【第40回】南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会 【第418回】地震防災対策強化地域判定会

一產業技術総合研究所資料一

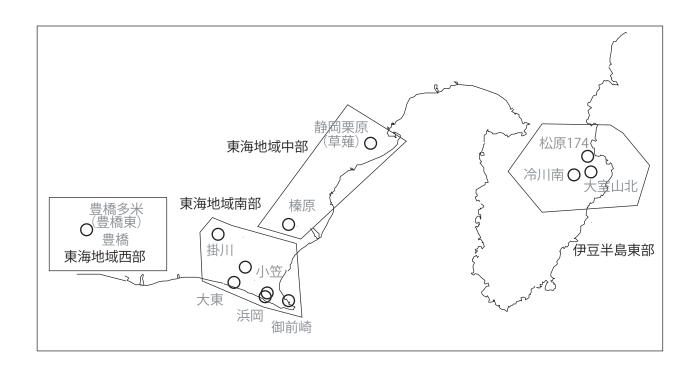
令和3年2月5日



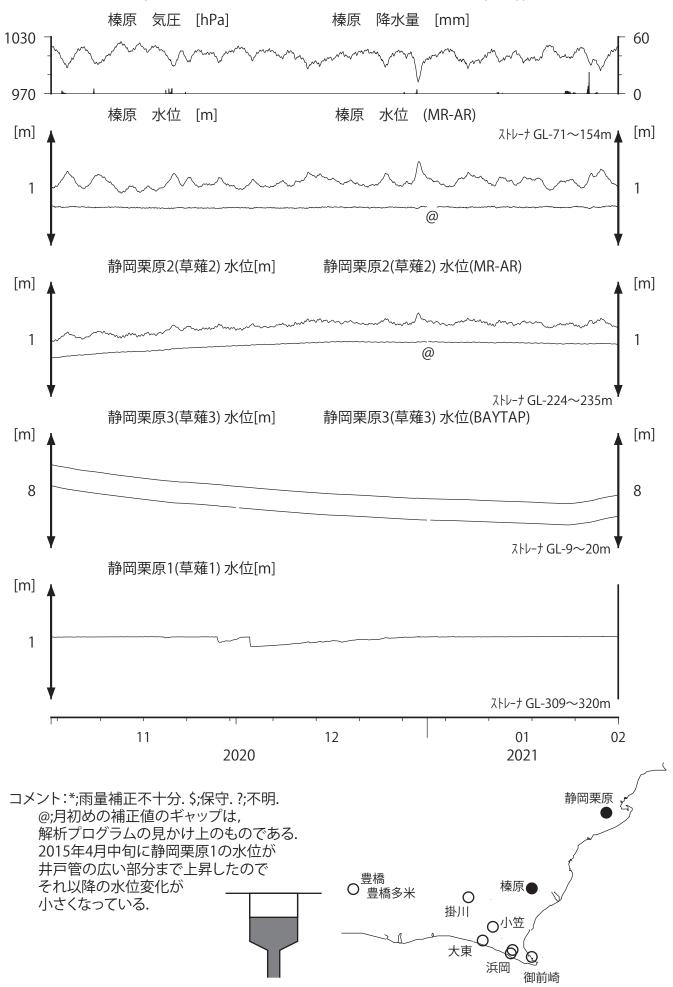
【資料目次】

表紙

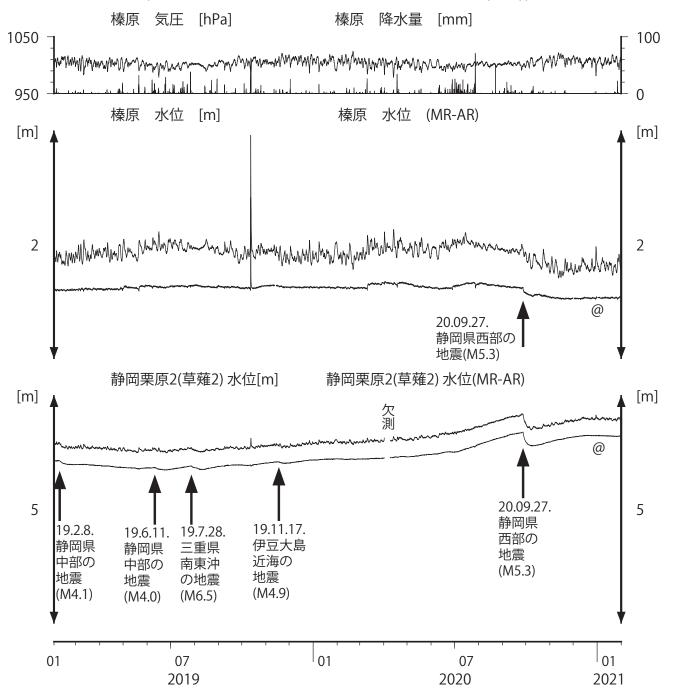
- 1. 東海地域中部「榛原,静岡栗原(草薙) 〕地下水;中期
- 2. 東海地域中部 [榛原,静岡栗原(草薙)] 地下水;長期
- 3. 東海地域南部 [大東,小笠,浜岡,御前崎]地下水;中期
- 4. 東海地域南部 [大東,小笠,浜岡,御前崎]地下水;長期
- 4-b. 東海地域南部 [浜岡] 地下水・沈下;長期
- 4-c. 東海地域南部 [掛川] 地下水・沈下;長期
- 5. 東海地域西部 [豊橋,豊橋多米(豊橋東)] 地下水・歪・傾斜;中期
- 5-b. 東海地域西部 [豊橋多米(豊橋東)] 歪等;中期
- 6. 東海地域西部 [豊橋・豊橋多米(豊橋東)] 地下水・歪・傾斜;長期
-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

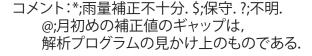


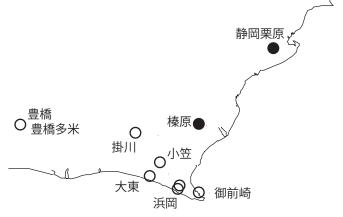
東海地域中部(榛原・草薙)中期 (時間値) (2020/11/01 00:00 - 2021/02/01 00:00 (JST))



