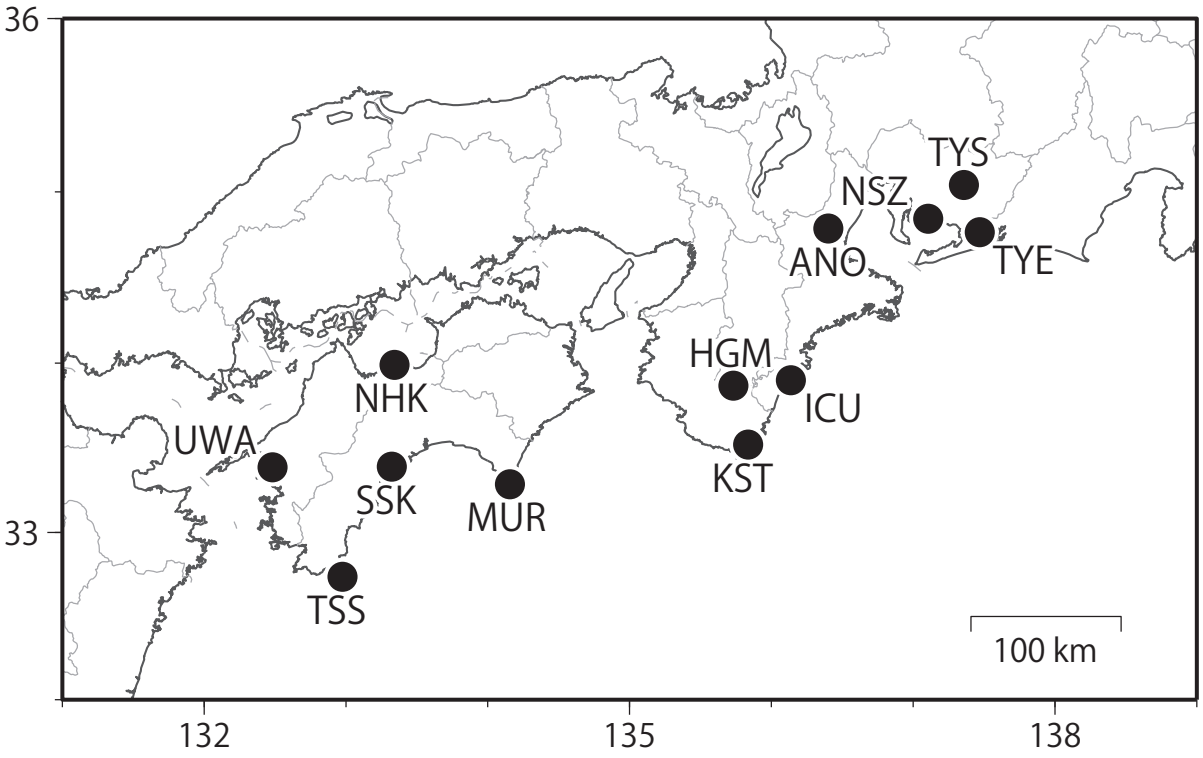
【第71回】南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会
【第449回】地震防災対策強化地域判定会

―産業技術総合研究所資料―

令和5年9月7日

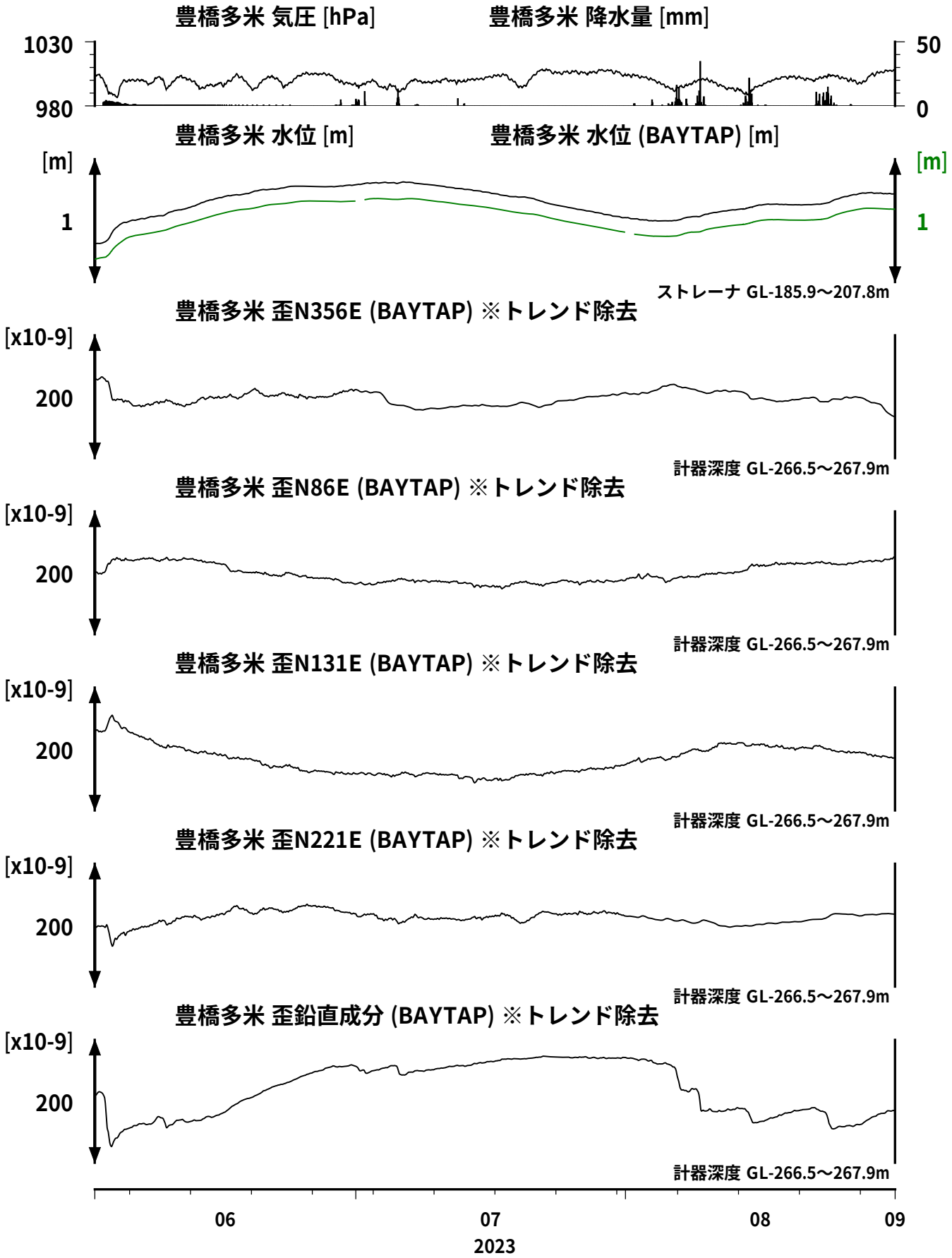
産総研



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	とよたかんどの	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

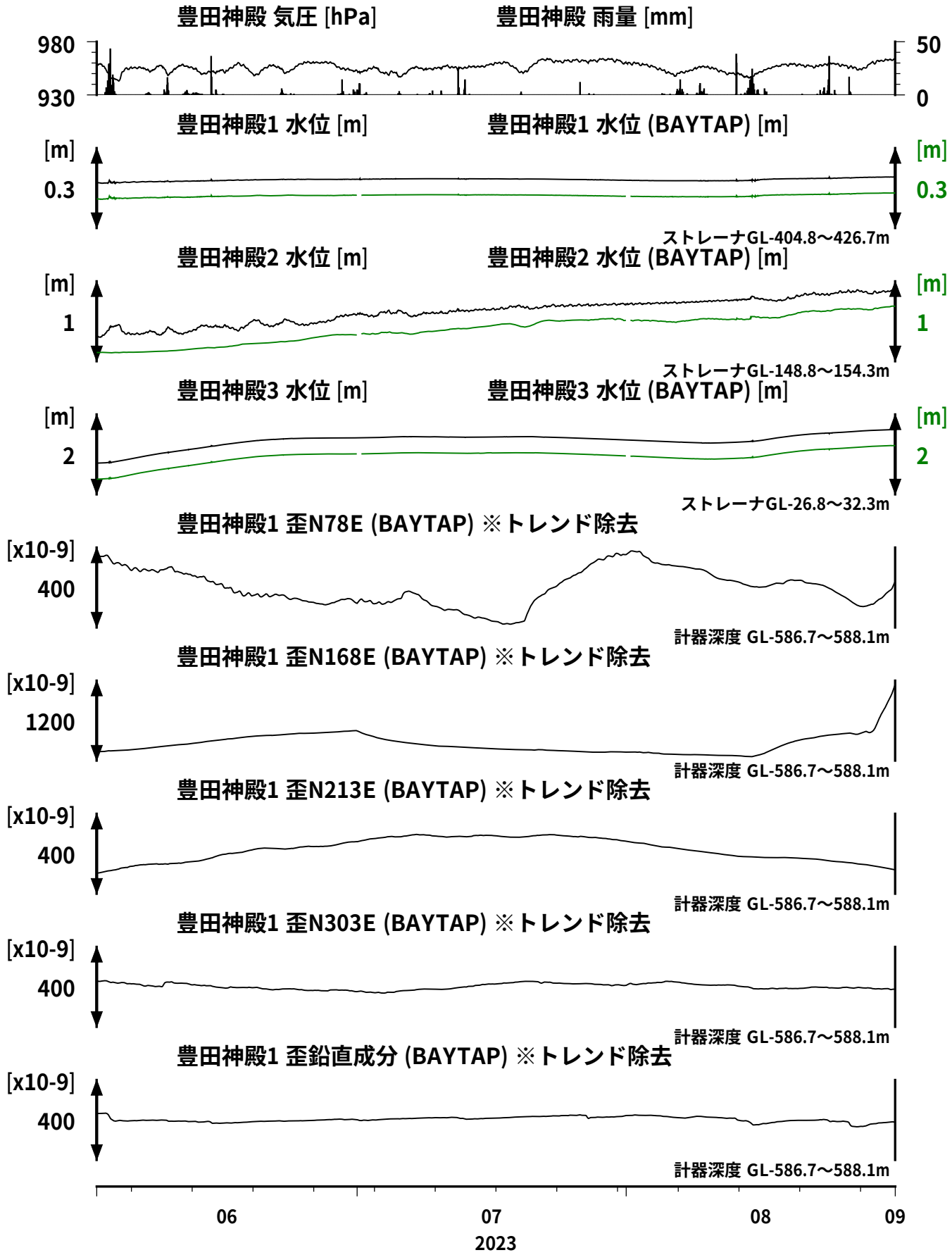
TYE 豊橋多米 地下水位・歪（時間値）
(2023/06/01 00:00 - 2023/09/01 00:00 (JST))



コメント：特記事項なし.

産業技術総合研究所資料

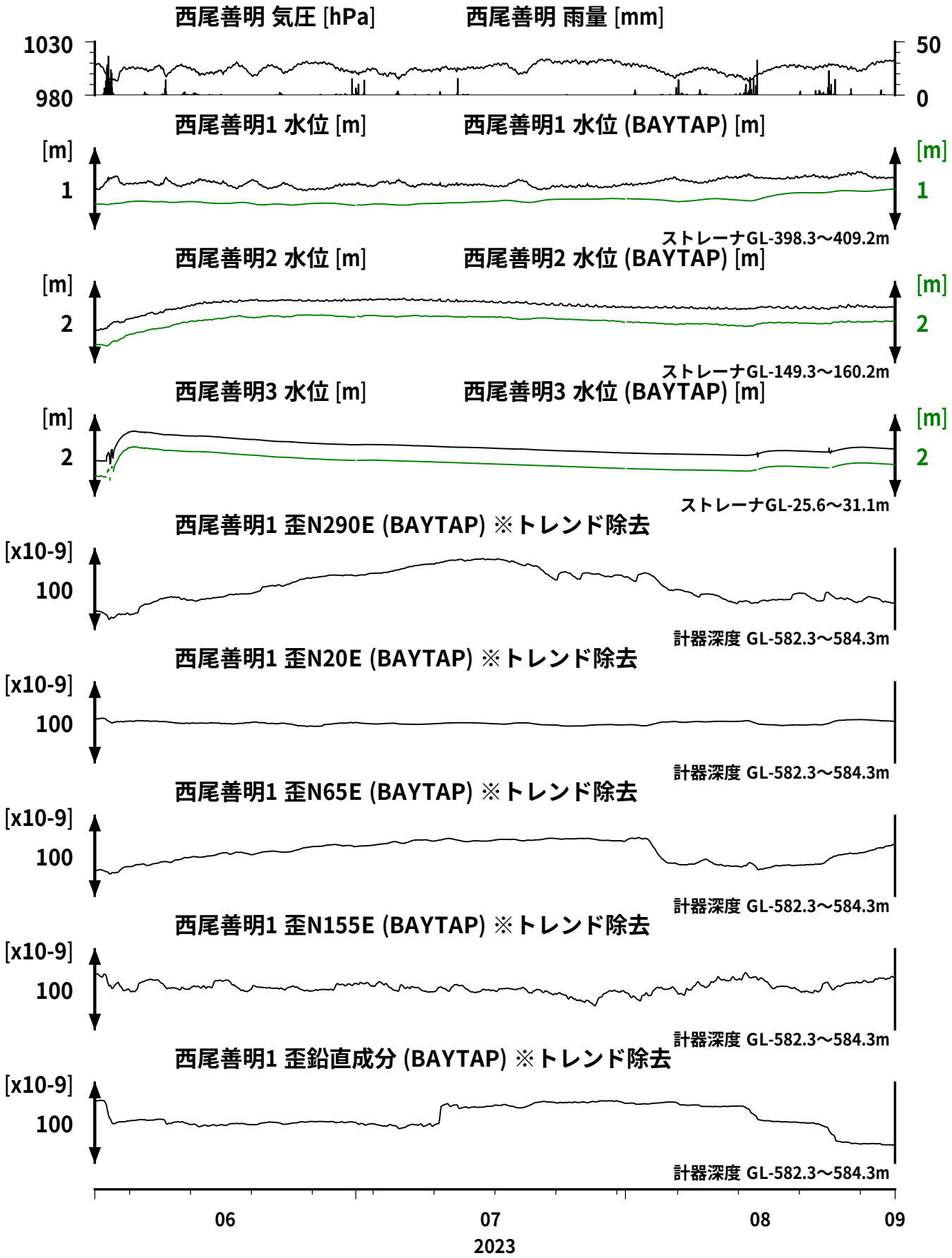
TYS 豊田神殿 地下水位・歪（時間値）
(2023/06/01 00:00 - 2023/09/01 00:00 (JST))



