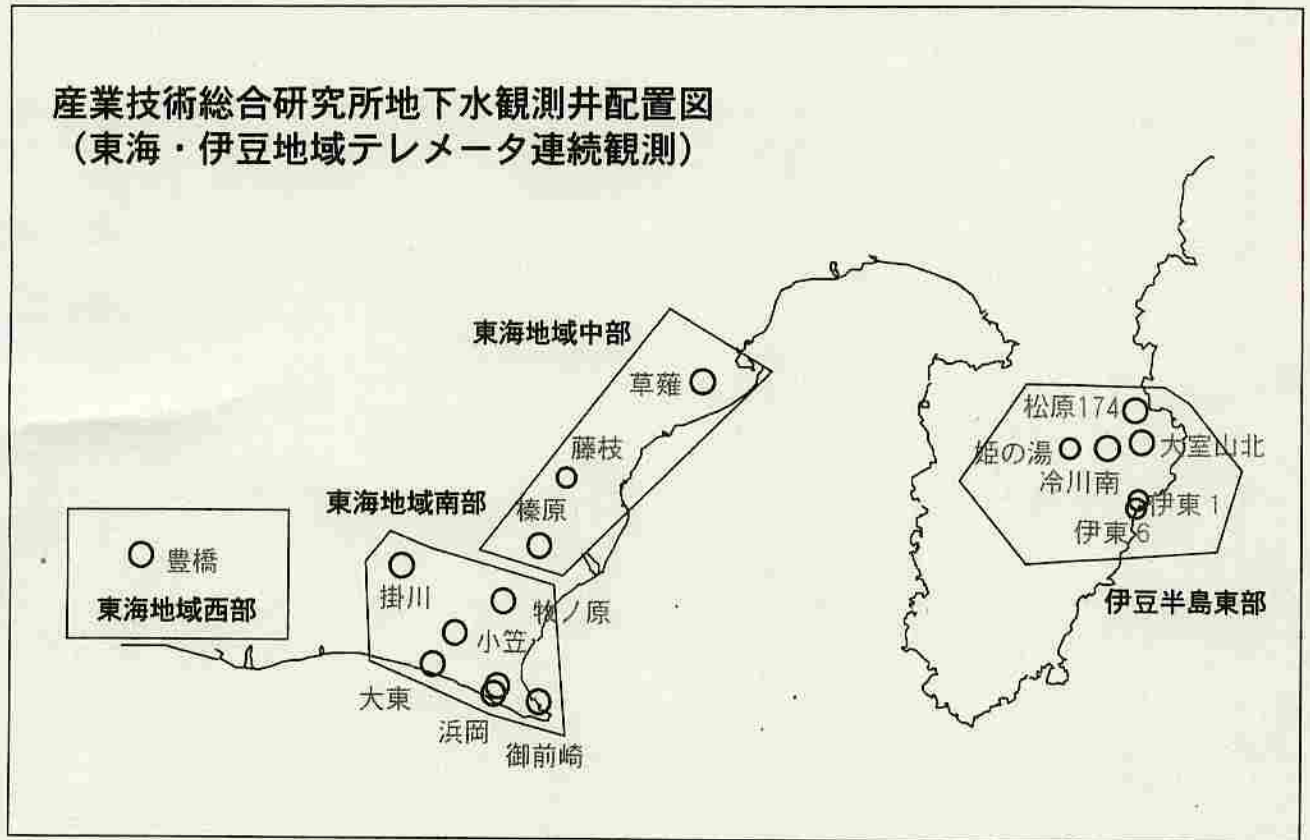


## 東海・伊豆地域の地下水観測結果 (2002年8月～2002年11月)

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)



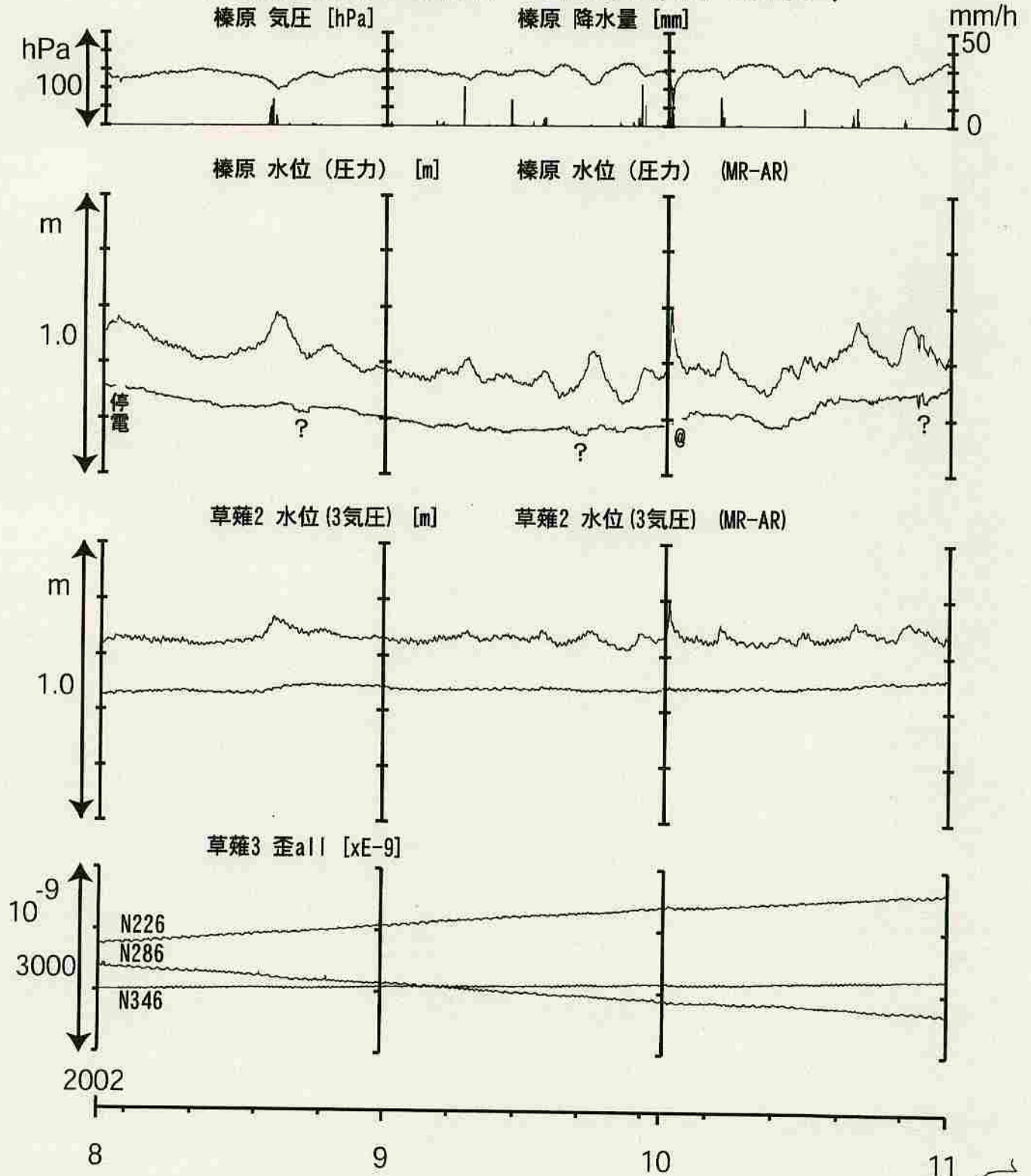
### 資料目次

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
- 2-b. 東海地域中部 (草薙) 主歪解析; 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
5. 東海地域西部 (豊橋) 地下水 3成分歪・傾斜; 中期
- 5-b. 東海地域西部 (豊橋) 3成分歪・傾斜; 中期
6. 東海地域西部 (豊橋) 地下水 3成分歪 傾斜; 長期
- 6-b. 東海地域西部 (豊橋) 主歪解析; 長期
- 6-c. 東海地域西部 (豊橋) 主歪の時間変化; 長期
7. 伊豆半島東部 (松原174, 大室山北, 冷川南, 伊東1, 伊東6) 地下水; 中期
8. 伊豆半島東部 (松原174, 大室山北, 冷川南, 伊東1, 伊東6) 地下水; 長期

平成14年11月18日

# 東海地域中部（榛原・草薙）中期（時間値）

( 2002/08/01 00:00 - 2002/11/01 00:00 )

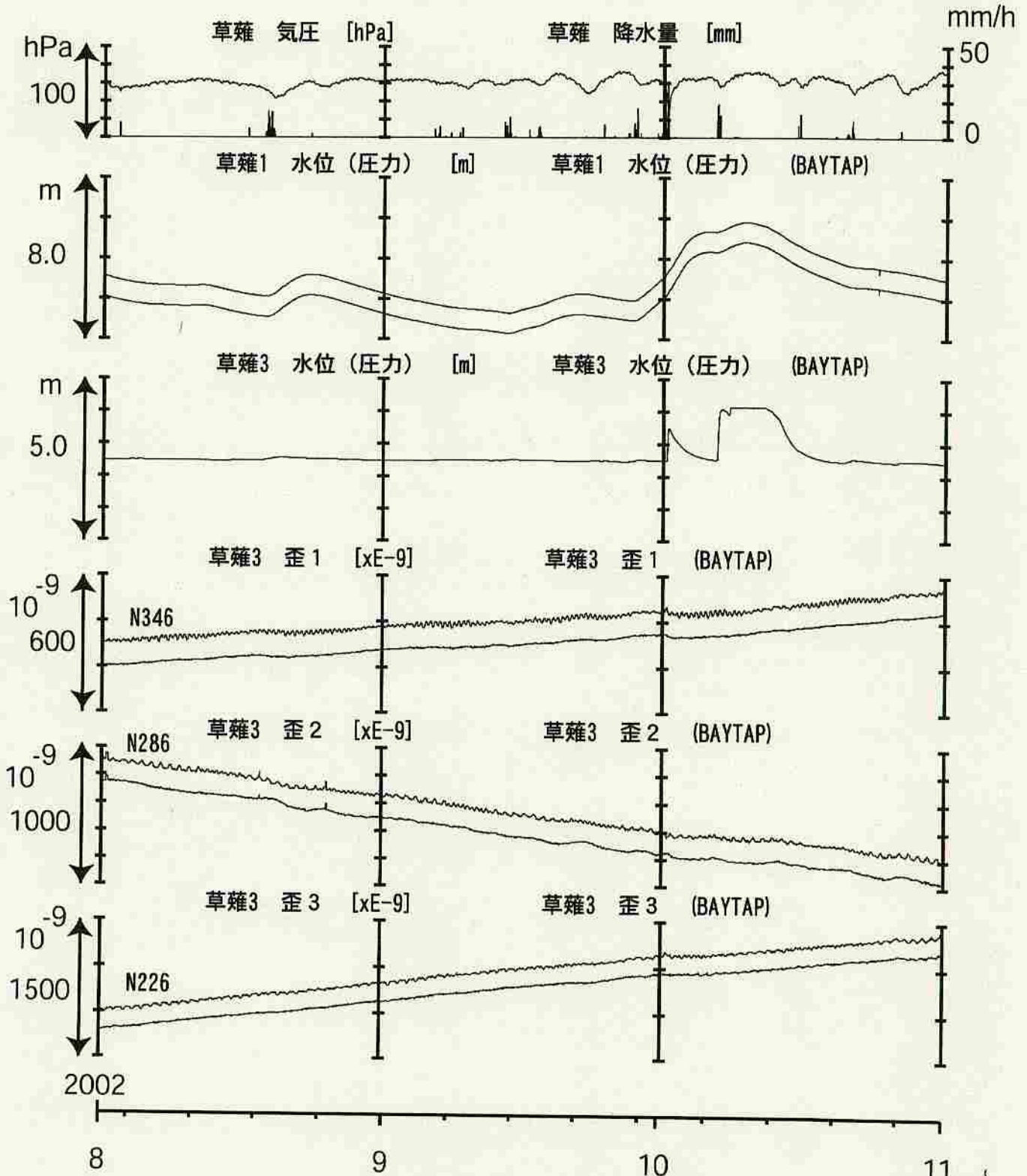


コメント：@月初めの補正值のギャップは、  
解析プログラムの見かけ上のものである。  
？原因不明。  
榛原の8, 9月の水位低下と10月初旬からの  
水位上昇は、空港工事に伴う土砂の  
除去および盛り土による。



# 東海地域中部（草薙・歪）中期（時間値）

( 2002/08/01 00:00 - 2002/11/01 00:00 )

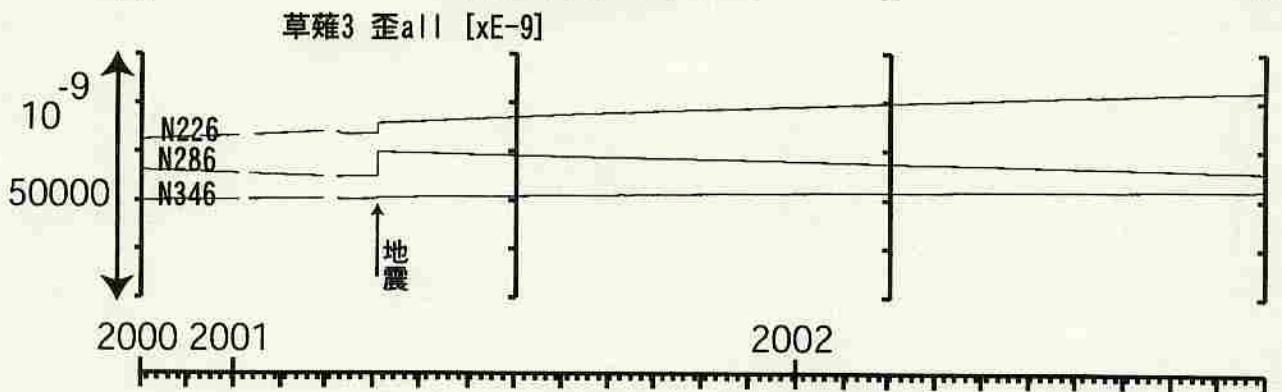
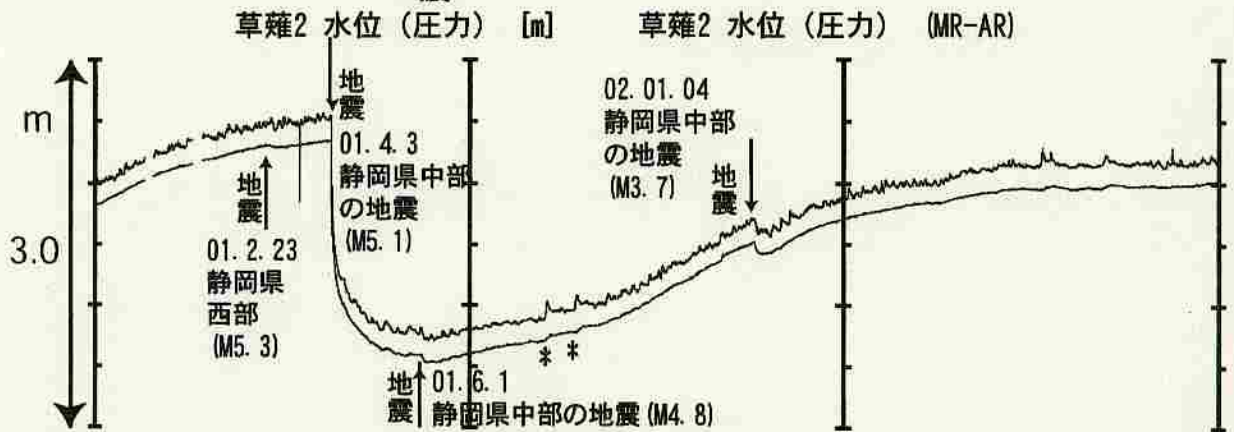
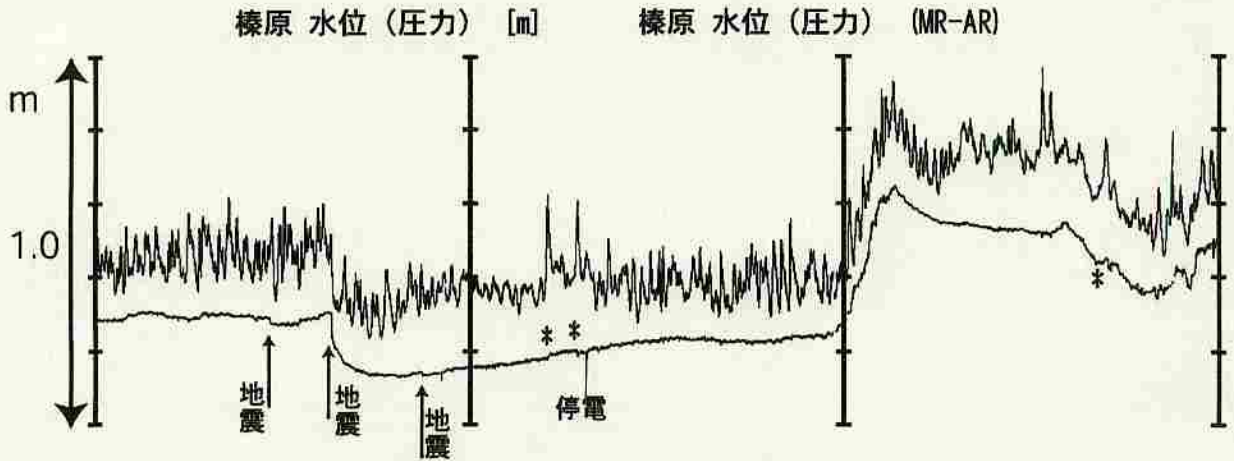
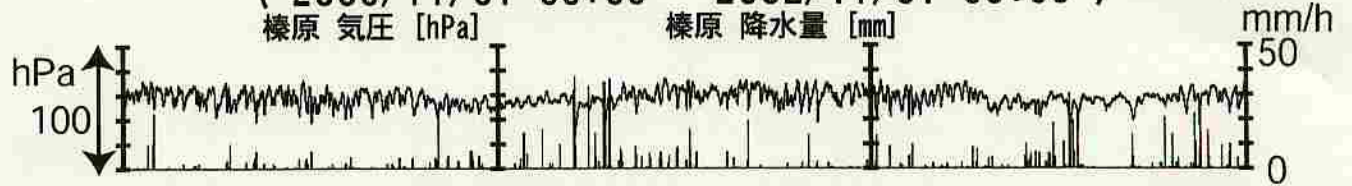


