【第17回】南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会
【第395回】地震防災対策強化地域判定会

― 産 総 研 資 料 ―

平成31年3月7日

National Institute of
Advanced Industrial Science
and Technology
AIST

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

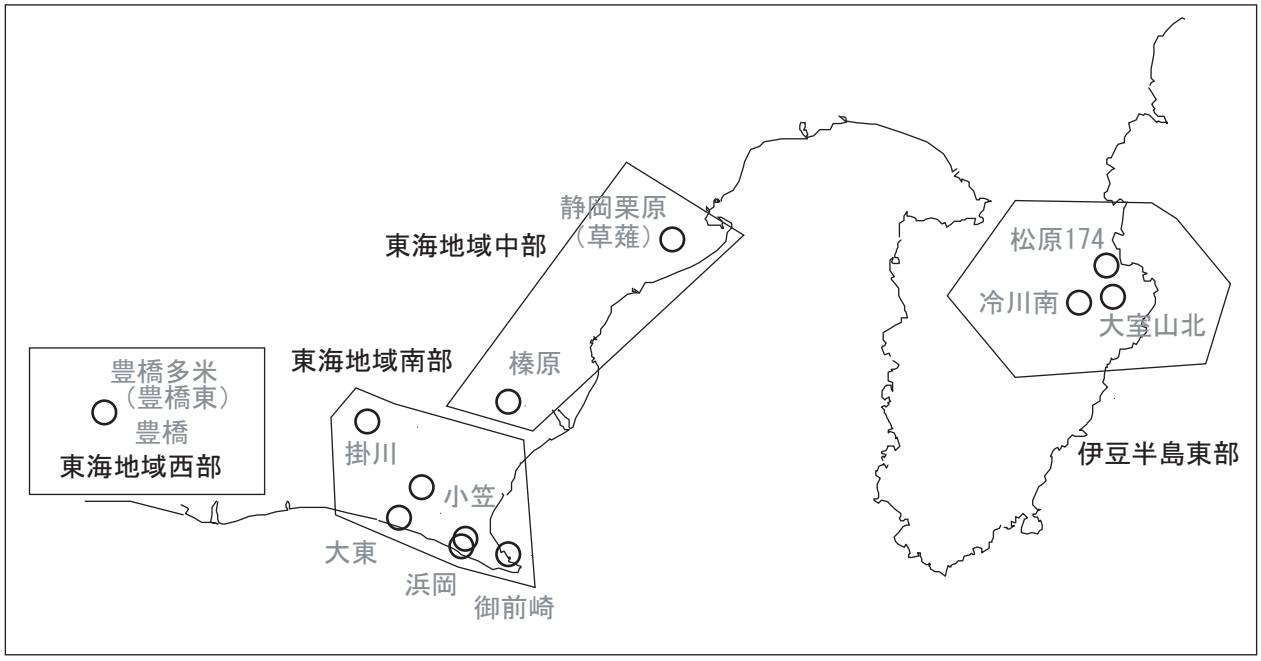
6-b. 東海地域西部［豊橋多米(豊橋東)］歪等;長期

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

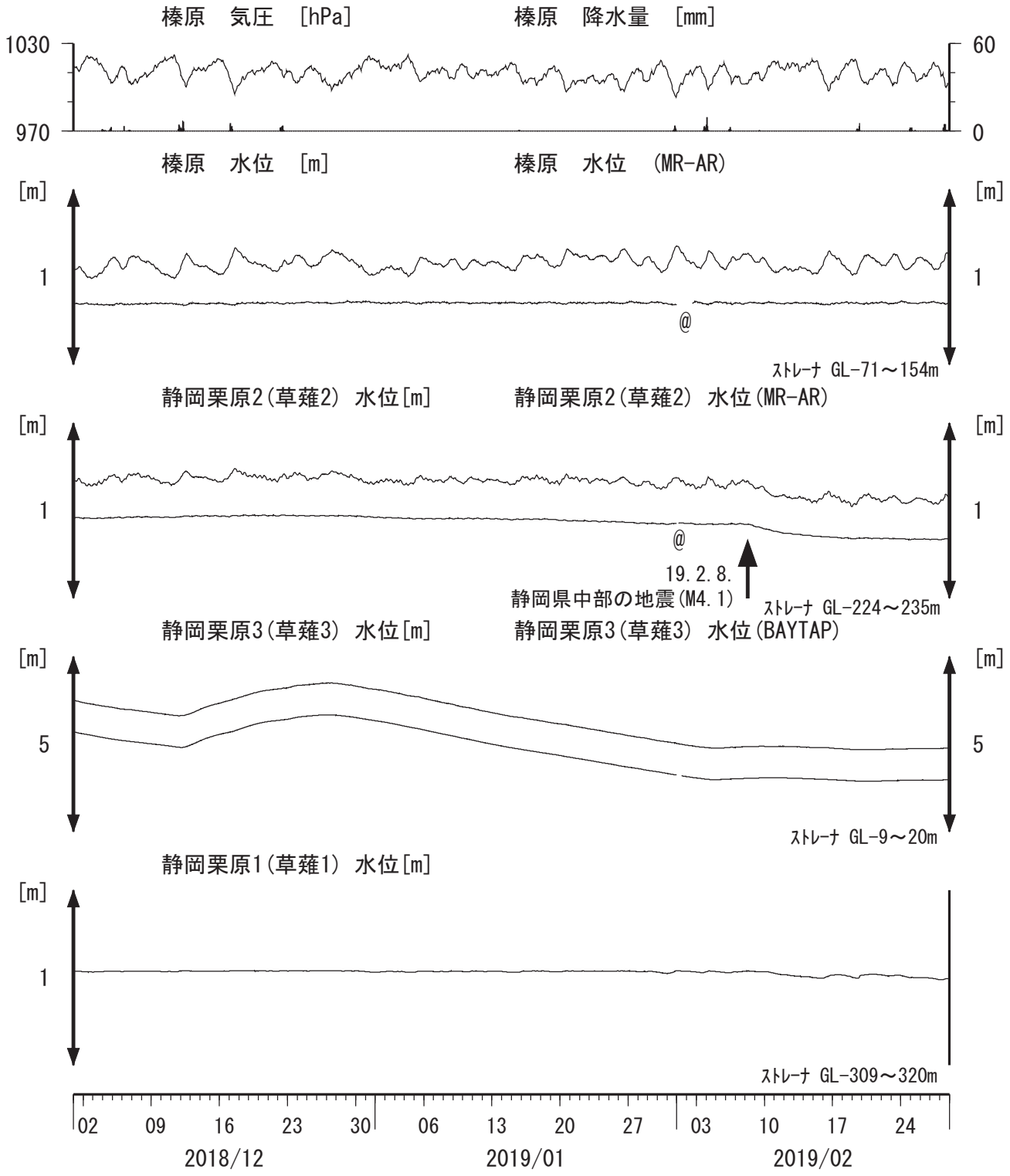
9-a. 榛原・浜岡の降雨グラフ;中期

9-b. 榛原・浜岡の降雨グラフ;長期

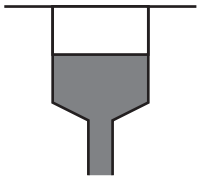
10. 東海・紀伊半島・四国における短期的SSE解析結果

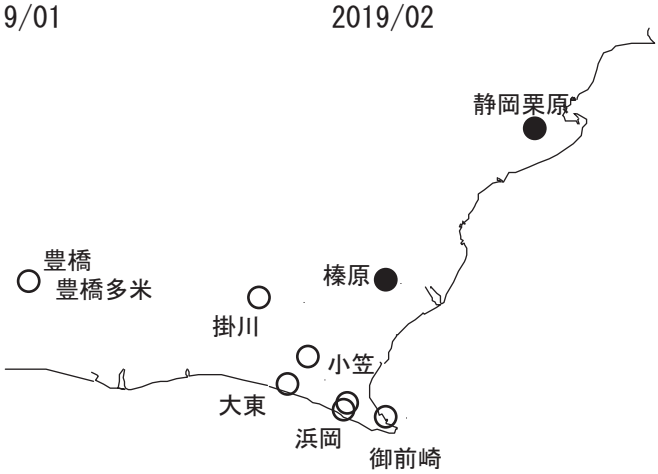


東海地域中部（榛原・草薙）中期　（時間値）
(2018/12/01 00:00 - 2019/03/01 00:00 (JST))

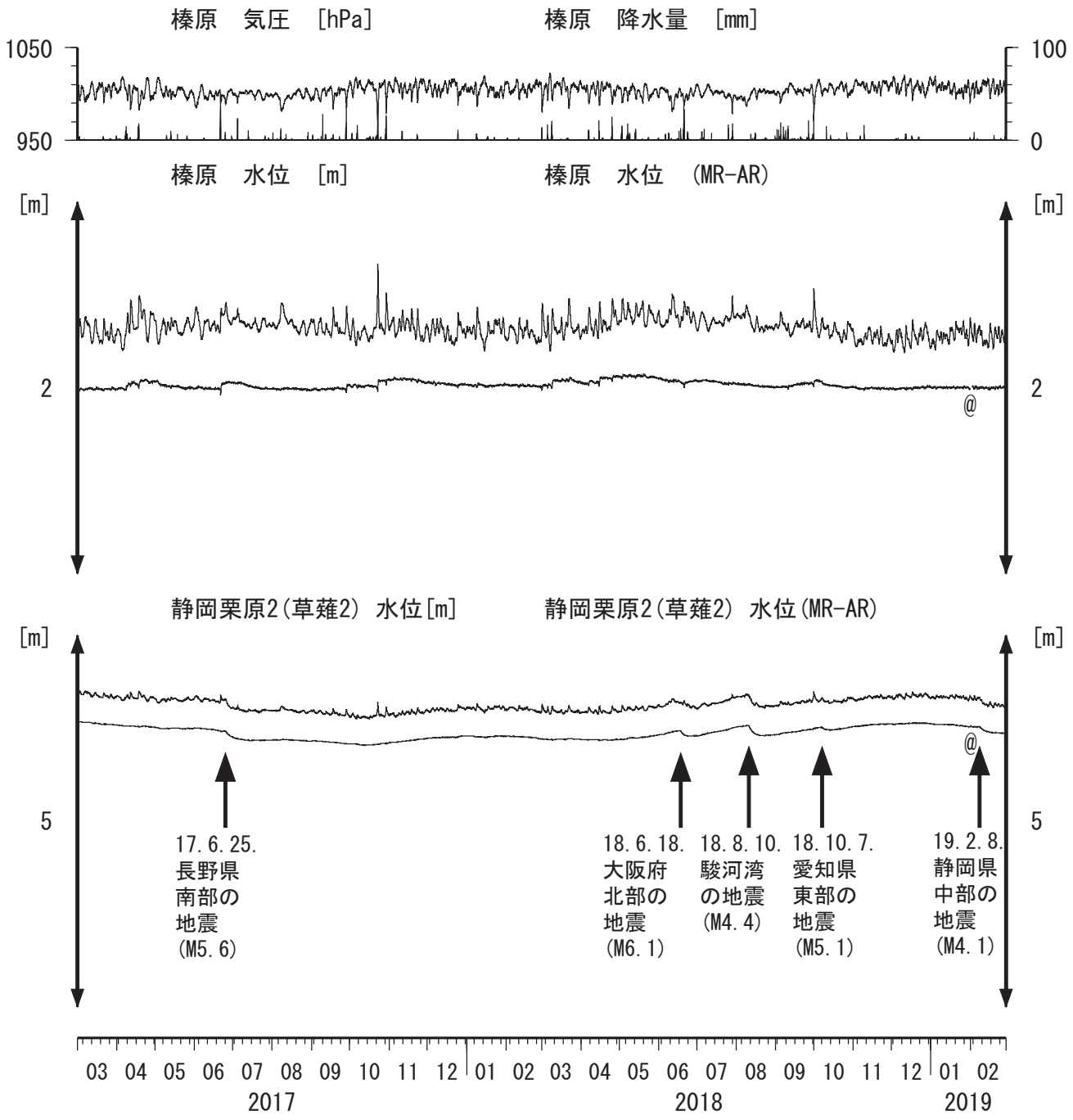


コメント：*;雨量補正不十分. $;保守. ?;不明.
@;月初めの補正値のギャップは,
解析プログラムの見かけ上のものである.
2015年4月中旬に静岡栗原1の水位が
井戸管の広い部分まで上昇したので
それ以降の水位変化が
小さくなっている.

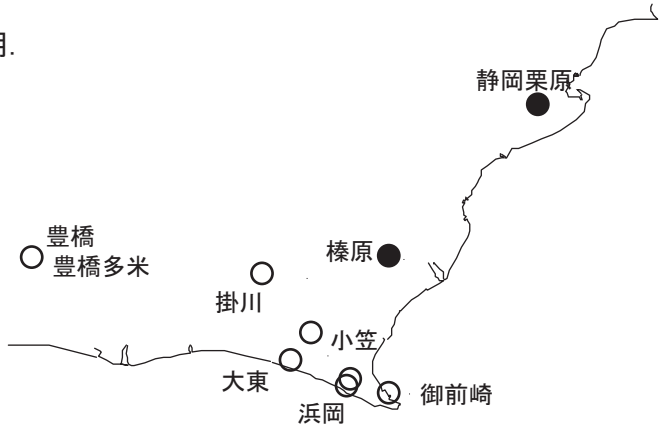




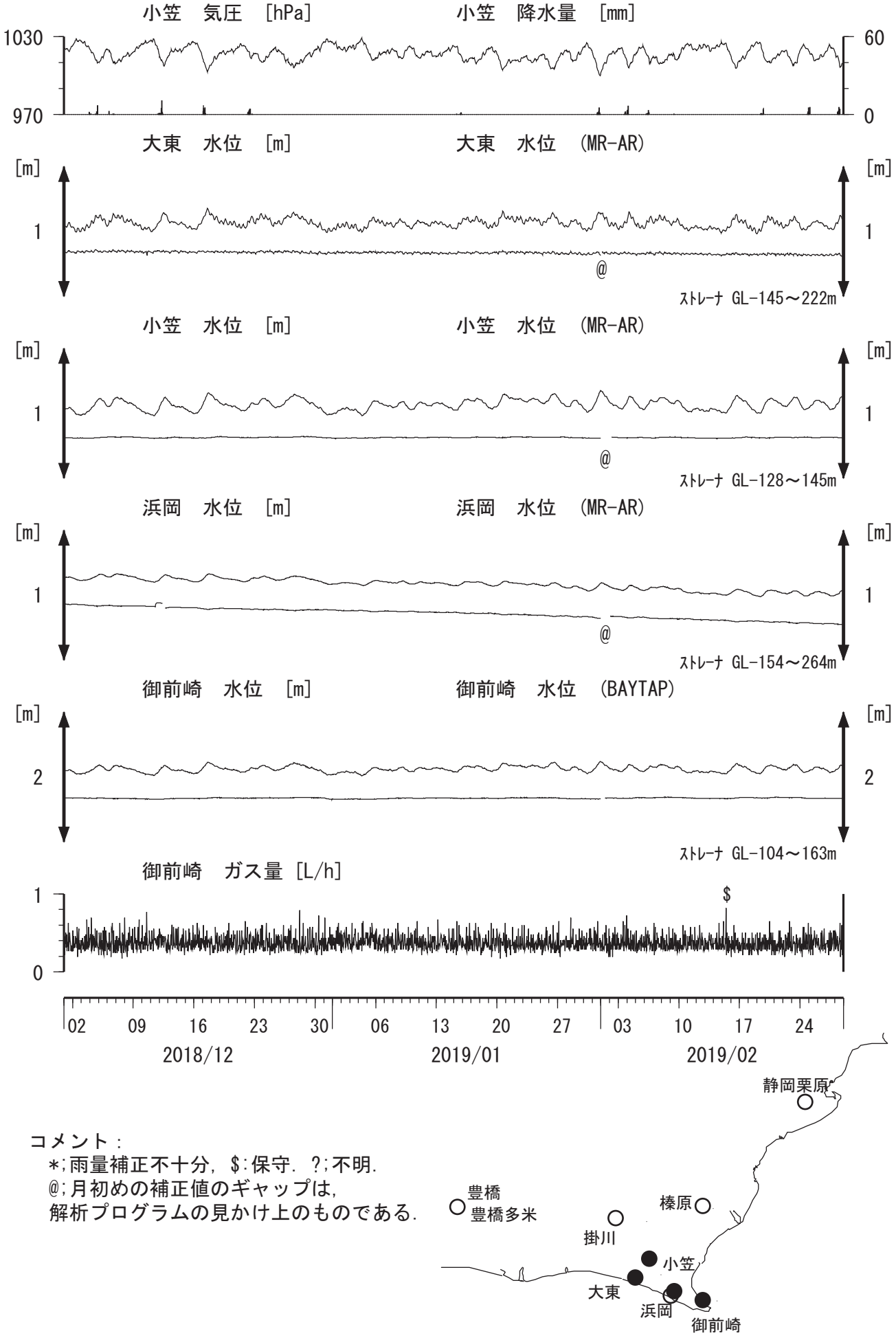
東海地域中部（榛原・草薙）長期　（時間値）
(2017/03/01 00:00 - 2019/03/01 00:00 (JST))



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.

