

第 368 回地震調査委員会資料

令和 4 年 2 月 9 日



関東・中部地方

2022 年 1 月 15 日から 23 日にかけて、愛知県で深部低周波地震が観測された（図 1）。図 2 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、2022 年 1 月 7 日から 14 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 はそれぞれ図 2[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, 5.8）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、2021 年 2 月 18 日午後から 21 日午前（Mw 5.7；図 3, 4 の灰色矩形 1）、2021 年 11 月 27 日から 12 月 4 日（順に Mw 5.9, 5.7, 5.8；同 2-4）、2021 年 12 月 8 日から 13 日と 17 日から 18 日（順に Mw 5.6, 5.4, 5.4；同 5-7）である。

近畿・中国・四国地方

2022 年 1 月 1 日から 7 日にかけて、四国地域で深部低周波地震が観測された（図 5）。図 6 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、2021 年 12 月 23 日から 31 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 7, 8 はそれぞれ図 6[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 5.6, 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、2021 年 7 月 18 日から 8 月 1 日午前（順に Mw 5.6, 5.6, 6.1, 5.5, 5.9；図 7, 8 の灰色矩形 1-5）、2021 年 11 月 4 日から 5 日（Mw 5.8；同 6）、2021 年 12 月 3 日午後から 5 日（Mw 6.0；同 7）、2021 年 12 月 8 日から 10 日（Mw 5.7；同 8）、2021 年 12 月 21 日から 22 日午前（Mw 5.6；同 9）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*, **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.

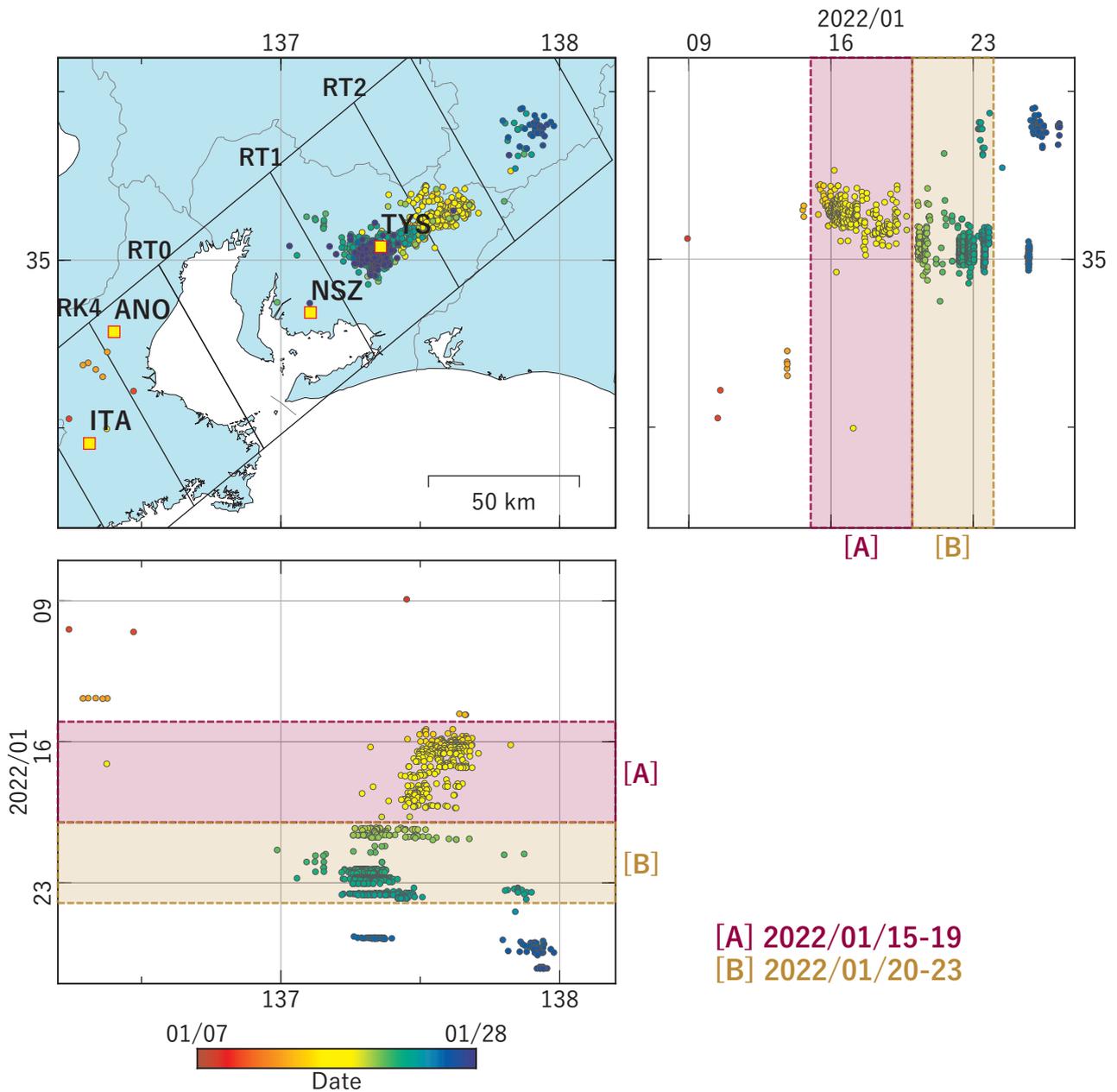


図1 東海地域における深部低周波地震の時空間分布図（2022/01/07 00:00:00-2022/01/28 00:00:00 (JST)）。気象庁カタログによる。
 （観測点） TYS: 豊田神殿, NSZ: 西尾善明, ANO: 津安濃, ITA: 松阪飯高

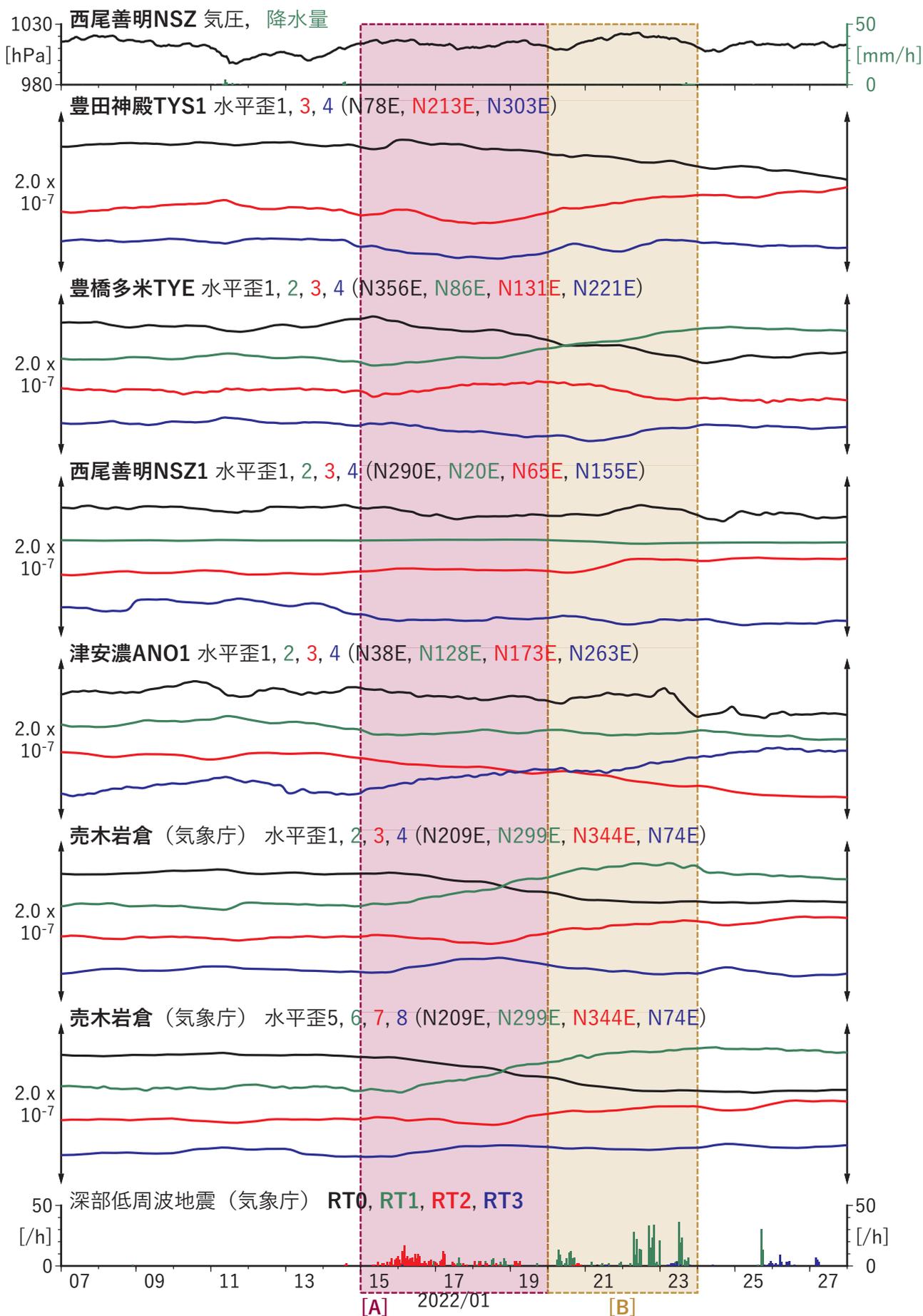


図2 歪・傾斜の時間変化(1) (2022/01/07 00:00-2022/01/28 00:00 (JST))

