Online edition: ISSN 2435-760X
Print edition: ISSN 0288-8408

地震予知連絡会会報

〈第 105 巻〉

令和 3 年 3 月

国土地理院

REPORT OF THE COORDINATING COMMITTEE FOR EARTHQUAKE PREDICTION

VOL. 105

MARCH, 2021

EDITED BY
GEOSPATIAL INFORMATION AUTHORITY OF JAPAN

地震予知連絡会会報（第 105 巻）

この会報は，地震予知連絡会（第 228 回・第 229 回）に提出された資料を取りまとめたものです.

目　　次

1－1　日本とその周辺の地震活動（2020 年 5 月～ 10 月）…… （気象庁）…… 1
1－2　日本周辺における浅部超低周波地震活動（2020 年 5 月～ 10 月）…… （防災科研）…… 4
1－3　日本全国の地殻変動 …… （地理院）…… 7
1－4　全国 GNSS 観測点のプレート沈み込み方向の位置変化 …… （気象研）……37
2－1　北海道地方とその周辺の地震活動（2020 年 5 月～ 10 月）…… （気象庁）……42
2－2　北海道地方の地殻変動 …… （地理院）……45
3－1　東北地方とその周辺の地震活動（2020 年 5 月～ 10 月）…… （気象庁）……52
3－2　日本海溝沿いの海底地殻変動観測結果 …… （海上保安庁）……62
3－3　東北地方の地殻変動 …… （地理院）……68
4－1　関東・中部地方とその周辺の地震活動（2020 年 5 月～ 10 月）…… （気象庁）……90
4－2　神奈川県西部地域の地下水位観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）
…… （温泉地学研・産総研）… 144
4－3　関東甲信地方の地殻変動 …… （地理院）… 150
5－1　伊豆地方の地殻変動 …… （地理院）… 153
6－1　東海地方の地殻変動 …… （地理院）… 168
6－2　東海・南関東地域におけるひずみ観測結果（2020 年 5 月～ 10 月）
…… （気象庁・気象研）… 199
6－3　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
（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）…… （産総研・防災科研）… 214
6－4　東海・関東・伊豆地域における地下水等観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）（62）
…… （産総研）… 259
7－1　岐阜県東部の活断層周辺における地殻活動観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）
…… （産総研）… 266
8－1　近畿・中国・四国地方とその周辺の地震活動（2020 年 5 月～ 10 月）
…… （気象庁）… 268
8－2　近畿地方の地殻変動 …… （地理院）… 272
8－3　南海トラフ周辺の地殻活動（2020 年 5 月～ 10 月）…… （気象庁）… 312
8－4　南海トラフ周辺における最近の傾斜変動（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）
…… （防災科研）… 351
8－5　南海トラフ沿いの海底地殻変動観測結果 …… （海上保安庁）… 368
8－6　南海トラフ沿いの長期的スロースリップの客観検知 …… （気象研）… 373
8－7　内陸部の地震空白域における地殻変動連続観測 …… （気象研）… 378
8－8　紀伊半島～四国の歪・傾斜・地下水観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）
…… （産総研）… 382
8－9　近畿地域の地下水位・歪観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）…… （産総研）… 393

９－１　西南日本における深部低周波微動活動（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）（防災科研）… 397
９－２　中国・四国地方の地殻変動 …… （地理院）… 402
９－３　西南日本における短期的スロースリップイベント (2020 年 5 月～ 2020 年 10 月)
…… （防災科研）… 414
９－４　鳥取県・岡山県・島根県における温泉水変化（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）
…… （鳥取大・産総研）… 420
10 － 1　九州地方とその周辺の地震活動（2020 年 5 月～ 10 月）…… （気象庁）… 423
10 － 2　沖縄地方とその周辺の地震活動（2020 年 5 月～ 10 月）…… （気象庁）… 434
11 － 1　世界の地震活動（2020 年 5 月～ 10 月）…… （気象庁）… 441
11 － 2　トルコ・ギリシャ沖の地震　SAR 干渉解析結果 …… （地理院）… 456
12 － 1　第 228 回地震予知連絡会重点検討課題「日本列島モニタリングの将来像」の概要
…… （地震研）… 459
12 － 2　陸域地殻変動モニタリング展望 …… （地理院）… 462
12 － 3　MOWLAS をはじめとする地震観測の現状と展望 …… （防災科研）… 466
12 － 4　海域地震・地殻変動観測の将来像 …… （地震研）… 469
12 － 5　内陸地震発生場解明のための稠密地震観測（0.1 満点地震観測からわかったこと）
…… （九州大）… 474
12 － 6　光ファイバーケーブルを用いた DAS 観測 －地震学での応用－ …… （東北大）… 477
12 － 7　第 229 回地震予知連絡会重点検討課題「予測実験の試行 07 - 地震活動予測の検証 -」の概要
…… （東北大）… 480
12 － 8　気象庁震度データベースを用いた地震予測と 2015-2020 年の予測の評価
…… （滋賀県立大）… 482
12 － 9　*b* 値にもとづく大地震発生予測のモデルのレビュー …… （静岡県立大）… 489
12 － 10　階層的時空間 ETAS モデルに基づく短期・中期・長期予測および背景率予測
― 自動予測の開発に向けて ― …… （統数研）… 493
12 － 11　階層的アスペリティを前提とした短期前兆のメカニズムについて
…… （地震研）… 500

連絡会記事 …… 505
運営要綱 …… 508
委員名簿 …… 509
投稿規定 …… 513

CONTENTS (Vol. 105)

1 － 1 Seismic Activity in and around Japan (May – October 2020) …… (JMA) …… 1
1 － 2 Activity of Shallow Very-low-frequency Earthquakes in and around Japan (May – October, 2020) …… (NIED) …… 4
1 － 3 Crustal Deformations of Entire Japan…… (GSI) …… 7
1 － 4 Position Change in the plate subduction direction of the nationwide GNSS points (MRI) …… 37
2 － 1 Seismic Activity in and around the Hokkaido District (May – October 2020) … (JMA) …… 42
2 － 2 Crustal Deformations in the Hokkaido District …… (GSI) …… 45
3 － 1 Seismic Activity in and around the Tohoku District (May – October 2020) …… (JMA) …… 52
3 － 2 Seafloor movements along the Japan Trench observed by seafloor geodetic observations …… (JCG) …… 62
3 － 3 Crustal Movements in the Tohoku District…… (GSI) …… 68
4 － 1 Seismic Activity in and around the Kanto and Chubu Districts (May – October 2020) …… (JMA) …… 90
4 － 2 Temporal Variation in the Groundwater Level in the western part of Kanagawa Prefecture, Japan (May 2020 – October 2020) …… (HSRI, AIST) …… 144
4 － 3 Crustal Deformations in the Kanto District …… (GSI) …… 150
5 － 1 Crustal Deformations in the Izu peninsula and its Vicinity …… (GSI) …… 153
6 － 1 Crustal Deformations in the Tokai District…… (GSI) …… 168
6 － 2 Observation of Crustal Strain by Borehole Strainmeters in the Tokai and Southern Kanto Districts (May – October 2020) …… (JMA, MRI) …… 199
6 － 3 Short-term slow slip events in the Tokai area, the Kii Peninsula and the Shikoku District, Japan (from May 2020 to October 2020) …… (AIST, NIED) …… 214
6 － 4 The Variation of the Groundwater Level, Discharge Rate, Tilt meter, Three-Component Strain, and Subsidence in the Tokai, Kanto District and Izu Peninsula, Japan. (from May 2020 to Oct. 2020) (62) …… (AIST) …… 259
7 － 1 Observation of Tectonic Activities around the Active Faults in Eastern Gifu Region (May, 2020 ～ October, 2020) …… (AIST) …… 266
8 － 1 Seismic Activity in and around the Kinki, Chugoku and Shikoku Districts (May – October 2020) …… (JMA) …… 268
8 － 2 Crustal Deformations in the Kinki District…… (GSI) …… 272
8 － 3 Crustal Activity around the Nankai Trough (May - October 2020) …… (JMA) …… 312
8 － 4 Recent Continuous Crustal Tilt Observation around the Nankai Trough (May, 2020 –October, 2020) …… (NIED) …… 351
8 － 5 Seafloor movements along the Nankai Trough observed by seafloor geodetic observations …… (JCG) …… 368
8 － 6 Objective detection of long-term slow slip events along the Nankai Trough…… (MRI) …… 373
8 － 7 Continuous Observations of Crustal Deformations in and around Intraplate Seismic Gaps …… (MRI) …… 378

8 － 8 The variation of the strain, tilt and groundwater level in the Shikoku District and Kii Peninsula, Japan (from May 2020 to October 2020) …… (AIST) …… 382
8 － 9 Observational Results of Groundwater Levels and Crustal Strains in the Kinki District, Japan (May 2020 – October 2020) …… (AIST) …… 393
9 － 1 Activity of deep low-frequency tremor in southwest Japan (May, 2020 – October, 2020) …… (NIED) …… 397
9 － 2 Crustal Deformations in the Chugoku and Shikoku Districts …… (GSI) …… 402
9 － 3 Short-term slow slip events with non-volcanic tremor in southwest Japan (May 2020-October 2020) …… (NIED) …… 414
9 － 4 Temporal Variation in the hot spring water in the Tottori Prefecture, Okayama Prefecture and Shimane Prefecture, Japan (May 2020 – October 2020) ……(Tottori Univ., AIST) …… 420
10 － 1 Seismic Activity in and around the Kyushu District (May - October 2020) …… (JMA) …… 423
10 － 2 Seismic Activity around the Okinawa District (May - October 2020) …… (JMA) …… 434
11 － 1 Seismic Activity in the World (May – October 2020) …… (JMA) …… 441
11 － 2 The 2020 Turkey and Greece Earthquake： Geomorphic change detected by ALOS-2 data …… (GSI) …… 456
12 － 1 Future vision for monitoring of crustal activity in and around Japanese Islands … (ERI) …… 459
12 － 2 Prospects of Monitoring of Crustal Deformation on Land…… (GSI) …… 462
12 － 3 Current status and prospects for earthquake observation of MOWLAS …… (NIED) …… 466
12 － 4 Marine seismic and geodetic observation in the future …… (ERI) …… 469
12 － 5 Dense seismic observation design for capturing background of large inland earthquakes (lessons from "0.1Manten" hyper dense seismic observation) …… (Kyushu Univ.) …… 474
12 － 6 DAS observation using fiber optic cable: Application in Seismology … (Tohoku Univ.) …… 477
12 － 7 Summary of “Trials of experimental forecasts of crustal deformation and seismicity #07: Validations of seismicity forecasts” …… (Tohoku Univ.) …… 480
12 － 8 Earthquake forecasting by using the seismic intensity database of Japan Meteorological Agency and evaluation of the forecasts for 2015-2020.…… (Univ. Shiga Pref.) …… 482
12 － 9 A review of earthquake forecast modeling based on *b*-value…… (Univ. of Shizuoka) …… 489
12 － 10 Short-, medium-, long-term and background-rate forecasts based on a hierarchical space-time ETAS model: Towards the development of automated forecasts ……(ISM) …… 493
12 － 11 On possible mechanisms of short-term precursors while admitting hierarchical asperities …… (ERI) …… 500

１－１　日本とその周辺の地震活動（2020 年 5 月～ 10 月）
Seismic Activity in and around Japan (May – October 2020)

気象庁
Japan Meteorological Agency

今期間，日本とその周辺で M5.0 以上の地震は 69 回，M6.0 以上の地震は 5 回発生した．このうち最大のものは，2020 年 6 月 14 日 00 時 51 分に奄美大島北西沖で発生した M6.3 の地震であった．また，2011 年 3 月 11 日に発生した「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」（M9.0，最大震度 7，以下「東北地方太平洋沖地震」と呼ぶ）の余震が，前期間に引き続き，岩手県から千葉県北東部にかけての沿岸及びその沖合の広い範囲で発生した．2020 年 5 月～ 10 月の M5.0 以上の地震の震央分布を第 1 図（a）及び（b）に示す．

主な地震活動は以下のとおりである．

（1）北海道地方とその周辺の地震活動（本巻「北海道地方とその周辺の地震活動」の頁参照）

2020 年 5 月 31 日 03 時 13 分に十勝沖の深さ 94km で M5.6 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震は，発震機構が南北方向に張力軸を持つ型で，太平洋プレート内部で発生した．

（2）東北地方とその周辺の地震活動（本巻「東北地方とその周辺の地震活動」の頁参照）

2020 年 9 月 12 日 11 時 44 分に宮城県沖の深さ 43km で M6.2 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震は発震機構（CMT 解）が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で，太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した．このほか，この地震の震源付近では直前の同日 11 時 13 分に M4.0（最大震度 1），その後同日 11 時 50 分に M4.9（最大震度 3）の地震が発生するなど，9 月 30 日までに震度 1 以上を観測する地震が 13 回発生した．

今期間に東北地方太平洋沖地震の余震域で発生した M5.0 以上の地震は 12 回，M5.5 以上の地震は 5 回であった．

（3）関東･中部地方とその周辺の地震活動（本巻「関東･中部地方とその周辺の地震活動」の頁参照）

2020 年 6 月 25 日 04 時 47 分に千葉県東方沖の深さ 36km で M6.1 の地震（最大震度 5 弱）が発生した．この地震の発震機構（CMT 解）は，南北方向に圧力軸をもつ逆断層型である．

2020 年 9 月 4 日 09 時 10 分に福井県嶺北の深さ 7km で M5.0 の地震（最大震度 5 弱）が発生した．この地震は地殻内で発生した．この地震の発震機構（CMT 解）は，西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型である．

長野・岐阜県境付近（長野県中部，岐阜県飛騨地方）の地殻内では，2020 年 5 月 19 日 13 時 12 分に深さ 3km で M5.4 の地震（最大震度 4）が発生したほか，5 月 29 日に M5.3 の地震が発生するなど，2020 年 4 月から引き続き活発な地震活動がみられた．一連の活動は消長を繰り返しながら継続しているものの，2020 年 9 月以降は M3.0 を超える地震は観測されていない．

（4）近畿･中国･四国地方とその周辺の地震活動（本巻「近畿･中国･四国地方とその周辺の地震活動」の頁参照）

2020 年 6 月 10 日 00 時 22 分に土佐湾の深さ 21km で M4.7 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震は，発震機構が東北東－西南西方向に圧力軸を持つ逆断層型で，陸のプレートの地殻内で発生した．

(5) 九州地方とその周辺の地震活動（本巻「九州地方とその周辺の地震活動」の頁参照）

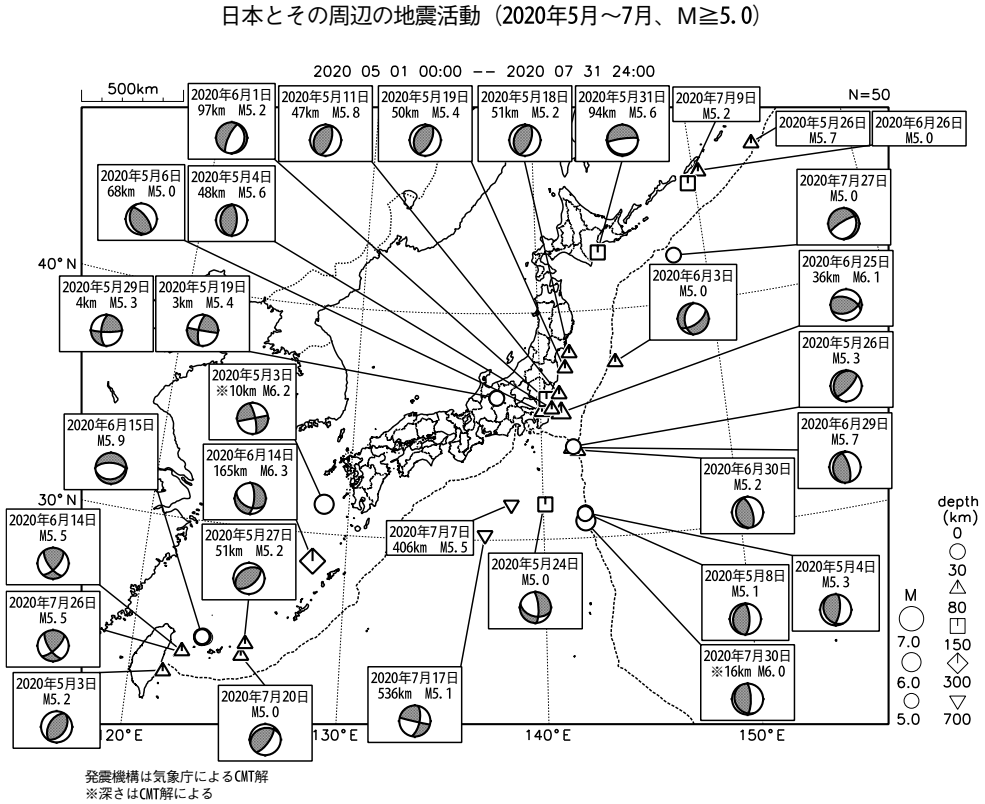
2020 年 5 月 3 日 20 時 54 分に薩摩半島西方沖の深さ 10km（CMT 解による）で M6.2 の地震（最大震度 3）が発生した．この地震は陸のプレートの地殻内で発生した．発震機構（CMT 解）は北西－南東方向に張力軸をもつ横ずれ断層型である．この地震の後，1 週間程度やや活発な地震活動が見られた．

2020 年 6 月 14 日 00 時 51 分に奄美大島北西沖の深さ 165km で M6.3 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震はフィリピン海プレート内部で発生した．発震機構（CMT 解）は，フィリピン海プレートが沈み込む方向に圧力軸を持つ型である．

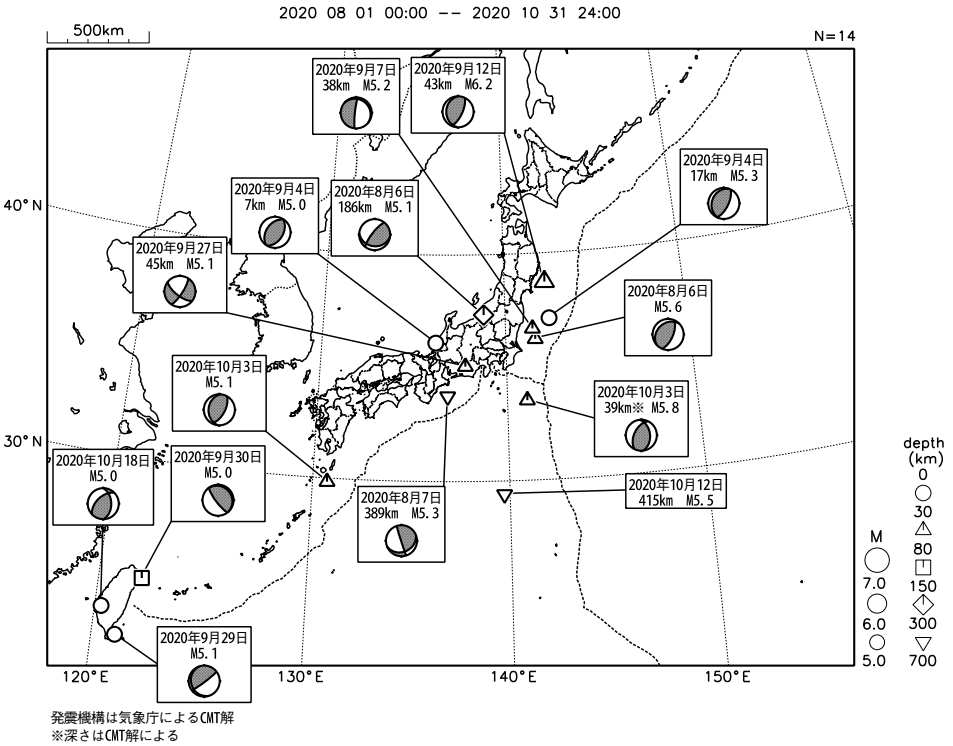
(6) 沖縄地方とその周辺の地震活動（本巻「沖縄地方とその周辺の地震活動」の頁参照）

2020 年 6 月 14 日から与那国島近海で地震活動が活発になり，6 月 30 日までに震度 1 以上を観測する地震が 9 回発生した（最大震度 2：2 回，最大震度 1：7 回）．このうち最大規模の地震は 15 日 04 時 26 分に発生した M5.9 の地震（最大震度 1）で，発震機構（CMT 解）は南北方向に張力軸を持つ正断層型である．この地震活動は，沖縄トラフでの活動で陸のプレート内で発生した．

なお，本巻の気象庁作成資料は，特段の断りがない限り，国立研究開発法人防災科学技術研究所，北海道大学，弘前大学，東北大学，東京大学，名古屋大学，京都大学，高知大学，九州大学，鹿児島大学，国立研究開発法人産業技術総合研究所，国土地理院，国立研究開発法人海洋研究開発機構，公益財団法人地震予知総合研究振興会，青森県，東京都，静岡県，神奈川県温泉地学研究所及び気象庁のデータを用いて作成している．また，2016 年熊本地震合同観測グループのオンライン臨時観測点（河原，熊野座），米国大学間地震学研究連合（IRIS）の観測点（台北，玉峰，寧安橋，玉里，台東）のデータを用いて作成している．2016 年 4 月 1 日以降の震源では，M の小さな地震は，自動処理による震源を表示している場合がある．自動処理による震源は，震源誤差の大きなものが表示されることがある．2020 年 11 月 30 日現在，2020 年 4 月 18 日から 10 月 23 日までの地震について，暫定的に震源精査の基準を変更しているため，その前後の期間と比較して微小な地震での震源決定数の変化（増減）が見られる．2020 年 9 月以降に発生した地震を含む図については，2020 年 8 月以前までに発生した地震のみによる図と比較して，日本海溝海底地震津波観測網（S-net）や紀伊水道沖の地震・津波観測監視システム（DONET2）による海域観測網の観測データの活用，震源計算処理における海域速度構造の導入及び標高を考慮した震源決定等それまでのデータ処理方法との違いにより，震源の位置や決定数に見かけ上の変化がみられることがある．



第 1 図 (a)　日本とその周辺の地震活動（2020 年 5 月～ 7 月，M ≧ 5.0，深さ≦ 700km）
Fig. 1(a)　Seismic activity in and around Japan (May –July 2020, M ≧ 5.0, depth ≦ 700 km).



第 1 図 (b)　つづき（2020 年 8 月～ 10 月，M ≧ 5.0，深さ≦ 700km）
Fig. 1(b)　Continued (August –October 2020, M ≧ 5.0, depth ≦ 700 km).

１－２　日本周辺における浅部超低周波地震活動（2020 年 5 月 ～ 10 月）
Activity of Shallow Very-low-frequency Earthquakes in and around Japan (May – October, 2020)

防災科学技術研究所
National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

日本周辺で発生する浅部超低周波地震の活動を防災科研 Hi-net に併設された高感度加速度計（傾斜計）の記録のアレイ解析 [1] によって調べた．2003 年 6 月 1 日から 2020 年 10 月 31 日までの期間におけるイベントの空間分布を第 1 図に，時空間分布図を第 2 図にそれぞれ示す．Hi-net の震源カタログにはないイベントを図中に赤色および桃色丸印でそれぞれ示す．これらの地震の多くは浅部超低周波地震とみられるが，特に 2011 年 3 月 11 日に発生した平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の発生以降は，通常の地震と考えられるイベントも混在する．

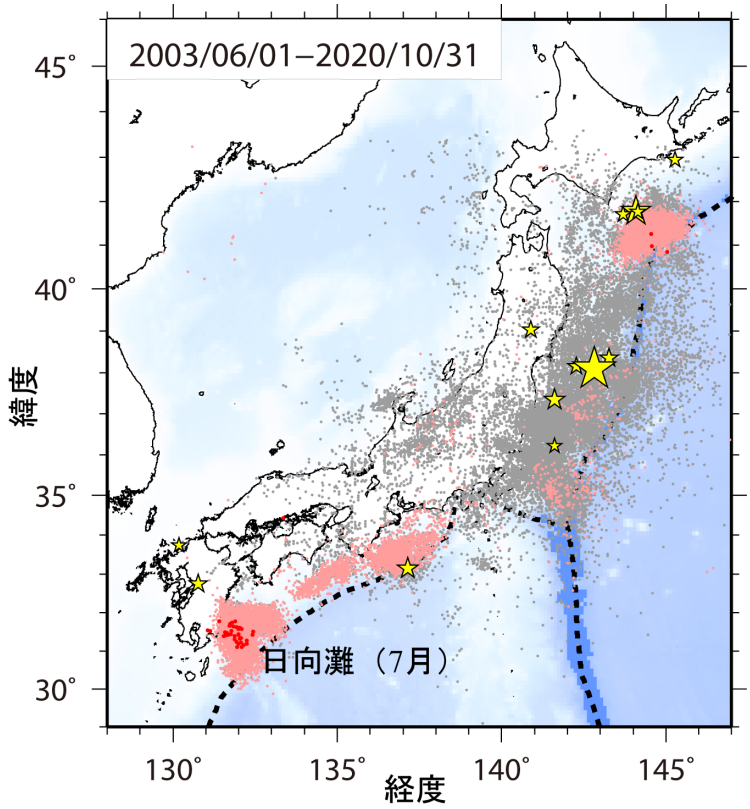
2020 年 5 月 1 日から 2020 年 10 月 31 日までの 6 ヶ月間においては，7 月下旬に日向灘で超低周波地震活動を検出した．しかしながら，防災科研 F-net の記録波形からは，この期間に発生した超低周波地震の一部は種子島の沖で発生していたこともわかっている明らかである．

日向灘以南では観測点カバリッジが良くないために震央決定精度が悪く，それよりも南西で発生したイベントを日向灘のイベントとして誤検出することがある．今回検出されたイベントの中にもそのような誤検出イベントが含まれている可能性がある．

（浅野陽一）
ASANO Youichi

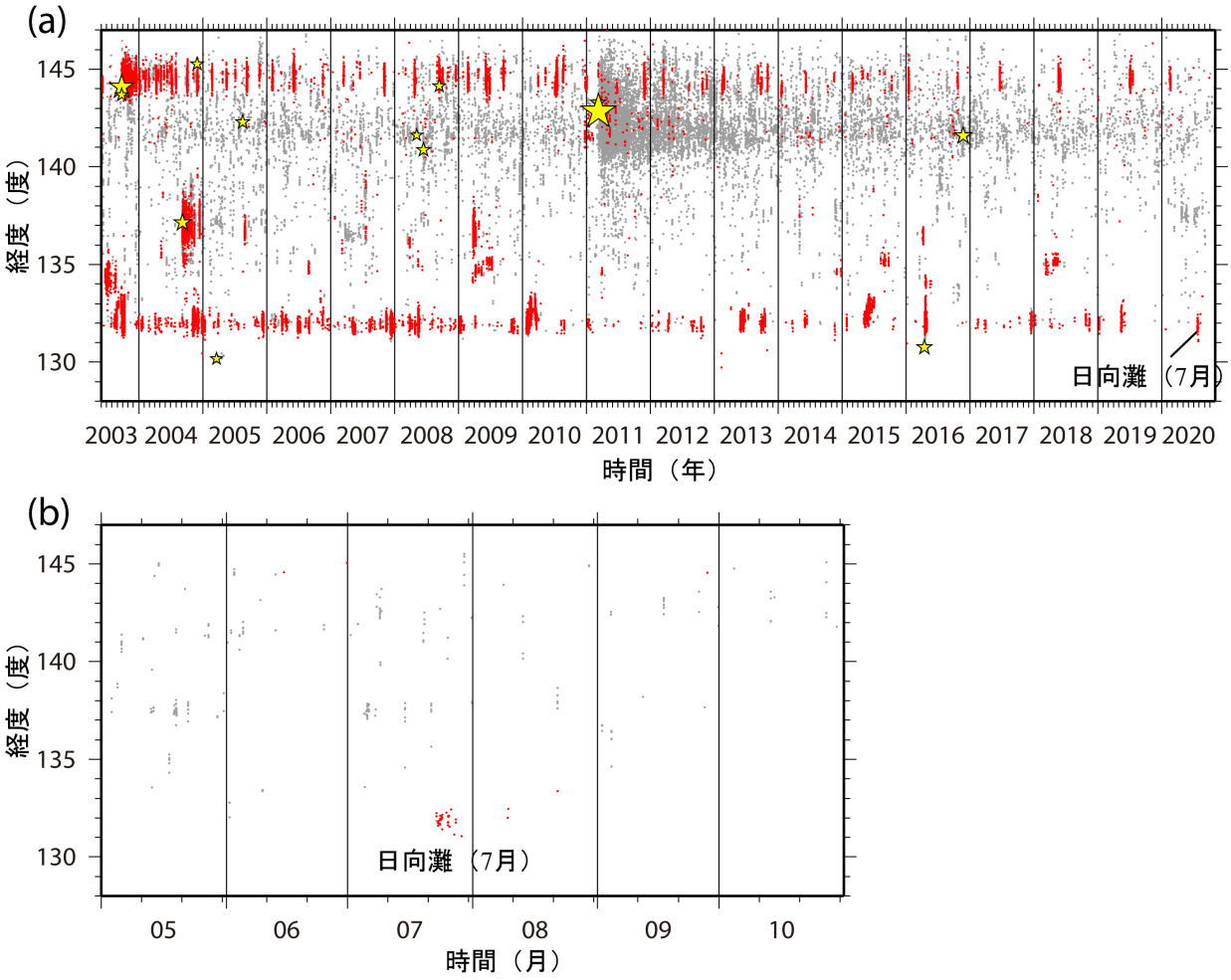
参考文献

1）　Asano et al.(2008), *Earth Planets Space*, **60**, 871-875.



第 1 図　検出されたイベントの震央分布（2003 年 6 月 1 日から 2020 年 10 月 31 日）．検出イベントを防災科研 Hi-net の手動または自動験測震源と照合し，対応する地震が見出されたイベントを灰色で，それ以外を桃色（2020 年 4 月 30 日以前），および赤色（5 月 1 日以降）の点でそれぞれ示す．これらは主として周期 10 秒以上に卓越する超低周波地震を表すが，東北地方太平洋沖地震の発生以降は，除去しきれない通常の地震を多数含む．期間内に発生した *M*7 以上の地震の震央を黄色星印で併せて示す（ただし，2011 年 3 月 11 日以降の東日本は東北地方太平洋沖地震の本震のみ図示）．

Fig. 1　Spatial distribution of detected events. Gray dots denote events identified with ordinary earthquakes listed in the NIED Hi-net catalogue. Pink and red dots denote other events in the periods of June 1, 2003 – April 30, 2020 and May 1 – October 31, 2020, respectively. These events are mainly very-low frequency earthquakes (VLFEs); however, many regular earthquakes after the *M* 9 Tohoku earthquake are also classified as unidentified events due to incompleteness of the catalog. Stations and earthquakes with larger magnitudes than 7.0 are shown by crosses and yellow stars, respectively.



第 2 図　(a) 2003 年 6 月 1 日から 2020 年 10 月 31 日までの期間，(b) 2020 年 5 月 1 日から 10 月 31 日までの期間に検出されたイベントの時空間分布．検出されたイベントを防災科研 Hi-net 手動または自動検測震源と照合し，対応する地震が見出されたイベントを灰色丸印で，それ以外を赤色丸印で示す．

Fig. 2　Spatiotemporal distribution of detected events in the period of (a) June 1, 2003 – October 31, 2020 and (b) May 1 – October 31, 2020, respectively. Gray and red dots denote events identified with ordinary earthquakes and other events that are mainly VLFEs. Other symbols are the same as shown in Fig. 1.

１－３　日本全国の地殻変動
Crustal Deformations of Entire Japan

国土地理院
Geospatial Information Authority of Japan

［GNSS］

第 1 ～ 6 図は，GEONET による GNSS 連続観測から求めた最近 1 年間及び 3 か月間の全国の水平地殻変動である．固定局（☆の点）は，長崎県五島列島の福江観測点である．国土地理院ではアンテナ交換や観測点周辺の樹木の伐採等の保守を行っており，これに伴うオフセットの補正を後日 F3 解が得られてから行っている．基準期間と比較期間を含む期間中にアンテナ交換が行われ，それによるオフセットを補正した観測点の変動ベクトルは，補正誤差が含まれる可能性があるため，白抜きの矢印で示し区別している．

［GNSS　1 年間］

第 1 図の最近 1 年間の北海道・東北地方の図においては，2011 年 3 月 11 日に発生した平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（M9.0, 最大震度 7）の後に続く余効変動が顕著である．そのほか，道東地方では千島海溝沿いの太平洋プレートの沈み込みに伴う北西向きの変動が見られる．

第 2 図の日本列島中央部の図においては，東北地方太平洋沖地震後の余効変動の影響が見られる．東海地方から四国にかけて，フィリピン海プレートの沈み込みに伴う北西向きの変動が見られる．そのほか，小笠原村の硫黄島（いおうとう）では，火山性の地殻変動が見られる．

第 3 図の日本列島西部の図においては，中国・四国地方の西部から九州地方にかけて，フィリピン海プレートの沈み込みに伴う変動が見られる．そのほか，九州地方では定常状態と比べて僅かに南北に開く成分が大きく，2016 年 4 月に発生した平成 28 年（2016 年）熊本地震の余効変動が重畳していると考えられる．

［GNSS　3 か月］

第 4 ～ 6 図は，最近 3 か月間の水平変動ベクトル図である．

第 4 図の北海道･東北地方では, 東北地方太平洋沖地震後の余効変動の影響が見られる．そのほか，道東地方では千島海溝沿いの太平洋プレートの沈み込みに伴う北西向きのベクトルが見られる．

第 5 図の日本列島中央部では，東北地方太平洋沖地震後の余効変動の影響が東北地方を中心に見られる．紀伊半島から四国にかけては南海トラフ沿いのプレートの沈み込みに伴う北西向きの変動が見られる．そのほか，小笠原村の硫黄島で火山性の地殻変動が見られる．

第 6 図の九州以西の図では，中国・四国地方の西部から九州地方にかけて，フィリピン海プレートの沈み込みに伴う変動が見られる．

［GNSS　差の差　3 か月］

第 7 ～ 9 図は，最近 3 か月間の水平方向の地殻変動について，年周変化やプレート運動等の定常的な変動の影響を取り去った変動を見るため，1 年前の同時期の水平変動ベクトルに対する差を示す図である．これらの図においては，前の期間に生じた地殻変動は，逆向きに表示される．また，

最近の 3 か月間又は 1 年前の同時期にアンテナ交換を行った観測点の矢印は，白抜きの矢印で示している．

第 7 図の北海道・東北地方の図では，特段の変化は見られない．

第 8 図の日本列島中央部の図では，四国西部において，2018 年春頃から始まった日向灘北部・豊後水道での長期的 SSE に伴う地殻変動の影響が見られる．そのほか，小笠原村の硫黄島で島内の火山性の地殻変動速度が変化した影響が見られる．

第 9 図の九州以西の図では，四国西部で，2018 年春頃から始まった日向灘北部・豊後水道での長期的 SSE に伴う地殻変動の影響が見られる．

［GNSS　ひずみ変化］

第 10 ～ 12 図は，GNSS データから推定した日本列島の最近 1 年間のひずみ変化を示す図である．第 10 図は日本全国のひずみ変化である．北海道南部から中部・北陸地方にかけて，東北地方太平洋沖地震後の余効変動の影響によるひずみが見られるほか，九州地方では熊本地震の余効変動によるひずみが見られる．また，四国西部では 2018 年春頃から始まった日向灘北部・豊後水道での長期的 SSE に伴う地殻変動によるひずみが僅かに見られる．第 11 ～ 12 図は，第 10 図を地方ごとに拡大した図である．

第 13 図は，第 10 図の図との比較のために，地震や余効変動の影響が少なかった 1998 年 10 月からの 1 年間のひずみ変化を，定常時のひずみ変化とみなして示したものである．定常時における東日本のひずみは概ね東西方向の縮みとなっている．

［験潮］

第 14 ～ 27 図は，毎年 1 回報告している，加藤＆津村 (1979) の方法による全国の験潮場における上下変動である．最新のデータは 2019 年 12 月である．

第 14 ～ 15 図は，北海道から津軽海峡にかけての験潮場のデータである．東北地方太平洋沖地震を境に稚内と忍路が沈降したように見えるが，これは，解析に用いられた観測点のうちの多くを占める津軽海峡付近の観測点が隆起したために，この海域に適用する補正値の算出に誤差が生じたことによる見かけ上の変化と考えられる．

第 16 ～ 17 図は本州の日本海側の験潮場のデータである．深浦から男鹿にかけて，東北地方太平洋沖地震に伴う変化（隆起）が見られるが，東北地方から北陸にかけて隆起している験潮場が多いため，第 15 図のデータと同様，この海域の地震前後の変動には系統誤差が含まれるものと思われる．中国地方の験潮場に見られる僅かな沈降は，この系統誤差による見かけの変動と考えられる．そのほかの地域については，特段の傾向の変化は見られない．

第 18 ～ 19 図は，東北地方から房総半島にかけての海域の験潮場のデータである．東北地方太平洋沖地震に伴う上下変動が大きいため，この海域における東北地方太平洋沖地震後の補正量の算出には 2 点（銚子漁港，勝浦）のみを用いている．ただし，これらの観測点も数 cm 沈降したので，その影響による系統誤差が含まれる可能性がある．東北地方沿岸の験潮場で，東北地方太平洋沖地震に伴う大きな沈降と，その後の隆起が見られる．

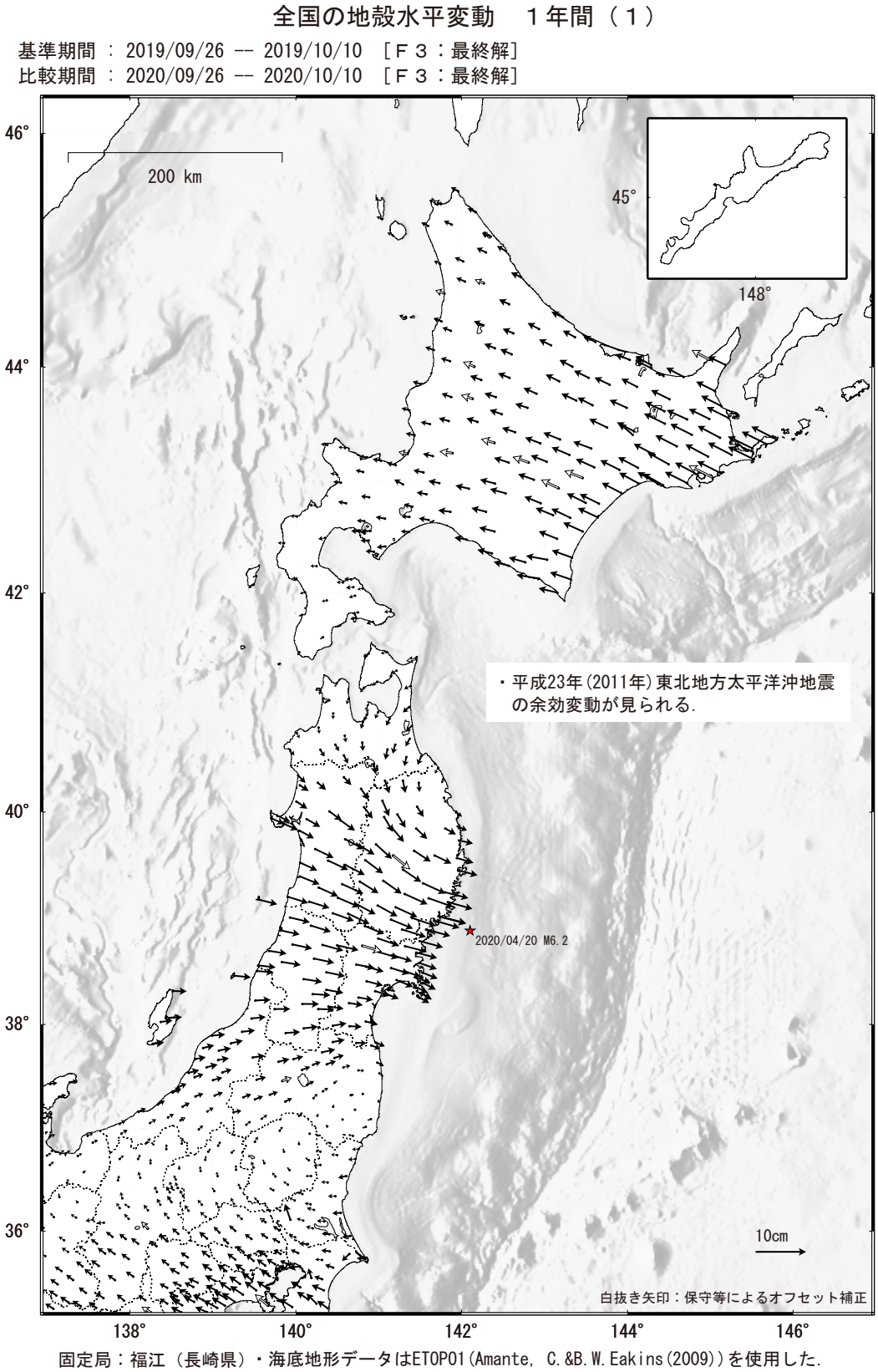
第 20 ～ 21 図は，関東から伊豆半島にかけての海域に属する験潮場のデータである．横須賀と油壺は東北地方太平洋沖地震前に長期的に沈降していたが，地震後は停滞しているように見える．なお，この地域は東北地方太平洋沖地震後に余効変動によって広く隆起したことが GNSS 観測から

分かっている．この海域に含まれる験潮場の多くが隆起したことにより，この海域に適用する補正値の算出に誤差が生じ，隆起が系統的に小さく計算されている可能性がある．

第 22 ～ 23 図は，東海地方から紀伊半島にかけての験潮場のデータである．清水港は東北地方太平洋沖地震前に長期的に沈降していたが，地震後は停滞しているように見える．

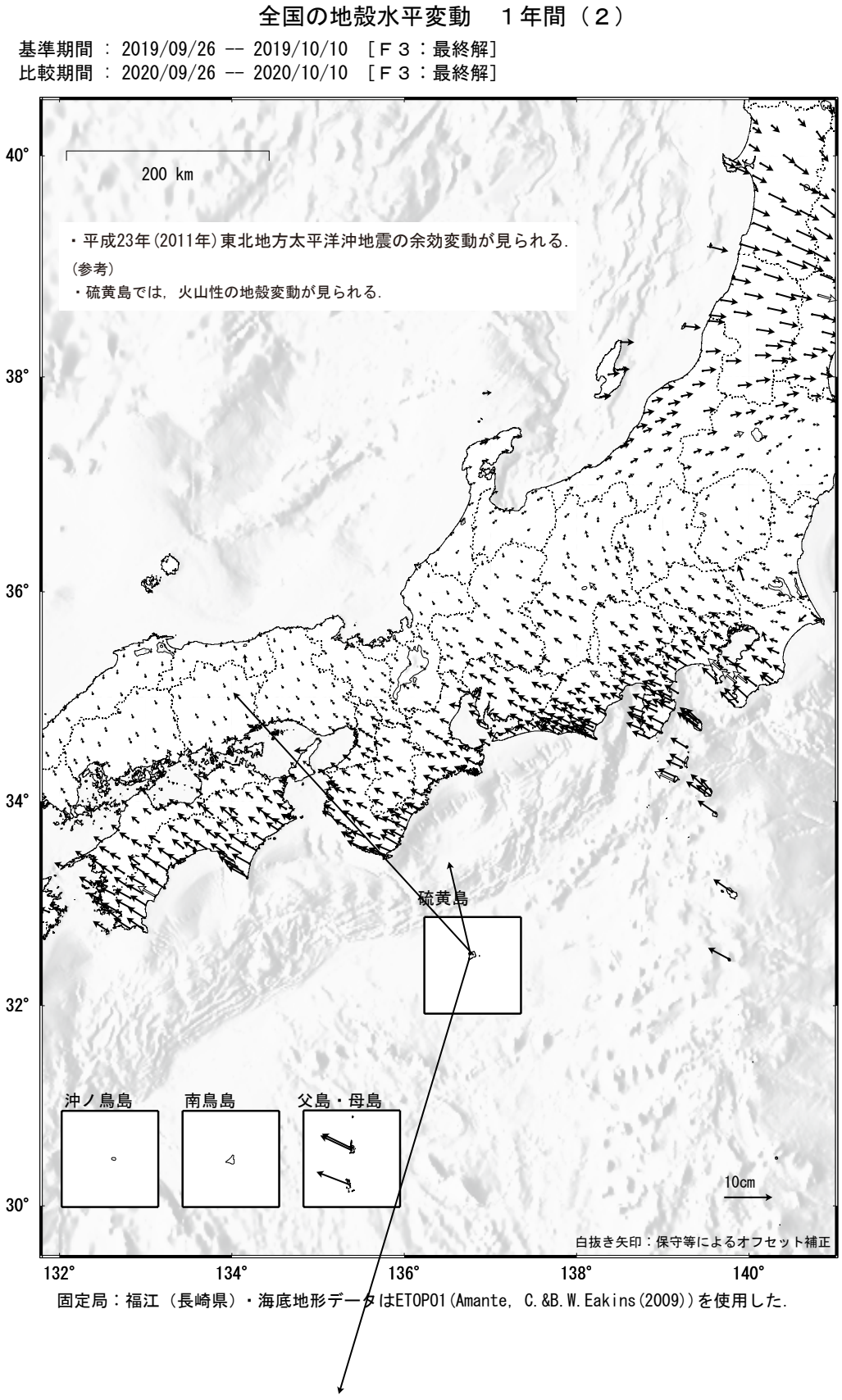
第 24 ～ 25 図は，中国・四国地方から九州地方にかけての験潮場のデータである．特段の傾向の変化は見られない．

第 26 ～ 27 図は，九州地方の験潮場のデータである．特段の傾向の変化は見られない．

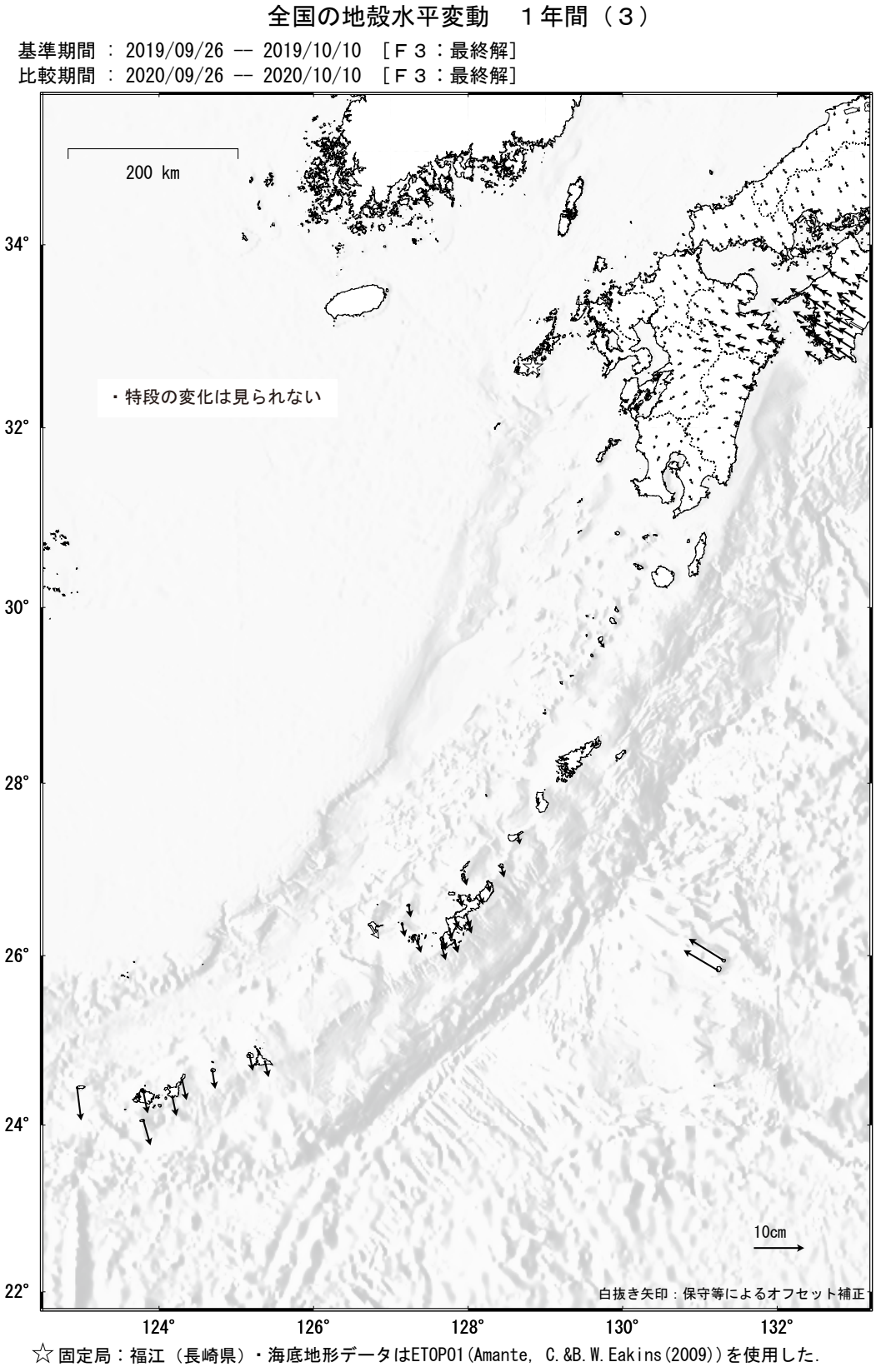


第 1 図　GNSS 連続観測から求めた 2019 年 10 月～ 2020 年 10 月の水平変動

Fig. 1　Horizontal displacements at GNSS sites during October 2019 – October 2020. (☆, Reference station is Fukue)

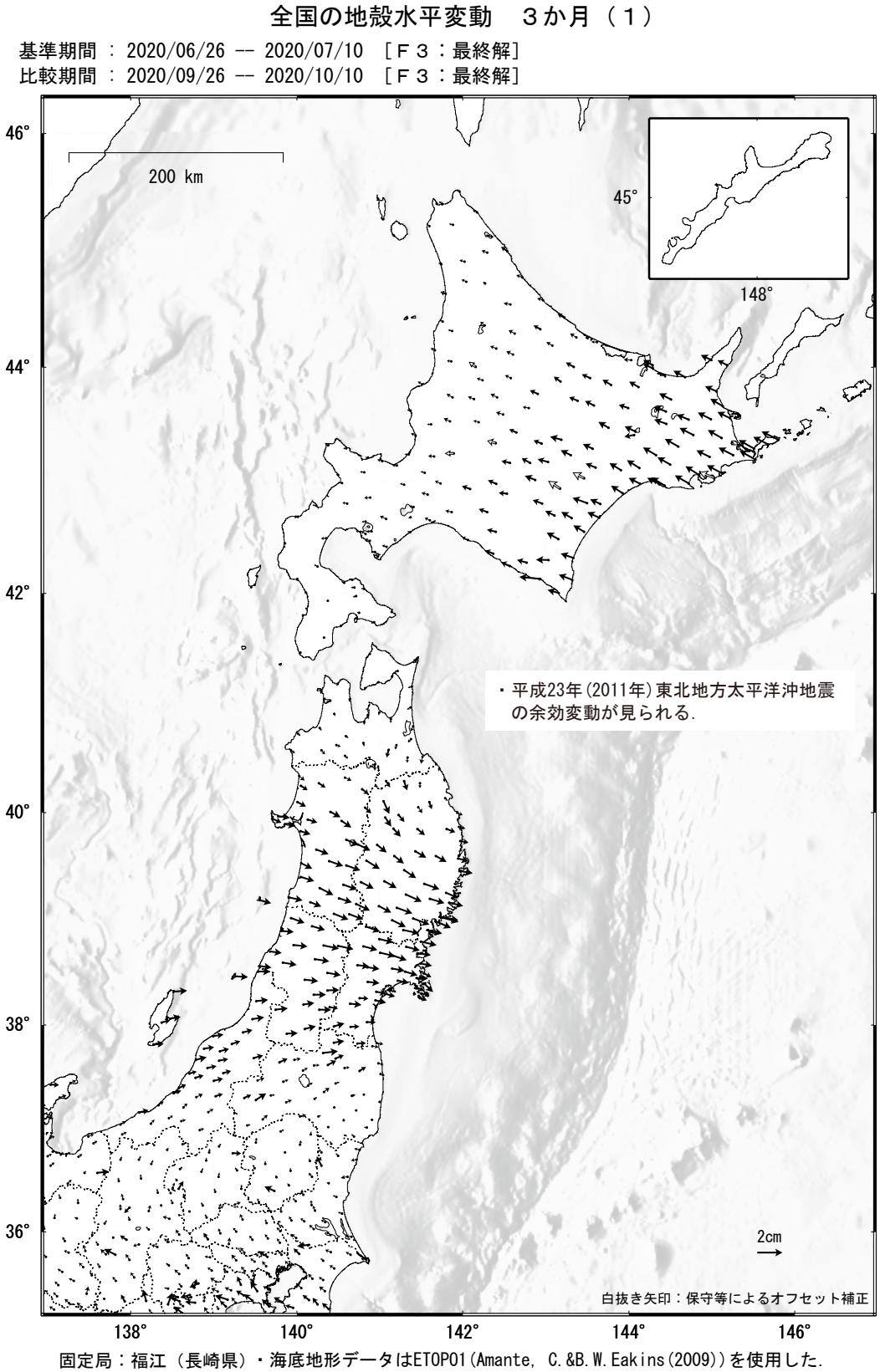


第 2 図　GNSS 連続観測から求めた 2019 年 10 月～ 2020 年 10 月の水平変動
Fig. 2　Horizontal displacements at GNSS sites during October 2019 – October 2020. (☆, Reference station is Fukue)

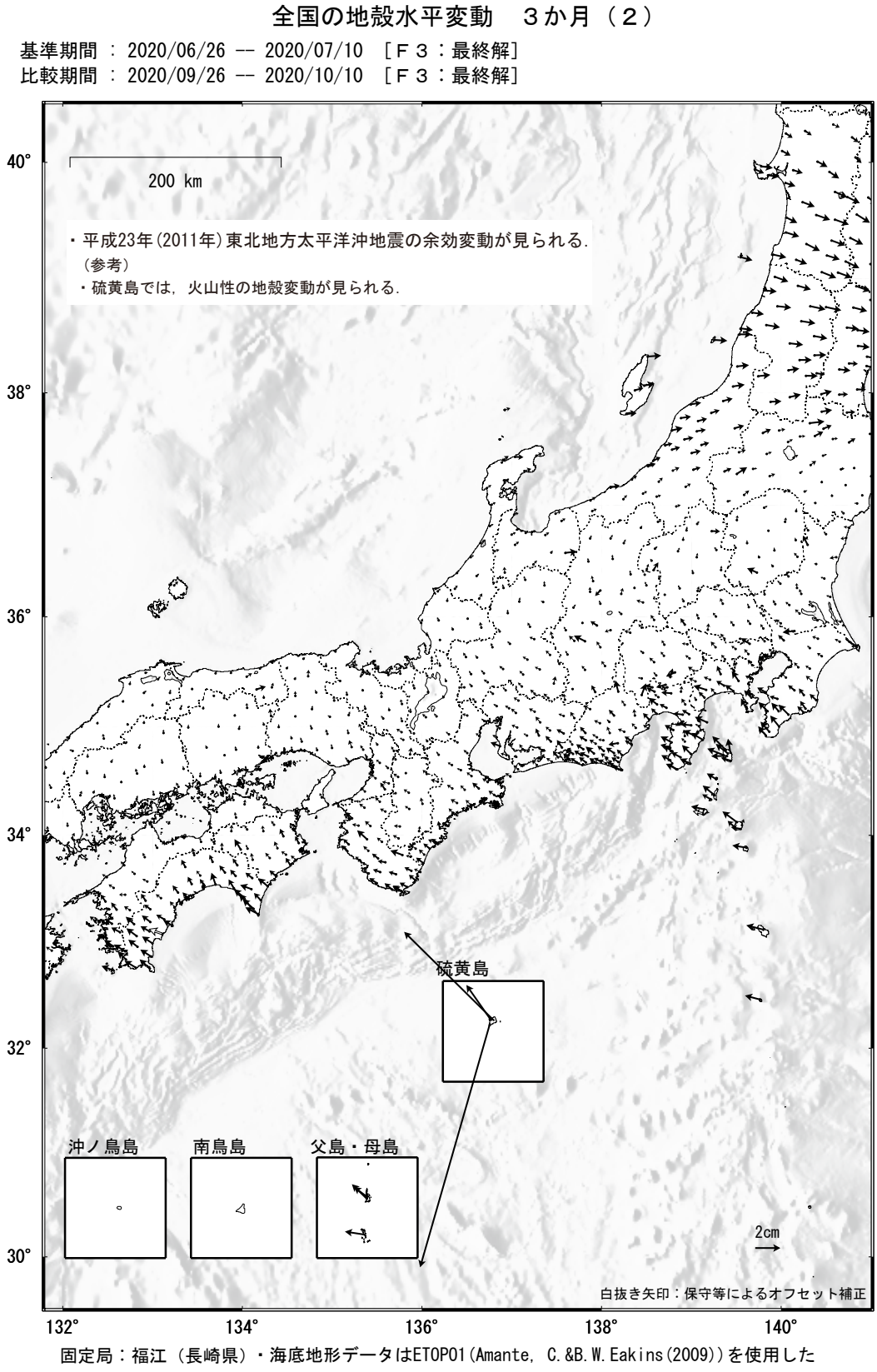


第 3 図　GNSS 連続観測から求めた 2019 年 10 月～ 2020 年 10 月の水平変動

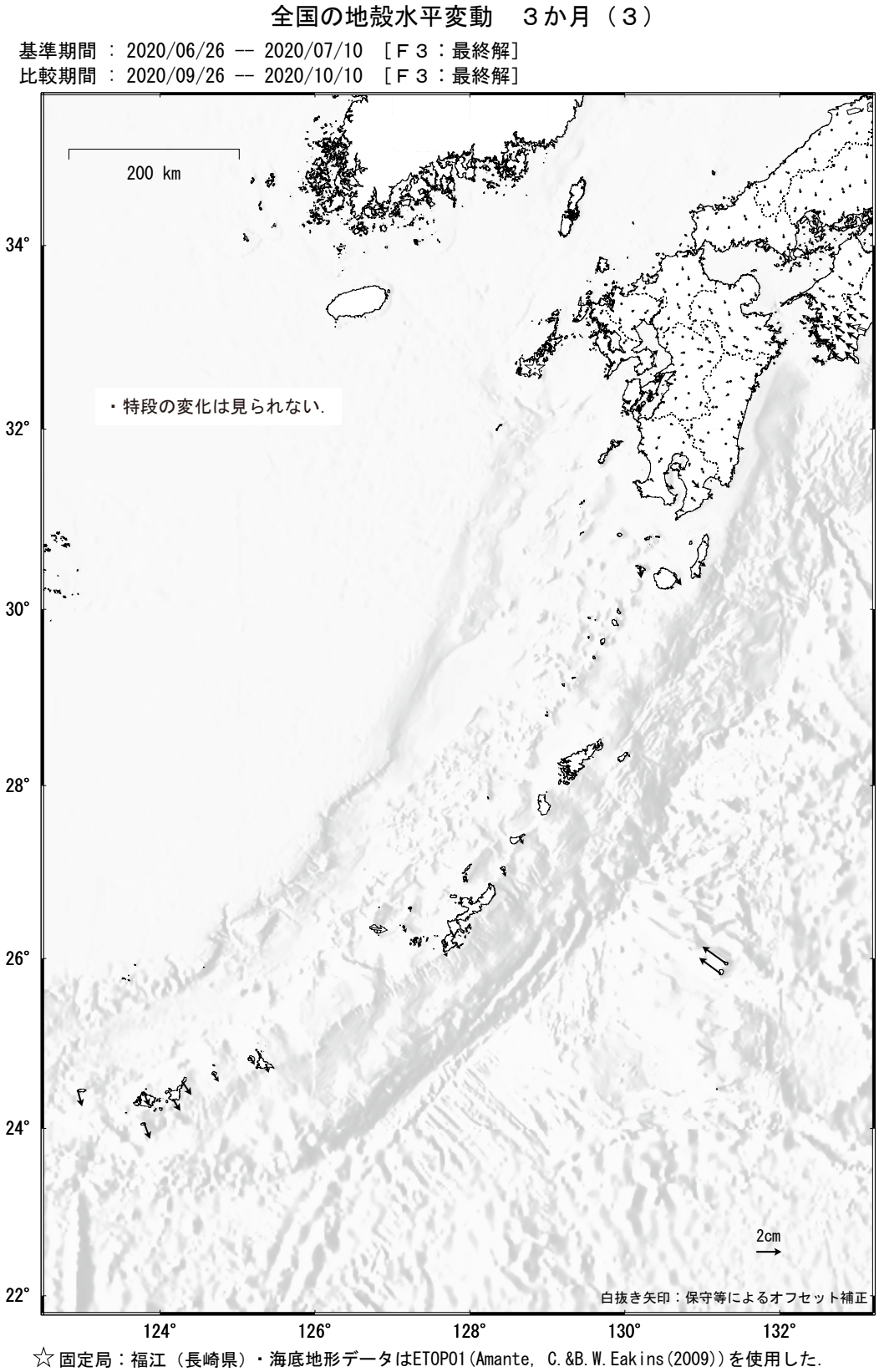
Fig. 3　Horizontal displacements at GNSS sites during October 2019 – October 2020. (☆, Reference station is Fukue)



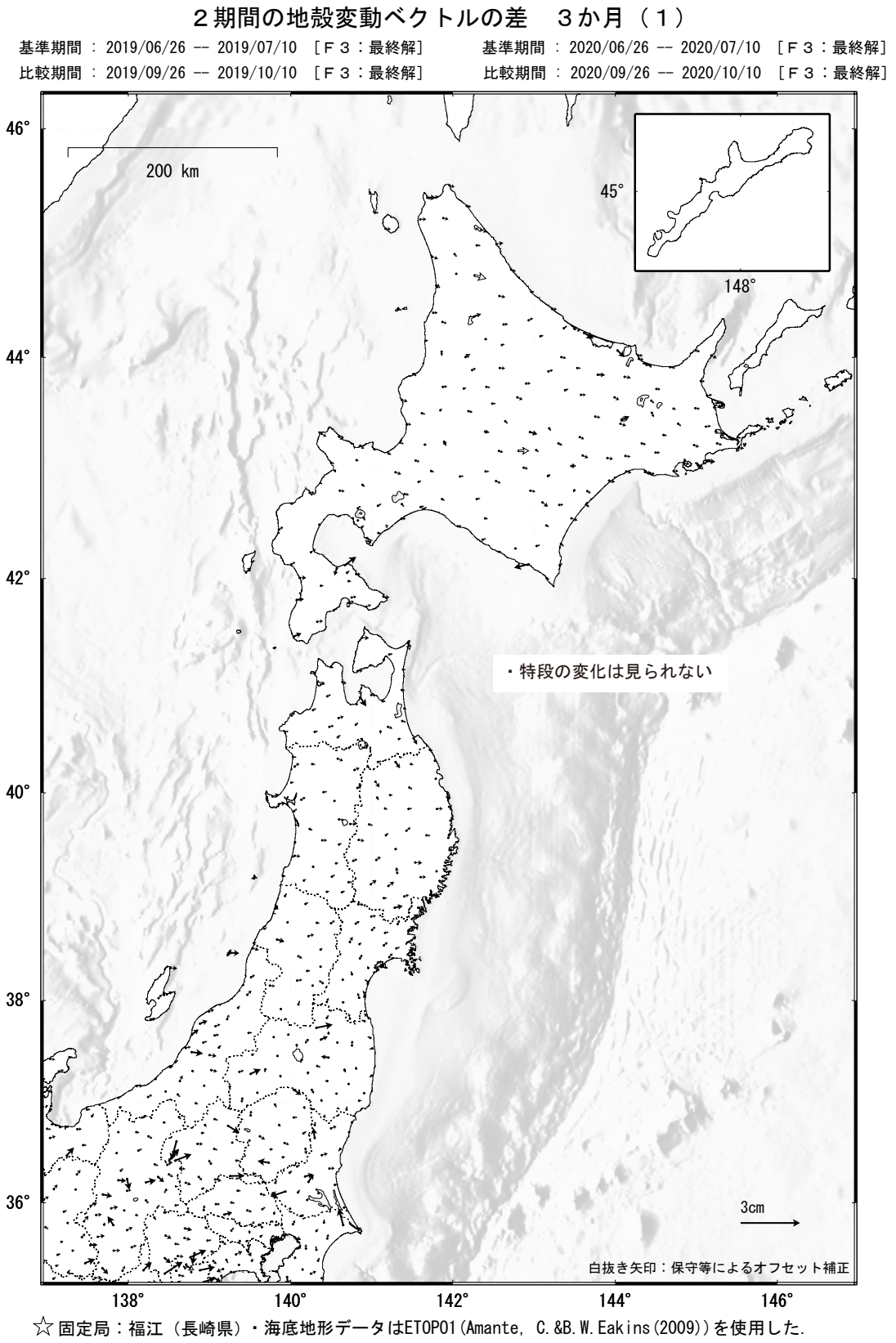
第 4 図　GNSS 連続観測から求めた 2020 年 7 月～ 2020 年 10 月の水平変動
Fig. 4　Horizontal displacements at GNSS sites during July 2020 – October 2020.(☆, Reference station is Fukue)



第 5 図　GNSS 連続観測から求めた 2020 年 7 月～ 2020 年 10 月の水平変動
Fig. 5　Horizontal displacements at GNSS sites during July 2020 – October 2020.(☆, Reference station is Fukue)

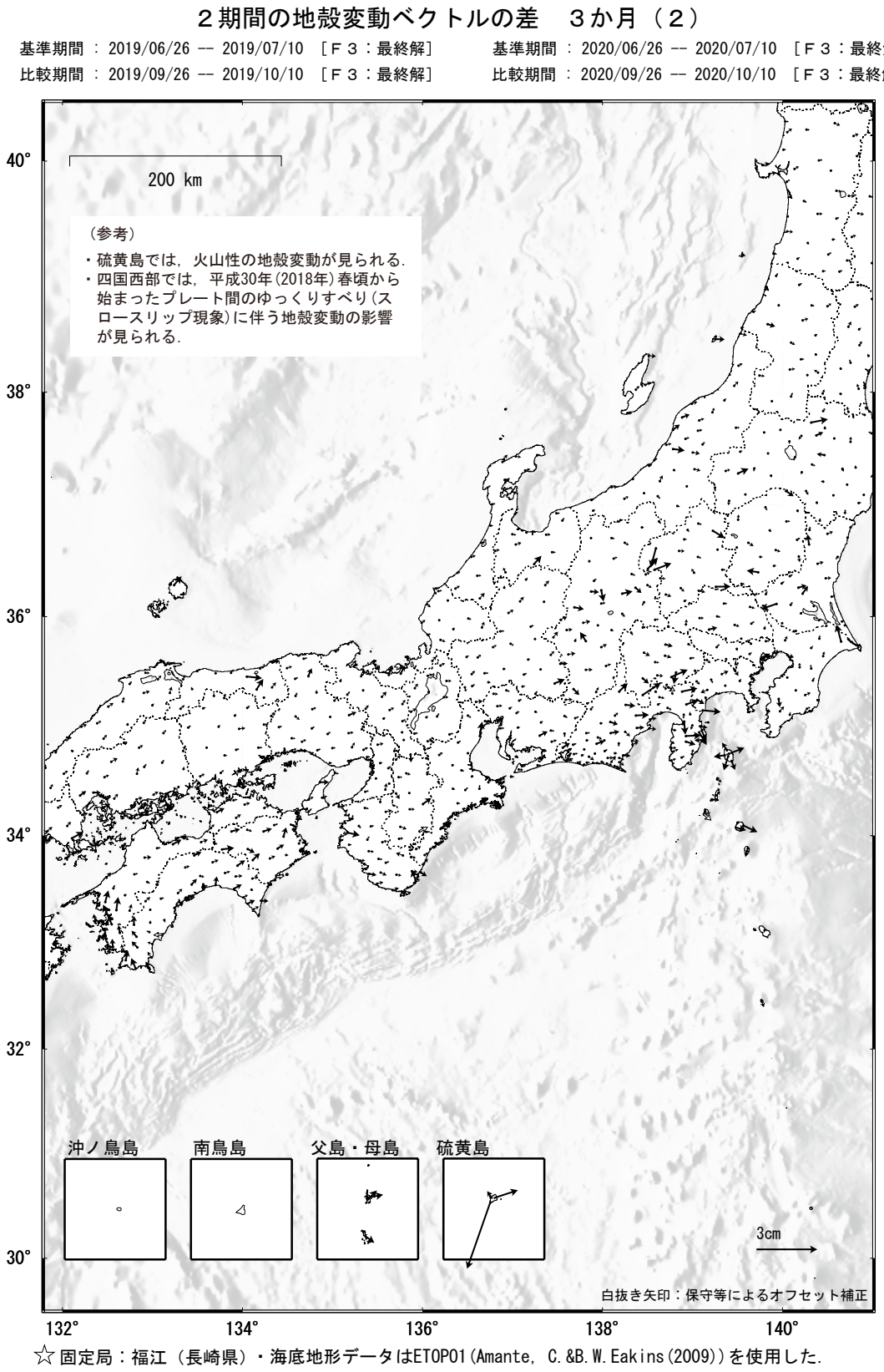


第 6 図　GNSS 連続観測から求めた 2020 年 7 月～ 2020 年 10 月の水平変動
Fig. 6　Horizontal displacements at GNSS sites during July 2020 – October 2020.(☆, Reference station is Fukue)



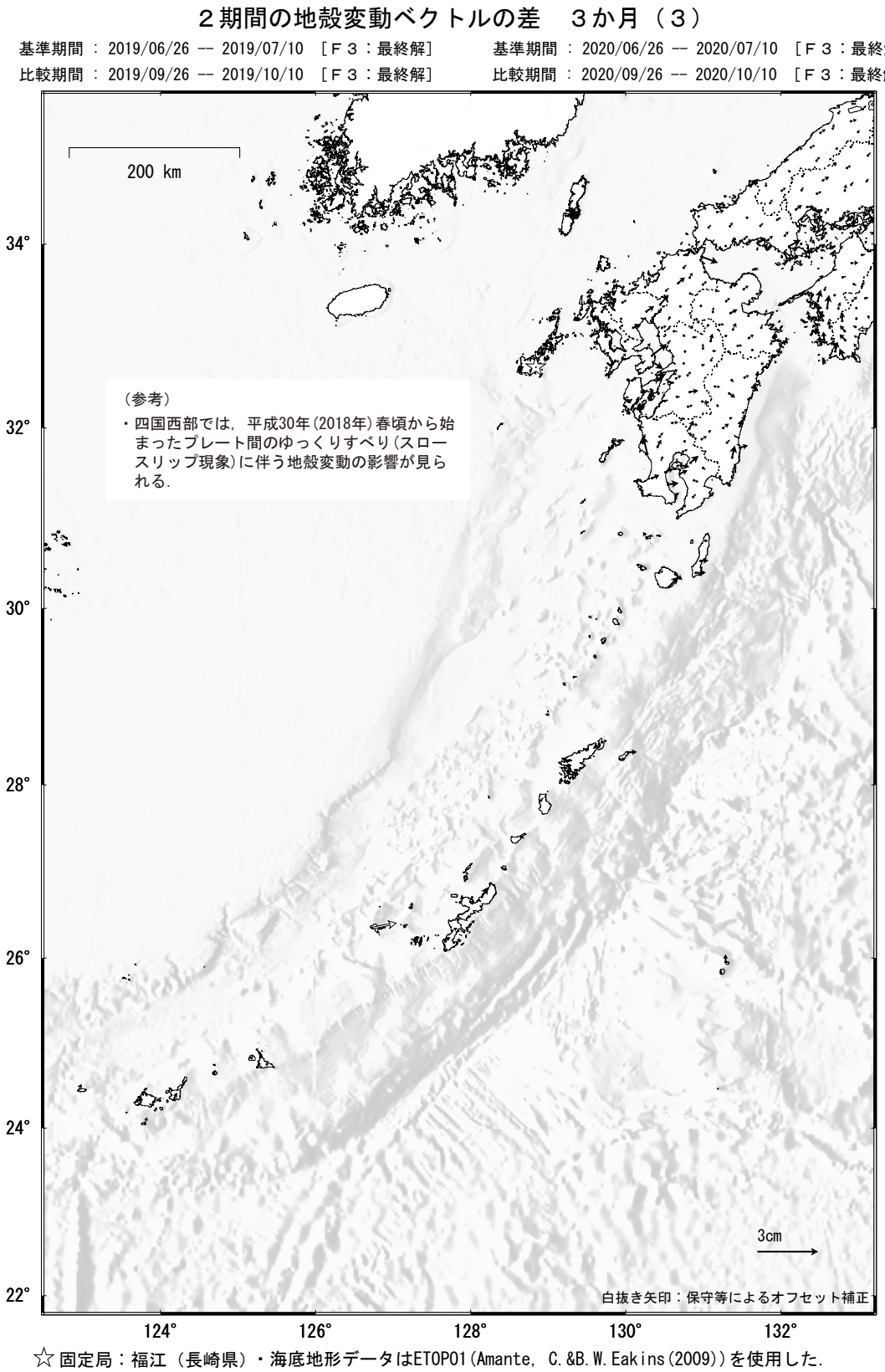
第 7 図　GNSS 水平変動の差（3 か月間）

Fig. 7　Differences of horizontal displacements at GNSS sites between July 2019 – October 2019 and July 2020 – October 2020.



第 8 図　GNSS 水平変動の差（3 か月間）

Fig. 8　Differences of horizontal displacements at GNSS sites between July 2019 – October 2019 and July 2020 – October 2020.



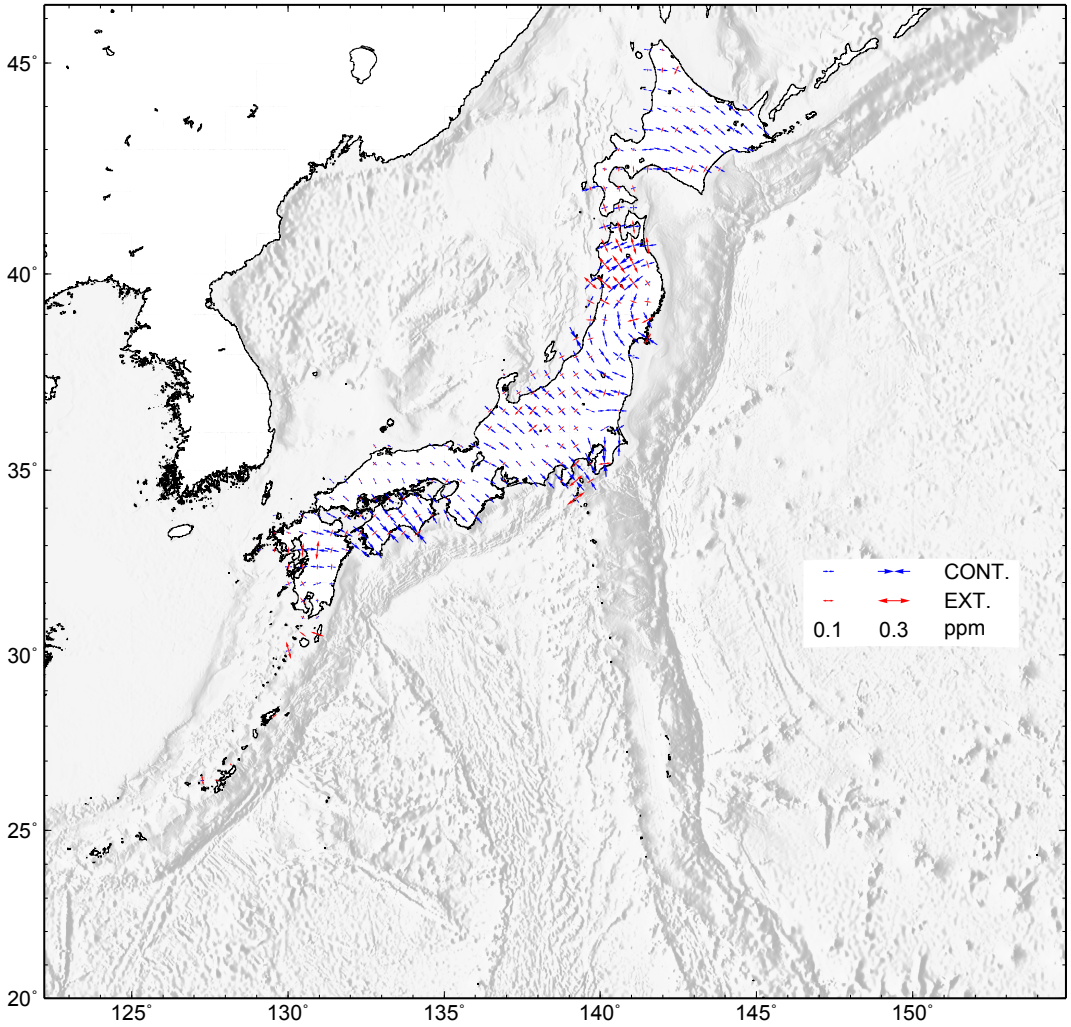
第 9 図　GNSS 水平変動の差（3 か月間）

Fig. 9　Differences of horizontal displacements at GNSS sites between July 2019 – October 2019 and July 2020 – October 2020.

GNSS 連続観測から推定した日本列島のひずみ変化

・平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響によるひずみが見られる.
・平成 28 年（2016 年）熊本地震の余効変動の影響によるひずみが見られる.
・四国西部では、2018 年春頃から始まったプレート間のゆっくりすべり（スロースリップ現象）の影響によるひずみが見られる.

基準期間：2019/10/10 – 2019/10/24［Ｆ３：最終解］
比較期間：2020/10/10 – 2020/10/24［Ｆ３：最終解］



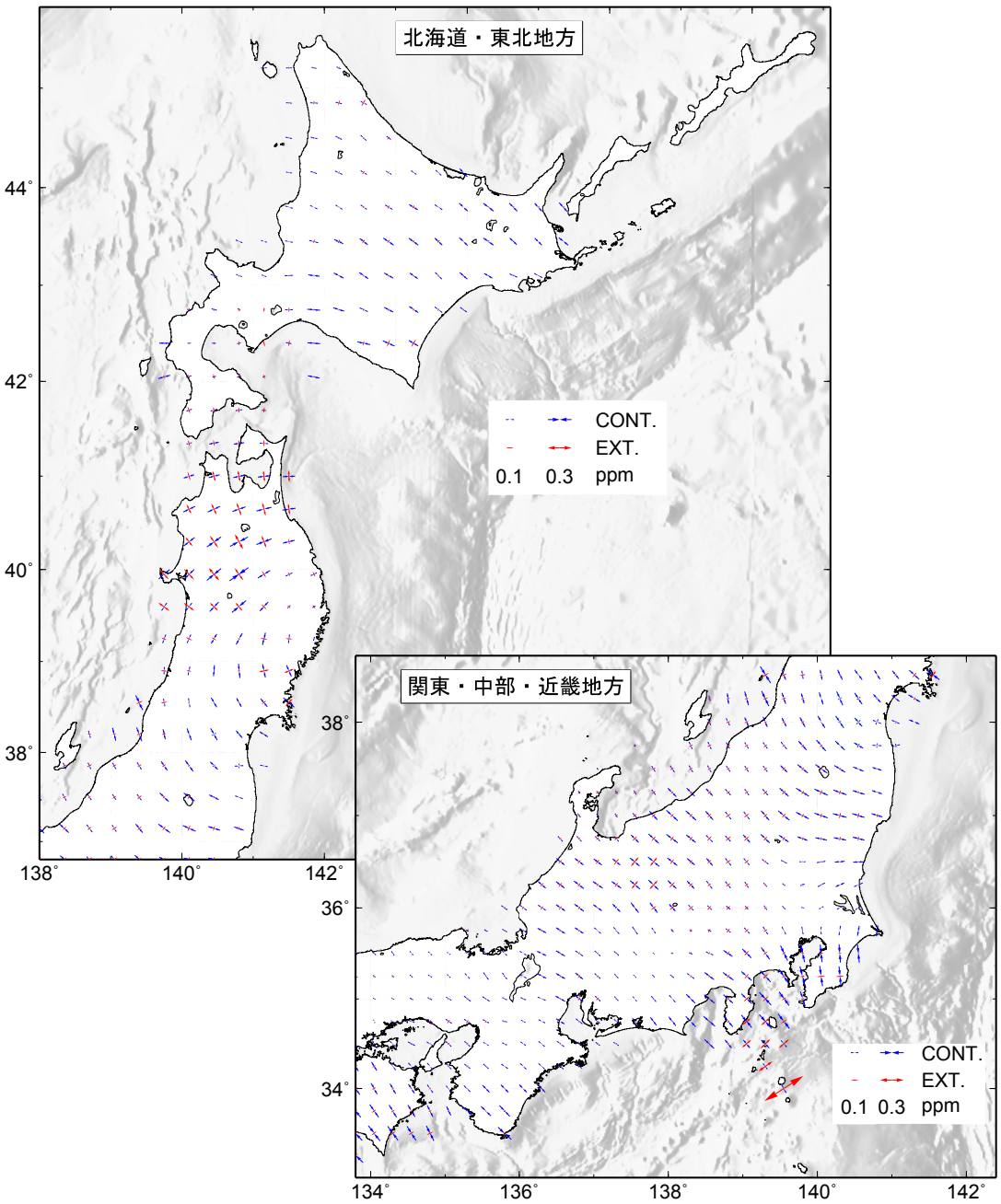
・GNSS 連続観測による変位ベクトルからひずみ変化図を作成した.
・海底地形データは ETOPO1 （Amante, C. & B. W. Eakins(2009)）を使用した.

第 10 図　GNSS 連続観測データから推定した日本列島の水平歪（2019 年 10 月～ 2020 年 10 月）
Fig. 10　Horizontal strain in Japan derived from continuous GNSS measurements during October 2019 – October 2020.

GNSS 連続観測から推定した各地方のひずみ変化（1）

・平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響によるひずみが見られる.

基準期間：2019/10/10 – 2019/10/24［Ｆ３：最終解］
比較期間：2020/10/10 – 2020/10/24［Ｆ３：最終解］



・図は GNSS 連続観測による 1 年間の変位ベクトルから推定した各地方の地殻水平ひずみである.
・海底地形データは ETOPO1 （Amante, C. & B. W. Eakins(2009)）を使用した.

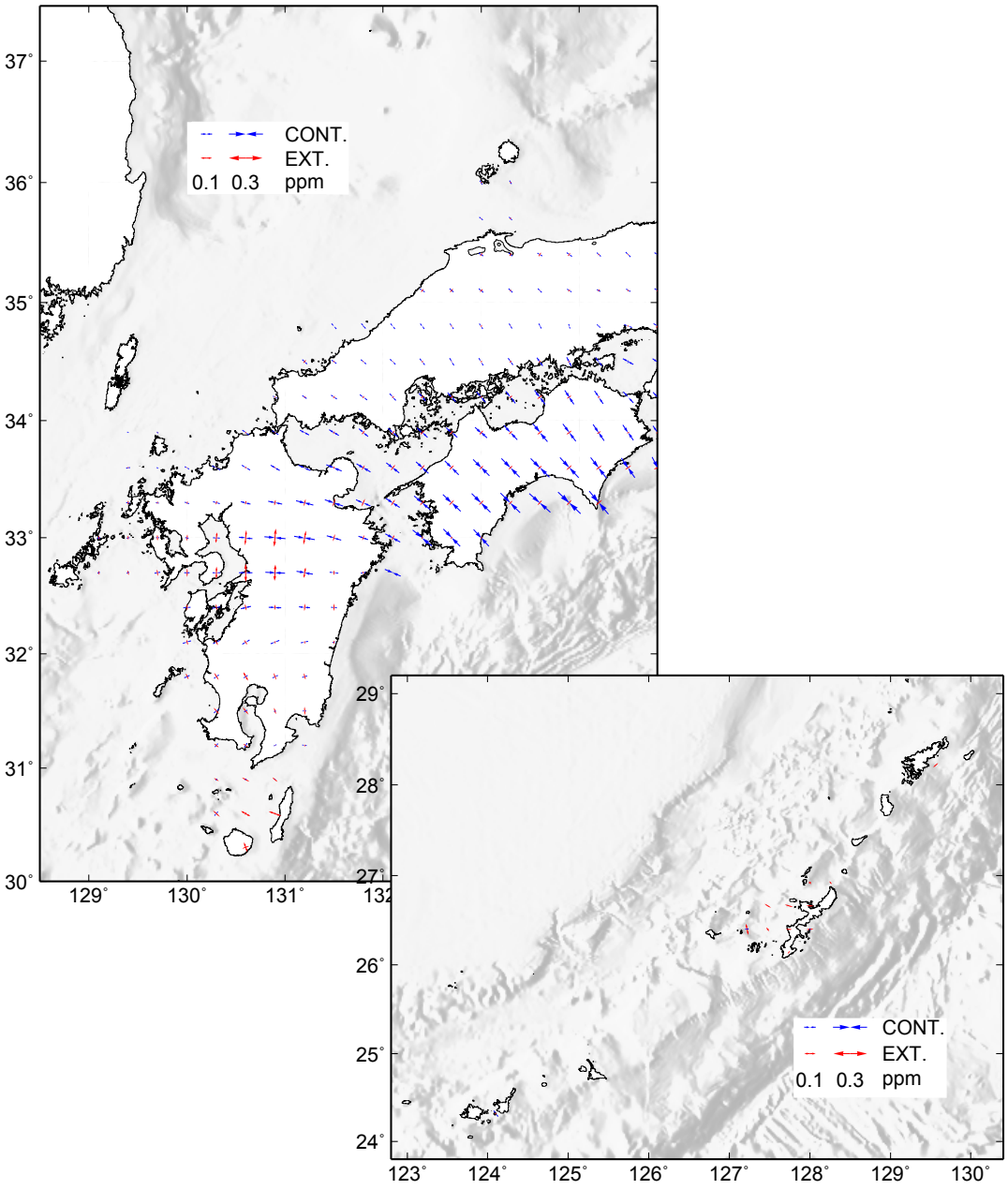
第 11 図　GNSS 連続観測データから推定した北海道・東北および関東・中部・近畿地方の水平歪（2019 年 10 月～2020 年 10 月）

Fig. 11　Horizontal strain in Hokkaido, Tohoku, Kanto, Chubu and Kinki districts derived from continuous GNSS measurements during October 2019 – October 2020.

GNSS 連続観測から推定した各地方のひずみ変化（2）

・平成 28 年（2016 年）熊本地震の余効変動の影響によるひずみが見られる.
・四国西部では、2018 年春頃から始まったプレート間のゆっくりすべり（スロースリップ現象）の影響によるひずみが見られる.

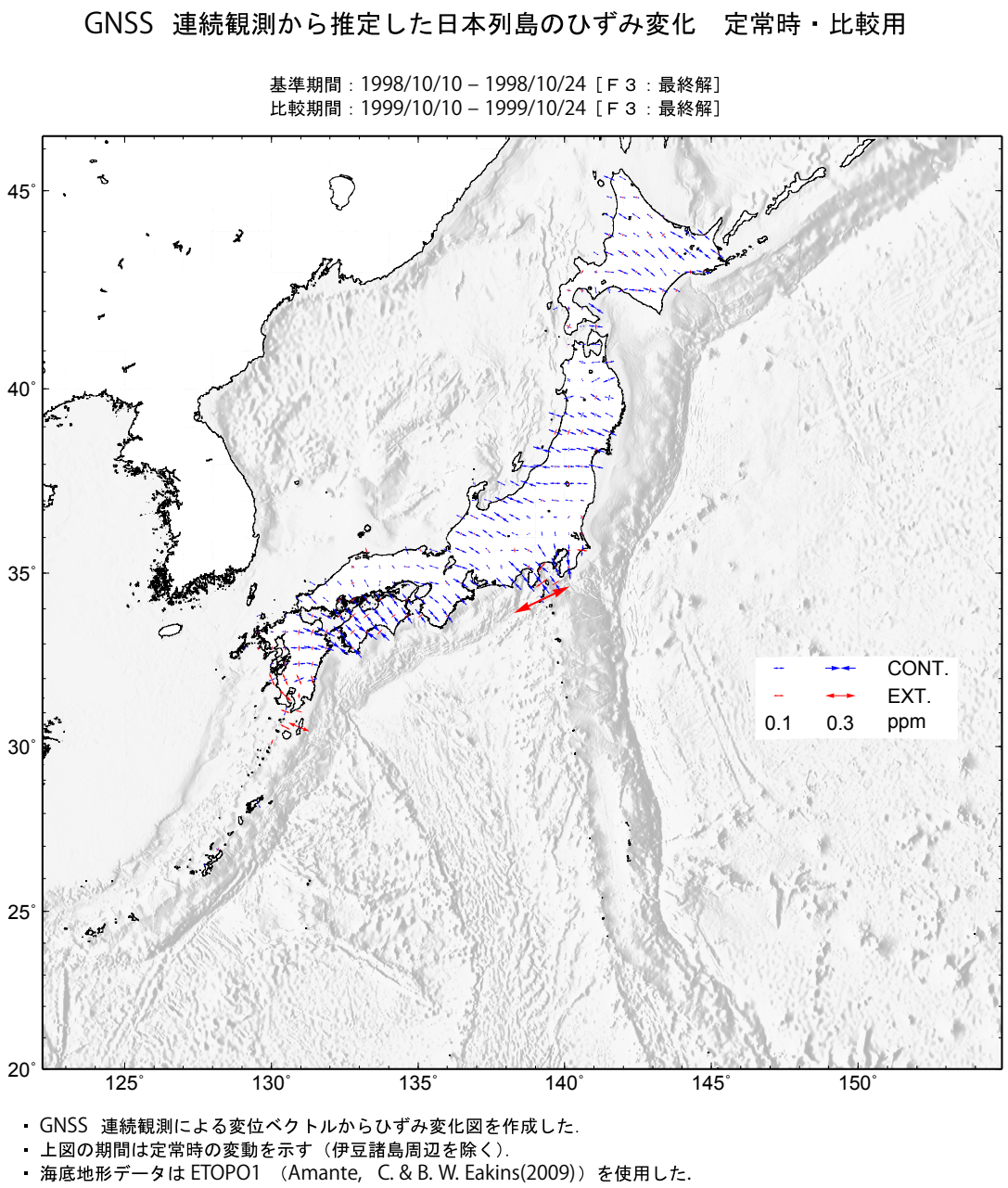
基準期間：2019/10/10 – 2019/10/24［Ｆ３：最終解］
比較期間：2020/10/10 – 2020/10/24［Ｆ３：最終解］



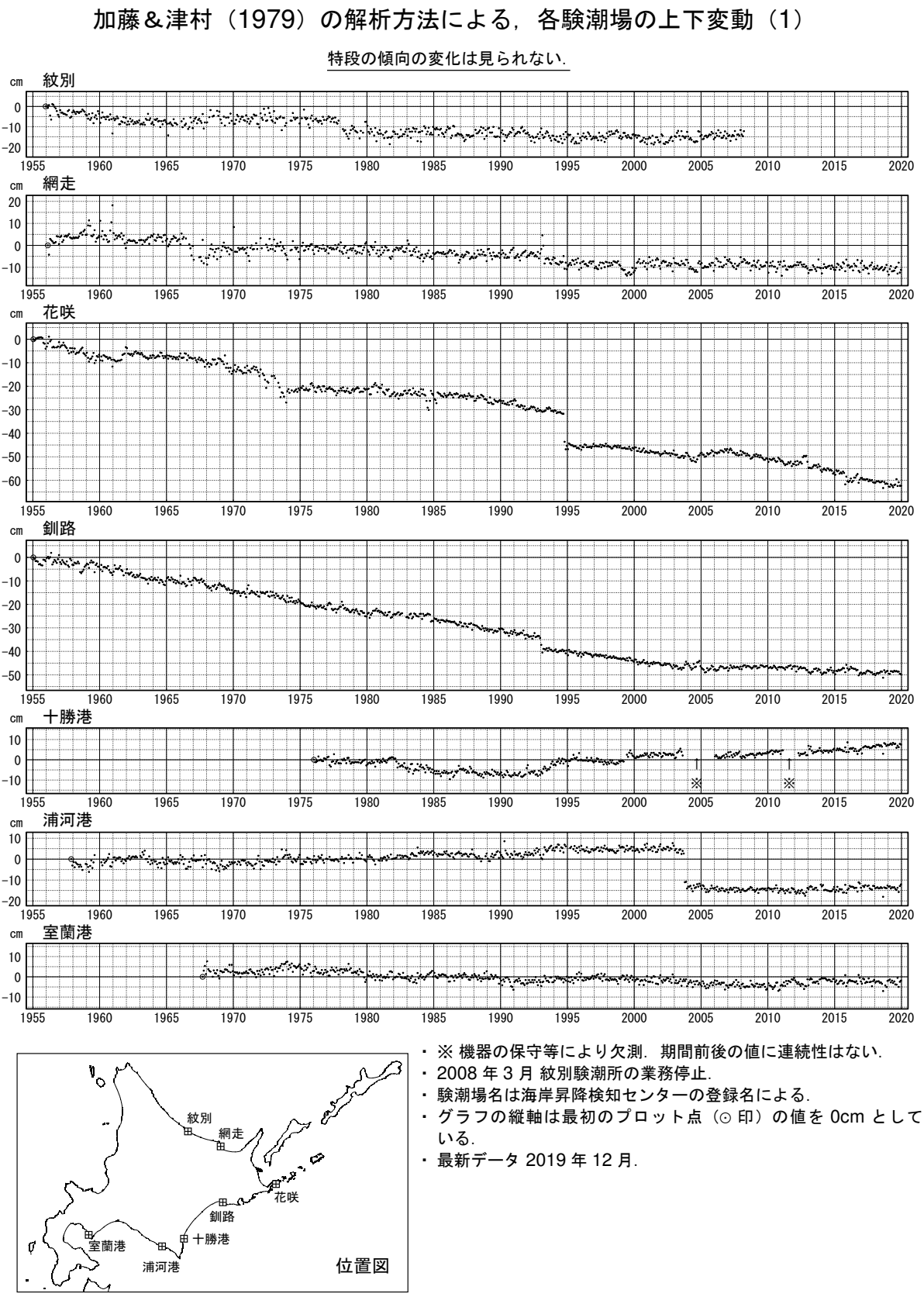
・図は GNSS 連続観測による 1 年間の変位ベクトルから推定した各地方の地殻水平ひずみである.
・海底地形データは ETOPO1 （Amante, C. & B. W. Eakins(2009)）を使用した.

第 12 図　GNSS 連続観測データから推定した中国・四国・九州及び南西諸島地方の水平歪（2019 年 10 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 12　Horizontal strain in Chugoku, Shikoku, Kyushu and Nansei-islands areas derived from continuous GNSS measurements during October 2019 – October 2020.

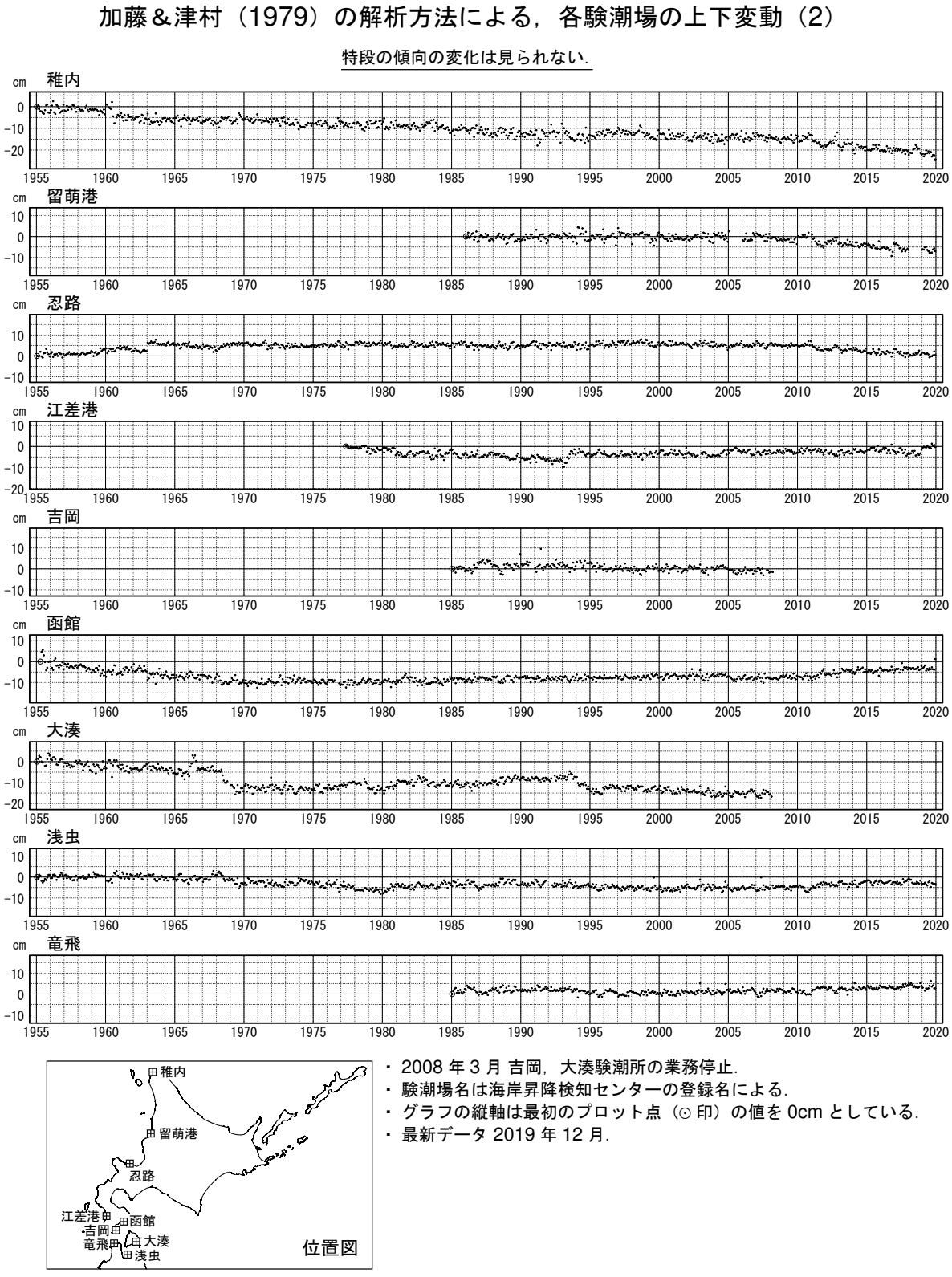


第 13 図　GNSS 連続観測データから推定した日本列島の水平歪【定常時・比較用】
Fig. 13　Typical horizontal strain in Japan derived from continuous GNSS measurements.



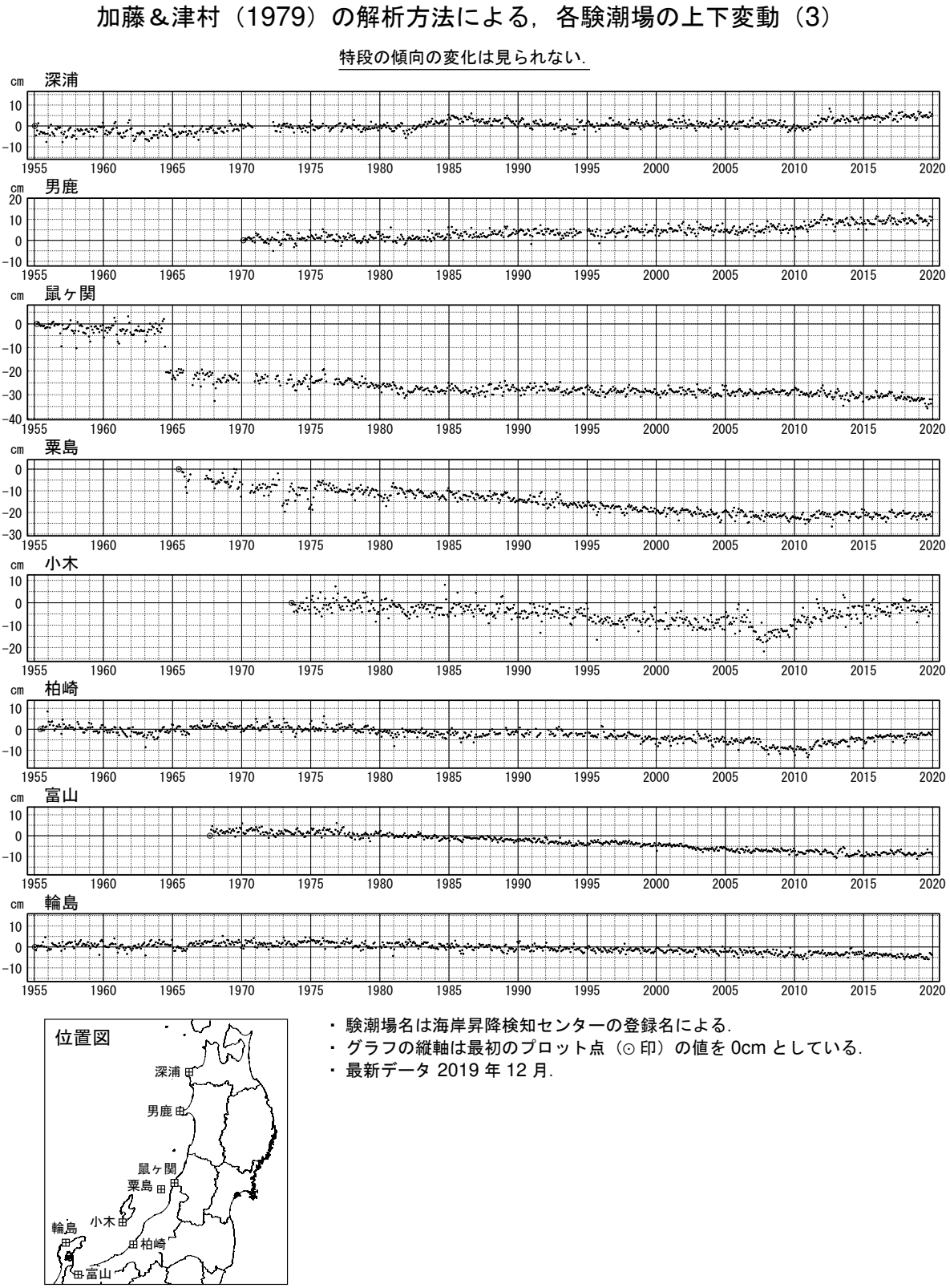
第 14 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動

Fig. 14　Vertical movements of the tide stations derived with the method by Kato and Tsumura (1979).



・ 2008 年 3 月 吉岡，大湊験潮所の業務停止.
・ 験潮場名は海岸昇降検知センターの登録名による.
・ グラフの縦軸は最初のプロット点（⊙ 印）の値を 0cm としている.
・ 最新データ 2019 年 12 月.

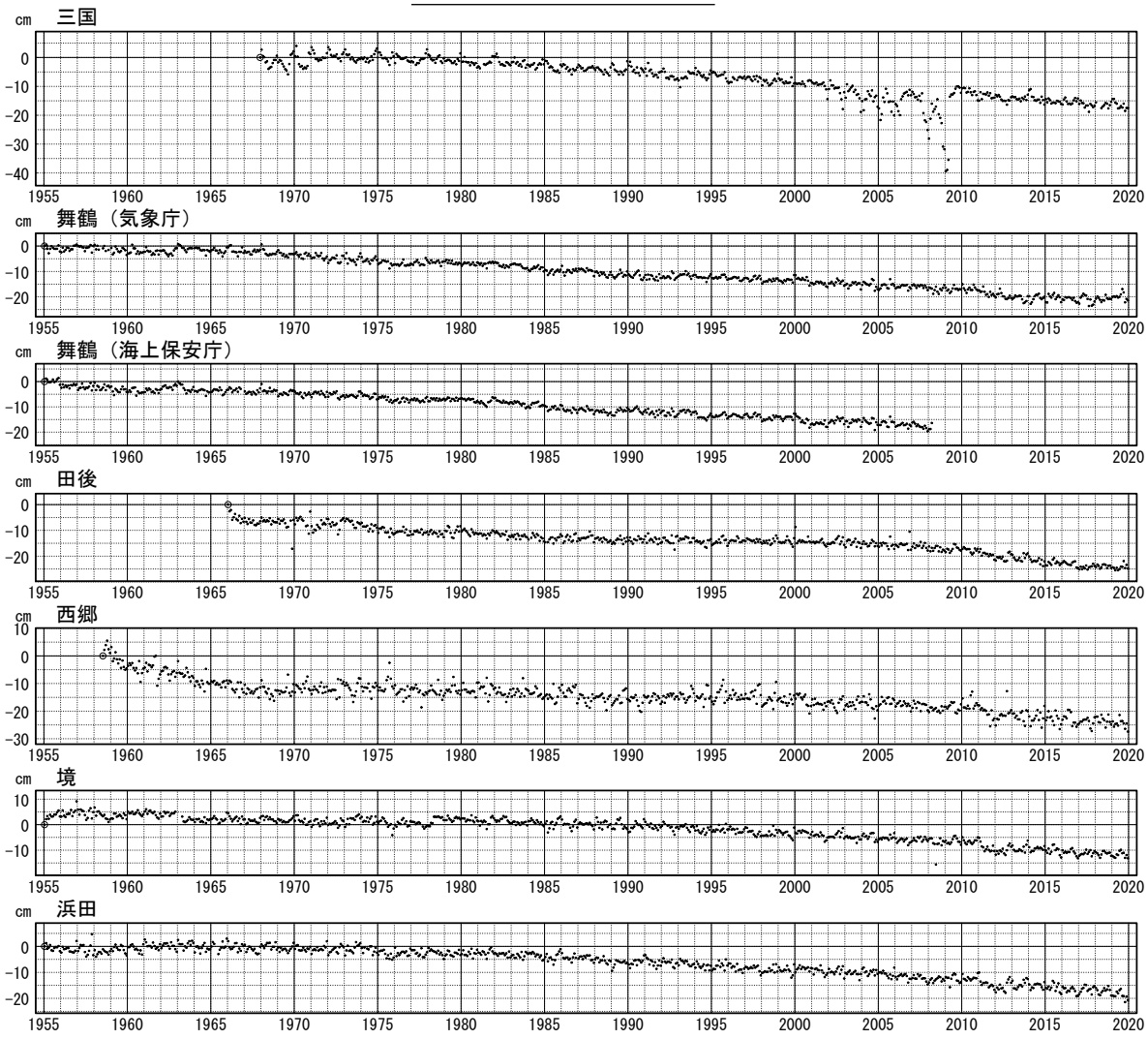
第 15 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動
Fig. 15　Vertical movements of the tide stations derived with the method by Kato and Tsumura (1979).

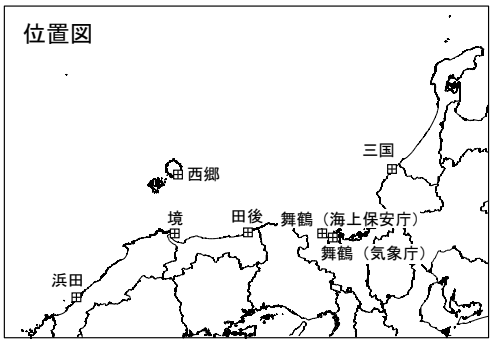


第 16 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動
Fig. 16　Vertical movements of the tide stations derived with the method by Kato and Tsumura (1979).

加藤＆津村（1979）の解析方法による，各験潮場の上下変動（4）

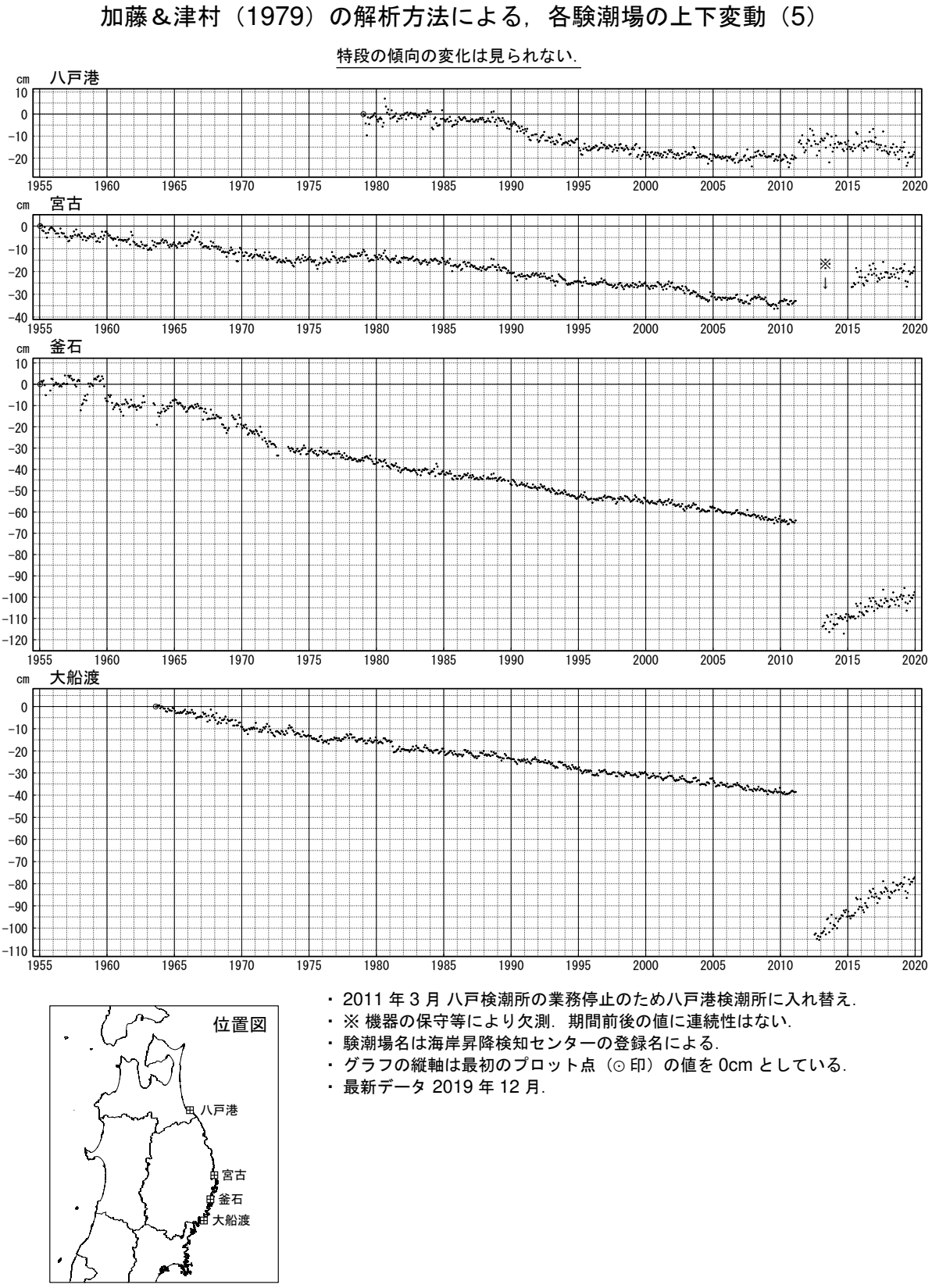
特段の傾向の変化は見られない.



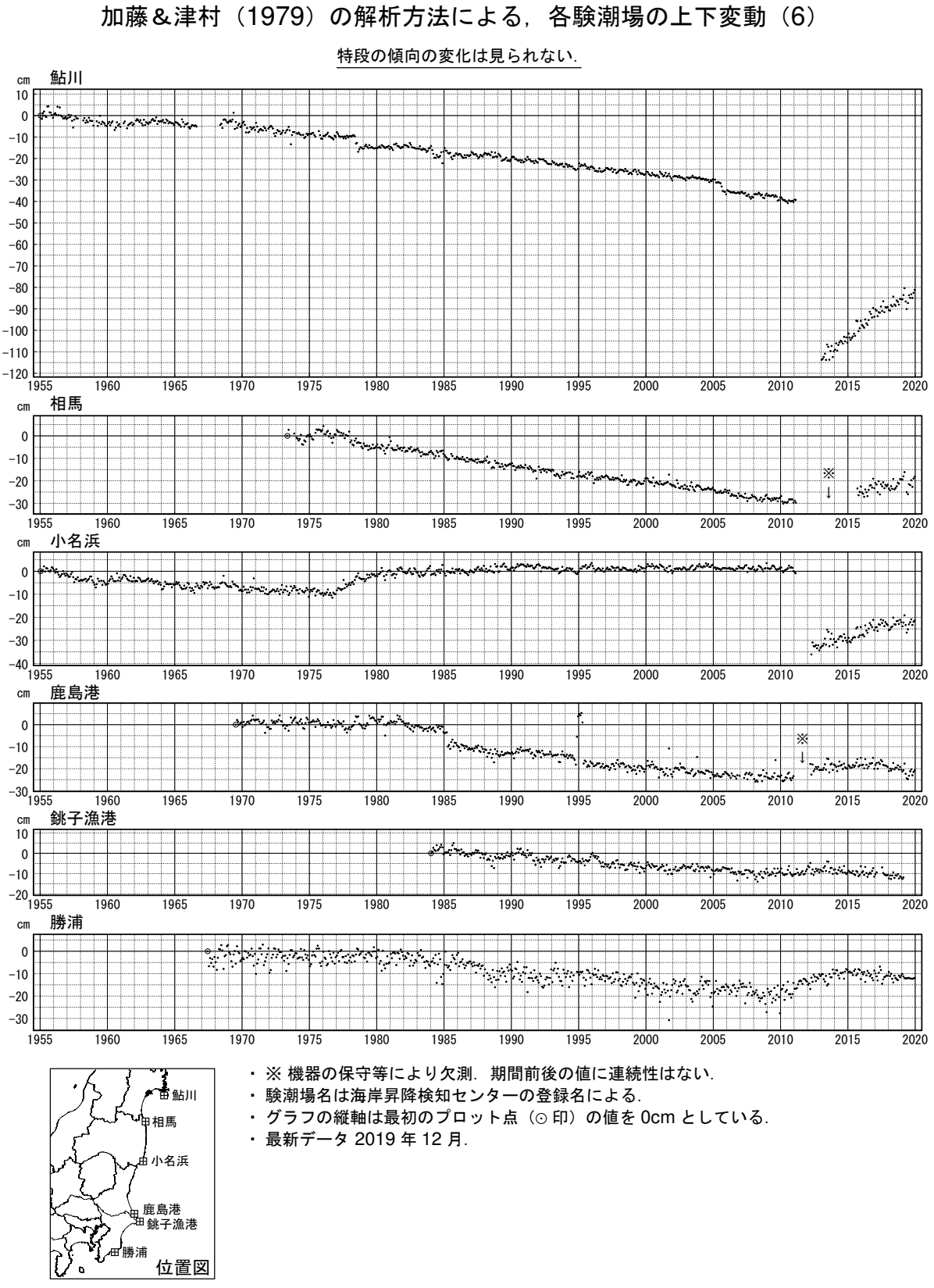


- 2008 年 3 月 舞鶴（海上保安庁）験潮所の業務停止.
- 2011 年 3 月以降の小さな変化は，同じ海域に属する北日本の観測点の隆起が解析において影響した見かけのものと考えられる.
- 験潮場名は海岸昇降検知センターの登録名による.
- グラフの縦軸は最初のプロット点（⊙印）の値を 0cm としている.
- 最新データ 2019 年 12 月.

第 17 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動
Fig. 17　Vertical movements of the tide stations derived with the method by Kato and Tsumura (1979).



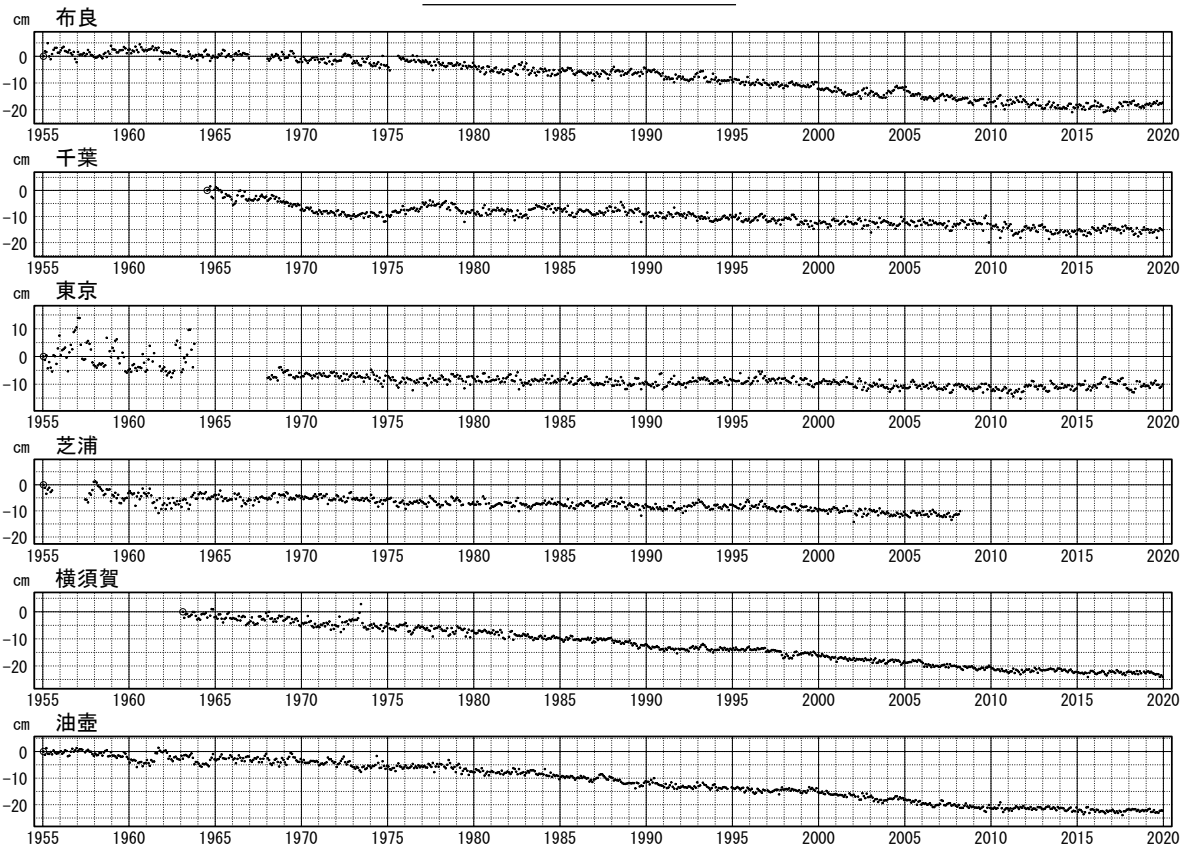
第 18 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動
Fig. 18　Vertical movements of the tide stations derived with the method by Kato and Tsumura (1979).

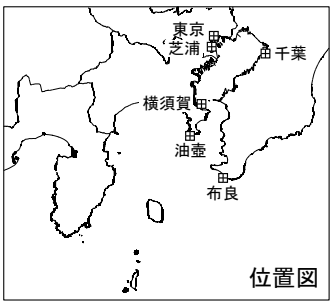


第 19 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動
Fig. 19　Vertical movements of the tide stations derived with the method by Kato and Tsumura (1979).

加藤＆津村（1979）の解析方法による，各験潮場の上下変動（7）

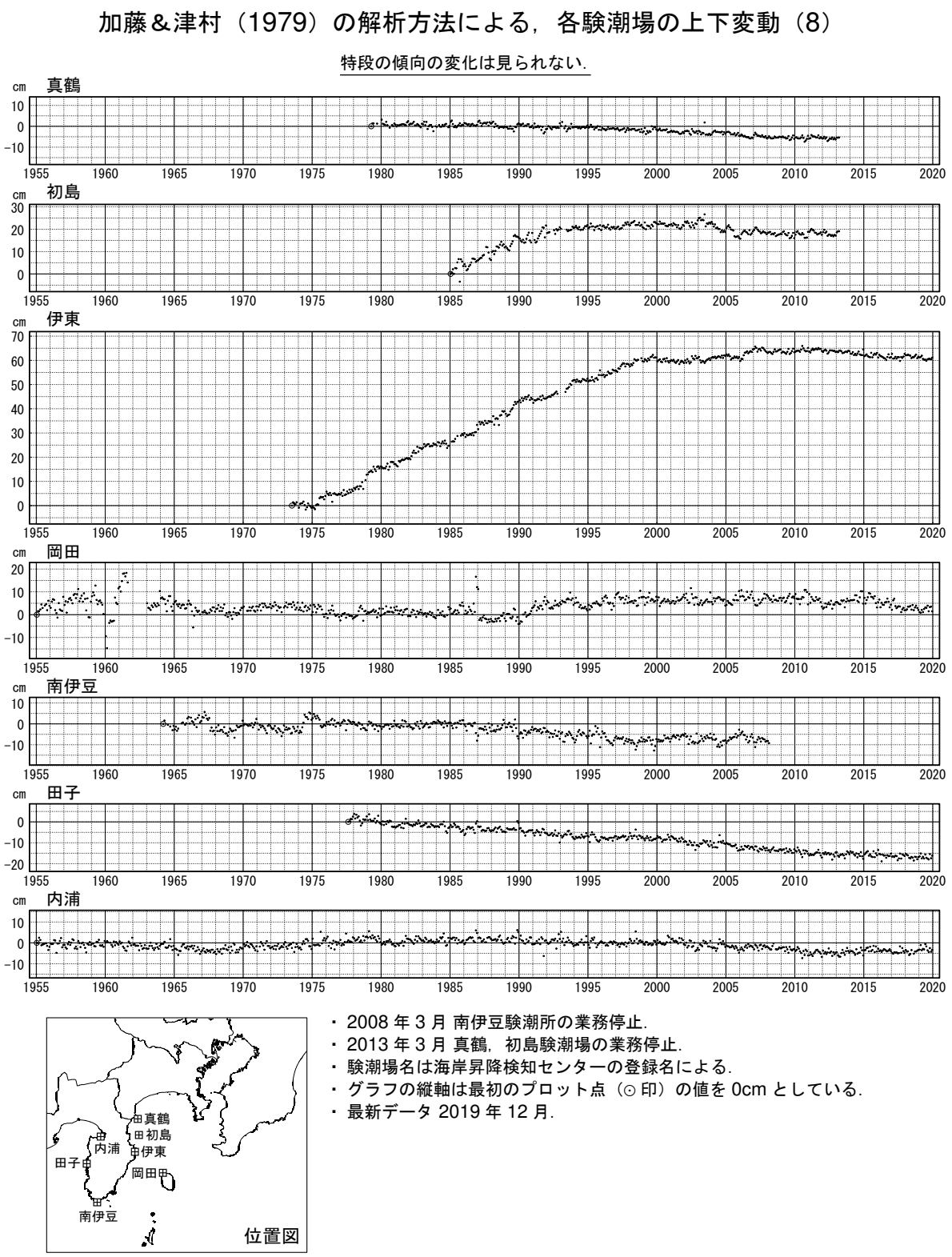
特段の傾向の変化は見られない.



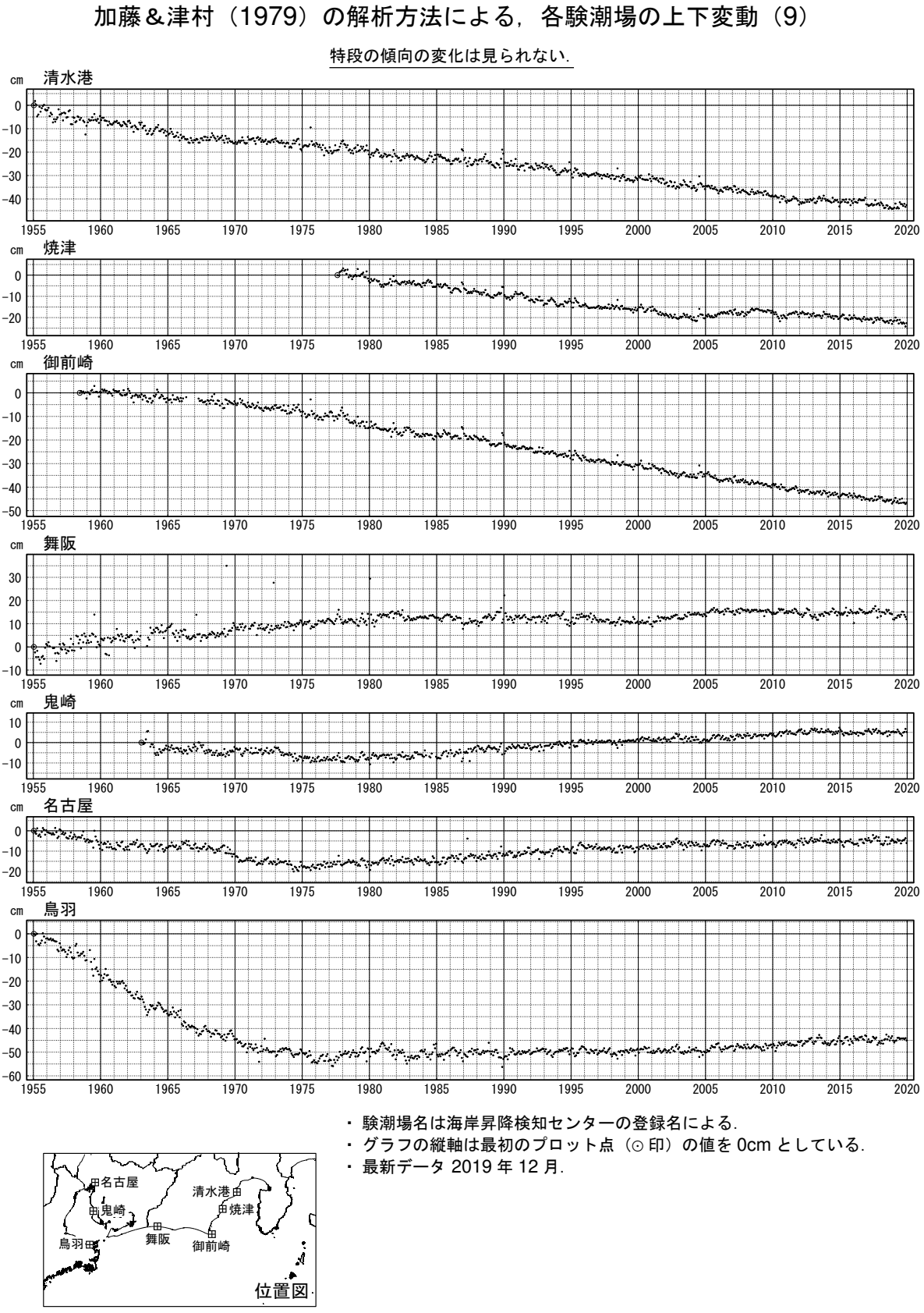


・ 2008 年 3 月 芝浦験潮所の業務停止.
・ 験潮場名は海岸昇降検知センターの登録名による.
・ グラフの縦軸は最初のプロット点（⊙ 印）の値を 0cm としている.
・ 最新データ 2019 年 12 月.

第 20 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動
Fig. 20　Vertical movements of the tide stations derived with the method by Kato and Tsumura (1979).



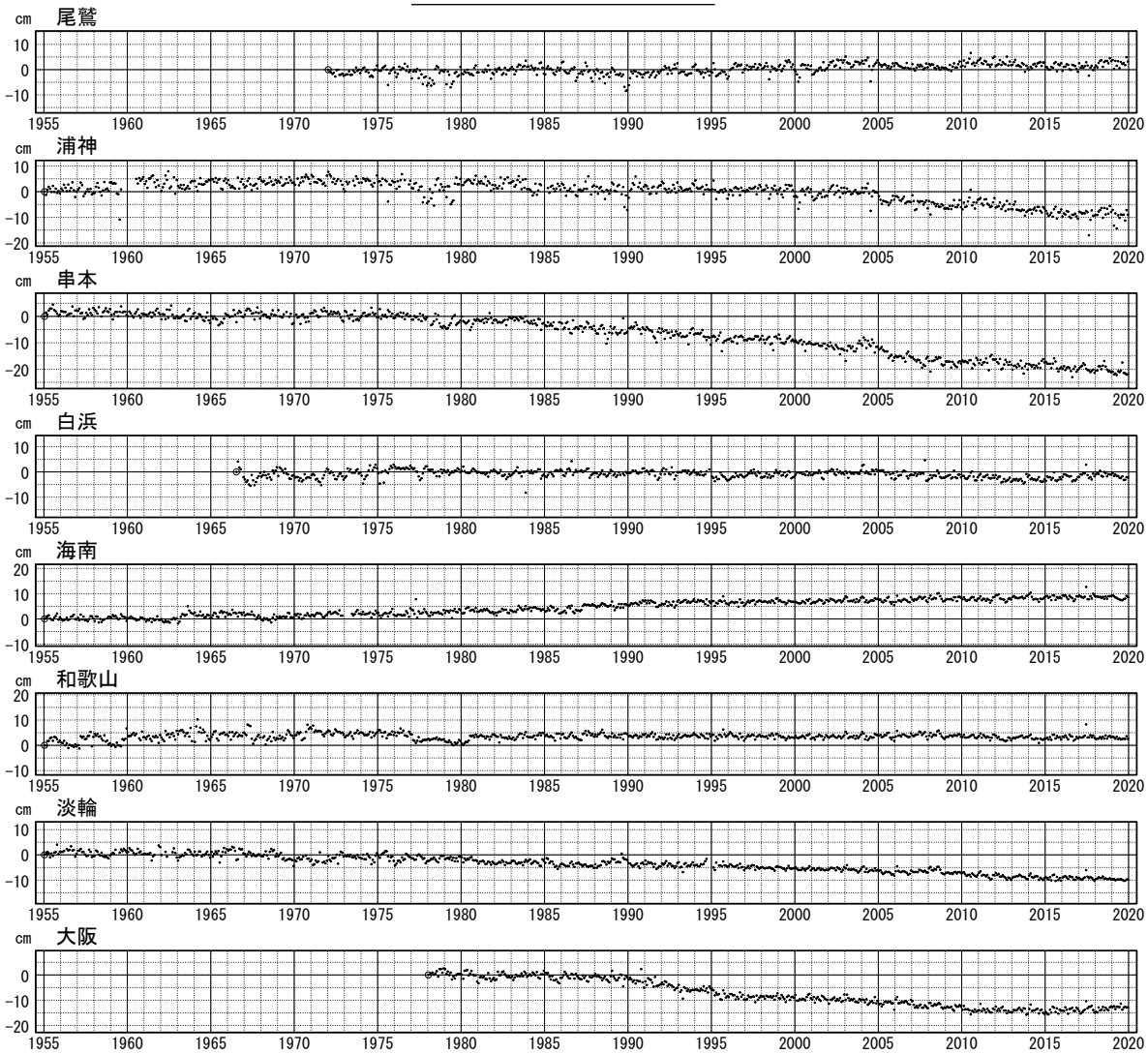
第 21 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動
Fig. 21　Vertical movements of the tide stations derived with the method by Kato and Tsumura (1979).

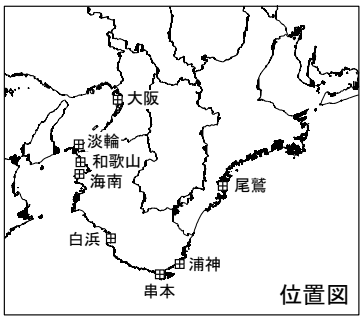


第 22 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動
Fig. 22　Vertical movements of the tide stations derived with the method by Kato and Tsumura (1979).

加藤＆津村（1979）の解析方法による，各験潮場の上下変動（10）

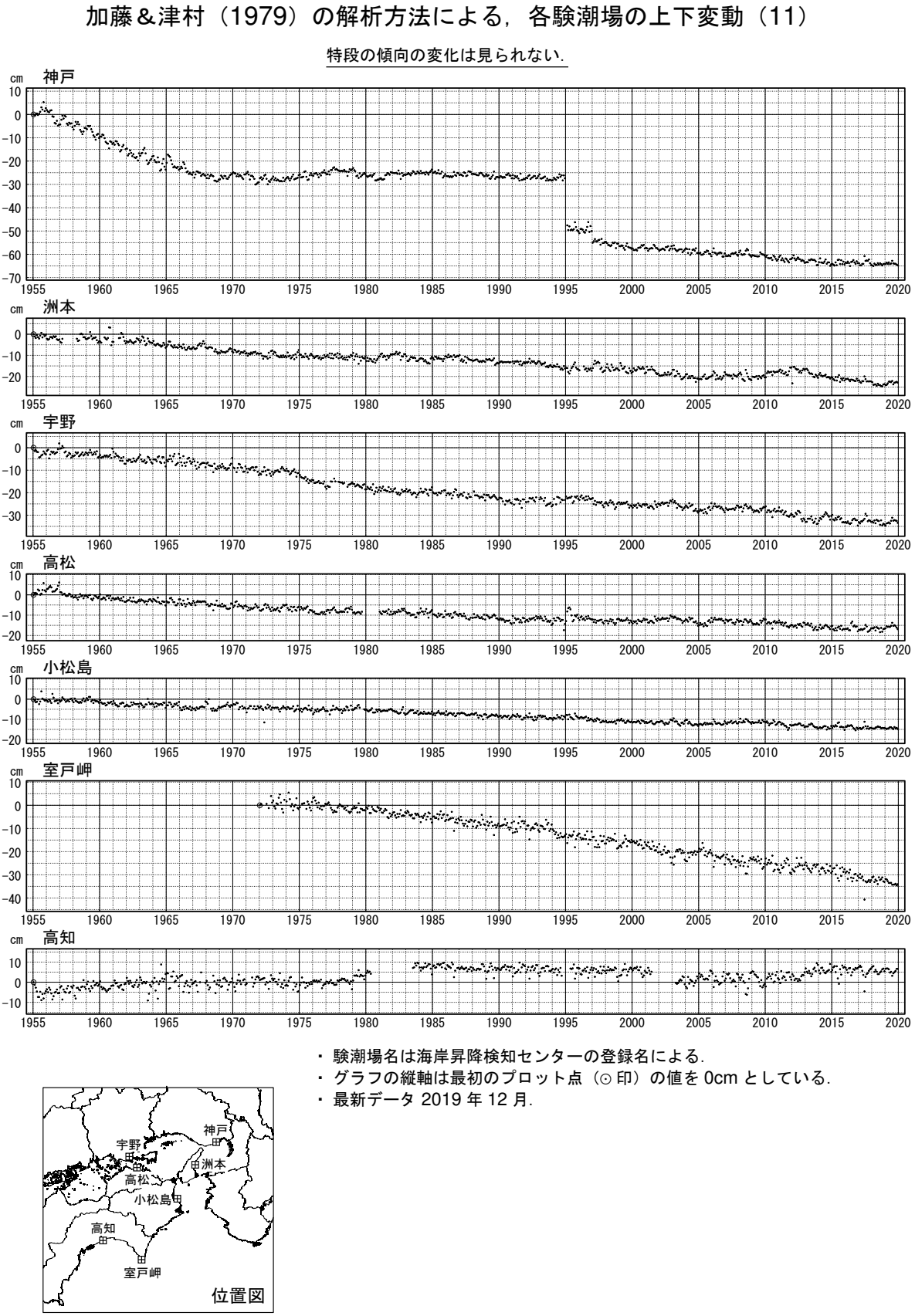
特段の傾向の変化は見られない.





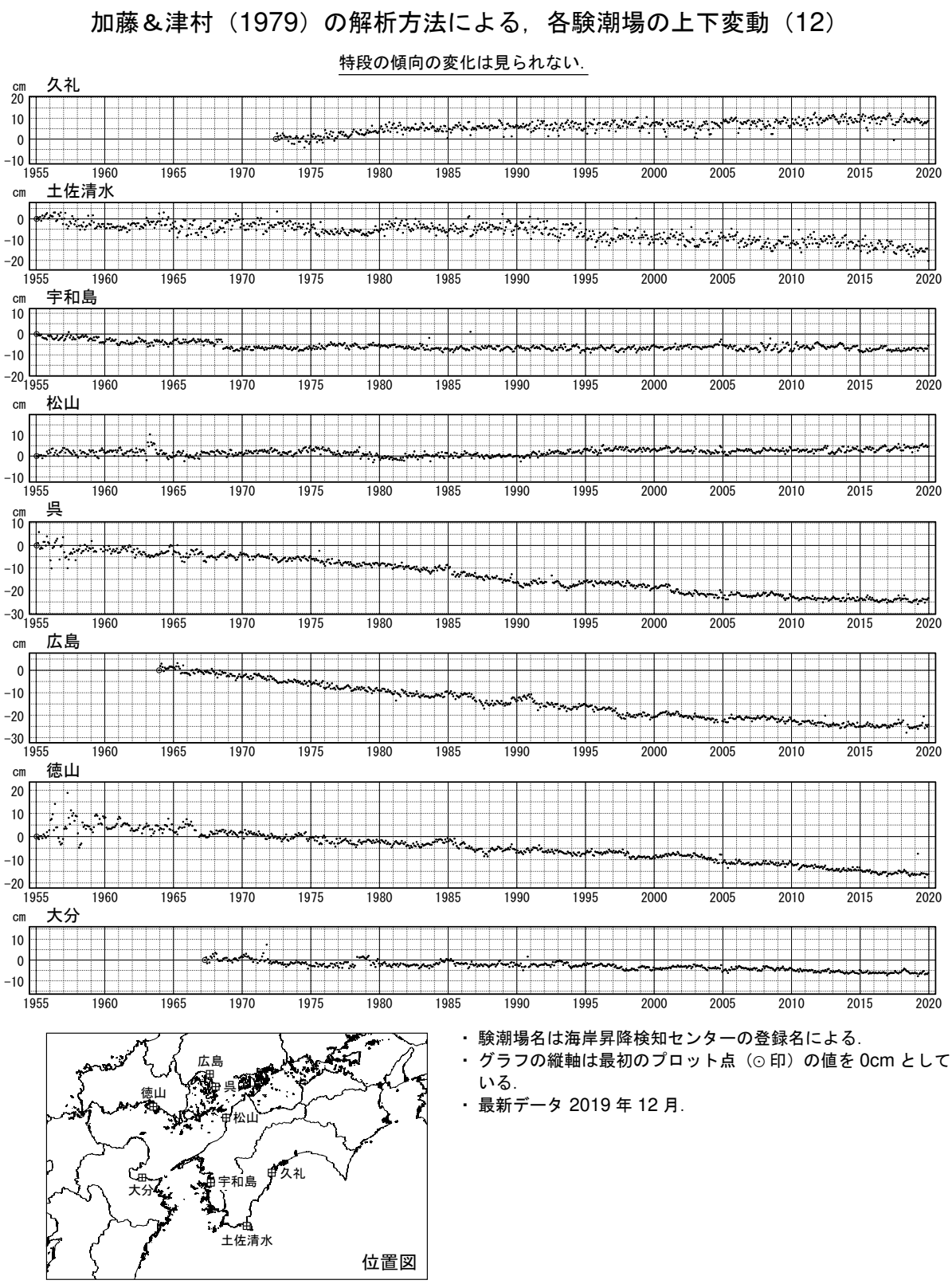
・ 験潮場名は海岸昇降検知センターの登録名による.
・ グラフの縦軸は最初のプロット点（⊙ 印）の値を 0cm としている.
・ 最新データ 2019 年 12 月.

第 23 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動
Fig. 23　Vertical movements of the tide stations derived with the method by Kato and Tsumura (1979).

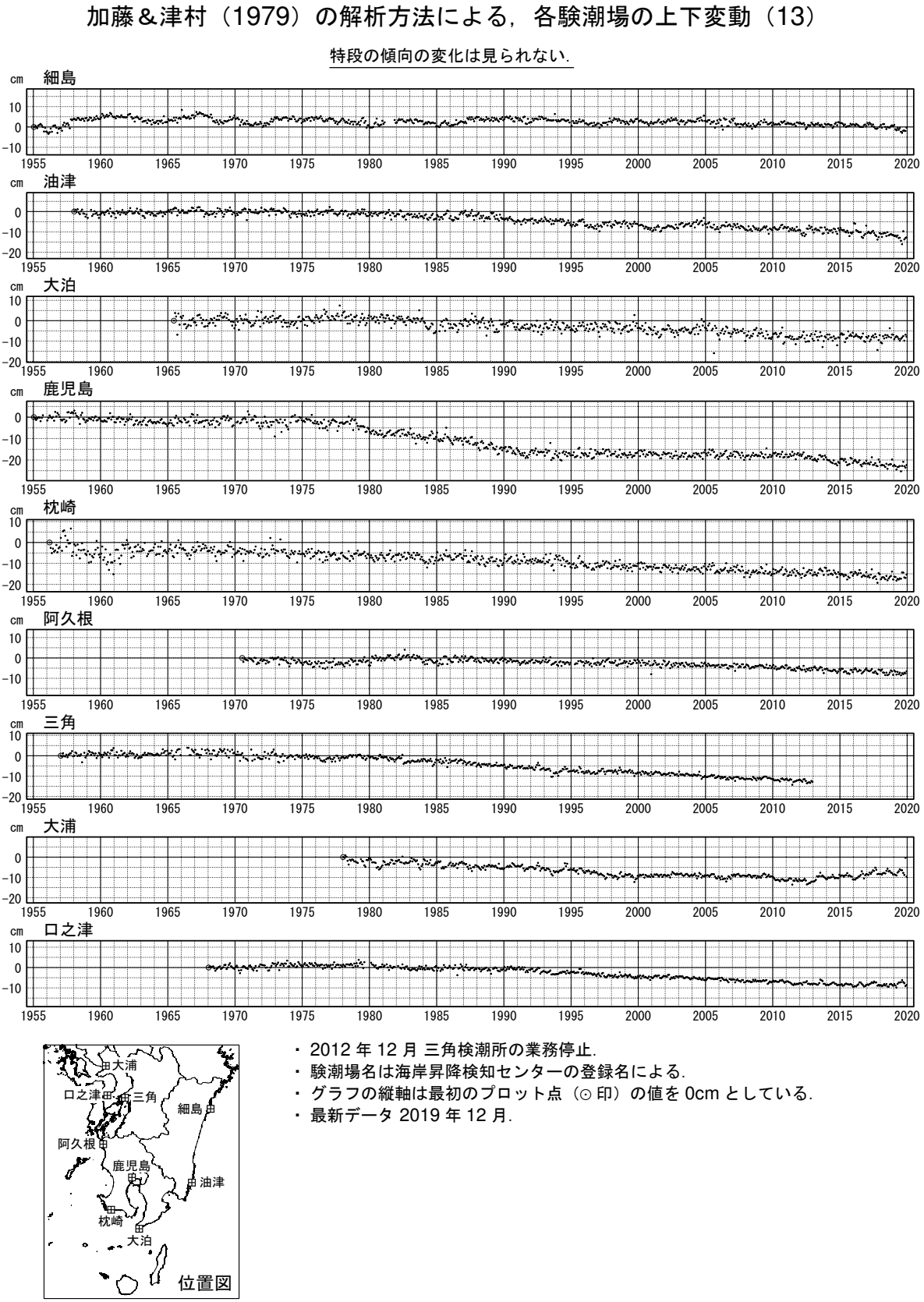


第 24 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動

Fig. 24　Vertical movements of the tide stations derived with the method by Kato and Tsumura (1979).



第 25 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動
Fig. 25　Vertical movements of the tide stations derived with the method by Kato and Tsumura (1979).



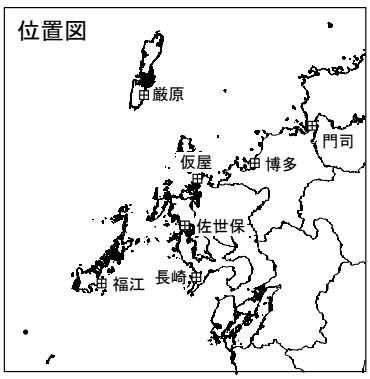
・ 2012 年 12 月 三角検潮所の業務停止.
・ 験潮場名は海岸昇降検知センターの登録名による.
・ グラフの縦軸は最初のプロット点（⊙ 印）の値を 0cm としている.
・ 最新データ 2019 年 12 月.

第 26 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動
Fig. 26　Vertical movements of the tide stations derived with the method by Kato and Tsumura (1979).

加藤＆津村（1979）の解析方法による，各験潮場の上下変動（14）

特段の傾向の変化は見られない.





・ 2008 年 3 月 門司験潮所の業務停止.
・ 験潮場名は海岸昇降検知センターの登録名による.
・ グラフの縦軸は最初のプロット点（⊙ 印）の値を 0cm としている.
・ 最新データ 2019 年 12 月.

第 27 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動
Fig. 27　Vertical movements of the tide stations derived with the method by Kato and Tsumura (1979).

１－４　全国 GNSS 観測点のプレート沈み込み方向の位置変化
Position Change in the plate subduction direction of the nationwide GNSS points

気象庁気象研究所
Meteorological Research Institute, JMA

日本海側の観測点を領域固定 [1] して，太平洋側の GNSS 観測点のプレート沈み込み方向（N65W）の位置変化について確認した．データは国土地理院 GEONET の GNSS 座標値 F3 解を使用した．確認した観測　点と領域固定した観測点の配置を第 1 図に, 位置変化を第 2a 図（東日本）と第 2b 図（西日本）に示す．GNSS 座標値データからは GEONET 観測点のアンテナ交換などに伴うオフセット 2) と主な地震に伴うオフセット，年周・半年周成分を除いた．座標変化からは適当な一次トレンドを差し引いている．主な変化①～⑧について報告する．

①三陸地域

三陸に位置する第 2a 図の地点 F に，2004 年頃を境にしたトレンドの変化が見られる．三陸地域では 1994 年三陸はるか沖地震 (M7.6) の余効変動が顕著であり，2004 年頃まで東西の伸び変化が続いていたと考えられる．

②東北地方南部から関東地方北部

東北地方南部に位置する第 2a 図の地点 H と I に，2003 年頃から南東向き変化が見られる．地点 I では 2008 年頃から変化が加速し，茨城県北部の地点 J でも 2008 年茨城県沖の地震の余効変動が長く続いている．これらの変化は，2011 年東北地方太平洋沖地震の震源域の一部での地震前の非地震性すべりに対応している可能性がある．

③房総地域

房総半島に位置する第 2a 図の地点 L に房総半島沖のスロースリップに伴う変化が見られる．図中の発生時期は 1996 年 5 月，2002 年 10 月，2007 年 8 月，2011 年 10 月，2014 年 1 月，2018 年 6 月である．

④伊豆半島

伊豆半島南部に位置する第 2b 図の地点 N では，2000 年の伊豆諸島北部（三宅・神津）の地震火山活動後も南東向きの変化が継続していた．

⑤東海地域

東海地域に位置する第 2b 図の地点 O に，2000 ～ 2005 年及び 2013 ～ 2016 年に東海地域長期的スロースリップに伴う変化が見られる．2005 ～ 2010 年は 1997 ～ 1999 年と比較してやや南東向きの傾向が見られる．

⑥紀伊水道

紀伊水道付近に位置する第 2b 図の地点に 1996 ～ 1997 年（地点 R と S), 2000 ～ 2002 年（地点 R,

S，T），2014 ～ 2016 年（地点 S）の長期的スロースリップに伴う南東向き変化が見られる．また，地点 S では 2020 年後半から小さな変化が見られる．

⑦四国地域

豊後水道付近に位置する第 2b 図の地点 V に，1997 年，2003 年，2010 年，2019 年の豊後水道長期的スロースリップに伴う変化が見られる．また, 2014 年と 2015 年後半から小さな変化が見られる．

⑧八重山諸島

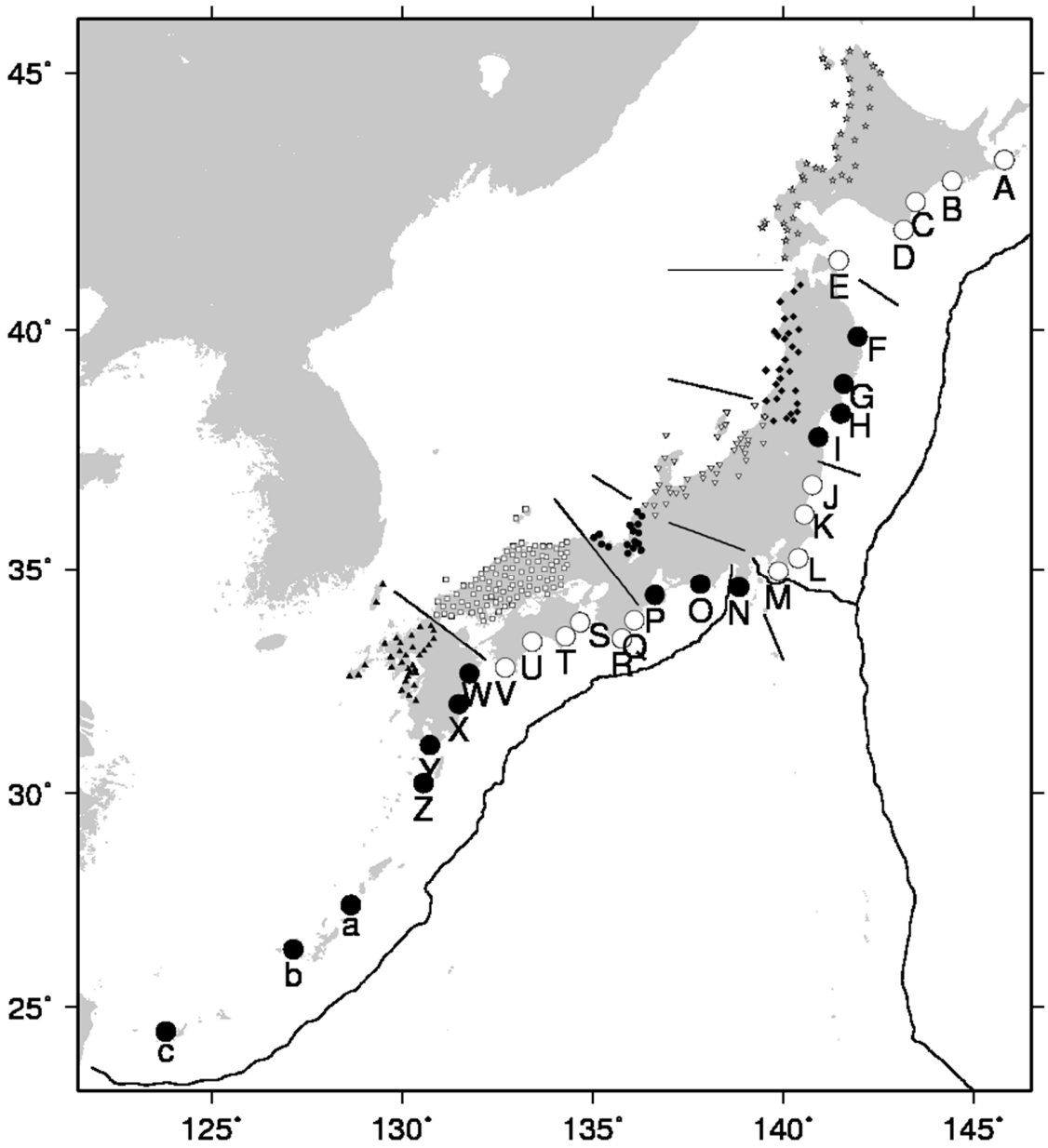
八重山諸島に位置する第 2b 図の地点 c に，約半年周期のスロースリップに伴う変化が見られる．

謝辞

調査には国土地理院 GEONET の GNSS 座標値データ，アンテナ交換等のオフセット量を使用させていただきました．

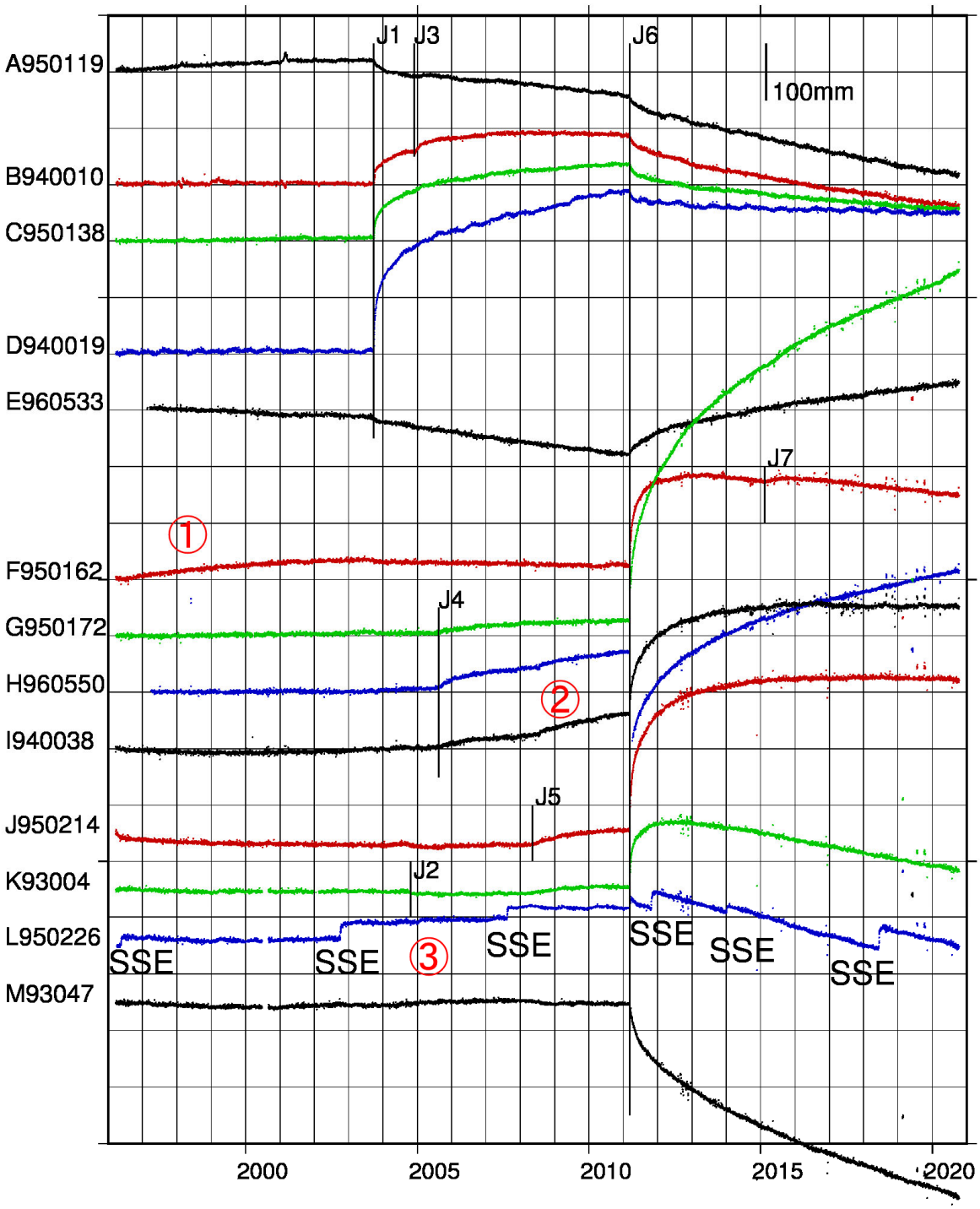
参考文献

1） Kobayashi (2017), *Earth Planets Space*, **69**, 171.
2） 岩下・他（2009），*国土地理院時報*，**118**，23-30.



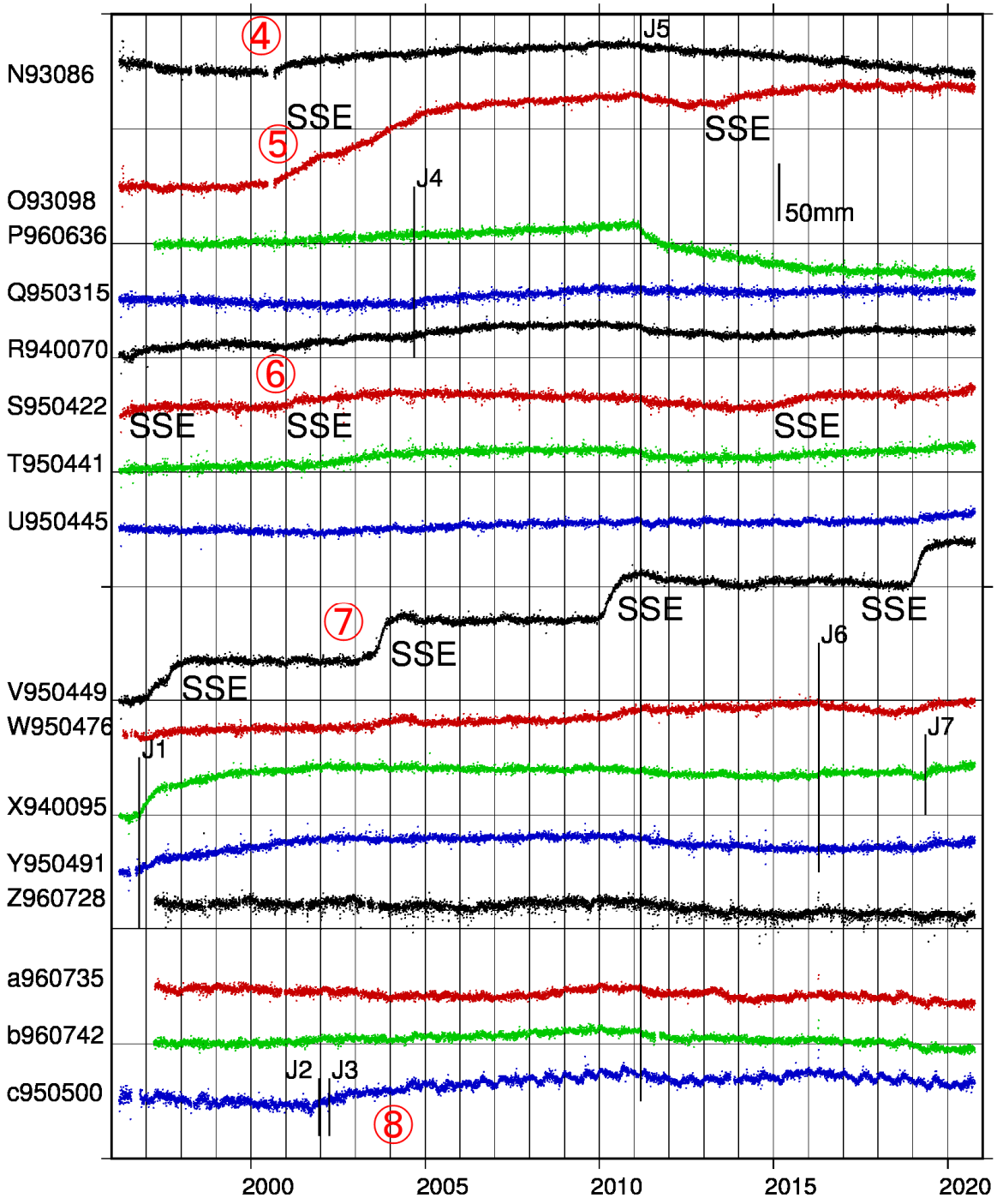
第 1 図　調査対象観測点（A-Z, a-c）と領域固定に用いた観測点
日本海側の記号（☆など）は，直線で区分けされた領域の領域固定に使用した観測点.

Fig. 1　Observation points (A-Z, a-c) and points used for region fixing.



第 2a 図　プレート沈み込み方向の位置変化（東日本；1996 年から 2020 年 10 月）
沈み込みと逆方向が上向き．地点番号は，第 1 図の観測点記号に GEONET 観測点番号を付加したもの．
J1:2003 年十勝沖地震 (M8.0), J2:2004 年新潟県中越地震 (M6.8), J3:2004 年 11 月 29 日釧路沖の地震 (M7.1), J4:2005 年 8 月 16 日宮城県沖の地震 (M7.2)，J5:2008 年 5 月 8 日茨城県沖の地震 (M7.0)，J6:2011 年東北地方太平洋沖地震 (M9.0)，J7:2015 年 2 月 17 日三陸沖の地震 (M6.9).

Fig. 2a　Position Change in the plate subduction direction (eastern Japan).



第 2b 図　プレート沈み込み方向の位置変化（西日本；1996 年から 2020 年 10 月）
沈み込みと逆方向が上向き．地点番号は，第 1 図の観測点記号に GEONET 観測点番号を付加したもの．
J1:1996 年 10 月 19 日日向灘の地震 (M6.9)，J2:2001 年 12 月 18 日与那国島近海 (M7.3)，J3:2002 年 3 月 31 日台湾付近の地震 (M7.2)，J4:2004 年 9 月 5 日三重県南東沖の地震 (M7.4)，J5:2011 年東北地方太平洋沖地震 (M9.0)，J6:2016 年熊本地震 (M7.3)，J7:2019 年 5 月 10 日日向灘の地震 (M6.3)．

Fig. 2b　Position Change in the plate subduction direction (western Japan).

２－１　北海道地方とその周辺の地震活動（2020 年 5 月～ 10 月）
Seismic Activity in and around the Hokkaido District (May – October 2020)

気象庁　札幌管区気象台
Sapporo Regional Headquarters,JMA

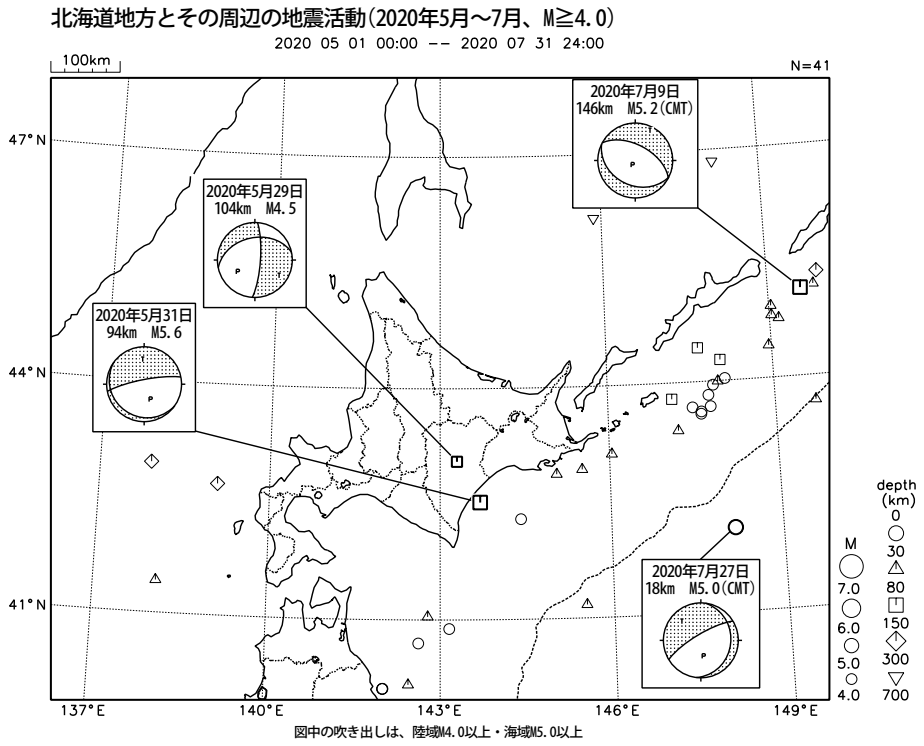
今期間，北海道地方とその周辺で M4.0 以上の地震は 74 回，M5.0 以上は 3 回発生した．このうち最大は，2020 年 5 月 31 日に十勝沖で発生した M5.6 の地震であった．

2020 年 5 月～ 10 月の M4.0 以上の地震の震央分布を第 1 図 (a) 及び (b) に示す．

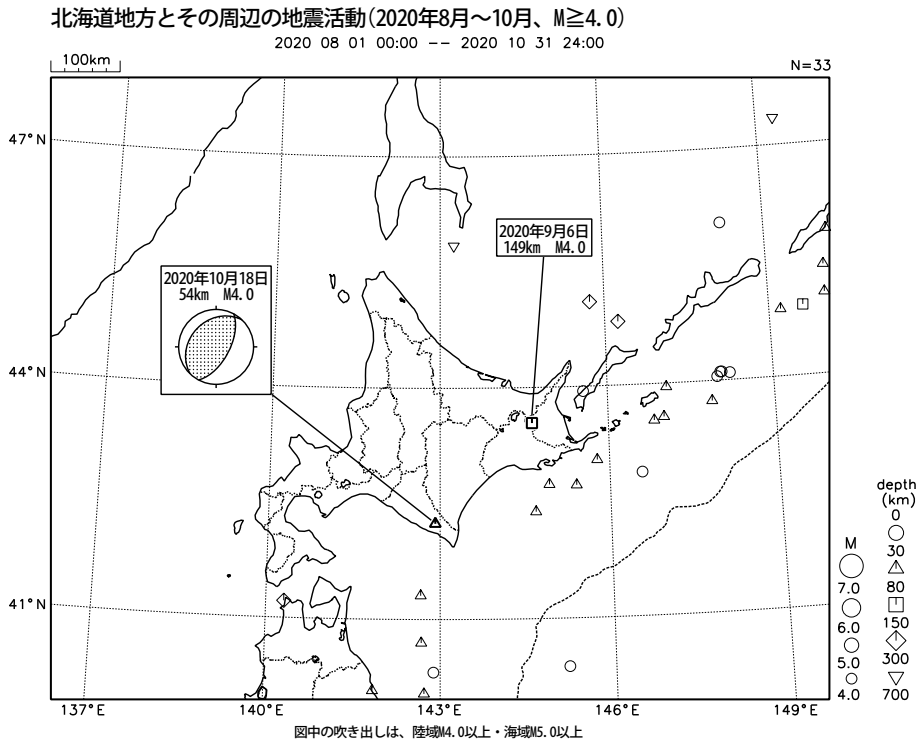
主な地震活動は以下のとおりである．

(1) 十勝沖の地震（M5.6，最大震度 4，第 2 図）

2020 年 5 月 31 日 03 時 13 分に十勝沖の深さ 94km で M5.6 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震は，発震機構が南北方向に張力軸を持つ型で，太平洋プレート内部で発生した．



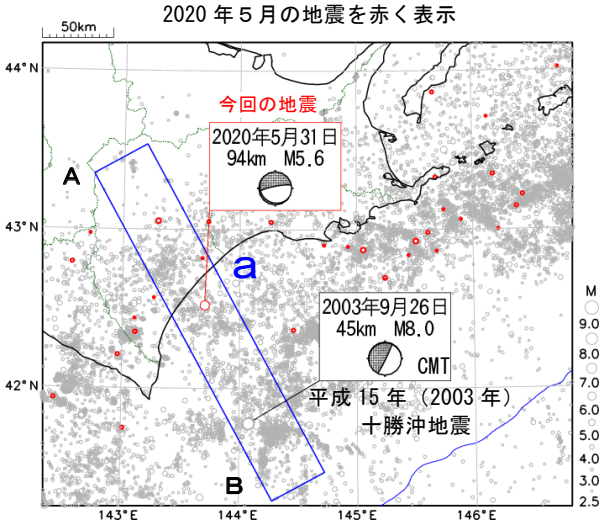
第 1 図 (a)　北海道地方とその周辺の地震活動（2020 年 5 月～ 7 月，M ≧ 4.0，深さ≦ 700km）.
Fig. 1(a)　Seismic activity in and around the Hokkaido district (May – July 2020, M ≧ 4.0, depth ≦ 700km).



第 1 図 (b)　つづき（2020 年 8 月～ 10 月，M ≧ 4.0，深さ≦ 700km）
Fig. 1(b)　Continued (August – October 2020, M ≧ 4.0, depth ≦ 700km).

５月 31 日　十勝沖の地震

震央分布図
（2001 年 10 月１日～2020 年５月 31 日、
深さ０～150km、M≧2.5）
2020 年５月の地震を赤く表示

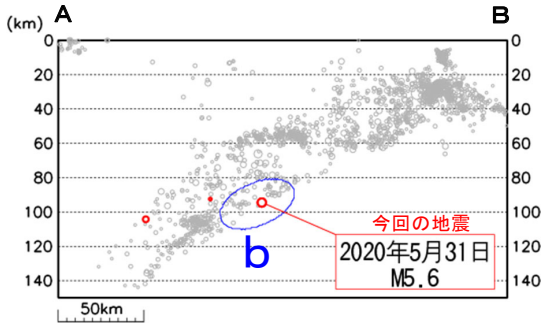


2020年５月31日03時13分に十勝沖の深さ94kmでM5.6の地震（最大震度４）が発生した。この地震は、発震機構が南北方向に張力軸を持つ型で、太平洋プレート内部で発生した。

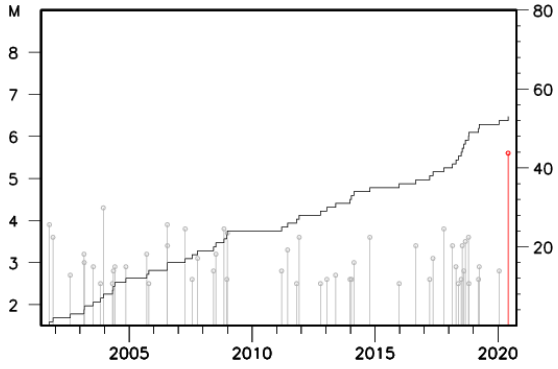
2001年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、M5.0以上の地震が発生したのは初めてである。

1919 年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｃ）では、M6.0 以上の地震がしばしば発生している。2003 年９月 26 日の「平成 15 年（2003 年）十勝沖地震」（M8.0、最大震度６弱）では、十勝港で 255cm の津波を観測するなど、北海道から四国の太平洋沿岸で津波を観測した。この地震により、北海道では行方不明者２人、負傷者 847 人、住家被害 2,065 棟などの被害が生じた（「日本被害地震総覧」による）。

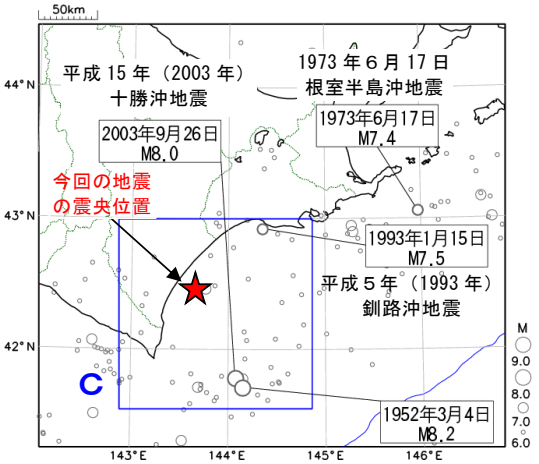
領域ａ内の断面図（Ａ－Ｂ投影）



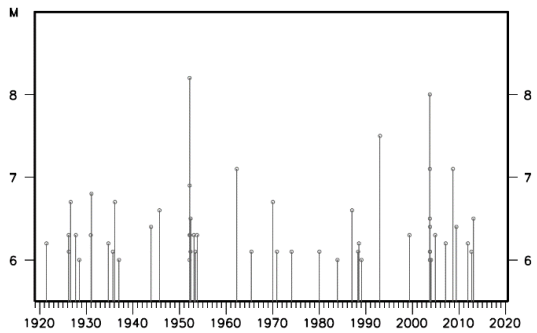
領域ｂ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図



震央分布図
（1919 年１月１日～2020 年５月 31 日、
深さ０～150km、M≧6.0）



領域ｃ内のＭ－Ｔ図



第２図　2020 年５月 31 日　十勝沖の地震
Fig. 2　The earthquake off Tokachi on May. 31, 2020.

２－２　北海道地方の地殻変動
Crustal Deformations in the Hokkaido District

国土地理院
Geospatial Information Authority of Japan

［GNSS　2003 年 9 月 26 日の十勝沖地震以降の地殻変動時系列］

第 1 ～ 4 図は，根室から鹿部にかけての北海道太平洋側における 2003 年十勝沖地震（M8.0）後及び 2011 年東北地方太平洋沖地震（M9.0）後の余効変動の推移を示す時系列グラフである．第 1 図に観測点の配置と，アンテナ交換等の保守の履歴を示す.

第 2 ～ 4 図は，北海道の猿払観測点を固定局として，定常状態にあると仮定した 1997 年 10 月～ 2002 年 10 月の期間について推定された 1 次トレンド成分を，各基線の地殻変動時系列から除去した時系列グラフである．2003 年 9 月 26 日の十勝沖地震と 2004 年 11 月 29 日の釧路沖の地震（M7.1）の余効変動が地震直後に始まり，減衰しながらも長期にわたって続いた様子を見ることができる．（7）～（10）の水平成分には，2008 年 9 月 11 日の十勝沖の地震（M7.1）及び 2009 年 6 月 5 日の十勝沖の地震（M6.4）による地殻変動とその余効変動も見られる．2003 年・2008 年・2009 年の地震の余効変動を見分けるのは難しいが，全体としては，余効変動は着実に減衰傾向にあった．ただし，十勝地方から釧路にかけての地域（5）～（8）の上下変動は，十勝沖地震以前の沈降に対する相対的な隆起傾向が，少なくとも，2011 年の東北地方太平洋沖地震の直前まで継続していた．2011 年以降は, 2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震による跳びとその後の余効変動が見られる．（7）～（12）では東北地方太平洋沖地震以後に地震前の変化に対する相対的な隆起傾向が見られていたが，最近では鈍化している．（9）では，2016 年 1 月 14 日に発生した浦河沖の地震（M6.7）による地殻変動，（11）では 2018 年 9 月の北海道胆振東部地震による地殻変動が見られる．

［水準測量　富良野市～浦幌町］

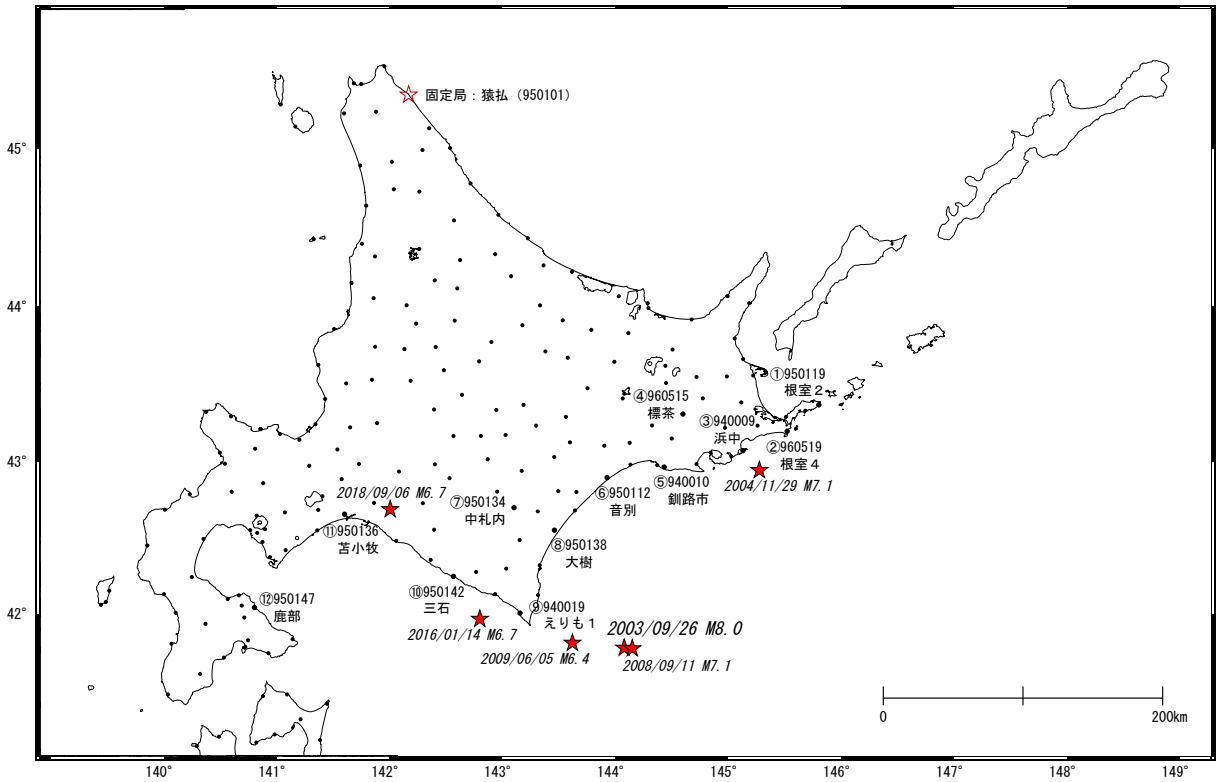
第 5 図は，富良野市から帯広市を経由して浦幌町に至る路線の水準測量結果である．富良野市側に対する浦幌町側の隆起が見られる．

［水準測量　釧路市～広尾町］

第 6 図は，釧路市から広尾町に至る路線の水準測量結果である．釧路市側に対する広尾町側の隆起が見られる．

北海道太平洋岸　ＧＮＳＳ連続観測時系列（1）

配点図



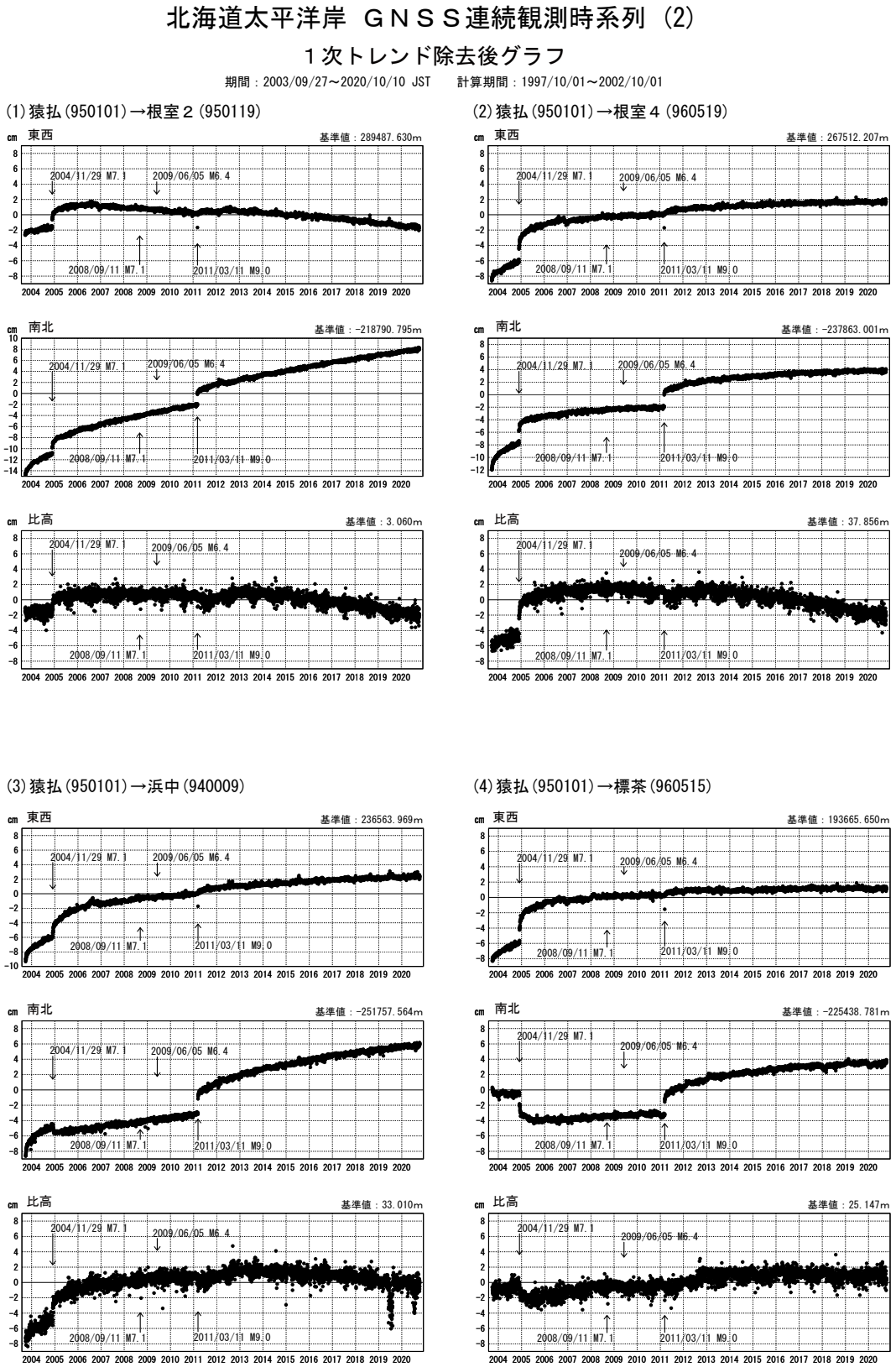
各観測局情報

点番号	点　名	日　付	保守内容
950119	根室2	2012/01/26	アンテナ更新
		2019/02/20	受信機交換
960519	根室4	2009/12/22	レドーム開閉
		2012/10/03	アンテナ更新
940009	浜中	2012/10/04	アンテナ更新
960515	標茶	2003/10/03	凍上対策
		2009/12/23	レドーム開閉
		2012/11/13	アンテナ更新
940010	釧路市	2003/11/07	凍上対策
		2010/12/14	レドーム開閉
		2012/09/26	アンテナ更新
950112	音別	2012/02/14	アンテナ更新
		2017/06/07	アンテナ交換
		2019/02/18	受信機交換
950134	中札内	2009/11/08	周辺伐採
		2010/06/08	周辺伐採
		2010/12/05	レドーム開閉
		2012/11/07	アンテナ更新

点番号	点　名	日　付	保守内容
950138	大樹	2012/01/17	アンテナ更新
		2016/02/17	アンテナ交換
		2018/02/19	受信機交換
		2019/02/06	受信機交換
940019	えりも1	2010/12/16	レドーム開閉
		2012/11/08	アンテナ更新
		2017/01/27	アンテナ交換
950142	三石	2012/02/17	アンテナ更新
		2019/02/05	受信機交換
950136	苫小牧	2012/08/22	アンテナ更新
		2014/11/12	アンテナ交換
		2015/06/16	周辺伐採
950147	鹿部	2012/08/28	アンテナ更新
		2017/11/22	受信機交換
950101	猿払	2012/02/10	アンテナ更新
		2019/02/13	受信機交換

第 1 図　北海道地方東部・太平洋岸における GNSS 連続観測結果（観測点配置図・保守状況）

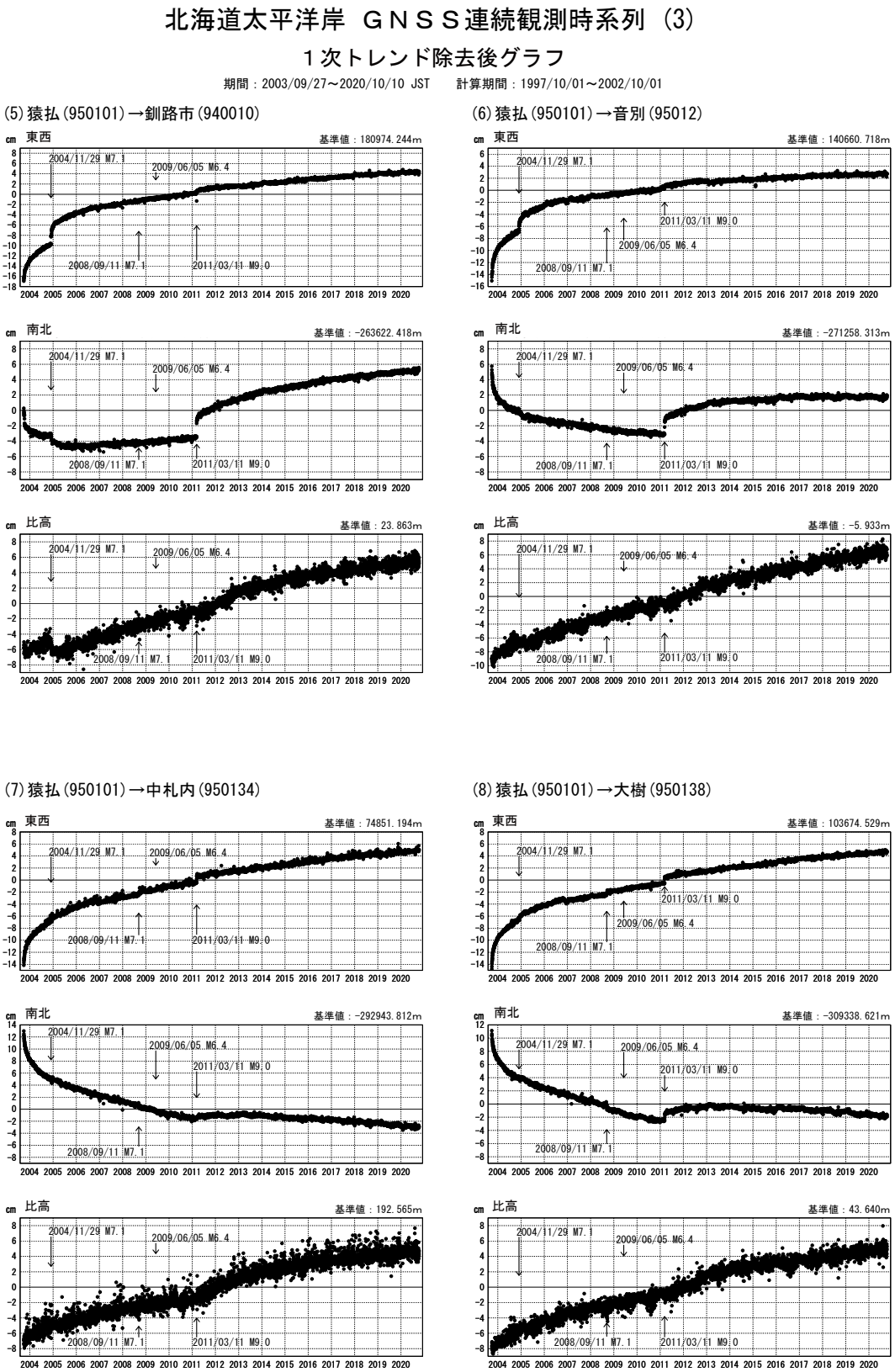
Fig. 1　Results of continuous GNSS measurements along the eastern region and the Pacific coast of Hokkaido (Site location map and maintenance history).



●----[F3:最終解]

第 2 図　北海道地方東部・太平洋岸における GNSS 連続観測結果：固定点猿払に対するトレンド成分を除去した時系列

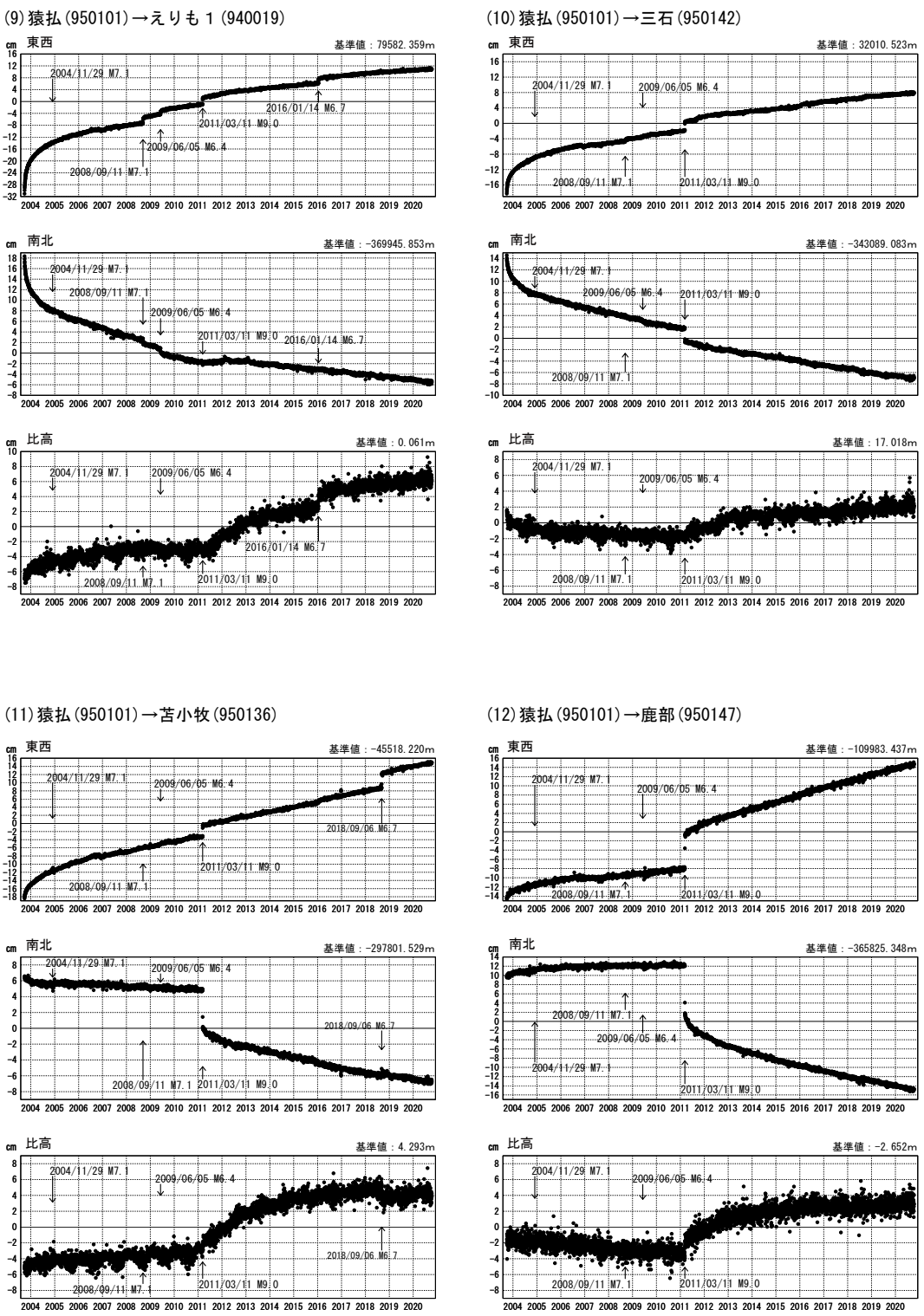
Fig. 2　Results of continuous GNSS measurements along the eastern region and the Pacific coast of Hokkaido: (detrended time series relative to the Sarufutsu station) (1/3).



●---[F3:最終解]

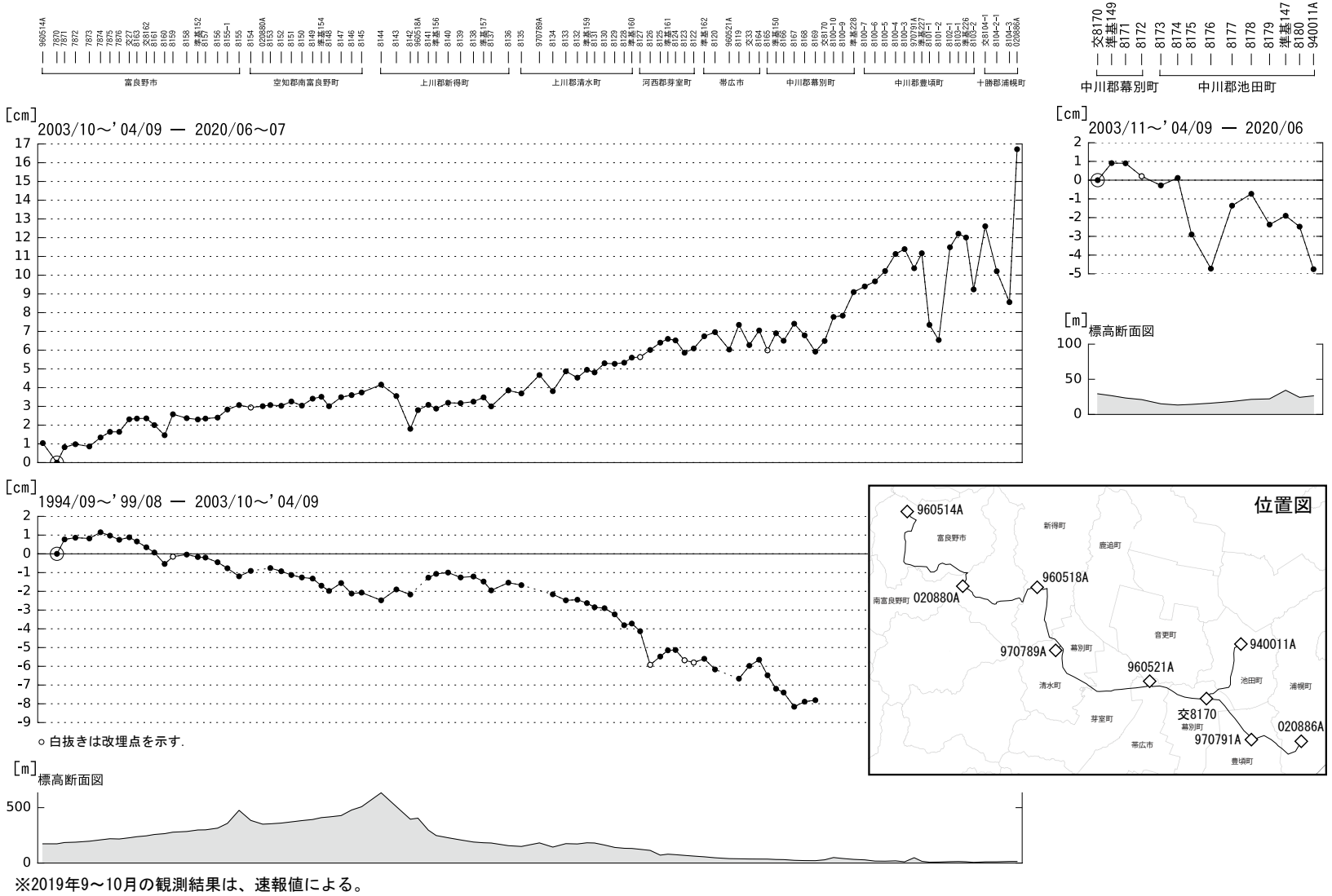
第 3 図　北海道地方東部・太平洋岸における GNSS 連続観測結果：固定点猿払に対するトレンド成分を除去した時系列

Fig. 3　Results of continuous GNSS measurements along the eastern region and the Pacific coast of Hokkaido: (detrended time series relative to the Sarufutsu station) (2/3).



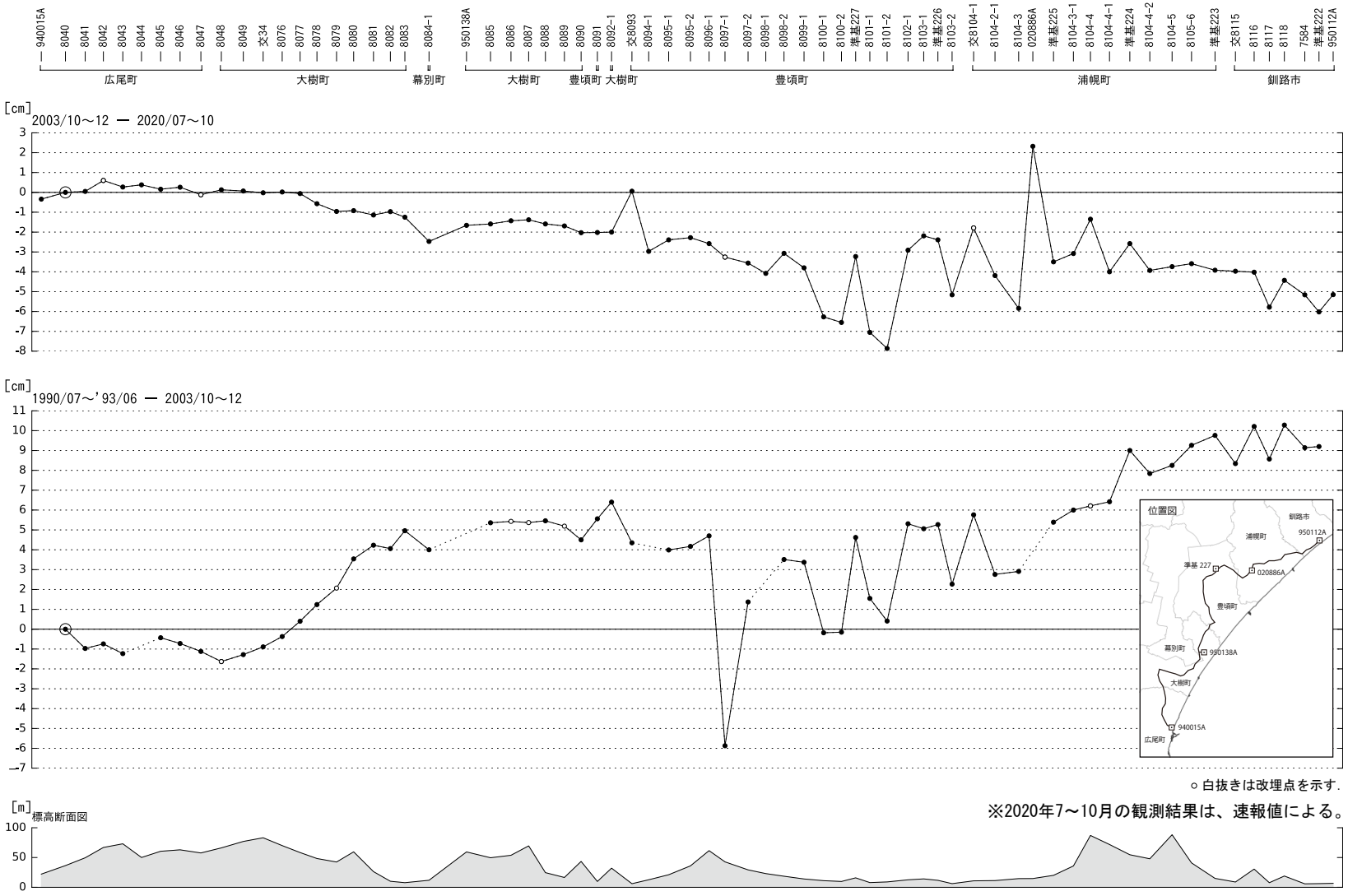
第 4 図　北海道地方東部・太平洋岸における GNSS 連続観測結果：固定点猿払に対するトレンド成分を除去した時系列

Fig. 4　Results of continuous GNSS measurements along the eastern region and the Pacific coast of Hokkaido: (detrended time series relative to the Sarufutsu station) (3/3).



第 5 図　水準測量による富良野市～浦幌町間の上下変動

Fig. 5　Results of leveling survey along the leveling route from Furano city to Urahoro town.



第 6 図　水準測量による釧路市～広尾町間の上下変動

Fig. 6　Results of leveling survey along the leveling route from Kushiro city to Hiroo town.

３－１　東北地方とその周辺の地震活動（2020 年 5 月～ 10 月）
Seismic Activity in and around the Tohoku District (May – October 2020)

気象庁　仙台管区気象台
Sendai Regional Headquarters, JMA

今期間，東北地方とその周辺で M4.0 以上の地震は 82 回，M5.0 以上の地震は 7 回発生した．このうち最大は，2020 年 9 月 12 日に宮城県沖で発生した M6.2 の地震であった．

2020 年 5 月～ 10 月の M4.0 以上の地震の震央分布を第 1 図 (a) 及び (b) に示す．

主な地震活動は以下のとおりである．

(1)「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」の余震活動（第 2 図）

2020 年 5 月から 10 月の間に，2011 年 3 月 11 日に発生した「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」(M9.0, 最大震度 7, 以下「東北地方太平洋沖地震」と呼ぶ）の余震域（図中の領域 a）では，M5.0 以上の地震は 12 回，M5.5 以上の地震は 5 回発生した．また，震度 4 以上を観測する地震は 8 回発生した．

余震は次第に少なくなってきているものの，本震発生以前に比べて地震回数の多い状態が続いている．

なお，以下（2）～（5）で記述している地震は，第 2 図中の領域 a 内で発生した．

(2) 宮城県沖の地震（M5.2，最大震度 4，第 3 図）

2020 年 5 月 18 日 12 時 00 分に宮城県沖の深さ 51km で M5.2 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震は，発震機構（CMT 解）が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で，太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した．この地震の震央付近では，複数の相似地震グループが存在しており，今回の地震も相似地震のひとつとして検出された．

(3) 福島県沖の地震（M5.4，最大震度 4，第 4 図）

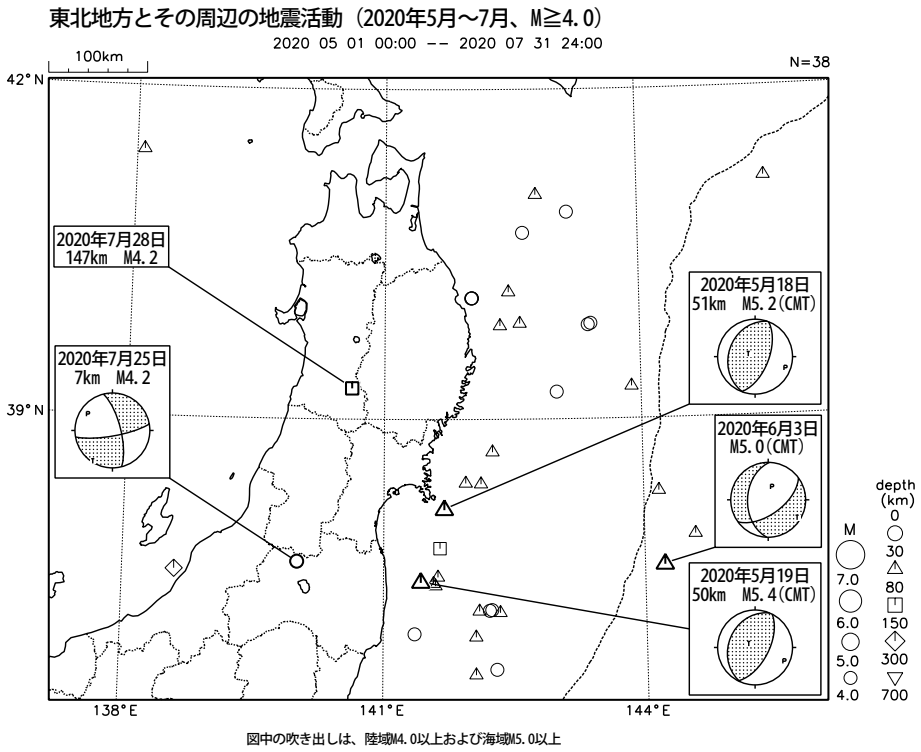
2020 年 5 月 19 日 12 時 17 分に福島県沖の深さ 50km で M5.4 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震は，発震機構（CMT 解）が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で，太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した．この地震は，2011 年 4 月 22 日の地震（M5.6，最大震度 4）とともに新たな相似地震グループとして検出された．

(4) 宮城県沖の地震（M6.2，最大震度 4，第 5 図）

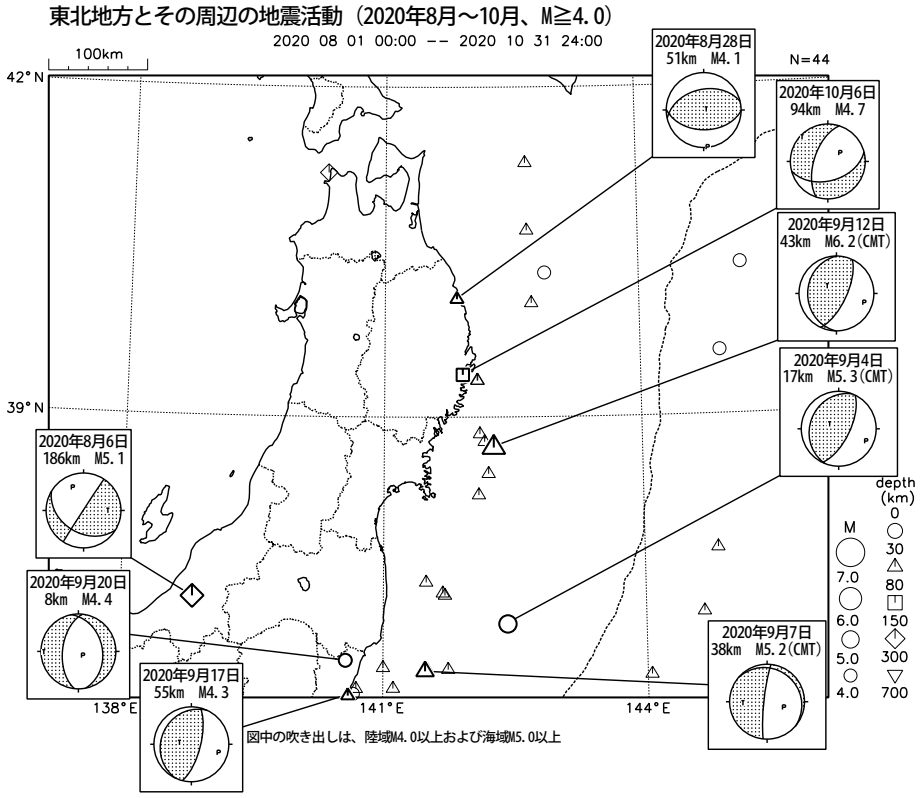
2020 年 9 月 12 日 11 時 44 分に宮城県沖の深さ 43km で M6.2 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震は，発震機構（CMT 解）が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で，太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した．このほか，この地震の震源付近では直前の同日 11 時 13 分に M4.0（最大震度 1），その後同日 11 時 50 分に M4.9（最大震度 3）の地震が発生するなど，9 月 30 日までに震度 1 以上を観測する地震が 13 回発生した．

（5）その他の地震活動

発生年月日	震央地名	規模 (M)	深さ (km)	最大震度	
2020 年					
10 月 6 日	岩手県沿岸南部	4.7	94	3	（第 6 図）



第 1 図 (a)　東北地方とその周辺の地震活動（2020 年 5 月～ 7 月，M ≧ 4.0，深さ≦ 700km）
Fig. 1(a)　Seismic activity in and around the Tohoku district (May – July 2020, M ≧ 4.0, depth ≦ 700km).



第 1 図 (b)　つづき（2020 年 8 月～ 10 月，M ≧ 4.0，深さ≦ 700km）
Fig. 1(b)　Continued (August – October 2020, M ≧ 4.0, depth ≦ 700km).

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の余震活動

2020 年５月から 2020 年 10 月の間に、領域ａ（「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」の余震域）で M5.0 以上の地震は 12 回発生した。また、最大震度４以上を観測する地震は８回発生した。

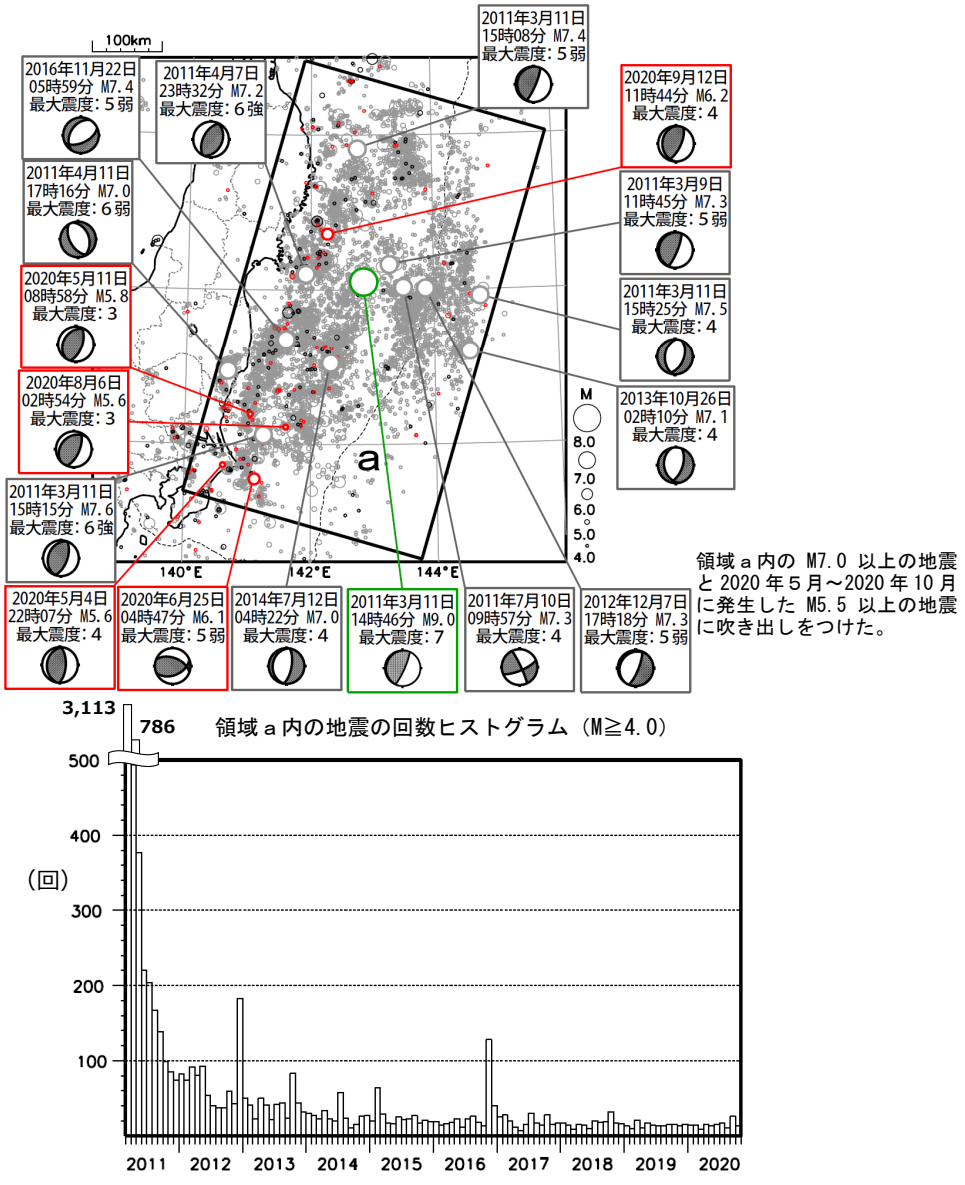
2011 年３月 11 日に発生した「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」の余震活動は次第に少なくなってきているものの、本震発生以前に比べ活発な地震活動が継続している。

領域ａで 2020 年５月から 2020 年 10 月の間に発生した M5.5 以上の地震は以下のとおり。

2020年５月から2020年10月の間に領域ａ内で発生したM5.5以上の地震

発生日時		震央地名	M	Mw	最大震度	発震機構（CMT解）
05月04日	22時07分	千葉県北東部	5.6	5.6	4	東西方向に圧力軸を持つ逆断層型
05月11日	8時58分	茨城県沖	5.8	5.8	3	西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型
06月25日	4時47分	千葉県東方沖	6.1	6.0	5弱	南北方向に圧力軸を持つ逆断層型
08月06日	2時54分	茨城県沖	5.6	5.4	3	西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型
09月12日	11時44分	宮城県沖	6.2	6.1	4	西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型

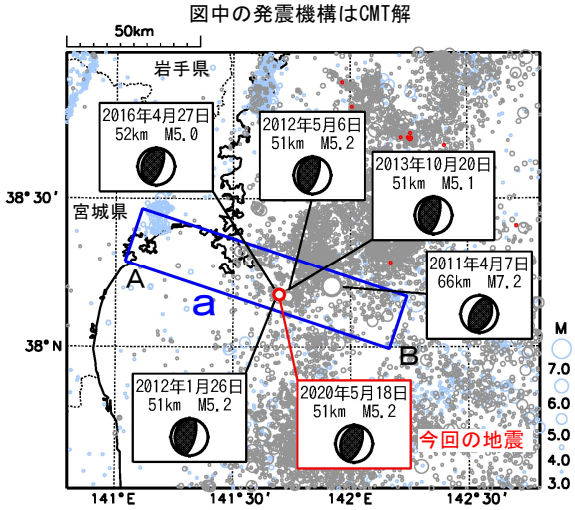
震央分布図
（2011 年３月１日～2020 年 10 月 31 日、深さすべて、M≧4.0）
2011 年３月からの地震を薄く、2019 年５月から 2020 年４月の地震を濃く、2020 年５月以降の地震を赤く表示。発震機構は CMT 解。



第 2 図　「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」の余震活動（2020 年 5 月～ 10 月）
Fig. 2　Seismic activity of aftershocks of The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (May – October 2020).

５月18日　宮城県沖の地震

震央分布図
（1997年10月１日～2020年５月31日、
深さ０～100km、M≧3.0）
2011年３月10日以前に発生した地震を青色○、
2011年３月11日以降に発生した地震を灰色○、
2020年５月に発生した地震を赤色○で表示
図中の発震機構はCMT解

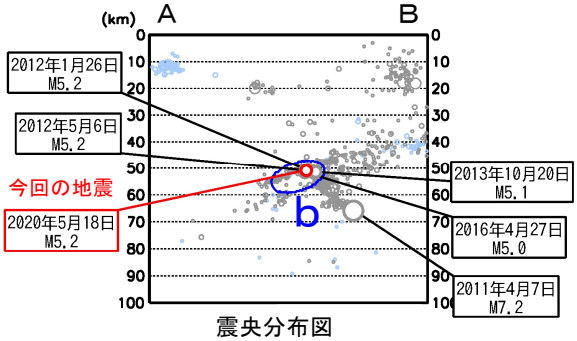


2020年５月18日12時00分に宮城県沖の深さ51kmでM5.2の地震（最大震度４）が発生した。この地震は、発震機構（CMT解）が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した。

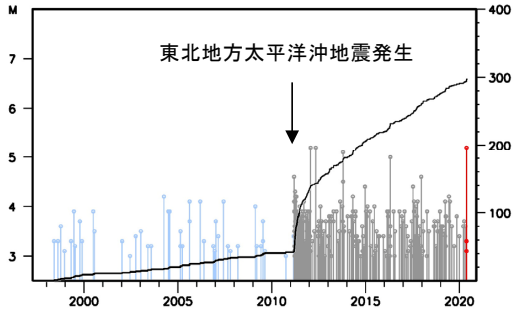
1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」（以下、東北地方太平洋沖地震）以前はM5.0以上の地震は発生していなかったが、東北地方太平洋沖地震の発生以降は地震活動が活発になり、M5.0以上の地震が時々発生している。

1919年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｃ）では、「1978年宮城県沖地震」（M7.4、最大震度５）が発生し、死者28人、負傷者1,325人、住家全壊1,183棟等の被害が生じる（「日本被害地震総覧」による）など、M7.0以上の地震が７回発生している。

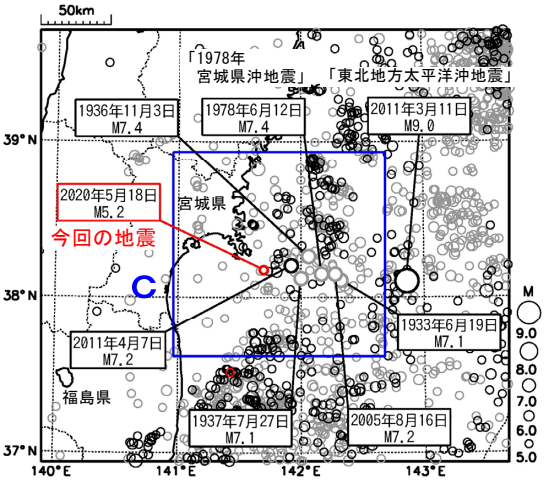
領域ａ内の断面図（Ａ－Ｂ投影）



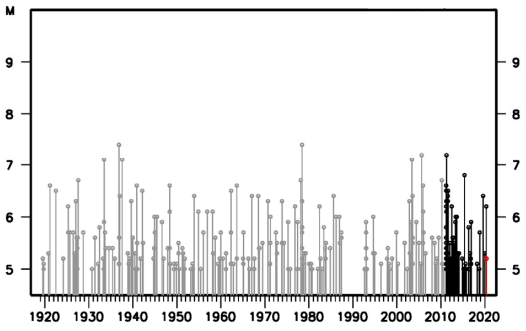
領域ｂ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図



震央分布図
（1919年１月１日～2020年５月31日、
深さ０～100km、M≧5.0）
2011年３月10日以前に発生した地震を灰色○、
2011年３月11日以降に発生した地震を黒色○、
2020年５月に発生した地震を赤色○で表示

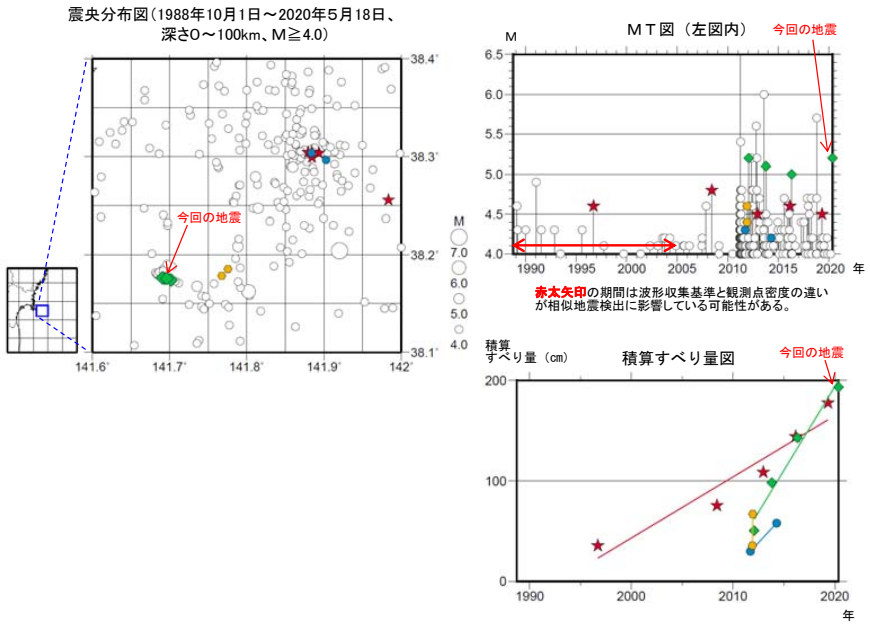


領域ｃ内のＭ－Ｔ図



第 3 図 (a)　2020 年 5 月 18 日　宮城県沖の地震
Fig. 3(a)　The earthquake off Miyagi Prefecture on May 18, 2020.

５月18日　宮城県沖の地震（相似地震）



2020年５月18日の宮城県沖の地震（M5.2、最大震度４）について強震波形による相関解析を行った結果、既往相似地震グループの最新の地震として検出された（上図の◆：今回を含めM5.0～5.2の４地震）※。

※　各観測点の波形の比較で得られたコヒーレンスの中央値が0.95以上の場合、相似地震として検出している。また、相似地震のグループ分けはコヒーレンスを用いて機械的に行っている。

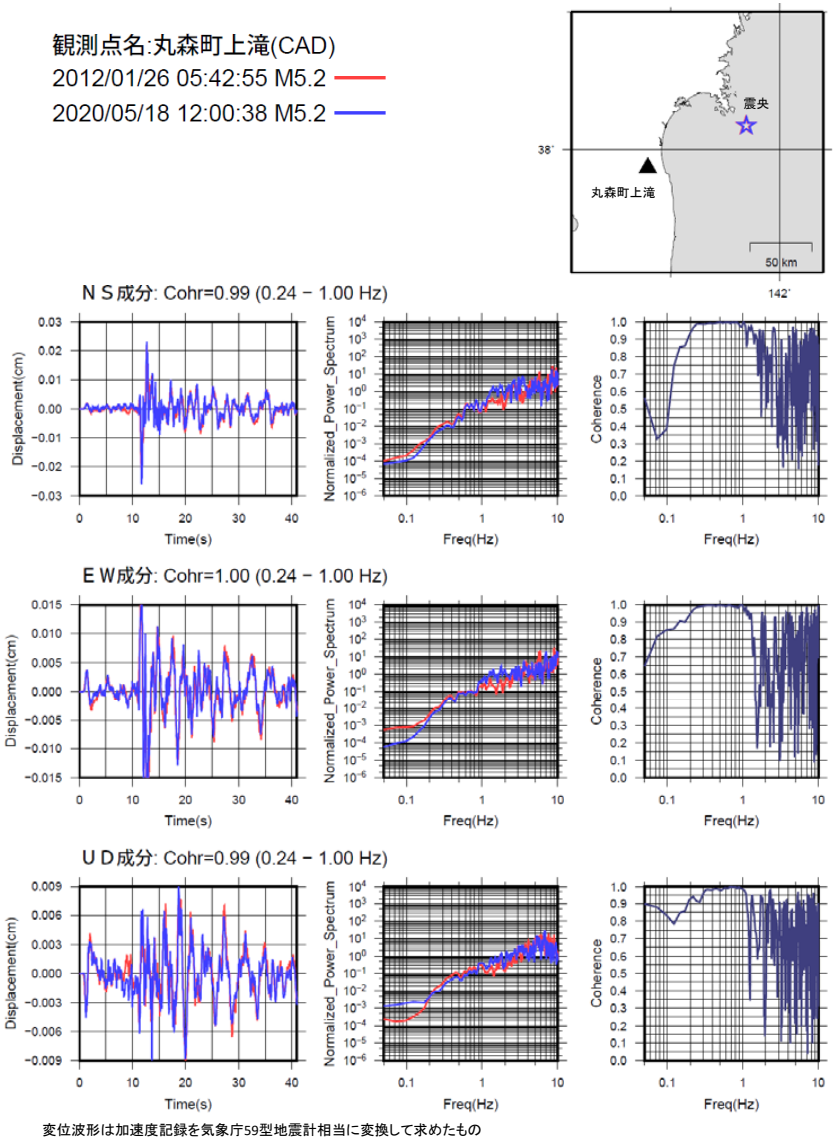
溜渕功史・中村雅基・山田安之（2014）：全国を対象とした客観的な相似地震の抽出, 気象研究所技術報告, 72, 5-16.

●推定年平均すべり量等

グループ	回数	平均M	震度 最大	震度 最小	発生間隔 平均	発生間隔 最短	発生間隔 最大	平均すべり量 (cm/年)
★A	5	4.60	3	2	5.66	3.19	11.72	6.09
●B	2	4.25	3	3	2.58	2.58	2.58	10.88
今回の地震 → ◆C	4	5.12	4	3	2.77	1.73	4.06	16.70
●D	2	4.50	3	3	0.01	0.01	0.01	3841.07

すべり量推定には、モーメントマグニチュードと地震モーメントの関係式[Hanks and Kanamori (1979)]及び地震モーメントとすべり量の関係式[Nadeau and Johnson(1998)]を使用。得られた積算すべり量と経過時間から最小自乗法を用いてグループ毎の年平均すべり量を求めた。

●波形例

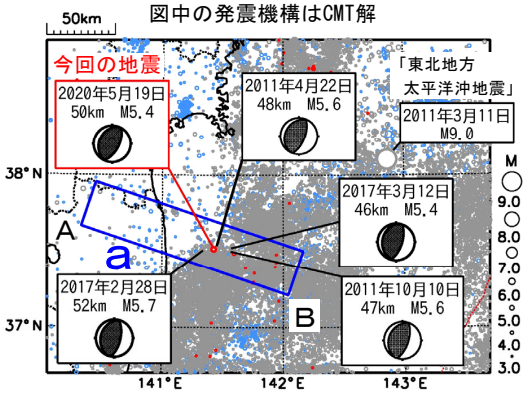


変位波形は加速度記録を気象庁59型地震計相当に変換して求めたもの

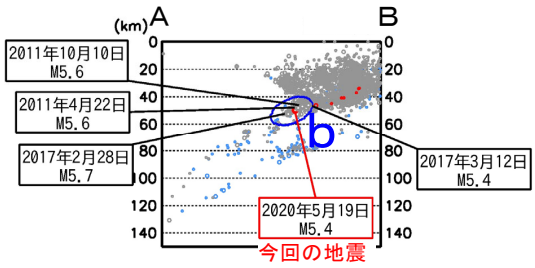
第３図 (b)　つづき
Fig. 3(b)　Continued.

５月 19 日　福島県沖の地震

震央分布図
（1997年10月１日～2020年５月31日、
深さ０～150km、M≧3.0）
2011年３月10日以前の地震を青色○、
2011年３月11日以降の地震を灰色○、
2020年５月の地震を赤色○で表示
図中の発震機構はCMT解



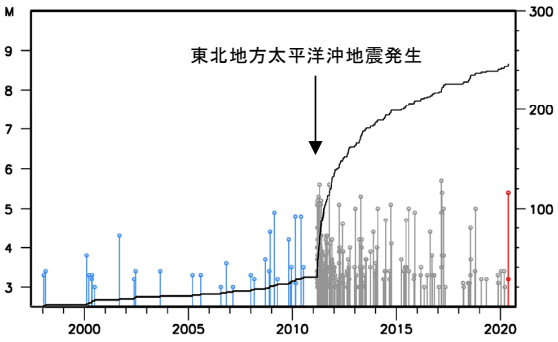
領域ａ内の断面図（Ａ－Ｂ投影）



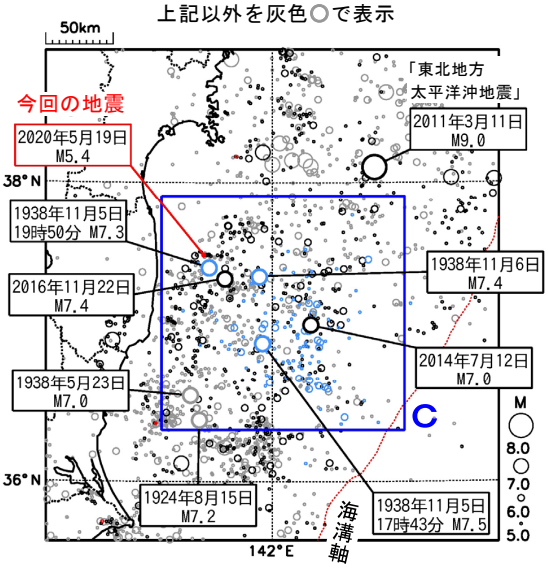
2020年５月19日12時17分に福島県沖の深さ50kmでM5.4の地震（最大震度４）が発生した。この地震は、発震機構（CMT解）が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した。

1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、東北地方太平洋沖地震の発生以降、地震活動が活発化し、2017年２月28日にM5.7の地震（最大震度５弱）が発生するなど、M5.0を超える地震がしばしば発生している。

領域ｂ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図

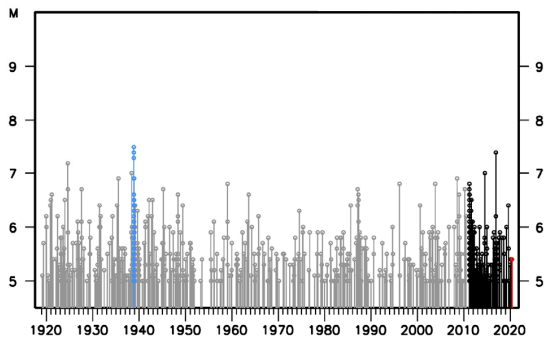


震央分布図
（1919年１月１日～2020年５月31日、
深さ０～150km、M≧5.0）
1938年11月５日～11月30日の地震を青色○、
2011年３月11日以降の地震を黒色○、
2020年５月の地震を赤色○、
上記以外を灰色○で表示



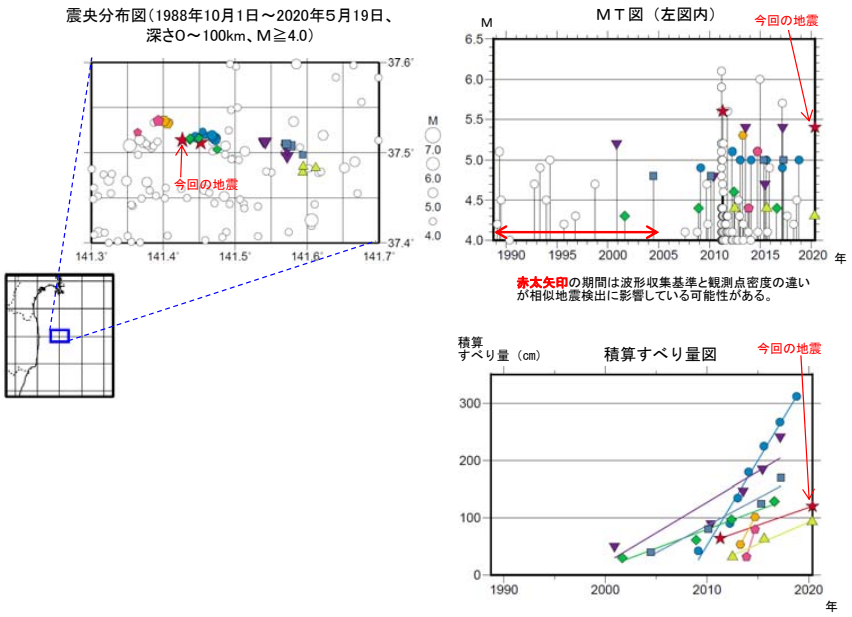
1919年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｃ）では、1938年11月５日17時43分にM7.5の地震（最大震度５）が発生した。この地震により、宮城県花淵で113cm（全振幅）の津波を観測した。この地震の後、福島県沖で地震活動が活発となり、同年11月30日までにM6.0以上の地震が26回発生し、このうち７回は津波を観測した。これらの地震により、死者１人、負傷者９人、住家全壊４棟、半壊29棟などの被害が生じた（「日本被害地震総覧」による）。

領域ｃ内のＭ－Ｔ図



第 4 図 (a)　2020 年 5 月 19 日　福島県沖の地震
Fig. 4(a)　The earthquake off Fukushima Prefecture on May 19, 2020.