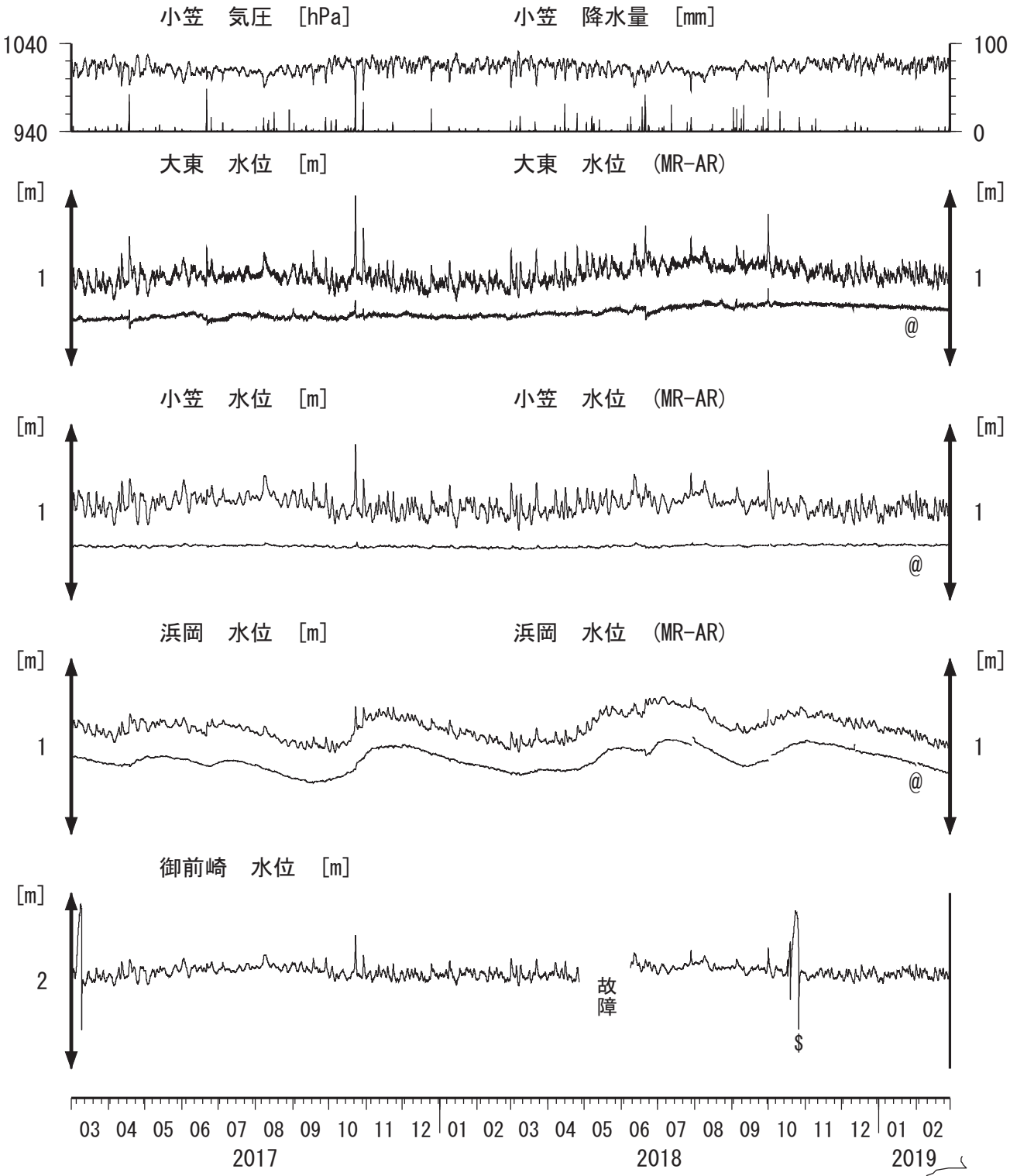


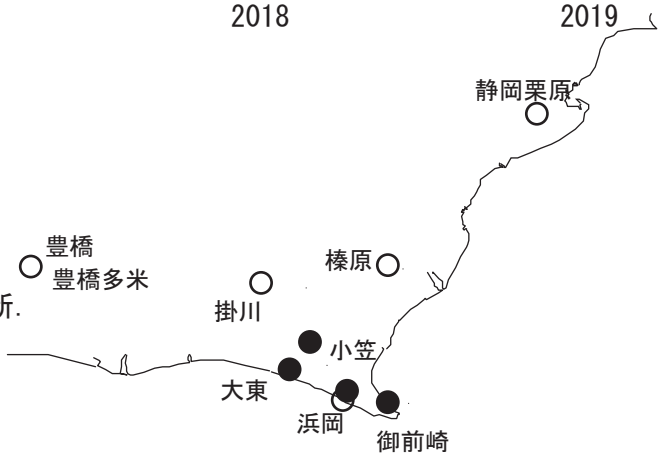
東海地域南部 地下水観測結果　中期　（時間値）
(2018/12/01 00:00 - 2019/03/01 00:00 (JST))



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.

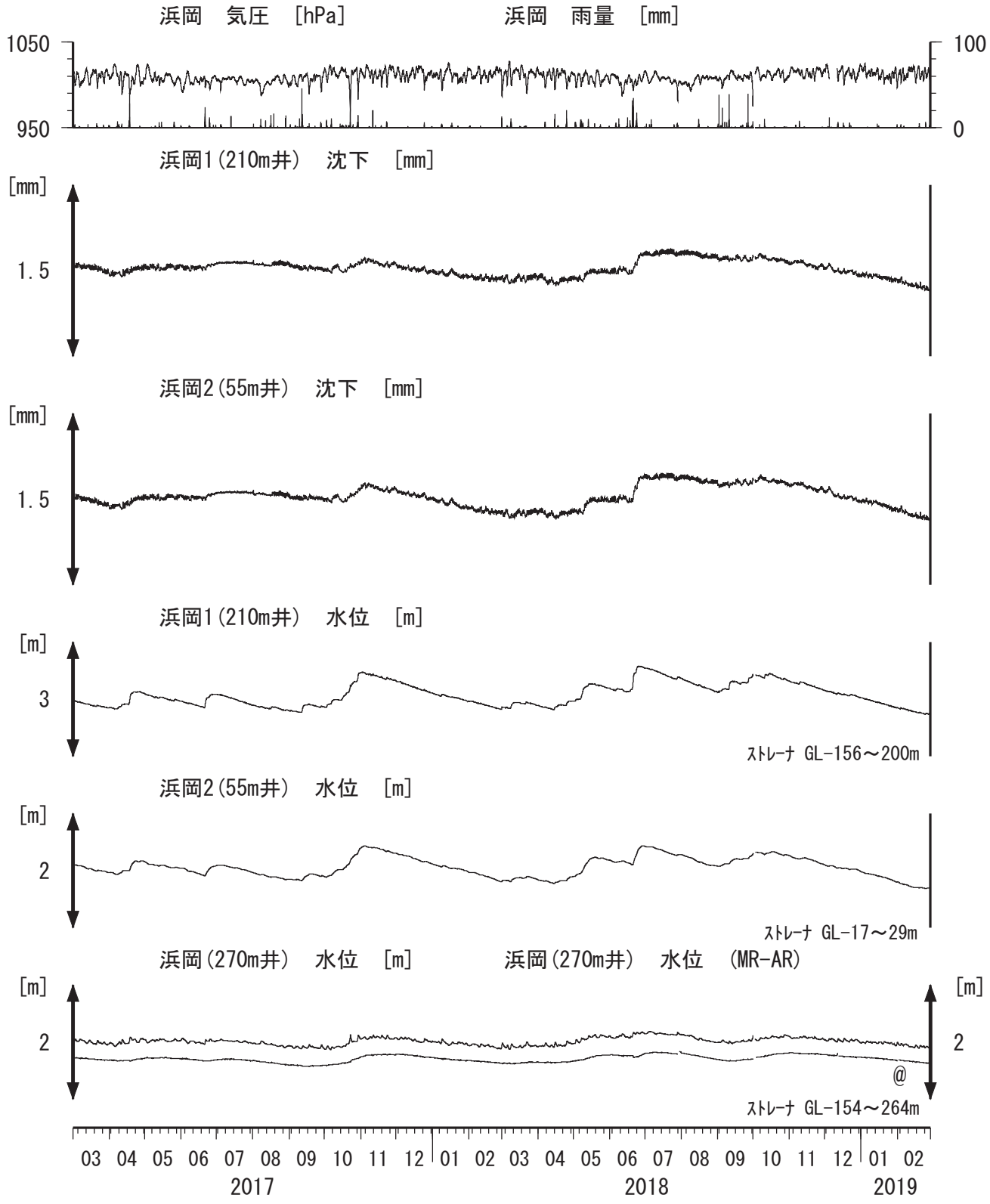
東海地域南部 地下水観測結果　長期　（時間値）
（2017/03/01 00:00 - 2019/03/01 00:00 (JST)）

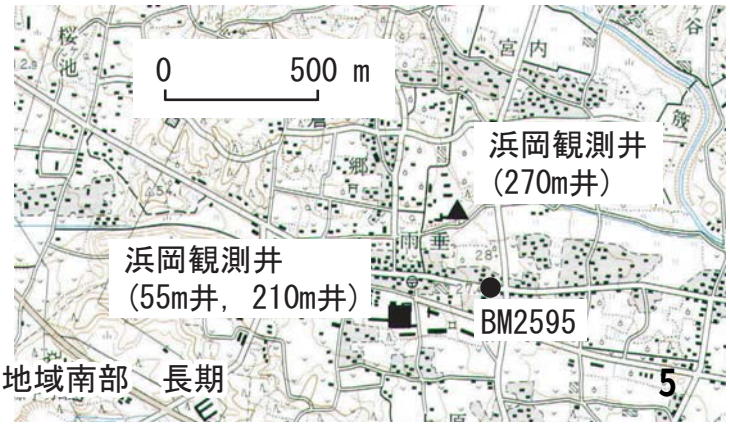




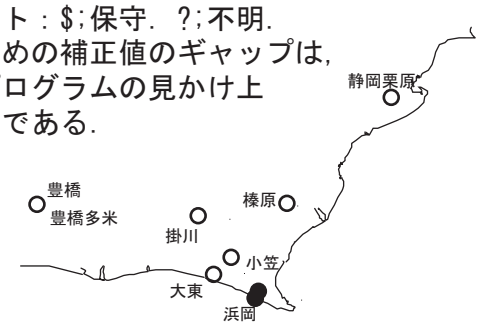
コメント：
*;雨量補正不十分. $;保守. ?;不明.
@;月初めの補正値のギャップは,
解析プログラムの見かけ上のものである.
2017年2月16日に御前崎ガス流量システム更新.
2016年12月16日～2017年3月14日、
2018年10月16～26日の御前崎水位は
ガス流量計の故障に起因すると思われる.