コメント：10月初旬の草薙3の水位増加は、  
草薙1（浅井戸）から溢れた水が入り込んだ為、  
その水位増加により歪3成分に、  
縮みが出ているように見える。



# 東海地域中部（榛原・草薙）長期（時間値）

( 2000/11/01 00:00 - 2002/11/01 00:00 )



11 12 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

コメント：

2002年2月以降の榛原の水位上昇・低下は、静岡空港建設工事による盛土・土砂除去工事（工事期間2002年2月13日～4月8日、8月12日以降）の影響による。

2002年7月初めの榛原の水位上昇は、台風による大雨の影響である。

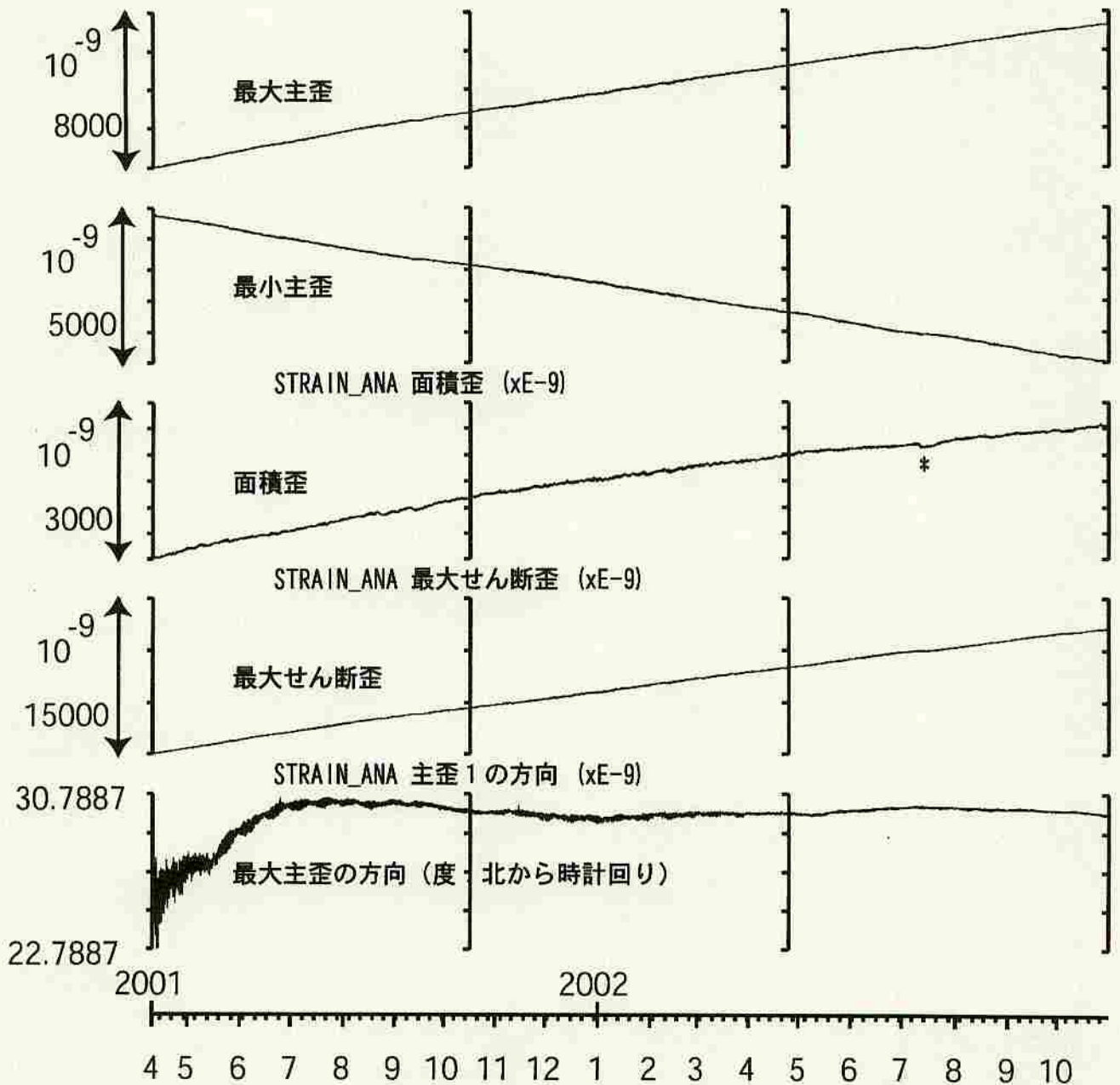
2002年7月初めの草薙の水位上昇は、台風による大雨に影響である。

\*雨量補正不十分。



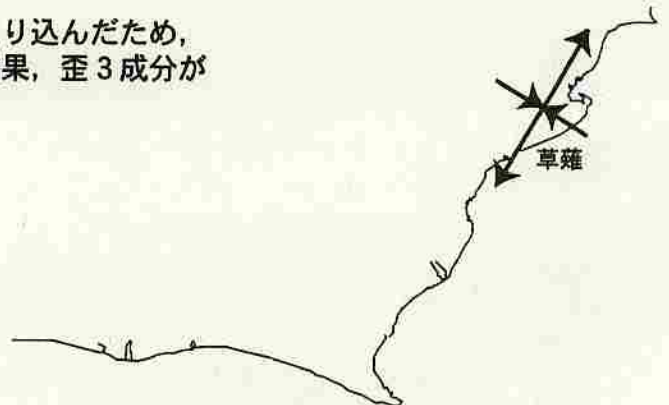
# 草薙長期:主歪解析

( 2001/04/10 00:00 - 2002/10/31 23:00 )



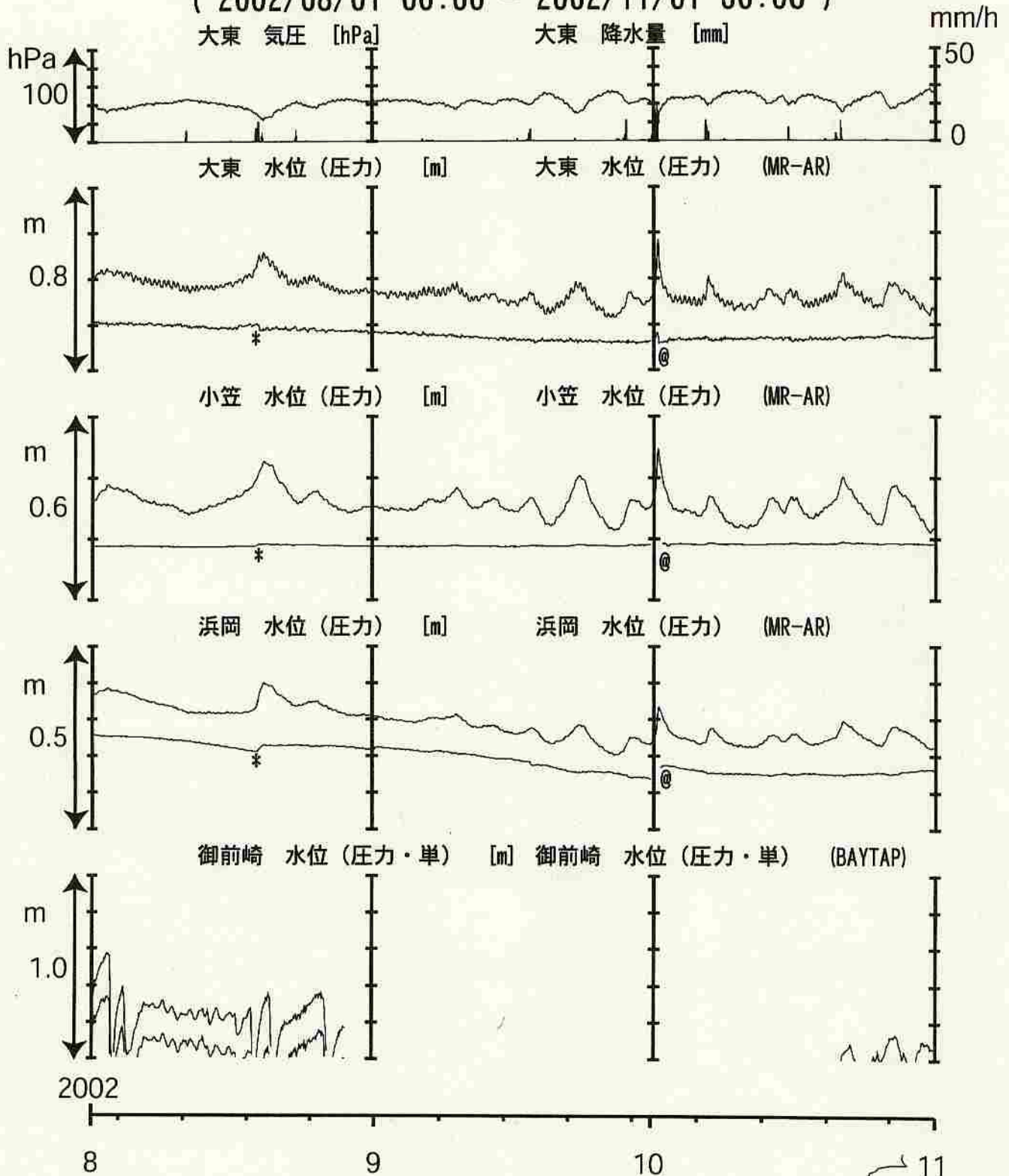
コメント：主歪解析の起点は2001年4月5日

\*草薙1（浅井戸）からあふれた水が入り込んだため、草薙3の水位が大幅に上昇した。その結果、歪3成分が縮んだため。



# 東海地域南部 地下水観測結果 中期 (時間値)

( 2002/08/01 00:00 - 2002/11/01 00:00 )



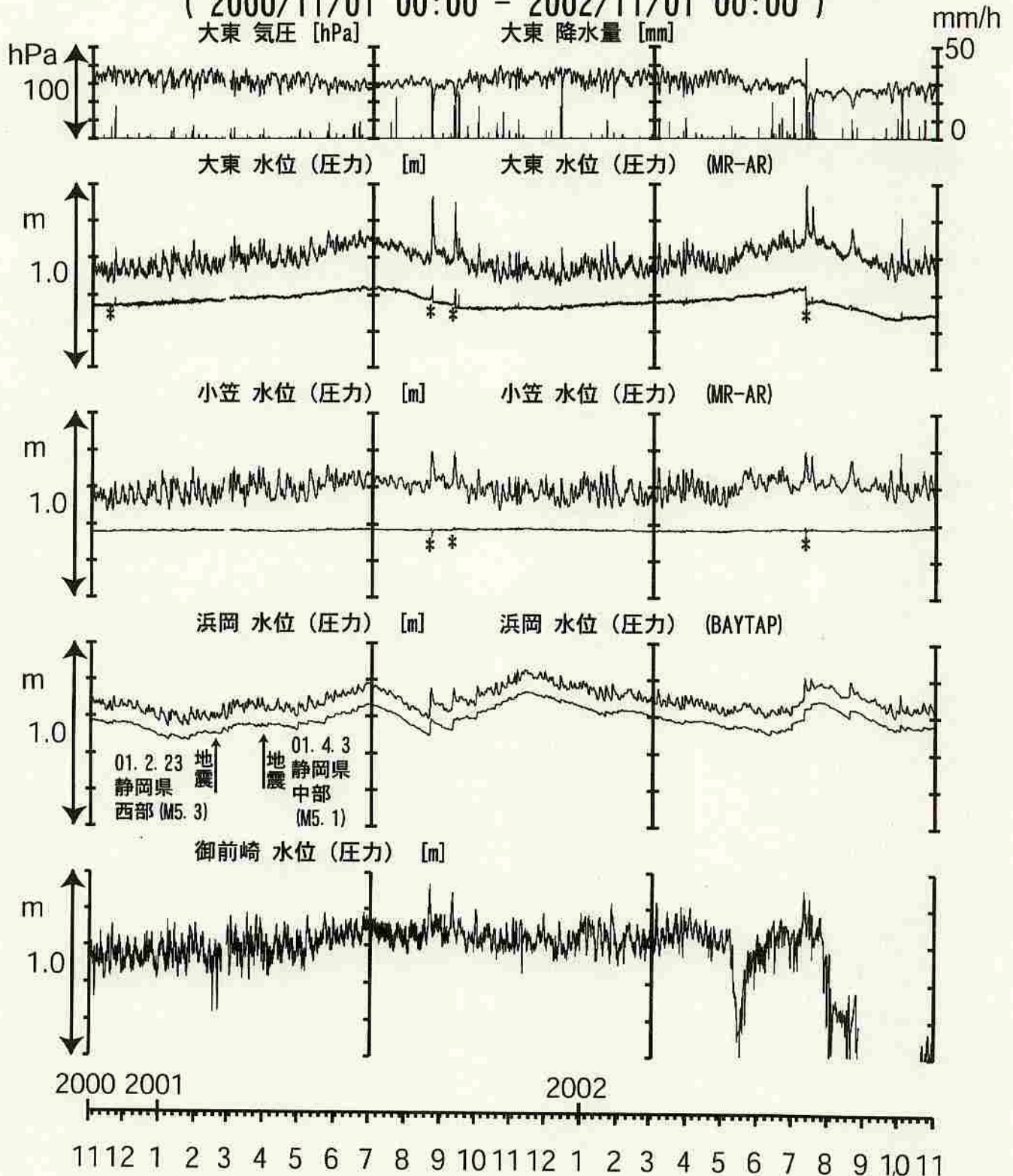
コメント :

- \*雨量補正不十分.
- @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.
- 御前崎の水位異常は、配管からの圧力漏れによる.
- 根本的な修理が必要で、現在は実質的に欠測状態にある.



# 東海地域南部 地下水観測結果 長期 (時間値)

( 2000/11/01 00:00 - 2002/11/01 00:00 )



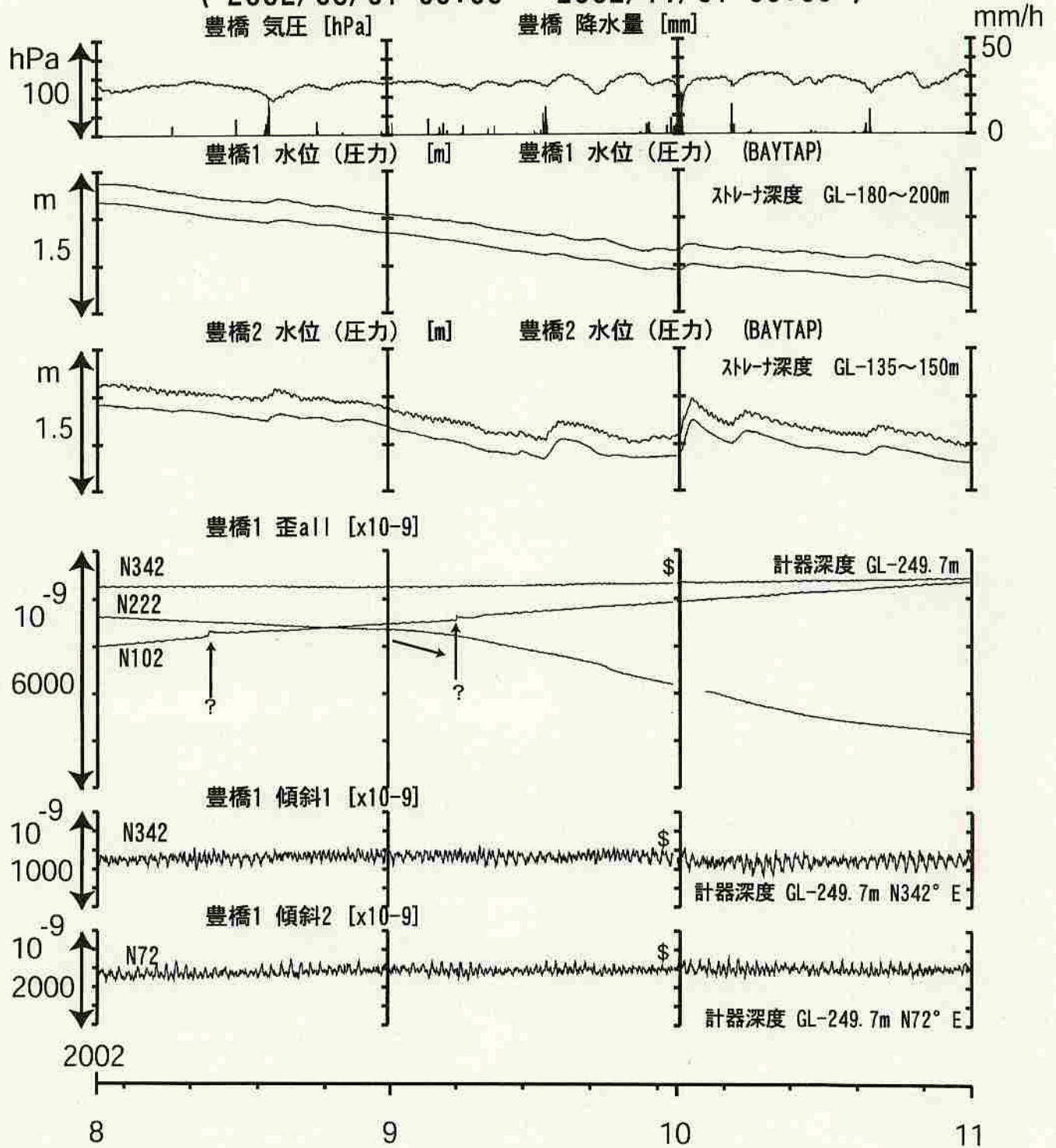
コメント:

