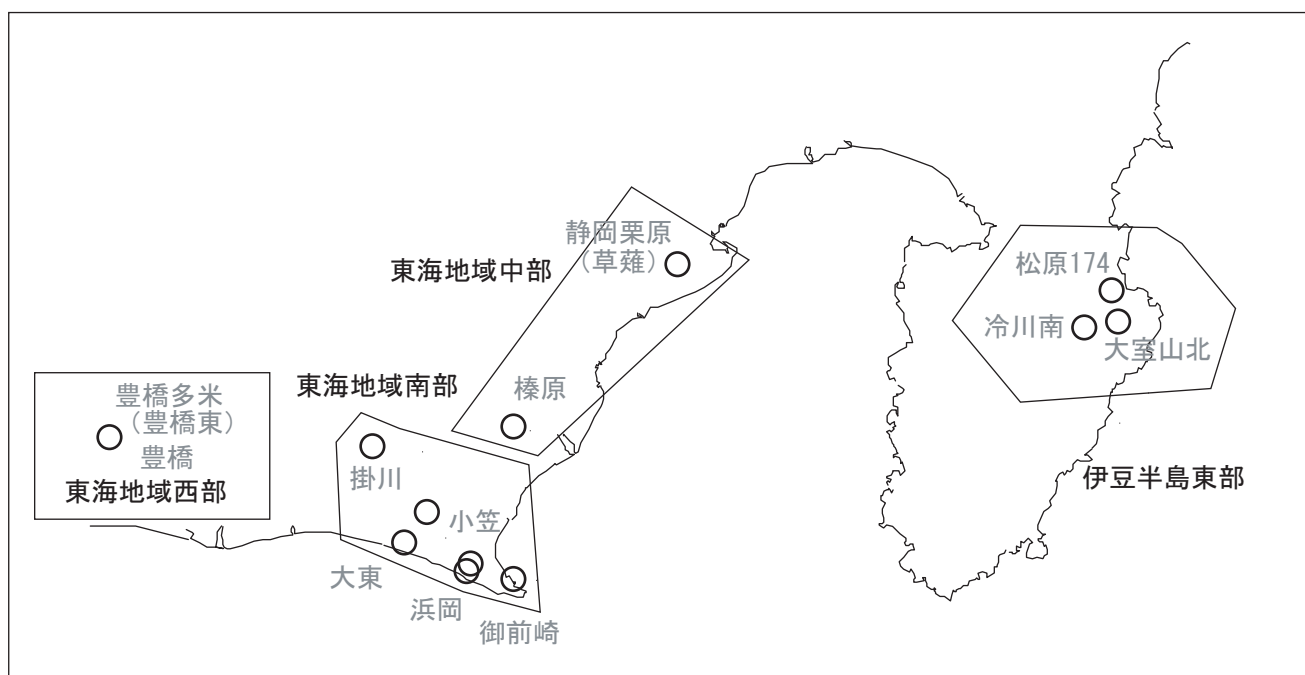


第377回 地震防災対策強化地域判定会

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29年9月25日

【資料目次】

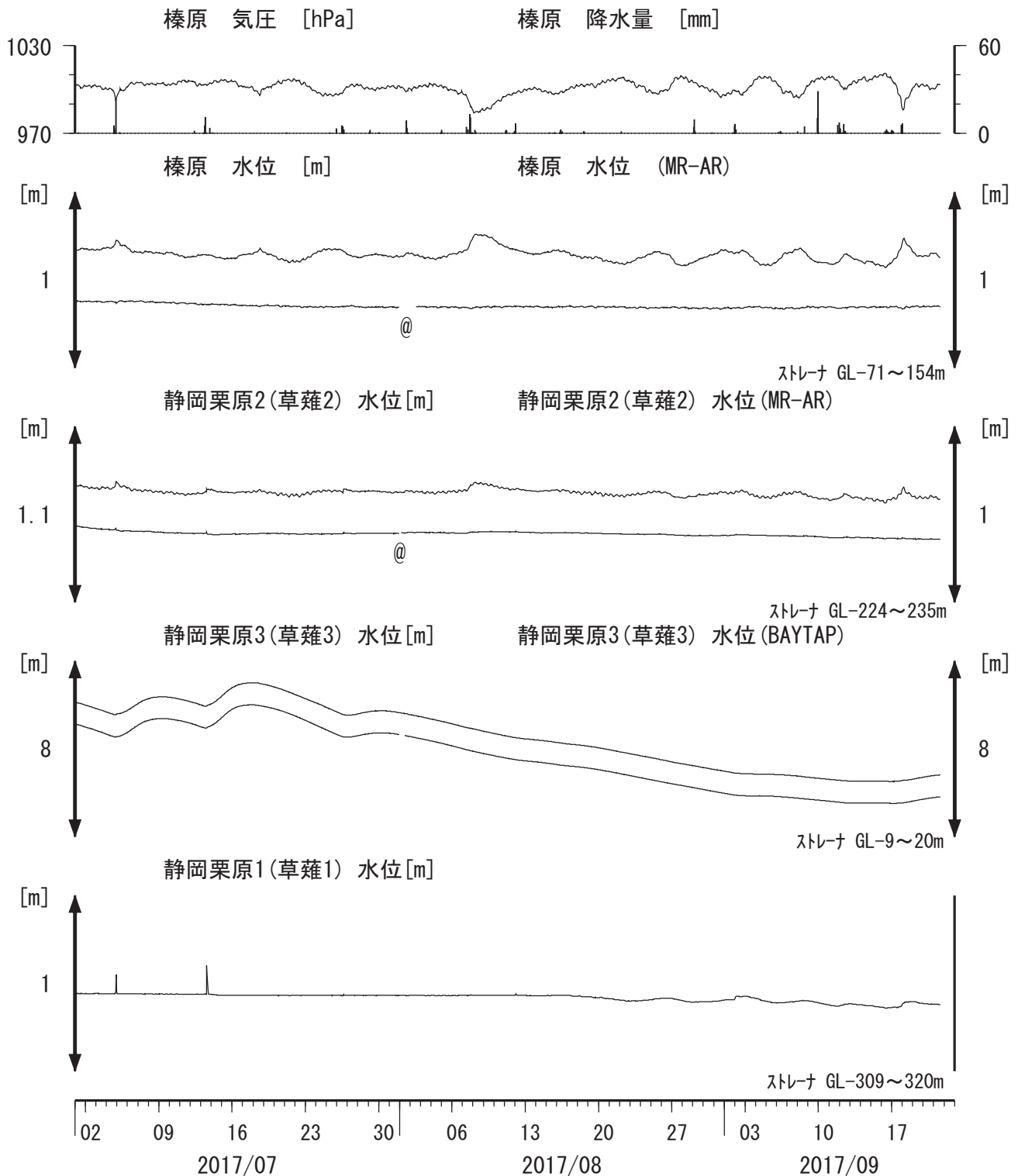
表紙

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

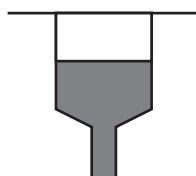
別紙

- ・榛原・浜岡の降雨グラフ
- ・紀伊半島～愛知県における歪・傾斜・地下水観測結果

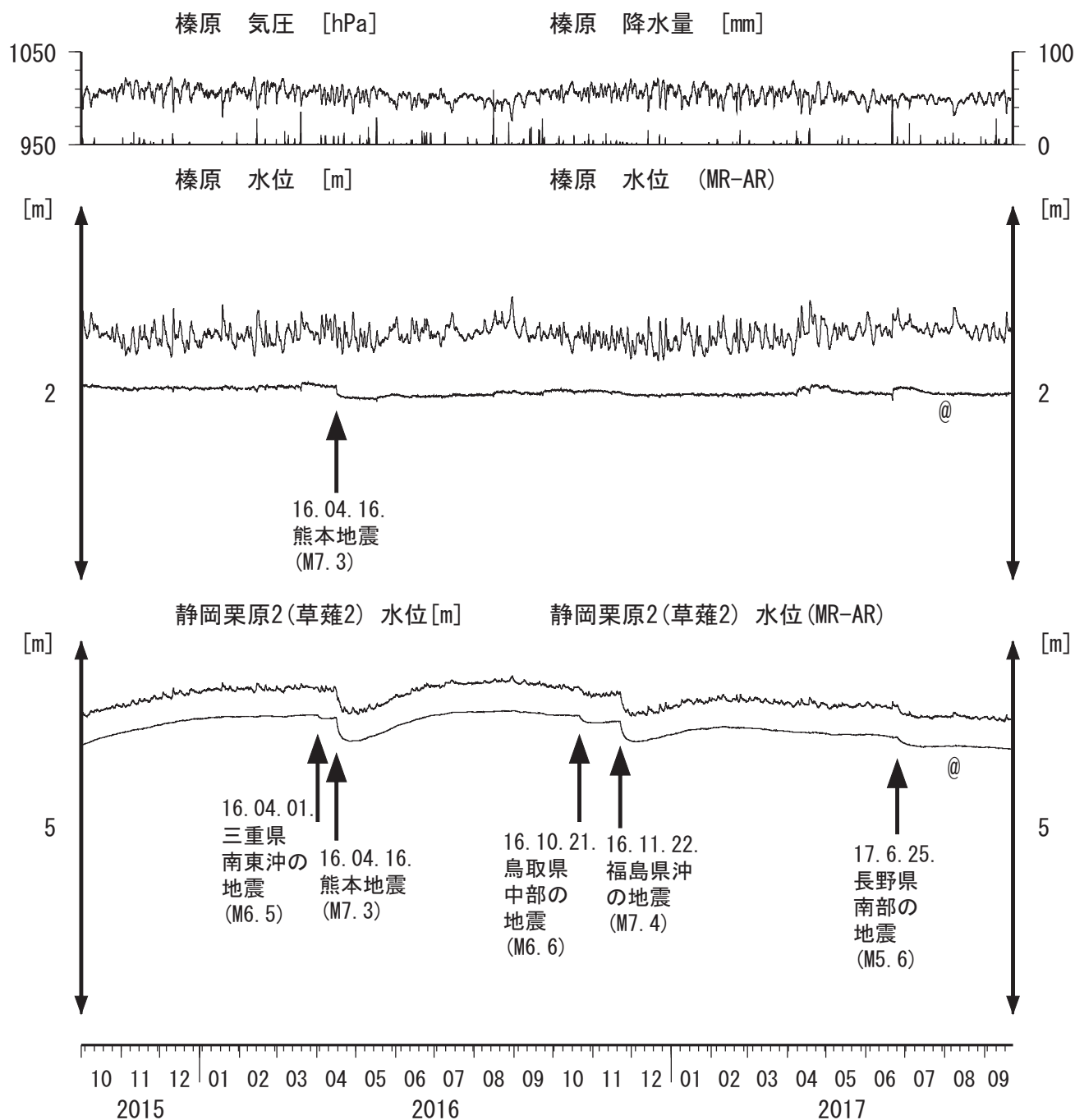
東海地域中部（榛原・草薙）中期 （時間値）
 (2017/07/01 00:00 - 2017/09/23 00:00 (JST))



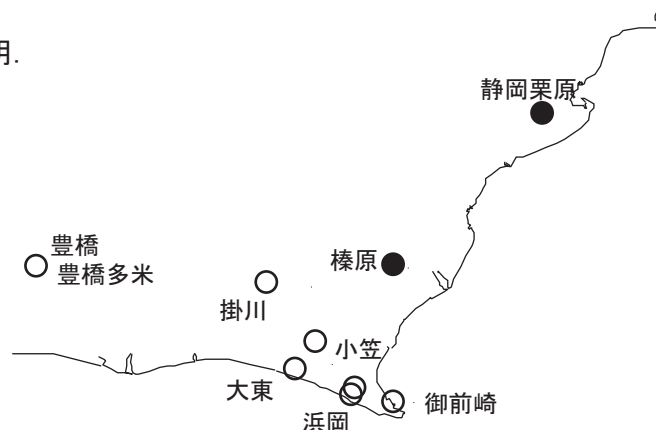
コメント：*;雨量補正不十分。\$;保守。?;不明。
 @;月初めの補正値のギャップは、
 解析プログラムの見かけ上のものである。
 2015年4月中旬に静岡栗原1の水位が
 井戸管の広い部分まで上昇したので
 それ以降の水位変化が
 小さくなっている。



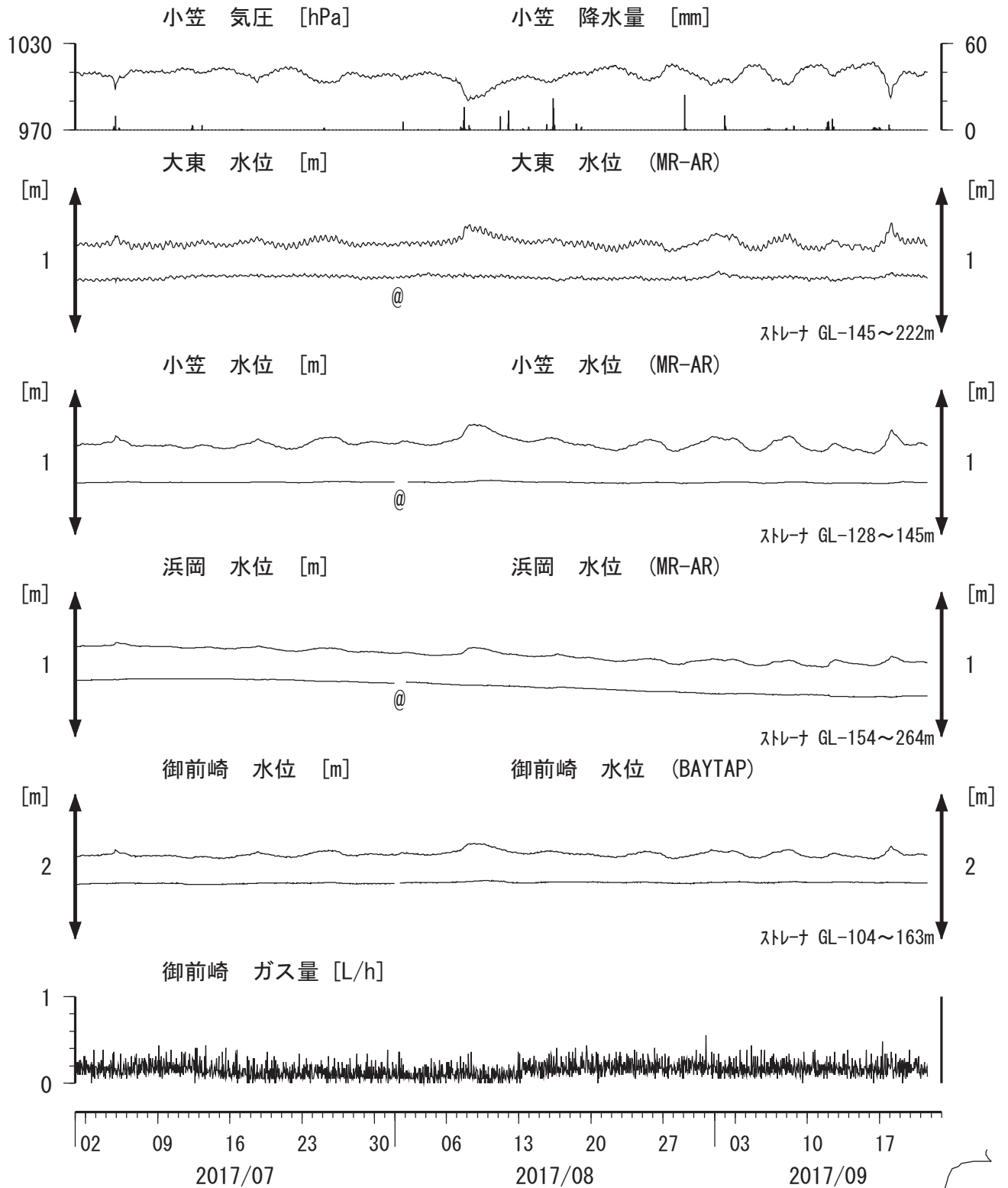
東海地域中部（榛原・草薙）長期 （時間値）
 (2015/10/01 00:00 – 2017/09/23 00:00 (JST))



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.

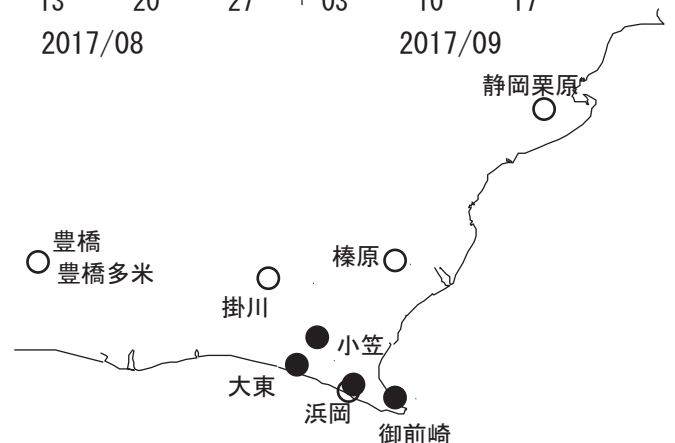


東海地域南部 地下水観測結果 中期 (時間値)
(2017/07/01 00:00 - 2017/09/23 00:00 (JST))

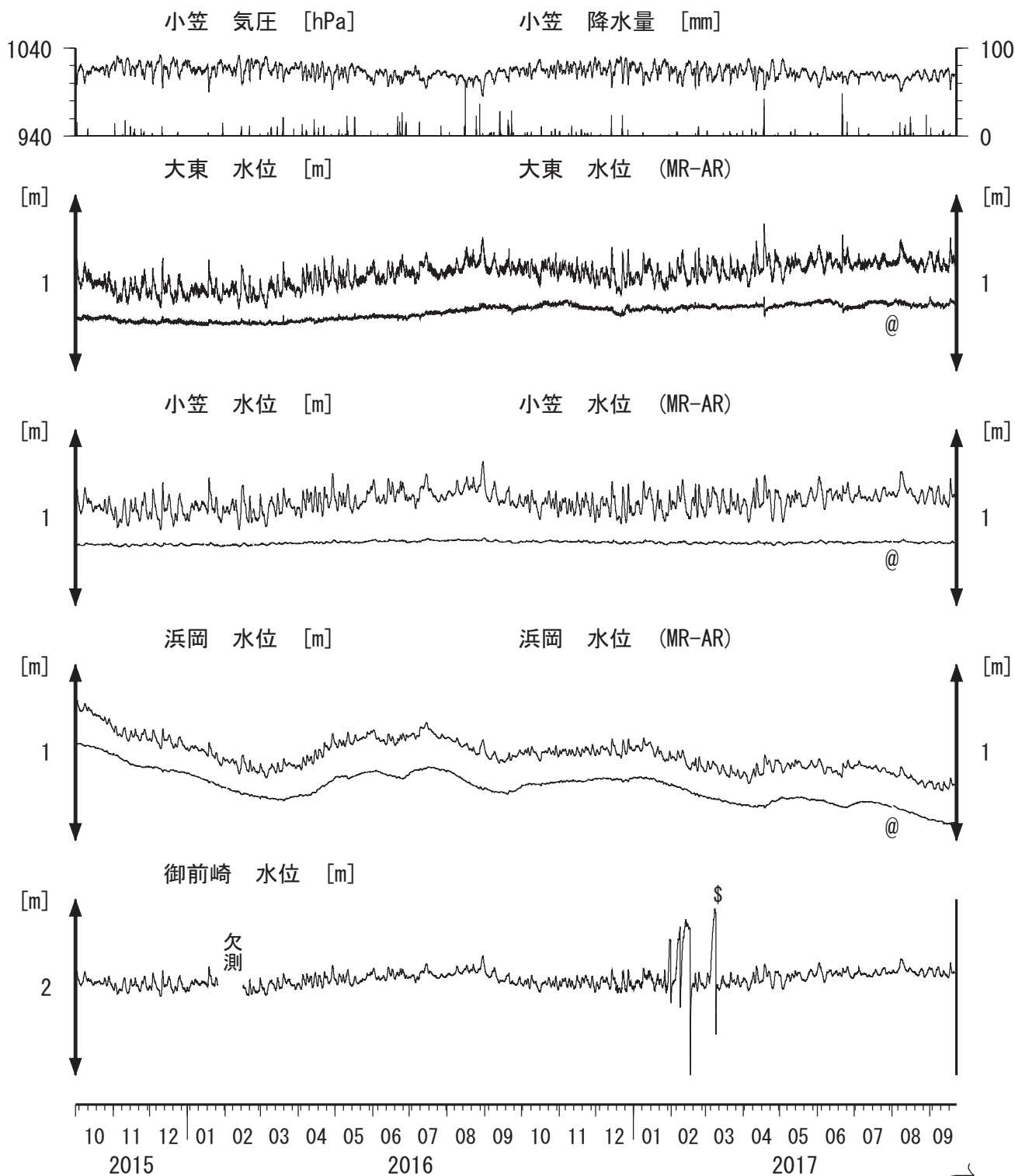


コメント:

*: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.

