

【第46回】南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会  
【第424回】地震防災対策強化地域判定会

—産業技術総合研究所資料—

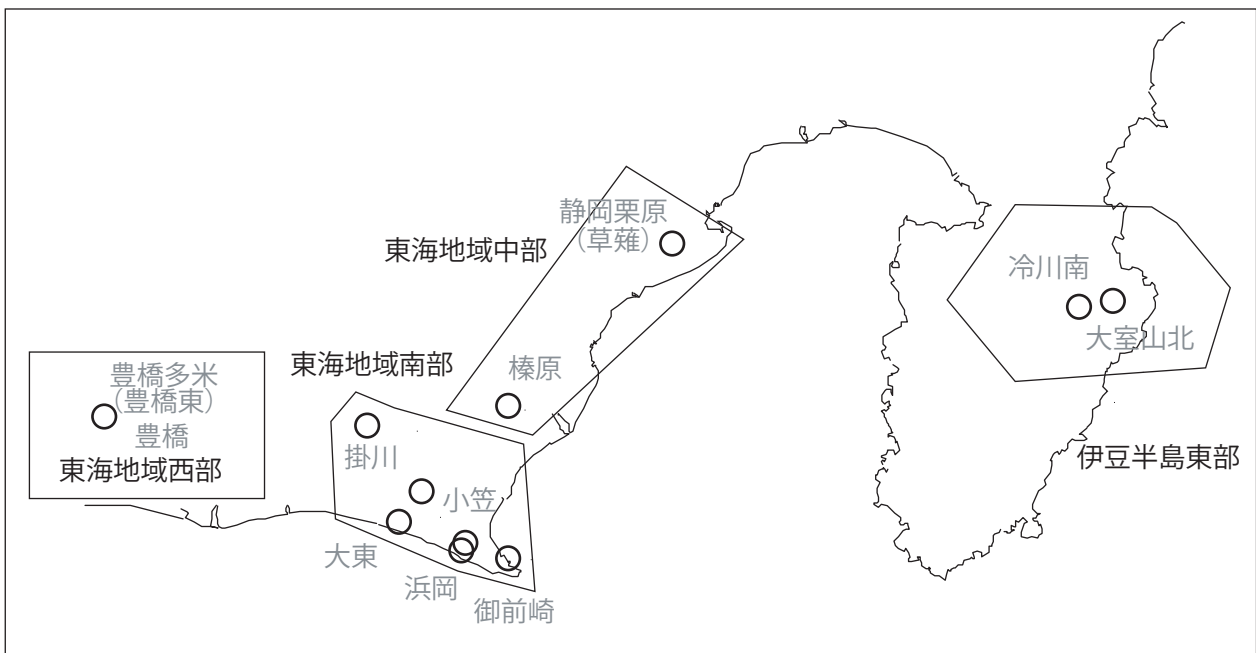
令和3年8月6日



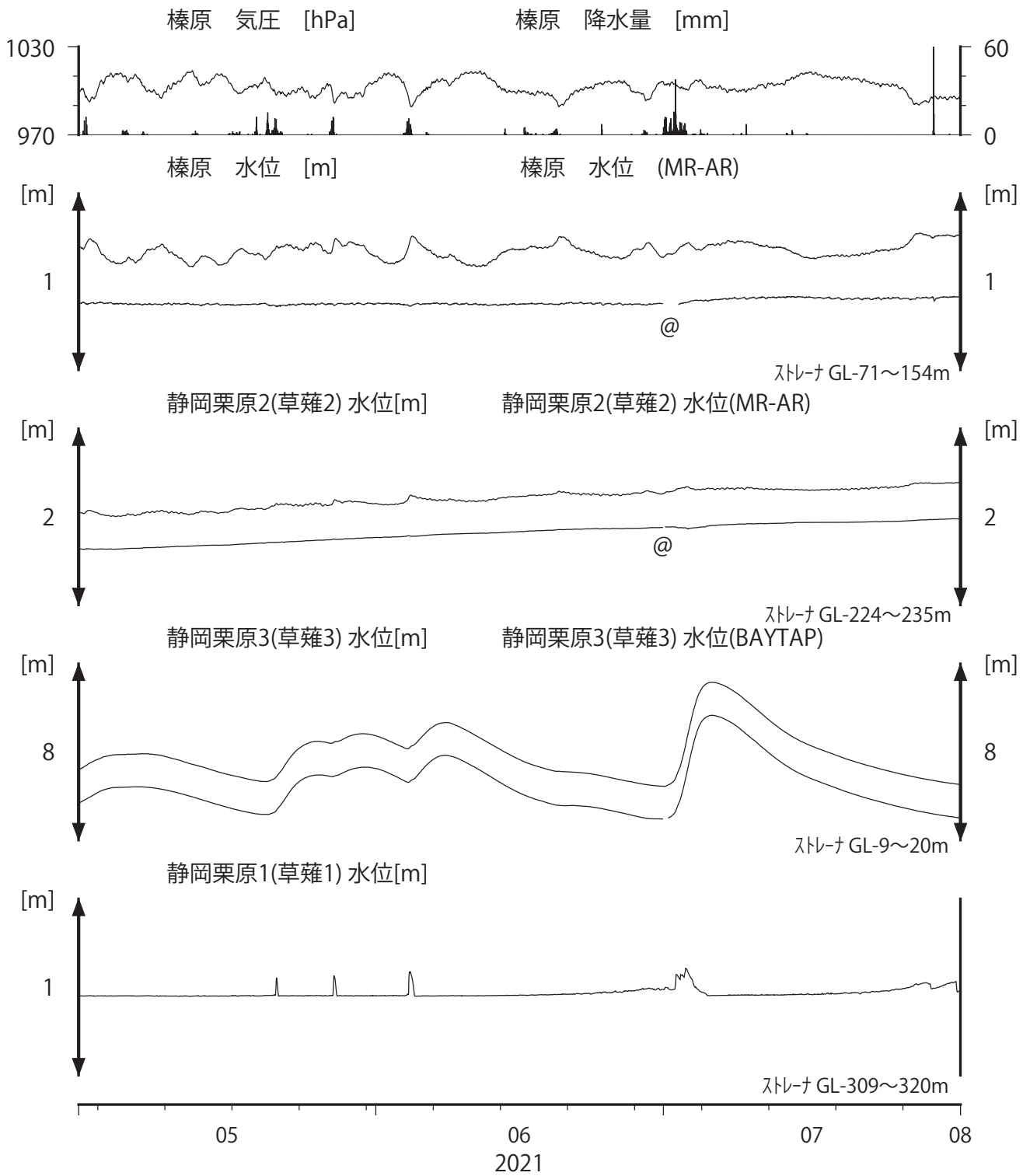
# 【資料目次】

## 表紙

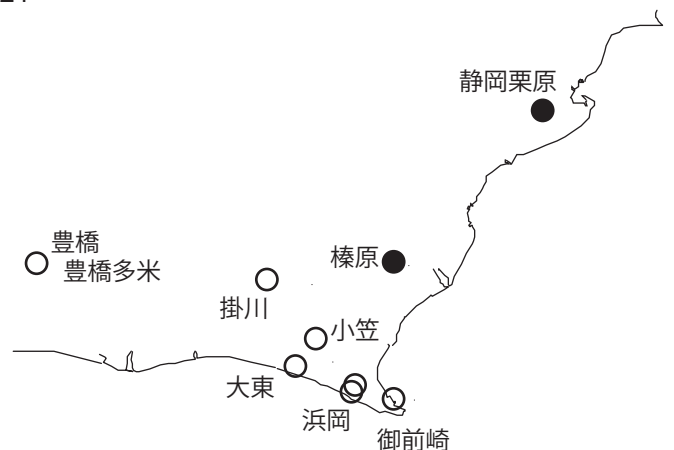
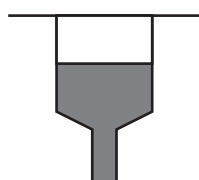
1. 東海地域中部 [榛原, 静岡栗原 (草薙)] 地下水；中期
2. 東海地域中部 [榛原, 静岡栗原 (草薙)] 地下水；長期
3. 東海地域南部 [大東, 小笠, 浜岡, 御前崎] 地下水；中期
4. 東海地域南部 [大東, 小笠, 浜岡, 御前崎] 地下水；長期
- 4-b. 東海地域南部 [浜岡] 地下水・沈下；長期
- 4-c. 東海地域南部 [掛川] 地下水・沈下；長期
5. 東海地域西部 [豊橋, 豊橋多米 (豊橋東)] 地下水・歪・傾斜；中期
- 5-b. 東海地域西部 [豊橋多米 (豊橋東)] 歪等；中期
6. 東海地域西部 [豊橋・豊橋多米 (豊橋東)] 地下水・歪・傾斜；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



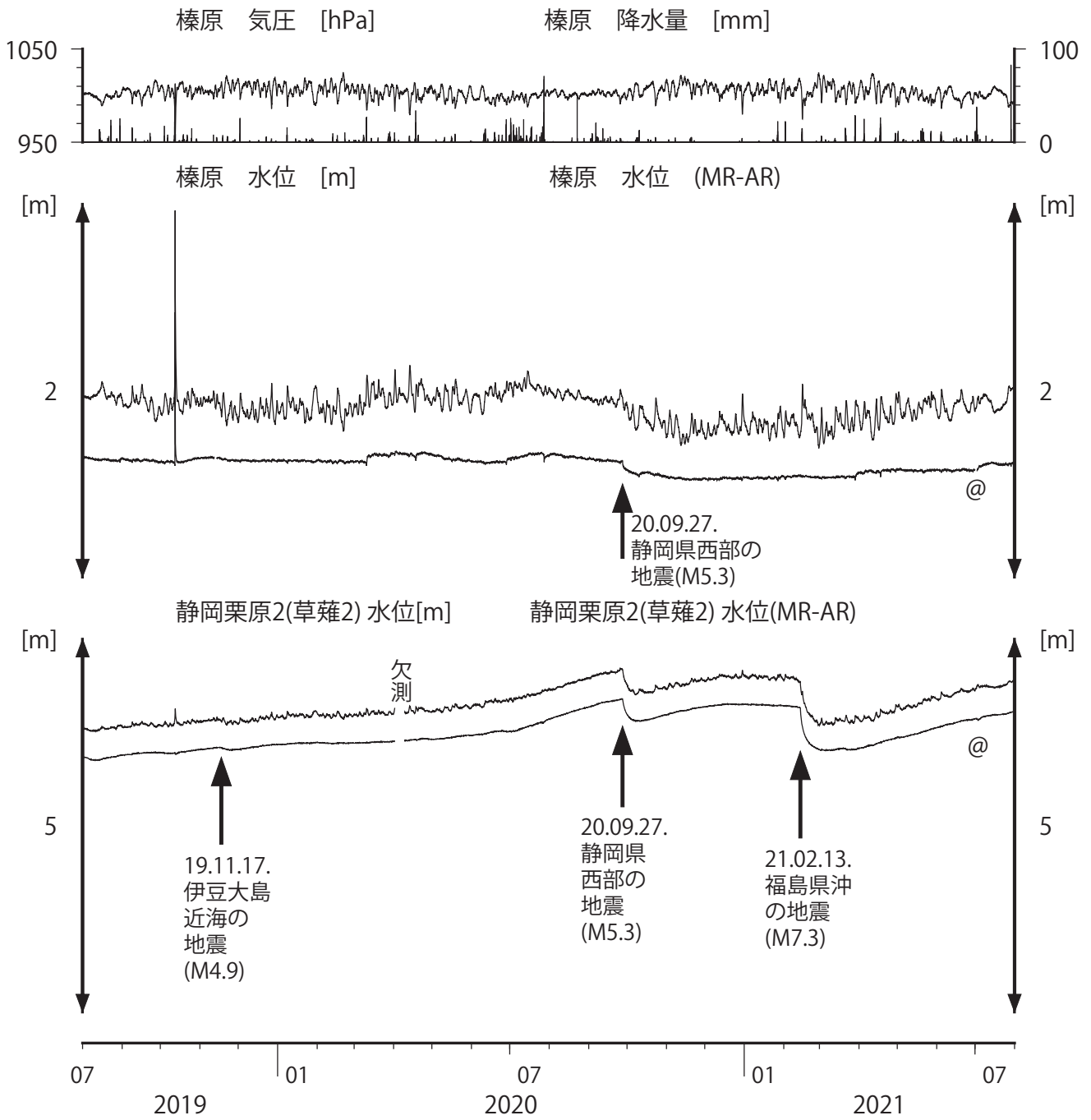
東海地域中部（榛原・草薙）中期（時間値）  
 (2021/05/01 00:00 - 2021/08/01 00:00 (JST))



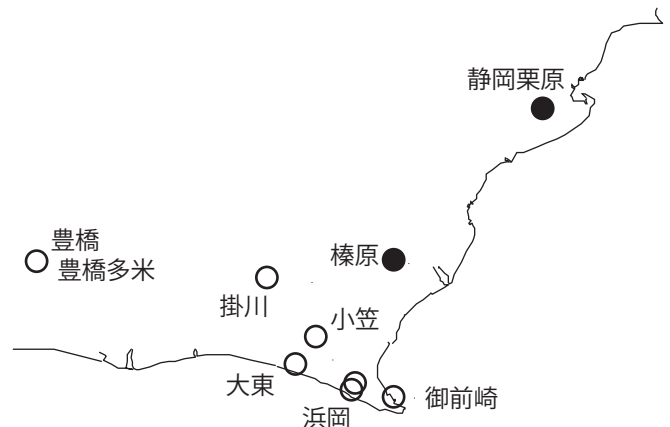
コメント: \*;雨量補正不十分. \$;保守. ?;不明.  
 @;月初めの補正值のギャップは、  
 解析プログラムの見かけ上のものである。  
 2015年4月中旬に静岡栗原1の水位が  
 井戸管の広い部分まで上昇したので  
 それ以降の水位変化が  
 小さくなっている。



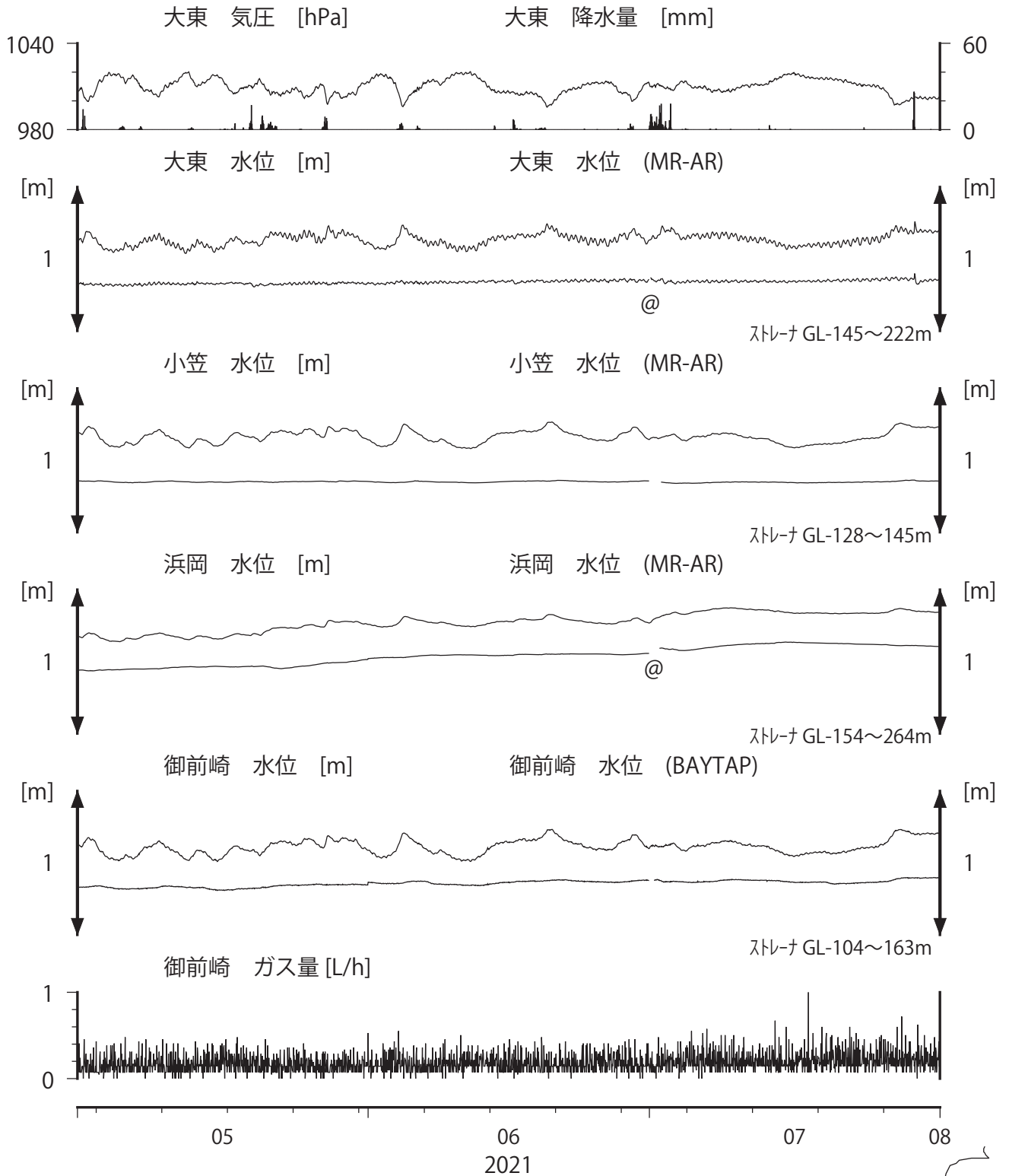
東海地域中部（榛原・草薙）長期（時間値）  
 (2019/08/01 00:00 - 2021/08/01 00:00 (JST))



