

【第44回】南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会
【第422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—

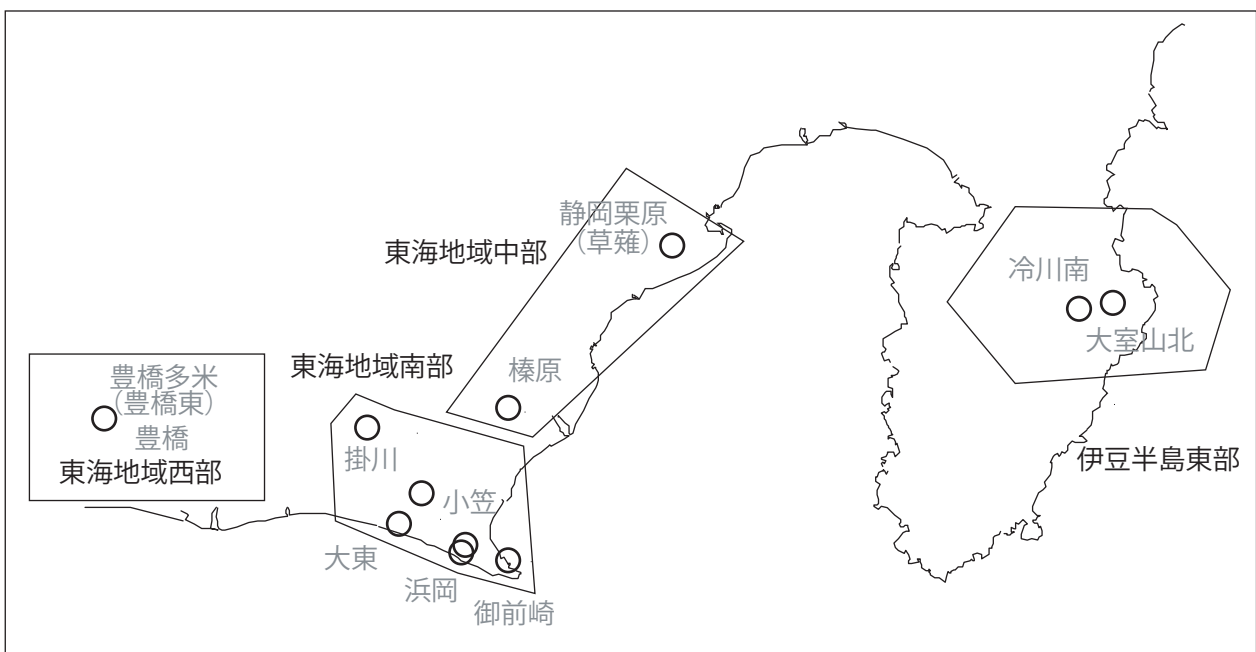
令和3年6月7日



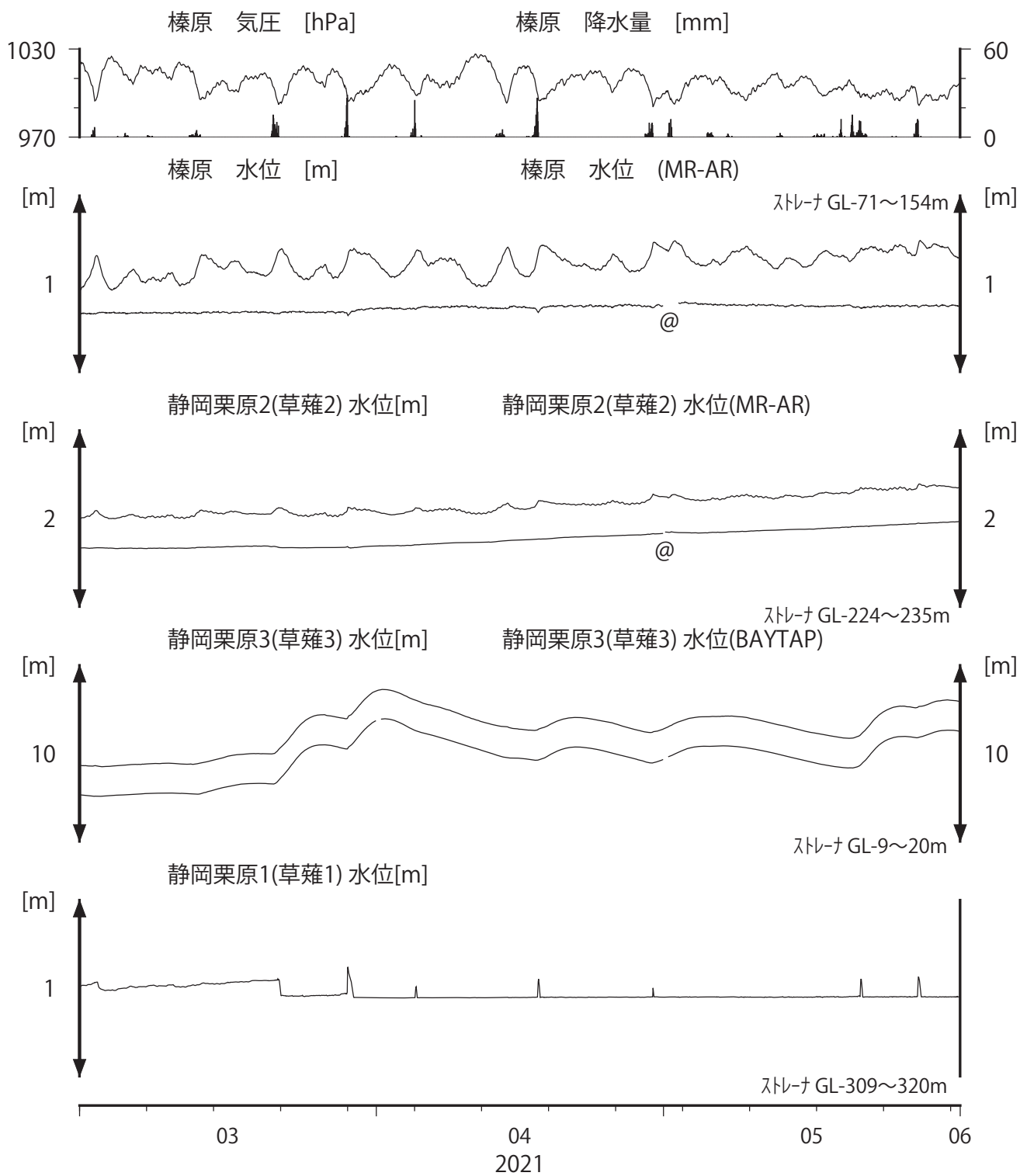
【資料目次】

表紙

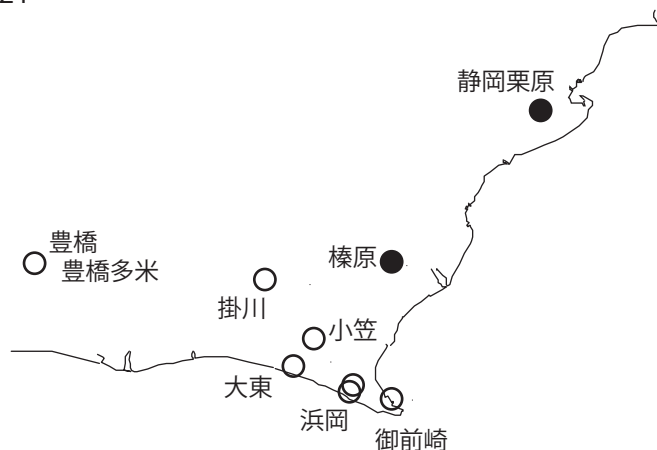
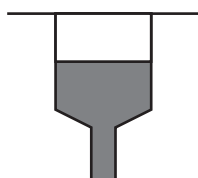
1. 東海地域中部 [榛原, 静岡栗原 (草薙)] 地下水；中期
2. 東海地域中部 [榛原, 静岡栗原 (草薙)] 地下水；長期
3. 東海地域南部 [大東, 小笠, 浜岡, 御前崎] 地下水；中期
4. 東海地域南部 [大東, 小笠, 浜岡, 御前崎] 地下水；長期
- 4-b. 東海地域南部 [浜岡] 地下水・沈下；長期
- 4-c. 東海地域南部 [掛川] 地下水・沈下；長期
5. 東海地域西部 [豊橋, 豊橋多米 (豊橋東)] 地下水・歪・傾斜；中期
- 5-b. 東海地域西部 [豊橋多米 (豊橋東)] 歪等；中期
6. 東海地域西部 [豊橋・豊橋多米 (豊橋東)] 地下水・歪・傾斜；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



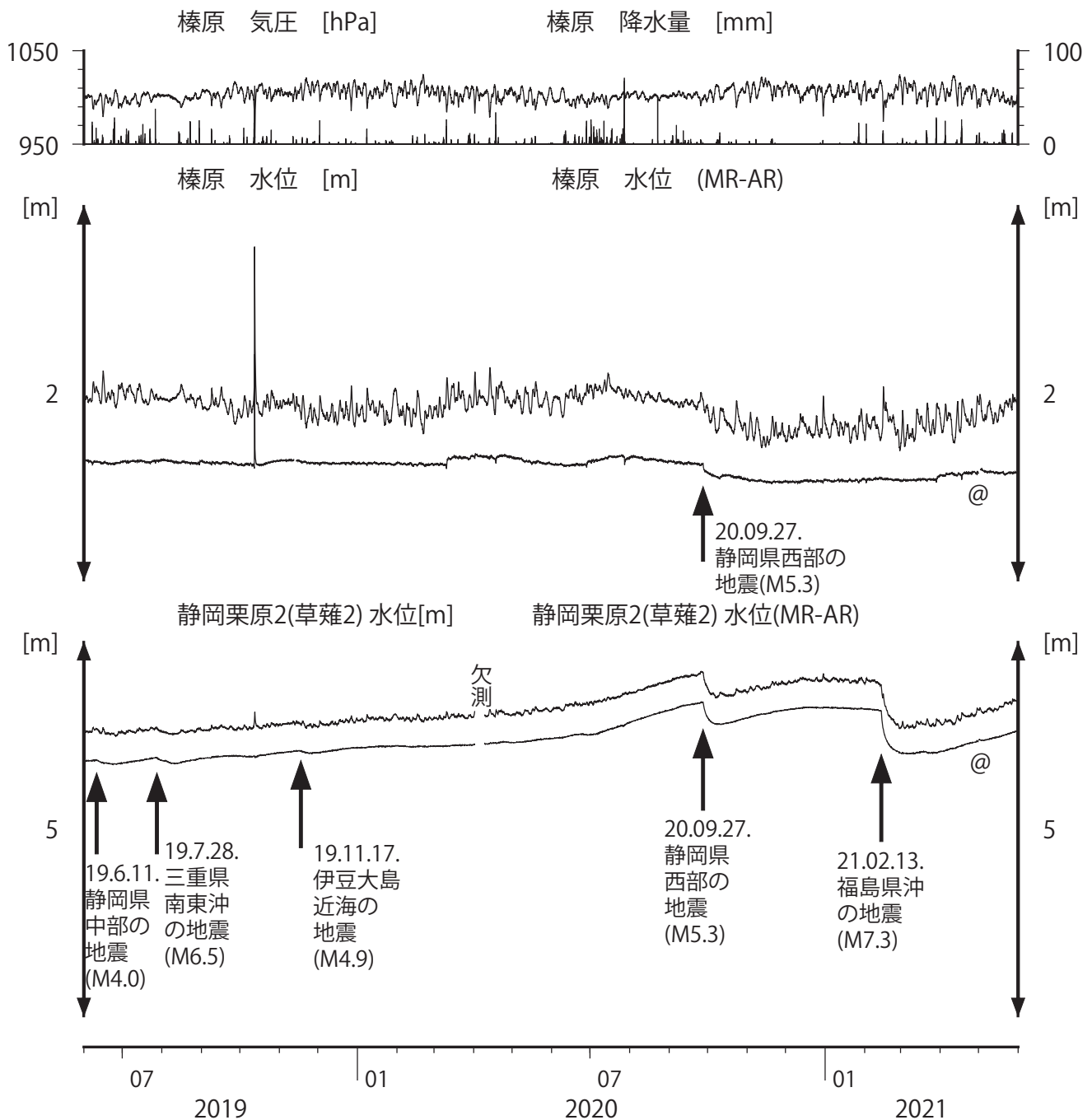
東海地域中部（榛原・草薙）中期（時間値） (2021/03/01 00:00 - 2021/06/01 00:00 (JST))



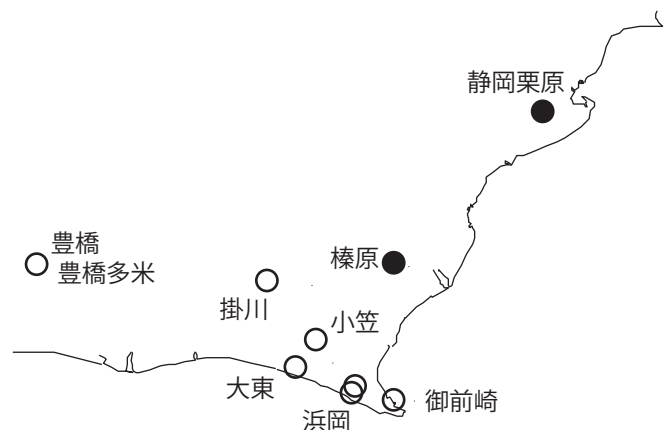
コメント：*;雨量補正不十分. \$;保守. ?;不明.
@;月初めの補正值のギャップは、
解析プログラムの見かけ上のものである。
2015年4月中旬に静岡栗原1の水位が
井戸管の広い部分まで上昇したので
それ以降の水位変化が
小さくなっている。



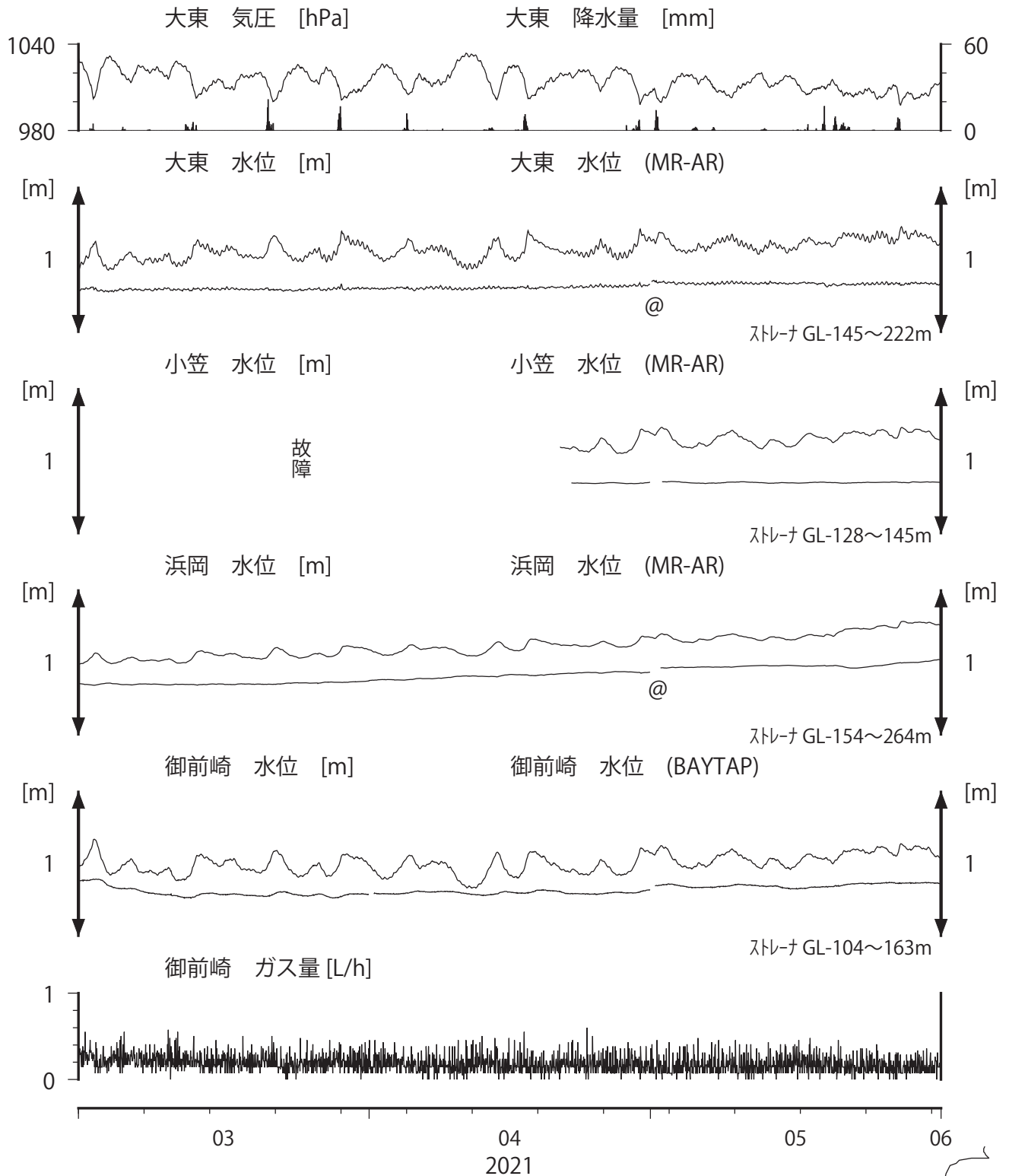
東海地域中部（榛原・草薙）長期（時間値）
 (2019/06/01 00:00 - 2021/06/01 00:00 (JST))