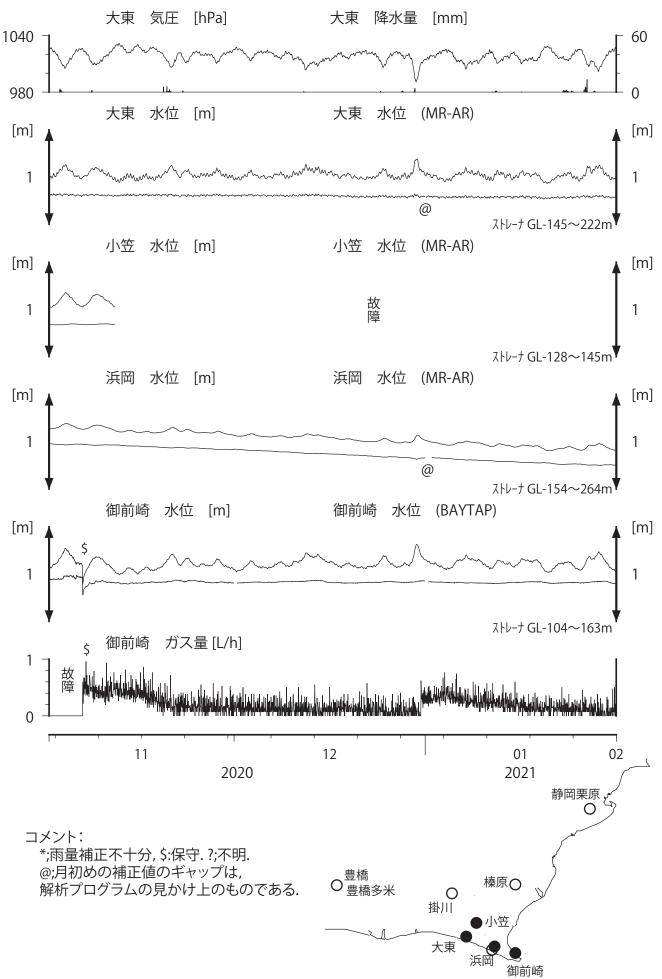
東海地域中部(榛原·草薙)長期 (時間値) (2019/02/01 00:00 - 2021/02/01 00:00 (JST))



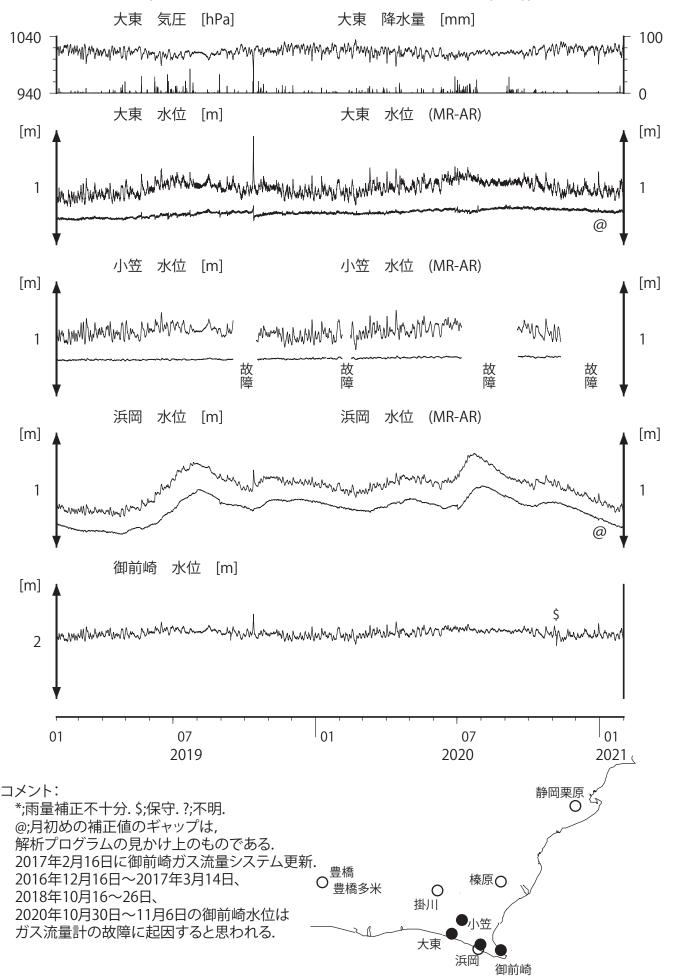




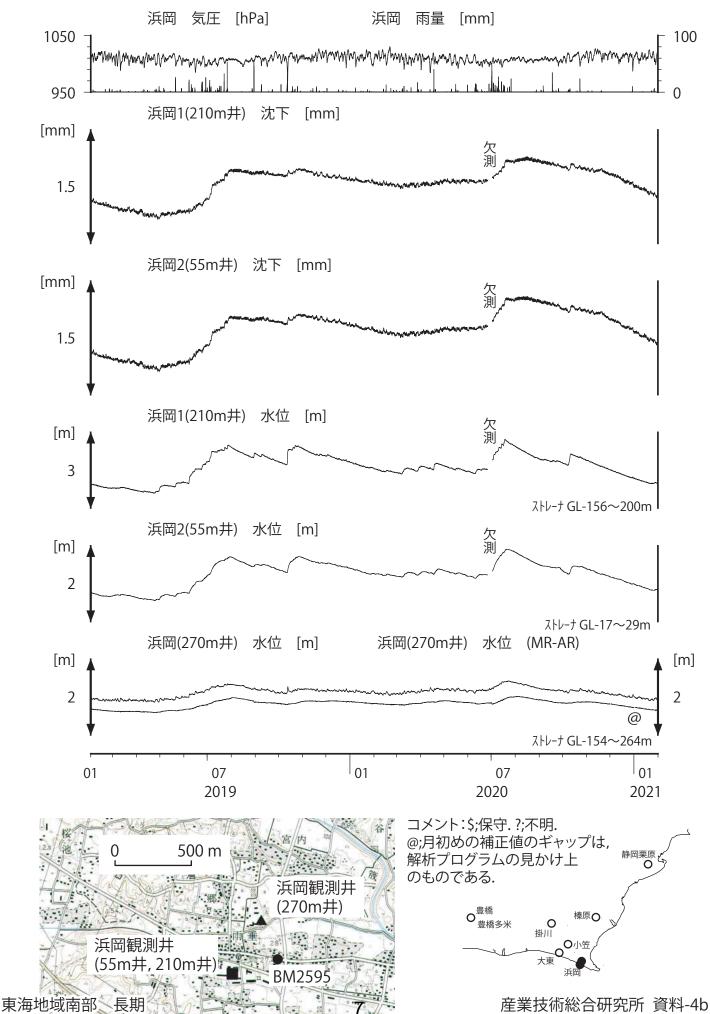
東海地域南部 地下水観測結果 中期 (時間値) (2020/11/01 00:00 - 2021/02/01 00:00 (JST))



