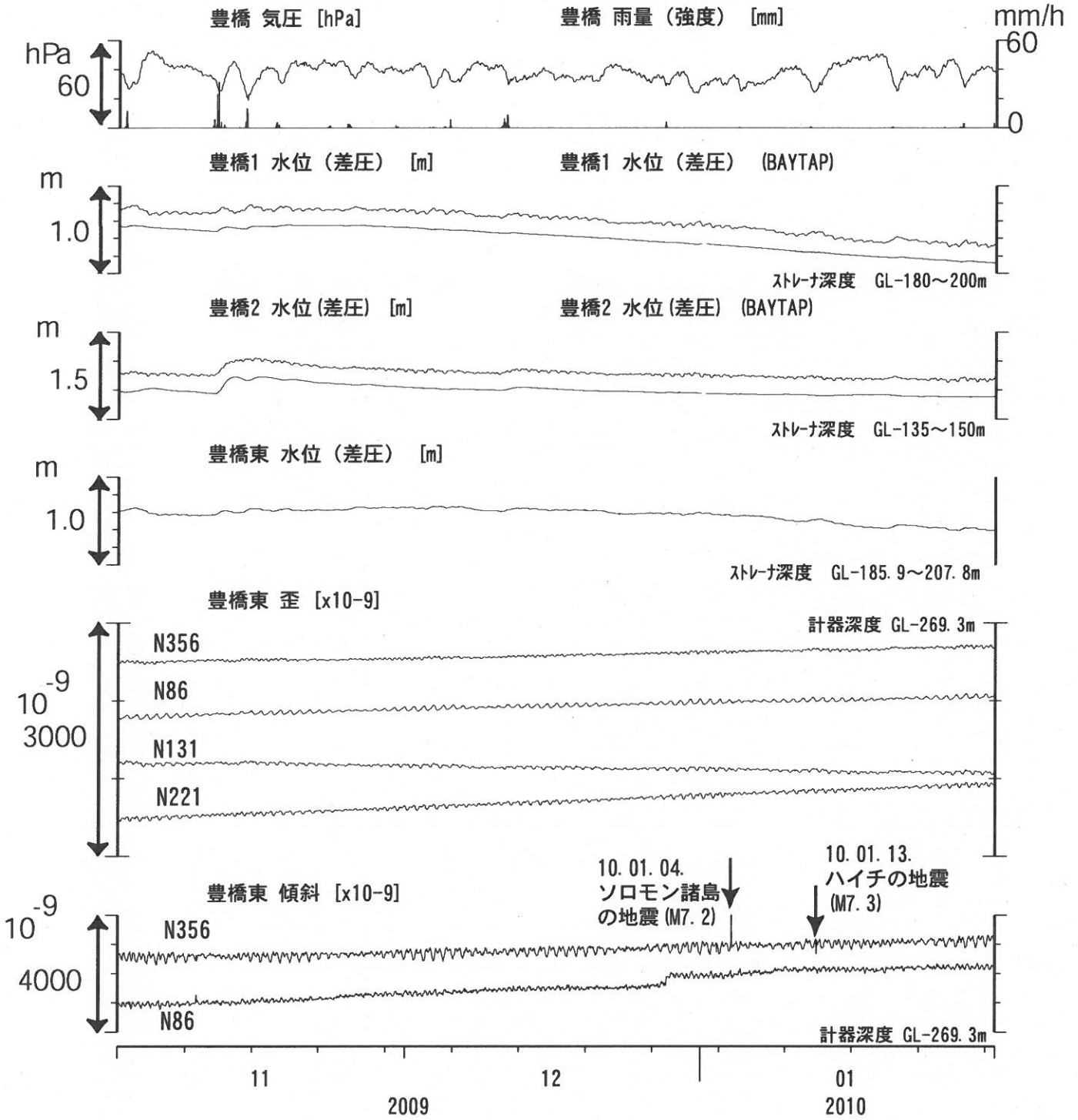
コメント: \$;保守.
?;原因不明.



0 500 m



東海地域西部（豊橋・豊橋東）中期（時間値）
 (2009/11/01 00:00 - 2010/02/01 00:00)



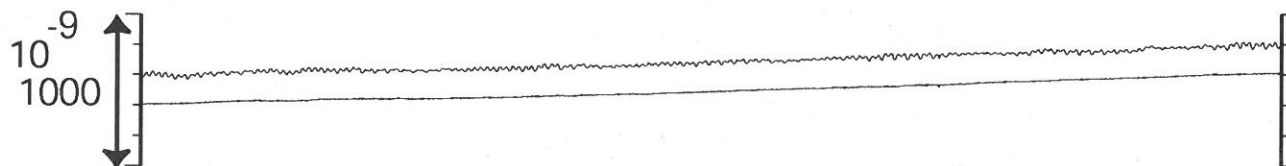
コメント：\$;保守. ?;原因不明.



東海地域西部 (豊橋東 歪) 中期 (時間値)
 (2009/11/01 00:00 - 2010/02/01 00:00)

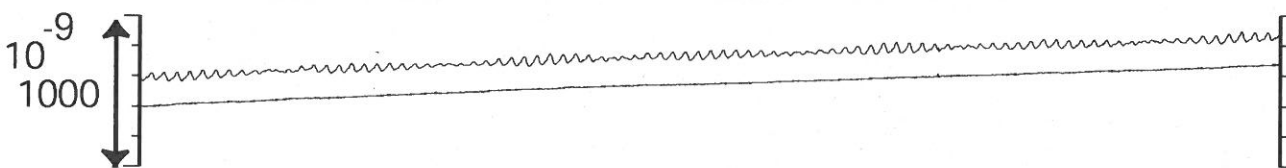
豊橋東 歪 N356E [x10⁻⁹]

豊橋東 歪 N356E (BAYTAP)



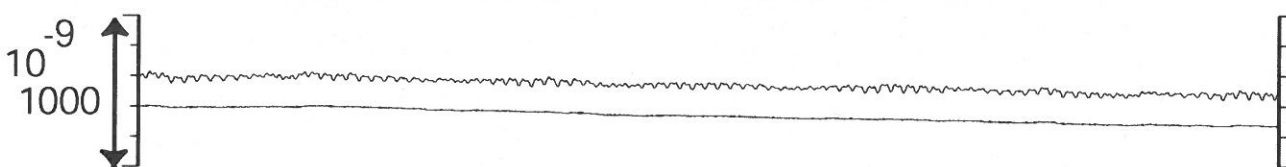
豊橋東 歪 N86E [x10⁻⁹]

豊橋東 歪 N86E (BAYTAP)



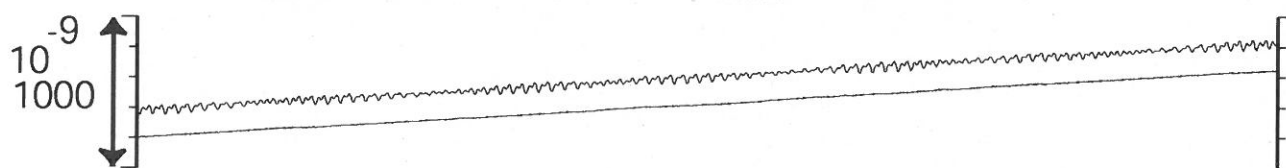
豊橋東 歪 N131E [x10⁻⁹]

豊橋東 歪 N131E (BAYTAP)



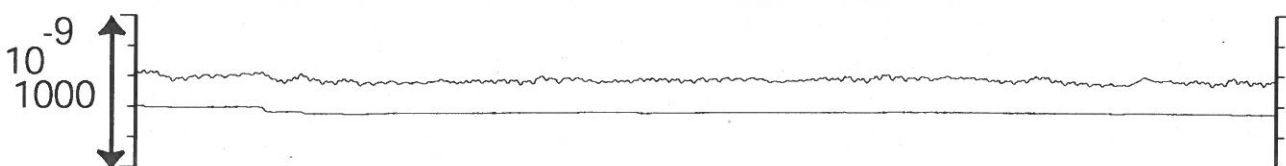
豊橋東 歪 N221E [x10⁻⁹]

豊橋東 歪 N221E (BAYTAP)



豊橋東 歪 鉛直 [x10⁻⁹]

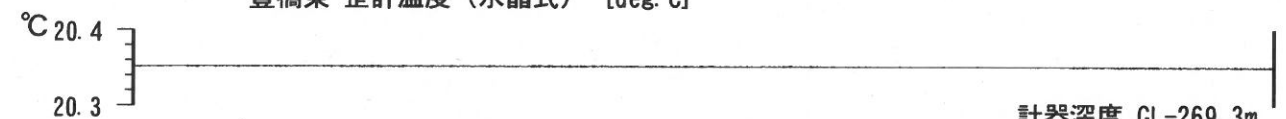
豊橋東 歪 鉛直 (BAYTAP)



豊橋東 磁力 N356E [nT]



豊橋東 歪計温度 (水晶式) [deg. C]



計器深度 GL-269.3m

11

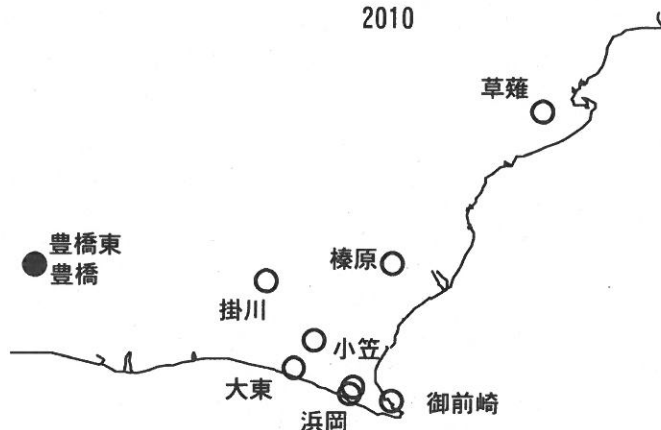
12

01

2009

2010

コメント: \$;保守. ?;原因不明.

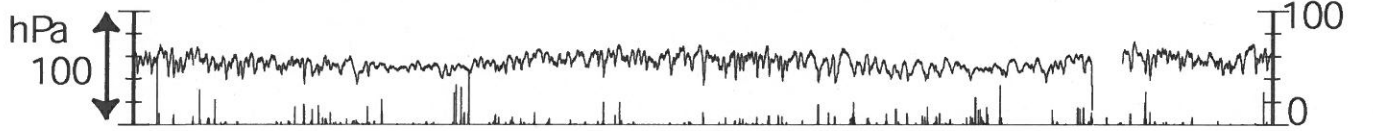


東海地域西部（豊橋・豊橋東）長期（時間値） (2008/02/01 00:00 - 2010/02/01 00:00)

豊橋 気圧 [hPa]

豊橋 雨量 [mm]

mm/h



豊橋1 水位 [m]

豊橋1 水位 (BAYTAP)



豊橋2 水位 [m]

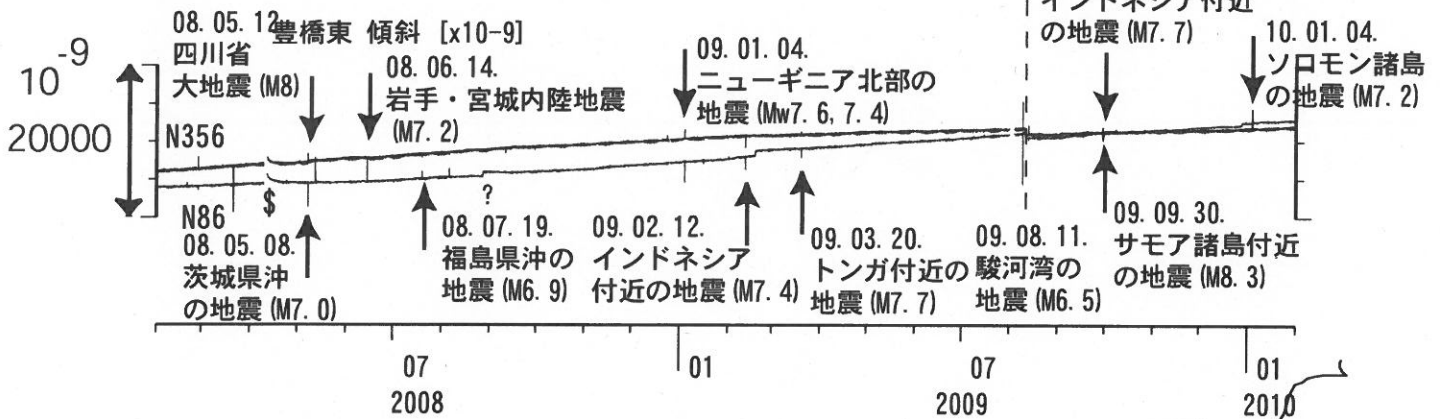
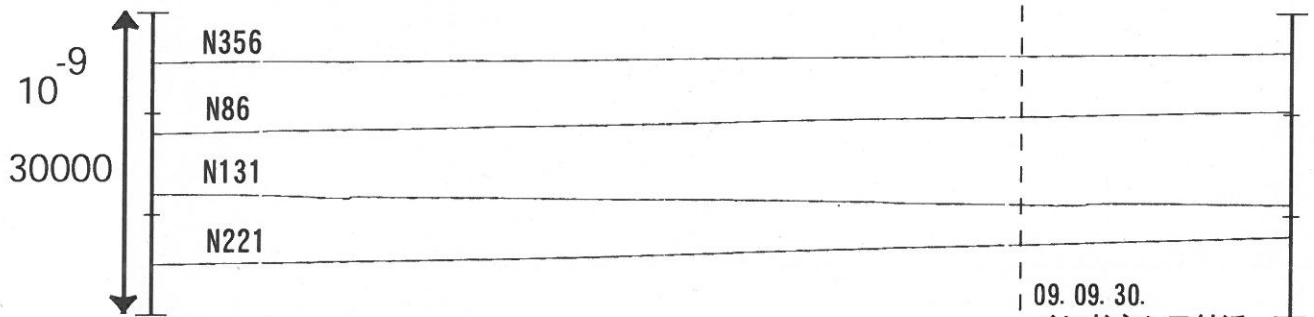
豊橋2 水位 (BAYTAP)



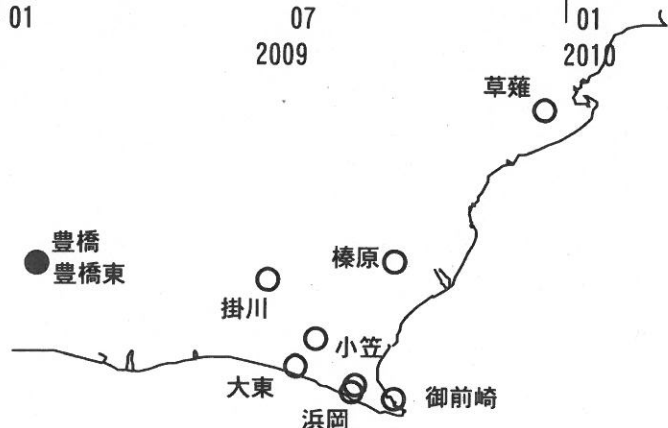
豊橋東 水位 [m]



豊橋東 歪 [x10⁻⁹]



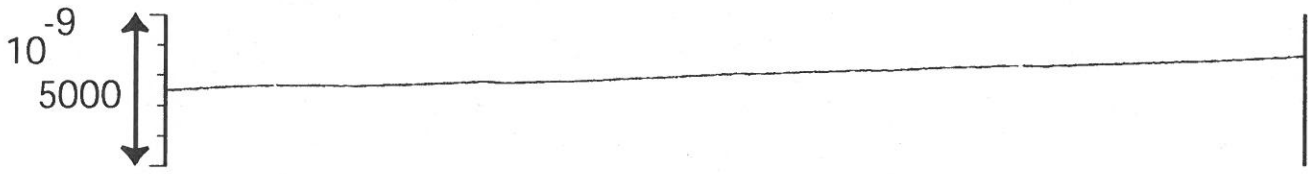
コメント：\$;保守. ?;原因不明.



東海地域西部 (豊橋東 歪) 長期 (時間値)

(2008/02/01 00:00 - 2010/02/01 00:00)

豊橋東 歪 N356E [x10⁻⁹]



豊橋東 歪 N86E [x10⁻⁹]



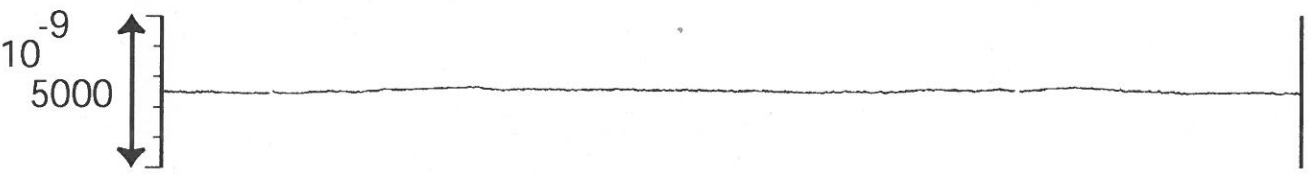
豊橋東 歪 N131E [x10⁻⁹]



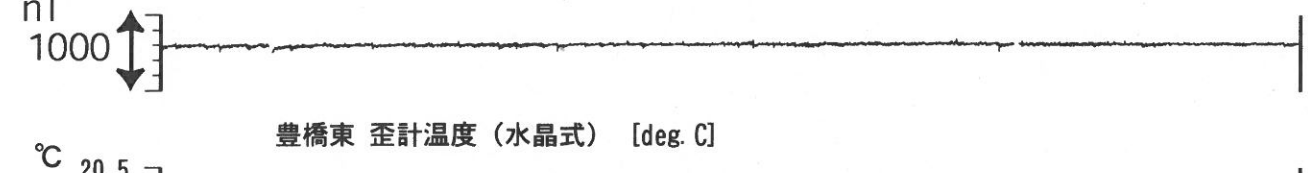
豊橋東 歪 N221E [x10⁻⁹]



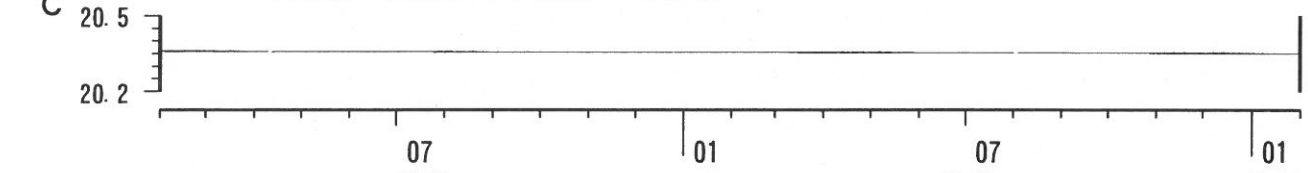
豊橋東 歪 鉛直 [x10⁻⁹]



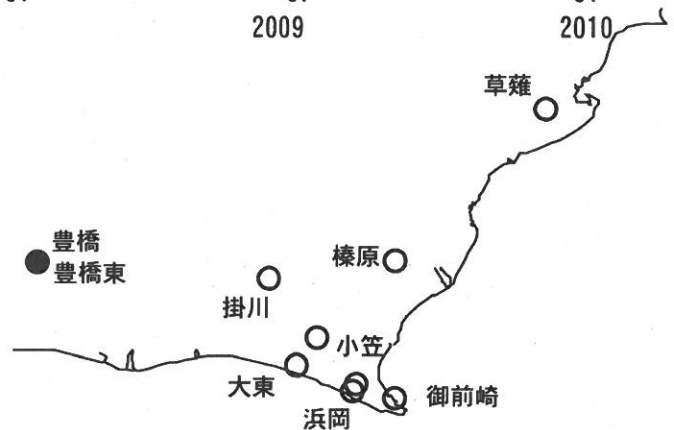
豊橋東 磁力 [nT]



豊橋東 歪計温度 (水晶式) [deg. C]



コメント: \$;保守. ?;原因不明.



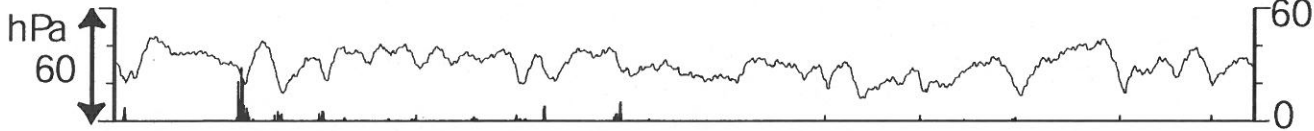
伊豆半島東部 地下水位・自噴量 中期 (時間値)

(2009/11/01 00:00 - 2010/02/01 00:00)

冷川南 気圧 (円筒) [hPa]

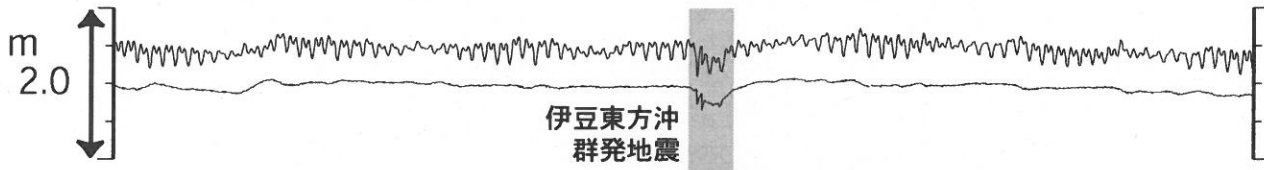
大室山北 雨量 [mm]

mm/h



松原174号井 水位 (压力m) [m]

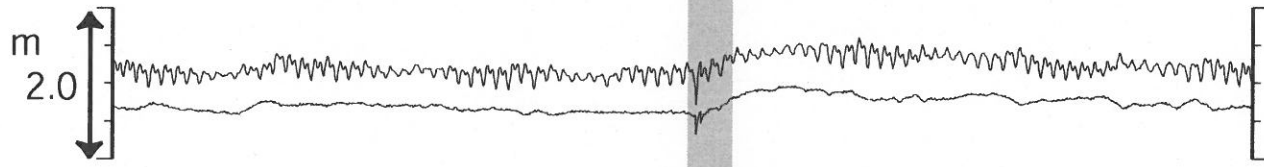
松原174号井 水位 (压力m) (BAYTAP)



伊豆東方沖
群発地震

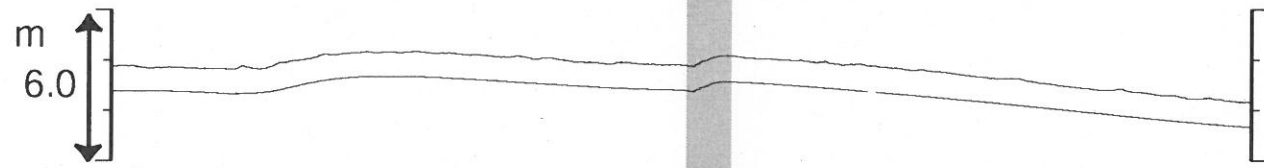
江戸屋 水位 (压力) [m]

江戸屋 水位 (压力) (BAYTAP)



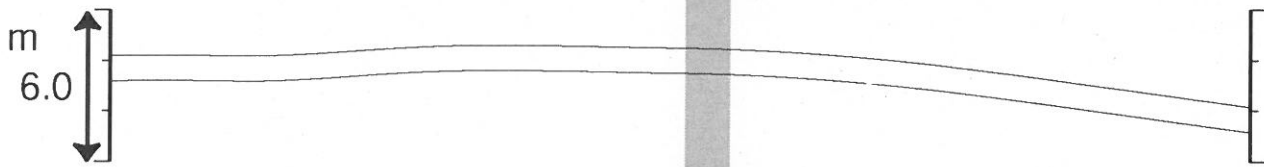
大室山北 水位 (压力・合成) [m]

大室山北 水位 (压力・合成) (MR-AR)



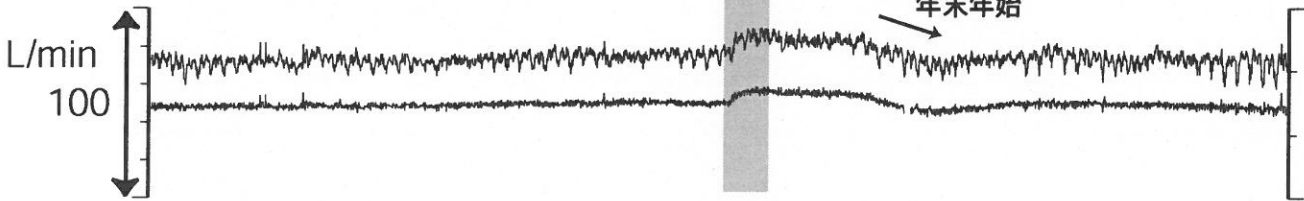
冷川南 水位 (压力・合成) [m]

冷川南 水位 (压力・合成) (BAYTAP)



伊東1号 自噴量 [l/min]

伊東1号 自噴量 (BAYTAP)
年未年始



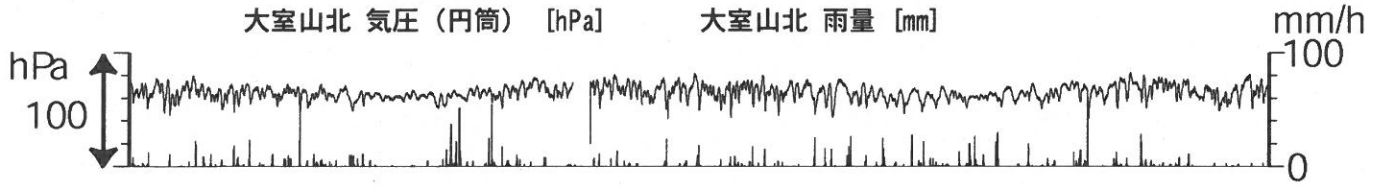
2009 11 12 01 2010

コメント: \$;保守. ?;原因不明.
松原174号井は静岡県による観測.



