6-4 東海・紀伊半島・四国における短期的スロースリップイベント (2019 年 11 月~2020 年 4 月)

Short-term slow slip events in the Tokai area, the Kii Peninsula and the Shikoku District, Japan (from November 2019 to April 2020)

産業技術総合研究所 Geological Survey of Japan, AIST 防災科学技術研究所

National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

歪・傾斜・地下水位の変化から短期的 SSE の断層モデルを推定したイベントについて、その解析結果を報告する.

2019年11月8日から11日にかけて、四国地方で深部低周波地震が観測された(第1図). 第2,3図は周辺の産総研・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10月30日から11月7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.

第4図は図2,3 [A] の,第5図は第2,3図 [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 5.7,5.7)である。また,第6,7図は第2,3図 [C] の変化を,西側(第6図)と東側(第7図)に分けて解析した断層モデルの推定結果(西側が Mw 5.6,東側が Mw 5.2)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8月4日から13日(順に Mw 5.6,5.9,5.7,6.0;第4-7図の灰色矩形1-4),2019年9月14日から17日(Mw 5.6;同5)である。

2019 年 11 月 11 日から 20 日にかけて, 紀伊半島から東海地方で深部低周波地震が観測された (第8図). 第 9-11 図は周辺の産総研・気象庁・防災科研の観測点における歪・傾斜・地下水位の観測結果である. 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 11 月 4 日から 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. 第 12-15 図はそれぞれ第 9-11 図 [A], [B], [C-1], [C-2] 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 5.7, 5.4, 5.6, 5.8) である. [C-1] と [C-2] の期間は重なっており, [C-1] が西側, [C-2] が東側である. 今回の活動域付近における最近の短期的 SSE の活動は,

2019年6月25日午後から7月3日午前(順にMw 5.7, 5.8;第12-15図の灰色矩形1, 2), 2019

年7月21日から28日 (Mw 5.7, 5.6; 同3, 4) である.

ものである.

2019年12月31日から2020年1月3日にかけて、四国東部において深部低周波地震活動が観測された(第16図)。第17図は愛媛県・高知県・徳島県の産総研・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、2019年12月21日から31日のデータを用いて1次トレンドを除去した

第 18 図は第 17 図 [A] の変化を説明する短期的 SSE の推定結果 (Mw 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、2018 年 8 月 11 日午後から 13 日(順に Mw 6.0;第 18 図の灰色矩形 1)、2019 年 9 月 14 日から 17 日(Mw 5.6;同 2)、2019 年 11 月 11 日(Mw 5.2;同 3)である.

2020年1月12日から14日にかけて、愛知県において深部低周波地震活動が観測された(第19図). 第20図は愛知県・静岡県・長野県の産総研・気象庁・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、2020年1月1日から11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。第21、22図はそれぞれ第20図[A]、[B]の変化を説明する短期的SSEの推定結果(順にMw 5.3、Mw 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10月13日から15日(Mw 5.3;第21、22図の灰色矩形1)、2019年8月3日午後から6日午前(Mw 5.7;同2)、2019年11月11日から13日午前(Mw 5.7;同3)、2019年11月13日午後から14日午前(Mw 5.4;同4)、2019年11月14日午後から20日(Mw 5.8;同5)である。

2020年2月8日から29日にかけて、豊後水道から四国中部において深部低周波地震活動が観測された(第23回)。第24-26回は愛媛県・高知県・大分県の産総研・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、2020年2月1日から7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。

第 27-32 図はそれぞれ第 24-26 図 [A], [B], [C], [D], [E], [F] の変化を説明する短期的 SSE の推定結果(順に Mw 5.7, 5.3, 5.6, 5.5, 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、2019 年 8 月 11 日午後から 13 日(順に Mw 6.0;第 27-32 図の灰色矩形 1), 2019 年 11 月 8 日から 9 日午前(Mw 5.7;同 2), 2019 年 11 月 9 日午後から 10 日(Mw 5.2;同 3), 2019 年 11 月 11 日(西側)(Mw 5.6;同 4), 2019 年 11 月 11 日(東側)(Mw 5.2;同 5), 2020 年 1 月 1 日から 3 日(Mw 5.6;同 6)である。

2020年3月8日から23日にかけて、紀伊半島において深部低周波地震活動が観測された(第33図)。第34-36図は三重県・愛知県・奈良県・和歌山県の産総研・気象庁・防災科研の観測点における歪・傾斜・地下水の観測結果である。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、2020年3月1日から10日午前のデータを用いて1次トレンドを除去したものである。なお、ANO1とANO2の水位については、MR-ARにより気圧応答成分、潮汐成分および降雨応答成分を取り除き、2020年3月1日から10日午前のデータを用いて1次トレンドを除去したものである。

第 37-42 図はそれぞれ第 34-36 図 [A], [B], [C], [D], [E], [F] の変化を説明する短期的 SSE の推定結果(順に Mw 5.8, 5.5, 5.5, 5.6, 5.5, 5.4)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、2019 年 3 月 29 日から 4 月 1 日 (Mw 5.4; 第 37-42 図の灰色矩形 1), 2019 年 7 月 21 日午後から 22 日 (Mw 5.7; 同 2), 2019 年 7 月 23 日から 28 日 (Mw 5.6; 同 3), 2019 年 8 月 4 日午後から 6 日 (Mw 5.6; 同 4), 2019 年 11 月 11 日から 13 日午前 (Mw 5.7; 同 5), 2019 年 11 月 13 日午後から 14 日午前 (Mw 5.4; 同 6), 2019 年 11 月 14 日午後から 18 日午前 (Mw 5.6; 同 7), 2019 年 11 月 14 日午後から 20 日 (Mw 5.8; 同 8) である。

2020年4月23日から27日にかけて、四国地方で深部低周波地震が観測された(第43回)。第44回は周辺の産総研・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、2020年4月2日から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。

第 45 図は第 44 図 [A] の変化を説明する短期的 SSE の断層モデルの推定結果 (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,2020 年 1 月 1 日から 3 日 (Mw 5.6; 第 45 図の灰色矩形 1),2020 年 2 月 11 日午後から 22 日 (Mw 5.3,5.6,5.5,5.8,5.6; 同 2-6) 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<sup>1)</sup>により計算し、GOTIC2<sup>2)</sup>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、歪については理論潮汐歪を用いてキャリブレーション<sup>3)</sup>を行っている。

断層面の推定は次の2段階で行う $^4$ . 1段階目では、断層面の位置 $(0.1^\circ$  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  $^5$  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 $^6$  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 $(0.1^\circ$ 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。

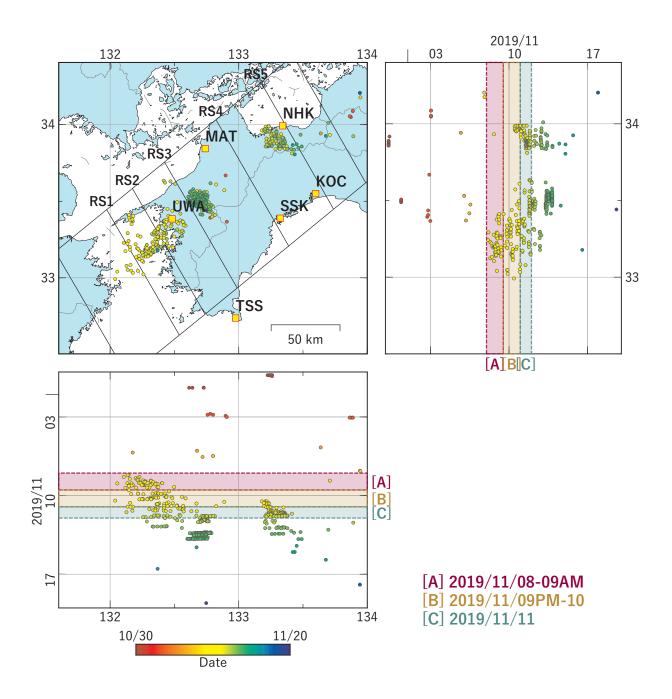
(矢部優・落唯史・板場智史・松本則夫・北川有一・木口努・木村尚紀・木村武志・松澤孝紀・汐見勝彦)

#### 謝辞

短期的 SSE の断層モデル推定には、気象庁、静岡県の多成分歪計および体積歪計の記録を使用しました。気象庁の歪計データを解析する際には、気象庁による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、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。

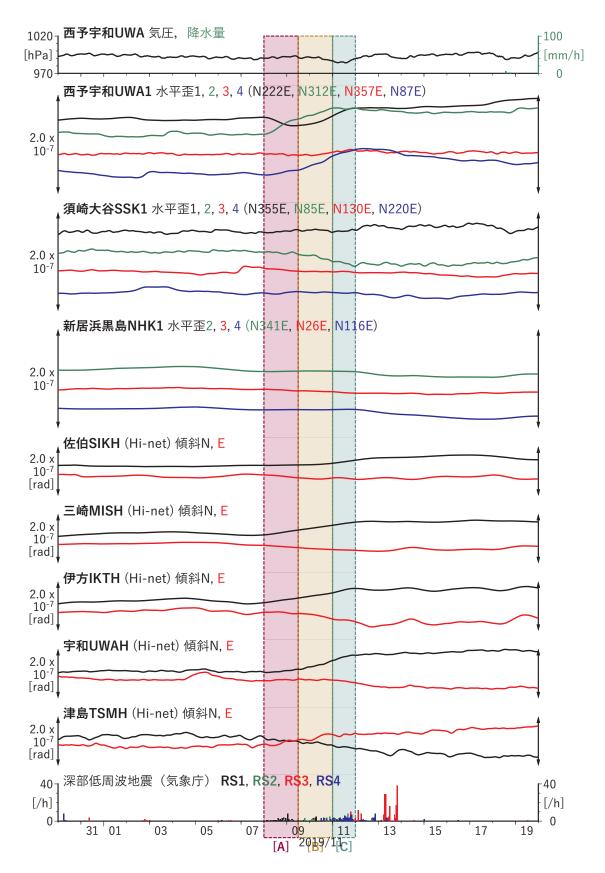
#### 参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) Okada, Y. (1992), Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **82**, 1018-1040.