５月19日　福島県沖の地震（相似地震）



2020年５月19日の福島県沖の地震（M5.4、最大震度４）について強震波形による相関解析を行った結果、2011年４月22日の地震（M5.6、最大震度４）とともに新たな相似地震グループとして検出された（上図の★）※。

※　各観測点の波形の比較で得られたコヒーレンスの中央値が0.95以上の場合、相似地震として検出している。また、相似地震のグループ分けはコヒーレンスを用いて機械的に行っている。

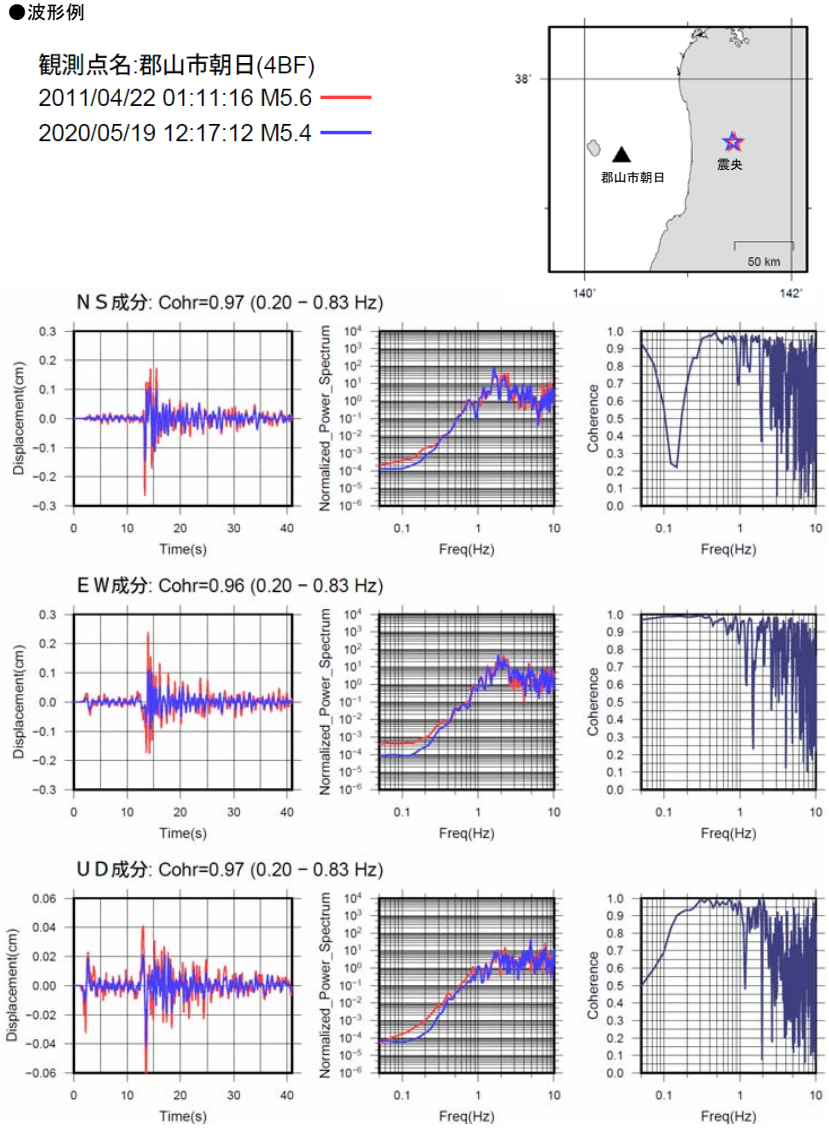
溜渕功史・中村雅基・山田安之（2014）：全国を対象とした客観的な相似地震の抽出, 気象研究所技術報告, 72, 5-16.

●推定年平均すべり量等

	グループ	回数	平均M	震度 最大	震度 最小	発生間隔 平均	発生間隔 最短	発生間隔 最大	平均すべり量 (cm/年)
今回の地震 →	★ A	2	5.50	4	4	9.08	9.08	9.08	6.25
	● B	7	4.99	4	3	1.61	0.78	3.11	29.53
	◆ C	4	4.42	3	3	4.98	3.49	7.24	6.65
	● D	2	5.20	4	4	1.45	1.45	1.45	32.90
	▼ E	5	5.10	4	3	4.08	1.73	9.54	10.67
	⬟ F	2	4.75	4	3	0.84	0.84	0.84	56.76
	■ G	4	4.90	3	3	4.26	1.94	5.65	9.54
	△ H	3	4.37	3	3	3.92	3.12	4.72	7.69

すべり量推定には、モーメントマグニチュードと地震モーメントの関係式[Hanks and Kanamori (1979)]及び 地震モーメントとすべり量の関係式[Nadeau and Johnson(1998)]を使用。得られた積算すべり量と経過時間から最小自乗法を用いてグループ毎の年平均すべり量を求めた。

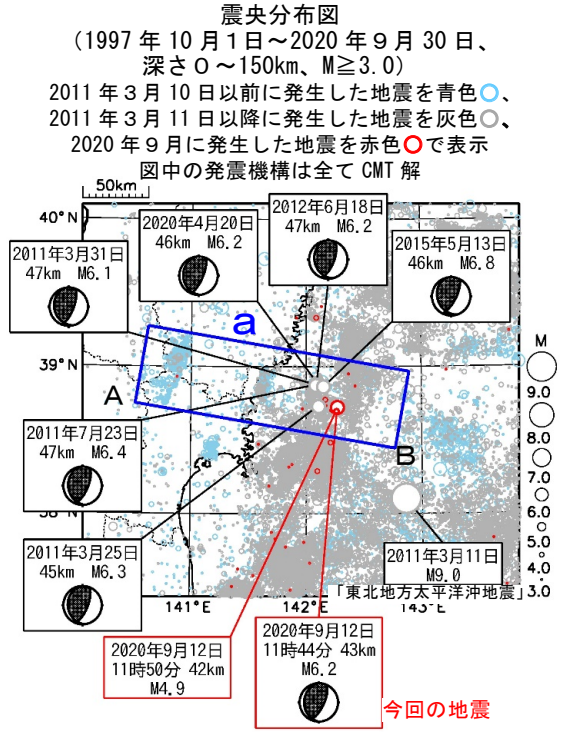
●波形例

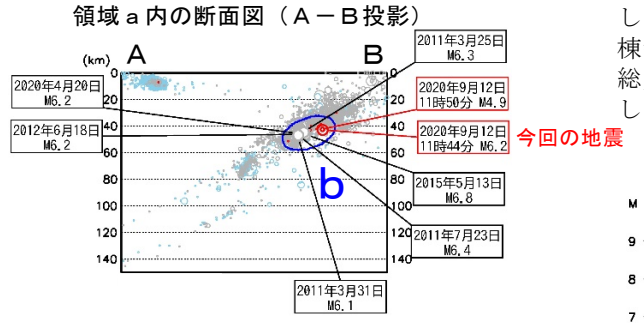


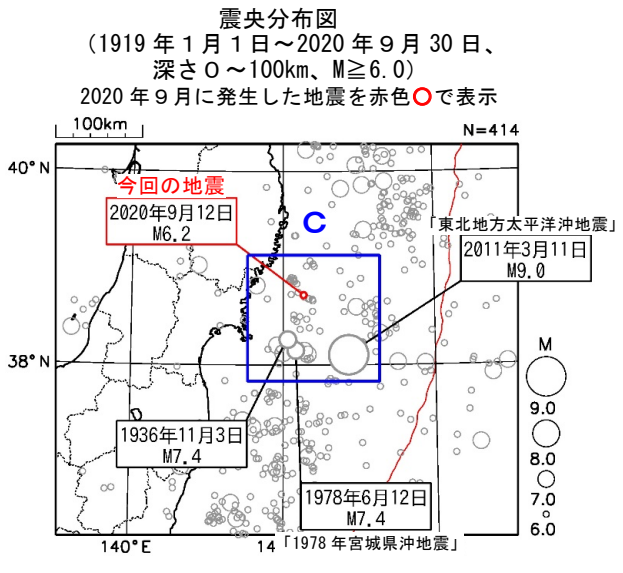
変位波形は加速度記録を気象庁59型地震計相当に変換して求めたもの

第４図 (b)　つづき
Fig. 4(b)　Continued.

９月 12 日　宮城県沖の地震



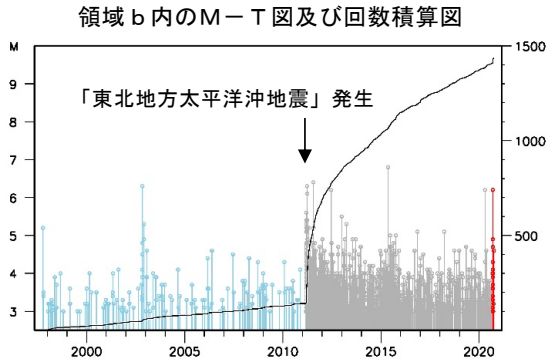


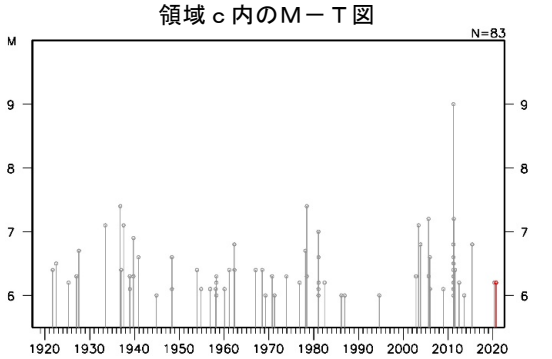


2020 年９月 12 日 11 時 44 分に宮城県沖の深さ 43km で M6.2 の地震（最大震度４）が発生した。この地震は発震機構（CMT 解）が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した。この地震により軽症者１人の被害が生じた（９月 14 日現在、宮城県による）。このほか、この地震の震源付近では直前の同日 11 時 13 分に M4.0（最大震度１）、その後同日 11 時 50 分に M4.9（最大震度３）の地震が発生するなど、９月 30 日までに震度１以上を観測する地震が 13 回発生した。

1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」（以下、「東北地方太平洋沖地震」）の発生以降に地震活動が活発化し、M5.0 以上の地震の発生回数が増加した。2015 年５月 13 日には M6.8 の地震（最大震度５強）が発生し、住家一部破損３棟の被害が生じた（総務省消防庁による）。

1919 年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｃ）では「東北地方太平洋沖地震」のほか、1978 年６月 12 日には「1978 年宮城県沖地震」（M7.4、最大震度５）が発生し、死者 28 人、負傷者 1,325 人、住家全壊 1,183 棟等の被害が生じる（被害は「日本被害地震総覧」による）など、M7.0 以上の地震がしばしば発生している。





第 5 図　2020 年 9 月 12 日　宮城県沖の地震
Fig. 5　The earthquake off Miyagi Prefecture on September 12, 2020.

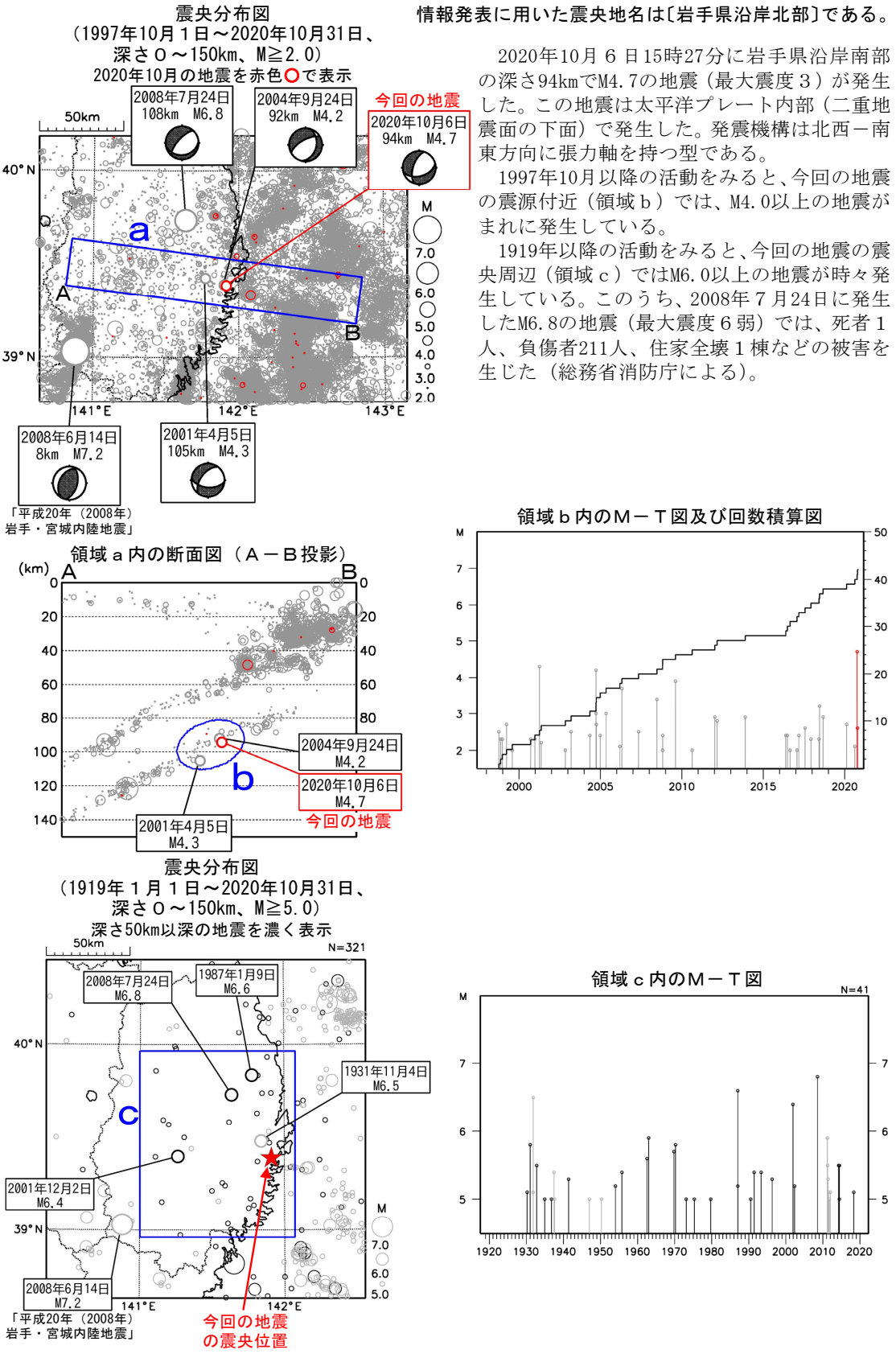
10 月 6 日　岩手県沿岸南部の地震

情報発表に用いた震央地名は〔岩手県沿岸北部〕である。

2020年10月 6 日15時27分に岩手県沿岸南部の深さ94kmでM4.7の地震（最大震度３）が発生した。この地震は太平洋プレート内部（二重地震面の下面）で発生した。発震機構は北西－南東方向に張力軸を持つ型である。

1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、M4.0以上の地震がまれに発生している。

1919年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｃ）ではM6.0以上の地震が時々発生している。このうち、2008年７月24日に発生したM6.8の地震（最大震度６弱）では、死者１人、負傷者211人、住家全壊１棟などの被害を生じた（総務省消防庁による）。



第 6 図　2020 年 10 月 6 日　岩手県沿岸南部の地震

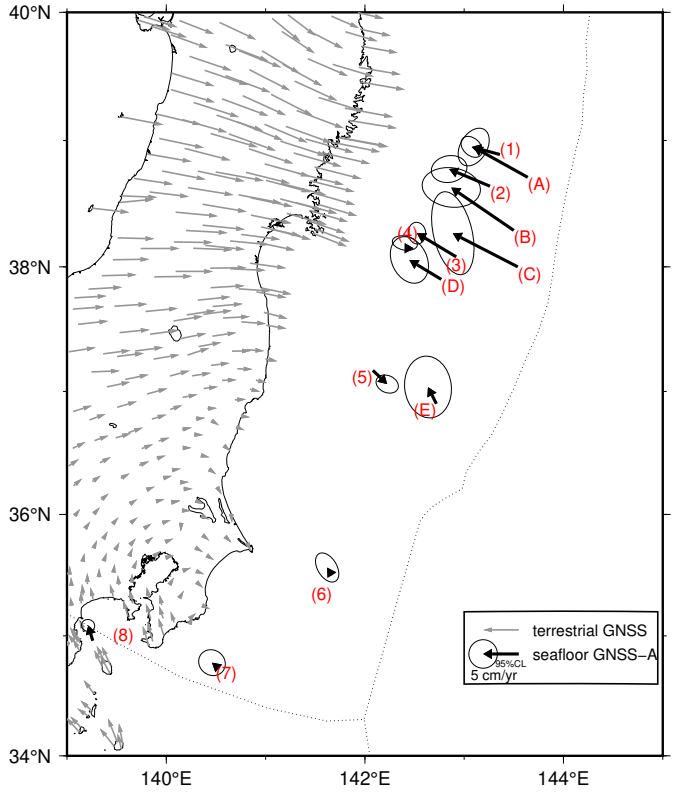
Fig. 6　The earthquake in the southern coast of Iwate Prefecture on October 6, 2020.

３－２　日本海溝沿いの海底地殻変動観測結果
Seafloor movements along the Japan Trench observed by seafloor geodetic observations

海上保安庁
Japan Coast Guard

海上保安庁では，2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震後の地殻変動を把握するため，日本海溝沿いに設置されている海底基準点において，海底地殻変動観測を実施している．第 1 図及び第 2 図に，最近約 4 年間の平均変位速度と東北地方太平洋沖地震後の累積変位量を，国土地理院の GNSS 観測結果（F3 解）とともにそれぞれ示す．第 3 図には変位時系列を示す．

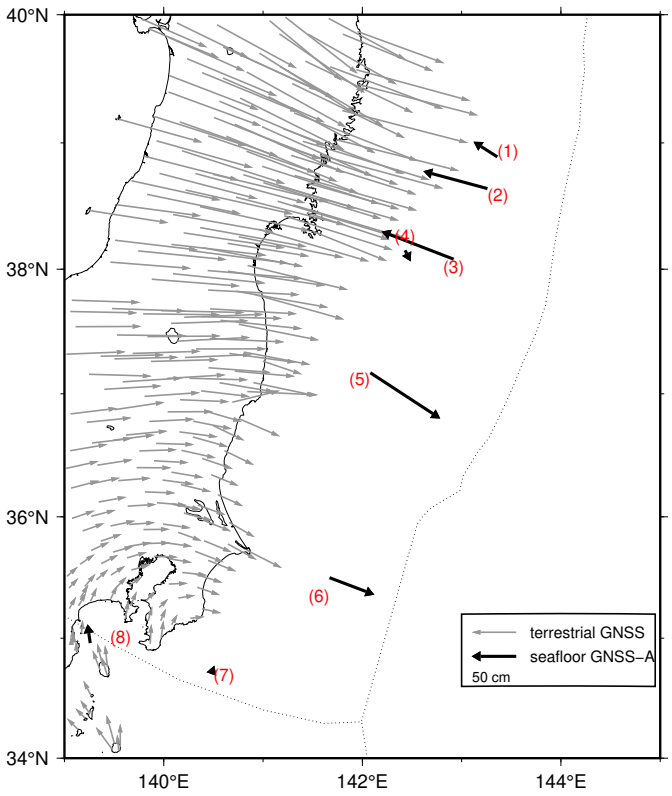
Site name	Lat. (°N)	Lon. (°E)	Velocity (cm/yr)	(deg)	Period	Data
(1) KAMN	38.89	143.36	4.1	285.1	05/30/2016 - 06/13/2020	12
(2) KAMS	38.64	143.26	6.2	292.9	06/03/2016 - 06/14/2020	14
(3) MYGI	38.08	142.92	6.4	301.1	06/05/2016 - 06/15/2020	14
(4) MYGW	38.15	142.43	0.8	330.4	06/05/2016 - 06/15/2020	16
(5) FUKU	37.17	142.08	2.8	133.6	07/26/2016 - 06/20/2020	16
(6) CHOS	35.50	141.67	1.3	327.9	05/24/2016 - 06/21/2020	15
(7) BOSN	34.75	140.50	0.7	310.8	07/27/2016 - 06/21/2020	15
(8) SAGA	34.96	139.26	2.2	343.3	07/07/2016 - 06/23/2020	18
(A) TU08	38.71	143.64	8.7	299.3	05/29/2016 - 06/14/2020	10
(B) TU10	38.29	143.50	10.6	304.5	05/28/2016 - 06/15/2020	9
(C) TU12	38.00	143.54	10.3	297.4	05/27/2016 - 06/16/2020	10
(D) TU14	37.90	142.77	5.2	301.3	07/25/2016 - 06/16/2020	11
(E) TU17	36.90	142.72	2.6	333.5	05/26/2016 - 06/17/2020	9
GEONET					06/23/2016 - 06/23/2020	



第 1 図　日本海溝沿いの直近約 4 年間の水平移動速度【北米プレート固定】

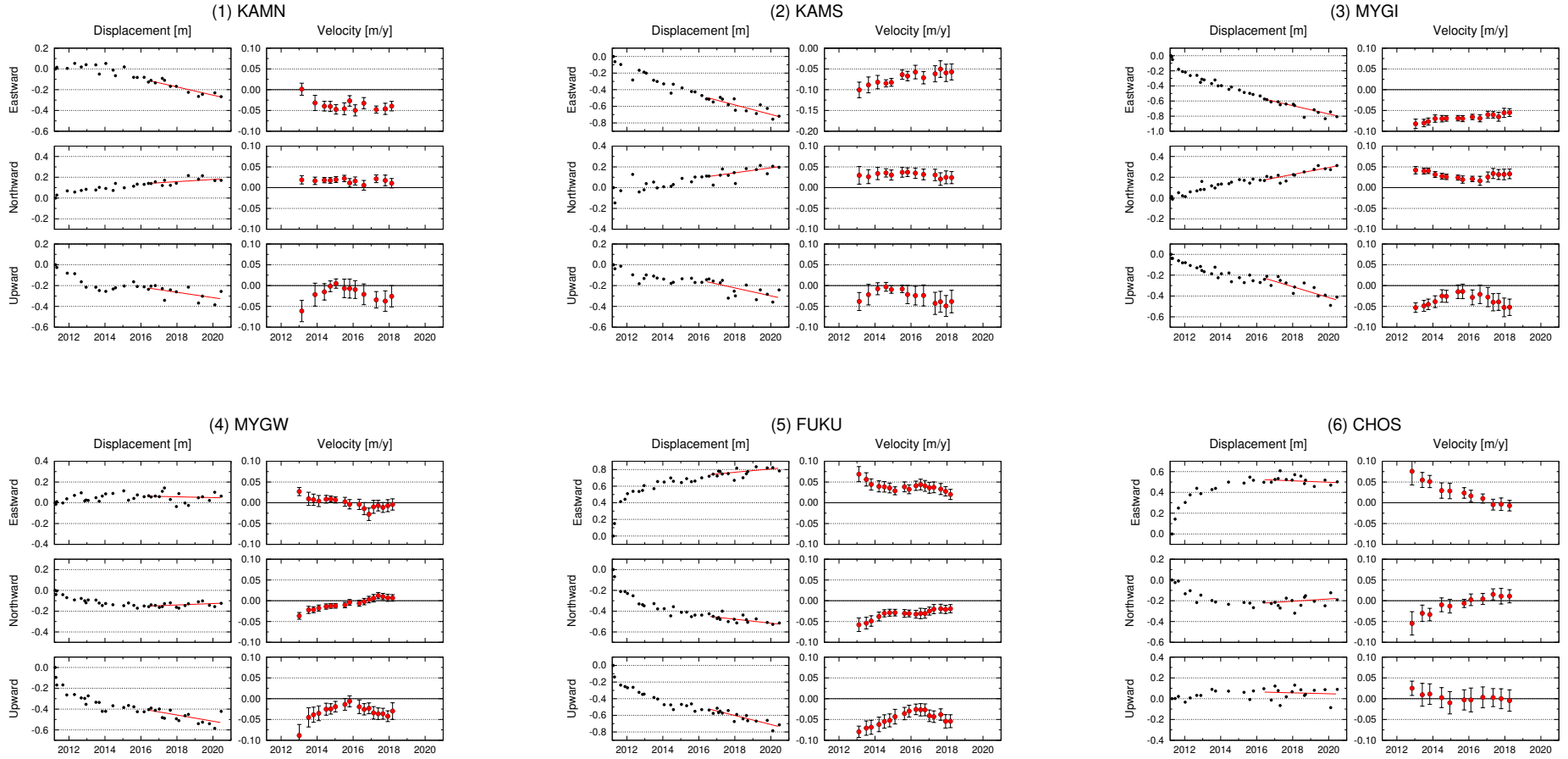
Fig. 1　Horizontal seafloor crustal movements along the Japan Trench in recent 4 years with respect to the stable part of the North American plate.

Site name	Lat. (°N)	Lon. (°E)	Movement (cm)	(deg)	Period
(1) KAMN	38.89	143.36	31.7	302.6	04/03/2011 - 06/13/2020
(2) KAMS	38.64	143.26	74.5	285.2	04/05/2011 - 06/14/2020
(3) MYGI	38.08	142.92	86.5	291.2	03/28/2011 - 06/15/2020
(4) MYGW	38.15	142.43	14.0	152.8	03/27/2011 - 06/15/2020
(5) FUKU	37.17	142.08	93.7	123.3	03/29/2011 - 06/20/2020
(6) CHOS	35.50	141.67	53.7	110.8	04/18/2011 - 06/21/2020
(7) BOSN	34.75	140.50	3.3	19.0	04/19/2011 - 06/21/2020
(8) SAGA	34.96	139.26	21.4	351.8	05/07/2011 - 06/23/2020
GEONET					04/01/2011 - 06/20/2020



第 2 図　東北地震後の日本海溝沿いの累積水平移動量【北米プレート固定】

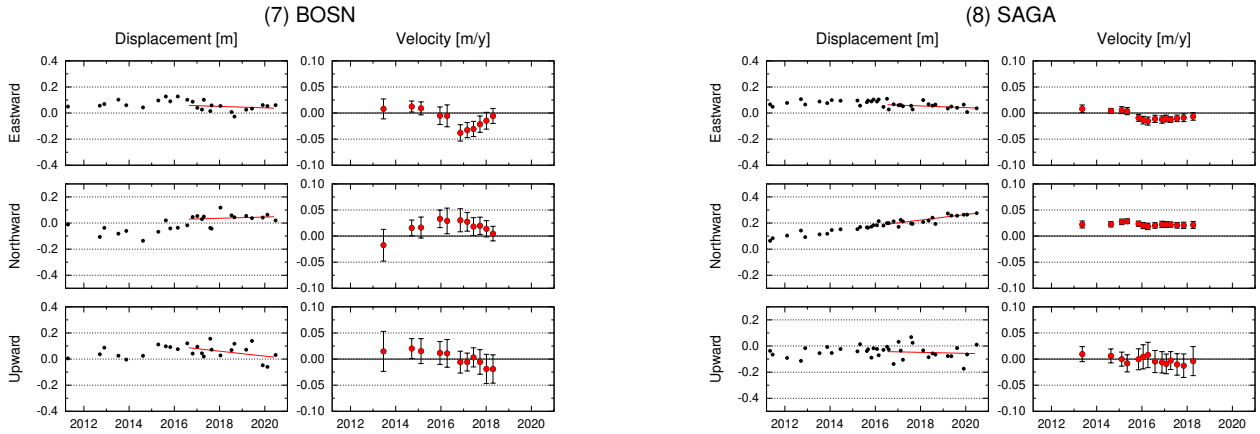
Fig. 2　Cumulative horizontal seafloor crustal movements after the Tohoku earthquake with respect to the stable part of the North American plate.



第 3 図　GNSS-A 観測時系列【北米プレート固定】
※各図の右列は ,4.1 年の時間窓による回帰直線から求めた変動速度
※縦のバーは速度推定の 95% 信頼区間

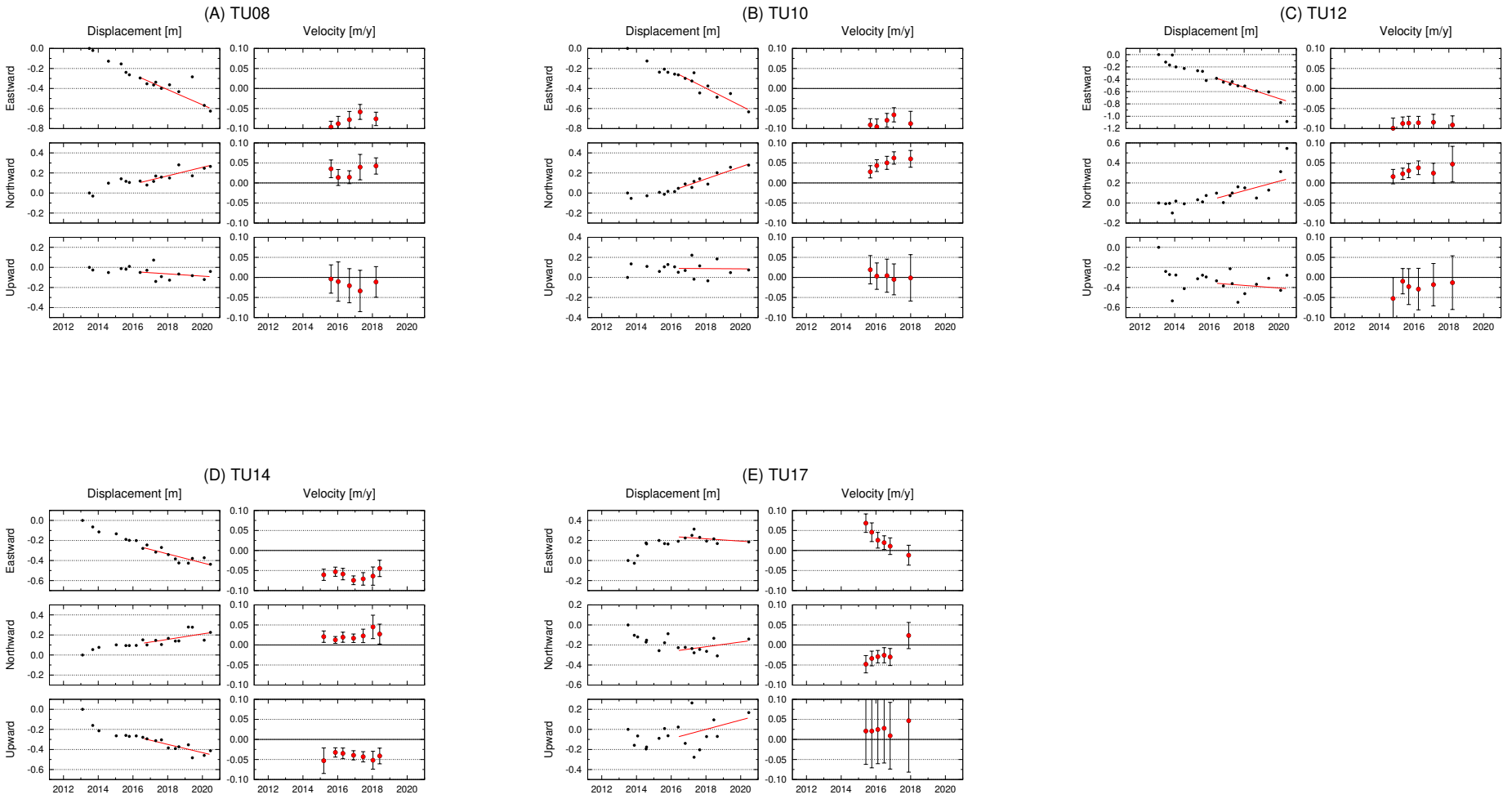
Fig. 3　GNSS-A time series data with respect to the stable part of the North American plate.
※ Plots on the right columns indicate velocities, derived by linear regression using a 4.1 year rolling time window.
※ The bars indicate 95% confidence intervals.

地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行



第 3 図　GNSS-A 観測時系列【北米プレート固定】
※各図の右列は ,4.1 年の時間窓による回帰直線から求めた変動速度
※縦のバーは速度推定の 95% 信頼区間
Fig. 3　GNSS-A time series data with respect to the stable part of the North American plate (continued).

地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行



第 3 図　GNSS-A 観測時系列【北米プレート固定】
※各図の右列は，4.1 年の時間窓による回帰直線から求めた変動速度
※ 縦のバーは速度推定の 95% 信頼区間
Fig. 3　GNSS-A time series data with respect to the stable part of the North American plate (continued).

３－３　東北地方の地殻変動
Crustal Movements in the Tohoku District

国土地理院
Geospatial Information Authority of Japan

［GNSS　東北地方太平洋沖地震後の変動ベクトル及び等変動量線図］

第 1 ～ 5 図は，東北地方太平洋沖地震後における水平・上下の地殻変動について，全期間の累積及び最近 3 か月間の変動を，福江観測点を固定局として示したものである．第 1 ～ 3 図に示す地震後の累積の図には，2011 年 4 月 7 日宮城県沖の地震（M7.2，最大震度 6 強，深さ約 66km，逆断層・スラブ内地震，地殻変動 GNSS で水平約 3cm 西南西と約 5cm の隆起），2011 年 4 月 11 日福島県浜通りの地震（M7.0，最大震度 6 弱，深さ約 6km，正断層，地殻変動 GNSS で約 30cm 水平と約 50cm の沈降，SAR で約 2m），2011 年 6 月 23 日岩手県沖の地震（M6.9，最大震度 5 弱，地殻変動東方向に約 1.5cm），2011 年 7 月 10 日三陸沖の地震（M7.3，深さ 34km，最大震度 4，地殻変動西方向に約 5mm，左横ずれ），2011 年 9 月 17 日岩手県沖の地震（M6.6，最大震度 4，プレート境界逆断層，地殻変動東方向に数 mm）等の影響が震源近傍の観測点で見られる．

第 1 図は地震後の全期間における水平変動の累積を示している．東日本全体で東北地方太平洋沖地震の震源域に向かう余効変動が観測されている．岩手川崎 A 観測点における変動量は約 154cm である．

第 2 ～ 3 図は，地震後の全期間における上下変動の累積を，それぞれ，変動ベクトル図及び等値線図で示したものである．岩手県三陸北部沿岸と奥羽脊梁山脈付近で沈降が見られる一方，岩手県南部から千葉県の太平洋沿岸では隆起傾向が見られる．M 牡鹿観測点の約 67cm の隆起のうちの約 5cm は，2011 年 4 月 7 日の宮城県沖の地震によるものである．

第 4 図の最近 3 か月間の水平ベクトルには，東日本全体で東北地方太平洋沖地震の震源域に向かう変動が見られ，余効変動が継続していることが分かる．この期間における岩手川崎 A 観測点の変動量は 1.3cm となっている．

第 5 図に最近 3 か月間の上下変動を示す．ノイズレベルを超える変動は見られない．

［GNSS　連続観測　東北地方太平洋沖地震後］

第 6 ～ 11 図は，東北地方太平洋沖地震後の東日本における GNSS 連続観測時系列である．第 6 図の地図に示した太平洋岸の観測点 10 点と，その西側の観測点 10 点の合計 20 観測点について，第 7 図以降に東北地方太平洋沖地震後の期間の時系列を示す．各成分の縦軸は，本震直前の値をゼロとしており，地震時及び地震後の累積の変動量を表している．

第 7 図～ 11 図の各観測点の時系列では，東北地方太平洋沖地震の余効変動が減衰しながらも継続している様子が見られる．また，第 6 図の地図に示した各地震の影響が，震源近傍の観測点で見られる．

第 7 図～ 9 図上段に示す太平洋岸の 10 観測点では，(2) 岩泉 2 観測点と (3) 山田観測点を除き，地震直後から隆起が継続している．なお，岩泉 2 観測点及び山田観測点についても，2013 年以降はそれまでの沈降傾向が反転し，隆起となっている．

第 9 図下段から第 11 図の西側の観測点 10 点では，地震直後からの沈降，又は隆起が減衰しながらも継続している．

［GNSS　東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動速度］

第 12 ～ 17 図は，三隅観測点に対する宮古，山田，矢本，相馬 1，銚子，皆瀬観測点の変位と変動速度を時系列で示したものである．水平変動速度は，銚子観測点の東西成分では元の速度に戻りつつあるが，それ以外の観測点では，徐々に減衰しつつあるものの地震前の速度には戻っておらず，余効変動が継続していることが分かる．上下変動速度は，銚子観測点では元の速度に戻りつつあるが，そのほかの宮古，山田，矢本，相馬 1 観測点は隆起傾向，皆瀬観測点は沈降傾向が続いている．

第 12 図の三隅－宮古基線及び第 13 図の三隅－山田基線の東西成分の速度に 2015 年初頭に見られる一時的な変化は，2015 年 2 月 17 日に発生した三陸沖の地震及び 2015 年 5 月 13 日に発生した宮城県沖の地震によるものである．

第 15 図の三隅－相馬 1 基線の東西成分・南北成分の速度に 2016 年末頃に見られる一時的な変化は，2016 年 11 月 22 日に発生した福島県沖の地震によるものである．

第 16 図に示される三隅－銚子基線の変化のうち，南北成分の速度に 2011 年秋，2014 年初頭及び 2018 年夏に見られる一時的な変化は，それぞれ 2011 年 10 月下旬頃から 11 月上旬頃まで，2014 年 1 月上旬頃及び 2018 年 6 月頃に発生した SSE に伴う地殻変動の影響である．また，東西成分速度の 2012 年 3 月頃に見られる一時的な変化は，2012 年 3 月 14 日に発生した千葉県東方沖の地震（M6.1）によるものである．

［変位速度のプレート収束方向に関する水平勾配　北海道～関東地方］

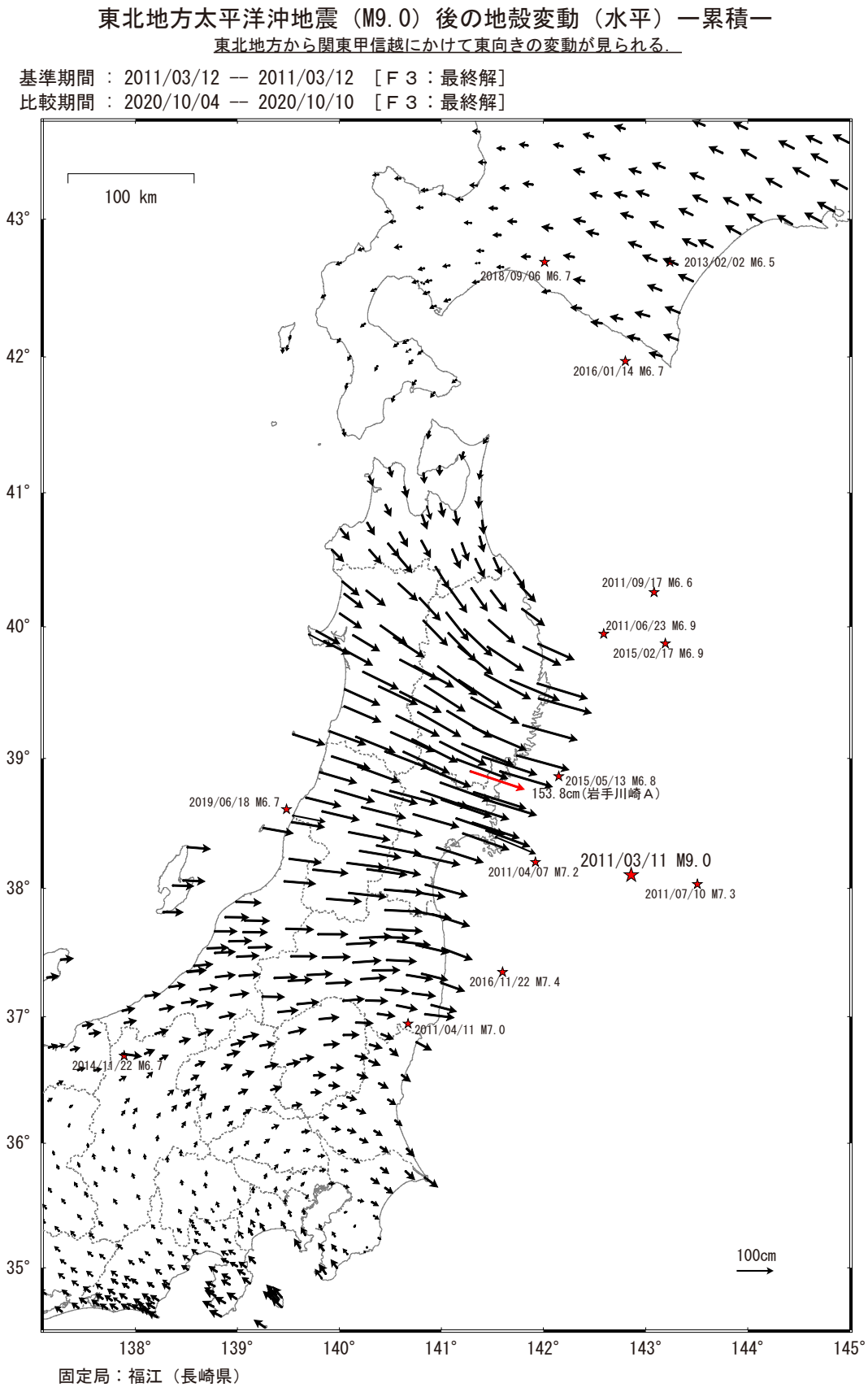
第 18 ～ 20 図は，GEONET の最終解（F3）から得られる変位速度分布から，プレート収束方向に関する水平勾配を計算し，北海道地方から関東地方まで千島海溝と日本海溝の平均走向に沿った水平勾配の分布を示したものである．各観測点について最近 5 年間の時系列から年周・半年周成分と地震時等のオフセットを推定，除去し，最近 1 年間における水平，上下方向の変位の線形速度を求め，プレート収束方向に沿った帯状領域毎に，水平方向（プレート収束方向）及び上下方向の変位速度の空間分布から水平勾配を計算する．

この地域にある観測点は陸側プレート上だけに分布しているため，一般に，地震間でプレート間固着していると，海溝に近いほど陸向きの速度が大きくかつ沈降速度が大きくなる．

第 18 図は，最近 1 年間における帯状領域毎の水平勾配のプロファイルである．水平方向の勾配は，東北地方太平洋沖地震の震源に近いところでは海溝側ほど大きいが，それ以外の場所では逆向きになっている．一方，上下方向では，東北地方から関東地方にかけた広い範囲で海溝側ほど隆起する（もしくは沈降が小さくなる）傾向が見られる．

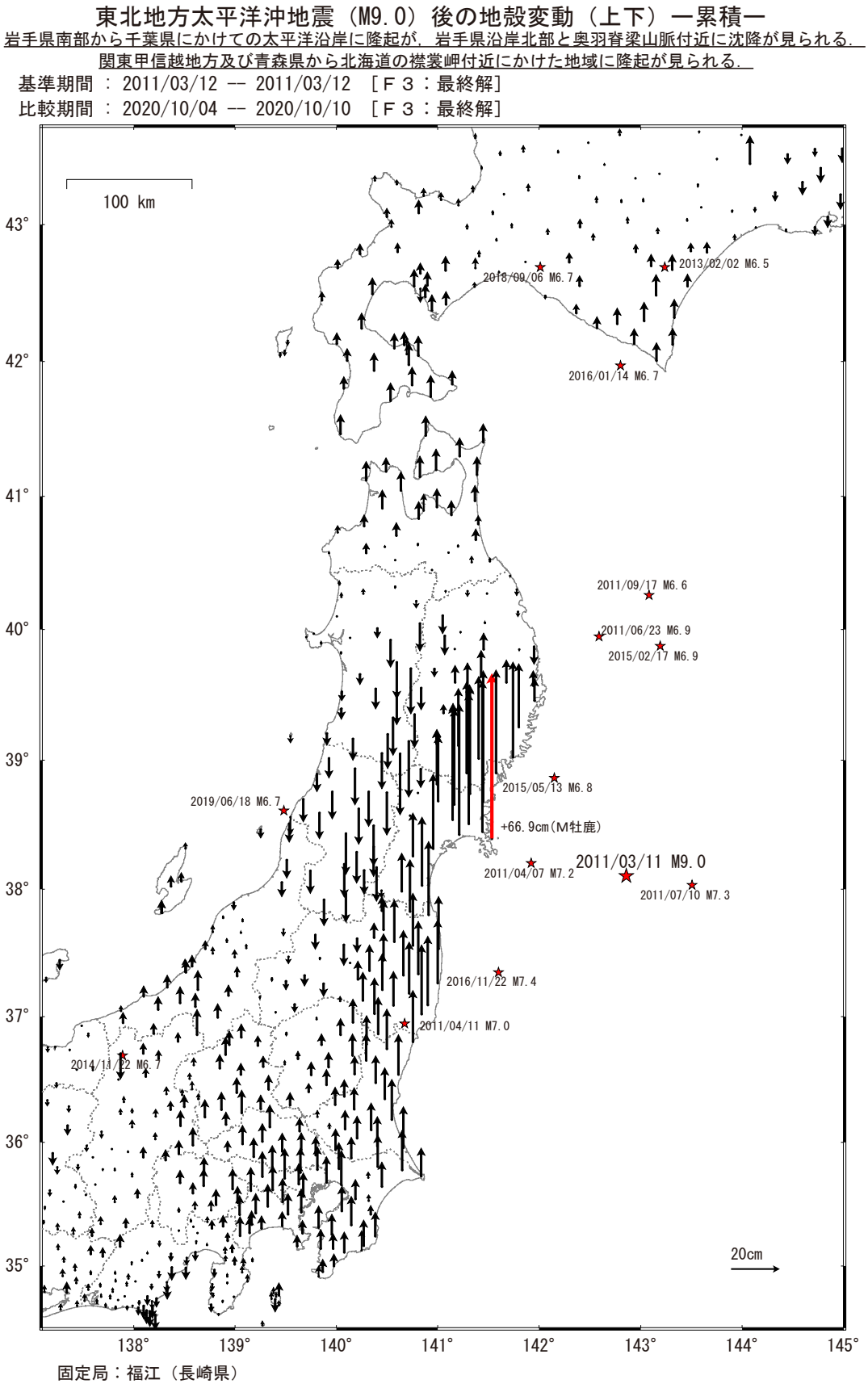
第 19 図は，水平勾配の時空間変化である．2011 年以降，水平方向は北緯 38° ～ 41° 付近，上下方向は 37° ～ 40° 付近で負から正に変化し，東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響と考えられる．一方，北緯 36° ～ 38° 付近の水平方向では，東北地方太平洋沖地震の後に一時正となった後，負に変化しており，余効変動（粘性緩和）の影響とともに固着の回復が重なって見えている可能性がある．

第 20 図の東北地方太平洋沖地震の前，及び直後の時期の結果と比較すると，第 18 図の最近の結果では，東北地方太平洋沖地震の余効変動は小さくなっているとしても，これらの図と比べ第 18 図の図では，広い範囲において未だ地震前の状態には戻っていないことが分かる．



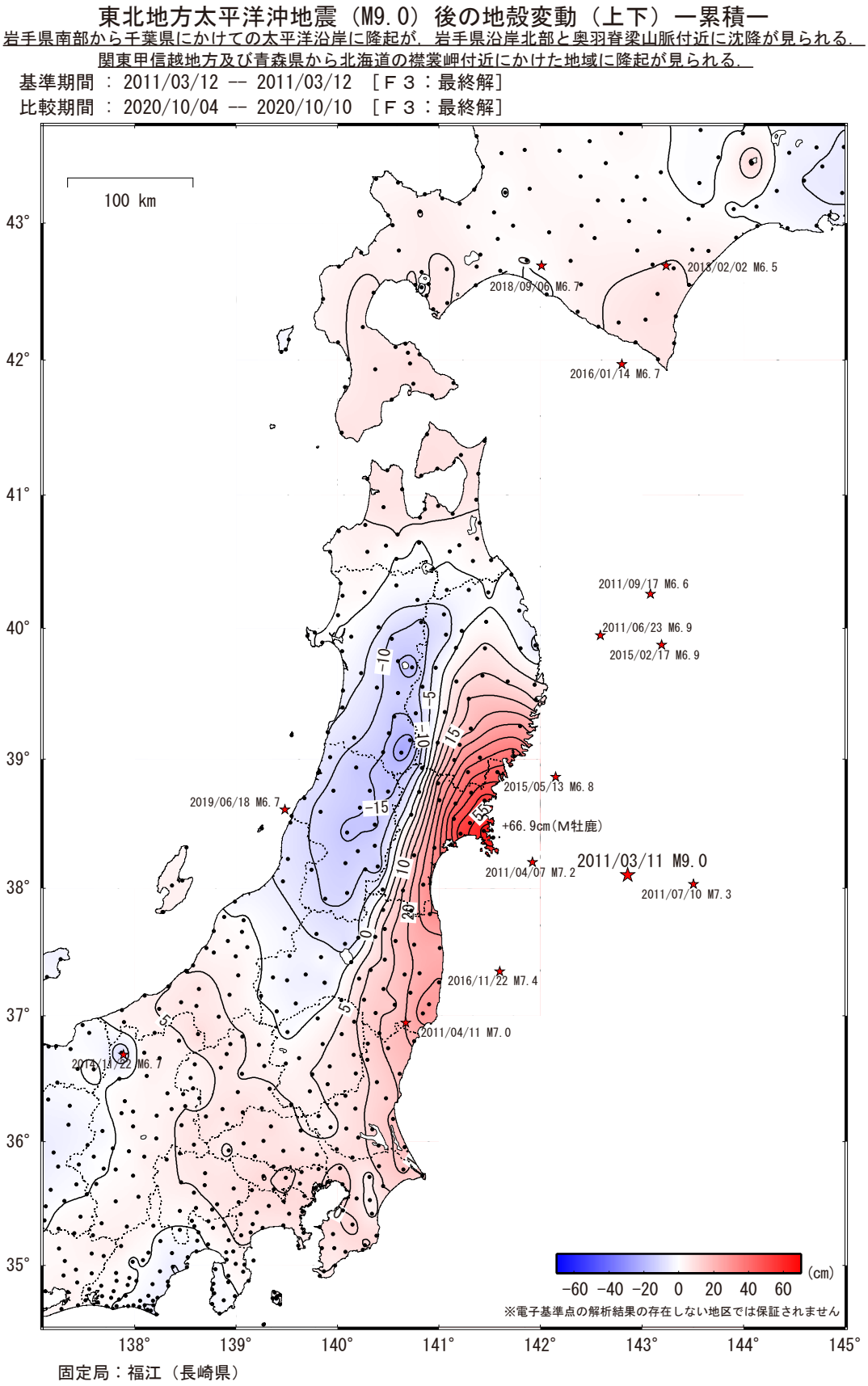
第 1 図　2011 年東北地方太平洋沖地震後の累積地殻変動（水平）

Fig. 1　Accumulated crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (horizontal).



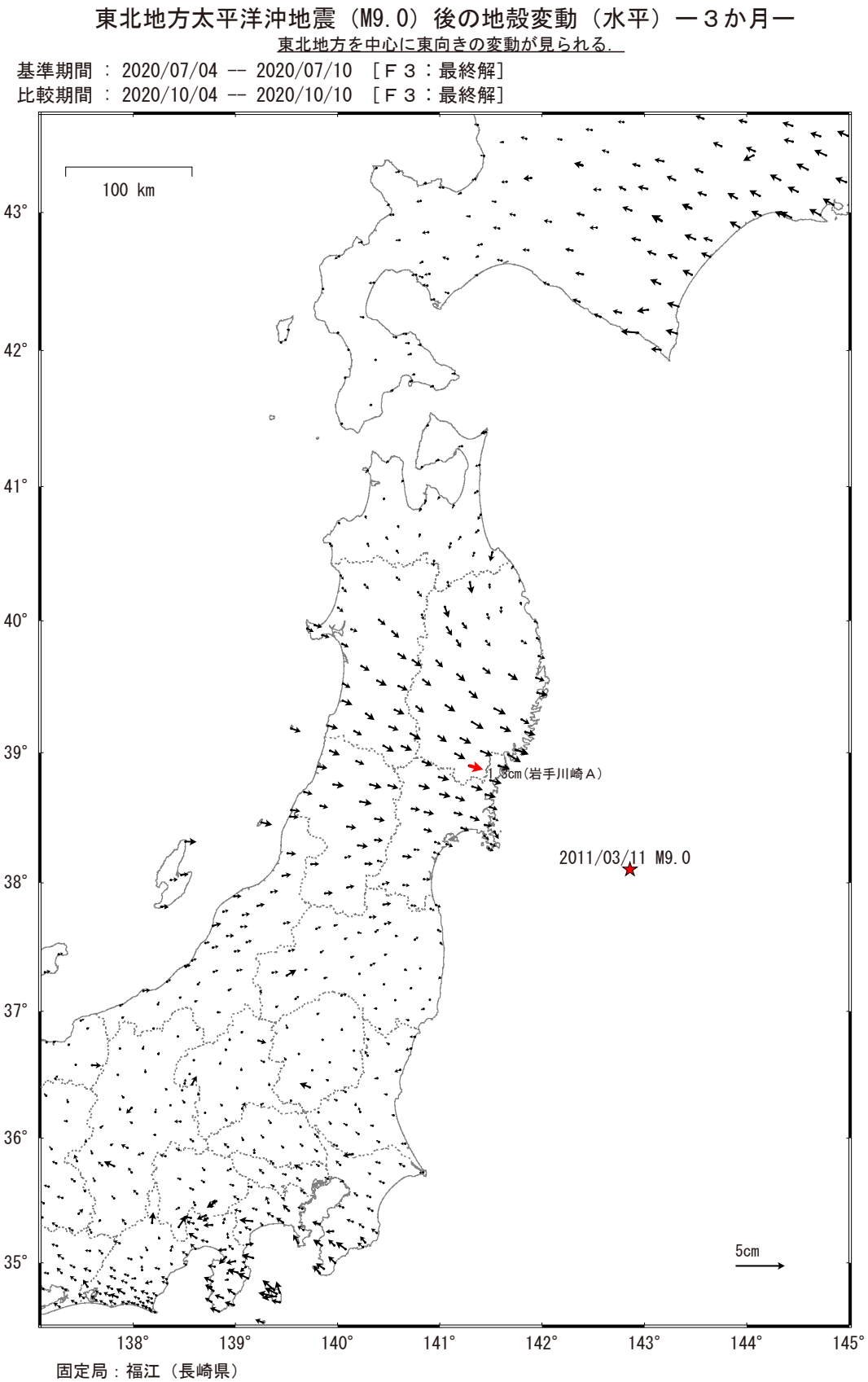
第 2 図　2011 年東北地方太平洋沖地震後の累積地殻変動（上下）

Fig. 2　Accumulated crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (vertical).

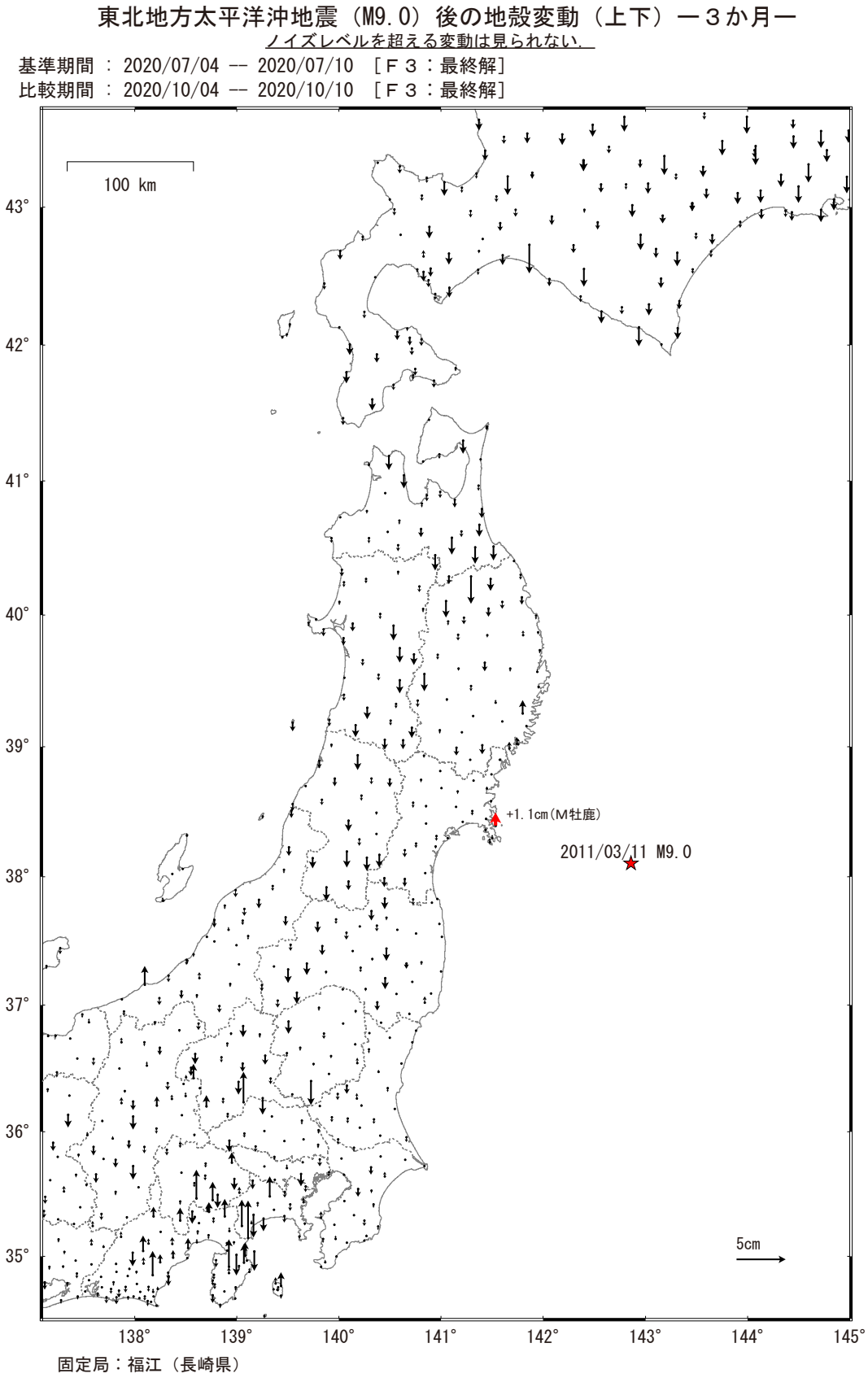


第 3 図　2011 年東北地方太平洋沖地震後の累積地殻変動（上下、コンター）

Fig. 3　Accumulated crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (vertical, contour).

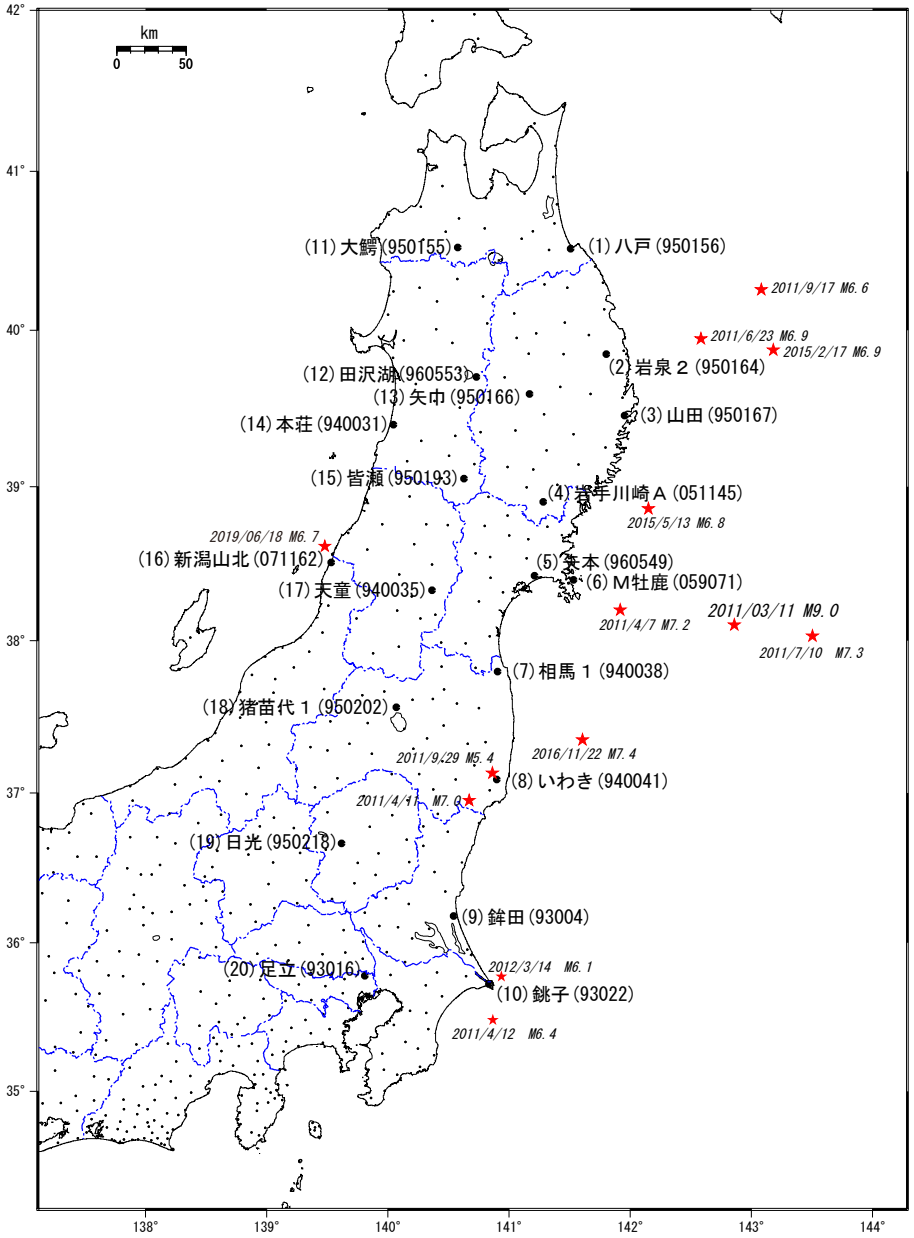


第 4 図　2011 年東北地方太平洋沖地震後の地殻変動（最近 3 か月、水平）
Fig. 4　Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake for recent three months (horizontal).



第 5 図　2011 年東北地方太平洋沖地震後の地殻変動（最近 3 か月、上下）
Fig. 5　Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake for recent three months (vertical).

平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震後の地殻変動（時系列）　配点図



各観測局情報

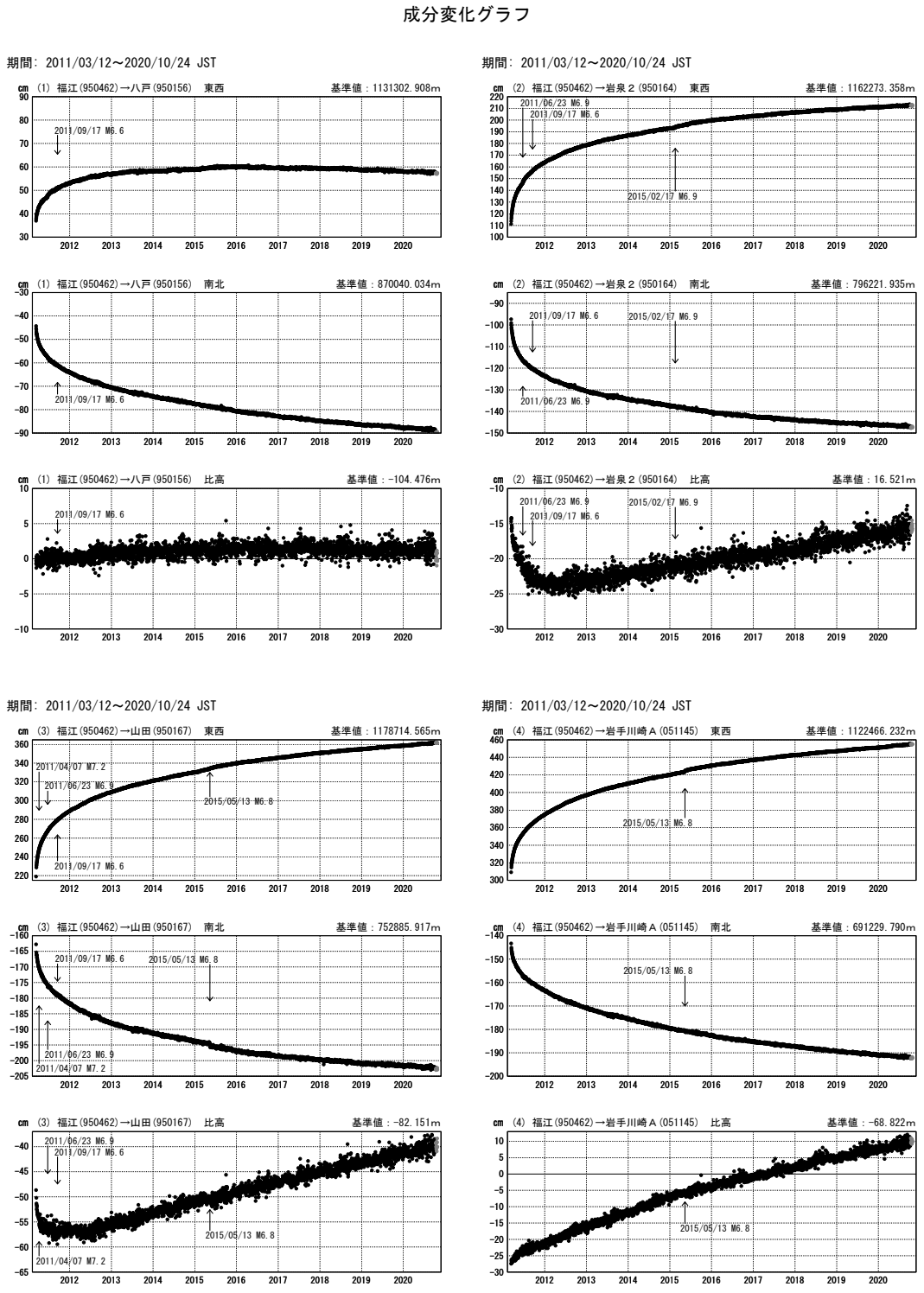
点番号	点　名	日　付	保守内容
950156	八戸	2012/09/25	アンテナ更新
		2018/01/20	アンテナ交換
950164	岩泉2	2012/02/09	アンテナ更新
950167	山田	2012/02/04	アンテナ更新
		2018/11/28	受信機交換
051145	岩手川崎A	2012/01/25	アンテナ更新
		2019/02/14	受信機交換
960549	矢本	2011/12/16	アンテナ更新
		2016/12/02	受信機交換
		2019/11/13	周辺伐採
940038	相馬1	2012/01/12	アンテナ更新
		2014/11/20	受信機交換
		2019/02/01	受信機交換
940041	いわき	2011/12/13	アンテナ更新
		2013/12/05	レドーム開閉
		2017/11/01	受信機交換
93004	鉾田	2012/02/16	アンテナ更新
		2019/05/09	受信機交換
93022	銚子	2012/02/21	アンテナ更新
		2020/01/30	受信機交換
950155	大鰐	2012/10/02	アンテナ更新
		2017/12/04	受信機交換
960553	田沢湖	2012/09/14	アンテナ更新

点番号	点　名	日　付	保守内容
950166	矢巾	2012/01/26	アンテナ更新
		2019/02/15	受信機交換
		2019/12/10	アンテナ交換
940031	本荘	2012/02/04	アンテナ更新
		2018/11/29	受信機交換
950193	皆瀬	2012/03/10	アンテナ更新
		2016/11/17	周辺伐採
		2019/02/21	受信機交換
059071	M牡鹿	2016/02/18	受信機交換
		2019/10/16	受信機交換
		2019/10/31	周辺伐採
071162	新潟山北	2012/09/05	アンテナ更新
		2016/12/01	受信機交換
940035	天童	2012/08/21	アンテナ更新
950202	猪苗代1	2012/01/13	アンテナ更新
		2015/04/06	アンテナ交換
		2019/11/22	周辺伐採
950218	日光	2012/11/13	アンテナ更新
93016	足立	2012/12/11	アンテナ更新
		2016/12/28	アンテナ交換
		2018/03/19	受信機交換
950462	福江	2012/11/07	アンテナ更新
		2016/02/17	受信機交換

第 6 図　東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動（時系列）　配点図及び保守状況

Fig. 6　Time series of crustal deformation before and after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (Site location map and history of maintenance).

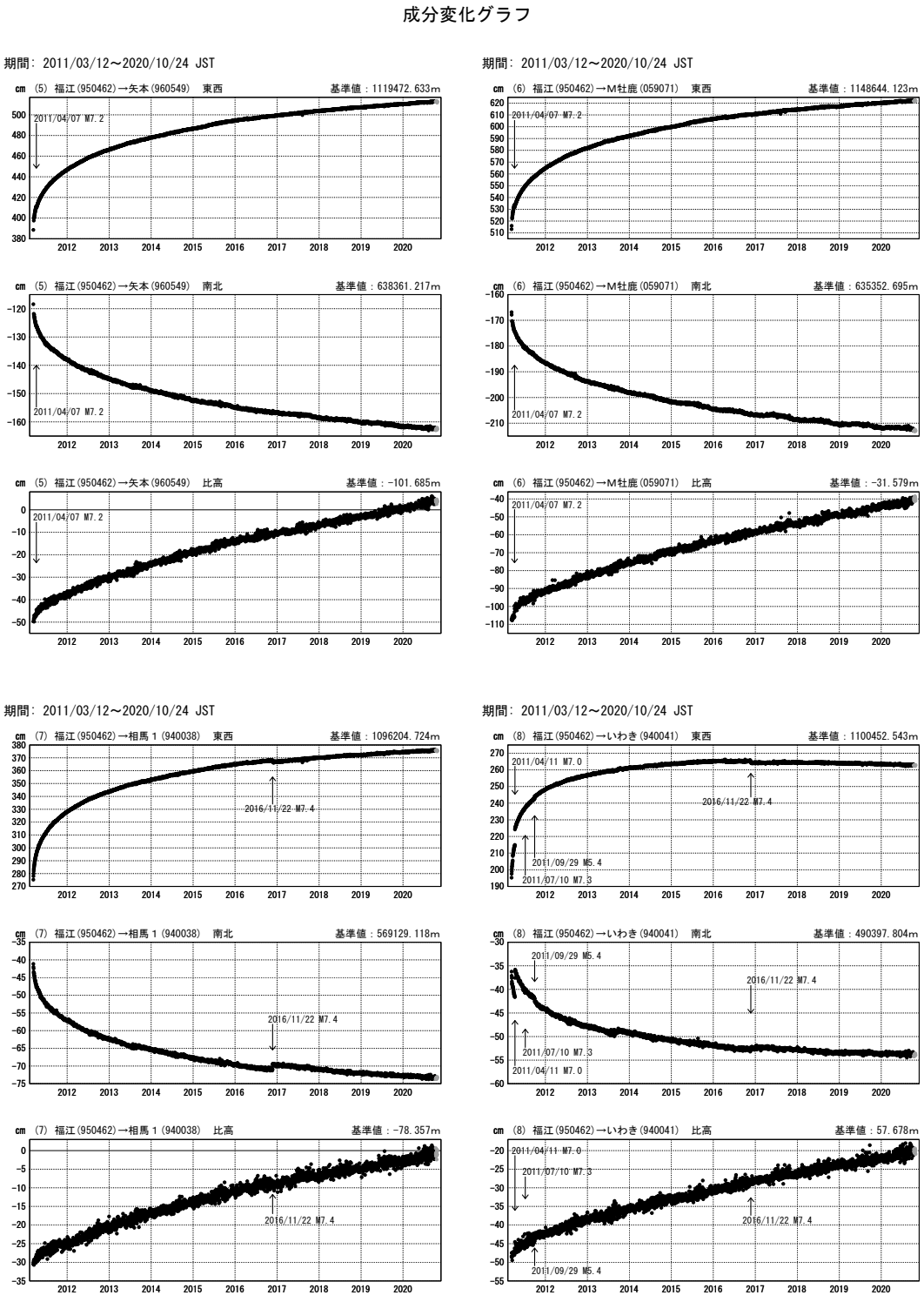
平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震後の地殻変動（１）



第 7 図　東北地方太平洋沖地震後の地殻変動（1/5）

Fig. 7　Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (1/5).

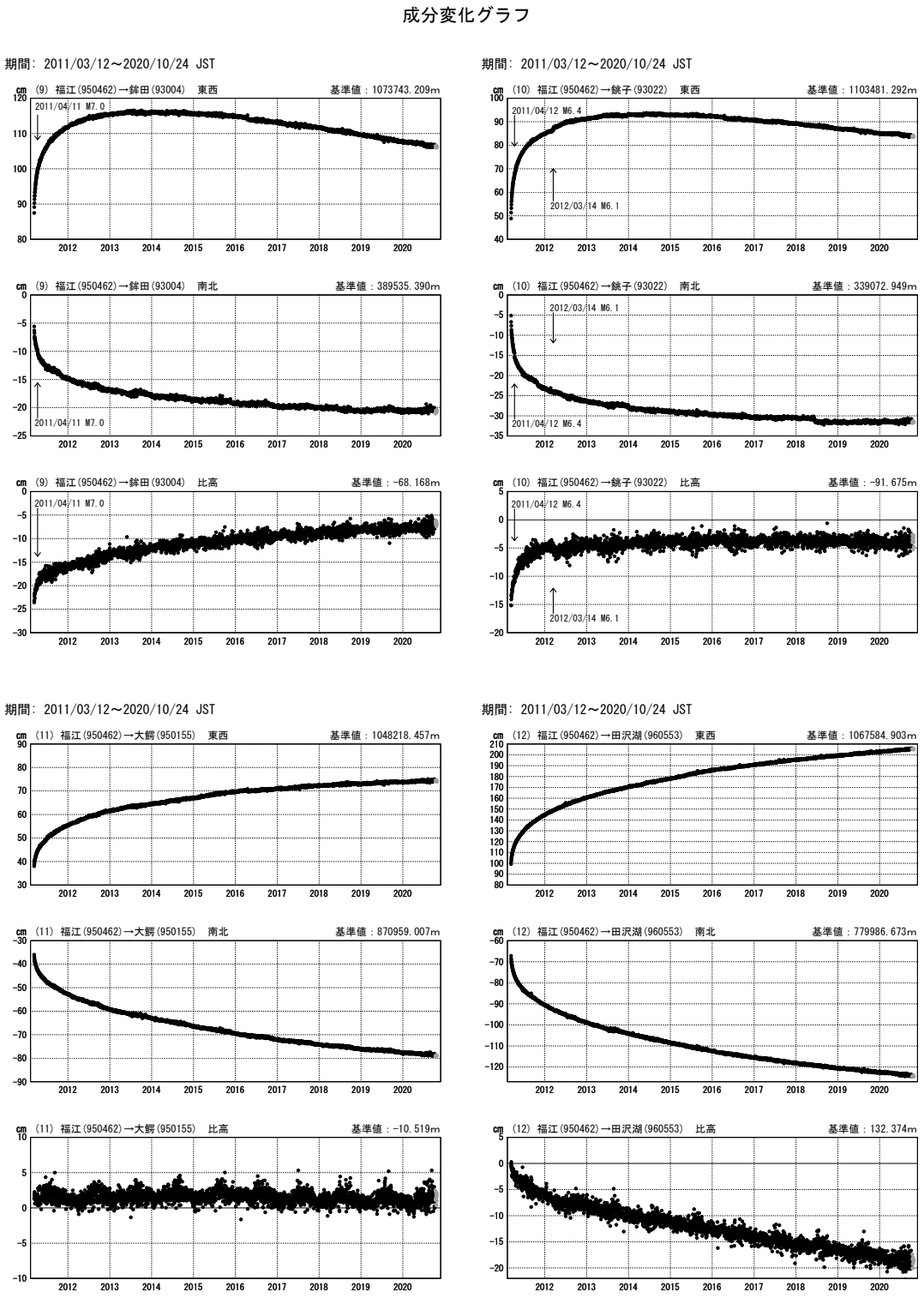
平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震後の地殻変動（２）



第 8 図　東北地方太平洋沖地震後の地殻変動（2/5）

Fig. 8　Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (2/5).

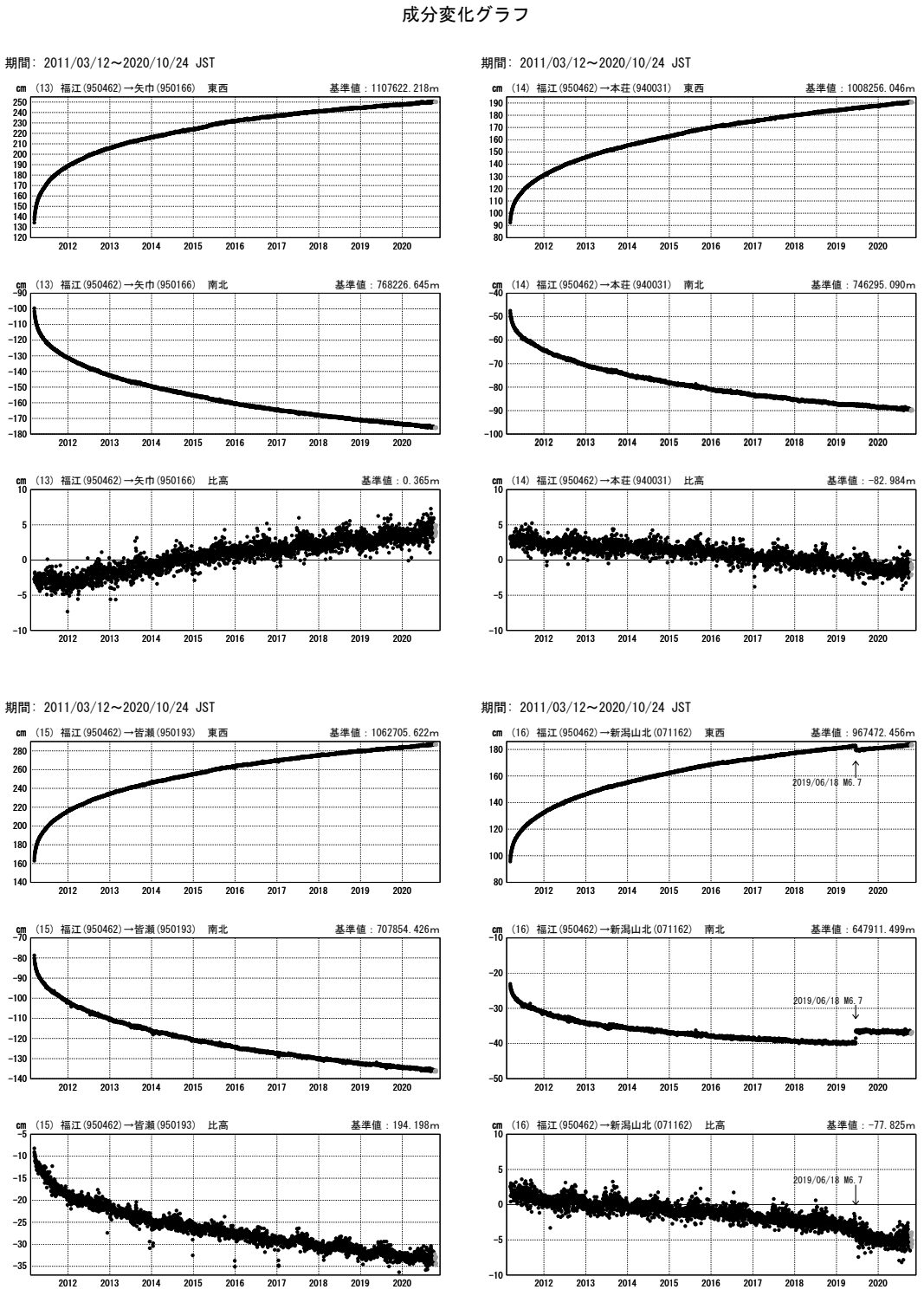
平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震後の地殻変動（３）



第 9 図　東北地方太平洋沖地震後の地殻変動（3/5）

Fig. 9　Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (3/5).

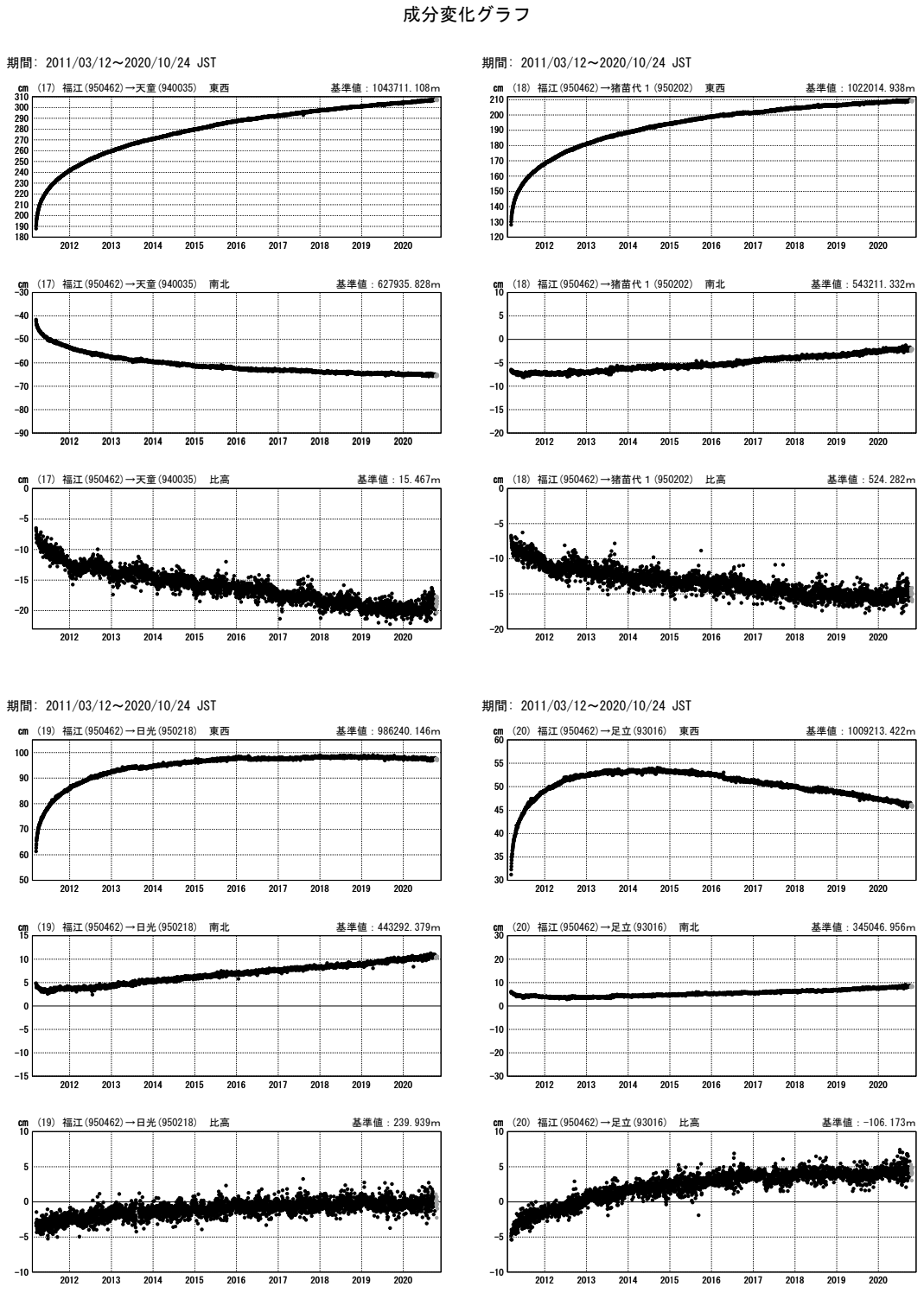
平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震後の地殻変動（４）



第 10 図　東北地方太平洋沖地震後の地殻変動（4/5）

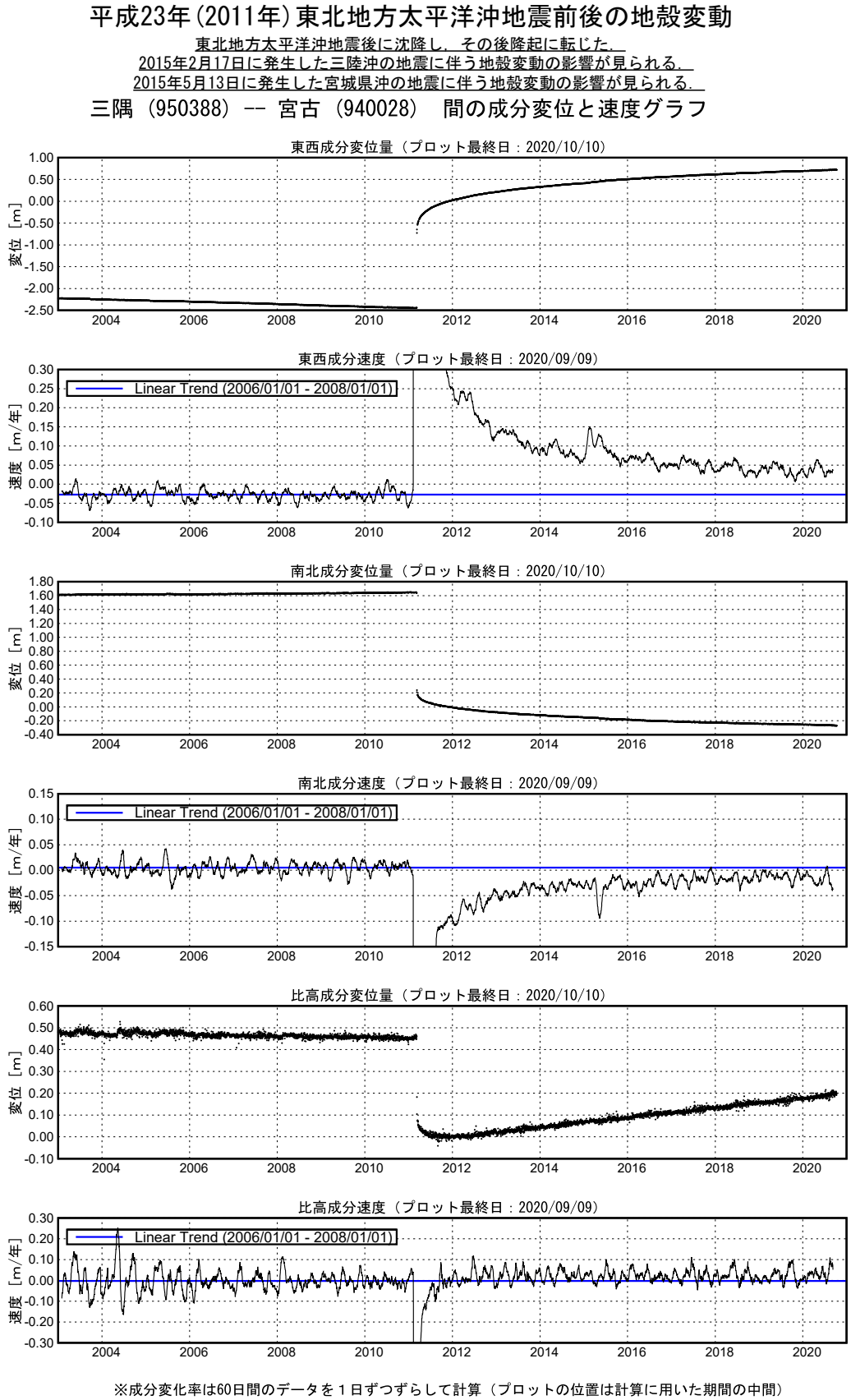
Fig. 10　Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (4/5).

平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震後の地殻変動（５）



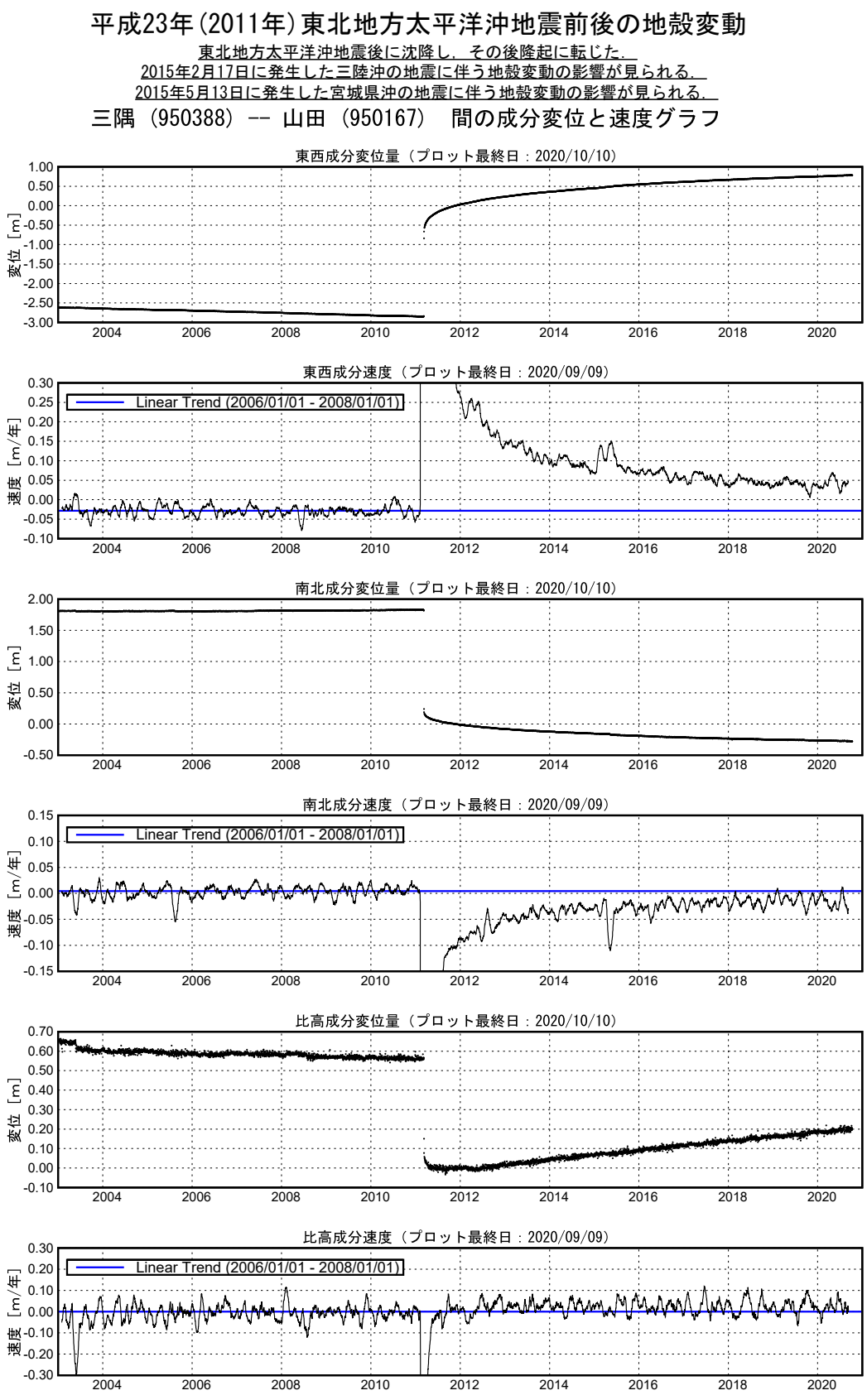
第 11 図　東北地方太平洋沖地震後の地殻変動（5/5）

Fig. 11　Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (5/5).

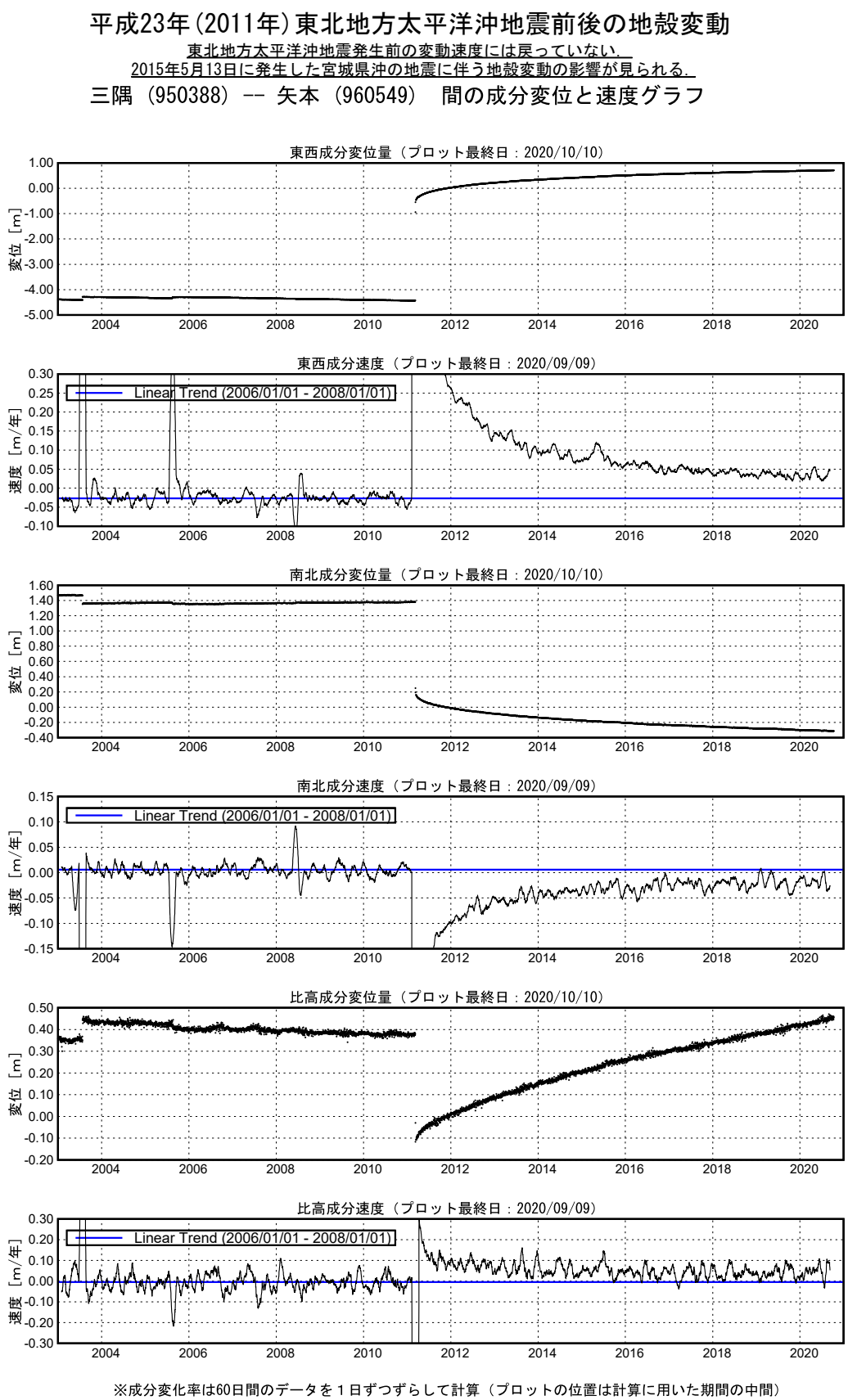


第 12 図　東北地方太平洋岸の GEONET 観測点における地殻変動速度の変化（宮古観測点・時系列）

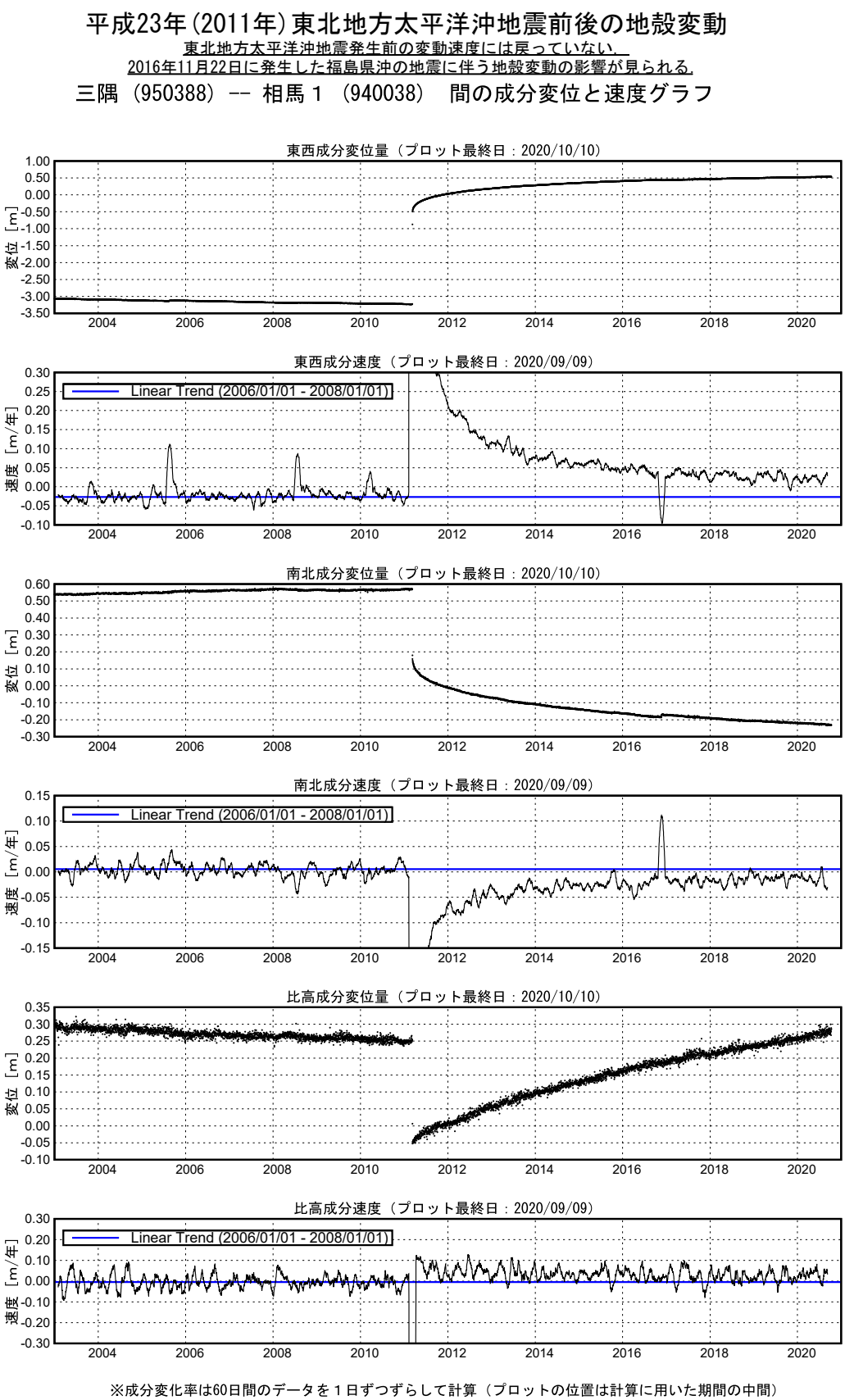
Fig. 12　Crustal deformation velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area at the Miyako station.



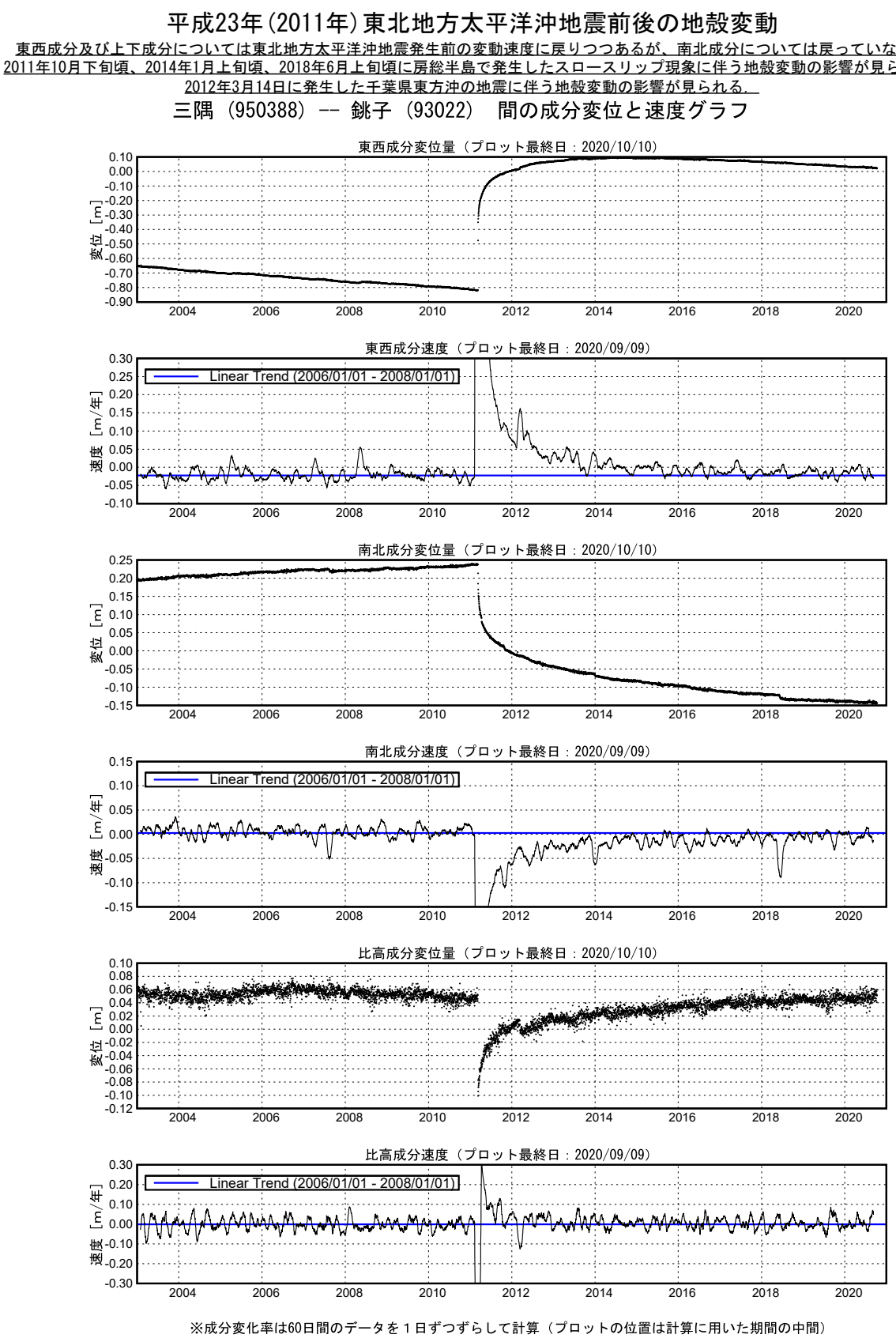
第 13 図　東北地方太平洋岸の GEONET 観測点における地殻変動速度の変化（山田観測点・時系列）
Fig. 13　Crustal deformation velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area at the Yamada station.



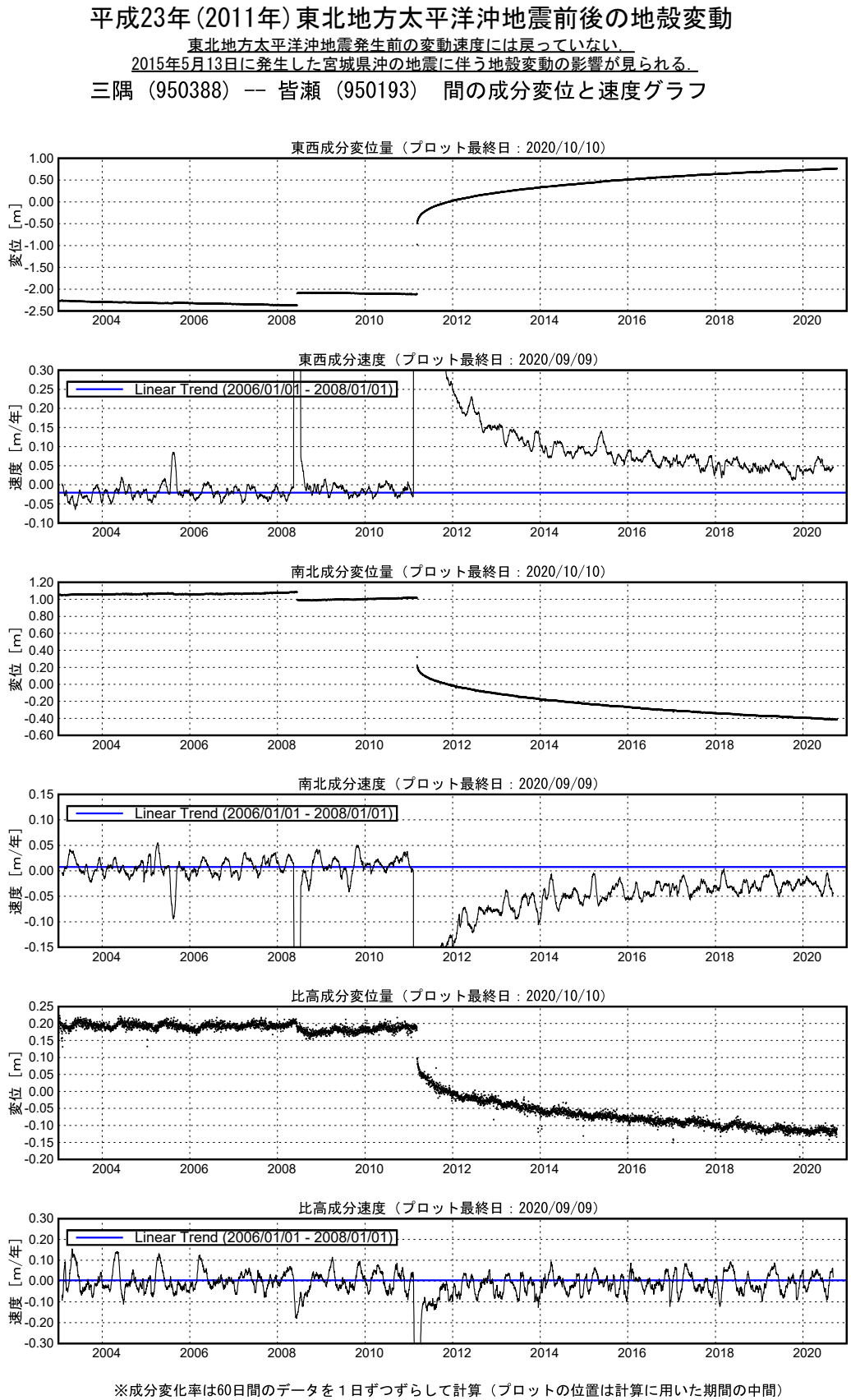
第 14 図　東北地方太平洋岸の GEONET 観測点における地殻変動速度の変化（矢本観測点・時系列）
Fig. 14　Crustal deformation velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area at the Yamoto station.



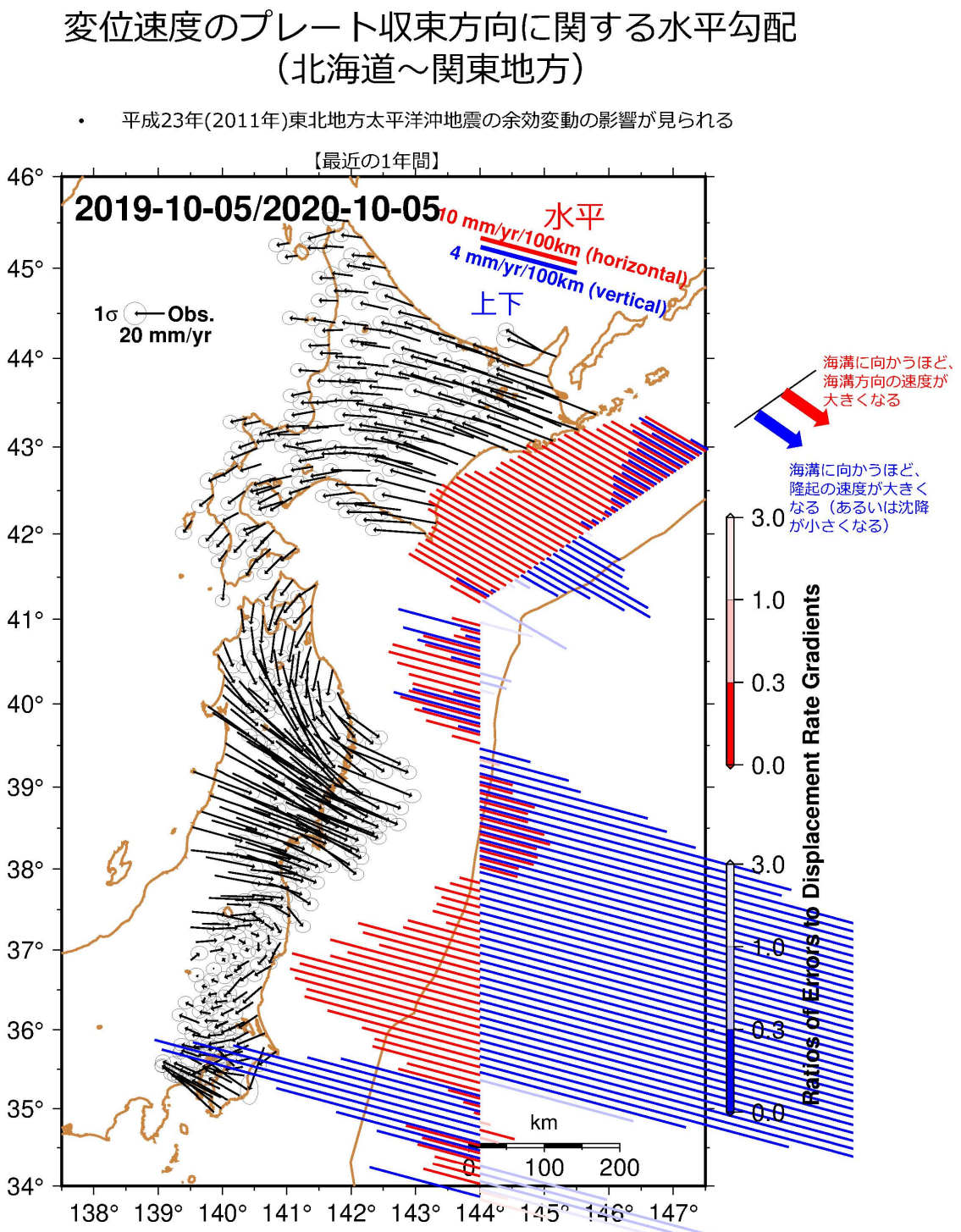
第 15 図　東北地方太平洋岸の GEONET 観測点における地殻変動速度の変化（相馬 1 観測点・時系列）
Fig. 15　Crustal deformation velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area at the Souma-1 station.



第 16 図　東北地方太平洋岸の GEONET 観測点における地殻変動速度の変化（銚子観測点・時系列）
Fig. 16　Crustal deformation velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area at the Choshi station.



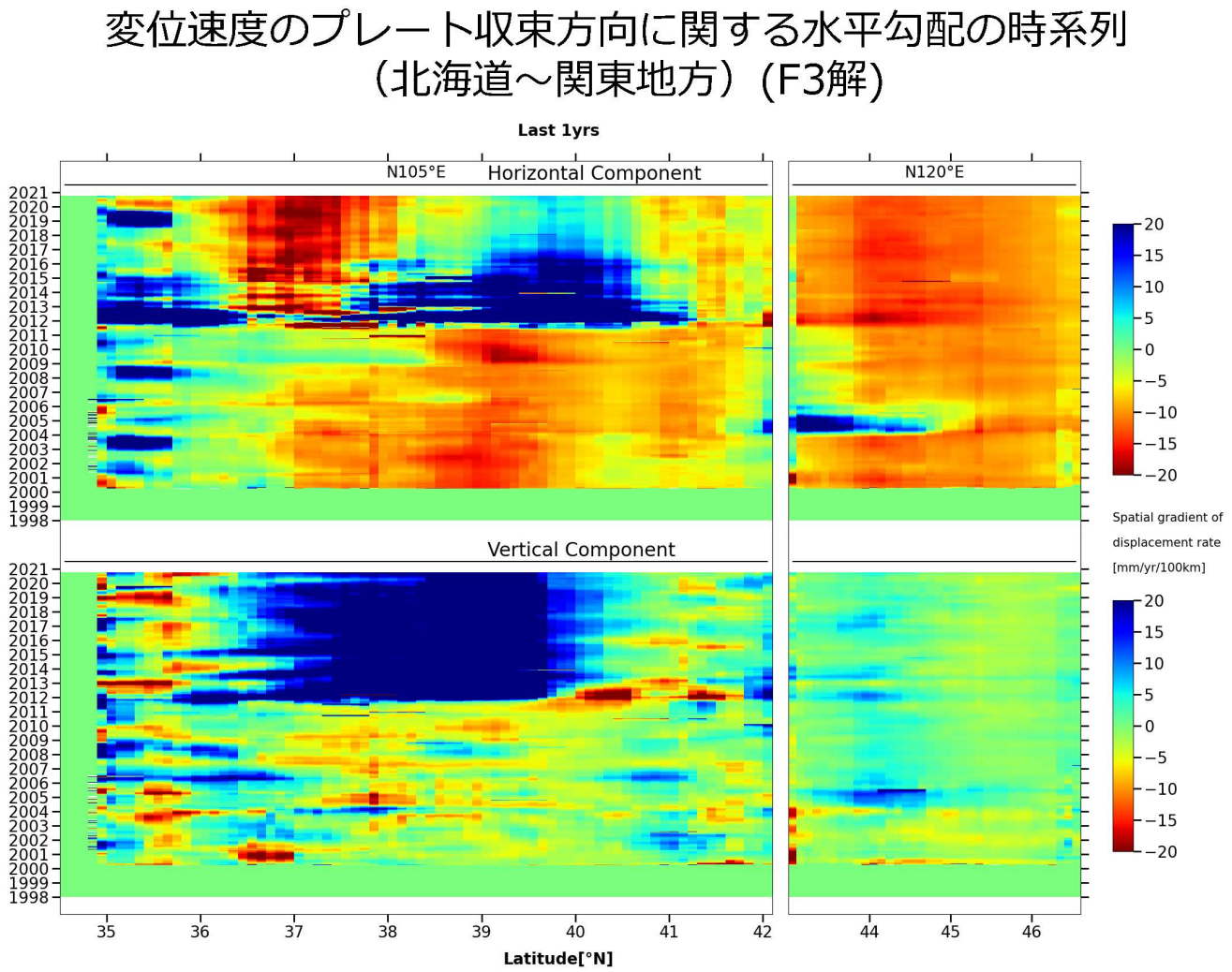
第 17 図　東北地方太平洋岸の GEONET 観測点における地殻変動速度の変化（皆瀬観測点・時系列）
Fig. 17　Crustal deformation velocity change at GEONET sites along the Pacific coast of Tohoku area at the Minase station.



- 最近の5年間のデータから年周／半年周成分を推定して元の時系列から除去した上で、最近の1年間の変位速度を計算している。
- データ期間内に発生した地震や保守作業によるオフセットは除去している。
- 幅±30kmの各帯状領域内の観測点から変位速度の空間勾配を計算している（速度の基準は三隅）。水平成分は、プレート収束方向（北海道：N120°E、東北～関東地方：N105°E）の速度から計算している。
- 速度勾配は、海溝側ほど海溝方向、隆起の速度が大きくなる場合を正（海側）にとっている。
- 本解析は、海洋研究開発機構　飯沼卓史氏から提供頂いたプログラム(Iinuma 2018)を使用している。

第 18 図　変位速度のプレート収束方向に関する水平勾配

Fig. 18　Spatial (trench-parallel) variations of the displacement rate gradients in the direction of plate convergence: horizontal and vertical rate components are shown with bars in red and blue, respectively.



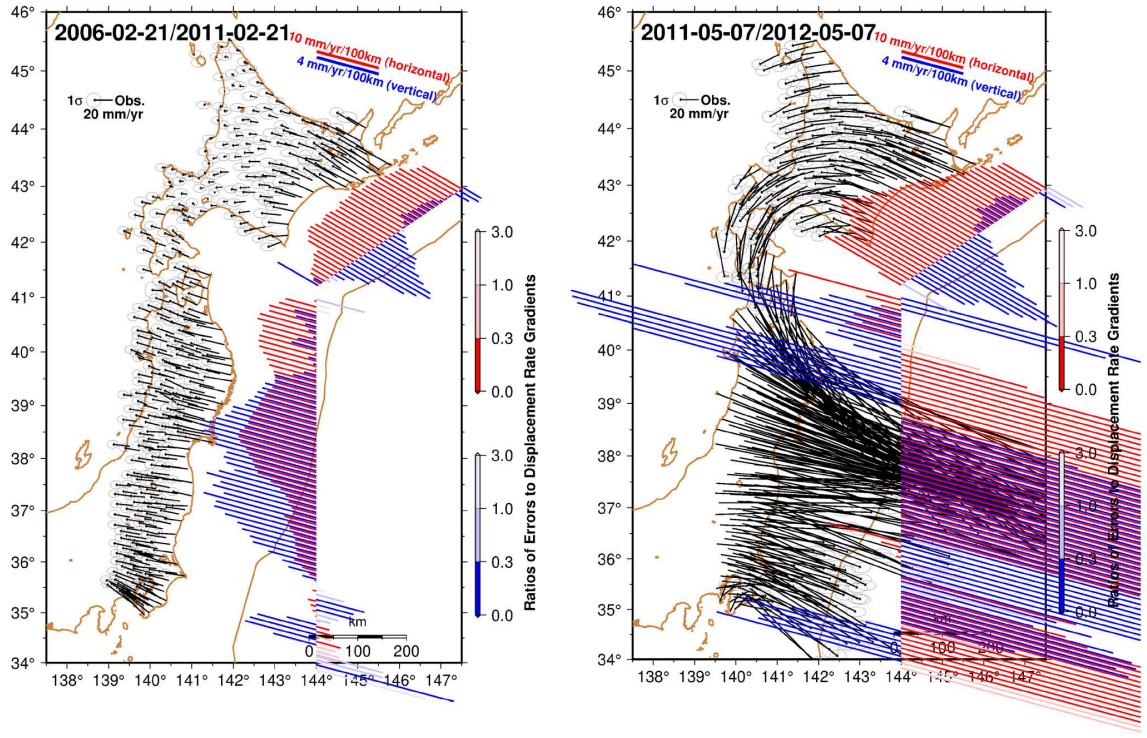
- 各帯状領域の中心線が経度140°と交わる点の緯度を、横軸にとっている
- 海溝側ほど海溝方向、隆起の速度が大きくなる場合を正にとっている。

第 19 図　変位速度のプレート収束方向に関する水平勾配（時系列）

Fig. 19　Spatio-temporal variations of the displacement rate gradients in the direction of plate convergence: horizontal (vertical) rate components are shown on top (bottom) panel.

変位速度のプレート収束方向に関する水平勾配（北海道～関東地方）比較用（F3解）

【平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震前5年間】　【平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震後1年間】



- 左の図は、平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震前の5年間の期間で推定した変位速度の空間勾配を表す。
- 右の図は、平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震直後の1年間の期間で推定した変位速度の空間勾配を表す。

第 20 図　変位速度のプレート収束方向に関する水平勾配（比較用）

Fig. 20　Spatial (trench-parallel) variations of the displacement rate gradients in the direction of plate convergence: (left) for five-year period of time before, and (right) for one year right after, the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake.

４－１　関東・中部地方とその周辺の地震活動（2020 年 5 月～ 10 月）
Seismic Activity in and around the Kanto and Chubu Districts (May – October 2020)

気象庁
Japan Meteorological Agency

今期間, 関東･中部地方とその周辺で M4.0 以上の地震は 127 回, M5.0 以上の地震は 21 回発生した. このうち，関東・中部地方では，2020 年 6 月 25 日に千葉県東方沖で発生した M6.1 の地震が最大の地震であった.

2020 年 5 月～ 10 月の M4.0 以上の地震の震央分布を第 1 図（a）及び（b）に示す.

主な地震活動は以下のとおりである.

(1) 千葉県北東部の地震（M5.6，最大震度 4，第 2 図）

2020 年 5 月 4 日 22 時 07 分に千葉県北東部の深さ 48km で M5.6 の地震（最大震度 4）が発生した. この地震は, 発震機構が東西方向に圧力軸を持つ逆断層型で, 太平洋プレートとフィリピン海プレートの境界で発生した.

(2) 千葉県北西部の地震（M5.0，最大震度 4，第 3 図（a），(b)）

2020 年 5 月 6 日 01 時 57 分に千葉県北西部の深さ 68km で M5.0 の地震（最大震度 4）が発生した. この地震の発震機構（CMT 解）は東北東－西南西方向に圧力軸を持つ逆断層型である.

(3) 茨城県沖の地震（M5.8，最大震度 4，第 4 図）

2020 年 5 月 11 日 08 時 58 分に茨城県沖の深さ 47km で M5.8 の地震（最大震度 3）が発生した. この地震は，発震機構（CMT 解）が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した．なお，この地震の 1 週間前の 5 月 4 日 22 時 34 分にも茨城県沖の深さ 45km で M4.4 の地震（最大震度 3）が発生した.

(4) 長野・岐阜県境付近の地震活動（今期間の最大 M5.4，最大震度 4，第 5 図（a）～（j））

長野・岐阜県境付近（長野県中部，岐阜県飛騨地方）の地殻内では，2020 年 4 月から一連の地震活動が続いており，2020 年 5 月 19 日 13 時 13 分に岐阜県飛騨地方の深さ 3km で M5.4 の地震（最大震度 4）が発生した．発震機構は，北西－南東方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型である．この地震の他にも, 5 月 13 日 10 時 28 分に M4.8 の地震（最大震度 3), 19 日 02 時 01 分に M4.8 の地震（最大震度 3), 同日 14 時 23 分に M4.7 の地震(最大震度 3), 同日 16 時 55 分に M4.7 の地震(最大震度 3), 29 日 19 時 05 分に M5.3 の地震（最大震度 4), 及び 7 月 5 日 15 時 09 分に M4.8 の地震（最大震度 3）が発生した. なお, 活動開始以降の最大規模の地震は, 4 月 23 日 13 時 44 分に発生した M5.5 の地震(最大震度 4）である．また，最大震度 1 以上を観測する地震が 5 月から 10 月にかけて 167 回（最大震度 4：2 回，最大震度 3：10 回，最大震度 2：30 回，最大震度 1：125 回）発生した．この付近で今回と同様な活動が発生した 1998 年の事例と比べて，今回の活動は，主な地震の北限が 1998 年よりも南側であること，M5.0 以上の地震回数が多いこと，活動開始から 3 か月目にも地震の多発する

時期がみられたことが異なる．Double-Difference 法 1)（以下, DD 法）等による詳細な震源分布から，一連の地震活動は時空間的に複数の面的なクラスターを形成して発生しており，一部では流体拡散の速度と調和的に震源分布の移動がみられた．また，大きな地震の発生前後での b 値を比較すると，地震発生前は b 値が相対的に大きく，地震発生後は b 値が相対的に小さくなる様子がみられた．

（5）茨城県北部の地震（M5.2，最大震度 4，第 6 図）

2020 年 6 月 1 日 06 時 02 分に, 茨城県北部の深さ 97km で M5.2 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震は，太平洋プレート内部で発生した．この地震の発震機構は，太平洋プレートの沈み込む方向に張力軸を持つ型である．

（6）茨城県沖の地震（M4.8，最大震度 4，第 7 図（a），(b)）

2020 年 6 月 4 日 05 時 31 分に茨城県沖の深さ 52km で M4.8 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震は，発震機構（CMT 解）が東西方向に圧力軸を持つ逆断層型で，太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した．また，この地震は既往の相似地震グループの最新の地震として検出された．

（7）岐阜県美濃中西部の地震（M4.4，最大震度 4，第 8 図（a），(b)）

2020 年 6 月 17 日 15 時 03 分に岐阜県美濃中西部の深さ 6km で M4.4 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震は，地殻内で発生した．この地震の発震機構は，東西方向に圧力軸を持つ逆断層型である．発震機構と波形相関 DD 法による詳細な震源分布から，主な断層面は東側隆起の逆断層と推定される．

（8）千葉県東方沖の地震（M6.1，最大震度 5 弱，第 9 図（a）～（c））

2020 年 6 月 25 日 04 時 47 分に，千葉県東方沖の深さ 36km で M6.1 の地震（最大震度 5 弱）が発生した．この地震の発震機構（CMT 解）は，南北方向に圧力軸を持つ逆断層型である．

（9）茨城県南部の地震（M4.7，最大震度 4，第 10 図（a），(b)）

2020 年 7 月 9 日 06 時 05 分に茨城県南部の深さ 45km で M4.7 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震は，発震機構が北西－南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で，フィリピン海プレートと陸のプレートの境界で発生した．また，この地震は既往の相似地震グループの最新の地震として検出された．

（10）鳥島近海の地震（M6.0，震度 1 以上を観測した地点はなし，第 11 図（a），(b)）

2020 年 7 月 30 日 09 時 35 分に鳥島近海の深さ 16km（CMT 解による）で M6.0 の地震（震度 1 以上を観測した地点はなし）が発生した．この地震の発震機構（CMT 解）は，東西方向に圧力軸を持つ逆断層型である．

（11）茨城県沖の地震（M5.6，最大震度 3，第 12 図（a）～（d））

2020 年 8 月 6 日 02 時 54 分に茨城県沖で M5.6 の地震（最大震度 3）が発生した．この地震は，

発震機構が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で，太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した．また，この地震は既往の相似地震グループの最新の地震として検出された．

（12）父島近海の地震（M4.8，最大震度 4，第 14 図（a），(b)）

2020 年 9 月 3 日 00 時 21 分に，父島近海で M4.8 の地震（最大震度 4）が発生した．

（13）福井県嶺北の地震（M5.0，最大震度 5 弱，第 15 図（a）～（c））

2020 年 9 月 4 日 09 時 10 分に福井県嶺北の深さ 7km で M5.0 の地震（最大震度 5 弱）が発生した．この地震は地殻内で発生した．この地震の発震機構（CMT 解）は，西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型である．この地震の発生前後におけるこの地震の震央周辺の地震の M 下限別 b 値を比較すると，地震発生後に b 値が相対的に低下したことがわかる．

（14）茨城県沖の地震（M5.2，最大震度 3，第 16 図）

2020 年 9 月 7 日 06 時 33 分に茨城県沖の深さ 38km で M5.2 の地震（最大震度 3）が発生した．この地震は，発震機構（CMT 解）が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ型で，太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した．なお，今回の地震の震源付近では，9 月 4 日に M4.6 の地震（最大震度 2）が発生している．

（15）静岡県西部の地震（M5.1，最大震度 4，第 17 図）

2020 年 9 月 27 日 13 時 13 分に静岡県西部の深さ 45km で M5.1 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震は，発震機構が東西方向に張力軸を持つ横ずれ断層型で，フィリピン海プレート内部で発生した．

（16）八丈島東方沖の地震（M5.8，最大震度 3，第 18 図（a），(b)）

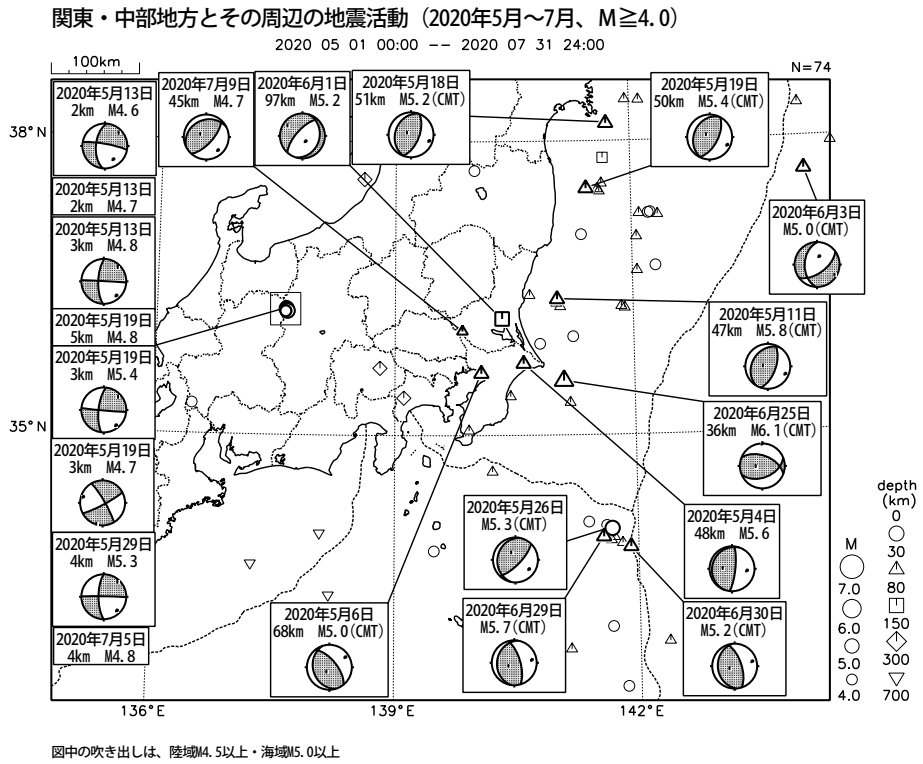
2020 年 10 月 3 日 18 時 31 分に八丈島東方沖の深さ 39km（CMT 解による）で M5.8 の地震（最大震度 3）が発生した．この地震の発震機構（CMT 解）は，東西方向に圧力軸を持つ逆断層型である．

（17）その他の地震活動

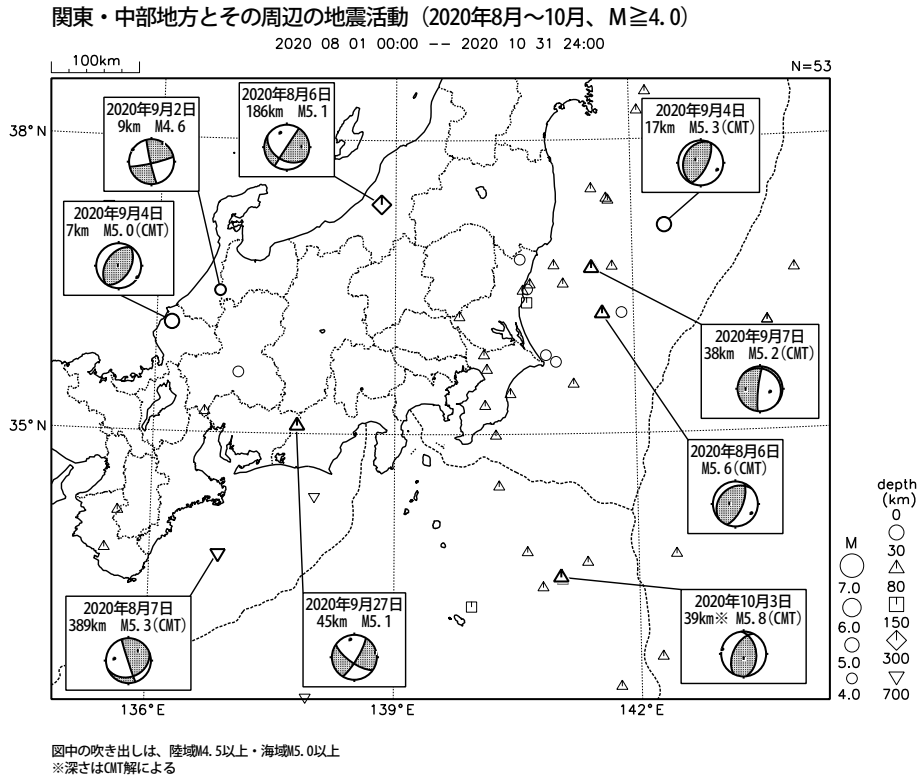
発生年月日	震央地名	規模（M）	深さ（km）	最大震度	
2020 年 9 月 2 日	石川県加賀地方	4.6	9	3	（第 13 図）

参考文献

1） Waldhauser, F. and W. L. Ellsworth. (2000), *Bull. Seism. Soc. AM.*, **90**, 1353-1368.
A Double-Difference Earthquake Location Algorithm: Method and Application to the Northern Hayward Fault, California.

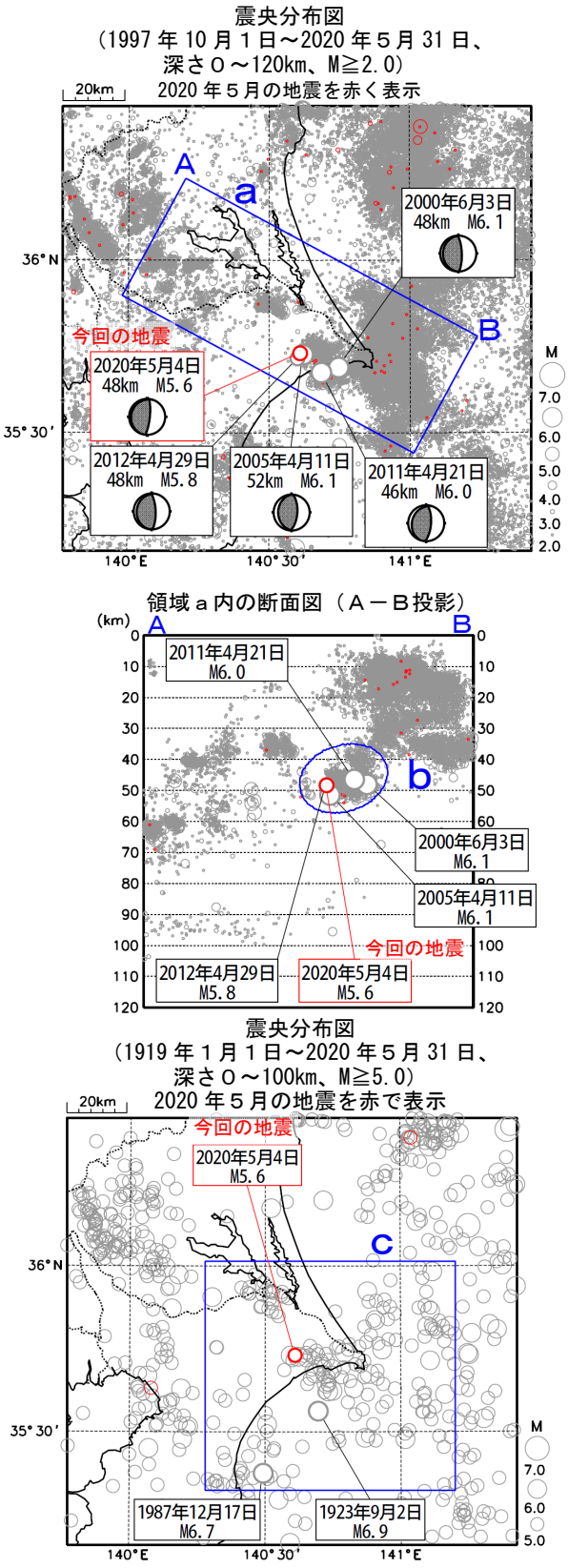


第 1 図 (a)　関東・中部地方とその周辺の地震活動（2020 年 5 月～ 7 月，M ≧ 4.0，深さ≦ 700km）
Fig. 1(a)　Seismic activity in and around the Kanto and Chubu districts (May – July 2020, M ≧ 4.0, depth ≦ 700km).



第 1 図 (b)　つづき（2020 年 8 月～ 10 月，M ≧ 4.0，深さ≦ 700km）
Fig. 1(b)　Continued (August – October 2020, M ≧ 4.0, depth ≦ 700km).

５月４日　千葉県北東部の地震



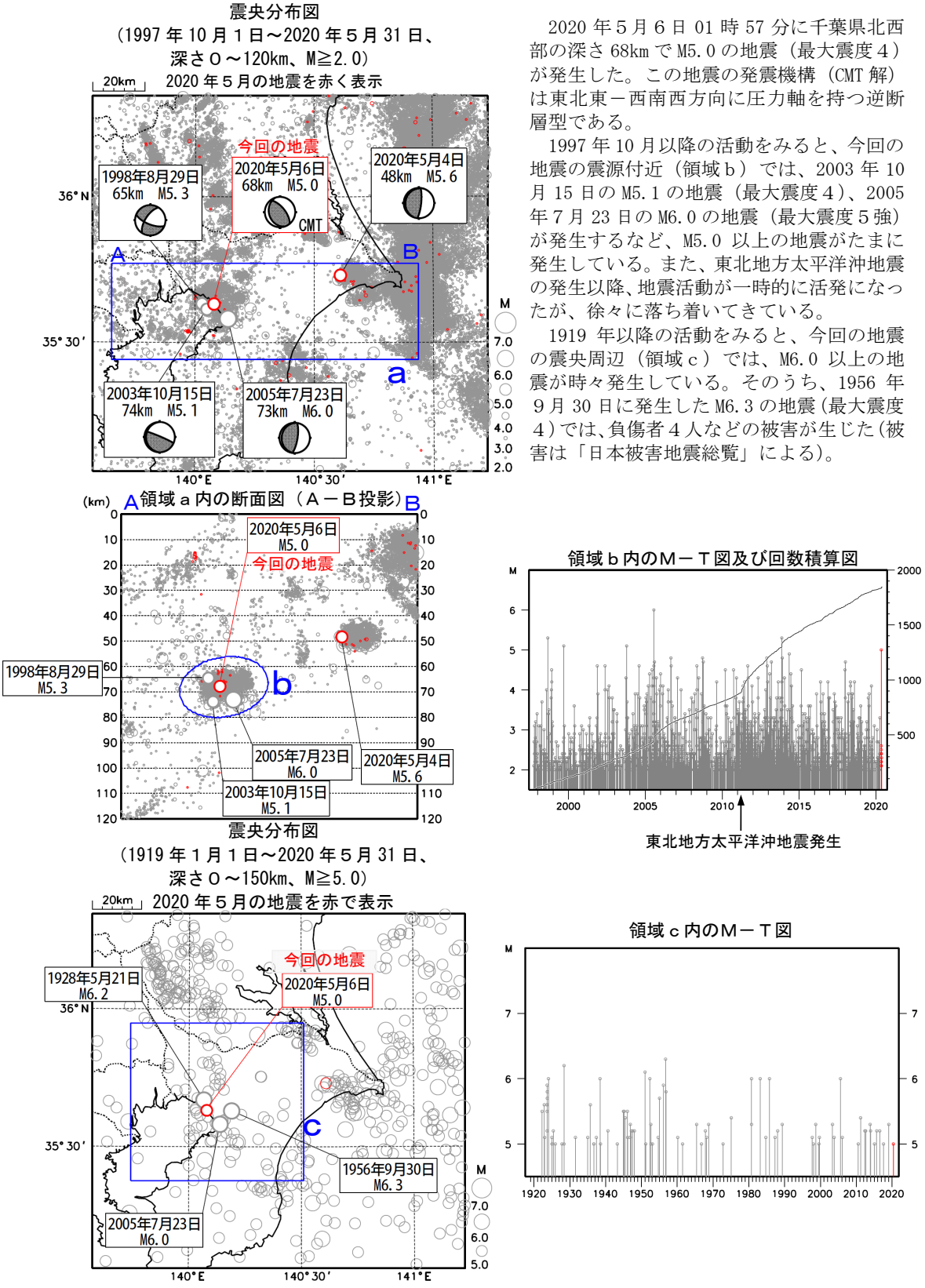
2020 年 5 月 4 日 22 時 07 分に千葉県北東部の深さ 48km で M5.6 の地震（最大震度４）が発生した。この地震は、発震機構が東西方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートとフィリピン海プレートの境界で発生した。

1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、2005 年４月 11 日の M6.1 の地震（最大震度５強）が発生するなど M6.0 以上の地震がたまに発生している。また、東北地方太平洋沖地震の発生以降は地震活動が活発になり、2012 年４月 29 日の M5.8 の地震（最大震度５弱）のような M5.0 以上の地震が時々発生している。

1919 年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｃ）では、M６程度の地震が時々発生している。1987 年 12 月 17 日に発生した千葉県東方沖の地震（M6.7、最大震度５）では、死者２人、住家全壊 16 棟などの被害が生じた（被害は「日本被害地震総覧」による）。

第 2 図　2020 年 5 月 4 日　千葉県北東部の地震
Fig. 2　The earthquake in the north-eastern part of Chiba Prefecture on May 4, 2020.

５月６日　千葉県北西部の地震



2020 年 5 月 6 日 01 時 57 分に千葉県北西部の深さ 68km で M5.0 の地震（最大震度４）が発生した。この地震の発震機構（CMT 解）は東北東－西南西方向に圧力軸を持つ逆断層型である。

1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、2003 年 10 月 15 日の M5.1 の地震（最大震度４）、2005 年 7 月 23 日の M6.0 の地震（最大震度５強）が発生するなど、M5.0 以上の地震がたまに発生している。また、東北地方太平洋沖地震の発生以降、地震活動が一時的に活発になったが、徐々に落ち着いてきている。

1919 年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｃ）では、M6.0 以上の地震が時々発生している。そのうち、1956 年９月 30 日に発生した M6.3 の地震（最大震度４）では、負傷者４人などの被害が生じた（被害は「日本被害地震総覧」による）。

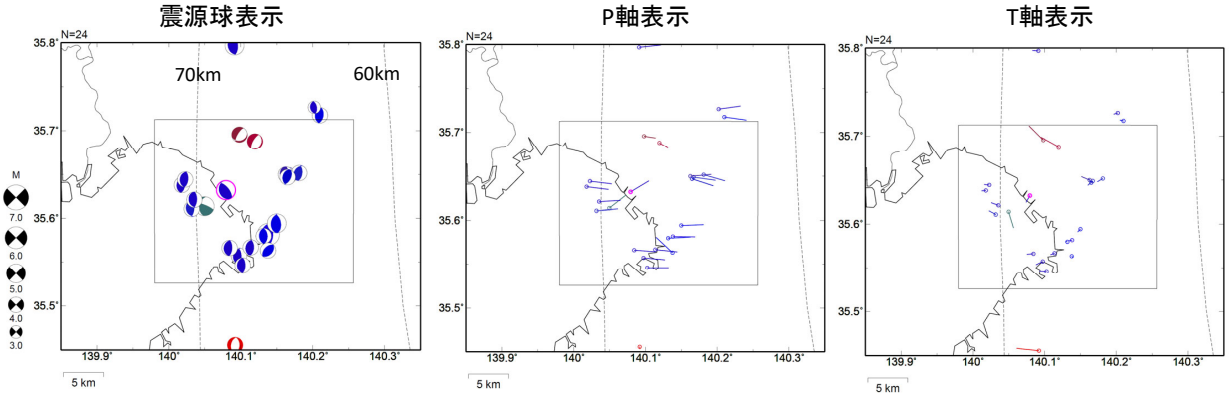
第 3 図 (a)　2020 年 5 月 6 日　千葉県北西部の地震
Fig. 3(a)　The earthquake in the north-western part of Chiba Prefecture on May 6, 2020.

5月6日千葉県北西部の地震（付近の発震機構解）

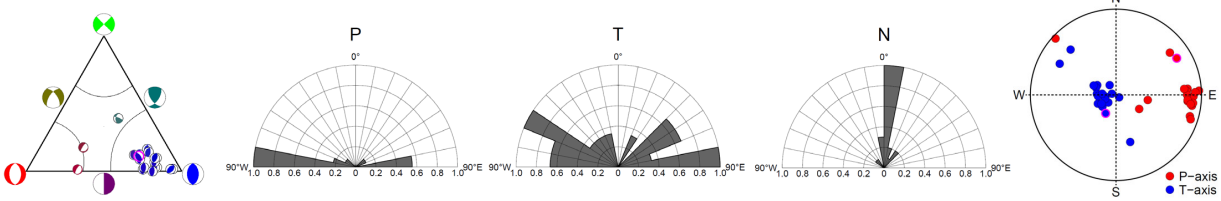
Frohlich, C. (2001)に基づいて断層型別を分類し、横ずれ断層型を緑、逆断層型を青、正断層型を赤で表示
各解は震源の位置と深さに表示

CMT解分布（1997年10月1日～5月31日、深さ60～80km、M≧3.0）

ピンクの縁取り：今回の地震の解

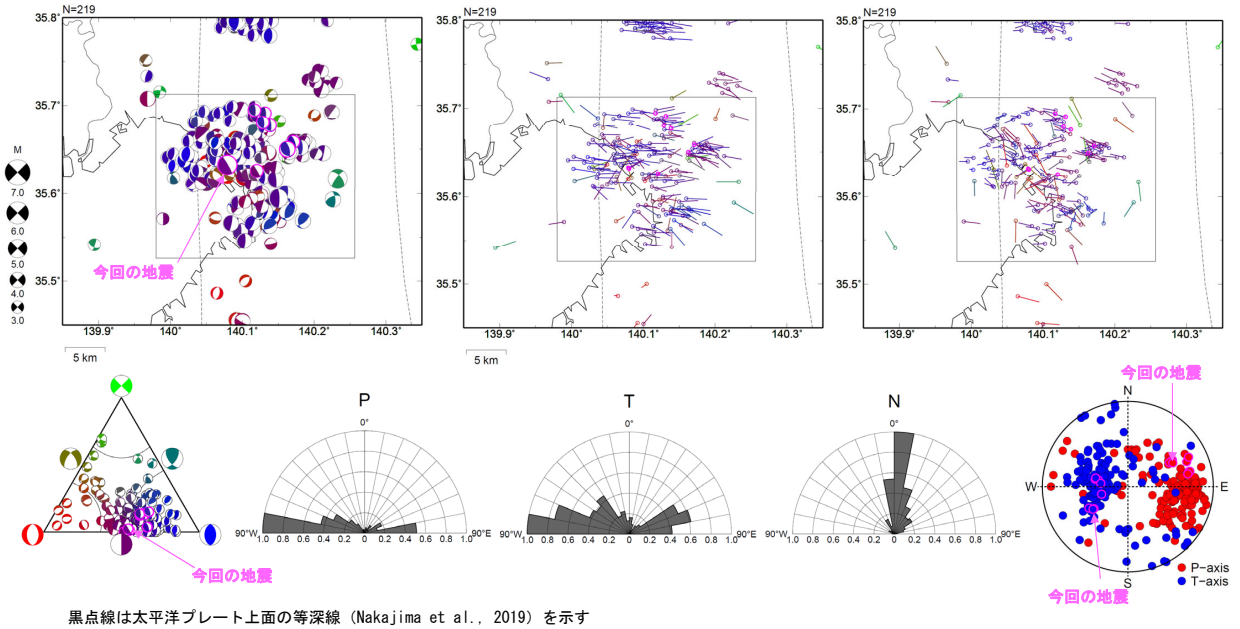


左から、上図矩形領域内の三角ダイアグラム、P・T・N軸方位のローズダイアグラム、P・T軸の方位分布



P波初動解分布（1997年10月1日～2020年5月31日、深さ60～80km、M≧3.0）
各図の並びは上記（CMT解分布）と同じ

ピンクの縁取り：今回の地震と同じタイプ（東北東－西南西方向に圧力軸を持つ逆断層型）の解。なお、今回の地震の解は参考解である。

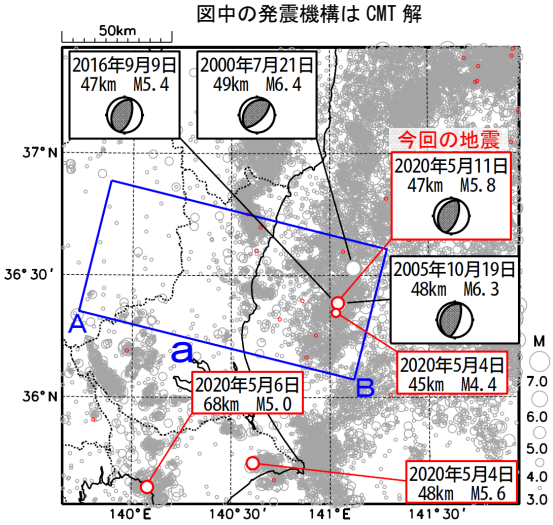


黒点線は太平洋プレート上面の等深線（Nakajima et al., 2019）を示す

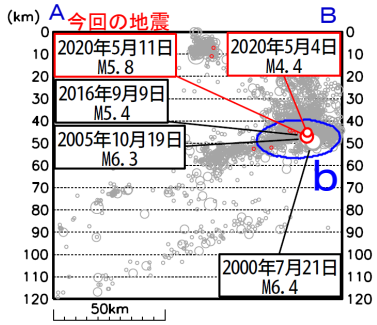
第 3 図 (b)　つづき
Fig. 3(b)　Continued.

５月 11 日　茨城県沖の地震

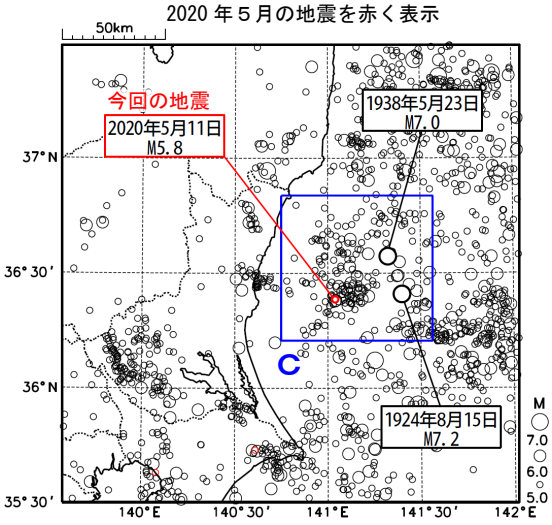
震央分布図
（1997 年 10 月 1 日～2020 年 5 月 31 日、
深さ 0～120km、M≧3.0）
2020 年 5 月の地震を赤く表示
図中の発震機構は CMT 解



領域 a 内の断面図（A－B 投影）



震央分布図
（1919 年 1 月 1 日～2020 年 5 月 31 日、
深さ 0～120km、M≧5.0）
2020 年 5 月の地震を赤く表示

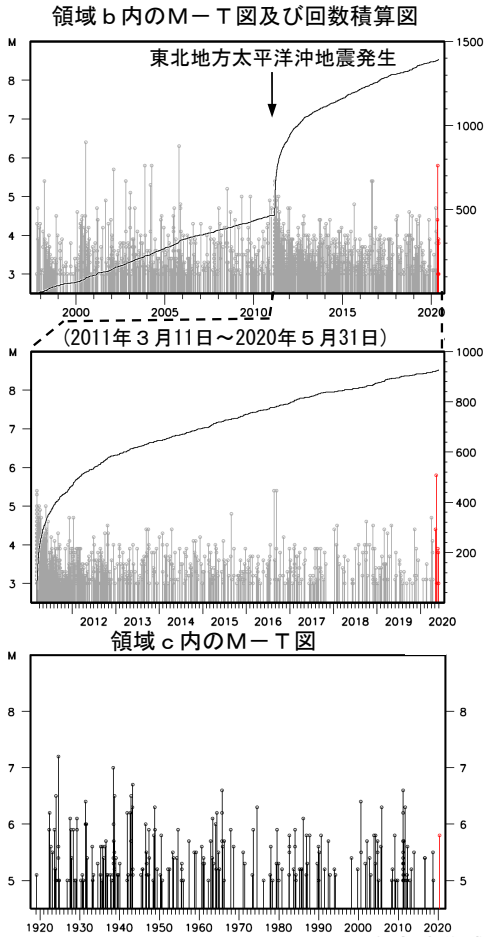


2020 年 5 月 11 日 08 時 58 分に茨城県沖の深さ 47km で M5.8 の地震（最大震度３）が発生した。この地震は、発震機構（CMT 解）が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した。なお、この地震の１週間前の５月４日 22 時 34 分にも茨城県沖の深さ 45km で M4.4 の地震（最大震度３）が発生した。

1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、2005 年 10 月 19 日に今回の地震とほぼ同じ場所で M6.3 の地震（最大震度５弱）が発生するなど、2005 年までは M5.5 以上の地震が時々発生していた。2006 年以降は、「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」の発生以降の地震活動が一時的に活発になった時期を含めて、今回の地震が発生するまで M5.5 以上の地震は発生していなかった。

1919 年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｃ）では、M7.0 以上の地震が２回発生している。このうち 1938 年５月 23 日に発生した M7.0 の地震では、福島県小名浜で 83cm（全振幅）の津波が観測された（「日本被害地震総覧」による）。

領域ｂ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図



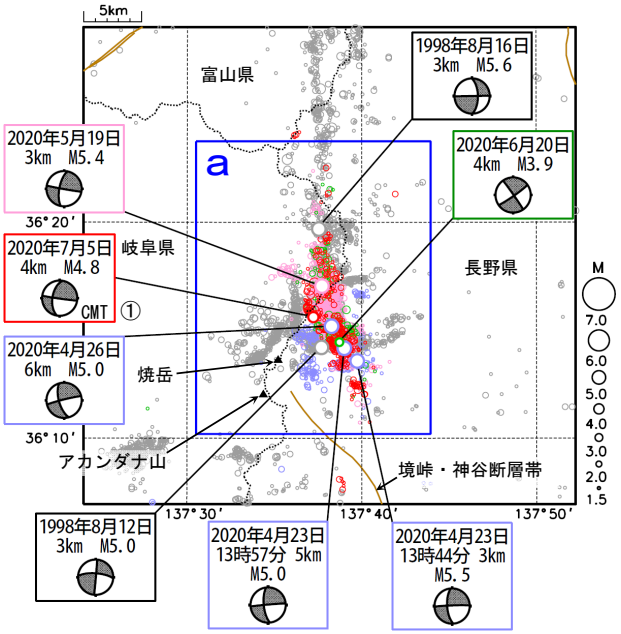
領域ｃ内のＭ－Ｔ図

第 4 図　2020 年 5 月 11 日　茨城県沖の地震
Fig. 4　The earthquake off Ibaraki Prefecture on May 11, 2020.

長野・岐阜県境付近（長野県中部、岐阜県飛騨地方）の地震活動

長野・岐阜県境付近（長野県中部、岐阜県飛騨地方）の地殻内（領域ａ）では、５月 19 日に発生した M5.4 の地震（最大震度４）をはじめとして、今期間も一連の活動は消長を繰り返しながら継続している。これまでの最大規模の地震は４月 23 日の M5.5 の地震（最大震度４）である。最大震度１以上を観測する地震が７月は 43 回（最大震度３：３回、最大震度２：９回、最大震度１：31 回）発生した。領域ａ内で７月に発生した地震の内、最大規模の地震は７月５日 15 時 09 分に発生した長野県中部の地震（M4.8、最大震度３；図中の①の地震）であった。

震央分布図
（1997 年 10 月１日～2020 年７月 31 日、
深さ０～30km、M≧1.5）
地震は 2020 年３月以前が灰色、４月が薄青、
５月が薄赤、６月が緑、７月が赤で色分けして表示

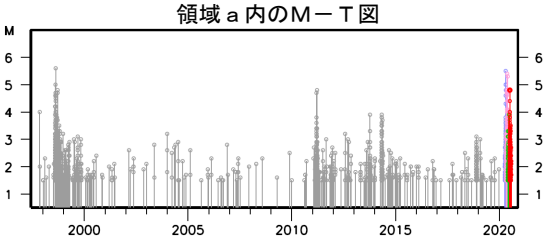


茶線は地震調査研究推進本部の長期評価による活断層を示す。

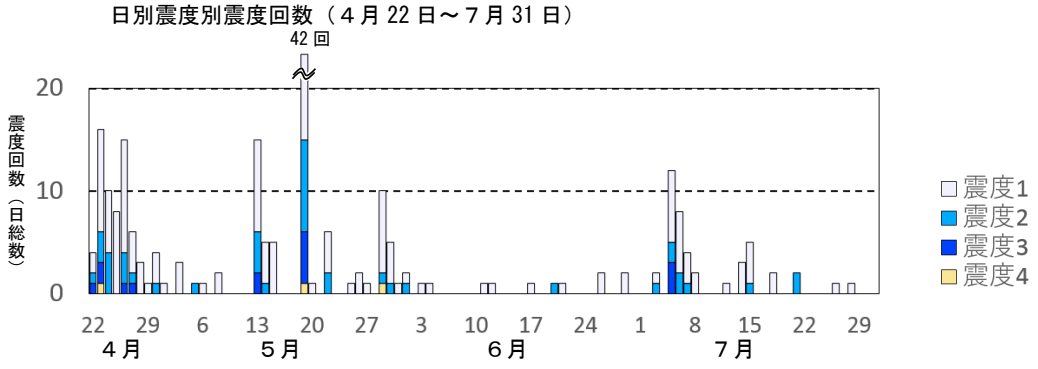
日別震度別回数表
（2020 年４月 22 日～７月 31 日）

月日	震度1	震度2	震度3	震度4	合計
４月合計	48	13	5	1	67
５月合計	74	19	7	2	102
６月合計	11	2	0	0	13
7/1	0	0	0	0	0
7/2	0	0	0	0	0
7/3	1	1	0	0	2
7/4	0	0	0	0	0
7/5	7	2	3	0	12
7/6	6	2	0	0	8
7/7	3	1	0	0	4
7/8	2	0	0	0	2
7/9	0	0	0	0	0
7/10	0	0	0	0	0
7/11	0	0	0	0	0
7/12	1	0	0	0	1
7/13	0	0	0	0	0
7/14	3	0	0	0	3
7/15	4	1	0	0	5
7/16	0	0	0	0	0
7/17	0	0	0	0	0
7/18	2	0	0	0	2
7/19	0	0	0	0	0
7/20	0	0	0	0	0
7/21	0	2	0	0	2
7/22	0	0	0	0	0
7/23	0	0	0	0	0
7/24	0	0	0	0	0
7/25	0	0	0	0	0
7/26	1	0	0	0	1
7/27	0	0	0	0	0
7/28	1	0	0	0	1
7/29	0	0	0	0	0
7/30	0	0	0	0	0
7/31	0	0	0	0	0
合計	164	43	15	3	225

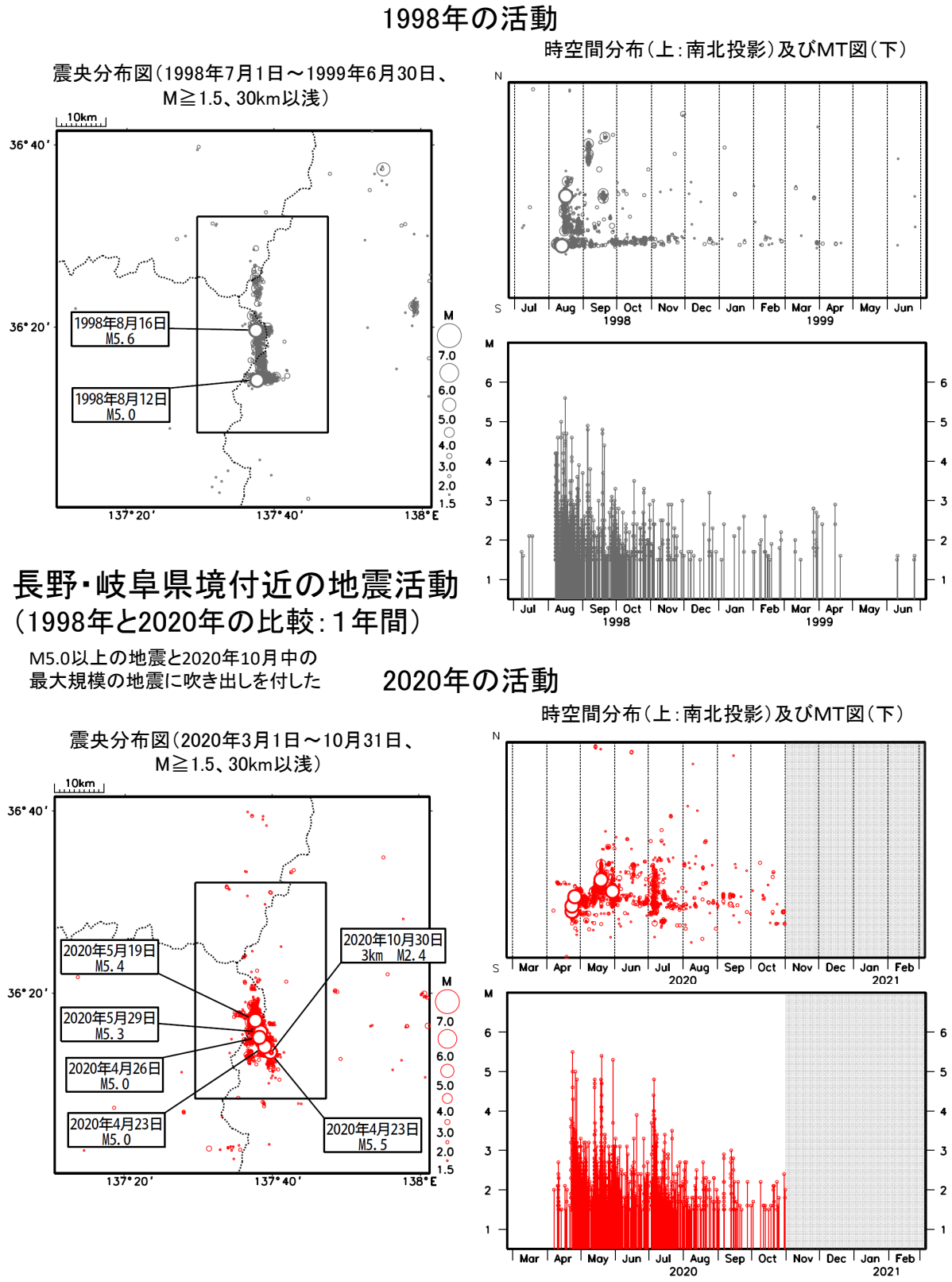
領域ａ内のＭ－Ｔ図



日別震度別震度回数（４月 22 日～７月 31 日）



第 5 図 (a)　長野・岐阜県境付近の地震活動
Fig. 5(a)　Seismic activity around the border of Nagano and Gifu Prefecture.



第 5 図 (b)　つづき
Fig. 5(b)　Continued.

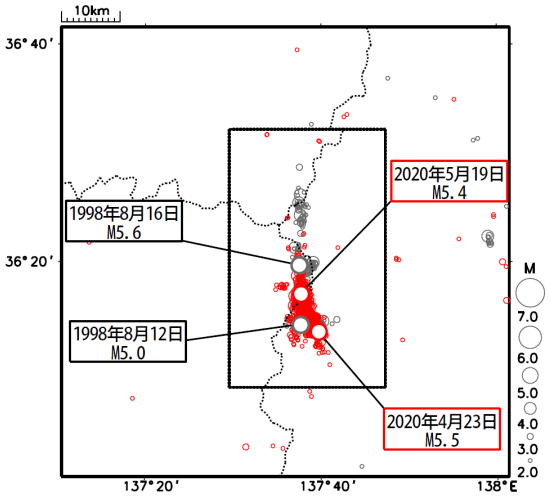
長野・岐阜県境付近の活動

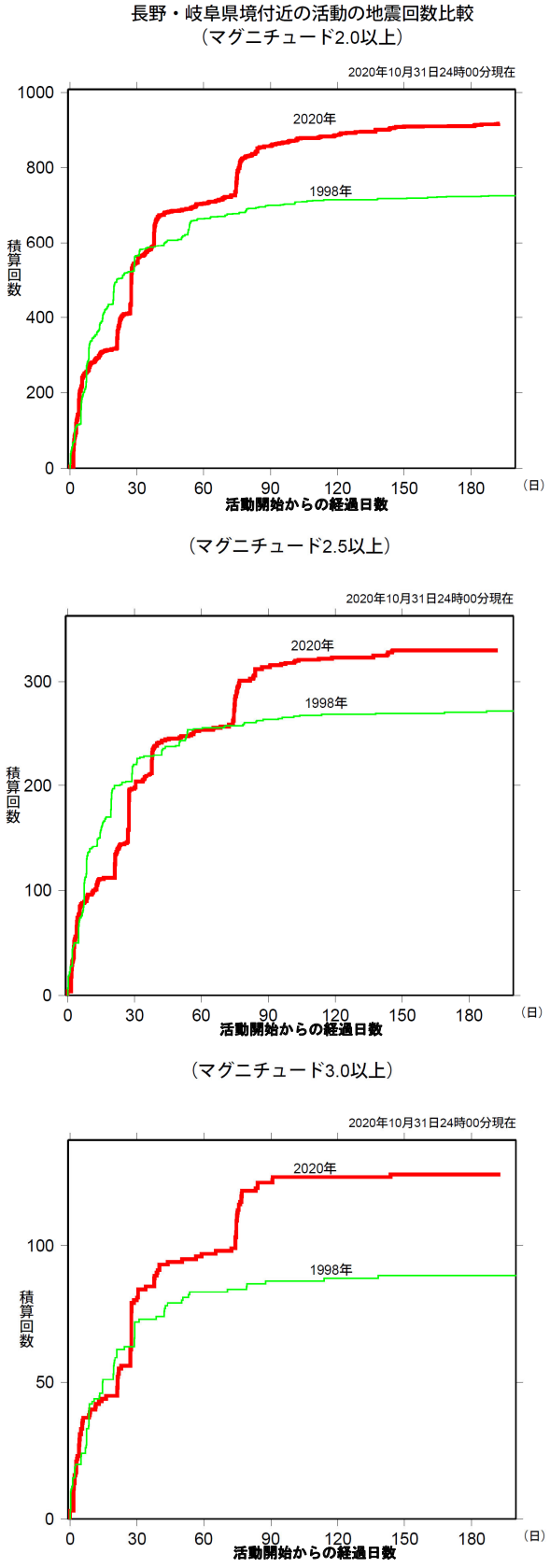
地震回数比較グラフ
（1998年と2020年）

下の震央分布図の矩形領域内における地震回数について、1998年は8月7日、2020年は4月22日をそれぞれ起算日とし、M2.0、M2.5、M3.0以上で比較した。

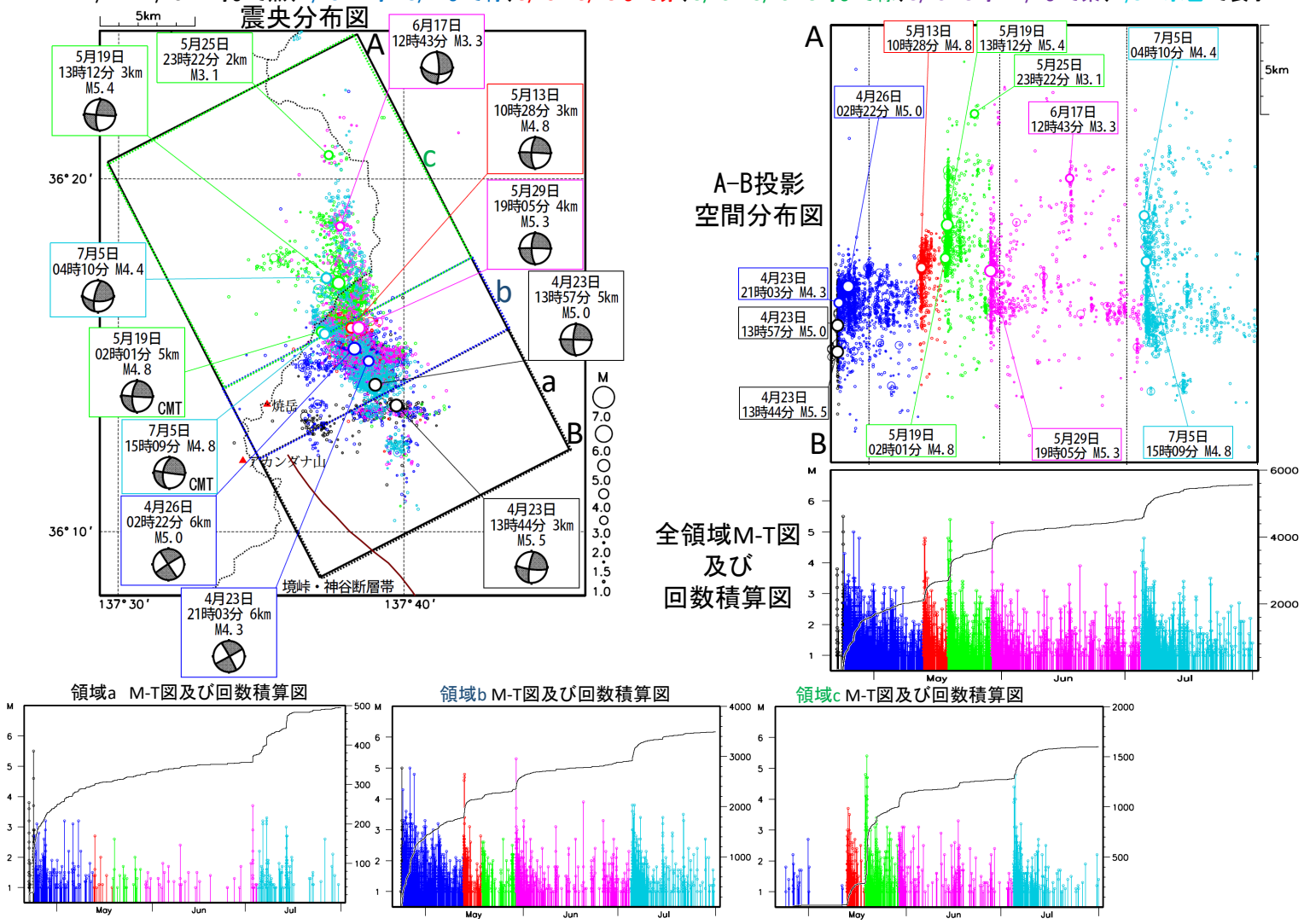
震央分布図（M2.0以上、30km以浅）

灰：1998年8月7日～1999年2月22日
赤：2020年4月22日～2020年10月31日



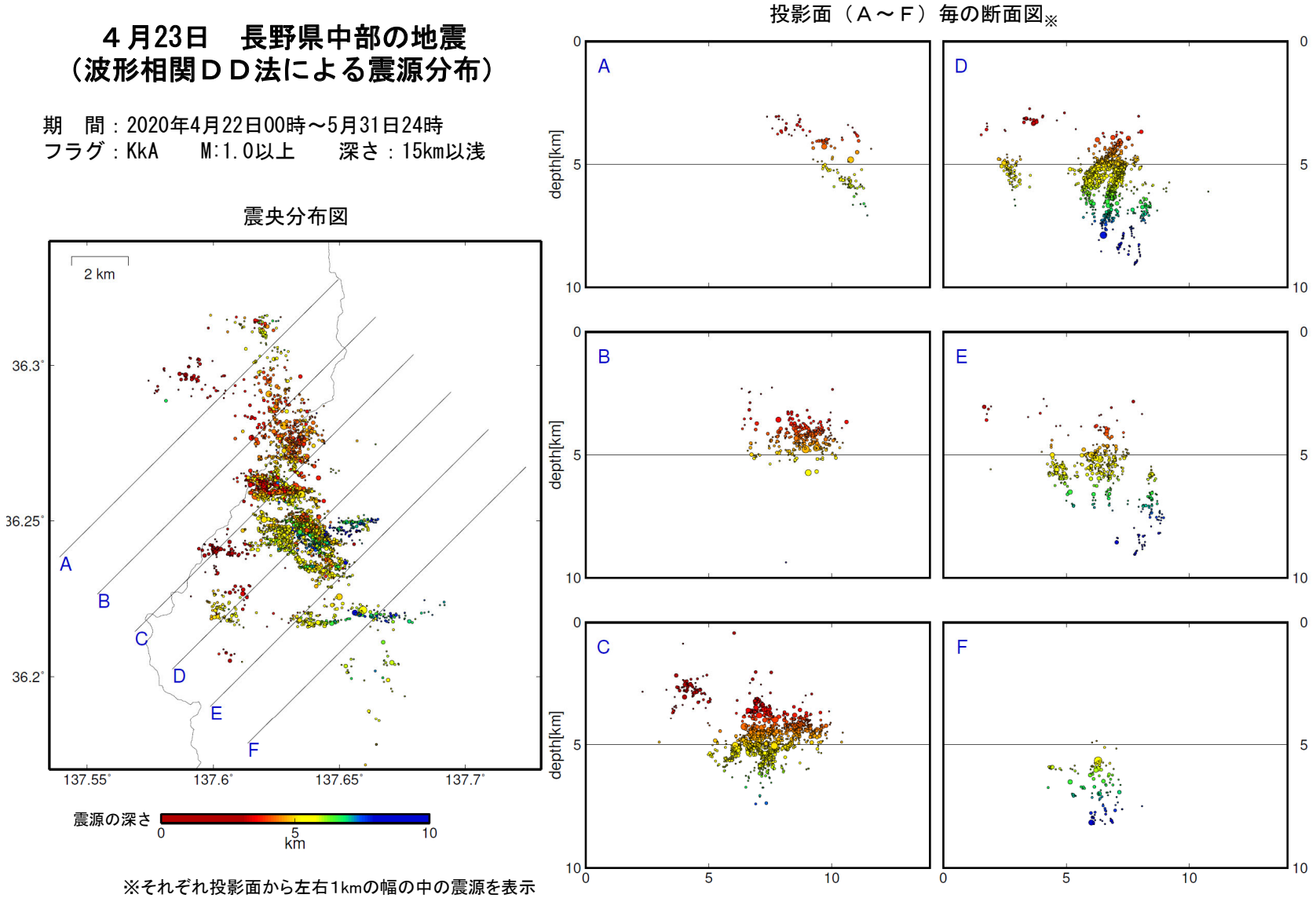


第 5 図 (c)　つづき
Fig. 5(c)　Continued.

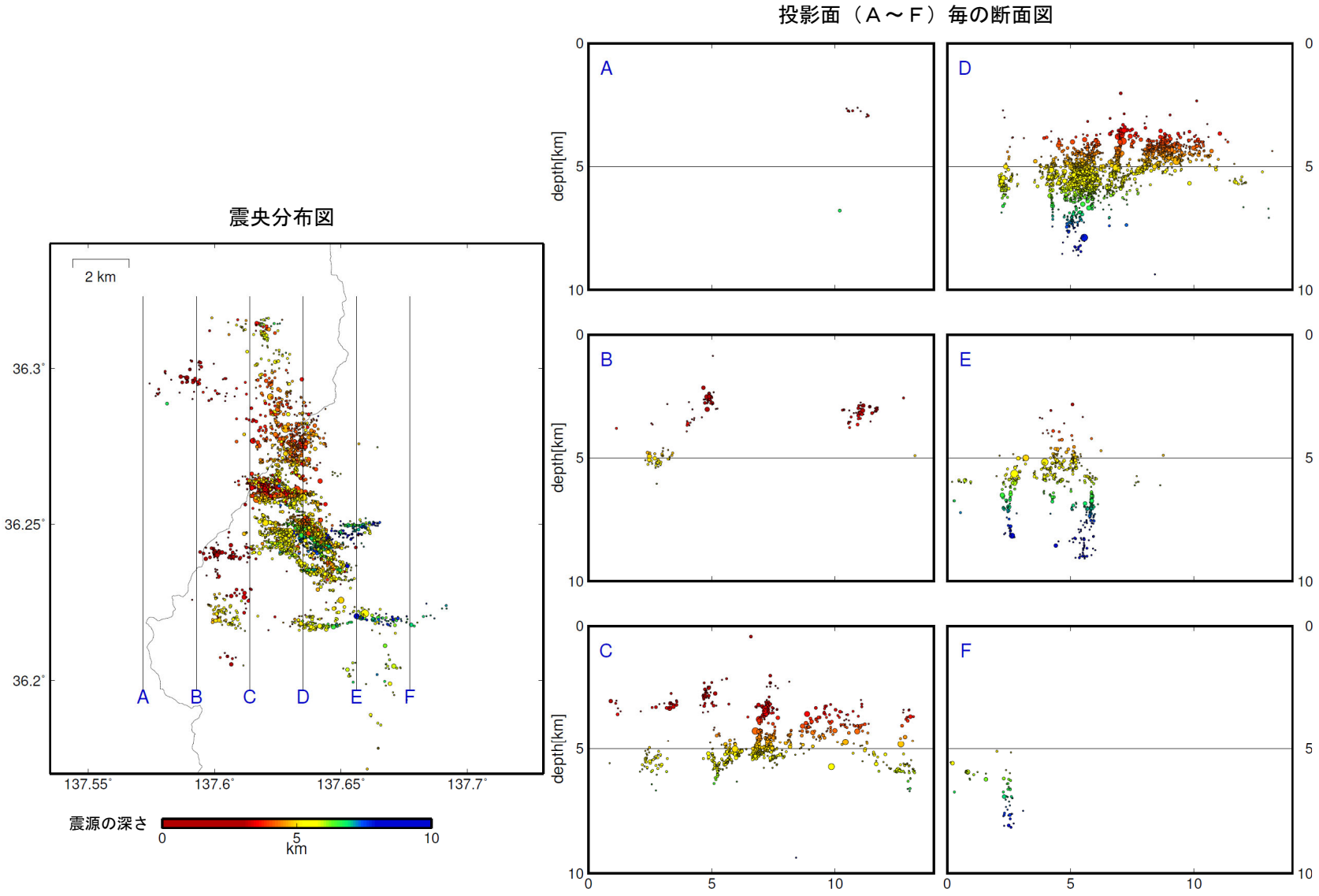


第 5 図 (d)　つづき
Fig. 5(d)　Continued.

地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行

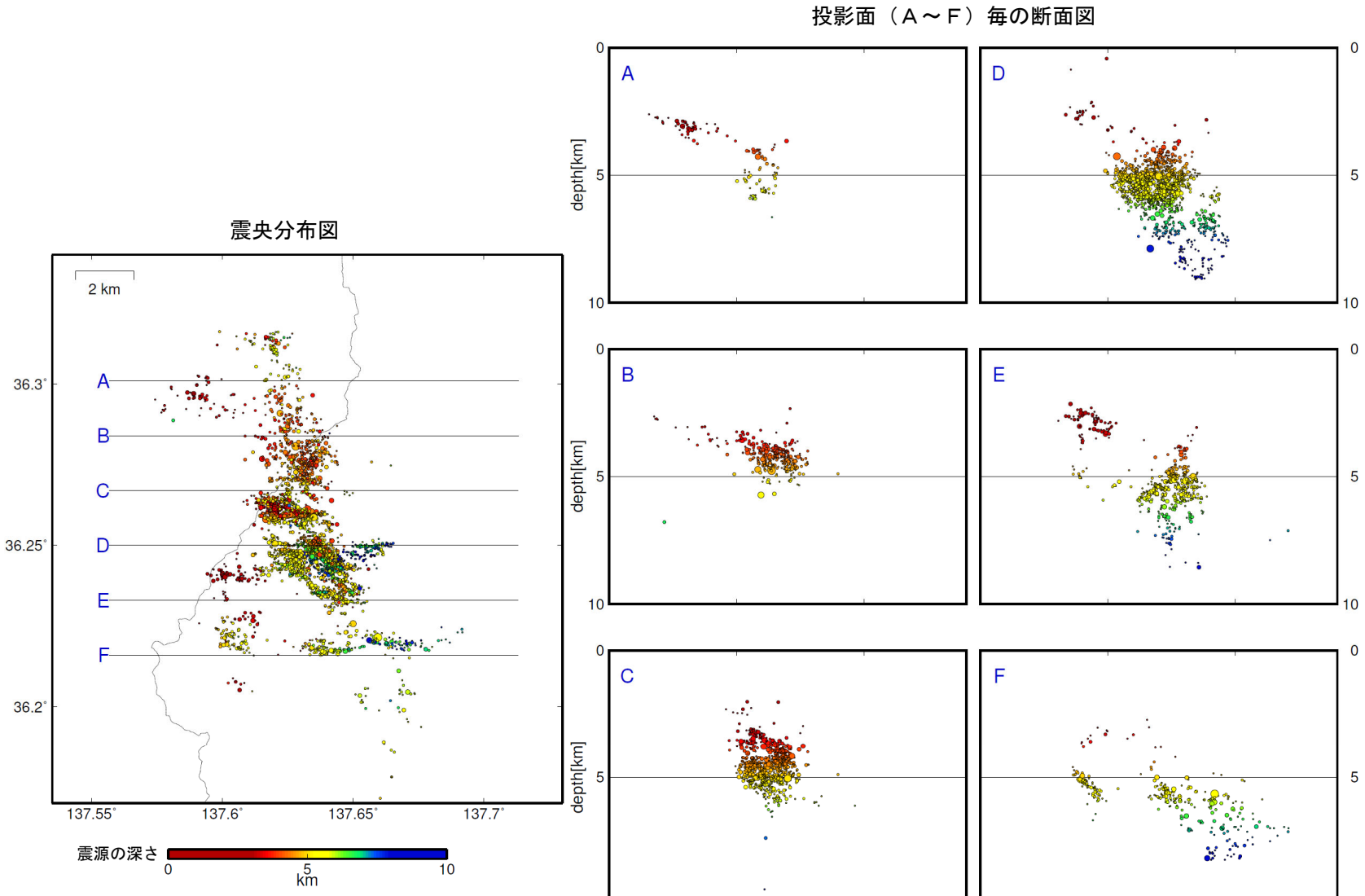


第 5 図 (e)　つづき
Fig. 5(e)　Continued.



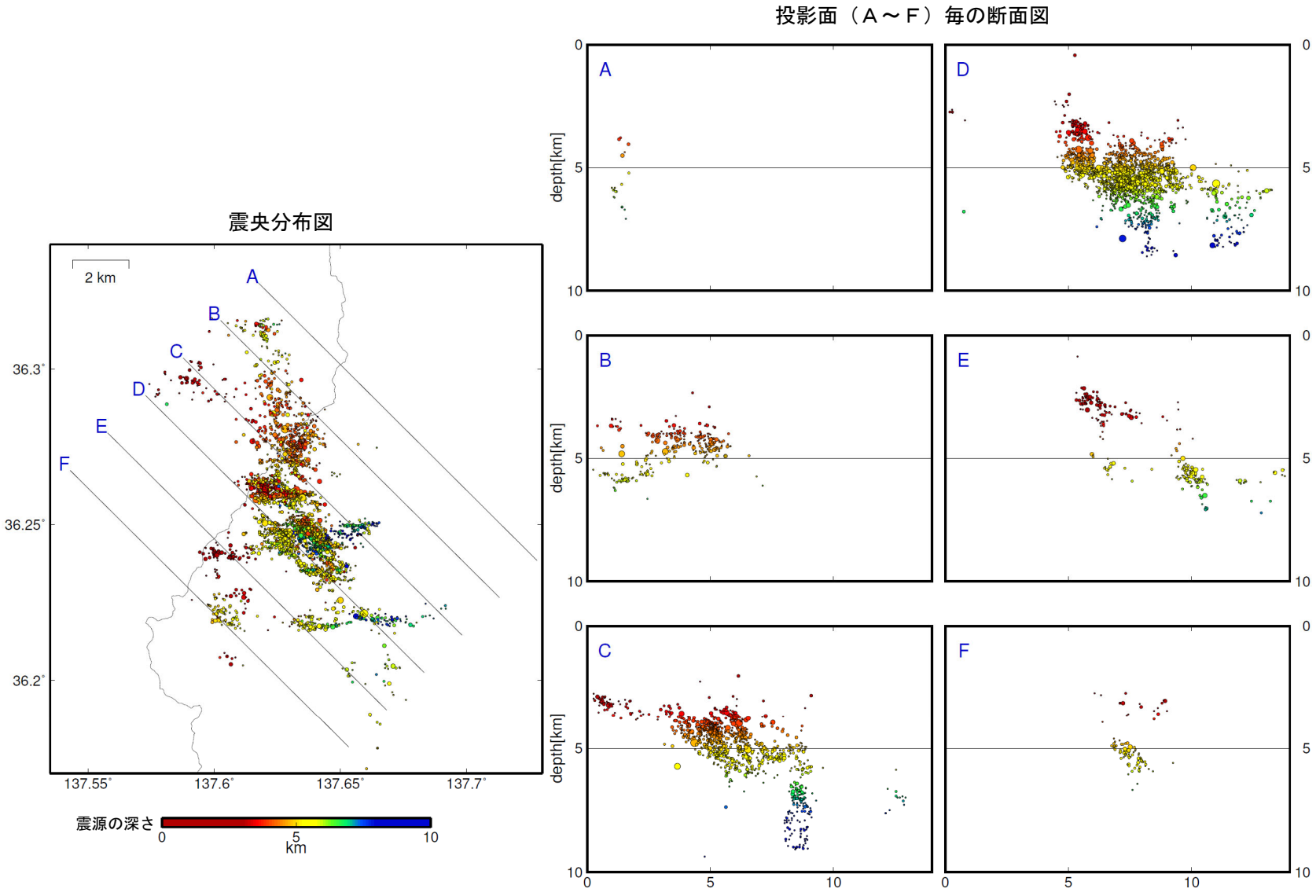
第 5 図 (e)　つづき
Fig. 5(e)　Continued.

地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行



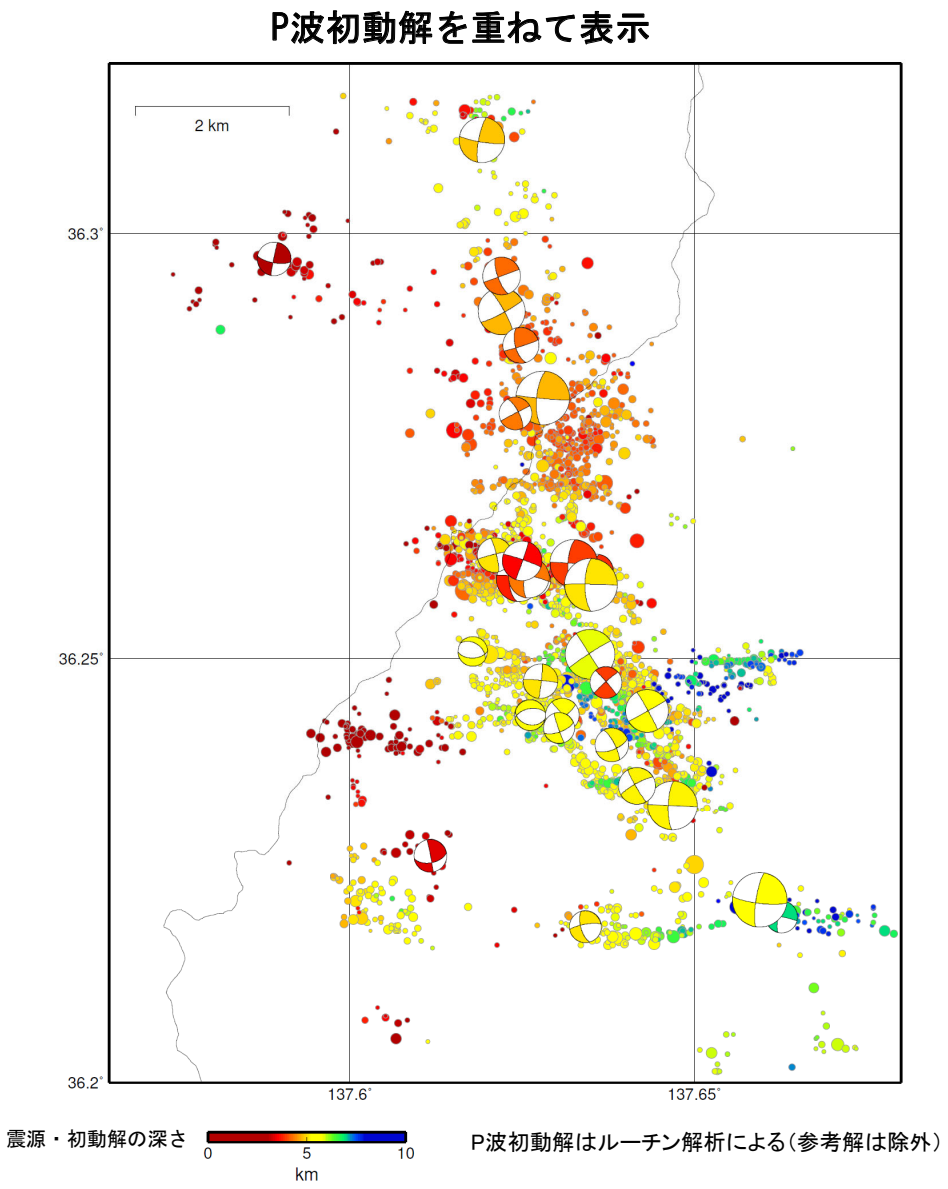
第 5 図 (e)　つづき
Fig. 5(e)　Continued.

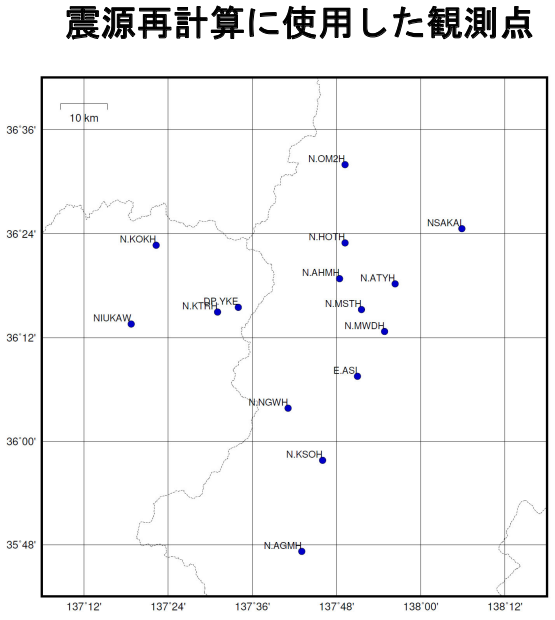
地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行



第 5 図 (e)　つづき
Fig. 5(e)　Continued.

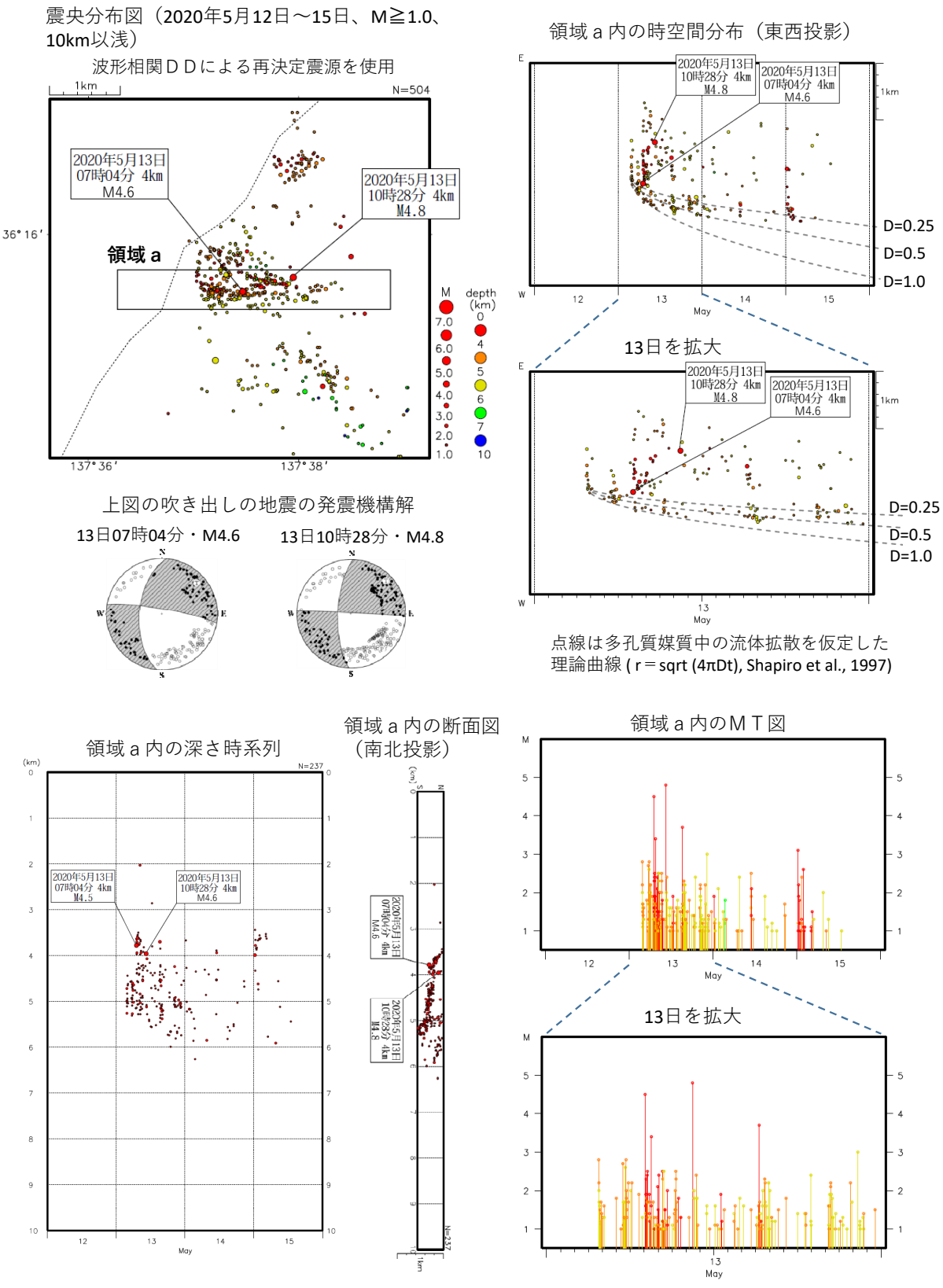
地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行





第 5 図 (e)　つづき
Fig. 5(e)　Continued.

長野岐阜県境付近の地震活動（震源分布にみられる移動の例）



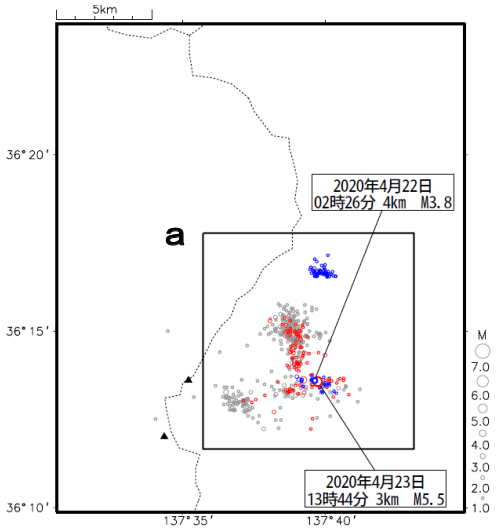
第 5 図 (f)　つづき
Fig. 5(f)　Continued.

長野・岐阜県境付近の活動（大きな地震の前後のｂ値）

（注）2020年４月18日から、暫定的に震源精査の基準を変更しており、求めたパラメータ等は後日修正される場合がある。

震央分布図
（2020年４月１日～23日、深さ０～20km、M≧1.0）

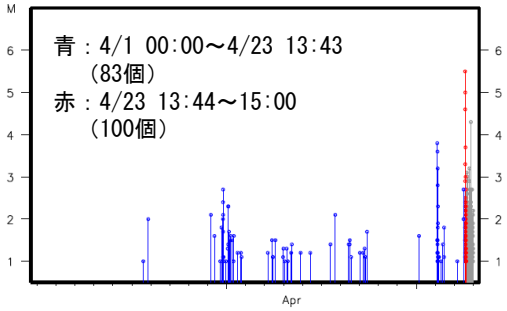
M5.5の地震の前を青、M5.5の地震以降100個を赤、
それ以外を灰色で表示



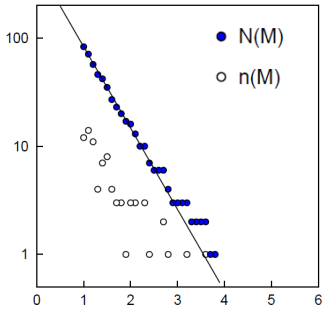
AIC（期間分割あり）－ AIC（期間分割なし）＝－1.025

b値には差があるとはいえない

左図領域ａのＭＴ図

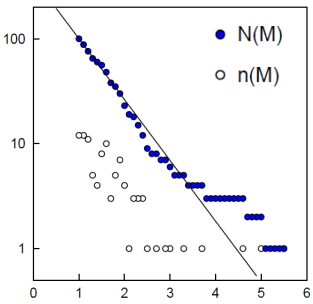


青（M5.5の前）の地震のｂ値



ｂ＝0.75（σ＝0.08）
N＝83　AIC＝76.919

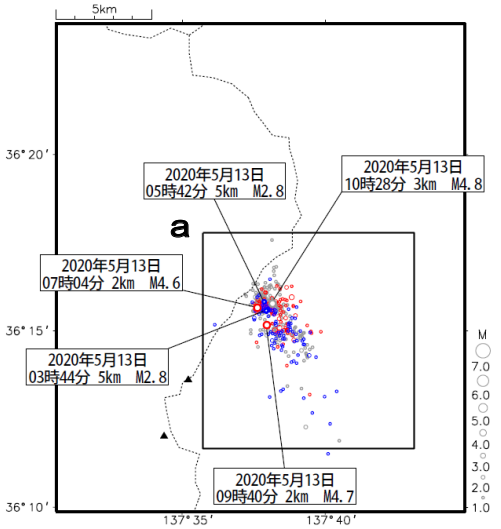
赤（M5.5以降）の地震のｂ値



ｂ＝0.58（σ＝0.06）
N＝100　AIC＝144.197

震央分布図
（2020年５月10日～13日、深さ０～20km、M≧1.0）

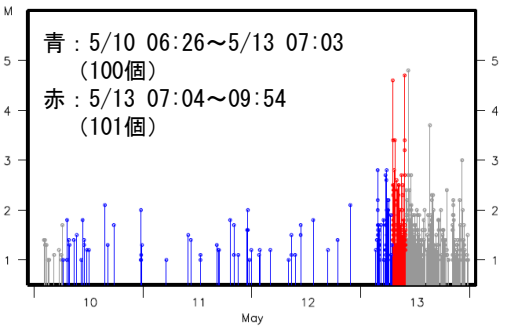
M4.6の地震の前100個を青、M4.6の地震以降101個を赤、
それ以外を灰色で表示



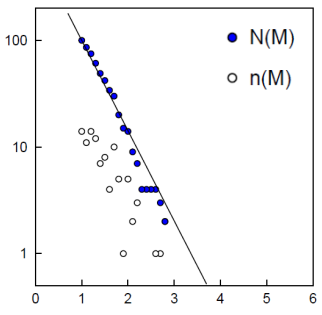
AIC（期間分割あり）－ AIC（期間分割なし）＝－4.708

b値には差がある（危険率1.285%）

左図領域ａのＭＴ図

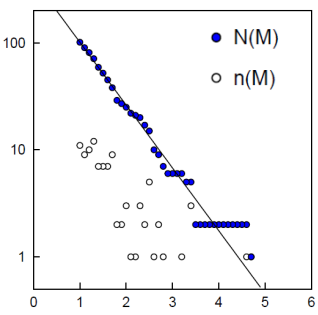


青（M4.6の前）の地震のｂ値



ｂ＝0.85（σ＝0.09）
N＝100　AIC＝68.504

赤（M4.6以降）の地震のｂ値

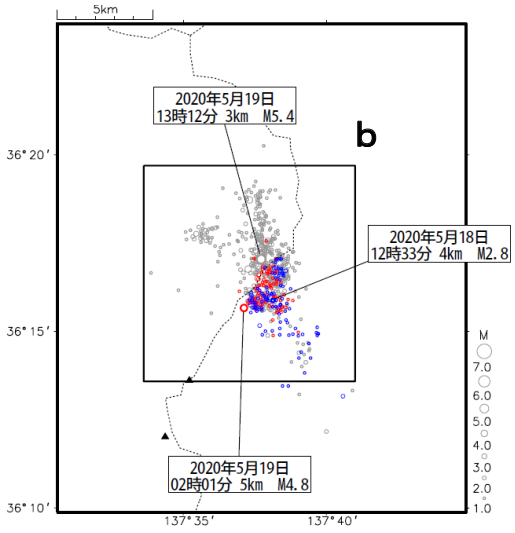


ｂ＝0.59（σ＝0.06）
N＝101　AIC＝143.204

第 5 図 (g)　つづき
Fig. 5(g)　Continued.

震央分布図
（2020年５月15日～19日、深さ０～20km、M≧1.0）

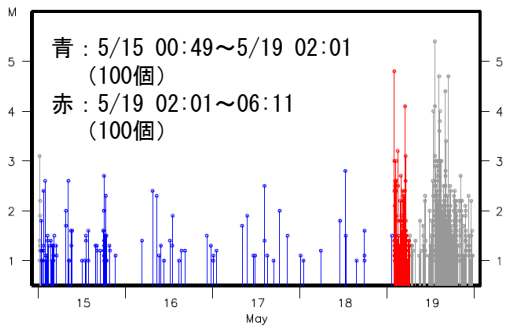
M4.8の地震の前100個を青、M4.8の地震以降100個を赤、
それ以外を灰色で表示



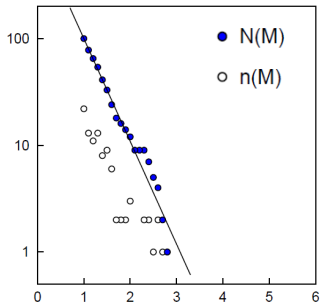
AIC（期間分割あり）－ AIC（期間分割なし）＝－5.783

b値には差がある（危険率0.751%）

左図領域ｂのＭＴ図

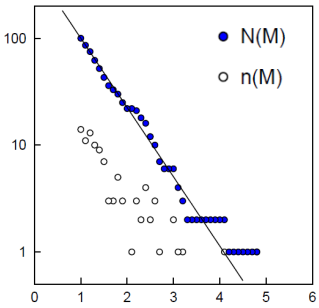


青（M4.8の前）の地震のｂ値



ｂ＝0.96（σ＝0.10）
N＝100　AIC＝42.742

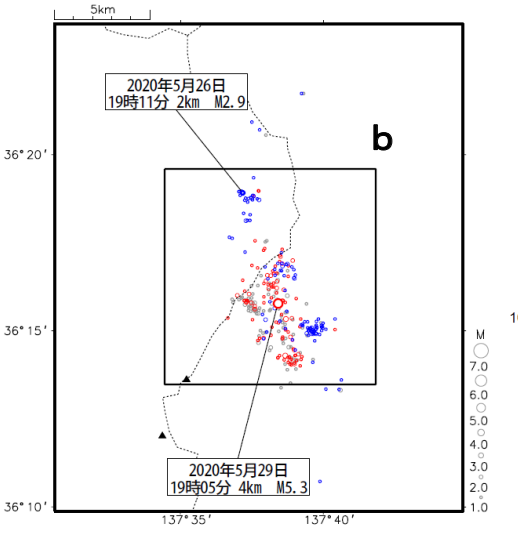
赤（M4.8以降）の地震のｂ値



ｂ＝0.65（σ＝0.06）
N＝100　AIC＝121.904

震央分布図
（2020年５月26日～29日、深さ０～20km、M≧1.0）

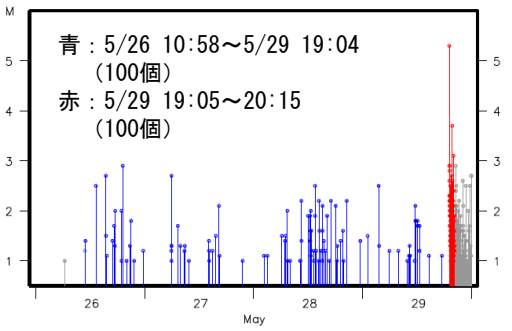
M5.3の地震の前100個を青、M5.3の地震以降100個を赤、
それ以外を灰色で表示



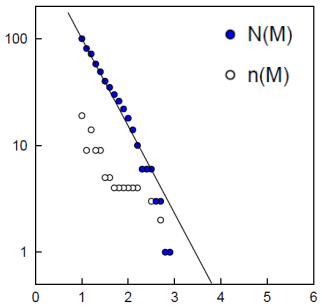
AIC（期間分割あり）－ AIC（期間分割なし）＝－5.299

b値には差がある（危険率0.956%）

左図領域ａのＭＴ図

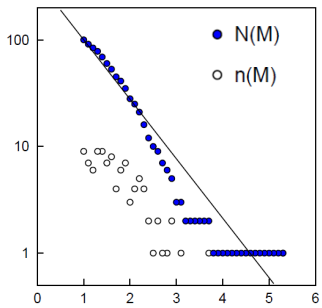


青（M4.6の前）の地震のｂ値



ｂ＝0.82（σ＝0.08）
N＝100　AIC＝75.401

赤（M4.6以降）の地震のｂ値

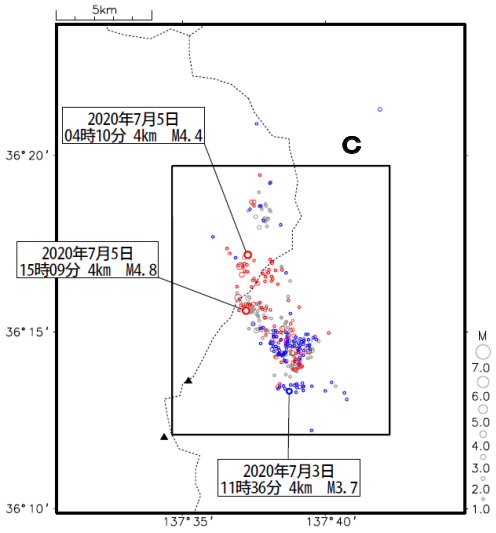


ｂ＝0.56（σ＝0.06）
N＝100　AIC＝152.051

第 5 図 (g)　つづき
Fig. 5(g)　Continued.

震央分布図
（2020年５月15日～19日、深さ０～20km、M≧1.0）

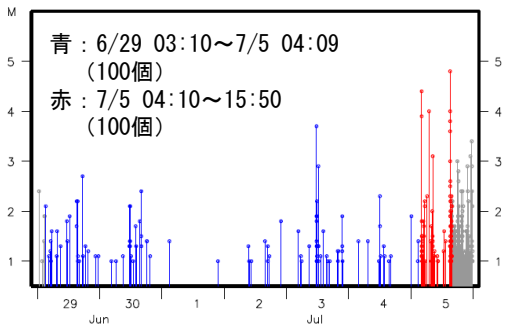
M4.4の地震の前100個を青、M4.4の地震以降100個を赤、
それ以外を灰色で表示



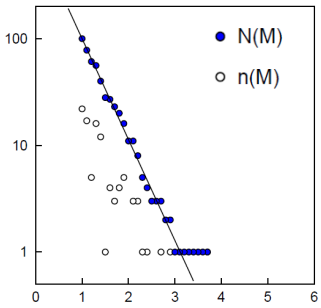
AIC（期間分割あり）－ AIC（期間分割なし）＝－7.319

b値には差がある（危険率0.348%）

左図領域ｃのＭＴ図

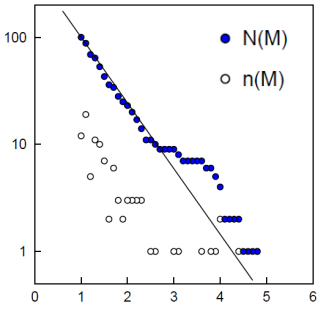


青（M4.4の前）の地震のｂ値



ｂ＝0.95（σ＝0.09）
N＝100　AIC＝46.259

赤（M4.4以降）の地震のｂ値

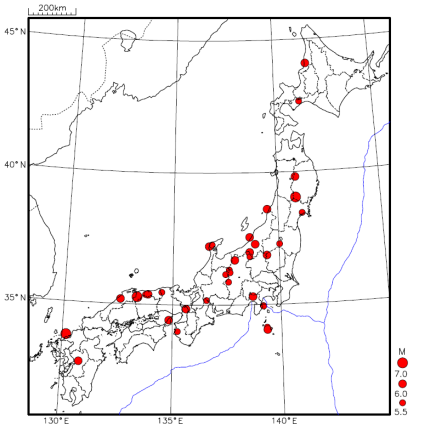


ｂ＝0.61（σ＝0.06）
N＝100　AIC＝132.938

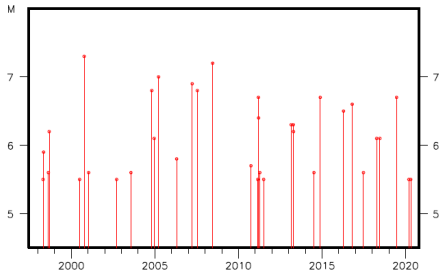
第 5 図 (g)　つづき
Fig. 5(g)　Continued.

陸域の浅い地震活動におけるETASのα値

震央分布図（1997年10月～2020年6月、M≧5.5、30km以浅）



左図のＭＴ図



一元化以降に発生したM5.5以上の地震について、明田川・福満（2011）の手法により余震を除外した震源のうち、陸域の浅い地震活動を調査対象とした。これら震源のうちの最初の地震を震央分布図とＭＴ図に示す。

ETAS解析は、定常ETASモデル（下式の発生率λによる地震活動モデル）を用い、フィッティング期間は、最初の地震の発生日から30日間（その前から活動があった場合は、最初にM2.0以上の地震が発生した日から30日間）とし、領域は最大規模の地震の震源域を含めてやや広めにとった。

$$\lambda\ (t) = \mu + \sum_{t_i<t} K_i (t - t_i + c)^{-p} \qquad K_i = Ke^{-\alpha(M_i - M_c)}$$

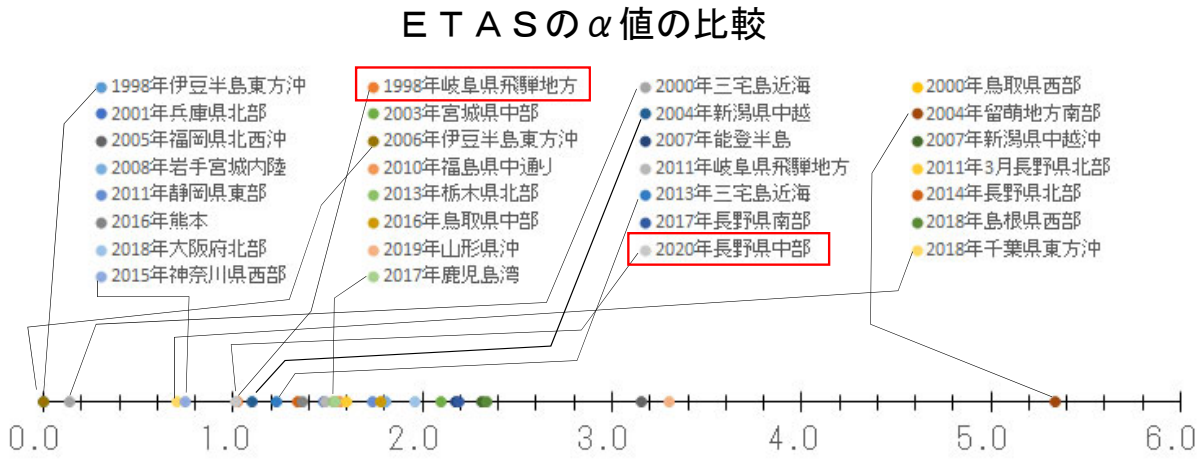
M_c：対象とする地震のMのしきい値　t_i：M_c以上の地震の発生時刻　M_i：M_c以上の地震のマグニチュード

パラメータμは常時地震活動率、パラメータαは誘発地震のMに対応する誘発された地震（余震）の期待個数を左右する量、パラメータＫは同じM値での余震の生産効率性を表す（熊澤, 2015）。

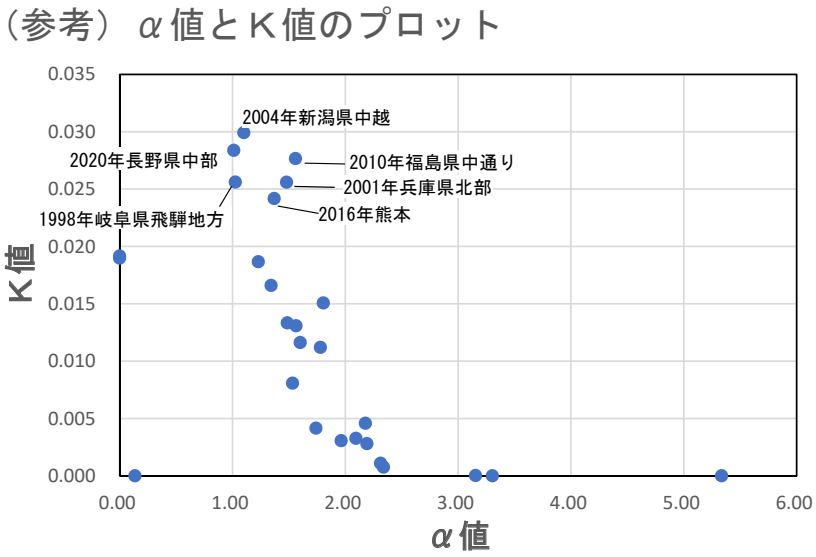
解析期間でM2.0以上の震源数が100個以上あった27事例について、M2.0以上のデータで求めたETASパラメータ及びb値を以下に示す。

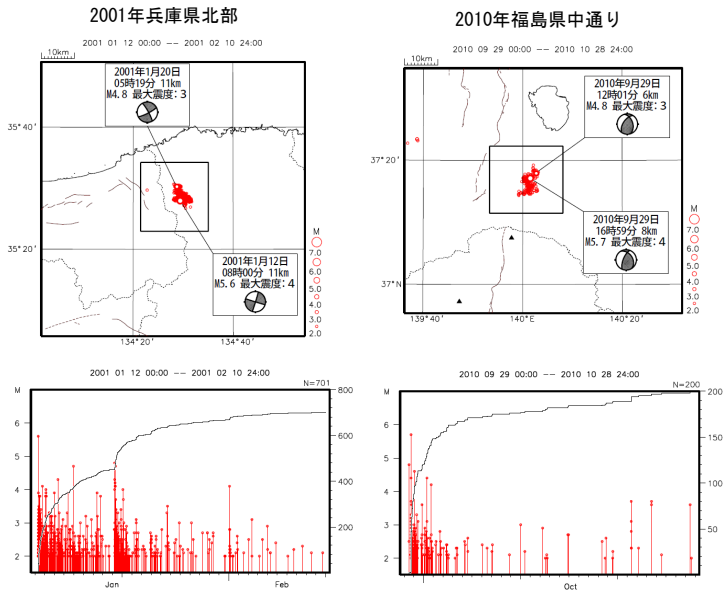
発生年月日	震央地名または地震名	M	深さ(km)	最大震度	フィッティング開始日	最大M更新	2番目に大きなM	30日間M2以上	ＥＴＡＳパラメータ					b値
									μ	K	c	α	p	
1998/05/03	伊豆半島東方沖	5.9	5	4	1998/04/21	－	5.0	1098	1.58	0.019	0.005	0.00	1.67	0.82
1998/08/16	岐阜県飛騨地方	5.6	3	4	1998/08/07	－	5.0	563	1.10	0.026	0.001	1.03	1.20	0.85
2000/06/29	三宅島近海	5.5	17	4	2000/06/27	6.5	6.3	9238	31.48	0.000	0.180	0.14	大	0.46
2000/10/06	2000年鳥取県西部	7.3	9	6強	2000/10/06	－	5.6	1510	2.83	0.028	0.112	1.56	1.40	0.80
2001/01/12	兵庫県北部	5.6	11	4	2001/01/12	－	4.8	701	0.55	0.026	0.012	1.48	1.33	0.94
2003/07/26	宮城県中部	5.6	12	6弱	2003/07/26	6.4	5.6	557	1.87	0.003	0.036	2.09	1.24	0.70
2004/10/23	2004年新潟県中越	6.8	13	7	2004/10/23	－	6.5	2123	2.19	0.030	0.019	1.10	1.31	0.65
2004/12/24	留萌地方南部	6.1	9	5強	2004/12/24	－	4.8	108	0.28	0.000	0.030	5.34	1.18	0.71
2005/03/20	福岡県北西沖	7.0	9	6弱	2005/03/20	－	5.4	1158	4.58	0.000	0.180	3.16	1.29	0.72
2006//4/21	伊豆半島東方沖	5.8	7	4	2006/04/18	－	5.1	282	0.66	0.019	0.002	0.00	1.53	1.03
2007/03/25	2007年能登半島	6.9	11	6強	2007/03/25	－	5.3	1628	6.16	0.005	0.154	2.18	1.37	0.74
2007/07/16	2007年新潟県中越沖	6.8	17	6強	2007/07/16	－	5.8	636	1.56	0.001	0.096	2.31	1.47	0.76
2008/06/14	2008年岩手宮城内陸	7.2	8	6強	2008/06/14	－	5.7	2076	3.84	0.015	0.147	1.81	1.37	0.73
2010/09/29	福島県中通り	5.7	8	4	2010/09/29	－	4.8	200	0.40	0.013	0.004	1.56	1.20	0.75
2011/02/27	岐阜県飛騨地方	5.5	4	4	2011/02/27	－	5.0	105	0.33	0.013	0.003	1.49	1.19	0.80
2011/03/12	長野県北部	6.7	8	6強	2011/03/12	－	5.9	442	0.33	0.012	0.024	1.60	1.16	0.62
2011/03/15	静岡県東部	6.4	14	6強	2011/03/15	－	4.2	155	0.41	0.004	0.028	1.74	1.51	0.83
2013/02/25	栃木県北部	6.3	3	5強	2013/02/23	－	4.7	169	0.75	0.008	0.019	1.53	1.48	0.83
2013/04/17	三宅島近海	6.2	9	5強	2013/04/17	－	5.1	229	0.53	0.019	0.014	1.23	1.42	0.74
2014/11/22	長野県北部	6.7	5	6弱	2014/11/18	－	4.5	205	0.79	0.017	0.015	1.34	1.28	0.82
2016/04/14	2016年熊本	6.5	11	7	2016/04/14	7.3	6.5	5285	4.70	0.024	0.023	1.37	1.37	0.71
2016/10/21	鳥取県中部	6.6	11	6弱	2016/10/21	－	5.0	877	0.56	0.011	0.022	1.78	1.34	0.83
2017/06/25	長野県南部	5.6	7	5強	2017/06/25	－	4.7	101	0.45	0.003	0.012	2.19	1.07	0.80
2018/04/09	島根県西部	6.1	12	5強	2018/04/08	－	4.9	186	0.55	0.001	0.010	2.34	1.24	0.72
2018/06/18	大阪府北部	6.1	13	6弱	2018/06/18	－	4.1	125	0.55	0.003	0.005	1.96	0.98	0.73
2019/06/18	山形県沖	6.7	14	6強	2019/06/18	－	4.3	253	1.49	0.000	0.022	3.30	1.34	0.83
2020/04/23	長野県中部	5.5	3	4	2020/04/22	－	5.4	542	0.94	0.028	0.002	1.01	1.20	0.81

第 5 図 (h)　つづき
Fig. 5(h)　Continued.



2018年千葉県東方沖、2015年神奈川県西部、2017年鹿児島湾は、M1以上、長期間のフィッティングによる。それ以外は前頁の表による。





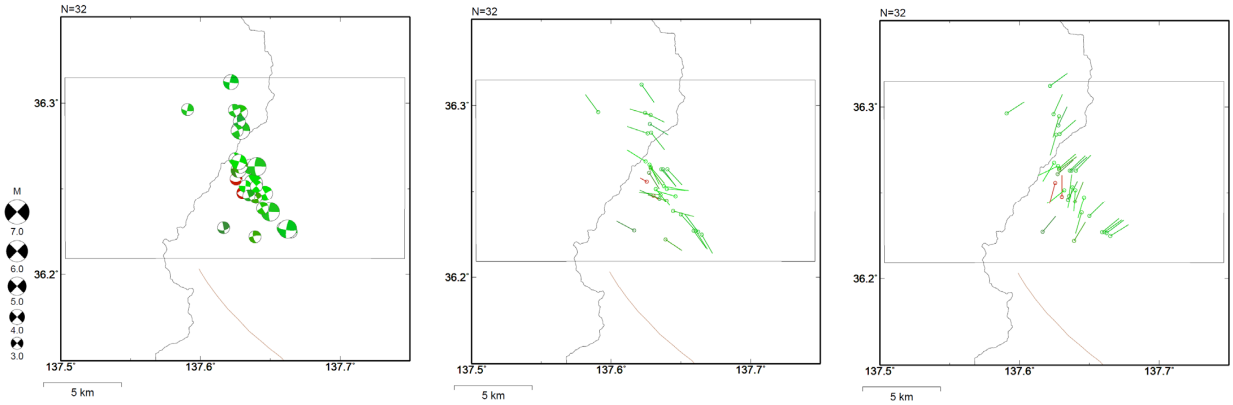
第 5 図 (h)　つづき
Fig. 5(h)　Continued.