伊豆半島東部 地下水位・自噴量 長期 (時間値)
 (2008/02/01 00:00 - 2010/02/01 00:00)

大室山北 気圧 (円筒) [hPa] 大室山北 雨量 [mm]



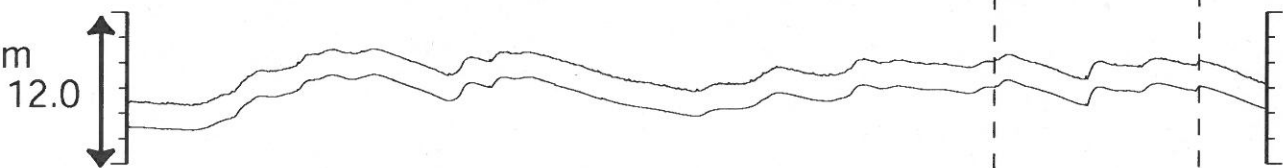
松原174号井 水位 (圧力m) [m] 松原174号井 水位 (圧力m) (BAYTAP)



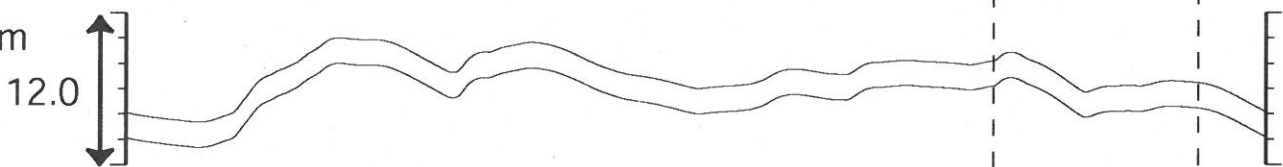
江戸屋 水位 (圧力) [m] 江戸屋 水位 (圧力) (BAYTAP)



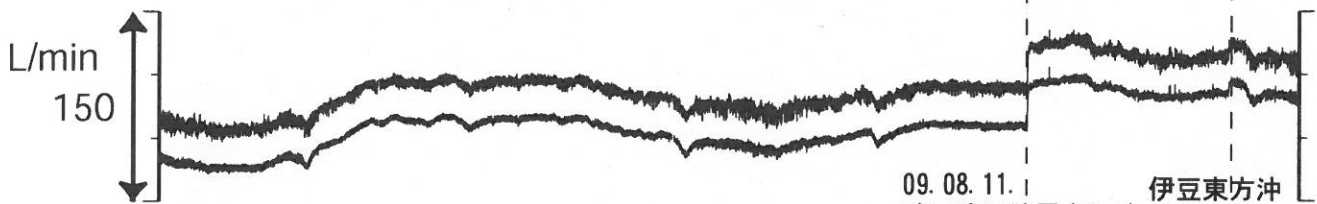
大室山北 水位 (圧力・合成) [m] 大室山北 水位 (圧力・合成) (MR-AR)



冷川南 水位 (圧力・合成) [m] 冷川南 水位 (圧力・合成) (BAYTAP)



伊東1号 自噴量 [l/min] 伊東1号 自噴量 (BAYTAP)



09. 08. 11. 伊豆東方沖 駿河湾の地震 (M6.5) 群発地震

07 01 07 01
 2008 2009 2010

コメント: \$;保守. ?;原因不明.

松原174号井は静岡県による観測.

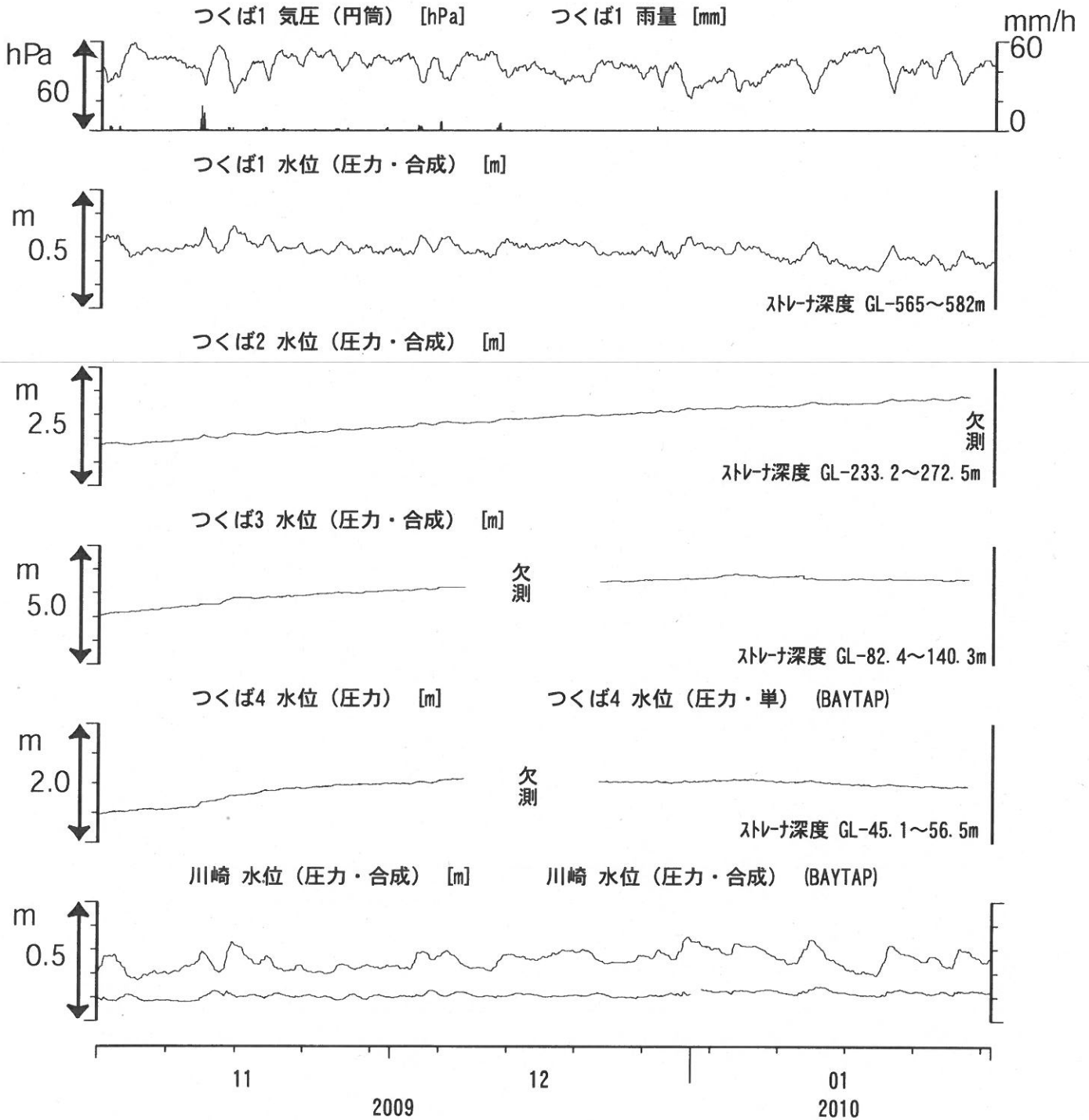
伊東1は, 休日・年末年始に周囲の温泉使用量が増加するため, 自噴量が減少する.

江戸屋の水位が2008年4月中旬以降降乱れているが, 水位計の不具合が原因と思われる.

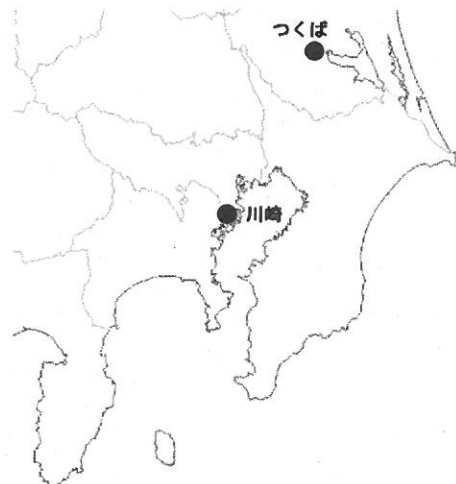
2009年7月28日に江戸屋の水位計を更新した.



関東地域 地下水観測結果 中期 (時間値)
 (2009/11/01 00:00 - 2010/02/01 00:00)

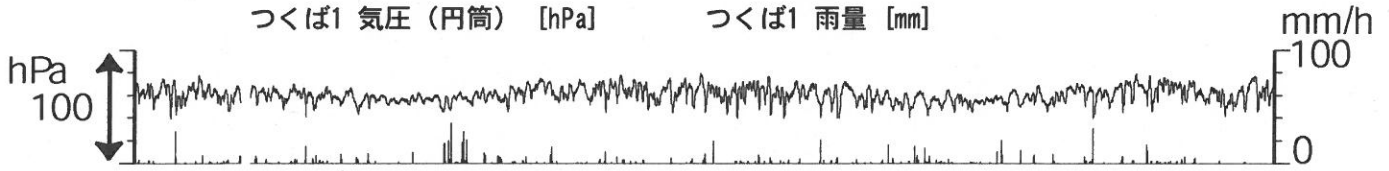


コメント：\$;保守.
 2009年12月7日~22日はつくば3, 4の井戸を
 使った実験を行っているため水位は欠測.

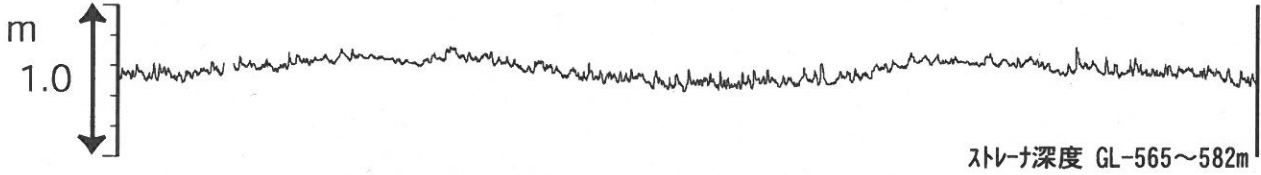


関東地域 地下水観測結果 長期 (時間値)
 (2008/02/01 00:00 - 2010/02/01 00:00)

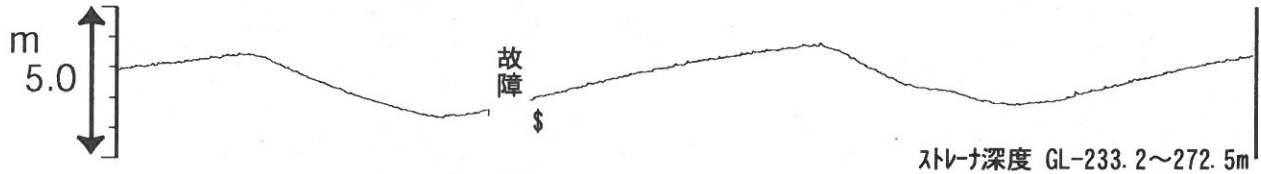
つくば1 気圧 (円筒) [hPa] つくば1 雨量 [mm]



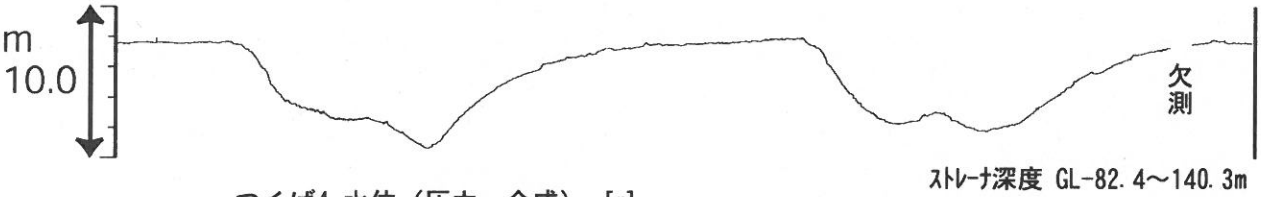
つくば1 水位 (圧力・合成) [m]



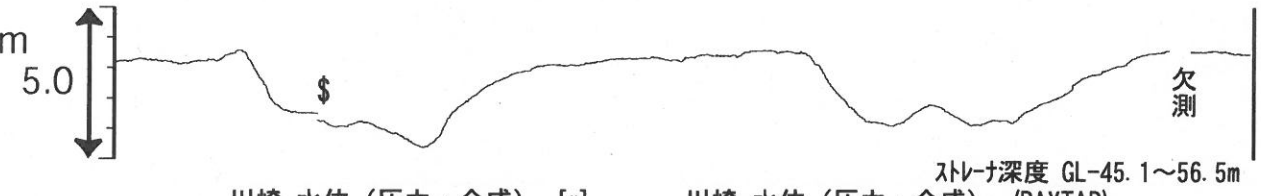
つくば2 水位 (圧力・合成) [m]



つくば3 水位 (圧力・合成) [m]

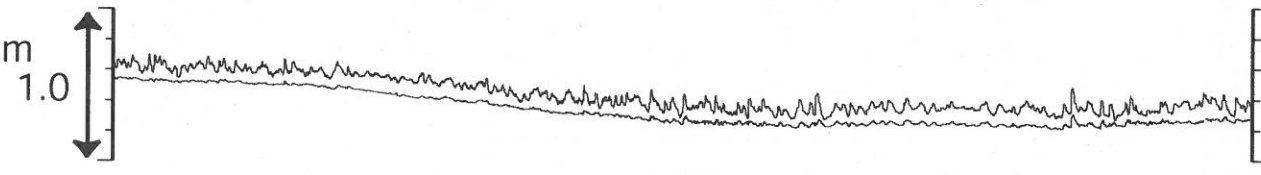


つくば4 水位 (圧力・合成) [m]



川崎 水位 (圧力・合成) [m]

川崎 水位 (圧力・合成) (BAYTAP)



07
2008

01

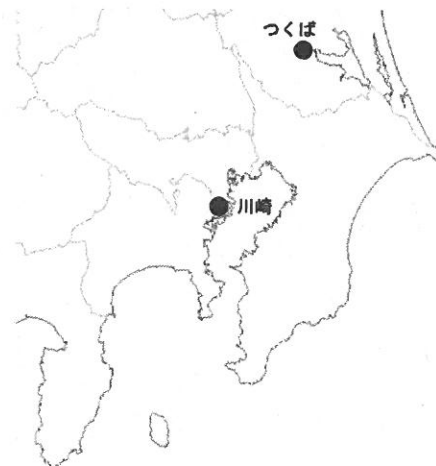
07
2009

01
2010

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。



近畿地域の地下水位・歪観測結果（2009年11月～2010年1月）

産業技術総合研究所

2009年11月～2010年1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18点（観測井は23井戸）である（第1図）。kwnは2010年1月で観測を終了した。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、無かった。

第2～6図には、2009年8月～2010年1月における地下水位の1時間値の生データと（場所によってはその下に）補正值を示してある。また、第7～11図には、同期間におけるボアホール型歪計が併設してある観測点について地下水位とともに歪3成分の観測値（生データ）を示してある。歪の図において「N120」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-GIによって、気圧・潮汐・不規則ノイズの影響を取り除いた後のトレンドである。なお、tkz・obk2・ysk・yst1・yst2・yst3およびbnd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・kwn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, kwn-o）を、内管で深い方の地下水位（hks-i, kwn-i）をそれぞれ測定し、別々の観測井にカウントしている。今回、歪データ及び歪計組込の地震計データの地震波に対する振動成分を用いて、歪計の設置方位を再検討した。検討は、防災科研に送信している地震計のデータを用いた調査結果及び独自に歪データを用いた調査結果を元に行った。今回は、yst, hts, hno, ohrの4地点の歪計の設置方位を従来使用してきた方位から変更することにした（第1表）。tnn, ngr, bndはデータ不足のため、今回は結果が得られなかった。それ以外の地点も含めて、今後も検討を行い、設置方位を推定できた段階で、随時報告する。

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2図）。ohrの2009年12月後半から2010年1月前半の欠測は収録機器の故障のため（第4, 10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)

Table.1 yst, hts, hno, ohrの歪計の設置方位の検討結果。

地点	成分	従来使用した方位	検討後の確定方位
yst	ST1	N72	N235
yst	ST2	N192	N355
yst	ST3	N312	N115
hts	ST1	N354	N333
hts	ST2	N294	N273
hts	ST3	N234	N213
hno	ST1	N222	N207
hno	ST2	N342	N327
hho	ST3	N102	N87
ohr	ST1	N308	N339
ohr	ST2	N68	N99
ohr	ST3	N188	N219

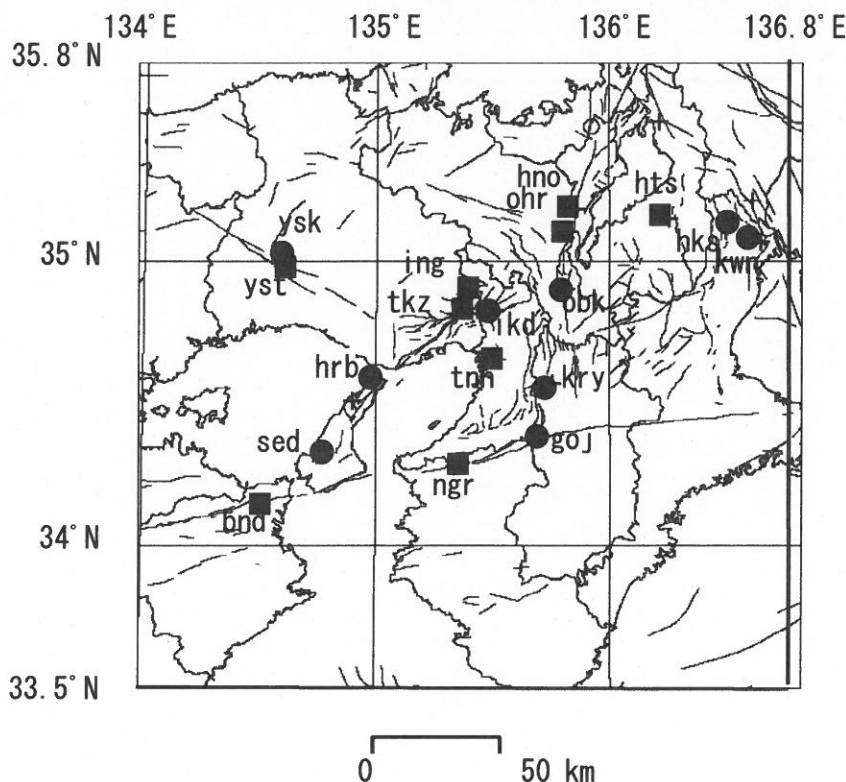


Fig. 1 観測点（●・■）と活断層分布。●は地下水のみの観測点で、■はボアホール型歪計を併設している観測点。

ATMOSPHERIC PRESSURE(sed)
RAINFALL(sed)

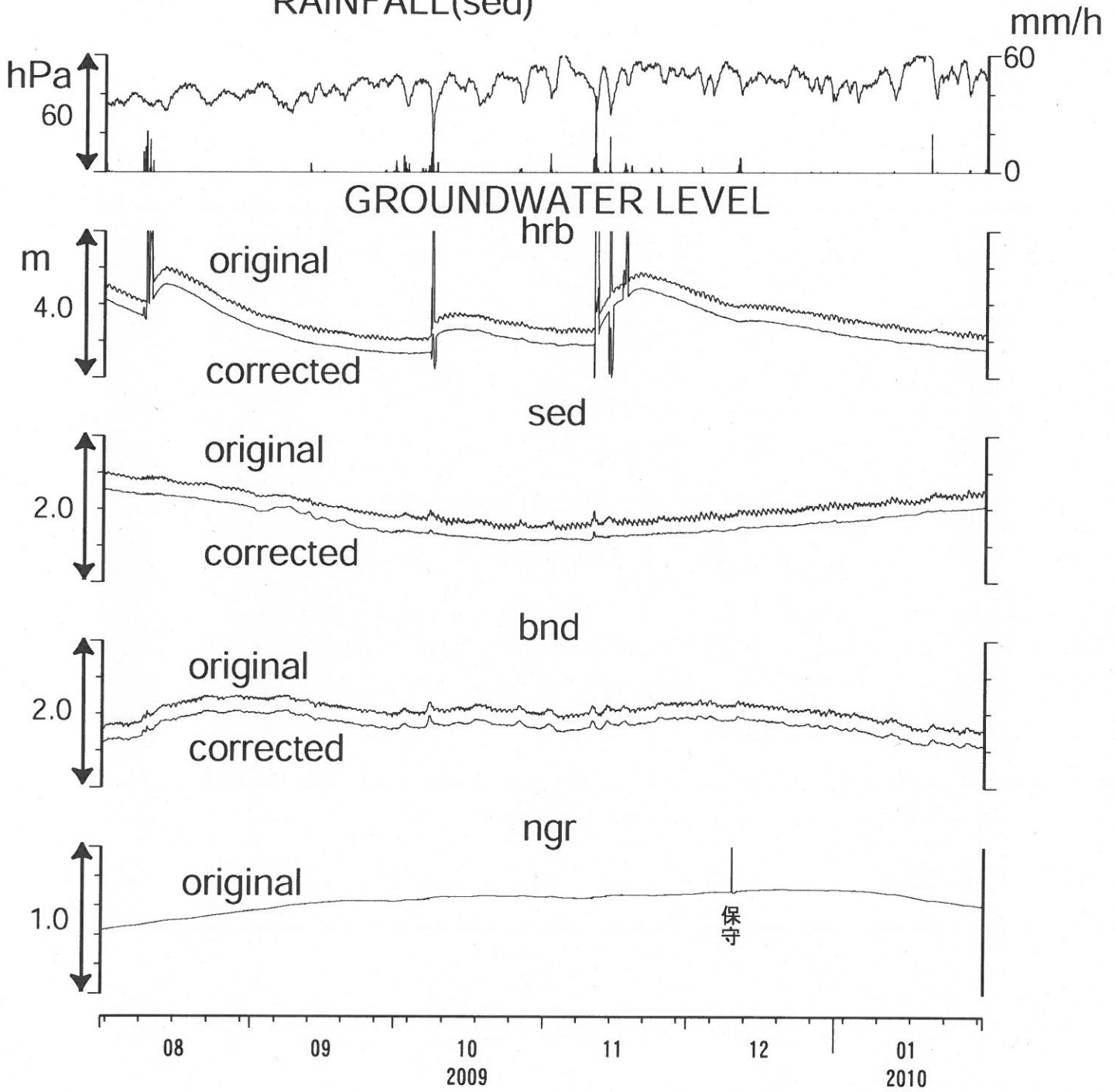


Fig.2

ATMOSPHERIC PRESSURE(tkz)
RAINFALL(tkz)