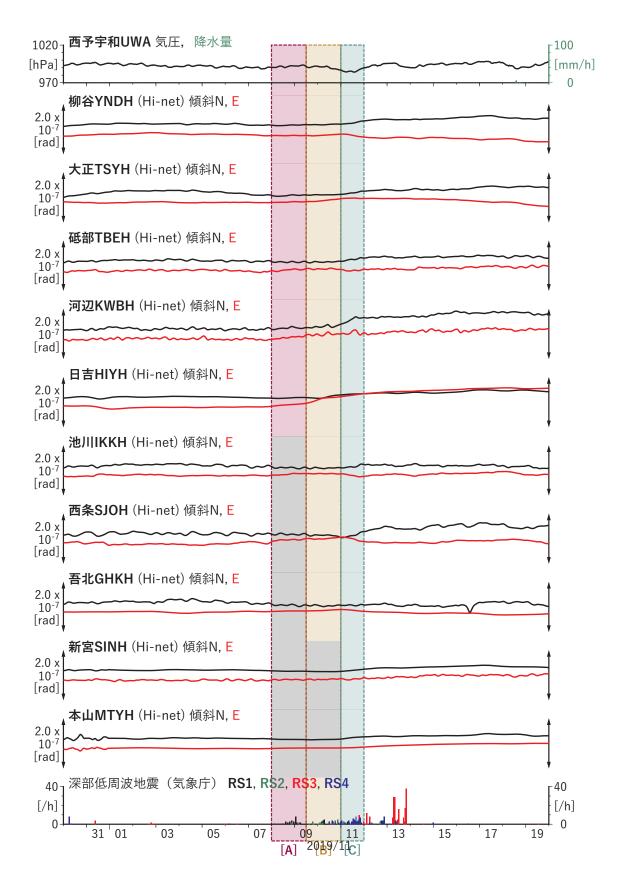
第1図 四国地方における深部低周波地震(気象庁一元化カタログによる)の時空間分布(2019/10/30~2019/11/20).

Fig. 1 Space-time distribution of deep low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Shikoku from October 30 to November 20, 2019.



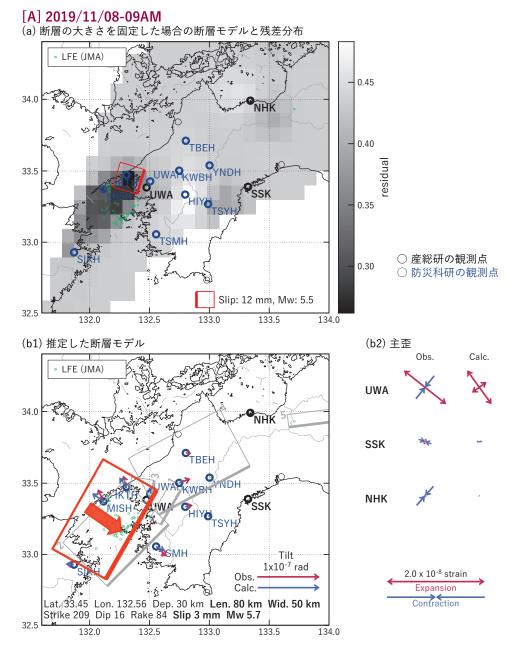
第2図 四国における歪・傾斜の観測結果と深部低周波地震の検出数(1)(2019/10/30~2019/11/20).

Fig. 2 Observed strain and tilt data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Shikoku from October 30 to November 20, 2019 (1).



第3図 四国における歪・傾斜の観測結果と深部低周波地震の検出数(2)(2019/10/30~2019/11/20).

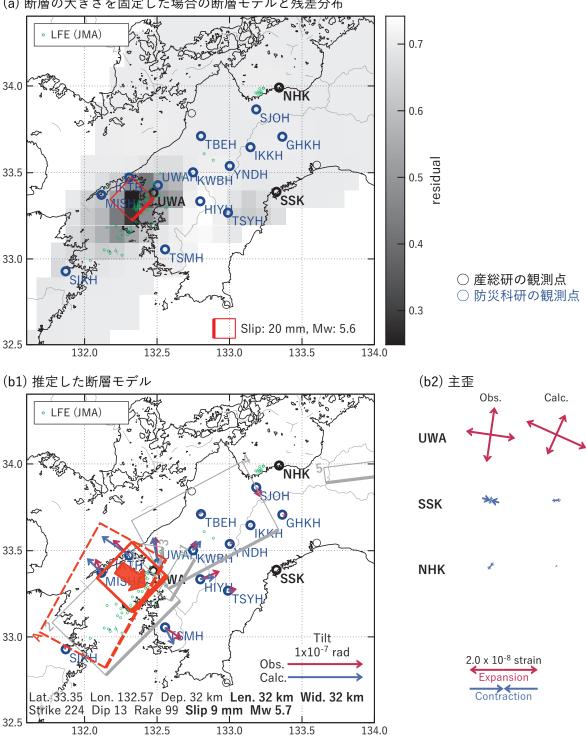
Fig. 3 Observed strain and tilt data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Shikoku from October 30 to November 20, 2019 (2).



第4図 第2,3図[A]を説明する断層モデル、以下の凡例の説明は以降の同様の図に共通、黒・緑・青の丸印は それぞれ産総研・気象庁および静岡県・防災科研 Hi-net の観測点、緑の小さな丸印は気象庁の推定した低 周波地震. (a)1段階目の結果. 灰色の濃淡は残差の総和で、赤色矩形が残差の総和が最小となる断層面 の位置 (大きさは 20x20 km で固定). (b1)2段階目の結果. 赤色矩形が残差の総和が最小となる断層面. 矢印は傾斜の観測値と計算値の比較. 灰色矩形は最近周辺で発生した短期的 SSE の推定断層面 (番号との 対応は本文参照). (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.

Fig. 4 Inferred fault models for Fig. 2, 3 [A]. The legends below are applicable for all corresponding figures. The black, green and blue circles show the observation sites of AIST, JMA (or Shizuoka Prefecture) and NIED Hi-net. The green small circles show hypocenters of the low-frequency earthquake (LFE) estimated by JMA. (a) The result of the first step. The length and width of the rectangular fault patch are fixed as 20 km and 20 km, and only the slip amount that minimizes the sum of residuals is estimated on each fault patch. The gray scale shows the distribution of sum of residuals and the red rectangle shows the place of the fault patch with the minimum residual. (b1) The result of the second step. The red rectangle shows the estimated fault model. The observed and calculated tilt changes are also shown on the map by the red and the blue arrows. The gray rectangles show the fault models of the recent events (see main text). (b2) The observed and calculated principal strain changes. (b3) The observed and calculated volumetric strain changes.

## [B] 2019/11/09PM-10



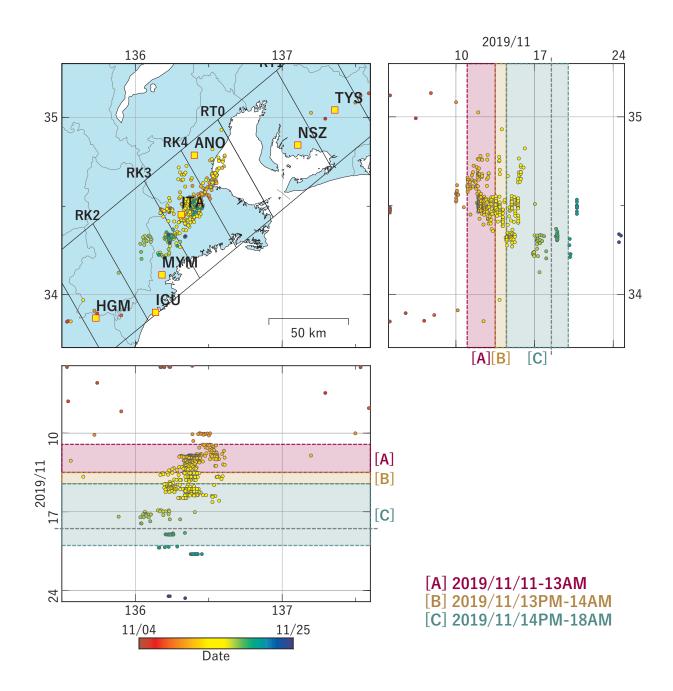
第5図 第2,3図 [B] を説明する断層モデル. 各図の説明は第4図を参照. Fig. 5 Inferred fault models for Fig. 2, 3 [B]. See also the caption of Fig. 4

## [C] 2019/11/11 (西側) - \_ (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 0.6 LFE (JMA) 34.0 0.5 TBEH 33.5 33.0 ○産総研の観測点 0.3 ○防災科研の観測点 Slip: 9 mm, Mw: 5.4 32.5 133.5 132.0 132.5 133.0 134.0 (b1) 推定した断層モデル (b2) 主歪 Calc. LFE (JMA) **UWA** 34.0 33.5 $2.0 \times 10^{-8}$ strain Expansion Contraction 33.0 Tilt 1x10<sup>-7</sup> rad Obs. Calc. Lat. 33.33 Lon. 132.79 Dep. 29 km Len. 80 km Wid. 38 km Strike 232 Dip 14 Rake 107 Slip 3 mm Mw 5.6 32.5 132.0 132.5 133.0 133.5 134.0

第6図 第2,3図 [C] 西側を説明する断層モデル. 各図の説明は第4図を参照. Fig. 6 Inferred fault models for western part of Fig. 2,3 [C]. See also the caption of Fig. 4