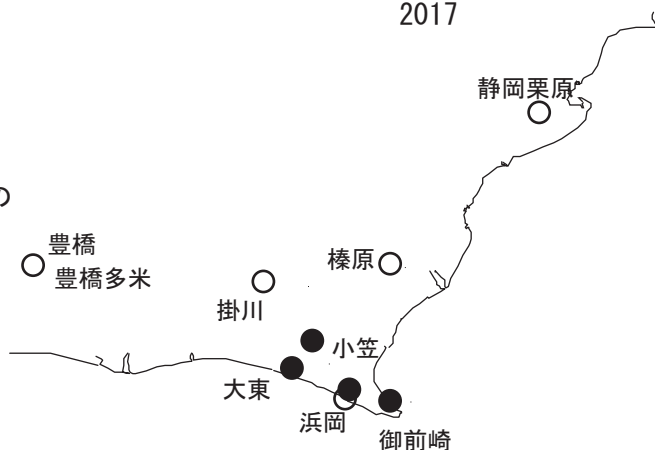


東海地域南部 地下水観測結果 長期 (時間値) (2015/10/01 00:00 - 2017/09/23 00:00 (JST))

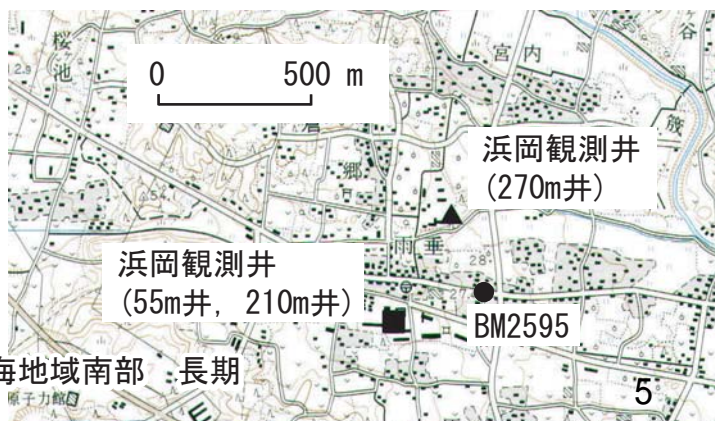
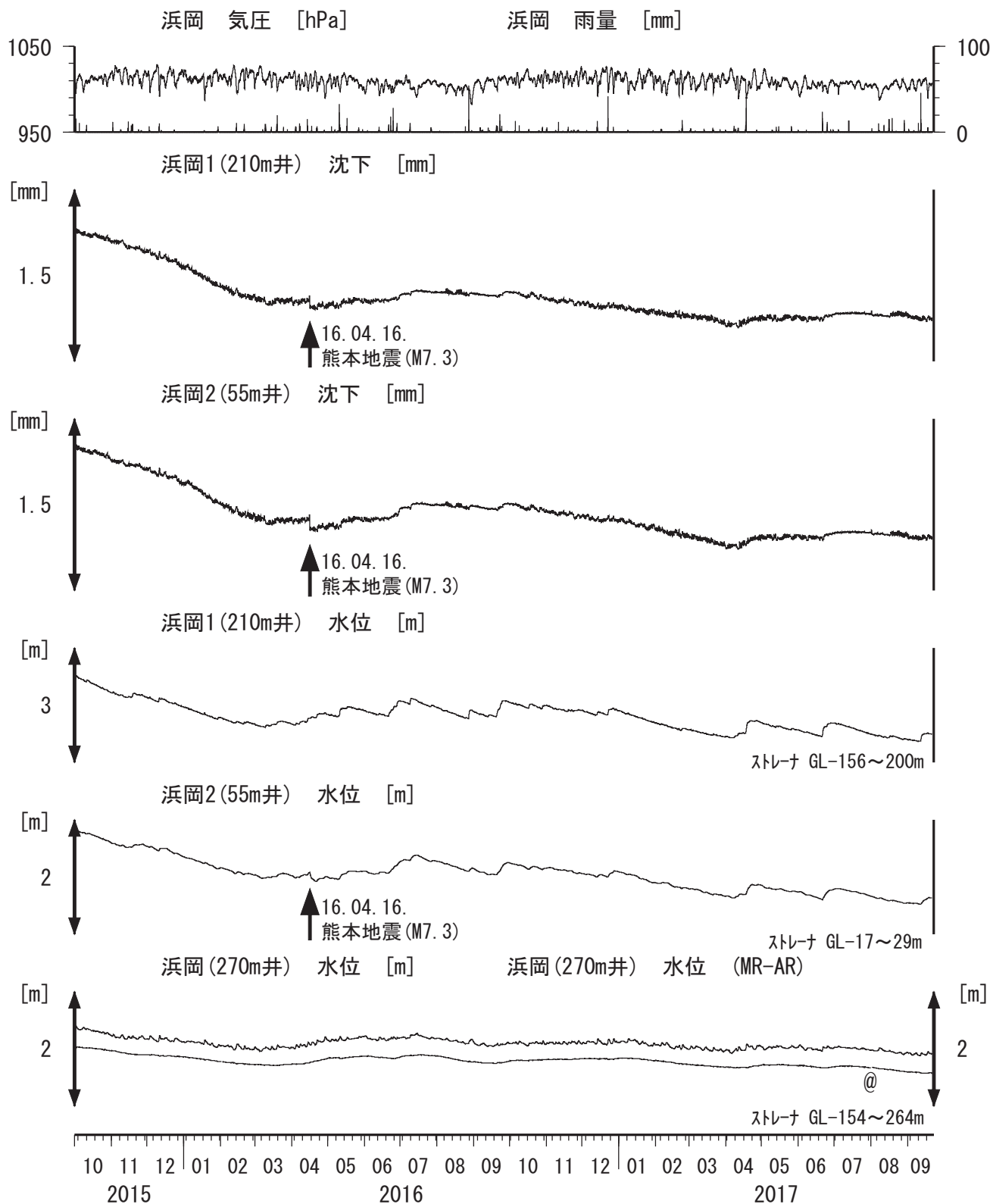


コメント:

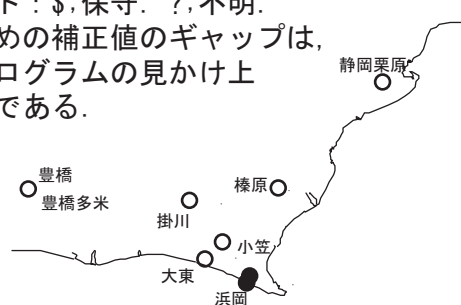
*:雨量補正不十分. \$:保守. ?:不明.
 @:月初めの補正值のギャップは、
 解析プログラムの見かけ上のものである.
 2014年12月12日と2015年3月13日にガス流量計の
 調整を行ったが、2015年7月中旬から、
 再びガス流量計の故障に起因すると思われる
 水位増加があったが、2015年7月24日に保守を
 行ったらほぼ元に戻った.
 2016年12月16日以降の水位データの異常は
 ガス排出システムの故障が原因.
 2017年2月16日に観測システムを更新.



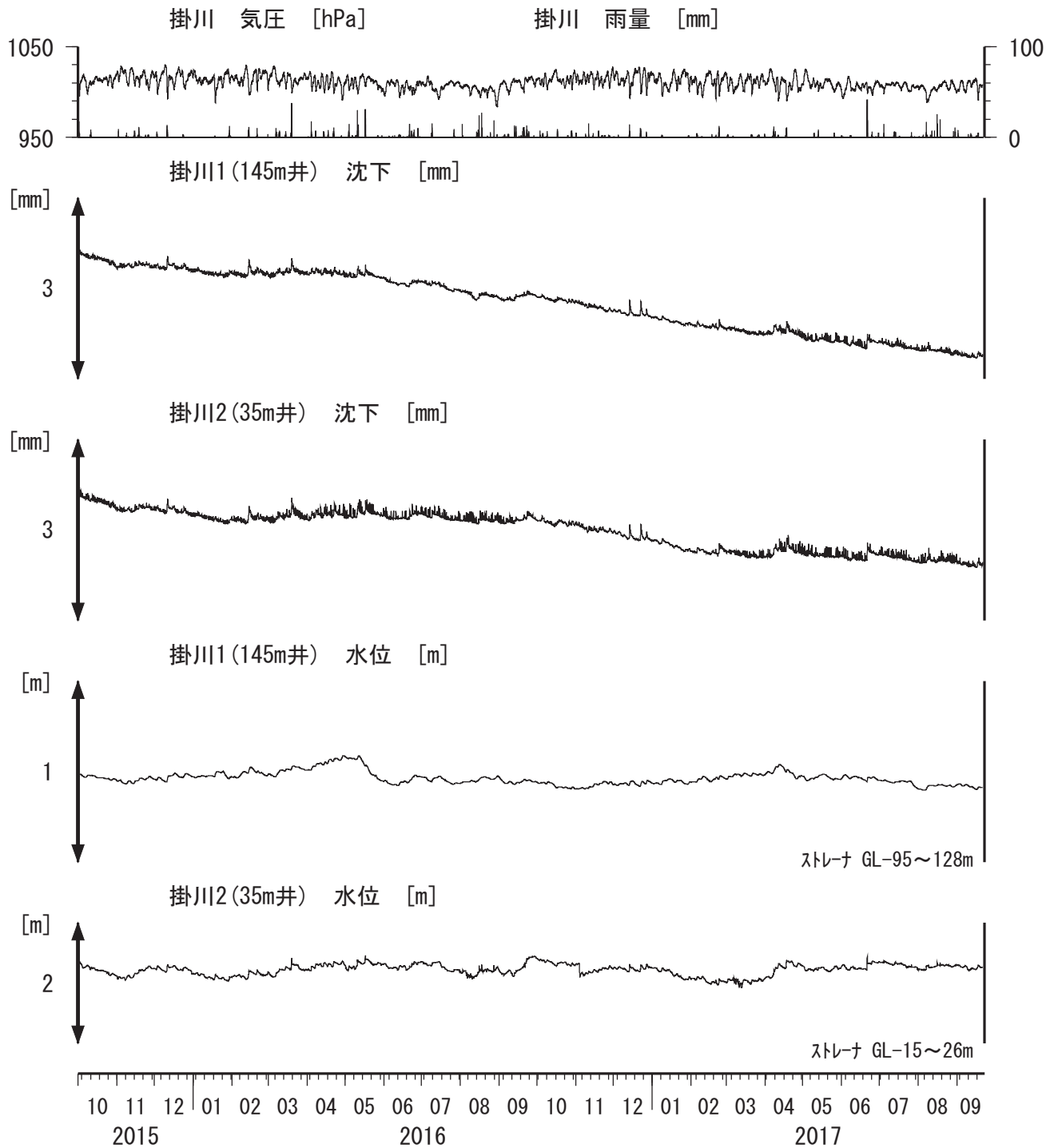
浜岡沈下・水位（時間値） (2015/10/01 00:00 - 2017/09/23 00:00 (JST))



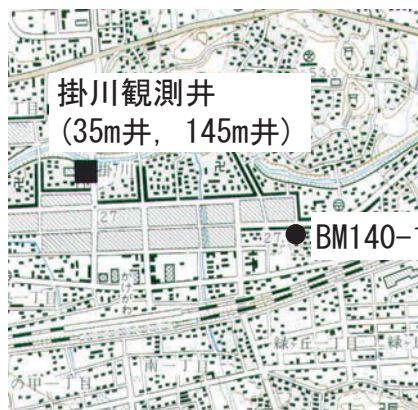
コメント：\$: 保守. ?; 不明.
 @: 月初めの補正値のギャップは、
 解析プログラムの見かけ上
 のものである。



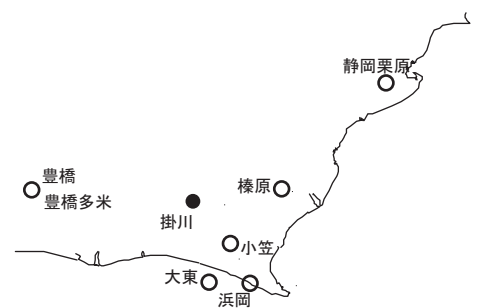
掛川沈下・水位 (時間値)
(2015/10/01 00:00 - 2017/09/23 00:00 (JST))



コメント：\$;保守.
?;原因不明.



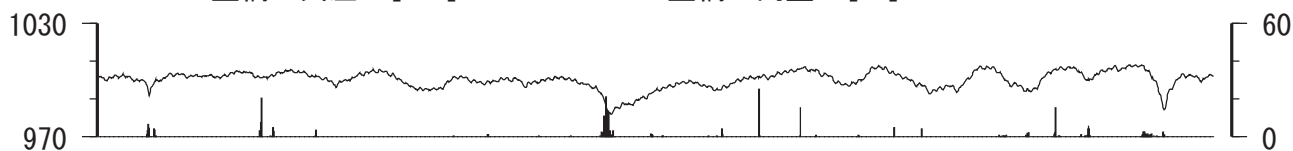
0 500 m



東海地域西部（豊橋・豊橋多米）中期 （時間値）
 (2017/07/01 00:00 - 2017/09/23 00:00 (JST))

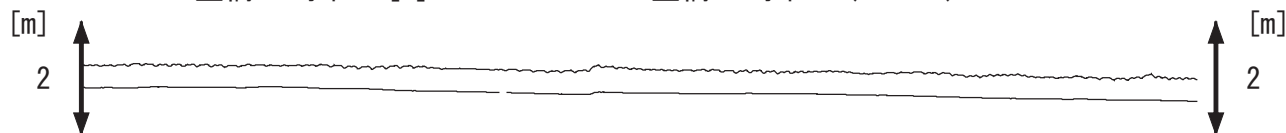
豊橋 気圧 [hPa]

豊橋 雨量 [mm]



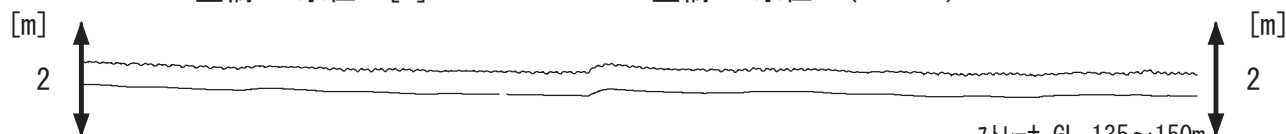
豊橋1 水位 [m]

豊橋1 水位 (BAYTAP)



豊橋2 水位 [m]

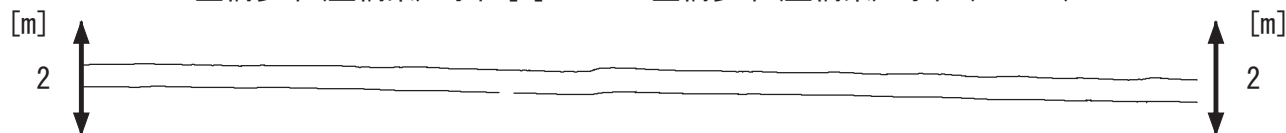
豊橋2 水位 (BAYTAP)



ストレナ GL-182~198m

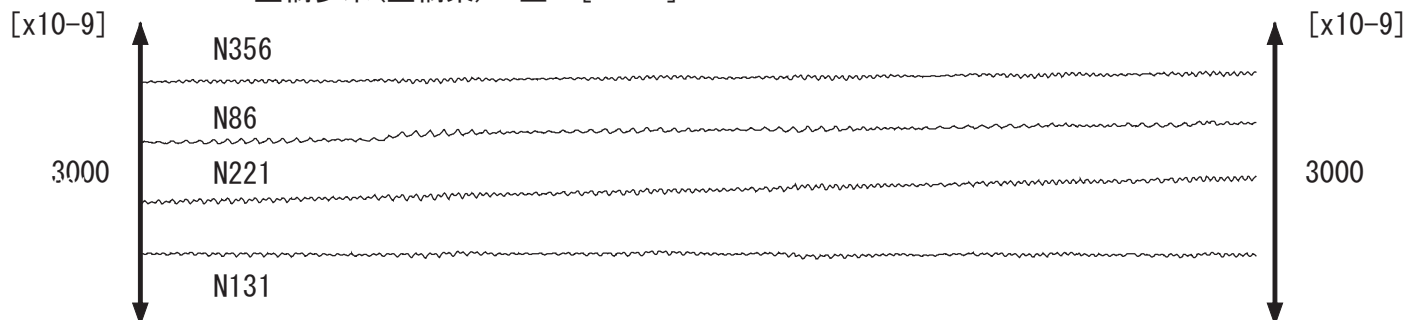
豊橋多米(豊橋東) 水位 [m]

豊橋多米(豊橋東) 水位 (BAYTAP)

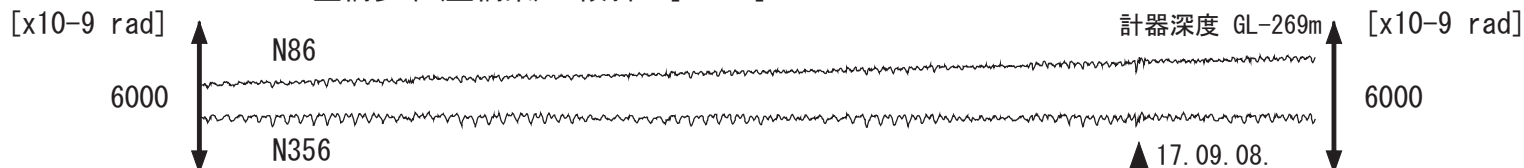


ストレナ GL-186~208m

豊橋多米(豊橋東) 歪 [x10-9]



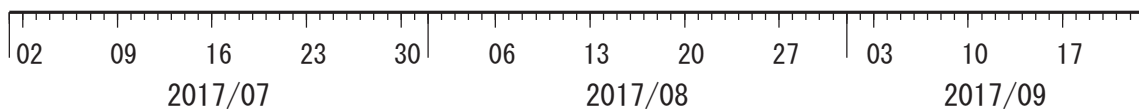
豊橋多米(豊橋東) 傾斜 [x10-9]



計器深度 GL-269m

計器深度 GL-269m

17. 09. 08.
メキシコの地震
(M8. 2)

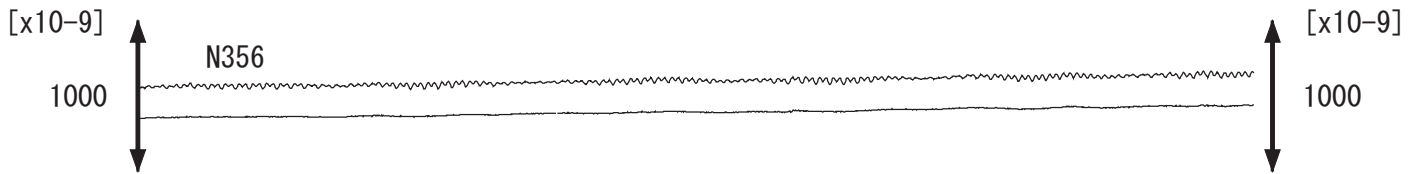


コメント：*;雨量補正不十分。\$;保守。?;不明。

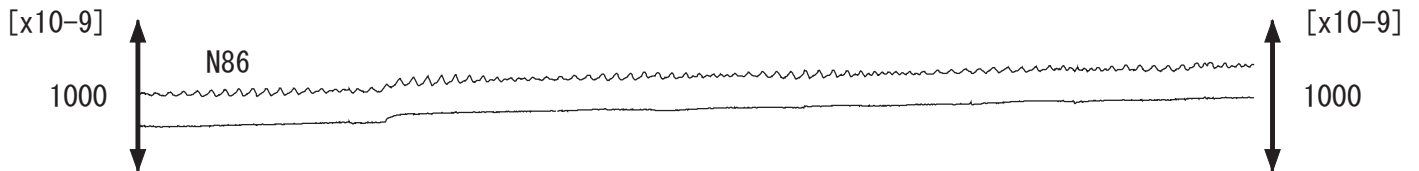


東海地域西部（豊橋多米 歪）中期 （時間値）
 (2017/07/01 00:00 - 2017/09/23 00:00 (JST))