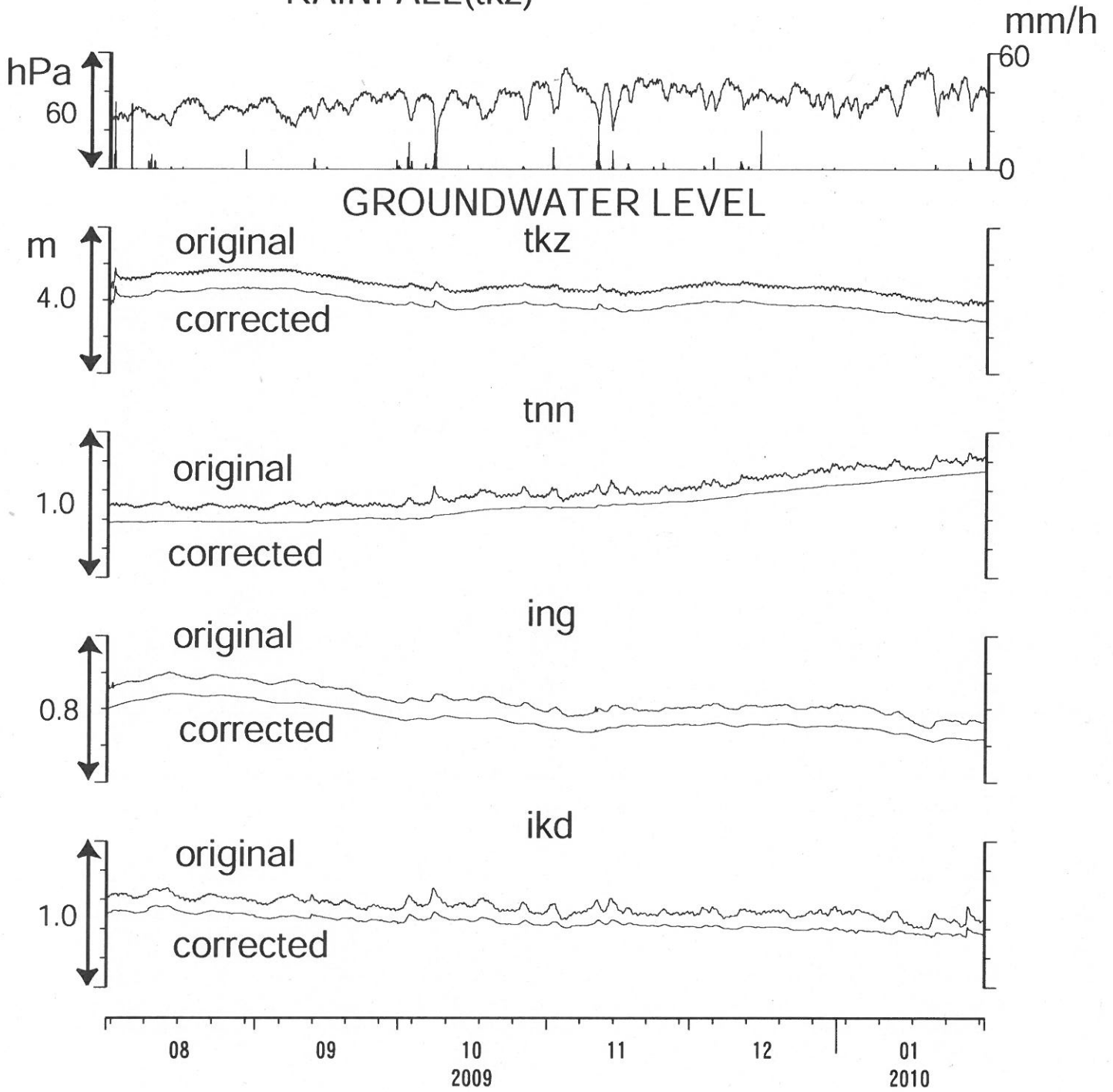


Fig.3

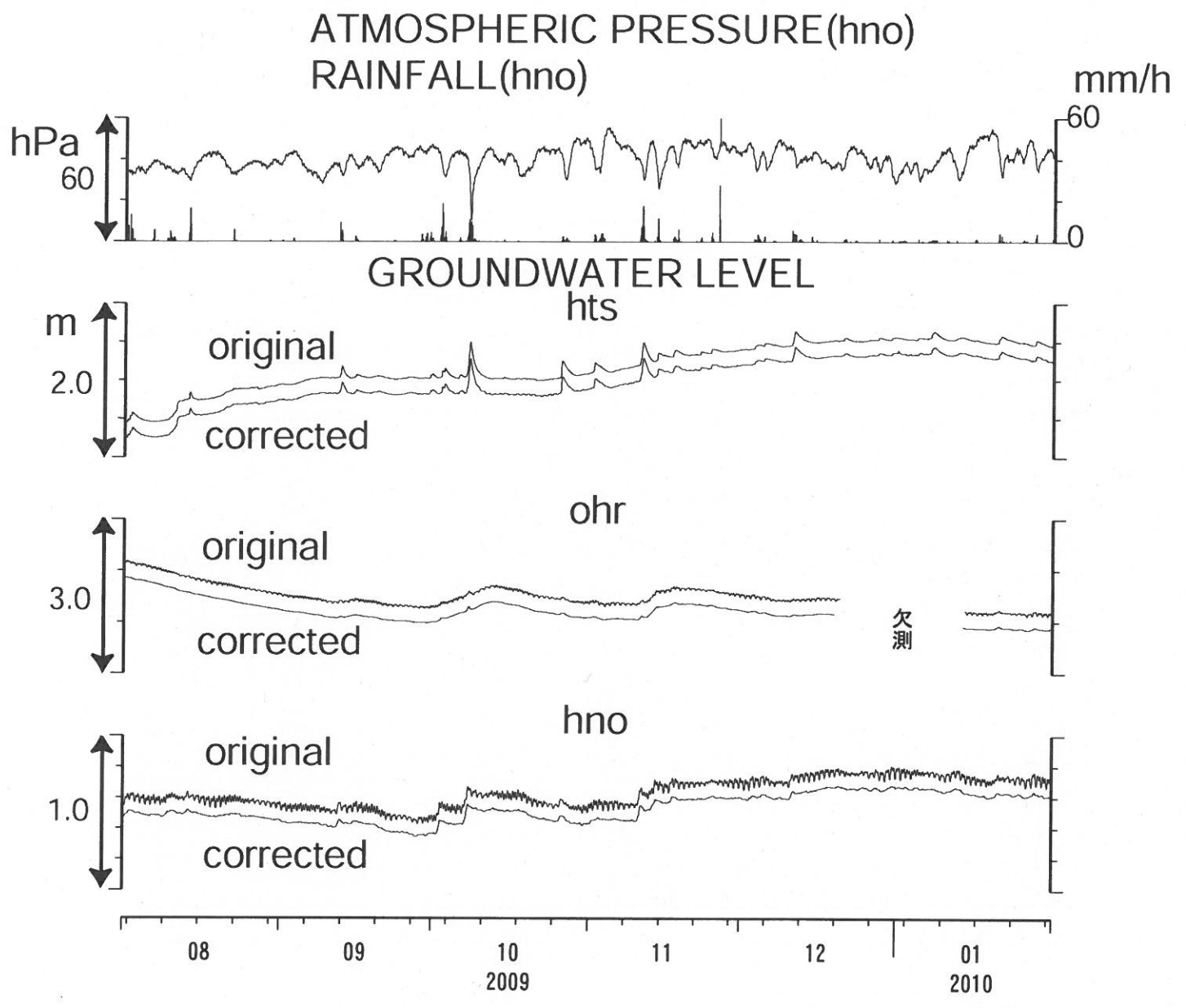


Fig.4

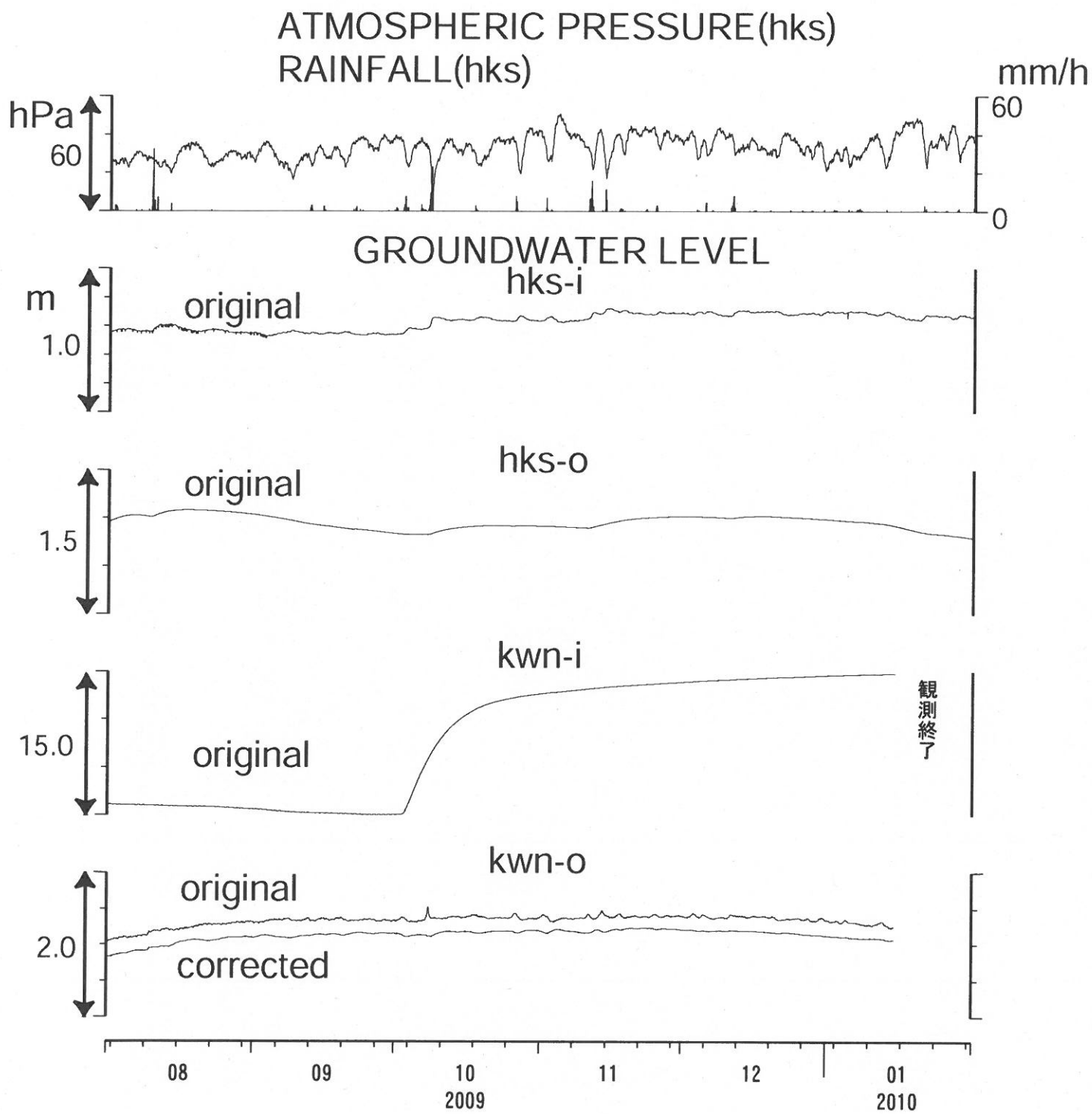


Fig.5

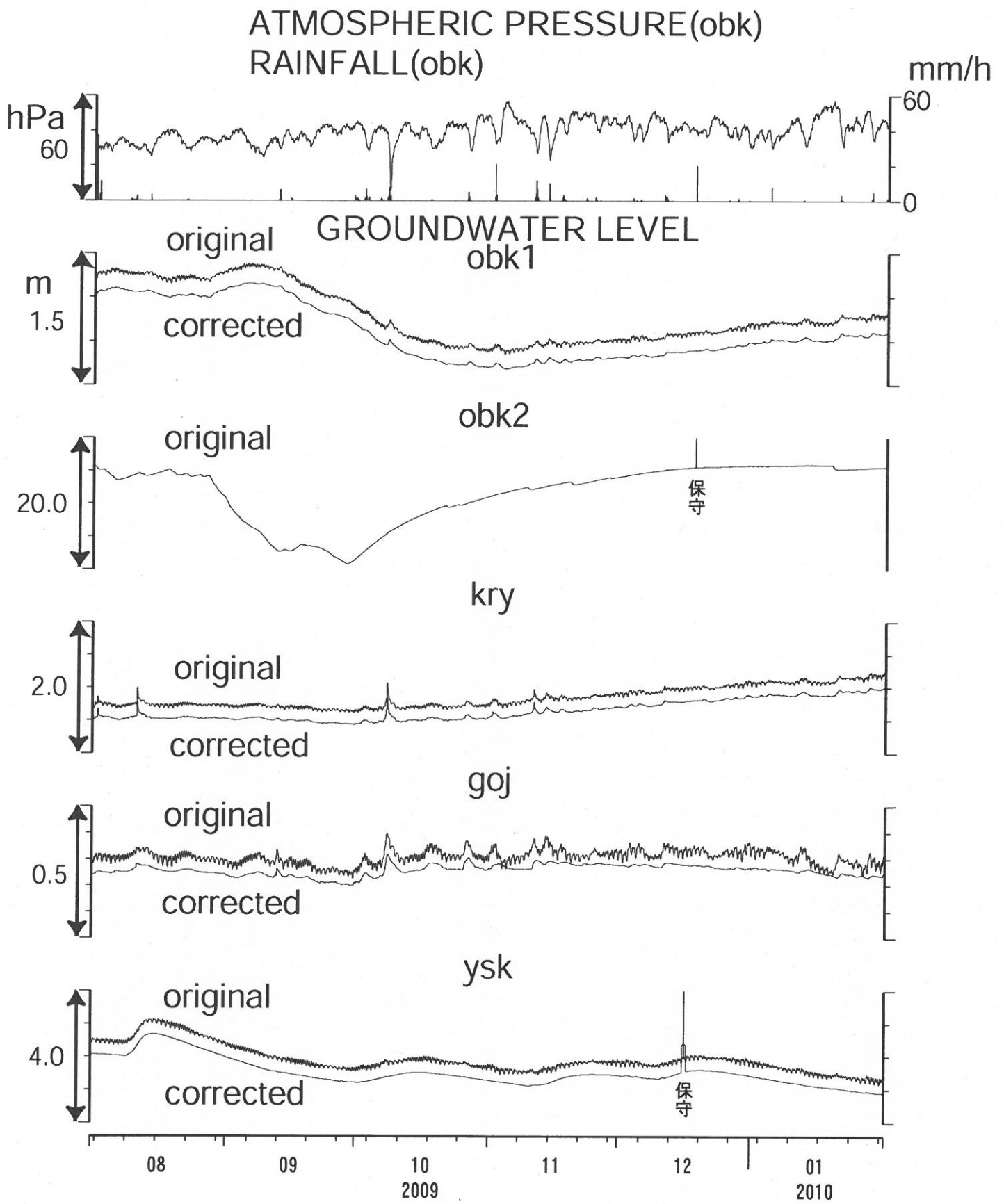


Fig.6

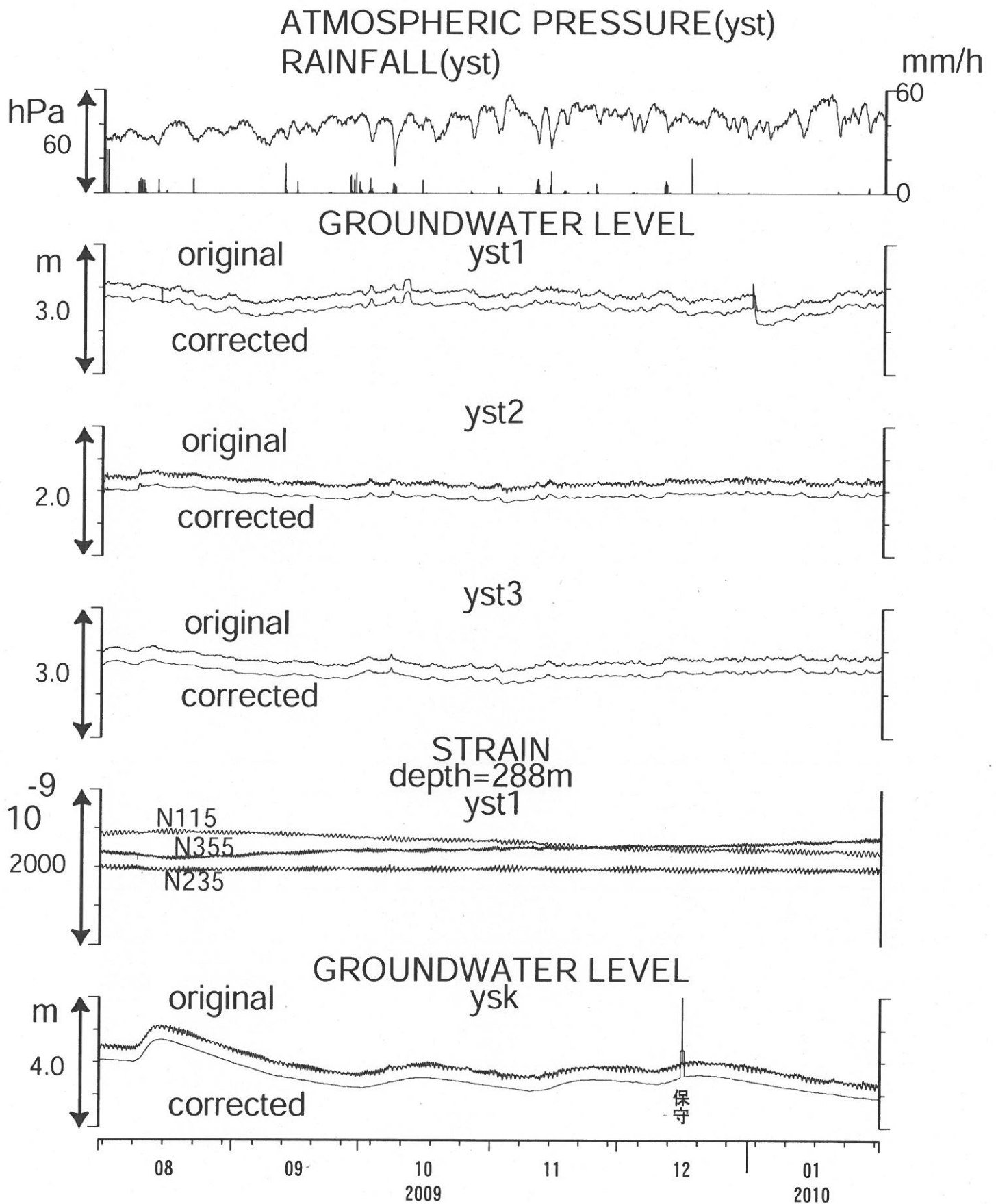


Fig.7

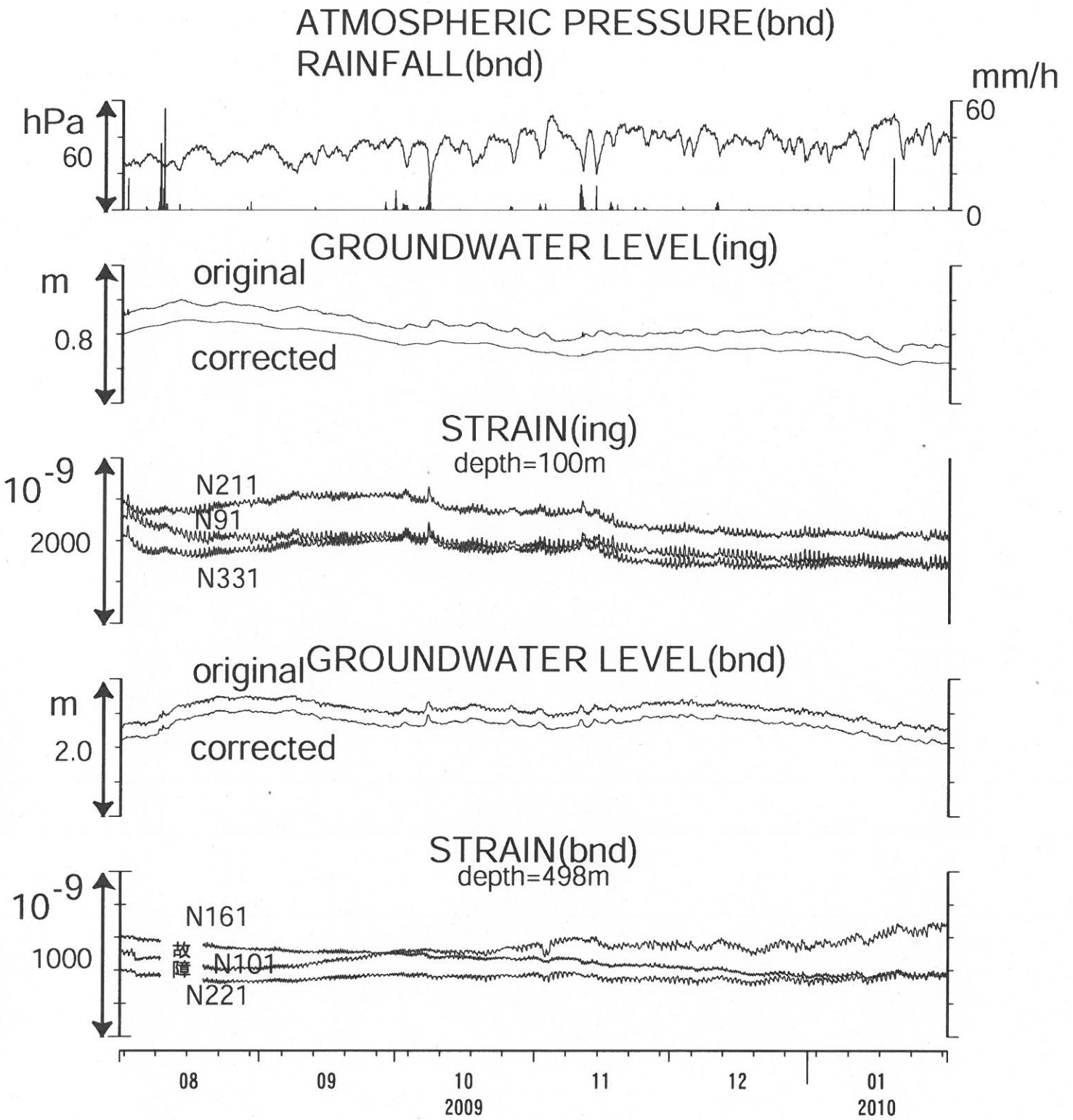


Fig.8

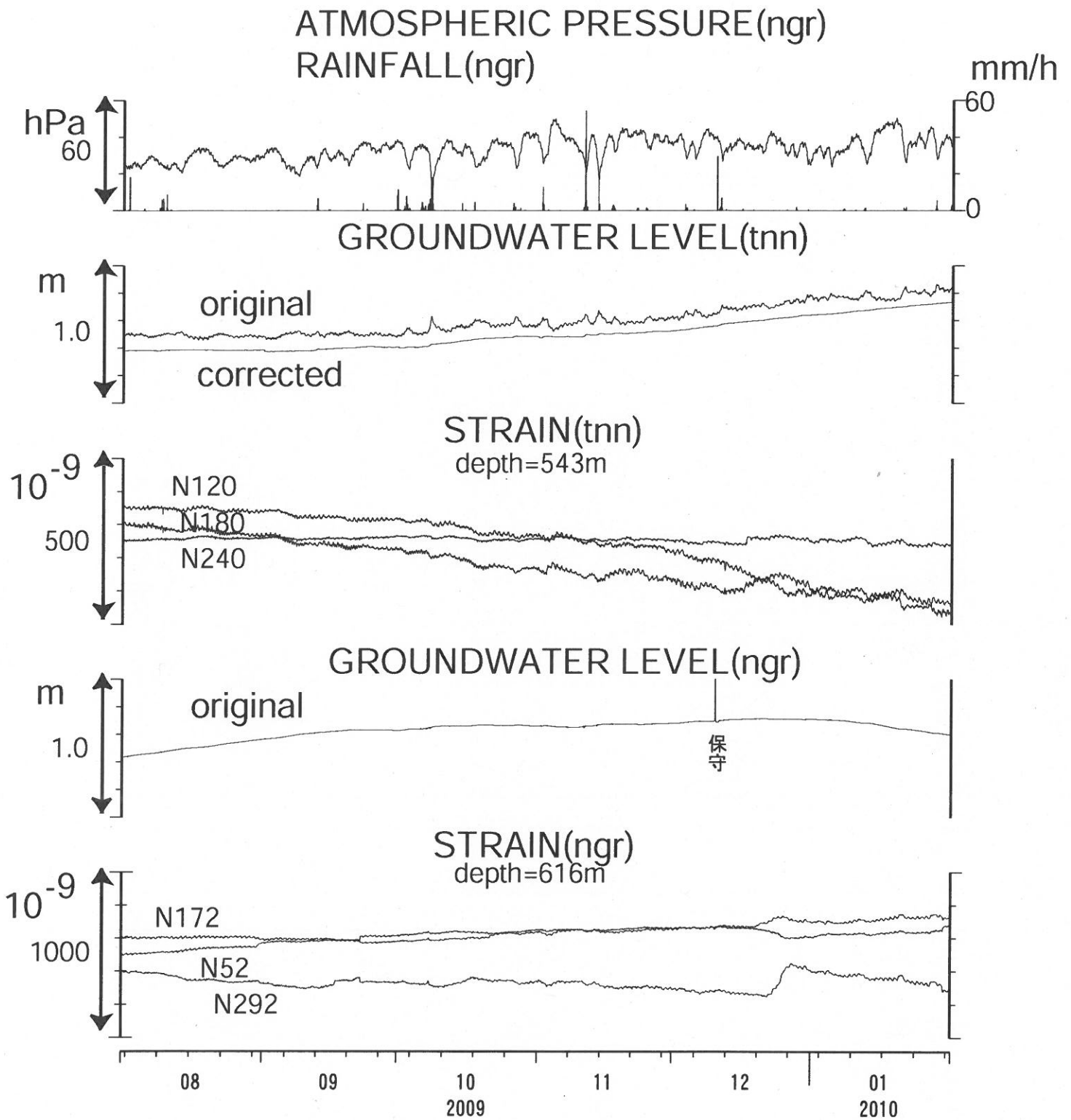


Fig.9

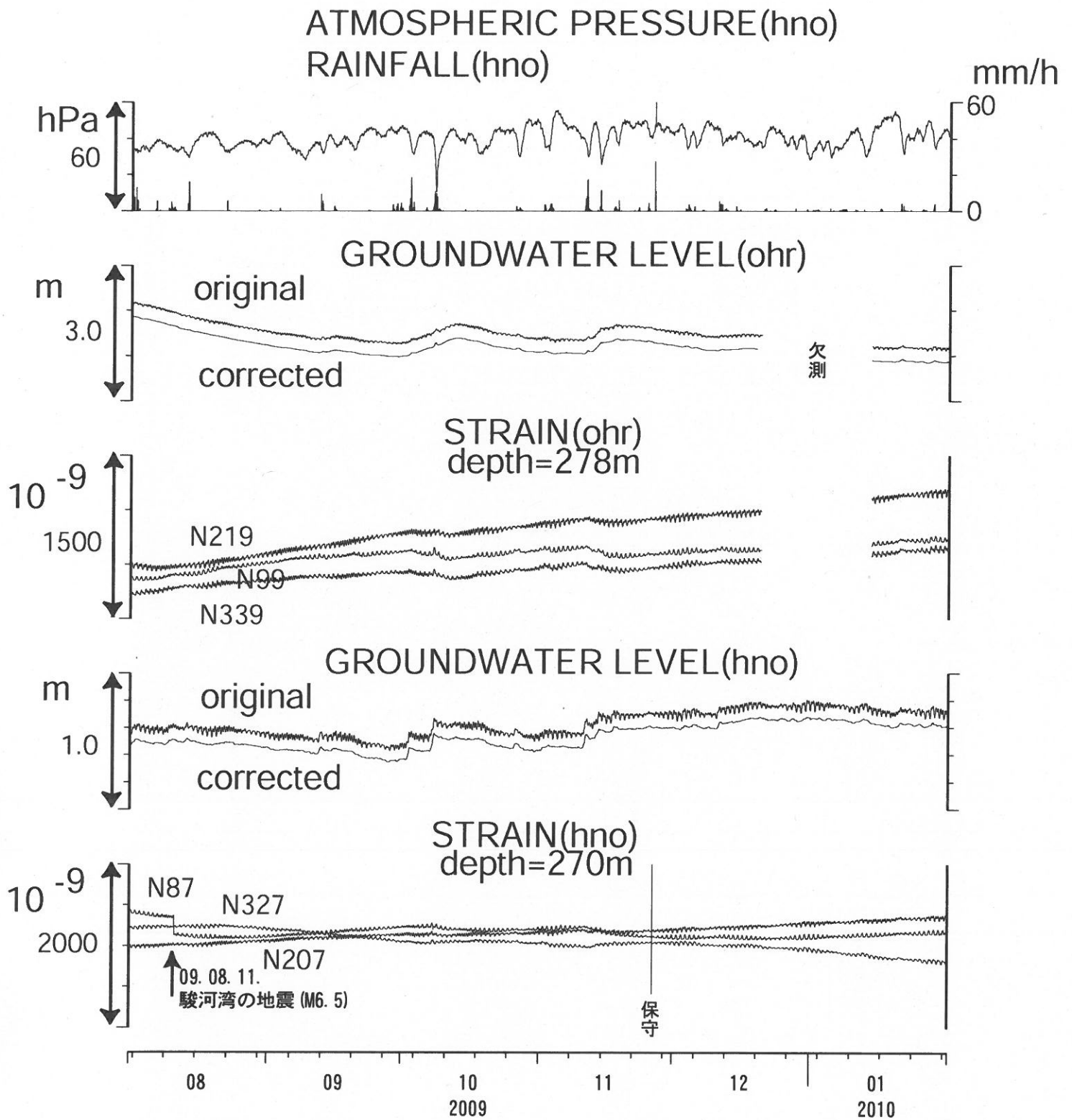
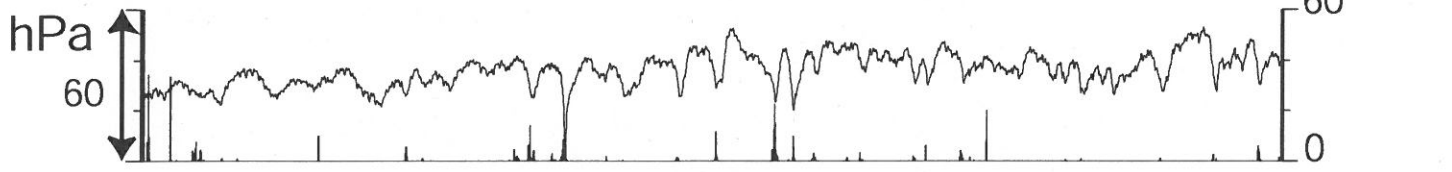
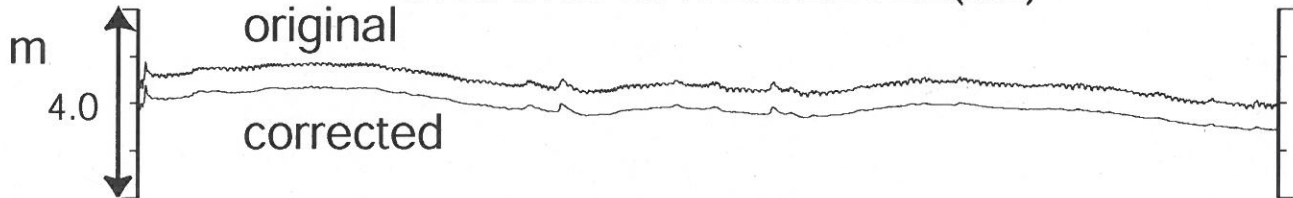