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)
(2021/03/01 00:00 - 2021/06/01 00:00 (JST))

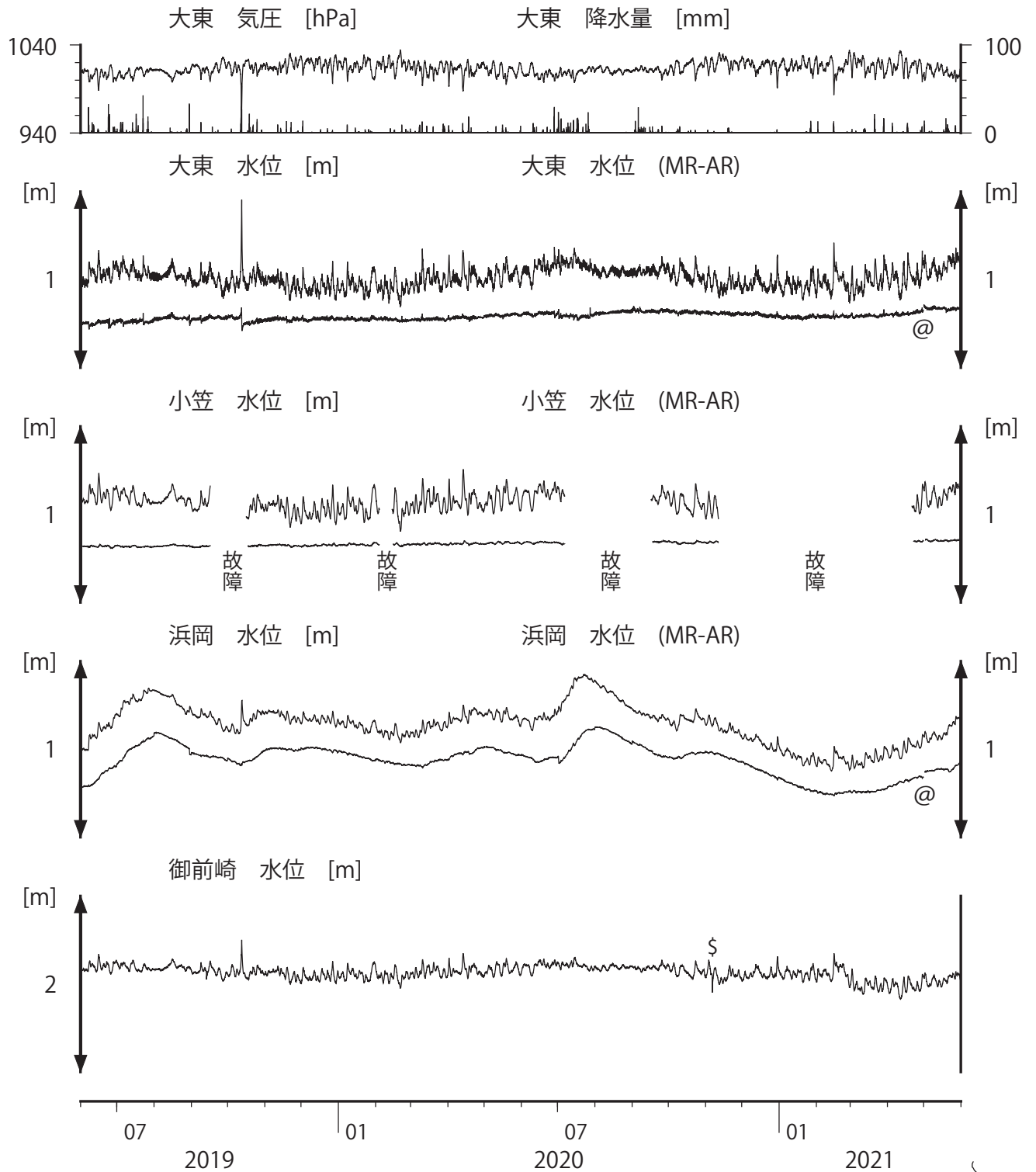


コメント:

*;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 長期 (時間値) (2019/06/01 00:00 - 2021/06/01 00:00 (JST))



コメント:

*;雨量補正不十分. \$;保守. ?;不明.

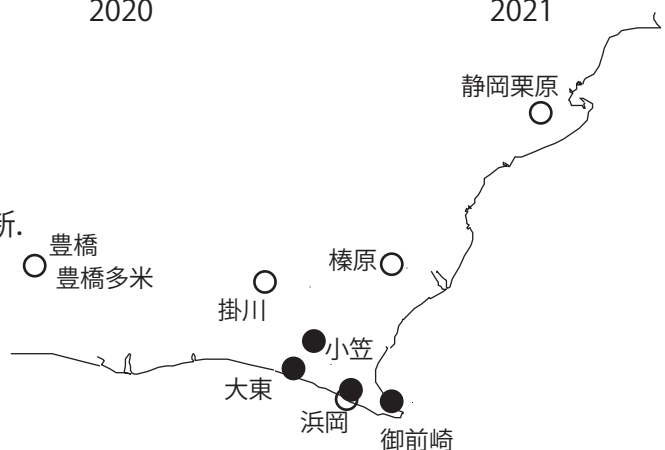
@;月初めの補正値のギャップは、解析プログラムの見かけ上のものである。

2017年2月16日に御前崎ガス流量システム更新。

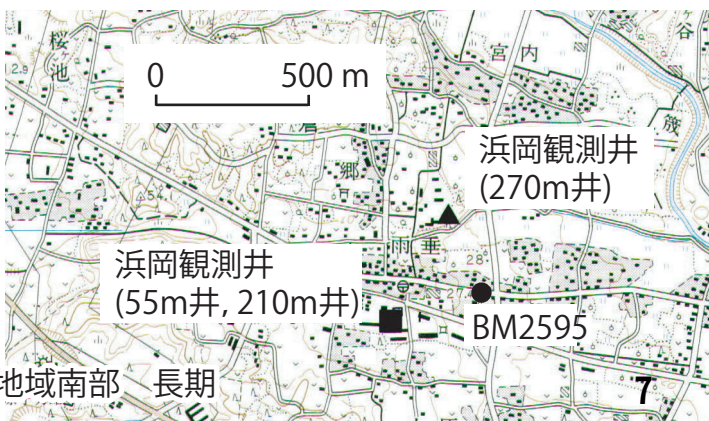
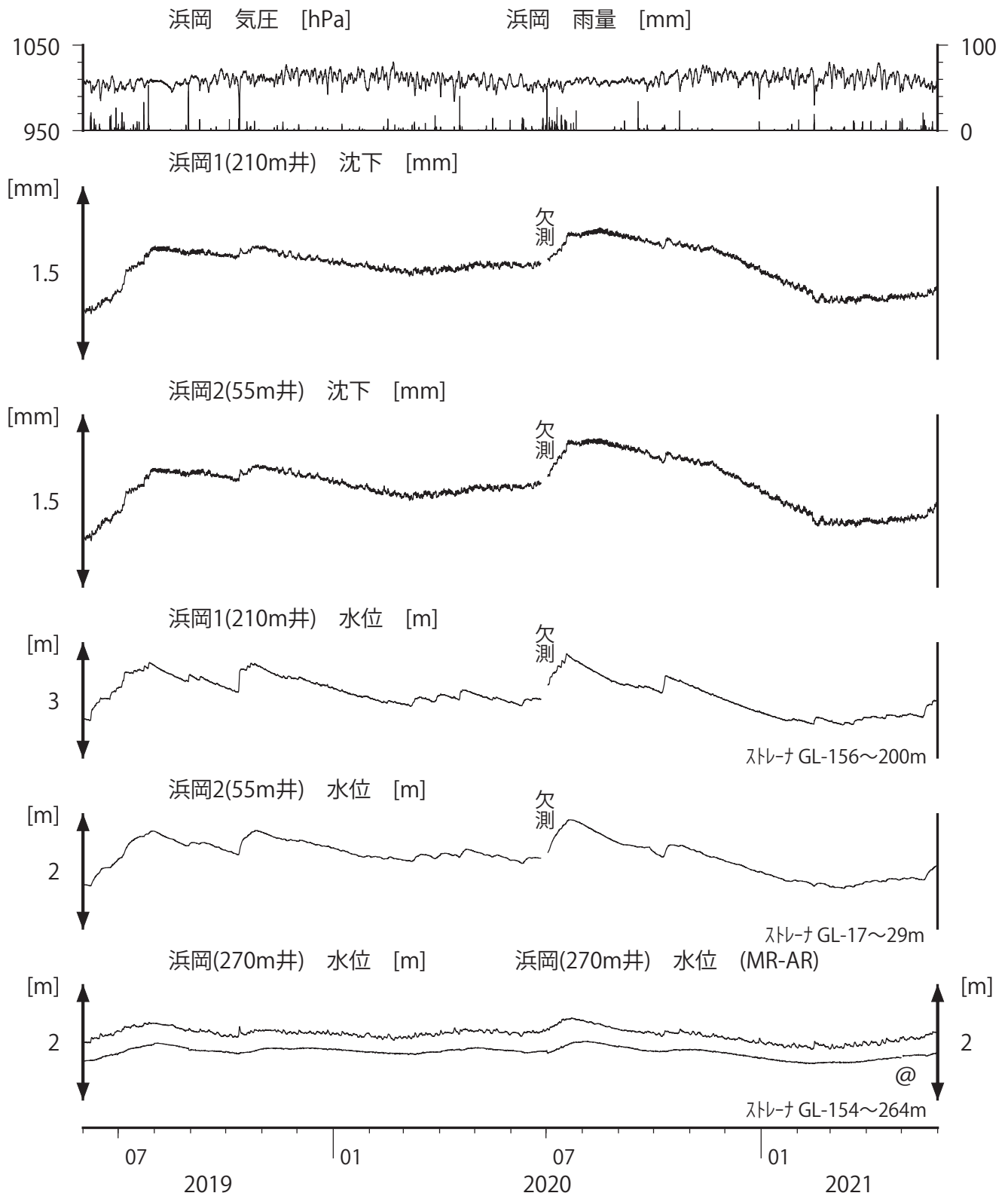
2016年12月16日～2017年3月14日、

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。



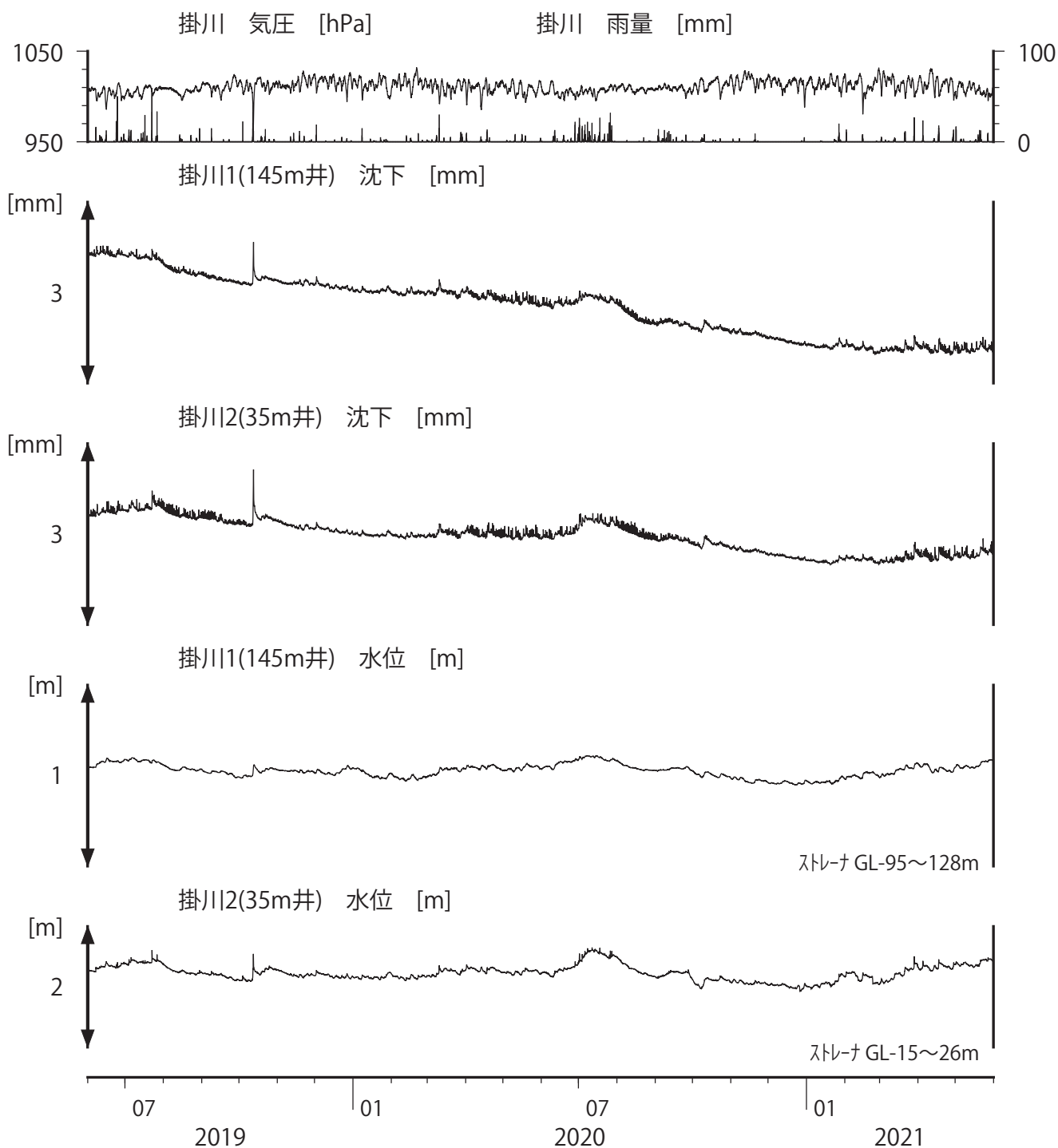
浜岡沈下・水位 (時間値) (2019/06/01 00:00 - 2021/06/01 00:00 (JST))



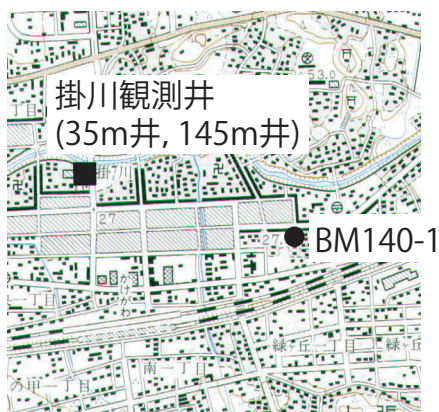
コメント:\$;保守. ?;不明.
@;月初めの補正值のギャップは、
解析プログラムの見かけ上
のものである。



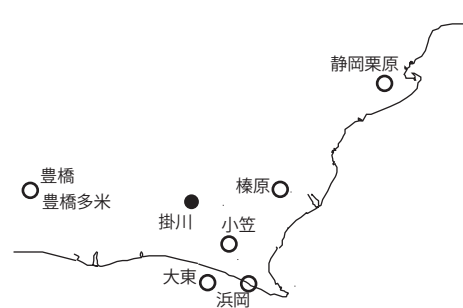
掛川沈下・水位 (時間値) (2019/06/01 00:00 - 2021/06/01 00:00 (JST))