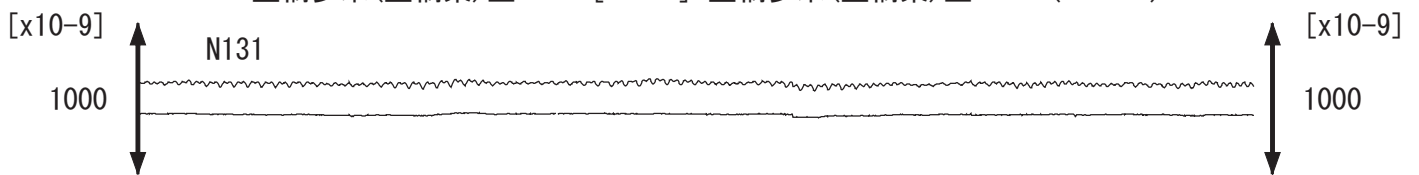
豊橋多米(豊橋東)歪N356E [x10⁻⁹] 豊橋多米(豊橋東)歪N356E (BAYTAP)



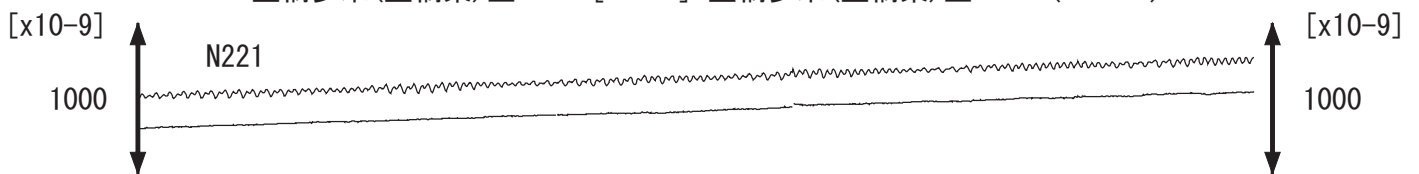
豊橋多米(豊橋東)歪N86E [x10⁻⁹] 豊橋多米(豊橋東)歪N86E (BAYTAP)



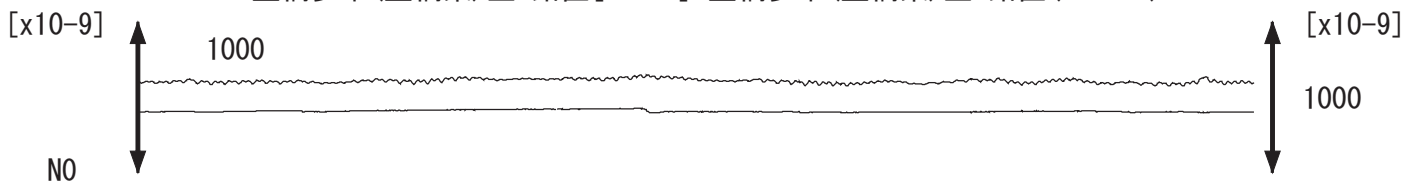
豊橋多米(豊橋東)歪N131E [x10⁻⁹] 豊橋多米(豊橋東)歪N131E (BAYTAP)



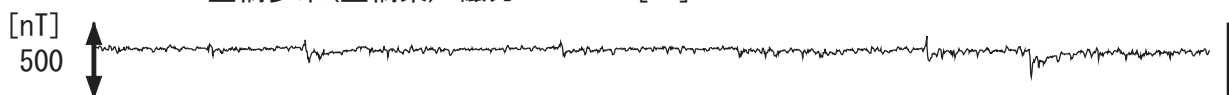
豊橋多米(豊橋東)歪N221E [x10⁻⁹] 豊橋多米(豊橋東)歪N221E (BAYTAP)



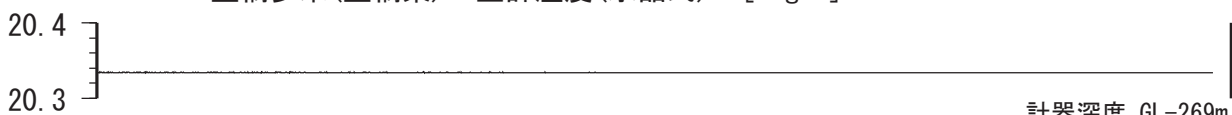
豊橋多米(豊橋東)歪鉛直 [x10⁻⁹] 豊橋多米(豊橋東)歪鉛直 (BAYTAP)



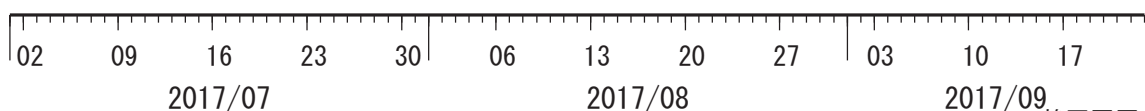
豊橋多米(豊橋東)磁力 N356E [nT]



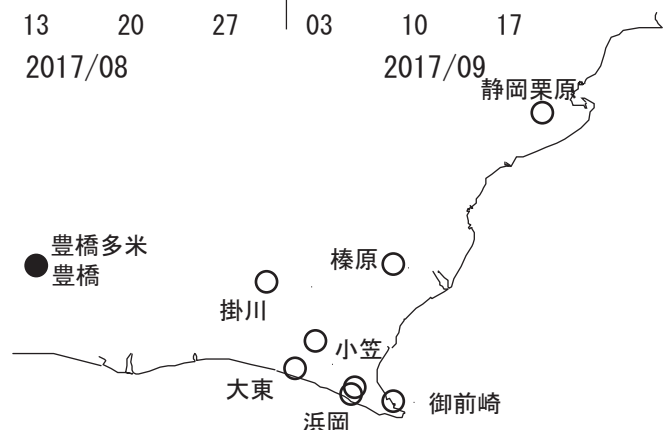
豊橋多米(豊橋東)歪計温度(水晶式) [deg. C]



計器深度 GL-269m



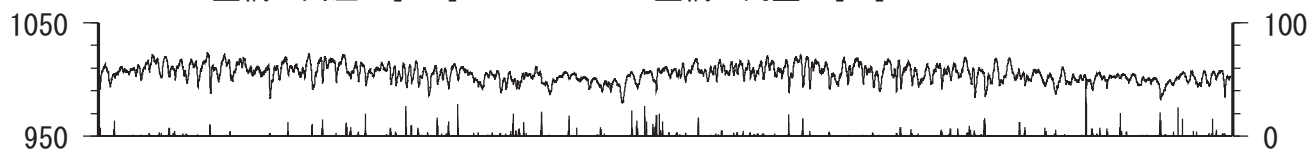
コメント：\$*;雨量補正不十分。\$;保守。?;不明。



東海地域西部（豊橋・豊橋多米）長期（時間値）
 (2015/10/01 00:00 - 2017/09/23 00:00 (JST))

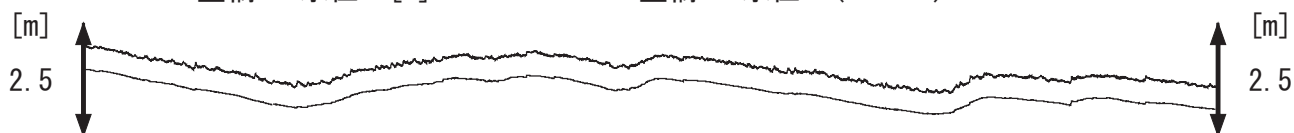
豊橋 気圧 [hPa]

豊橋 雨量 [mm]



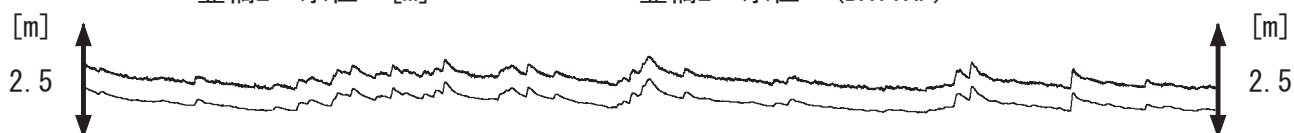
豊橋1 水位 [m]

豊橋1 水位 (BAYTAP)



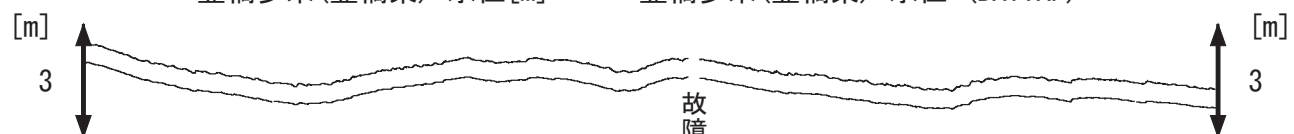
豊橋2 水位 [m]

豊橋2 水位 (BAYTAP)

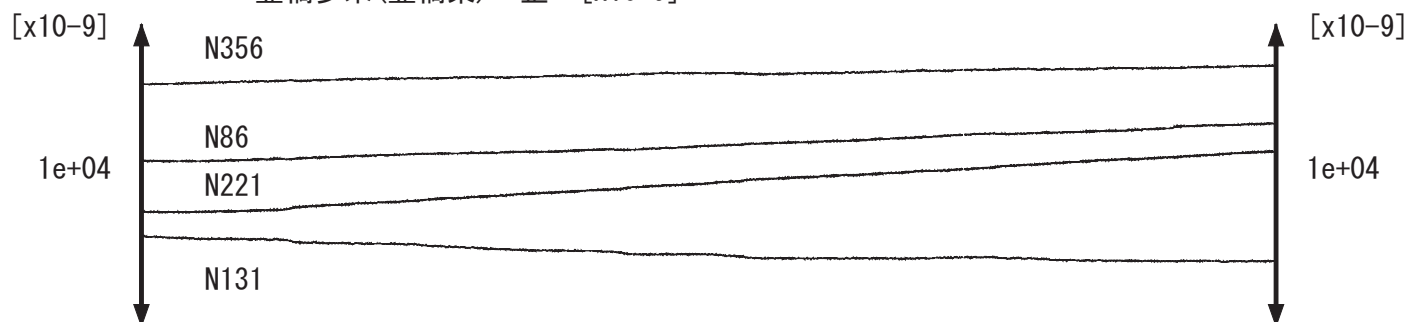


豊橋多米(豊橋東) 水位 [m]

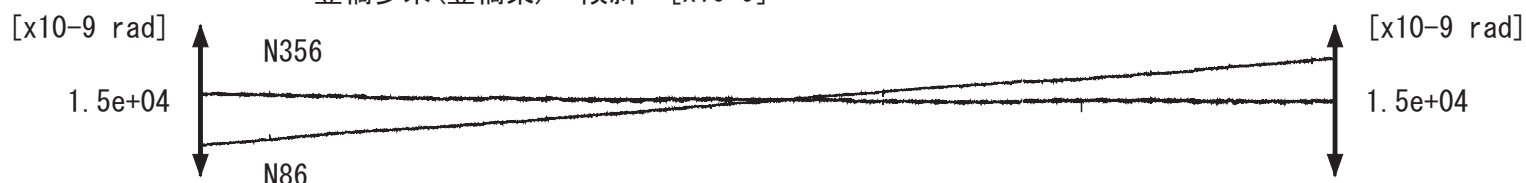
豊橋多米(豊橋東) 水位 (BAYTAP)



豊橋多米(豊橋東) 歪 [x10-9]



豊橋多米(豊橋東) 傾斜 [x10-9]

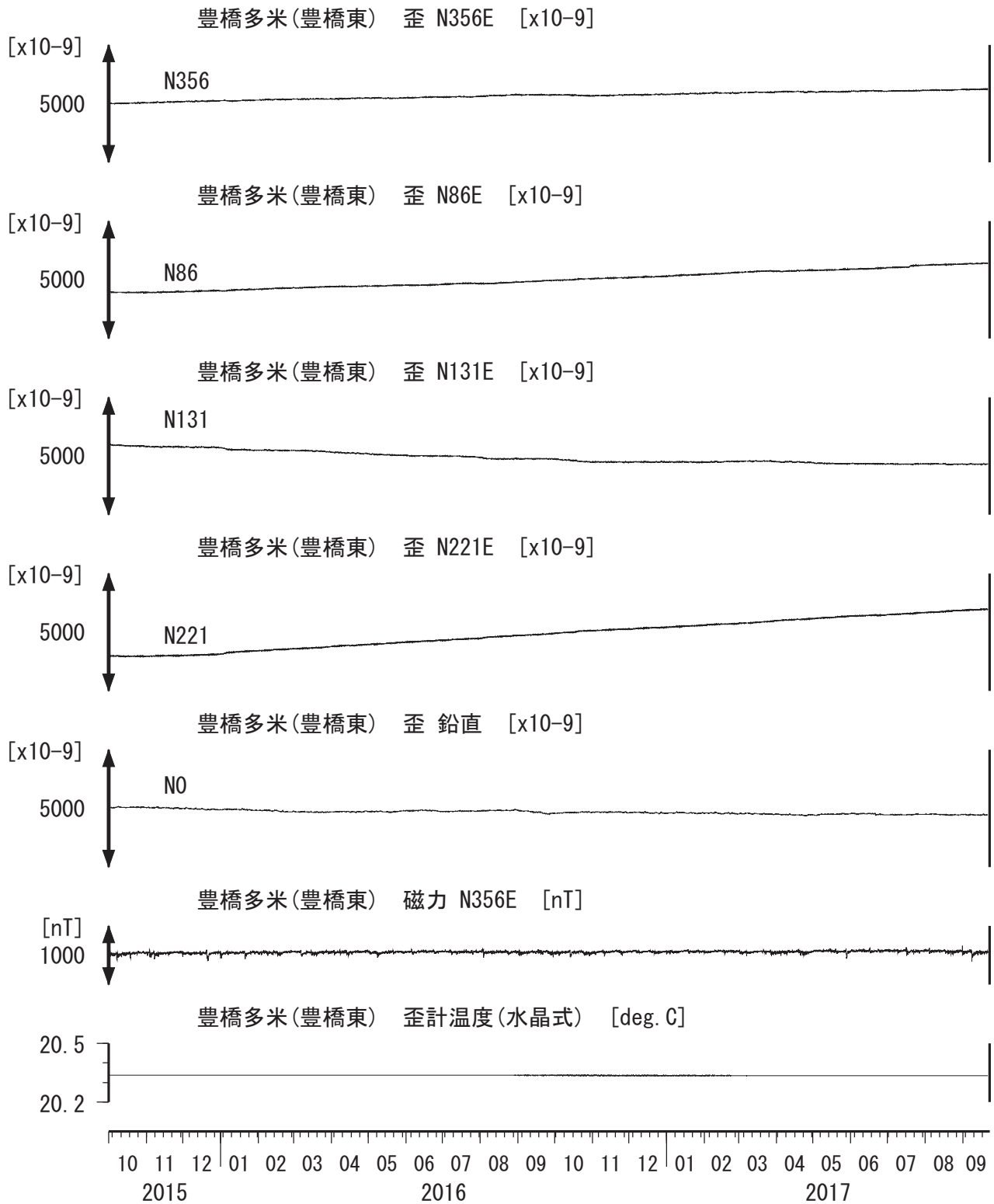


10 11 12 | 01 02 03 04 05 06 07 08 09 | 10 11 12 | 01 02 03 04 05 06 07 08 09
 2015 2016 2017

コメント：*;雨量補正不十分. \$;保守. ?;不明.



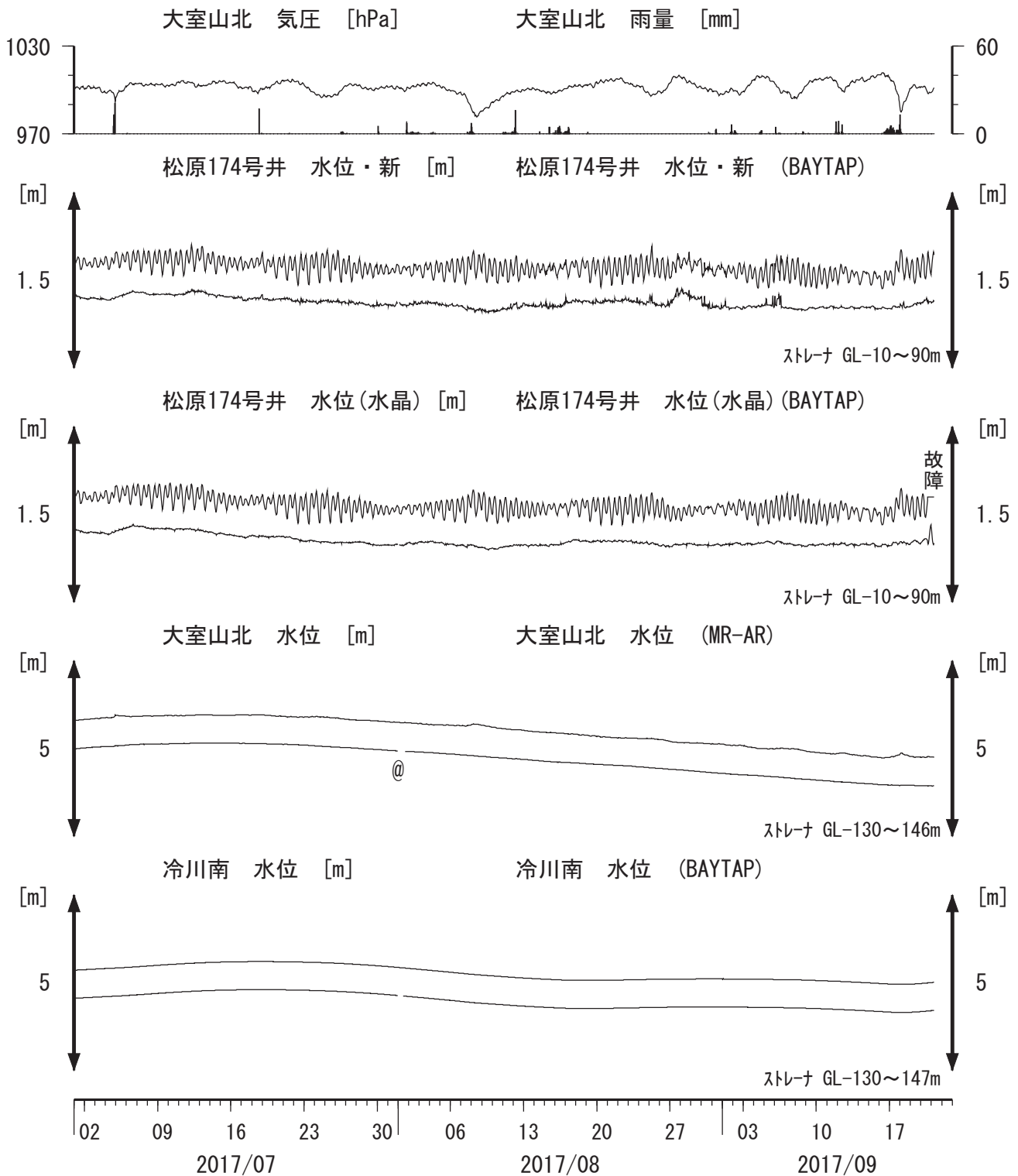
東海地域西部（豊橋多米 歪）長期（時間値）
 (2015/10/01 00:00 - 2017/09/23 00:00 (JST))



コメント：\$;保守。?;原因不明.



