

【第20回】南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会  
【第398回】地震防災対策強化地域判定会

— 産 総 研 資 料 —

令和元年6月7日

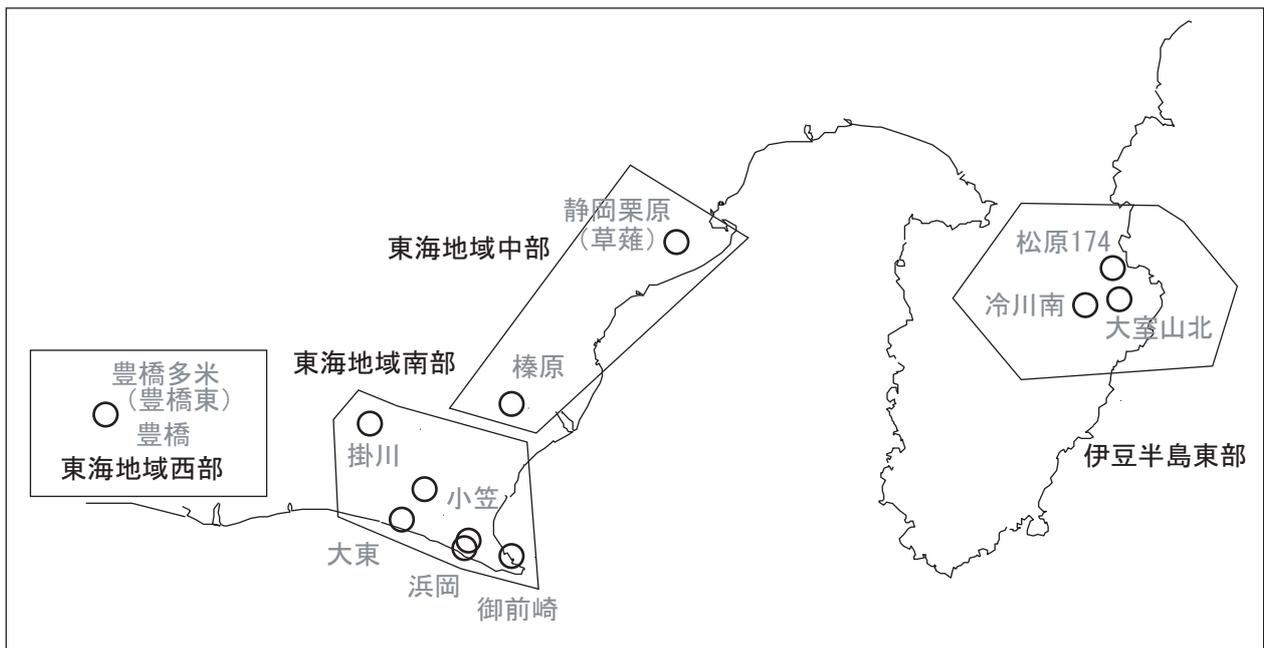


国立研究開発法人  
産業技術総合研究所

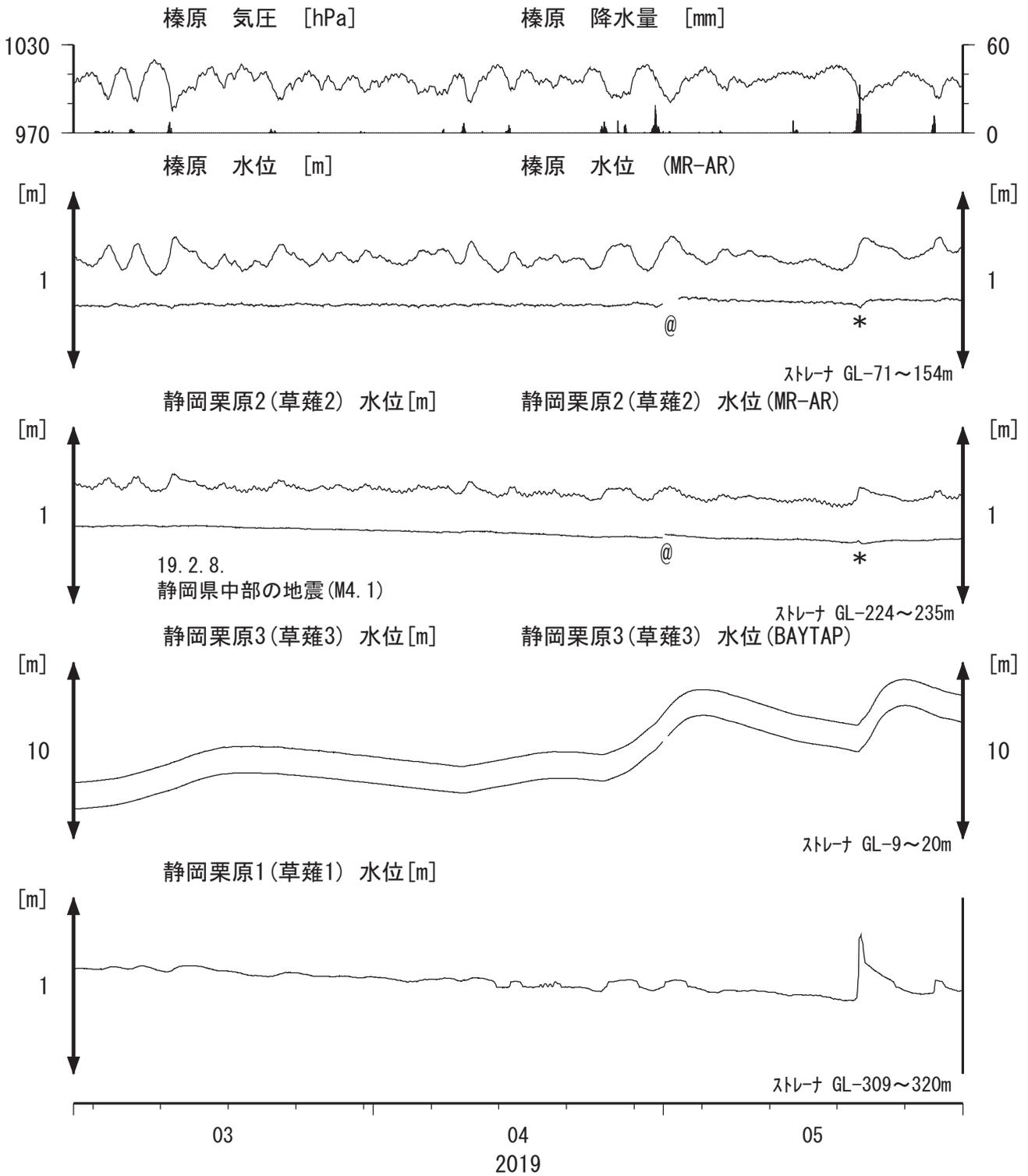
# 【資料目次】

表紙

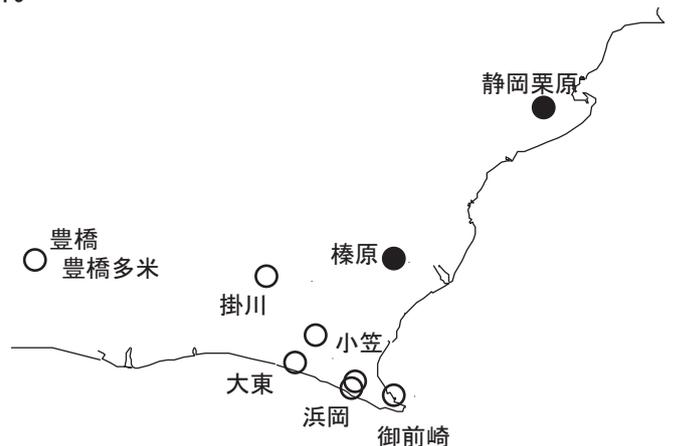
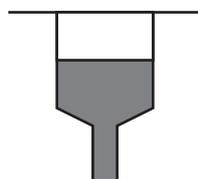
1. 東海地域中部 [榛原, 静岡栗原(草薙)] 地下水; 中期
2. 東海地域中部 [榛原, 静岡栗原(草薙)] 地下水; 長期
3. 東海地域南部 [大東, 小笠, 浜岡, 御前崎] 地下水; 中期
4. 東海地域南部 [大東, 小笠, 浜岡, 御前崎] 地下水; 長期
- 4-b. 東海地域南部 [浜岡] 地下水・沈下; 長期
- 4-c. 東海地域南部 [掛川] 地下水・沈下; 長期
5. 東海地域西部 [豊橋, 豊橋多米(豊橋東)] 地下水・歪・傾斜; 中期
- 5-b. 東海地域西部 [豊橋多米(豊橋東)] 歪等; 中期
6. 東海地域西部 [豊橋・豊橋多米(豊橋東)] 地下水・歪・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
- 9-a. 榛原・浜岡の降雨グラフ; 中期 9-b. 榛原・浜岡の降雨グラフ; 長期
10. 東海・紀伊半島・四国における短期的SSE解析結果
11. 2019年5月10日日向灘の地震 (M6.3) 後に観測された歪変化について



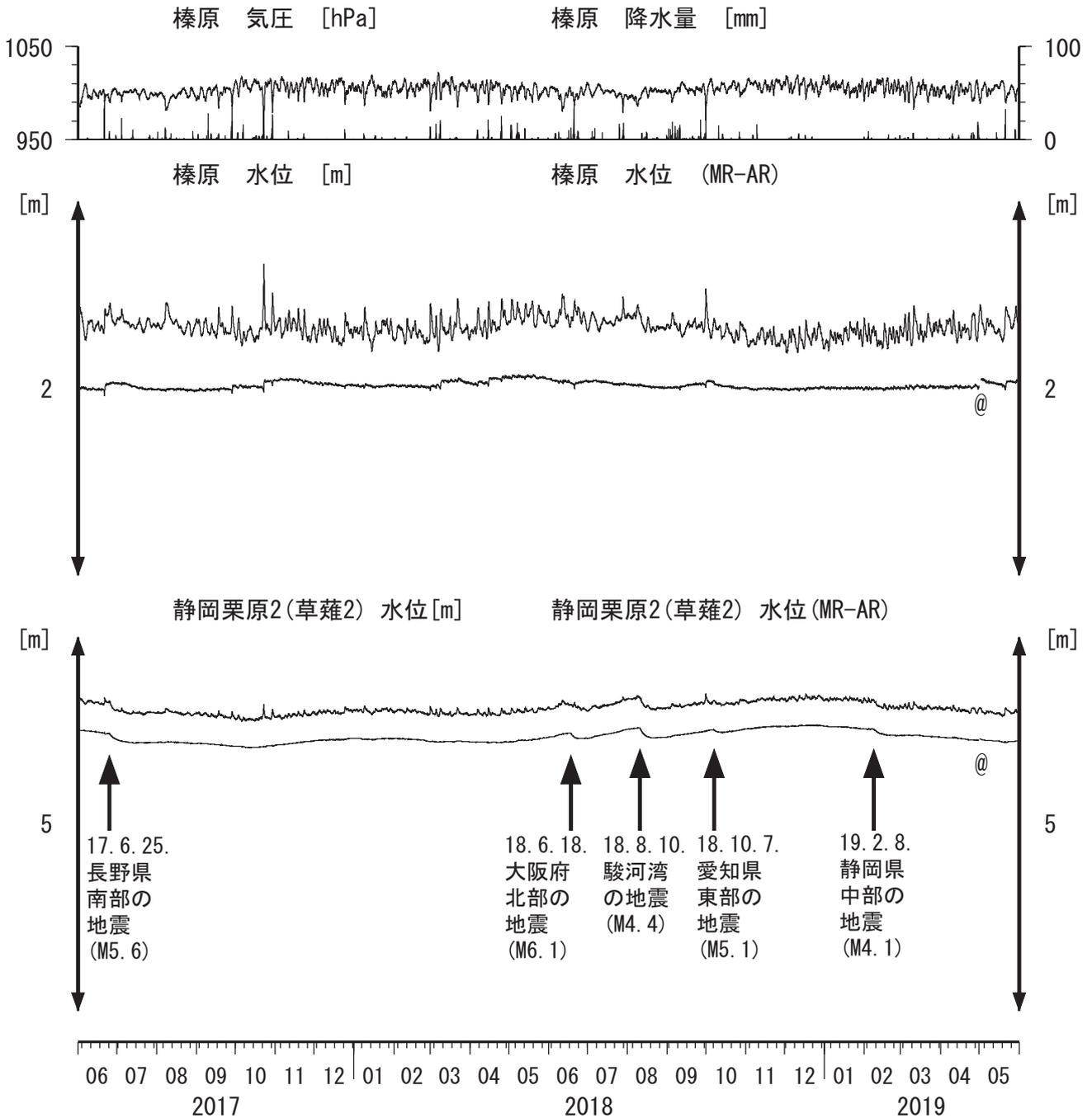
東海地域中部（榛原・草薙）中期 （時間値）  
 (2019/03/01 00:00 - 2019/06/01 00:00 (JST))



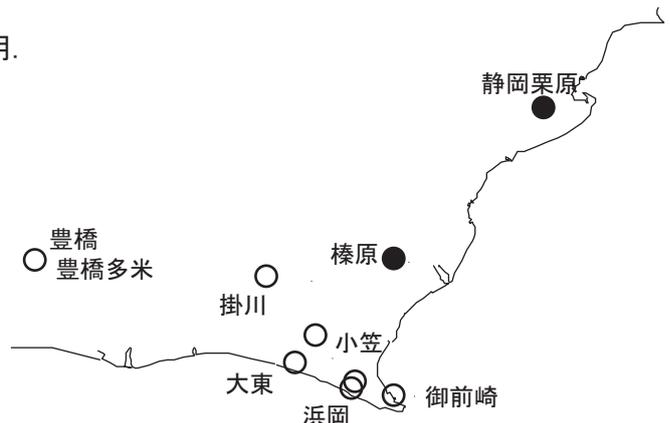
コメント：\*；雨量補正不十分。\$；保守。?；不明。  
 @；月初めの補正值のギャップは、  
 解析プログラムの見かけ上のものである。  
 2015年4月中旬に静岡栗原1の水位が  
 井戸管の広い部分まで上昇したので  
 それ以降の水位変化が  
 小さくなっている。



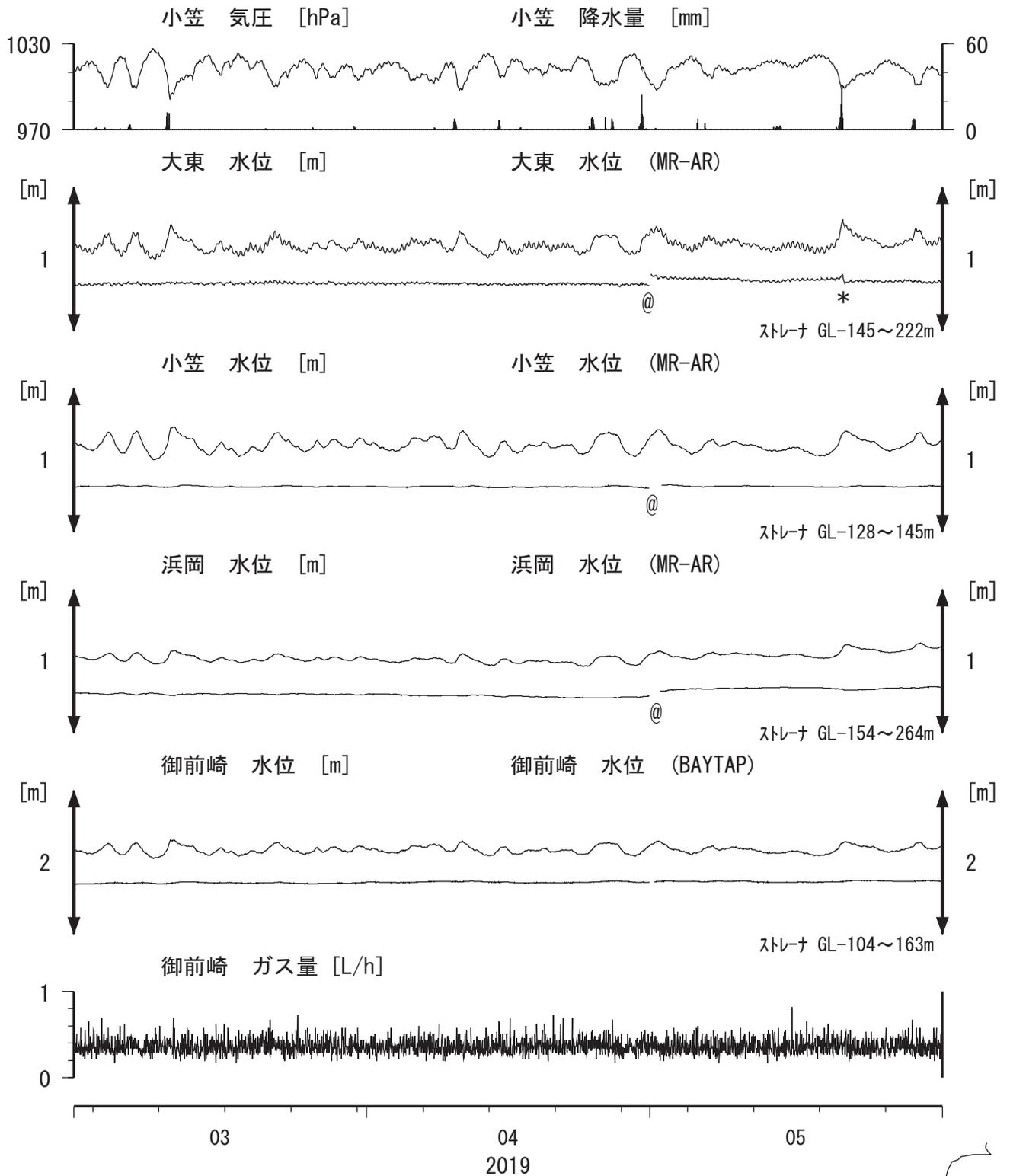
東海地域中部（榛原・草薙）長期（時間値）  
 (2017/06/01 00:00 - 2019/06/01 00:00 (JST))



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)  
 (2019/03/01 00:00 - 2019/06/01 00:00 (JST))



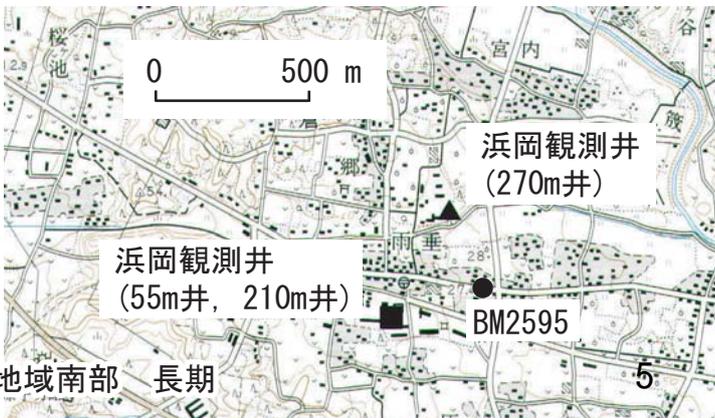
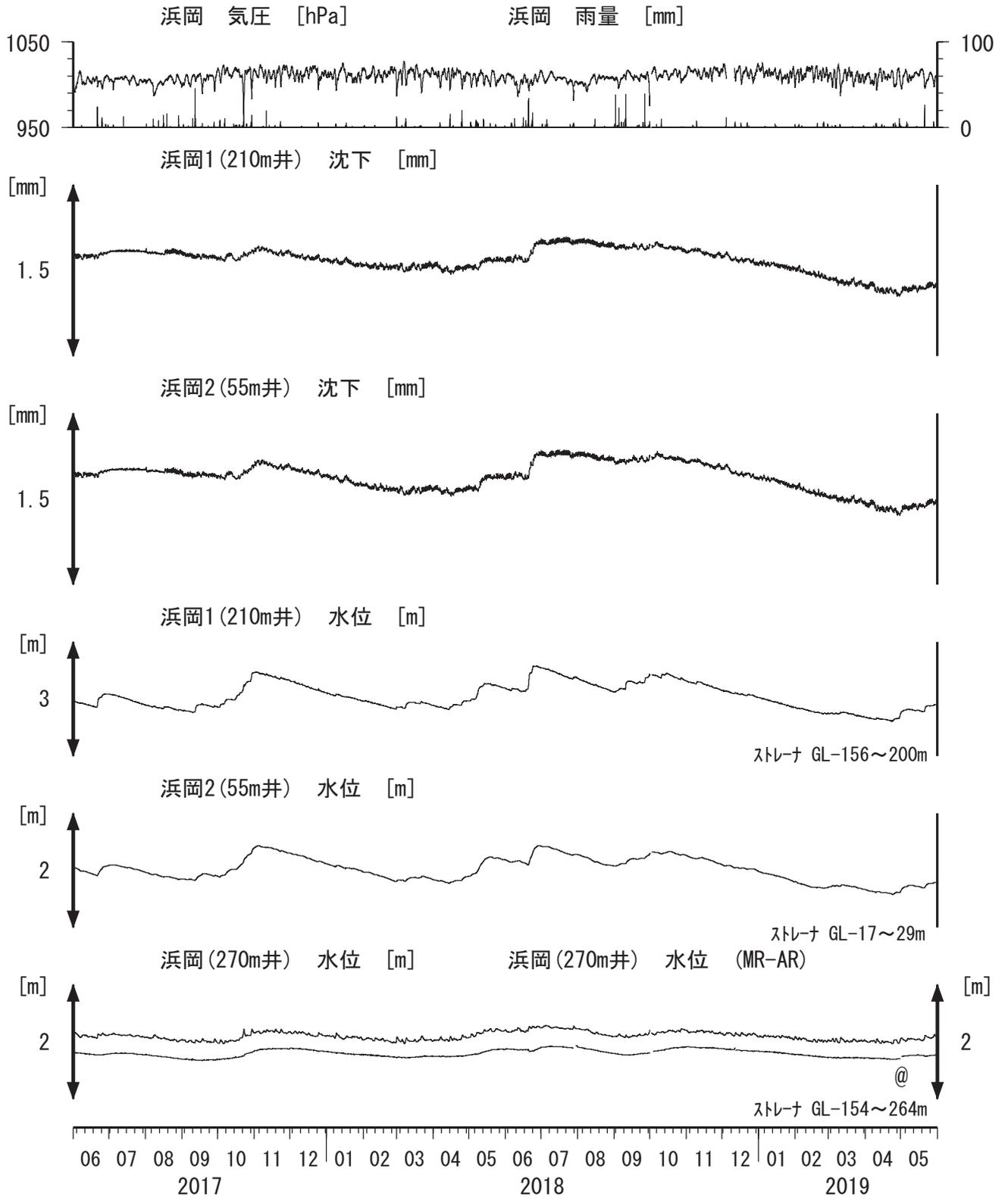
コメント:

\*;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.