\*雨量補正不十分。  
 2002年5月初めからの御前崎の水位異常は、  
 配管からの圧力漏れによる。  
 根本的な修理が必要で、現在は  
 実質的に欠測状態にある



# 東海地域西部（豊橋）中期（時間値）

（2002/08/01 00:00 - 2002/11/01 00:00）



コメント：？原因不明。\$ 保守。

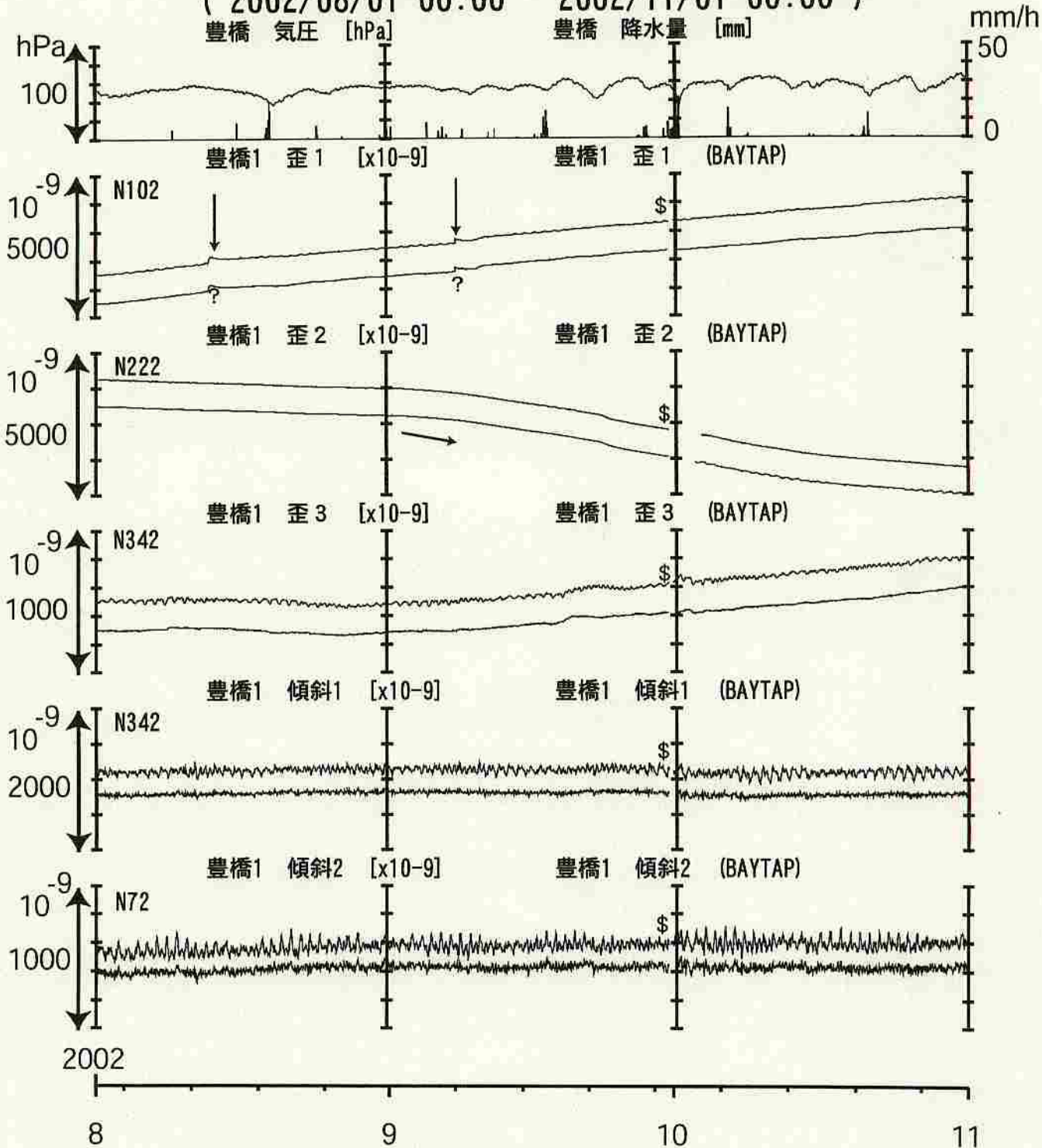
7月22日から観測点から約200m離れた場所で、  
トンネル掘削工事が本格的に始まった。  
歪1 (N102) が8月13日・9月8日に変化、  
歪2 (N222) が9月初めから減少している。





# 東海地域西部 (豊橋・歪) 中期 (時間値)

( 2002/08/01 00:00 - 2002/11/01 00:00 )

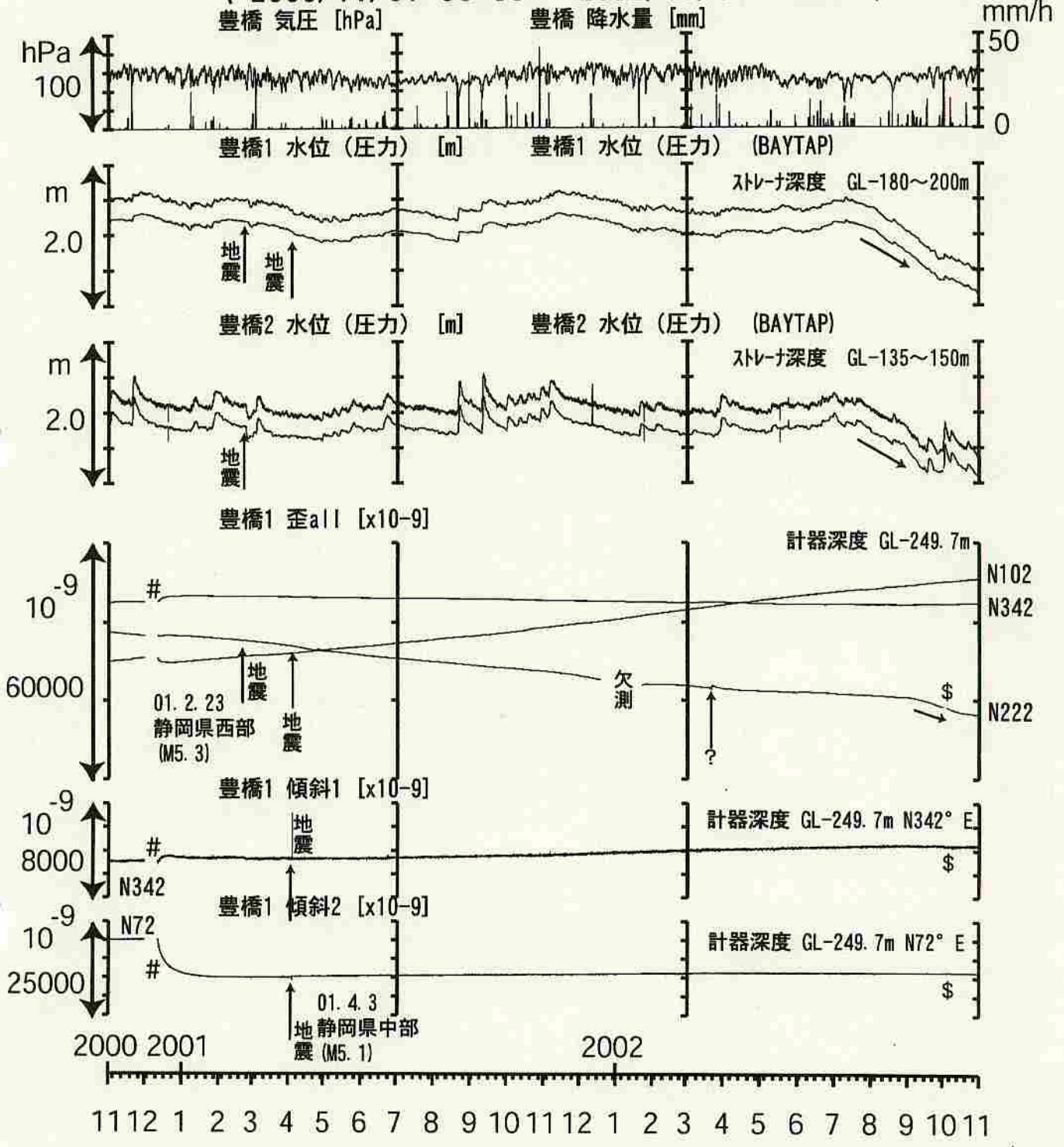


コメント：?原因不明. \$保守.

7月22日から観測点から約200M離れた場所で、  
トンネル掘削工事が本格的に始まった。  
歪 1 (N102) が8月13日・9月8日に変化、  
歪 2 (N222) が9月初めから減少している。



# 東海地域西部（豊橋）長期（時間値） （2000/11/01 00:00 - 2002/11/01 00:00）

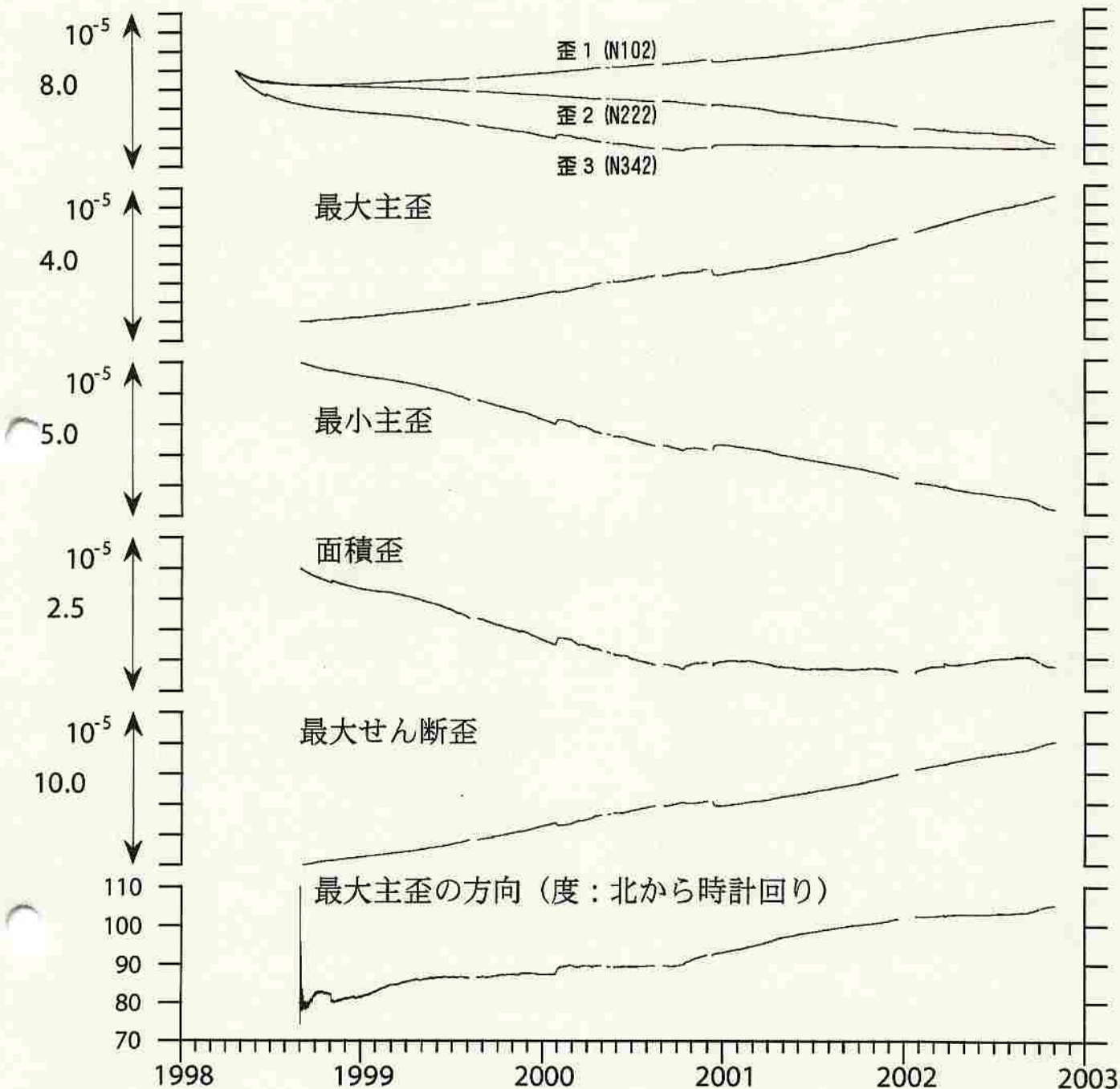


コメント：#バッテリー消耗。\$保守。?原因不明。  
7月から豊橋1, 2の水位が低下し続けている。  
このような長期の大幅な水位低下は過去に例がなく、トンネル工事の影響と思われる。  
(予備的な工事により、6月末よりトンネルからの湧水が増加している)  
歪1 (N102) が7月23日・8月13日・9月8日に変化、歪2 (N222) が9月初めから減少している。



# 豊橋1:主歪解析

( 1998/09/01 00:00 - 2002/10/31 23:00 )



コメント：主歪解析の起点は1998年9月1日



# 豊橋1:主歪の時間変化

0.5E-6 / 1ヶ月  
 伸び ←→ 縮み ←→



1998/11/15



1999/03/15



1999/07/15



1999/11/15



2000/03/15



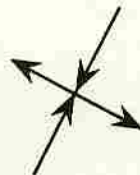
2000/07/15



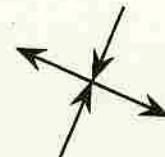
2000/11/15



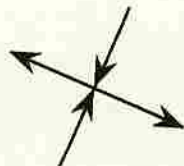
2001/03/15



2001/07/15



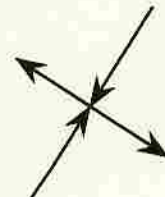
2001/11/15



2002/03/15



2002/07/15

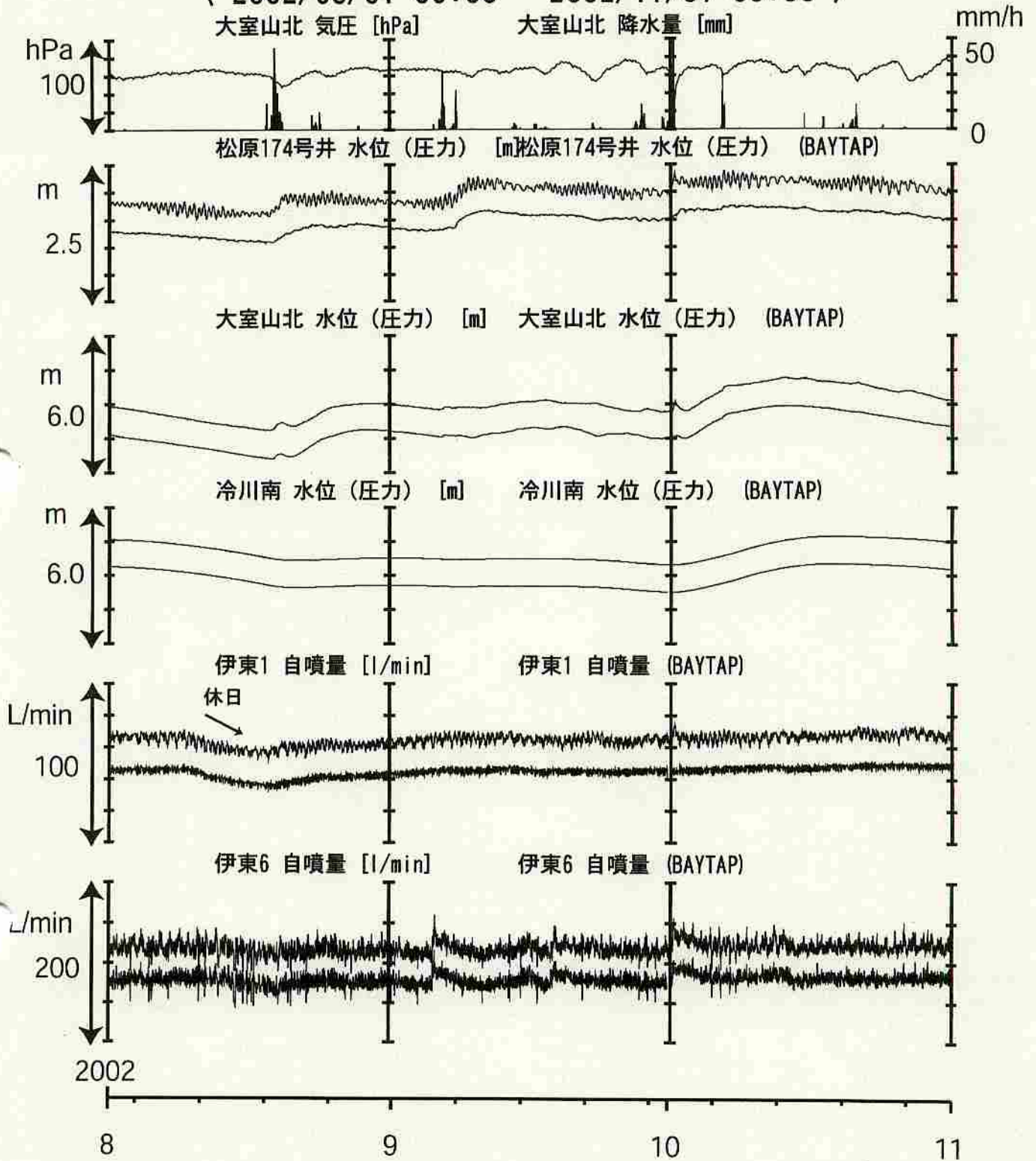


2002/07/15  
-2002/10/31

コメント：最新の分を除いて、各々4ヶ月前を起点として主歪解析を行った

# 伊豆半島東部:地下水位・自噴量 中期 (時間値)

( 2002/08/01 00:00 - 2002/11/01 00:00 )