伊豆半島東部 地下水位 中期 (時間値)
(2017/07/01 00:00 - 2017/09/23 00:00 (JST))

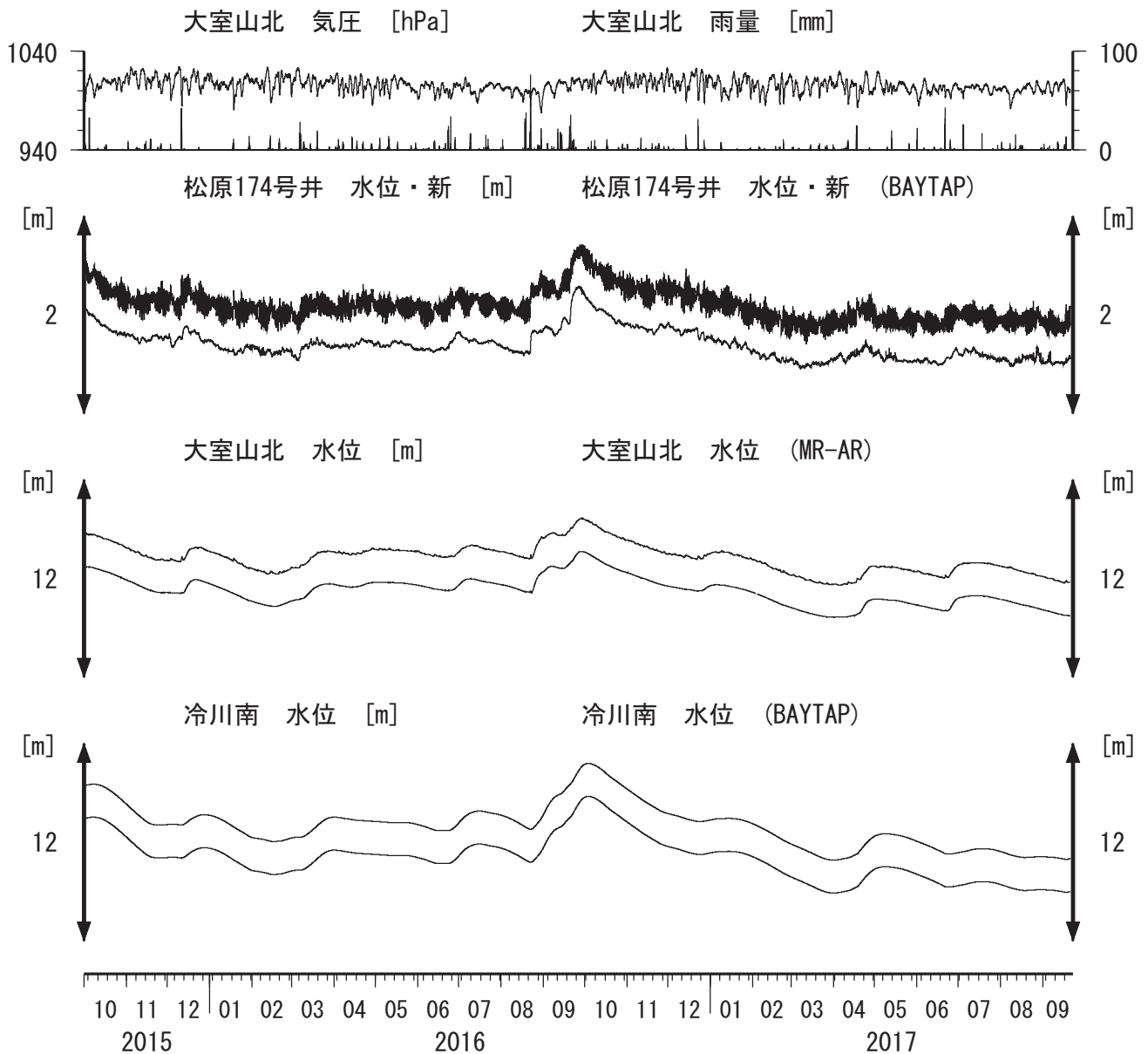


コメント：*;雨量補正不十分。\$;保守。?;不明。

@;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。
松原174号井は静岡県による観測。
松原174の水位計が長期的にドリフトしていることが
分かったので、2014年7月4日に新たに水位計を
設置して平行観測している。2015年3月5日に
旧水位計を新しい水晶式水位計に更新した。
新しい水晶式水位計においてもドリフトが発生しており
2016年5月10日と2016年11月4日に改良版に交換したが
解決していない。更に2016年11月16日に交換した。



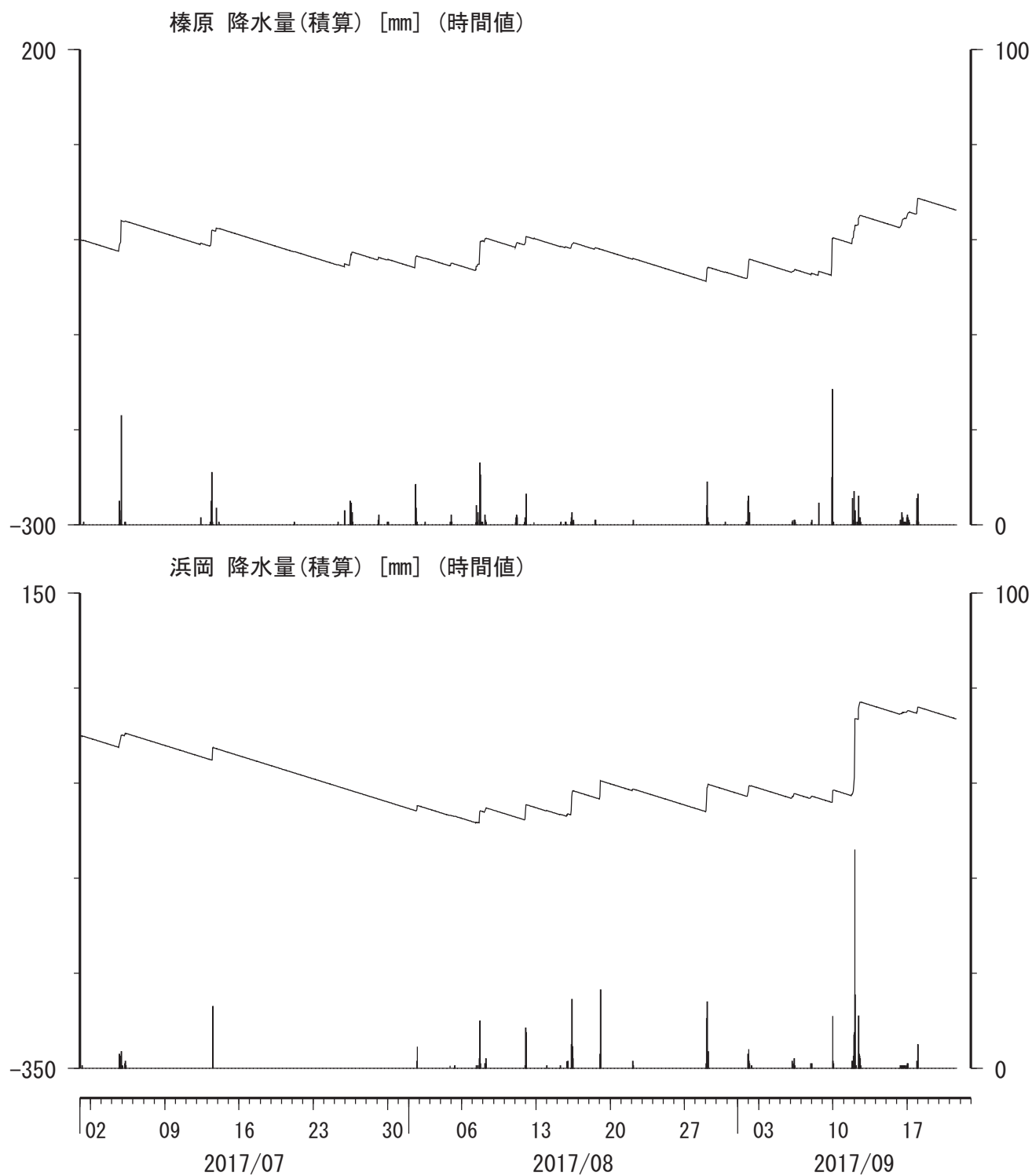
伊豆半島東部 地下水位 長期 (時間値)
(2015/10/01 00:00 - 2017/09/23 00:00 (JST))



コメント：*;雨量補正不十分。\$;保守。?;不明。
 松原174号井は静岡県による観測。
 松原174の水位計が長期的にドリフトしていることが
 分かったので、2014年7月4日に新たに水位計を
 設置して平行観測している。2015年3月5日に
 旧水位計を新しい水晶式水位計に更新した。



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]
(2017/07/01 00:00 - 2017/09/23 00:00 (JST))



コメント：トレンドは、グラフに示している期間で求めている。

榛原 降水量(積算) [mm] (時間値)



産業技術総合研究所(産総研)の紀伊半島～愛知県の11観測点(図1)における2017年7月1日から9月21日までの歪・傾斜・地下水および気象観測結果を図2～21に示す。また、産総研がエンベロープ相関法を用いて決定した、深部低周波微動の震源時空間分布および個数を図22～23に示す。

2017年9月3日から5日にかけて、奈良県南部で微動活動が観測された(図24)。図25は微動活動周辺の産総研・防災科研の観測点における歪・傾斜の観測結果である。これらの結果はBAYTAP-Gにより気圧応答成分、潮汐成分およびホワイトノイズ成分を取り除き、2017年8月20日から9月2日のデータを用いて1次トレンドを除去したものである。

図26は図25[A]の変化を説明する短期的SSEの推定結果(Mw 5.8)である。今回の活動域付近における最近の短期的SSEの活動は、2017年4月20日から25日午前(Mw 5.8; 図9の灰色矩形1)、2017年4月25日午後から30日(Mw 5.8; 同2)、2017年5月4日から8日(Mw 5.5; 同3)、2017年5月22日から26日(Mw 5.7; 同4)、2017年7月25日から28日(Mw 5.4; 同5)、および2017年8月2日から6日(Mw 5.5; 同6)、である。

解析方法

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

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

深部低周波微動の検出・震源決定には、エンベロープ相関法を用いている。

謝辞

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

参考文献

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

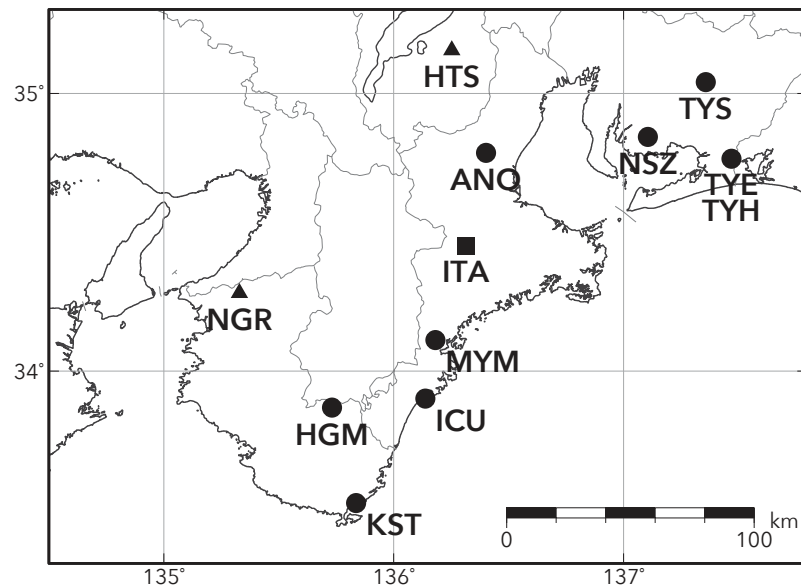


図1 紀伊半島～愛知県における地下水等総合観測施設の分布図(●・■・▲)。(●)はデジタル方式の石井式歪計・傾斜計を併設している観測点, (■)はGladwin式歪計・ミットヨ式傾斜計を併設している観測点, (▲)はアナログ方式の石井式歪計を併設している観測点を示す。

表1 産総研観測点の名称

3文字コード	名称	ふりがな	市区町村	図
TYS	豊田神殿	とよたかんの	愛知県豊田市	2, 3
NSZ	西尾善明	にしおぜんみょう	愛知県西尾市	4, 5
TYE	豊橋多米	とよはしため	愛知県豊橋市	6, 7
HTS	愛荘香之庄	あいしょうこのしょう	滋賀県愛知郡愛荘町	8
ANO	津安濃	つあのを	三重県津市	9, 10
ITA	松阪飯高	まつさかいいたか	三重県松阪市	11, 12
MYM	紀北海山	きほくみやま	三重県北牟婁郡紀北町	13, 14
ICU	熊野磯崎	くまのいそざき	三重県熊野市	15, 16
HGM	田辺本宮	たなべほんぐう	和歌山県田辺市	17, 18
KST	串本津荷	くしもとつが	和歌山県東牟婁郡串本町	19, 20
NGR	岩出東坂本	いわでひがしさかもと	和歌山県岩出市	21

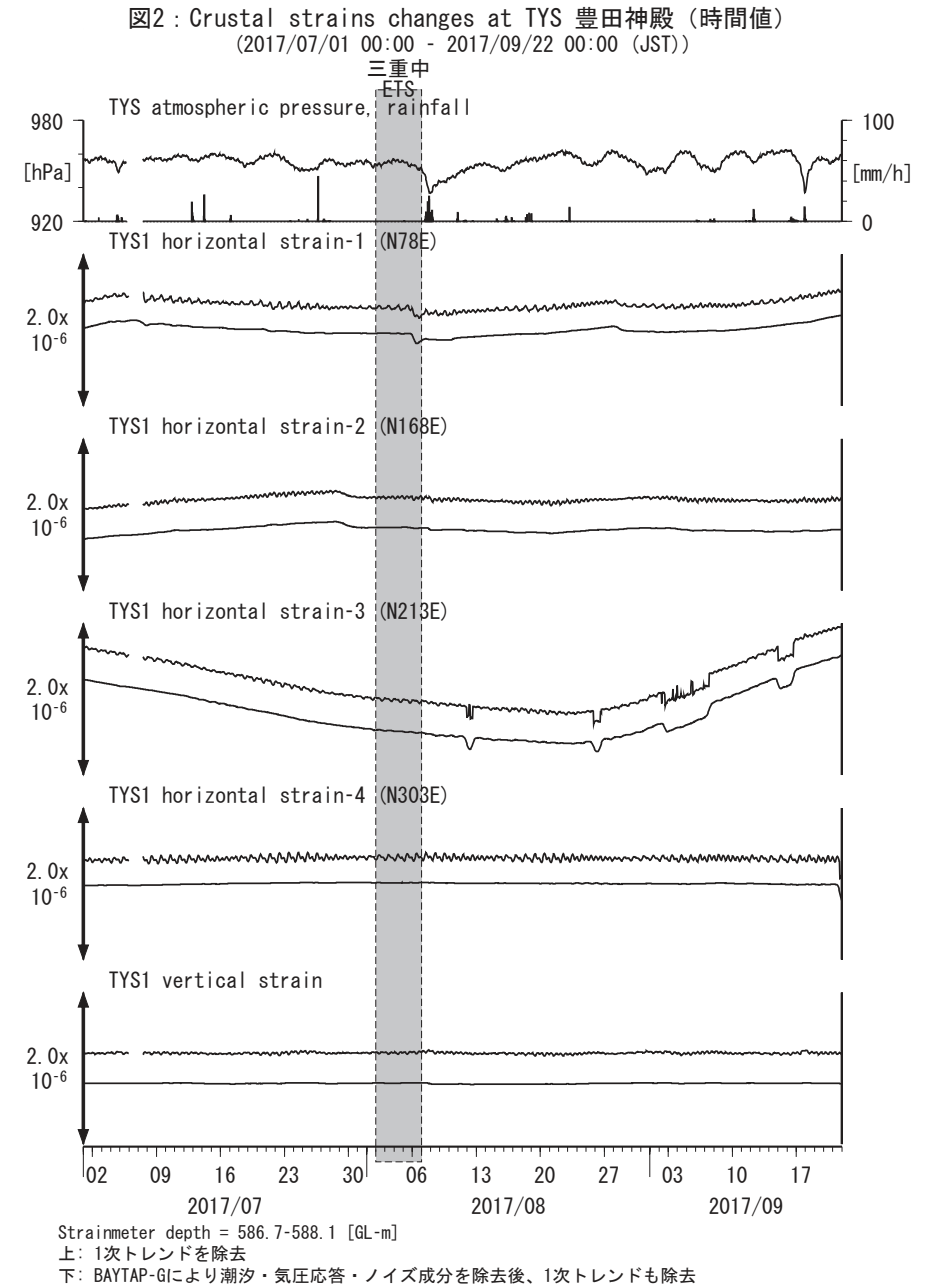
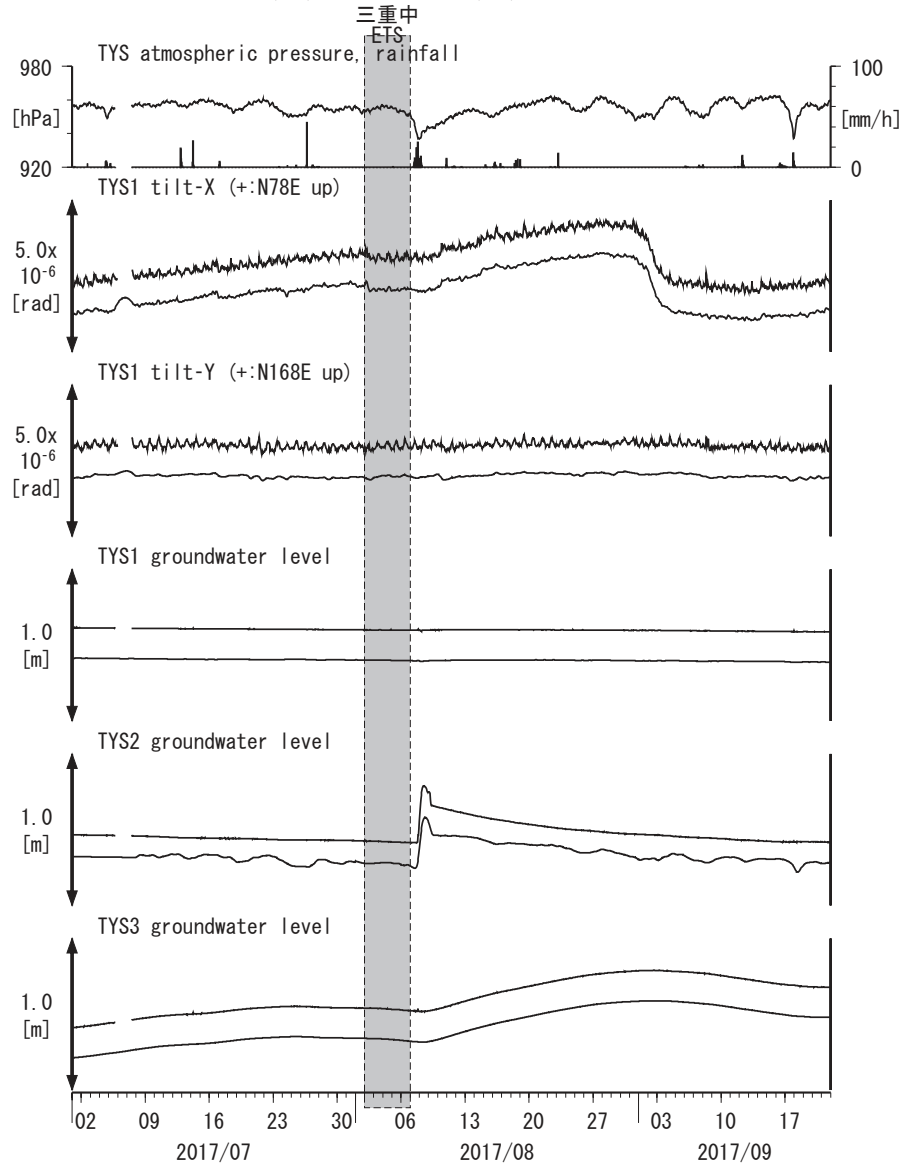


図3: Tilt and groundwater level changes at TYS 豊田神殿 (時間値)
(2017/07/01 00:00 - 2017/09/22 00:00 (JST))

