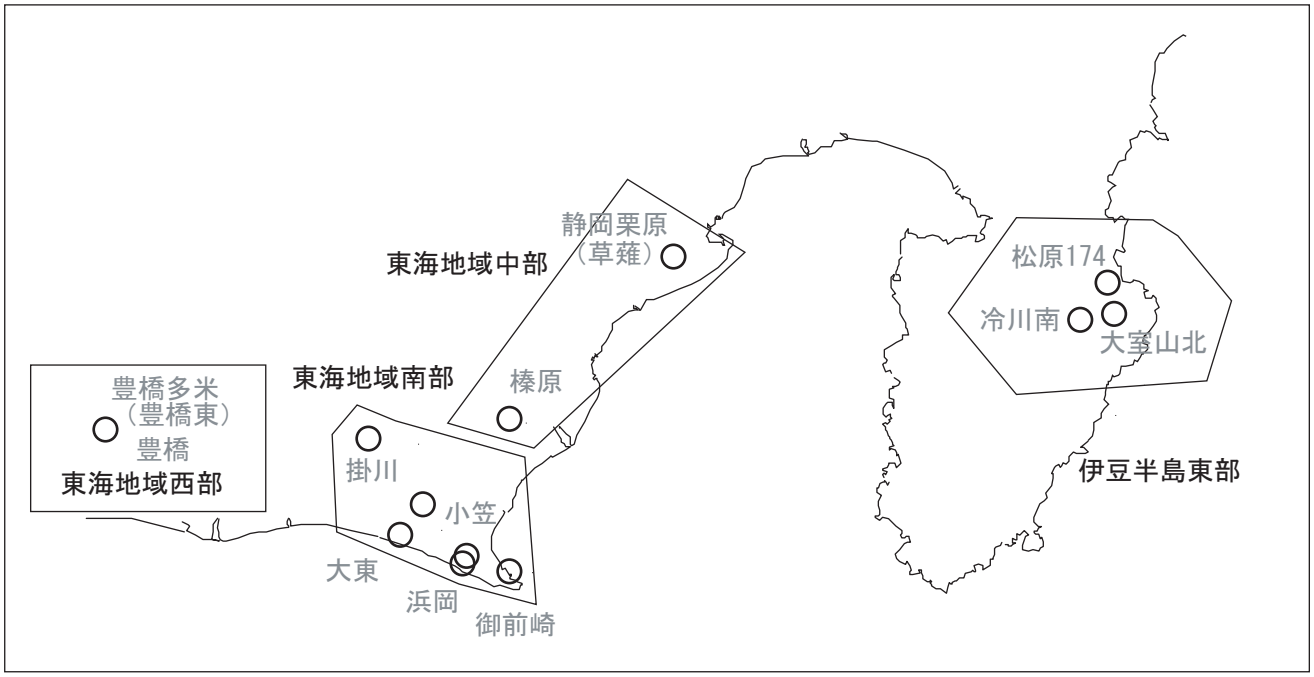
第372回
地震防災対策強化地域判定会

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）



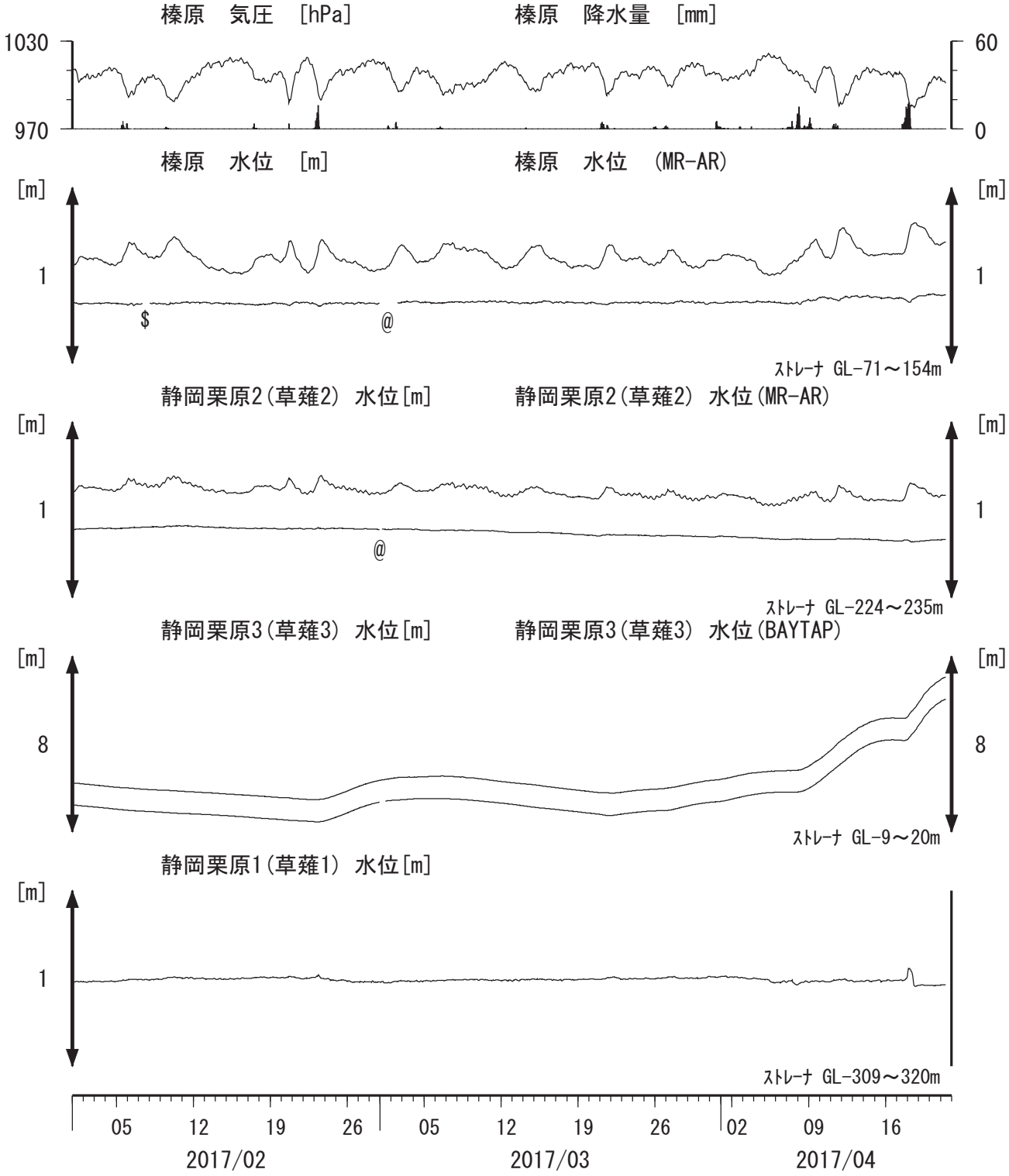
平成29年4月24日

【資料目次】

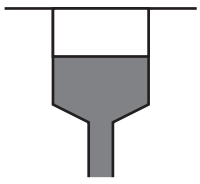
表紙
1. 東海地域中部［榛原, 静岡栗原(草薙)］地下水; 中期
2. 東海地域中部［榛原, 静岡栗原(草薙)］地下水; 長期
3. 東海地域南部［大東, 小笠, 浜岡, 御前崎］地下水; 中期
4. 東海地域南部［大東, 小笠, 浜岡, 御前崎］地下水; 長期
4-b. 東海地域南部［浜岡］地下水・沈下; 長期
4-c. 東海地域南部［掛川］地下水・沈下; 長期
5. 東海地域西部［豊橋, 豊橋多米(豊橋東)］地下水・歪・傾斜; 中期
5-b. 東海地域西部［豊橋多米(豊橋東)］歪等; 中期
6. 東海地域西部［豊橋・豊橋多米(豊橋東)］地下水・歪・傾斜; 長期
6-b. 東海地域西部［豊橋多米(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

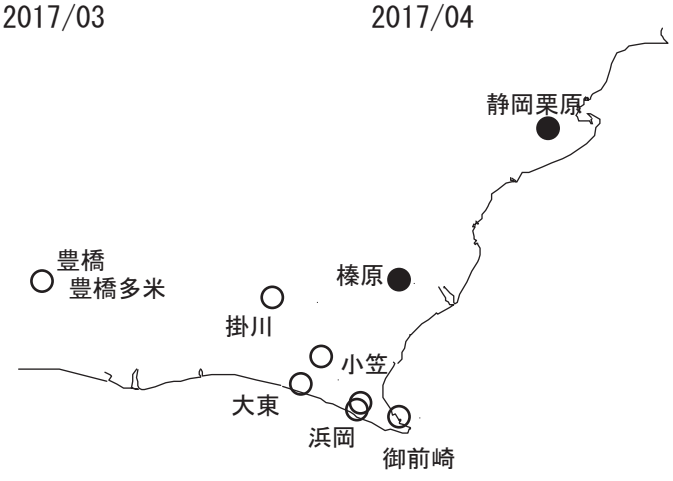
別紙
・榛原・浜岡の降雨グラフ
・紀伊半島～愛知県における歪・傾斜・地下水観測結果

東海地域中部（榛原・草薙）中期　（時間値）
(2017/02/01 00:00 - 2017/04/22 00:00 (JST))

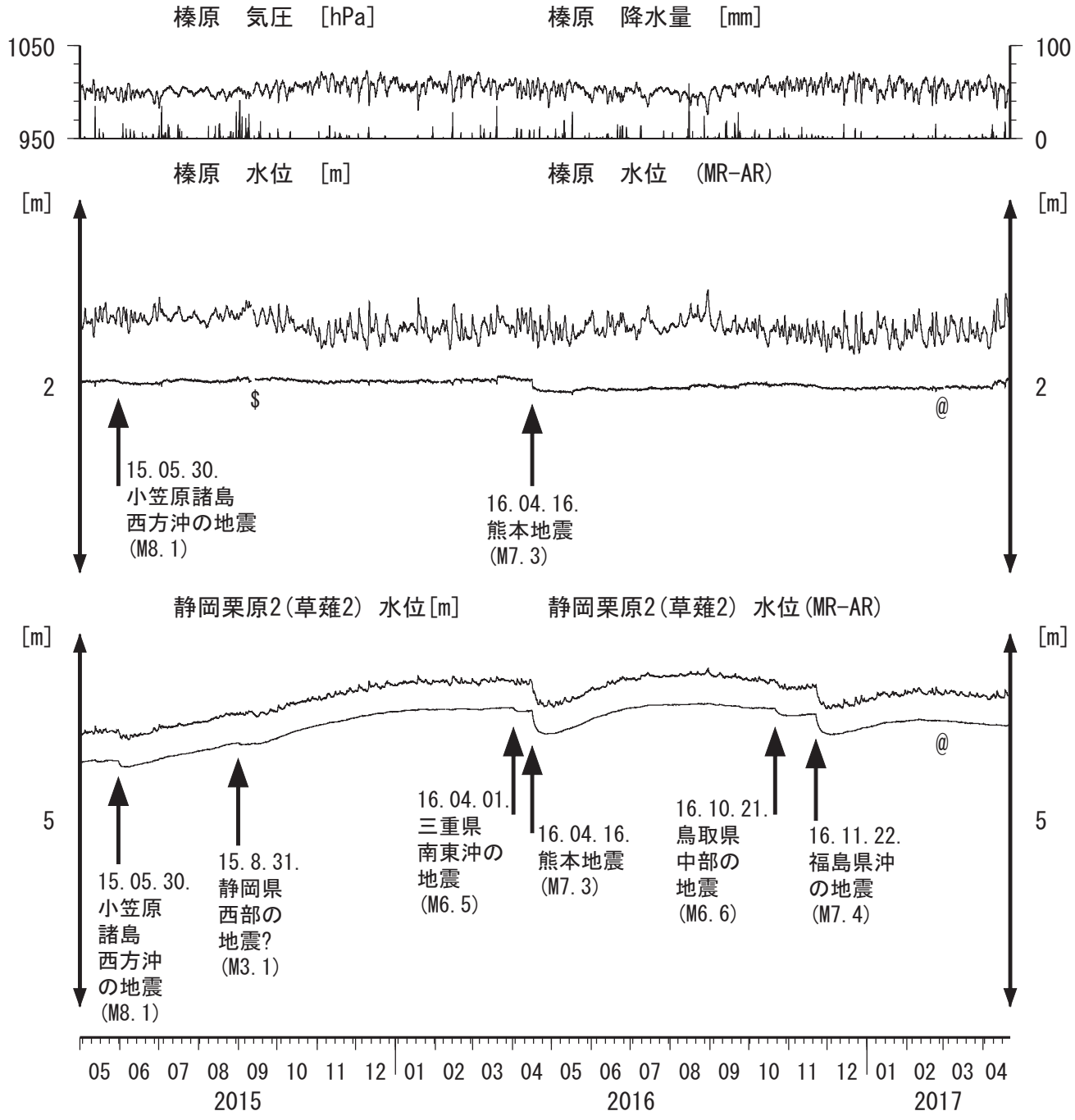


コメント：*;雨量補正不十分. $;保守. ?;不明.
@;月初めの補正値のギャップは,
解析プログラムの見かけ上のものである.
2015年4月中旬に静岡栗原1の水位が
井戸管の広い部分まで上昇したので
それ以降の水位変化が
小さくなっている.

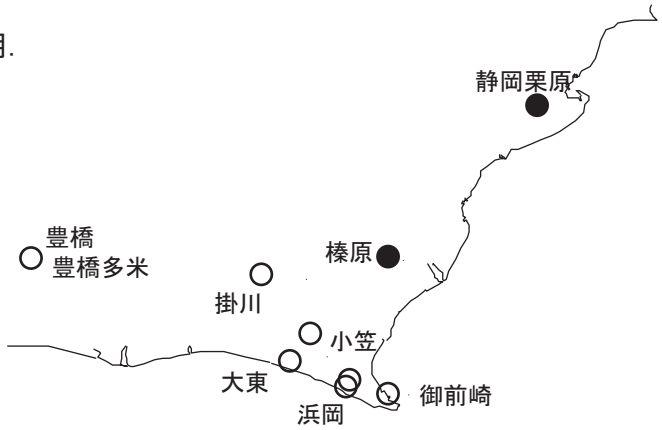




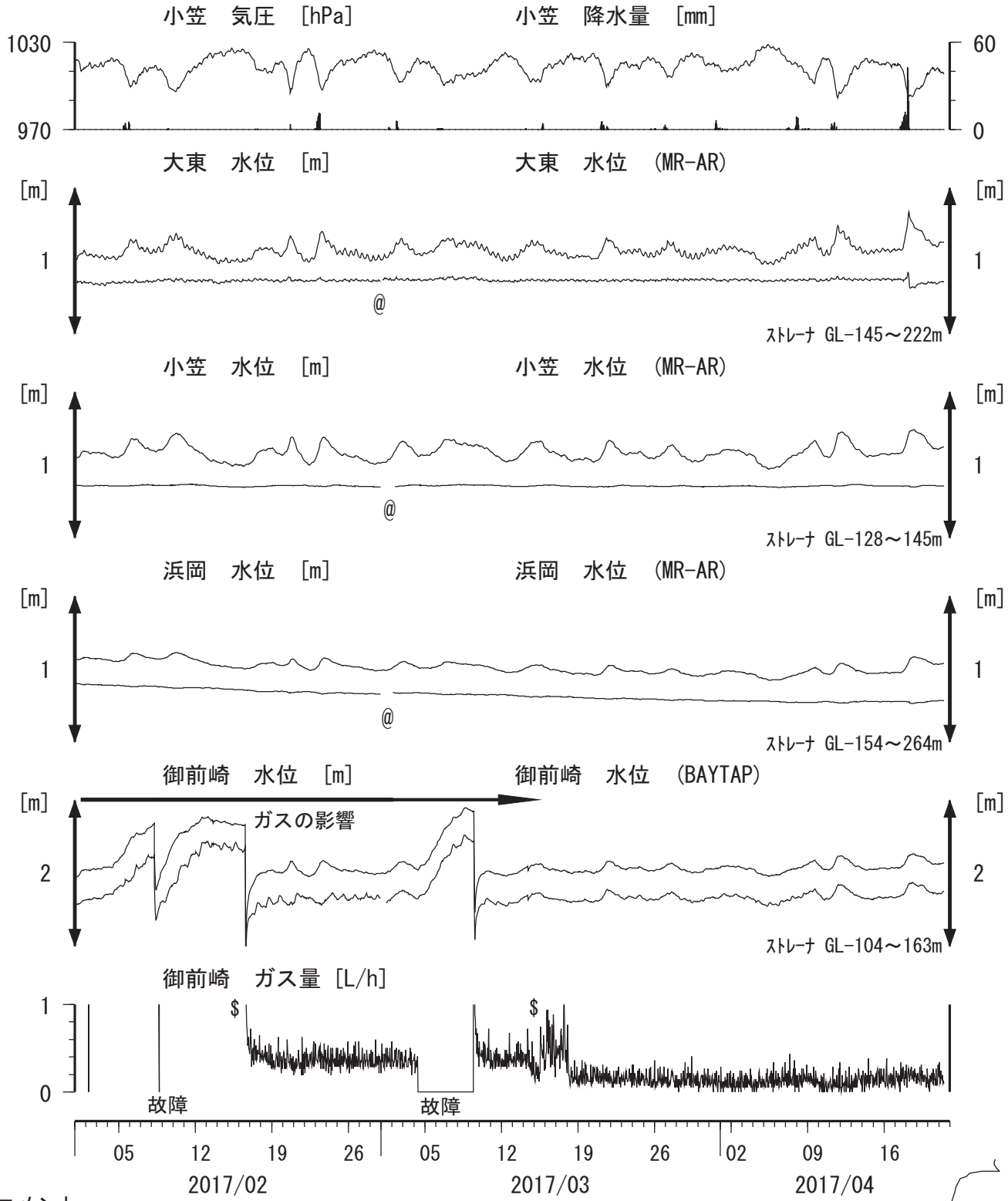
東海地域中部（榛原・草薙）長期　（時間値）
(2015/05/01 00:00 - 2017/04/22 00:00 (JST))



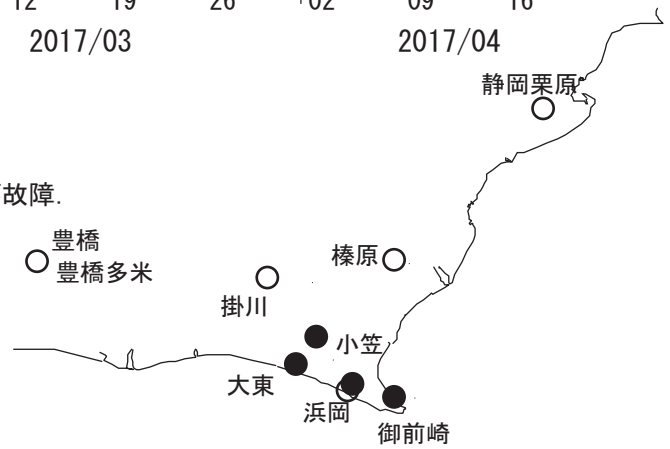
コメント：*;雨量補正不十分. $;保守. ?;不明.
@;月初めの補正値のギャップは,
解析プログラムの見かけ上のものである.