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)  
(2021/05/01 00:00 - 2021/08/01 00:00 (JST))

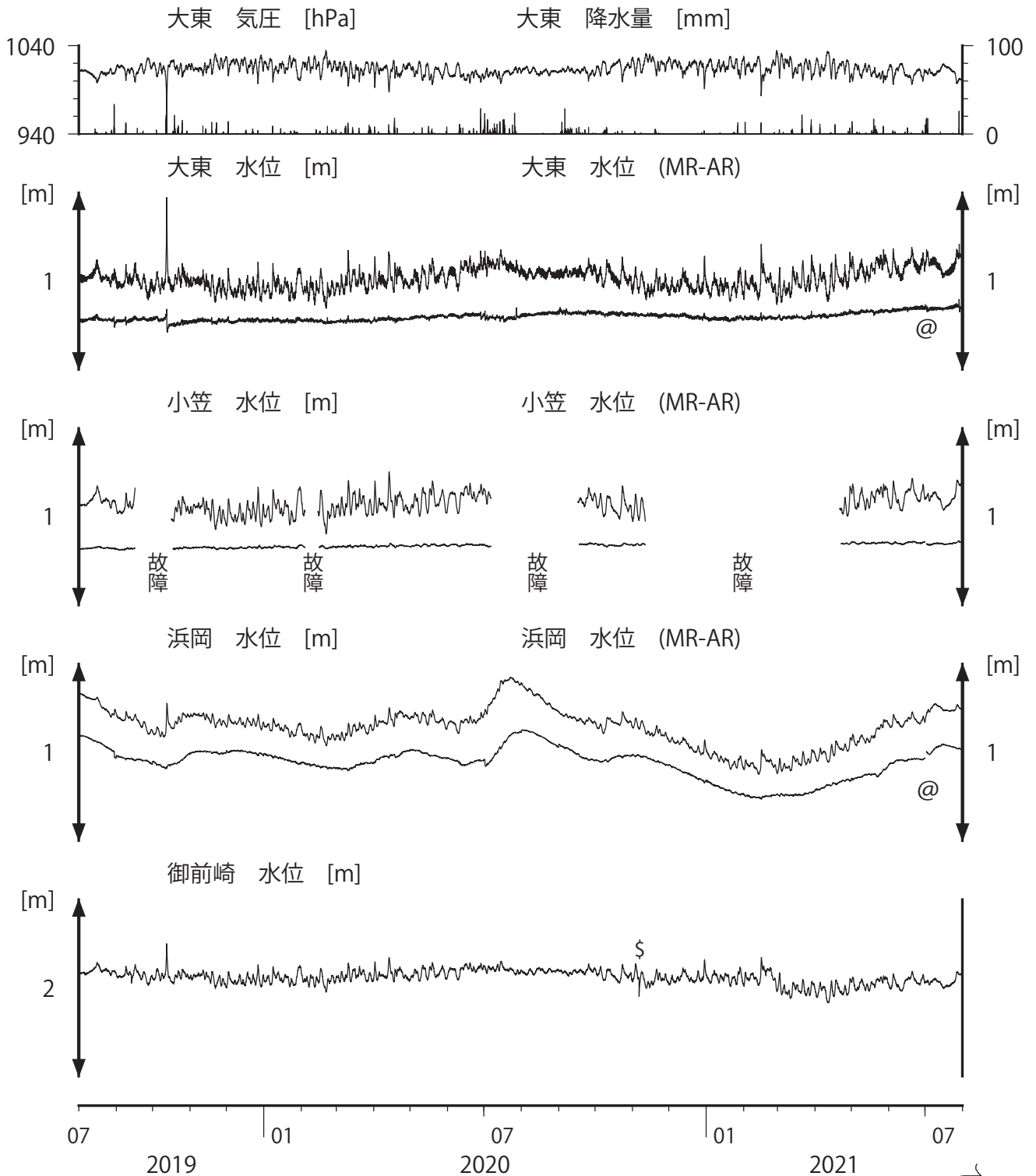


コメント:

\*;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.

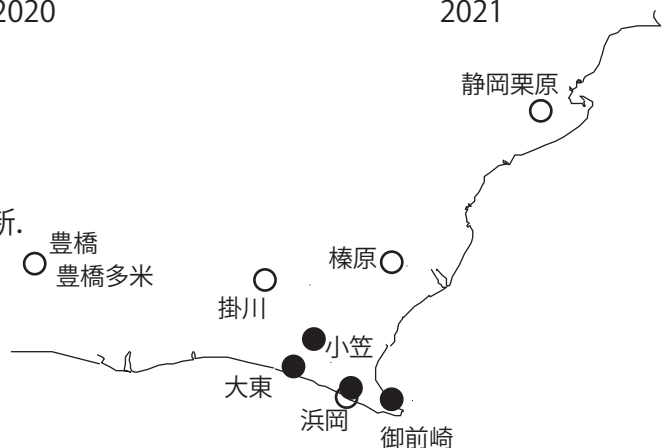


# 東海地域南部 地下水観測結果 長期 (時間値) (2019/08/01 00:00 - 2021/08/01 00:00 (JST))

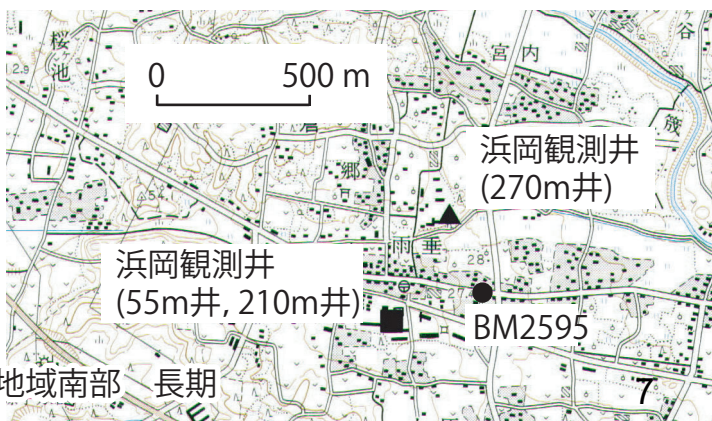
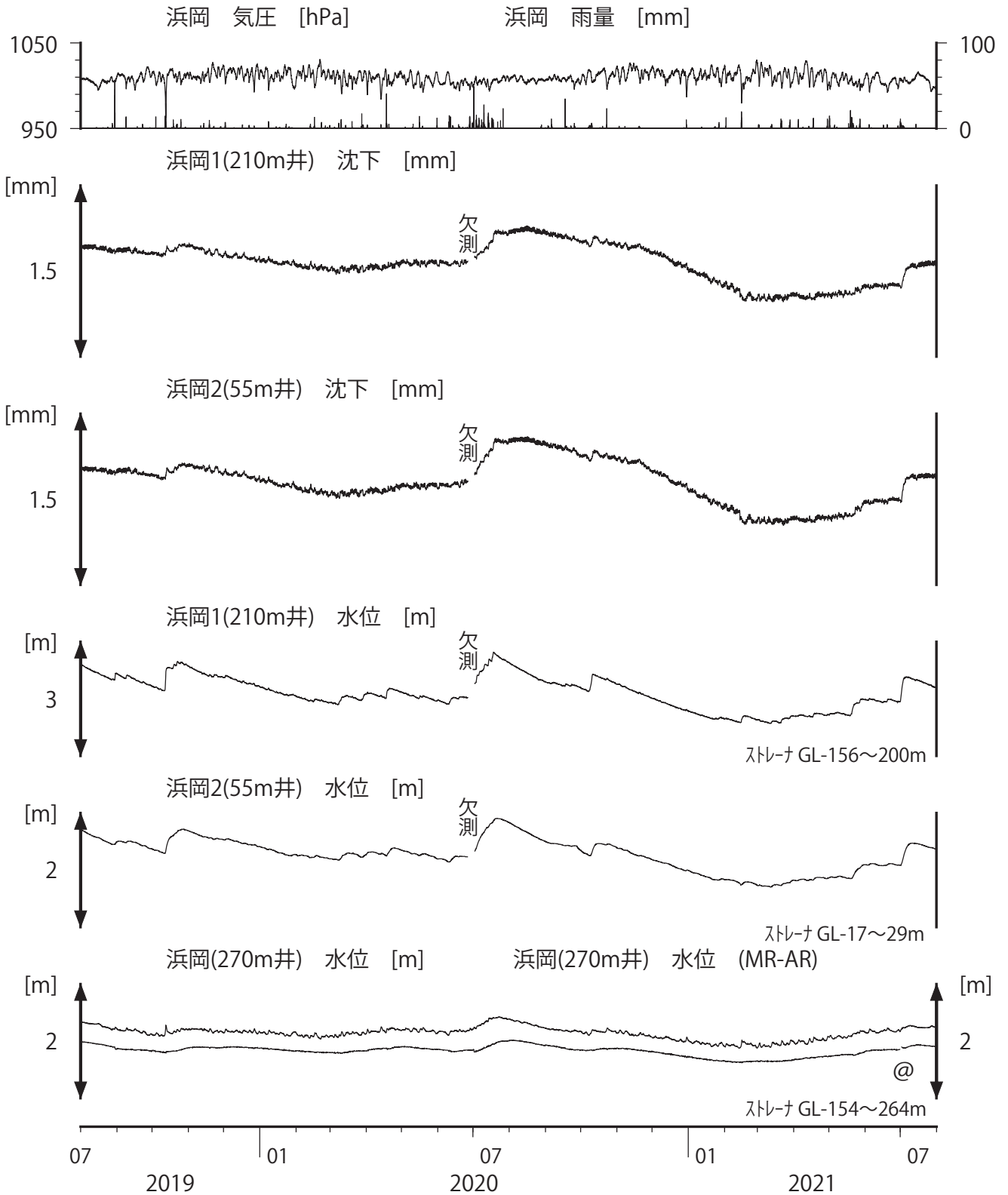


コメント:

\*;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。  
 2017年2月16日に御前崎ガス流量システム更新。  
 2016年12月16日～2017年3月14日、  
 2018年10月16～26日、  
 2020年10月30日～11月6日の御前崎水位は  
 ガス流量計の故障に起因すると思われる。



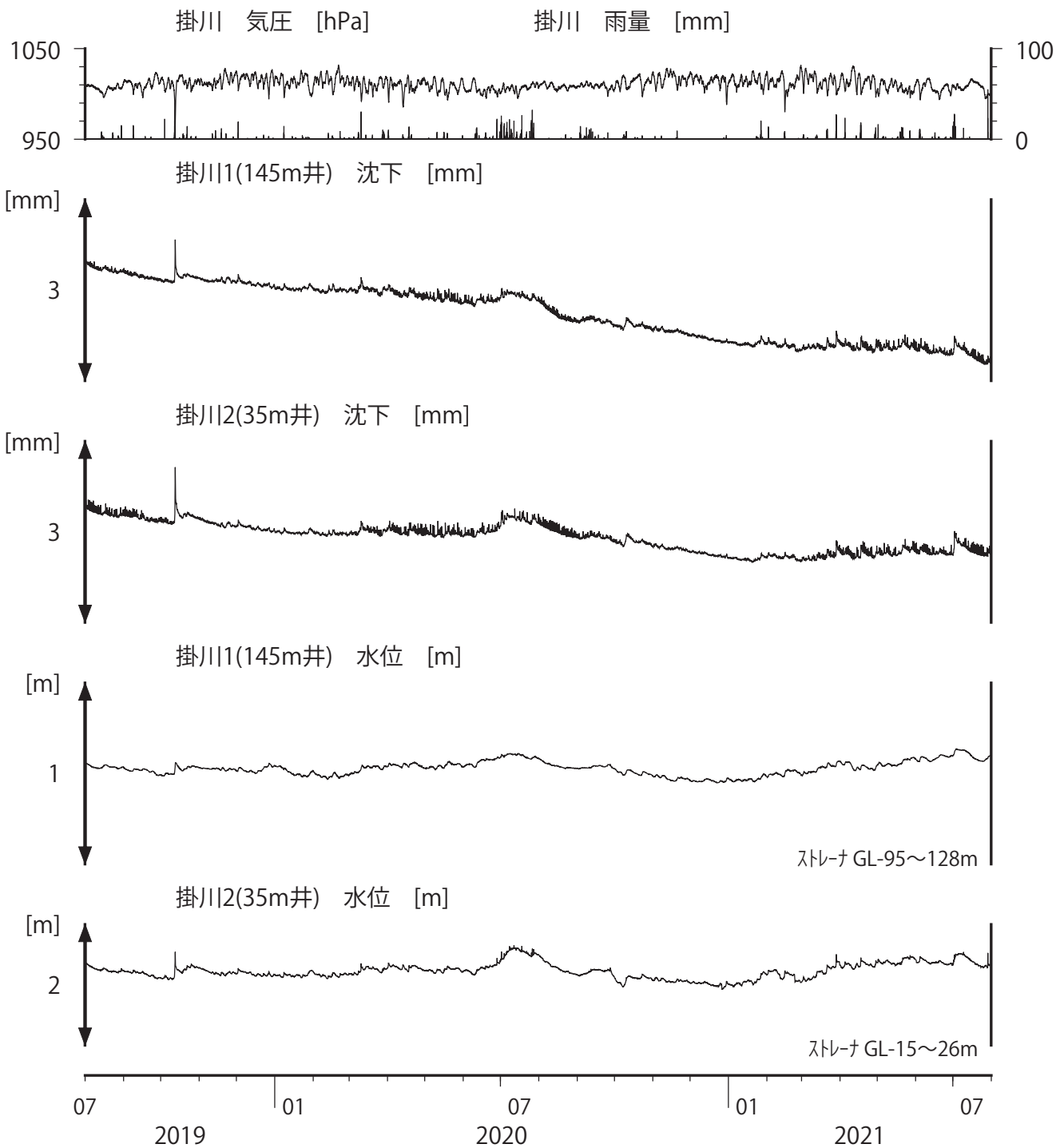
# 浜岡沈下・水位 (時間値) (2019/08/01 00:00 - 2021/08/01 00:00 (JST))



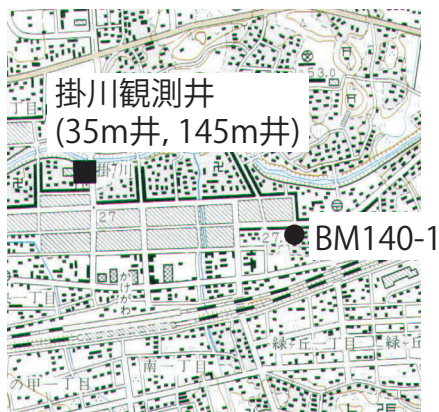
コメント: \$;保守. ?;不明.  
@;月初めの補正値のギャップは、  
解析プログラムの見かけ上  
のものである。



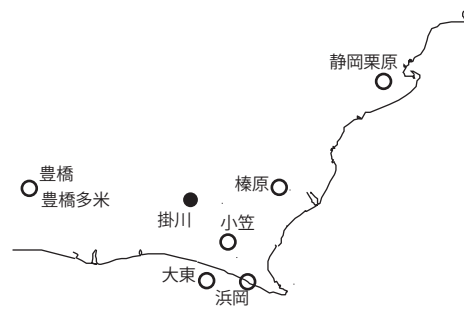
# 掛川沈下・水位 (時間値) (2019/08/01 00:00 - 2021/08/01 00:00 (JST))



コメント: \$;保守.  
?;原因不明.

