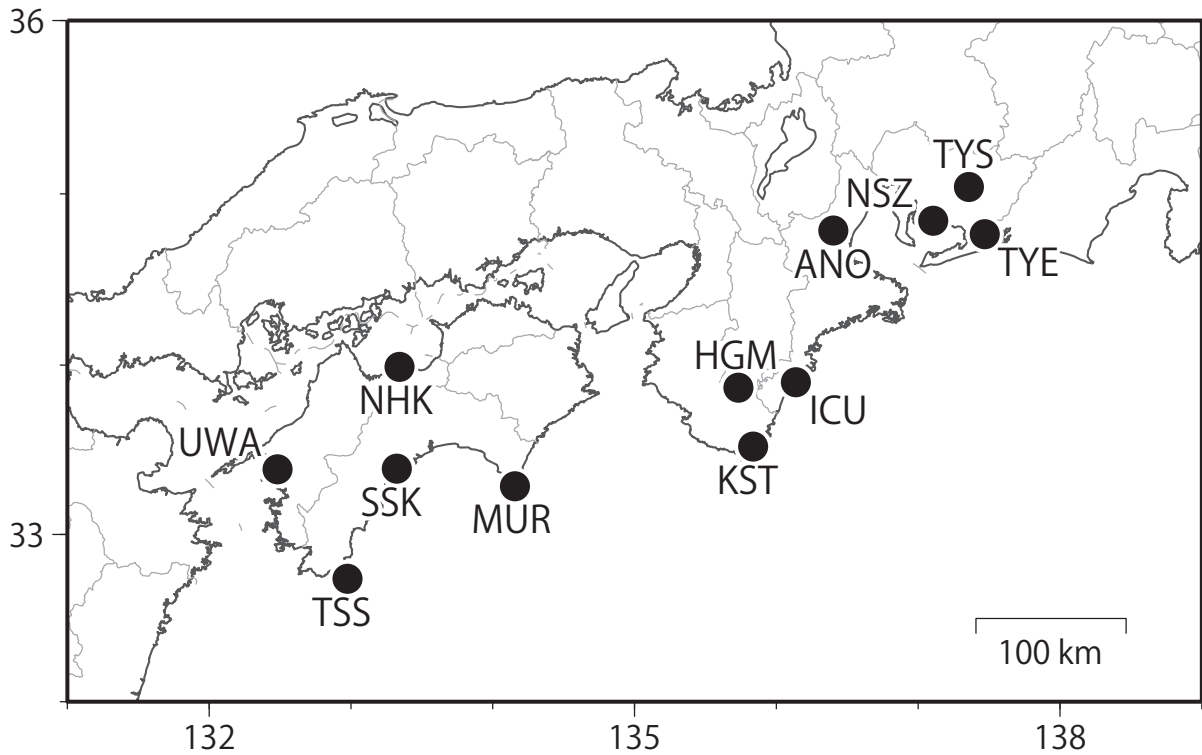


【第79回】南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会
【第457回】地震防災対策強化地域判定会

—産業技術総合研究所資料—

令和6年5月9日

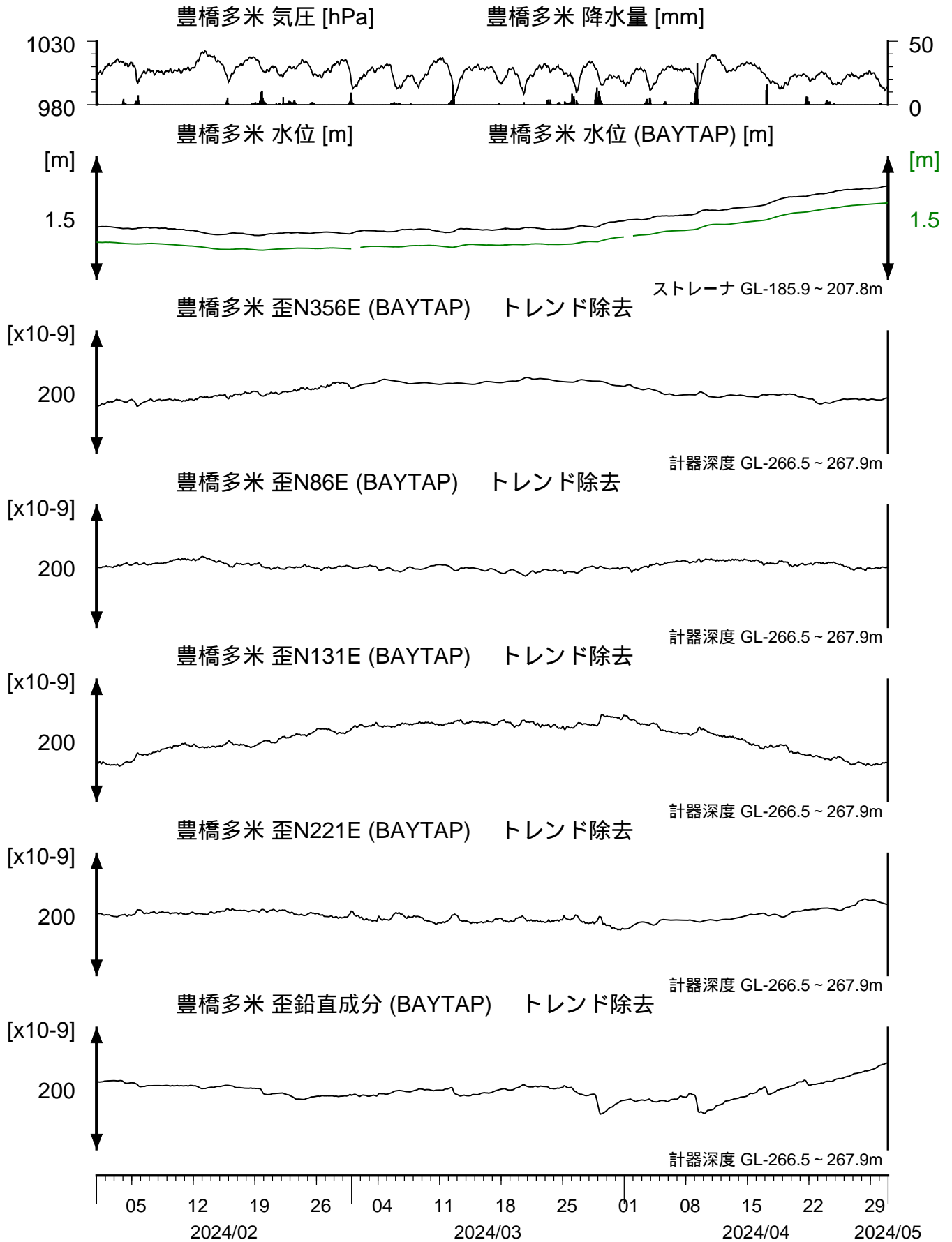




愛知県～紀伊半島～四国における地下水等総合観測施設の分布図

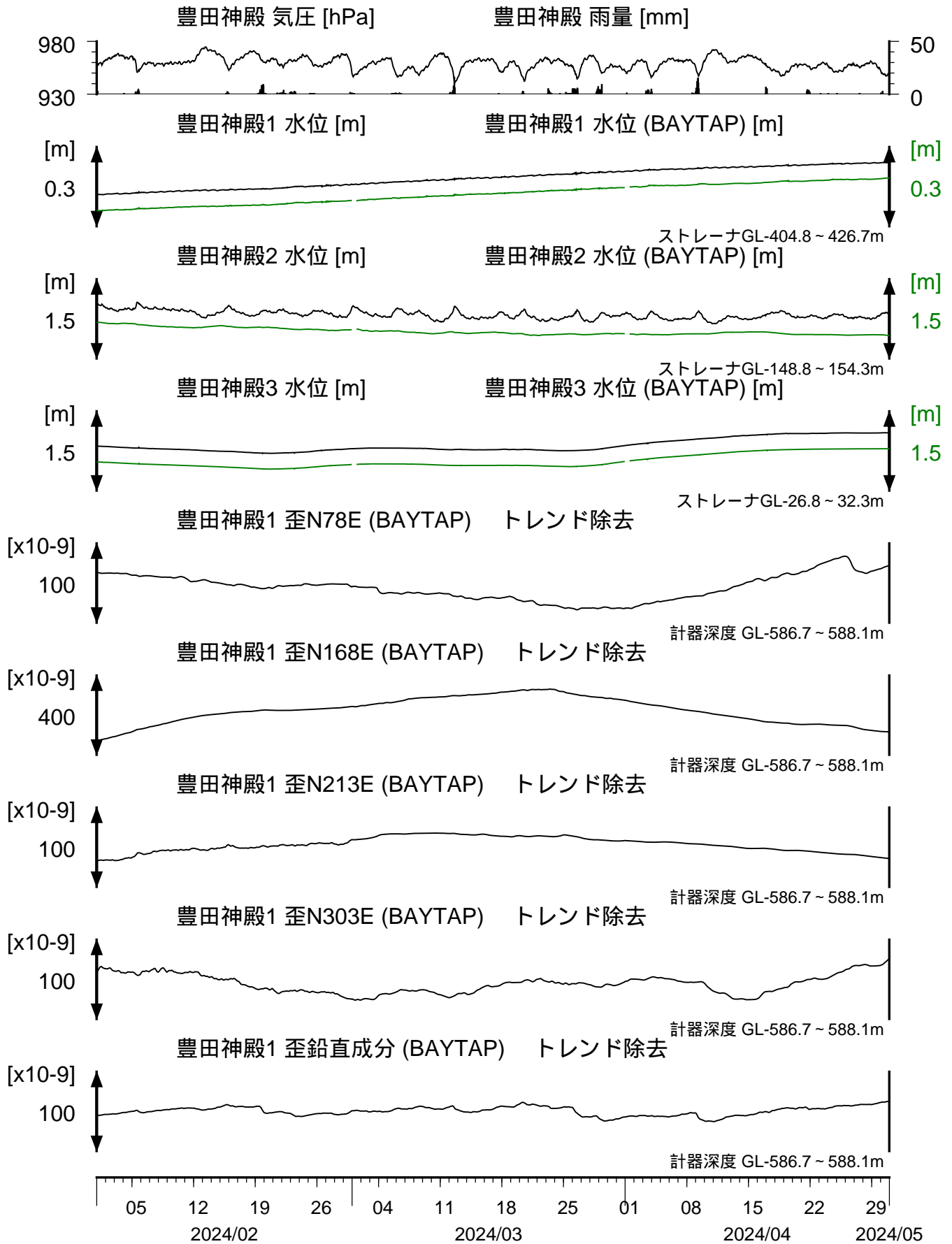
文字コード	名称	ふりがな	市区町村	ページ
TYE	豊橋多米	とよはしため	愛知県豊橋市	3
TYS	豊田神殿	とよたかんの	愛知県豊田市	4
NSZ	西尾善明	にしおぜんみょう	愛知県西尾市	5
ANO	津安濃	つあのう	三重県津市	6
ICU	熊野磯崎	くまのいそざき	三重県熊野市	7
KST	串本津荷	くしもとつが	和歌山県東牟婁郡串本町	8
HGM	田辺本宮	たなべほんぐう	和歌山県田辺市	9
MUR	室戸岬	むろとみさき	高知県室戸市	10
NHK	新居浜黒島	にいはまくろしま	愛媛県新居浜市	11
SSK	須崎大谷	すさきおおたに	高知県須崎市	12
TSS	土佐清水松尾	とさしみずまつお	高知県土佐清水市	13
UWA	西予宇和	せいようわ	愛媛県西予市	14

TYE 豊橋多米 地下水位・歪（時間値）
 (2024/02/01 00:00 - 2024/05/01 00:00 (JST))