コメント：特記事項なし.

産業技術総合研究所資料

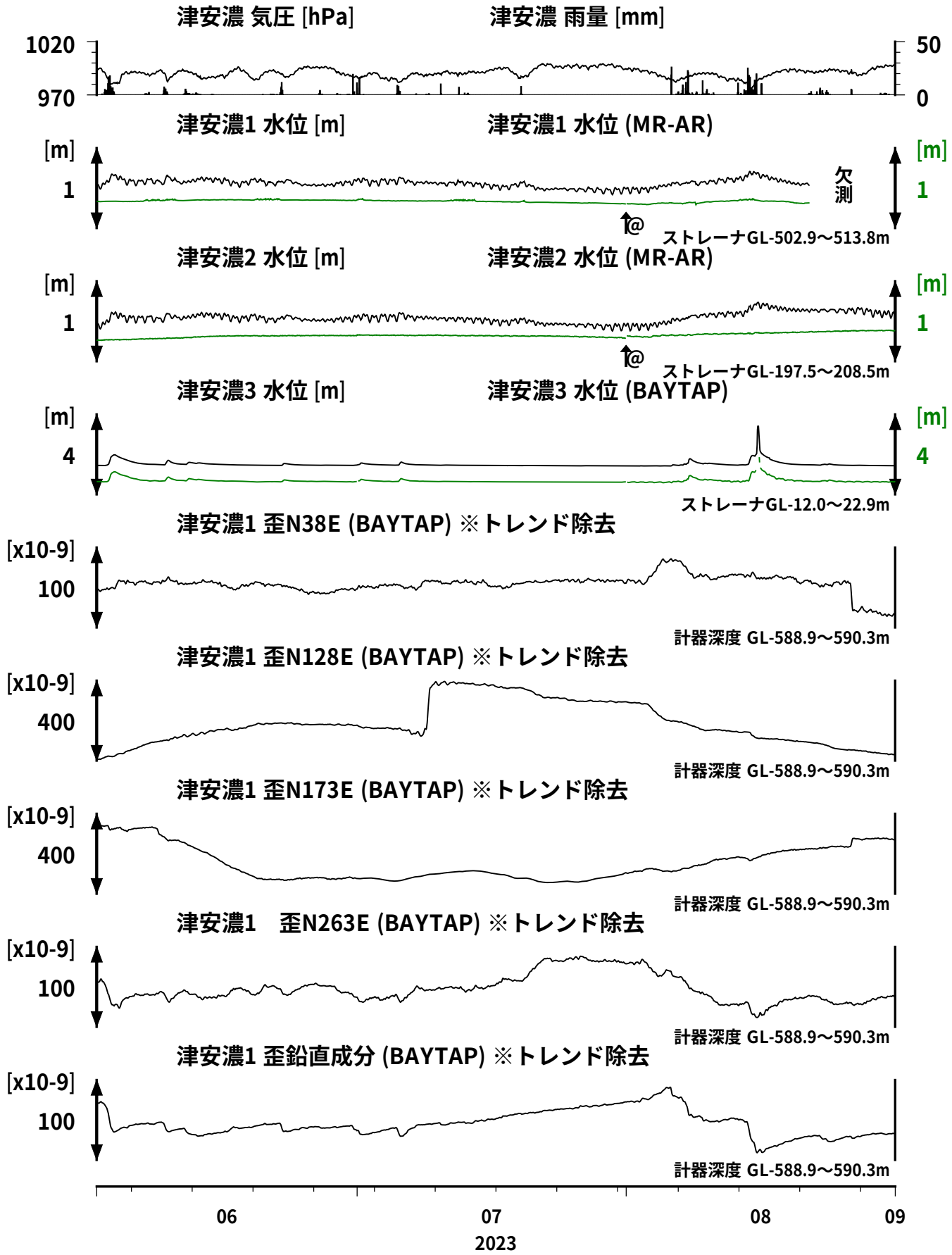
NSZ 西尾善明 地下水位・歪（時間値）
(2023/06/01 00:00 - 2023/09/01 00:00 (JST))



コメント：特記事項なし.

産業技術総合研究所資料

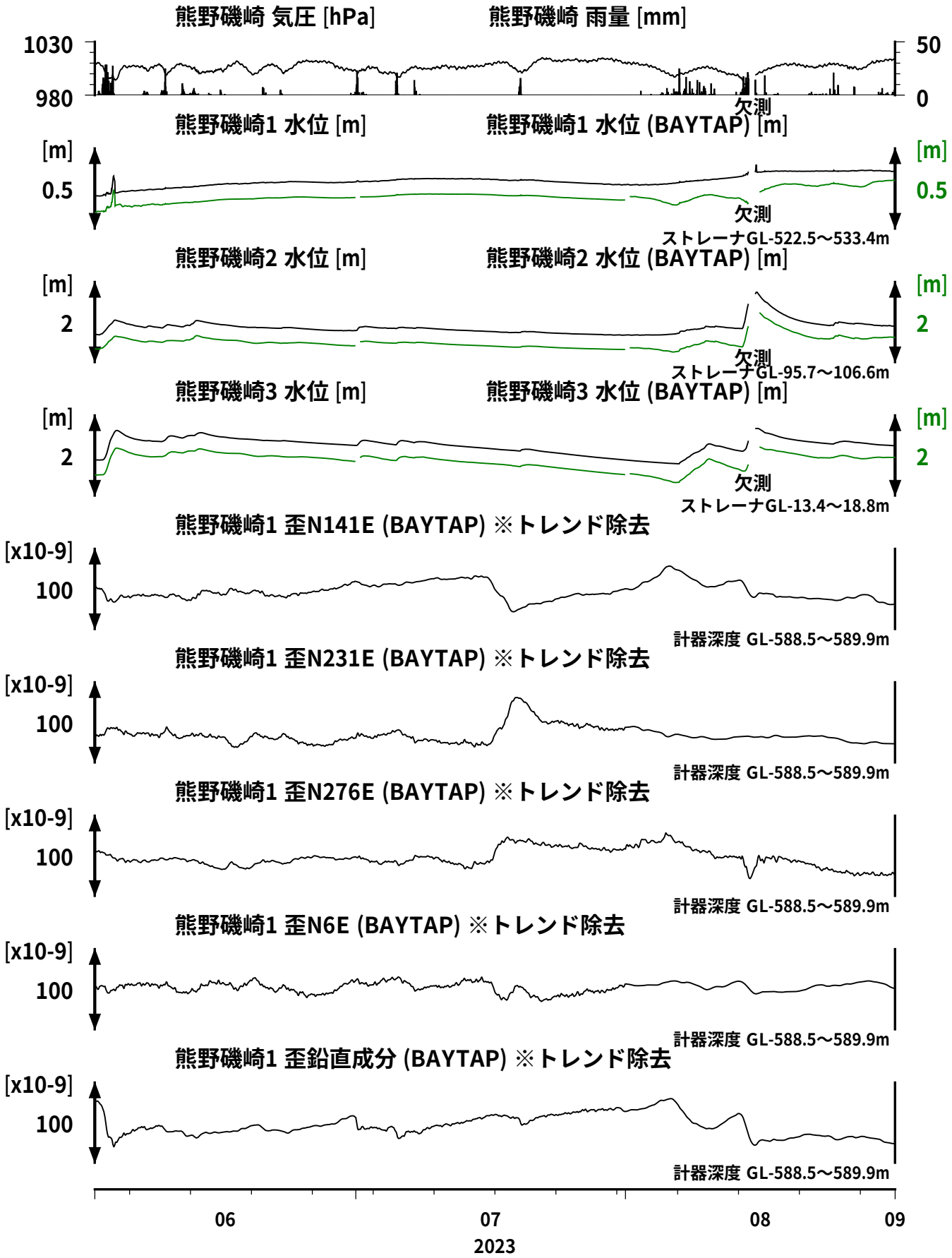
ANO 津安濃 地下水位・歪（時間値）
(2023/06/01 00:00 - 2023/09/01 00:00 (JST))



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

産業技術総合研究所資料

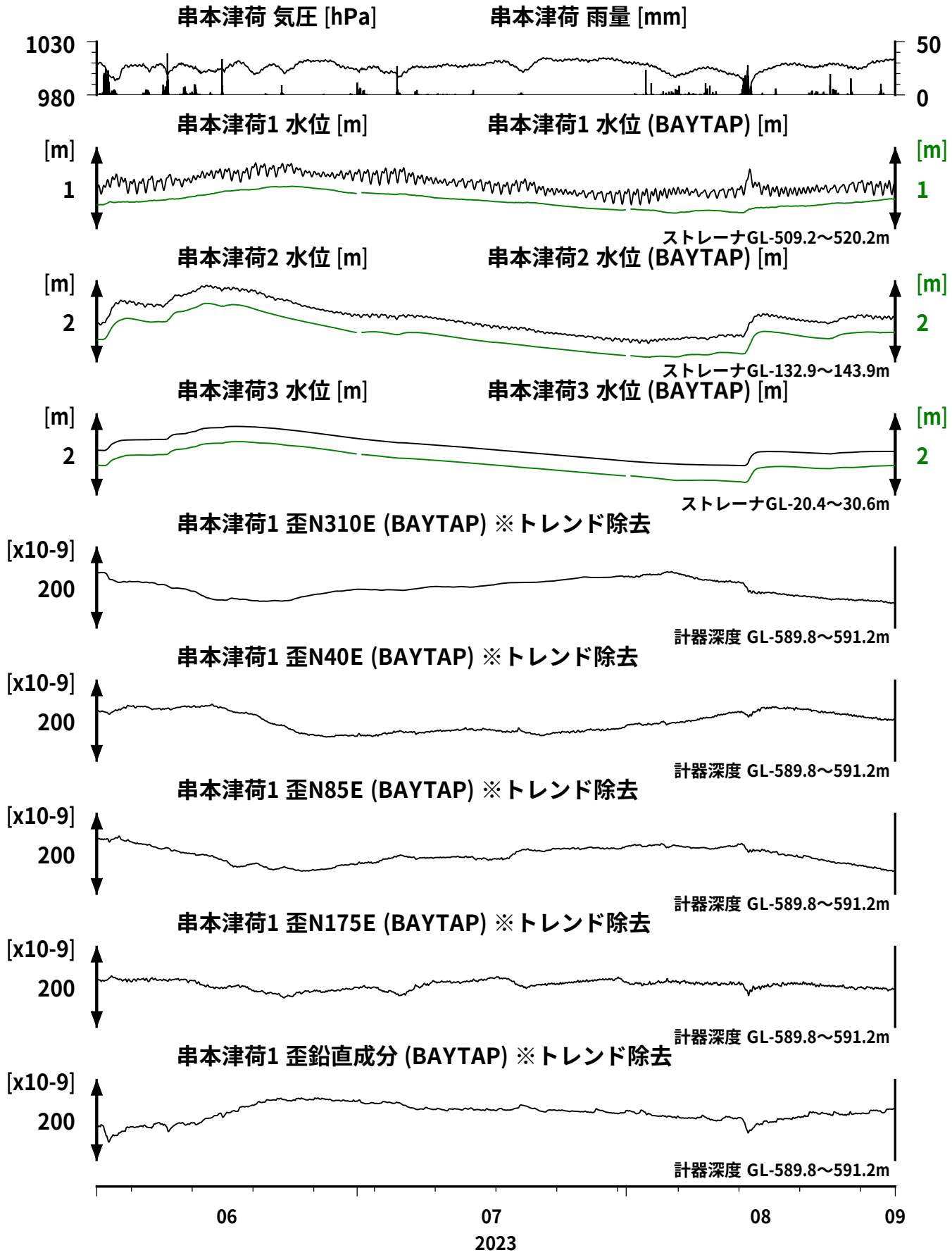
ICU 熊野磯崎 地下水位・歪（時間値）
(2023/06/01 00:00 - 2023/09/01 00:00 (JST))



コメント：特記事項なし.