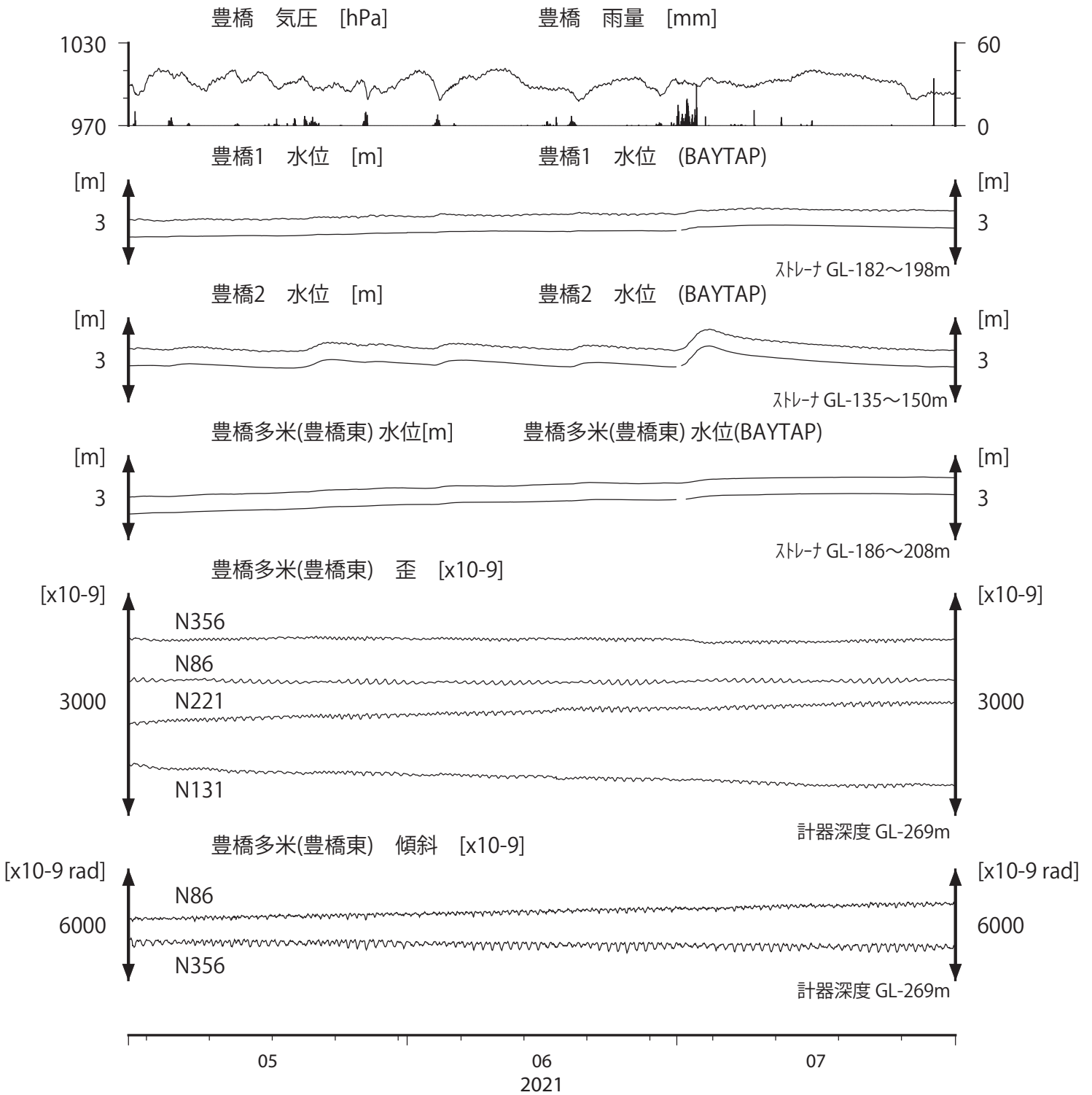


0 500 m





東海地域西部（豊橋・豊橋多米）中期（時間値）  
 (2021/05/01 00:00 - 2021/08/01 00:00 (JST))

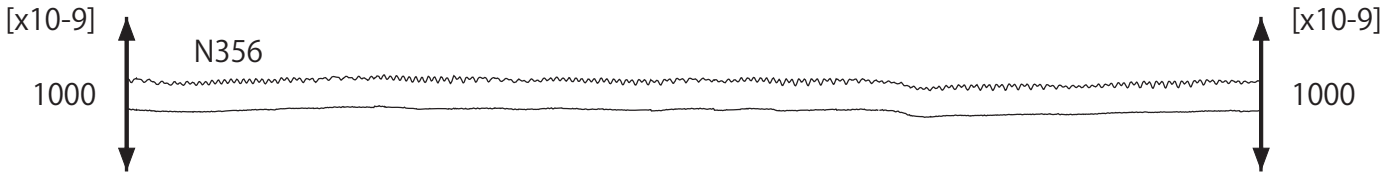


コメント:\*,雨量補正不十分. \$;保守. ?;不明.

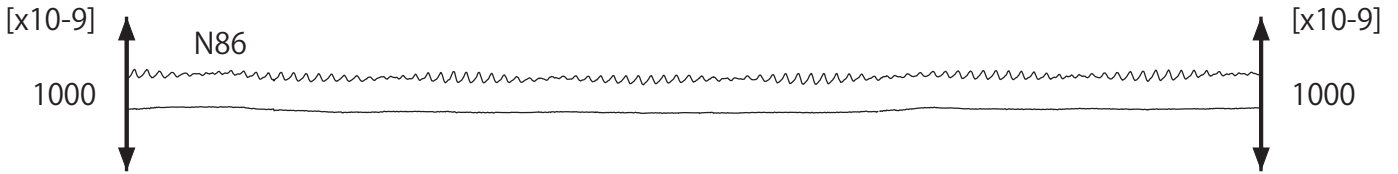


東海地域西部 (豊橋多米 歪) 中期 (時間値)  
 (2021/05/01 00:00 - 2021/08/01 00:00 (JST))

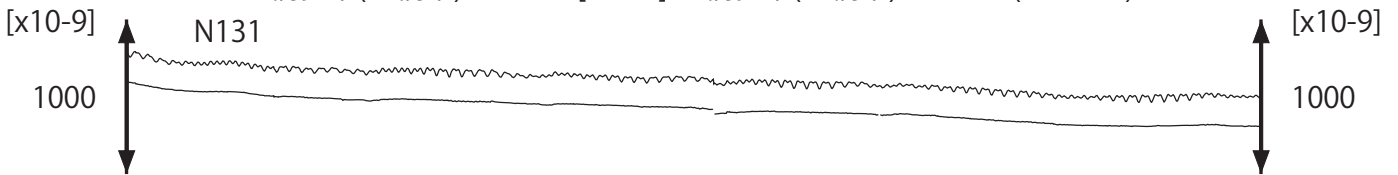
豊橋多米(豊橋東)歪N356E[x10-9] 豊橋多米(豊橋東)歪N356E(BAYTAP)



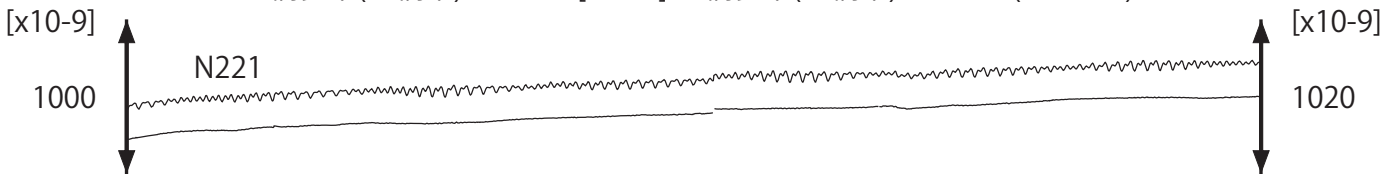
豊橋多米(豊橋東)歪N86E[x10-9] 豊橋多米(豊橋東)歪N86E(BAYTAP)



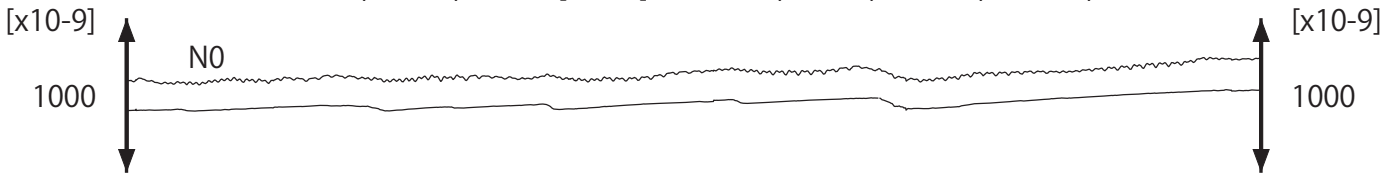
豊橋多米(豊橋東)歪N131E[x10-9] 豊橋多米(豊橋東)歪N131E(BAYTAP)



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



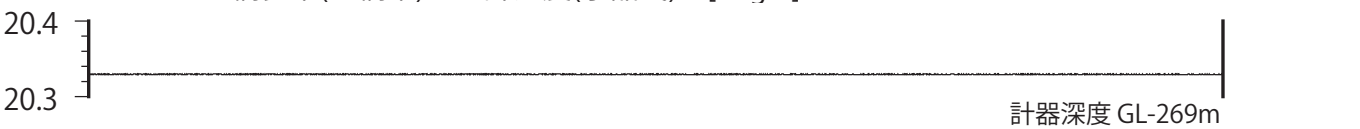
豊橋多米(豊橋東)歪鉛直[x10-9] 豊橋多米(豊橋東)歪鉛直(BAYTAP)



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]



05

06  
2021

07

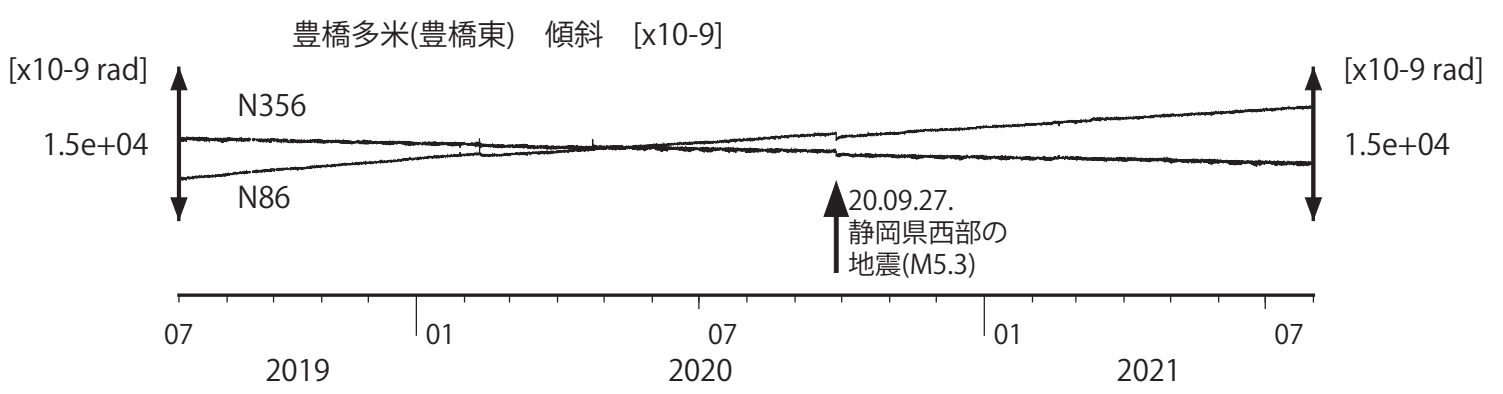
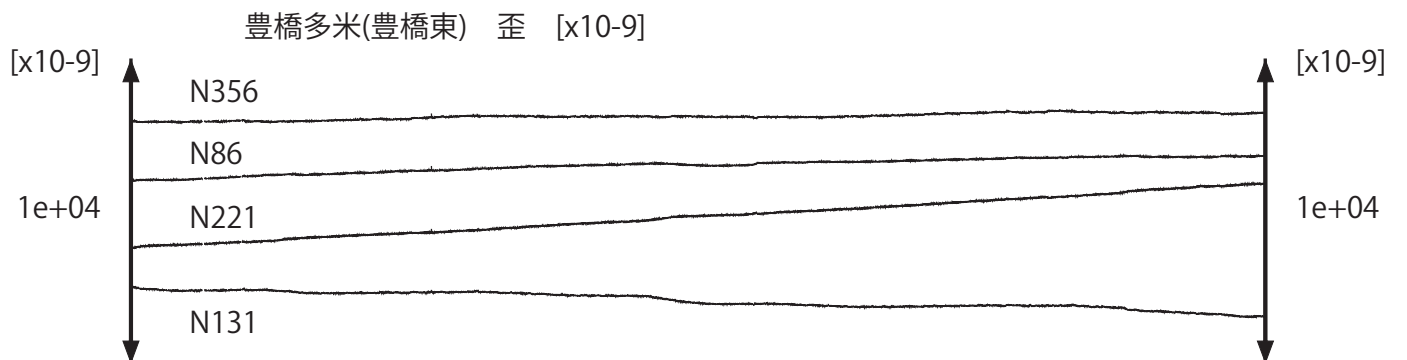
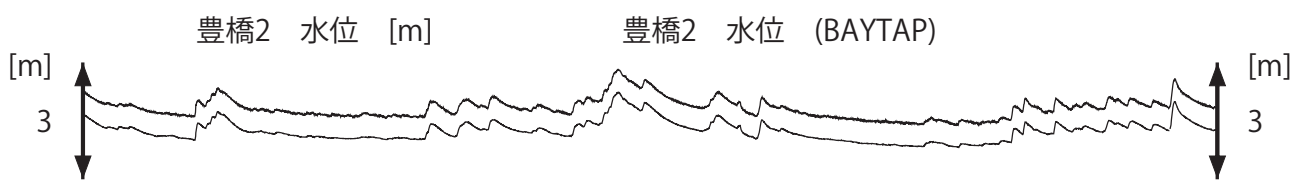
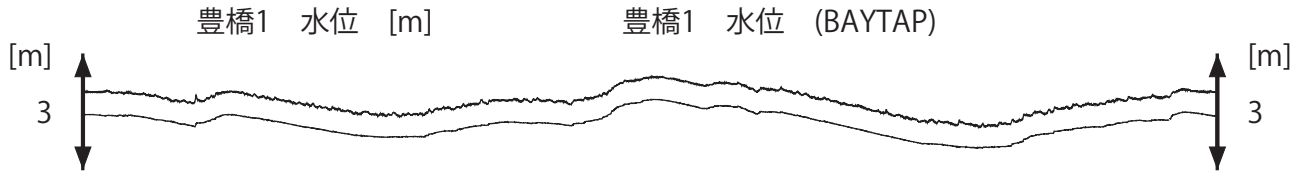
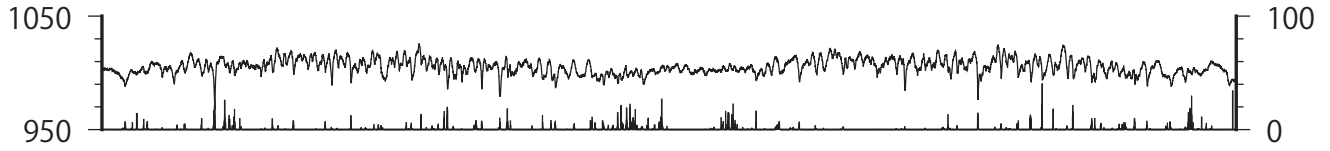
静岡栗原

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）  
 (2019/08/01 00:00 - 2021/08/01 00:00 (JST))