浜岡沈下・水位　（時間値）
(2017/03/01 00:00 - 2019/03/01 00:00 (JST))

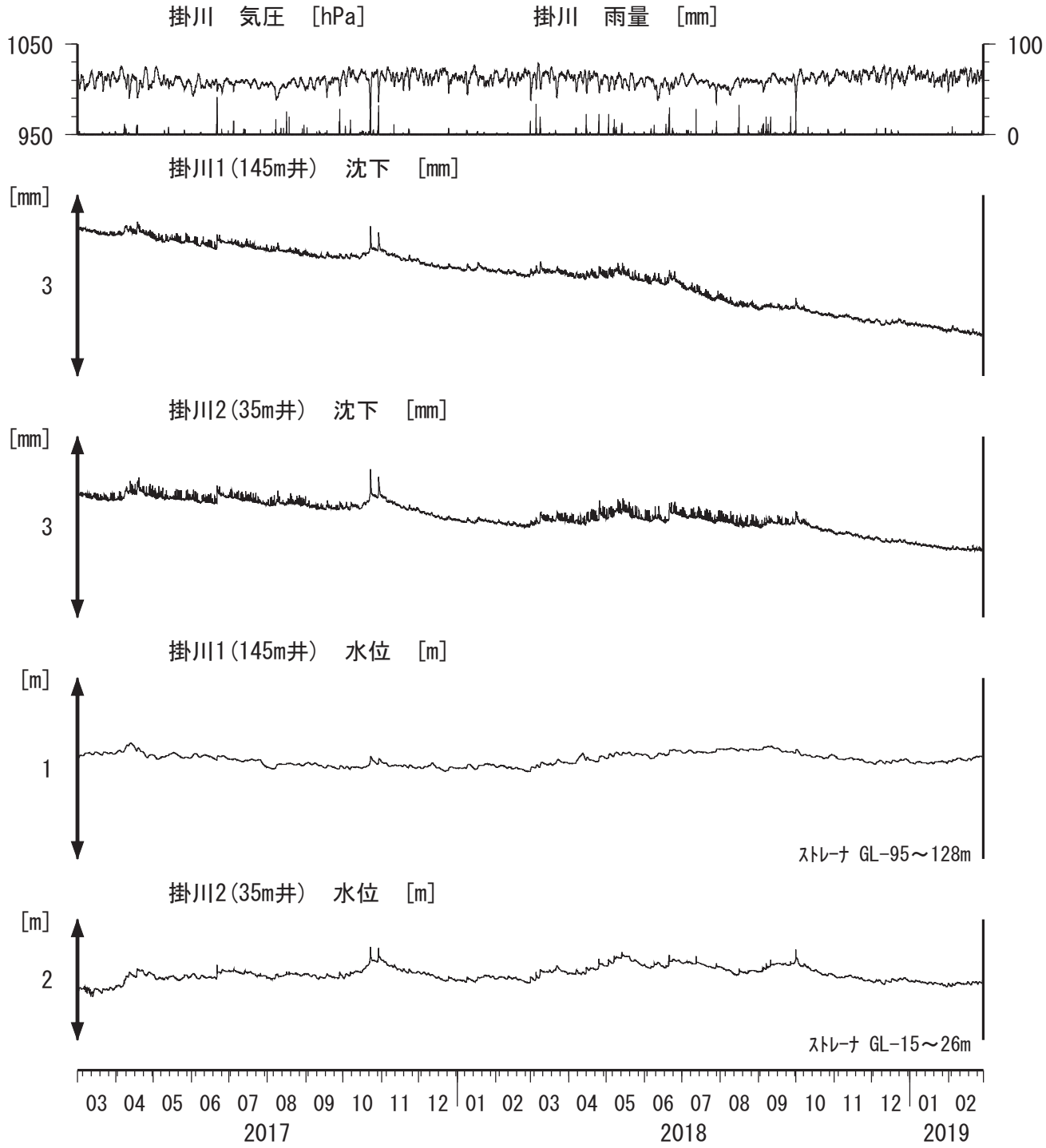




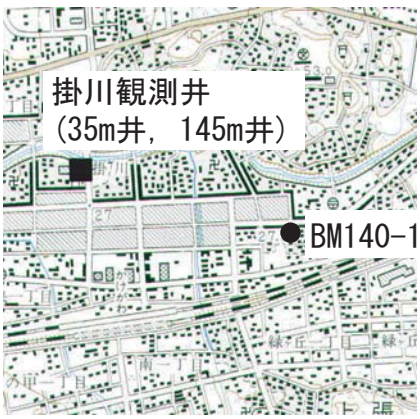
コメント：$;保守. ?;不明.
@;月初めの補正値のギャップは,
解析プログラムの見かけ上
のものである.

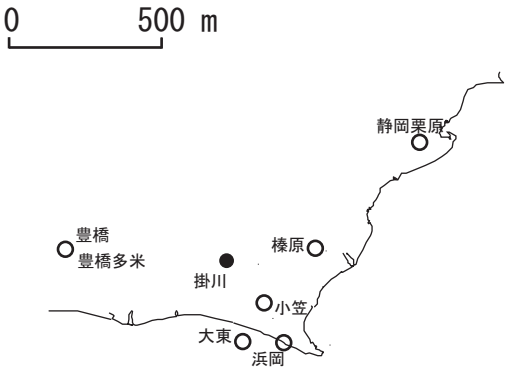


掛川沈下・水位　（時間値）
(2017/03/01 00:00 - 2019/03/01 00:00 (JST))

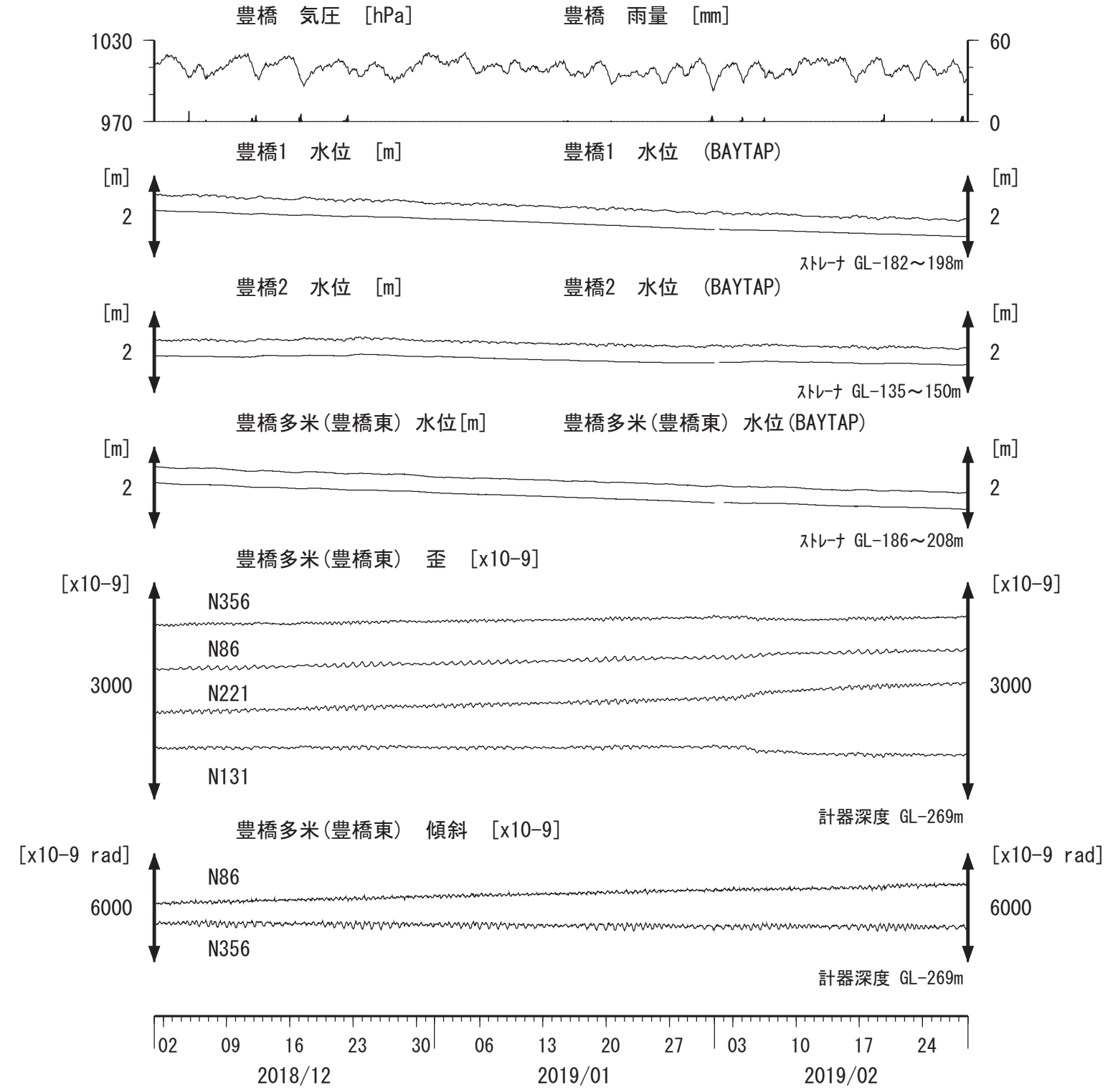


コメント：$;保守.
?;原因不明.

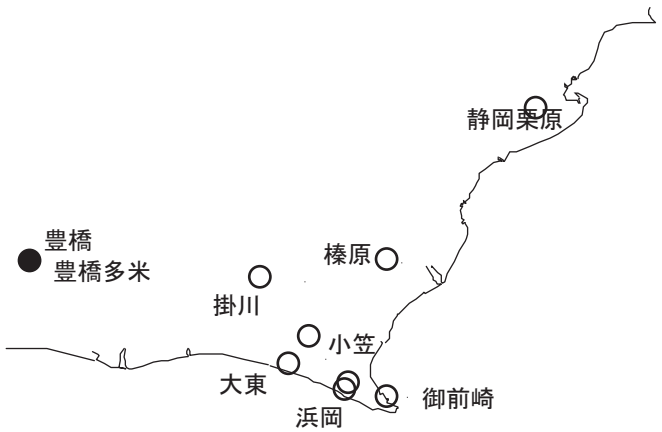




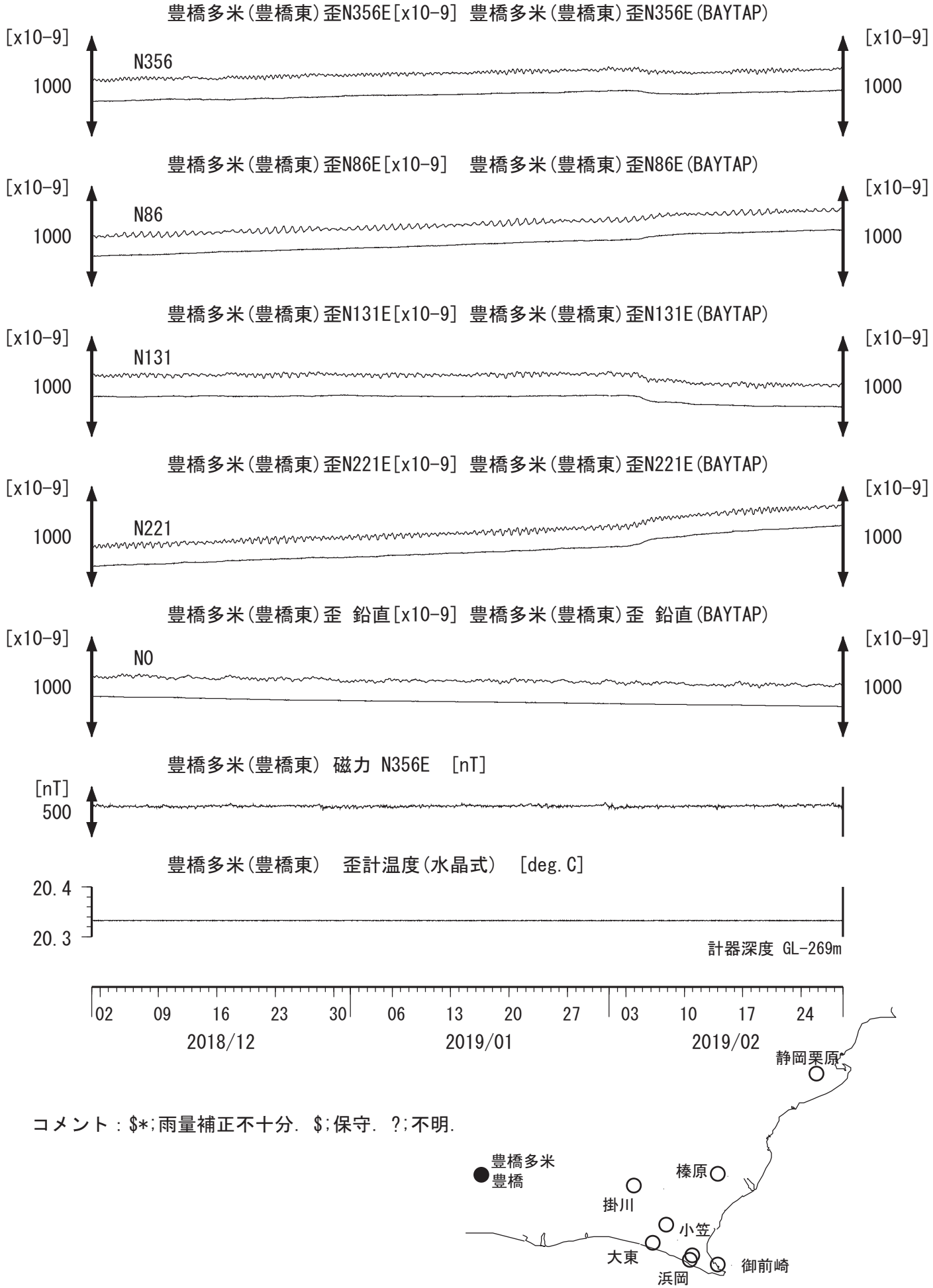
東海地域西部（豊橋・豊橋多米）中期　（時間値）
(2018/12/01 00:00 - 2019/03/01 00:00 (JST))



コメント：*;雨量補正不十分. $;保守. ?;不明.

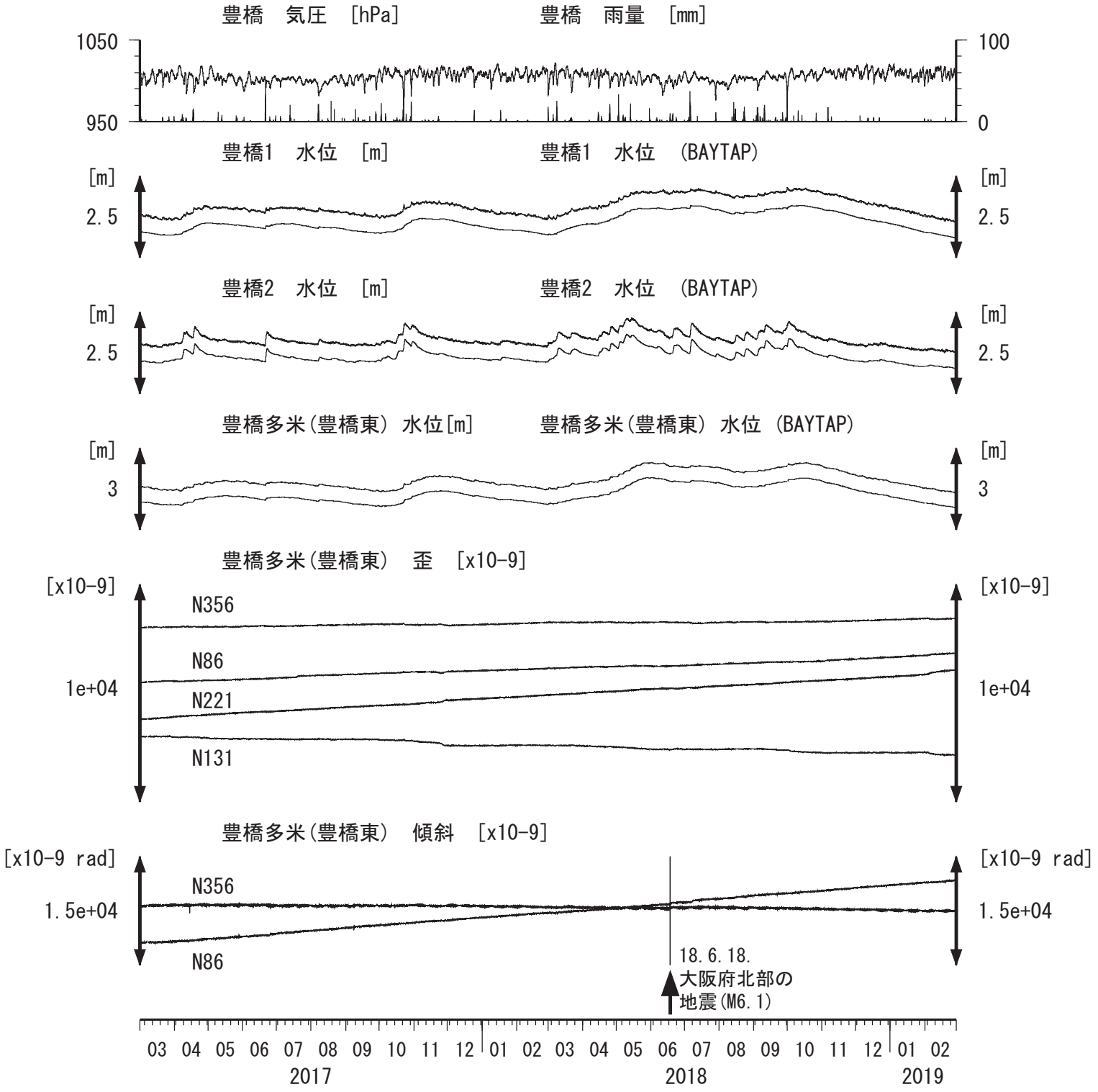


東海地域西部（豊橋多米　歪）中期　（時間値）
(2018/12/01 00:00 - 2019/03/01 00:00 (JST))