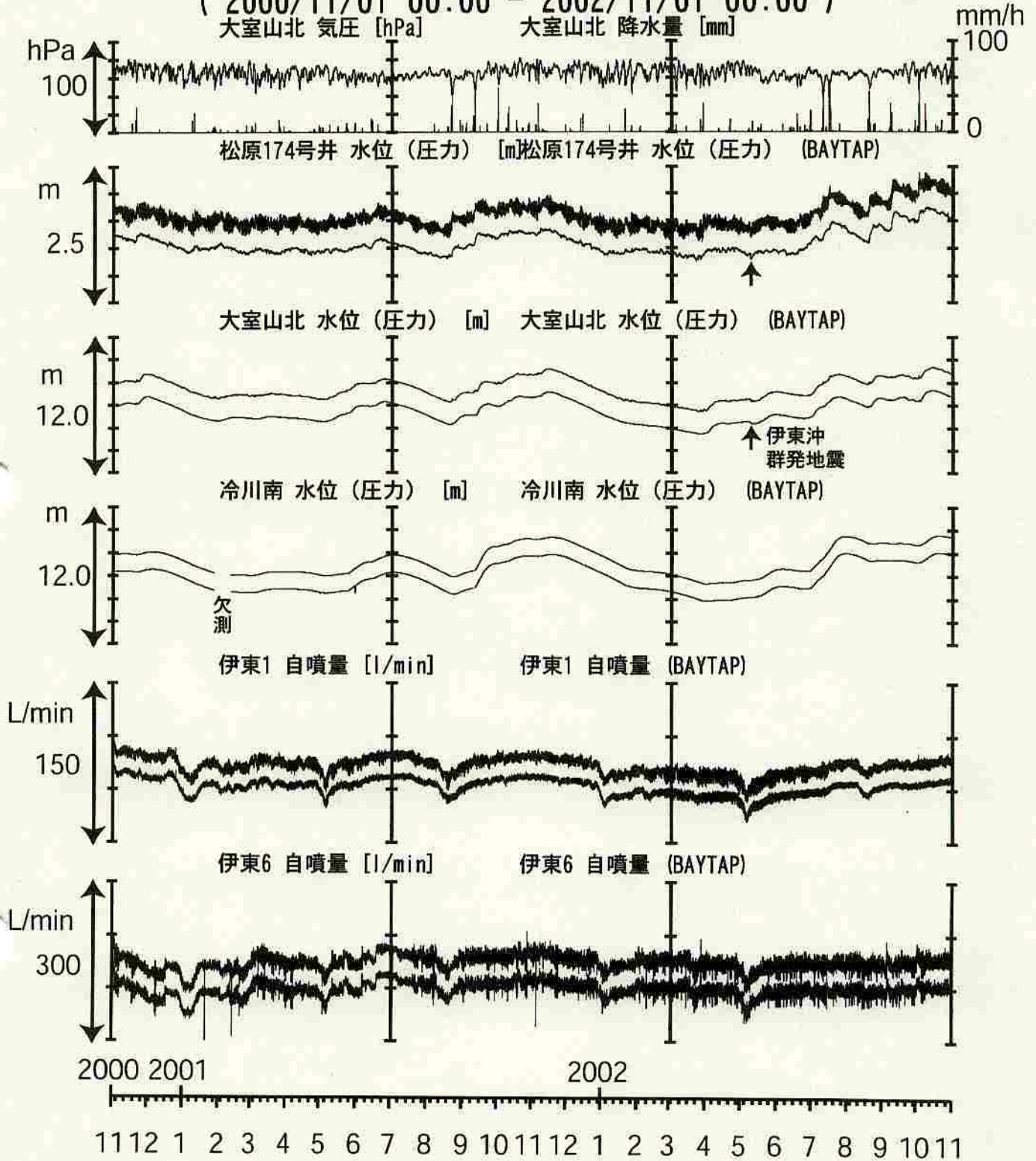
コメント:

松原174号井は静岡県による観測。  
 伊東は、休日・年末年始に温泉使用量が増加  
 するため、自噴量が減少する。  
 伊東6のばらつきは配管の問題に  
 よると思われる。



# 伊豆半島東部:地下水位・自噴量 長期 (時間値)

( 2000/11/01 00:00 - 2002/11/01 00:00 )



コメント:

松原174号井は静岡県による観測。  
伊東6のばらつきは配管の問題によると思われる。



加藤・平澤(1996)による摩擦構成則に基づくシミュレーションでは、想定される東海地震の1日前ぐらいからゆっくりとしたすべりによる体積歪が加速度的に変化している。加速度的に変化する異常値をいち早くとらえるためには、前もって普段の地下水位の変化の大きさや体積歪に対する水位の応答特性を的確に把握することが必要となる。

小林・松森(1999)では、気象庁の体積歪計の気圧・潮汐補正後のデータに対して5分から24時間の階差をとり、その絶対値の最大値をノイズレベルと定義した。ただし、2時間以内の値に対しては一連の変化の最初に出現した値をノイズレベルとしている。気象庁では、ノイズレベルを越える大きさの体積歪変化を監視の対象としている(吉田, 1999)。

上記の前兆的な地殻変動を榛原観測井の地下水位の変化として捕らえることができるかどうか、以下の手順で検討した。

1. 小林・松森(1999)の方法を用いた地下水位のノイズレベルの調査
2. 歪に対する地下水位の応答を算出。
3. 歪に換算した水位のノイズレベルの算出
4. 想定東海地震の前にそれぞれの井戸の真下10kmでM6.0に相当するゆっくりとしたすべりが発生したと仮定する。そのときに予想される歪変化と上述の歪に対する水位の変換係数を用いて、各観測井の水位によって本震前のゆっくりとしたすべりに伴う歪変化を検知できるかどうかを検討した。

解析の結果は以下の通りとなった。

1. 水位のノイズレベルは、榛原1992・大東以外はほぼ同じような値となった。
2. 水位の歪感度は、榛原・草薙・大東では大きく、小笠・浜岡では潮汐応答は非常に小さい。
3. 歪換算した水位のノイズレベルは、榛原・草薙・大東では、近隣の体積歪計の通常時よりも大きく、降雨時よりも小さくなった。小笠・浜岡では、歪換算した水位のノイズレベルは歪計のノイズレベルよりもかなり大きくなった。
4. 地震前のゆっくりとしたすべりに対する検知能力は、榛原・草薙・大東で歪換算のノイズレベルが小さかったため、すべての階差時間で、比較的高いことがわかった。小笠・大東では歪換算後のノイズレベルが大きかったため、想定地震直前になって、ゆっくりとしたすべりを検知できることがわかった。すべりによる水位変化がノイズレベルを超えるのは、本震発生の1~45時間前であった。

(松本則夫・高橋誠・小泉尚嗣)



図1 産総研の地下水観測ネットワーク(東海地域のみ)。赤丸が今回対象とした観測井。

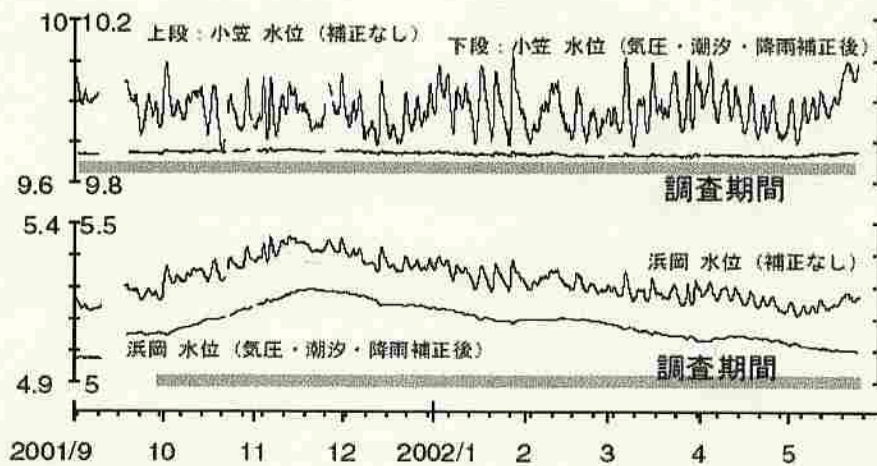
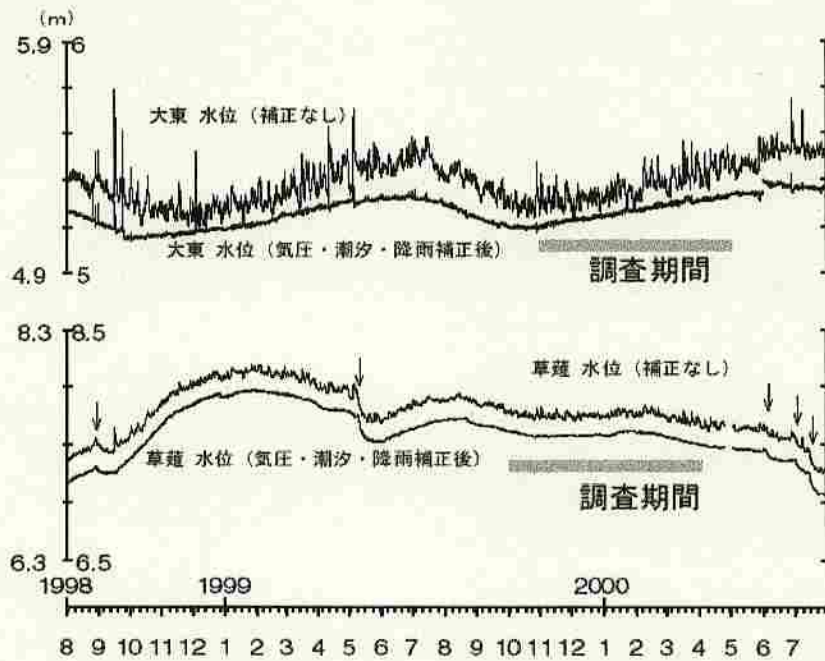
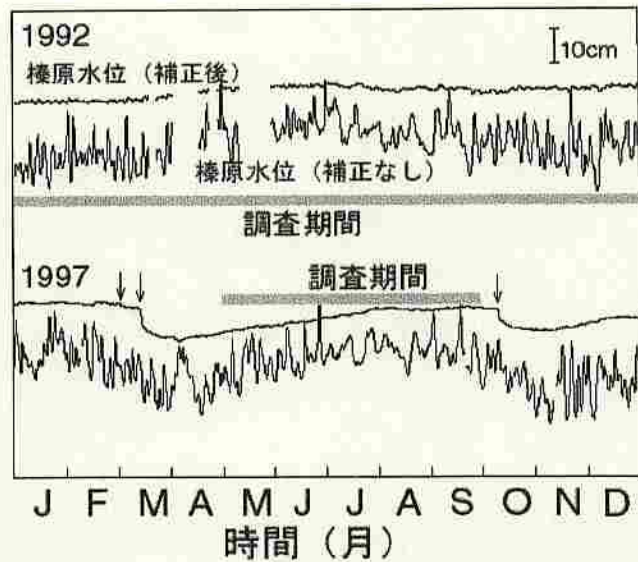


図2 ノイズレベル調査に用いたデータの期間. coseismic な水位変化 (図中の矢印) のない部分を調査期間として選択した.



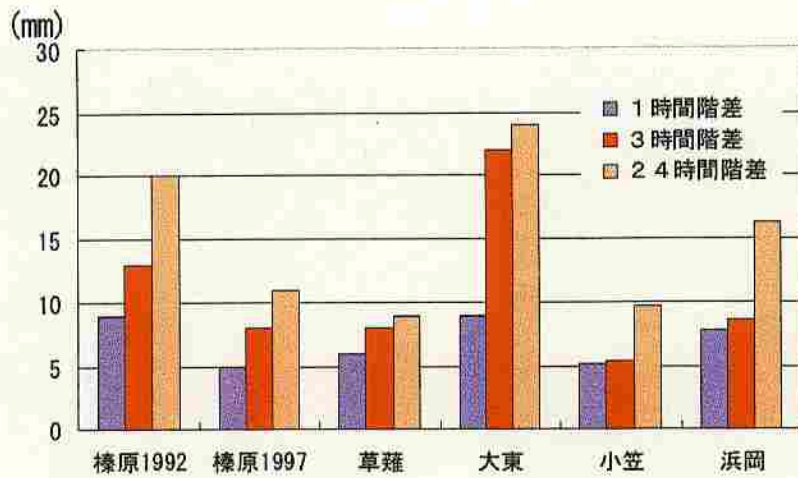


図3 水位の各時間階差のノイズレベル. 大東は降雨効果の非線形性が高いため、ノイズレベルが大きくなった.