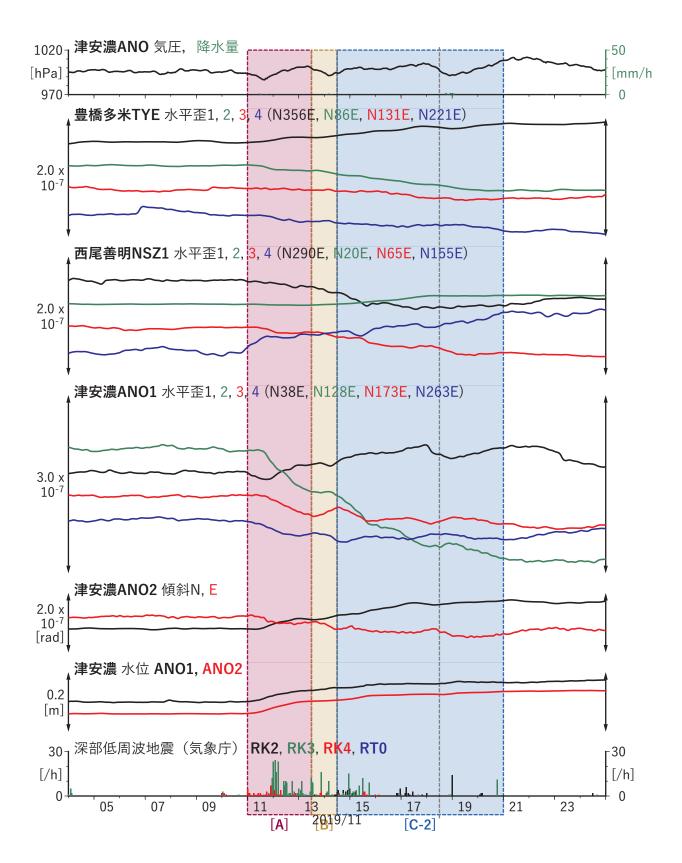
# [C] 2019/11/11 (東側) (a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布 LFE (JMA) 34.0 0.40 33.5 0.35 33.0 ○産総研の観測点 ○防災科研の観測点 0.30 Slip: 4 mm, Mw: 5.1 32.5 132.5 133.0 133.5 134.0 132.0 (b1) 推定した断層モデル (b2) 主歪 Obs. Calc. LFE (JMA) SSK 34.0 NHK 33.5 $2.0 \times 10^{-8} \text{ strain}$ 33.0 Tilt Expansion 1x10<sup>-7</sup> rad Contraction Obs. Calc. Lat 33.89 Lon. 133.66 Dep. 28 km Len. 66 km Wid. 10 km Strike 233 Dip 11 Rake 108 Slip 3 mm Mw 5.2 132.5 132.0 133.0 133.5

第7図 第2,3図 [C] 東側を説明する断層モデル. 各図の説明は第4図を参照. Fig. 7 Inferred fault models for eastern part of Fig. 2,3 [C]. See also the caption of Fig. 4



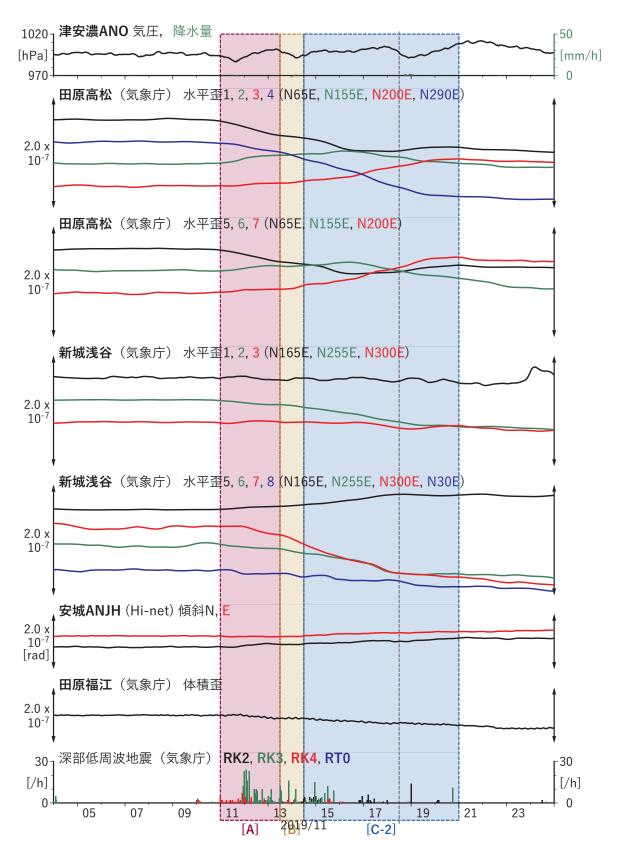
第8図 紀伊半島・東海地方における深部低周波地震(気象庁一元化カタログによる)の時空間分布(2019/11/04~2019/11/25).

Fig. 8 Space-time distribution of deep low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Kii Peninsula and Tokai region from November 04 to 25, 2019.



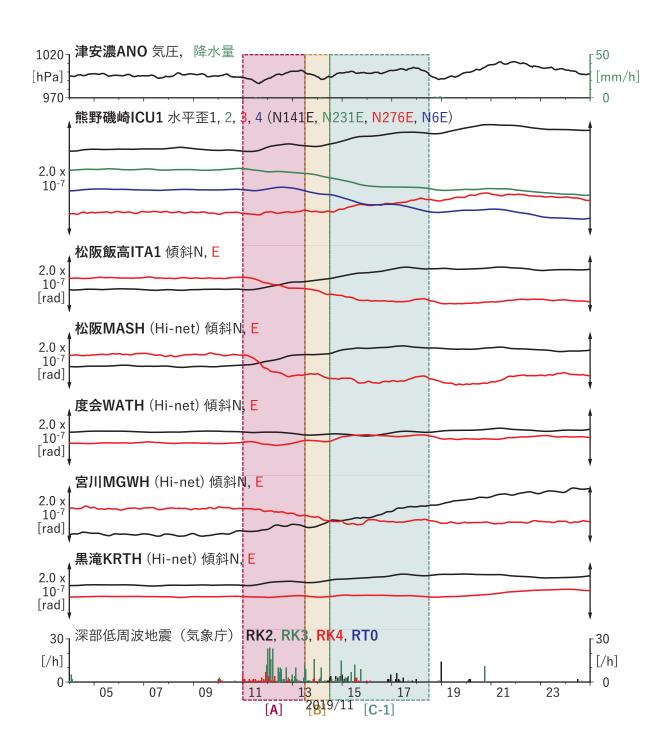
第9図 紀伊半島・東海地方における歪・傾斜・地下水位の観測結果と深部低周波地震の検出数(1)(2019/11/04 ~ 2019/11/25).

Fig. 9 Observed strain, tilt, and groundwater level data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Kii Peninsula and Tokai region from November 04 to 25, 2019 (1).



第 10 図 紀伊半島・東海地方における歪・傾斜・地下水位の観測結果と深部低周波地震の検出数 (2) (2019/11/04 ~ 2019/11/25).

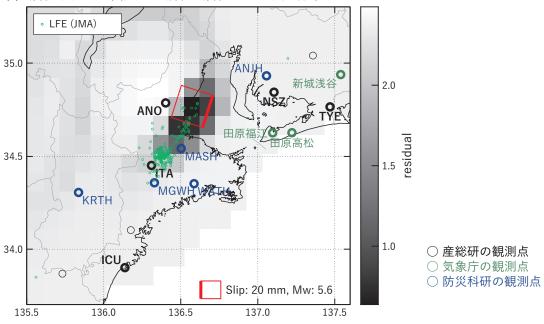
Fig. 10 Observed strain, tilt, and groundwater level data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Kii Peninsula and Tokai region from November 04 to 25, 2019 (2).

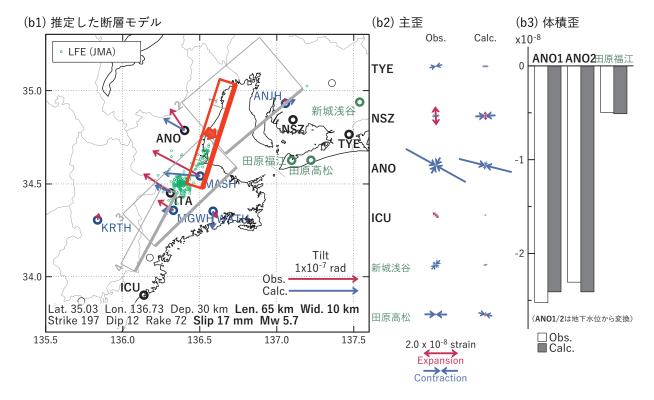


第 11 図 紀伊半島・東海地方における歪・傾斜・地下水位の観測結果と深部低周波地震の検出数 (3) (2019/11/04 ~ 2019/11/25).

Fig. 11 Observed strain, tilt, and groundwater level data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Kii Peninsula and Tokai region from November 04 to 25, 2019 (3).

#### [A] 2019/11/11-13AM

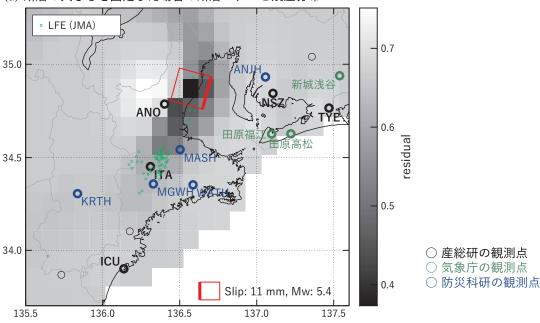


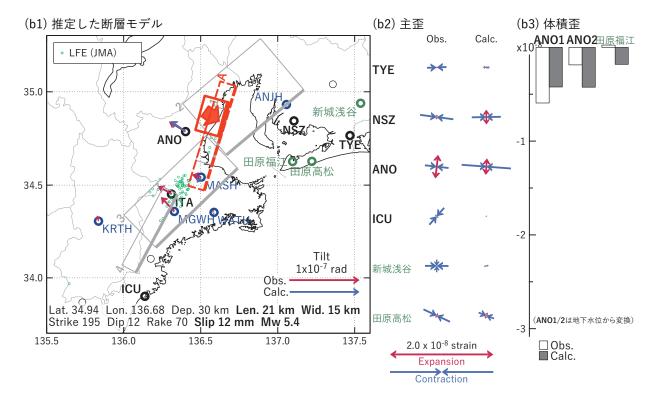


第 12 図 第 9-11 図 [A] を説明する断層モデル. 各図の説明は第 4 図を参照.