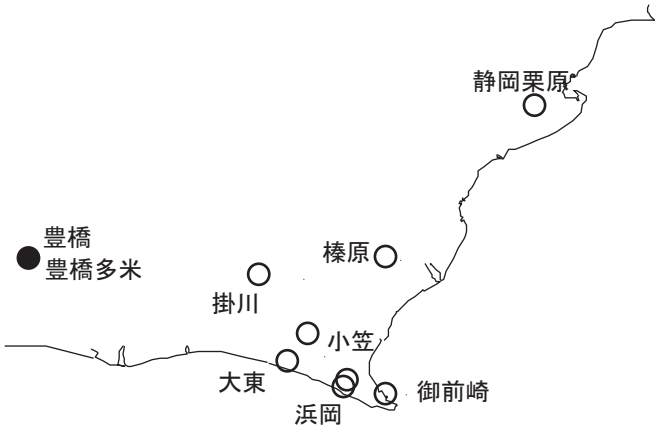


コメント：$*;雨量補正不十分. $;保守. ?;不明.

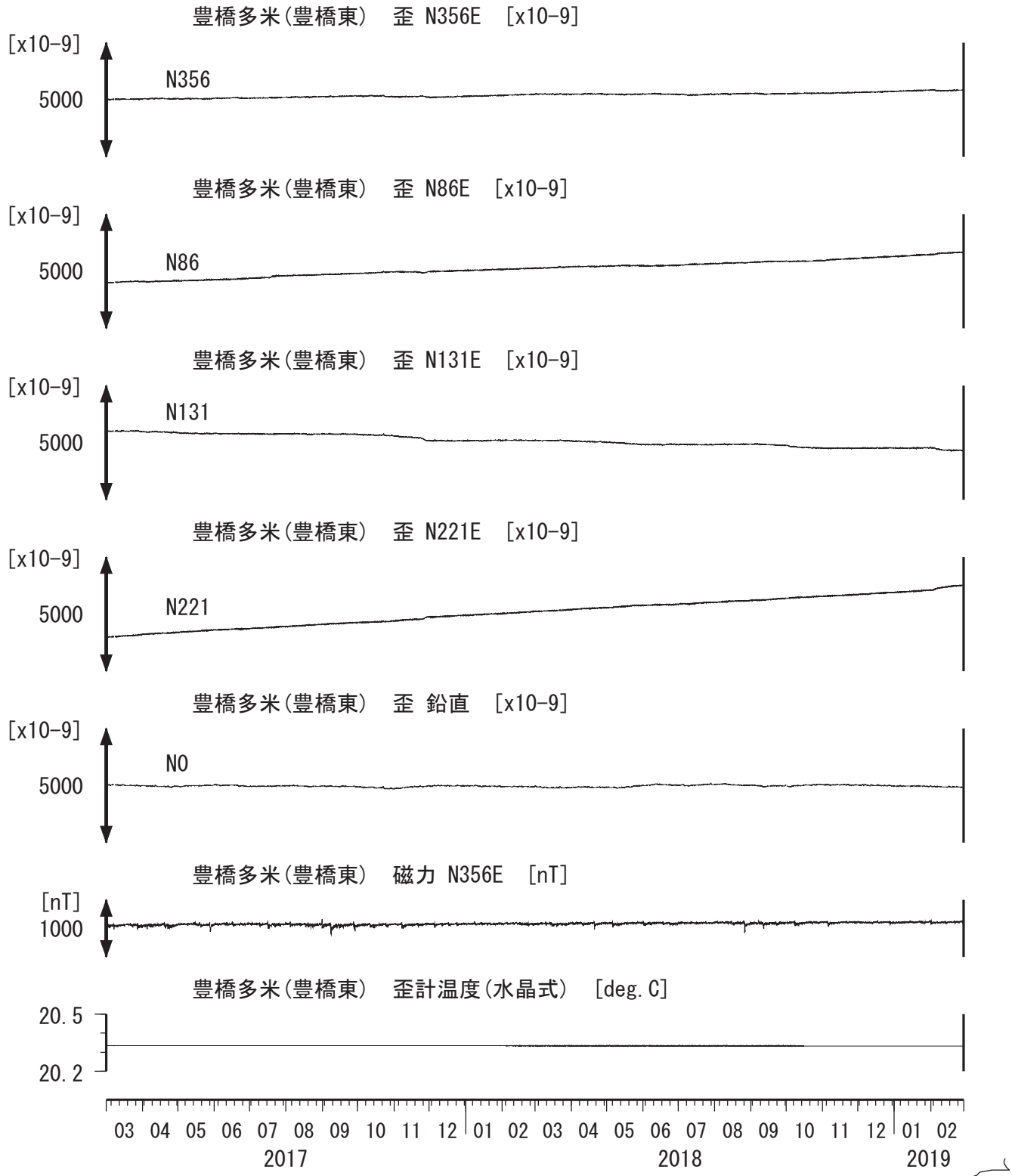
東海地域西部（豊橋・豊橋多米）長期　（時間値）
(2017/03/01 00:00 - 2019/03/01 00:00 (JST))



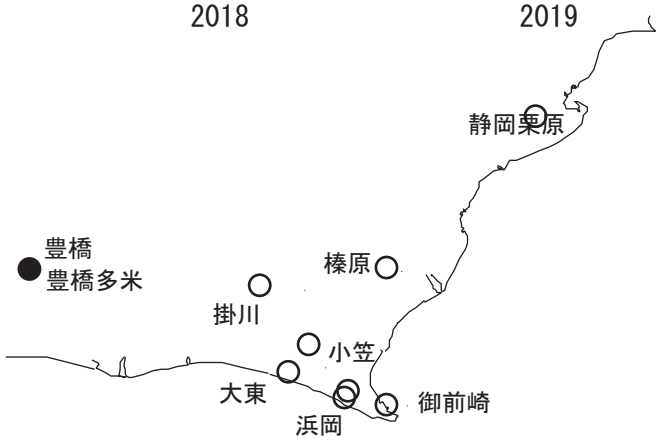
コメント：*;雨量補正不十分. $;保守. ?;不明.



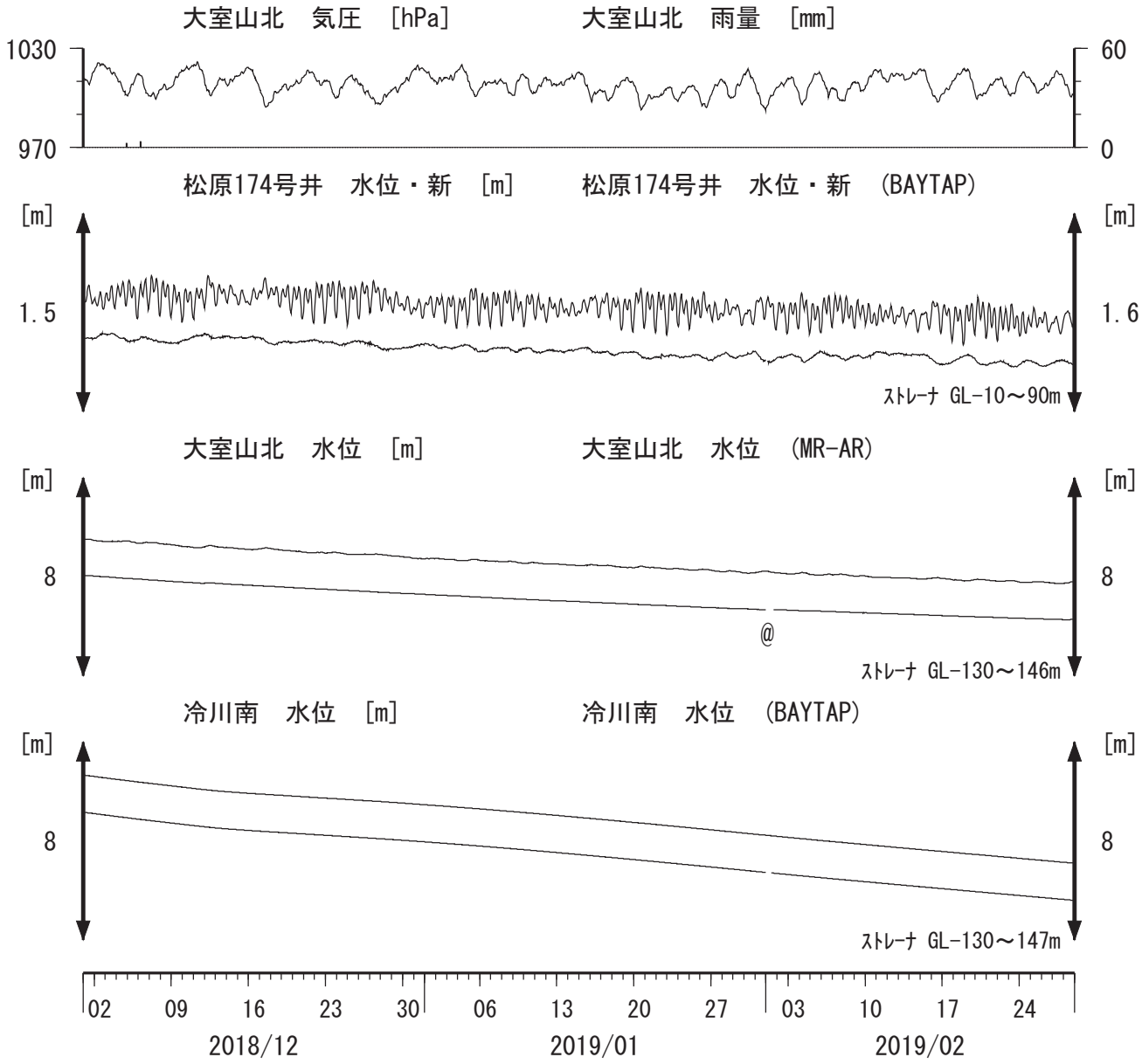
東海地域西部（豊橋多米　歪）長期　（時間値）
(2017/03/01 00:00 - 2019/03/01 00:00 (JST))



コメント：$;保守. ?;原因不明.

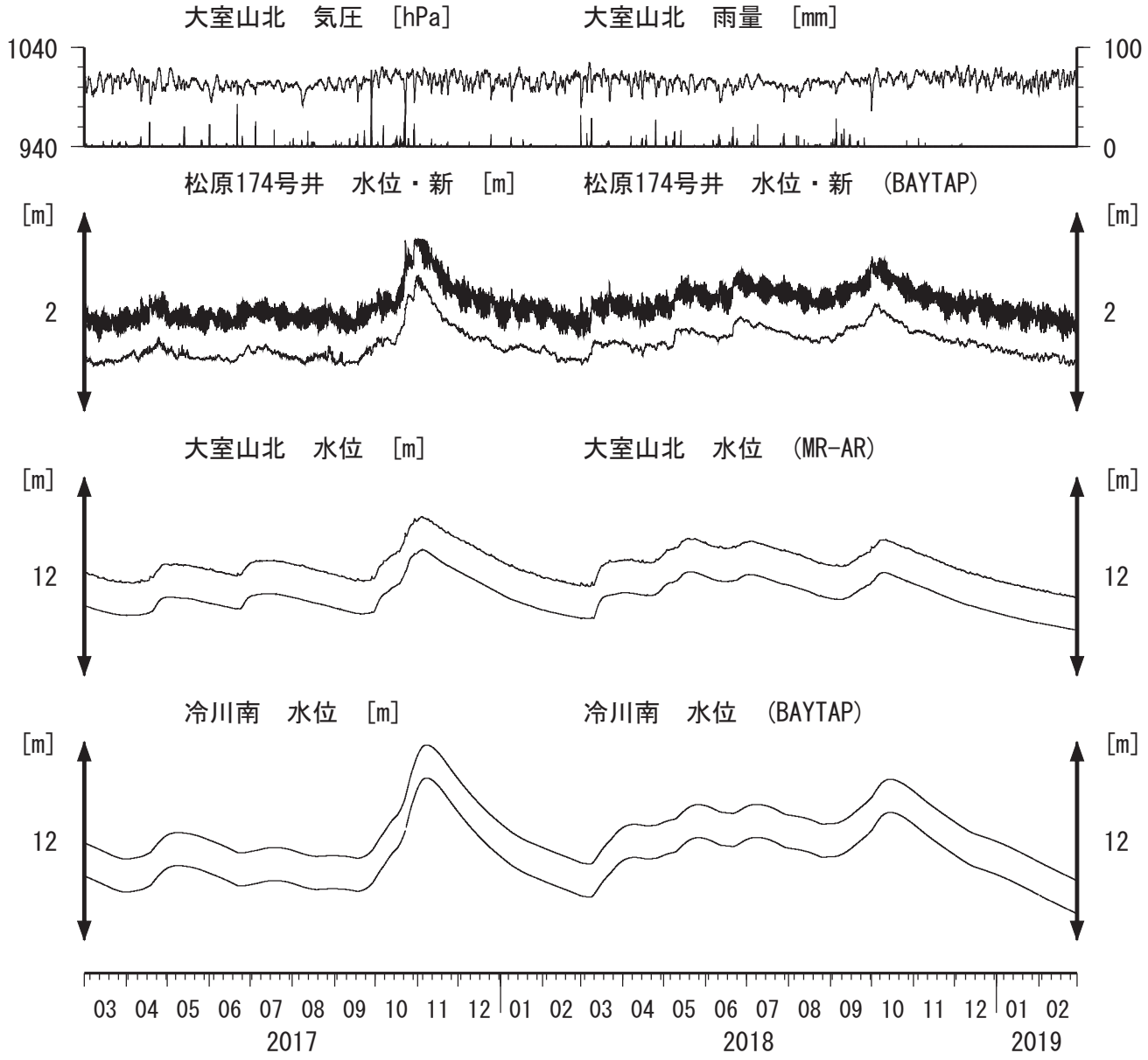


伊豆半島東部 地下水位　中期　（時間値）
(2018/12/01 00:00 - 2019/03/01 00:00 (JST))