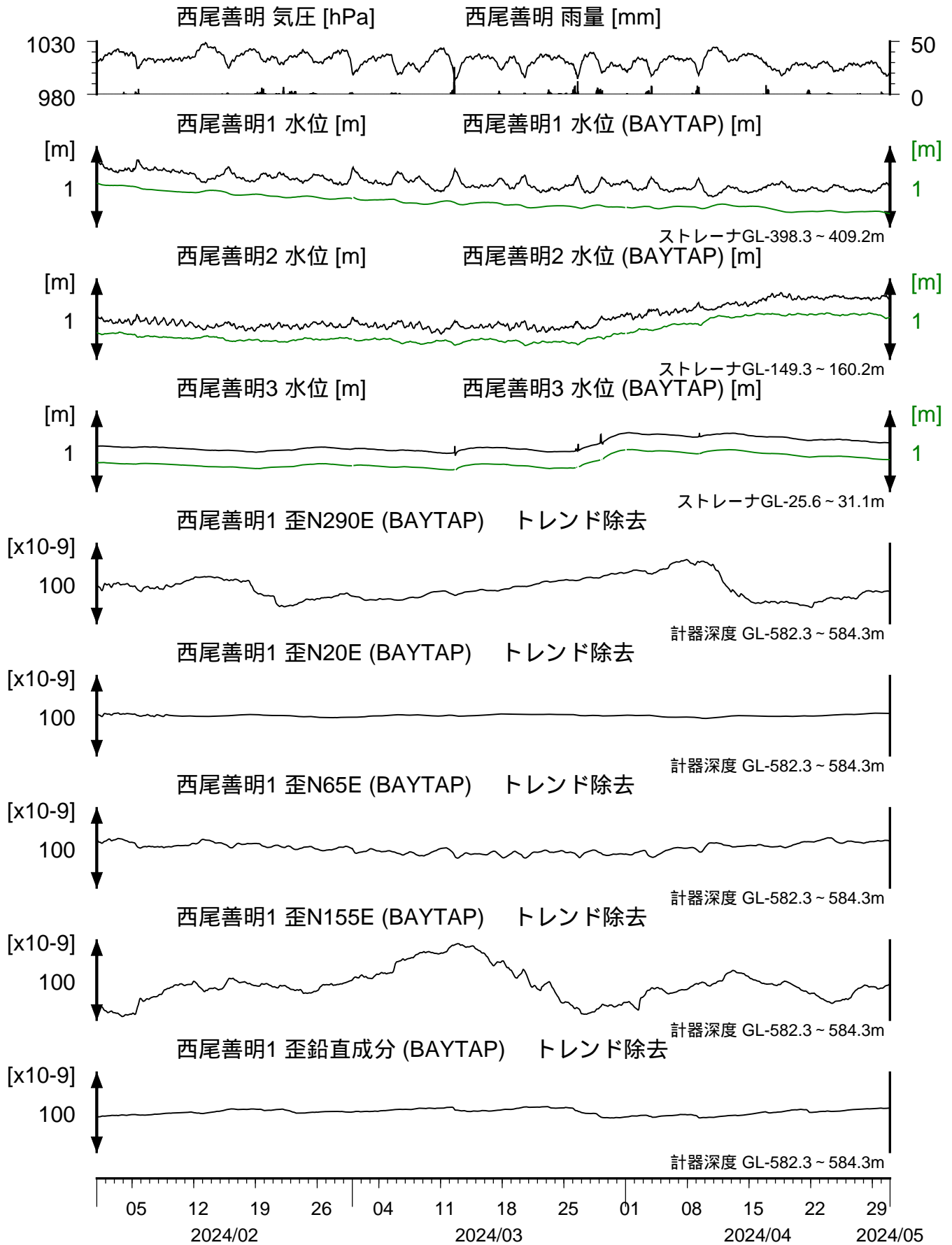
コメント：特記事項なし。

TYS 豊田神殿 地下水位・歪（時間値）
 (2024/02/01 00:00 - 2024/05/01 00:00 (JST))



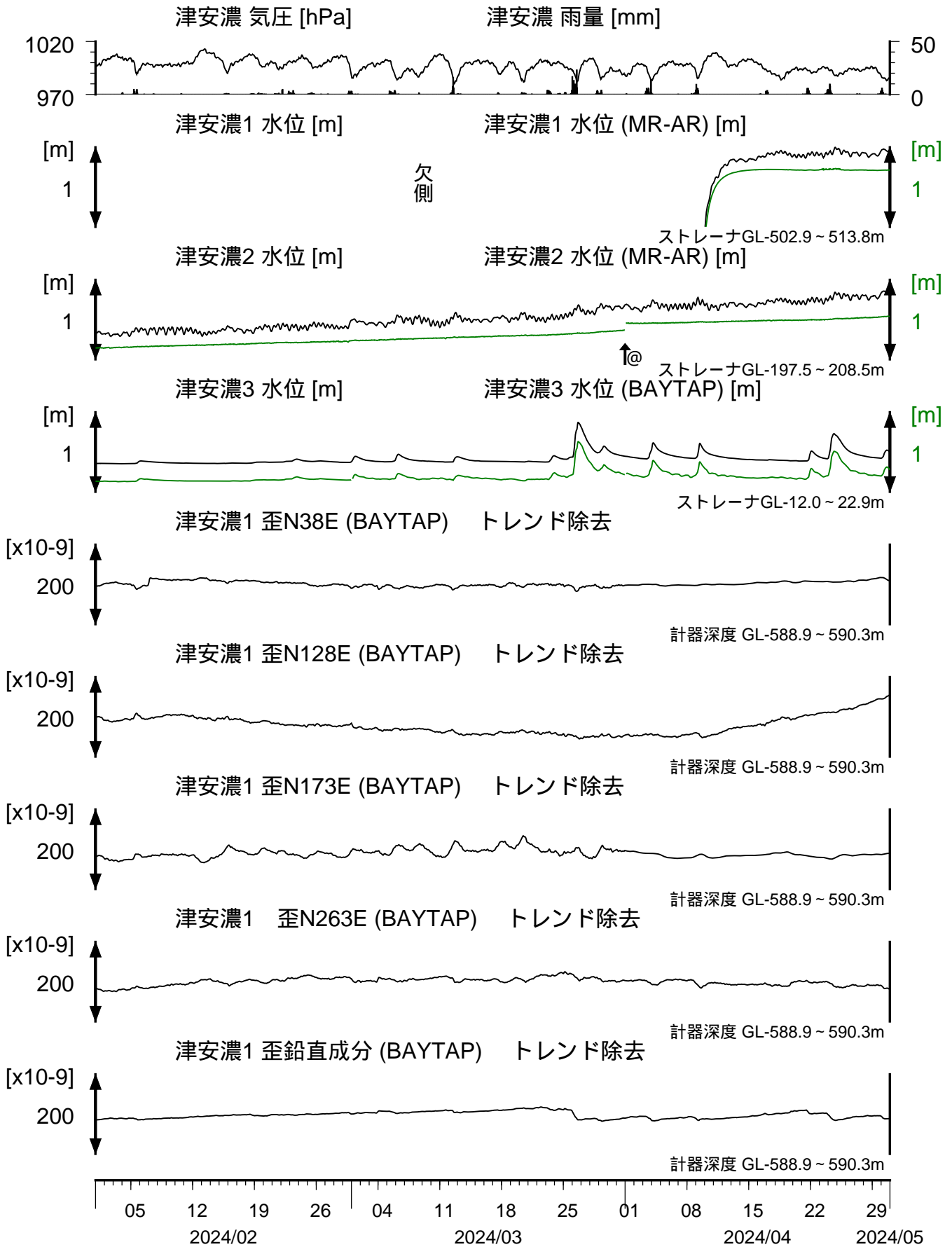
コメント：特記事項なし。

NSZ 西尾善明 地下水位・歪（時間値）
 (2024/02/01 00:00 - 2024/05/01 00:00 (JST))



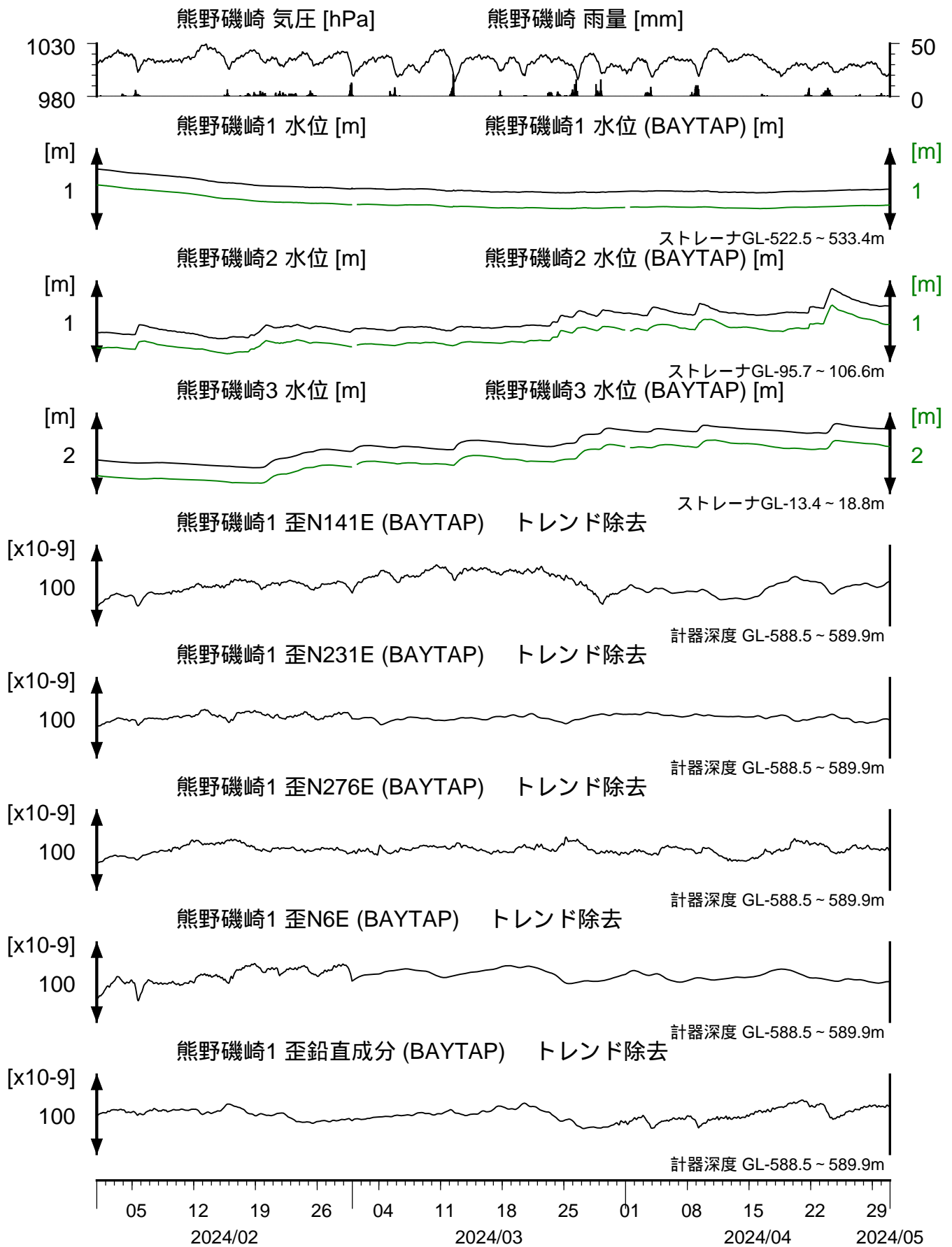
コメント：特記事項なし。

ANO 津安濃 地下水位・歪 (時間値)
 (2024/02/01 00:00 - 2024/05/01 00:00 (JST))



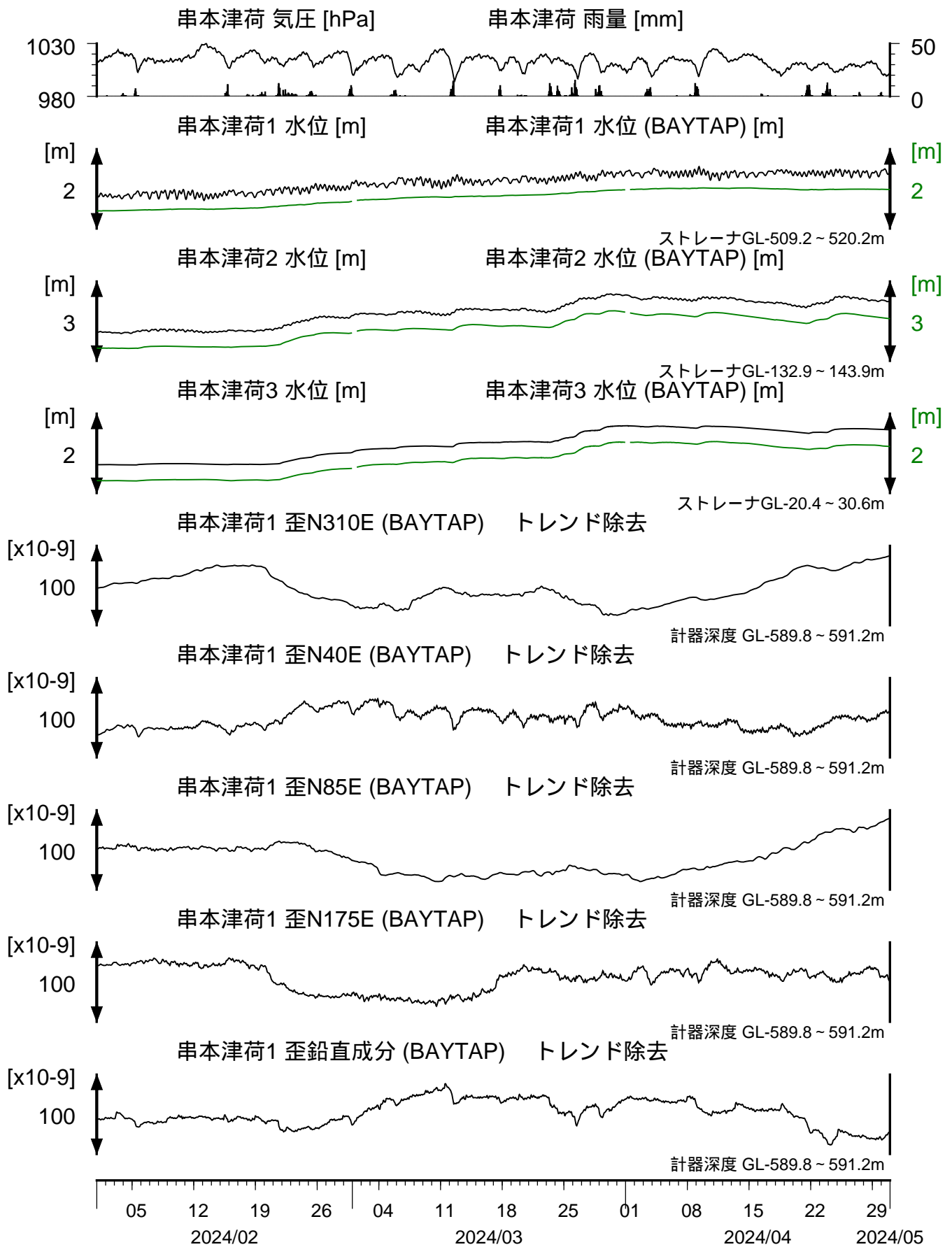
コメント: @;月初めの補正值のギャップは,
 解析プログラムの見せかけ上のものである.