Fig. 12 Inferred fault models for Fig. 9-11 [A]. See also the caption of Fig. 4.

## [B] 2019/11/13PM-14AM





第 13 図 第 9-11 図 [B] を説明する断層モデル. 各図の説明は第 4 図を参照. Fig. 13 Inferred fault models for Fig. 9-11 [B]. See also the caption of Fig. 4.

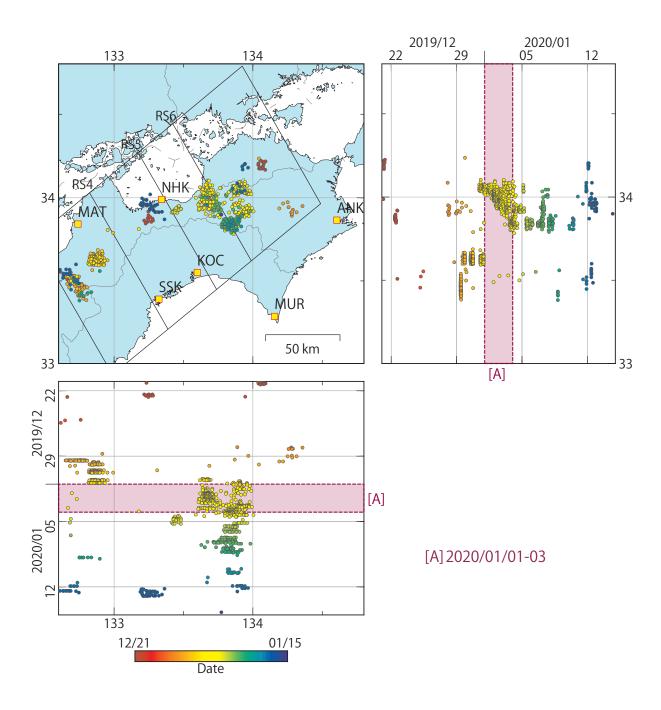
# [C-1] 2019/11/14PM-18AM (a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布 LFE (JMA) 1.0 35.0 0.8 residual 34.5 0.6 34.0 ○産総研の観測点 ○防災科研の観測点 Slip: 19 mm, Mw: 5.6 135.5 137.0 137.5 (b1) 推定した断層モデル (b2) 主歪 Obs. Calc. LFE (JMA) ICU 0 35.0 34.5 2.0 x 10<sup>-8</sup> strain Expansion Contraction Tilt $1x10^{-7}$ rad 34.0 Obs. ICU P Calc. Lat. 34.32 Lon. 136.39 Dep. 27 km Len. 31 km Wid. 31 km Strike 208 Dip 18 Rake 83 Slip 9 mm Mw 5.6 135.5 136.0 136.5 137.0 137.5

第 14 図 第 9-11 図 [C-1] を説明する断層モデル. 各図の説明は第 4 図を参照. Fig. 14 Inferred fault models for Fig. 9-11 [C-1]. See also the caption of Fig. 4.

#### [C-2] 2019/11/14PM-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 LFE (JMA) 35.0 2.0 ANO 34.5 1.5 34.0 ○産総研の観測点 ○ 気象庁の観測点 ○防災科研の観測点 Slip: 30 mm, Mw: 5.7 137.0 137.5 136.5 135.5 136.0 (b1) 推定した断層モデル (b2) 主歪 (b3) 体積歪 Obs. x10<sup>-8</sup> Calc. LFE (JMA) ANO1 ANO2田原福江 TYE 35.0 新城浅谷**○** ANO TYE NSZ 34.5 ANO 新城浅谷 Tilt 1x10<sup>-7</sup> rad 34.0 Obs. Lat. 34.98 Lon. 137.07 Dep. 25 km Len. 51 km Wid. 31 km Strike 215 Dip 13 Rake 90 Slip 11 mm Mw 5.8 田原高松 (ANO1/2は地下水位から変換) □ Obs. ■ Calc. 135.5 136.0 136.5 137.0 137.5 2.0 x 10<sup>-8</sup> strain Expansion

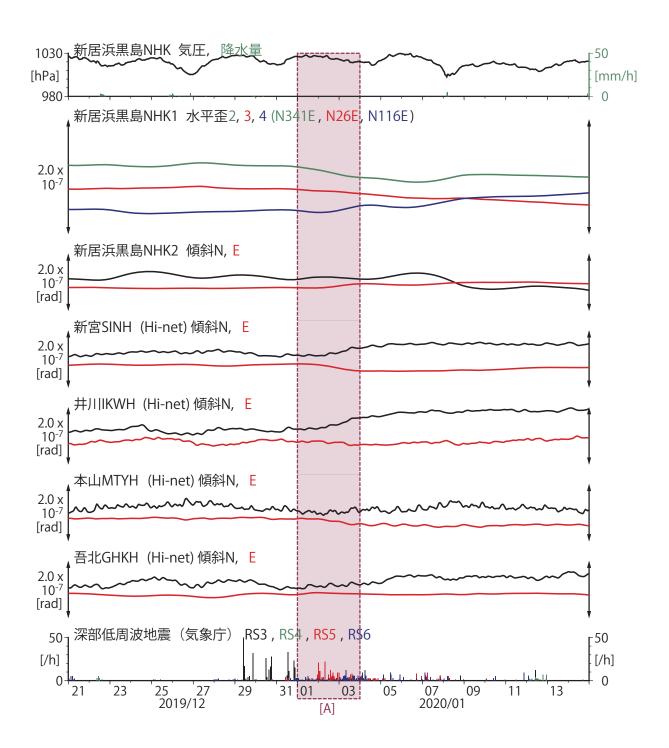
第 15 図 第 9-11 図 [C-2] を説明する断層モデル. 各図の説明は第 4 図を参照. Fig. 15 Inferred fault models for Fig. 9-11 [C-2]. See also the caption of Fig. 4.

Contraction



第 16 図 四国東部における深部低周波地震(気象庁一元化カタログによる)の時空間分布(2019/12/21 ~ 2020/01/15).

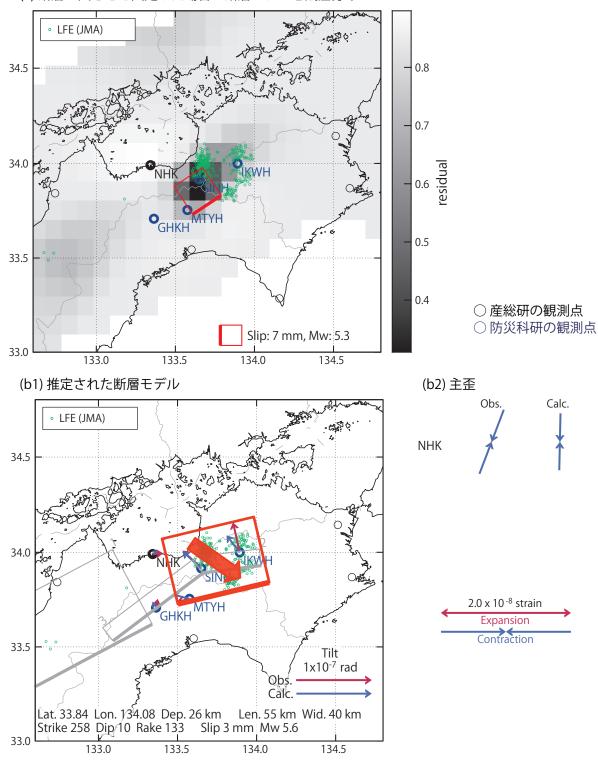
Fig. 16 Space-time distribution of deep low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the eastern Shikoku from December 21, 2019 to January 15, 2020.



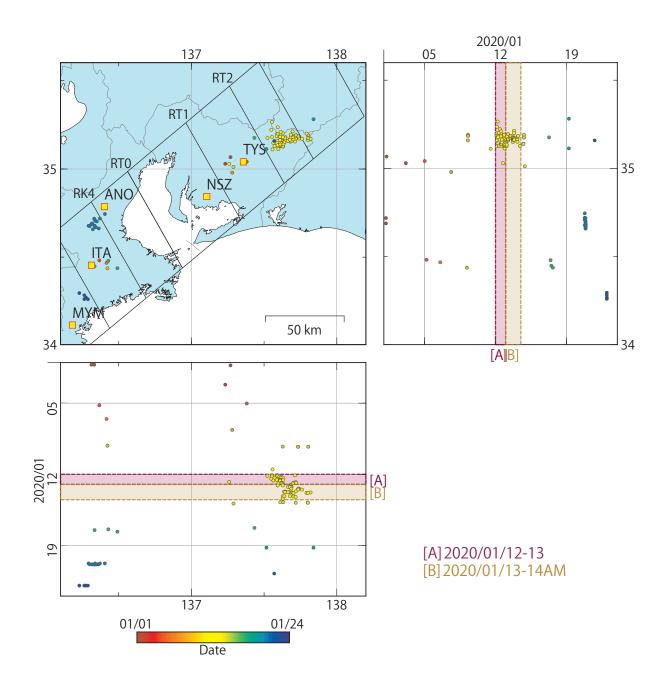
第17図 四国東部における歪・傾斜の観測結果と深部低周波地震の検出数 (2019/12/21 ~ 2020/01/15).

Fig. 17 Observed strain and tilt data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the eastern Shikoku from December 21, 2019 to January 15, 2020.