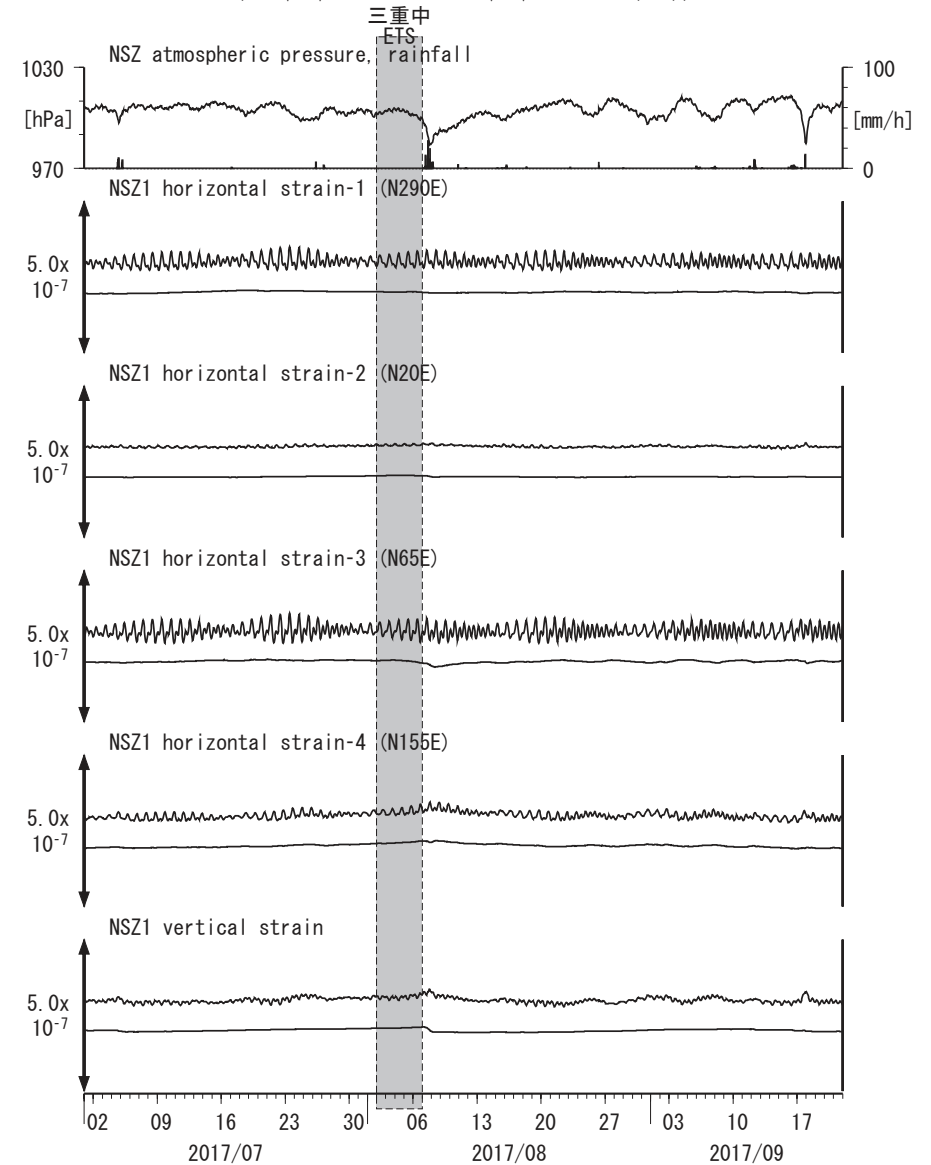


Tiltmeter depth = 585.9-586.7 [GL-m]
TYS1 : Screen depth = 404.8-426.7 [GL-m]
TYS2 : Screen depth = 148.8-154.3 [GL-m]
TYS3 : Screen depth = 26.8-32.3 [GL-m]

上: tiltは1次トレンド除去

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

図4: Crustal strains changes at NSZ 西尾善明 (時間値)
(2017/07/01 00:00 - 2017/09/22 00:00 (JST))

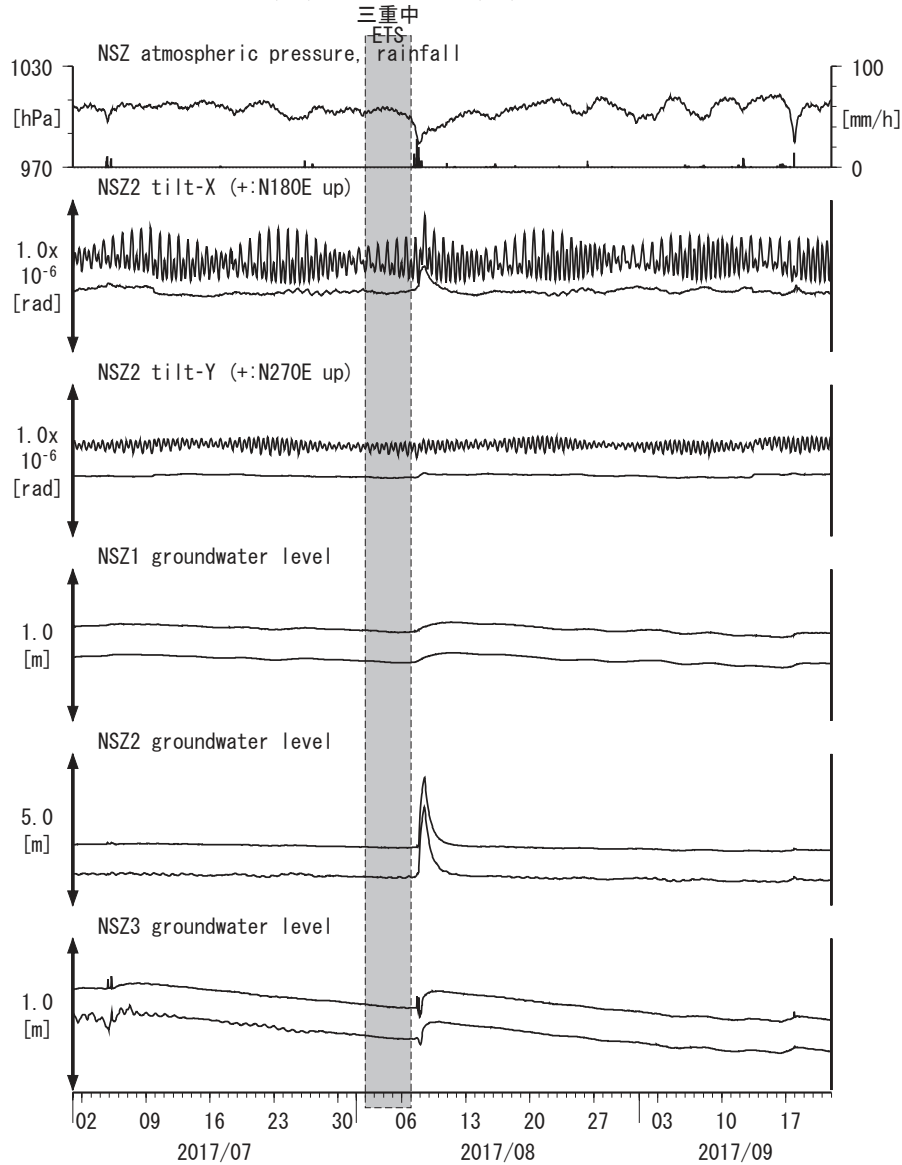


Strainmeter depth = 582.3-584.3 [GL-m]

上: 1次トレンドを除去

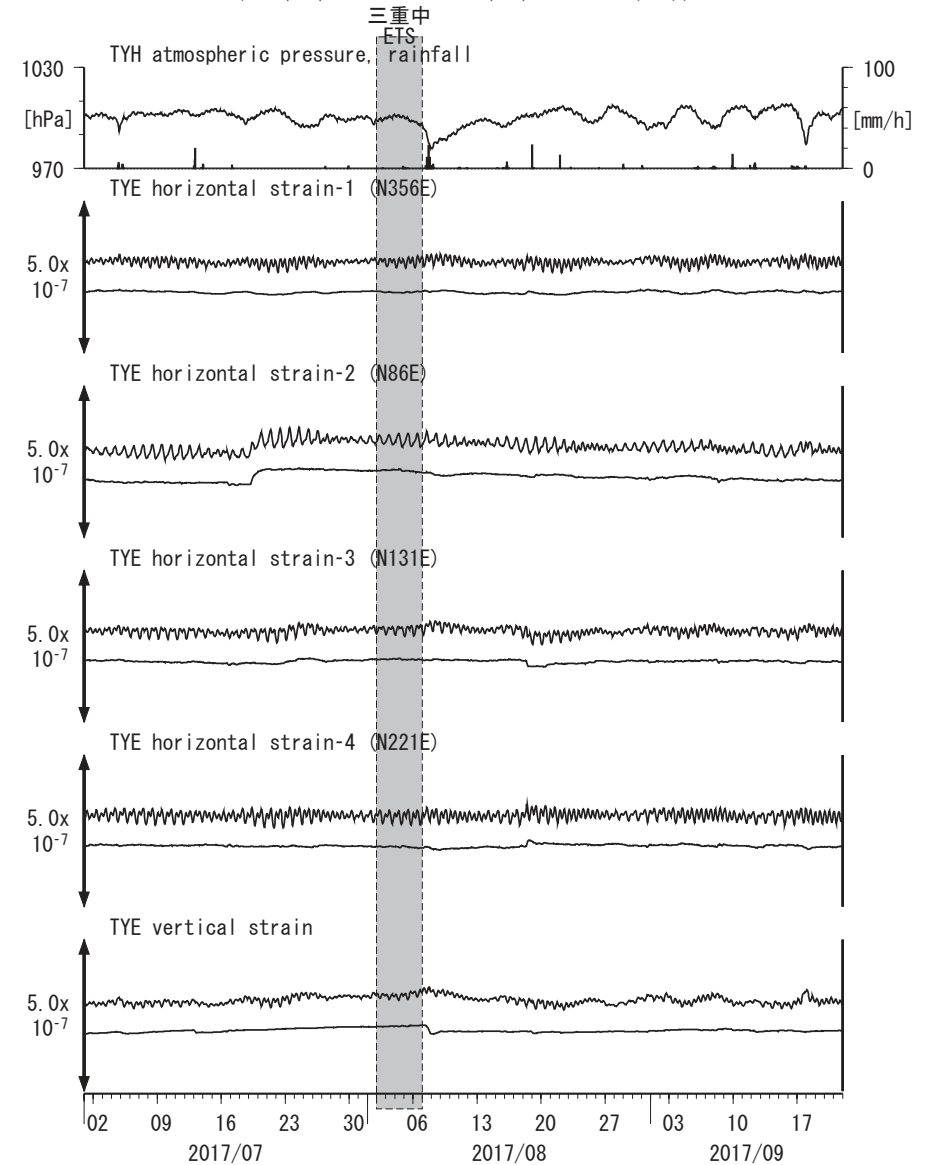
下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分を除去後、1次トレンドも除去

図5: Tilt and groundwater level changes at NSZ 西尾善明 (時間値)
(2017/07/01 00:00 - 2017/09/22 00:00 (JST))



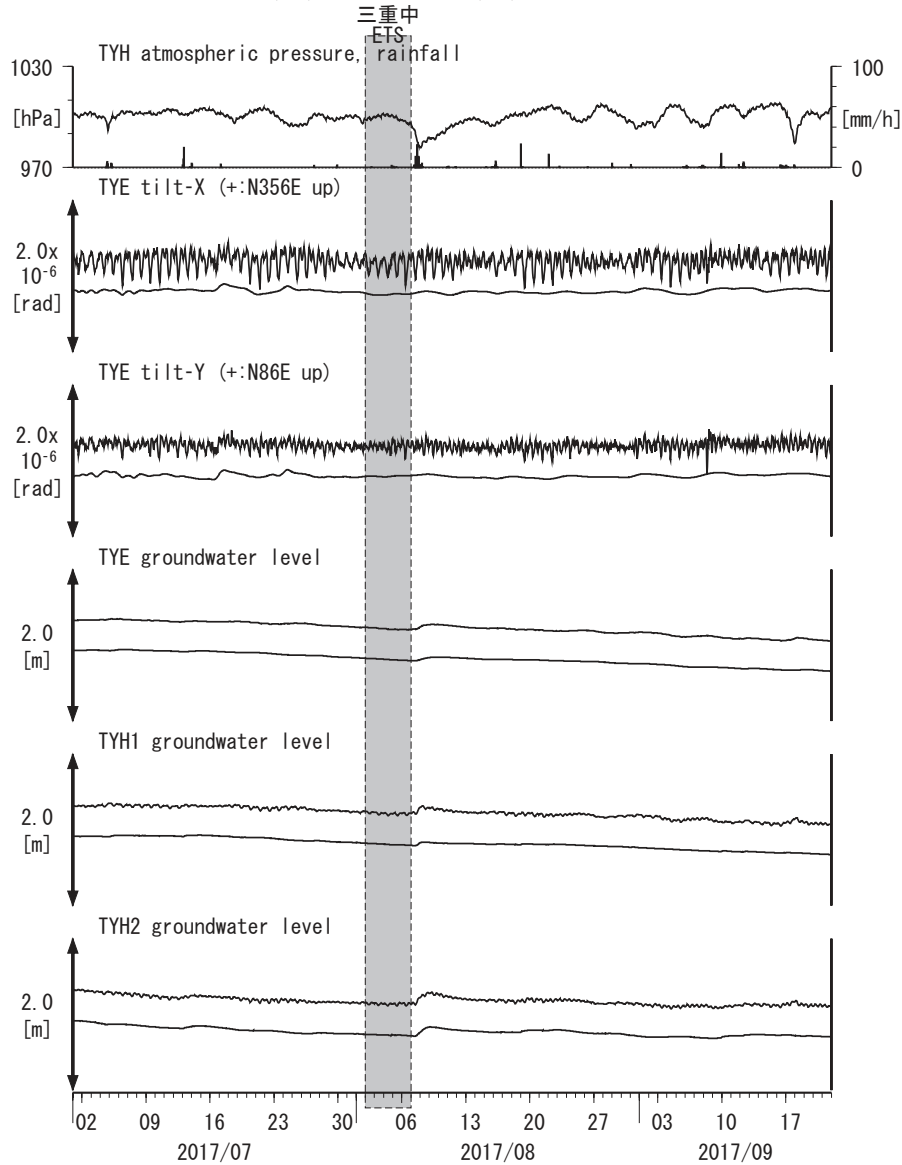
Tiltmeter depth = 194.7-195.3 [GL-m]
 NSZ1 : Screen depth = 398.3-409.2 [GL-m]
 NSZ2 : Screen depth = 149.3-160.2 [GL-m]
 NSZ3 : Screen depth = 25.6-31.1 [GL-m]
 上: tiltは1次トレンド除去
 下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答成分除去、tiltは1次トレンドも除去

図6: Crustal strain changes at TYE 豊橋多米 (時間値)
(2017/07/01 00:00 - 2017/09/22 00:00 (JST))



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7: Tilt and groundwater level changes at TYE and TYH 豊橋多米・豊橋
(2017/07/01 00:00 - 2017/09/22 00:00 (JST))

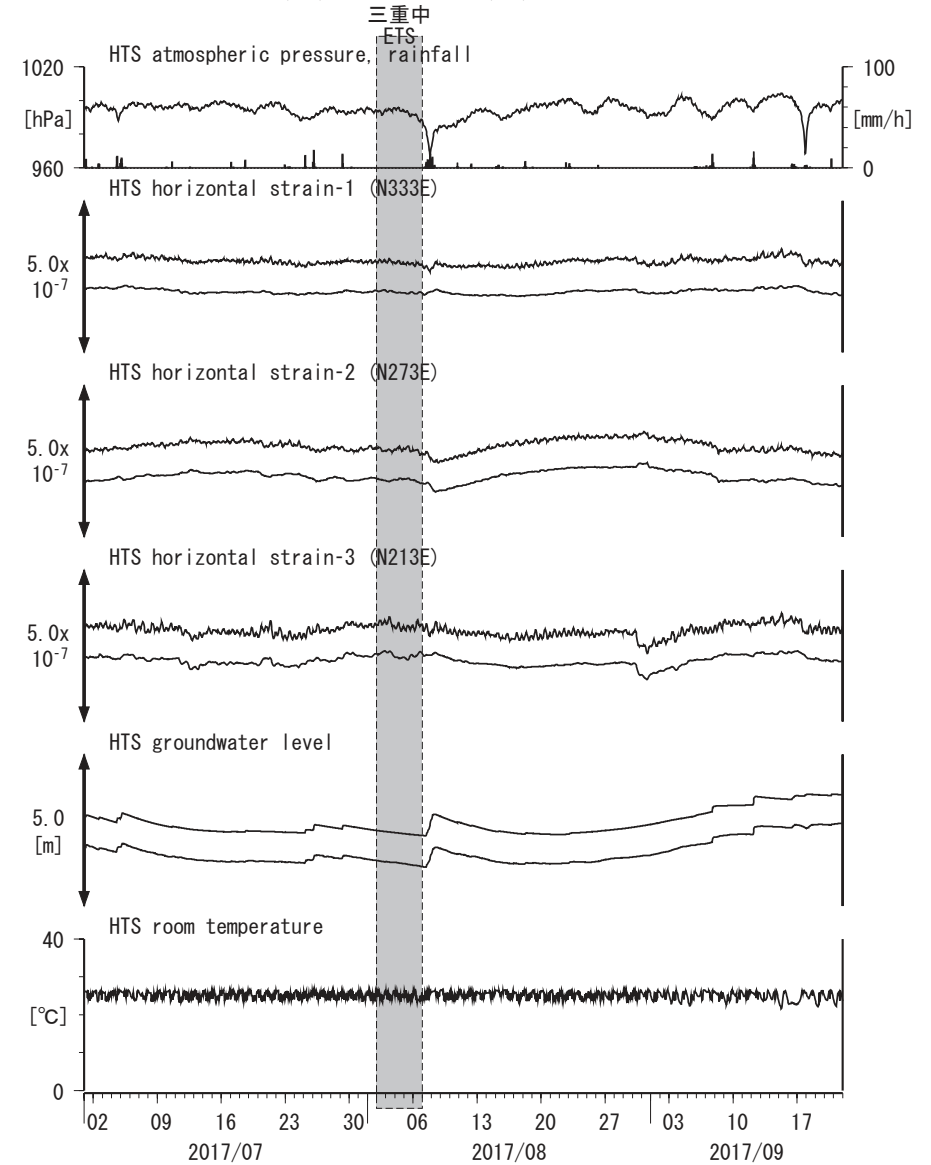


Tiltmeter depth = 265.6-266.5 [GL-m]
TYE : Screen depth = 185.9-207.8 [GL-m]
TYH1 : Screen depth = 178.6-200.4 [GL-m]
TYH2 : Screen depth = 133.7-150.0 [GL-m]

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

図8: Crustal strain and groundwater level changes at HTS 愛荘香之庄
(2017/07/01 00:00 - 2017/09/22 00:00 (JST))

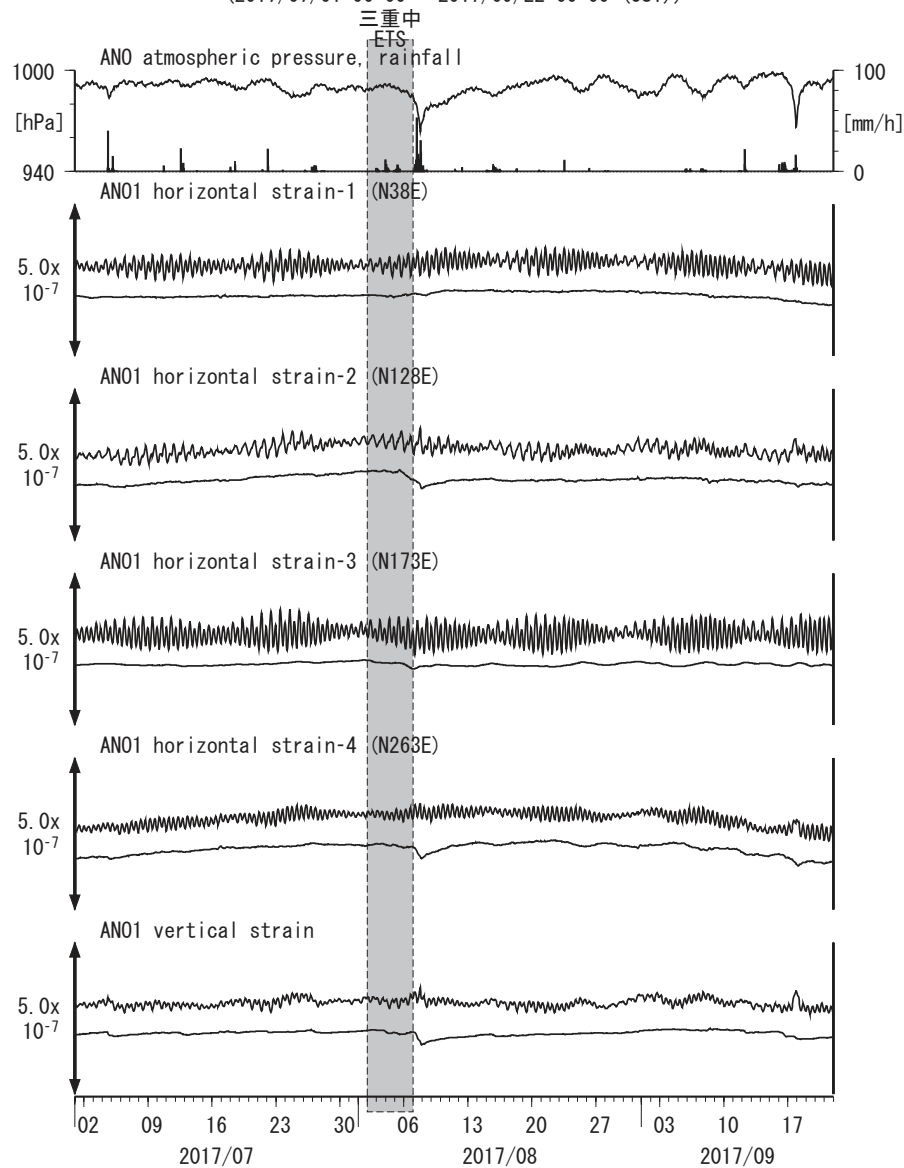


Strainmeter depth = 435.0-436.2 [GL-m]
Screen depth = 338.3-360.1 [GL-m]