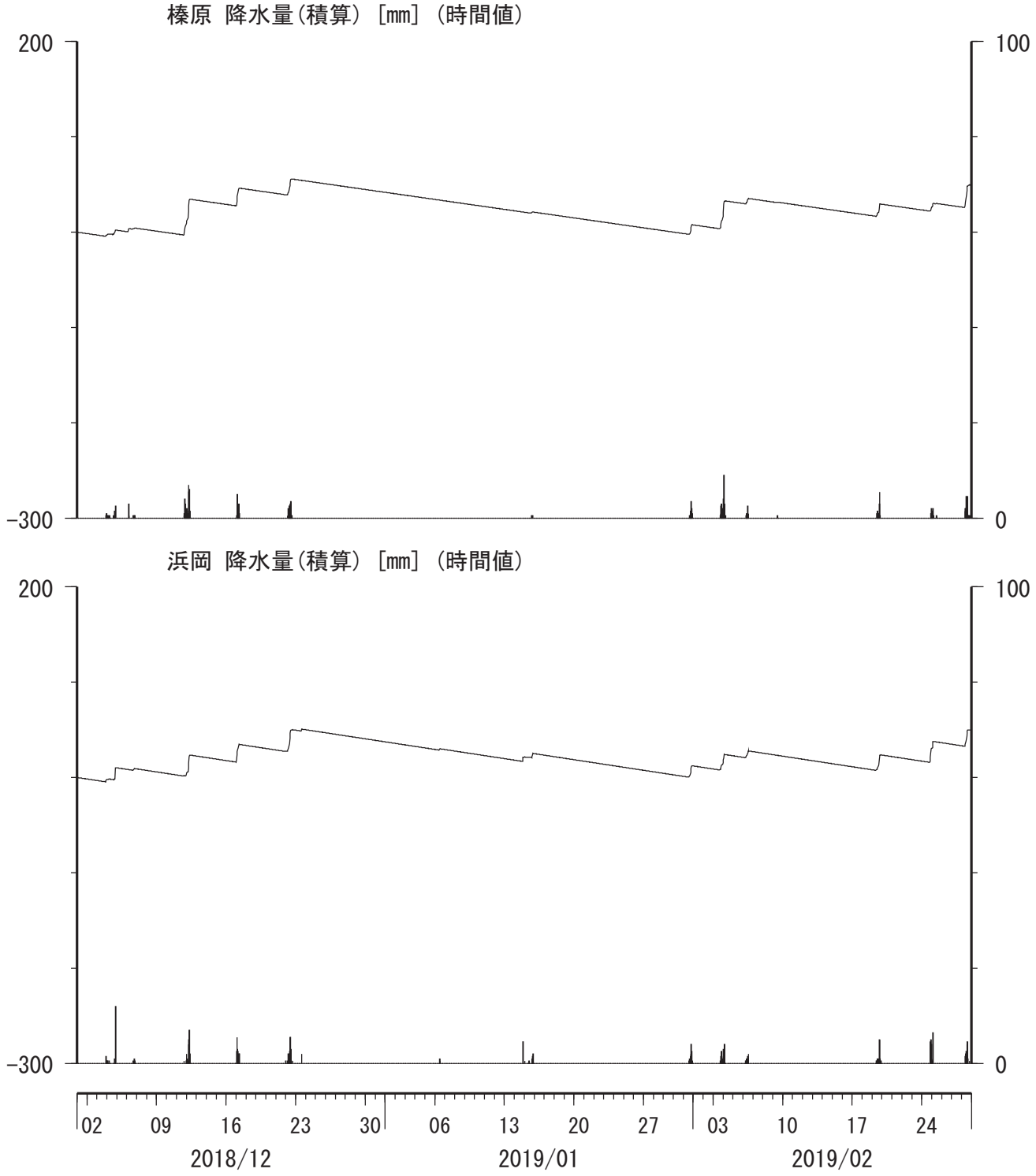
コメント：*;雨量補正不十分. $;保守. ?;不明.
@;月初めの補正値のギャップは,
解析プログラムの見かけ上のものである.
松原174号井は静岡県による観測.
松原174の水位計が長期的にドリフトしていることが
分かったので, 2014年7月4日に新水位計を設置し,
更に2017年10月12日に交換した.

伊豆半島東部 地下水位　長期　（時間値）
(2017/03/01 00:00 - 2019/03/01 00:00 (JST))



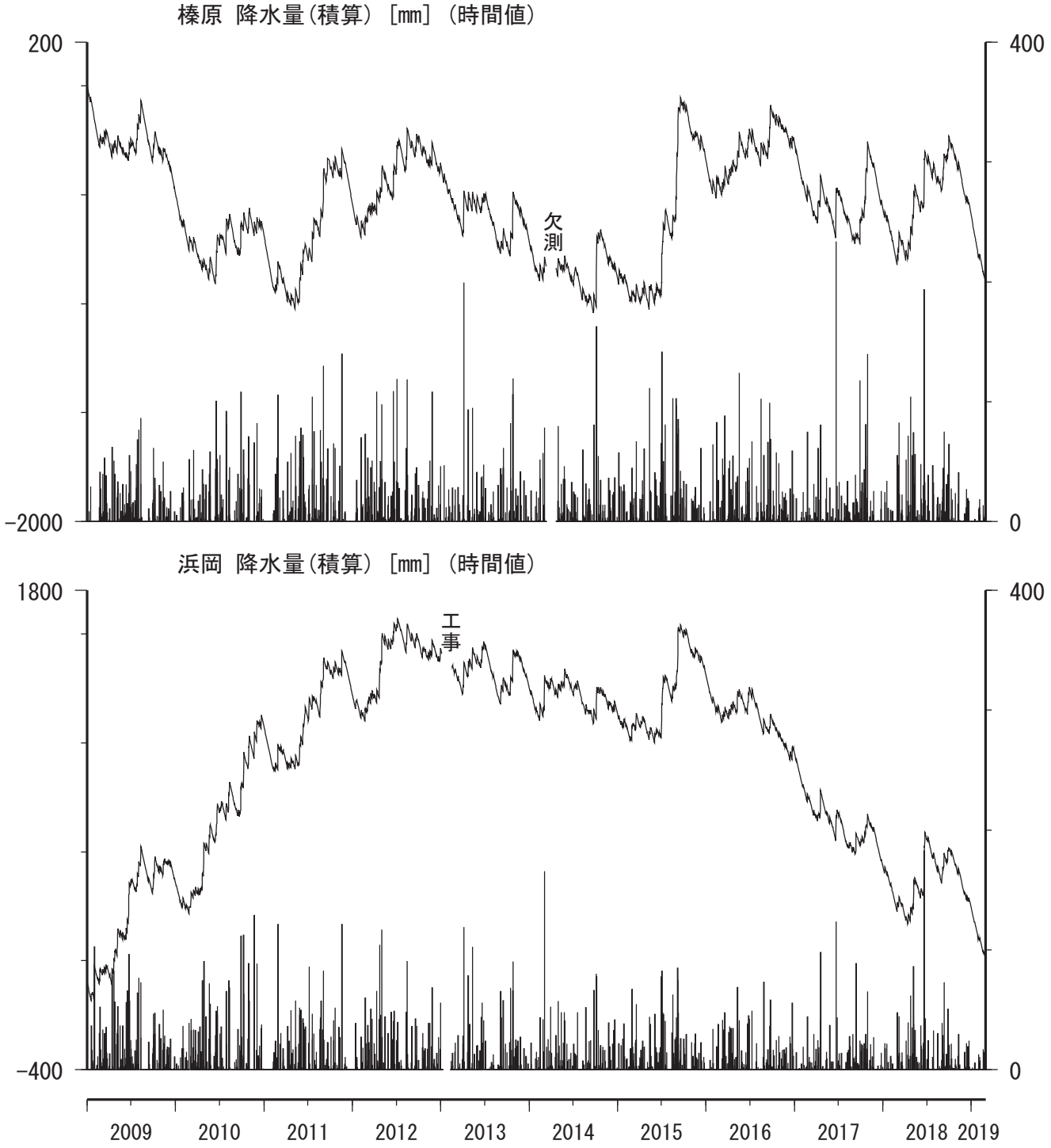
コメント：*;雨量補正不十分. $;保守. ?;不明.
松原174号井は静岡県による観測.
松原174水位計が長期的にドリフトしていることが分かったので, 2014年7月4日に新水位計を設置し, 更に2017年10月12日に交換した.
松原174の水位は2017年10月29日～11月6日頃まで断続的に管頭から水があふれた.

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]
(2018/12/01 00:00 - 2019/03/01 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 - 2019/03/01 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

2019 年 2 月 3 日から 12 日午前にかけて，東海地方で深部低周波地震が観測された（図 1)。図 2, 3 は周辺の産総研・気象庁・静岡県・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 1 月 24 日から 2 月 2 日のデータを用いて 1 次トレンドを除去したものである。

図 4-6 はそれぞれ図 2, 3[A]-[C]の変化を説明する短期的 SSE の断層モデルの推定結果(順に Mw 5.9, 5.6, 5.3）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 9 月 19 日午後から 10 月 15 日（順に Mw 5.8, 5.4, 5.5, 5.8, 5.8, 5.7, 5.3；図 4-6 の灰色矩形 1-7）である。

上記のイベントに続き，2019 年 2 月 10 日から 18 日にかけて，紀伊半島で深部低周波地震が観測された（図 7)。図 8 は周辺の産総研・防災科研の観測点における歪・傾斜の観測結果である。これらの結果は BAYTAP-G により気圧応答成分, 潮汐成分およびホワイトノイズ成分を取り除き, 2019 年 1 月 29 日から 2 月 9 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 9, 10 はそれぞれ図 8[A], [B]の変化を説明する短期的 SSE の断層モデルの推定結果（順に Mw 5.8, 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 6 月 22 日午後から 25 日午前（Mw 5.6；図 9, 10 の灰色矩形 5)，2018 年 9 月 19 日午後から 30 日午前（順に Mw 5.8, 5.4, 5.5, 5.8；図 9, 10 の灰色矩形 1-4 で，図 4-6 の灰色矩形 1-4 と同じ)，2019 年 1 月 19 日午後から 24 日午前（Mw 5.6；図 9, 10 の灰色矩形 6）である。

解析方法

短期的 SSE の断層面推定には，各観測点の水平歪 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，板場ほか[2012]の手法を用いて次の 2 段階で行う。1 段階目では，断層面の位置（0.1° 間隔）とすべり量（1-50 mm）を可変とする。幅・長さともに 20 km に固定した断層面をフィリピン海プレート境界面[弘瀬ほか，2007]上で動かし，各位置での最適なすべり量を探す。結果を示す図には，それぞれの位置で残差を最小にする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（Okada [1992]による）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，次の 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付近で, 断層面の位置 (0.1° 間隔)・すべり量 (1-50 mm)・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）を可変として残差を最小にする解を求める。ただし，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解の任意性が高くなるので注意が必要である。

なお，残差はノイズレベルによって規格化している。これは異種の観測値を統合するための処置であ

る。ノイズレベルの定義は，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である。

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.