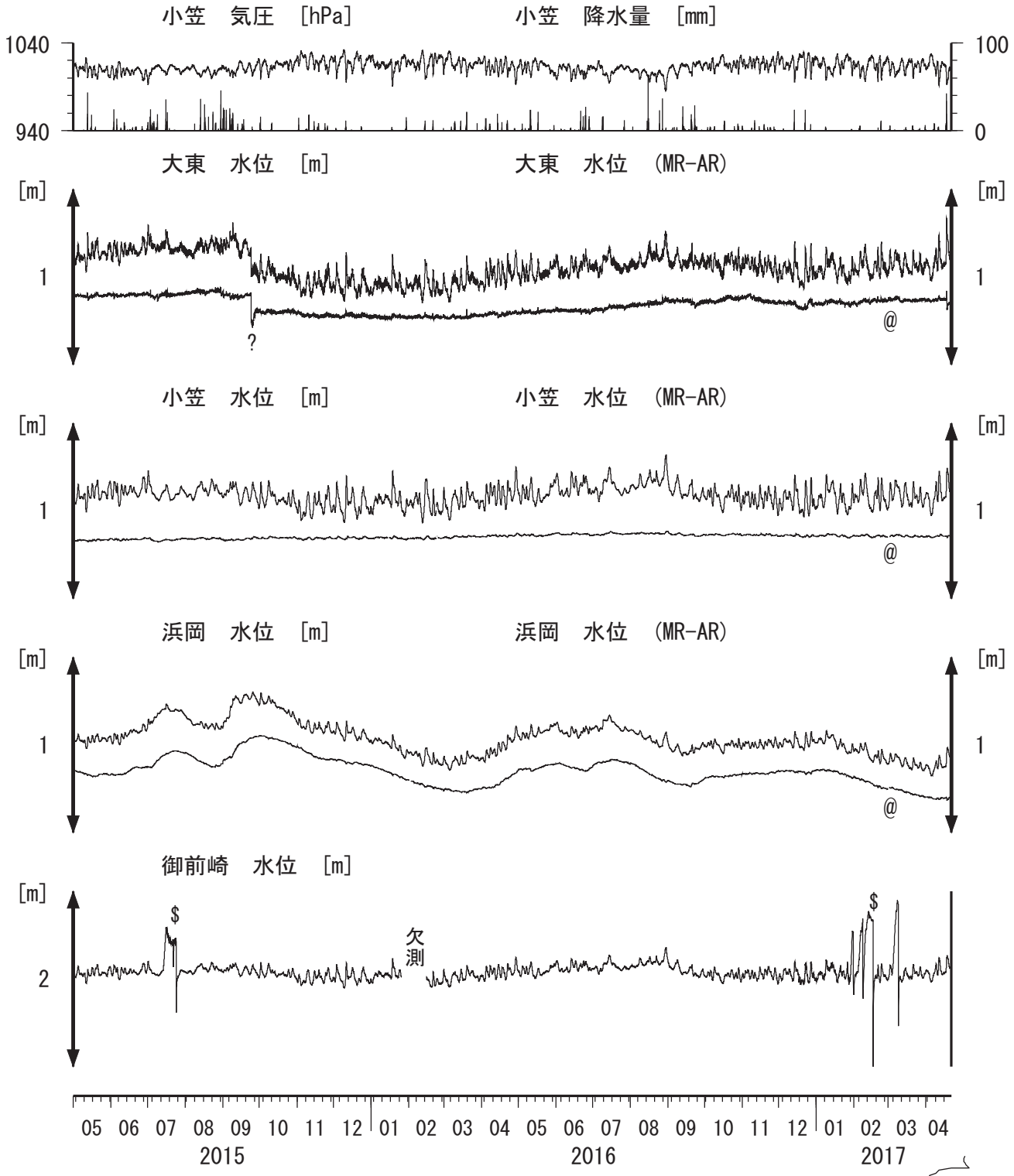
東海地域南部 地下水観測結果　中期　（時間値）
(2017/02/01 00:00 - 2017/04/22 00:00 (JST))



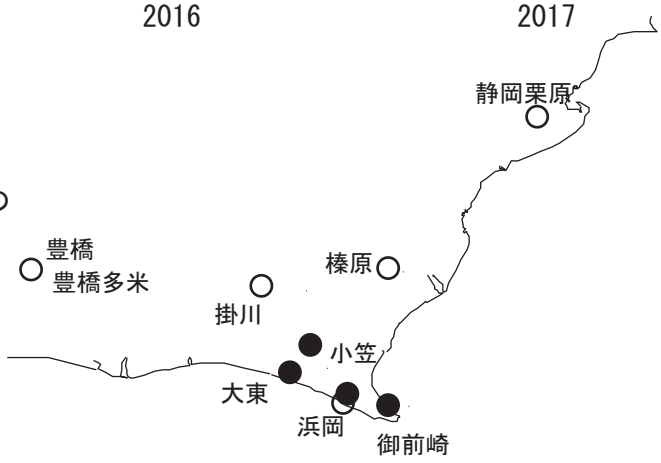
コメント：
*;雨量補正不十分, $:保守. ?;不明.
@;月初めの補正値のギャップは,
解析プログラムの見かけ上のものである.
2016年11月下旬よりガス量計のガス排出システムが故障.
2016年12月16日以降の水位データの異常は
ガス排出システムの故障が原因.
2017年2月16日に観測システムを更新.



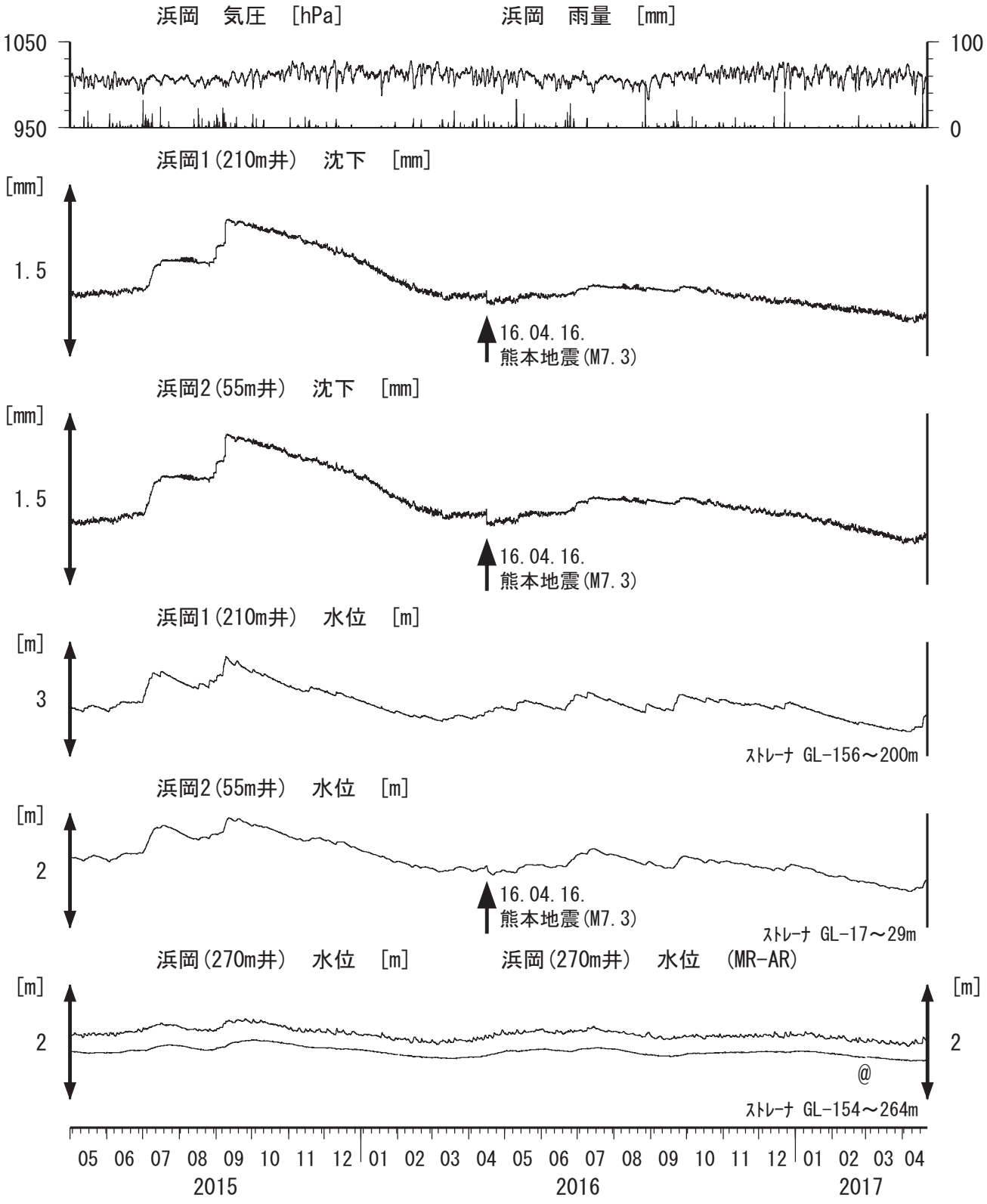
東海地域南部 地下水観測結果　長期　（時間値）
(2015/05/01 00:00 - 2017/04/22 00:00 (JST))

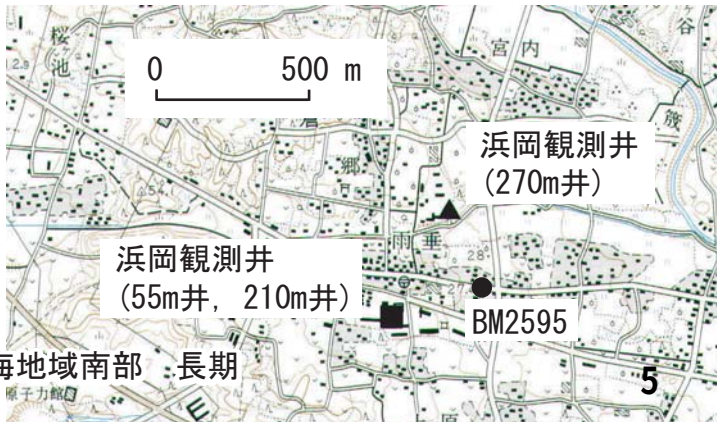


コメント：
*;雨量補正不十分. $;保守. ?;不明.
@;月初めの補正値のギャップは,
解析プログラムの見かけ上のものである.
2014年12月12日と2015年3月13日にガス流量計の
調整を行ったが, 2015年7月中旬から,
再びガス流量計の故障に起因すると思われる
水位増加があったが, 2015年7月24日に保守を
行ったらほぼ元に戻った.
2016年12月16日以降の水位データの異常は
ガス排出システムの故障が原因.
2017年2月16日に観測システムを更新.

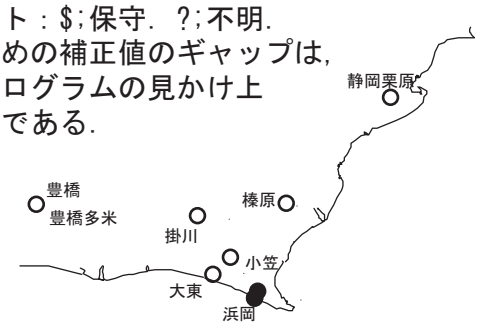


浜岡沈下・水位　（時間値）
(2015/05/01 00:00 - 2017/04/22 00:00 (JST))





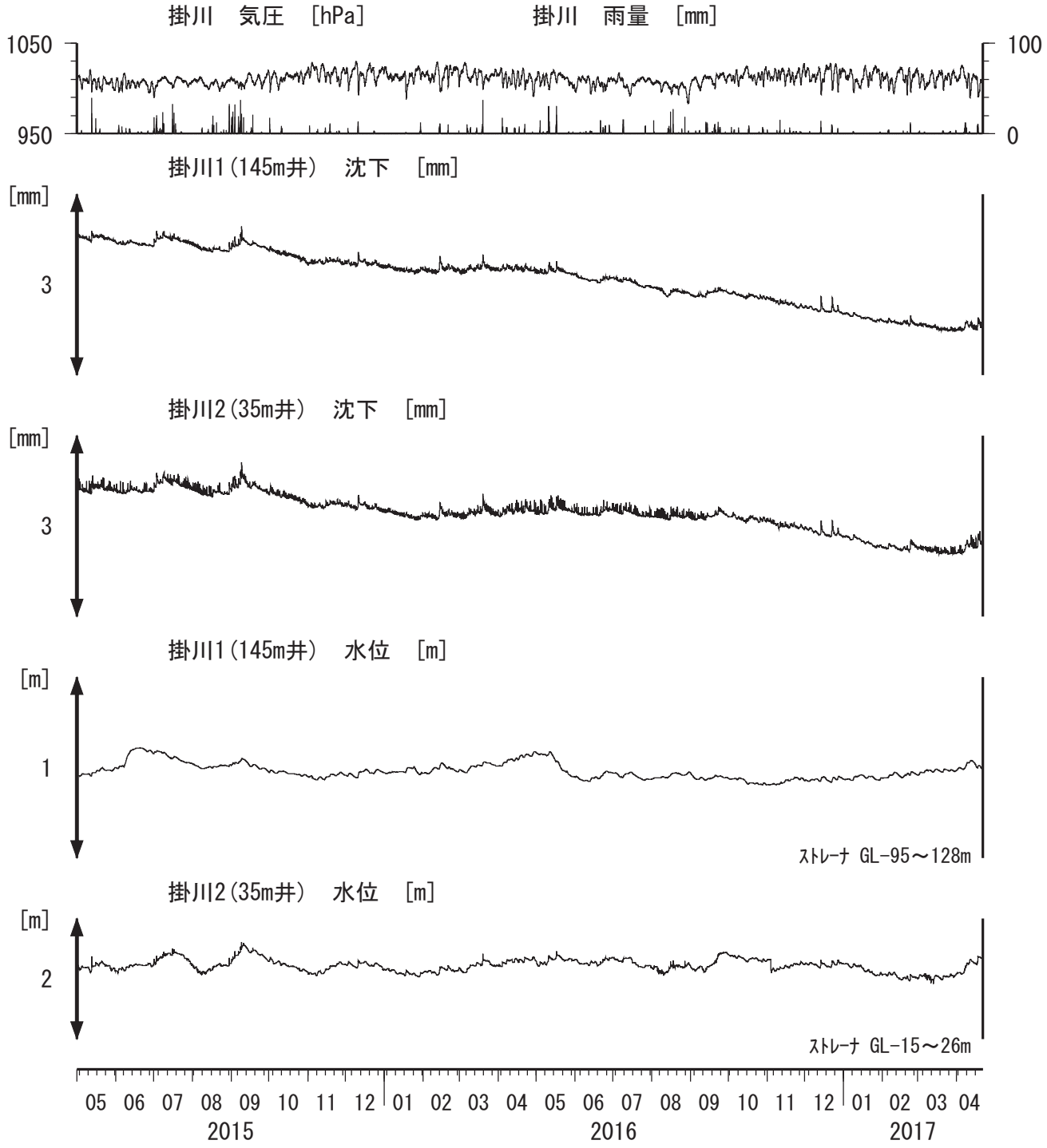
コメント：$;保守. ?;不明.
@;月初めの補正値のギャップは,
解析プログラムの見かけ上
のものである.



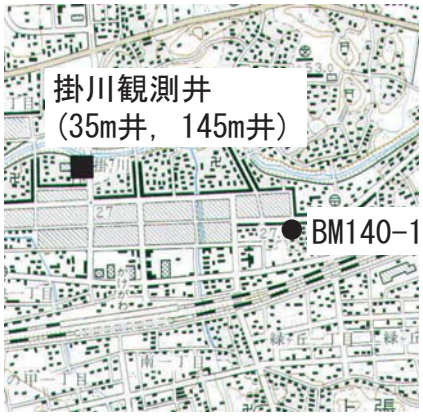
東海地域南部　長期

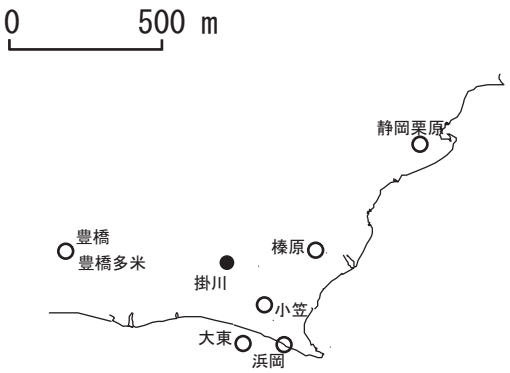
産総研地質調査総合センター　資料-4b

掛川沈下・水位　（時間値）
(2015/05/01 00:00 - 2017/04/22 00:00 (JST))

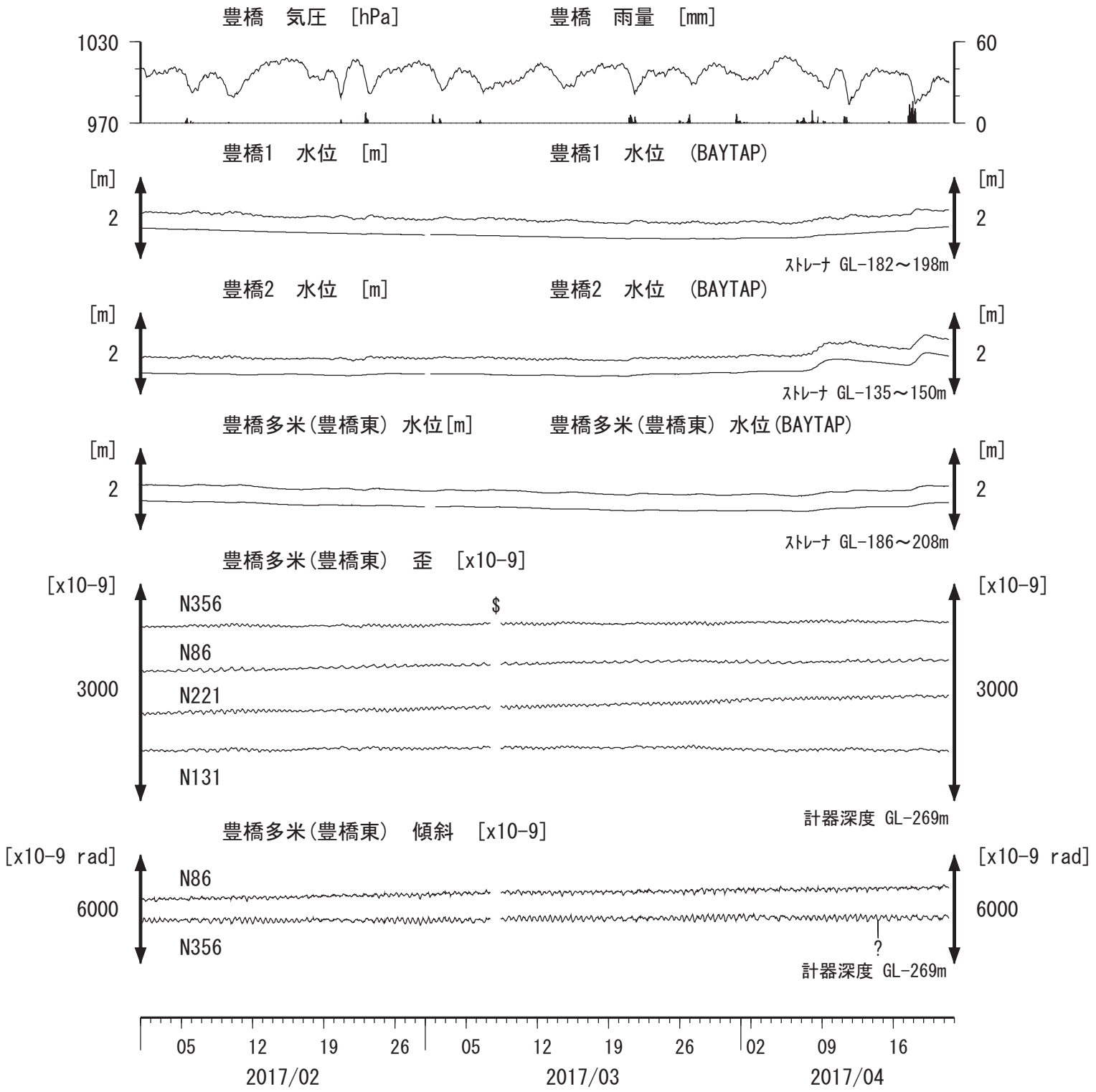


コメント：$;保守.
?;原因不明.