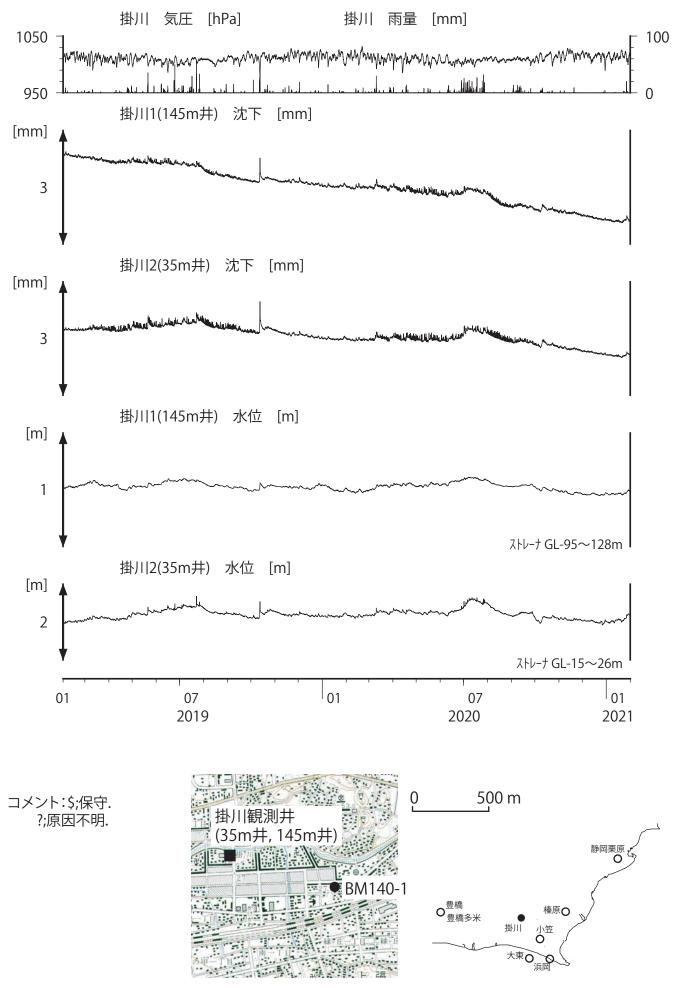
東海地域南部 地下水観測結果 長期 (時間値) (2019/02/01 00:00 - 2021/02/01 00:00 (JST))



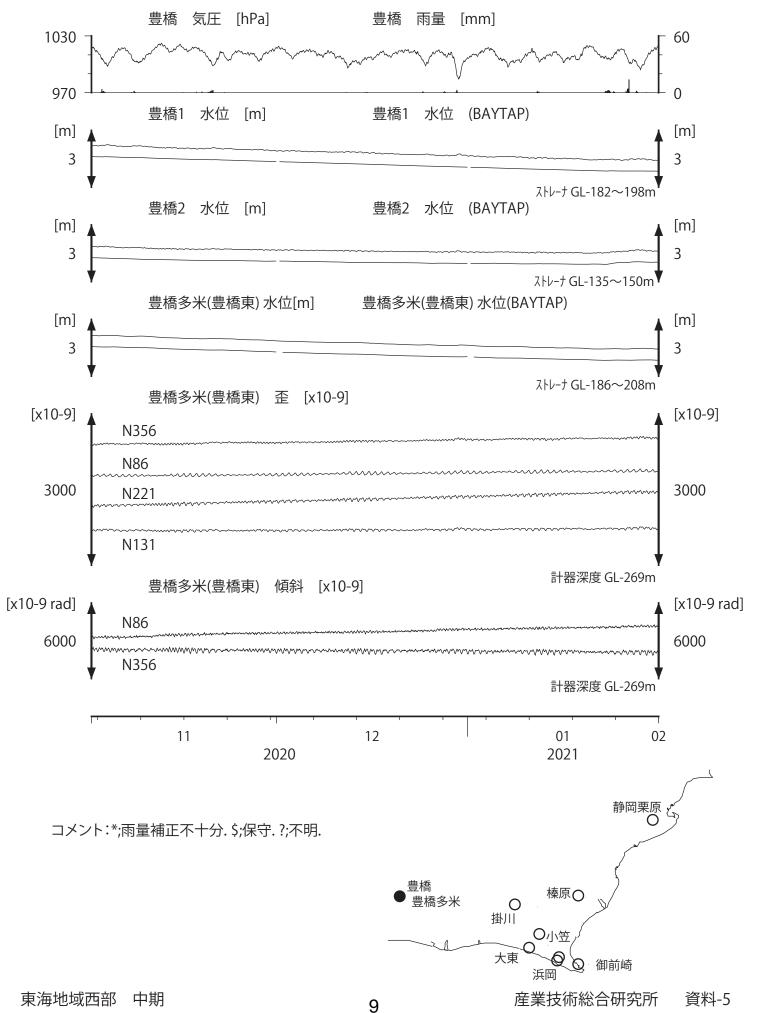
浜岡沈下・水位 (時間値) (2019/02/01 00:00 - 2021/02/01 00:00 (JST))