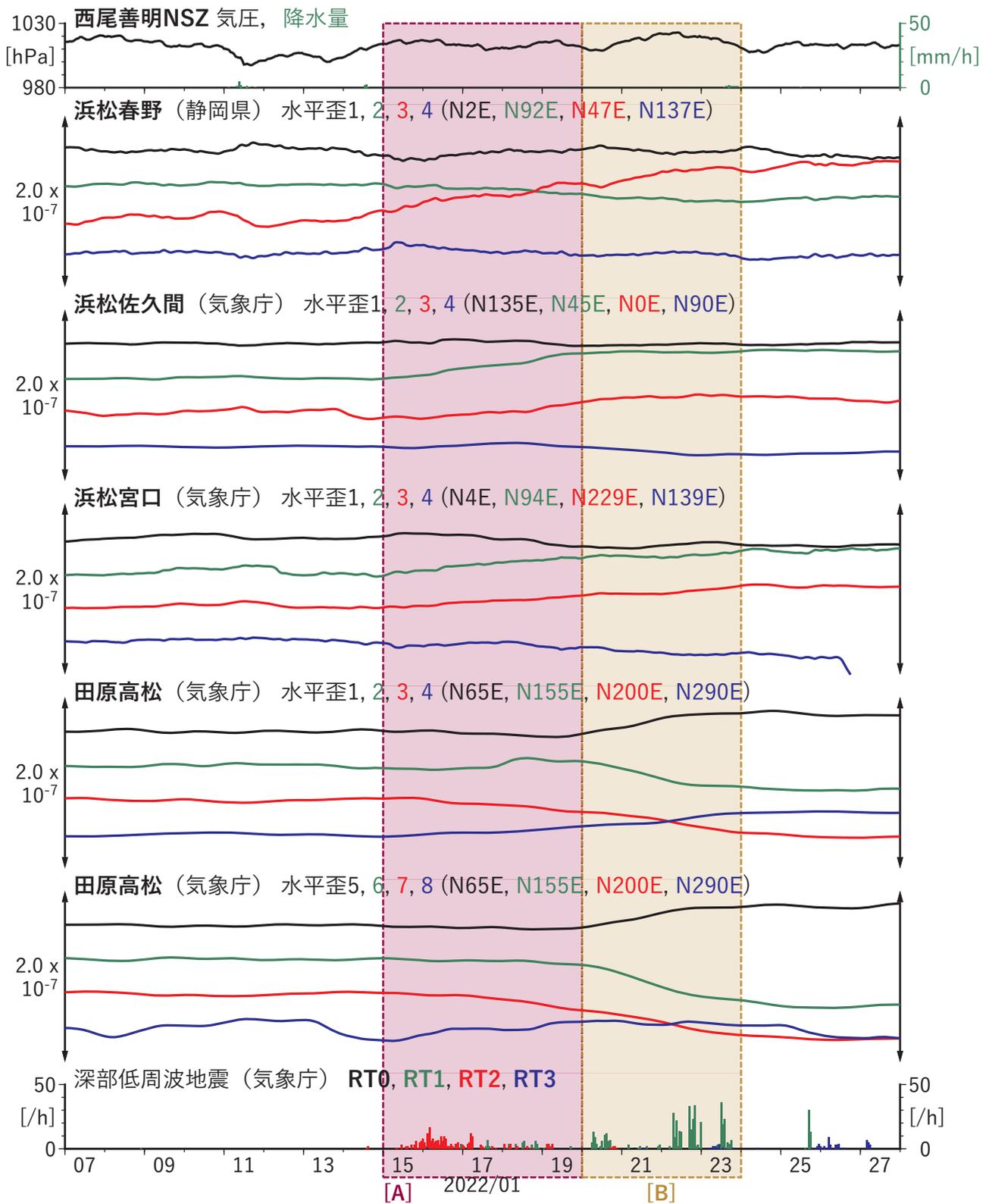


図2 歪・傾斜の時間変化(2) (2022/01/07 00:00-2022/01/28 00:00 (JST))

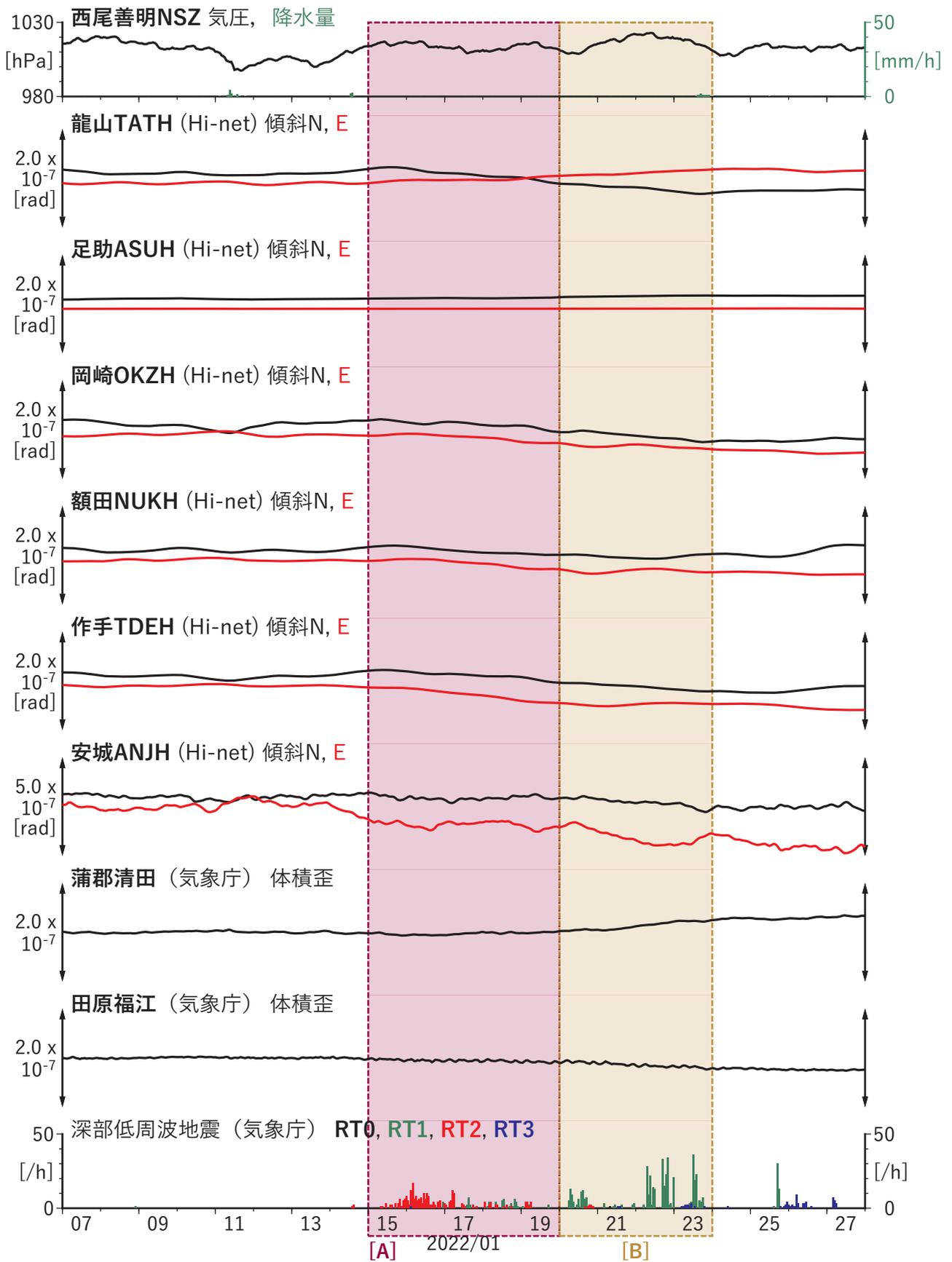
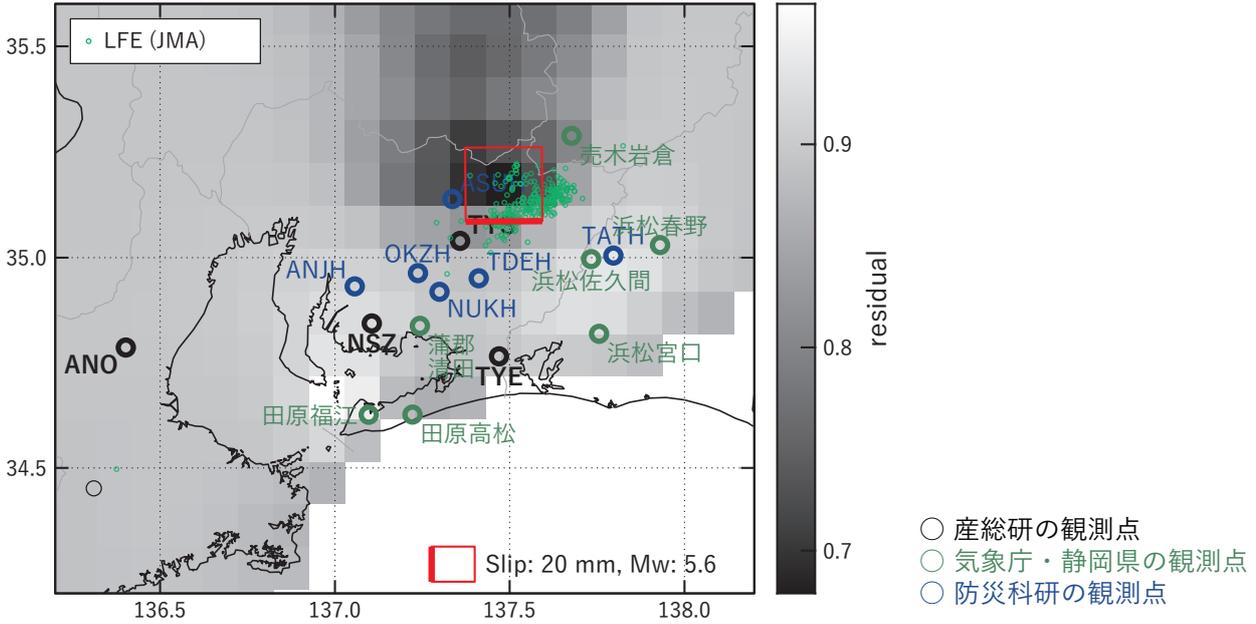