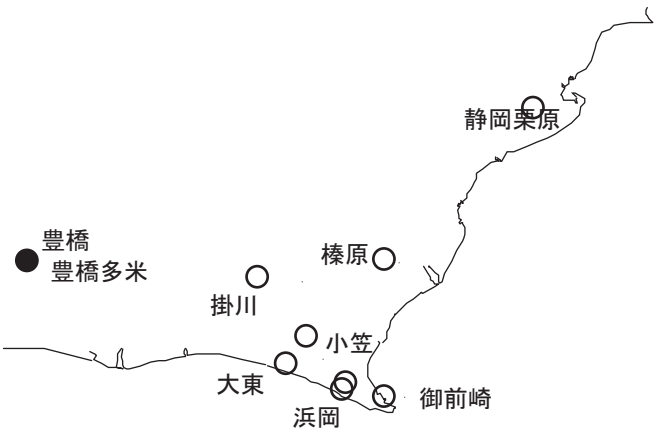




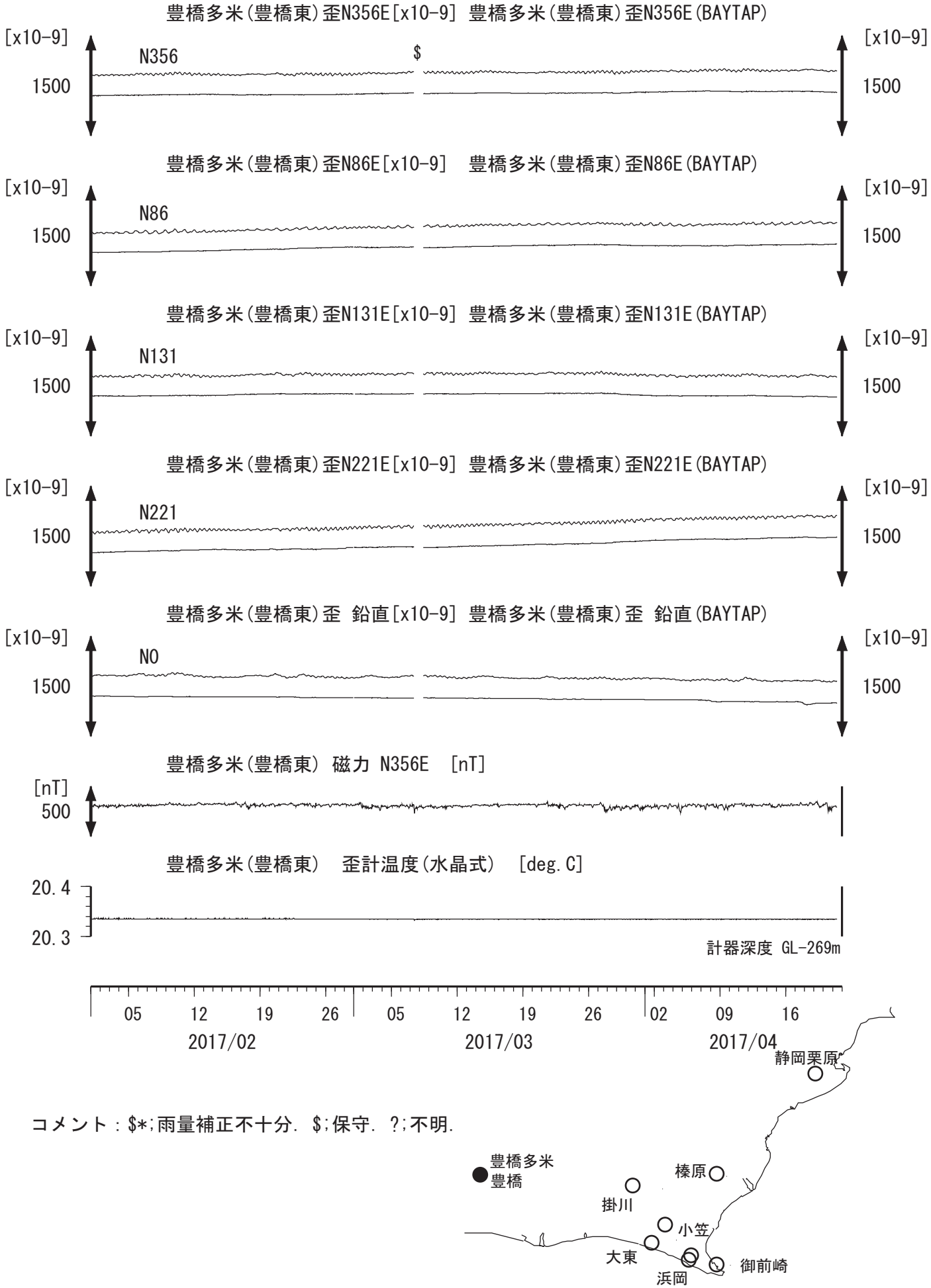
東海地域西部（豊橋・豊橋多米）中期　（時間値）
(2017/02/01 00:00 - 2017/04/22 00:00 (JST))



コメント：*;雨量補正不十分. $;保守. ?;不明.

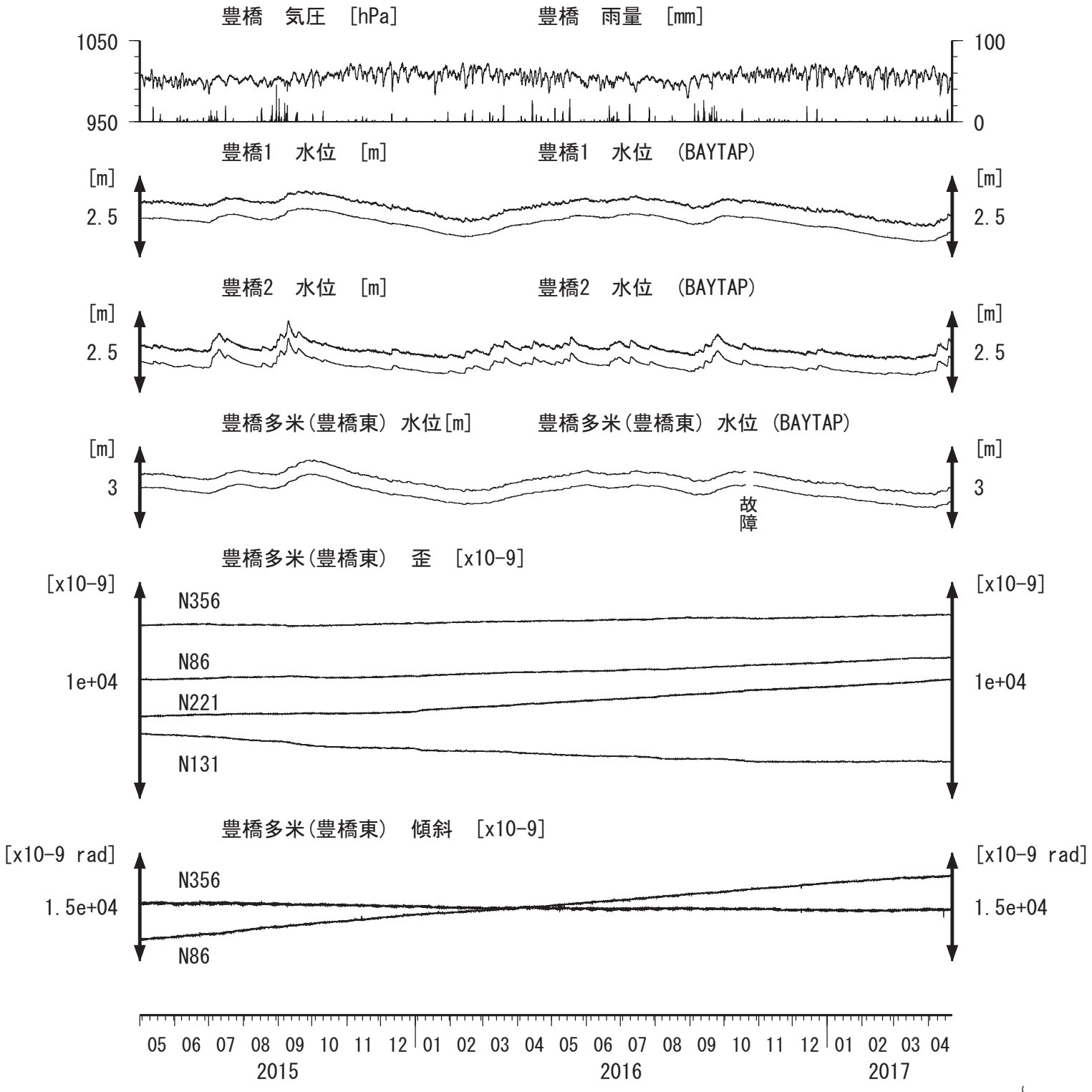


東海地域西部（豊橋多米　歪）中期　（時間値）
(2017/02/01 00:00 - 2017/04/22 00:00 (JST))

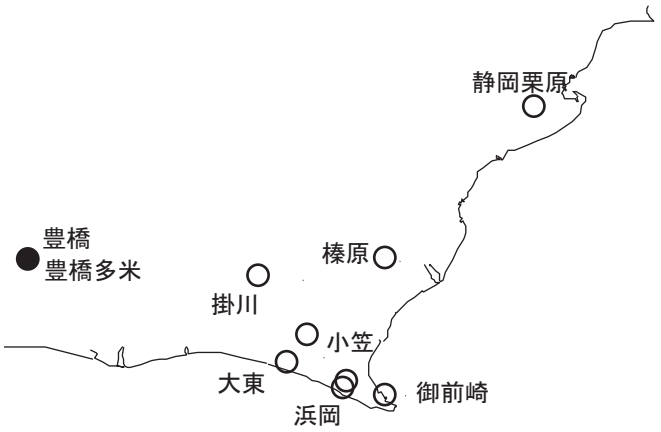


コメント：$*;雨量補正不十分. $;保守. ?;不明.

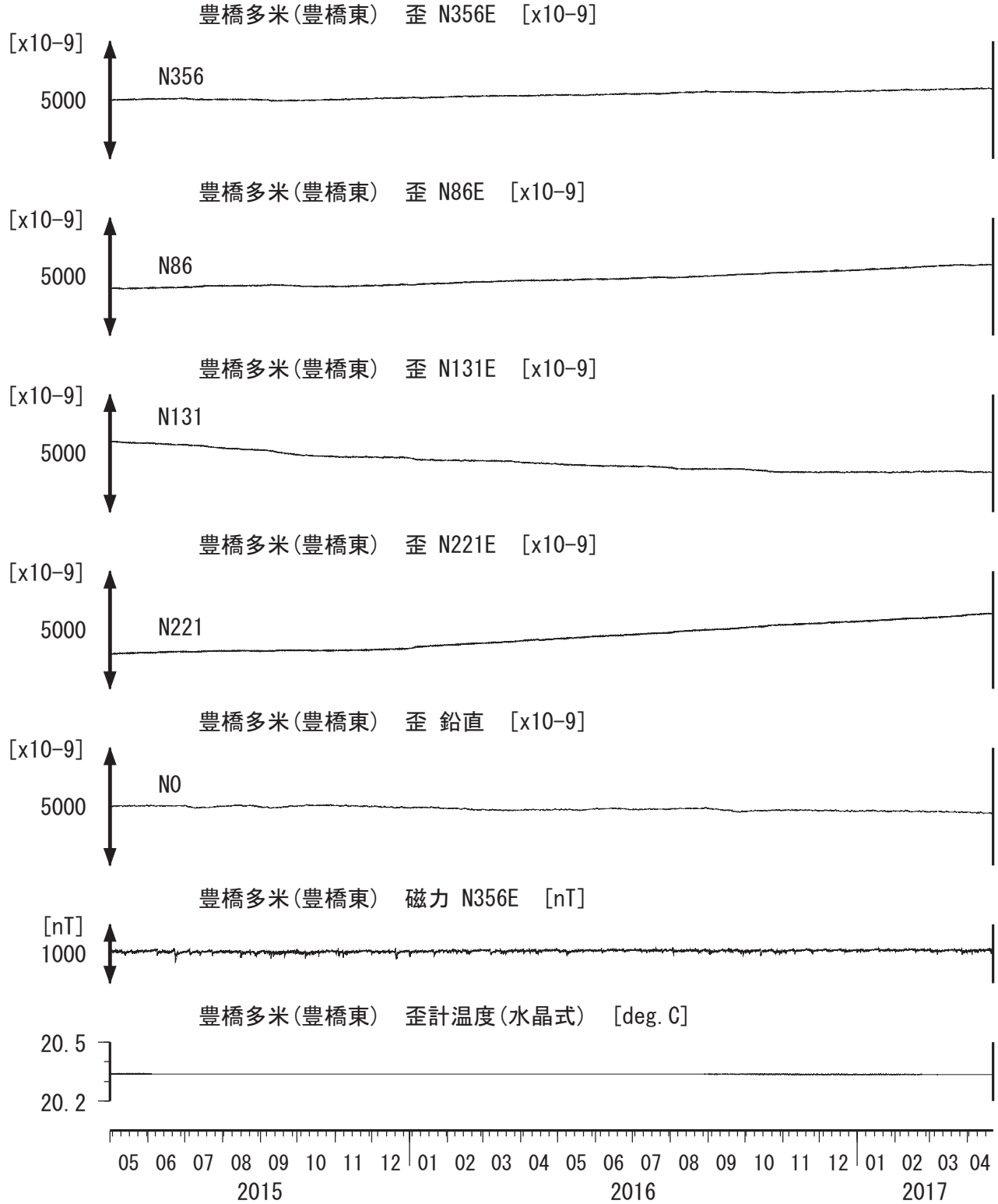
東海地域西部（豊橋・豊橋多米）長期　（時間値）
(2015/05/01 00:00 - 2017/04/22 00:00 (JST))

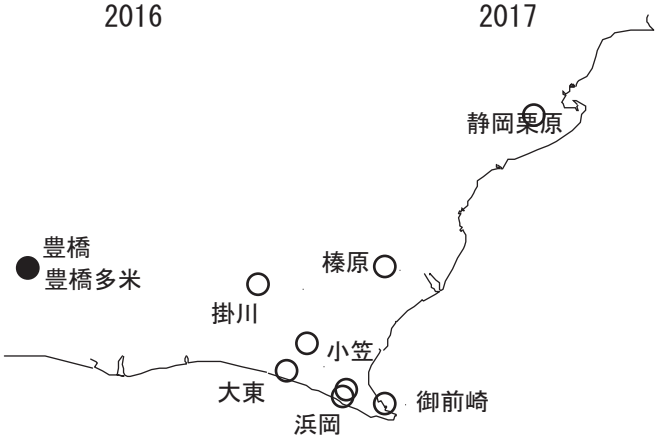


コメント：*;雨量補正不十分. $;保守. ?;不明.



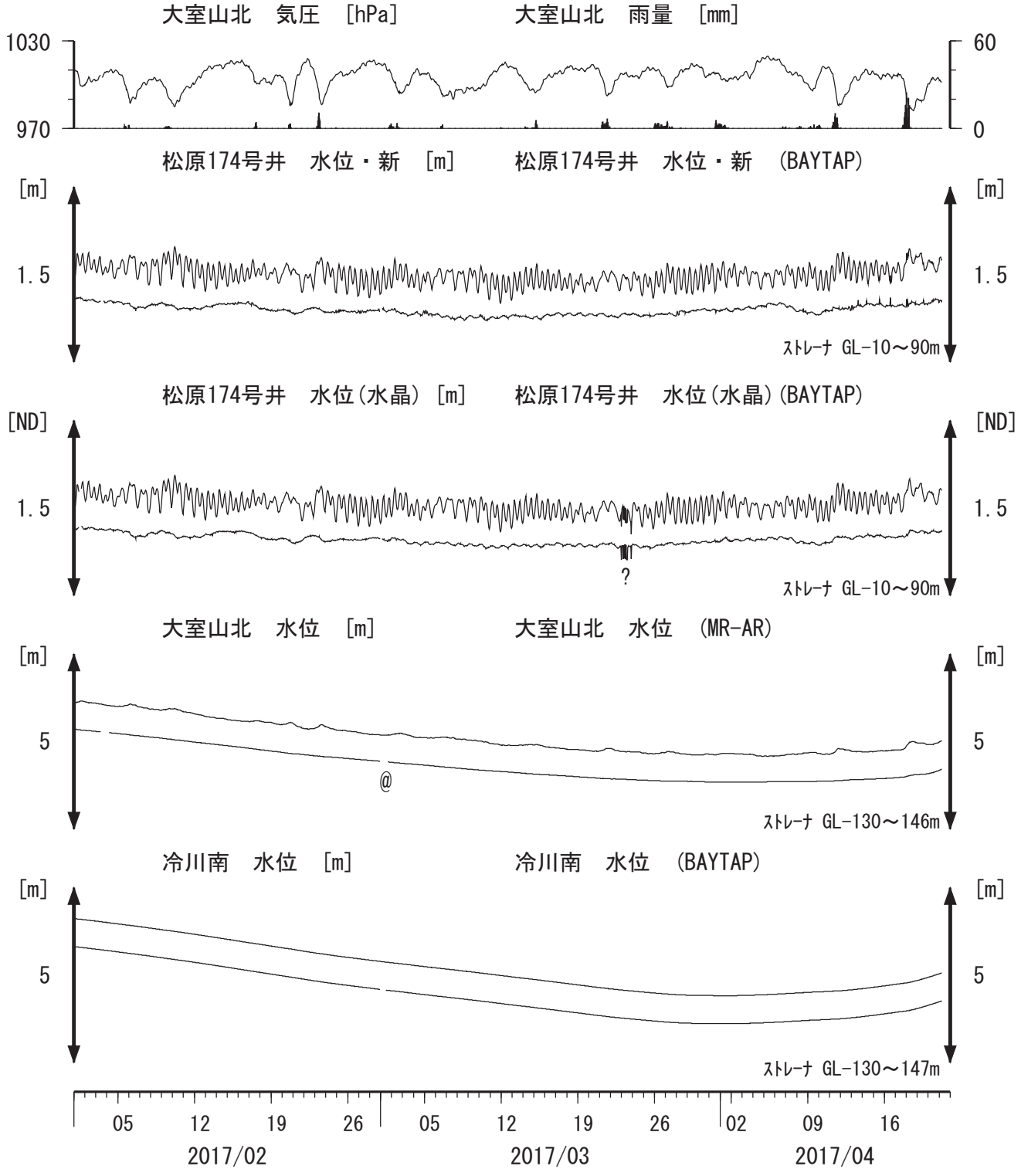
東海地域西部（豊橋多米　歪）長期　（時間値）
(2015/05/01 00:00 - 2017/04/22 00:00 (JST))





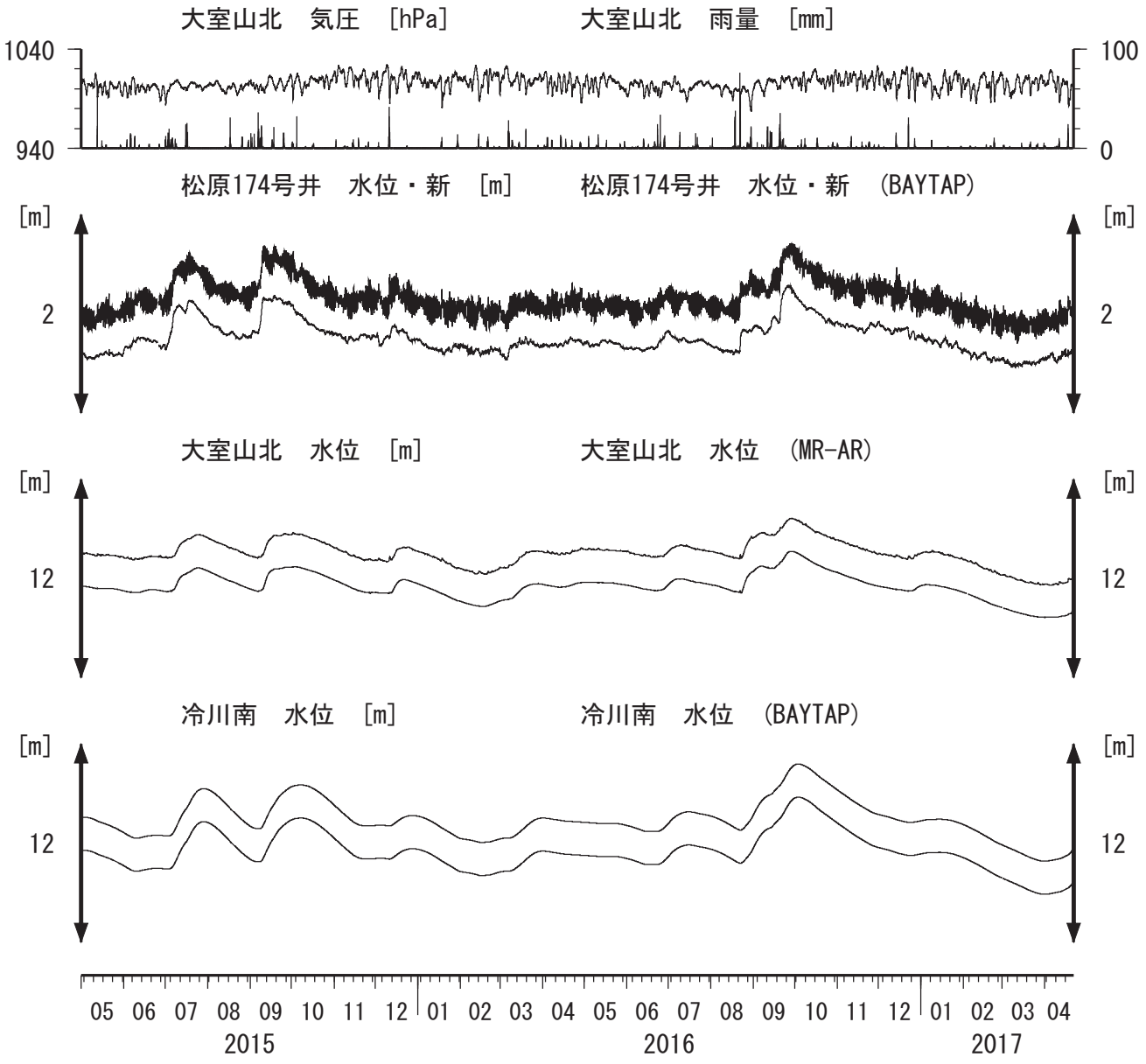
コメント：$;保守. ?;原因不明.