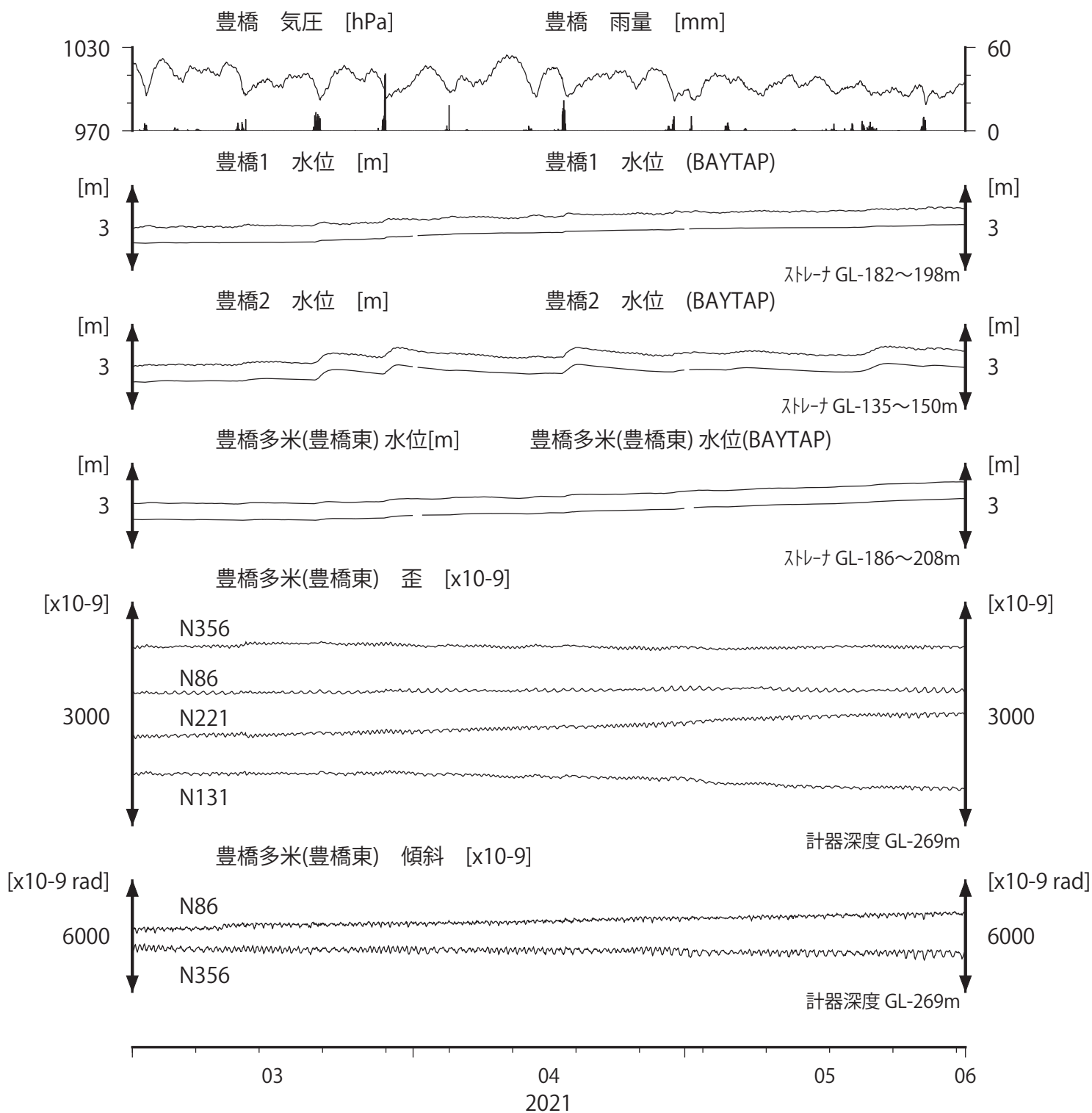
コメント: \$;保守.
?;原因不明.



0 500 m



東海地域西部（豊橋・豊橋多米）中期 （時間値）
 (2021/03/01 00:00 - 2021/06/01 00:00 (JST))

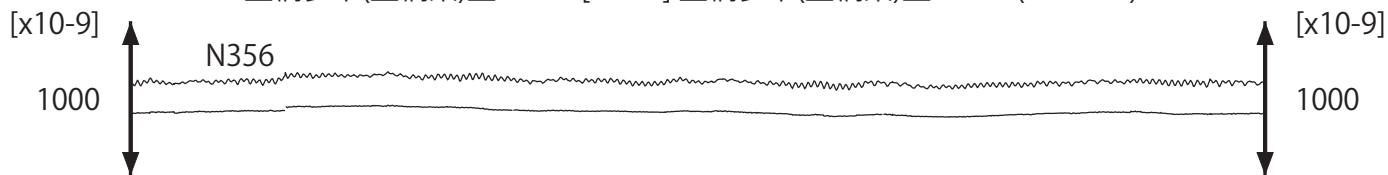


コメント：*;雨量補正不十分. \$;保守. ?;不明.

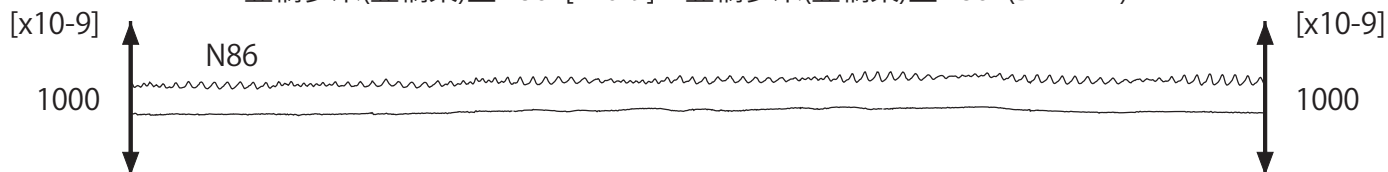


東海地域西部（豊橋多米 歪）中期 （時間値）
(2021/03/01 00:00 - 2021/06/01 00:00 (JST))

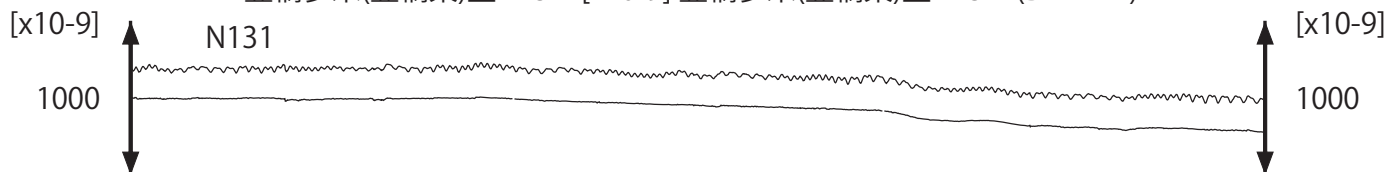
豊橋多米(豊橋東)歪N356E[x10-9] 豊橋多米(豊橋東)歪N356E(BAYTAP)



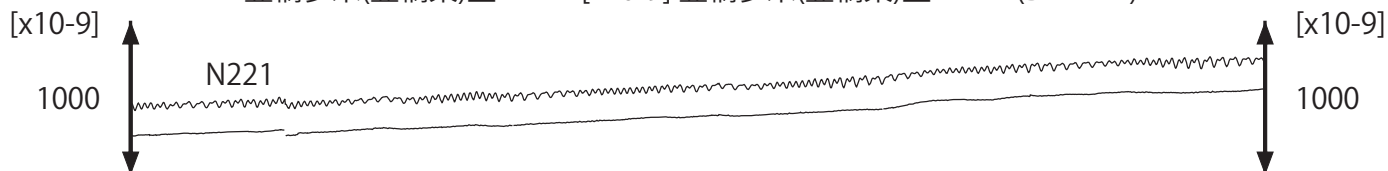
豊橋多米(豊橋東)歪N86E[x10-9] 豊橋多米(豊橋東)歪N86E(BAYTAP)



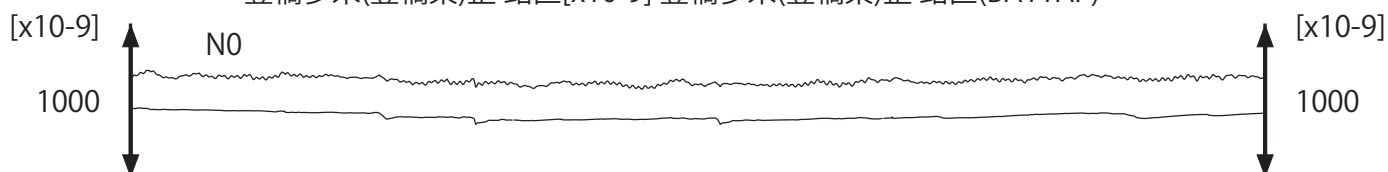
豊橋多米(豊橋東)歪N131E[x10-9] 豊橋多米(豊橋東)歪N131E(BAYTAP)



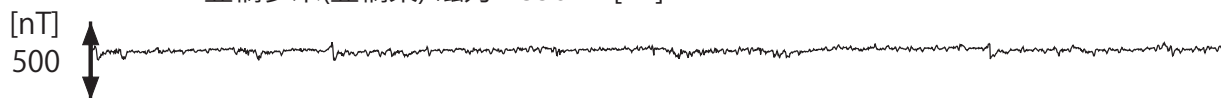
豊橋多米(豊橋東)歪N221E[x10-9] 豊橋多米(豊橋東)歪N221E(BAYTAP)



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]



計器深度 GL-269m

03

04
2021

05

06

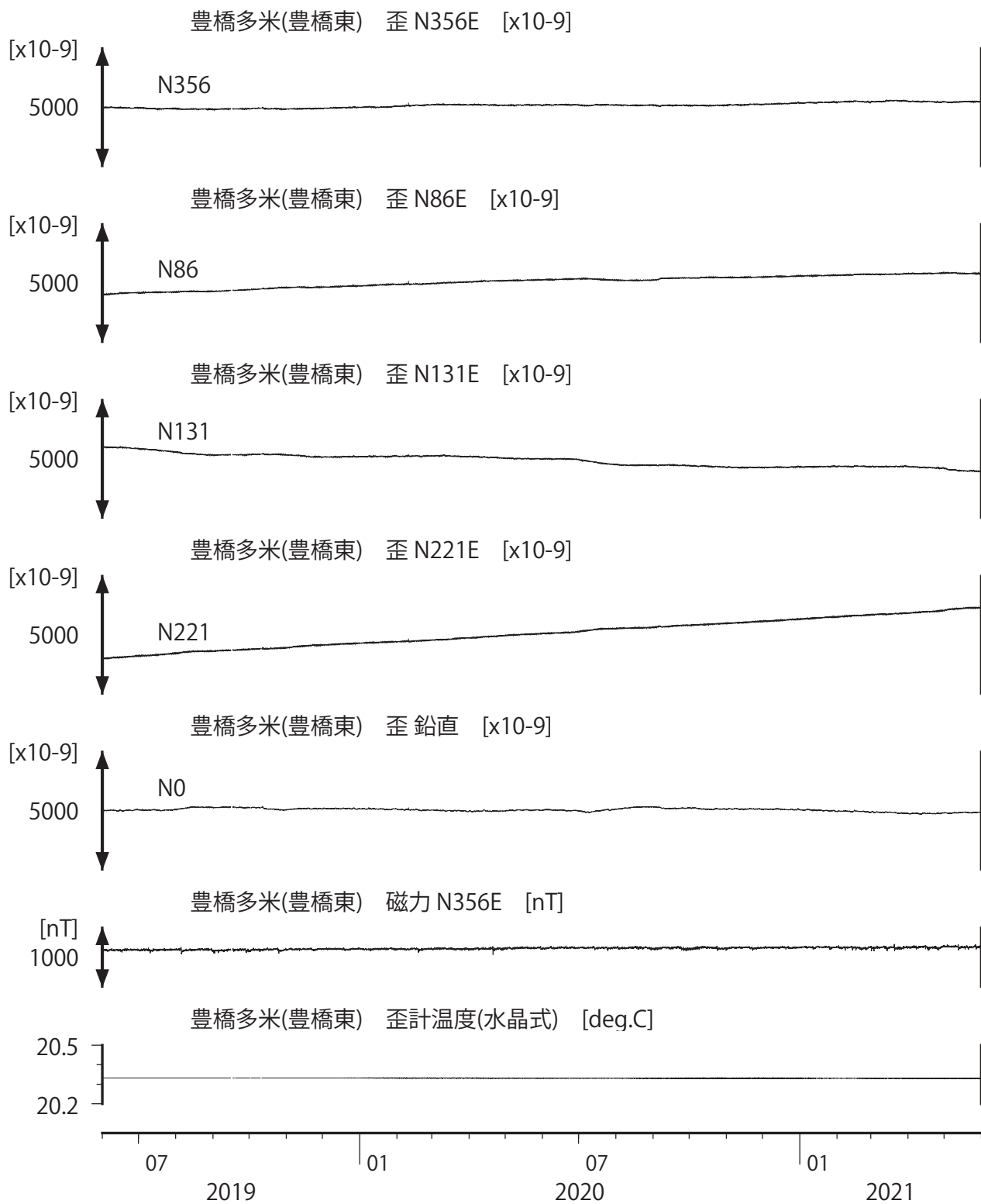
コメント:\$*;雨量補正不十分.\$;保守. ?;不明.



豊橋 気圧 [hPa] 豊橋 雨量 [mm]



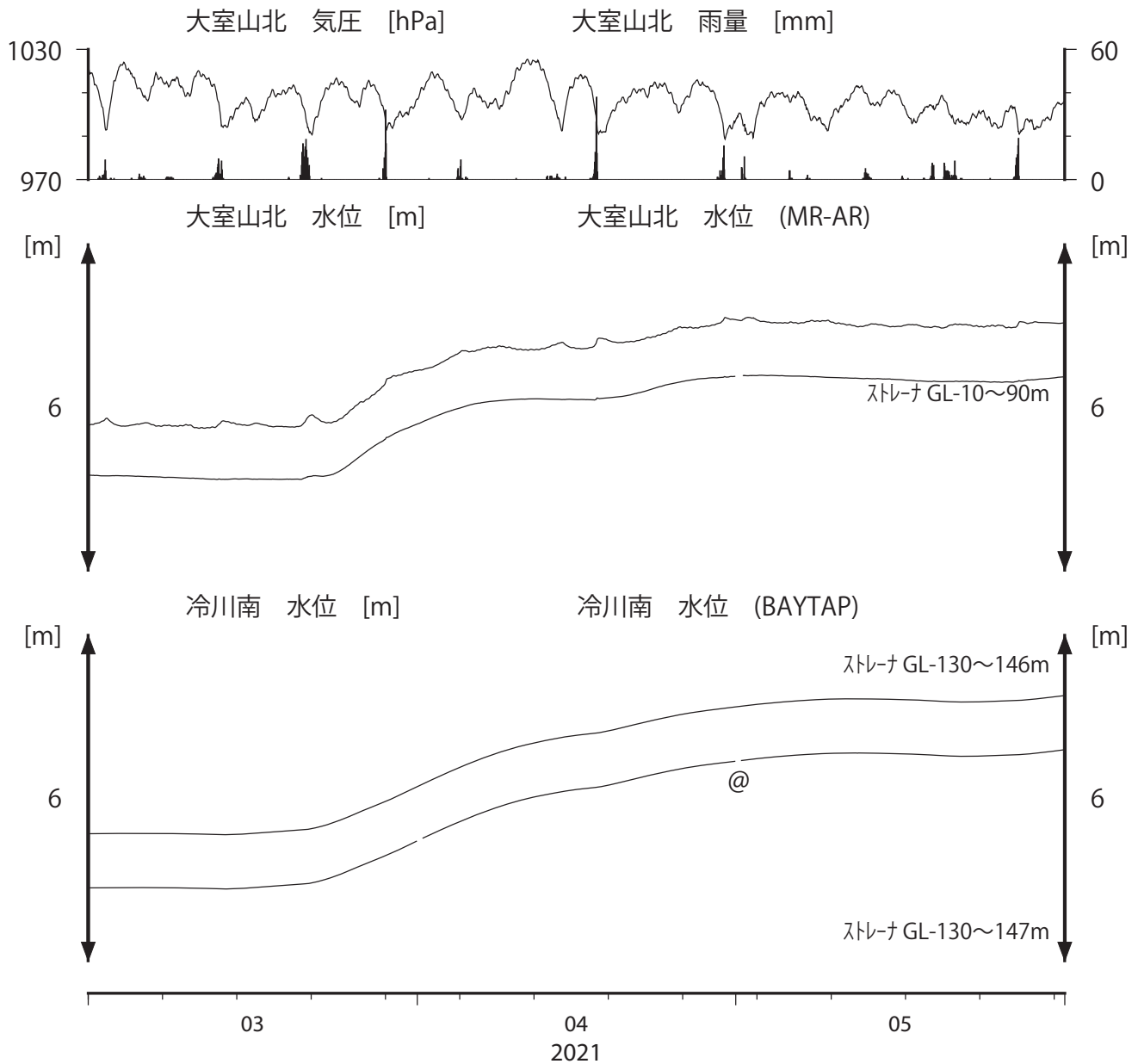
東海地域西部（豊橋多米 歪）長期（時間値） (2019/06/01 00:00 - 2021/06/01 00:00 (JST))



コメント: \$;保守. ?;原因不明.