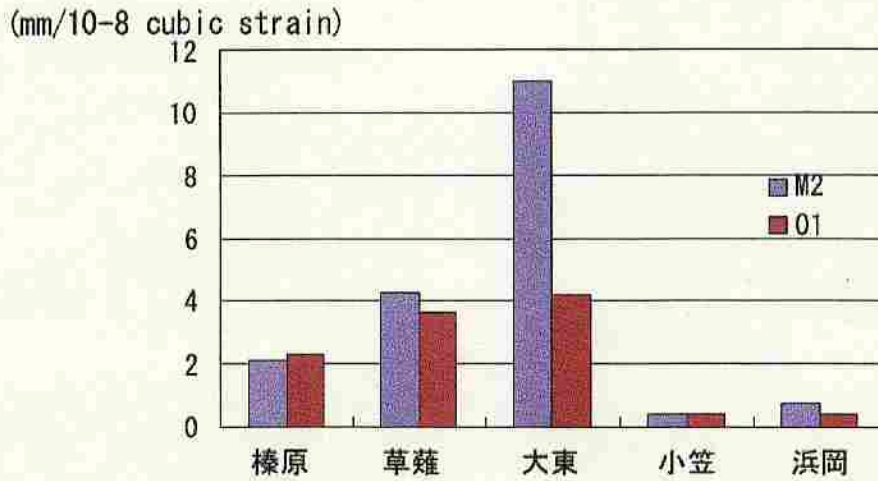


図4 各観測井の水位の潮汐に対する応答

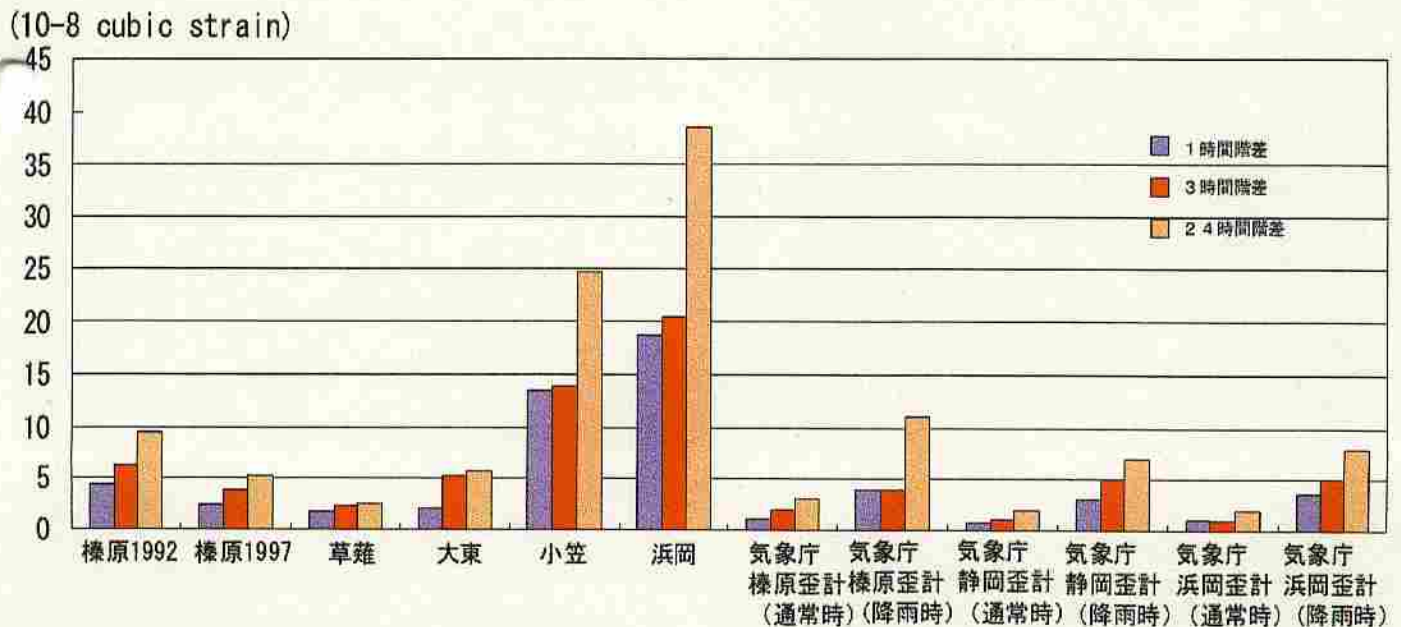


図5 歪換算後の水位のノイズレベルと、気象庁体積歪計のノイズレベルとの比較

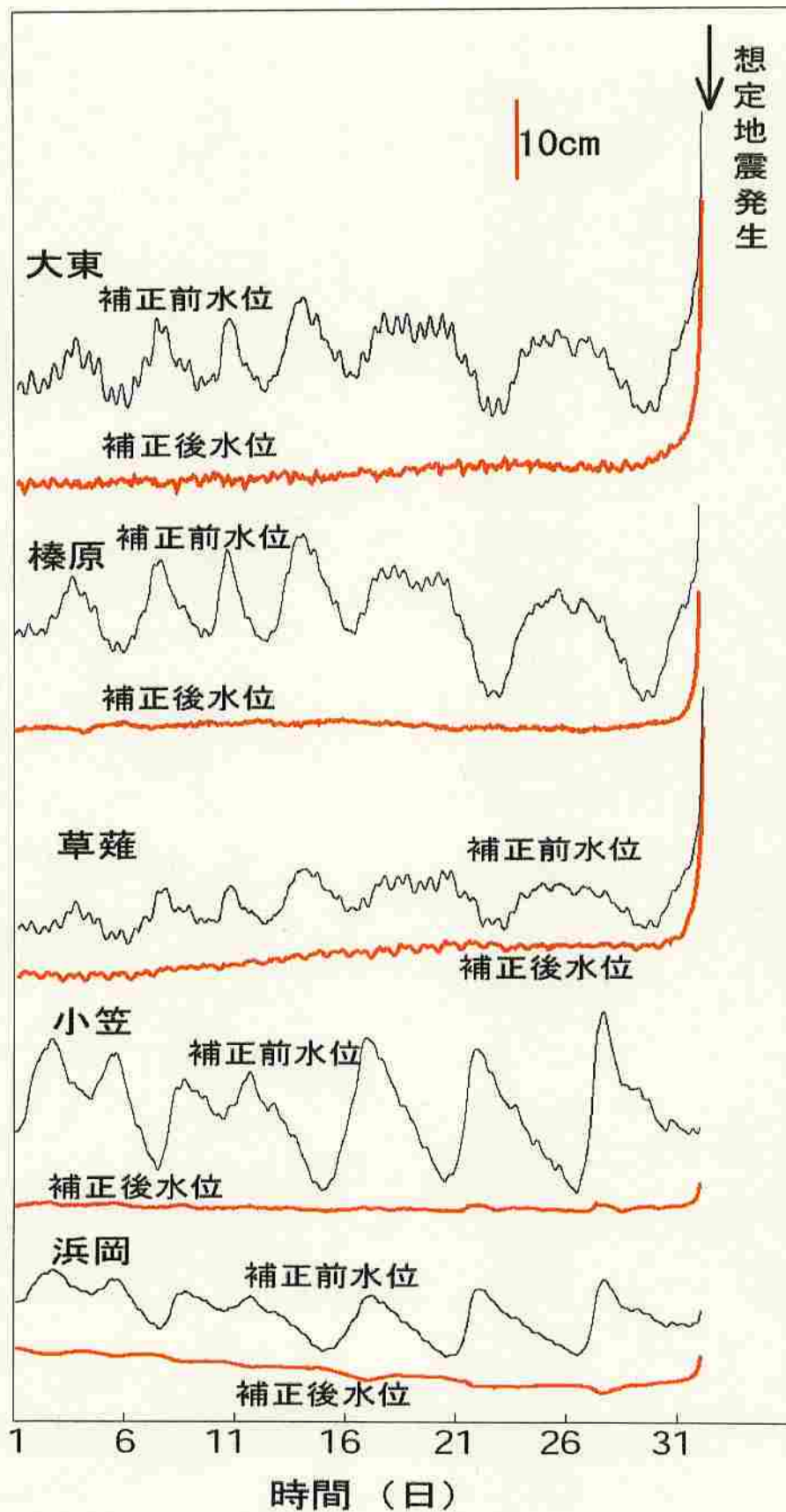


図6 各観測井の水位のサンプルデータにゆっくりとしたすべりによる仮想水位変化を加えたときの水位変化。それぞれの観測井の真下10kmでM6.0のゆっくりとしたすべりが発生し、それにもなつて水位が変化したと仮定した。仮定したすべりによる水位変化は、本震発生3日前からサンプル水位データに加えた。

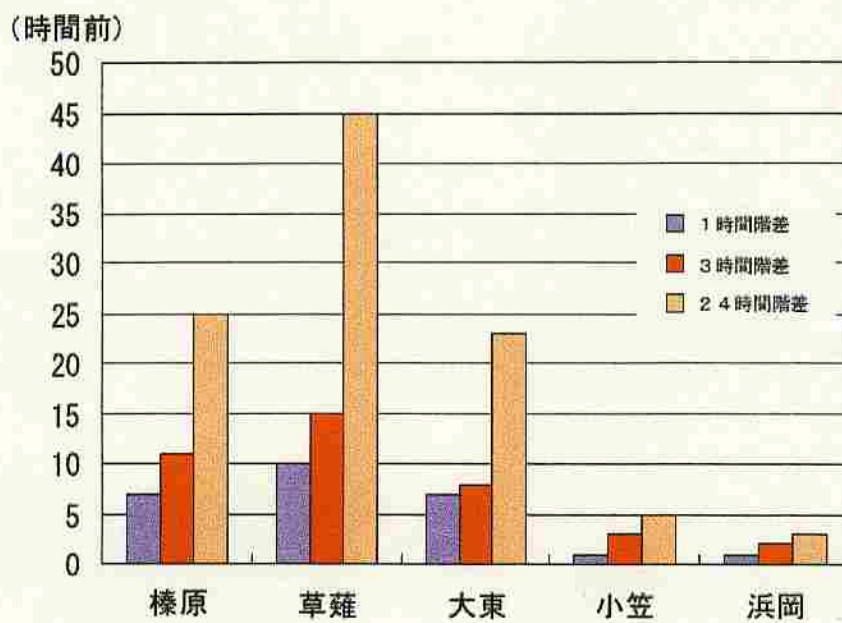


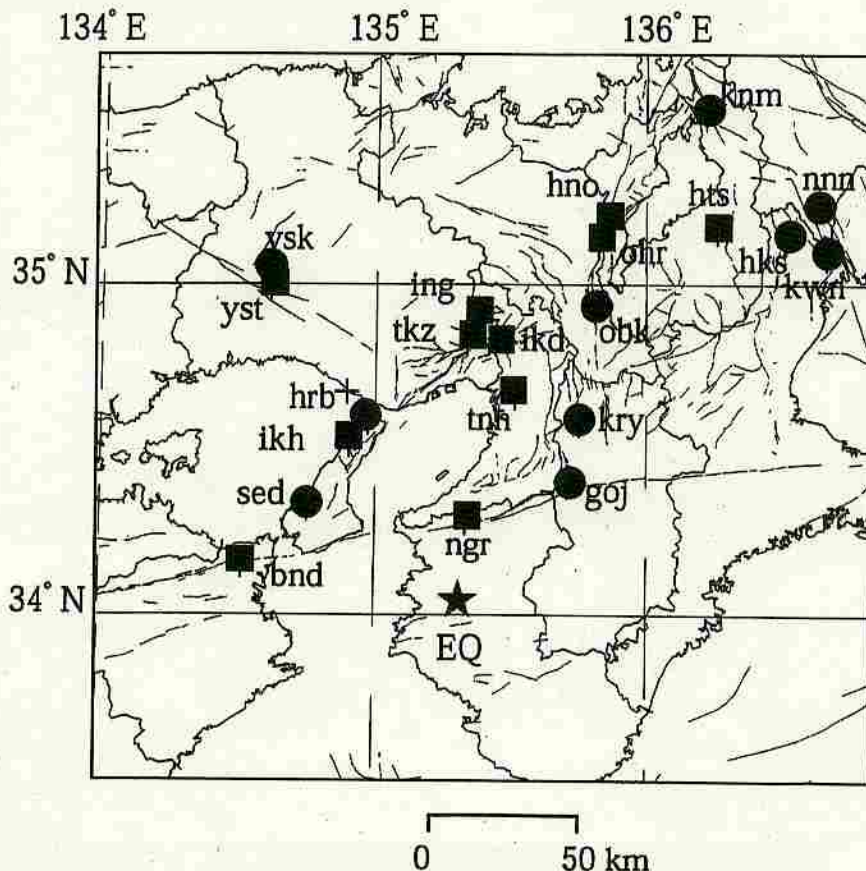
図7 各観測井におけるゆっくりとしたすべりの検知能力. 各観測井において, 各階差ごとに, 本震前のすべりによる水位変化がノイズレベルをこえた時刻を本震発生前の時間として示した.

2002年8月～2002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21点（観測井は26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、2002年9月2日18時17分発生の和歌山県の地震（M4.0、深さ約8km）のみである。この地震の前後に特に異常な変化はない。

第2～6図に、2002年5月～2002年10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）補正値を示してある。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（別紙で報告するikd, tkz, ikh等を除く）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。また、図中で「\$」は点検による変化の意味である。水位補正値（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取り除いた後のトレンドである。なお、tkz・obk2・ysk・yst1・yst2・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・kwnではケーシングを2重にして、外管で浅い方の地下水の水位を、内管で深い方の地下水の水位をそれぞれ測定し、別々の観測井にカウントしている。

9月～10月に台風等による大雨があり、その影響がいくつかの観測井戸で認められる。ikhでは、10月下旬に水位の低下が認められるがその原因は不明である。sedでは、水位が4月末付近からオーバーフローした状態になって、見かけ上変化がなくなっていたが、8月末から季節変化により水位が低下して実際の変化が認められるようになった。bndでも、7月上旬頃から水位がほぼオーバーフローしており、かつ降雨が孔口から入り込むようになってしまっているため、降雨のあった時だけ水位が大きく変化するような形になっている（第2・8図）。ikdではマンホールの不具合が生じ、降雨が上から入るような形になってしまっており、見かけ上降雨の影響が大きくなっている（第3、4図）。kwnでは、降雨時に周囲の浅部地下水が井戸口から入り込むような状況に現在なっているため、降雨に対して水位が大きく変化する（第4図）。kwn-iやkwn-oが5月初旬から水位低下しているが、これは周囲の揚水によると思われる（第5図）。5月からobk2の水位が、周囲の揚水によって低下していたが回復してきた（第6図）。yst1の水位は、水漏れ（圧力漏れ）状況が続いていて、データの信頼性は落ちる。yst1の歪3成分が6月はじめからの縮みについては別紙で報告する（第7図）。ohrの歪計は、充電装置の不具合により8月中旬から欠測状態になっていたが、9月初めに修理が完了し記録が再開した。しかしながら通電後、データが安定するのに時間がかかっているように見える（第10図）。（小泉尚嗣・高橋誠・佐藤努・松本則夫・大谷竜・北川有一・伊藤久男・桑原保人・長秋雄・佐藤隆司）。

Fig.1 観測点（●・■）と深さ30km以浅でM4以上の地震の震央（★）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。