長野・岐阜県境付近の地震（付近の発震機構解）

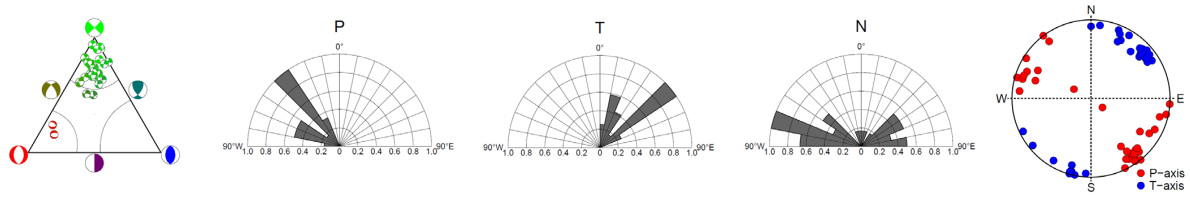
Frohlich, C. (2001)に基づいて断層型別を分類し、横ずれ断層型を緑、逆断層型を青、正断層型を赤で表示

P波初動解分布（2020年4月1日～5月31日、深さ0～30km、M≧3.0）

震源球表示　　P軸表示　　T軸表示

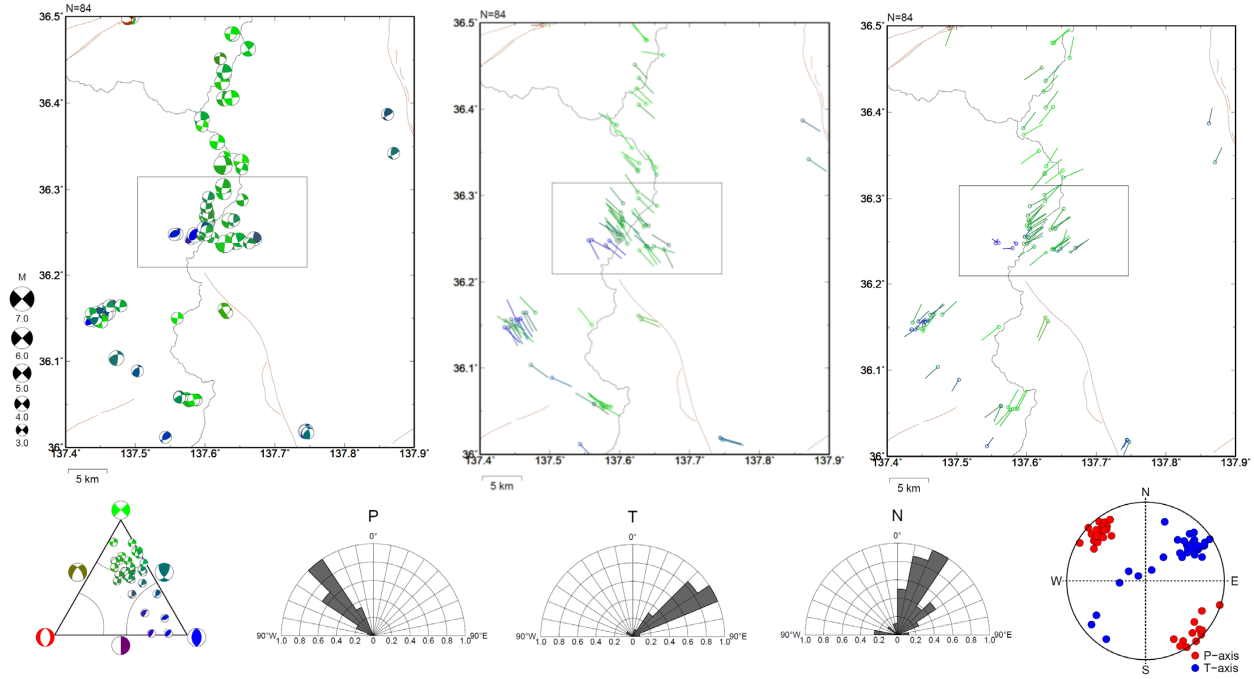


左から、上図矩形領域内の三角ダイアグラム、P・T・N軸方位のローズダイアグラム、P・T軸の方位分布



P波初動解分布（1997年10月1日～2020年3月31日、深さ0～30km、M≧3.0）

各図の並びは上記（2020年4月以降）と同じ



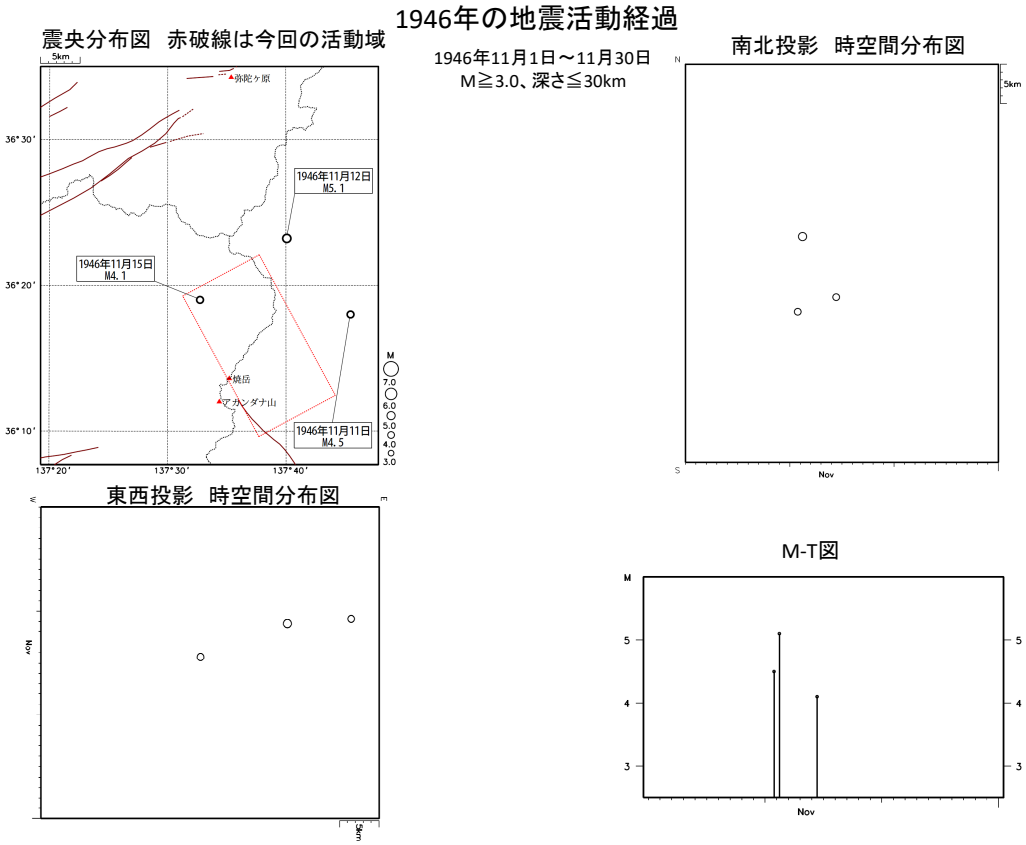
図中の茶色の線は地震調査研究推進本部の長期評価による活断層を示す。

第 5 図 (i)　つづき

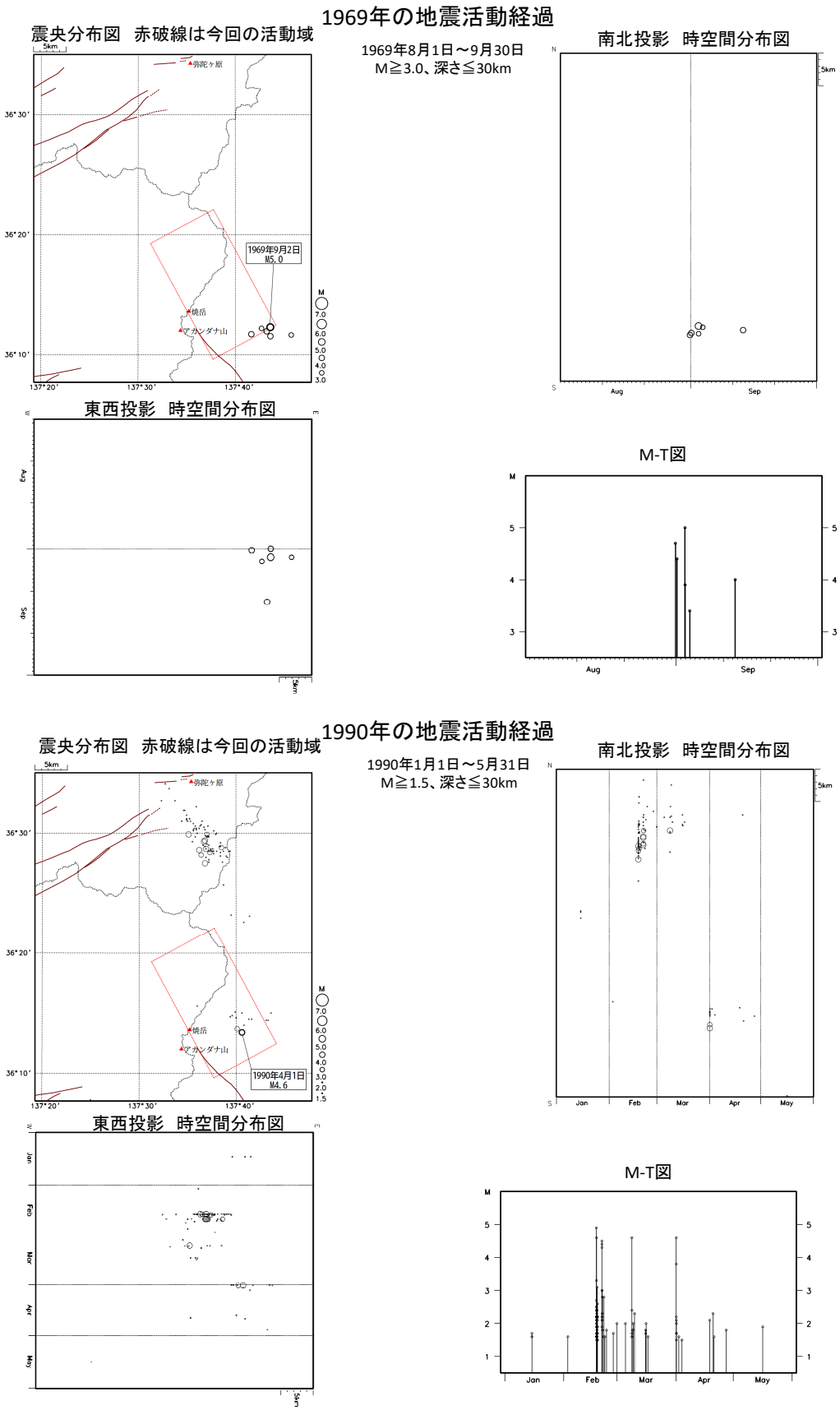
Fig. 5(i)　Continued.

過去の地震活動事例リスト
※Mの閾値は、今回の地震活動から、M≧4.0
※今回の活動周辺領域において、M≧4.0地震の発生後3日以内に、Mの大きさによる範囲内で、Mの差が0.2以下の地震が発生した事例を抽出（ただし余震は含まない）

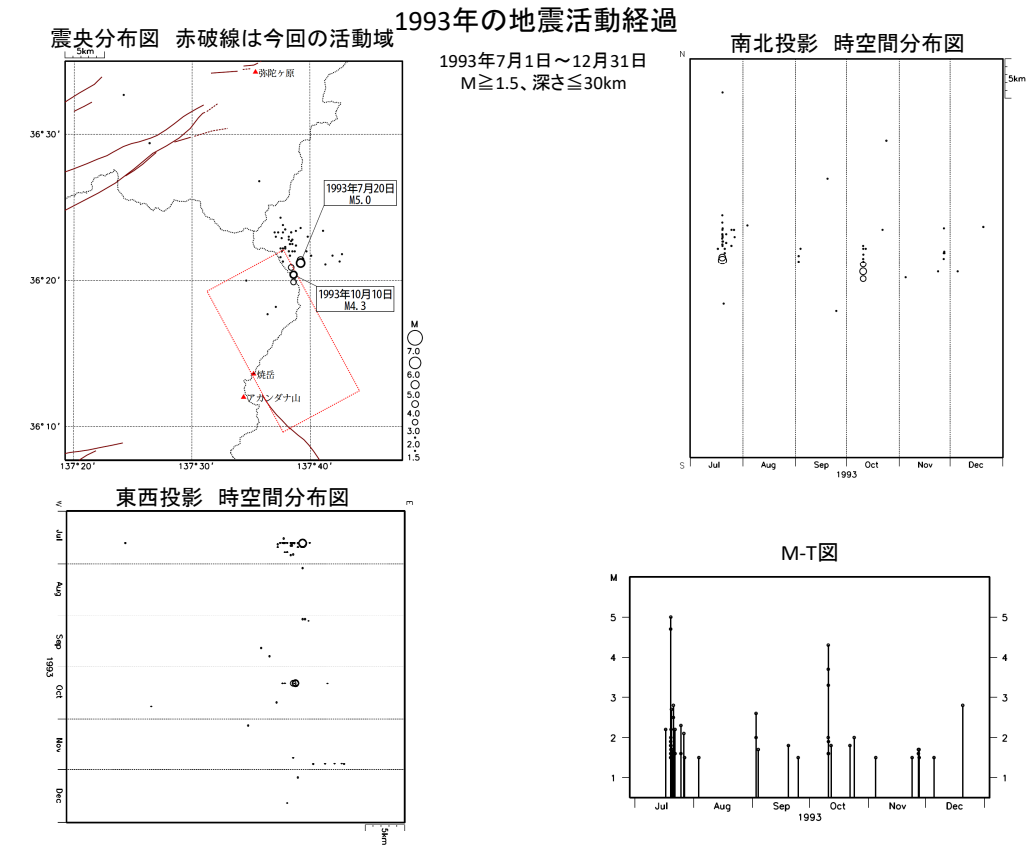
・1946年11月
・1969年8月～9月
・1990年1月～5月
・1993年7月～12月
・1998年8月～1999年4月
・2011年2月～3月（東北地方太平洋沖地震の影響？）
・2011年10月

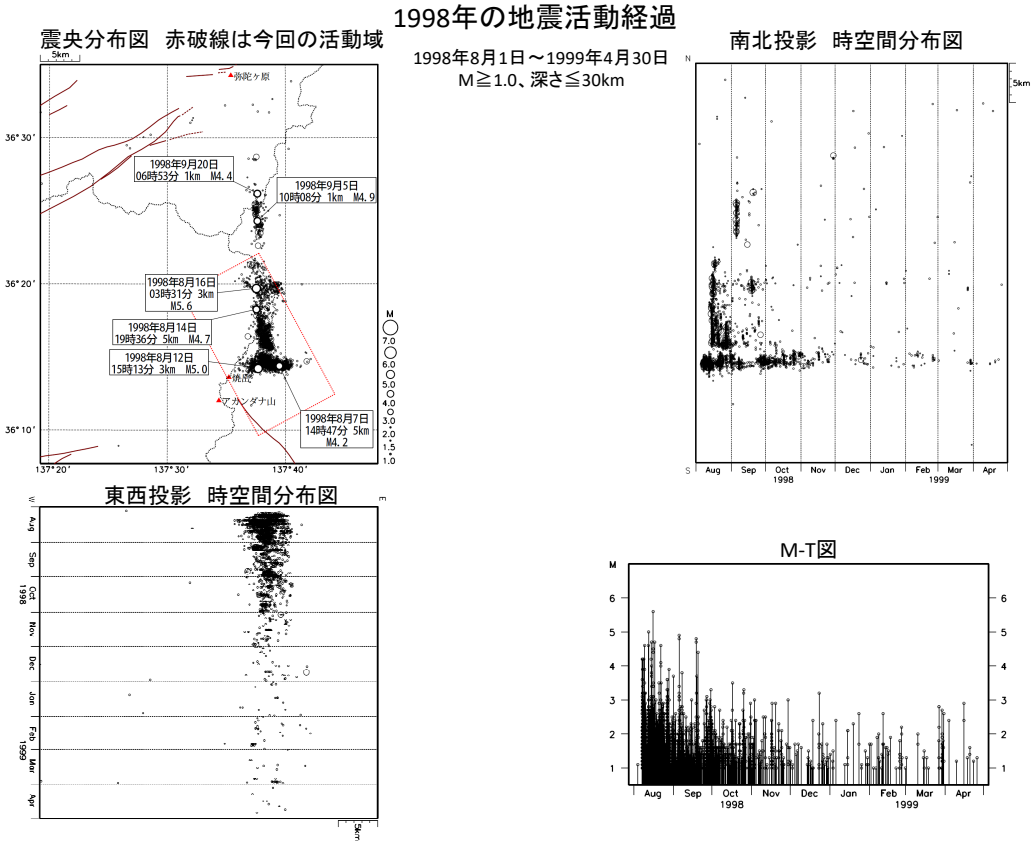


第 5 図 (j)　つづき
Fig. 5(j)　Continued.

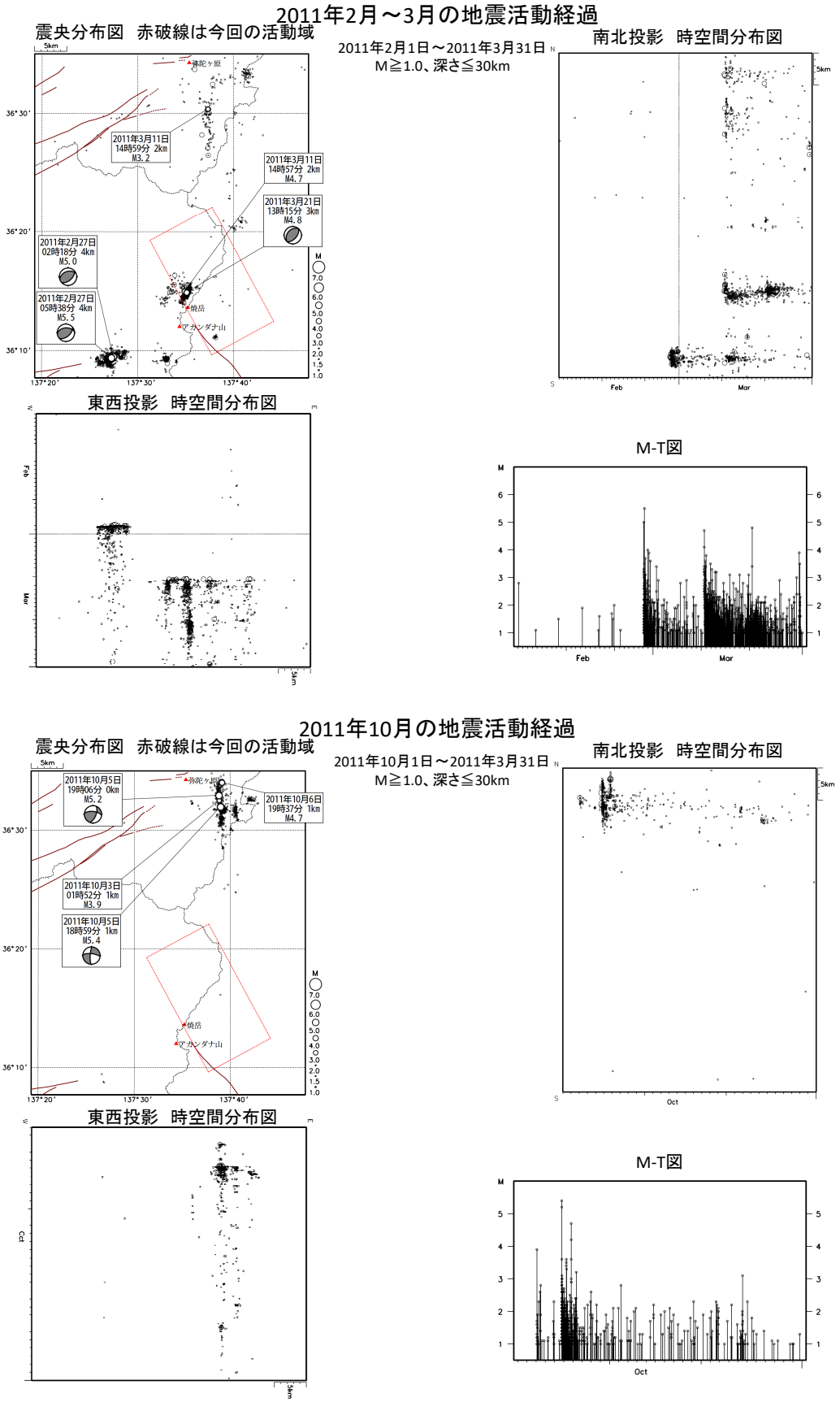


第 5 図 (j)　つづき
Fig. 5(j)　Continued.





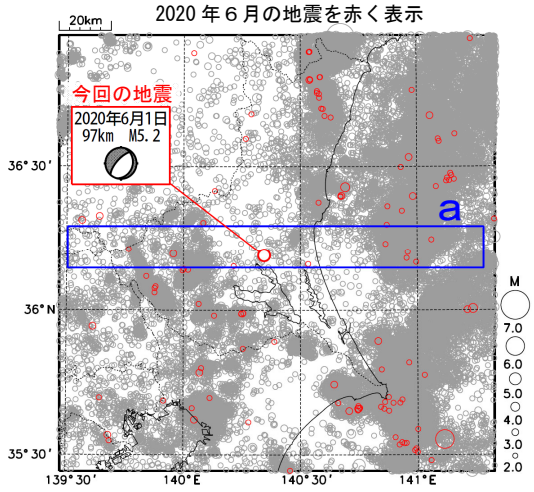
第 5 図 (j)　つづき
Fig. 5(j)　Continued.



第 5 図 (j)　つづき
Fig. 5(j)　Continued.

６月１日　茨城県北部の地震

震央分布図
（1997 年 10 月 1 日～2020 年 6 月 30 日、
深さ 0～150km、M≧2.0）
2020 年 6 月の地震を赤く表示

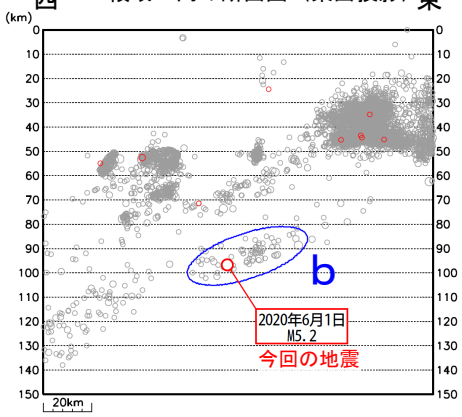


2020 年 6 月 1 日 06 時 02 分に、茨城県北部の深さ 97km で M5.2 の地震（最大震度４）が発生した。この地震は、太平洋プレート内部で発生した。この地震の発震機構は、太平洋プレートの沈み込む方向に張力軸を持つ型である。

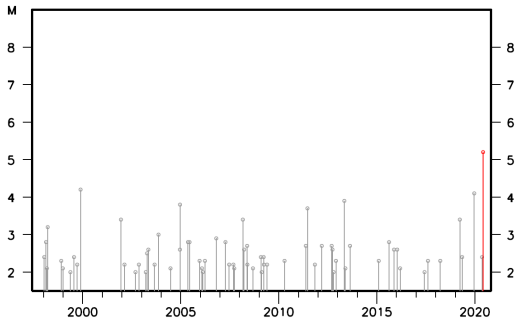
1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、M5.0 以上の地震は今回の地震のみである。

1919 年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｃ）では、M5.0 以上の地震が時々発生している。

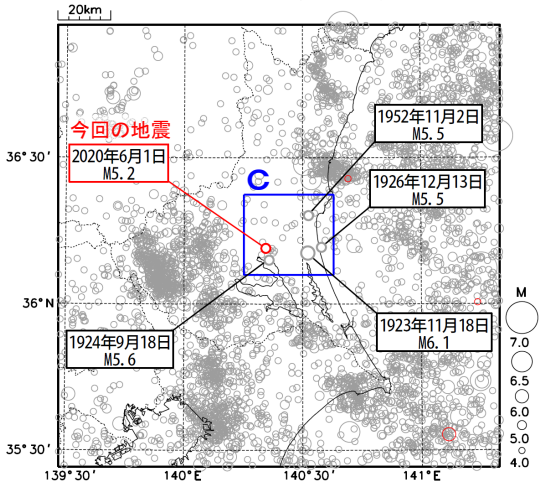
領域ａ内の断面図（東西投影）



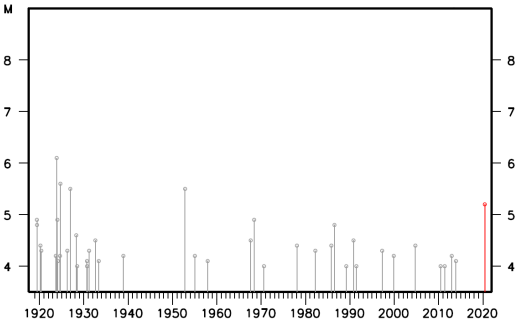
領域ｂ内のＭ－Ｔ図



震央分布図
（1919 年 1 月 1 日～2020 年 6 月 30 日、
深さ 0～150km、M≧4.0）
2020 年 6 月の地震を赤く表示

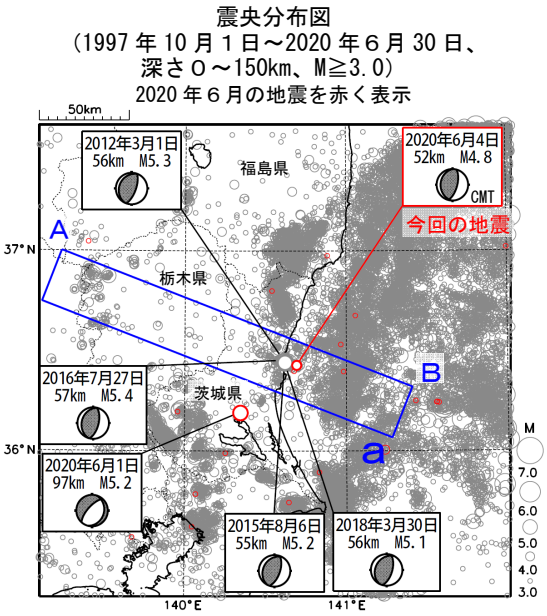


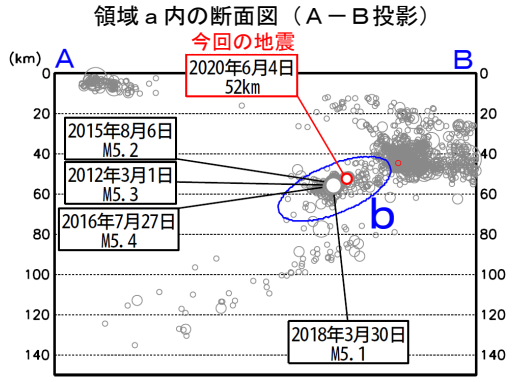
領域ｃ内のＭ－Ｔ図

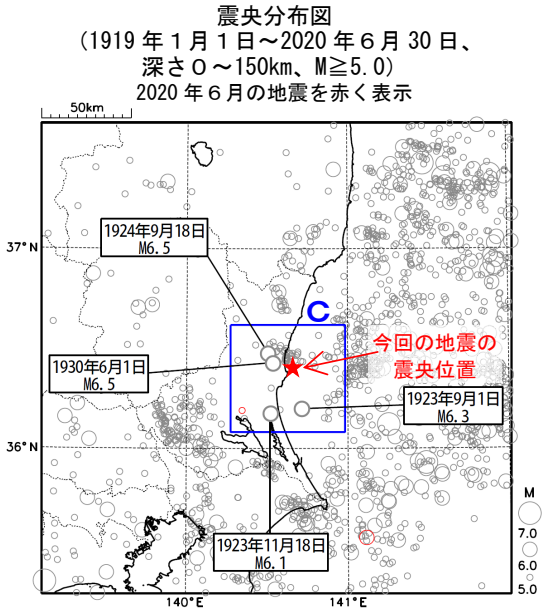


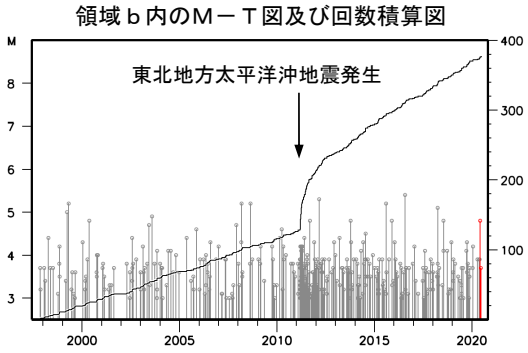
第 6 図　2020 年 6 月 1 日　茨城県北部の地震
Fig. 6　The earthquake in the northern part of Ibaraki Prefecture on June 1, 2020.

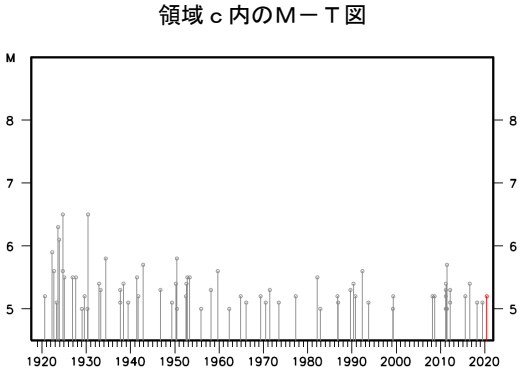
６月４日　茨城県沖の地震











2020 年 6 月 4 日 05 時 31 分に茨城県沖の深さ 52km で M4.8 の地震（最大震度４）が発生した。この地震は、発震機構（CMT 解）が東西方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した。

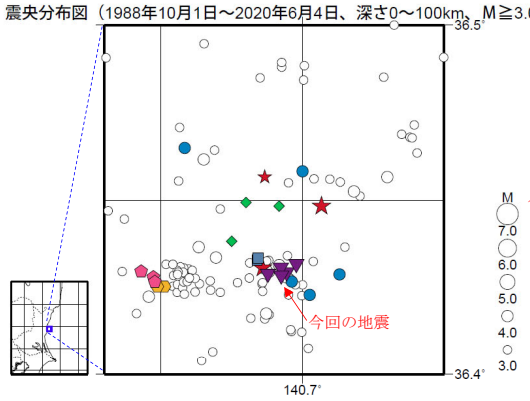
1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）は、M5.0 以上の地震が時々発生している。東北地方太平洋沖地震の発生以降、活動がより活発になっており、2012 年３月１日には M5.3 の地震（最大震度５弱）、2016 年７月 27 日には M5.4 の地震（最大震度５弱）などが発生している。

1919 年以降の活動をみると、今回の地震の震央付近（領域ｃ）では、M5.0 以上の地震が度々発生しており、このうち、1930 年６月１日に発生した M6.5 の地震（最大震度５）では、がけ崩れ、煙突倒壊などの被害が生じた（被害は「日本被害地震総覧」による）。

第 7 図 (a)　2020 年 6 月 4 日　茨城県沖の地震
Fig. 7(a)　The earthquake off Ibaraki Prefecture on June 4, 2020.

６月４日　茨城県沖の地震（相似地震）

震央分布図（1988年10月1日～2020年6月4日、深さ0～100km、M≧3.0）



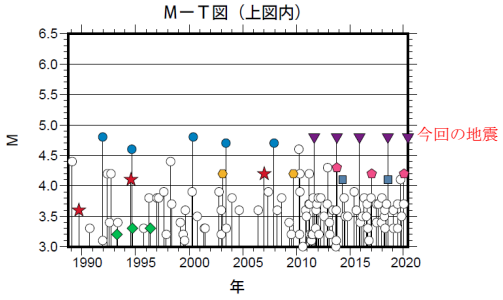
発生間隔と推定年平均すべり量 ※2

グループ	回数	平均M	震度 最大	震度 最小	発生間隔 平均	発生間隔 最短	発生間隔 最大	平均すべり量 (cm/年)
A	3	3.97	3	2	8.65	4.86	12.44	2.97
B	5	4.72	4	3	3.99	2.72	5.71	9.23
C	3	3.27	2	2	1.56	1.45	1.66	10.58
D	2	4.20	3	3	6.63	6.63	6.63	4.23
E	5	4.80	4	4	2.18	1.88	2.65	17.91
F	3	4.23	4	4	3.13	3.01	3.25	8.97
G	2	4.10	3	3	4.23	4.23	4.23	6.26

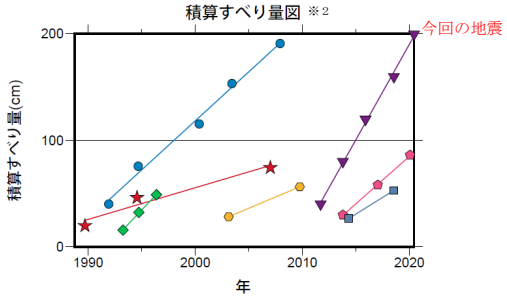
今回の地震

2020年６月４日の茨城県沖の地震（M4.8、最大震度４）について強震波形による相関解析を行った結果、既往相似地震グループの最新の地震として検出された（グループE　▼：今回を含めM4.8の５地震）※1。

M－T図（上図内）

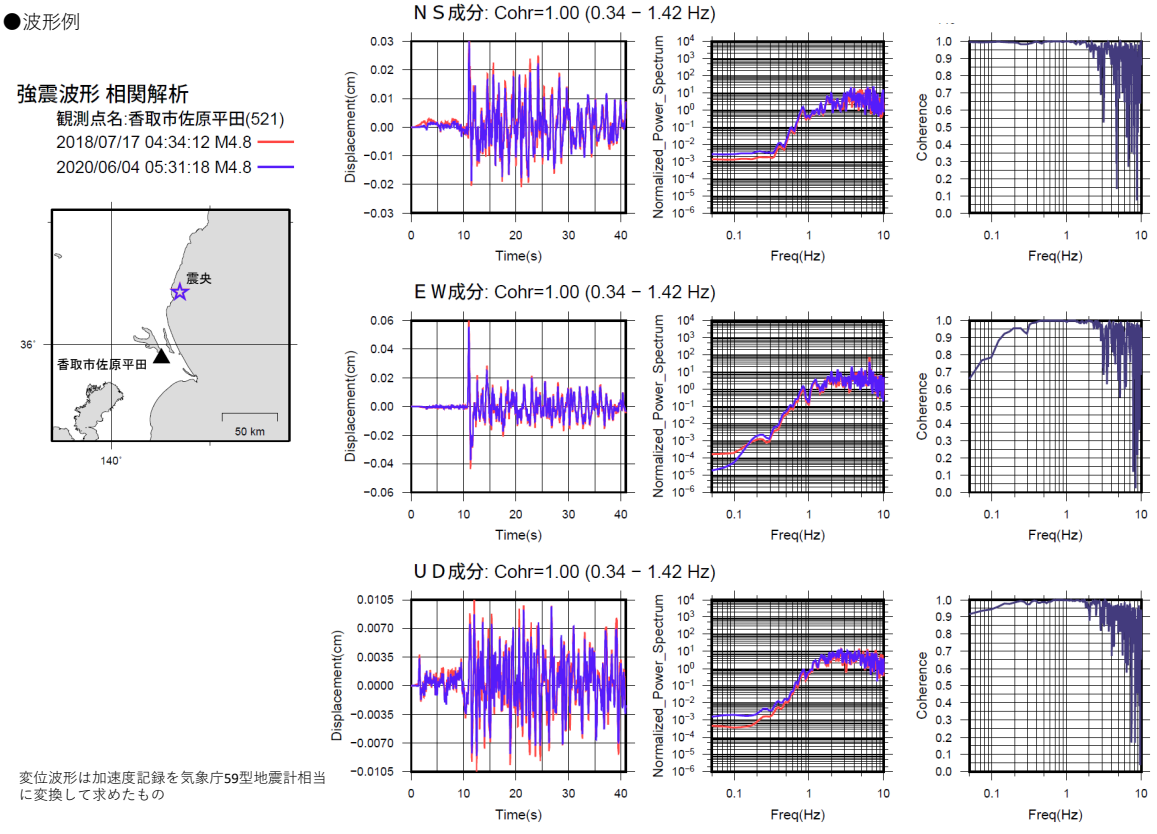


積算すべり量図 ※2



※1　各観測点の波形の比較で得られたコヒーレンスの中央値が0.95以上の場合に相似地震として検出し、相似地震のグループ分けはコヒーレンスを用いて機械的に行っている［溜渕ほか、2014］。
※2　すべり量推定には、モーメントマグニチュードと地震モーメントの関係式［Hanks and Kanamori(1979)］及び 地震モーメントとすべり量の関係式［Nadeau and Johnson(1998)］を使用。得られた積算すべり量と経過時間から最小自乗法を用いてグループ毎の年平均すべり量を求めた。

●波形例

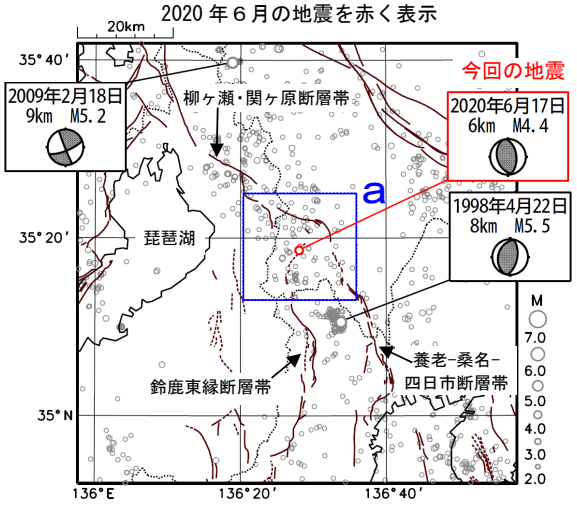


変位波形は加速度記録を気象庁59型地震計相当に変換して求めたもの

第 7 図 (b)　つづき
Fig. 7(b)　Continued.

６月 17 日　岐阜県美濃中西部の地震

震央分布図
（1997 年 10 月 1 日～2020 年６月 30 日、
深さ０～20km、M≧2.0）
2020 年６月の地震を赤く表示

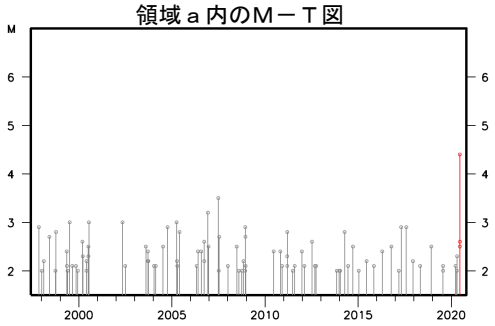


茶線は地震調査研究推進本部の長期評価による活断層を示す。

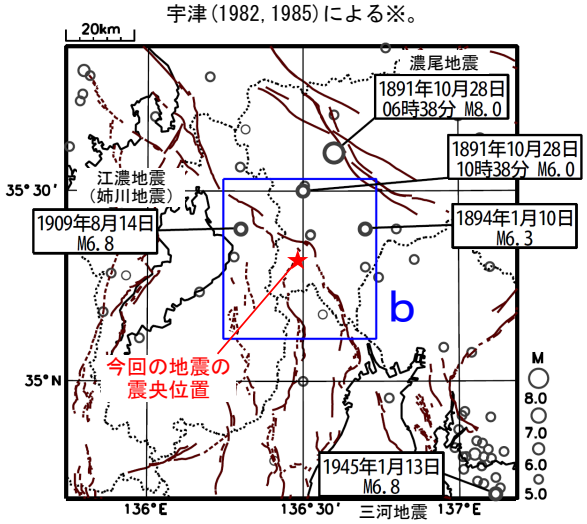
2020 年６月 17 日 15 時 03 分に岐阜県美濃中西部の深さ６km で M4.4 の地震（最大震度４）が発生した。この地震は、地殻内で発生した。この地震の発震機構は、東西方向に圧力軸を持つ逆断層型である。

1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ａ）では、これまで M3.0 程度の地震が時々発生していたが、M4.0 を超える地震は今回が初めてであった。また、今回の地震の震央周辺では、1998 年４月 22 日に M5.5 の地震（最大震度４）が発生し、負傷者２人、住家一部破損５棟などの被害が生じた（総務省消防庁による）。

領域ａ内のＭ－Ｔ図

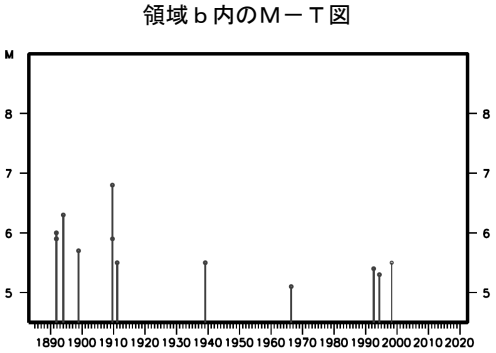


震央分布図
（1885 年１月１日～2020 年６月 30 日、
深さ０～60km、M≧5.0）
震源要素は、1885 年～1918 年は茅野・宇津（2001）、
宇津（1982, 1985）による※。



1885 年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｂ）では、1909 年８月 14 日に江濃（ごうの）地震（姉川地震、M6.8）が発生するなど、1890 年代から 1910 年代にかけて地震活動が活発であった。

領域ｂ内のＭ－Ｔ図

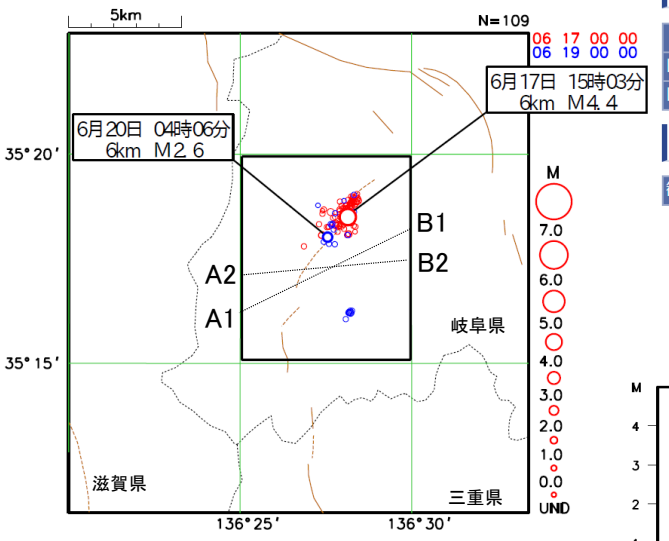


※宇津徳治，日本付近の M6.0 以上の地震及び被害地震の表：1885 年～1980 年，震研彙報，56，401-463，1982.
宇津徳治，日本付近の M6.0 以上の地震及び被害地震の表：1885 年～1980 年（訂正と追加），震研彙報，60，439-642，1985.
茅野一郎・宇津徳治，日本の主な地震の表，「地震の事典」第２版，朝倉書店，2001，657pp.

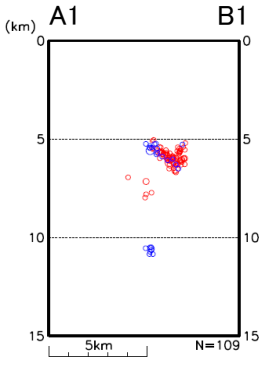
第 8 図 (a)　2020 年 6 月 17 日　岐阜県美濃中西部の地震
Fig. 8(a)　The earthquake in the central and western parts of Mino area, Gifu Prefecture on June 17, 2020.

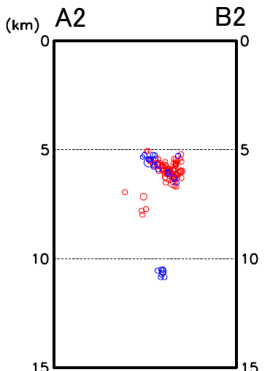
6月17日岐阜県美濃中西部の地震
（波形相関ＤＤ法による震源分布）

期間：2020年6月17日00時～6月23日24時
フラグ：KkA　M:0.0以上
最大規模の地震（M4.4）から半径10km以内の地震を対象
断層面解１・２の走向に直交するように断面を描画



茶線は地震調査研究推進本部の長期評価による活断層を示す。





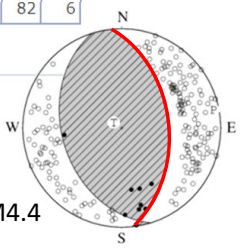
震源分布は断層面解２（東下がりの節面）に調和的である。
なお、最大規模の地震（M4.4）は分布の深い側に位置し、次に規模が大きい地震（M2.6）は分布の浅い側に位置する。

発震機構解

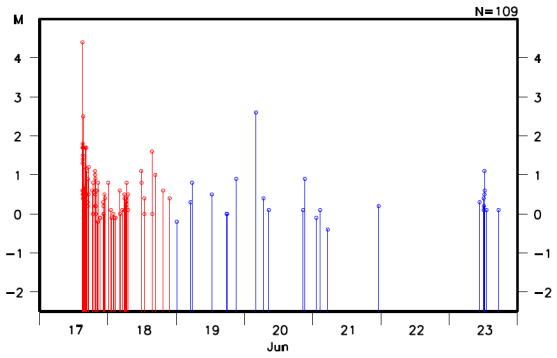
	走向	傾斜	すべり角		P 軸	T 軸	N 軸
断層面解 1	163	39	81	方位	79	304	170
断層面解 2	354	51	97	傾斜	6	82	6

使用観測点数とスコア

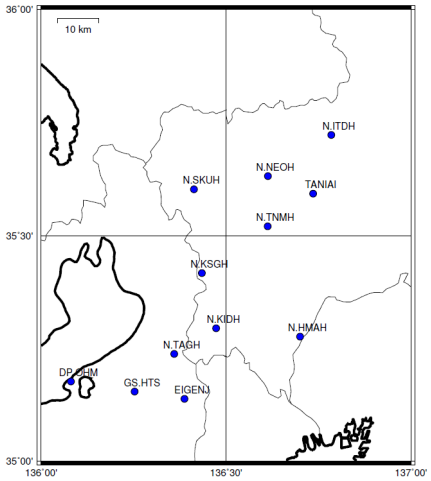
観測点数	189点	スコア	100%



6/17 15:03 M4.4



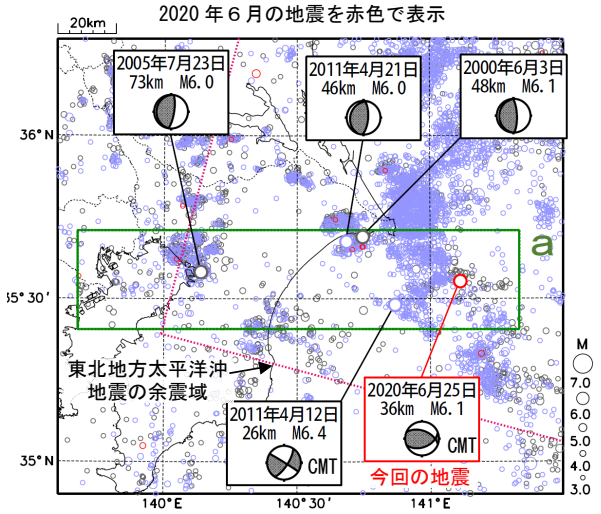
震源再計算に使用した観測点



第 8 図 (b)　つづき
Fig. 8(b)　Continued.

６月 25 日　千葉県東方沖の地震

震央分布図
（1997 年 10 月 1 日～2020 年 6 月 30 日、
深さ 0～100km、M≧3.0）
2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分以降を薄青色で、
2020 年 6 月の地震を赤色で表示

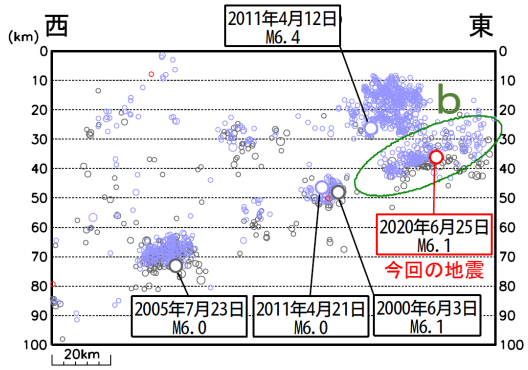


2020 年 6 月 25 日 04 時 47 分に、千葉県東方沖の深さ 36km で M6.1 の地震（最大震度５弱）が発生した。この地震の発震機構（CMT 解）は、南北方向に圧力軸を持つ逆断層型である。この地震により、重傷者 1 人、軽傷者 1 人の被害が生じた（７月２日現在、総務省消防庁による）。

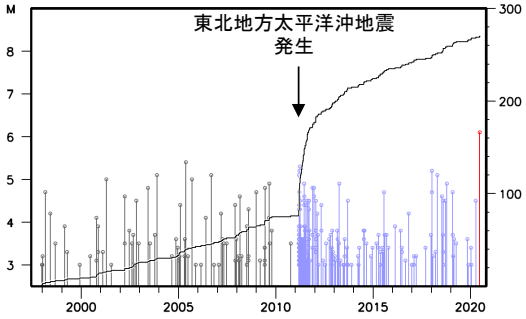
1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」（以下、東北地方太平洋沖地震）以降、活動が活発であった。領域ｂの近傍では、2011 年４月 12 日に M6.4 の地震（最大震度５弱）が発生している。

1919 年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｃ）では、M6.0 以上の地震が時々発生しており、1923 年６月２日には M7.1 の地震が発生した。なお、その７日前の５月 26 日に M6.2 の地震が、２日前の５月 31 日に M6.1 の地震が発生している。

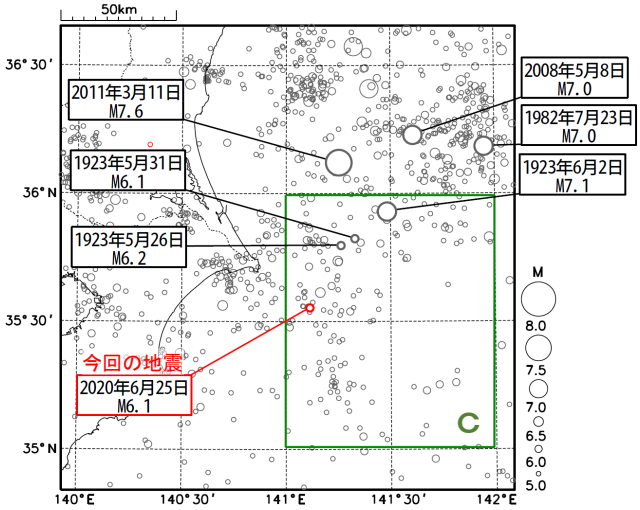
領域ａ内の断面図（東西投影）



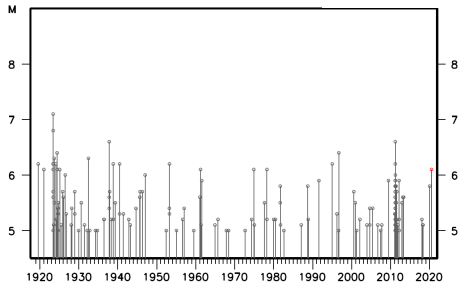
領域ｂ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図



震央分布図
（1919 年 1 月 1 日～2020 年 6 月 30 日、
深さ 0～150km、M≧6.0）
2020 年 6 月の地震を赤く表示



領域ｃ内のＭ－Ｔ図

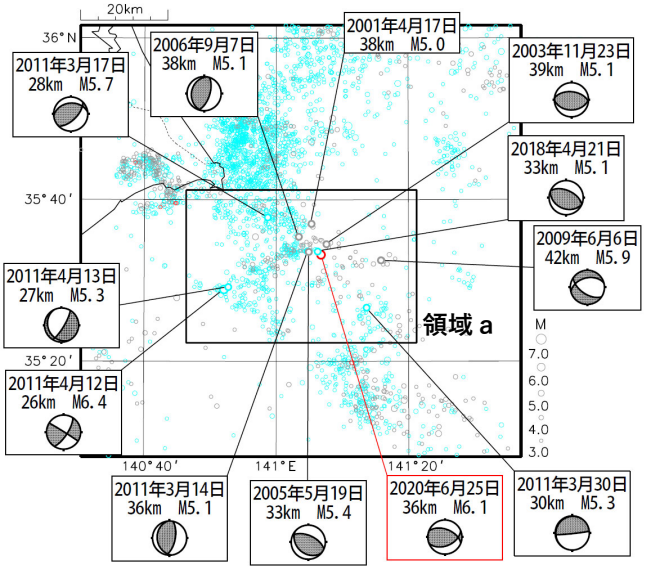


第 9 図 (a)　2020 年 6 月 25 日　千葉県東方沖の地震
Fig. 9(a)　The earthquake east off Chiba Prefecture on June 25, 2020.

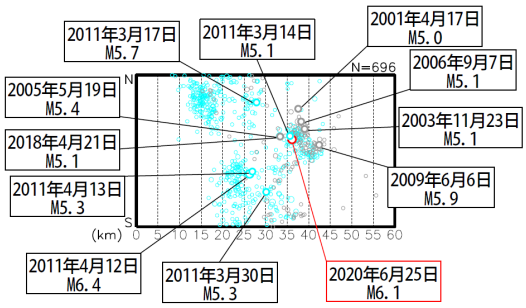
6月25日　千葉県東方沖の地震（付近の地震活動、発震機構解）

震央分布図（1997年10月1日～2020年6月30日、M≧3.0、60km以浅）

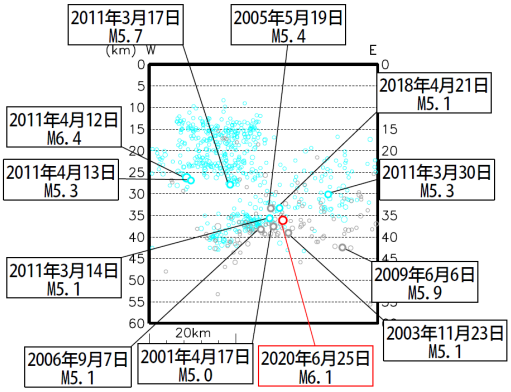
東北地方太平洋沖地震発生前を灰色、同地震発生～2020年5月を水色、2020年6月を赤色で表示



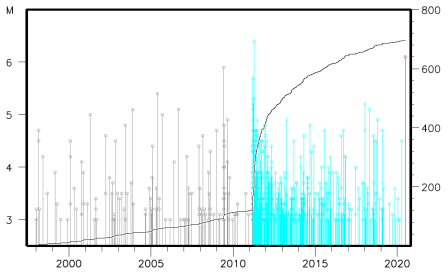
領域 a 内の断面図（南北投影）



領域 a 内の断面図（東西投影）



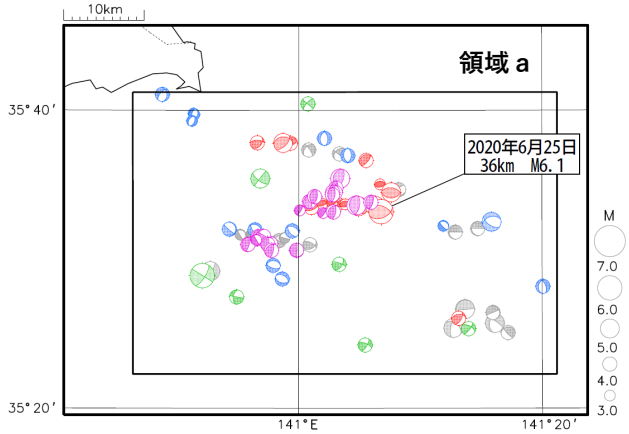
領域 a 内のＭＴ・回数積算図



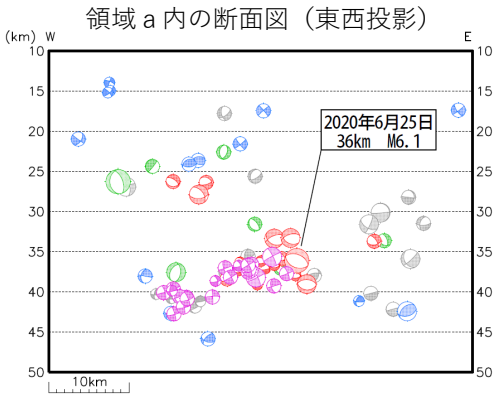
・2005年5月19日の地震（M5.4）は「太平洋プレート内部の沈み込みに伴う地震と考えられる」と評価
・2009年6月6日の地震（M5.9）は「太平洋プレート内部の地震と考えられる」と評価
・2011年4月12日の地震（M6.4）は「フィリピン海プレート内の地震」と評価

発震機構解分布（1997年10月1日～2020年6月30日、M≧3.0、深さ10～50km）

領域 a 内の解のみ表示し、CMT解・P波初動解（K登録）が両方ある場合はCMT解をプロット



領域 a 内の断面図（東西投影）



赤：逆断層型、青：正断層型、緑：横ずれ断層型、灰：その他の型、紫：プレート境界型（太平洋プレート～フィリピン海プレート）※で色分け

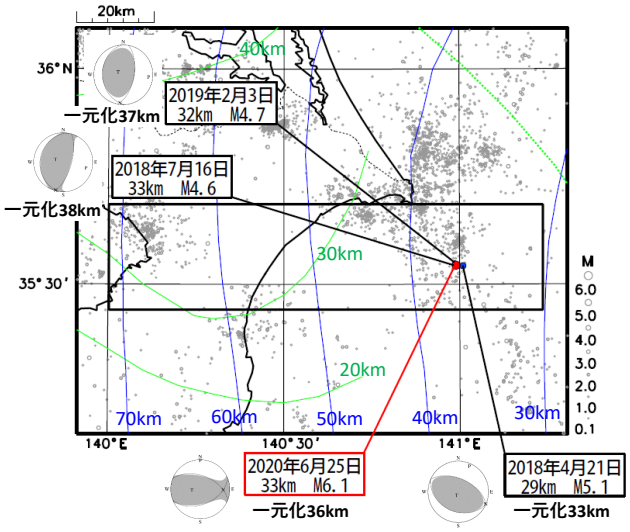
※ここでは、以下条件を満たす発震機構解をプレート境界型と仮定した。
Ｐ軸の傾斜角≦45度、Ｔ軸の傾斜角≧45度、Ｎ軸の傾斜角≦20度、45度≦Ｐ軸の方位角≦135度

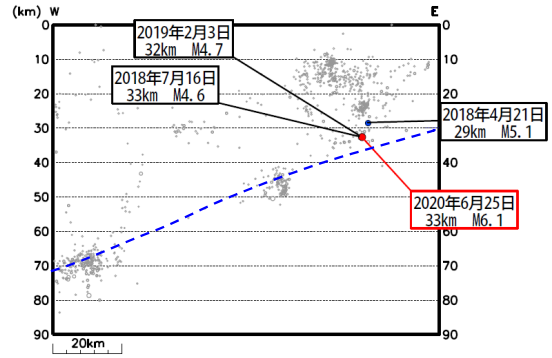
第 9 図 (b)　つづき
Fig. 9(b)　Continued.

6月25日　千葉県東方沖の地震（S-netを使用した震源での比較）

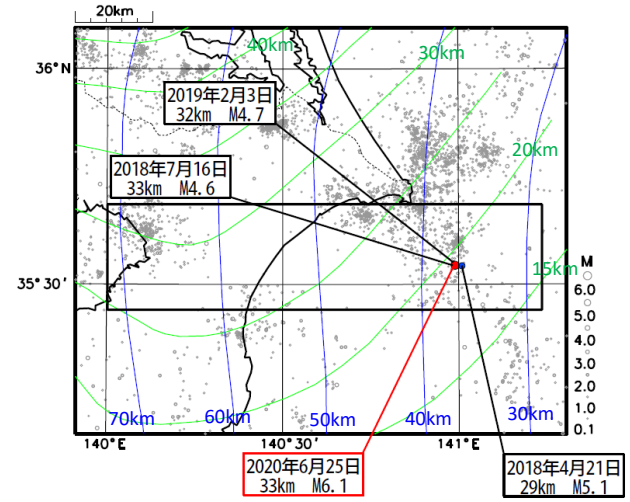
震央分布図（M≧0.1、90km以浅）　　左図矩形内図の断面図（東西投影）

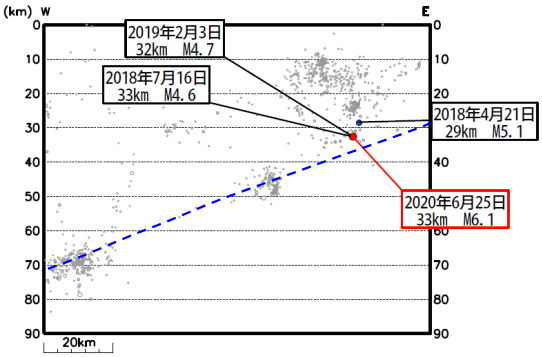
灰色は既存観測点＋S-net観測点のデータを使用した自動震源（2019年10月21日～2020年5月22日09時）、
吹き出しの地震はS-net検測値を手動で追加して再決定した震源、発震機構解はCMT解



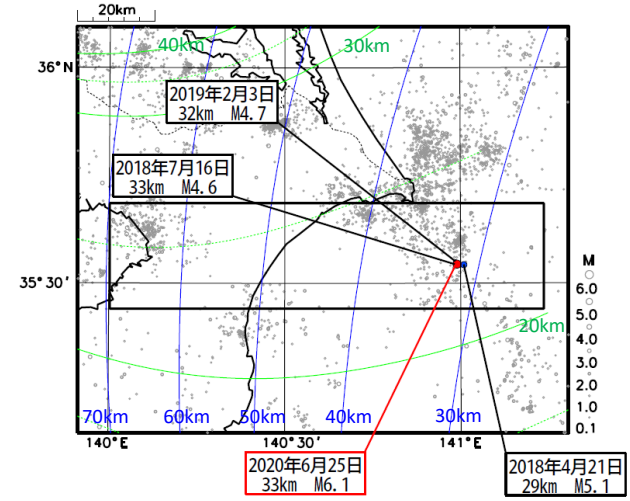


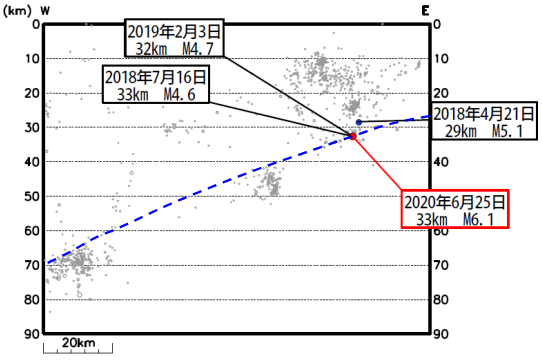
太平洋プレート（青）及びフィリピン海プレート（緑）の上面の位置はNakajima and Hasegawa (2006, GRL)，弘瀬・他 (2008, 地震)，Nakajima et al. (2009, JGR)による。フィリピン海プレートの北東限（緑点線）の位置はUchida et al. (2009, EPSL)による。





太平洋プレート（青）及びフィリピン海プレート（緑）の上面の位置は内閣府（2013、首都直下地震モデル検討会報告書）による。

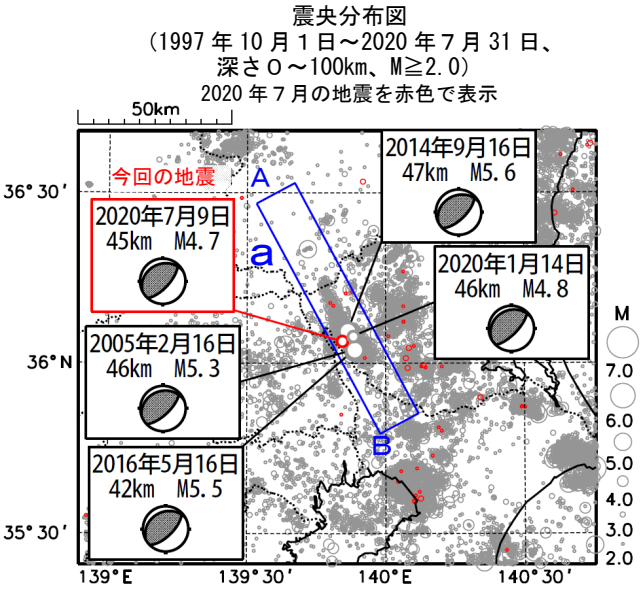




太平洋プレート（青）及びフィリピン海プレート（緑）の上面の位置はIwasaki et al. (2015, AGU Fall Meeting)、Lindquist et al. (2004, Eos)による。

第 9 図 (c)　つづき
Fig. 9(c)　Continued.

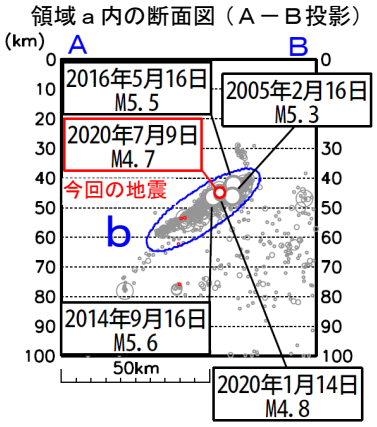
７月９日　茨城県南部の地震

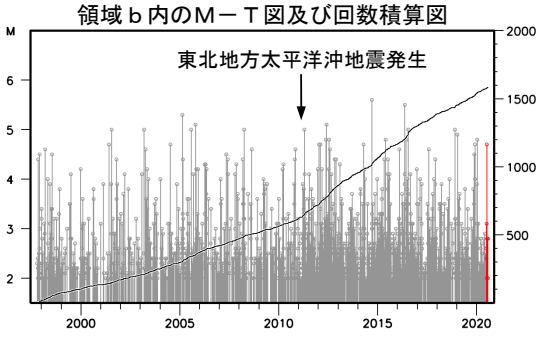


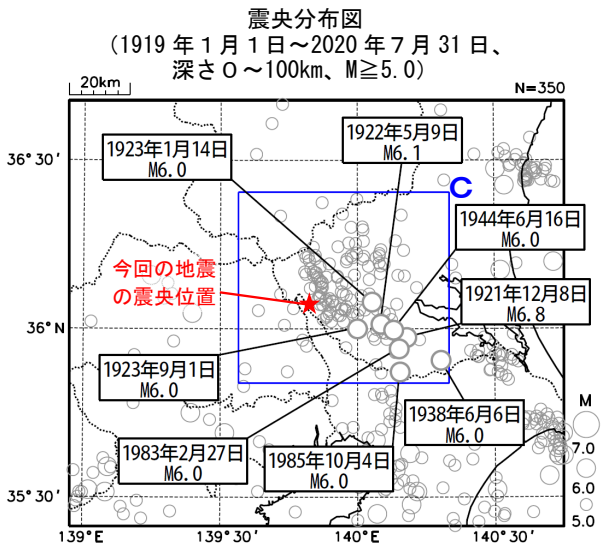
2020 年 7 月 9 日 06 時 05 分に茨城県南部の深さ 45km で M4.7 の地震（最大震度４）が発生した。この地震は、発震機構が北西－南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、フィリピン海プレートと陸のプレートの境界で発生した。

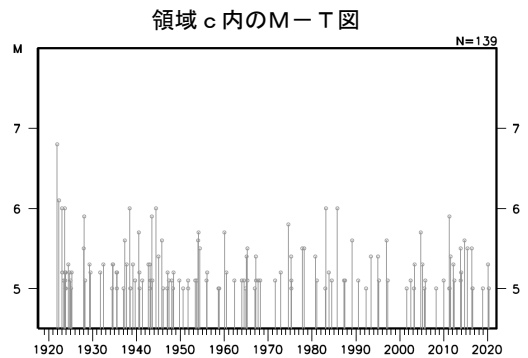
1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）は活動が活発な領域で、「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」発生以降、地震活動がより活発になった。最近では 2020 年１月 14 日に M4.8 の地震（最大震度４）が発生した。また、今回の地震の発生場所の近くでは、2014 年９月 16 日に M5.6 の地震（最大震度５弱）が発生し、負傷者 10 人、住家一部破損 1,060 棟等の被害を生じた（総務省消防庁による）。

1919 年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｃ）では、M6.0 程度の地震が時々発生している。







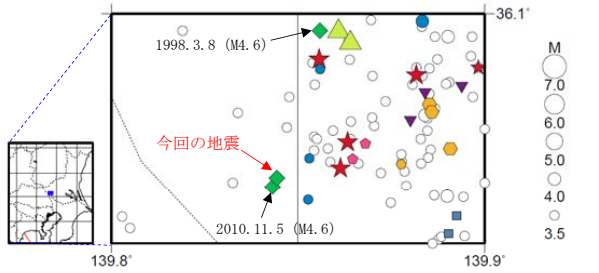


第 10 図 (a)　2020 年 7 月 9 日　茨城県南部の地震
Fig. 10(a)　The earthquake in the southern part of Ibaraki Prefecture on July 9, 2020.

７月９日　茨城県南部の地震（相似地震）

2020年７月９日の茨城県南部の地震（M4.7、最大震度４）について強震波形による相関解析を行った結果、既往相似地震グループの最新の地震として検出された（グループＣ ◆：今回を含めM4.6～4.7の３地震）※1。

震央分布図（1988年10月1日～2020年7月9日、深さ0～100km、M≧3.5）

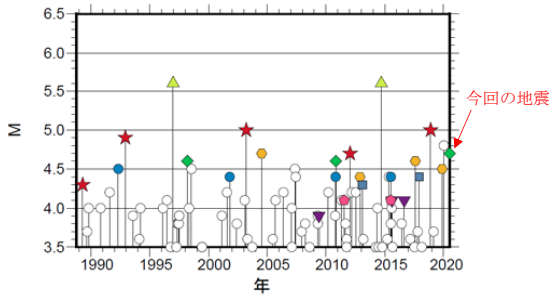


発生間隔と推定年平均すべり量※2

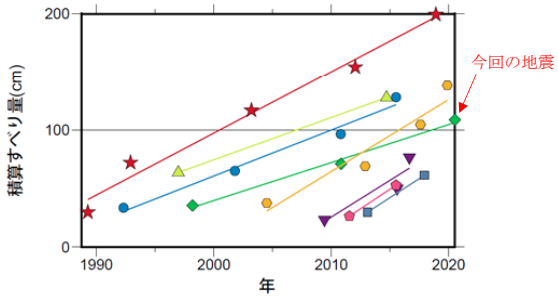
グループ	回数	平均M	震度 最大	震度 最小	発生間隔 平均	発生間隔 最短	発生間隔 最大	平均すべり量 (cm/年)
★A	5	4.78	4	3	7.41	3.63	10.29	5.29
●B	4	4.42	4	3	7.74	4.71	9.49	3.93
◆C	3	4.63	4	4	11.17	9.68	12.66	3.25
●D	4	4.55	4	3	5.12	2.30	8.38	6.16
▼E	3	4.03	3	3	3.62	1.05	6.20	6.25
⬟F	2	4.10	3	3	3.97	3.97	3.97	6.66
■G	2	4.35	4	3	4.83	4.83	4.83	6.53
△H	2	5.60	A	A	17.74	17.74	17.74	3.60

今回の地震

M－T図（上図内）

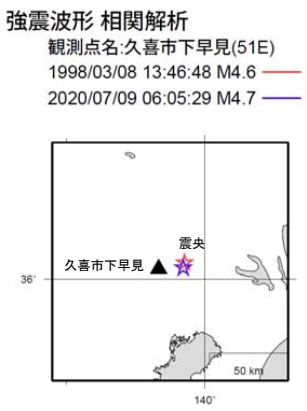


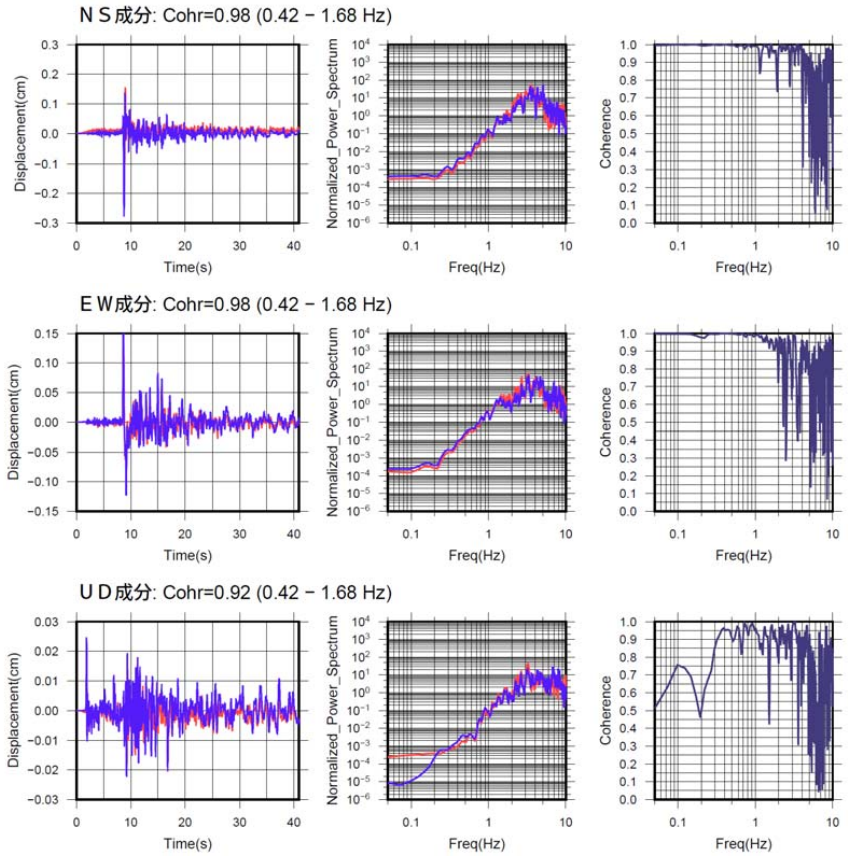
積算すべり量図※2



※1　各観測点の波形の比較で得られたコヒーレンスの中央値が0.95以上の場合に相似地震として検出し、相似地震のグループ分けはコヒーレンスを用いて機械的に行っている［溜渕ほか、2014］。
※2　すべり量推定には、モーメントマグニチュードと地震モーメントの関係式［Hanks and Kanamori(1979)］及び 地震モーメントとすべり量の関係式［Nadeau and Johnson(1998)］を使用。得られた積算すべり量と経過時間から最小自乗法を用いてグループ毎の年平均すべり量を求めた。

●波形例



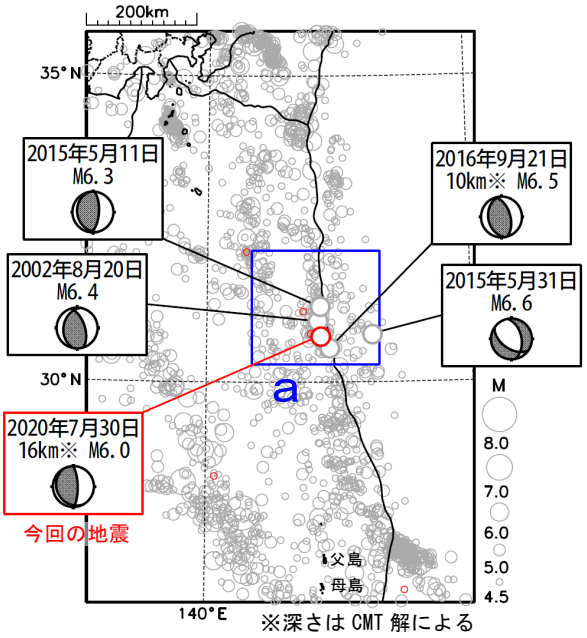


変位波形は加速度記録を気象庁59型地震計相当に変換して求めたもの

第 10 図 (b)　つづき
Fig. 10(b)　Continued.

７月 30 日　鳥島近海の地震

震央分布図
（1997 年 10 月１日～2020 年７月 31 日、
深さ０～700km、M≧4.5）
2020 年７月の地震を赤く表示
図中の発震機構は CMT 解

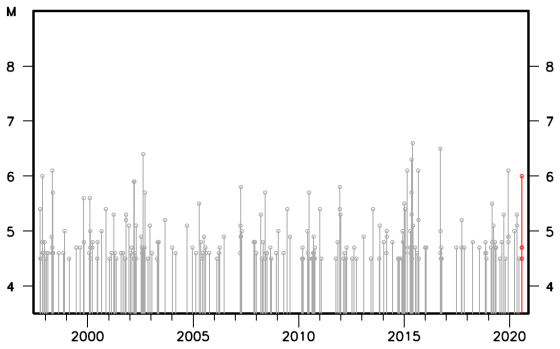


※深さは CMT 解による

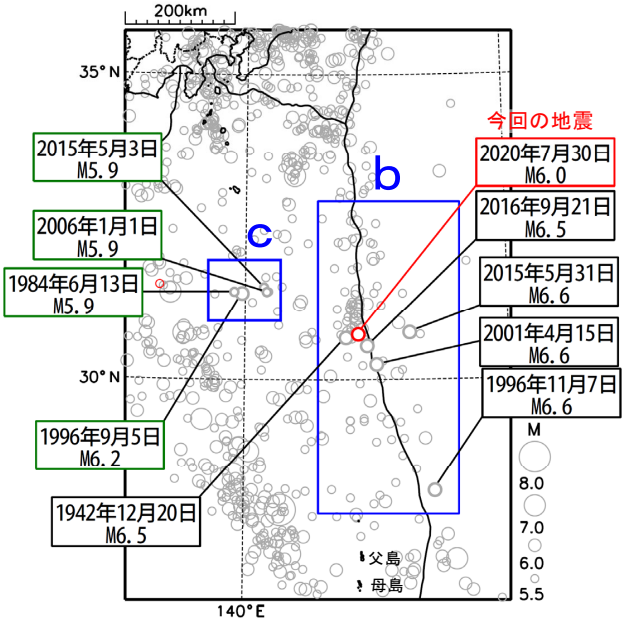
2020 年７月 30 日 09 時 35 分に鳥島近海の深さ 16km（CMT 解による）で M6.0 の地震（震度１以上を観測した地点はなし）が発生した。この地震の発震機構（CMT 解）は、東西方向に圧力軸を持つ逆断層型である。

1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震央付近（領域ａ）では、M6.0 以上の地震が時々発生している。

領域ａ内のＭ－Ｔ図



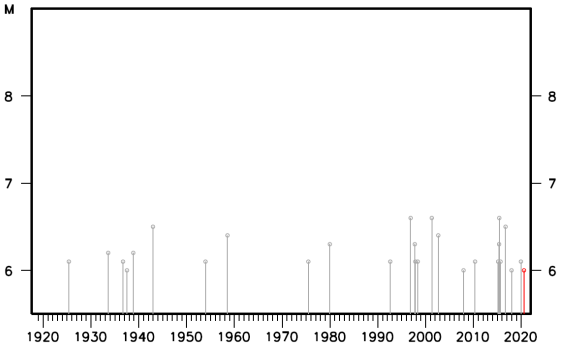
震央分布図
（1919 年１月１日～2020 年７月 31 日、
深さ０～700km、M≧5.5）
2020 年７月の地震を赤く表示



緑色の吹き出しは津波を観測した地震

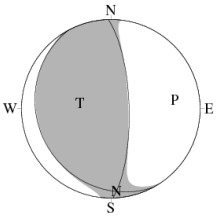
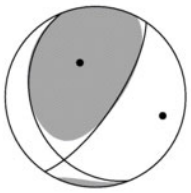
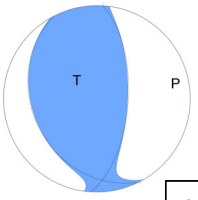
1919 年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｂ）では、M6.0 以上の地震が時々発生しているが、揺れによる被害が生じた地震は発生していない。なお、鳥島近海（領域ｃ）では、1996 年９月５日に発生した M6.2 の地震をはじめ、Ｍ６程度の規模でも津波を観測する地震が発生する場合がある。

領域ｂ内のＭ－Ｔ図

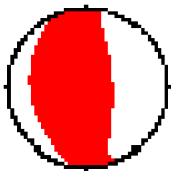
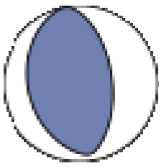


第 11 図 (a)　2020 年 7 月 30 日　鳥島近海の地震
Fig. 11(a)　The earthquake near Torishima Island on July 30, 2020.

7月30日　鳥島近海の地震（各機関のMT解）

	気象庁CMT	防災科研（F-net）	USGS（W-phase）
一元化震源 Mj6.0 深さ20km			
Mw	5.8	5.7	5.8
深さ	16km	8km	20km

USGS震源 深さ10km M5.8

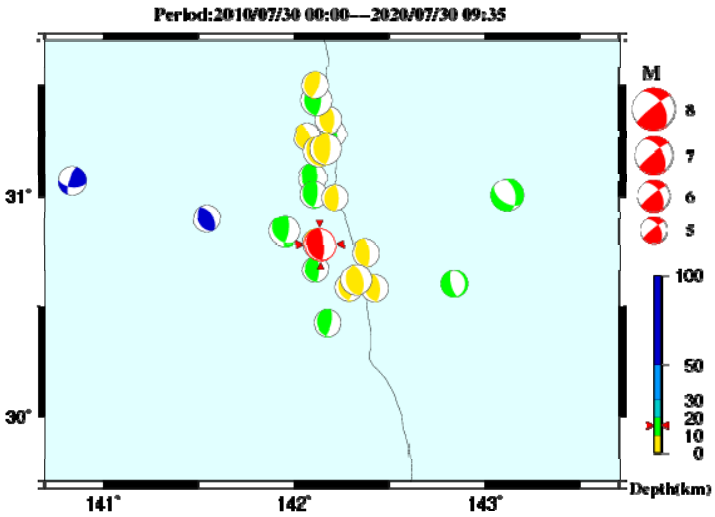
	Global CMT	GEOFON
		
Mw	5.8	5.7
深さ	18km	20km

防災科研（F-net）:
http://www.fnet.bosai.go.jp/event/joho.php?LANG=ja
USGS（W-phase）: https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/
Global CMT: http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html
GEOFON MT: http://geofon.gfz-potsdam.de/eqinfo/list.php?mode=mt

防災科研（AQUA）　未掲載

http://www.hinet.bosai.go.jp/AQUA/aqua_catalogue.php?LANG=ja

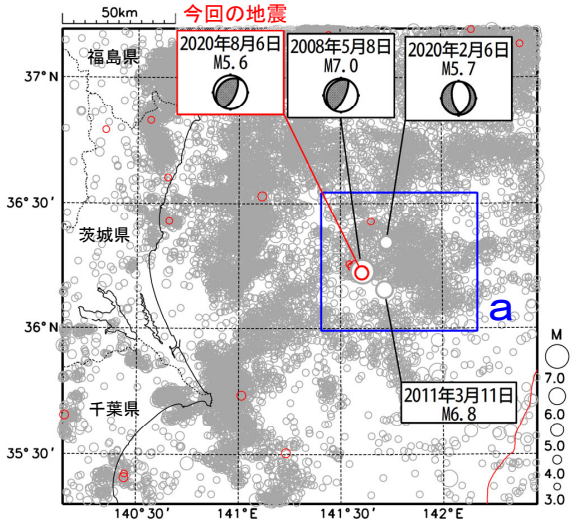
周辺の気象庁CMT解



第 11 図 (b)　つづき
Fig. 11(b)　Continued.

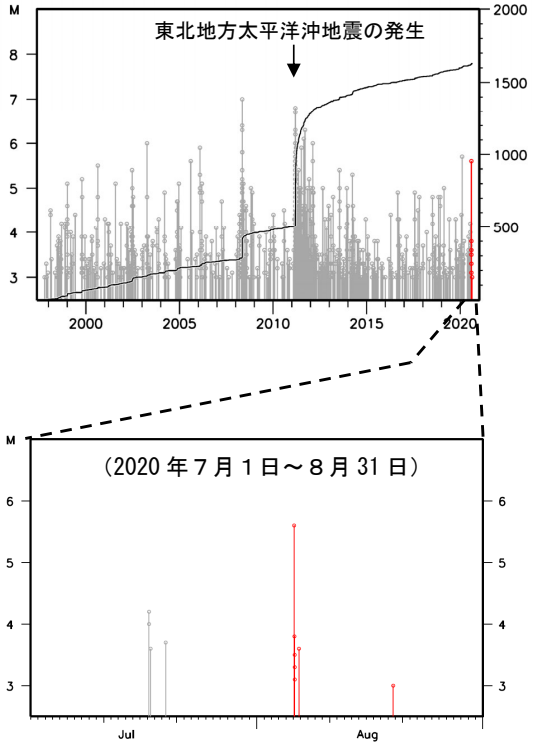
８月６日　茨城県沖の地震

震央分布図
（1997 年 10 月１日～2020 年８月 31 日、
深さ０～120km、M≧3.0）
2020 年８月の地震を赤く表示
図中の発震機構は CMT 解



赤線は海溝軸を示す。

領域ａ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図

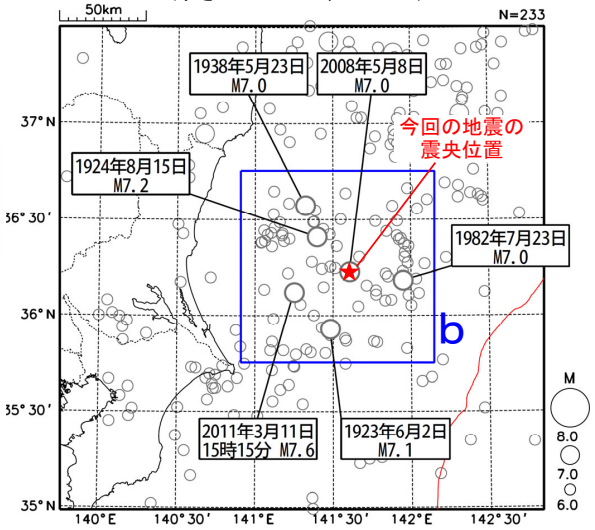


2020 年８月６日 02 時 54 分に茨城県沖で M5.6 の地震（最大震度３）が発生した。この地震は、発震機構（CMT 解）が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した。

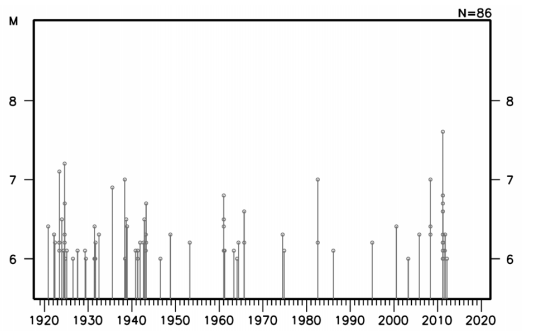
1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震央付近（領域ａ）では、M5.0 以上の地震が時々発生している。2008 年５月８日に発生した M7.0 の地震（最大震度５弱）では、負傷者６人などの被害が生じた（総務省消防庁による）。「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」（以下、東北地方太平洋沖地震）が発生した際は、地震活動が活発に推移した。

1919 年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｂ）では、M7.0 以上の地震が時々発生している。このうち、2011 年３月 11 日 15 時 15 分に茨城県沖で発生した M7.6 の地震（最大震度６強）は、東北地方太平洋沖地震の最大余震である。

震央分布図
（1919 年１月１日～2020 年８月 31 日、
深さ０～120km、M≧6.0）



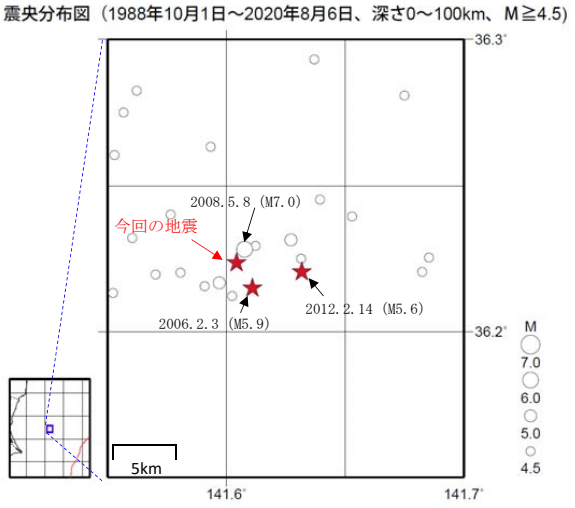
領域ｂ内のＭ－Ｔ図

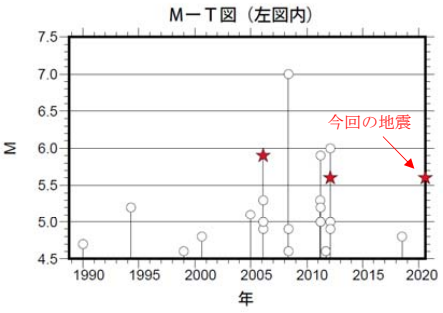


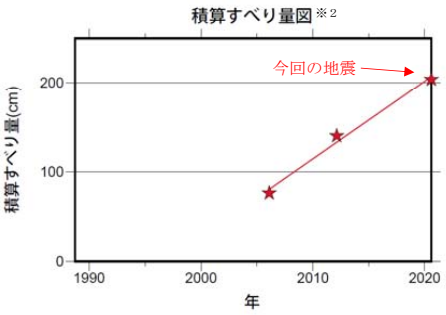
第 12 図 (a)　2020 年 8 月 6 日　茨城県沖の地震
Fig. 12(a)　The earthquake off Ibaraki Prefecture on August 6, 2020.

８月６日　茨城県沖の地震（相似地震）

2020年８月６日の茨城県沖の地震（M5.6、最大震度３）について強震波形による相関解析を行った結果、既往相似地震グループの最新の地震として検出された（グループＡ ★：今回を含めM5.6～5.9の３地震）※1。





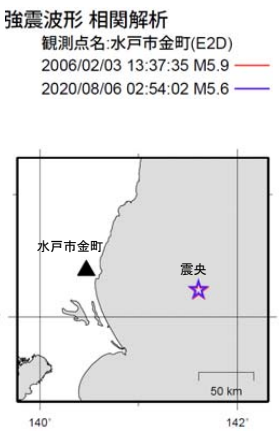


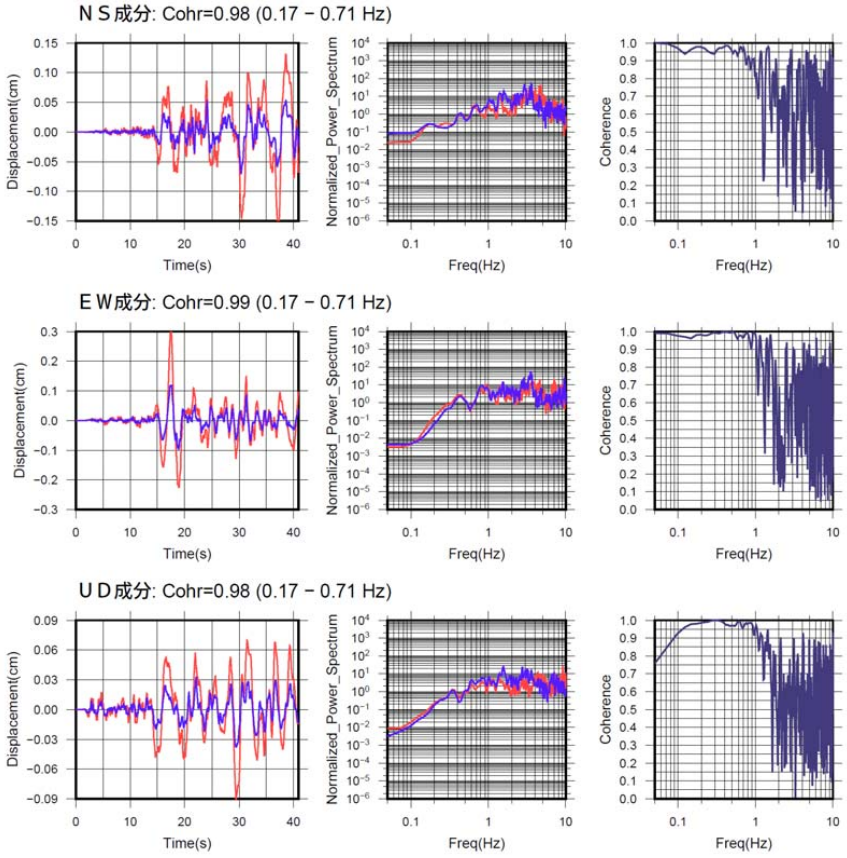
発生間隔と推定年平均すべり量※2

グループ	回数	平均M	震度		発生間隔			平均すべり量 (cm/年)
			最大	最小	平均	最短	最大	
★A	3	5.70	3	3	7.25	6.03	8.48	8.72

※1　各観測点の波形の比較で得られたコヒーレンスの中央値が0.95以上の場合に相似地震として検出し、相似地震のグループ分けはコヒーレンスを用いて機械的に行っている［溜渕ほか、2014］。
※2　すべり量推定には、モーメントマグニチュードと地震モーメントの関係式［Hanks and Kanamori(1979)］及び 地震モーメントとすべり量の関係式［Nadeau and Johnson(1998)］を使用。得られた積算すべり量と経過時間から最小自乗法を用いてグループ毎の年平均すべり量を求めた。

●波形例





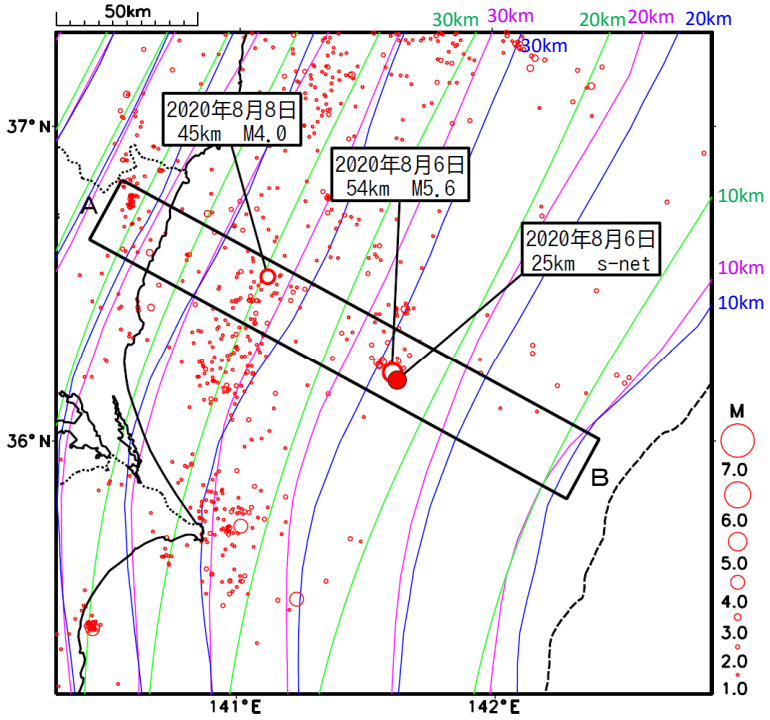
変位波形は加速度記録を気象庁59型地震計相当に変換して求めたもの

第 12 図 (b)　つづき
Fig. 12(b)　Continued.

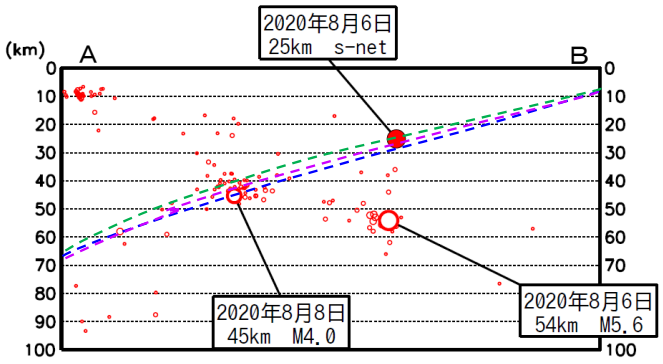
８月６日茨城県沖の地震（S-netを使用した震源との比較）

●は8月6日茨城県沖の地震（M5.6）について国立研究開発法人防災科学技術研究所のS-netの検測値を追加して再計算した震源、それ以外は一元化震源
青、緑、紫の各線は以下モデルによる太平洋プレート上面の深さの等深線
　青：　Nakajima and Hasegawa (2006)及びNakajima et al. (2009)
　緑：　Iwasaki et al.(2015)及び Lindquist et al.(2004)（日本列島域モデル）
　紫：　内閣府（2013）

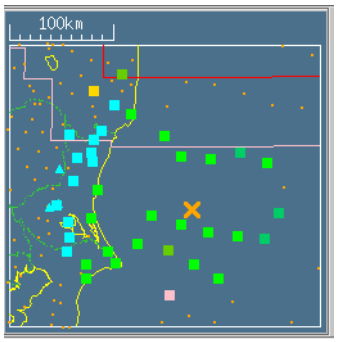
震央分布図（2020年8月1日～26日、M≧1.0、100km以浅）



上図矩形領域内の断面図（AB投影）



再計算に使用した観測点（下図の■）

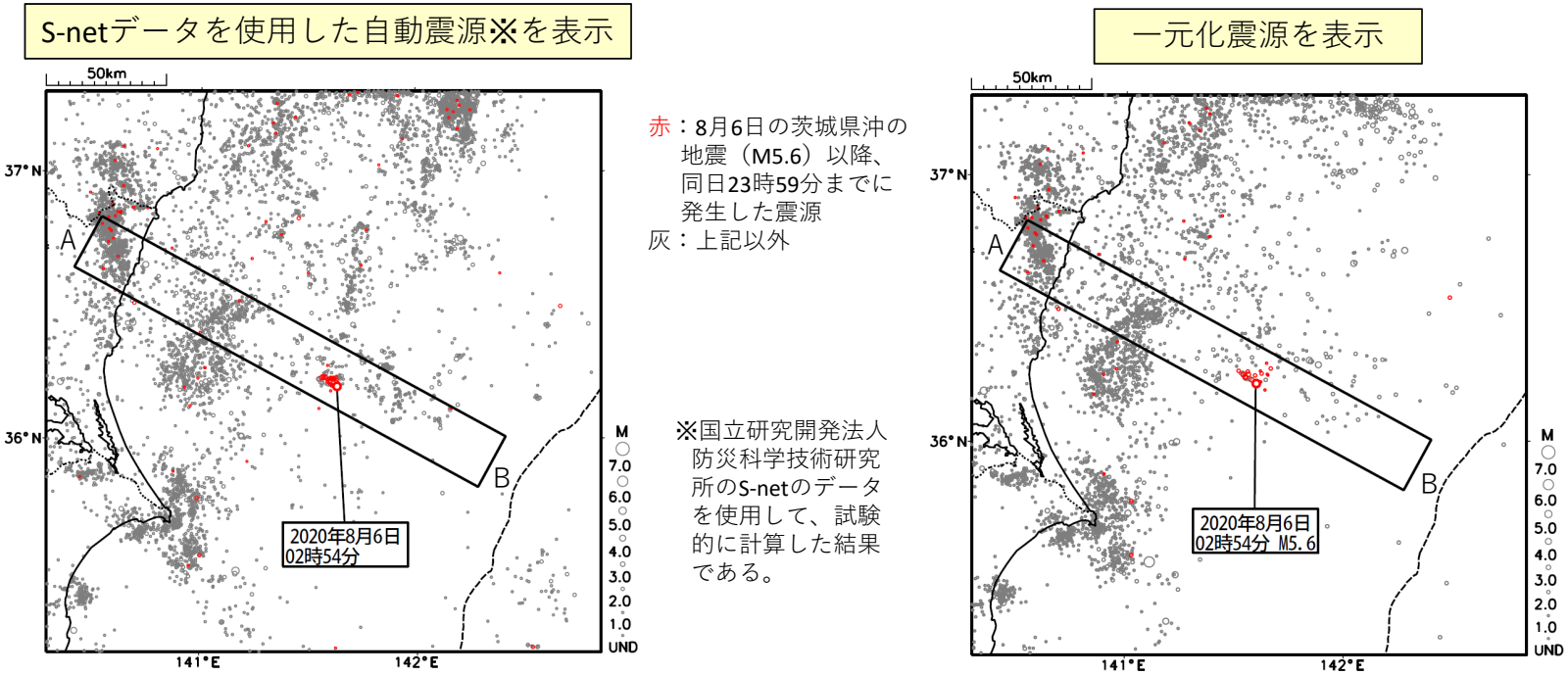


（引用文献）
Nakajima, J., and A. Hasegawa (2006), Anomalous low-velocity zone and linear alignment of seismicity along it in the subducted Pacific slab beneath Kanto, Japan: Reactivation of subducted fracture zone?, Geophys. Res. Lett., 33, L16309, doi: 10.1029/2006GL026773.
Nakajima, J., F. Hirose, and A. Hasegawa (2009), Seismotectonics beneath the Tokyo metropolitan area, Japan: Effect of slab-slab contact and overlap on seismicity, J. Geophys. Res., 114, B08309, doi:10.1029/2008JB006101.
Iwasaki, T., Sato, H., Shinohara, M., Ishiyama, T. & Hashima, A., 2015.Fundamental structure model of island arcs and subducted plates in and around Japan, 2015 Fall Meeting, American Geophysical Union, San Francisco, Dec. 14-18, T31B-2878.
Lindquist, K. G., K. Engle, D. Stahlke, and E. Price (2004), Global Topography and Bathymetry Grid Improves Research Efforts, Eos Trans. AGU, 85(19), 186. http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2004EO190003/abstract
内閣府（2013）：首都直下のM7 クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8 クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書, 45p.

第 12 図 (c)　つづき
Fig. 12(c)　Continued.

8月6日茨城県沖の地震（S-netデータを使用した自動震源との分布比較）

震央分布図（2020年6月1日～8月24日、M全て、100km以浅）



上図の矩形領域内の断面図（AB投影）



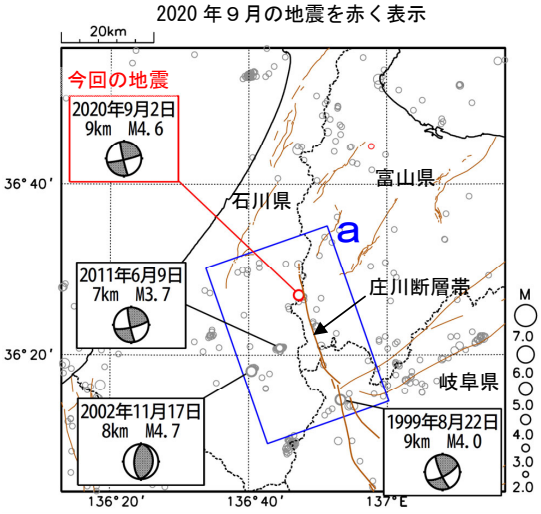
第 12 図 (d)　つづき

Fig. 12(d)　Continued.

９月２日　石川県加賀地方の地震

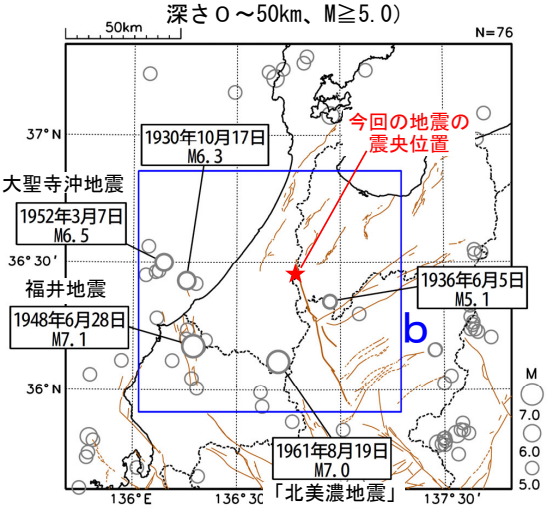
情報発表に用いた震央地名は〔富山県西部〕である。

震央分布図
（1997 年 10 月 1 日～2020 年 9 月 30 日、
深さ 0～30km、M≧2.0）
2020 年 9 月の地震を赤く表示



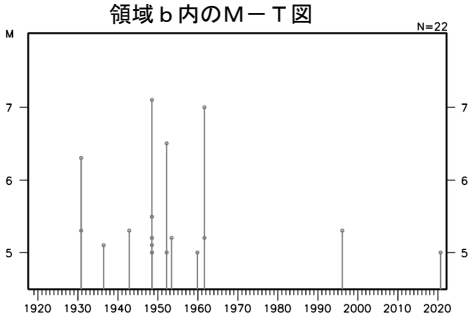
図中の茶色の細線は地震調査研究推進本部による主要活断層帯を示す。

震央分布図
（1919 年 1 月 1 日～2020 年 9 月 30 日、
深さ 0～50km、M≧5.0）



図中の茶色の細線は地震調査研究推進本部による主要活断層帯を示す。

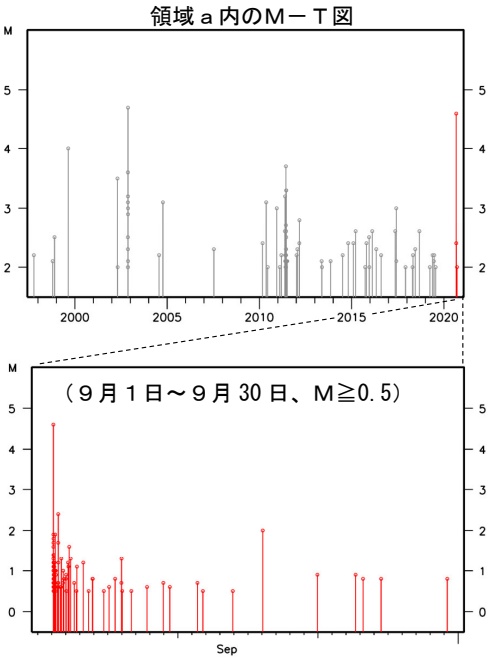
領域 b 内の M－T 図



2020 年 9 月 2 日 02 時 49 分に石川県加賀地方の深さ 9 km で M4.6 の地震（最大震度 3）が発生した。この地震は地殻内で発生した。この地震の発震機構は、西北西－東南東方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型である。

1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震央付近（領域 a）では、M4.0 以上の地震がまれに発生している。2002 年 11 月 17 日に発生した M4.7 の地震（最大震度 4）は、9 日前の 11 月 8 日頃から始まった一連の地震活動の中で最大の規模の地震である。

領域 a 内の M－T 図

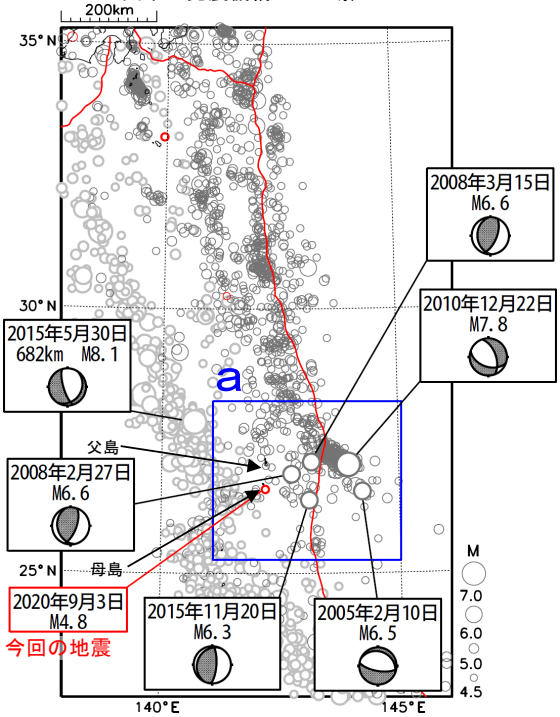


1919 年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域 b）では、M7.0 以上の地震の被害地震が 2 回発生している。このうち、1948 年 6 月 28 日に福井県嶺北で福井地震（M7.1、最大震度 6）が発生し、北北西－南南東方向に断層（福井地震断層）を形成した。この地震により、死者 3,769 人、負傷者 22,203 人などの被害が生じ、福井平野では全壊率が 100％に達する集落も多かったことから気象庁震度階級に 7 が追加されるきっかけとなった。また、1961 年には「北美濃地震」が発生し、死者 8 人等の被害が生じた（被害は「日本被害地震総覧」による）。

第 13 図　2020 年 9 月 2 日　石川県加賀地方の地震
Fig. 13　The earthquake in Kaga region of Ishikawa Prefecture on September 2, 2020.

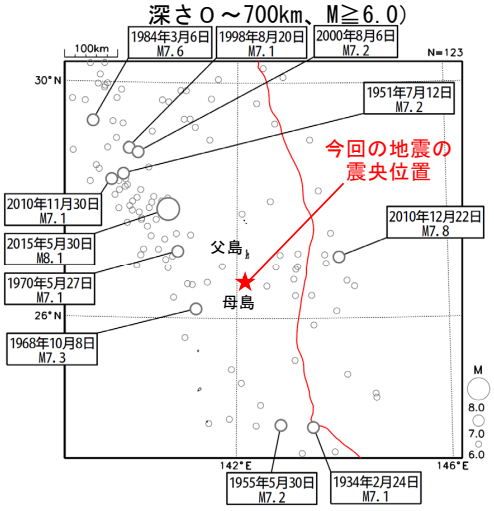
９月３日　父島近海の地震

震央分布図
（1997 年 10 月１日～2020 年９月 30 日、
深さ０～700km、M≧4.5）
2020 年９月の地震を赤く表示
100km より浅い地震を濃く表示
図中の発震機構は CMT 解



赤線は海溝軸を示す。

震央分布図
（1919 年１月１日～2020 年９月 30 日、
深さ０～700km、M≧6.0）

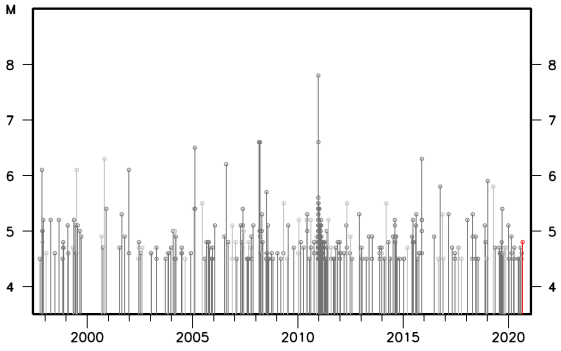


赤線は海溝軸を示す。

2020 年９月３日 00 時 21 分に父島近海で M4.8 の地震（最大震度４）が発生した。

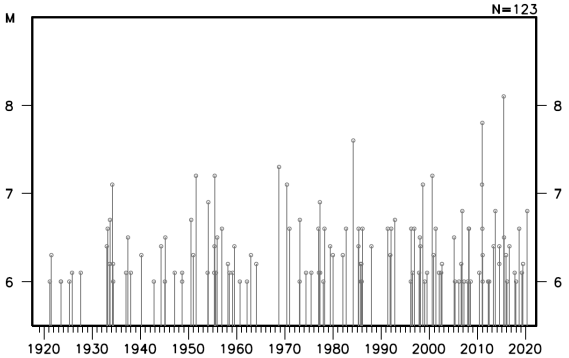
1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ａ）では、M6.0 以上の地震が時々発生している。2010 年 12 月 22 日の M7.8 の地震（最大震度４）では、この地震により津波が発生し、八丈島八重根で 50cm の津波を観測したほか、東北地方の一部、及び関東地方南部から沖縄地方にかけての太平洋沿岸で津波を観測した。

領域ａ内のＭ－Ｔ図

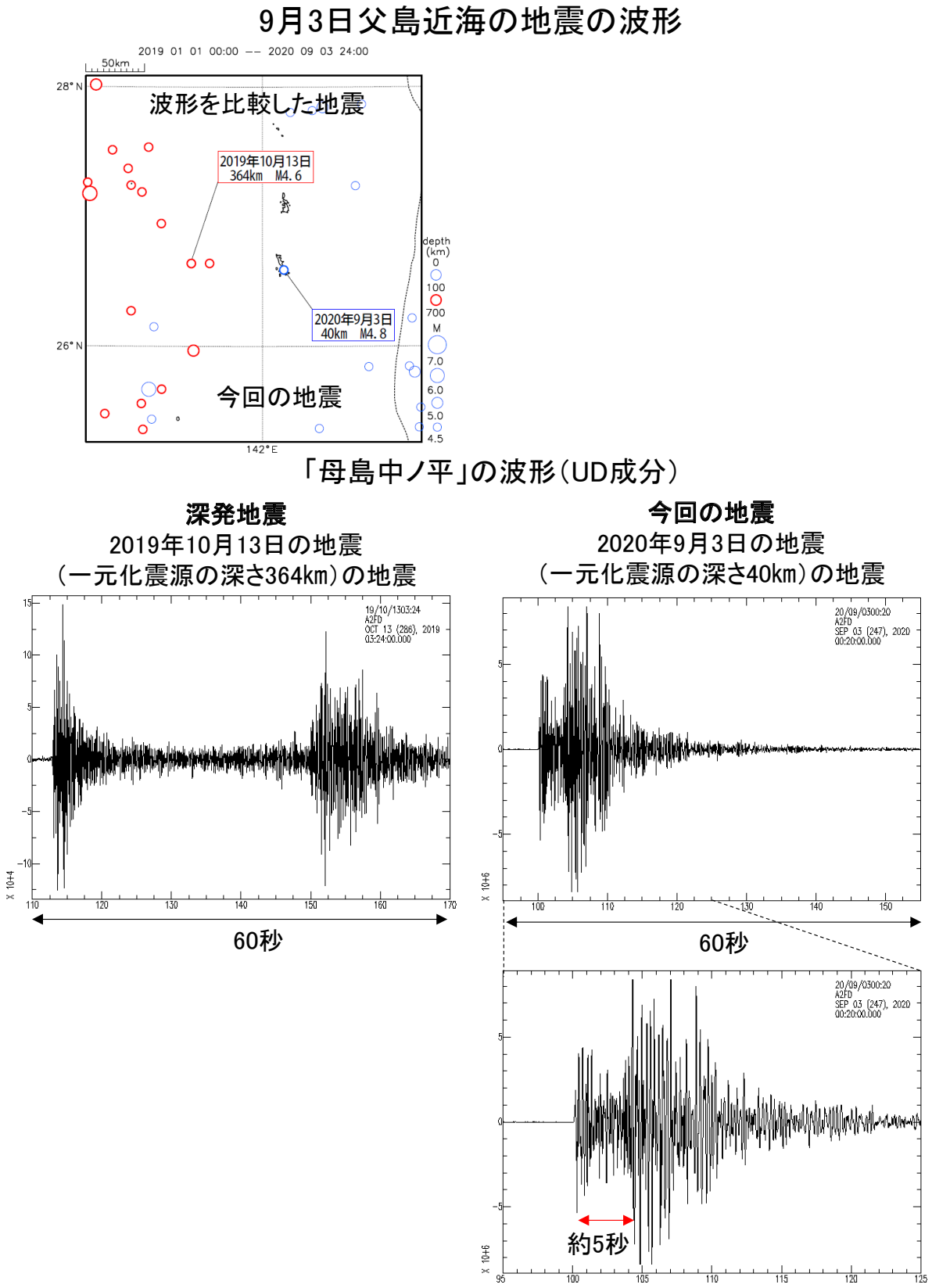


1919 年以降の活動をみると、小笠原諸島周辺では、M6.0 以上の地震が時々発生している。2015 年５月 30 日の深さ 682km で発生した M8.1 の地震（最大震度５強）では、この地震により関東地方で軽傷者８人等の被害が生じた（総務省消防庁による）。また、1984 年３月６日の M7.6 の地震（最大震度４）では、この地震により関東地方を中心に死者１人、負傷者１人等の被害が生じた（「日本被害地震総覧」による）。

左図内のＭ－Ｔ図



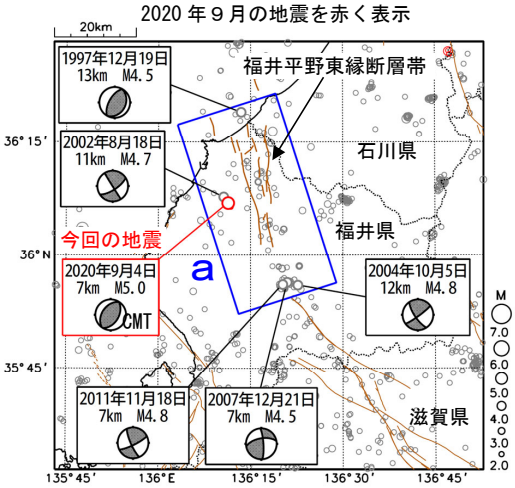
第 14 図 (a)　2020 年 9 月 3 日　父島近海の地震
Fig. 14(a)　The earthquake near Chichijima Island on September 3, 2020.



第 14 図 (b)　つづき
Fig. 14(b)　Continued.

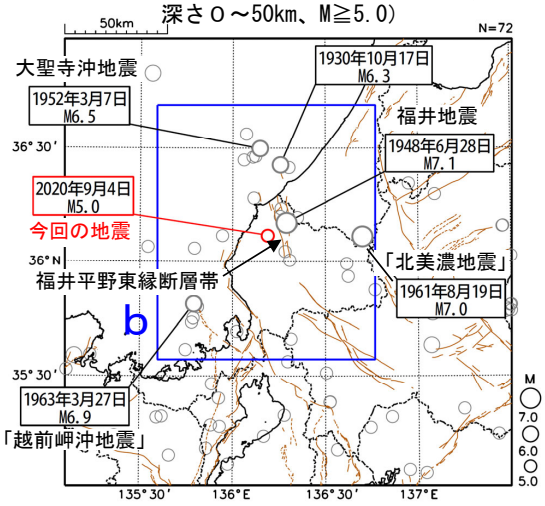
９月４日　福井県嶺北の地震

震央分布図
（1997 年 10 月 1 日～2020 年 9 月 30 日、
深さ 0～30km、M≧2.0）
2020 年 9 月の地震を赤く表示



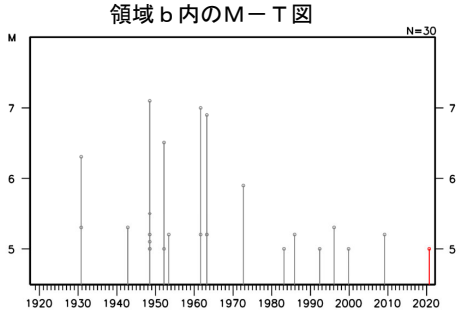
図中の茶色の細線は地震調査研究推進本部による主要活断層帯を示す。

震央分布図
（1919 年 1 月 1 日～2020 年 9 月 30 日、
深さ 0～50km、M≧5.0）



図中の茶色の細線は地震調査研究推進本部による主要活断層帯を示す。

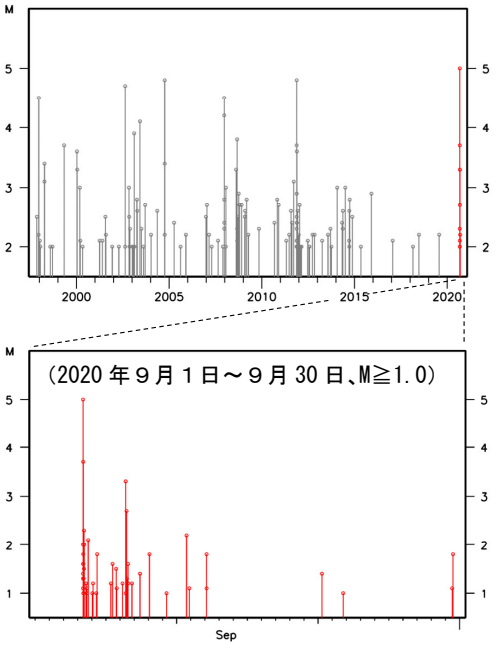
領域 b 内の M－T 図



2020 年 9 月 4 日 09 時 10 分に福井県嶺北の深さ 7 km で M5.0 の地震（最大震度 5 弱）が発生した。この地震は地殻内で発生した。この地震の発震機構（CMT 解）は、西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型である。この地震により、軽傷者 13 人の被害が生じた（9 月 11 日現在、総務省消防庁による）。

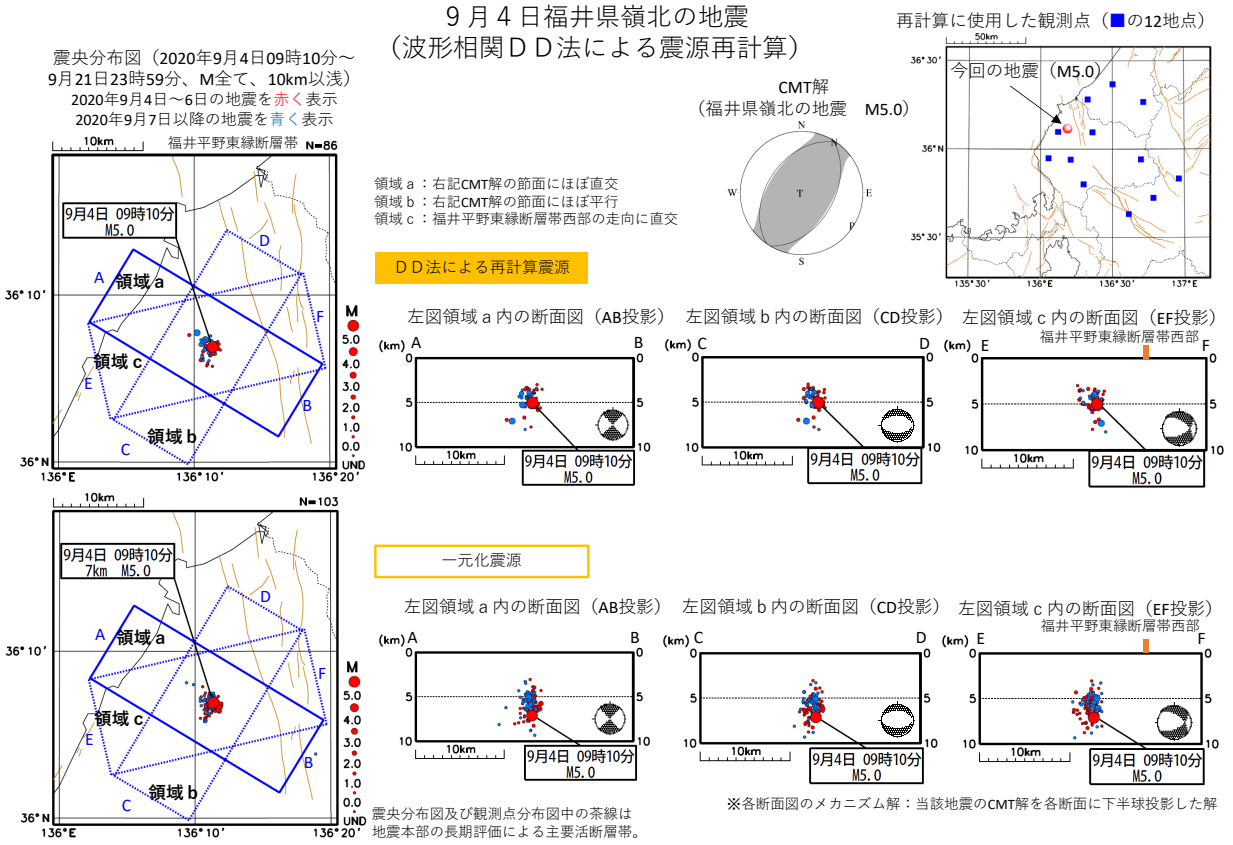
1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震央付近（領域 a ）では、M4.0 以上の地震が時々発生している。

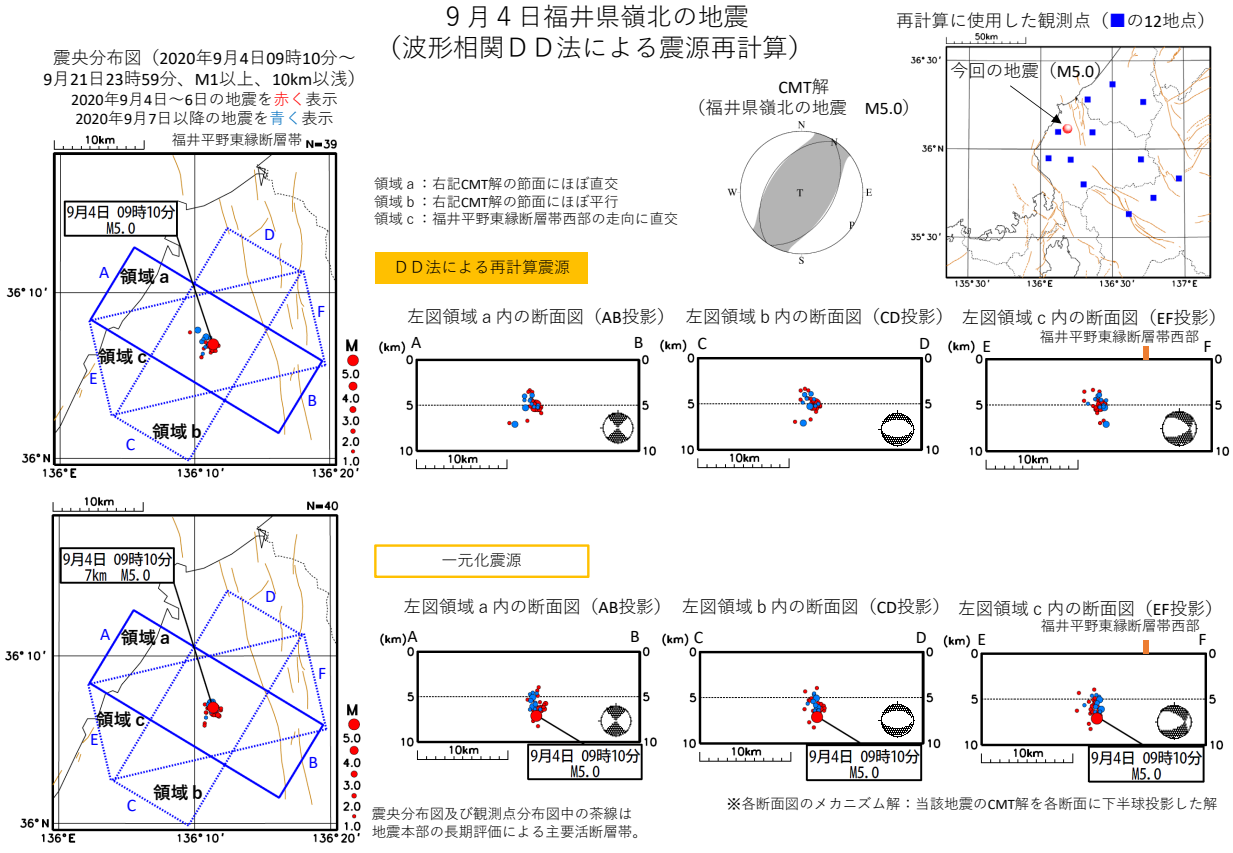
領域 a 内の M－T 図



1919 年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域 b ）では、M5.0 以上の地震が時々発生している。1948 年 6 月 28 日には福井地震（M7.1、最大震度 6 ）が発生し、死者 3,769 人、負傷者 22,203 人などの被害が生じた。この地震により福井平野東縁断層帯を構成する福井平野東縁断層帯西部に沿って地殻変動が認められた（地震調査研究推進本部）。また、1961 年 8 月 19 日には「北美濃地震」が発生し、死者 8 人等の被害が生じた（被害は「日本被害地震総覧」による）。

第 15 図 (a)　2020 年 9 月 4 日　福井県嶺北の地震
Fig. 15(a)　The earthquake in Reihoku region of Fukui Prefecture on September 4, 2020.

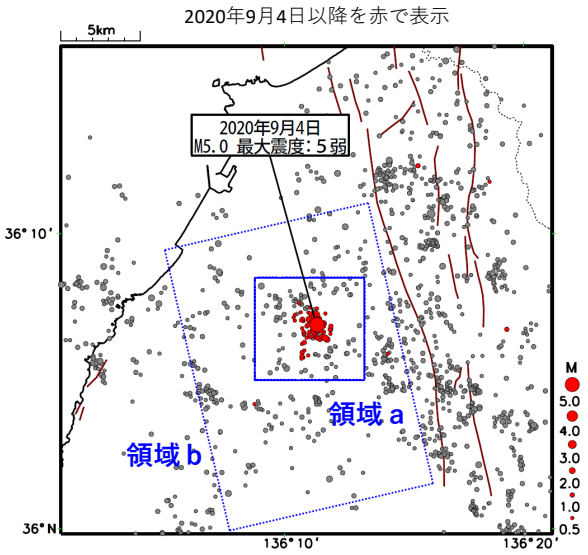




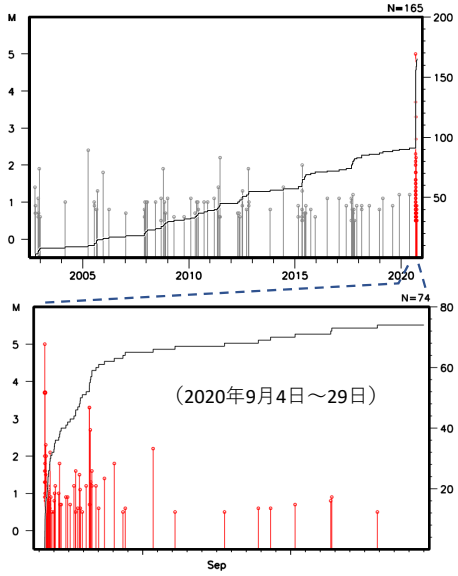
第 15 図 (b)　つづき
Fig. 15(b)　Continued.

福井県嶺北の活動域付近の b 値

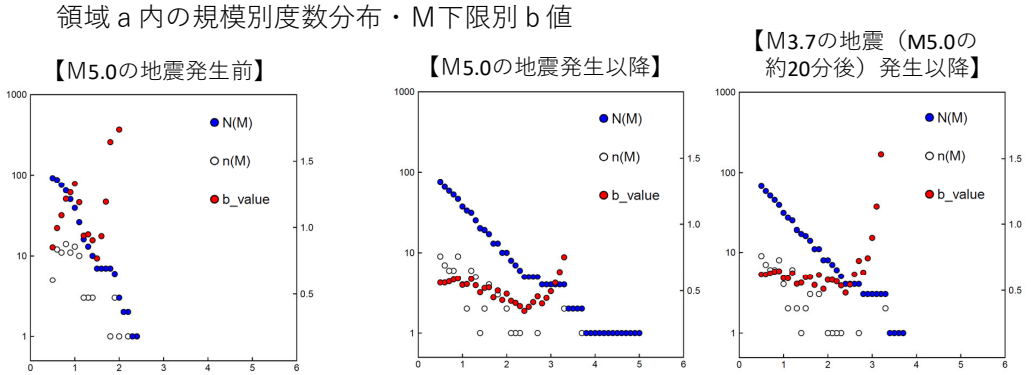
震央分布図（2002年10月～2020年9月29日、
M≧0.5、15km以浅）



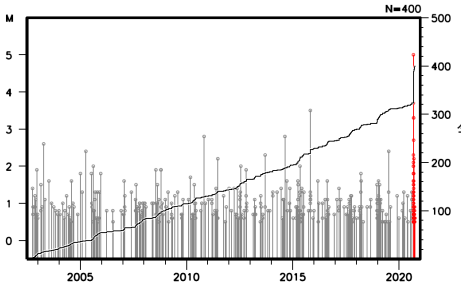
領域 a 内のＭＴ・回数積算図



領域 a 内の規模別度数分布・M下限別 b 値

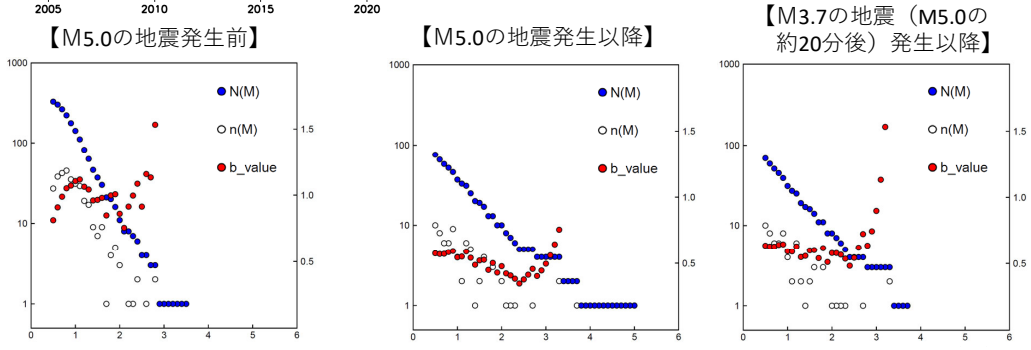


震源数は少ないが、M5.0発生前（b値＝1.0前後）に比べてM5.0発生以降の b 値は低いことが推察される



領域 b 内のＭＴ・回数積算図

領域 b 内の規模別度数分布・M下限別 b 値

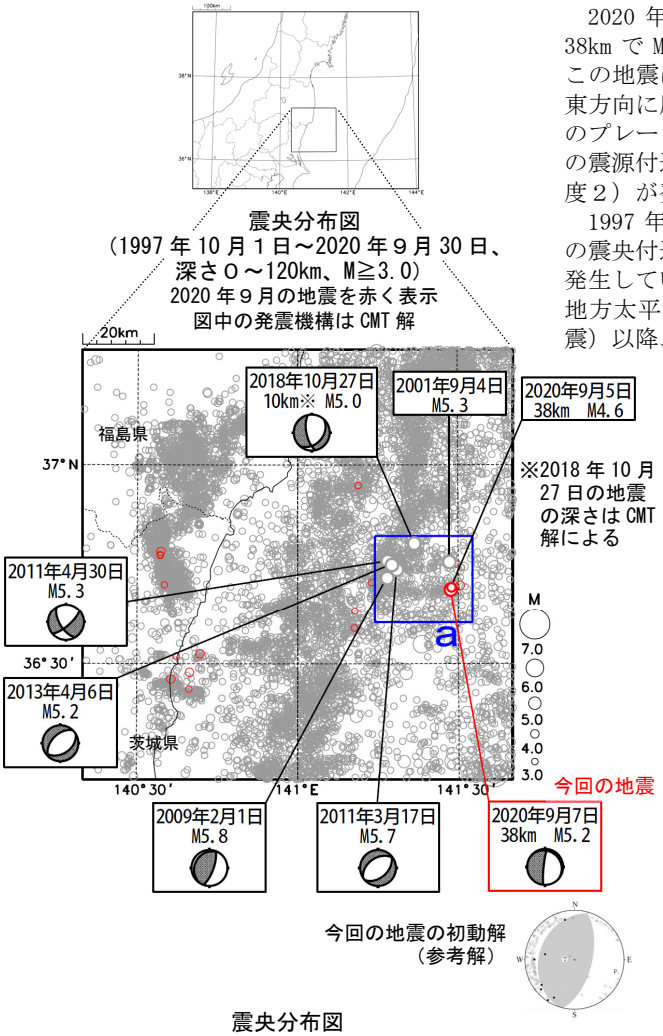


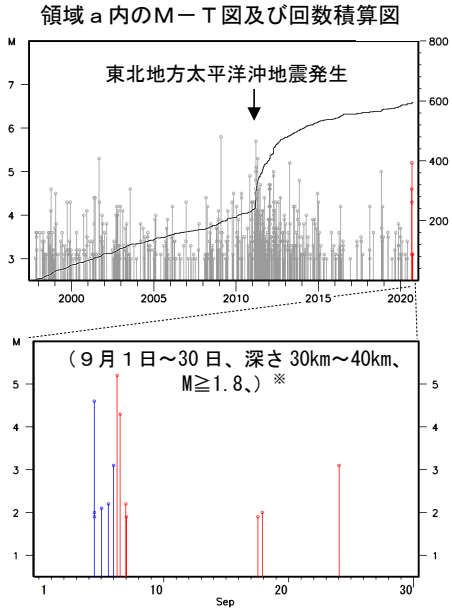
第 15 図 (c)　つづき
Fig. 15(c)　Continued.

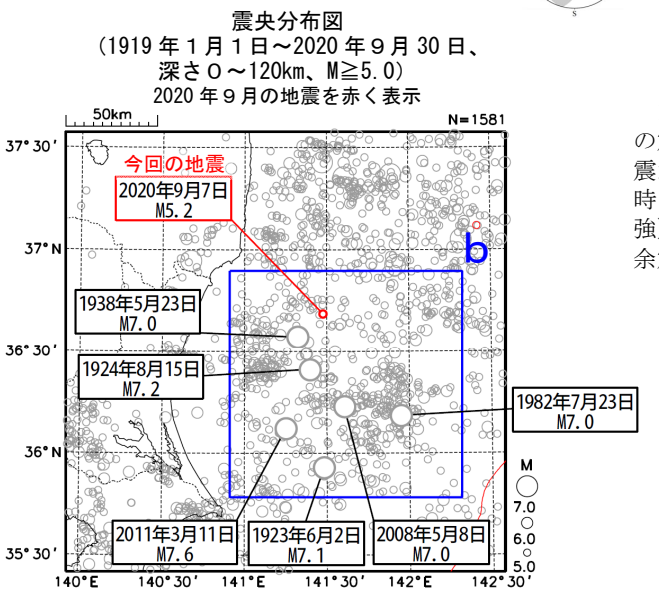
９月７日　茨城県沖の地震

2020 年９月７日 06 時 33 分に茨城県沖の深さ 38km で M5.2 の地震（最大震度３）が発生した。この地震は、発震機構（CMT 解）が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した。なお、今回の地震の震源付近では、９月５日に M4.6 の地震（最大震度２）が発生している。

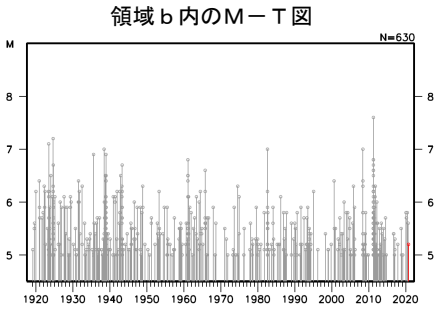
1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震央付近（領域ａ）では、M5.0 以上の地震が時々発生している。また、「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」（以下、東北地方太平洋沖地震）以降、暫くの期間、活動が活発であった。







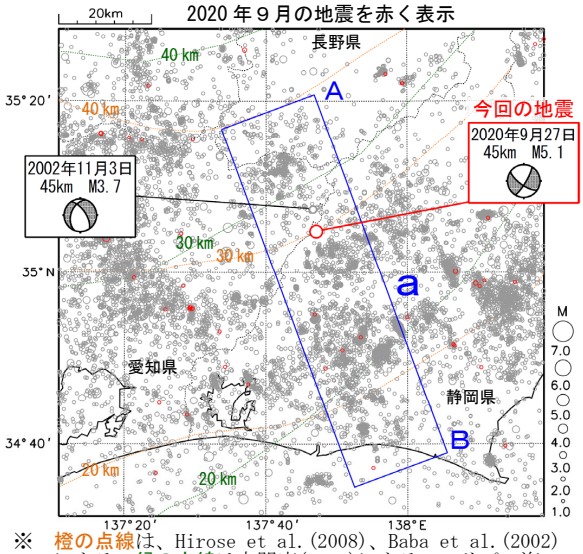
1919 年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｂ）では、M7.0 以上の地震が時々発生している。2011 年３月 11 日 15 時 15 分に発生した M7.6 の地震（最大震度６強）は、東北地方太平洋沖地震の最大規模の余震である。



第 16 図　2020 年 9 月 7 日　茨城県沖の地震
Fig. 16　The earthquake off Ibaraki Prefecture on September 7, 2020.

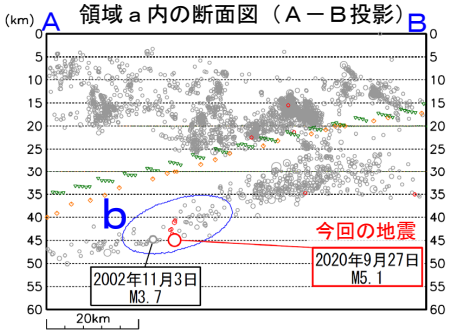
９月 27 日　静岡県西部の地震

震央分布図
（1997 年 10 月 1 日～2020 年９月 30 日、
深さ０～60km、M≧1.0）
2020 年９月の地震を赤く表示



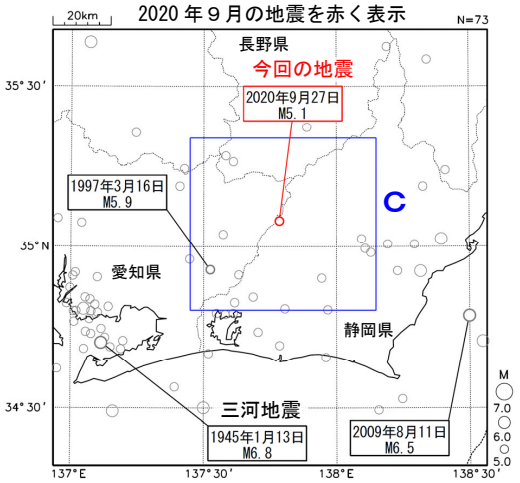
※ 橙の点線は、Hirose et al.(2008)、Baba et al.(2002)による、緑の点線は内閣府(2011)によるフィリピン海プレート上面のおおよその深さを示す。

領域ａ内の断面図（Ａ－Ｂ投影）



※ 橙の◇は、Hirose et al.(2008)、Baba et al.(2002)による、緑の▽は内閣府(2011)によるフィリピン海プレート上面のおおよその深さを示す。

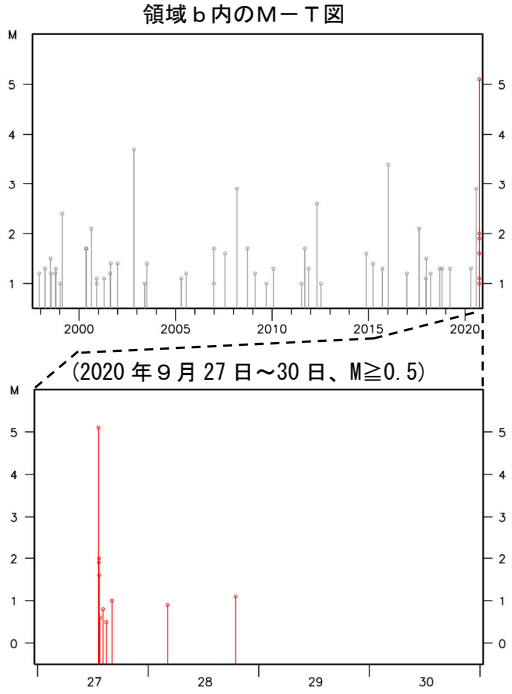
震央分布図
（1919 年１月１日～2020 年９月 30 日、
深さ０～100km、M≧5.0）
2020 年９月の地震を赤く表示



2020 年９月 27 日 13 時 13 分に静岡県西部の深さ 45 kmで M5.1 の地震（最大震度４）が発生した。この地震は、発震機構が東西方向に張力軸を持つ横ずれ断層型で、フィリピン海プレート内部で発生した。

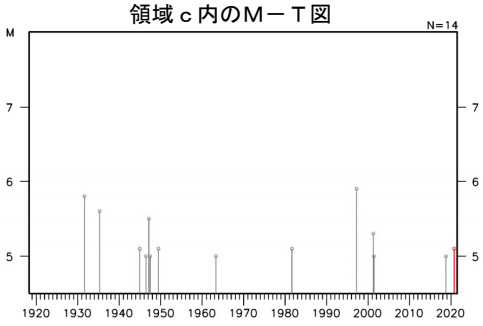
1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）はそれほど地震活動が活発なところではなく、M3.0 以上の地震が時々発生しているものの M4.0 以上の地震は今回の地震が発生するまで発生していなかった。

領域ｂ内のＭ－Ｔ図



1919 年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｃ）では、M5.0 以上の地震が時々発生している。このうち 1997 年３月 16 日に M5.9 の地震（最大震度５強）では、負傷者４人、住家一部破損２棟の被害が生じた（被害は「日本被害地震総覧」による）。

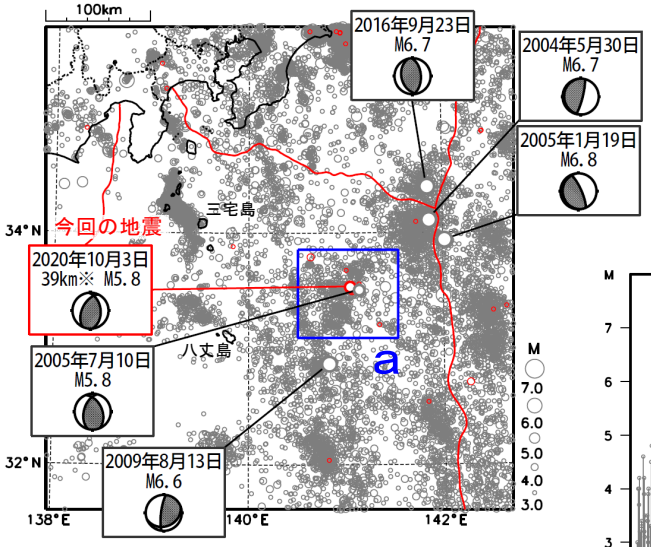
領域ｃ内のＭ－Ｔ図



第 17 図　2020 年 9 月 27 日　静岡県西部の地震
Fig. 17　The earthquake in the western part of Shizuoka Prefecture on September 27, 2020.

10 月 3 日　八丈島東方沖の地震

震央分布図
（1997 年 10 月 1 日～2020 年 10 月 31 日、
深さ 0～150km、M≧3.0）
2020 年 10 月の地震を赤く表示
図中の発震機構は CMT 解

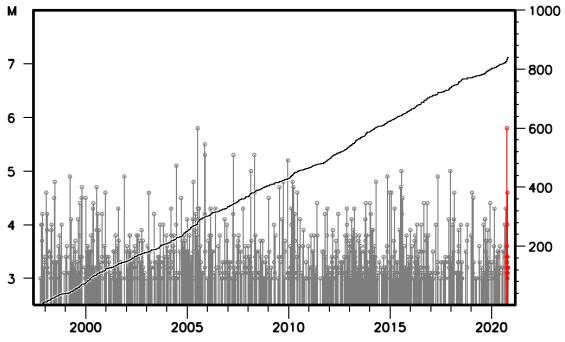


赤線は海溝軸を示す。
※深さは CMT 解による

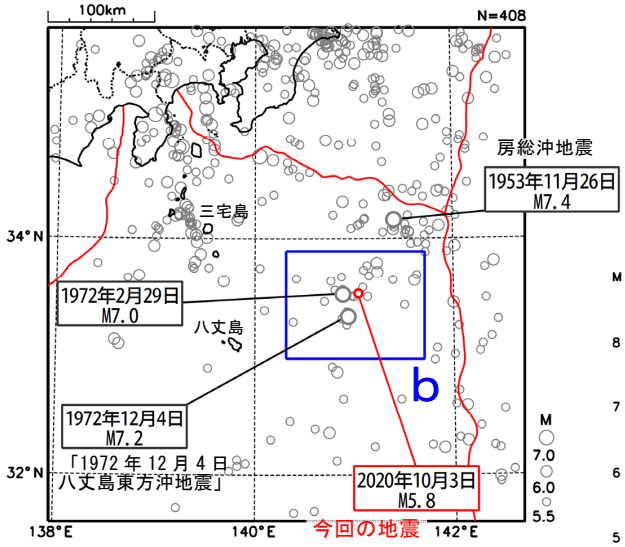
2020 年 10 月 3 日 18 時 31 分に八丈島東方沖の深さ 39km（CMT 解による）で M5.8 の地震（最大震度 3）が発生した。この地震の発震機構（CMT 解）は、東西方向に圧力軸を持つ逆断層型である。

1997 年 10 月以降の活動をみると、2005 年 7 月 10 日にも今回の地震の震源付近で M5.8 の地震（最大震度 3）が発生するなど、今回の地震の震央周辺（領域 a）では、M5.0 以上の地震が時々発生している。

領域 a 内の M－T 図及び回数積算図



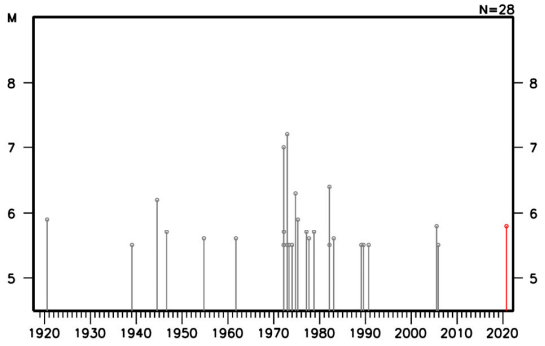
震央分布図
（1919 年 1 月 1 日～2020 年 10 月 31 日、
深さ 0～150km、M≧5.5）
2020 年 10 月の地震を赤く表示



赤線は海溝軸を示す。

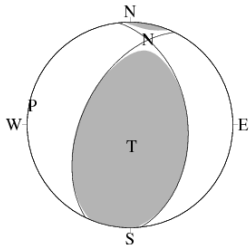
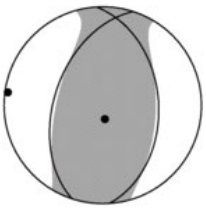
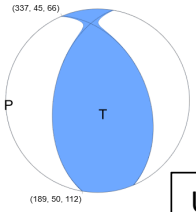
1919 年以降の活動をみると、今回の震央周辺（領域 b）では、M6.0 以上の地震が時々発生している。このうち、1972 年 2 月 29 日の M7.0 の地震（最大震度 5）及び同年 12 月 4 日の M7.2 の地震（「1972 年 12 月 4 日八丈島東方沖地震」、最大震度 6）では、それぞれ、館山市布良で最大 23cm、串本町袋港で最大 35cm の高さの津波を観測した。また、これらの地震により、八丈島で道路・水道の損壊や落石等の被害が生じた（被害は「日本被害地震総覧」による）。

領域 b 内の M－T 図

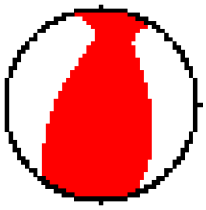
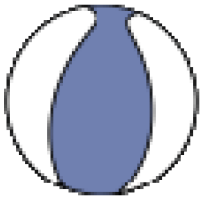


第 18 図 (a)　2020 年 10 月 3 日　八丈島東方沖の地震
Fig. 18(a)　The earthquake east off Hachijojima Island on October 3, 2020.

10月3日　八丈島東方沖の地震（各機関のMT解）

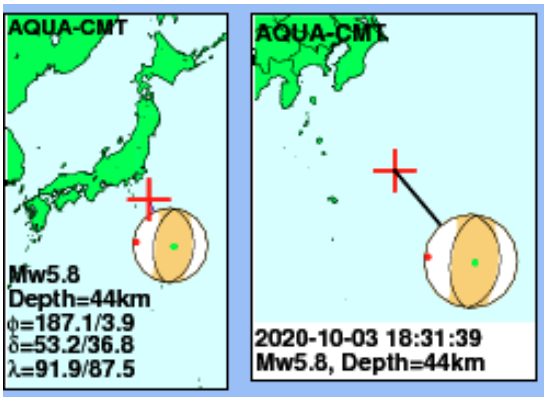
	気象庁CMT	防災科研（F-net・手動）	USGS（Mwb）
一元化震源 Mj5.8 深さ48km			
Mw	5.9	5.8	5.7
深さ	39km	41km	31km

USGS震源 深さ29km M5.8

	Global CMT	GEOFON
		
Mw	5.9	5.8
深さ	38km	41km

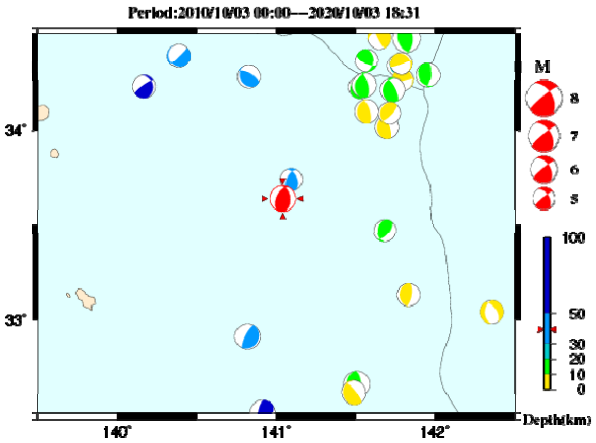
防災科研（F-net）：
http://www.fnet.bosai.go.jp/event/joho.php?LANG=ja
USGS（W-phase）：https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/
Global CMT：http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html
GEOFON MT：http://geofon.gfz-potsdam.de/eqinfo/list.php?mode=mt

防災科研（AQUA）



http://www.hinet.bosai.go.jp/AQUA/aqua_catalogue.php?LANG=ja

周辺の気象庁CMT解



第 18 図 (b)　つづき
Fig. 18(b)　Continued.

４－２　神奈川県西部地域の地下水位観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）
Temporal Variation in the Groundwater Level in the western part of Kanagawa Prefecture, Japan (May 2020 – October 2020)

神奈川県温泉地学研究所・産業技術総合研究所
Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture and Geological Survey of Japan, AIST

1. はじめに

神奈川県温泉地学研究所では，神奈川県西部地震の予知研究の一環として，第 1 図・第 1 表に示した 6 箇所に地下水位観測施設を整備し地下水位の連続観測を行っている．2020 年 5 月～ 2020 年 10 月の観測結果を報告する．

2. 観測

第 1 図の 6 箇所の観測点では，地下水位の他，気圧・降水量が 1 秒サンプリングで観測され，神奈川県温泉地学研究所にリアルタイム送信されている．通常の解析には，これをもとに作成した 1 分値や 1 時間値を用いている．

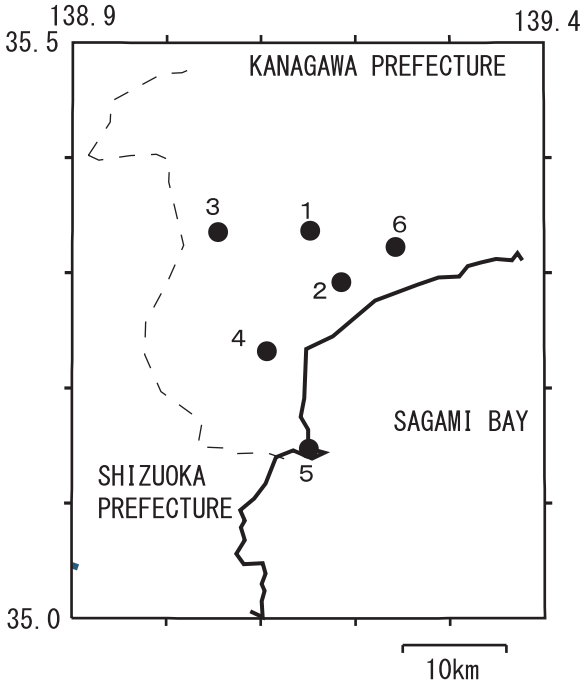
3. 結果

結果を第 2，3 図（原則 1 時間値，真鶴・二宮のみ 24 時間平均値）と第 4 図 (原則 0 時の瞬時値）に示す．第 1 図の範囲内 (北緯 35 ～ 35.5 度，東経 138.9 ～ 139.4 度）で，2020 年 5 月～ 2020 年 10 月に深さ 30km 以浅で M4 以上の地震はない．同期間中に観測点で震度 2 以上の揺れをもたらした可能性のある地震は第 2 表の 6 個である．同期間では，5 月 6 日の千葉県北西部の地震（M5.0; 第 2 表），6 月 25 日の千葉県東方沖の地震（M6.1；第 2 表），9 月 12 日の宮城県沖の地震（M6.2；第 2 表），9 月 7 日の茨城県沖の地震（M5.2;第 3 表）の際に，大井観測点において，それぞれ 2cm 程度，11cm 程度，1cm 程度，4cm 程度のコサイスミックと見られる水位の変化（上昇）が観測された．

（板寺一洋・原田昌武・松本則夫）

参考文献

1） 横山尚秀・小鷹滋郎・板寺一洋・長瀬和雄・杉山茂夫，1995，神奈川県西部地震予知のための地下水位観測施設と地下水位解析，*温泉地学研究所報告*，**26**，21-36.



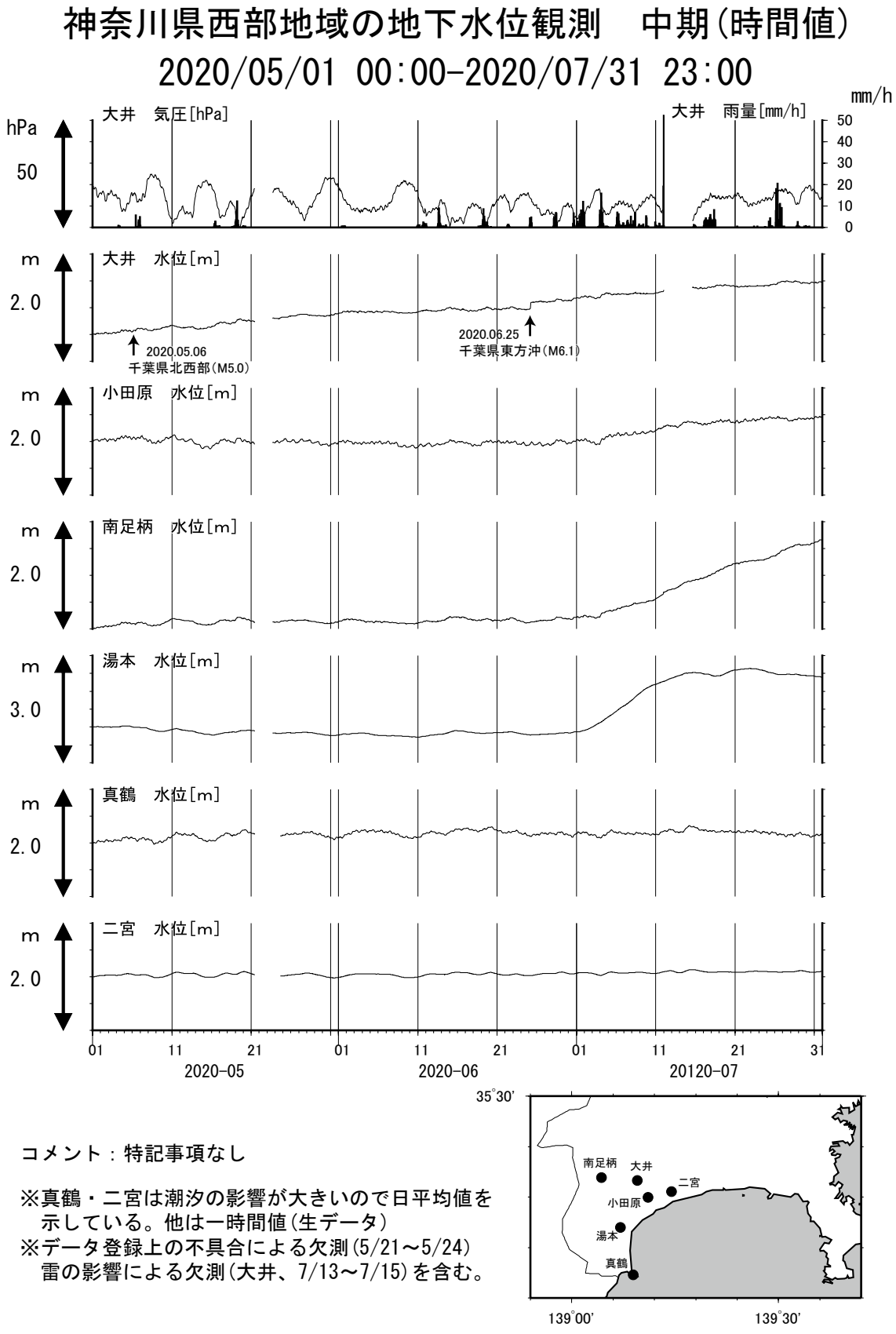
第 1 図　神奈川県温泉地学研究所の地下水観測点の分布（●）.
1：大井，2：小田原，3：南足柄，4：湯本，5：真鶴，6：二宮の各観測点.

Fig. 1　Distribution of groundwater observation stations of Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture (●).
1:Ooi, 2:Odawara, 3:Minami-ashigara, 4:Yumoto, 5:Manazuru, 6:Ninomiya.

第 1 表：地下水観測点の概要 [1)]

Table 1 : List of the groundwater observation stations.[1)]

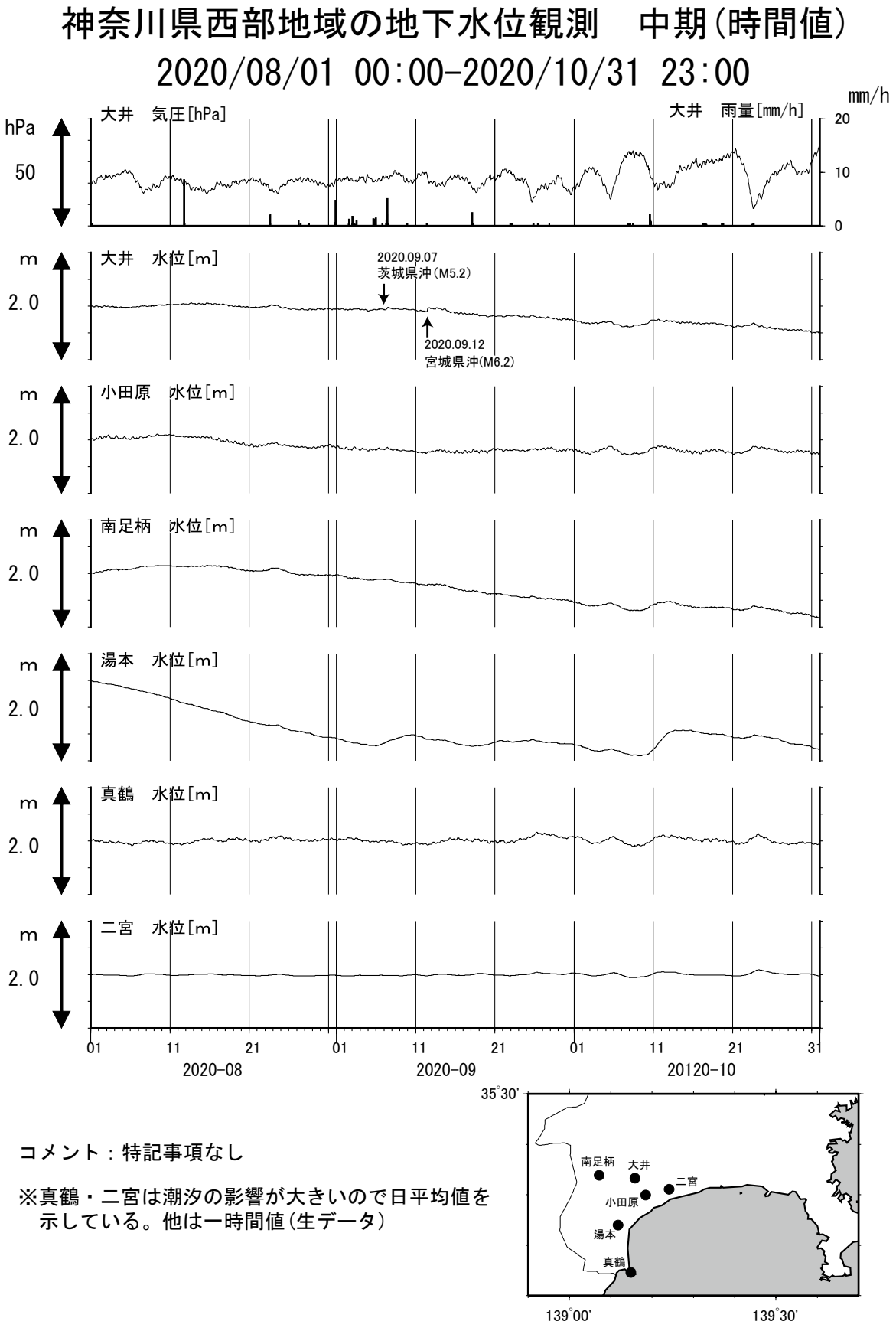
OBSERVATION WELL	ALTITUDE (m)	DEPTH OF WELL (m)	DEPTH OF SCREEN (m)	DEPTH OF WATER LEVEL SENSOR (m)
OOI	47	300	270-300	15
ODAWARA	22	300	270-300	15
MINAMI-ASHIGARA	143	150	120-150	32
YUMOTO	67	300	250-300	20
MANAZURU	40	300	250-300	43
NINOMIYA	51	500	450-500	13



コメント：特記事項なし

※真鶴・二宮は潮汐の影響が大きいので日平均値を示している。他は一時間値(生データ)
※データ登録上の不具合による欠測(5/21～5/24)
雷の影響による欠測(大井、7/13～7/15)を含む。

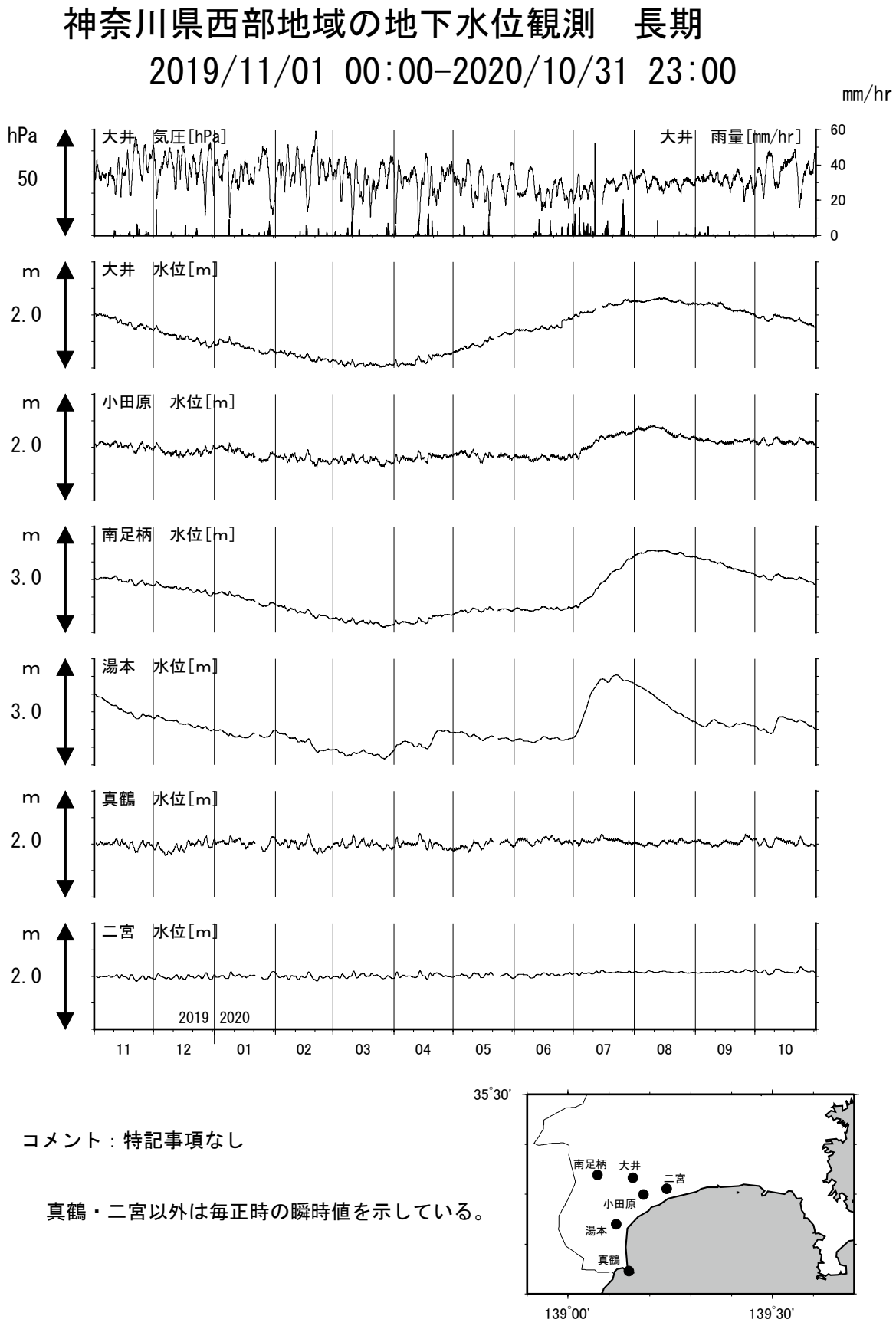
第 2 図　2020 年 5 月 - 2020 年 7 月の観測結果.
Fig. 2　Observation results from May 2020 to July 2020.



コメント：特記事項なし

※真鶴・二宮は潮汐の影響が大きいので日平均値を示している。他は一時間値(生データ)

第 3 図　2020 年 8 月 - 2020 年 10 月の観測結果.
Fig. 3　Observation results from August 2020 to October 2020.



第 4 図　2019 年 11 月 - 2020 年 10 月の観測結果.
Fig. 4　Observation results from November 2019 to October 2020.

第 2 表：観測点周辺で震度 2 以上の地震をもたらした可能性のある地震
Table 2: List of the earthquakes whose seismic intensities were possibly 2 or greater at some of the observation stations.

No.	Date and Time	Region Name	M[*1]	Depth km	JSI[*2]
1	2020/5/4 22:07	Chiba-ken Hokutobu	5.6	48	1-2
2	2020/5/6 1:57	Chiba-ken Hokuseibu	5.0	68	1-2
3	2020/5/11 8:58	Ibaraki-ken Oki	5.8	47	1-2
4	2020/6/1 6:02	Ibaraki-ken Hokubu	5.2	97	1-2
4	6/25/2020 4:47	Chiba-ken Toho-oki	6.1	36	1-2
5	2020/9/12 11:44	Miyagi-ken Oki	6.2	43	1-2

*1: Magnitude.
*2: JMA seismic intensity in and around the observation stations.

第 3 表：第 2 表の地震以外で大井観測点にコサイスミックと見られる水位の変化をもたらした地震
Table 3: List of the earthquakes which induced coseismic changes in groundwater level in the Ooi observation station, excluding earthquakes listed in Table 2.

No.	Date and Time	Region Name	M[*1]	Depth km	JSI[*2]
1	2020/9/7 6:33	Ibaraki-ken Oki	5.2	38	1

*1: Magnitude.
*2: JMA seismic intensity in and around the observation stations.

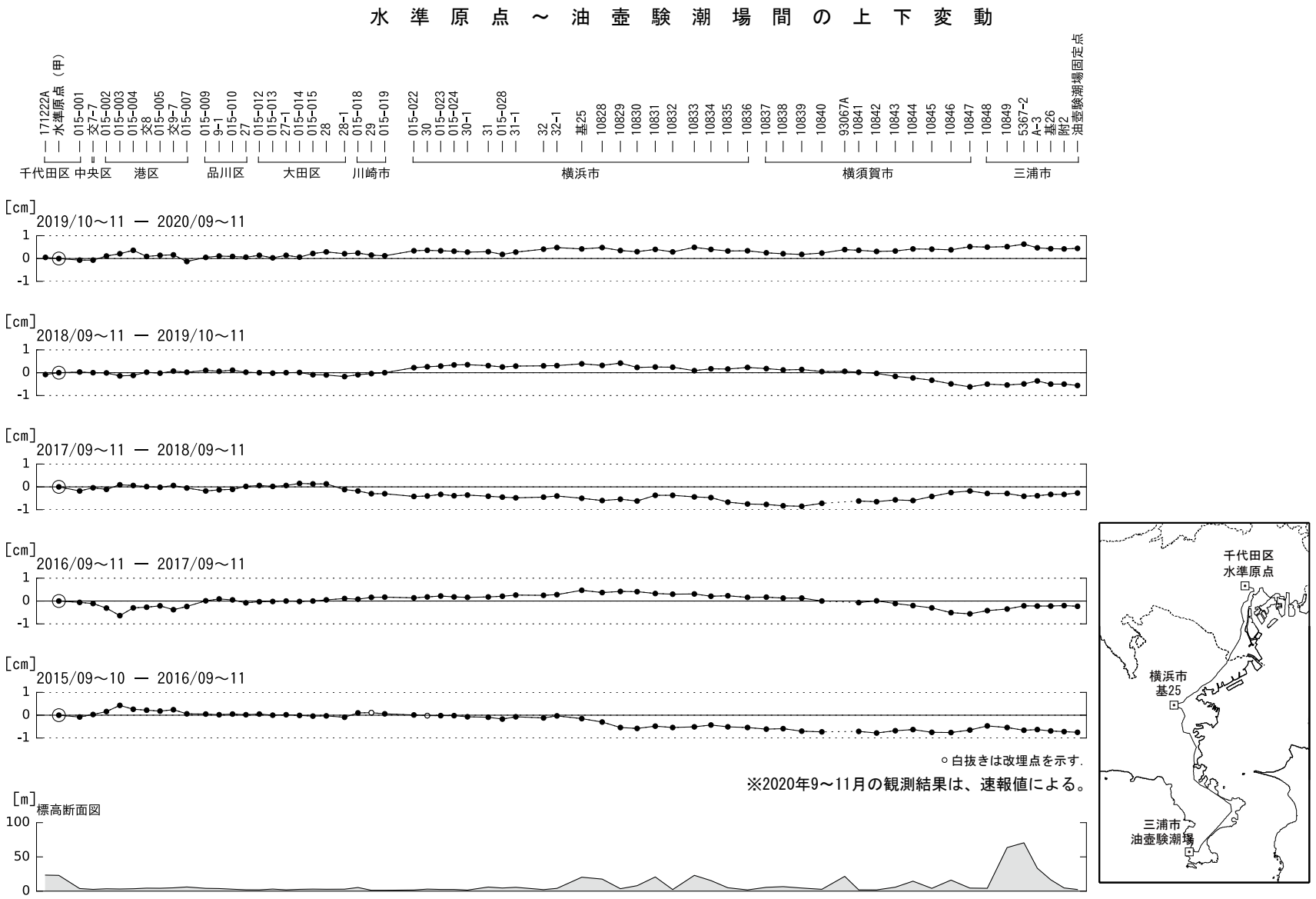
４－３　関東甲信地方の地殻変動
Crustal Deformations in the Kanto District

国土地理院
Geospatial Information Authority of Japan

［水準測量］

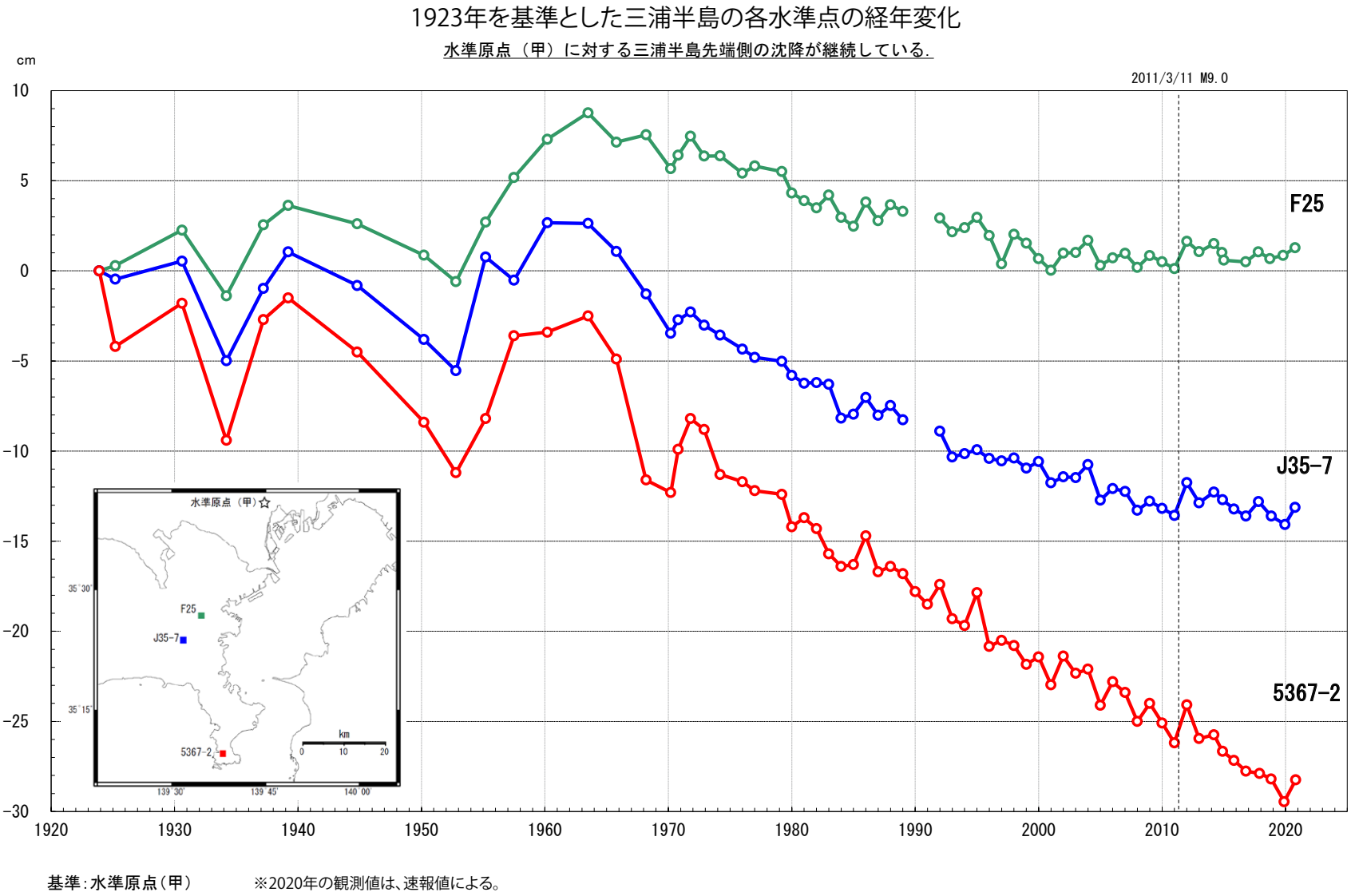
第１図は，水準原点から三浦半島先端にかけての水準測量結果である．最新の結果では，特段の変動は見られない．

第２図は，水準原点に対する三浦半島の上下変動時系列である．1960 年代以降東北地方太平洋沖地震前まで，半島の先端側が長期的かつ継続的に沈降していた．また，三浦半島の付け根の F25（横浜市），J35-7（横浜市）も最近 30 年間は継続的に沈降傾向であった．東北地方太平洋沖地震を挟む期間においては，震源側の沈降により水準原点に対する各点の隆起傾向が見られたが，その後は地震前と同様に沈降傾向となっている．



第 1 図　水準測量による水準原点～油壺験潮場の上下変動

Fig. 1　Results of leveling survey from the origin point of the vertical datum to the Aburatsubo tide station.



第 2 図　水準原点から見た三浦半島周辺の水準点の上下変動時系列
Fig. 2　Time series of height change on benchmarks around Miura peninsula with respect to the origin point of the vertical datum by leveling.

地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行

５－１　伊豆地方の地殻変動
Crustal Deformations in the Izu peninsula and its Vicinity

国土地理院
Geospatial Information Authority of Japan

［GNSS　伊豆］

第 1 ～ 2 図は，伊豆半島及び伊豆諸島の水平・上下変動のベクトル図である．特段の変動は見られない．

［GNSS　伊豆東部］

第 3 ～ 6 図は，初島観測点を始点とした 2006 年 3 月 1 日以降の伊豆半島東部の GNSS 連続観測 3 成分時系列グラフである．すべての基線で 2015 年 7 月頃に急激な隆起，2018 年 4 月頃に急激な沈降が見られるが，初島観測点の受信状況の悪化による見かけ上の変化と見られ，2018 年 8 月 10 日に実施した周辺樹木の剪定後は以前の値に戻っている．また，2006 年 3 ～ 4 月の地震活動，2009 年 12 月 17 ～ 21 日にかけての伊豆半島東方沖の地震活動，及び 2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震に伴う変動がどの基線にも見られる．2011 年 7 月 17 ～ 18 日と 9 月 18 ～ 23 日の伊豆東部での群発的な地震活動に伴うごく僅かな膨張性の地殻変動の影響が，(3)，(4)，(8) の基線で見られる．(4) の上下変動の時系列に 2012 年 3 月頃に見られる変化は，冷川峠 A 観測点の周辺で 2 月下旬から 3 月上旬にかけて行われた樹木の伐採の影響による見かけ上の変化と考えられる．(8) の上下変動の時系列に 2016 年 3 月頃から沈降が見られていたが，12 月上旬に伊東八幡野観測点周辺の樹木の伐採が行われた後は以前の値に戻っており，観測点周辺の樹木の繁茂による見かけ上の変化と考えられる．

［GNSS　伊豆諸島］

第 7 ～ 13 図は，伊豆諸島北部と伊豆半島の間の GNSS 連続観測基線図と斜距離及び比高の時系列グラフである．各段の左が 1996 年 4 月以降の長期, 右が最近 2 年間の短期の時系列グラフである．

第 8 図上段の基線（1）～（3）では，2000 年 6 ～ 7 月の三宅島の火山性地殻変動及び神津島東方沖で進行したダイクの貫入によると思われる斜距離の変化が見られる．

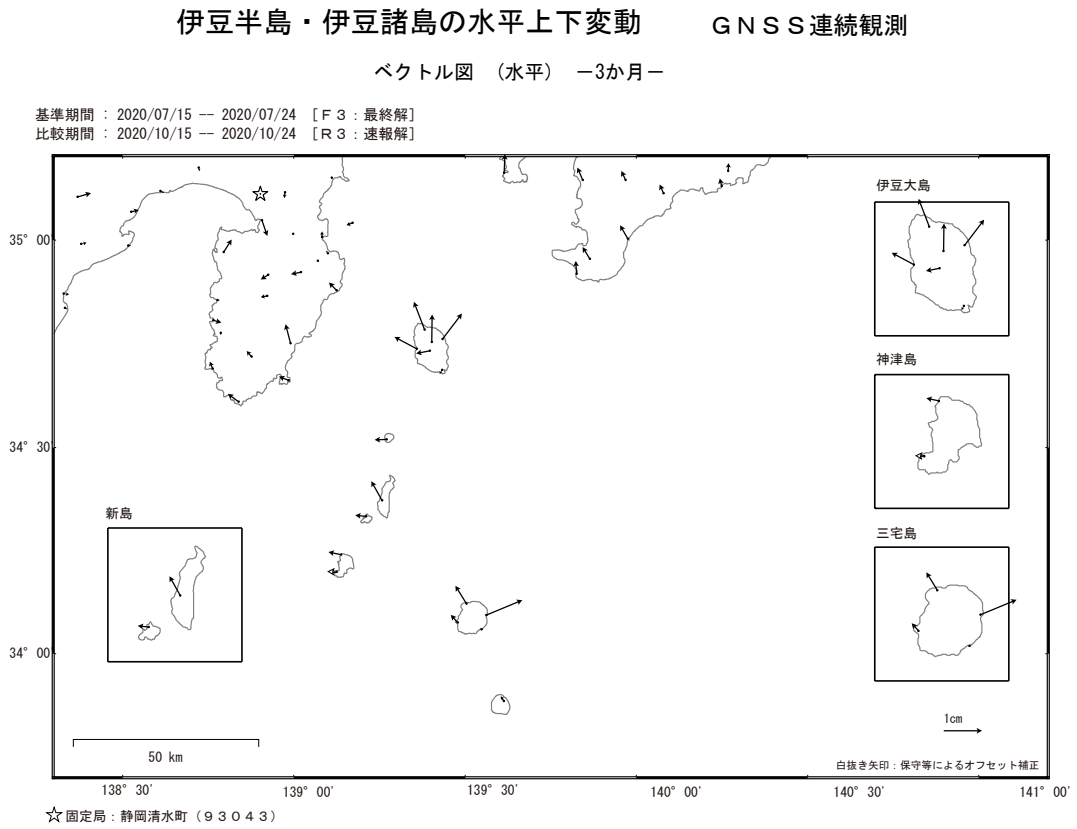
第 8 図～ 9 図の伊豆大島島内の基線（6）～（11）の斜距離には，伊豆大島の膨張収縮に伴う基線の伸び縮みが見られる．2020 年 6 月頃以降は膨張傾向が見られる．

第 9 図の新島～神津島 1A の基線（12）では, 2000 年の活動以降, 斜距離の伸びが継続していたが, 2015 年 1 月頃から伸びが停滞し，2015 年後半からは縮みの傾向が見られる．ただし，2019 年 6 月頃から再び伸びの傾向が見られる．

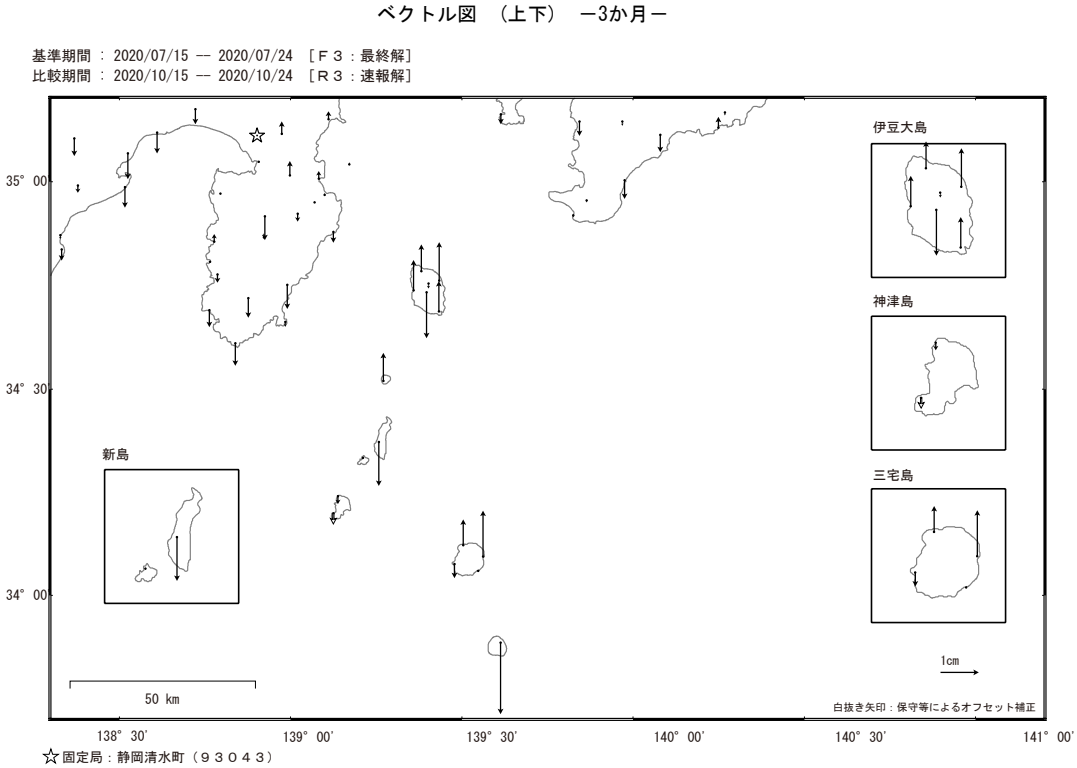
第 10 図の式根島～神津島 1A の基線（17）でも，2000 年の活動以降，斜距離の伸びが継続していたが，2015 年 1 月頃から伸びが停滞し，2015 年後半から縮みの傾向が見られる．逆に，利島～新島の基線（15）では 2015 年後半から伸びの傾向が見られる．

第 11 ～ 13 図の比高変化グラフでは，新島～式根島の基線（16）で 2015 年後半から沈降の傾向が見られていたが，最近 2 年間では特段の変動は見られない．また，利島～新島の基線（15）で 2016 年頃から沈降の傾向が見られている．そのほかは伊豆大島の膨張収縮に伴う上下変動以外には，

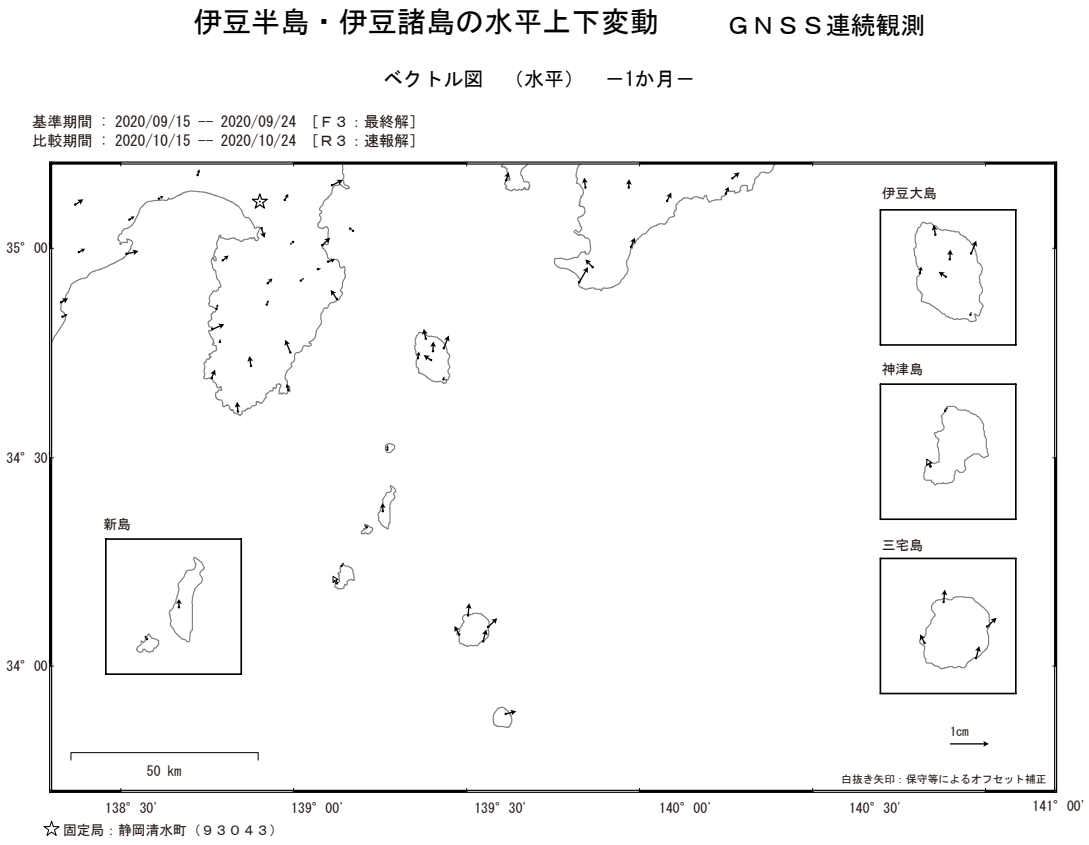
特段の変動は見られない．新島を含む（1），（14），（15），（16）の上下成分（比高）は，2007 年後半と 2014 年初めに新島の隆起，2010 年後半と 2015 年後半に新島の沈降を示しているが，これらは新島観測点周辺の樹木の生長，その後枝払い（2007 年 12 月 19 日，2010 年 9 月 15 日弱剪定，2010 年 12 月 7 日強剪定，2014 年 1 月 26 日，2015 年 11 月 30 日）による見かけ上のものである．式根島観測点では，2010 年 12 月 8 日及び 2018 年 3 月 15 日に樹木の剪定を行った．



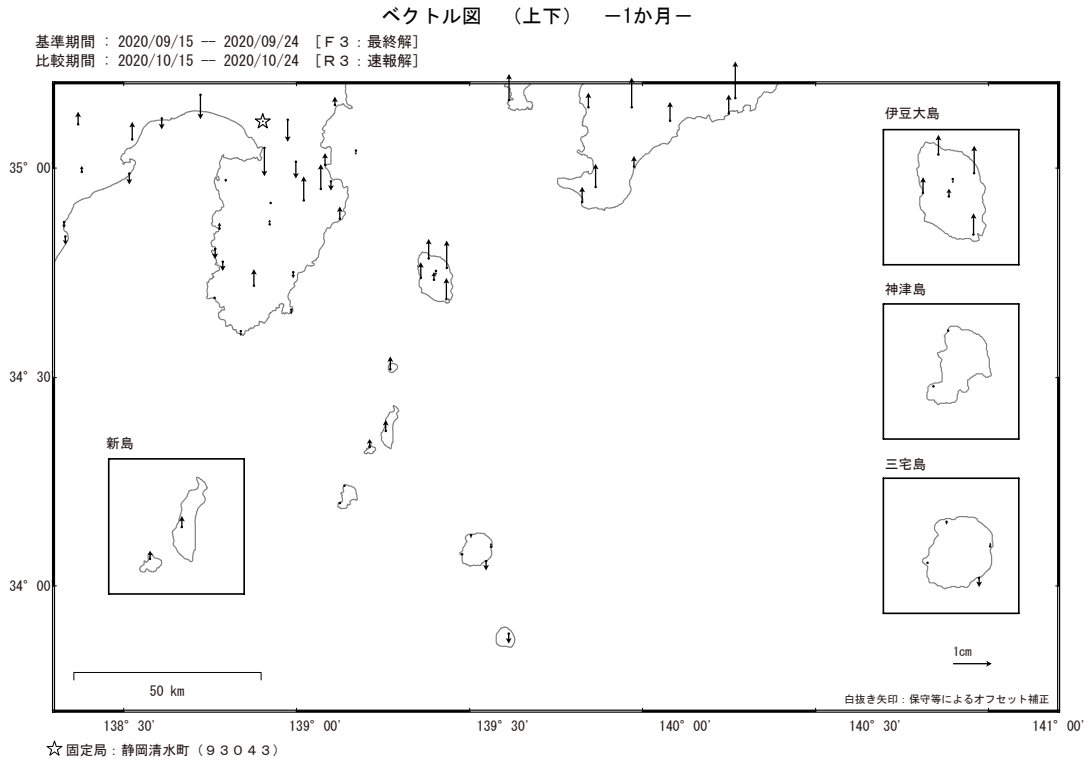
第 1 図 (a)　GNSS 観測による伊豆地方の水平変動（3 か月）
Fig. 1(a)　Horizontal displacements of Izu Region by GNSS continuous measurements (3 months).



第 1 図 (b)　GNSS 観測による伊豆地方の上下変動（3 か月）
Fig. 1(b)　Vertical displacements of Izu Region by GNSS continuous measurements (3 months).

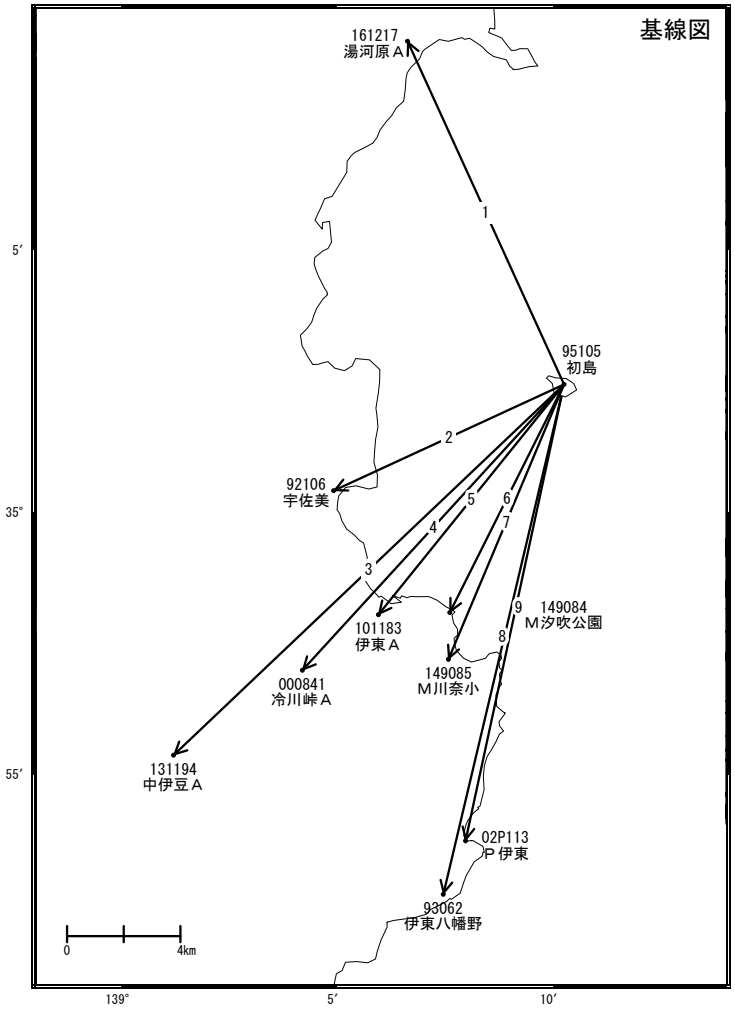


第 2 図 (a)　GNSS 観測による伊豆地方の水平変動（1 か月）
Fig. 2(a)　Horizontal displacements of Izu Region by GNSS continuous measurements (1 month).



第 2 図 (b)　GNSS 観測による伊豆地方の上下変動（1 か月）
Fig. 2(b)　Vertical displacements of Izu Region by GNSS continuous measurements (1 month).

伊豆東部地区　ＧＮＳＳ連続観測時系列　(1)



伊豆東部地区周辺の各観測局情報

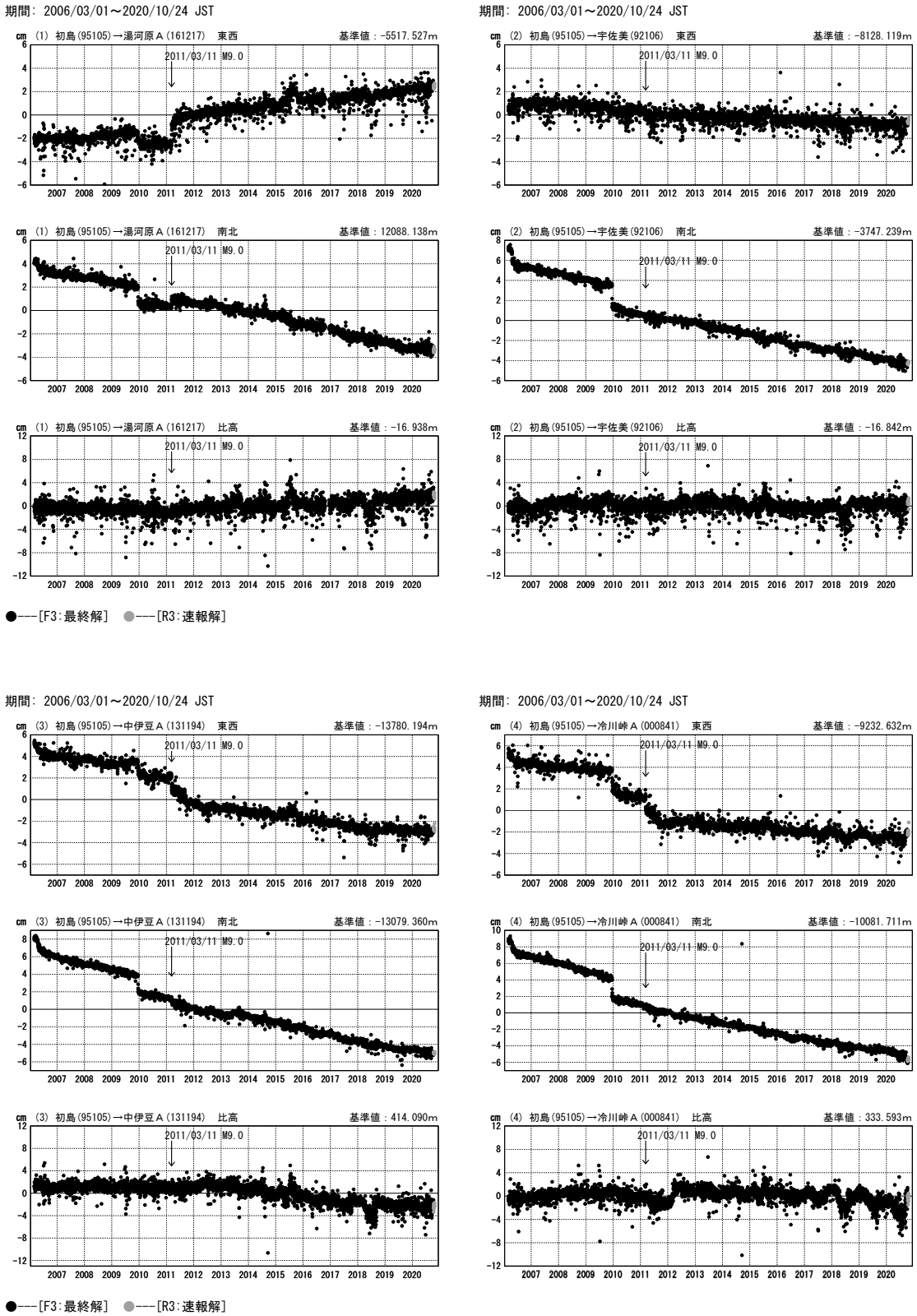
点番号	点　名	日　付	保　守　内　容
95105	初島	2009/07/17	周辺伐採
		2010/02/02	レドーム開閉
		2013/01/08	アンテナ更新
		2015/10/20	周辺伐採
		2017/01/31	受信機交換
		2018/08/10	周辺伐採
161217	湯河原A	2009/02/24	レドーム開閉・受信機交換
		2012/12/11	アンテナ更新
		2016/10/22	湯河原観測停止
		2016/12/16	湯河原A観測開始(移転)
		2017/05/02	アンテナ交換
92106	宇佐美	2010/01/21	レドーム開閉
		2012/12/06	アンテナ更新
		2018/01/18	受信機交換
131194	中伊豆A	2008/01/19	レドーム開閉
		2012/12/05	アンテナ更新
		2013/06/24	中伊豆観測停止
		2013/07/11	中伊豆A観測開始(移転)

点番号	点　名	日　付	保　守　内　容
000841	冷川峠A	2008/01/19	レドーム開閉
		2008/05/15	アンテナ交換
		2012/2下～3上	周辺伐採
		2012/10/24	アンテナ更新
		2018/11/15	受信機交換
101183	伊東A	2008/09/18	アンテナ交換
		2010/01/21	レドーム開閉
		2011/11/01	移転(伊東→伊東A)
		2012/10/24	アンテナ更新
		2018/01/18	受信機交換
		2019/04/12	アンテナ交換
149084	M汐吹公園	2018/12/18	受信機交換
149085	M川奈小	2018/12/18	受信機交換
93062	伊東八幡野	2006/07/07	周辺伐採
		2011/01/11	レドーム開閉
		2012/12/05	アンテナ更新
		2016/12/08	周辺伐採
		2020/06/10	周辺伐採
		2020/07/08	周辺伐採
02P113	P伊東	2010/09/29	アンテナ交換

第 3 図　伊豆半島東部 GNSS 連続観測結果（基線図及び保守状況）
Fig. 3　Results of continuous GNSS measurements in the eastern Izu Peninsula (baseline map and maintenance history).

伊豆東部地区　ＧＮＳＳ連続観測時系列　(2)

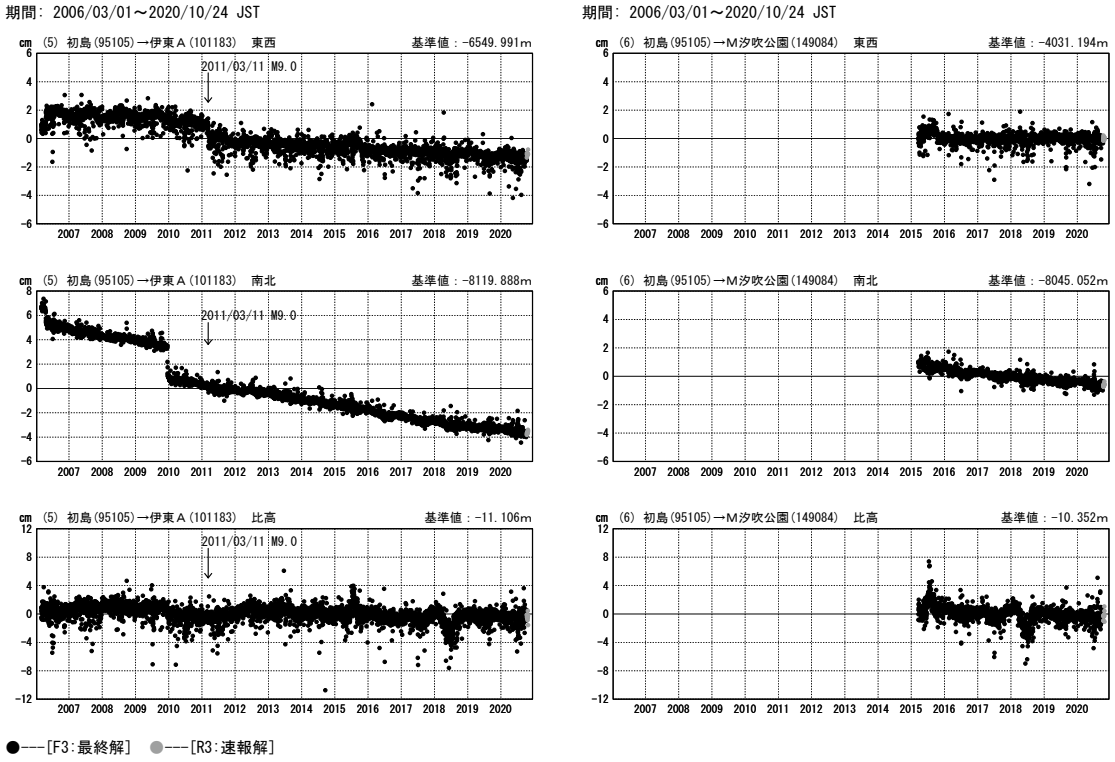
成分変化グラフ

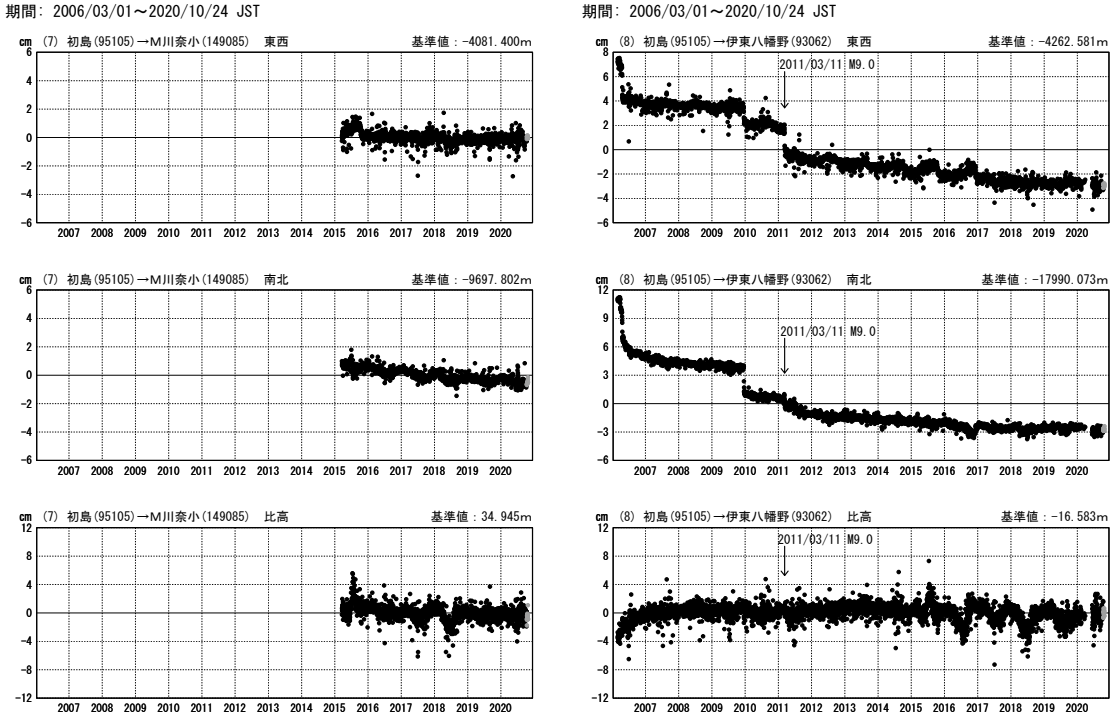


第 4 図　伊豆半島東部 GNSS 連続観測結果（2006 年 3 月以降・3 成分）
Fig. 4　Results of continuous GNSS measurements in the eastern Izu Peninsula from March 2006 (3 components) (1/3).

伊豆東部地区　ＧＮＳＳ連続観測時系列　(3)

成分変化グラフ



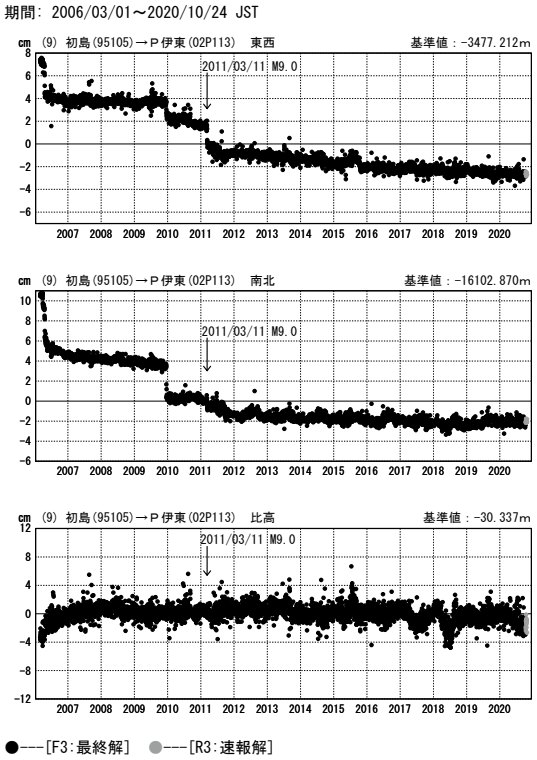


第 5 図　伊豆半島東部 GNSS 連続観測結果（2006 年 3 月以降・3 成分）

Fig. 5　Results of continuous GNSS measurements in the eastern Izu Peninsula from March 2006 (3 components) (2/3).

伊豆東部地区　ＧＮＳＳ連続観測時系列　(4)

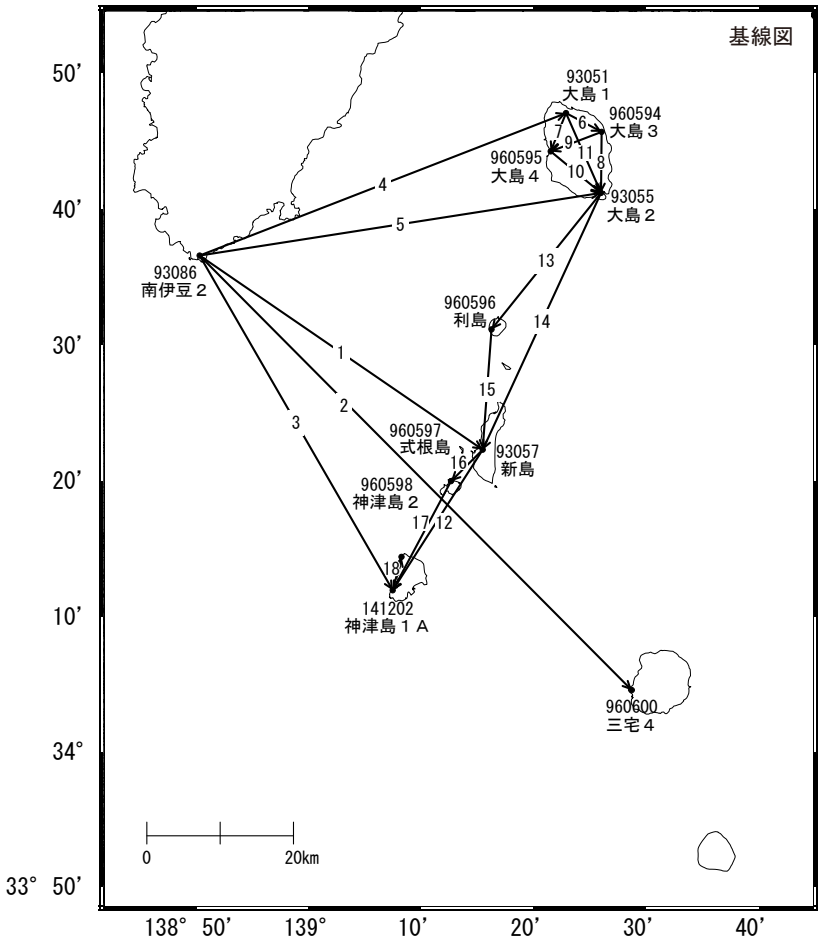
成分変化グラフ



第 6 図　伊豆半島東部 GNSS 連続観測結果（2006 年 3 月以降・3 成分）

Fig. 6　Results of continuous GNSS measurements in the eastern Izu Peninsula from March 2006 (3 components) (3/3).

伊豆諸島地区　ＧＮＳＳ連続観測時系列（1）



伊豆諸島地区周辺の各観測局情報

点番号	点　名	日　付	保守内容
93051	大島1	2003/03/08	ﾚﾄﾞｰﾑ設置･ｱﾝﾃﾅ交換
		2011/11～'12/4	周辺工事
		2012/10/09	ｱﾝﾃﾅ更新
93055	大島2	2003/05/29	ﾚﾄﾞｰﾑ設置･ｱﾝﾃﾅ交換
		2012/10/10	ｱﾝﾃﾅ更新
		2017/03/22	ｱﾝﾃﾅ交換
		2017/09/26	受信機交換
960594	大島3	2003/05/28	ｱﾝﾃﾅ交換
		2010/02/03	ﾚﾄﾞｰﾑ開閉
		2012/10/10	ｱﾝﾃﾅ更新
		2017/02/01	受信機交換
960595	大島4	2003/05/28	ｱﾝﾃﾅ交換
		2010/02/04	ﾚﾄﾞｰﾑ開閉
		2012/10/11	ｱﾝﾃﾅ更新
		2017/02/01	受信機交換
960596	利島	2003/04/21	ｱﾝﾃﾅ交換
		2010/03/23	ﾚﾄﾞｰﾑ開閉
		2013/01/08	ｱﾝﾃﾅ更新
		2014/02月頃	ﾚﾄﾞｰﾑ脱落
		2015/02/05	ﾚﾄﾞｰﾑ再取付
		2017/02/02	受信機交換
141202	神津島1A	2003/03/10	ｱﾝﾃﾅ交換
		2010/02/17	ﾚﾄﾞｰﾑ開閉
		2012/10/29	ｱﾝﾃﾅ更新
		2014/06/25	神津島1観測停止
		2014/09/19	神津島1A観測開始(移転)
		2017/11/10	受信機交換
		2020/09/15	受信機交換

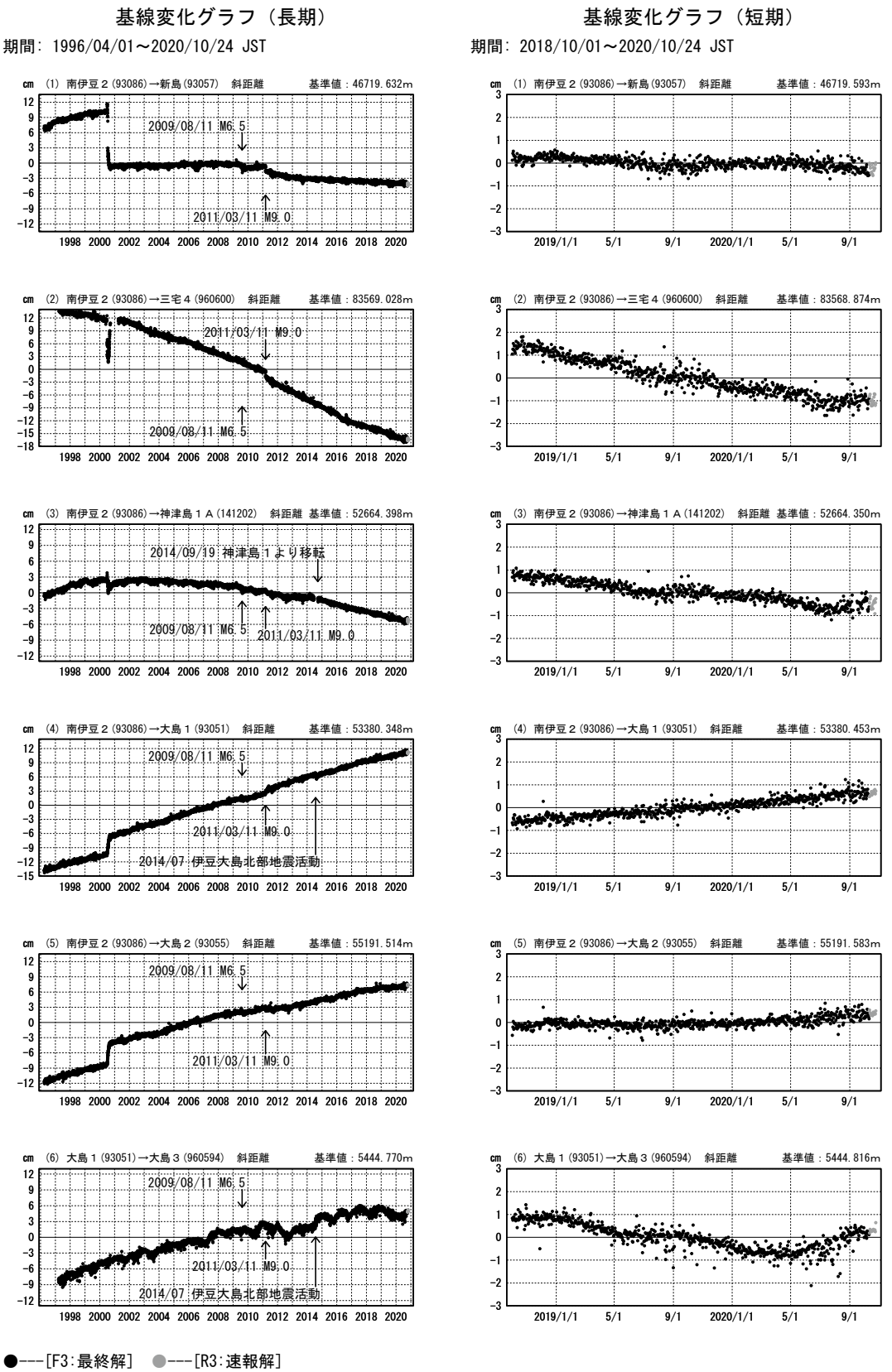
点番号	点　名	日　付	保守内容
960598	神津島2	2012/10/29	ｱﾝﾃﾅ更新
		2017/11/10	受信機交換
960597	式根島	2003/05/27	ｱﾝﾃﾅ交換
		2007/12/18	周辺伐採
		2010/12/08	周辺伐採
		2012/10/30	ｱﾝﾃﾅ更新
		2015/12/10	ｱﾝﾃﾅ交換
		2018/03/15	周辺伐採
960600	三宅4	2005/02/12	ｱﾝﾃﾅ交換
		2010/02/16	ﾚﾄﾞｰﾑ開閉
		2012/10/24	ｱﾝﾃﾅ更新
		2017/02/02	受信機交換
		2018/07/03	受信機交換
93086	南伊豆2	2003/02/25	ﾚﾄﾞｰﾑ設置･ｱﾝﾃﾅ交換
		2003/05/15	ｱﾝﾃﾅ交換
		2008/01/20	ﾚﾄﾞｰﾑ開閉
		2012/12/03	ｱﾝﾃﾅ更新
		2019/11/22	受信機交換
93057	新島	2003/05/26	ﾚﾄﾞｰﾑ設置･ｱﾝﾃﾅ交換
		2003/08/26	周辺伐採
		2006/08/31	周辺伐採
		2007/12/19	周辺伐採
		2010/02/16	ﾚﾄﾞｰﾑ開閉
		2010/09/15	周辺伐採
		2010/12/07	周辺伐採
		2012/10/31	ｱﾝﾃﾅ更新
		2014/01/26	周辺伐採
		2015/11/30	周辺伐採
		2016/02/12	受信機交換
		2018/02/06	周辺伐採

※2003年3月5日に基準局92110（つくば1）のアンテナおよびレドームの交換を実施し、解析値に補正をしています。

第 7 図　伊豆諸島北部 GNSS 連続観測結果（基線図及び保守状況）

Fig. 7　Results of continuous GNSS measurements in the northern part of the Izu Islands (baseline map and maintenance history).

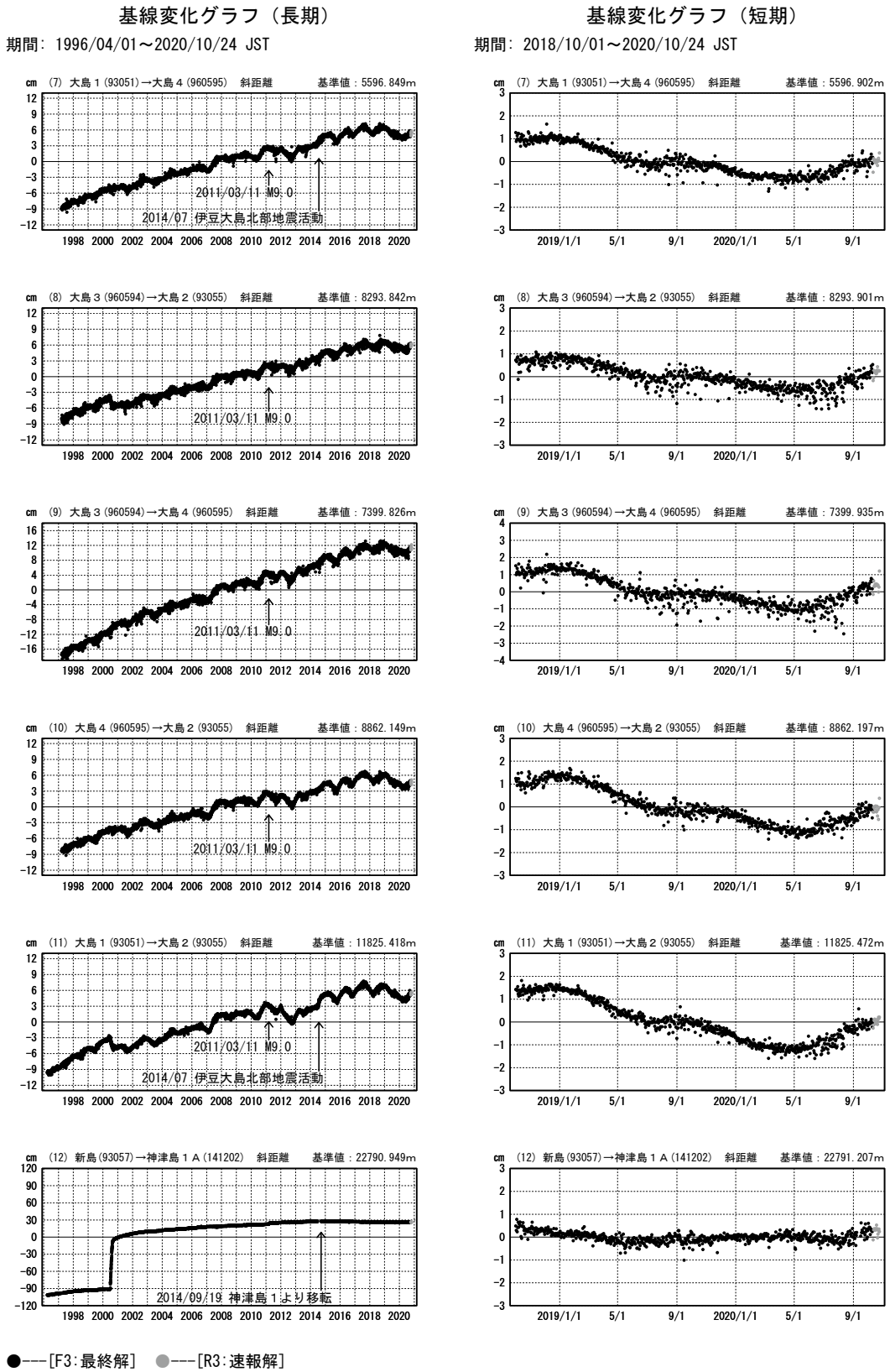
伊豆諸島地区　ＧＮＳＳ連続観測時系列（2）



第 8 図　伊豆諸島北部 GNSS 連続観測結果（斜距離）

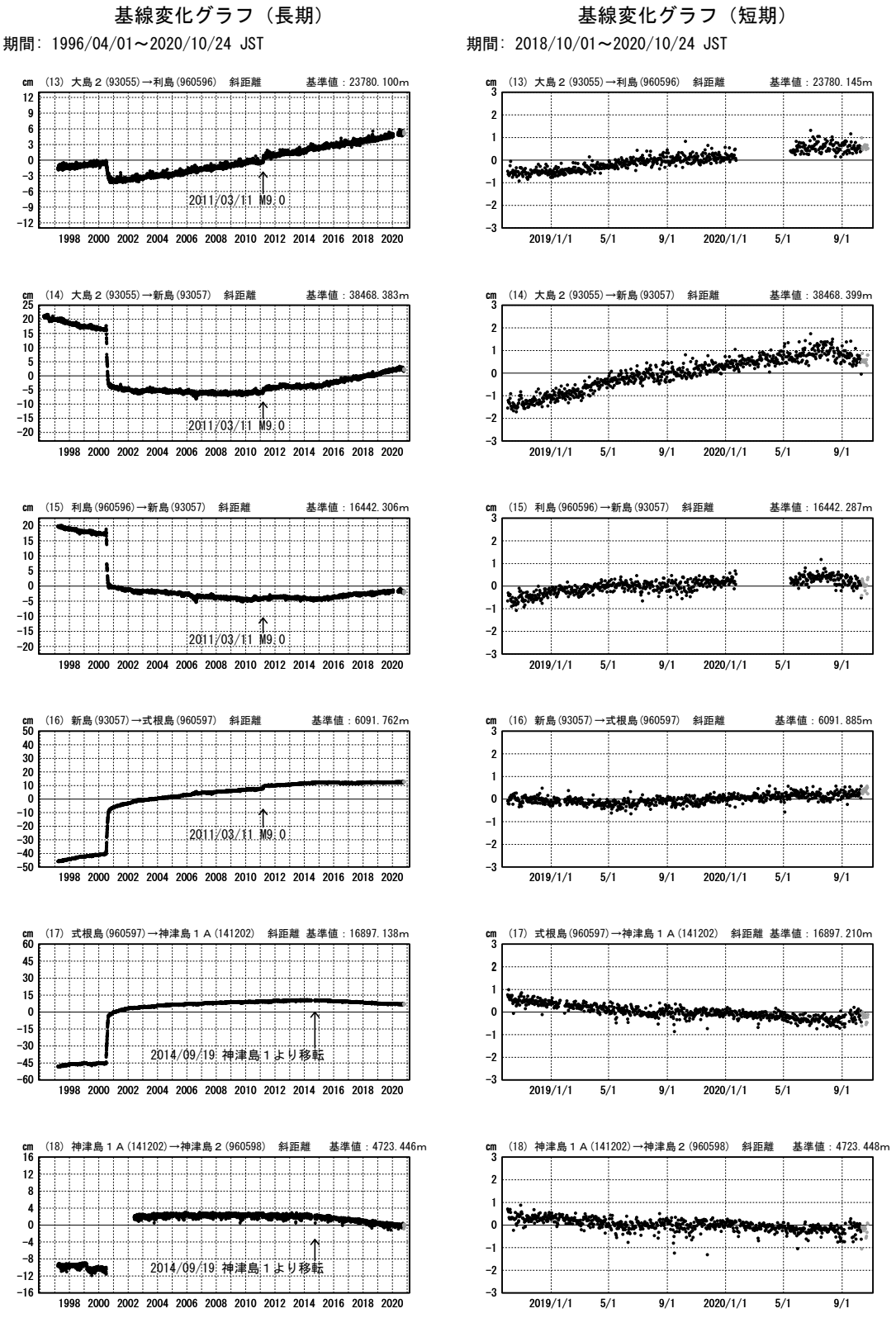
Fig. 8　Results of continuous GNSS measurements in the northern part of the Izu Islands (distance) (1/3).

伊豆諸島地区　ＧＮＳＳ連続観測時系列（3）



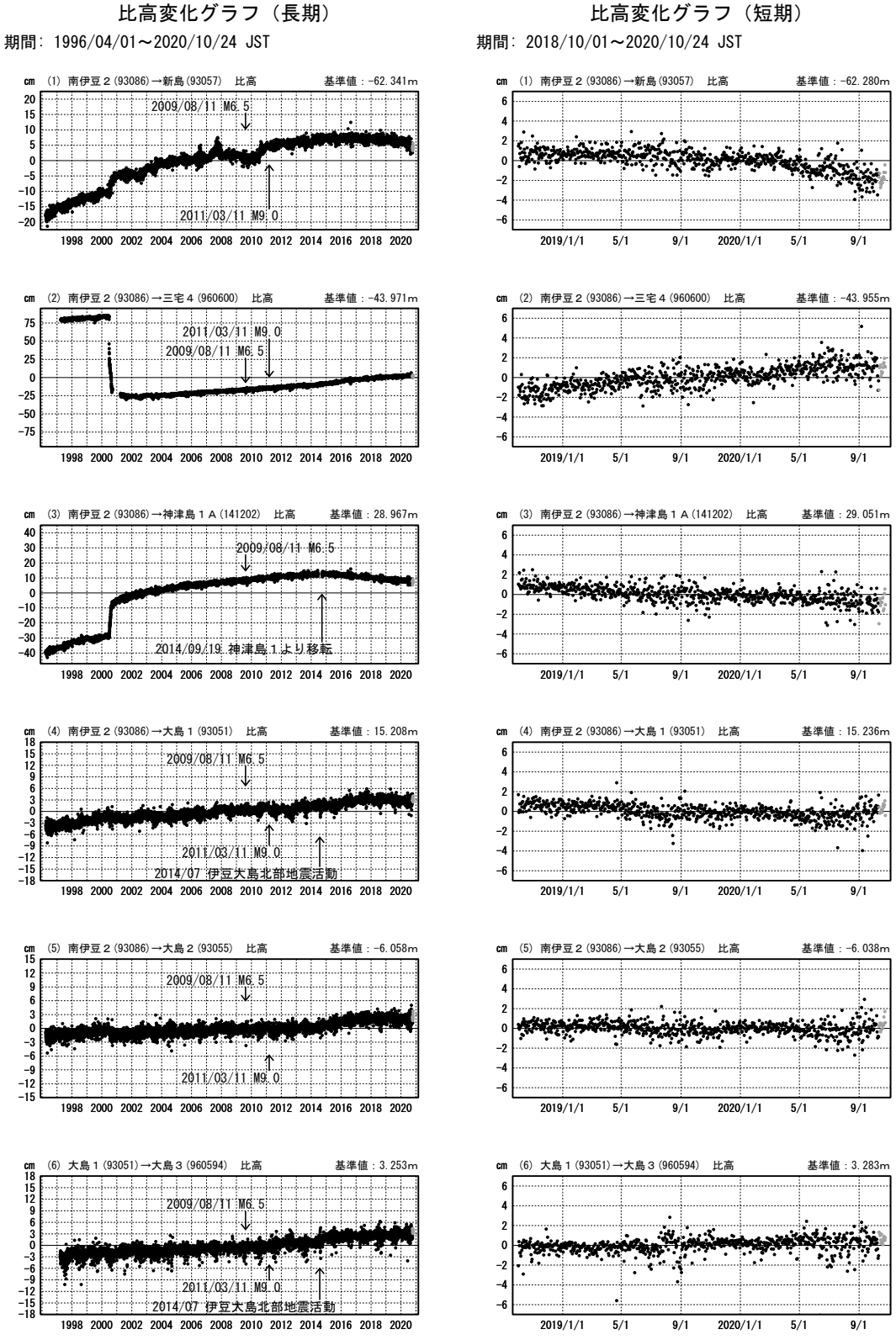
第 9 図　伊豆諸島北部 GNSS 連続観測結果（斜距離）
Fig. 9　Results of continuous GNSS measurements in the northern part of the Izu Islands (distance) (2/3).