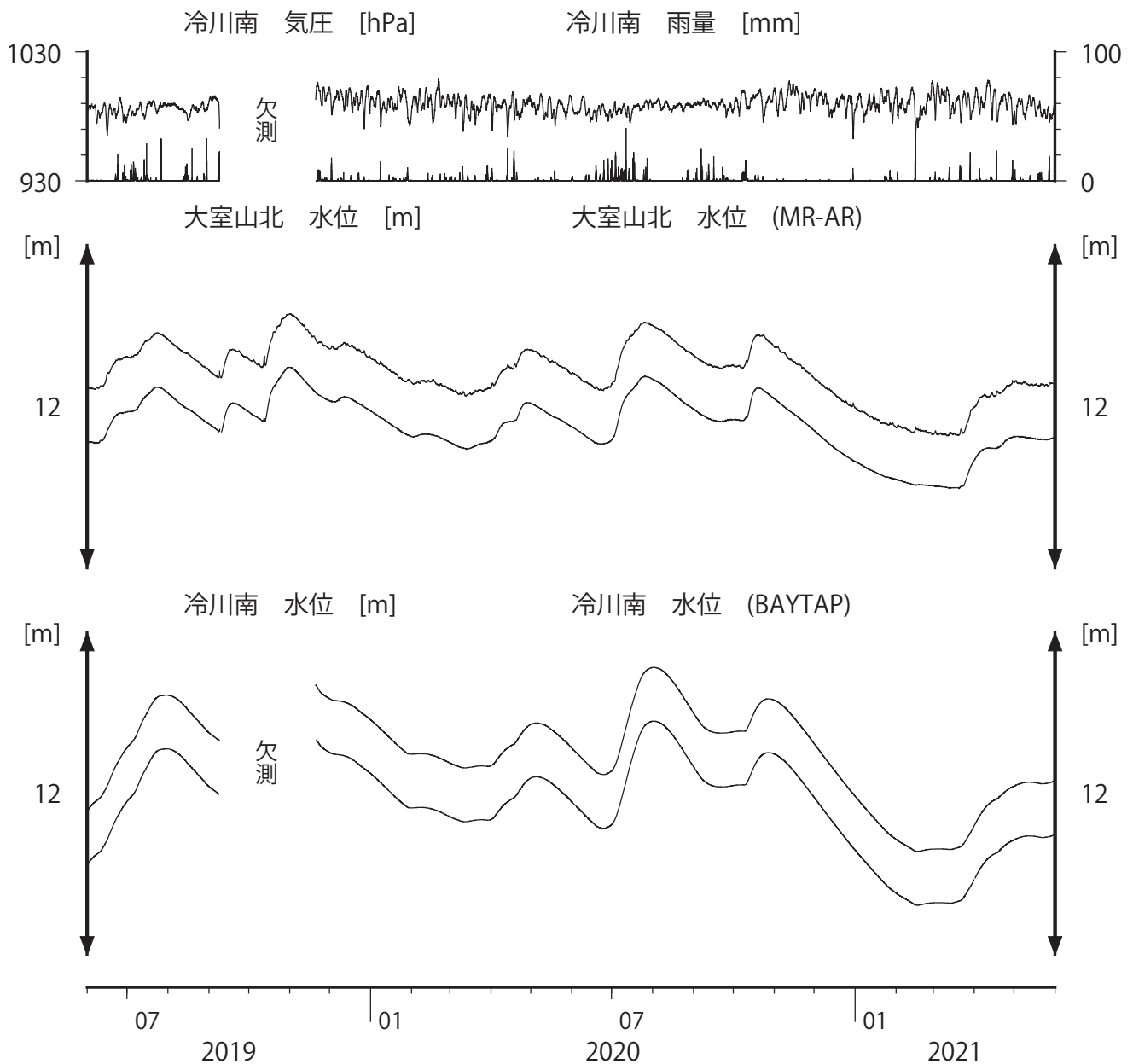
伊豆半島東部 地下水位 中期 (時間値)
(2021/03/01 00:00 - 2021/06/01 00:00 (JST))



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.



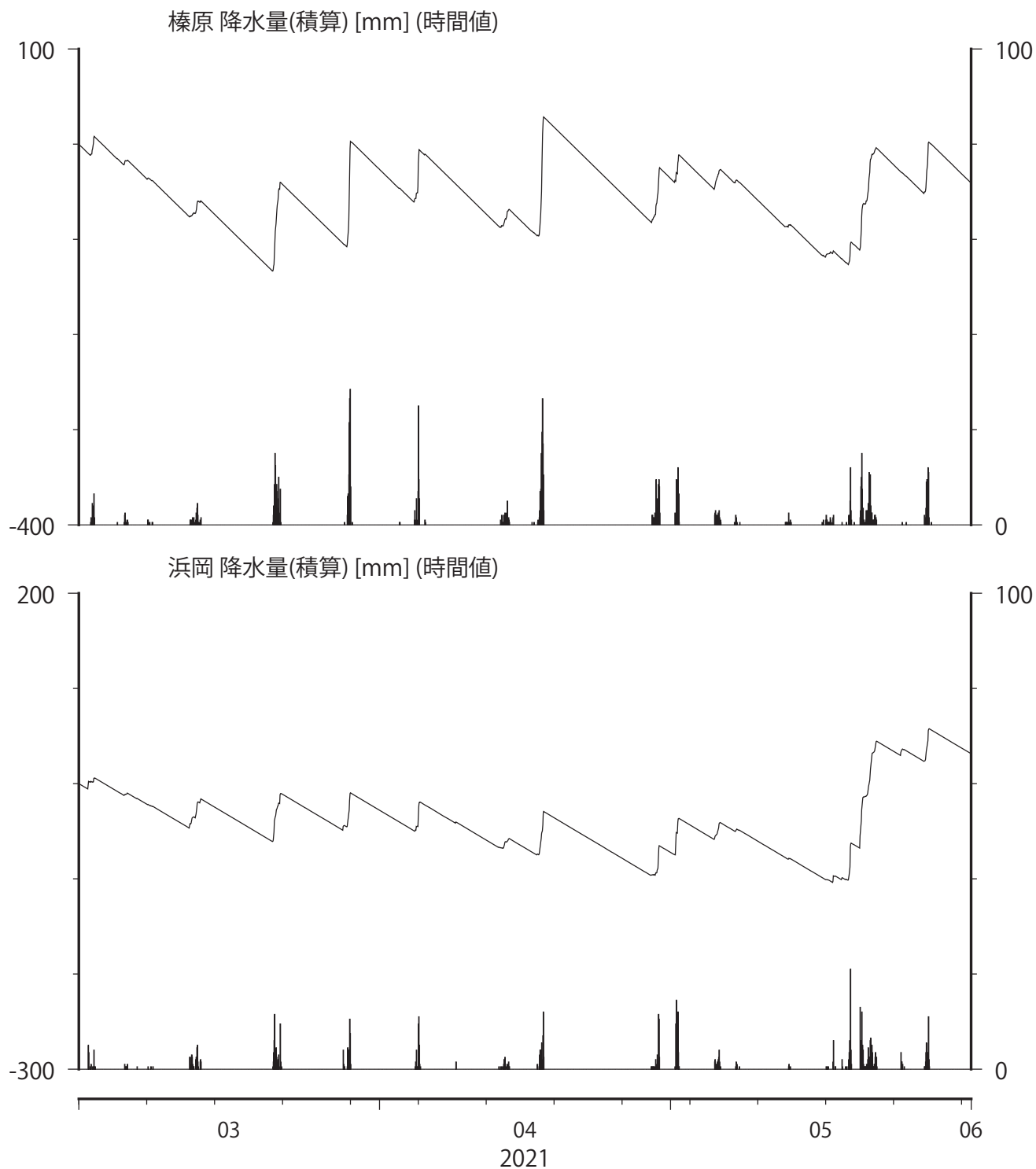
伊豆半島東部 地下水位 長期 (時間値) (2019/06/01 00:00 - 2021/06/01 00:00 (JST))



コメント: *;雨量補正不十分. \$;保守. ?;不明.

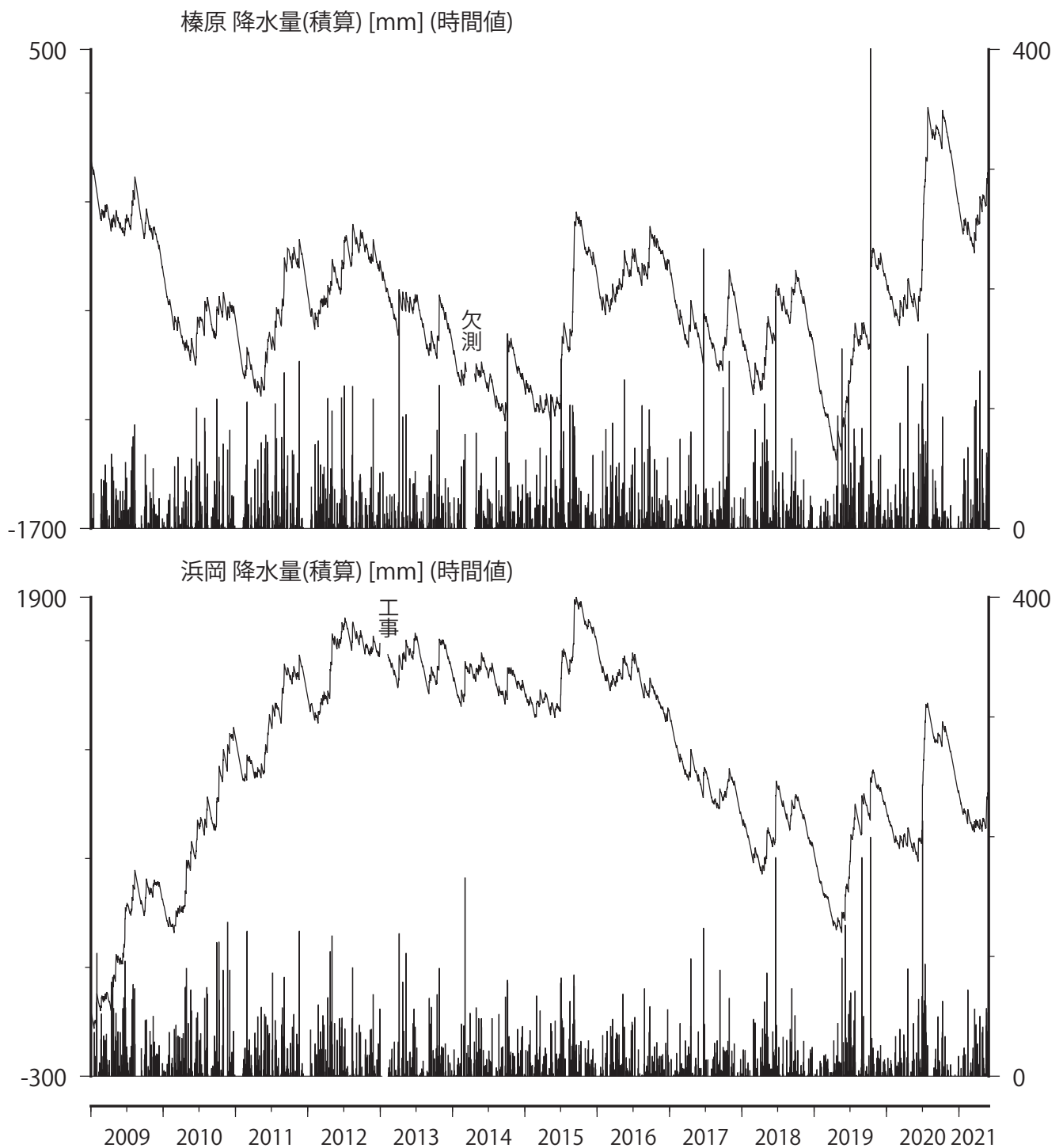


榛原・浜岡観測井 直近3ヶ月の積算降雨量トレンド除去グラフ [mm]
(2021/03/01 00:00 - 2021/06/01 00:00 (JST))



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 - 2021/06/01 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.

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 05 月 10 日から 15 日にかけて、三重県において深部低周波地震活動が観測された(図 1)．図 2-4 は三重県・滋賀県・奈良県・愛知県の産総研・気象庁・防災科研の観測点における歪・傾斜・地下水の観測結果である．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，また地下水の結果は時系列解析プログラム MR-AR により気圧応答成分・潮汐成分・降雨応答成分を取り除き，2021 年 05 月 05 日から 05 月 09 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 5-7 は図 2-4 [A], [B], [C] の変化を説明する短期的 SSE の推定結果（順に Mw 5.8, 5.6, 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，2020 年 11 月 01 日 (Mw 5.6 : 図 2-4 の灰色矩形 1)，2020 年 11 月 02 日から 04 日午前 (Mw 5.7 : 同 2)，2021 年 02 月 18 日午後から 21 日午前 (Mw 5.7 : 同 3)，2021 年 02 月 23 日午後から 28 日午前 (Mw 5.6 : 同 4)，2021 年 04 月 29 日午後-05 年 02 日 (Mw 5.7 : 同 5)，2021 年 04 月 30 日午後から 05 月 04 日 (Mw 5.8 : 同 6) である．

2021 年 05 月 21 日から 05 月 27 日にかけて，愛媛県・徳島県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・徳島県・香川県・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，2021 年 05 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 10 は図 9 [A] の変化を説明する短期的 SSE の推定結果 (Mw 5.6) 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 月 03 日(東) (Mw 5.6 : 図 10 の灰色矩形 1)，2021 年 10 月 22 日午後から 23 日 (Mw 5.8 : 同 2)，2021 年 04 月 09 日から 11 日午前 (Mw 5.6 : 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 2σ 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。浅部微動の震央位置表示・個数表示には、防災科学技術研究所に提供していただいた解析結果を使用しました。潮位偏差 (気圧補正) 成分データは気象庁に提供していただきました。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.

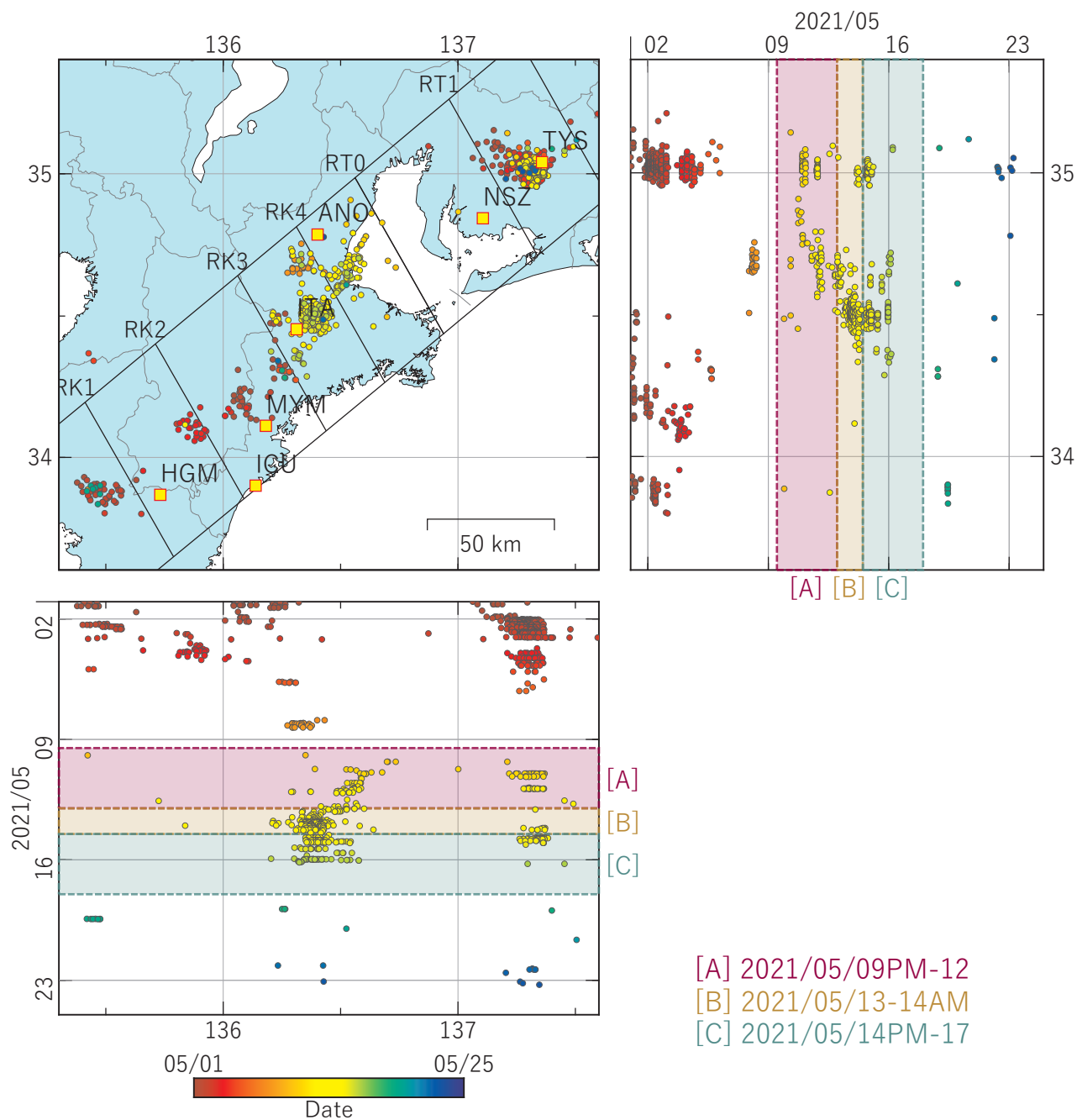


図1 紀伊半島から東海地方における深部低周波地震（気象庁）の時空間分布図
 (2021/05/01 00:00 - 2021/05/25 00:00 (JST))
 (観測点) TYS：豊田神殿, NSZ：西尾善明, ANO：津安濃, ITA：松阪飯高
 MYM：紀北海山, ICU：熊野磯崎, HGM：田辺本宮