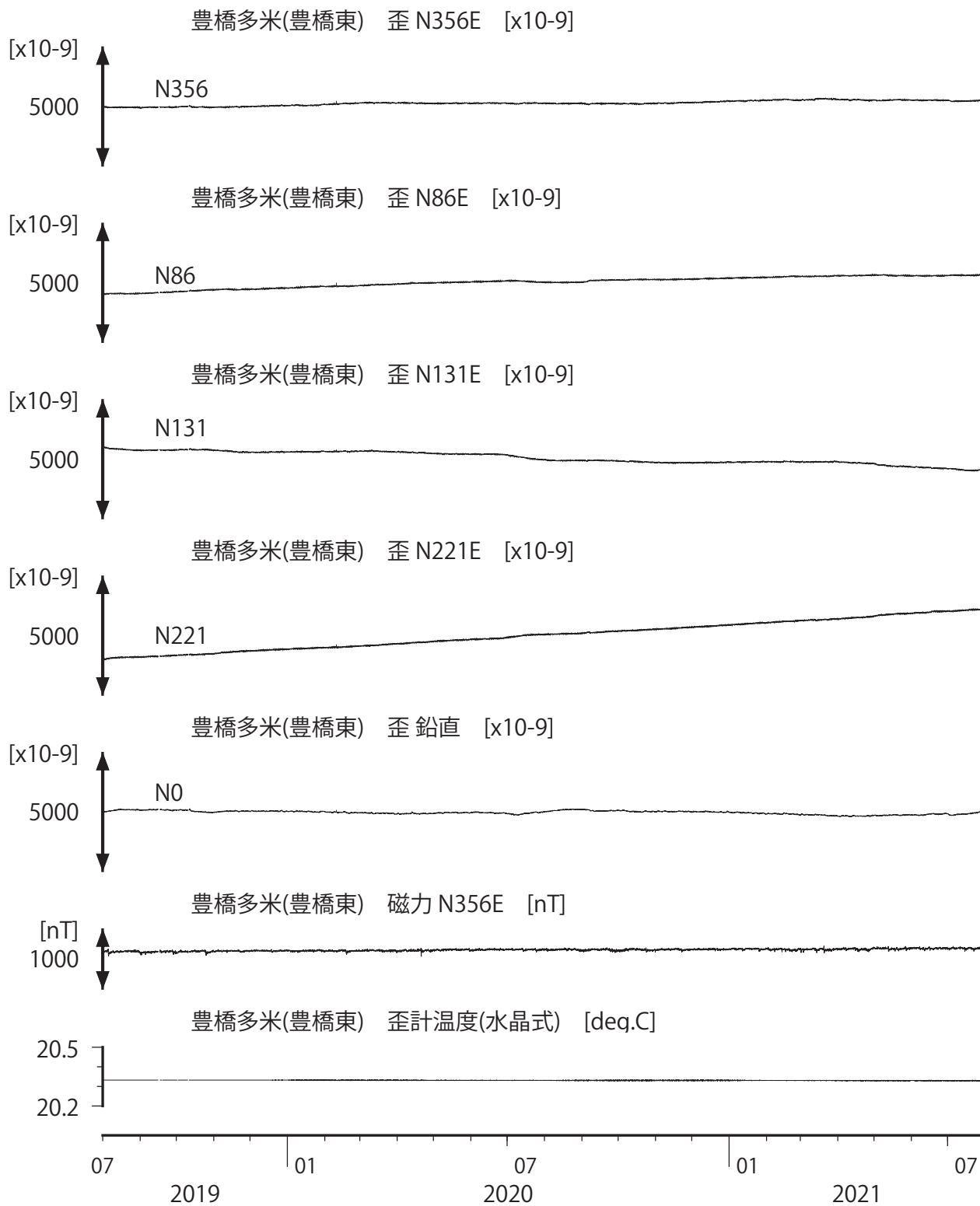
豊橋 気圧 [hPa]                      豊橋 雨量 [mm]



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）  
 (2019/08/01 00:00 - 2021/08/01 00:00 (JST))

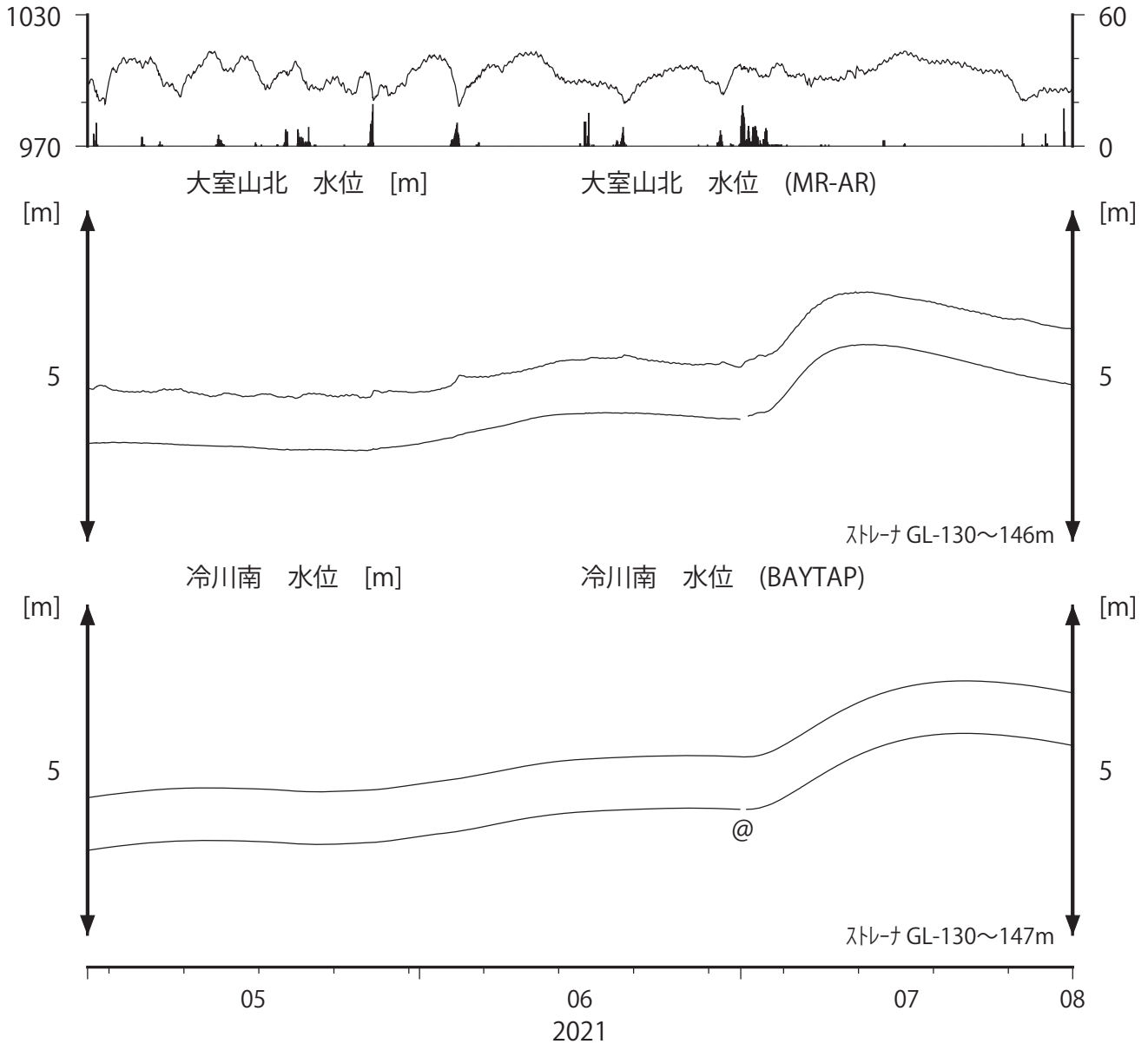


コメント: \$;保守. ?;原因不明.



伊豆半島東部 地下水位 中期 (時間値)  
 (2021/05/01 00:00 - 2021/08/01 00:00 (JST))

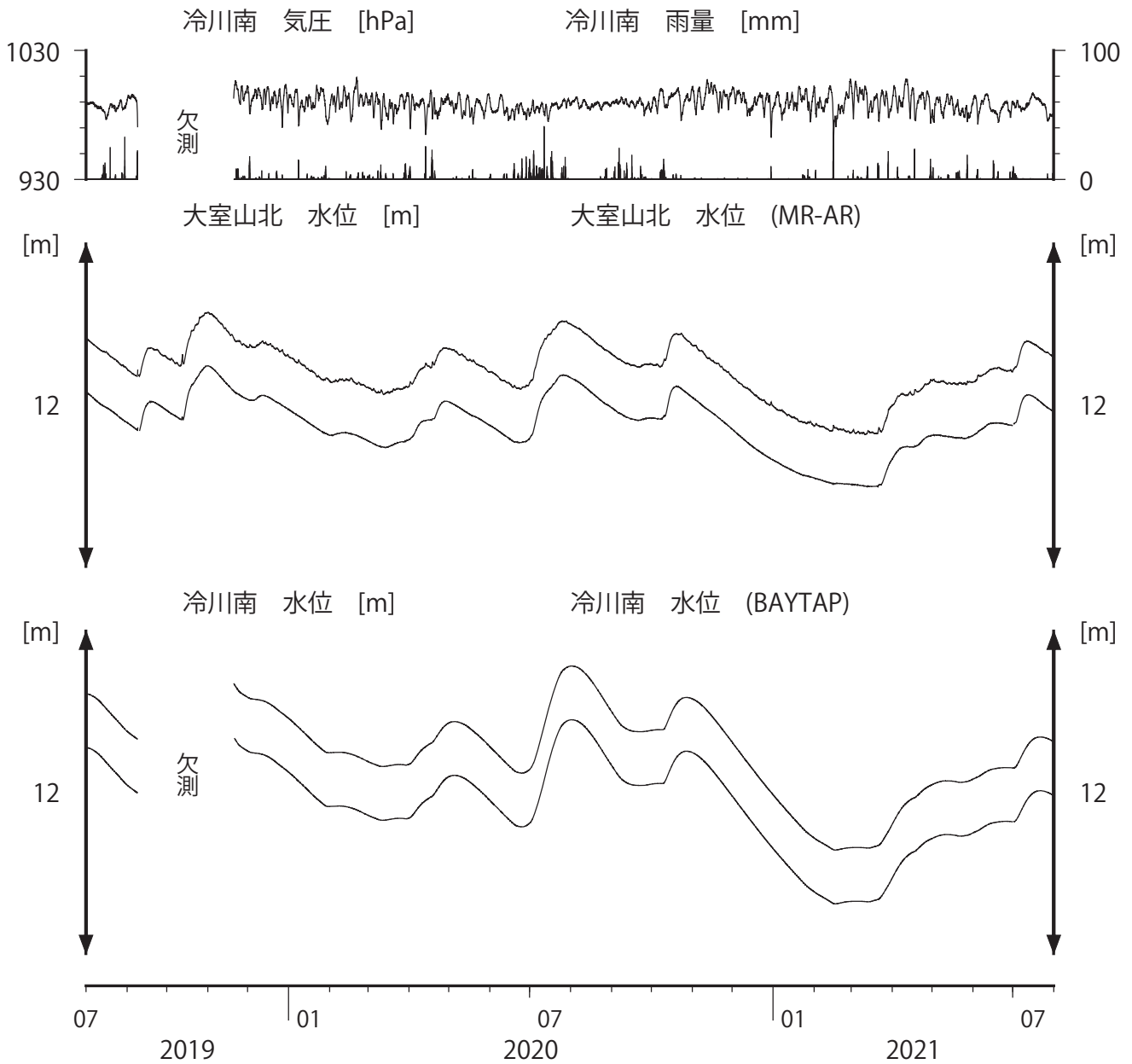
大室山北 気圧 [hPa]      大室山北 雨量 [mm]



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。



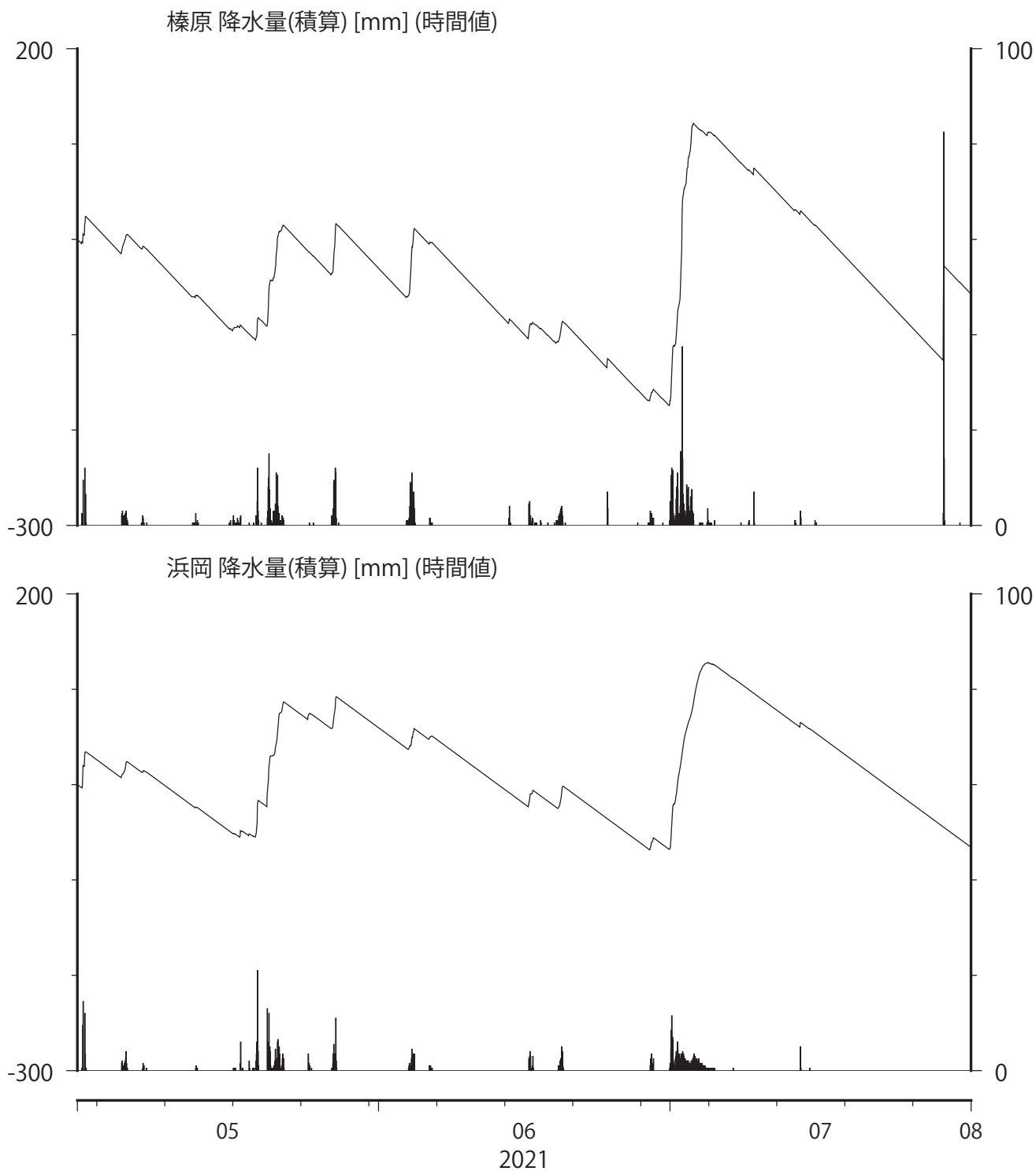
伊豆半島東部 地下水位 長期 (時間値)  
 (2019/08/01 00:00 - 2021/08/01 00:00 (JST))



コメント: \*;雨量補正不十分. \$;保守. ?;不明.