伊豆諸島地区　ＧＮＳＳ連続観測時系列（4）



第 10 図　伊豆諸島北部 GNSS 連続観測結果（斜距離）
Fig. 10　Results of continuous GNSS measurements in the northern part of the Izu Islands (distance) (3/3).

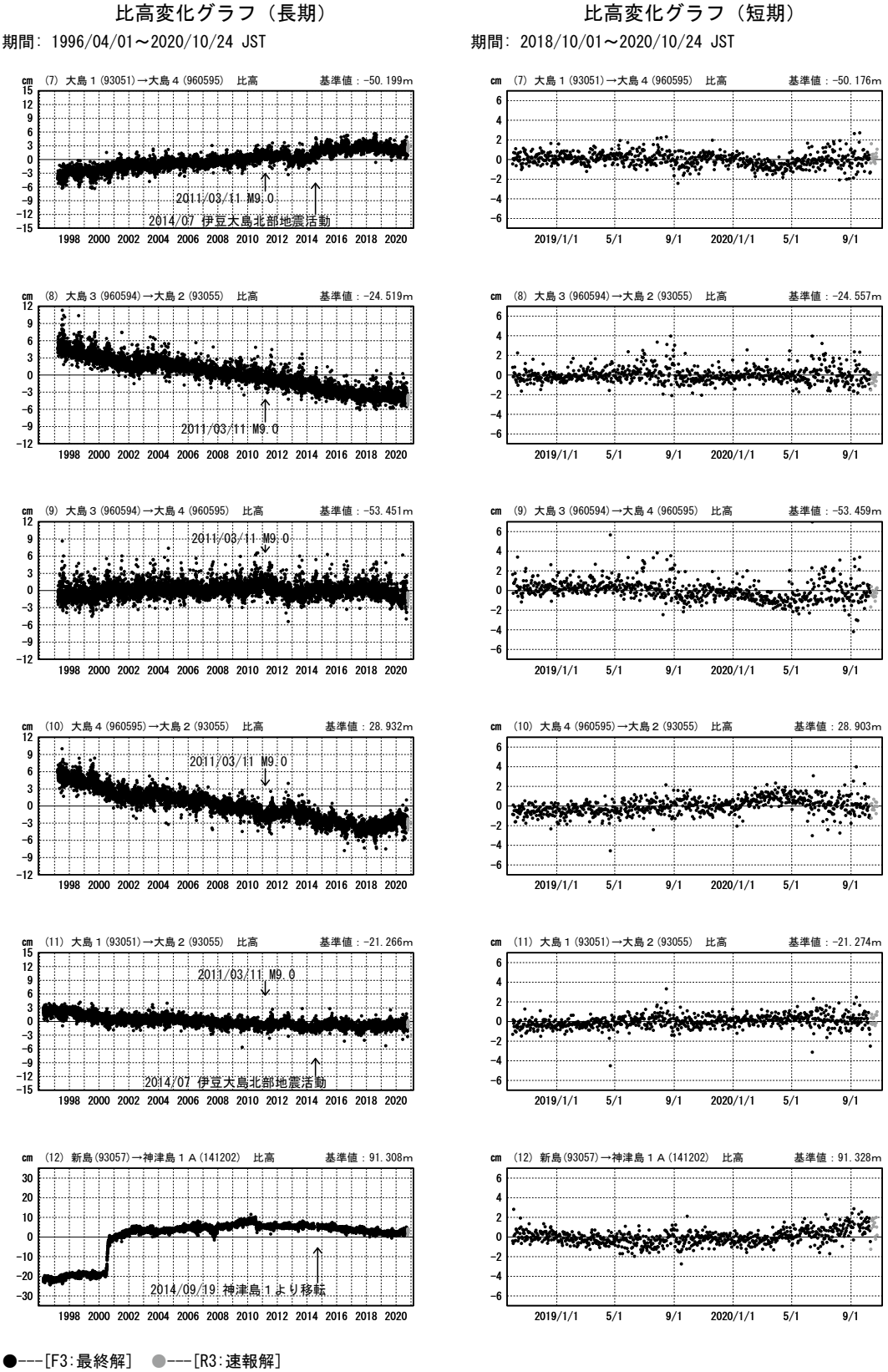
伊豆諸島地区　ＧＮＳＳ連続観測時系列（5）



第 11 図　伊豆諸島北部 GNSS 連続観測結果（比高）

Fig. 11　Results of continuous GNSS measurements in the northern part of the Izu Islands (relative height) (1/3).

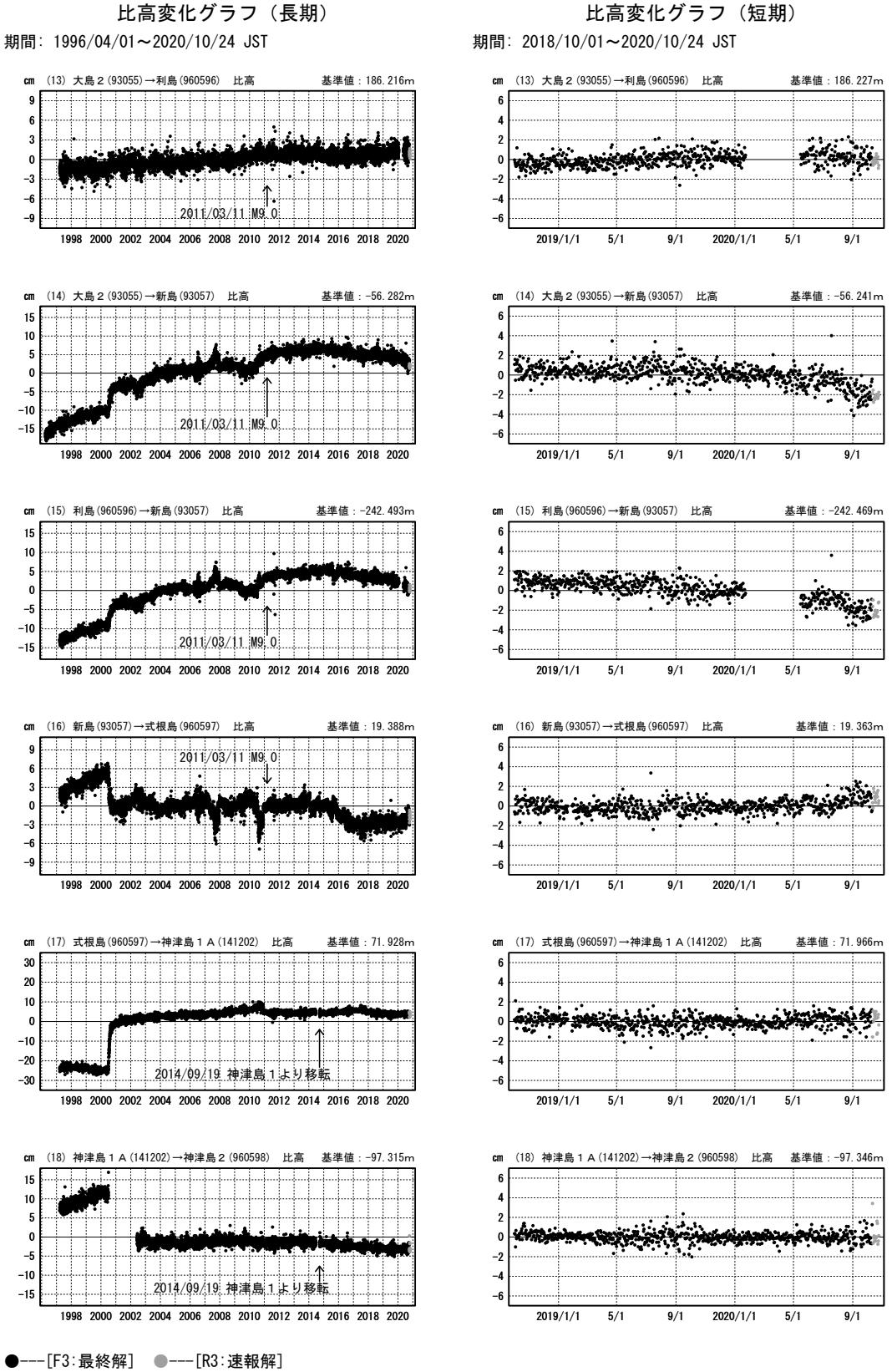
伊豆諸島地区　ＧＮＳＳ連続観測時系列（6）



第 12 図　伊豆諸島北部 GNSS 連続観測結果（比高）

Fig. 12　Results of continuous GNSS measurements in the northern part of the Izu Islands (relative height) (2/3).

伊豆諸島地区　ＧＮＳＳ連続観測時系列（7）



第 13 図　伊豆諸島北部 GNSS 連続観測結果（比高）
Fig. 13　Results of continuous GNSS measurements in the northern part of the Izu Islands (relative height) (3/3).

６－１　東海地方の地殻変動
Crustal Deformations in the Tokai District

国土地理院
Geospatial Information Authority of Japan

［GNSS と水準測量の比較　御前崎］

第 1 図は，電子基準点間の比高変化について，水準測量の結果と GNSS 連続観測結果とを比較したものである．両者はほぼ同様の傾向を示しており，最新のデータは従来の長期的な沈降傾向に沿っている．

［GNSS　上下　高精度比高観測　御前崎］

第 2 ～ 5 図は，掛川～御前崎間における高精度比高観測（GNSS 連続観測）の結果である．

第 2 図は，高精度比高観測点間の比高変化について，水準測量の結果と GNSS 連続観測結果を比較したものである．両者はほぼ同様の傾向を示しており，最新のデータは従来の長期的な沈降傾向に沿っている．なお，(2) の H 下板沢－ H 下朝比奈 2 の基線で 2016 年半ばに見られる隆起は，H 下朝比奈 2 観測点周辺の樹木の繁茂による見かけ上のものである．また，全基線で 2020 年春以降に沈降を示しているが，10 月 1 日に H 下板沢観測点周辺の樹木の伐採が行われた後は以前の値に戻っており，観測点周辺の樹木の繁茂による見かけ上の変化と考えられる．

第 3 図下段の比高変化グラフでは，H 下板沢観測点に対して御前崎側の観測点が長期的な沈降の傾向にあることが見てとれる．なお，(3) H 下板沢－ H 下朝比奈 2 の基線で 2016 年半ばに見られる隆起は，H 下朝比奈 2 観測点周辺の樹木の繁茂による見かけ上のものである．また，全基線で 2020 年春以降に沈降を示した後に以前のレベルに戻っているが，これらは H 下板沢観測点周辺の樹木の生長，その後枝払い（2020 年 10 月 1 日）による見かけ上のものである．

第 4 図に，各高精度比高観測点の H 下板沢観測点に対する比高変化について，1 か月ごと及び 10 日ごとの平均値を示している．各図の右に各点の上下変動速度（マイナスは沈降）が記されている．特段の傾向の変化は見られない．なお，全基線で 2020 年春以降に沈降を示した後に以前のレベルに戻っているが，これらは H 下板沢観測点周辺の樹木の生長，その後枝払い（2020 年 10 月 1 日）による見かけ上のものである．

第 5 図左は，H 細谷観測点に対する各点の比高について，1 か月平均値と 3 か月前の 1 か月平均値との差を，最近 3 年間について示したものである．特段の傾向の変化は見られない．なお，上から 2 段目の図において，98H023（H 下板沢）は H 下板沢観測点周辺の樹木の生長による見かけ上の変化と考えられる．

第 5 図右は，同様に H 細谷観測点に対する各点の比高の 1 か月平均値の前月との差を，最近 1 年間について示したものである．特段の傾向の変化は見られない．なお，最上段及び上から 2 段目の図において，98H023 は H 下板沢観測点周辺の樹木の生長による見かけ上の変化と考えられる．

［水準測量　森～掛川～御前崎］

第 6 ～ 12 図は東海地方（森町～御前崎市間）の水準測量結果である．最新の観測は 2020 年 6 ～ 7 月である．

第 6 図の最上段は，最新の観測結果と 1 年前の同時期の観測結果の差による各水準点の上下変動である．最新の結果は御前崎側で沈降が見られる．

第 7 図は，掛川市（140-1）から見た御前崎市（2595）の上下変動時系列である．上のプロットが生の観測値による時系列，下のプロットが年周成分を除去した後の時系列である．2000 年夏以前の SSE 開始よりも前の沈降の速度と比較して，SSE 進行期にある 2000 年秋頃から 2005 年夏頃までと 2013 年初頭から 2017 年春頃までは沈降速度が速かったが，SSE が停止した 2017 年春頃以降は，2000 年夏よりも前の沈降速度にほぼ戻ったように見える．

第 8 図は，前の観測結果について，最新の変動が従来のトレンド（傾き）上にのっているかどうか等を，できるだけ定量的に評価するための資料である．2000 年秋～ 2005 年夏の SSE 進行期とその開始前及び停止後，さらに 2013 年春からの SSE 再開後の進行期及び停止以降の 5 つの期間に分けて，トレンドを推定した後，年周成分を推定した．上段の時系列は，前の年周成分を除去していない時系列のうち 1995 年以降のものである．破線は，5 期間に分けて推定した回帰曲線である．2 段目の表に回帰モデルの数値を示した．期間（2）の SSE 進行期は，傾きが約 -8.2mm/ 年と沈降速度が速くなったが，その後の期間（3）については約 -4.6mm/ 年と期間（1）の沈降速度に近くなっている．2013 年春以降の期間（4）の SSE 再開後は傾きが約 -6.1mm/ 年と沈降速度が速くなり，期間（5）の停止以降は約 -3.4mm/ 年で期間（1）の沈降速度に近くなっている．

一番下の段に，期間（2）から期間（5）にかけての時系列の拡大図を示した．回帰モデルからの残差による標準偏差を細い破線で示してある．長期的な傾向に特段の変化は見られない．

第 9 図は，森町（5268）を基準とした掛川市（140-1）と御前崎市（2595）の変動時系列グラフである．森町に対する掛川市及び御前崎市の長期的な沈降傾向に特段の変化は見られない．

［水準測量　御前崎　時系列］

第 10 図は，掛川から御前崎検潮所に至る各水準点の上下変動時系列である．御前崎検潮所附属水準点は，2009 年 8 月駿河湾の地震時に局所的に沈下したものと考えられる．

［水準測量　御前崎先端部］

第 11 ～ 12 図は，御前崎先端部の変動を見るために小さな環で行っている水準測量の結果である．最近は概ね半年に 1 回の頻度で実施している．

第 11 図の最上段は，今回 2020 年 6 ～ 7 月の最新の結果と前回 2019 年 11 月の結果の差による上下変動観測結果で，特段の変化は見られない．

第 12 図は，網平均を行った結果を最近の 4 つの期間について示したもので，1977 年からの上下変動の累積を比較のために最下段に示す．（4）に示した最近の短期的な変動は御前崎先端側が僅かに隆起傾向であるが，季節的な誤差の影響の範囲内であると考えられる．

［GNSS　御前崎とその周辺］

第 13 ～ 17 図は御前崎とその周辺の GNSS 連続観測結果である．三ヶ日観測点から榛原（はいばら）観測点に至る東西方向の基線も併せて示している．

第 14 図の（4），（5）において 2009 年の夏に見られる跳びは，2009 年 8 月 11 日に発生した駿河湾の地震に伴う御前崎 A 観測点の局所的な地盤変動によるものである．2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴い，第 14 図の（5）に地震時と地震後の基線の短縮が見られる．なお，

(1)，(2) において 2017 年 1 月の掛川 A 観測点への移転前後で傾向に変化が見られるが，原因は不明である．

第 15 図の（8）において 2009 年 8 月頃から，掛川観測点が東向きに動いたような基線長の変化が見られた後，10 月に戻った．同様の変化はピラーに内蔵された傾斜計にも見られるが，GNSS の上下成分には見られない．2010 年夏にも同様の東向きの変化が見られた後，9 月 28 日以降戻っている．2009 年も 2010 年も大雨後に戻っているが，原因は不明のままである．2011 年及び 2012 年にはこのような変化はなかったが，2013 年以降，再び同様の変化が見られるようになった．なお，2017 年 1 月 30 日に掛川 A への移転を行った．その後は特段の変化は見られない．

第 17 図の（6）において 2014 年 6 月頃から静岡相良観測点が隆起する向きの変化が見られたが，8 月に観測点周辺の樹木を伐採した後に戻っており，観測点周辺の樹木の生長に伴う受信環境の悪化による影響であった可能性がある．また, 2016 年 6 月頃からも隆起する向きの変化が見られた後，2017 年 2 月に周辺の樹木を伐採後に戻っており，同様に樹木繁茂による影響の可能性がある．一部の観測点では 2010 年 2 ～ 3 月頃にレドームの開閉を行ったことによる見かけ上の変動が含まれている場合があるので，第 13 図下段の観測局情報を参照する必要がある．最近のデータには，特段の傾向の変化は見られない．

［GNSS　駿河湾］

第 18 ～ 22 図は，駿河湾とその周辺の GNSS 連続観測時系列である．傾向に特段の変化は見られない．

［東海地方の地殻変動］

第 23 ～ 27 図は，白鳥観測点（第 23 ～ 24 図）及び，三隅観測点（第 25 ～ 27 図）を固定局として示した，東海地方の地殻変動である．

第 23 図上段は最近の 1 年間の水平変動である．比較のために，東北地方太平洋沖地震前において SSE のなかった 2 つの時期における変動速度を中段に，SSE が発生していた時期の変動速度を下段に示している．最近の東海地方の地殻変動には西向きの変動が広く見られ，SSE の発生していなかった時期の特徴に近い．

第 24 図は，上下成分について同様の比較を示すものである．水平よりもばらつきが大きい．

第 25 ～ 26 図は，東北地方太平洋沖地震前の 2008 年 1 月～ 2011 年 1 月の期間の変動を定常変動と仮定し，それからの変動の差を非定常変動として示した図である．水平成分及び上下成分のそれぞれについて，最近の約 1 年間の図と 3 か月ごとの図を示す．特段の変動は見られない．

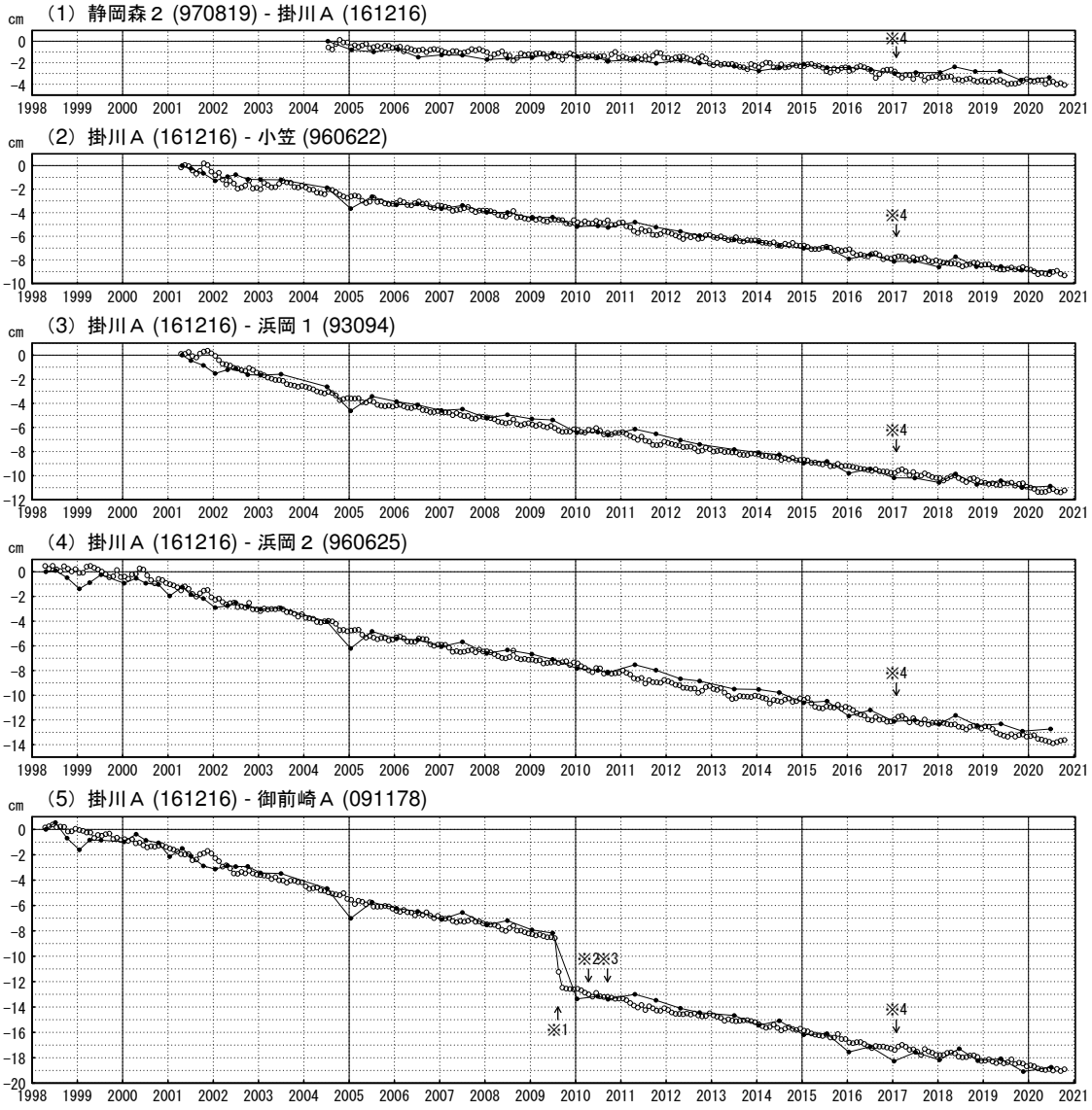
第 27 図は，東海地方の GNSS 連続観測点の非定常地殻変動の 3 成分時系列である．東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響は小さくなってきている．(7) の榛原観測点で 2016 年 6 月頃から上下成分に変化が見られていたが，2017 年 2 月 4 日に周辺樹木の伐採を行った後は元に戻っている．

［水準測量　東海地方］

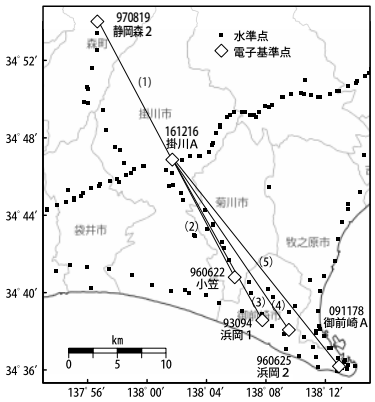
第 28 図は，東海地方で 1 年に 1 回行っている水準測量の結果である．浜松市舞阪検潮所から御前崎市までの遠州灘沿岸の路線と，そこから更に，駿河湾沿いに藤枝市まで北上し国道一号線沿いに静岡市 J70-1 に達する路線の結果である．最新の結果では，浜松市側で隆起が見られる．

御前崎　電子基準点の上下変動　　水準測量と GNSS 連続観測

従来の傾向に変化は見られない.



●：水準測量　　○：GNSS 連続観測（GEONET 月平均値）



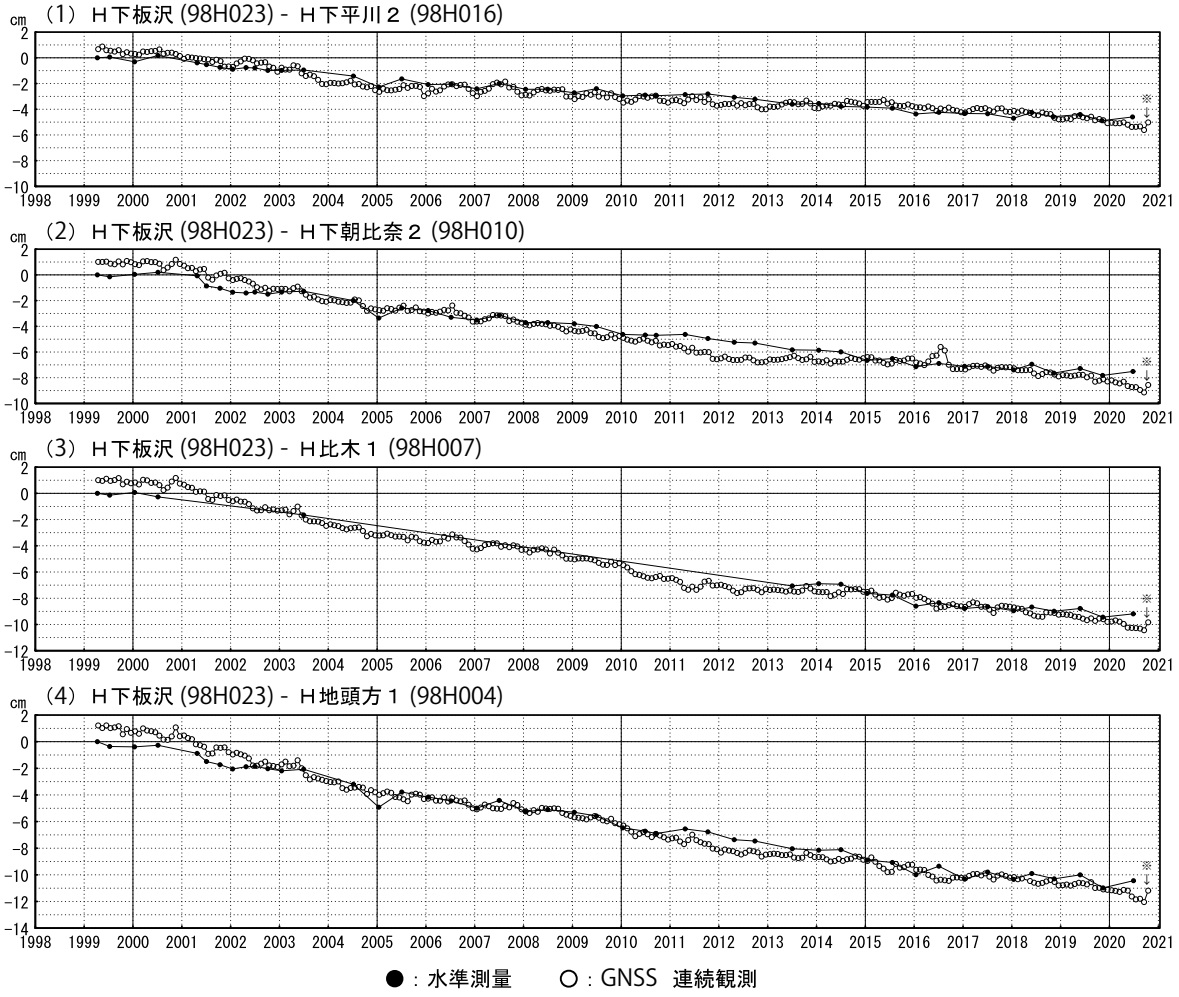
・ 水準測量による結果は，最初のプロット点の値を 0cm として描画している.
・ GNSS 連続観測のプロット点は，GEONET による日々の座標値（F3：最終解）から計算した値の月平均値．最新のプロット点は 10/01～10/10 の平均.
・ GNSS 連続観測による結果については，水準測量の全期間との差が最小となるように描画している.

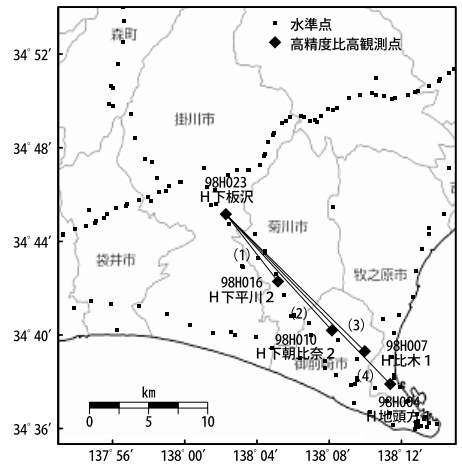
※1 電子基準点「御前崎」は 2009 年 8 月 11 日の駿河湾の地震 (M6.5) に伴い，地表付近の局所的な変動の影響を受けた.
※2 2010 年 4 月以降は，電子基準点「御前崎」をより地盤の安定している場所に移転し，電子基準点「御前崎Ａ」とした.
※3 水準測量の結果は移転後初めて変動量が計算できる 2010 年 9 月から表示している.
※4 2017 年 1 月 30 日以降は，電子基準点「掛川」は移転し，電子基準点「掛川Ａ」とした.

第 1 図　御前崎 電子基準点の上下変動（水準測量と GNSS）
Fig. 1　Vertical displacements of GEONET stations in the Omaezaki region (leveling and GNSS measurements).

御前崎　高精度比高観測点の上下変動　　水準測量と GNSS 連続観測

従来の傾向に変化は見られない.





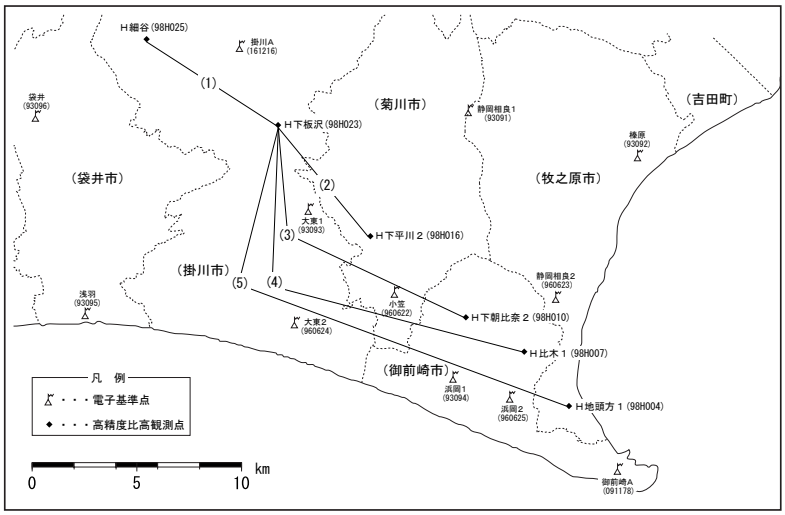
- 水準測量による結果は，最初のプロット点の値を 0cm として描画している.
- GNSS 連続観測のプロット点は，日々の座標値（HTI：最終解）から計算した値の月平均値．最新のプロット点は 10/01～10/03 の平均.
- GNSS 連続観測による結果については，水準測量の全期間との差が最小となるように描画している.
- ※ 2020 年 10 月 1 日：98H023 で周辺樹木伐採.

第 2 図　御前崎地域の高精度比高観測点の上下変動（水準測量と GNSS）

Fig. 2　Vertical displacements of high precision vertical observation sites in the Omaezaki region (leveling and high precision vertical GNSS measurements).

御前崎　高精度比高観測時系列　（ＧＮＳＳ）

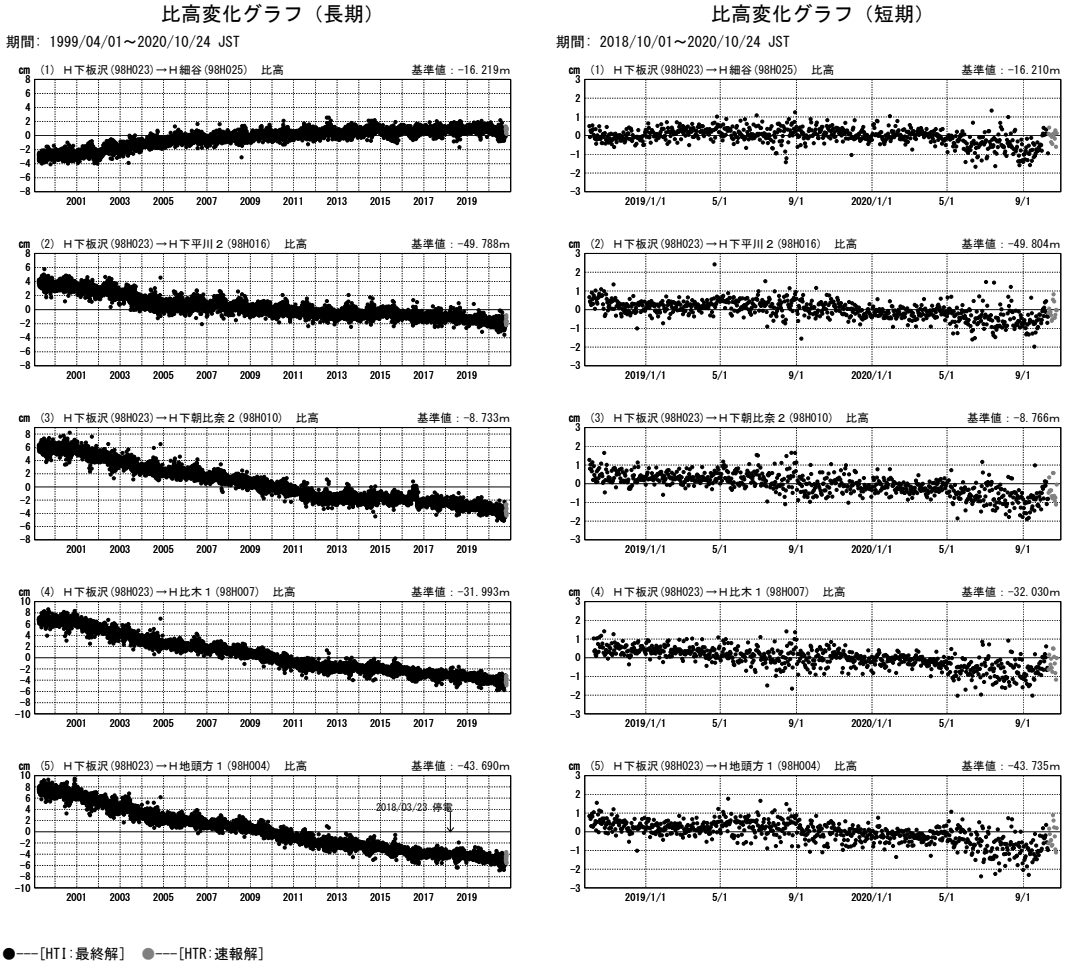
配点図（基線図）



各観測局情報

点番号	点　名	日付	保守内容
98H025	Ｈ細谷	2008/01/11	受信機交換
		2008/01/29	アンテナ交換
		2014/05/28	アンテナ交換・レドーム交換
			受信機交換
		2017/11/06	受信機交換
		2018/03/15	アンテナ交換
98H023	Ｈ下板沢	2008/06/17	周辺伐採
		2014/05/27	アンテナ交換・レドーム交換
			受信機交換
		2016/07/26	周辺伐採
		2016/09/07	周辺伐採
		2017/08/26	受信機交換
		2017/11/06	受信機交換
		2018/03/15	アンテナ交換
		2020/10/01	周辺伐採
98H016	Ｈ下平川２	2014/05/27	アンテナ交換・レドーム交換
			受信機交換
		2017/11/09	受信機交換
		2018/03/14	アンテナ交換
98H010	Ｈ下朝比奈２	2014/05/27	アンテナ交換・レドーム交換
			受信機交換
		2016/07/26	周辺伐採
		2016/09/06	周辺伐採
		2017/11/08	受信機交換
		2018/03/14	アンテナ交換
98H007	Ｈ比木１	2006/03/15	レドーム開閉
		2014/05/26	アンテナ交換・レドーム交換
		2017/11/07	受信機交換
		2018/03/14	アンテナ交換
98H004	Ｈ地頭方１	2004/02/19	周辺伐採
		2007/01/10	レドーム開閉
		2011/08/24	周辺伐採
		2014/05/26	アンテナ交換・レドーム交換
		2017/11/08	受信機交換
		2018/03/14	アンテナ交換

第 3 図 (a)　御前崎地域の高精度比高観測 GNSS 観測結果（基線図）
Fig. 3(a)　Baseline map of high precision vertical GNSS measurements in the Omaezaki region.

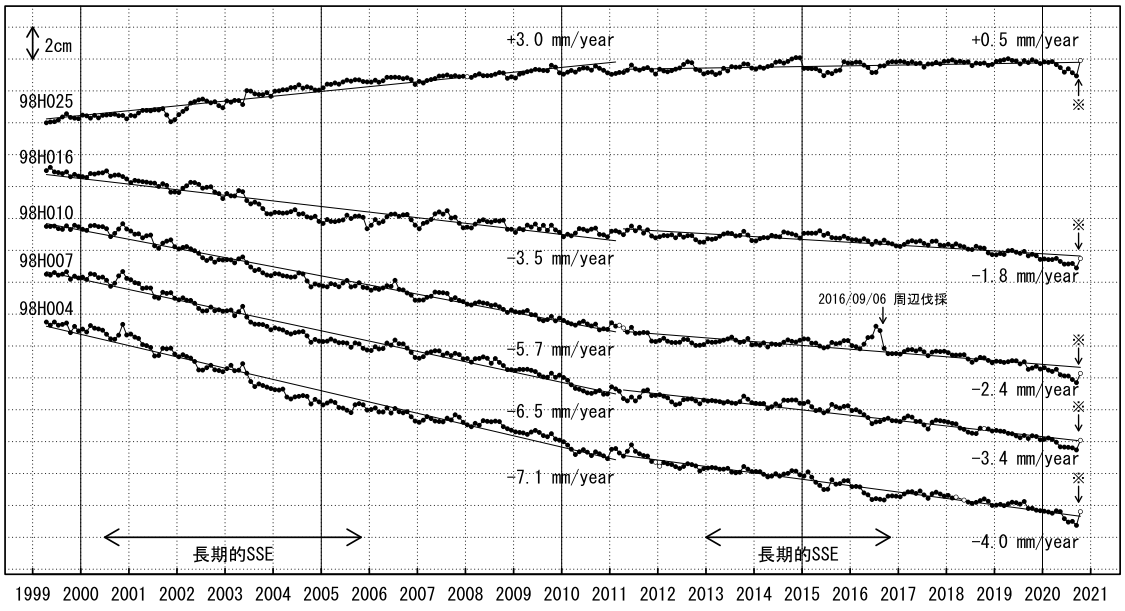


第 3 図 (b)　御前崎地域の高精度比高観測 GNSS 観測結果
Fig. 3(b)　Time series of the height changes at precision vertical GNSS measurements sites in the Omaezaki region.

高精度比高観測による比高変化　月平均値・10 日間平均値

月平均値

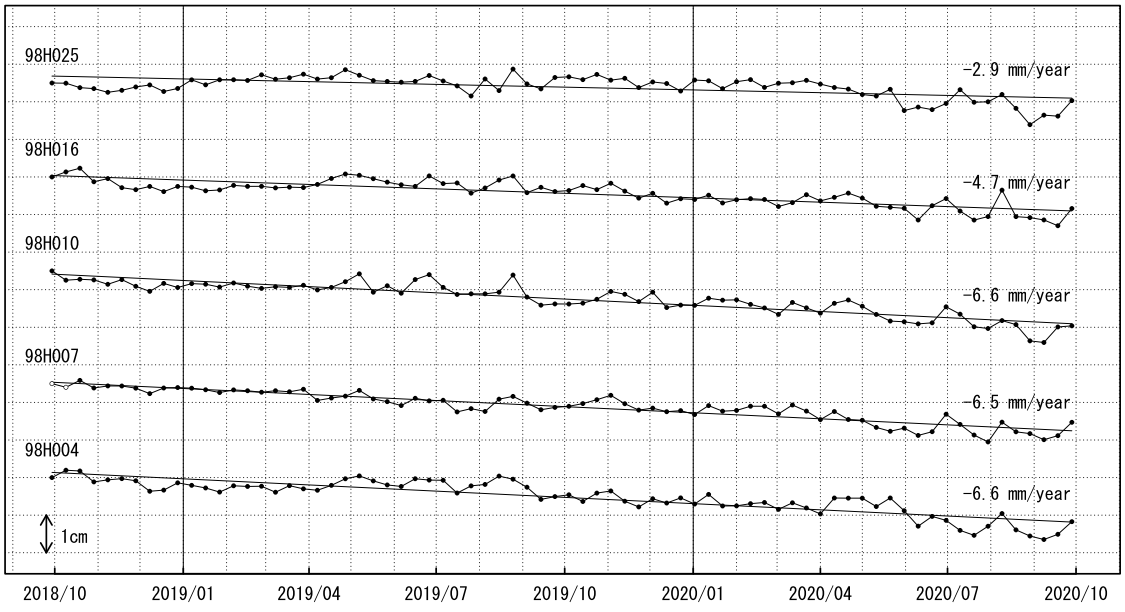
期間：1999/04/01 – 2020/10/03［ＨＴＩ：最終解］



固定局：98H023

10 日間平均値

期間：2018/09/25 – 2020/10/03［ＨＴＩ：最終解］

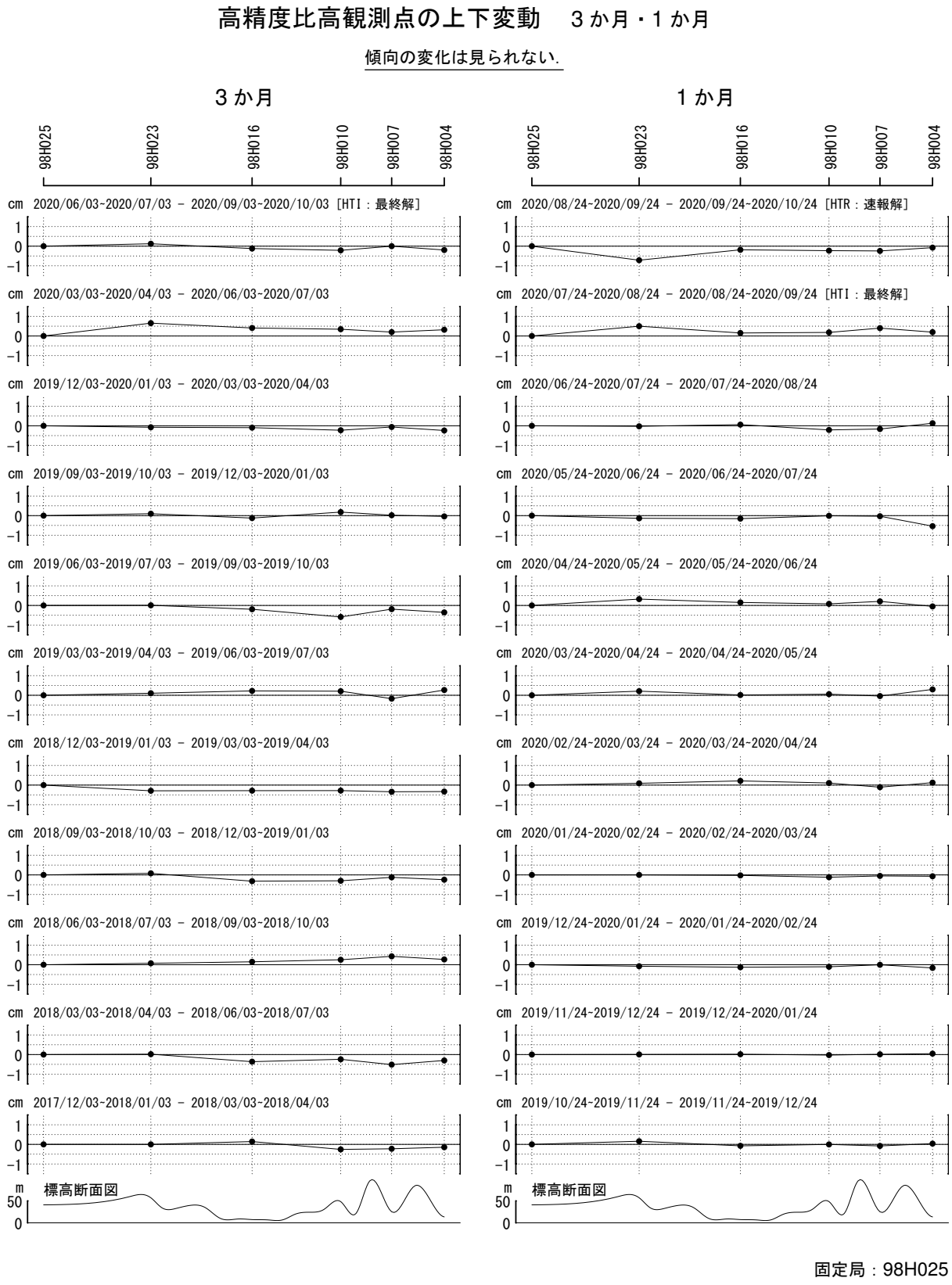


固定局：98H023

- プロット位置は平均を求めた期間の中央.
- 最新のプロット点は，月平均値は 10/01～10/03，10 日間平均値は 09/24～10/03 の平均.
- 平均に用いたデータ数が少ない場合（月平均：25 未満，10 日平均：8 未満）は白抜き.
- 月平均値は，2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震前後で期間を分けて回帰モデルを作成.
- ※ 2020 年 10 月 1 日：98H023（固定局）で周辺樹木伐採.

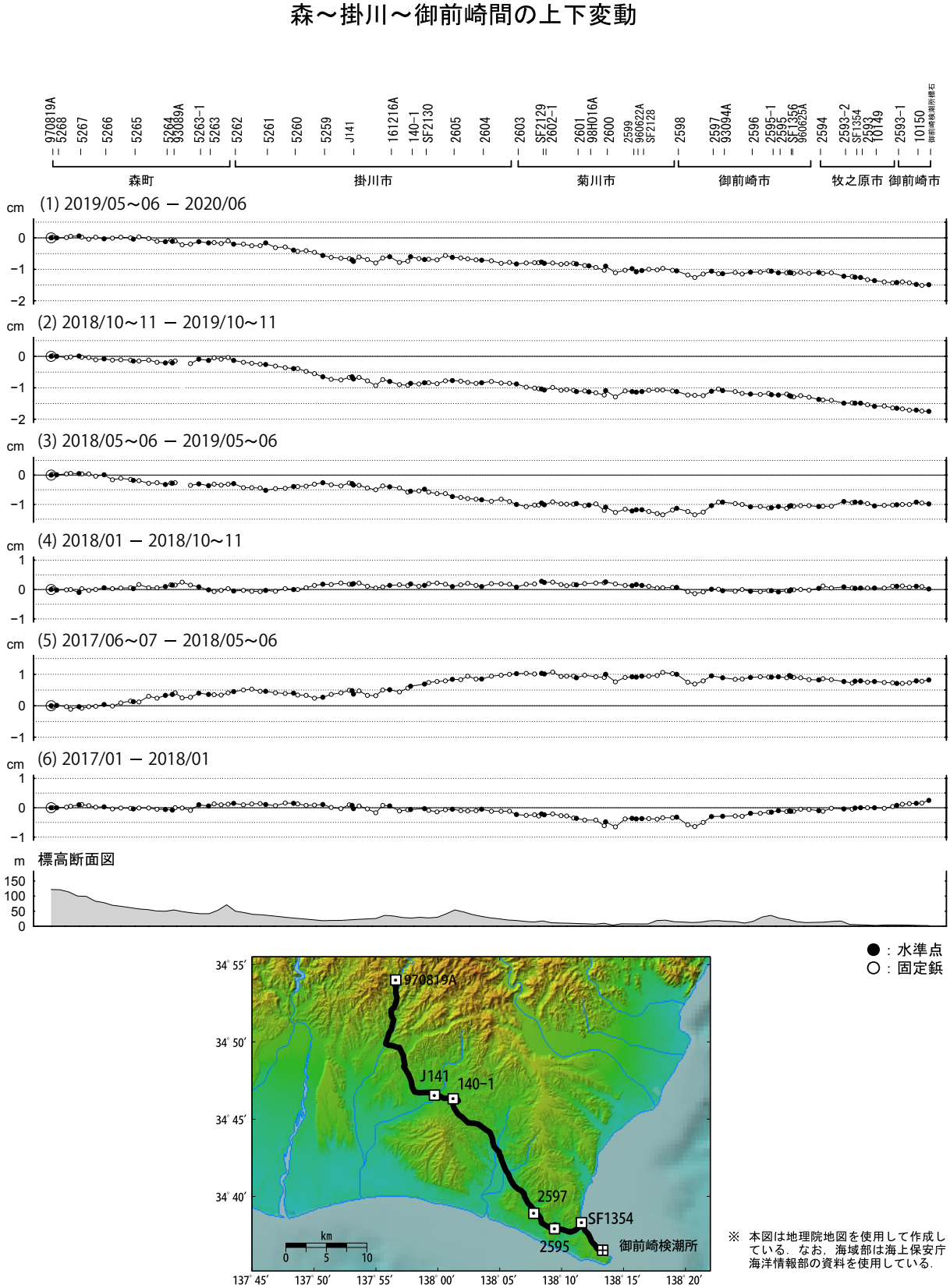
第 4 図　御前崎地域の高精度比高観測 GNSS 観測結果（1 か月間及び 10 日間移動平均・時系列）

Fig. 4　Results of high precision vertical GNSS measurements in the Omaezaki region (Time series of 1 month and 10 days running mean).



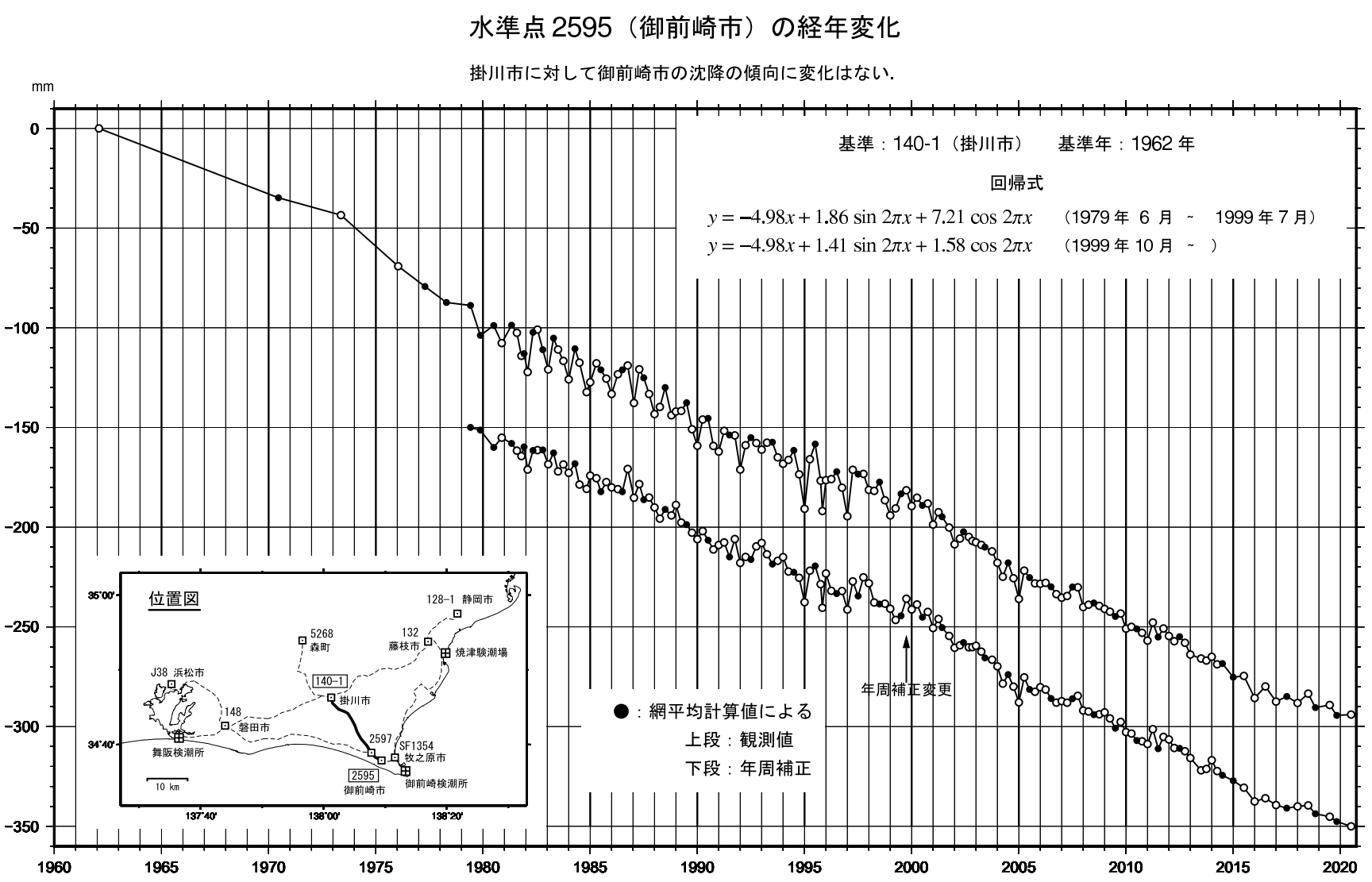
第 5 図　御前崎地域の高精度比高観測 GNSS 観測結果（点毎の 3 か月間及び 1 か月間の変動量）

Fig. 5　Results of high precision vertical GNSS measurements in the Omaezaki region (Height change every three months and 1 month at each site).



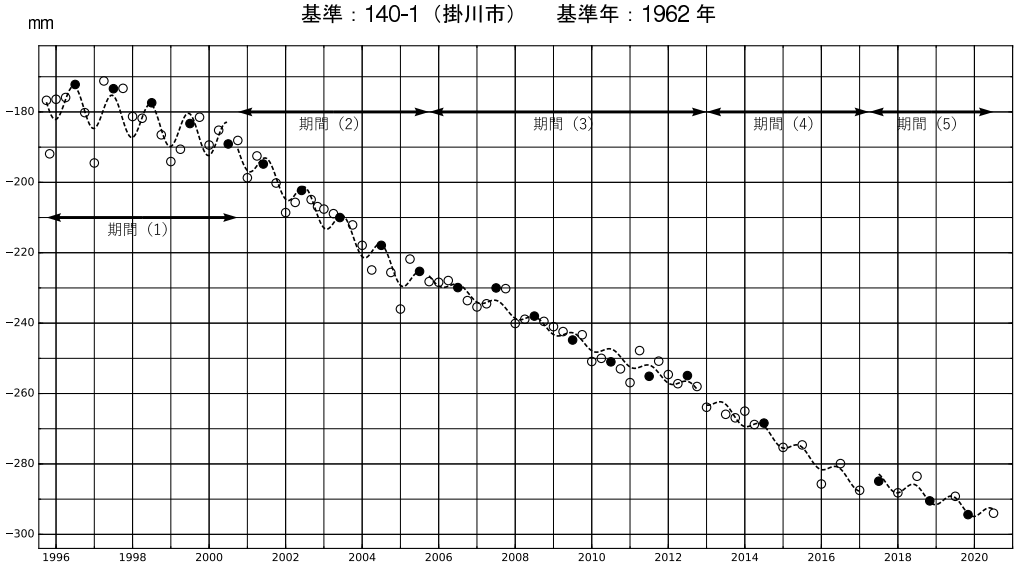
第 6 図　水準測量による森町～掛川市～御前崎市間における上下変動

Fig. 6　Vertical displacements from Mori town to Omaezaki city via Kakegawa city.



第 7 図　水準点 140-1（掛川市）を基準とした 2595（御前崎市浜岡）の高さの経年変化
Fig. 7　Time series of height change of BM2595 (Hamaoka) as referred to BM140-1 (Kakegawa).

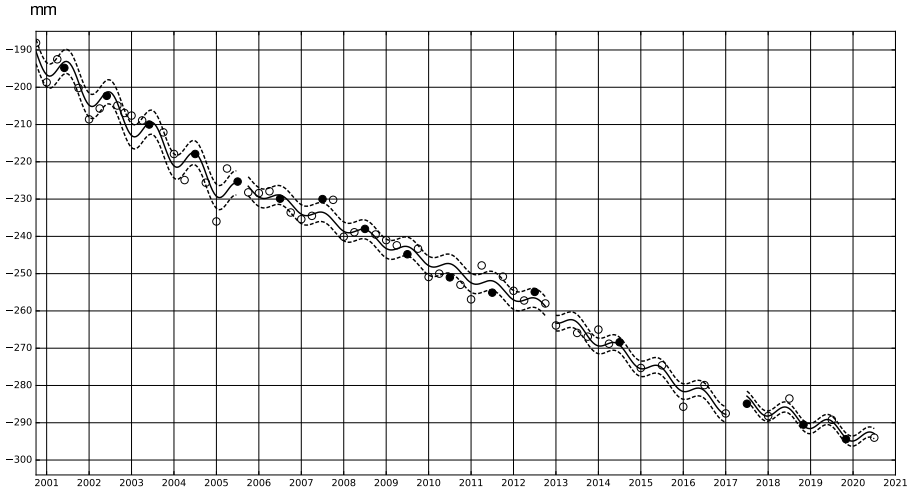
水準点 2595（御前崎市）の経年変化
スロースリップイベント期間で分けた回帰モデル



・ スロースリップイベントの (1) 開始以前，(2) 進行期，(3) 停止期，(4) 進行期，(5) 停止以降の 5 期間でそれぞれ回帰モデルを推定している．
・ (1)~ (5) の各期間の 1 次トレンド＋年周を破線で表示している．

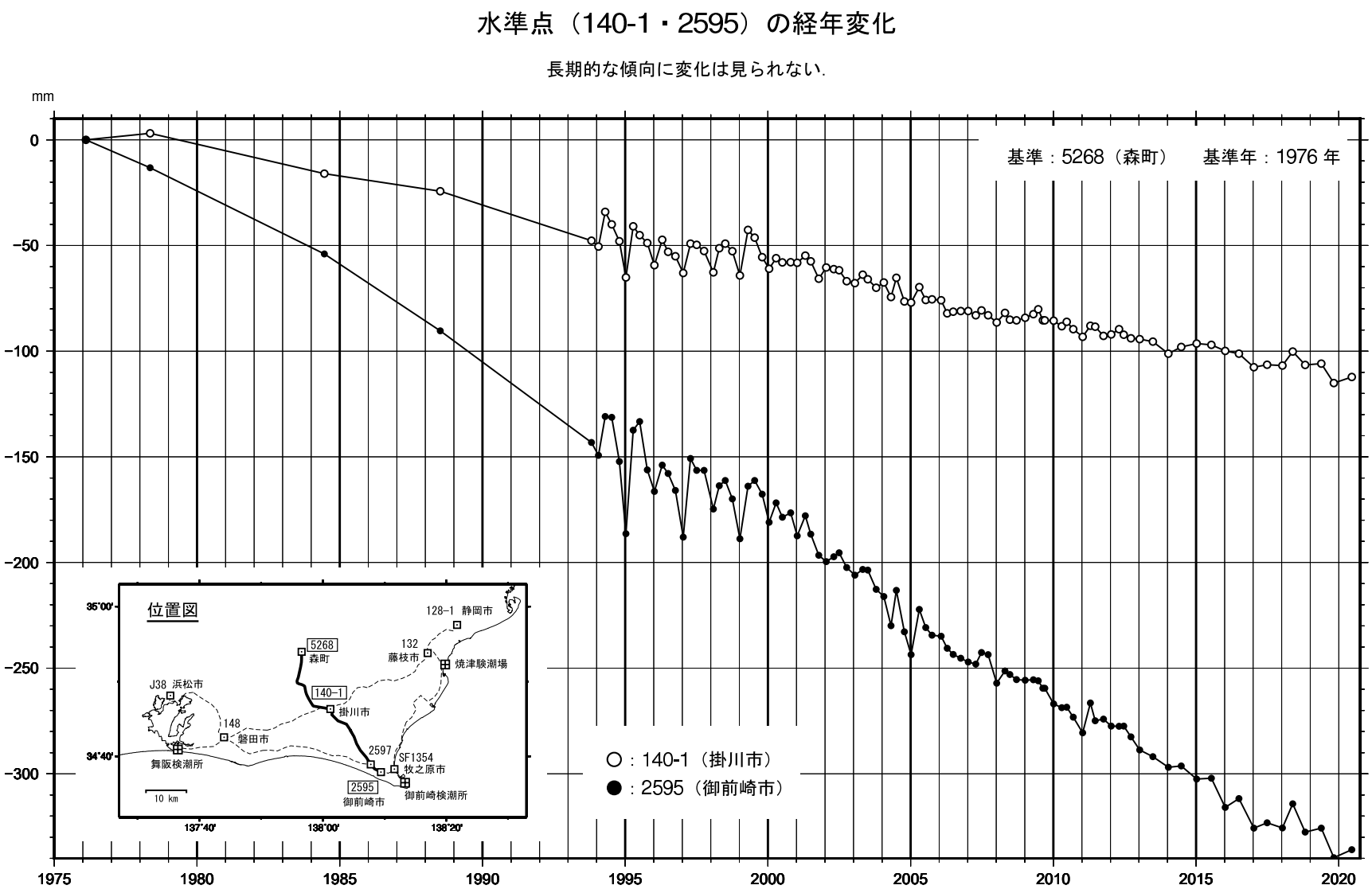
No.	期間	傾き (mm/yr)	振幅 (mm)	位相 (deg)	標準偏差 (mm)
期間（1）	1995 年 10 月 - 2000 年 7 月	-2.57	5.37	-79.0	5.39
期間（2）	2000 年 10 月 - 2005 年 7 月	-8.15	3.80	-95.7	3.24
期間（3）	2005 年 10 月 - 2012 年 10 月	-4.60	1.45	-103.6	2.53
期間（4）	2013 年 1 月 - 2017 年 3 月	-6.12	1.74	-70.5	2.09
期間（5）	2017 年 4 月 - 2020 年 7 月	-3.35	1.99	-66.4	1.36

期間 (2)~ 期間 (5) の拡大図



・ 各期間の回帰モデル（1 次トレンド＋年周）を実線で表示している．
・ 回帰モデルからの残差による標準偏差を破線で示している．

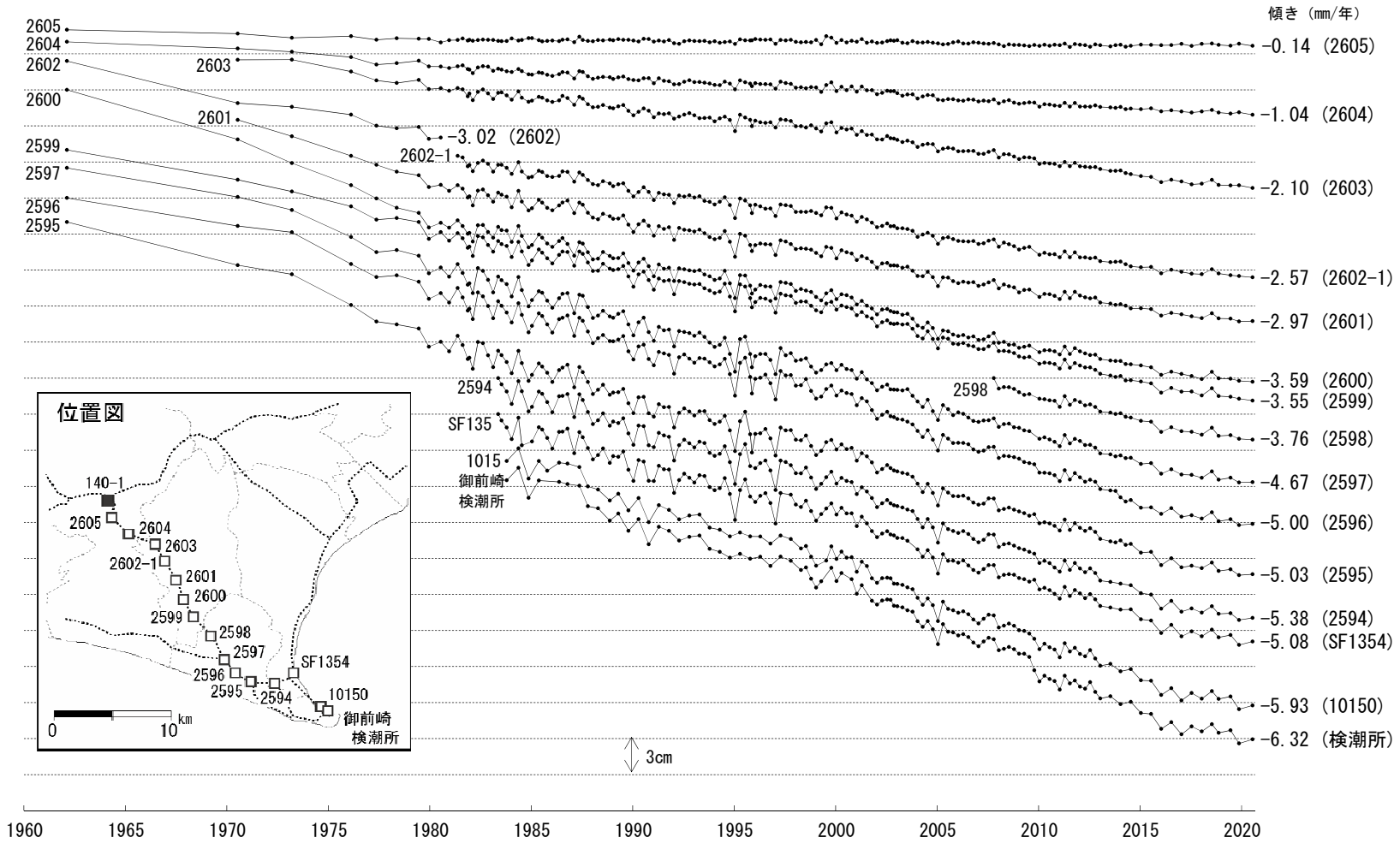
第 8 図　水準点 2595（御前崎市）の経年変化　スロースリップイベント期間で分けた回帰モデル
Fig. 8　A regression model for the period before, during and after the slow slip event.



第 9 図　水準点 5268（森）を基準とした 140-1（掛川）と 2595（御前崎市浜岡）の上下変動時系列

Fig. 9　Time series of height change from BM 5268 (Mori) to BM140-1 (Kakegawa) and BM2595 (Hamaoka).

地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行

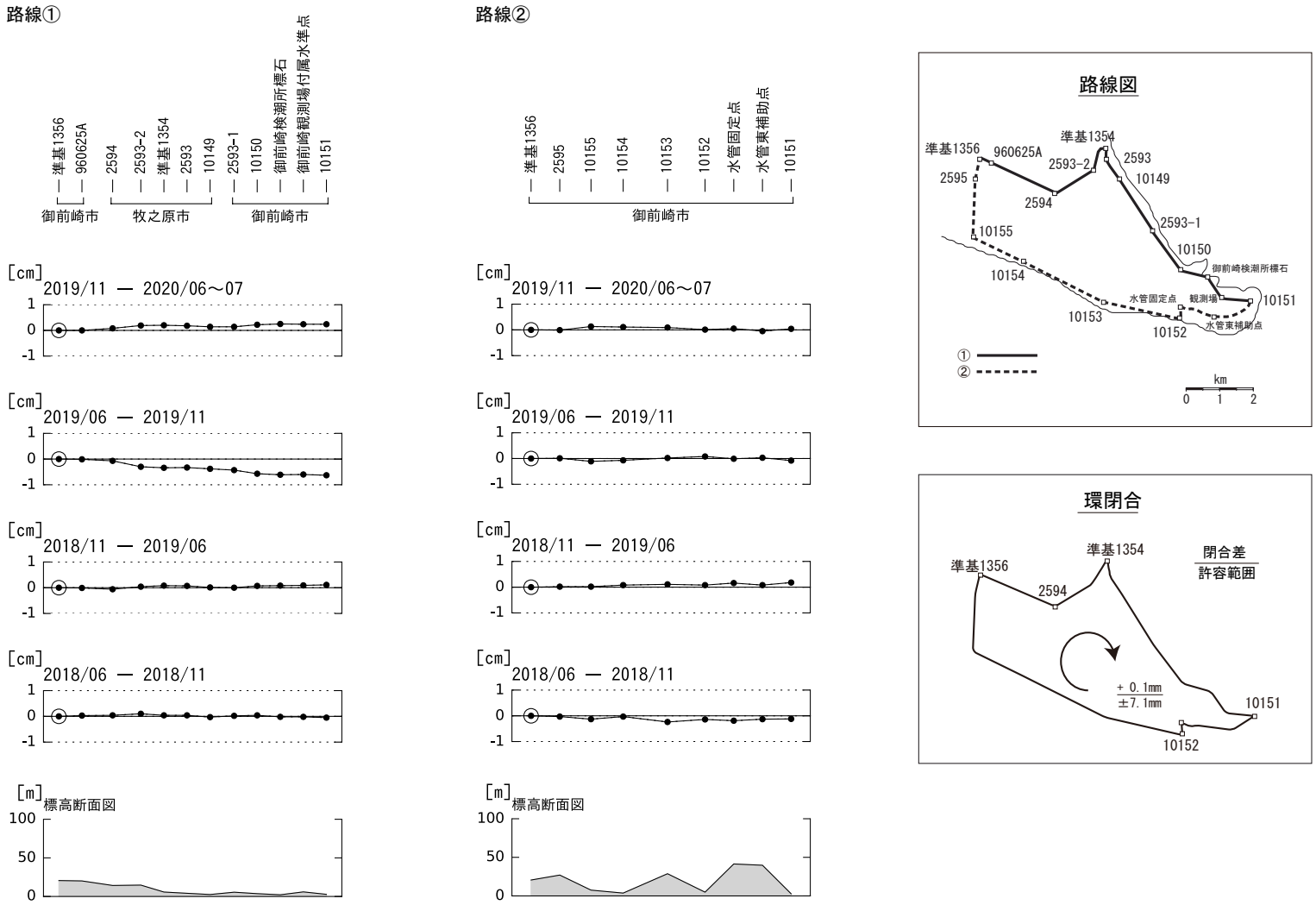


基準：140-1（掛川市）
・1980年11月 水準点2602-1を新設.
・水準点2598は2007年9月の移転後のデータのみをプロットしている.

第 10 図　水準点 140-1（掛川市）を基準とした掛川～御前崎間の各水準点の高さの経年変化
Fig. 10　Time series of height changes of benchmarks between Kakegawa and Omaezaki as referenced to BM140-1 (Kakegawa).

地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行

御 前 崎 地 方 の 上 下 変 動（１）

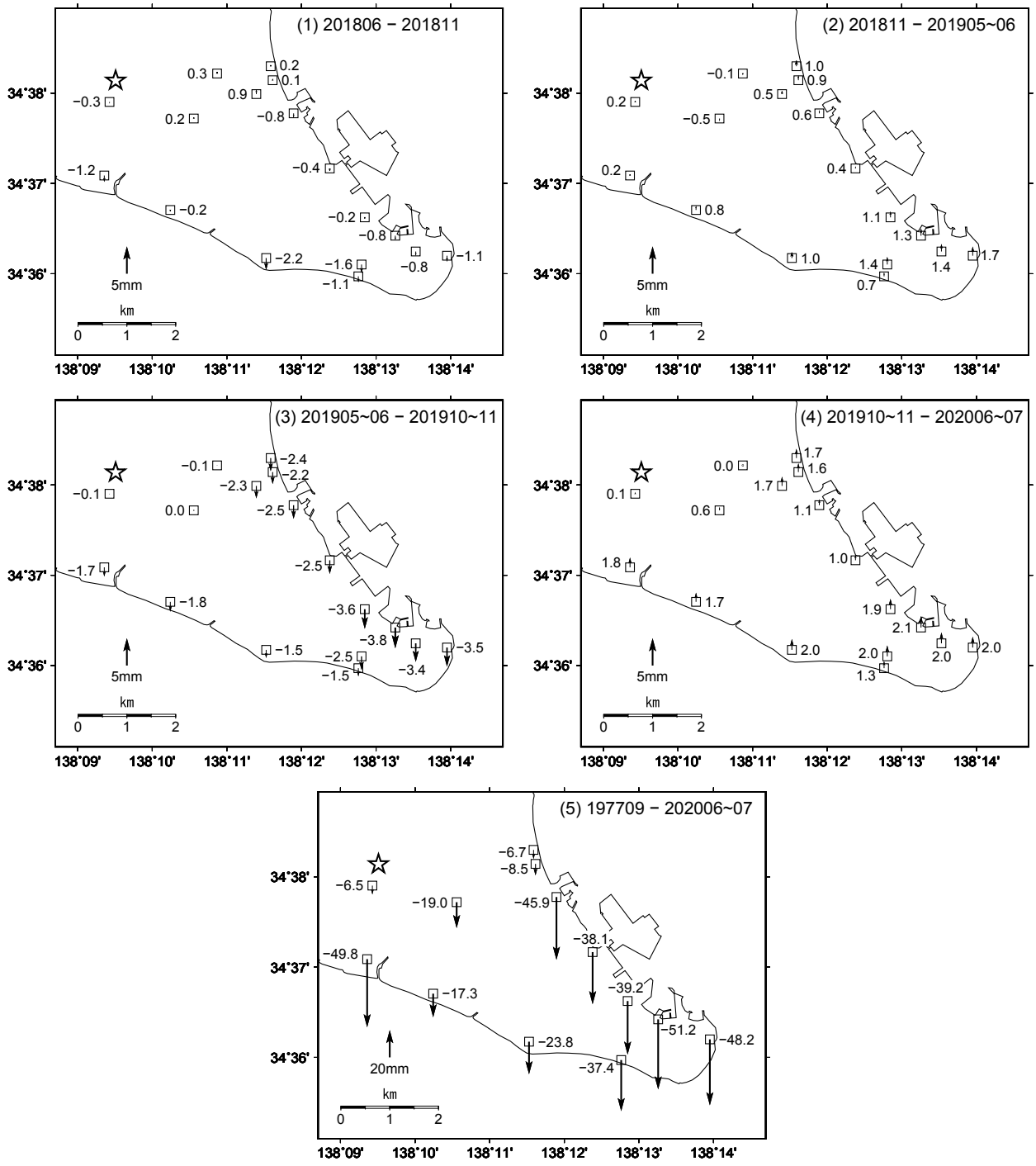


第 11 図　水準測量による御前崎先端部の上下変動（1）

Fig. 11　Vertical crustal deformation by the precise leveling survey around Omaezaki (1/2).

地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行

御 前 崎 地 方 の 上 下 変 動 （2）

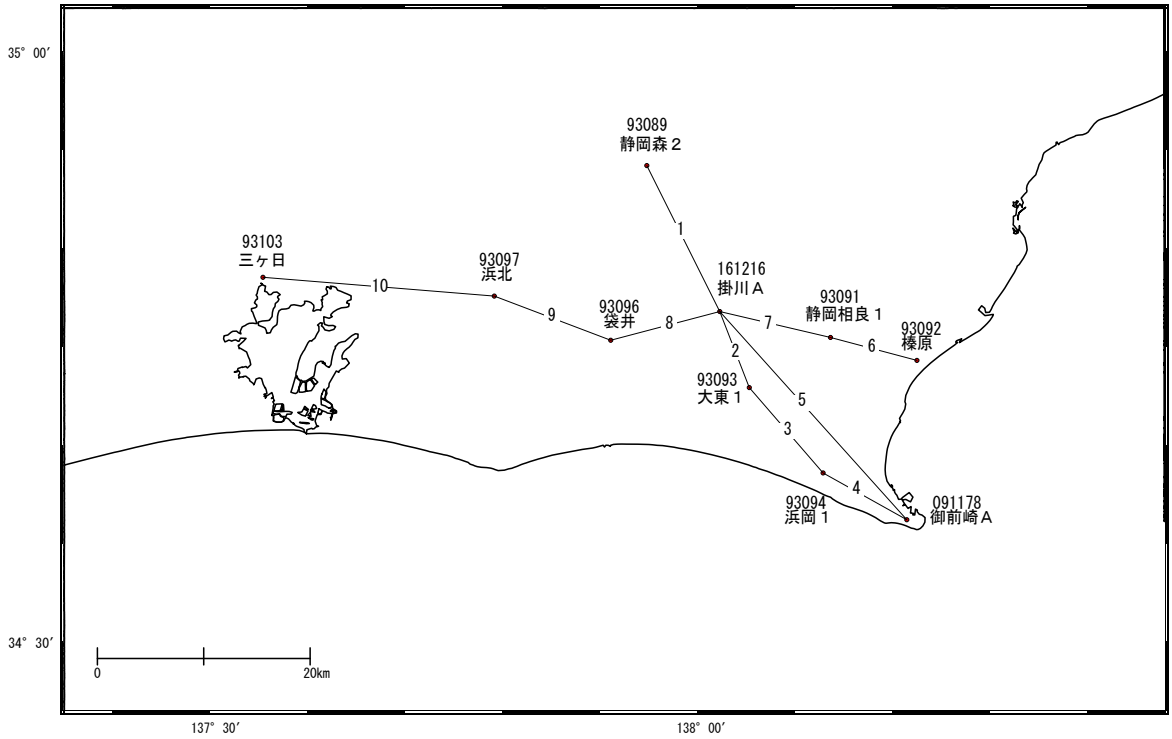


☆ 基準：準基1356（御前崎）

第 12 図　水準測量による御前崎先端部の上下変動（2）
Fig. 12　Vertical crustal deformation by the precise leveling survey around Omaezaki (2/2).

御前崎周辺　ＧＮＳＳ連続観測時系列（1）

基線図



御前崎周辺の各観測局情報

点番号	点　名	日　付	保　守　内　容
161216	掛川A	2003/02/12	レドーム設置
		2003/05/12	アンテナ交換
		2008/07/25	受信機交換
		2010/02/24	レドーム開閉
		2012/11/20	アンテナ更新
		2017/01/30	移転(掛川→掛川A)
970819	静岡森2	2003/06/19	アンテナ更新
		2008/01/29	レドーム取り外し・再取り付け
		2008/01/29	受信機交換
		2012/10/12	アンテナ更新・受信機交換
93093	大東1	2003/02/10	レドーム設置
		2003/03/04	アンテナ交換
		2010/02/24	レドーム開閉
		2012/11/20	アンテナ更新
		2017/11/09	受信機交換
93094	浜岡1	2003/02/10	レドーム設置
		2003/05/16	アンテナ交換
		2010/02/23	レドーム開閉
		2012/11/22	アンテナ更新
		2017/11/08	受信機交換
091178	御前崎A	2003/02/11	レドーム設置
		2003/02/28	アンテナ交換
		2010/03/24	移転(御前崎→御前崎A)
		2012/11/28	アンテナ更新
		2019/10/09	受信機交換
93091	静岡相良1	2001/03/20	アンテナ交換
		2003/02/12	レドーム設置
		2003/03/07	アンテナ交換
		2008/01/30	受信機交換
		2012/11/22	アンテナ更新
		2019/11/19	受信機交換

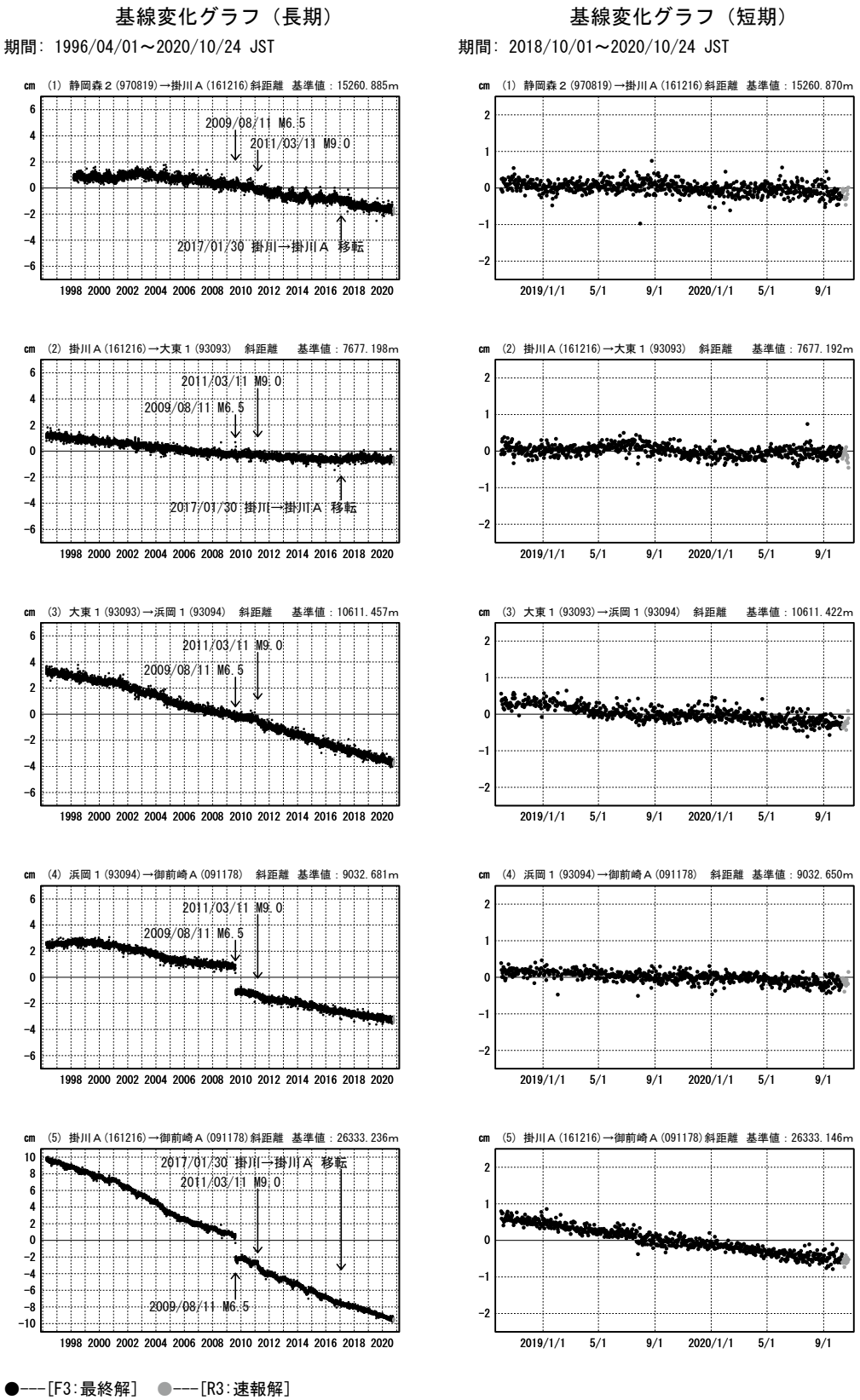
点番号	点　名	日　付	保　守　内　容
93092	榛原	2001/03/21	アンテナ交換
		2002/10/07	周辺伐採
		2003/02/11	レドーム設置
		2003/03/03	アンテナ交換
		2003/09/09	周辺伐採
		2012/11/21	アンテナ更新
		2014/08/11	周辺伐採
		2016/04/18	アンテナ交換
		2017/02/04	周辺伐採
		2018/11/10	周辺伐採
93096	袋井	2003/02/15	レドーム設置
		2003/03/03	アンテナ交換
		2003/05/20	アンテナ高変更
		2003/11/21	レドーム開閉
		2011/01/12	レドーム開閉
		2012/11/19	アンテナ更新
		2016/03/05	アンテナ交換
93097	浜北	2003/02/14	レドーム設置
		2003/02/28	アンテナ交換
		2010/02/25	レドーム開閉
		2012/11/15	アンテナ更新
		2017/11/15	受信機交換
93103	三ヶ日	2003/02/15	レドーム設置
		2003/05/19	アンテナ交換
		2010/03/04	レドーム開閉
		2012/11/13	アンテナ更新
		2016/11/23	受信機交換

※2003年3月5日に基準局92110（つくば1）のアンテナおよびレドームの交換を実施し、解析値に補正をしています。

第 13 図　御前崎周辺 GNSS 連続観測点観測結果（基線図及び保守状況）

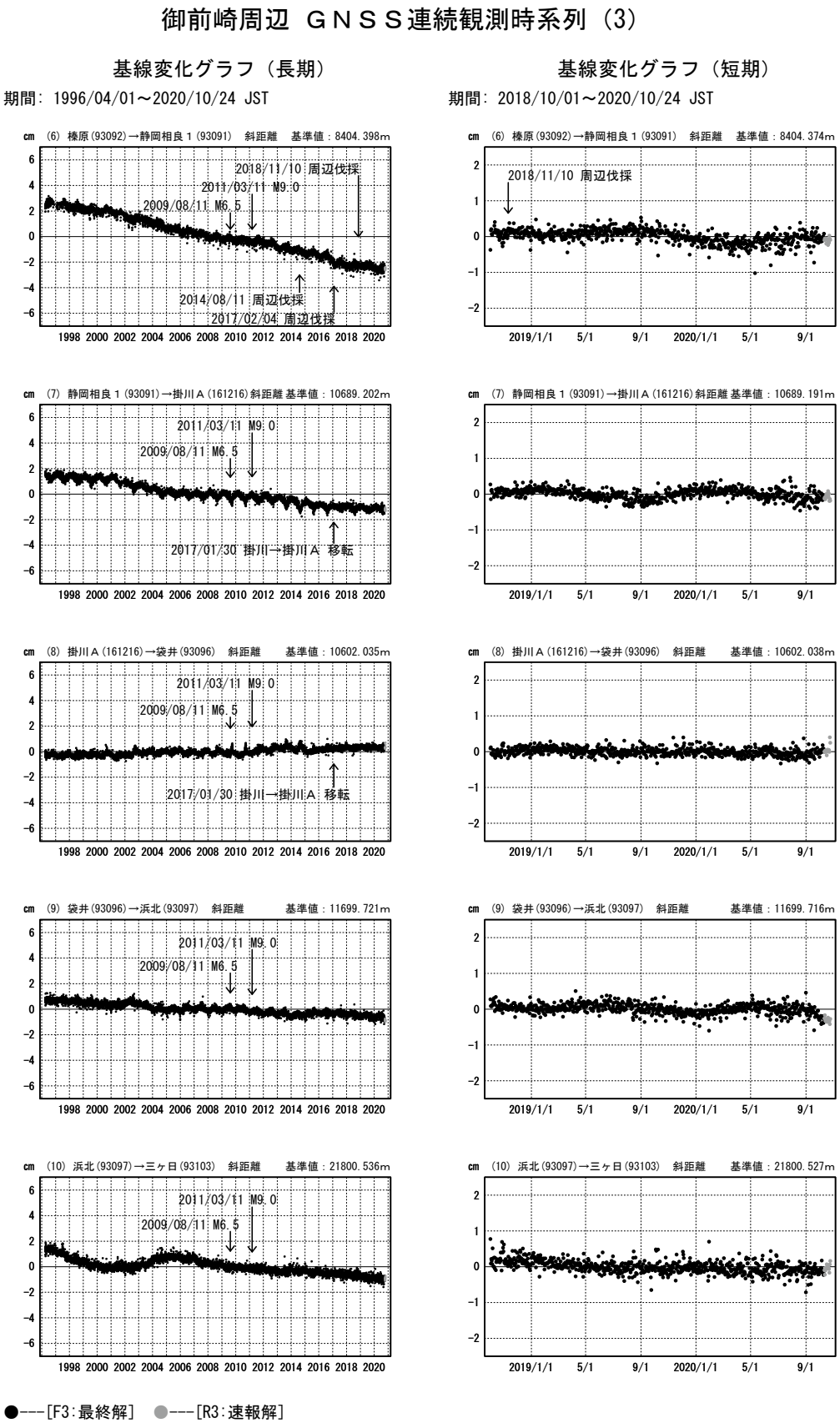
Fig. 13　Results of continuous GNSS measurements in the Omaezaki region (baseline map and history of the site maintenance).

御前崎周辺　ＧＮＳＳ連続観測時系列（2）



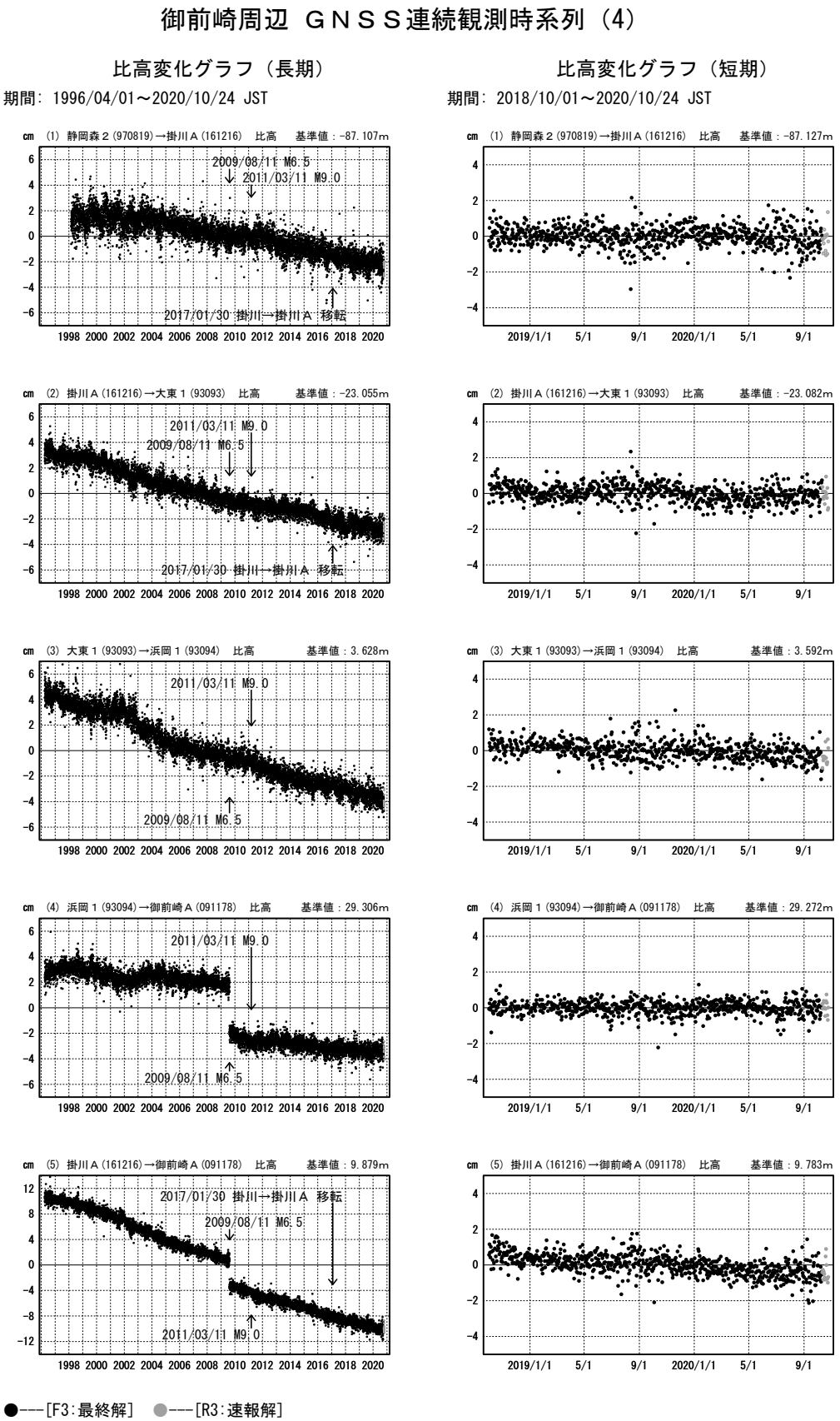
第 14 図　御前崎周辺 GNSS 連続観測点観測結果（斜距離）(1)

Fig. 14　Results of continuous GNSS measurements in the Omaezaki region (baseline length) (1/2).



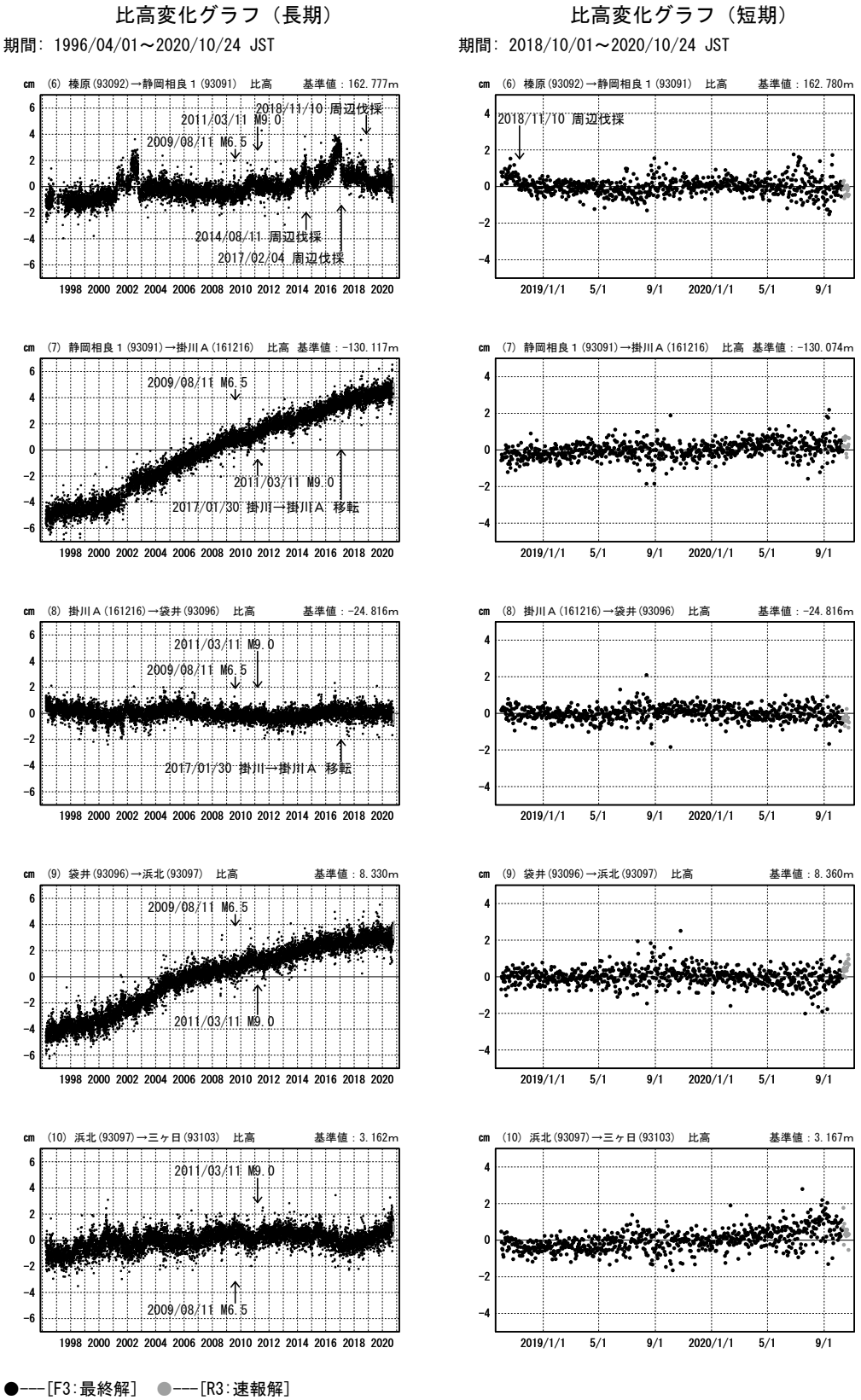
第 15 図　御前崎周辺 GNSS 連続観測点観測結果（斜距離）(2)

Fig. 15　Results of continuous GNSS measurements in the Omaezaki region (baseline length) (2/2).



第 16 図　御前崎周辺 GNSS 連続観測点観測結果（比高）(1)
Fig. 16　Results of continuous GNSS measurements in the Omaezaki region (relative height) (1/2).

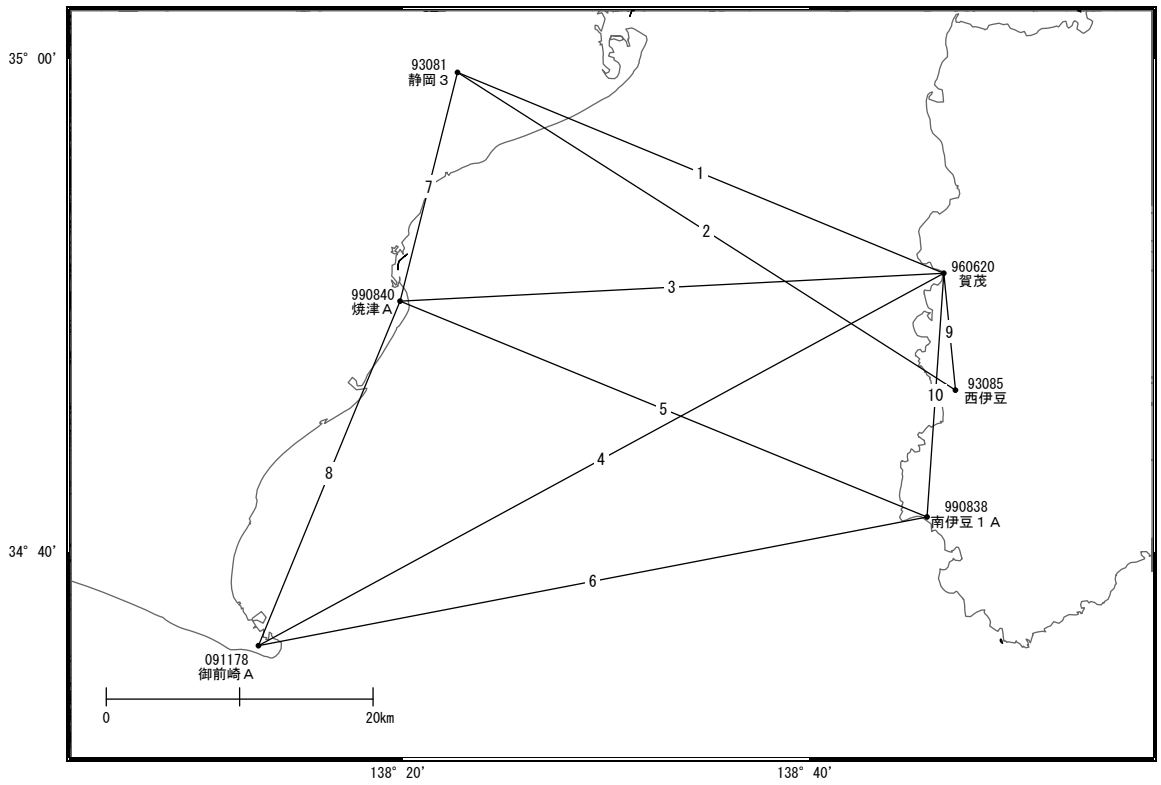
御前崎周辺　ＧＮＳＳ連続観測時系列（5）



第 17 図　御前崎周辺 GNSS 連続観測点観測結果（比高）(2)
Fig. 17　Results of continuous GNSS measurements in the Omaezaki region (relative height) (2/2).

駿河湾周辺　ＧＮＳＳ連続観測時系列（1）

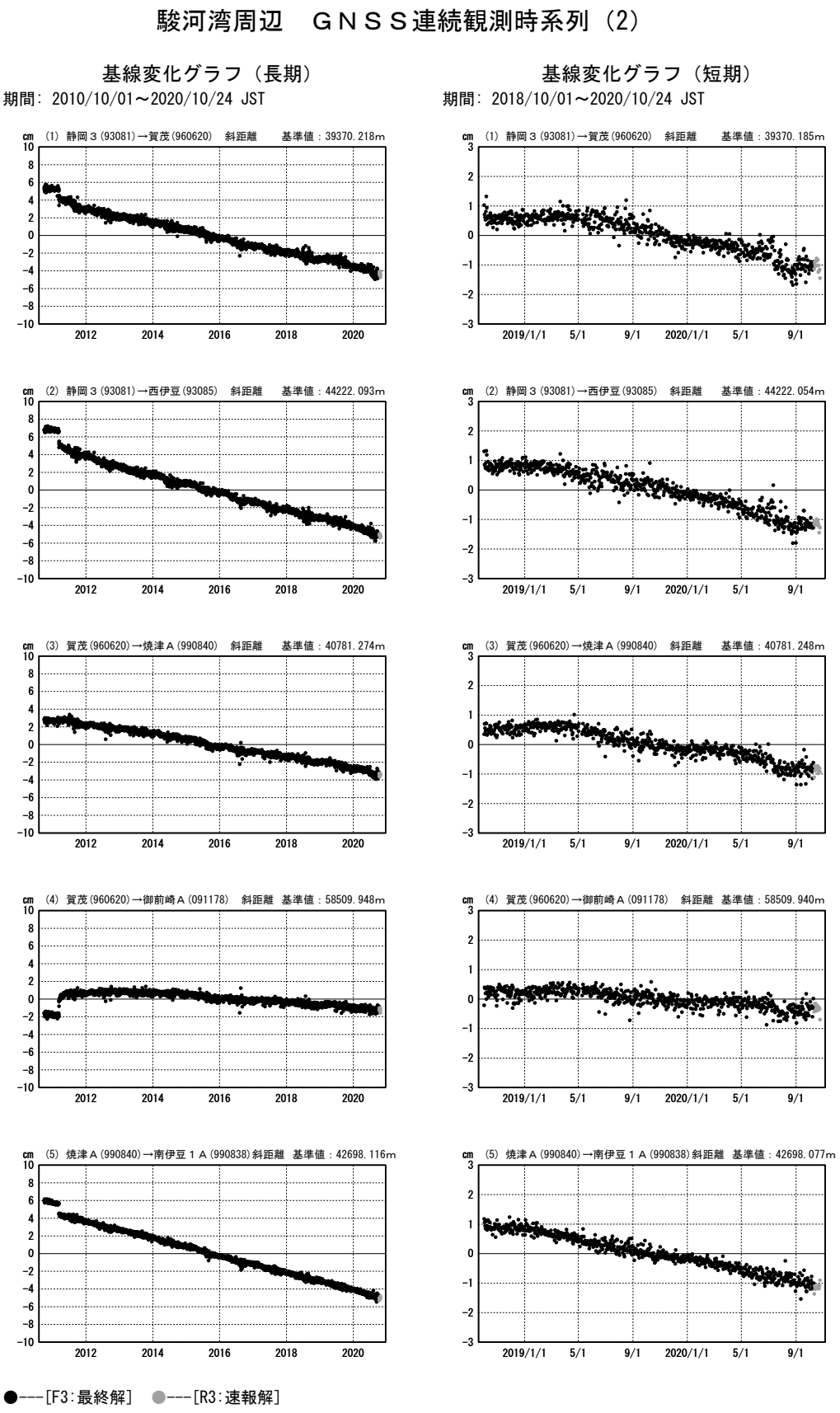
基線図



各観測局情報

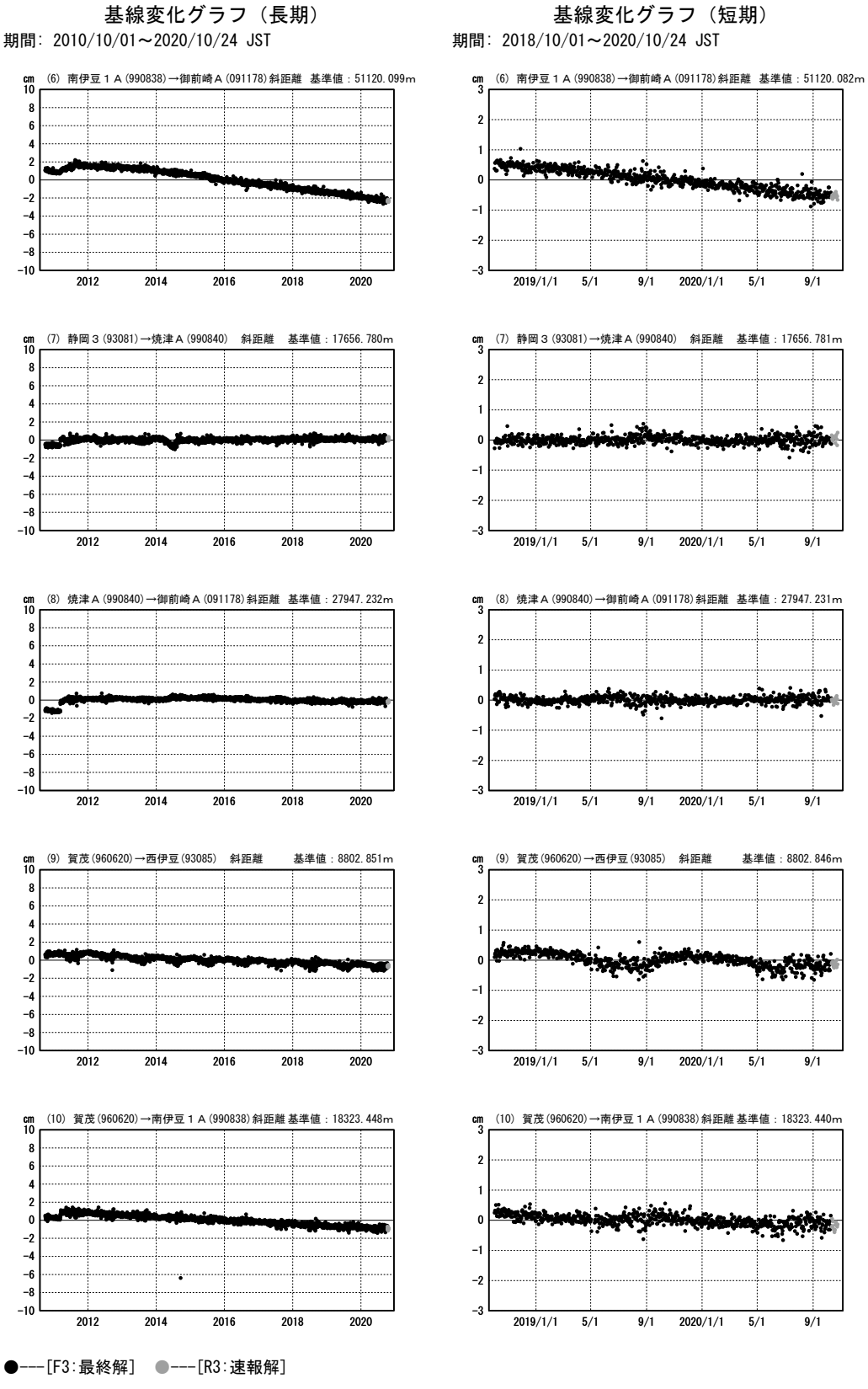
点番号	点　名	日　付	保　守　内　容
93081	静岡３	2012/09/04	受信機交換
		2012/11/22	アンテナ更新・受信機交換
		2014/08/11	周辺伐採
		2019/01/25	周辺伐採
93085	西伊豆	2012/12/03	アンテナ更新・受信機交換
990838	南伊豆1A	2012/10/22	アンテナ更新
		2018/01/19	受信機交換
990840	焼津A	2010/12/08	受信機交換
		2011/08/06	受信機交換
		2012/11/29	アンテナ更新・受信機交換
		2014/06/04	周辺伐採
		2015/06/04	アンテナ交換
		2019/11/19	受信機交換
960620	賀茂	2012/10/22	アンテナ更新・受信機交換
		2019/10/24	受信機交換
091178	御前崎A	2012/11/28	アンテナ更新・受信機交換
		2019/10/09	受信機交換

第 18 図　駿河湾周辺 GNSS 連続観測点観測結果（基線図及び保守状況）
Fig. 18　Results of continuous GNSS measurements around the Suruga Bay (Baseline map and history of the site maintenance).

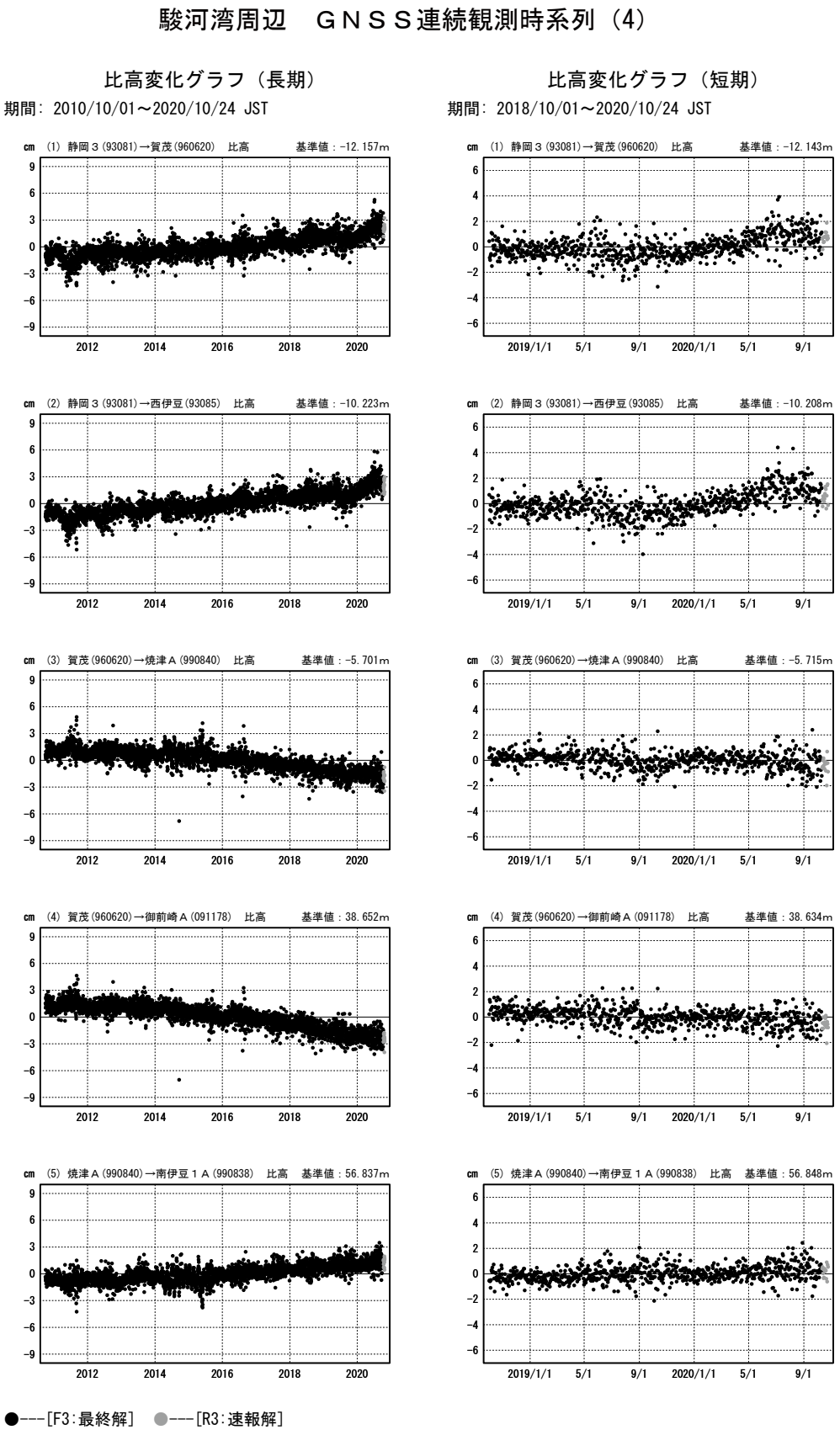


第 19 図　駿河湾周辺 GNSS 連続観測点観測結果（斜距離）（1）
Fig. 19　Results of continuous GNSS measurements around the Suruga Bay (baseline length)(1/2).

駿河湾周辺　ＧＮＳＳ連続観測時系列（3）

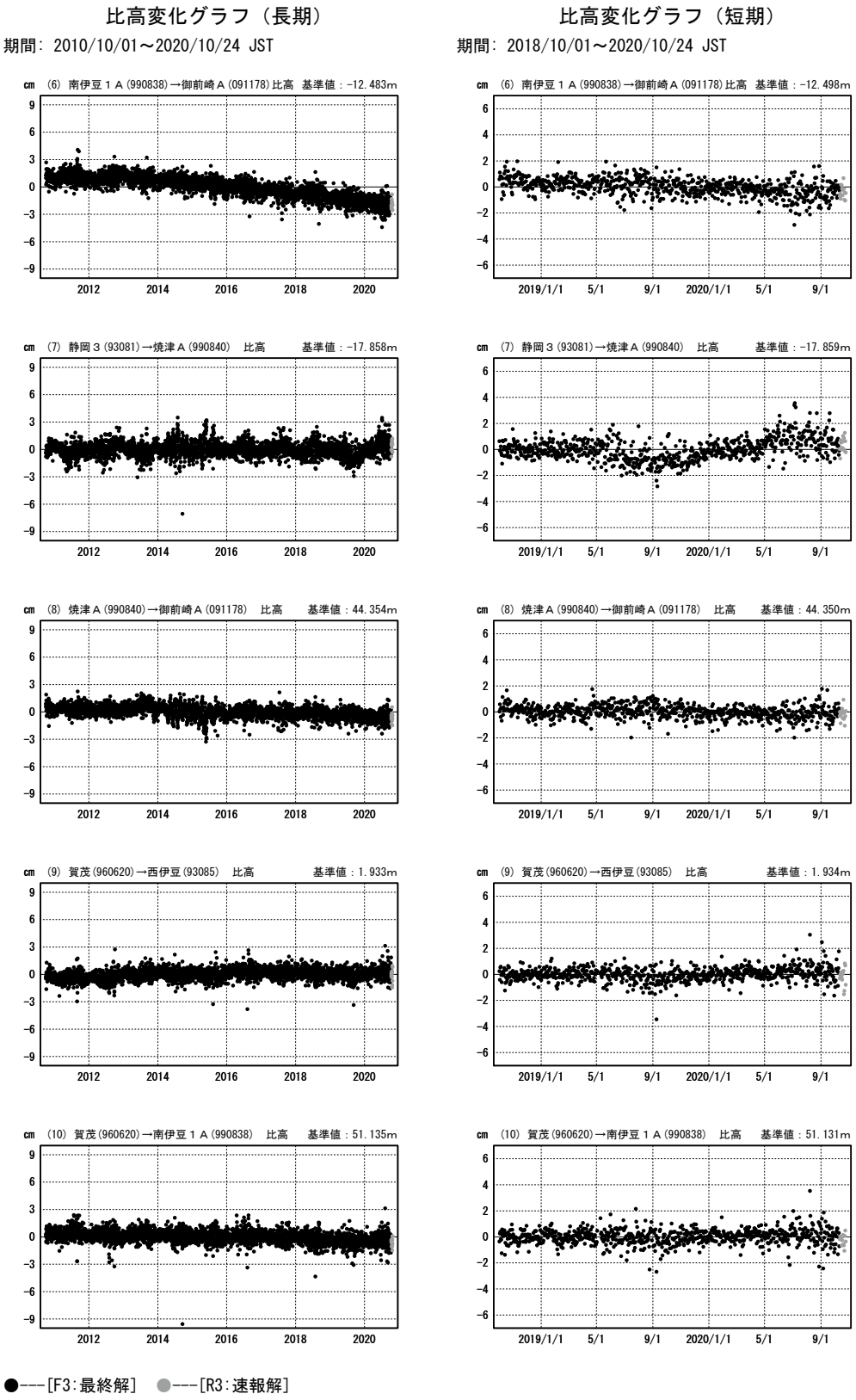


第 20 図　駿河湾周辺 GNSS 連続観測点観測結果（斜距離）（2）
Fig. 20　Results of continuous GNSS measurements around the Suruga Bay (baseline length) (2/2).

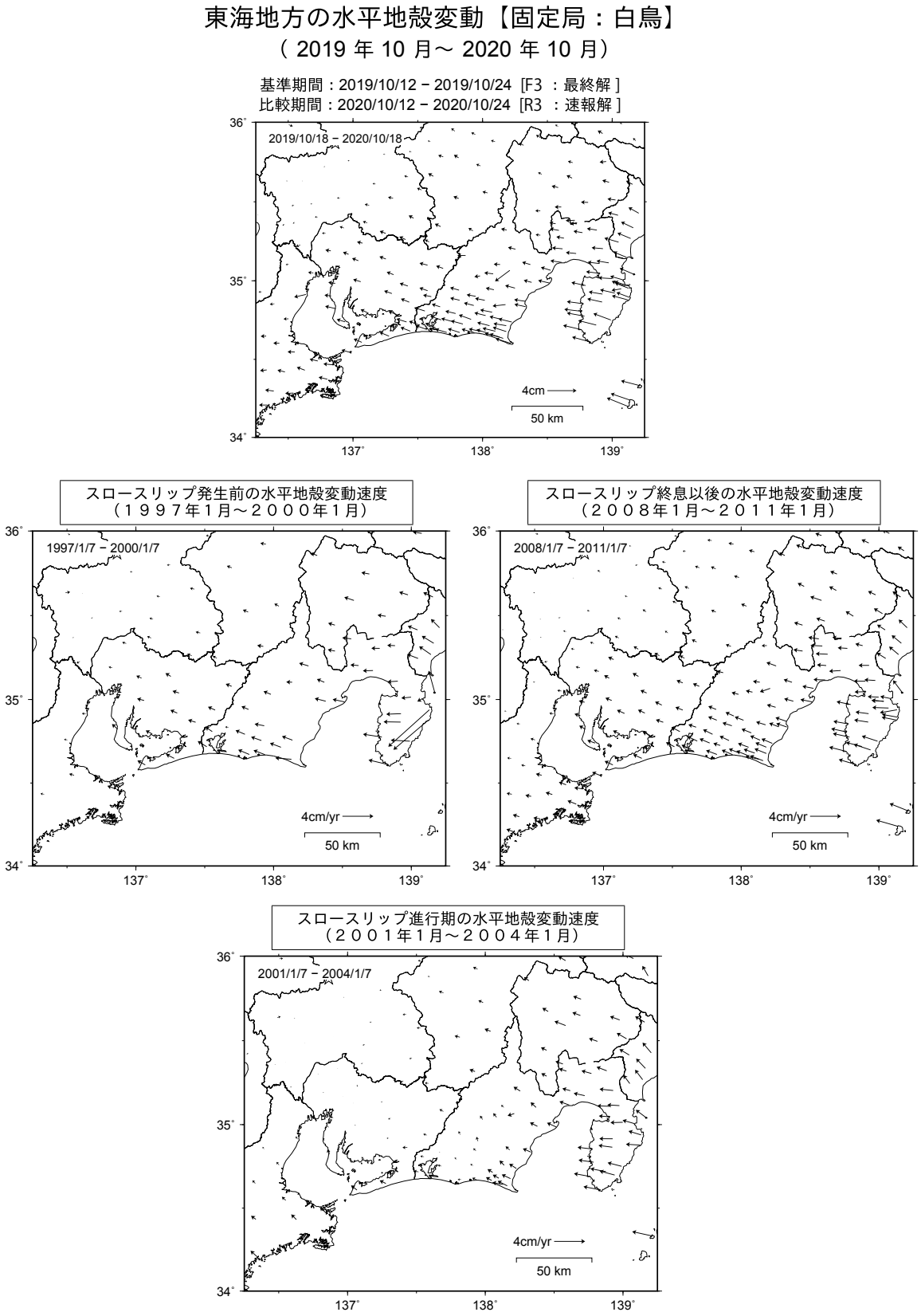


第 21 図　駿河湾周辺 GNSS 連続観測点観測結果（比高）（1）
Fig. 21　Results of continuous GNSS measurements around the Suruga Bay (relative height) (1/2).

駿河湾周辺　ＧＮＳＳ連続観測時系列（5）

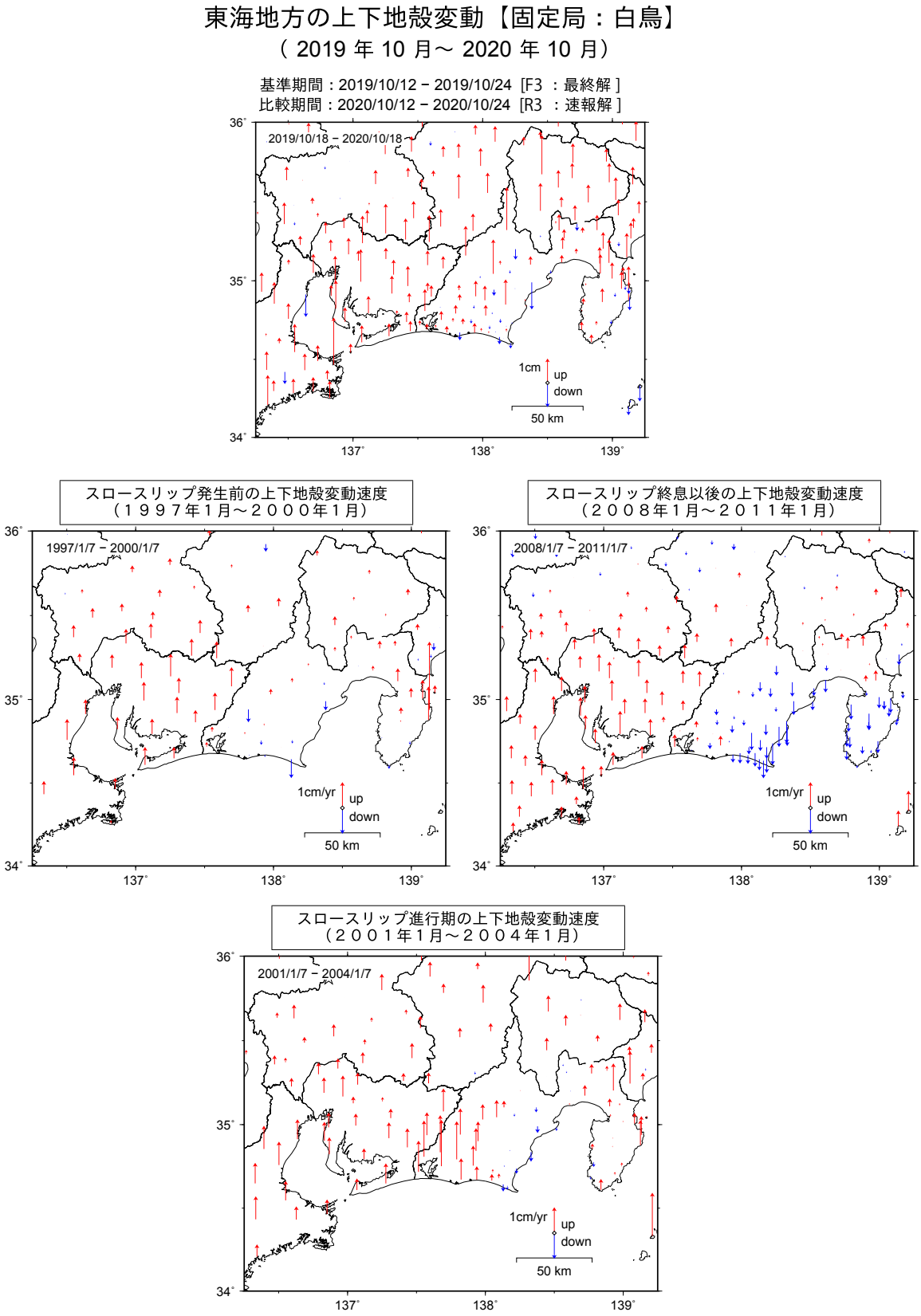


第 22 図　駿河湾周辺 GNSS 連続観測点観測結果（比高）(2)
Fig. 22　Results of continuous GNSS measurements around the Suruga Bay (relative height) (2/2).



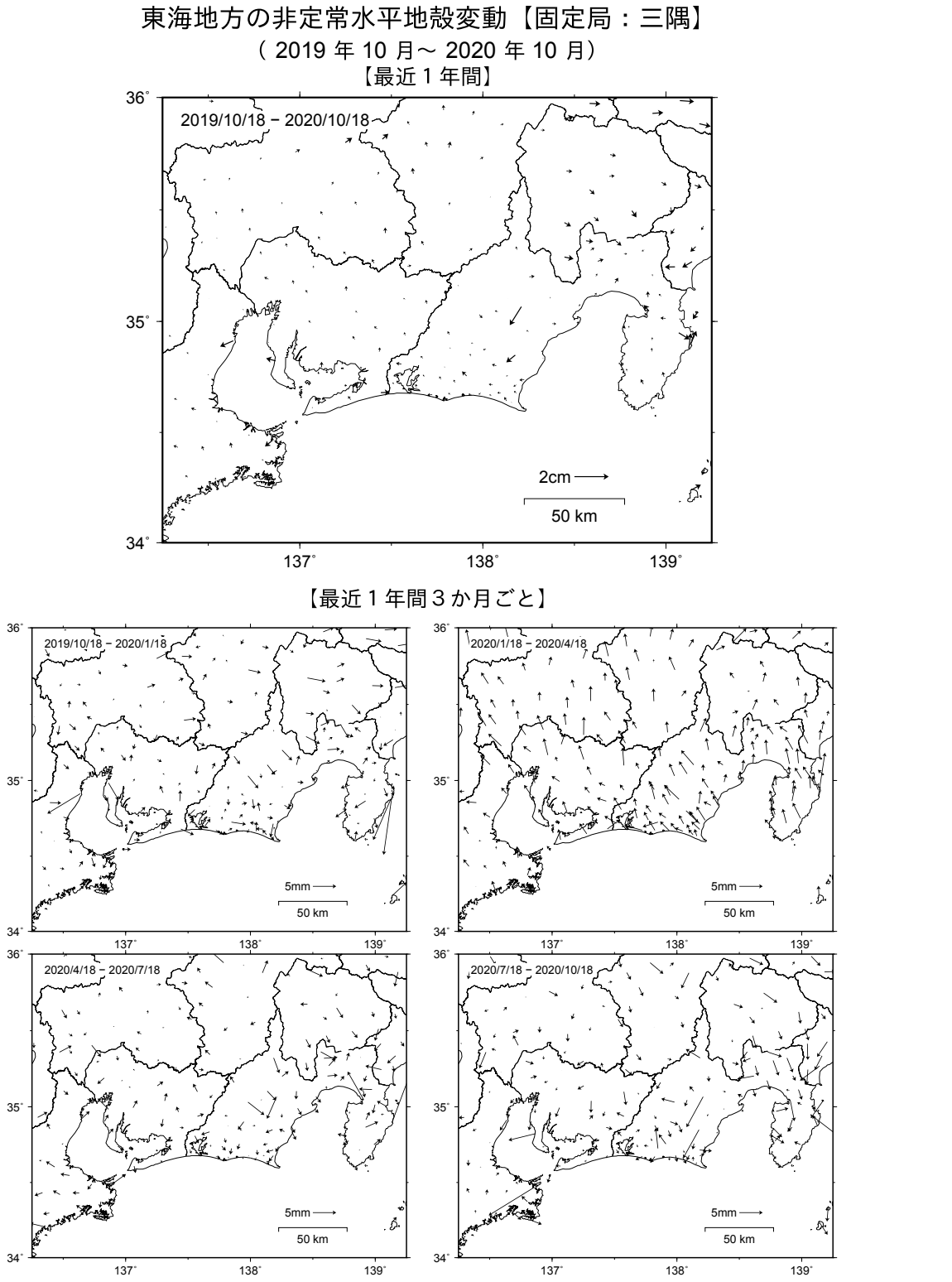
第 23 図　GNSS 観測による東海地方の最近 1 年間の水平変動及びスロースリップ開始前・進行期・終息後の水平変動速度（三隅固定）

Fig. 23　Horizontal deformation of recent 1 year in the Tokai region based on GNSS measurements and horizontal deformation rates before (middle left), during (lower) and after (middle right) the Tokai slow slip (fixed Misumi).



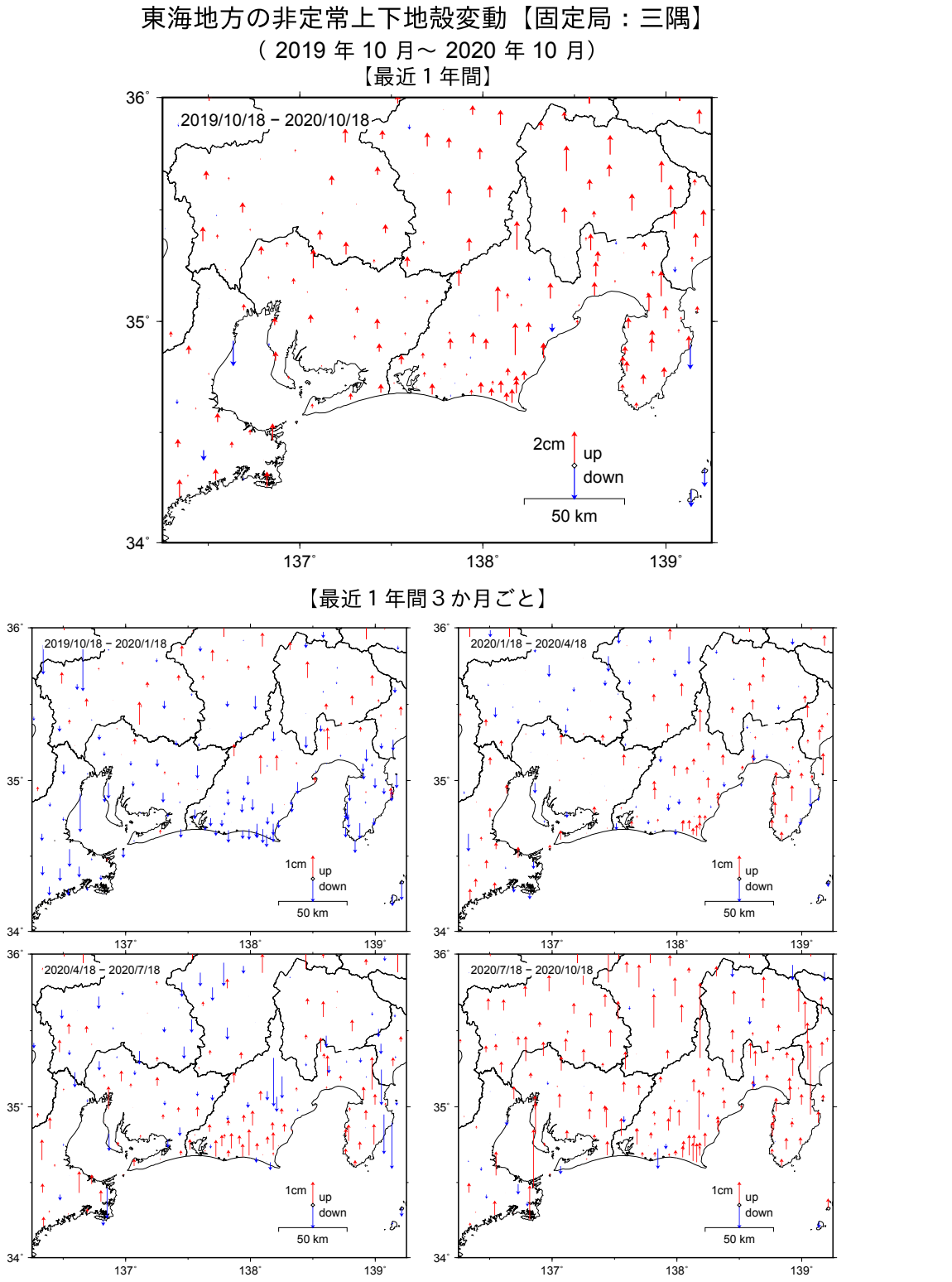
第 24 図　GNSS 観測による東海地方の最近 1 年間の水平変動及びスロースリップ開始前・進行期・終息後の上下変動速度（三隅固定）

Fig. 24　Vertical deformation of recent 1 year in the Tokai region based on GNSS measurements and vertical deformation rates before (middle left), during (lower) and after (middle right) the Tokai slow slip (fixed Misumi).



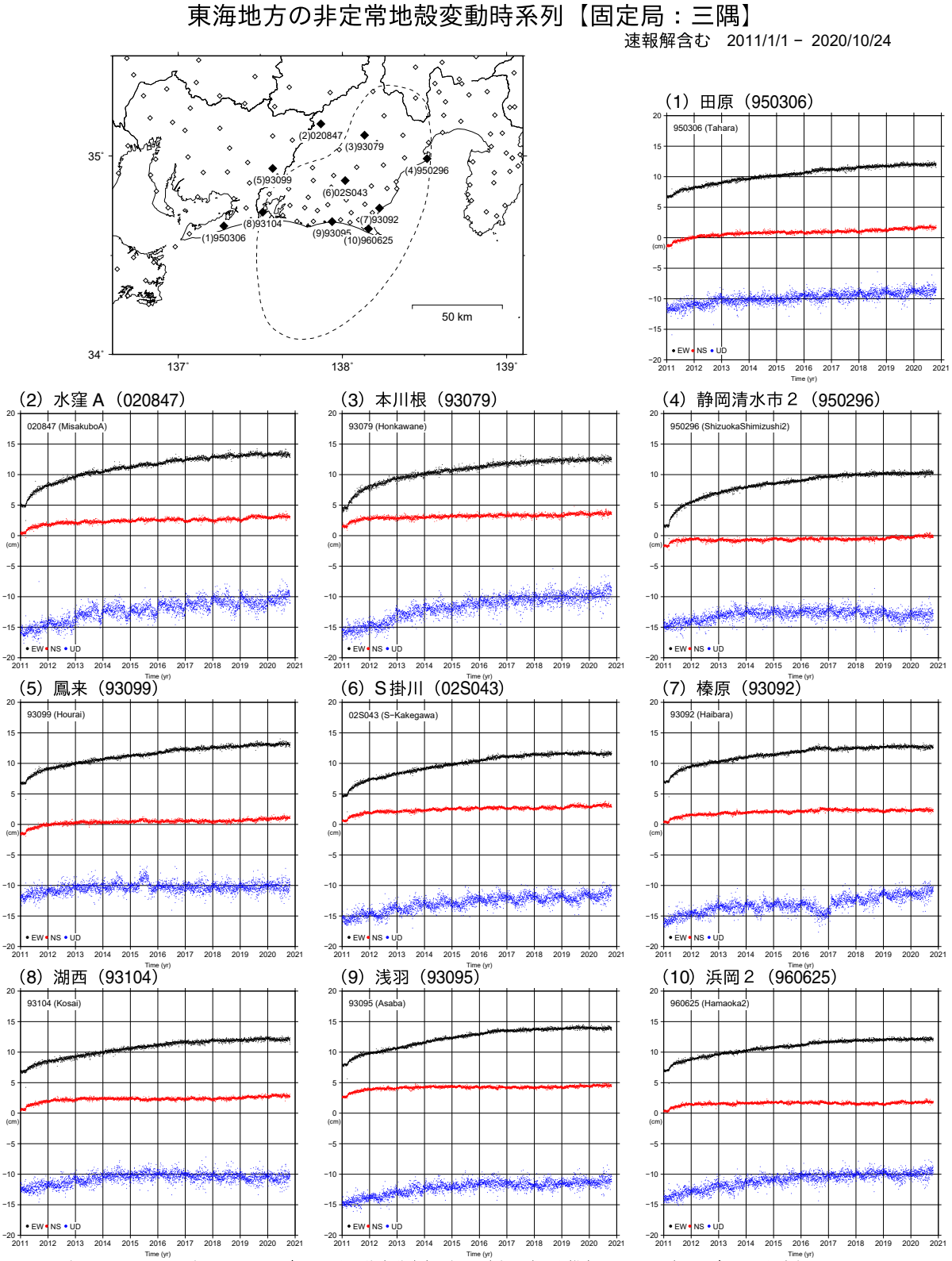
・非定常地殻変動時系列のうち、各日付 ± 6 日の計 13 日間の変動量の中央値をとり、その差から 1 年間と 3 か月間の変動量を表示している。
※非定常地殻変動時系列：
2008 年 1 月から 2011 年 1 月のデータから平均変動速度、年周／半年周成分を推定して、元の時系列データから除去した時系列。

第 25 図　GNSS 観測による東海地方の最近 1 年間と 3 か月ごとの非定常地殻変動（水平変動）
Fig. 25　Transient horizontal deformation of recent 1 year and every 3 months in the Tokai region.



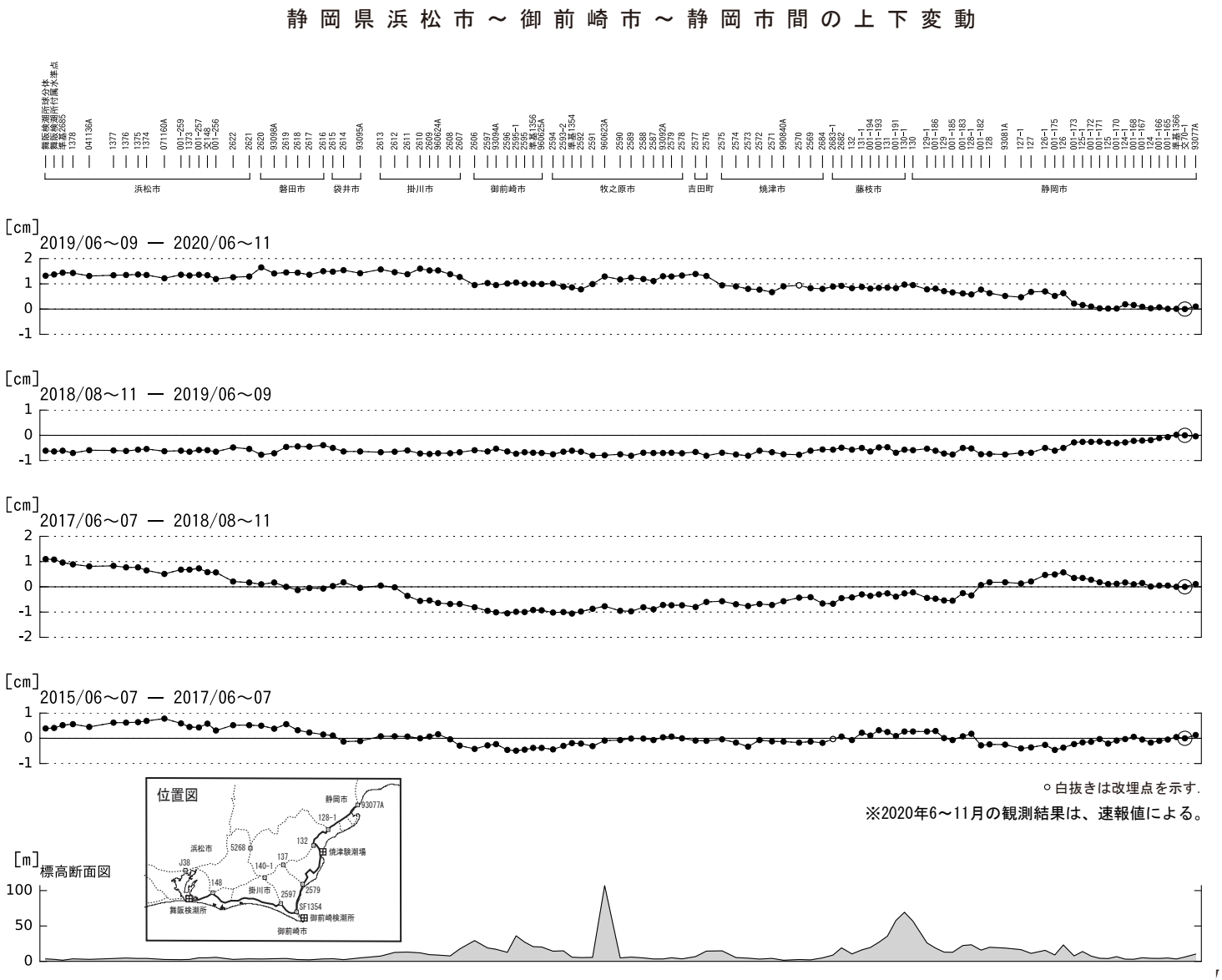
・非定常地殻変動時系列のうち、各日付 ± 6 日の計 13 日間の変動量の中央値をとり、その差から 1 年間と 3 か月間の変動量を表示している。
※非定常地殻変動時系列：
2008 年 1 月から 2011 年 1 月のデータから平均変動速度、年周／半年周成分を推定して、元の時系列データから除去した時系列。

第 26 図　GNSS 観測による東海地方の最近 1 年間と 3 か月ごとの非定常地殻変動（上下変動）
Fig. 26　Transient vertical deformation of recent 1 year and every 3 months in the Tokai region.



・2008 年 1 月 1 日～2011 年 1 月 1 日のデータから平均変動速度、年周/ 半年周成分を推定して、元の時系列データから除去している。
・平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による地殻変動の影響は取り除いている。
・平成 28 年（2016 年）熊本地震による固定局三隅の地殻変動は補正している。

第 27 図　東海地方の非定常地殻変動時系列
Fig. 27　Time series of transient deformation at selected stations in the Tokai region.



第 28 図　浜松市～御前崎市～静岡市間の上下変動

Fig. 28　Vertical displacements from Hamamatsu city to Shizuoka city via Omaezaki city.

６－２　東海・南関東地域におけるひずみ観測結果（2020 年５月～ 10 月）
Observation of Crustal Strain by Borehole Strainmeters in the Tokai and Southern Kanto Districts (May – October 2020)

気象庁
Japan Meteorological Agency
気象研究所
Meteorological Research Institute, JMA

東海から南関東地域における埋込式体積ひずみ計 [1]，多成分ひずみ計 [2] の配置と区域分けを第 1 図に示す．体積ひずみ（多成分ひずみ計は面積ひずみへの換算値）の 2013 年以降の変化を第 2 図に，2020 年 5 月から 10 月までの変化を第 3 図に示す．多成分ひずみ計の同期間の変化を第 4 図に示す．主ひずみの方向と大きさ，最大せん断ひずみ及び面積ひずみは，広域ひずみに換算している [3]．

2020 年 6 月 30 日から 7 月 8 日にかけて，愛知県から三重県で発生したと考えられる短期的ゆっくりすべりに伴う変化が，新城浅谷，田原高松で観測された．（第 3 図（a），第 4 図（i），(j）の *1）（本巻※参照）．

2020 年 8 月 3 日から 7 日にかけて長野県で発生したと考えられる短期的ゆっくりすべりに伴う変化が，売木岩倉，浜松春野，浜松佐久間，浜松宮口，新城浅谷で観測された．（第 3 図（a），第 4 図（b），(c），(d），(h），(i）の *2）（本巻※参照）．

2020 年 9 月 4 日に愛知県で発生したと考えられる短期的ゆっくりすべりに伴う変化が，新城浅谷，売木岩倉，浜松春野，浜松佐久間，田原高松で観測された．（第 3 図（a），第 4 図（b），(c），(h），(i），(j）の *4）（本巻※参照）．

大島津倍付では，火山活動に伴う地殻変動が観測されている（第 2 図（b），第 3 図（c））．

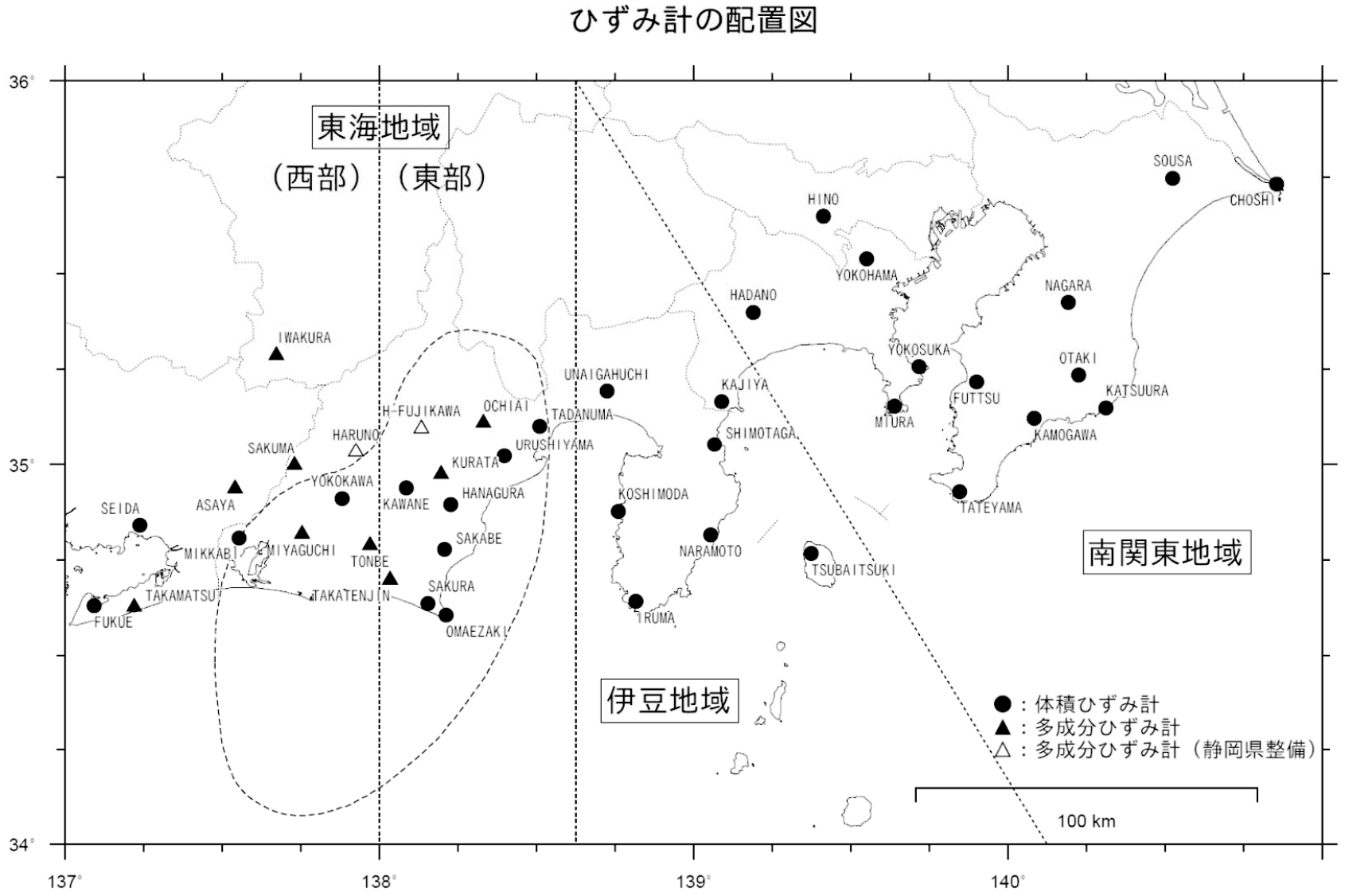
また，東伊豆奈良本と大島津倍付では，地中温度の上昇を主因とする見かけ上の縮みトレンドが続いている（第 2 図（b））[4), 5)]．

この他，各図に記述したように，降水による影響と見られる変化，季節要因による変化，地点特有の局所的変化などが見られた．

※：「南海トラフ周辺の地殻活動（2020 年 5 月～ 10 月）」（気象庁）

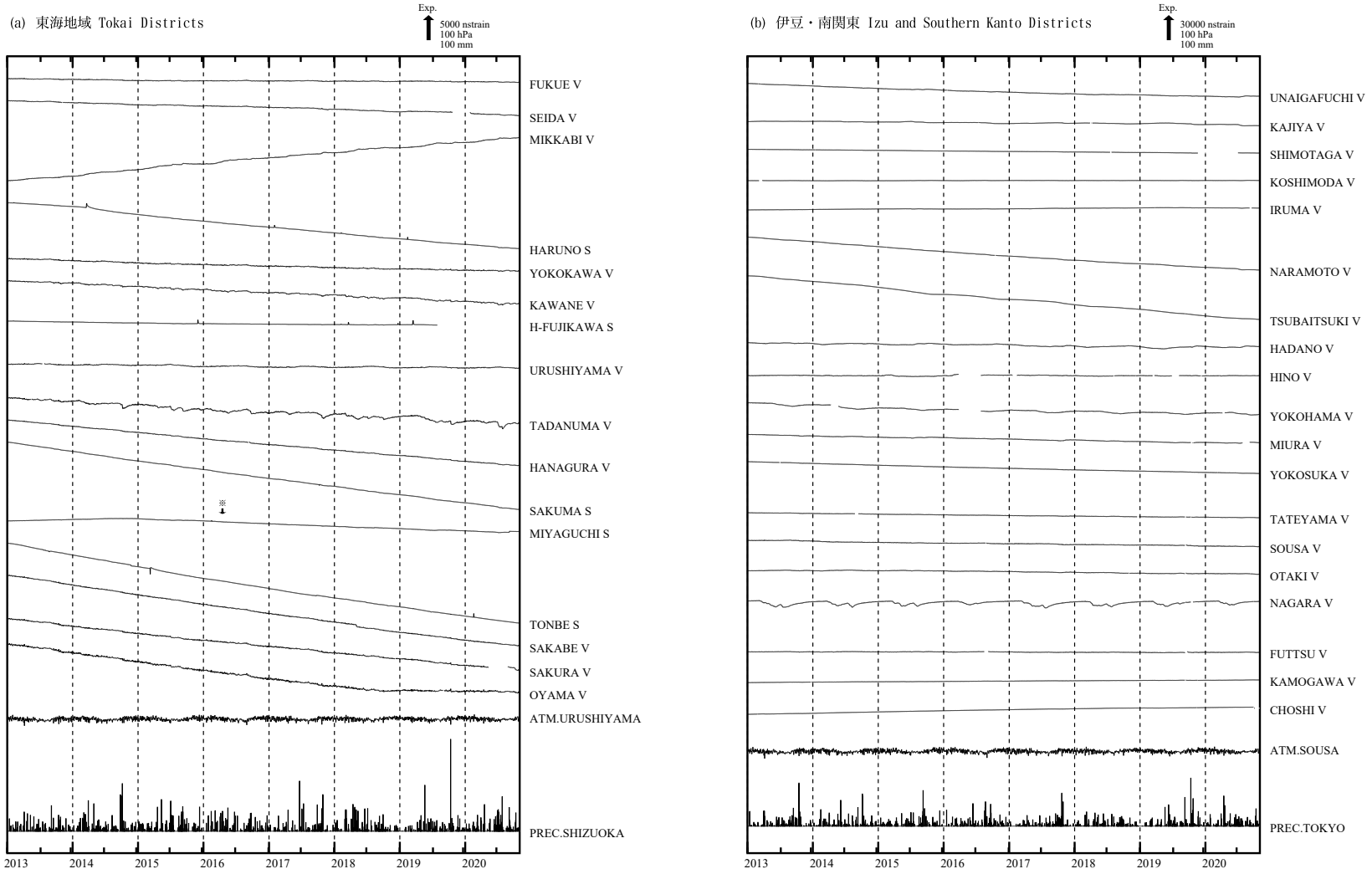
参考文献

1） 二瓶信一・上垣内修・佐藤 馨（1987），*験震時報*，**50**, 65-88. 埋込式体積歪計による観測，1976 年～ 1986 年の観測経過.
2） 石井紘ほか（1992），*地球惑星科学関連学会 1992 年合同大会予稿集*，C22-03．新しい小型多成分ボアホール歪計の開発と観測.
3） 上垣内修ほか（1999），*1999 年度日本地震学会秋季大会予稿集*，B72．気象庁石井式歪計の応答特性解析.
4） 気象庁（2006），*連絡会報*，**77**. 東海・南関東地域における歪観測結果（2006 年 5 月～ 2006 年 10 月）.
5） 気象庁（2007），*連絡会報*，**78**. 東海・南関東地域における歪観測結果（2006 年 11 月～ 2007 年 4 月）.



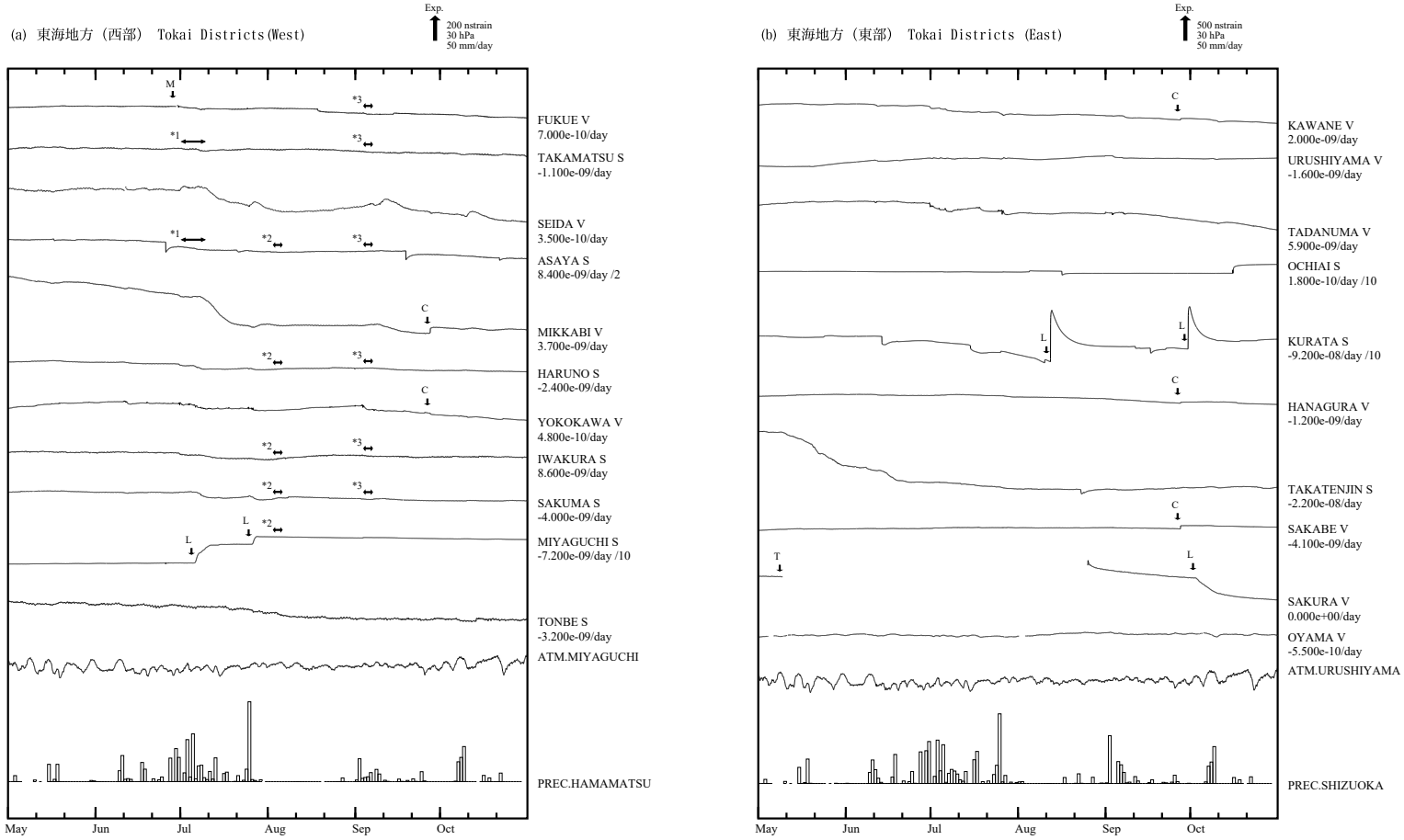
第 1 図　観測点の配置図　●：体積ひずみ計，▲：多成分ひずみ計（気象庁），△：同（静岡県）
Fig. 1　Observation points (borehole strainmeters).

地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行



第 2 図　(a), (b)　2013 年 1 月以後の東海・伊豆・南関東地域における区域別体積ひずみ（V）及び面積ひずみ（S）の変化（日平均値）．各図下部に区域を代表する気圧変化と降水量を示す．

Fig. 2　(a), (b)　Changes in crustal volume strain (V) and area strain (S) for Tokai, Izu and Southern Kanto Districts shown in Fig.1 since January 2013 (daily mean values).

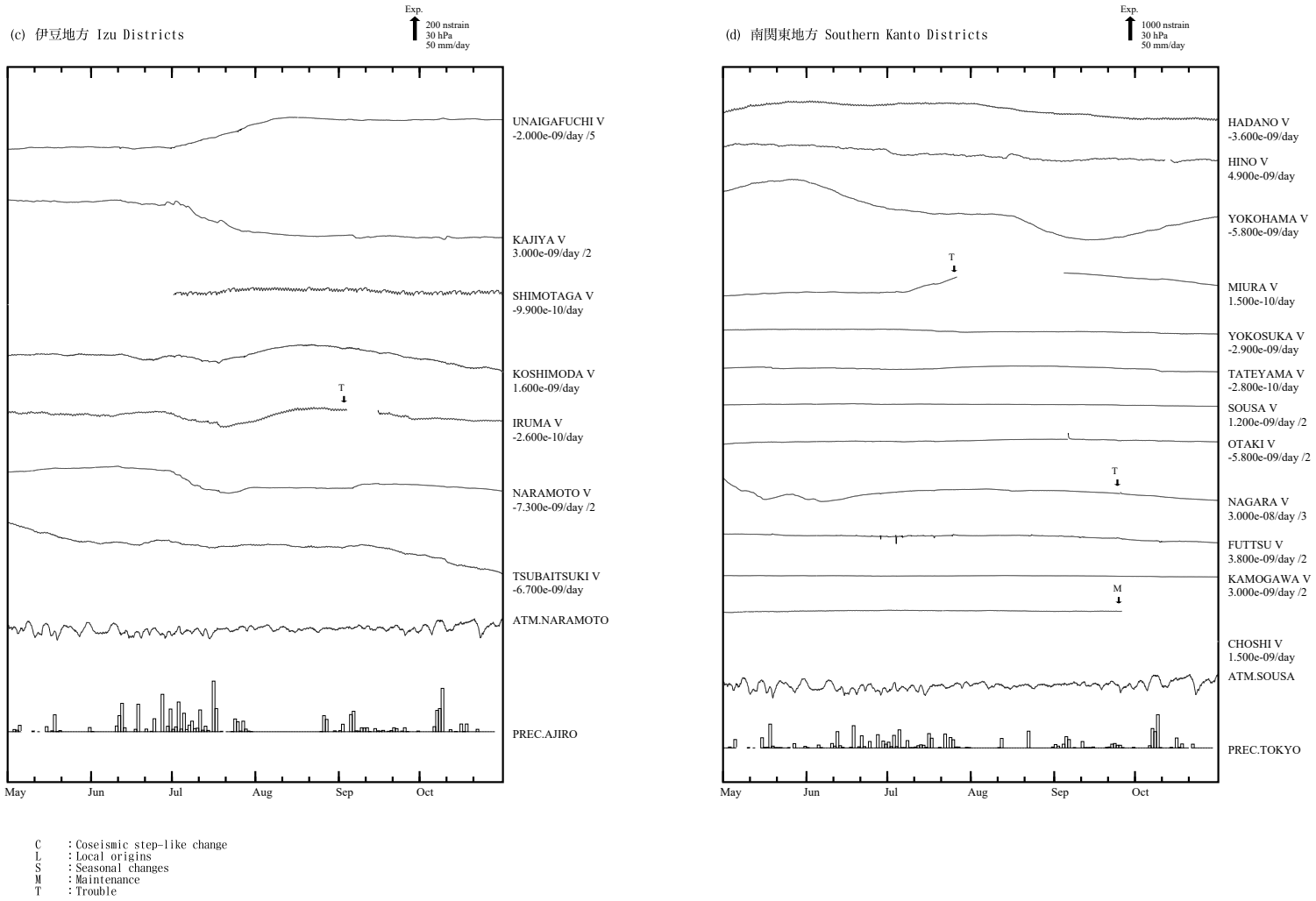


*1 : Slow Slip Event 2020.06.30-07.08
*2 : Slow Slip Event 2020.08.03-08.07
*3 : Slow Slip Event 2020.09.04-09.04

C : Coseismic step-like change
L : Local origins
S : Seasonal changes
M : Maintenance
T : Trouble

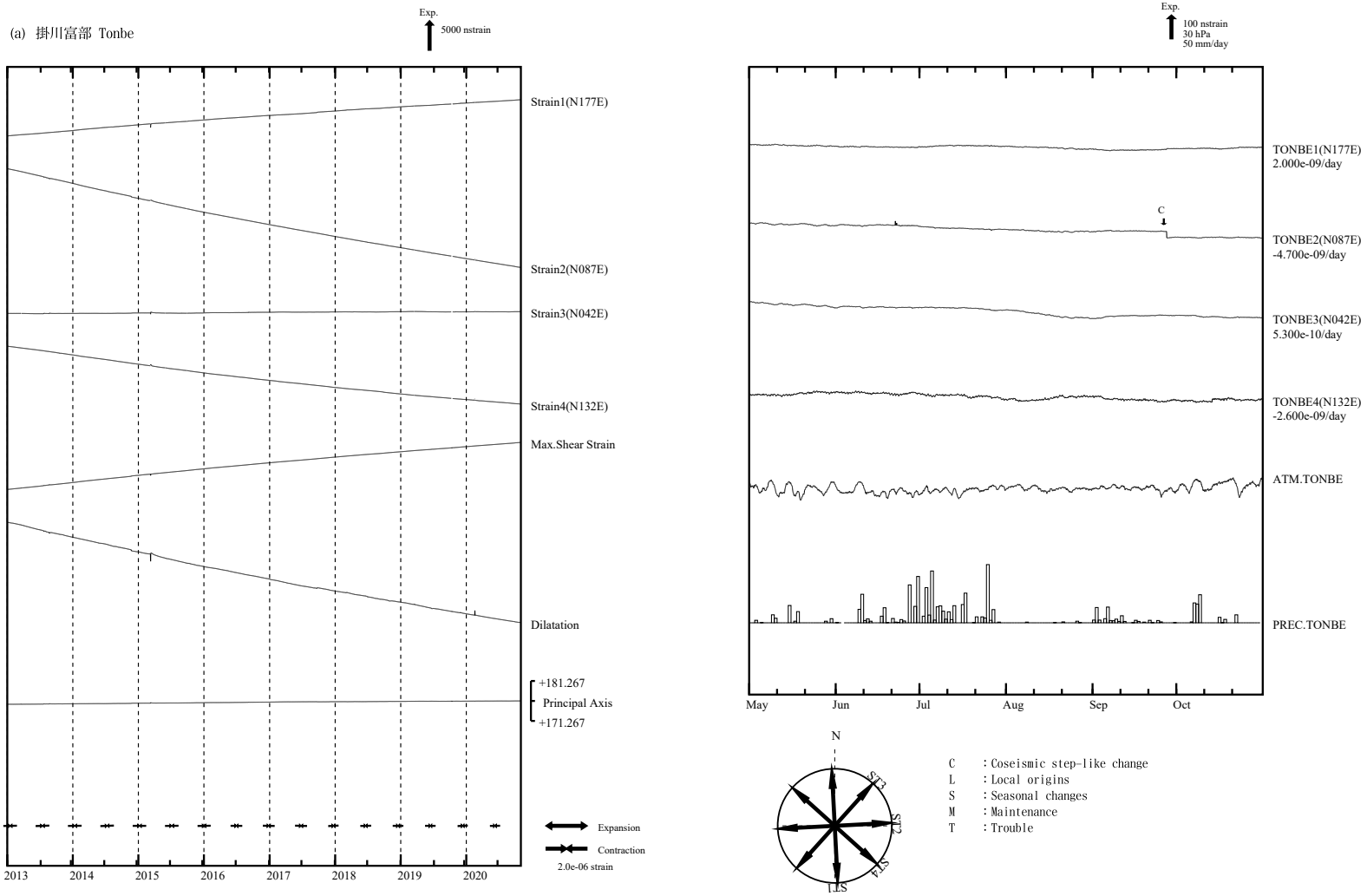
第 3 図 (a), (b)　2020 年 5 月～ 10 月の東海・伊豆・南関東地域における区域別体積ひずみ（V）及び面積ひずみ（S）の変化（時間値：気圧・潮汐・降水補正した値）．各図下部に区域を代表する気圧変化と降水量を示す．地点名の下の D strain/day 及び /M はそれぞれ 1 日あたりのトレンド変化量を D として補正していること及び縮尺を 1/M 倍にして表示していることを示している．

Fig. 3(a), (b)　Changes in crustal volume strain (V) and area strain (S) for Tokai, Izu and Southern Kanto Districts shown in Fig.1 from May to October 2020 (hourly values where changes due to barometric pressure, tidal effects and rain effects are corrected). “D strain/day” and “/M” below station names indicate the amount of trend correction and the magnification factor (1/M), respectively.



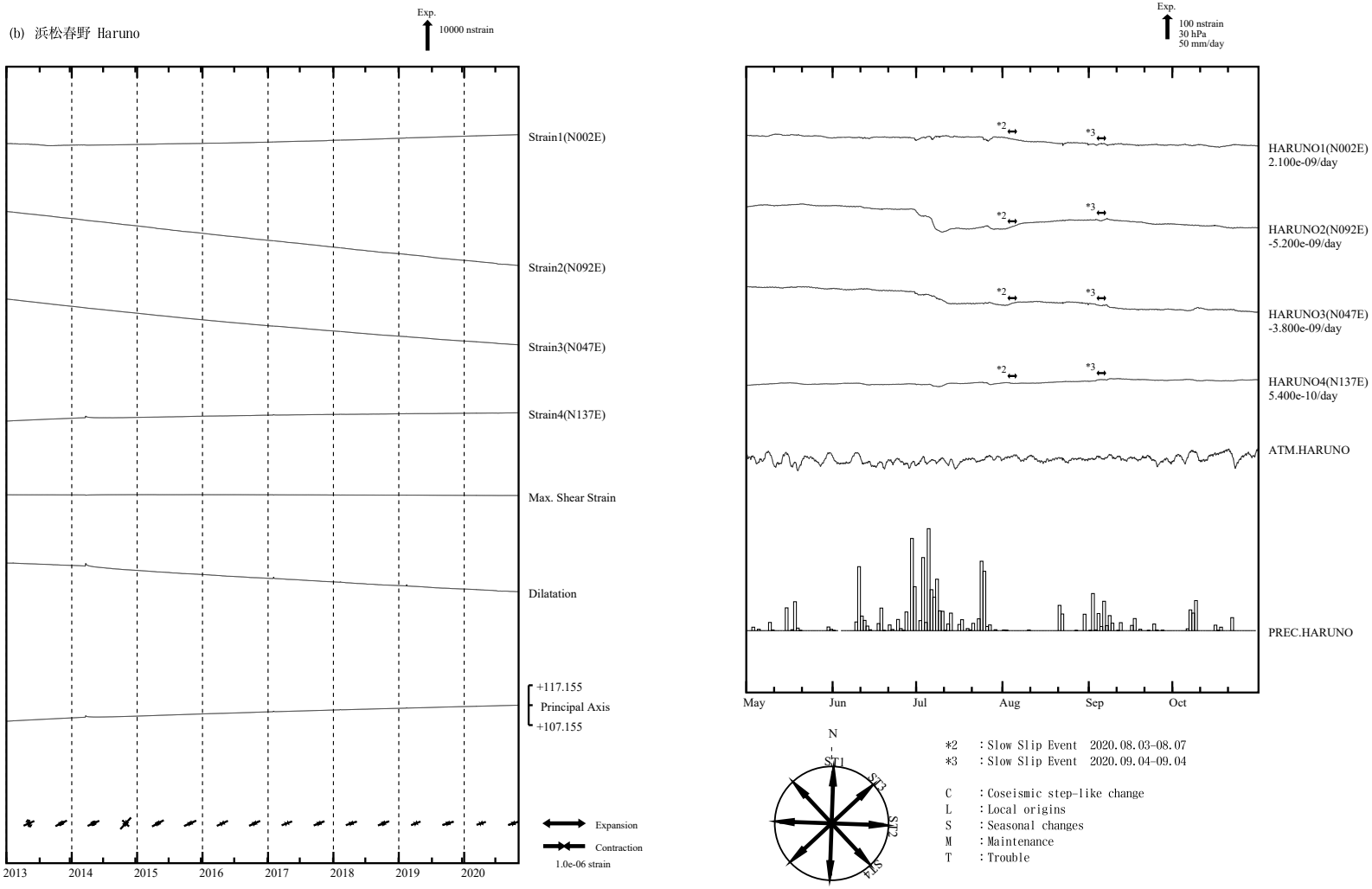
第 3 図 (c), (d)　2020 年 5 月～ 10 月の東海・伊豆・南関東地域における区域別体積ひずみ（V）及び面積ひずみ（S）の変化（時間値：気圧・潮汐・降水補正した値）. 各図下部に区域を代表する気圧変化と降水量を示す. 地点名の下の D strain/day 及び /M はそれぞれ 1 日あたりのトレンド変化量を D として補正していること及び縮尺を 1/M 倍にして表示していることを示している.

Fig. 3(c), (d)　Changes in crustal volume strain (V) and area strain (S) for Tokai, Izu and Southern Kanto Districts shown in Fig.1 from May to October 2020 (hourly values where changes due to barometric pressure, tidal effects and rain effects are corrected). “D strain/day” and “/M” below station names indicate the amount of trend correction and the magnification factor (1/M), respectively.



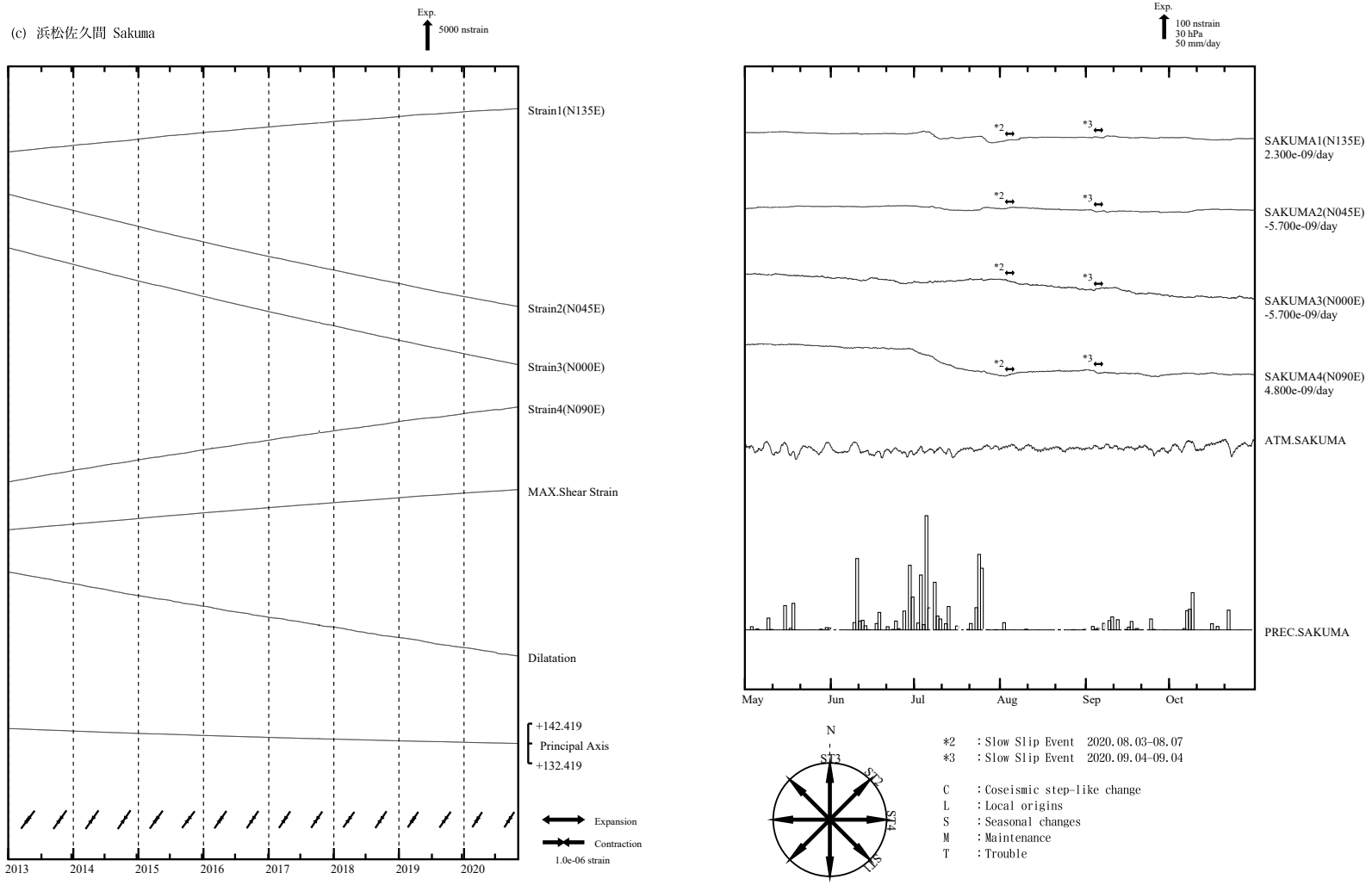
第 4 図 (a)　左：2013 年 1 月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）．主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている．
右：2020 年 5 月～ 10 月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気・降水補正した値）．各図下部に気圧変化と降水量を示す．

Fig. 4(a)　(Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2013 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes from May to October 2020 (hourly values where changes due to barometric pressure, tidal effects, geomagnetic effects and rain effects are corrected) observed by multi-component borehole strainmeters.



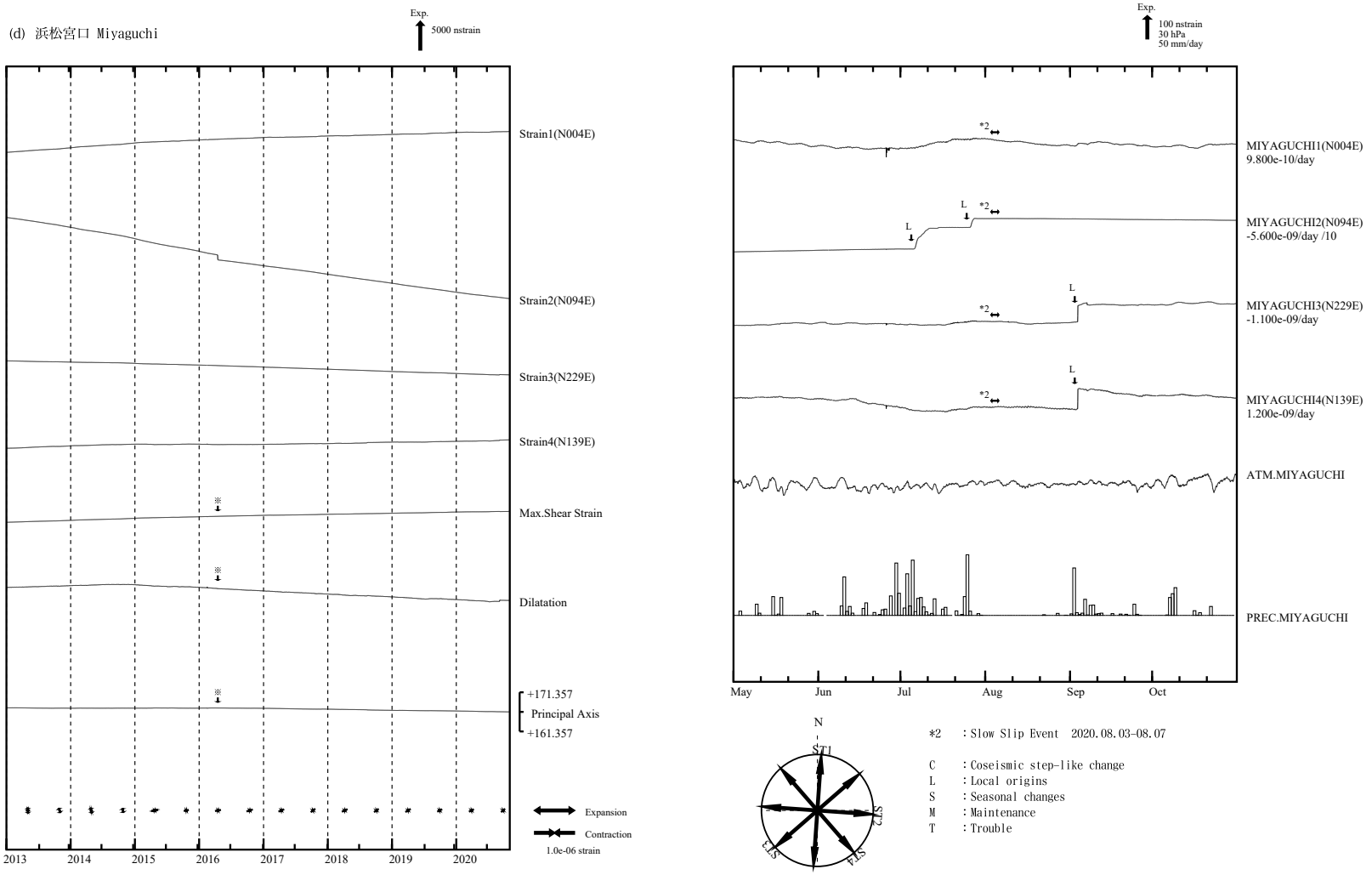
第 4 図 (b)　左：2013 年 1 月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）．主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている．
右：2020 年 5 月～ 10 月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気・降水補正した値）．各図下部に気圧変化と降水量を示す．

Fig. 4(b)　(Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2013 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes from May to October 2020 (hourly values where changes due to barometric pressure, tidal effects, geomagnetic effects and rain effects are corrected) observed by multi-component borehole strainmeters.



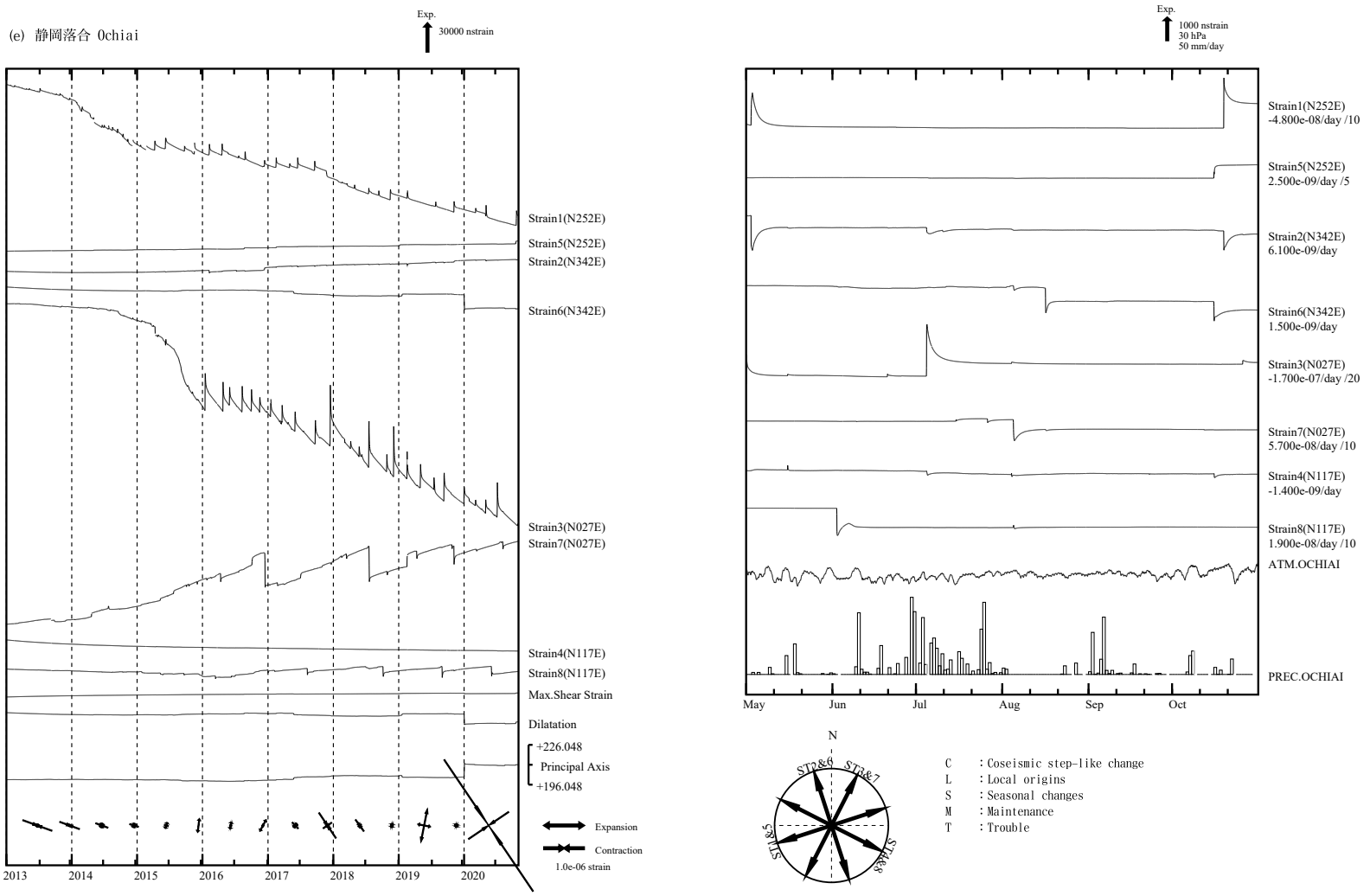
第 4 図 (c) 左：2013 年 1 月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）．主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている．
右：2020 年 5 月～ 10 月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気・降水補正した値）．各図下部に気圧変化と降水量を示す．

Fig. 4(c) (Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2013 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes from May to October 2020 (hourly values where changes due to barometric pressure, tidal effects, geomagnetic effects and rain effects are corrected) observed by multi-component borehole strainmeters.



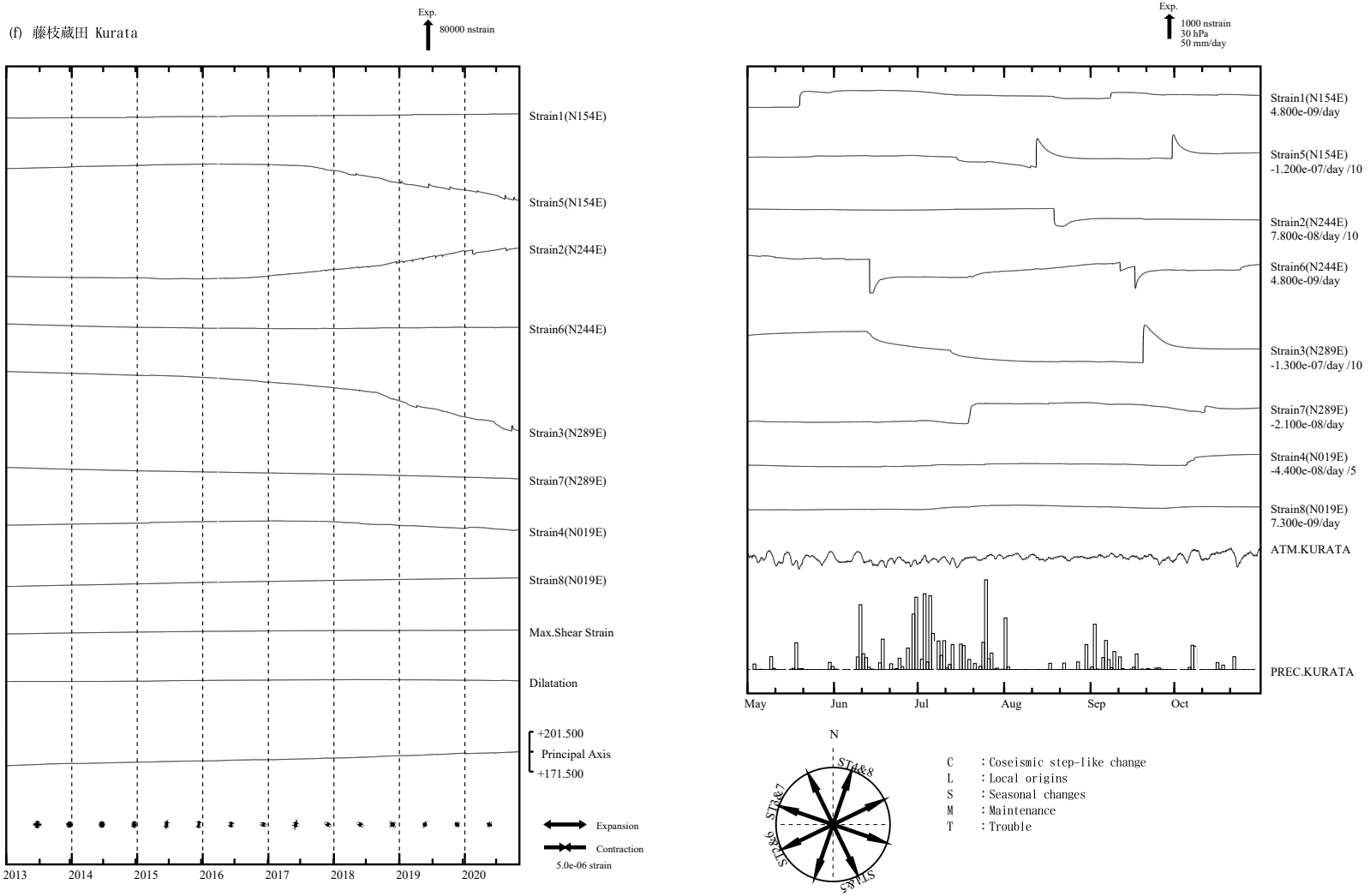
第 4 図 (d)　左：2013 年 1 月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）．主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている．
右：2020 年 5 月～ 10 月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気・降水補正した値）．各図下部に気圧変化と降水量を示す．

Fig. 4(d)　(Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2013 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes from May to October 2020 (hourly values where changes due to barometric pressure, tidal effects, geomagnetic effects and rain effects are corrected) observed by multi-component borehole strainmeters.



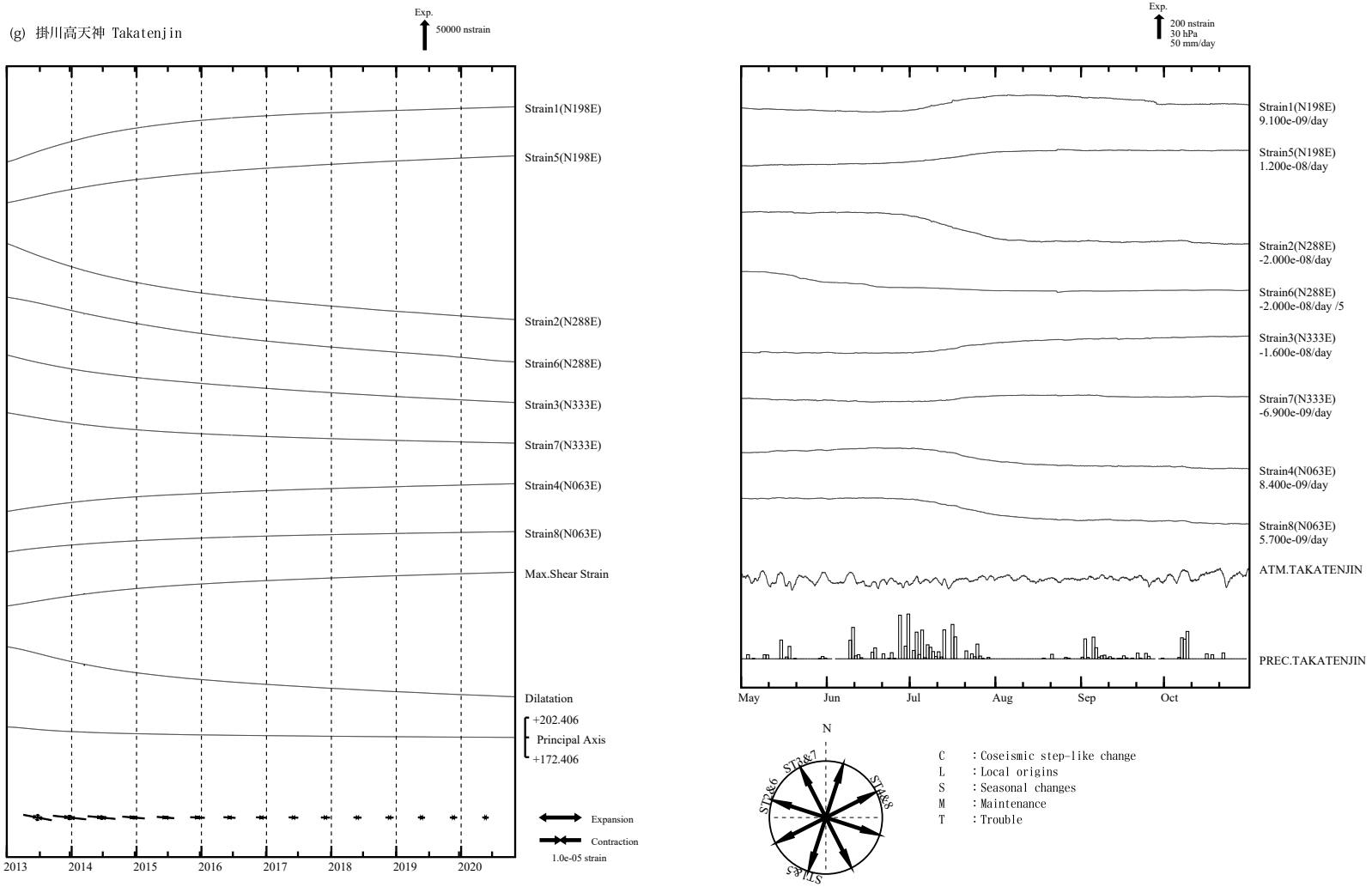
第 4 図 (e)　左：2013 年 1 月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）．主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている．
右：2020 年 5 月～ 10 月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気補正した値）．各図下部に気圧変化と降水量を示す．

Fig. 4(e)　(Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2013 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes from May to October 2020 (hourly values corrected with barometric pressure and tidal and geomagnetic data) observed by multi-component borehole strainmeters.



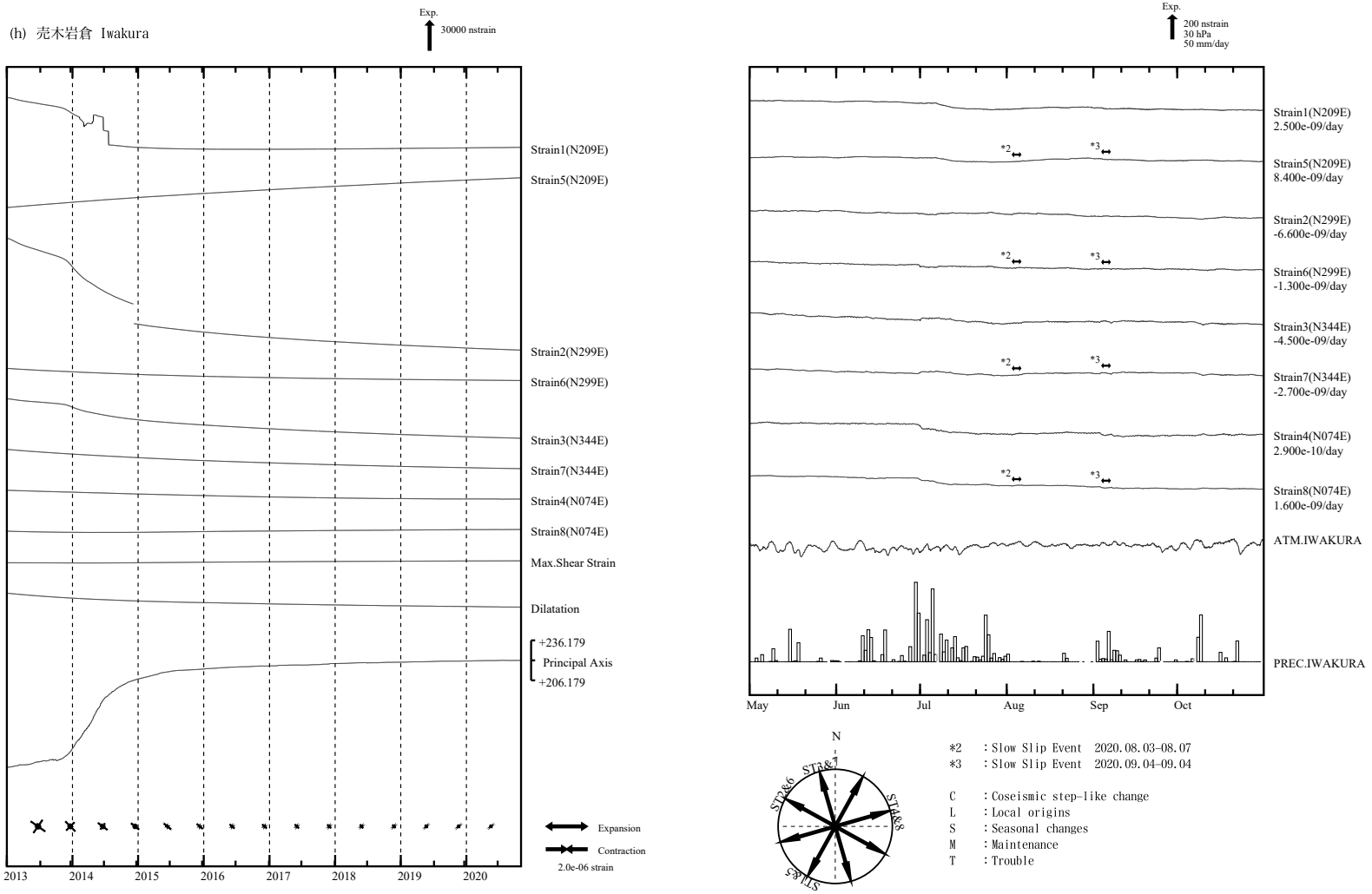
第 4 図 (f)　左：2013 年 1 月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）．主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている．
右：2020 年 5 月～ 10 月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気補正した値）．各図下部に気圧変化と降水量を示す．

Fig. 4(f)　(Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2013 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes from May to October 2020 (hourly values corrected with barometric pressure and tidal and geomagnetic data) observed by multi-component borehole strainmeters.



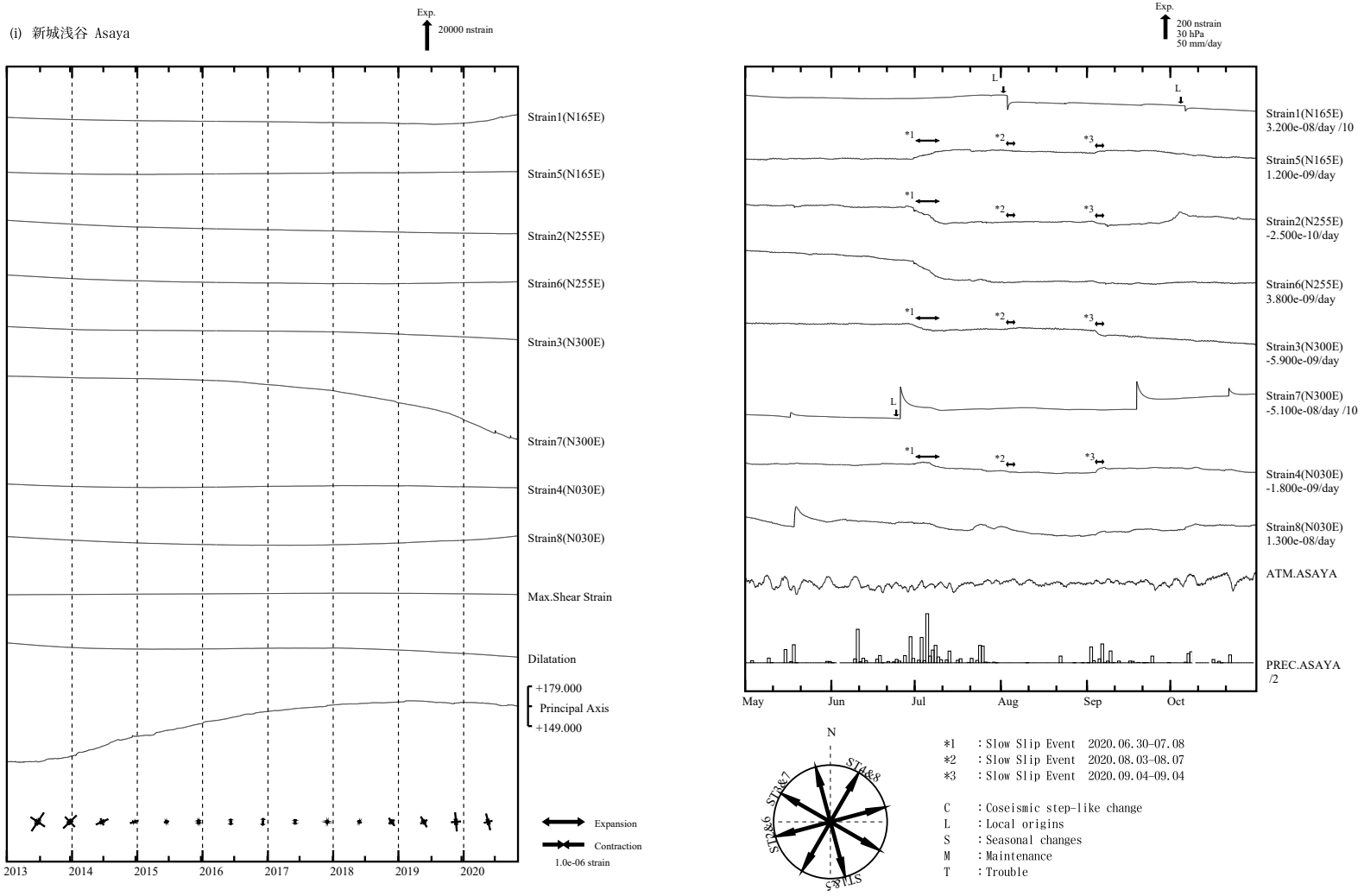
第 4 図 (g)　左：2013 年 1 月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）．主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている．
右：2020 年 5 月～ 10 月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気補正した値）．各図下部に気圧変化と降水量を示す．

Fig. 4(g)　(Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2013 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes from May to October 2020 (hourly values corrected with barometric pressure and tidal and geomagnetic data) observed by multi-component borehole strainmeters.



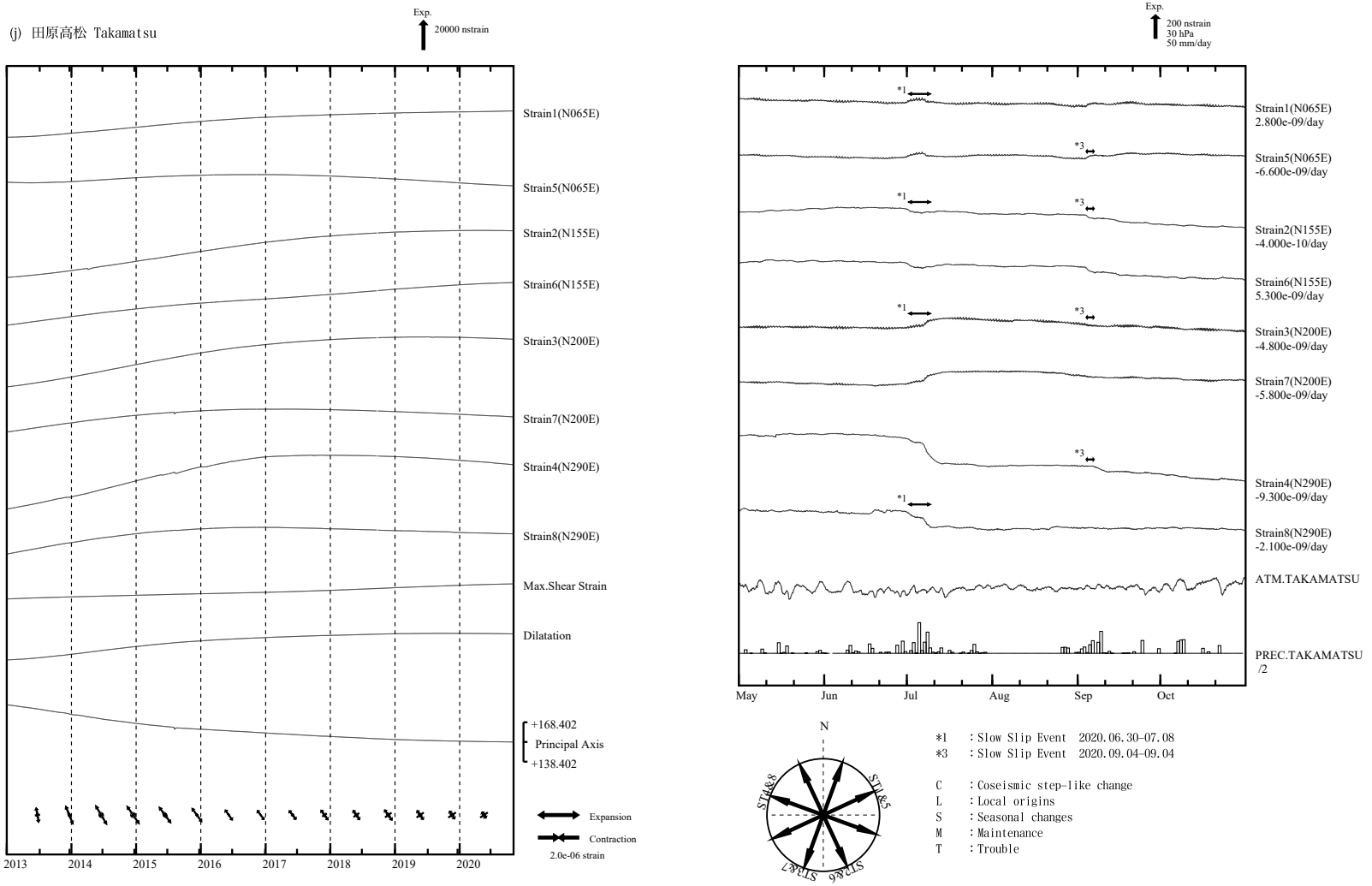
第 4 図 (h)　左：2013 年 1 月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）．主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている．
右：2020 年 5 月～ 10 月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気補正した値）．各図下部に気圧変化と降水量を示す．

Fig. 4(h)　(Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2013 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes from May to October 2020 (hourly values corrected with barometric pressure and tidal and geomagnetic data) observed by multi-component borehole strainmeters.



第 4 図 (i)　左：2013 年 1 月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）．主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている．
右：2020 年 5 月～ 10 月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気補正した値）．各図下部に気圧変化と降水量を示す．

Fig. 4(i)　(Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2013 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes from May to October 2020 (hourly values corrected with barometric pressure and tidal and geomagnetic data) observed by multi-component borehole strainmeters.



第 4 図 (j)　左：2013 年 1 月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）．主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている．
右：2020 年 5 月～ 10 月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気補正した値）．各図下部に気圧変化と降水量を示す．

Fig. 4(j)　(Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2013 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes from May to October 2020 (hourly values corrected with barometric pressure and tidal and geomagnetic data) observed by multi-component borehole strainmeters.

６－３　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（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Short-term slow slip events in the Tokai area, the Kii Peninsula and the Shikoku District, Japan (from May 2020 to October 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．

2020 年 5 月 4 日から 5 日午前にかけて，紀伊半島南部で深部低周波地震が観測された（第 1 図）．第 2 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，2020 年 4 月 27 日から 5 月 3 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 3 図は第 2 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 5.4）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，2020 年 3 月 10 日午後から 23 日午前（順に Mw 5.8, 5.5, 5.5, 5.6, 5.5, 5.4；第 3 図の灰色矩形 1-6）である．

2020 年 5 月 17 日から 20 日午前にかけて, 四国地方西部で深部低周波地震が観測された（第 4 図）．第 5 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，2020 年 5 月 4 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．

第 6 図は第 5 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 5.6）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 2 月 8 日から 22 日（順に Mw 5.7, 5.3, 5.6, 5.5, 5.8, 5.6；第 6 図の灰色矩形 1-6）である．

2020 年 6 月 4 日午後から 6 日にかけて，四国西部で深部低周波地震が観測された（第 7 図）．第 8 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，2020 年 5 月 24 日から 6 月 3 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 9 図は第 8 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 2 月 11 日午後から 22 日（順に Mw 5.3, 5.6, 5.5, 5.8, 5.6；第 9 図の灰色矩形 1-5），2020 年 5 月 17 日から 20 日午前（Mw 5.6；同 6）である．

2020 年 6 月 29 日から 7 月 14 日にかけて，三重県・愛知県において深部低周波地震活動が観測された（第 10 図）．第 11 図は三重県・愛知県の産総研・防災科研・気象庁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，2020 年 6 月 22 日から 28 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, 13 図はそれぞれ第 11 図 [A], [B] の変化を説明する短期的 SSE の推定結果（順に Mw 6.1, 5.9）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 3 日午後から 6 日午前（Mw5.7；図 11, 12 の灰色矩形 1），2019 年 11 月 11 日から 20 日（順に Mw5.7, 5.4, 5.8；同 2-4），2020 年 1 月 12 日 -14 日午前（順に Mw5.3, 5.6；同 5, 6）．

2020 年 7 月 22 日から 8 月 23 日にかけて，愛媛県・高知県・愛知県・徳島県において深部低周波地震活動が観測された（第 14 図）．第 15，16 図は愛媛県・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，2020 年 7 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．

第 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 図はそれぞれ第 15, 16 図 [A], [B]（東側），[B]（西側），[C]（東側），[C]（西側），[D], [E] の変化を説明する短期的 SSE の推定結果（順に Mw 5.8, 5.7, 5.5, 5.6, 5.8, 5.5, 5.9）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 2 月 19 日から 20 日午前（Mw5.5；第 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 図の灰色矩形 1），2020 年 2 月 20 日午後から 21 日午前（Mw5.8；同 2），2020 年 2 月 21 日午後から 22 日（Mw5.6；同 3），2020 年 4 月 23 日から 27 日（Mw5.5；同 4），2020 年 5 月 17 日から 20 日午前（Mw5.6；同 5），2020 年 6 月 4 日午後から 6 日（Mw5.5；同 6）である．

2020 年 8 月 6 日から 8 日にかけて，長野県において深部低周波地震活動が観測された（第 24 図）．第 25 図は愛知県・静岡県・長野県の気象庁・静岡県の観測点における歪の観測結果である．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 7 月 20 日から 23 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 26 図は第 25 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 10 月 7 日から 10 日（Mw5.7；第 26 図の灰色矩形 1），2018 年 10 月 13 日から 15 日（Mw5.3；同 2），2019 年 6 月 11 日から 14 日（Mw5.6；同 3），2019 年 8 月 3 日午後から 6 日午前（Mw5.7；同 4），2020 年 1 月 12 日（Mw5.3；同 5），2020 年 1 月 13 日から 14 日午前（Mw5.6；同 6）である．

2020 年 8 月 23 日から 26 日にかけて，奈良県・和歌山県において深部低周波地震活動が観測された（第 27 図）．第 28, 29 図は奈良県・和歌山県・三重県の産総研・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 8 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．

第 30 図は第 28, 29 図 [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，2019 年 11 月 14 日午後から 18 日午前（Mw5.6；第 30 図の灰色矩形 1），2020 年 3 月 16 日午後から 18 日（Mw5.5；同 2），20120 年 3 月 19 日午後から 21 日午前（Mw5.6；同 3），2020 年 3 月 21 日午後から 22 日午前（Mw5.5；同 4），2020 年 3 月 22 日午後から 23 日午前（Mw5.4；同 5），2020 年 5 月 4 日から 5 日午前（Mw5.4；同 6）である．

2020 年 9 月 2 日から 5 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 31 図）. 第 32, 33 は愛知県・静岡県・長野県の産総研，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，2020 年 8 月 19 日から 25 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 34 図は第 32, 33 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 10 月 7 日から 10 日（Mw5.7；第 34 図の灰色矩形 1），2018 年 10 月 13 日から 15 日（Mw5.3；同 2），2019 年 6 月 11 日から 14 日（Mw5.6；同 3），2019 年 8 月 3 日午後から 6 日午前（Mw5.7；同 4），2020 年 1 月 12 日（Mw5.3；同 5），2020 年 1 月 13 日から 14 日午前（Mw5.6；同 6）である．

2020 年 10 月 3 日午後から 4 日にかけて, 和歌山県中部で深部低周波地震が観測された（第 35 図）. 第 36 図は周辺の産総研の観測点における歪の観測結果である．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 9 月 20 日から 10 月 3 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 図は第 36 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 5.2）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，2020 年 5 月 4 日から 5 日午前（Mw 5.4；第 37 図の灰色矩形 1），2020 年 8 月 23 日から 26 日（Mw 5.8；同 2）である．

2020 年 10 月 13 日午後から 16 日午前にかけて，奈良県東部～三重県中部で深部低周波地震が観測された（第 38 図）. 第 39 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，2020 年 9 月 30 日から 10 月 7 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 40, 41 図は第 39 図 [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 Mw5.7, 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，2020 年 3 月 10 日午後から 12 日（Mw5.8；第 40, 41 図の灰色矩形 1），2020 年 3 月 16 日午後から 18 日（Mw 5.5；同 2), 2020 年 3 月 19 日午後から 21 日午前（Mw5.6；同 3), 2020 年 3 月 21 日午後から 22 日午前（Mw5.5；同 4），2020 年 3 月 22 日午後から 23 日午前（Mw5.4；同 5），2020 年 8 月 23 日から 26 日（Mw5.8；同 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[1] により計算し，GOTIC2[2] 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 [3] 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° 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°間隔）・すべり量（1-50 mm）・長さ（10-80 km の間で 1km 間隔）および幅（10-50 km の間で 1km 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 2 σ 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.

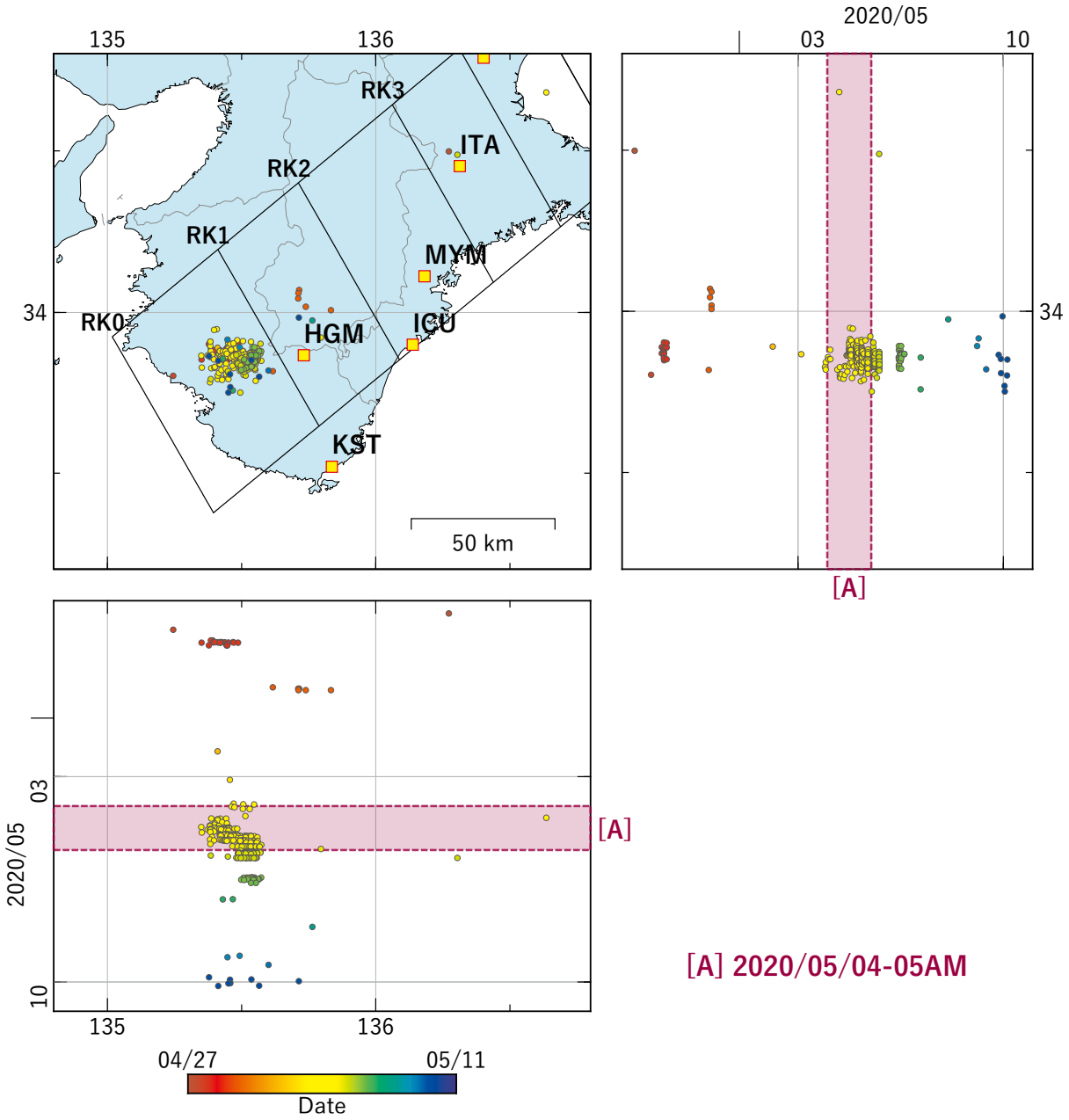
2） Matsumoto, K., T. Sato, T. Takanezawa, and M. Ooe, GOTIC2: A Program for Computation of Oceanic Tidal Loading Effect, *J. Geod. Soc. Japan*, **47**, 243-248, 2001.

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.

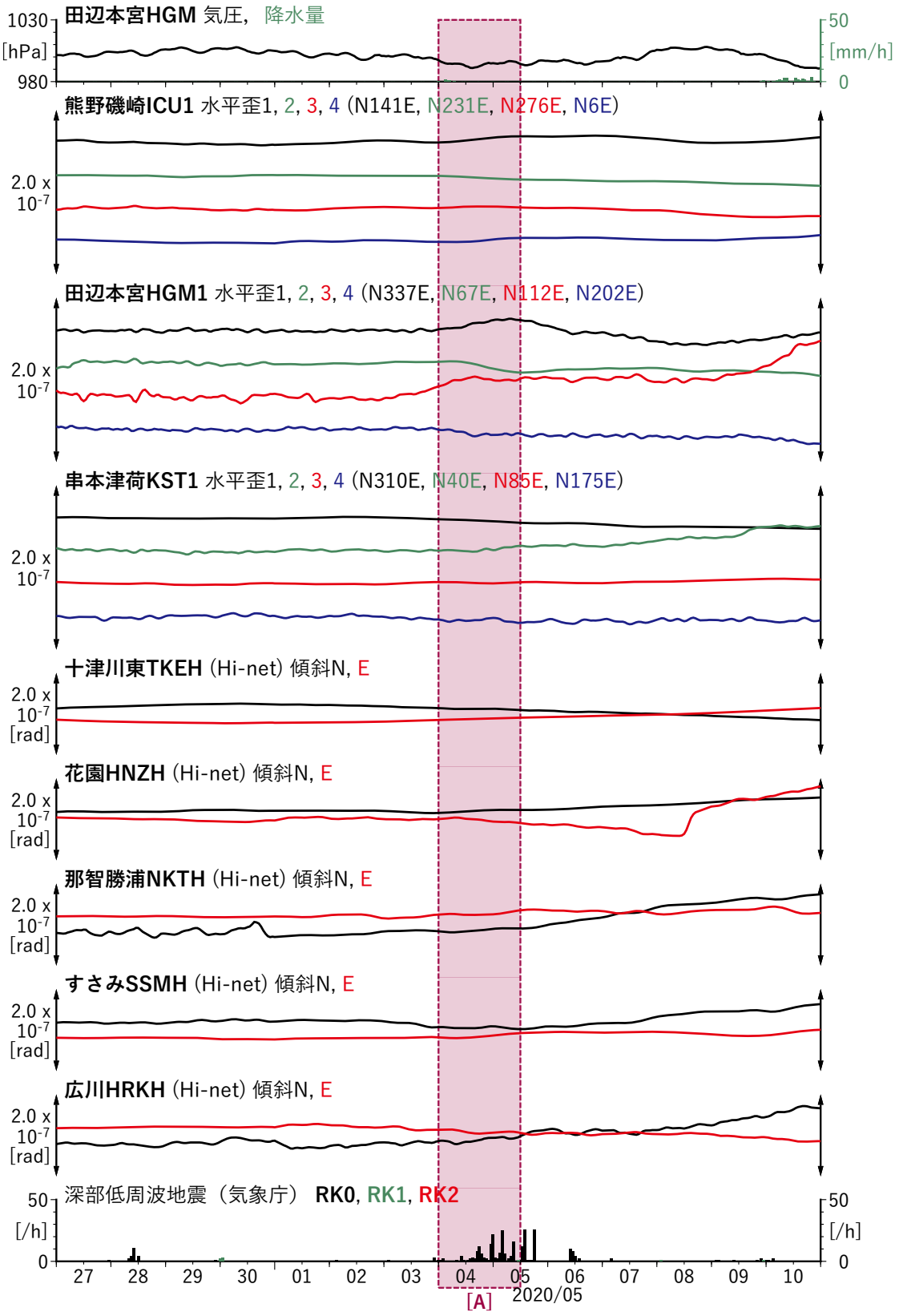
5） 弘瀬冬樹 , 中島淳一 , 長谷川昭 (2007), Double-Difference Tomography 法による西南日本の 3 次元地震波速度構造およびフィリピン海プレートの形状の推定 , *地震* 2, **60**, 1-20.

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



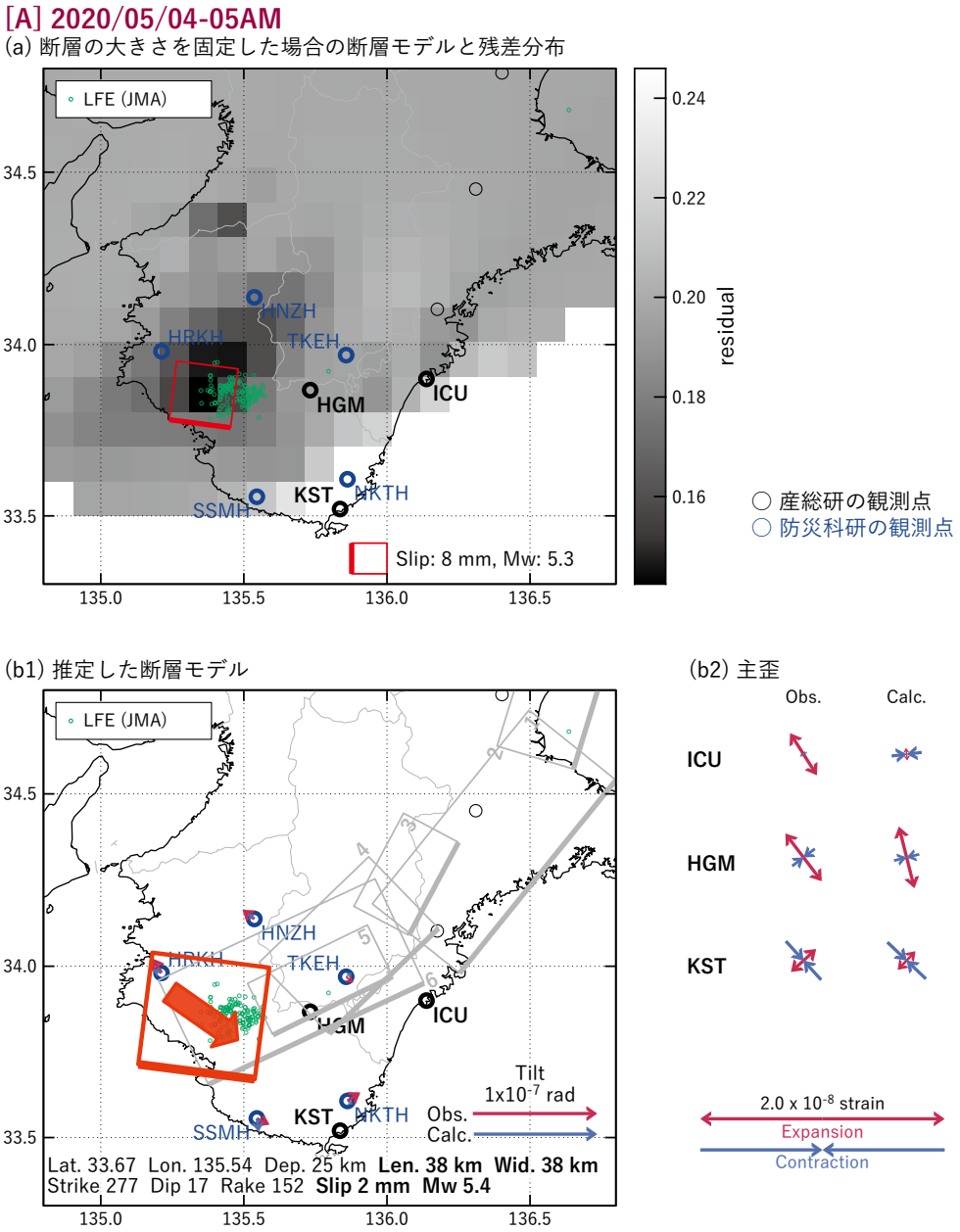
第 1 図　紀伊半島における深部低周波地震（気象庁一元化カタログによる）の時空間分布（2020/04/27 ～ 2020/05/11）.

Fig. 1　Space-time distribution of deep low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Kii Peninsula from April 27 to May 11, 2020.



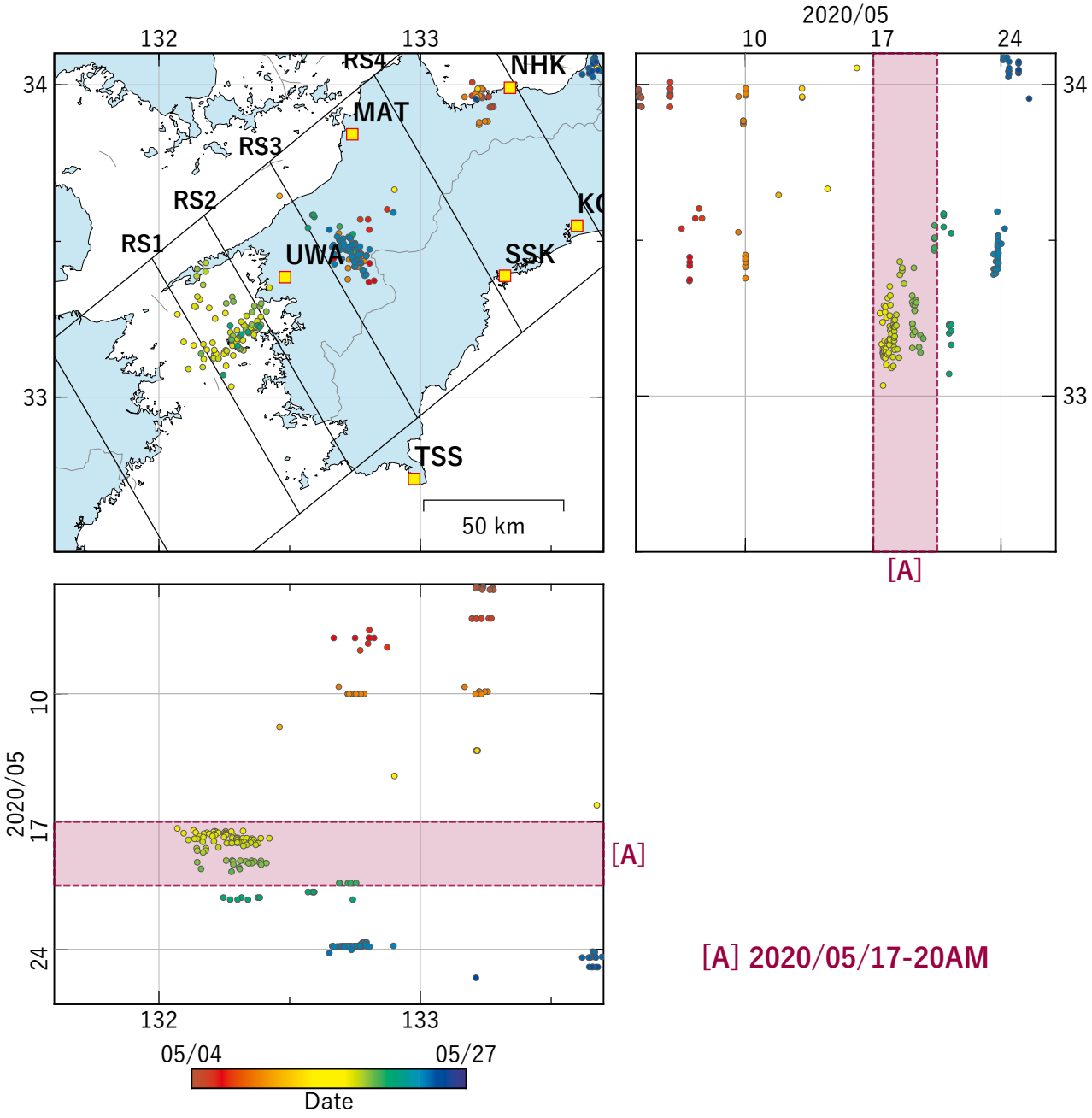
第 2 図　紀伊半島における歪・傾斜の観測結果と深部低周波地震の検出数（2020/04/27 ～ 2020/05/11）.

Fig. 2　Observed strain and tilt data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Kii Peninsula from April 27 to May 11, 2020.