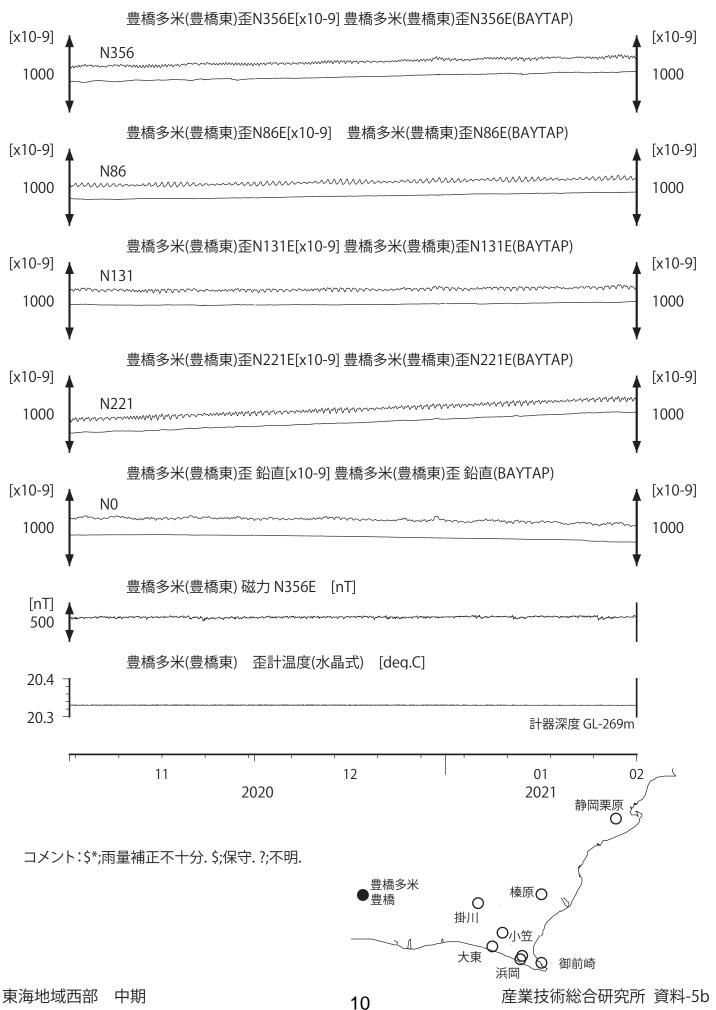
掛川沈下・水位 (時間値) (2019/02/01 00:00 - 2021/02/01 00:00 (JST))



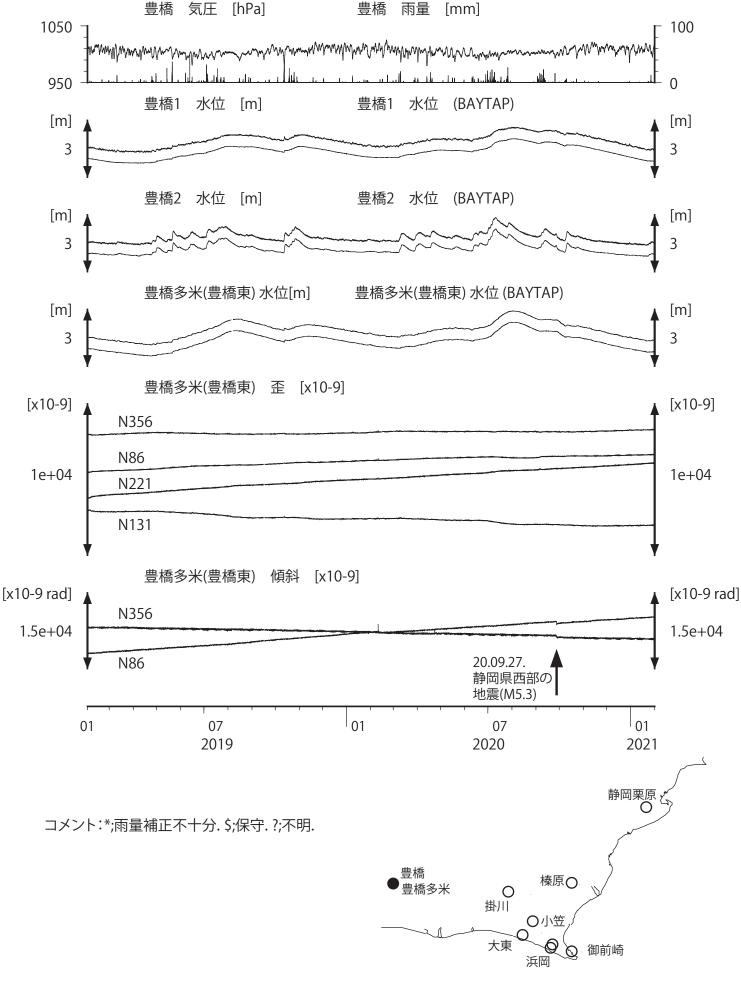
東海地域西部(豊橋・豊橋多米)中期 (時間値) (2020/11/01 00:00 - 2021/02/01 00:00 (JST))



東海地域西部(豊橋多米 歪)中期 (時間値) (2020/11/01 00:00 - 2021/02/01 00:00 (JST))



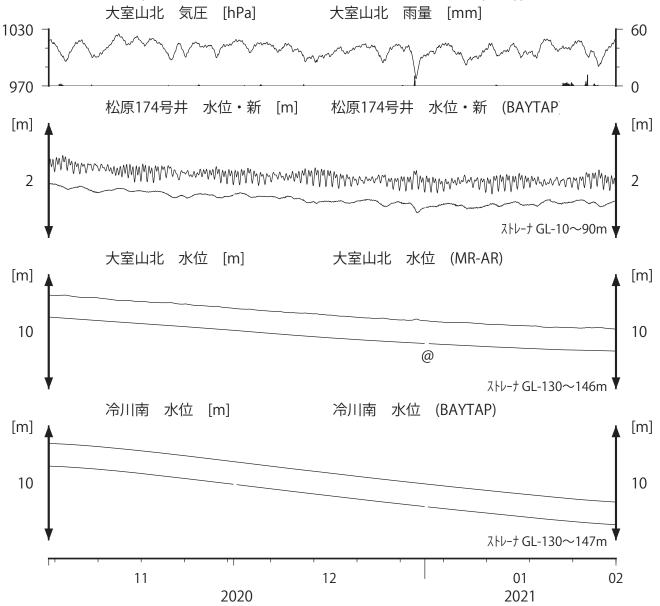
東海地域西部(豊橋・豊橋多米)長期 (時間値) (2019/02/01 00:00 - 2021/02/01 00:00 (JST))



東海地域西部(豊橋多米 歪)長期 (時間値) (2019/02/01 00:00 - 2021/02/01 00:00 (JST))

豊橋多米(豊橋東) 歪 N356E [x10-9] [x10-9] N356 5000 豊橋多米(豊橋東) 歪 N86E [x10-9] [x10-9] N86 5000 豊橋多米(豊橋東) 歪 N131E [x10-9] [x10-9] N131 5000 豊橋多米(豊橋東) 歪 N221E [x10-9] [x10-9] N221 5000 豊橋多米(豊橋東) 歪 鉛直 [x10-9] [x10-9] N0 5000 豊橋多米(豊橋東) 磁力 N356E [nT] [nT] 1000 豊橋多米(豊橋東) 歪計温度(水晶式) [deg.C] 20.5 20.2 01 01 01 07 07 2019 2020 2021 静岡栗原〇 コメント: \$;保守. ?;原因不明. 豊橋 榛原C 豊橋多米 掛川 大東 御前崎 浜岡

伊豆半島東部 地下水位 中期 (時間値) (2020/11/01 00:00 - 2021/02/01 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.