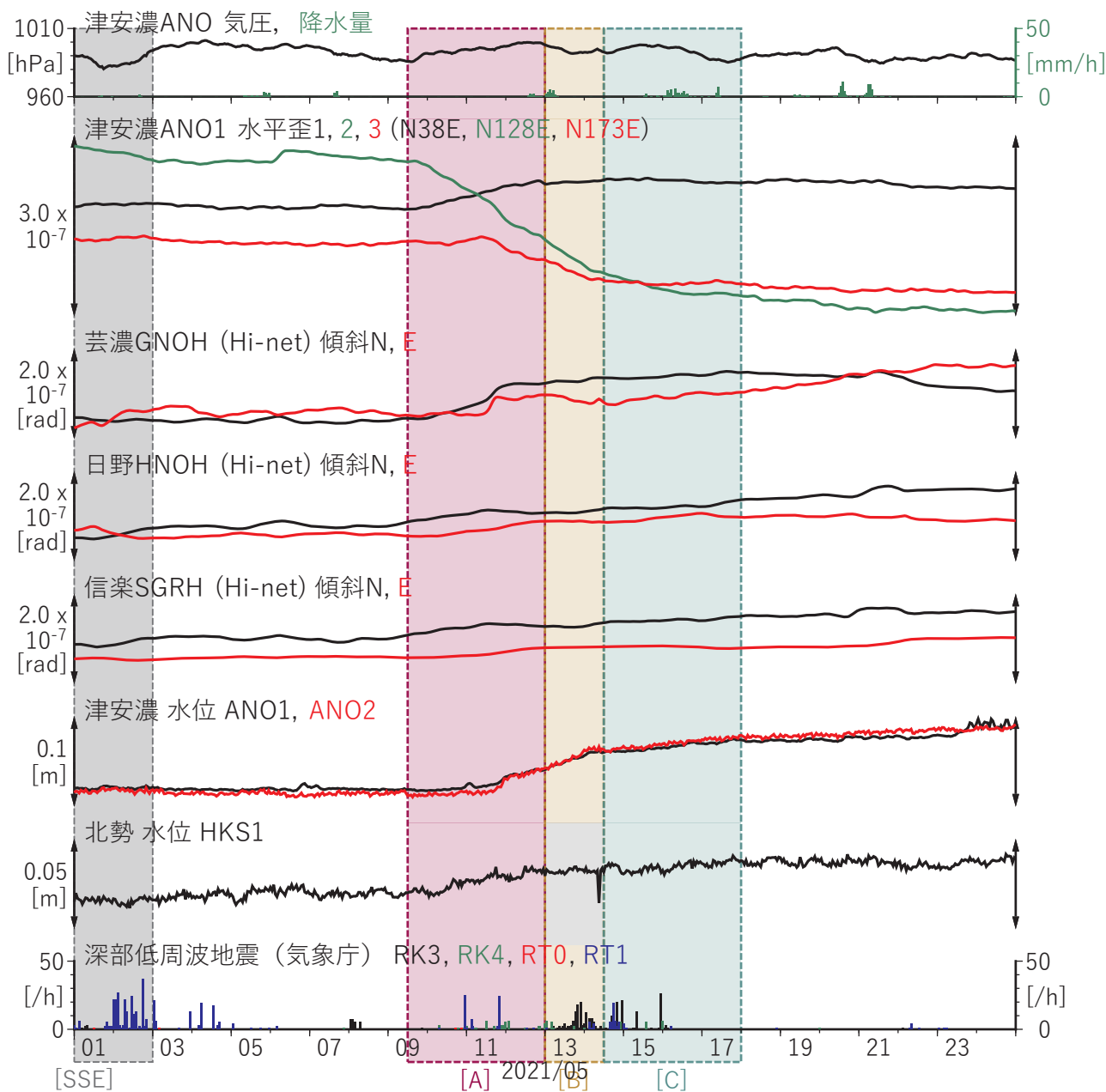


図2 紀伊半島における歪・傾斜・地下水観測結果
(2021/05/01 00:00 - 2021/05/25 00:00 (JST))

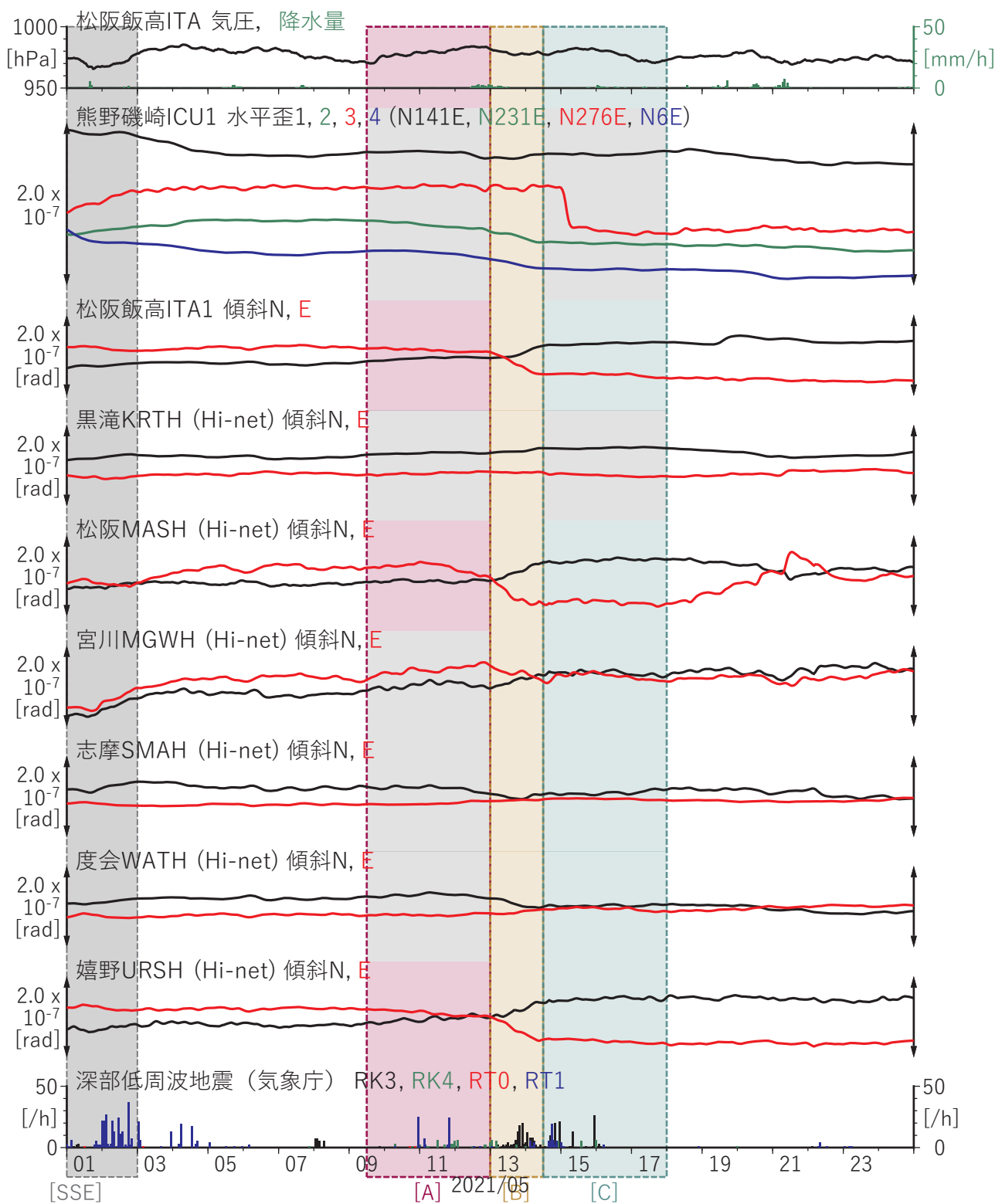


図3 紀伊半島における歪・傾斜観測結果
(2021/05/01 00:00 - 2021/05/25 00:00 (JST))

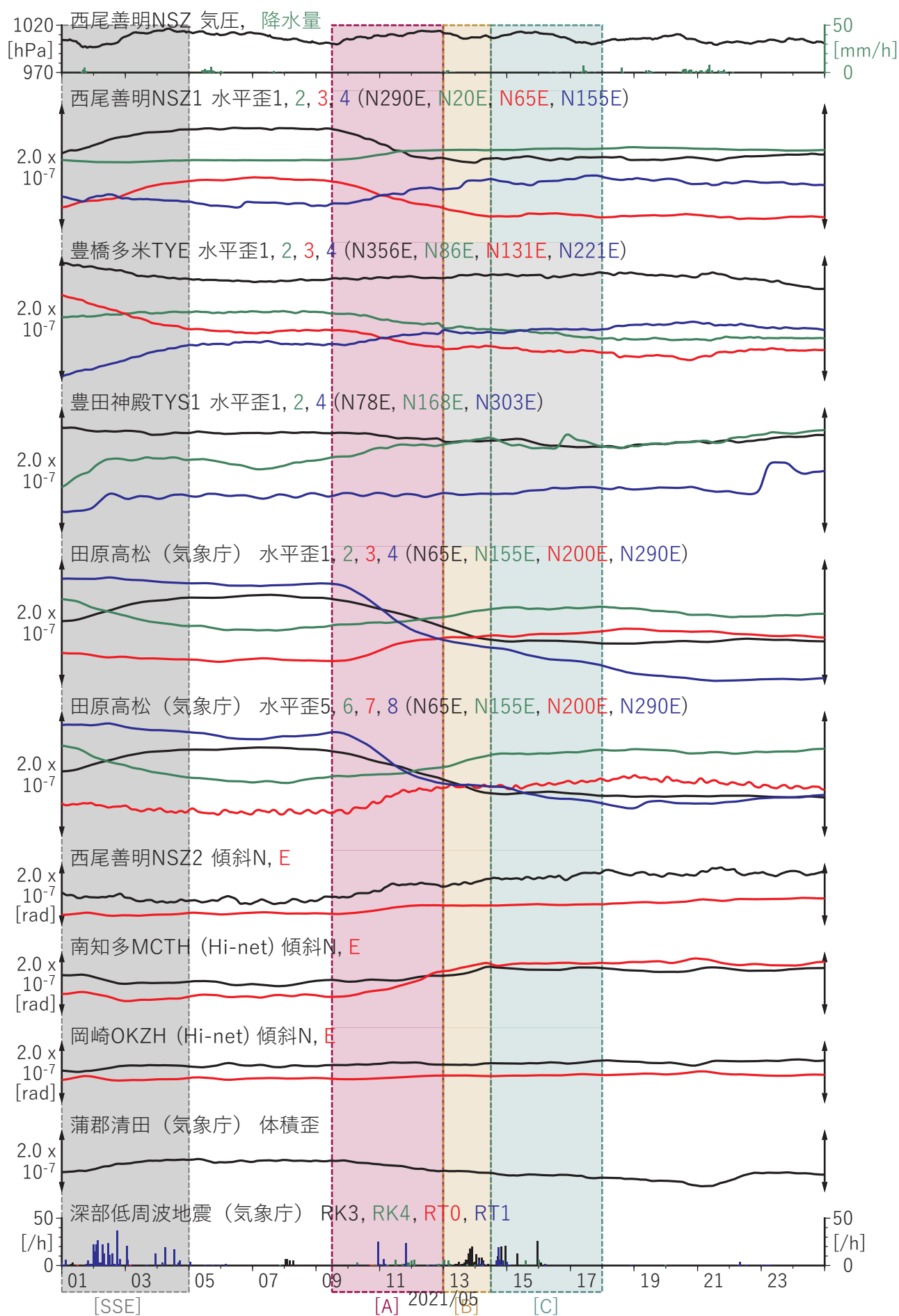
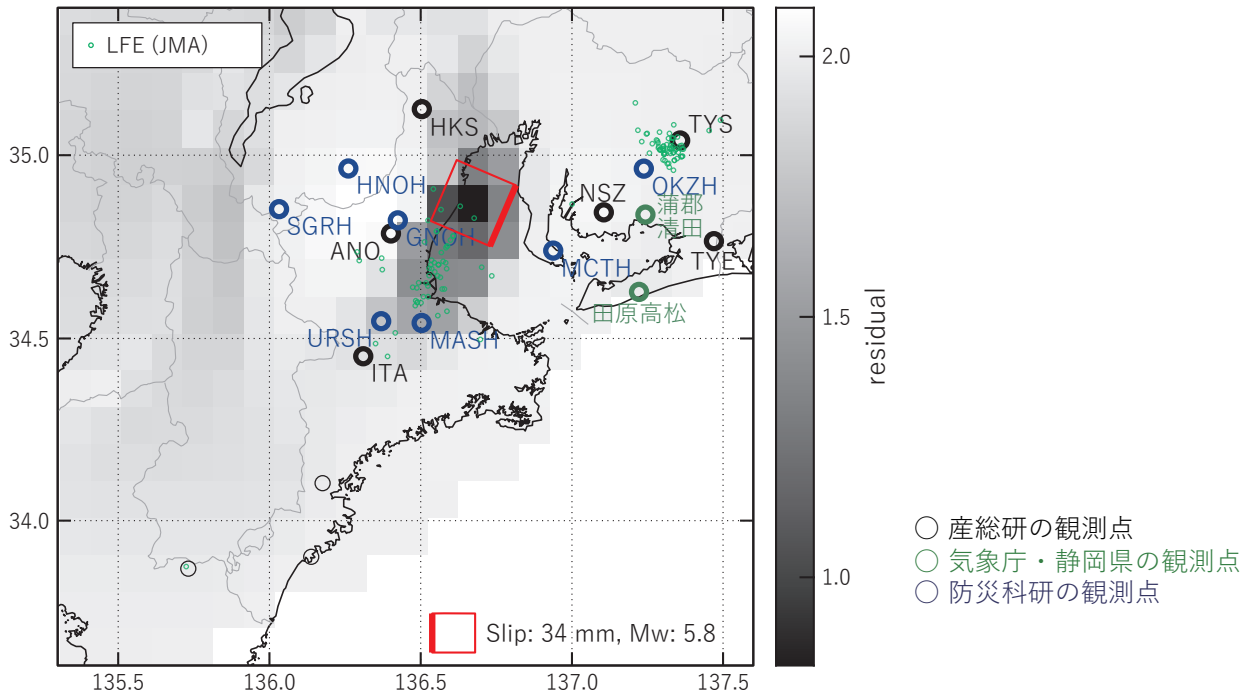


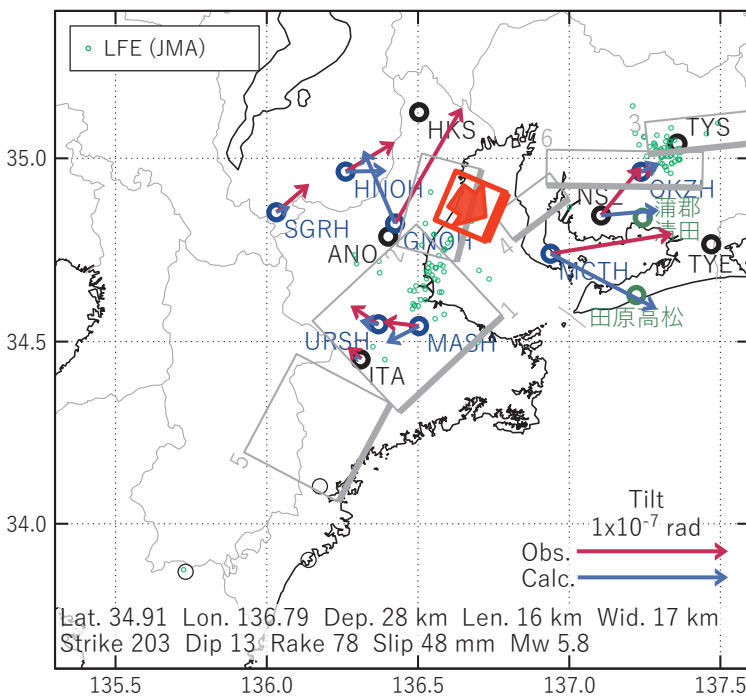
図4 東海地方における歪・傾斜観測結果
(2021/05/01 00:00 - 2021/05/25 00:00 (JST))