Fig.10

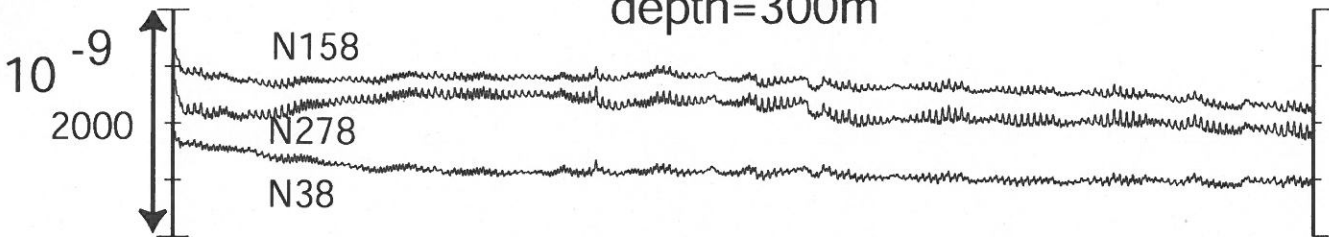
ATMOSPHERIC PRESSURE(tkz)
RAINFALL(tkz)



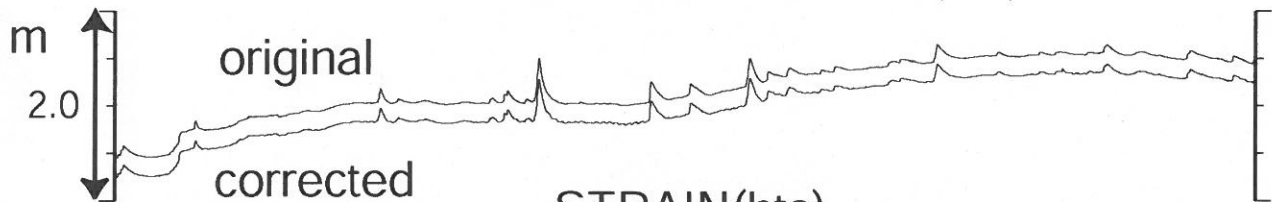
GROUNDWATER LEVEL(tkz)



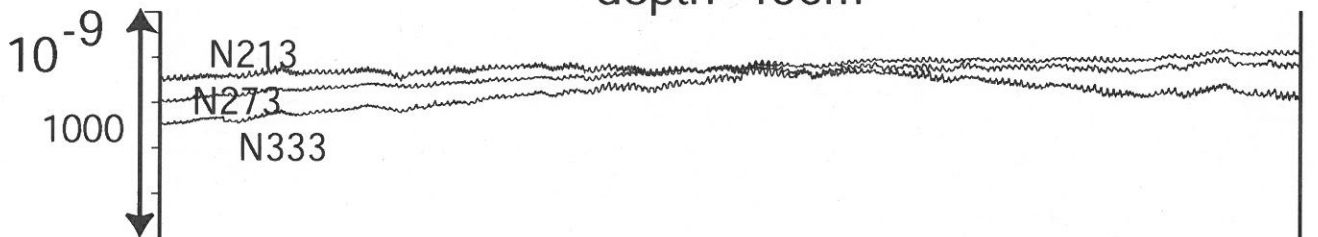
STRAIN(tkz)
depth=300m



GROUNDWATER LEVEL(hts)



STRAIN(hts)
depth=436m



08 09 10 11 12 01
2009 2010

Fig.11

2009年12月の伊豆半島東方沖群発地震活動前後の伊東市周辺における

地下水・地殻歪変化

伊豆半島東部にある産総研の大室山北地下水観測点（第1図）は、1994年10月の観測開始以来、群発地震前に水位の低下を何度も生じており(Koizumi et al., 2004)、群発地震の原因であるダイク（岩脈）の地下深部からの貫入による地殻変動（地盤の変形、ここでは体積変化）を、ダイクが群発地震を引き起こす前に検出していると考えたと説明できる。この場所では、10km以深では、熱のために岩盤が柔らかくなってダイクの貫入があっても岩盤は変形するだけで破壊（地震）は生じないと考えられているからである。大室山北観測点が1994年10月に設置されてから2009年11月まで（今回の活動以前まで）に比較的規模の大きな群発地震活動は4回あり、1995年9月、1996年10月、1997年3月、1998年4月が開始月であった。また、それ以外にも明瞭な水位低下が認められる規模の小さな群発地震活動が何回かあった。これらの活動では、気象庁の東伊豆体積歪観測点（第1図）では、体積歪が一貫して減少（縮む）のに対し、大室山北では当初水位の低下（体積膨張）で始まるが、震源が浅くなって地震活動が活発化するとともに水位が上昇する（体積圧縮）傾向が認められる。これは、想定されている貫入ダイクの先端の深さに関係なく東伊豆は圧縮領域だが、大室山北観測点の場合は、ダイクの先端深さが浅くなると体積膨張の領域から圧縮領域になることで説明出来る(Koizumi et al., 2004)。今回の活動でもそのような変化が認められた（第2,3図）。なお、これらの図では、便宜上、12月17日～21日を群発地震活動期間としている。

2009年12月16日17時頃から大室山北観測井戸では、長期的な水位低下傾向を越える水位低下が始まった（第3図）。気象庁の東伊豆体積歪観測点では、それより数時間おくれて歪が減少し始めた。その後、17日午前11時頃から群発地震活動が始まった。12月17日23時45分のM5.0の地震（伊東市で震度5弱）の6時間程度前から水位低下が緩和し地震活動が活発化しているように見える。この時間帯は、震源の深さが当初の8km程度から6km程度にまで上昇した時期とも一致している（第4図）。M5.0の地震が発生した後水位は上昇した。また、12月18日8時45分にM5.1の地震（伊東市で震度5弱）が発生し再び水位が上昇し20日の未明まで水位上昇を続けた。12月16日17時を基準とすると、17日23時45分の地震直前までの水位低下量は（12月16日までの長期的な水位低下傾向： $-1.5\text{cm}/\text{日}$ も考慮して）約5cm、20日16時までの水位上昇量は約39cmである（第3図）。大室山北の水位の体積歪変化に対する感度（約 $30\text{cm}/\text{ppm}$ ）から単純に換算すると、それぞれ0.2ppmの伸び、1.3ppmの圧縮ということになる。他方、同時期の東伊豆の体積歪変化はそれぞれ0.06ppmの圧縮、0.3ppmの圧縮である（第3図）。12月20日0時頃から水位上昇が鈍り、東伊豆の体積歪変化の下降が穏やかになり、地震活動も沈静化しているように見える。なお、2010年1月21日2時59分にM4.4の地震（伊東市で震度4）が発生し、地震直後に約1cmの水位上昇が認められたが、その前後で特に大きな傾向の変化はなく東伊豆の体積歪の傾向にも変化が認められないので新たなダイクの貫入等は無いように思える（第2図）。

例年、この時期は、比較的降雨が少ない時期なので、長期的な水位低下があるのは特に異常ではない。別資料では、大室山北と水位の季節変化が同様な冷川南の観測データが示されている。冷川南の方には、群発地震期間中に大室山北のような変化は認められない。

第5-6図に上述の大室山北の水位と東伊豆の体積歪変化を説明する簡単な開口断層モデルを示した。震源分布に沿って鉛直な開口断層があるとして、それが下から上に移動しかつ開口幅が増えると考えたと観測値を説明できる。第6図では、ダイクの先端の深さを1kmとしているが、地震の震源の分布の深さは2kmより深いので（第4図）、これは今後の検討課題である。

参考文献

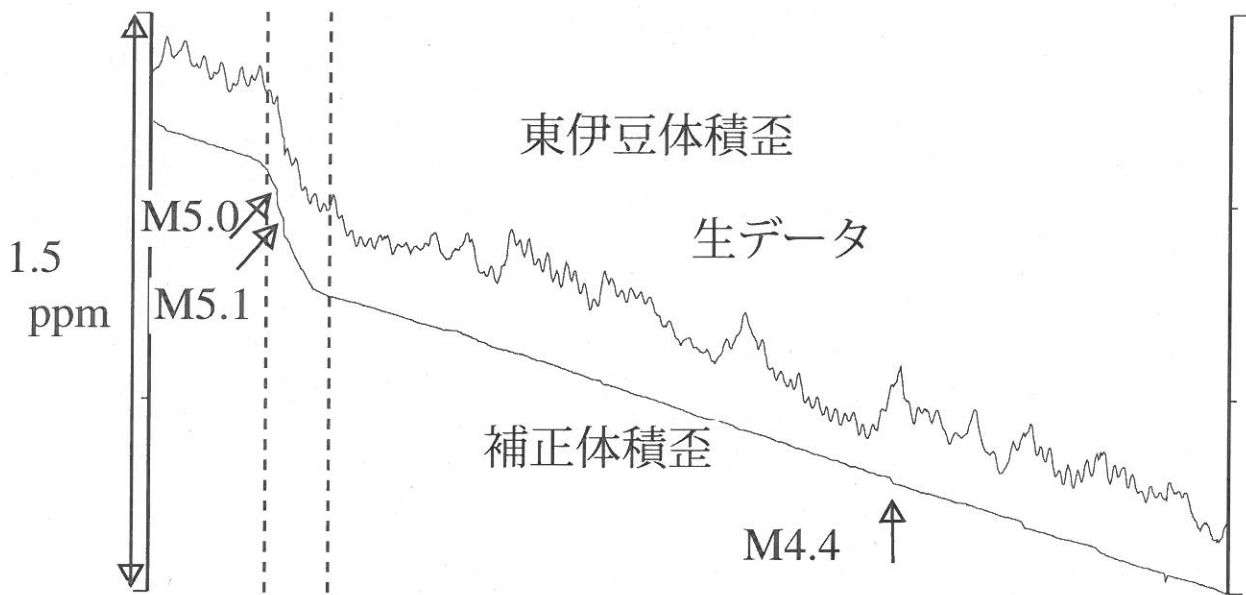
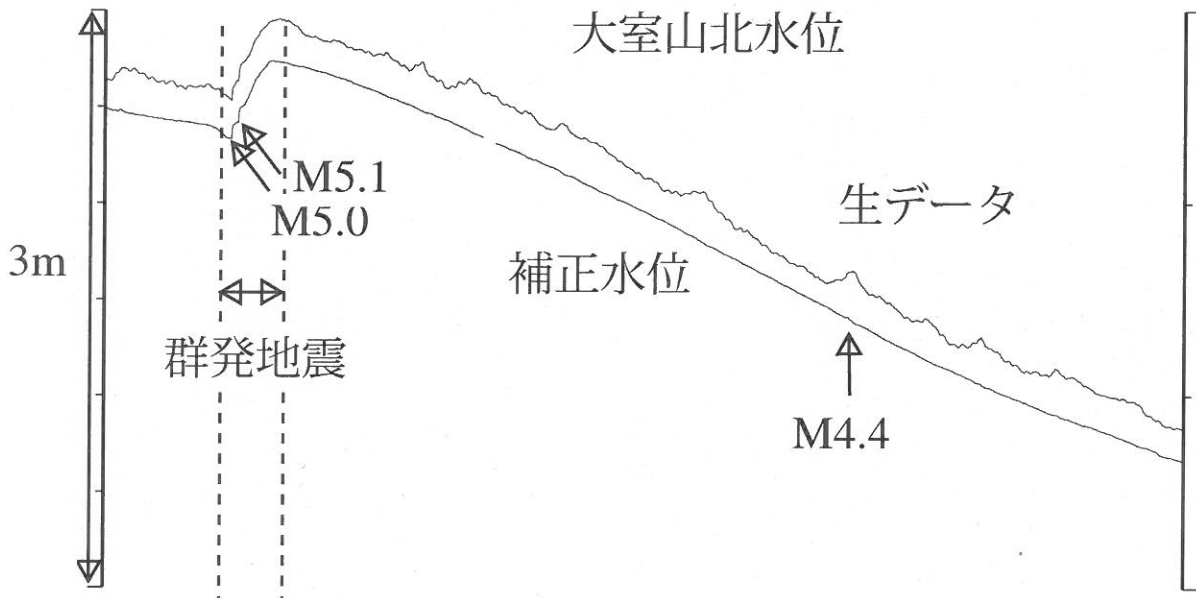
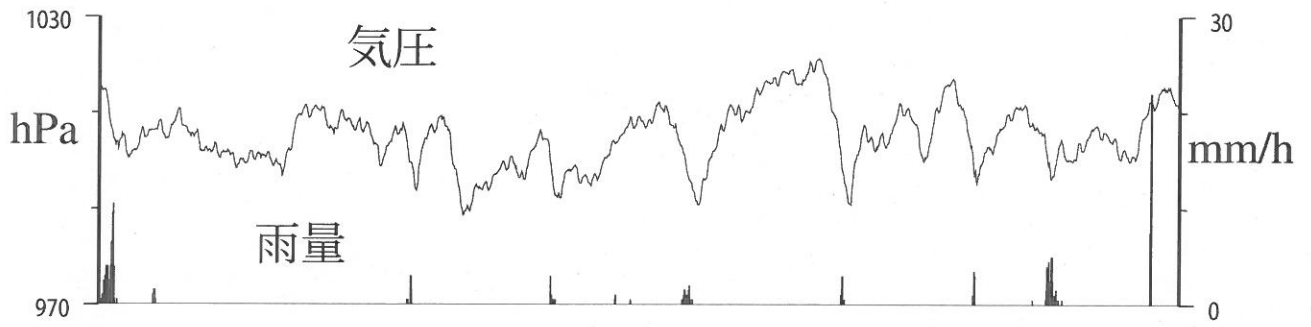
Koizumi et al., 2004, Geophys. Res. Lett., 31, L10606, doi:10.1029/2004GL019557.

内藤宏人・吉川澄夫, 1999, 地震2, 52, 101-103.



第1図：観測点位置。■：地下水観測点、
▲：歪観測点（気象庁）、□：地震観測点（気象庁）

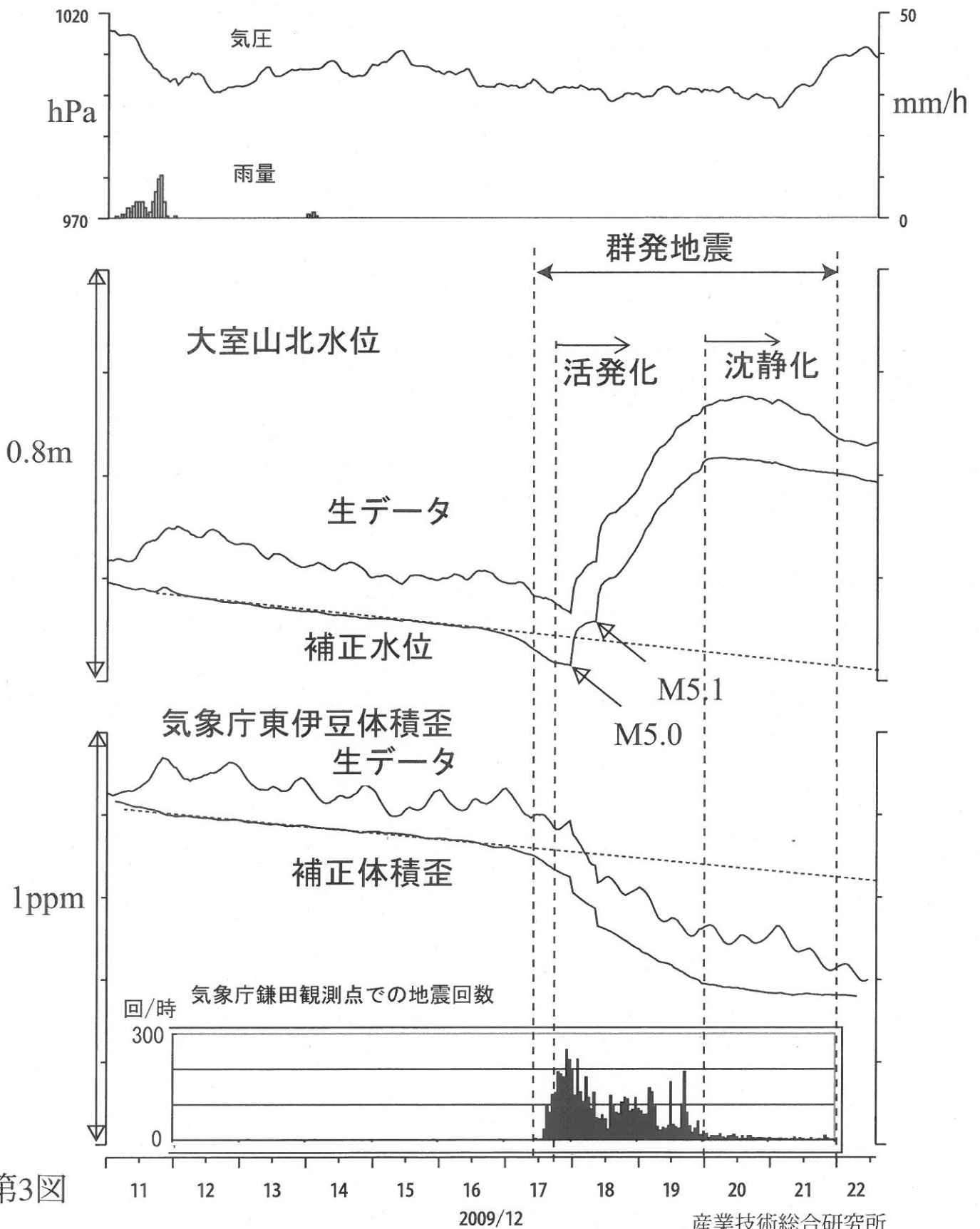
大室山北・東伊豆 (時間値)
 (2009/12/11 00:00 - 2010/02/08 23:00)



第2図

13 20 27 03 10 17 24 31 07
 2009/12 2010/01 2010/02

大室山北・東伊豆 (時間値)
 (2009/12/11 00:00 - 2009/12/22 14:00)



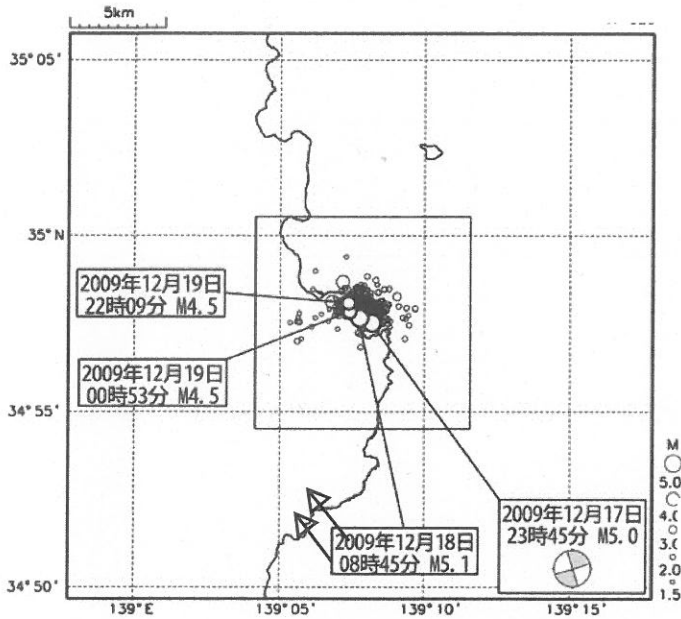
第3図

伊豆半島東方沖の地震活動

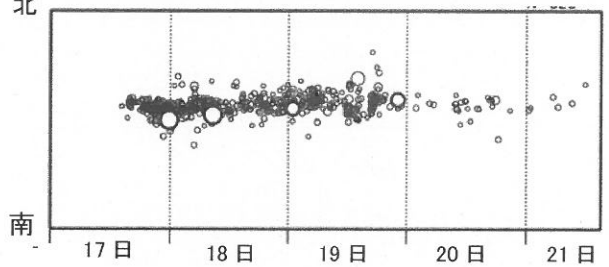
震央分布図

(2009年12月17日00時~21日15時、
深さ20km以浅、M1.5以上)

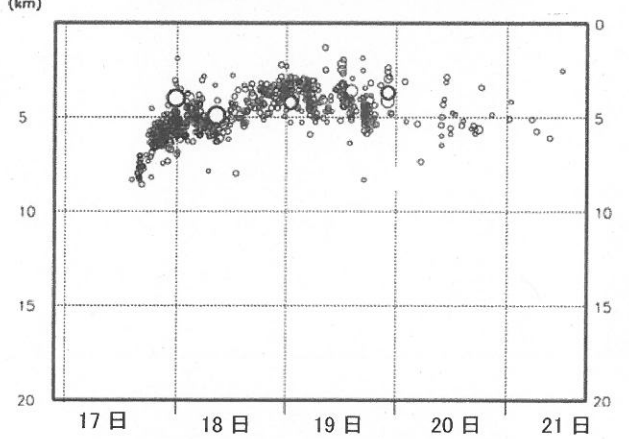
※一部未処理の期間を含んでいる



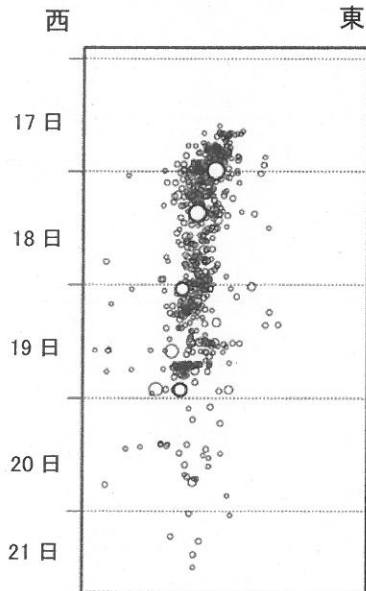
矩形領域内の時空間分布図(南北投影)



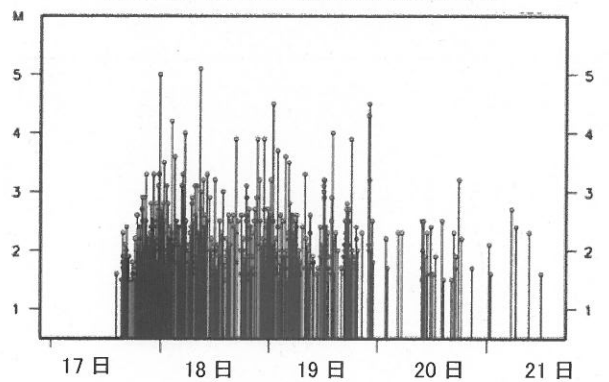
矩形領域内の深さの時系列図



矩形領域内の時空間分布図(東西投影)



矩形領域内の地震活動経過図



第4図：2009年12月21日気象庁発表資料による伊豆半島東方沖の地震活動。

図5 2009年12月16日17時～17日23時の大室山北 (■) の水位低下 (5cm→0.2ppmの伸び) と東伊豆 (▲) の体積歪変化 (-0.06ppm : マイナスは縮みを意味する) を説明するモデル. 地震の震源分布を参考にして, 幅3km, 長さ4.3km, 先端深さ5kmの鉛直断層を考え, 開口幅100mmを与えると, 東伊豆の歪 : -0.03ppm, 大室山北の体積歪 : 0.4ppm となっておおむね観測値を説明する. MICAP-G (内藤・吉川, 1999) を用いて計算した. ●は冷川南観測点.