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、strainは1次トレンドも除去

図9: Crustal strains changes at ANO 津安濃 (時間値)
(2017/07/01 00:00 - 2017/09/22 00:00 (JST))

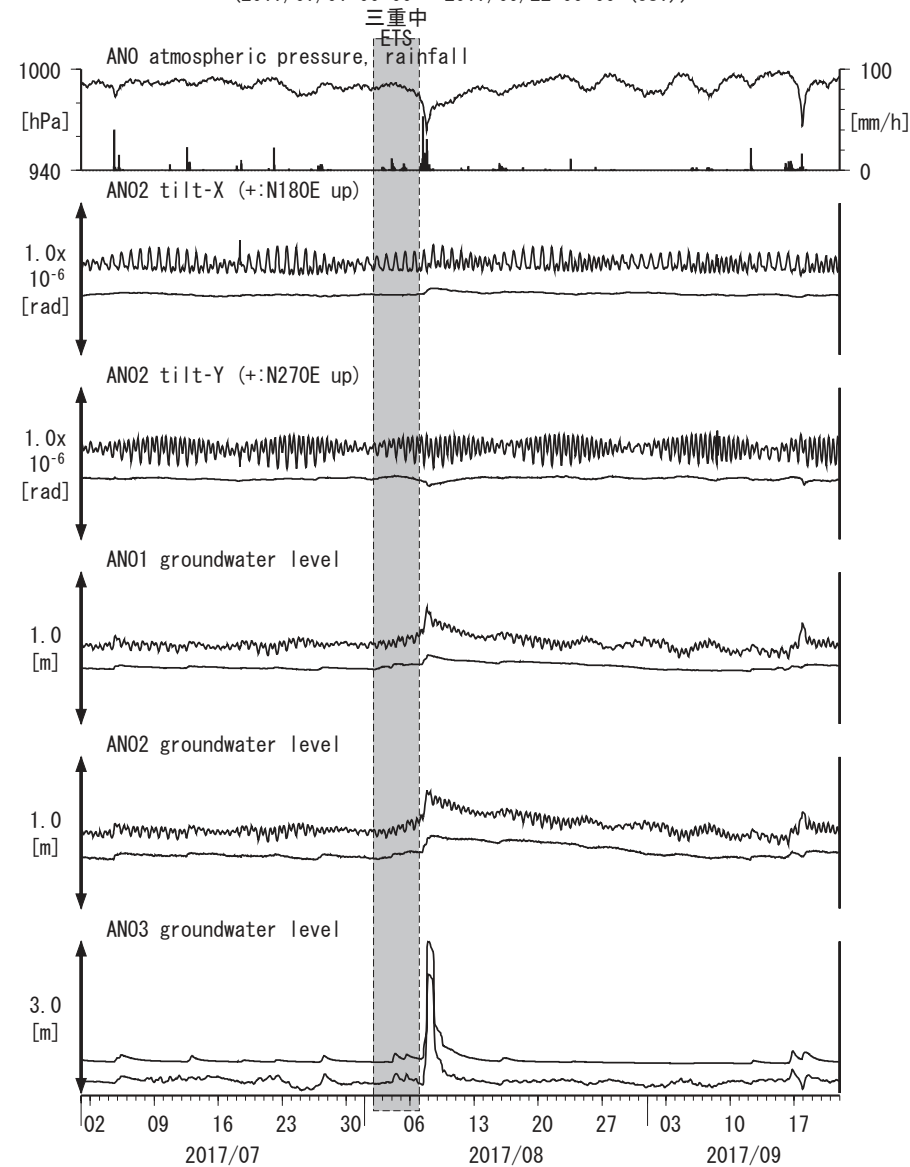


Strainmeter depth = 588.9-590.3 [GL-m]

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

図10: Tilt and groundwater level changes at ANO 津安濃 (時間値)
(2017/07/01 00:00 - 2017/09/22 00:00 (JST))



Tiltmeter depth = 236.6-237.3 [GL-m]

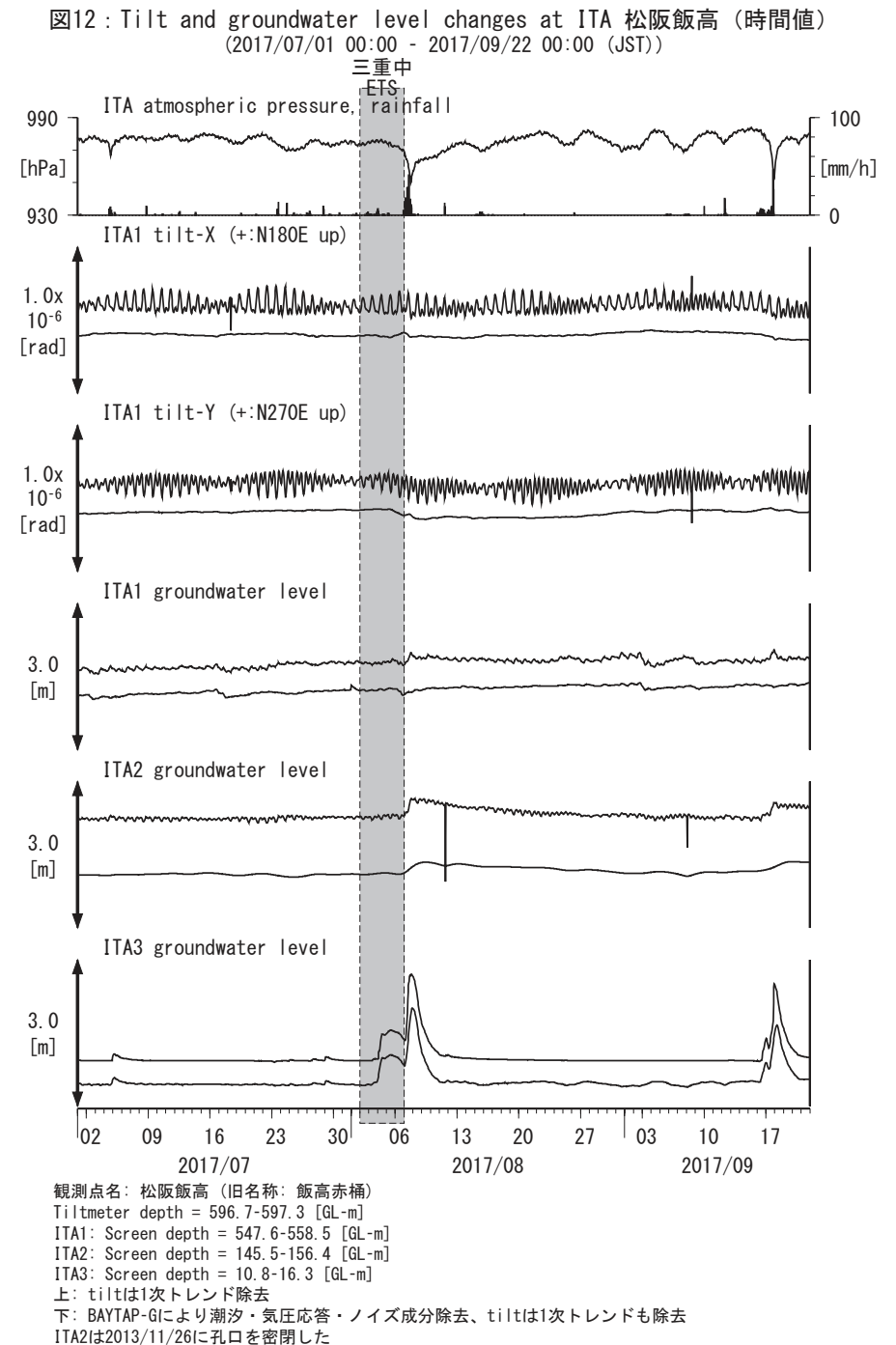
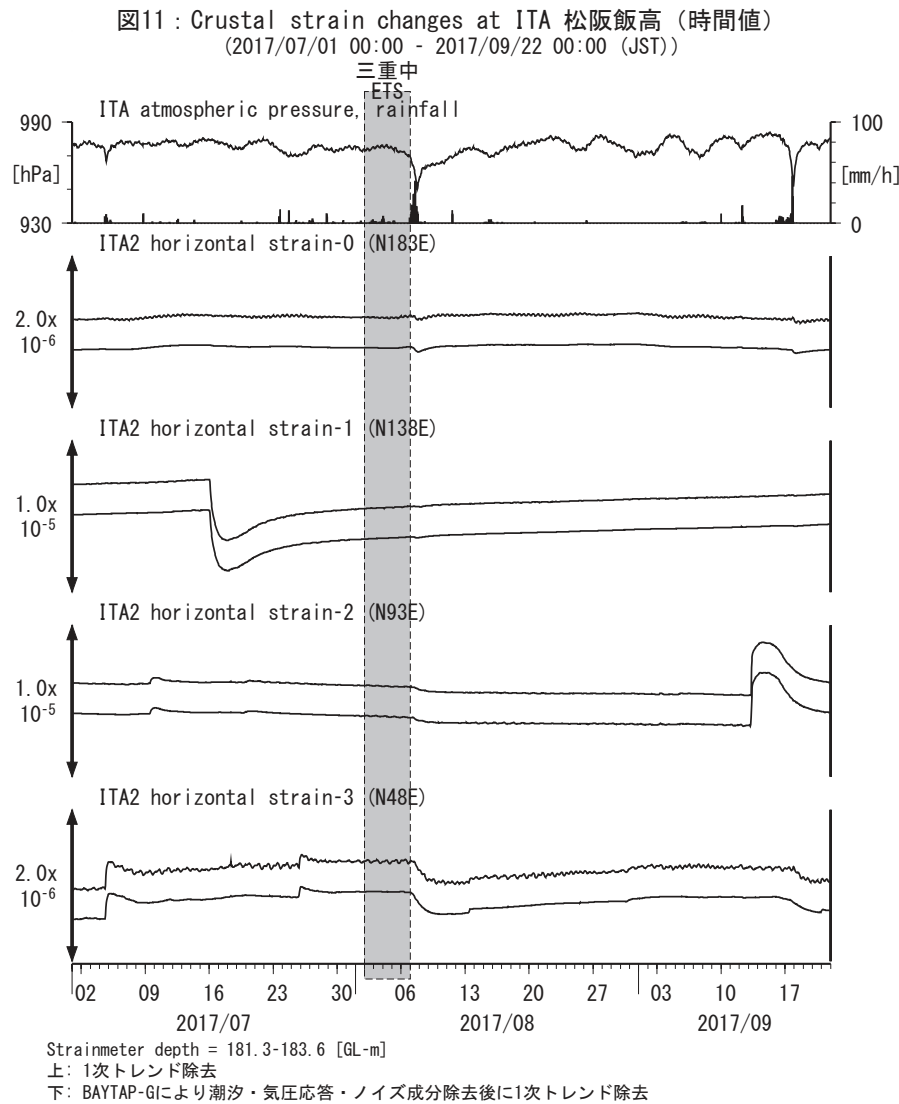
ANO1 : Screen depth = 502.9-513.8 [GL-m]

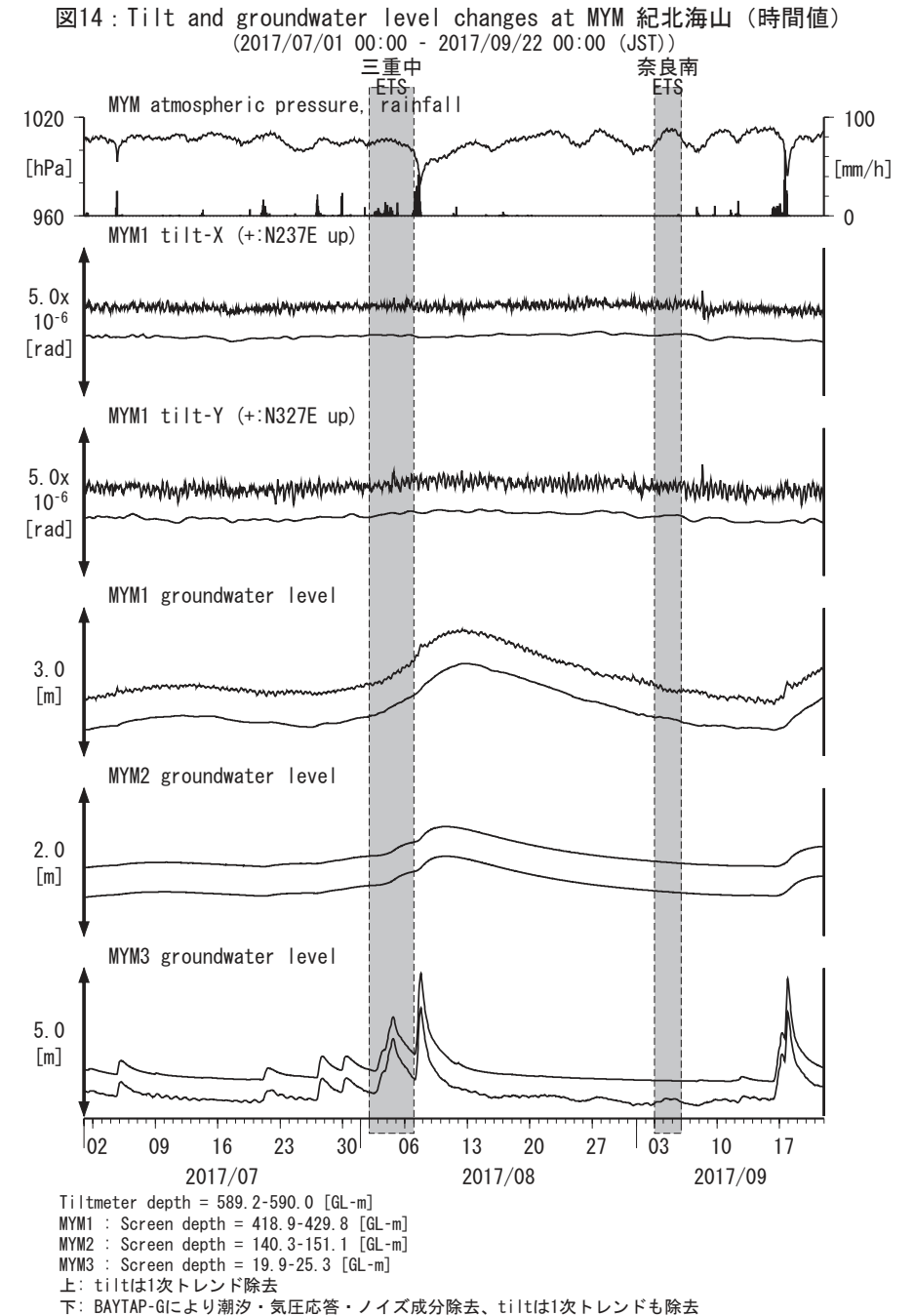
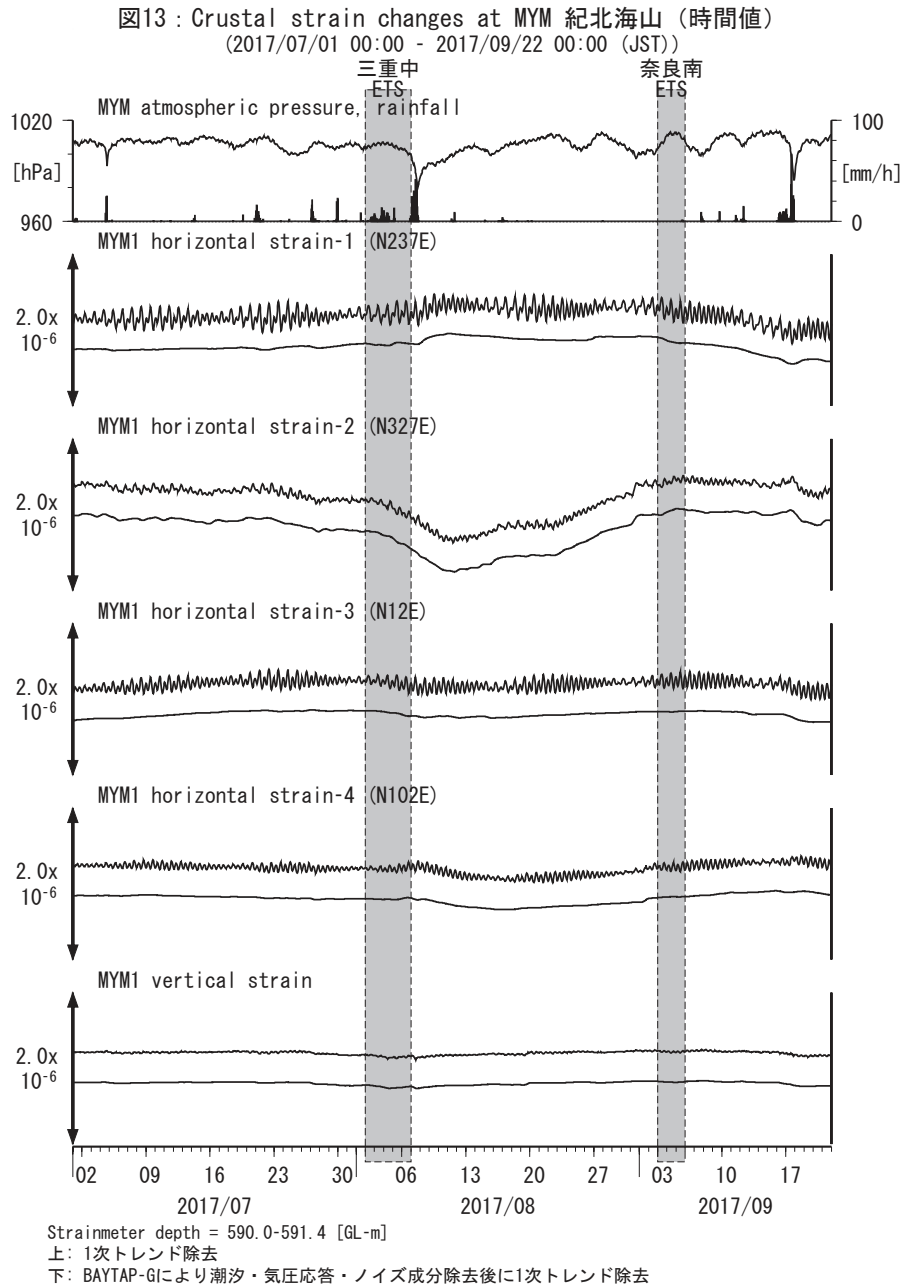
ANO2 : Screen depth = 197.5-208.5 [GL-m]