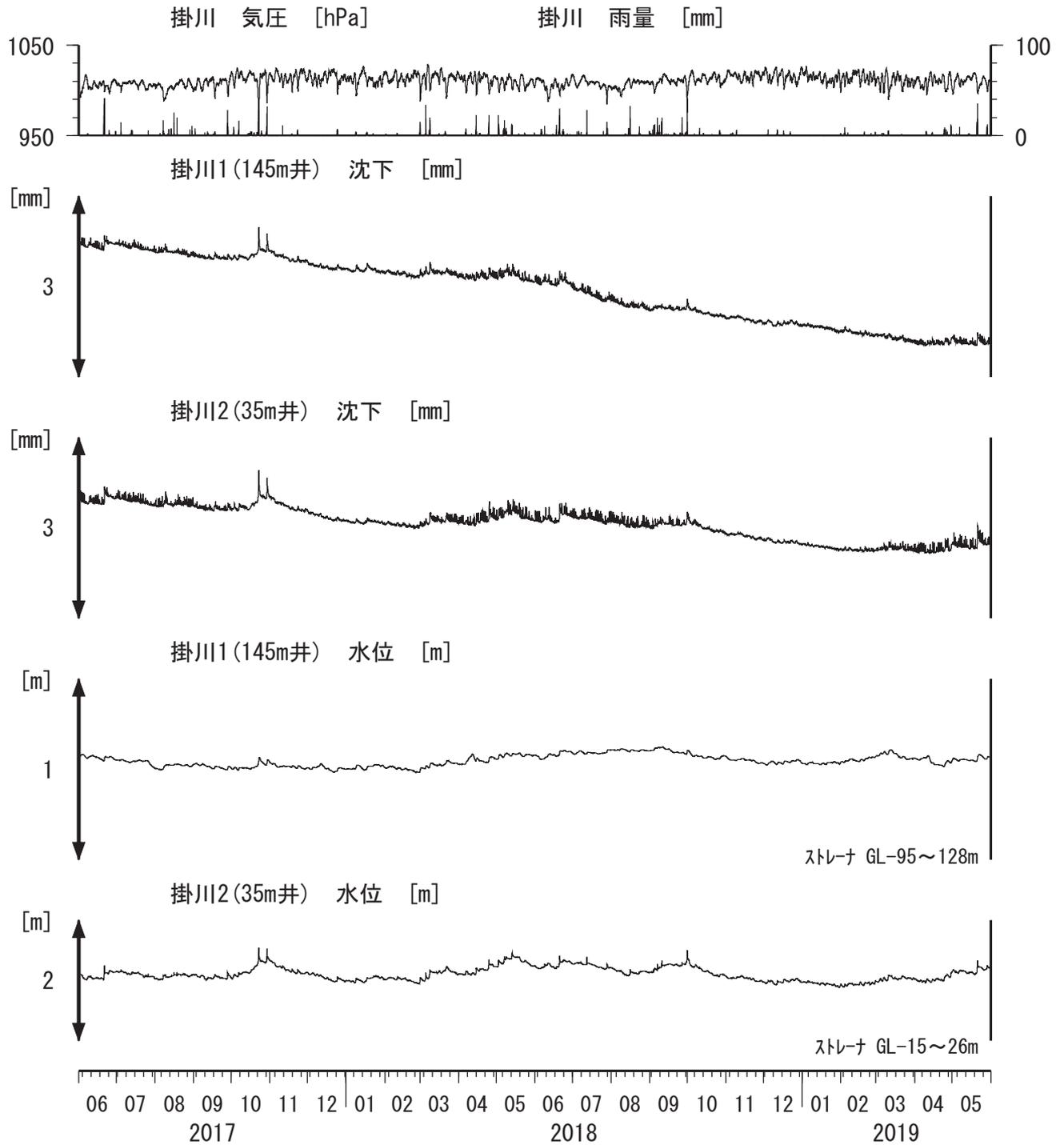
# 浜岡沈下・水位（時間値） (2017/06/01 00:00 - 2019/06/01 00:00 (JST))



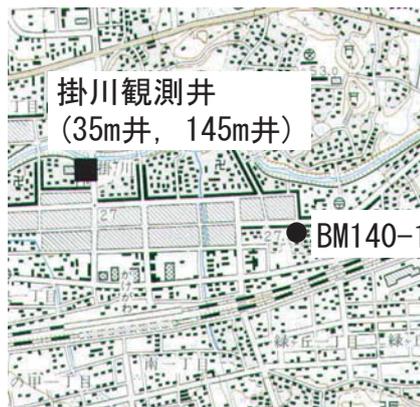
コメント：\$;保守. ?;不明.  
 @;月初めの補正值のギャップは、  
 解析プログラムの見かけ上  
 のものである。



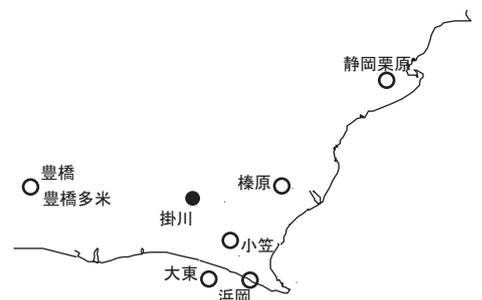
# 掛川沈下・水位 (時間値) (2017/06/01 00:00 - 2019/06/01 00:00 (JST))



コメント：\$; 保守.  
?; 原因不明.



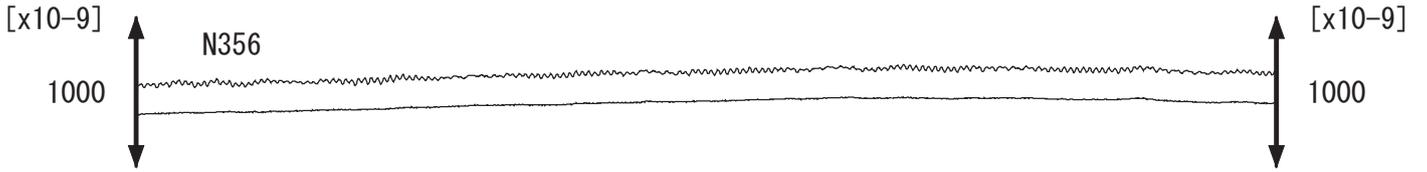
0 500 m



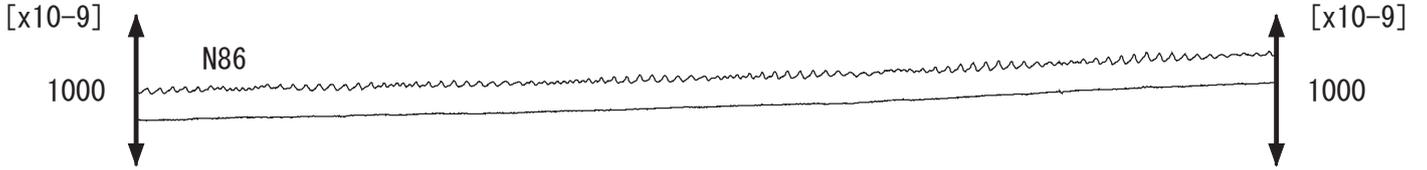


東海地域西部（豊橋多米 歪）中期 （時間値）  
 (2019/03/01 00:00 - 2019/06/01 00:00 (JST))

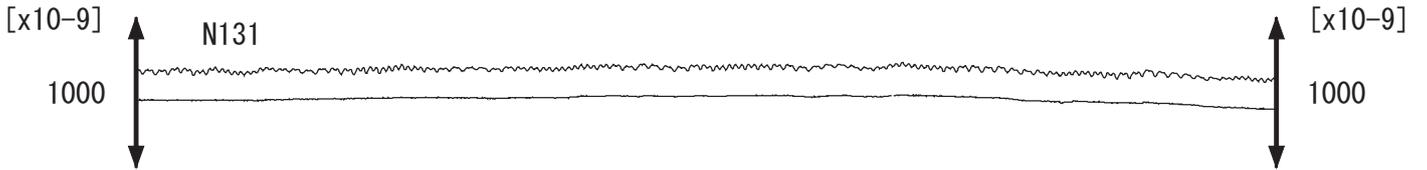
豊橋多米(豊橋東)歪N356E[x10<sup>-9</sup>] 豊橋多米(豊橋東)歪N356E (BAYTAP)



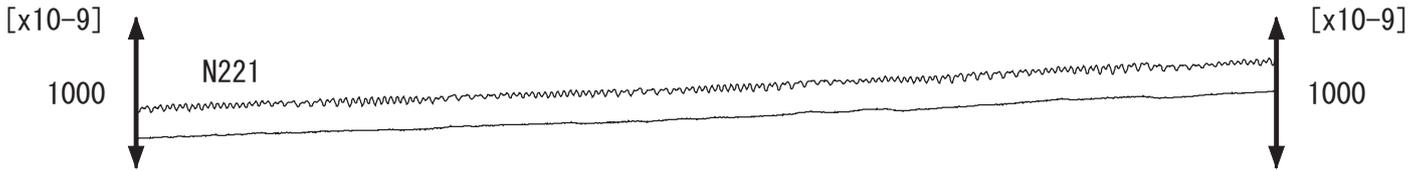
豊橋多米(豊橋東)歪N86E[x10<sup>-9</sup>] 豊橋多米(豊橋東)歪N86E (BAYTAP)



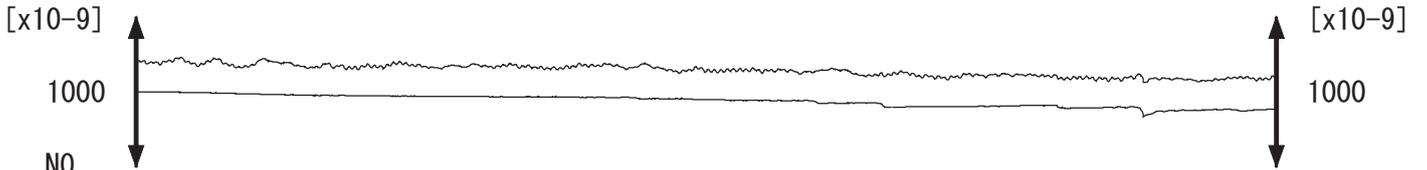
豊橋多米(豊橋東)歪N131E[x10<sup>-9</sup>] 豊橋多米(豊橋東)歪N131E (BAYTAP)



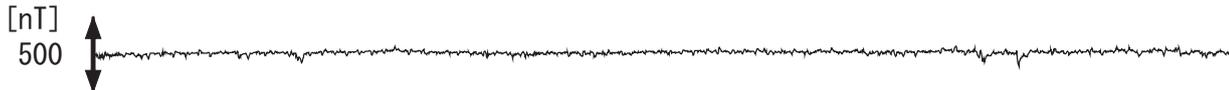
豊橋多米(豊橋東)歪N221E[x10<sup>-9</sup>] 豊橋多米(豊橋東)歪N221E (BAYTAP)



豊橋多米(豊橋東)歪鉛直[x10<sup>-9</sup>] 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

03

04  
2019

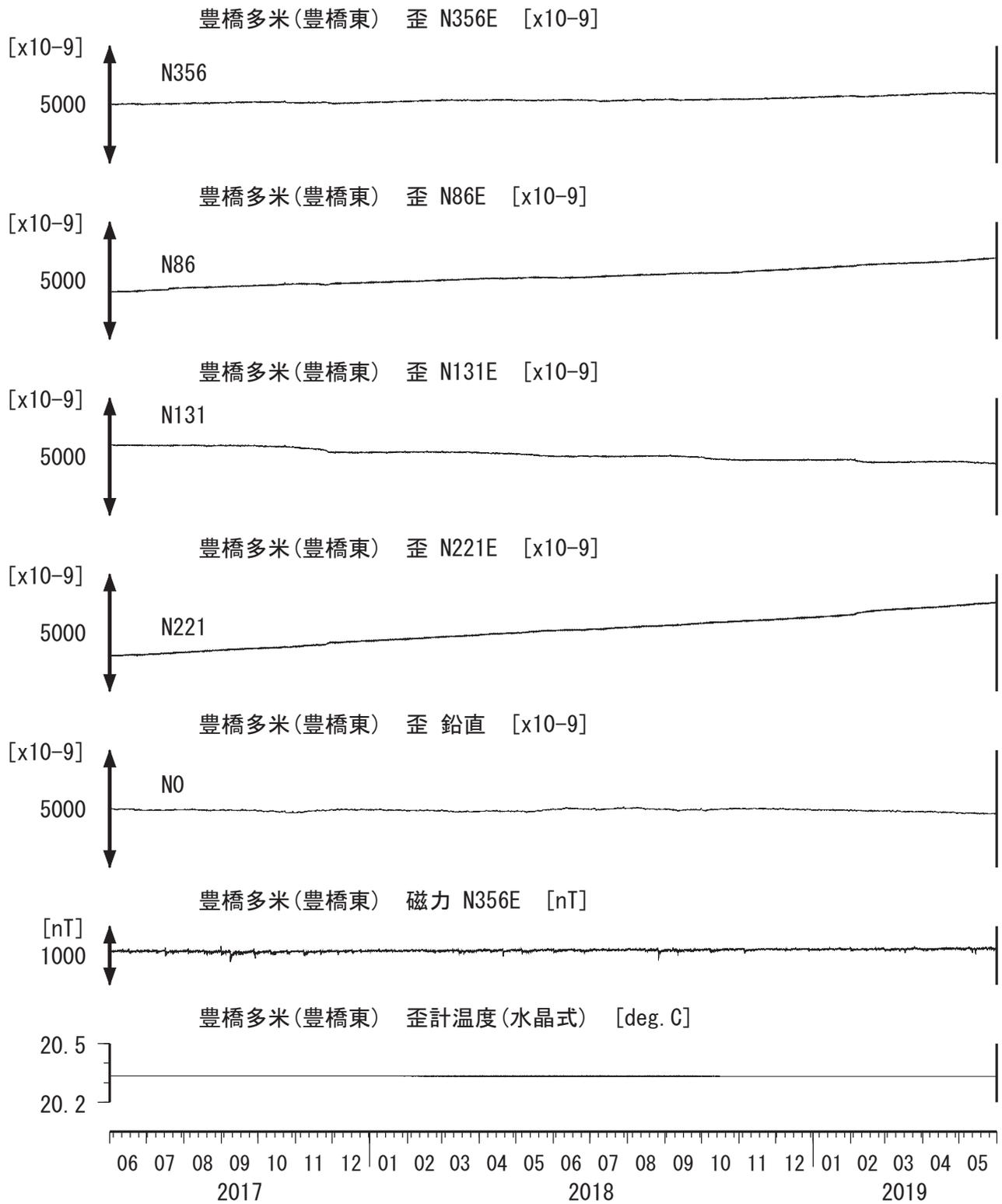
05

コメント：\$\*:雨量補正不十分. \$;保守. ?;不明.





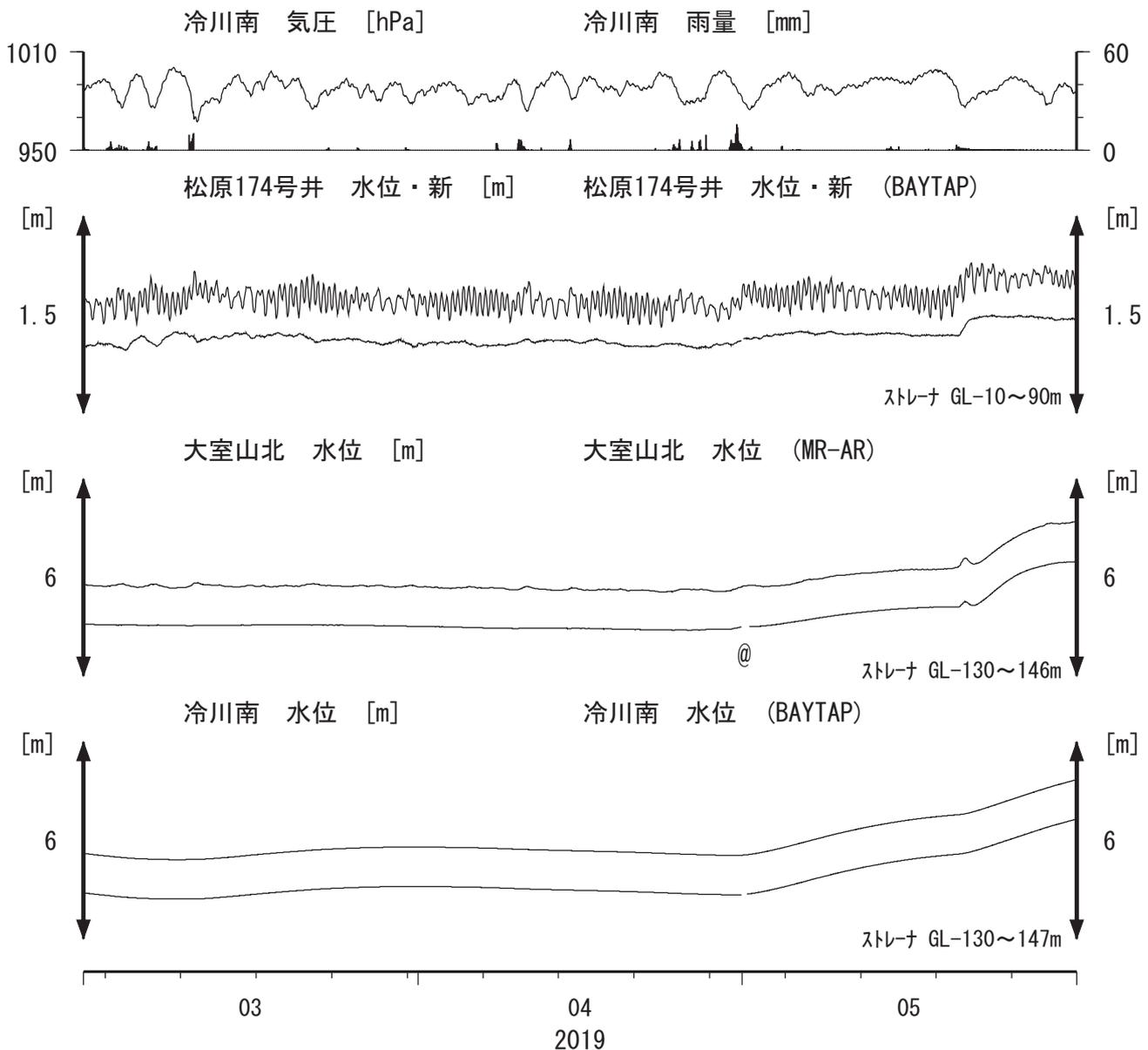
東海地域西部（豊橋多米 歪）長期（時間値）  
 (2017/06/01 00:00 - 2019/06/01 00:00 (JST))



コメント：\$;保守. ?;原因不明.