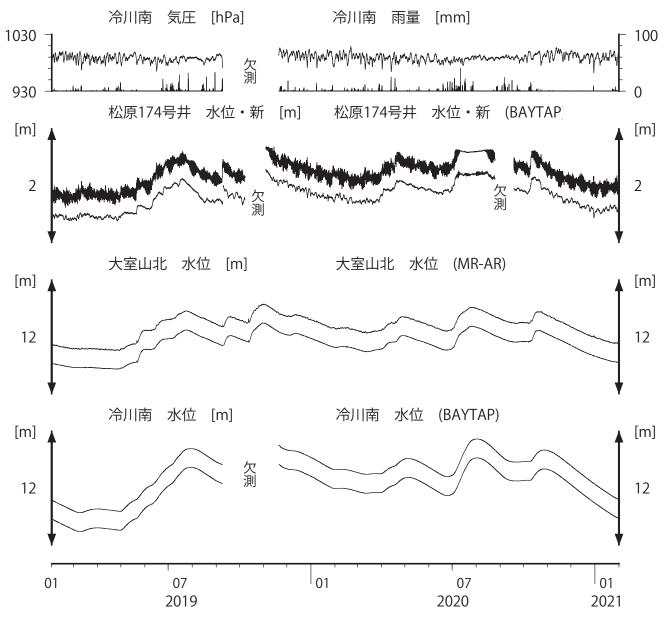
松原174号井は静岡県による観測.

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日と2020年9月18日に交換した. 松原174の水位は2020年7月5日~8月21日頃まで断続的に管頭から水があふれた.



産業技術総合研究所 資料-7

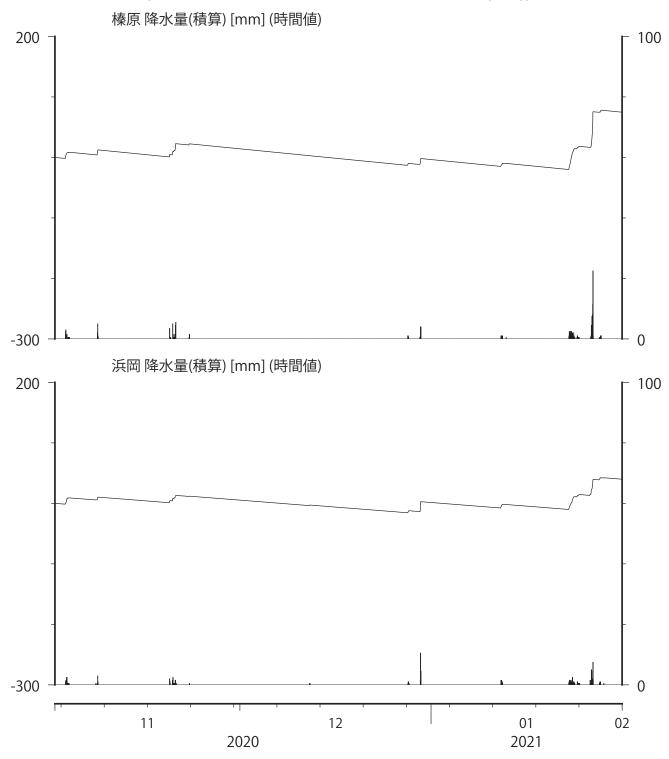
伊豆半島東部 地下水位 長期 (時間値) (2019/02/01 00:00 - 2021/02/01 00:00 (JST))



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日と2020年9月18日に交換した. 松原174の水位は2020年7月5日~8月21日頃まで 断続的に管頭から水があふれた.

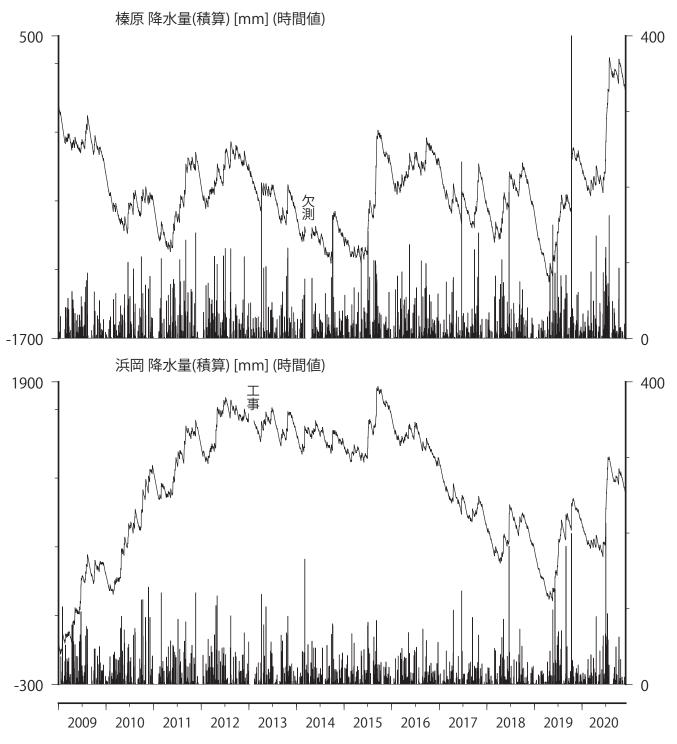


榛原・浜岡観測井 直近3ヶ月の積算降雨量トレンド除去グラフ [mm] (2020/11/01 00:00 - 2021/02/01 00:00 (JST))



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 - 2020/12/01 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01月10日から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2,3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。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01月07日から09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, 5, 6, 7 はそれぞれ図 2, 3 [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, 5.7, 5.8, 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 12 月 11 日から 18 日午前 (Mw 5.6, 5.6; 図 4, 5, 6, 7 の灰色矩形 1, 2), 2020 年 11 月 20 日から 25 日 (Mw 5.8, 5.7; 同 3, 4) である。

防災科学技術研究所によると、2020年12月上旬から翌1月下旬にかけて、紀伊半島沖熊野灘において活発な微動活動が観測された。2020年12月11日から翌1月19日にかけて、産総研の歪観測点3点において変化が観測された。図8は三重県・和歌山県の産総研の観測点における歪および防災科研の微動観測結果である。歪観測結果はBAYTAP-Gにより気圧応答成分、潮位偏差(気圧補正)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、2020年11月20日から12月10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。潮位偏差(気圧補正)成分除去は気象庁の協力を得て行った。

図 9 は図 8[A]の変化を説明する SSE の推定結果(Mw6.2)である。図 10 は微動発生域に限定して断層モデルを推定した結果(M6.6)である。なお微動発生域の広がりを鑑みて、本イベントに限り断層の長さは 150 km (通常は 80 km) までの範囲で解析を行った。

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、01 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(01 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.