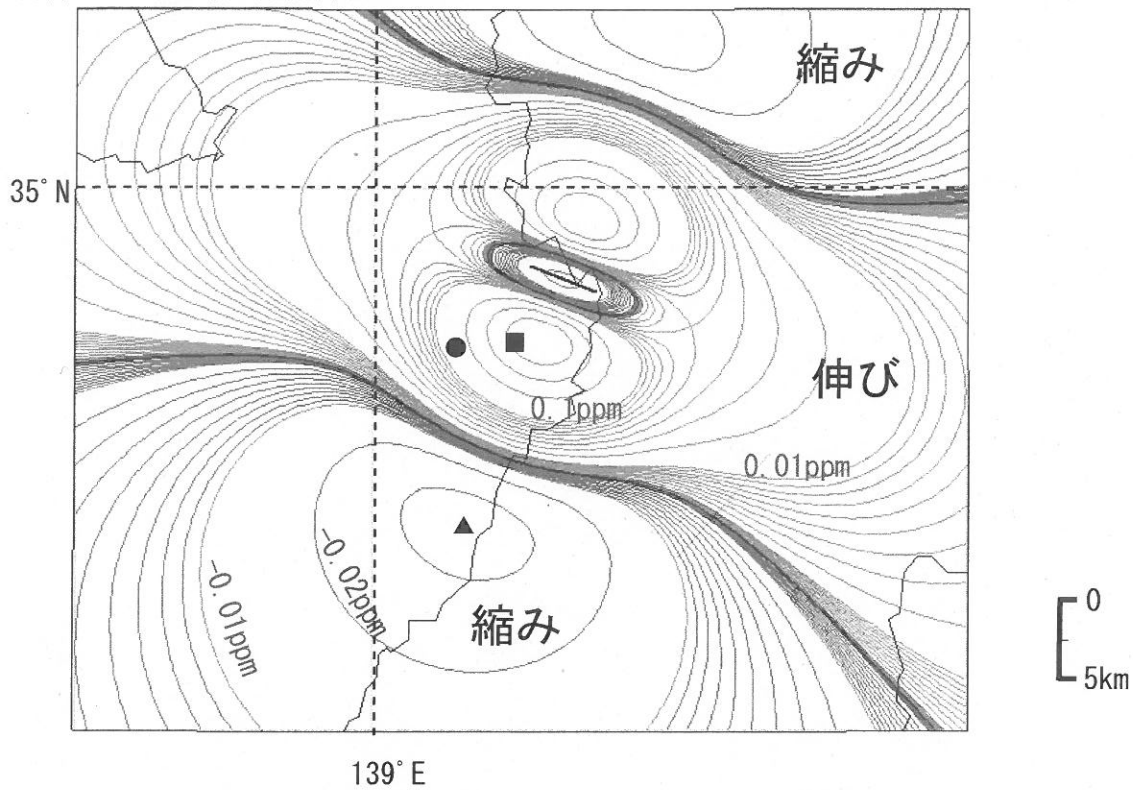
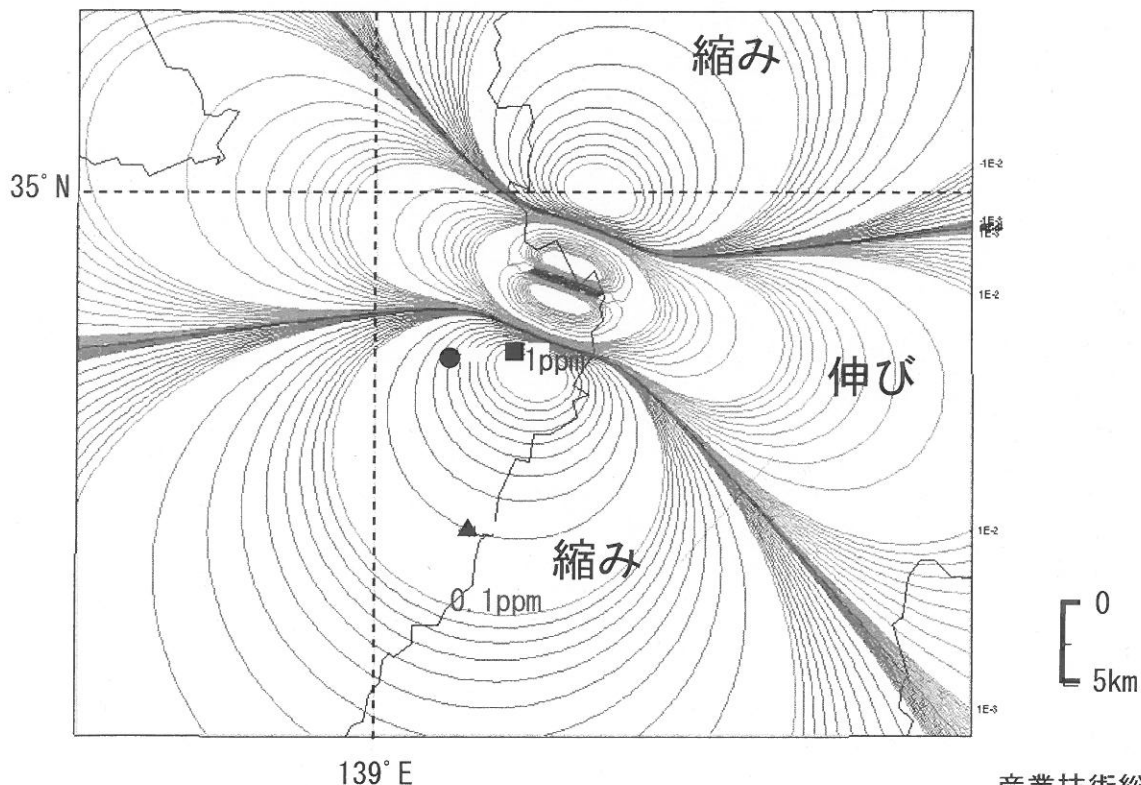


図6 2009年12月16日17時～20日13時の大室山北の水位上昇 (39cm→-1.3ppm: 圧縮) と東伊豆の体積歪変化 (-0.3ppm) を説明するモデル. 図5の断層が上に移動してさらに開くと考える. 結果的に, 幅3km, 長さ4.3km, 先端深さ1.0kmの鉛直断層を与え, さらに開口幅200mmにすると, 東伊豆の歪 : -0.2ppm, 大室山北の体積歪 : -1.1ppm となつて観測値を概ね説明する. MICAP-G を用いて計算した.



2009年12月の伊豆半島東方沖群発地震活動前後の伊東市周辺における

地下水・地殻歪変化

伊豆半島東部にある産総研の大室山北地下水観測点（第1図）は、1994年10月の観測開始以来、群発地震前に水位の低下を何度も生じており(Koizumi et al., 2004)、群発地震の原因であるダイク（岩脈）の地下深部からの貫入による地殻変動（地盤の変形、ここでは体積変化）を、ダイクが群発地震を引き起こす前に検出していると考えたと説明できる。この場所では、10km以深では、熱のために岩盤が柔らかくなってダイクの貫入があっても岩盤は変形するだけで破壊（地震）は生じないと考えられているからである。大室山北観測点が1994年10月に設置されてから2009年11月まで（今回の活動以前まで）に比較的規模の大きな群発地震活動は4回あり、1995年9月、1996年10月、1997年3月、1998年4月が開始月であった。また、それ以外にも明瞭な水位低下が認められる規模の小さな群発地震活動が何回かあった。これらの活動では、気象庁の東伊豆体積歪観測点（第1図）では、体積歪が一貫して減少（縮む）のに対し、大室山北では当初水位の低下（体積膨張）で始まるが、震源が浅くなって地震活動が活発化するとともに水位が上昇する（体積圧縮）傾向が認められる。これは、想定されている貫入ダイクの先端の深さに関係なく東伊豆は圧縮領域だが、大室山北観測点の場合は、ダイクの先端深さが浅くなると体積膨張の領域から圧縮領域になることで説明出来る(Koizumi et al., 2004)。今回の活動でもそのような変化が認められた（第2,3図）。なお、これらの図では、便宜上、12月17日～21日を群発地震活動期間としている。

2009年12月16日17時頃から大室山北観測井戸では、長期的な水位低下傾向を越える水位低下が始まった（第3図）。気象庁の東伊豆体積歪観測点では、それより数時間おくれて歪が減少し始めた。その後、17日午前11時頃から群発地震活動が始まった。12月17日23時45分のM5.0の地震（伊東市で震度5弱）の6時間程度前から水位低下が緩和し地震活動が活発化しているように見える。この時間帯は、震源の深さが当初の8km程度から6km程度にまで上昇した時期とも一致している（第4図）。M5.0の地震が発生した後水位は上昇した。また、12月18日8時45分にM5.1の地震（伊東市で震度5弱）が発生し再び水位が上昇し20日の未明まで水位上昇を続けた。12月16日17時を基準とすると、17日23時45分の地震直前までの水位低下量は（12月16日までの長期的な水位低下傾向： $-1.5\text{cm}/\text{日}$ も考慮して）約5cm、20日16時までの水位上昇量は約39cmである（第3図）。大室山北の水位の体積歪変化に対する感度（約 $30\text{cm}/\text{ppm}$ ）から単純に換算すると、それぞれ0.2ppmの伸び、1.3ppmの圧縮ということになる。他方、同時期の東伊豆の体積歪変化はそれぞれ0.06ppmの圧縮、0.3ppmの圧縮である（第3図）。12月20日0時頃から水位上昇が鈍り、東伊豆の体積歪変化の下降が穏やかになり、地震活動も沈静化しているように見える。なお、2010年1月21日2時59分にM4.4の地震（伊東市で震度4）が発生し、地震直後に約1cmの水位上昇が認められたが、その前後で特に大きな傾向の変化はなく東伊豆の体積歪の傾向にも変化が認められないので新たなダイクの貫入等は無いように思える（第2図）。

例年、この時期は、比較的降雨が少ない時期なので、長期的な水位低下があるのは特に異常ではない。別資料では、大室山北と水位の季節変化が同様な冷川南の観測データが示されている。冷川南の方には、群発地震期間中に大室山北のような変化は認められない。

第5-6図に上述の大室山北の水位と東伊豆の体積歪変化を説明する簡単な開口断層モデルを示した。震源分布に沿って鉛直な開口断層があるとして、それが下から上に移動しかつ開口幅が増えると考えたと観測値を説明できる。第6図では、ダイクの先端の深さを1kmとしているが、地震の震源の分布の深さは2kmより深いので（第4図）、これは今後の検討課題である。

参考文献

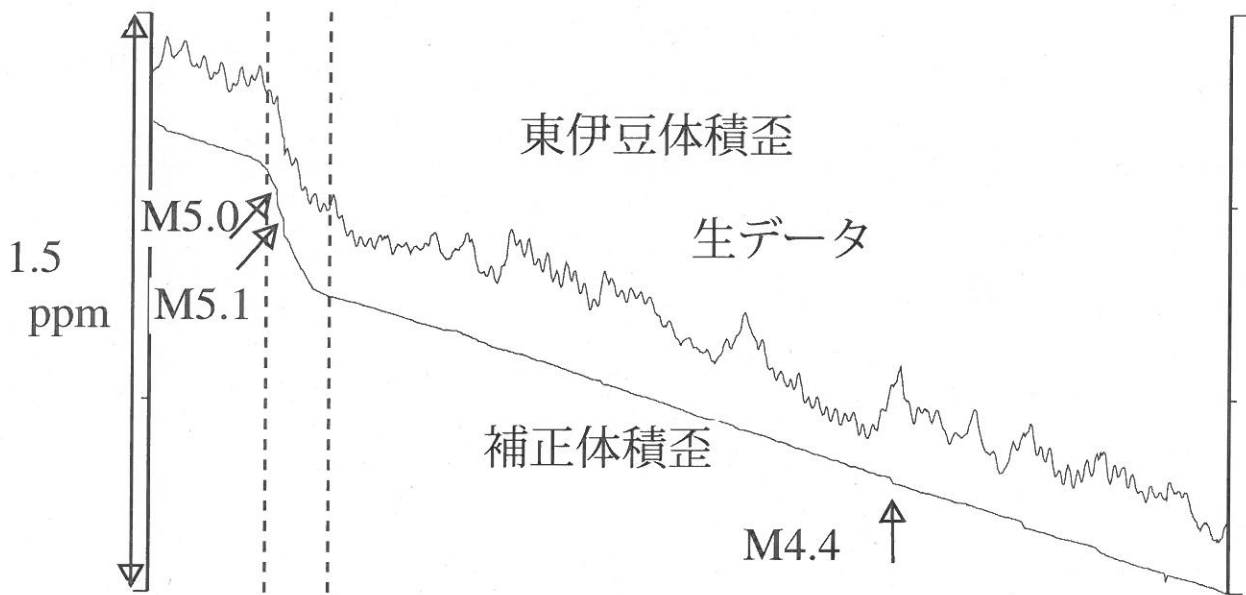
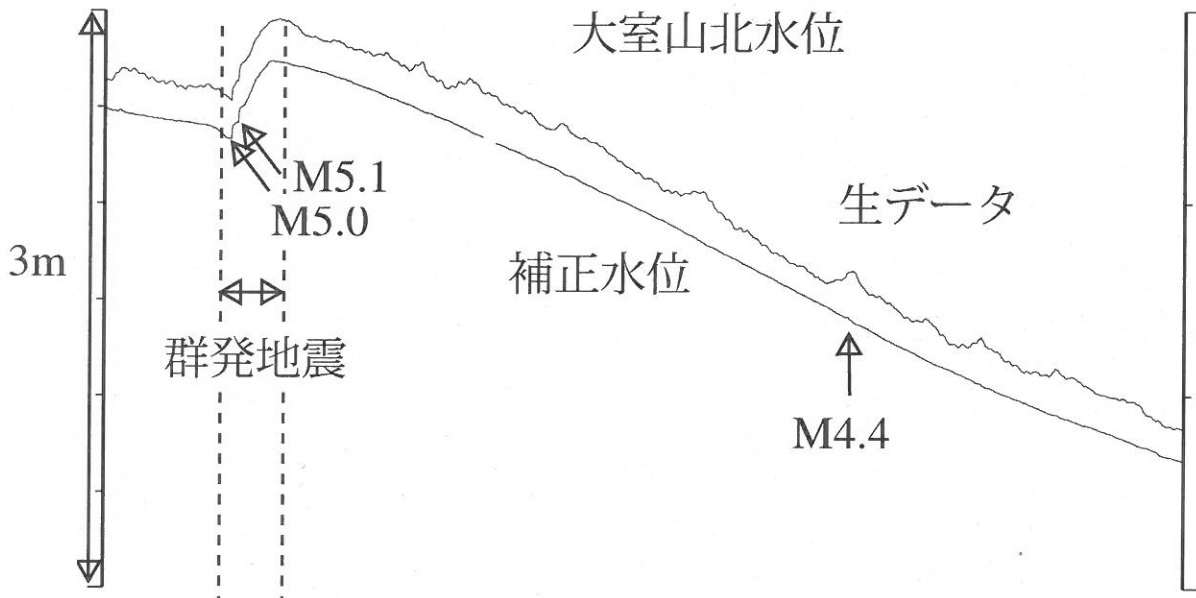
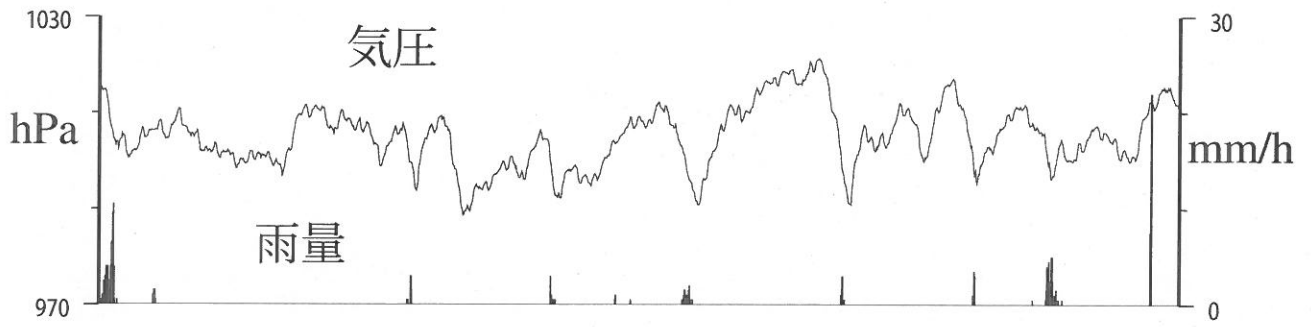
Koizumi et al., 2004, Geophys. Res. Lett., 31, L10606, doi:10.1029/2004GL019557.

内藤宏人・吉川澄夫, 1999, 地震2, 52, 101-103.



第1図：観測点位置。■：地下水観測点、
▲：歪観測点（気象庁）、□：地震観測点（気象庁）

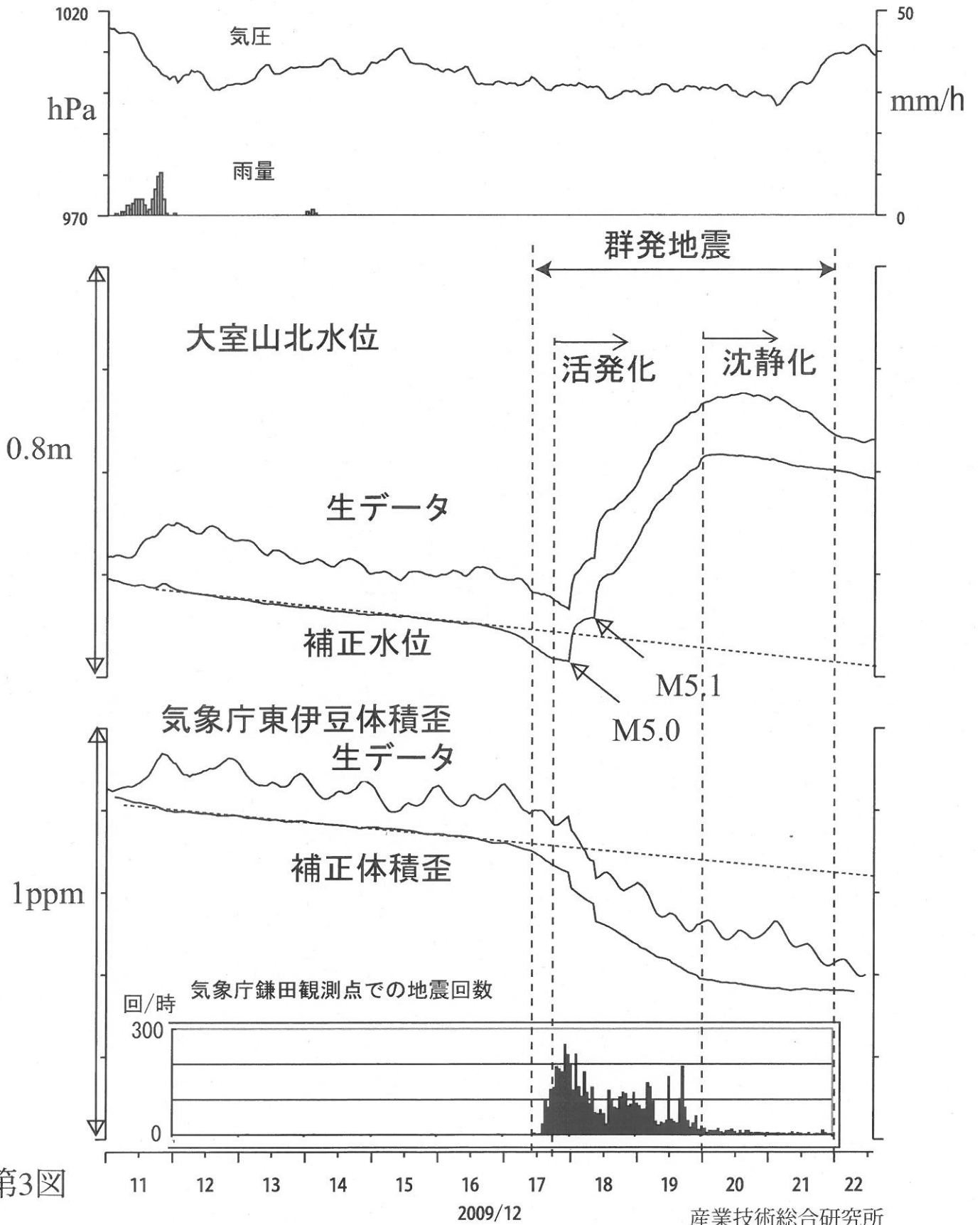
大室山北・東伊豆 (時間値)
 (2009/12/11 00:00 - 2010/02/08 23:00)



第2図

13 20 27 03 10 17 24 31 07
 2009/12 2010/01 2010/02

大室山北・東伊豆 (時間値)
 (2009/12/11 00:00 - 2009/12/22 14:00)



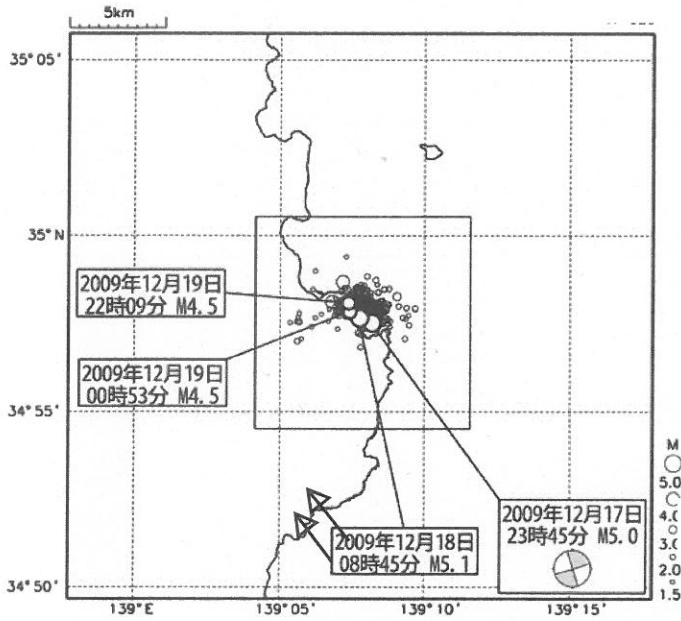
第3図

伊豆半島東方沖の地震活動

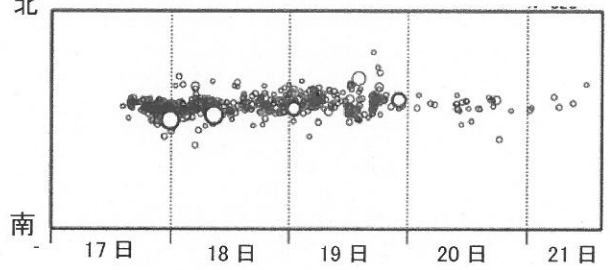
震央分布図

(2009年12月17日00時~21日15時、
深さ20km以浅、M1.5以上)

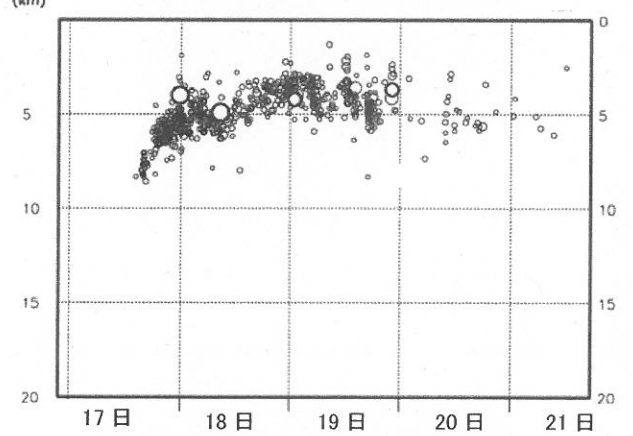
※一部未処理の期間を含んでいる



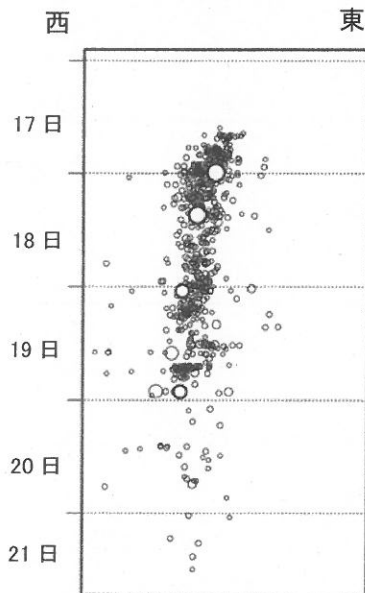
矩形領域内の時空間分布図 (南北投影)



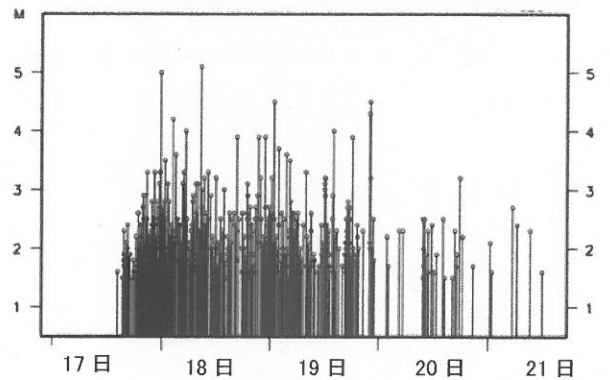
矩形領域内の深さの時系列図



矩形領域内の時空間分布図 (東西投影)



矩形領域内の地震活動経過図



第4図：2009年12月21日気象庁発表資料による伊豆半島東方沖の地震活動。

図5 2009年12月16日17時～17日23時の大室山北 (■) の水位低下 (5cm→0.2ppmの伸び) と東伊豆 (▲) の体積歪変化 (-0.06ppm : マイナスは縮みを意味する) を説明するモデル. 地震の震源分布を参考にして, 幅3km, 長さ4.3km, 先端深さ5kmの鉛直断層を考え, 開口幅100mmを与えると, 東伊豆の歪 : -0.03ppm, 大室山北の体積歪 : 0.4ppm となっておおむね観測値を説明する. MICAP-G (内藤・吉川, 1999) を用いて計算した. ●は冷川南観測点.