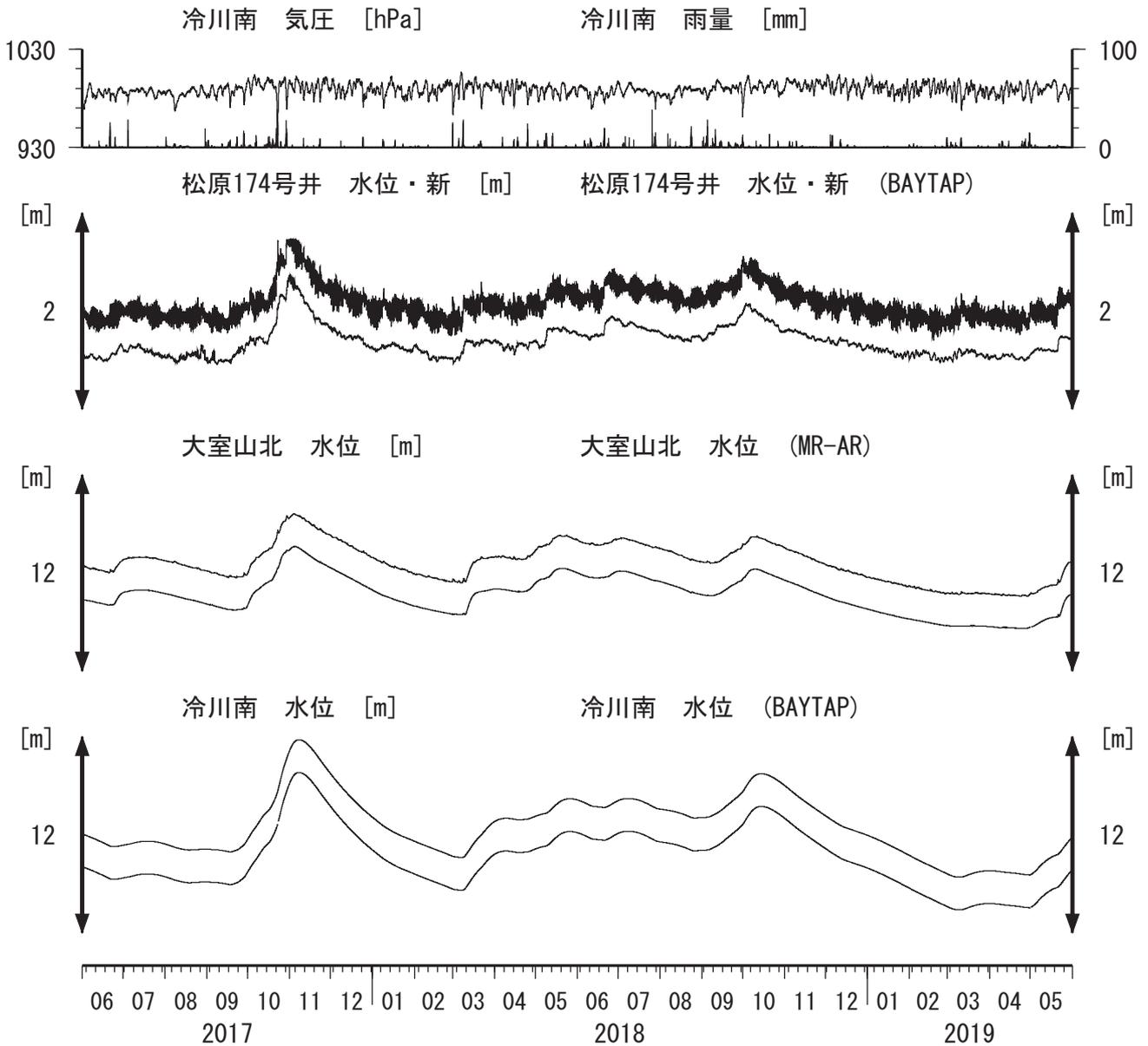
伊豆半島東部 地下水位 中期 (時間値)  
 (2019/03/01 00:00 - 2019/06/01 00:00 (JST))



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。  
 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日に新水位計を設置し、  
 更に2017年10月12日に交換した。



# 伊豆半島東部 地下水位 長期 (時間値) (2017/06/01 00:00 - 2019/06/01 00:00 (JST))

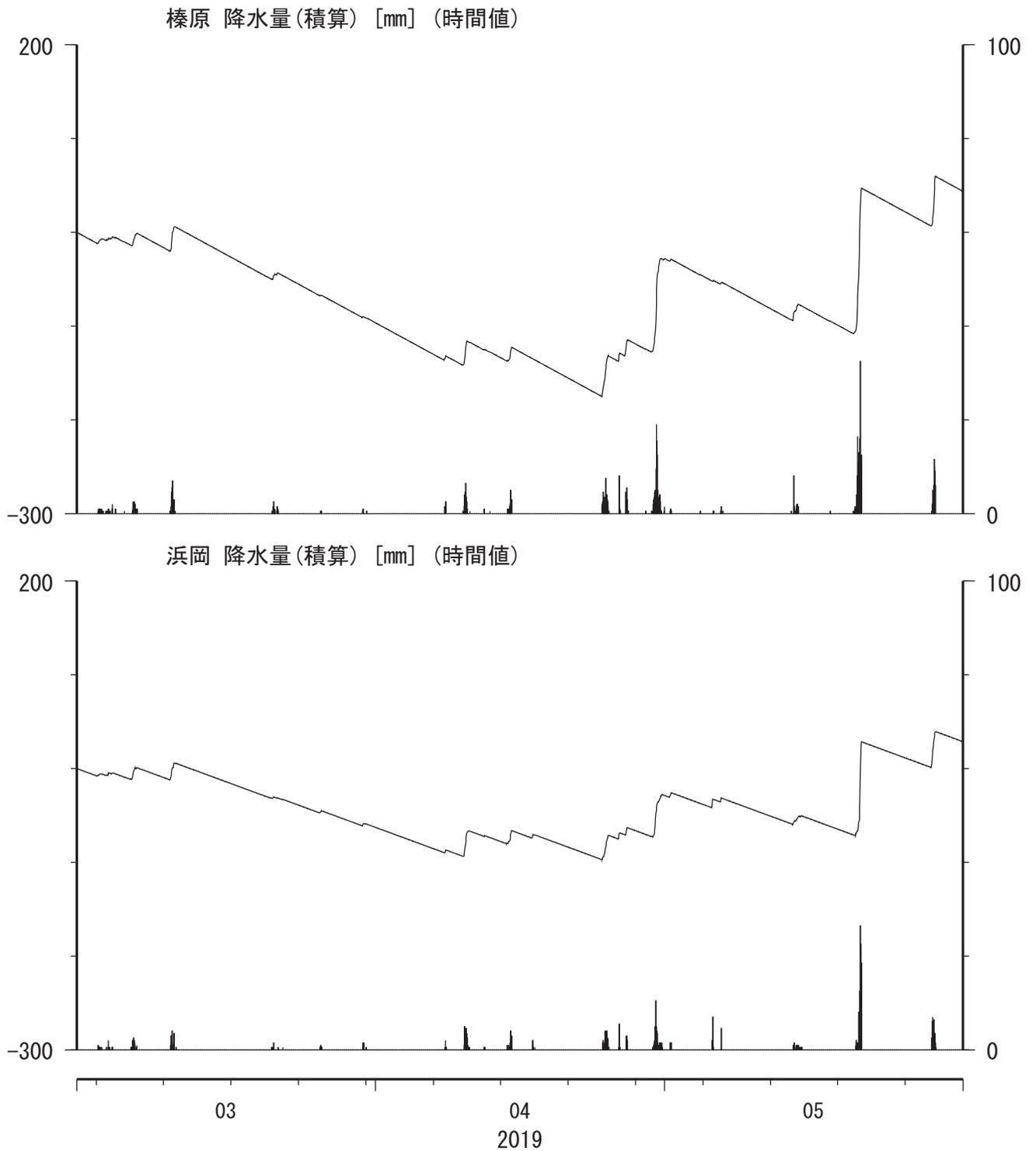


コメント：\*;雨量補正不十分. \$;保守. ?;不明.

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日に新水位計を設置し、  
 更に2017年10月12日に交換した。  
 松原174の水位は2017年10月29日～11月6日頃まで  
 断続的に管頭から水があふれた。



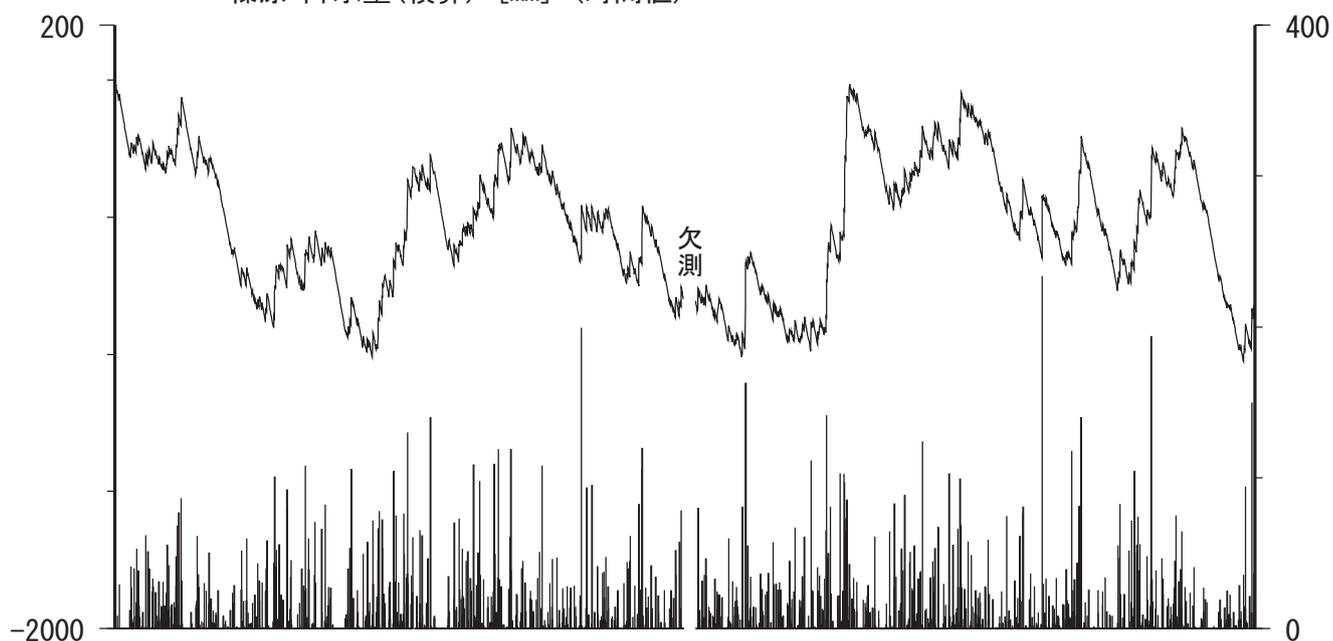
榛原・浜岡観測井 直近3ヶ月の積算降雨量トレンド除去グラフ [mm]  
 (2019/03/01 00:00 - 2019/06/01 00:00 (JST))



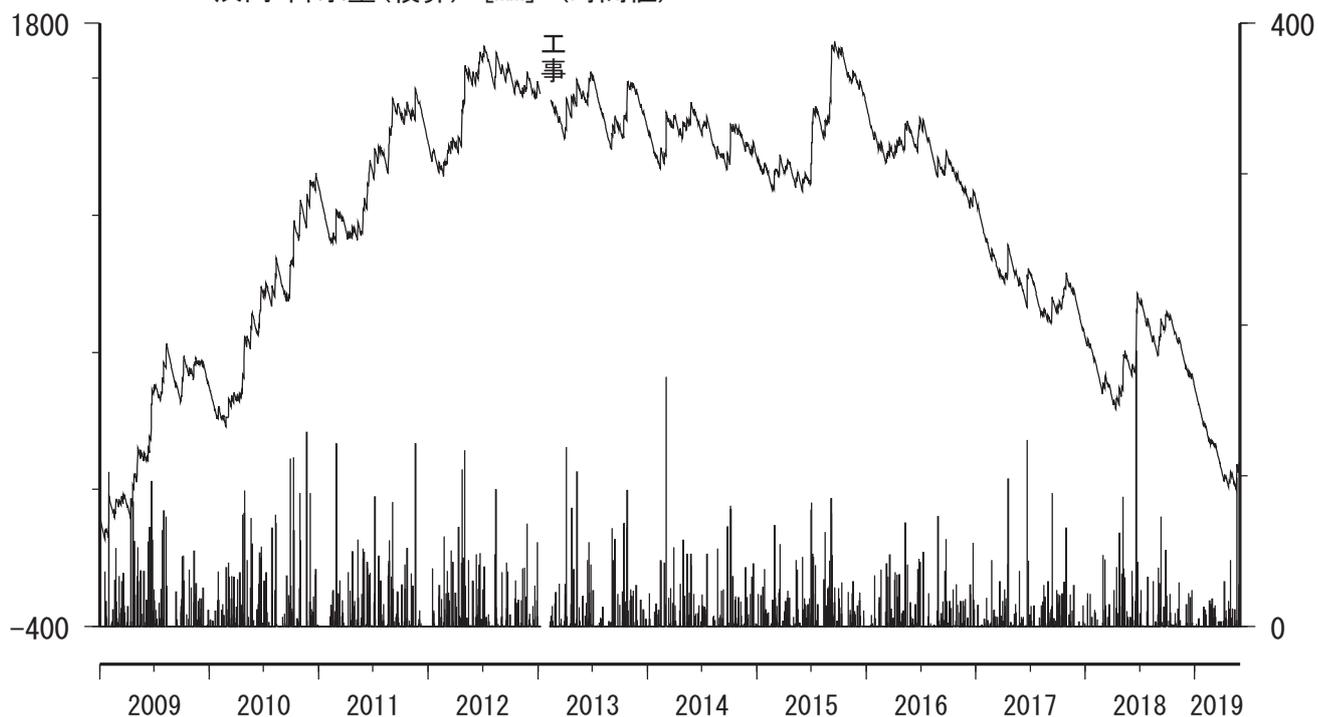
コメント：トレンドは、グラフに示している期間で求めている。

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 - 2019/06/01 00:00 (JST))

榛原 降水量(積算) [mm] (時間値)



浜岡 降水量(積算) [mm] (時間値)



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。

## 東海・紀伊半島・四国における短期的 SSE 解析結果

産業技術総合研究所

2019年5月4日から9日にかけて、四国東部において深部低周波地震活動が観測された(図1)。図2は愛媛県・高知県・徳島県の産総研・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、2019年4月25日から5月4日午前のデータを用いて1次トレンドを除去したものである。

図3,4はそれぞれ図2[A],[B]の変化を説明する短期的SSEの推定結果(Mw 5.3, 5.7)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、2018年10月10日午後から15日(Mw5.8; 図3,4の灰色矩形1), 2018年10月31日から11月3日(Mw5.5; 同2), 2018年11月4日から8日午前(Mw5.5; 同3), 2019年3月4日午後から6日(Mw6.2; 同4), 2019年3月7日から9日(Mw6.0; 同5)である。

2019年5月12日以降、四国中部において深部低周波地震活動が断続的に観測された(図5)。図6は愛媛県・高知県の産総研・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、2019年5月10日から17日午前のデータを用いて1次トレンドを除去したものである。

図7は図6[A]の変化を説明する短期的SSEの推定結果(Mw 5.5)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、2018年10月10日午後から15日(Mw5.8; 図7の灰色矩形1), 2018年10月31日から11月3日(Mw5.5; 同2), 2018年11月4日から8日午前(Mw5.5; 同3), 2019年3月4日午後から6日(Mw6.2; 同4), 2019年3月7日から9日(Mw6.0; 同5), 2019年5月4日午後から6日午前(Mw5.3; 同6), 2019年5月6日午後から9日(Mw5.7; 同7)である。

2019年5月18日から21日にかけて、豊後水道において深部低周波地震活動が観測された(図8)。図9は愛媛県・高知県の産総研・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、2019年5月11日から17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10は図9[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、2019年3月2日から4日午前(Mw5.6; 図10の灰色矩形1), 2019年3月4日午後から6日(Mw6.2; 同2), 2019年3月7日から9日(Mw6.0; 同3), 2019年4月17日から18日(Mw5.7; 同4)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。深部低周波地震活動も参考にして、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(1-50 mm)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 $2\sigma$ とした。

## 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。深部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.

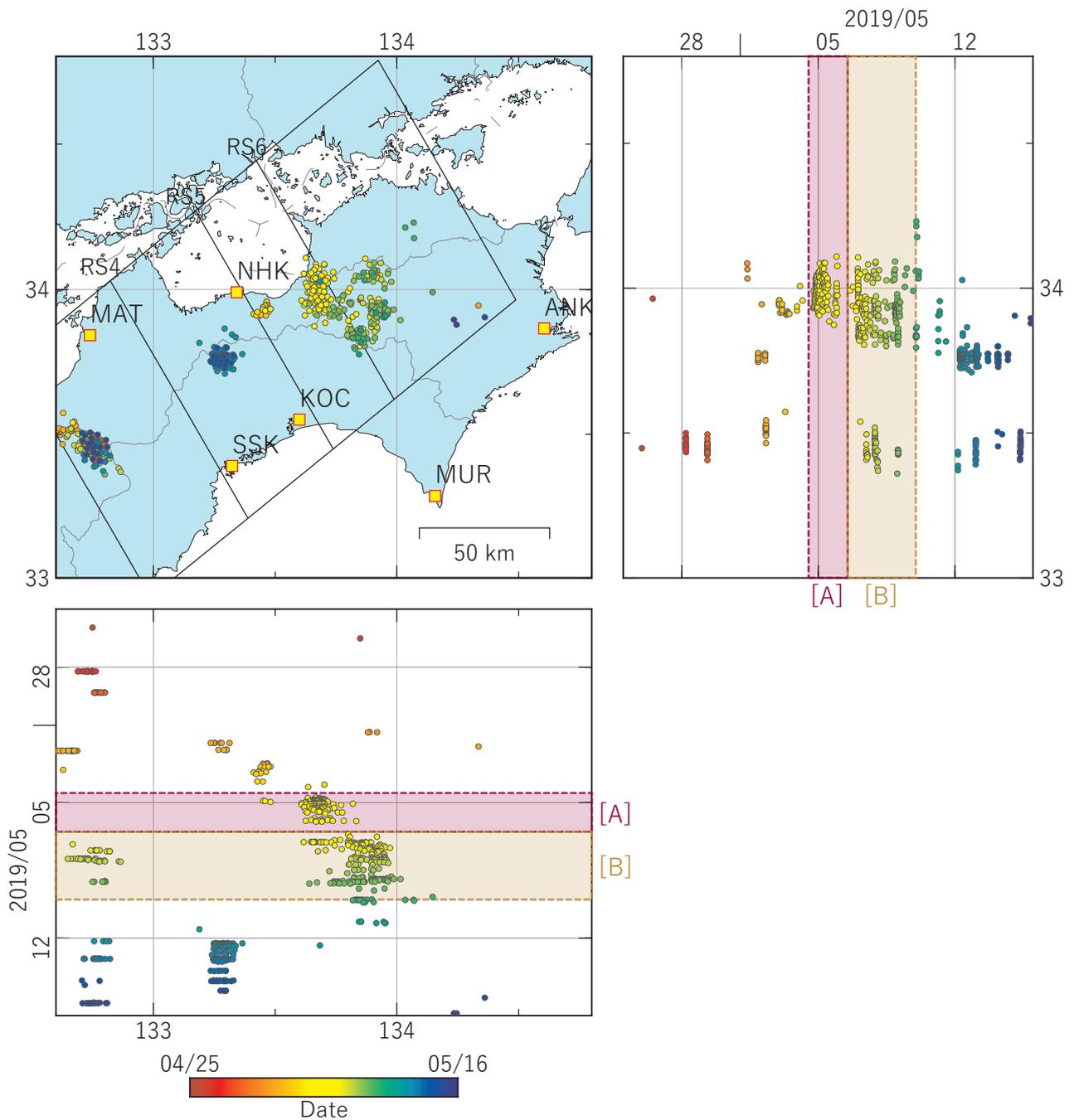


図1 四国地方東部における深部低周波地震（気象庁）の時空間分布図  
 (2019/04/25 00:00 - 2019/05/16 00:00 (JST))  
 (観測点名) ANK: 阿南桑野, MUR: 室戸岬, KOC: 高知五台山, NHK: 新居浜黒島, SSK: 須崎大谷,  
 MAT: 松山南江戸