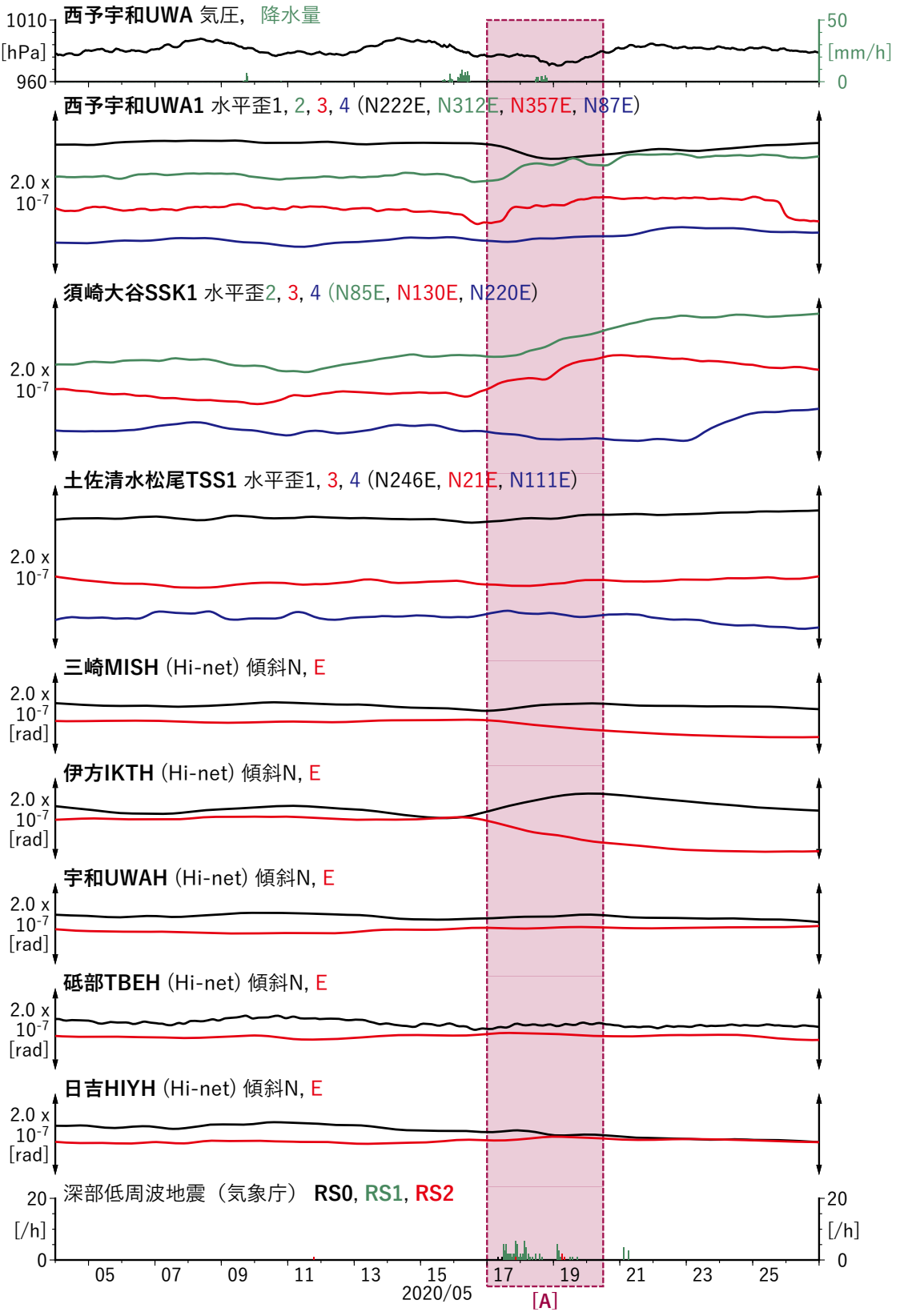
第 3 図　第 2 図 [A] を説明する断層モデル．以下の凡例の説明は以降の同様の図に共通．黒・緑・青の丸印はそれぞれ産総研・気象庁および静岡県・防災科研 Hi-net の観測点，緑の小さな丸印は気象庁の推定した低周波地震．(a) 1 段階目の結果．灰色の濃淡は残差の総和で，赤色矩形が残差の総和が最小となる断層面の位置（大きさは 20x20 km で固定）．(b1) 2 段階目の結果．赤色矩形が残差の総和が最小となる断層面．矢印は傾斜の観測値と計算値の比較．灰色矩形は最近周辺で発生した短期的 SSE の推定断層面（番号との対応は本文参照）．(b2) 主歪の観測値と (b1) に示した断層モデ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. 3　Inferred fault models for Fig. 2 [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.



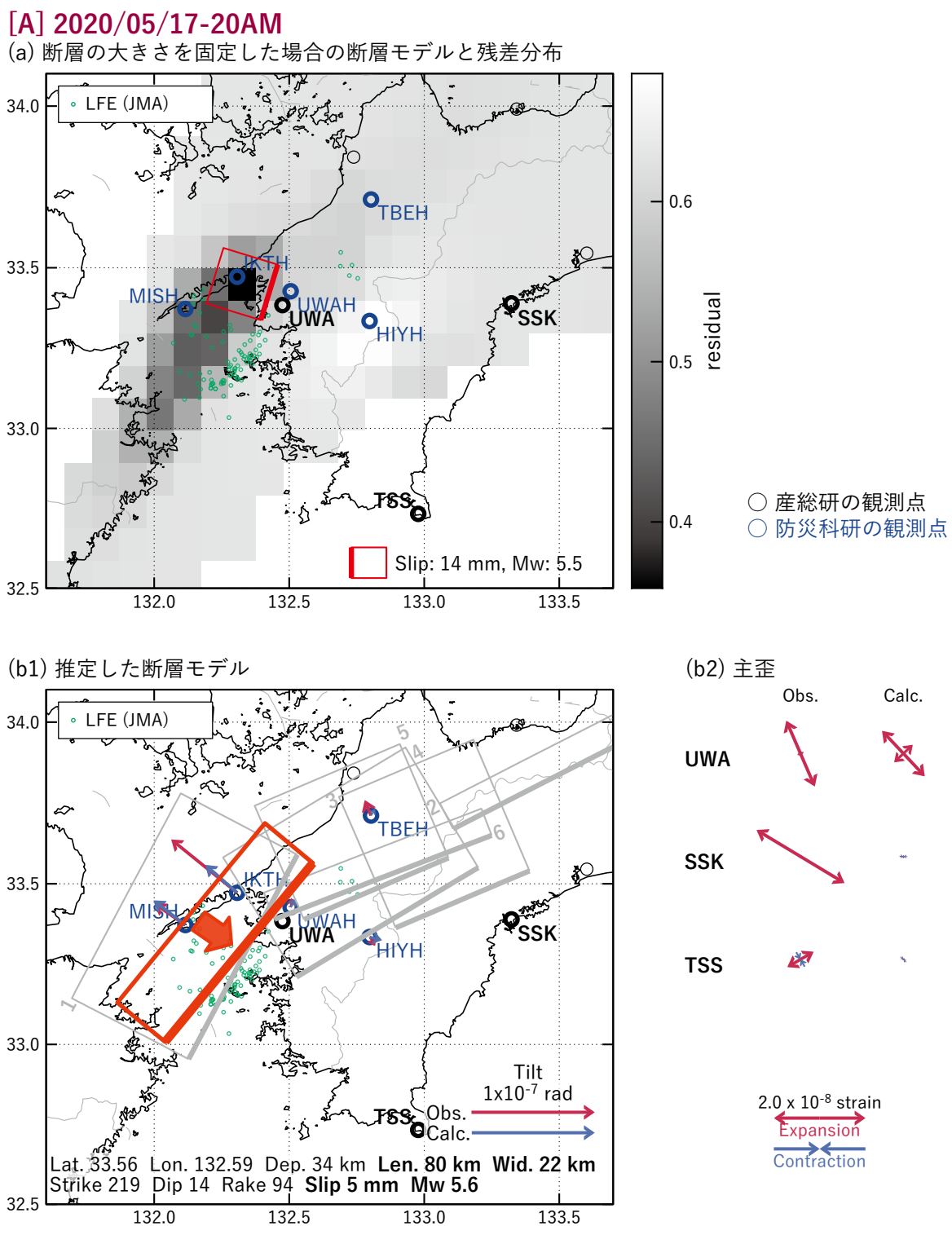
第 4 図　四国地方における深部低周波地震（気象庁一元化カタログによる）の時空間分布（2020/05/04 ～ 2020/05/27）.

Fig. 4　Space-time distribution of deep low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Shikoku region from May 04 to 27, 2020.

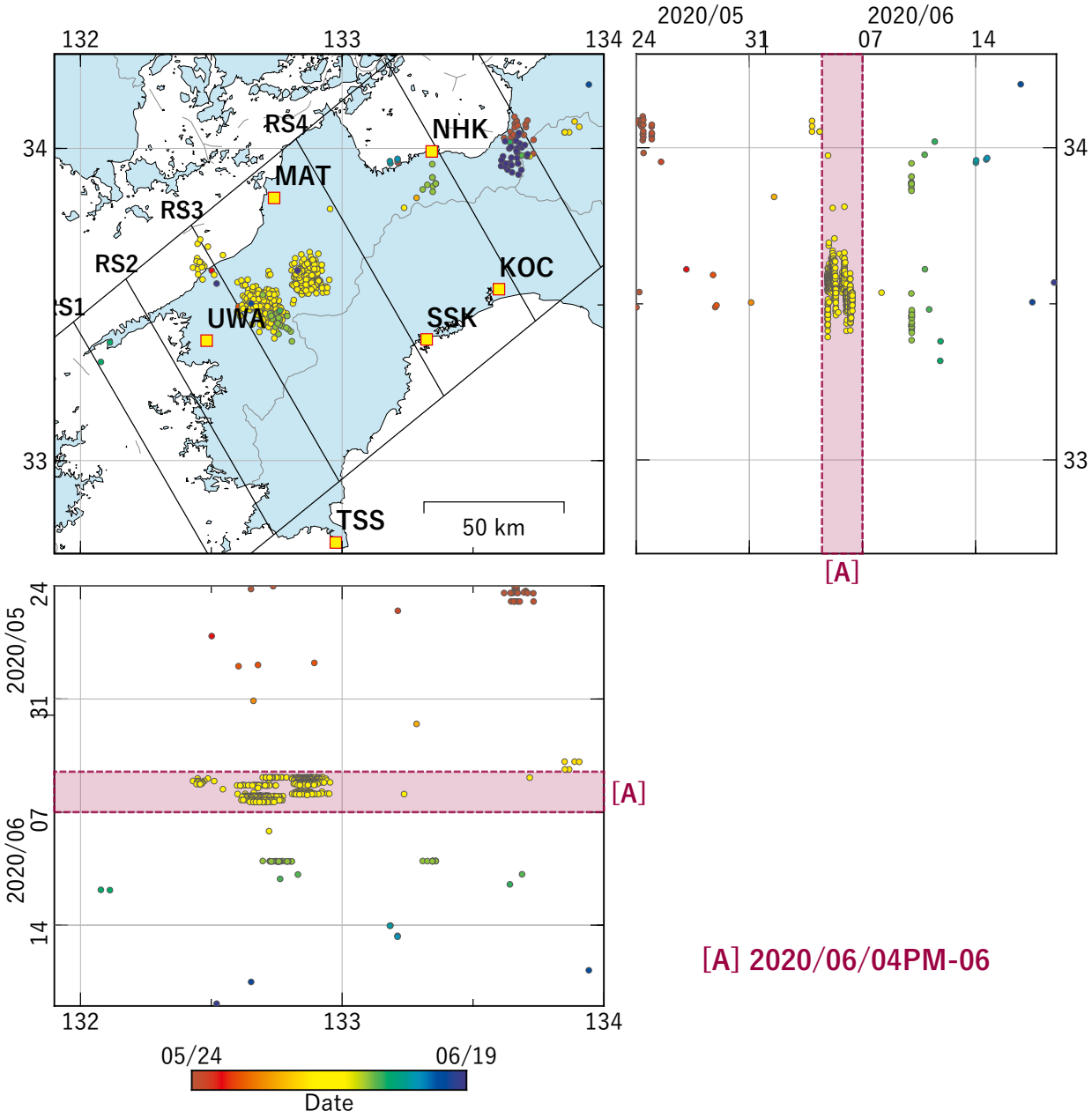


第 5 図　四国地方における歪・傾斜・地下水位の観測結果と深部低周波地震の検出数（2020/05/04 ～ 2020/05/27）.

Fig. 5　Observed strain, tilt, and groundwater level data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Shikoku region from May 04 to 27, 2020.

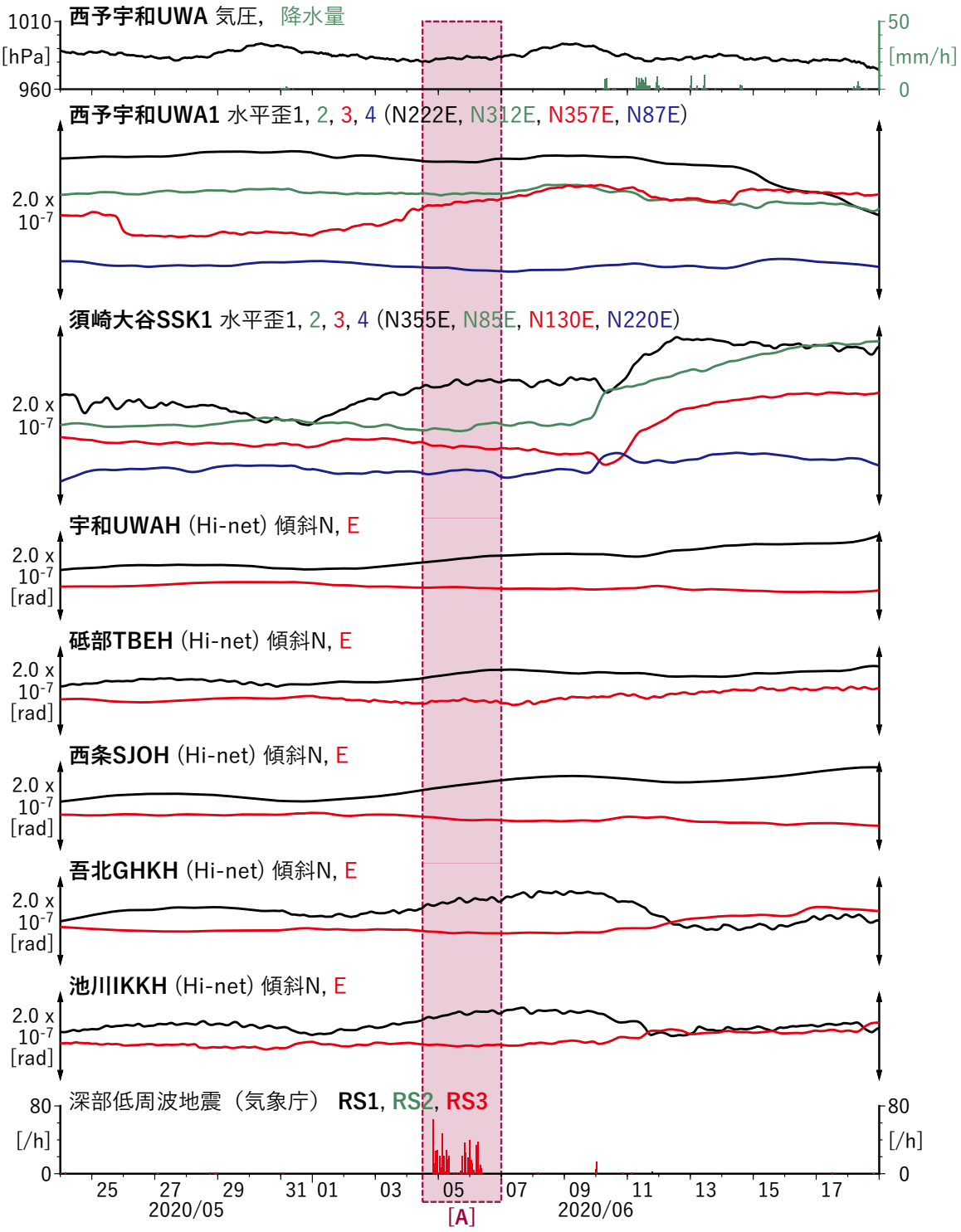


第 6 図　第 5 図 [A] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．
Fig. 6　Inferred fault models for Fig. 5 [A]. See also the caption of Fig. 3.



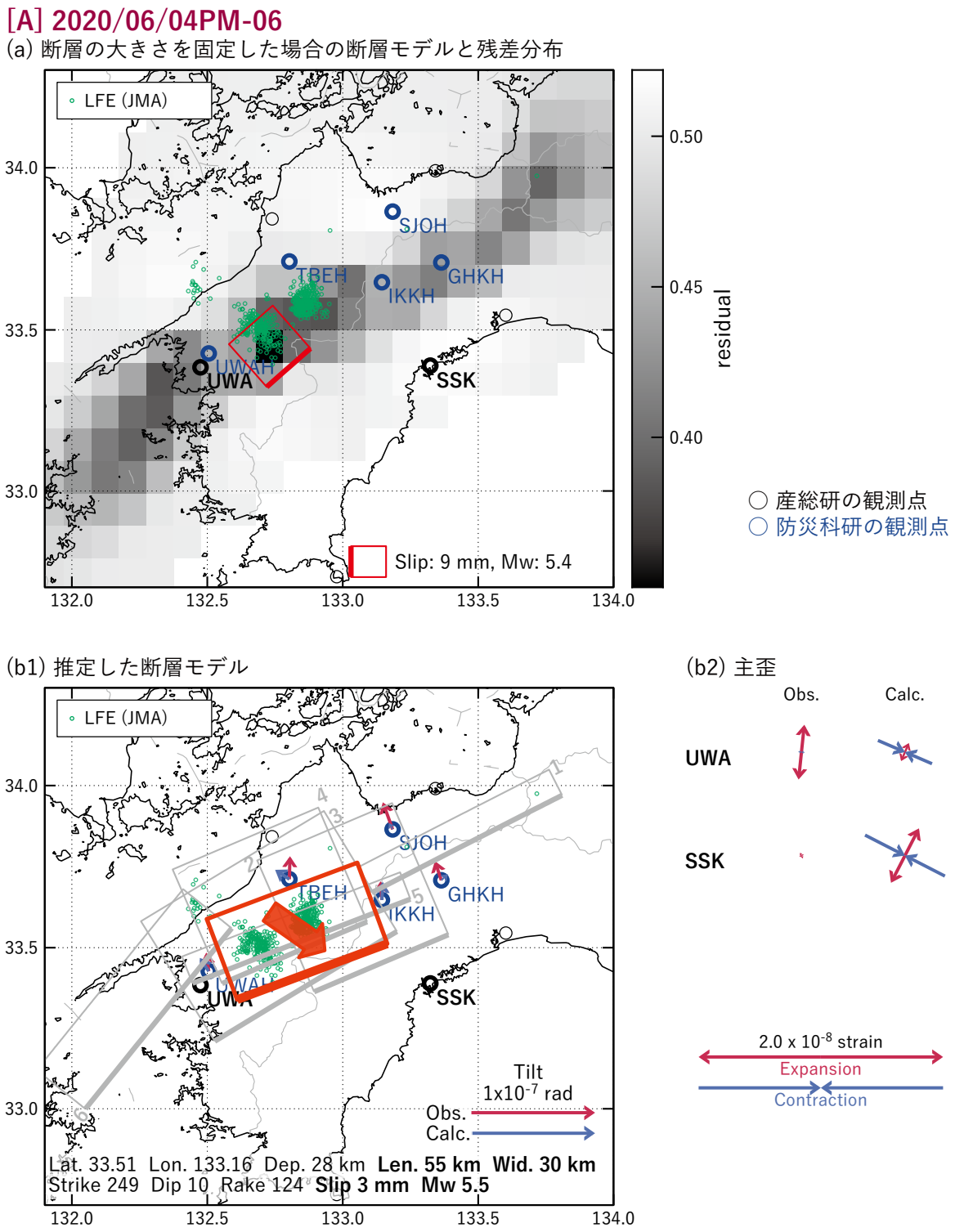
第 7 図　四国地方における深部低周波地震（気象庁一元化カタログによる）の時空間分布（2020/05/24 ～ 2020/06/19）.

Fig. 7　Space-time distribution of deep low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Shikoku region from May 24 to June 19, 2020.

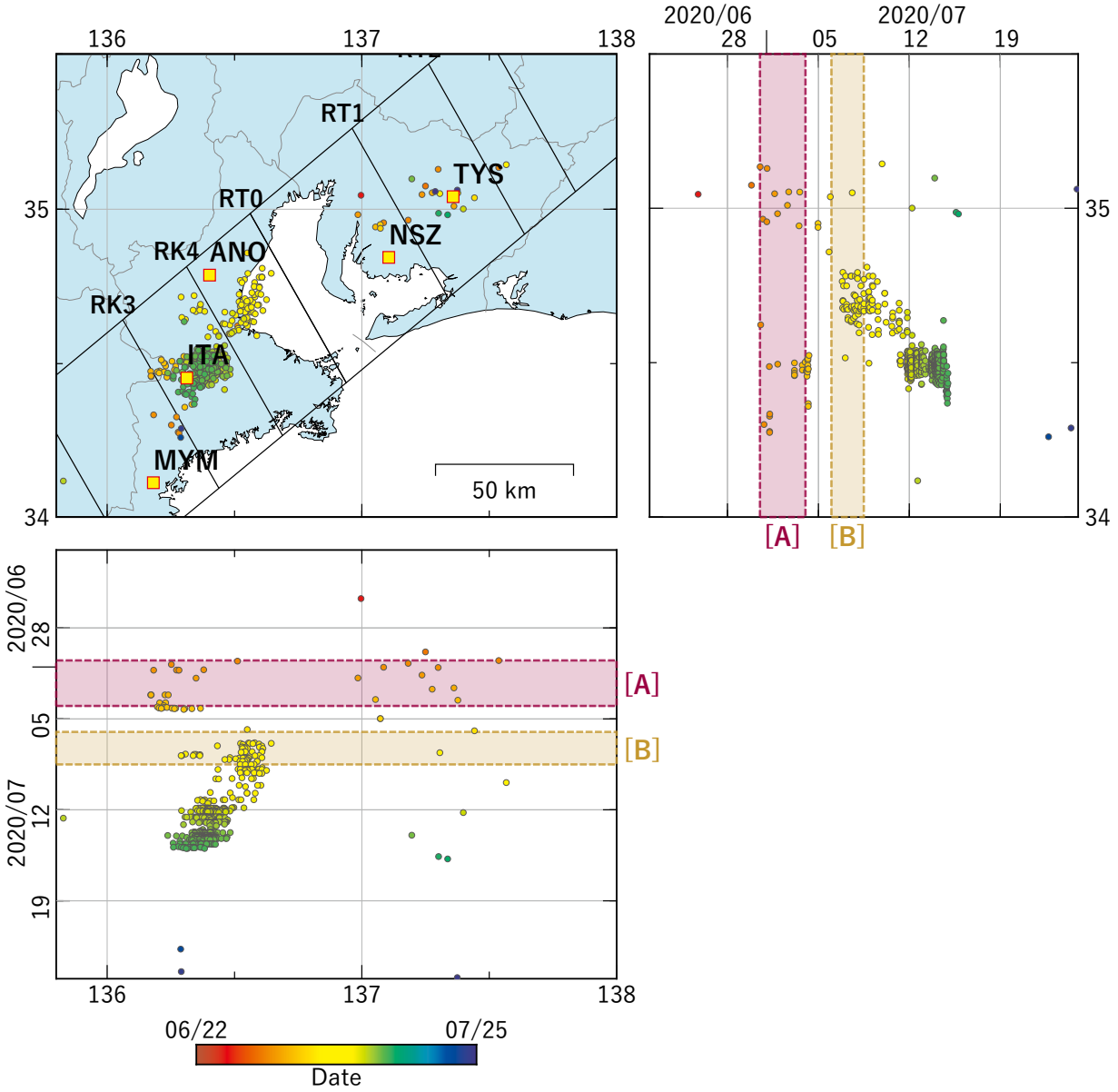


第 8 図　四国地方における歪・傾斜の観測結果と深部低周波地震の検出数（2020/05/24 ～ 2020/06/19）.

Fig. 8　Observed strain and tilt data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Shikoku region from May 24 to June 19, 2020.

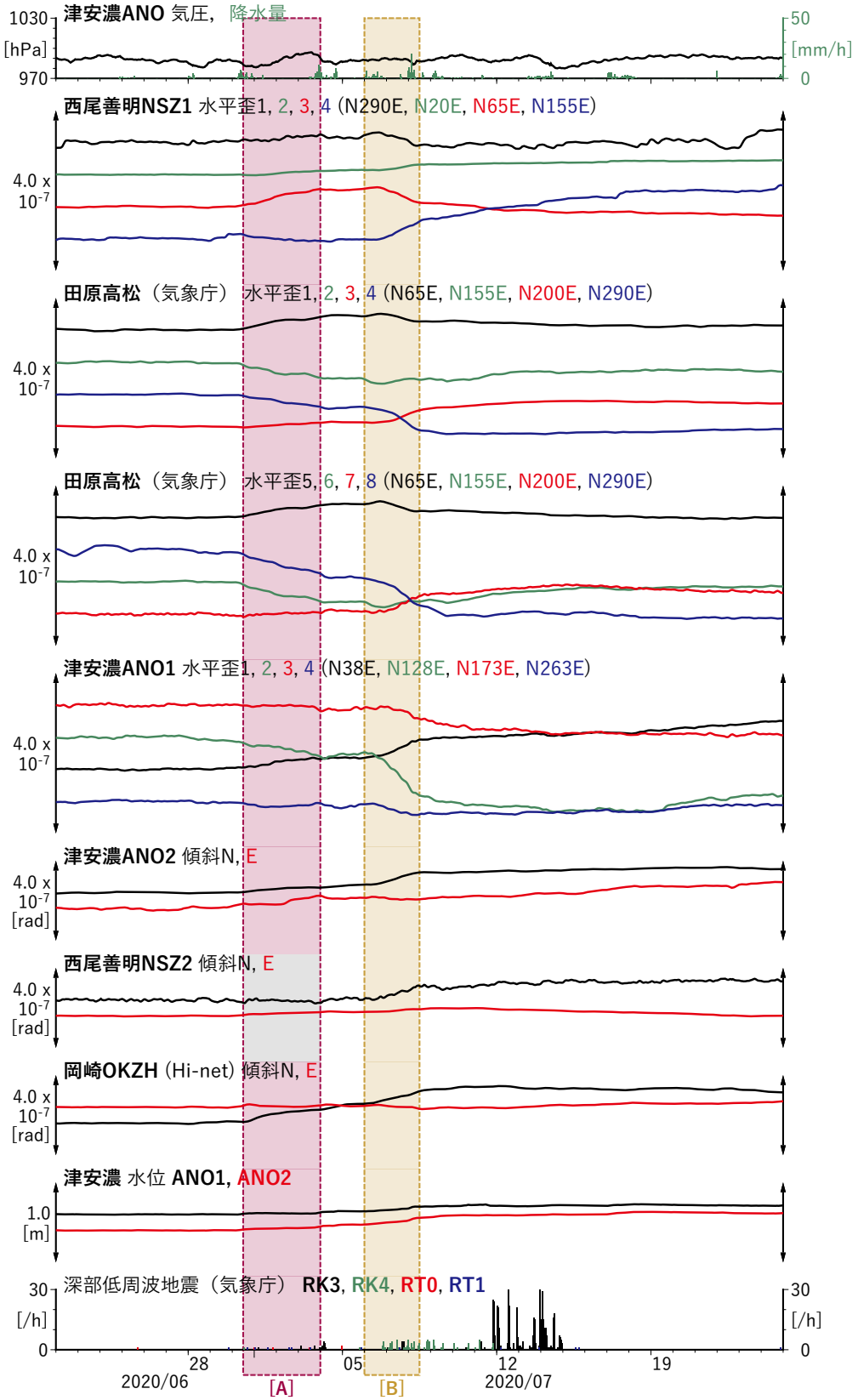


第 9 図　第 8 図 [A] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．
Fig. 9　Inferred fault models for Fig. 8 [A]. See also the caption of Fig. 3.



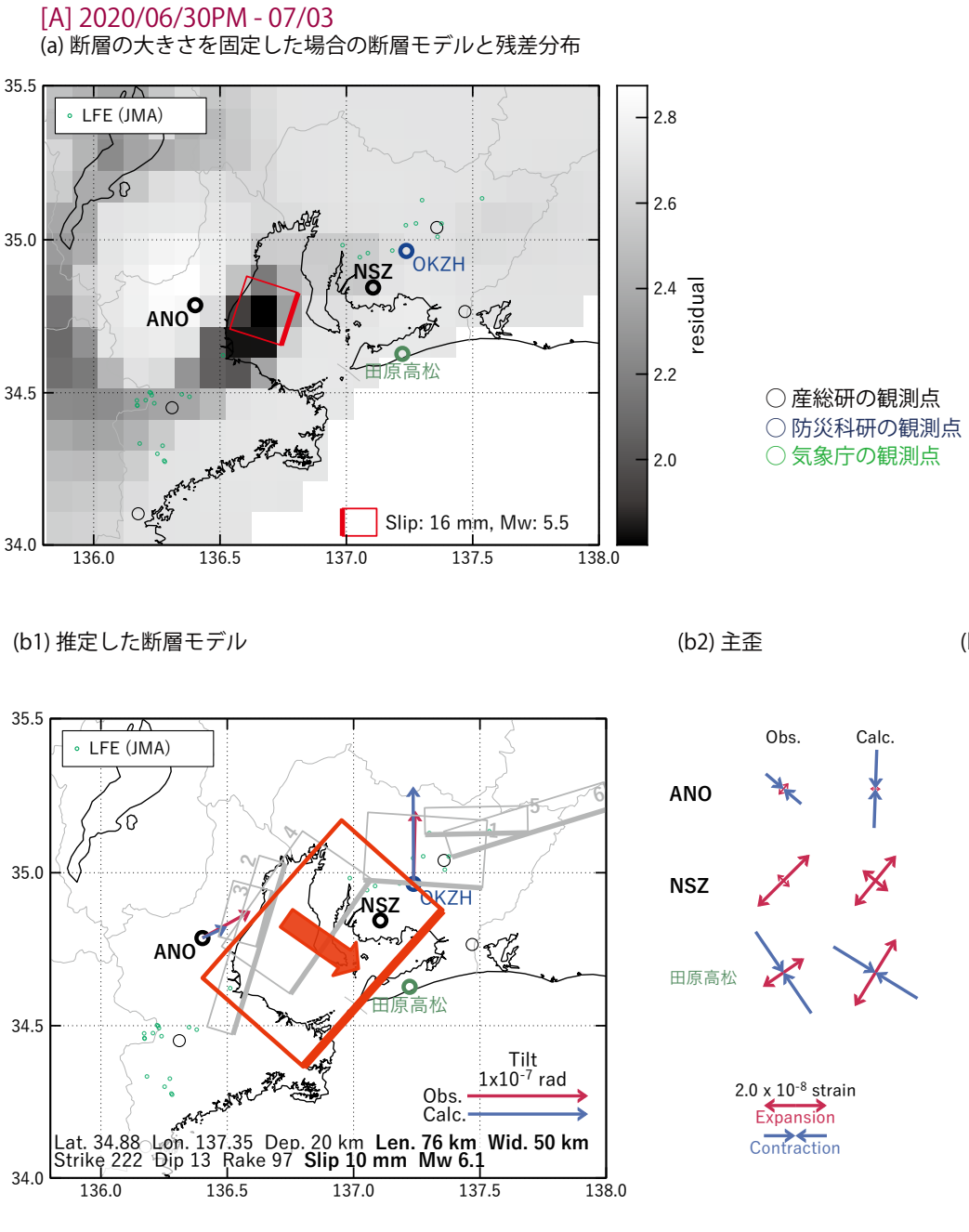
第 10 図　紀伊半島から東海地方における深部低周波地震（気象庁一元化カタログによる）の時空間分布（2020/06/22 ～ 2020/07/25）.

Fig. 10　Space-time distribution of deep low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Kii Peninsula and Tokai region from June 22 to July 25, 2020.



第 11 図　紀伊半島から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（2020/06/22 ～ 2020/07/25）.

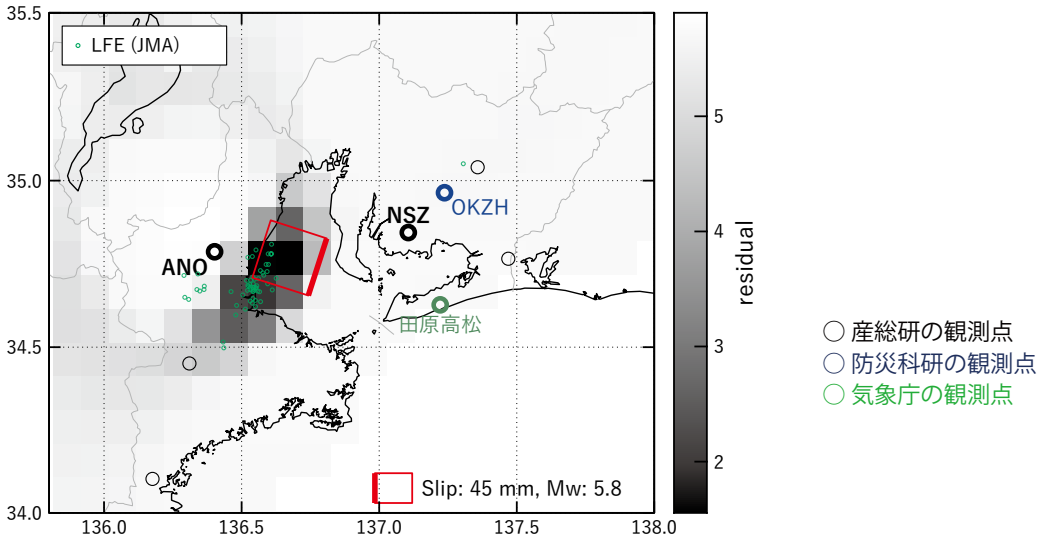
Fig. 11　Observed strain and tilt data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Kii Peninsula and Tokai region from June 22 to July 25, 2020.



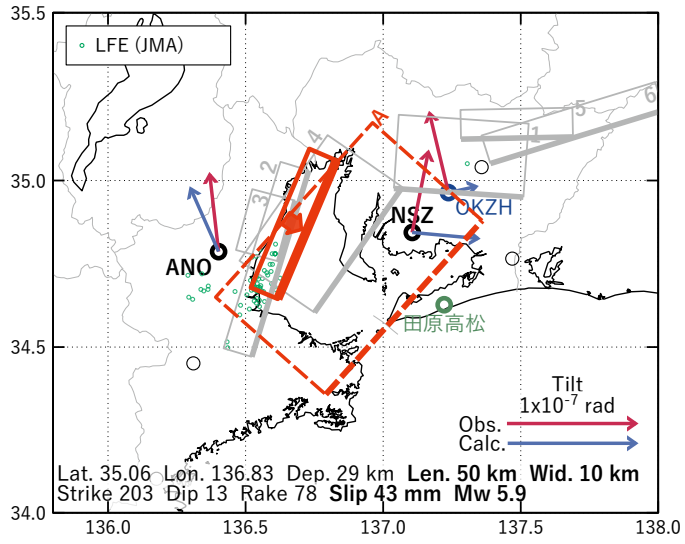
第 12 図　第 11 図 [A] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．
Fig. 12　Inferred fault models for Fig. 11 [A]. See also the caption of Fig. 3.

[B] 2020/07/06 - 08AM

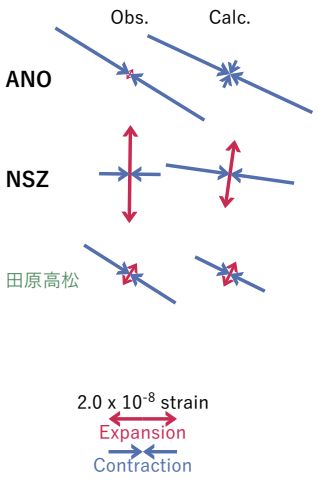
(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



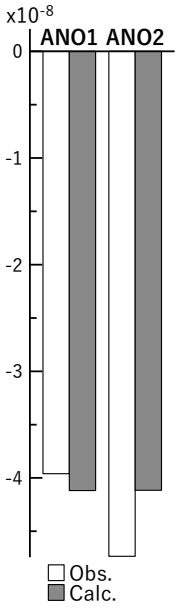
(b1) 推定した断層モデル



(b2) 主歪

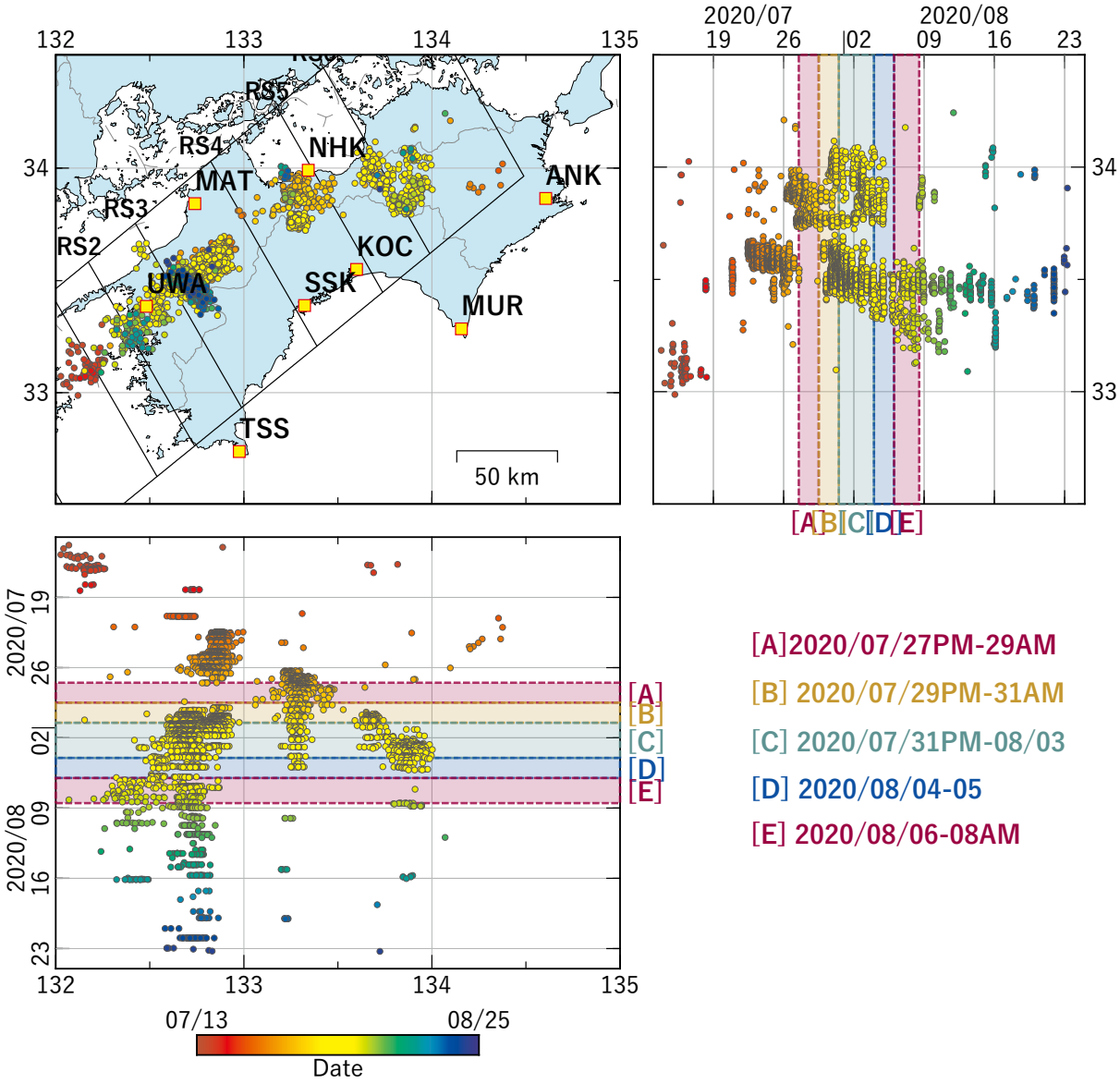


(b3) 体積歪



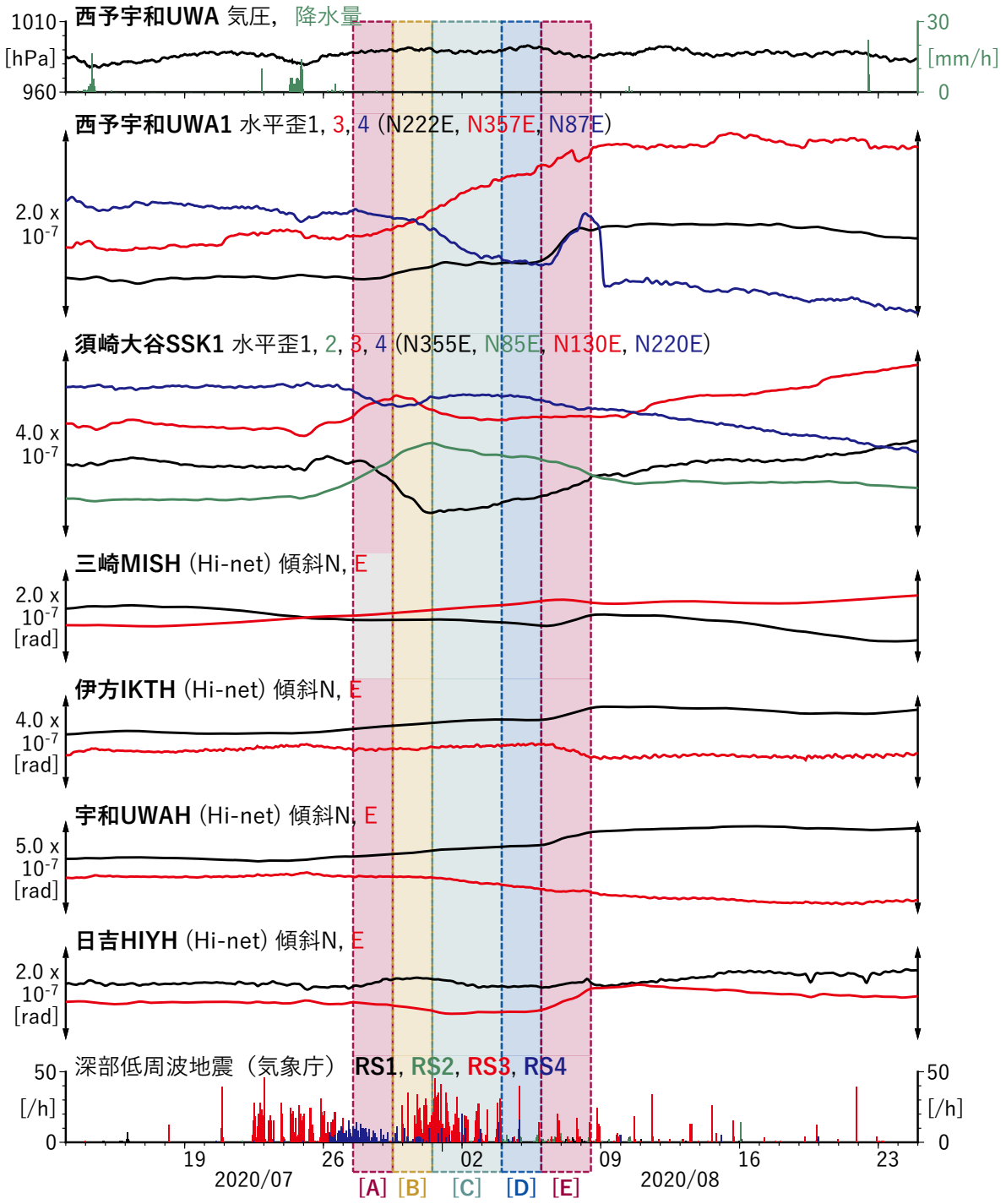
第 13 図　第 11 図 [B] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．

Fig. 13　Inferred fault models for Fig. 11 [B]. See also the caption of Fig. 3.



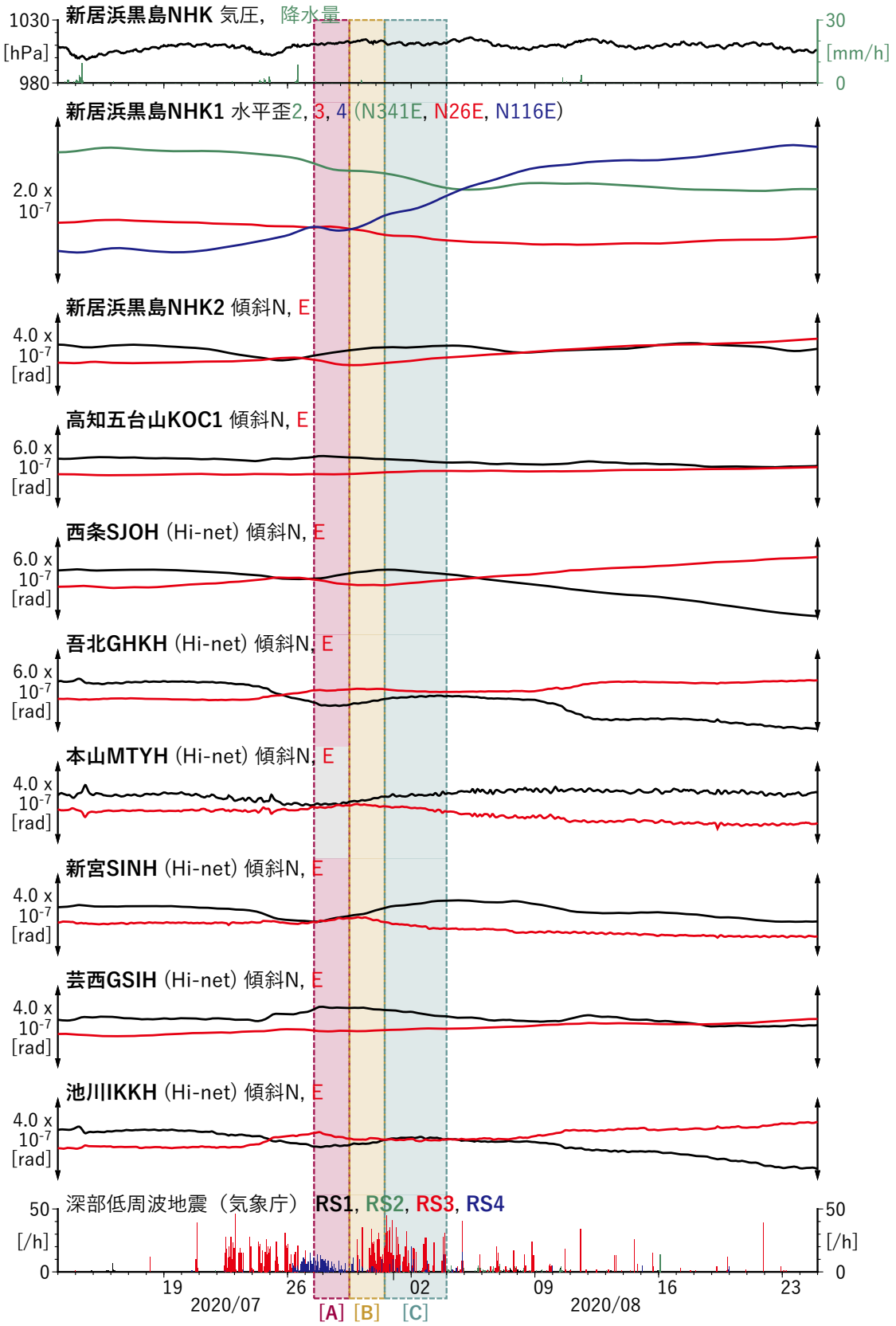
第 14 図　四国地方における深部低周波地震（気象庁一元化カタログによる）の時空間分布（2020/07/13 ～ 2020/08/25）.

Fig. 14　Space-time distribution of deep low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Shikoku region from July 13 to August 25, 2020.



第 15 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)（2020/07/13 ～ 2020/08/25）.

Fig. 15　Observed strain and tilt data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Shikoku region from July 13 to August 25, 2020 (1).

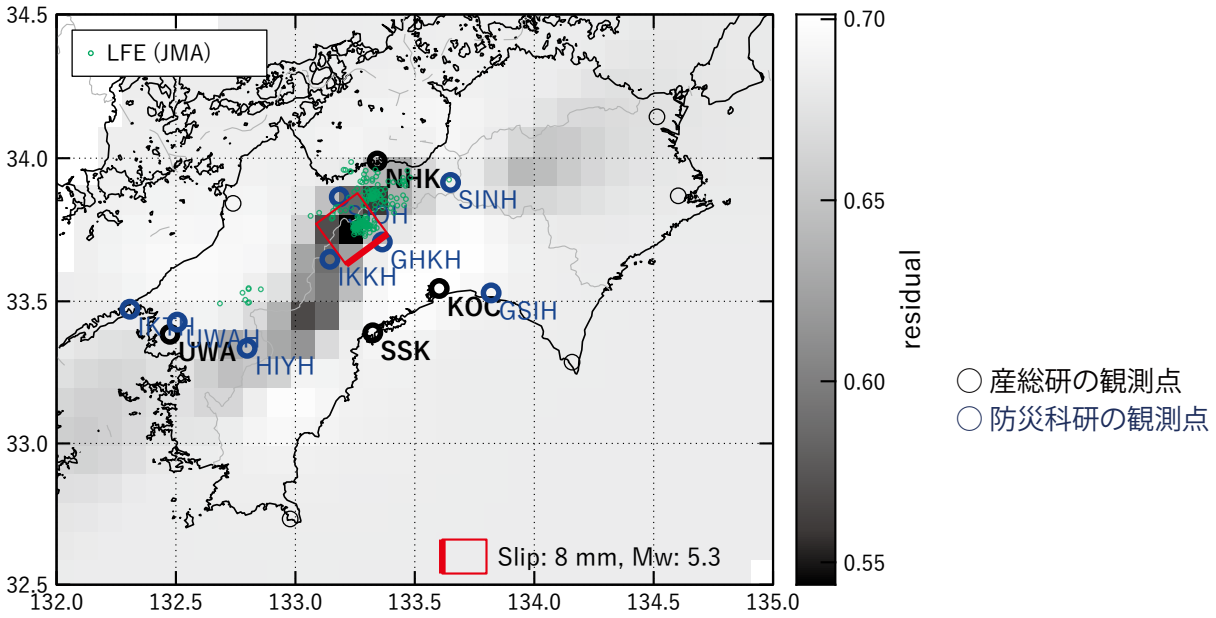


第 16 図　四国地方における歪・傾斜の観測結果と深部低周波地震の検出数 (2)（2020/07/13 ～ 2020/08/25）.

Fig. 16　Observed strain and tilt data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Shikoku region from July 13 to August 25, 2020 (2).

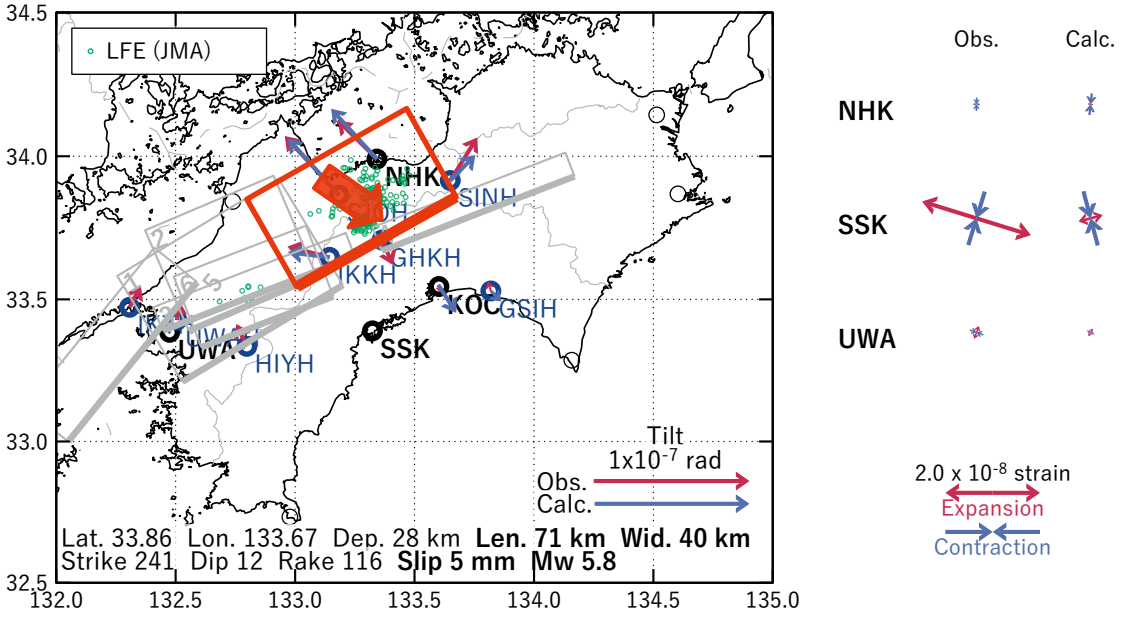
[A]2020/07/27PM-29AM

(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

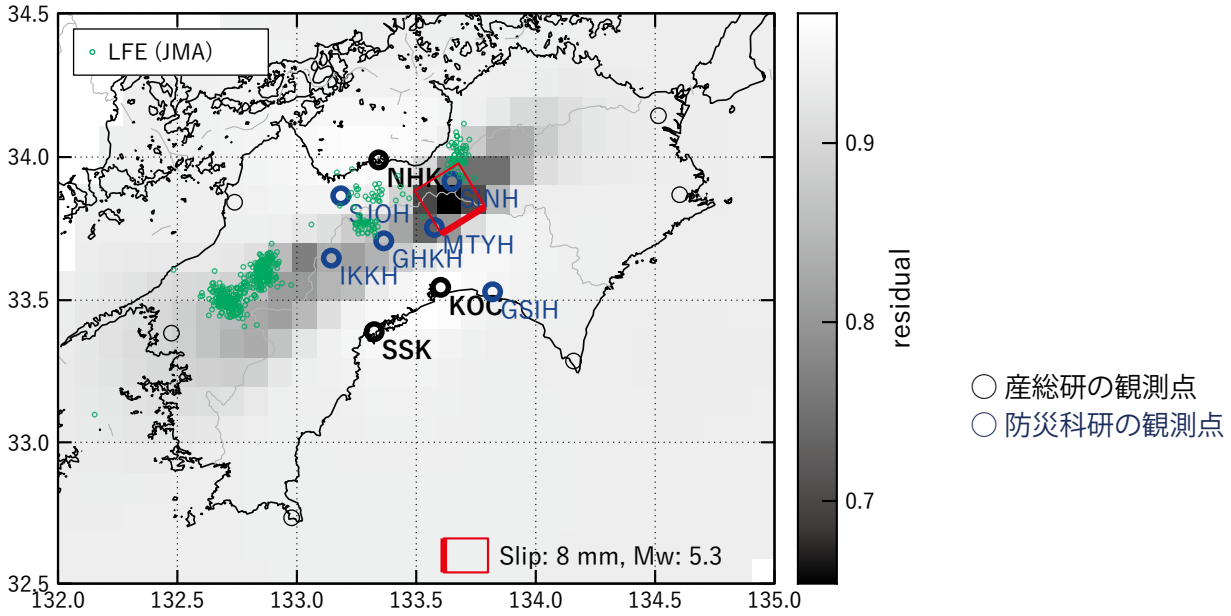
(b2) 主歪



第 17 図　第 15-16 図 [A] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．
Fig. 17　Inferred fault models for Fig. 15-16 [A]. See also the caption of Fig. 3.

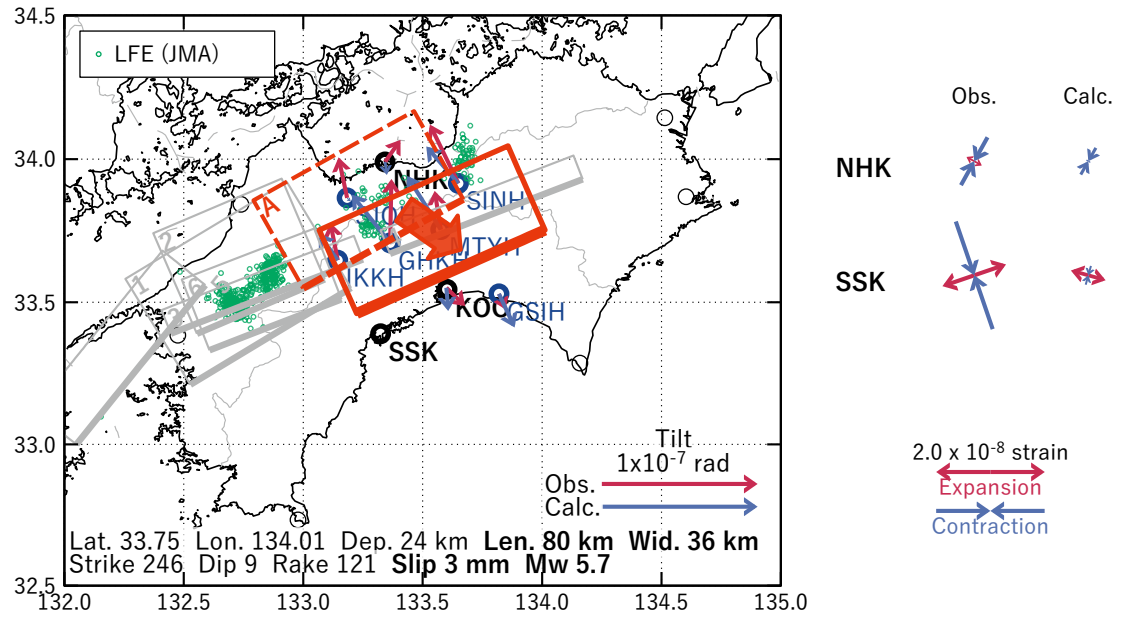
[B1] 2020/07/29PM-31AM (東側)

(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



(b1) 推定した断層モデル

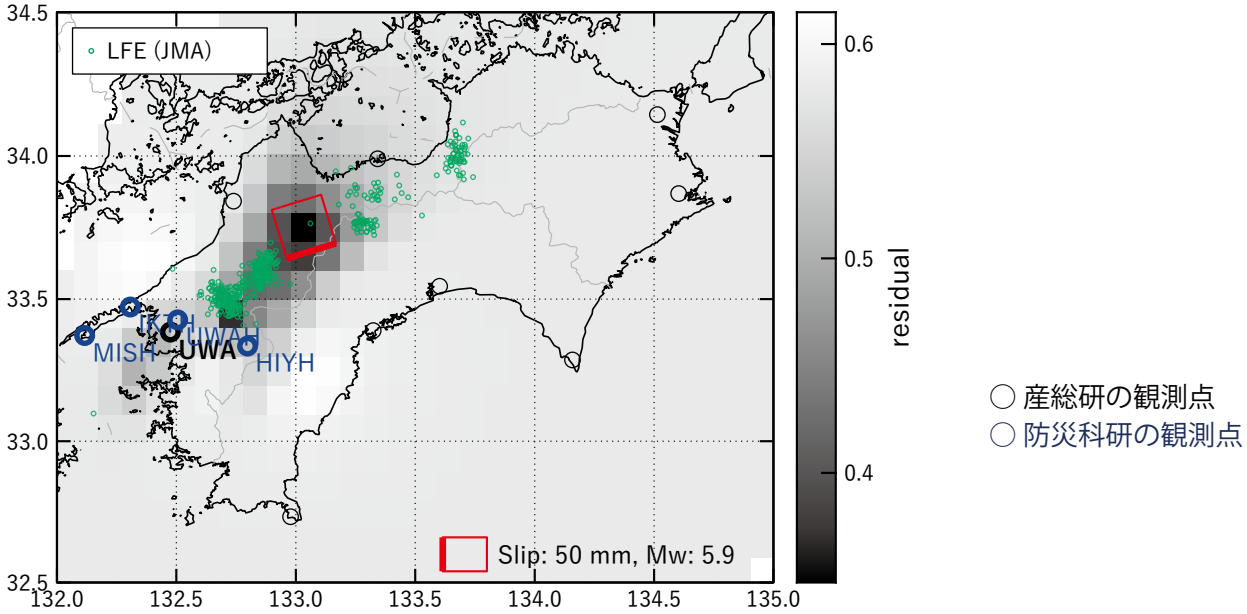
(b2) 主歪



第 18 図　第 15-16 図 [B]（東側）を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．
Fig. 18　Inferred fault models for Fig. 15-16 [B] (East). See also the caption of Fig. 3.

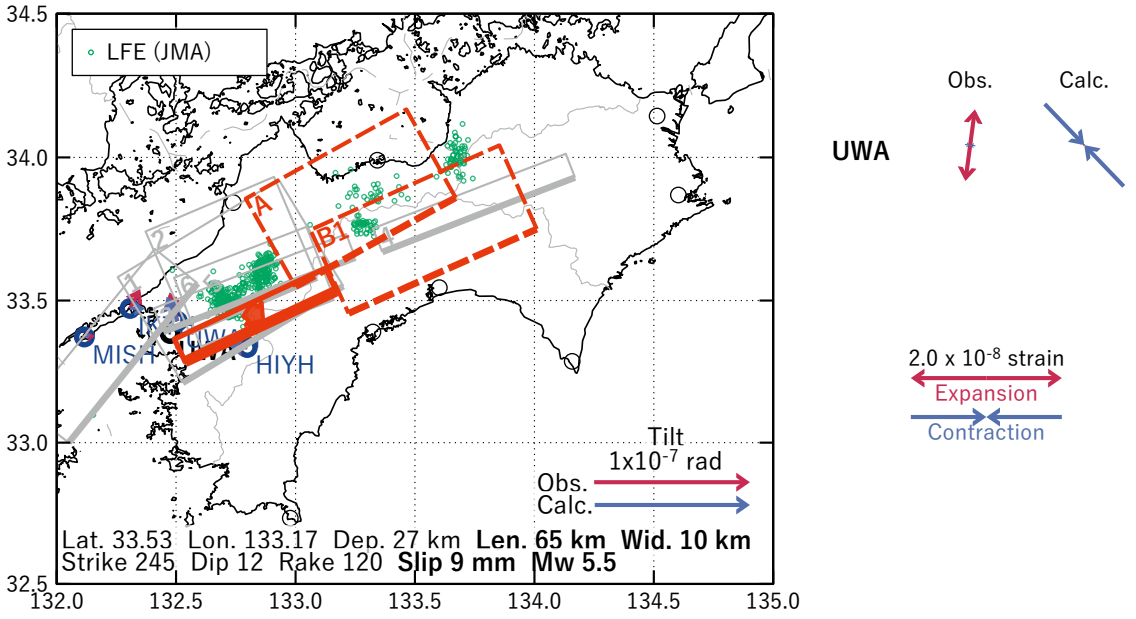
[B2] 2020/07/29PM-31AM（西側）

(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



(b1) 推定した断層モデル

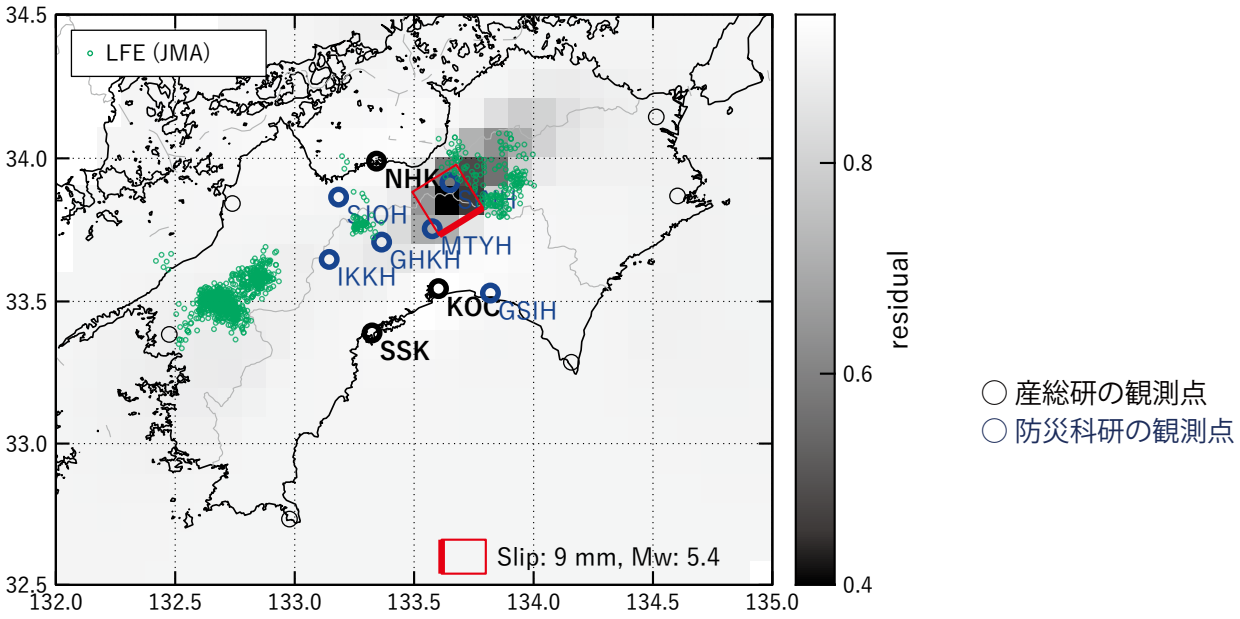
(b2) 主歪



第 19 図　第 15-16 図 [B]（西側）を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．
Fig. 19　Inferred fault models for Fig. 15-16 [B](West). See also the caption of Fig. 3.

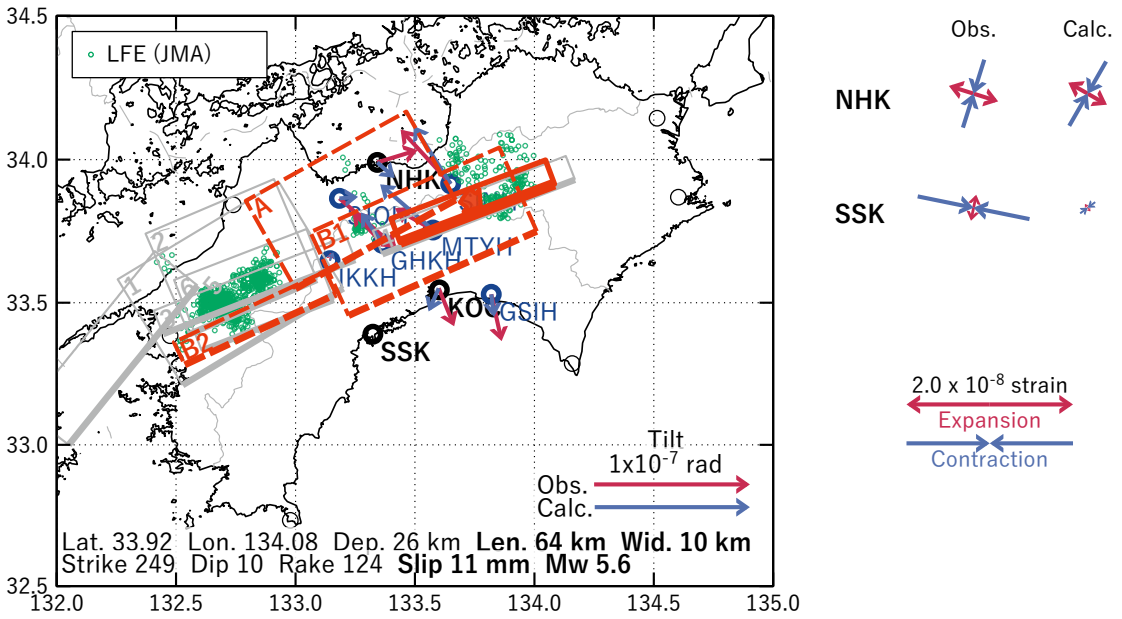
[C1] 2020/07/31PM-08/03 （東側）

(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



(b1) 推定した断層モデル

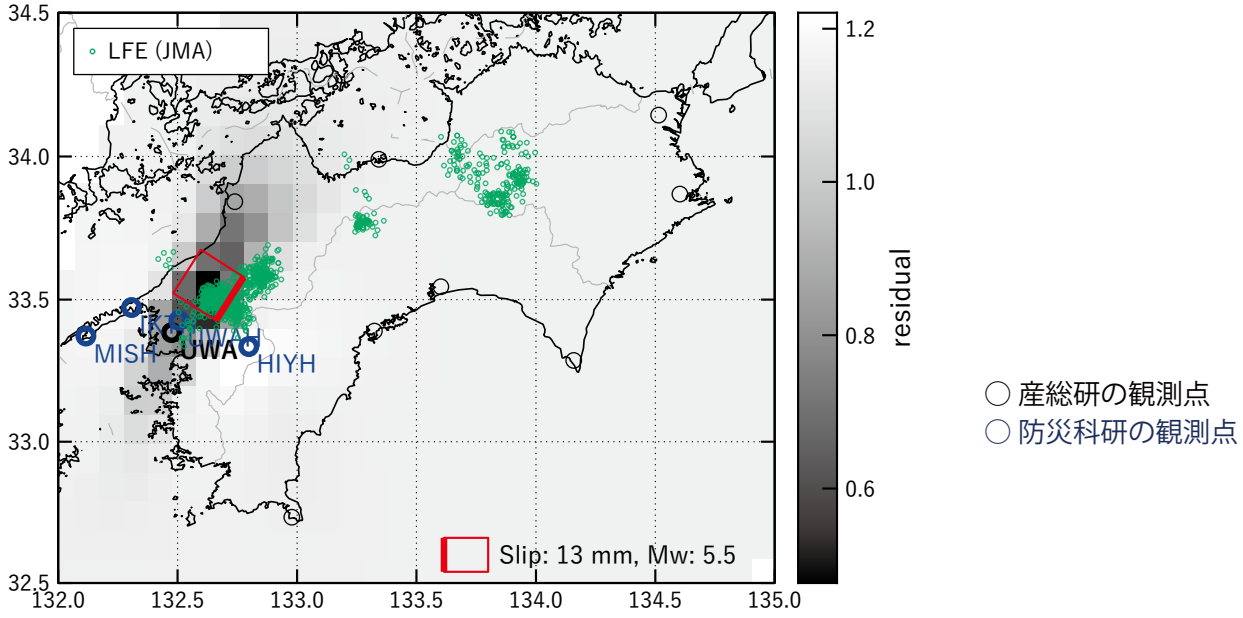
(b2) 主歪



第 20 図　第 15-16 図 [C]（東側）を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．
Fig. 20　Inferred fault models for Fig. 15-16 [C](East). See also the caption of Fig. 3.

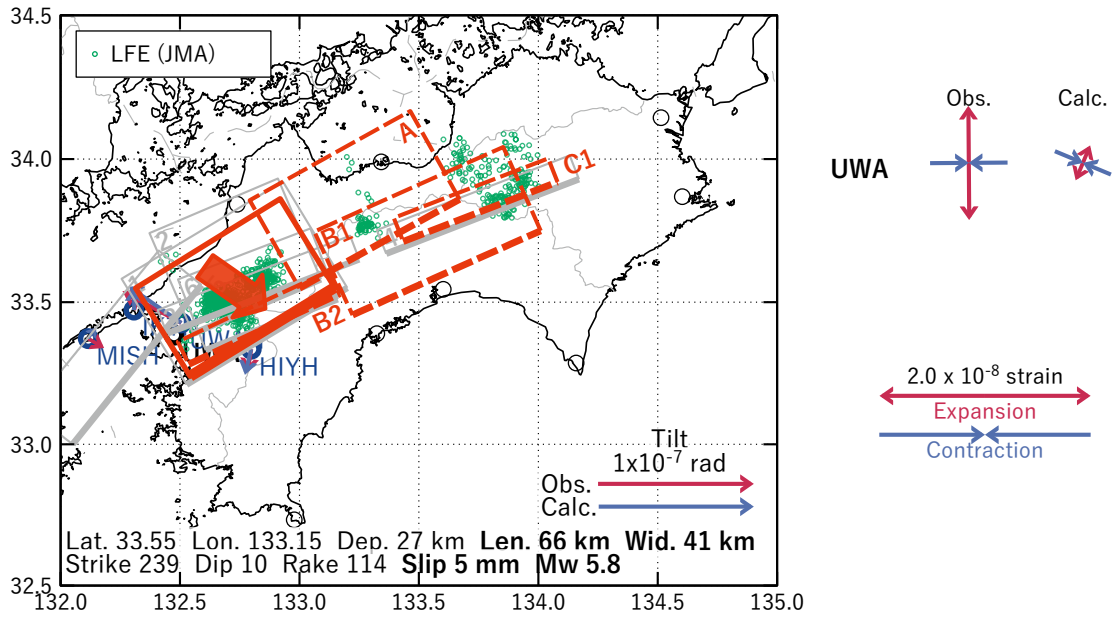
[C2] 2020/07/31PM-08/03 (西側)

(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



(b1) 推定した断層モデル

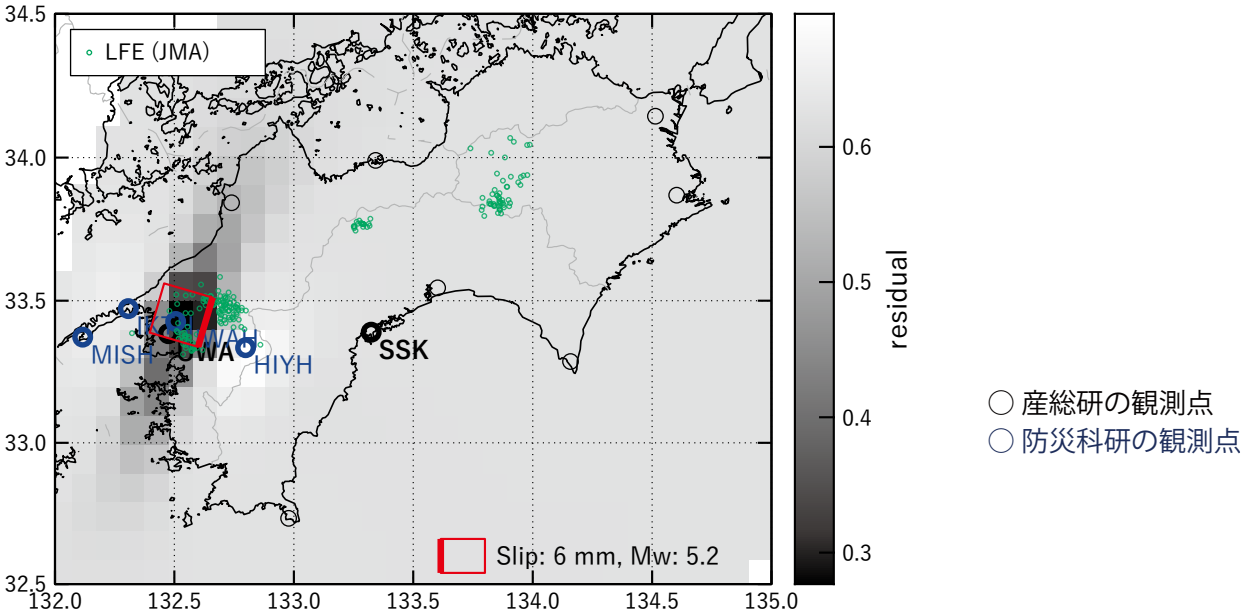
(b2) 主歪



第 21 図　第 15-16 図 [C]（西側）を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．
Fig. 21　Inferred fault models for Fig. 15-16 [C](West). See also the caption of Fig. 3.

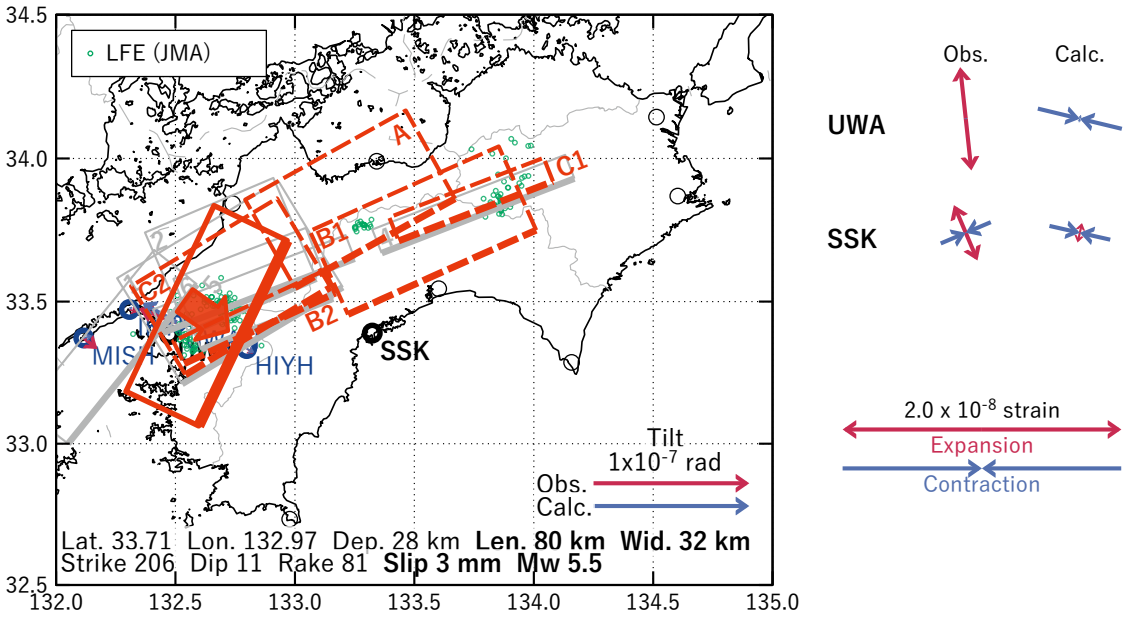
[D] 2020/08/04-05

(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

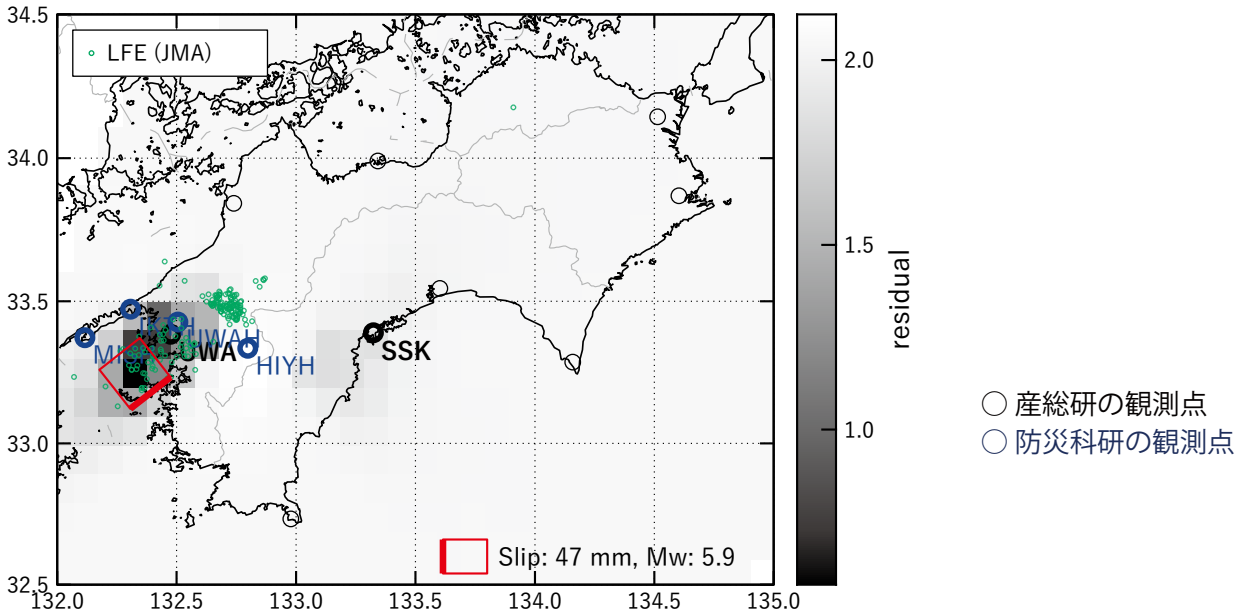
(b2) 主歪



第 22 図　第 15-16 図 [D] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．
Fig. 22　Inferred fault models for Fig. 15-16 [D]. See also the caption of Fig. 3.

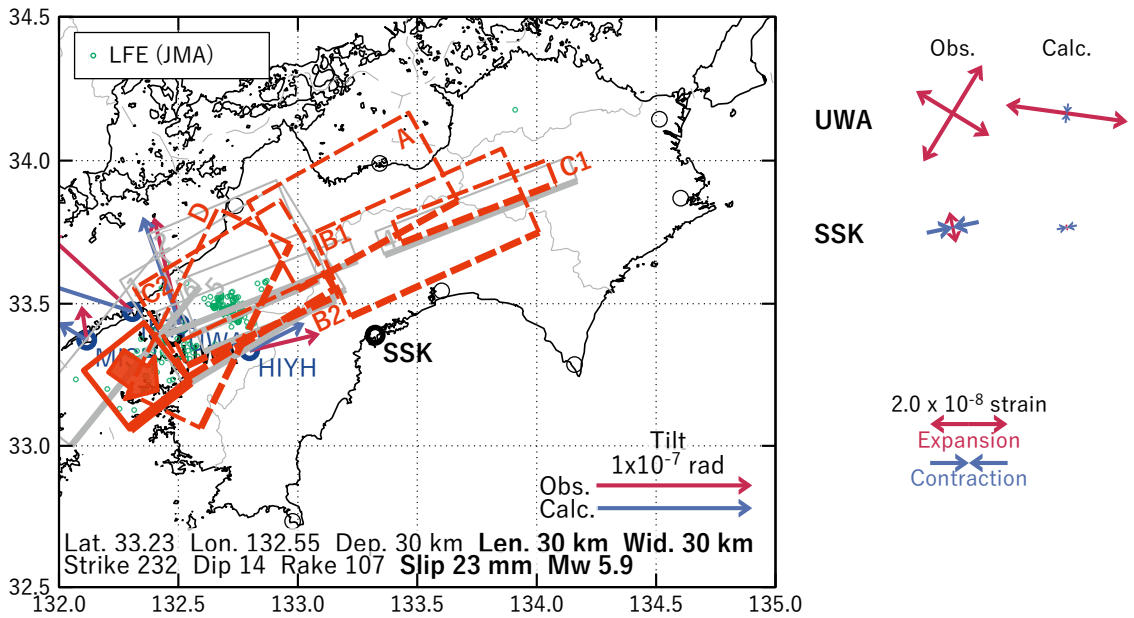
[E] 2020/08/06-08AM

(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

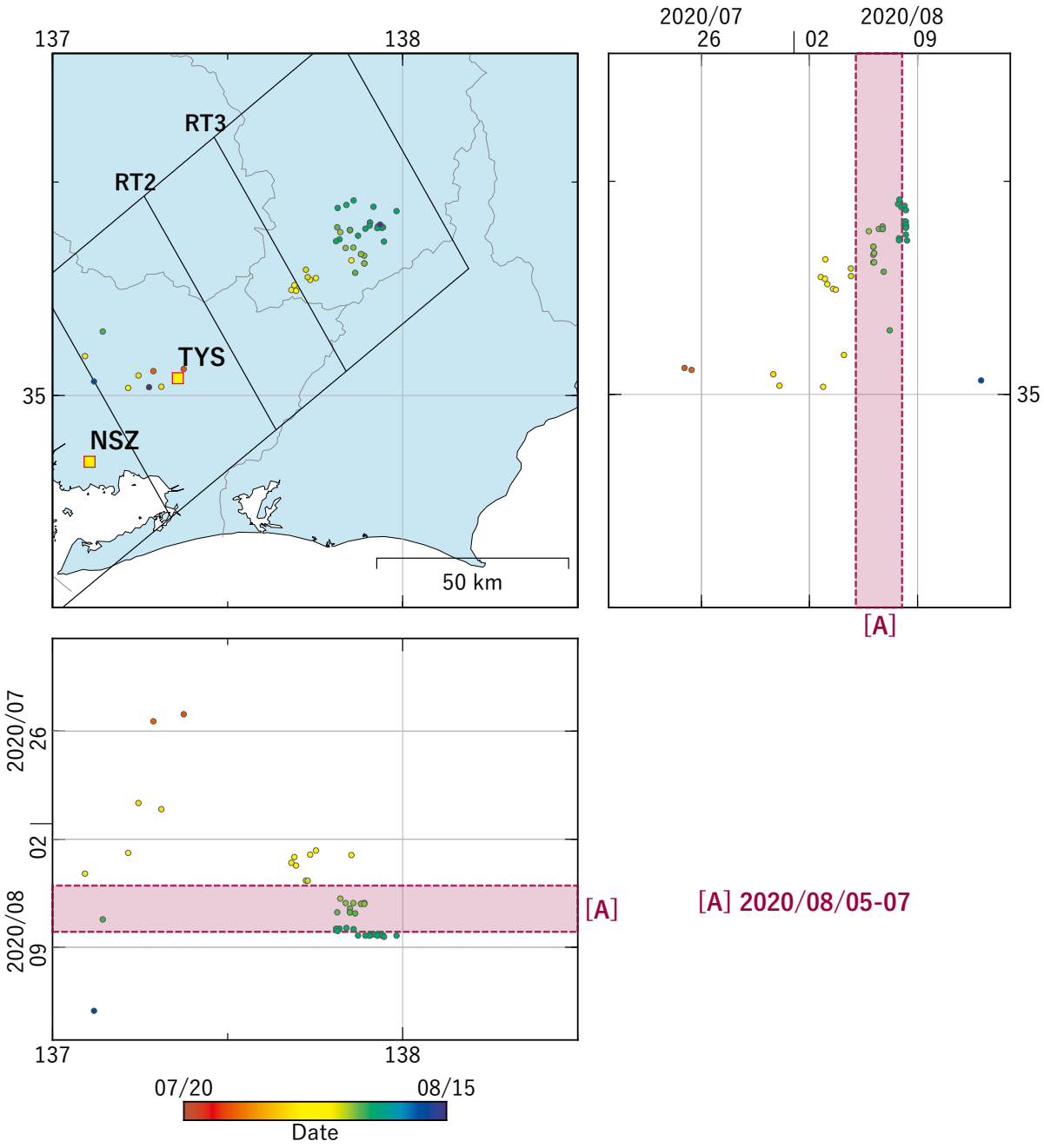


(b1) 推定した断層モデル

(b2) 主歪

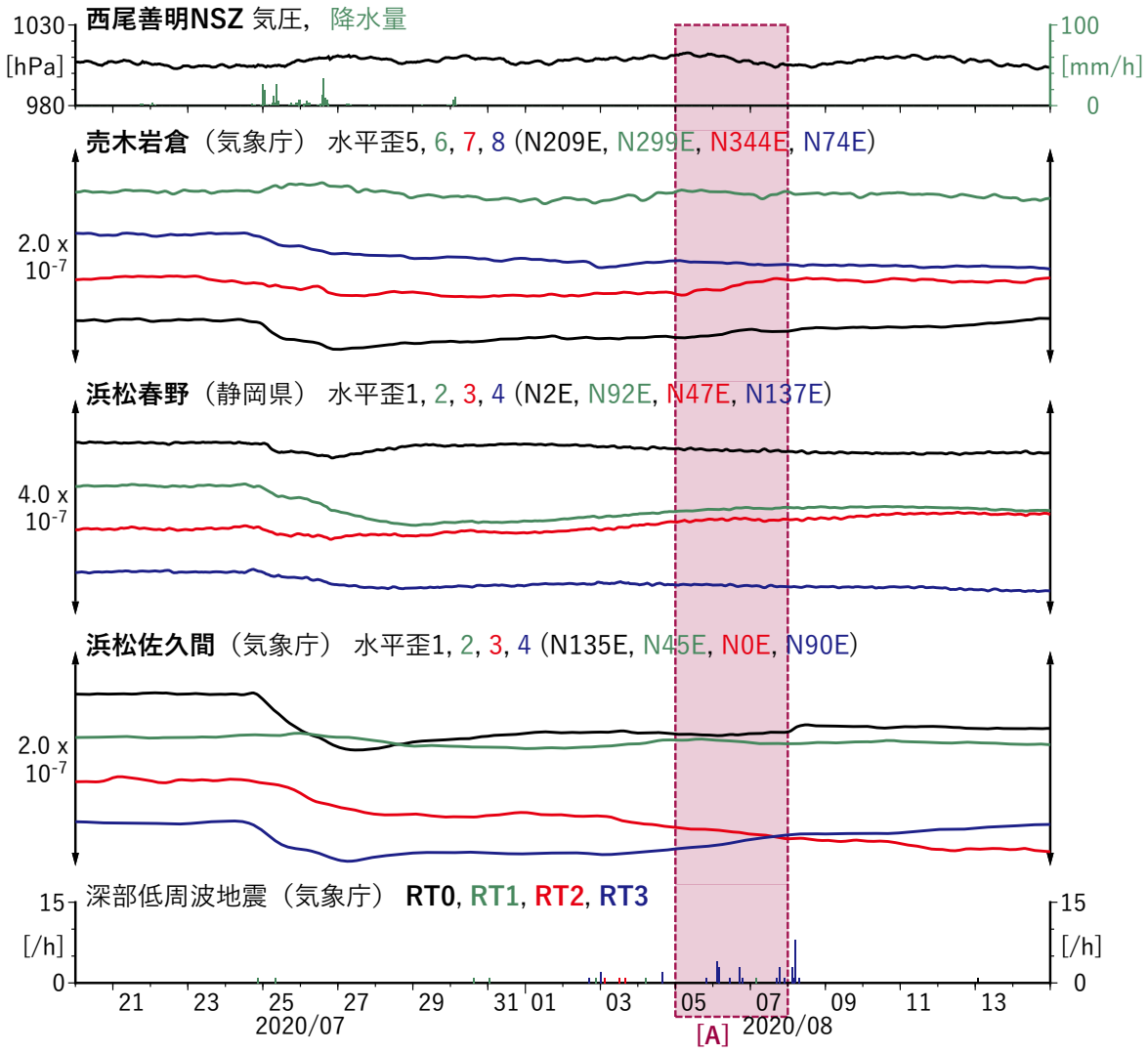


第 23 図　第 15-16 図 [E] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．
Fig. 23　Inferred fault models for Fig. 15-16 [E]. See also the caption of Fig. 3.



第 24 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（2020/07/20 ～ 2020/08/15）.

Fig. 24　Space-time distribution of deep low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Tokai region from July 20 to August 15, 2020.

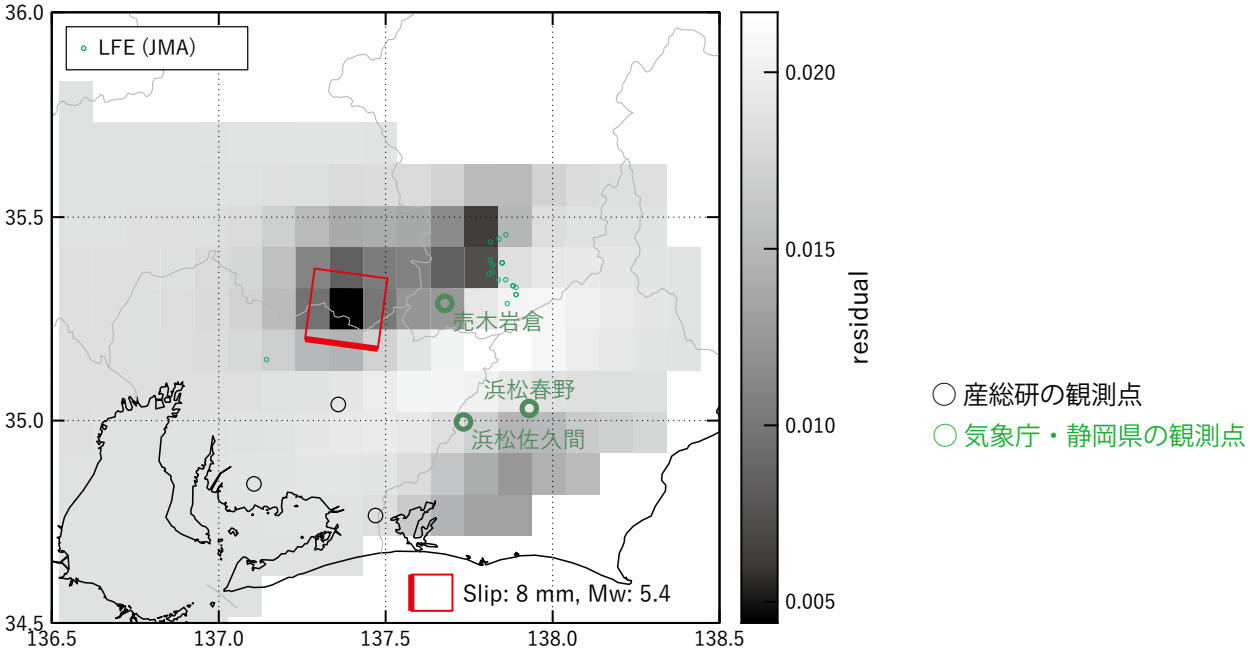


第 25 図　東海地方における歪・傾斜・地下水位の観測結果と深部低周波地震の検出数（2020/07/20 ～ 2020/08/15）.

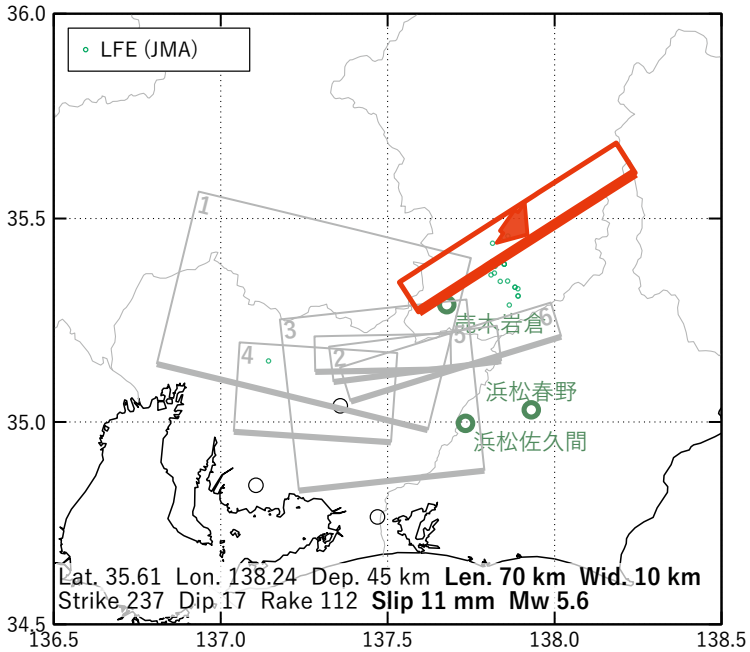
Fig. 25　Observed strain, tilt, and groundwater level data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Tokai region from July 20 to August 15, 2020.

[A] 2020/08/05-07

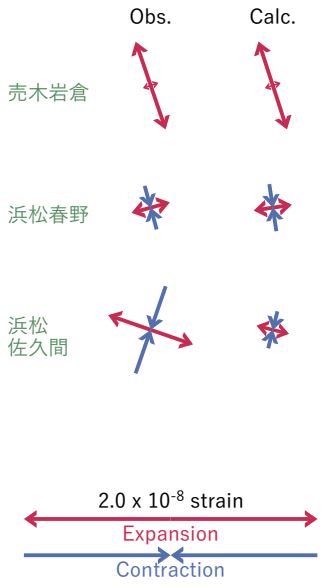
(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



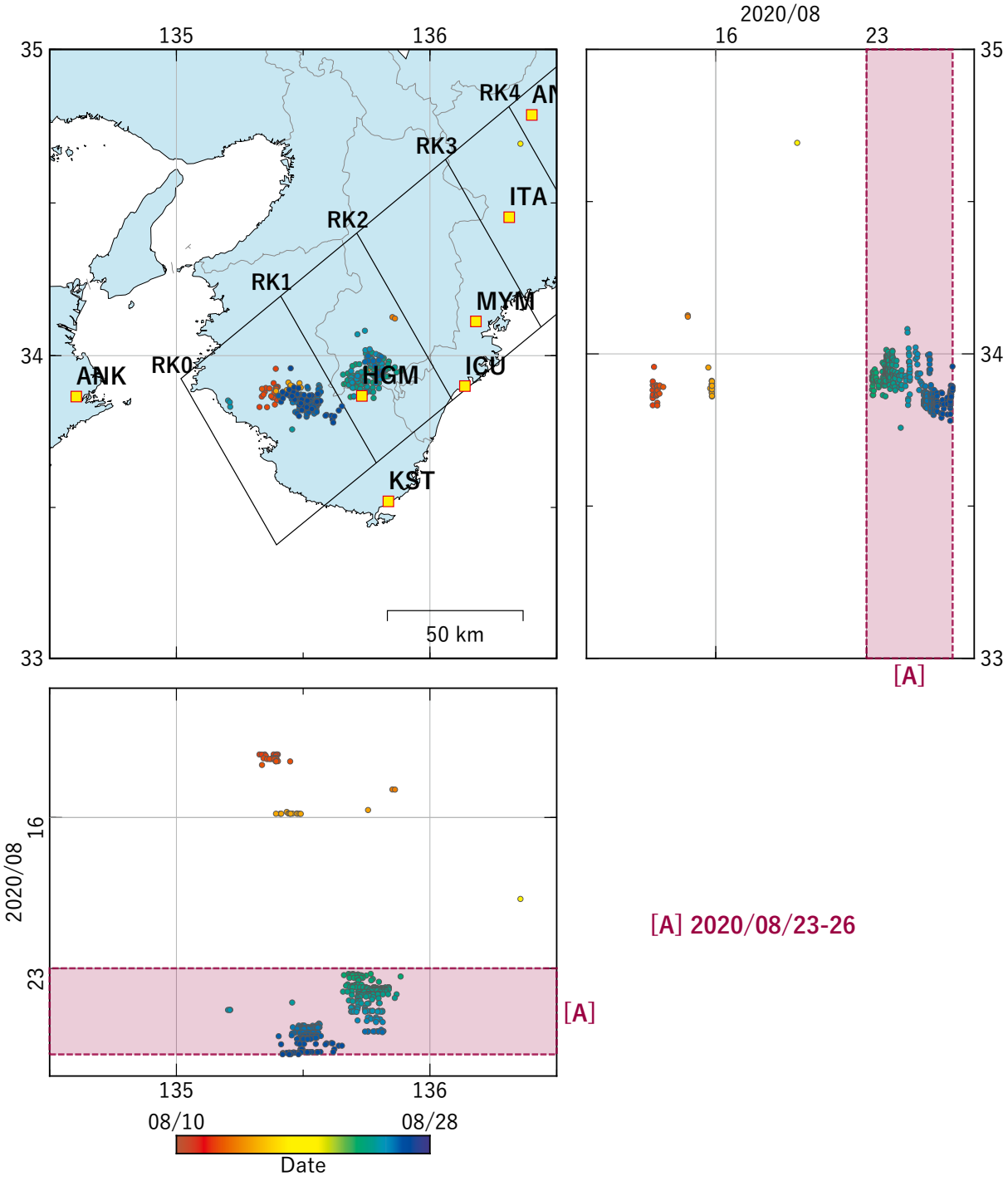
(b1) 推定した断層モデル



(b2) 主歪

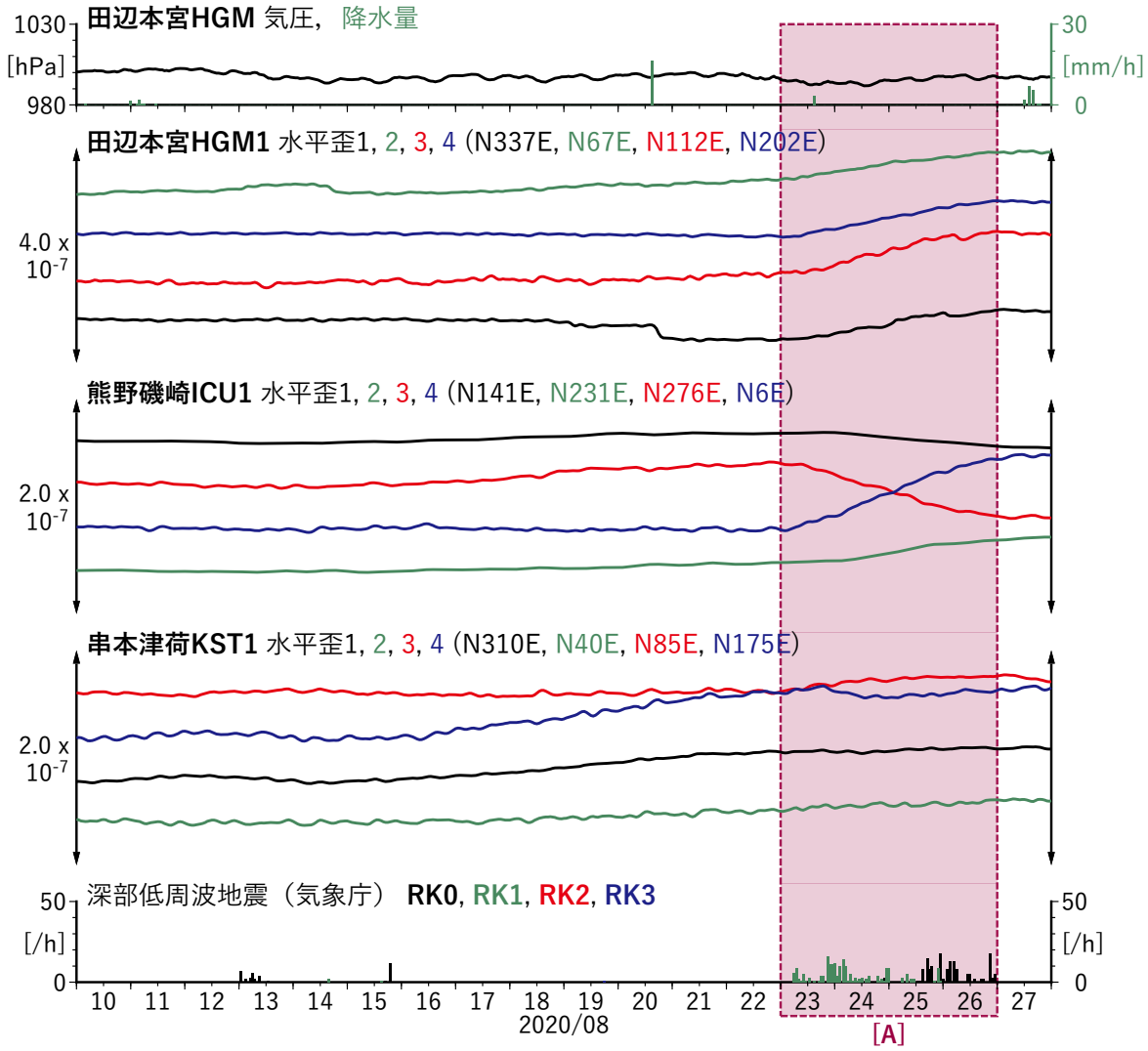


第 26 図　第 25 図 [A] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．
Fig. 26　Inferred fault models for Fig. 25 [A]. See also the caption of Fig. 3.



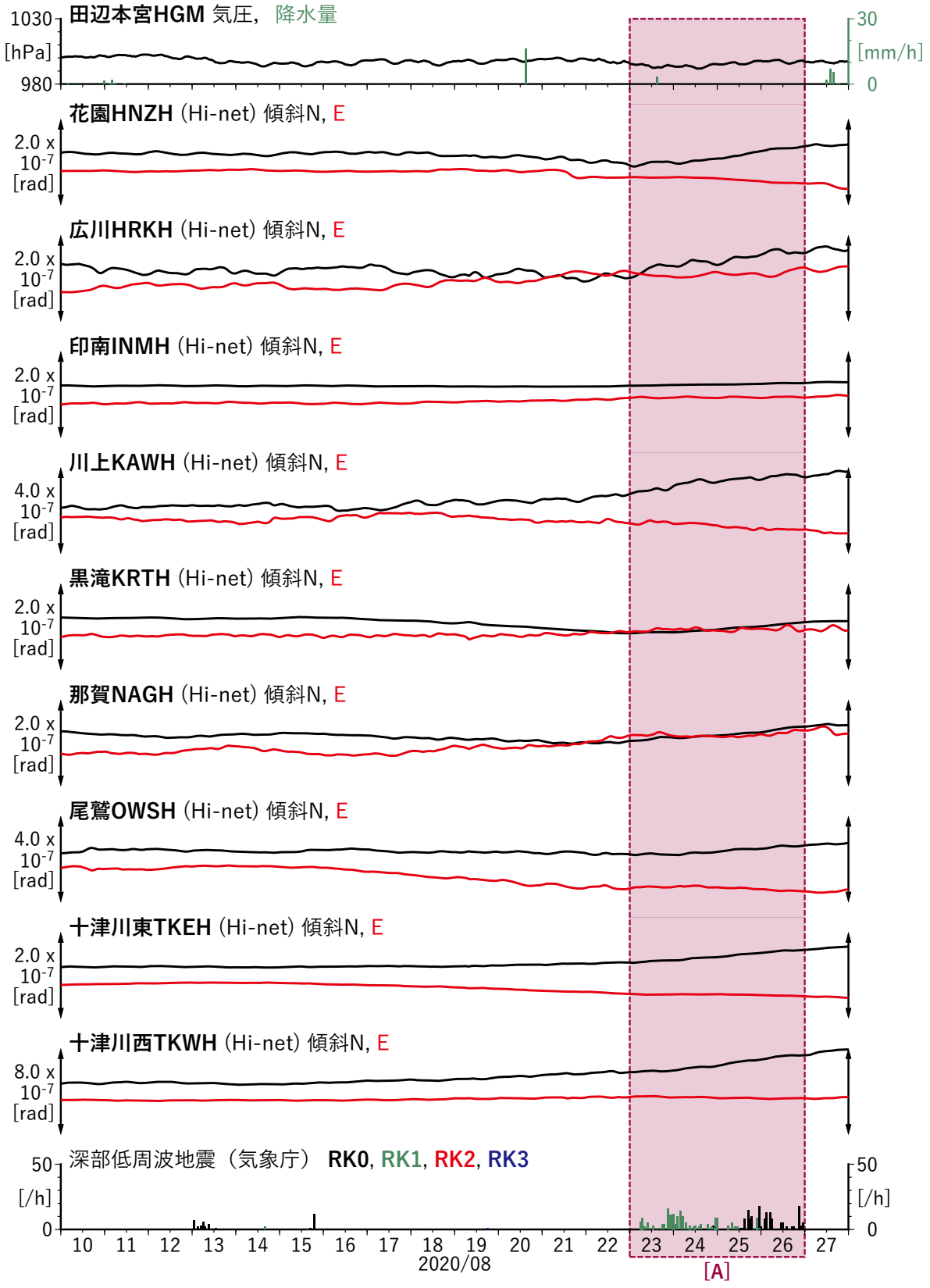
第 27 図　紀伊半島における深部低周波地震（気象庁一元化カタログによる）の時空間分布（2020/08/10 ～ 2020/08/28）.

Fig. 27　Space-time distribution of deep low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Kii Peninsula from August 10 to 28, 2020.



第 28 図　紀伊半島における歪・傾斜の観測結果と深部低周波地震の検出数（1）（2020/08/10 ～ 2020/08/28）.

Fig. 28　Observed strain and tilt data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Kii Peninsula from August 10 to 28, 2020 (1).

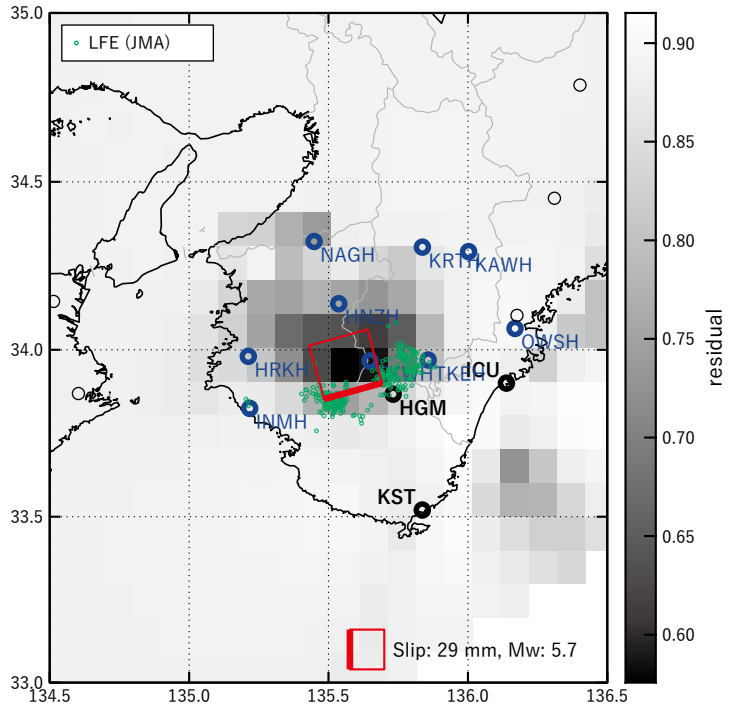


第 29 図　紀伊半島における歪・傾斜の観測結果と深部低周波地震の検出数（2）（2020/08/10 ～ 2020/08/28）.

Fig. 29　Observed strain and tilt data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Kii Peninsula from August 10 to 28, 2020 (2).

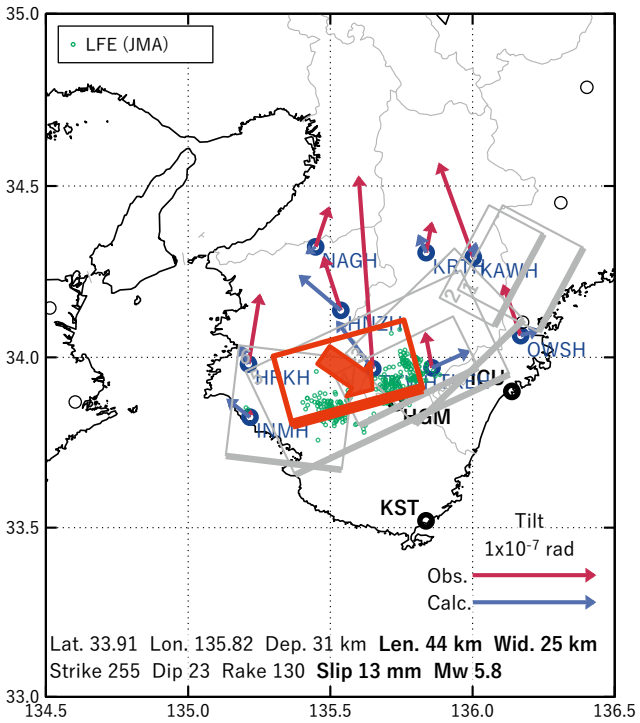
[A] 2020/08/23-26

(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

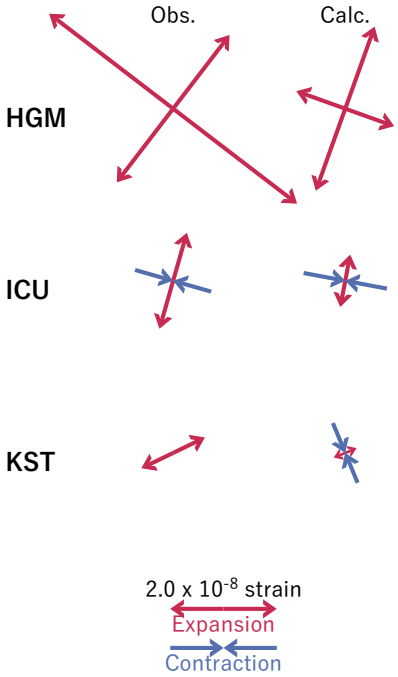


○ 産総研の観測点
○ 防災科研の観測点

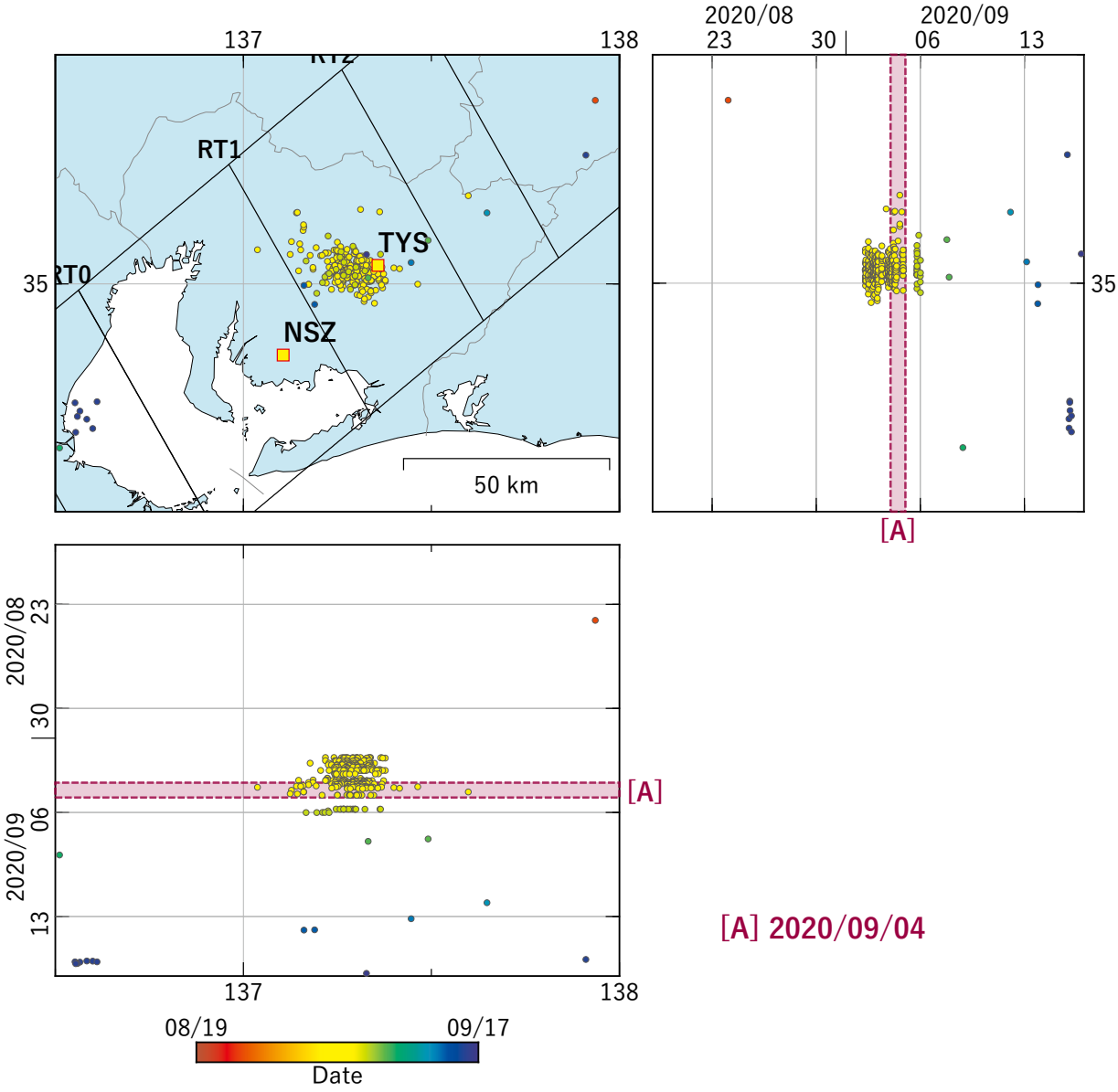
(b1) 推定した断層モデル



(b2) 主歪

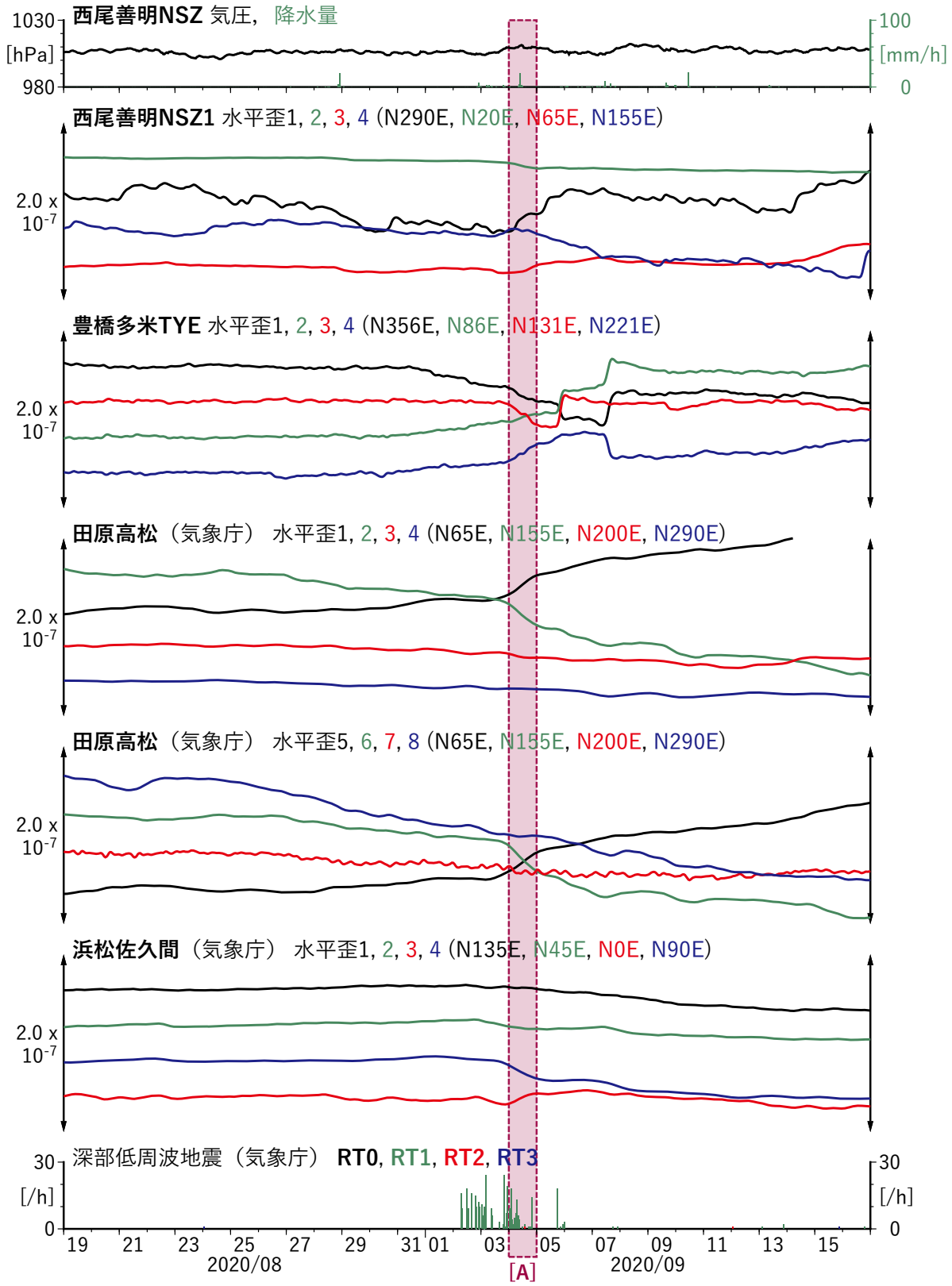


第 30 図　第 28-29 図 [A] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．
Fig. 30　Inferred fault models for Fig. 28-29 [A]. See also the caption of Fig. 3.



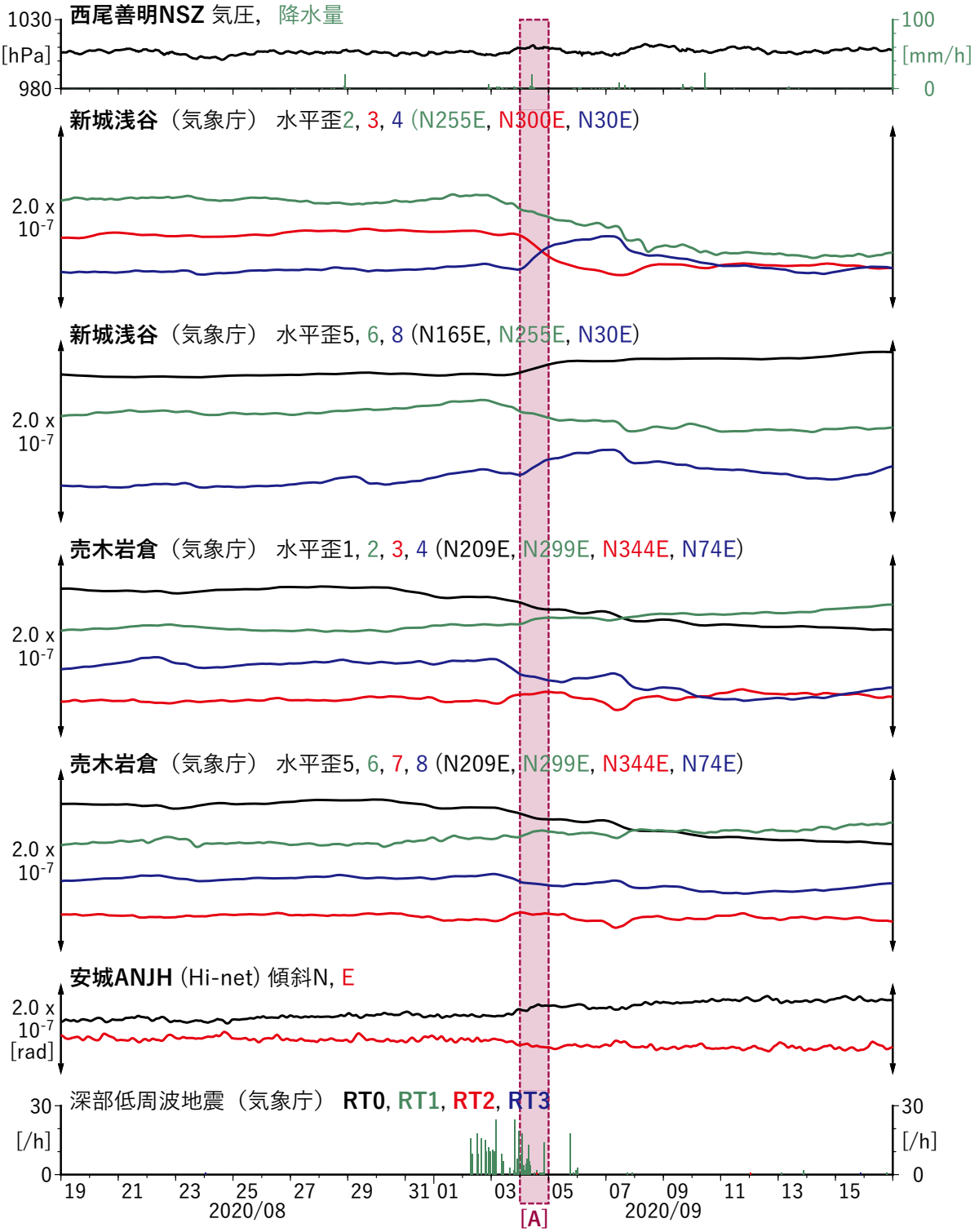
第 31 図　東海地方における深部低周波地震（気象庁一元化カタログによる）の時空間分布（2020/08/19 ～ 2020/09/17）.

Fig. 31　Space-time distribution of deep low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Tokai region from August 19 to September 17, 2020.



第 32 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（1）（2020/08/19 ～ 2020/09/17）.

Fig. 32　Observed strain and tilt data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Tokai region from August 19 to September 17, 2020 (1).

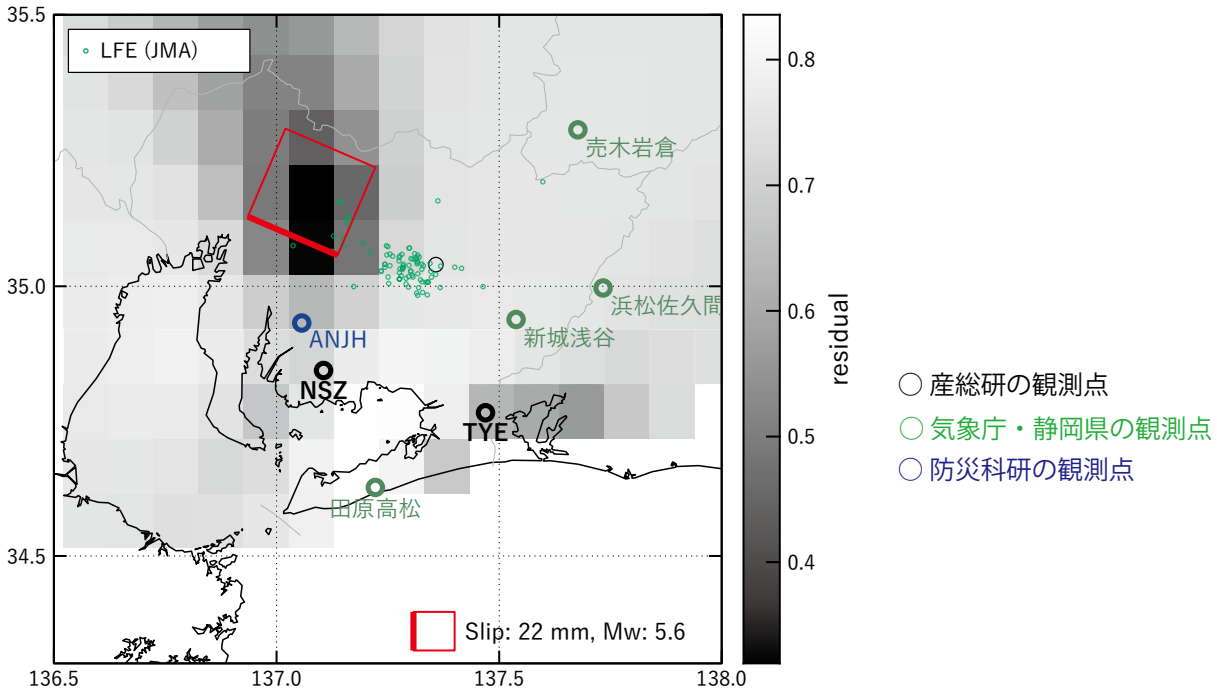


第 33 図　東海地方における歪・傾斜の観測結果と深部低周波地震の検出数（2）（2020/08/19 ～ 2020/09/17）.

Fig. 33　Observed strain and tilt data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Tokai region from August 19 to September 17, 2020 (2).

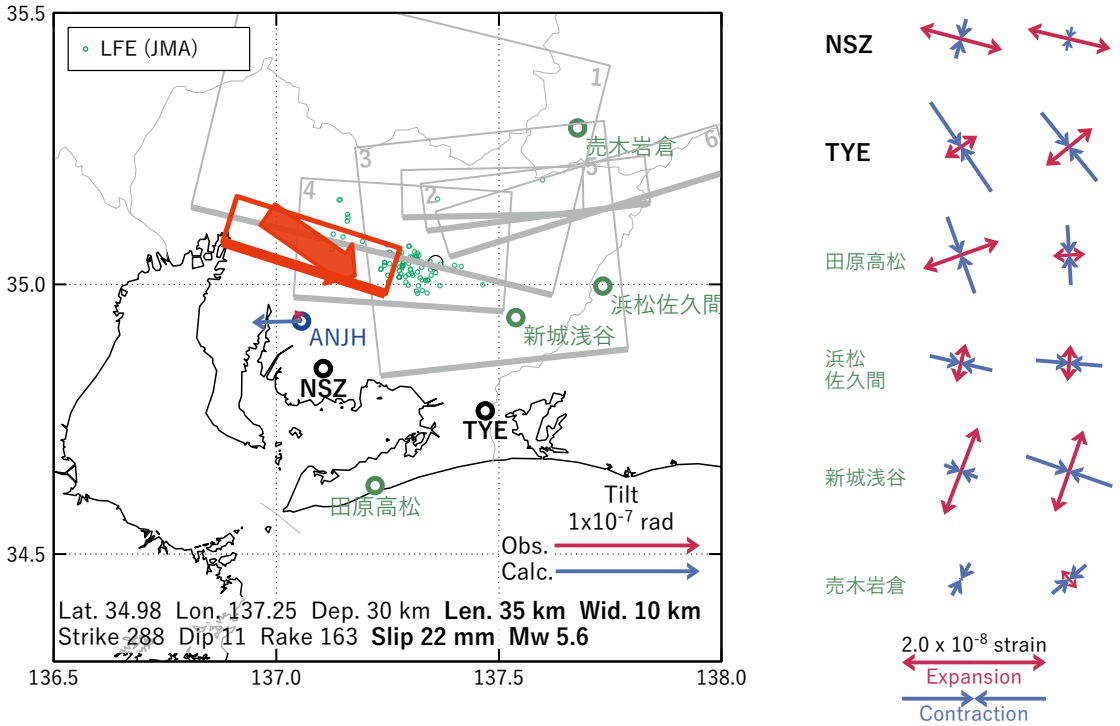
[A] 2020/09/04

(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

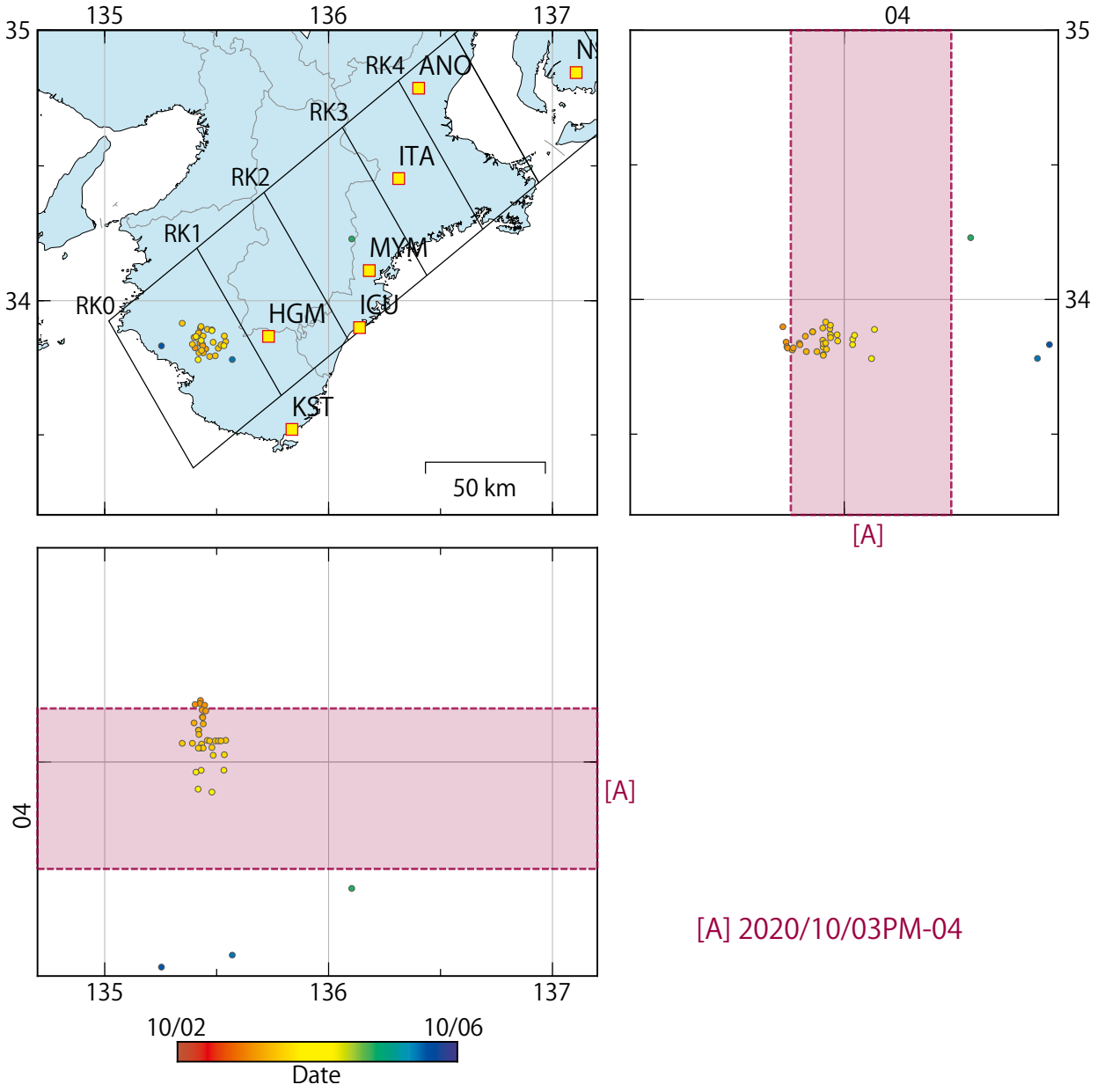


(b1) 推定した断層モデル

(b2) 主歪

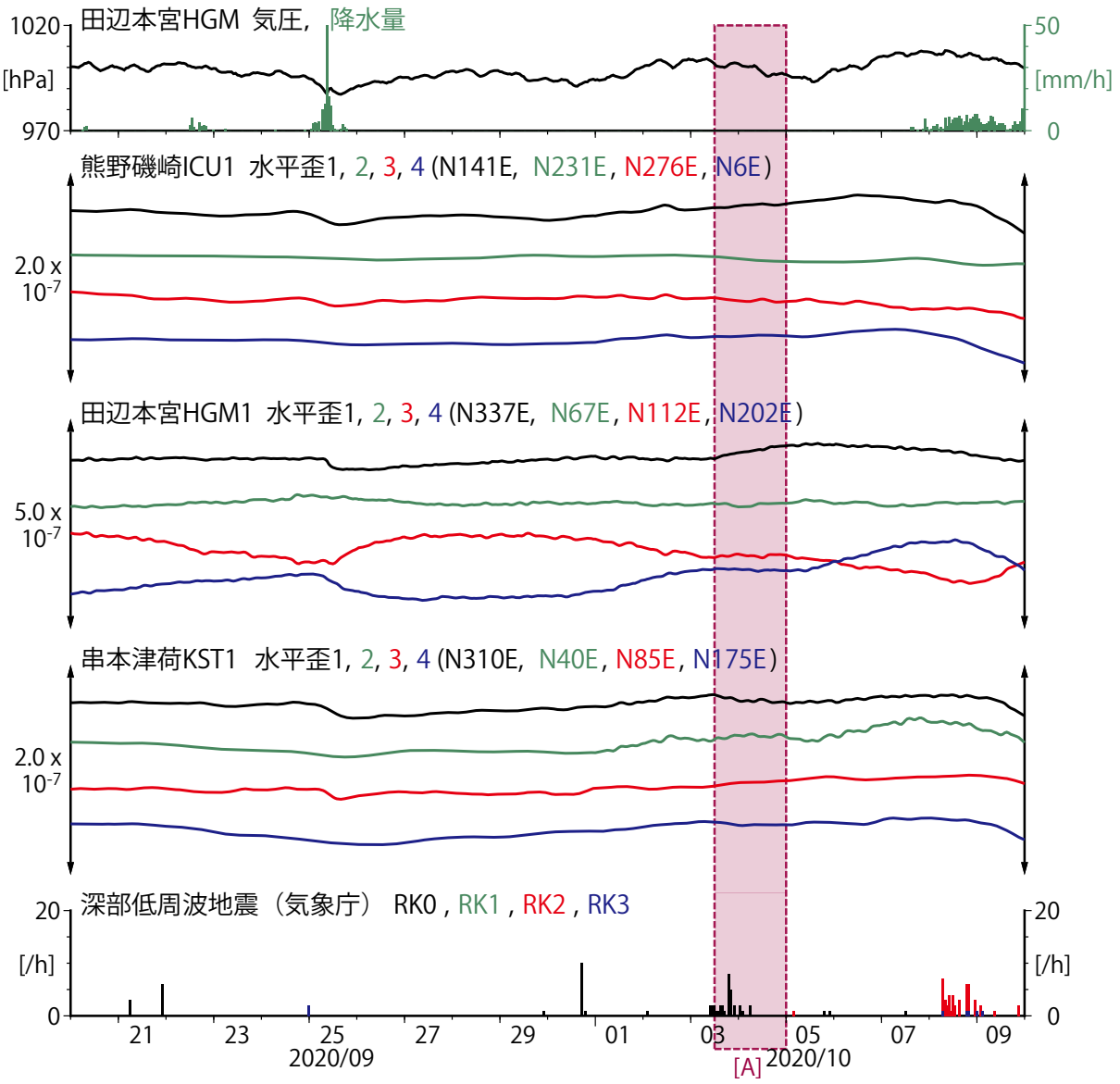


第 34 図　第 32-33 図 [A] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．
Fig. 34　Inferred fault models for Fig. 32-33 [A]. See also the caption of Fig. 3.



第 35 図　紀伊半島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（2020/10/02 ～ 2020/10/06）.

Fig. 35　Space-time distribution of deep low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Kii Peninsula from October 02 to 06, 2020.

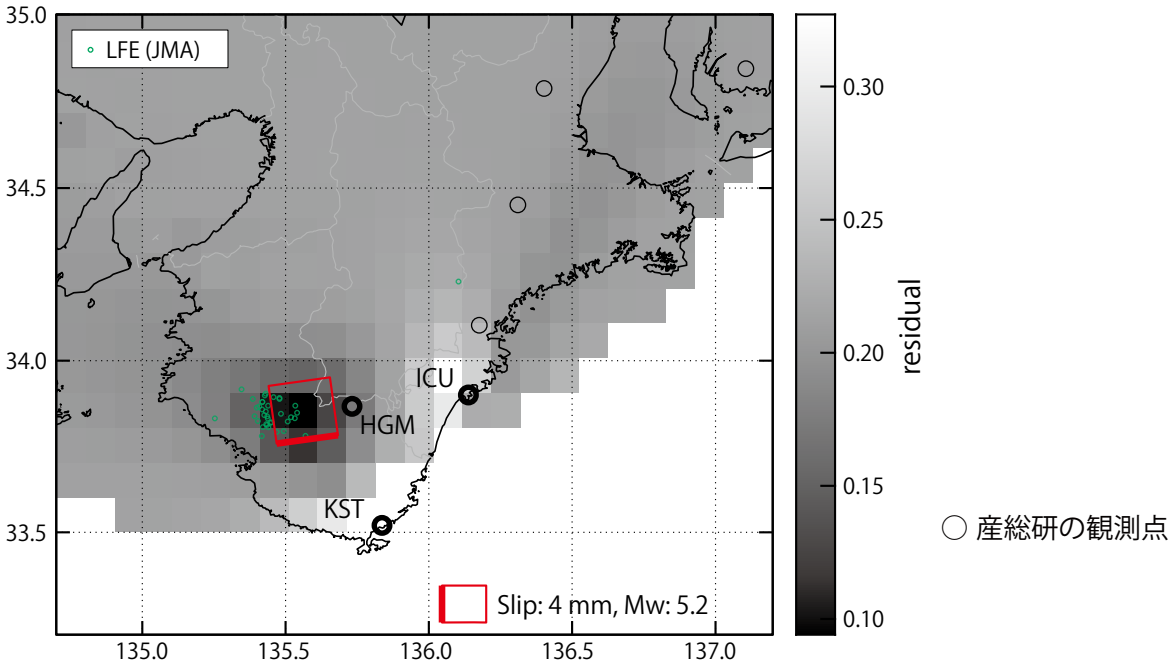


第 36 図　紀伊半島における歪・傾斜の観測結果と深部低周波地震の検出数（2020/09/20 ～ 2020/10/10）.

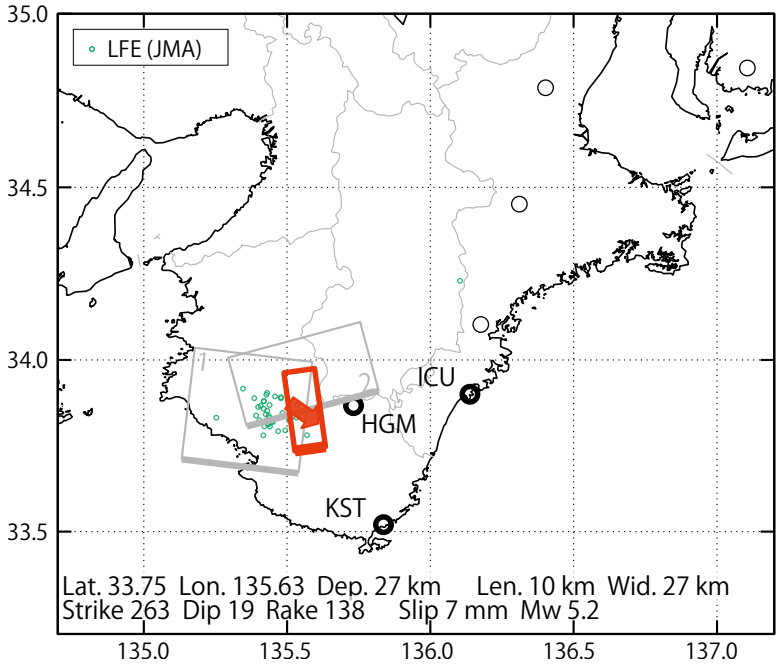
Fig. 36　Observed strain and tilt data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Kii Peninsula from September 20 to October 10, 2020.

[A] 2020/10/03PM-04

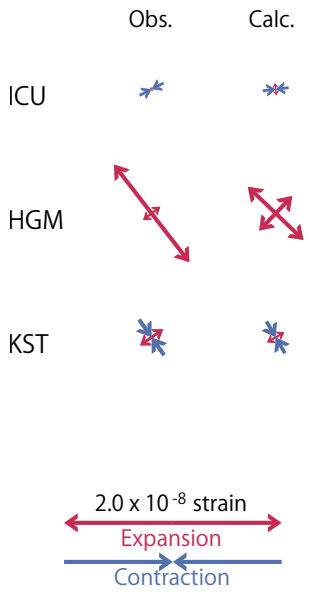
(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



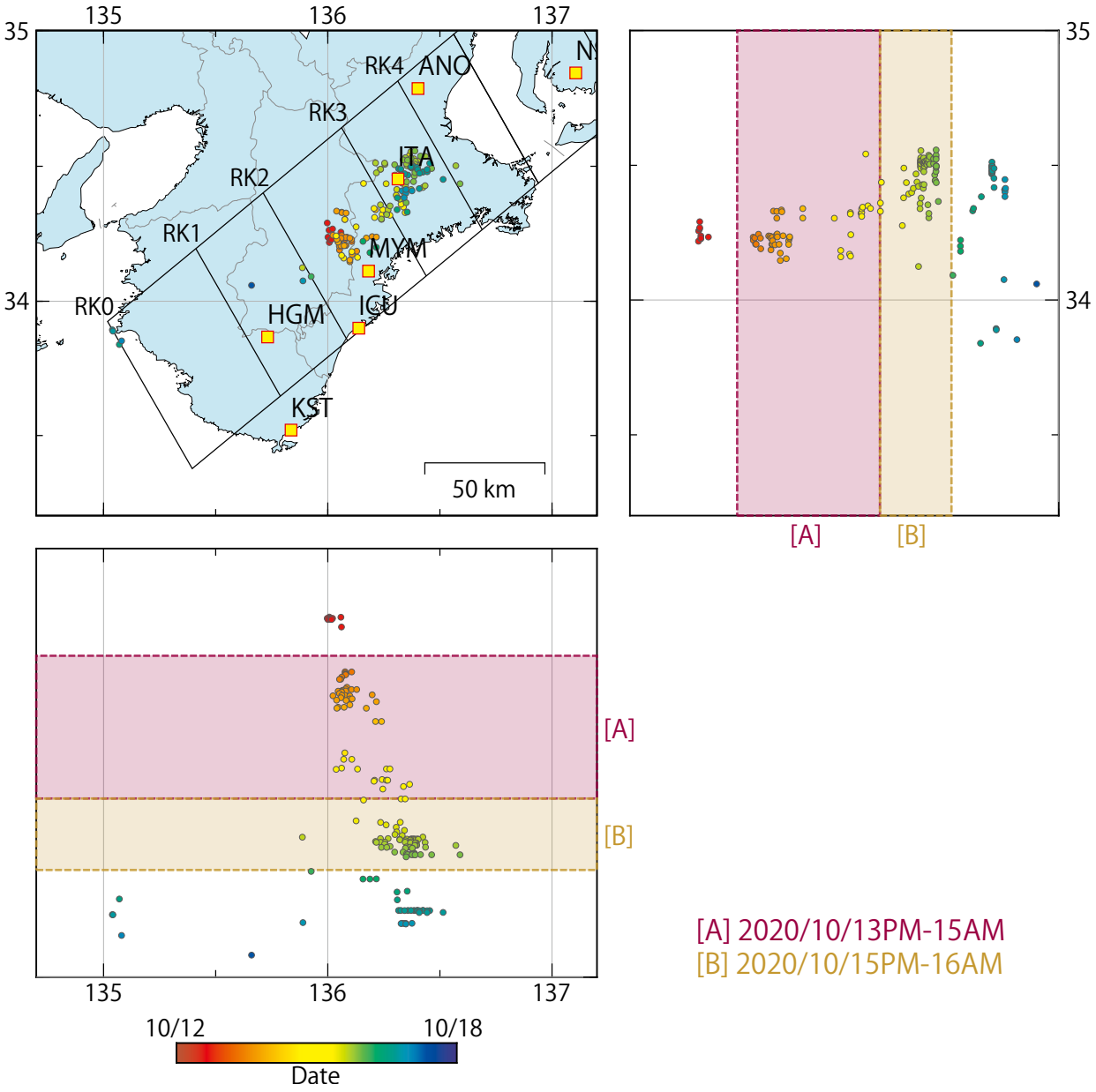
(b1) 推定した断層モデル



(b2) 主歪

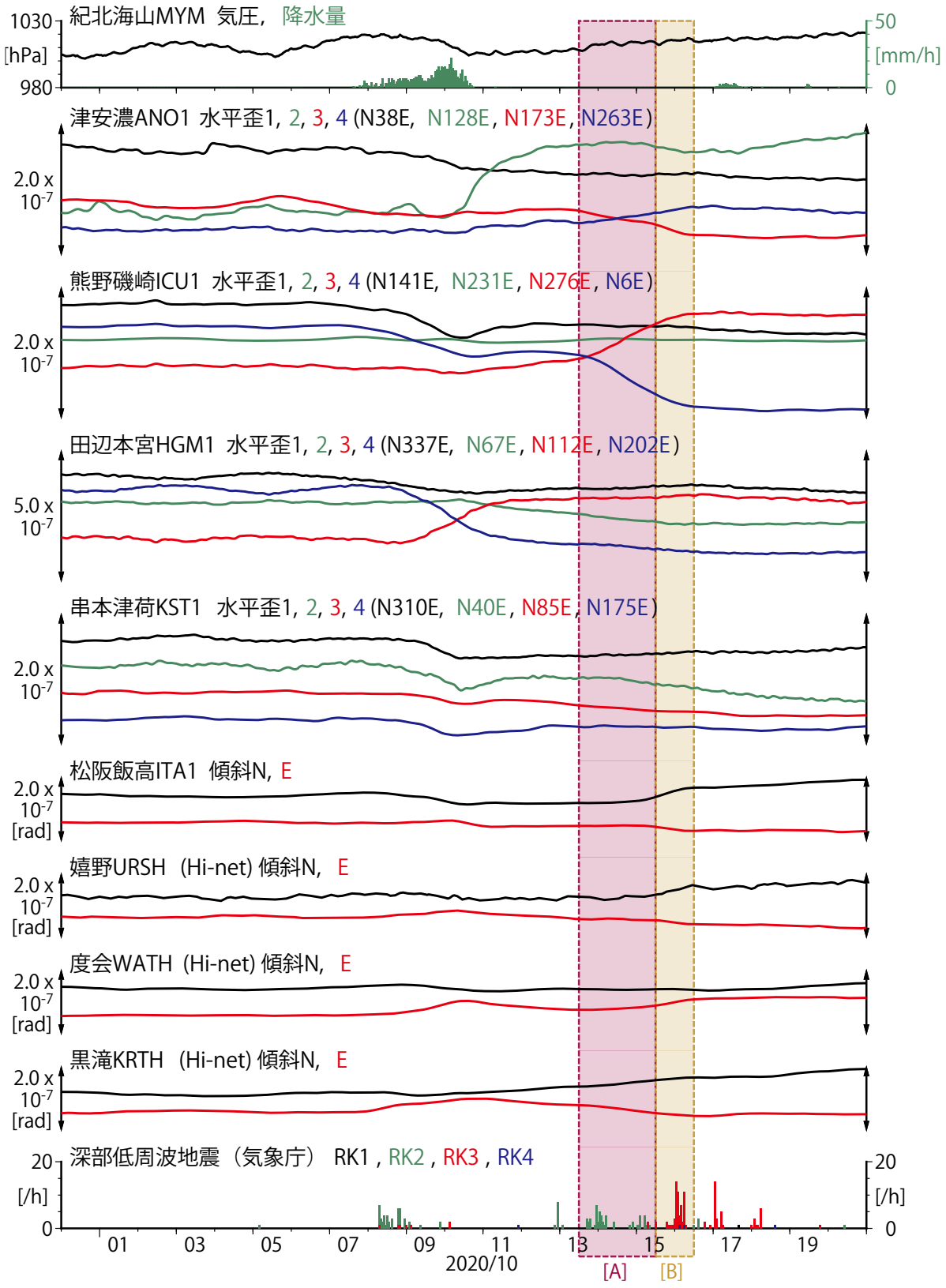


第 37 図　第 36 図 [A] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．
Fig. 37　Inferred fault models for Fig. 36 [A]. See also the caption of Fig. 3.



第 38 図　紀伊半島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（2020/10/12 ～ 2020/10/18）.

Fig. 38　Space-time distribution of deep low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Kii Peninsula from October 12 to 18, 2020.

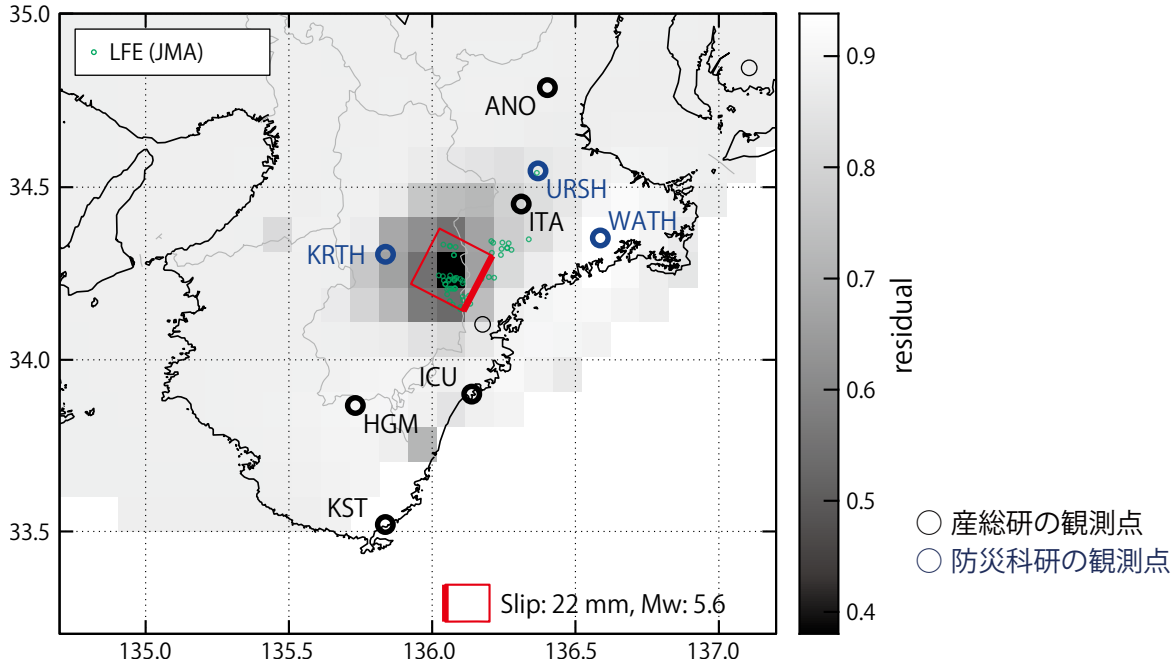


第 39 図　紀伊半島における歪・傾斜の観測結果と深部低周波地震の検出数（2020/09/30 ～ 2020/10/21）.

Fig. 39　Observed strain and tilt data and detected number of deep low-frequency earthquakes in the Kii Peninsula from September 30 to October 21, 2020.

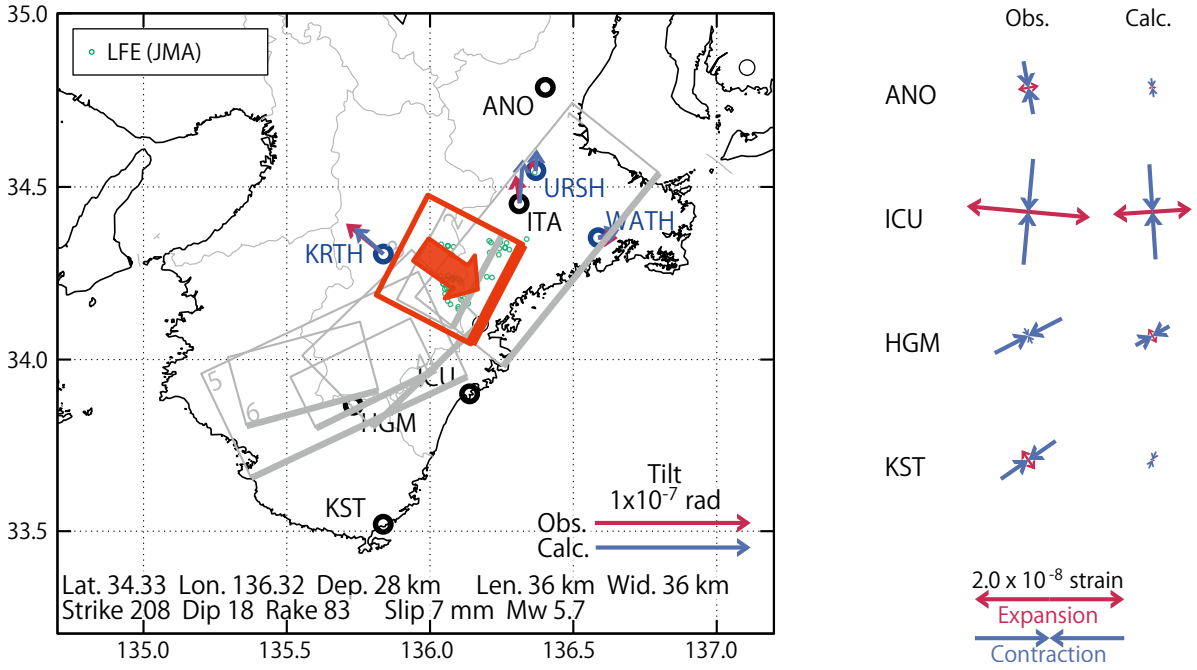
[A] 2020/10/13PM-15AM

(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

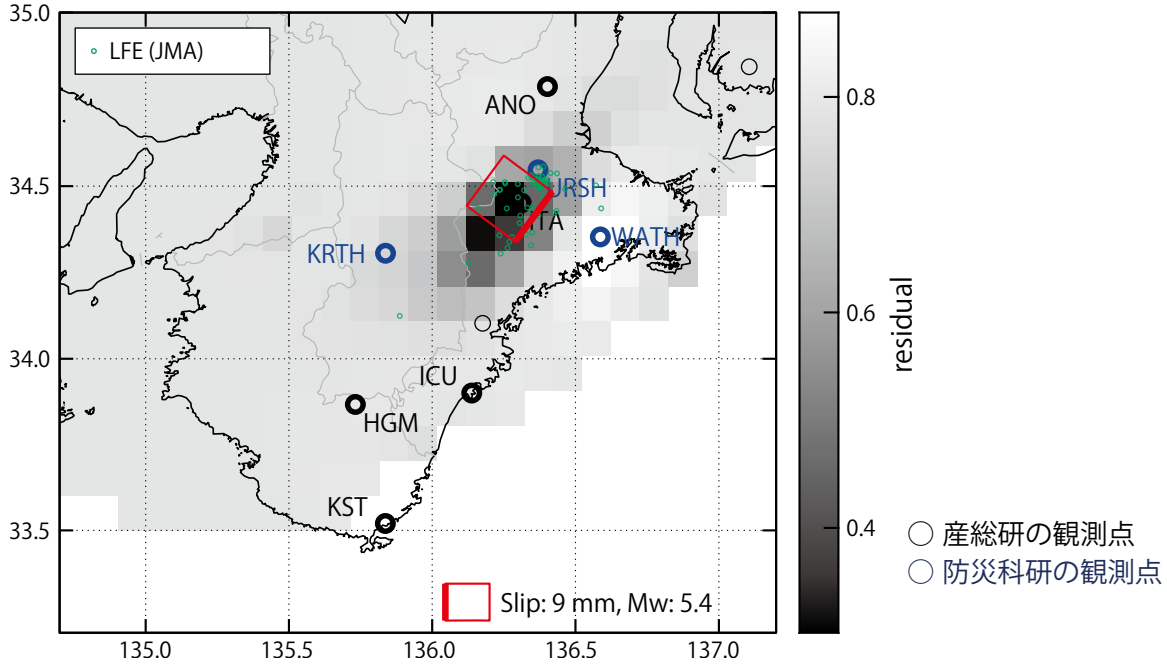
(b2) 主歪



第 40 図　第 39 図 [A] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．
Fig. 40　Inferred fault models for Fig. 39 [A]. See also the caption of Fig. 3.

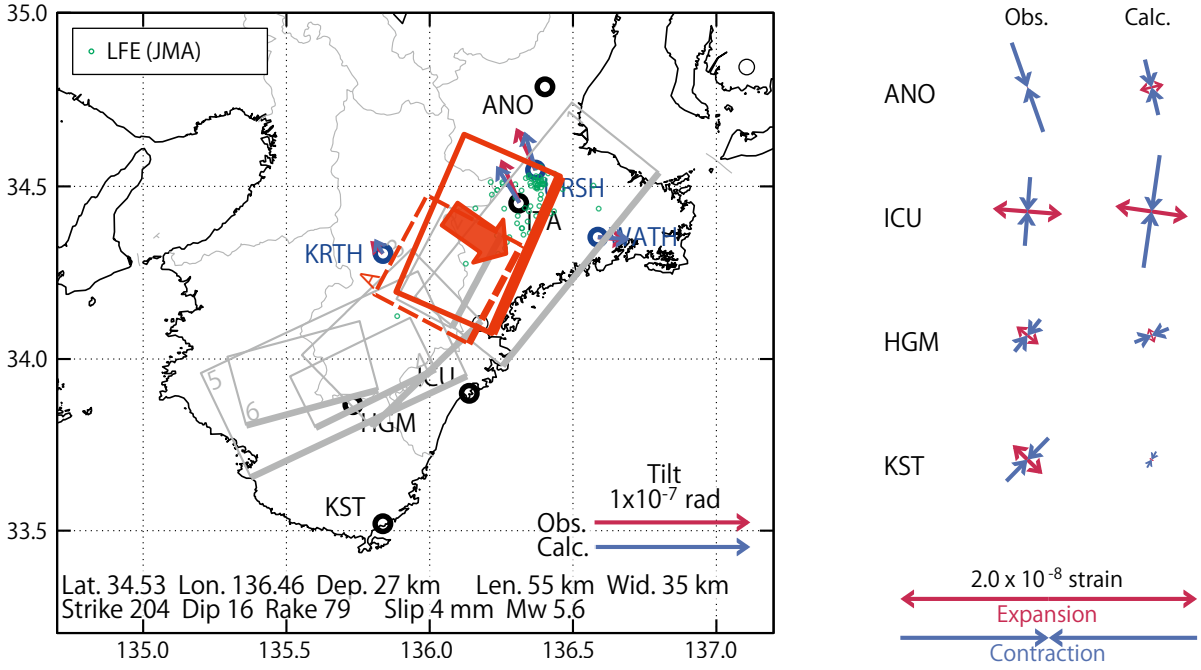
[B] 2020/10/15PM-16AM

(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



第 41 図　第 39 図 [B] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．
Fig. 41　Inferred fault models for Fig. 39 [B]. See also the caption of Fig. 3.

６－４　東海･関東･伊豆地域における地下水等観測結果（2020 年５月～ 2020 年 10 月）(62)

The Variation of the Groundwater Level, Discharge Rate, Tilt meter, Three-Component Strain, and Subsidence in the Tokai, Kanto District and Izu Peninsula, Japan. (from May 2020 to Oct. 2020) (62)

産業技術総合研究所
Geological Survey of Japan, AIST

2020 年 5 月～ 2020 年 10 月の半年間の東海・関東・伊豆地域の地下水等の観測結果を報告する．本報告では，観測井配置図（第 1 図）の図中の枠で示す 4 地域および第 2 図に示す地域に分けて表示する．6 ヶ月間のデータを 3 ヶ月毎に示すとともに 2 年間の観測データを参考として示す（第 3 ～ 20 図）．また，浜岡・掛川における沈下等の観測結果（第 21，22 図）についても示す．なお図中の印で，＄は保守を，＊は雨量補正不十分を，@ は解析による見かけ上のギャップを，# はバッテリー消耗を，？は原因不明をそれぞれ表す．

東海地域中部：　静岡栗原 1 の水位上が 2015 年 4 月中旬に井戸管の広い部分まで上昇したのでそれ以降の水位変化が小さくなっている．

東海地域南部：　御前崎のガス流量システムを 2017 年 2 月 16 日に更新した．2018 年 10 月 16 ～ 26 日の御前崎の水位の異常はガス流量計の故障が原因と思われる．

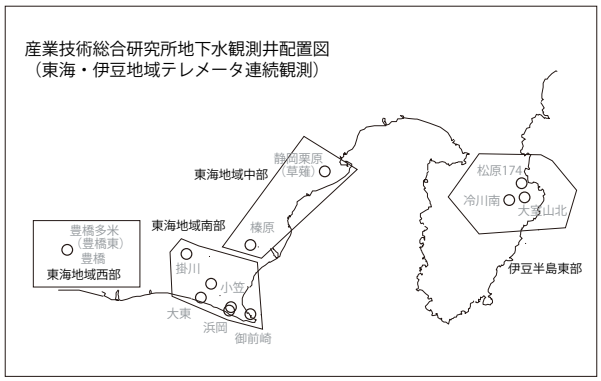
東海地域西部：　特記すべき変化はない．

伊豆半島東部地域：松原 174 号井は静岡県による観測である．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た．新水位計を 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．

関東地域：　つくば 2, 3, 4 の水位が例年春から秋に低下するのは，周囲の揚水によると考えられる．

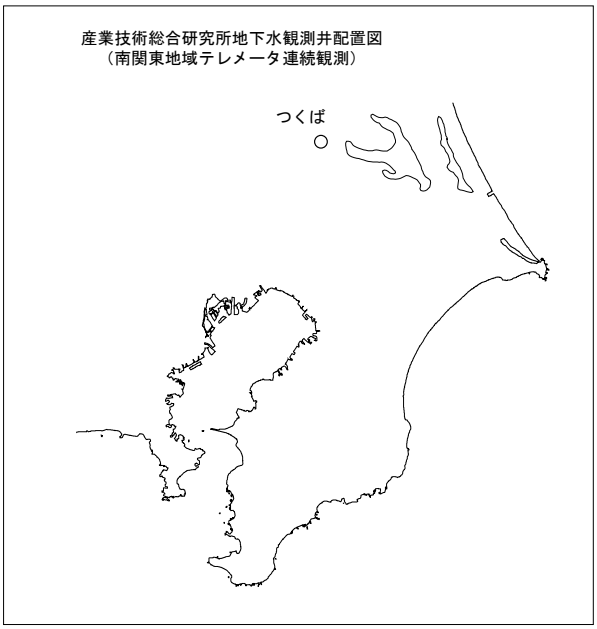
これらのデータは WellWeb (http://www.gsj.jp/wellweb) にて公開している．

(木口　努・松本　則夫・北川　有一・板場　智史・落　唯史・佐藤　努・矢部　優)



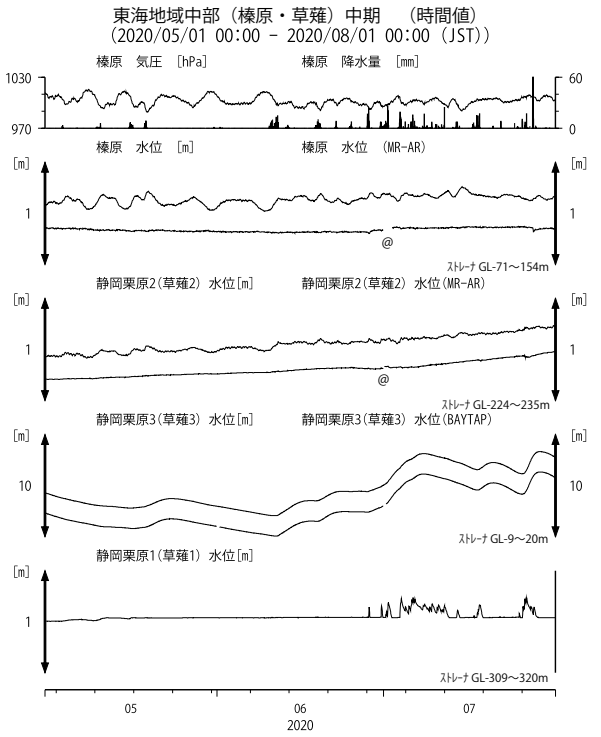
第 1 図　伊豆・東海地域の産業技術総合研究所地下水等観測井の配置図

Fig. 1　Location of the groundwater observation wells in and around the Tokai and Izu district.



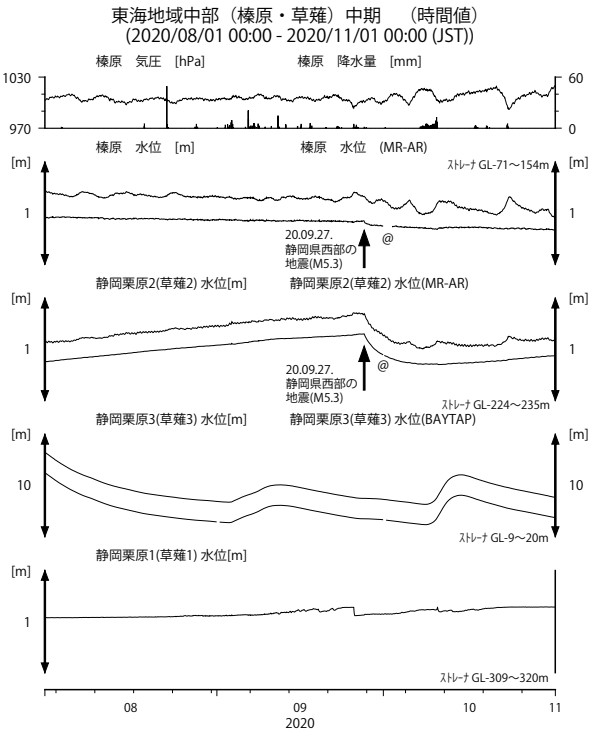
第 2 図　関東地域の産業技術総合研究所地下水等観測井の配置図

Fig. 2　Location of the groundwater observation wells in the Kanto district.



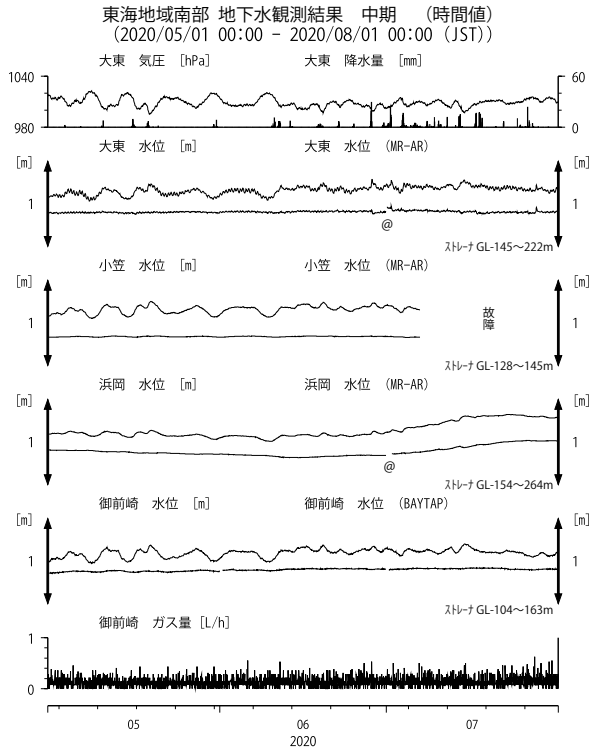
第 3 図　東海地域中部の地下水等の観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 7 月）

Fig. 3　Observed groundwater levels and others in the central Tokai district from May 2020 to Jul. 2020.



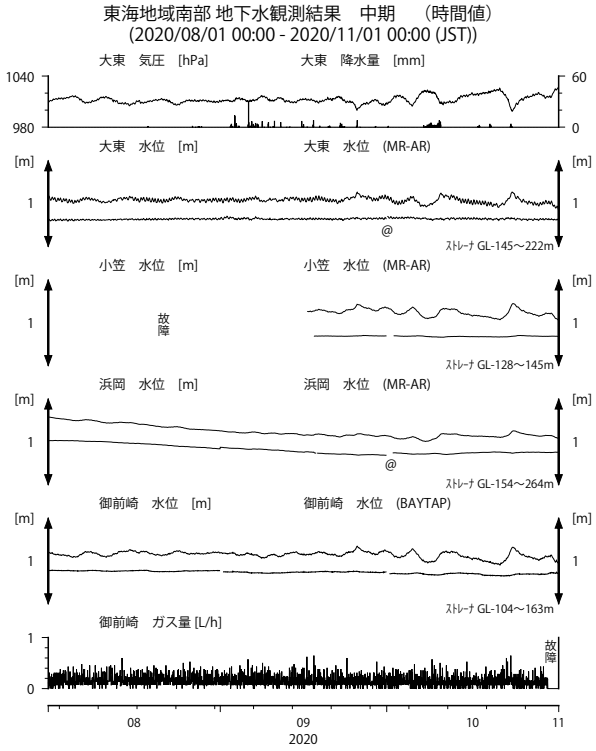
第 4 図　東海地域中部の地下水等の観測結果（2020 年 8 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 4　Observed groundwater levels and others in the central Tokai district from Aug. 2020 to Oct. 2020.



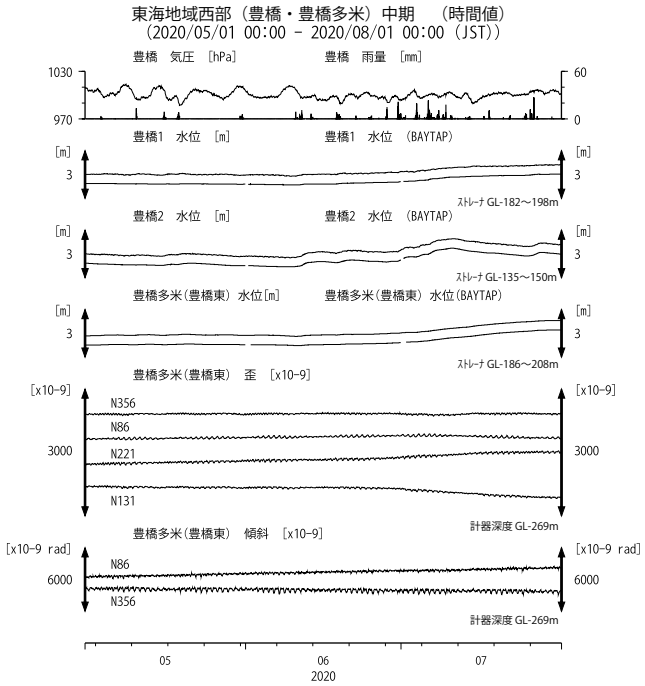
第 5 図　東海地域南部の地下水等の観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 7 月）

Fig. 5　Observed groundwater levels and others in the southern Tokai district from May 2020 to Jul. 2020.



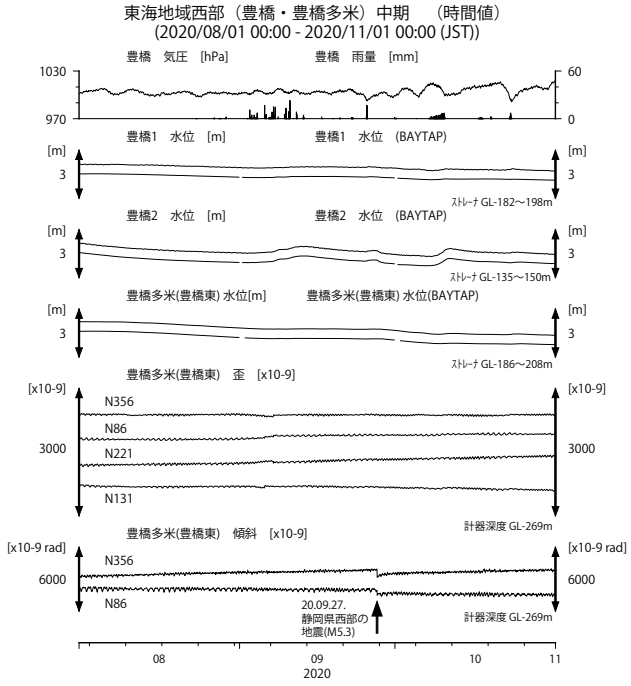
第 6 図　東海地域南部の地下水等の観測結果（2020 年 8 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 6　Observed groundwater levels and others in the southern Tokai district from Aug. 2020 to Oct. 2020.



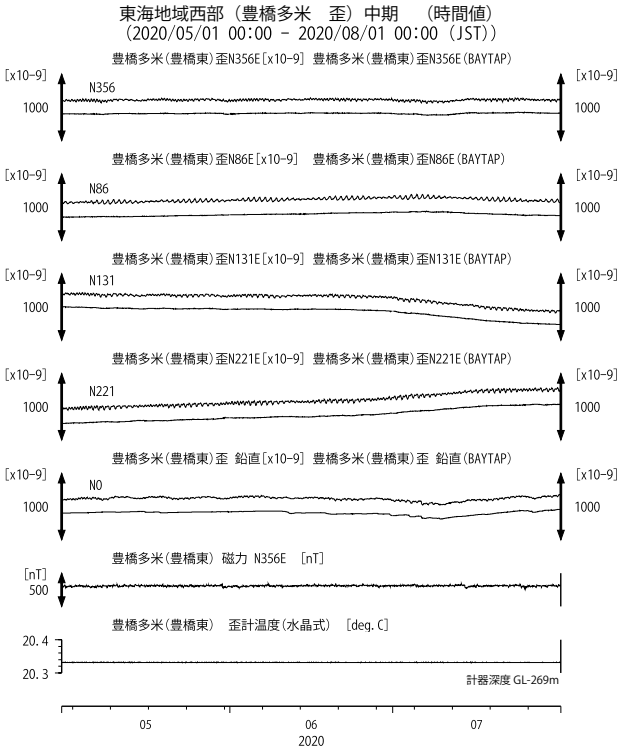
第 7 図　東海地域西部（豊橋・豊橋多米）の地下水等の観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 7 月）

Fig. 7　Observed groundwater levels and others at the Toyohashi and Toyohashi-tame observation sites in the western Tokai district from May 2020 to Jul. 2020.



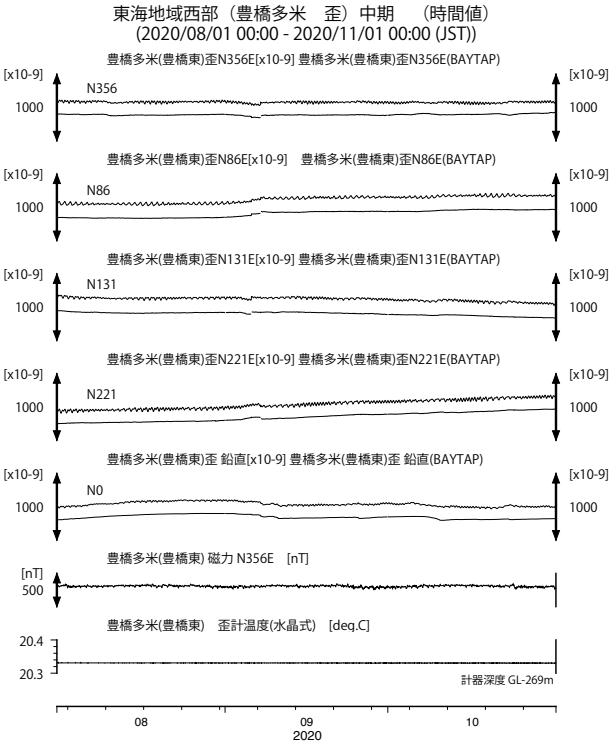
第 8 図　東海地域西部（豊橋・豊橋多米）の地下水等の観測結果（2020 年 8 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 8　Observed groundwater levels and others at the Toyohashi and Toyohashi-tame observation sites in the western Tokai district from Aug. 2020 to Oct. 2020.



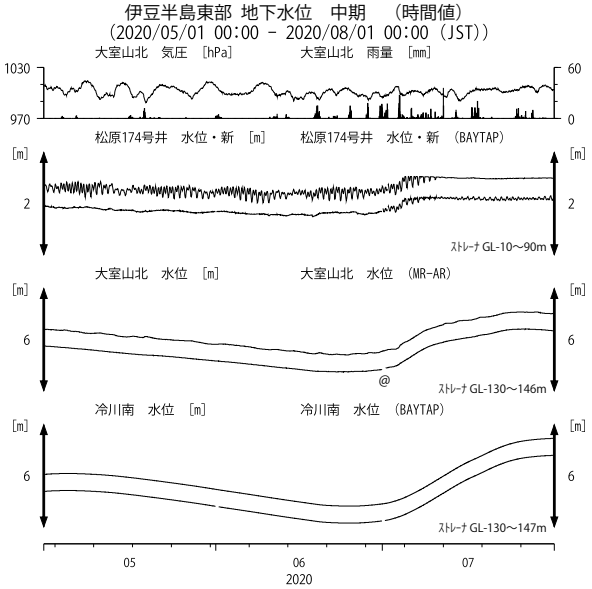
第 9 図　東海地域西部（豊橋多米）の歪等の観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 7 月）

Fig. 9　Observed strain and others at the Toyohashi-tame observation site in the western Tokai district from May 2020 to Jul. 2020.



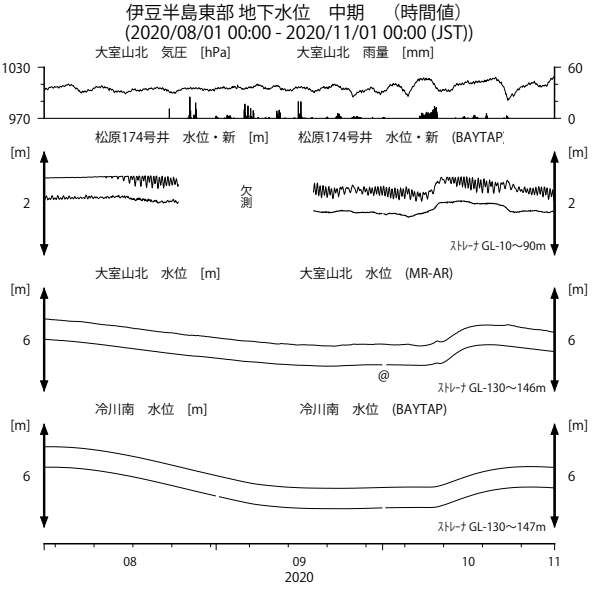
第 10 図　東海地域西部（豊橋多米）の歪等の観測結果（2020 年 8 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 10　Observed strain and others at the Toyohashi-tame observation site in the western Tokai district from Aug. 2020 to Oct. 2020.



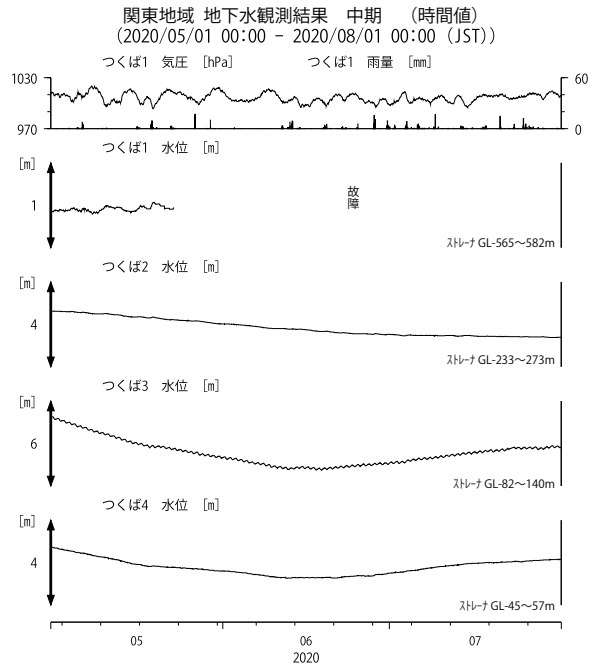
第 11 図　伊豆半島東部の地下水等の観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 7 月）

Fig. 11　Observed groundwater levels and others in the eastern Izu peninsula district from May 2020 to Jul. 2020.



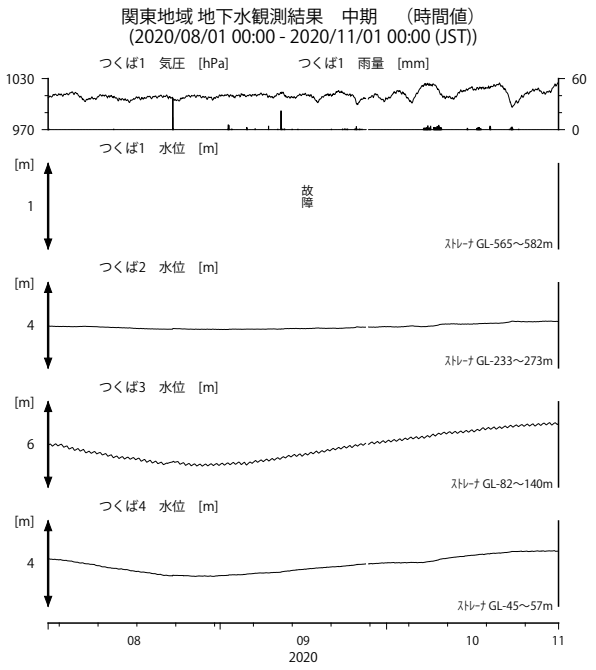
第 12 図　伊豆半島東部の地下水等の観測結果（2020 年 8 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 12　Observed groundwater levels and others in the eastern Izu peninsula district from Aug. 2020 to Oct. 2020.



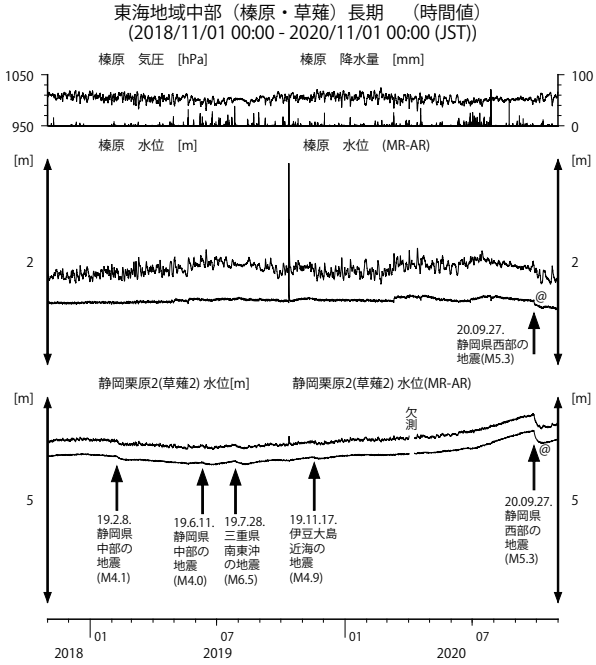
第 13 図　関東地域の地下水等の観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 7 月）

Fig. 13　Observed groundwater levels and others in the Kanto district from May 2020 to Jul. 2020.



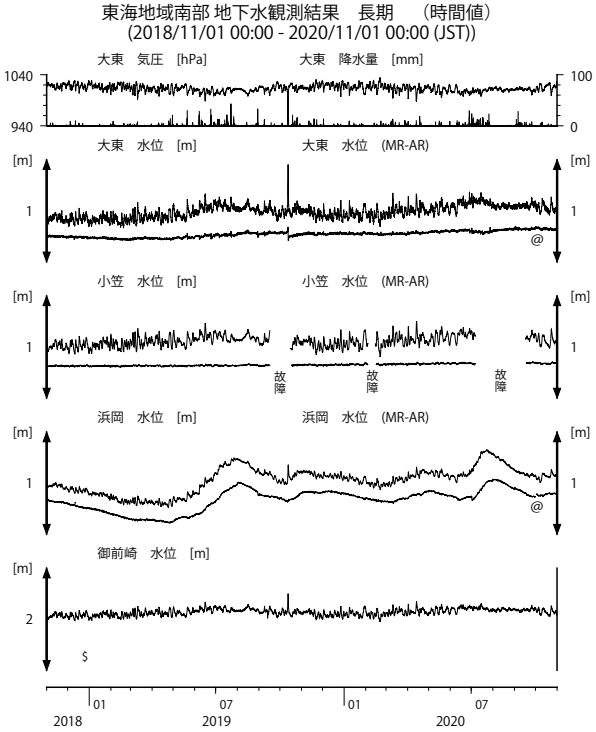
第 14 図　関東地域の地下水等の観測結果（2020 年 8 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 14　Observed groundwater levels and others in the Kanto district from Aug. 2020 to Oct. 2020.



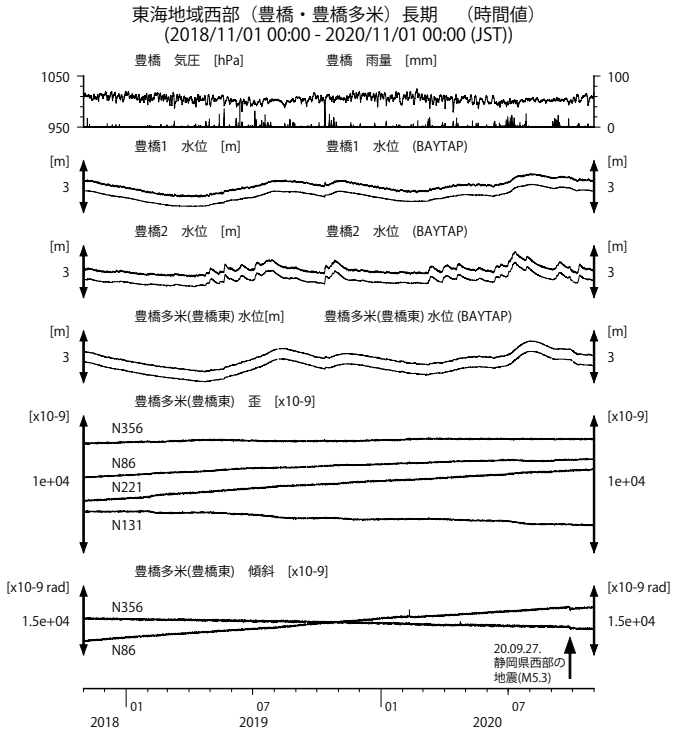
第 15 図　東海地域中部の地下水等の観測結果（2018 年 11 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 15　Observed groundwater levels and others in the central Tokai district from Nov. 2018 to Oct. 2020.



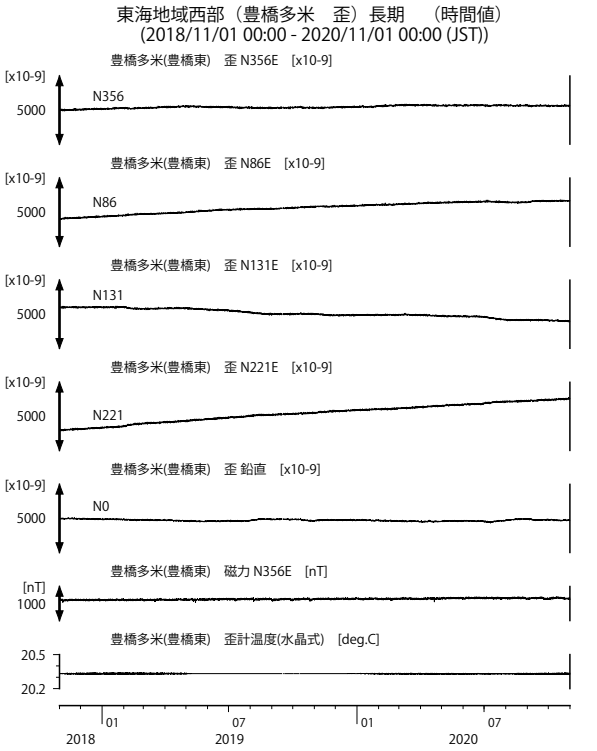
第 16 図　東海地域南部の地下水等の観測結果（2018 年 11 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 16　Observed groundwater levels and others in the southern Tokai district from Nov. 2018 to Oct. 2020.



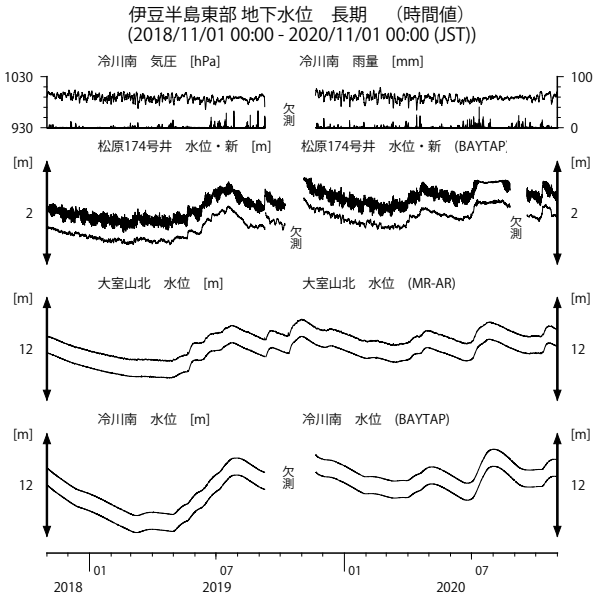
第 17 図　東海地域西部（豊橋・豊橋多米）の地下水等の観測結果（2018 年 11 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 17　Observed groundwater levels and others at the Toyohashi and Toyohashi-tame observation sites in the western Tokai district from Nov. 2018 to Oct. 2020.



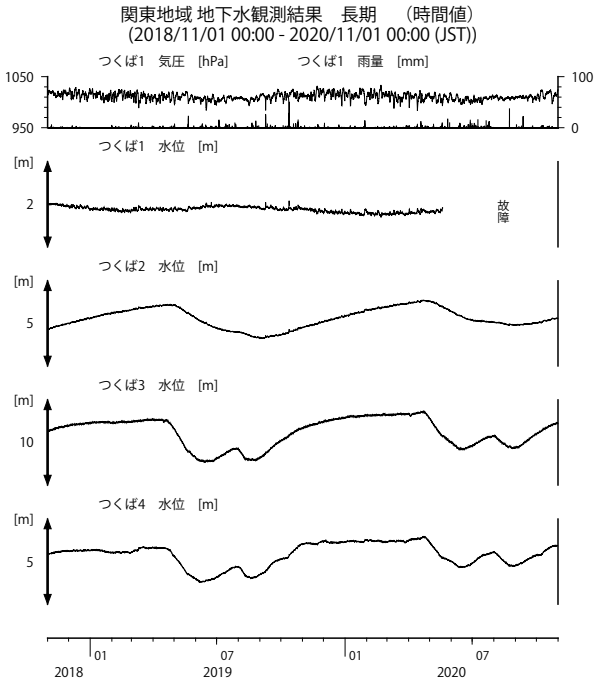
第 18 図　東海地域西部（豊橋多米）の歪等の観測結果（2018 年 11 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 18　Observed strain and others at the Toyohashi-tame observation site in the western Tokai district from Nov. 2018 to Oct. 2020.



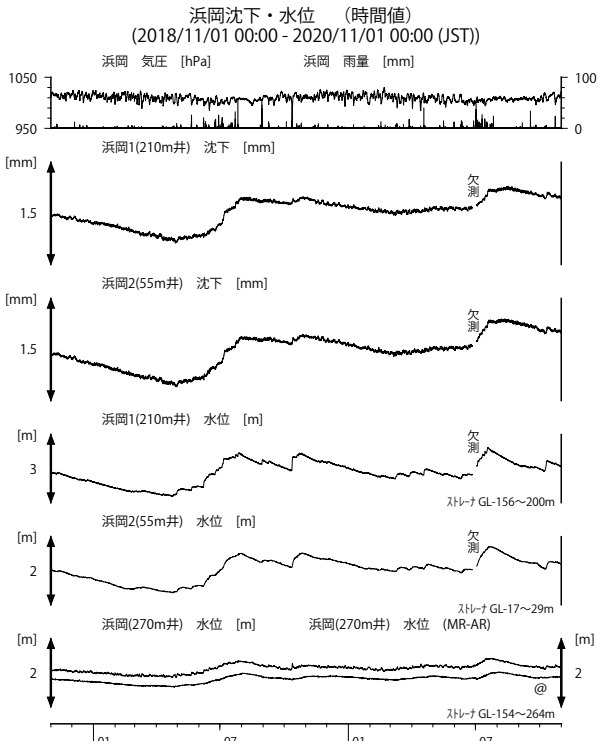
第 19 図　伊豆半島東部の地下水等の観測結果（2018 年 11 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 19　Observed groundwater levels and others in the eastern Izu peninsula from Nov. 2018 to Oct. 2020.



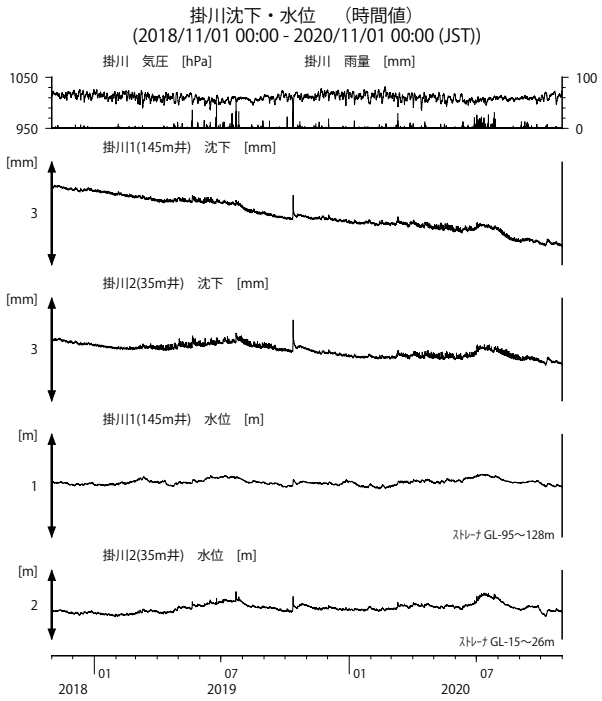
第 20 図　関東地域の地下水等の観測結果（2018 年 11 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 20　Observed groundwater levels and others in the Kanto district from Nov. 2018 to Oct. 2020.



第 21 図　浜岡における沈下等の観測結果（2018 年 11 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 21　Observed subsidence data and others at the Hamaoka observation well from Nov. 2018 to Oct. 2020.



第 22 図　掛川における沈下等の観測結果（2018 年 11 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 22　Observed subsidence data and others at the Kakegawa observation well from Nov. 2018 to Oct. 2020.

7－1　岐阜県東部の活断層周辺における地殻活動観測結果（2020年5月～2020年10月）
Observation of Tectonic Activities around the Active Faults in Eastern Gifu Region (May, 2020 ～ October, 2020)

産業技術総合研究所
Geological Survey of Japan, AIST

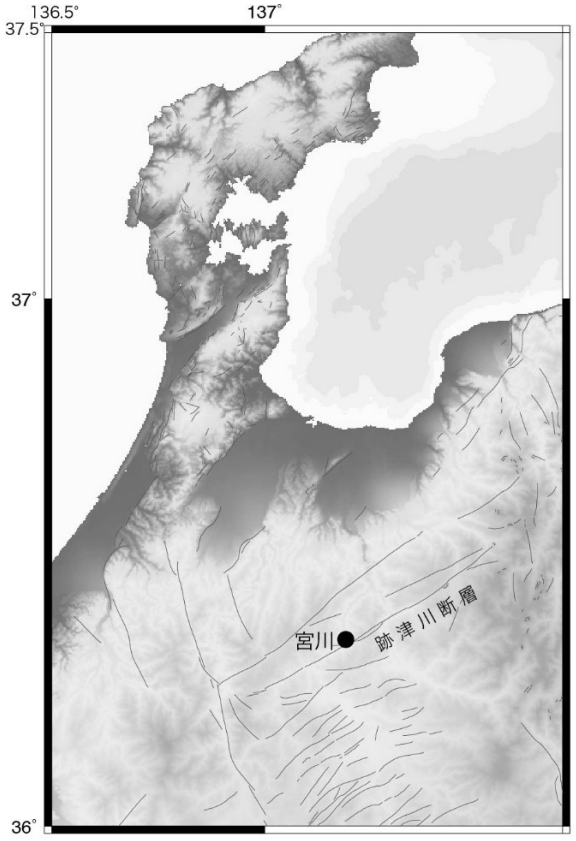
1．観測概要

産業技術総合研究所は跡津川断層沿いの宮川において地殻活動総合観測設備を設置している（第1図）．宮川は深度約 300m の坑井を掘削し，坑底に 3 成分ひずみ計・高感度地震計（1 Hz，3 成分速度計）を設置．深度 256.78 ～ 267.66m の滞水層での地下水位の計測も行なっている．

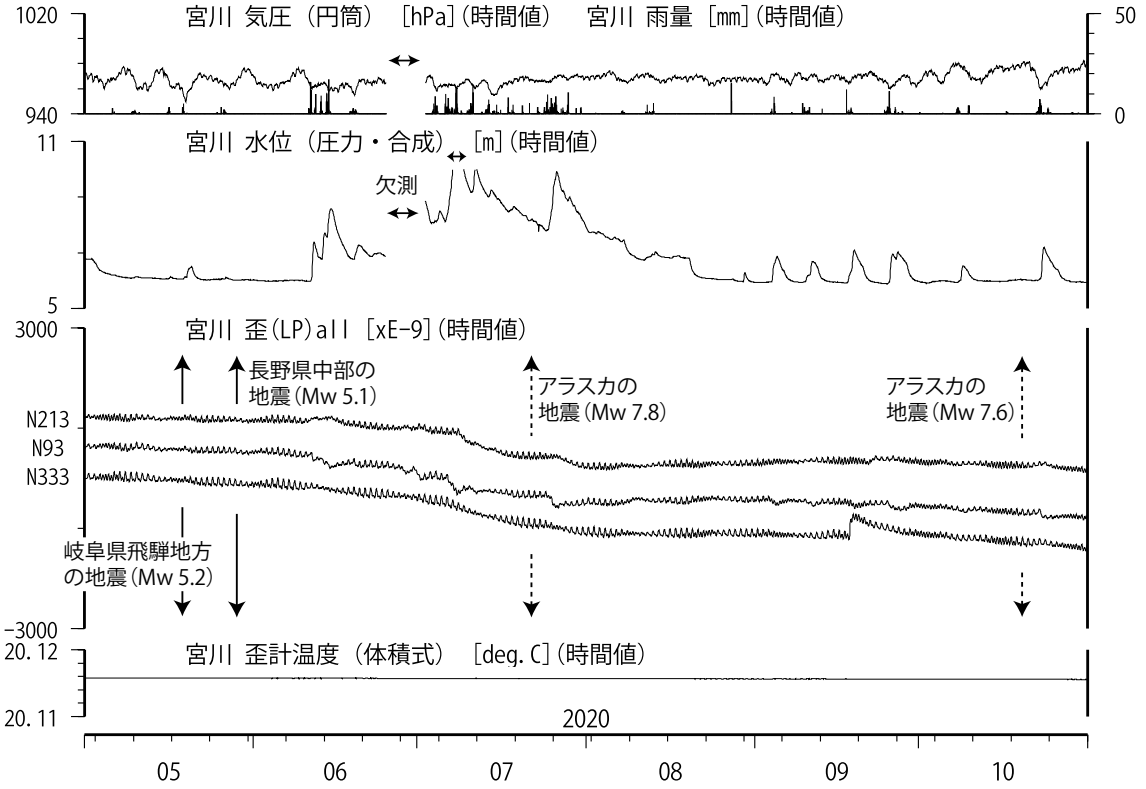
2．観測結果概要

宮川（第 2 図，第 3 図）：水位，歪計は潮汐変化を書く．降雨の影響が大きい．2020 年 5 月 19 日の岐阜県飛騨地方の地震 Mw5.2 と 5 月 29 日の長野県中部の地震 Mw5.1 時に歪計にそれぞれ．約 2 ～ 7E-9．約 2 ～ 6E-9 の歪ステップが見られた．7 月 22 日のアラスカの地震 Mw7.8 と 10 月 20 日アラスカの地震 Mw7.6 では歪計のステップ及び地下水位の変化は見られない．

（木口　努・今西　和俊・松本　則夫）

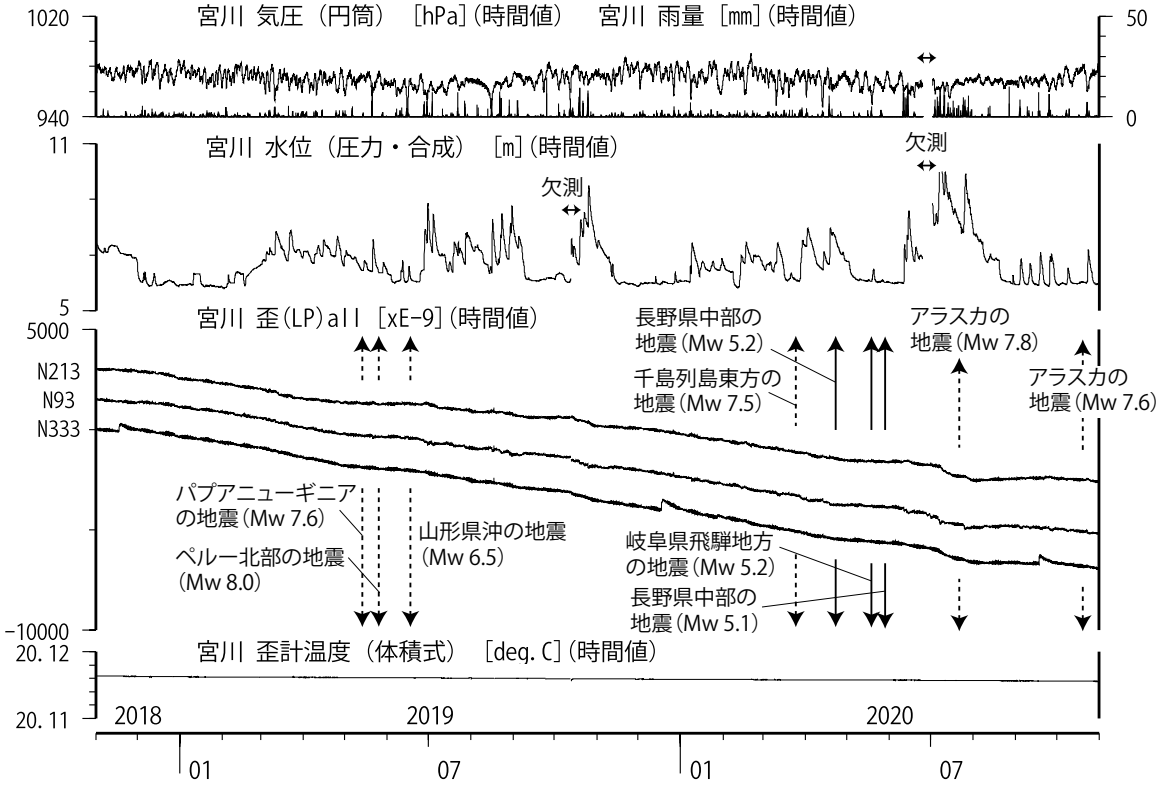


第 1 図　跡津川断層沿いの宮川における地殻活動総合観測点位置
Fig. 1　Location map of the observation borehole at Miyagawa along the Atotsugawa fault.



第 2 図　宮川における歪観測結果（6 ヶ月間）

Fig. 2　Results of strain meters at Miyagawa (for 6 months).



第 3 図　宮川における歪観測結果（2 年間）

Fig. 3　Results of strain meters at Miyagawa (for 2 years).

８－１　近畿・中国・四国地方とその周辺の地震活動（2020 年 5 月～ 10 月）
Seismic Activity in and around the Kinki, Chugoku and Shikoku Districts (May – October 2020)

気象庁 大阪管区気象台
Osaka Regional Headquarters, JMA

今期間，近畿・中国・四国地方とその周辺で M4.0 以上の地震は 12 回発生した．これらのうち，規模が最大の地震は，2020 年 8 月 7 日に三重県南東沖で発生した M5.3 の地震であった．

2020 年 5 月～ 10 月の M4.0 以上の地震の震央分布を第 1 図 (a) 及び (b) に示す．

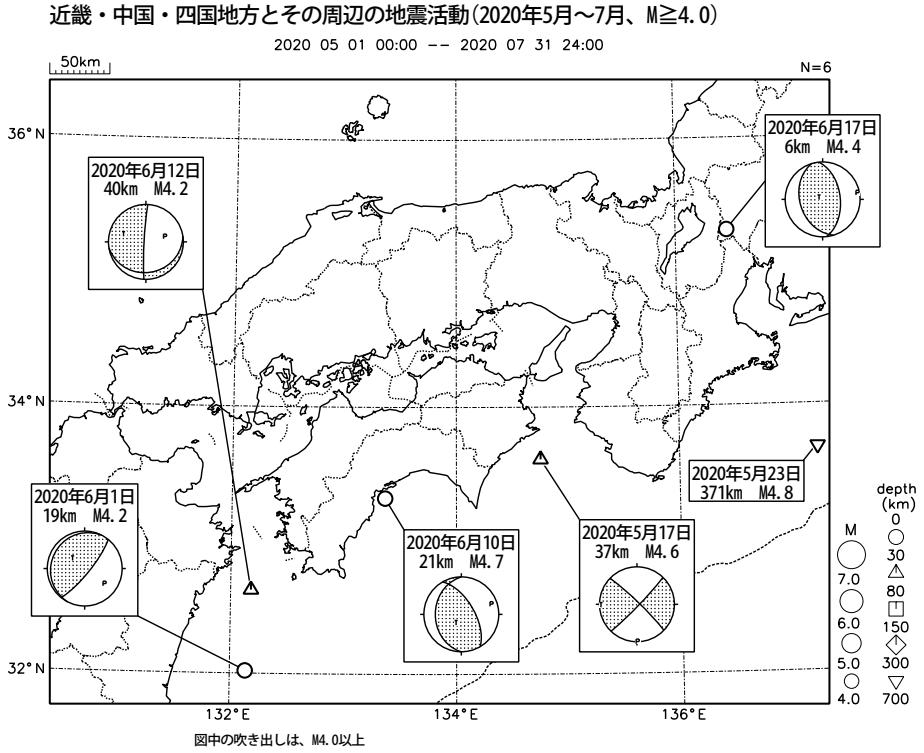
主な地震活動は以下のとおりである．

(1) 紀伊水道の地震（M4.6，最大震度 4，第 2 図）

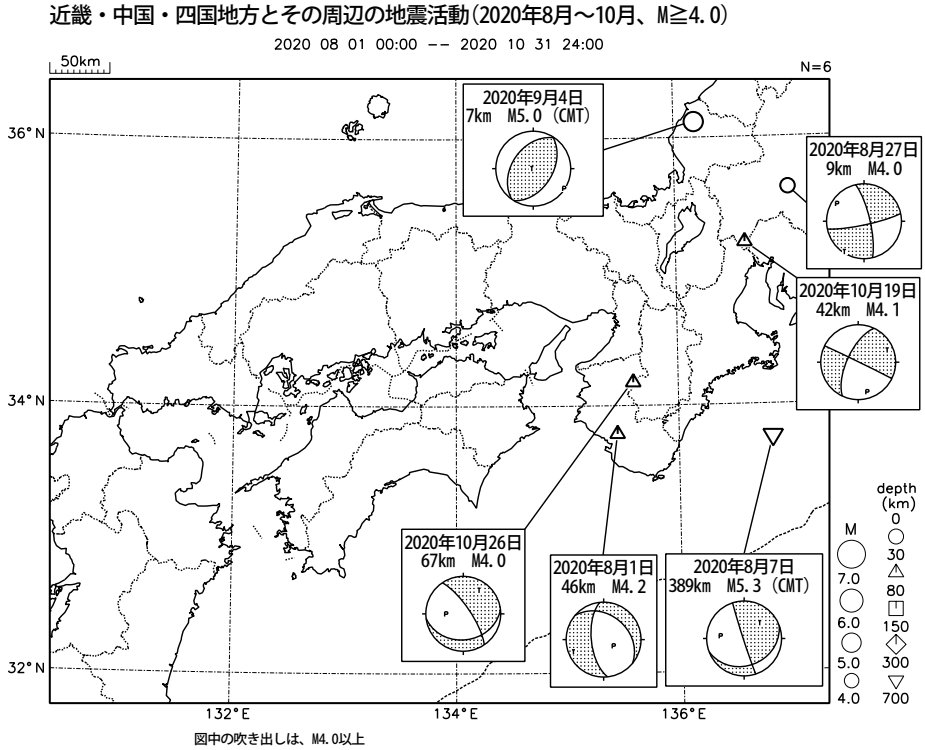
2020 年 5 月 17 日 20 時 38 分に紀伊水道の深さ 37km で M4.6 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震は，発震機構が東西方向に張力軸を持つ横ずれ断層型で，フィリピン海プレート内部で発生した．

(2) 土佐湾の地震（M4.7，最大震度 4，第 3 図）

2020 年 6 月 10 日 00 時 22 分に土佐湾の深さ 21km で M4.7 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震は，発震機構が東北東－西南西方向に圧力軸を持つ逆断層型で，陸のプレートの地殻内で発生した．



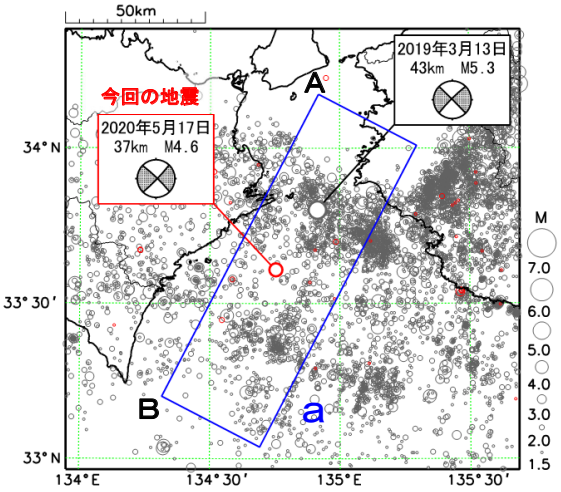
第 1 図 (a)　近畿・中国・四国地方とその周辺の地震活動（2020 年 5 月～ 7 月，M ≧ 4.0，深さ≦ 700km）
Fig. 1(a)　Seismic activity in and around the Kinki, Chugoku and Shikoku districts (May – July 2020, M ≧ 4.0, depth ≦ 700km).



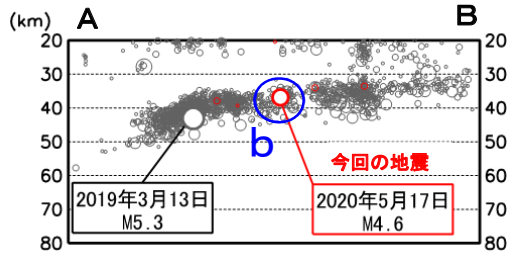
第 1 図 (b)　つづき（2020 年 8 月～ 10 月，M ≧ 4.0，深さ≦ 700km）
Fig. 1(b)　Continued (August –October 2020, M ≧ 4.0, depth ≦ 700 km).

５月 17 日　紀伊水道の地震

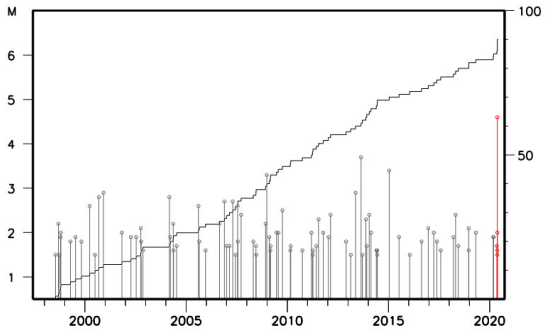
震央分布図
（1997 年 10 月 1 日～2020 年５月 31 日、
深さ 20～80km、M≧1.5
2020 年５月の地震を赤色○で表示）



領域 a 内の断面図（A－B 投影）



領域 b 内のＭ－Ｔ図及び回数積算図

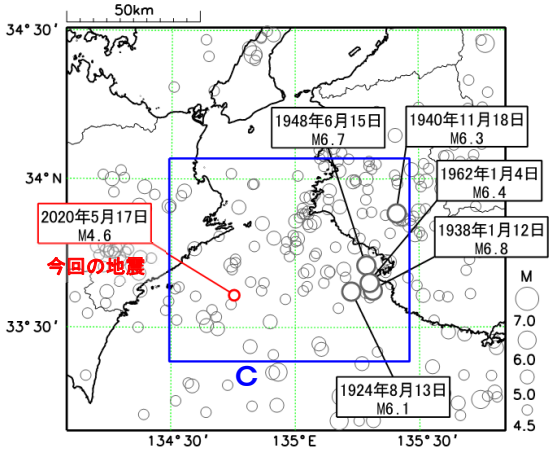


2020 年 5 月 17 日 20 時 38 分に紀伊水道の深さ 37km でM4.6の地震（最大震度４）が発生した。この地震は、発震機構が東西方向に張力軸を持つ横ずれ断層型で、フィリピン海プレート内部で発生した。

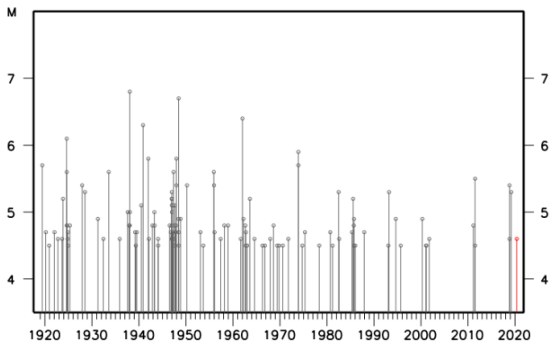
1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ａ）では、2019年３月13日にM5.3の地震（最大震度４）が発生している。今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、M3.0程度の地震が時々発生している。

1919年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｃ）では、1970年頃にかけてM6.0程度の地震が時々発生していた。このうち1948年６月15日にはM6.7の地震が発生し、死者２人、負傷者33人、家屋倒壊60棟などの被害が生じた（「日本被害地震総覧」による）。

震央分布図
（1919 年 1 月 1 日～2020 年５月 31 日、
深さ０～100km、M≧4.5
2020 年５月の地震を赤色○で表示）



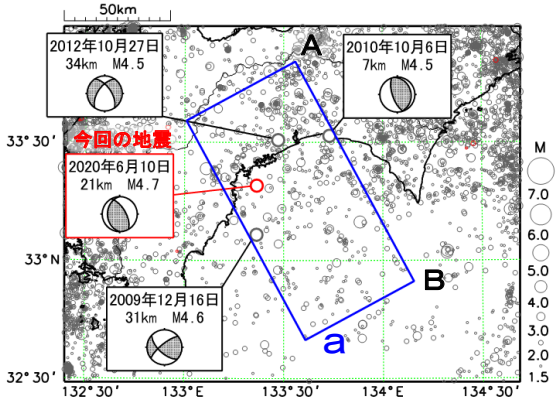
領域 c 内のＭ－Ｔ図



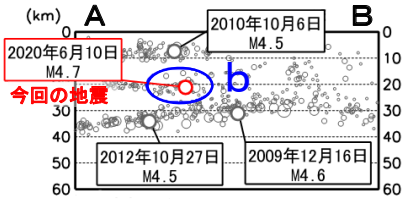
第 2 図　2020 年 5 月 17 日の紀伊水道の地震
Fig. 2　The earthquake in the Kii Channel on May 17, 2020.

６月 10 日　土佐湾の地震

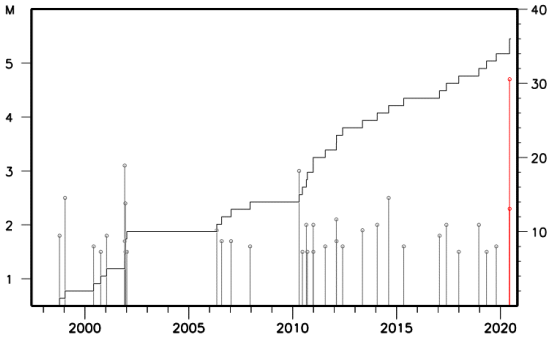
震央分布図
（1997 年 10 月 1 日～2020 年６月 30 日、
深さ０～60km、M≧1.5
2020 年６月の地震を赤く表示）



領域 a 内の断面図（A－B 投影）



領域 b 内のＭ－Ｔ図及び回数積算図

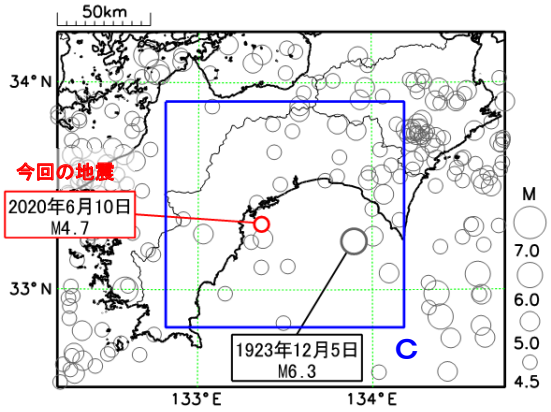


2020年６月10日00時22分に土佐湾の深さ21kmでM4.7の地震（最大震度４）が発生した。この地震は、発震機構が東北東－西南西方向に圧力軸を持つ逆断層型で、陸のプレートの地殻内で発生した。

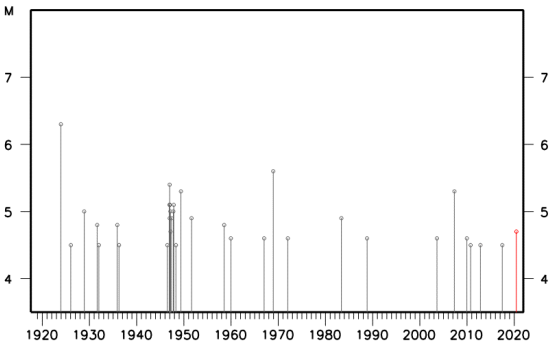
1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、M3.0を超える地震の発生はまれである。また、今回の地震の震央周辺（領域ａ）では、地殻内で2010年10月６日にM4.5の地震（最大震度４）、フィリピン海プレート内部で2009年12月16日にM4.6の地震（最大震度４）などが発生した。

1919年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｃ）では、M5.0を超える地震が時々発生している。このうち1946年の昭和南海地震（M8.0：図欄外）の影響を受けたと見られるややまとまった活動があった。

震央分布図
（1919 年１月１日～2020 年６月 30 日、
深さ０～100km、M≧4.5
2020 年６月の地震を赤く表示）



領域ｃ内のＭ－Ｔ図



第 3 図　2020 年 6 月 10 日の土佐湾の地震
Fig. 3　The earthquake in the Tosa Bay on June 10, 2020.