ICU 熊野磯崎 地下水位・歪 (時間値)
 (2024/02/01 00:00 - 2024/05/01 00:00 (JST))



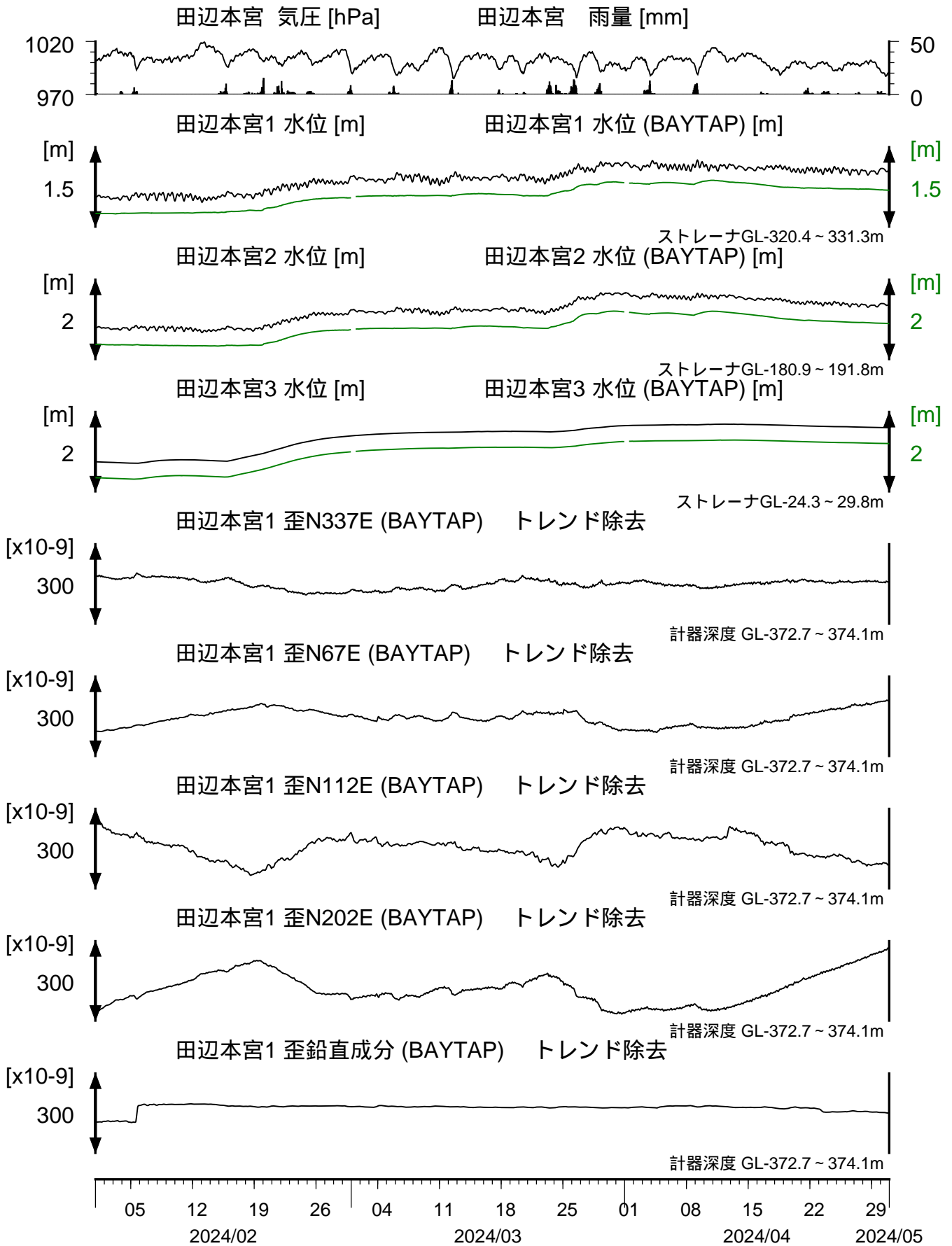
コメント：特記事項なし。

KST 串本津荷 地下水位・歪（時間値） (2024/02/01 00:00 - 2024/05/01 00:00 (JST))



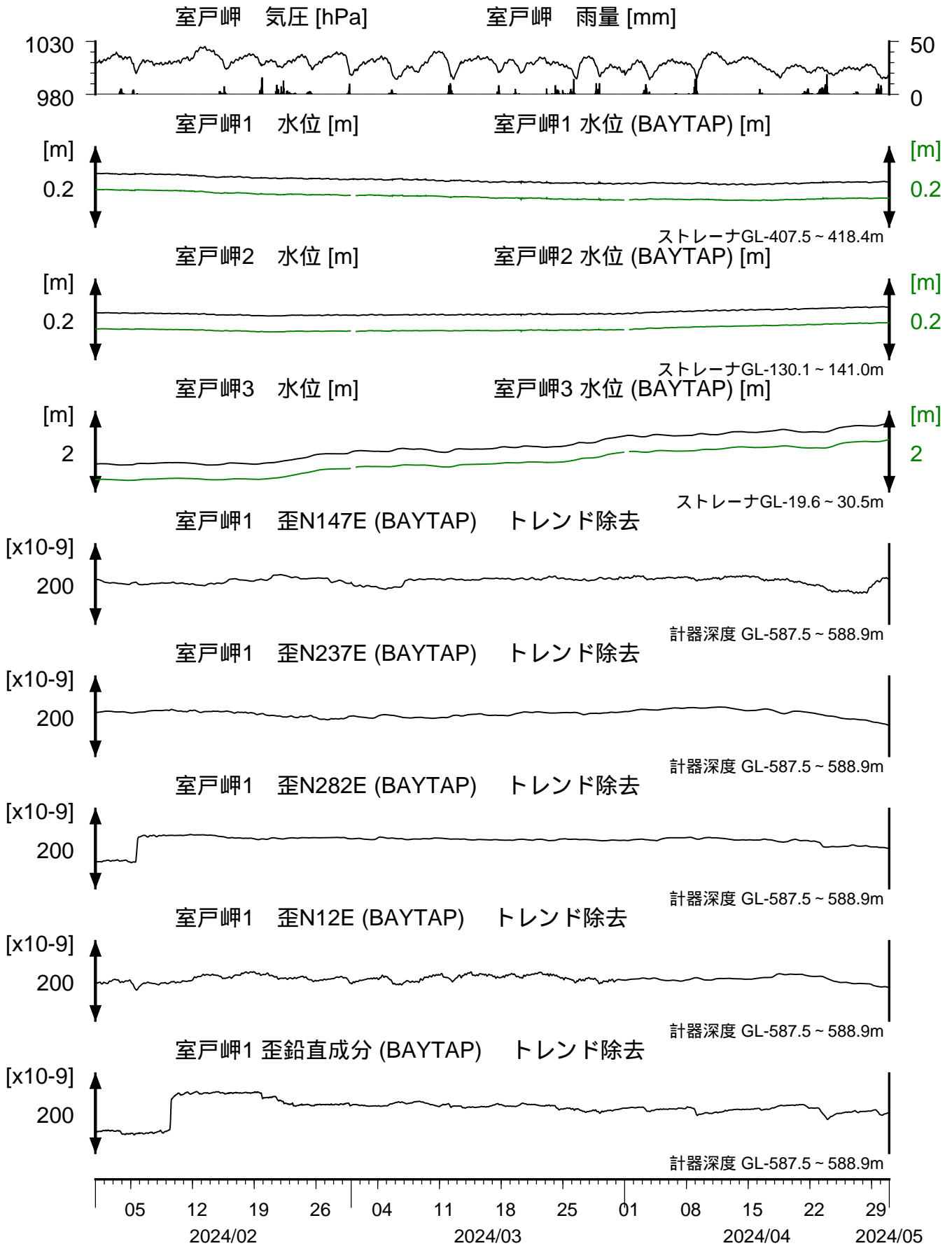
コメント：特記事項なし。

HGM 田辺本宮 地下水位・歪 (時間値)
 (2024/02/01 00:00 - 2024/05/01 00:00 (JST))



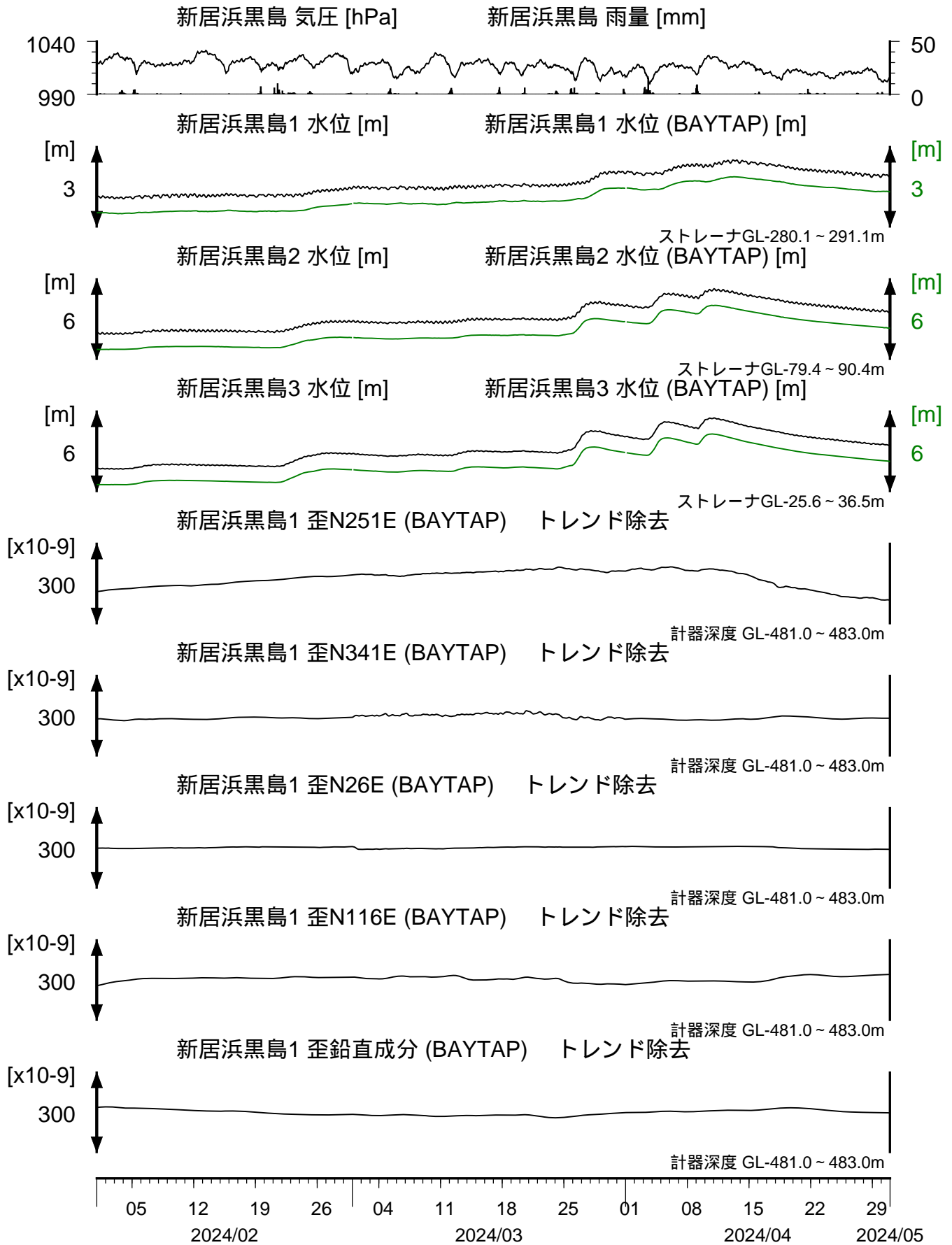
コメント：特記事項なし。

MUR 室戸岬 地下水位・歪 (時間値)
 (2024/02/01 00:00 - 2024/05/01 00:00 (JST))