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・ノイズ成分除去、tiltは1次トレンドも除去





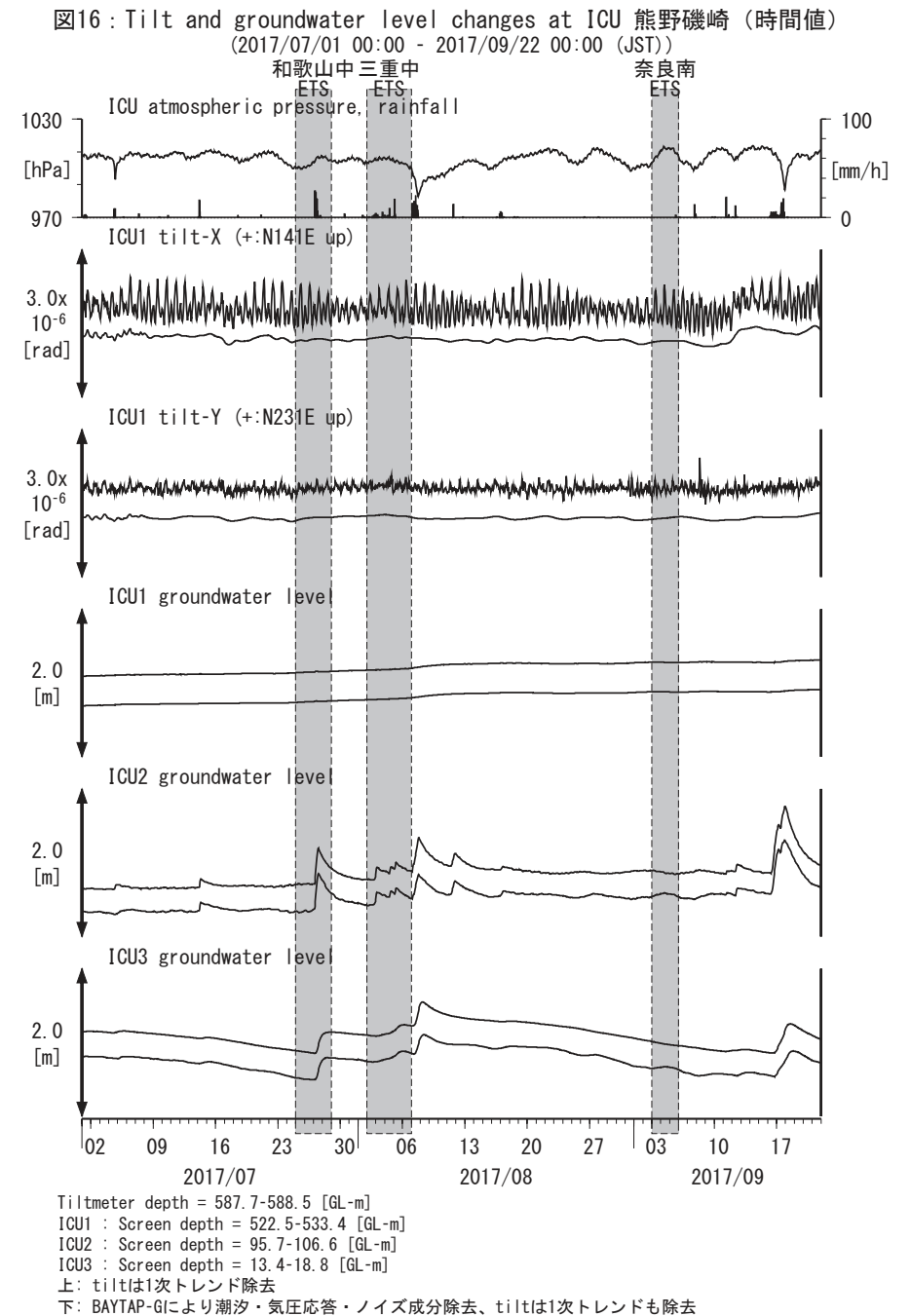
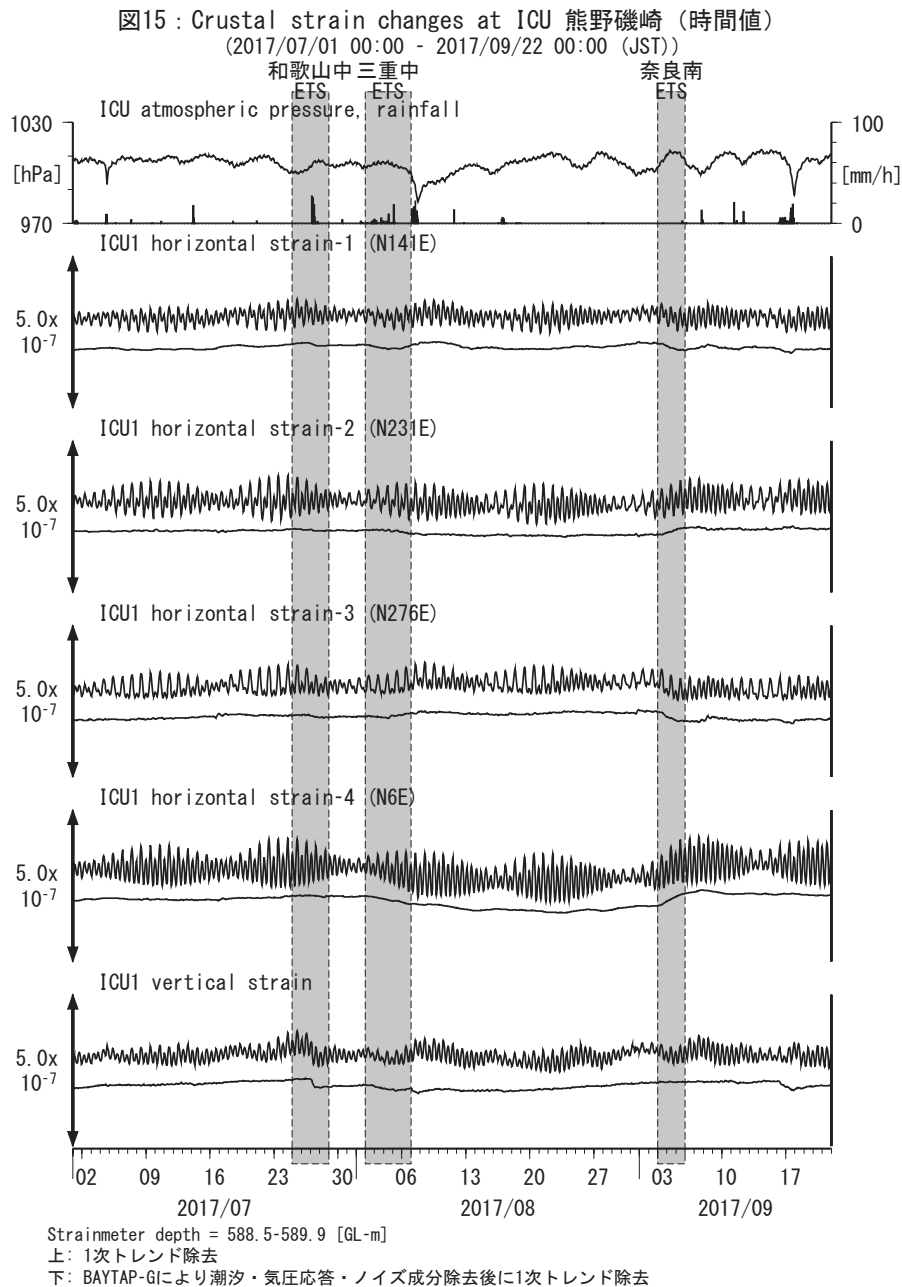
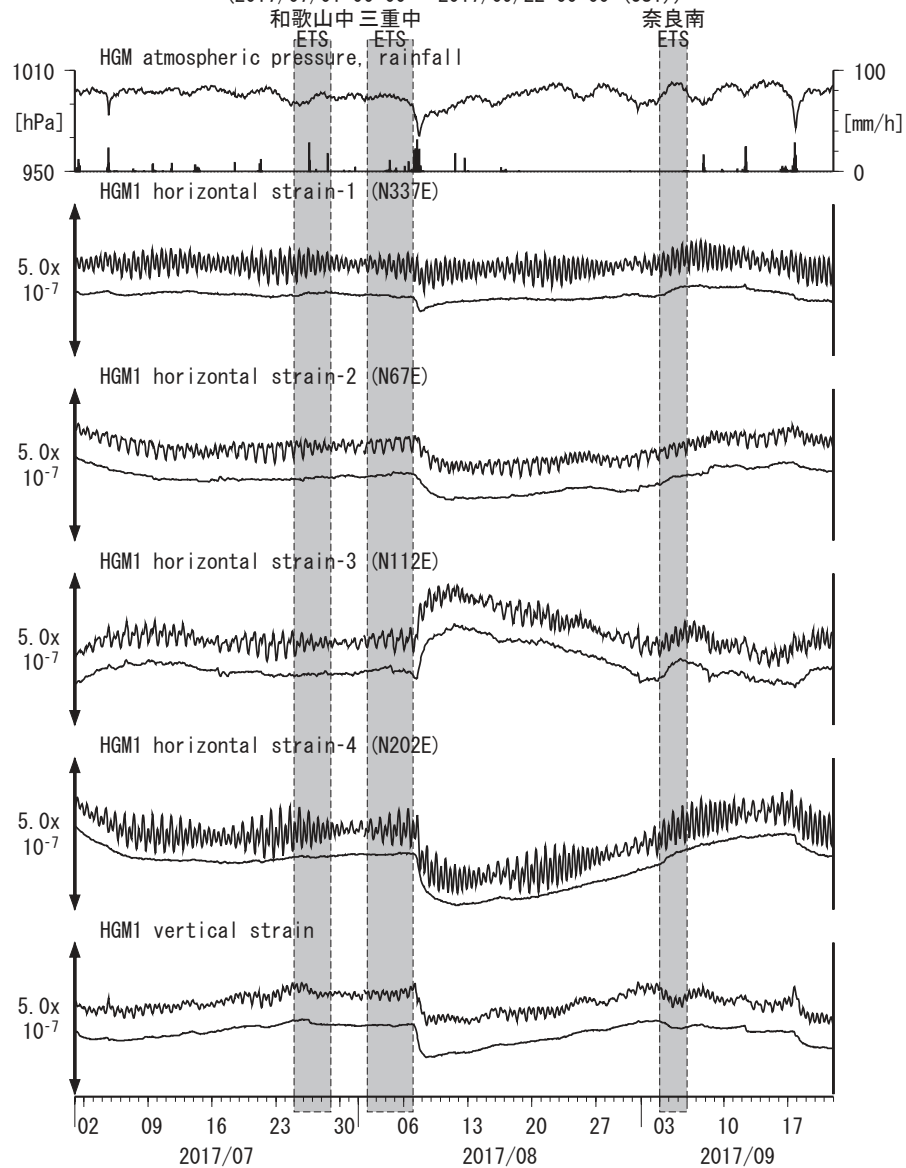


図17 : Crustal strains changes at HGM 田辺本宮 (時間値)

(2017/07/01 00:00 - 2017/09/22 00:00 (JST))



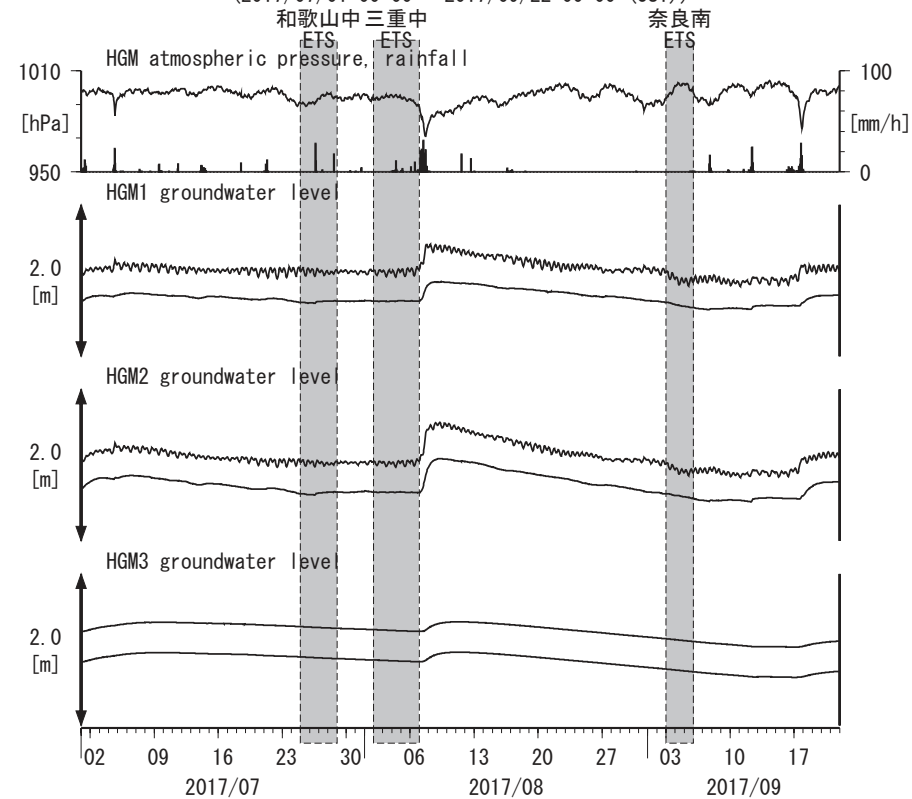
Strainmeter depth = 372.7-374.1 [GL-m]

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18 : Groundwater level changes at HGM 田辺本宮 (時間値)

(2017/07/01 00:00 - 2017/09/22 00:00 (JST))



Tiltmeter depth = 371.9-372.7 [GL-m]

HGM1 : Screen depth = 320.4-331.3 [GL-m]

HGM2 : Screen depth = 180.9-191.8 [GL-m]

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

下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分除去

HGM1は2013/10/12に孔口を密閉した

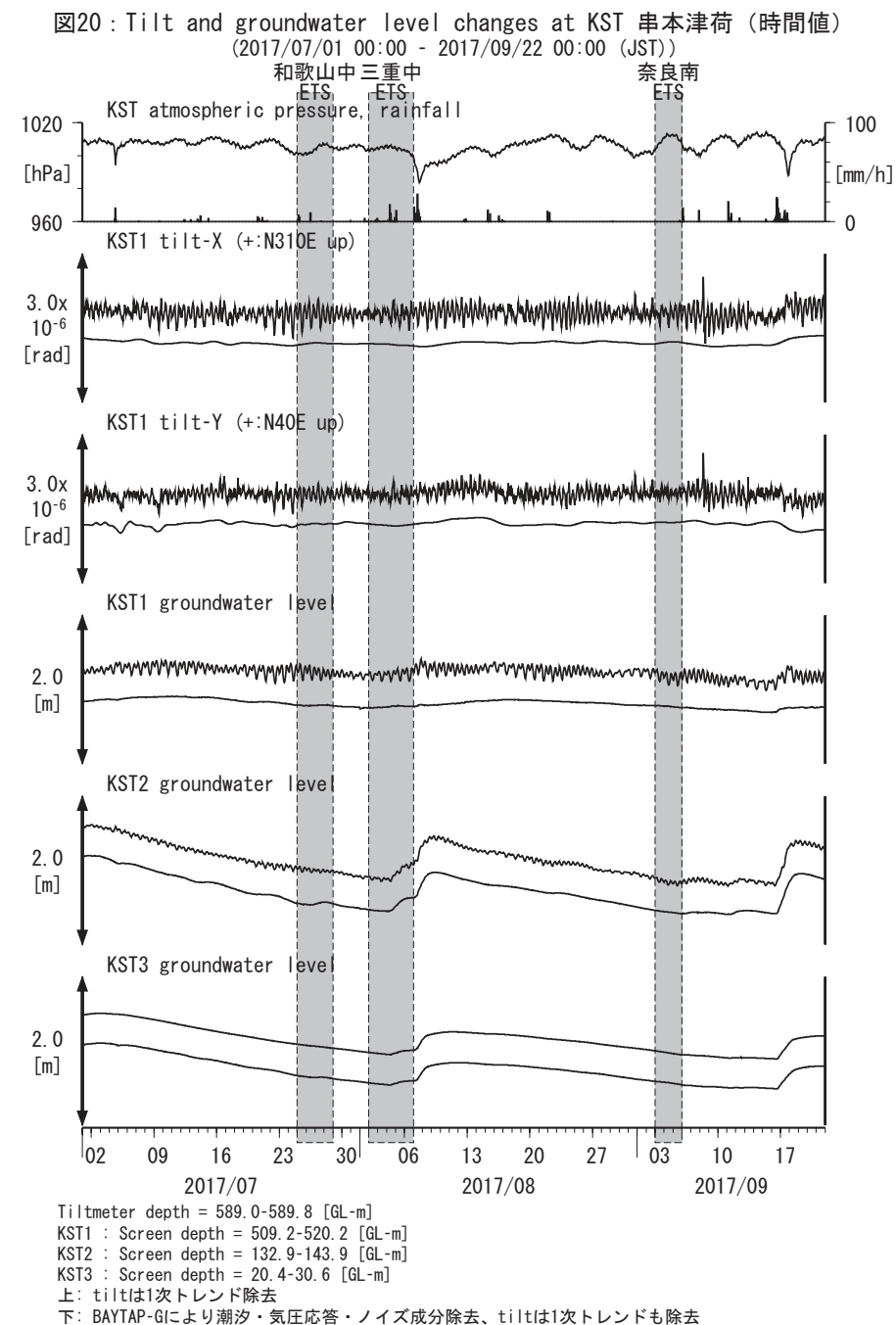
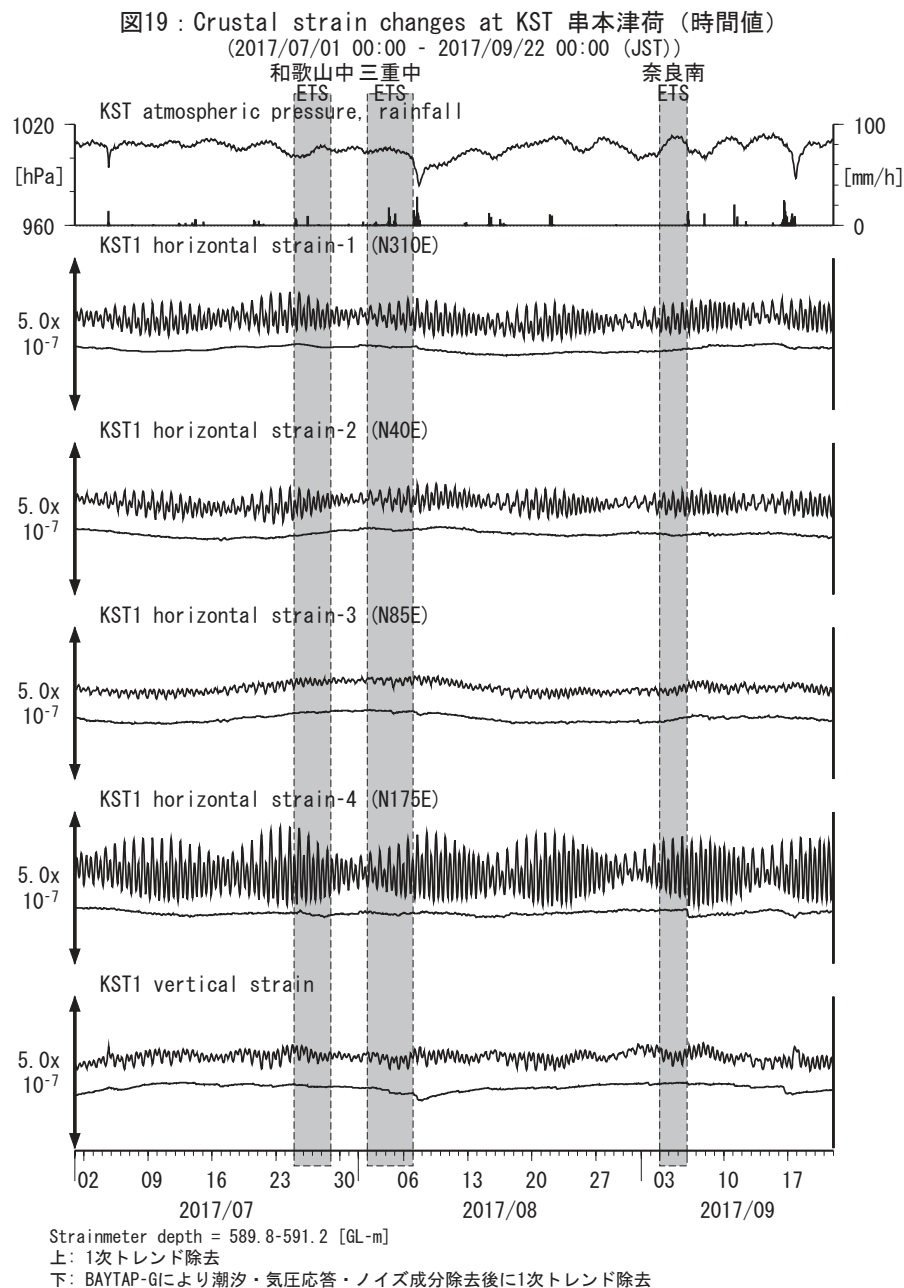
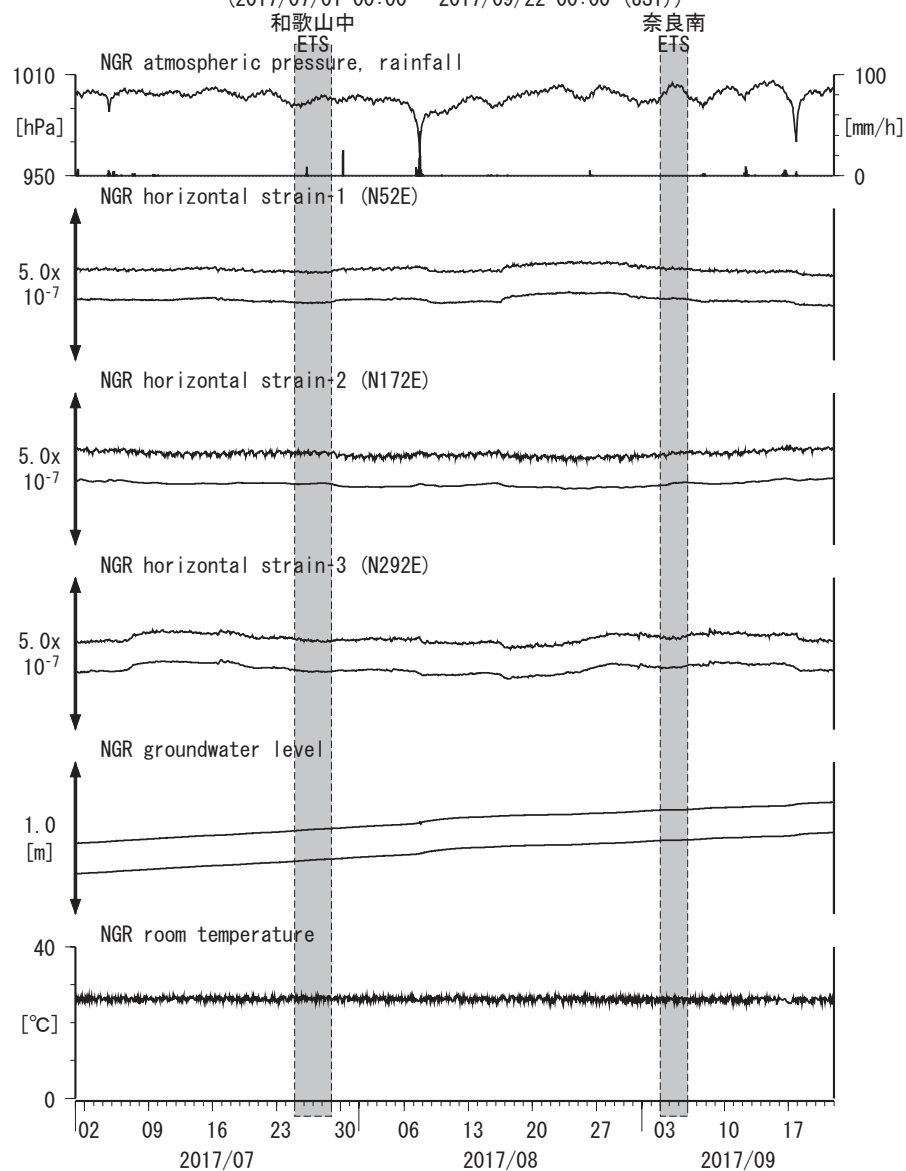