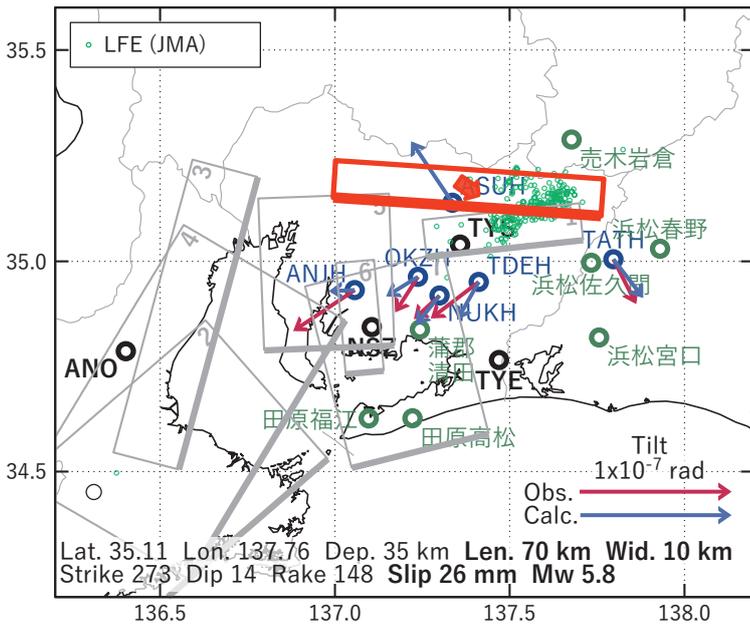
図2 歪・傾斜の時間変化(3) (2022/01/07 00:00-2022/01/28 00:00 (JST))

[A] 2022/01/15-19

(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

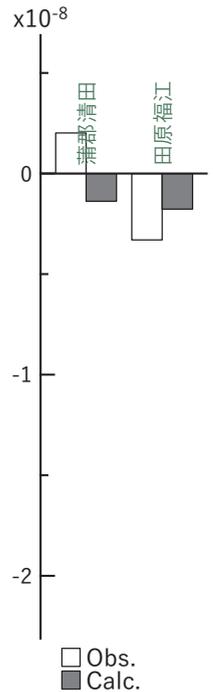


図3 2022/01/15-19の歪・傾斜変化 (図2[A]) を説明する断層モデル。

(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。

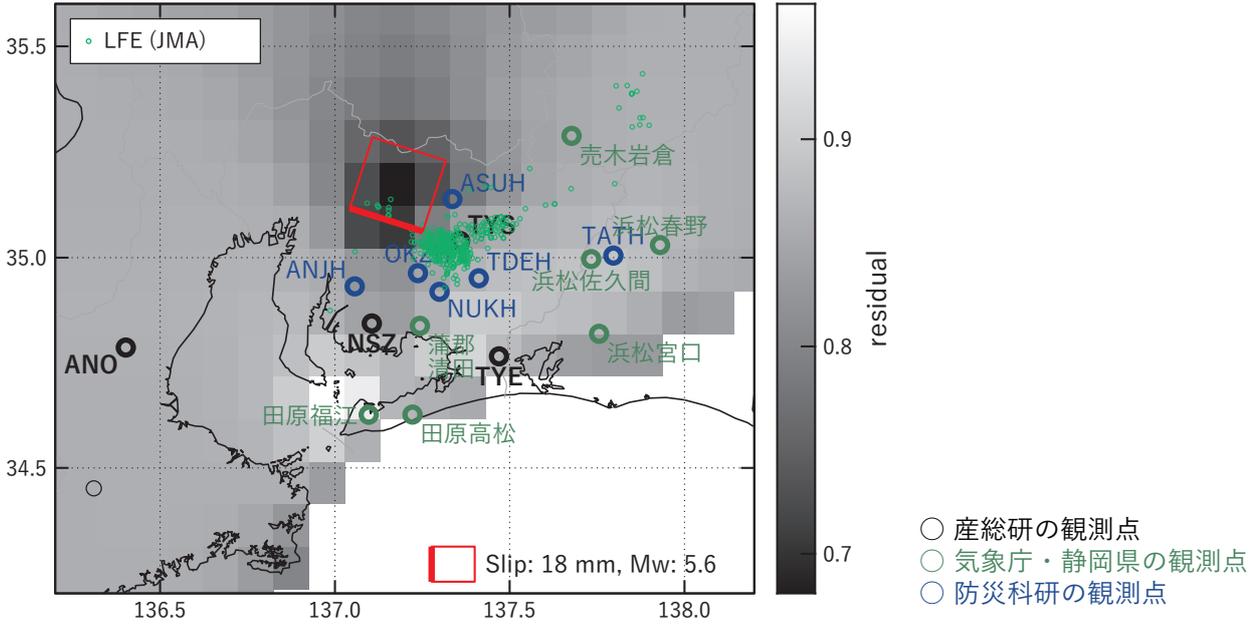
1: 2021/02/18PM-21AM (Mw 5.7), 2: 2021/11/27-30 (Mw 5.9), 3: 2021/12/01-02 (Mw 5.7), 4: 2021/12/03-04 (Mw 5.8), 5: 2021/12/08-10 (Mw 5.6), 6: 2021/12/11-13 (Mw 5.4), 7: 2021/12/17-18 (Mw 5.4)

(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。

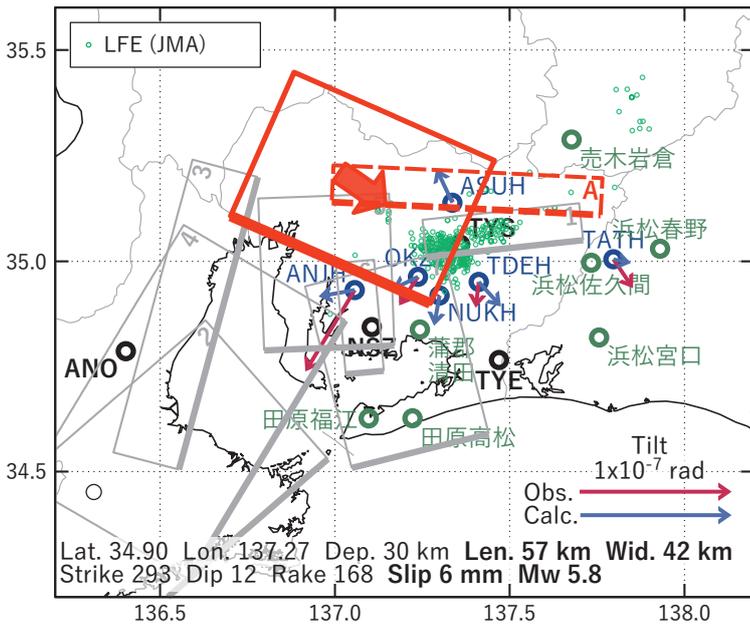
(b3) 体積歪の観測値と(b1)に示した断層モデルから求めた計算値との比較。

[B] 2022/01/20-23

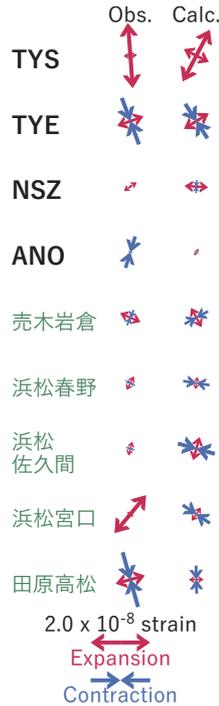
(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