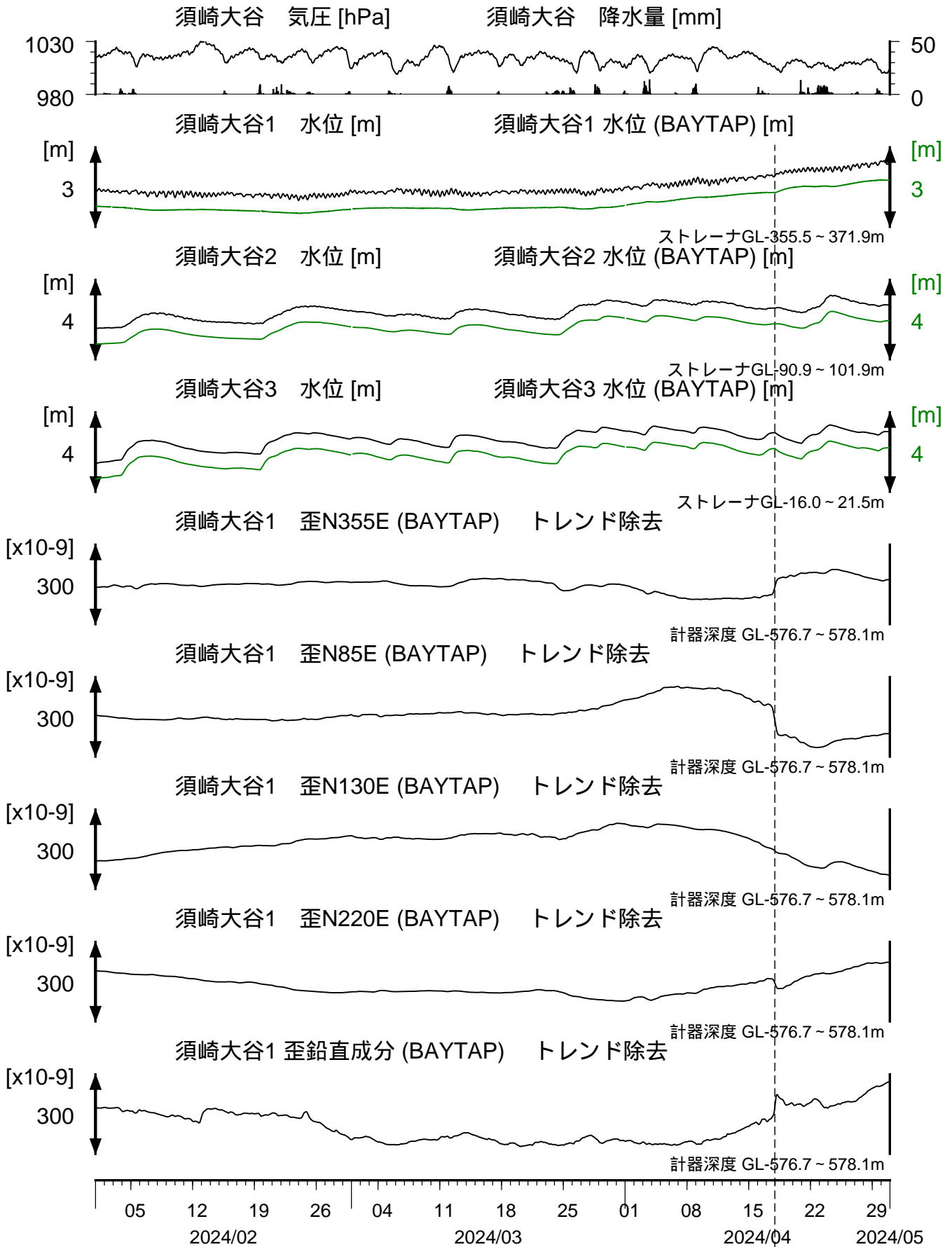
コメント：特記事項なし。

NHK 新居浜黒島 地下水位・歪 (時間値) (2024/02/01 00:00 - 2024/05/01 00:00 (JST))



コメント：特記事項なし。

SSK 須崎大谷 地下水位・歪 (時間値)
 (2024/02/01 00:00 - 2024/05/01 00:00 (JST))

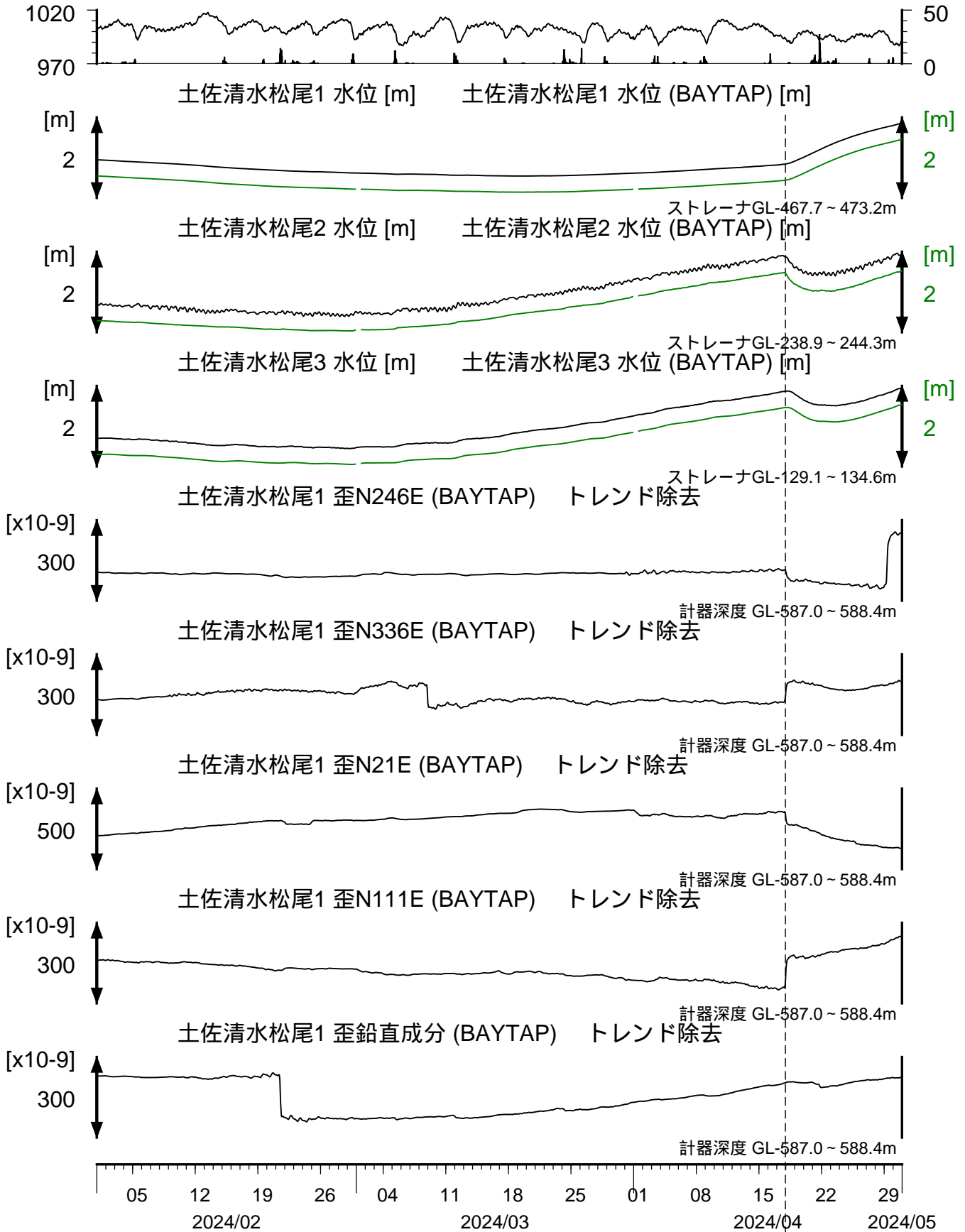


コメント：特記事項なし。

2024.4.17.
 豊後水道の地震
 M6.6

TSS 土佐清水松尾 地下水位・歪 (時間値) (2024/02/01 00:00 - 2024/05/01 00:00 (JST))

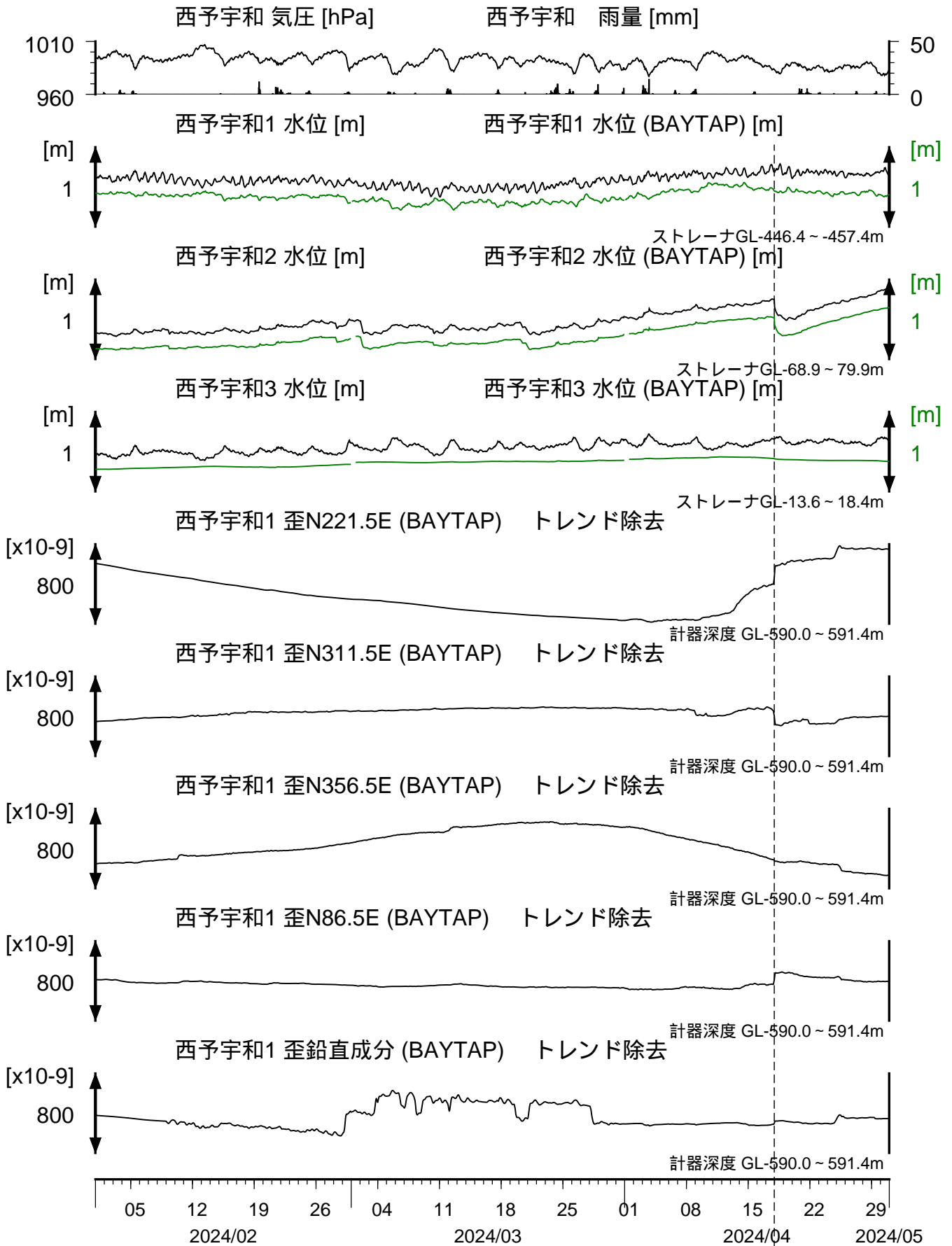
土佐清水松尾 気圧 [hPa] 土佐清水松尾 雨量 [mm]



コメント：特記事項なし。

2024.4.17.
豊後水道の地震
M6.6

UWA 西予宇和 地下水位・歪 (時間値)
 (2024/02/01 00:00 - 2024/05/01 00:00 (JST))



コメント：特記事項なし。

2024.4.17.
 豊後水道の地震
 M6.6

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

2024年03月22日から04月30日にかけて、愛媛県・高知県・香川県・徳島県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、2024年03月13日から19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3, 4, 5, 6はそれぞれ図2 [A], [B], [C], [D]の変化を説明する短期的 SSE の推定結果（順に Mw 5.8, 5.6, 5.9, 6.0）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、2024年01月26日から02月04日（Mw 5.5, 5.6：図3, 4の灰色矩形1, 2）、2023年12月24日から31日午前（Mw 6.0：同3）、2023年09月13日午後から16日午前（Mw 5.3, 5.2：同4, 5）、2023年06月21日午後から30日午前（Mw 5.8, 5.4：同6, 7）、2023年11月30日午前から12月06日（Mw 5.6, 5.6, 5.5, 5.8, 6.0：図5, 6の灰色矩形1, 2, 3, 4, 5）、2023年12月24日から31日午前（Mw 6.0：同6）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量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、気象庁の歪計と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* **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.