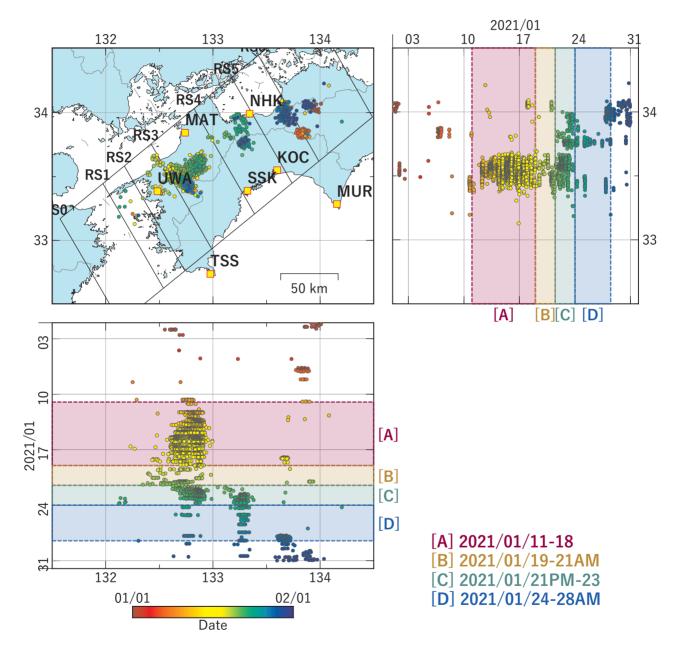


図1 四国地方における深部低周波地震の時空間分布図。 (2021/01/01 00:00 - 2021/02/01 00:00 (JST)) 気象庁カタログによる。

(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

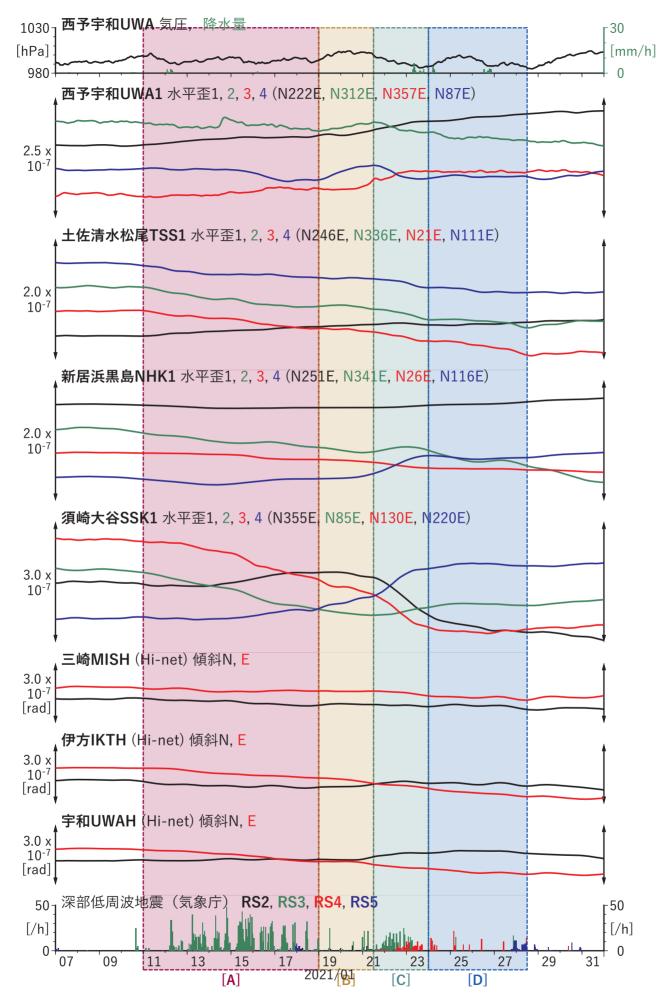


図2 歪・傾斜の時間変化(2021/01/07 00:00 - 2021/02/01 00:00 (JST))

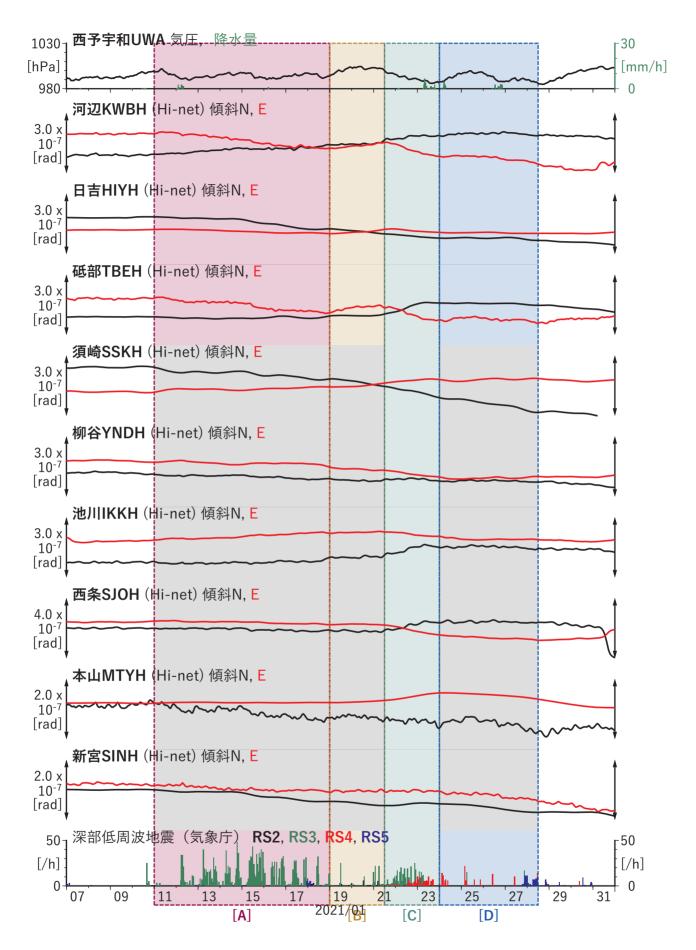


図3 傾斜の時間変化 (2021/01/07 00:00 - 2021/02/01 00:00 (JST))