(b1) 推定した断層モデル



(b2) 主歪



(b3) 体積歪

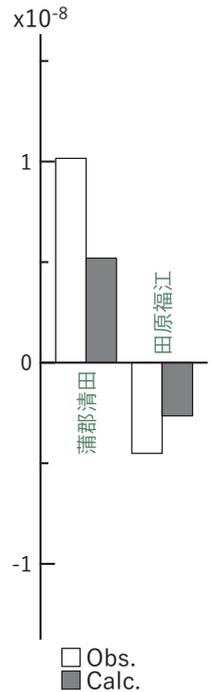


図4 2022/01/20-23の歪・傾斜変化(図2[B])を説明する断層モデル。

(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。赤色破線矩形は今回の一連のイベント。

1: 2021/02/18PM-21AM (Mw 5.7), 2: 2021/11/27-30 (Mw 5.9), 3: 2021/12/01-02 (Mw 5.7), 4: 2021/12/03-04 (Mw 5.8), 5: 2021/12/08-10 (Mw 5.6), 6: 2021/12/11-13 (Mw 5.4), 7: 2021/12/17-18 (Mw 5.4), A: 2022/01/15-19 (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。

(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。

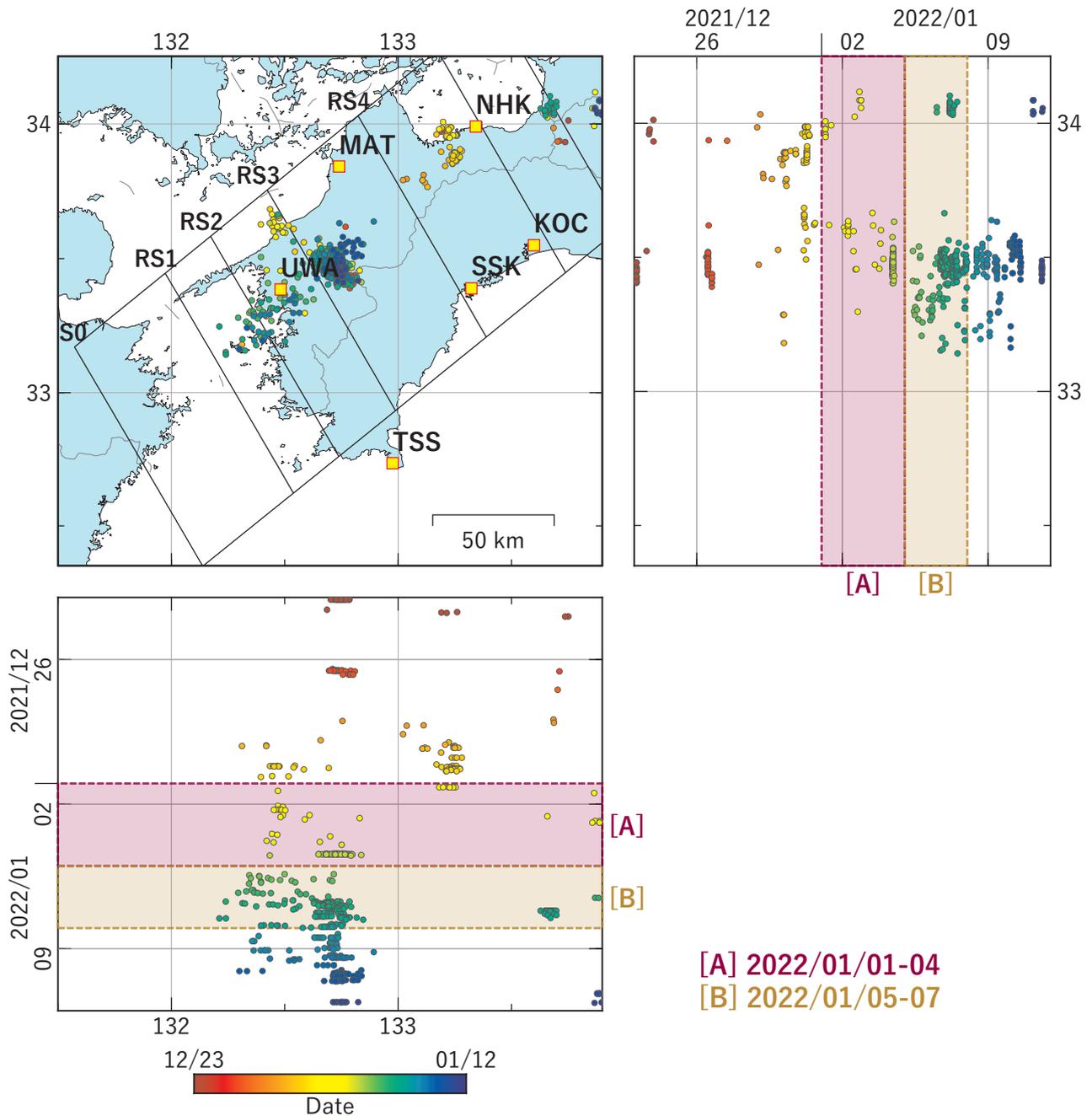


図5 四国地域における深部低周波地震の時空間分布図 (2021/12/23 00:00:00-2022/01/12 00:00:00 (JST))。気象庁カタログによる。

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

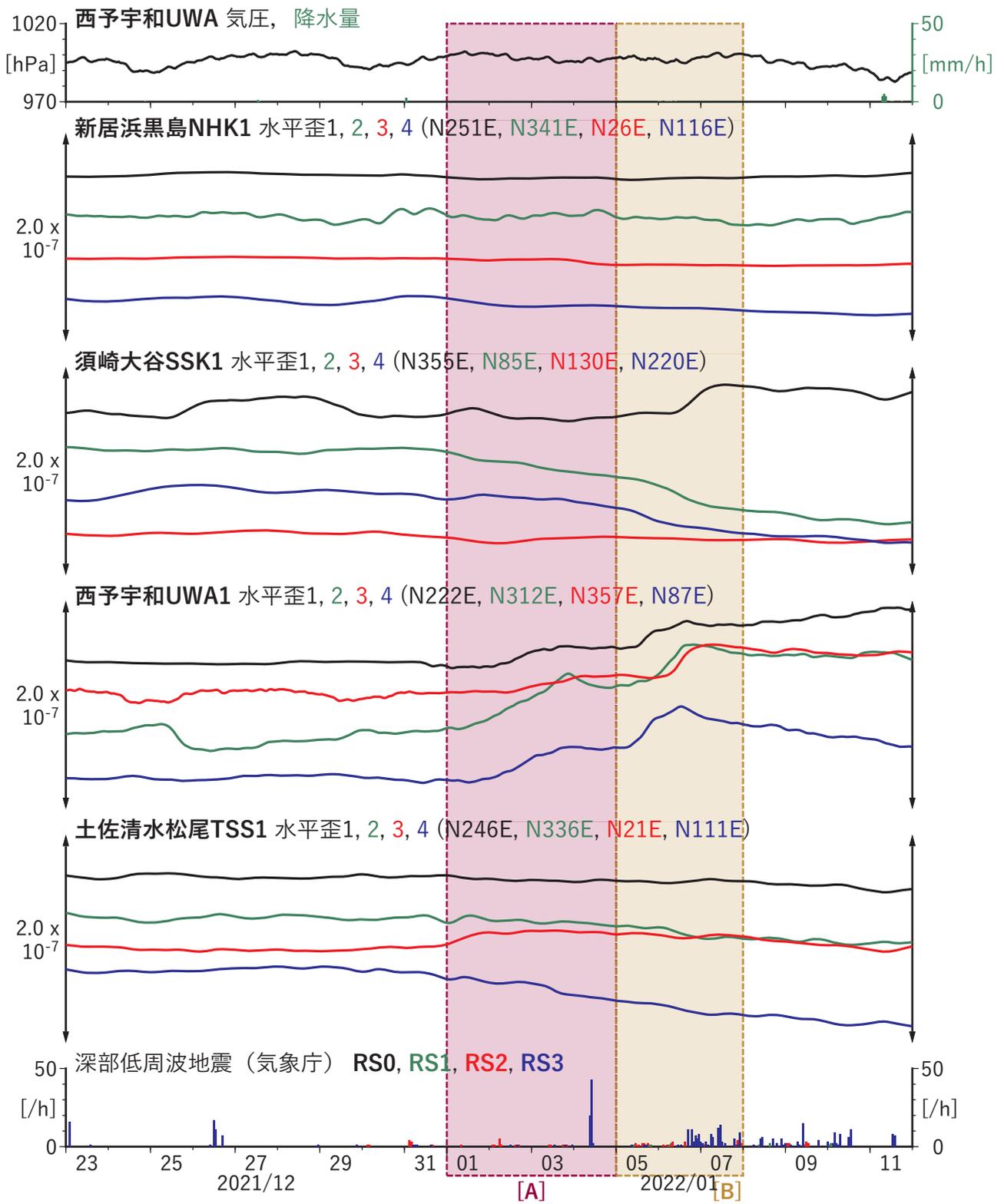


図6 歪・傾斜の時間変化(1) (2021/12/23 00:00-2022/01/12 00:00 (JST))