伊豆半島東部 地下水位　中期　（時間値）
(2017/02/01 00:00 - 2017/04/22 00:00 (JST))



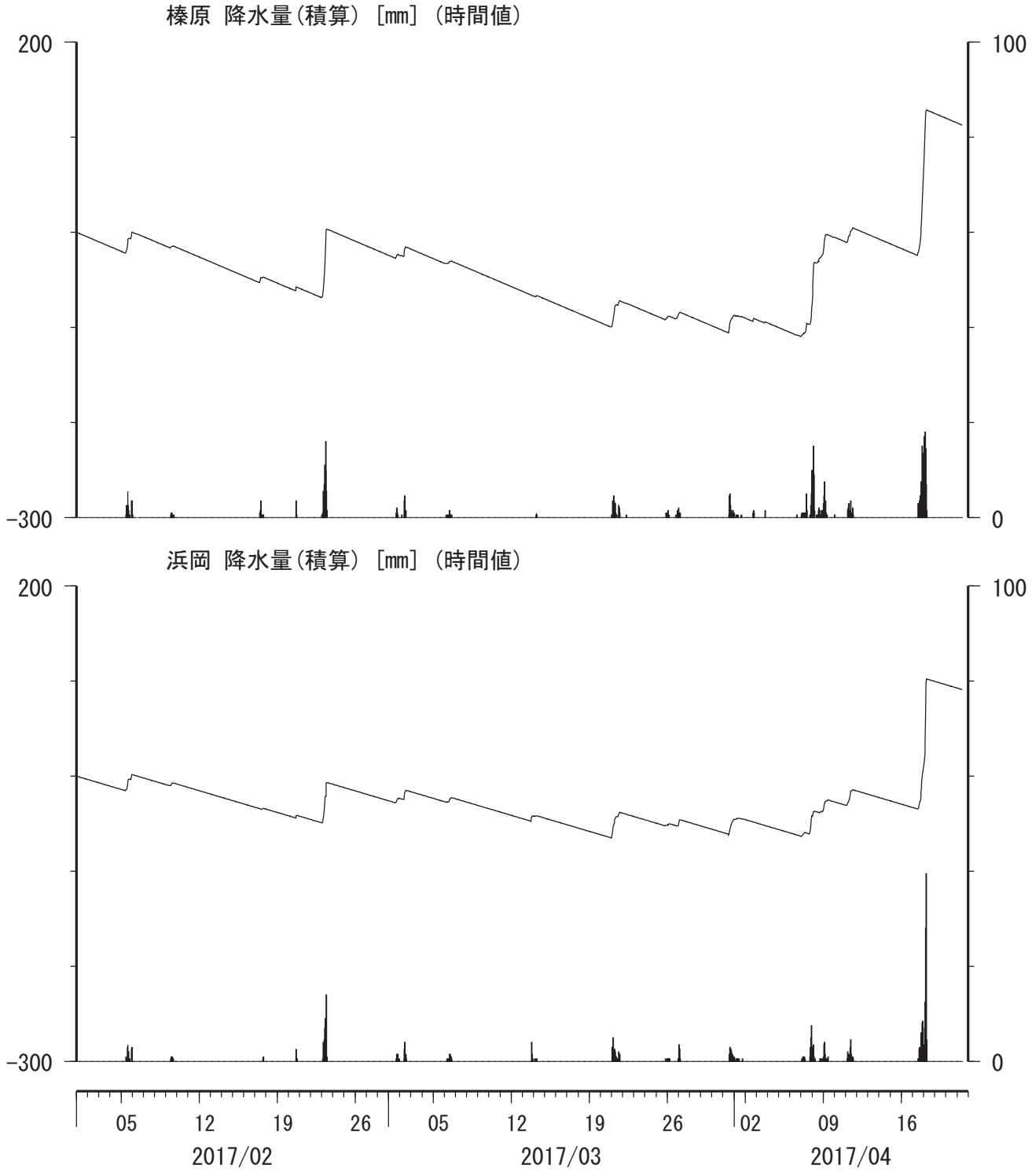
コメント：*;雨量補正不十分. $;保守. ?;不明.
@;月初めの補正値のギャップは,
解析プログラムの見かけ上のものである.
松原174号井は静岡県による観測.
松原174の水位計が長期的にドリフトしていることが
分かったので, 2014年7月4日に新たに水位計を
設置して平行観測している. 2015年3月5日に
旧水位計を新しい水晶式水位計に更新した.
新しい水晶式水位計においてもドリフトが発生しており
2016年5月10日と2016年11月4日に改良版に交換したが
解決していない. 更に2016年11月16日に交換した.

伊豆半島東部 地下水位　長期　（時間値）
(2015/05/01 00:00 - 2017/04/22 00:00 (JST))



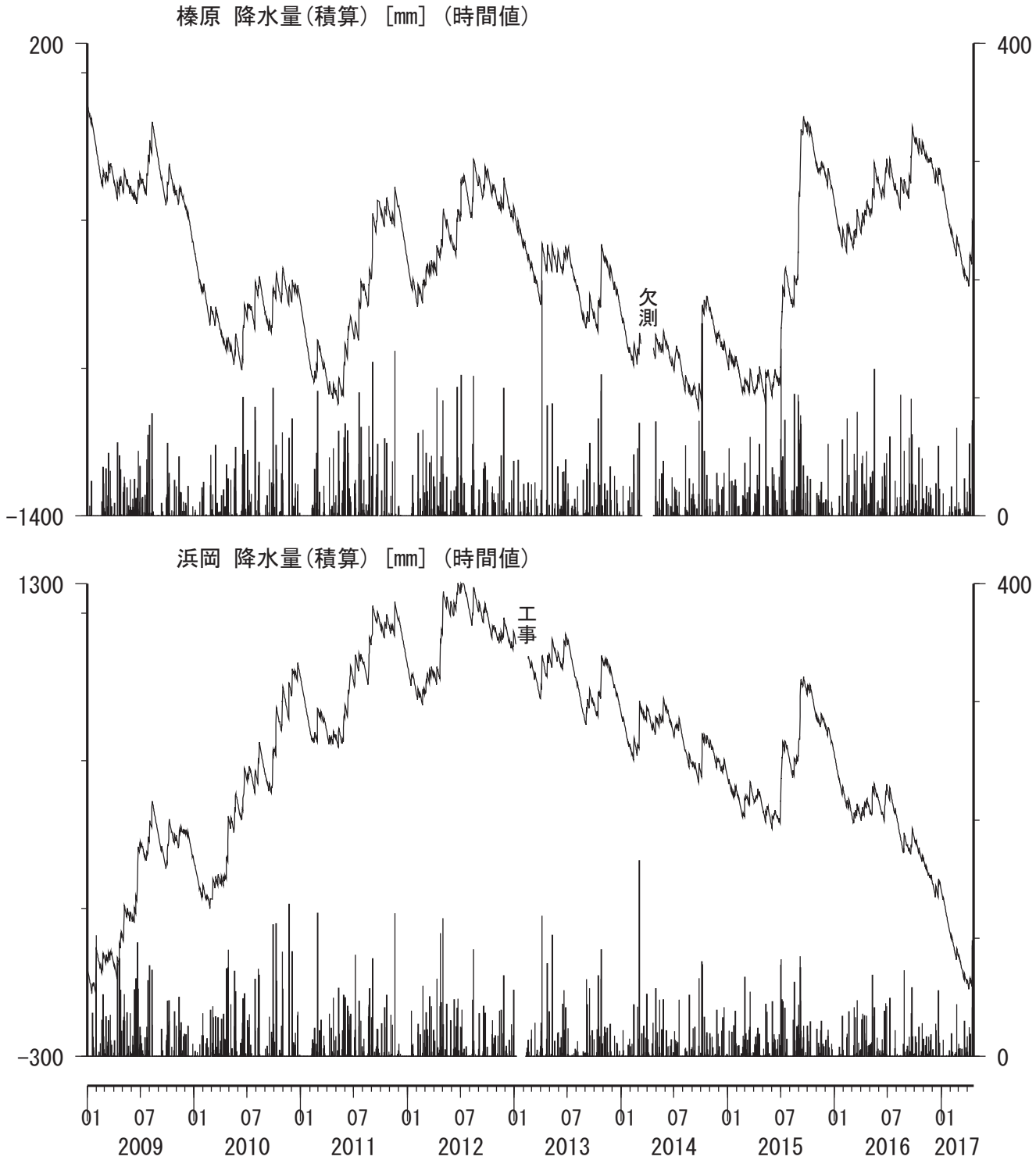
コメント：*;雨量補正不十分. $;保守. ?;不明.
松原174号井は静岡県による観測.
松原174の水位計が長期的にドリフトしていることが分かったので, 2014年7月4日に新たに水位計を設置して平行観測している. 2015年3月5日に旧水位計を新しい水晶式水位計に更新した.

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]
(2017/02/01 00:00 - 2017/04/22 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・浜岡観測井　降雨量の積算からトレンド除去後のグラフ [mm]
(2009/01/01 00:00 - 2017/04/22 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.

紀伊半島～愛知県における歪・傾斜・地下水観測結果（2017 年 2 月～2017 年 4 月）

産業技術総合研究所

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 2 月 1 日から 2017 年 4 月 20 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と個数を図 22-23 に示す。

2017 年 3 月 28 日～4 月 3 日頃に伊勢湾周辺で小規模な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・気象庁・防災科研の観測点における多成分歪・体積歪・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 3 月 15 日～3 月 27 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。伊勢湾では，2016 年 8 月 1 日～6 日に Mw5.8（図 26(b1)の灰色矩形 2）の短期的 SSE が発生したと推定されている。

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，地下水圧，もしくは傾斜 2 成分の記録を用いる。地下水圧は，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の確認のために 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，断層面のサイズは幅・長さ共に 20 km で固定し，断層面の位置（0.1°間隔）およびすべり量（1-100 mm の間で 1 mm 間隔）のみ可変として計算を行う。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，観測値とそのすべり量による計算値との残差の総和の分布を示している。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，2 段階目で推定された結果の任意性を確認することができる。2 段階目では，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（10-80 km の間で 1 km 間隔）および幅（10-50 km の間で 1 km 間隔）を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解が 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 50 mm 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 2*, **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.

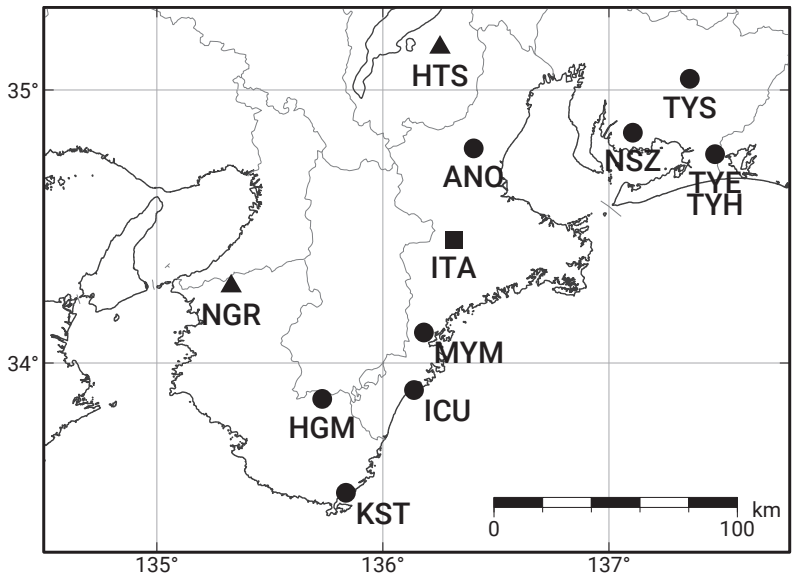
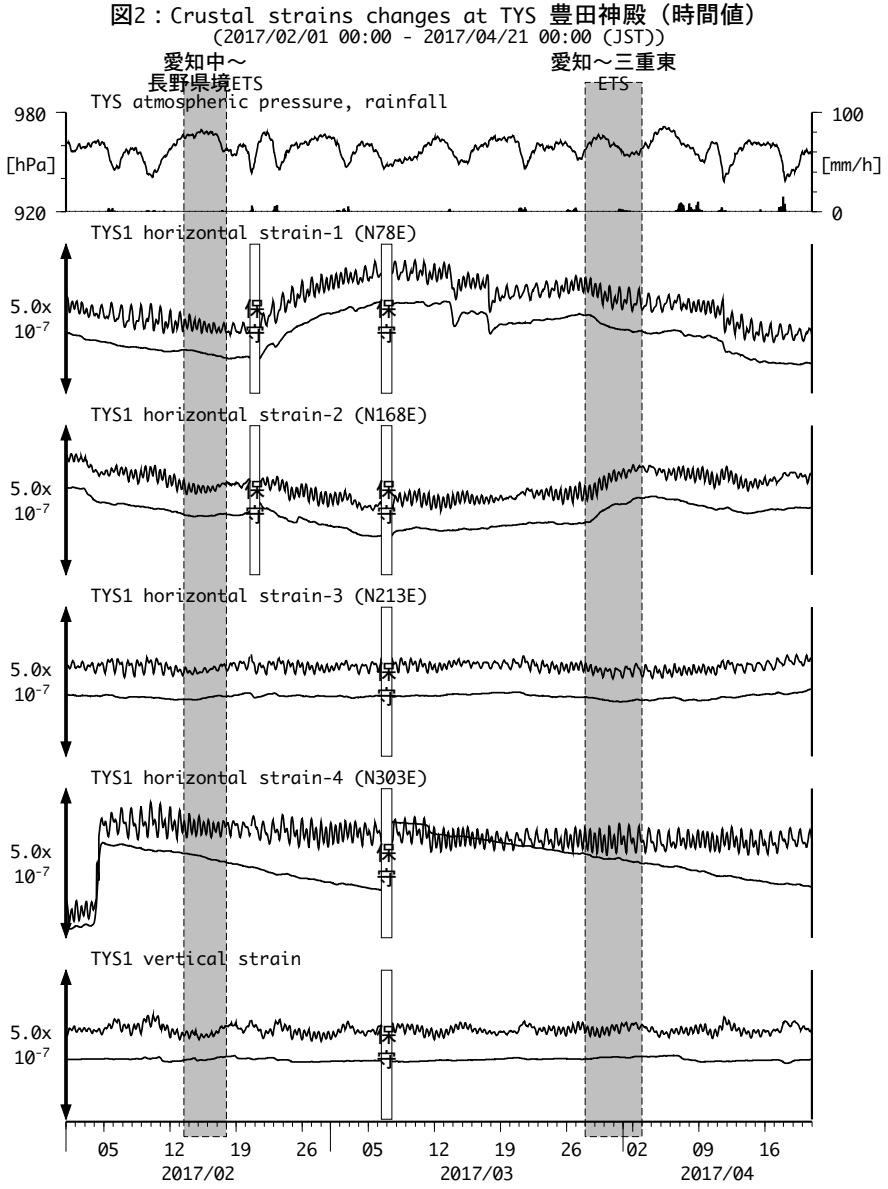


図1　紀伊半島～愛知県における地下水等総合観測施設の分布図（●・■・▲）。●はデジタル方式の石井式歪計・傾斜計を併設している観測点，■はGladwin式歪計・ミツトヨ式傾斜計を併設している観測点，▲はアナログ方式の石井式歪計を併設している観測点を示す。

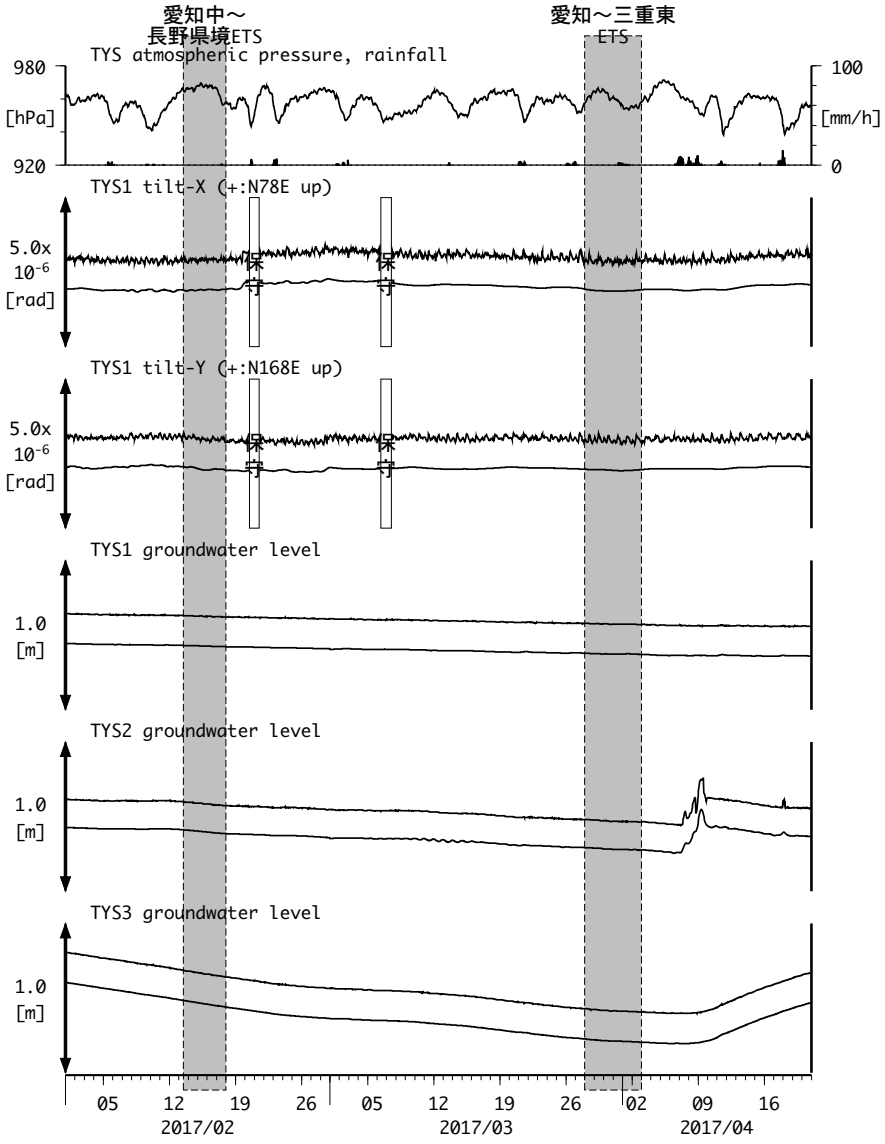
表1　産総研観測点の名称

3文字コード	名称	ふりがな	市区町村	図
TYS	豊田神殿	とよたかんどの	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	つあのう	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



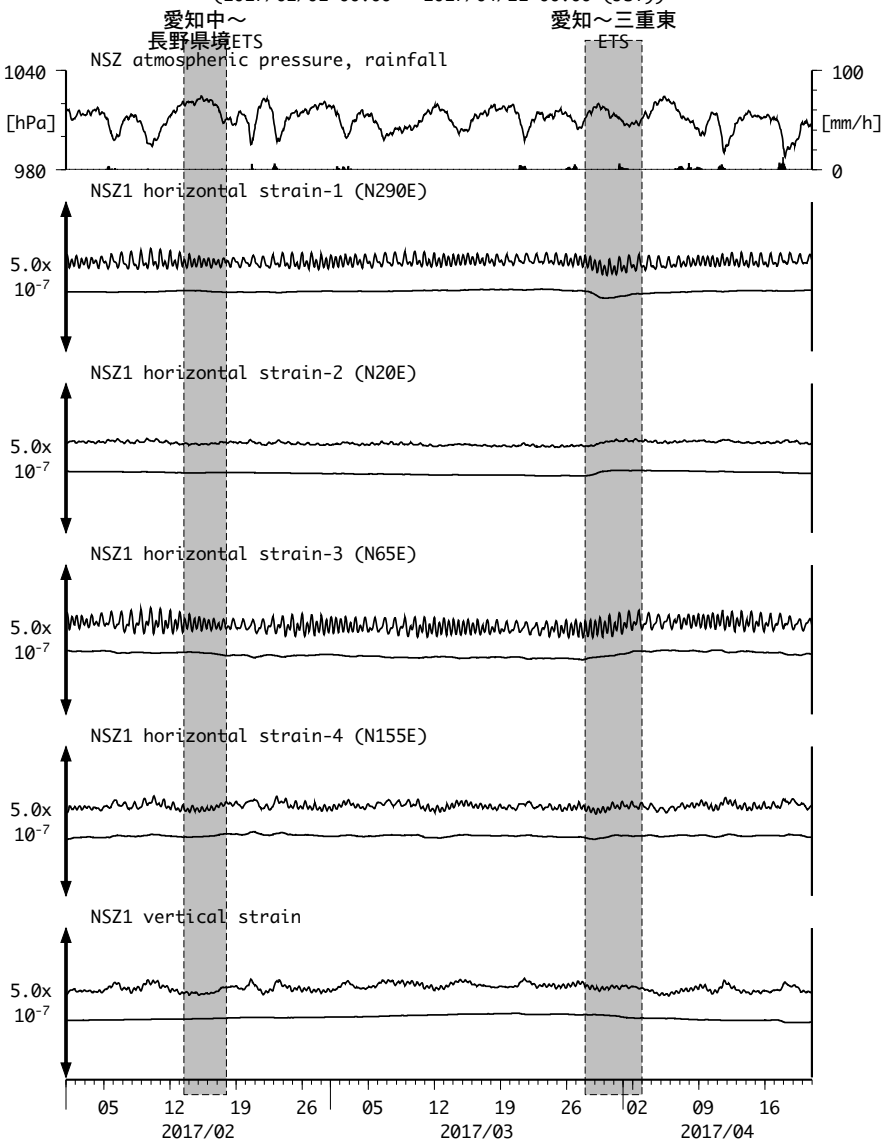
Strainmeter depth = 586.7-588.1 [GL-m]
上：1次トレンドを除去
下：BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分を除去後、1次トレンドも除去