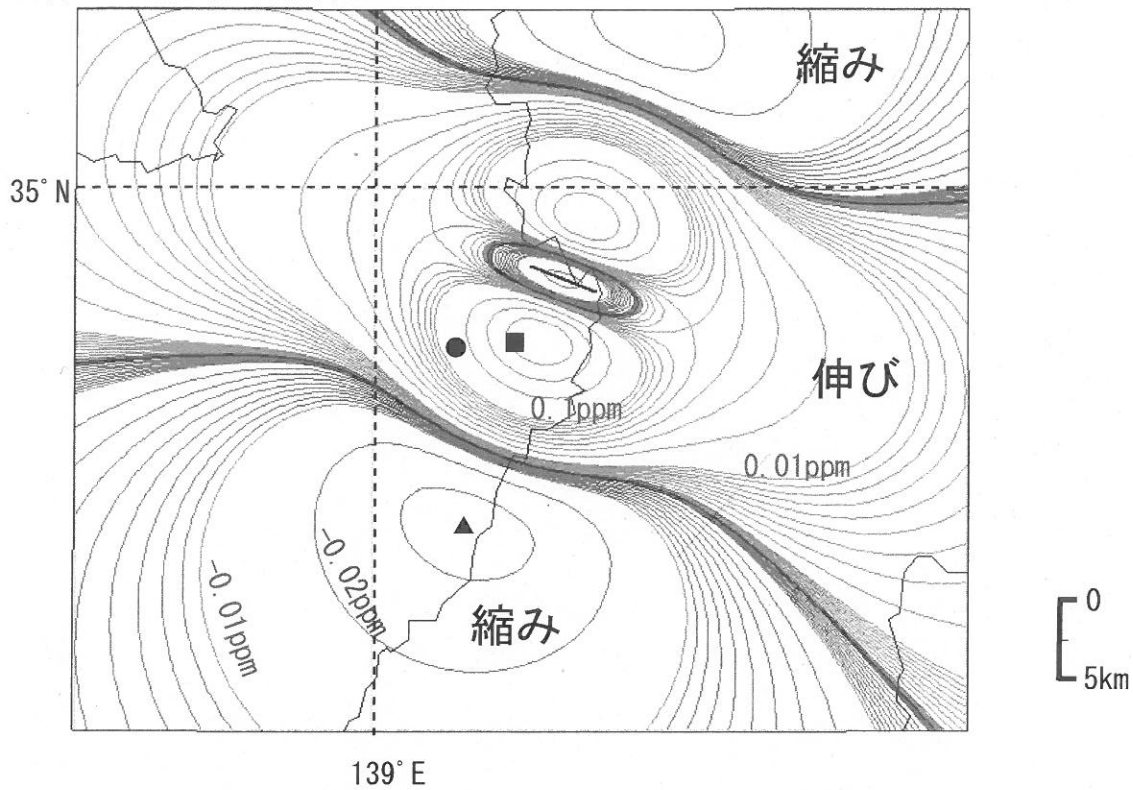
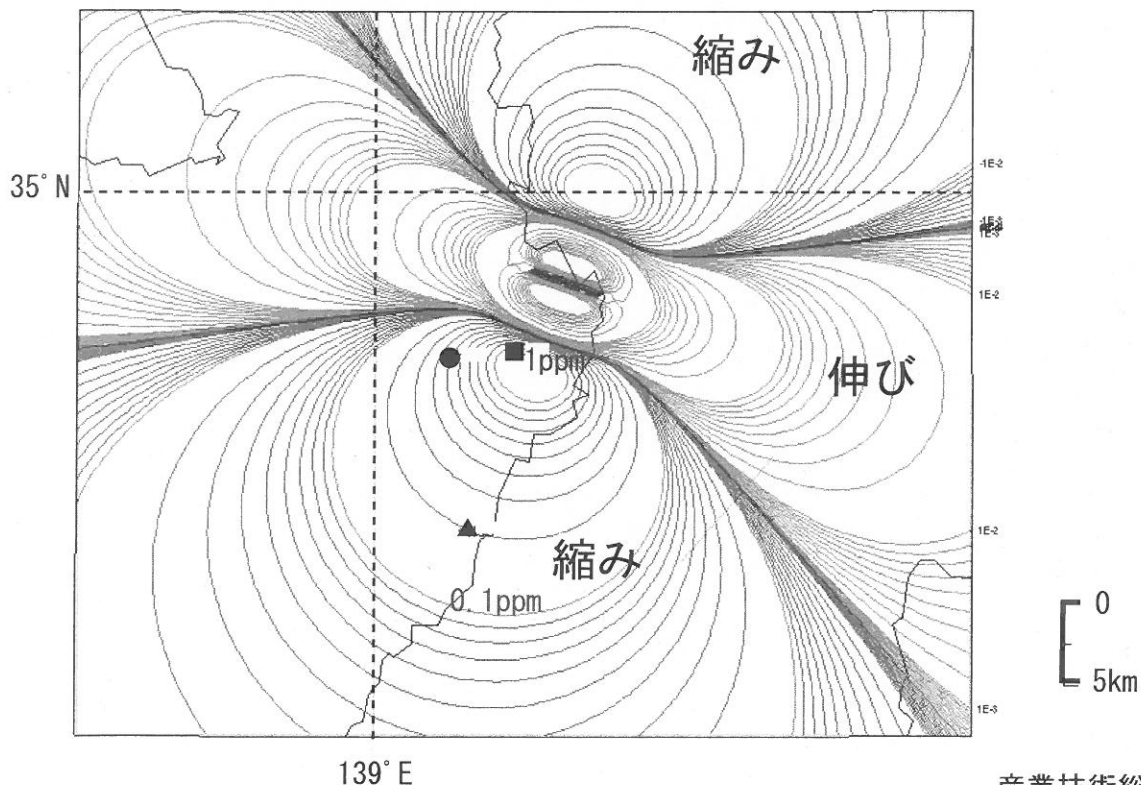


図6 2009年12月16日17時～20日13時の大室山北の水位上昇 (39cm→-1.3ppm: 圧縮) と東伊豆の体積歪変化 (-0.3ppm) を説明するモデル. 図5の断層が上に移動してさらに開くと考える. 結果的に, 幅3km, 長さ4.3km, 先端深さ1.0kmの鉛直断層を与え, さらに開口幅200mmにすると, 東伊豆の歪 : -0.2ppm, 大室山北の体積歪 : -1.1ppm となつて観測値を概ね説明する. MICAP-G を用いて計算した.



紀伊半島の地下水・歪観測結果(2009年11月～2010年1月)

産業技術総合研究所

産業技術総合研究所の紀伊半島の5観測点(ITA, MYM, ICU, HGMおよびKST)における2009年11月1日から2010年1月19日までの観測結果を図1～5に示す。ITAにはGTSM社製歪計が、その他4点には石井式歪計が600m孔(標準)に埋設されている。

広島大学の低周波微動自動モニタリングシステム(ATMOS)等によると、2010年1月10日～12日頃にかけて和歌山県中部でやや活発な低周波微動が観測された(図6)。同期間の5観測点(HGM, KST, ICU, MYMおよびITA)における観測結果を図7に示す。KSTおよびICUで、微動の活発化に対応した僅かな変化が認められた。

ATMOSによる低周波微動の震央域のプレート形状モデル(弘瀬ほか, 2007)を参考にスロースリップイベント(SSE)の断層モデルを仮定し、Okada(1992)と内藤・吉川(1999)によって各観測点で期待される主歪変化を計算した他、水平歪の観測結果から主歪を計算した(図8)。断層面の水平位置は、微動の震央域付近とし、深さおよびすべり方向等はプレート形状から決定した。すべり量のみ、観測結果に合うよう設定した。なお、歪計のキャリブレーションは行っていないため、すべり量は実際より最大で2倍程度大きく見積もられている可能性がある。水平歪は4成分観測しているため、主歪観測結果は3組ずつの組み合わせで4通り計算して平均値を使用している。ノイズレベル程度の変化なのであるが、KSTでは断層モデルから計算される歪変化と観測値は概ね調和的である。Mwの総和は5.6と推定される。

(板場智史・小泉尚嗣)

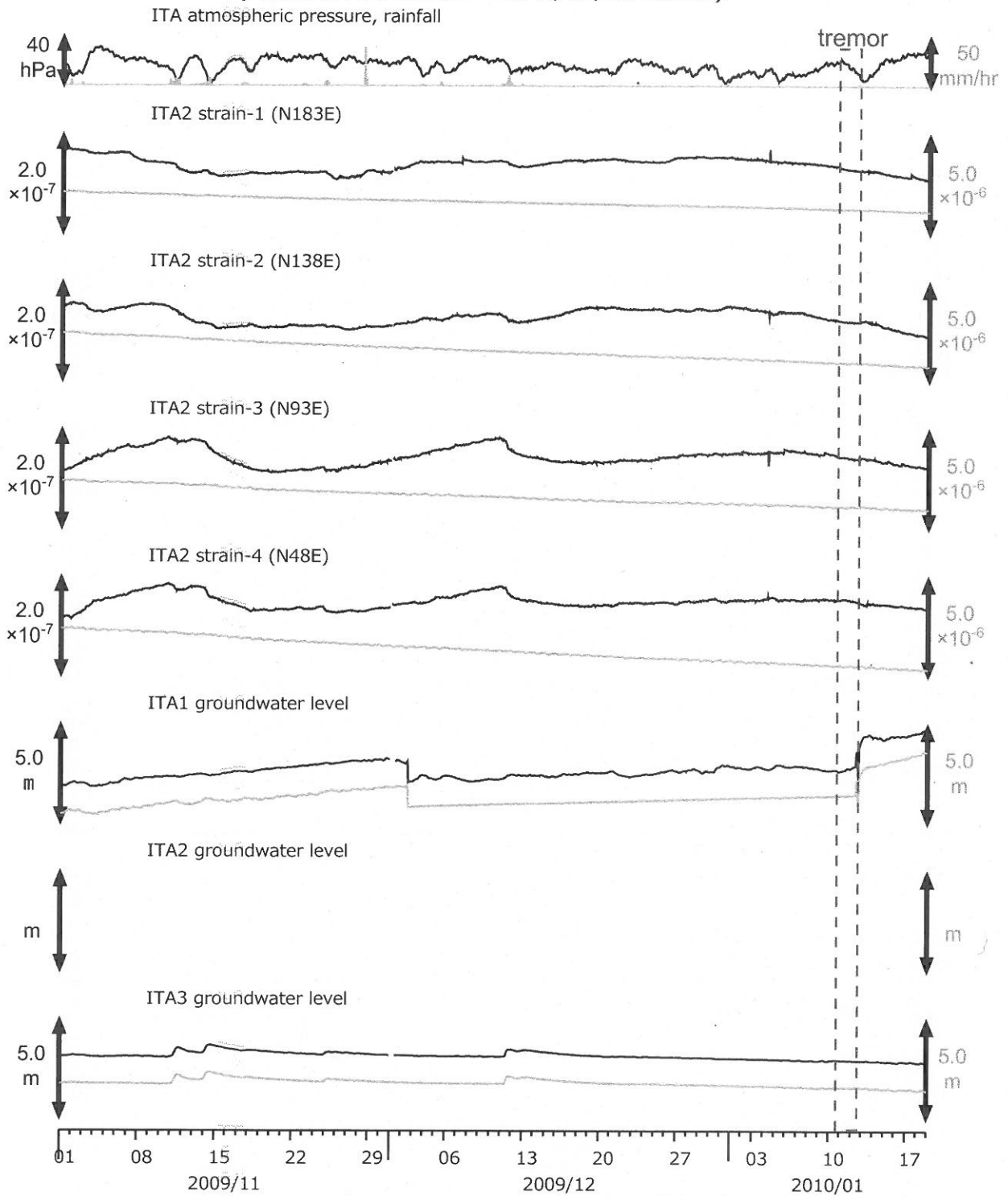
謝辞

広島大学の低周波微動自動モニタリングシステム(ATMOS)によるモニタリング結果を使用させて頂きました。低周波地震の分布および個数は、気象庁一元化震源リストを基にしました。産総研による低周波微動の解析には、産総研、防災科研Hi-net、気象庁、東京大学の観測点の地震計データを使用しました。ここに記して感謝致します。

参考文献

- 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.
- 内藤宏人, 吉川澄夫, 地殻変動解析支援プログラム MICAP-G の開発, *地震*, **52**, 101-103, 1999.
- 広島大学, 低周波微動自動モニタリングシステム(ATMOS), <http://tremor.geol.sci.hiroshima-u.ac.jp/>.
- 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.

図1: 紀伊半島南部の地下水・歪観測結果: ITA (時間値)
(2009/11/01 00:00 - 2010/01/19 00:00)



灰色線は生データ(毎正時値)、黒色線は潮汐・大気圧応答成分、2次曲線トレンド(歪のみ)を取り除いている。



instrument	installed depth [GL-m]
ITA2 strainmeter	181.3 - 183.6
well	screen depth [GL-m]
ITA1	547.6 - 558.5
ITA2	145.5 - 156.4
ITA3	10.8 - 16.3

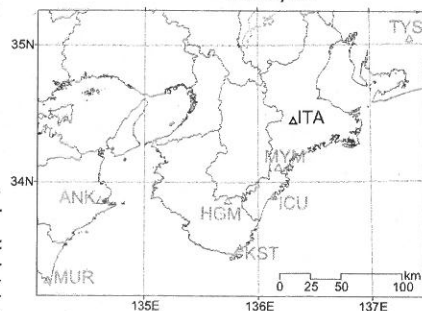
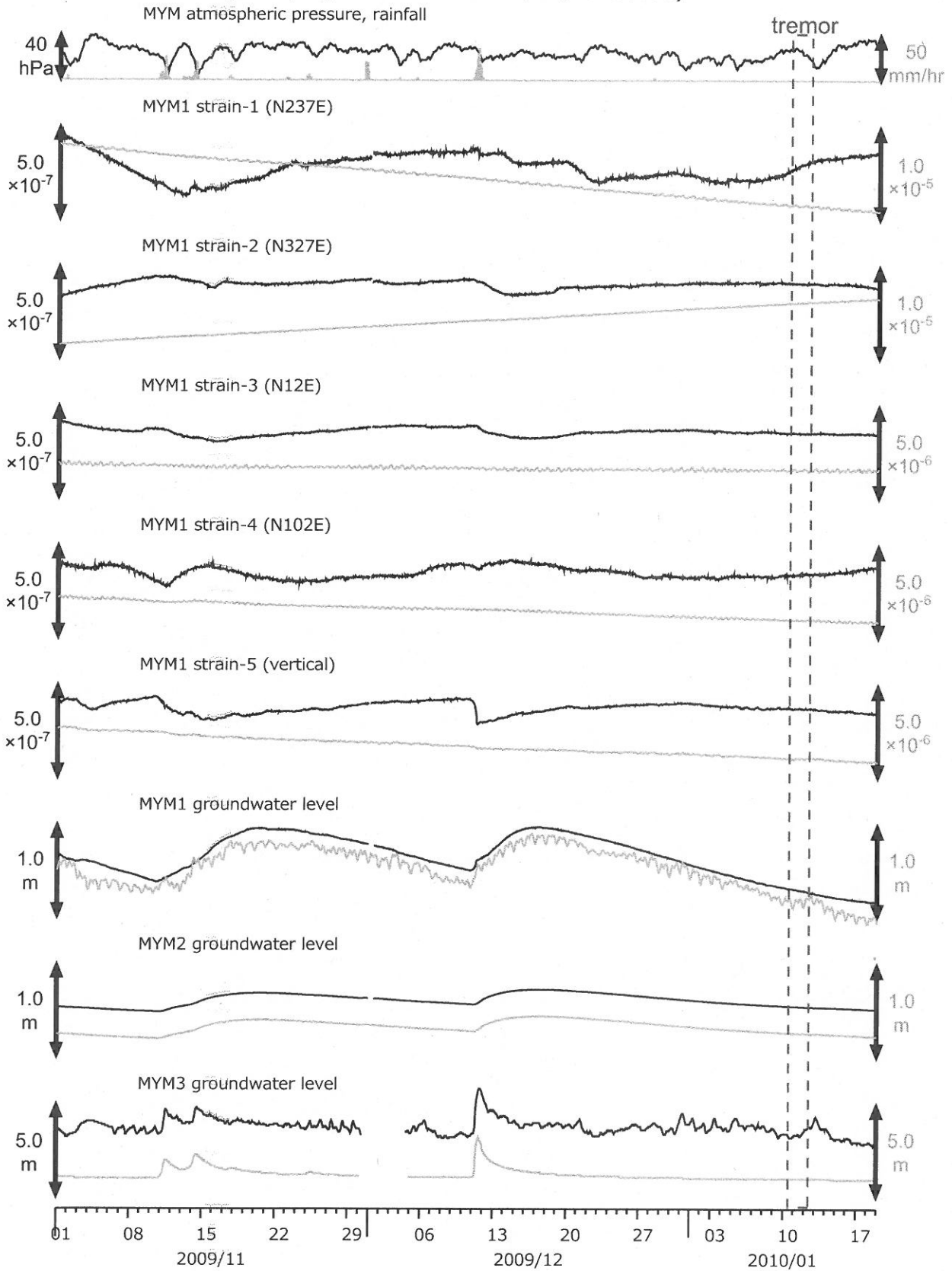


図2: 紀伊半島南部の地下水・歪観測結果: MYM (時間値)
(2009/11/01 00:00 - 2010/01/19 00:00)



灰色線は生データ(毎正時値)、黒色線は潮汐・大気圧応答成分、2次直線トレンド(歪のみ)を取り除いている。

instrument	installed depth [GL-m]
MYM1 strainmeter	585.4 - 592.3
well	screen depth [GL-m]
MYM1	418.9 - 429.8
MYM2	140.2 - 151.1
MYM3	19.9 - 25.3

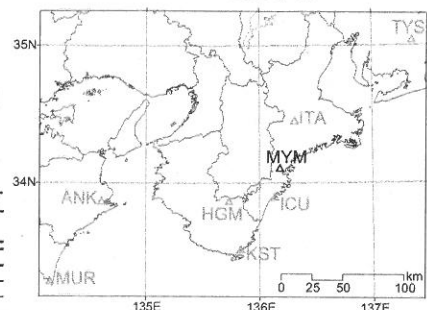
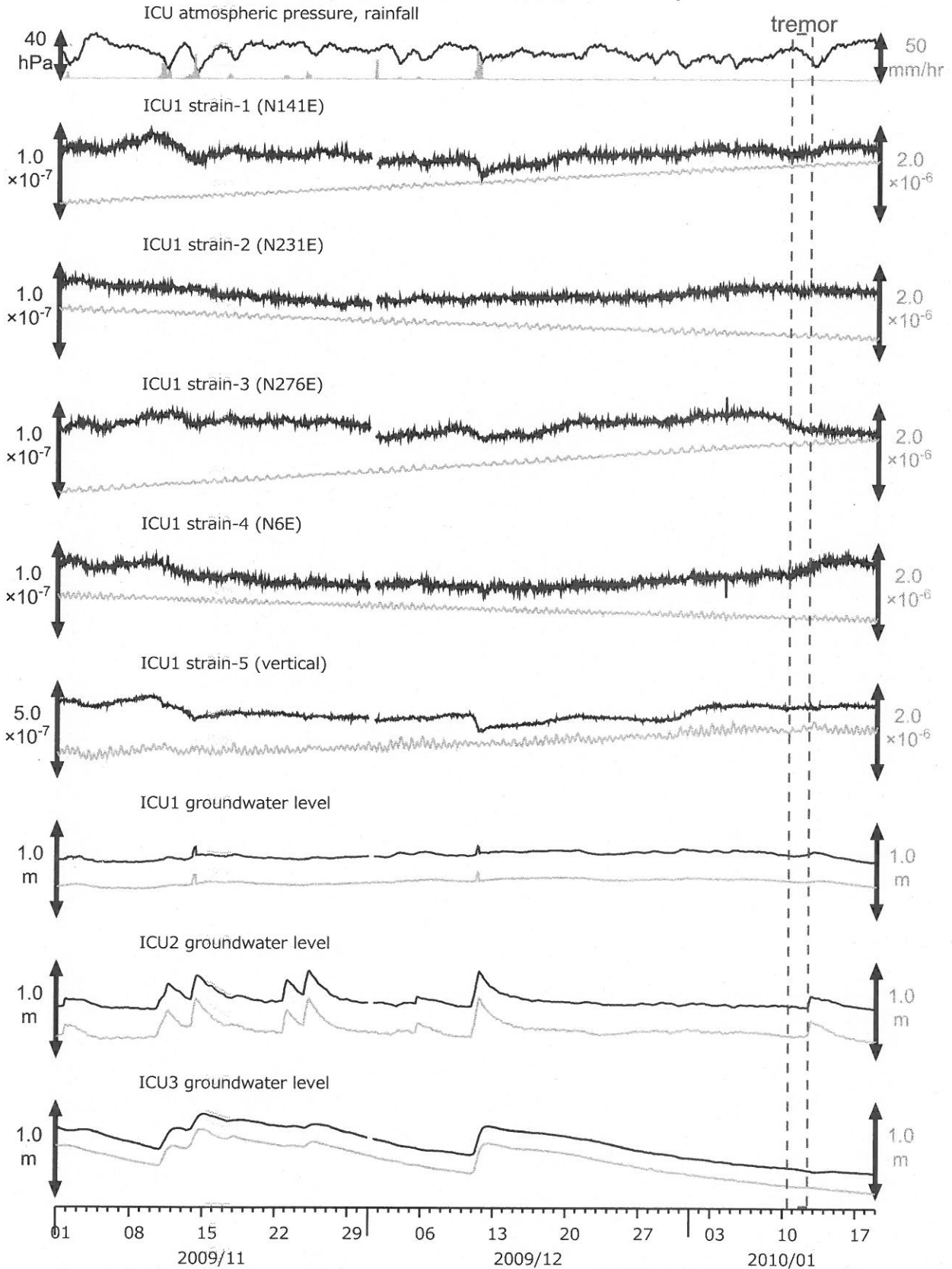
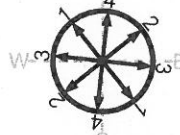


図3: 紀伊半島南部の地下水・歪観測結果: ICU (時間値)
(2009/11/01 00:00 - 2010/01/19 00:00)



灰色線は生データ(毎正時値)、黒色線は潮汐・大気圧応答成分、直線トレンド(歪のみ)を取り除いている。



instrument	installed depth [GL-m]
ICU1 strainmeter	583.9-590.8
well	screen depth [GL-m]
ICU1	522.4-533.4
ICU2	95.7-106.6
ICU3	13.4-18.8

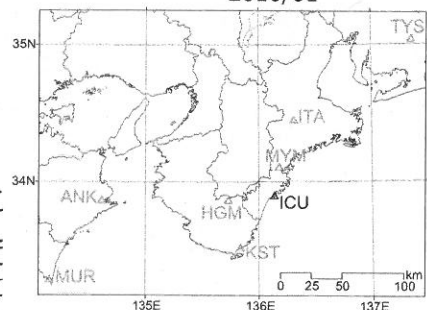
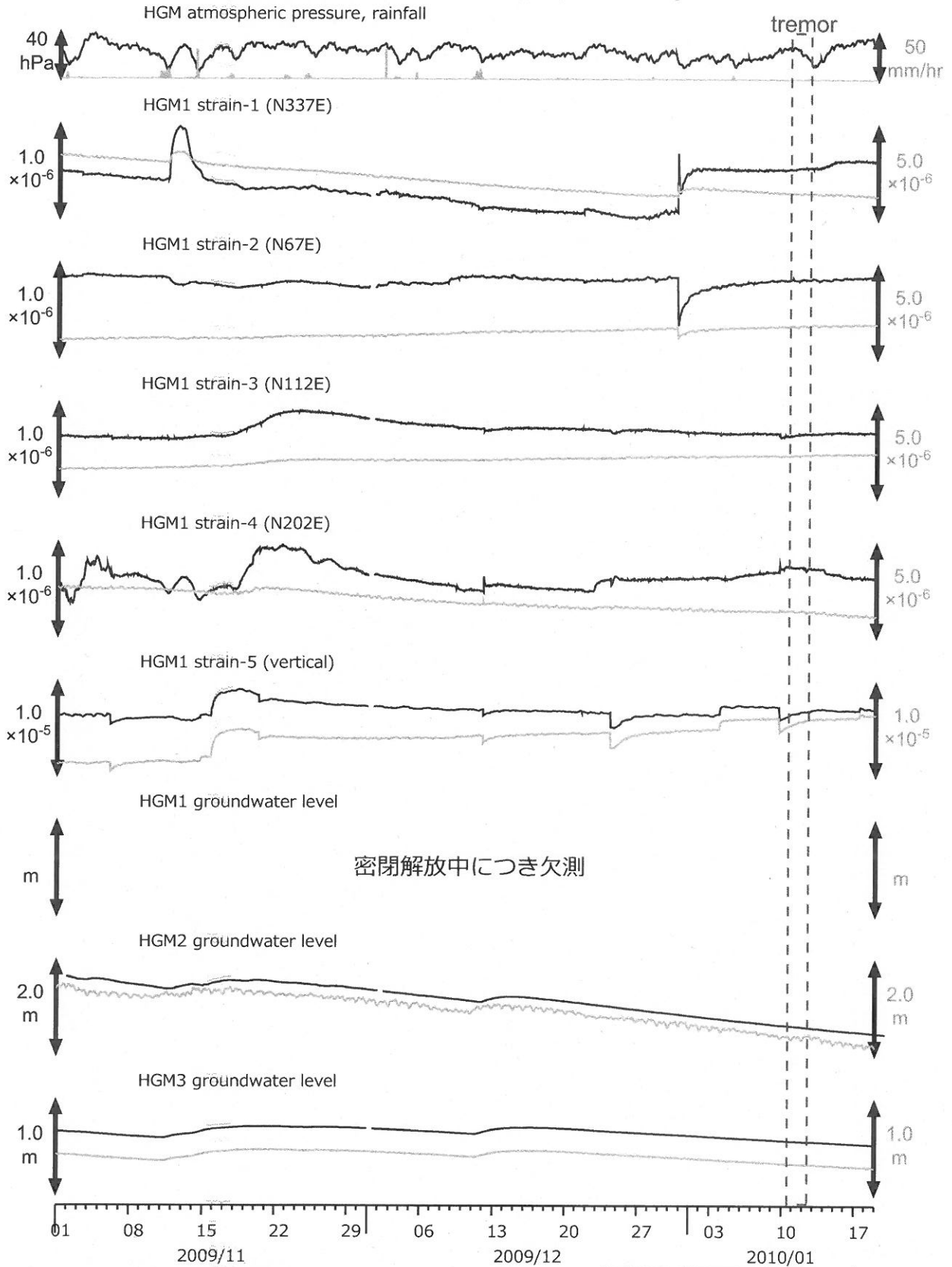