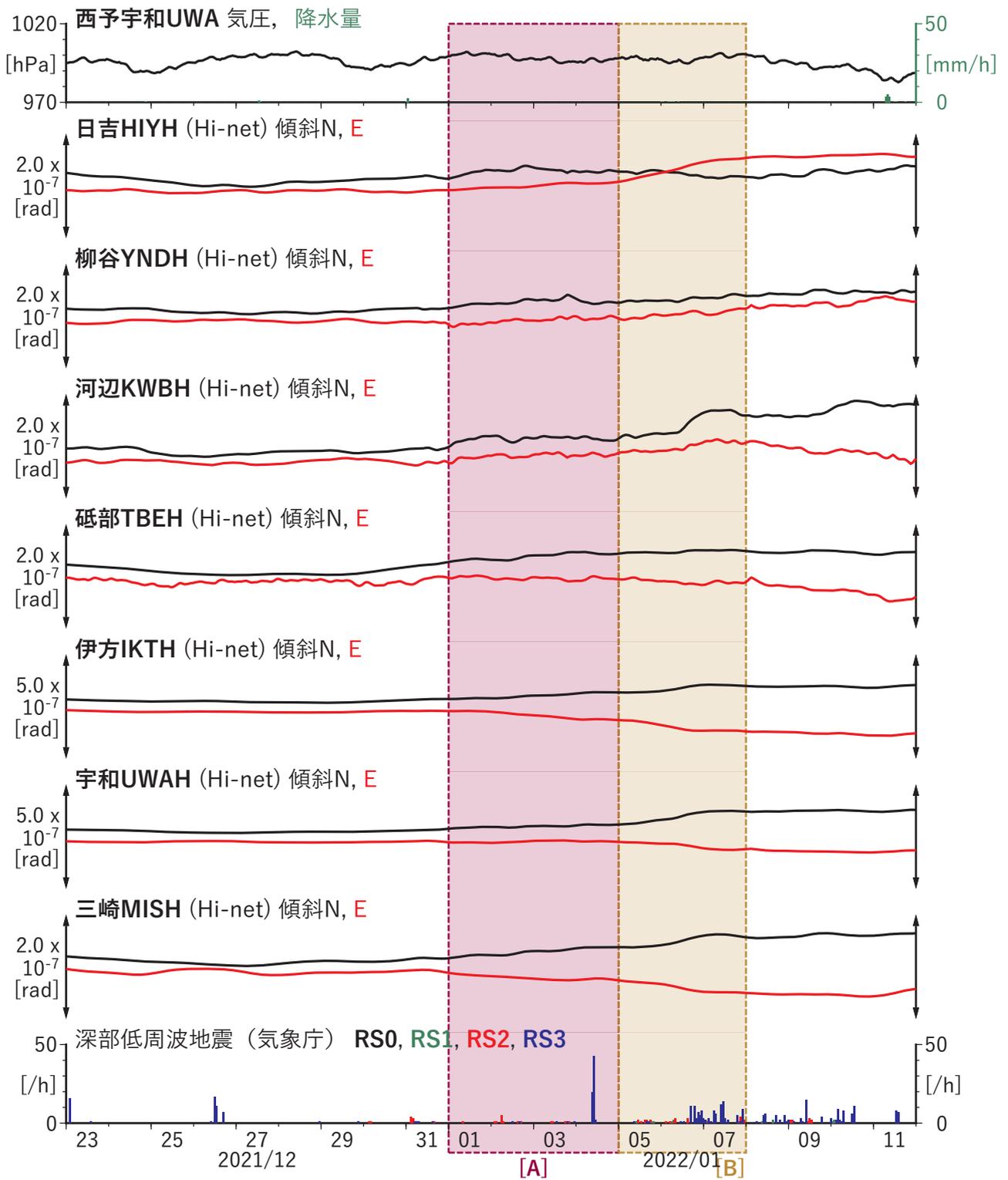
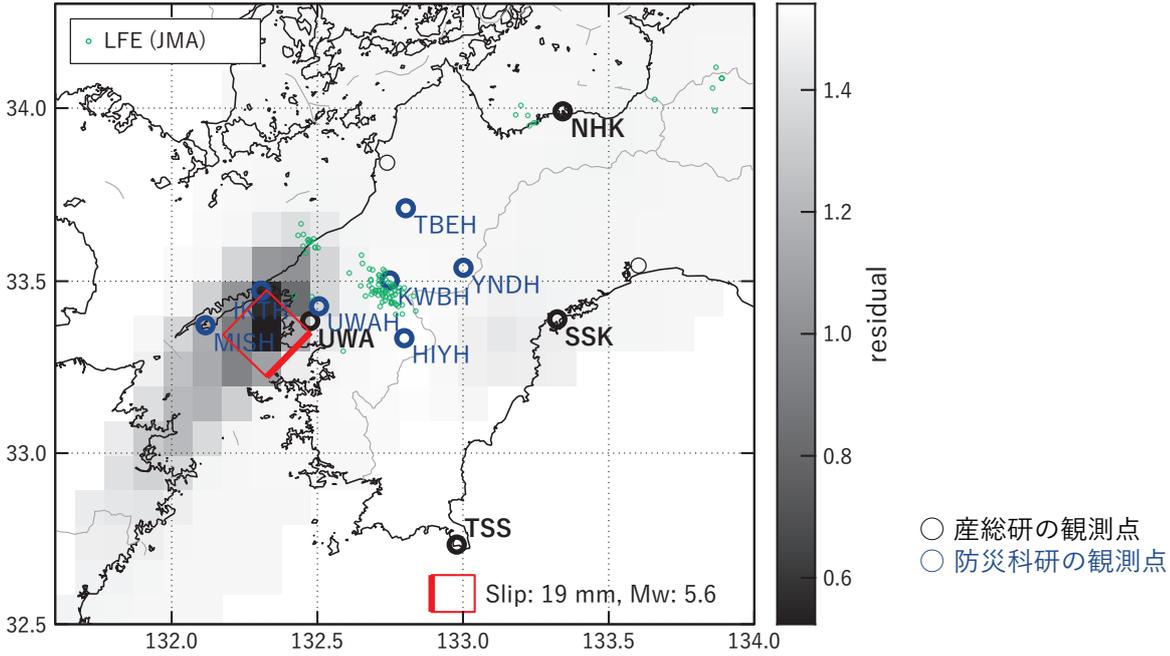


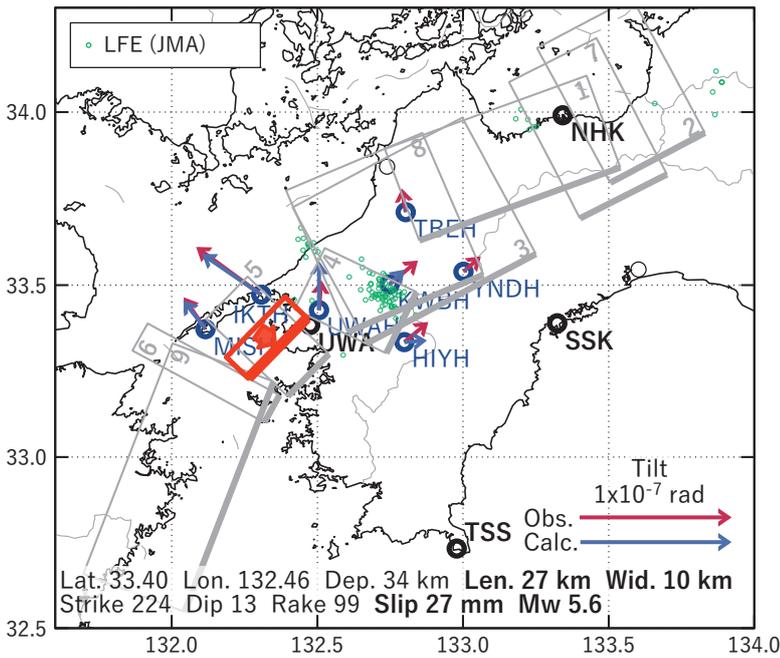
図6 歪・傾斜の時間変化(2) (2021/12/23 00:00-2022/01/12 00:00 (JST))