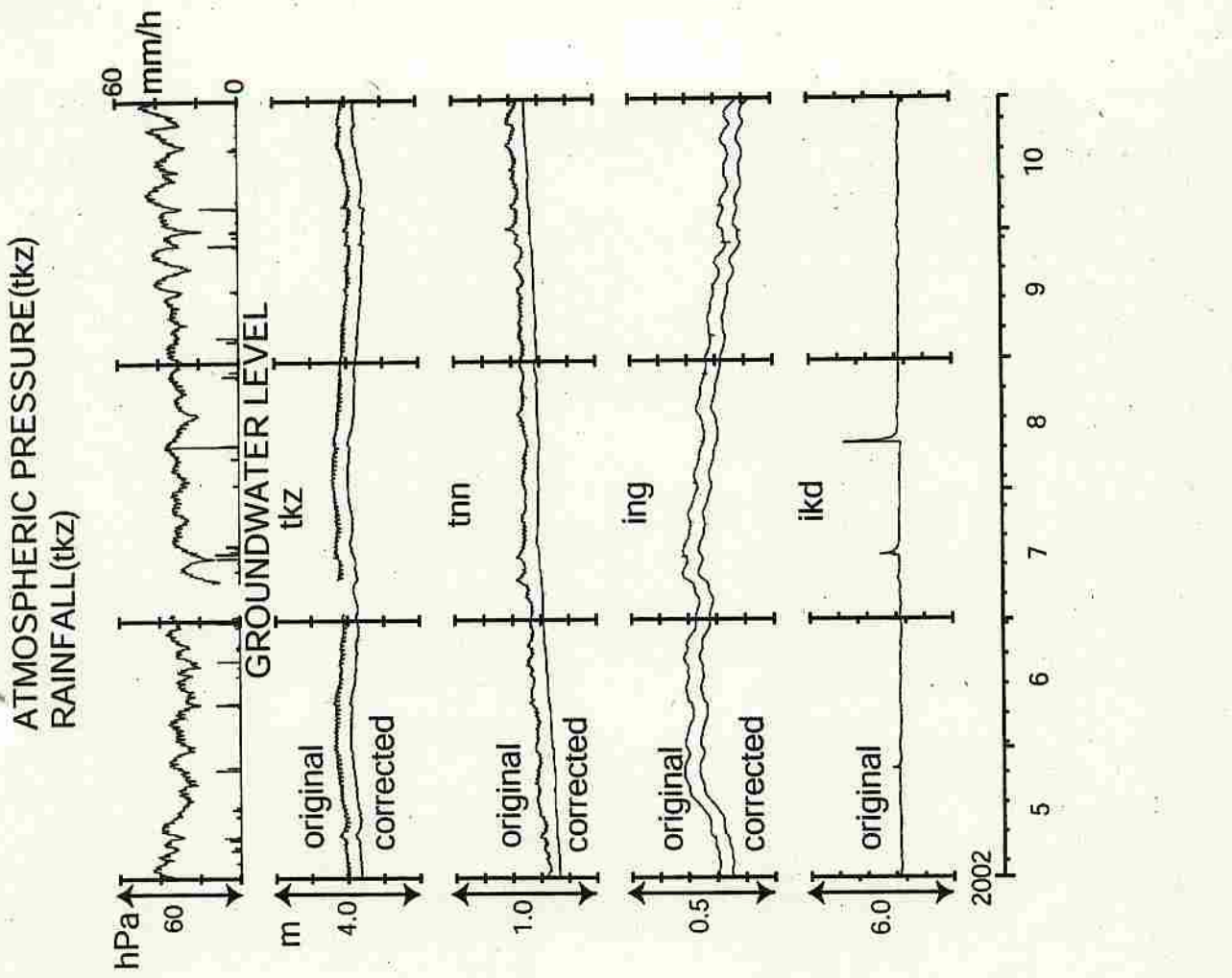


Fig.2

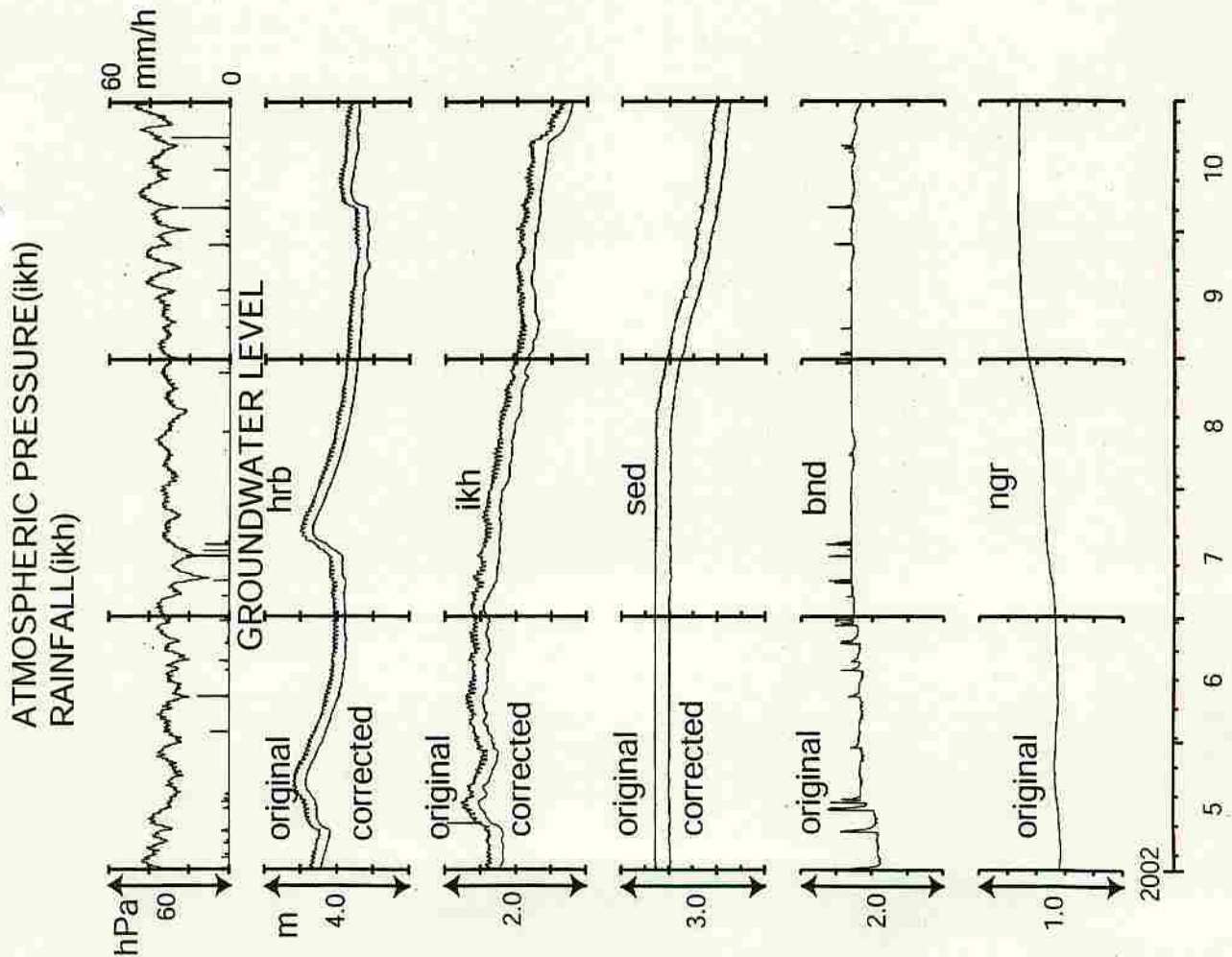


Fig.3

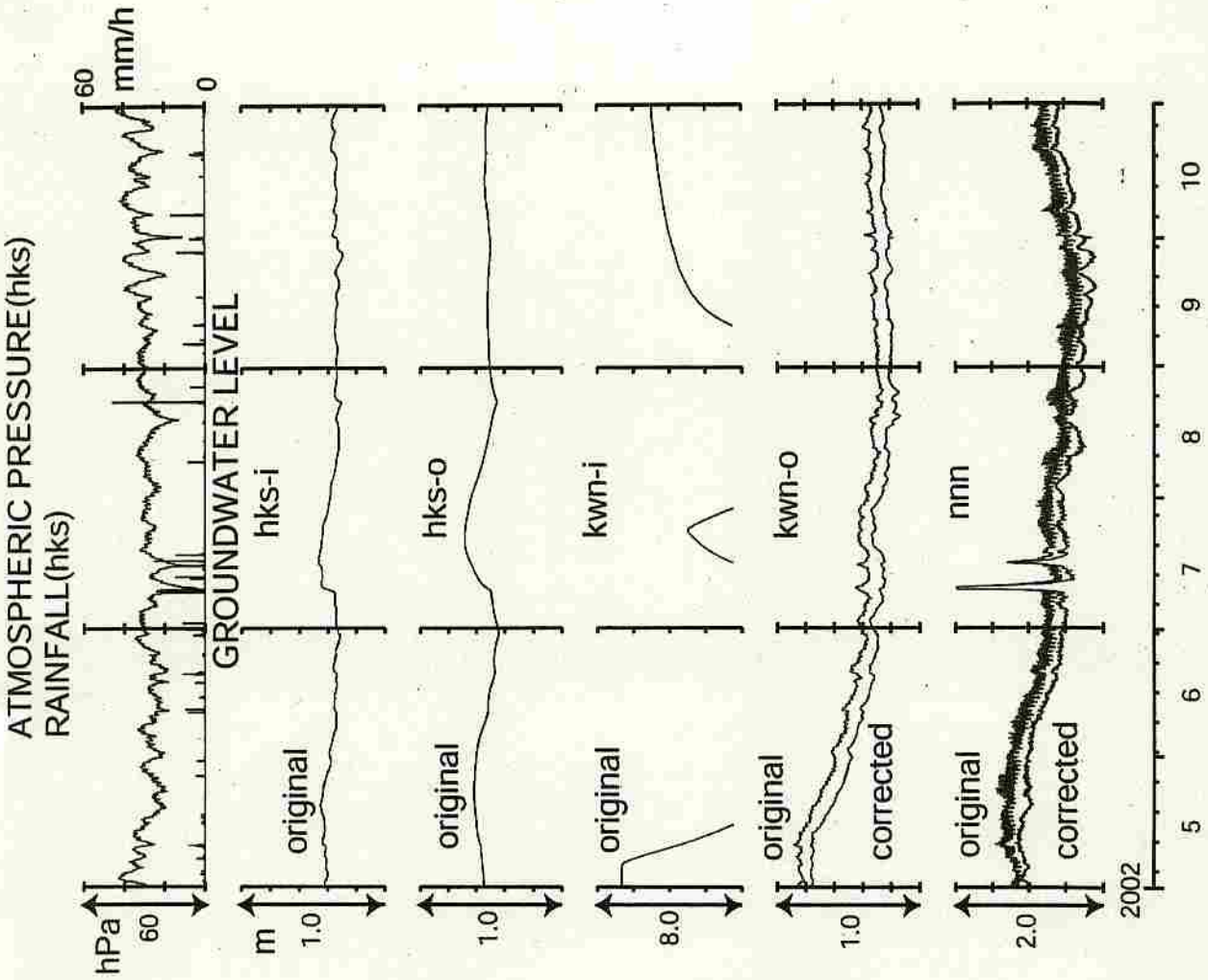
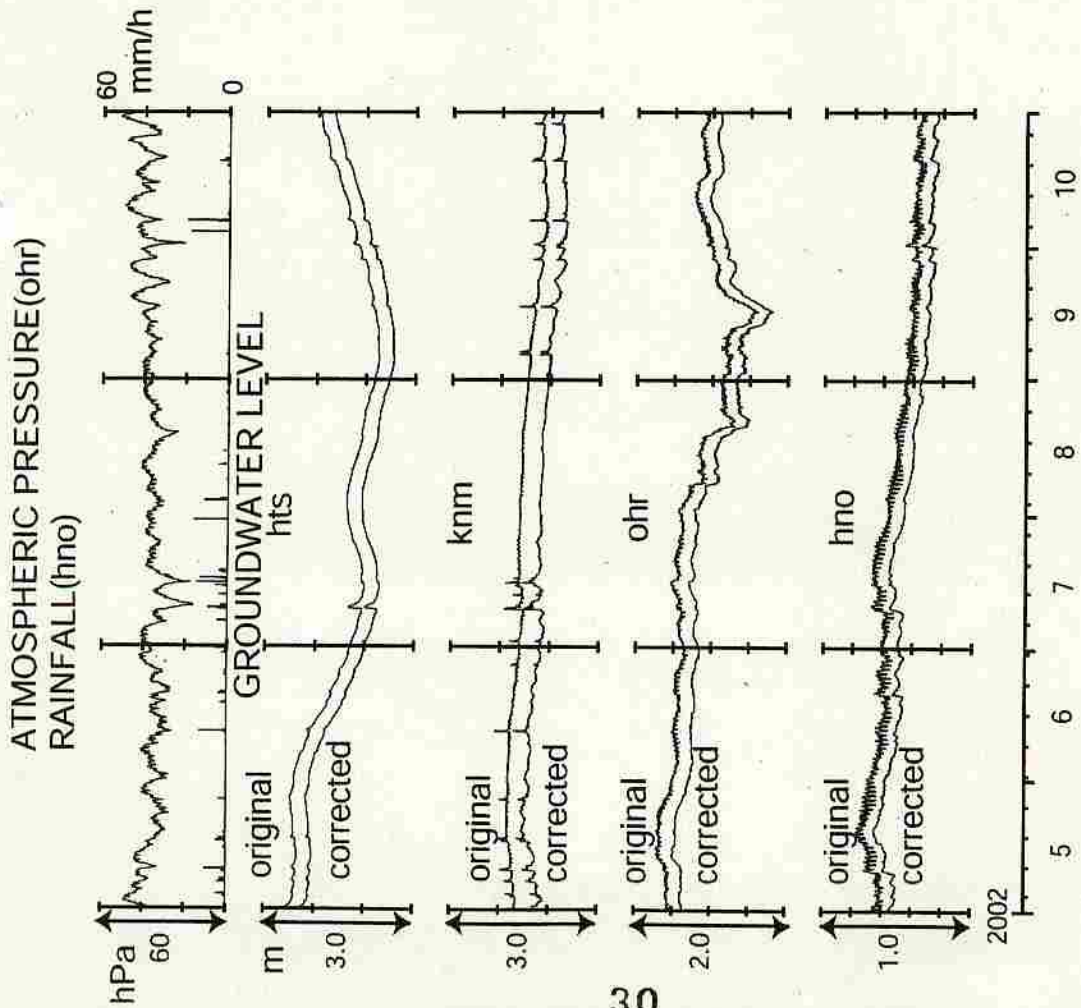