図21: Crustal strain and groundwater level changes at 岩出東坂本 (時間値)
(2017/07/01 00:00 - 2017/09/22 00:00 (JST))

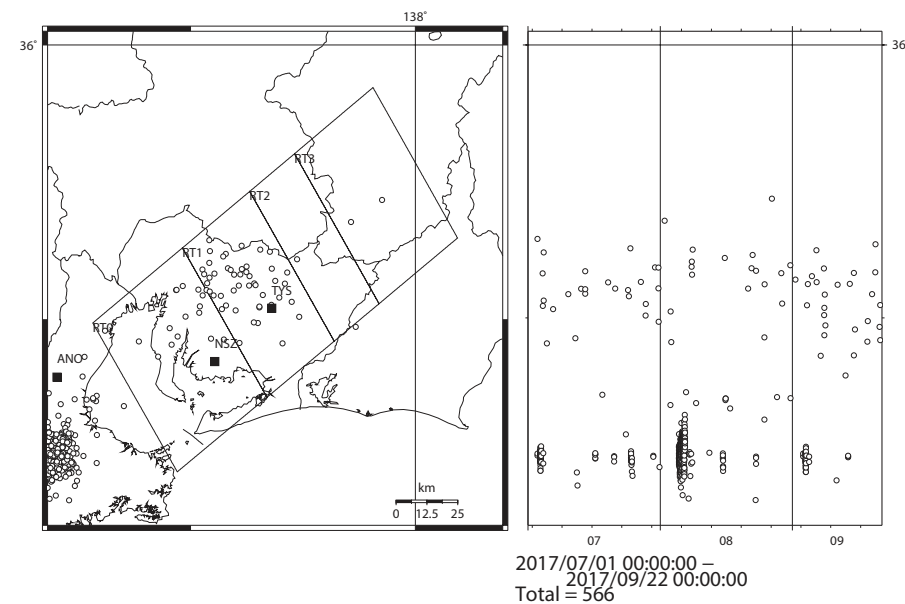


Strainmeter depth = 614.5-614.7 [GL-m]

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)
(2017/07/01 00:00 - 2017/09/22 00:00 (JST))

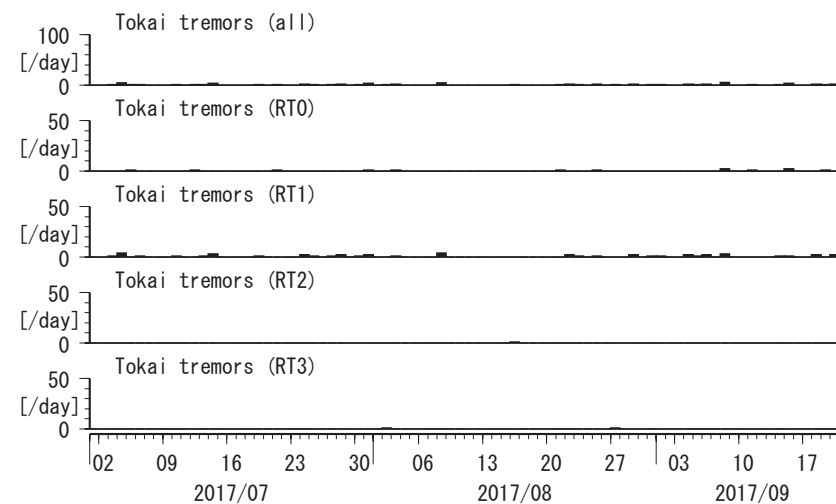


図 22: 愛知県およびその周辺における深部低周波微動の時空間分布 (上段)、各領域における発生頻度 (日値)。

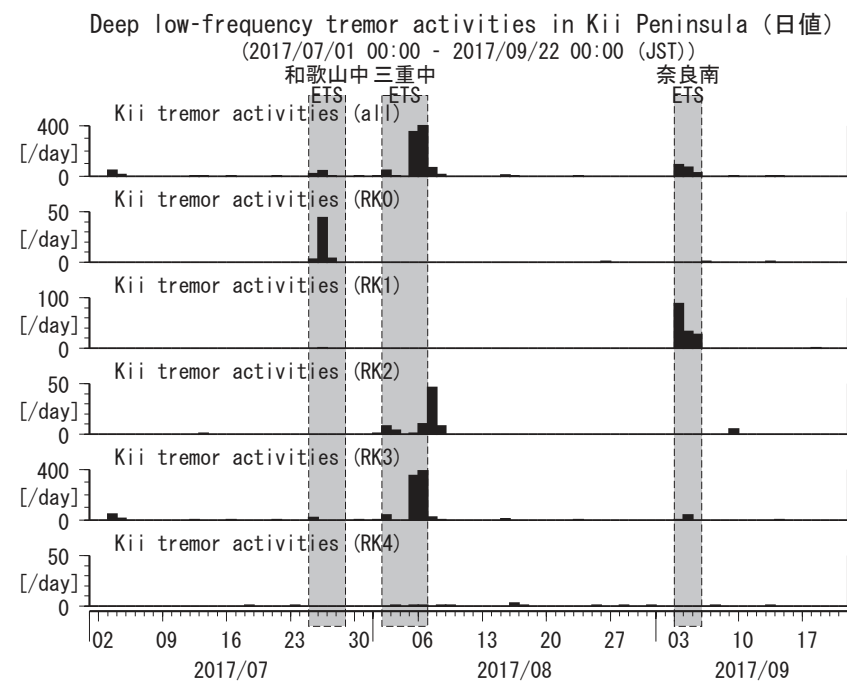
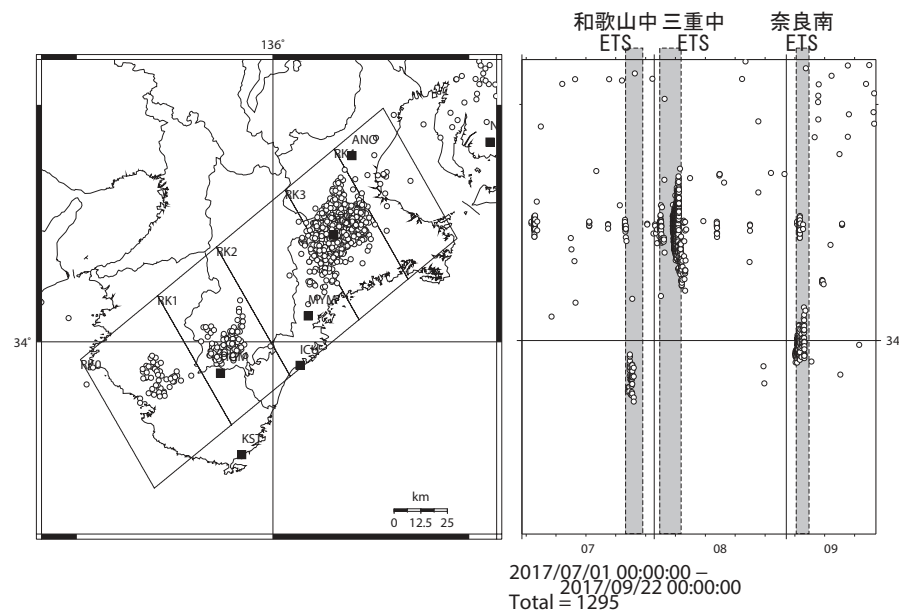


図 23: 紀伊半島における深部低周波微動の時空間分布 (上段)、各領域における発生頻度 (日値)。

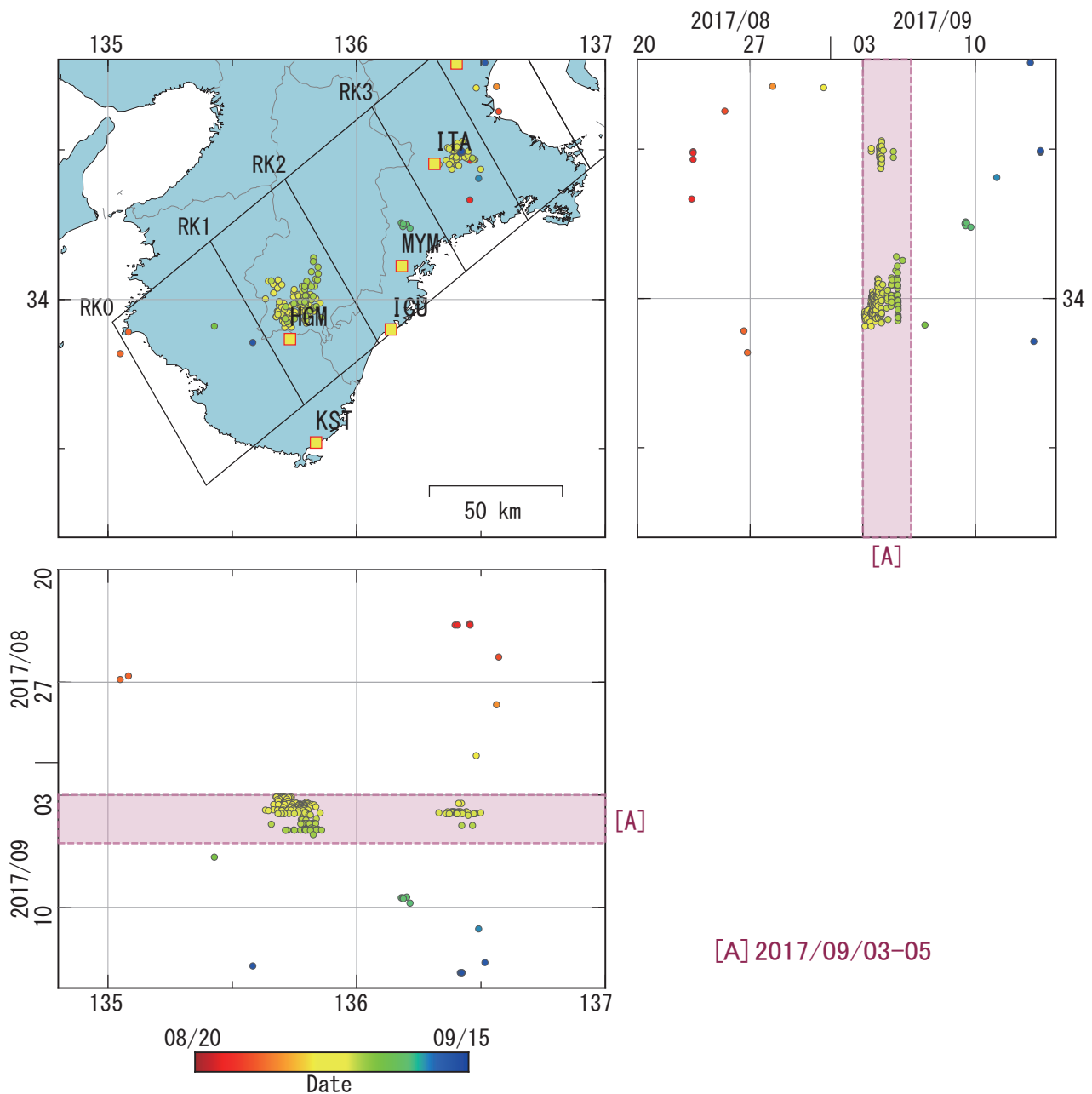


図24 2017/08/20 0:00 – 09/15 0:00 の紀伊半島周辺における深部低周波微動の時空間分布図。エンベロープ相関法により決定。

(観測点名) ITA: 松阪飯高, MYM: 紀北海山, ICU: 熊野磯崎, HGM: 田辺本宮, KST: 串本津荷

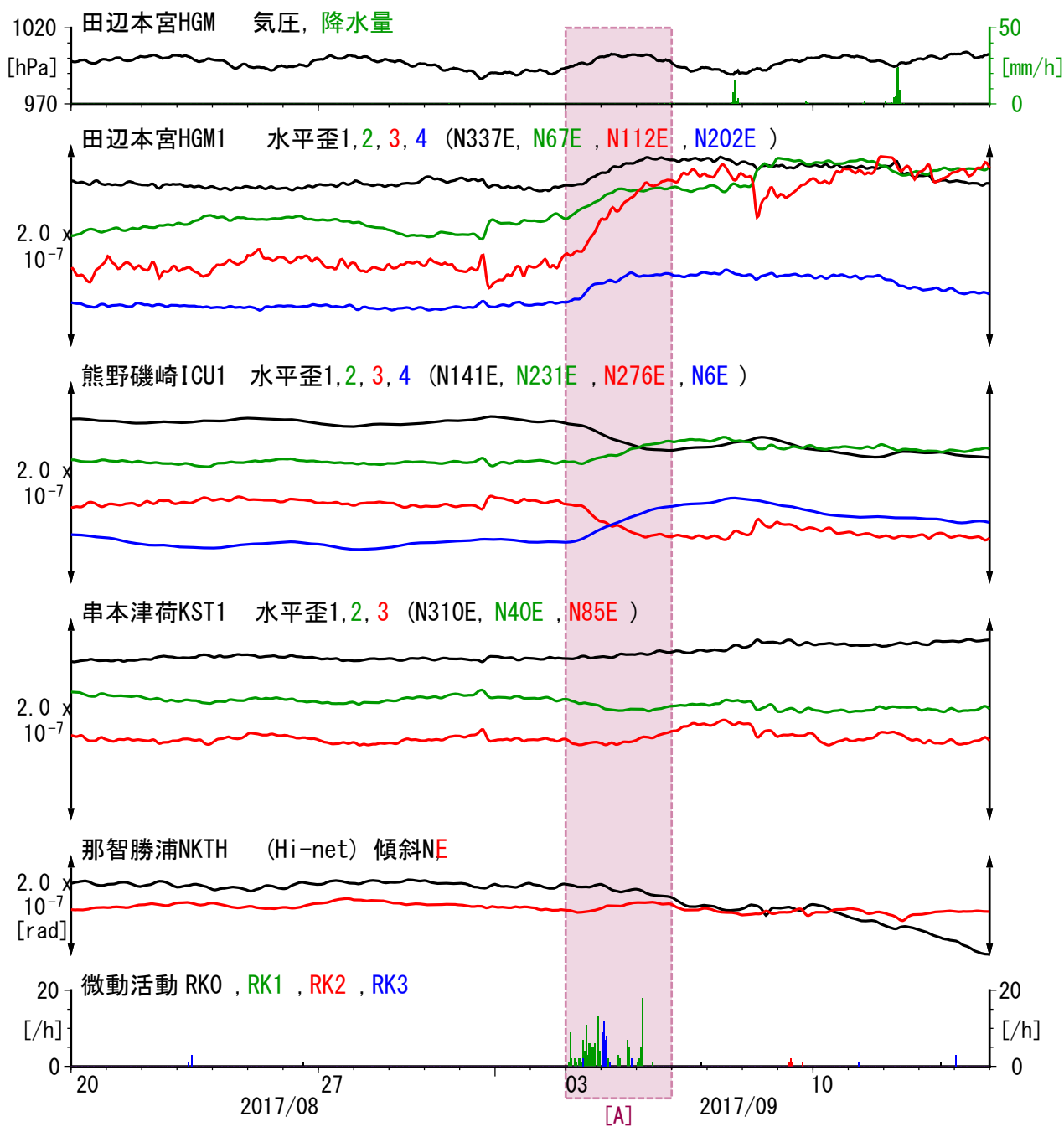
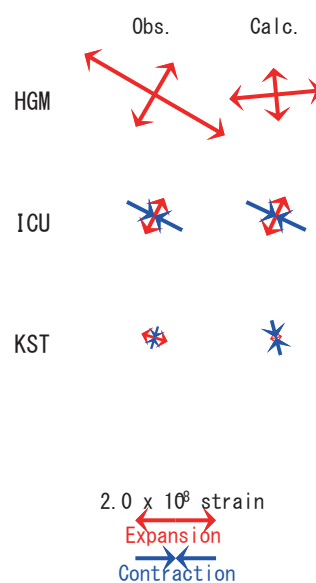
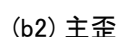
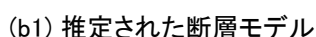


図25 紀伊半島における歪観測結果 (2017/08/20 00:00 – 2017/09/15 00:00 (JST))

(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



(b2) 主歪の観測値と(b1)に示した断層モデルから求めた計算値との比較。