[A] 2021/05/09PM-12

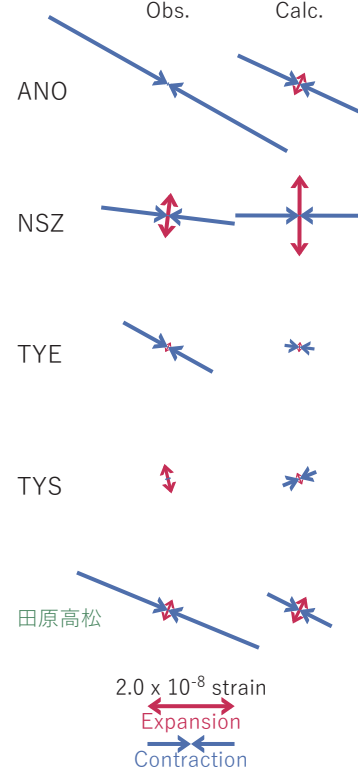
(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



(b1) 推定した断層モデル



(b2) 主歪



(b3) 体積歪

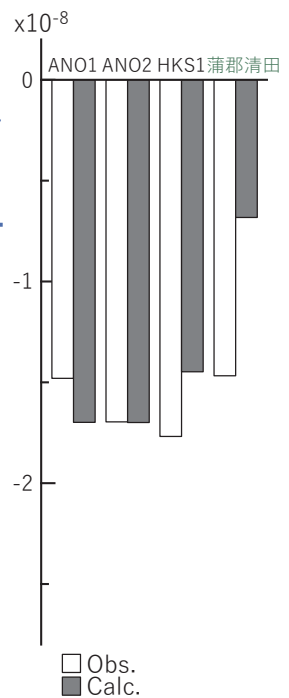


図5 2021/05/09PM-12の歪・傾斜・地下水変化（図2-4[A]）を説明する断層モデル。

(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: 2020/11/01 (Mw5.6), 2: 2020/11/02-04AM (Mw5.7), 3: 2021/02/18PM-21AM (Mw5.7)

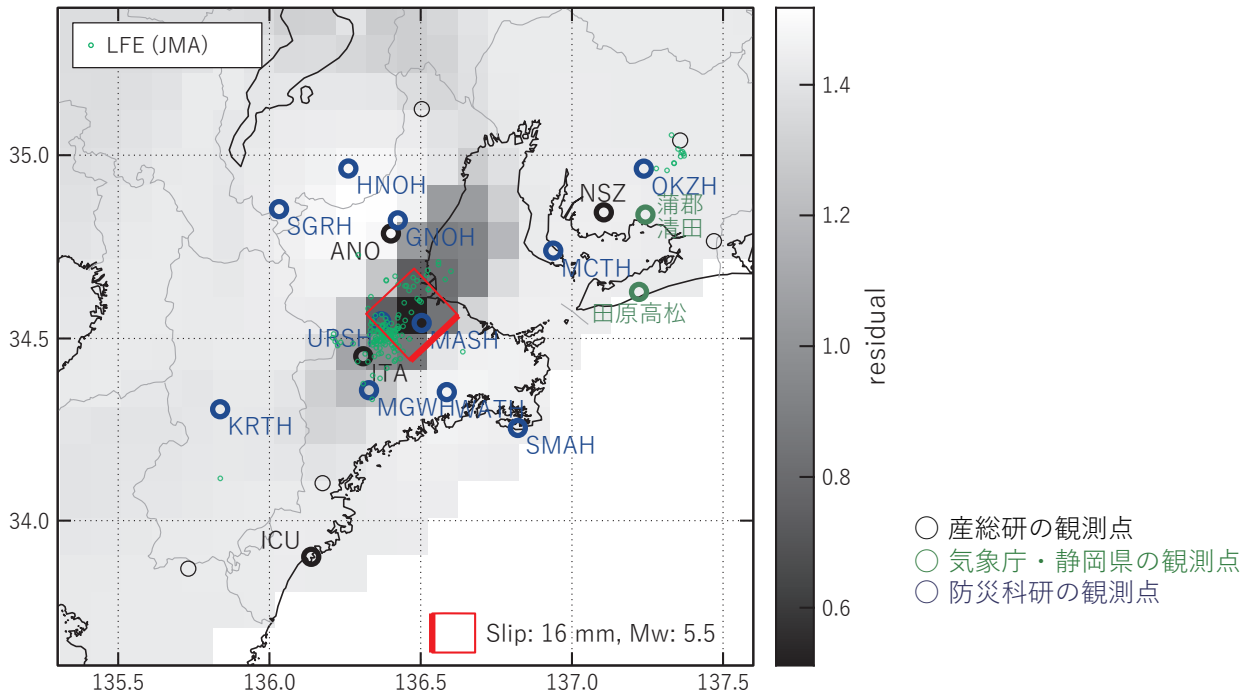
4: 2021/02/23PM-28AM (Mw5.6), 5: 2021/04/29PM-05/02 (Mw5.7), 6: 2021/04/30PM-05/04 (Mw5.8)

(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。

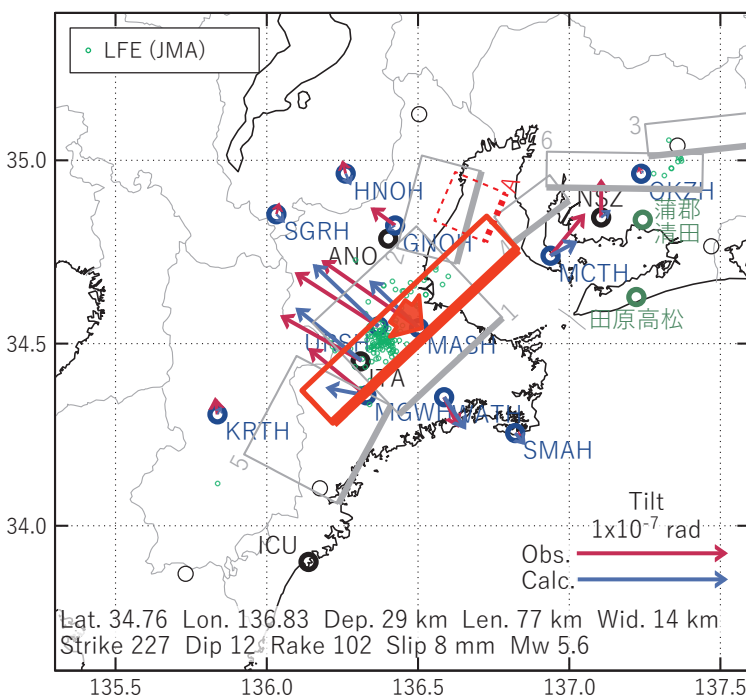
(b3) 体積歪の観測値と(b1)に示した断層モデルから求めた計算値との比較。地下水圧は体積歪に変換して計算している。

[B] 2021/05/13-14AM

(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

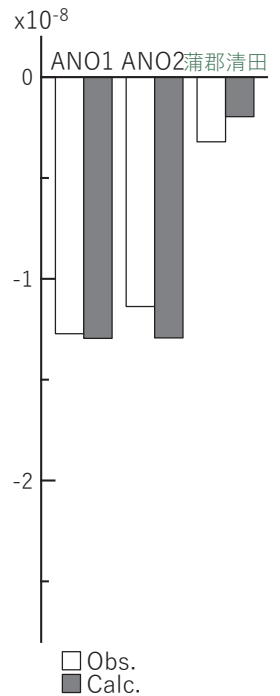


図6 2021/05/13-14AMの歪・傾斜・地下水変化（図2-4[B]）を説明する断層モデル。

(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: 2020/11/01 (Mw5.6), 2: 2020/11/02-04AM (Mw5.7), 3: 2021/02/18PM-21AM (Mw5.7)

4: 2021/02/23PM-28AM (Mw5.6), 5: 2021/04/29PM-05/02 (Mw5.7), 6: 2021/04/30PM-05/04 (Mw5.8)

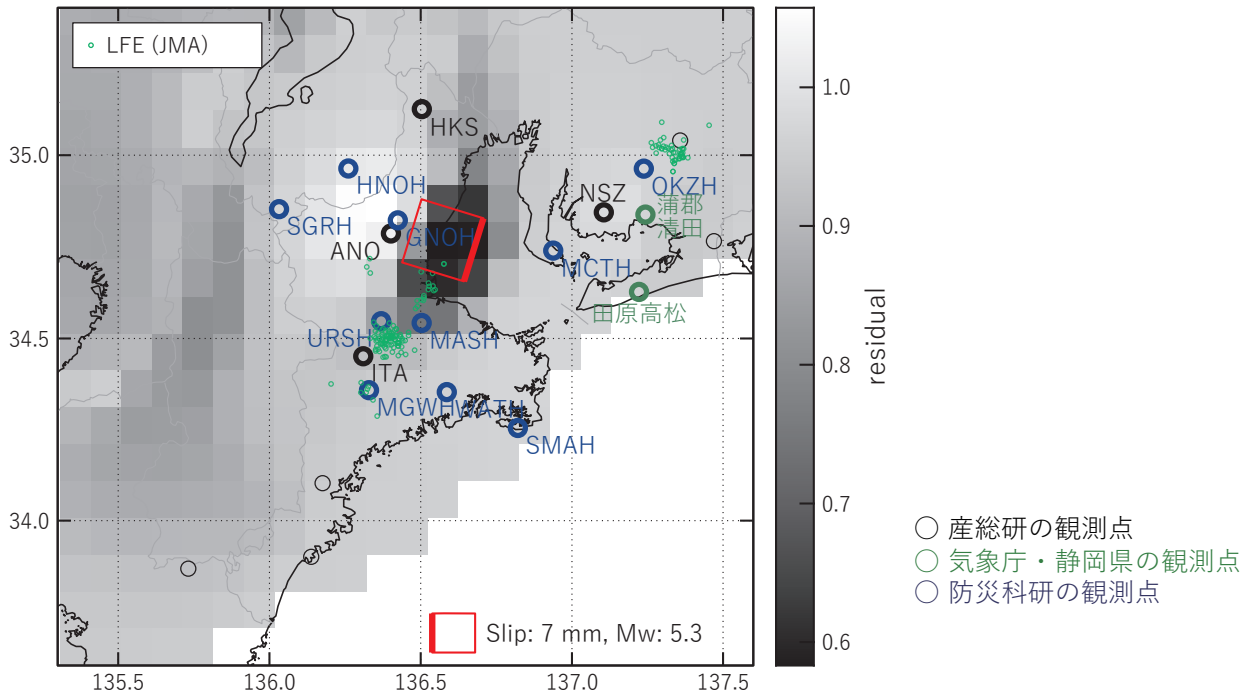
A: 2021/05/09PM-12 (Mw5.8)

(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。

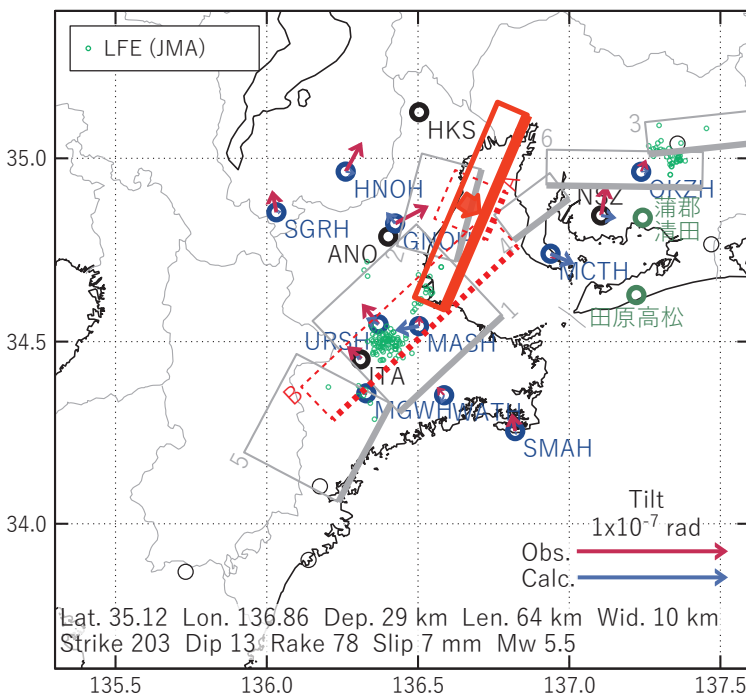
(b3) 体積歪の観測値と(b1)に示した断層モデルから求めた計算値との比較。地下水圧は体積歪に変換して計算している。

[C] 2021/05/14PM-17

(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

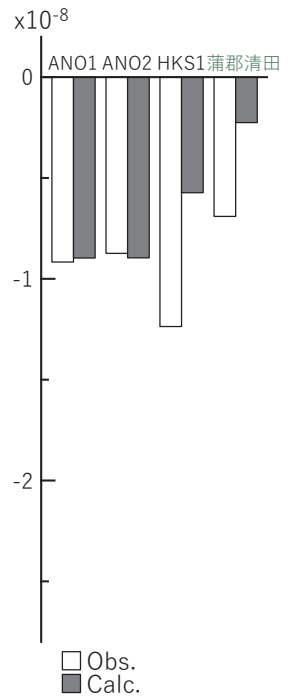


図7 2021/05/14PM-17の歪・傾斜・地下水変化（図2-4[C]）を説明する断層モデル。

(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: 2020/11/01 (Mw5.6), 2: 2020/11/02-04AM (Mw5.7), 3: 2021/02/18PM-21AM (Mw5.7)

4: 2021/02/23PM-28AM (Mw5.6), 5: 2021/04/29PM-05/02 (Mw5.7), 6: 2021/04/30PM-05/04 (Mw5.8)

A: 2021/05/09PM-12 (Mw5.8), B: 2021/05/13-14AM (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。

(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。

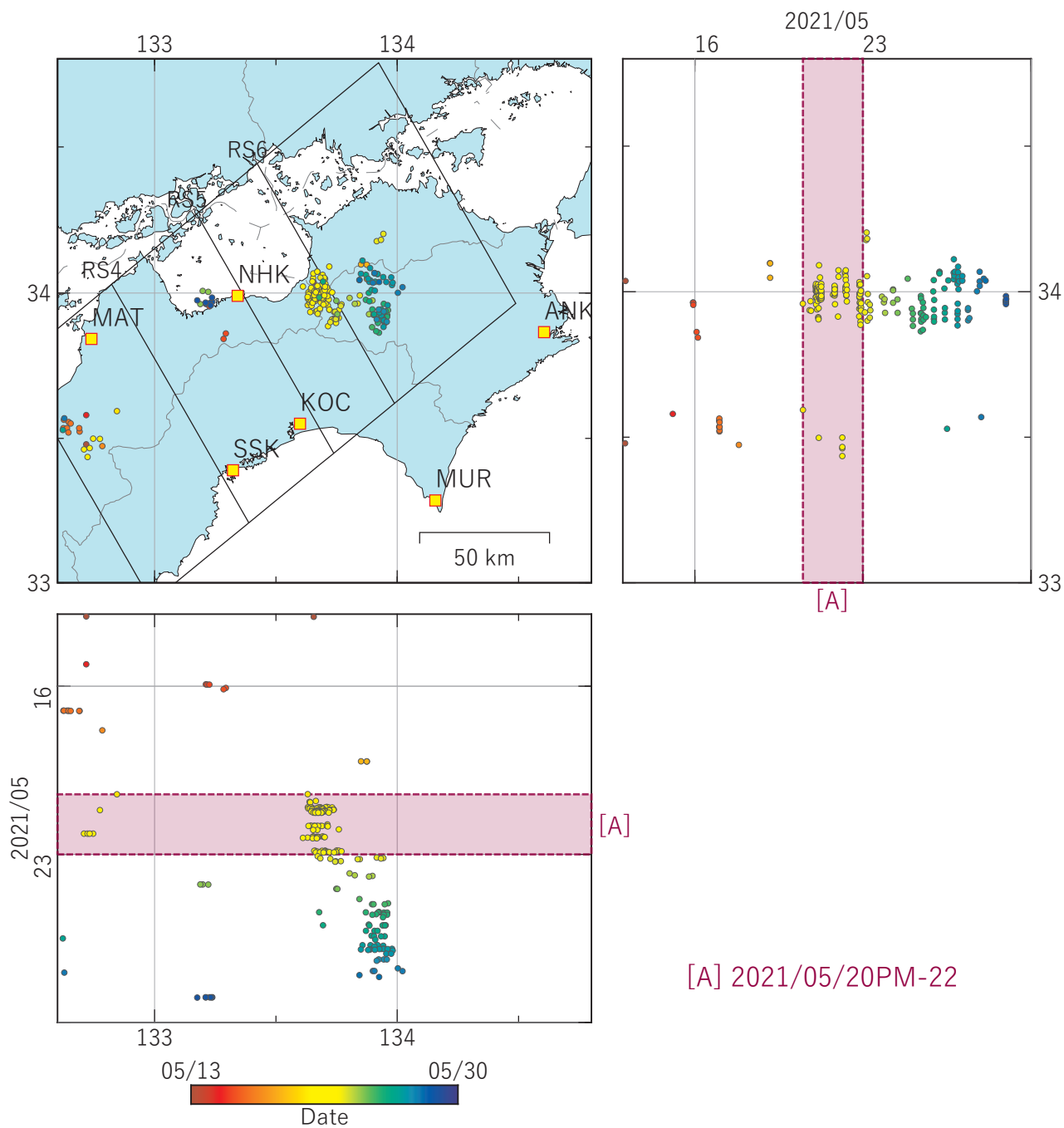


図8 四国東部における深部低周波地震（気象庁）の時空間分布図
 (2021/05/13 00:00 - 2021/05/30 00:00 (JST))
 (観測点) ANK：阿南桑野, MUR：室戸岬, KOC：高知五台山
 NHK：新居浜黒島, SSK：須崎大谷, MAT：松山南江戸