図4: 紀伊半島南部の地下水・歪観測結果: HGM (時間値)
(2009/11/01 00:00 - 2010/01/19 00:00)



2009/1/30にHGM1の密閉開放を行ったため歪全成分とHGM2の水圧に影響が出ている。歪各成分で頻発するステップはセンサーの近傍の間隙水圧の変化が原因と考えられる。灰色線は生データ(毎正時値)、黒色線は潮汐・大気圧応答成分、直線トレンド(歪のみ)を取り除いている。

instrument	installed depth [GL-m]
HGM1 strainmeter	368.2 - 375.0
well	screen depth [GL-m]
HGM1	320.4 - 331.3
HGM2	180.9 - 191.8
HGM3	24.3 - 29.8

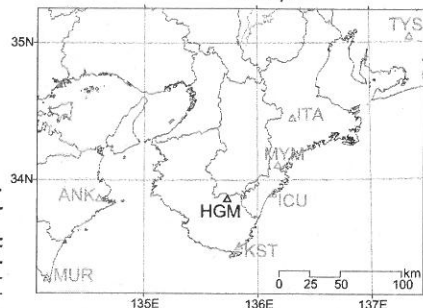
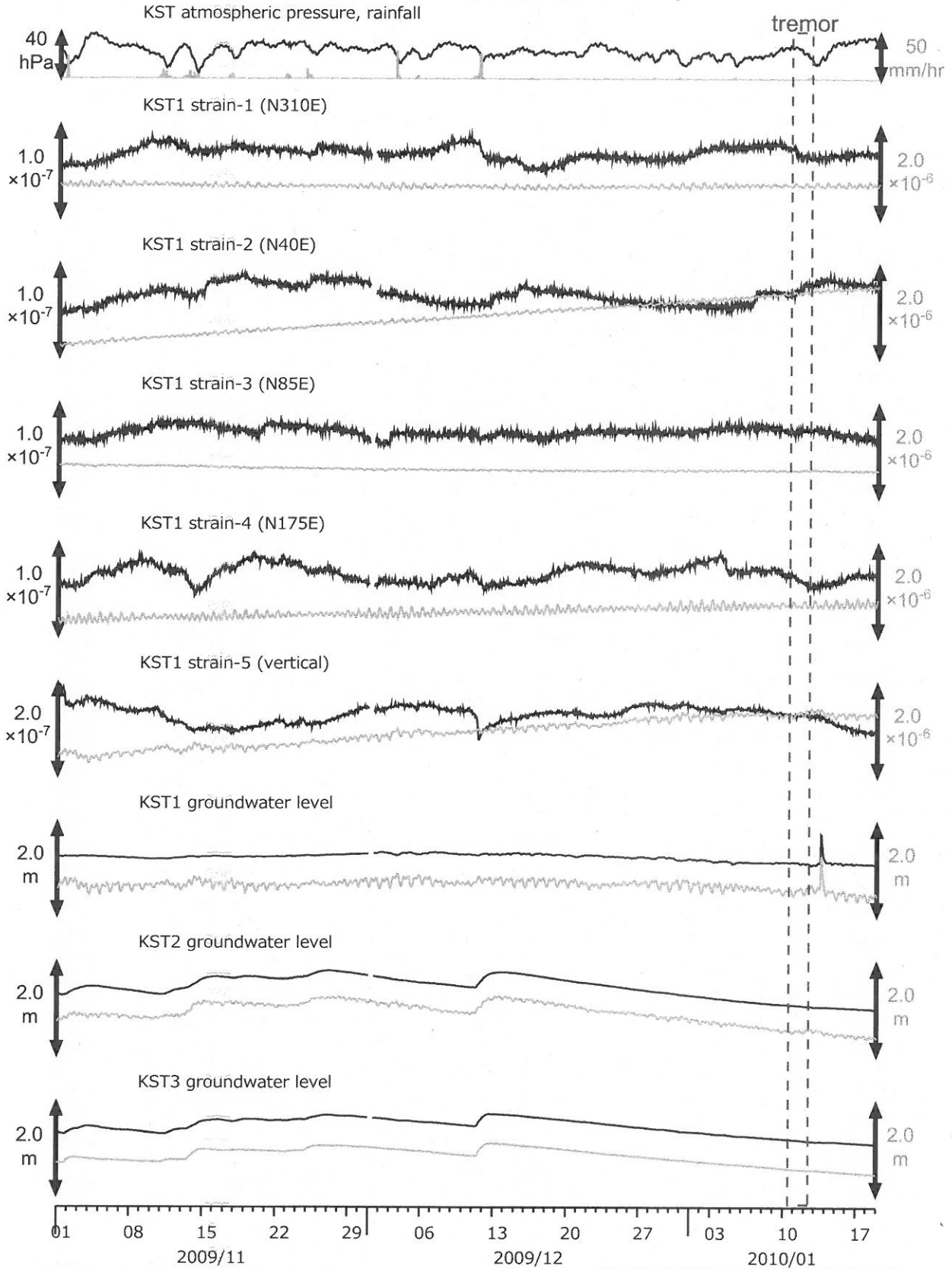
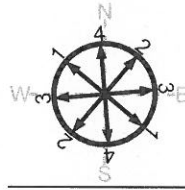


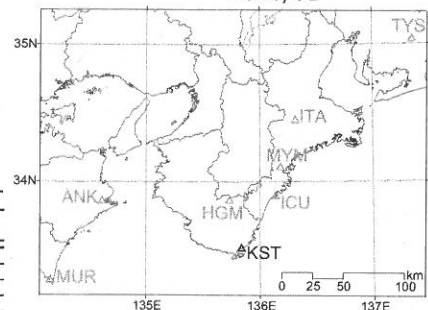
図5: 紀伊半島南部の地下水・歪観測結果: KST (時間値)
(2009/11/01 00:00 - 2010/01/19 00:00)



灰色線は生データ(毎正時値)、黒色線は潮汐・大気圧応答成分、2次曲線トレンド(歪のみ)を取り除いている。



instrument	installed depth [GL-m]
KST1 strainmeter	585.2 - 592.1
well	screen depth [GL-m]
KST1	509.2 - 520.2
KST2	132.9 - 143.9
KST3	20.4 - 30.6



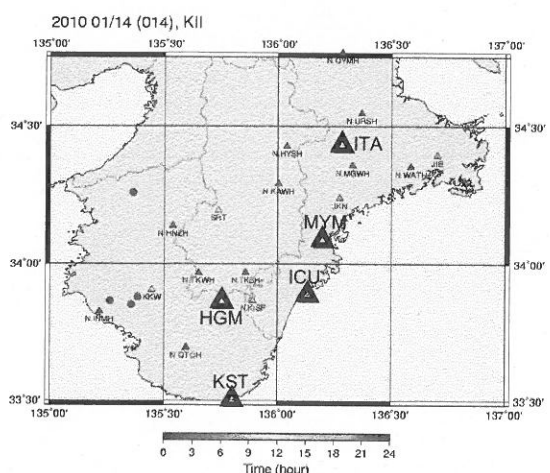
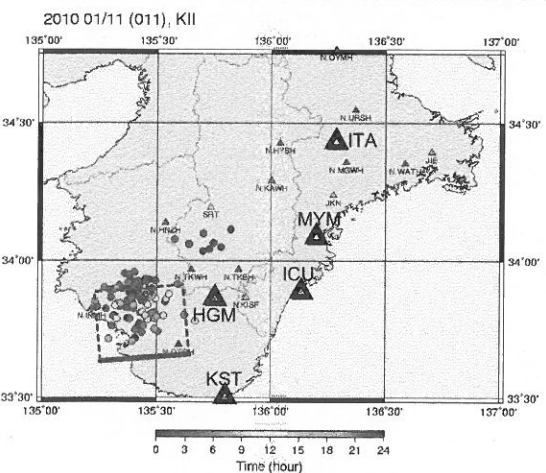
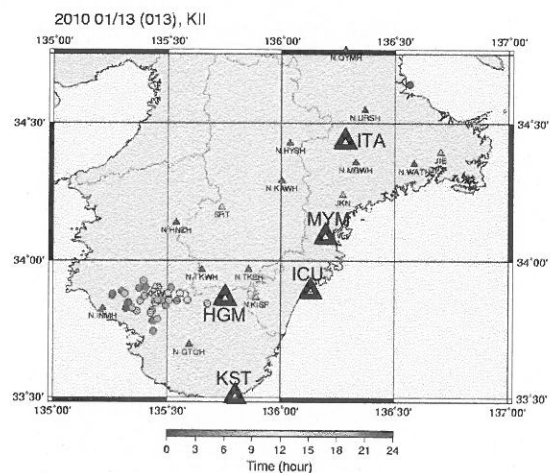
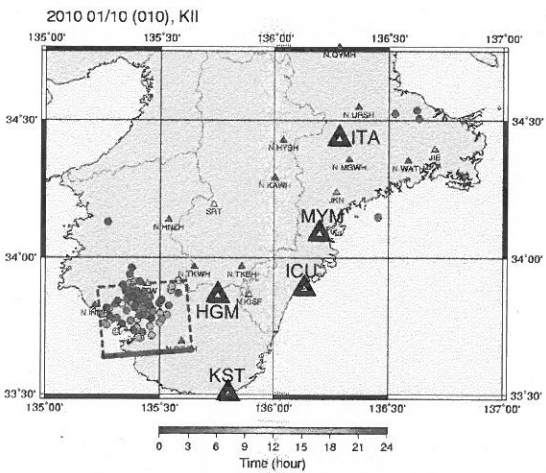
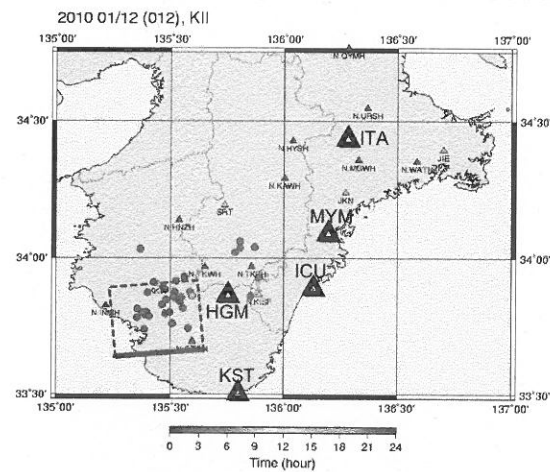
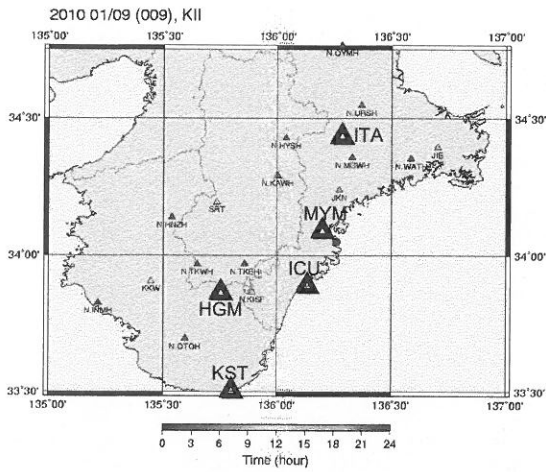
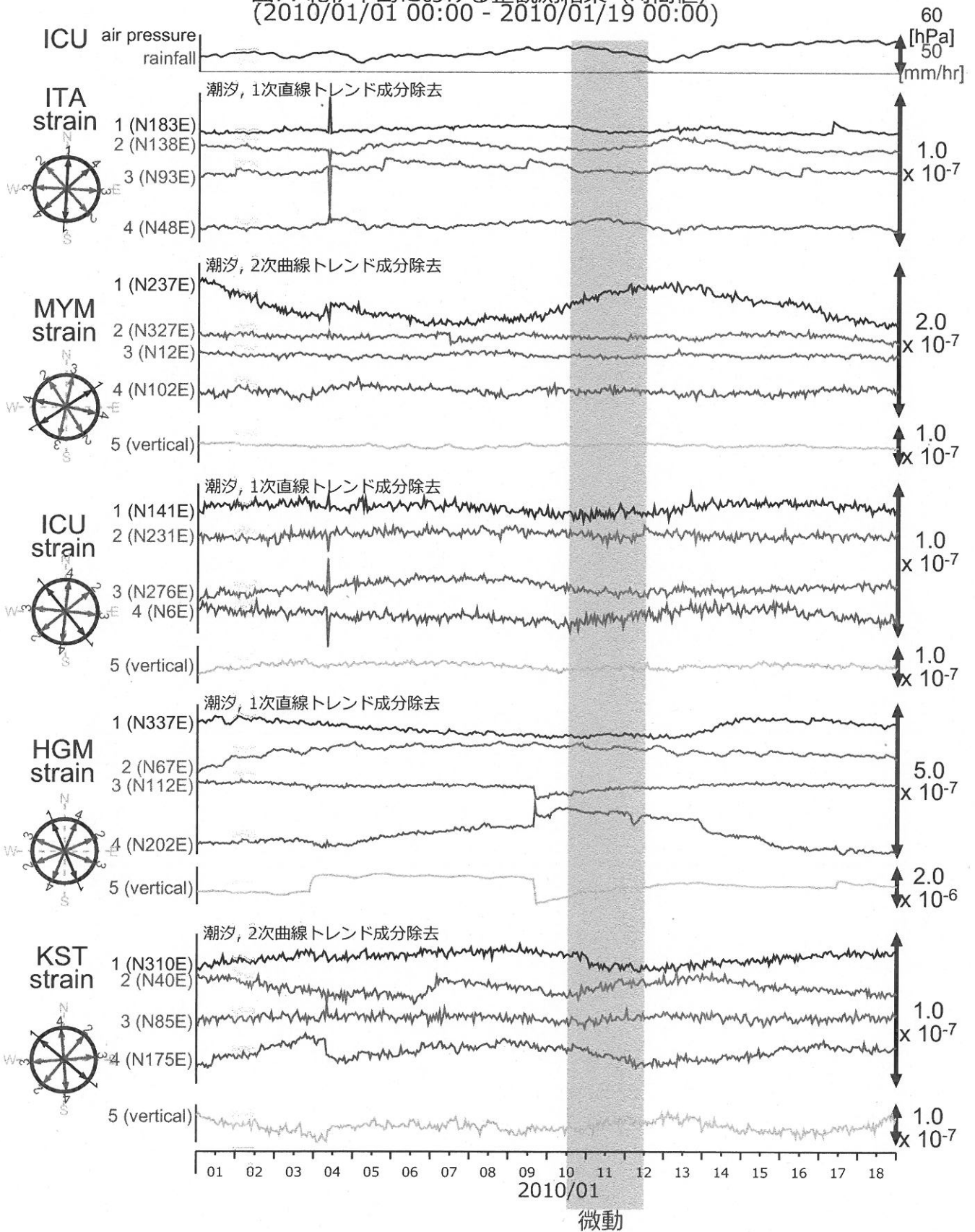
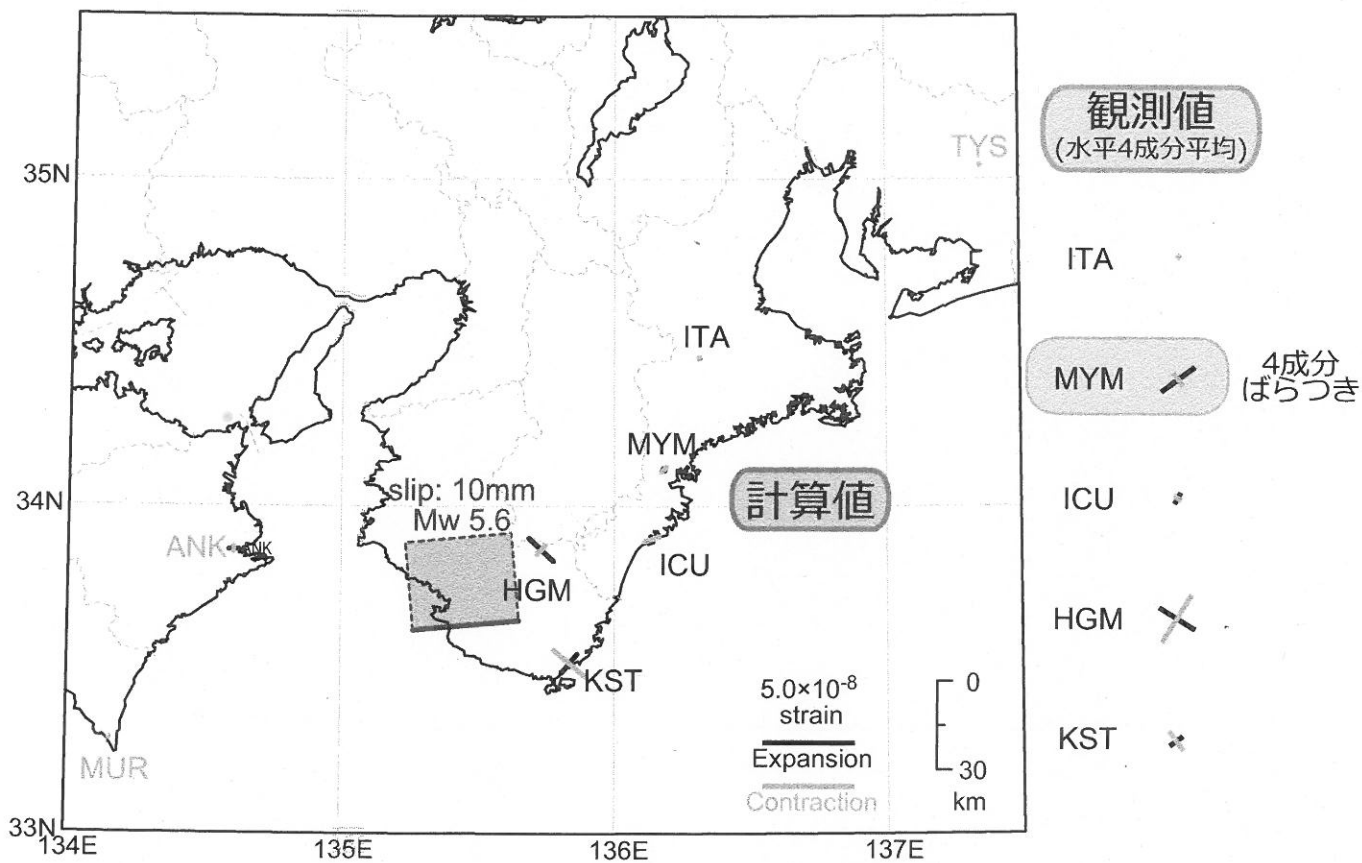


図 6: 広島大学の低周波微動自動モニタリングシステム (ATMOS) による 2010/1/9-14 の紀伊半島におけるモニタリング結果 <http://tremor.geol.sci.hiroshima-u.ac.jp/index.html>

図7: 紀伊半島における歪観測結果 (時間値)
(2010/01/01 00:00 - 2010/01/19 00:00)





From	To	Lat	Lon	Depth [km]	Strike [deg]	Length [km]	Width	Dip [deg]	Rake [deg]	Slip [mm]	Mw
2010/1/10 p.m.	2010/1/12 a.m.	33.65	135.65	25	265	35	30	15	130	10	5.6

図 8: 短期的 SSE の推定断層モデル、各観測点で期待される主歪変化の計算値、および観測値

神奈川県西部地域の地下水位観測（2009年11月～2010年1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

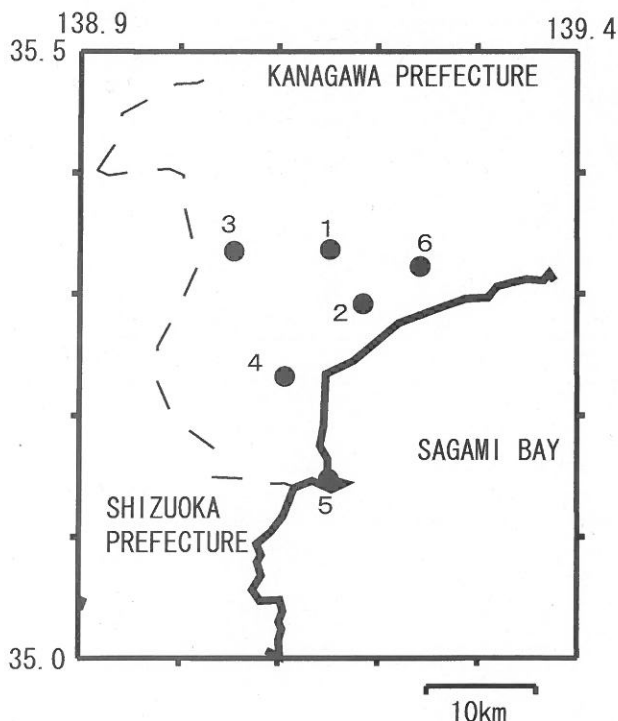
神奈川県温泉地学研究所では、神奈川県西部地震の予知研究の一環として、第1図・第1表に示した6箇所にて地下水位観測施設を整備し地下水位の連続観測を行っている。2009年11月～2010年1月の期間に重点をおいた観測結果を報告する。

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、2009年11月～2010年1月に深さ30km以浅でM4以上の地震はない。他方、観測点周辺に震度2以上の揺れをもたらした地震としては、2009年12月～1月に発生した一連の伊豆半島東方沖地震がある。すなわち、1) 2009年12月17日23時45分頃発生した地震（M5.0、深さ4km、震度2-3）、2) 2009年12月18日午前8時45分頃に発生した地震（M5.1、深さ5km、震度2-3）3) 2010年1月21日午前2時59分頃に発生した地震（M4.4、深さ5km、震度2-3）の3つである。これらの地震に対して特に異常な変化は認められなかった（板寺一洋・棚田俊収・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 (●)

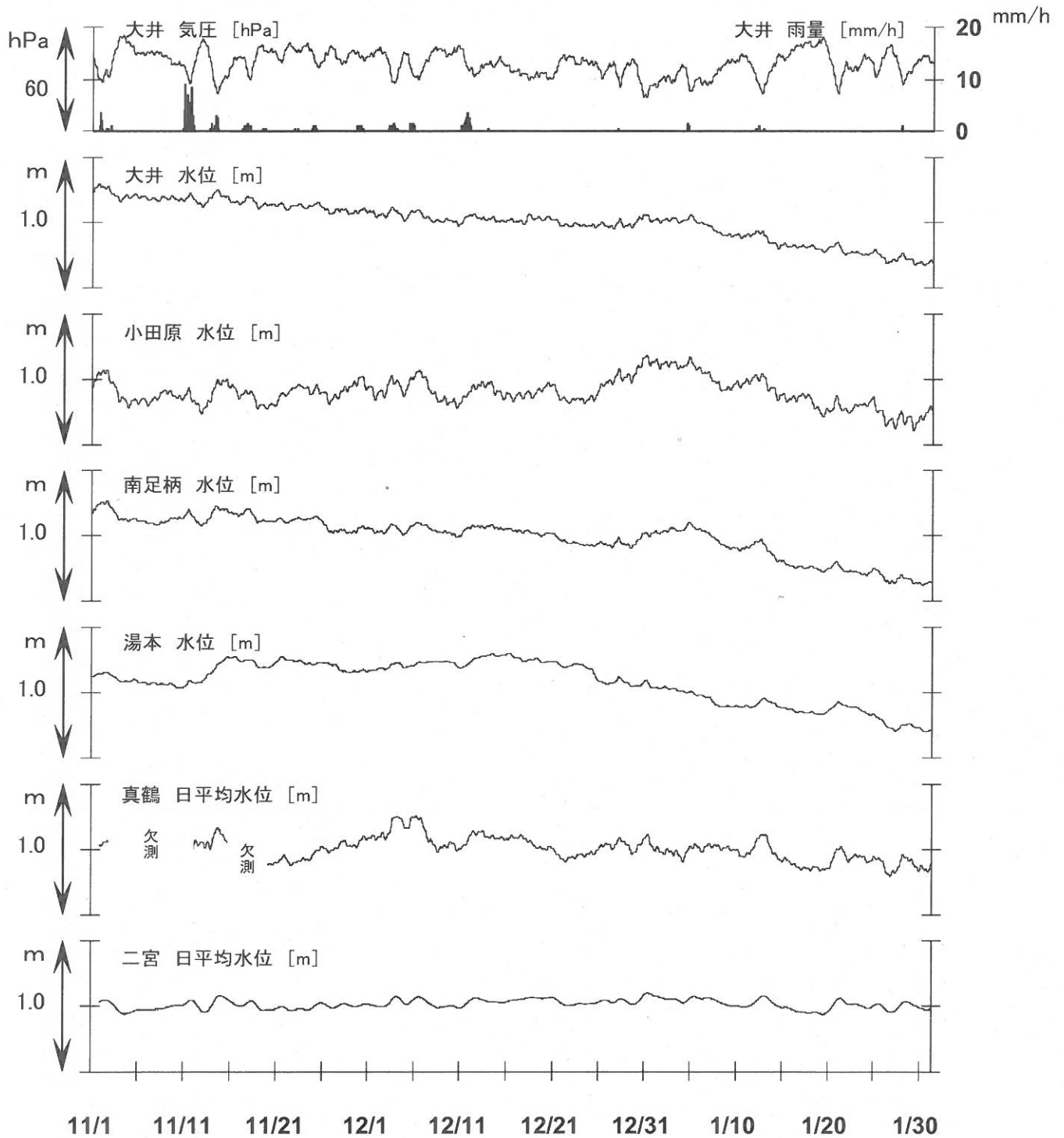
1 : 大井, 2 : 小田原, 3 : 南足柄, 4 : 湯本, 5 : 真鶴, 6 : 二宮,

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)