図3：Tilt and groundwater level changes at TYS 豊田神殿（時間値）
(2017/02/01 00:00 - 2017/04/21 00:00 (JST))



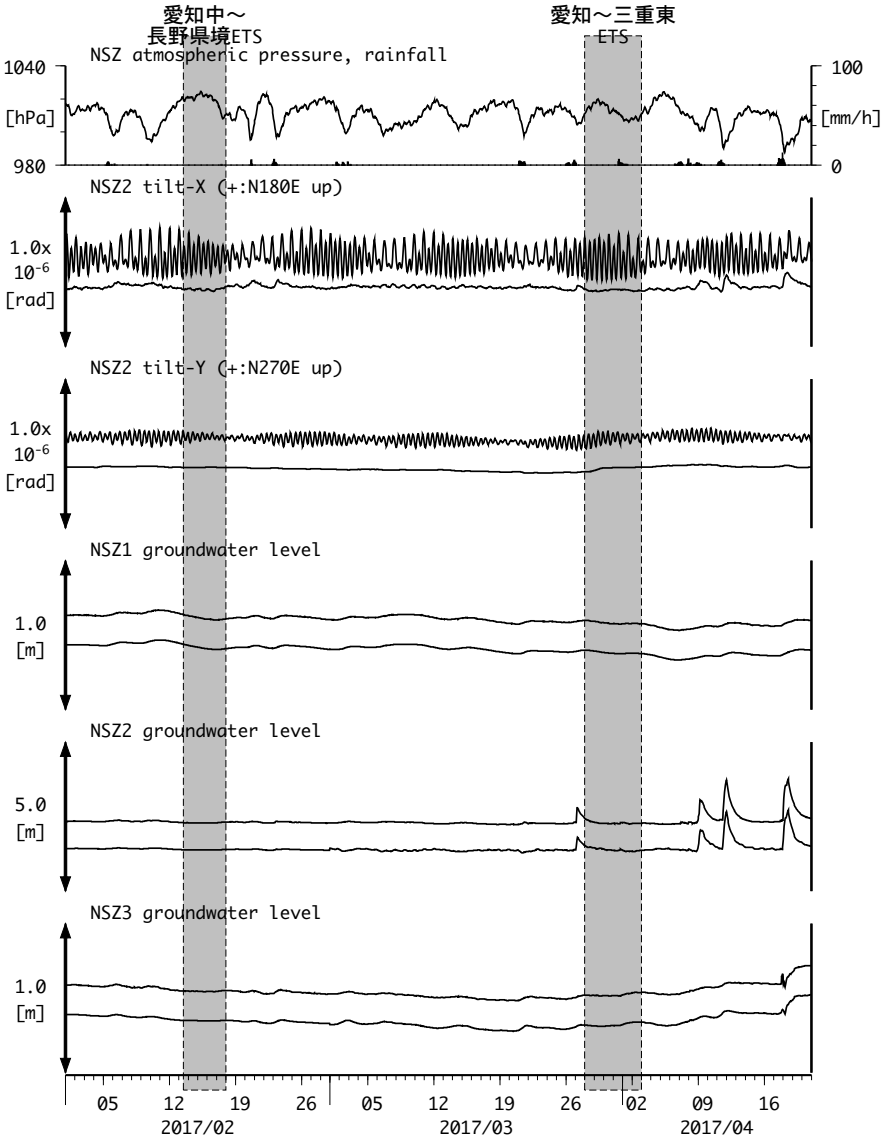
Tiltmeter depth = 585.9-586.7 [GL-m]
TYS1 : Screen depth = 404.8-426.7 [GL-m]
TYS2 : Screen depth = 148.8-154.3 [GL-m]
TYS3 : Screen depth = 26.8-32.3 [GL-m]
上: tiltは1次トレンド除去
下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答成分除去、tiltは1次トレンドも除去

図4：Crustal strains changes at NSZ 西尾善明（時間値）
(2017/02/01 00:00 - 2017/04/21 00:00 (JST))



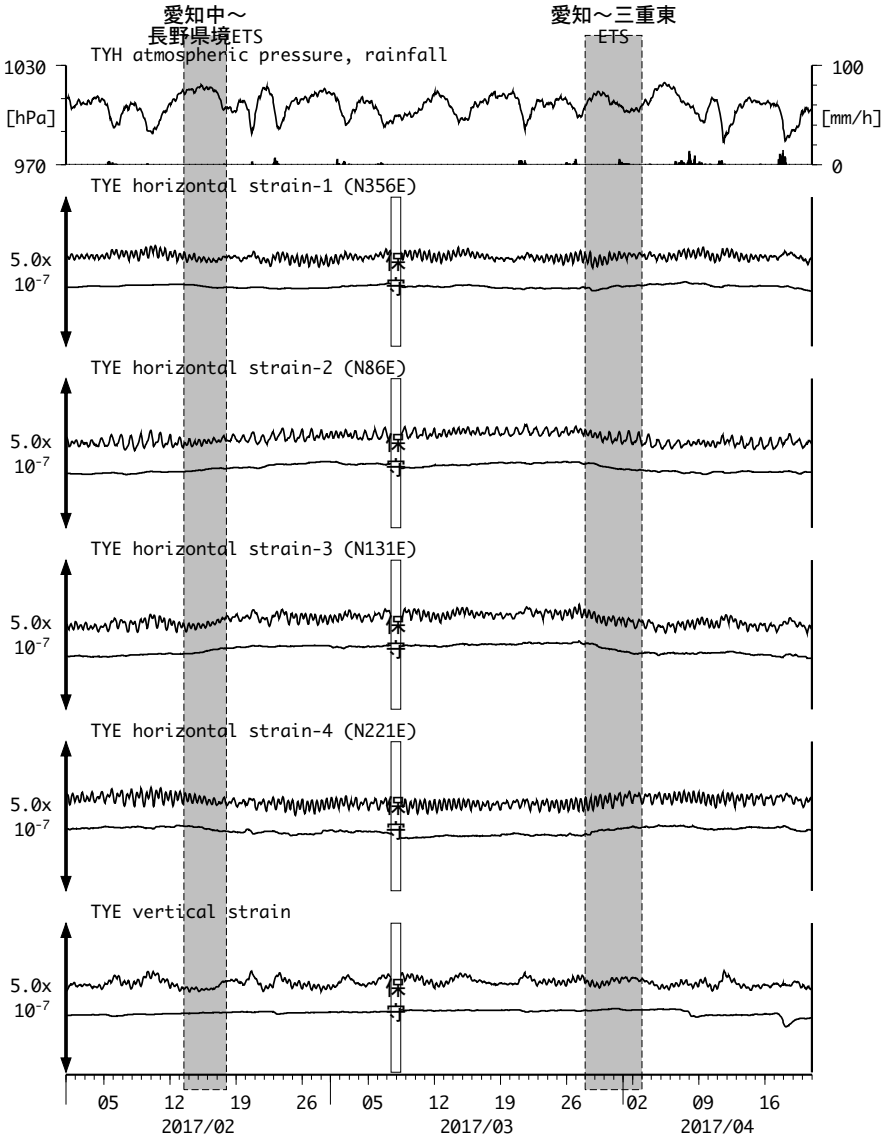
Strainmeter depth = 582.3-584.3 [GL-m]
上: 1次トレンドを除去
下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分を除去後、1次トレンドも除去

図5：Tilt and groundwater level changes at NSZ 西尾善明（時間値）
(2017/02/01 00:00 - 2017/04/21 00:00 (JST))



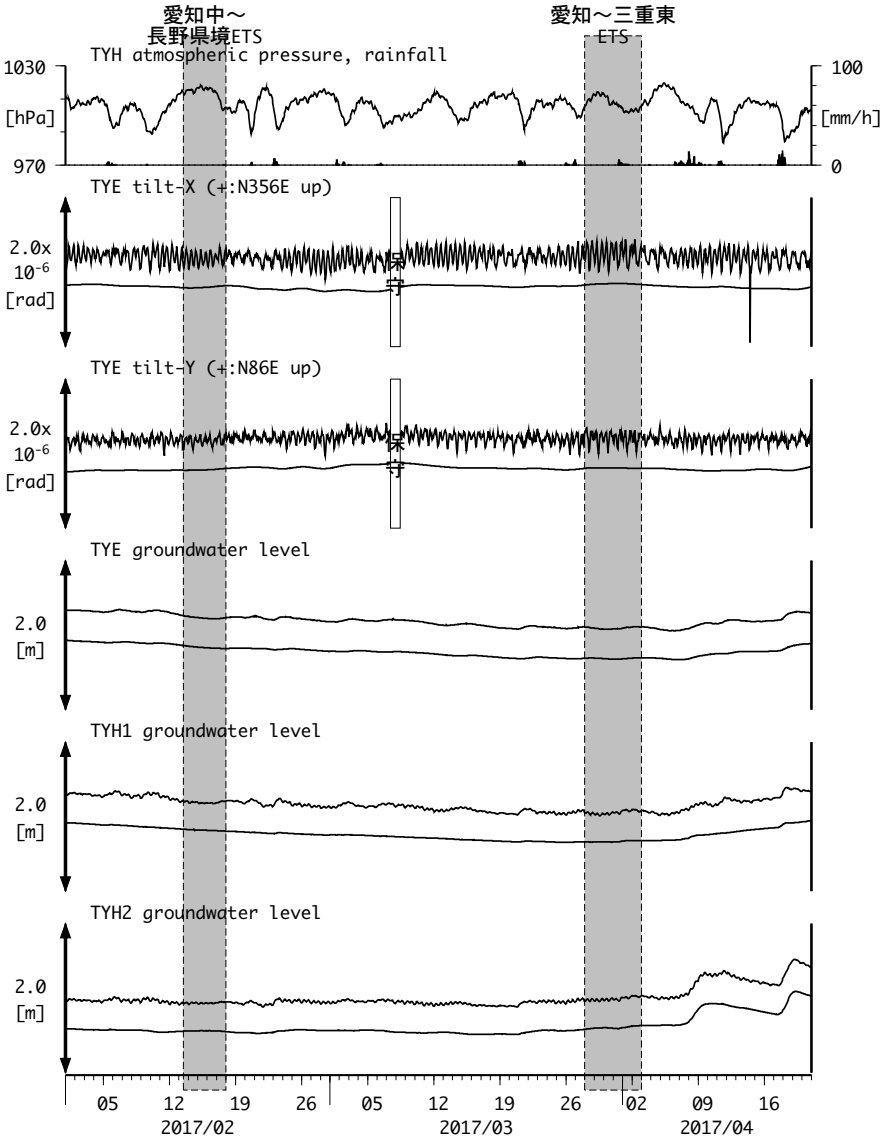
Tiltmeter depth = 194.7-195.3 [GL-m]
NSZ1 : Screen depth = 398.3-409.2 [GL-m]
NSZ2 : Screen depth = 149.3-160.2 [GL-m]
NSZ3 : Screen depth = 25.6-31.1 [GL-m]
上: tiltは1次トレンド除去
下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答成分除去、tiltは1次トレンドも除去

図6：Crustal strain changes at TYE 豊橋多米（時間値）
(2017/02/01 00:00 - 2017/04/21 00:00 (JST))



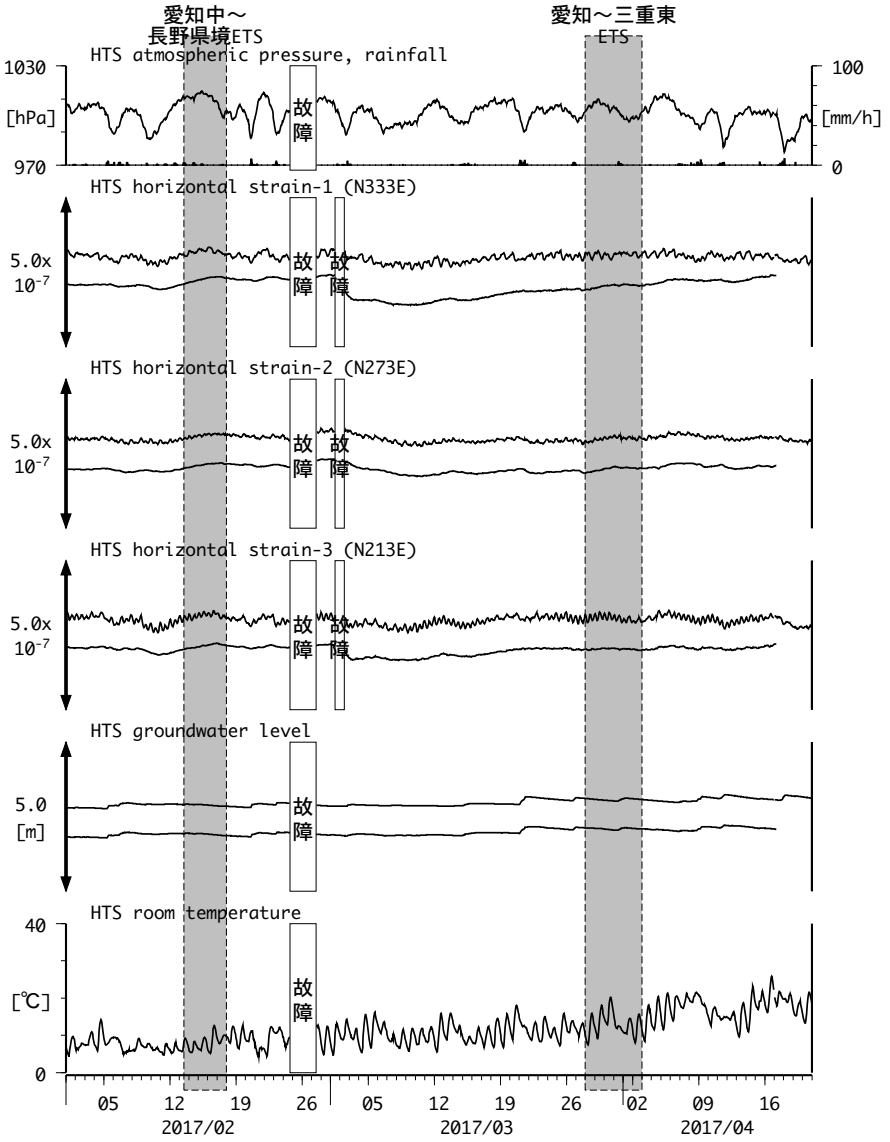
Strainmeter depth = 266.5-267.9 [GL-m]
上: 1次トレンドを除去
下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分を除去後、1次トレンドも除去

図7：Tilt and groundwater level changes at TYE and TYH 豊橋多米・豊橋
(2017/02/01 00:00 - 2017/04/21 00:00 (JST))



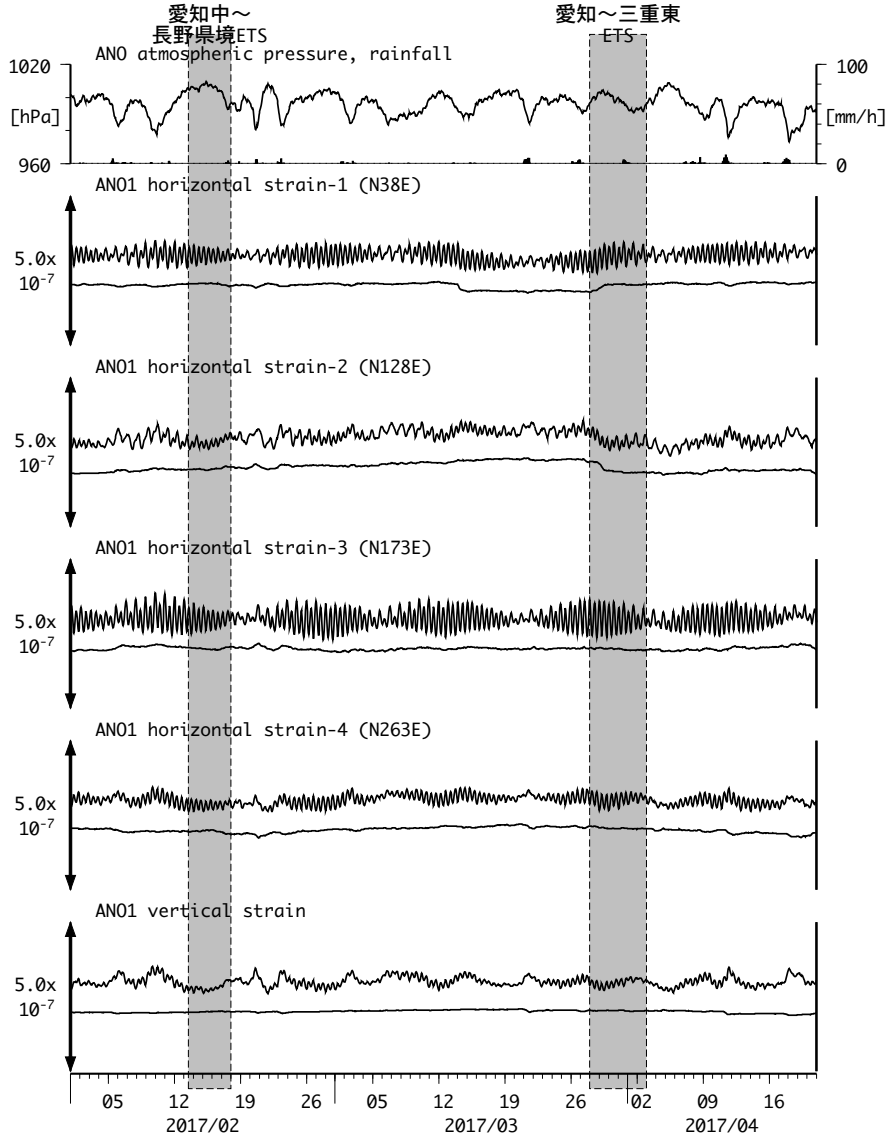
Tiltmeter depth = 265.6-266.5 [GL-m]
TYE : Screen depth = 185.9-207.8 [GL-m]
TYH1 : Screen depth = 178.6-200.4 [GL-m]
TYH2 : Screen depth = 133.7-150.0 [GL-m]
上：tiltは1次トレンドを除去
下：BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分を除去、tiltは1次トレンドも除去

図8：Crustal strain and groundwater level changes at HTS 愛荘香之庄
(2017/02/01 00:00 - 2017/04/21 00:00 (JST))



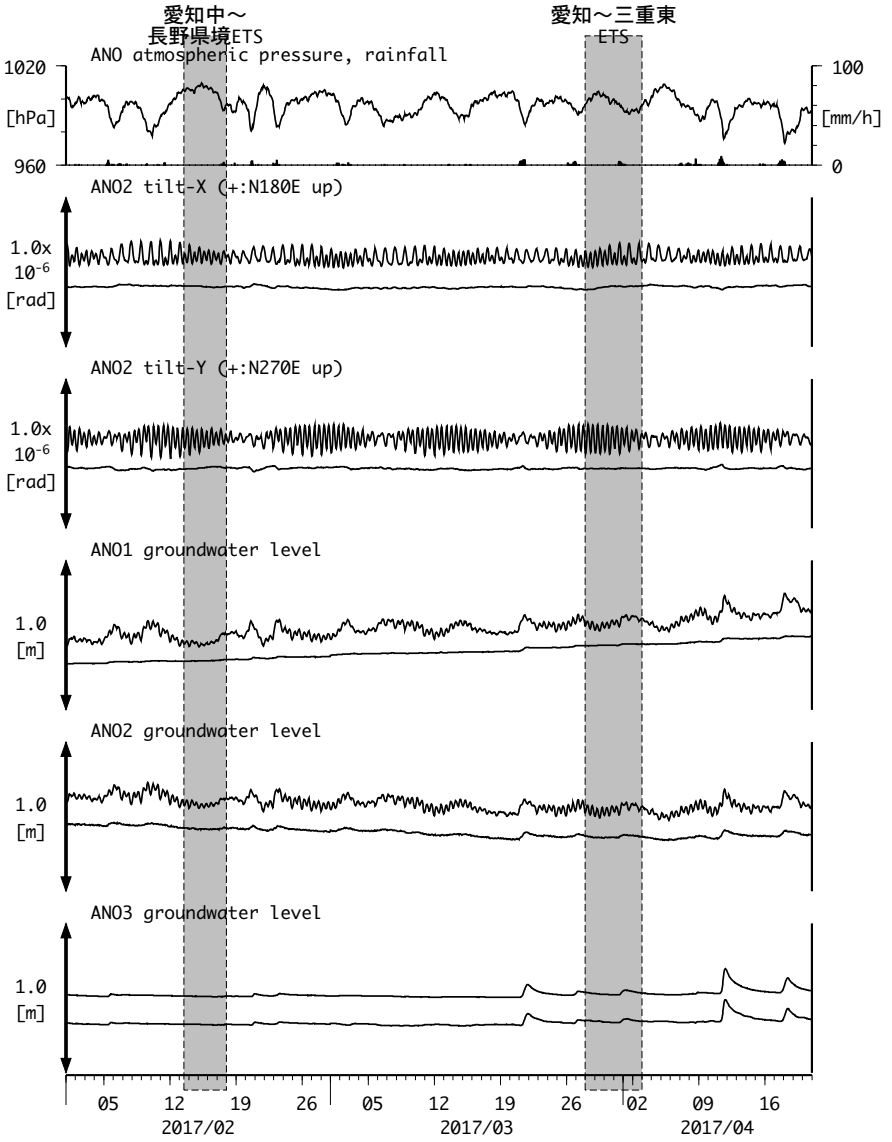
Strainmeter depth = 435.0-436.2 [GL-m]
Screen depth = 338.3-360.1 [GL-m]
上：strainは1次トレンドを除去
下：BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分を除去、strainは1次トレンドも除去