[A] 2022/01/01-04

(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

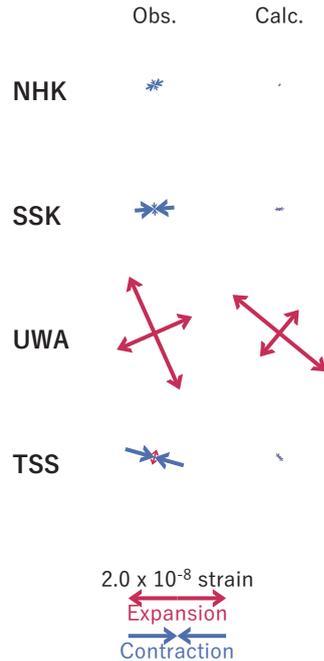


図7 2022/01/01-04の歪・傾斜変化（図6[A]）を説明する断層モデル。

(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: 2021/07/18-19AM (Mw 5.6), 2: 2021/07/19PM-21AM (Mw 5.6), 3: 2021/07/21PM-27 (Mw 6.1),

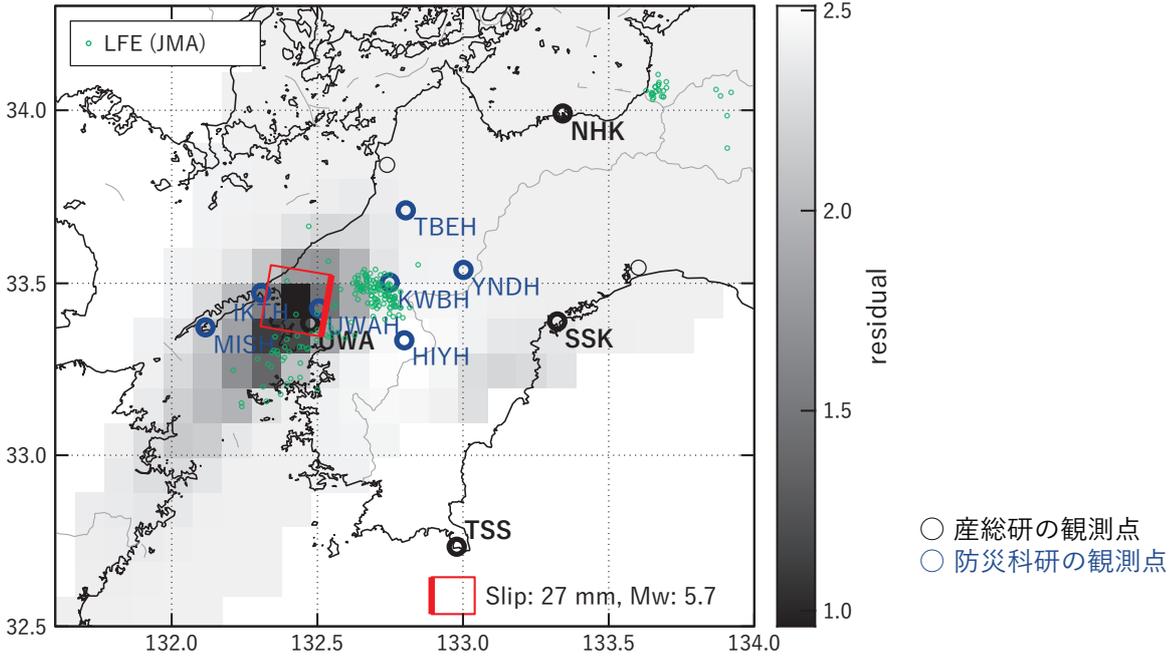
4: 2021/07/28 (Mw 5.5), 5: 2021/07/29-08/01AM (Mw 5.9), 6: 2021/11/04-05 (Mw 5.8),

7: 2021/12/03PM-05 (Mw 6.0), 8: 2021/12/08-10 (Mw 5.7), 9: 2021/12/21-22AM (Mw 5.6)

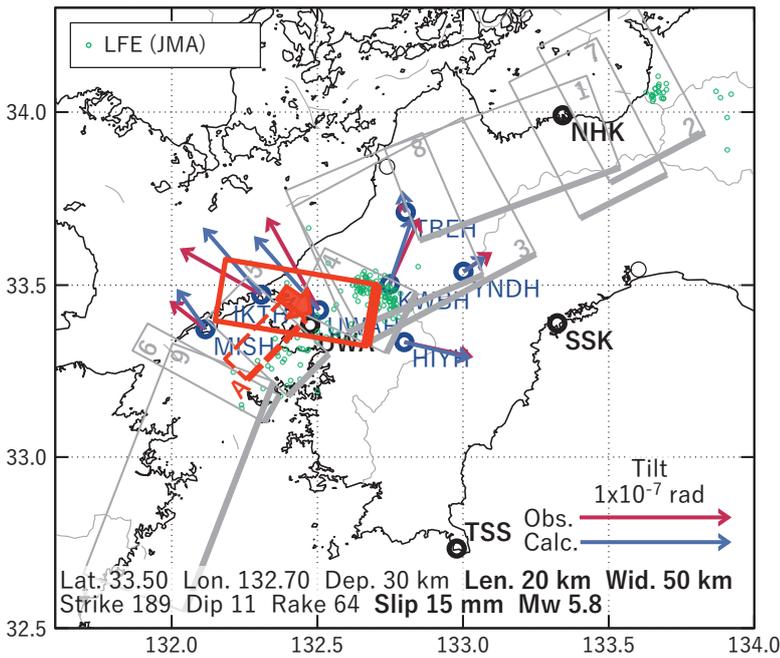
(b2) 主歪の観測値と(b1)に示した断層モデルから求めた計算値との比較。

[B] 2022/01/05-07

(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

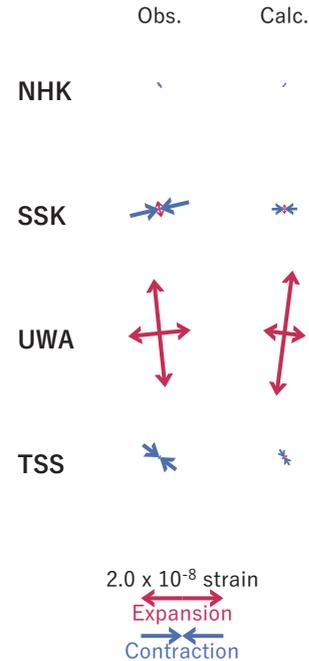


図8 2022/01/05-07の歪・傾斜変化 (図6[B]) を説明する断層モデル。

(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: 2021/07/18-19AM (Mw 5.6), 2: 2021/07/19PM-21AM (Mw 5.6), 3: 2021/07/21PM-27 (Mw 6.1),

4: 2021/07/28 (Mw 5.5), 5: 2021/07/29-08/01AM (Mw 5.9), 6: 2021/11/04-05 (Mw 5.8),

7: 2021/12/03PM-05 (Mw 6.0), 8: 2021/12/08-10 (Mw 5.7), 9: 2021/12/21-22AM (Mw 5.6),

A: 2022/01/01-04 (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。

土佐清水松尾観測点における2022年1月22日の日向灘の地震（M6.6）後のゆっくりしたひずみ変化について

産業技術総合研究所

2022年1月22日1時8分頃の日向灘の地震（M6.6）に伴い、土佐清水松尾観測点（TSS）において、地震直後のひずみステップおよびその後のゆっくりとしたひずみ変化が観測された。ゆっくりとしたひずみ変化は1日程度継続した（図1）。また、同地震に伴い、同観測点の孔1,2,3の地下水位が変化し、2月1日0時現在、変化は継続している（図1）。

TSSでは地震後のゆっくりとしたひずみ変化がたびたび観測されている。図2には2009年以降の一定の条件を満たす地震の後のTSSにおけるゆっくりとしたひずみ変化の主ひずみを示した。今回の地震後のひずみ変化の主ひずみは、過去の事例と比較して変化の絶対値は大きいですが、主ひずみの方向等は過去の事例と同様である。

上記に加えて、過去の事例と同様にゆっくりしたひずみ変化と同時に地下水位が変化していることから、TSSのゆっくりとしたひずみ変化の原因は、ひずみ計からある程度（概ね10m）以上距離が離れた場所での地下水流動の変化等の環境変化に起因する可能性が高いと考える。

参考文献

産業技術総合研究所, 2019, 2019年5月10日日向灘の地震（M6.3）後に観測されたひずみ変化について, 第20回南海トラフの地震に関する評価検討会産総研資料, 30- 43, <https://unit.aist.go.jp/ievg/tectonohydr-rg/topics/hyokakentoukai/2019/201906020%28398%29.pdf>, 2022年2月3日閲覧.