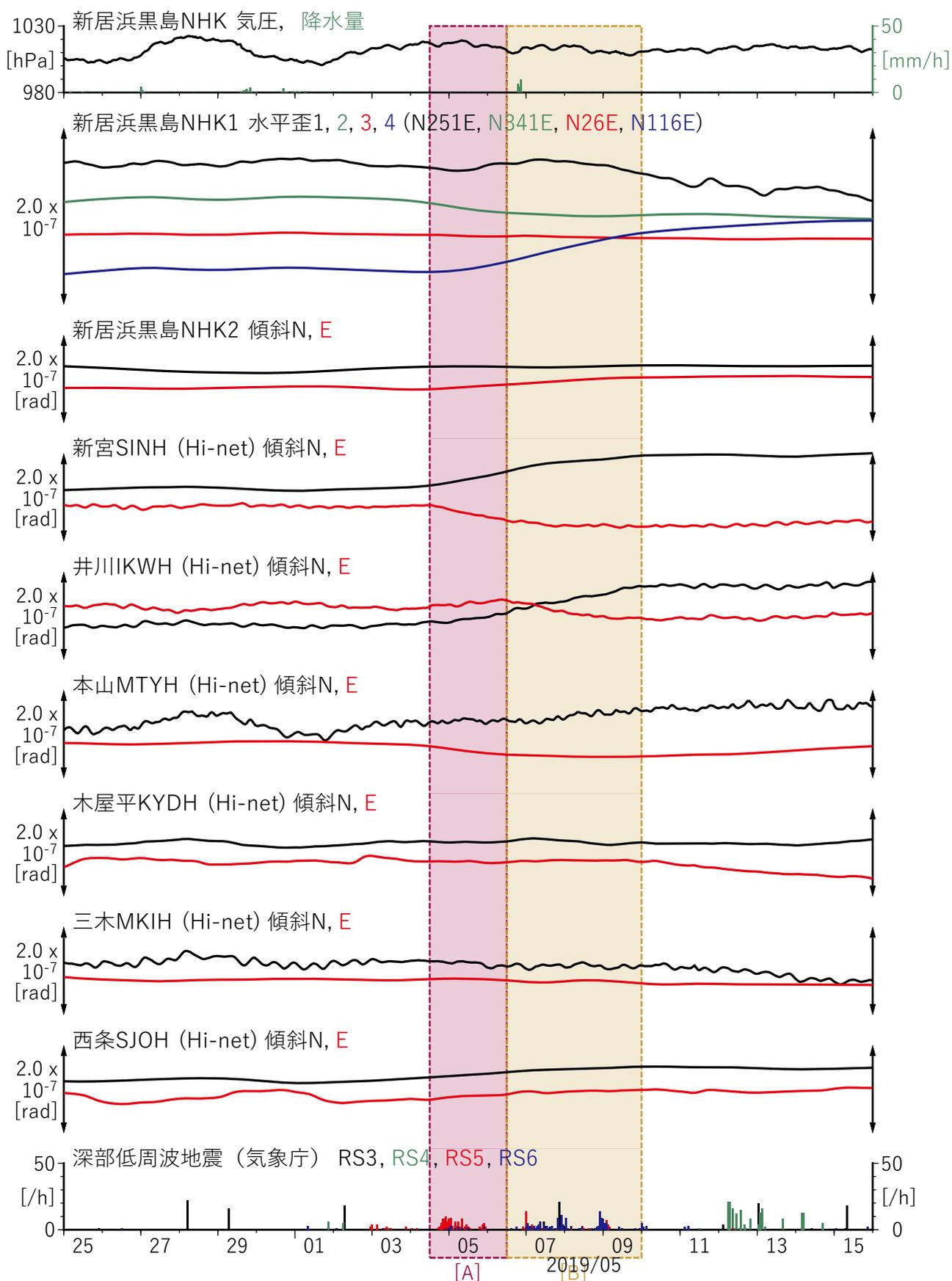
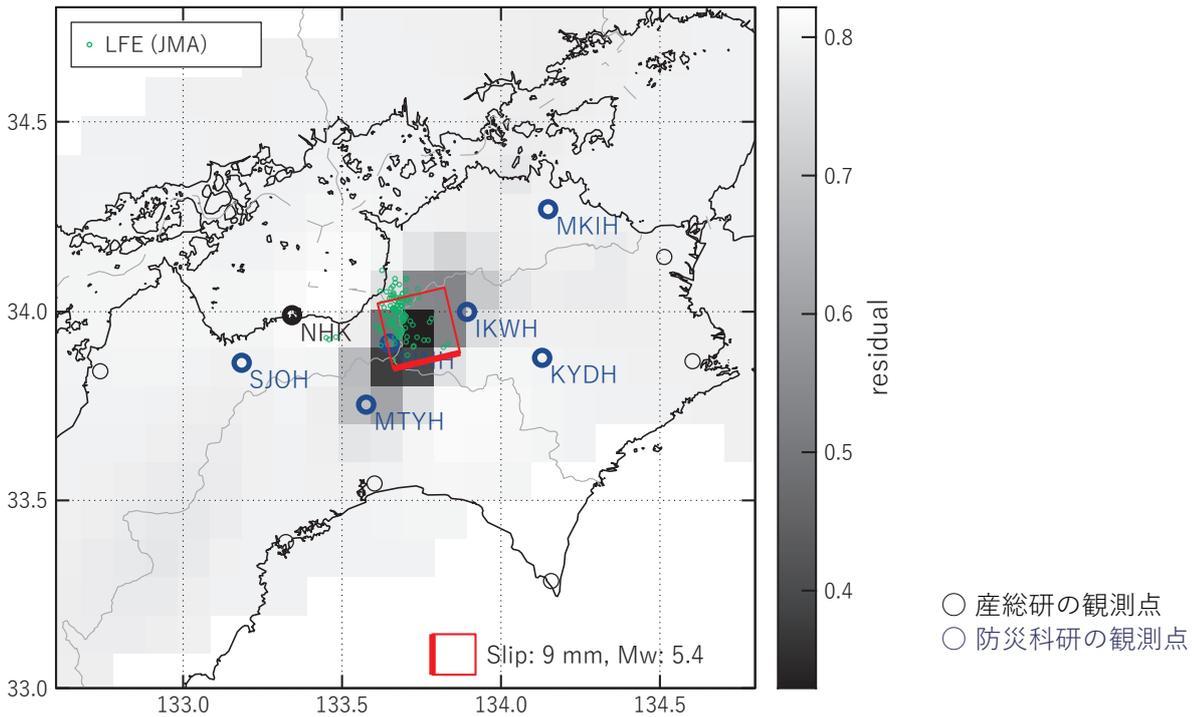


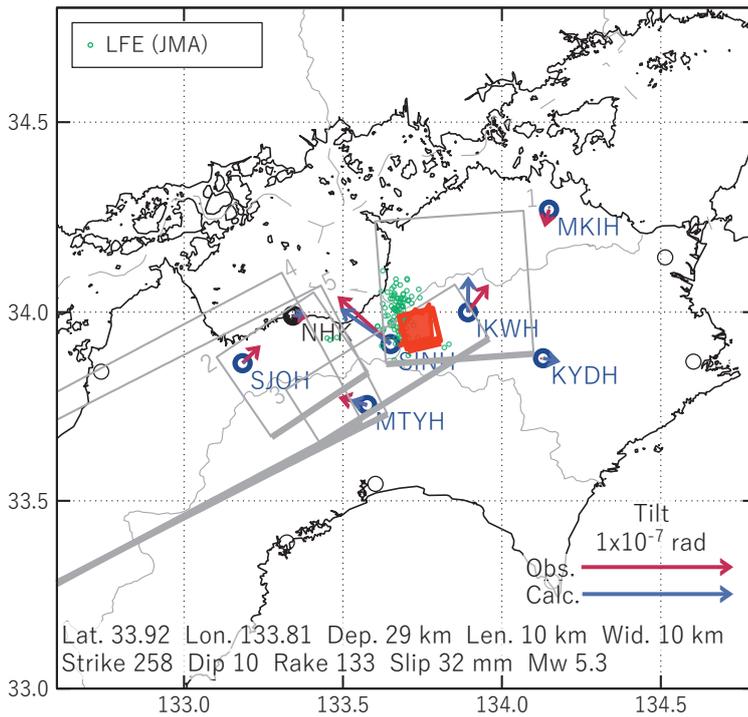
図2 四国地方における歪・傾斜観測結果 (2019/04/25 00:00 - 2019/05/16 00:00 (JST))

[A] 2019/05/04PM-06AM

(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

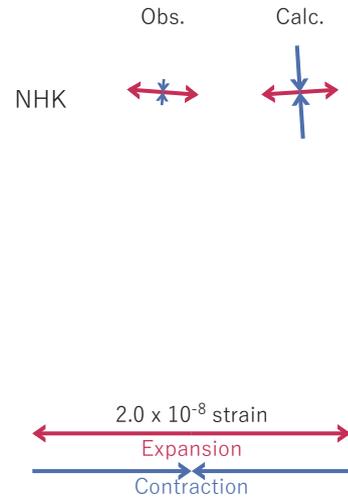


図3 2019/05/04PM-06AMの歪・傾斜変化（図2[A]）を説明する断層モデル。

(a) プレート境界面に沿って分布させた20×20kmの矩形断層面を移動させ、各位置で残差の総和を最小とするすべり量を選んだ時の残差の総和の分布。赤色矩形が残差の総和が最小となる断層面の位置。

(b1) (a)の位置付近をグリッドサーチして推定した断層面（赤色矩形）と断層パラメータ。灰色矩形は最近周辺で発生したイベントの推定断層面。

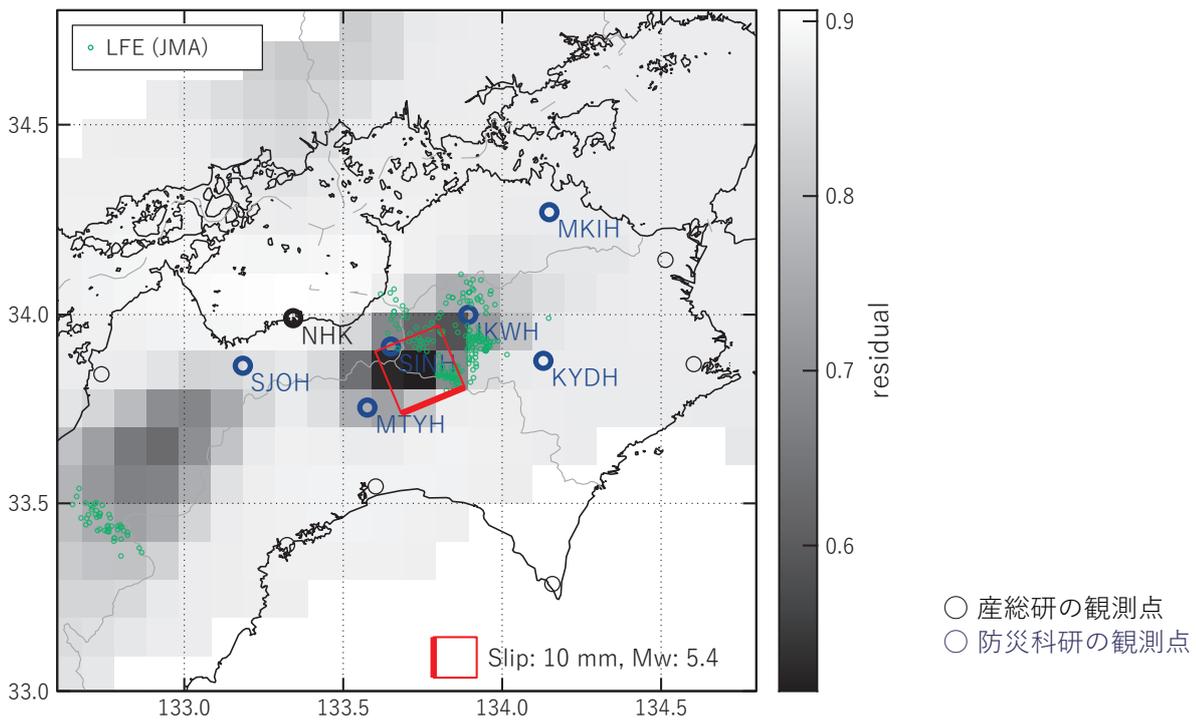
1: 2018/10/10PM-15 (Mw5.8), 2: 2018/10/31-11/03 (Mw5.5), 3: 2018/11/04-08AM (Mw5.5)

4: 2019/03/04PM-06 (Mw6.2), 5: 2019/03/07-09 (Mw6.0)

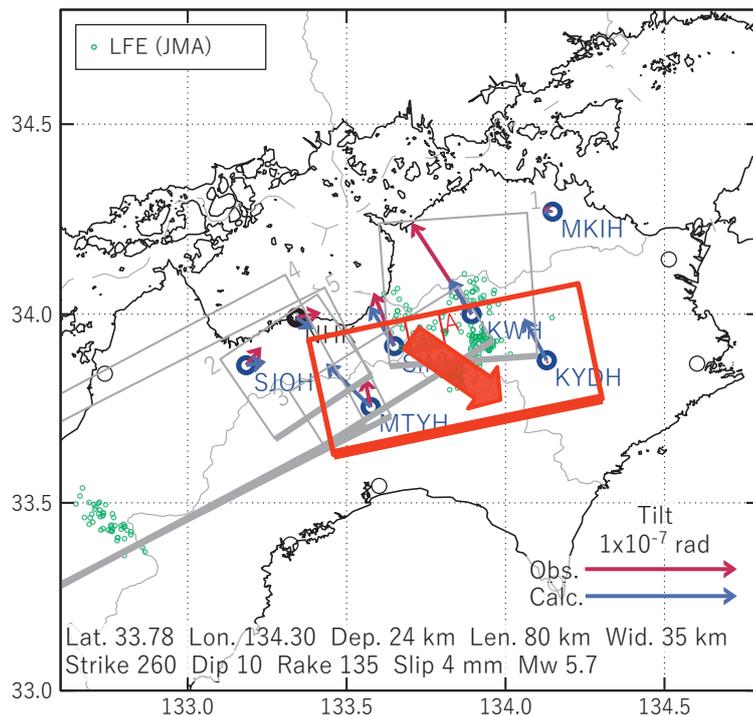
(b2) 主歪の観測値と(b1)に示した断層モデルから求めた計算値との比較。

[B] 2019/05/06PM-09

(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

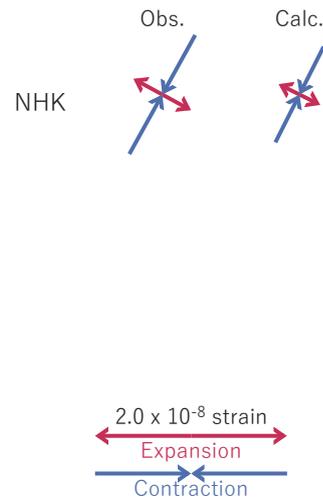


図4 2019/05/06PM-09の歪・傾斜変化 (図2[B]) を説明する断層モデル。

(a) プレート境界面に沿って分布させた20×20kmの矩形断層面を移動させ、各位置で残差の総和を最小とするすべり量を選んだ時の残差の総和の分布。赤色矩形が残差の総和が最小となる断層面の位置。

(b1) (a)の位置付近をグリッドサーチして推定した断層面(赤色矩形)と断層パラメータ。灰色矩形は最近周辺で発生したイベントの推定断層面。

1: 2018/10/10PM-15 (Mw5.8), 2: 2018/10/31-11/03 (Mw5.5), 3: 2018/11/04-08AM (Mw5.5)

4: 2019/03/04PM-06 (Mw6.2), 5: 2019/03/07-09 (Mw6.0)

A: 2019/05/04PM-06AM (Mw5.3)

(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。

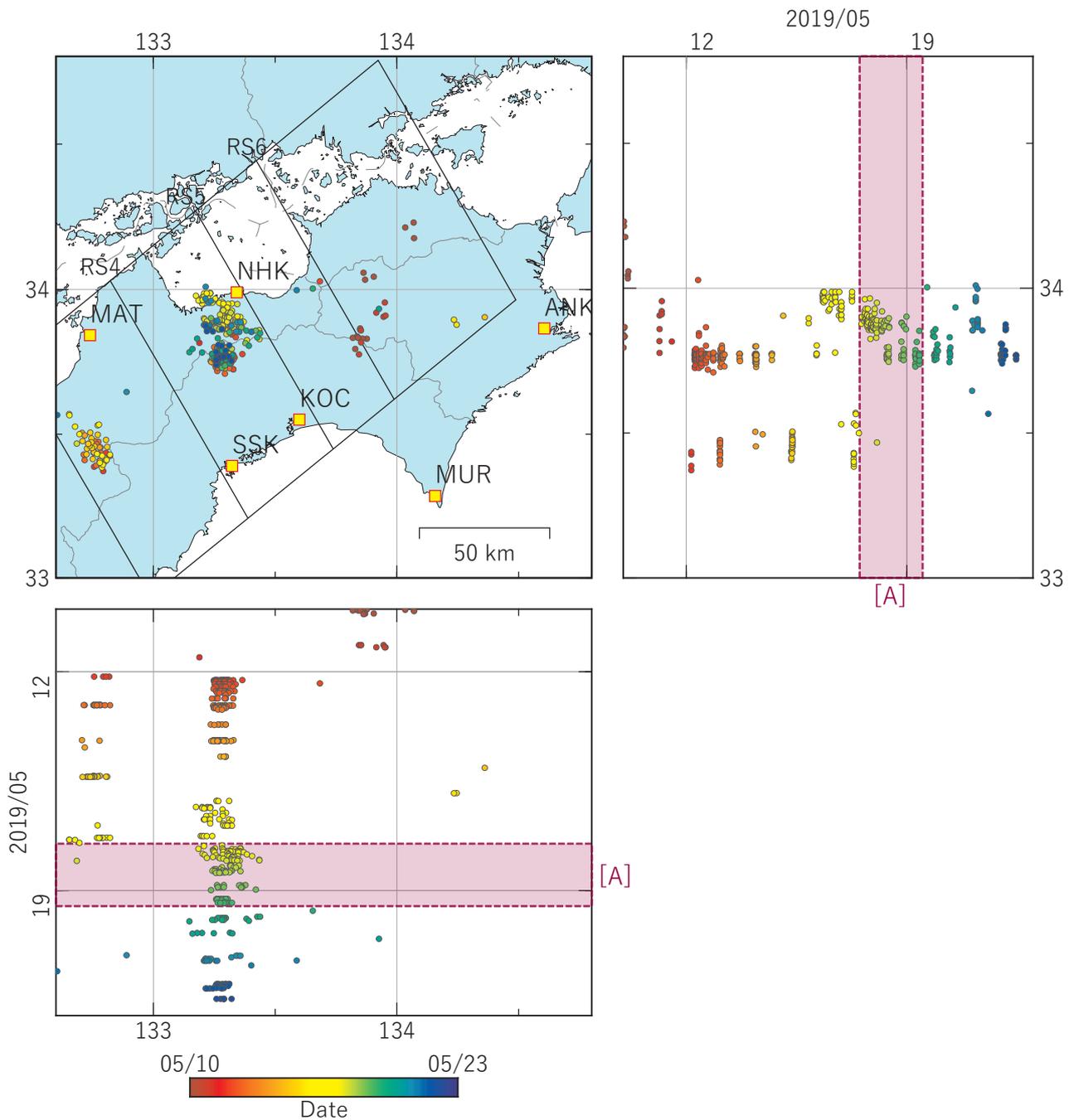


図5 四国地方東部における深部低周波地震（気象庁）の時空間分布図  
 (2019/05/10 00:00 - 2019/05/23 00:00 (JST))  
 (観測点名) ANK: 阿南桑野, MUR: 室戸岬, KOC: 高知五台山, NHK: 新居浜黒島, SSK: 須崎大谷,  
 MAT: 松山南江戸

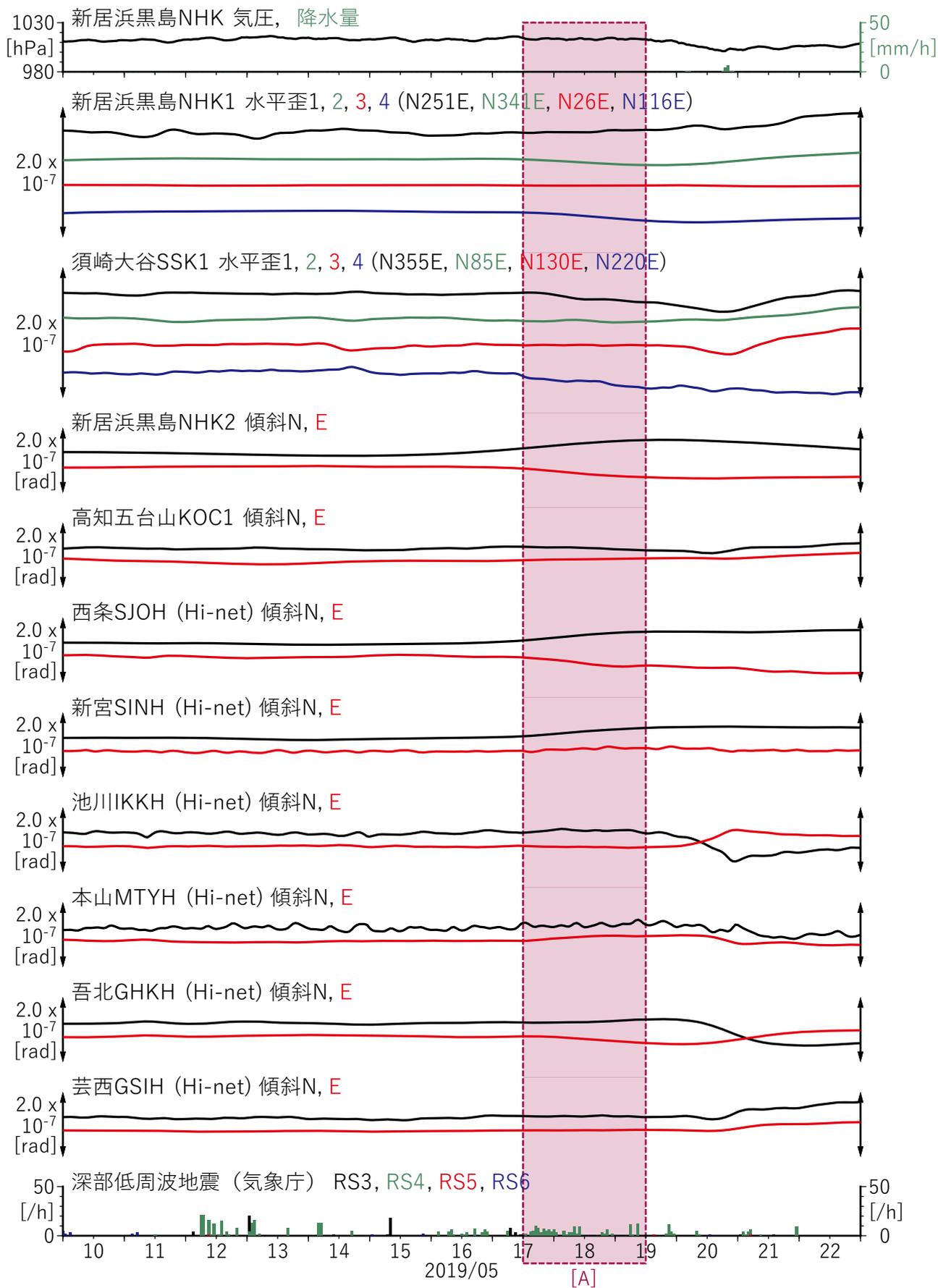
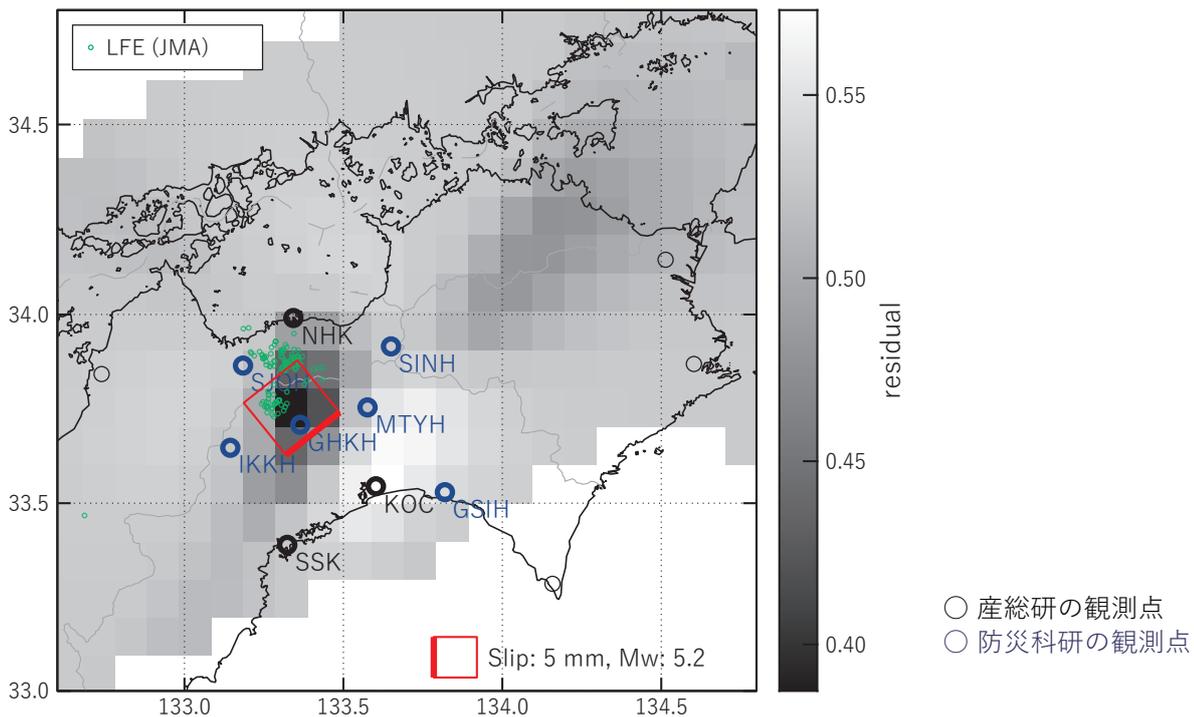