図9：Crustal strains changes at ANO 津安濃（時間値）
(2017/02/01 00:00 - 2017/04/21 00:00 (JST))



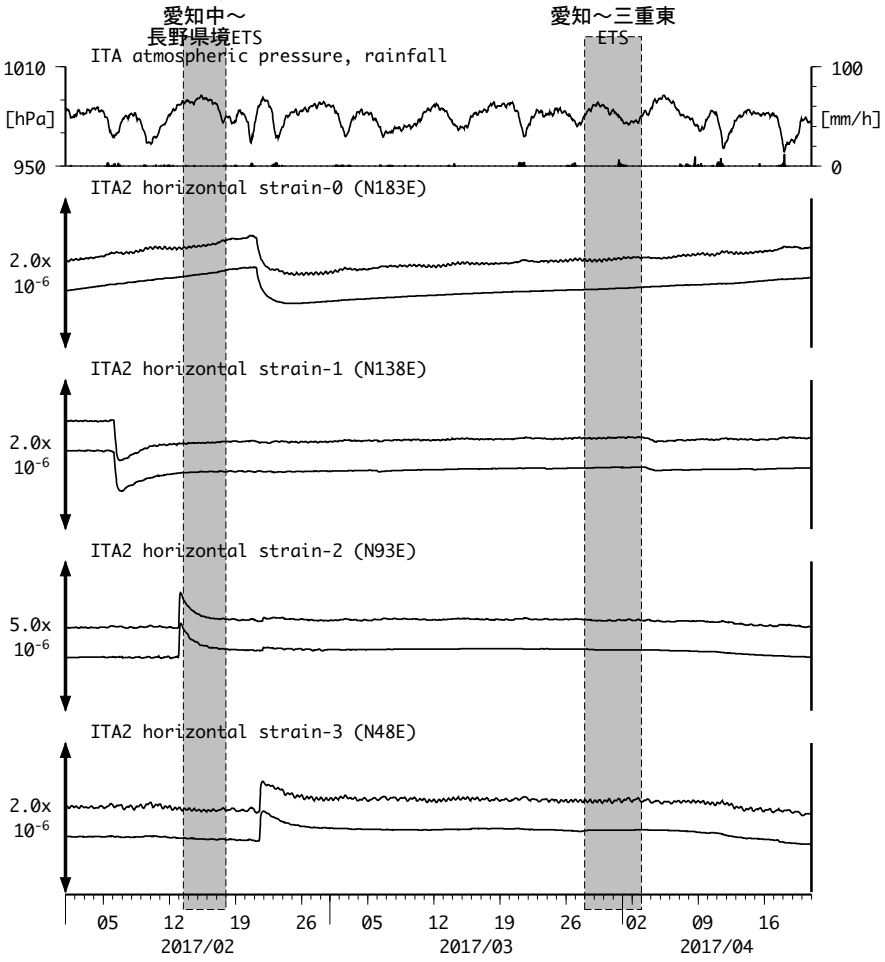
Strainmeter depth = 588.9-590.3 [GL-m]
上: 1次トレンドを除去
下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分を除去後、1次トレンドも除去

図10：Tilt and groundwater level changes at ANO 津安濃（時間値）
(2017/02/01 00:00 - 2017/04/21 00:00 (JST))



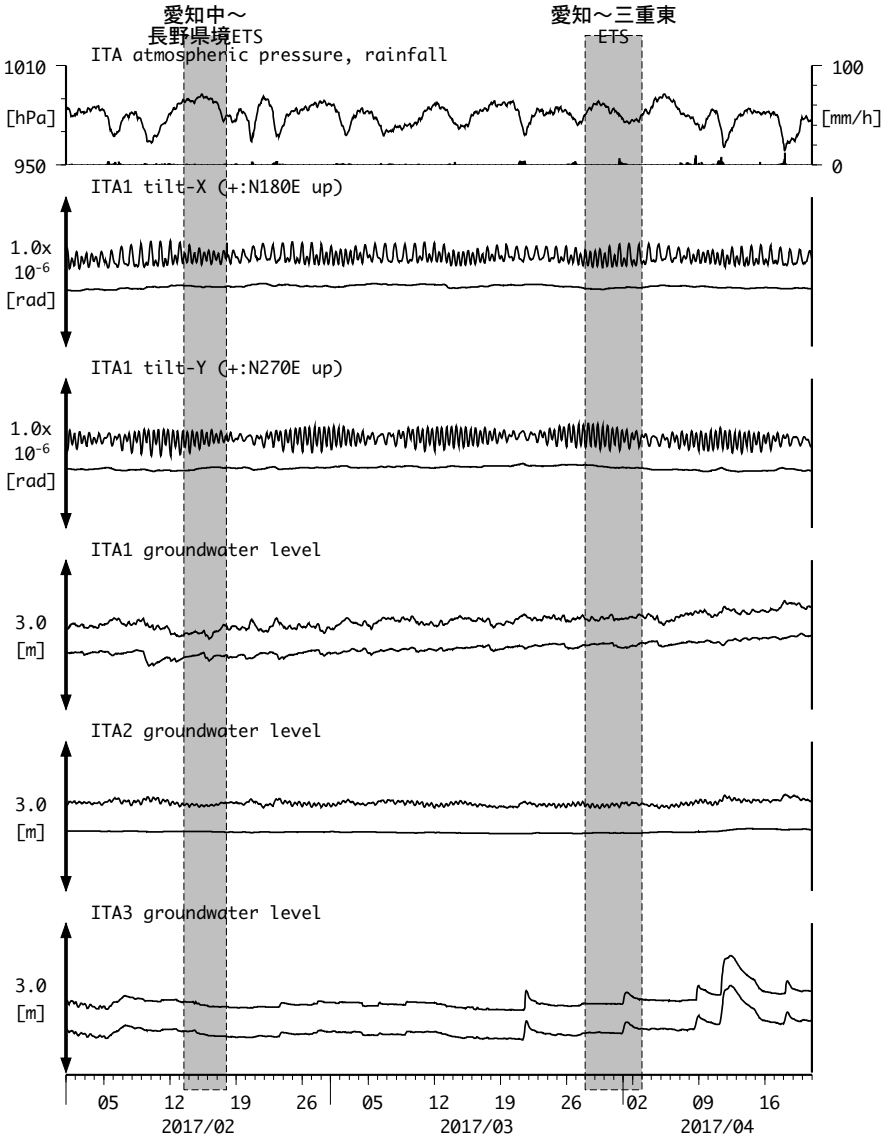
Tiltmeter depth = 236.6-237.3 [GL-m]
ANO1 : Screen depth = 502.9-513.8 [GL-m]
ANO2 : Screen depth = 197.5-208.5 [GL-m]
ANO3 : Screen depth = 12.0-22.9 [GL-m]
上: tiltは1次トレンド除去
下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分除去、tiltは1次トレンドも除去

図11：Crustal strain changes at ITA 松阪飯高（時間値）
(2017/02/01 00:00 - 2017/04/21 00:00 (JST))



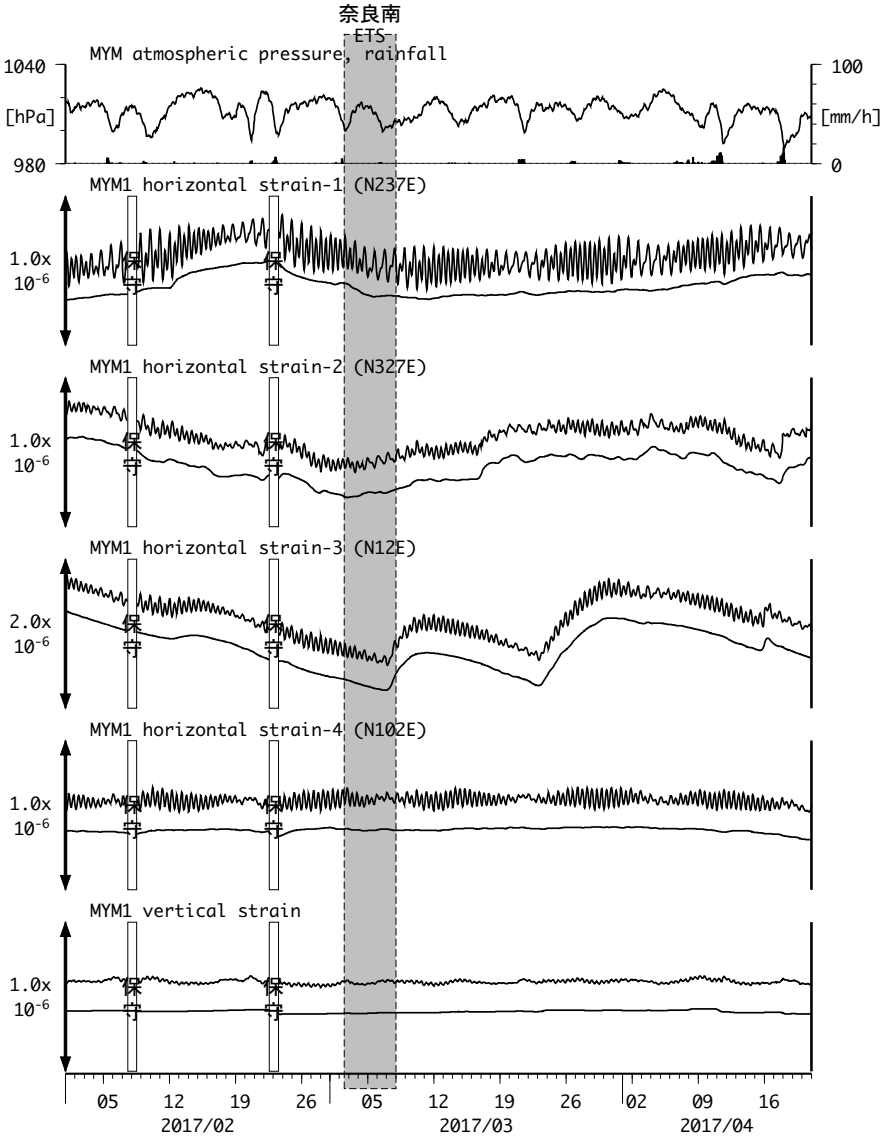
Strainmeter depth = 181.3-183.6 [GL-m]
上：1次トレンド除去
下：BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分除去後に1次トレンド除去

図12：Tilt and groundwater level changes at ITA 松阪飯高（時間値）
(2017/02/01 00:00 - 2017/04/21 00:00 (JST))



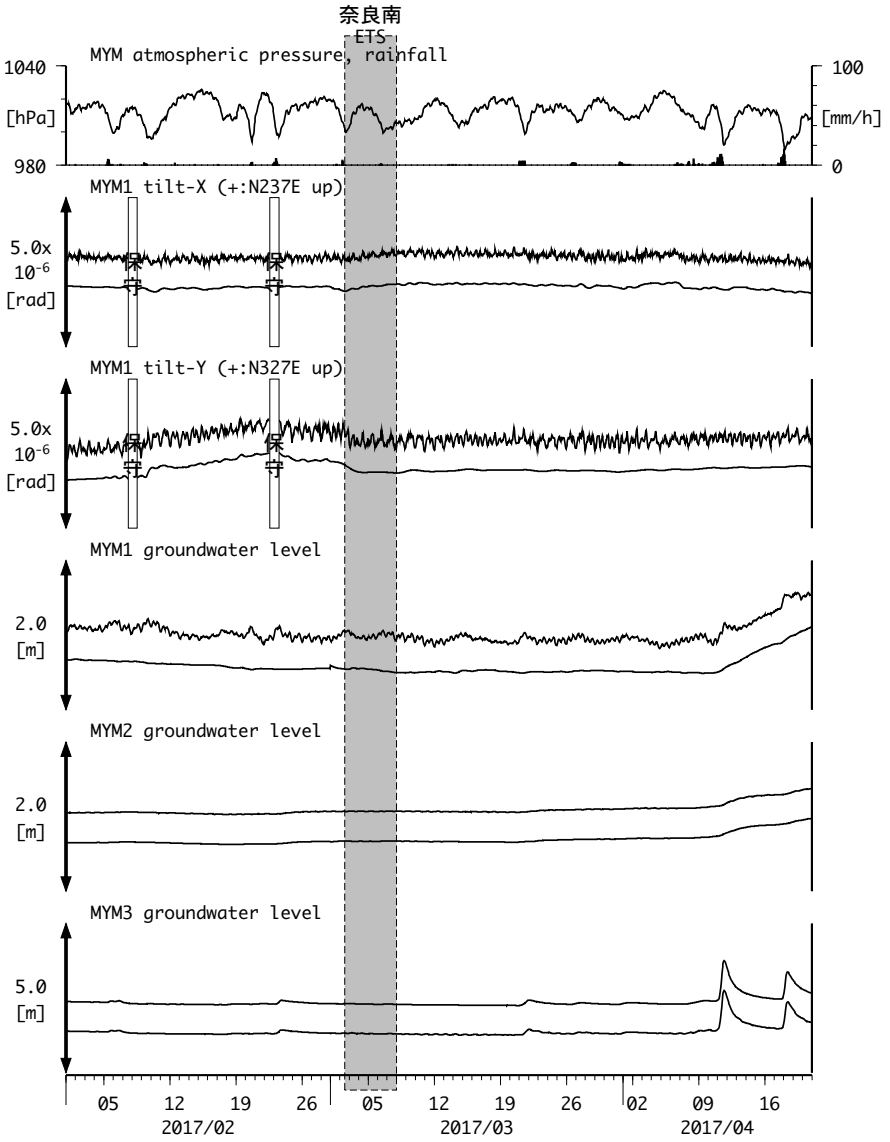
観測点名：松阪飯高（旧名称：飯高赤桶）
Tiltmeter depth = 596.7-597.3 [GL-m]
ITA1: Screen depth = 547.6-558.5 [GL-m]
ITA2: Screen depth = 145.5-156.4 [GL-m]
ITA3: Screen depth = 10.8-16.3 [GL-m]
上：tiltは1次トレンド除去
下：BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分除去、tiltは1次トレンドも除去
ITA2は2013/11/26に孔口を密閉した

図13：Crustal strain changes at MYM 紀北海山（時間値）
(2017/02/01 00:00 - 2017/04/21 00:00 (JST))



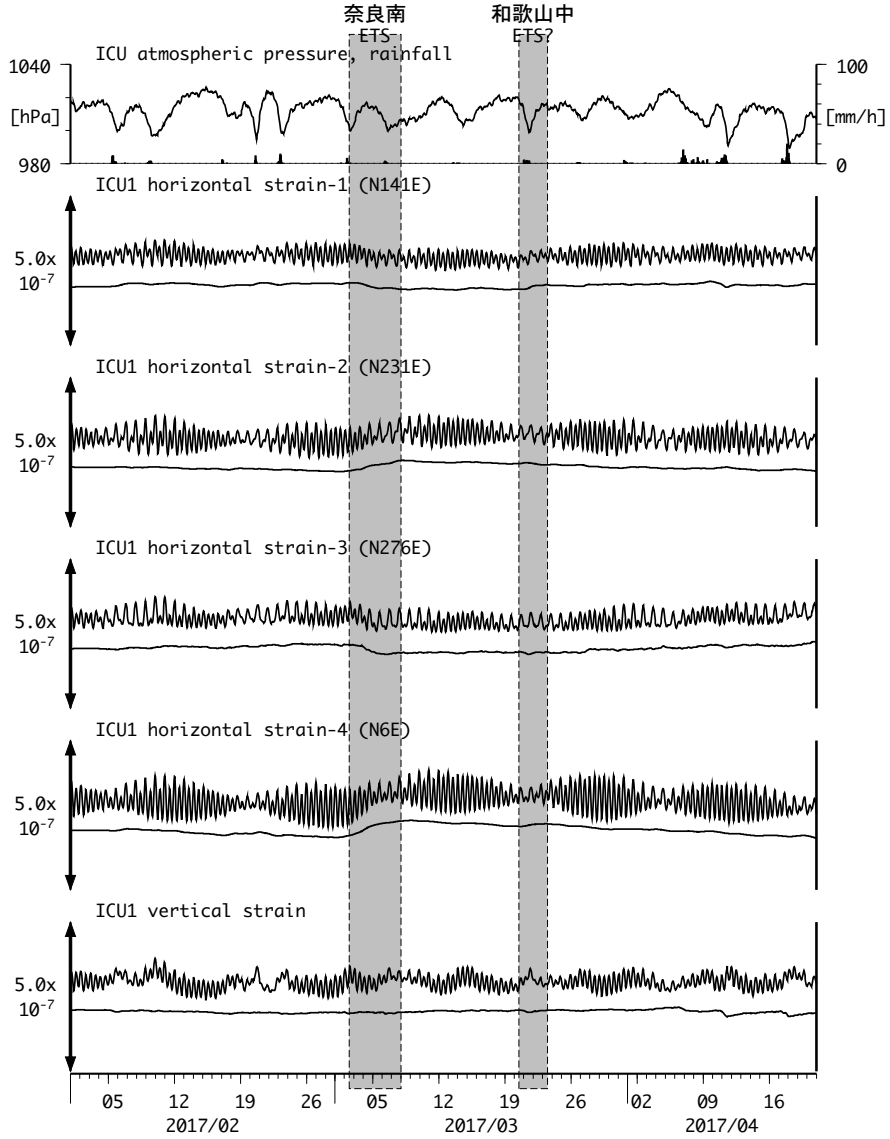
Strainmeter depth = 590.0-591.4 [GL-m]
上: 1次トレンド除去
下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分除去後に1次トレンド除去

図14：Tilt and groundwater level changes at MYM 紀北海山（時間値）
(2017/02/01 00:00 - 2017/04/21 00:00 (JST))



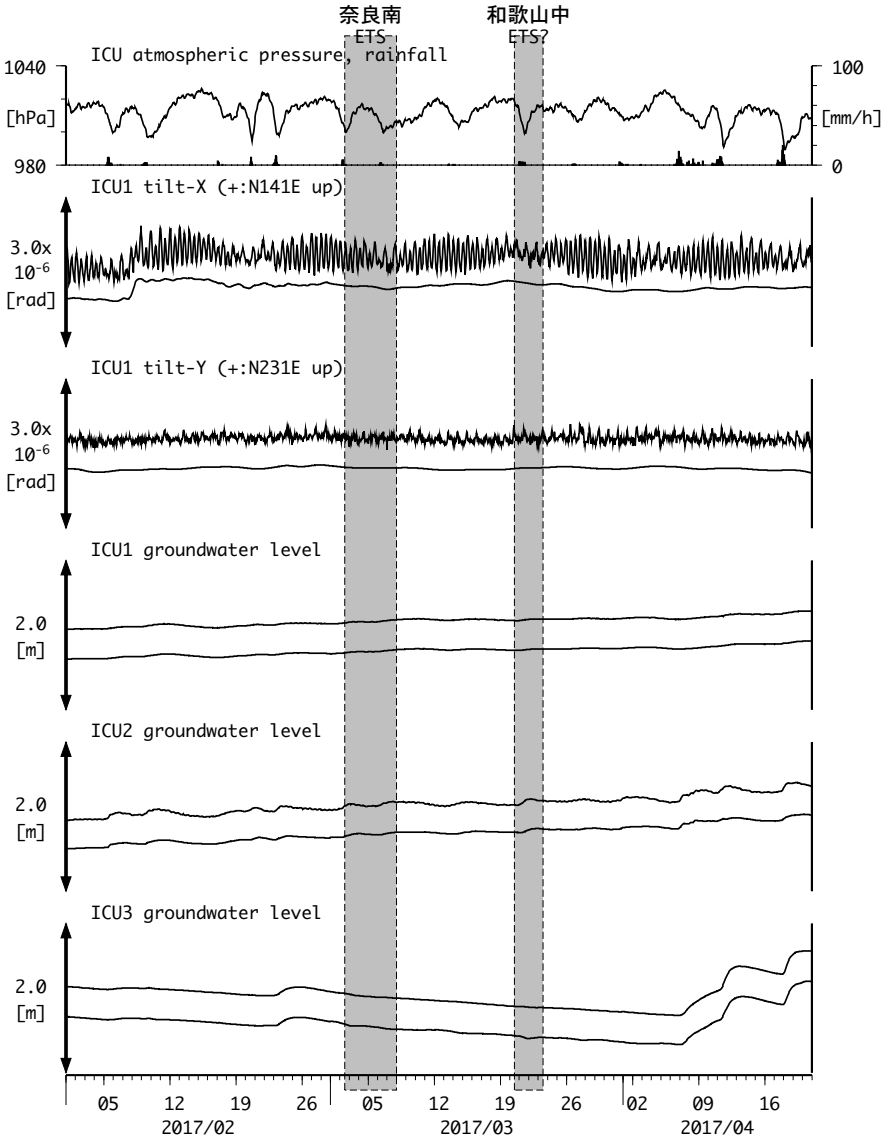
Tiltmeter depth = 589.2-590.0 [GL-m]
MYM1 : Screen depth = 418.9-429.8 [GL-m]
MYM2 : Screen depth = 140.3-151.1 [GL-m]
MYM3 : Screen depth = 19.9-25.3 [GL-m]
上: tiltは1次トレンド除去
下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分除去、tiltは1次トレンドも除去