## [A] 2020/01/01-03

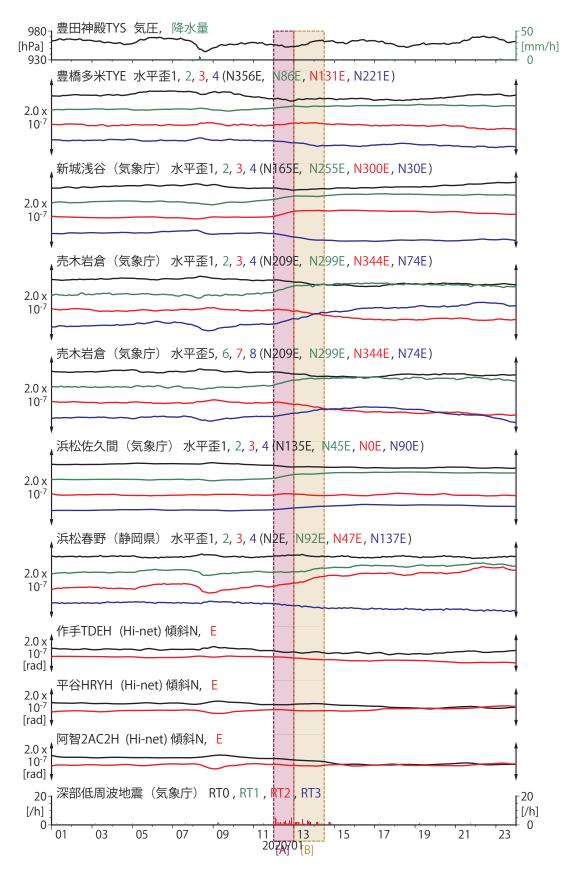


第 18 図 第 17 図 [A] を説明する断層モデル. 各図の説明は第 4 図を参照. Fig. 18 Inferred fault models for Fig. 17 [A]. See also the caption of Fig. 4.



第19図 東海地方における深部低周波地震(気象庁一元化カタログによる)の時空間分布(2020/01/01~2020/01/24).

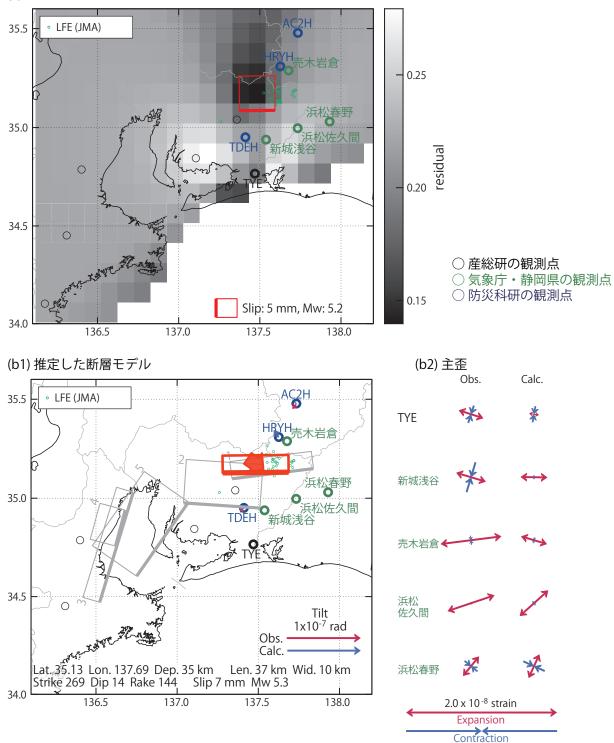
Fig. 19 Space-time distribution of deep low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Tokai region from January 01 to 24, 2020.



第 20 図 東海地方における歪・傾斜の観測結果と深部低周波地震の検出数 (2020/01/01 ~ 2020/01/24).

Fig. 20 Observed strain and tilt data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Tokai region from January 01 to 24, 2020.

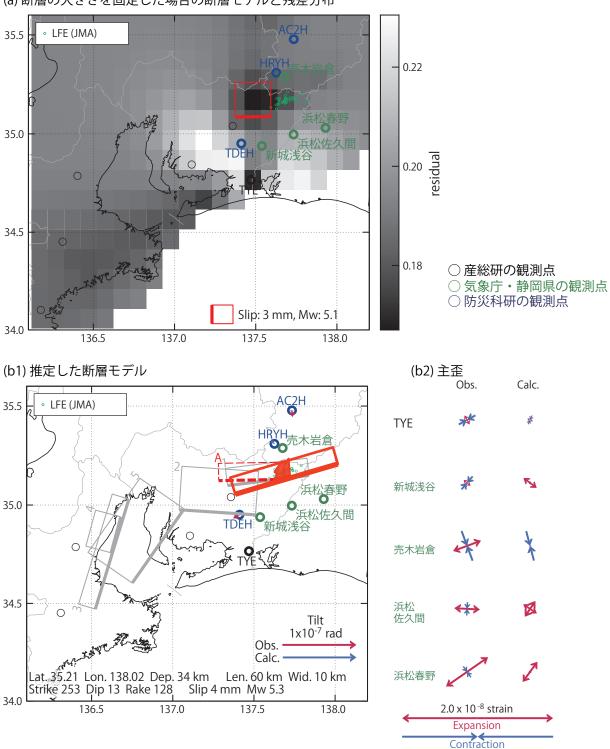
#### [A] 2020/01/12



第21図 第20図 [A] を説明する断層モデル. 各図の説明は第4図を参照.

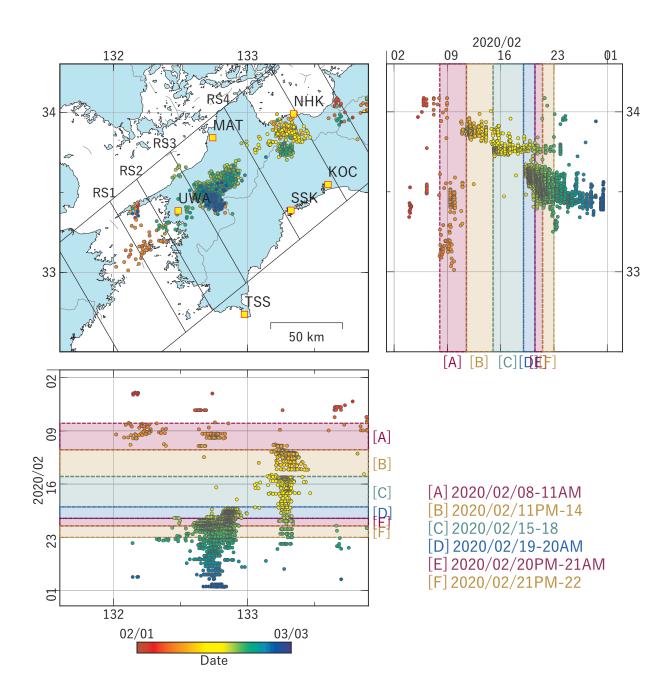
Fig. 21 Inferred fault models for Fig. 20 [A]. See also the caption of Fig. 4.

#### [B] 2020/01/13-14AM



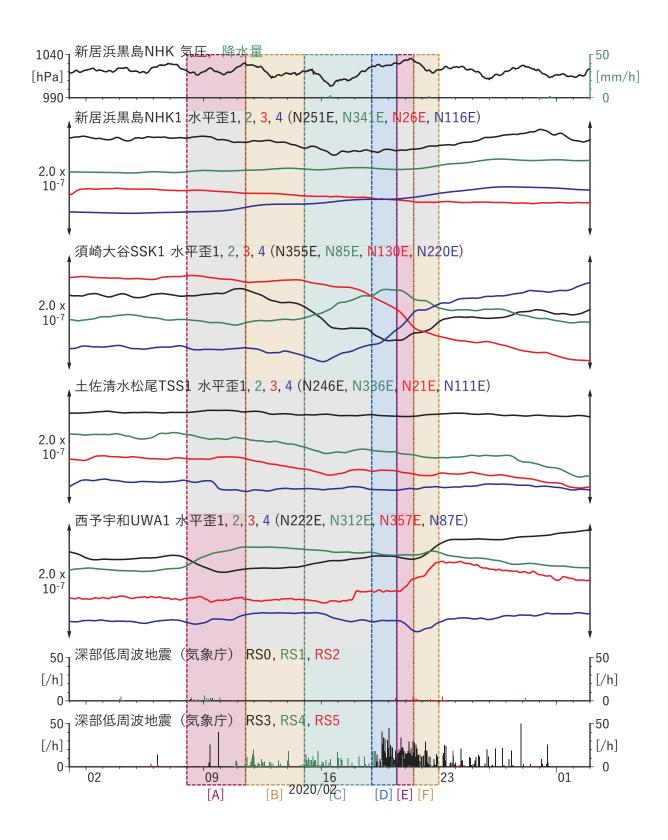
第22図 第20図 [B] を説明する断層モデル. 各図の説明は第4図を参照.

Fig. 22 Inferred fault models for Fig. 20 [B]. See also the caption of Fig. 4.



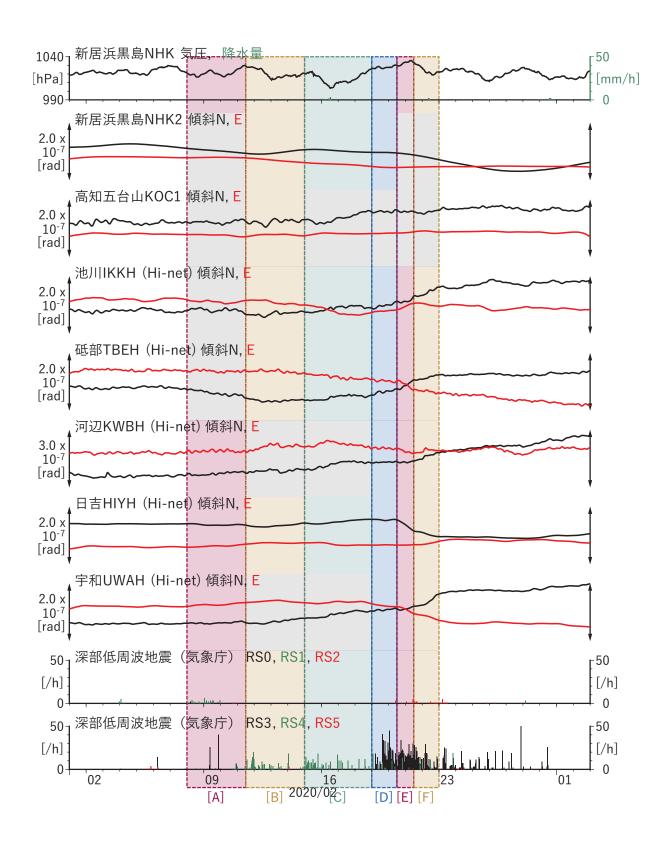
第23図 四国地方における深部低周波地震(気象庁一元化カタログによる)の時空間分布(2020/02/01~2020/03/03).