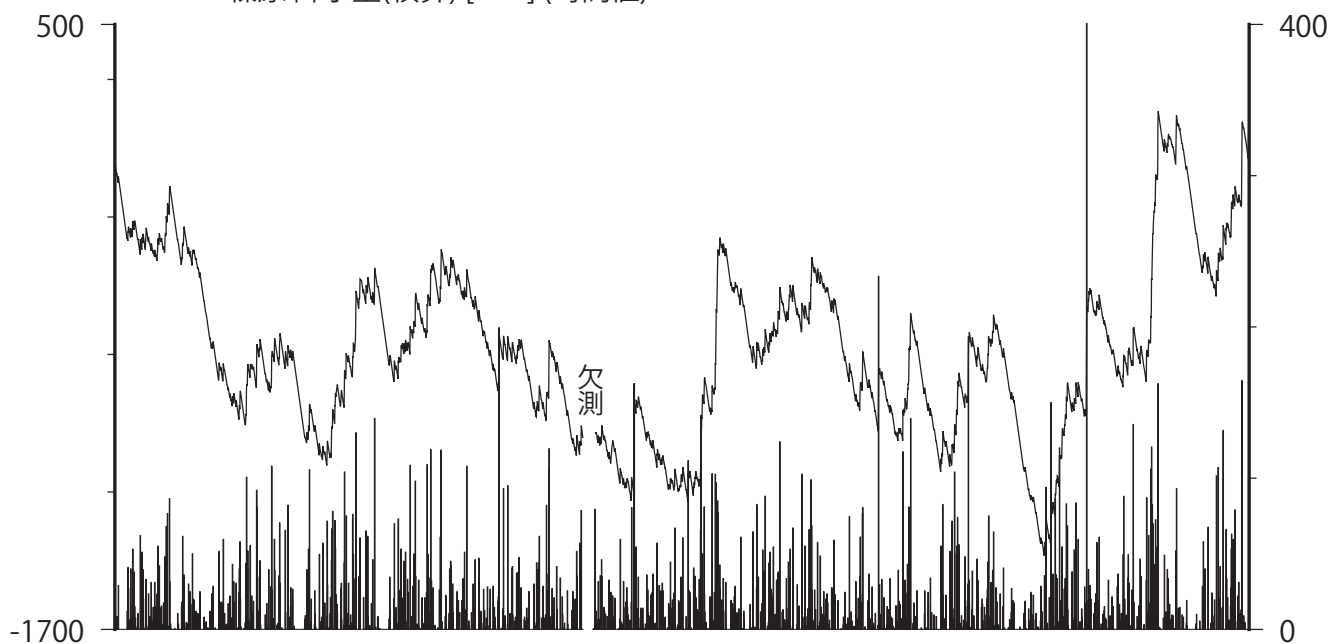
榛原・浜岡観測井 直近3ヶ月の積算降雨量トレンド除去グラフ [mm]  
(2021/05/01 00:00 - 2021/08/01 00:00 (JST))



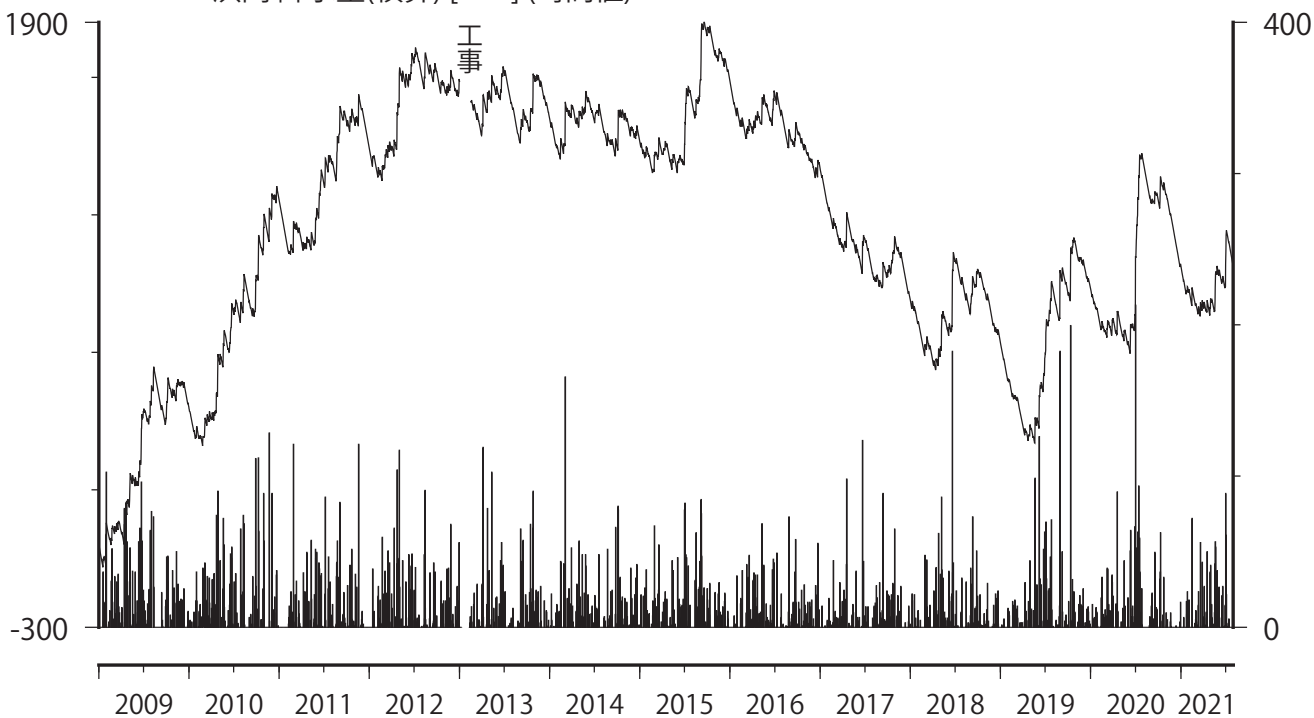
コメント:トレンドは, グラフに示している期間で求めている.

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 - 2021/08/01 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

2021年07月18日から08月01日にかけて、愛媛県において深部低周波地震活動が観測された(図1)。図2,3は愛媛県・滋賀県・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。歪・傾斜の結果は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、2021年07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4-8は図2,3[A],[B],[C],[D],[E]の変化を説明する短期的SSEの推定結果(順にMw5.6,5.6,6.1,5.5,5.9)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、2020年07月31日午後から08年03日(東)(Mw5.6:図4-8の灰色矩形1),2021年01月19日から21日午前(Mw5.7:同2),2021年01月21日午後から23日(Mw5.8:同3),2021年01月24日から28日午前(Mw5.6:同4),2021年03月23日-24日(Mw5.7:同5),2021年04月09日から11日午前(Mw5.6:同6),2021年05月20日午後から22日(Mw5.6:同7)である。

2021年07月20日から07月24日にかけて、奈良県・和歌山県において深部低周波地震活動が観測された(図9)。図10は奈良県・和歌山県の産総研の観測点における歪の観測結果である。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、2021年07月13日から20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11,12は図10[A],[B]の変化を説明する短期的SSEの推定結果(順にMw5.6,5.5)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、2021年02月23日午後から26日午前(Mw5.8:図11,12の灰色矩形1),2021年03月16日午後から17日午前(Mw5.4:同2),2021年04月29日午後から05月02日(Mw5.7:同3)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、防災科学技術研究所 Hi-net 高感度加速度計 (傾斜計) を使用しました。深部低周波地震の震央位置・個数表示には、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.

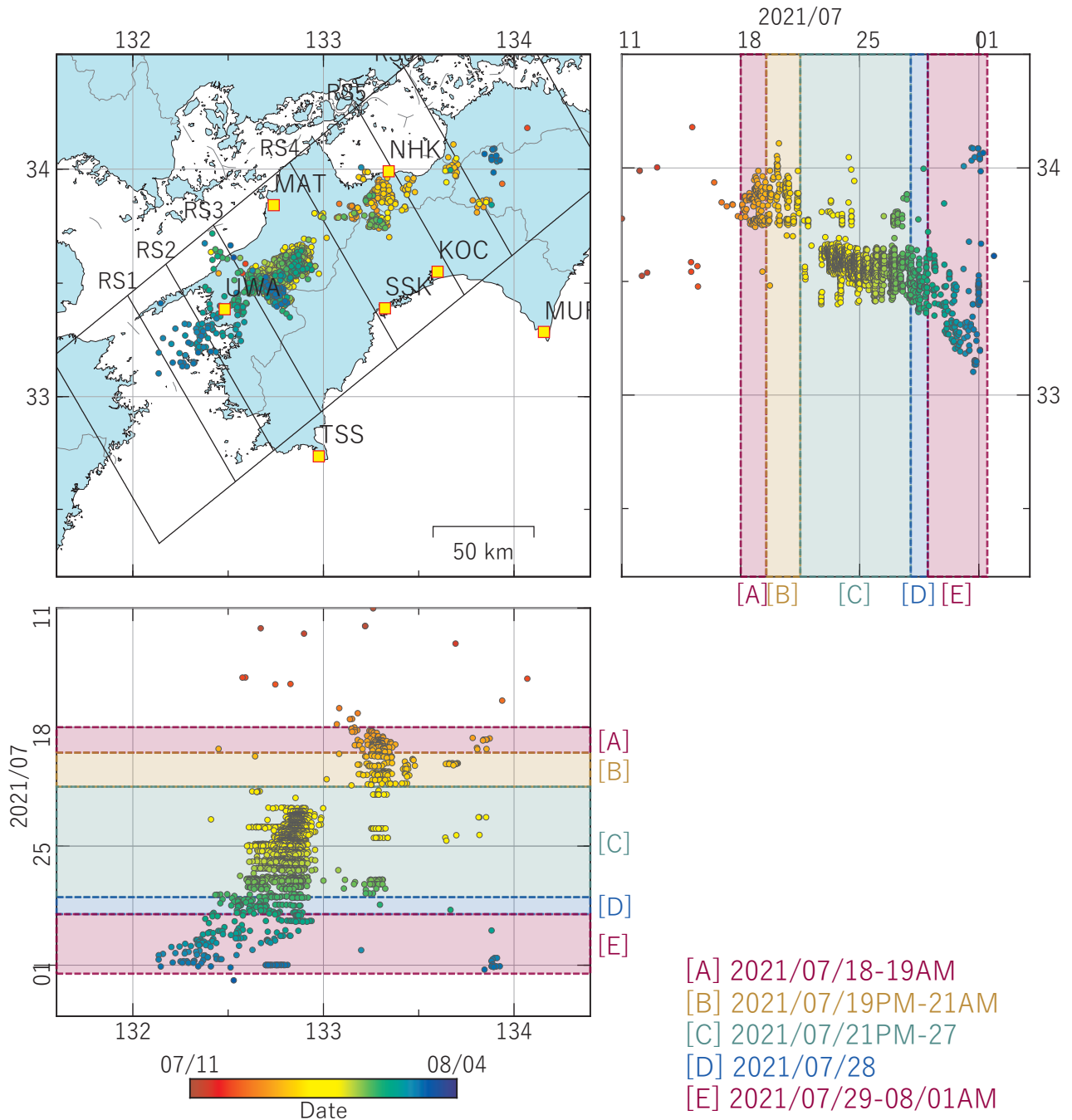


図1 四国中部から西部における深部低周波地震（気象庁）の時空間分布図  
 (2021/07/11 00:00 - 2021/08/03 00:00 (JST))

(観測点) MUR：室戸岬, 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

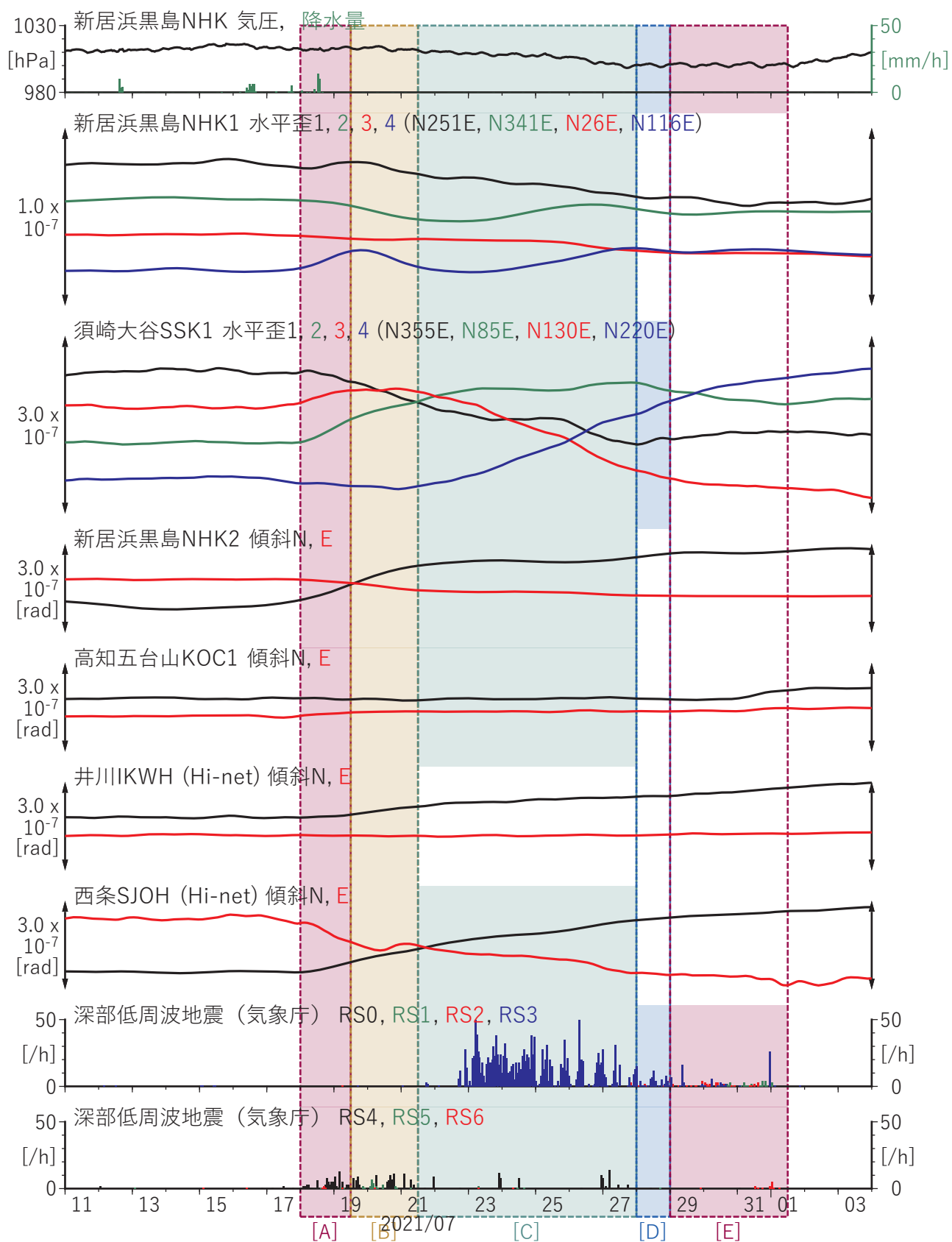


図2 四国中部における歪・傾斜の観測結果  
(2021/07/11 00:00 - 2021/08/04 00:00 (JST))