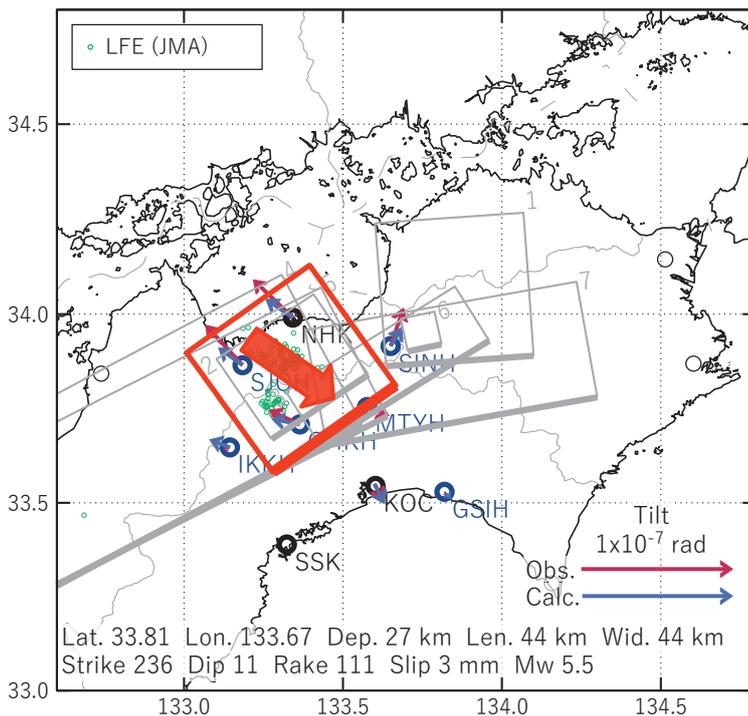
図6 四国地方における歪・傾斜観測結果 (2019/05/10 00:00 - 2019/05/23 00:00 (JST))

[A] 2019/05/17PM-19AM

(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

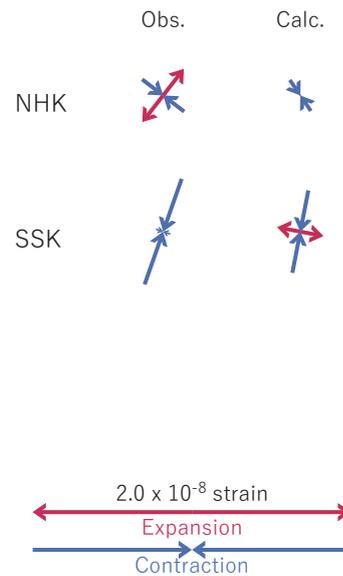


図7 2019/05/17PM-19AMの歪・傾斜変化（図6[A]）を説明する断層モデル。

(a) プレート境界面に沿って分布させた20×20kmの矩形断層面を移動させ、各位置で残差の総和を最小とするすべり量を選んだ時の残差の総和の分布。赤色矩形が残差の総和が最小となる断層面の位置。

(b1) (a)の位置付近をグリッドサーチして推定した断層面（赤色矩形）と断層パラメータ。灰色矩形は最近周辺で発生したイベントの推定断層面。

1: 2018/10/10PM-15 (Mw5.8), 2: 2018/10/31-11/03 (Mw5.5), 3: 2018/11/04-08AM (Mw5.5)

4: 2019/03/04PM-06 (Mw6.2), 5: 2019/03/07-09 (Mw6.0), 6: 2019/05/04PM-06AM (Mw5.3)

7: 2019/05/06PM-09 (Mw5.7)

(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。

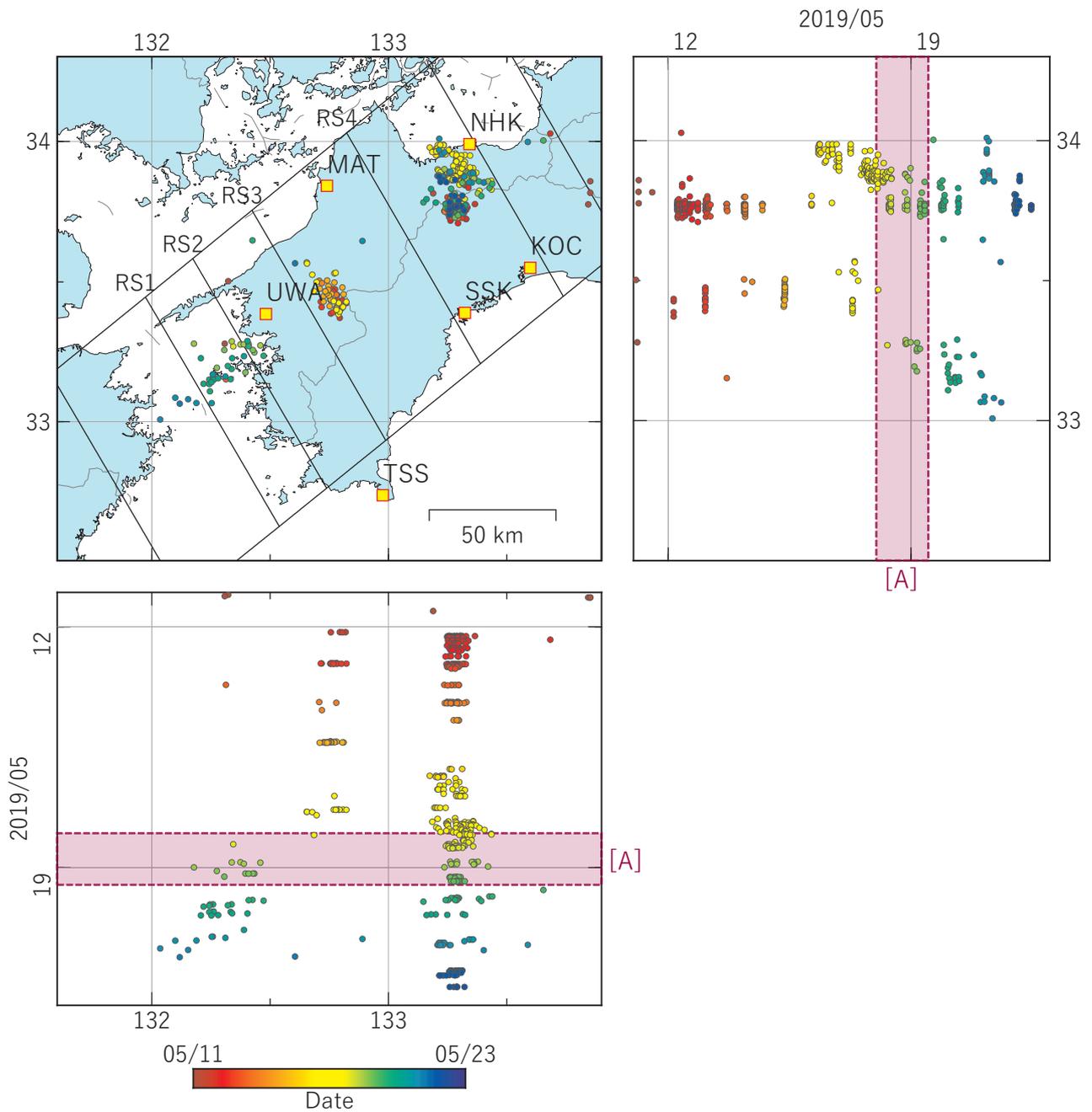


図8 四国地方西部における深部低周波地震（気象庁）の時空間分布図  
 (2019/05/11 00:00 - 2019/05/23 00:00 (JST))  
 (観測点名) KOC: 高知五台山, NHK: 新居浜黒島, SSK: 須崎大谷, TSS: 土佐清水松尾,  
 MAT: 松山南江戸, UWA: 西予宇和

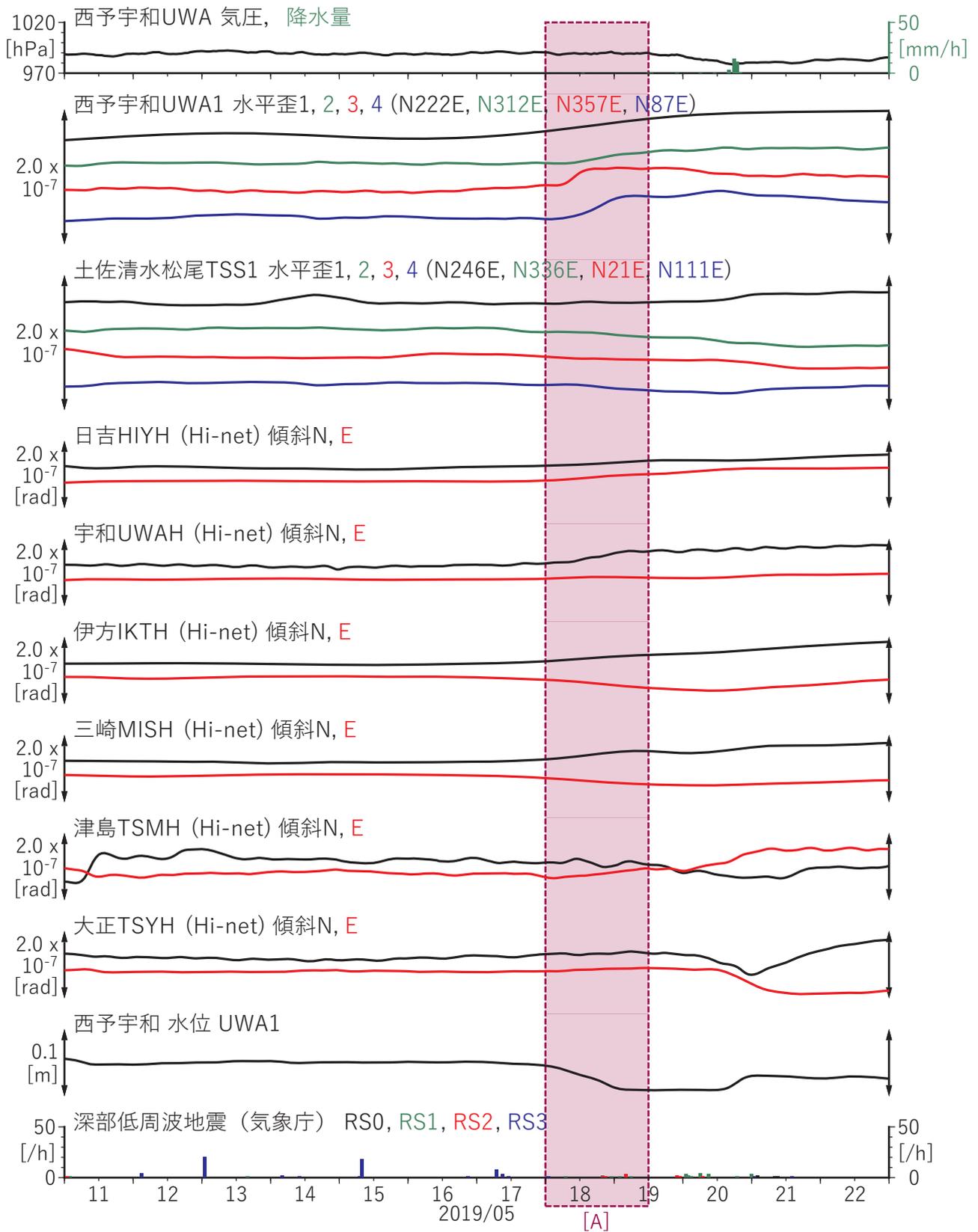
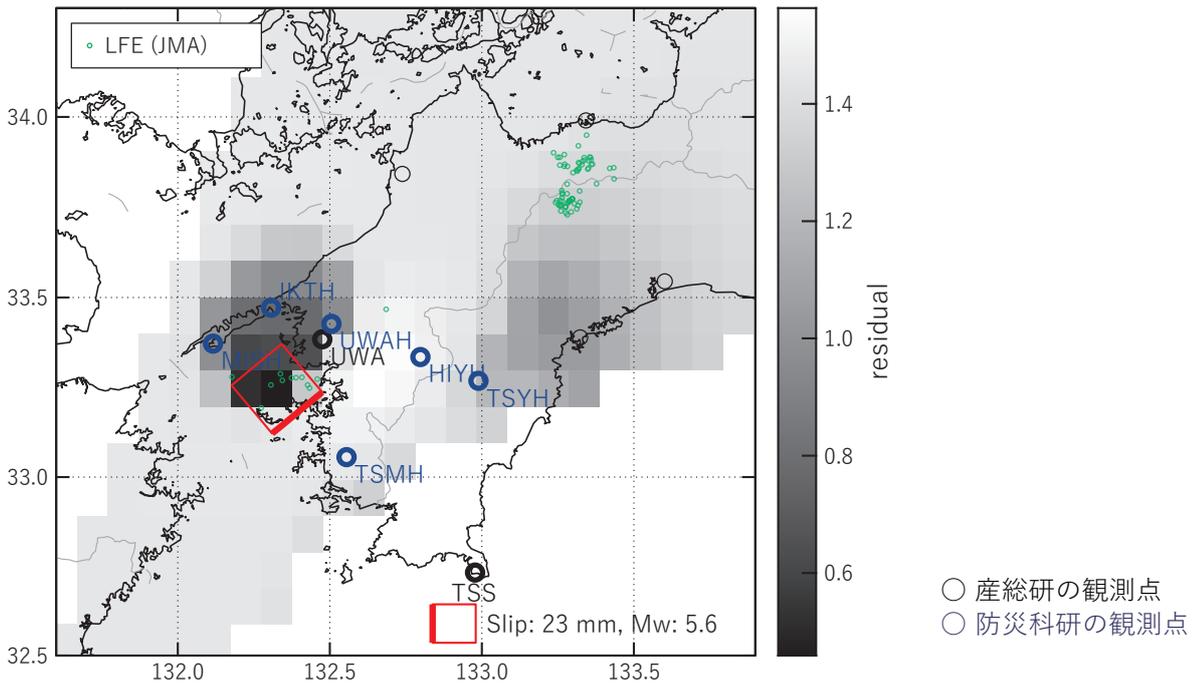


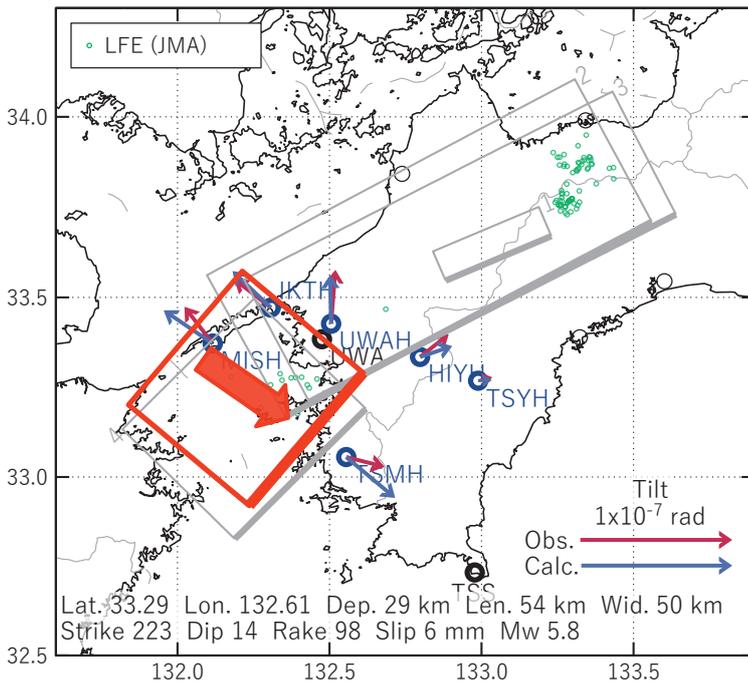
図9 四国地方における歪・傾斜観測結果 (2019/05/11 00:00 - 2019/05/23 00:00 (JST))

[A] 2019/05/18-19AM

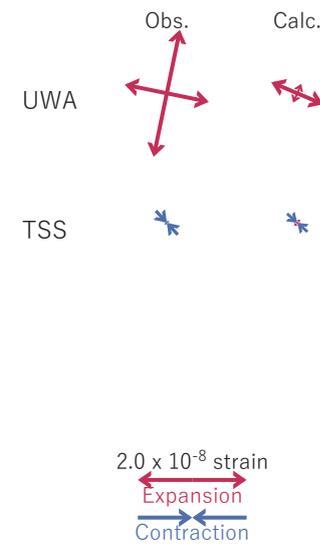
(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



(b1) 推定した断層モデル



(b2) 主歪



(b3) 体積歪

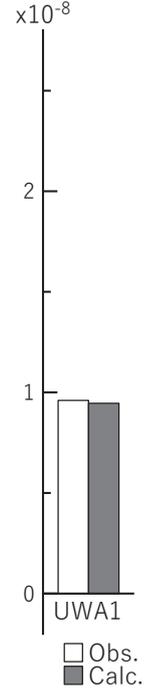


図10 2019/05/18-19AMの歪・傾斜変化 (図9[A]) を説明する断層モデル。

(a) プレート境界面に沿って分布させた20×20kmの矩形断層面を移動させ、各位置で残差の総和を最小とするすべり量を選んだ時の残差の総和の分布。赤色矩形が残差の総和が最小となる断層面の位置。

(b1) (a)の位置付近をグリッドサーチして推定した断層面(赤色矩形)と断層パラメータ。灰色矩形は最近周辺で発生したイベントの推定断層面。

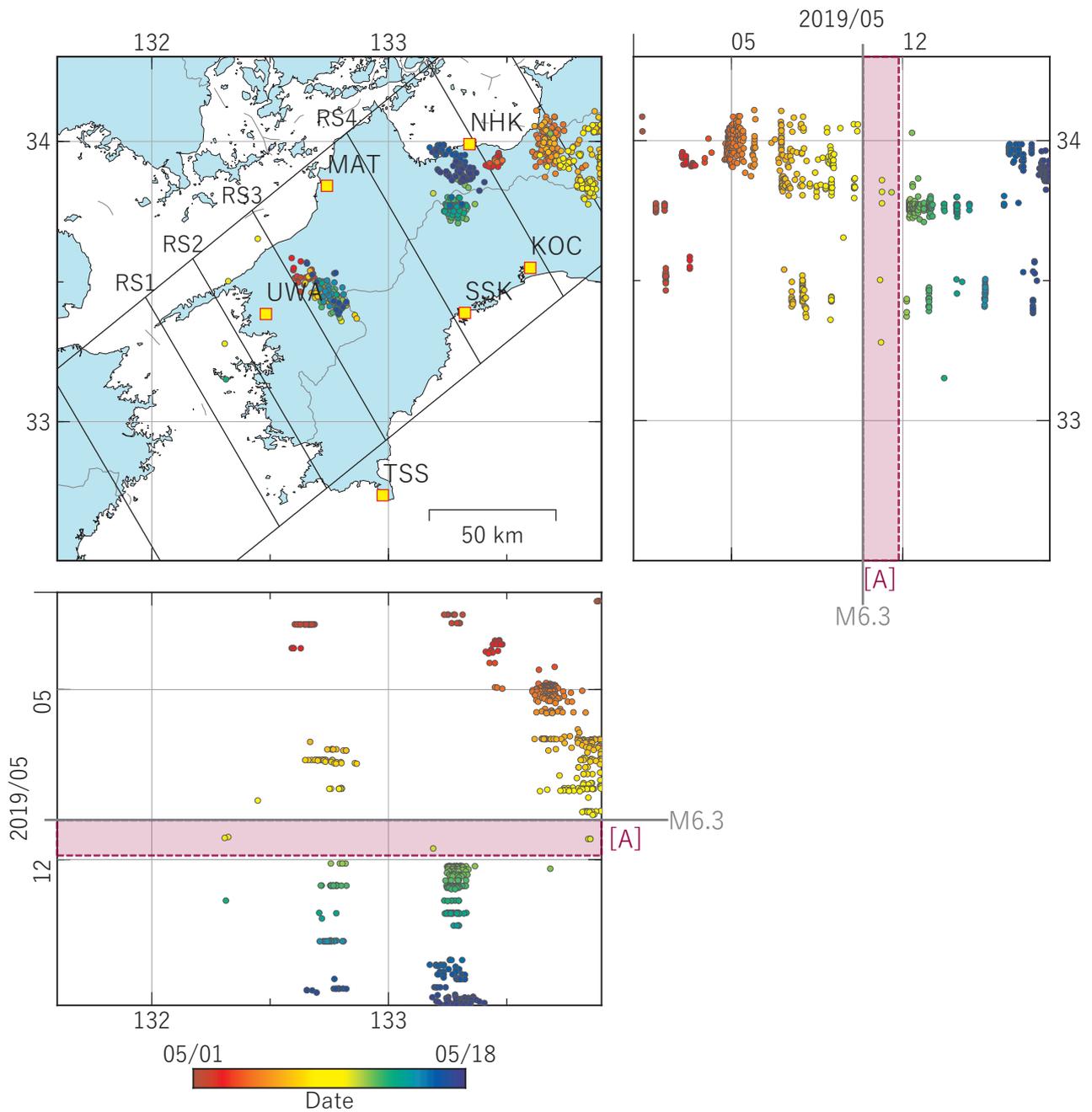
1: 2019/03/02-04AM (Mw5.6), 2: 2019/03/04PM-06 (Mw6.2), 3: 2019/03/07-09 (Mw6.0)