土佐清水松尾のひずみ・水位
(2022/01/12 00:00 - 2022/02/01 00:00 (JST))

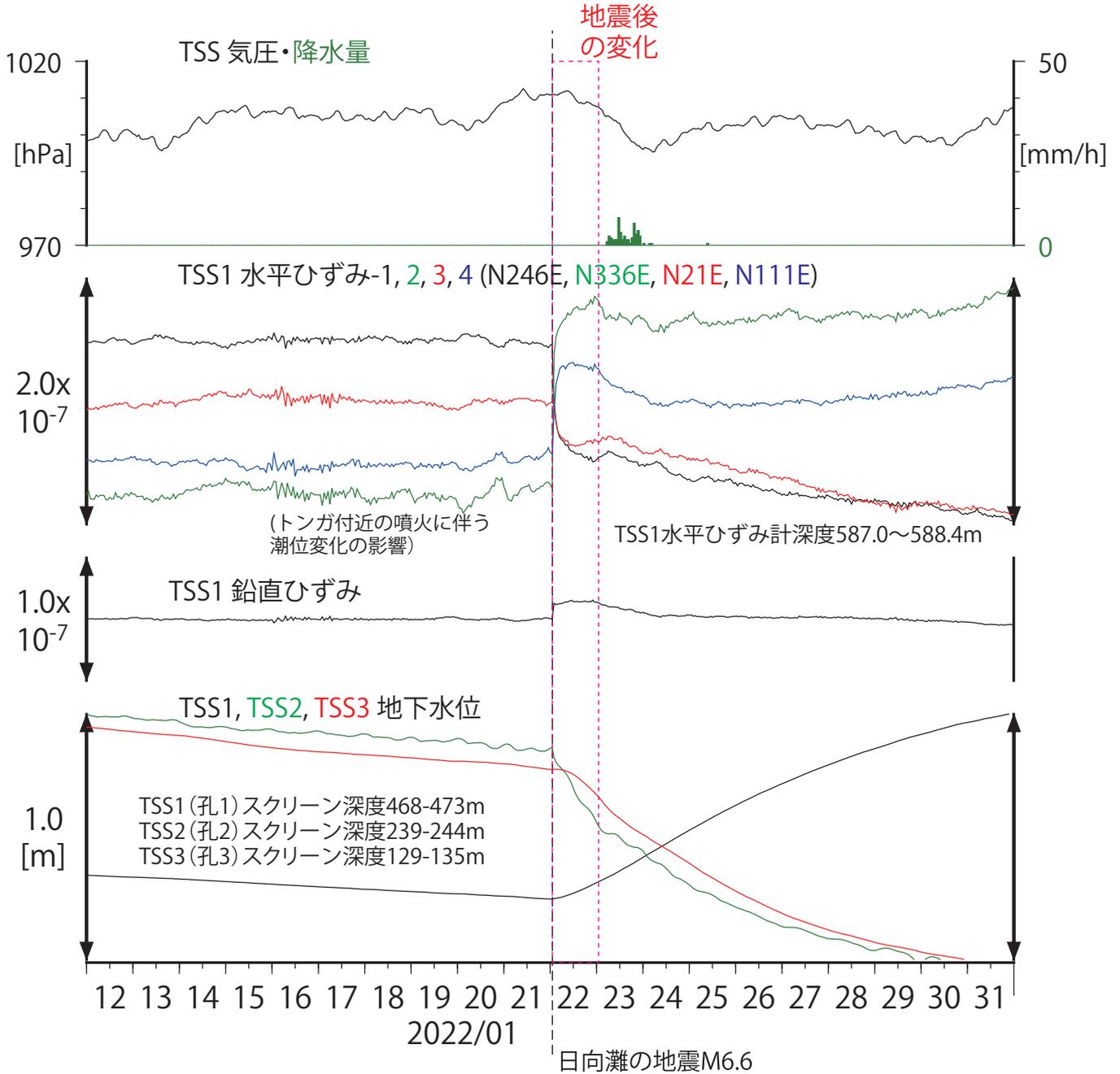


図1 土佐清水松尾観測点の日向灘の地震前後のひずみ・地下水位データ

大雨

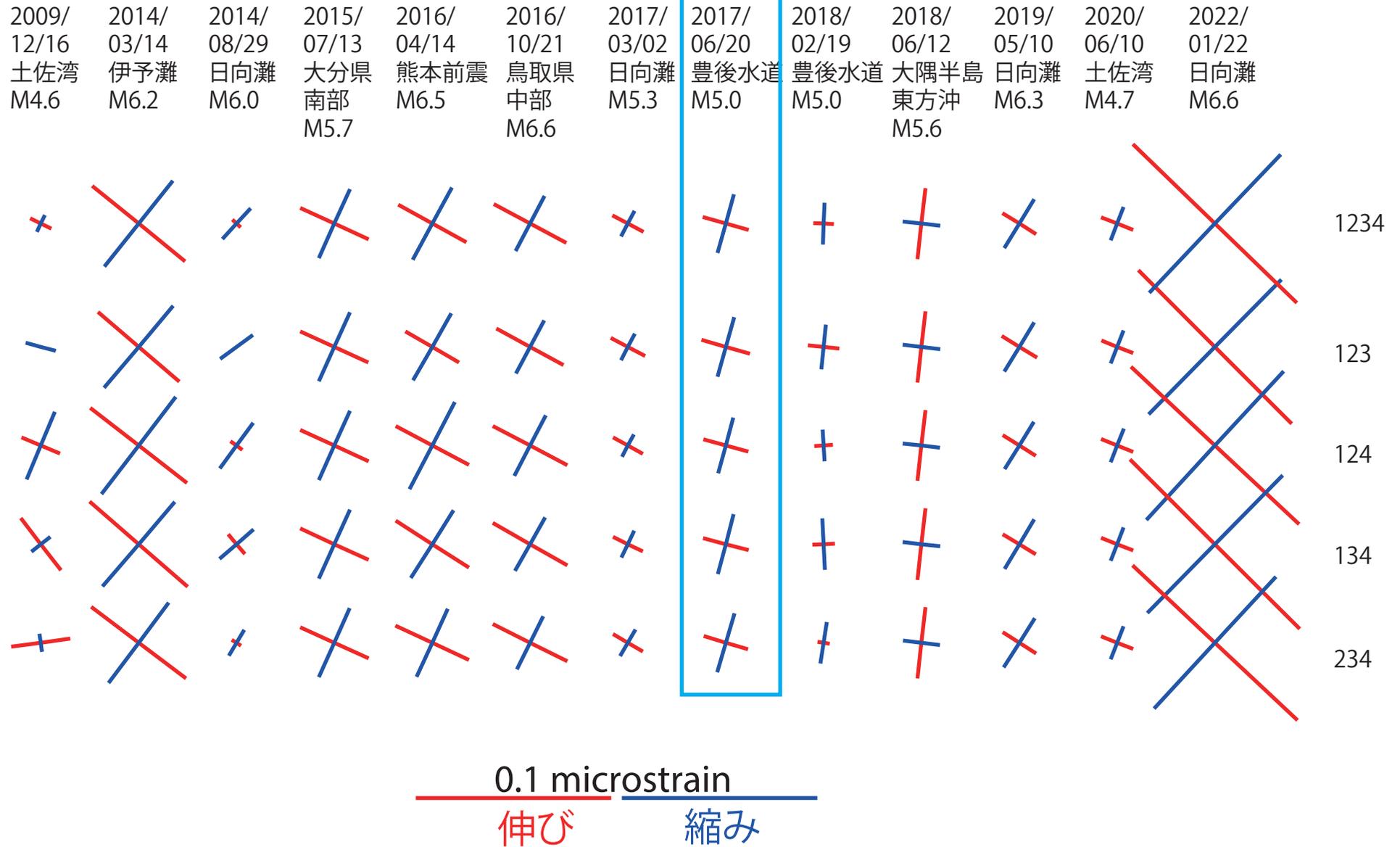


図2 土佐清水松尾観測点における地震後のゆっくりとしたひずみ変化の主ひずみ場

須崎大谷観測点における2022年1月22日の日向灘の地震（M6.6）後のゆっくりとしたひずみ変化について

産業技術総合研究所

2022年1月22日1時8分頃の日向灘の地震（M6.6）に伴い、須崎大谷観測点（SSK）において、地震直後のひずみステップおよびその後のゆっくりとしたひずみ変化が観測された。ゆっくりとしたひずみ変化は2日程度継続した（ただし23日からの降雨の影響がみられる；図1）。また、同地震に伴い、同観測点の孔1,2,3の地下水位に若干の変動がみられた（ただし23日からの降雨の影響がみられる；図1）。