[A]2021/01/11-18

(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

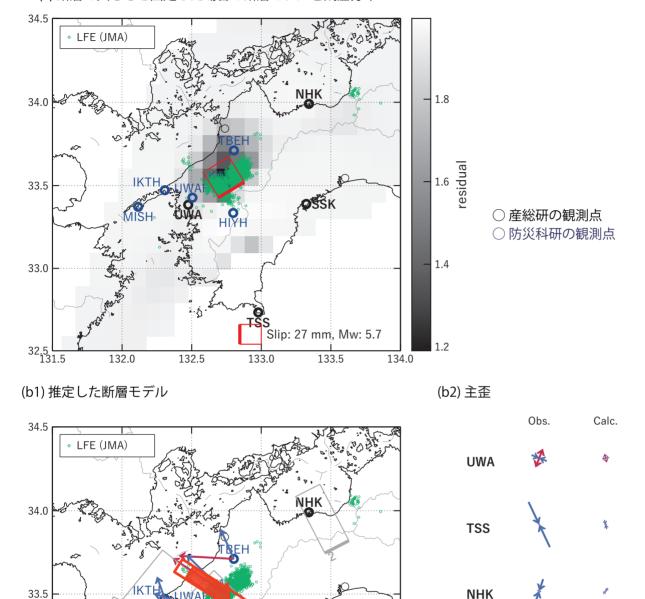


図4 2021/01/11 - 18 の歪・傾斜変化(図2-3[A])を説明する断層モデル。

Lat. 33.47 Lon. 132.88 Dep. 28 km Len. 10 km Wid. 50 km

Strike 213 Dip 9 Rake 88 Slip 36 mm Mw 5.8

(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。

Tilt

1x10⁻⁷ rad

Obs.

- (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: 2020/12/11-15AM (Mw5.6), 2: 2020/12/15PM-18AM (Mw5.6), 3: 2020/11/20-22 (Mw5.8)
- 4: 2020/11/23-25 (Mw5.7)

33.0

(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。

2.0 x 10⁻⁸ strain

Expansion

Contraction

SSK

[B] 2021/01/19-21AM

(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

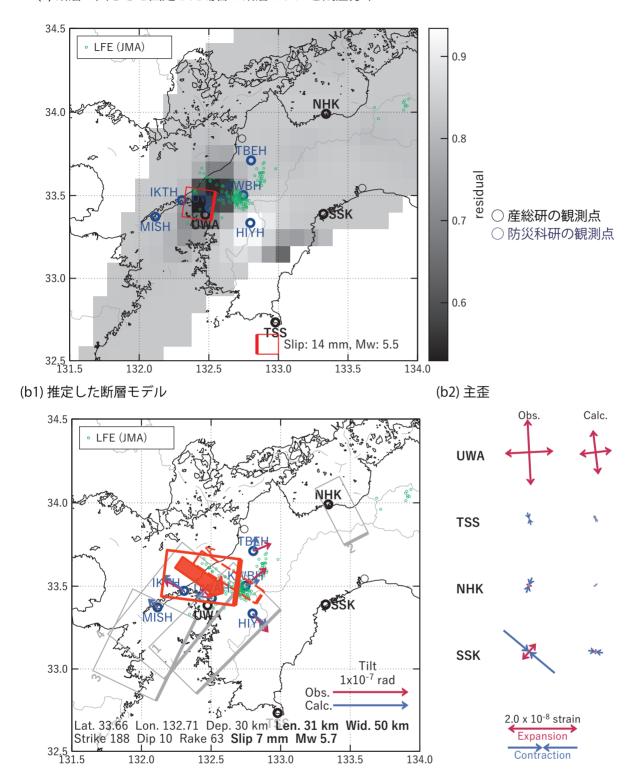


図5 2021/01/19 - 21AM の歪・傾斜変化(図2-3[B])を説明する断層モデル。

- (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: 2020/12/11-15AM (Mw5.6), 2: 2020/12/15PM-18AM (Mw5.6), 3: 2020/11/20-22 (Mw5.8)
- 4: 2020/11/23-25 (Mw5.7), A: 2021/01/11-18 (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] 2021/01/21PM-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

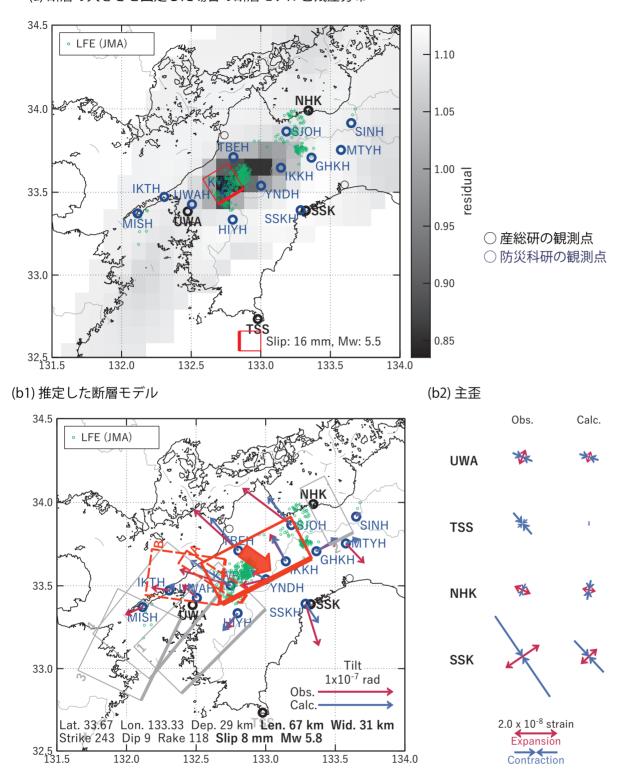


図6 2021/01/21PM - 23 の歪・傾斜変化(図2-3[C])を説明する断層モデル。

- (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: 2020/12/11-15AM (Mw5.6), 2: 2020/12/15PM-18AM (Mw5.6), 3: 2020/11/20-22 (Mw5.8)
- 4: 2020/11/23-25 (Mw5.7), A: 2021/01/11-18 (Mw5.8), B: 2021/01/19-21AM (Mw 5.7)
- (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。