Fig. 23 Space-time distribution of deep low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Shikoku region from February 01 to March 03, 2020.



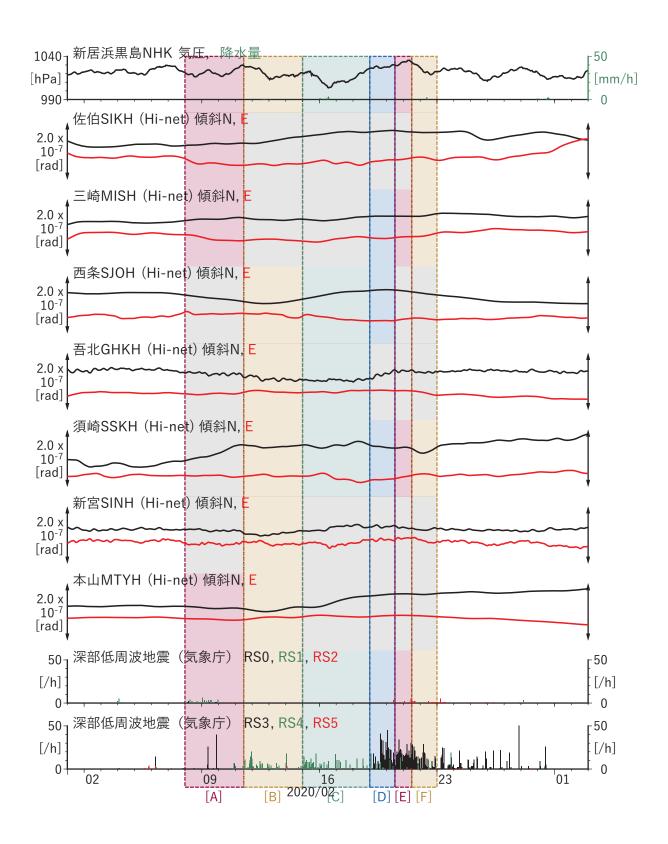
第 24 図 四国地方における歪・傾斜の観測結果と深部低周波地震の検出数 (1) (2020/02/01 ~ 2020/03/03).

Fig. 24 Observed strain and tilt data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Shikoku region from February 01 to March 03, 2020 (1).



第25図 四国地方における歪・傾斜の観測結果と深部低周波地震の検出数(2)(2020/02/01~2020/03/03).

Fig. 25 Observed strain and tilt data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Shikoku region from February 01 to March 03, 2020 (2).



第26図 四国地方における歪・傾斜の観測結果と深部低周波地震の検出数(3)(2020/02/01~2020/03/03).

Fig. 26 Observed strain and tilt data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Shikoku region from February 01 to March 03, 2020 (3).

# [A] 2020/02/08-11AM (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 • LFE (JMA) 0.6 0.5 33.5 0.4 33.0 ○産総研の観測点 ○防災科研の観測点 0.3 Slip: 11 mm, Mw: 5.4 32.5 132.0 132.5 133.0 (b1) 推定した断層モデル (b2) 主歪 Obs. Calc. LFE (JMA) UWA 33.5 2.0 x 10<sup>-8</sup> strain Expansion Contraction 33.0 Tilt 1x10<sup>-7</sup> rad Obs. Calc. Lat. 33.59 Lon. 132.53 Dep. 33 km Len. 80 km Wid. 47 km Strike 208 Dip 16 Rake 83 Slip 3 mm Mw 5.7 132.0 132.5 133.0 133.5

第 27 図 第 24-26 図 [A] を説明する断層モデル. 各図の説明は第 4 図を参照. Fig. 27 Inferred fault models for Fig. 24-26 [A]. See also the caption of Fig. 4.

# [B] 2020/02/11PM-14 (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 LFE (JMA) 0.52 0.50 residual 33.5 0.46 33.0 0.44 ○産総研の観測点 ○ 防災科研の観測点 Slip: 4 mm, Mw: 5.1 32.5 132.5 133.0 133.5 132.0 (b1) 推定した断層モデル (b2) 主歪 Obs. Calc. • LFE (JMA) NHK 34.0 **⊘**TBEH SSK 33.5 $2.0 \times 10^{-8} \text{ strain}$ 33.0 Tilt Expansion $1x10^{-7}$ rad Contraction Obs. Calc. Lat. 33.97 Lon. 133.81 Dep. 29 km Len. 73 km Wid. 10 km Strike 243 Dip 10 Rake 118 Slip 3 mm Mw 5.3

第 28 図 第 24-26 図 [B] を説明する断層モデル. 各図の説明は第 4 図を参照. Fig. 28 Inferred fault models for Fig. 24-26 [B]. See also the caption of Fig. 4.

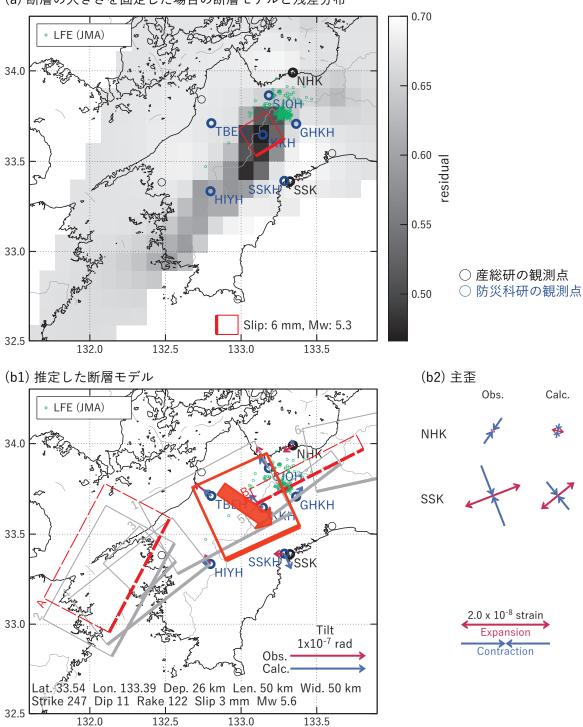
133.0

132.5

132.0

133.5

# [C] 2020/02/15-18



第 29 図 第 24-26 図 [C] を説明する断層モデル. 各図の説明は第 4 図を参照. Fig. 29 Inferred fault models for Fig. 24-26 [C]. See also the caption of Fig. 4.

# [D] 2020/02/19-20AM (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 LFE (JMA) 0.45 34.0 33.5 33.0 ○産総研の観測点 ○防災科研の観測点 0.35 Slip: 9 mm, Mw: 5.4 32.5 132.0 132.5 133.0 133.5 (b1) 推定した断層モデル (b2) 主歪 Obs. Calc. LFE (JMA) NHK 34.0 SSK 33.5 SSKH SSK TSS UWA 33.0 Tilt 1x10<sup>-7</sup> rad Obs. Calc. $2.0 \times 10^{-8} \text{ strain}$ Lat. 33.55 Lon. 133.20 Dep. 27 km Len. 73 km Wid. 49 km Strike 239 Dip 10 Rake 114 Slip 2 mm Mw 5.5 Expansion Contraction 132.0 132.5 133.0 133.5

第 30 図 第 24-26 図 [D] を説明する断層モデル. 各図の説明は第 4 図を参照. Fig. 30 Inferred fault models for Fig. 24-26 [D]. See also the caption of Fig. 4.

# [E] 2020/02/20PM-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 LFE (JMA) 1.0 34.0 °° residual 33.5 33.0 0.6 ○産総研の観測点 ○防災科研の観測点 Slip: 15 mm, Mw: 5.5 32.5 132.5 133.0 133.5 132.0 (b1) 推定した断層モデル (b2) 主歪 Obs. Calc. LFE (JMA) SSK 34.0 **TSS** 33.5 SSKH SSK UWA 33.0 Tilt 1x10<sup>-7</sup> rad 2.0 x 10<sup>-8</sup> strain Obs. Expansion Calc. Contraction Lat. 33.58 Lon. 133.09 Dep. 29 km Len. 54 km Wid. 43 km Strike 247 Dip 8 Rake 122 Slip 6 mm Mw 5.8

第 31 図 第 24-26 図 [E] を説明する断層モデル. 各図の説明は第 4 図を参照. Fig. 31 Inferred fault models for Fig. 24-26 [E]. See also the caption of Fig. 4.

133.0

132.5

132.0

133.5

2.0 x 10<sup>-8</sup> strain

Expansion

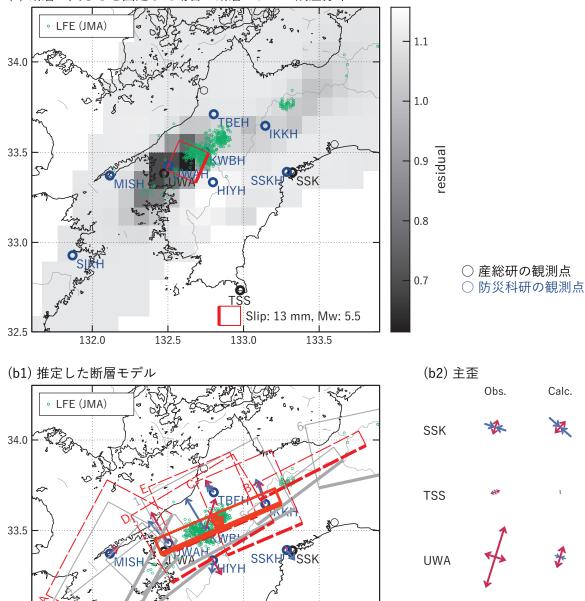
Contraction

# [F] 2020/02/21PM-22

33.0

132.0





第 32 図 第 24-26 図 [F] を説明する断層モデル. 各図の説明は第 4 図を参照.