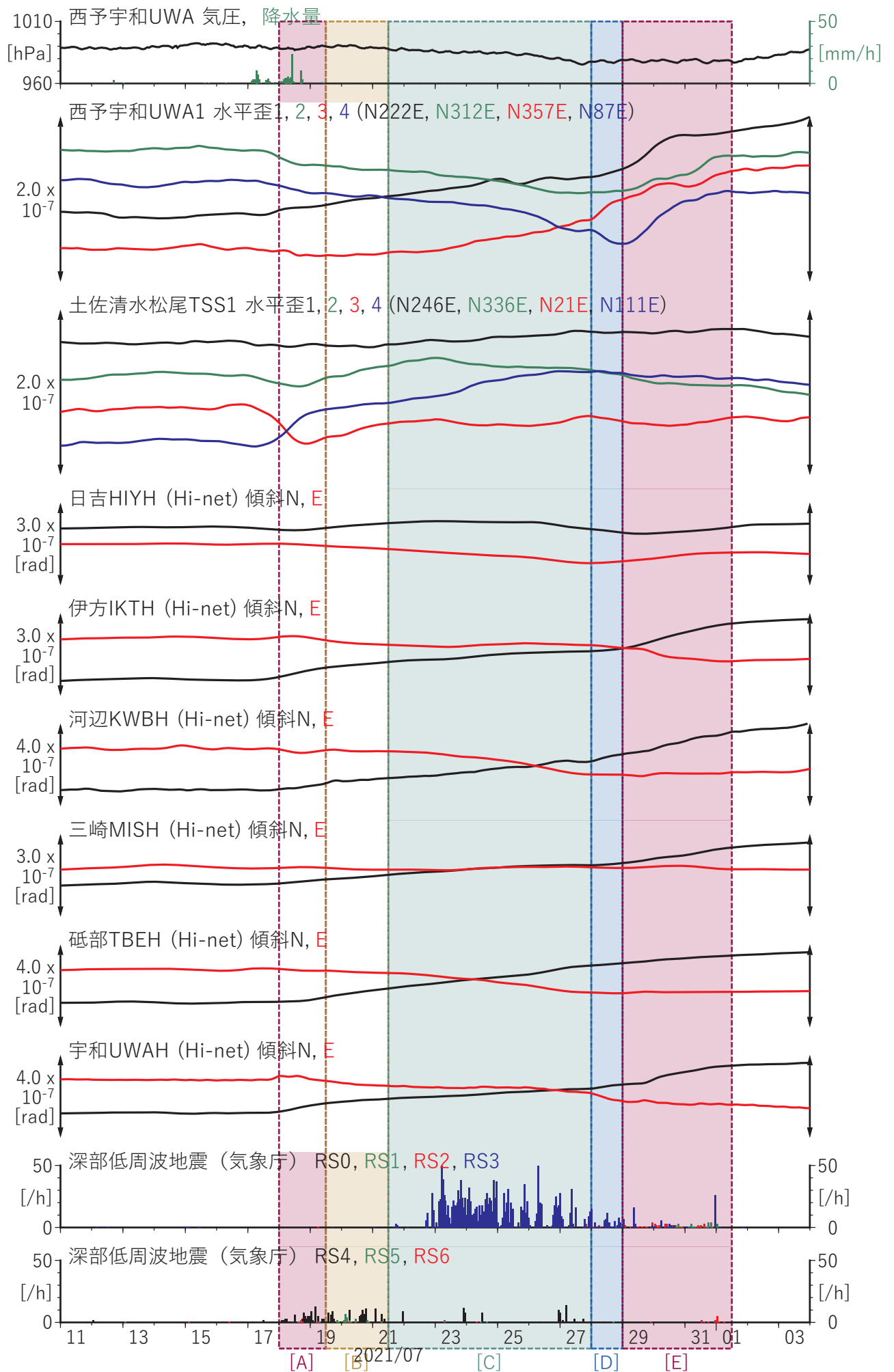
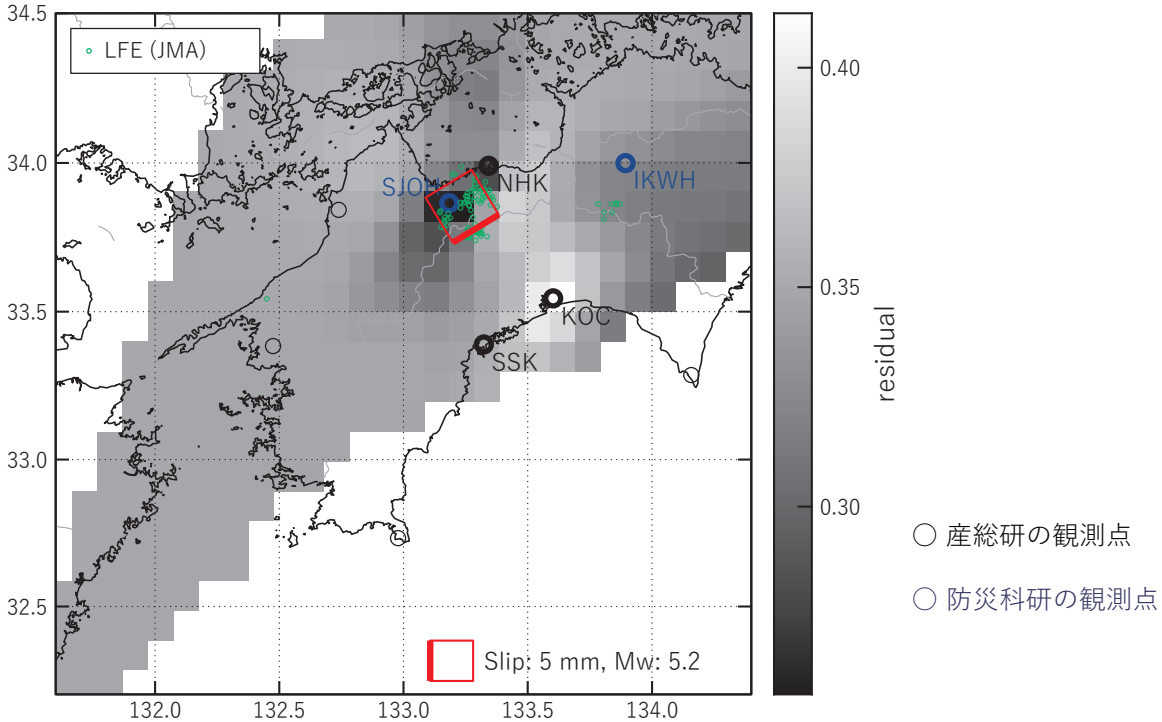


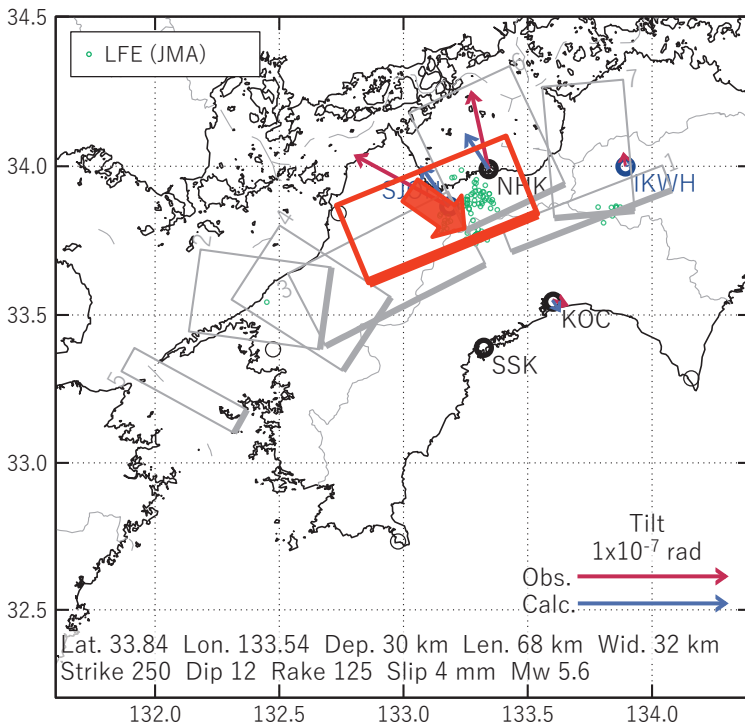
図3 四国西部における歪・傾斜の観測結果  
(2021/07/11 00:00 - 2021/08/03 00:00 (JST))

[A] 2021/07/18-19AM

(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

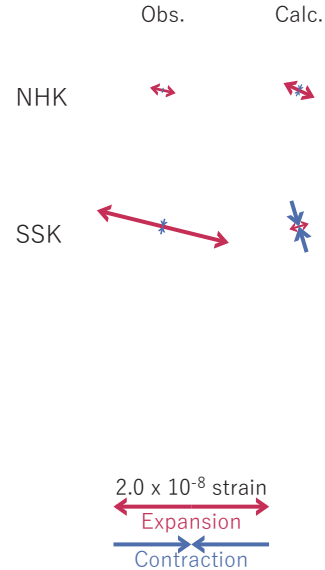


図4 2021/07/18-19AMの歪・傾斜変化 (図2,3[A]) を説明する断層モデル。

(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。

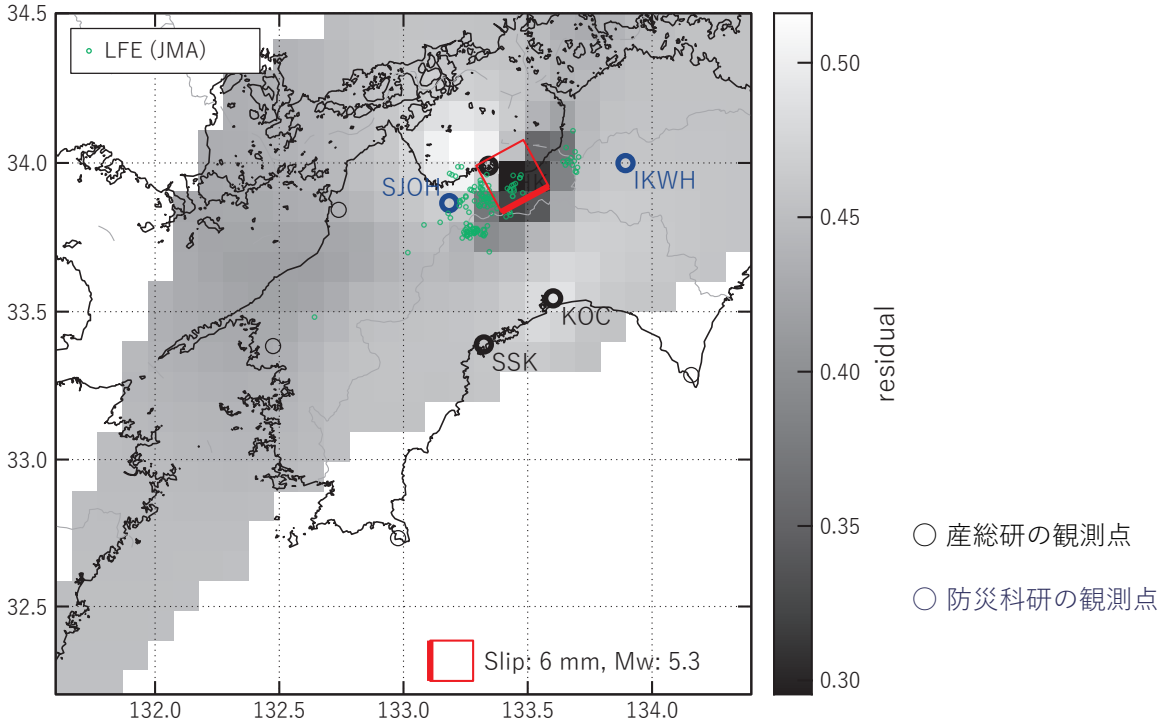
(b1) (a)の位置付近をグリッドサーチして推定した断層面(赤色矩形)と断層パラメータ。灰色矩形は最近周辺で発生したイベントの推定断層面。赤色破線矩形は今回の一連のイベント。

- 1: 2020/07/31PM-08/03(東) (Mw5.6), 2: 2021/01/19-21AM (Mw5.7), 3: 2021/01/21PM-23 (Mw5.8)
- 4: 2021/01/24-28AM (Mw5.6), 5: 2021/03/23-24 (Mw5.7), 6: 2021/04/09-11AM (Mw5.6)
- 7: 2021/05/20PM-22 (Mw5.6)

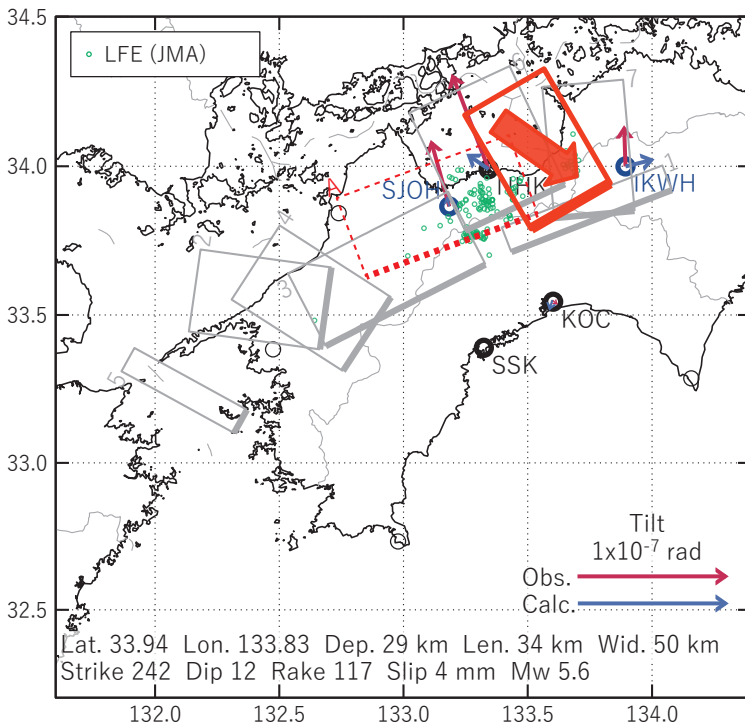
(b2) 主歪の観測値と(b1)に示した断層モデルから求めた計算値との比較。

[B] 2021/07/19PM-21AM

(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

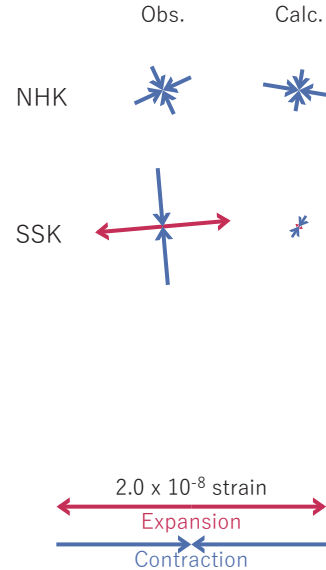


図5 2021/07/19PM-21AMの歪・傾斜変化 (図2,3[B]) を説明する断層モデル。

(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。赤色破線矩形は今回の一連のイベント。

1: 2020/07/31PM-08/03(東) (Mw5.6), 2: 2021/01/19-21AM (Mw5.7), 3: 2021/01/21PM-23 (Mw5.8)

4: 2021/01/24-28AM (Mw5.6), 5: 2021/03/23-24 (Mw5.7), 6: 2021/04/09-11AM (Mw5.6)

7: 2021/05/20PM-22 (Mw5.6)

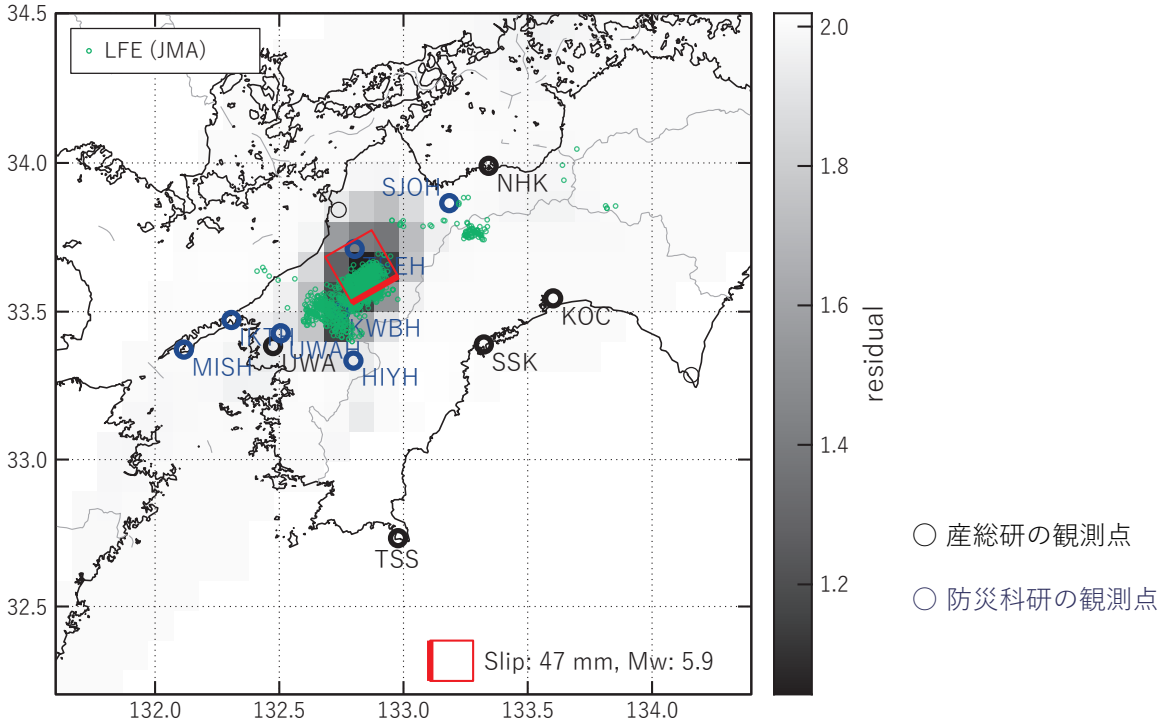
A: 2021/07/18-19AM (MW5.6)