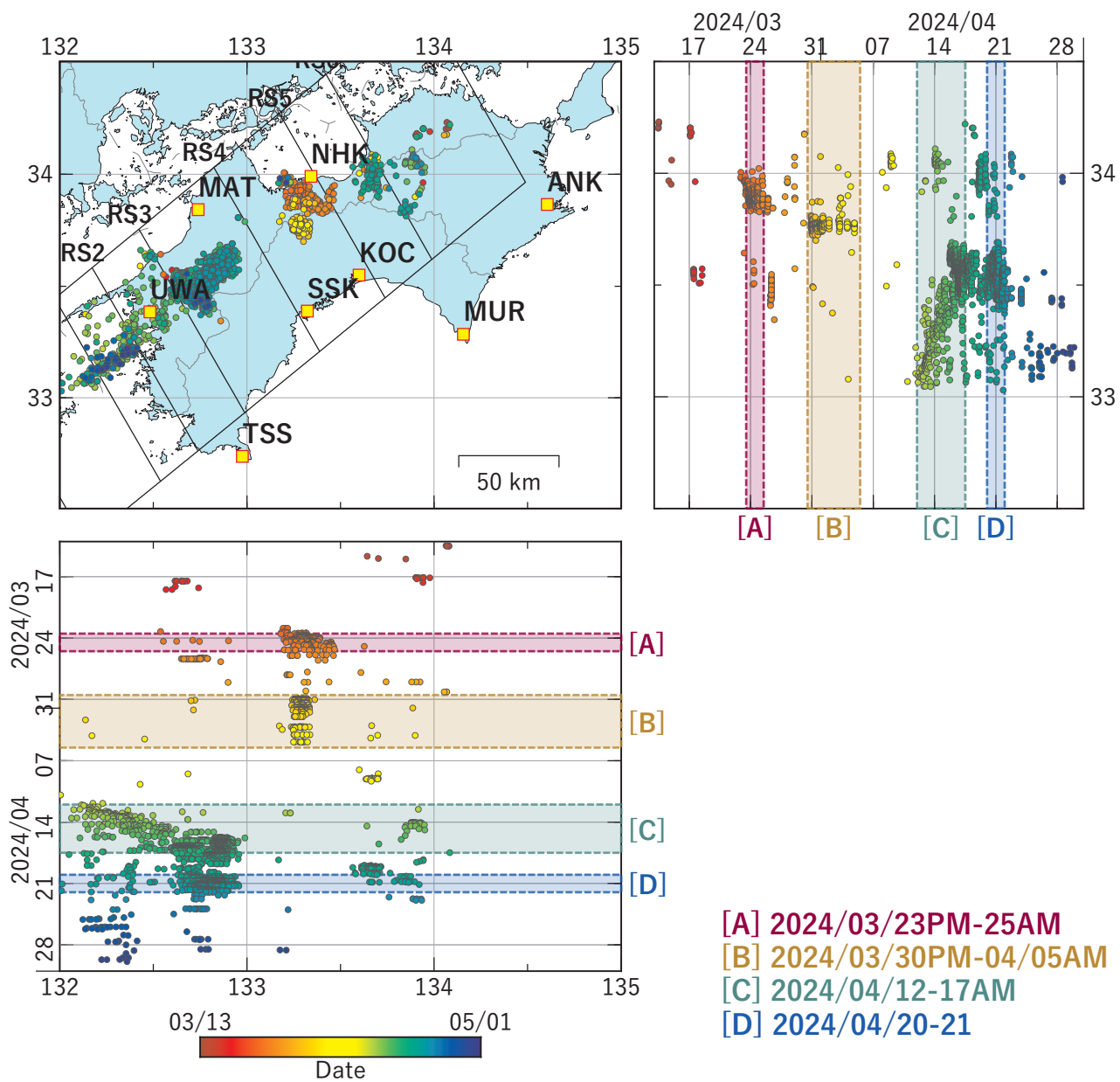


図1 四国地方における深部低周波地震の時空間分布図。
 (2024/03/13 00:00 - 2024/05/01 00:00 (JST))
 気象庁カタログによる。

(観測点) UWA: 西予宇和, TSS: 土佐清水松尾, MAT: 松山南江戸, SSK: 須崎大谷,
 NHK: 新居浜黒島, KOC: 高知五台山, MUR: 室戸岬, ANK: 阿南桑野

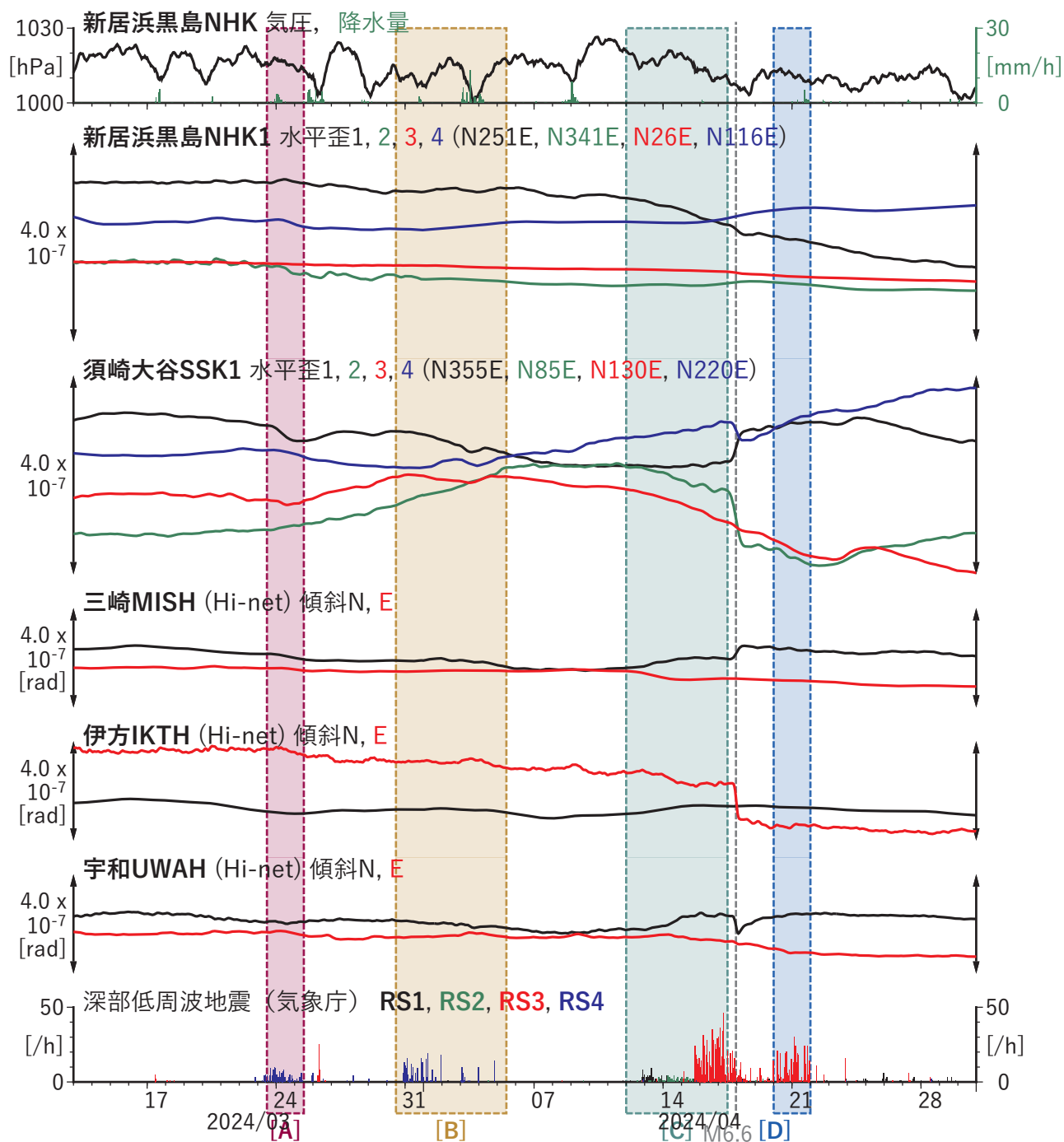
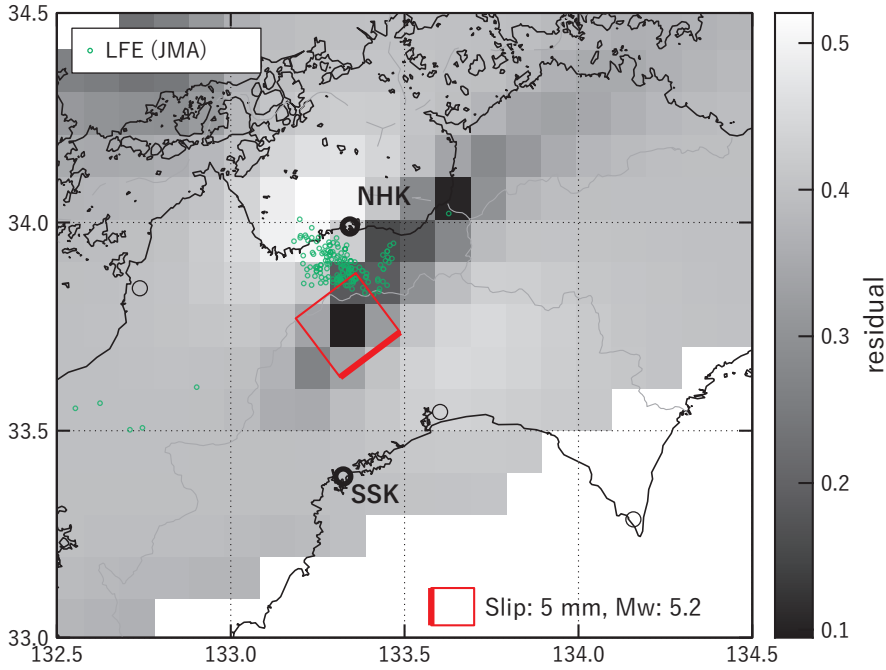


図2 四国地方における歪・傾斜の時間変化
(2024/03/13 00:00 - 2024/05/01 00:00 (JST))

[A] 2024/03/23PM-25AM

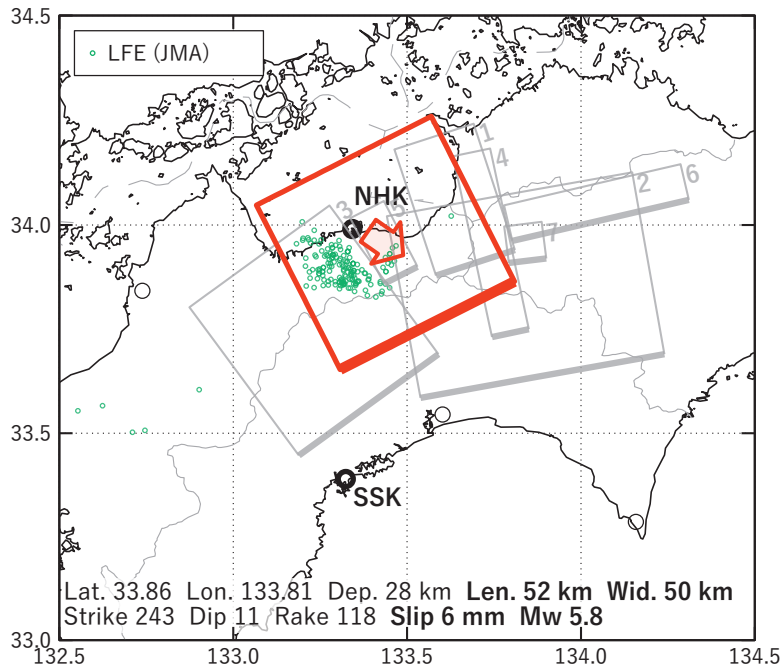
(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



再掲
参考

○ 産総研の観測点

(b1) 推定した断層モデル



(b2) 主歪

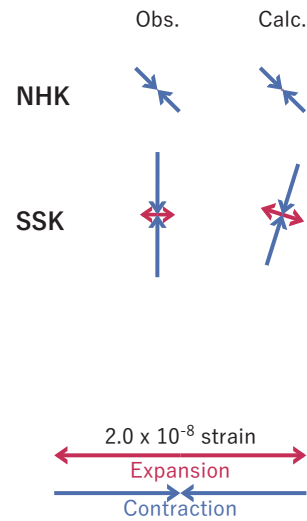


図3 2024/03/23PM - 25AM の歪・傾斜変化 (図2 [A]) を説明する断層モデル。

(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: 2024/01/26PM-30 (Mw5.5), 2: 2024/01/31-02/04 (Mw5.6), 3: 2023/12/24-31AM (Mw6.0),

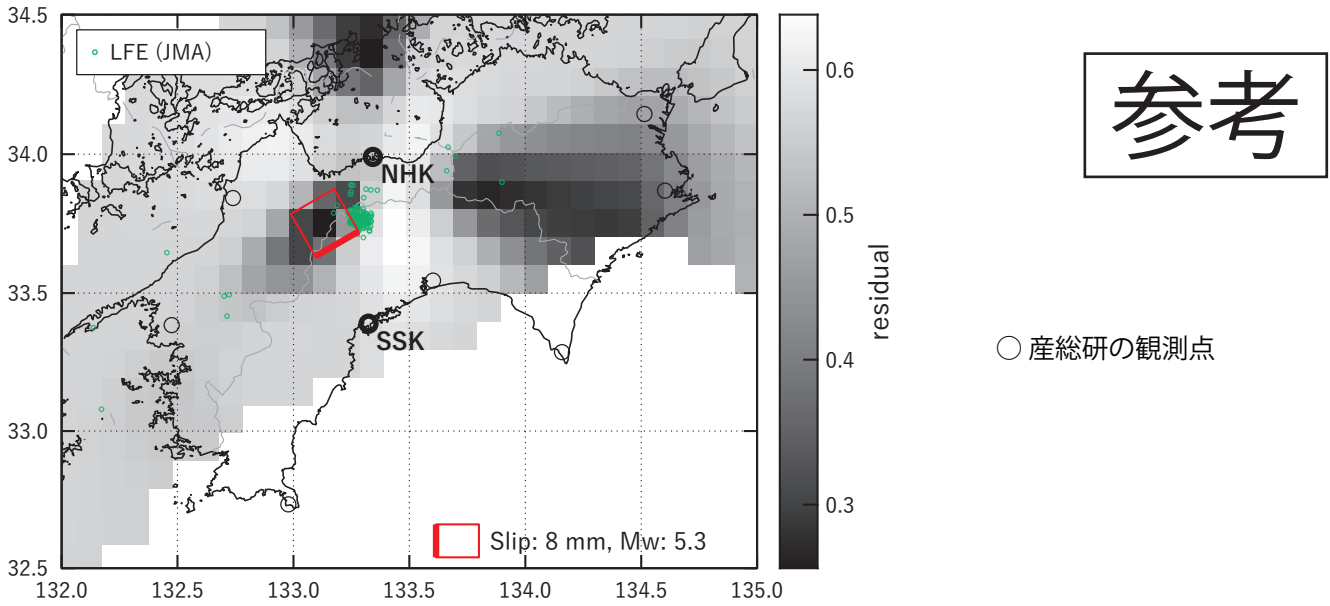
4: 2023/09/13PM-14 (Mw5.3), 5: 2023/09/15-16AM (Mw5.2), 6: 2023/06/21PM-24AM (Mw5.8),