産業技術総合研究所資料

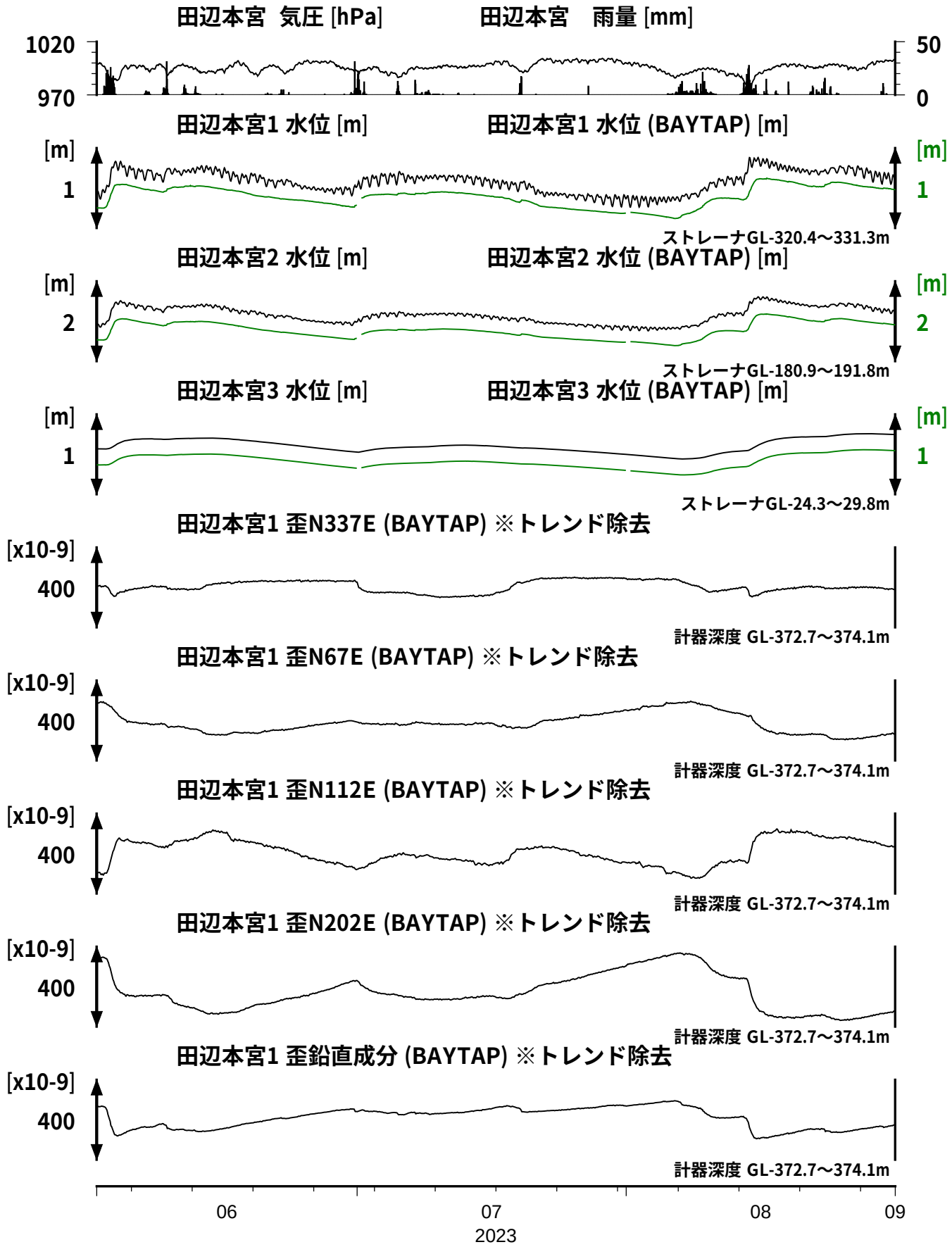
KST 串本津荷 地下水位・歪（時間値）
(2023/06/01 00:00 - 2023/09/01 00:00 (JST))



コメント：特記事項なし.

産業技術総合研究所資料

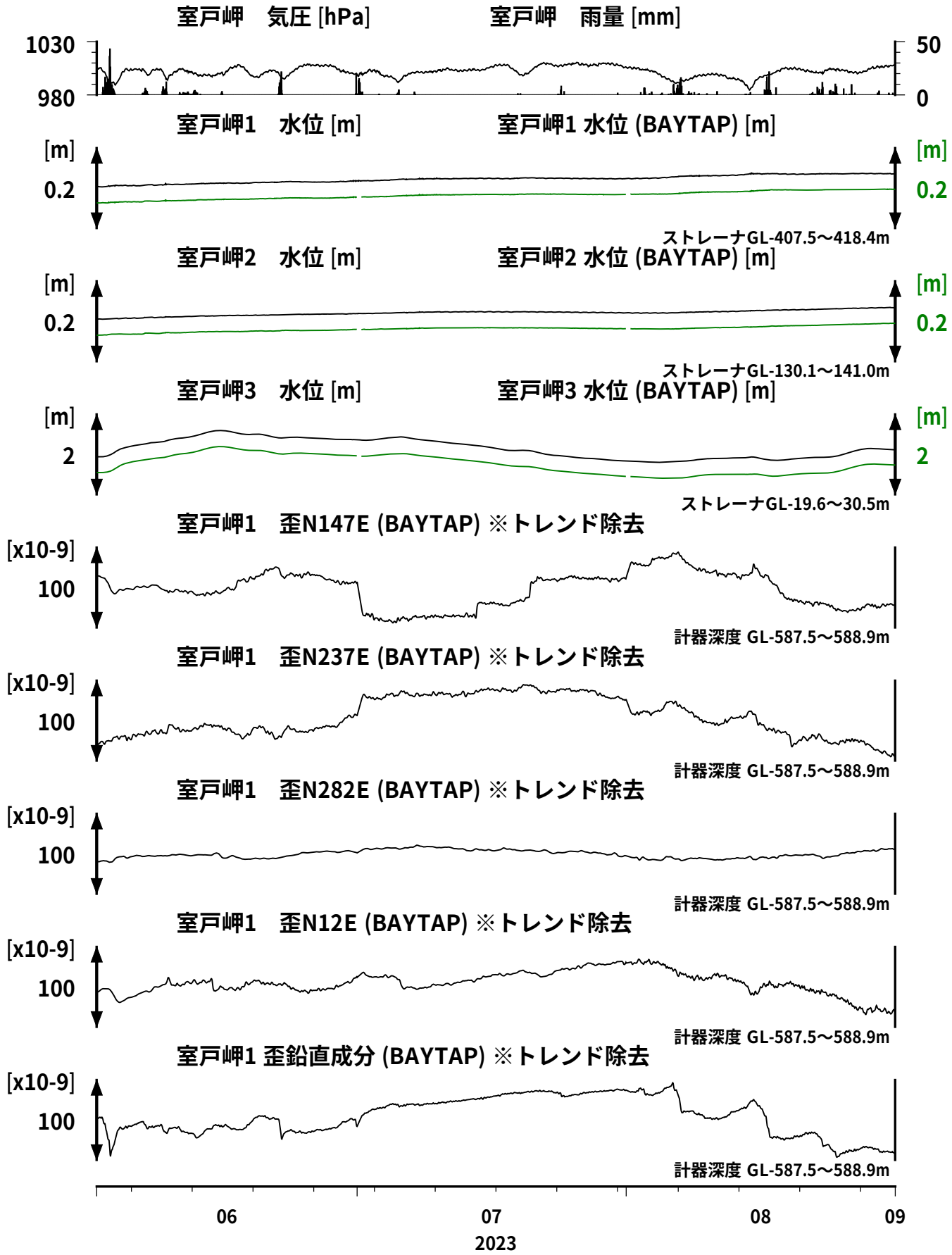
HGM 田辺本宮 地下水位・歪（時間値）
(2023/06/01 00:00 - 2023/09/01 00:00 (JST))



コメント：特記事項なし.

産業技術総合研究所資料

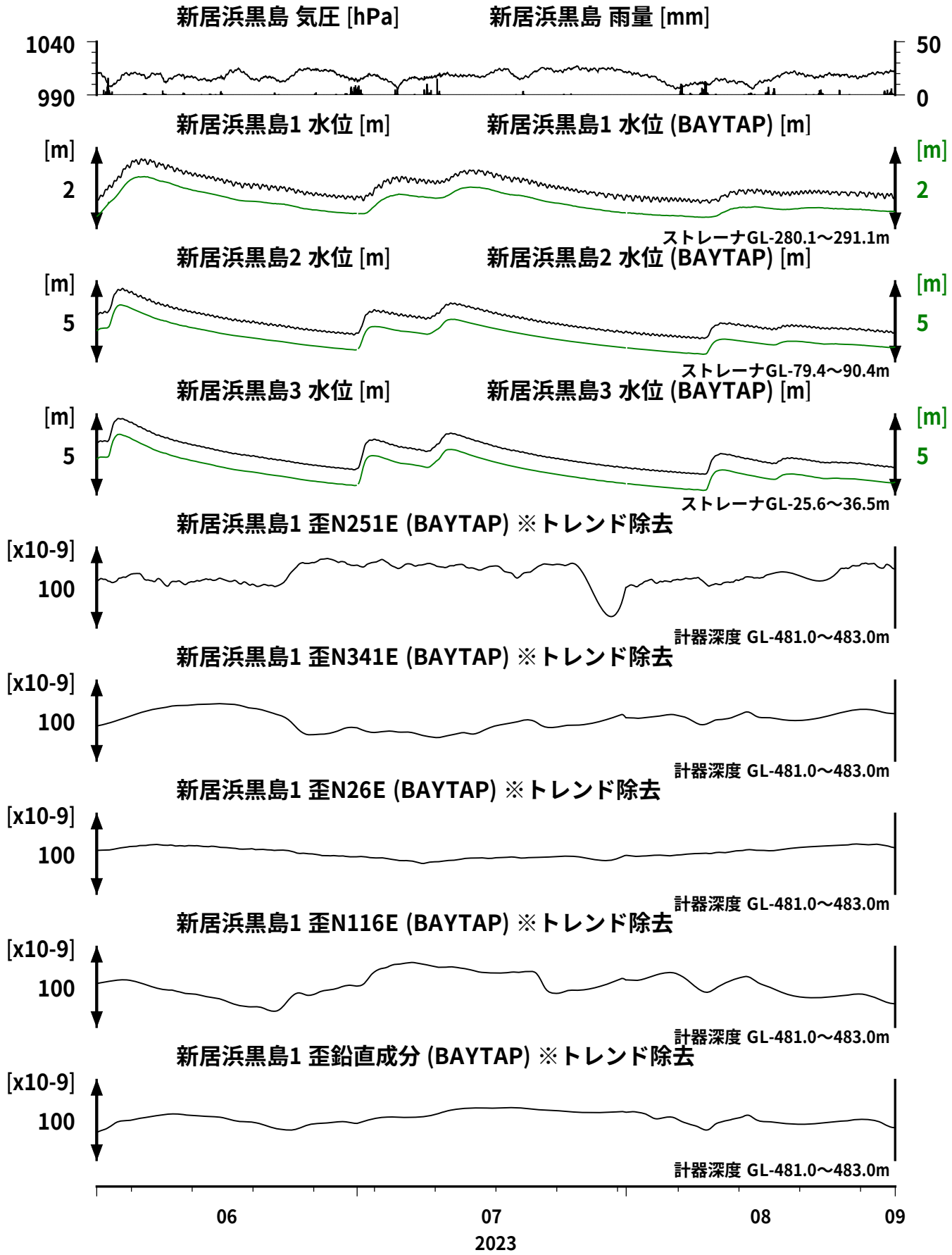
MUR 室戸岬 地下水位・歪（時間値）
(2023/06/01 00:00 - 2023/09/01 00:00 (JST))



コメント：特記事項なし.