(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。

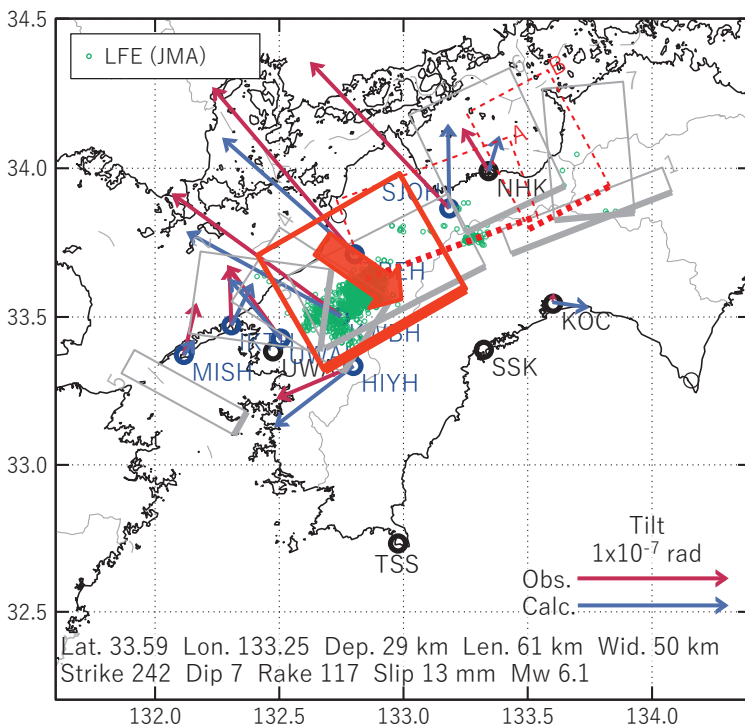


[C] 2021/07/21PM-27

(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

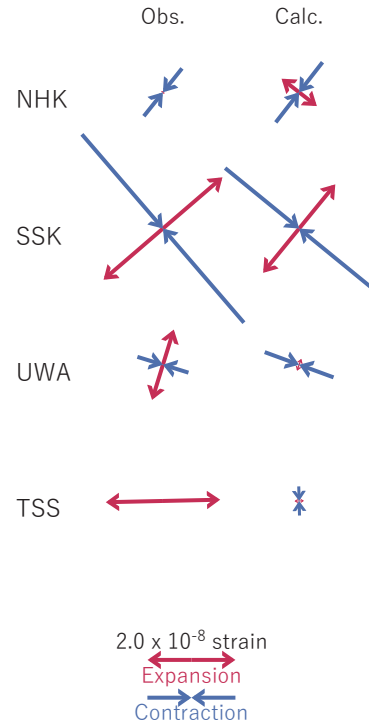


図6 2021/07/21PM-27の歪・傾斜変化 (図2,3[C]) を説明する断層モデル。

(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。赤色破線矩形は今回の一連のイベント。

1: 2020/07/31PM-08/03(東) (Mw5.6), 2: 2021/01/19-21AM (Mw5.7), 3: 2021/01/21PM-23 (Mw5.8)

4: 2021/01/24-28AM (Mw5.6), 5: 2021/03/23-24 (Mw5.7), 6: 2021/04/09-11AM (Mw5.6)

7: 2021/05/20PM-22 (Mw5.6)

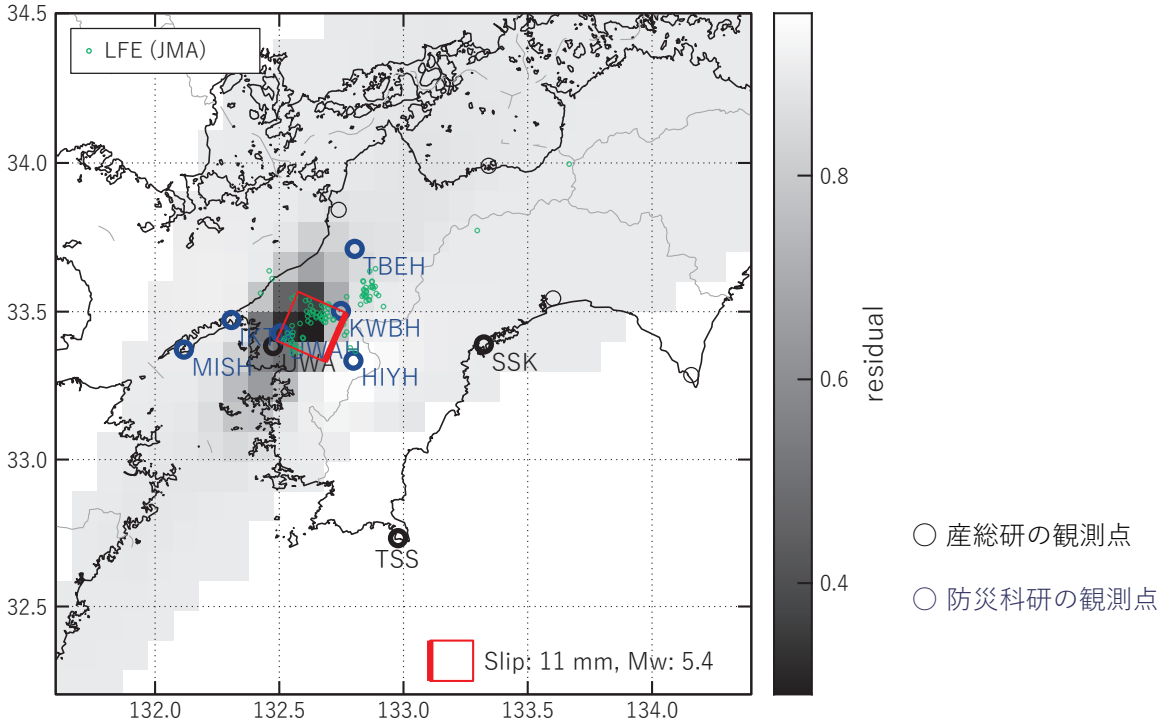
A: 2021/07/18-19AM (MW5.6), B: 2021/07/19PM-21AM (Mw5.6)

(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。

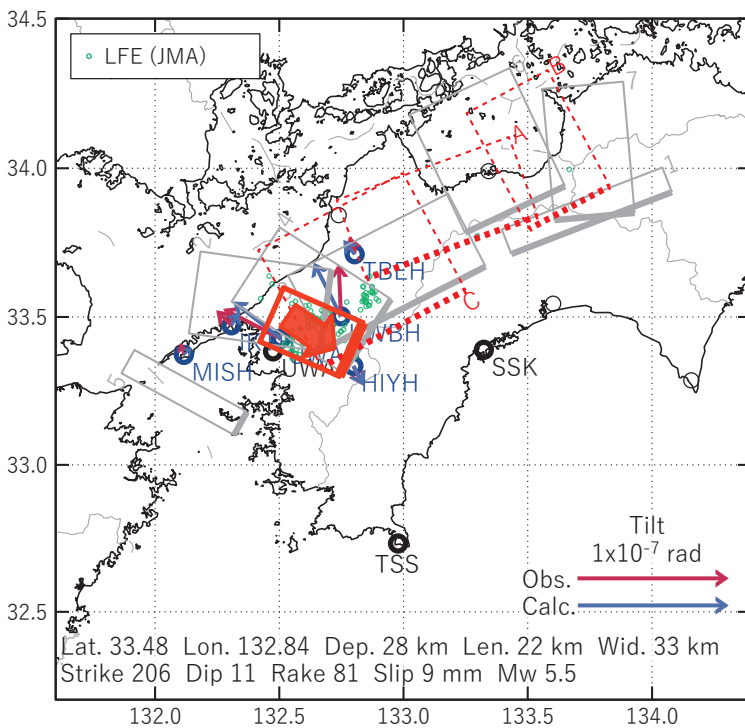


[D] 2021/07/28

(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

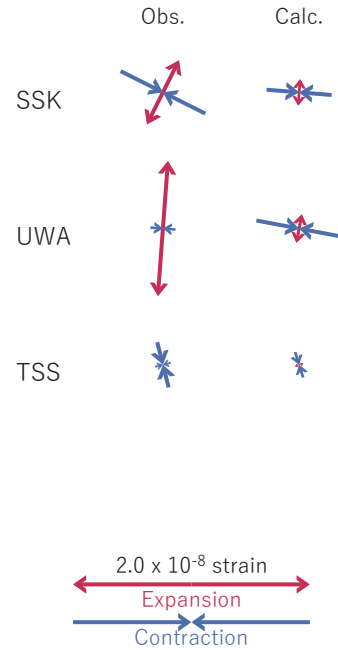


図7 2021/07/28の歪・傾斜変化 (図2,3[D]) を説明する断層モデル。

(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。赤色破線矩形は今回の一連のイベント。

1: 2020/07/31PM-08/03(東) (Mw5.6), 2: 2021/01/19-21AM (Mw5.7), 3: 2021/01/21PM-23 (Mw5.8)

4: 2021/01/24-28AM (Mw5.6), 5: 2021/03/23-24 (Mw5.7), 6: 2021/04/09-11AM (Mw5.6)

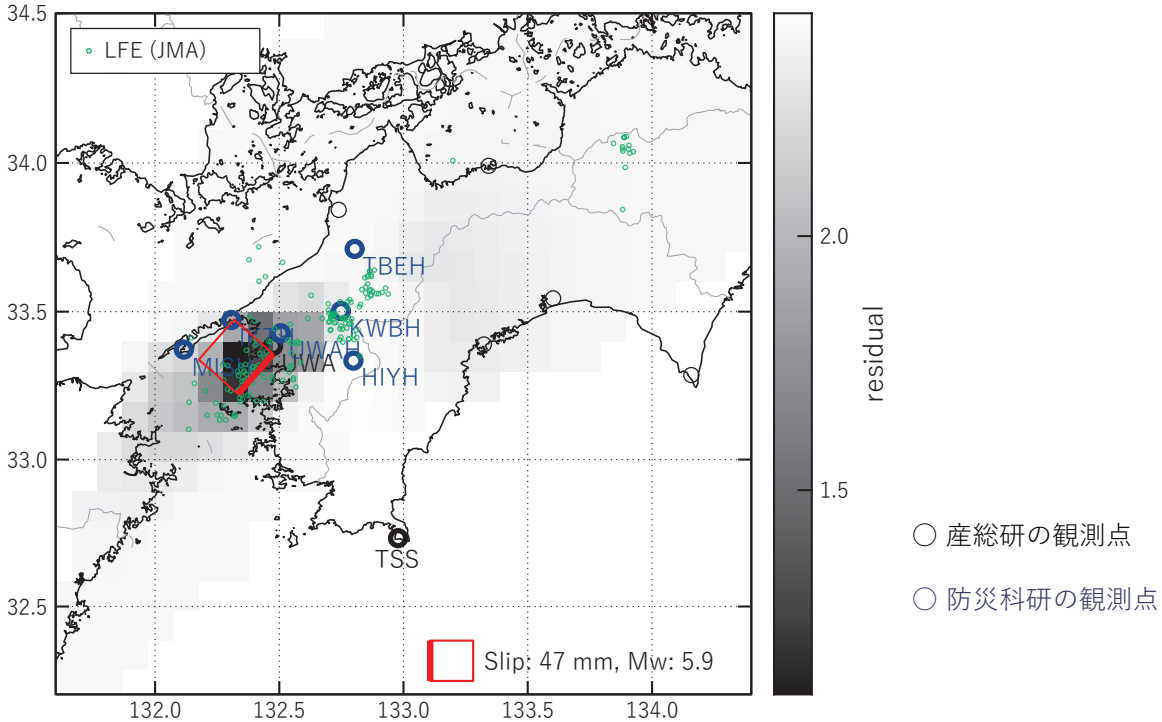
7: 2021/05/20PM-22 (Mw5.6)

A: 2021/07/18-19AM (MW5.6), B: 2021/07/19PM-21AM (Mw5.6), C: 2021/0721PM-27 (Mw6.1)

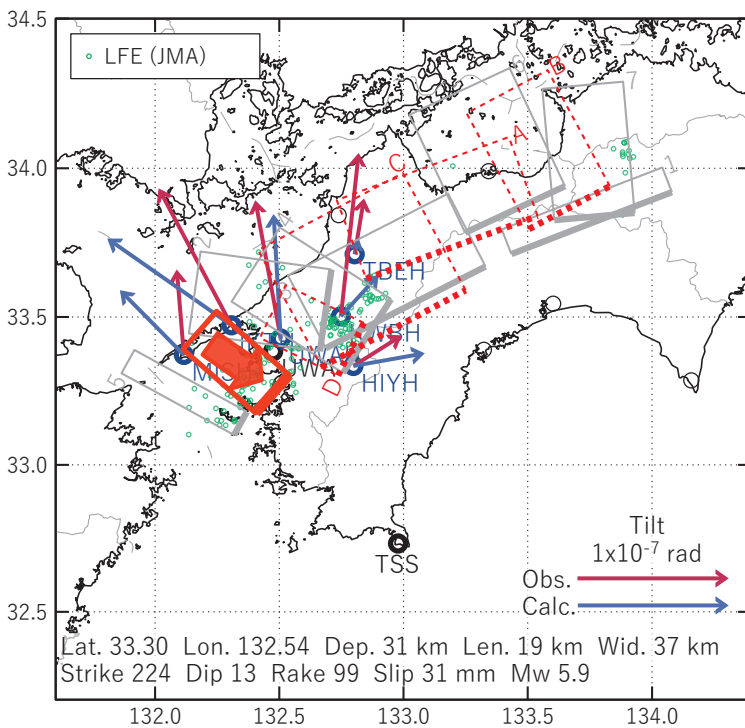
(b2) 主歪の観測値と(b1)に示した断層モデルから求めた計算値との比較。

[E] 2021/07/29-08/01AM

(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

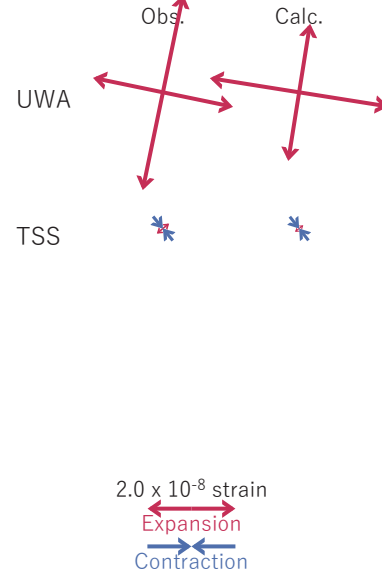


図8 2021/07/29-08/01AMの歪・傾斜変化 (図2,3[E]) を説明する断層モデル。

(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。赤色破線矩形は今回の一連のイベント。

1: 2020/07/31PM-08/03(東) (Mw5.6), 2: 2021/01/19-21AM (Mw5.7), 3: 2021/01/21PM-23 (Mw5.8)

4: 2021/01/24-28AM (Mw5.6), 5: 2021/03/23-24 (Mw5.7), 6: 2021/04/09-11AM (Mw5.6)

7: 2021/05/20PM-22 (Mw5.6)

A: 2021/07/18-19AM (MW5.6), B: 2021/07/19PM-21AM (Mw5.6), C: 2021/0721PM-27 (Mw6.1)

D: 2021/07/28 (Mw5.5)