図15：Crustal strain changes at ICU 熊野磯崎（時間値）
(2017/02/01 00:00 - 2017/04/21 00:00 (JST))



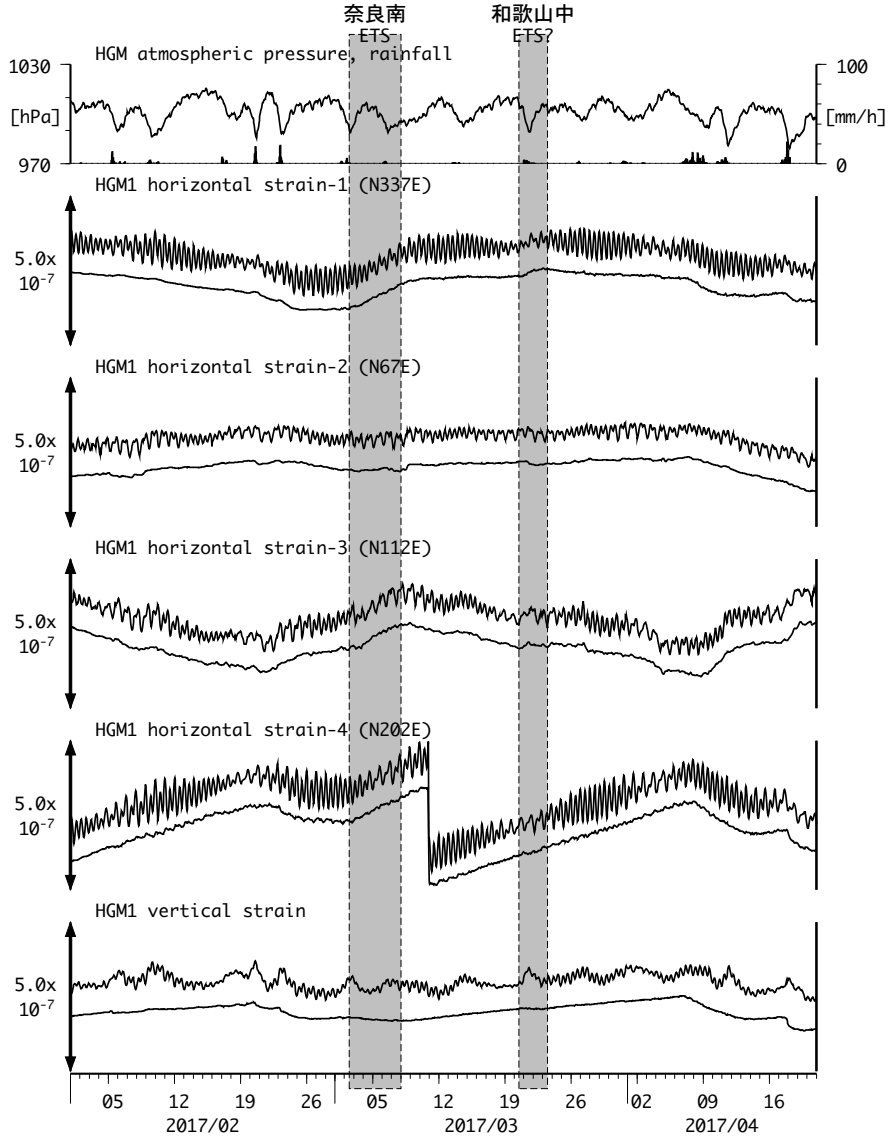
Strainmeter depth = 588.5-589.9 [GL-m]
上: 1次トレンド除去
下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分除去後に1次トレンド除去

図16：Tilt and groundwater level changes at ICU 熊野磯崎（時間値）
(2017/02/01 00:00 - 2017/04/21 00:00 (JST))



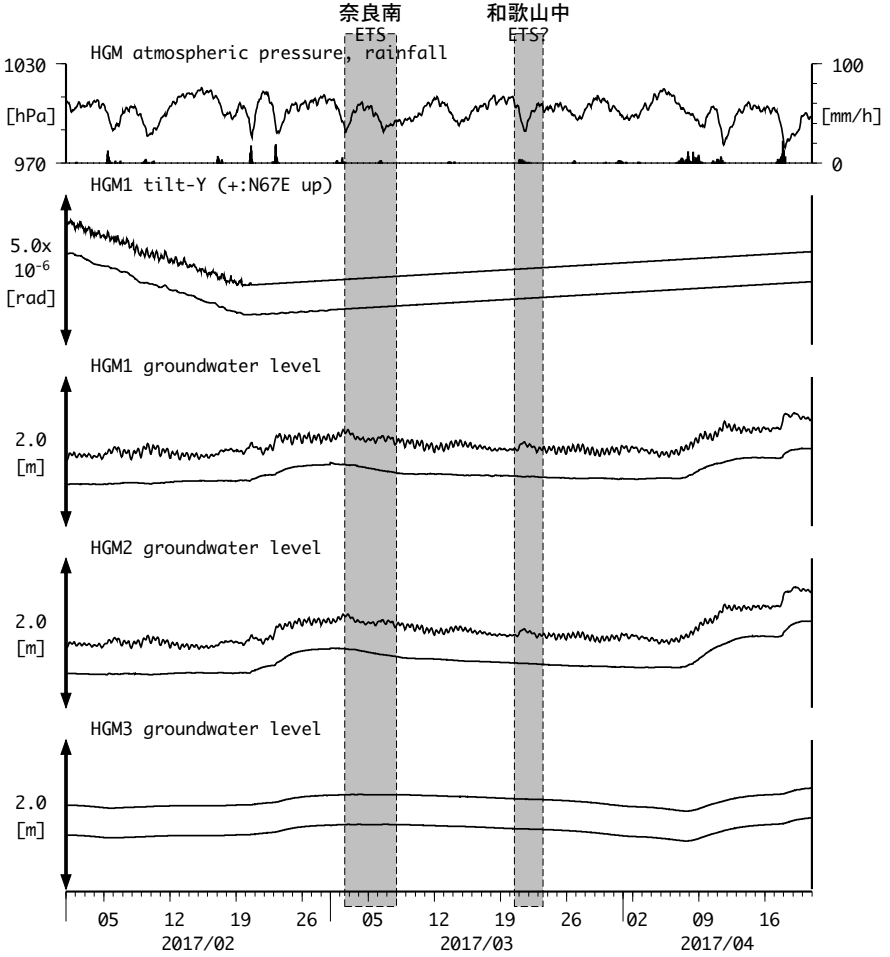
Tiltmeter depth = 587.7-588.5 [GL-m]
ICU1 : Screen depth = 522.5-533.4 [GL-m]
ICU2 : Screen depth = 95.7-106.6 [GL-m]
ICU3 : Screen depth = 13.4-18.8 [GL-m]
上: tiltは1次トレンド除去
下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分除去、tiltは1次トレンドも除去

図17：Crustal strains changes at HGM 田辺本宮（時間値）
(2017/02/01 00:00 - 2017/04/21 00:00 (JST))



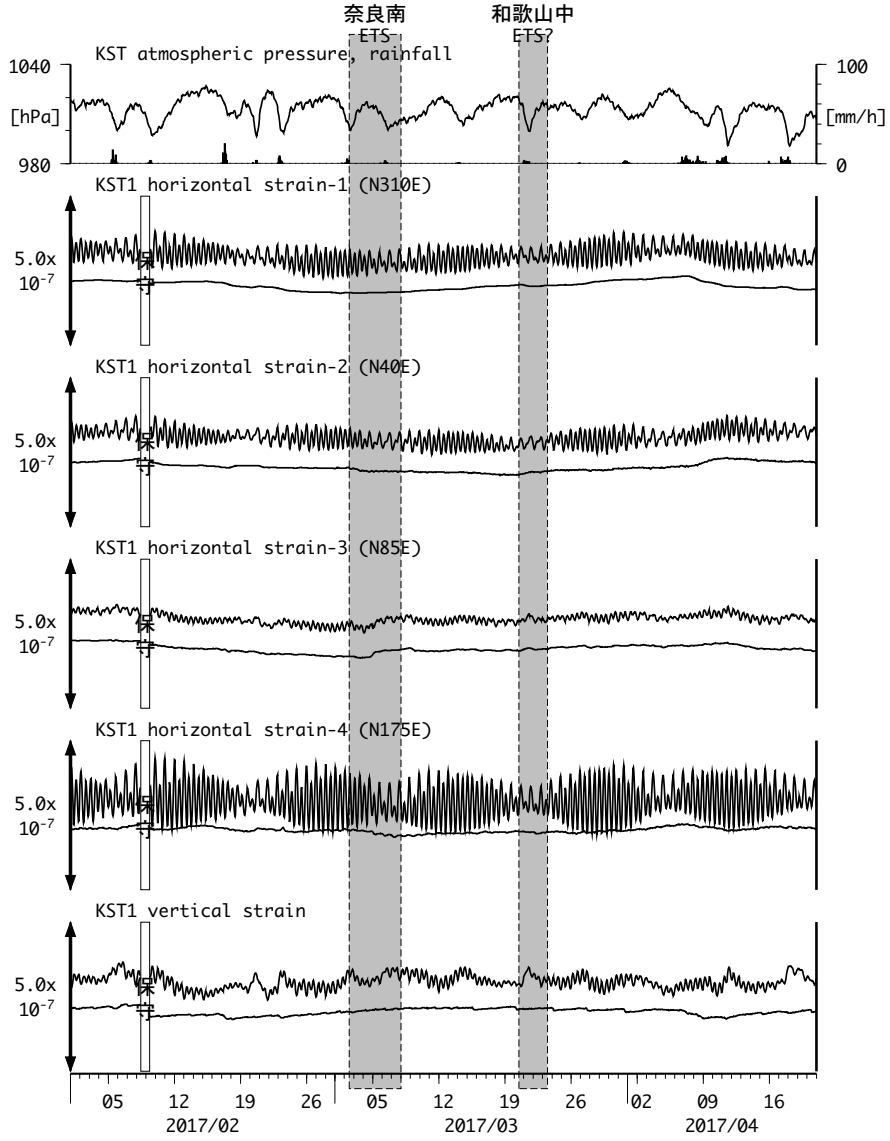
Strainmeter depth = 372.7-374.1 [GL-m]
上: 1次トレンド除去
下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分除去後に1次トレンド除去

図18：Tilt and groundwater level changes at HGM 田辺本宮（時間値）
(2017/02/01 00:00 - 2017/04/21 00:00 (JST))



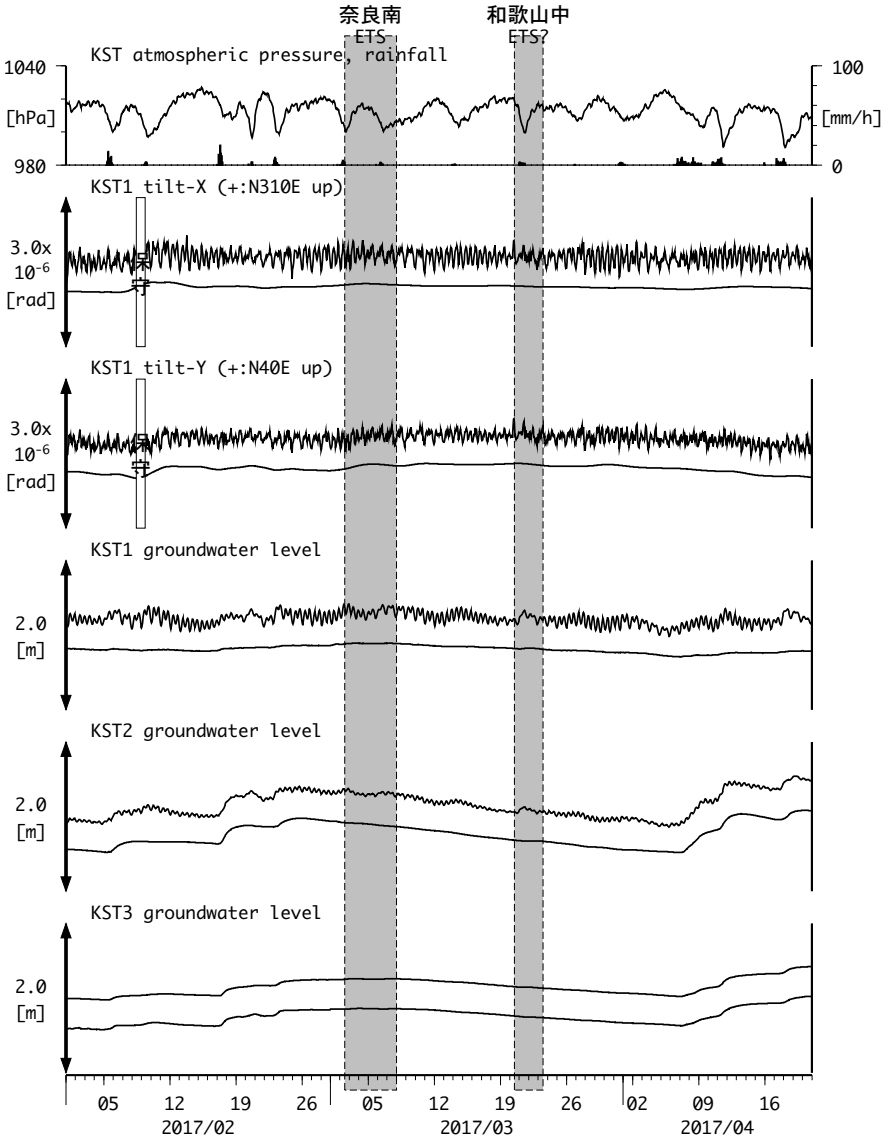
Tiltmeter depth = 371.9-372.7 [GL-m]
HGM1 : Screen depth = 320.4-331.3 [GL-m]
HGM2 : Screen depth = 180.9-191.8 [GL-m]
HGM3 : Screen depth = 24.3-29.8 [GL-m]
上: tiltは1次トレンド除去
下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分除去、tiltは1次トレンドも除去
tilt-Xは振り切れにより欠測
HGM1は2013/10/12に孔口を密閉した

図19：Crustal strain changes at KST 串本津荷（時間値）
(2017/02/01 00:00 - 2017/04/21 00:00 (JST))



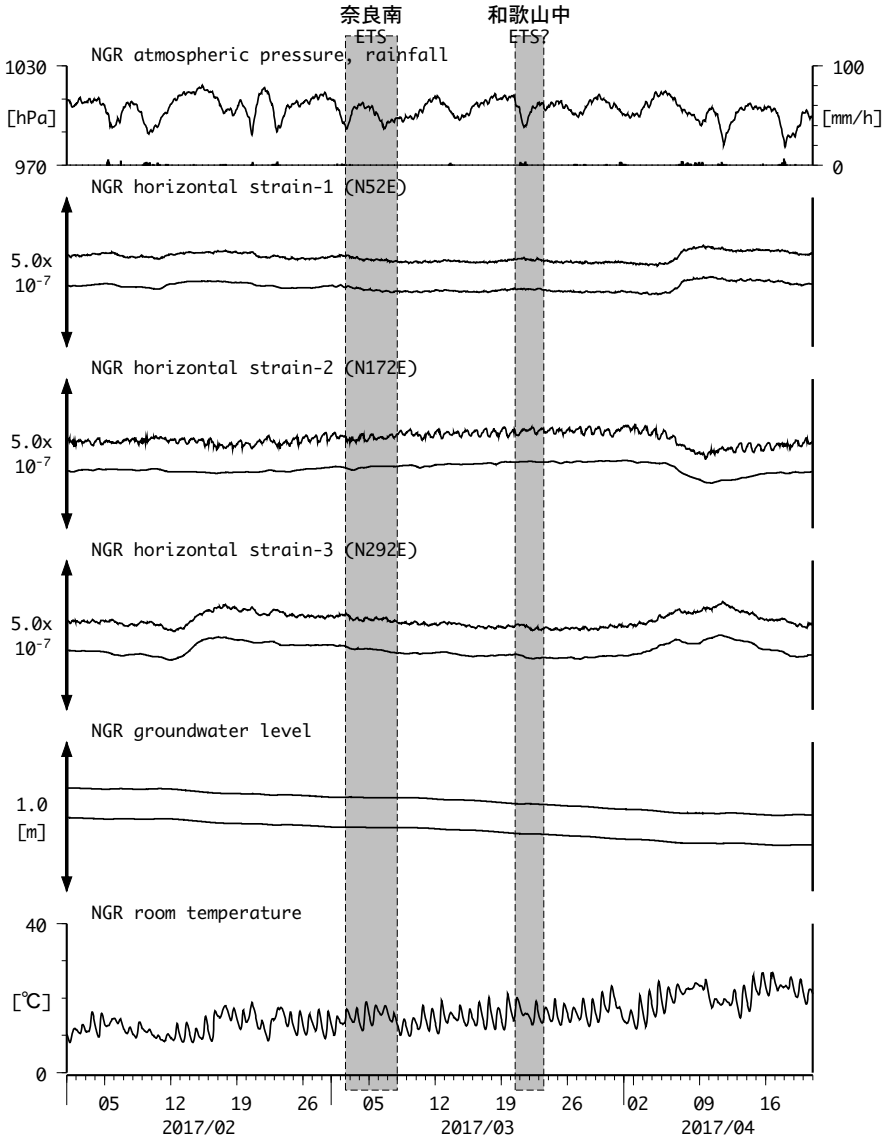
Strainmeter depth = 589.8-591.2 [GL-m]
上: 1次トレンド除去
下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分除去後に1次トレンド除去

図20：Tilt and groundwater level changes at KST 串本津荷（時間値）
(2017/02/01 00:00 - 2017/04/21 00:00 (JST))

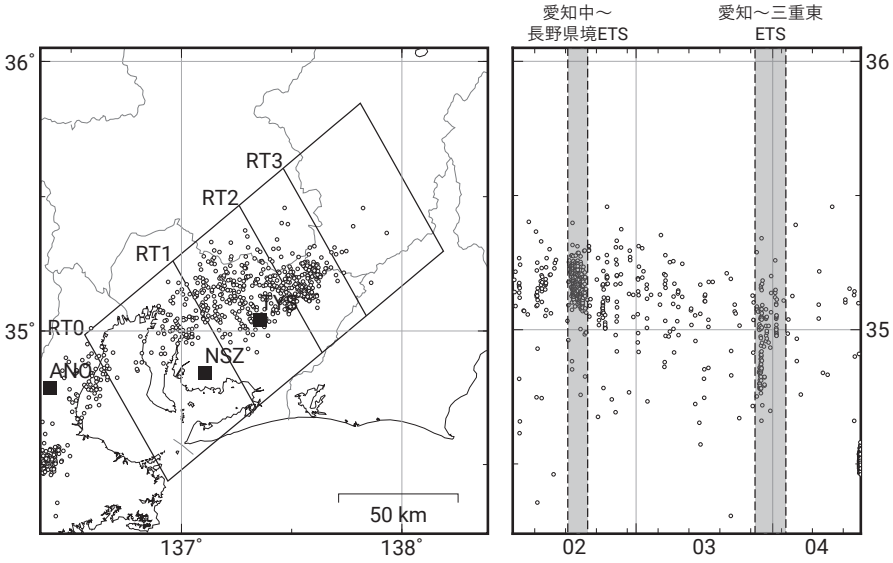


Tiltmeter depth = 589.0-589.8 [GL-m]
KST1 : Screen depth = 509.2-520.2 [GL-m]
KST2 : Screen depth = 132.9-143.9 [GL-m]
KST3 : Screen depth = 20.4-30.6 [GL-m]
上: tiltは1次トレンド除去
下: BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答・ノイズ成分除去、tiltは1次トレンドも除去