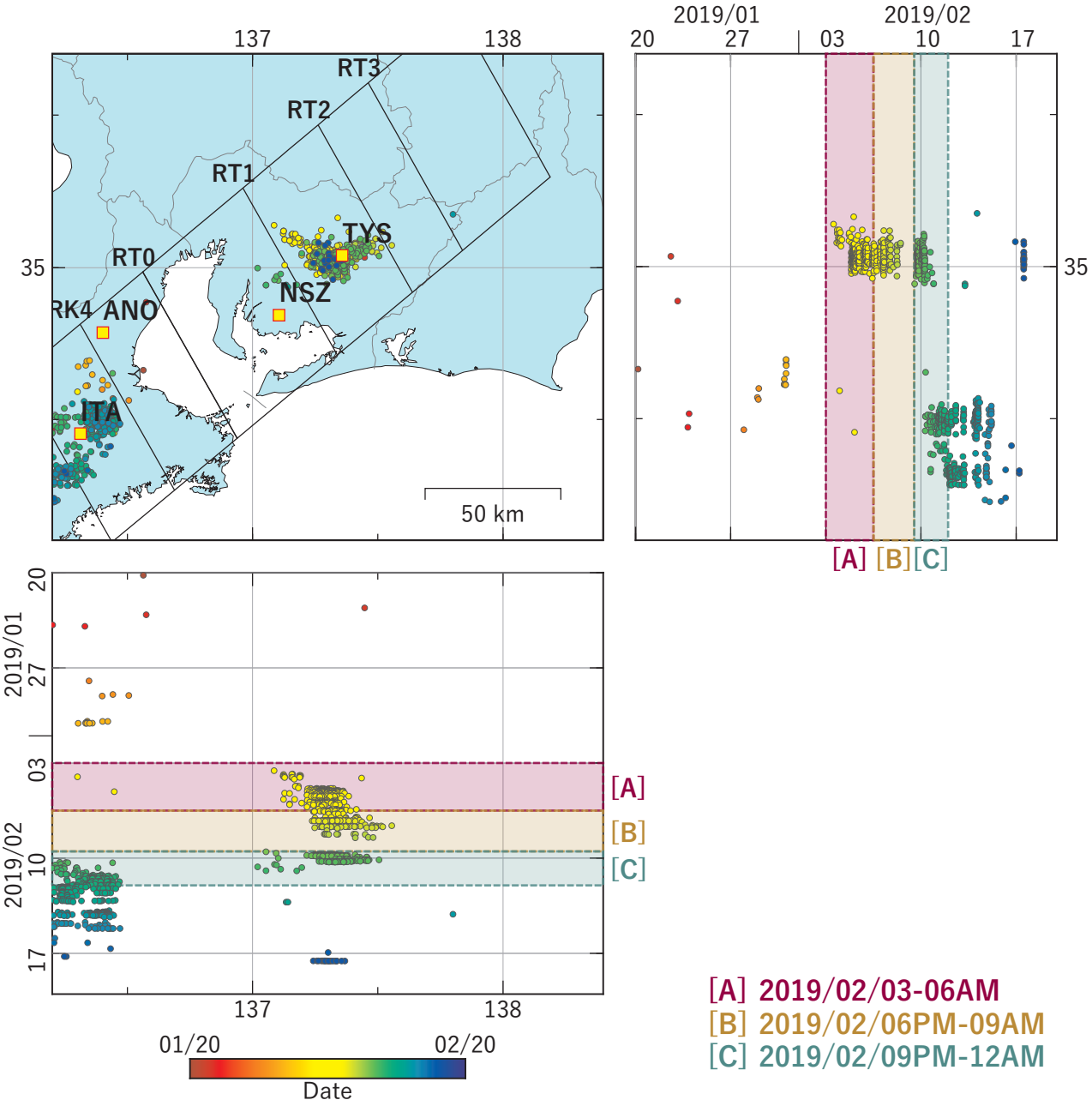


図1　東海地方における深部低周波地震の時空間分布図（2019/01/20 00:00 - 2019/02/20 00:00 (JST)）。気象庁カタログを使用。

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

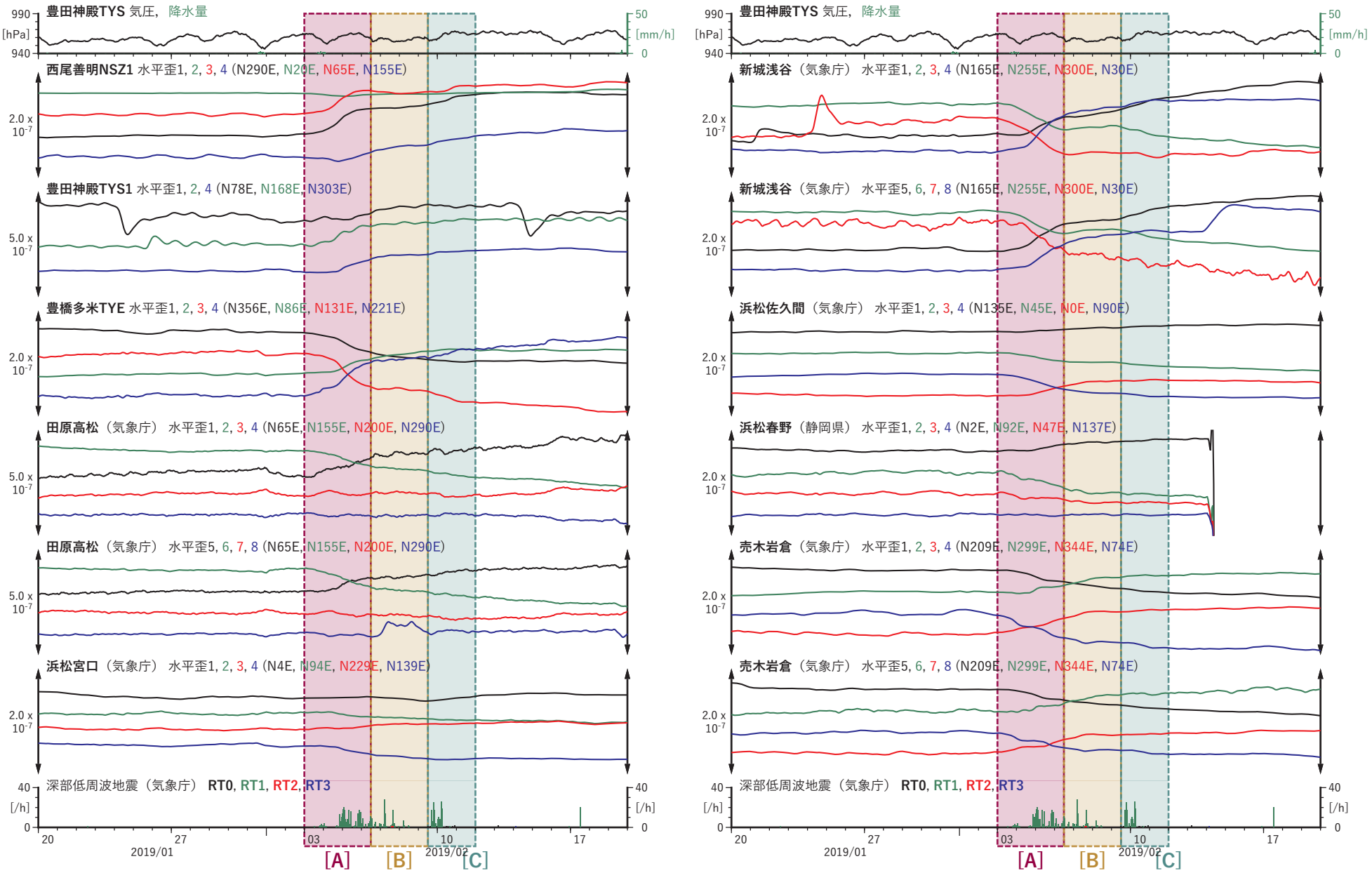


図2　歪・傾斜の時間変化(1)（2019/01/20 00:00 - 2019/02/20 00:00 (JST)）

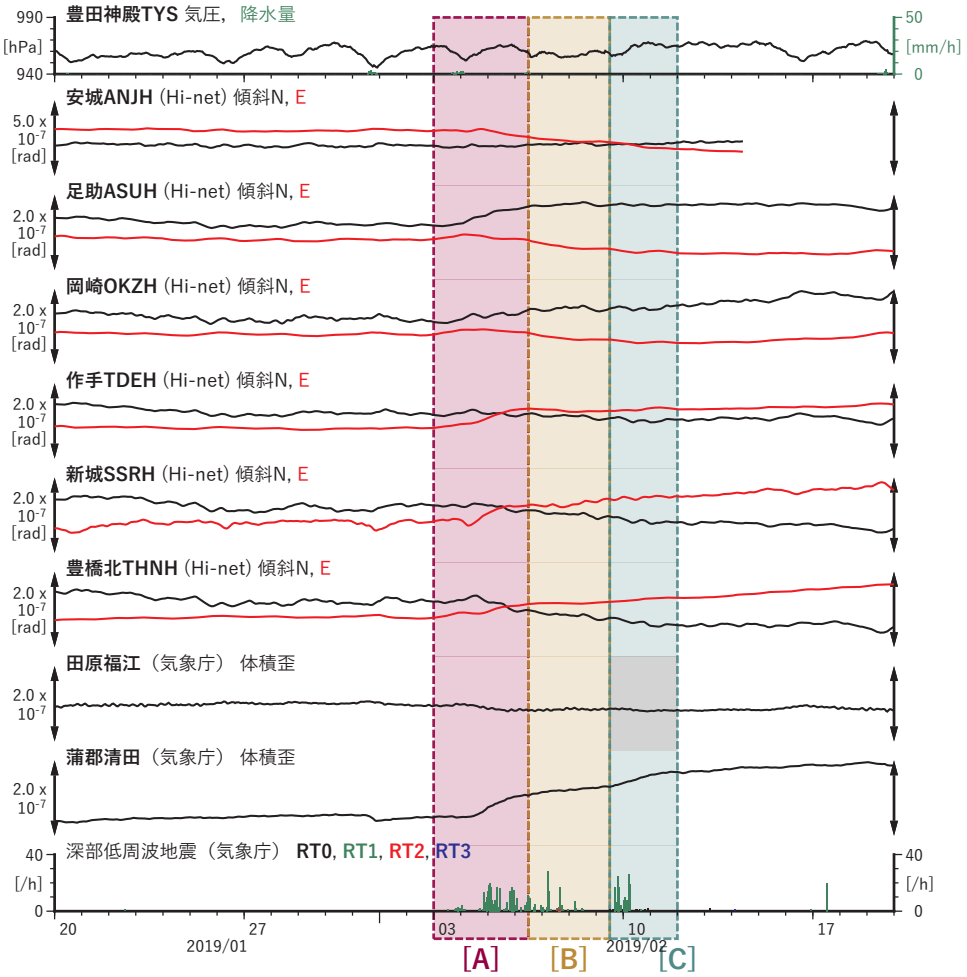
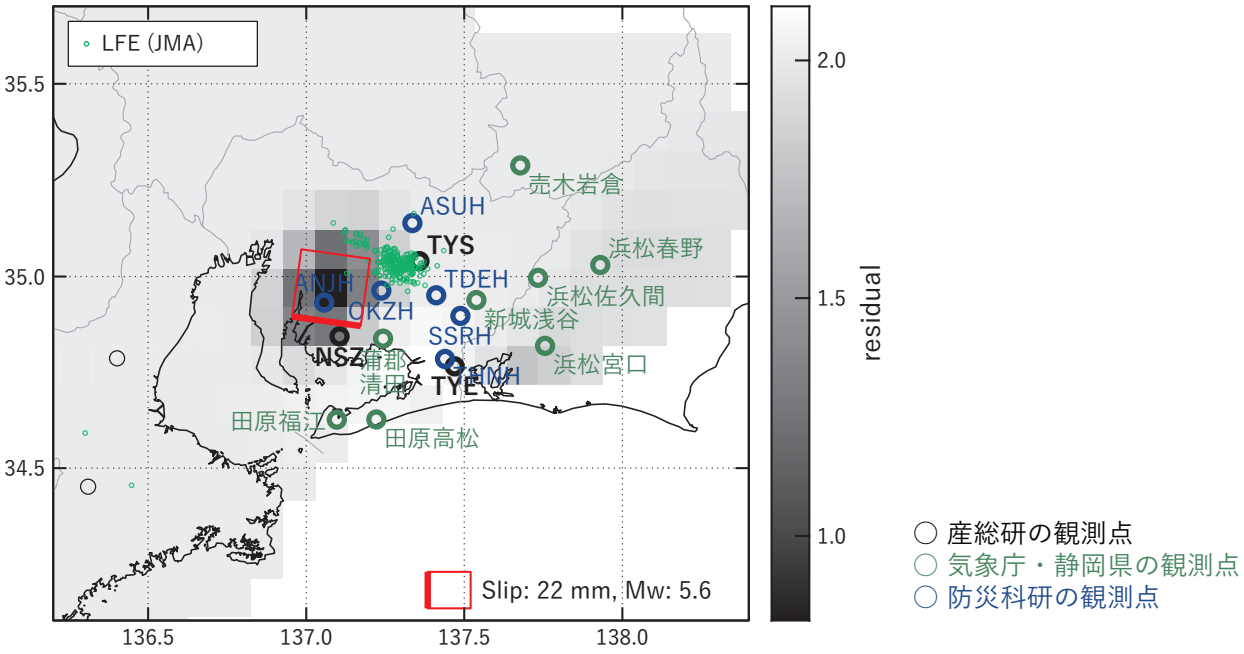


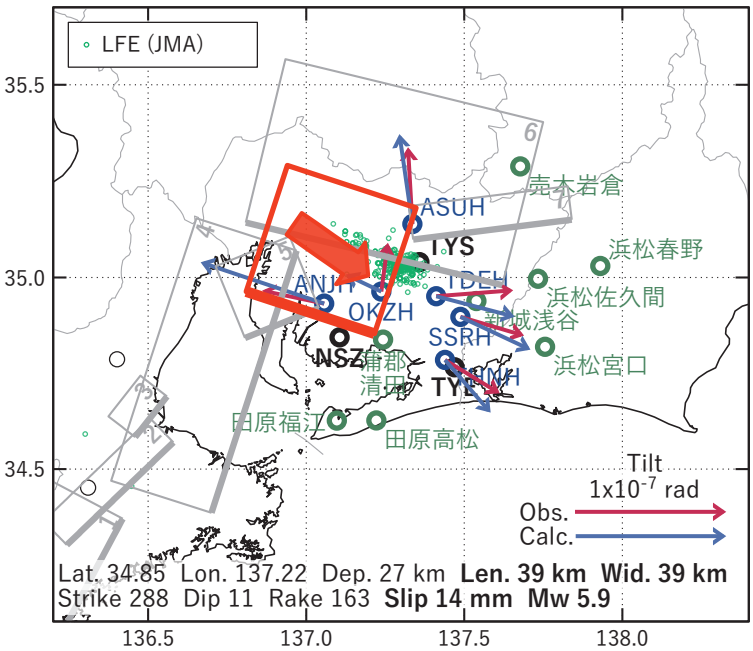
図3　歪・傾斜の時間変化(2)（2019/01/20 00:00 - 2019/02/20 00:00 (JST)）

[A] 2019/02/03-06AM

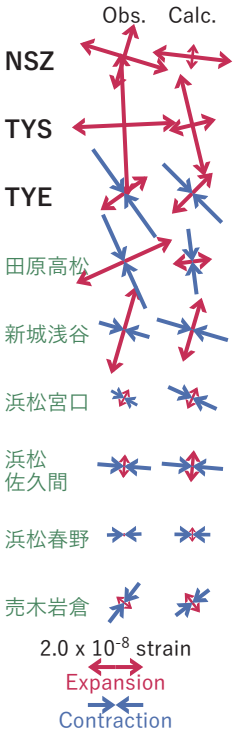
(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



(b1) 推定した断層モデル



(b2) 主歪



(b3) 体積歪

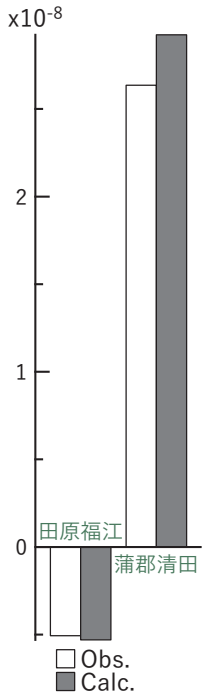


図4　2019/02/03-06AMの歪・傾斜変化（図2, 3[A]）を説明する断層モデル。

(a)　プレート境界面に沿って 20 x 20 km の矩形断層面を移動させ，各位置で残差の総和を最小にするすべり量を選んだとき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。

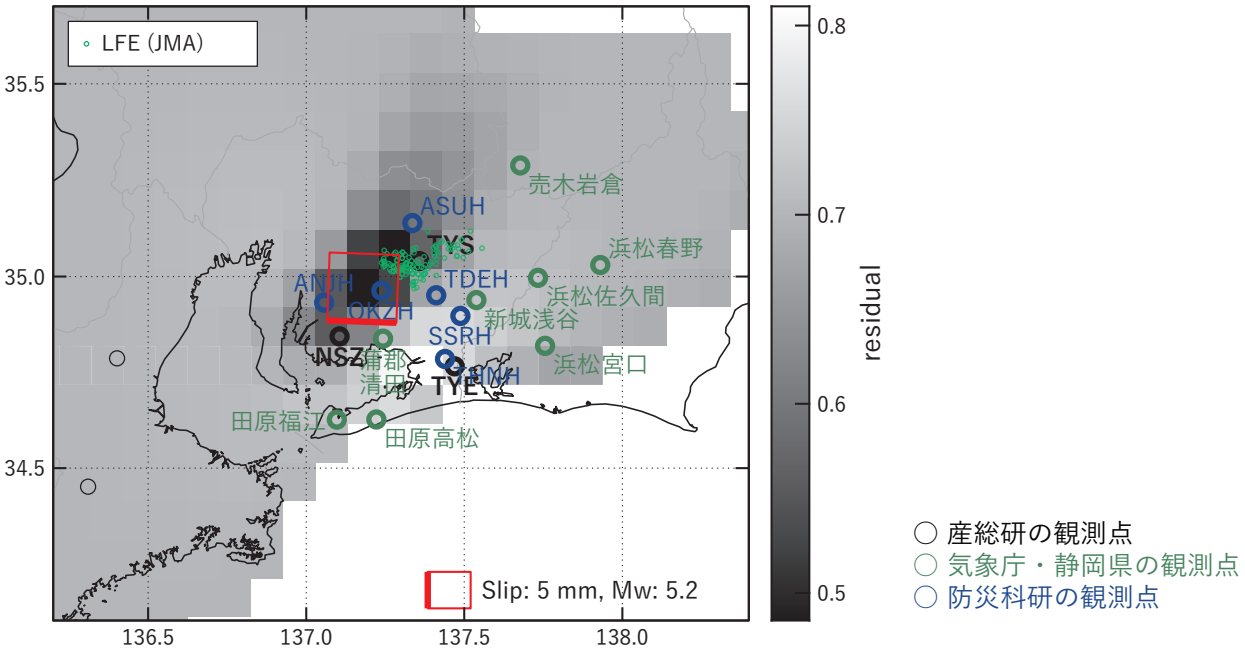
1: 2018/09/19PM-22AM (Mw 5.8), 2: 2018/09/22PM-25 (Mw 5.4), 3: 2018/09/26-28AM (Mw 5.5),
4: 2018/09/28PM-30AM (Mw 5.8), 5: 2018/10/02-05 (Mw 5.8), 6: 2018/10/07-10 (Mw 5.7),
7: 2018/10/13-15 (Mw 5.3)