(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。

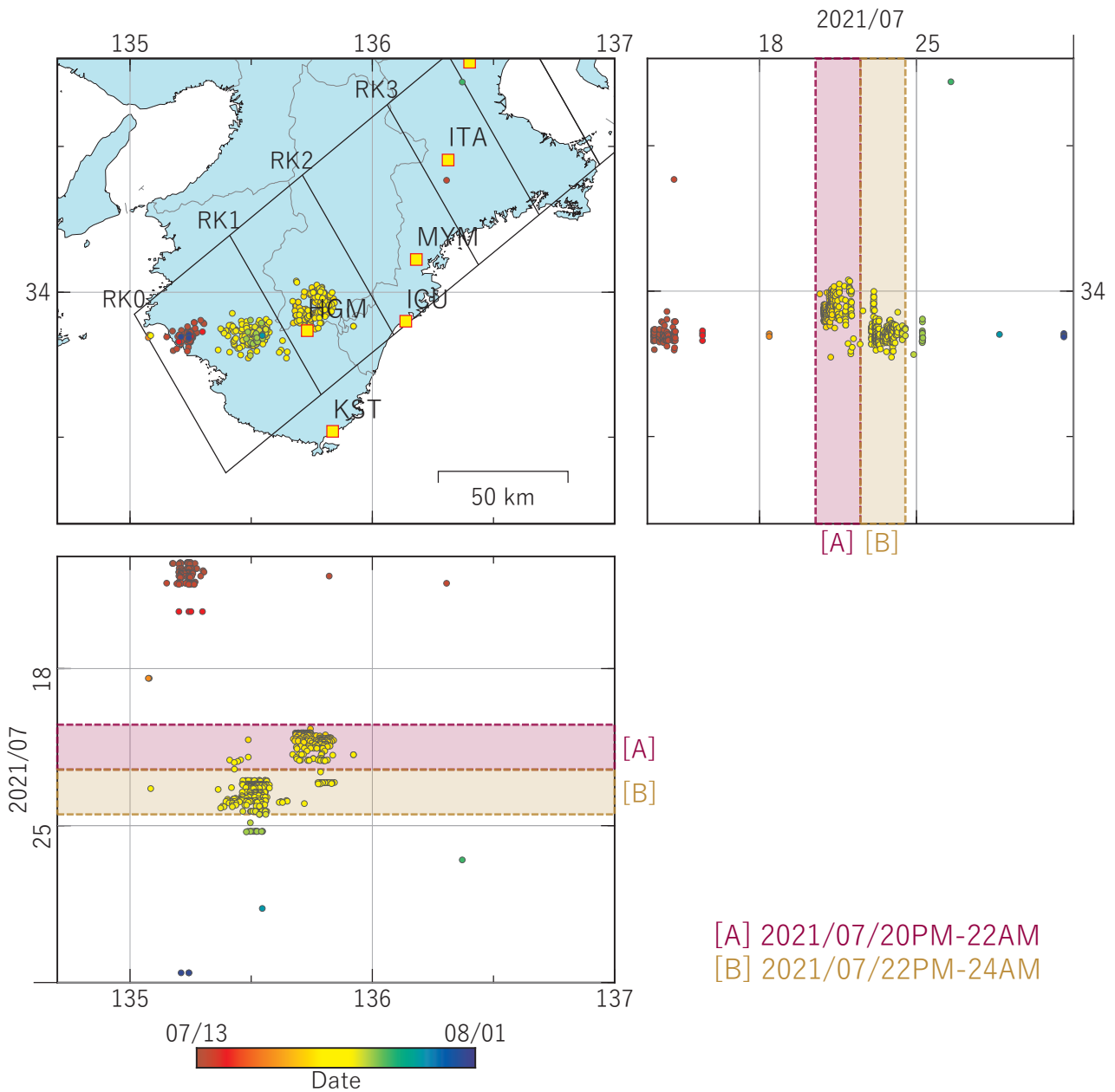


図9 紀伊半島における深部低周波地震（気象庁）の時空間分布図  
 (2021/07/13 00:00 - 2021/08/01 00:00 (JST))  
 (観測点) ITa: 松阪飯高, MYM: 紀北海山, ICU: 熊野磯崎  
 HGM: 田辺本宮, KST: 串本津荷

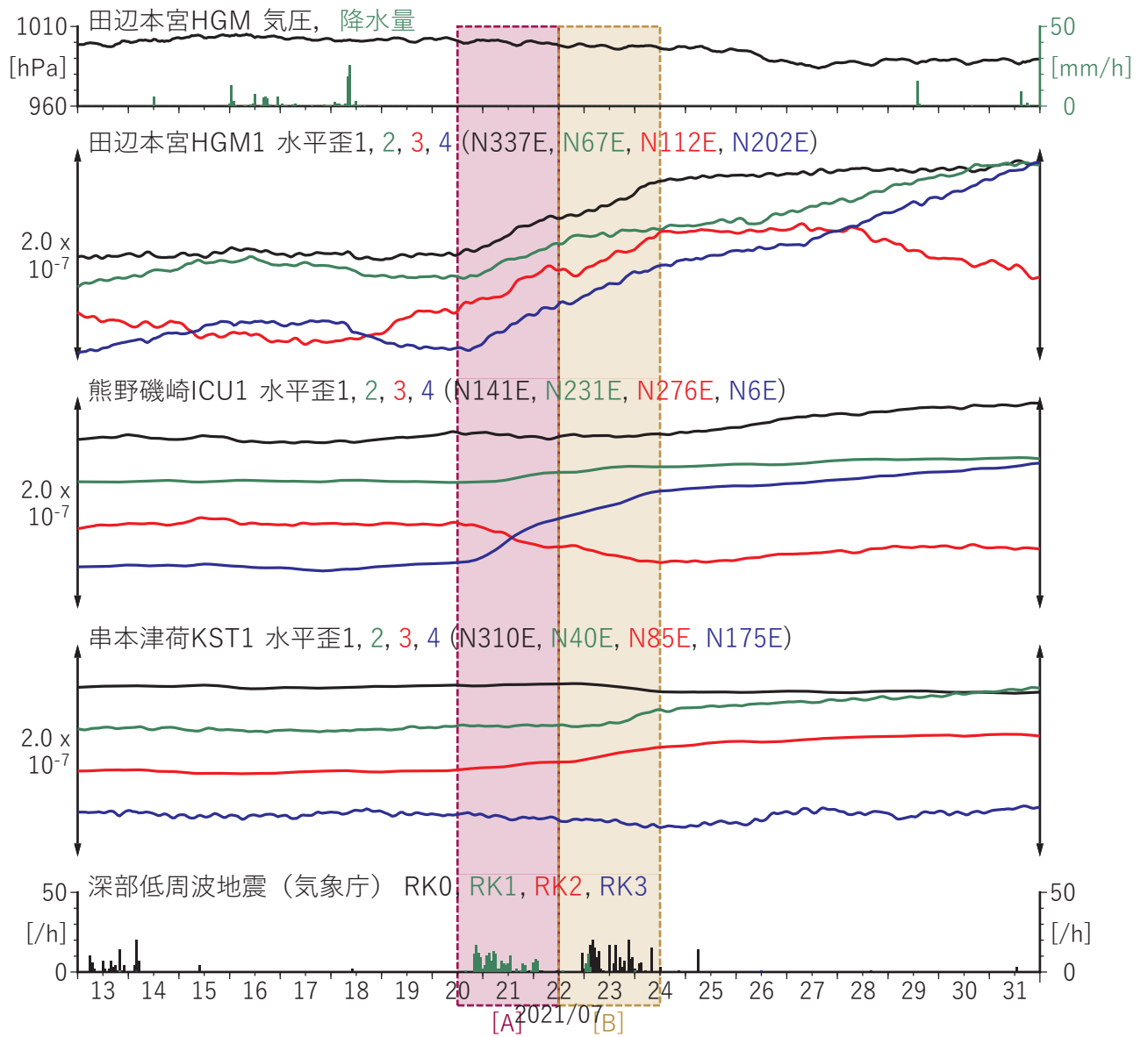
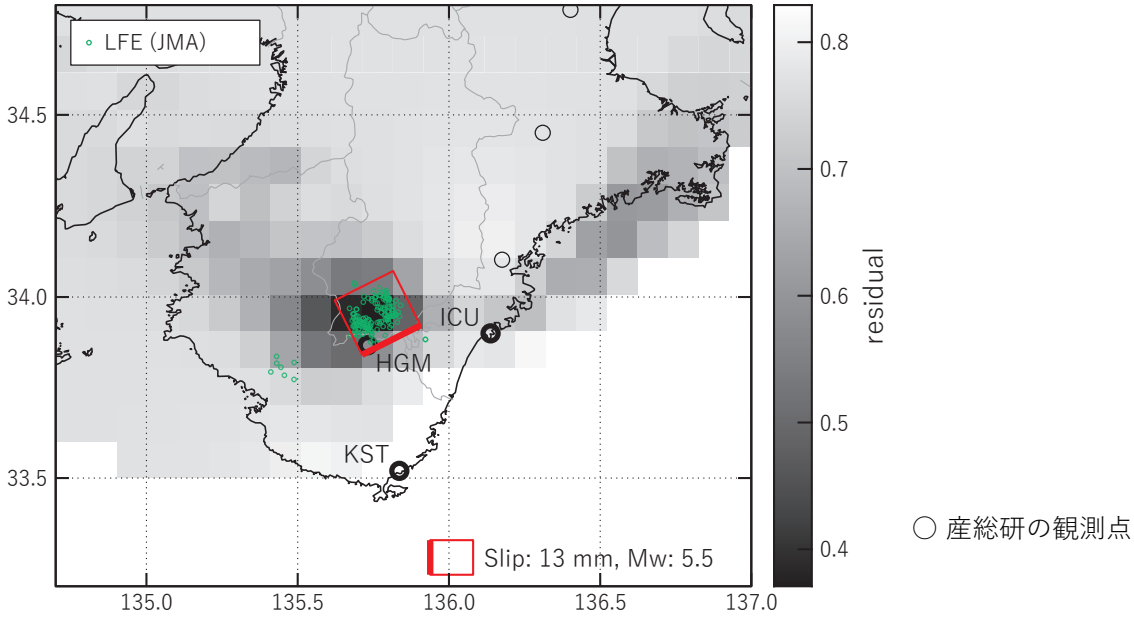


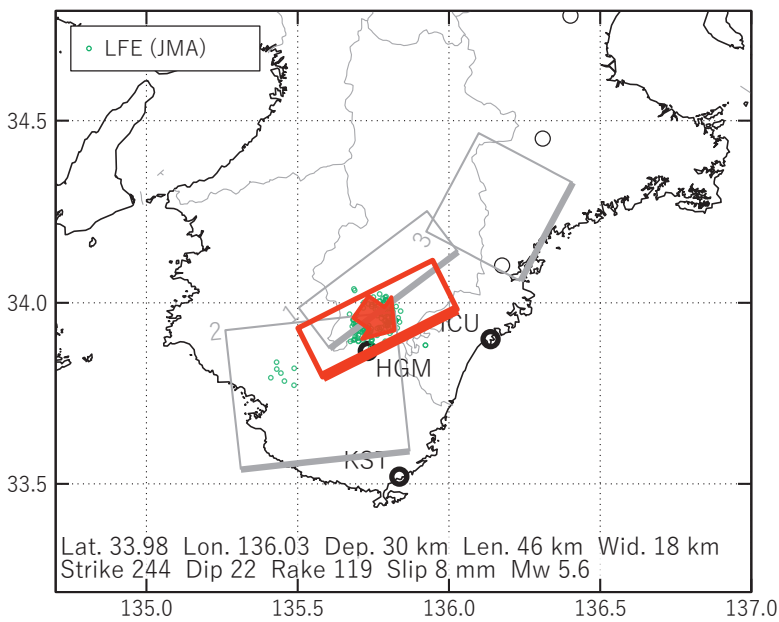
図10 紀伊半島における歪の観測結果  
(2021/07/13 00:00 - 2021/08/01 00:00 (JST))

[A] 2021/07/20PM-22AM

(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

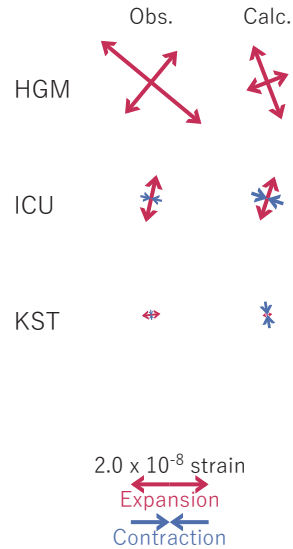


図11 2021/07/20PM-22AMの歪変化 (図10[A]) を説明する断層モデル。

(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。

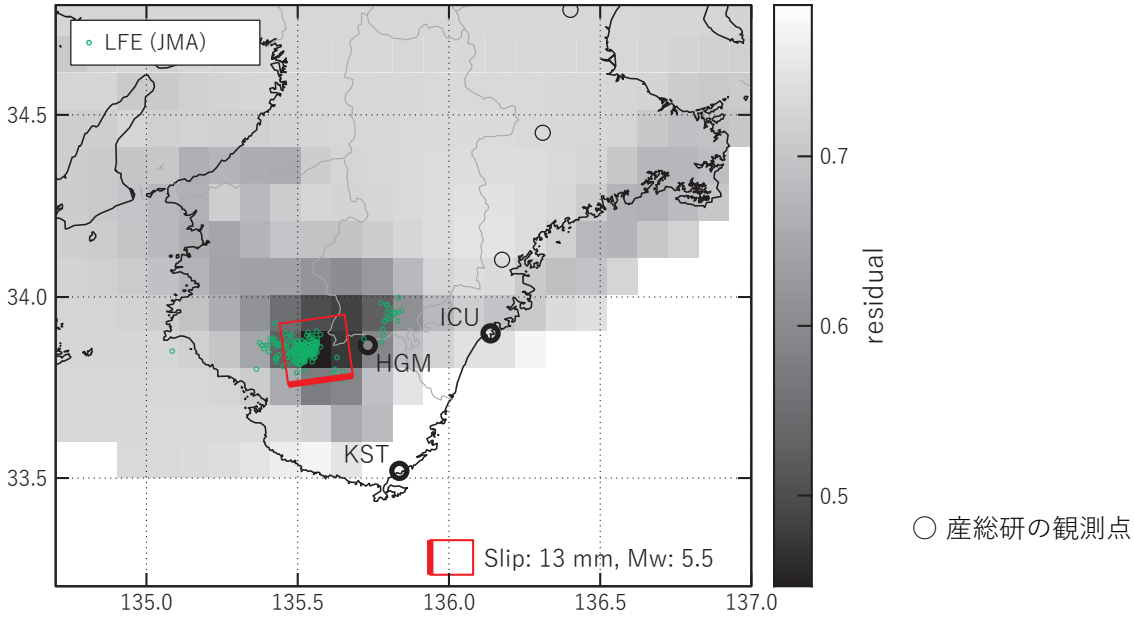
(b1) (a)の位置付近をグリッドサーチして推定した断層面(赤色矩形)と断層パラメータ。灰色矩形は最近周辺で発生したイベントの推定断層面。赤色破線矩形は今回の一連のイベント。

1: 2021/02/23PM-26AM (Mw5.8), 2: 2021/03/16PM-17AM (Mw5.4), 3: 2021/04/29PM-05/02 (Mw5.7)

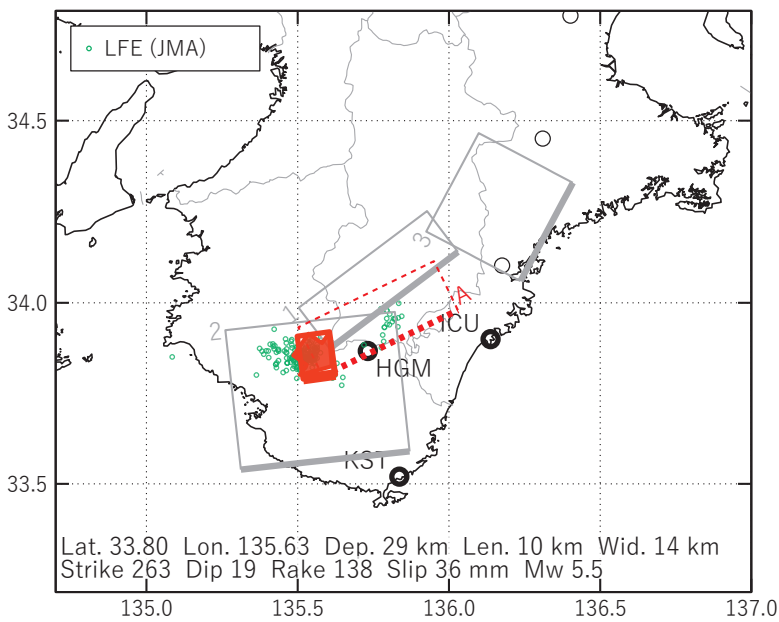
(b2) 主歪の観測値と(b1)に示した断層モデルから求めた計算値との比較。

[B] 2021/07/22PM-24AM

(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

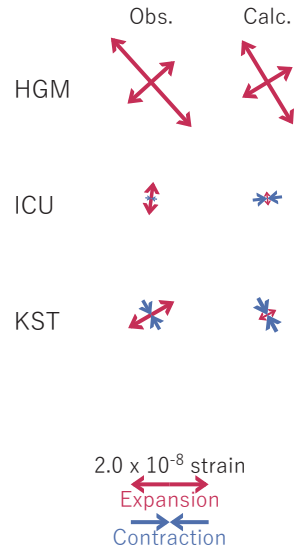


図12 2021/07/22PM-24AMの歪変化 (図10[B]) を説明する断層モデル。

(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。赤色破線矩形は今回の一連のイベント。

1: 2021/02/23PM-26AM (Mw5.8), 2: 2021/03/16PM-17AM (Mw5.4), 3: 2021/04/29PM-05/02 (Mw5.7)

A: 2021/0720PM-22AM (Mw5.6)

(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。