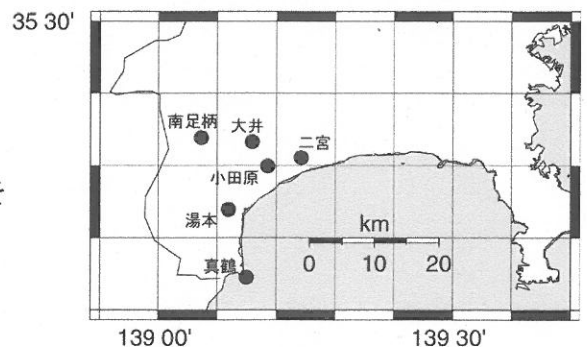
2009/11/1 00:00 - 2010/1/31 23:00



コメント：特記事項なし

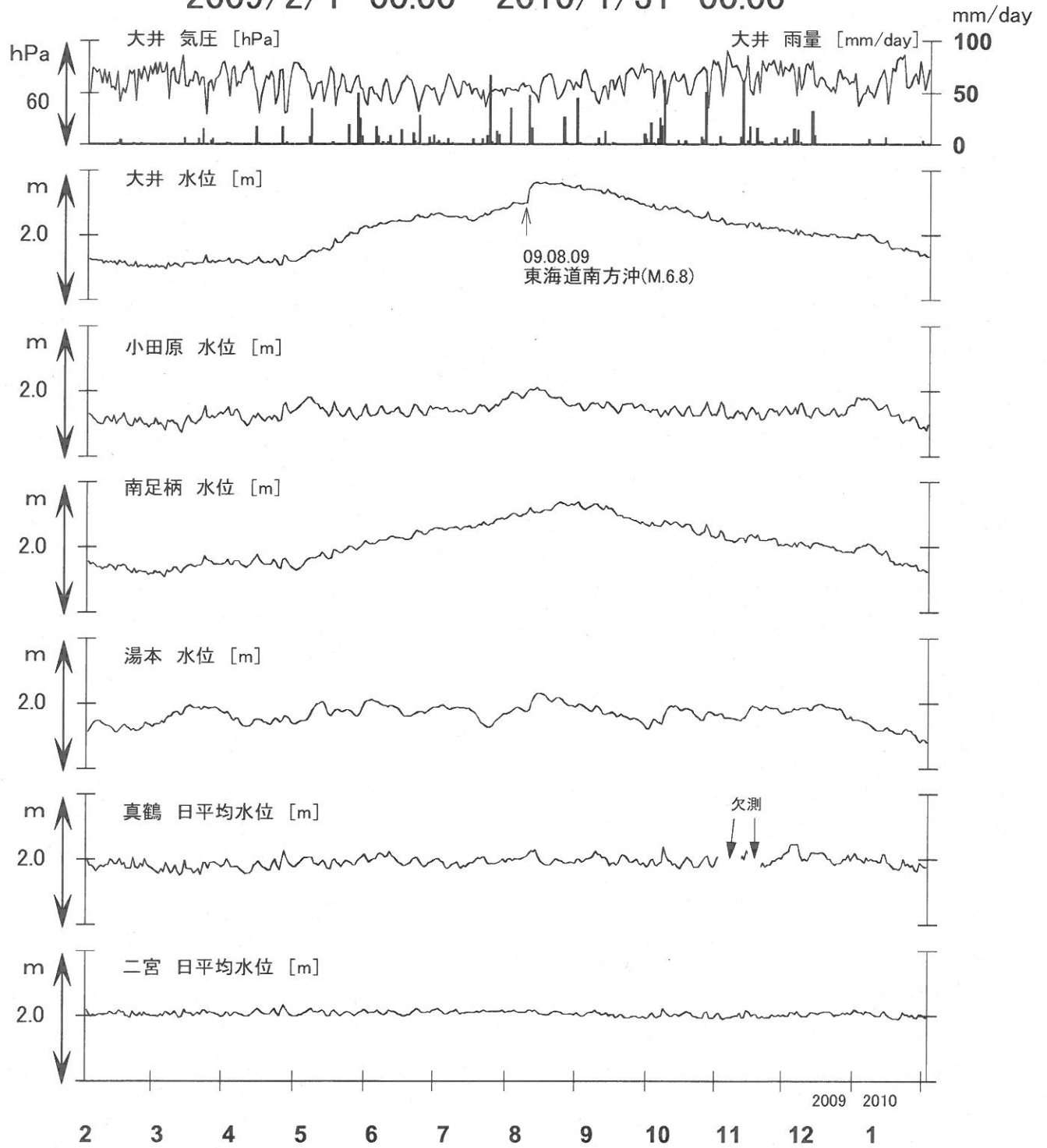
真鶴・二宮は潮汐の影響が大きいので日平均値を示している。他は一時間値(生データ)。

第2図



神奈川県西部地域の地下水位観測 長期

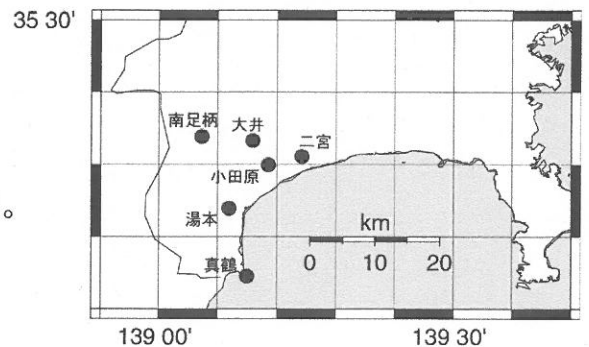
2009/2/1 00:00 - 2010/1/31 00:00



コメント：特記事項なし

真鶴・二宮以外は、1日1回の瞬時値を示している。

第3図



鳥取県・岡山県・島根県における温泉水・地下水変化（2009年11月～2010年1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。ただし、8の吉岡温泉ではデータを現地集録している。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）。

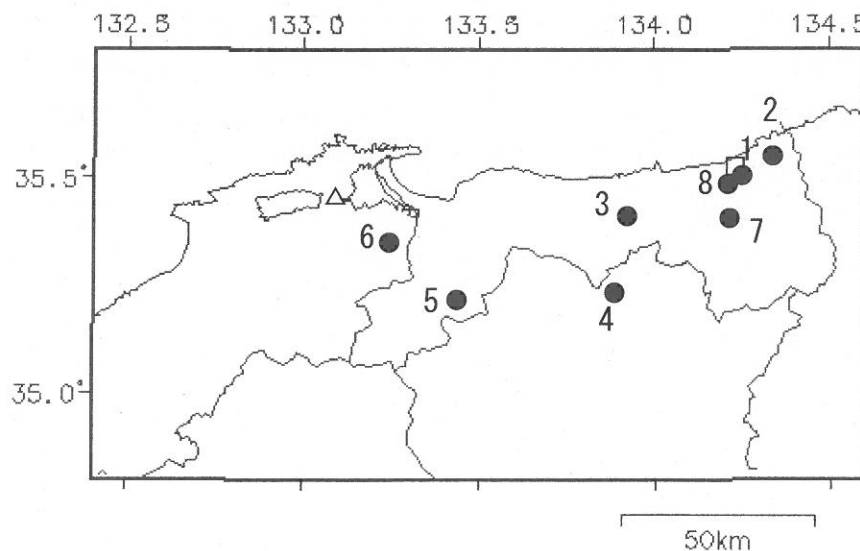
水位・水温の測定インターバルは10秒で1分間の平均値を記録している。温度センサーは、事前の温度検層により、湯谷温泉等を除いて、最も温度変化の大きい位置（深さ）に設置している（鳥取温泉175m、岩井温泉150m、三朝温泉25m、奥津温泉130m、日野町100m等）。

3. 結果（第2～5図）

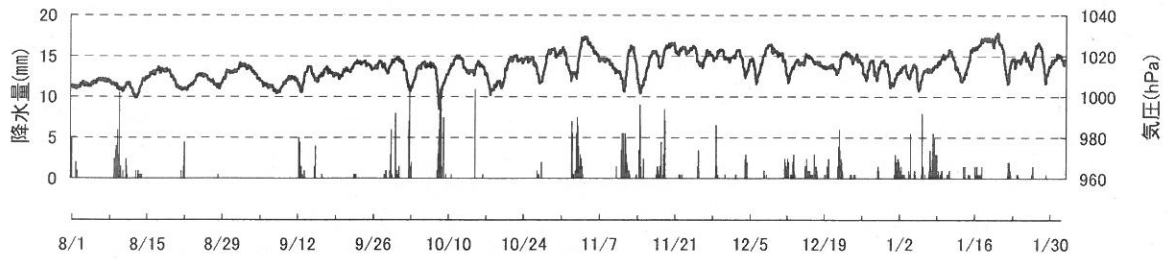
結果（原則として1時間値）を第2～6図に示す。気圧や気温の記録は、鳥取や松江の気象台の測定値を用いている。2009年11月～2010年1月の間に、第1図の範囲内（北緯34.8～35.8度、東経132.4～134.6度）で深さ30 km以浅でM4以上の地震はない。また、観測点周辺に震度2以上の揺れをもたらした地震もない（野口竜也・西田良平・小泉尚嗣）。

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。現在観測を継続している所を●で示している。

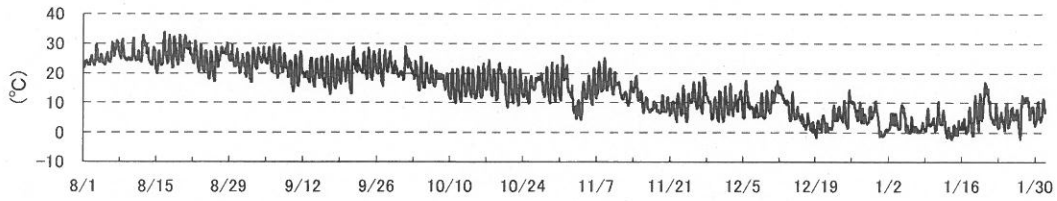
1：鳥取温泉， 2：岩井温泉， 3：三朝温泉， 4：奥津温泉， 5：日野町， 6：鷲の湯温泉，
7：湯谷温泉， 8：吉岡温泉



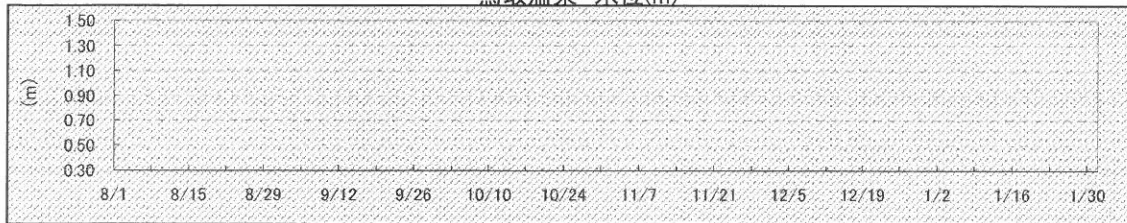
鳥取市 気圧・降水量



鳥取市 気温

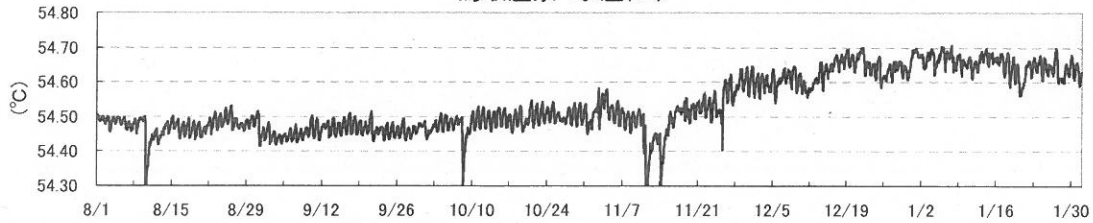


鳥取温泉 水位(m)

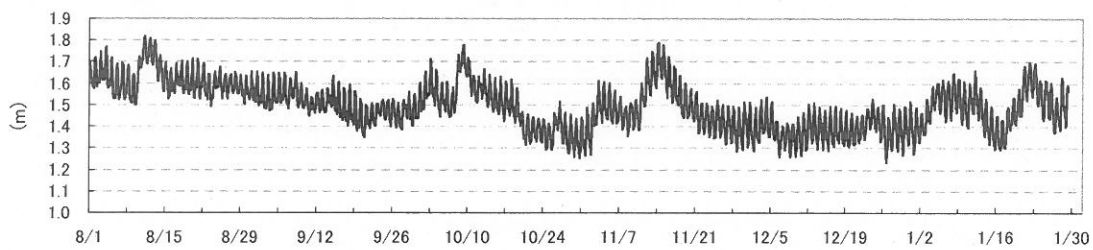


*09/03/01より機器の故障により欠損

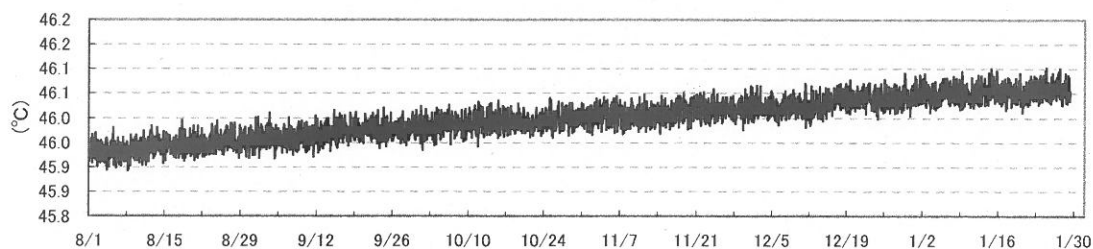
鳥取温泉 水温(°C)



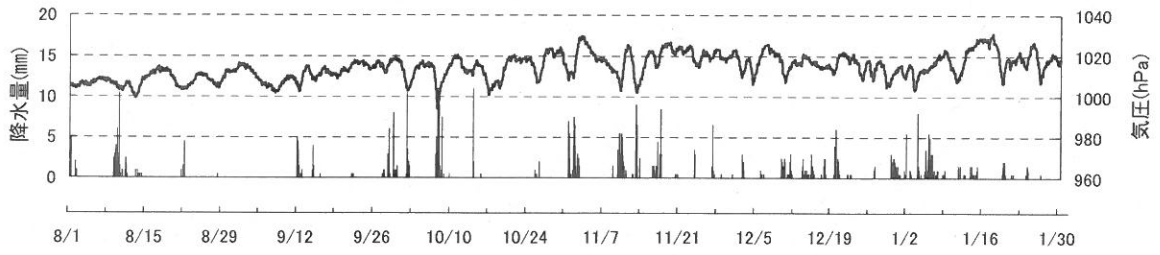
岩井温泉 水位(m)



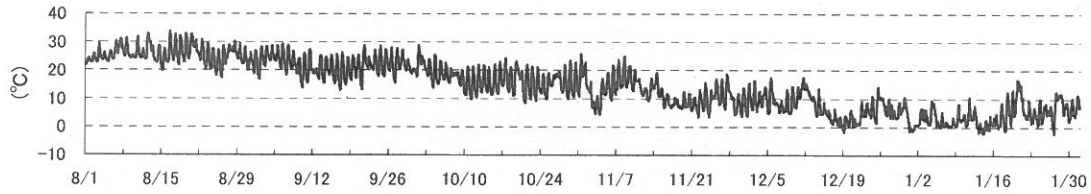
岩井温泉 水温(°C)



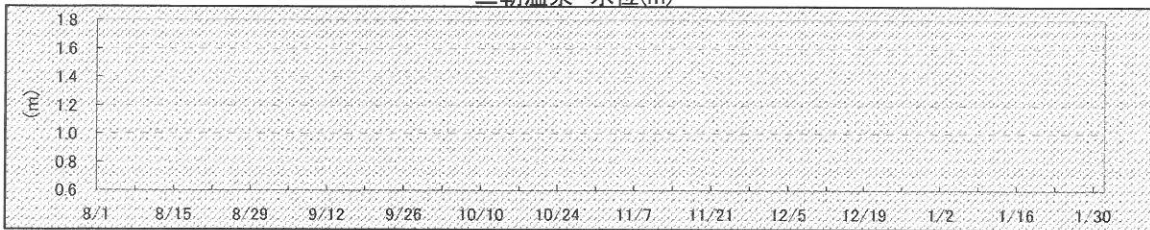
鳥取市 気圧・降水量



鳥取市 気温

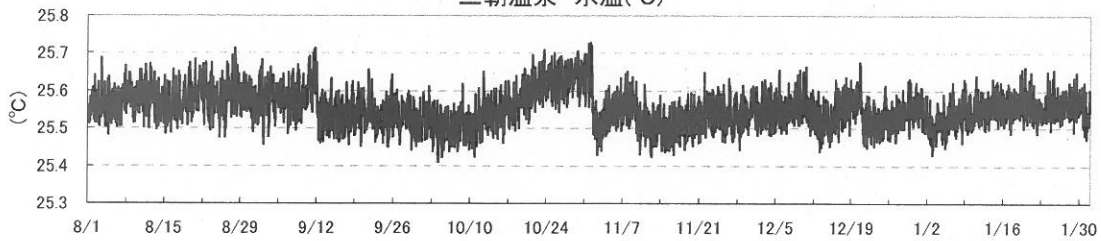


三朝温泉 水位(m)

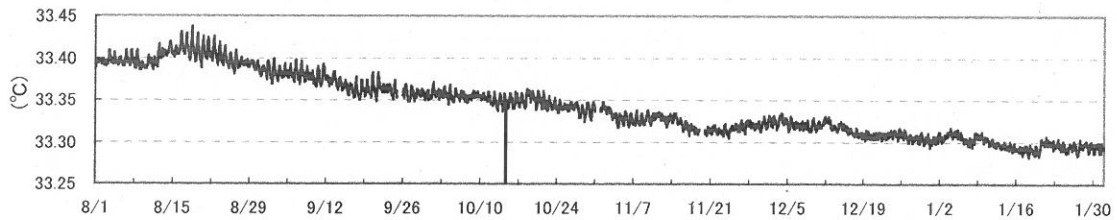


*09/04/10より機器の故障により欠損

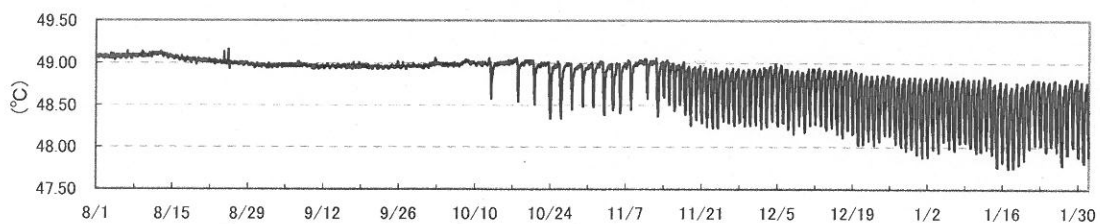
三朝温泉 水温(°C)

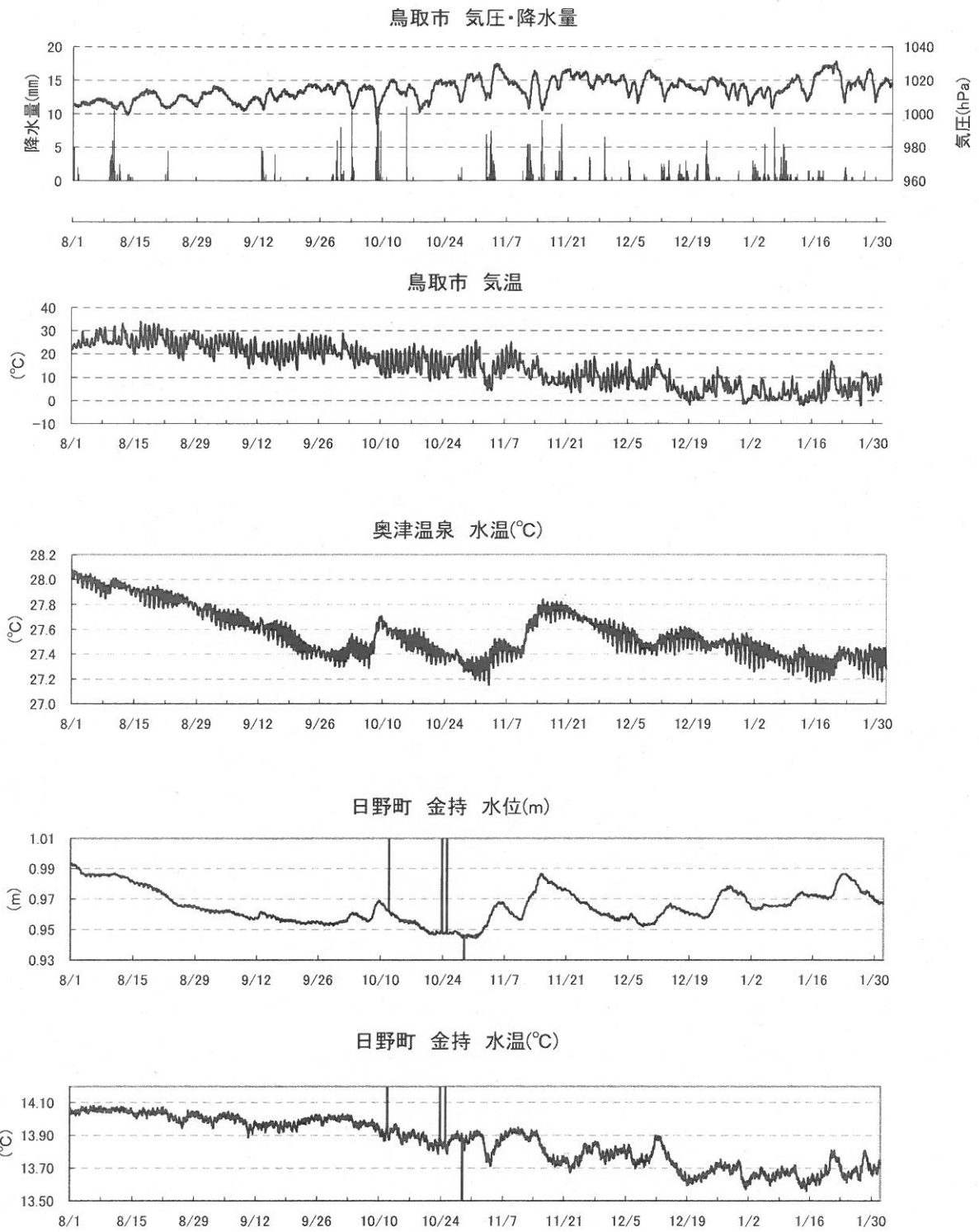


湯谷温泉 水温(°C)

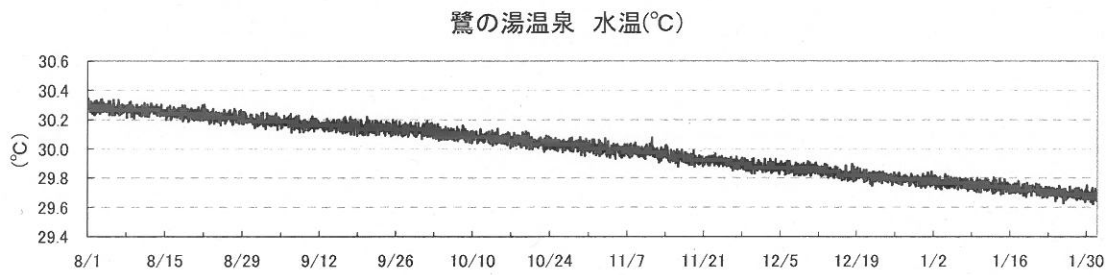
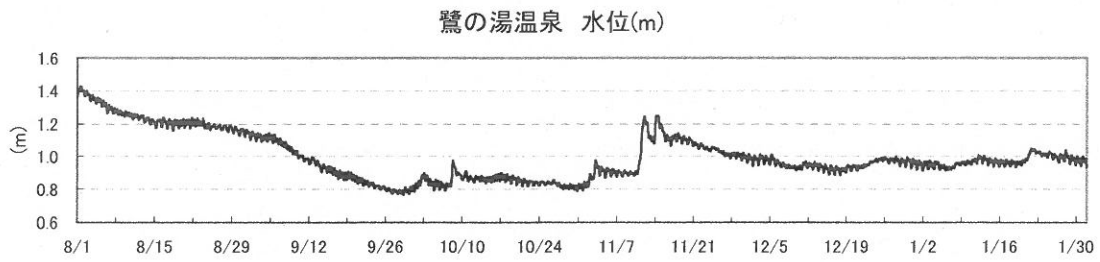
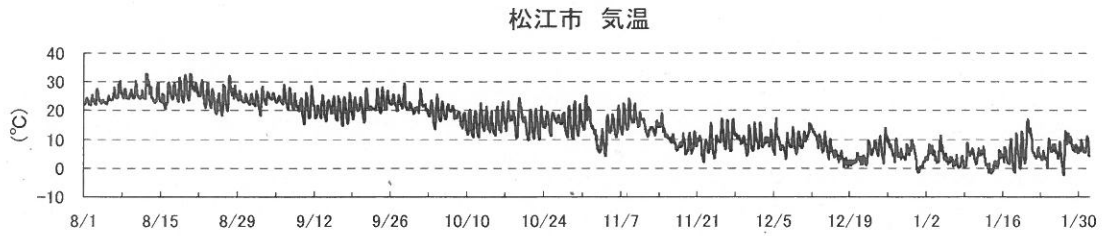
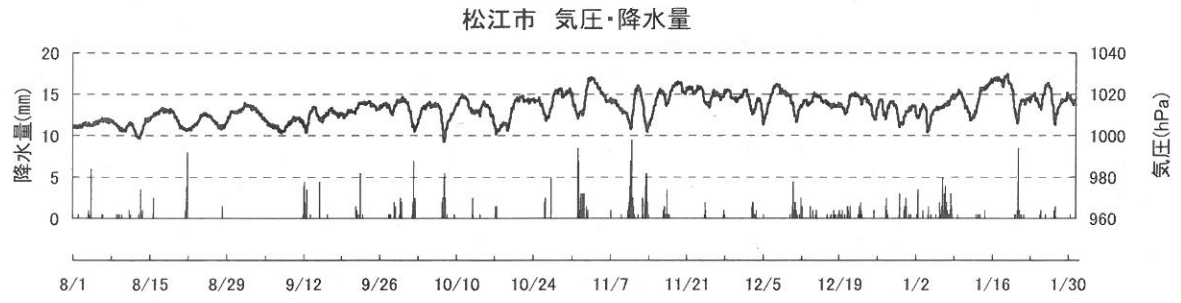


吉岡温泉 水温(°C)





第4図



第5図