4: 2019/04/17-18 (Mw5.7)

(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。

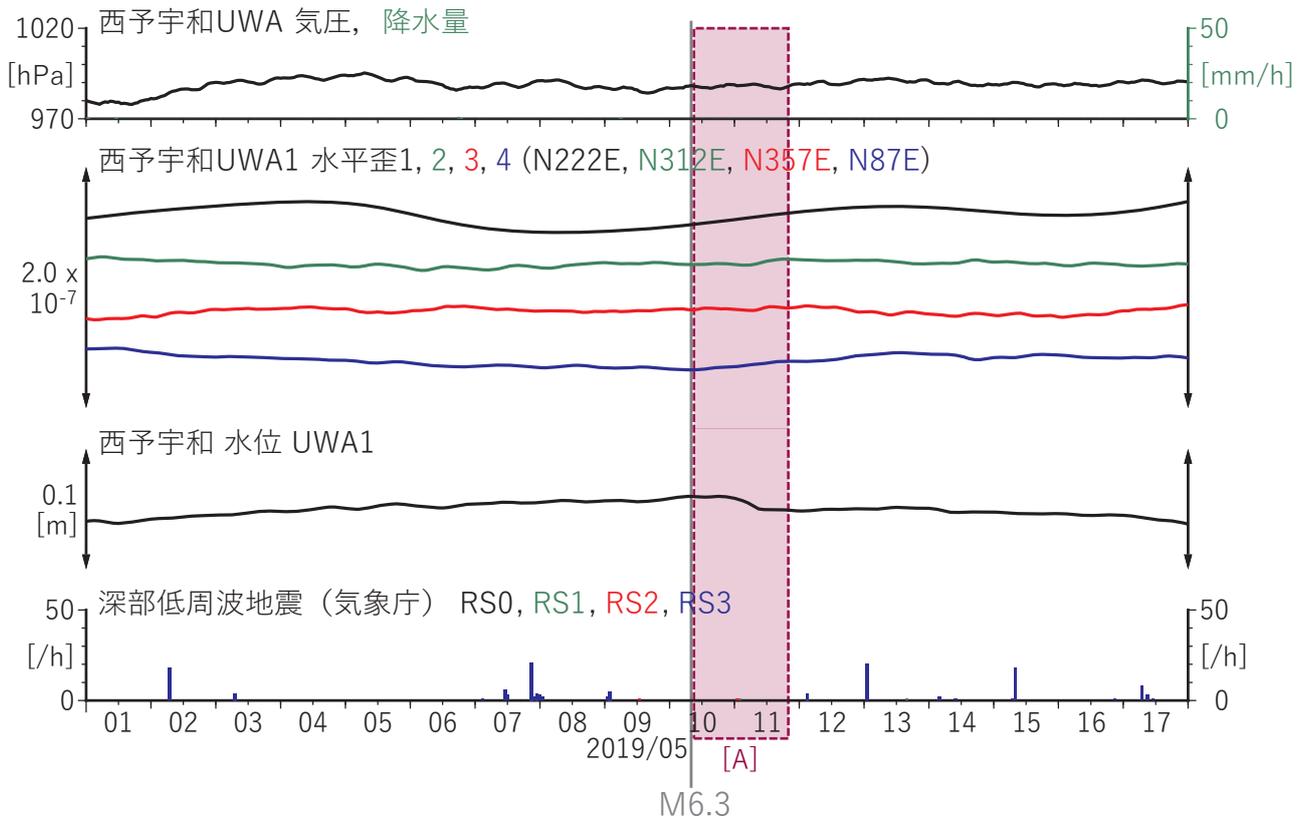
(b3) 体積歪の観測値と(b1)に示した断層モデルから求めた計算値との比較。地下水圧は体積歪に変換して計算している。

# 参考



参考図1 四国地方西部における深部低周波地震（気象庁）の時空間分布図  
 (2019/05/01 00:00 - 2019/05/18 00:00 (JST))  
 (観測点名) KOC: 高知五台山, NHK: 新居浜黒島, SSK: 須崎大谷, TSS: 土佐清水松尾,  
 MAT: 松山南江戸, UWA: 西予宇和

# 参考

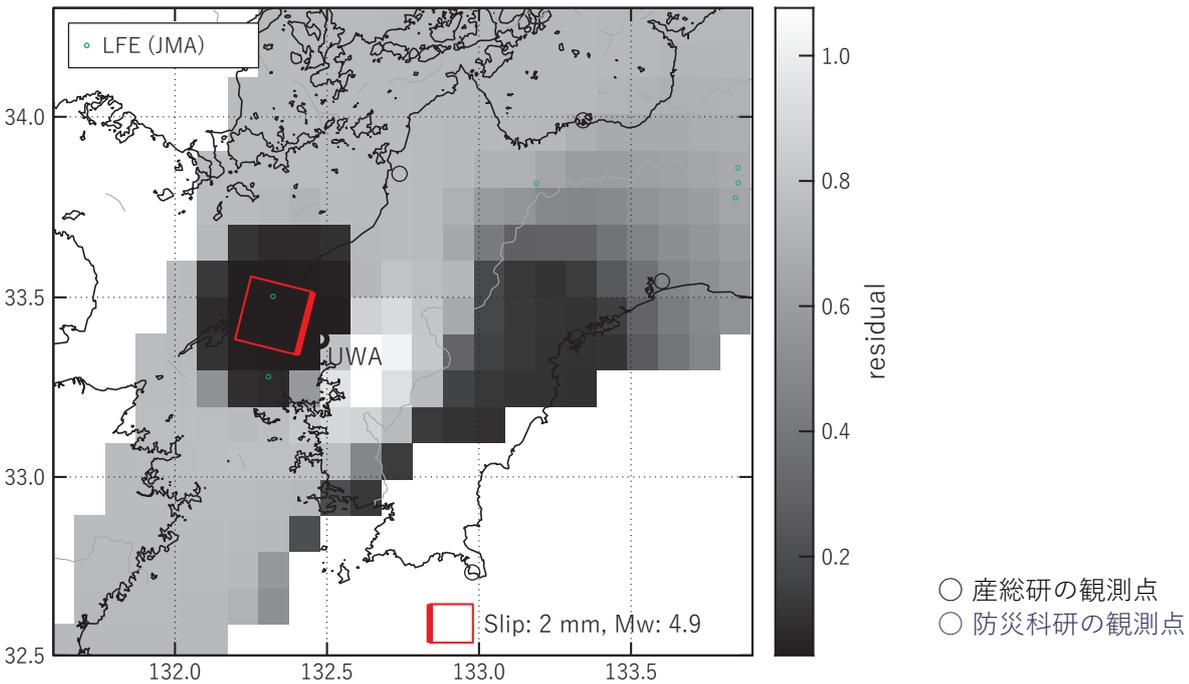


参考図2 四国地方における歪・傾斜観測結果 (2019/05/01 00:00 - 2019/05/18 00:00 (JST))

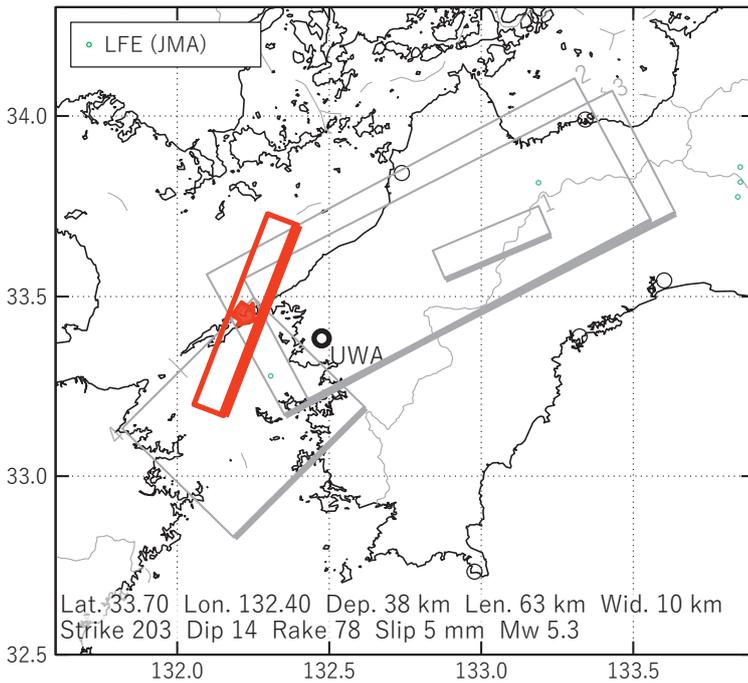
# 参考

[A] 2019/05/10 09:00-05/11 20:00

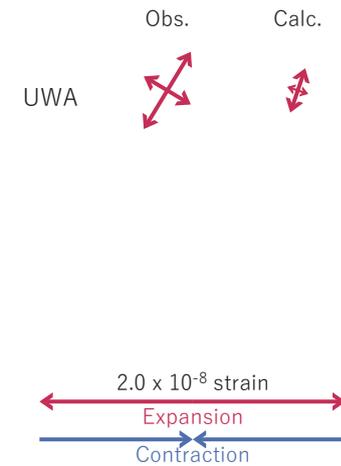
(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



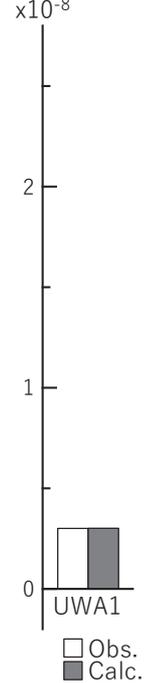
(b1) 推定した断層モデル



(b2) 主歪



(b3) 体積歪  $\times 10^{-8}$



参考図3 2019/05/10 09:00-05/11 20:00の歪・傾斜変化（参考図2[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の矩形断層面を移動させ、各位置で残差の総和を最小とするすべり量を選んだ時の残差の総和の分布。赤色矩形が残差の総和が最小となる断層面の位置。

(b1) (a)の位置付近をグリッドサーチして推定した断層面（赤色矩形）と断層パラメータ。灰色矩形は最近周辺で発生したイベントの推定断層面。

1: 2019/03/02-04AM (Mw5.6), 2: 2019/03/04PM-06 (Mw6.2), 3: 2019/03/07-09 (Mw6.0)

4: 2019/04/17-18 (Mw5.7)

(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。地下水圧は体積歪に変換して計算している。

## 2019年5月10日日向灘の地震（M6.3）後に観測された歪変化について

産業技術総合研究所

2019年5月10日8時48分に、日向灘においてM6.3の地震が発生した。地震直後から、高知県土佐清水市内の土佐清水松尾観測点（TSS）において、ゆっくりとした歪変化が観測された。観測された歪変化から、足摺岬南東側の固着域におけるSSE発生の可能性が指摘されたため、過去の地震時の事例を調査した結果、観測された歪変化は観測点周辺の環境変化（例えば地下水流動の変化）に起因するものである可能性が高いことが分かった。

図1は過去五年間に発生した地震前後のTSSにおける歪変化を示す。M6以上（TSS周辺（豊後水道・日向灘および四国周辺）で発生した地震はM5以上。但し熊本地震本震は、前震の影響が残るため対象外）かつ高知県内で震度3以上を観測した地震を対象とした。2019年5月10日の地震では、水平歪3が縮み、同4が伸びるという特徴があったが、他の地震10例中7例（橙色枠）で同様な変化が観測されていたことが分かった。

次に、上記変化の原因を調査した。歪観測では、地震時のステップ状の変化（静的歪変化）や、地震後に数時間～数日のゆっくりとした変化やトレンドの変化等がしばしば観測される。このうち地震後の変化の要因としては、(1) 余効すべりや地震によって誘発されたSSEによるもの、(2) 歪計周辺の環境変化によるもの（間隙水圧変化など）、(3) 歪計内部の機械的な飛び、の3つに分類することができる。ところで、産総研で使用しているポアホール歪計は、水平4成分のセンサーを有している。水平3成分で1組の主歪を計算することができるが、4成分あれば、4組の主歪を計算することができる。4つのセンサーは鉛直方向に約25cm間隔で配置されており、各々は独立している。そのため、(3)の場合、4組の主歪は整合しない。また、(2)のうち、センサーの近傍で環境変化が生じた場合（例えばクラック中の間隙水圧変化等）、やはり4組の主歪は整合しない（以上、図2参照）。これらの考えのもと、2019年5月10日および上述の7例の地震後に観測された歪変化について主歪を計算した結果を、図3に示す。これによると、2016年熊本地震前震以外の7例で、4組の主歪が概ね整合することが分かった。これらのことから、7例の変化は、(3)や(2)のうち歪センサー近傍（概ね10m以内、図4参照）の環境変化が原因ではないと考えられる。熊本地震前震については、後の本震を含めて静的歪変化が大きかったことから、BAYTAP-G（Tamura et al., 1991）による潮汐補正が不十分な成分があることが、主歪が整合しない原因である可能性がある。

地震波によってSSEが誘発された例はこれまでにいくつか報告されている（例えばItaba and Ando, 2011; Wei and Kaneko, 2018）。Itaba and Ando (2011)によると、地震波は最後の一押しにすぎず（SSEによる応力降下量の5%程度）、SSE繰り返し間隔のほぼ満期状態のところに地震波による応力擾乱が加わったことによってSSEが誘発されたことが分かっている。上述7つもの例でこの条件を満たしていたということは考えにくい。一方、井戸における地下水観測では、地震によって地下水位や水圧がしばしば変化し、近地大地震以外では地震波に起因することが多く、どの地震でも同様の増減パターンを示すことが多いことが分かっている（例えばItaba and Koizumi, 2007; Itaba et al., 2008a; 2008b）。事実、TSSに3本ある井戸のうち2番目に深い井戸（TSS2）では、歪変化が観測された8例のうち7例で、地震後に地下水位の低下が観測されている（参考資料。残り1例は直前の降雨により上昇したと考えられる。）。2019年5月10日の地震後を含む7例の主歪変化は、その大きさは数倍のばらつきがあるものの、伸縮の方位は概ね一致しており、その変動源が同じ場所であることを示唆している。以上のことか

ら、地震後に観測された歪変化は、2) のうち歪センサーからある程度（概ね 10m）以上距離が離れた場所での地下水流動の変化等の環境変化に起因する可能性が高い。

#### 参考文献

Itaba S, Koizumi N (2007) Earthquake-related Changes in Groundwater Levels at the Dogo Hot Spring, Japan, *Pure Appl. Geophys.*, 164, 2397-2410. <https://doi.org/10.1007/s00024-007-0279-3>

Itaba S, Koizumi N, Matsumoto N, Takahashi M, Sato T, Ohtani R, Kitagawa Y, Kuwahara Y, Sato T, Ozawa K (2008) Groundwater level changes related to the ground shaking of the Noto Hanto Earthquake in 2007, *Earth Planets Space*, 60, 1153-1159. <https://doi.org/10.1186/BF03352872>

Itaba S, Koizumi N, Toyoshima T, Kaneko M, Sekiya K, Ozawa K (2008) Groundwater changes associated with the 2004 Niigata-Chuetsu and 2007 Chuetsu-oki earthquakes, *Earth Planets Space*, 60, 1161-1168. <https://doi.org/10.1186/BF03352873>

Itaba S, Ando R (2011) A slow slip event triggered by teleseismic surface waves, *Geophys. Res. Lett.* 38:L21306, <https://doi.org/10.1029/2011GL049593>

Tamura, Y, Sato T, Ooe M, Ishiguro M (1991), A procedure for tidal analysis with a Bayesian information criterion, *Geophys. J. Int.*, **104**, 507-516.

M Wei, Kaneko Y, P Shi and Y Liu (2018) Numerical Modeling of Dynamically Triggered Shallow Slow Slip Events in New Zealand by the 2016 Mw 7.8 Kaikoura Earthquake,

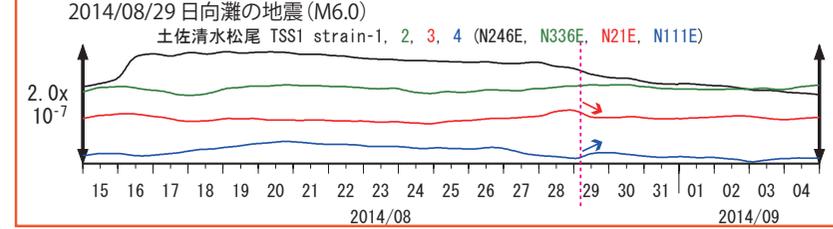
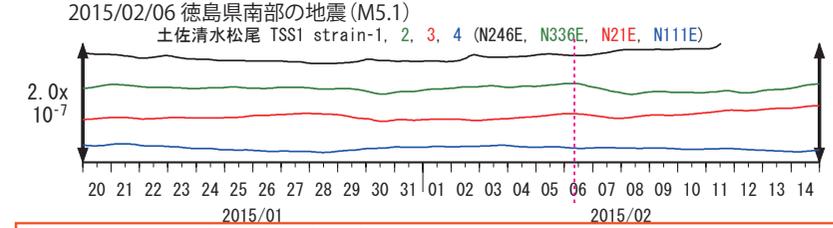
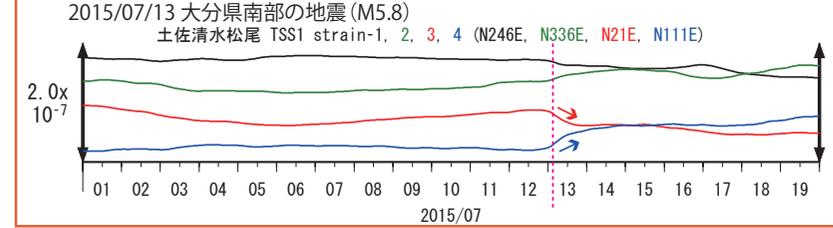
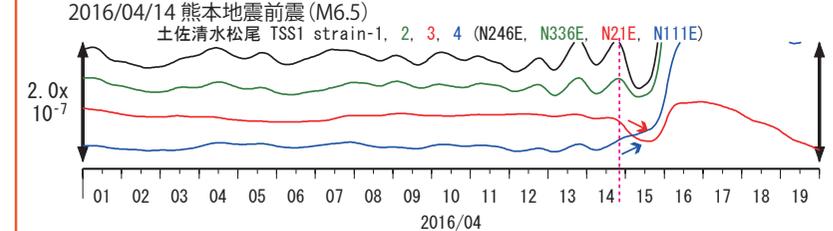
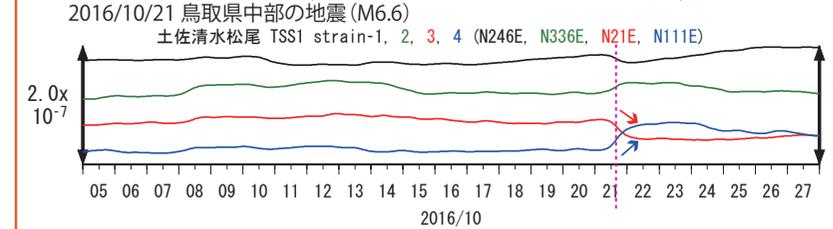
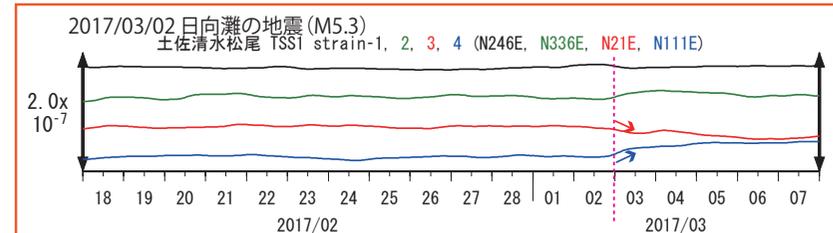
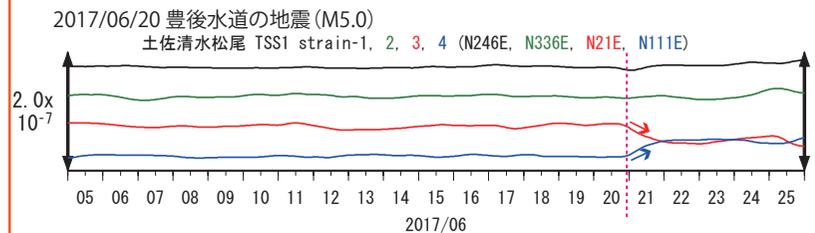
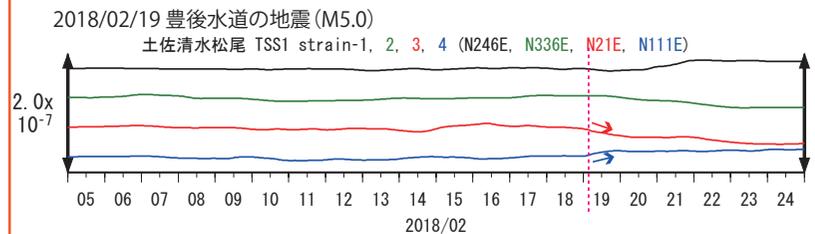
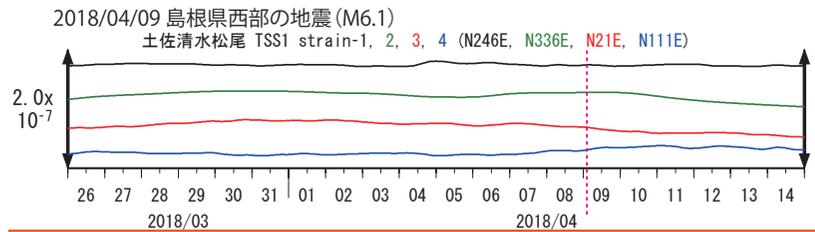
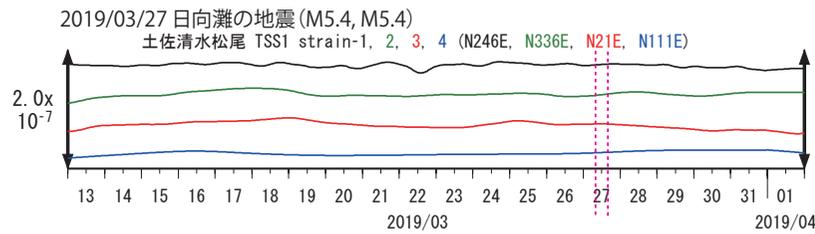
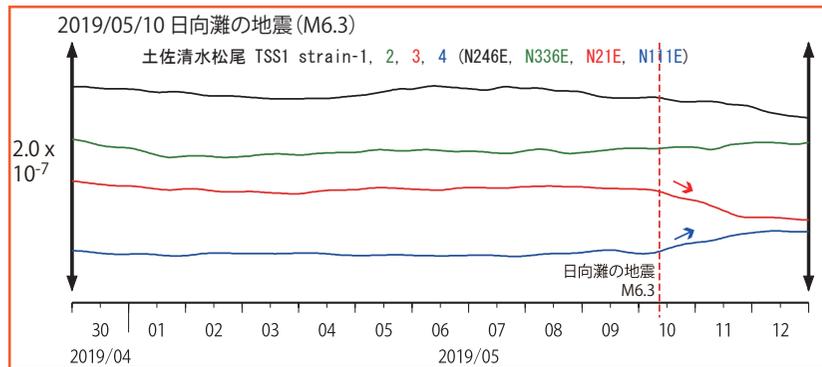