SSKでは地震後のゆっくりとしたひずみ変化がたびたび観測されている（産総研, 2020）。図2には、以下の条件を満たす2010年以降の22回の地震後のひずみデータを調査したところ、ゆっくりとしたひずみ変化があった6例(今回の地震を含む)の主ひずみを示した。

調査対象：北緯32～35度、東経131～135度の範囲のM5以上の地震
高知県須崎市で震度2以上の地震
過去に土佐清水松尾観測点のひずみで地震後に変化が見られた地震

SSKにおいて比較的大きな規模のゆっくりとしたひずみ変化が観測されたのは今回の地震後の他には2020年6月10日の土佐湾の地震（M4.6）後である。この時にも同観測点の孔1,2,3の地下水位に若干の変動がみられた。さらに、2つのゆっくりとしたひずみ変化の主ひずみは、若干の向きの違いがあるものの、東西方向に伸長・南北方向に圧縮となっている。変化の絶対値は大きいですが、主ひずみの方向等は過去の例と同様である(図2)。

以上より、須崎大谷観測点における2022年1月22日の日向灘の地震（M6.6）後のゆっくりとしたひずみ変化の原因は、周辺の地下水流動の変化等の環境変化に起因する可能性がある。

参考文献

産業技術総合研究所, 2020, 2020年6月10日の土佐湾の地震（M4.6）後の須崎大谷観測点のひずみ変化について 第33回南海トラフの地震に関する評価検討会産総研資料, 25- 32, <https://unit.aist.go.jp/ievg/tectonohydr-rg/topics/hyoukakentoukai/2020/202007033%28411%29.pdf>, 2022年2月3日閲覧.

須崎大谷観測点(SSK)のひずみ・水位
(2022/01/12 00:00 - 2022/02/01 00:00 (JST))

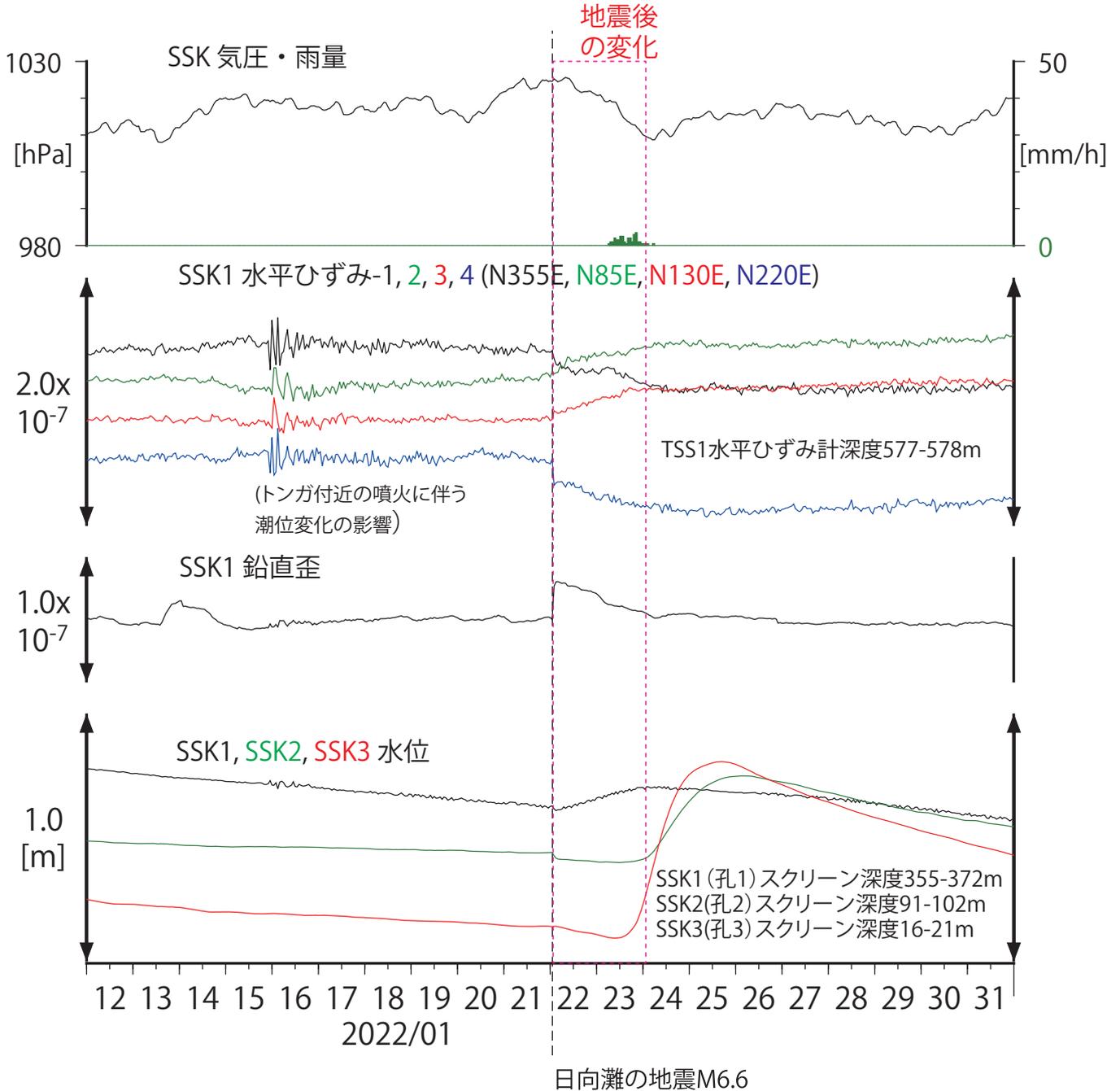


図1 須崎大谷観測点の2022年1月22日の日向灘の地震前後のひずみ・水位変化

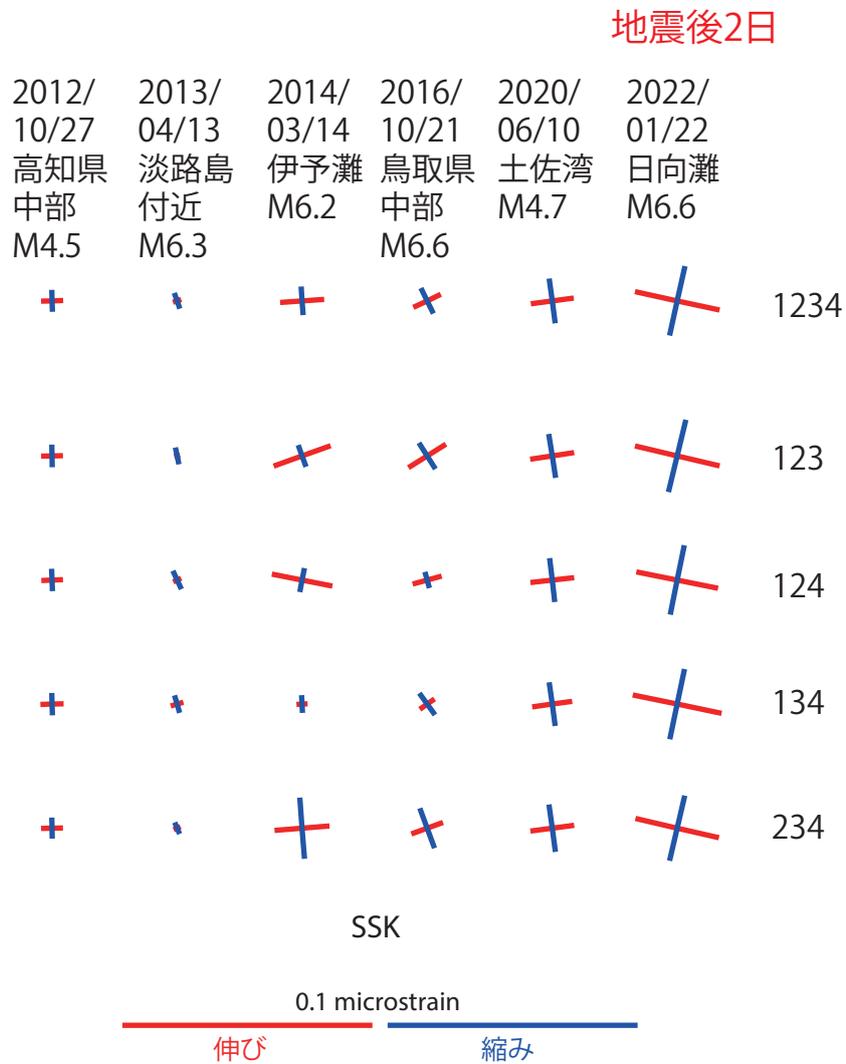


図2 須崎大谷観測点における地震後のゆっくりとしたひずみ変化の主ひずみ