産業技術総合研究所資料

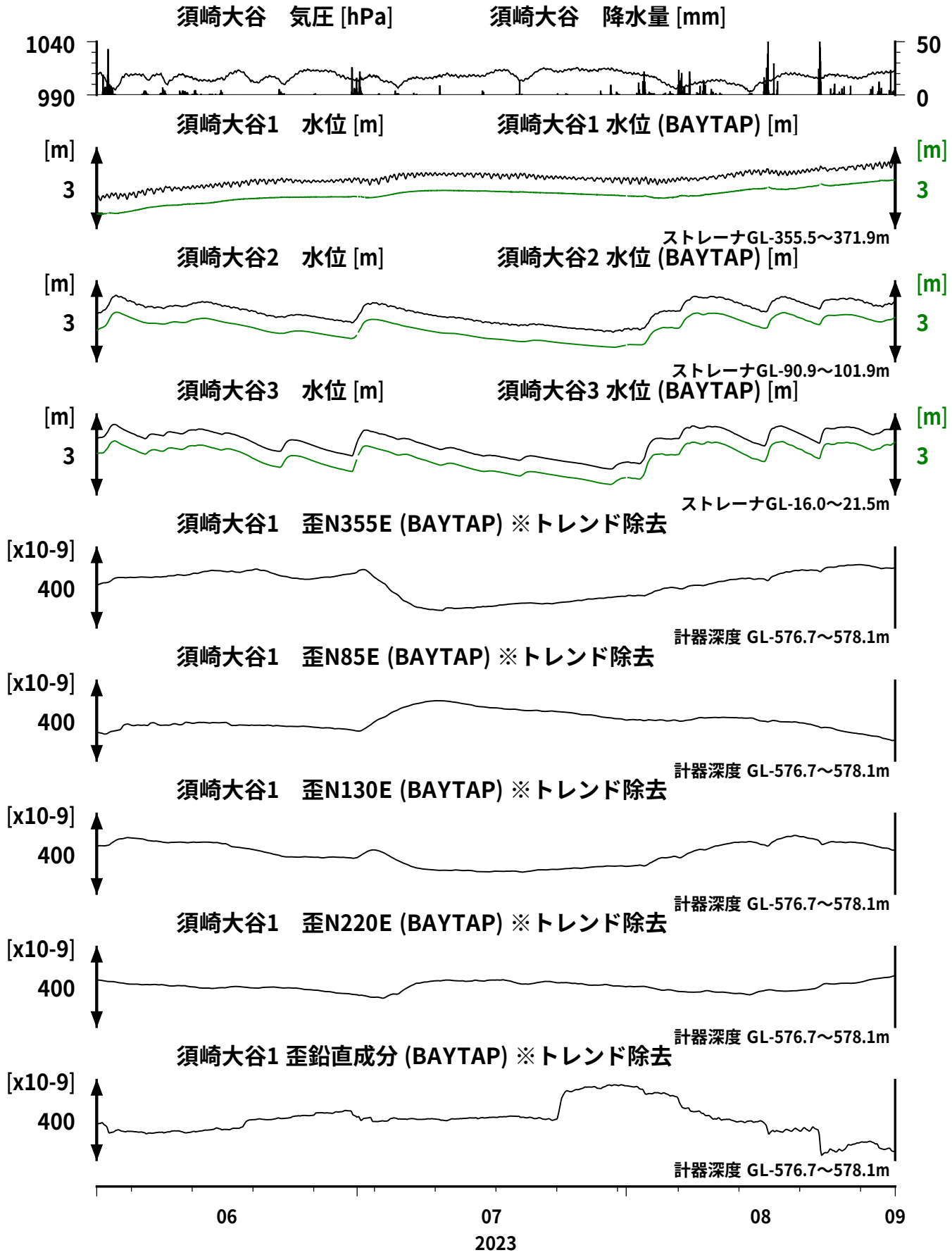
NHK 新居浜黒島 地下水位・歪（時間値）
(2023/06/01 00:00 - 2023/09/01 00:00 (JST))



コメント：特記事項なし.

産業技術総合研究所資料

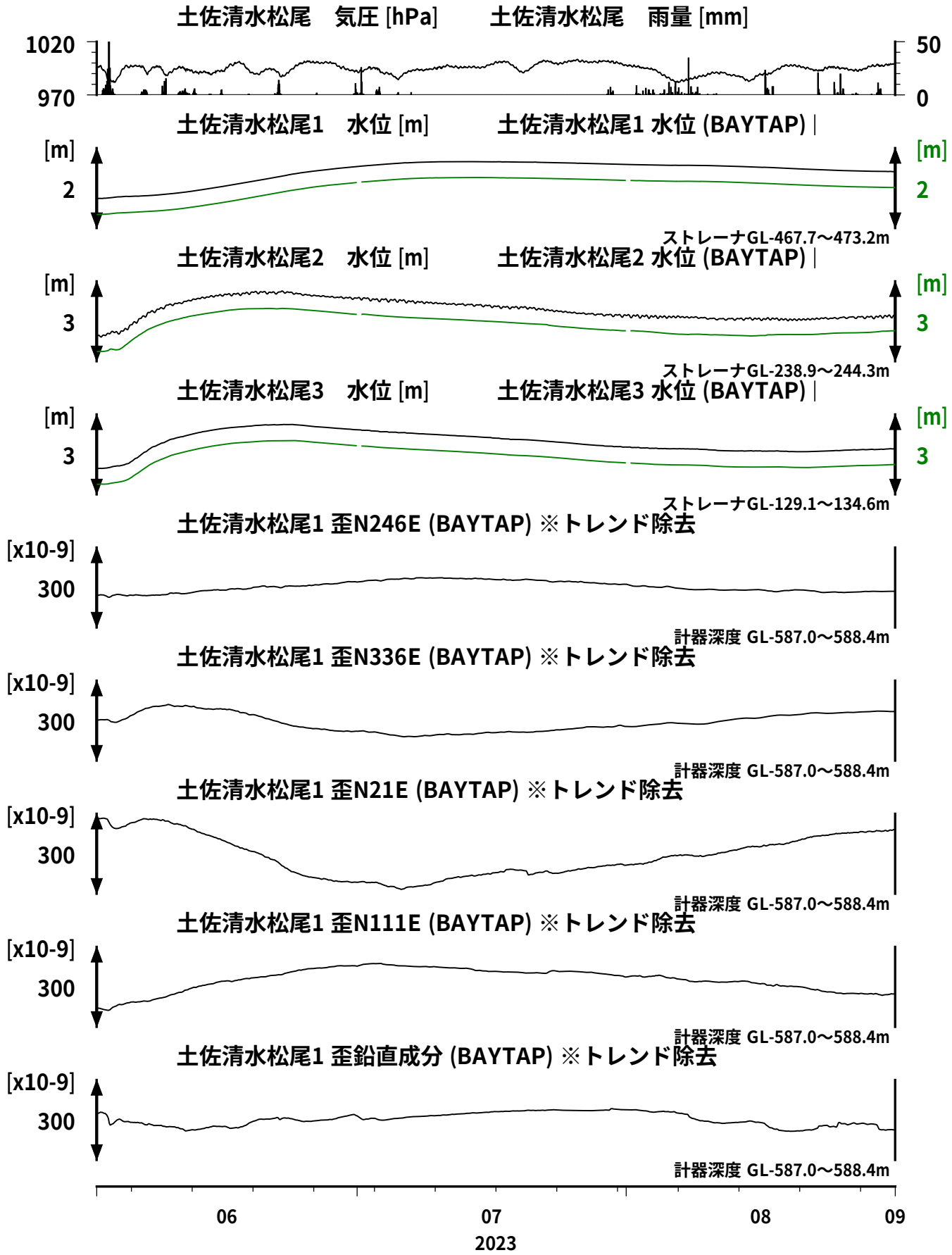
SSK 須崎大谷 地下水位・歪（時間値）
(2023/06/01 00:00 - 2023/09/01 00:00 (JST))



コメント：特記事項なし.

産業技術総合研究所資料

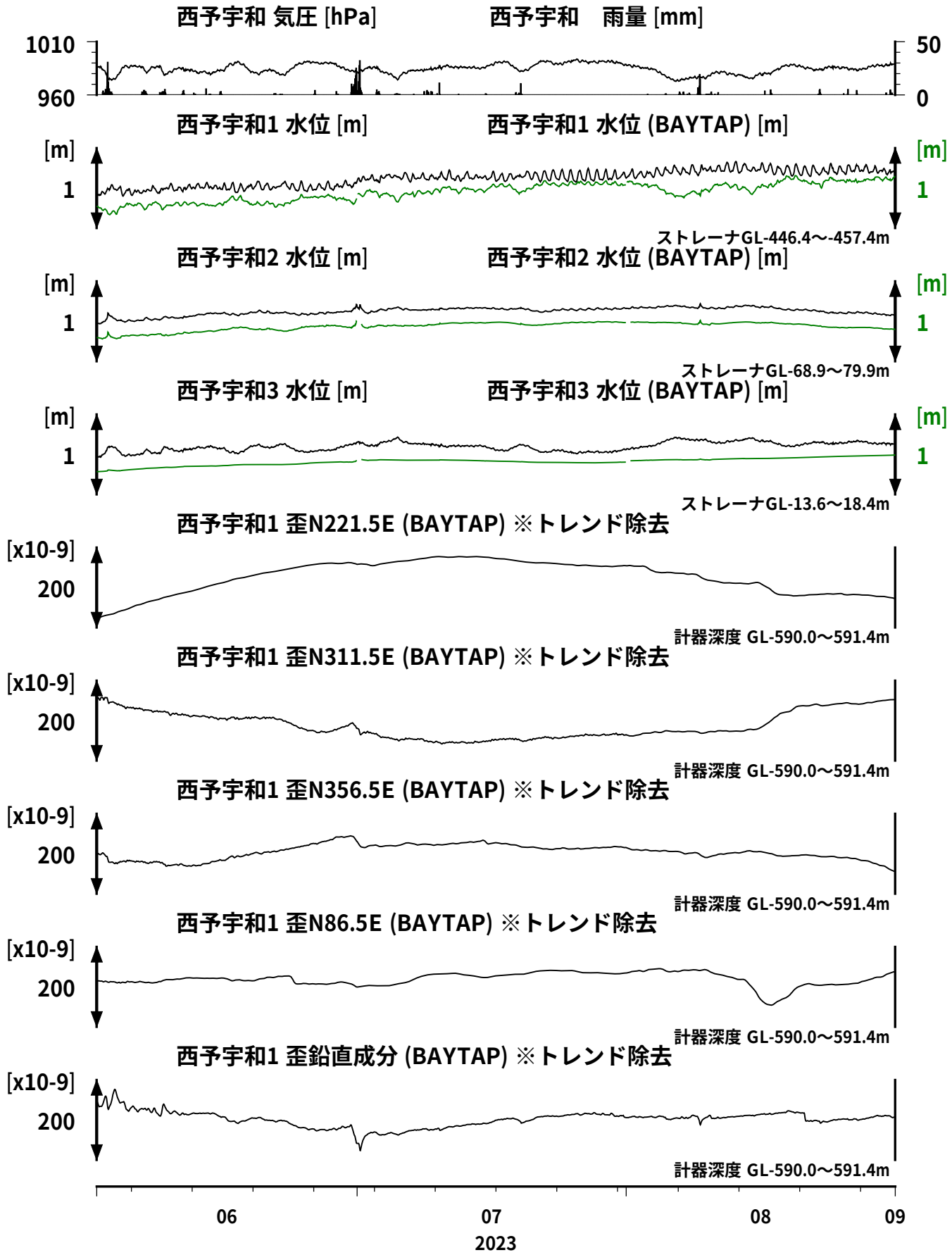
TSS 土佐清水松尾 地下水位・歪（時間値）
(2023/06/01 00:00 - 2023/09/01 00:00 (JST))



コメント：特記事項なし.

産業技術総合研究所資料

UWA 西予宇和 地下水位・歪（時間値）
(2023/06/01 00:00 - 2023/09/01 00:00 (JST))



コメント：特記事項なし.

産業技術総合研究所資料

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

2023 年 08 月 03 日から 07 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 は三重県・愛知県の産総研・防災科研・気象庁・静岡県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，2023 年 07 月 21 日から 27 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 は図 2 [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，2023 年 04 月 21 日午後から 24 日午前(Mw 5.7：図 3 の灰色矩形 1)，2023 年 03 月 26 日から 04 月 07 日(Mw 5.3, 5.6, 5.9, 5.5：同 2, 3, 4, 5)，2022 年 12 月 17 日から 21 日（Mw 5.6, 5.5：同 6, 7).