Fig.5

Fig.4

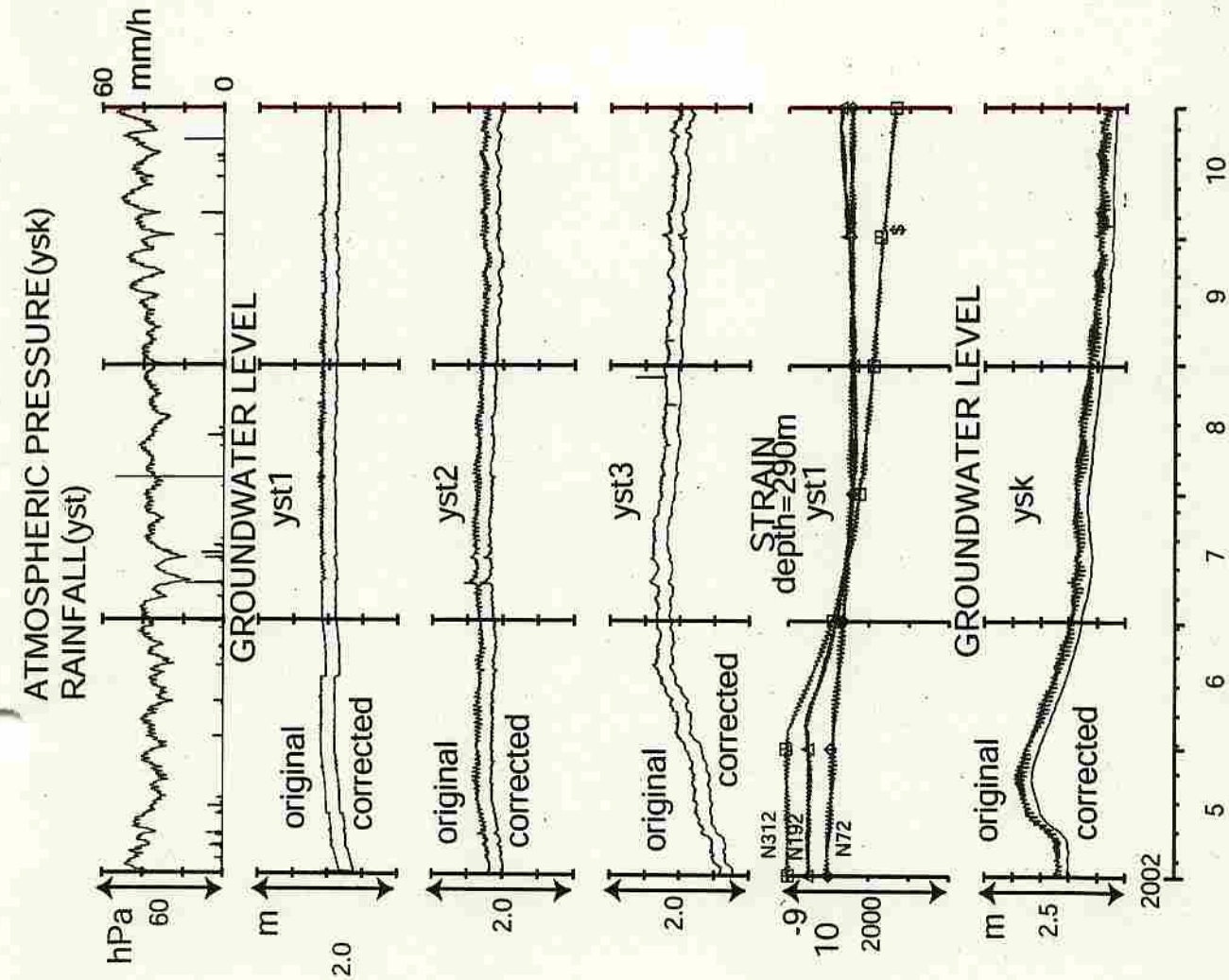


Fig.6

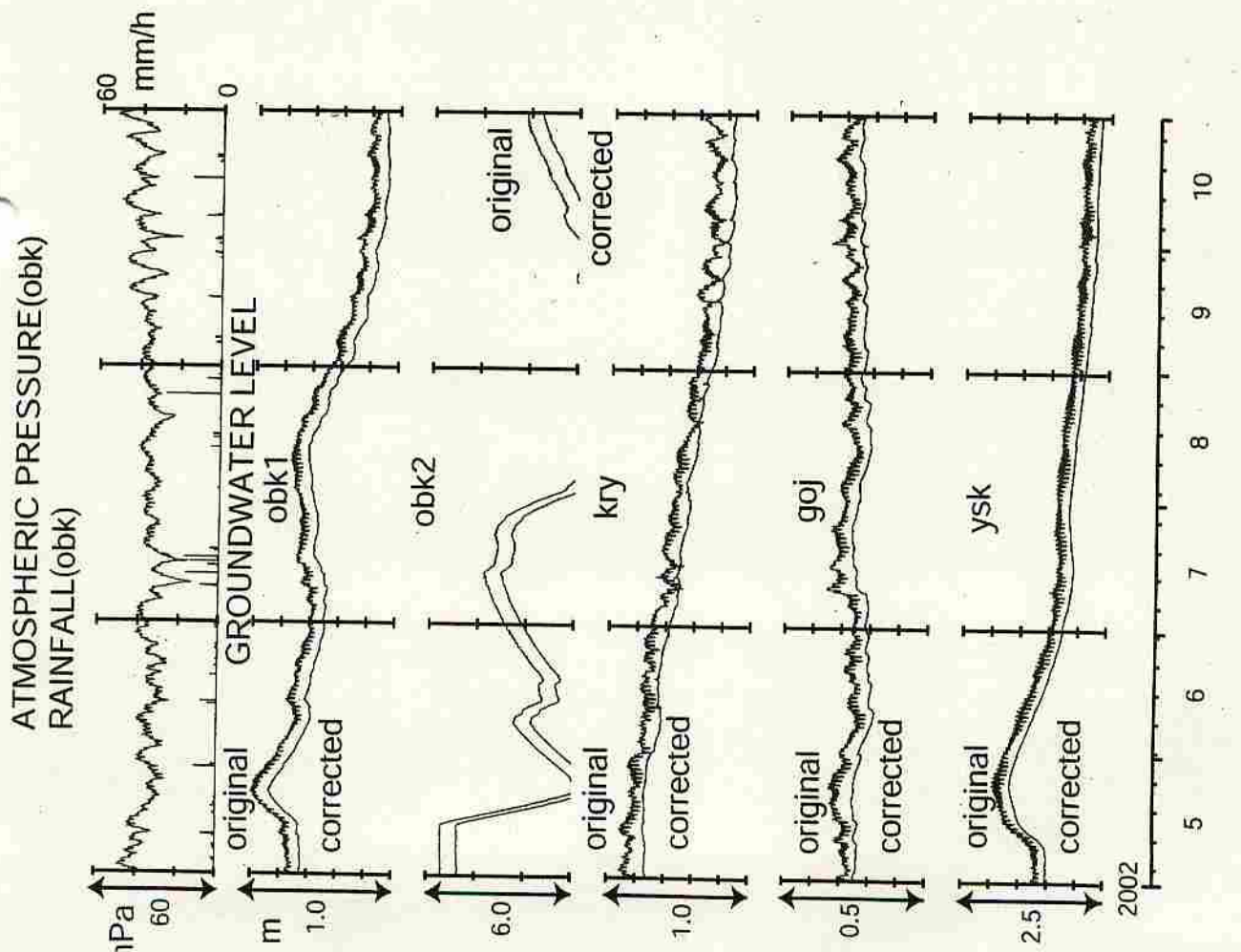


Fig.7

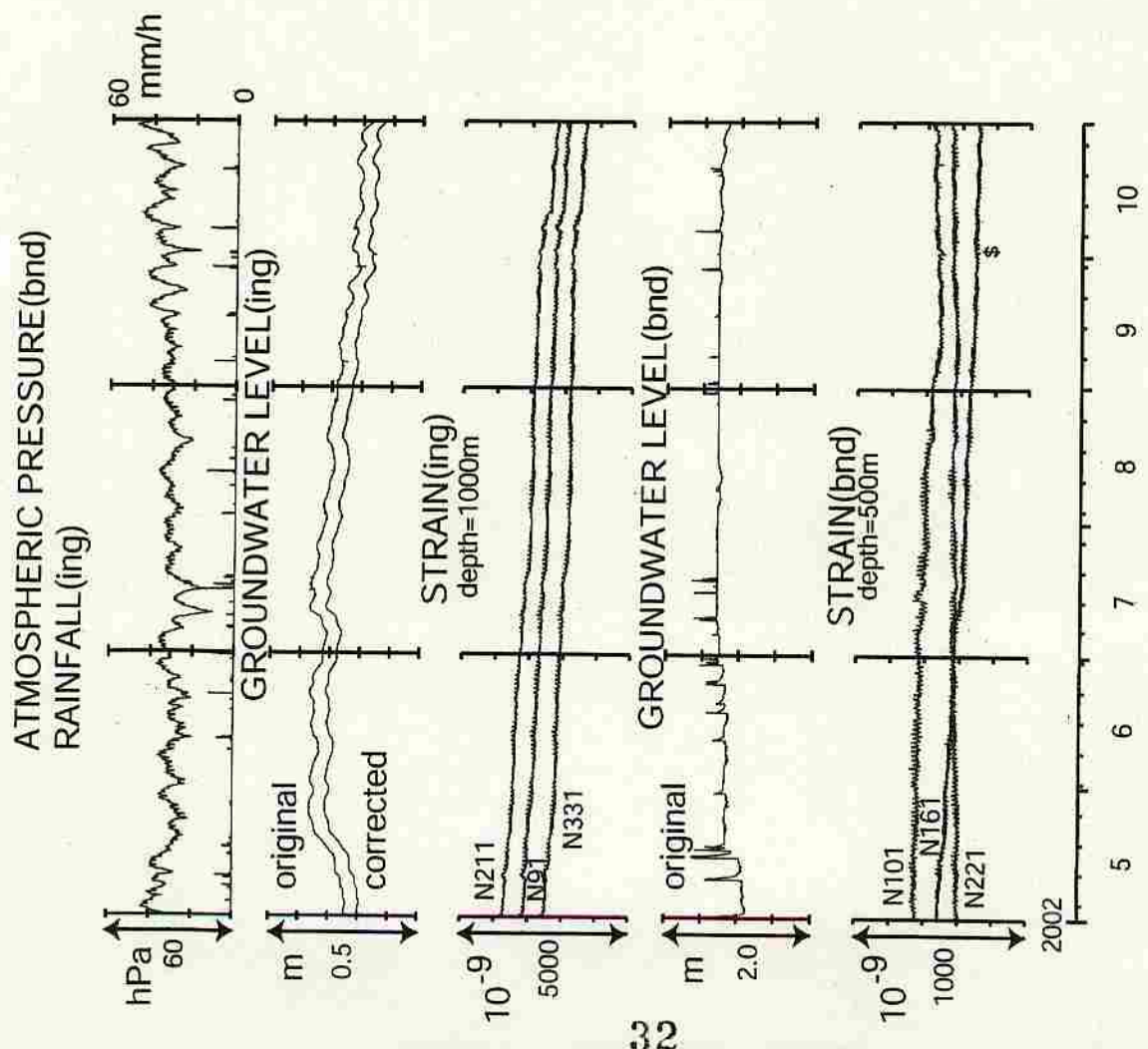


Fig.8

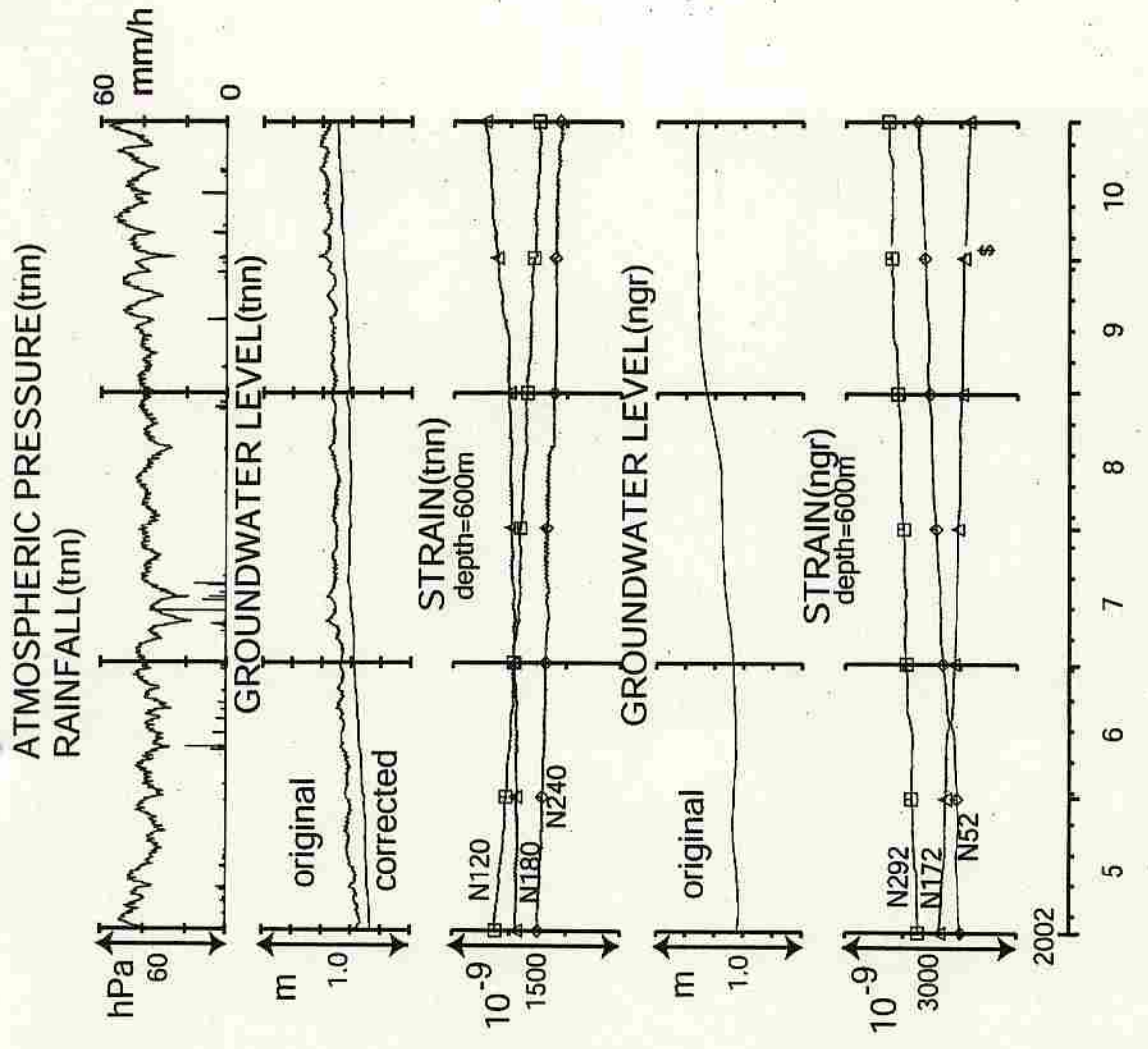


Fig.9



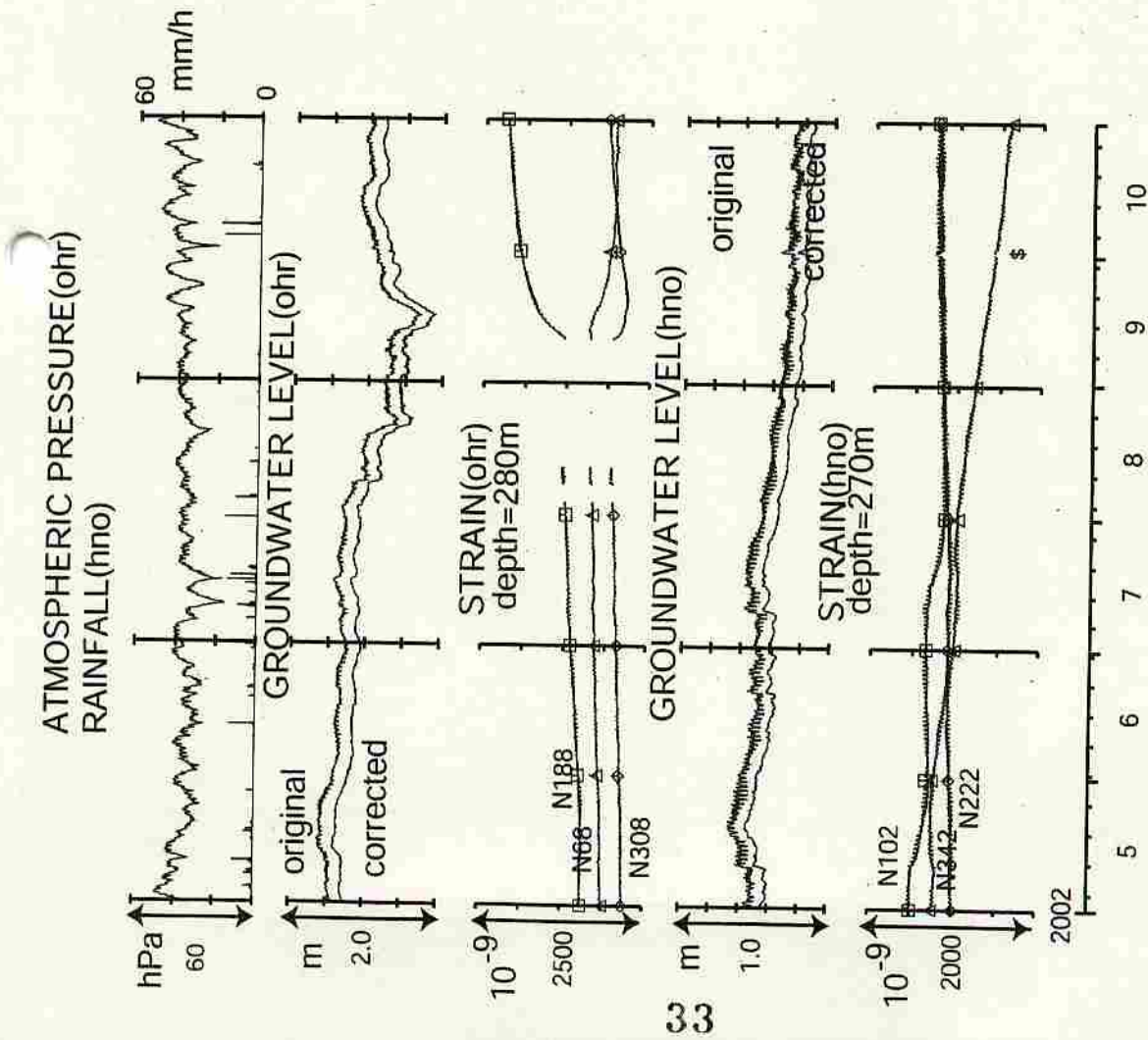


Fig.10

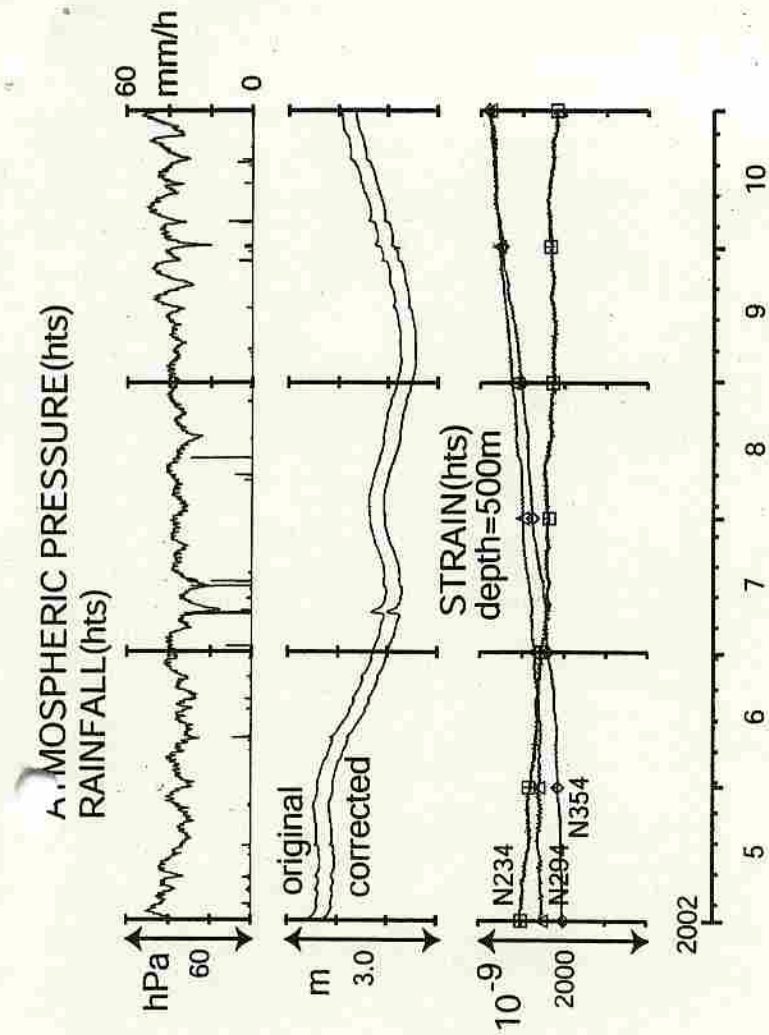


Fig.11

# 山崎断層安富観測点における異常な地殻歪変化について

産業技術総合研究所

京都大学防災研究所地震予知研究センター

はじめに

産業技術総合研究所では、山崎断層系安富断層近傍に安富観測点（兵庫県宍粟郡安富町）を設置した（図1）。安富観測点では、水平距離10m以内に3本の観測井を掘削した（図2）。3本の観測井の地下水位を測定することに加え、その内の1本では石井式ボアホール歪計により地殻歪場を測定している。また、同点ではGPS測定も行っている。

安富観測点の地殻歪場に顕著な変動が見られたので、その結果を報告する。

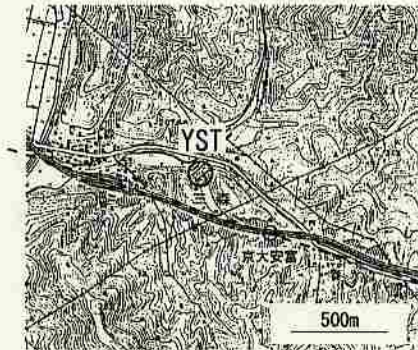
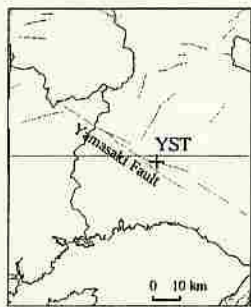


図1：安富観測点の位置

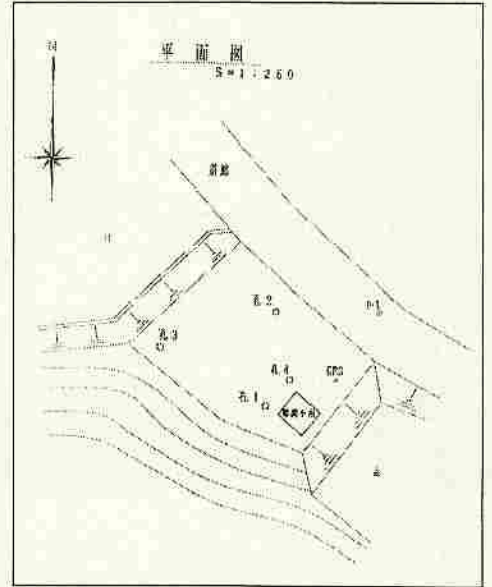


図2：安富観測点の観測井の配置

ストレーナの深度	歪計深度
孔1：254.10~265.00 m	287.79 m
孔2：144.10~149.55 m	
孔3：144.10~149.55 m	

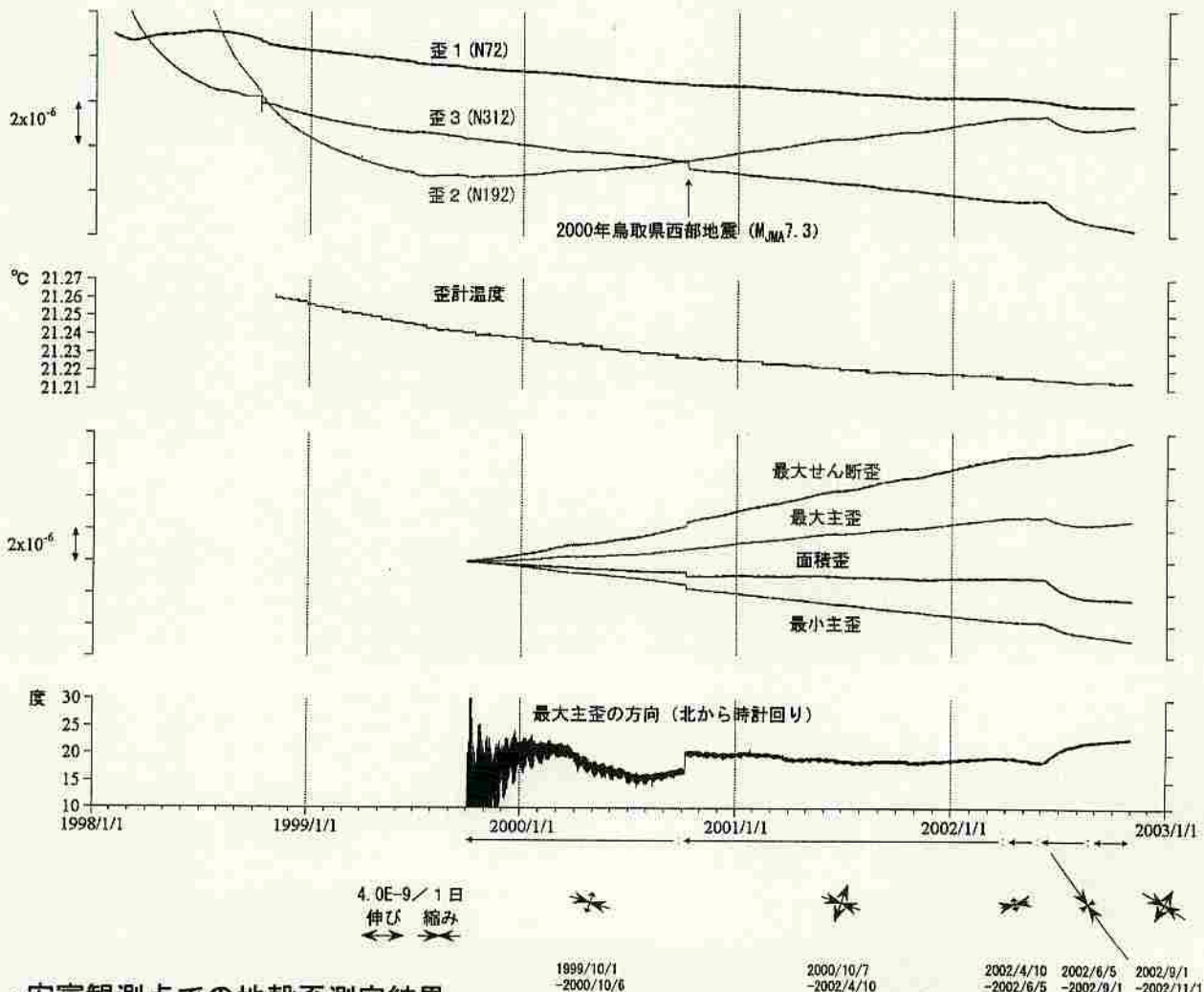


図3：安富観測点での地殻歪測定結果

## 測定結果

歪計による地殻歪の測定結果を図3に示す。設置当初と地震時のステップを除いて、2002年4月までは、北北東-南南西に伸び、西北西-東南東に縮みの安定した傾向を示していた。2002年4月10日頃から傾向に変化が現れ始め、2002年6月5日頃から大きな縮み（北西-南東：最大圧縮軸）を描き始めた。2002年9月までにだいたい収束したが、それ以降の歪場は以前の安定していた時に比べて時計回りに少し回転している。2002年6月5日～9月1日に累積した地殻歪は、面積歪にして $1.2 \times 10^{-6}$ の縮みであった。