(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。

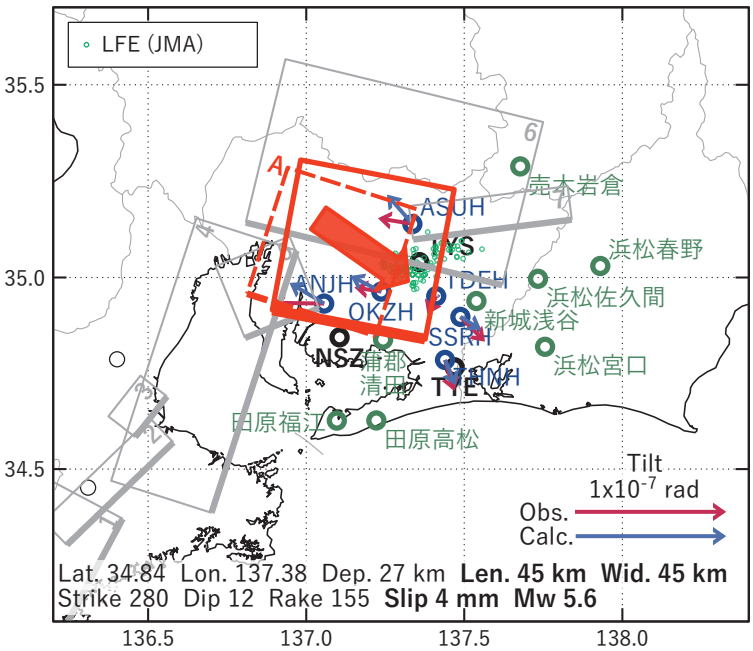
(b3) 体積歪の観測値と (b1) に示した断層モデルから求めた計算値との比較。

[B] 2019/02/06PM-09AM

(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

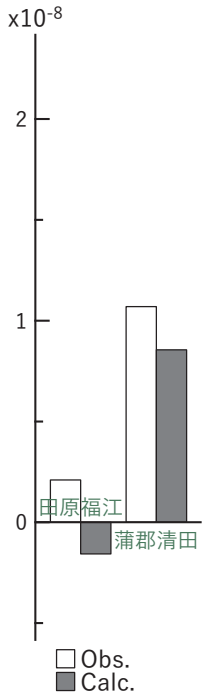


図5　2019/02/06PM-09AMの歪・傾斜変化（図2, 3[B]）を説明する断層モデル。

(a)　プレート境界面に沿って 20 x 20 km の矩形断層面を移動させ，各位置で残差の総和を最小にするすべり量を選んだとき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。

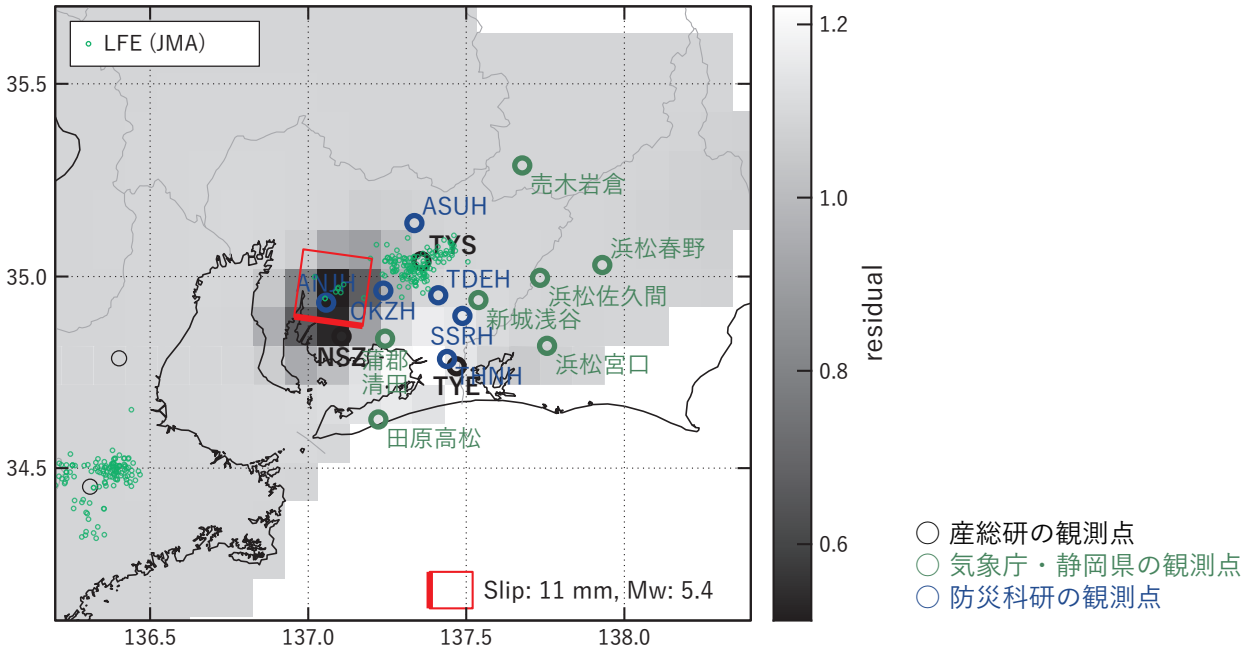
1: 2018/09/19PM-22AM (Mw 5.8), 2: 2018/09/22PM-25 (Mw 5.4), 3: 2018/09/26-28AM (Mw 5.5),
4: 2018/09/28PM-30AM (Mw 5.8), 5: 2018/10/02-05 (Mw 5.8), 6: 2018/10/07-10 (Mw 5.7),
7: 2018/10/13-15 (Mw 5.3), A: 2019/02/03-06AM (Mw 5.9)

(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。

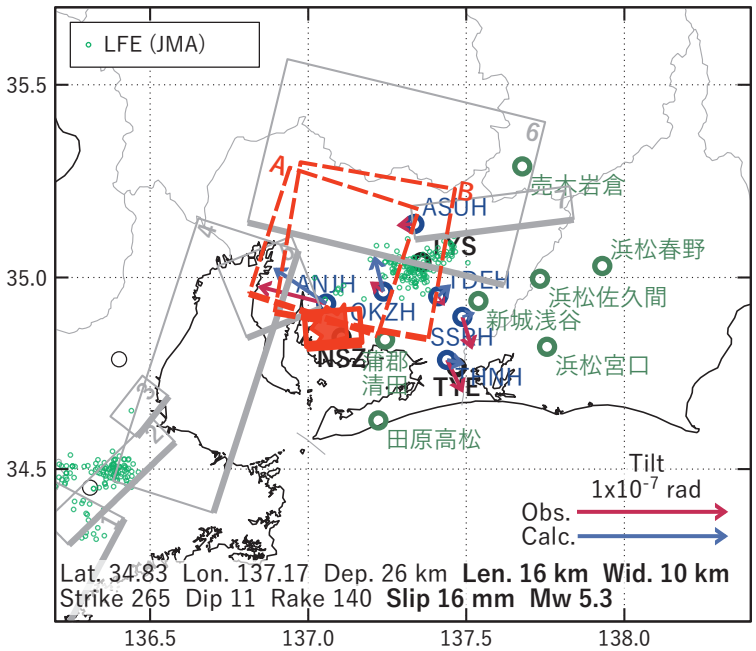
(b3) 体積歪の観測値と (b1) に示した断層モデルから求めた計算値との比較。

[C] 2019/02/09PM-12AM

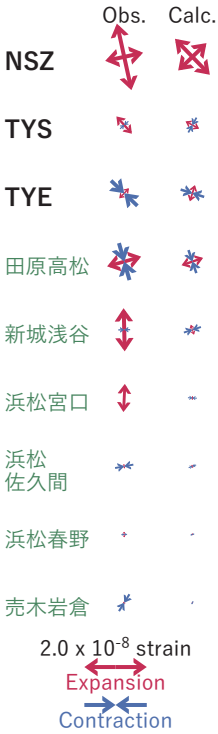
(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



(b1) 推定した断層モデル



(b2) 主歪



(b3) 体積歪

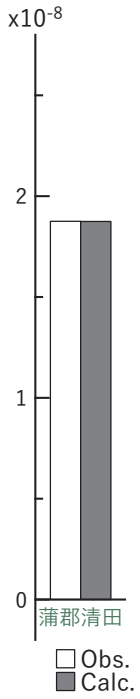


図6　2019/02/09PM-12AMの歪・傾斜変化（図2, 3[C]）を説明する断層モデル。

(a)　プレート境界面に沿って 20 x 20 km の矩形断層面を移動させ，各位置で残差の総和を最小にするすべり量を選んだとき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: 2018/09/19PM-22AM (Mw 5.8), 2: 2018/09/22PM-25 (Mw 5.4), 3: 2018/09/26-28AM (Mw 5.5),
4: 2018/09/28PM-30AM (Mw 5.8), 5: 2018/10/02-05 (Mw 5.8), 6: 2018/10/07-10 (Mw 5.7),
7: 2018/10/13-15 (Mw 5.3), A: 2019/02/03-06AM (Mw 5.9), B: 2019/02/06PM-12AM (Mw 5.6)