7: 2023/06/24PM-30AM (Mw5.4)

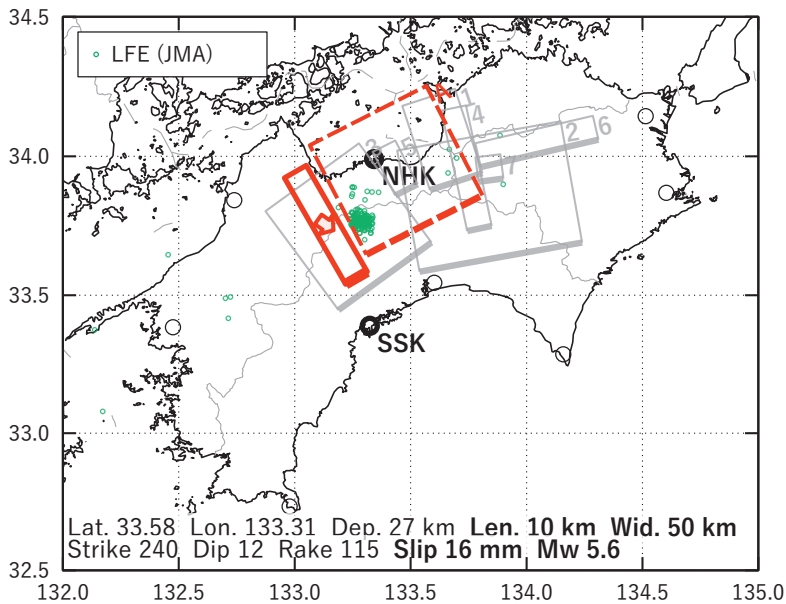
(b2) 主歪の観測値と(b1)に示した断層モデルから求めた計算値との比較。

[B] 2024/03/30PM-04/05AM

(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

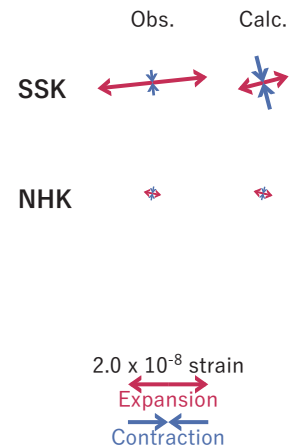


図4 2024/03/30PM-04/05AM の歪・傾斜変化 (図2 [B]) を説明する断層モデル。

(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: 2024/01/26PM-30 (Mw5.5), 2: 2024/01/31-02/04 (Mw5.6), 3: 2023/12/24-31AM (Mw6.0),

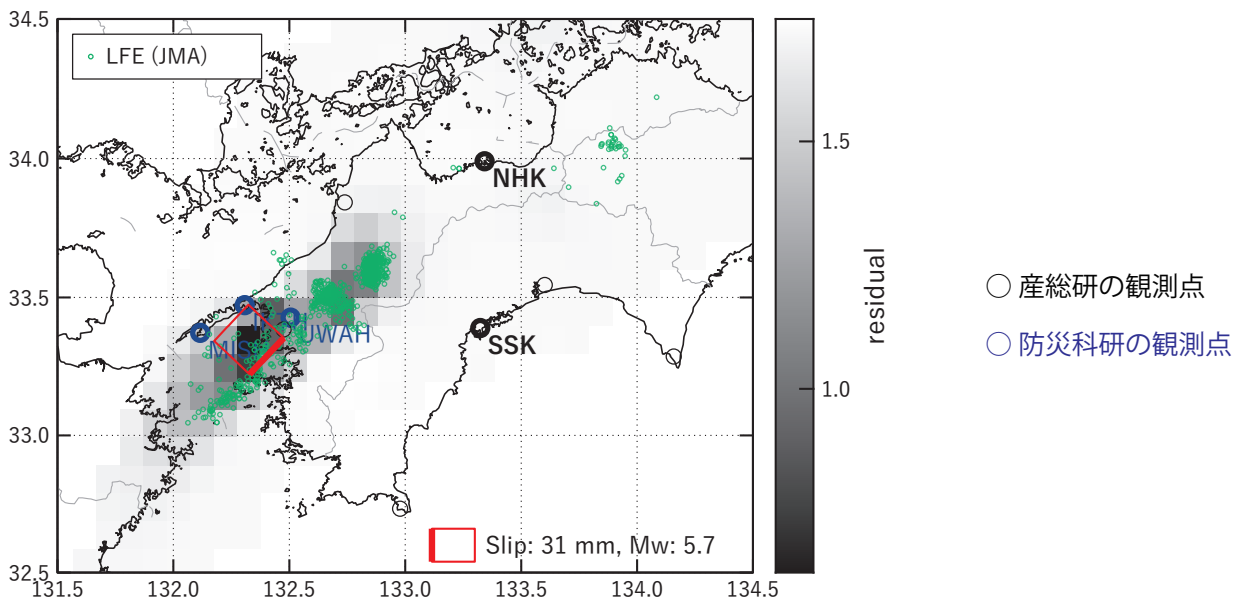
4: 2023/09/13PM-14 (Mw5.3), 5: 2023/09/15-16AM (Mw5.2), 6: 2023/06/21PM-24AM (Mw5.8),

7: 2023/06/24PM-30AM (Mw5.4), A: 2024/03/23PM-25AM (Mw5.8)

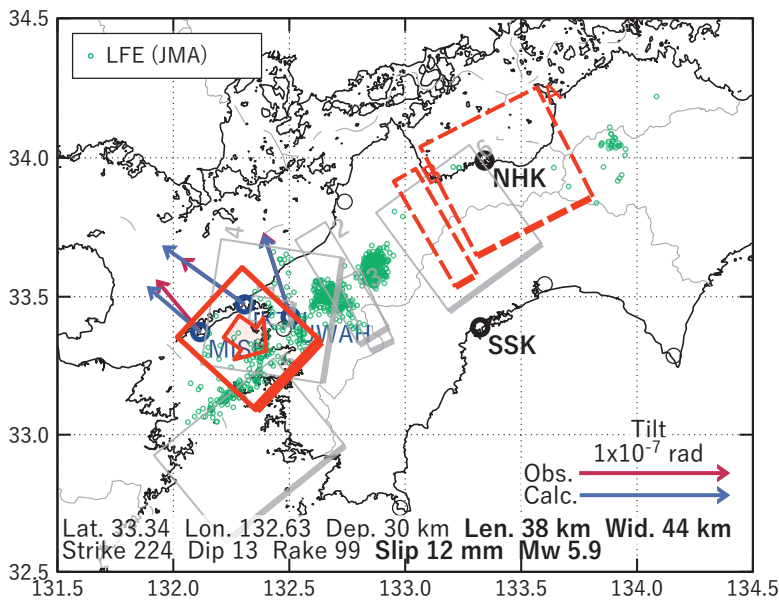
(b2) 主歪の観測値と(b1)に示した断層モデルから求めた計算値との比較。

[C] 2024/04/12-17AM

(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

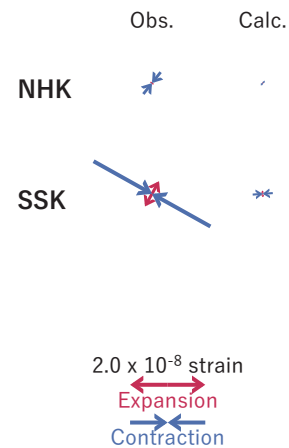


図5 2024/04/12-17AM の歪・傾斜変化 (図2 [C]) を説明する断層モデル。

(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。

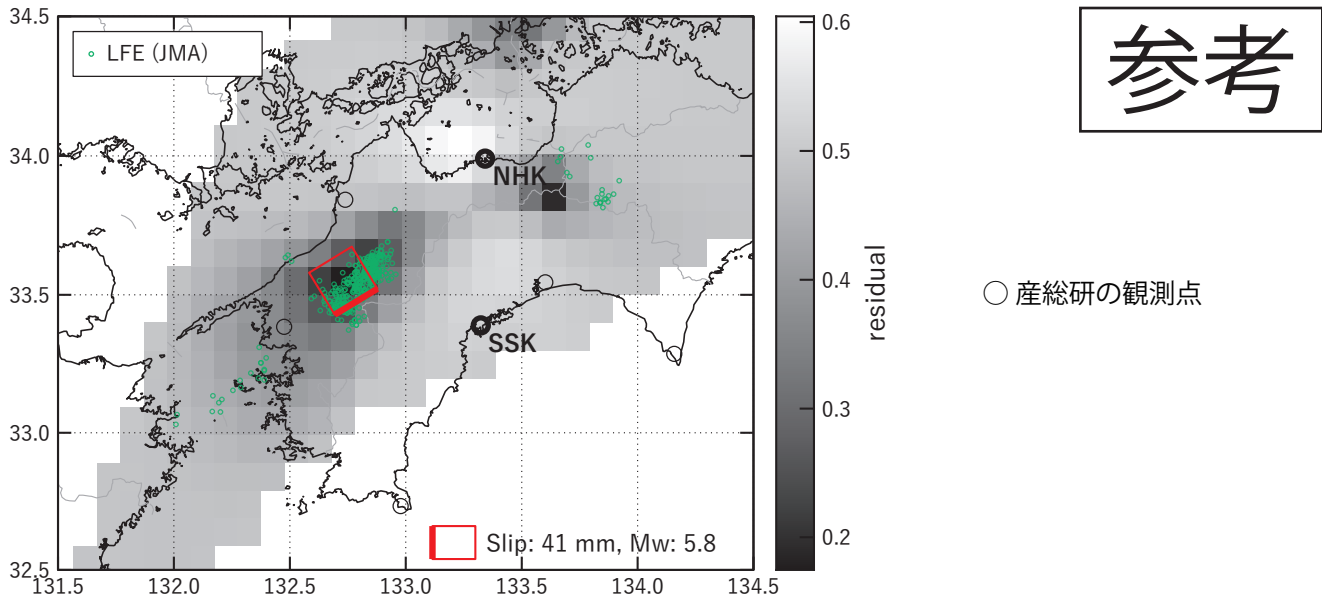
1: 2023/11/30PM-12/02 (Mw5.6), 2: 2023/12/03-04 (Mw5.6), 3: 2023/12/05-06 (Mw5.5),

4: 2023/12/03-04 (Mw5.8), 5: 2023/12/05-06 (Mw6.0), 6: 2023/12/24-31AM (Mw6.0),

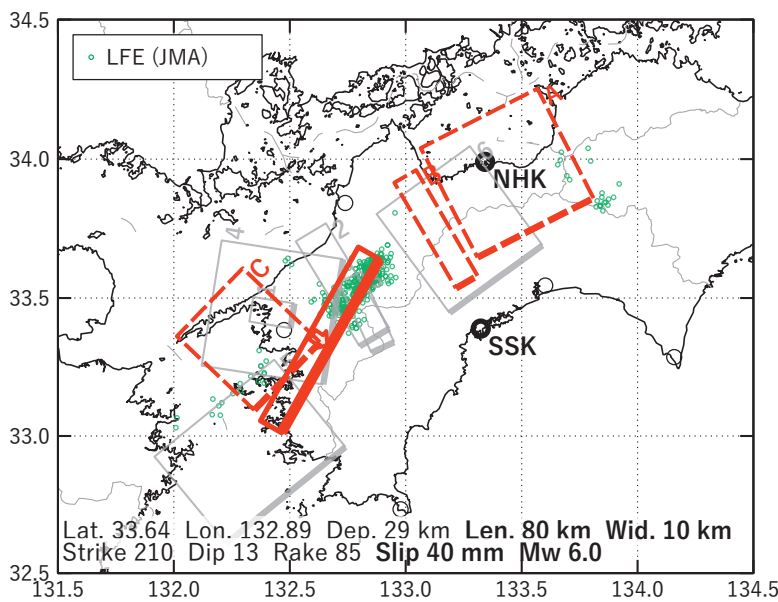
A: 2024/03/23PM-25AM (Mw5.8), B: 2024/03/03PM-04/05AM (Mw5.6)

(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。

(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

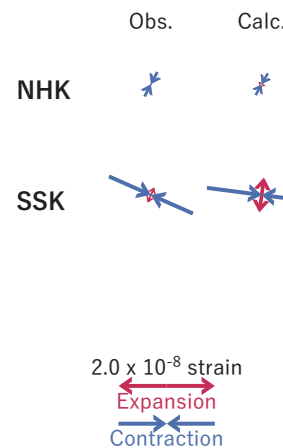


図6 2024/04/20-21 の歪・傾斜変化（図2 [D]）を説明する断層モデル。

(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。

1: 2023/11/30PM-12/02 (Mw5.6), 2: 2023/12/03-04 (Mw5.6), 3: 2023/12/05-06 (Mw5.5),

4: 2023/12/03-04 (Mw5.8), 5: 2023/12/05-06 (Mw6.0), 6: 2023/12/24-31AM (Mw6.0),

A: 2024/03/23PM-25AM (Mw5.8), B: 2024/03/03PM-04/05AM (Mw5.6), C: 2024/04/12-17AM (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。