地下水位測定の結果を図4に示す。いずれも管頭を密閉して間隙圧力として測定している。1999年及び2001年からの水位の上昇は管頭を密閉した後の圧力回復である。水位の潮汐感度を考慮すると、 $1.2 \times 10^{-6}$ の圧縮面積歪に対して50cm以上の水位上昇が期待されるが、対応する変動は見られない。水位の長期的な変動は見られるが、地殻歪場との関係は現時点では不明である。孔1は管頭の密閉が出来ていないので、正しい間隙水圧を測定できていないため、省略した。

GPS測定による安富観測点の位置変化を図5に示す。図はつくばを基準とした基線長を示している。点線は日値、太線は日値の31日単純移動平均である。観測点の状況やAOA社製の受信機の性能の問題により、年周・半年周成分が入っていて、かつバラツキが大きいので、明瞭な傾向の変化は分からない。東西成分から、2002年中頃から西に移動している可能性があるが、現段階では有意な変化とはいえない。

また、安富付近の国土地理院のGPS測定の結果に変化は見られない。

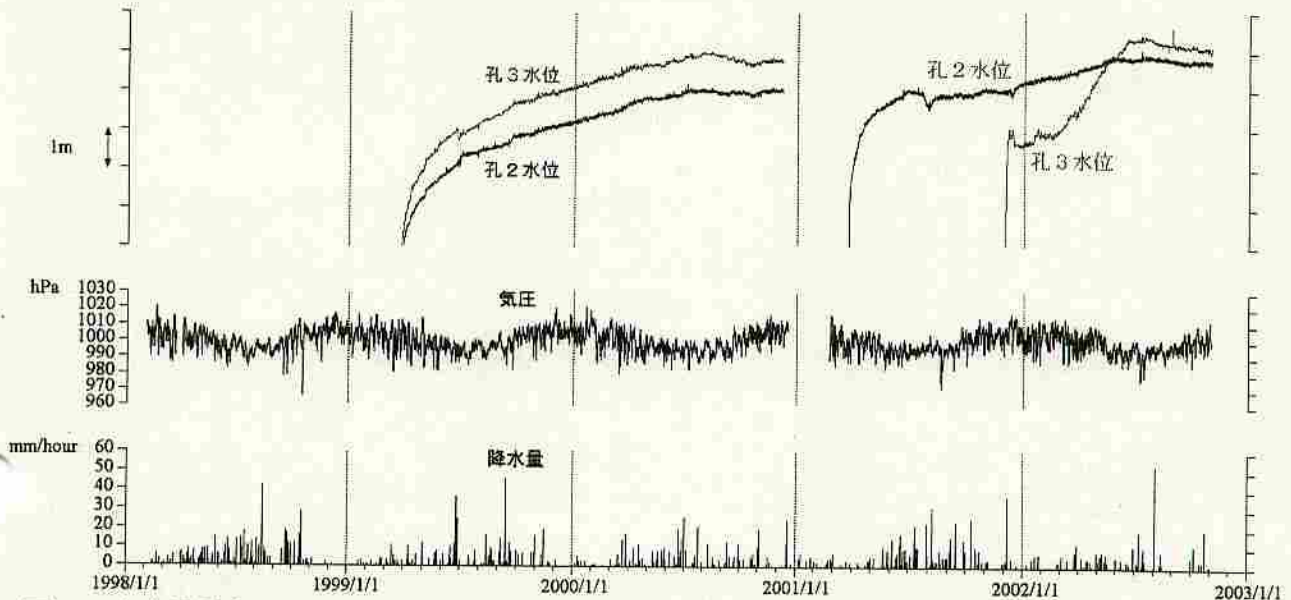


図4：安富観測点での地下水位測定の結果

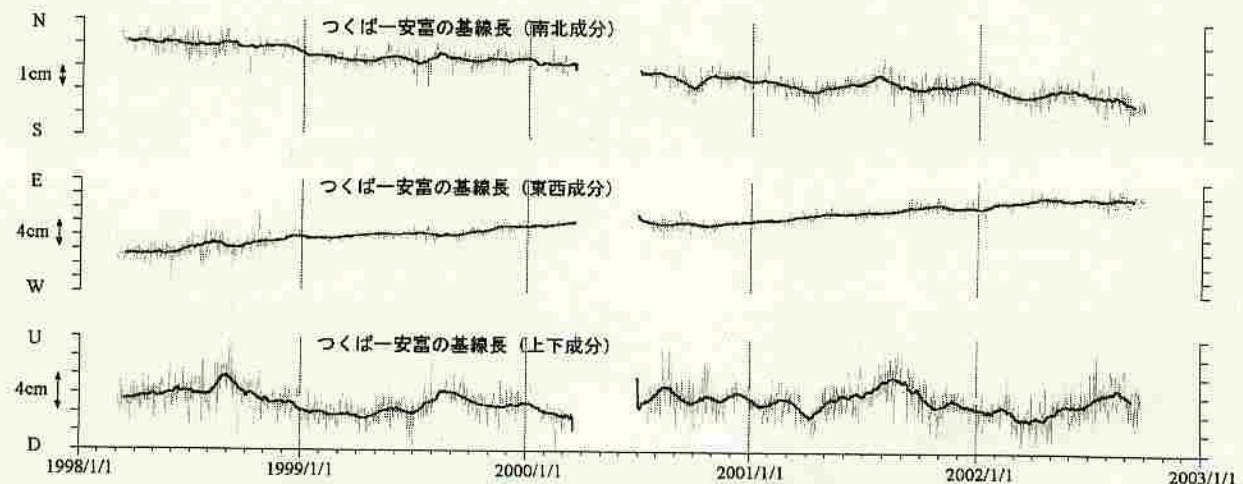


図5：GPS測定による安富観測点の位置の変化（つくばを基準とした）

比較データ

京都大学安富観測点と大沢観測点の伸縮計の測定結果を示す(図6、7、8)。

京都大学安富観測点は産総研安富観測点から南東に約500mの所に位置する。安富断層の破砕帯上に位置していると思われる、2-3と10-11の間に破砕帯が存在している。

大沢観測点は山崎断層系土万断層の近くに位置し、0-1の間に破砕帯が存在している。

安富観測点は中国自動車道直下で土被りが浅いため、熱膨張による年周変化が大きく、ノイズも大きい。2002年6月前後には明瞭な異常は見られない。

大沢観測点は強固な岩盤中にあり、土被りが坑奥で45m程度ある。坑内気温は年較差が概ね0.1℃未満に安定しており、年周変化は比較的小さい。2002年6月頃から1-2成分に伸び(3-2成分には縮み)が見られるが、以前に比べて異常な変動とはいえない。0-1と1-3成分は、通常、潮汐成分・中長期成分とも同相であるが、2002年6月頃から1ヶ月程の間、潮汐成分に関しては同相にも関わらず、中長期成分に関しては逆相であった。しかしながら、この現象と産総研安富観測点での地殻歪変化との関連は不明である。

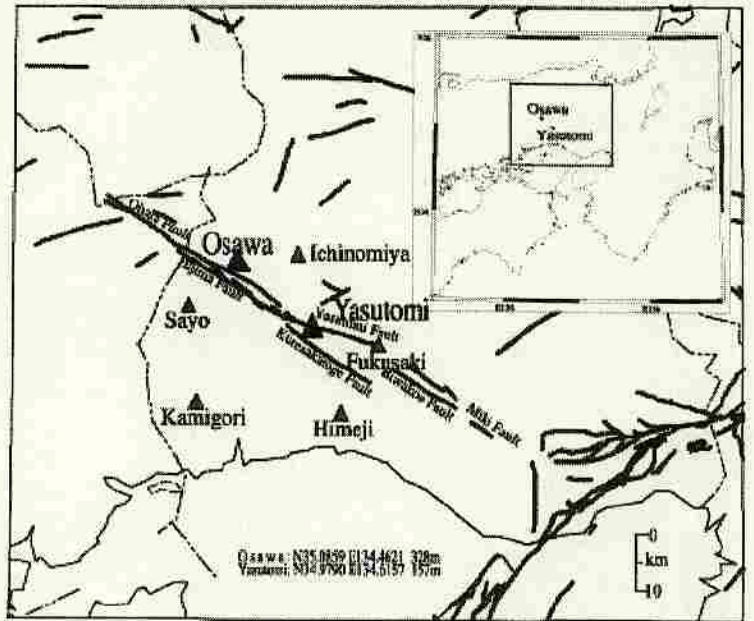


図6：京都大学安富観測点と大沢観測点の位置

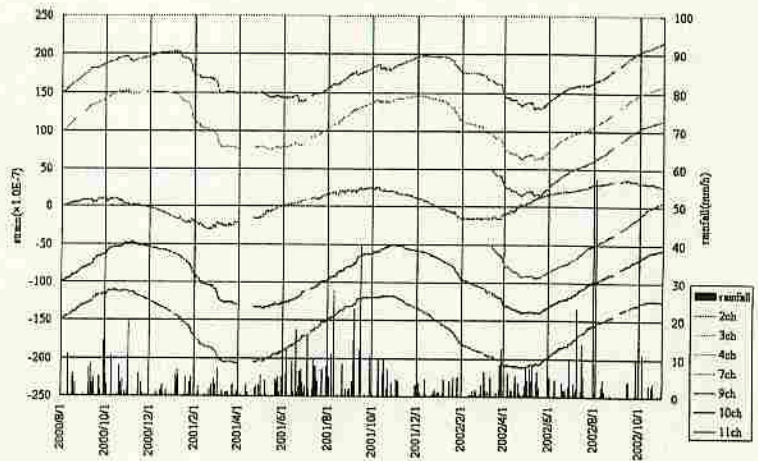
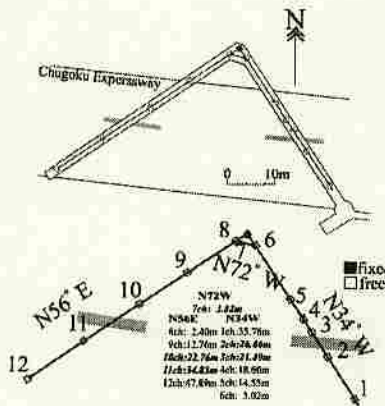


図7：京都大学安富観測点の伸縮計の配置と測定結果

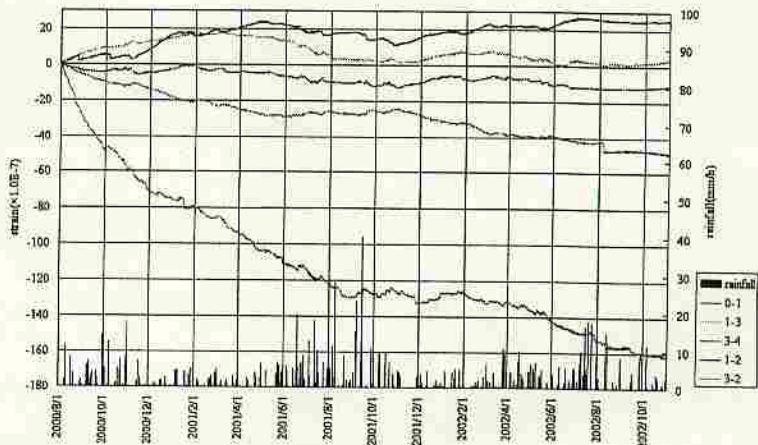
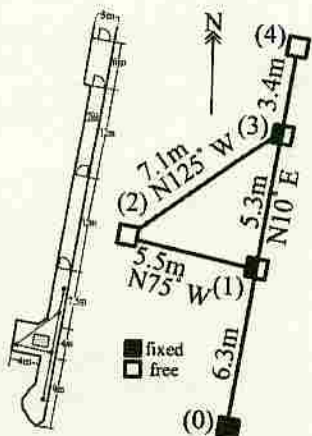


図8：京都大学大沢観測点の伸縮計の配置と測定結果

## 地震活動

山崎断層南東側では、地震活動は2001年中頃を境に活発化している（図9）。2002年4月10日にも増加が見られる。安富観測点付近では、2002年1～5月には地震はなかったが、2002年6～7月にM1クラスの地震が発生した（図10）。

## スリップモデル

産総研安富観測点で観測された2002年6月～8月の顕著な地殻歪変化を安富断層上での非地震性スベリで説明可能かどうか調べた。

モデルを作るにあたって、以下のことを考慮した。

- ・安富断層はN70W-S70Eの走行をもつ左横ズレ断層である
- ・安富断層から見て、歪計は北東側200m以内に位置する
- ・安富観測点の地下水位、GPS、京都大学の安富・大沢観測点の伸縮計においては、それぞれの記録のノイズレベル以下の変化しか生じない

推定したモデルに一意性はないが、100m×200mの矩形面上で1mmの左横ズレが起こっている（図11）と考え、観測された地殻歪変化をおおよそ説明することができた（表1）。

孔2、孔3のストレナの位置では、面積歪にして $5\sim 6 \times 10^{-8}$ の膨張であり、潮汐感度から考えると2～8cmの水位低下が期待されるが、この大きさの変化では明瞭には分らない。

地表では、 $10^{-2}$ mm以下の変位、 $10^{-8}$ のオーダーの歪にしか生じないので、GPSや伸縮計では検出できない大きさである。

解析にはMICAP-Gv2.1 [内藤宏人・吉川澄夫(1999)：地殻変動解析支援プログラムMICAP-Gの開発，地震2，52，101-103.]を使用した。

## まとめ

2002年6月から観測された顕著な圧縮の地殻歪変化は、観測点近傍で非地震性のゆっくりスベリが発生していると考え、今回推定したモデルの場合では、地下水位・GPS・伸縮計に明瞭な変化が見られないことも矛盾しない。

(北川有一・小泉尚嗣・大谷竜・渡辺邦彦・板場智史)

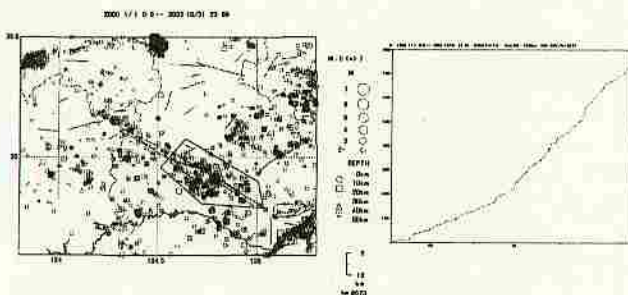


図9：2000年以降の山崎断層周辺の地震活動とその南東側での地震の積算個数

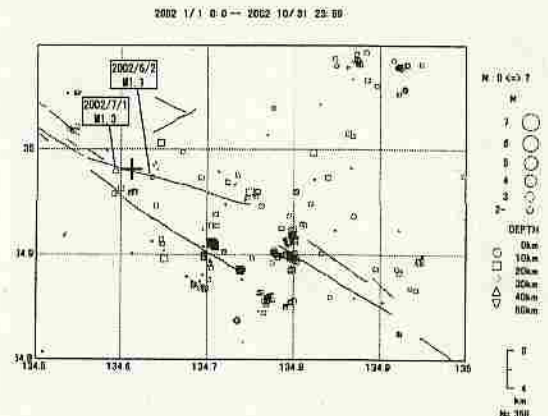


図10：安富観測点（+）付近の地震

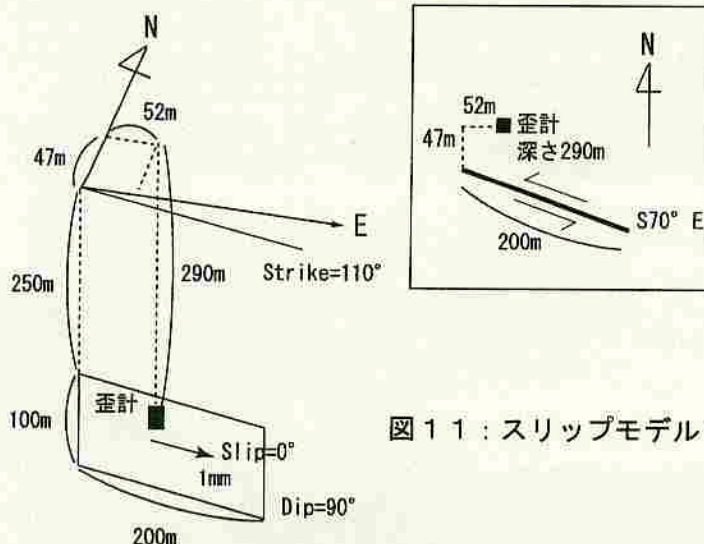


図11：スリップモデル

表1：地殻歪の観測値とスリップモデルによる歪計位置での歪量

	観測値	モデル
	2002/6/5-8/15 の積算	200m×100m上の 1mmの左横ずれ
EW成分	$-4.14 \times 10^{-7}$	$-3.58 \times 10^{-7}$
NS成分	$-7.70 \times 10^{-7}$	$-8.11 \times 10^{-7}$
NE成分	$4.06 \times 10^{-7}$	$3.82 \times 10^{-7}$
面積歪	$-1.19 \times 10^{-6}$	$-1.17 \times 10^{-6}$
最大せん断歪	$8.86 \times 10^{-7}$	$8.89 \times 10^{-7}$