８－２　近畿地方の地殻変動
Crustal Deformations in the Kinki District

国土地理院
Geospatial Information Authority of Japan

［紀伊半島北部の深部低周波微動と同期したスロースリップ］

第 1 ～ 2 図は，2020 年 6 月下旬～ 7 月中旬頃に紀伊半島北部で発生した深部低周波地震（微動）に同期して発生した短期的 SSE に関する資料である．

第 1 図上の図は, 2020 年 6 月 27 日～ 7 月 13 日の GNSS データから時間依存インバージョンでプレート境界面上のすべり分布を推定した結果である．年周・半年周成分を 2017 年 1 月～ 2020 年 7 月で推定，一次トレンドは 2018 年 1 月 1 日～ 2019 年 1 月 1 日の期間を定常変動と仮定して推定し，推定された一次トレンド・年周・半年周成分を除去して得られた非定常的な地殻変動を用いた．低周波地震の発生領域ですべりが推定されている．すべり量の最大は約 15mm と推定され，モーメントマグニチュードは 6.1 と求まった．図に示された黒色のグリッドは，推定されたすべり量が標準偏差の 3 倍を超えており，推定すべりが有意と判断されるグリッドである．

第 1 図下の 2 枚の図は，左が非定常的な地殻変動，右が推定すべりから計算した地殻変動を示している．地殻変動量が小さいため，ばらつきが相対的に大きいが，伊勢湾の沿岸部を中心に東向きの変動が僅かに見られる．

第 2 図は，志摩半島の長期的 SSE のすべり分布（後述する第 14 図；ただし，すべりを 2019 年 1 月 1 日～ 2020 年 7 月 19 日の期間で推定したもの）と今回の短期的 SSE によるすべり分布を範囲，スケールをそろえて描画したものである．長期的 SSE のすべり域と短期的 SSE のすべり域は重ならないように見える．

第 3 図は，2020 年 10 月中旬頃に紀伊半島北部で発生した深部低周波地震（微動）に同期して発生した短期的 SSE に関する資料である．

第 3 図上の図は，2020 年 10 月 10 日～ 10 月 20 日の GNSS データから時間依存インバージョンでプレート境界面上のすべり分布を推定した結果である．年周・半年周成分を 2017 年 1 月～ 2020 年 10 月で推定，一次トレンドは 2017 年 1 月 1 日～ 2018 年 1 月 1 日の期間を定常変動と仮定して推定し，推定された一次トレンド・年周・半年周成分を除去して得られた非定常的な地殻変動を用いた．低周波地震の発生領域ですべりが推定されている．すべり量の最大は約 9mm と推定され，モーメントマグニチュードは 5.9 と求まった．図に示された黒色のグリッドは，推定されたすべり量が標準偏差の 3 倍を超えており，推定すべりが有意と判断されるグリッドである．

第 3 図下の 2 枚の図は，左が非定常的な地殻変動，右が推定すべりから計算した地殻変動を示している．地殻変動量が小さいため，ばらつきが相対的に大きいが，紀伊半島のほぼ全域で東向きの変動が僅かに見られる．

［紀伊半島西部・四国東部の非定常水平地殻変動（長期的 SSE）］

第 4 ～ 10 図は，2019 年春頃から紀伊半島西部・四国東部で見られている非定常的な地殻変動に関する資料である．

第 4 図は，一次トレンド・年周・半年周成分除去後の非定常地殻変動ベクトル図である．2017 年

1 月 1 日～ 2017 年 12 月 31 日の期間を定常変動とし，一次トレンド，年周，半年周成分を推定した．固定局は京都府の網野観測点である．2019 年 3 月 29 日～ 4 月 4 日に対する 2020 年 6 月 16 日～ 22 日の約 1 年 2 か月の期間での非定常的な地殻変動を示している．紀伊半島西部から四国東部にかけて東向きに最大 1cm 程度の僅かな変動が見られる．

第 5 ～ 6 図は，第 4 図の図中に示した 6 観測点の非定常地殻変動 3 成分の時系列グラフである．同様に一次トレンド・年周・半年周成分を除去している．(1) ～ (6) のいずれの観測点でも 2019 年春頃から東向きの変動が見られていることが分かる．

第 7 ～ 9 図は，非定常的な地殻変動を基に，時間依存インバージョンでプレート境界面上のすべり分布を推定した結果に関する資料である．この解析では，年周・半年周成分を 2017 年 1 月～ 2020 年 6 月で推定，一次トレンドは 2017 年 1 月 1 日～ 2018 年 1 月 1 日の期間を定常変動と仮定して推定している．すべりの推定では，東西，南北の各成分が東向き，南向きとなるように拘束している．

第 7 図 (a) は, 2019 年 4 月 1 日～ 2020 年 6 月 11 日の期間で推定されたすべり分布を示している．紀伊水道ですべりが推定された. 推定されたすべりの最大値は 4cm, モーメントマグニチュードは 6.1 と求まった．

第 7 図 (b) は，観測値と計算値との比較である．観測値をよく説明できていることが分かる．

第 8 図は，紀伊半島及び四国地域の観測点における観測値と計算値の時間変化を示した図である．2019 年春頃から見られる東向きの変動がよく説明できていることが分かる．

第 9 図は，紀伊水道に位置するグリッドのすべりの時間変化を示した図である．2019 年春頃からすべりが見られるが，すでに停止しているように見える．

第 10 図は，今回のイベントとの比較のために，2014 ～ 2016 年に発生した前回の長期的 SSE について，今回と同様の条件で時間依存インバージョンによりすべり分布を推定した結果である．第 10 図 (a) は，2014 年 4 月 1 日～ 2016 年 8 月 1 日の期間で推定されたすべり分布，第 10 図 (b) は観測値と計算値との比較である．紀伊水道ですべりが推定されており，今回も同様の場所ですべりが生じていることが分かる．

［志摩半島の非定常水平地殻変動（長期的 SSE)］

第 11 ～ 17 図は, 2019 年中頃から志摩半島で見られている非定常的な地殻変動に関する資料である．

第 11 図は，一次トレンド・年周・半年周成分除去後の非定常地殻変動ベクトル図である．2016 年 3 月 1 日～ 2017 年 3 月 1 日の期間を定常変動とし，一次トレンド，年周，半年周成分を推定した．固定局は京都府の網野観測点である．2018 年 12 月 29 日～ 1 月 4 日に対する 2020 年 10 月 20 日～ 26 日の約 1 年 10 か月の期間での非定常的な地殻変動を示している．志摩半島を中心に東向きに最大 1cm 程度の小さな変動が見られる．

第 12 ～ 13 図は, 第 11 図の図中に示した 6 観測点の非定常地殻変動 3 成分の時系列グラフである．同様に一次トレンド・年周・半年周成分を除去している．(1)，(2)，(4)，(6) の観測点では 2019 年中頃から明瞭に東向きの変動が見られていることが分かる．

第 14 ～ 16 図は，非定常的な地殻変動を基に，時間依存インバージョンでプレート境界面上のすべり分布を推定した結果に関する資料である．この解析では，年周・半年周成分を 2017 年 1 月～ 2020 年 10 月で推定，一次トレンドは 2016 年 3 月 1 日～ 2017 年 3 月 1 日の期間を定常変動と仮定して推定している．すべりの推定では，すべり方向をプレートの沈み込み方向と平行な方向に拘束している．

第 14 図(a)は, 2019 年 1 月 1 日～ 2020 年 10 月 14 日の期間で推定されたすべり分布を示している．

志摩半島及びその周辺にすべりが推定された．推定されたすべりの最大値は 5cm，モーメントマグニチュードは 6.2 と求まった．

第 14 図（b）は，観測値と計算値との比較である．観測値をよく説明できていることが分かる．

第 15 図は，志摩半島の観測点における観測値と計算値の時間変化を示した図である．2019 年中頃から見られる東向きの変動がよく説明できていることが分かる．

第 16 図は，志摩半島及びその周辺に位置するグリッドのすべりの時間変化を示した図である．2019 年中頃からすべりが見られるが，すでに停止しているように見える．

第 17 図は，今回のイベントとの比較のために，2017 ～ 2018 年に発生した前回の長期的 SSE について，今回と同様の条件で時間依存インバージョンによりすべり分布を推定した結果である．第 17 図(a) は，2017 年 3 月 1 日～ 2018 年 10 月 1 日の期間で推定されたすべり分布，第 17 図(b) は観測値と計算値との比較である．志摩半島ですべりが推定されており，今回も同様の場所ですべりが生じていることが分かる．

［紀伊半島　電子基準点の上下変動］

第 18 ～ 19 図は，紀伊半島の電子基準点間の比高変化について，水準測量の結果と GNSS 連続観測結果とを比較したものである．両者はほぼ同様の傾向を示しており，最新のデータは潮岬周辺が沈降する長期的な傾向に沿っている．各図の左下に長期間の変動グラフを示す．潮岬側の沈降が長期的に継続しており，灰色でプロットした GNSS 連続観測の最近の結果も整合している．

［水準測量］

第 20 図は，和歌山県串本町から新宮市に至る南北の路線の水準測量結果である．新宮市に対する串本町側の長期的な沈降が見られる．

第 21 図は，和歌山県田辺市から串本町に至る南北の路線の水準測量結果である．田辺市に対する串本町側の沈降が見られる．

第 22 ～ 23 図は，水準測量による紀伊半島東岸及び西岸の上下変動の経年変化を，それぞれ，和歌山県新宮市及び田辺市を固定して示す図である．半島先端部の沈降が長期的に継続している．

第 24 図は，奈良県十津川村から和歌山県新宮市に至る路線の水準測量結果である．長期的には十津川村に対して新宮市側が沈降しており，最新の 1 年間の結果でも沈降傾向が見られる．

第 25 図は，三重県大紀町から尾鷲市を経由して熊野市に至る路線の水準測量結果である．最近の 1 年間では，僅かに大紀町側に対する熊野市側の沈降が見られる．

［南海トラフ周辺　GNSS 連続観測時系列］

第 26 ～ 29 図は，紀伊半島から四国，九州東部にかけての太平洋沿岸の GNSS 連続観測時系列である．第 26 図に観測点の配置と，アンテナ交換等の保守の履歴を示す．

第 27 ～ 29 図は，島根県の三隅観測点を固定局として，定常状態にあると仮定した 2006 年 1 月～ 2009 年 1 月の期間で推定された 1 次トレンド成分及び年周・半年周成分を，各基線の地殻変動時系列から除去した時系列グラフである．なお，三隅観測点のみ，熊本地震の地震時の地殻変動を補正している．2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震による変動とその後の余効変動が全基線で見られる．また，四国西部から九州東部にかけての(10)～(12)では東西成分で 2016 年 4 月の熊本地震による変動とその後の余効変動が見られる．そのほか，(4)，(5)では，2015 年～ 2016 年初

頭及び 2019 年～ 2020 年初頭にかけて，紀伊水道 SSE に伴う東南東への変動が見られる．また（9）～（12）では，2010 年～ 2011 年初頭に豊後水道での長期的 SSE に伴う南東への変動及び隆起が顕著である．なお，(9)～(11) では，2014 年半ば及び 2015 年半ば～ 2016 年に微小ながら南東への変動と隆起が見られ，豊後水道周辺での小規模な長期的 SSE に伴う変動と考えられる．また，2018 年 6 月以降に（10），(11) で微小な東向きの変動，(12) では微小な南向きの変動が見られ，日向灘北部の長期的 SSE に伴う変動と考えられる．さらに, 2018 年 12 月～ 2019 年中頃にかけて, (9)～(12) で東向き又は南東向きの変動と隆起が見られ，豊後水道での長期的 SSE に伴う変動と見られる．加えて (8) では 2019 年春頃から，四国中部での長期的 SSE に伴う僅かな変動が見られる．それら以外には，最近のデータには特段の傾向の変化は見られない．

［南海トラフ沿いの地殻変動］

第 30 ～ 36 図は，三隅観測点を固定局として示した，南海トラフ沿いの地殻変動である．

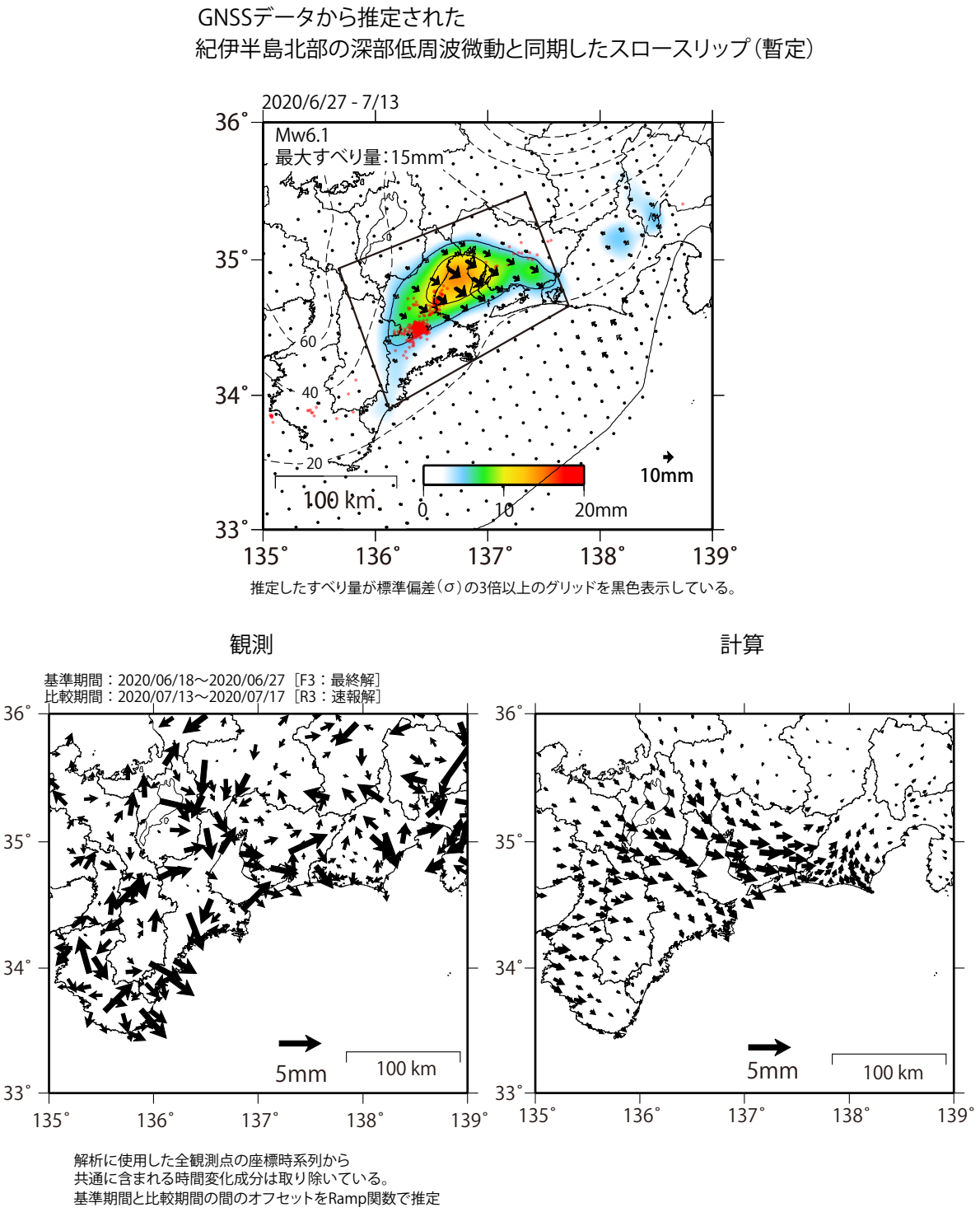
第 30 図上段は最近の 1 年間の水平変動である．図中に示した日付を含む 13 日間の中央値を用いて変動量を求めている．東海・紀伊半島・四国・九州の太平洋側ではフィリピン海プレートの沈み込みに伴う北西方向の地殻変動が見られる．比較のために，1 年前の 1 年間の水平変動を下段に示している．1 年前の 1 年間の水平変動には，2018 年春頃からの日向灘北部及び豊後水道での長期的 SSE に伴う地殻変動の影響により，九州北部から南部で南向きの成分が見られ，四国西部では北西向きの変動が見られない，という特徴が見られるが，最近の 1 年間の地殻変動ではそのような特徴は見られず，長期的 SSE の影響が小さくなっていることが分かる．それら以外の地域では，特段の変化は見られない．

第 31 図は, 上下成分について同様の比較を示すものである. 水平よりもばらつきが大きい. 御前崎, 潮岬，室戸岬のそれぞれの周辺で沈降が見られる．比較のために，1 年前の 1 年間の上下変動を下段に示している．1 年前の 1 年間の上下変動には，2018 年春頃からの日向灘北部及び豊後水道での長期的 SSE に伴う地殻変動の影響により，四国西部の隆起と九州内陸部での沈降が見られるが，最近の 1 年間の地殻変動ではそのような特徴は見られず，長期的 SSE の影響が小さくなっていることが分かる．

第 32 ～ 33 図は，最近の 3 か月間の水平変動と上下変動について，1 年前の同期間の変動と比較したものである．1 年間の図と比べると，ばらつきが大きいが，全体的な特徴は同様である．

第 34 図は，地震や長期的 SSE 等の影響が少なかった 2006 年 1 月～ 2009 年 1 月の 3 年間での水平変動速度及び上下変動速度を示したものである．東海・紀伊半島・四国・九州の太平洋側ではフィリピン海プレートの沈み込みに伴う北西方向の地殻変動が顕著で, 御前崎, 潮岬, 室戸岬周辺で沈降, その内陸側で隆起の傾向が見られる．

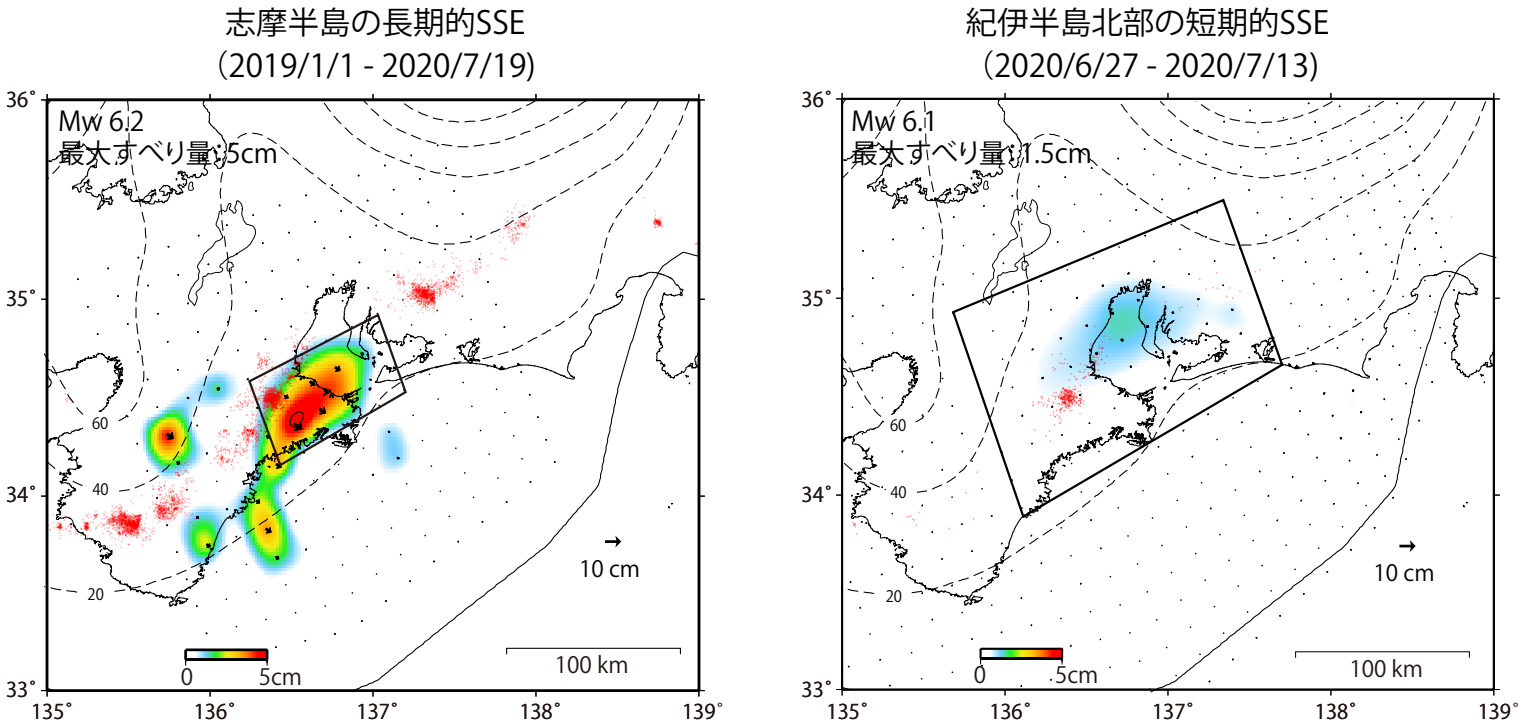
第 35 図～ 36 図は, 第 34 図に示した 2006 年 1 月～ 2009 年 1 月の期間の変動を定常変動と仮定し，それからの変動の差を非定常変動として示した図である．水平成分及び上下成分のそれぞれについて，第 35 図に最近の 1 年間，第 36 図に最近の 3 か月間の図を示す．中部地方で東北地方太平洋沖地震の余効変動である東向きの変動が見られるほか，第 35 図の 1 年間の図では九州において熊本地震の余効変動が見られる．それら以外には，特段の変動は見られない．第 36 図の 3 か月間の図で四国西部に見られる南東向きの変動は，2020 年 7 月下旬から 8 月上旬の四国西部での短期的 SSE に伴う地殻変動の影響と考えられる．



解析に使用した観測点の範囲：概ね北緯33.4～36°、東経135～139°
使用データ：F3解（2020/6/1 - 2020/7/4)+R3解(2020/7/5 - 2020/7/17)
トレンド期間：2018/1/1 - 2019/1/1
モーメント計算範囲：上段の図の黒枠内側
黒破線：フィリピン海プレート上面の等深線（弘瀬・他、2007）
赤丸：低周波地震（気象庁一元化震源）
コンター間隔：5mm
固定局：三隅

第 1 図　紀伊半島北部の深部低周波微動と同期したスロースリップ
Fig. 1　Estimated slip distribution on the plate interface beneath the northern Kii Peninsula.

紀伊半島北部～志摩半島　長期的SSEと短期的SSEの場所の比較



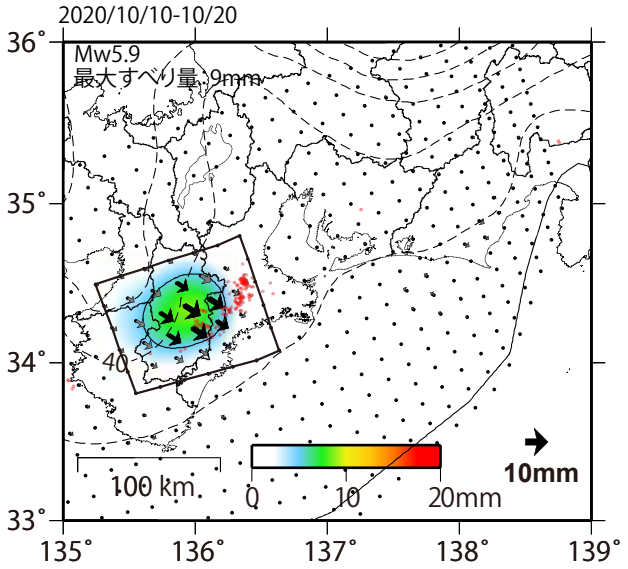
使用データ：F3解 (2018/1/1 - 2020/7/4) + R3解 (2020/7/5 - 2020/7/19)
モーメント計算範囲：上図の黒枠内側
黒破線：フィリピン海プレート上面の等深線 (弘瀬・他、2007)
すべり方向：プレートの沈み込み方向と平行な方向に拘束
赤丸：低周波地震（気象庁一元化震源）
固定局：網野

使用データ：F3解 (2020/6/1 - 2020/7/4) + R3解 (2020/7/5 - 2020/7/17)
モーメント計算範囲：上図の黒枠内側
黒破線：フィリピン海プレート上面の等深線 (弘瀬・他、2007)
すべり方向：プレートの沈み込み方向と平行な方向に拘束
赤丸：低周波地震（気象庁一元化震源）
固定局：三隅

第 2 図　紀伊半島北部～志摩半島の長期的 SSE と短期的 SSE の場所の比較
Fig. 2　Comparison of estimated slip distribution between short-term and long-term slow slip events in the northern Kii Peninsula and in the Shima Peninsula, respectively.

地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行

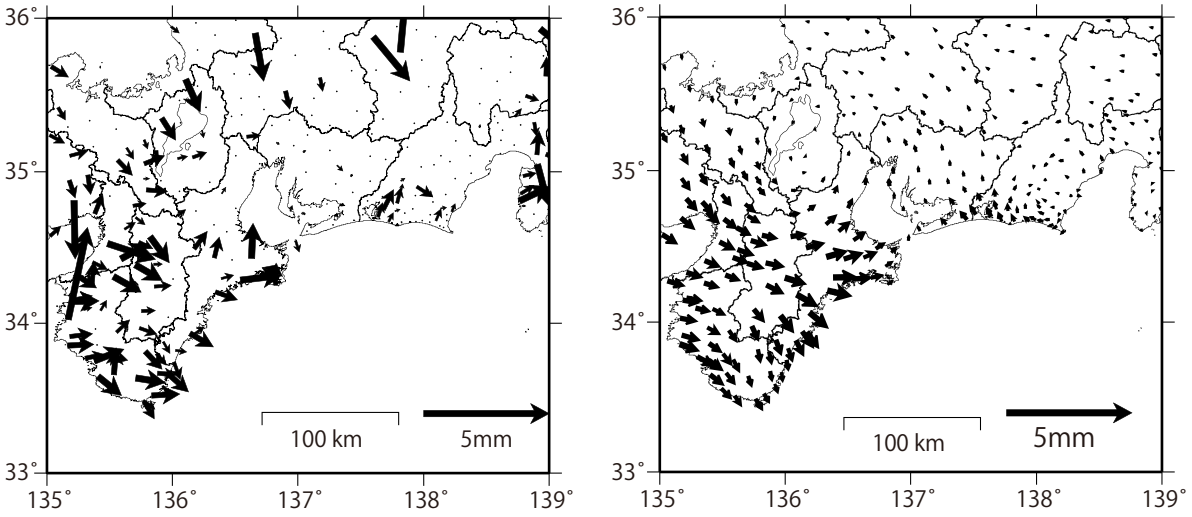
GNSSデータから推定された
紀伊半島北部の深部低周波微動と同期したスロースリップ（暫定）



推定したすべり量が標準偏差（σ）の3倍以上のグリッドを黒色表示している。

観測　　計算

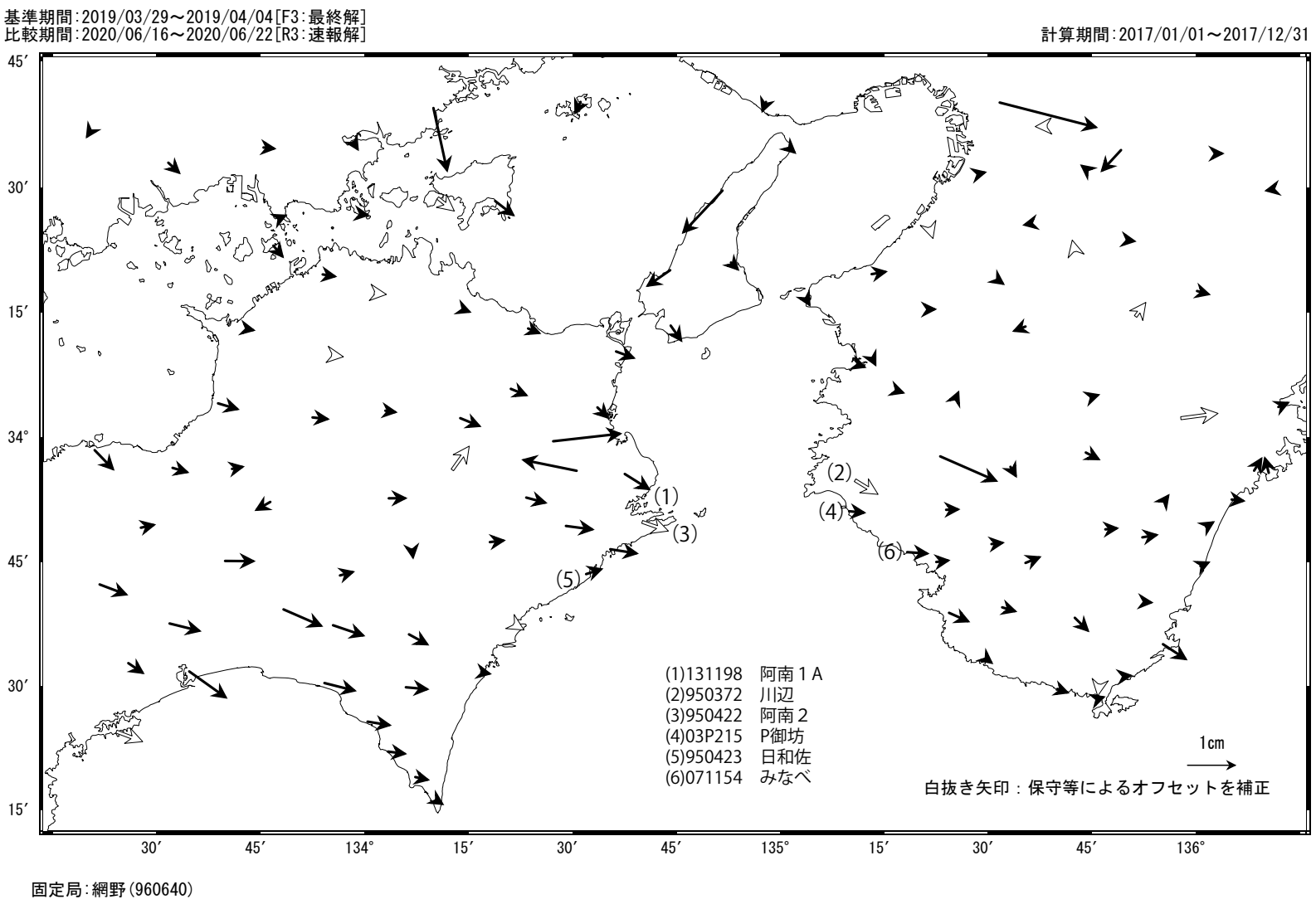
基準期間：2020/09/1～2020/10/10［F3：最終解］
比較期間：2020/10/14～2020/10/20［R3：速報解］



解析に使用した全観測点の座標時系列から、共通に含まれる
時間変化成分は取り除いている。
また、基準期間と比較期間の間のオフセットをRamp関数で
推定し、AICで有意でない成分及び西向き成分は除外している。

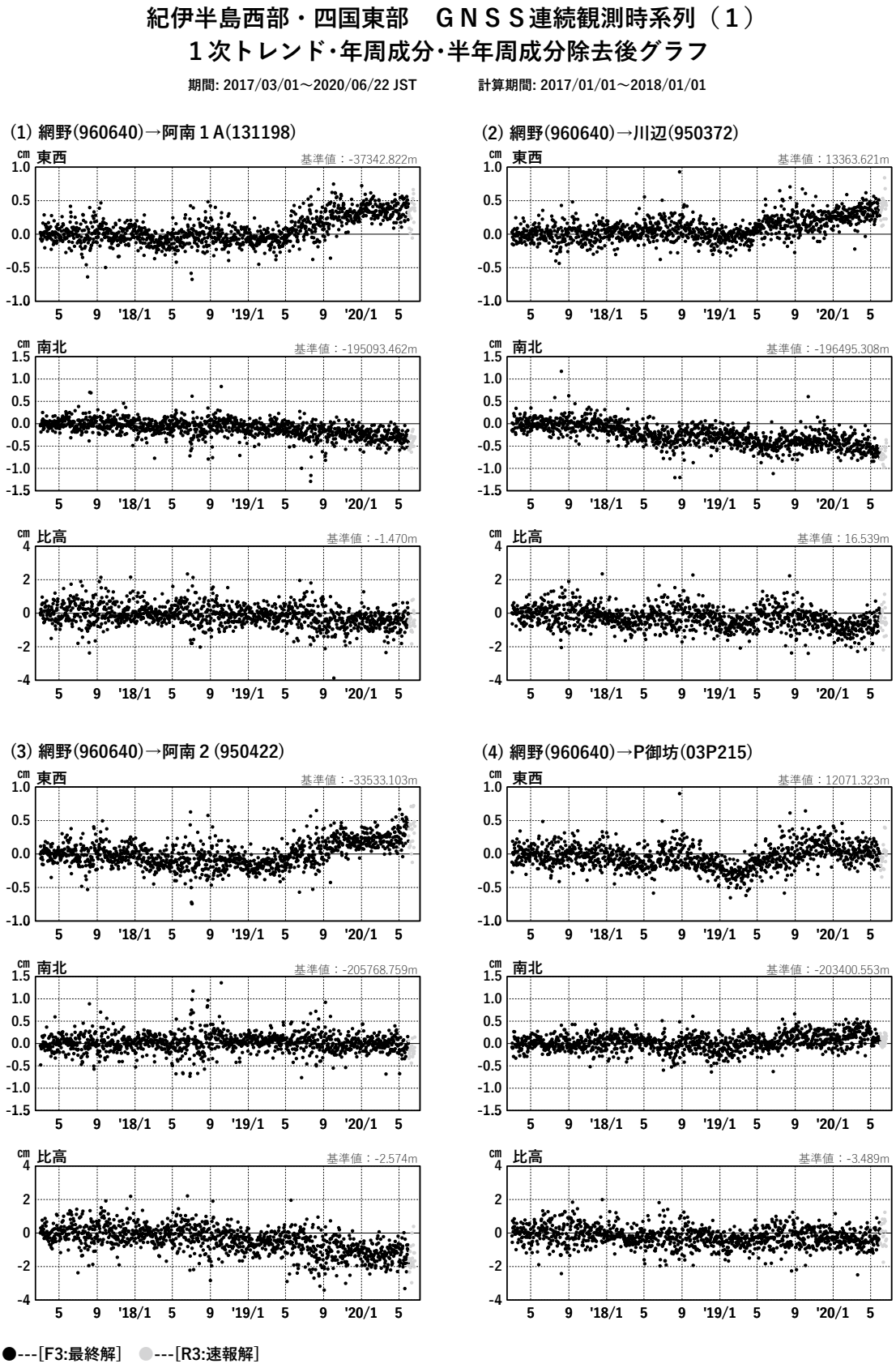
解析に使用した観測点の範囲：概ね北緯33.4～36°、東経135～139°
使用データ：F3解（2020/9/1 - 2020/10/17)+R3解(2020/10/18 - 2020/11/1)
トレンド期間：2017/1/1 - 2018/1/1（年周・半年周成分は 2017/1/1 - 2020/10/31 のデータで補正）
モーメント計算範囲：上段の図の黒枠内側
黒破線：フィリピン海プレート上面の等深線（弘瀬・他、2007）
すべり方向：プレートの沈み込む方向と平行な方向に拘束
赤丸：低周波地震（気象庁一元化震源）
コンター間隔：5mm
固定局：三隅

第 3 図　紀伊半島北部の深部低周波微動と同期したスロースリップ
Fig. 3　Estimated slip distribution on the plate interface beneath the northern Kii Peninsula.



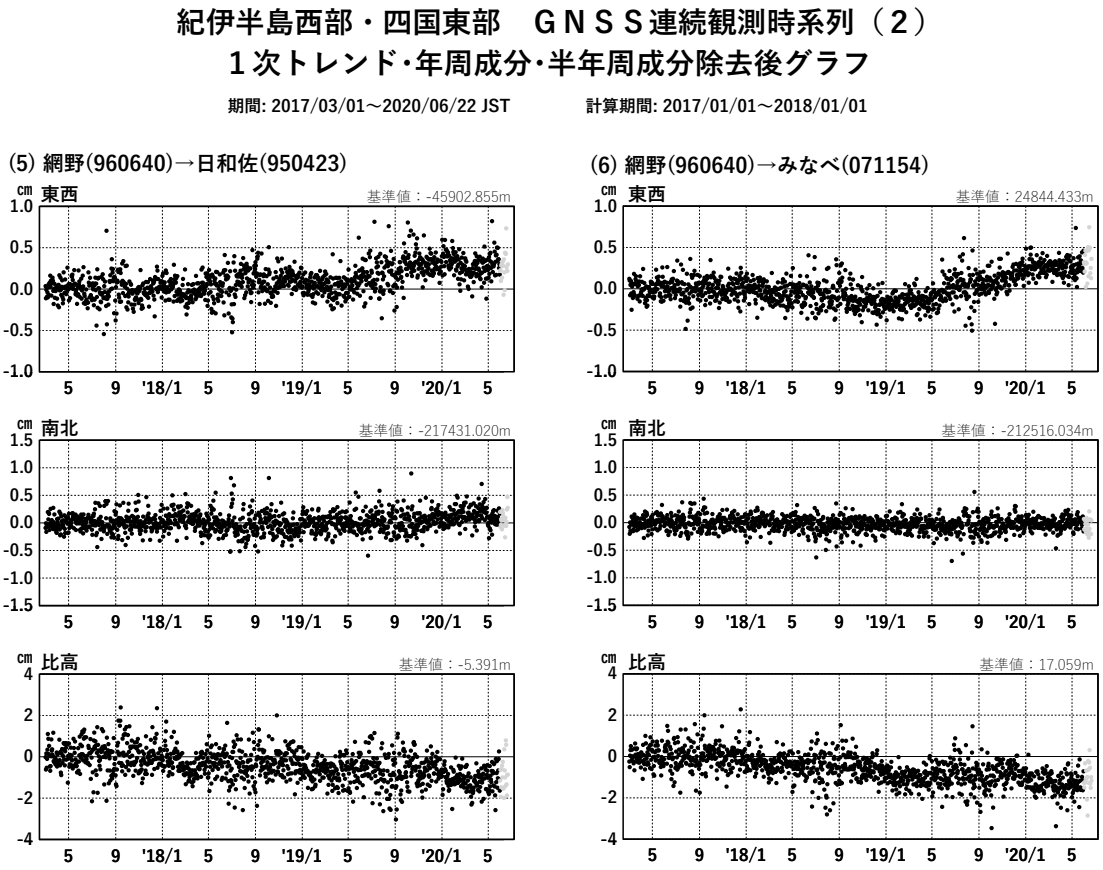
第 4 図　紀伊半島西部・四国東部の非定常水平地殻変動

Fig. 4　Transient horizontal deformation in the western Kii Peninsula and the eastern Shikoku.



第 5 図　紀伊半島西部・四国東部　GNSS 連続観測時系列

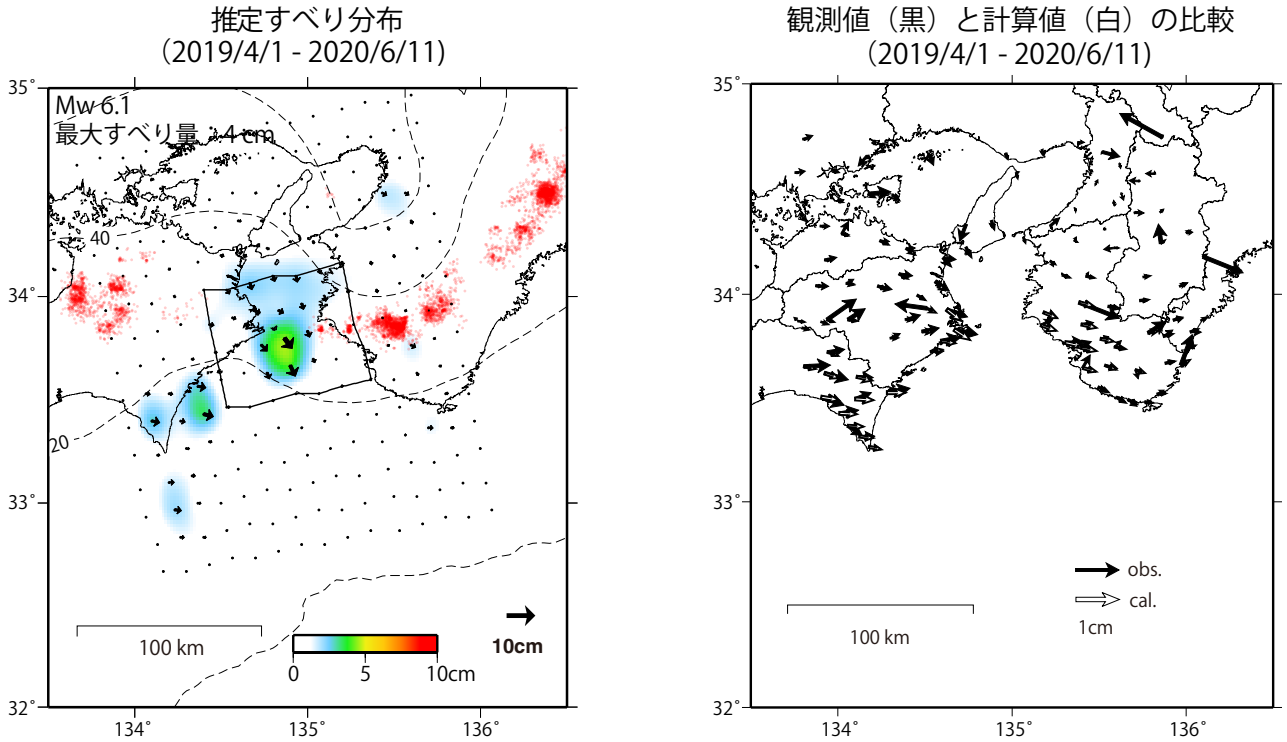
Fig. 5　Results of continuous GNSS measurements in the western Kii Peninsula and the eastern Shikoku region with respect to the Amino station(1/2).



第 6 図　紀伊半島西部・四国東部　GNSS 連続観測時系列

Fig. 6　Results of continuous GNSS measurements in the western Kii Peninsula and the eastern Shikoku region with respect to the Amino station(2/2).

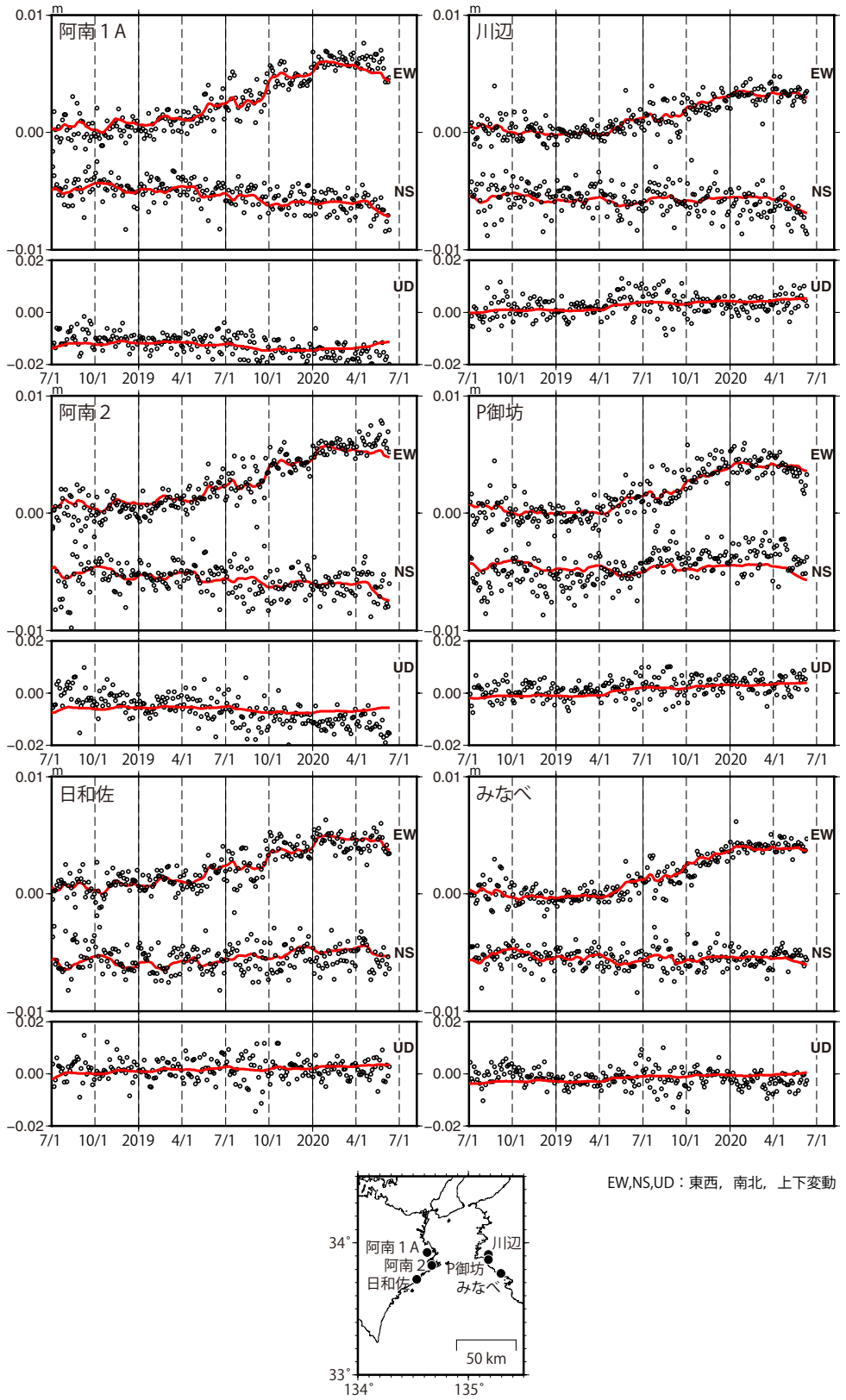
GNSSデータから推定された
紀伊水道の長期的ゆっくりすべり（暫定）



使用データ：F3解 (2018/1/1 - 2020/5/31) + R3解 (2020/6/1 - 2020/6/11)　※電子基準点の保守等による変動は補正済み
トレンド期間：2017/1/1 - 2018/1/1（年周・半年周成分は2017/1/1 - 2020/6/11のデータで補正）
モーメント計算範囲：左図の黒枠内側
観測値：3日間の平均値をカルマンフィルターで平滑化した値
黒破線：フィリピン海プレート上面の等深線 (弘瀬・他、2007)
すべり方向：東向きから南向きの範囲に拘束
赤丸：低周波地震（気象庁一元化震源）
固定局：網野

第 7 図 (a)　紀伊水道において推定される長期的ゆっくりすべり（暫定）
Fig. 7(a)　Estimated slip distribution on the plate interface beneath the Kii-channel (preliminary results).

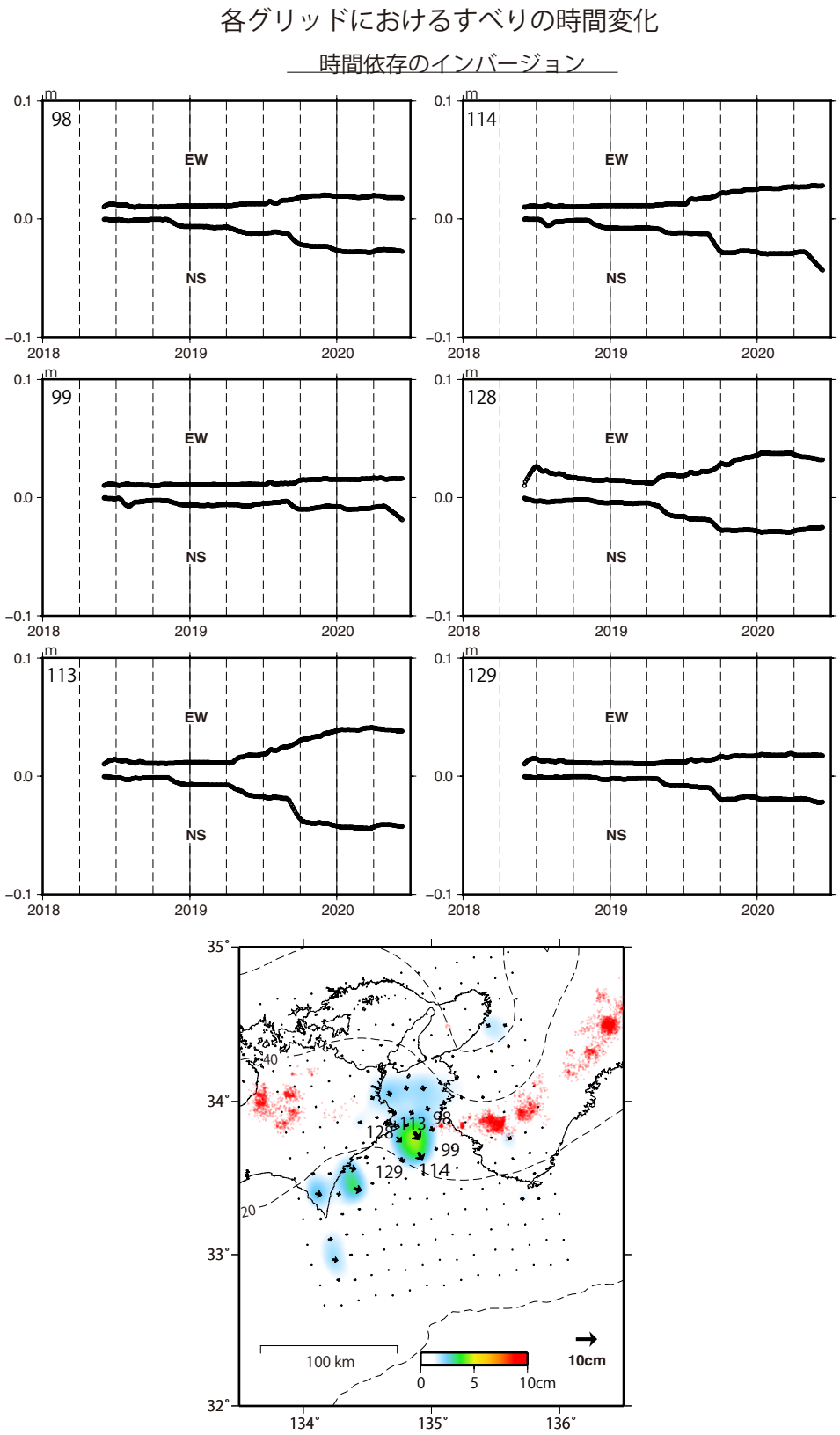
第 7 図 (b)　観測値（黒）と計算値（白）の比較
Fig. 7(b)　Comparison of observed (black) and calculated (white) displacements.



第 8 図　紀伊水道地域の座標時系列（黒丸）と計算値（赤線）

Fig. 8　Observed (black dots) and calculated (red line) deformations at the GNSS stations around the Kii-channel.

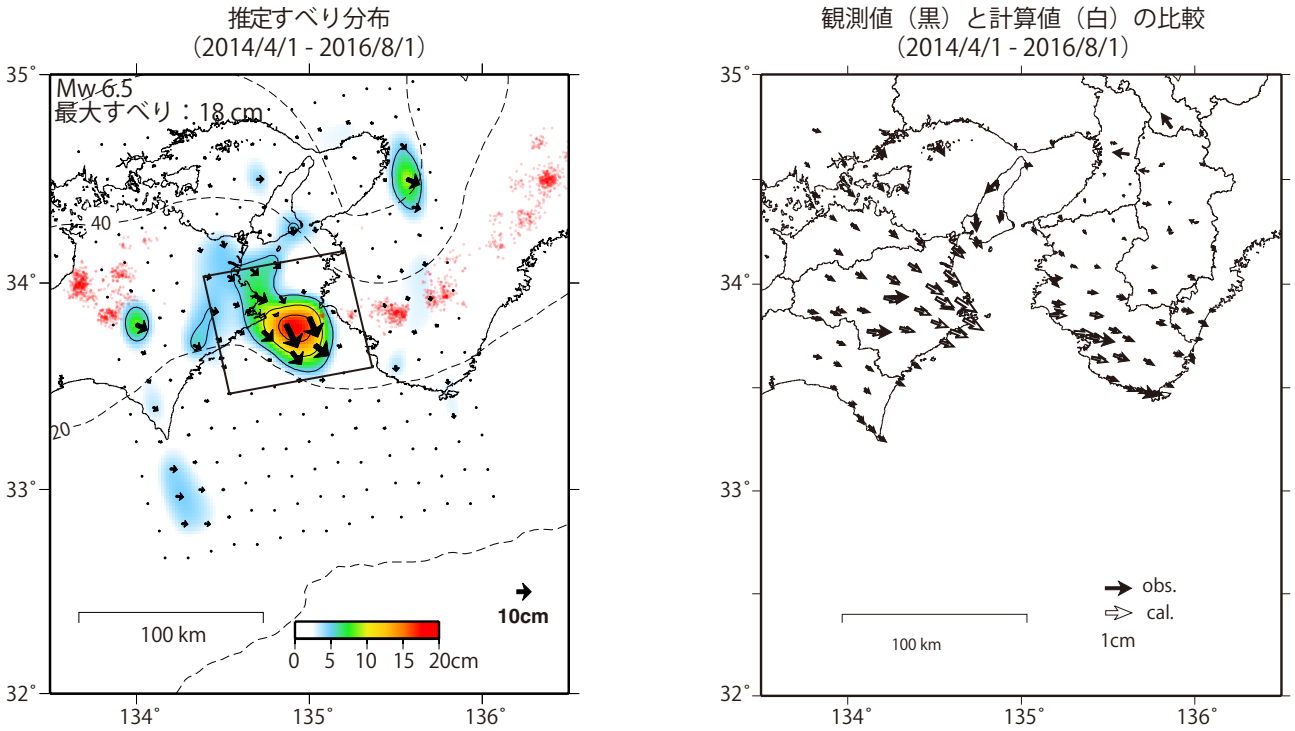
紀伊水道の長期的ゆっくりすべり



第 9 図　時間依存インバージョンで推定されたプレート間滑りの時間変化

Fig. 9　Time evolution of the estimated slip by the time dependent inversion method.

2014～2016年
GNSSデータから推定された紀伊水道の長期的ゆっくりすべり（暫定）



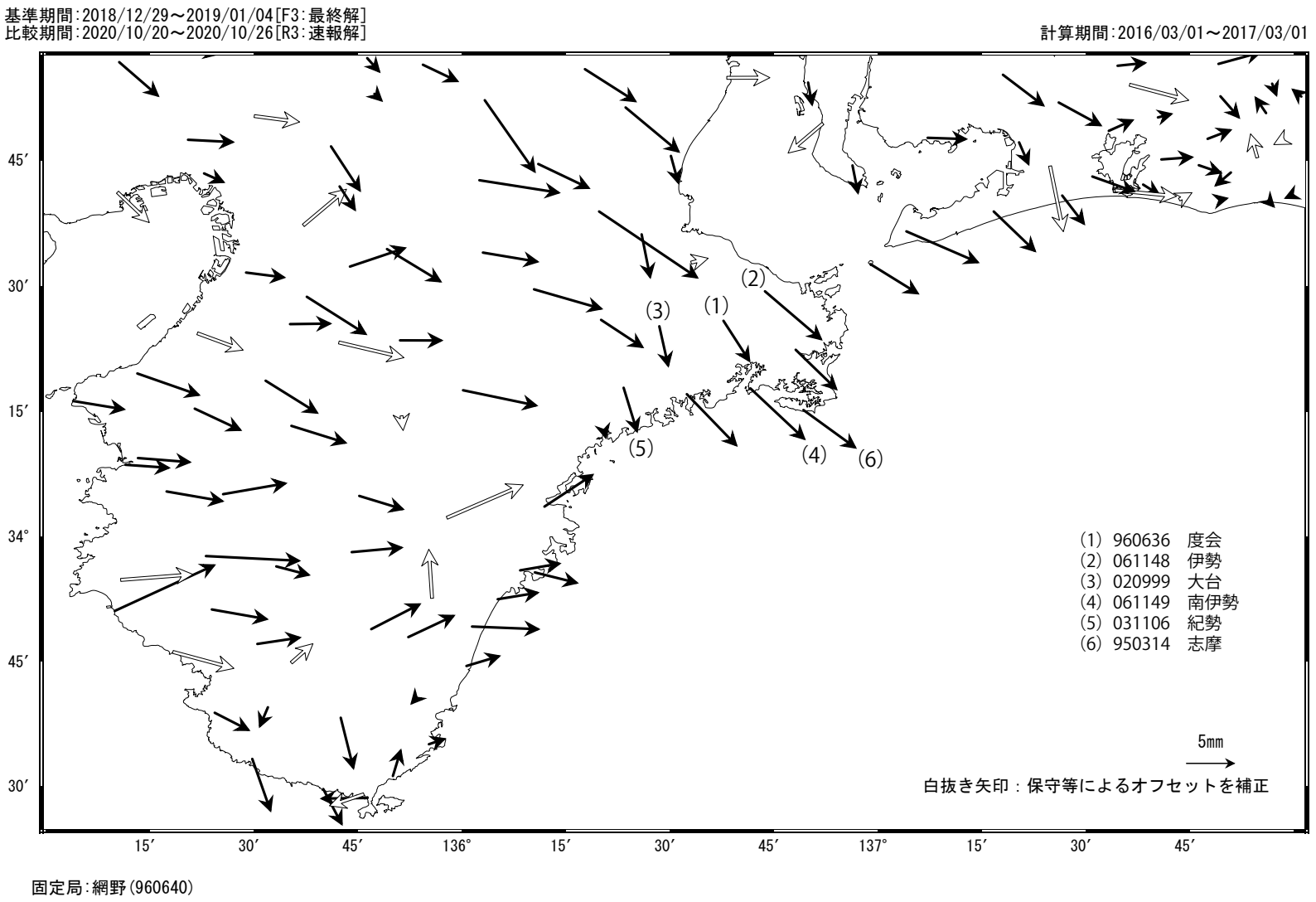
使用データ：F3解 (2014/1/1 - 2016/8/1)　※電子基準点の保守等による変動は補正済み
トレンド期間：2017/1/1 - 2018/1/1（年周・半年周成分は2017/1/1 - 2020/1/21のデータで補正）
モーメント計算範囲：左図の黒枠内側
観測値：3日間の平均値をカルマンフィルターで平滑化した値
黒破線：フィリピン海プレート上面の等深線 (弘瀬・他、2007)
すべり方向：東向きから南向きの範囲に拘束
赤丸：低周波地震（気象庁一元化震源）
固定局：網野

第 10 図 (a)　紀伊水道において推定された長期的ゆっくりすべり（暫定）
2014 年 -2016 年

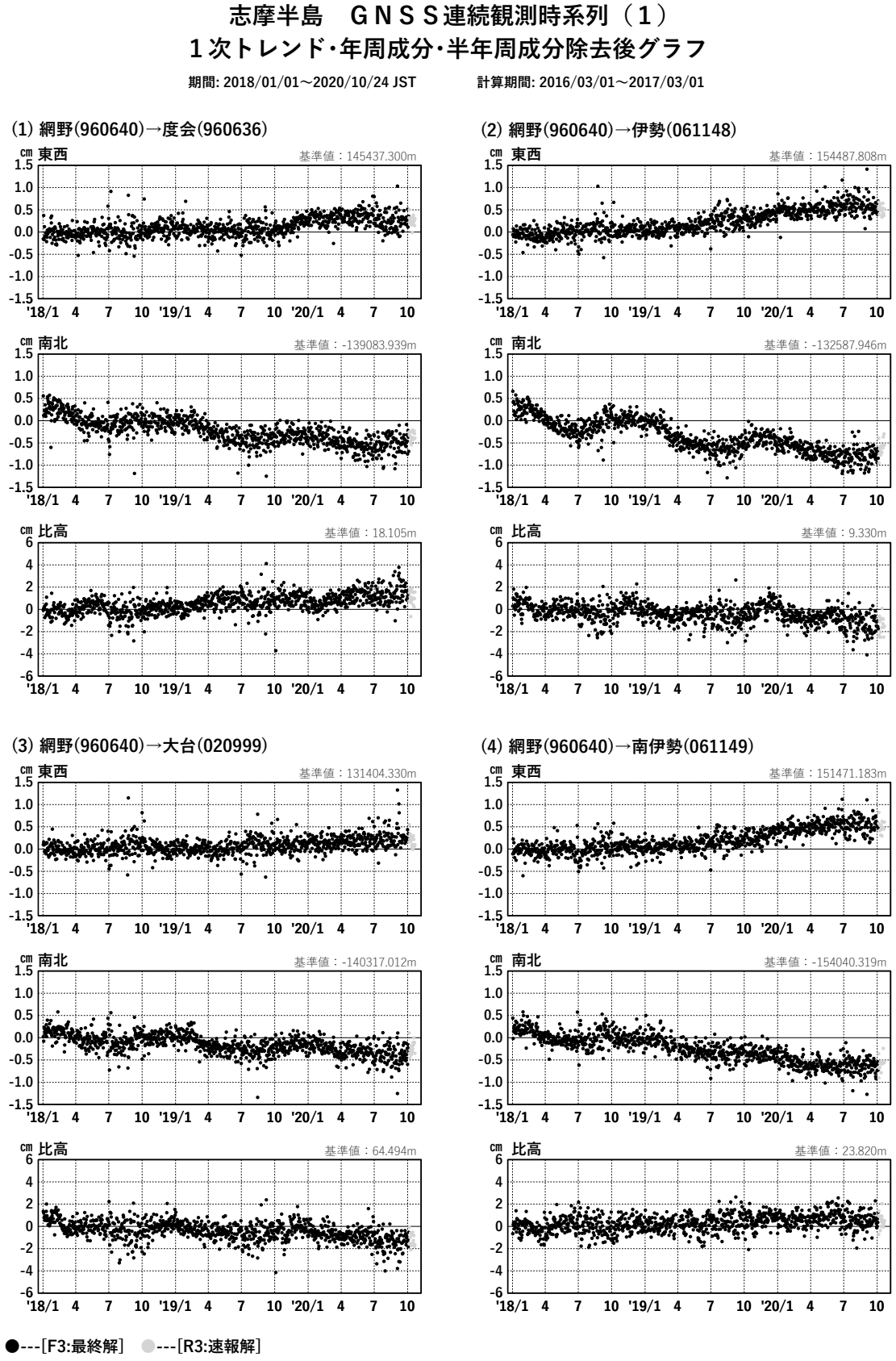
Fig. 10(a)　Estimated slip distribution on the plate interface beneath the Kii-channel for 2014-2016 (preliminary results).

第 10 図 (b)　観測値（黒）と計算値（白）の比較

Fig. 10(b)　Comparison of observed (black) and calculated (white) displacements.

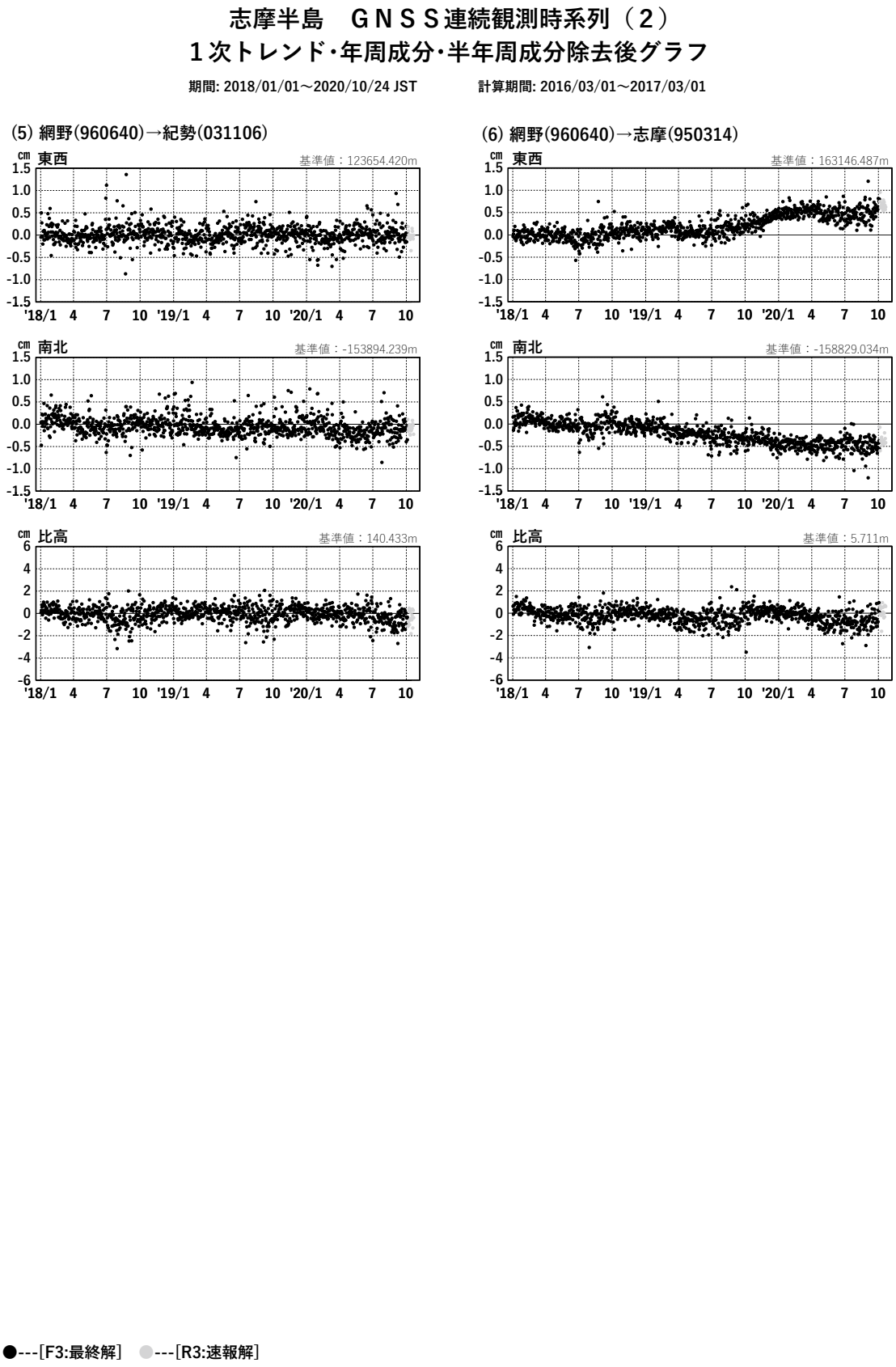


第 11 図　志摩半島の非定常水平地殻変動
Fig. 11　Transient horizontal deformation in the Shima Peninsula.



第 12 図　志摩半島 GNSS 連続観測時系列

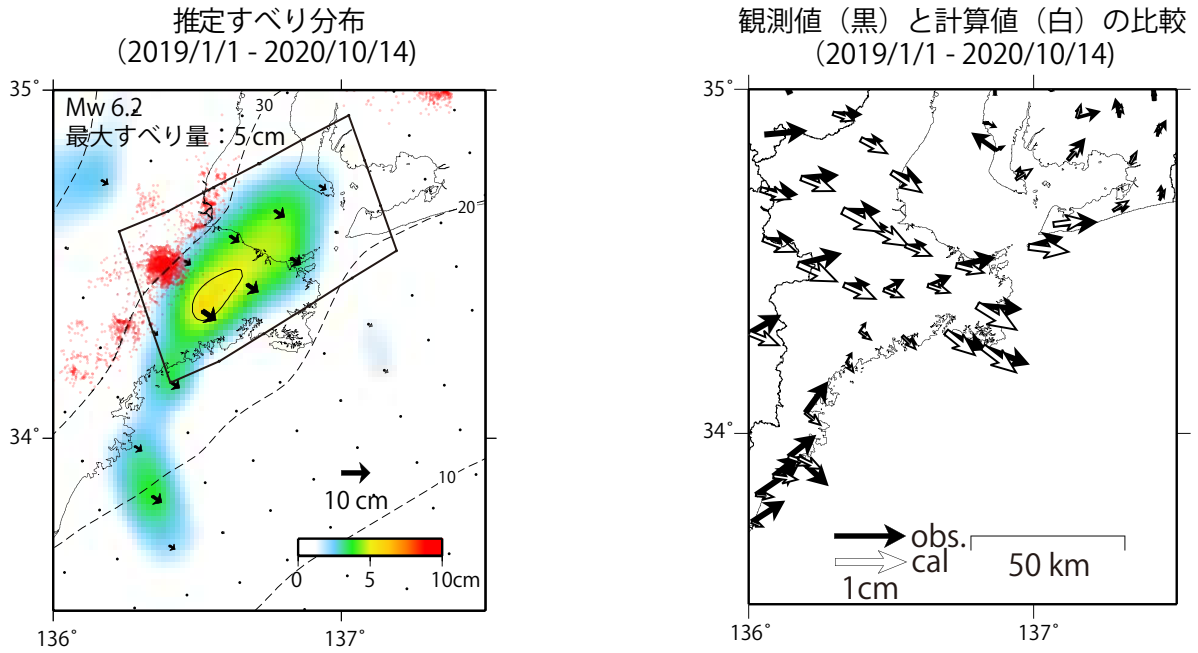
Fig. 12　Results of continuous GNSS measurements in the Shima Peninsula with respect to the Amino station(1/2).



第 13 図　志摩半島 GNSS 連続観測時系列

Fig. 13　Results of continuous GNSS measurements on the the Shima Peninsula with respect to the Amino station(2/2).

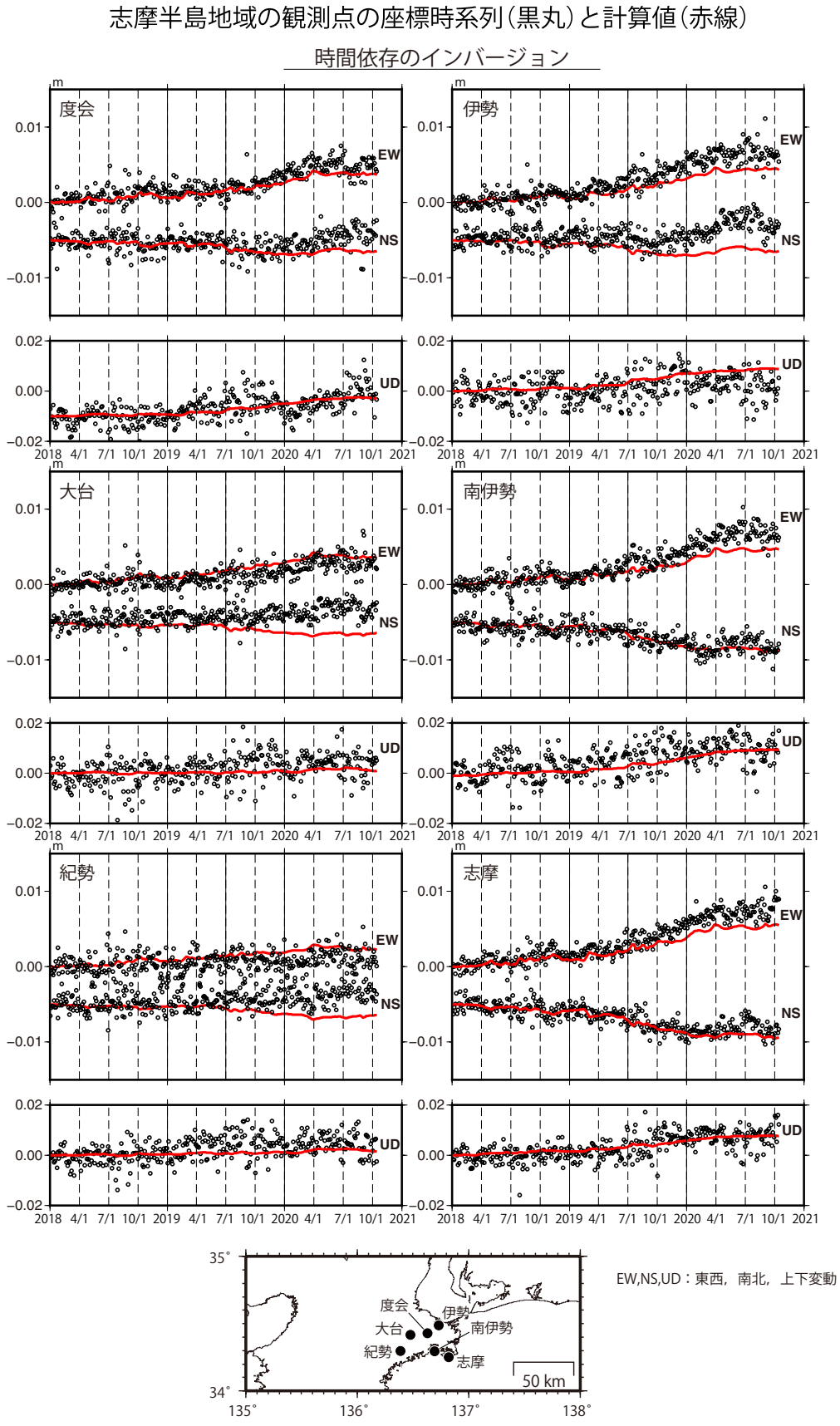
GNSSデータから推定された
志摩半島の長期的ゆっくりすべり（暫定）



使用データ：F3解 (2018/1/1 - 2020/10/3) + R3解 (2020/10/4 - 2020/10/14)　※電子基準点の保守等による変動は補正済み
トレンド期間：2016/3/1 - 2017/3/1（年周・半年周成分は 2017/1/1 - 2020/10/14 のデータで補正）
モーメント計算範囲：左図の黒枠内側
観測値：3日間の平均値をカルマンフィルターで平滑化した値
黒破線：フィリピン海プレート上面の等深線 (弘瀬・他、2007)
すべり方向：プレートの沈み込み方向と平行な方向に拘束
赤丸：低周波地震（気象庁一元化震源）
固定局：網野

第 14 図 (a)　志摩半島において推定される長期的ゆっくりすべり（暫定）
Fig. 14(a)　Estimated slip distribution on the plate interface beneath the Shima Peninsula (preliminary results).

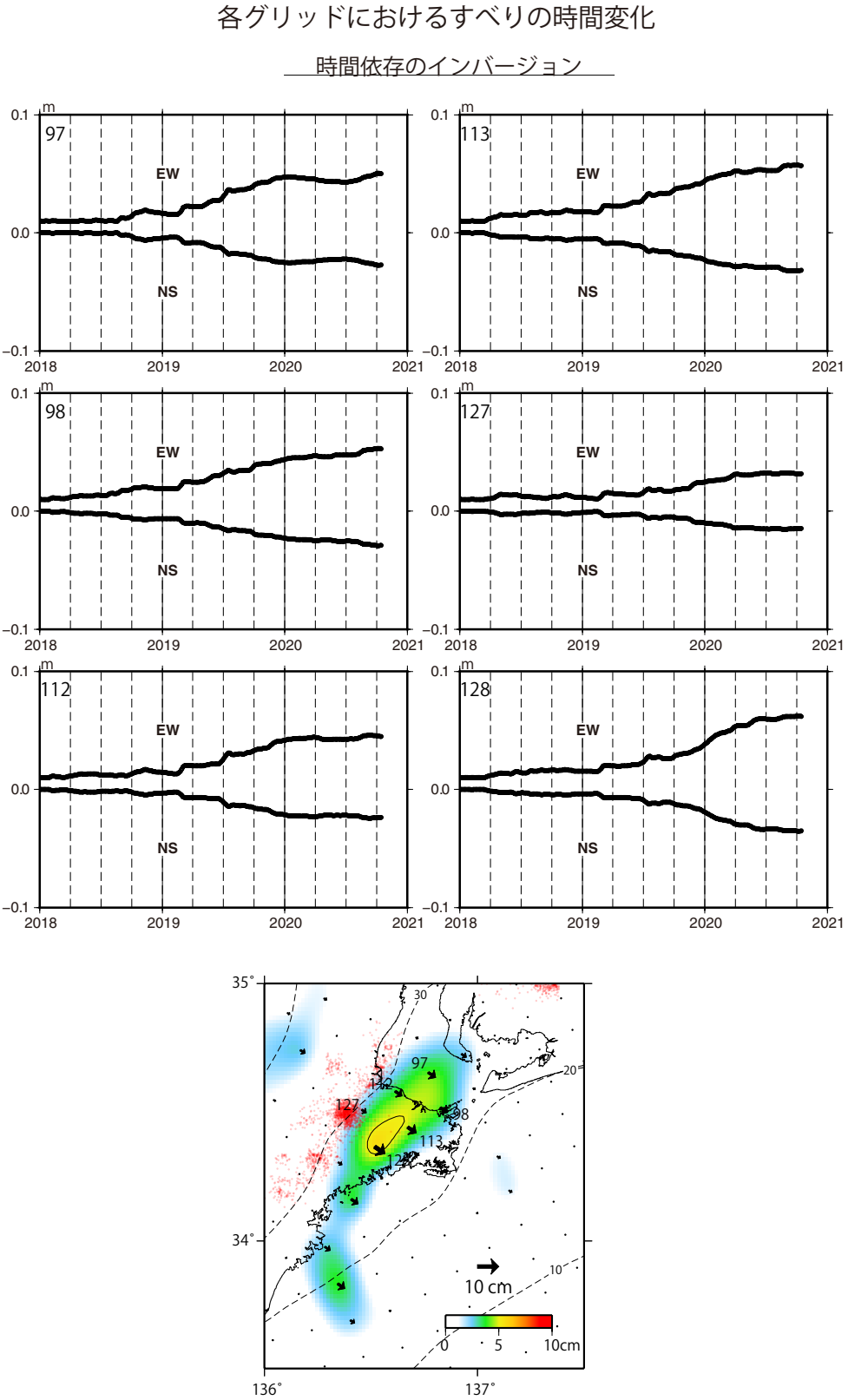
第 14 図 (b)　観測値（黒）と計算値（白）の比較
Fig. 14(b)　Comparison of observed (black) and calculated (white) displacements.



第 15 図　志摩半島地域の座標時系列（黒丸）と計算値（赤線）

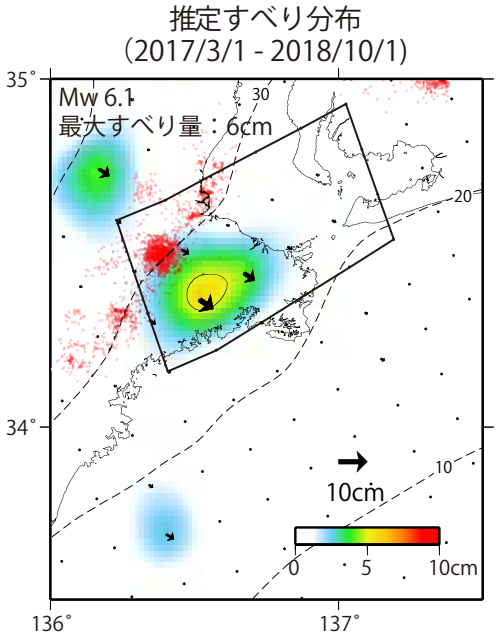
Fig. 15　Observed (black dots) and calculated (red line) deformations at the GNSS stations in the Shima Peninsula.

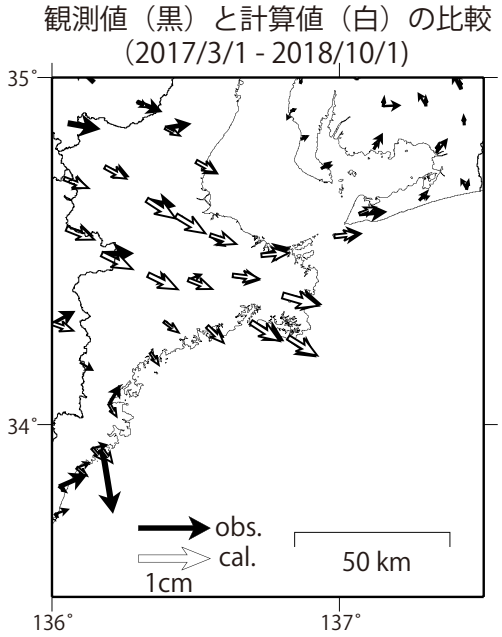
志摩半島の長期的ゆっくりすべり



第 16 図　時間依存インバージョンで推定されたプレート間滑りの時間変化
Fig. 16　Time evolution of the estimated slip by the time dependent inversion method.

2017～2018年
GNSSデータから推定された志摩半島の長期的ゆっくりすべり（暫定）





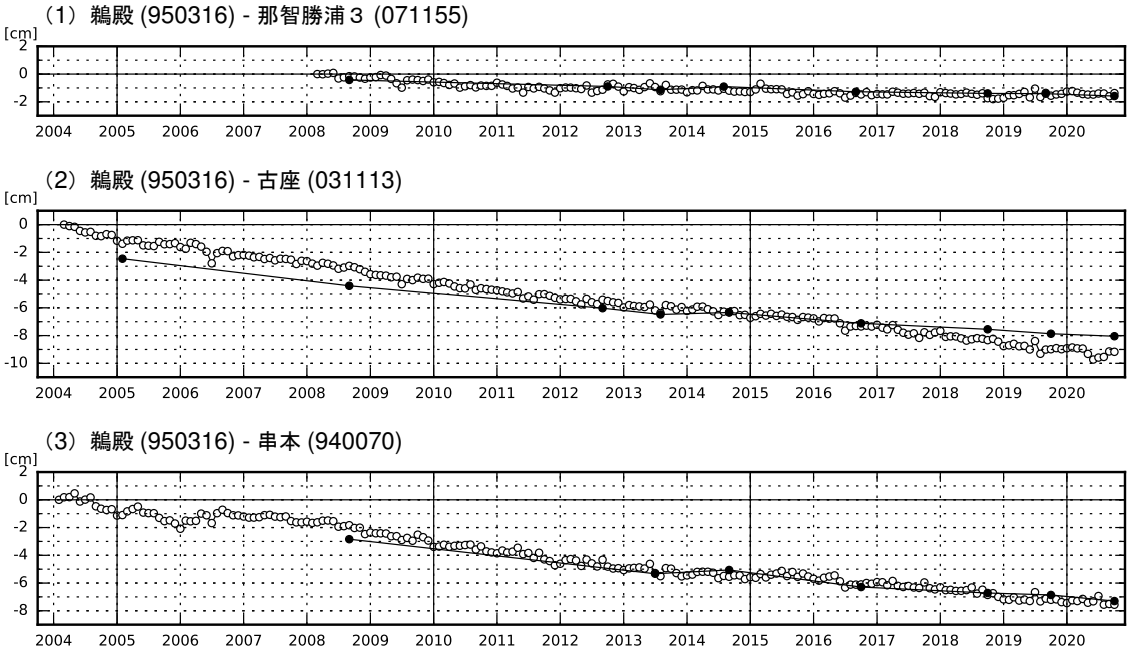
使用データ：F3解 (2016/1/1 - 2020/3/28)+ R3解 (2020/3/29 - 2020/4/11)　※電子基準点の保守等による変動は補正済み
トレンド期間：2016/3/1 - 2017/3/1（年周・半年周成分は2017/1/1 - 2020/4/11のデータで補正）
モーメント計算範囲：左図の黒枠内側
観測値：3日間の平均値をカルマンフィルターで平滑化した値
黒破線：フィリピン海プレート上面の等深線 (弘瀬･他、2007)
すべり方向：プレートの沈み込み方向と平行な方向に拘束
赤丸：低周波地震（気象庁一元化震源）
固定局：網野

第 17 図 (a)　志摩半島において推定された長期的ゆっくりすべり（暫定）2017 年 -2018 年
Fig. 17(a)　Estimated slip distribution on the plate interface beneath the Shima Peninsula for 2017-2018 (preliminary results).

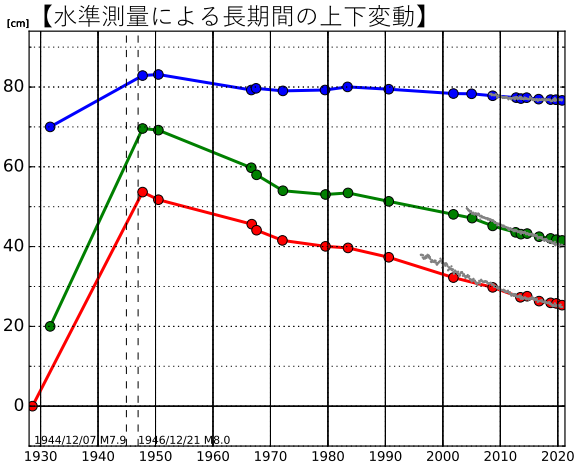
第 17 図 (b)　観測値（黒）と計算値（白）の比較
Fig. 17(b)　Comparison of observed (black) and calculated (white) displacements.

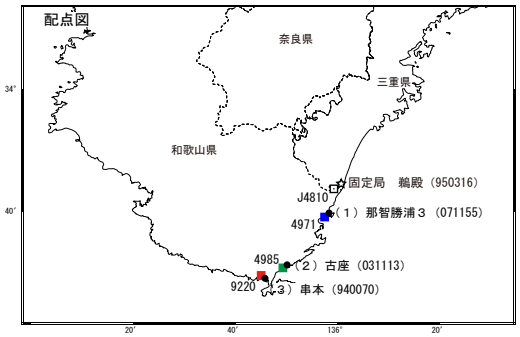
紀伊半島　電子基準点の上下変動（１）

潮岬周辺の長期的な沈降傾向に変化は見られない.



●：水準測量　　○：GNSS 連続観測（GEONET 月平均値）



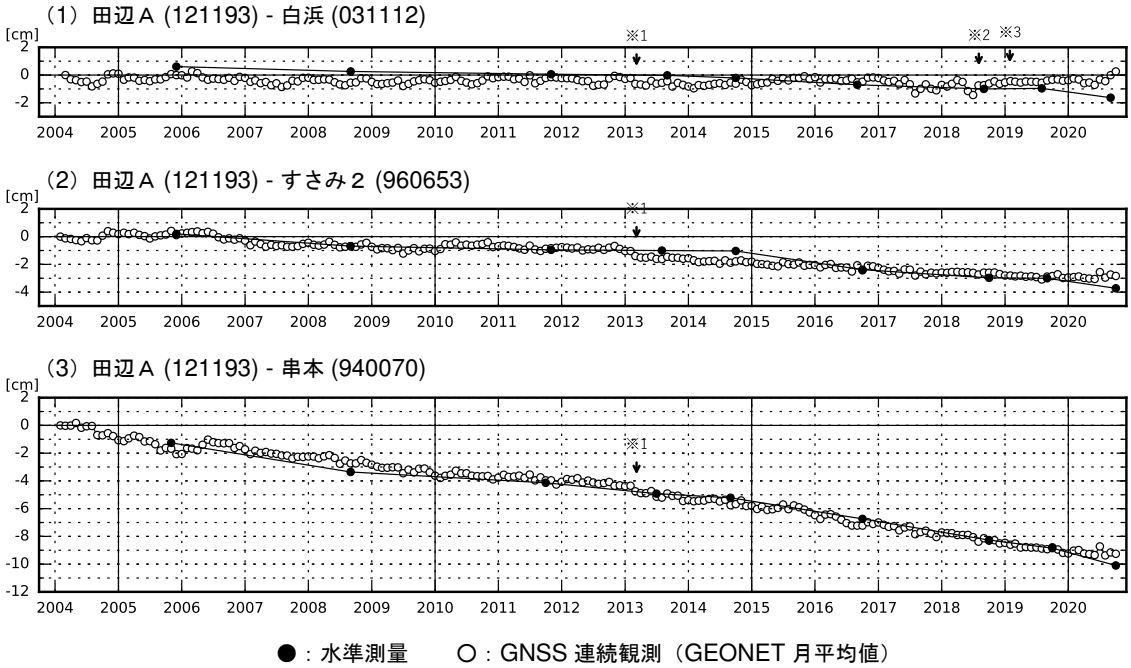


・GNSS 連続観測のプロット点は，GEONET による日々の座標値（F3：最終解）から計算した値の月平均値である。（最新のプロット点：10/1～10/17 の平均値）
・水準測量の結果は，最寄りの一等水準点の結果を表示しており，GNSS 連続観測の全期間の値との差が最小となるように描画している。
・「水準測量による長期間の上下変動」のグラフにおける，各プロットの色は配点図の水準点の色と対応する。また，灰色のプロットは GEONET の月平均値を示している。

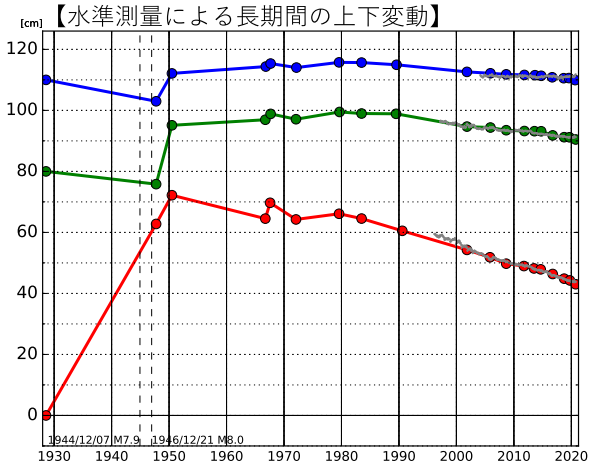
第 18 図　紀伊半島 電子基準点の上下変動（水準測量と GNSS）（1）
Fig. 18　Vertical displacements of GEONET stations in the Kii Peninsula (leveling and GNSS measurements) (1).

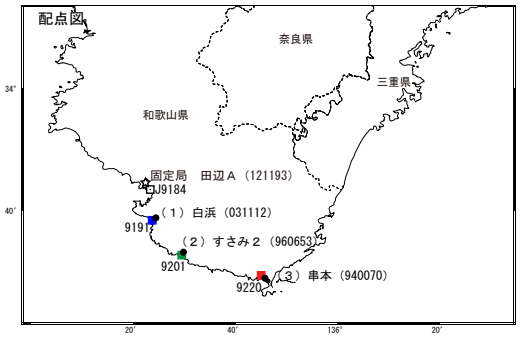
紀伊半島　電子基準点の上下変動（２）

潮岬周辺の長期的な沈降傾向に変化は見られない.



●：水準測量　　○：GNSS 連続観測（GEONET 月平均値）



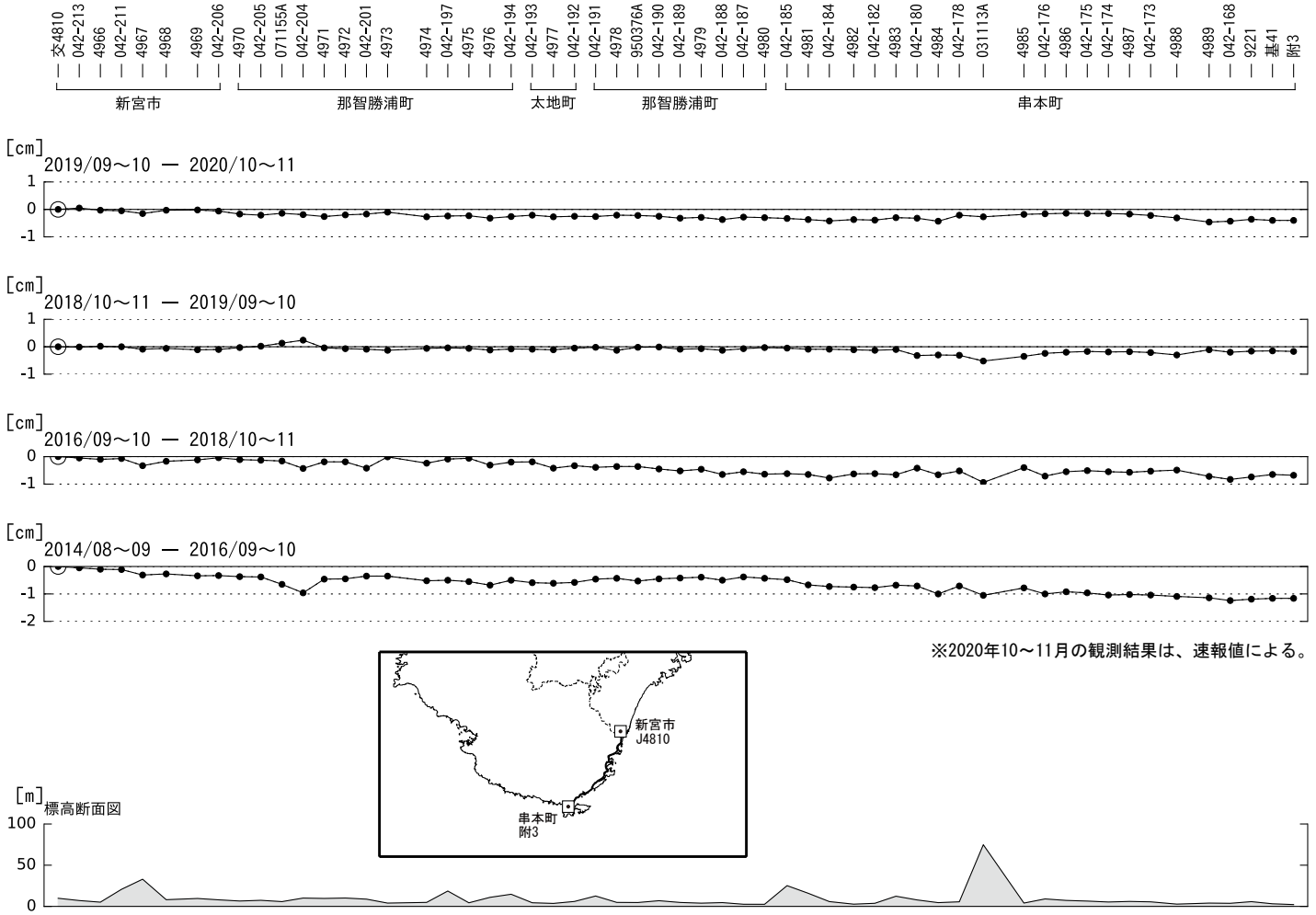


・GNSS 連続観測のプロット点は，GEONET による日々の座標値（F3：最終解）から計算した値の月平均値である。（最新のプロット点：10/1～10/17 の平均値）
・水準測量の結果は，最寄りの一等水準点の結果を表示しており，GNSS 連続観測の全期間の値との差が最小となるように描画している。
・「水準測量による長期間の上下変動」のグラフにおける，各プロットの色は配点図の水準点の色と対応する。また，灰色のプロットは GEONET の月平均値を示している。

※1 2013/3/8 に電子基準点「田辺」を移転し，電子基準点「田辺Ａ」とした。
※2 2018/8/3 に電子基準点「白浜」周辺の樹木を伐採した。
※3 2019/1/29 に電子基準点「白浜」周辺の樹木を伐採した。

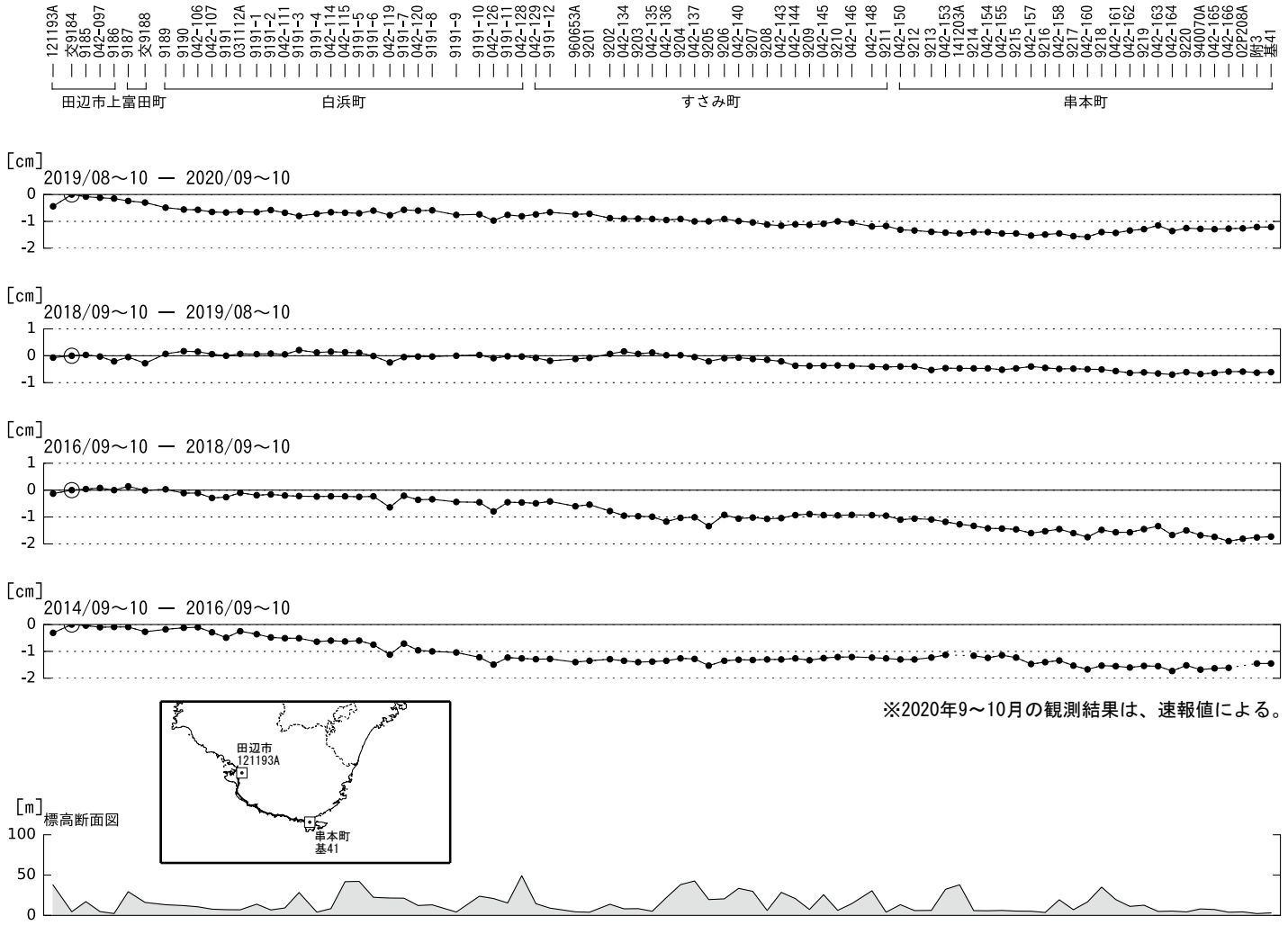
第 19 図　紀伊半島 電子基準点の上下変動（水準測量と GNSS）(2)
Fig. 19　Vertical displacements of GEONET stations in the Kii Peninsula (leveling and GNSS measurements) (2).

和 歌 山 県 新 宮 市 ～ 串 本 町 間 の 上 下 変 動



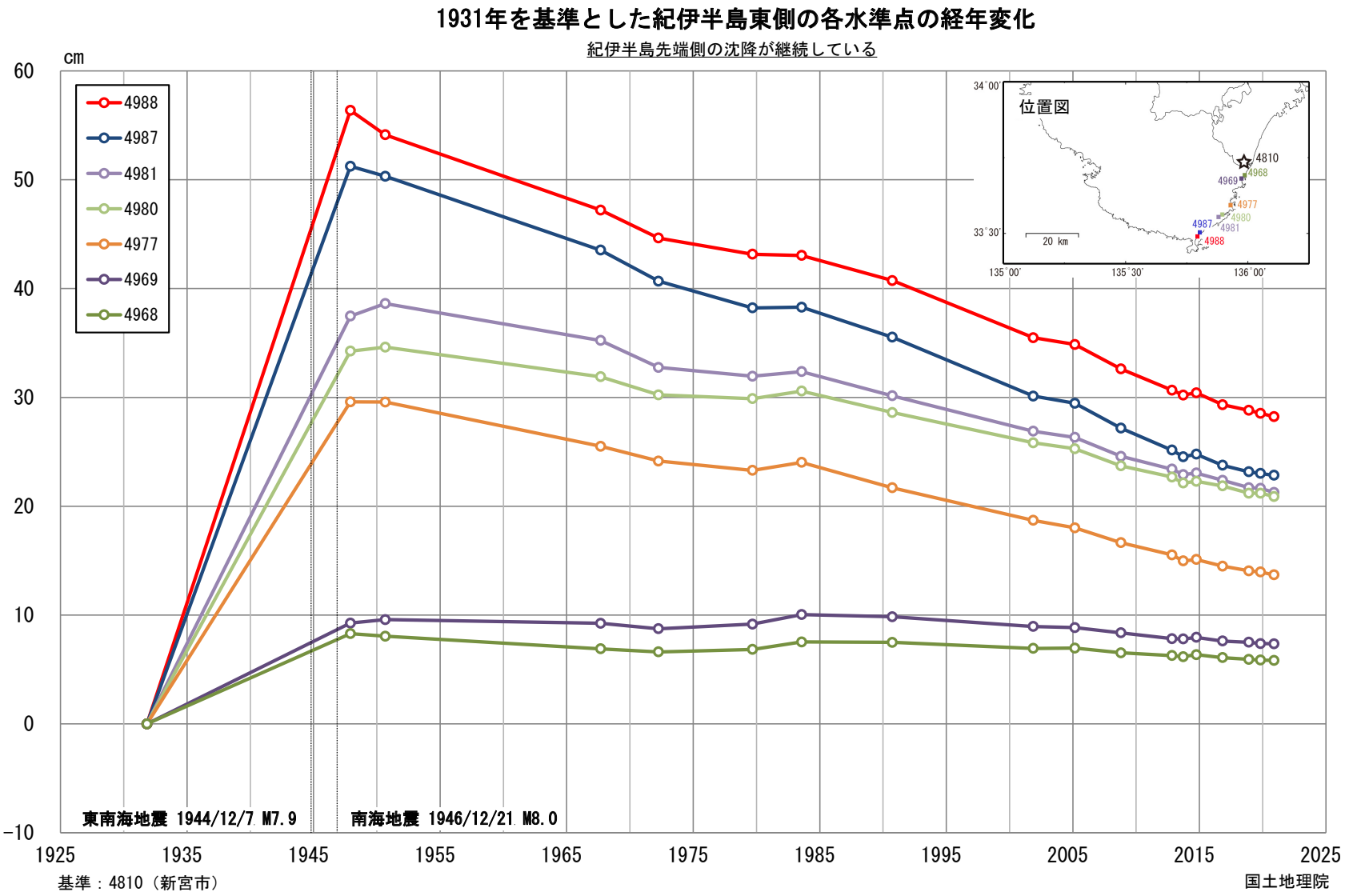
第 20 図　新宮市～串本町間の上下変動

Fig. 20　Results of leveling survey along the leveling route from Shingu city to Kushimoto town.



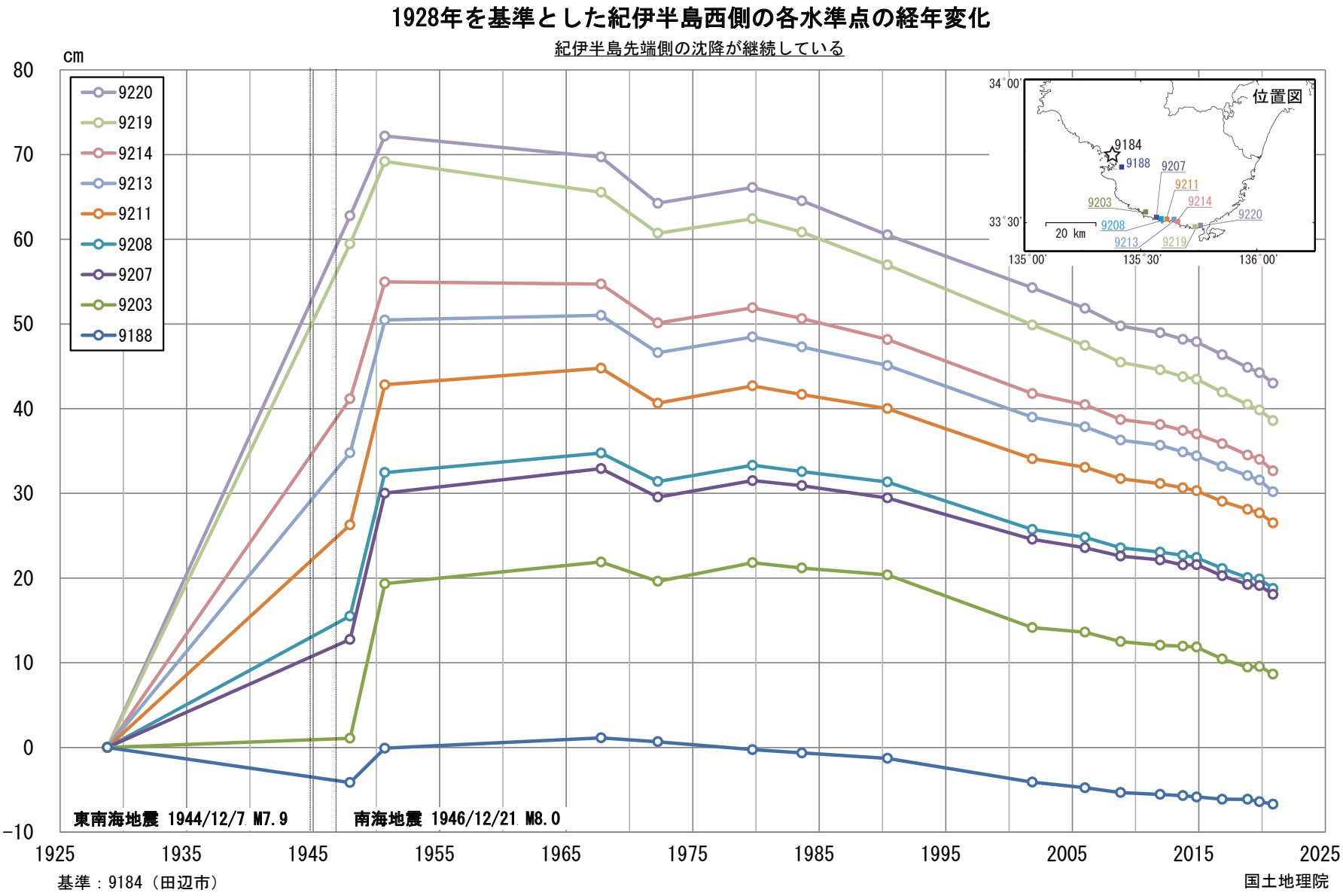
第 21 図　田辺市～串本町間の上下変動

Fig. 21　Results of leveling survey along the leveling route from Tanabe city to Kushimoto town.

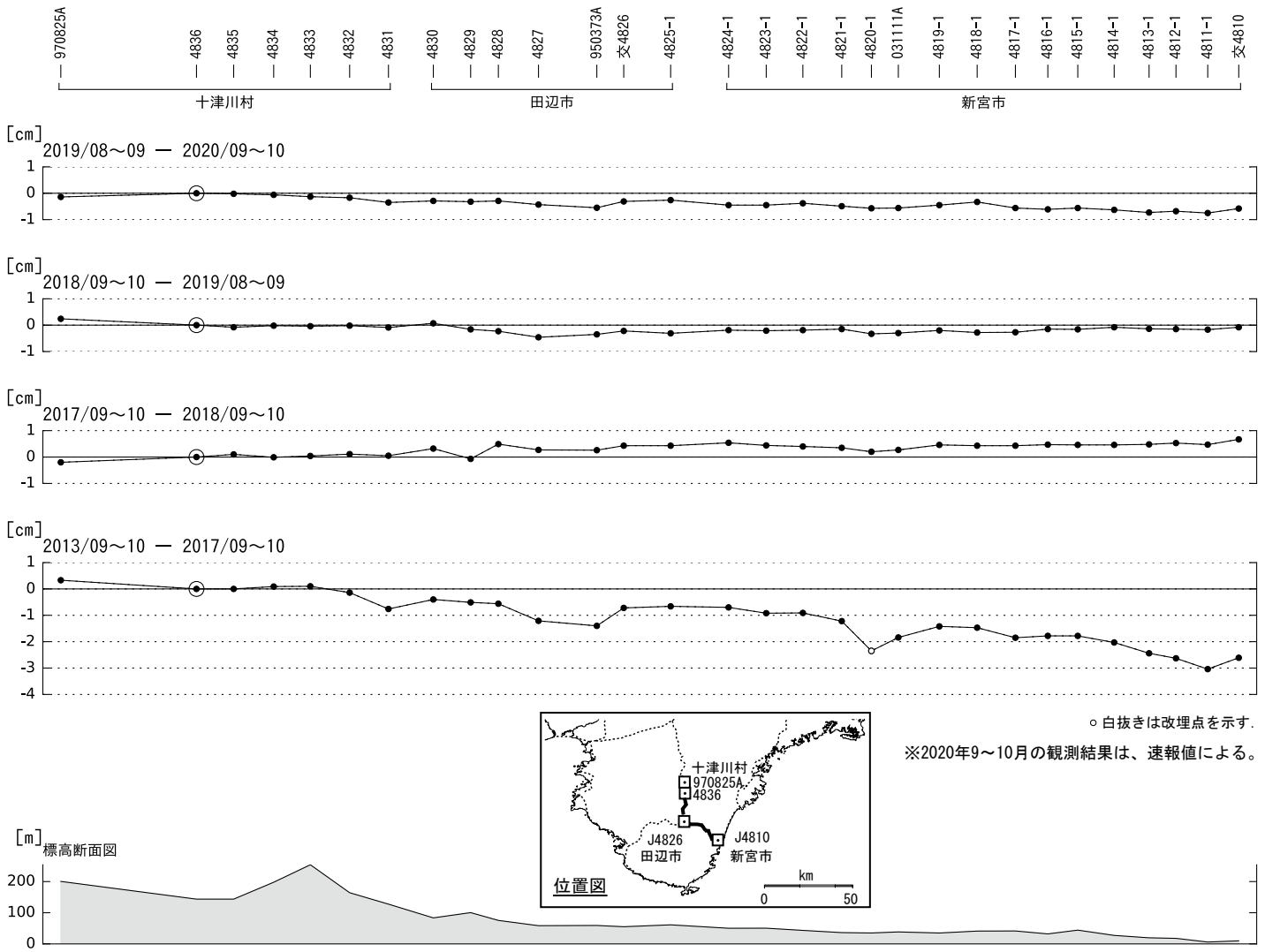


第 22 図　水準点 4810（新宮市）を基準とした紀伊半島東側の各水準点の高さの上下変動時系列
Fig. 22　Time series of height changes of benchmarks along the leveling route on the east side of the Kii Peninsula referred to BM4810 (Shingu).

地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行
2022 年 1 月修正



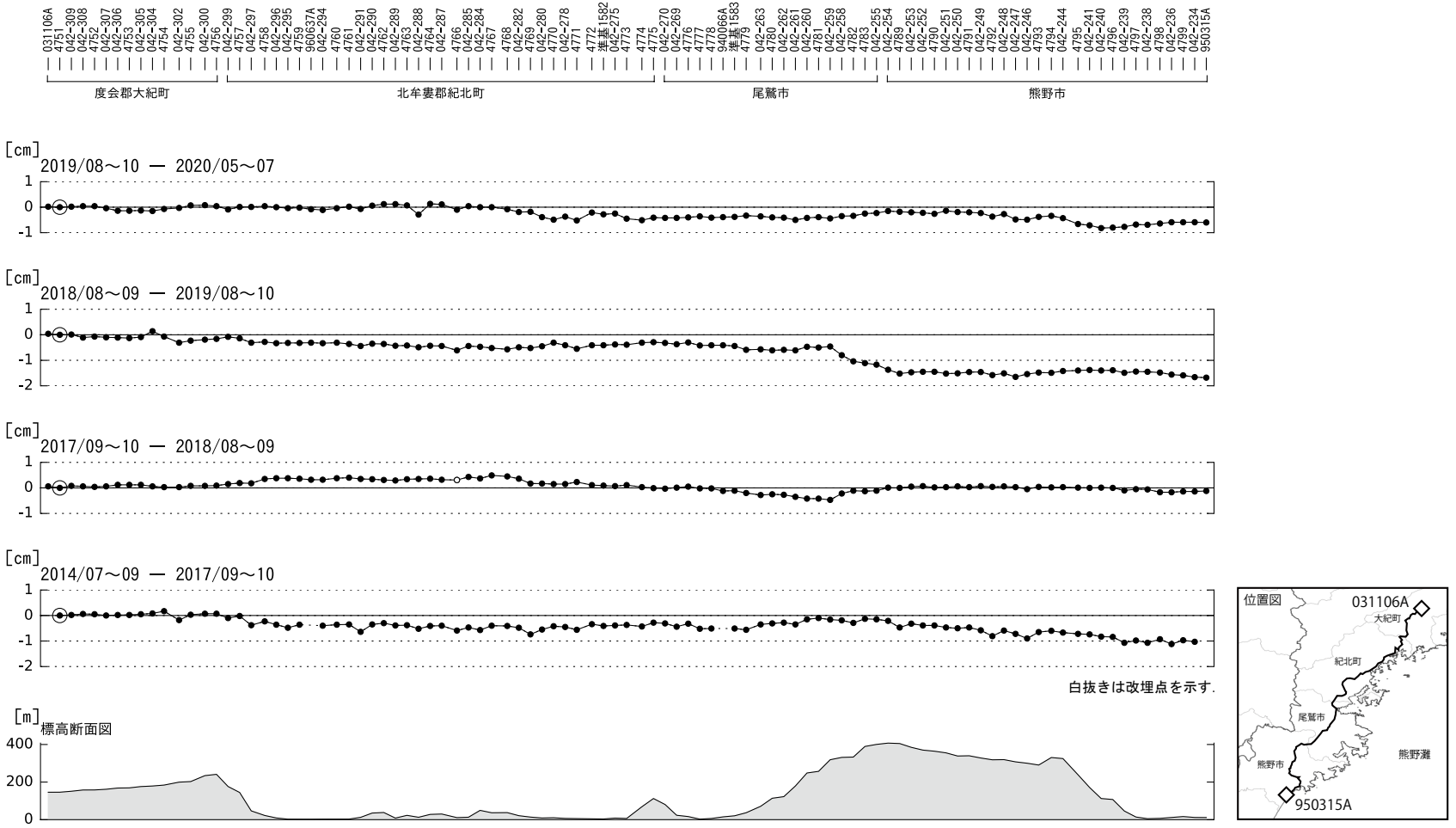
第 23 図　水準点 9148（田辺市）を基準とした紀伊半島西側の各水準点の高さの上下変動時系列
Fig. 23　Time series of height changes of benchmarks along the leveling route on the west side of the Kii Peninsula referred to BM9148 (Tanabe).



第 24 図　十津川村～新宮市間の上下変動

Fig. 24　Results of leveling survey along the leveling route from Totsukawa village to Shingu city.

三 重 県 大 紀 町 ～ 熊 野 市 間 の 上 下 変 動



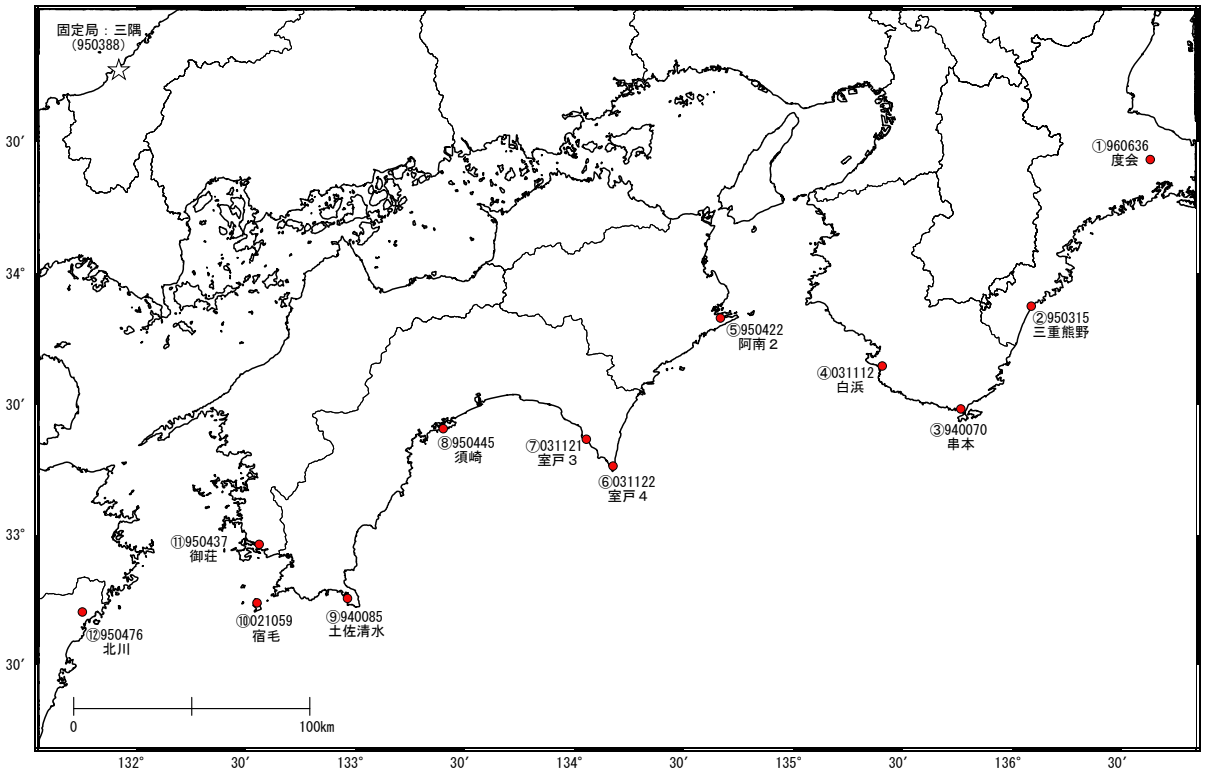
※2020年5～7月の観測結果は、速報値による。

第 25 図　大紀町～熊野市間の上下変動

Fig. 25　Results of leveling survey along the leveling route from Taiki town to Kumano city.

南海トラフ周辺　ＧＮＳＳ連続観測時系列（１）

配点図



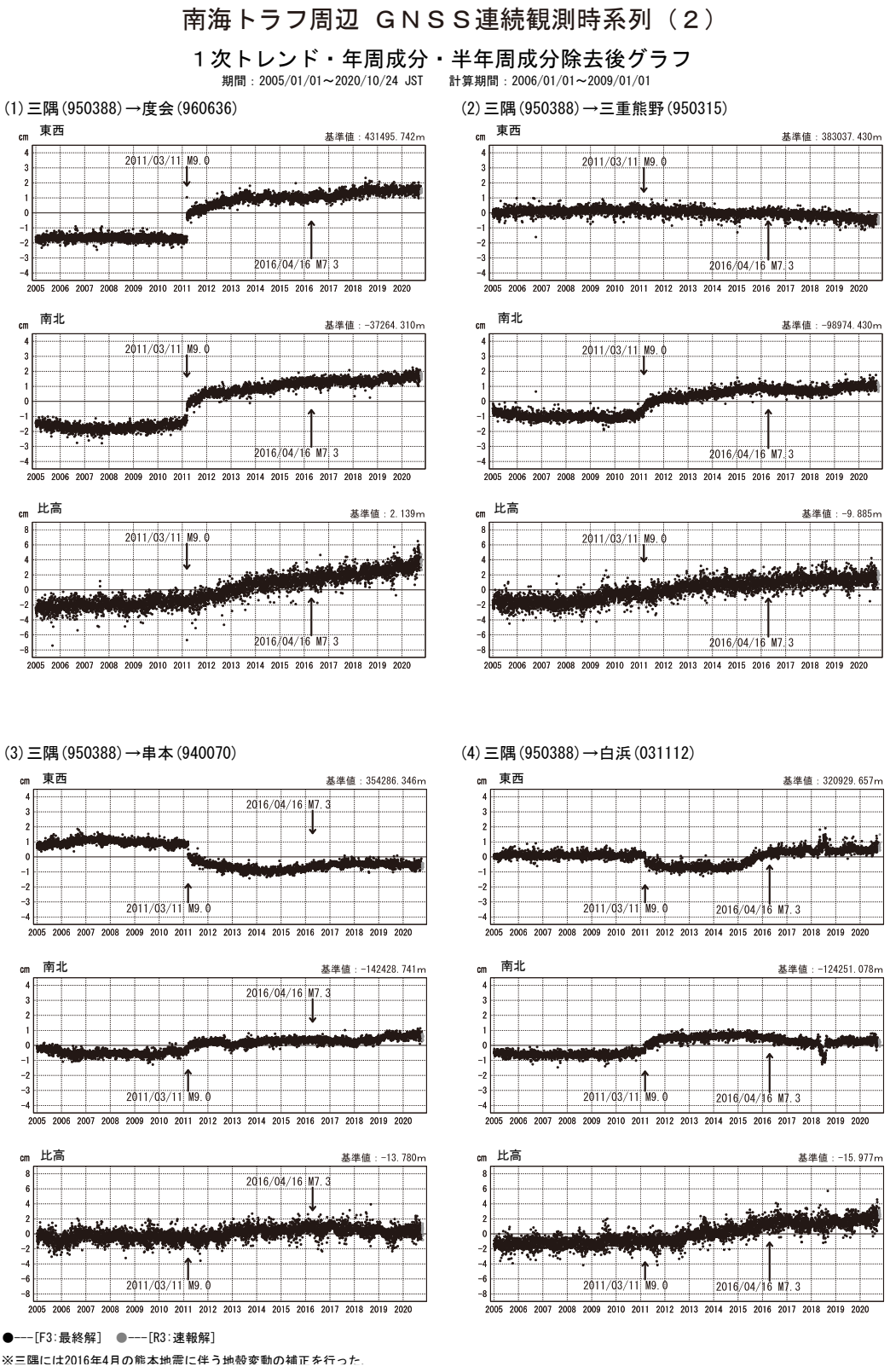
各観測局情報

点番号	点　名	日付	保守内容
960636	度会	2010/02/09	受信機交換・レドーム開閉
		2012/11/07	アンテナ更新
		2014/08/12	アンテナ交換・受信機交換
		2017/11/27	受信機交換
950315	三重熊野	2011/01/14	受信機交換・レドーム開閉
		2012/10/31	アンテナ更新
940070	串本	2012/11/14	アンテナ更新・受信機交換
		2017/01/22	アンテナ交換
031112	白浜	2010/01/22	受信機交換
		2012/11/13	アンテナ更新
		2018/01/10	受信機交換
		2018/08/03	周辺伐採
		2019/01/29	周辺伐採
950422	阿南２	2012/12/04	アンテナ更新・受信機交換
		2015/11/17	アンテナ交換
		2018/04/02	アンテナ交換・受信機交換
		2019/12/04	受信機交換
031122	室戸４	2010/01/26	受信機交換
		2012/10/22	アンテナ更新
		2017/05/23	受信機交換
		2018/01/30	受信機交換

点番号	点　名	日付	保守内容
031121	室戸３	2010/01/25	受信機交換
		2012/10/22	アンテナ更新
		2017/01/18	受信機交換
950445	須崎	2012/10/11	アンテナ更新・受信機交換
		2017/06/23	アンテナ交換
		2019/11/28	受信機交換
940085	土佐清水	2012/11/15	アンテナ更新・受信機交換
		2019/11/26	受信機交換
021059	宿毛	2012/11/16	アンテナ更新・受信機交換
		2015/11/19	アンテナ交換
950437	御荘	2008/01/28	周辺伐採
		2011/10/06	周辺伐採
		2012/12/05	アンテナ更新・受信機交換
		2015/10/05	周辺伐採
		2016/07/19	アンテナ交換
950476	北川	2012/11/22	アンテナ更新・受信機交換
		2014/12/18	アンテナ交換
		2019/11/28	受信機交換
950388	三隅	2012/10/29	アンテナ更新・受信機交換
		2014/10/01	周辺伐採
		2019/11/13	受信機交換

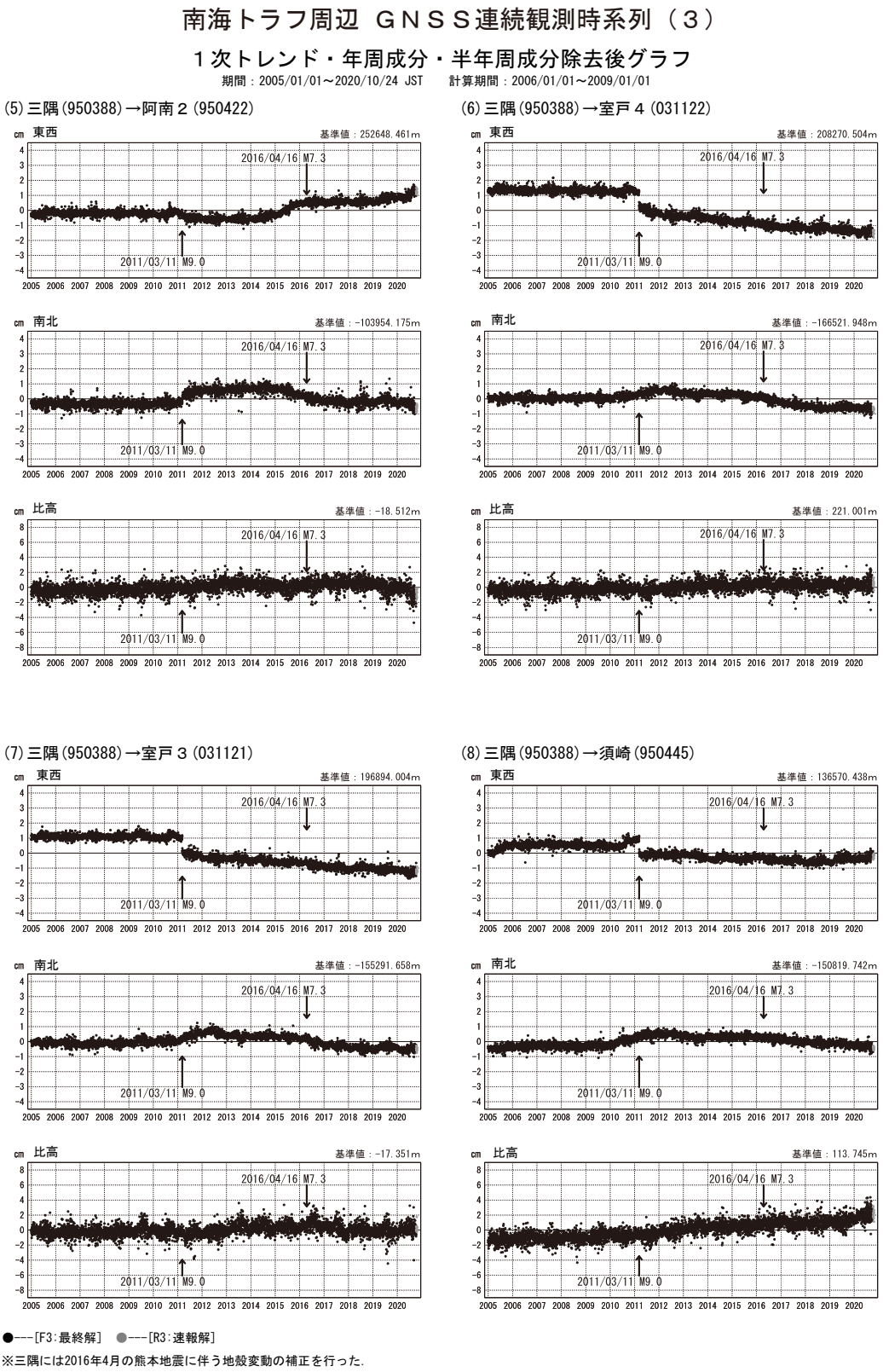
第 26 図　南海トラフ周辺における GNSS 連続観測結果（観測点配置図・保守状況）

Fig. 26　Time series of continuous GNSS measurements along the Nankai Trough (site location map and history of the site maintenance).



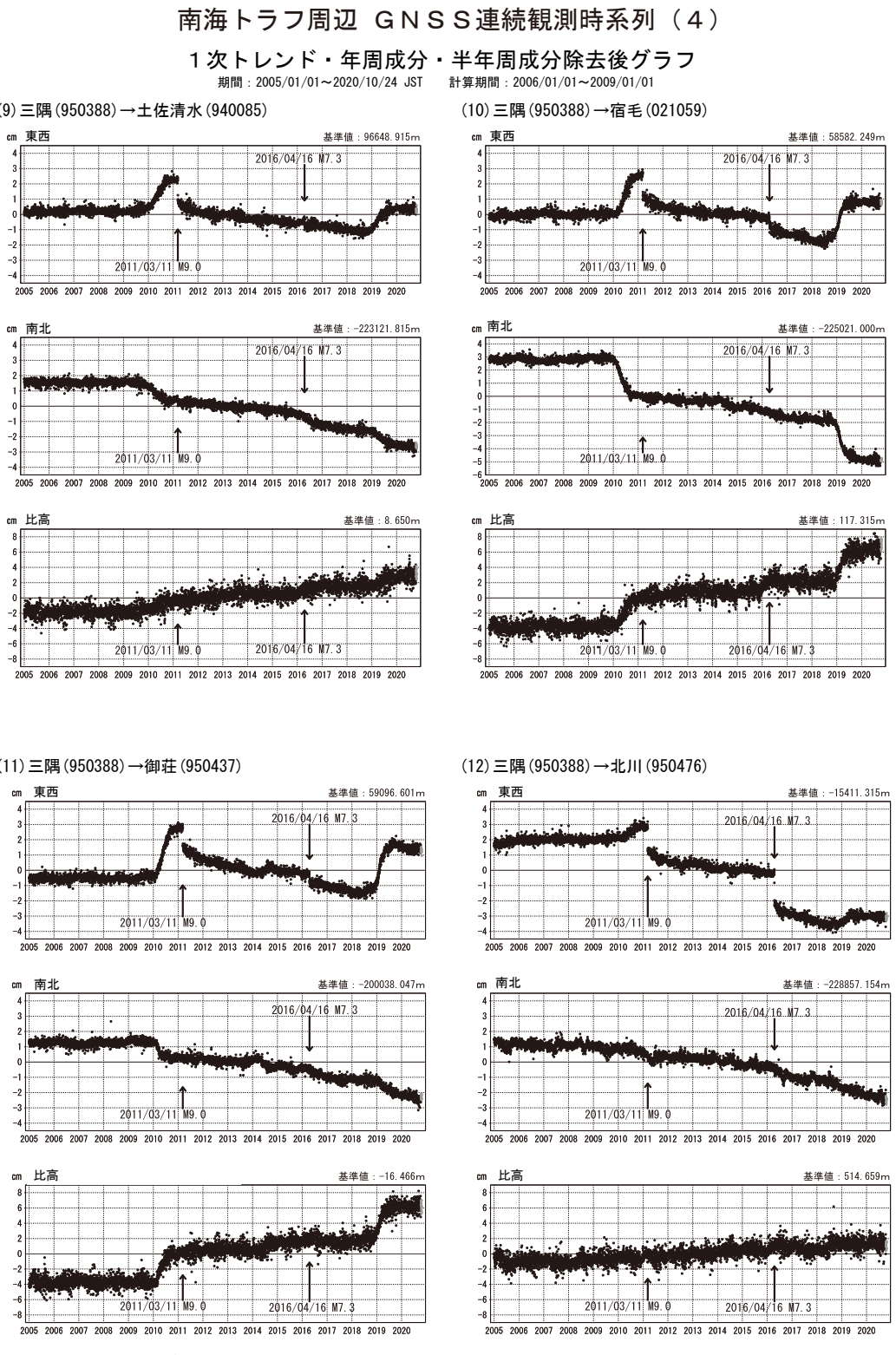
第 27 図　南海トラフ周辺における GNSS 連続観測結果：1 次トレンド及び年周・半年周成分を除去した時系列（固定局：三隅）

Fig. 27　Time series of continuous GNSS measurements along the Nankai Trough with reference to the Misumi station (detrended time series with seasonal terms removed) (1/3).



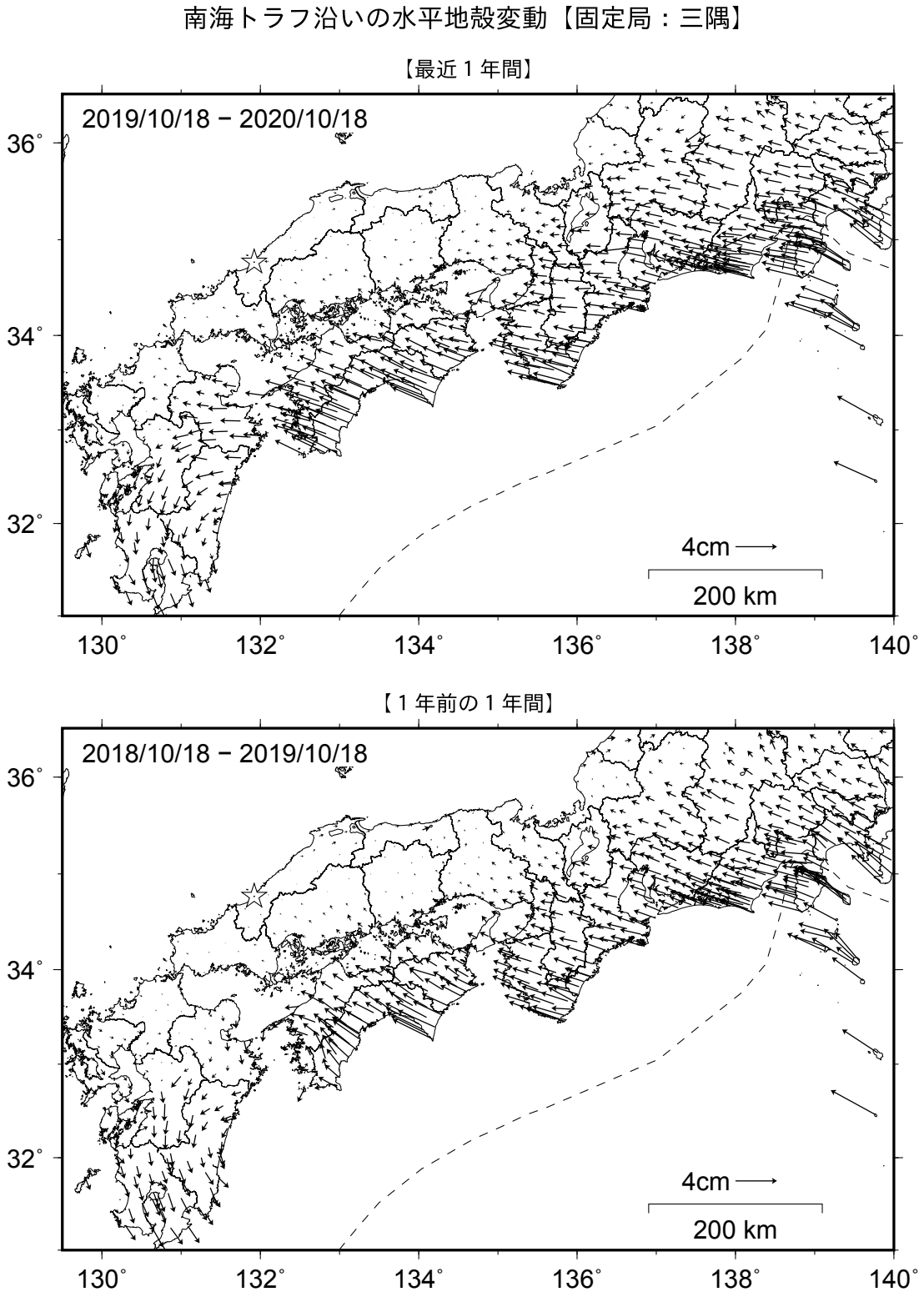
第 28 図　南海トラフ周辺における GNSS 連続観測結果：1 次トレンド及び年周・半年周成分を除去した時系列（固定局：三隅）

Fig. 28　Time series of continuous GNSS measurements along the Nankai Trough with reference to the Misumi station (detrended time series with seasonal terms removed) (2/3).



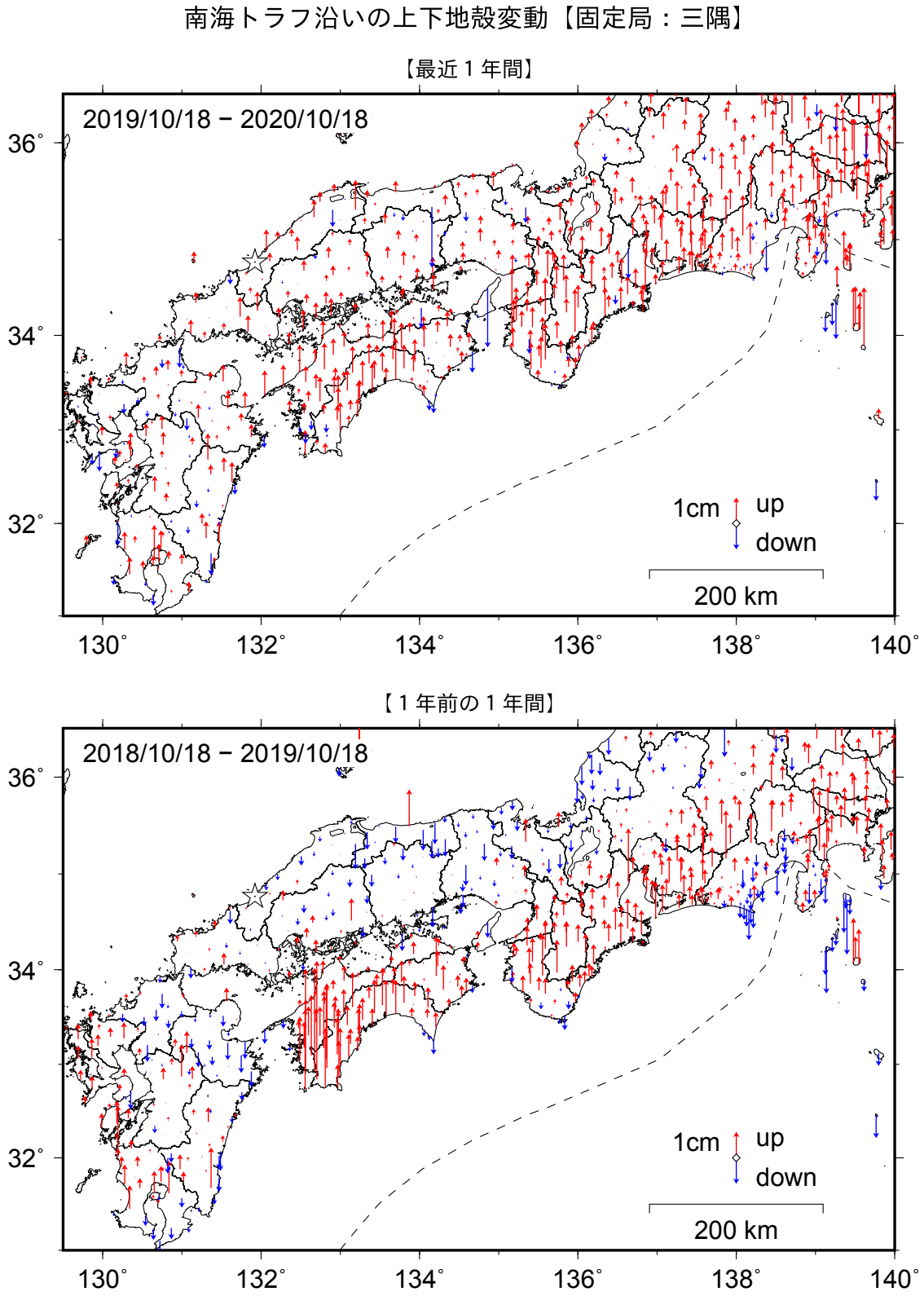
第 29 図　南海トラフ周辺における GNSS 連続観測結果：1 次トレンド及び年周・半年周成分を除去した時系列（固定局：三隅）

Fig. 29　Time series of continuous GNSS measurements along the Nankai Trough with reference to the Misumi station (detrended time series with seasonal terms removed) (3/3).



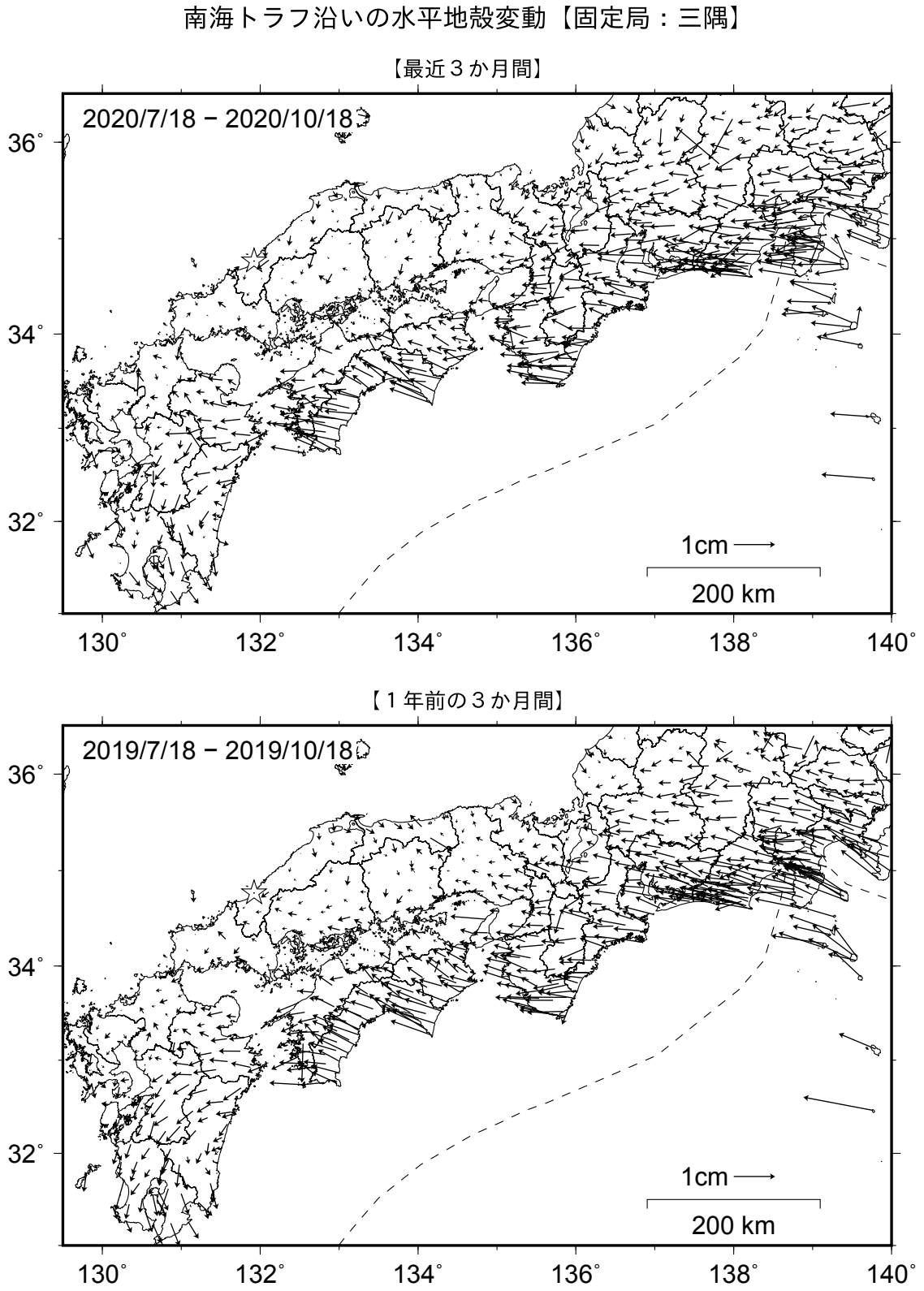
第 30 図　南海トラフ沿いの水平地殻変動（1 年間）：（上図）最近 1 年間（2019 年 10 月～ 2020 年 10 月），（下図）1 年前の 1 年間（2018 年 10 月～ 2019 年 10 月）．（固定局：三隅）

Fig. 30　Horizontal deformation along the Nankai Trough based on GNSS measurements (1 year). October 2019 – October 2020 (upper) and October 2018– October 2019 (lower) (☆ represents the reference station Misumi).



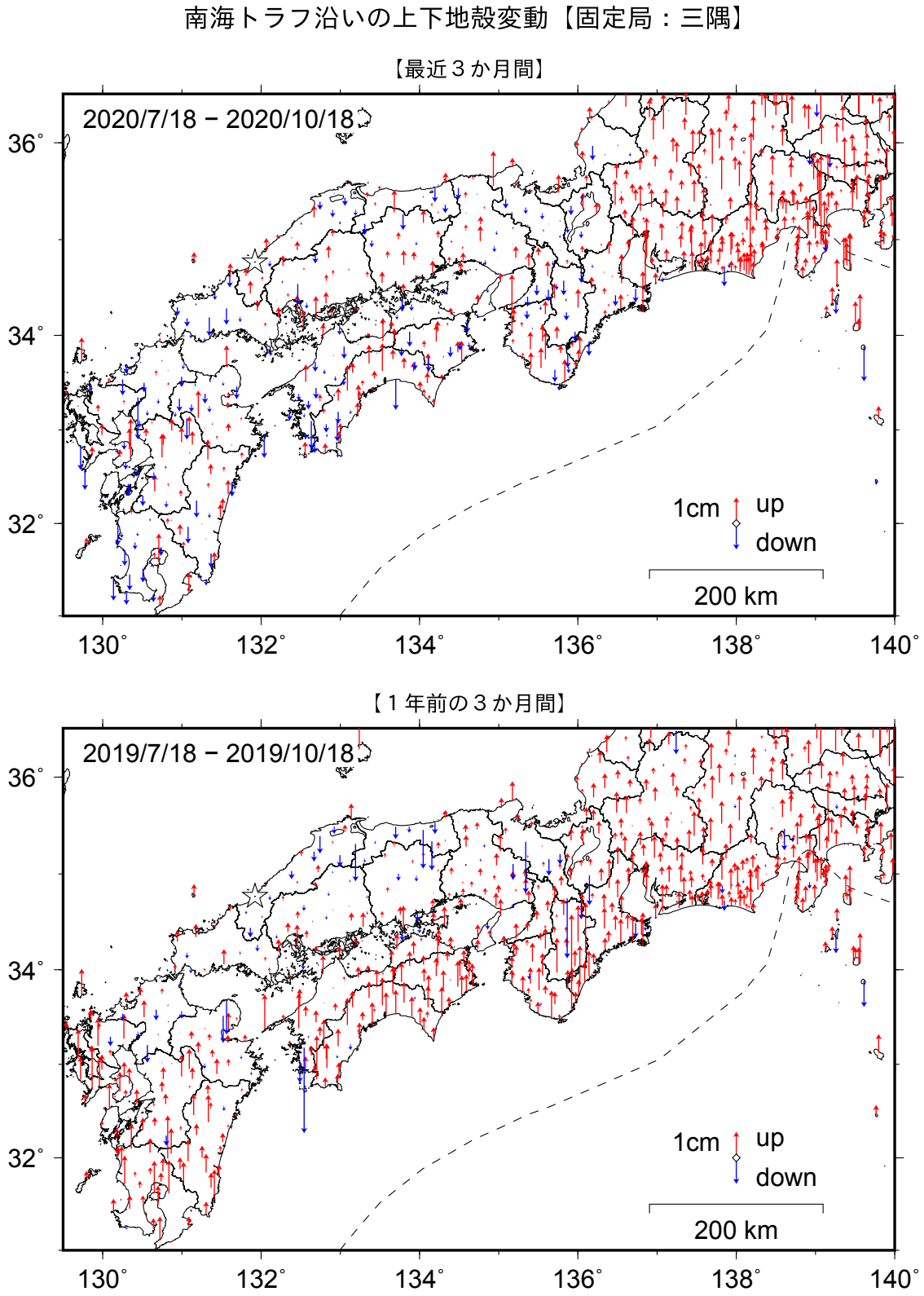
第 31 図　南海トラフ沿いの上下地殻変動（1 年間）：（上図）最近 1 年間（2019 年 10 月～ 2020 年 10 月），（下図）1 年前の 1 年間（2018 年 10 月～ 2019 年 10 月）．（固定局：三隅）

Fig. 31　Vertical deformation along the Nankai Trough based on GNSS measurements (1year). October 2019 – October 2020 (upper) and October 2018–October 2019 (lower) (☆ represents the reference station Misumi).



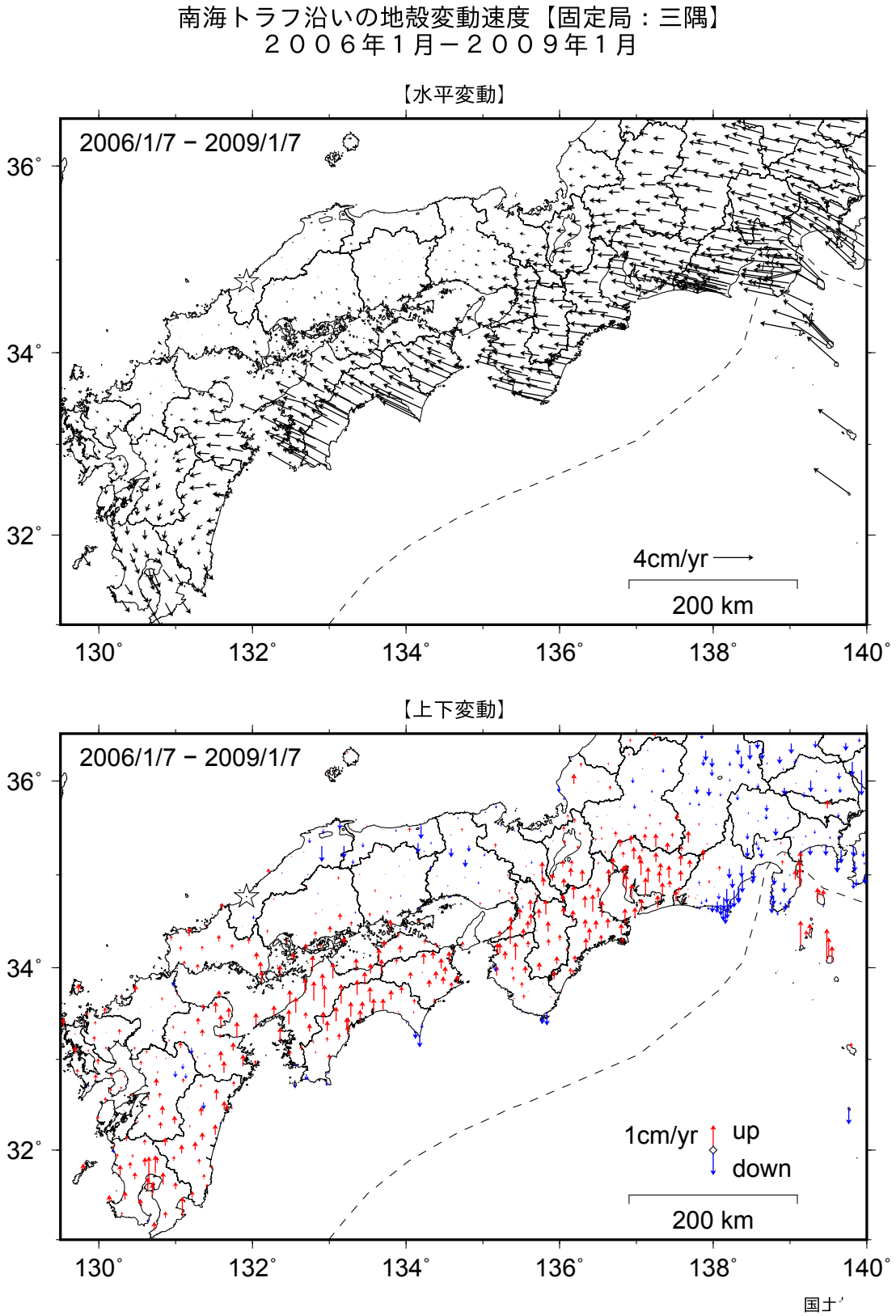
第 32 図　南海トラフ沿いの水平地殻変動（3 か月間）:（上図）最近 3 か月間（2020 年 7 月～ 2020 年 10 月），（下図）1 年前の 3 か月間（2019 年 7 月～ 2019 年 10 月）（固定局：三隅）

Fig. 32　Horizontal deformation along the Nankai Trough based on GNSS measurements (3 months): July 2020 – October 2020 (upper) and July 2019 – October 2019 (lower) (☆ represents the reference station Misumi).



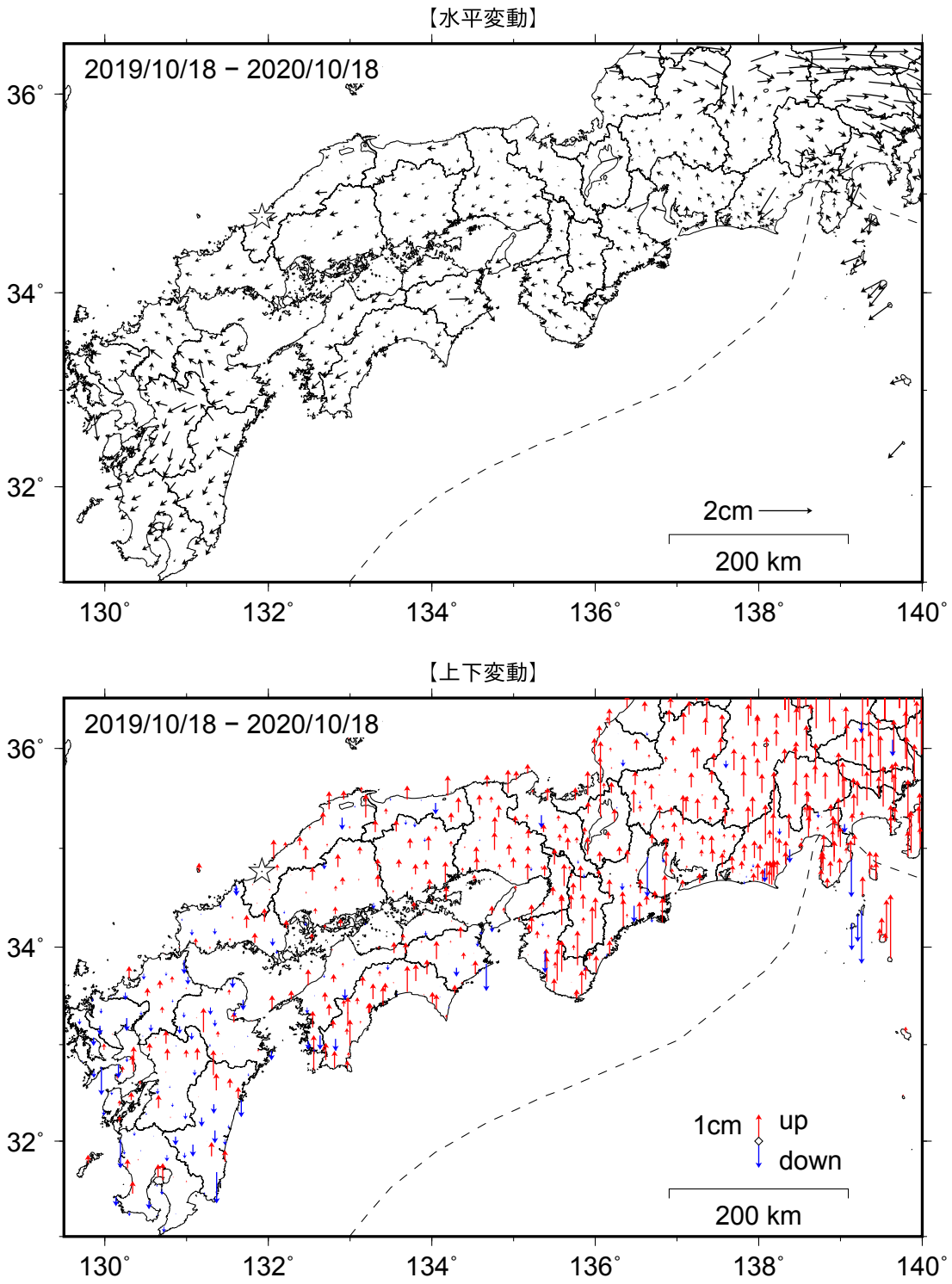
第 33 図　南海トラフ沿いの上下地殻変動（3 月間）：（上図）最近 3 か月間（2020 年 7 月～ 2020 年 10 月），（下図）1 年前の 3 か月間（2019 年 7 月～ 2019 年 10 月）（固定局：三隅）

Fig. 33　Vertical deformation along the Nankai Trough based on GNSS measurements (3 months): July 2020 – October 2020 (upper) and July 2019 – October 2019 (lower) (☆ represents the reference station Misumi).



第 34 図　GNSS 連続観測から求めた 2006 年 1 月～ 2009 年 1 月の水平及び上下変動速度

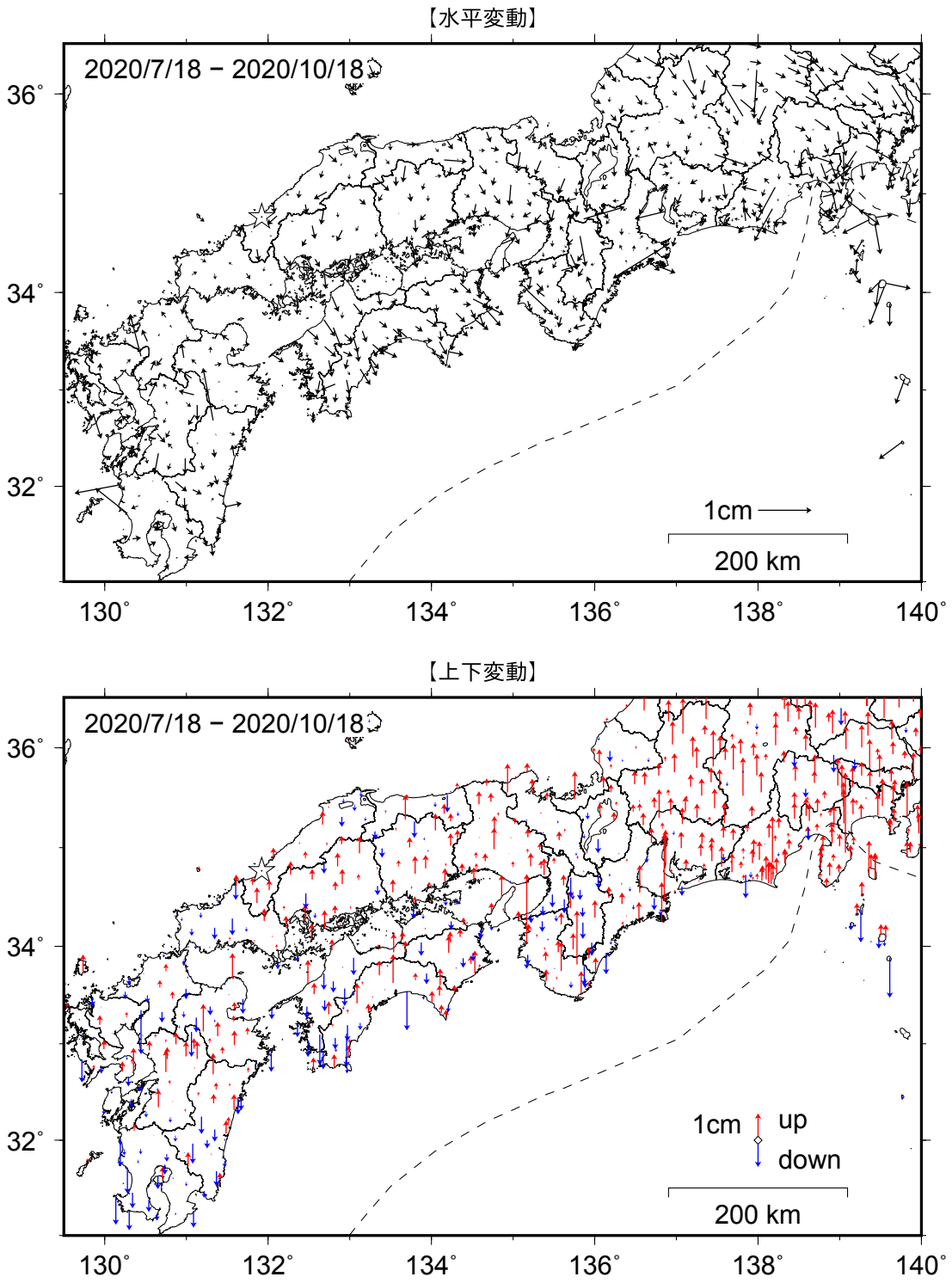
Fig. 34　Horizontal (upper) and vertical (lower) crustal deformation rates along the Nankai Trough based on GNSS measurements during January 2006 – January 2009 (☆ represents the reference station Misumi).



・非定常地殻変動時系列のうち、各日付 ± 6 日の計 13 日間の変動量の中央値をとり、その差から 1 年間の変動量を表示している。
※非定常地殻変動時系列：
・2006 年 1 月から 2009 年 1 月のデータから平均変動速度、年周・半年周成分を推定して、元の時系列データから除去した時系列。

第 35 図　GNSS 連続観測から求めた 2019 年 10 月～ 2020 年 10 月の南海トラフ沿いの非定常地殻変動（水平及び上下変動）

Fig. 35　Horizontal (upper) and vertical (lower) transient displacement along the Nankai Trough during Octpber 2019 – October 2020.



・非定常地殻変動時系列のうち、各日付 ± 6 日の計 13 日間の変動量の中央値をとり、その差から３か月間の変動量を表示している。
※非定常地殻変動時系列：
・2006 年 1 月から 2009 年 1 月のデータから平均変動速度、年周・半年周成分を推定して、元の時系列データから除去した時系列。

第 36 図　GNSS 連続観測から求めた 2020 年 7 月～ 2020 年 10 月の南海トラフ沿いの非定常地殻変動（水平及び上下変動）

Fig. 36　Horizontal (upper) and vertical (lower) transient displacement along the Nankai Trough during July 2020 – July 2020.

８－３　南海トラフ周辺の地殻活動（2020 年５月～ 10 月）
Crustal Activity around the Nankai Trough (May - October 2020)

気象庁
Japan Meteorological Agency

1. 南海トラフ周辺の地殻活動（第 1 図，第 2 図）

2020 年 5 月～ 10 月の南海トラフ沿いとその周辺地域の震央分布図を第 1 図に，東海地域から豊後水道にかけての深部低周波地震の震央分布図を第 2 図に示す．また，主な地震の発震機構解を第 3 図に示す．詳細は，地震・火山月報（防災編）を参照 [1)～6)]．

【南海トラフ周辺】

今期間，M5.0 以上の地震は以下のとおりであった．

・2020 年 9 月 27 日 13 時 13 分静岡県西部（フィリピン海プレート内部の地震）M5.1

以下の期間でまとまった深部低周波地震（微動）活動と短期的ゆっくりすべりが観測された．

・2020 年 5 月 2 日から 5 月 7 日まで，紀伊半島西部（第 4 図(a)，(b)）．周辺の複数のひずみ計で変化あり．
・2020 年 5 月 17 日から 5 月 21 日まで，四国西部（第 5 図(a)，(b)）．周辺の複数のひずみ計で変化あり．
・2020 年 6 月 29 日から 7 月 14 日まで，東海から紀伊半島北部（第 6 図(a)，(b)）．周辺の複数のひずみ計で変化あり．
・2020 年 7 月 22 日から 8 月 23 日まで，四国東部から四国西部（第 7 図(a)，(b)）．周辺の複数のひずみ計で変化あり．
・2020 年 8 月 2 日から 8 月 8 日まで, 東海(第 8 図(a), (b))．周辺の複数のひずみ計で変化あり．
・2020 年 8 月 23 日から 8 月 27 日まで，紀伊半島中部から紀伊半島西部（第 9 図(a)，(b)）．周辺の複数のひずみ計で変化あり．
・2020 年 9 月 2 日から 9 月 7 日まで, 東海(第 10 図(a), (b))．周辺の複数のひずみ計で変化あり．
・2020 年 10 月 2 日から 10 月 5 日まで，紀伊半島西部（第 11 図(a)，(b)）．
・2020 年 10 月 12 日から 10 月 20 日まで，紀伊半島北部（第 11 図(a)，(b)）．周辺の複数のひずみ計で変化あり．

2. プレート境界とその周辺の地震活動（第 12 図～第 13 図）

想定南海トラフ地震は，陸側のプレートと沈み込むフィリピン海プレートの境界で発生する地震である．ここでは，震源の深さと発震機構解の型からプレート境界付近で発生した地震及び発震機構解を抽出し，プレート境界付近の地震活動の推移を示す．

第 12 図は，Hirose et al.（2008）[7)] 及び Baba et al.（2002）[8)] によるフィリピン海プレート上面の深さから± 6km の地震を抽出し地震活動の推移を見たものである．

第 13 図は，想定南海トラフ地震の発震機構解と類似の型の地震を抽出したものである．プレート境界で発生したと考えられる地震の他，その震源の深さから考えて明らかに地殻内やスラブ内で

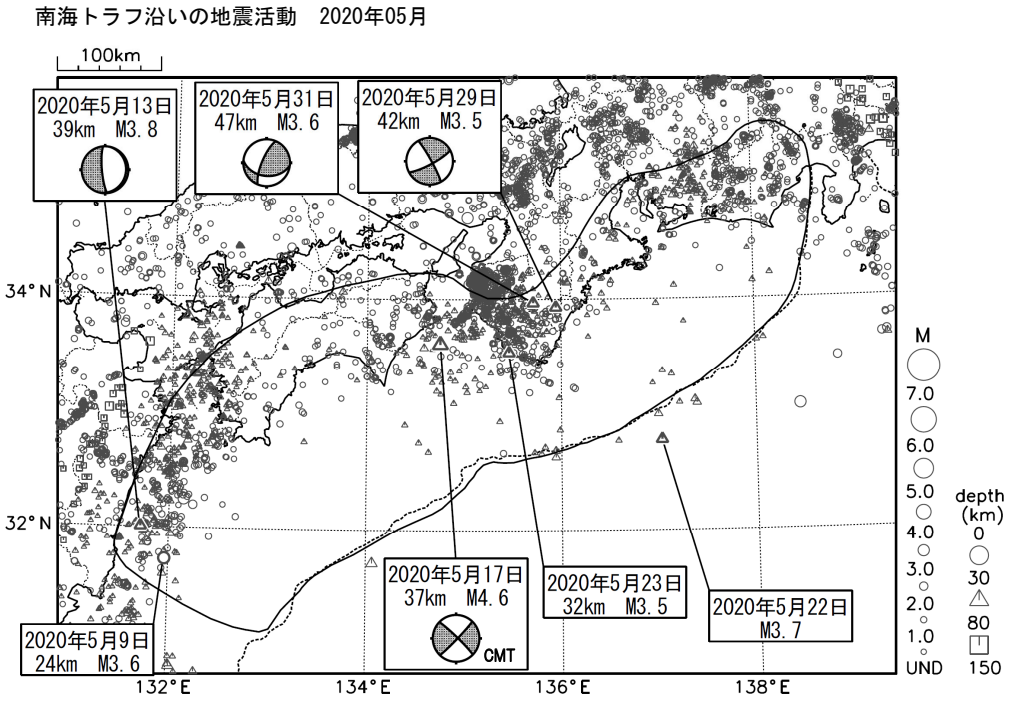
発生したと推定される地震も含まれている．

3．南海トラフ周辺の地震活動の推移（第 14 図～第 15 図）

想定南海トラフ地震は，陸側のプレートと沈み込むフィリピン海プレートの境界で発生する地震であるが，南海トラフ周辺では，日向灘を除きプレート境界で発生する地震が少ない．ここでは，南海トラフ周辺を個々の領域に分け，地殻内の地震とフィリピン海プレート内，もしくは浅い地震から深い地震まで全ての深さの地震について地震活動の推移を示す．第 14 図は，それぞれの領域について直近の地震活動指数を表にまとめたものである．第 15 図は，それらの地震活動指数の変化を示すグラフである．

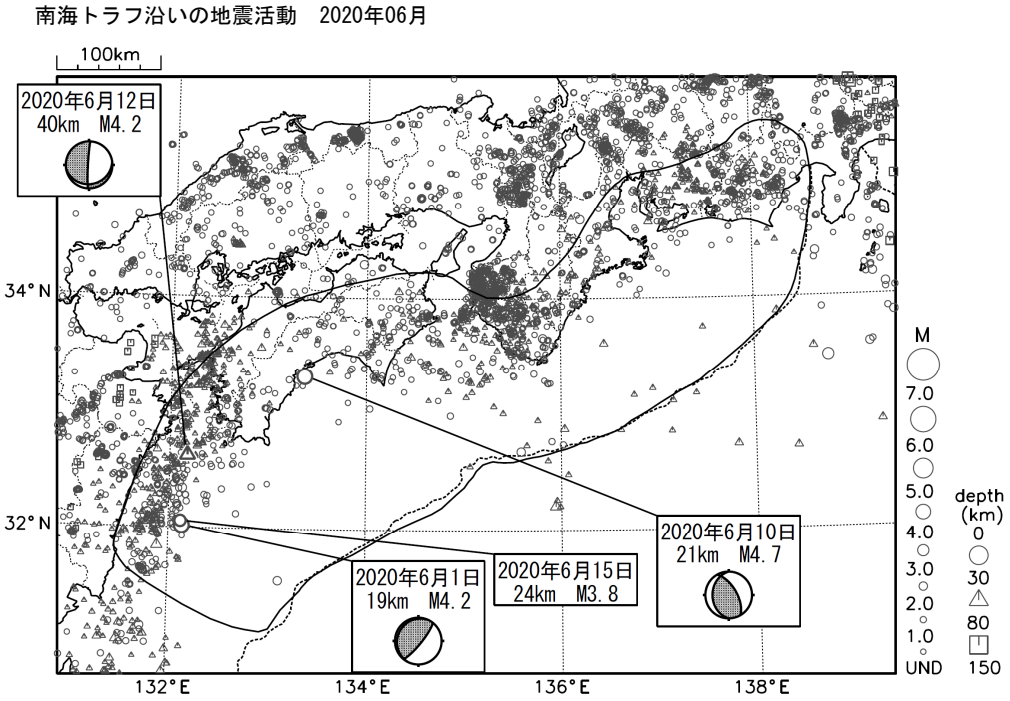
参考文献

1） 気象庁（2020），南海トラフ周辺の地殻活動，*令和 2 年 5 月地震・火山月報（防災編）*，**27**.
2） 気象庁（2020），南海トラフ周辺の地殻活動，*令和 2 年 6 月地震・火山月報（防災編）*，**24**.
3） 気象庁（2020），南海トラフ周辺の地殻活動，*令和 2 年 7 月地震・火山月報（防災編）*，**16**.
4） 気象庁（2020），南海トラフ周辺の地殻活動，*令和 2 年 8 月地震・火山月報（防災編）*，**12**.
5） 気象庁（2020），南海トラフ周辺の地殻活動，*令和 2 年 9 月地震・火山月報（防災編）*，**19**.
6） 気象庁（2020），南海トラフ周辺の地殻活動，*令和 2 年 10 月地震・火山月報（防災編）*，**13**.
7） Hirose, F., J. Nakajima, and A. Hasegawa.（2008）, *J. Geophys. Res.*, **113**, doi:10.1029/2007JB005274. Three-dimensional seismic velocity structure and configuration of the Philippine Sea slab in southwestern Japan estimated by double-difference tomography.
8） Baba, T., Y. Tanioka, P. R. Cummins, and K. Uhira.（2002）, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **132**, 59-73. The slip distribution of the 1946 Nankai earthquake estimated from tsunami inversion using a new plate model.



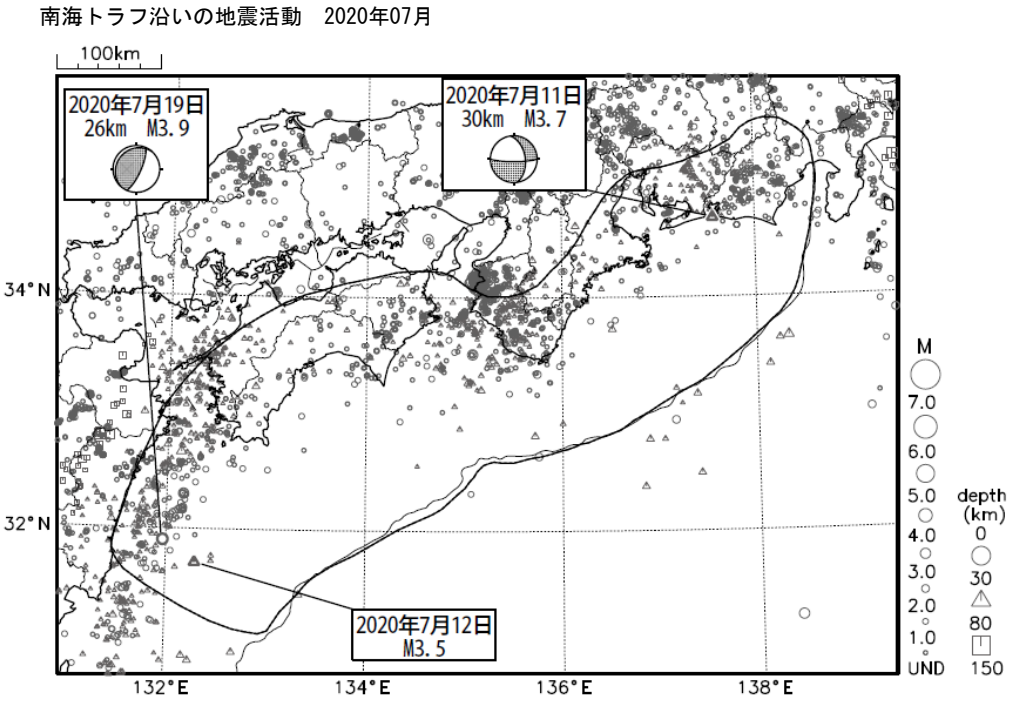
・発震機構解の横に「S」の表記があるものは、精度がやや劣るものである。

第 1 図 (a)　南海トラフ周辺の月別震央分布（2020 年 5 月）
Fig. 1(a)　Monthly epicenter distribution in and around the Nankai Trough (May 2020).



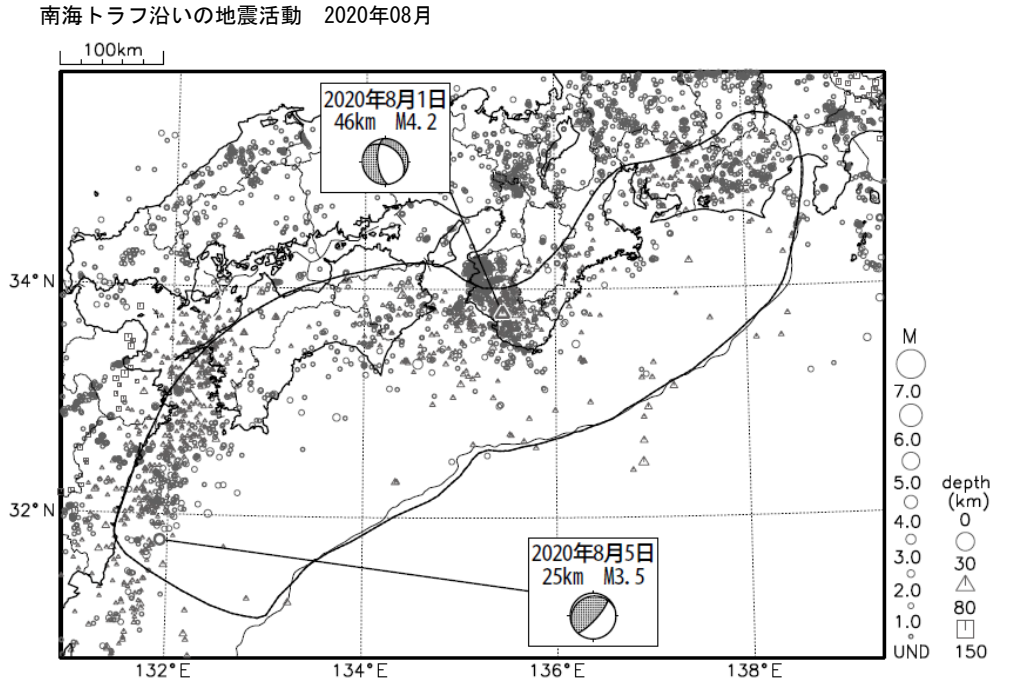
・発震機構解の横に「S」の表記があるものは、精度がやや劣るものである。

第 1 図 (b)　つづき（2020 年 6 月）
Fig. 1(b)　Monthly epicenter distribution in and around the Nankai Trough (June 2020).



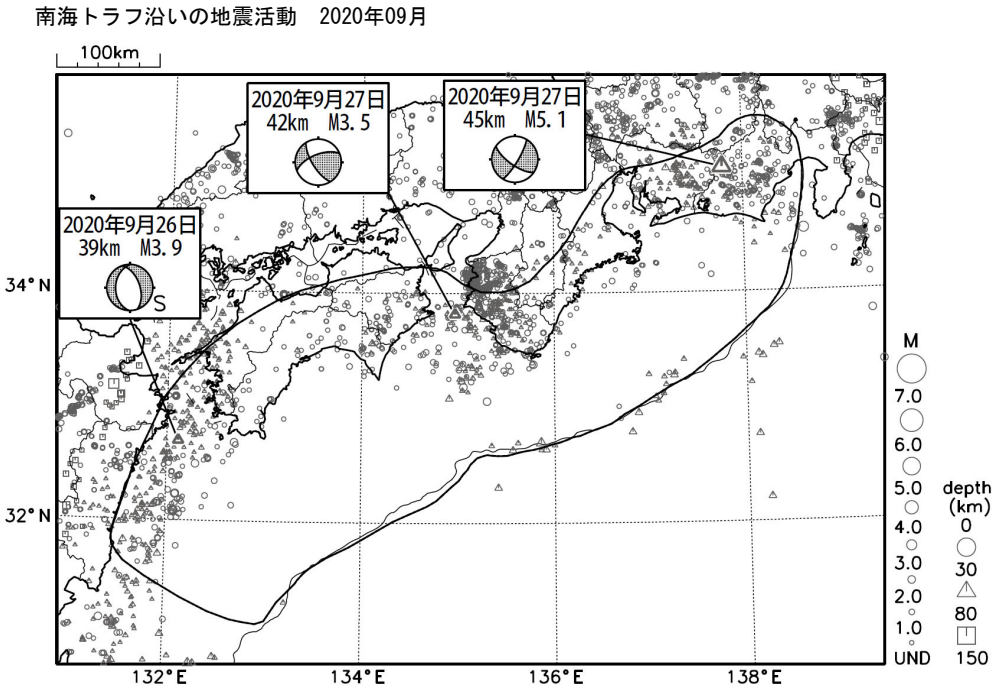
・発震機構解の横に「S」の表記があるものは、精度がやや劣るものである。

第 1 図 (c)　つづき（2020 年 7 月）
Fig. 1(c)　Monthly epicenter distribution in and around the Nankai Trough (July 2020).



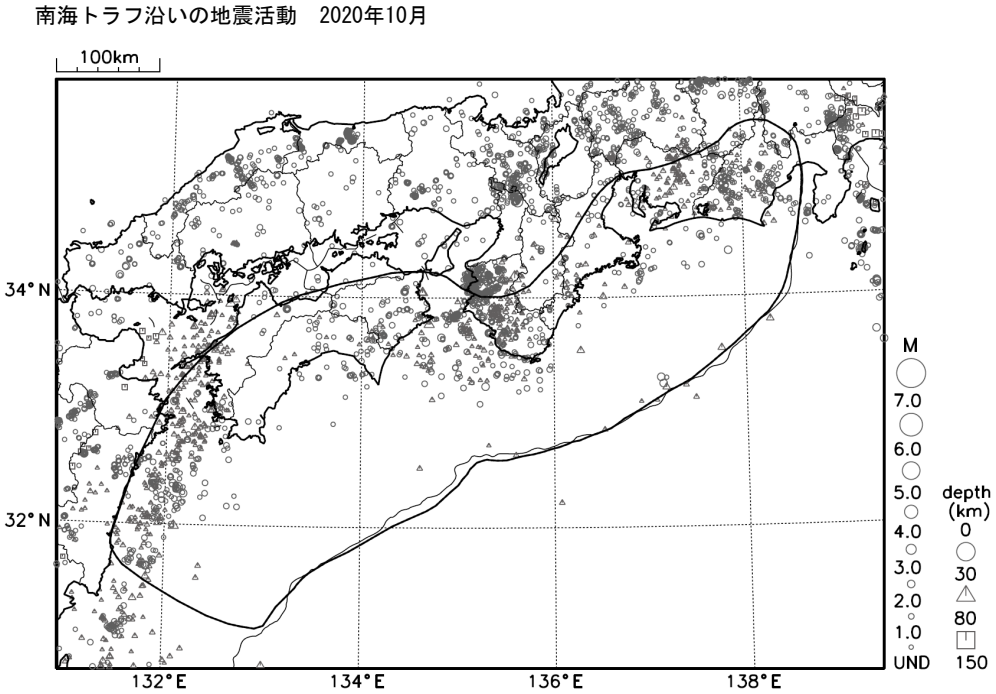
・発震機構解の横に「S」の表記があるものは、精度がやや劣るものである。

第 1 図 (d)　つづき（2020 年 8 月）
Fig. 1(d)　Monthly epicenter distribution in and around the Nankai Trough (August 2020).



・発震機構解の横に「S」の表記があるものは、精度がやや劣るものである。

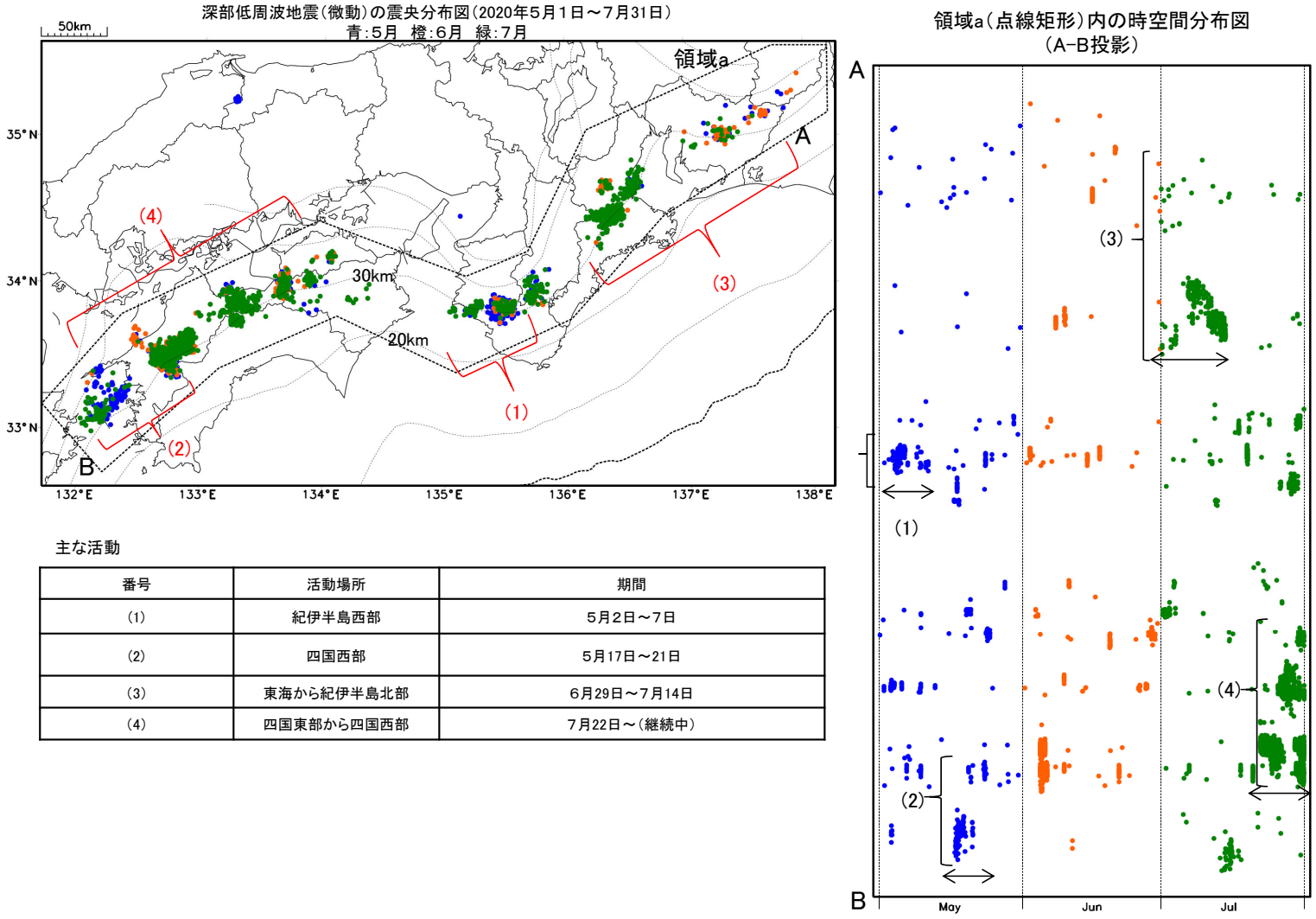
第 1 図 (e)　つづき（2020 年 9 月）
Fig. 1(e)　Monthly epicenter distribution in and around the Nankai Trough (September 2020).



・発震機構解の横に「S」の表記があるものは、精度がやや劣るものである。

第 1 図 (f)　つづき（2020 年 10 月）
Fig. 1(f)　Monthly epicenter distribution in and around the Nankai Trough (October 2020).

深部低周波地震（微動）活動



主な活動

番号	活動場所	期間
(1)	紀伊半島西部	5月2日～7日
(2)	四国西部	5月17日～21日
(3)	東海から紀伊半島北部	6月29日～7月14日
(4)	四国東部から四国西部	7月22日～（継続中）

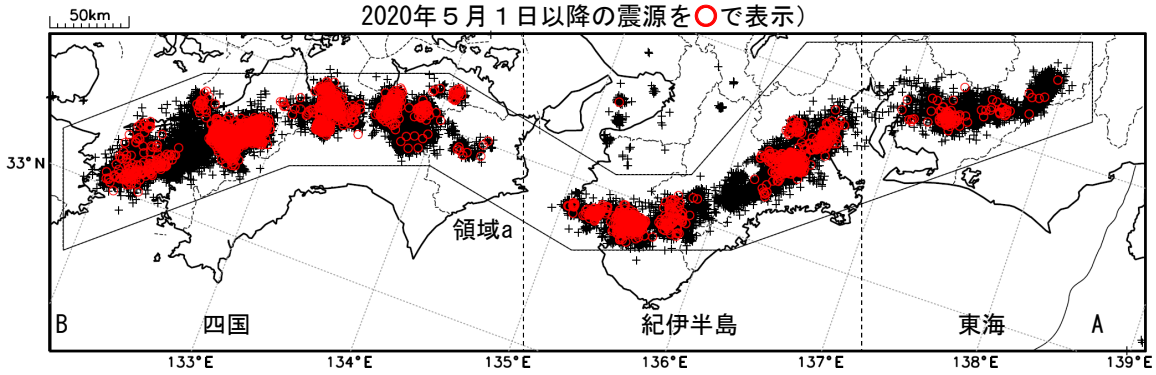
点線は、Hirose et al.(2008)、Baba et al.(2002)によるフィリピン海プレート上面の深さ（10kmごとの等深線）を示す。

第 2 図 (a)　東海地域から豊後水道にかけての深部低周波地震活動（2020 年 5 月～ 7 月）.
Fig. 2(a) Seismic activity of Low-Frequency Events from the Tokai region to the Bungo Channel (May – July 2020).

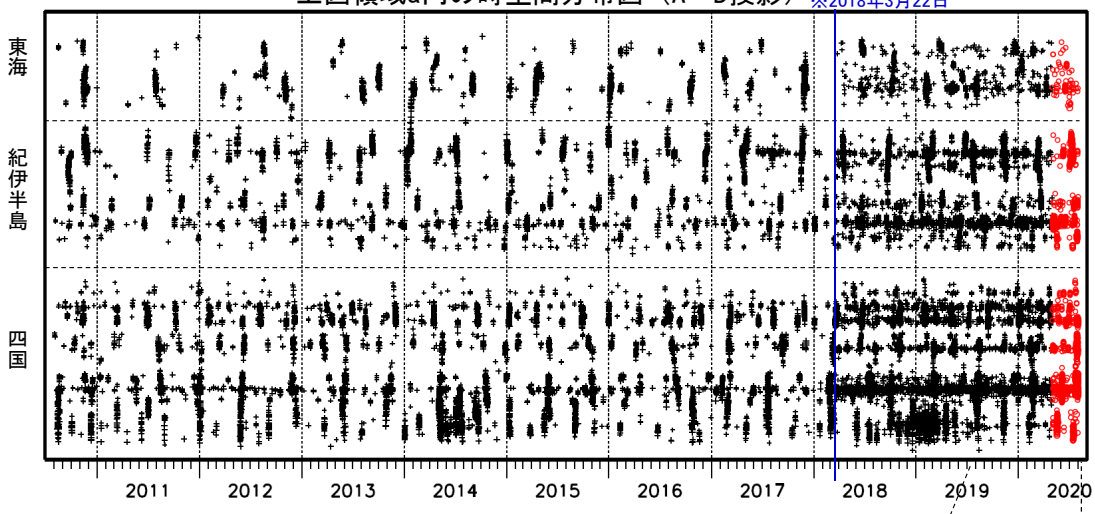
深部低周波地震（微動）活動（2010年８月１日～2020年７月31日）

深部低周波地震（微動）は、「短期的ゆっくりすべり」に密接に関連する現象とみられており、プレート境界の状態の変化を監視するために、その活動を監視している。

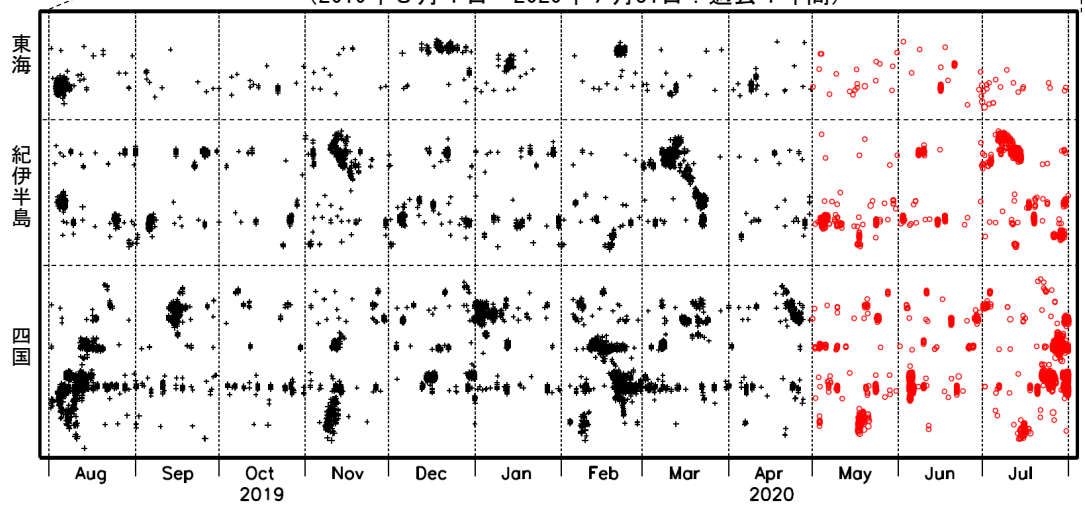
震央分布図（2010年８月１日～2020年７月31日：過去10年間
2020年５月１日以降の震源を○で表示）



上図領域a内の時空間分布図（A－B投影）※2018年3月22日



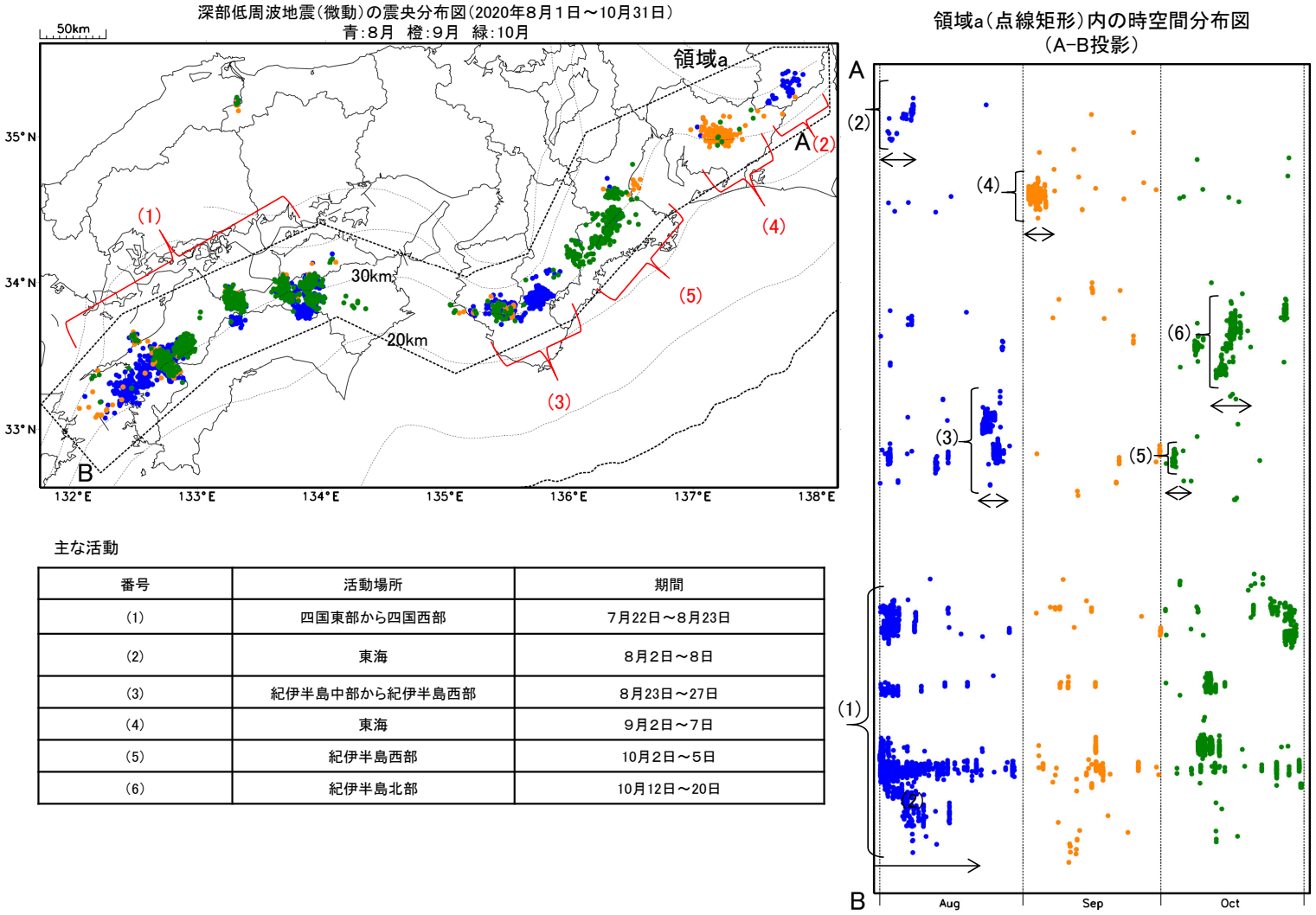
（2019年８月１日～2020年７月31日：過去１年間）



※2018年3月22日から、深部低周波地震（微動）の処理方法の変更（Matched Filter法の導入）により、それ以前と比較して検知能力が変わっている。

第 2 図 (b)　つづき（2010 年 8 月～ 2020 年 7 月）.
Fig. 2(b) Continued (August 2010 – July 2020).

深部低周波地震（微動）活動



主な活動

番号	活動場所	期間
(1)	四国東部から四国西部	７月22日～８月23日
(2)	東海	８月２日～８日
(3)	紀伊半島中部から紀伊半島西部	８月23日～27日
(4)	東海	９月２日～７日
(5)	紀伊半島西部	10月２日～５日
(6)	紀伊半島北部	10月12日～20日

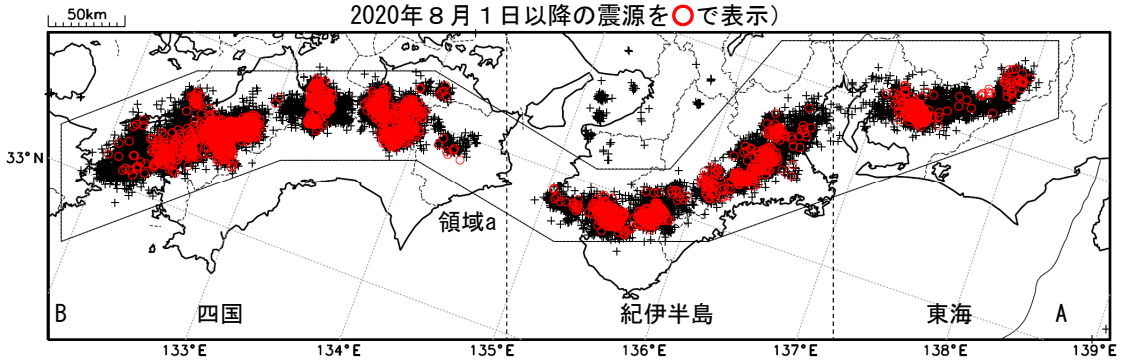
点線は、Hirose et al.(2008)、Baba et al.(2002)によるフィリピン海プレート上面の深さ（10kmごとの等深線）を示す。

第 2 図 (c)　東海地域から豊後水道にかけての深部低周波地震活動（2020 年 8 月～ 10 月）.
Fig. 2(c) Seismic activity of Low-Frequency Events from the Tokai region to the Bungo Channel (August – October 2020).

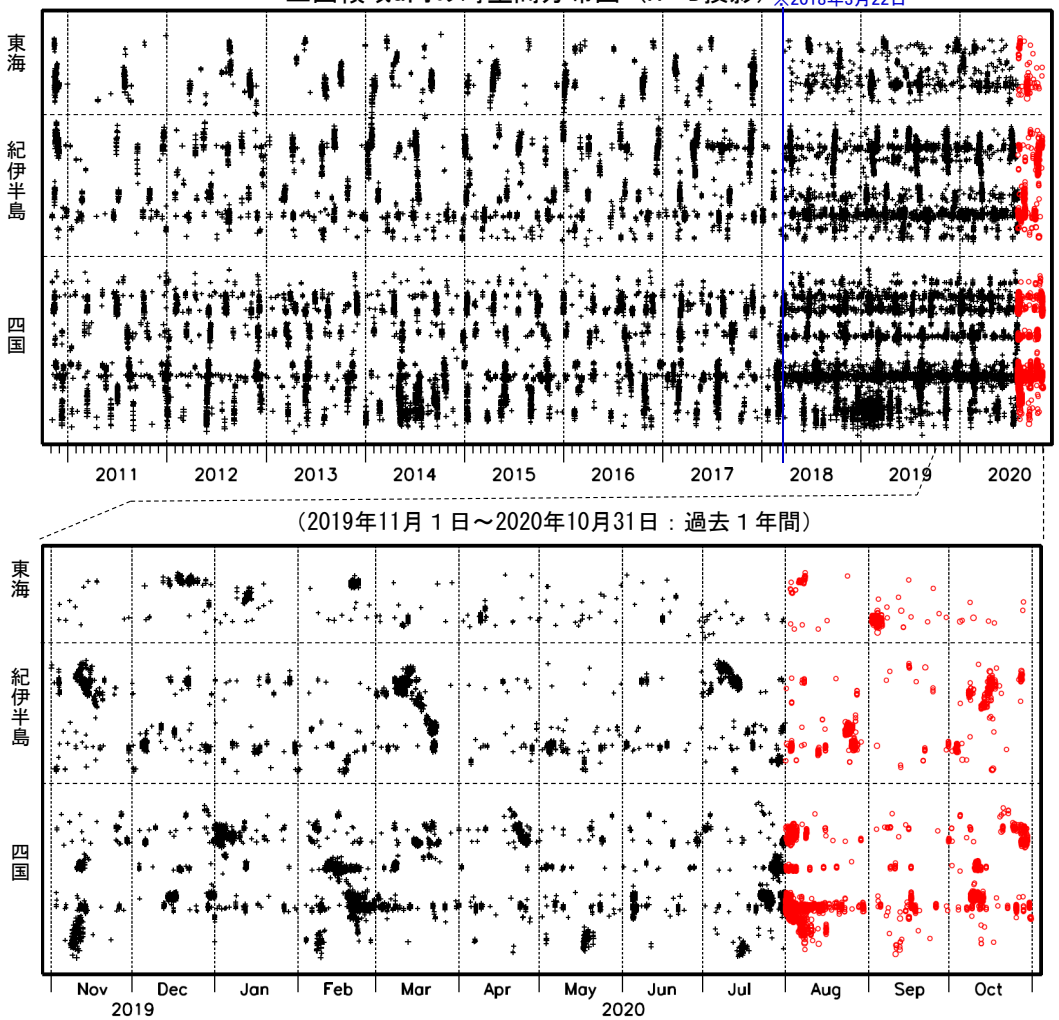
深部低周波地震（微動）活動（2010年11月１日～2020年10月31日）

深部低周波地震（微動）は、「短期的ゆっくりすべり」に密接に関連する現象とみられており、プレート境界の状態の変化を監視するために、その活動を監視している。

震央分布図（2010年11月１日～2020年10月31日：過去10年間
2020年８月１日以降の震源を○で表示）

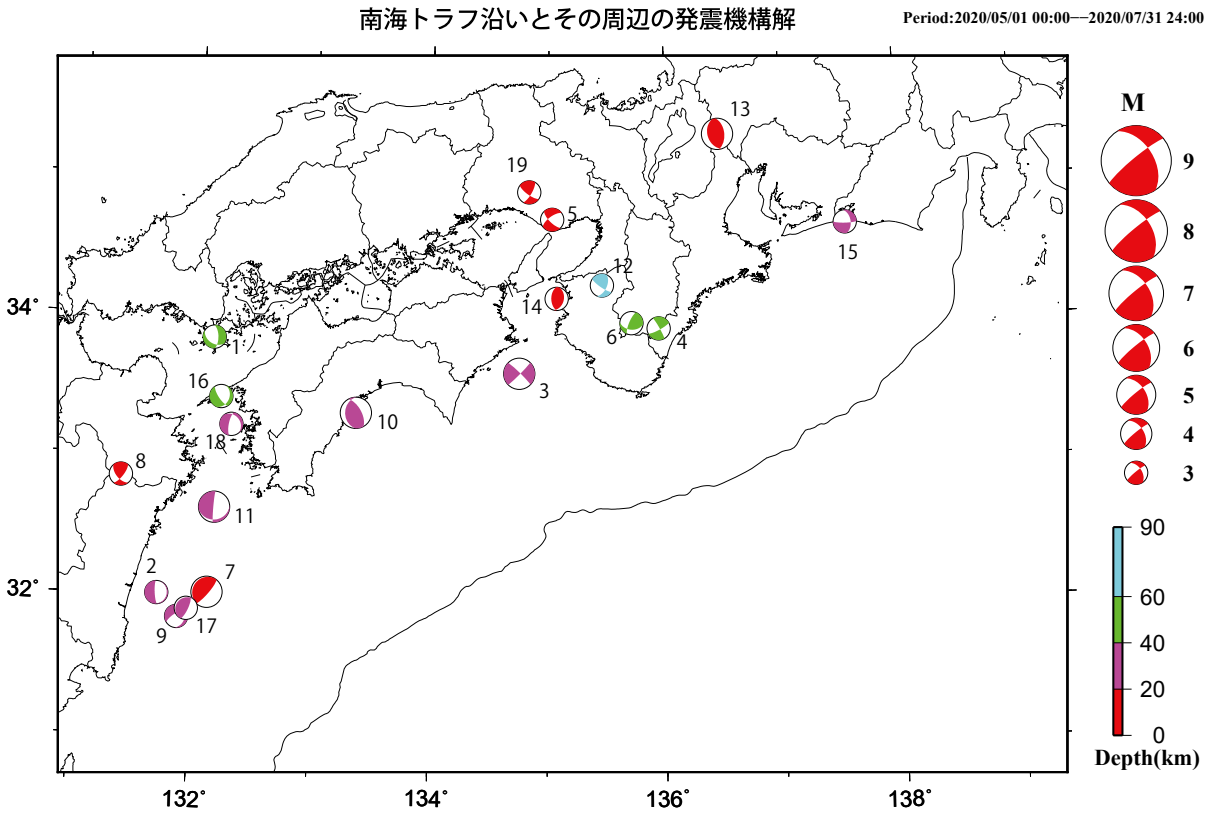


上図領域a内の時空間分布図（A－B投影）※2018年3月22日

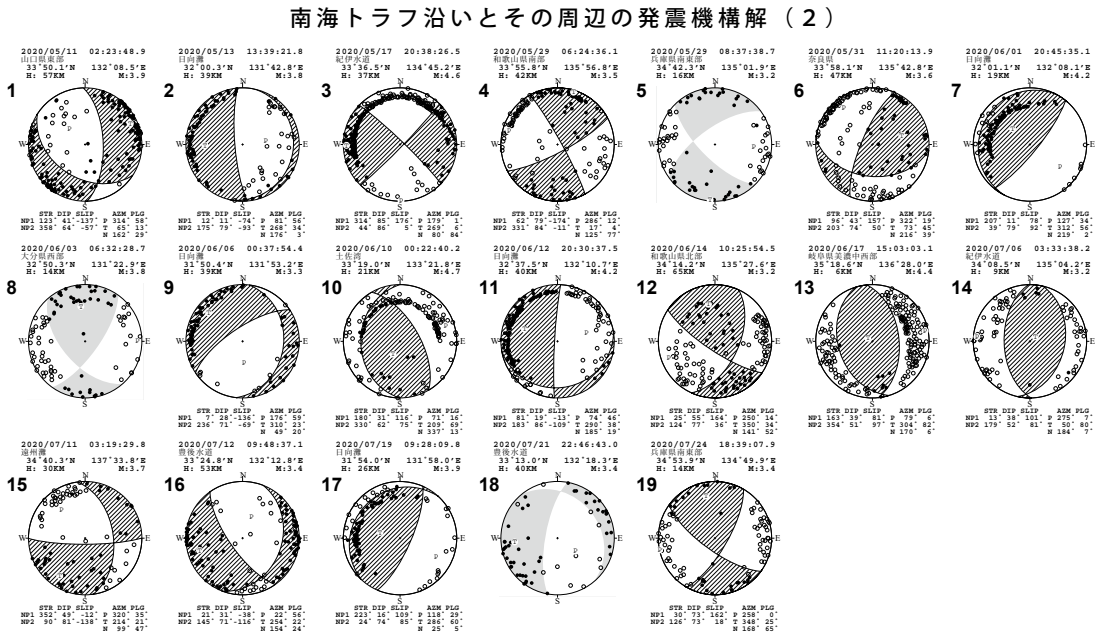


※2018年３月22日から、深部低周波地震（微動）の処理方法の変更（Matched Filter法の導入）により、それ以前と比較して検知能力が変わっている。

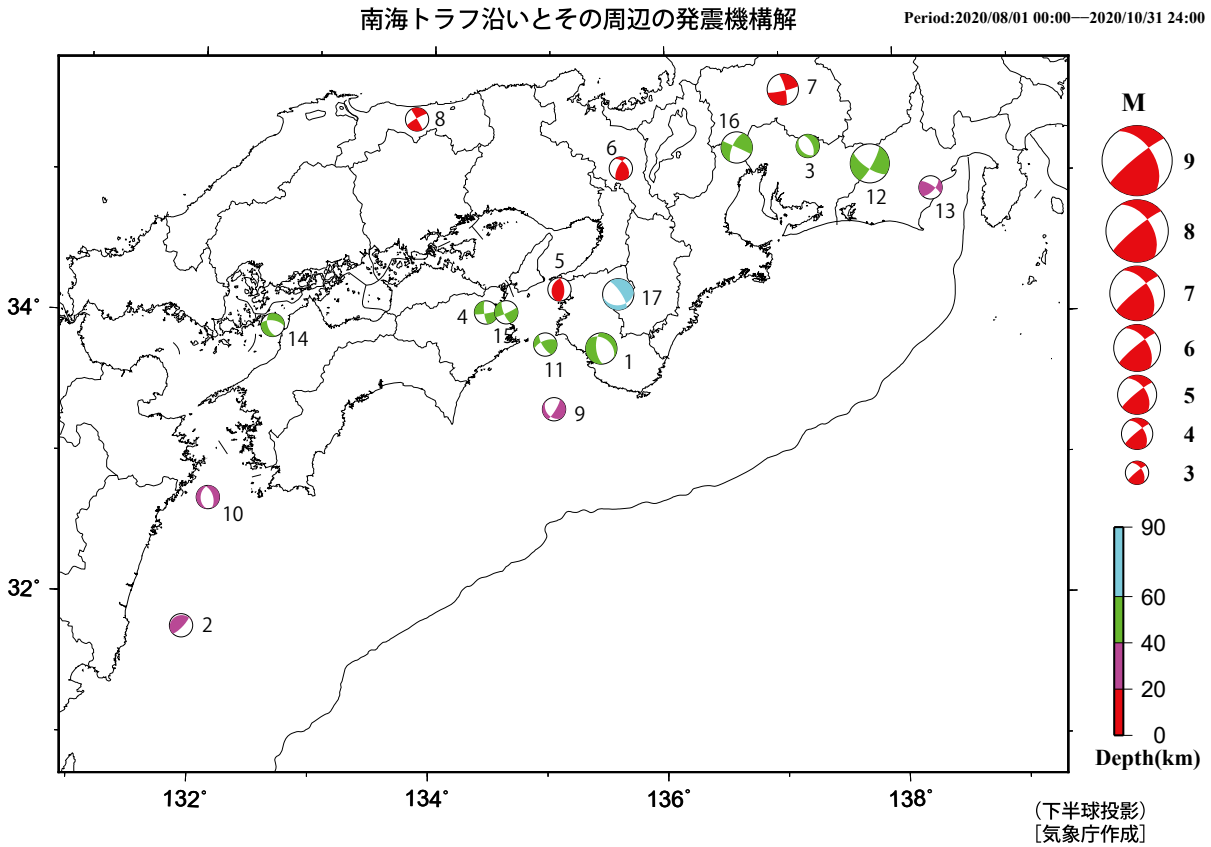
第 2 図 (d)　つづき（2010 年 11 月～ 2020 年 10 月）.
Fig. 2(d) Continued (November 2010 – October 2020).



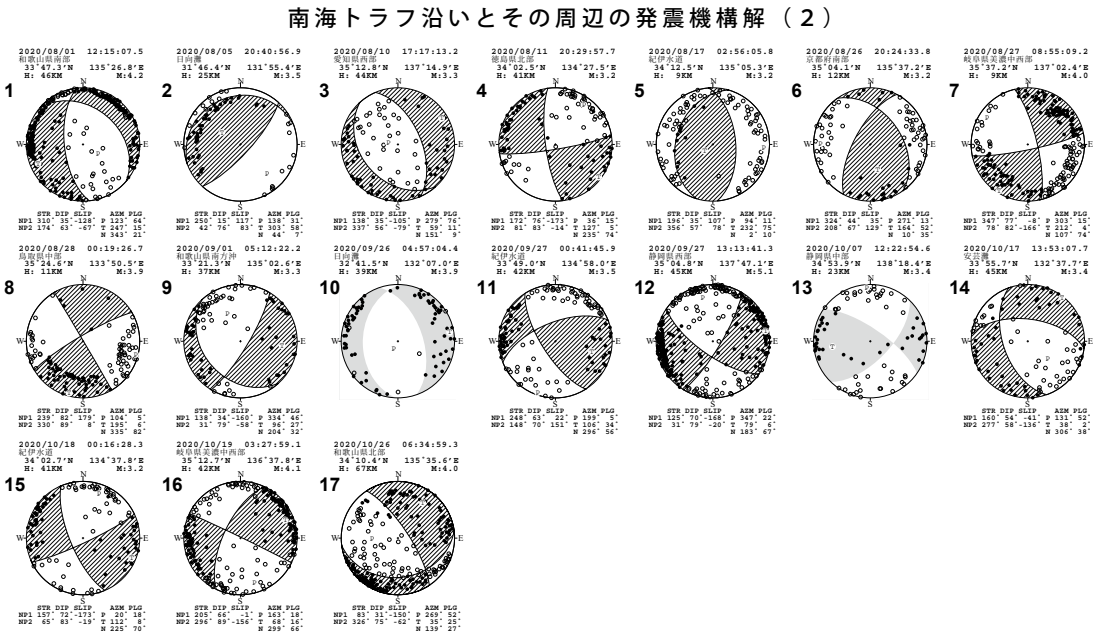
第 3 図 (a)　南海トラフ周辺で発生した主な地震の発震機構解（2020 年 5 月～ 7 月）
Fig. 3(a)　Focal mechanism solutions for major earthquakes in and around the Nankai Trough (May - July 2020).



第 3 図 (b)　つづき（2020 年 5 月～ 7 月）
Fig. 3(b)　Continued (May - July 2020).



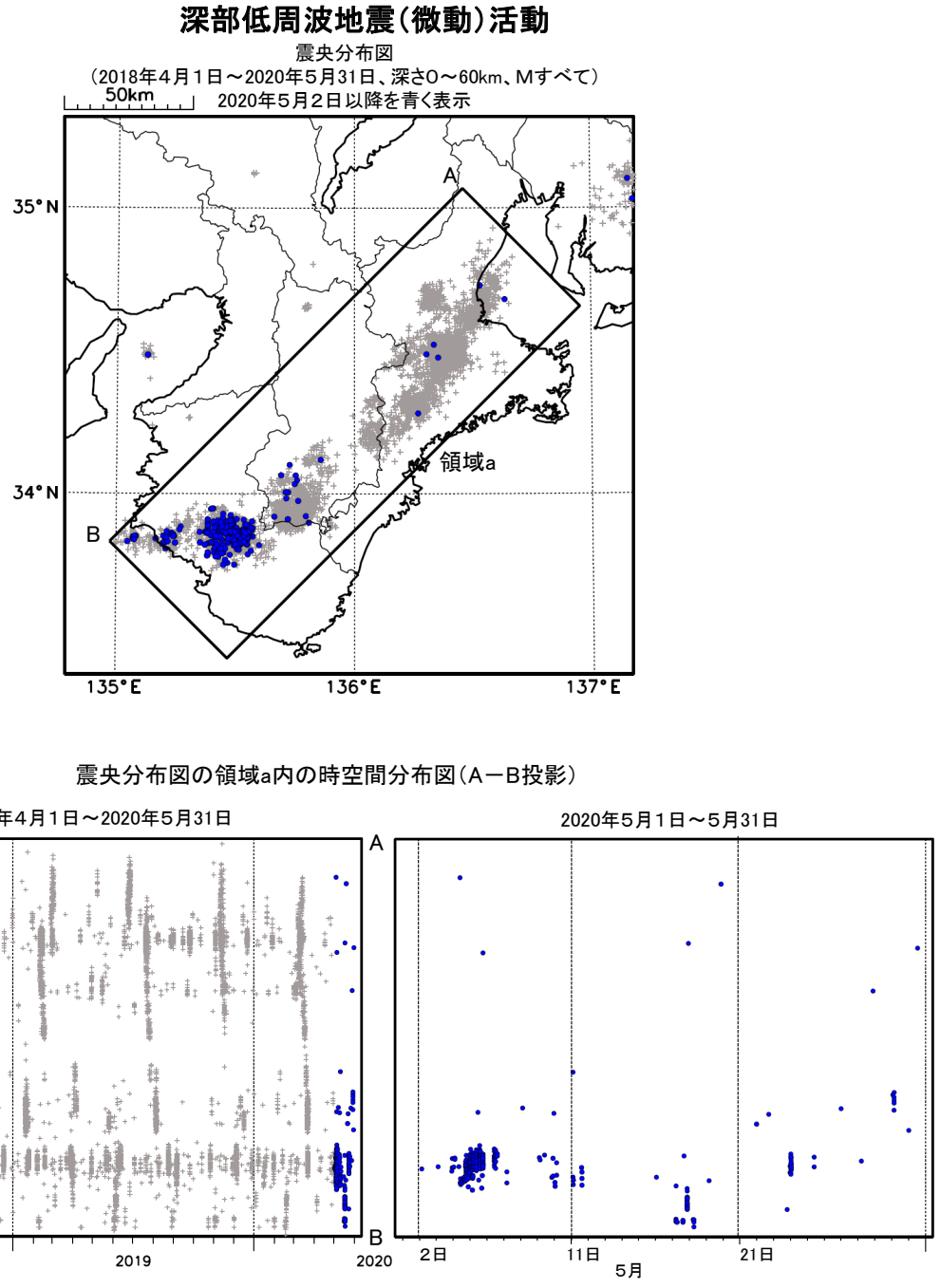
第 3 図 (c)　つづき（2020 年 8 月～ 10 月）
Fig. 3(c)　Continued (August – October 2020).



第 3 図 (d)　つづき（2020 年 8 月～ 10 月）
Fig. 3(d)　Continued (August – October 2020).

紀伊半島西部の深部低周波地震（微動）活動と短期的ゆっくりすべり

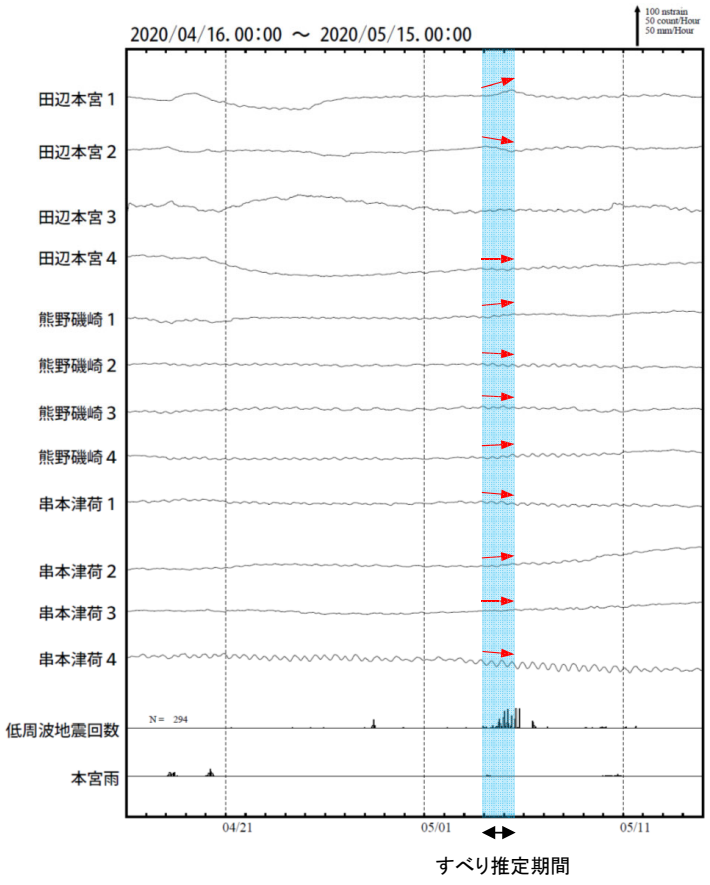
５月２日から７日にかけて、紀伊半島西部で深部低周波地震（微動）を観測した。
深部低周波地震（微動）活動とほぼ同期して、周辺に設置されている複数のひずみ計で地殻変動を観測している。これらは、短期的ゆっくりすべりに起因すると推定される。



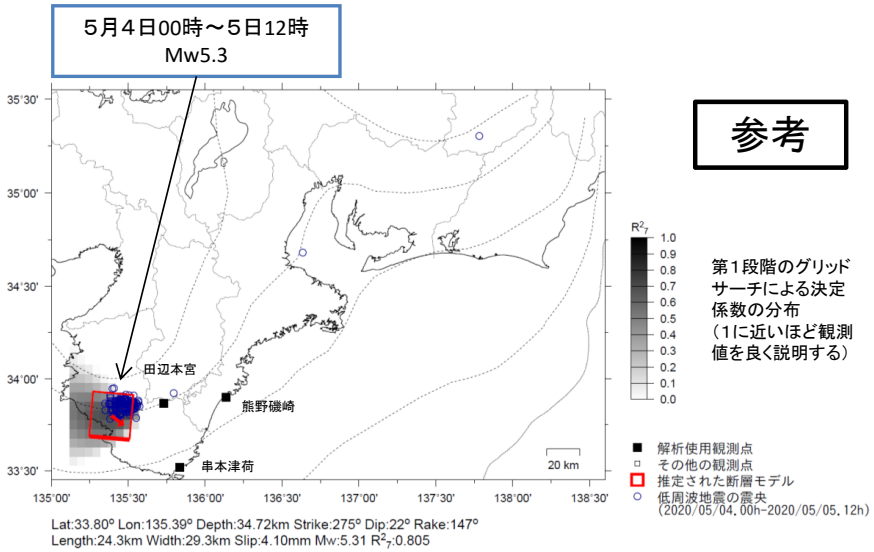
第 4 図 (a)　紀伊半島西部の深部低周波地震活動とひずみ変化，及び推定されるゆっくりすべり領域
Fig. 4(a)　Activity of deep low-frequency earthquakes in western part of Kii Peninsula and strain changes, and the estimated slow slip region.

紀伊半島西部で観測した短期的ゆっくりすべり（5月4日～5日）

和歌山県から三重県で観測されたひずみ変化



田辺本宮宇、熊野磯崎及び串本津荷は産業技術総合研究所のひずみ計である。



参考

第1段階のグリッドサーチによる決定係数の分布（1に近いほど観測値を良く説明する）

Lat:33.80° Lon:135.39° Depth:34.72km Strike:275° Dip:22° Rake:147°
Length:24.3km Width:29.3km Slip:4.10mm Mw:5.31 R^2_7:0.805

左図に観測されたひずみ観測点での変化量を元にすべり推定を行ったところ、低周波地震とほぼ同じ場所にすべり域が求まった。

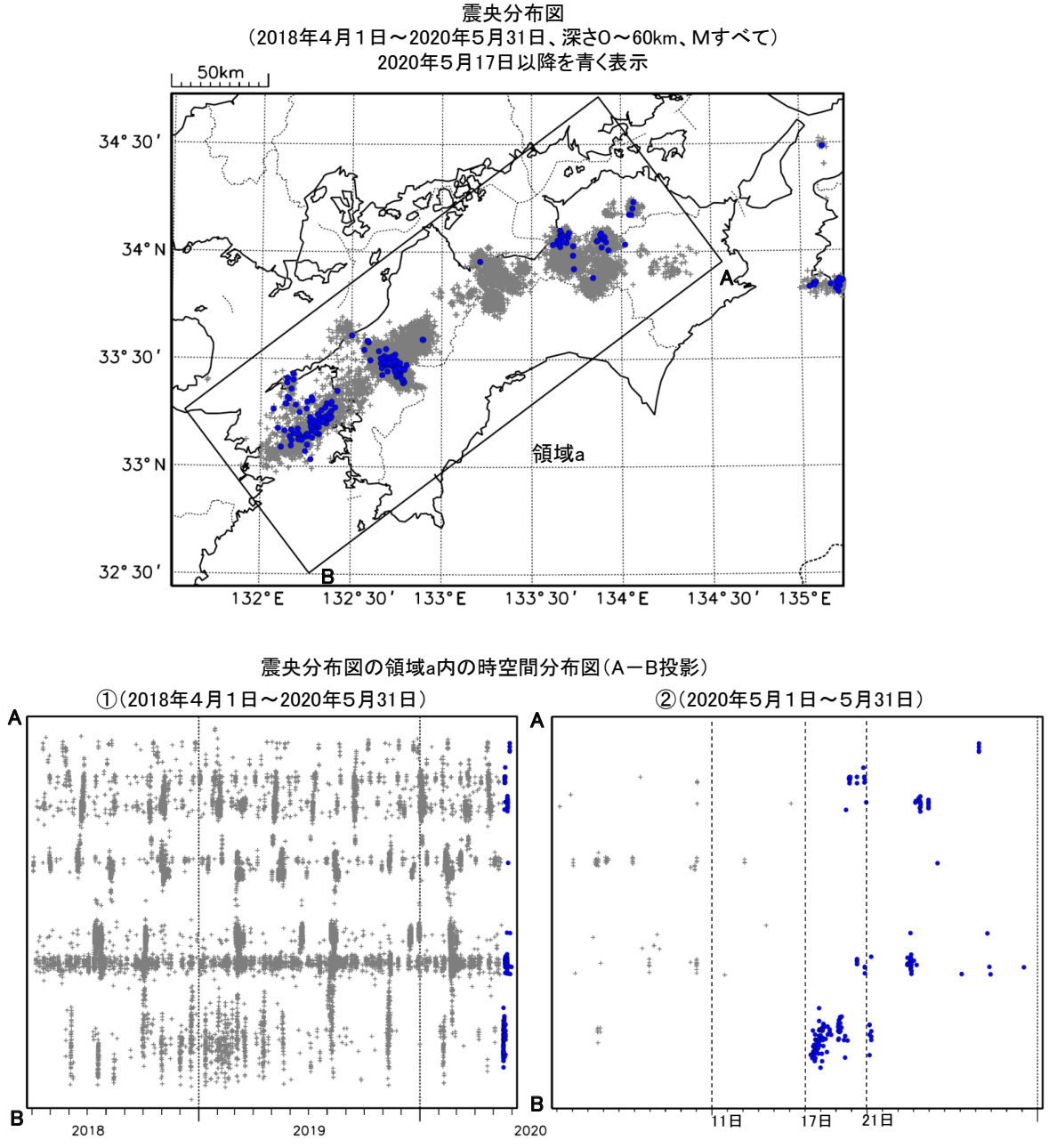
断層モデルの推定は、産総研の解析方法（板場ほか，2012）を参考に以下の2段階で行う。
・断層サイズを20km×20kmに固定し、位置を0.05度単位でグリッドサーチにより推定する。
・その位置を中心にして、他の断層パラメータの最適解を求める。

第 4 図 (b)　つづき
Fig. 4(b)　Continued.

地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行

四国西部の
深部低周波地震（微動）活動と短期的ゆっくりすべり

5月17日から21日にかけて四国西部で深部低周波地震（微動）を観測した。深部低周波地震（微動）活動とほぼ同期して、周辺に設置されているひずみ計で地殻変動を観測した。これらは、短期的ゆっくりすべりに起因すると推定される。

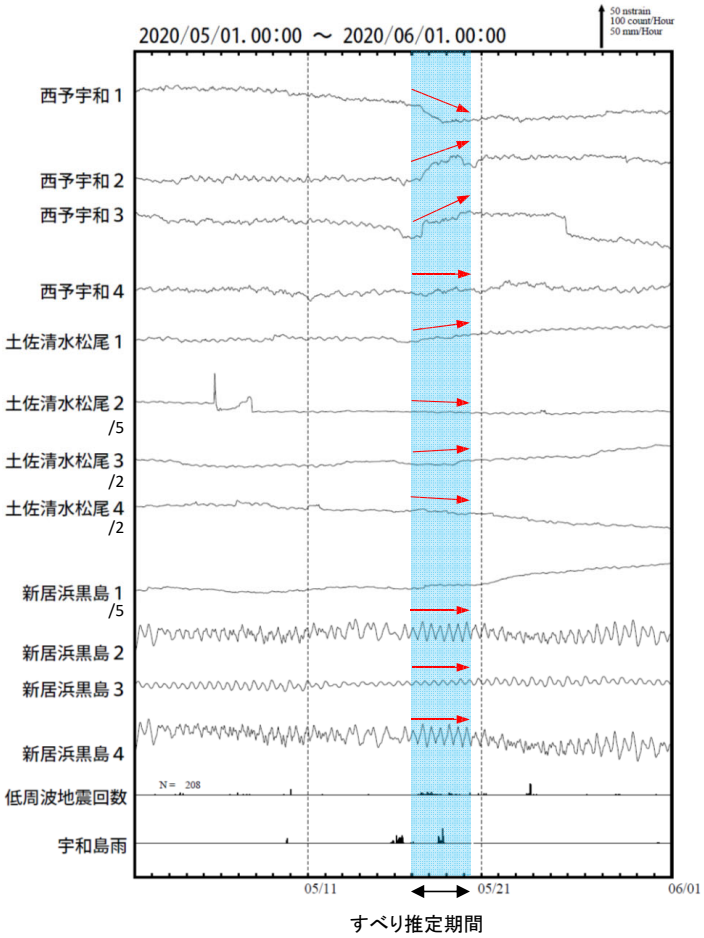


第 5 図 (a)　四国西部の深部低周波地震活動とひずみ変化，及び推定されるゆっくりすべり領域

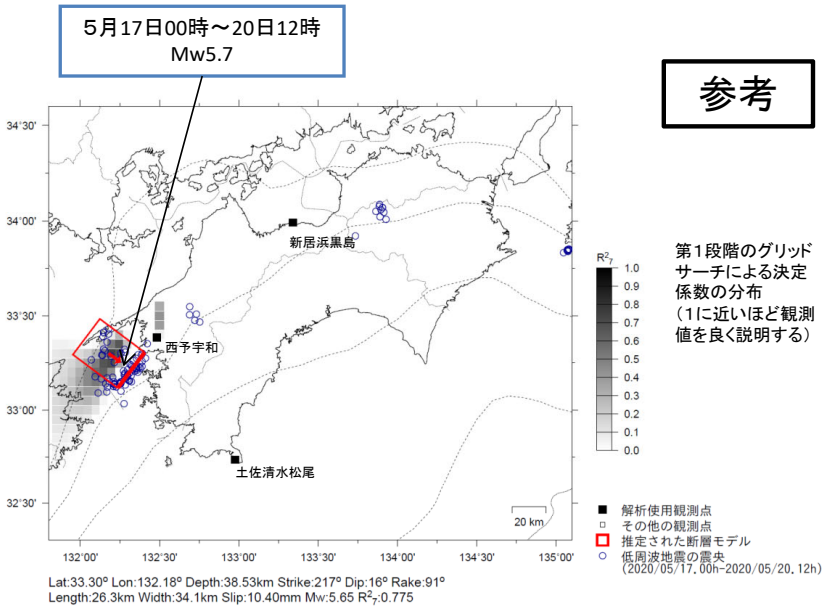
Fig. 5(a)　Activity of deep low-frequency earthquakes in western part of Shikoku region and strain changes, and the estimated slow slip region.

四国西部で観測した短期的ゆっくりすべり（5月17日～20日）

愛媛県から高知県で観測されたひずみ変化



西予宇和、土佐清水松尾及び新居浜黒島は産業技術総合研究所のひずみ計である。



左図に観測されたひずみ観測点での変化量を元にすべり推定を行ったところ、低周波地震とほぼ同じ場所にすべり域が求まった。

断層モデルの推定は、産総研の解析方法（板場ほか，2012）を参考に以下の2段階で行う。
・断層サイズを20km×20kmに固定し、位置を0.05度単位でグリッドサーチにより推定する。
・その位置を中心にして、他の断層パラメータの最適解を求める。

第 5 図 (b)　つづき
Fig. 5(b)　Continued.

地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行

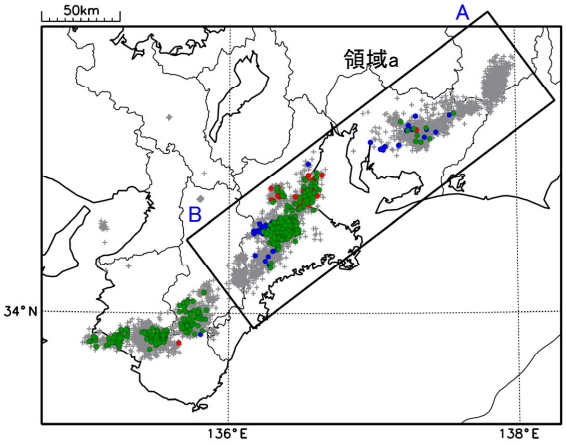
東海から紀伊半島北部の深部低周波地震（微動）活動と短期的ゆっくりすべり

6月29日から7月14日にかけて、東海から紀伊半島北部で深部低周波地震（微動）を観測した。6月29日に東海で始まった活動は、7月6日以降は主に紀伊半島北部でみられ、14日にかけて南西に広がった。

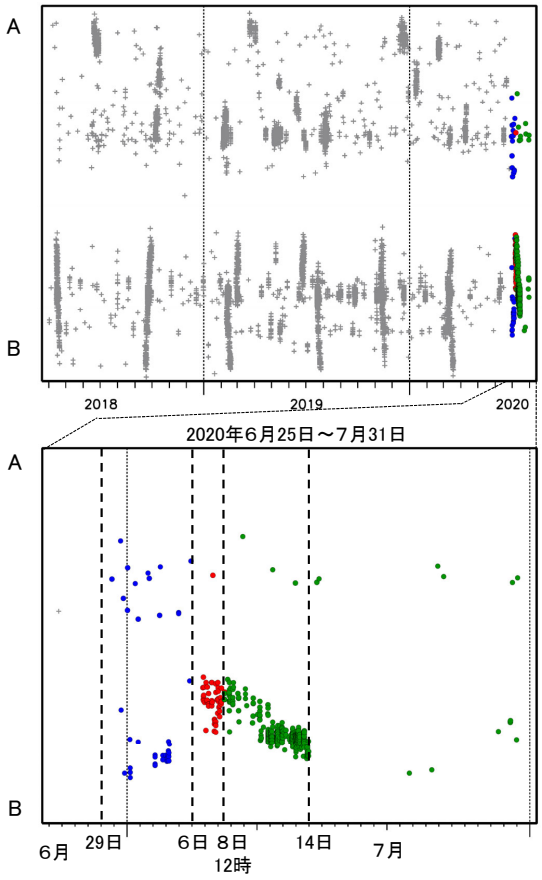
深部低周波地震（微動）活動とほぼ同期して、周辺に設置されている複数のひずみ計で地殻変動を観測した。これらは、短期的ゆっくりすべりに起因すると推定される。

深部低周波地震（微動）活動

震央分布図（2018年4月1日～2020年7月31日、深さ0～60km、Mすべて）
灰：2018年4月1日～2020年6月28日、**青：2020年6月29日～7月5日、赤：7月6日～7月8日12時、緑：7月8日12時～7月31日**



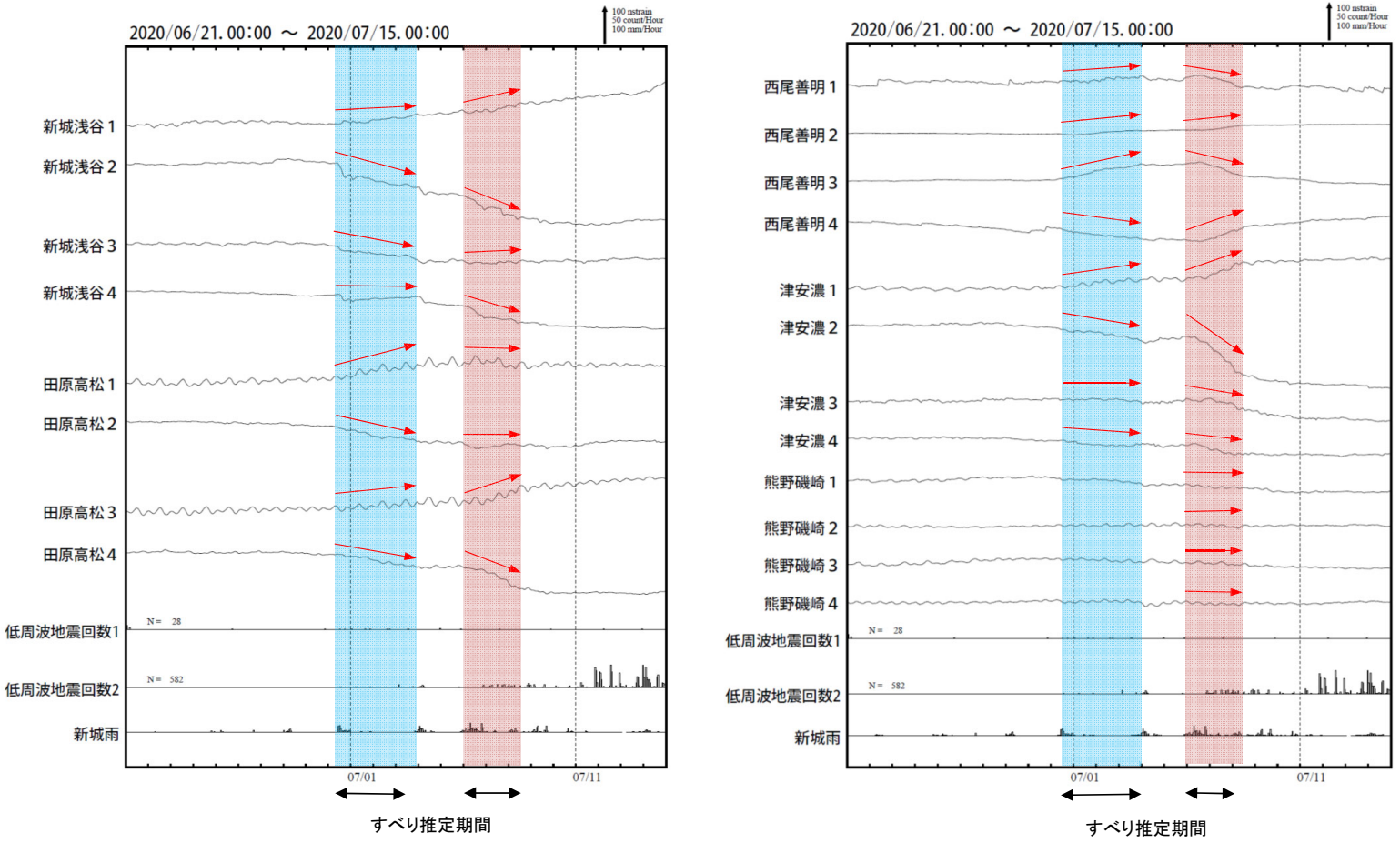
震央分布図の領域a内の時空間分布図（A－B投影）



第 6 図 (a)　東海から紀伊半島北部の深部低周波地震活動とひずみ変化，及び推定されるゆっくりすべり領域
Fig. 6(a)　Activity of deep low-frequency earthquakes in Tokai region to northern part of Kii Peninsula and strain changes, and the estimated slow slip region.