2024年4月17日豊後水道の地震（M6.6）前後の四国のひずみ変化

産業技術総合研究所

2024年4月17日に豊後水道にてM6.6の地震が発生した。地震前後の四国の観測点3地点（図1）のひずみ変化を報告する。

★西予宇和 UWA（愛媛県西予市）：図2

地震時のひずみにステップ状の大きい変化が認められる。地震時のひずみ4成分のステップは整合するが、地震のメカニズム解から計算されるひずみ場とは一致しない（図5）。地震後のひずみのトレンドについては変化していない（地震時のステップを除く）。地震後（地震時）に孔2の水位が低下した。

★土佐清水松尾 TSS（高知県土佐清水市）：図3

地震時のひずみにステップ状の小さい変化が認められる。地震時のひずみ4成分のステップは整合せず、地震のメカニズム解から計算されるひずみ場とも一致しない（図5）。地震後のひずみには変化が見られたが、1日以内で終息した。ひずみの伸び縮みパターンは過去に観測された地震後の変化と同様である（図6）。その継続時間（過去の事例では1日前後）も前例の範囲内である。地震の震源距離とマグニチュードの関係からも前例の範囲内である（図7）。地震後に孔2の水位が低下しているが、過去に観測された地震後の変化と同様である。地震後に孔1と孔3の水位にも変化が見られる。

地震後の土佐清水松尾のひずみ変化については、広域の地殻変動ではなく、土佐清水松尾観測点周辺での環境変化（地下水流動や応力場の変化等）の可能性が高いと考えている。

★須崎大谷 SSK（高知県須崎市）：図4

地震時のひずみにステップ状の大きい変化が認められる。地震後のひずみのトレンドについては変化していない（地震時のステップを除く）。地震後に孔1、孔2、孔3の水位に変化が見られる。

以上を踏まえ、地震後にプレート境界付近の動き（すべり）はなかったと考えている。

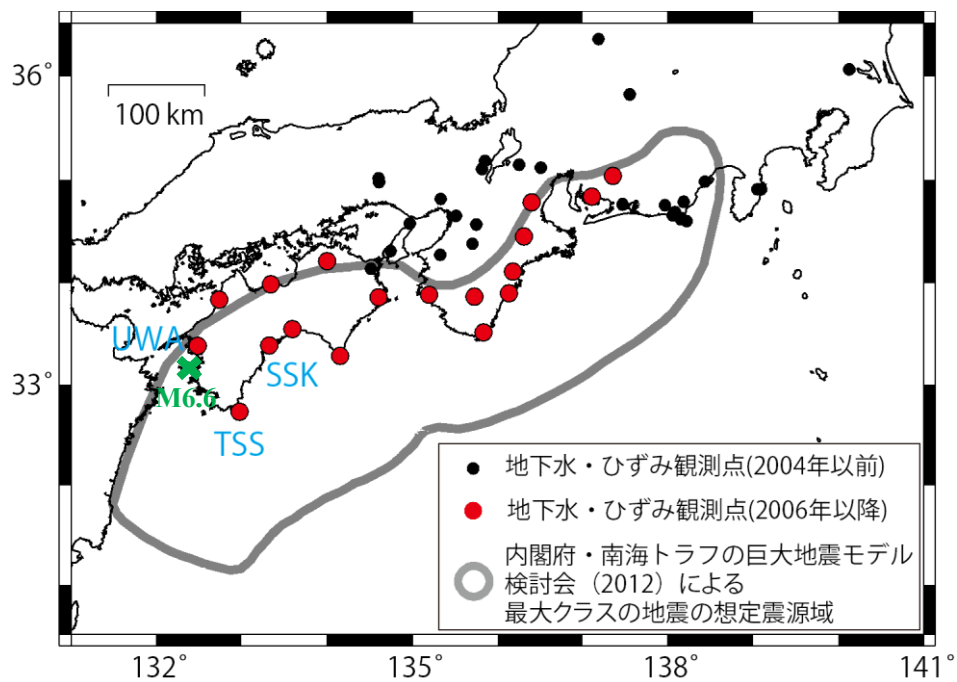


図1 産総研の観測点配置図と2024年4月17日の豊後水道の地震 M6.6 の震央

西予宇和の歪・水位
(2024/04/10 00:00 - 2024/04/25 00:00 (JST))

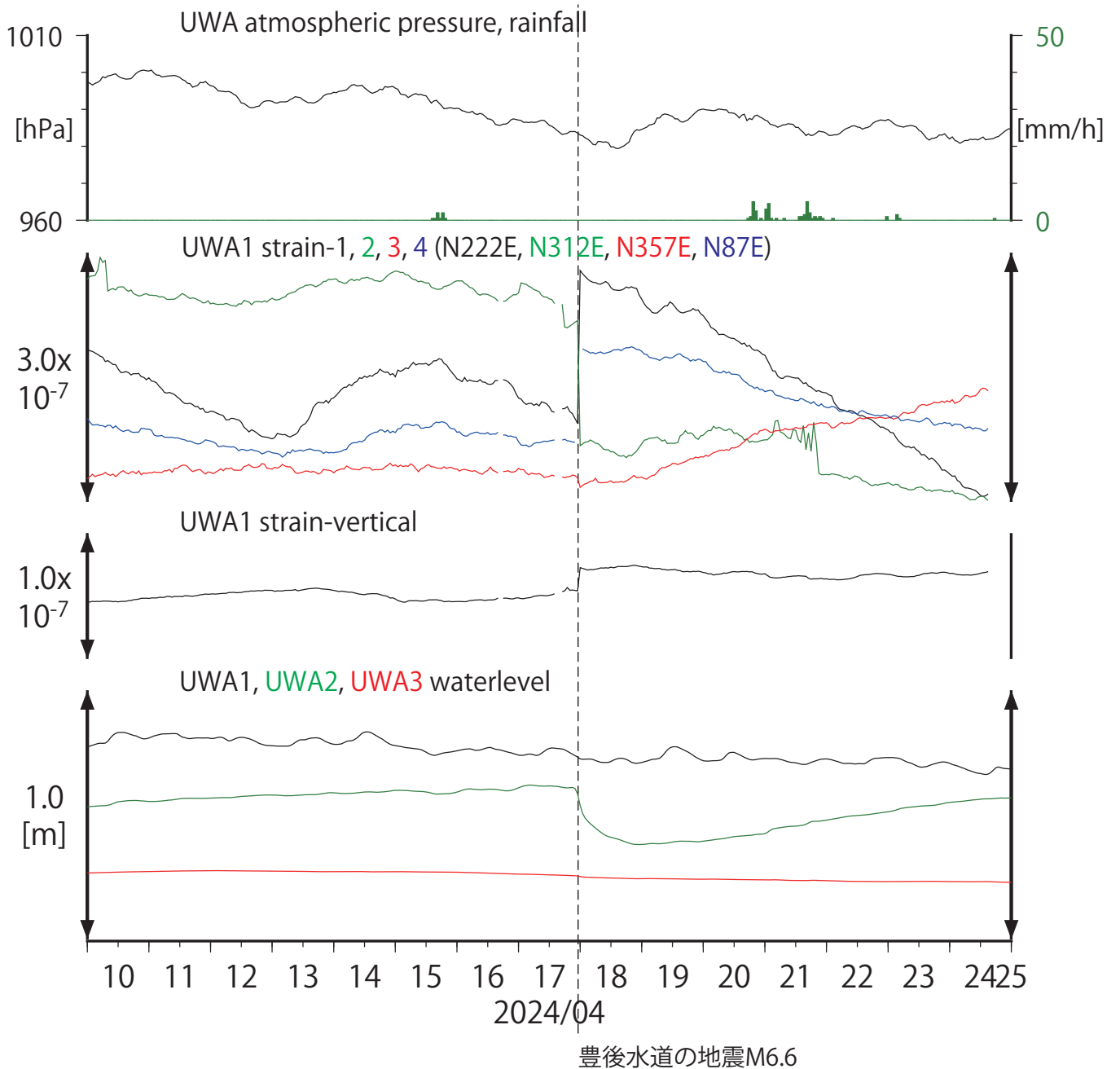


図2 西予宇和観測点のひずみ・水位

土佐清水松尾の歪・水位
 (2024/04/10 00:00 - 2024/04/25 00:00 (JST))

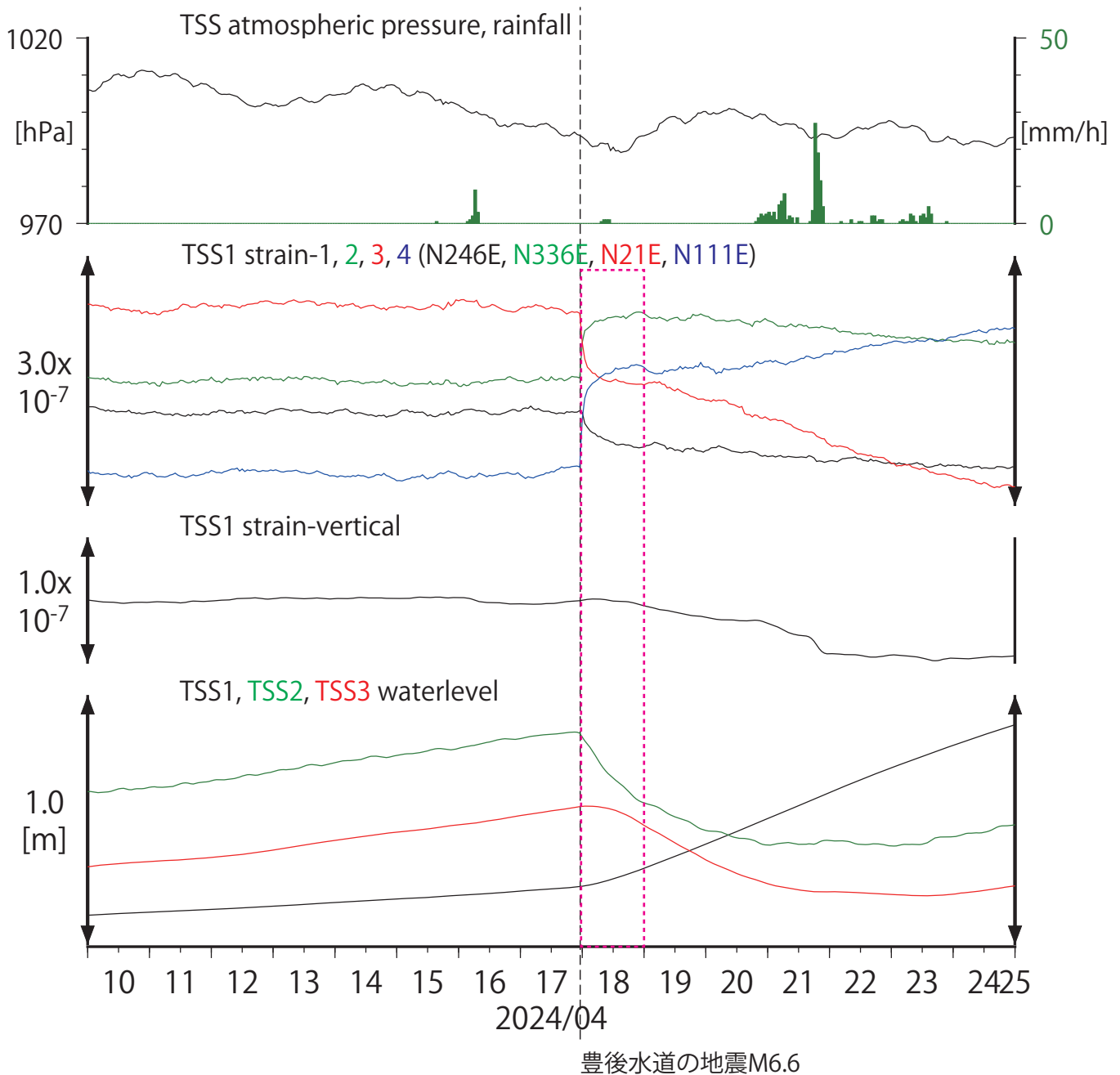


図3 土佐清水松尾観測点のひずみ・水位

須崎大谷の歪・水位
(2024/04/10 00:00 - 2024/04/25 00:00 (JST))