図1: 過去5年間の地震前後のTSSにおける歪変化。潮汐・気圧応答成分および地震前までの1次トレンドを除去している。

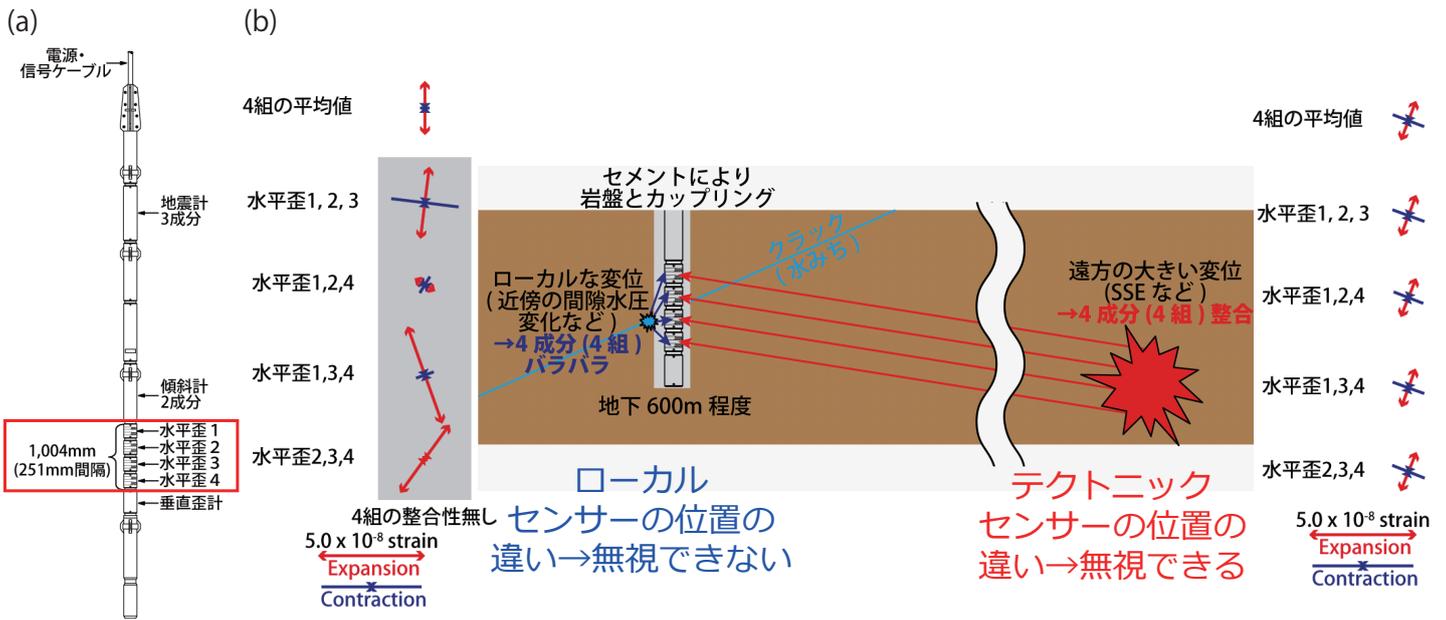


図2: (a) 地殻活動総合観測装置模式図. 水平歪4成分は, 約25cm間隔で鉛直方向に配置されている. (b) ボアホールに埋設された歪計および2つの変動源の模式図と, それぞれの変動源による4組の主歪変化の例.

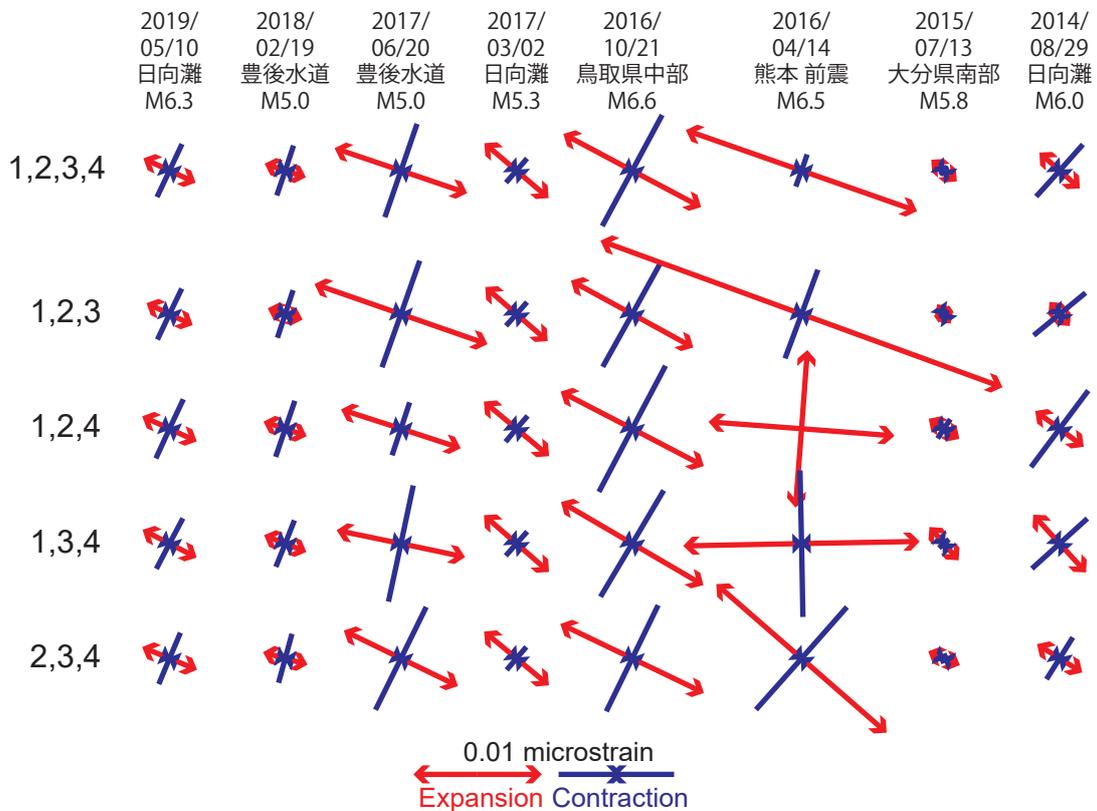


図3: TSSにおいて過去五年間の地震後に観測された歪変化(図1参照) から計算された4組の主歪.

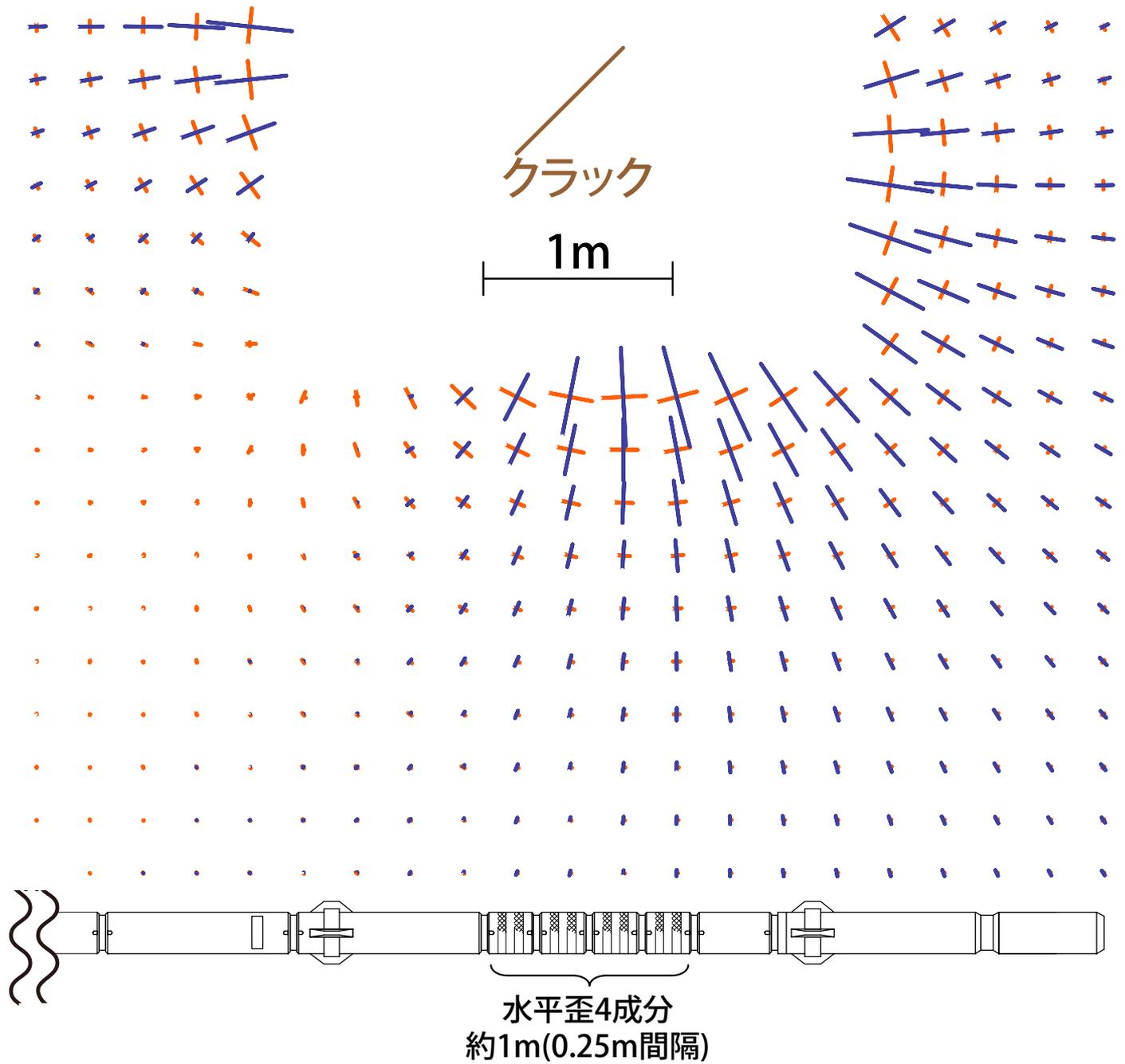
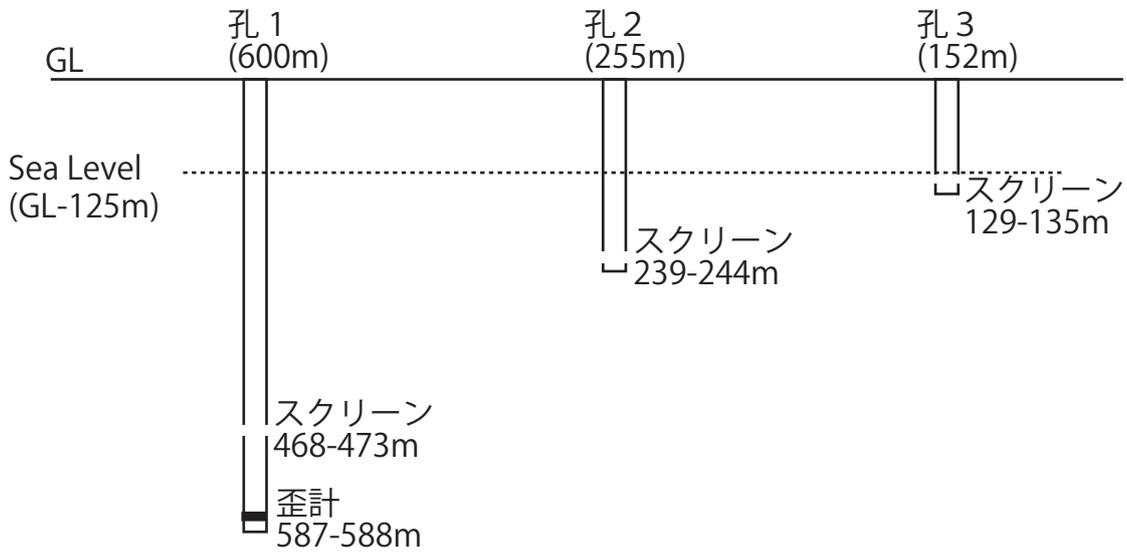
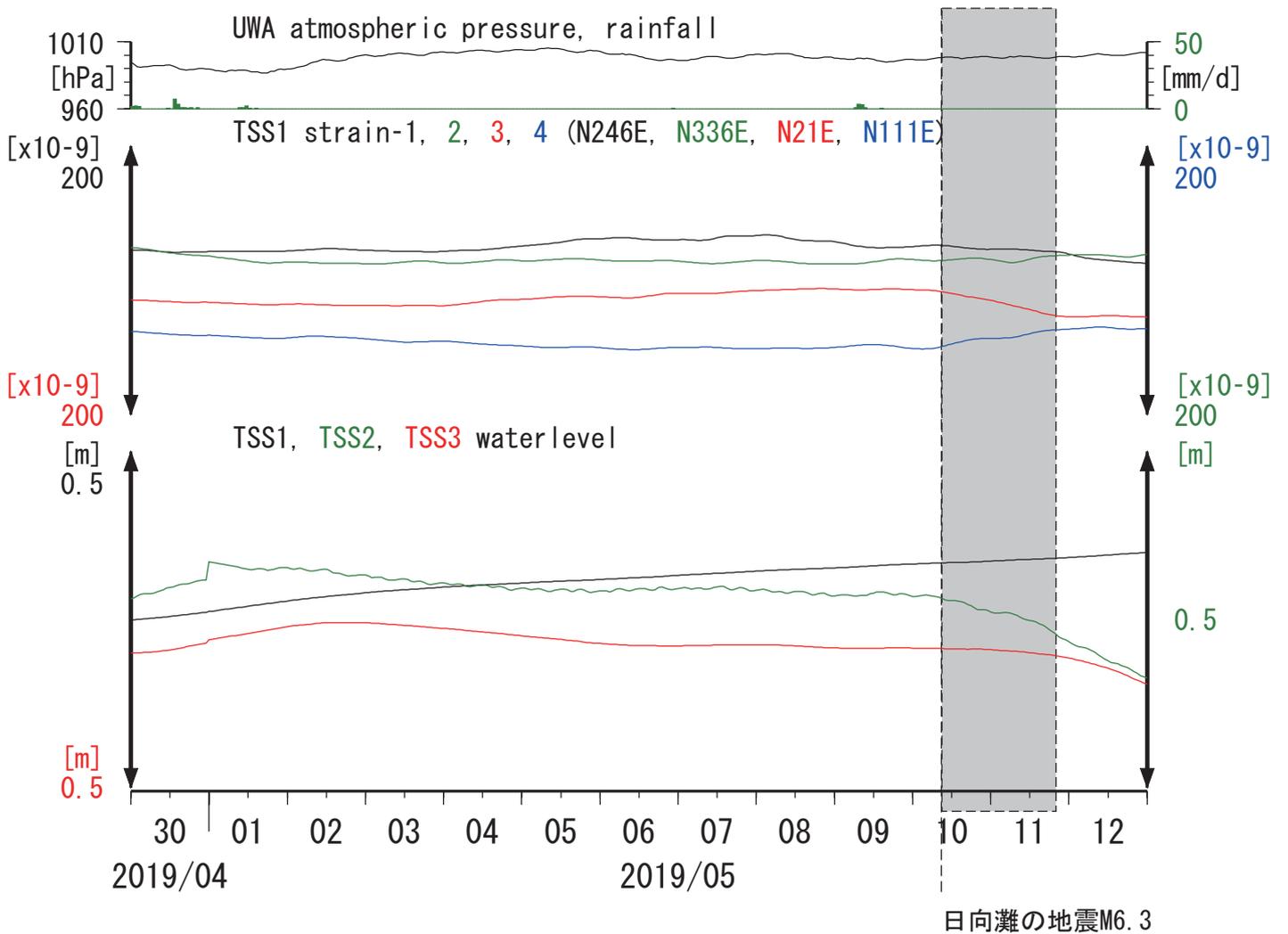