東海から紀伊半島北部で観測した短期的ゆっくりすべり（6月30日～7月8日）

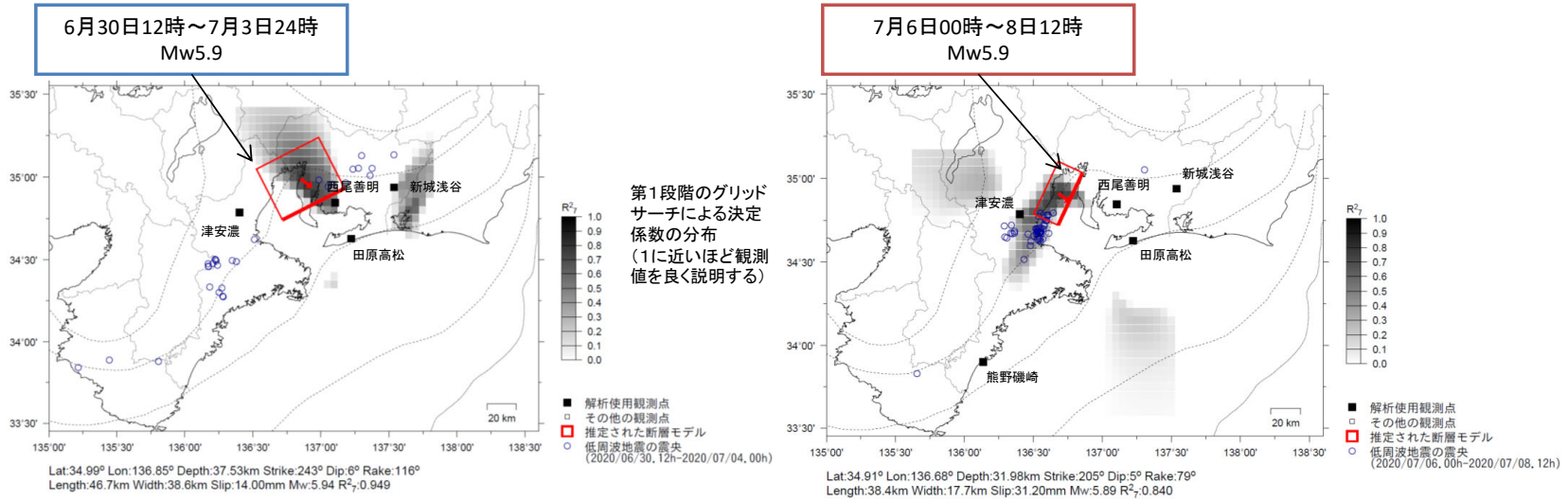
愛知県から三重県で観測されたひずみ変化



西尾善明、津安濃及び熊野磯崎は産業技術総合研究所のひずみ計である。

第 6 図 (b)　つづき
Fig. 6(b)　Continued.

東海から紀伊半島北部で観測した短期的ゆっくりすべり（6月30日～7月8日）



前図に観測されたひずみ観測点での変化量を元にすべり推定を行ったところ、
低周波地震とほぼ同じ場所にすべり域が求まった。

断層モデルの推定は、産総研の解析方法（板場ほか，2012）を参考に以下の2段階で行う。
・断層サイズを20km×20kmに固定し、位置を0.05度単位でグリッドサーチにより推定する。
・その位置を中心にして、他の断層パラメータの最適解を求める。

第 6 図 (b)　つづき
Fig. 6(b)　Continued.

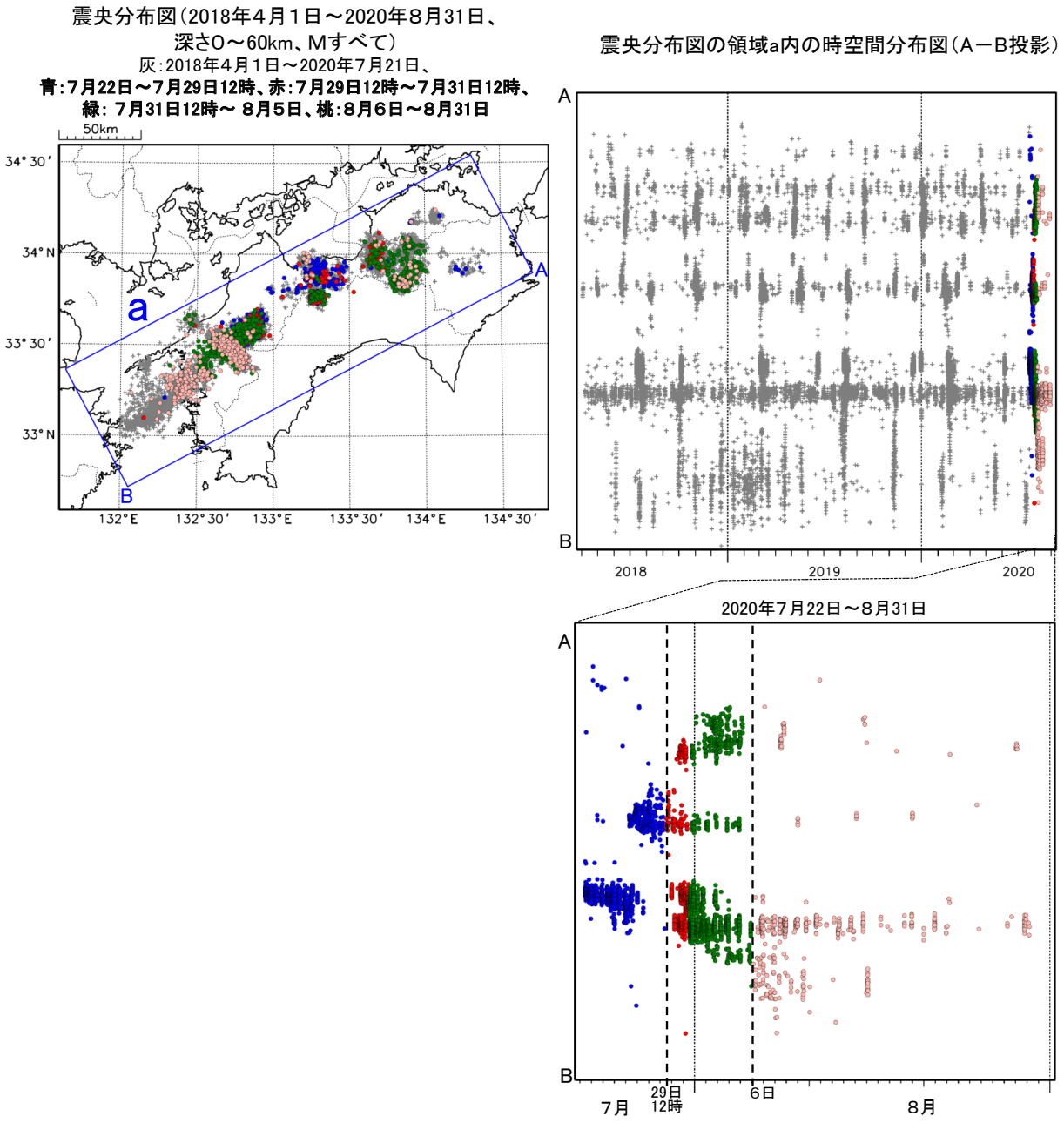
地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行

四国東部から四国西部の深部低周波地震（微動）活動と短期的ゆっくりすべり

７月22日から８月23日にかけて四国東部から四国西部で深部低周波地震（微動）を観測した。７月22日に四国中部で始まった活動は、７月26日から北東側へ移動した。さらに、７月29日12時頃からは、四国東部及び四国西部でも活動がみられた。８月６日以降は主に四国西部から豊後水道にかけて活動がみられた。

７月27日12時頃から、深部低周波地震（微動）活動とほぼ同期して、周辺に設置されている複数のひずみ計で地殻変動を観測している。これらは、短期的ゆっくりすべりに起因すると推定される。

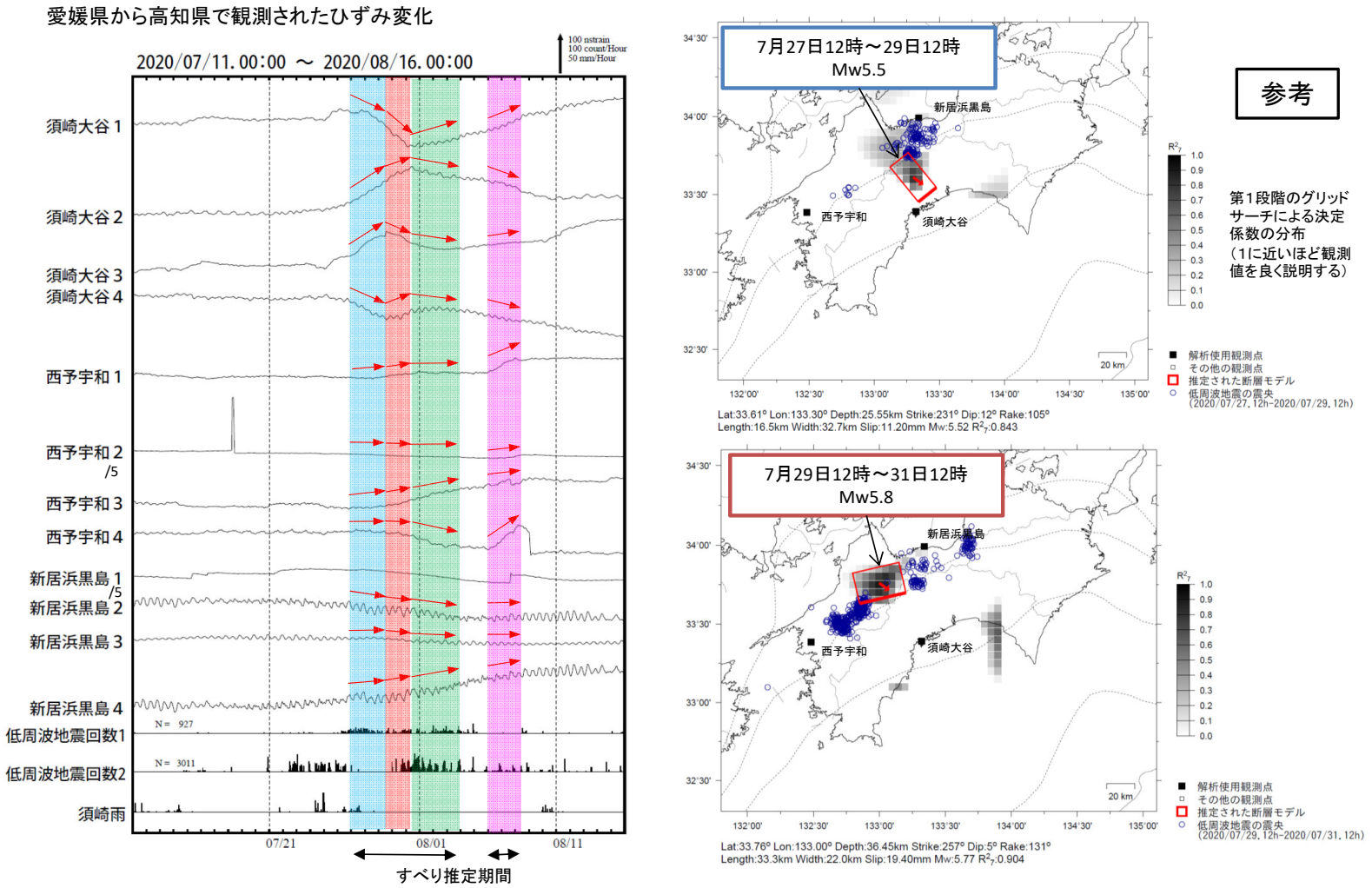
深部低周波地震（微動）活動



第 7 図 (a)　四国東部から四国西部の深部低周波地震活動とひずみ変化，及び推定されるゆっくりすべり領域

Fig. 7(a)　Activity of deep low-frequency earthquakes in eastern to western part of Shikoku region and strain changes, and the estimated slow slip region.

四国中部から西部で観測した短期的ゆっくりすべり（7月27日～8月8日）



参考

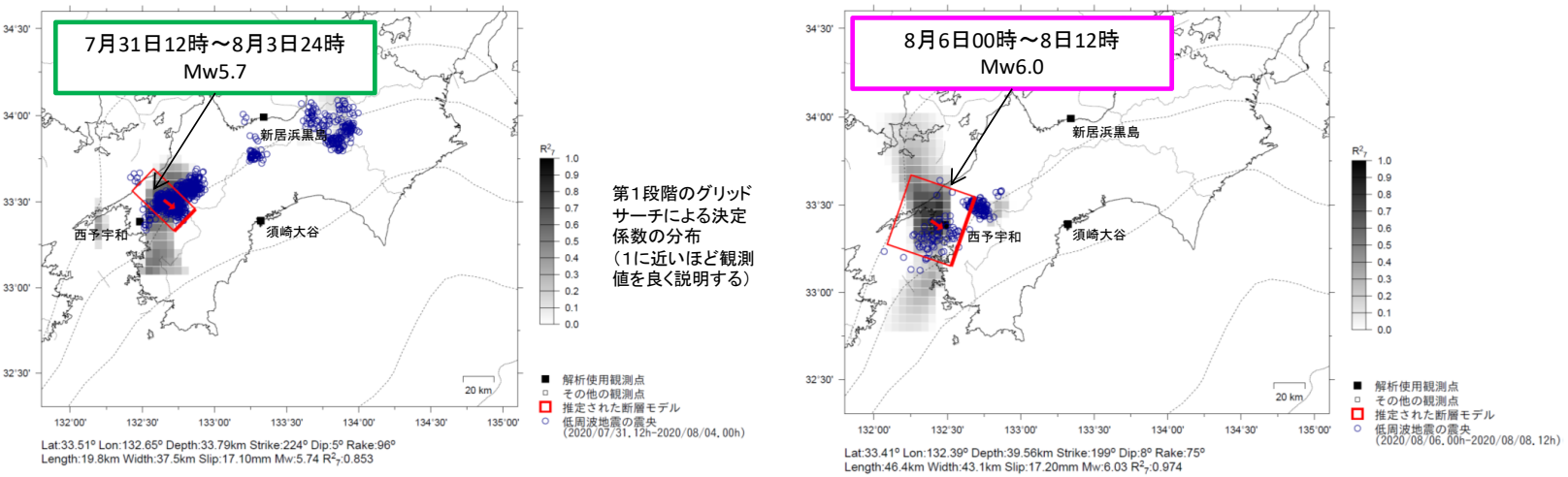
第1段階のグリッドサーチによる決定係数の分布（1に近いほど観測値を良く説明する）

須崎大谷、西予宇和及び新居浜黒島は産業技術総合研究所のひずみ計である。

第 7 図 (b)　つづき
Fig. 7(b)　Continued.

地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行

四国中部から西部で観測した短期的ゆっくりすべり（7月27日～8月8日）



第1段階のグリッドサーチによる決定係数の分布（1に近いほど観測値を良く説明する）

前図に観測されたひずみ観測点での変化量を元にすべり推定を行ったところ、低周波地震とほぼ同じ場所にすべり域が求まった。

断層モデルの推定は、産総研の解析方法（板場ほか，2012）を参考に以下の2段階で行う。
・断層サイズを20km×20kmに固定し、位置を0.05度単位でグリッドサーチにより推定する。
・その位置を中心にして、他の断層パラメータの最適解を求める。

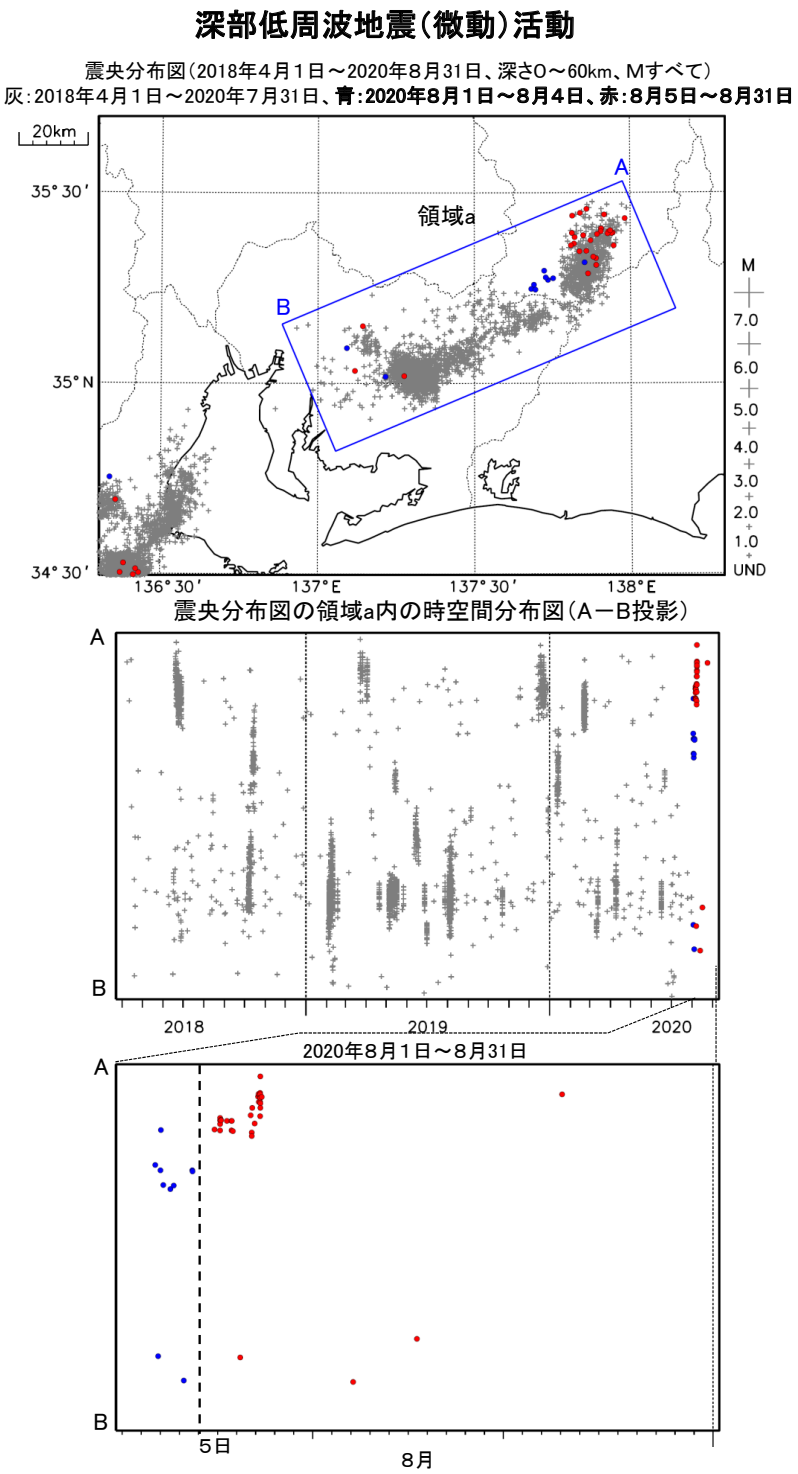
第 7 図 (b)　つづき
Fig. 7(b)　Continued.

地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行

東海の深部低周波地震（微動）活動と短期的ゆっくりすべり

８月２日から８日にかけて、東海で深部低周波地震（微動）を観測した。８月２日に長野・愛知県境付近で活動が始まり、８月５日以降はやや北東側で活動がみられた。

深部低周波地震（微動）活動とほぼ同期して、周辺に設置されている複数のひずみ計で地殻変動を観測した。これらは、短期的ゆっくりすべりに起因すると推定される。

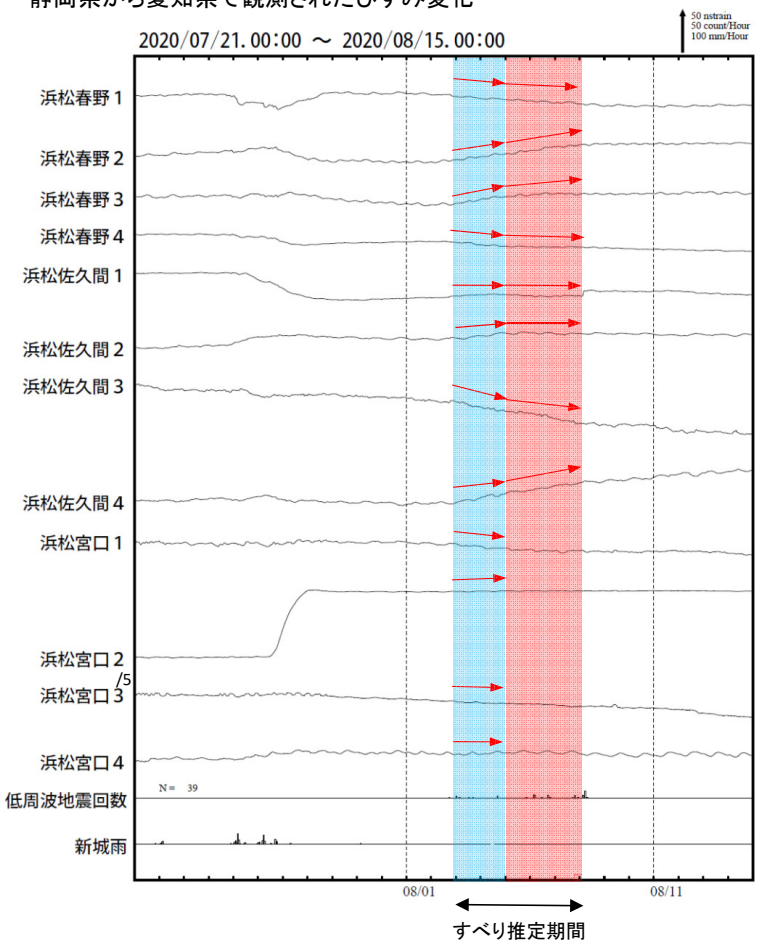


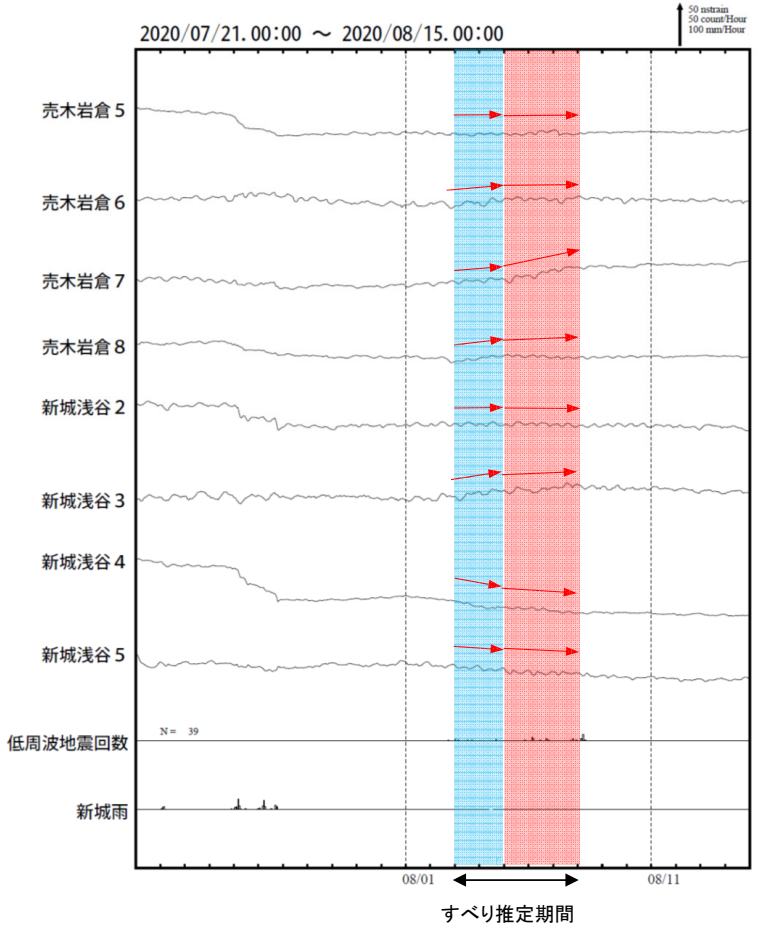
第 8 図 (a)　東海の深部低周波地震活動とひずみ変化，及び推定されるゆっくりすべり領域

Fig. 8(a)　Activity of deep low-frequency earthquakes in Tokai region and strain changes, and the estimated slow slip region.

東海で観測した短期的ゆっくりすべり（8月3日～7日）

静岡県から愛知県で観測されたひずみ変化



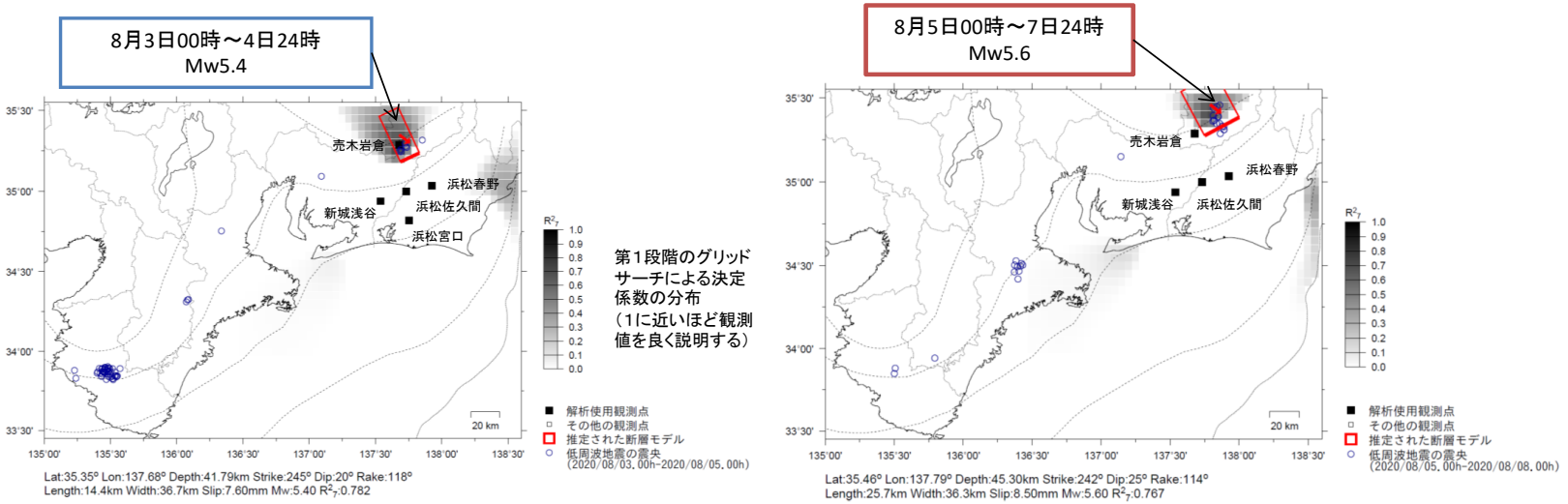


浜松春野は静岡県のひずみ計である。

第 8 図 (b)　つづき
Fig. 8(b)　Continued.

地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行

東海で観測した短期的ゆっくりすべり（8月3日～7日）



前図に観測されたひずみ観測点での変化量を元にすべり推定を行ったところ、低周波地震とほぼ同じ場所にすべり域が求まった。

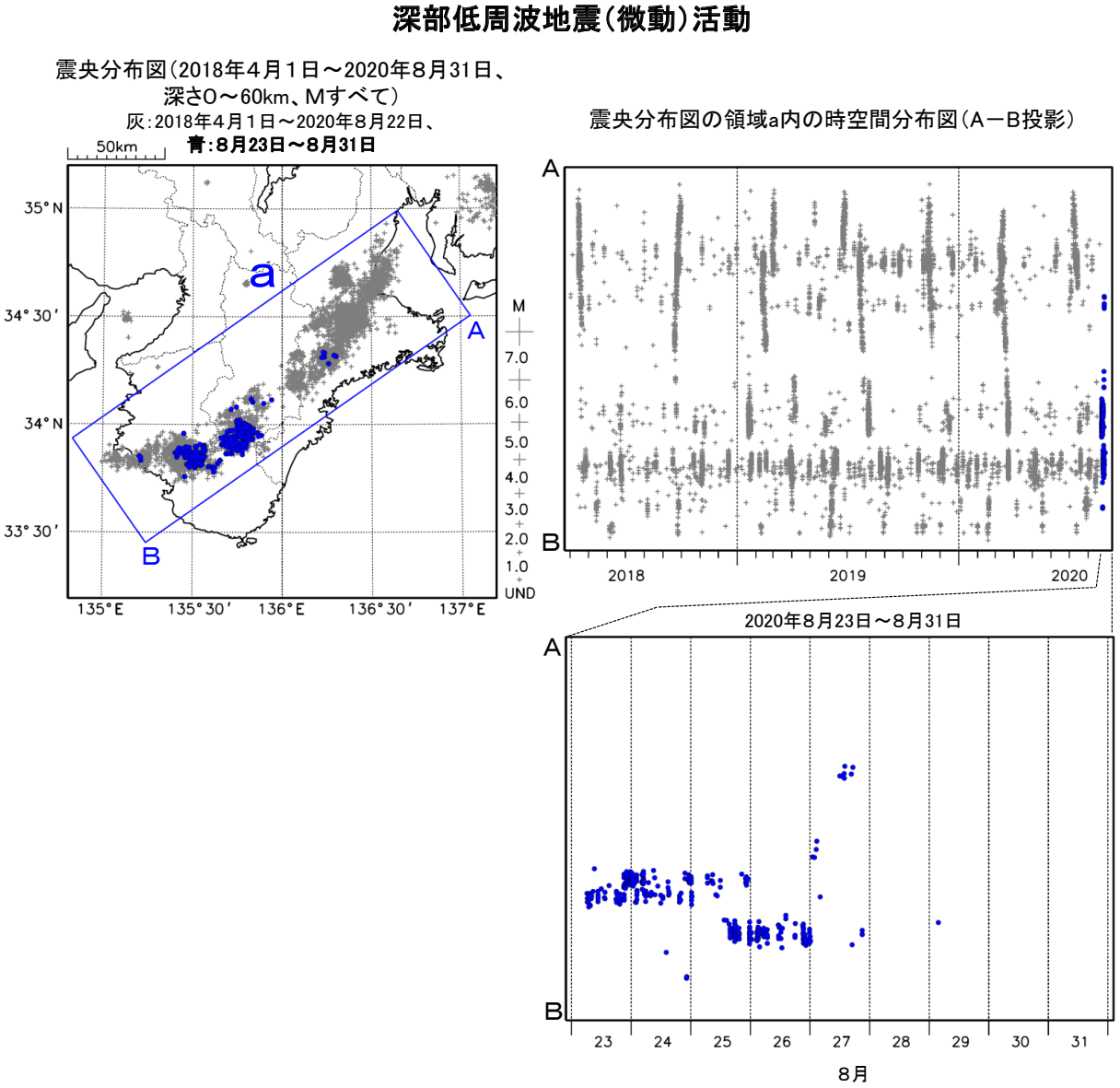
断層モデルの推定は、産総研の解析方法（板場ほか, 2012）を参考に以下の2段階で行う。
・断層サイズを20km×20kmに固定し、位置を0.05度単位でグリッドサーチにより推定する。
・その位置を中心にして、他の断層パラメータの最適解を求める。

第 8 図 (b)　つづき
Fig. 8(b)　Continued.

地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行

紀伊半島中部から紀伊半島西部の深部低周波地震（微動）活動と短期的ゆっくりすべり

８月23日から27日にかけて、紀伊半島中部から紀伊半島西部で深部低周波地震（微動）を観測した。深部低周波地震（微動）活動とほぼ同期して、周辺に設置されている複数のひずみ計で地殻変動を観測した。これらは、短期的ゆっくりすべりに起因すると推定される。

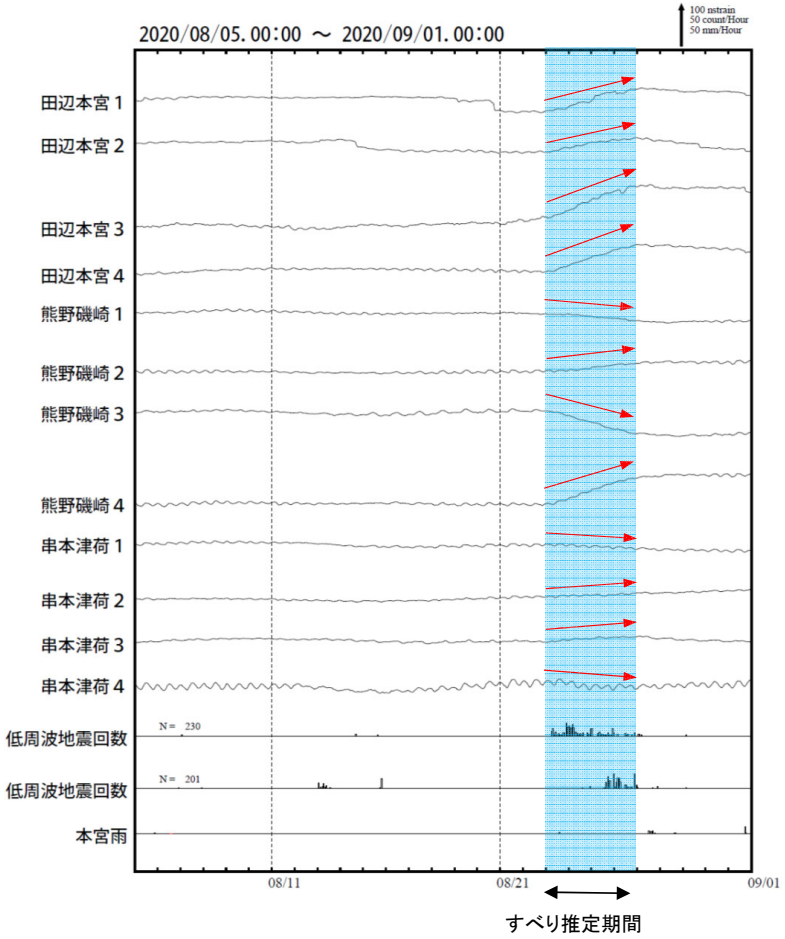


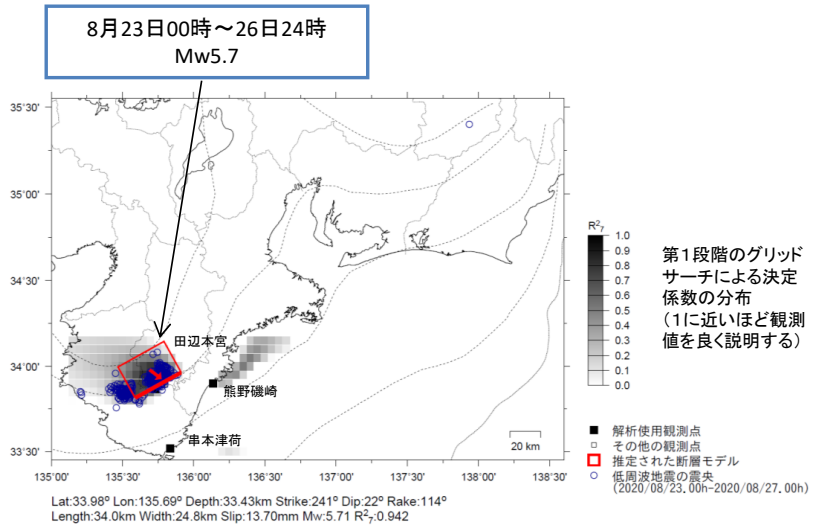
第 9 図 (a)　紀伊半島中部から紀伊半島西部の深部低周波地震活動とひずみ変化，及び推定されるゆっくりすべり領域

Fig. 9(a)　Activity of deep low-frequency earthquakes in central to western part of Kii Peninsula and strain changes, and the estimated slow slip region.

紀伊半島中部で観測した短期的ゆっくりすべり（8月23日～26日）

三重県から和歌山県で観測されたひずみ変化





第1段階のグリッドサーチによる決定係数の分布（1に近いほど観測値を良く説明する）

左図に観測されたひずみ観測点での変化量を元にすべり推定を行ったところ、低周波地震とほぼ同じ場所にすべり域が求まった。

断層モデルの推定は、産総研の解析方法（板場ほか，2012）を参考に以下の2段階で行う。
・断層サイズを20km×20kmに固定し、位置を0.05度単位でグリッドサーチにより推定する。
・その位置を中心にして、他の断層パラメータの最適解を求める。

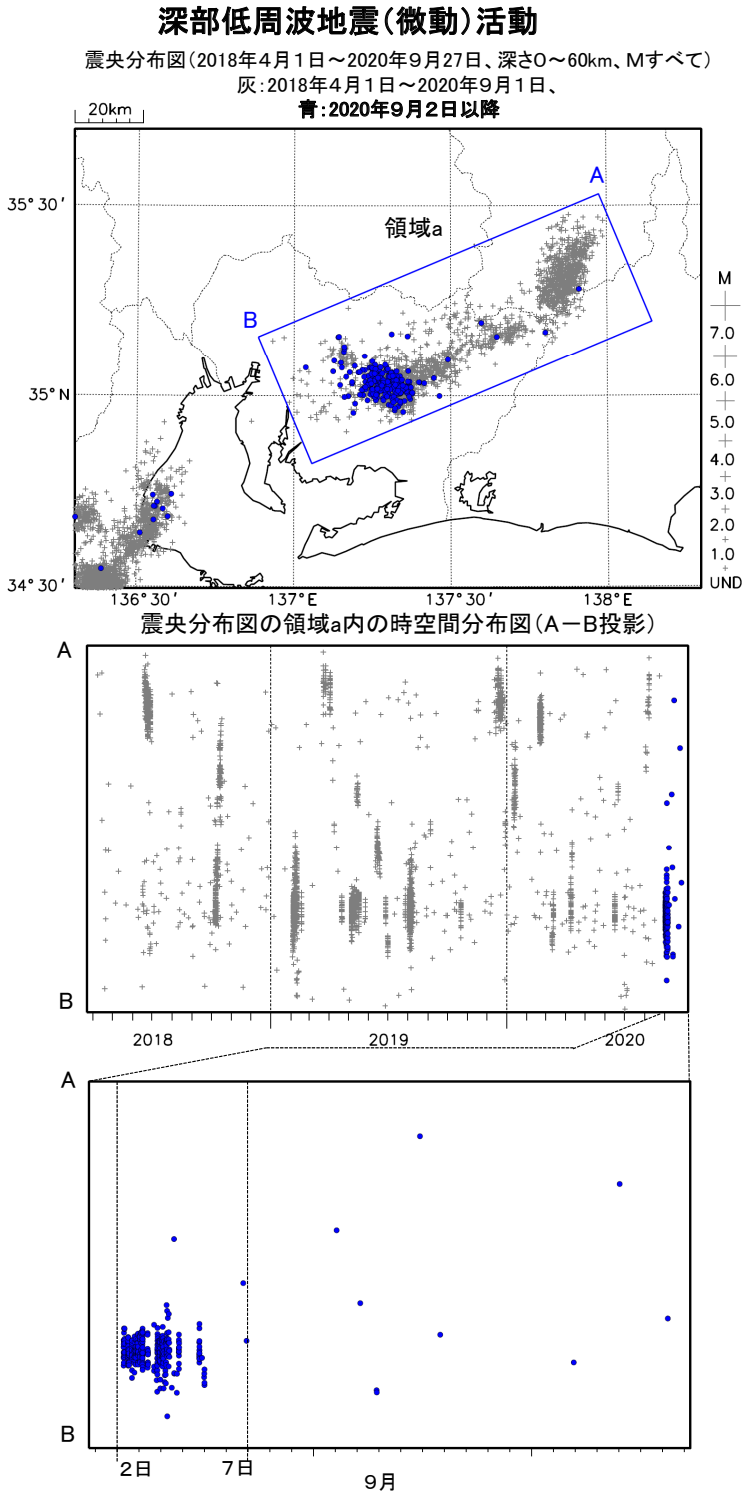
田辺本宮、熊野磯崎及び串本津荷は産業技術総合研究所のひずみ計である。

第 9 図 (b)　つづき
Fig. 9(b)　Continued.

地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行

東海の深部低周波地震（微動）活動と短期的ゆっくりすべり

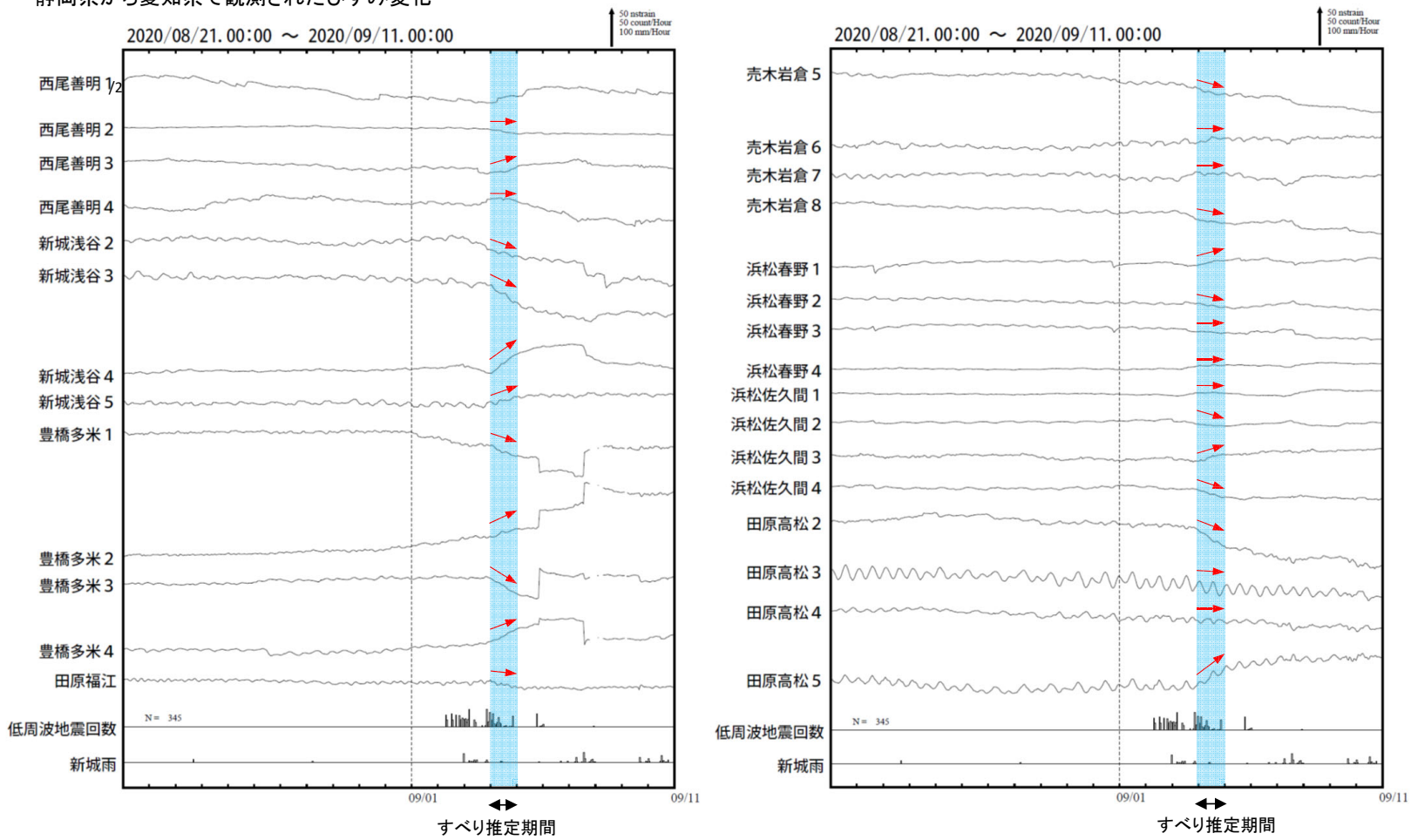
９月２日から７日にかけて、東海で深部低周波地震（微動）を観測した。
深部低周波地震（微動）活動とほぼ同期して、周辺に設置されている複数のひずみ計で地殻変動を観測した。これらは、短期的ゆっくりすべりに起因すると推定される。



第 10 図 (a)　東海の深部低周波地震活動とひずみ変化，及び推定されるゆっくりすべり領域
Fig. 10(a)　Activity of deep low-frequency earthquakes in Tokai region and strain changes, and the estimated slow slip region.

東海で観測した短期的ゆっくりすべり（９月４日）

静岡県から愛知県で観測されたひずみ変化

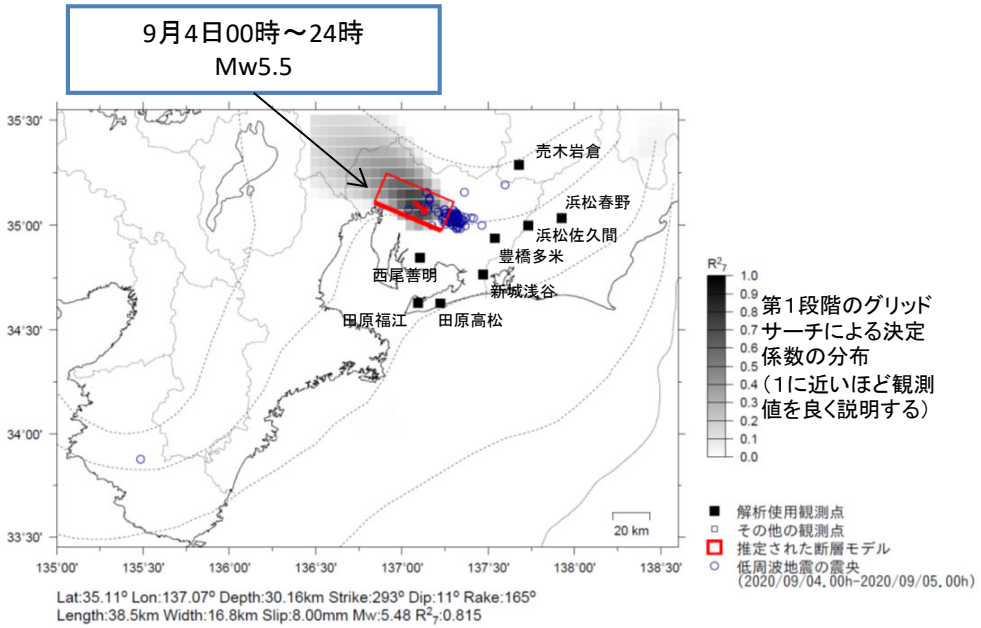


西尾善明及び豊橋多米は産業技術総合研究所、浜松春野は静岡県のひずみ計である。

第 10 図 (b)　つづき
Fig. 10(b)　Continued.

地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行

東海で観測した短期的ゆっくりすべり（９月４日）



前図に観測されたひずみ観測点での変化量を元にすべり推定を行ったところ、低周波地震とほぼ同じ場所にすべり域が求まった。

断層モデルの推定は、産総研の解析方法（板場ほか，2012）を参考に以下の２段階で行う。
・断層サイズを20km×20kmに固定し、位置を0.05度単位でグリッドサーチにより推定する。
・その位置を中心にして、他の断層パラメータの最適解を求める。

第 10 図 (b)　つづき
Fig. 10(b)　Continued.

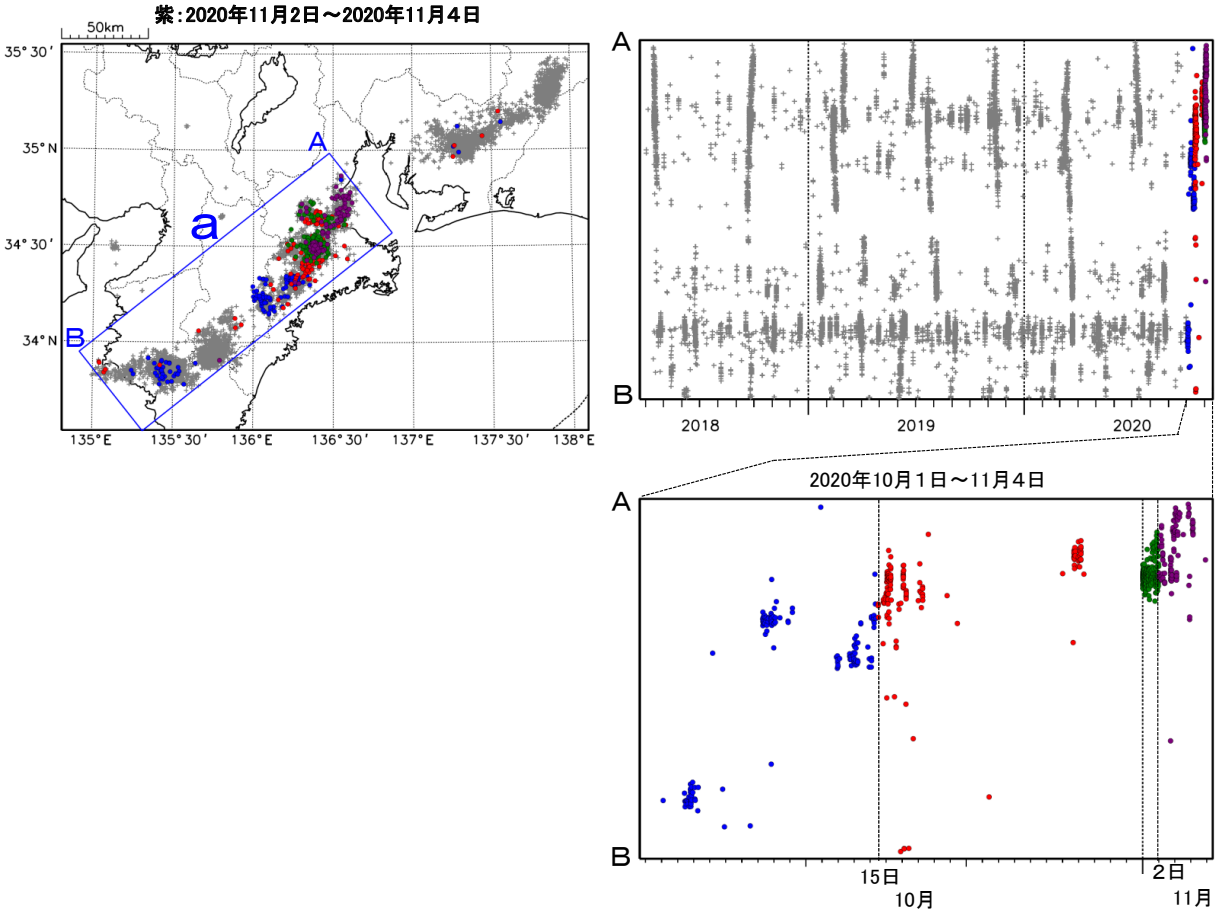
紀伊半島の深部低周波地震（微動）活動と短期的ゆっくりすべり

10月２日から５日にかけて、紀伊半島西部で深部低周波地震（微動）を観測した。
10月12日から20日にかけて、紀伊半島北部で深部低周波地震（微動）を観測した。この活動は北東方向への活動域の拡大がみられた。
11月１日から紀伊半島北部で深部低周波地震（微動）を観測している。この活動は北東方向への活動域の拡大がみられている。
深部低周波地震（微動）活動とほぼ同期して、周辺に設置されている複数のひずみ計で地殻変動を観測した。これらは、短期的ゆっくりすべりに起因すると推定される。

深部低周波地震（微動）活動

震央分布図（2018年４月１日～2020年11月４日、
深さ0～60km、Mすべて）
灰：2018年４月１日～2020年09月30日、
青：2020年10月１日～2020年10月15日12時、
赤：2020年10月15日12時～2020年10月31日、
緑：2020年11月１日
紫：2020年11月2日～2020年11月４日

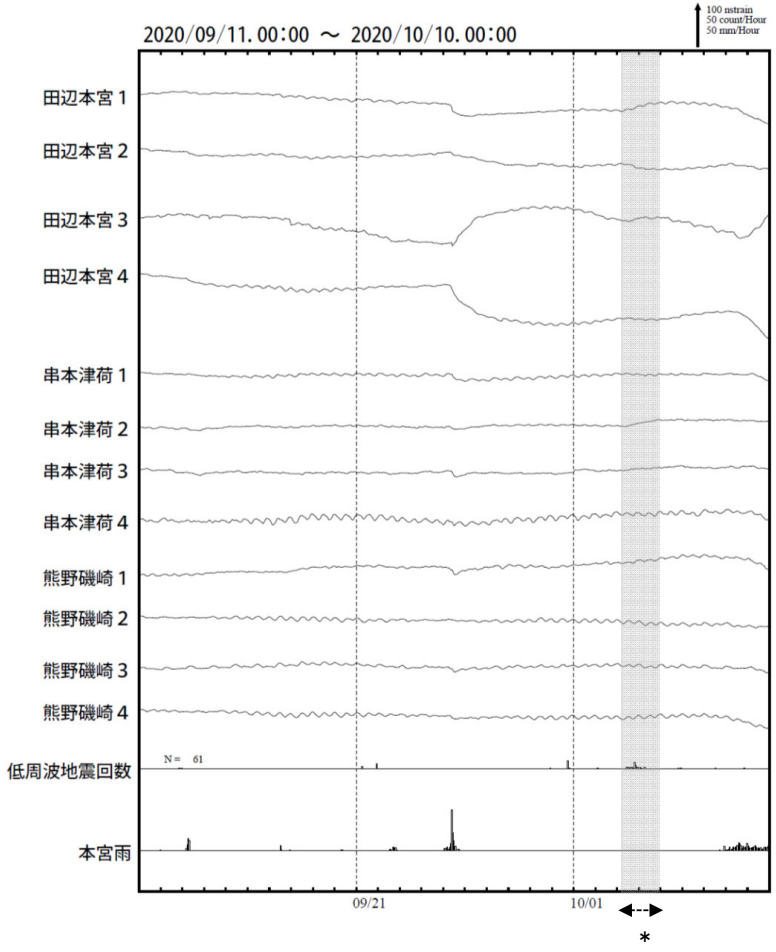
震央分布図の領域a内の時空間分布図（A－B投影）



第 11 図 (a)　紀伊半島西部及び紀伊半島北部のひずみ変化，及び推定されるゆっくりすべり領域
Fig. 11(a)　Activity of deep low-frequency earthquakes in western and northern part of Kii Peninsula and strain changes, and the estimated slow slip region.

紀伊半島で観測したひずみ変化（10月３日～４日）

和歌山県から三重県で観測されたひずみ変化



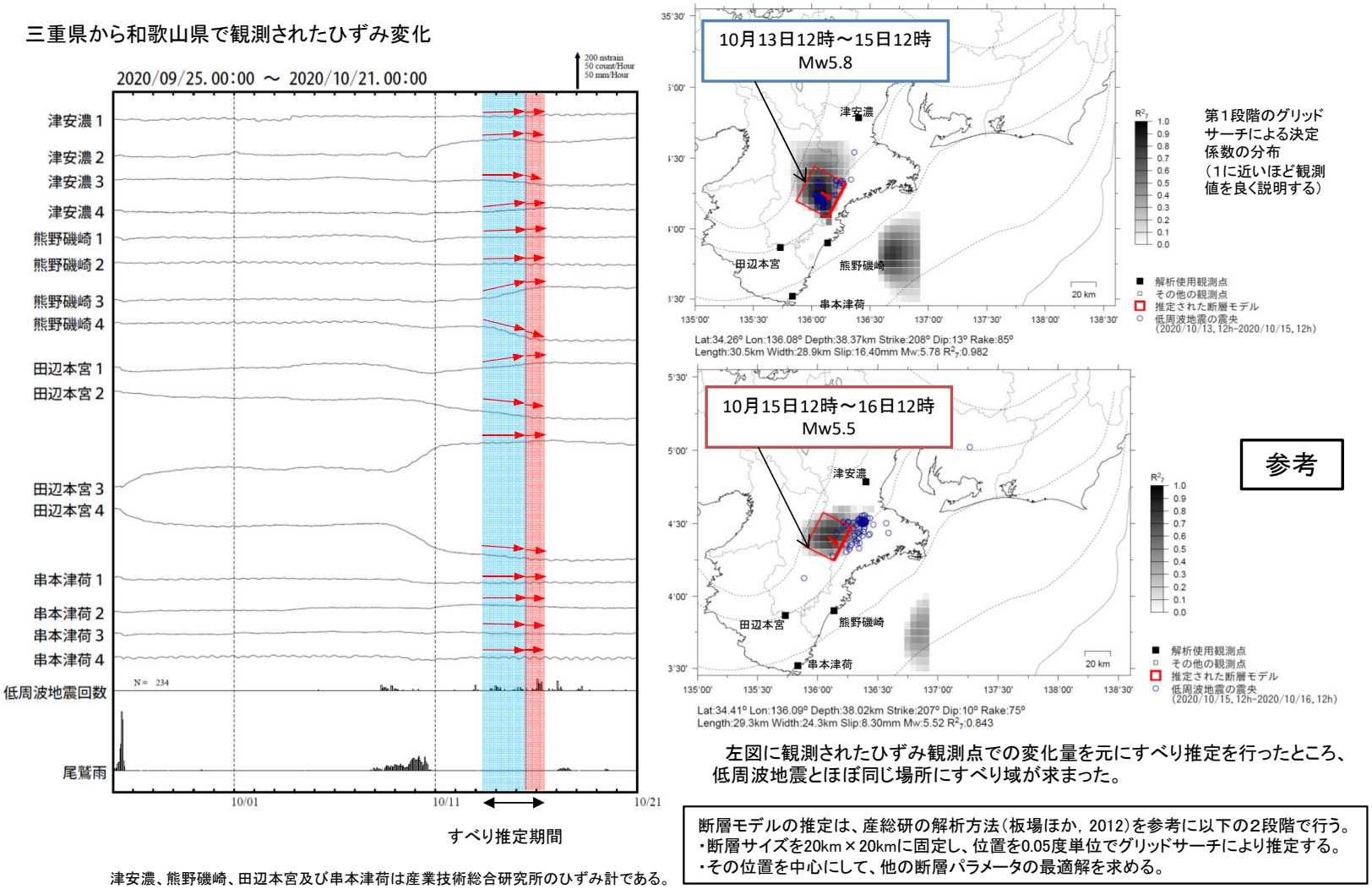
＊の期間にひずみの変化はみられるものの、
断層モデルを精度よく求めることができない。

田辺本宮、串本津荷及び熊野磯崎は産業技術総合研究所のひずみ計である。

第 11 図 (b)　つづき
Fig. 11(b)　Continued.

地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行

紀伊半島北部で観測した短期的ゆっくりすべり（10月13日～16日）



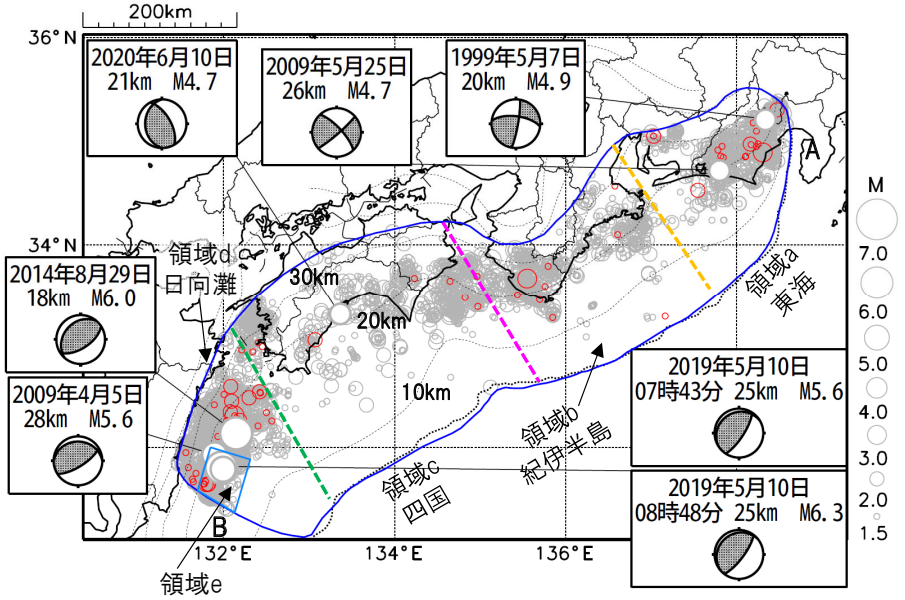
第 11 図 (c)　つづき
Fig. 11(c)　Continued.

地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行

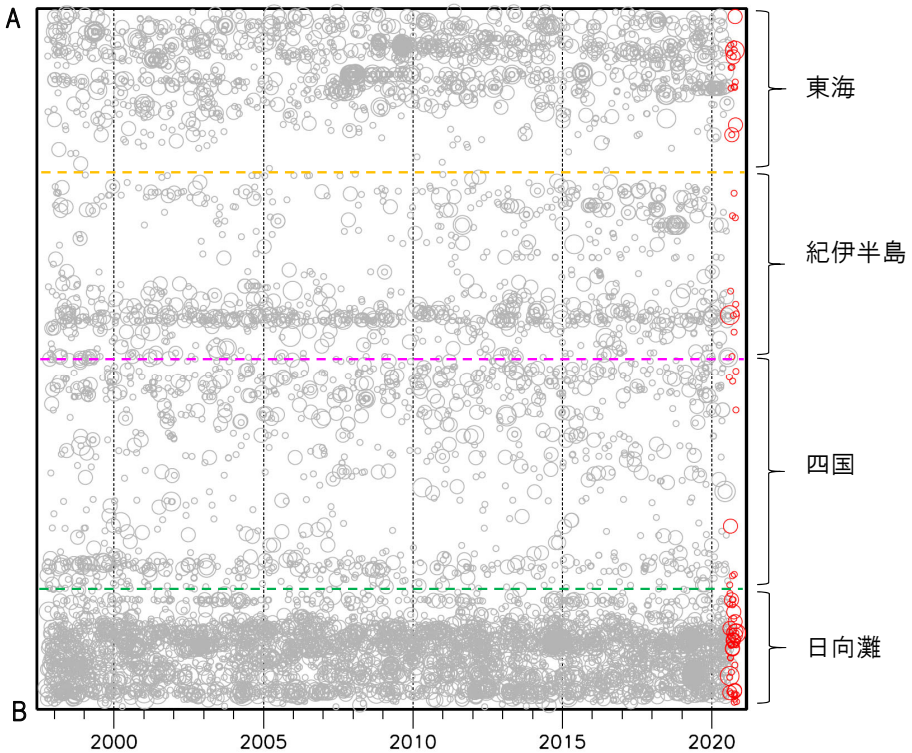
プレート境界とその周辺の地震活動

フィリピン海プレート上面の深さから±6km未満の地震を表示している。
日向灘の領域e内のみ、深さ20km～30kmの地震を追加している。

震央分布図
（1997年10月1日～2020年10月31日、M≧1.5、2020年8月以降の地震を赤く表示）



南海トラフ巨大地震の想定震源域内の時空間分布図（A-B投影）



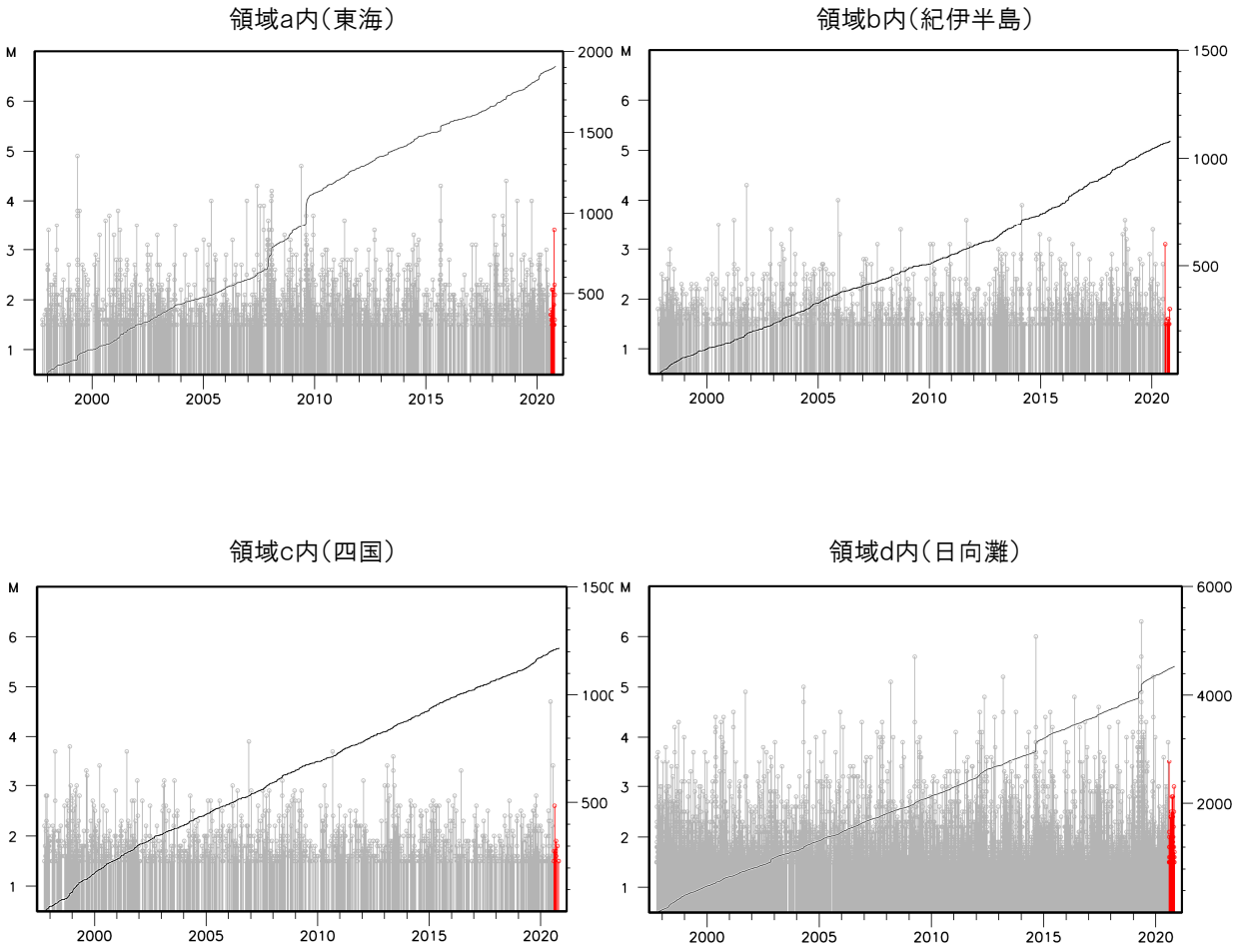
・フィリピン海プレート上面の深さは、Hirose et al.(2008)、Baba et al.(2002)による。震央分布図中の点線は10kmごとの等深線を示す。
・日向灘のM5.5以上の地震、その他の領域のM4.5以上の地震に吹き出しを付している。
・発震機構解の横に「S」の表記があるものは、精度がやや劣るものである。

第 12 図　プレート境界とその周辺の地震活動
Fig. 12　Seismic activity around the plate boundary.

プレート境界とその周辺の地震活動

フィリピン海プレート上面の深さから±6km未満の地震を表示している。

震央分布図の各領域内のMT図・回数積算図

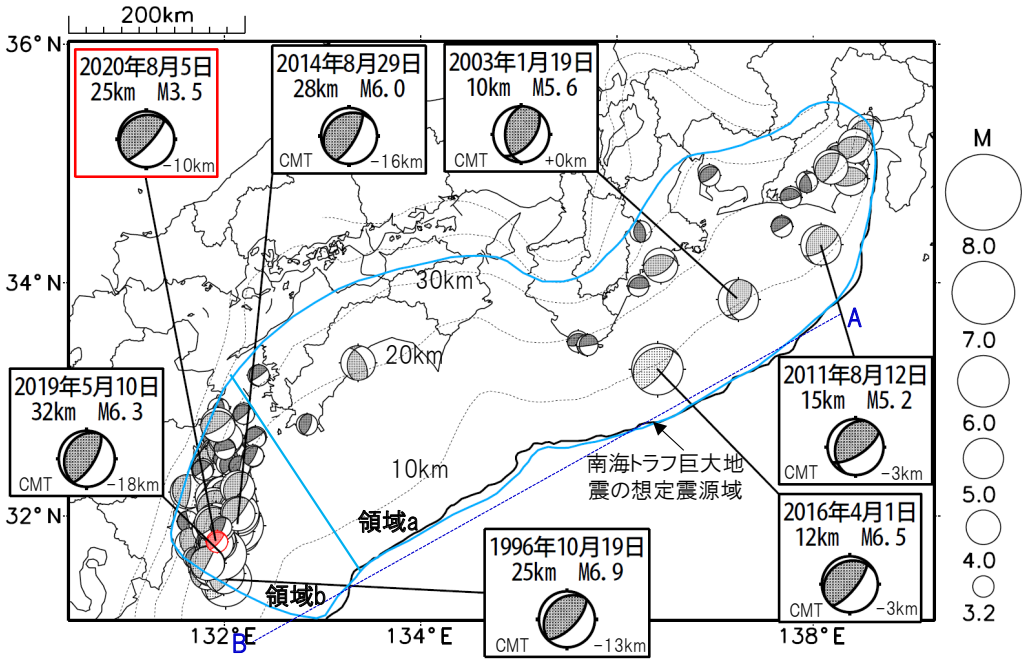


※M≧1.5の地震を表示していることから、検知能力未満の地震も表示しているため、回数積算図は参考として表記している。

第 12 図　プレート境界とその周辺の地震活動
Fig. 12　Seismic activity around the plate boundary.

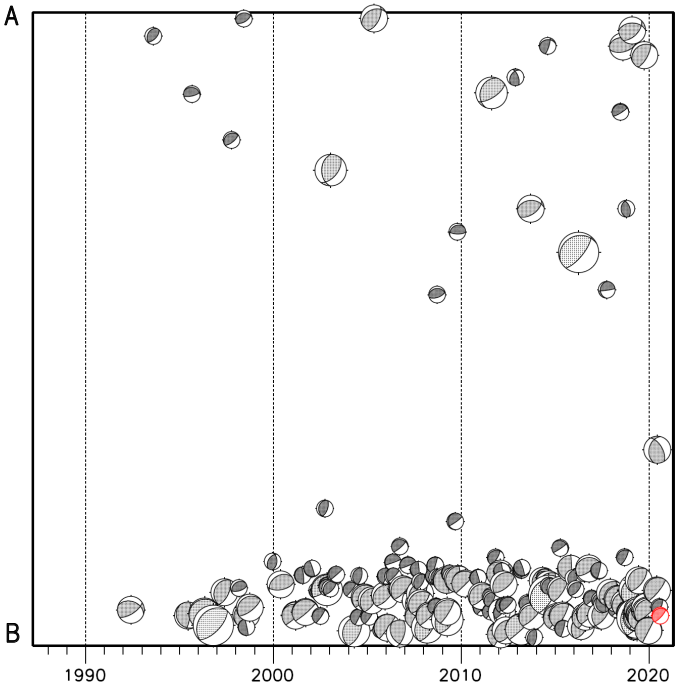
想定南海トラフ地震の発震機構解と類似の型の地震

震央分布図（1987年9月1日～2020年10月31日、M≧3.2、2020年8月～10月の地震を赤く表示）



・フィリピン海プレート上面の深さは、Hirose et al.(2008)、Baba et al.(2002)による。震央分布図中の点線は10kmごとの等深線を示す。
・今期間に発生した地震（赤）、日向灘のM6.0以上、その他の地域のM5.0以上の地震に吹き出しを付けている。
・発震機構解の横に「S」の表記があるものは、精度がやや劣るものである。
・吹き出しの右下の数値は、フィリピン海プレート上面の深さからの差を示す。+は浅い、-は深いことを示す。
・吹き出しに「CMT」と表記した地震は、発震機構解と深さはCMT解による。Mは気象庁マグニチュードを表記している。
・発震機構解の解析基準は、解析当時の観測網等に応じて変遷しているため一定ではない。

南海トラフ巨大地震の想定震源域内の時空間分布図



プレート境界型の地震と類似の型の発震機構解を持つ地震は以下の条件で抽出した。

【抽出条件】
・M3.2以上の地震
・領域a内（南海トラフの想定最大規模の想定震源域内）で発生した地震
・発震機構解が以下の条件を全て満たしたものを抽出した。
　P軸の傾斜角が45度以下
　P軸の方位角が65度以上180度以下（※）
　T軸の傾斜角が45度以上
　N軸の傾斜角が30度以下
　※以外の条件は、東海地震と類似の型を抽出する条件と同様
・発震機構解は、CMT解と初動解の両方で検索をした。
・同一の地震で、CMT解と初動解の両方がある場合はCMT解を選択している。
・東海地方から四国地方（領域a）は、フィリピン海プレート上面の深さから±10km未満の地震のみ抽出した。日向灘（領域b）は、+10km～-20km未満の震源を抽出した。CMT解はセントロイドの深さを使用した。

第 13 図　想定南海トラフ地震の発震機構解と類似の型の地震
Fig. 13　Earthquakes whose focal mechanisms were similar to that of the anticipated Nankai Trough earthquake.

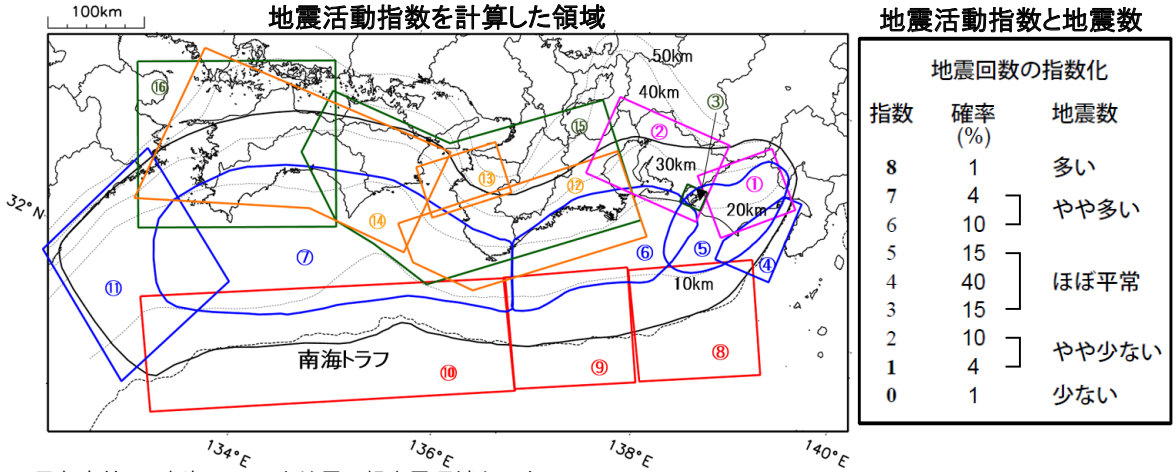
南海トラフ巨大地震の想定震源域とその周辺の地震活動指数

2020年10月31日

領域		①静岡県中西部		②愛知県		③浜名湖周辺	④駿河湾	⑤東海	⑥東南海	⑦南海
		地	プ	地	プ	プ	全	全	全	全
地震活動指数		4	4	2	7	7	4	4	4	4
平均回数		16.5	18.5	26.5	13.7	13.4	13.3	18.3	19.6	21.3
Mしきい値		1.1		1.1		1.1	1.4	1.5	2.0	2.0
クラスタ除去	距離	3km		3km		3km	10km	10km	10km	10km
	日数	7日		7日		7日	10日	10日	10日	10日
対象期間		60日	90日	60日	30日	360日	180日	90日	360日	90日
深さ		0～30km	0～60km	0～30km	0～60km	0～60km	0～60km	0～60km	0～100km	0～100km

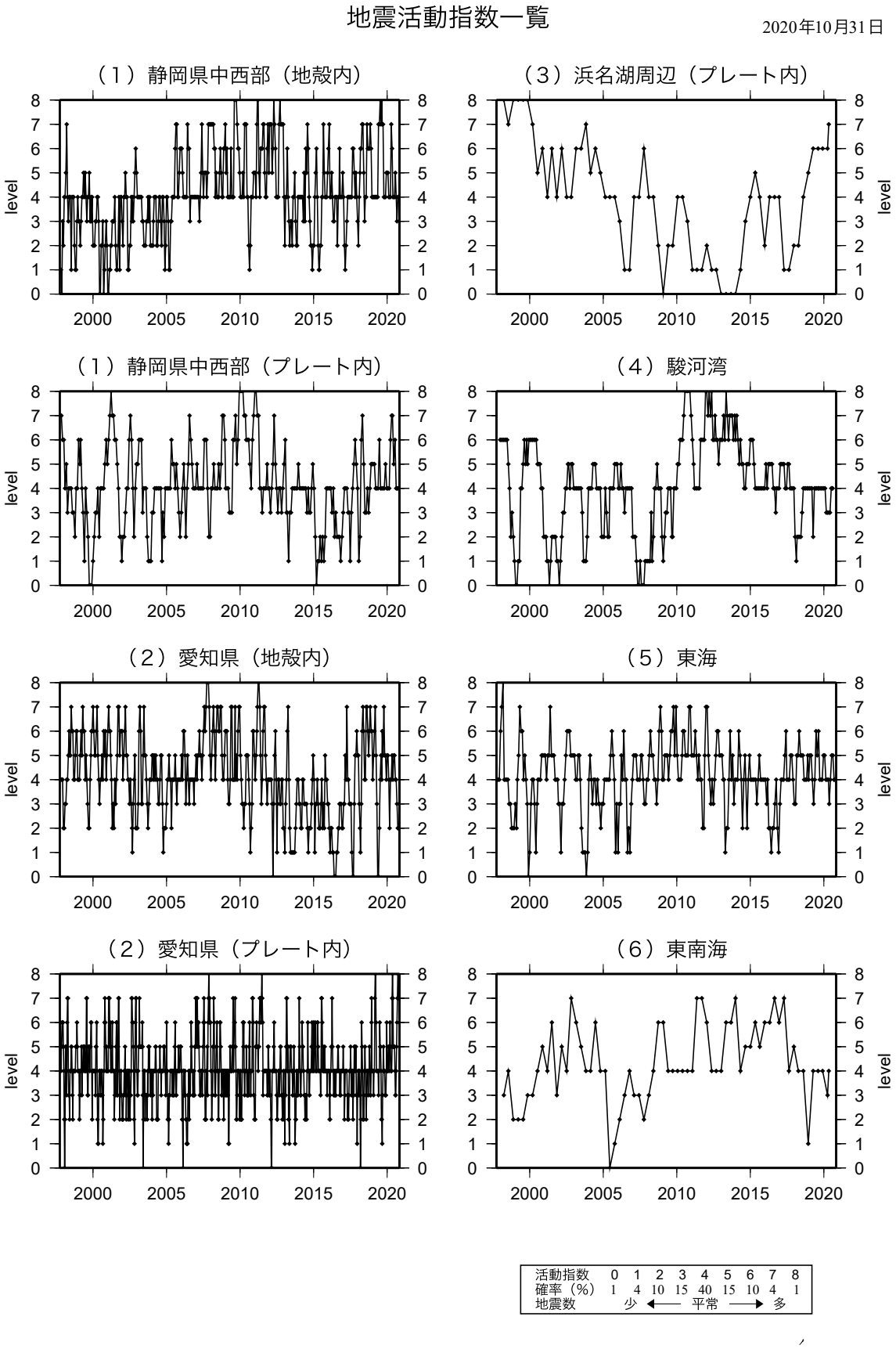
領域		南海トラフ沿い ⑧東側	南海トラフ沿い ⑩西側	⑪日向灘	⑫紀伊半島	⑬和歌山	⑭四国	⑮紀伊半島	⑯四国
		全	全	全	地	地	地	プ	プ
地震活動指数		6	2	3	4	0	4	4	3
平均回数		12.1	14.9	20.6	22.9	41.8	30.5	27.7	28.1
Mしきい値		2.5	2.5	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
クラスタ除去	距離	10km	10km	10km	3km	3km	3km	3km	3km
	日数	10日	10日	10日	7日	7日	7日	7日	7日
対象期間		720日	360日	60日	120日	60日	90日	30日	30日
深さ		0～100km	0～100km	0～100km	0～20km	0～20km	0～20km	20～100km	20～100km

＊基準期間は、全領域1997年10月1日～2020年10月31日
＊領域欄の「地」は地殻内、「プ」はフィリピン海プレート内で発生した地震であることを示す。ただし、震源の深さから便宜的に分類しただけであり、厳密に分離できていない場合もある。「全」は浅い地震から深い地震まで全ての深さの地震を含む。
＊⑨の領域（三重県南東沖）は、2004年9月5日以降の地震活動の影響で、地震活動指数を正確に計算できないため、掲載していない。



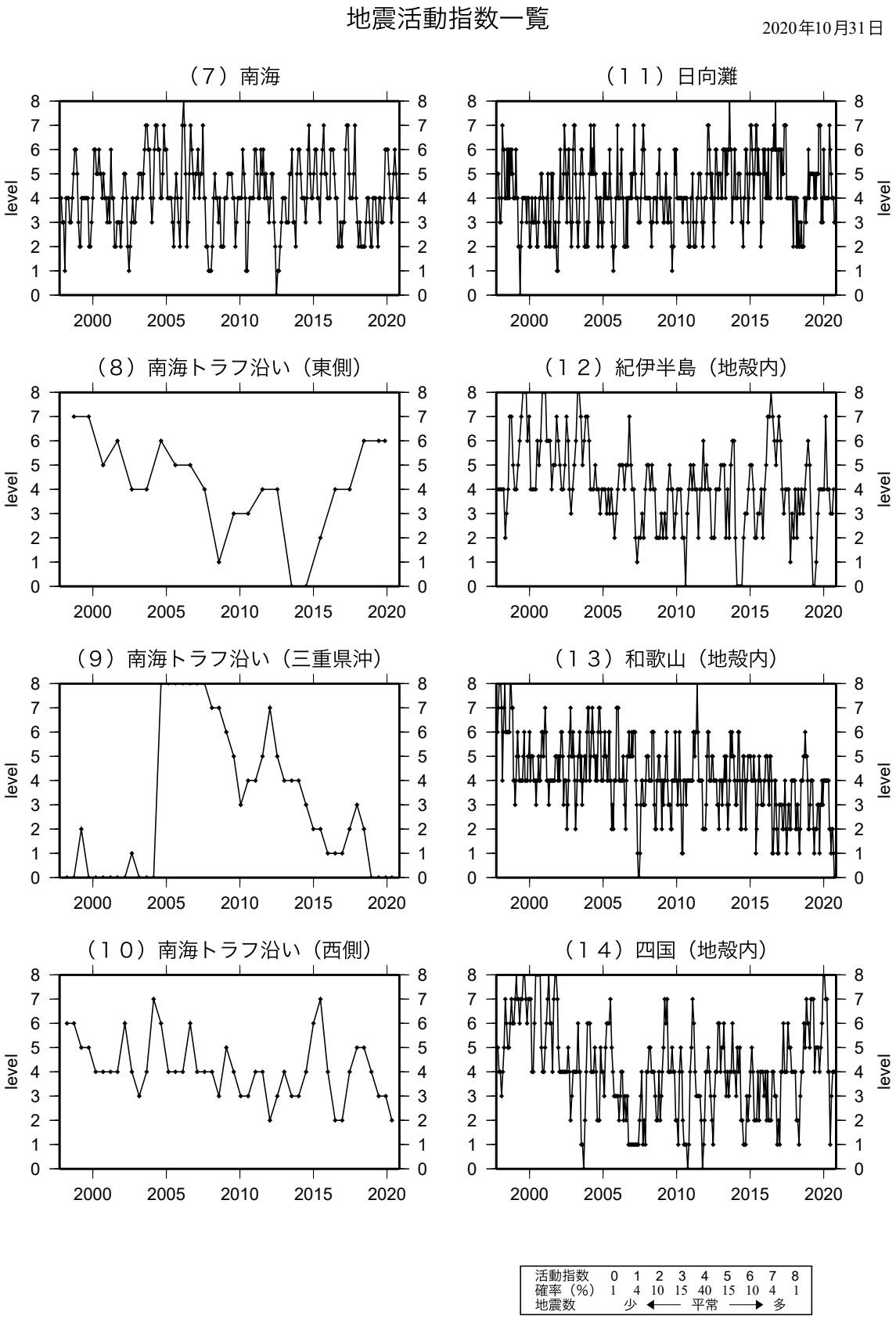
＊黒色実線は、南海トラフ巨大地震の想定震源域を示す。
＊Hirose et al.(2008)、Baba et al.(2002)によるプレート境界の等深線を破線で示す。

第 14 図　南海トラフ周辺の地震活動指数の表
Fig. 14　Table of seismic activity levels in and around the Nankai Trough.



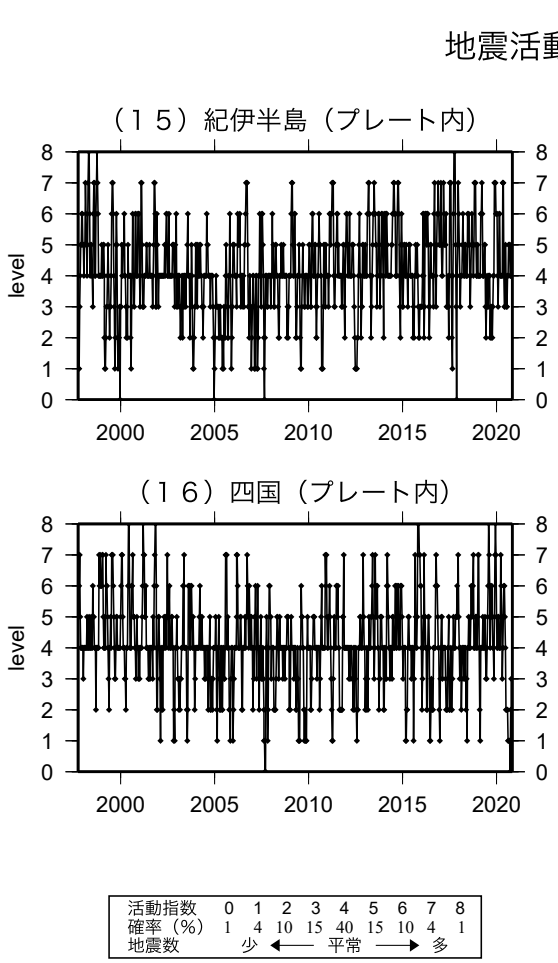
第 15 図　南海トラフ周辺の地震活動指数の推移

Fig. 15　Time series of seismic activity levels in and around the Nankai Trough.



第 15 図　南海トラフ周辺の地震活動指数の推移

Fig. 15　Time series of seismic activity levels in and around the Nankai Trough.



第 15 図　南海トラフ周辺の地震活動指数の推移

Fig. 15　Time series of seismic activity levels in and around the Nankai Trough.

８－４　南海トラフ周辺における最近の傾斜変動（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）
Recent Continuous Crustal Tilt Observation around the Nankai Trough (May, 2020 –October, 2020)

防災科学技術研究所
National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

2020 年 5 月から 2020 年 10 月にかけての傾斜変動観測結果について報告する．第 1 図に観測点の分布，第 2 図に各観測点での傾斜の時間値を示す．表示している観測データはすべて BAYTAP-G1）により潮汐及び気圧応答成分を除去し，必要な場合はステップ補正および先頭 2 ヶ月のデータで推定したリニアトレンド補正を施している．

以下の期間と地域でスロースリップイベントによると考えられる傾斜変動 2）が確認されている．この変動に伴って，顕著な深部低周波微動の活動 3）が確認されている．

・2020 年 7 月 26 日～ 8 月 8 日頃　四国中西部（第 2 図(a)，(b)，(c)）
・2020 年 10 月 30 日～ 11 月 4 日頃 紀伊半島北東部（第 2 図 (f)）

その他，傾斜変動からスロースリップイベントの断層モデルが推定されていない期間においても，豊後水道から東海地方にかけて微動活動が確認できる [3)]．

なお，雨や気圧変化のような気象要因と考えられる変動や計測機器等の問題と思われる見かけの傾斜変動はしばしばみられる．その中で明からに計測機器不具合等によると推定される場合には一定期間その記録は表示しないことがある．

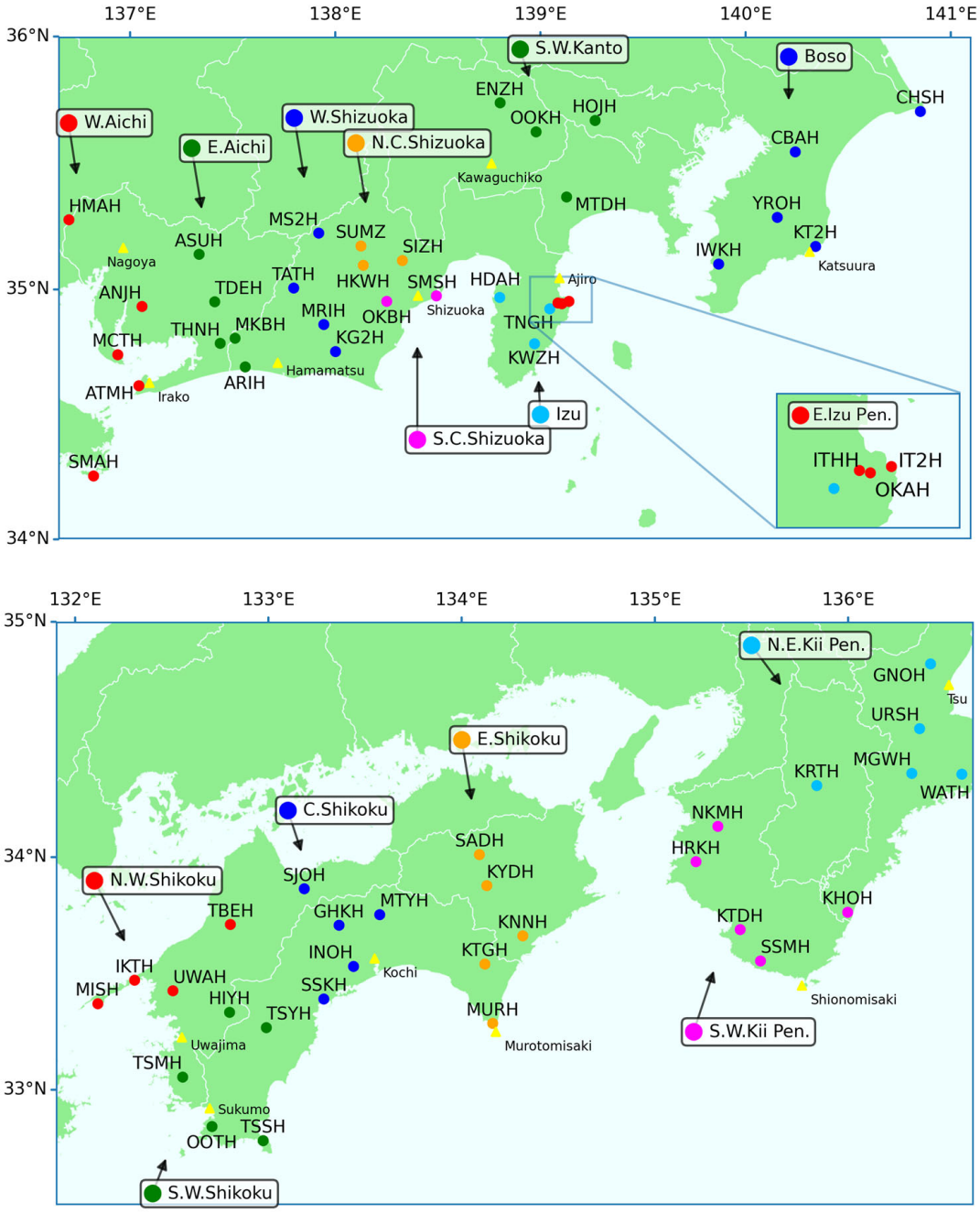
（関口　渉次）
SEKIGUCHI Shoji

謝辞

気象庁が公開している気象台等の気象観測データを使用しました．地図の県境データについては国土地理院地球地図日本の行政界データをもとに作成したものを使用しました．記して謝意を表します．

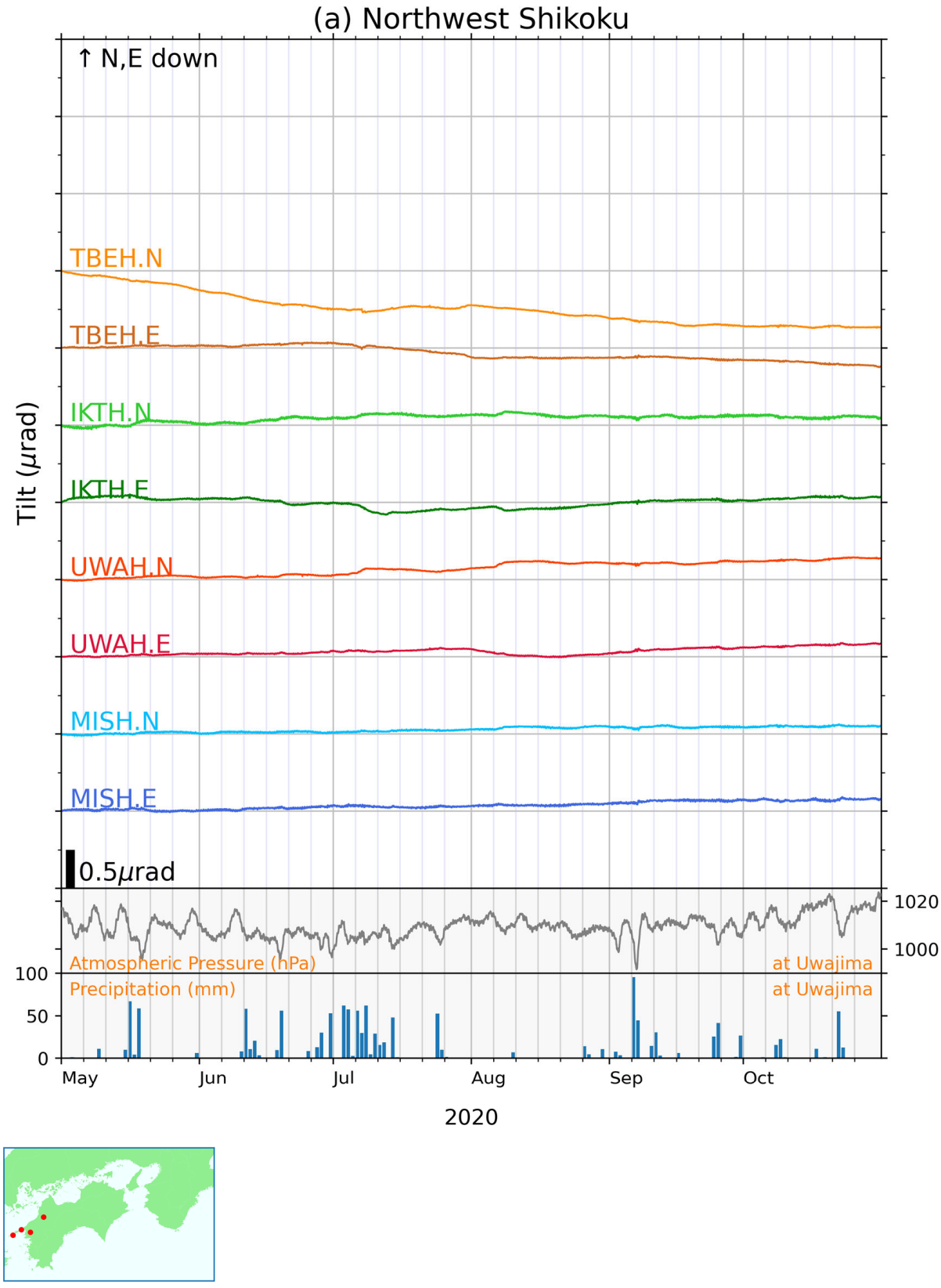
参考文献

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） 西南日本における短期的スロースリップイベント（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月), *予知連会報*, 本号.
3） 西南日本における深部低周波微動活動（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月），*予知連会報*，本号.

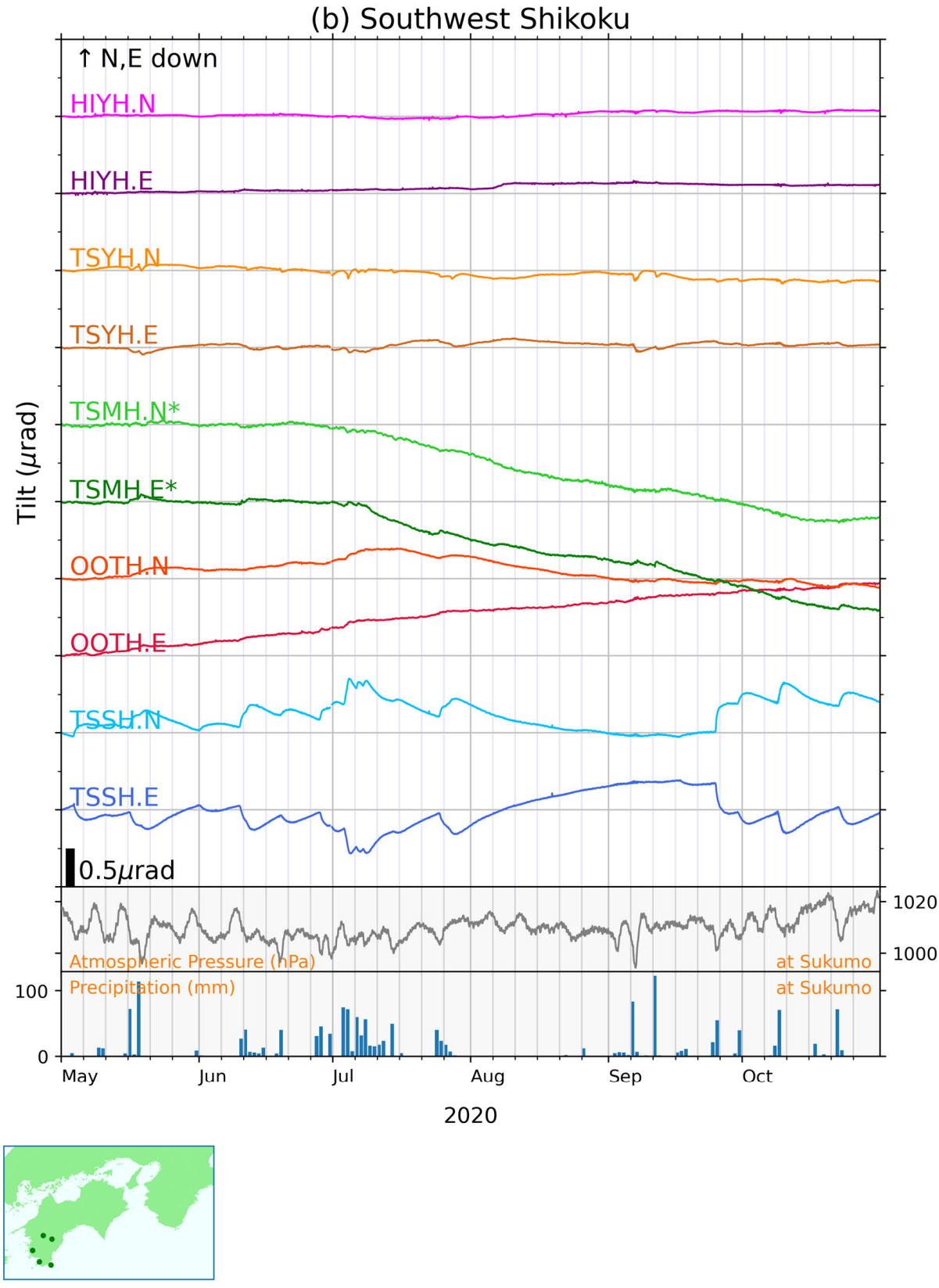


第 1 図　傾斜観測点配置（丸印）．図 2 では観測点シンボルの色で分けしたグループ毎に記録を示している．使用した気象庁気象観測点を三角形（黄色）であわせて示す．

Fig. 1　Tilt observation stations (colored solid circles). Tilt data of stations grouped by the symbol color are depicted in Fig 2(a) - (o). Meteorological stations operated by the Japan Meteorological Agency are also shown by yellow triangles.

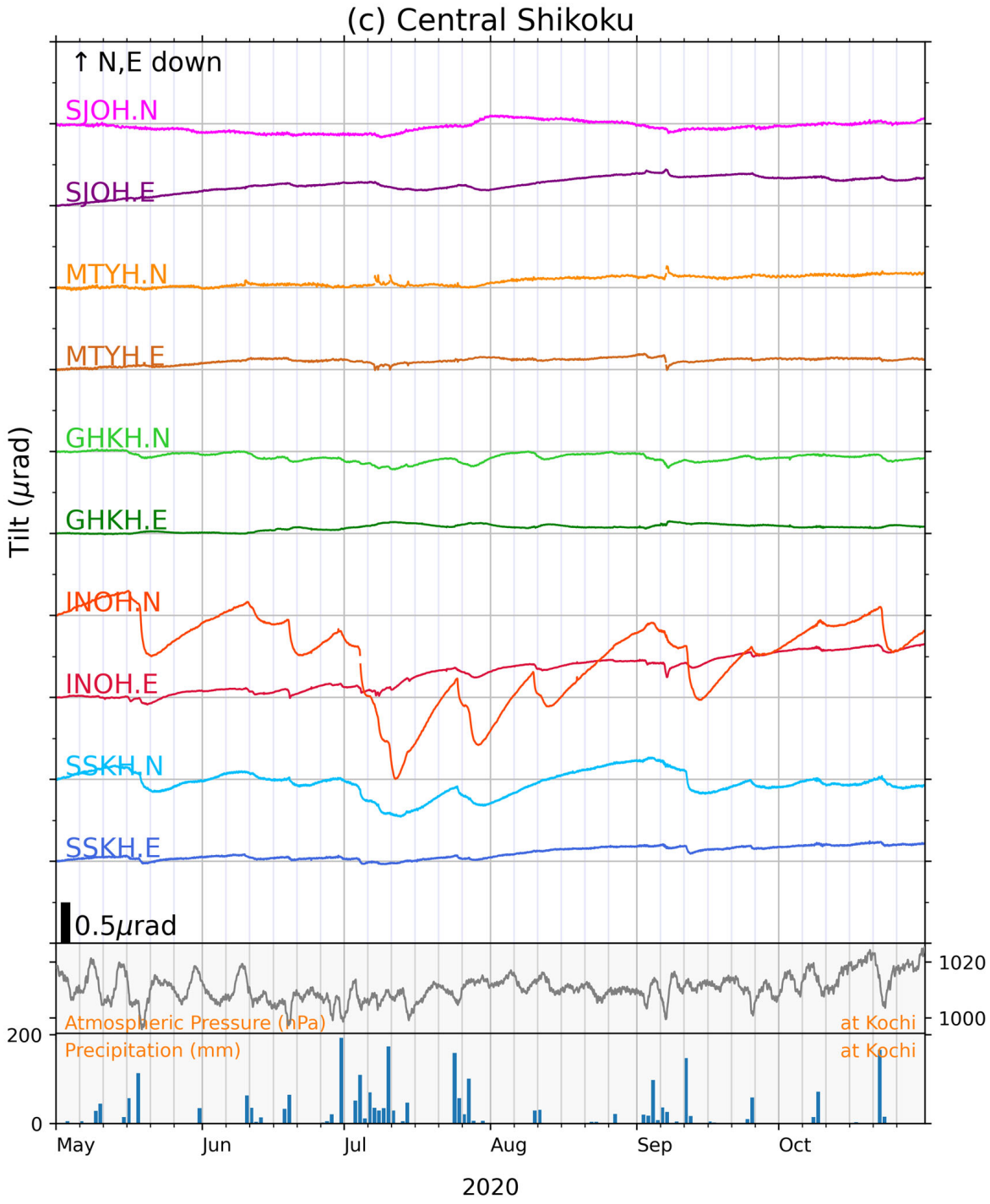


第 2 図 (a)　傾斜の時間値記録（四国北西部）及び気圧・日雨量（宇和島）.
Fig. 2 (a)　Hourly tilt record in northwest Shikoku, and atmospheric pressure and daily precipitation at Uwajima.

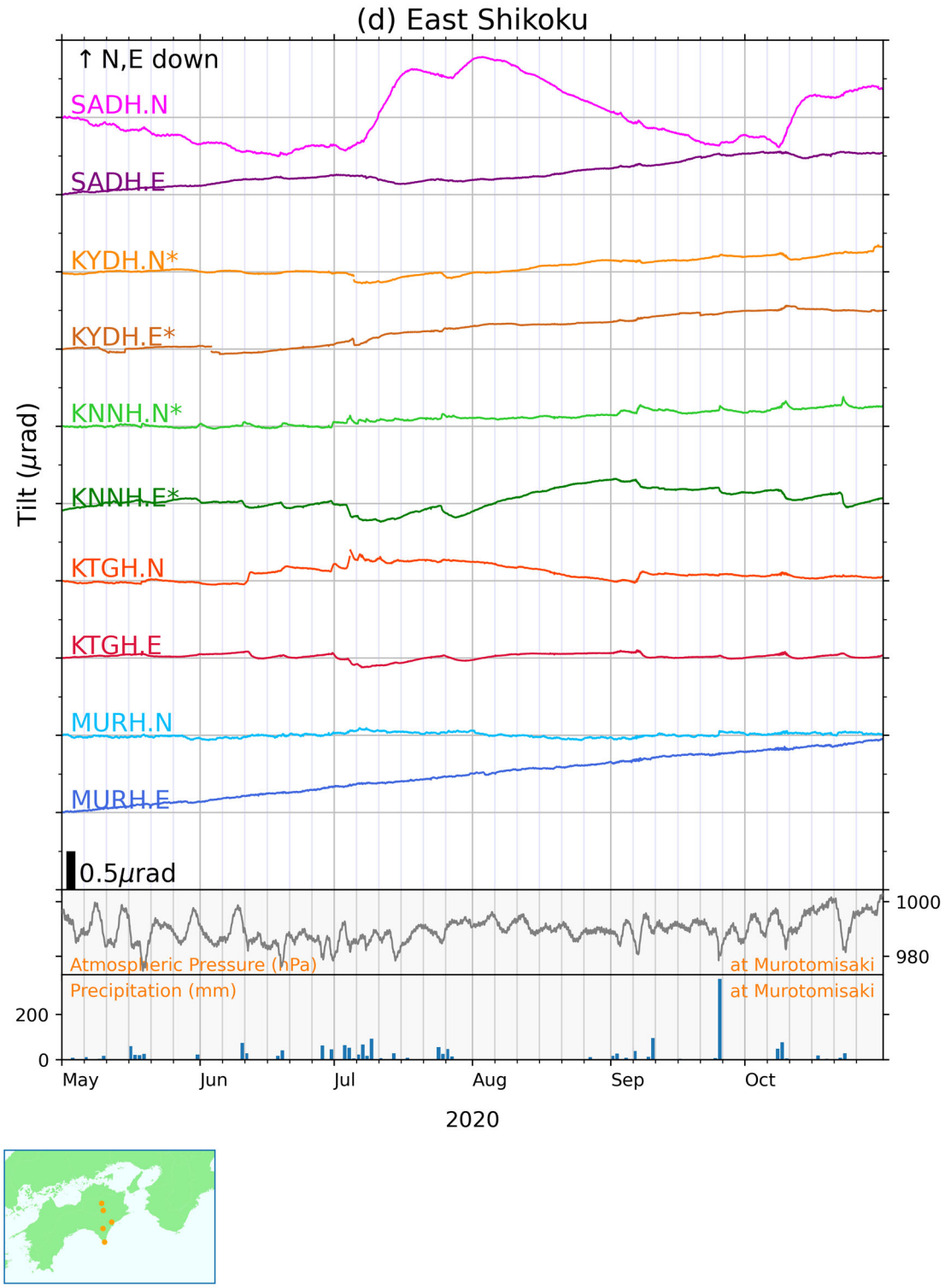


第 2 図 (b)　傾斜の時間値記録（四国南西部）及び気圧・日雨量（宿毛）．なお，星印が観測点名では直線補正が施されている．

Fig. 2(b)　Hourly tilt record in southwest Shikoku, and atmospheric pressure and daily precipitation at Sukumo. Linear detrend is applied to the channel of which code name ends with asterisk.

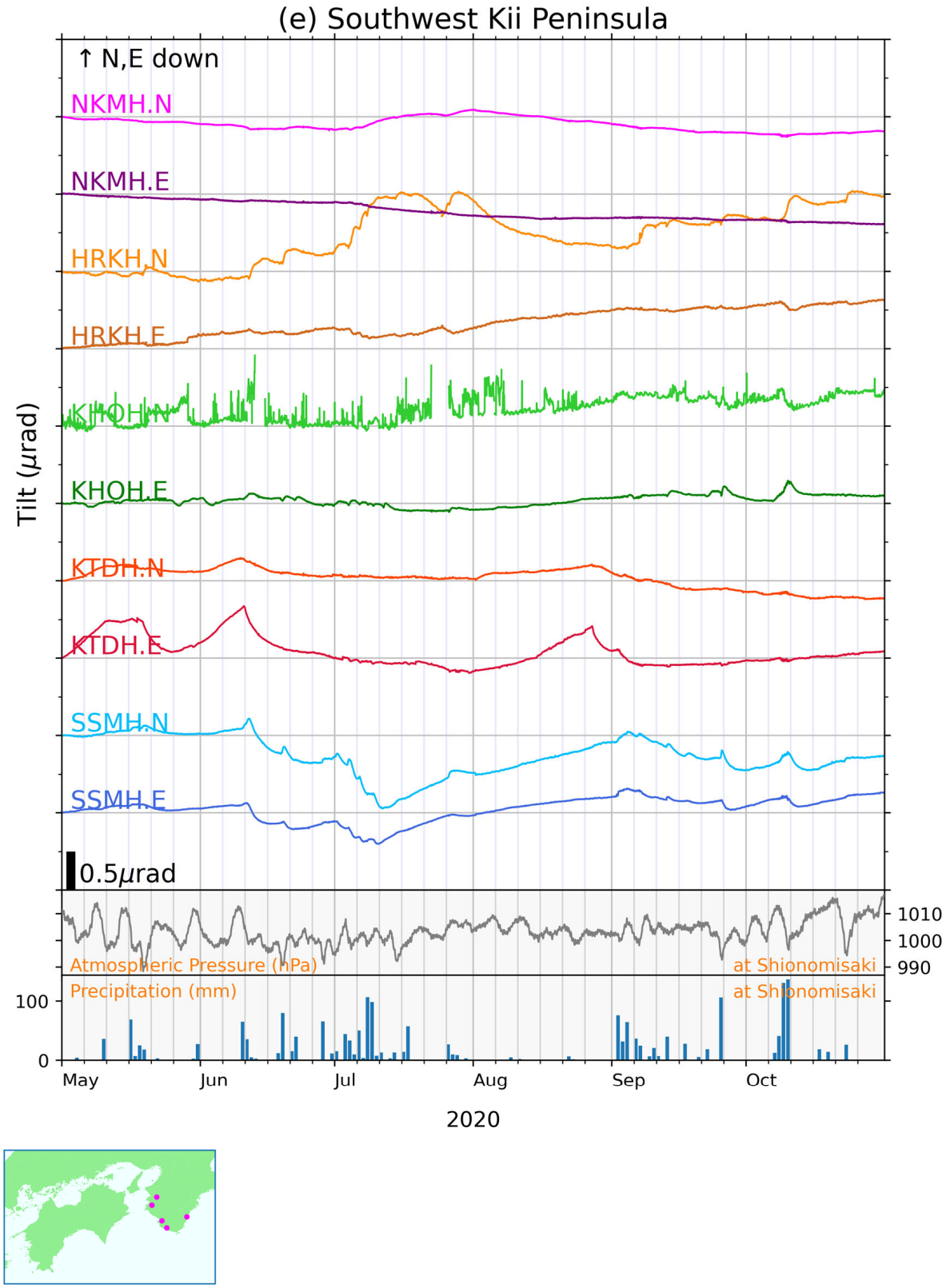


第 2 図 (c)　傾斜の時間値記録（四国中部）及び気圧・日雨量（高知）.
Fig. 2(c)　Hourly tilt record in central Shikoku, and atmospheric pressure and daily precipitation at Kochi.

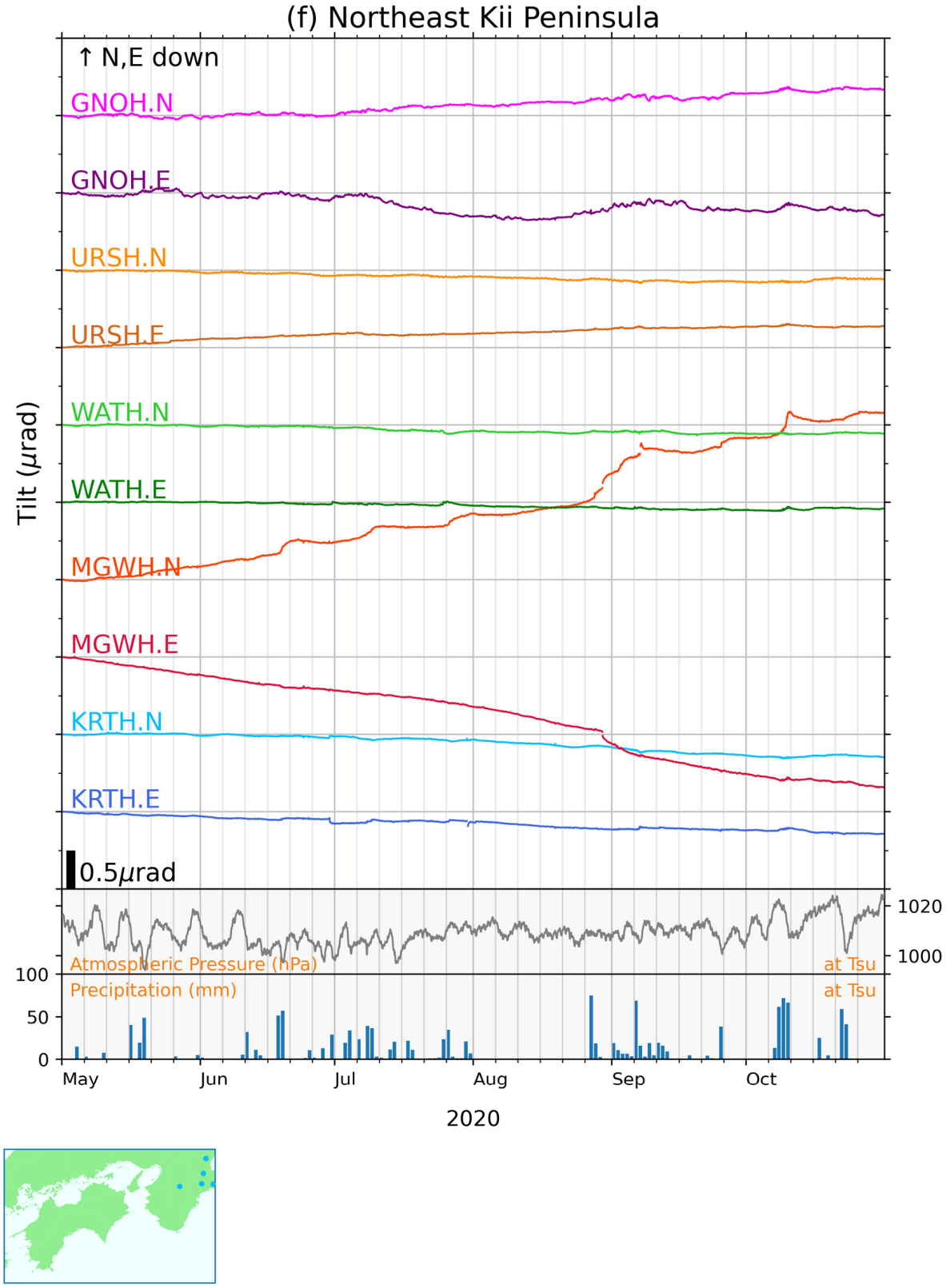


第 2 図 (d)　傾斜の時間値記録（四国東部）及び気圧・日雨量（室戸岬）．なお，星印が観測点名では直線補正が施されている．

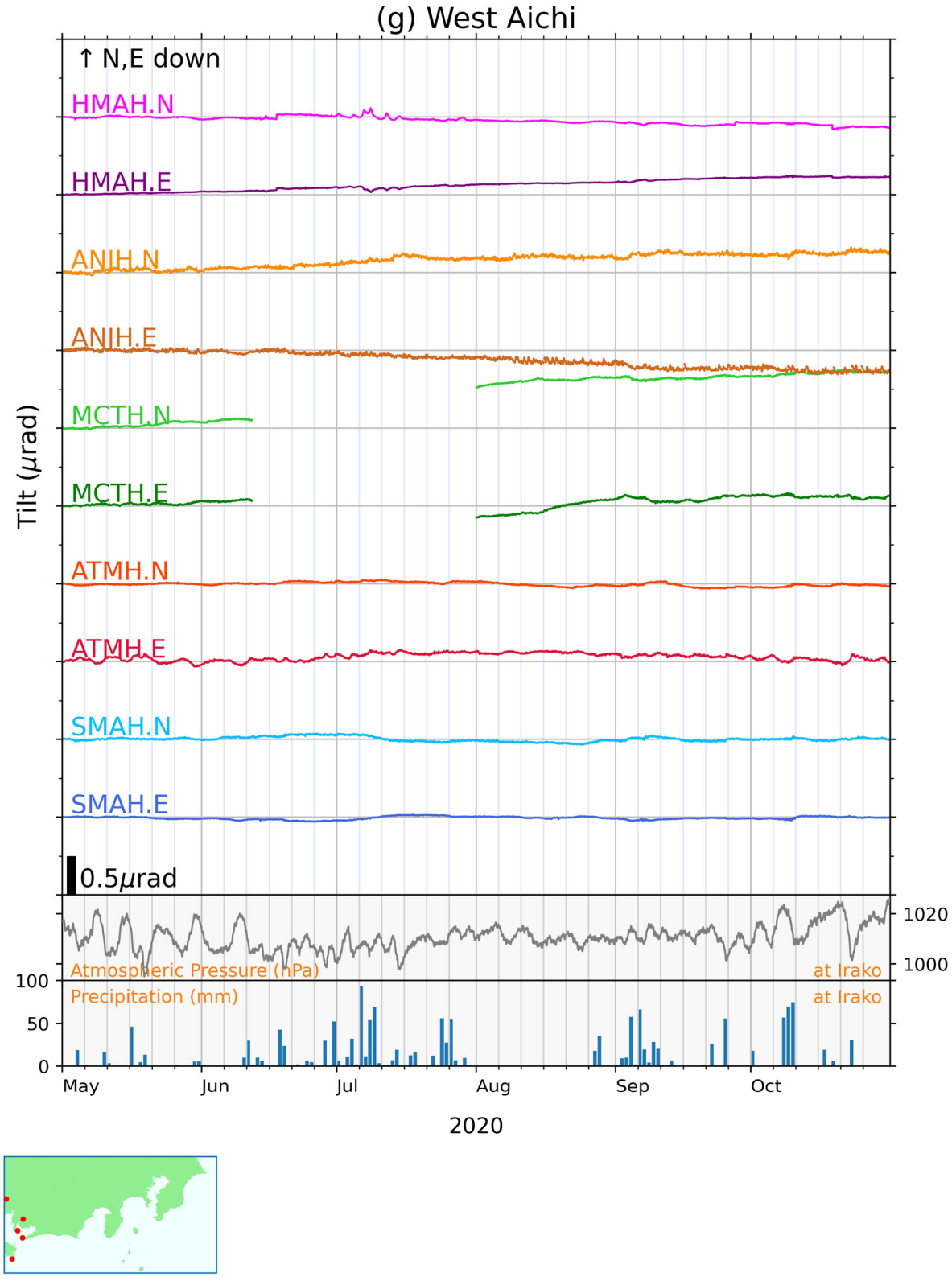
Fig. 2(d)　Hourly tilt record in east Shikoku, and atmospheric pressure and daily precipitation at Muroto-misaki. Linear detrend is applied to the channel of which code name ends with asterisk.



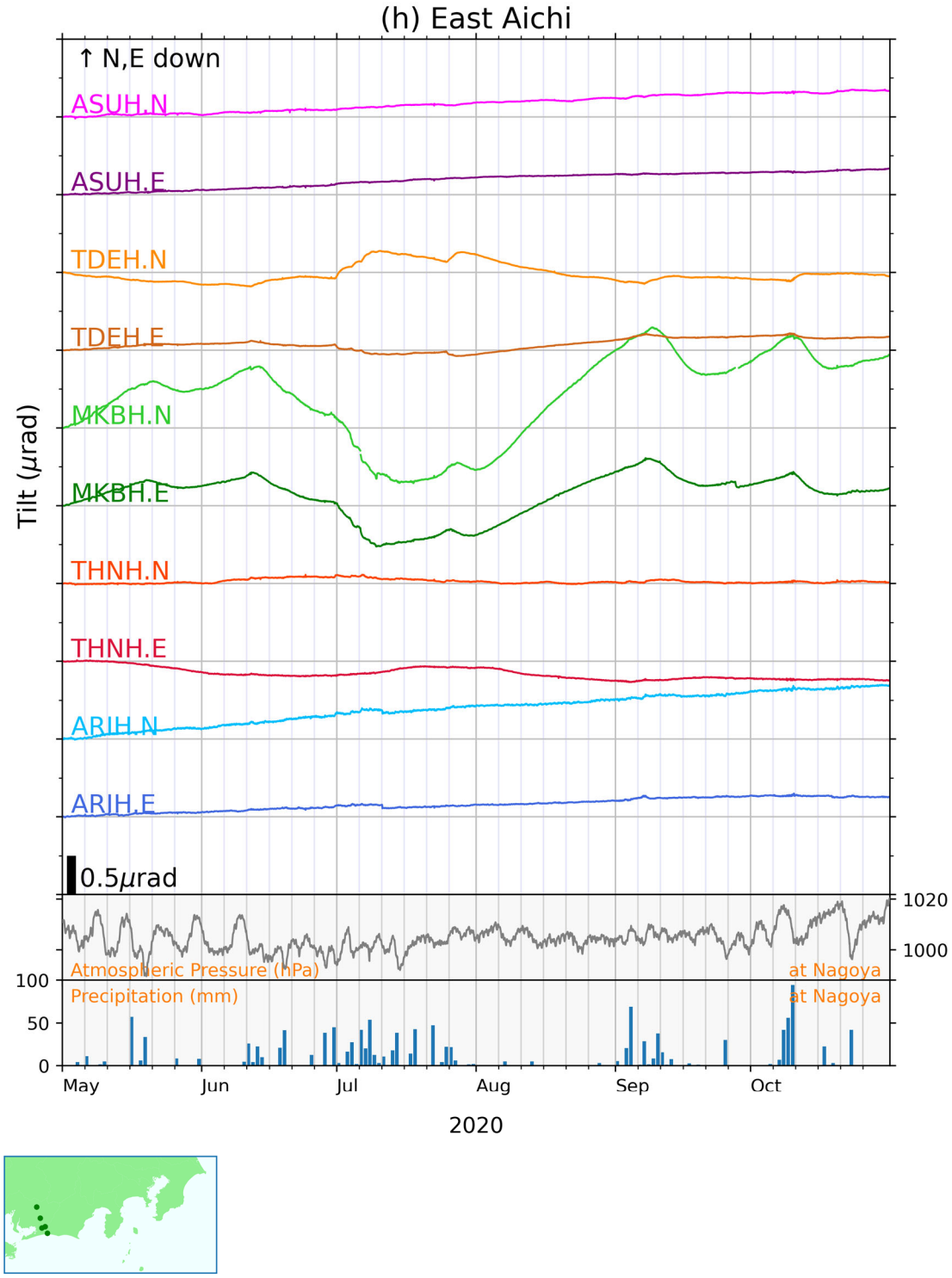
第 2 図 (e)　傾斜の時間値記録（紀伊半島南西部）及び気圧・日雨量（潮岬）.
Fig. 2(e)　Hourly tilt record in southwest Kii peninsula, and atmospheric pressure and daily precipitation at Shiono-misaki.



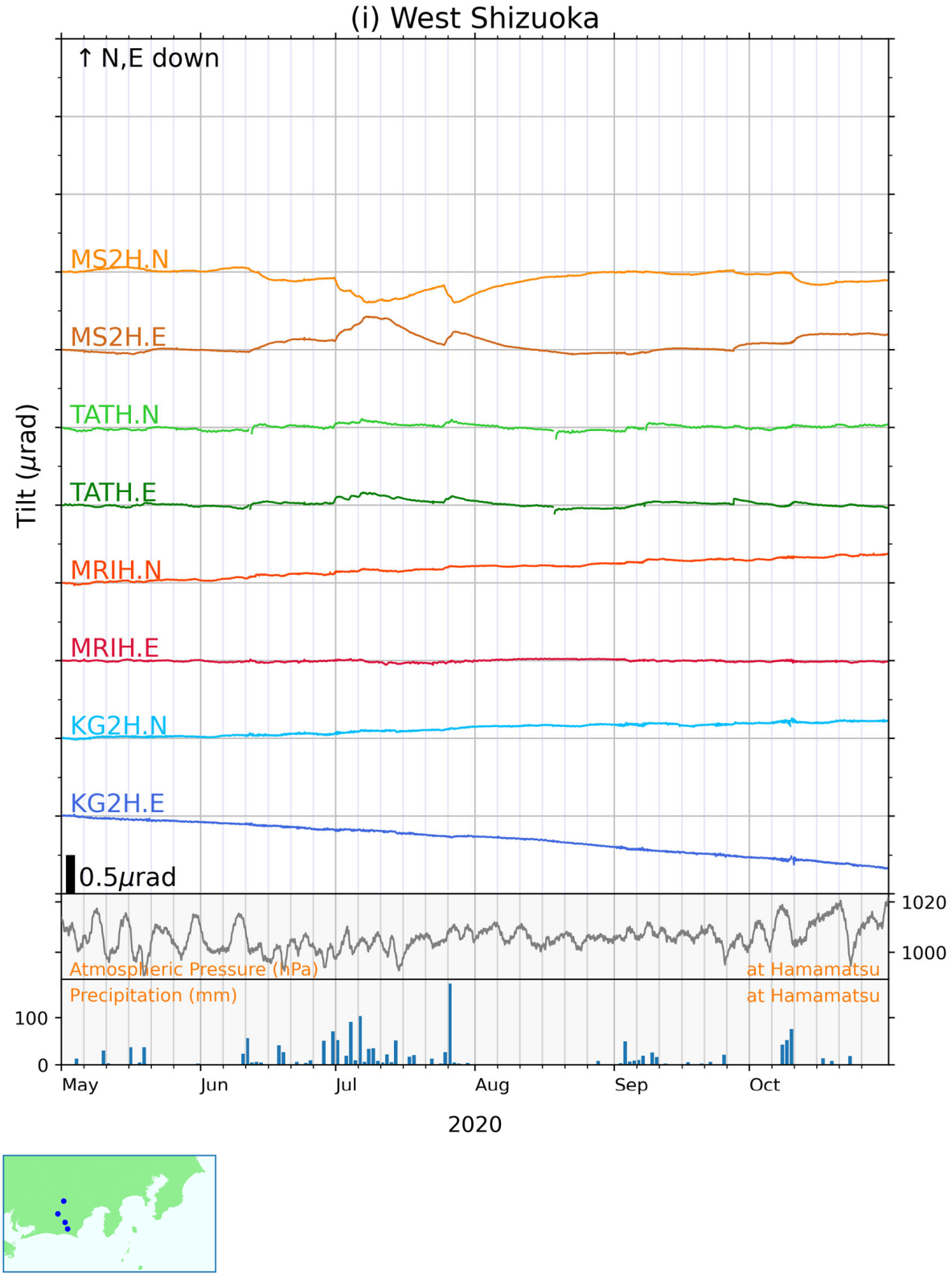
第 2 図 (f)　傾斜の時間値記録（紀伊半島北東部）及び気圧・日雨量（津）.
Fig. 2(f)　Hourly tilt record in northeast Kii peninsula, and atmospheric pressure and daily precipitation at Tsu.



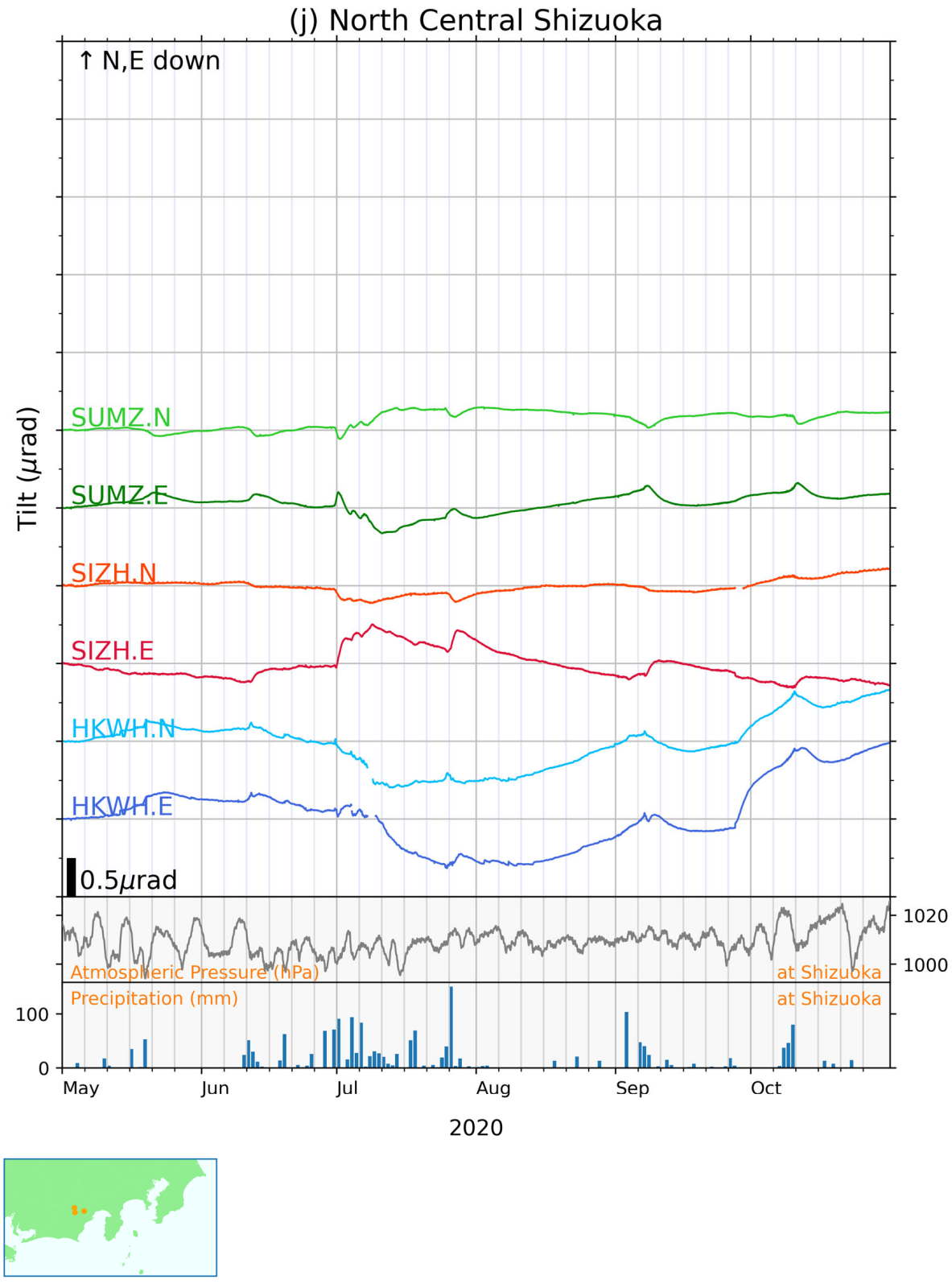
第 2 図 (g)　傾斜の時間値記録（愛知西部）及び気圧・日雨量（伊良湖）.
Fig. 2(g)　Hourly tilt record in west Aichi, and atmospheric pressure and daily precipitation at Irako.



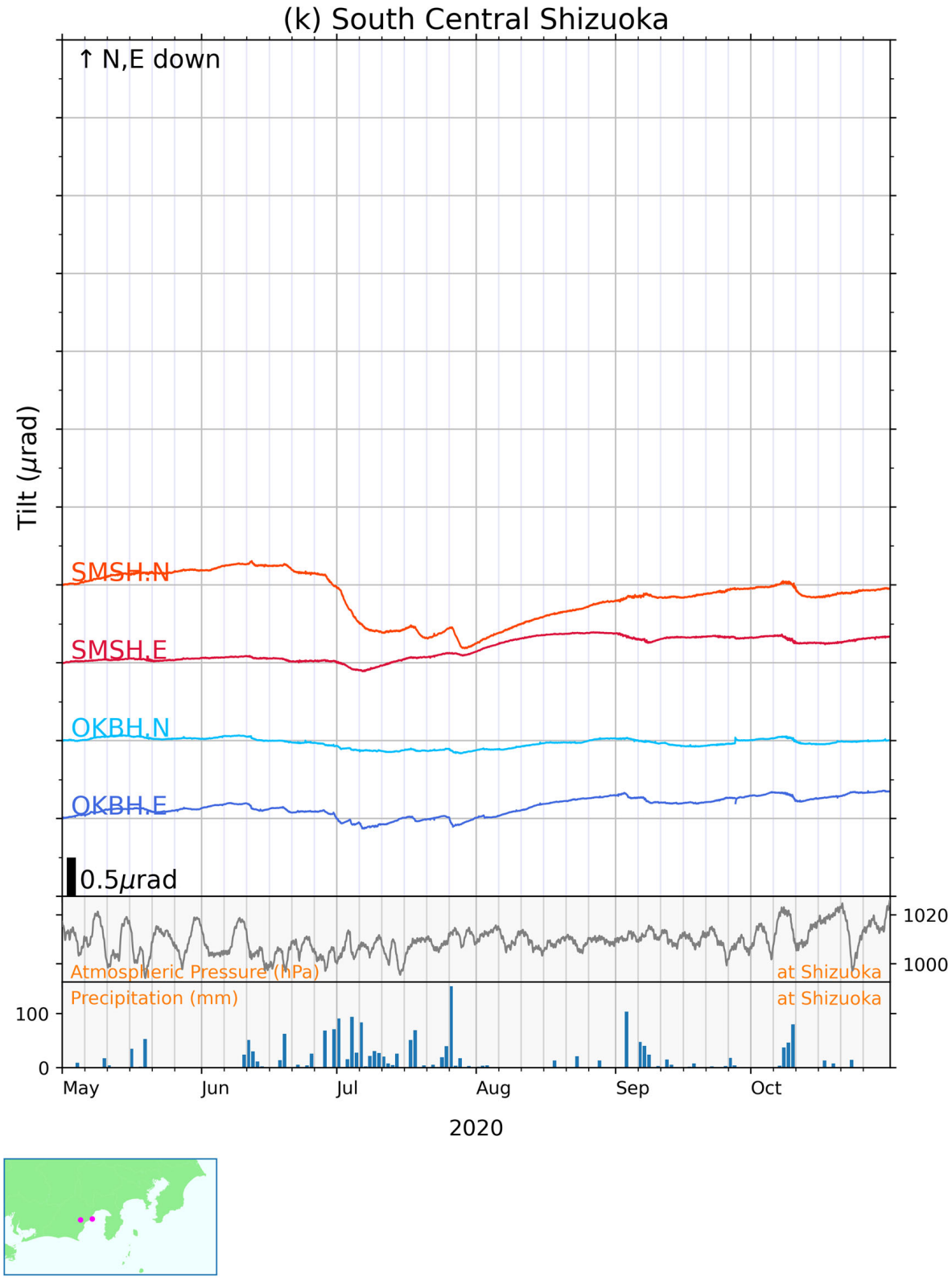
第 2 図 (h)　傾斜の時間値記録（愛知東部）及び気圧・日雨量（名古屋）.
Fig. 2(h)　Hourly tilt record in east Aichi, and atmospheric pressure and daily precipitation at Nagoya.



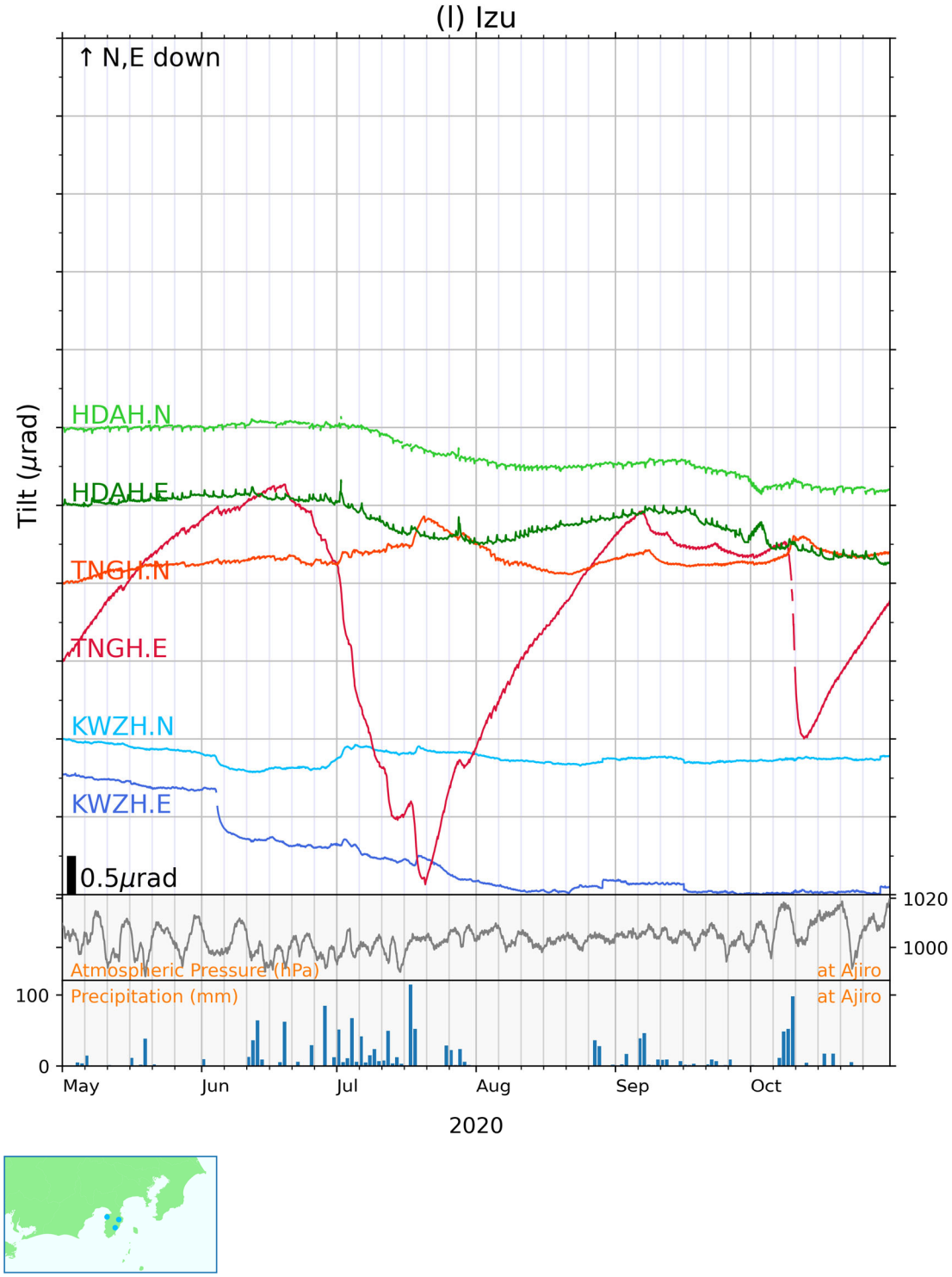
第 2 図 (i)　傾斜の時間値記録（静岡西部）及び気圧・日雨量（浜松）.
Fig. 2(i)　Hourly tilt record in west Shizuoka, and atmospheric pressure and daily precipitation at Hamamatsu.



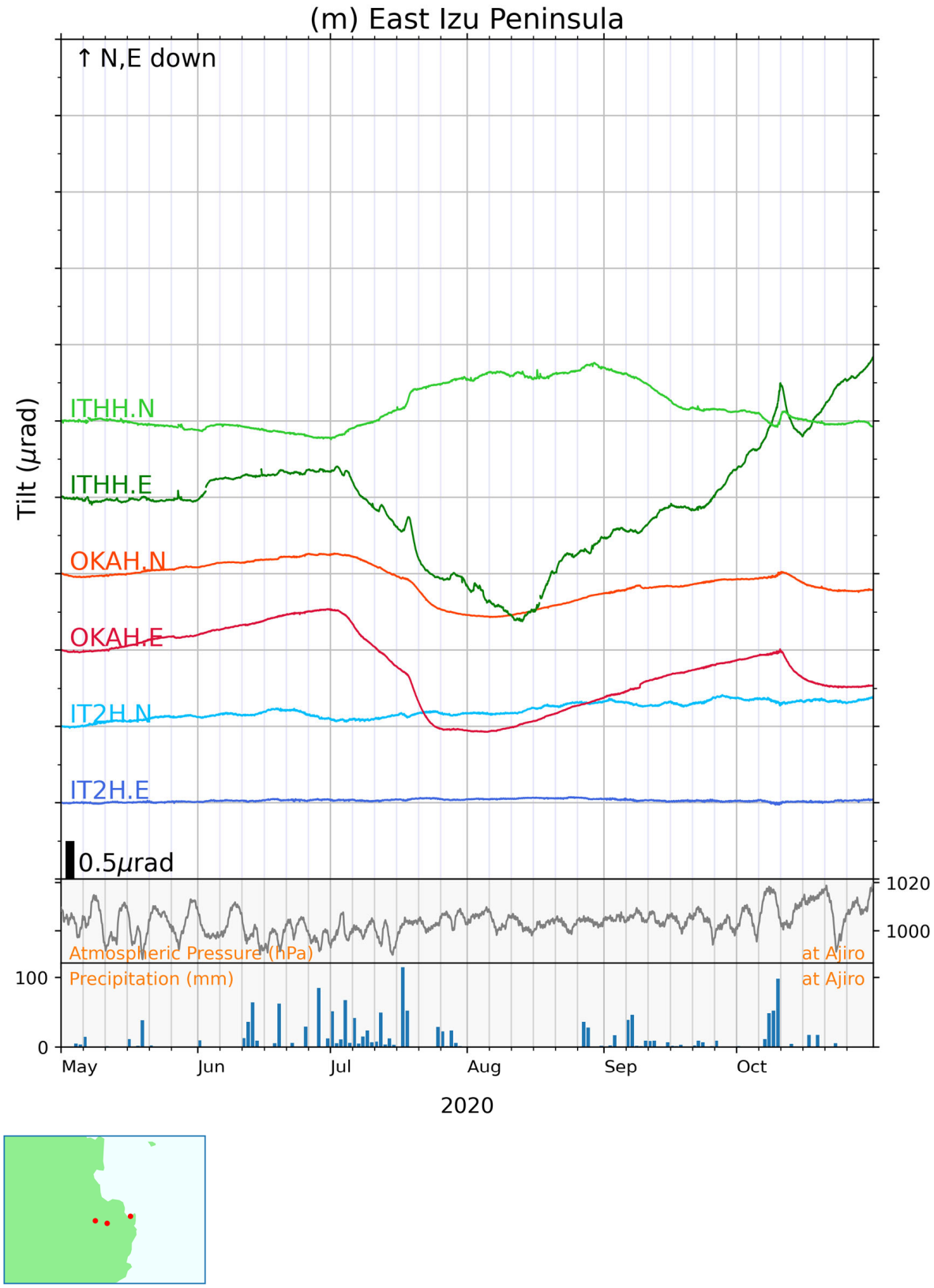
第 2 図 (j)　傾斜の時間値記録（静岡中北部）及び気圧・日雨量（静岡）.
Fig. 2(j)　Hourly tilt record in north-central Shizuoka, and atmospheric pressure and daily precipitation at Shizuoka.



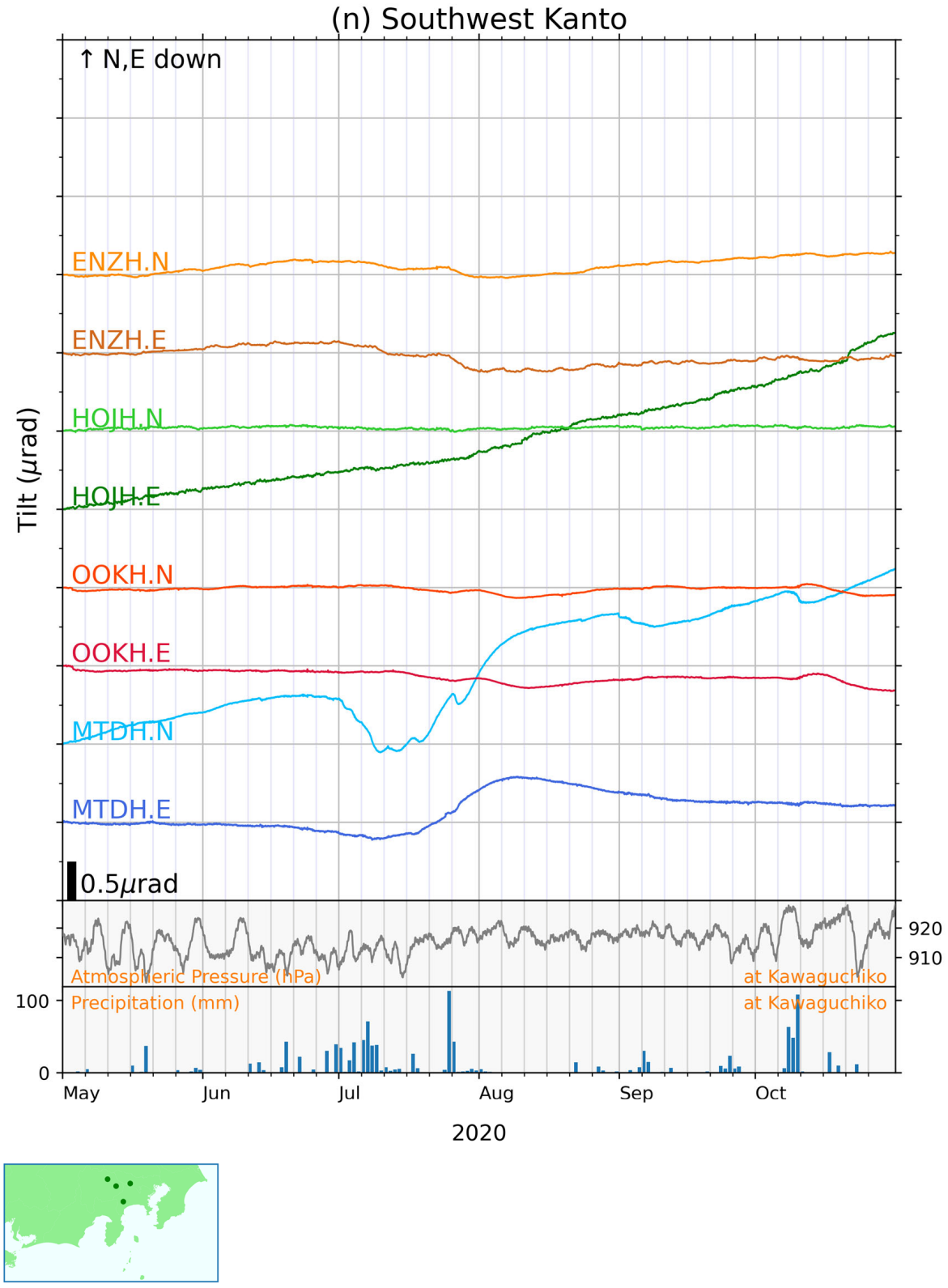
第 2 図 (k)　傾斜の時間値記録（静岡中南部）及び気圧・日雨量（静岡）.
Fig. 2(k)　Hourly tilt record in south-central Shizuoka, and atmospheric pressure and daily precipitation at Shizuoka.



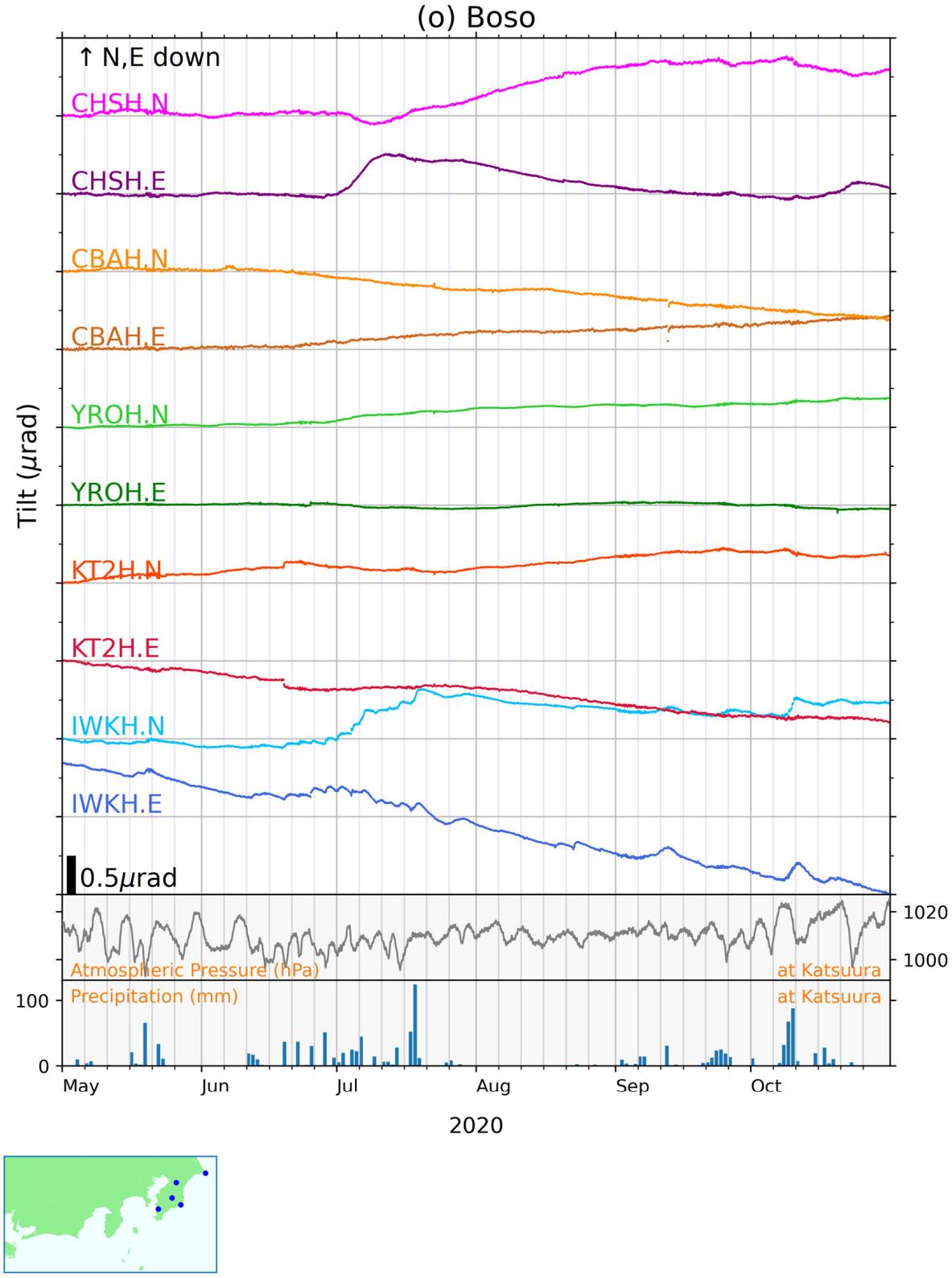
第 2 図 (l)　傾斜の時間値記録（伊豆）及び気圧・日雨量（網代）.
Fig. 2(l)　Hourly tilt record in Izu peninsula, and atmospheric pressure and daily precipitation at Ajiro.



第 2 図 (m)　傾斜の時間値記録（伊豆半島東部）及び気圧・日雨量（網代）.
Fig. 2(m)　Hourly tilt record in east Izu peninsula, and atmospheric pressure and daily precipitation at Ajiro.



第 2 図 (n)　傾斜の時間値記録（関東南西部）及び気圧・日雨量（河口湖）.
Fig. 2(n)　Hourly tilt record in southwest Kanto, and atmospheric pressure and daily precipitation at Kawaguchiko.



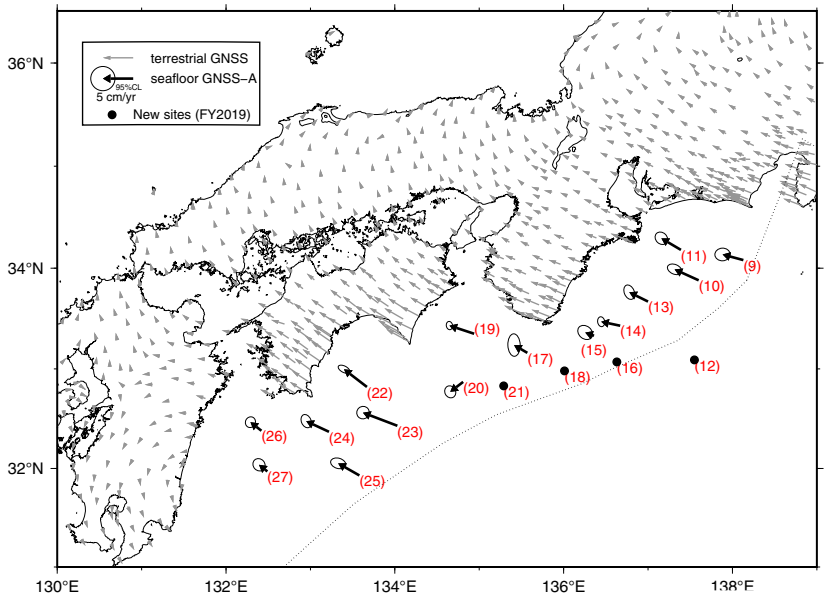
第 2 図 (o)　傾斜の時間値記録（房総）及び気圧・日雨量（勝浦）.
Fig. 2(o)　Hourly tilt record in Boso, and atmospheric pressure and daily precipitation at Katsuura.

８－５　南海トラフ沿いの海底地殻変動観測結果
Seafloor movements along the Nankai Trough observed by seafloor geodetic observations

海上保安庁
Japan Coast Guard

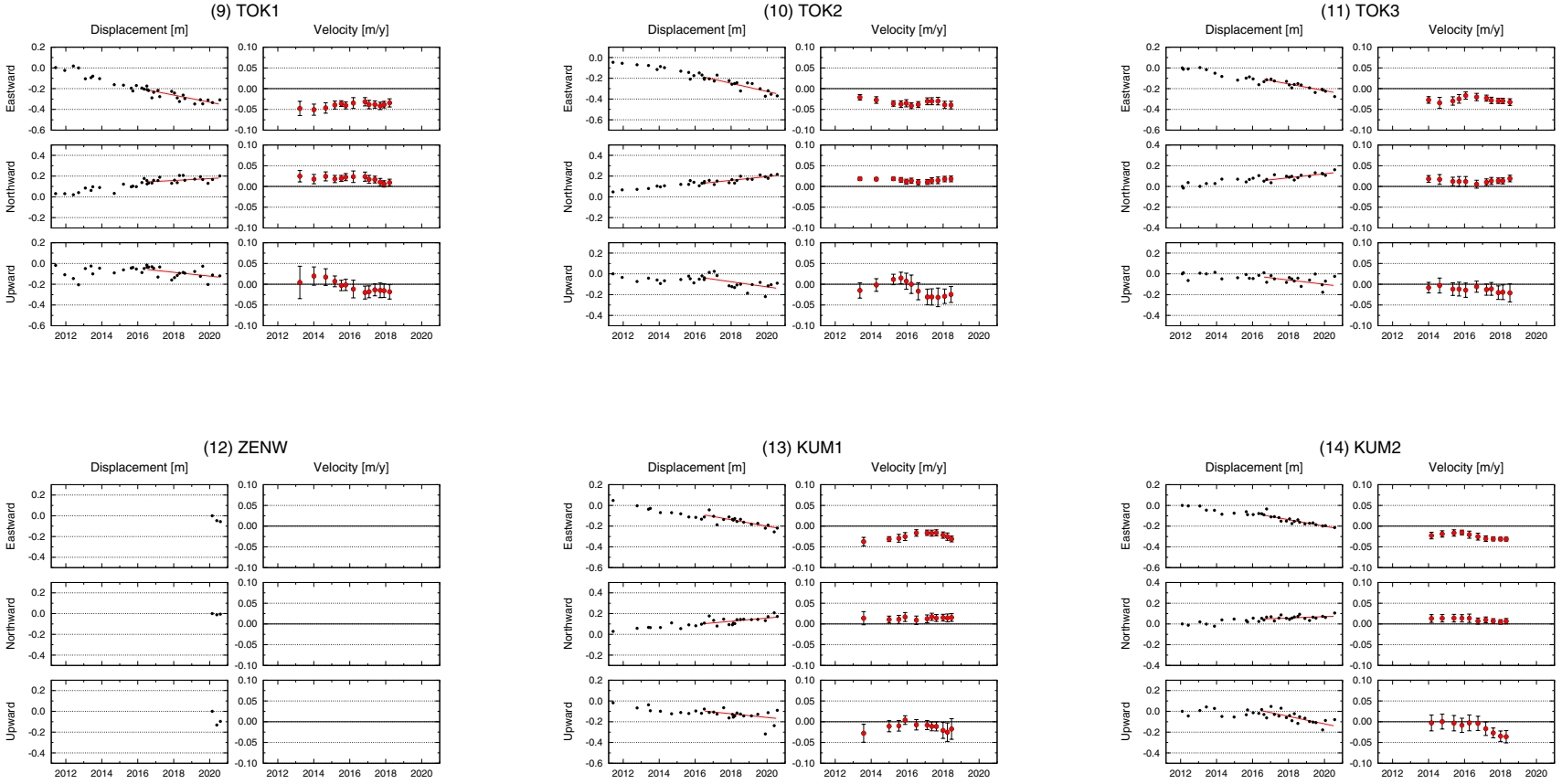
海上保安庁では，南海トラフ巨大地震の想定震源域近傍での固着状態ならびに地殻変動を把握するため，南海トラフ沿いにおいて，海底地殻変動観測を実施している．第１図に，最近約４年間の観測結果を示す．海底の移動速度は，観測結果をロバスト回帰したものである．陸上の移動速度は国土地理院 GEONET の同一期間の F3 解を線形回帰したものである．第２図には，変位及び変位速度（4.1 年の移動時間窓でのロバスト回帰）の時系列を示す．

Site name	Lat. (°N)	Lon. (°E)	Velocity (cm/yr)	(deg)	Period	Data
(9) TOK1	34.08	138.13	3.6	285.2	07/02/2016 - 07/23/2020	19
(10) TOK2	33.88	137.60	4.4	294.6	07/01/2016 - 07/23/2020	17
(11) TOK3	34.18	137.39	3.8	300.7	08/19/2016 - 07/24/2020	16
(12) ZENW	33.09	137.55	-	-	02/20/2020 - 08/03/2020	3
(13) KUM1	33.67	137.00	3.5	296.5	07/04/2016 - 07/24/2020	18
(14) KUM2	33.43	136.67	3.2	282.0	07/03/2016 - 07/24/2020	20
(15) KUM3	33.33	136.36	1.5	290.5	07/03/2016 - 07/26/2020	23
(16) KUM4	33.08	136.64	-	-	02/21/2020 - 08/03/2020	3
(17) SIOW	33.16	135.57	2.5	300.3	10/11/2016 - 07/27/2020	18
(18) SIO2	32.98	135.99	-	-	-	2
(19) MRT1	33.35	134.94	4.3	288.4	04/25/2016 - 05/24/2020	24
(20) MRT2	32.87	134.81	2.7	232.5	04/25/2016 - 05/24/2020	25
(21) MRT3	32.80	135.35	-	-	08/10/2019 - 08/02/2020	6
(22) TOS1	32.82	133.67	4.8	307.7	06/27/2016 - 07/29/2020	20
(23) TOS2	32.43	134.03	6.1	291.0	08/12/2016 - 08/01/2020	20
(24) ASZ1	32.37	133.22	4.2	295.1	06/27/2016 - 07/28/2020	23
(25) ASZ2	31.93	133.58	4.0	299.8	07/01/2016 - 07/31/2020	22
(26) HYG1	32.38	132.42	2.3	308.1	06/25/2016 - 07/28/2020	23
(27) HYG2	31.97	132.49	1.8	308.8	06/26/2016 - 07/28/2020	24
GEONET					08/01/2016 - 08/01/2020	



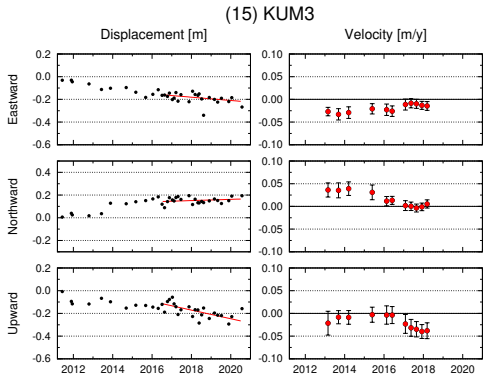
第 1 図　南海トラフ沿いの海底の水平地殻変動
（直近約 4 年間の移動速度）【アムールプレート固定】

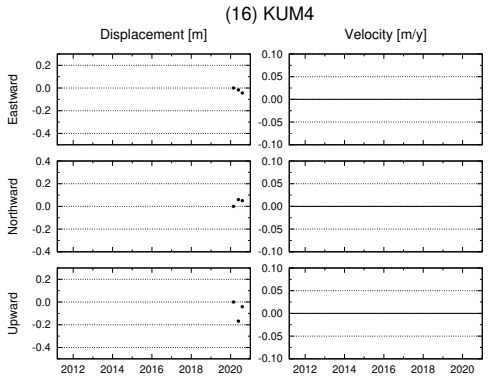
Fig. 1　Horizontal seafloor crustal movements along the Nankai Trough in recent 4 years with respect to the stable part of the Amur plate.

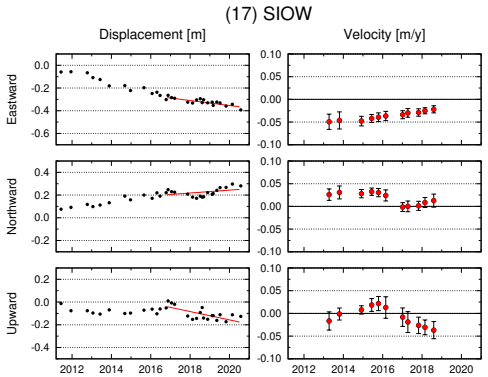


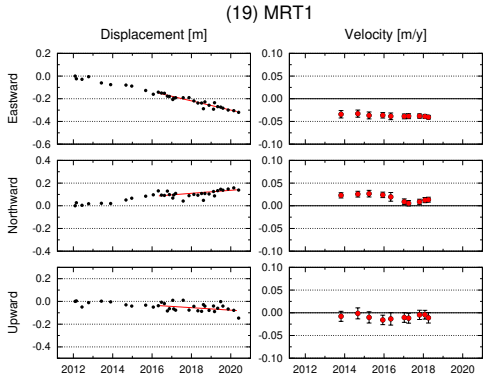
第 2 図　GNSS-A 観測時系列【アムールプレート固定】
※　各図の右列は ,4.1 年の時間窓による回帰直線から求めた変動速度
※　縦のバーは速度推定の 95% 信頼区間
Fig. 2　GNSS-A time series data with respect to the stable part of the Amur plate.
※　Plots on the right columns indicate velocitie

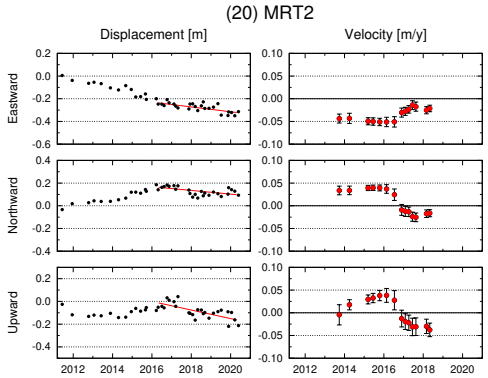
地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行

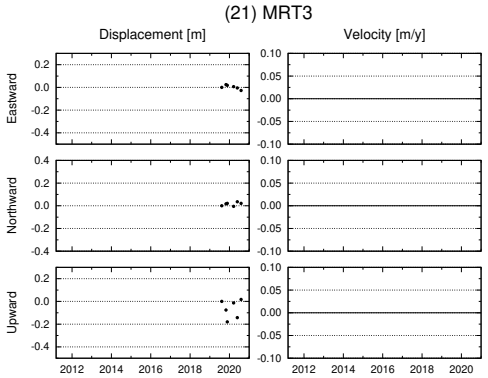




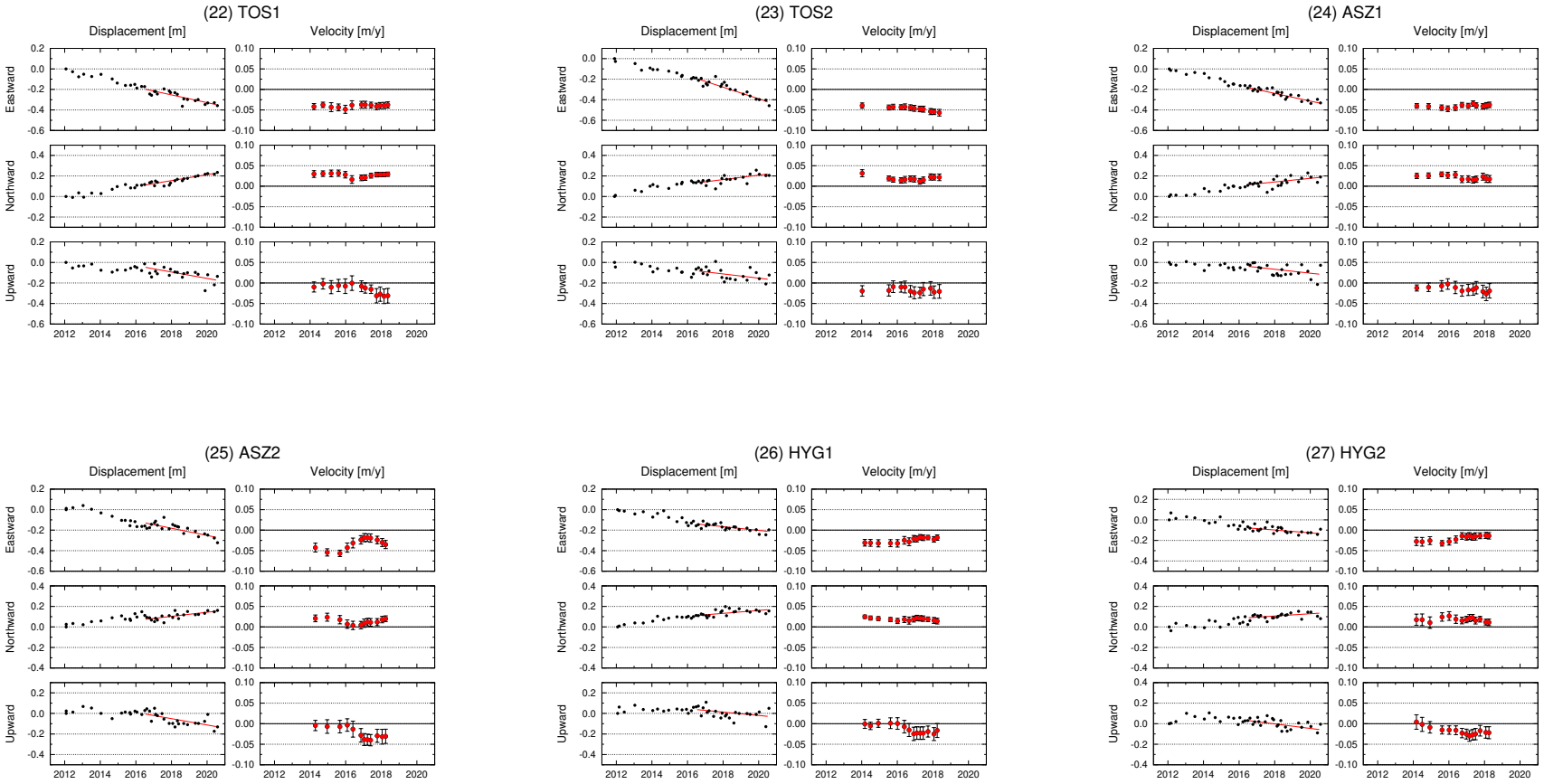








第 2 図　GNSS-A 観測時系列【アムールプレート固定】
※　各図の右列は ,4.1 年の時間窓による回帰直線から求めた変動速度
※　縦のバーは速度推定の 95% 信頼区間
Fig. 2　GNSS-A time series data with respect to the stable part of the Amur plate（continued）.



第 2 図　GNSS-A 観測時系列【アムールプレート固定】
※　各図の右列は ,4.1 年の時間窓による回帰直線から求めた変動速度
※　縦のバーは速度推定の 95% 信頼区間
Fig. 2　GNSS-A time series data with respect to the stable part of the Amur plate (continued).

地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行

８－６　南海トラフ沿いの長期的スロースリップの客観検知
Objective detection of long-term slow slip events along the Nankai Trough

気象庁気象研究所
Meteorological Research Institute, JMA

GNSS データを用いて南海トラフ沿いの長期的スロースリップ（SSE）による地殻変動を客観的に検知した．手法は Kobayashi（2017）[1] と同様で，期間のみを延長した．手法について簡潔に書くと以下の通りである．データは国土地理院 GEONET の GNSS 座標値 F3 解を使用した．GNSS 座標値データからは GEONET 観測点のアンテナ交換などに伴うオフセットと主な地震に伴うオフセット，年周・半年周成分を除いた．長期的 SSE の影響がほぼ見られない中国地方の観測点の共通ノイズを全点から引き去り，中国地方全体を固定する．各観測点の水平成分からフィリピン海プレート沈み込みと逆方向（S55E）の成分を計算し，南海トラフ沿いのプレート等深線 25 km に沿って設定した経度 0.1 度間隔の地点を中心とする 50 × 100 km の矩形範囲内の各観測点の成分の平均値を求めた．さらに 2004 年三重県南東沖の地震（M7.4），2011 年東北地方太平洋沖地震（M9.0 ），および 2016 年熊本地震（M7.3）の余効変動を除去した．求めた地点ごとの時系列と 1 年の傾斜期間を持つランプ関数との相互相関と，対象期間前後の変化量を求めた．なお処理の仕様上，最新期間については，今後データ追加に伴い解析結果が変わる可能性がある．

非定常変位を示す相関係数 0.6 以上，変化量 2 mm 以上について第 1 図に色を付けて示す．図に示された高相関の時空間分布は，変動源自体ではなく変化が見られた範囲を意味している．高相関の分布はこれまでに知られている長期的 SSE による非定常変位とよく対応している．

2017 年春から 2018 年秋にかけて志摩半島付近の長期的 SSE2) に伴う高相関値があり，その後も 2020 年春まではやや高い値が同地域で継続していた．第 2 図の志摩半島の各点と北西方向との地点との基線長変化を見ると，2017 ～ 2018 年の伸びが一度収まった後，2019 年半ばから再び伸びている様子が見られるが，最近は落ち着いている．

2019 年に四国中部でやや相関が高くなっている．同時期に発生している豊後水道付近の長期的 SSE による変位が四国中部にも及んでいる．これを簡易的に除去するため，2010 年の豊後水道長期的 SSE 時の変位を差し引くと，四国中部に南東向きの非定常変位が見られる（第 3 図）．第 3c 図の矩形範囲内の変位から推定されたプレート境界上のすべり分布を第 4 図に示す．四国中部にすべりの中心があり，規模は Mw6.1 相当である．

また，第 5 図に 2 年間あたりの変化量から推定した長期的スロースリップのモーメントマグニチュード Mw 分布を示す．上記同様の経度 0.1 度間隔の地点を中心としたプレート境界上の矩形断層に一定のすべりを与え，その地点に対応する地表の矩形範囲内の各観測点の理論変位の平均を求めた．2 年間の観測変化量が大きい／小さい場合でも，すべりの範囲は理論範囲を計算した矩形断層にあると仮定すると，矩形断層でのすべり量と観測変化量は比例関係にあるため，2 年間の観測変化量から 2 年あたりのすべり量を求め，対応する Mw を算出した．継続期間の長い東海地域 T1 など一部を除き，観測値から個別に推定された規模との差は概ね Mw0.2 以内に収まっている．

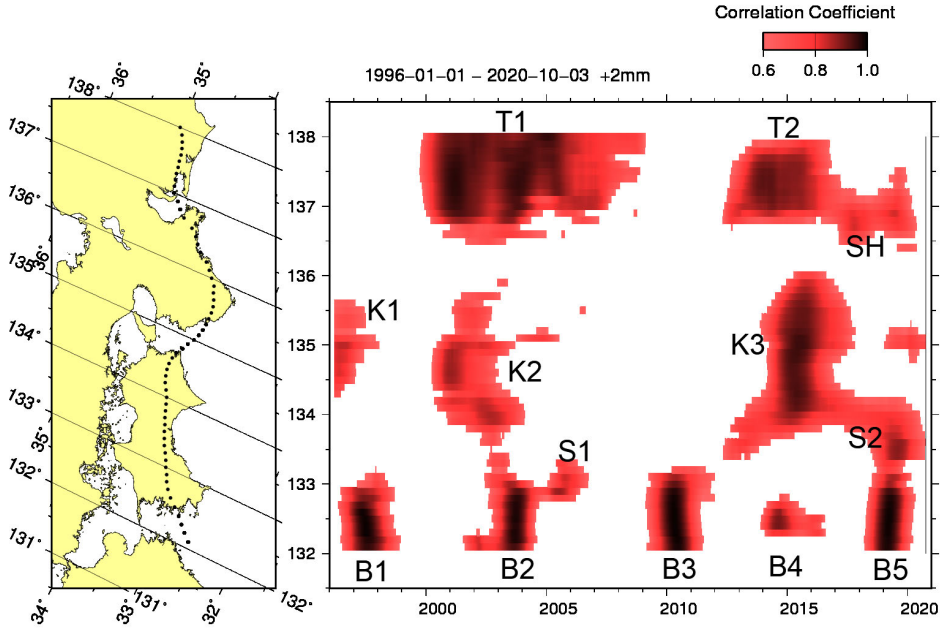
謝辞

調査には国土地理院 GEONET の GNSS 座標値データ，アンテナ交換等のオフセット量を使用させていただきました.

参考文献

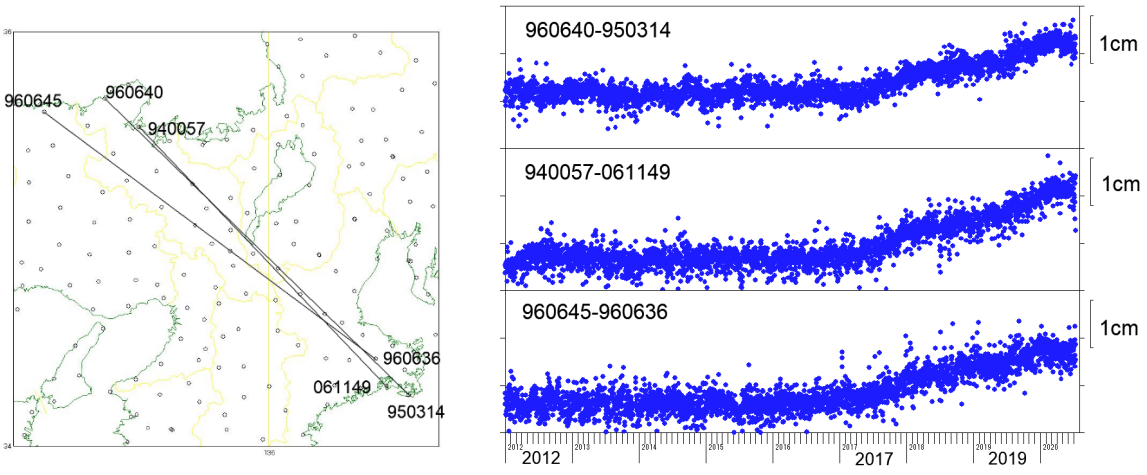
1） Kobayashi(2017), *Earth Planets Space*, **69**, 171.

2） Kobayashi, A. and T. Tsuyuki(2019), *Earth Planets Space,* **71**, 60.



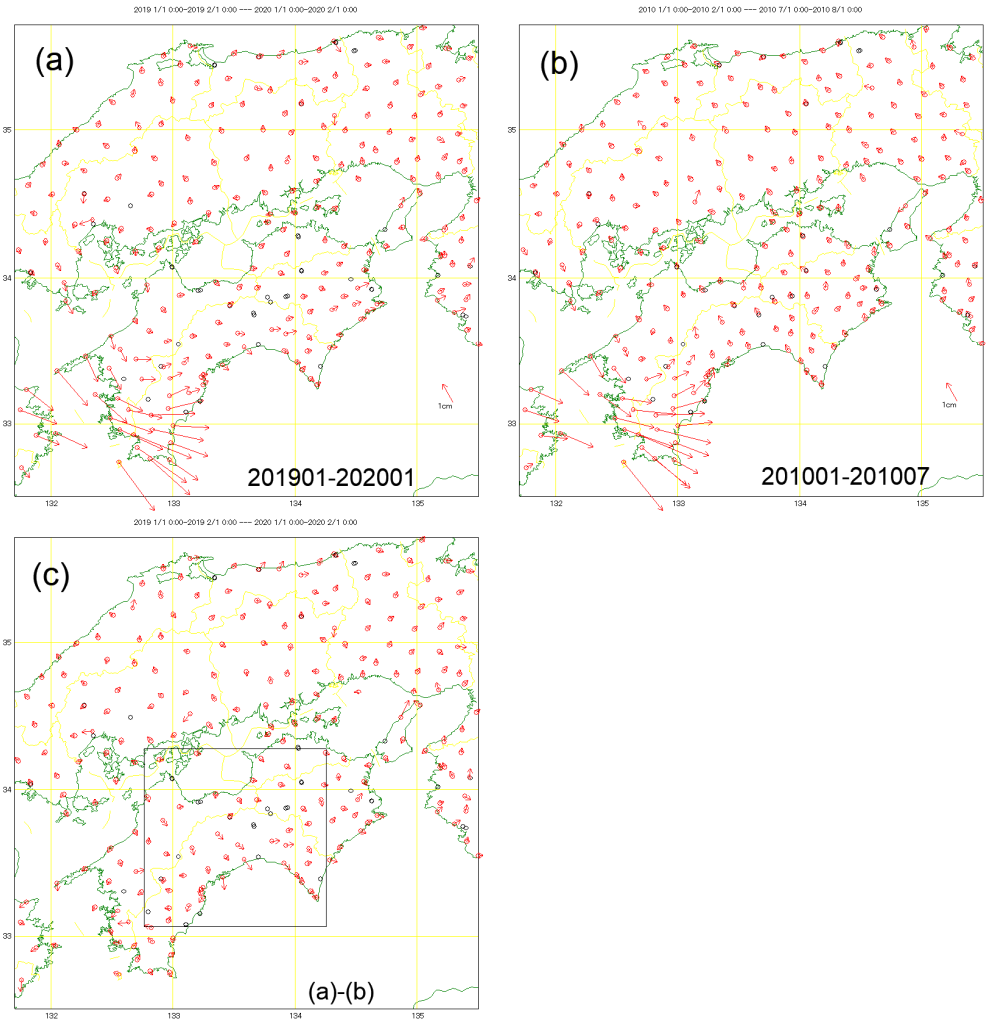
第 1 図　長期的スロースリップ客観検知図（1996 年から 2020 年 10 月）
右端の縦線は最新データ日を示す.
T1: 東海 2000 ～ 2005 年，T2: 東海 2013 ～ 2016 年
SH: 志摩半島 2017 ～ 2018 年，2019 ～ 2020 年
K1: 紀伊水道 1996 ～ 1997 年，K2: 紀伊水道 2000 ～ 2002 年，K3: 紀伊水道 2014 ～ 2016 年
S1: 四国西部 2005 年，S2: 四国中部 2019 年
B1: 豊後水道 1997 ～ 1997 年，B2: 豊後水道 2003 年，B3: 豊後水道 2010 年，B4: 豊後水道 2014 年，B5: 豊後水道 2018 ～ 2019 年

Fig. 1　Spatiotemporal distribution of unsteady displacements caused by the long-term slow slip events. The rightmost vertical line indicates the latest data date.
T1: Tokai 2000 – 2005, T2: Tokai 2013 – 2016
SH: Shima Peninsula 2017 – 2018, 2019 – 2020
K1: Kii Channel 1996 – 1997, K2: Kii Channel 2000 – 2002, K3: Kii Channel 2014 – 2016
S1: Western Shikoku 2005, Central Shikoku 2019
B1: Bungo Channel 1997 – 1997, B2: Bungo Channel 2003, B3: Bungo Channel 2010, B4: Bungo Channel 2014, 5: Bungo Channel 2018 – 2019.



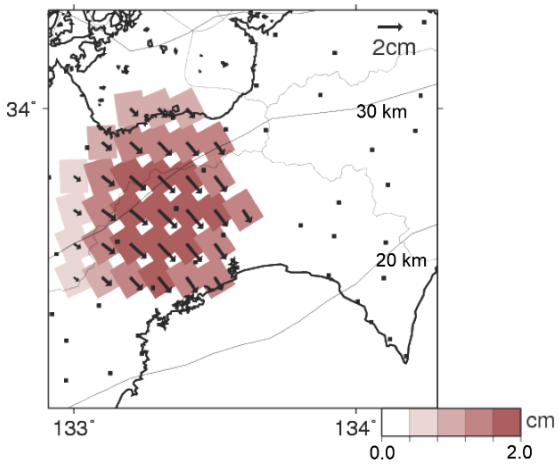
第 2 図　基線長変化（2012 年 1 月から 2020 年 7 月，直線トレンド・年周除去）

Fig. 2　Time series variation of baseline length.



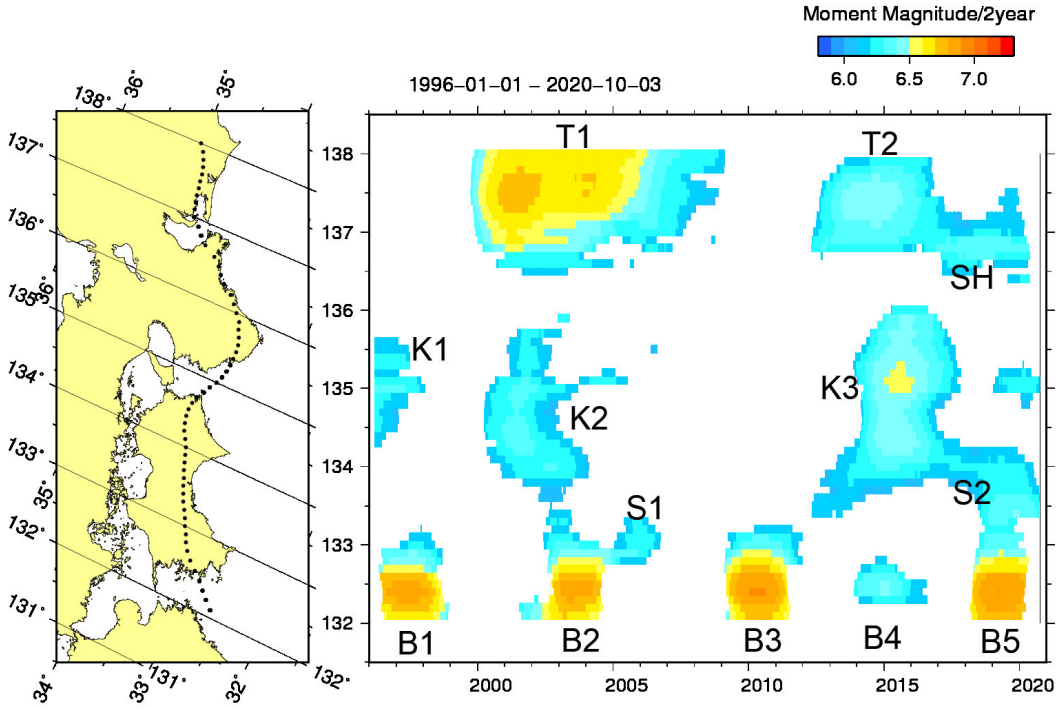
第 3 図　四国地方の非定常変位　（a）2019 年 1 月～ 2020 年 1 月，（b）2010 年 1 月～ 2010 年 7 月，（c）（a）から（b）を引いた差．矩形範囲は第 4 図の解析に用いたデータの範囲．

Fig. 3　Unsteady displacemen t of the Shikoku district. (a) January 2019 to January 2020, (b) January 2010 to July 2010, (c) Difference between (a) minus (b). Rectangle is the range of data used for the analysis in Fig. 4.



第 4 図　推定されたプレート境界上のすべり分布（Mw 6.1 相当）

Fig. 4　Estimated slip distribution on the plate interface.



第 5 図　長期的スロースリップの規模分布（1996 年から 2020 年 10 月）
2 年間あたりの変化量から推定したモーメントマグニチュード．イベントの略号は第 1 図と同じ．
Fig. 5　Moment magnitude distribution of long-term slow slip events. The event abbreviations are the same as in Fig. 1.

８－７　内陸部の地震空白域における地殻変動連続観測
Continuous Observations of Crustal Deformations in and around Intraplate Seismic Gaps

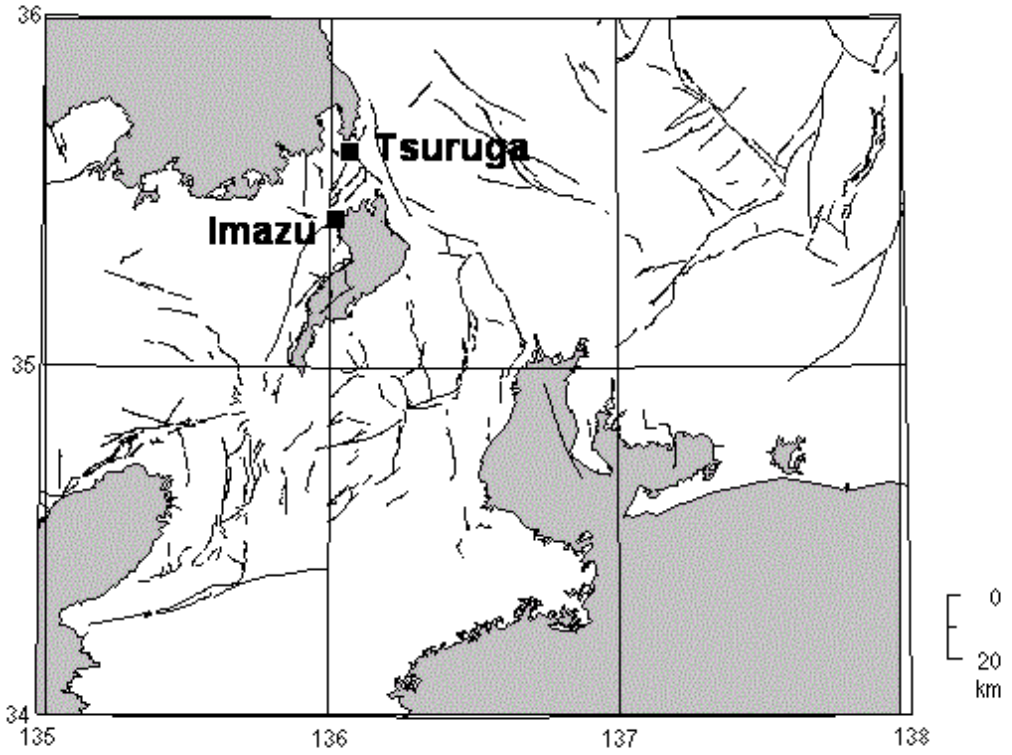
気象庁気象研究所
Meteorological Research Institute, JMA

気象研究所では, いわゆる「内陸部の地震空白域」の調査研究のため, 近畿地方の今津（滋賀県高島市, 35° 25′ 28″ N, 136° 00′ 42″ E）及び敦賀（福井県敦賀市 35° 37′ 16″ N, 136° 04′ 02″ E）に石井式三成分ひずみ計・傾斜計からなる地殻変動観測施設を設置し（第 1 図），1996 年 5 月より連続観測を行っている[1)]．第 2，3 図に今津・敦賀観測点の最新 3 年間，および最新 6 ヶ月間の観測データ（時間値）をそれぞれ示す.

今津観測点付近には琵琶湖西岸断層帯の知内，饗庭野断層が存在する[2)]．断層の傾斜角が 60 度で西上がりの逆断層とすると，Mw5.1 のすべりがあった際に期待される今津でのひずみ変化は約 5 × 10-6strain である．敦賀観測点付近には敦賀断層が存在する[3)]．断層の傾斜角が 90 度で右横ずれ断層とすると，Mw5.4 のすべりがあった際に期待される敦賀でのひずみ変化は約 5 × 10-6strain である．これ以上のひずみ変化が見られないことから，この期間にこれらの規模以上のすべりは発生しなかったと推定される.

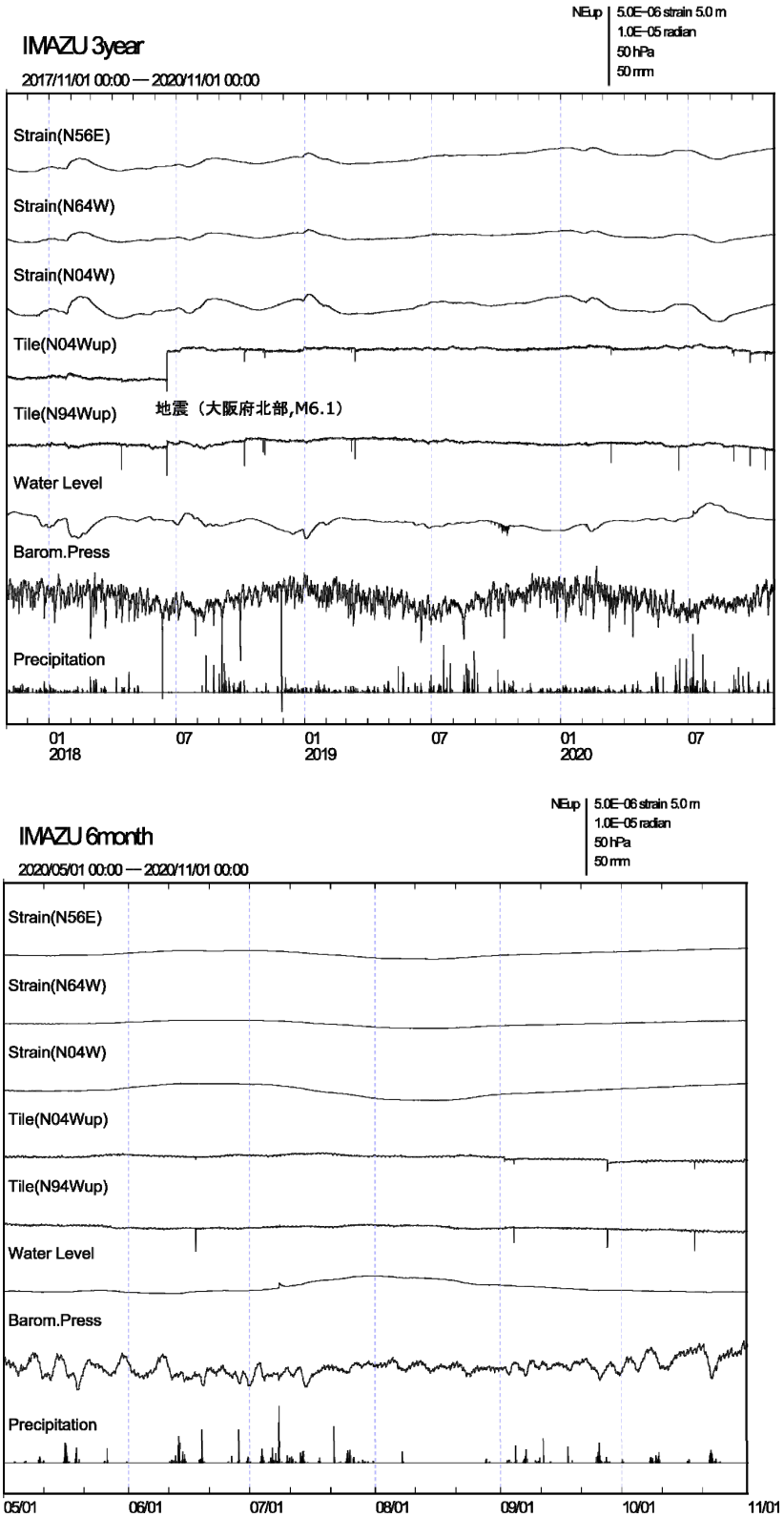
参考文献

1） 気象研究所（1997），内陸部の地震空白域における地殻変動観測，*連絡会報*，**57**，554-558.
2） 地震調査委員会（2009），琵琶湖西岸断層帯の評価（一部改訂），
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09aug_biwako/index.htm.
3） 地震調査委員会（2003），湖北山地断層帯の評価,
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/03jun_kohoku/index.htm.
4） 活断層研究会（1991），*新編日本の活断層*，東京大学出版会，437pp.



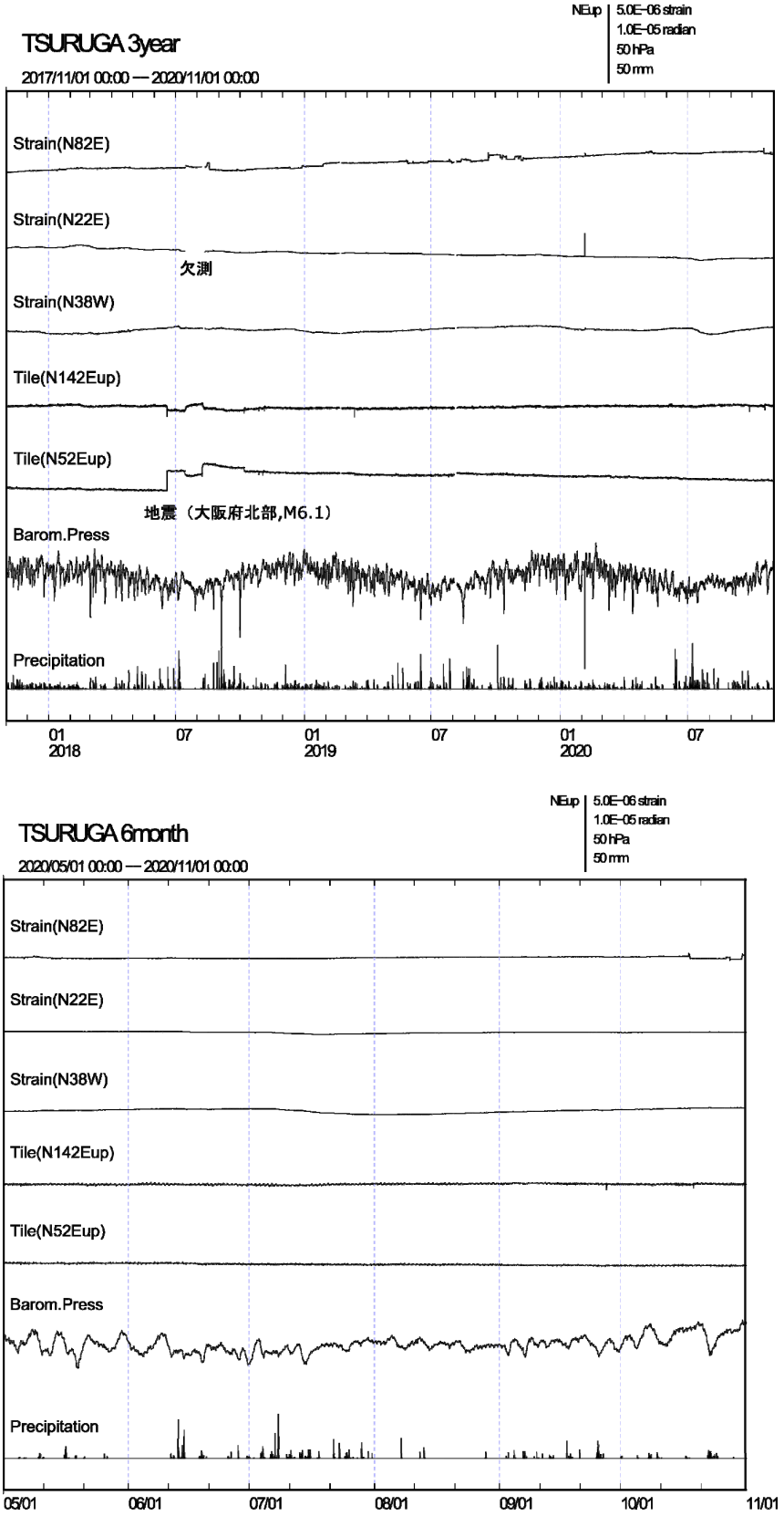
第 1 図　今津・敦賀観測点の位置．図中の線は活断層研究会（1991）4）による活断層の位置．

Fig. 1　Locational map of crustal deformation observation stations (Imazu and Tsuruga). The lines in the figure are the position of active faults by The Research Group for Active Faults of Japan (1991).



第 2 図　今津観測点における（上）2017 年 11 月～2020 年 10 月,（下）2020 年 5 月～2020 年 10 月のひずみ・傾斜変化（時間値）．毎年冬のひずみ・水位変化は，観測点付近の融雪のための地下水汲み上げに伴うもの．

Fig. 2　(Upper) Changes in crustal strain and tilt at Imazu from November 2017 to October 2020. (Lower) Changes in the same values from May 2020 to October 2020. The changes in strain and water level every winter were caused by the pumping of groundwater to melt snow near the station.



第 3 図　敦賀観測点における（上）2017 年 11 月～2020 年 10 月,（下）2020 年 5 月～2020 年 10 月のひずみ・傾斜変化（時間値）.

Fig. 3　(Upper) Changes in crustal strain and tilt at Tsuruga from November 2017 to October 2020. (Lower) Changes in the same values from May 2020 to October 2020.

８－８　紀伊半島～四国の歪・傾斜・地下水観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）
The variation of the strain, tilt and groundwater level in the Shikoku District and Kii Peninsula, Japan (from May 2020 to October 2020)

産業技術総合研究所
Geological Survey of Japan, AIST

業技術総合研究所 (産総研) では，東海・紀伊半島・四国の地下水等総合観測施設 19 点において，歪・地下水等の観測を行っている．観測点配置図を第 1 図に示す．

第 2 ～ 36 図には，2020 年 5 月～ 2020 年 10 月における歪（・傾斜）・地下水位の 1 時間値の生データ（上線）と補正値（下線）を示す．歪・傾斜の図において「N120E」などと示してあるのは，歪・傾斜の測定方向が北から 120° 東方向に回転していることを示す．補正値は，潮汐解析プログラム BAYTAP-G1) によって，気圧・潮汐・不規則ノイズの影響を除去した結果である．歪・傾斜のグラフについては，直線トレンド（1 次トレンド）を除去している．なお，HKSi の補正値は，時系列解析プログラム MR-AR によって，気圧・潮汐・降雨の影響を除去した結果である．

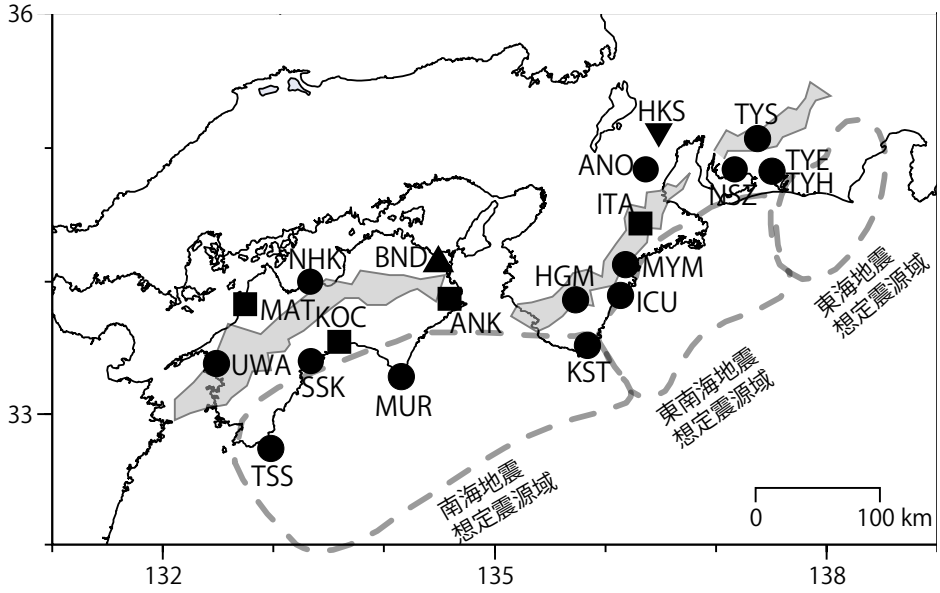
(北川　有一・板場　智史・松本　則夫・落　唯史・木口　努・矢部　優)

参考文献

1）　Tamura et al. (1991), *Geophys. J. Int.*, **104**, 507-516. A procedure for tidal analysis with a Bayesian information criterion.

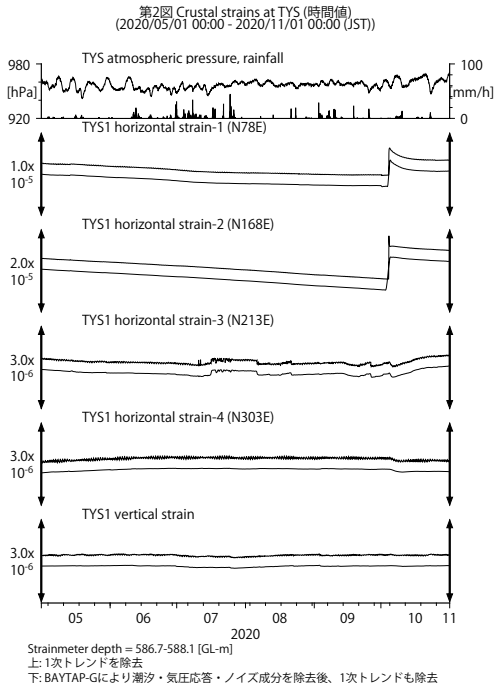
第 1 表　地下水等総合観測点の一覧.
Table. 1　List of the observation sites.

3文字コード (変更無し)	旧名称		新名称	新名称 ふりがな	市区町村	図
TYS	豊田下山	→	豊田神殿	とよたかんどの	愛知県豊田市	2,3
NSZ	西尾善明	変更無し	西尾善明	にしおぜんみょう	愛知県西尾市	4,5
TYE	豊橋東	→	豊橋多米	とよはしため	愛知県豊橋市	6,7
HKS	北勢	変更無し	北勢	ほくせい	三重県いなべ市	9
ANO	安濃	→	津安濃	つあのう	三重県津市	8,9
ITA	飯高赤桶	→	松阪飯高	まつさかいいたか	三重県松阪市	10,11
MYM	海山	→	紀北海山	きほくみやま	三重県北牟婁郡紀北町	12,13
ICU	井内浦	→	熊野磯崎	くまのいそざき	三重県熊野市	14,15
HGM	本宮三越	→	田辺本宮	たなべほんぐう	和歌山県田辺市	16,17
KST	串本津荷	変更無し	串本津荷	くしもとつが	和歌山県東牟婁郡串本町	18,19
BND	板東	→	鳴門大麻	なるとおおあさ	徳島県鳴門市	20
ANK	阿南桑野	変更無し	阿南桑野	あなんくわの	徳島県阿南市	21,22
MUR	室戸	→	室戸岬	むろとみさき	高知県室戸市	23,24
KOC	高知市	→	高知五台山	こうちごだいさん	高知県高知市	25,26
SSK	須崎	→	須崎大谷	すさきおおたに	高知県須崎市	27,28
TSS	土佐清水	→	土佐清水松尾	とさしみずまつお	高知県土佐清水市	29,30
UWA	宇和	→	西予宇和	せいようわ	愛媛県西予市	31,32
MAT	松山	→	松山南江戸	まつやまみなみえど	愛媛県松山市	33,34
NHK	新居浜黒島	変更無し	新居浜黒島	にいはまくろしま	愛媛県新居浜市	35,36



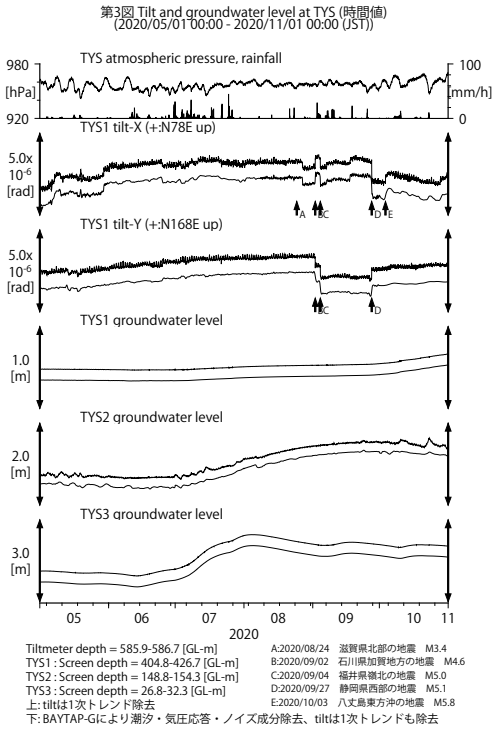
第 1 図　地下水等総合観測点の分布図（●，■，▲，▼）．観測点の一覧は第 1 表に示す．●はデジタル方式の石井式歪計・傾斜計を併設している新規観測点，■は Gladwin 式歪計・ミツトヨ式傾斜計を併設している新規観測点，▲はアナログ方式の石井式歪計を併設している既存の観測点．▼は既存の地下水観測点．灰色の領域は短期的 SSE 及び深部低周波微動が定常的に発生していると考えられる地域.

Fig. 1　Location of the observation sites (●, ■, ▲, ▼). The list of the observation sites is shown in Table.1. Circles (●) show the new observation sites at which the Ishii type multi-component strainmeter and the tiltmeter (digital type) are installed. Squares (■) show the new observation sites at which the Gladwin type multi-component strainmeter and the Mitsutoyo type tiltmeter are installed. The triangle (▲) shows the old observation site at which the Ishii type multi-component strainmeter (analog type) is installed. The reversed triangle (▼) shows the old groundwater observation site. The gray mesh shows the area which is thought that short-term slow slip events and deep low frequency tremors occur stationarily.



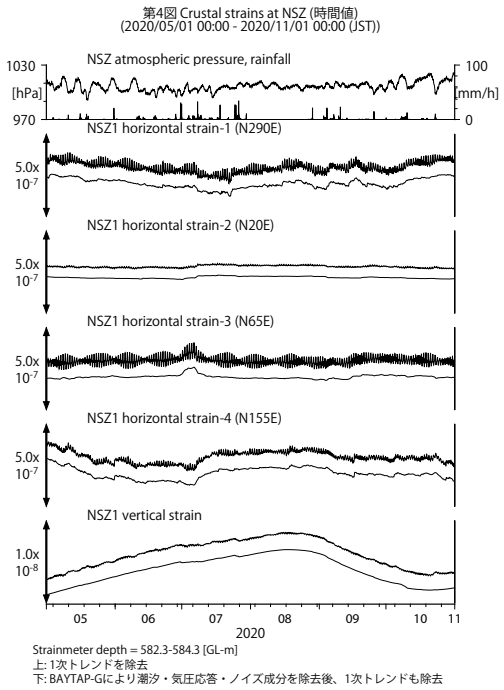
第 2 図　TYS における歪観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 2　Observed strains at the TYS observation site from May 2020 to October 2020.



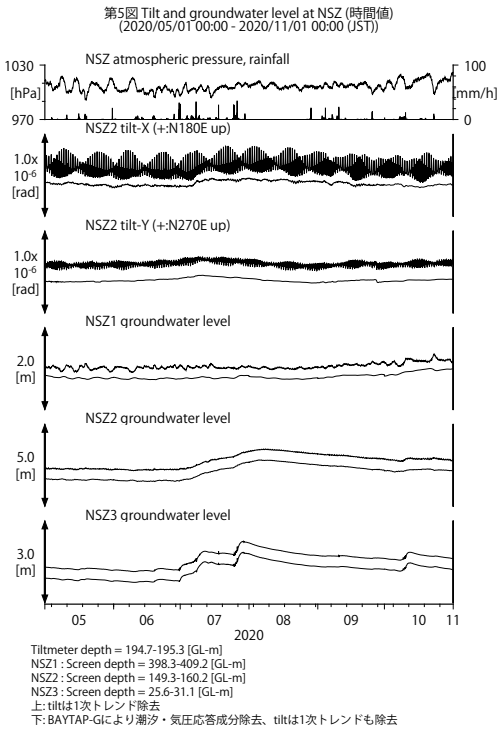
第 3 図　TYS における傾斜・地下水位観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 3　Observed tilts and groundwater levels at the TYS observation site from May 2020 to October 2020.



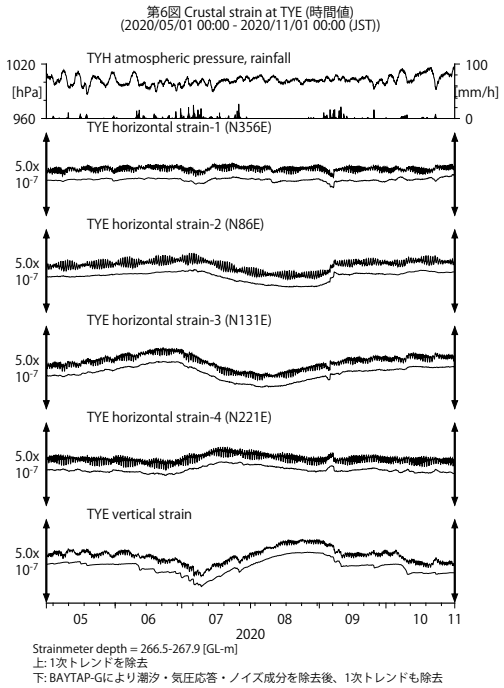
第 4 図　NSZ における歪観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 4　Observed strains at the NSZ observation site from May 2020 to October 2020.



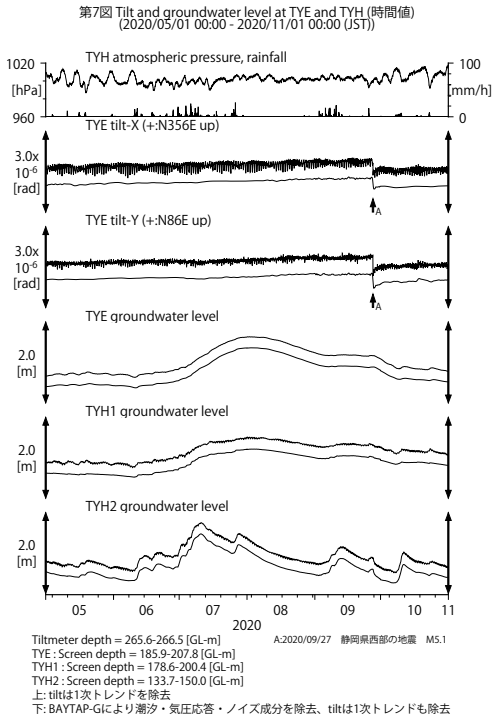
第 5 図　NSZ における傾斜・地下水位観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 5　Observed tilts and groundwater levels at the NSZ observation site from May 2020 to October 2020.



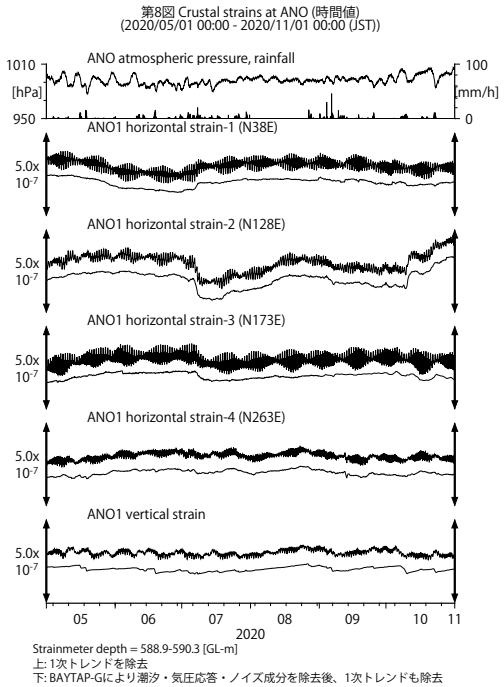
第 6 図　TYE における歪観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 6　Observed strains at the TYE observation site from May 2020 to October 2020.



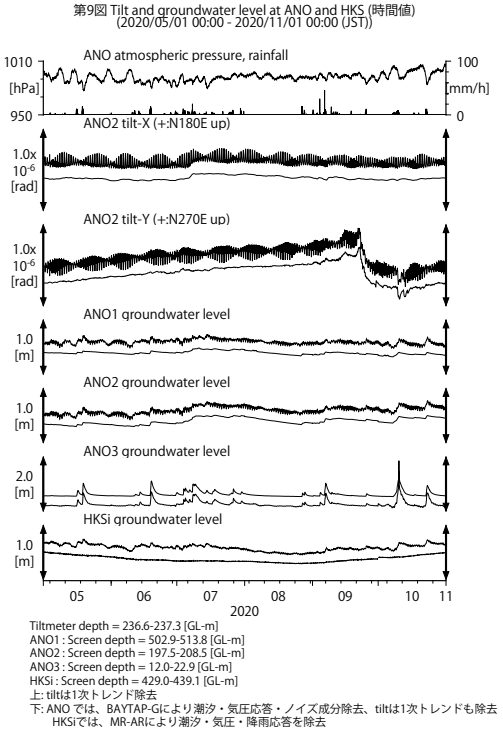
第 7 図　TYE および TYH における傾斜・地下水位観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 7　Observed tilts and groundwater levels at the TYE and the TYH observation site from May 2020 to October 2020.



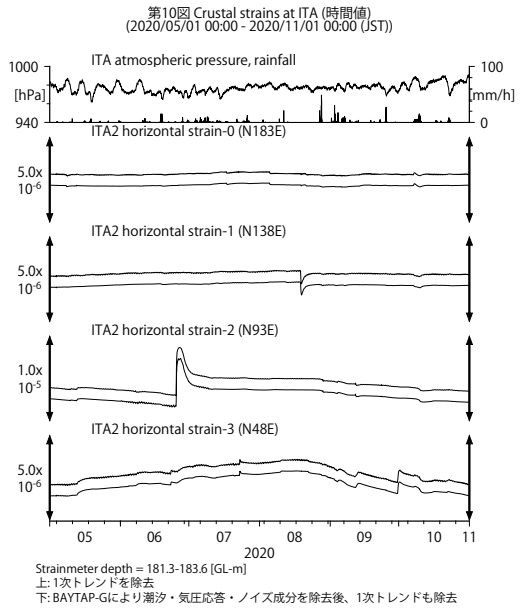
第 8 図　ANO における歪観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 8　Observed strains at the ANO observation site from May 2020 to October 2020.



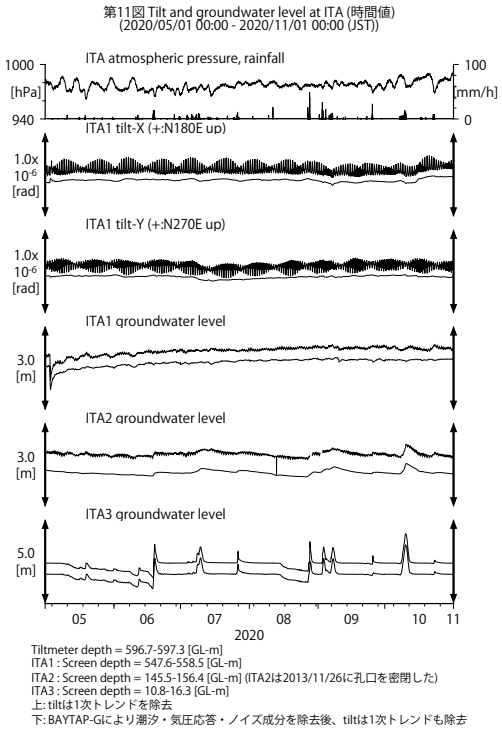
第 9 図　ANO および HKS における傾斜・地下水位観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 9　Observed tilts and groundwater levels at the ANO and the HKS observation site from May 2020 to October 2020.



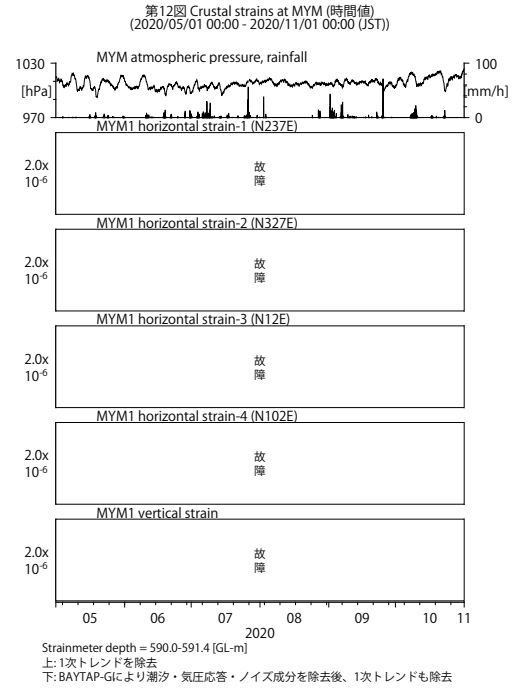
第 10 図　ITA における歪観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 10　Observed strains at the ITA observation site from May 2020 to October 2020.



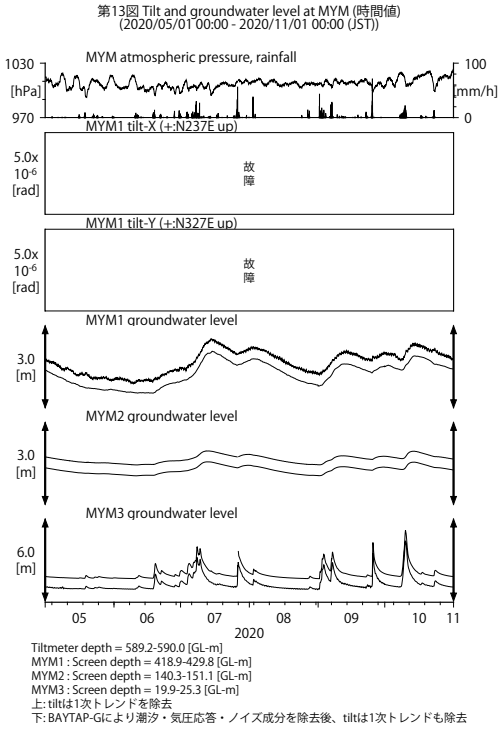
第 11 図　ITA における傾斜・地下水位観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 11　Observed tilts and groundwater levels at the ITA observation site from May 2020 to October 2020.



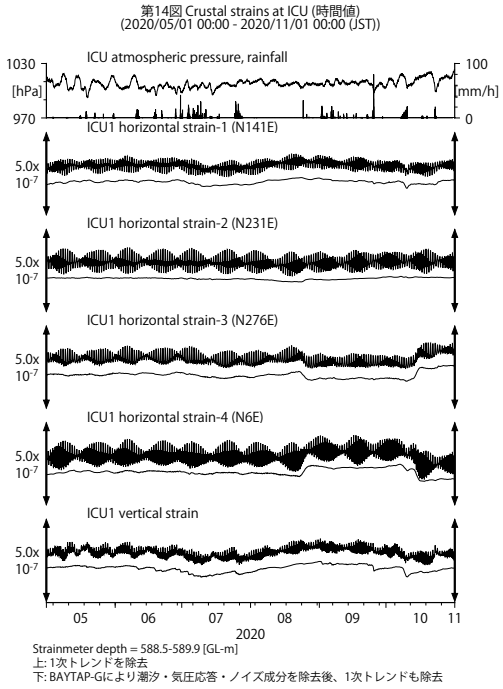
第 12 図　MYM における歪観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 12　Observed strains at the MYM observation site from May 2020 to October 2020.



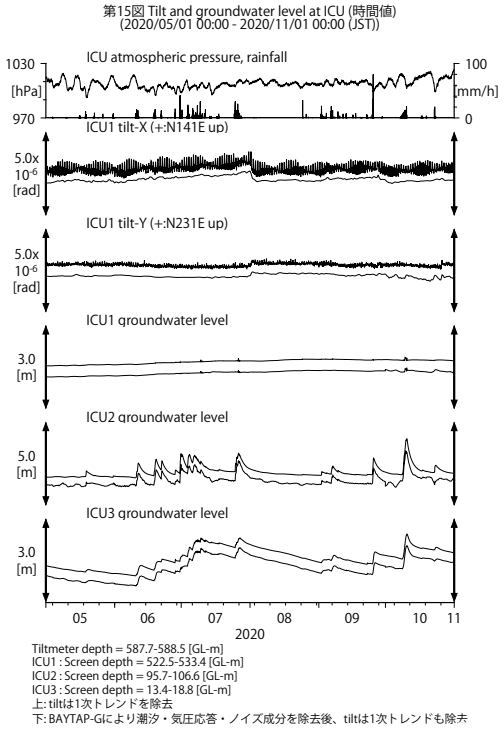
第 13 図　MYM における傾斜・地下水位観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 13　Observed tilts and groundwater levels at the MYM observation site from May 2020 to October 2020.



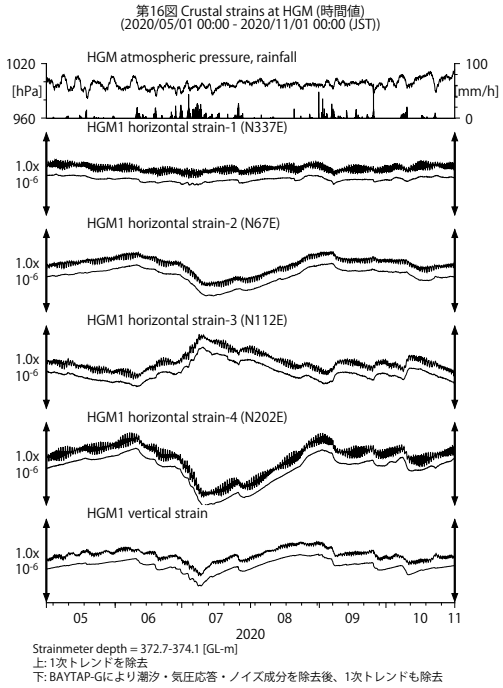
第 14 図　ICU における歪観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 14　Observed strains at the ICU observation site from May 2020 to October 2020.



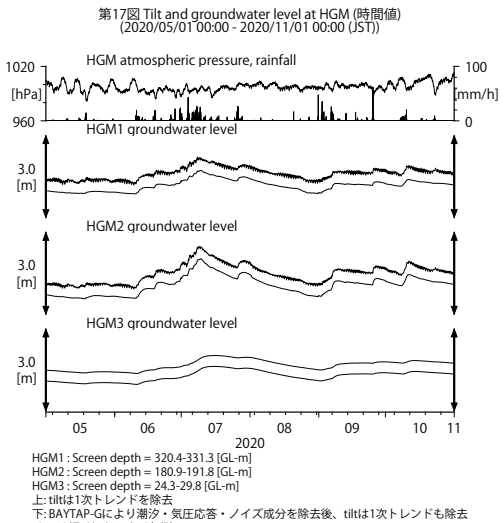
第 15 図　ICU における傾斜・地下水位観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 15　Observed tilts and groundwater levels at the ICU observation site from May 2020 to October 2020.