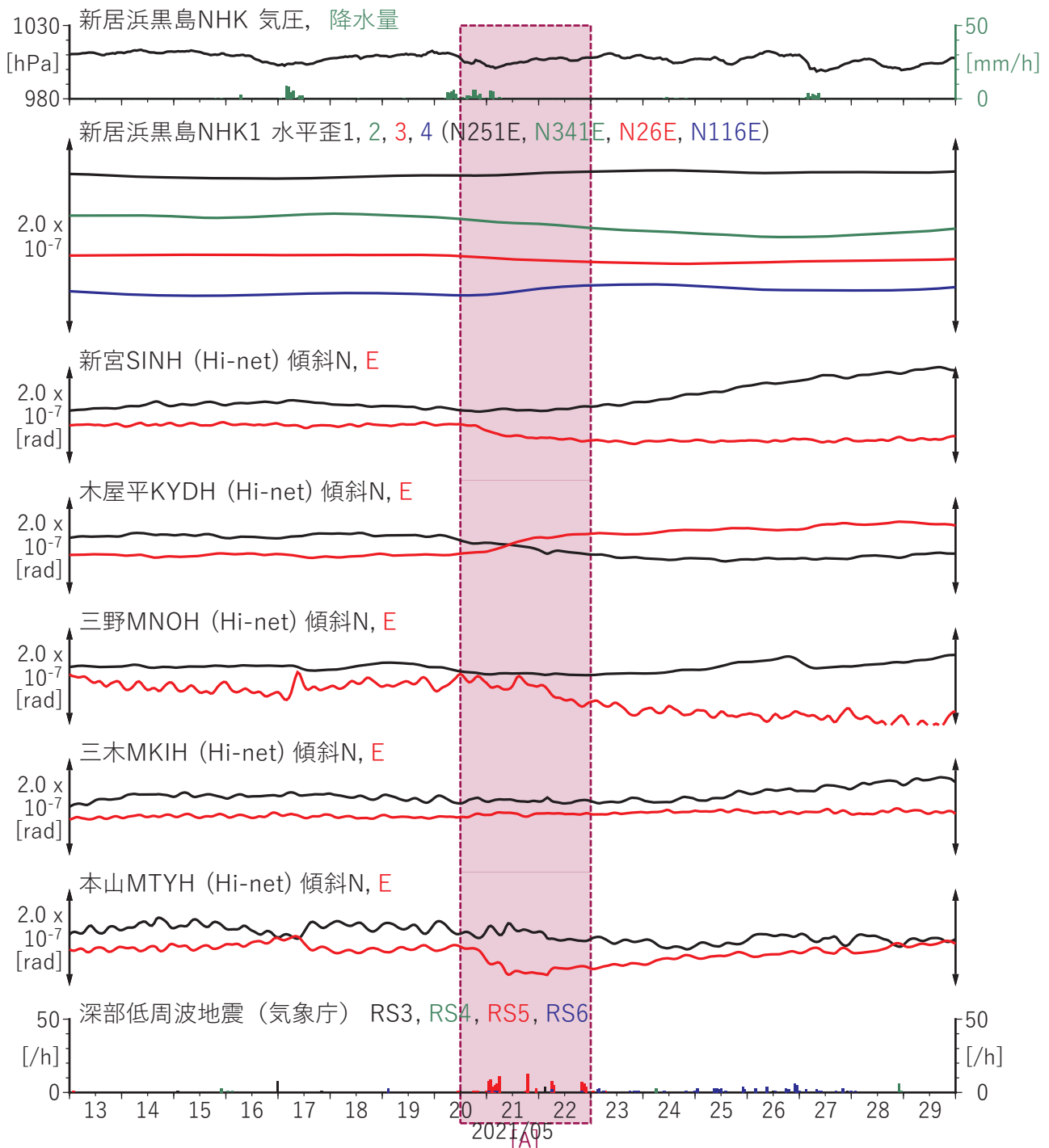
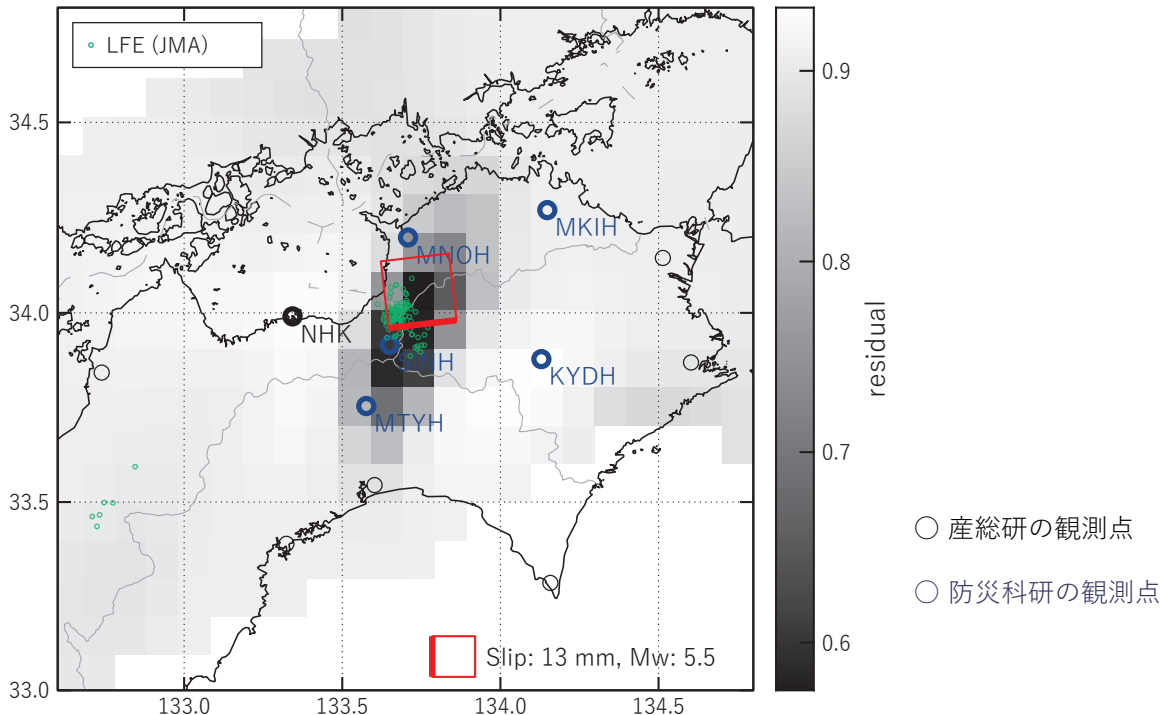


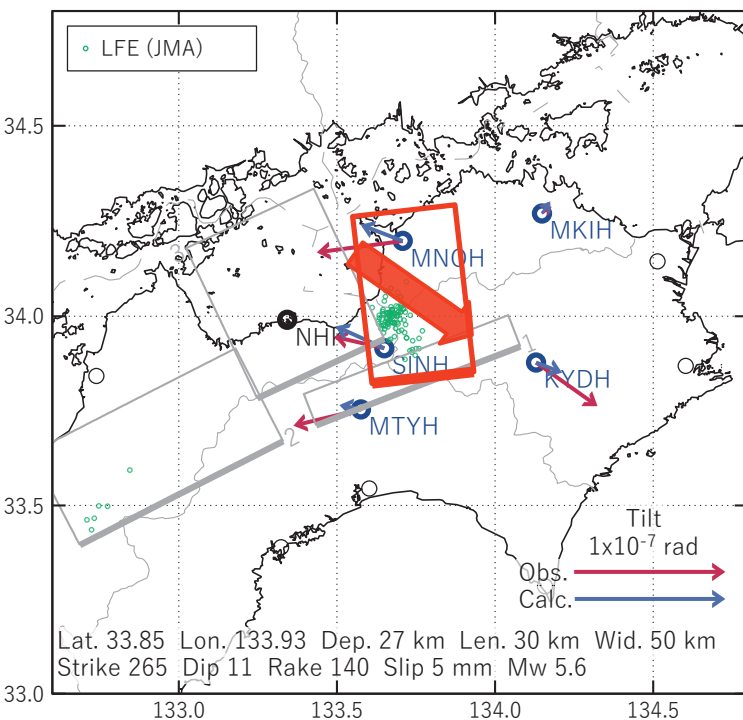
図9 四国東部における歪・傾斜・観測結果
(2021/05/13 00:00 - 2021/05/30 00:00 (JST))

[A] 2021/05/20PM-22

(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

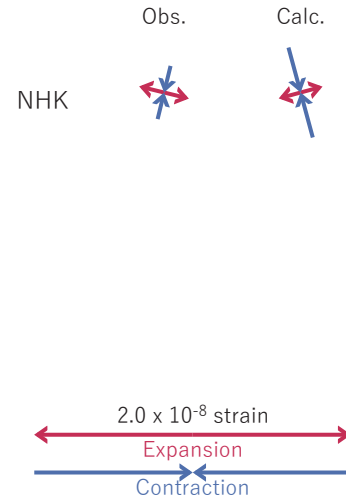


図10 2021/05/20PM-22の歪・傾斜・地下水変化（図9[A]）を説明する断層モデル。

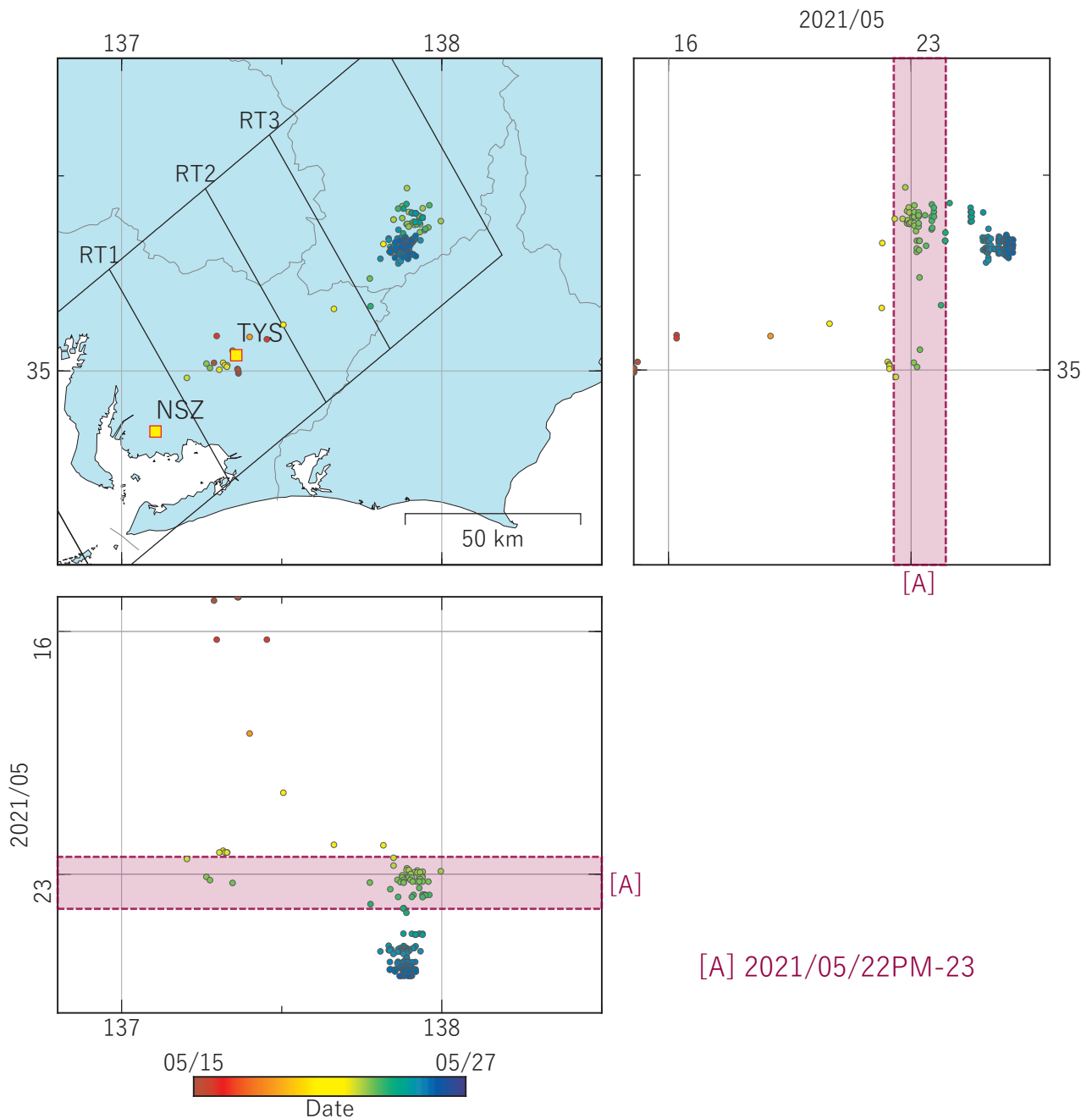
(a) プレート境界面に沿って分布させた20×20kmの矩形断層面を移動させ、各位置で残差の総和を最小とするすべり量を選んだ時の残差の総和の分布。赤色矩形が残差の総和が最小となる断層面の位置。