図21: Crustal strain and groundwater level changes at 岩出東坂本（時間値）
(2017/02/01 00:00 - 2017/04/21 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-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



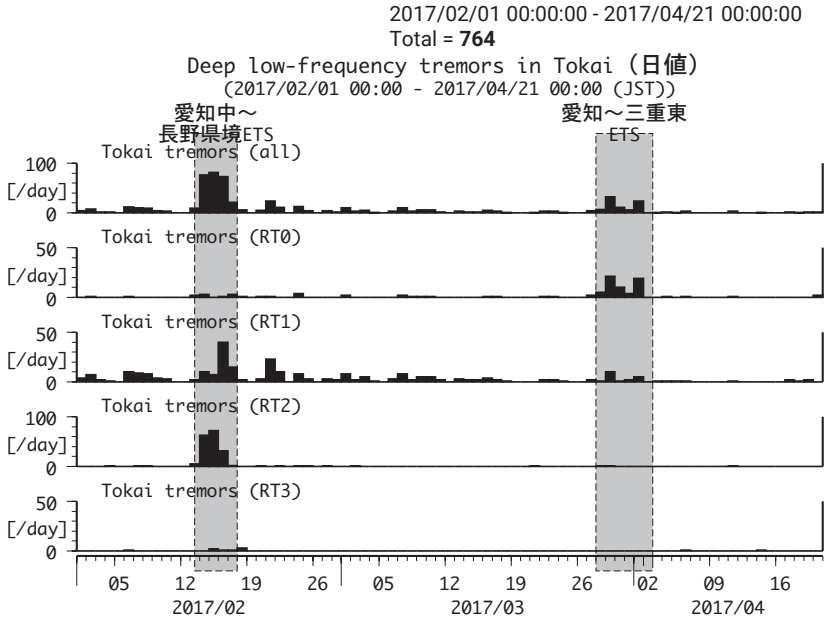


図22（上段）愛知県およびその周辺における深部低周波微動の時空間分布，（下段）各領域における発生頻度（日値）。

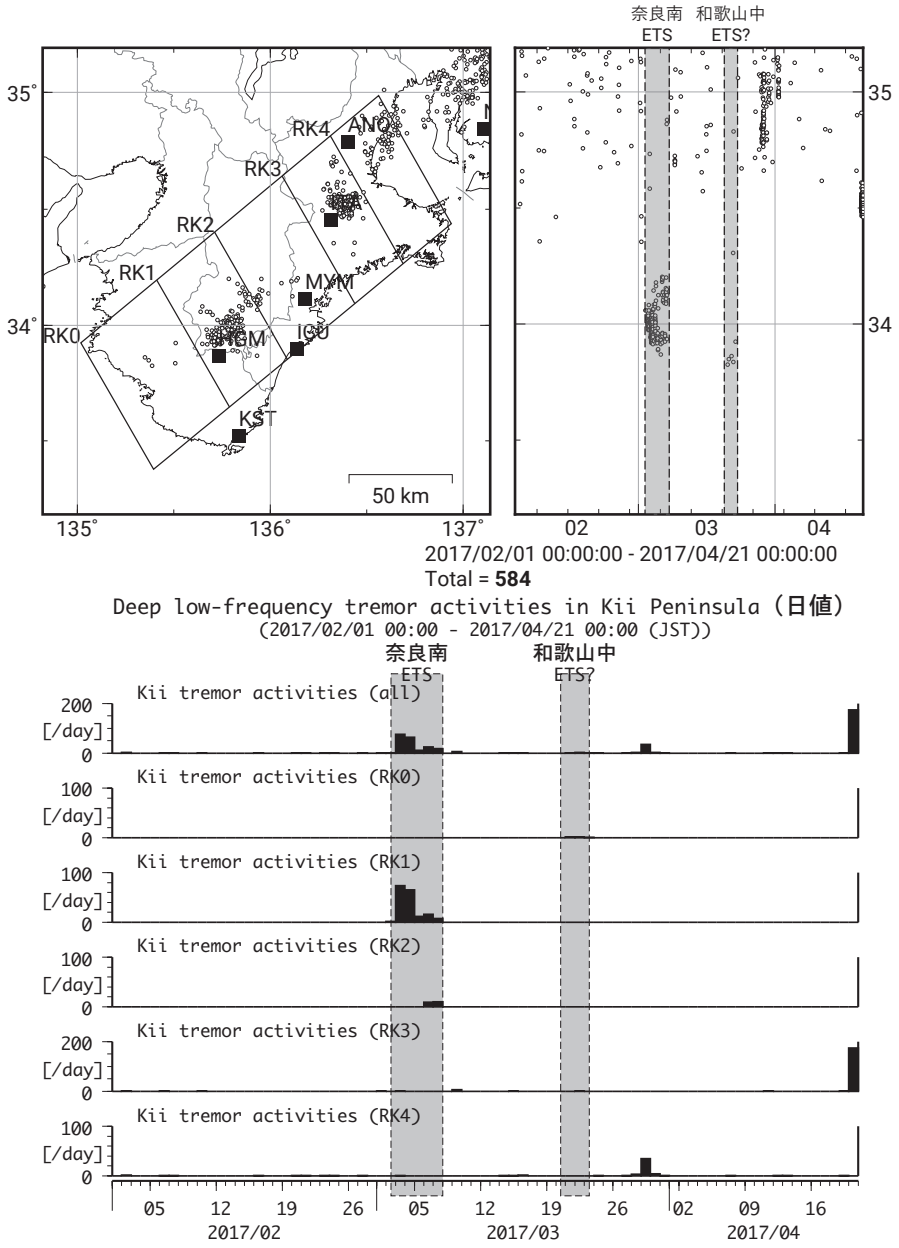


図23（上段）紀伊半島における深部低周波微動の時空間分布，（下段）各領域における発生頻度（日値）。

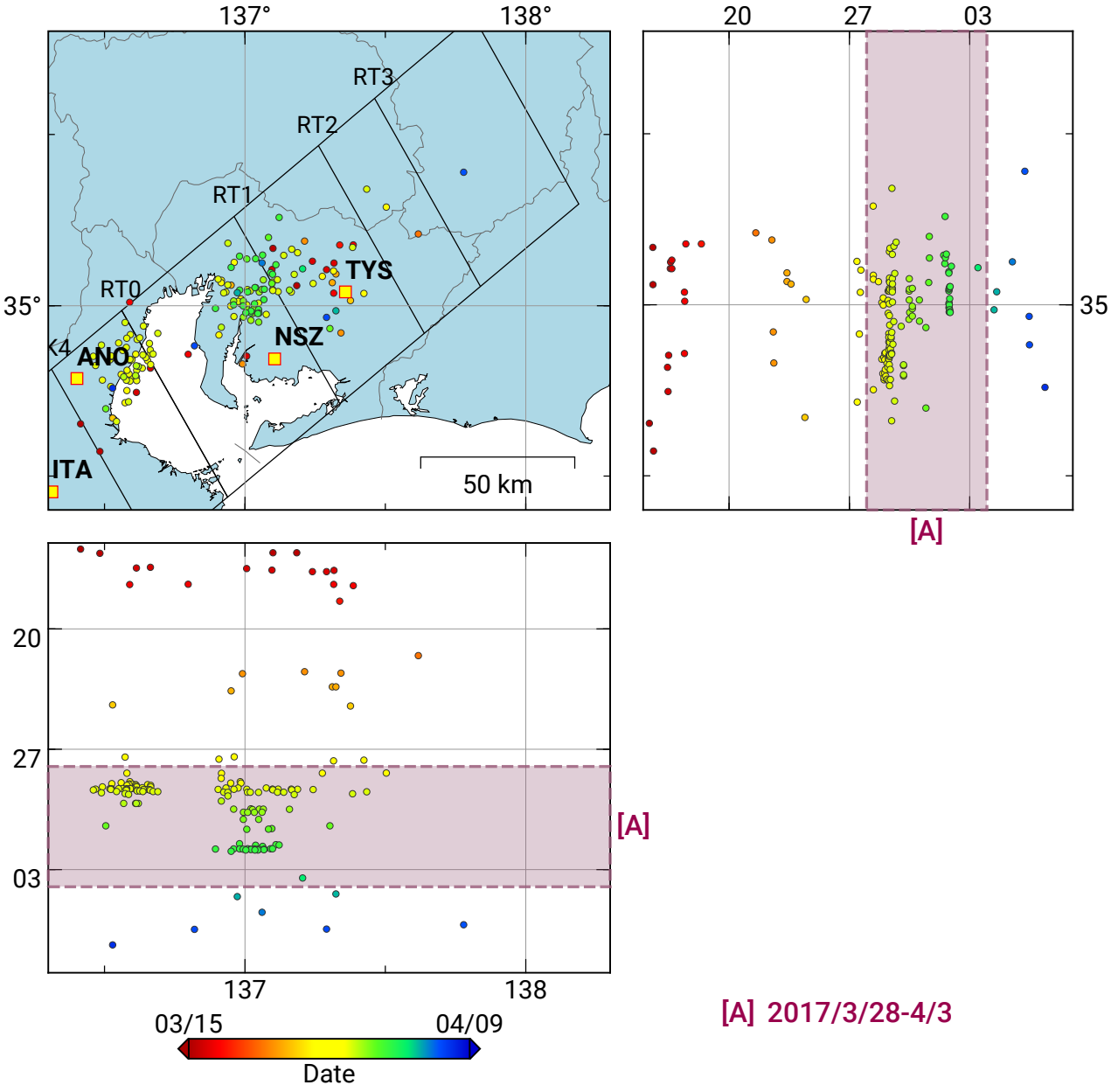


図24　2017/3/15 0:00-4/9 0:00の愛知県周辺における深部低周波微動の時空間分布図。エンベロープ相関法により決定。

（観測点名）**TYS**: 豊田神殿, **NSZ**: 西尾善明, **ANO**: 津安濃, **ITA**: 松阪飯高

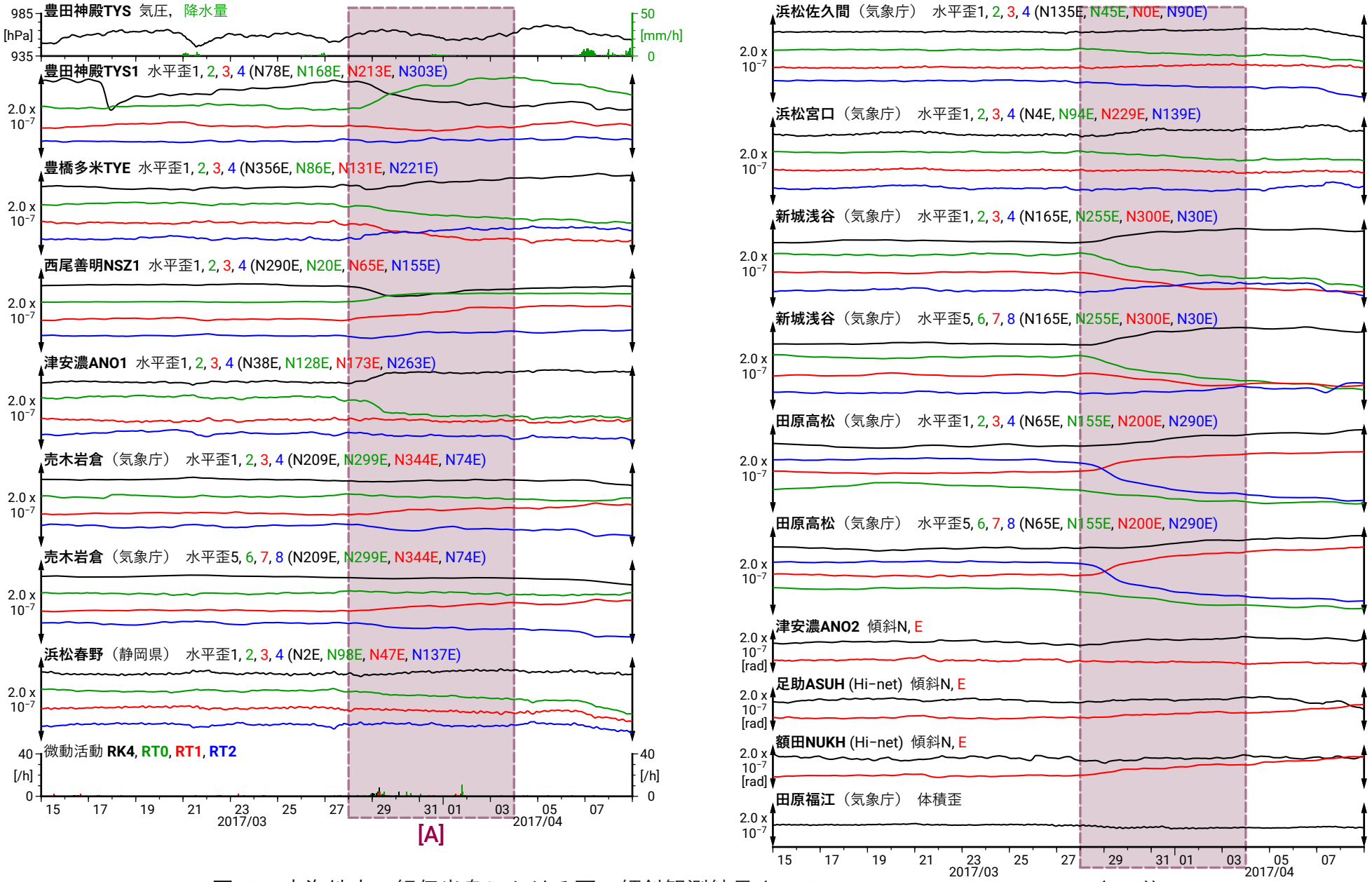
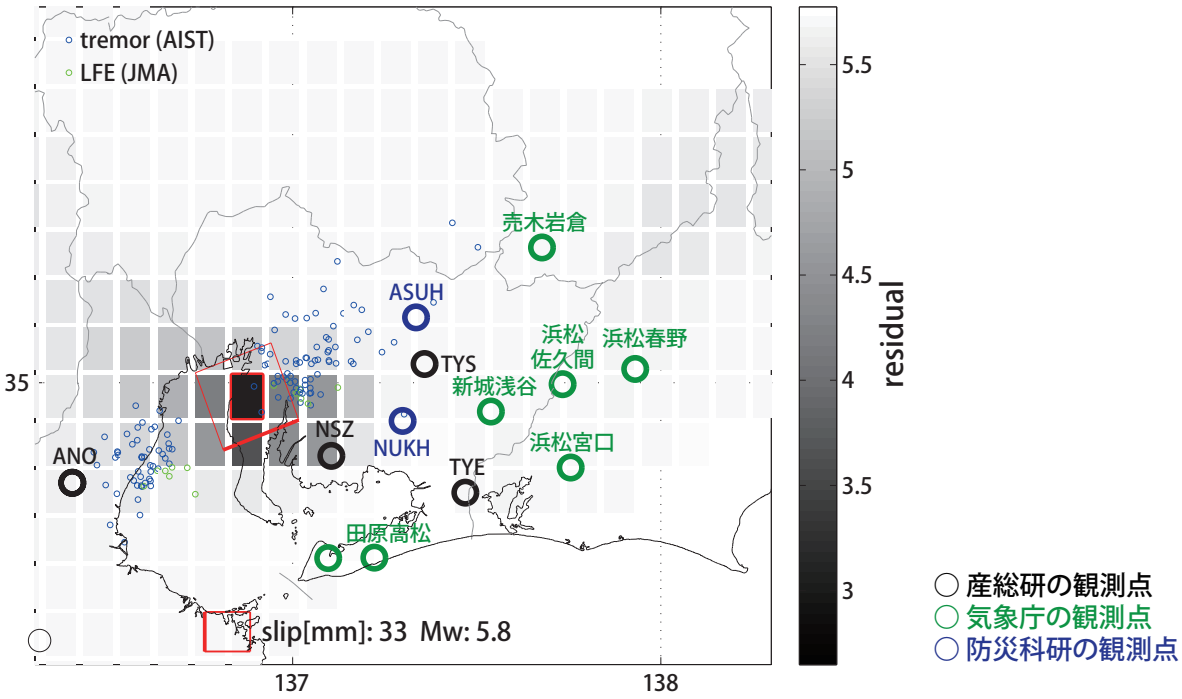


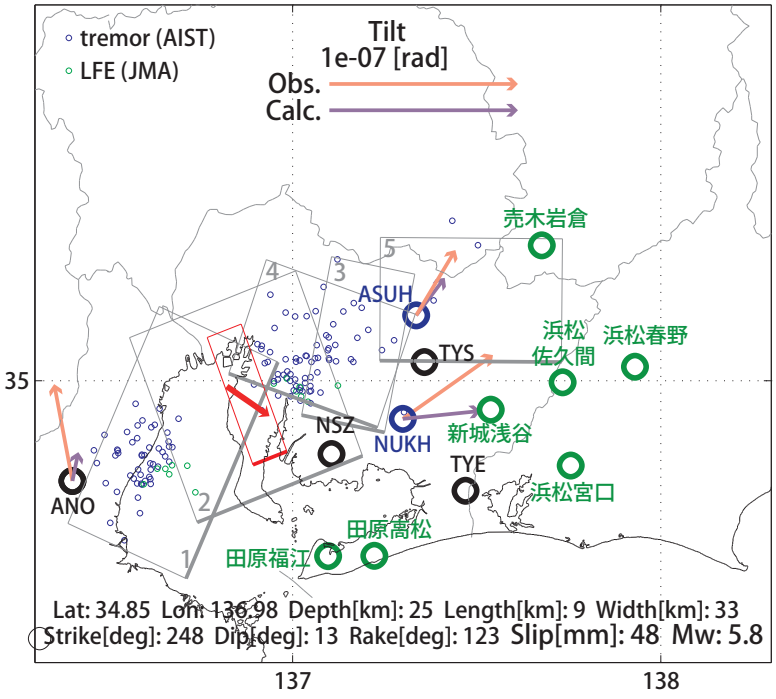
図25　東海地方・紀伊半島における歪・傾斜観測結果 (2017/3/15 0:00 - 2017/4/9 0:00 (JST))

[A] 2017/03/28-04/03

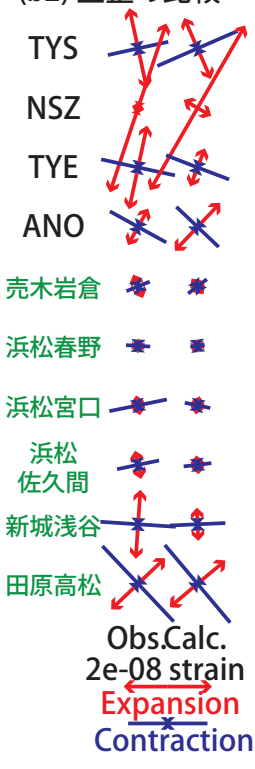
(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



(b1) 推定された断層モデル



(b2) 主歪の比較



(b3) 体積歪の比較

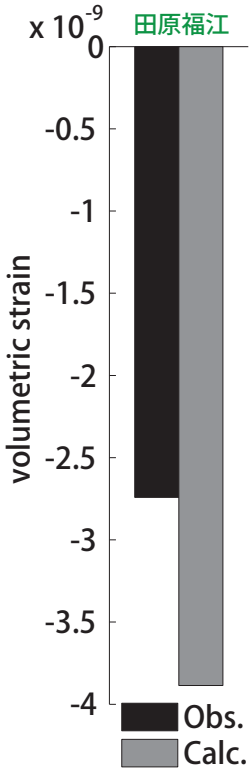


図26: 2017/03/28-04/03の歪・傾斜変化（図25[A]）を説明する断層モデル。

(a) プレート境界面に沿って分布させた20×20km（大きさ固定）の矩形断層面に対して、各々の断層面で最適なすべり面を選んだときの残差の総和をその断層面の中心位置に示した分布図。赤色矩形が残差の総和が最小となる断層面。

(b1) (a)の断層面付近でのグリッドサーチにより推定された断層面（赤色矩形）と断層パラメータ。矢印は傾斜の観測値と計算値の比較。灰色矩形は最近周辺で発生した短期的SSEの推定断層面。

1: 2016/7/27-31 (Mw6.0), 2: 8/1-6 (Mw5.8), 3: 10/16午後-18午前 (Mw5.3), 4: 10/18午後-20 (Mw5.7), 5: 2017/2/13午後-17(Mw5.8)

(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。

(b3) 体積歪の観測値と（b1）に示した断層モデルから求めた計算値との比較。