2023 年 08 月 16 日から 21 日にかけて，愛媛県・大分県において深部低周波地震活動が観測された（図 4）．図 5 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・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，2023 年 08 月 01 日から 07 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 6, 7 は図 5 [A], [B]の変化を説明する短期的 SSE の推定結果（順に Mw 6.0, 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，2023 年 04 月 01 日午後から 04 日午前(Mw 5.6：図 6, 7 の灰色矩形 1)，2022 年 11 月 17 日から 26 日(Mw 5.6, 5.8, 5.9, 5.6：同 2, 3, 4, 5)である．

2023 年 08 月 23 日から 24 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 8）．図 9, 10 は三重県・愛知県・静岡県の産総研・防災科研・気象庁・静岡県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，2023 年 08 月 10 日から 16 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 11 は図 9, 10 [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，2023 年 08 月 03 日から 05 日（Mw 5.8：図 11 の灰色矩形 1)，2023 年 03 月 26 日から 04 月 07 日(Mw 5.3, 5.6, 5.9, 5.5：同 2, 3, 4, 5)，2022 年 10 月 11 日午後から 23 日午前（Mw 5.9, 5.8, 5.8：同 6, 7, 8)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, 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.

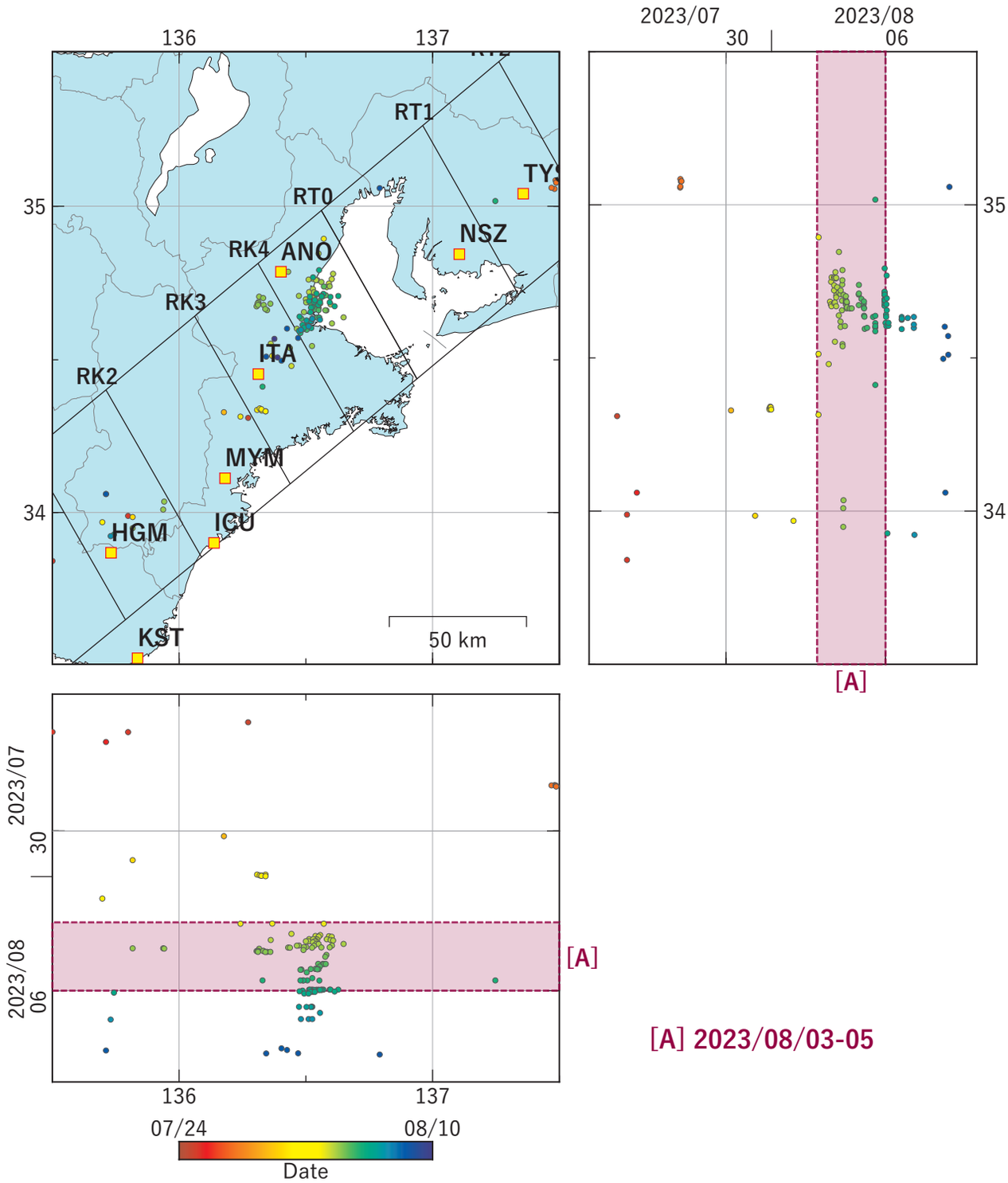


図１　紀伊半島から東海地方における深部低周波地震の時空間分布図。
（2023/07/24 00:00 - 2023/08/10 00:00 (JST)）
気象庁カタログによる。

（観測点）HGM: 田辺本宮，KST: 串本津荷 , ICU: 熊野磯崎 , MYM: 紀北海山
ITA: 松阪飯高，ANO: 津安濃 , NSZ: 西尾善明 , TYS: 豊田神殿

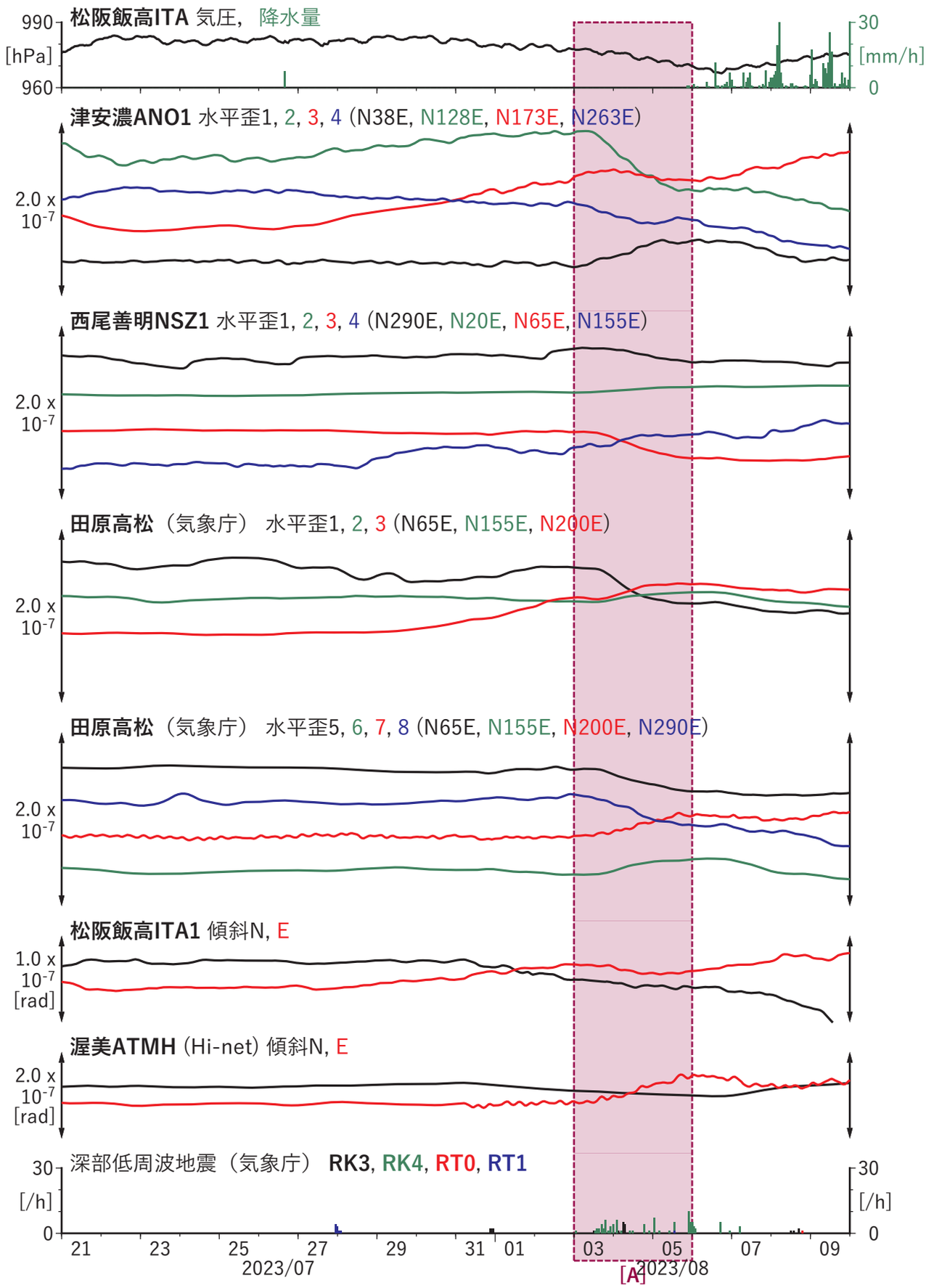
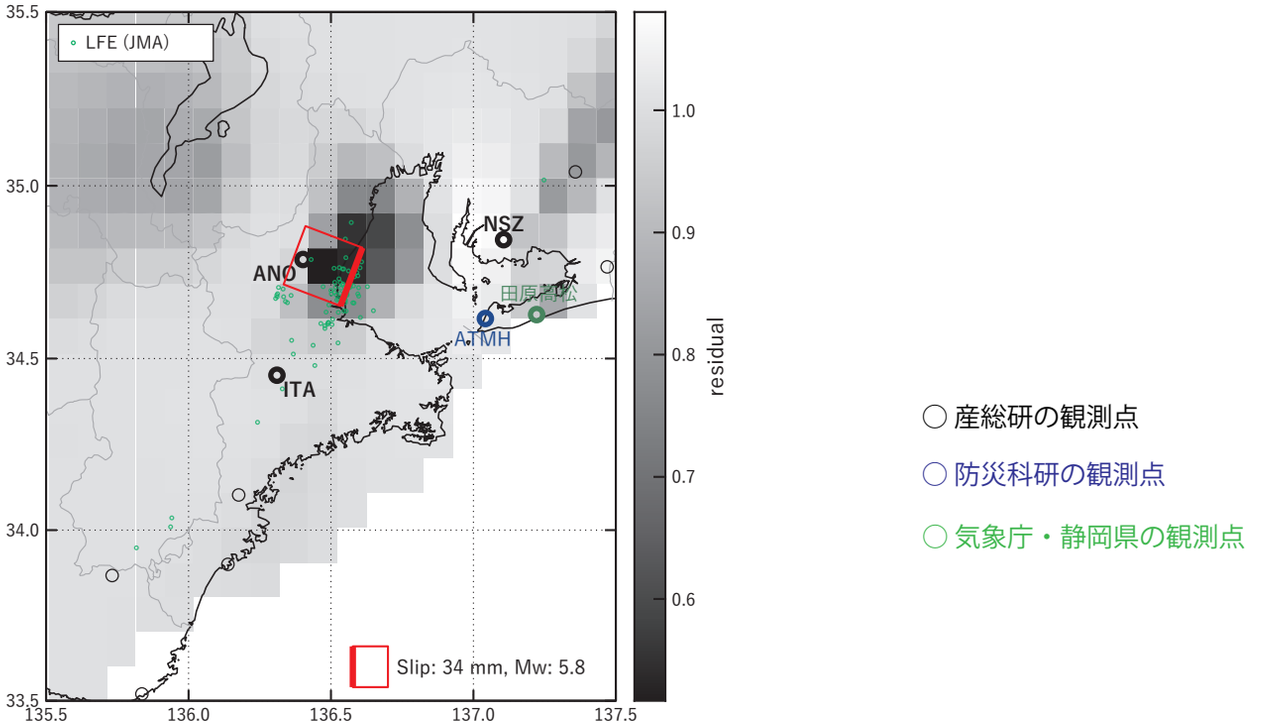


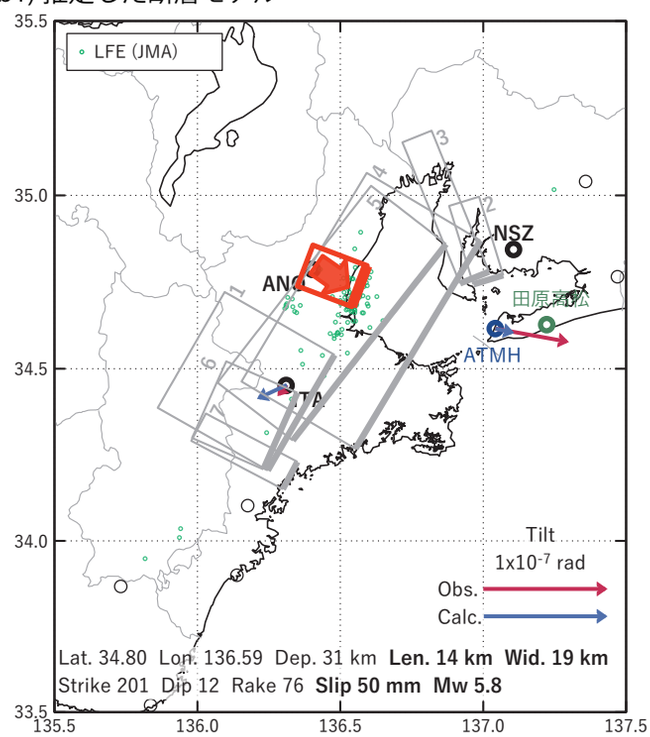
図2 紀伊半島から東海地方における歪・傾斜の時間変化
(2023/07/21 00:00 - 2023/08/10 00:00 (JST))