Lat. 33.65 Lon. 133.25 Dep. 30 km Ten. 80 km Wid. 10 km Strike 249 Dip 10 Rake 124 Slip 11 mm Mw 5.6

132.5

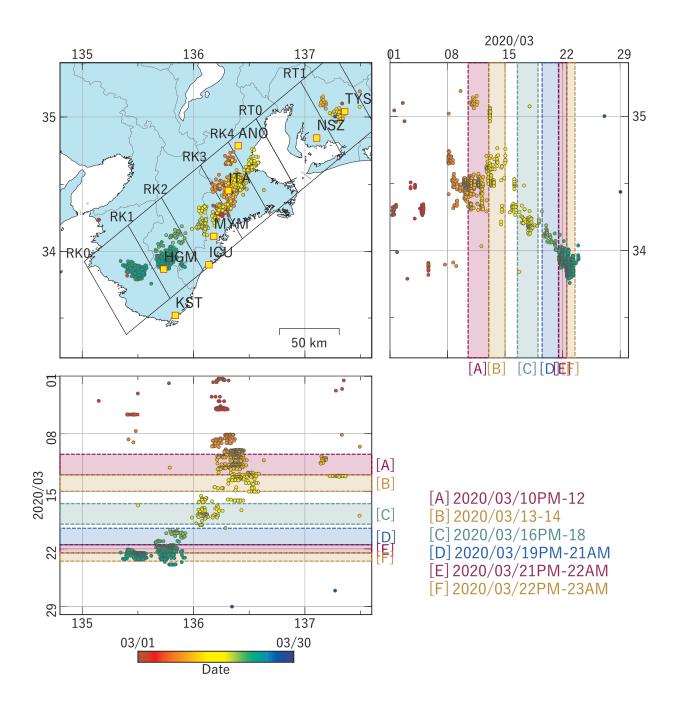
Fig. 32 Inferred fault models for Fig. 24-26 [F]. See also the caption of Fig. 4.

Tilt 1x10<sup>-7</sup> rad

133.5

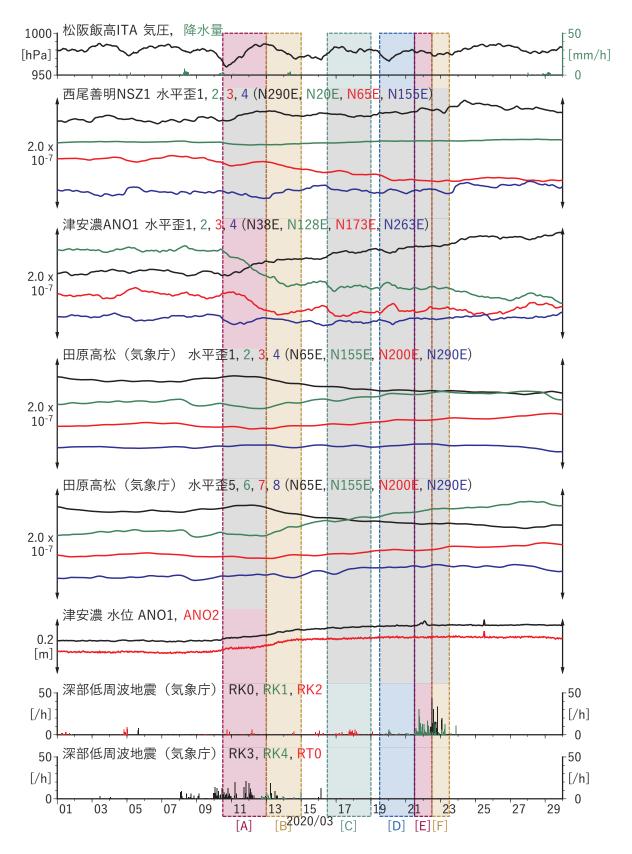
Obs. - Calc.-

133.0



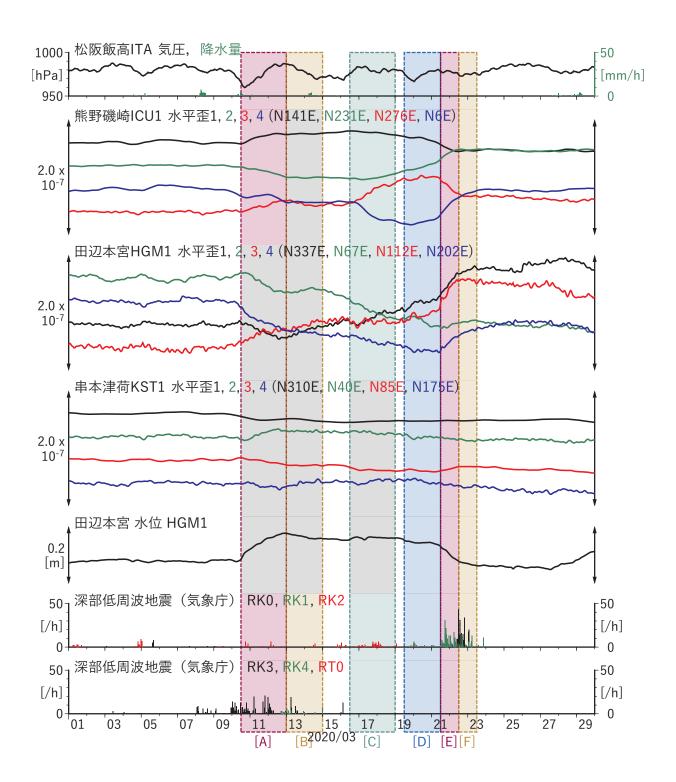
第 33 図 紀伊半島・東海地方における深部低周波地震(気象庁一元化カタログによる)の時空間分布(2020/03/01 ~ 2020/03/30).

Fig. 33 Space-time distribution of deep low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Kii Peninsula and Tokai region from March 01 to 30, 2020.



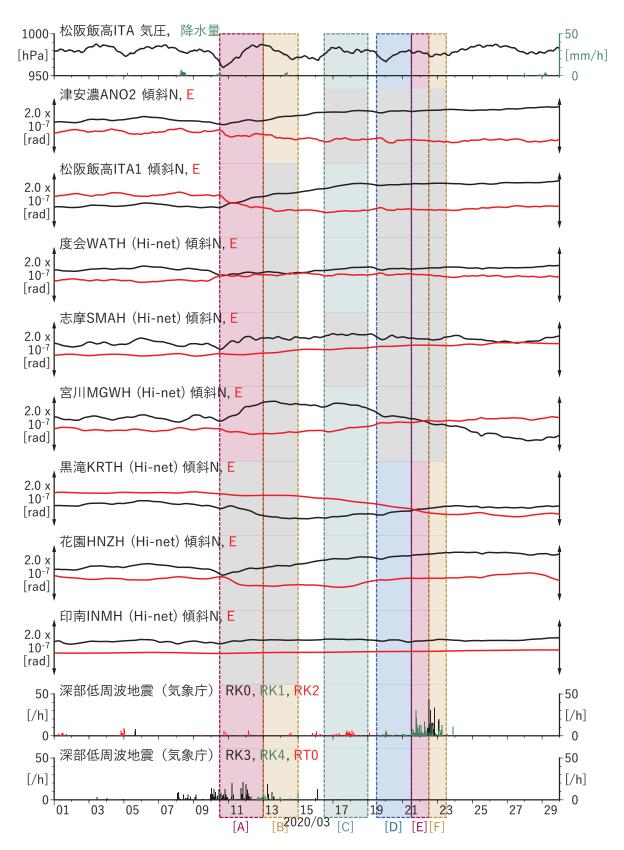
第 34 図 紀伊半島・東海地方における歪・傾斜・地下水位の観測結果と深部低周波地震の検出数(1)(2020/03/01 ~ 2020/03/30).

Fig. 34 Observed strain, tilt, and groundwater level data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Kii Peninsula and Tokai region from March 01 to 30, 2020 (1).



第 35 図 紀伊半島・東海地方における歪・傾斜・地下水位の観測結果と深部低周波地震の検出数 (2) (2020/03/01 ~ 2020/03/30).

Fig. 35 Observed strain, tilt, and groundwater level data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Kii Peninsula and Tokai region from March 01 to 30, 2020 (2).



第 36 図 紀伊半島・東海地方における歪・傾斜・地下水位の観測結果と深部低周波地震の検出数 (3) (2020/03/01 ~ 2020/03/30).

Fig. 36 Observed strain, tilt, and groundwater level data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Kii Peninsula and Tokai region from March 01 to 30, 2020 (3).

#### [A] 2020/03/10PM-12 - \_ (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 LFE (JMA) 1.5 35.0 ANO 1.4 34.5 residual 34.0 ICU 1.2 ○産総研の観測点 ○ 防災科研の観測点 1.1 33.5 Slip: 7 mm, Mw: 5.3 136.5 137.0 137.5 135.5 136.0 (b2) 主歪 (b3) 体積歪 (b1) 推定した断層モデル Obs. (地下水位から変換) Calc. • LFE (JMA) x10<sup>-8</sup> ANO1 ANO2 ANO 35.0 ICU 34.5 -1 34.0 2.0 x 10<sup>-8</sup> strain Tilt Expansion -2 $1x10^{-7}$ rad Contraction Obs. 33.5 Calc. Lat. 34.54 Lon. 136.80 Dep. 23 km Len. 80 km Wid. 37 km Strike 219 Dip 15 Rake 94 Slip 5 mm Mw 5.8 135.5 136.0 136.5 137.0 137.5 □ Obs. ■ Calc.

第 37 図 第 34-36 図 [A] を説明する断層モデル. 各図の説明は第 4 図を参照. Fig. 37 Inferred fault models for Fig. 34-36 [A]. See also the caption of Fig. 4.

## [B] 2020/03/13-14 (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 LFE (JMA) 2.0 35.0 1.5 34.5 residual 1.0 34.0 ○産総研の観測点 ○気象庁・静岡県の観測点 33.5 0.5 Slip: 10 mm, Mw: 5.4 135.0 135.5 136.0 136.5 137.0 137.5 (b1) 推定した断層モデル (b2) 主歪 (b3) 体積歪 (地下水位から変換) Obs. Calc. x10<sup>-8</sup> LFE (JMA) ANO1 ANO2 NSZ 35.0 ANO 34.5 田原高松 34.0 Tilt -2 1x10<sup>-7</sup> rad 2.0 x 10<sup>-8</sup> strain Obs. Expansion 33.5 Contraction Lat. 34.89 Lon. 136.77 Dep. 29 km Len. 37 km Wid. 26 km Strike 197 Dip 12 Rake 72 Slip 6 mm Mw 5.5 □ Obs. ■ Calc. 135.0 135.5 136.0 136.5 137.0 137.5

第 38 図 第 34-36 図 [B] を説明する断層モデル. 各図の説明は第 4 図を参照. Fig. 38 Inferred fault models for Fig. 34-36 [B]. See also the caption of Fig. 4.