(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。赤色破線矩形は今回の一連のイベント。

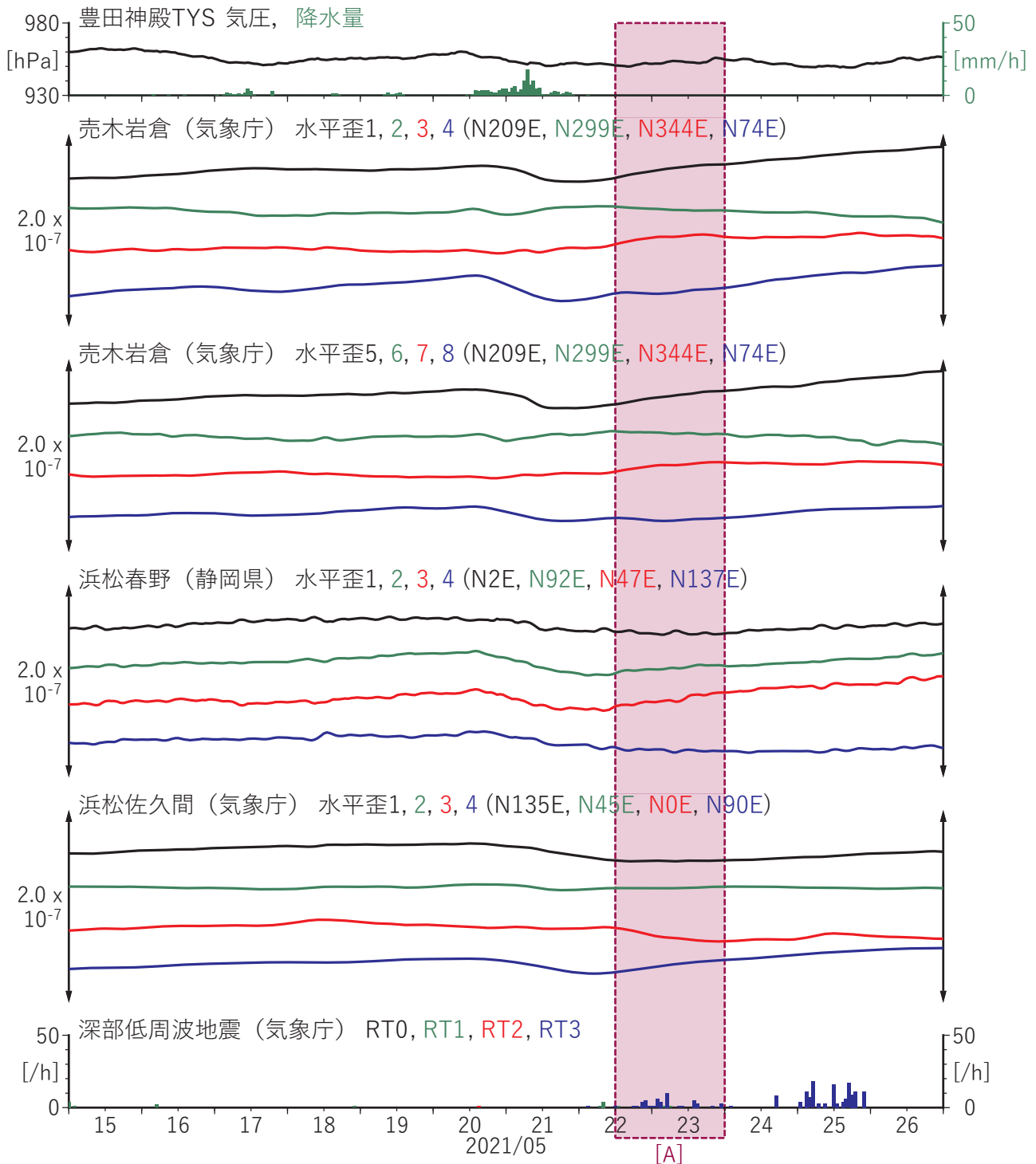
1: 2020/07/31PM-08/03(東) (Mw5.6), 2: 2021/10/22PM-23 (Mw5.8), 3: 2021/04/09-11AM (Mw5.6)

(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。

参考



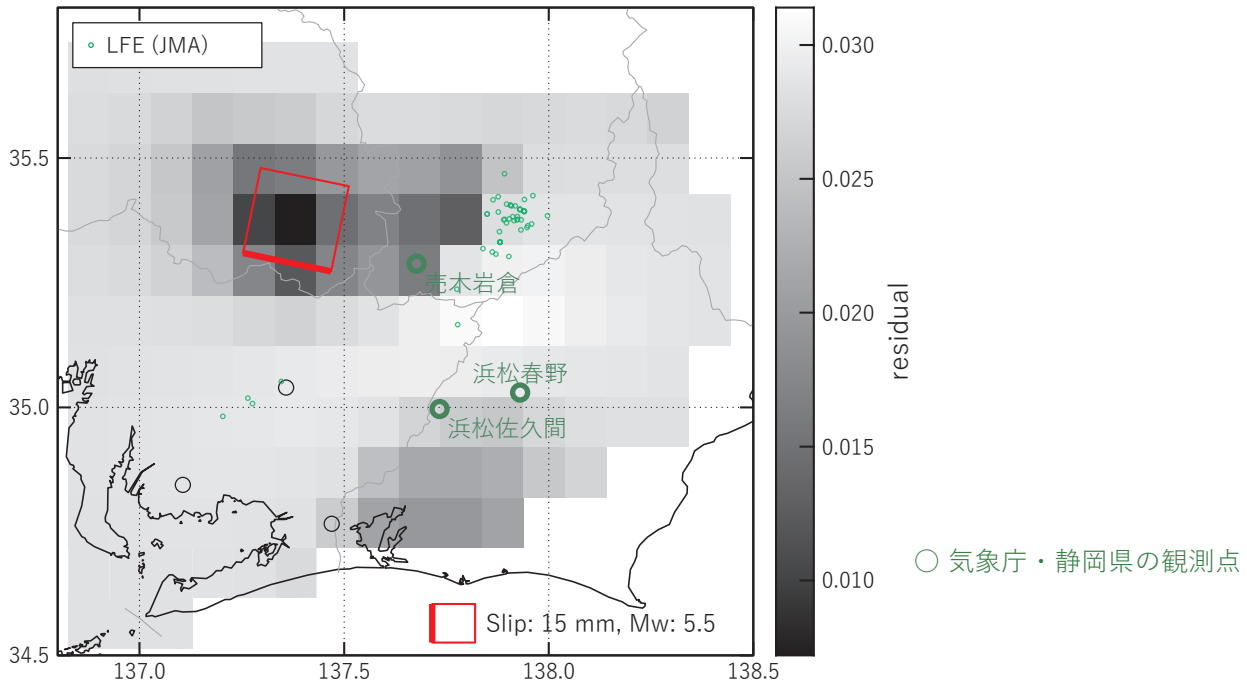
参考図1 東海地方における深部低周波地震（気象庁）の時空間分布図
 (2021/05/15 00:00 - 2021/05/27 00:00 (JST))
 (観測点) TYS : 豊田神殿, NSZ : 西尾善明



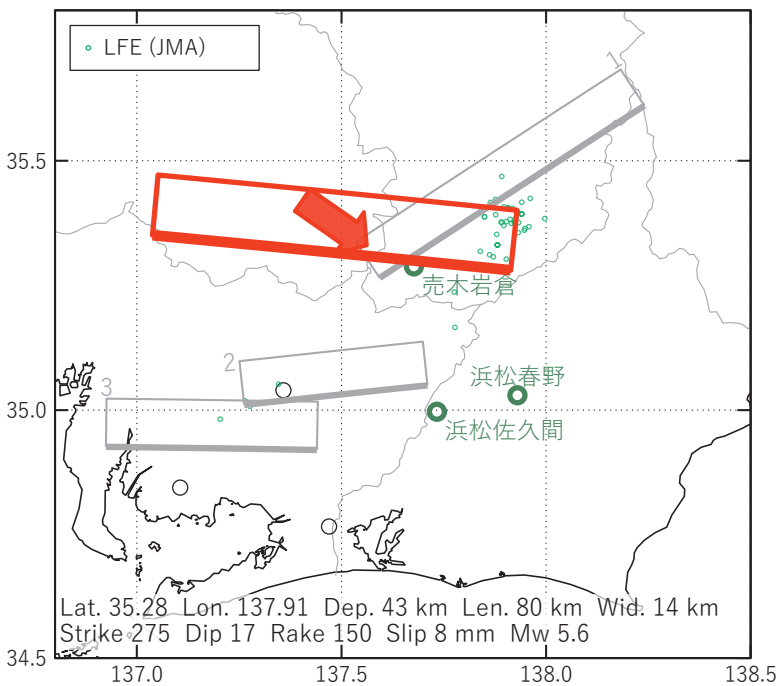
参考図2 東海地方における歪観測結果
(2021/05/15 00:00 - 2021/05/27 00:00 (JST))

[A] 2021/05/22PM-23

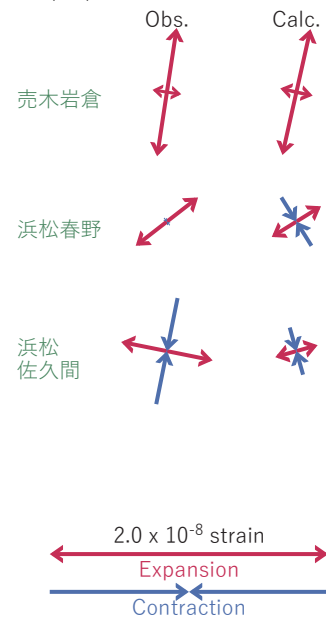
(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



(b1) 推定した断層モデル



(b2) 主歪



参考図3 2021/05/22PM-23の歪・傾斜・地下水変化（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。赤色破線矩形は今回の一連のイベント。

1: 2020/08/05 (Mw5.6), 2: 2021/02/18PM-21AM (Mw5.7), 3: 2021/04/30PM-05/04 (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。

北勢観測点の概要

産総研では 2021 年 5 月から北勢観測点（HKS1）の水位データを短期的 SSE 解析に用いることとした。同観測点の概要について概要を述べる。詳細は Kitagawa et al.(2020)をご覧ください。

南海トラフのプレート境界で発生する短期的 SSE の推定において、愛知県西部から三重県北部の地域に質の良い地殻変動・地下水の観測点がないことが解決すべき課題の一つである。2016 年 5 月に三重県北部に位置する北勢観測点（図 1：HKS）の観測井戸を密閉することで、地殻変動への応答が良い地下水観測点に作り変えた。観測井戸は二重管構造になっていて、内管が深い地下水を、外管が浅い地下水を取り込む構造になっている（図 2）。深度 429-439m の地下水を取り込んでいる内管を密閉し、地下水位を測定している。北勢観測点の地質は第四紀の東海層群（未固結の堆積層）で、深度 429-439m 付近は粘土と細粒砂層の互層である。

図 3 は 2016 年の北勢観測点の内管の地下水位（地下水位）のグラフである。密閉する前は地下水位に潮汐成分が殆ど現れない状態であった。原因は帯水層の透水係数が低いために井戸貯留の影響が大きく表れたからである。密閉することで井戸貯留の影響を最小限に抑えることができ、地下水位に潮汐成分が明瞭に出ようになった。潮汐成分から推定される密閉後の地下水位の地殻歪感度は密閉前の約 10 倍になった。また時系列解析により、地下水位データから潮汐・気圧・降雨に応答する成分を除去できるようにしたため、三重県北部周辺で発生する短期的 SSE による変化を捉えることができるようになった。

短期的 SSE の断層面推定の際の重みについては、密閉後の北勢観測点の地下水位は、ANO1 の地下水位の 1/3 程度、ANO2 の地下水位の 1/2.5 程度である。これは地質の違い（北勢：未固結の粘土と細粒砂層の互層、ANO1,ANO2：花崗閃緑岩）が主な原因と考えられる。

参考文献

Kitagawa, Y., N. Matsumoto and T. Kimura (2020), Estimation of fault models for short-term slow slip events from groundwater pressure in soft sedimentary layers, Earth, Planets and Space, 72:90, <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01218-x>

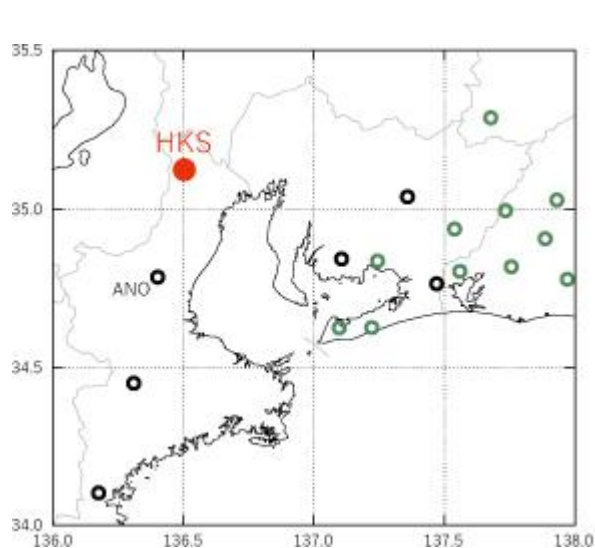


図1 北勢観測点 (HKS) の位置
○ 産総研の観測点
○ 気象庁・静岡県の観測点

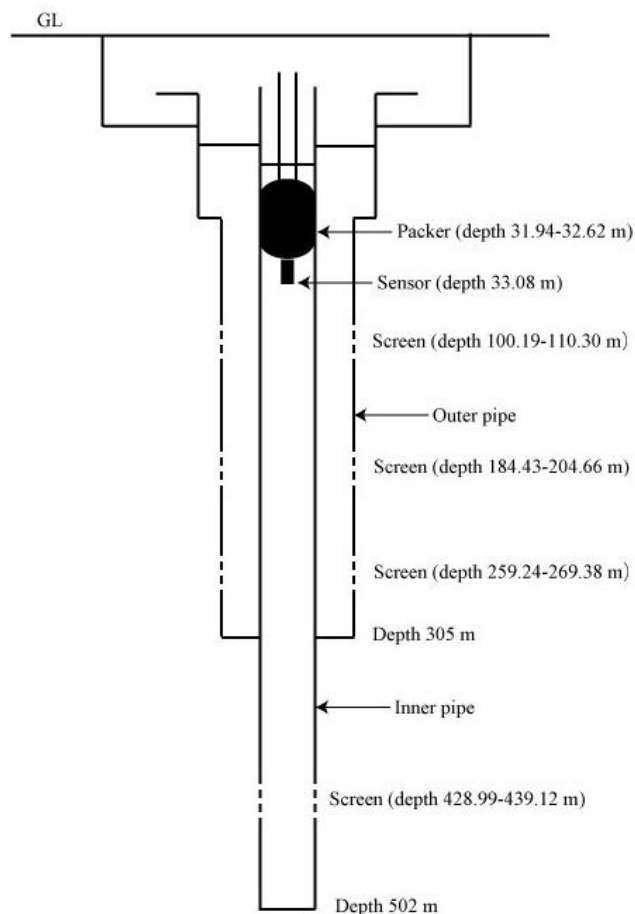


図2 北勢観測点の観測井戸の二重管構造
(パッカーで内管を密閉した後)

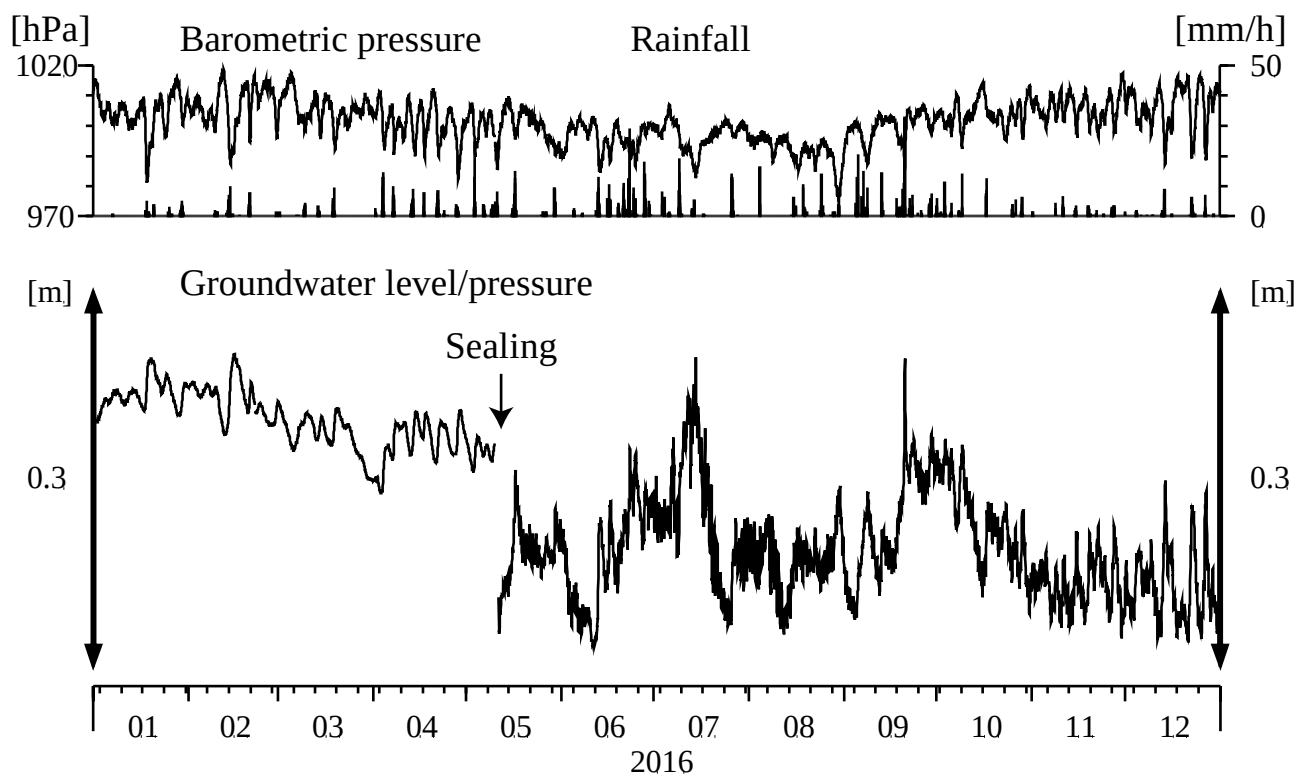


図3 2016年の北勢観測点の気圧・雨量・内管の地下水位（地下水压）
2016年5月11日にパッカーで内管を密閉した。密閉後は地下水压を測定しているが、地下水位に換算してグラフ化している。