[A] 2023/08/03-05

(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

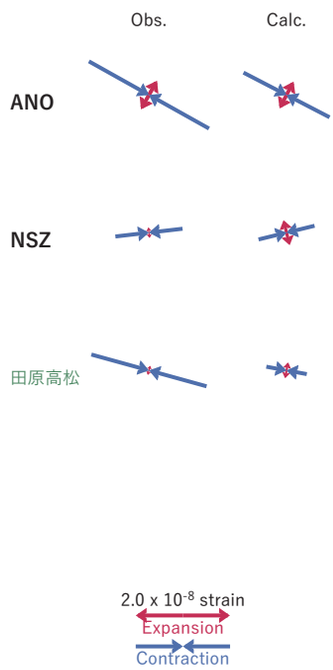


図3 2023/08/03 - 05 の歪・傾斜変化（図2 [A]）を説明する断層モデル。

(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: 2023/04/21PM-24AM (Mw5.7), 2: 2023/04/05-07 (Mw5.3), 3: 2023/04/01-04 (Mw5.6),
4: 2023/03/29-31 (Mw5.9), 5: 2023/03/26-28 (Mw5.5), 6: 2022/12/19-21 (Mw5.6), 7: 2022/12/17-18 (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。

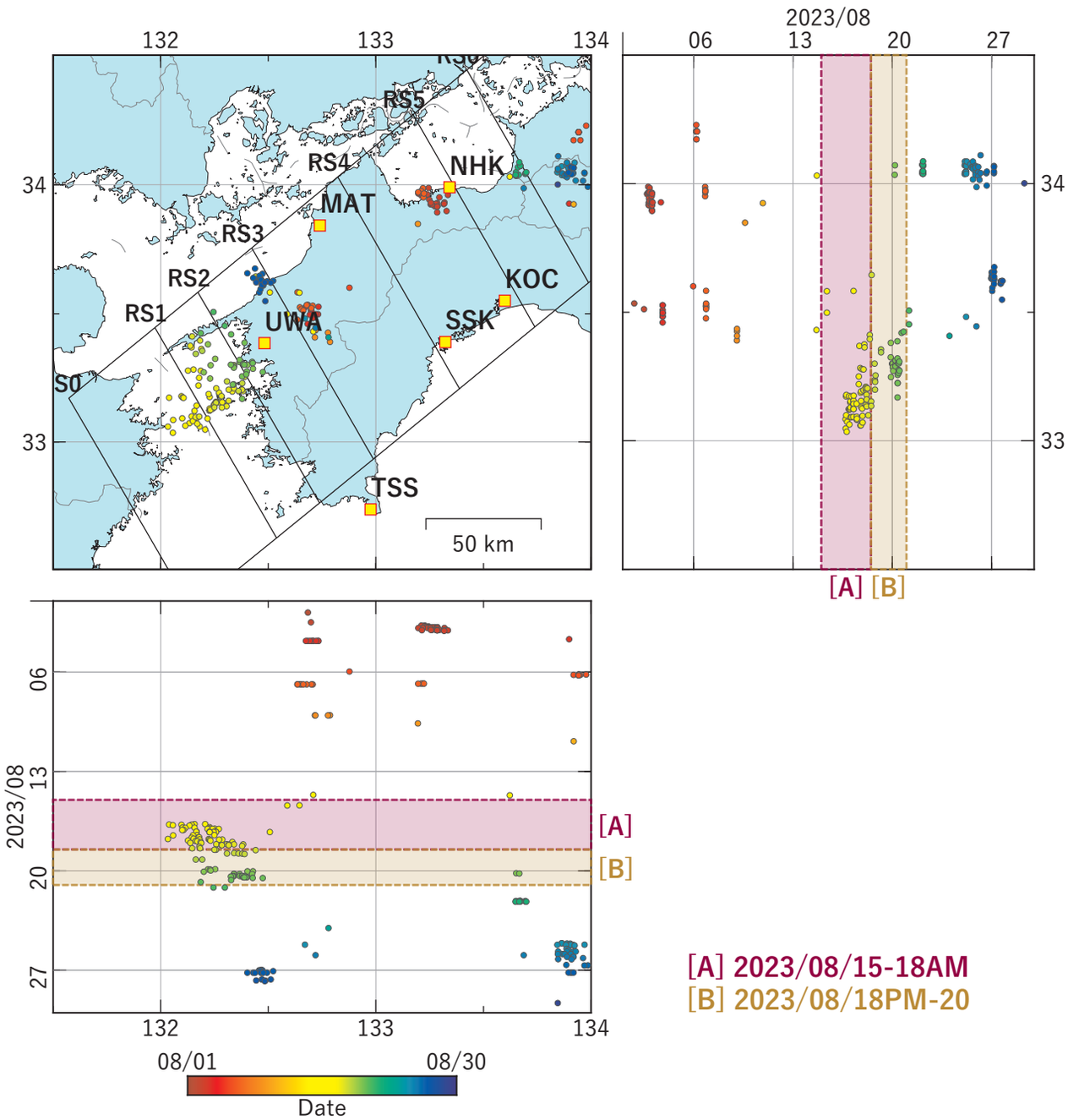


図4　四国地方における深部低周波地震の時空間分布図。
（2023/08/01 00:00 - 2023/08/30 00:00 (JST)）
気象庁カタログによる。

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

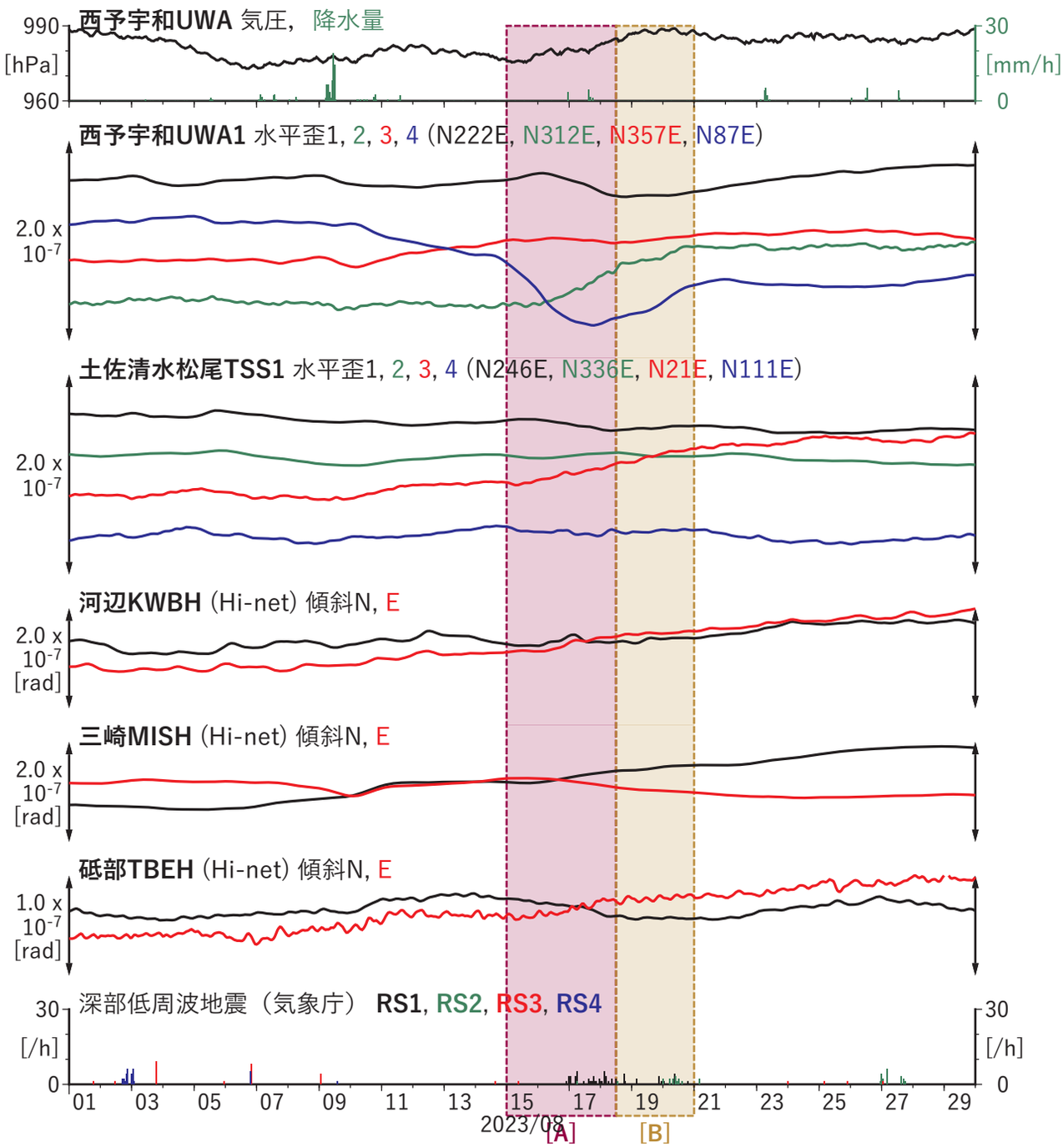
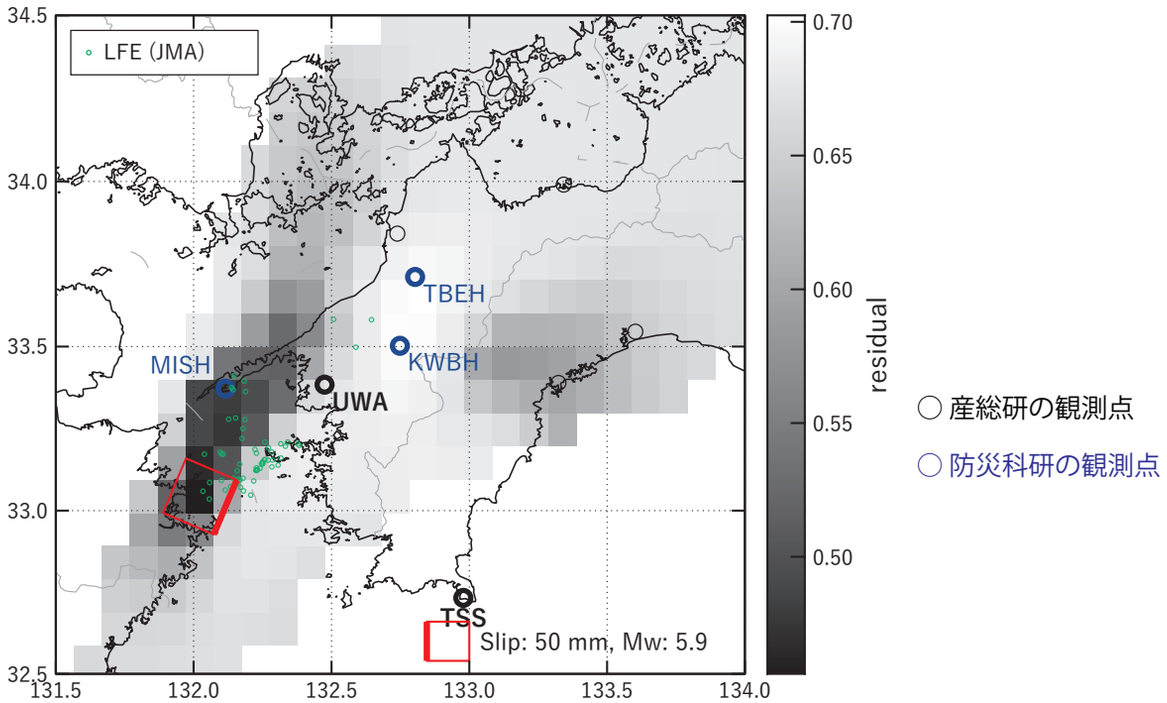