図4: 長さ・幅それぞれ1mのクラックが開いた際の周辺の主歪分布。クラックから10m程度離れると、1m間で主歪の方位はあまり変わらなくなる。

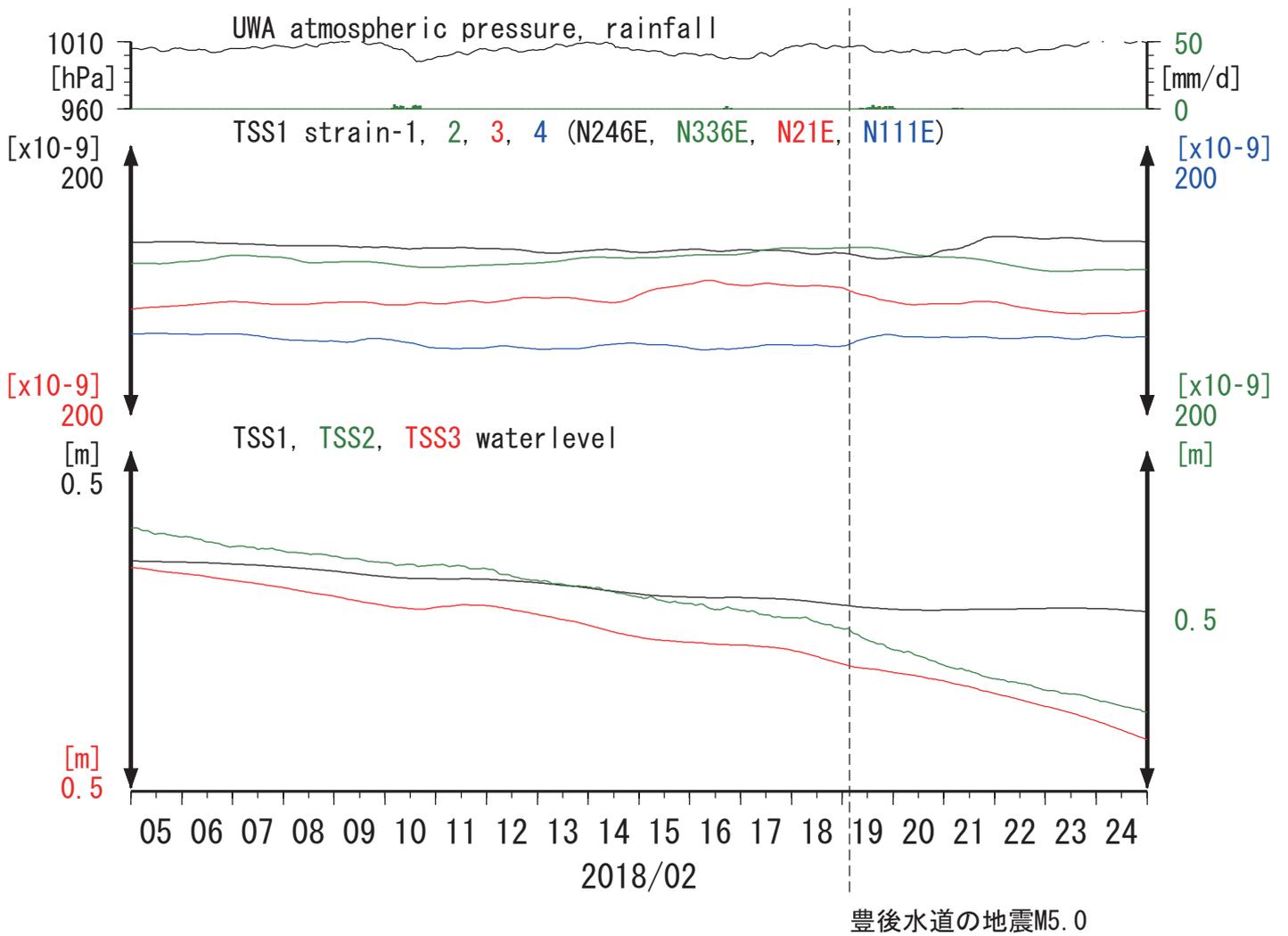
土佐清水松尾観測点の観測井戸の概要



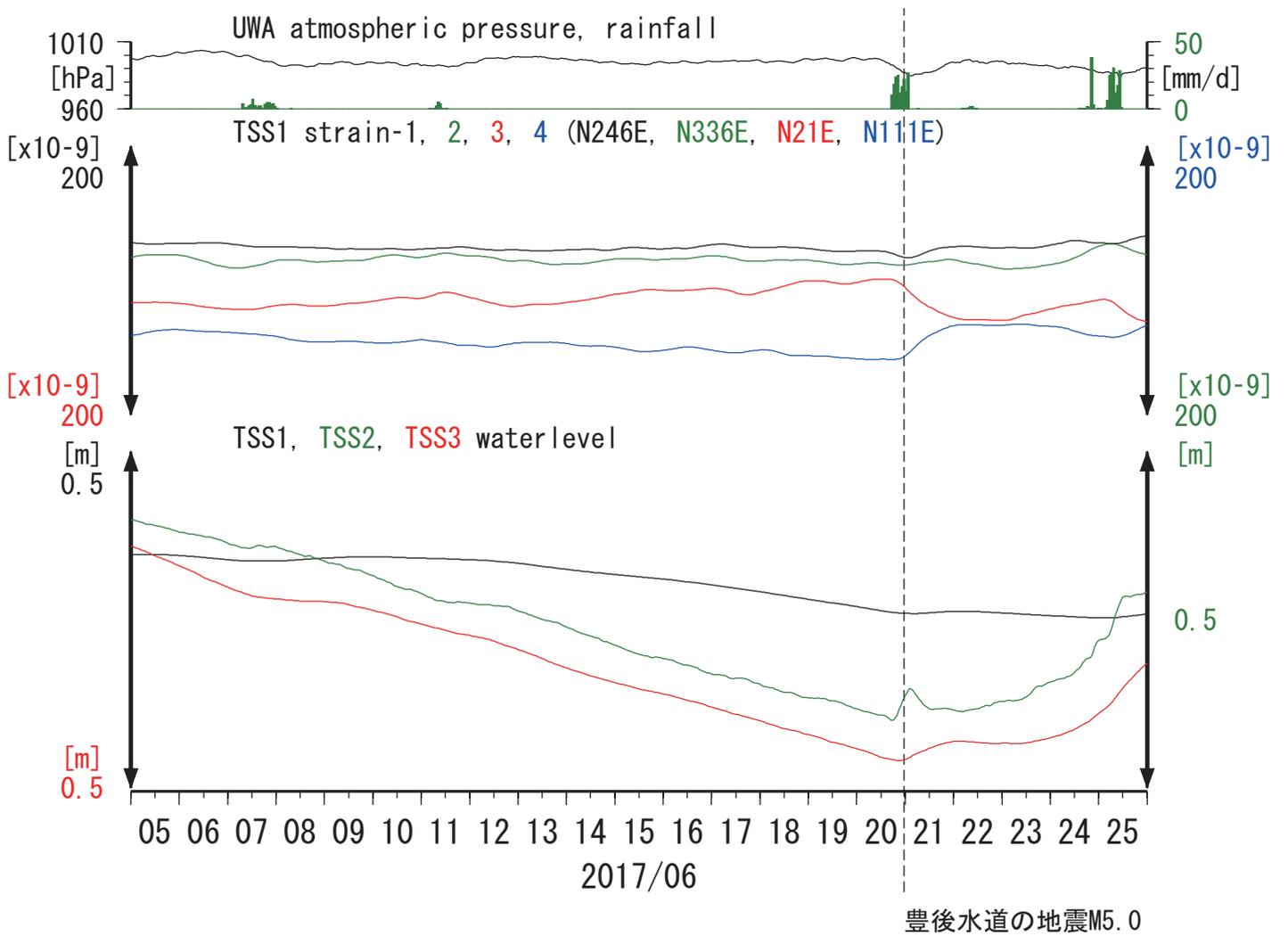
土佐清水松尾の歪・水位  
 (2019/04/30 00:00 - 2019/05/13 00:00 (JST))



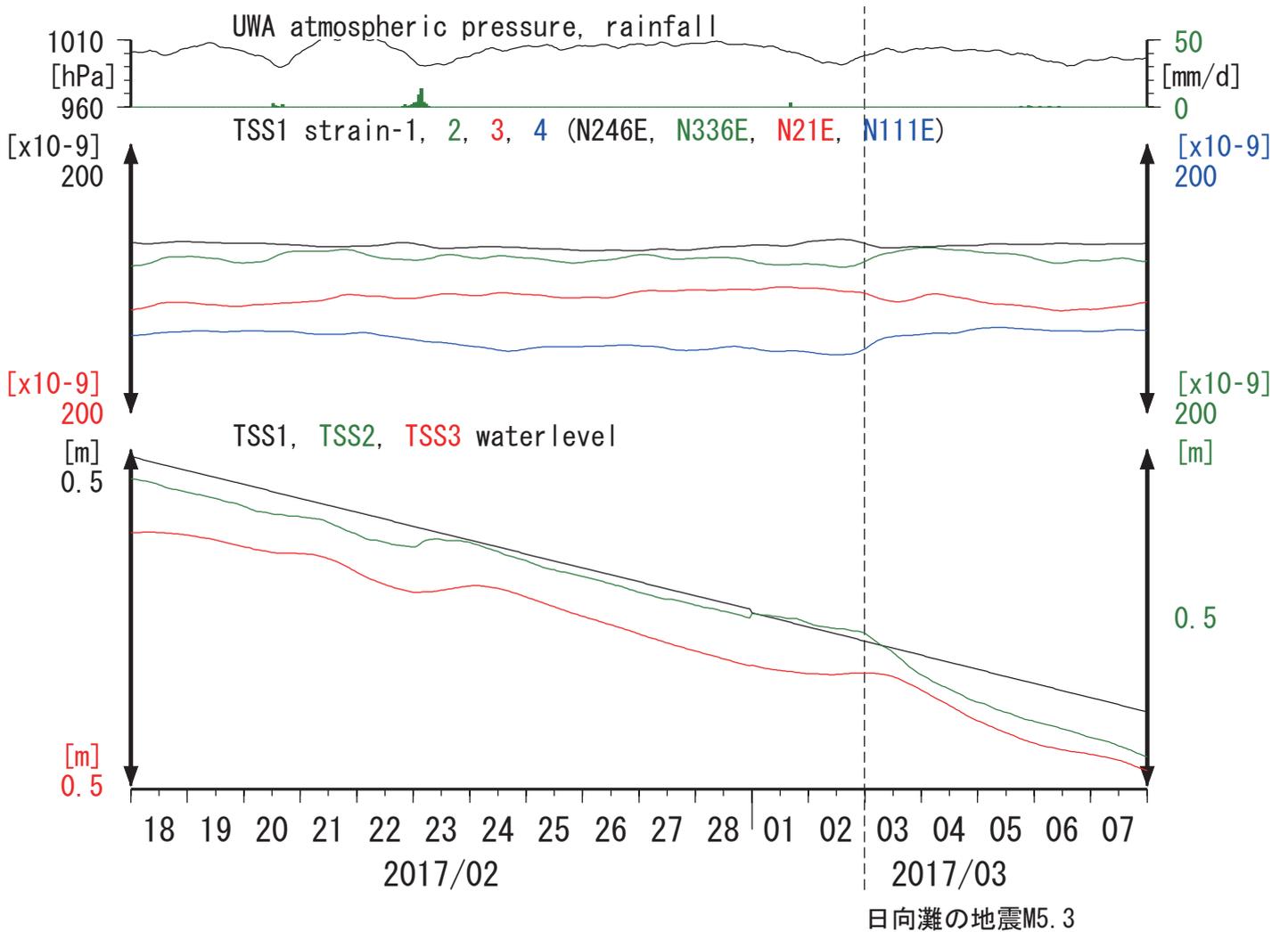
土佐清水松尾の歪・水位  
 (2018/02/05 00:00 - 2018/02/25 00:00 (JST))



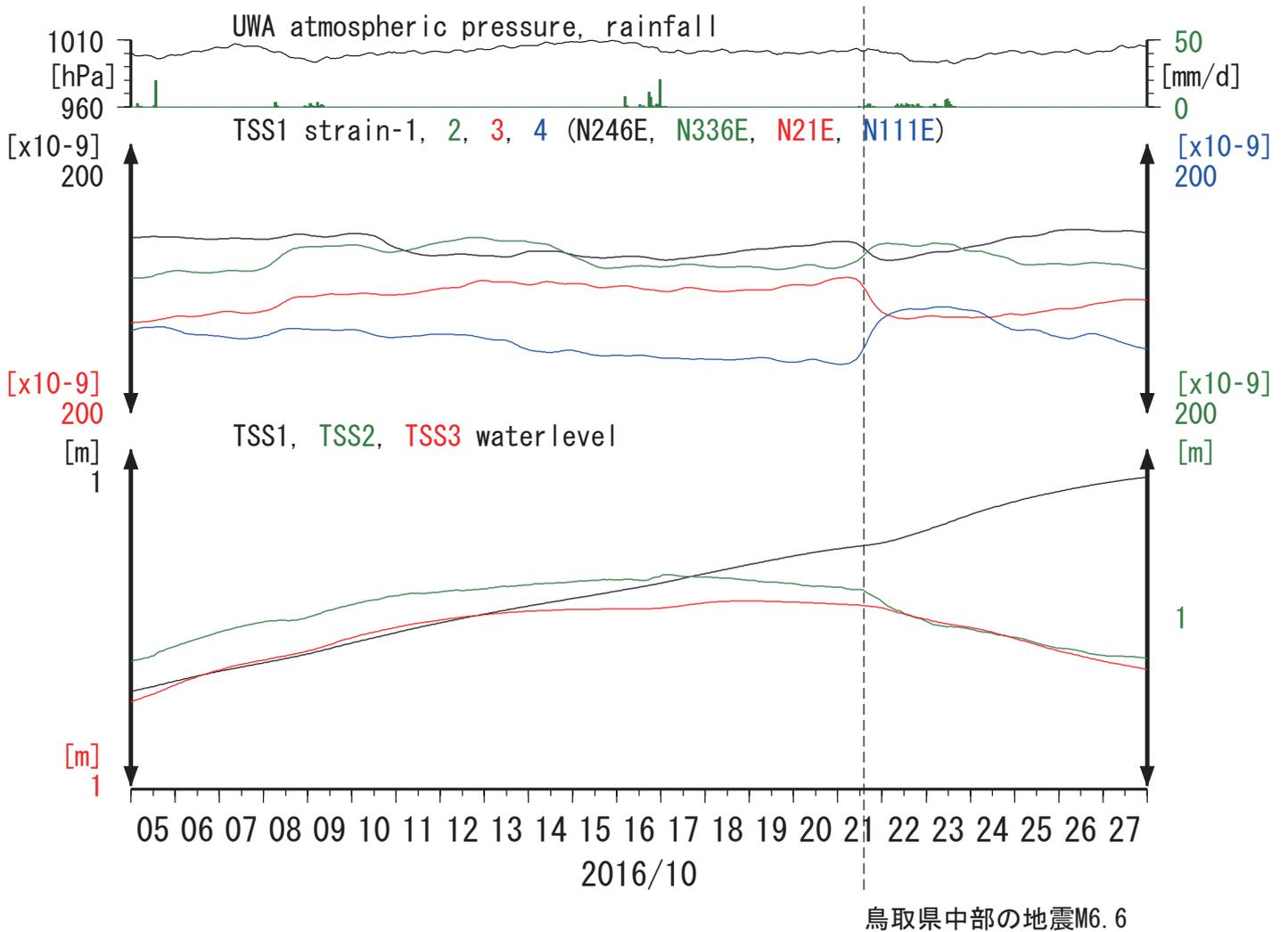
土佐清水松尾の歪・水位  
(2017/06/05 00:00 - 2017/06/26 00:00 (JST))



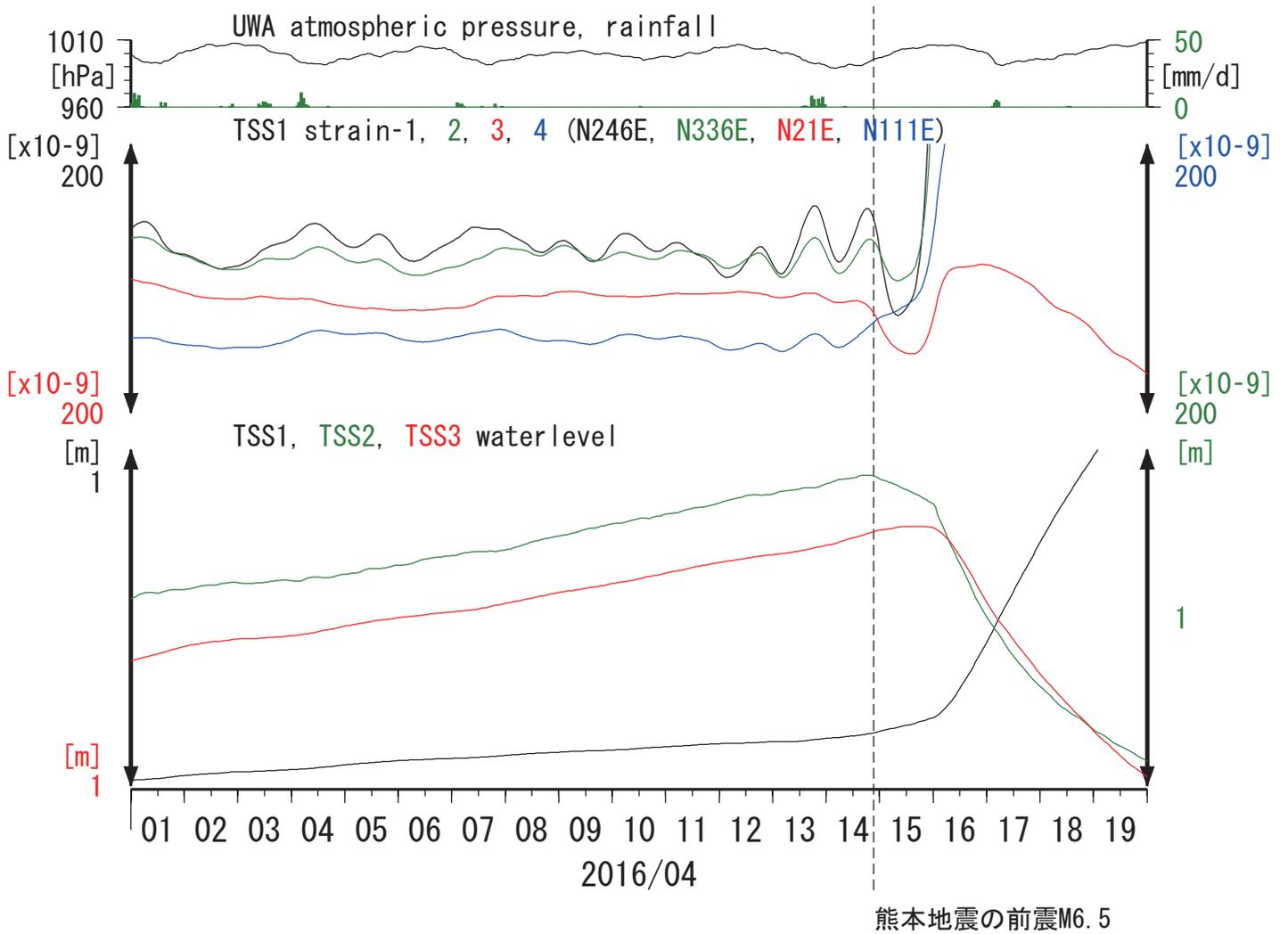
土佐清水松尾の歪・水位  
(2017/02/18 00:00 - 2017/03/08 00:00 (JST))



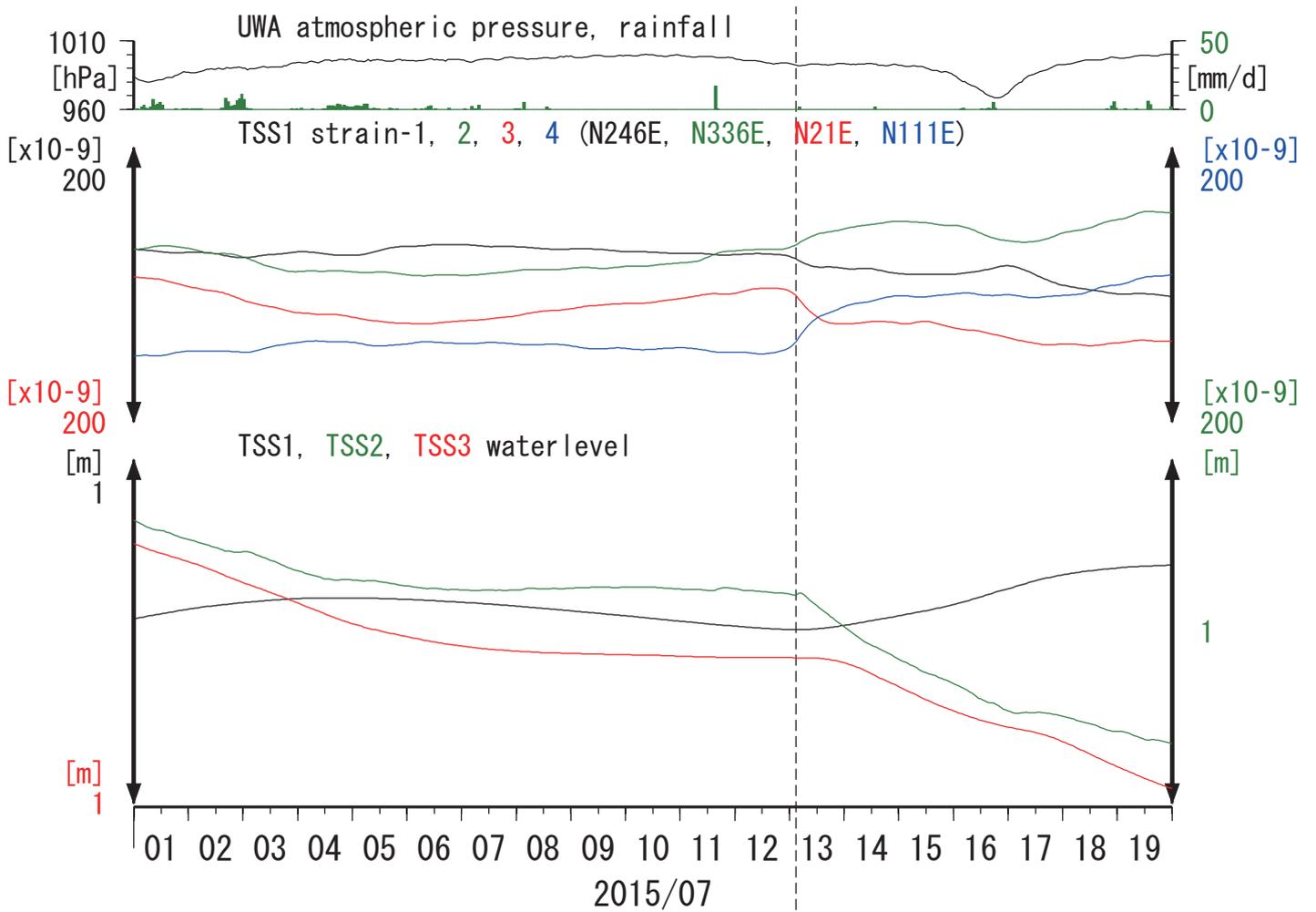
土佐清水松尾の歪・水位  
 (2016/10/05 00:00 - 2016/10/28 00:00 (JST))



土佐清水松尾の歪・水位  
(2016/04/01 00:00 - 2016/04/20 00:00 (JST))



土佐清水松尾の歪・水位  
(2015/07/01 00:00 - 2015/07/20 00:00 (JST))



大分県南部の地震M5.8

土佐清水松尾の歪・水位  
 (2014/08/15 00:00 - 2014/09/05 00:00 (JST))