(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。

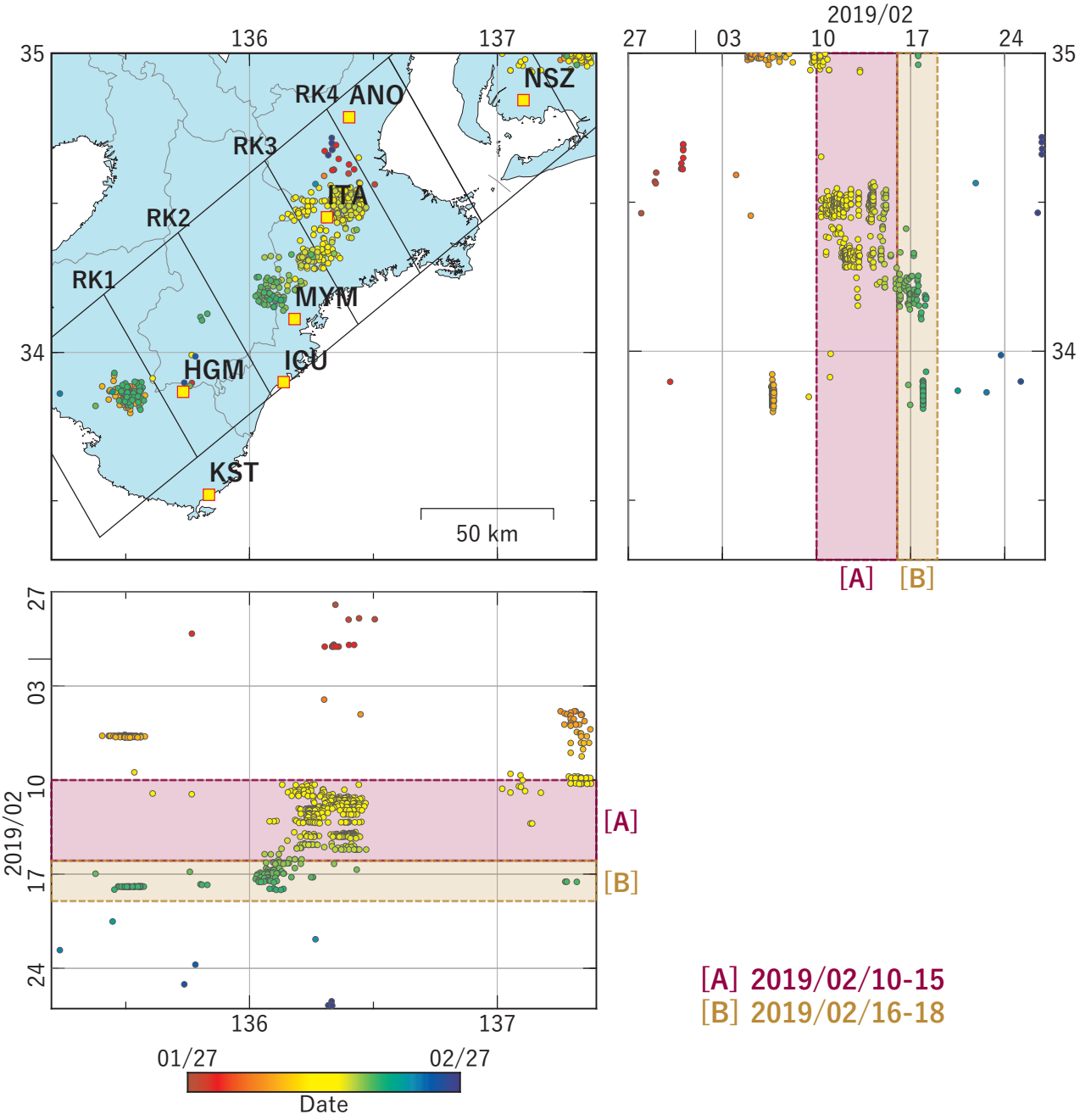


図7　紀伊半島における深部低周波地震の時空間分布図（2019/01/27 00:00 - 2019/02/27 00:00 (JST)）。気象庁カタログを使用。

（観測点） 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, KST: 串本津荷

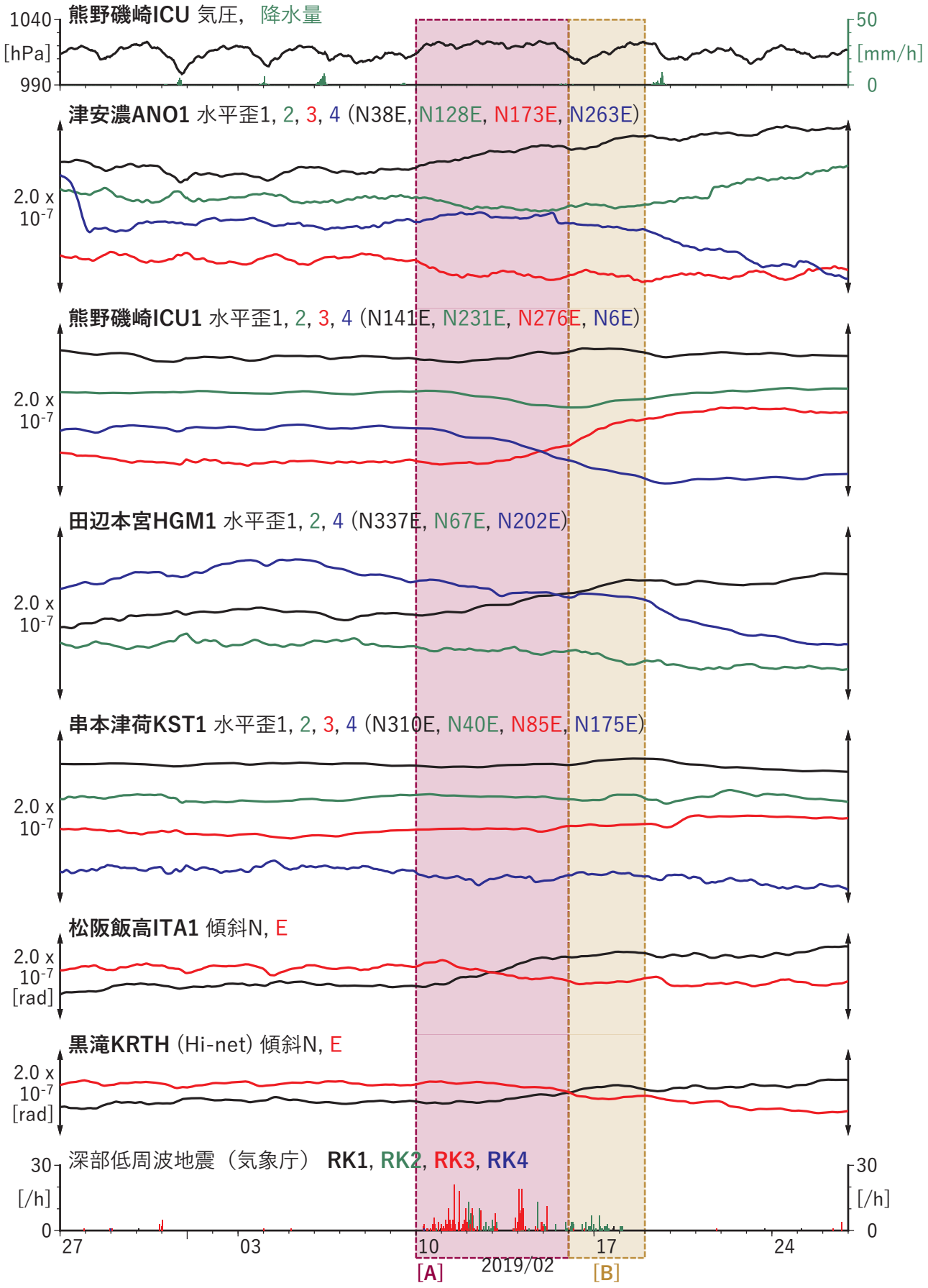
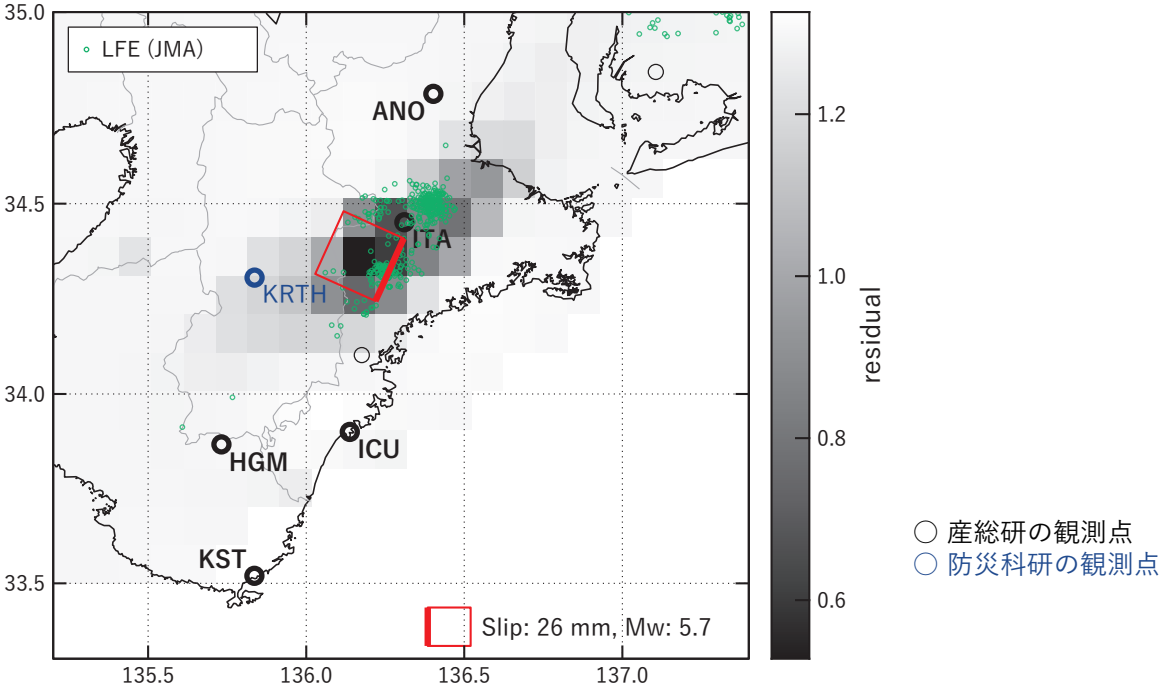


図8　歪・傾斜の時間変化（2019/01/27 00:00 - 2019/02/27 00:00 (JST)）

[A] 2019/02/10-15

(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

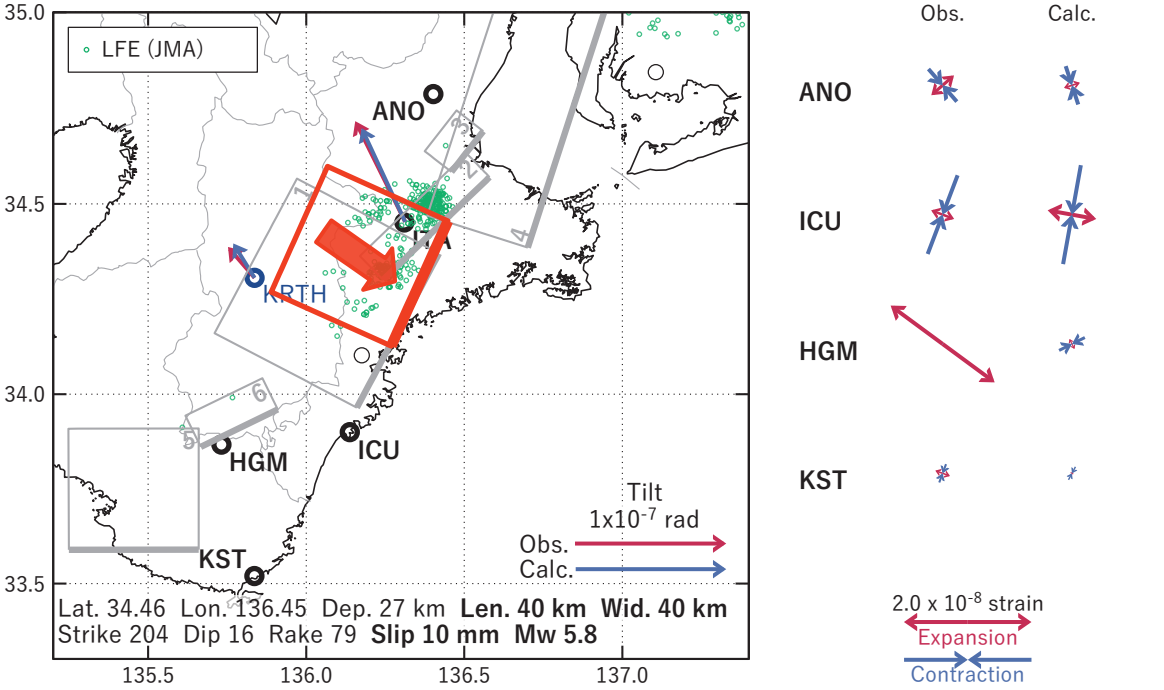


図9　2019/02/10-15の歪・傾斜変化（図8[A]）を説明する断層モデル。

(a)　プレート境界面に沿って 20 x 20 km の矩形断層面を移動させ，各位置で残差の総和を最小にするすべり量を選んだとき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。

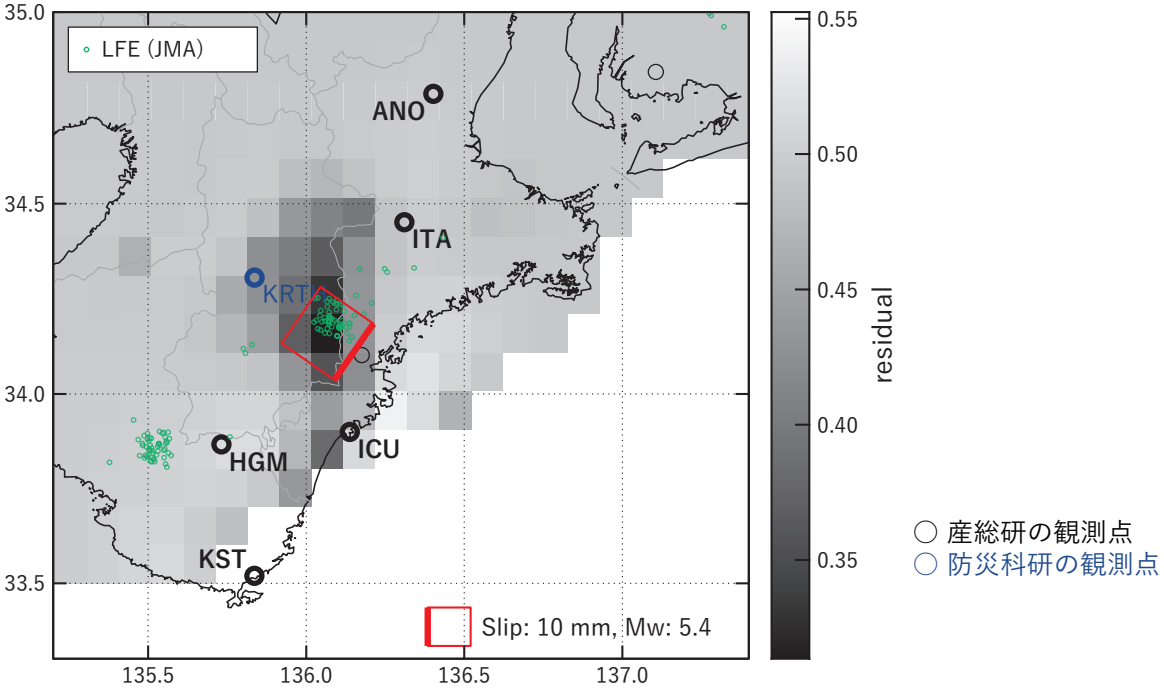
(b1) (a) の位置付近をグリッドサーチして推定した断層面（赤色矩形）と断層パラメータ。灰色矩形は最近周辺で発生したイベントの推定断層面。

1: 2018/09/19PM-22AM (Mw 5.8), 2: 2018/09/22PM-25 (Mw 5.4), 3: 2018/09/26-28AM (Mw 5.5),
4: 2018/09/28PM-30AM (Mw 5.8), 5: 2018/06/22PM-25AM (Mw 5.6), 6: 2019/01/19PM-24AM (Mw 5.6)

(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] 2019/02/16-18

(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

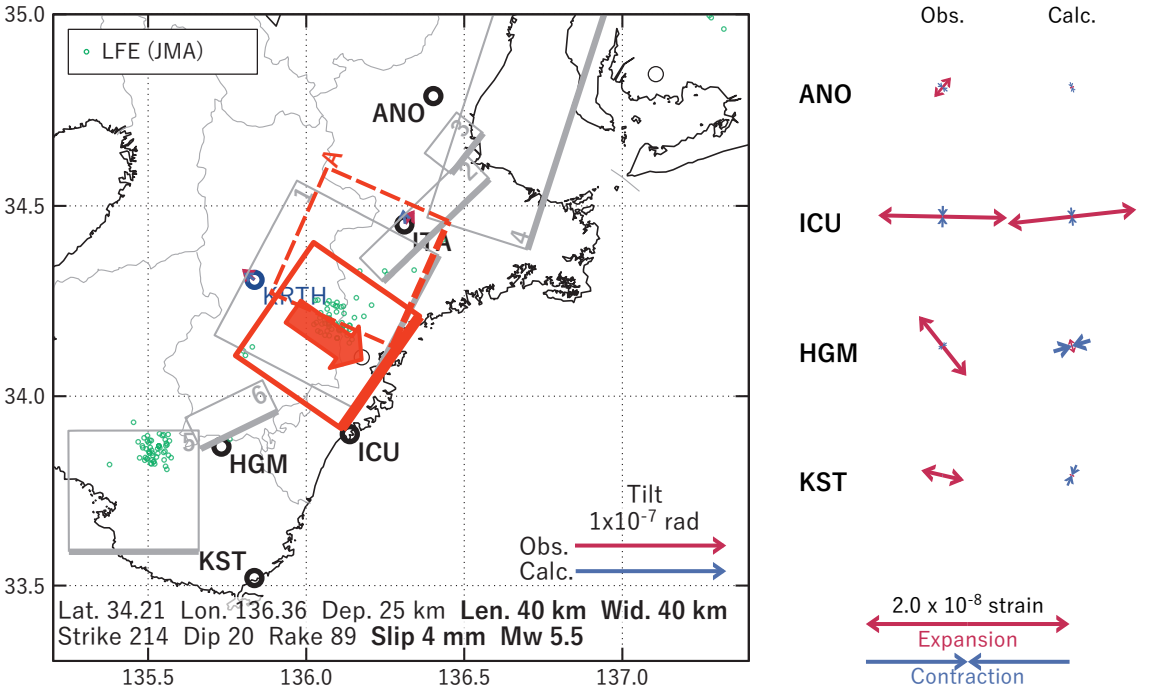


図10　2019/02/16-18の歪・傾斜変化（図8[B]）を説明する断層モデル。

(a)　プレート境界面に沿って 20 x 20 km の矩形断層面を移動させ，各位置で残差の総和を最小にするすべり量を選んだとき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: 2018/09/19PM-22AM (Mw 5.8), 2: 2018/09/22PM-25 (Mw 5.4), 3: 2018/09/26-28AM (Mw 5.5),
4: 2018/09/28PM-30AM (Mw 5.8), 5: 2018/06/22PM-25AM (Mw 5.6), 6: 2019/01/19PM-24AM (Mw 5.6),
A: 2019/02/10-15 (Mw 5.8)

(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。