図5 四国地方における歪・傾斜の時間変化
（2023/08/01 00:00 - 2023/08/30 00:00 (JST)）

[A] 2023/08/15-18AM

(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

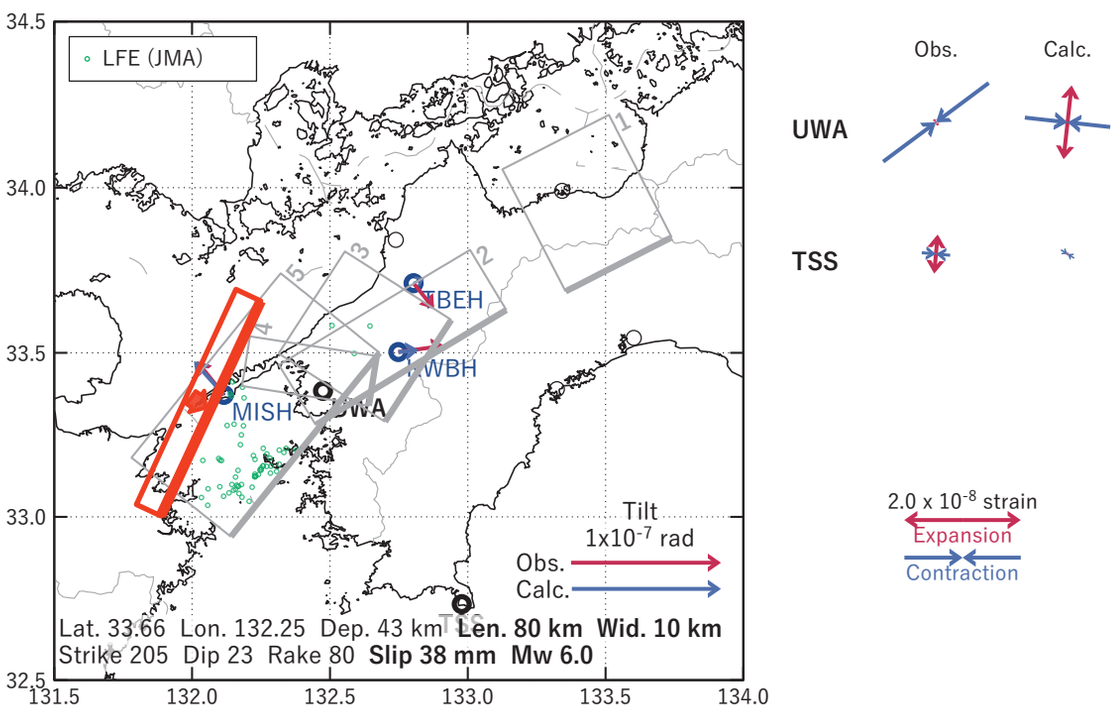


図6 2023/08/15 - 18AM の歪・傾斜変化（図5 [A]）を説明する断層モデル。

(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。

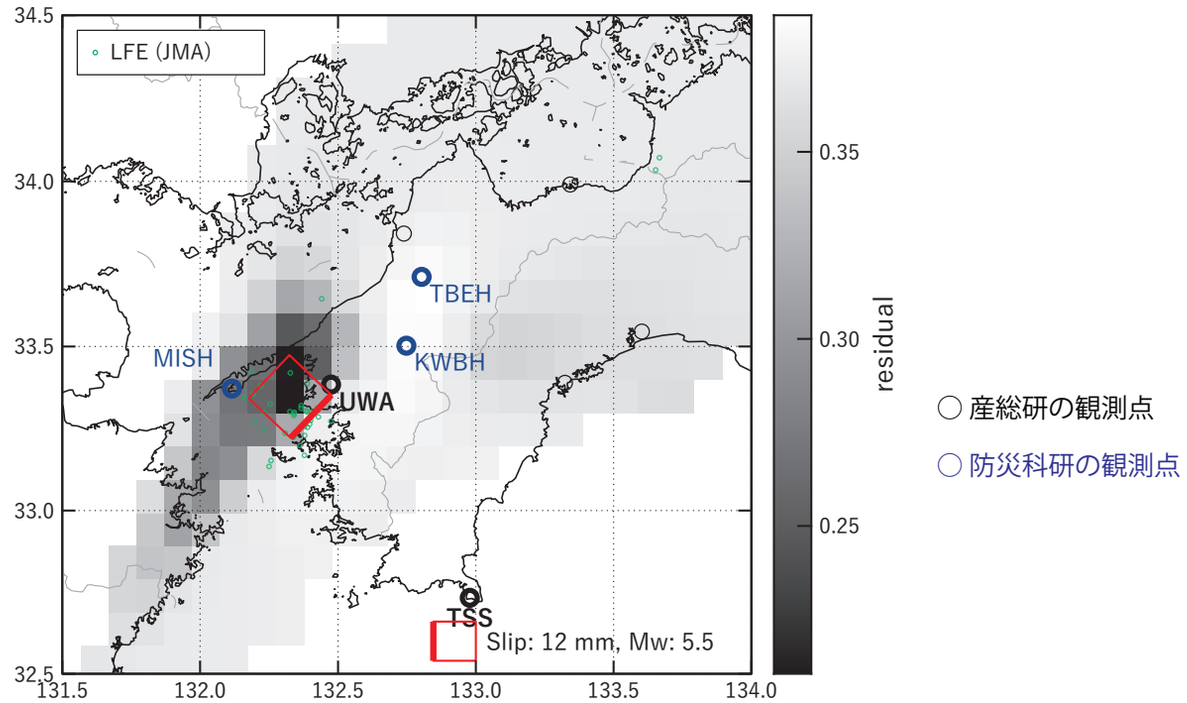
(b1) (a)の位置付近をグリッドサーチして推定した断層面（赤色矩形）と断層パラメータ。灰色矩形は最近周辺で発生したイベントの推定断層面。

1: 2023/04/01PM-04AM (Mw5.6), 2: 2022/11/24PM-26 (Mw5.6), 3: 2022/11/21-24AM (Mw5.8),
4: 2022/11/18PM-20 (Mw5.9), 5: 2022/11/17-18AM (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] 2023/08/18PM-20

(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

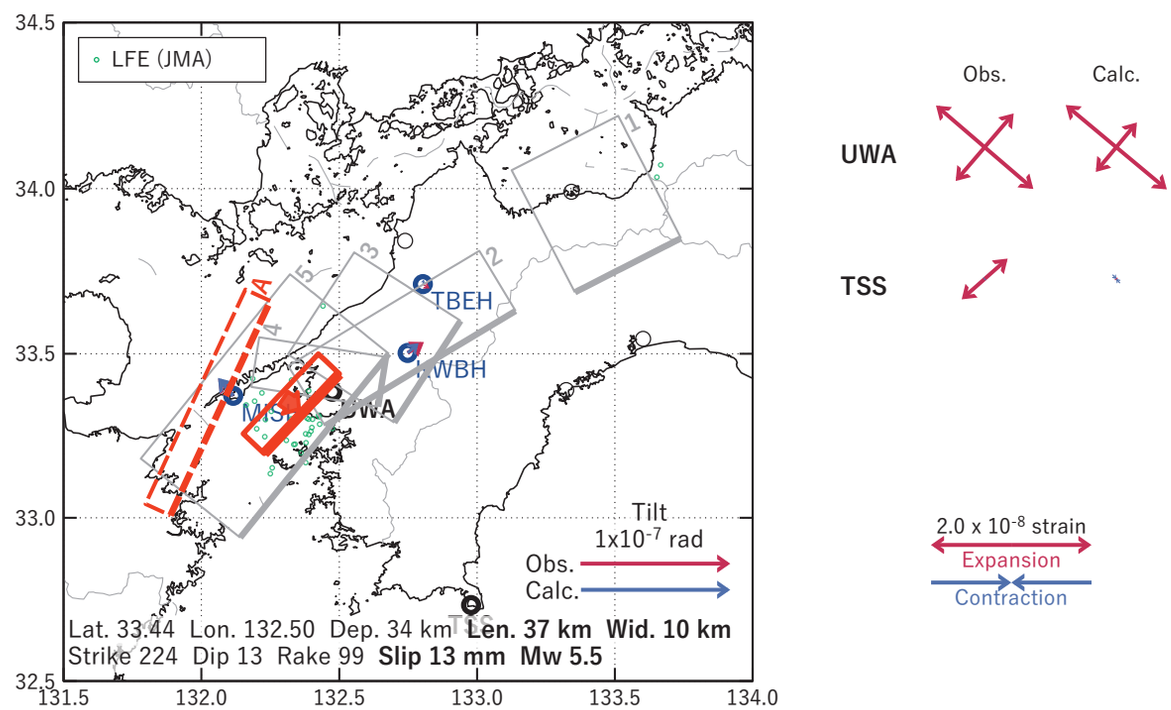


図7 2023/08/18PM-20 の歪・傾斜変化（図5[B]）を説明する断層モデル。

(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: 2023/04/01PM-04AM (Mw5.6), 2: 2022/11/24PM-26 (Mw5.6), 3: 2022/11/21-24AM (Mw5.8),
4: 2022/11/18PM-20 (Mw5.9), 5: 2022/11/17-18AM (Mw5.6), A: 2023/08/15-18AM (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。

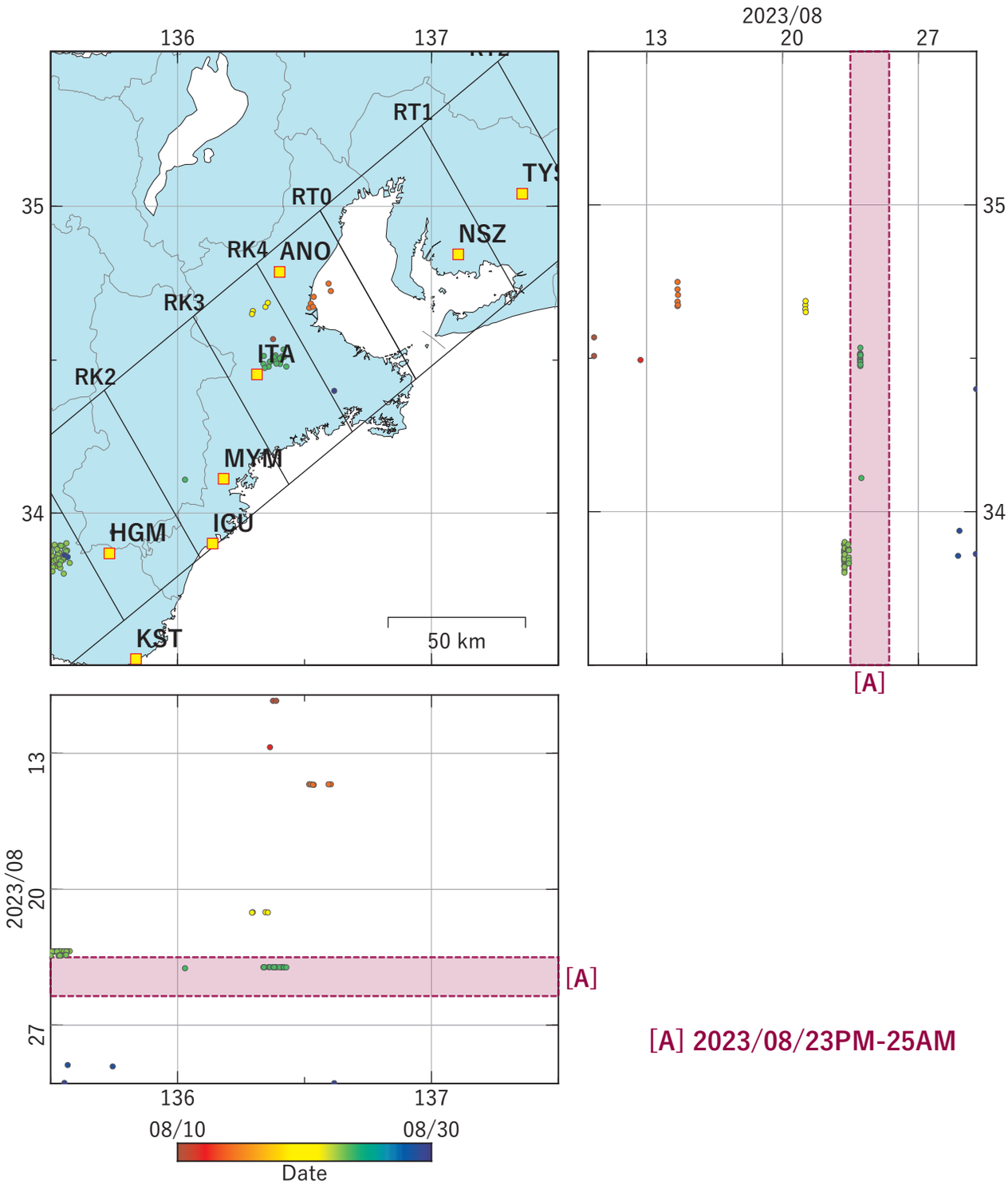


図8　紀伊半島から東海地方における深部低周波地震の時空間分布図。
（2023/08/10 00:00 - 2023/08/30 00:00 (JST)）
気象庁カタログによる。