# [C] 2020/03/16PM-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 • LFE (JMA) 0.7 35.0 34.5 9.0 residual 34.0 HGM 0.5 ○産総研の観測点 ○防災科研の観測点 33.5 Slip: 15 mm, Mw: 5.5 137.0 135.0 135.5 136.0 136.5 137.5 (b1) 推定した断層モデル (b2) 主歪 Obs. Calc. • LFE (JMA) ICU 35.0 HGM 34.5 34.0 HGM $2.0 \times 10^{-8} \text{ strain}$ Tilt Expansion 1x10<sup>-7</sup> rad Contraction Obs. 33.5 Lat. 34.36 Lon. 136.25 Dep. 30 km Len. 34 km Wid. 21 km Strike 208 Dip 18 Rake 83 Slip 9 mm Mw 5.5 135.0 135.5 136.0 136.5 137.0 137.5

第 39 図 第 34-36 図 [C] を説明する断層モデル. 各図の説明は第 4 図を参照. Fig. 39 Inferred fault models for Fig. 34-36 [C]. See also the caption of Fig. 4.

## [D] 2020/03/19PM-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 0.7 LFE (JMA) 35.0 0.6 34.5 34.0 ○産総研の観測点 ○防災科研の観測点 33.5 Slip: 11 mm, Mw: 5.4 135.0 135.5 136.0 136.5 137.0 137.5 (b1) 推定した断層モデル (b3) 体積歪 (b2) 主歪 (地下水位から変換) Obs. Calc. LFE (JMA) x10<sup>-8</sup> ICU 35.0 2 HGM 34.5 KST 34.0 Tilt 1x10<sup>-7</sup> rad 2.0 x 10<sup>-8</sup> strain Obs. **KST** Expansion Contraction 33.5 Calc. Lat. 34.11 Lon. 136.18 Dep. 28 km Len. 49 km Wid. 35 km Strike 226 Dip 23 Rake 101 Slip 4 mm Mw 5.6 0 HGM1 135.0 135.5 136.0 136.5 137.5 □ Obs. ■ Calc. 137.0

第 40 図 第 34-36 図 [D] を説明する断層モデル. 各図の説明は第 4 図を参照. Fig. 40 Inferred fault models for Fig. 34-36 [D]. See also the caption of Fig. 4.

## [E] 2020/03/21PM-22AM (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 LFE (JMA) 1.0 35.0 0.8 34.5 KRTH 0.6 34.0 ○産総研の観測点 0.4 ○防災科研の観測点 33.5 Slip: 11 mm, Mw: 5.4 135.0 135.5 136.0 136.5 137.0 137.5 (b1) 推定した断層モデル (b3) 体積歪 (b2) 主歪 (地下水位から変換) Obs. Calc. LFE (JMA) x10<sup>-8</sup> ICU 35.0 2 HGM 34.5 KST 34.0 Tilt 1x10<sup>-7</sup> rad 2.0 x 10<sup>-8</sup> strain Expansion Contraction Obs. 33.5 Calc. Lat. 33.97 Lon. 136.02 Dep. 29 km Len. 43 km Wid. 20 km Strike 244 Dip 22 Rake 119 Slip 6 mm Mw 5.5 0 HGM1 135.0 135.5 136.0 136.5 137.5 □ Obs. ■ Calc. 137.0

第 41 図 第 34-36 図 [E] を説明する断層モデル. 各図の説明は第 4 図を参照. Fig. 41 Inferred fault models for Fig. 34-36 [E]. See also the caption of Fig. 4.

1

HGM1

□ Obs. ■ Calc.

 $2.0 \times 10^{-8} \text{ strain}$ 

Expansion Contraction

# [F] 2020/03/22PM-23AM (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 LFE (JMA) 0.40 35.0 0 0.35 34.5 KRTH 0.30 34.0 0.25 ○産総研の観測点 ○防災科研の観測点 33.5 0.20 Slip: 4 mm, Mw: 5.1 136.5 135.0 135.5 136.0 137.0 137.5 (b2) 主歪 (b1) 推定した断層モデル (b3) 体積歪 (地下水位から変換) Obs. Calc. x10<sup>-8</sup> LFE (JMA) ICU 35.0 HGM 34.5 **KST**

第 42 図 第 34-36 図 [F] を説明する断層モデル. 各図の説明は第 4 図を参照.

136.5

Fig. 42 Inferred fault models for Fig. 34-36 [F]. See also the caption of Fig. 4.

Lat. 33.95 Lon. 136.13 Dep. 27 km Len. 77 km Wid. 40 km Strike 245 Dip 21 Rake 120 Slip 1 mm Mw 5.4

136.0

34.0

33.5

135.0

135.5

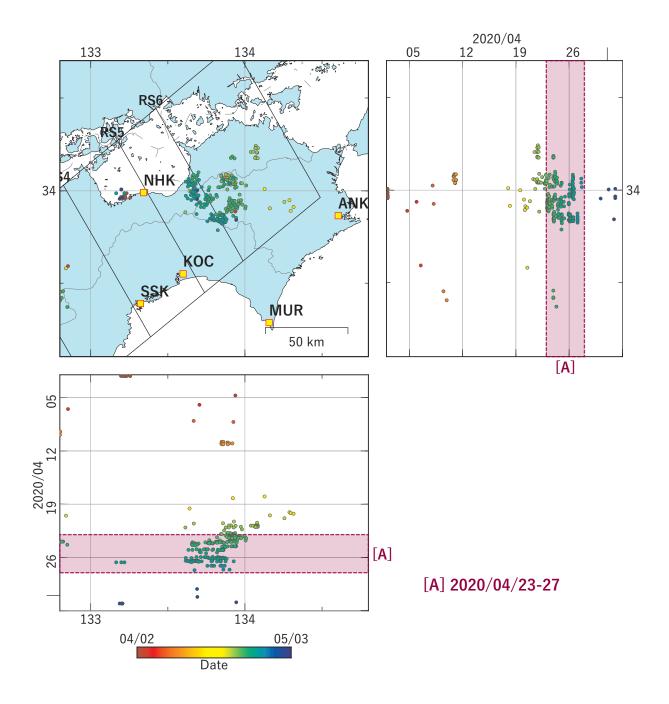
Tilt 1x10<sup>-7</sup> rad

137.5

Obs.

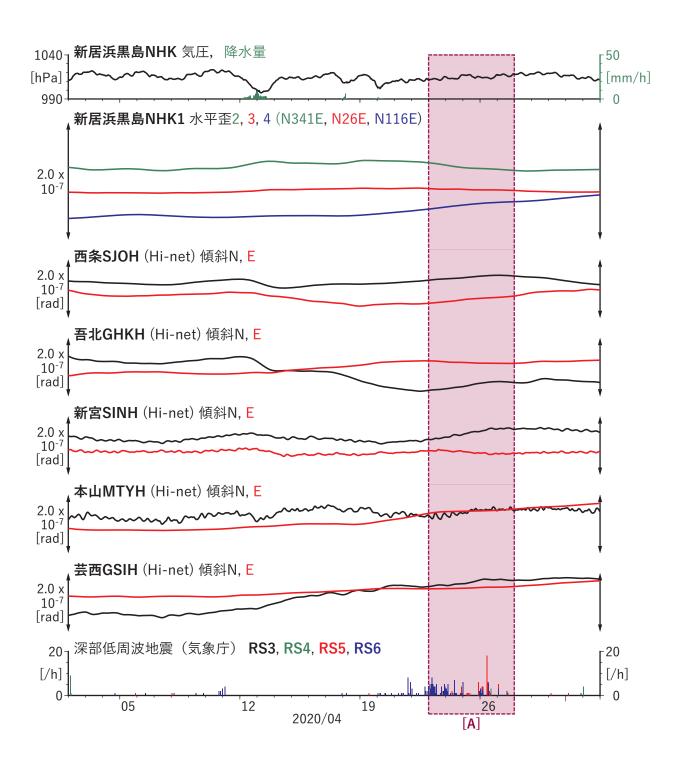
Calc.

137.0



第43図 四国地方における深部低周波地震(気象庁一元化カタログによる)の時空間分布(2020/04/02 ~ 2020/05/03).

Fig. 43 Space-time distribution of deep low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Shikoku region from April 02 to May 03, 2020.



第44図 四国地方における歪・傾斜の観測結果と深部低周波地震の検出数 (2020/04/02 ~ 2020/05/03).

Fig. 44 Observed strain and tilt data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Shikoku region from April 02 to May 03, 2020.

# [A] 2020/04/23-27 (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 LFE (JMA) 34.5 0.8 34.0 0.7 SJOH • MTYH 33.5 0.6 ○産総研の観測点 ○ 防災科研の観測点 Slip: 12 mm, Mw: 5.5 133.0 133.5 134.0 134.5 (b1) 推定した断層モデル (b2) 主歪 Obs. Calc. LFE (JMA) 34.5 NHK 34.0 STOH $2.0 \times 10^{-8} \text{ strain}$ GHKH МТҮН Expansion Contraction Tilt 33.5 1x10<sup>-7</sup> rad Obs. Calc. Lat. 33.94 Lon. 134.17 Dep. 26 km Len. 80 km Wid. 10 km Strike 249 Dip 10 Rake 124 Slip 6 mm Mw 5.5

第 45 図 第 44 図 [A] を説明する断層モデル. 各図の説明は第 4 図を参照. Fig. 45 Inferred fault models for Fig. 44 [A]. See also the caption of Fig. 4.

134.0

133.5

133.0

134.5