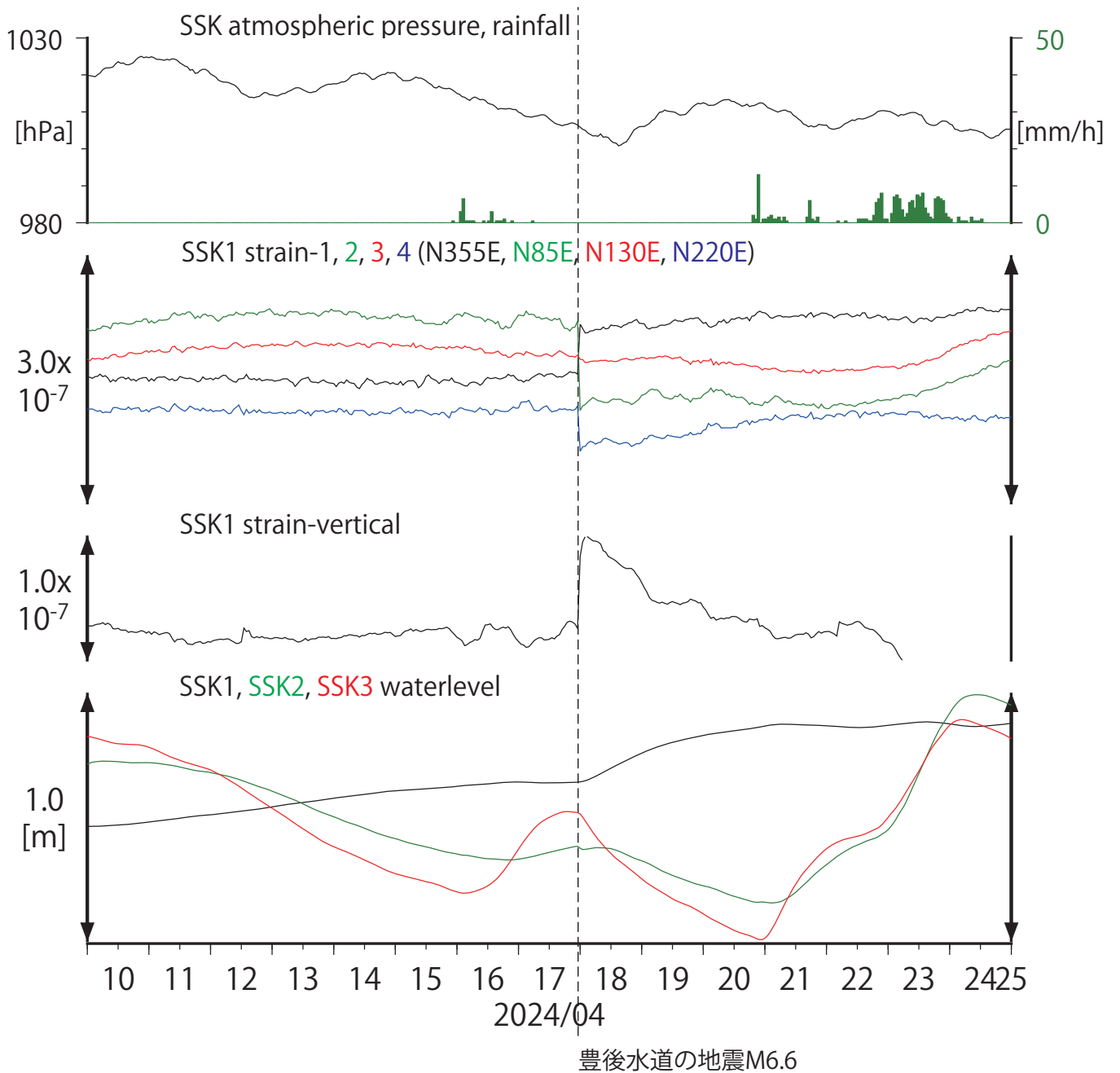
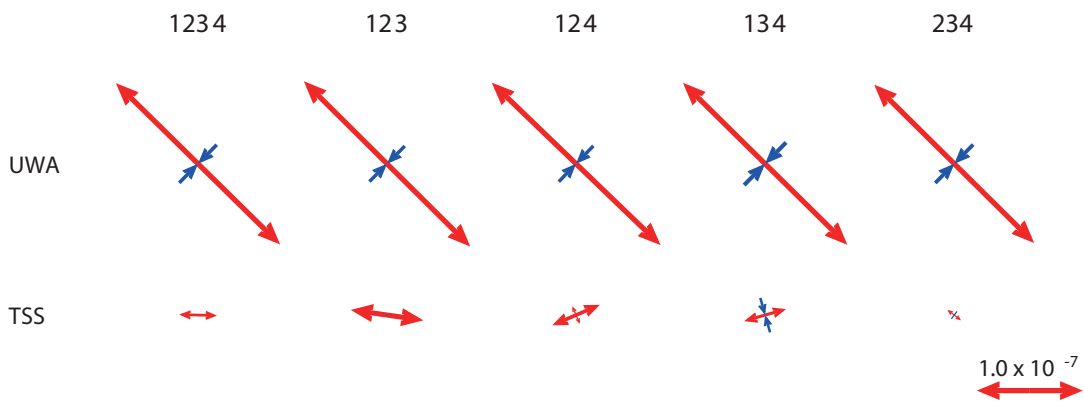


図4 須崎大谷観測点のひずみ・水位

豊後水道の地震（2024/04/17）

ひずみ 4 成分の整合性



観測値（4 成分）と計算値の比較

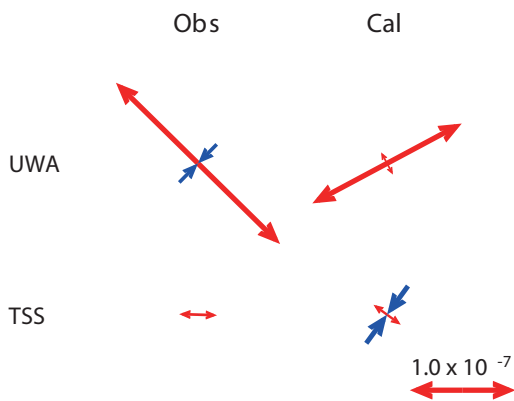


図5 豊後水道の地震時のひずみステップの主歪場
計算値については、防災科学技術研究所のF-net解を用いて、
各観測点でのひずみ変化を計算した

防災科学技術研究所のF-net地震のメカニズム情報【詳細】
https://www.fnet.bosai.go.jp/event/tdmt.php?_id=20240417141300&LANG=ja

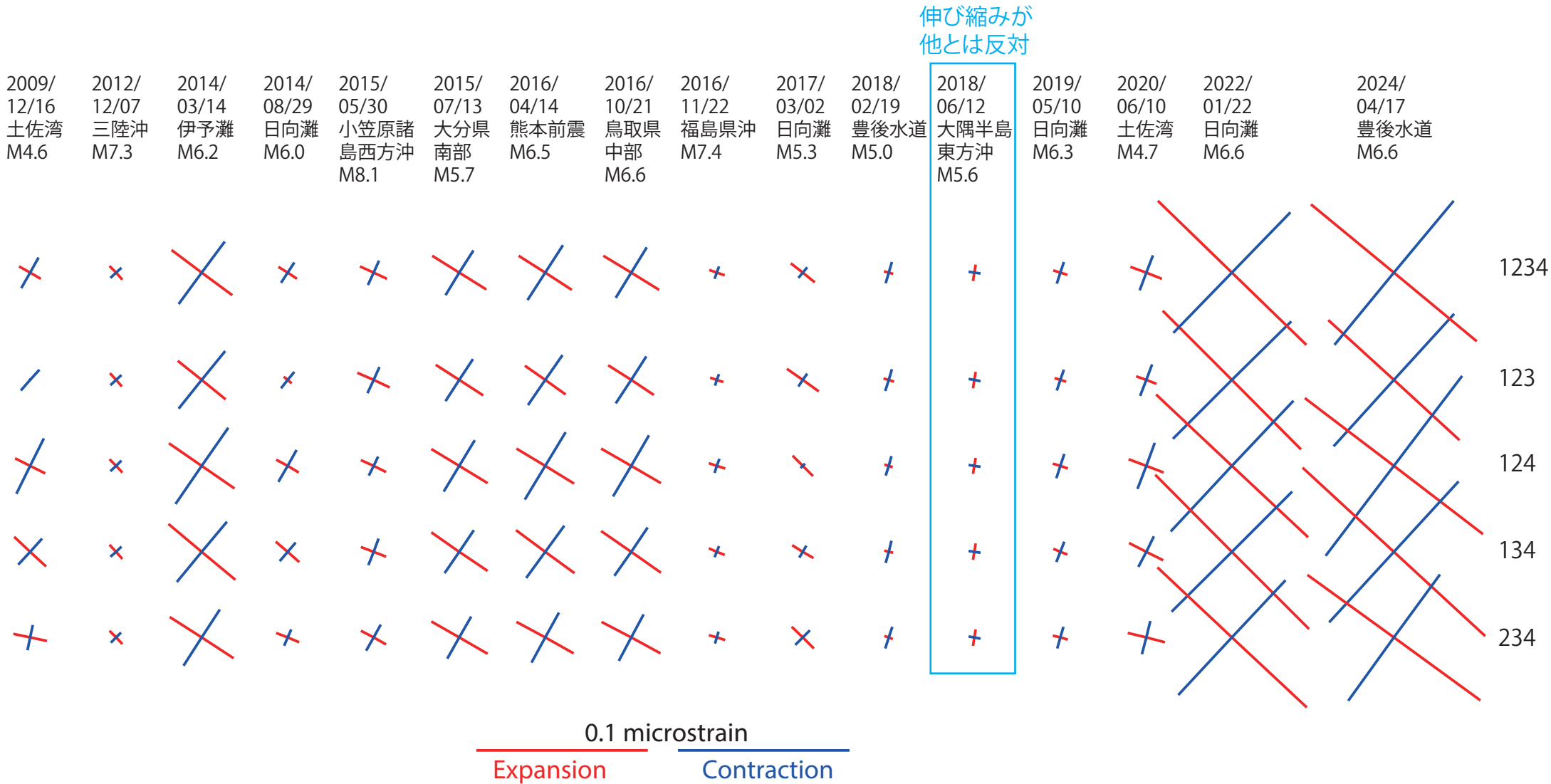


図6 地震後1日間の土佐清水松尾のひずみ変化の主歪場(16例)
地震時のステップは除去済み

- 地震後の変化あり
- 雨の影響あり
- 変化なし
- 他の要因にて変化不明

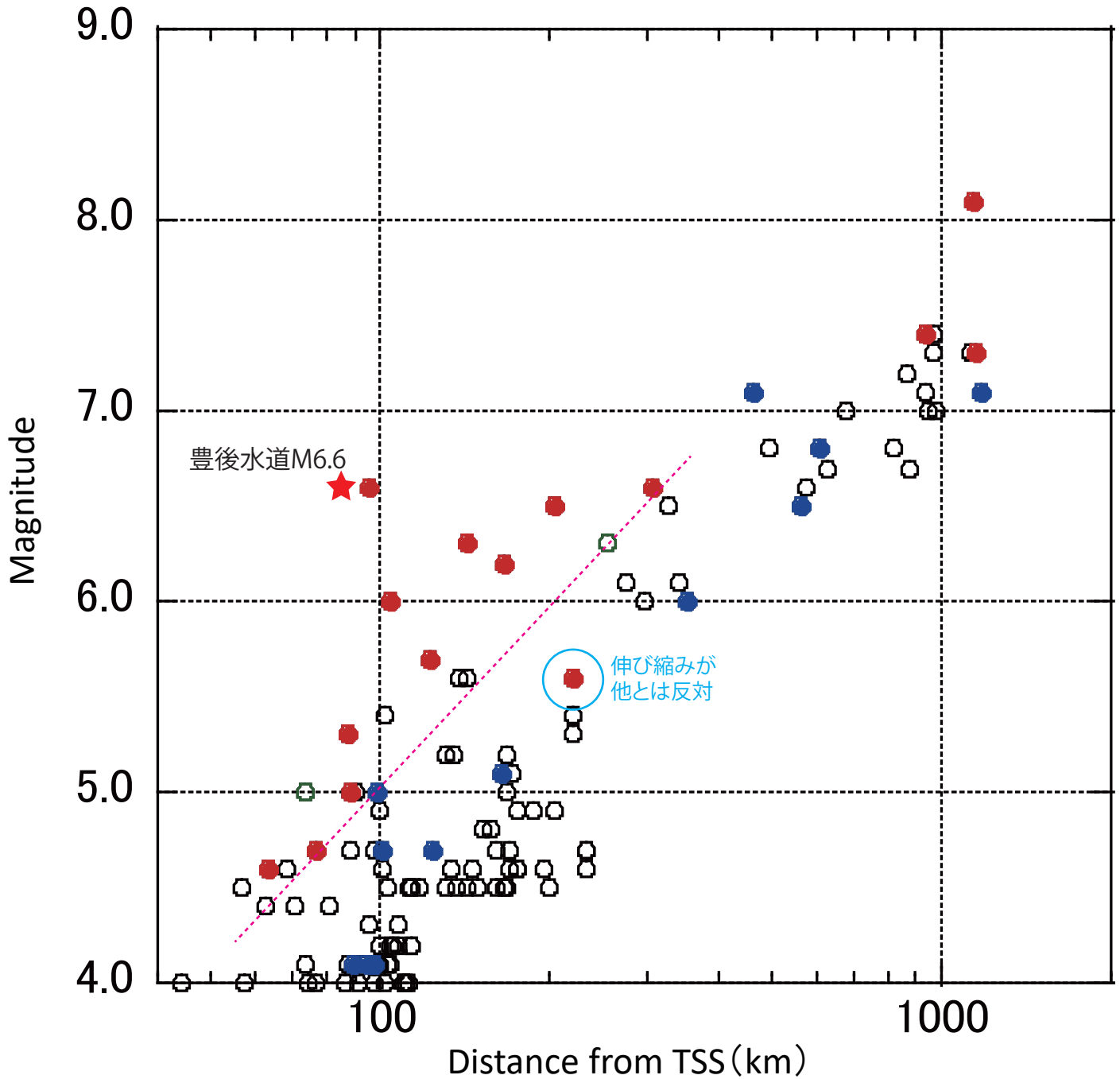


図7 土佐清水松尾の地震後のひずみ変化についての地震の震源距離とマグニチュードの関係
 2009年1月から2022年7月までの地震に対する調査結果に2024年4月17日の豊後水道の地震M6.6を追加した