（観測点）HGM: 田辺本宮，KST: 串本津荷 , ICU: 熊野磯崎 , MYM: 紀北海山
ITA: 松阪飯高，ANO: 津安濃 , NSZ: 西尾善明 , TYS: 豊田神殿

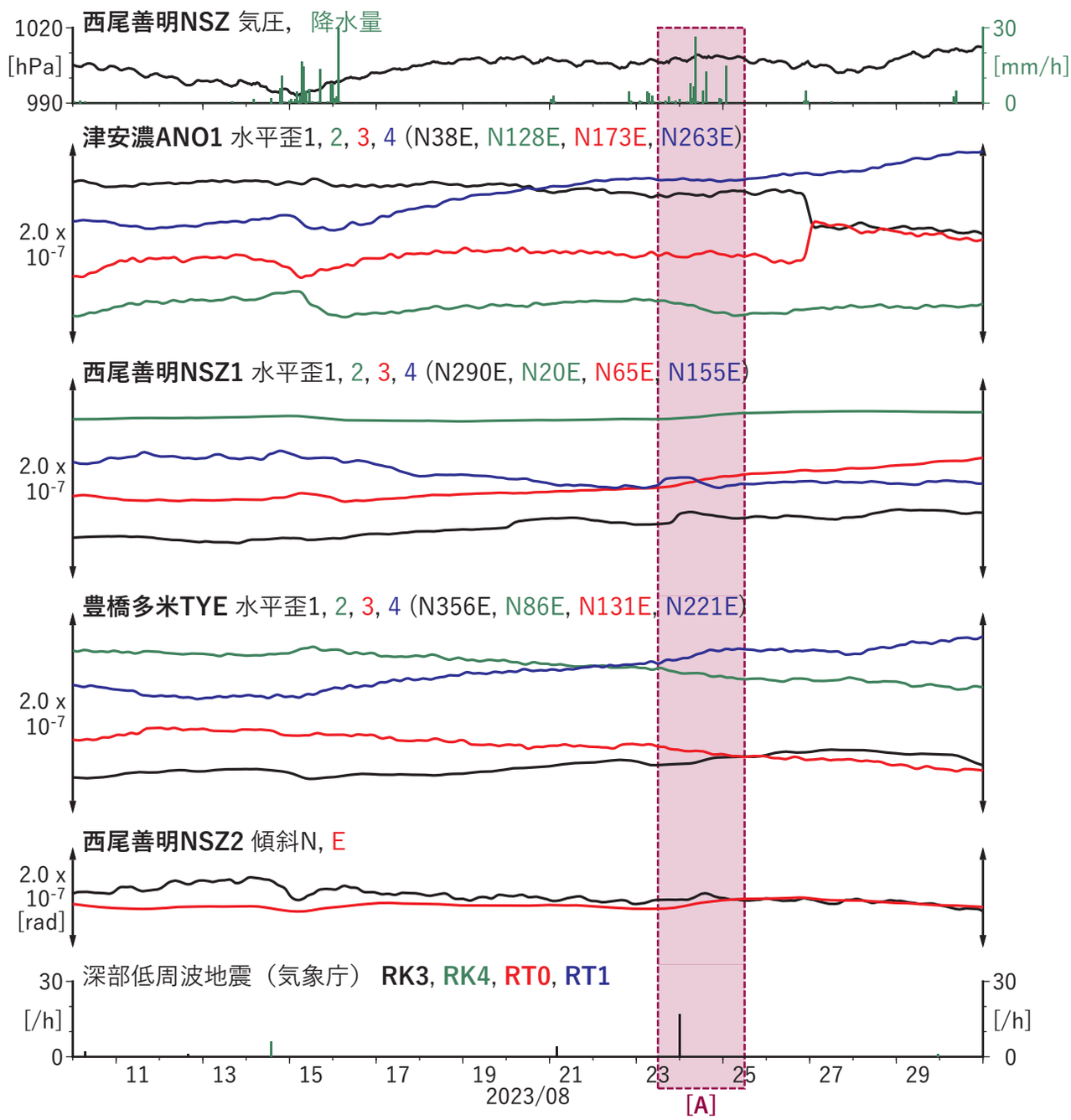


図9 紀伊半島から東海地方における歪・傾斜の時間変化 (1)
（2023/08/10 00:00 - 2023/08/31 00:00 (JST)）

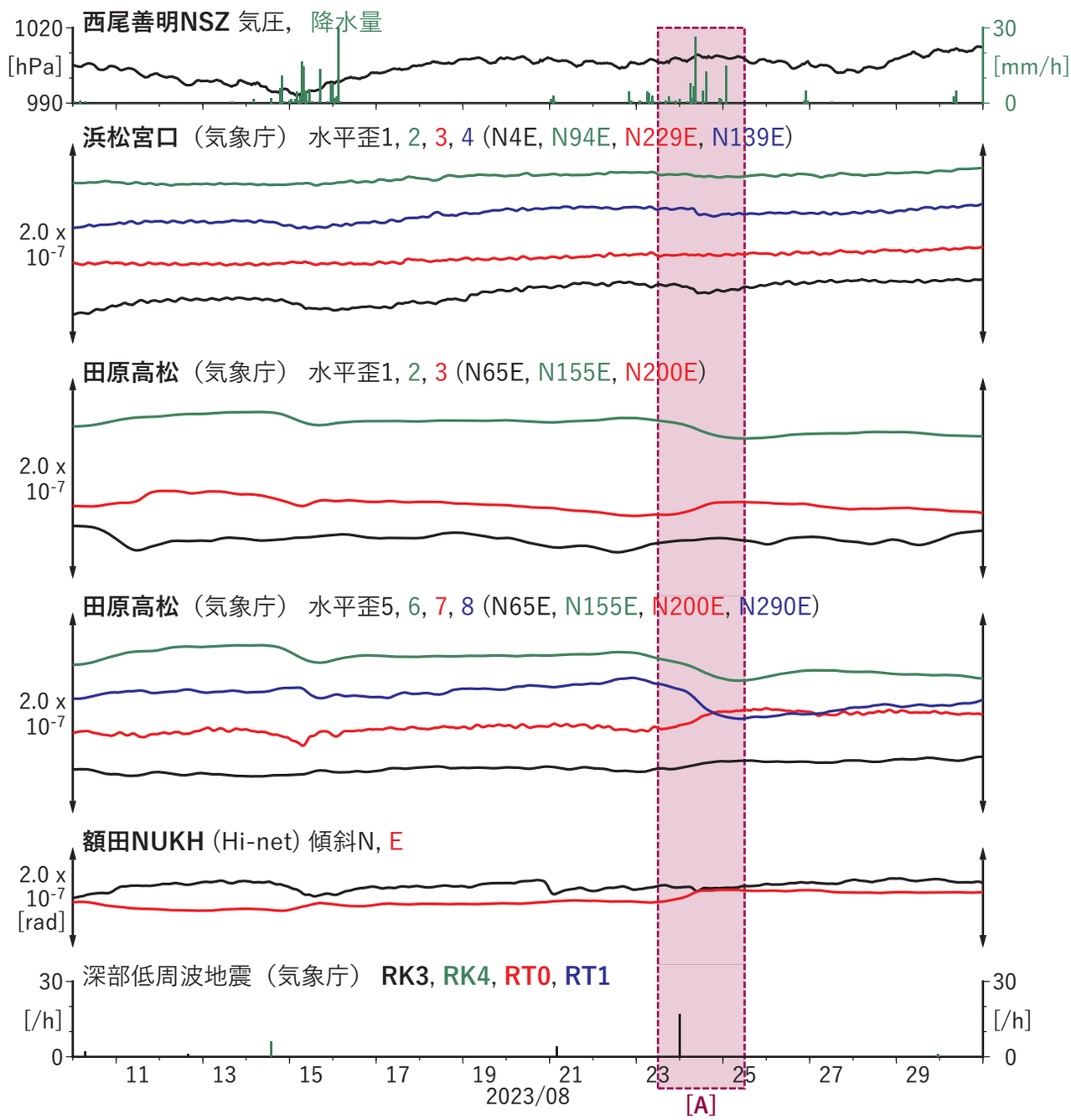
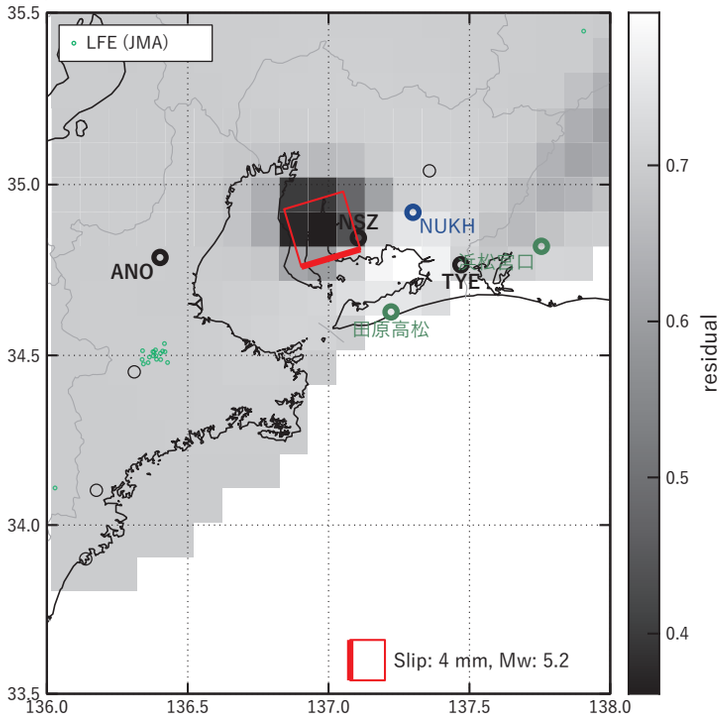


図10 紀伊半島から東海地方における歪・傾斜の時間変化 (2)
（2023/08/10 00:00 - 2023/08/31 00:00 (JST)）

[A] 2023/08/23PM-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

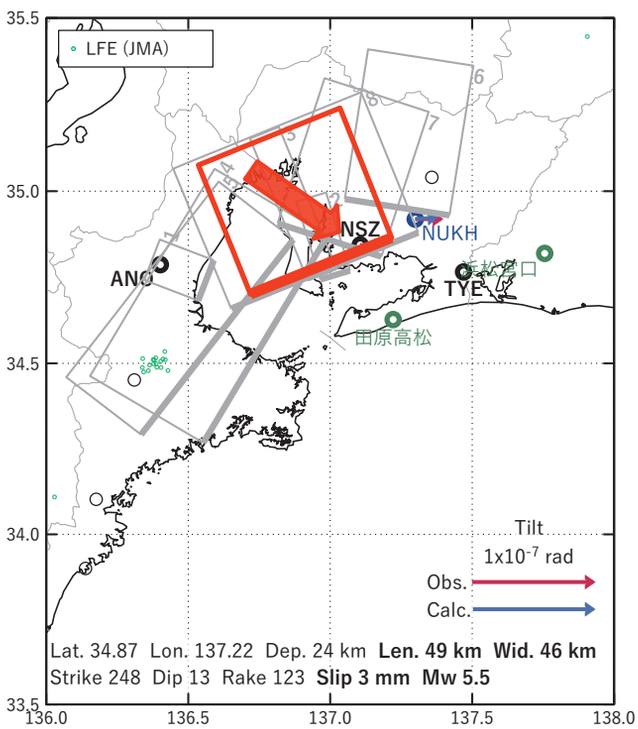


○ 産総研の観測点

○ 防災科研の観測点

○ 気象庁・静岡県の観測点

(b1) 推定した断層モデル



(b2) 主歪

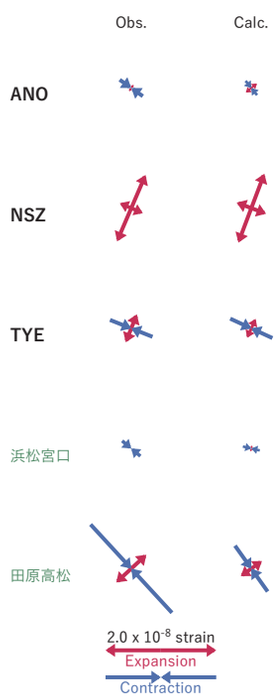


図11 **2023/08/23PM-25AM** の歪・傾斜変化（図9, 10 [A]）を説明する断層モデル。

(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。

1: 2023/08/03-05 (Mw5.8), 2: 2023/04/05-07 (Mw5.3), 3: 2023/04/01-04 (Mw5.6),
4: 2023/03/29-31 (Mw5.9), 5: 2023/03/26-28 (Mw5.5), 6: 2022/10/19-23AM (Mw5.9),
7: 2022/10/16-18 (Mw5.8), 8: 2022/10/11PM-15 (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。