[D] 2021/01/24-28AM

(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

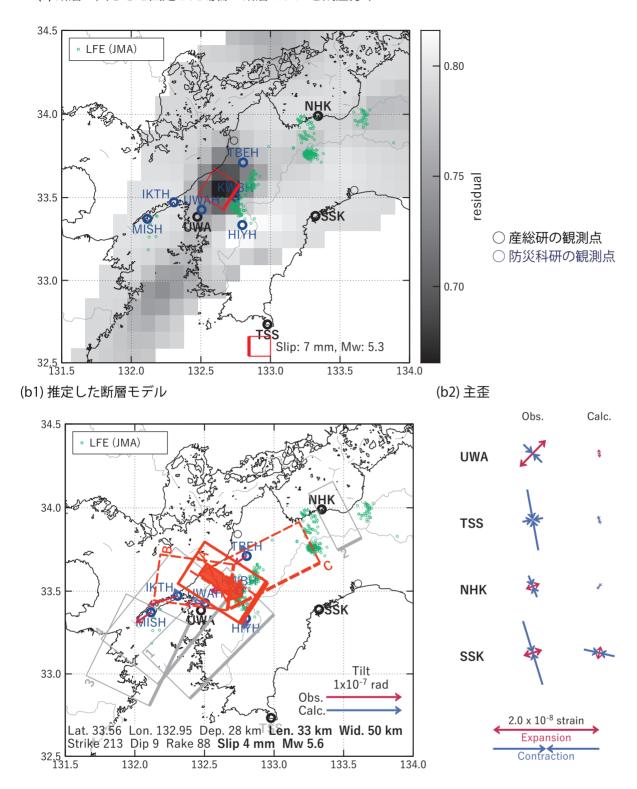


図7 2021/01/24 - 28AM の歪・傾斜変化(図2-3[D])を説明する断層モデル。

- (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: 2020/12/11-15AM (Mw5.6), 2: 2020/12/15PM-18AM (Mw5.6), 3: 2020/11/20-22 (Mw5.8)
- 4: 2020/11/23-25 (Mw5.7), A: 2021/01/11-18 (Mw5.8), B: 2021/01/19-21AM (Mw 5.7), C: 2021/01/21PM-23 (M5.8)
- (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。

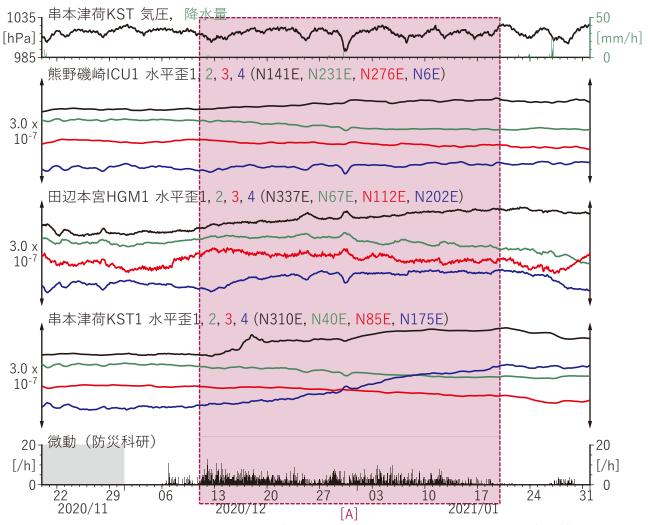


図8 紀伊半島における歪観測結果 (2020/11/20 00:00 - 2021/02/01 00:00 (JST)). 微動データは防災科学技術研究所提供 (2020/12/01以降). 歪データは気圧応答・潮位偏差応答・1次トレンド除去. 潮位偏差データは気象庁提供.

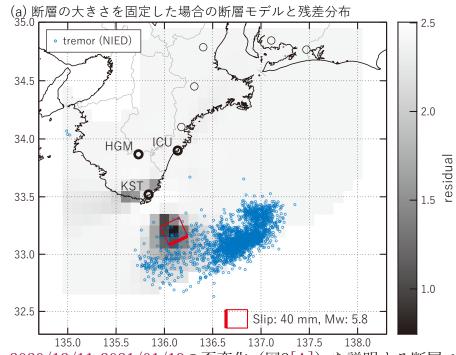


図9 2020/12/11-2021/01/19の歪変化(図8[A])を説明する断層モデル. 微動データは防災科学技術研究所提供.

(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、対応する残差の総和の分布、赤色矩形が残差の総和が最小となる断層面の位置、

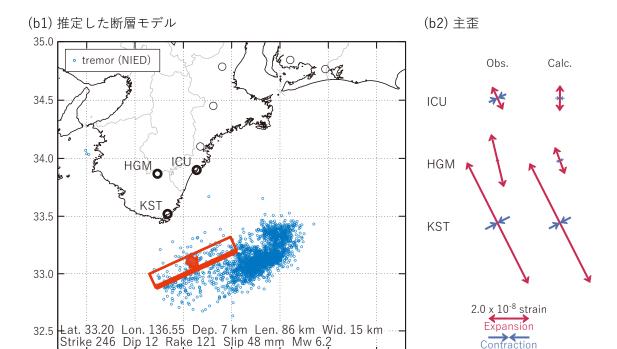


図9 2020/12/11-2021/01/19の歪変化(図8[A])を説明する断層モデル.

137.0

(b1) (a)の断層面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短期的SSEの推定断層面.

137.5

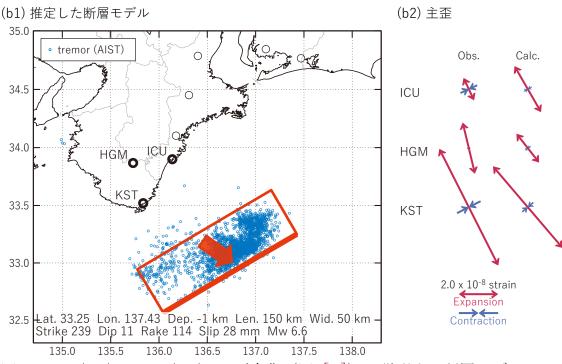
(b2) 主歪の観測値と(b1)に示した断層モデルから求めた計算値との比較.

[微動発生域に限定して解析]

136.0

微動データは防災科学技術研究所提供.

136.5



- 図10 2020/12/11-2021/01/19の歪変化(図8[A])を説明する断層モデル. 微動データは防災科学技術研究所提供.
 - (b1) 微動発生域周辺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短期的SSEの推定断層面.
 - (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.