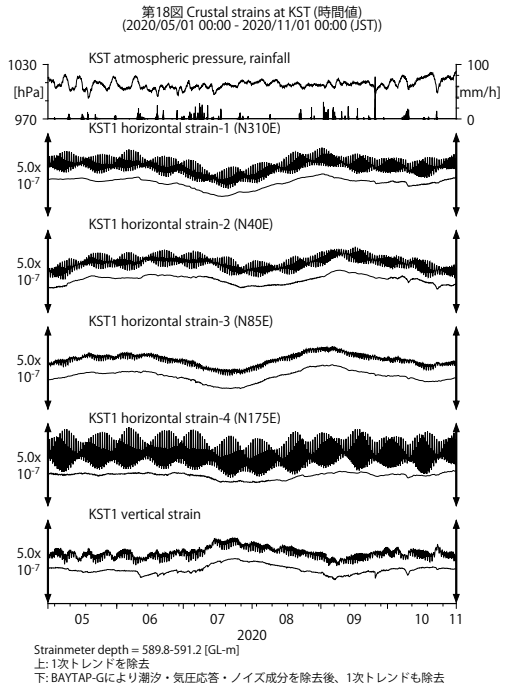
第 16 図　HGM における歪観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 16　Observed strains at the HGM observation site from May 2020 to October 2020.



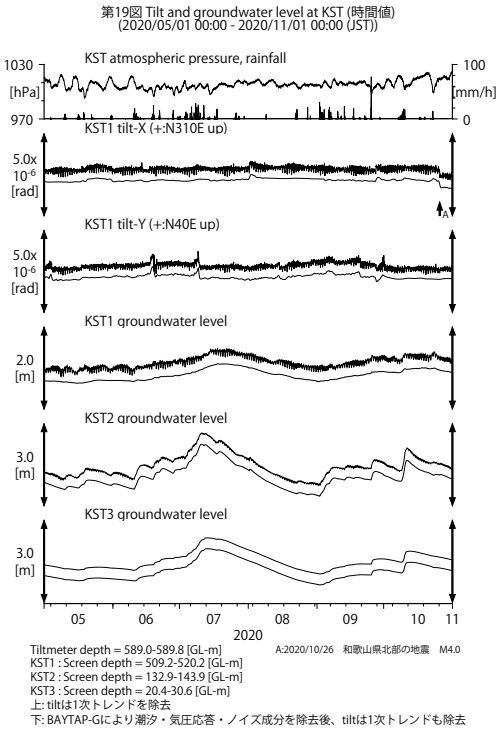
第 17 図　HGM における傾斜・地下水位観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 17　Observed tilt and groundwater levels at the HGM observation site from May 2020 to October 2020.



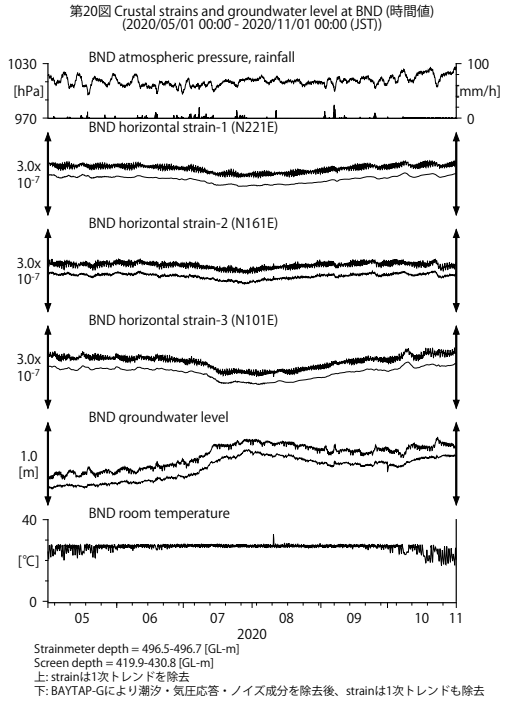
第 18 図　KST における歪観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 18　Observed strains at the KST observation site from May 2020 to October 2020.



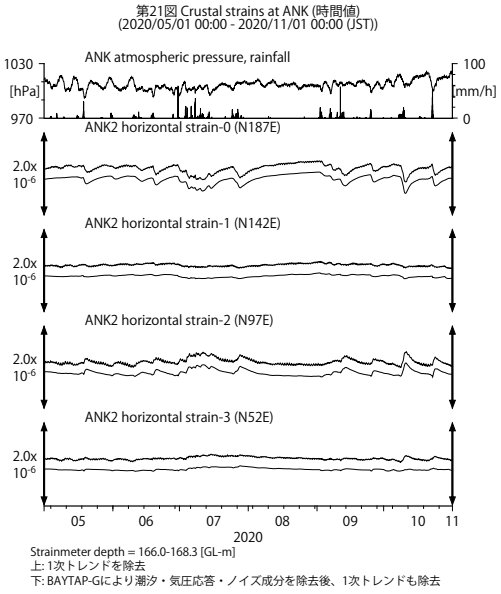
第 19 図　KST における傾斜・地下水位観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 19　Observed tilts and groundwater levels at the KST observation site from May 2020 to October 2020.



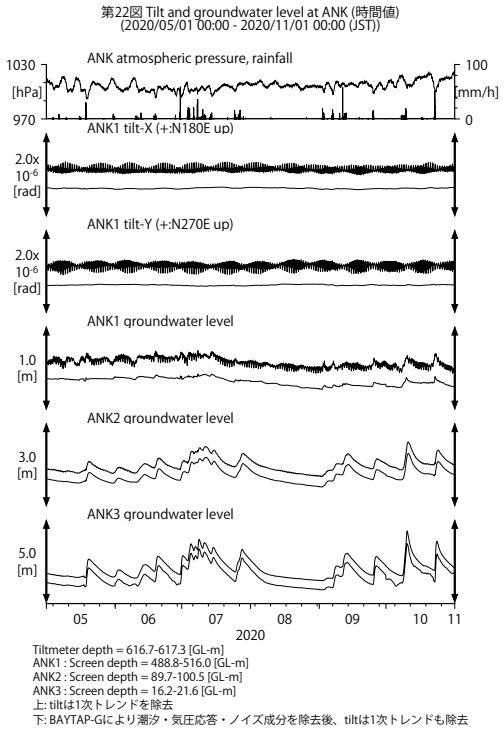
第 20 図　BND における歪・地下水位観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 20　Observed strains and groundwater level at the BND observation site from May 2020 to October 2020.



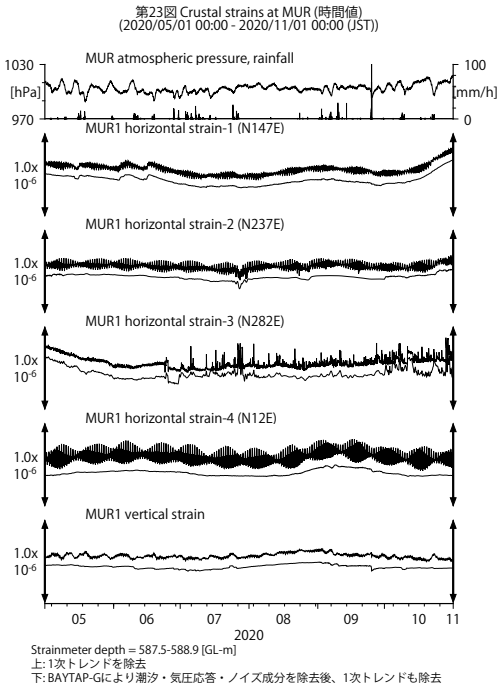
第 21 図　ANK における歪観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 21　Observed strains at the ANK observation site from May 2020 to October 2020.



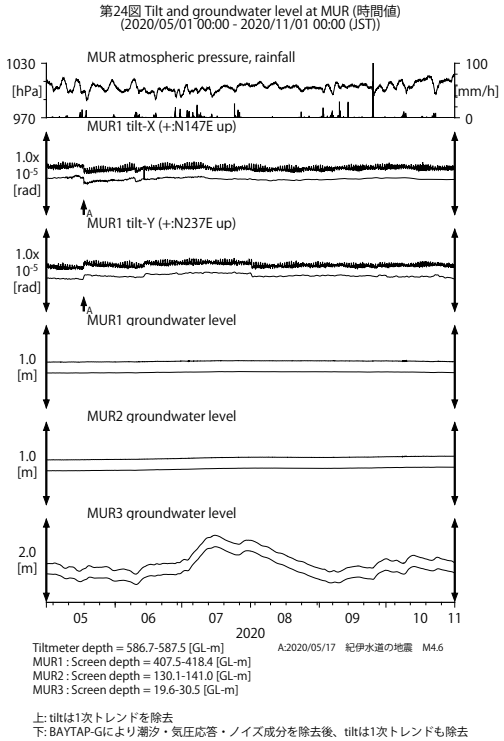
第 22 図　ANK における傾斜・地下水位観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 22　Observed tilts and groundwater levels at the ANK observation site from May 2020 to October 2020.



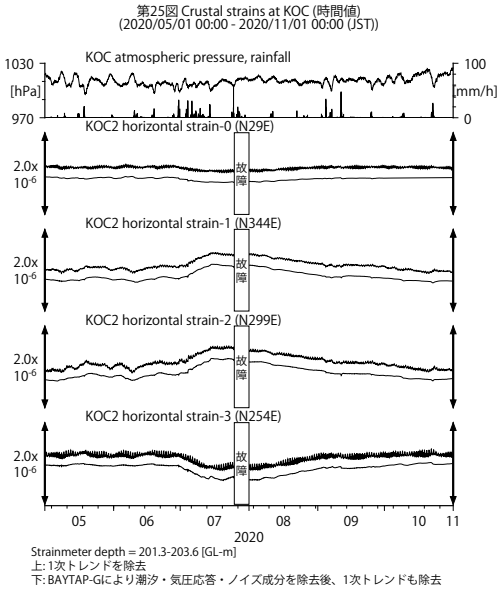
第 23 図　MUR における歪観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 23　Observed strains at the MUR observation site from May 2020 to October 2020.



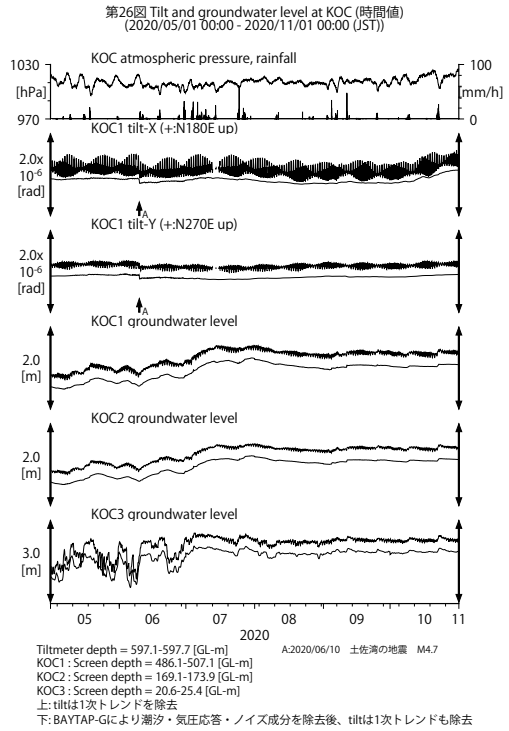
第 24 図　MUR における傾斜・地下水位観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 24　Observed tilts and groundwater levels at the MUR observation site from May 2020 to October 2020.



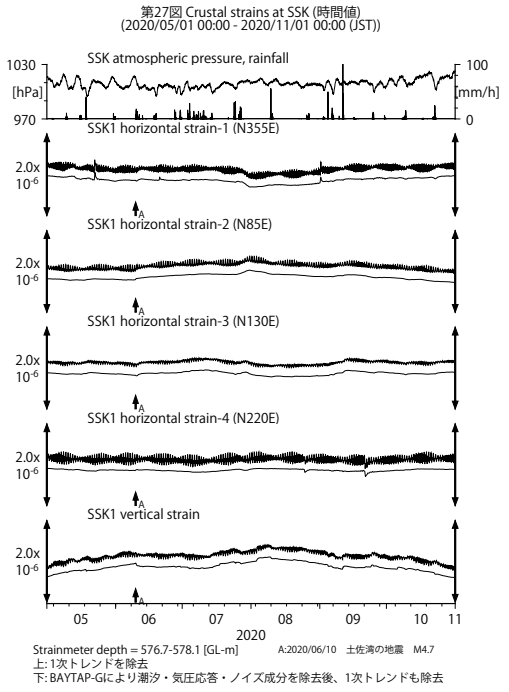
第 25 図　KOC における歪観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 25　Observed strains at the KOC observation site from May 2020 to October 2020.



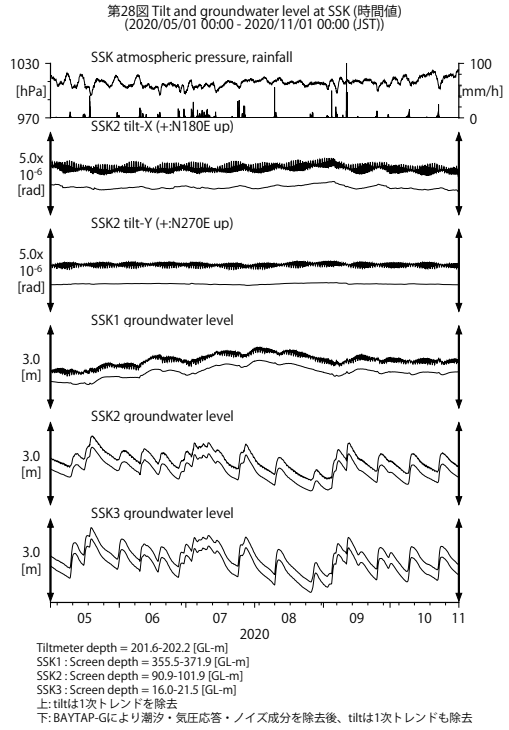
第 26 図　KOC における傾斜・地下水位観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 26　Observed tilts and groundwater levels at the KOC observation site from May 2020 to October 2020.



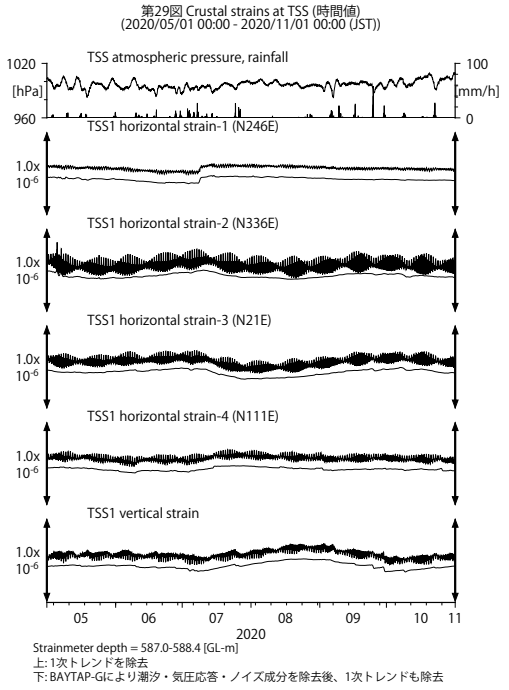
第 27 図　SSK における歪観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 27　Observed strains at the SSK observation site from May 2020 to October 2020.



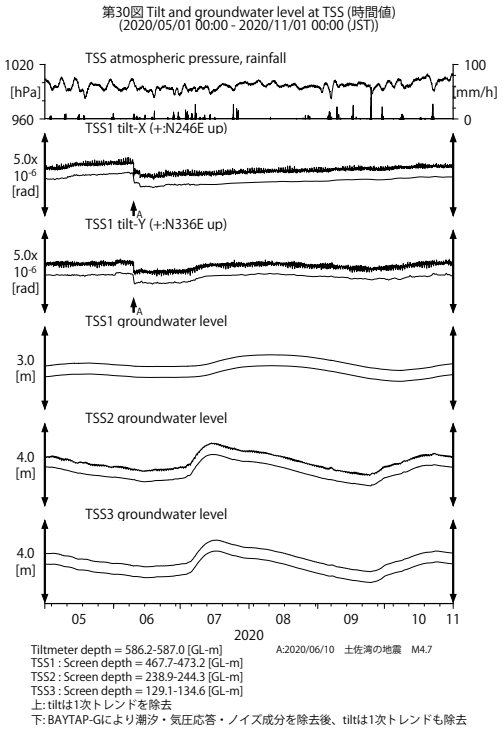
第 28 図　SSK における傾斜・地下水位観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 28　Observed tilts and groundwater levels at the SSK observation site from May 2020 to October 2020.



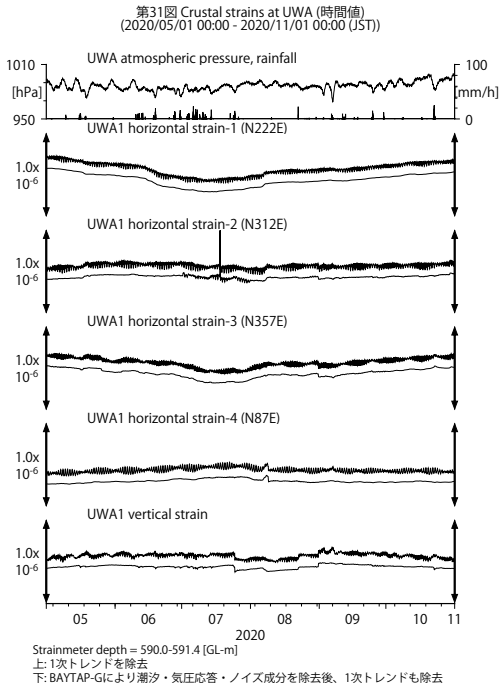
第 29 図　TSS における歪観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 29　Observed strains at the TSS observation site from May 2020 to October 2020.



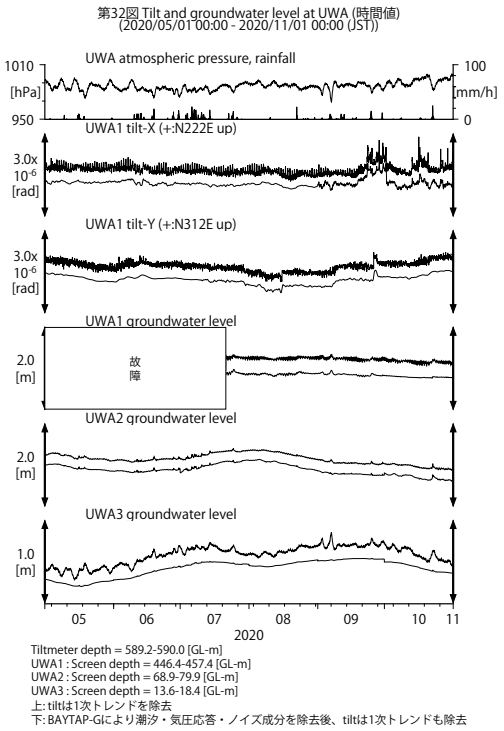
第 30 図　TSS における傾斜・地下水位観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 30　Observed tilts and groundwater levels at the TSS observation site from May 2020 to October 2020.



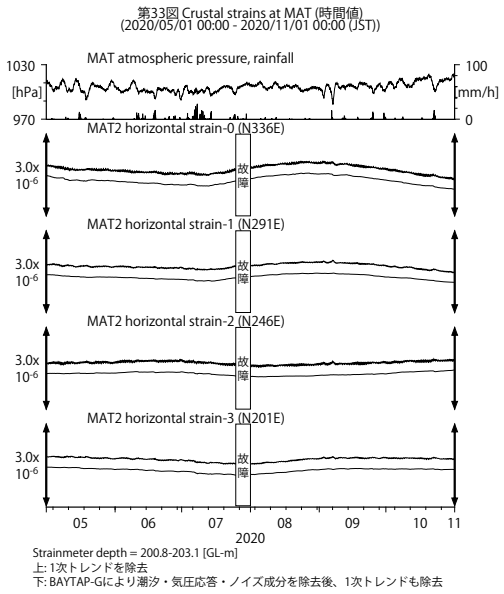
第 31 図　UWA における歪観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 31　Observed strains at the UWA observation site from May 2020 to October 2020.



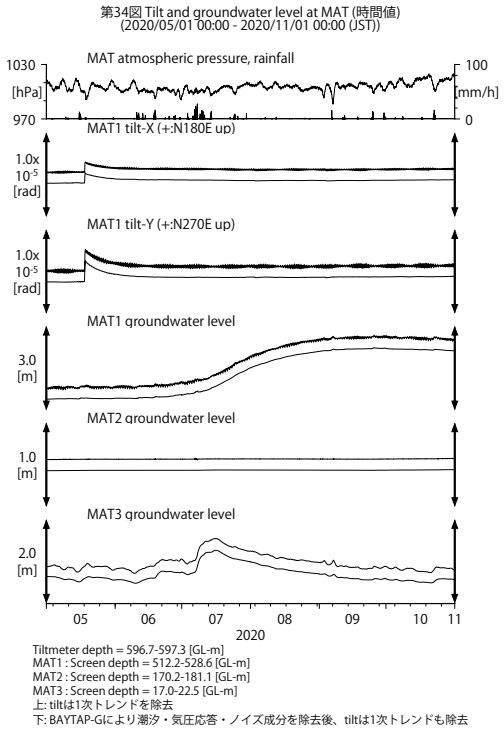
第 32 図　UWA における傾斜・地下水位観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 32　Observed tilts and groundwater levels at the UWA observation site from May 2020 to October 2020.



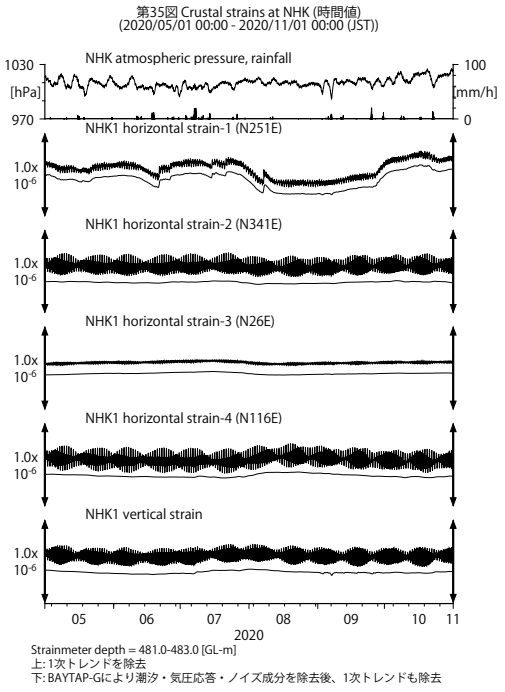
第 33 図　MAT における歪観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 33　Observed strains at the MAT observation site from May 2020 to October 2020.



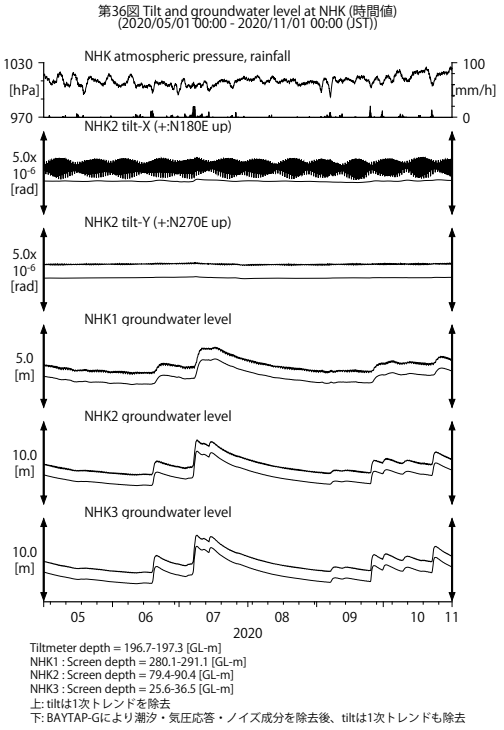
第 34 図　MAT における傾斜・地下水位観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 34　Observed tilts and groundwater levels at the MAT observation site from May 2020 to October 2020.



第 35 図　NHK における歪観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 35　Observed strains at the NHK observation site from May 2020 to October 2020.



第 36 図　NHK における傾斜・地下水位観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）

Fig. 36　Observed tilts and groundwater levels at the NHK observation site from May 2020 to October 2020.

８－９　近畿地域の地下水位・歪観測結果（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）
Observational Results of Groundwater Levels and Crustal Strains in the Kinki District, Japan (May 2020 – October 2020)

産業技術総合研究所
Geological Survey of Japan, AIST

2020 年 5 月～ 2020 年 10 月の近畿地域におけるテレメータによる地下水位およびボアホール型歪計による地殻歪（水平 3 成分）の観測結果を報告する．観測点は 12 点（観測井は 14 井戸）である（第 1 図）．同期間中に第 1 図で示す範囲内で，M4 以上で深さ 30km より浅い地震は，無かった．

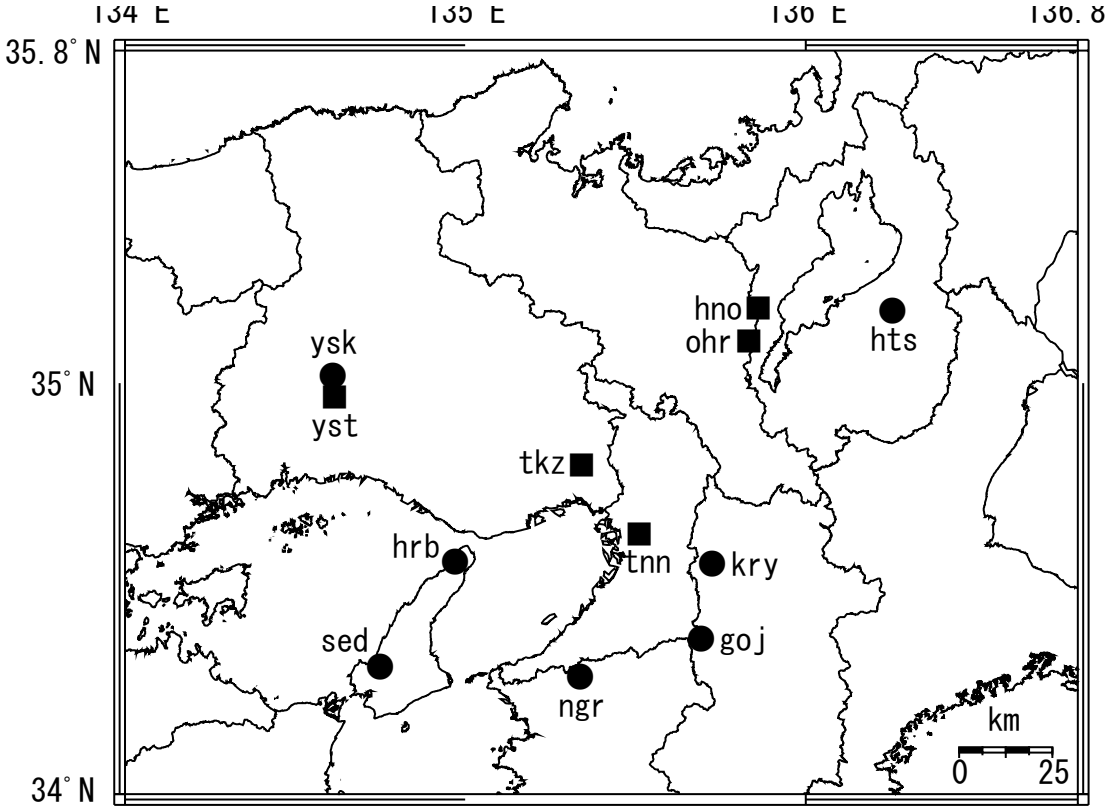
前回の資料（第 104 巻）から、ikd を外した（2019 年 9 月で観測終了）．その結果、この資料で報告する観測点の数は 1 点減り、観測井の数は 1 本減った．

第 2 ～ 5 図には，2020 年 5 月～ 2020 年 10 月における地下水位 1 時間値の生データ（上線）と補正値（下線）を示す．ボアホール型歪計が併設してある観測点については，同期間における歪 3 成分の観測値（生データ）も示す．歪の図において「N120」などと示してあるのは，歪の方向が北から 120 度東方向に回転していることを示す．水位補正値 (corrected）は，潮汐解析プログラム BAYTAP-G によって，気圧・潮汐・不規則ノイズの影響を除去した結果である．なお，hno・sed・tkz・ysk・yst1・yst2 および yst3 は地上より上に水位が来るので，井戸口を密閉して水圧を測定し，それを水位に換算している．

yst1 の地下水位の 2019 年 6 月 27 日以降のノイズ状のデータは水位計の異常のためと思われる（第 2 図）．yst3 の地下水位の 2020 年 2 月 16 日以降の故障は水位計本体の故障のため（第 2 図）．hrb の地下水位の短期的な上下変化は口元から雨が流れ込んだためと思われる（第 3 図）．goj の地下水位の 2020 年 6 月 4 日以降の故障は水位計本体の故障のためと思われる（第 4 図）．ohr の地下水位・歪の 2020 年 5 月 27 日以降の故障はデータ収録装置の故障のため（第 5 図）．

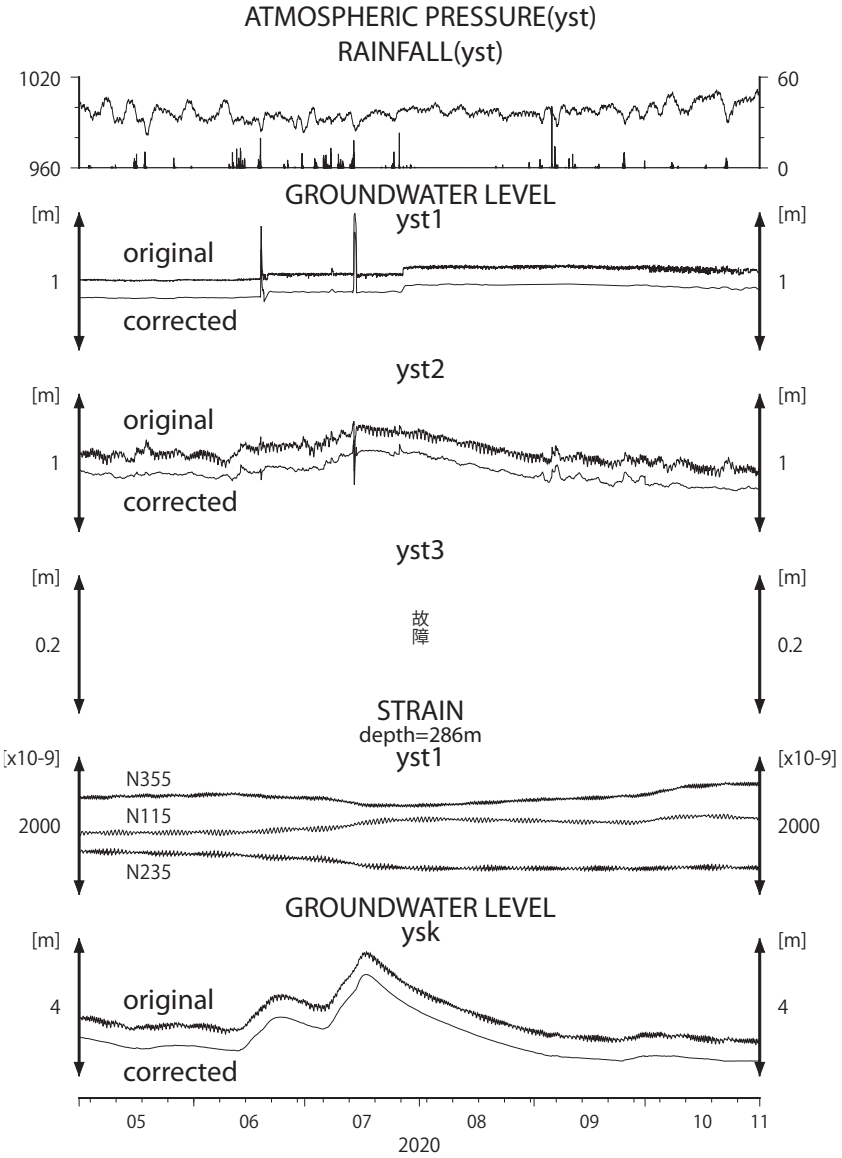
これらのデータ（グラフ等）は，http://www.gsj.jp/wellweb/ で公開されている．

（北川　有一・松本　則夫・佐藤　努・板場　智史・落　唯史・木口　努・矢部　優）

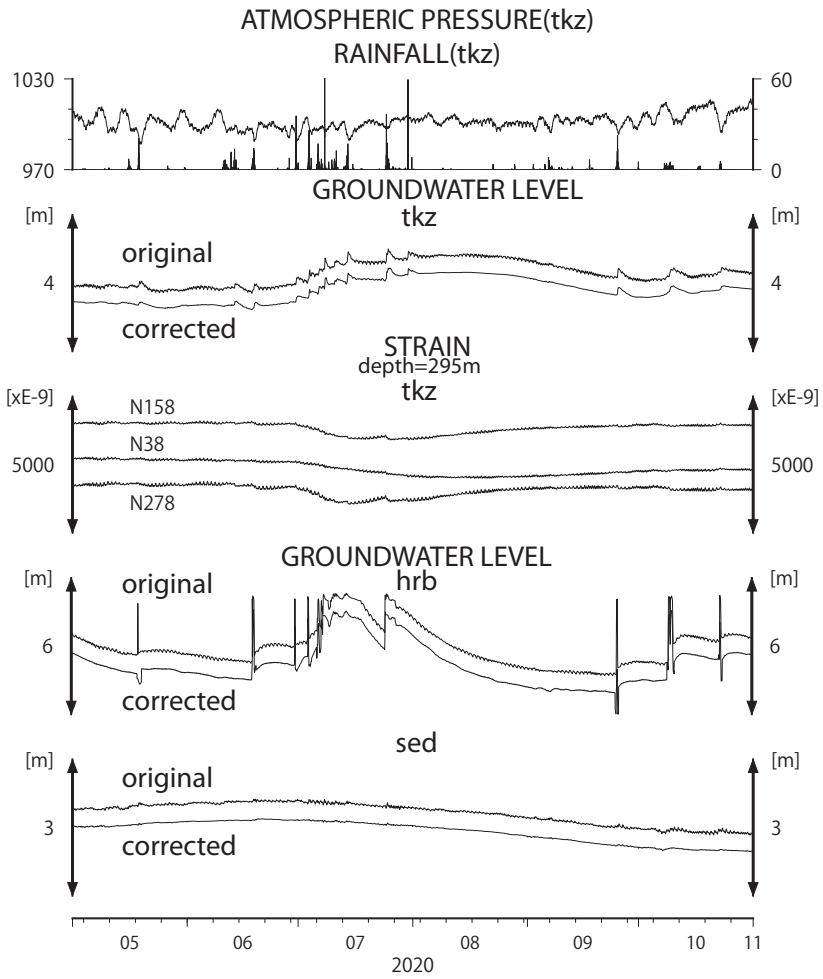


第 1 図　地下水観測点分布図（●・■）．■は，地下水位に加えて，ボアホール型歪計で地殻歪を測定している観測点．yst：安富，ysk：安富北，tkz: 宝塚 , hrb：平林 , sed：西淡 , tnn：天王寺 , kry：広陵 , goj：五條 , ngr：岩出東坂本 , ohr：大原 , hno：花折 , hts：愛荘香之庄.

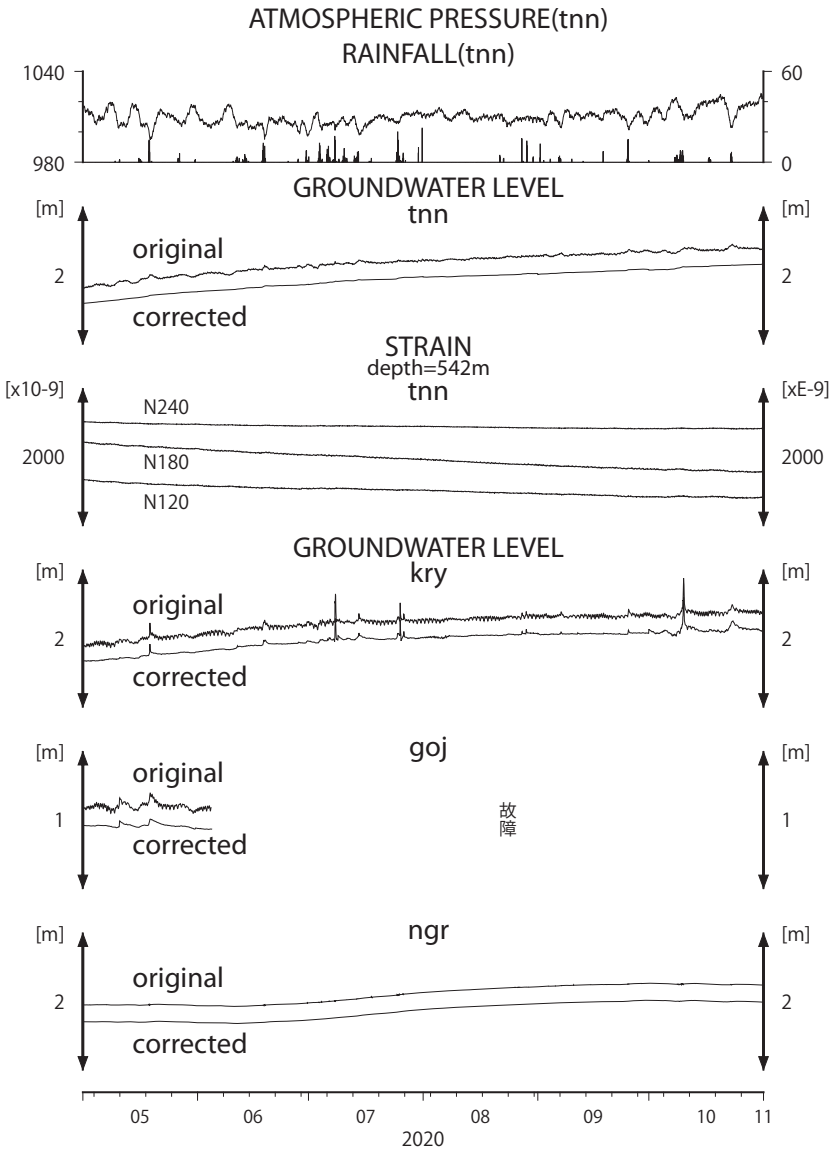
Fig. 1　Distribution of groundwater observation stations of Geological Survey of Japan, AIST (●・■). At the stations shown by the solid squares, crustal strains are also observed by borehole strainmeters. yst : Yasutomi, ysk : Ystutomi-kita, tkz : Takarazuka, hrb : Hirabayashi, sed : Seidan, tnn : Tennoji, kry : Koryo, goj : Gojo, ngr : Iwade-higashisakamoto, ohr : Oohara, hno : Hanaore, hts : Aishou-konoshou.



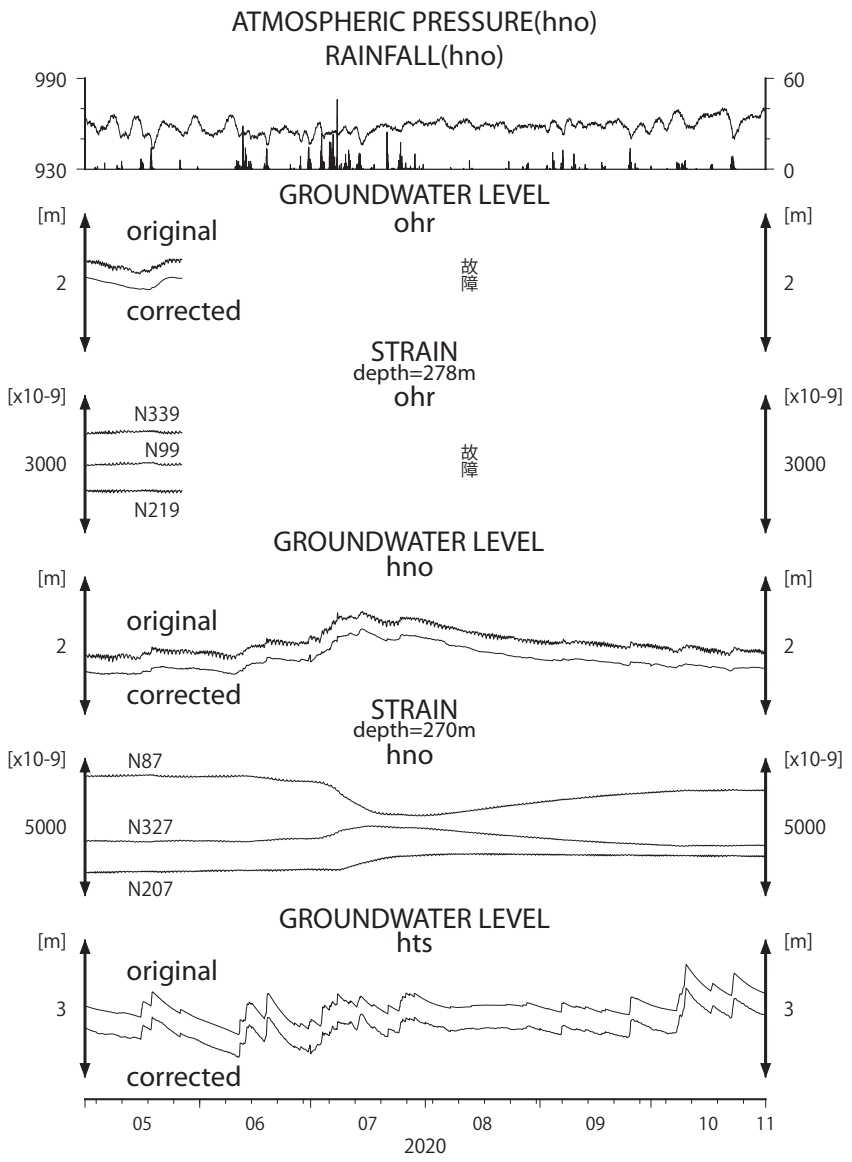
第 2 図　yst1, yst2, yst3, ysk の 2020 年 5 月～ 2020 年 10 月の観測結果.
Fig. 2　Observation results at yst1, yst2, yst3 and ysk from May 2020 to October 2020.



第 3 図　tkz, hrb, sed, ikd の 2020 年 5 月～ 2020 年 10 月の観測結果.
Fig. 3　Observation results at tkz, hrb, sed and ikd from May 2020 to October 2020.



第 4 図　tnn, kry, goj の 2020 年 5 月～ 2020 年 10 月の観測結果.
Fig. 4　Observation results at tnn, kry and goj from May 2020 to October 2020.



第 5 図　ohr, hno, hks-i の地下水位・地殻歪の 2020 年 5 月～ 2020 年 10 月の観測結果.
Fig. 5　Observation results at ohr, hno and hks-i from May 2020 to October 2020.

９－１　西南日本における深部低周波微動活動（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）
Activity of deep low-frequency tremor in southwest Japan (May, 2020 – October, 2020)

防災科学技術研究所
National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

西南日本の沈み込み帯で発生する深部低周波微動[1]は，フィリピン海プレートの走向に平行な帯状の領域内で時空間的に集中して発生し[2]，短期的スロースリップイベント[3]や周期 20 秒に卓越する超低周波地震[4]を伴うことがある．2020 年 5 月から 2020 年 10 月までの 6 ヶ月間（第 1, 2 図）で，短期的スロースリップイベント[5]を伴った顕著な活動は，以下のとおりである．

・2020 年 10 月 31 日～ 11 月 6 日頃，紀伊半島北部．この活動は三重県中部で開始し，北東方向への活動域の移動がみられた（第 2，4 図）．この領域での顕著な微動活動は，2020 年 6 月～ 7 月以来となる（第 2，3 図）．

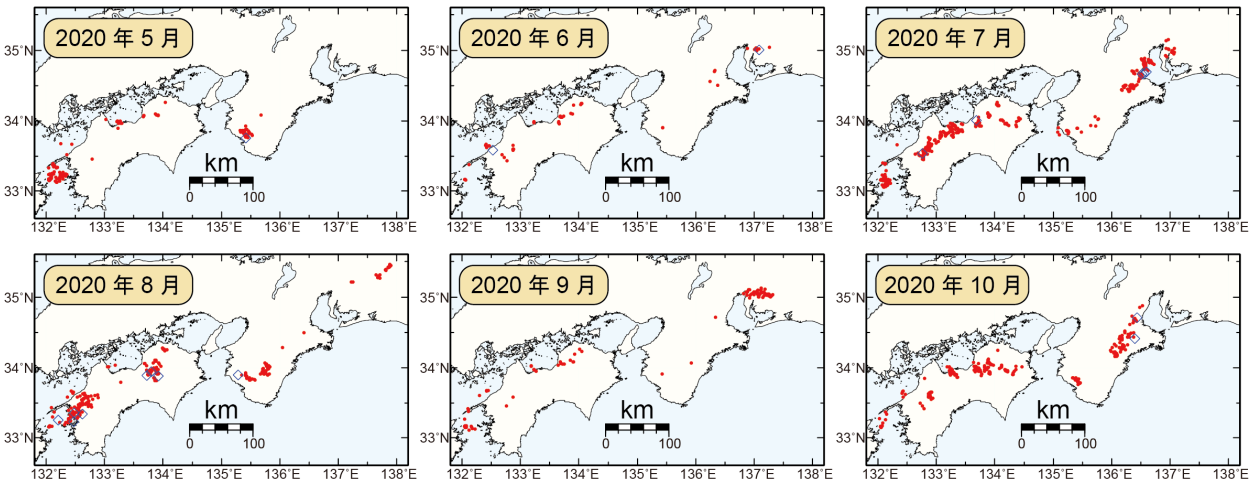
・2020 年 7 月 22 日～ 8 月 11 日頃，四国東部から西部．この活動は愛媛県中部で開始した後，7 月 26 日頃から愛媛県東部で活発化し，西方向への活動域の移動が 8 月 10 日頃までみられ，愛媛県西部まで達した．7 月 30 日頃からは愛媛・徳島県境付近でも活動が活発化し，やや東方向への活動域の移動がみられ, 8 月 4 日以降は低調となった（第 2, 5 図）．この領域での顕著な微動活動は，愛媛県東部から西部については 2020 年 2 月以来，愛媛・徳島県境付近については 2020 年 3 月以来となる（第 3 図）．

以上の活動のほか，傾斜変動から短期的スロースリップイベントの断層モデルが推定されていない期間にも，東海地方では 2020 年 9 月 2 日～ 5 日頃に（第 4 図），東海地方から紀伊半島北部では 2020 年 6 月 29 日～ 7 月 14 日頃に（第 4 図），紀伊半島北部から中部では，2020 年 10 月 12 日～ 17 日頃に（第 4 図），紀伊半島南部では 2020 年 8 月 23 日～ 26 日頃に（第 4 図），四国東部では 2020 年 10 月 24 日～ 30 日頃に（第 5 図），豊後水道では 2020 年 5 月 17 日～ 23 日頃および 7 月 14 日～ 18 日頃に（第 5 図），それぞれ微動活動の活発化がみられた．

（松澤孝紀・田中佐千子（防災科研）・小原一成（東大地震研））
MATSUZAWA Takanori, TANAKA Sachiko, and OBARA Kazushige

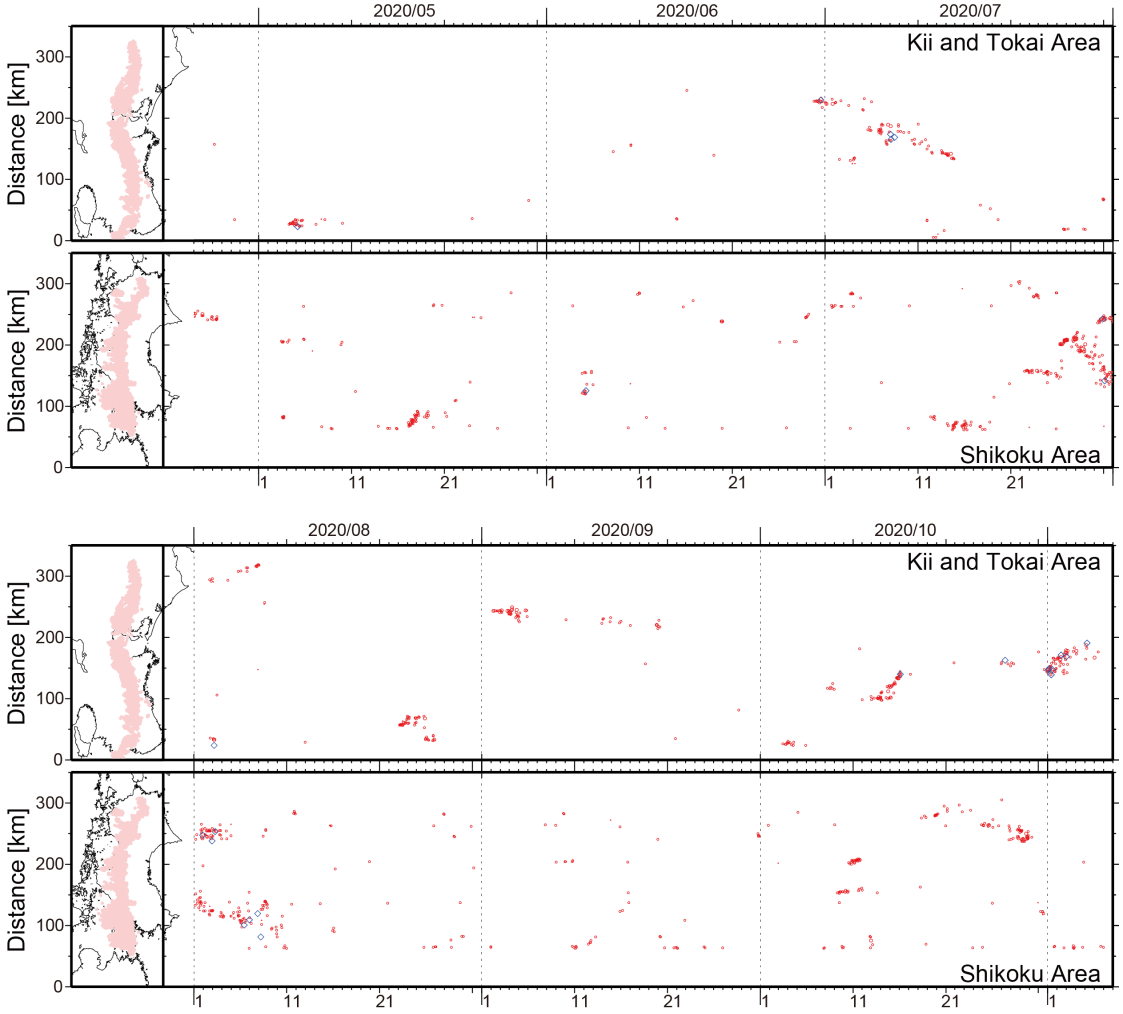
参考文献

1） Obara (2002), *Science*, **296**, 1679-1681.
2） Obara & Hirose (2006), *Tectonophysics*, **417**, 33-51.
3） Obara et al. (2004), *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L23602.
4） Ito et al. (2007), *Science*, **315**, 503-506.
5） 防災科学技術研究所 (2021), *予知連会報*, **105**,「西南日本における短期的スロースリップイベント (2020 年 5 月～ 2020 年 10 月)」.
6） Maeda & Obara (2009), *J. Geophys. Res.*, **114**, B00A09.
7） Obara et al. (2010), *Geophys. Res. Lett.*, **37**, L13306.



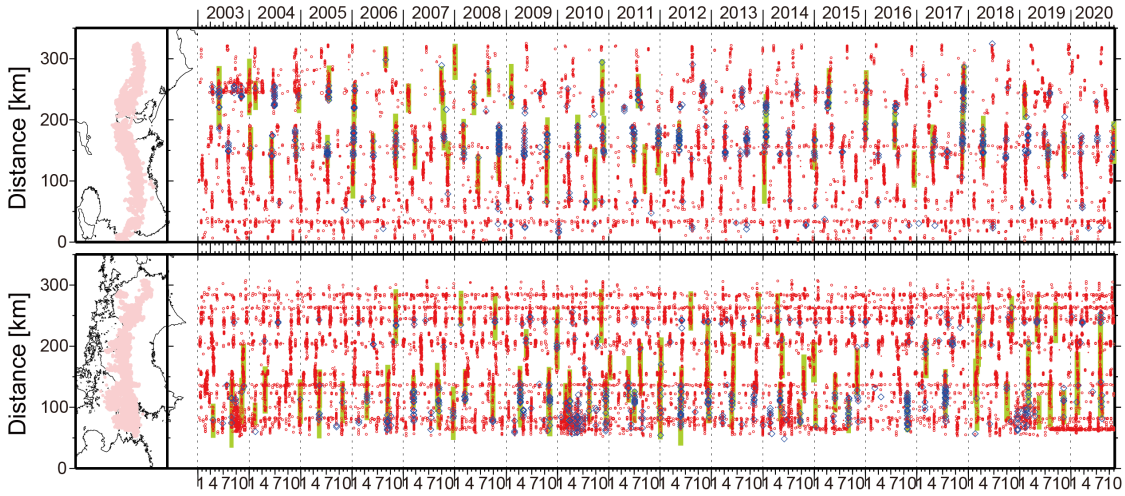
第 1 図　西南日本で発生した深部低周波微動及び深部超低周波地震 4) の月別震央分布．赤丸が当該期間の微動の震央を表す．この震央はエンベロープ相関・振幅分布ハイブリッド法 6) 及びクラスタリング処理 7) によって 1 時間毎に自動処理された微動分布の重心である．青菱形は深部超低周波地震の震央を示す．

Fig. 1　Monthly epicentral distribution of deep low-frequency tremor and deep very low-frequency earthquakes 4) in southwest Japan from May 2020 to October 2020. Red circles indicate epicenters of tremor for the period shown in the upper-left corner. The epicenter is the centroid location from one hour distribution estimated by the hybrid method based on the envelope correlation considering the spatial distribution of amplitude 6) and clustering process 7). Blue diamonds indicate epicenters of deep very low-frequency earthquakes.



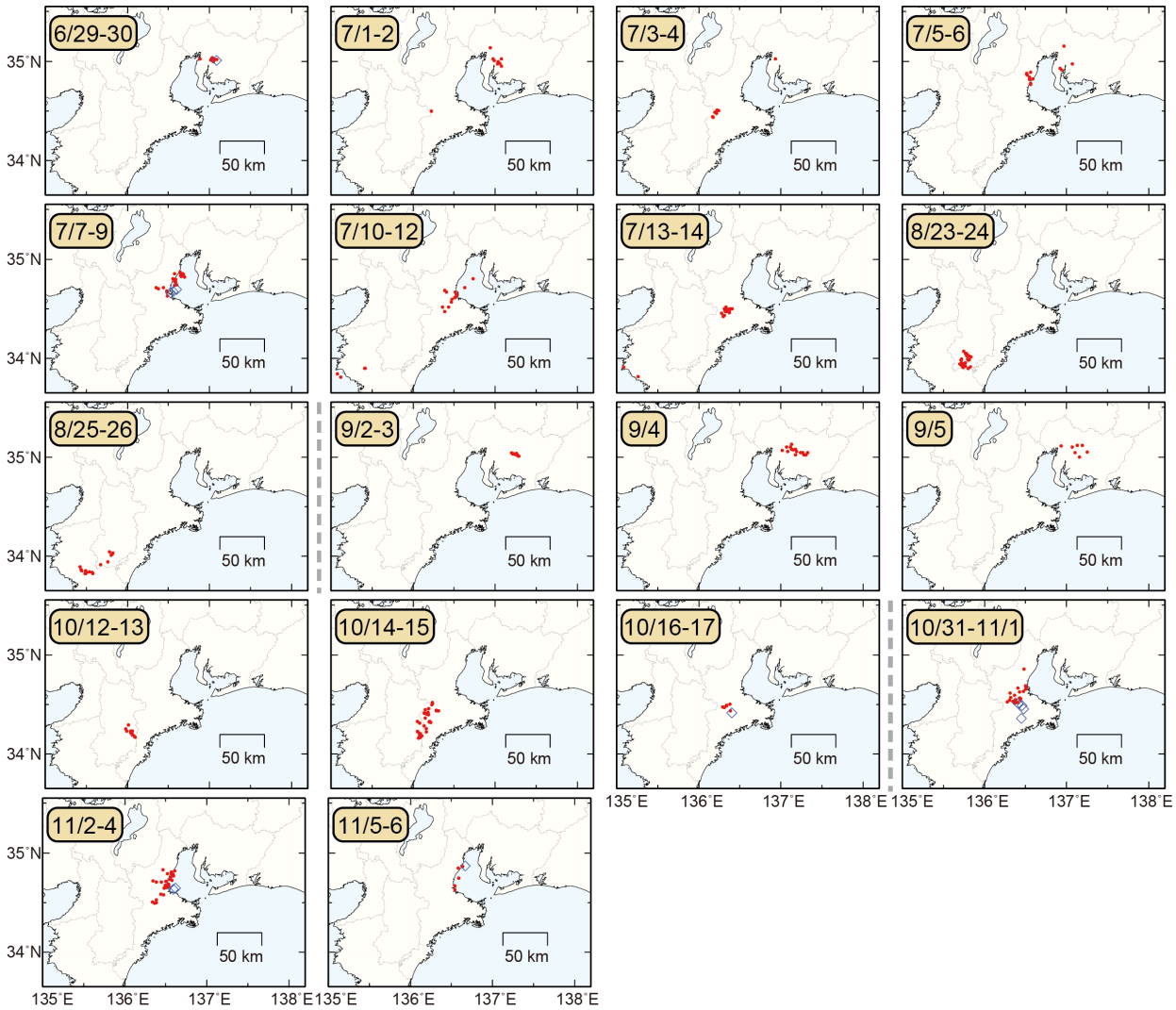
第 2 図　西南日本で発生した深部低周波微動（赤丸）及び深部超低周波地震（青菱形）の約 6 ヶ月間の時空間分布.

Fig. 2　Space-time plot of deep low-frequency tremor and deep very low-frequency earthquakes along the profile from southwest to northeast in southwest Japan for about six months. Red circles and blue diamonds are the same as in Fig. 1.



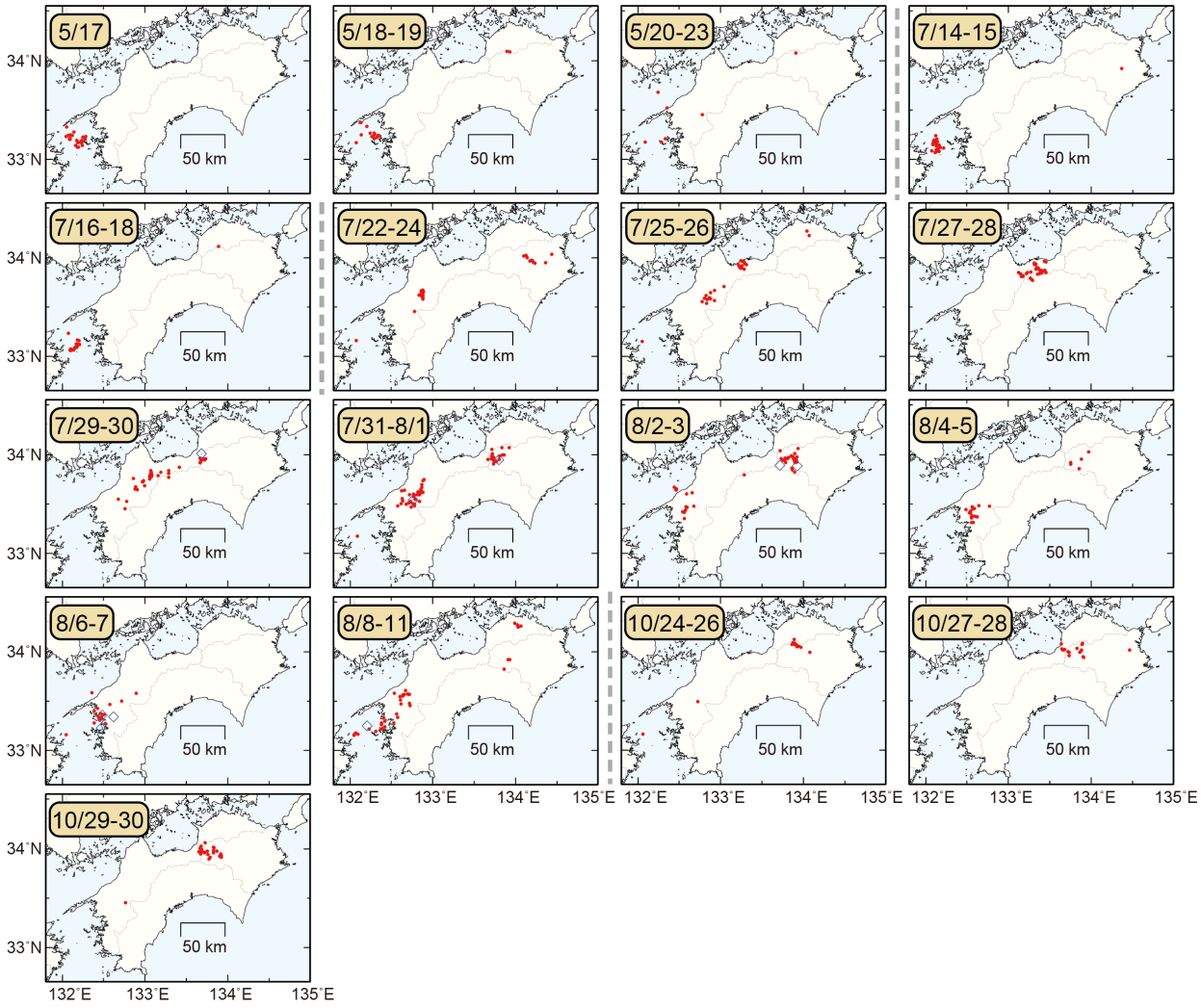
第 3 図　西南日本で発生した深部低周波微動（赤丸）及び深部超低周波地震（青菱形）の 2003 年から約 17 年間の時空間分布．黄緑色太線は，傾斜変動から検出された短期的スロースリップイベントを示す.

Fig. 3　Space-time plot of deep low-frequency tremor and deep very low-frequency earthquakes along the profile from southwest to northeast in southwest Japan for about 17 years from January 2003. Red circles and blue diamonds are the same as in Fig. 1. Thick light green lines are short-term slow slip events detected by Hi-net tiltmeters.



第 4 図　2020 年 5 月から 2020 年 10 月までの期間に東海・紀伊半島地域で発生した，主な深部低周波微動及び深部超低周波地震の活動における震央分布スナップショット．赤丸が当該期間の微動，青菱形が超低周波地震を表す．

Fig. 4　Daily epicentral distribution of deep low-frequency tremor and deep very low-frequency earthquakes in Tokai and Kii area for major episodes from May 2020 to October 2020. The time duration of each snapshot is shown in the upper-left corner. Red circles and blue diamonds are the same as in Fig. 1.



第 5 図　2020- 年 5 月から 2020 年 10 月までの期間に四国地域で発生した，主な深部低周波微動及び超低周波地震の活動における震央分布スナップショット．赤丸が当該期間の微動，青菱形が超低周波地震を表す．

Fig. 5　Daily epicentral distribution of deep low-frequency tremor and deep very low-frequency earthquakes in Shikoku area for major episodes from May 2020 to October 2020. The time duration of each snapshot is shown in the upper-left corner. Red circles and blue diamonds are the same as in Fig. 1.

９－２　中国・四国地方の地殻変動
Crustal Deformations in the Chugoku and Shikoku Districts

国土地理院
Geospatial Information Authority of Japan

［四国西部の深部低周波微動と同期したスロースリップ)］

第 1 図は，2020 年 7 月下旬～ 8 月上旬頃に四国西部で発生した深部低周波地震（微動）に同期して発生した短期的 SSE に関する資料である．

第 1 図上の図は, 2020 年 7 月 22 日～ 8 月 5 日の GNSS データから時間依存インバージョンでプレート境界面上のすべり分布を推定した結果である．年周・半年周成分を 2017 年 1 月～ 2020 年 7 月で推定，一次トレンドは 2019 年 6 月 1 日～ 2020 年 6 月 1 日の期間を定常変動と仮定して推定し，推定された一次トレンド・年周・半年周成分を除去して得られた非定常的な地殻変動を用いた．四国西部の低周波地震の発生領域ですべりが推定されている．すべり量の最大は約 1cm と推定され, モーメントマグニチュードは 5.9 と求まった．図に示された黒色のグリッドは，推定されたすべり量が標準偏差の 3 倍を超えており，推定すべりが有意と判断されるグリッドである．なお，四国東部にも推定すべりが有意と判断されるグリッドがあるが，そこでは低周波地震が発生しておらず，短期的 SSE に対応しているか否かは今後更に検討が必要である．

第 1 図下の 2 枚の図は，左が非定常的な地殻変動，右が推定すべりから計算した地殻変動を示している．地殻変動量が小さいため，ばらつきが相対的に大きいが，四国西部の観測点を中心に東向きの変動が僅かに見られる．

［四国中部の非定常水平地殻変動（長期的 SSE)］

第 2 ～ 7 図は, 2019 年春頃から四国中部で見られている非定常的な地殻変動に関する資料である．

第 2 図は，一次トレンド・年周・半年周成分除去後の非定常地殻変動ベクトル図である．2017 年 1 月 1 日～ 2018 年 1 月 1 日の期間を定常変動とし，一次トレンド，年周，半年周成分を推定した．固定局は京都府の網野観測点である．2017 年 12 月 29 日～ 2018 年 1 月 4 日に対する 2020 年 10 月 20 日～ 26 日の約 2 年 10 か月の期間での非定常的な地殻変動を示している．四国中部に南東向きに最大 1cm 程度の僅かな変動が見られる．

第 3 ～ 4 図は，第 2 図の図中に示した 6 観測点の非定常地殻変動 3 成分の時系列グラフである．同様に一次トレンド・年周・半年周成分を除去している．(1) ～ (6) のいずれの観測点でも 2019 年春頃から南東向きの変動が見られていることが分かる．

第 5 ～ 6 図は，非定常的な地殻変動を基に，時間依存インバージョンでプレート境界面上のすべり分布を推定した結果に関する資料である．この解析では，年周・半年周成分を 2017 年 1 月～ 2020 年 10 月で推定，一次トレンドは 2017 年 1 月 1 日～ 2018 年 1 月 1 日の期間を定常変動と仮定して推定している．すべりの推定では，すべり方向をプレートの沈み込み方向と平行な方向に拘束している．

第 5 図 (a) は, 2019 年 1 月 1 日～ 2020 年 10 月 14 日の期間で推定されたすべり分布を示している．同時期に発生している紀伊水道の長期的 SSE，豊後水道の長期的 SSE，四国西部の短期的 SSE によるすべりとあわせ，四国中部にすべりが推定された．推定されたすべりの最大値は 12cm，モーメ

ントマグニチュードは 6.2 と求まった．

第 5 図 (b) は，観測値と計算値との比較である．観測値をよく説明できていることが分かる．

第 6 図は，四国中部地域の観測点における観測値と計算値の時間変化を示した図である．2019 年春頃から見られる東向きの変動がよく説明できていることが分かる．

第 7 図は，四国中部に位置するグリッドのすべりの時間変化を示した図である．2019 年春頃からすべりが見られる．最近は概ね停滞しているが，一部のグリッド（313 や 332）では現在も継続しているように見える．

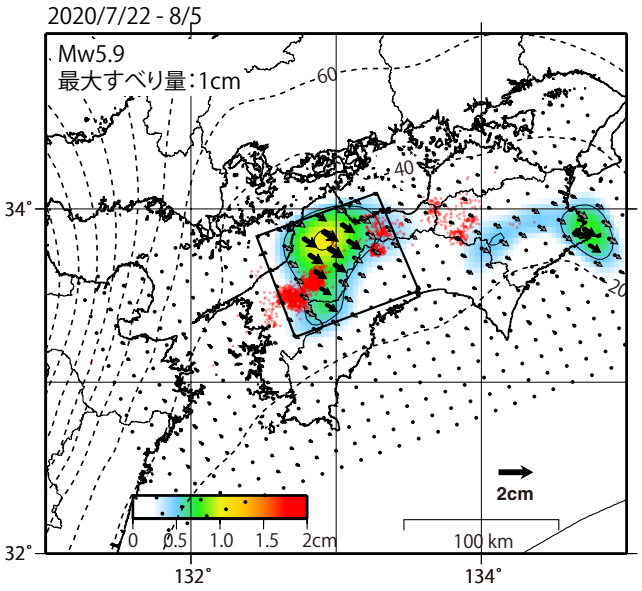
［室戸岬周辺　電子基準点の上下変動］

第 8 ～ 9 図は，室戸岬周辺の電子基準点間の比高変化について，水準測量の結果と GNSS 連続観測結果とを比較したものである．両者はほぼ同様の傾向を示しており，最新のデータは室戸岬周辺が沈降する長期的な傾向に沿っている．各ページの左下に長期間の変動グラフを示す．室戸岬先端側の沈降が長期的に継続しており，灰色でプロットした GNSS 連続観測の最近の結果も整合している．

［水準測量　愛媛県宇和島市～高知県土佐清水市］

第 10 図は，愛媛県宇和島市から高知県土佐清水市に至る水準測量による上下変動である．基本的には，土佐清水の足摺岬側が平均 5mm/y 前後の沈降であるが，豊後水道の長期的 SSE 時には高知県宿毛（すくも）市を中心として約 3cm の隆起が生じることから，上から 2 段目のように長期的 SSE の期間を含む場合には，宿毛市の隆起が目立つプロファイルとなると考えられる．［参考］豊後水道の長期的 SSE：1997 年 8 ～ 12 月．2003 年 8 ～ 12 月．2009 年秋～ 2010 年夏．2018 年春～ 2020 年 1 月．

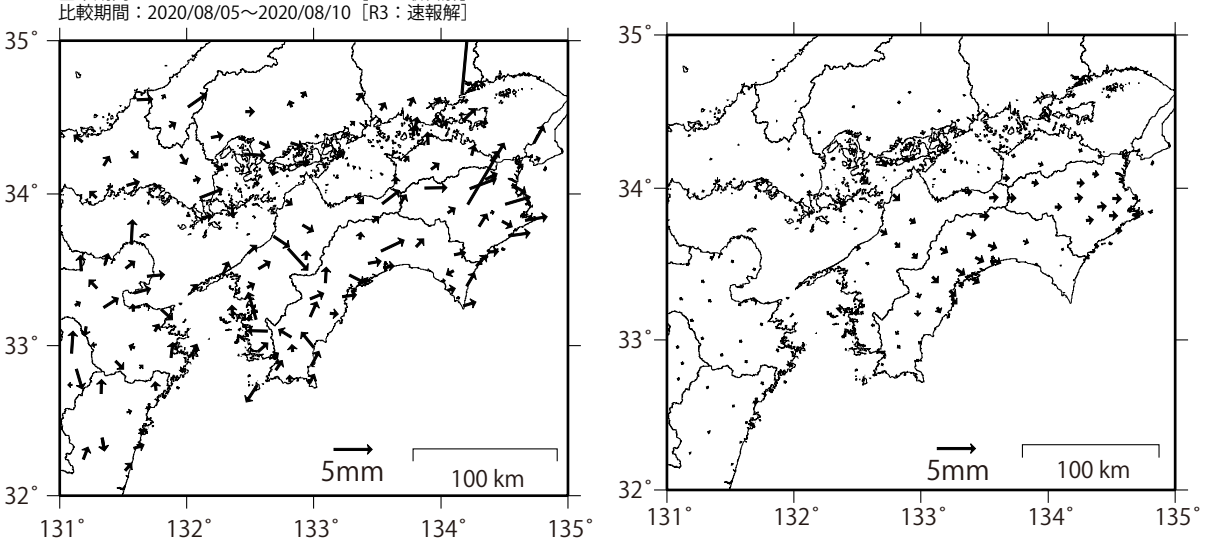
GNSSデータから推定された
四国西部の深部低周波微動と同期したスロースリップ（暫定）



推定したすべり量が標準偏差（σ）の3倍以上のグリッドを黒色表示している。

観測　　計算

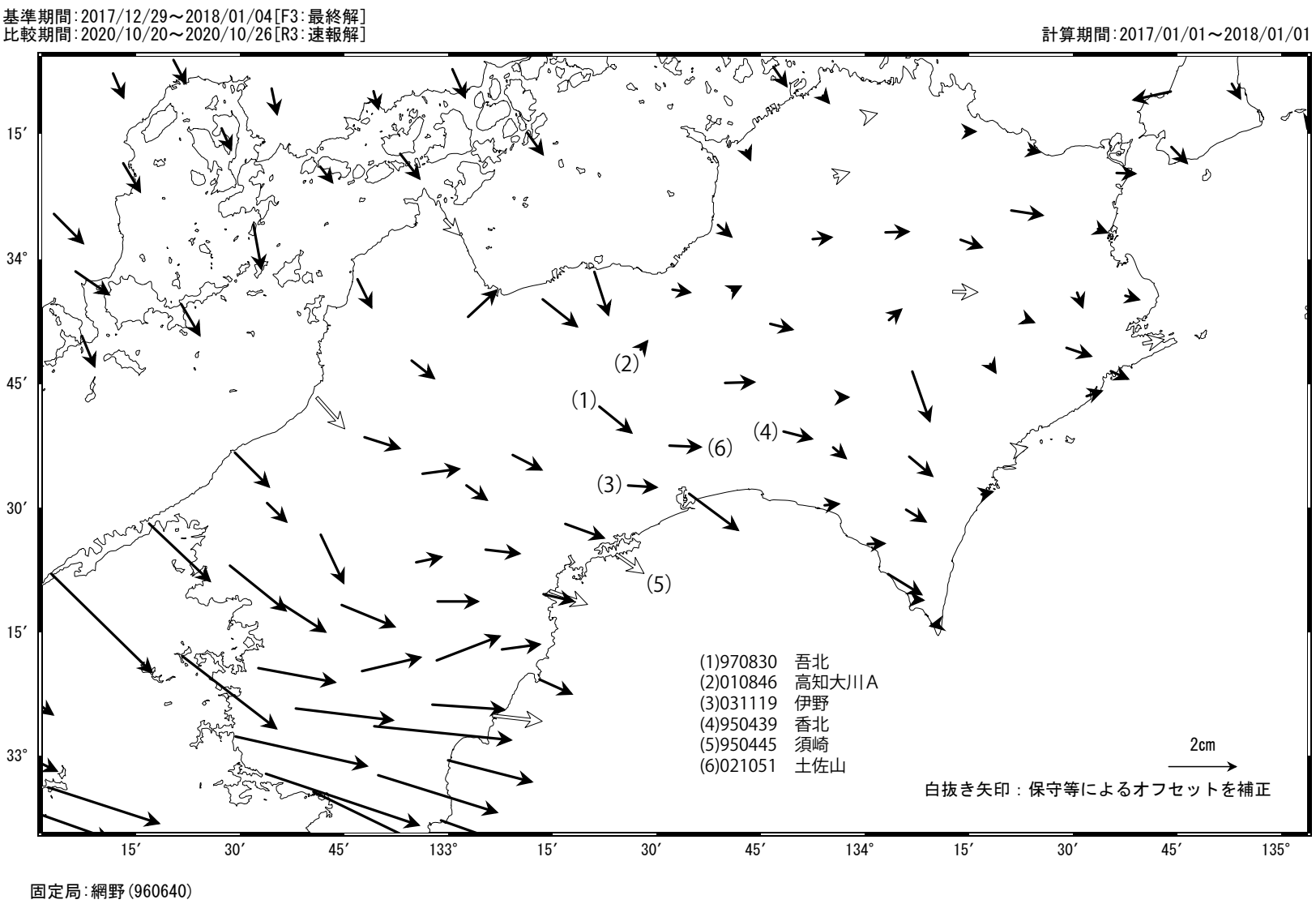
基準期間：2020/07/01～2020/07/22［F3：最終解］
比較期間：2020/08/05～2020/08/10［R3：速報解］



解析に使用した全観測点の座標時系列から
共通に含まれる時間変化成分は取り除いている。
基準期間と比較期間の間のオフセットをRamp関数で推定

解析に使用した観測点の範囲：概ね北緯32～34.6°、東経131～134.8°
使用データ：F3解（2020/7/1 - 2020/7/25)+R3解(2020/7/26- 2020/8/10)
トレンド期間：2019/6/1 - 2020/6/1
モーメント計算範囲：上段の図の黒枠内側
黒破線：フィリピン海プレート上面の等深線（弘瀬・他、2007）
赤丸：低周波地震（気象庁一元化震源）
コンター間隔：5mm
固定局：三隅

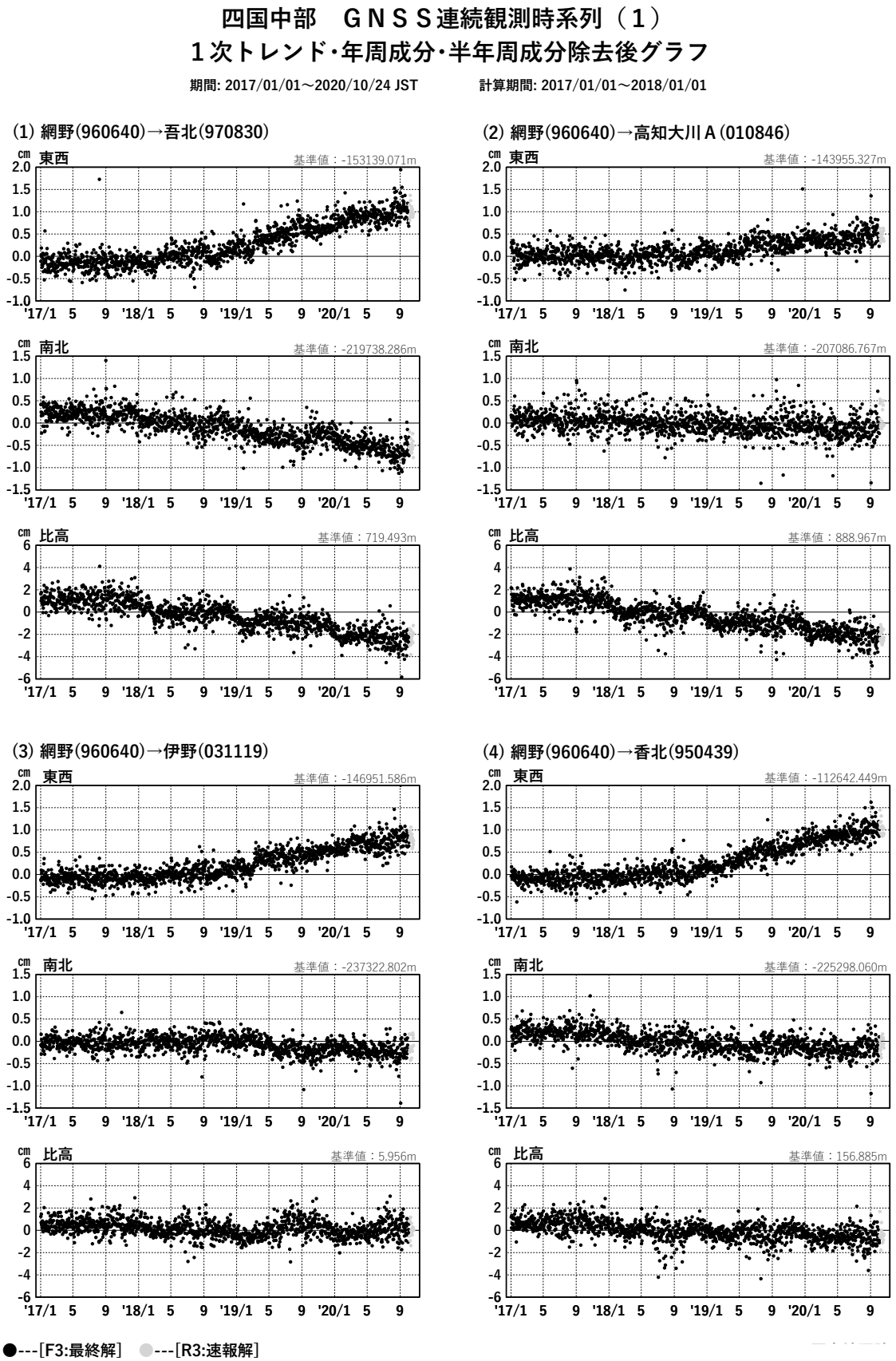
第 1 図　四国西部の深部低周波微動と同期したスロースリップ
Fig. 1　Estimated slip distribution on the plate interface beneath the western part of Shikoku.



第 2 図　四国中部の非定常水平地殻変動

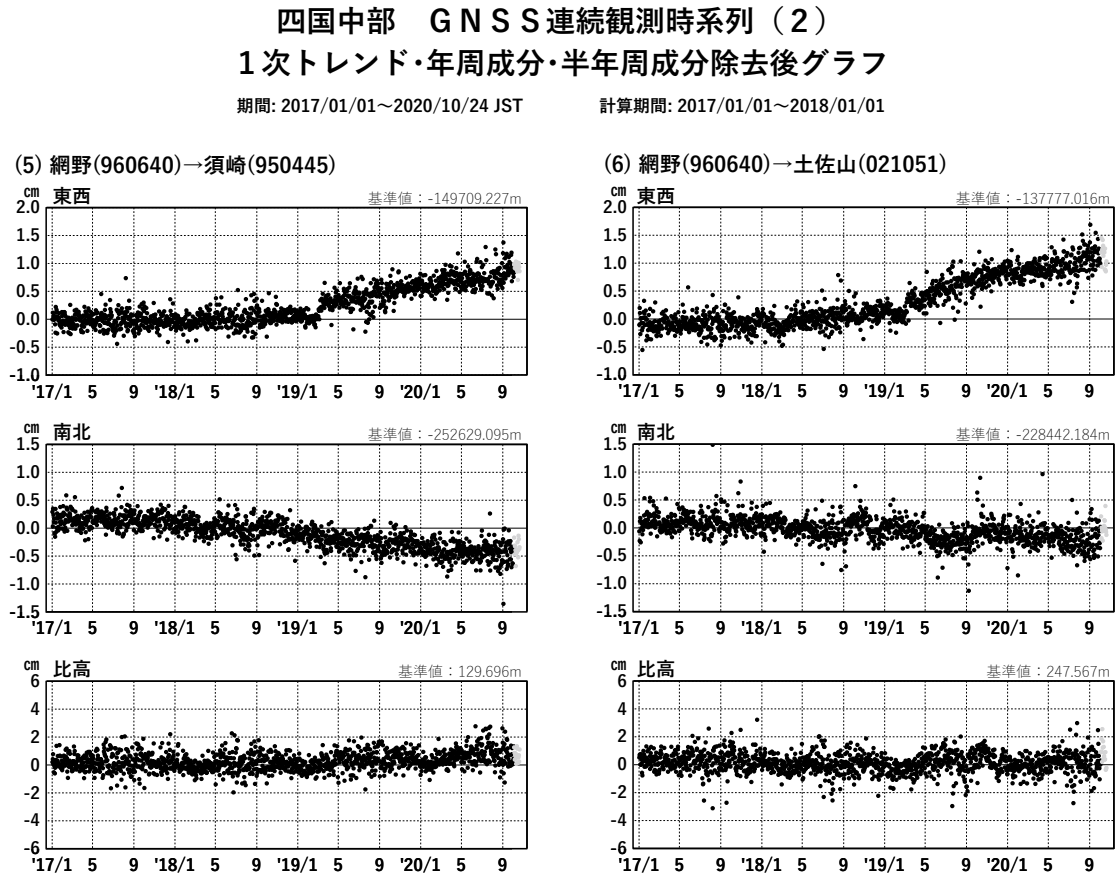
Fig. 2　Transient horizontal deformation in the central part of Shikoku.

地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行



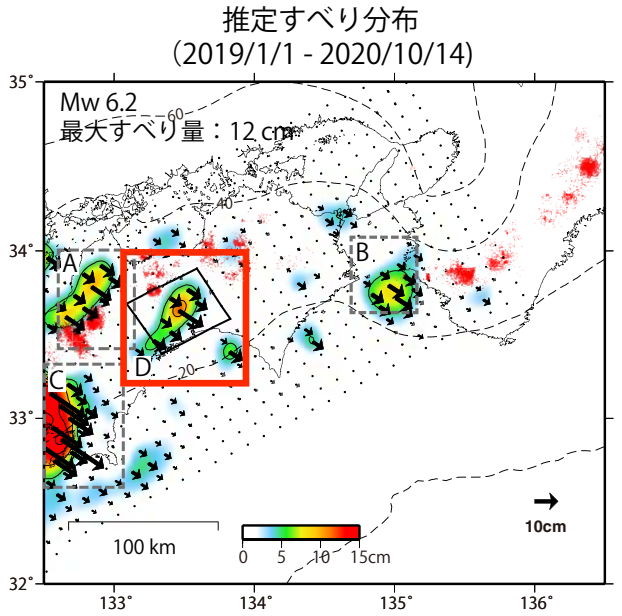
第 3 図　四国中部の GNSS 連続観測時系列

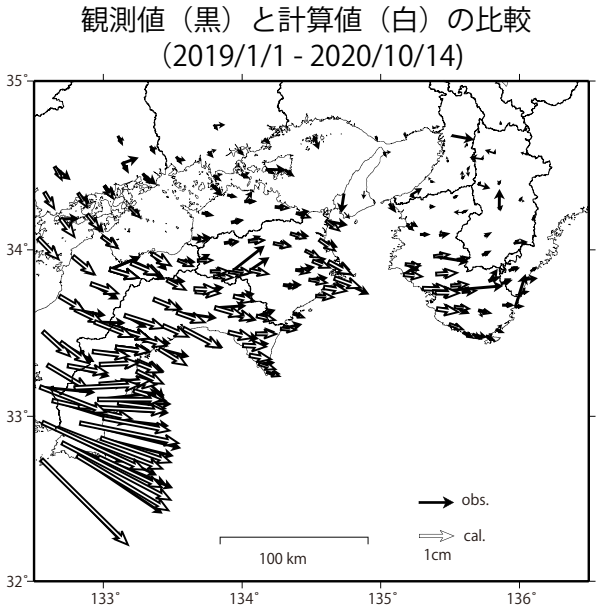
Fig. 3　Results of continuous GNSS measurements in the central part of Shikoku with respect to the Misumi station.



第 4 図　四国中部　GNSS 連続観測時系列
Fig. 4　Results of continuous GNSS measurements in the central part of Shikoku with respect to the Misumi station.

GNSSデータから推定された
四国中部の長期的ゆっくりすべり（暫定）



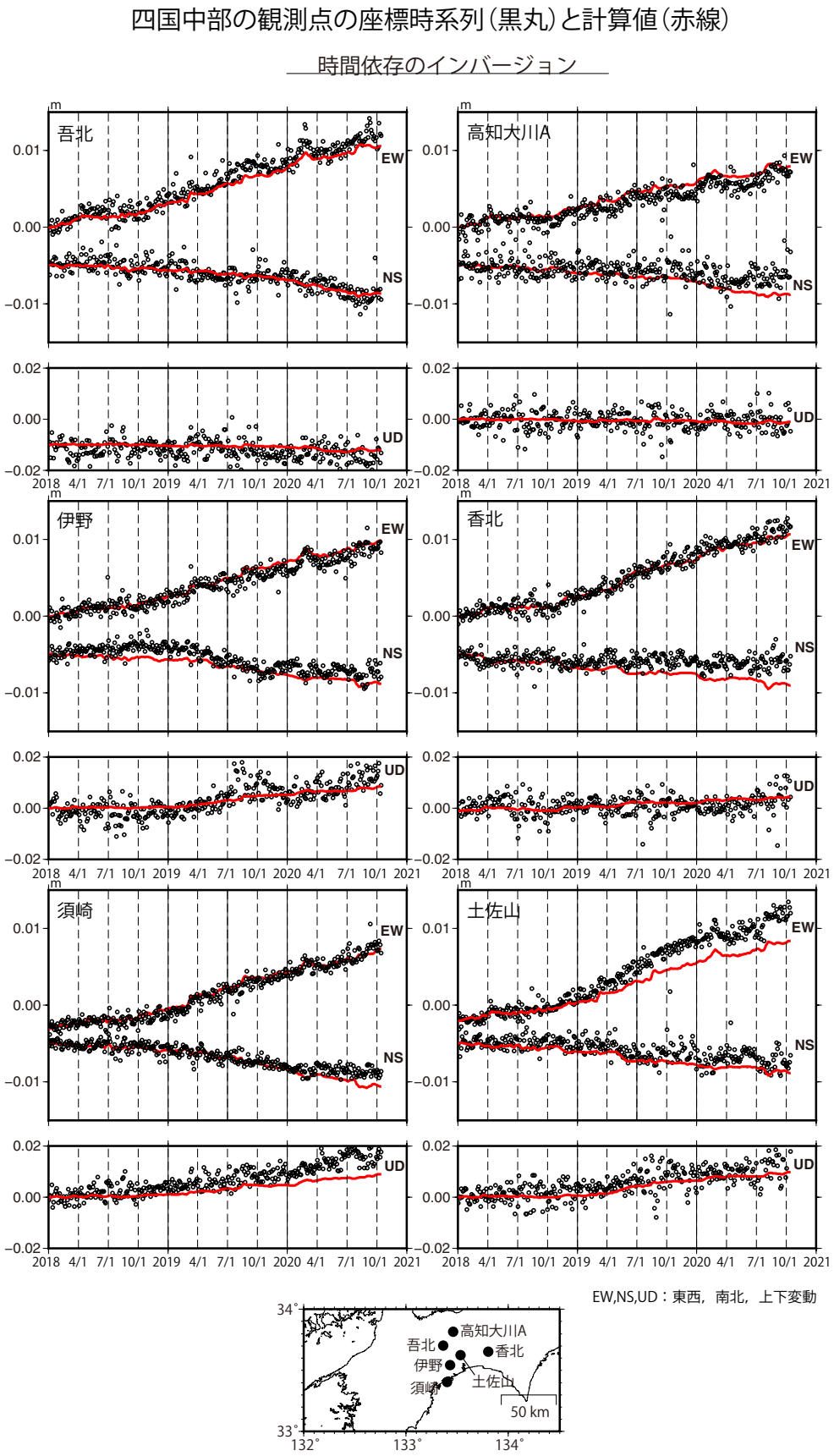


A　四国西部の短期的ゆっくりすべり
B　紀伊水道の長期的ゆっくりすべり
C　豊後水道の長期的ゆっくりすべり
D　四国中部の長期的ゆっくりすべり

使用データ：F3解 (2019/1/1 - 2020/10/3) + R3解 (2020/10/4 - 2020/10/14)　※電子基準点の保守等による変動は補正済み
トレンド期間：2017/1/1 - 2018/1/1（年周・半年周成分は 2017/1/1 - 2020/10/14 のデータで補正）
モーメント計算範囲：左図の黒枠内側
観測値：3日間の平均値をカルマンフィルターで平滑化した値
黒破線：フィリピン海プレート上面の等深線 (弘瀬･他、2007)
すべり方向：プレートの沈み込み方向と平行な方向に拘束
赤丸：低周波地震（気象庁一元化震源）
固定局：網野

第 5 図 (a)　四国中部において推定される長期的ゆっくりすべり（暫定）
Fig. 5(a)　Estimated slip distribution on the plate interface beneath the central part of Shikoku (preliminary results).

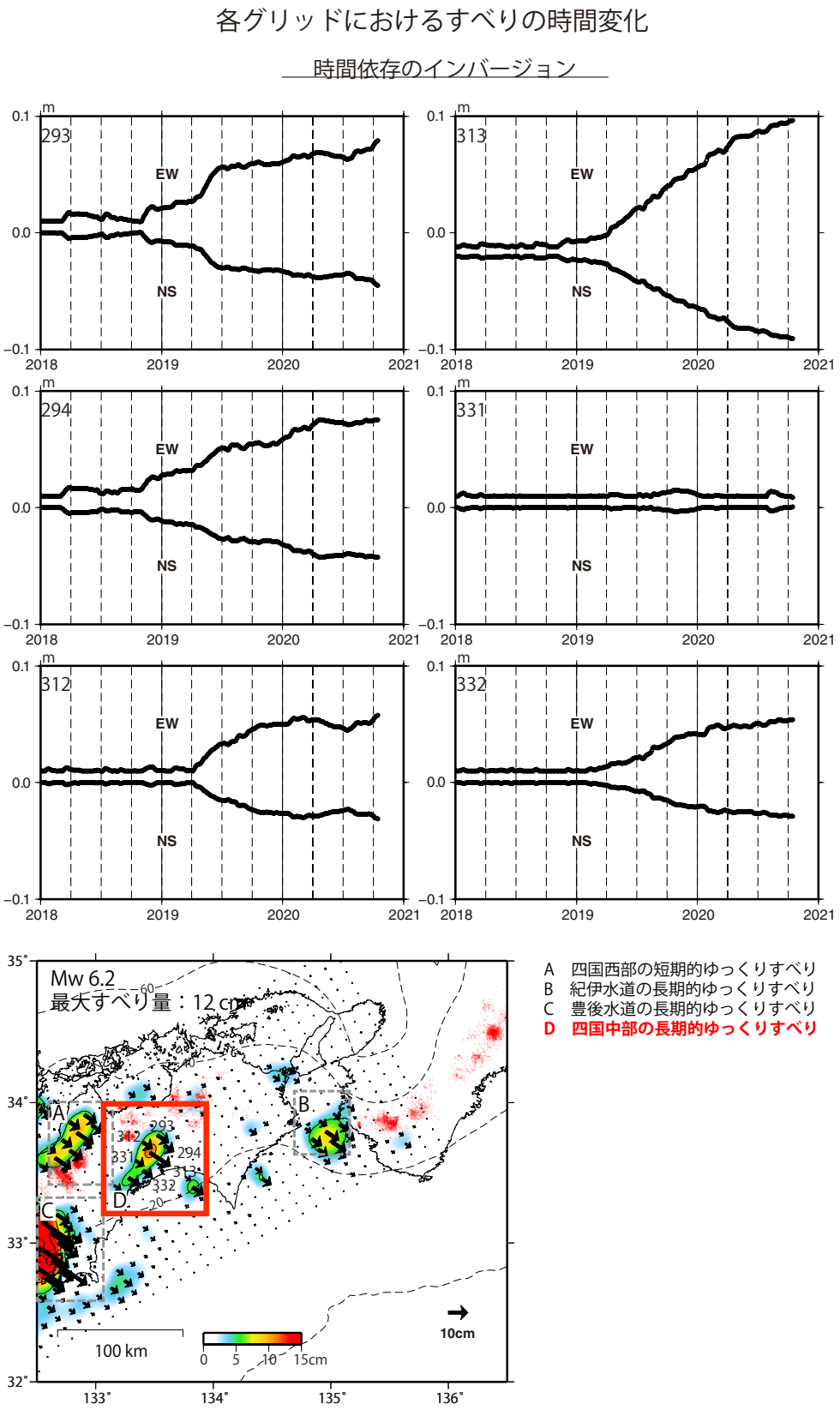
第 5 図 (b)　観測値（黒）と計算値（白）の比較
Fig. 5(b)　Comparison of observed (black) and calculated (white) displacements.



第 6 図　四国中部の観測点の座標時系列（黒丸）と計算値（赤線）

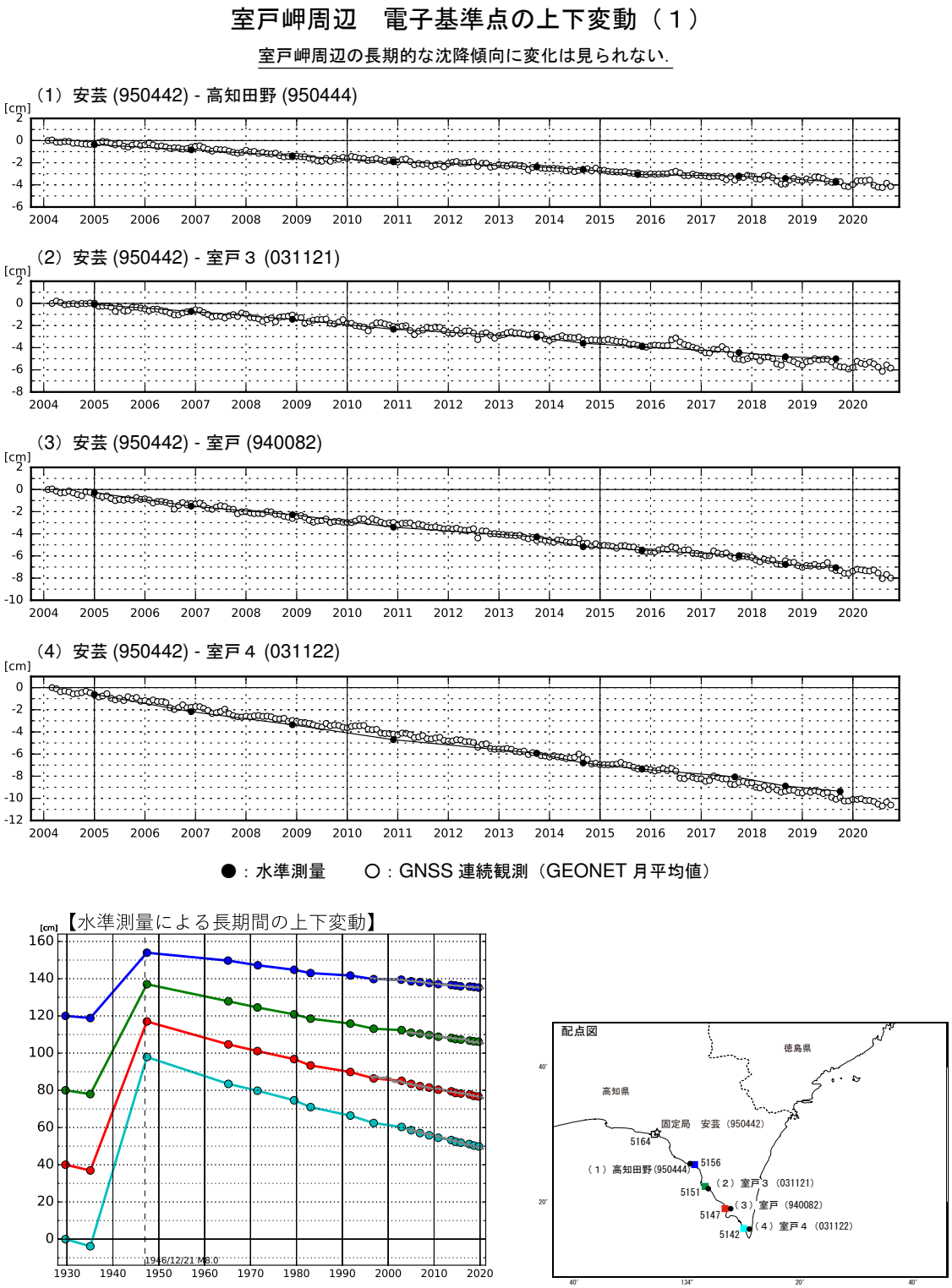
Fig. 6　Observed (black dots) and calculated (red line) deformations at the GNSS stations in the central part of Shikoku.

四国中部の長期的ゆっくりすべり



第 7 図　時間依存インバージョンで推定されたプレート間滑りの時間変化

Fig. 7　Time evolution of the estimated slip by the time dependent inversion method.

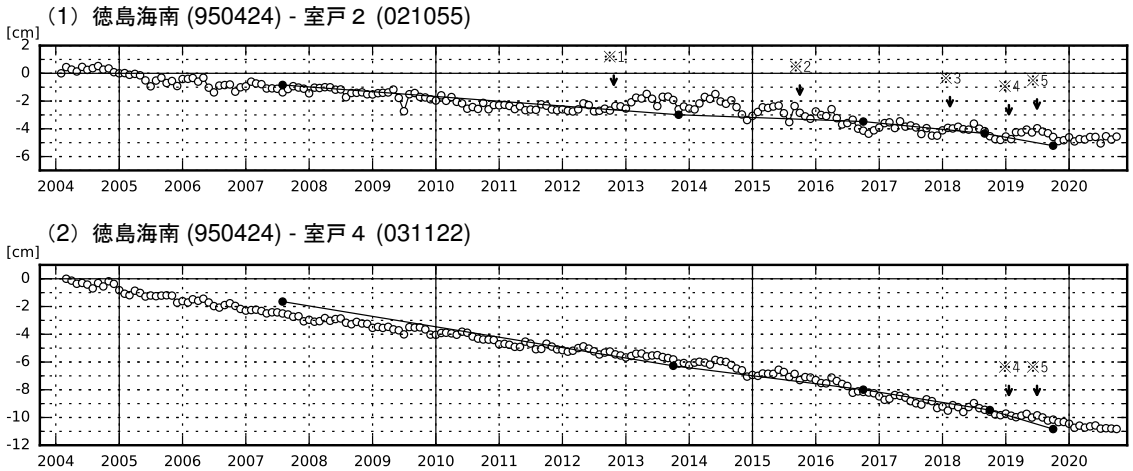


・GNSS 連続観測のプロット点は，GEONET による日々の座標値（F3：最終解）から計算した値の月平均値である。（最新のプロット点：10/1～10/17 の平均値）
・水準測量の結果は，最寄りの一等水準点の結果を表示しており，GNSS 連続観測の全期間の値との差が最小となるように描画している。
・「水準測量による長期間の上下変動」のグラフにおける，各プロットの色は配点図の水準点の色と対応する。また，灰色のプロットは GEONET の月平均値を示している。

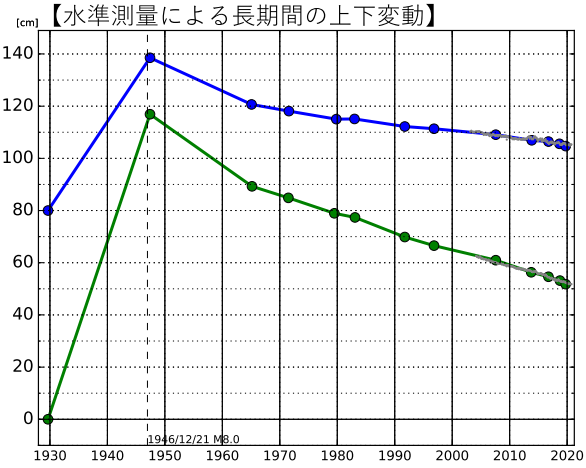
第 8 図　室戸岬周辺 電子基準点の上下変動（水準測量と GNSS）(1)
Fig. 8　Vertical displacements of GEONET stations around Cape Muroto (leveling and GNSS measurements) (1).

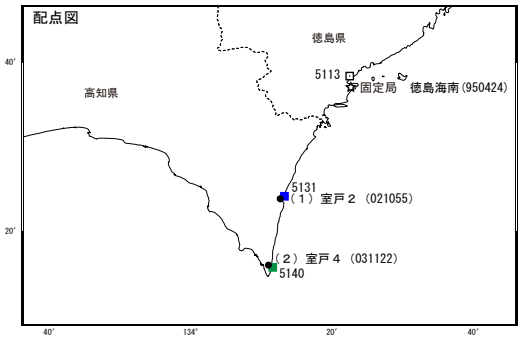
室戸岬周辺　電子基準点の上下変動（２）

室戸岬周辺の長期的な沈降傾向に変化は見られない.



●：水準測量　　○：GNSS 連続観測（GEONET 月平均値）

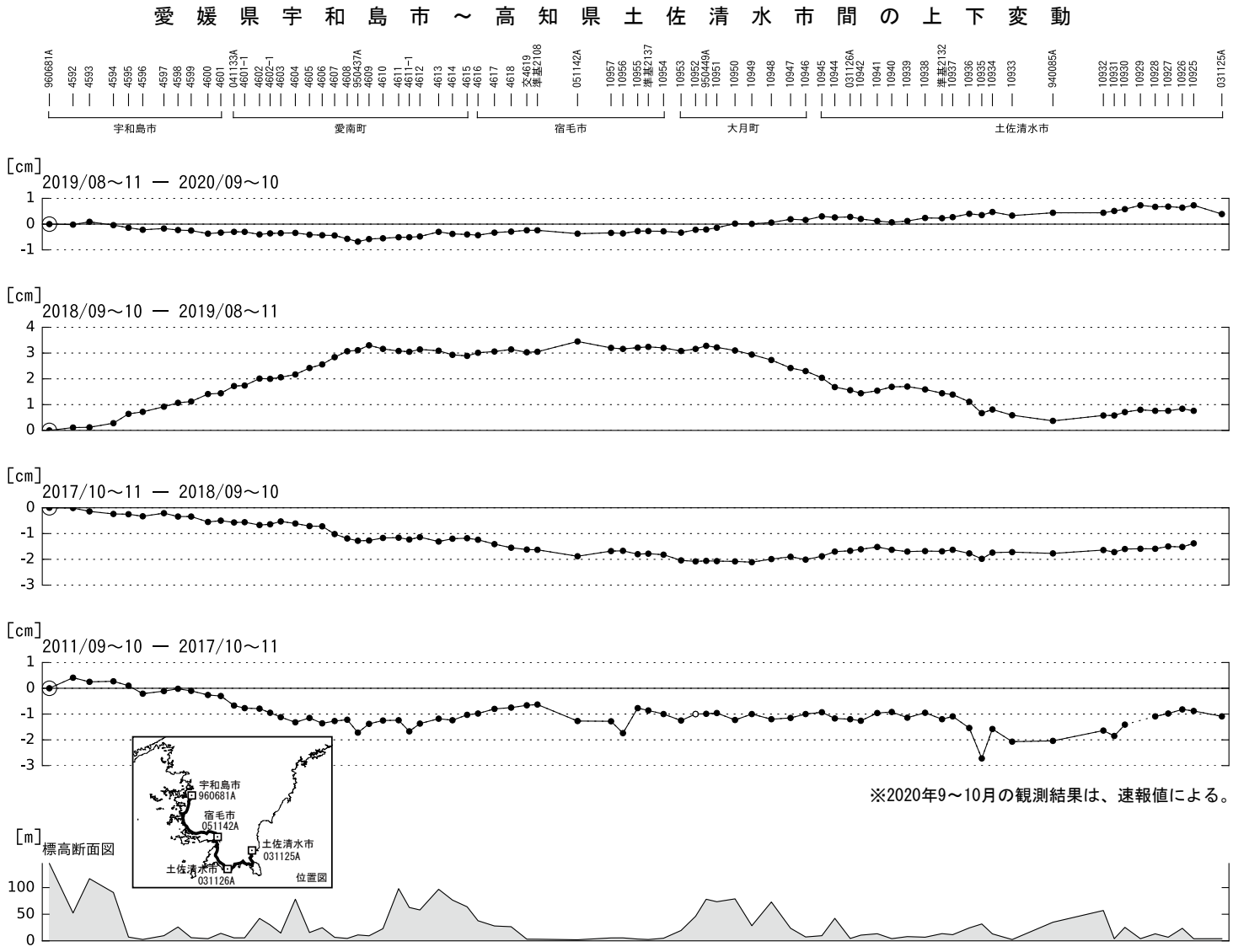




・GNSS 連続観測のプロット点は，GEONET による日々の座標値（F3：最終解）から計算した値の月平均値である。（最新のプロット点：10/1～10/17 の平均値）
・水準測量の結果は，最寄りの一等水準点の結果を表示しており，GNSS 連続観測の全期間の値との差が最小となるように描画している。
・「水準測量による長期間の上下変動」のグラフにおける，各プロットの色は配点図の水準点の色と対応する。また，灰色のプロットは GEONET の月平均値を示している。

※1 2012/10/23 に電子基準点「室戸２（021055）」のアンテナ及び受信機交換を実施した。
※2 2015/10/1 に電子基準点「室戸２（021055）」の受信機交換を実施した。
※3 2018/2/13 に電子基準点「室戸２（021055）」のアンテナ及び受信機交換を実施した。
※4 2019/1/16 に電子基準点「徳島海南（950424）」の受信機交換を実施した。
※5 2019/7/11 に電子基準点「徳島海南（950424）」のアンテナ交換を実施した。

第 9 図　室戸岬周辺 電子基準点の上下変動（水準測量と GNSS）（2）
Fig. 9　Vertical displacements of GEONET stations around Cape Muroto (leveling and GNSS measurements) (2).



第 10 図　宇和島市～土佐清水市間の上下変動

Fig. 10　Results of leveling survey along the leveling route from Uwajima city to Tosashimizu city.

９－３　西南日本における短期的スロースリップイベント (2020 年 5 月～ 2020 年 10 月)
Short-term slow slip events with non-volcanic tremor in southwest Japan (May 2020-October 2020)

防災科学技術研究所
National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

2020 年 5 月から 2020 年 10 月にかけて西南日本の深部低周波微動[1)]に同期して発生した短期的スロースリップイベント[2, 3)](SSE）について報告する．第 1 図に今回報告する SSE をまとめた．これまでのイベントの履歴については，連絡会報[1)]を参照されたい．

（1）2020 年 7 ～ 8 月　四国中西部

2020 年 7 月 26 日～ 8 月 2 日と 8 月 5 日～ 8 日に四国中西部の観測点で，深部低周波微動と同期した SSE による傾斜変化がとらえられた（第 2 図）．傾斜変化ベクトル，データから推定された SSE の矩形断層モデル，モデルから計算される傾斜変化ベクトルを第 3 図に示した． この SSE の規模は Mw 6.3 に推定された．SSE のすべり域は同期間に発生した微動および超低周波地震[5)]（VLFE）の震央位置とよく一致している．2019 年 8 月に四国西部で Mw 6.0 の短期的 SSE が発生している[6)]．

（2）2020 年 10 ～ 11 月　紀伊半島北部

2020 年 10 月 31 日～ 11 月 4 日に紀伊半島北部の観測点で，深部低周波微動と同期した SSE による傾斜変化がとらえられた（第 4 図）．傾斜変化ベクトル，SSE の断層モデル，モデルから計算される傾斜変化ベクトルを第 5 図に示した． この SSE の規模は Mw 5.8 に推定された．SSE のすべり域は同期間に発生した微動および VLFE の震央位置とよく一致している．2019 年 11 月に紀伊半島北部で Mw 5.8 の短期的 SSE が発生している[6)]．

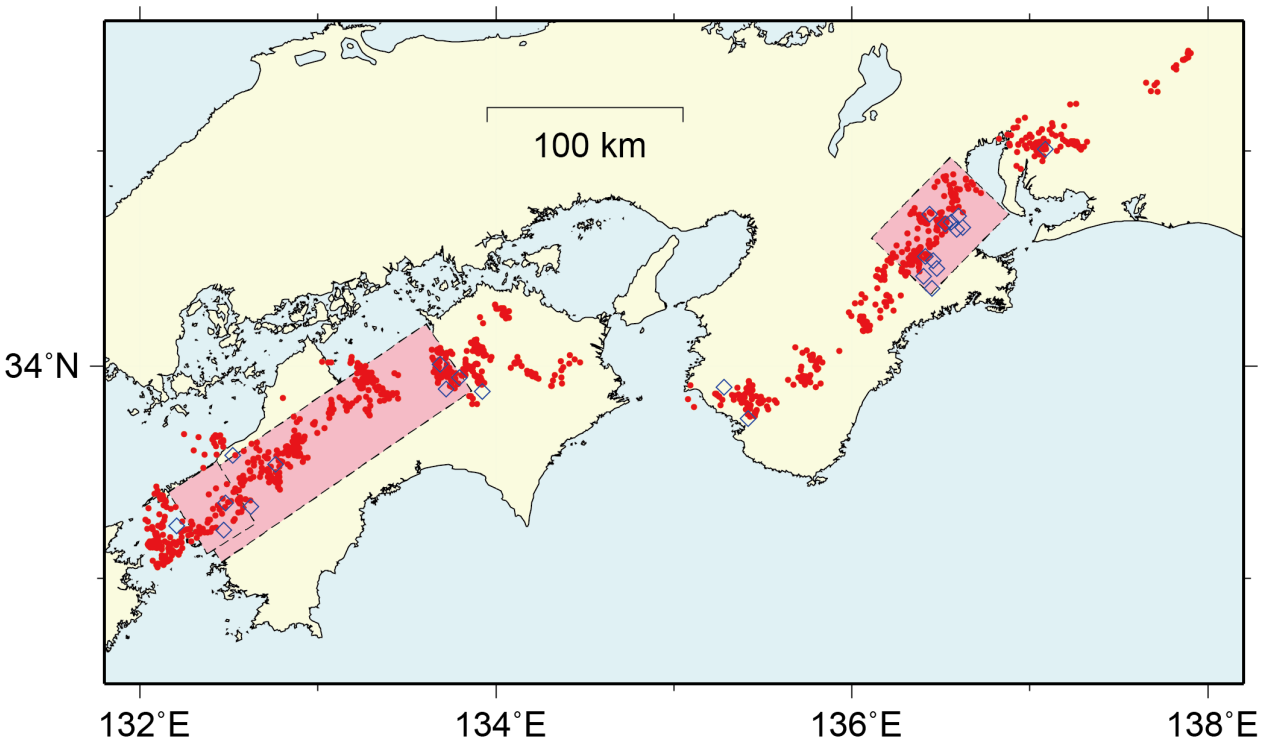
（木村　武志）
KIMURA Takeshi

謝辞

気象庁のホームページで公開されている気象台等の気象観測データを使用させていただきました．記して感謝いたします．

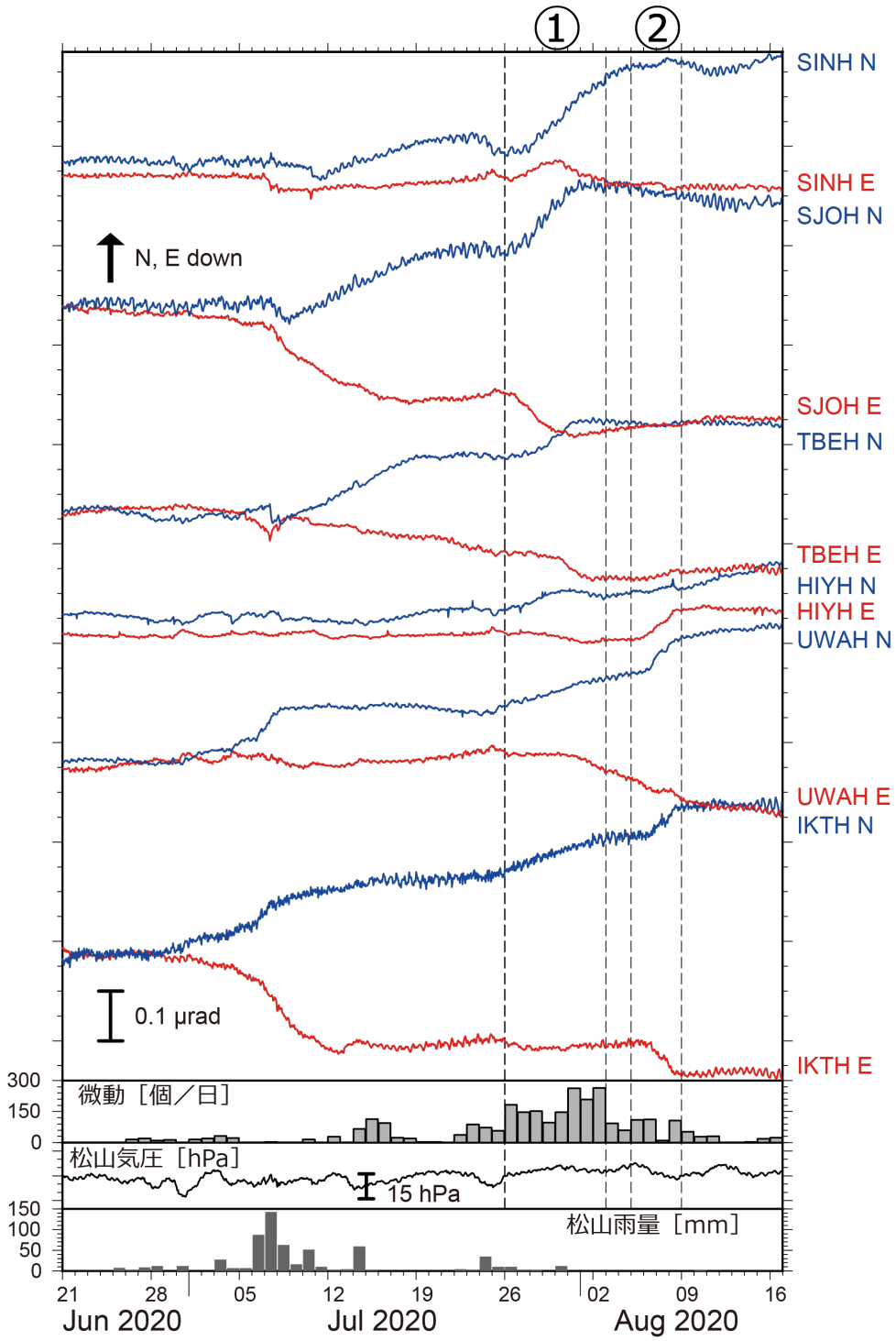
参考文献

1） 防災科学技術研究所（2021），*予知連会報*，本号．
2） Obara, et al. (2004), *Geophys. Res. Lett.*, **31** (23), doi:10.1029/2004GL020848.
3） Hirose and Obara (2005), *Earth Planets Space,* **57**（10）, 961-972.
4） Tamura et al. (1991), *Geophys. J. Int.*, **104**, 507-516.
5） Ito et al. (2007), *Science*, **315**, 503-506.
6） 防災科学技術研究所（2020），*予知連会報* , **104**, 415-420.



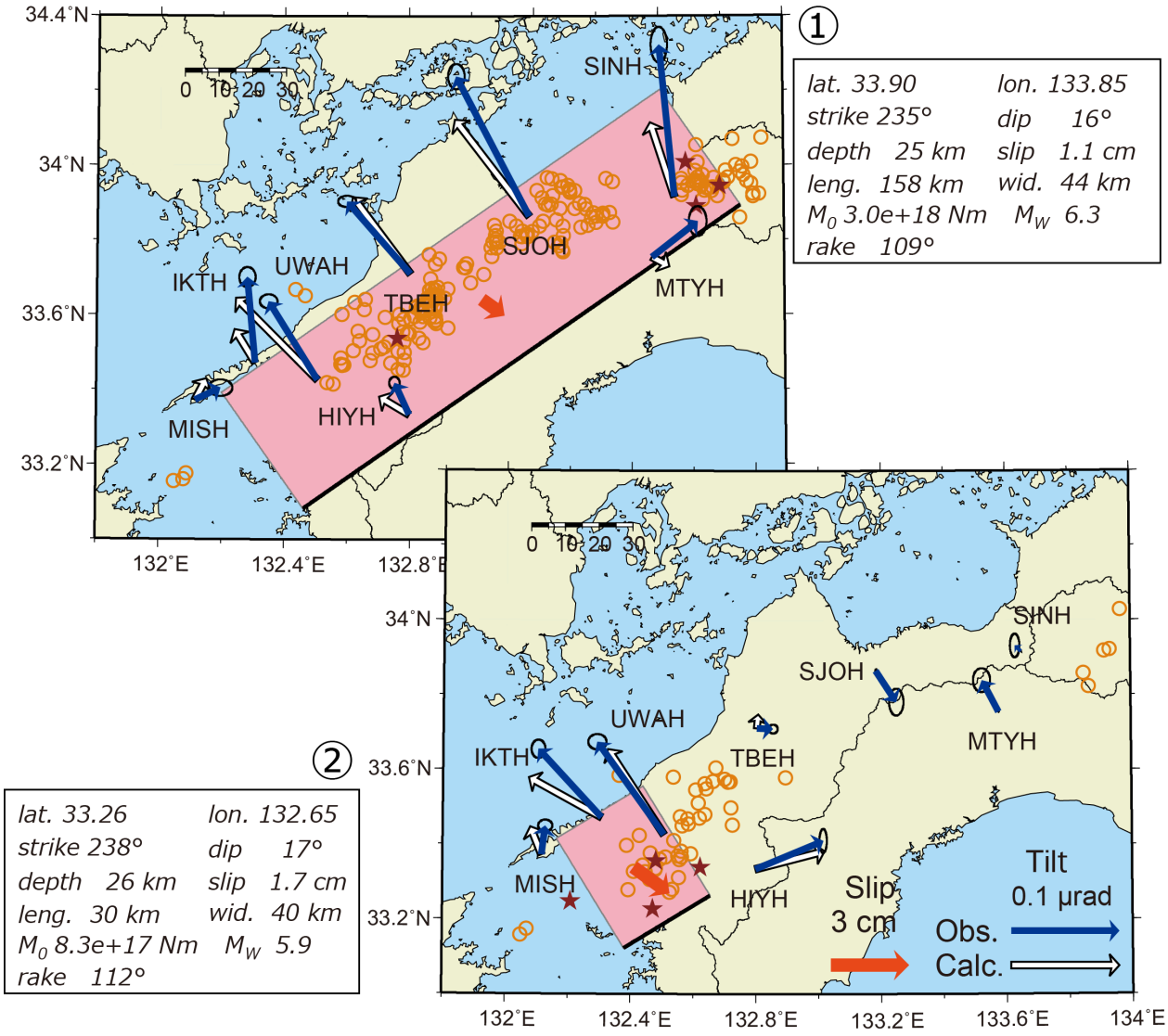
第 1 図　2020 年 5 月 1 日～ 2020 年 11 月 4 日の期間に検知された短期的 SSE (ピンク矩形). 同期間に発生した深部低周波微動 (赤点) 及び VLFE の震央 (青菱形) を重ねて表示した.

Fig. 1　Distribution of SSEs detected from May 1, 2020 to November 4, 2020. Red dots and blue diamonds show epicenters of tremors and VLFEs, respectively.



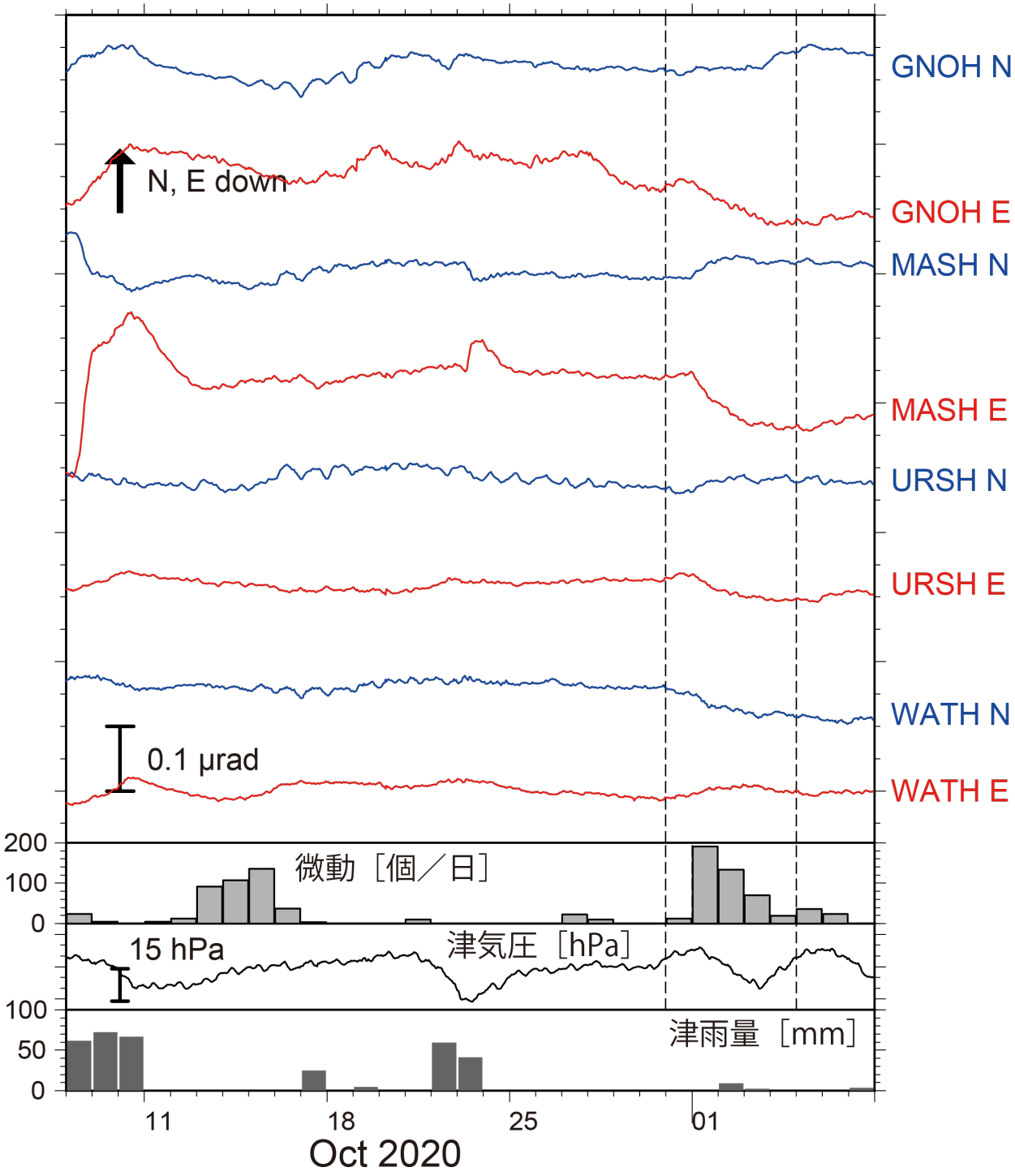
第 2 図　2020 年 6 月 21 日から 8 月 16 日までの傾斜時系列．観測点位置は第 3 図に示した．記録は上方向への変化が北・東下がりの傾斜変動を表す．気圧応答・潮汐成分を BAYTAP-G4) により除去し，直線トレンドを補正した後の記録を示した．期間①②の傾斜変化量を SSE によるものと仮定した．四国中西部での微動活動度・気象庁宇和島観測点での気圧変化および雨量をあわせて表示した．

Fig. 2　Time series of tiltmeter records, daily tremor counts, atmospheric pressure change and daily precipitation in the central and western Shikoku region from June 21, 2020 to August 16, 2020. `N' and `E' that follow a four-character station code denote the northward and eastward ground down tilt components, respectively. The tilt changes for the time windows indicated by the broken lines are assumed to be caused by an SSE. The atmospheric pressure and precipitation were observed at the JMA Uwajima meteorological observatory. The displayed tilt records are detided and their atmospheric pressure responses are corrected with BAYTAP-G4).



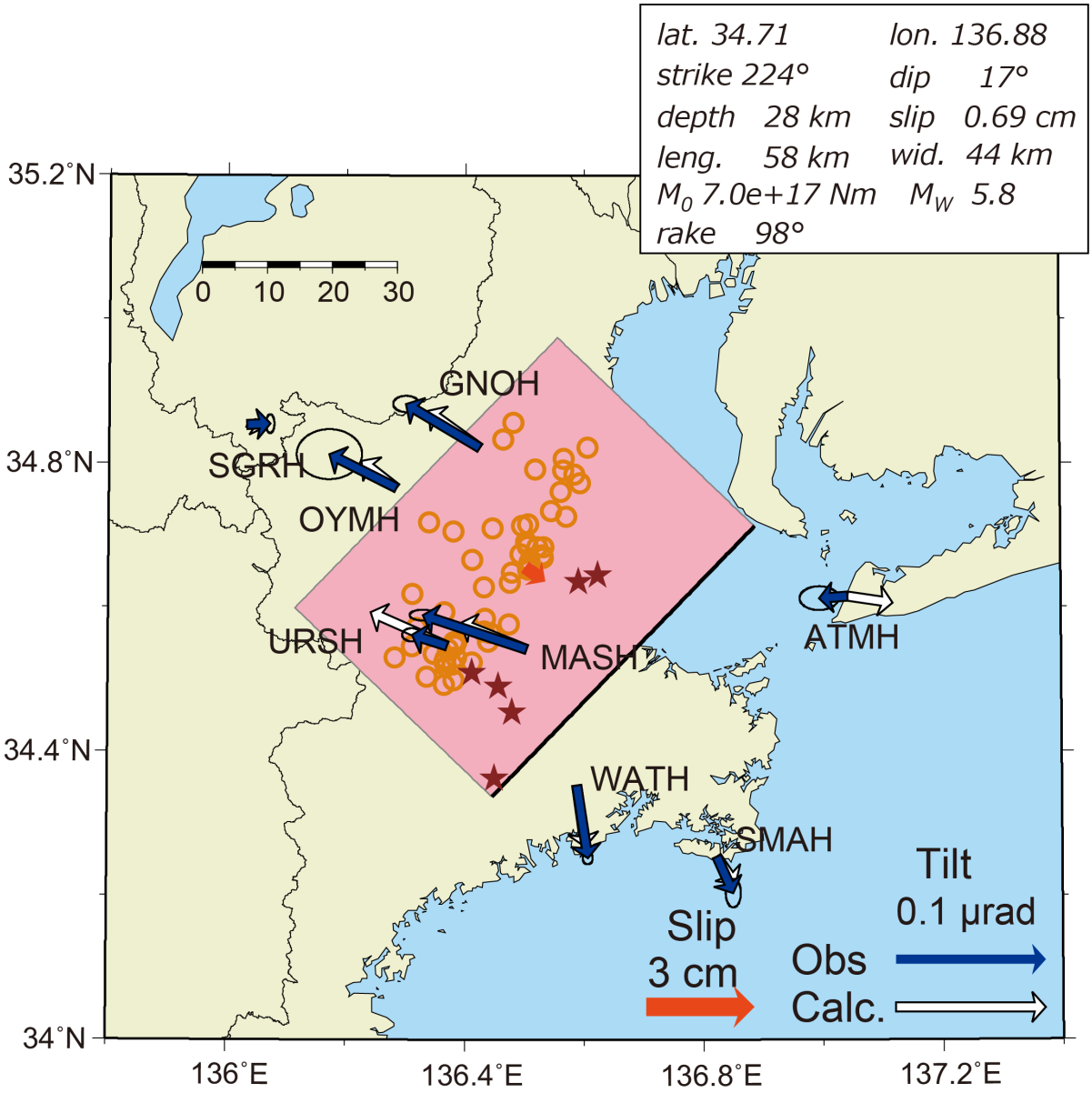
第 3 図　2020 年 10 ～ 11 月四国中西部の短期的 SSE の断層モデル．第 2 図の破線で示された期間に観測された傾斜変化ベクトル (青矢印)・このデータから推定された SSE の断層モデル (赤矩形・矢印)・モデルから計算される傾斜変化ベクトル (白抜き矢印) を示す．同じ期間の微動と深部超低周波地震の震央を橙円と茶星印で示した．

Fig. 3　Observed tilt change vectors for the time windows indicated Fig. 2 (blue arrows), the estimated fault slip (red arrow), rectangular fault location and geometry (pink rectangle) based on the tilt change vectors, and the calculated tilt changes due to the fault models (open arrows). Orange circles and stars show epicenters of the tremor activity and VLFEs, respectively, occurred in the time periods.



第 4 図　2020 年 10 月 8 日～ 11 月 7 日までの傾斜時系列．図の見方は第 2 図と同様．観測点位置は第 5 図に示した．10 月 31 日～ 11 月 4 日の傾斜変化量を SSE によるものと仮定した．紀伊半島北部における微動活動度・気象庁津観測点での気圧変化および雨量をあわせて表示した．

Fig. 4　Same as Fig. 2 but for the records observed in the northern Kii peninsula from October 31, 2020 to November 4, 2019. The tilt changes for the time window indicated by the broken lines are assumed to be caused by an SSE. The atmospheric pressure and the precipitation were observed at the JMA Tsu meteorological observatory. The station locations and the tilt changes during the time windows indicated by broken lines are shown in Fig. 5.



第 5 図　2020 年 10 ～ 11 月紀伊半島北部の SSE の断層モデル．図の見方は第 3 図と同じ．
Fig. 5　Same as Fig. 3 but for the October-November 2020 short-term SSE in the northern Kii peninsula.

９－４　鳥取県・岡山県・島根県における温泉水変化（2020 年 5 月～ 2020 年 10 月）
Temporal Variation in the hot spring water in the Tottori Prefecture, Okayama Prefecture and Shimane Prefecture, Japan (May 2020 – October 2020)

鳥取大学工学部・産業技術総合研究所
Faculty of Engineering, Tottori Univ. and Geological Survey of Japan, AIST.

1．はじめに

鳥取県・島根県・岡山県は温泉が多く，その所在も地震活動と関連していると考えられる．この地方の特徴を生かし，国際ロータリー第 2690 地区，鳥取県西部地震義援金事業の一環として，温泉水観測網を山陰地方（鳥取県西部地震周辺及び鳥取県東部・岡山県北部地域）に整備し，地震活動と温泉水変化との関連を調べている．

2．観測

現在観測を行っている地点は 7 点である（第 1 図）．観測方法としては，温泉井に水位計や温度計（分解能：1/100℃）を設置し，測定値をデータロガーに収録，定期的に現地集録して，鳥取大学工学部でデータ処理し，温泉データと地震データ等との比較により関係を調べる．なお，鷺の湯温泉の水温は 2020 年 10 月 6 日以降，計器交換のため分解能：1/10℃での測定となっている．解析の結果は，速報として観測センターのホームページで公開している（https://onsen-network.tank.jp/）．2020 年秋から新しい URL へ変更した．

水位・水温の測定インターバルは 10 秒で 1 分間の平均値を記録している．温度センサーは，事前の温度検層により，湯谷温泉等を除いて，最も温度変化の大きい位置（深さ）に設置している（鳥取温泉 175m，岩井温泉 150m，三朝温泉 25m，奥津温泉 130m 等）．なお，鷺の湯温泉では 2020 年 10 月 6 日以降は，20m の位置に設置している．なお，湯谷（第 1 図の 6）では 2012 年度から，その他の点では 2016 年 6 月からデータをテレメーター集録から現地集録に切り替えている．

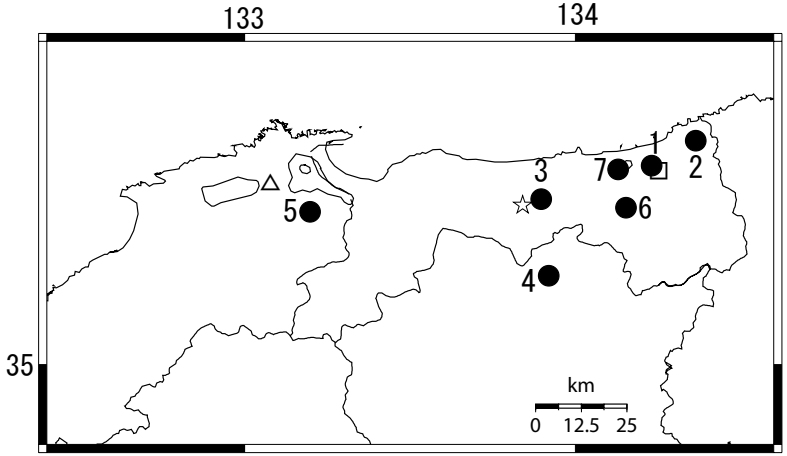
3．結果（第 2 ～ 4 図）

結果（原則として 1 時間値）を第 2 ～ 4 図に示す．気圧や気温の記録は，鳥取や松江の気象台の測定値を用いている．吉岡温泉の水温はこれまで 30 ～ 40℃の範囲で変化していたが，2019 年 11 月から温泉の汲み上げが停止する不具合が発生したため，水温は大きく低下していた．その後も，温泉の汲み上げ状況に大きく影響されていると思われる．2020 年 6 月中旬・7 月下旬・9 月の大雨によって，鳥取温泉の水温，鷺の湯温泉の水位に変動が出ている．2020 年 4 月中旬以降，岩井温泉の水位は測定範囲の上限（2.0m）まで度々上昇している．2020 年 8 月 26 日から 10 月 6 日までの鷺の湯温泉の水温は計器故障のため欠測であり，10 月 6 日に計器を交換した．2020 年 9 月 24 日以降の奥津温泉の水位は計測システムのトラブルにて欠測である．

2020 年 2 月～ 2020 年 7 月の間に，第 1 図の範囲内 (北緯 34.8 ～ 35.8 度，東経 132.4 ～ 134.6 度）で深さ 30km 以浅で M4 以上の地震は，無かった．M4 未満で観測点周辺に震度 2 以上の揺れをもたらした地震は，2020 年 8 月に 1 回（震度 2 が 1 回）発生した．

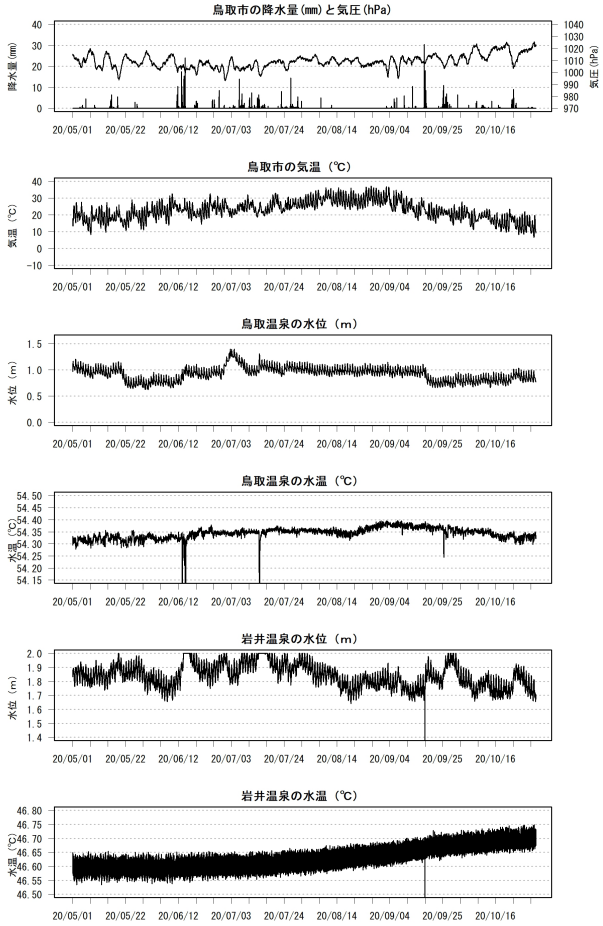
2020 年 8 月 29 日に鳥取県中部で M3.9 の地震が発生した（第 1 図）．湯谷温泉の水温は，地震直後にいったん低下した後，ゆるやかに上昇した．

（野口　竜也・香川　敬生・西田　良平・北川　有一）



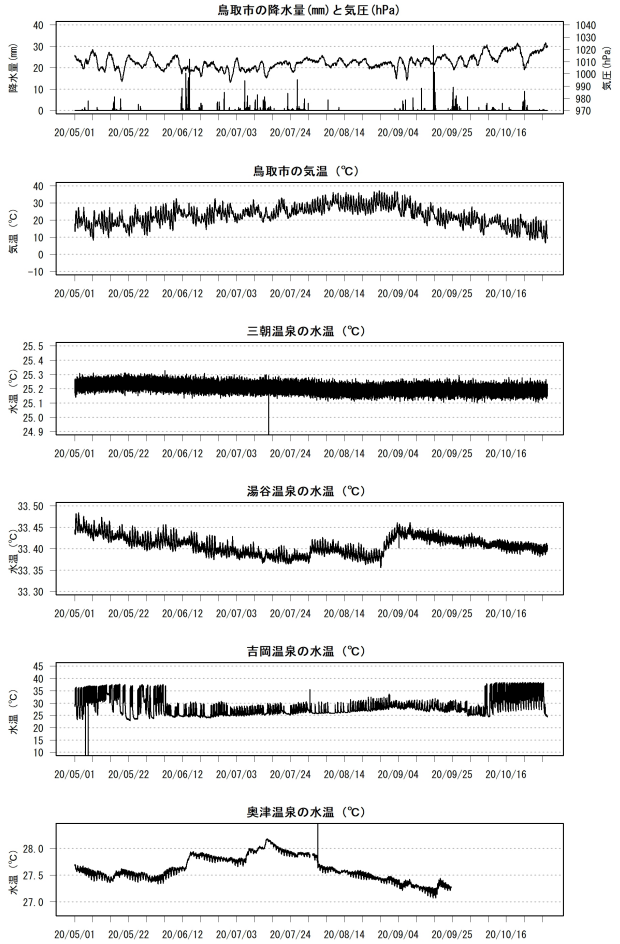
第 1 図　鳥取気象台（□）と松江気象台（△）および温泉水観測点（●）の分布．☆は 2020 年 8 月 28 日の鳥取県中部の地震（M3.9）の震央．1 : 鳥取温泉，2 : 岩井温泉，3 : 三朝温泉，4 : 奥津温泉，5 : 鷺の湯温泉，6 : 湯谷温泉，7 : 吉岡温泉

Fig. 1　Location of Tottori Local Meteorological Observatory (□), Matsue Local Meteorological Observatory (△) and hot spring water observation stations (●). ☆ shows the epicenter of Central Tottori Prefecture earthquake (M3.9) on August 28, 2020. 1:Tottori, 2:Iwai, 3:Misasa, 4:Okutsu, 5:Saginoyu, 6:Yudani, 7:Yoshioka.



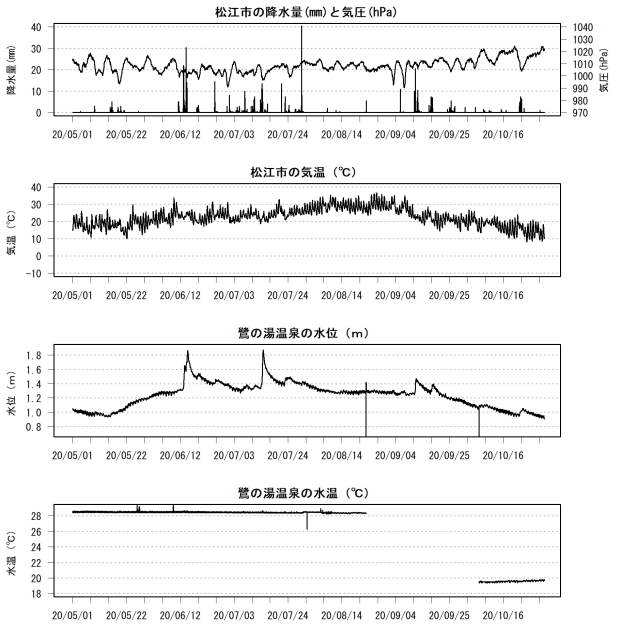
第 2 図　鳥取温泉（第 1 図の 1）と岩井温泉（2）の 2020 年 5 月～ 2020 年 10 月における観測結果．

Fig. 2　Observation results at Tottori (1) and Iwai (2) from May 2020 to October 2020.



第 3 図　三朝温泉（3）・湯谷温泉（6）・吉岡温泉（7）・奥津温泉（4）の 2020 年 5 月～ 2020 年 10 月における観測結果.

Fig. 3　Observation results at Misasa (3), Yudani (6), Yoshioka (7) and Okutsu (4) from May 2020 to October 2020.



第 4 図　鷺の湯温泉（5）の 2020 年 5 月～ 2020 年 10 月における観測結果.

Fig. 4　Observation results at Saginoyu (5) from May 2020 to October 2020.

10 － 1　九州地方とその周辺の地震活動（2020 年 5 月～ 10 月）
Seismic Activity in and around the Kyushu District (May - October 2020)

気象庁 福岡管区気象台
Fukuoka Regional Headquarters, JMA

今期間，九州地方とその周辺で M4.0 以上の地震は 36 回，M5.0 以上の地震は 3 回発生した．このうち最大のものは，2020 年 6 月 14 日に奄美大島北西沖で発生した M6.3 の地震であった．

2020 年 5 月～ 10 月の M4.0 以上の地震の震央分布を第 1 図 (a) 及び (b) に示す．

主な地震活動は以下のとおりである．

（1）薩摩半島西方沖の地震（M6.2，最大震度 3，第 2 図）

2020 年 5 月 3 日 20 時 54 分に薩摩半島西方沖の深さ 10km（CMT 解による）で M6.2 の地震（最大震度 3）が発生した．この地震は陸のプレートの地殻内で発生した．発震機構（CMT 解）は北西－南東方向に張力軸をもつ横ずれ断層型である．この地震の後，1 週間程度やや活発な地震活動が見られた．

（2）沖縄本島近海（沖永良部島付近）の地震（M4.9，最大震度 4，第 3 図）

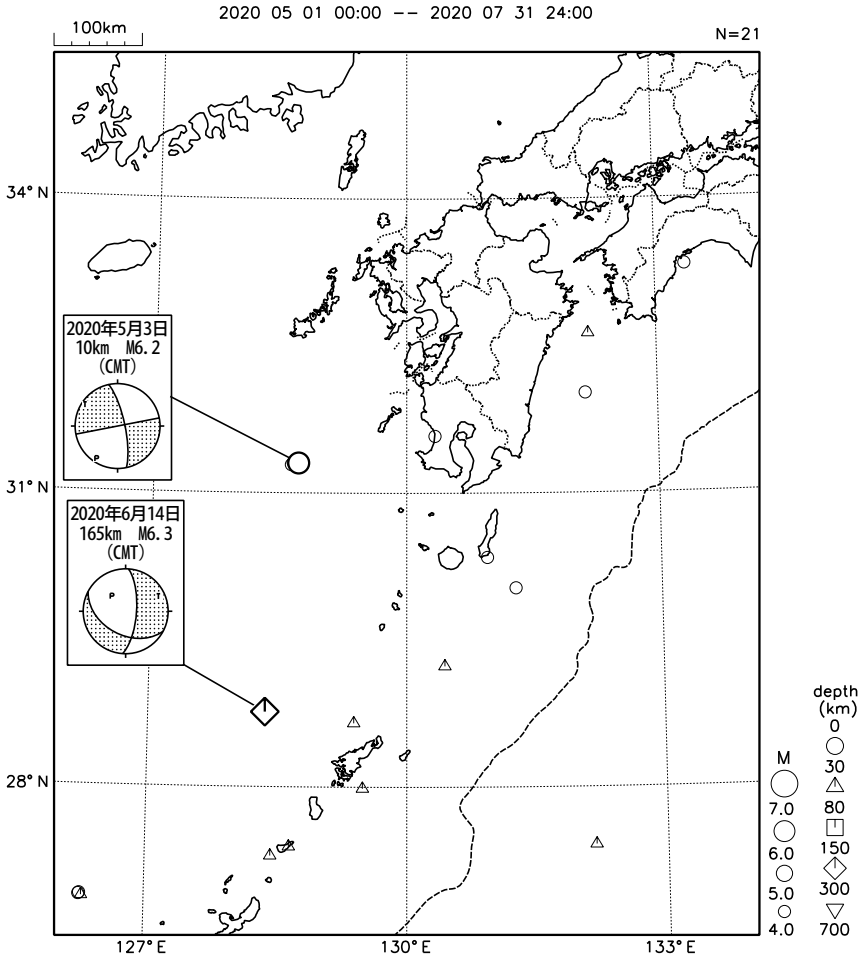
2020 年 5 月 23 日 04 時 33 分に沖縄本島近海（沖永良部島付近）の深さ 48km で M4.9 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震は，発震機構（CMT 解）が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で，フィリピン海プレートと陸のプレートの境界で発生した．

（3）薩摩半島西方沖の地震（M4.3，最大震度 4，第 4 図）

2020 年 6 月 1 日 09 時 33 分に薩摩半島西方沖の深さ 9km で M4.3 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震は地殻内で発生した．発震機構（CMT 解）は北西－南東方向に張力軸をもつ横ずれ断層型である．

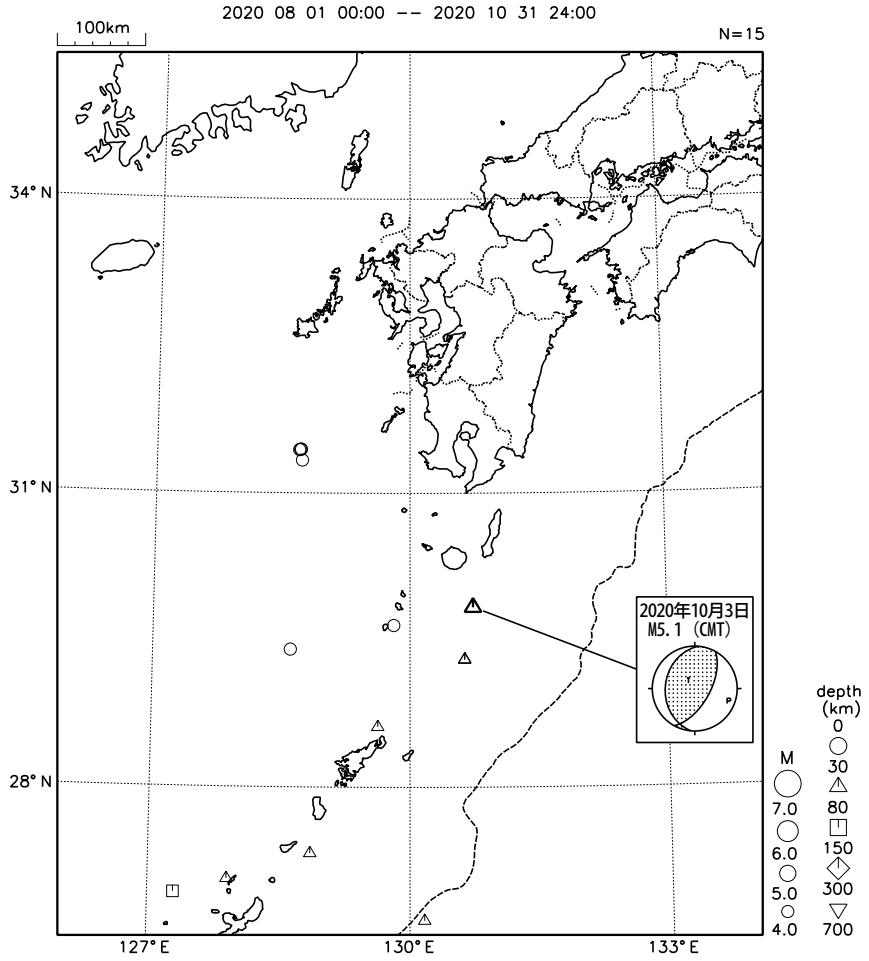
（4）奄美大島北西沖の地震（M6.3, 最大震度 4, 第 5 図）

2020 年 6 月 14 日 00 時 51 分に奄美大島北西沖の深さ 165km で M6.3 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震はフィリピン海プレート内部で発生した．発震機構（CMT 解）はフィリピン海プレートが沈み込む方向に圧力軸をもつ型である．



第 1 図 (a)　九州地方とその周辺の地震活動（2020 年 5 月～ 7 月，M ≧ 4.0，深さ ≦ 700km）

Fig. 1(a)　Seismic activity in and around the Kyushu district (May – July 2020, M ≧ 4.0, depth ≦ 700 km).

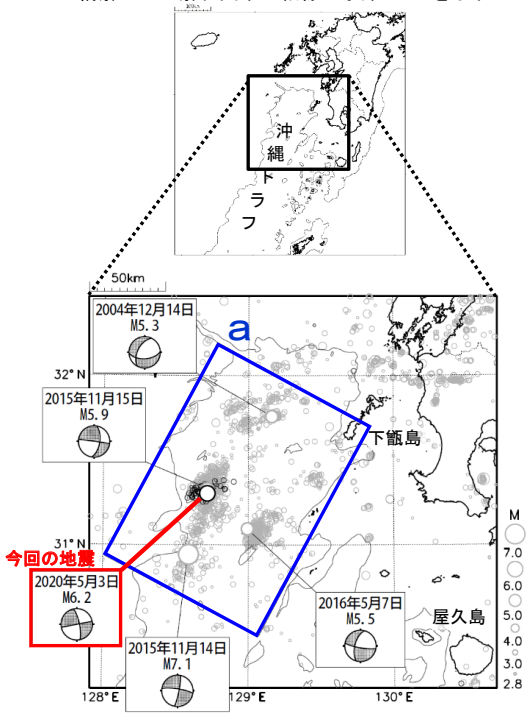


第 1 図 (b)　つづき（2020 年 8 月～ 10 月，M ≧ 4.0，深さ ≦ 700km）

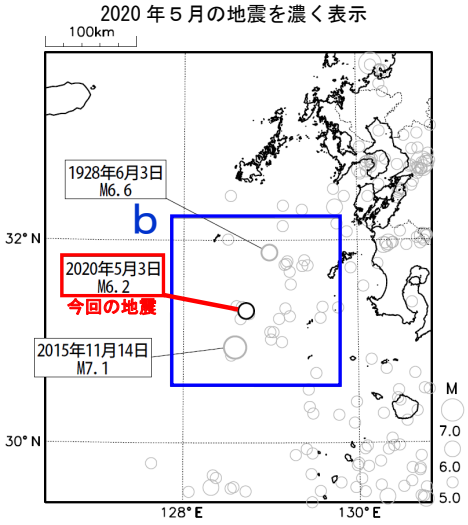
Fig. 1(b)　Continued (August – October 2020, M ≧ 4.0, depth ≦ 700 km).

５月３日　薩摩半島西方沖の地震

震央分布図
（1997 年 10 月１日～2020 年５月 31 日、
深さ０～30km、M≧2.8）
2020 年５月の地震を濃く表示、図中の発震機
構解は CMT 解、図中の細線は水深 500m を示す



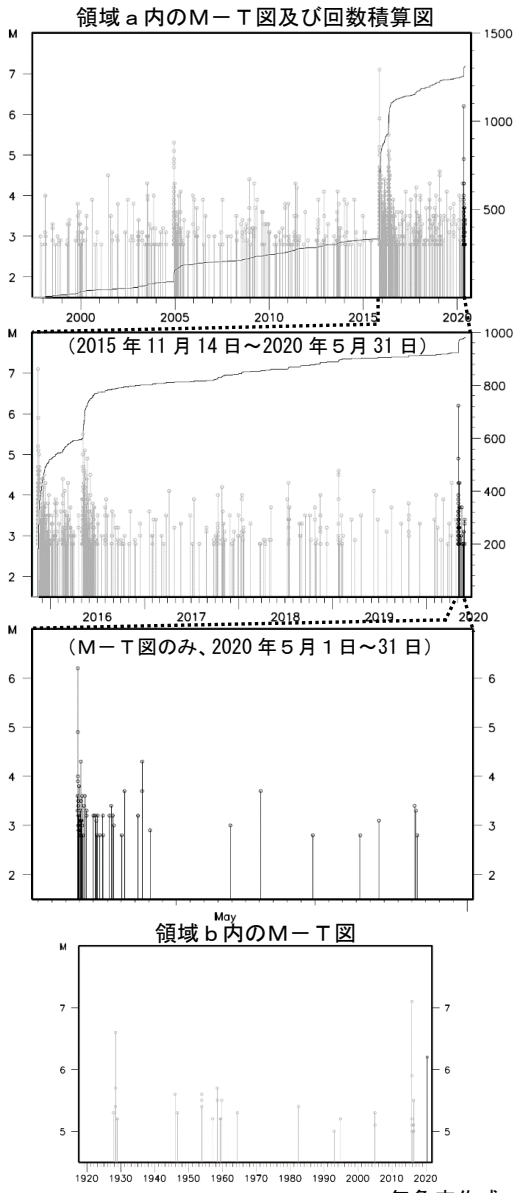
震央分布図
（1919 年１月１日～2020 年５月 31 日、
深さ０～90km、M≧5.0）
2020 年５月の地震を濃く表示



2020 年５月３日 20 時 54 分に薩摩半島西方沖の深さ 10km（CMT 解による）で M6.2 の地震（最大震度３）が発生した。この地震は陸のプレートの地殻内で発生した。発震機構（CMT 解）は北西－南東方向に張力軸をもつ横ずれ断層型である。この地震の後、１週間程度やや活発な地震活動が見られた。

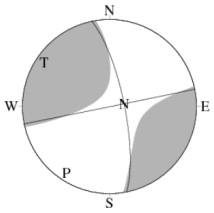
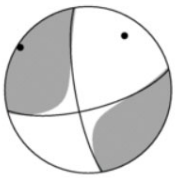
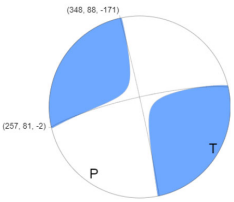
1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ａ）では、M4.0 以上の地震が時々発生している。2015 年 11 月 14 日には M7.1 の地震（最大震度４）が発生し、鹿児島県の中之島（海上保安庁）で 30cm の津波を観測している。

1919 年以降の活動をみると、今回の地震活動周辺（領域ｂ）では、1928 年６月３日に M6.6 の地震（最大震度５）が発生している。



第 2 図 (a)　2020 年 5 月 3 日　薩摩半島西方沖の地震
Fig. 2(a)　The earthquake west of the Satsuma Peninsula on May 3, 2020.

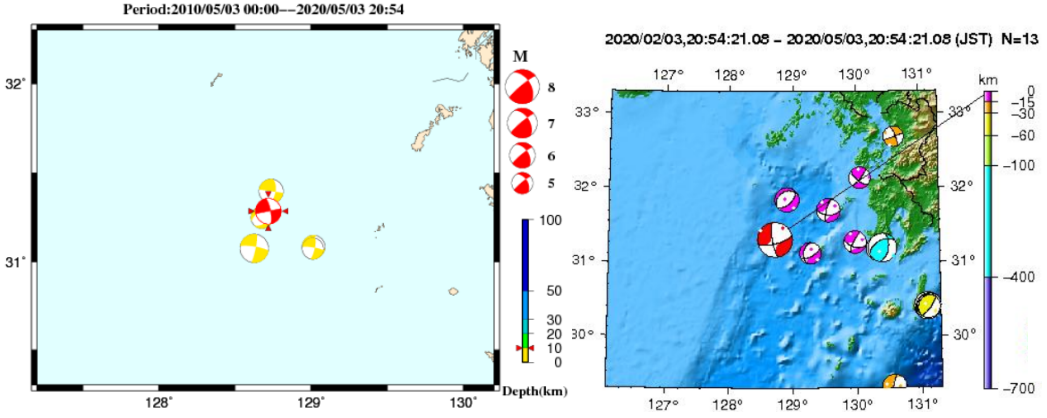
５月３日　薩摩半島西方沖の地震（各機関のMT解）

	気象庁CMT	防災科研 (F-net)	USGS (W-phase)
一元化震源 M6.2 深さ9km			
Mw	6.0	6.0	5.9
深さ	10km	5km	12km

USGS震源 M5.9 深さ10km

	Global CMT	GEOFON
		
Mw	6.0	6.0
深さ	12km	16m

周辺の気象庁CMT解　　周辺の防災科研（F-net）MT解



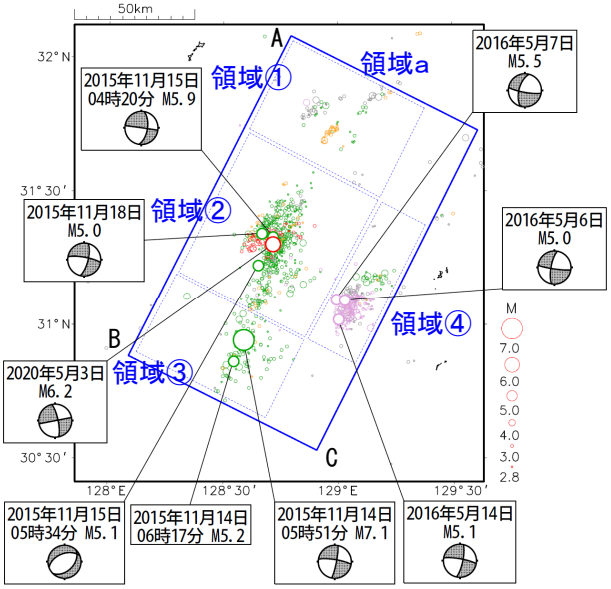
防災科研（F-net）：http://www.fnet.bosai.go.jp/event/joho.php?LANG=ja
USGS（W-phase）：https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/
Global CMT : https://www.globalcmt.org/CMTsearch.html
GEOFON MT : http://geofon.gfz-potsdam.de/eqinfo/list.php?mode=mt

第 2 図 (b)　つづき
Fig. 2(b)　Continued.

薩摩半島西方沖の地震活動

震央分布図（2015年11月14日～2020年５月31日、
深さ０～30km、M≧2.8）

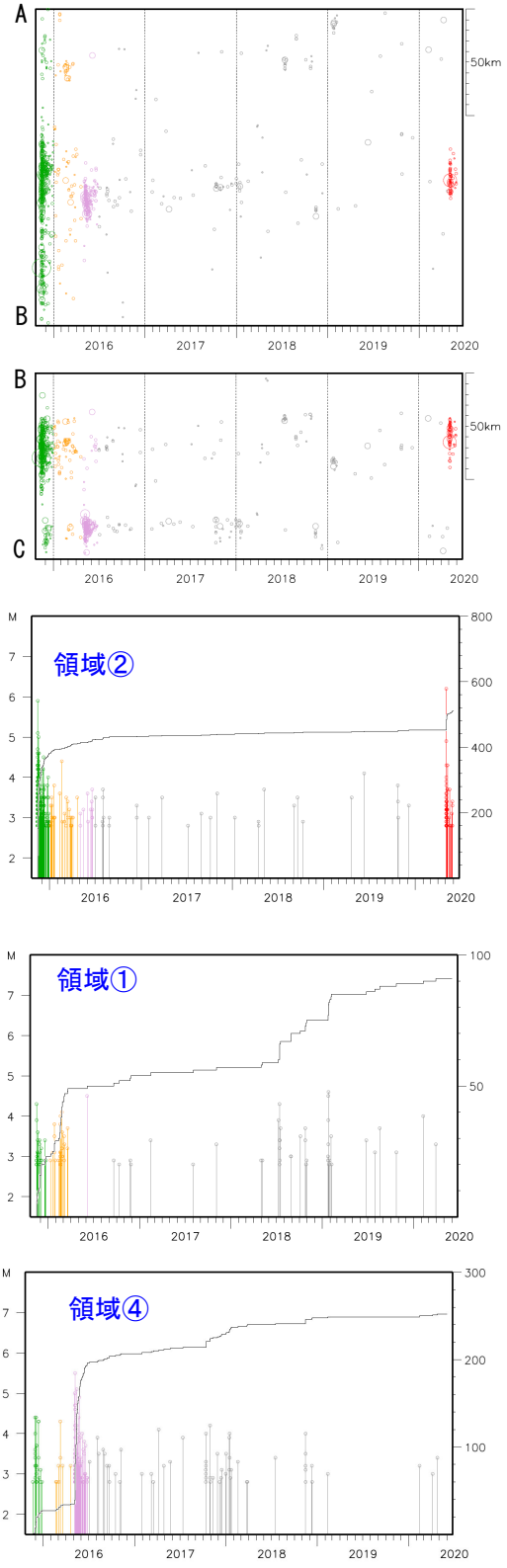
震源の色を、2015年は緑色、2016年1月～4月は橙色、2016年5月～6月は紫色、2016年7月～2020年4月は灰色、2020年5月は赤色でそれぞれ表示。発震機構解はCMT解。



領域②の大森・宇津パラメータ
・2020年4月まで（N＝454）
K＝132.589　C＝0.558　P＝1.329
（σ：19.089　0.114　0.039）
・2020年5月以降（N＝56）
K＝9.096　C＝0.057　P＝1.099
（σ：1.994　0.049　0.138）

（注）2020年４月18日から、暫定的に震源精査の基準を変更しており、求めたパラメータ等は後日修正される場合がある。

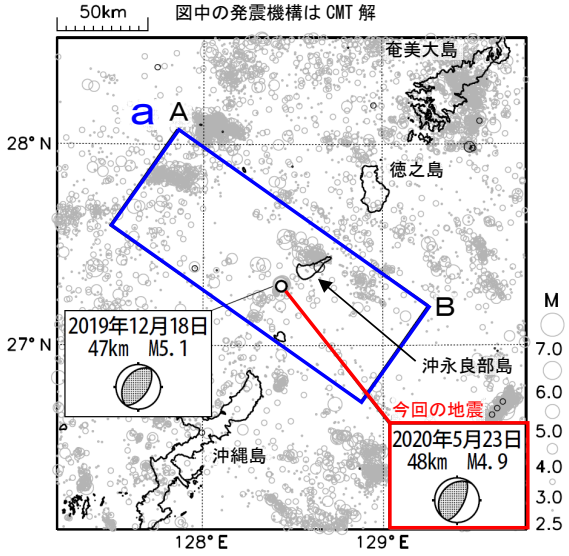
領域ａの時空間分布
（上：AB投影、下：BC投影）



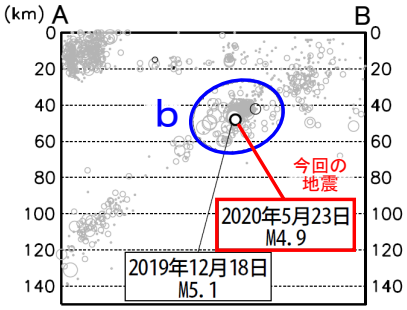
第 2 図 (c)　つづき
Fig. 2(c)　Continued.

５月 23 日　沖縄本島近海（沖永良部島付近）の地震

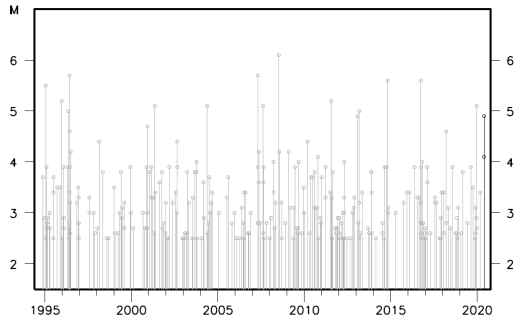
震央分布図
（1994 年 10 月 1 日～2020 年５月 31 日
深さ０～150km、M≧2.5）
2020 年５月の地震を濃く表示
図中の発震機構は CMT 解



領域 a 内の断面図（A－B 投影）



領域 b 内のM－T図

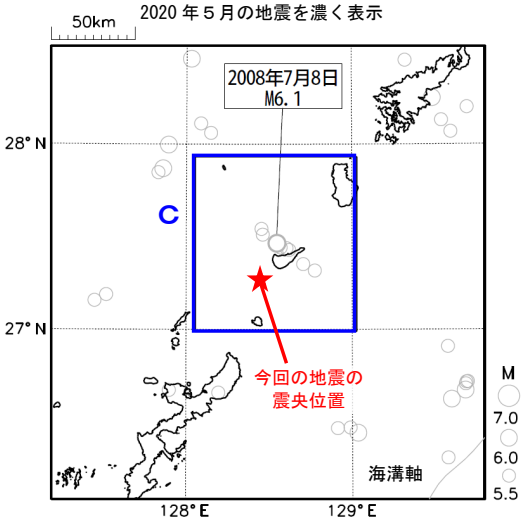


2020年５月23日04時33分に沖縄本島近海（沖永良部島付近）の深さ48kmでM4.9の地震（最大震度４）が発生した。この地震は、発震機構（CMT解）が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、フィリピン海プレートと陸のプレートの境界で発生した。

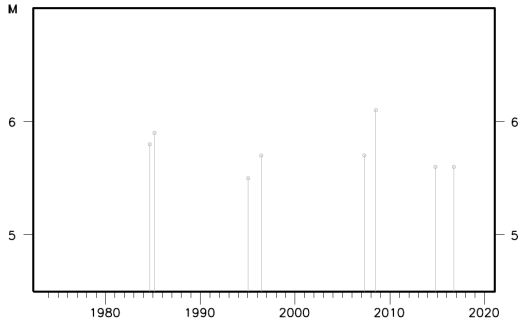
1994年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）ではM5.0以上の地震が時々発生しており、最近では2019年12月18日にM5.1の地震（最大震度４）が発生している。

1973年１月以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｃ）では、2008年７月８日にM6.1の地震（最大震度５弱）が発生し、鹿児島県与論町（与論島）のホテルの壁の一部破損や柱の石膏ボード破損の被害が生じた（総務省消防庁による）。

震央分布図
（1973 年１月 15 日～2020 年５月 31 日、
深さ０～90km、M≧5.5）
2020 年５月の地震を濃く表示



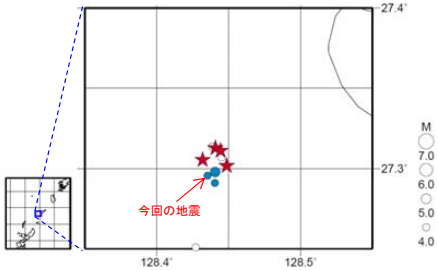
領域 c 内のM－T図



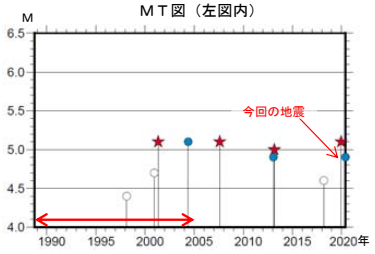
第 3 図 (a)　2020 年 5 月 23 日　沖縄本島近海（沖永良部島付近）の地震
Fig. 3(a)　The earthquake near Okinawajima Island on May 23, 2020.

５月23日　沖縄本島近海の地震（相似地震）

震央分布図（1988年10月1日～2020年5月23日、
深さ0～100km、M≧4.0）

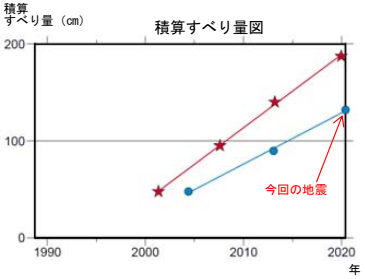


ＭＴ図（左図内）



赤太矢印の期間は波形収集基準と観測点密度の違い
が相似地震検出に影響している可能性がある。

積算すべり量図



2020年５月23日の沖縄本島近海の地震（M4.9、最大震度４）について強震波形による相関解析を行った結果、既往相似地震グループの最新の地震として検出された（上図の●：今回を含めM4.9～5.1の３地震　）※。

※　各観測点の波形の比較で得られたコヒーレンスの中央値が0.95以上の場合、相似地震として検出している。また、相似地震のグループ分けはコヒーレンスを用いて機械的に行っている。

溜渕功史・中村雅基・山田安之（2014）：全国を対象とした客観的な相似地震の抽出, 気象研究所技術報告, 72, 5-16.

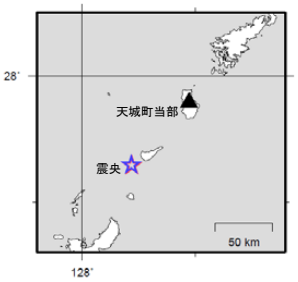
●推定年平均すべり量等

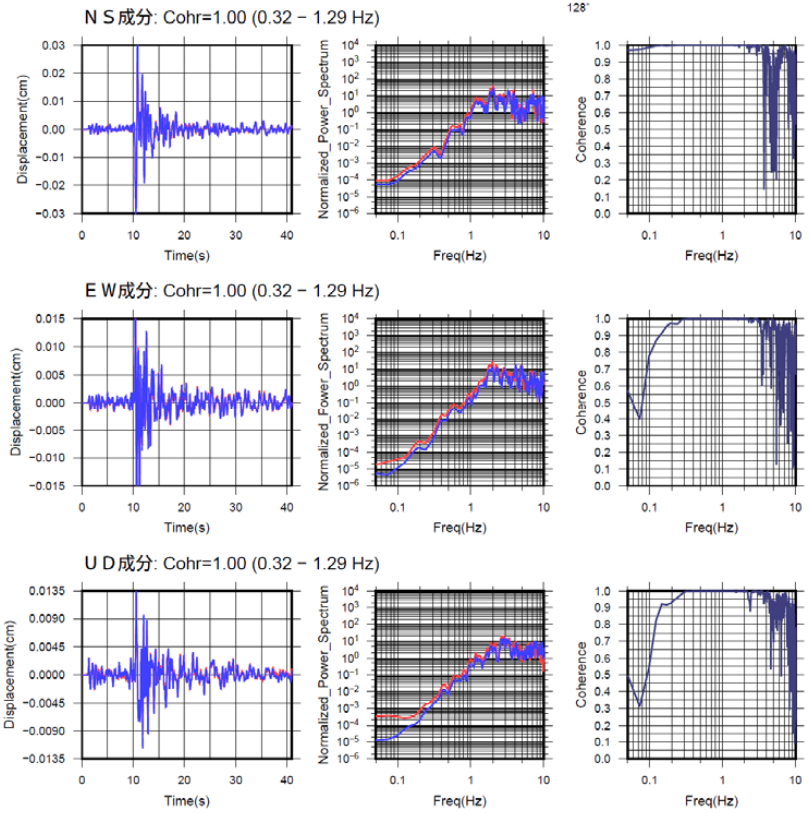
グループ	回数	平均M	震度 最大	震度 最小	発生間隔 平均	発生間隔 最短	発生間隔 最大	平均すべり量 (cm/年)
★A	4	5.08	4	4	6.21	5.57	6.78	7.56
今回の地震 → ●B	3	4.97	4	4	8.00	7.32	8.69	5.27

すべり量推定には、モーメントマグニチュードと地震モーメントの関係式[Hanks and Kanamori (1979)]及び 地震モーメントとすべり量の関係式[Nadeau and Johnson(1998)]を使用。得られた積算すべり量と経過時間から最小自乗法を用いてグループ毎の年平均すべり量を求めた。

●波形例

観測点名:天城町当部(D0D)
2013/01/28 05:57:34 M4.9
2020/05/23 04:33:07 M4.9



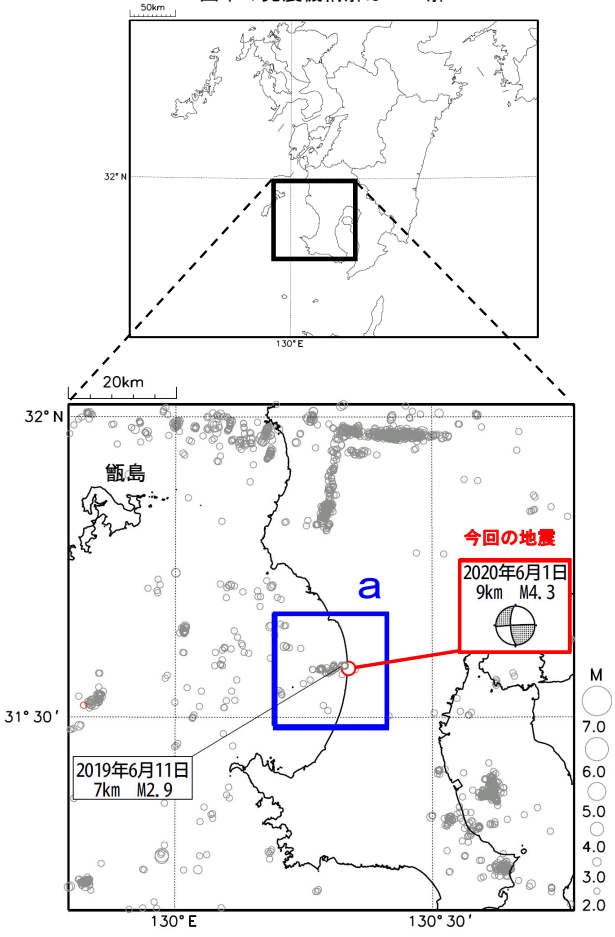


変位波形は加速度記録を気象庁59型地震計相当に変換して求めたもの

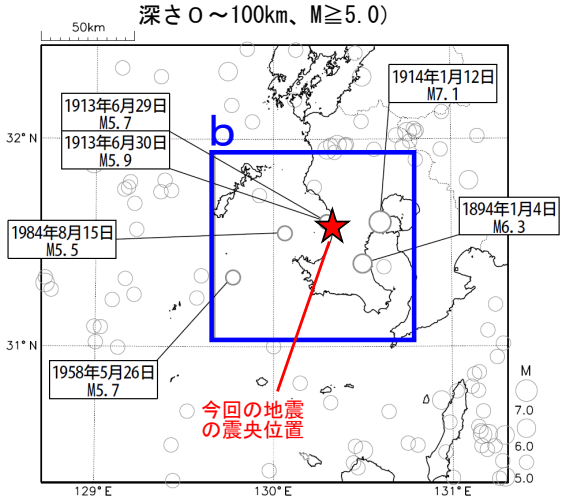
第 3 図 (b)　つづき
Fig. 3(b)　Continued.

６月１日　薩摩半島西方沖の地震

震央分布図
（1997 年 10 月 1 日～2020 年 6 月 30 日、
深さ 0～20km、M≧2.0）
2020 年 6 月の地震を赤く表示、
図中の発震機構解は CMT 解



震央分布図
（1885 年 1 月 1 日～2020 年 6 月 30 日、
深さ 0～100km、M≧5.0）

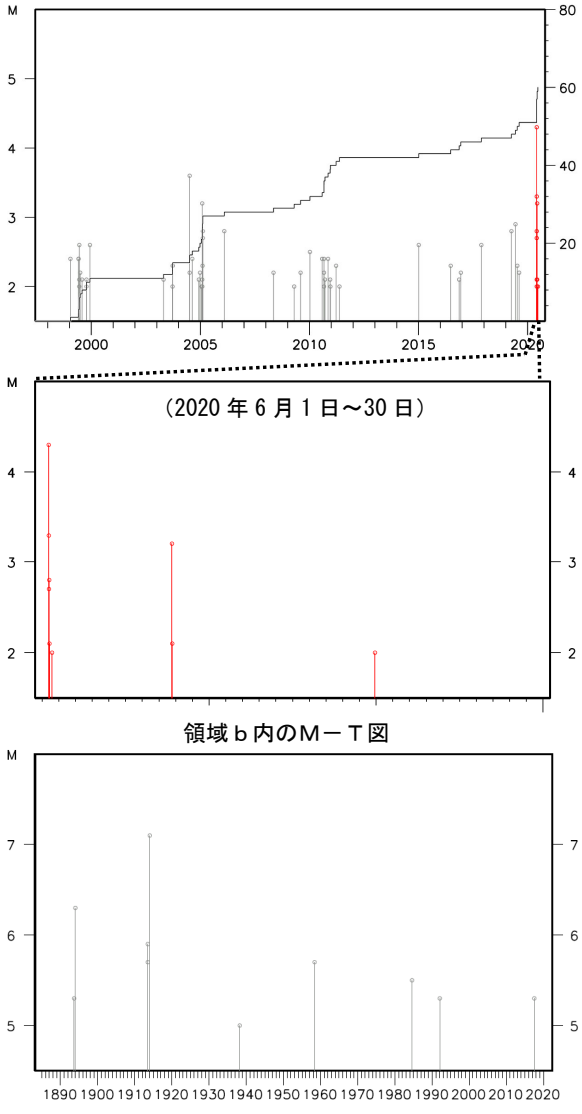


2020年６月１日09時33分に薩摩半島西方沖の深さ９kmでM4.3の地震（最大震度４）が発生した。この地震は地殻内で発生した。発震機構（CMT解）は北西－南東方向に張力軸を持つ横ずれ断層型である。

1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ａ）では、M4.0以上の地震は発生していなかった。近年では2019年６月11日にM2.9の地震（最大震度２）が発生している。

1885年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｂ）ではM5.5以上の地震が６回発生している。1913年６月29日にはM5.7の地震が発生し、がけ崩れの被害が生じた。また、翌30日にはM5.9の地震が発生し、山崩れ、家屋倒潰１などの被害が生じた（被害はいずれも「日本被害地震総覧」による）。

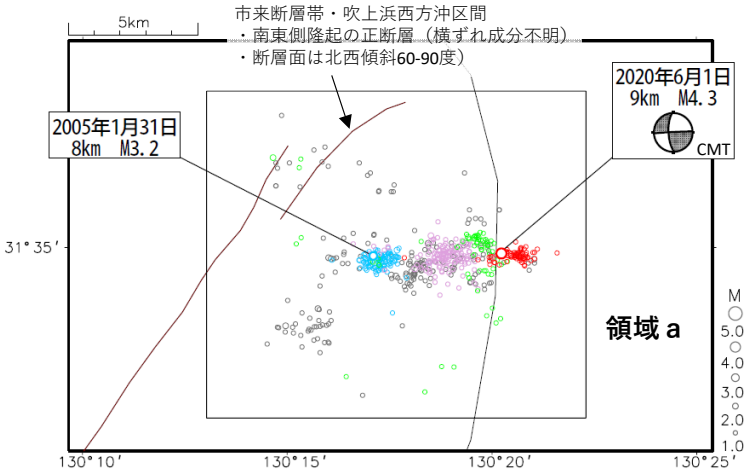
領域ａ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図



領域ｂ内のＭ－Ｔ図

第 4 図 (a)　2020 年 6 月 1 日　薩摩半島西方沖の地震
Fig. 4(a)　The earthquake west off the Satsuma Peninsula on June 1, 2020.

6月1日薩摩半島西方沖の地震



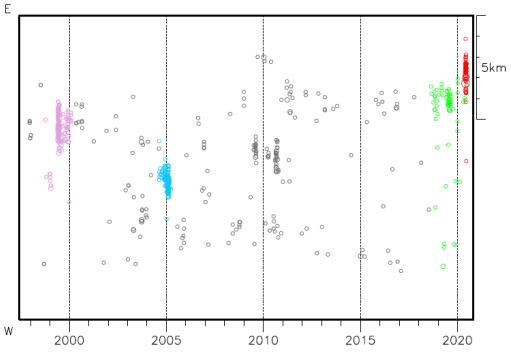
震央分布図
（1997年10月1日～2020年6月29日、
M≧1.0、15km以浅）

薄紫：1998年10月1日～2000年1月31日
薄青：2004年8月15日～2005年3月31日
黄緑：2018年8月23日～2020年5月31日
赤　：2020年6月1日～
灰　：上記以外

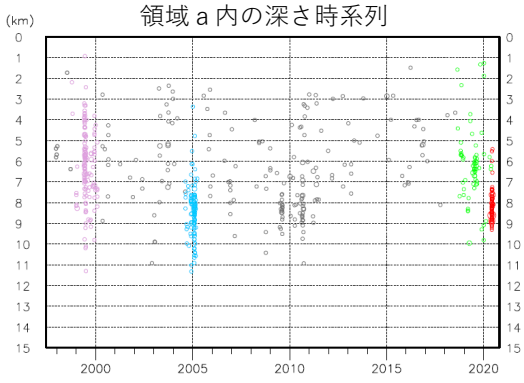
（注）領域 a 内の一元化震源（フラグ K、k、A）だけを表示している

茶線は地震本部の長期評価による活断層の位置を示す。

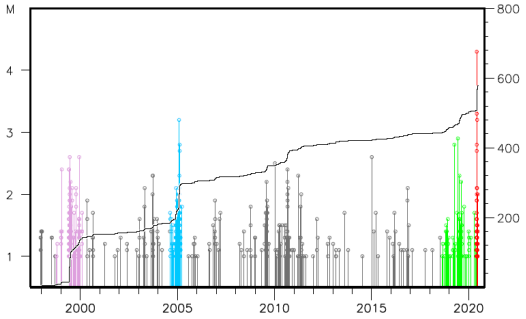
領域 a 内の時空間分布（東西投影）



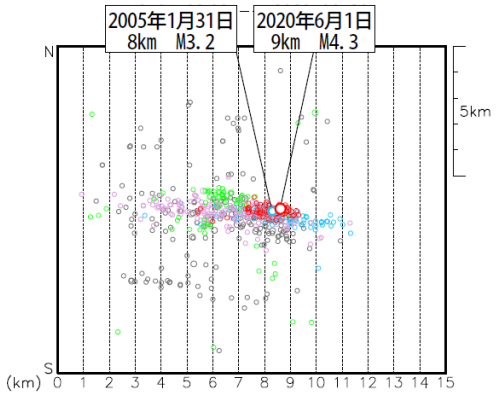
領域 a 内の深さ時系列



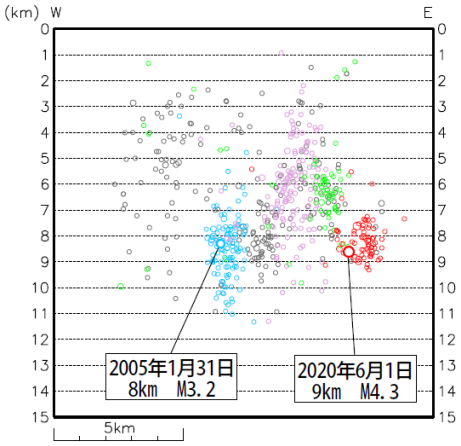
領域 a 内のMT・回数積算図



領域 a 内の断面図（南北投影）

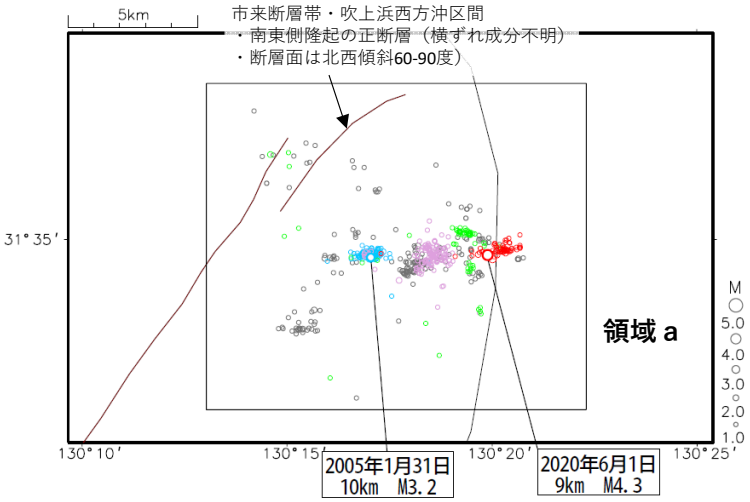


領域 a 内の断面図（東西投影）



第 4 図 (b)　つづき
Fig. 4(b)　Continued.

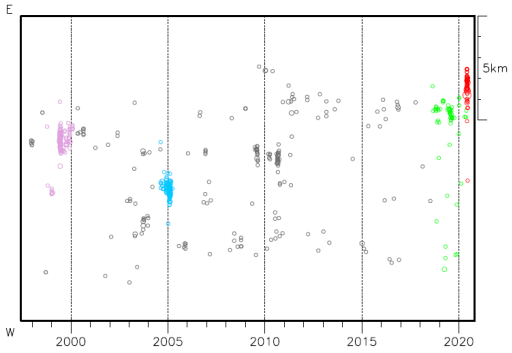
（前頁の震源のＤＤ法による再計算結果）



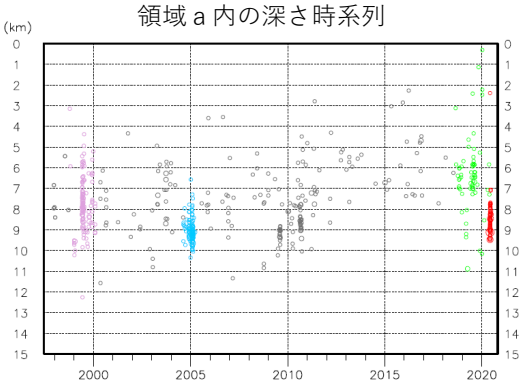
震央分布図
（1997年10月1日～2020年6月29日、
M≧1.0、15km以浅）

薄紫：1998年10月1日～2000年1月31日
薄青：2004年8月15日～2005年3月31日
黄緑：2018年8月23日～2020年5月31日
赤　：2020年6月1日～
灰　：上記以外

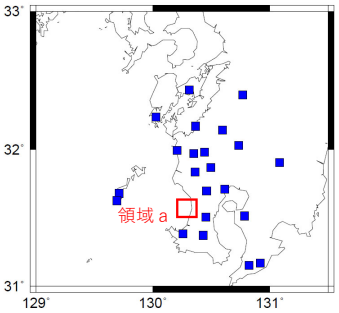
領域 a 内の時空間分布（東西投影）



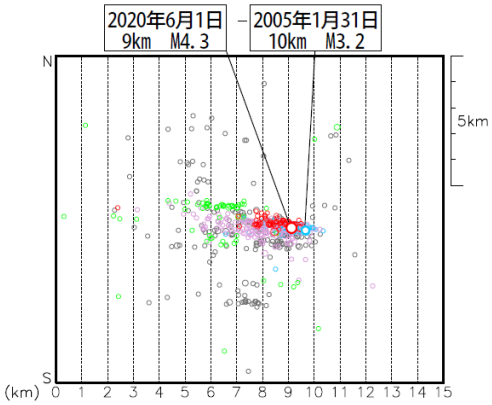
領域 a 内の深さ時系列



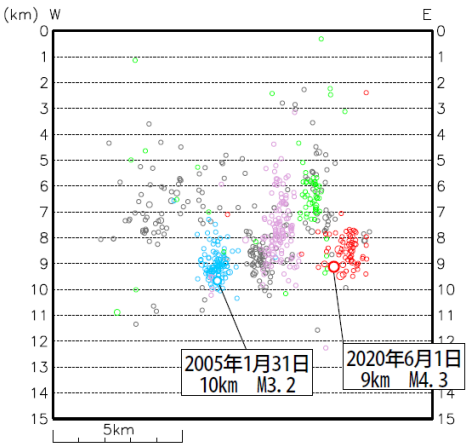
震源再計算に使用した観測点（■）



領域 a 内の断面図（南北投影）

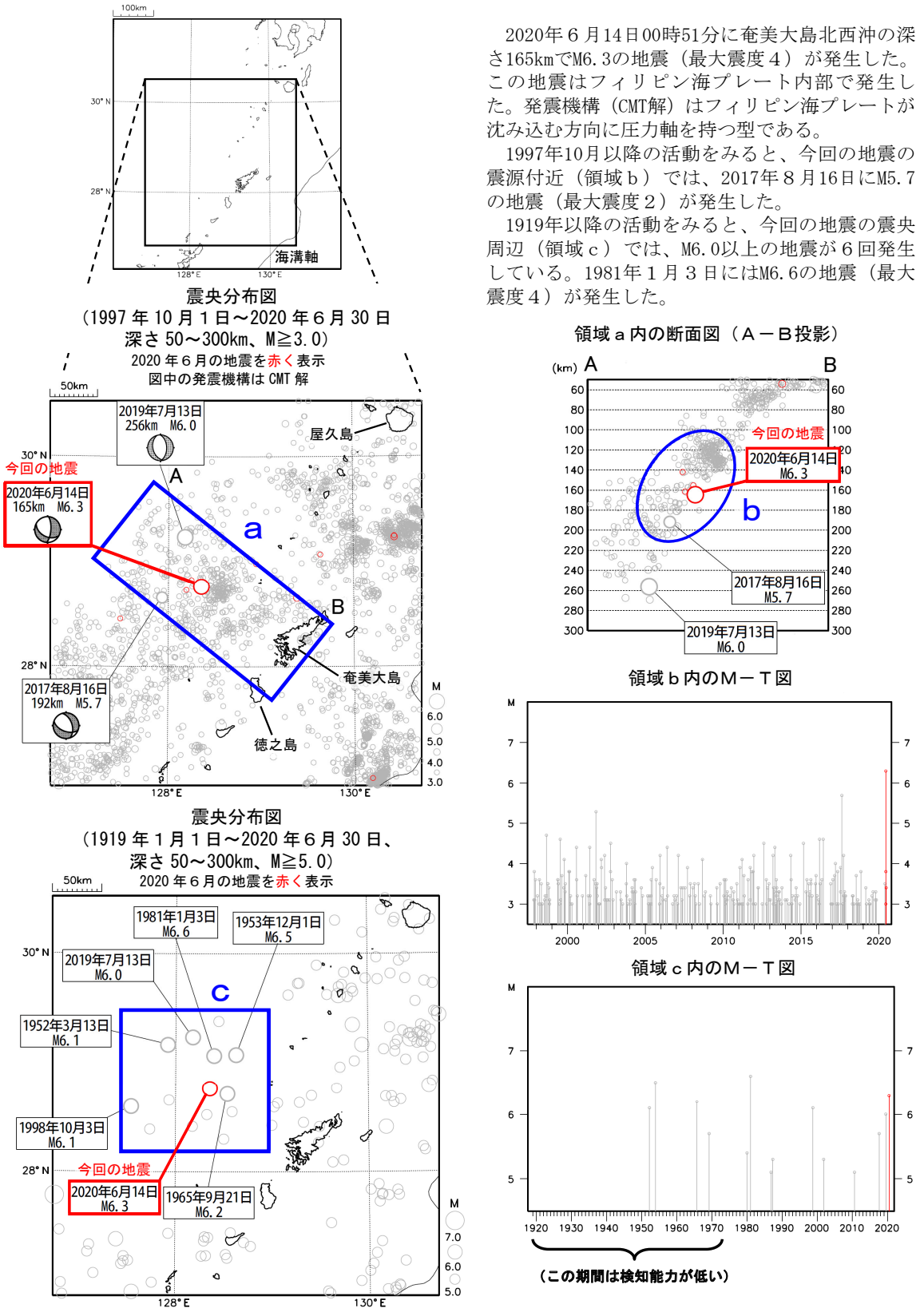


領域 a 内の断面図（東西投影）



第 4 図 (b)　つづき
Fig. 4(b)　Continued.

６月 14 日　奄美大島北西沖の地震



2020年６月14日00時51分に奄美大島北西沖の深さ165kmでM6.3の地震（最大震度４）が発生した。この地震はフィリピン海プレート内部で発生した。発震機構（CMT解）はフィリピン海プレートが沈み込む方向に圧力軸を持つ型である。

1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、2017年８月16日にM5.7の地震（最大震度２）が発生した。

1919年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｃ）では、M6.0以上の地震が６回発生している。1981年１月３日にはM6.6の地震（最大震度４）が発生した。

第 5 図　2020 年 6 月 14 日　奄美大島北西沖の地震
Fig. 5　The earthquake northwest off Amami-oshima Island on June 14, 2020.

10 － 2　沖縄地方とその周辺の地震活動（2020 年 5 月～ 10 月）
Seismic Activity around the Okinawa District (May - October 2020)

気象庁 沖縄気象台
Okinawa Regional Headquarters, JMA

今期間，沖縄地方とその周辺で M4.0 以上の地震は 177 回，M5.0 以上の地震は 28 回発生した．このうち最大は，2020 年 6 月 14 日に奄美大島北西沖で発生した M6.3 の地震であった．

2020 年 5 月～ 10 月の M4.0 以上の震央分布を第 1 図 (a) 及び (b) に示す．

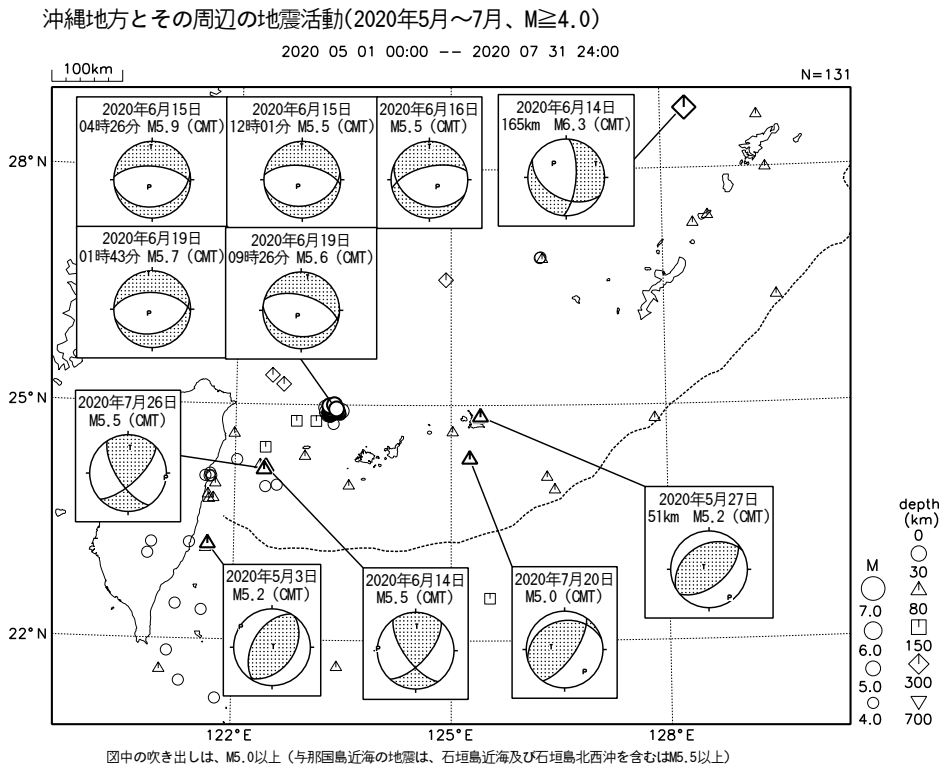
主な地震活動は以下のとおりである．

(1) 宮古島近海の地震（M5.2，最大震度 3，第 2 図）

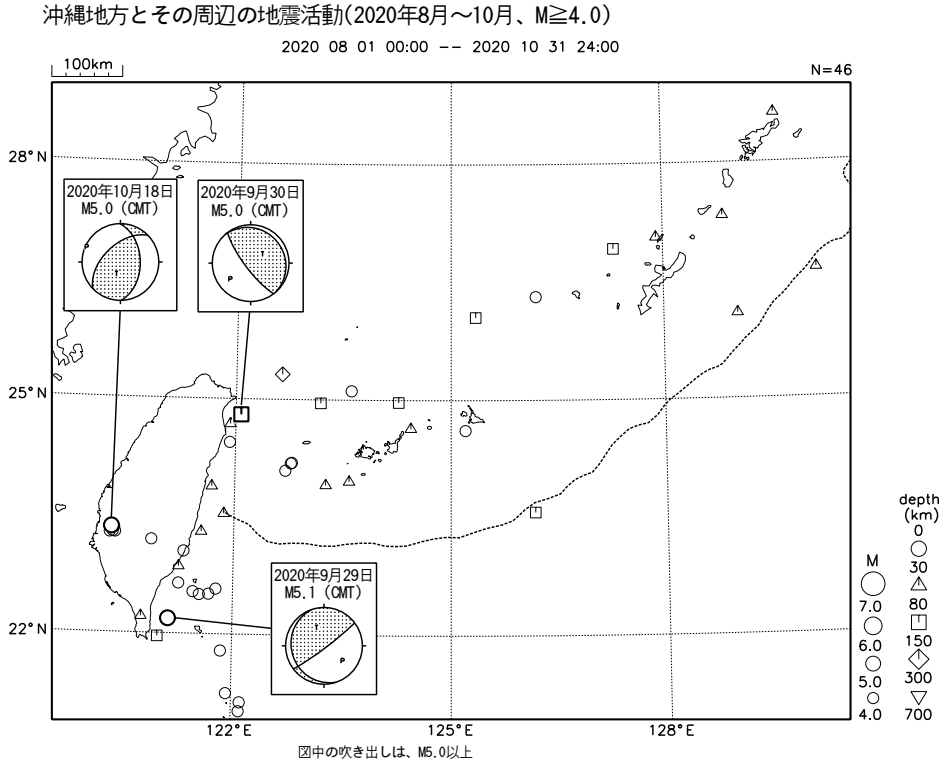
2020 年 5 月 27 日 18 時 19 分に宮古島近海の深さ 51km で M5.2 の地震（最大震度 3）が発生した．この地震は, 発震機構（CMT 解）が北西 - 南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で, フィリピン海プレートと陸のプレートの境界で発生した．この地震は，宮古島近海で発生している繰り返し地震の一つである．1997 年以降の活動をみると，今回の地震の震源付近では，M5.1 程度の繰り返し地震が平均して 6 年間隔で発生している．

(2) 与那国島近海の地震（最大 M5.9，最大震度 1，第 3 図 (a) ～ (d)）

2020 年 6 月 14 日から与那国島近海で地震活動が活発になり，6 月 30 日までに震度 1 以上を観測する地震が 9 回発生した（最大震度 2：2 回，最大震度 1：7 回）．このうち最大規模の地震は，15 日 04 時 26 分に発生した M5.9 の地震（最大震度 1）で，発震機構（CMT 解）は南北方向に張力軸を持つ正断層型である．この地震活動は，沖縄トラフでの活動で陸のプレート内で発生した．2000 年 7 月以降の活動をみると，今回の地震の震央付近では，M5 以上を最大規模とした地震活動の一時的な活発化が時々みられる．



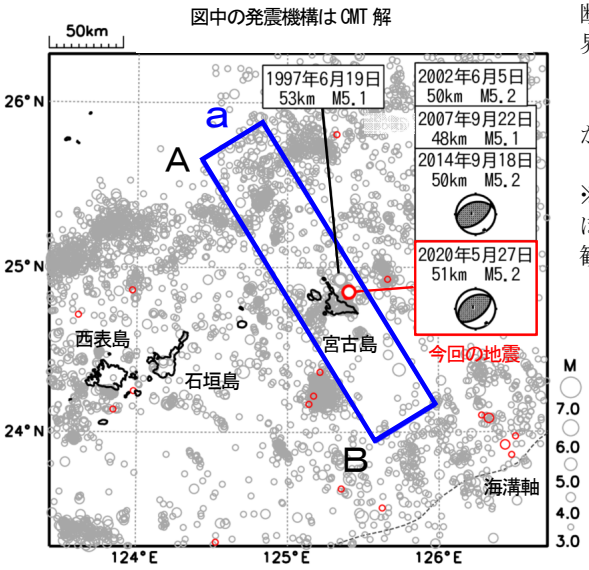
第 1 図 (a)　沖縄地方とその周辺の地震活動（2020 年 5 月～ 7 月，M ≧ 4.0，深さ≦ 700km）
Fig. 1(a)　Seismic activity around the Okinawa district (May - July 2020, M ≧ 4.0, depth ≦ 700km)



第 1 図 (b)　つづき（2020 年 8 月～ 10 月，M ≧ 4.0，深さ≦ 700km）
Fig. 1(b)　Continued (August - October 2020, M ≧ 4.0, depth ≦ 700km)

５月 27 日　宮古島近海の地震

震央分布図
（1997 年１月１日～2020 年５月 31 日、
深さ 0km～150km、M≧3.0）
2020 年５月の地震を赤く表示
図中の発震機構は CMT 解

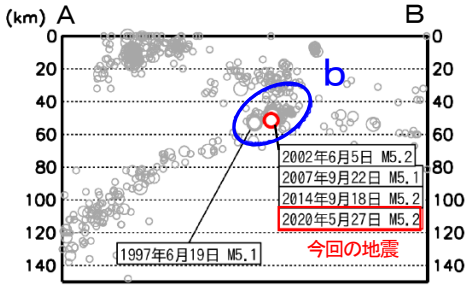


2020年５月27日18時19分に宮古島近海の深さ51kmでM5.2の地震（最大震度３）が発生した。この地震は、発震機構（CMT解）が北西－南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、フィリピン海プレートと陸のプレートの境界で発生した。

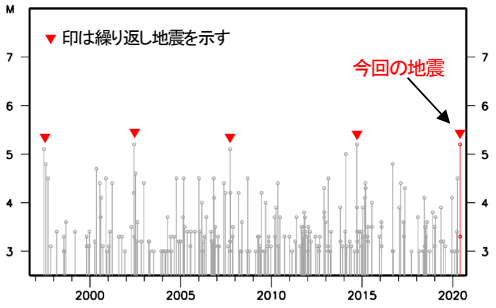
1997年以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、今回の地震も含め、M5.1程度の地震が平均して６年間隔で発生している（繰り返し地震※）。

※繰り返し地震とは、発生場所や規模がほぼ同じでほぼ一定間隔で繰り返し発生している地震である。また、観測される地震波形も類似する特徴がある。

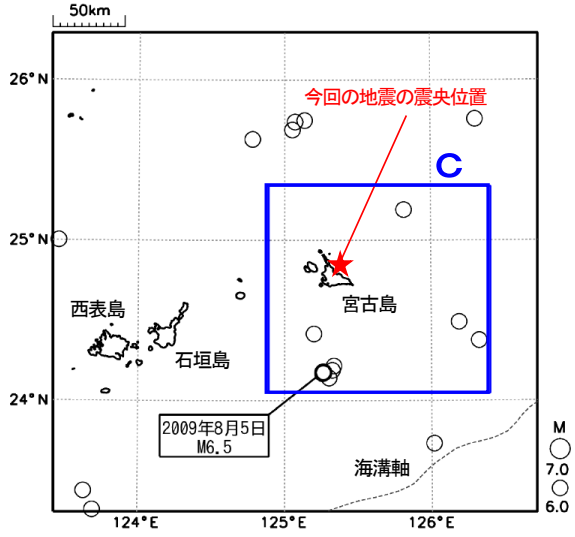
領域ａ内の断面図（Ａ－Ｂ投影）



領域ｂ内のＭ－Ｔ図

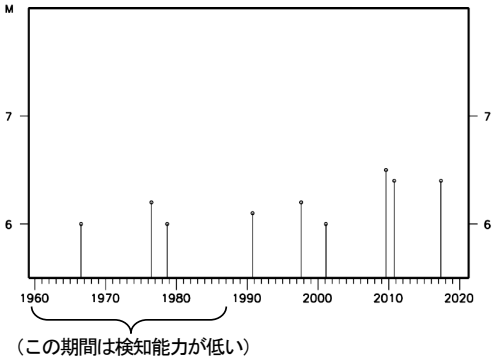


震央分布図
（1960 年１月１日～2020 年５月 31 日、
深さ 0km～150km、M≧6.0）



1960年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｃ）では、2009年８月５日にM6.5（最大震度４）の地震が発生するなど、M6.0以上の地震が時々発生している。

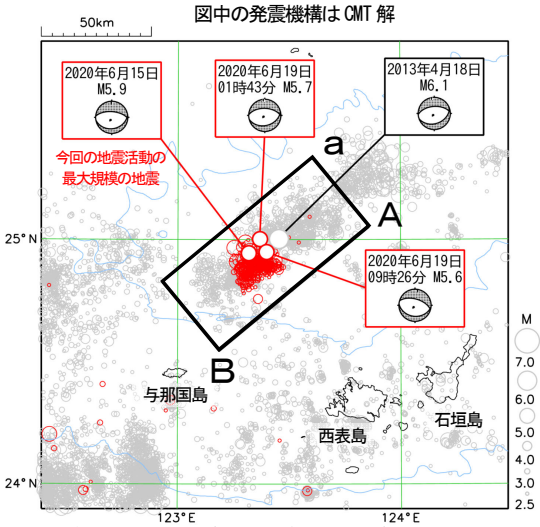
領域ｃ内のＭ－Ｔ図



第 2 図　2020 年 5 月 27 日　宮古島近海の地震
Fig. 2　The earthquake near Miyakojima Island on May 27, 2020

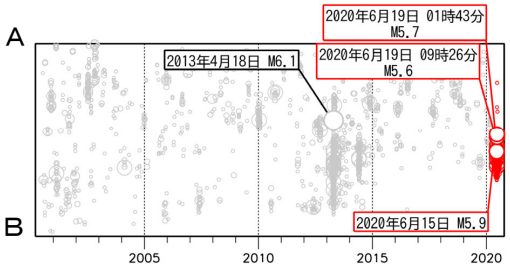
６月 14 日以降の与那国島近海の地震活動

震央分布図
（2000 年７月１日～2020 年６月 30 日、
深さ 0km～60km、M≧2.5）
2020 年６月 14 日以降の地震を赤色で表示
図中の発震機構は CMT 解

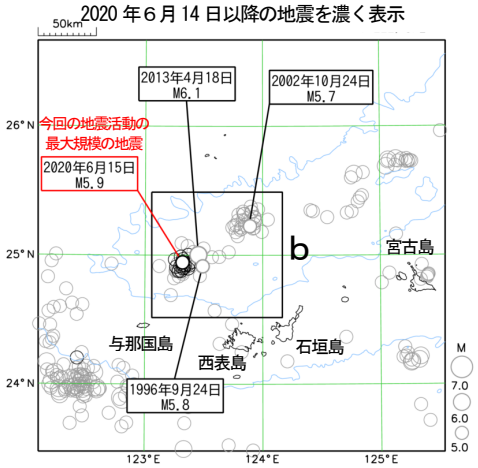


領域 a 内で 2013 年４月と今回（2020 年６月 14 日～30 日）の地震活動について、規模の大きい地震に吹き出しをつけた。
図中の青色の等値線は水深 1500m を示す

領域 a 内の時空間分布図（A－B 投影）
（2000 年７月１日～2020 年６月 30 日）



震央分布図
（1990 年１月１日～2020 年６月 30 日、
深さ 0km～60km、M≧5.0）
2020 年６月 14 日以降の地震を濃く表示



図中の青色の等値線は水深 1500m を示す

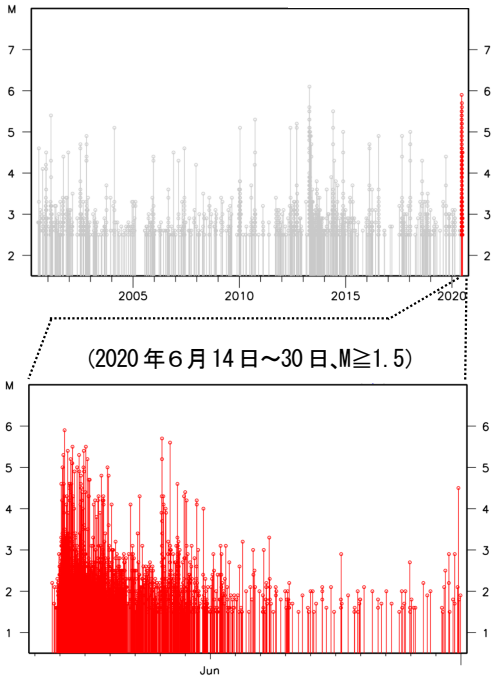
2020年６月14日から与那国島近海で地震活動が活発になり、30日までに震度１以上を観測する地震が９回（震度２：２回、震度１：７回）発生している。そのうち最大規模の地震は６月15日04時26分に与那国島近海で発生したM5.9の地震（最大震度１）であり、発震機構（CMT解）は南北方向に張力軸を持つ正断層型である。

この地震活動は、沖縄トラフでの活動で陸のプレート内で発生している。

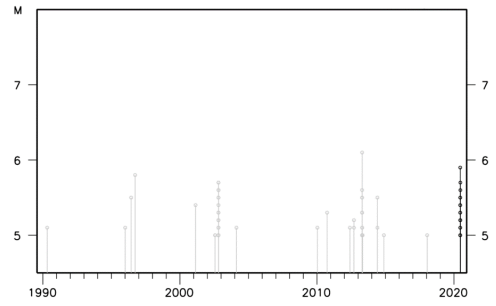
2000年７月以降の活動をみると、今回の震央付近（領域ａ）ではＭ５以上を最大規模とした地震活動の一時的な活発化が時々みられる。2013年４月の活発化の際には同月18日にM6.1の地震（最大震度１）が発生した。

1990年以降の活動を見ると、今回の地震の震央周辺（領域ｂ）では、Ｍ５以上の地震が時々発生している。

領域ａ内のＭ－Ｔ図



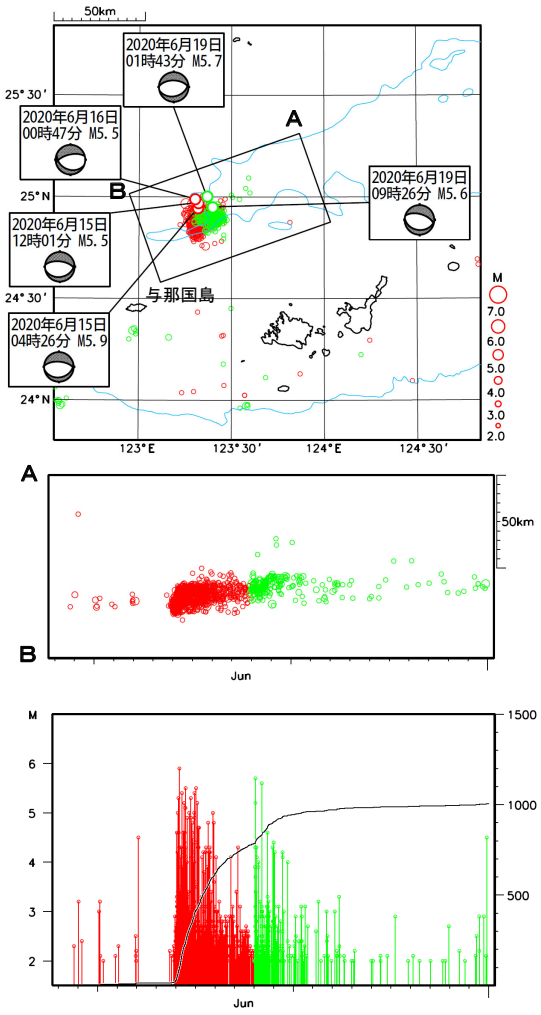
領域ｂ内のＭ－Ｔ図



第 3 図 (a)　2020 年 6 月 14 日　与那国島近海の地震活動
Fig. 3(a)　Seismic activity near Yonagunijima Island from June 14, 2020

与那国島近海の地震活動

震央分布図
（2020年6月9日～6月30日、深さ0～60km、M2.0以上）
2020年6月9日～18日を赤、2020年6月19日以降を緑で表示
震央分布図の青線は水深2000mを表す。

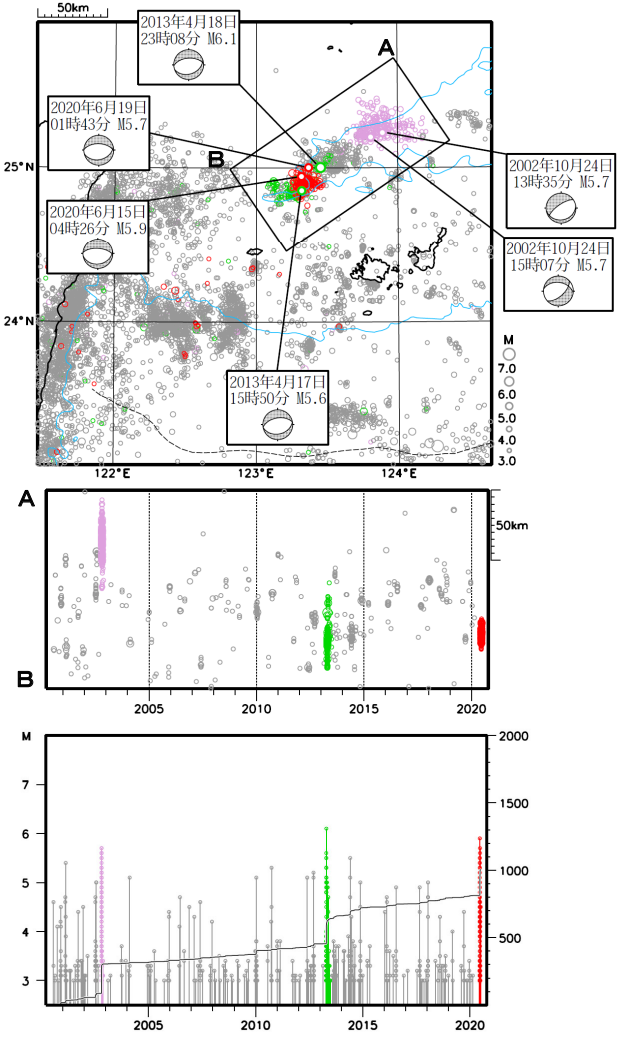


・6月14日夜から与那国島近海を震源とする地震回数が増加し、15日から16日にかけてM5程度の地震がまとまって発生した。
・19日01時43分にM5.7の地震が発生するなど、19日に再びM５を超える地震が発生した。
・発震機構（CMT解）は概ね南北方向に張力軸を持つ正断層型
・この付近では2013年4月（最大M6.1、最大震度1）、2002年10月（最大M5.7、震度1以上の観測なし）にも同様な活動がみられている

上図の矩形領域内の時空間分布（AB投影）

上図の矩形領域内の地震活動経過および回数積算図

震央分布図
（2000年7月１日～2020年6月30日、深さ0～60km、M3.0以上）
2002年10月～11月を紫、2013年4月～6月を緑、2020年6月を赤で表示
震央分布図の青線は水深2000m、黒点線は海溝軸の位置をそれぞれ表す。



第 3 図 (b)　つづき
Fig. 3(b)　Continued.

地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行

与那国島近海の地震活動（過去事例との比較）

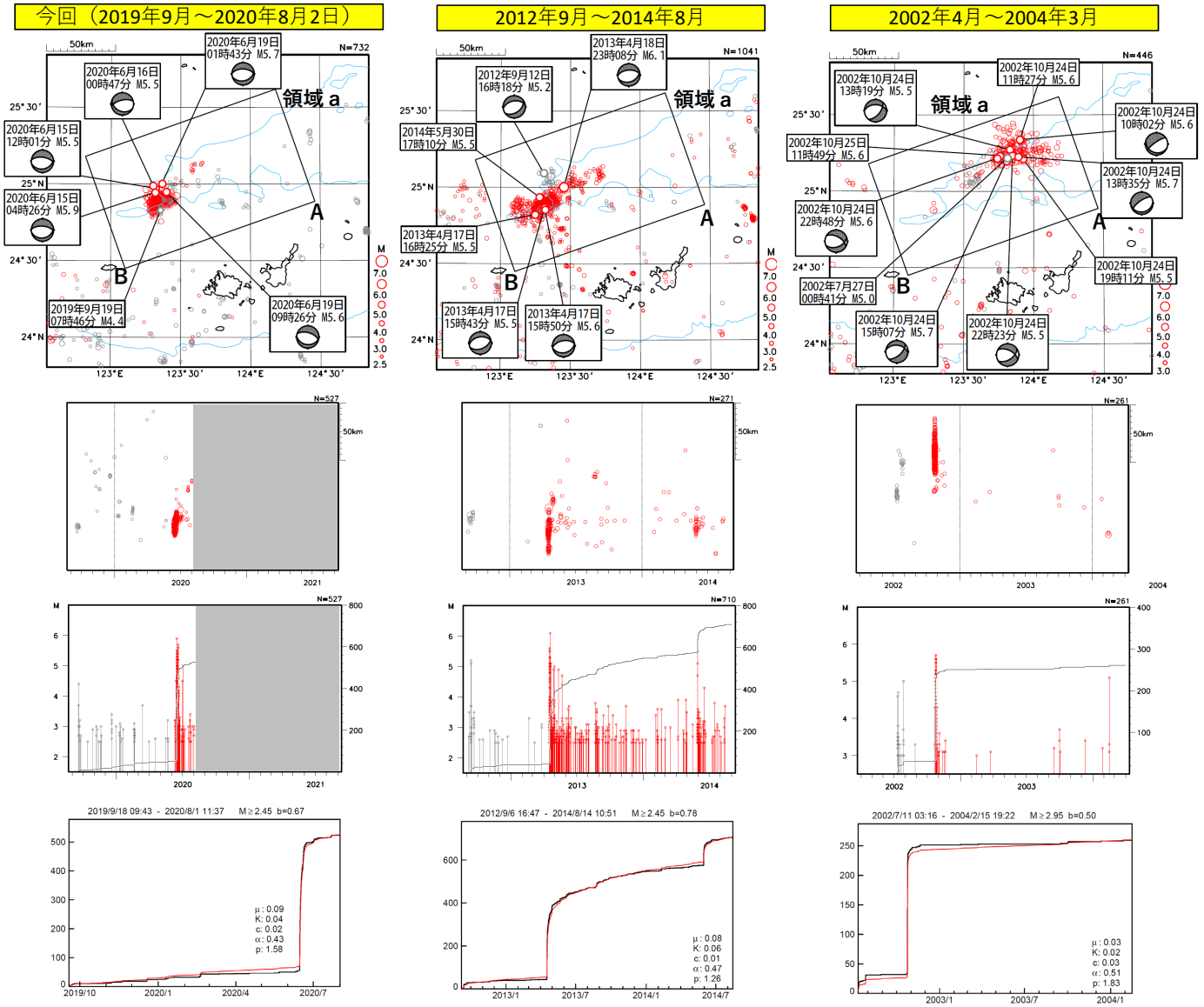
震央分布図
（今回と2012年：M≧2.5、2002年：M≧3.0、60km以浅）

水色の線は水深1500mの位置を示す。発震機構はCMT解。活発化前の震源を灰、活発化以降を赤で表示。
活発化前の付近最大規模の地震と活発化以降のM5.5以上の地震に吹き出し。

上図の領域ａ内の時空間分布（ＡＢ投影）

上図の領域ａ内のＭＴ・回数積算図

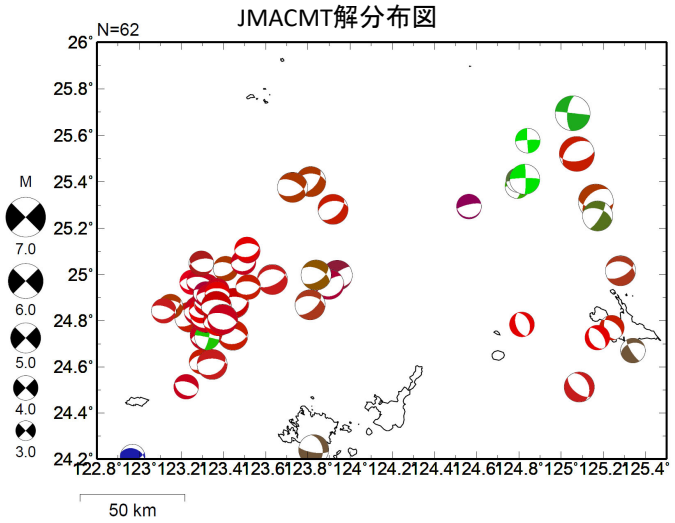
上図の領域ａ内のＥＴＡＳ解析・ｂ値

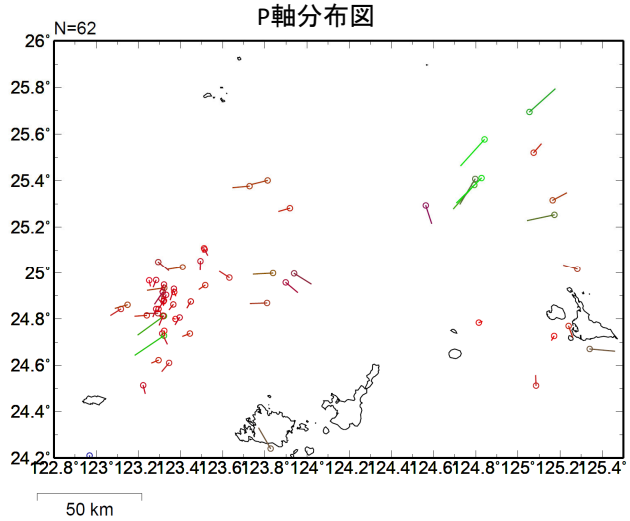


第 3 図 (c)　つづき
Fig. 3(c)　Continued.

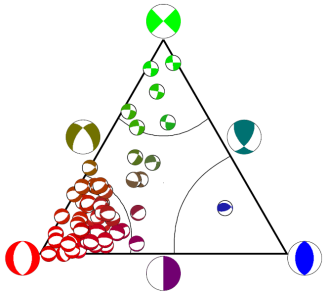
与那国島近海の地震活動（周辺のJMACMT解等の分布）

1997年10月1日～2020年6月30日　M≧3.0、深さ≦50km

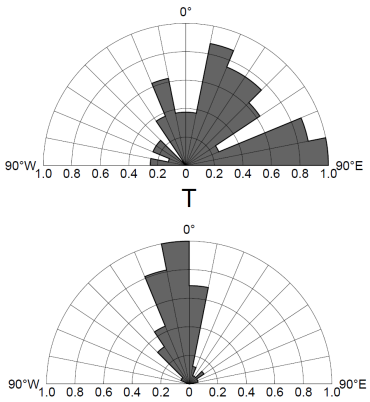


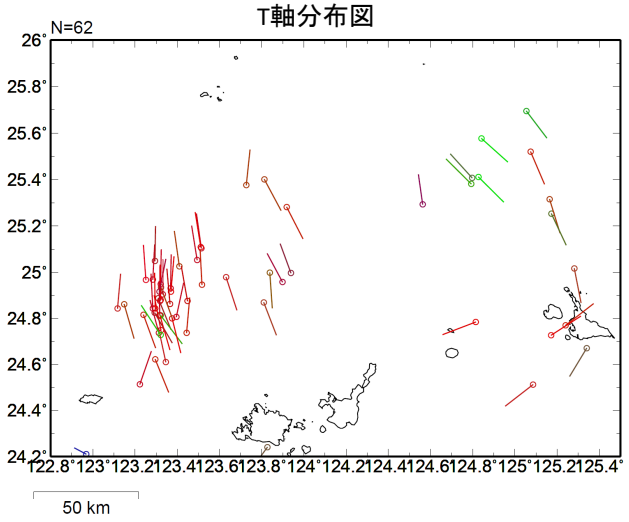


CMT解の型の分布



P軸とT軸の方位分布
※最も個数の多い方位を1とした
方位別の割合を示す





第 3 図 (d)　つづき

Fig. 3(d)　Continued.

地震予知連絡会会報第 105 巻　2021 年 3 月発行

11 － 1　世界の地震活動（2020 年 5 月～ 10 月）
Seismic Activity in the World (May – October 2020)

気象庁
Japan Meteorological Agency

今期間，世界で M6.0 以上の地震は 68 回発生し，M7.0 以上の地震は 6 回発生した（日本及びその周辺は気象庁，そのほかの地域は米国地質調査所 [USGS] による）．このうち最大のものは，2020 年 7 月 22 日（日本時間）にアラスカ半島の深さ 28km で発生した Mw7.8（気象庁による）の地震であった．

2020 年 5 月～ 10 月の M6.0 以上の地震の震央分布を第 1 図 (a) 及び (b) に示す．

主な地震活動は以下のとおりである．特段の断りがない限り，Mw 及び発震機構（CMT 解）は気象庁，そのほかの震源要素は USGS による（2020 年 11 月 26 日現在）．また，時刻は日本時間である．

（1）ケルマデック諸島南方の地震（Mw7.4，第 2 図 (a) ～ (c)）

2020 年 6 月 18 日 21 時 49 分にケルマデック諸島南方の深さ 10km で Mw7.4 の地震が発生した．この地震は，発震機構が北北西－南南東方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型で，太平洋プレート内部で発生した．この地震により，ニュージーランドのグレートバリア島で 0.11m などの津波を観測した．遠地実体波による震源過程解析を行ったところ，断層面を気象庁 CMT 解の 2 枚の節面のどちらを仮定しても観測波形と理論波形の残差に大きな差はなく，北北東－南南西走向の節面を仮定した場合は，破壊域が破壊の開始点から北北東方向に広がり，破壊時間が約 40 秒続いた結果となり，西北西－東南東走向の節面を仮定した場合は，破壊域が破壊の開始点から西北西方向に広がり，破壊時間が約 45 秒続いた結果となった．

（2）メキシコ，オアハカ州沿岸の地震（Mw7.4，第 3 図 (a) ～ (c)）

2020 年 6 月 24 日 00 時 29 分にメキシコ，オアハカ州沿岸の深さ 20km で Mw7.4 の地震が発生した．この地震は，発震機構が北北東－南南西方向に圧力軸を持つ逆断層型であった．この地震により，メキシコのサリナ・クルスで 0.68m などの津波を観測した．また，この地震により，死者が 10 人に達するなどの被害が発生した．遠地実体波による震源過程解析を行ったところ，プレート境界面に整合的な北傾斜の節面を仮定した場合は，破壊域が破壊の開始点周辺からやや浅い領域に広がり，破壊時間が約 10 秒続いた結果となった．

（3）アラスカ半島の地震（Mw7.8，第 4 図 (a) ～ (c)）

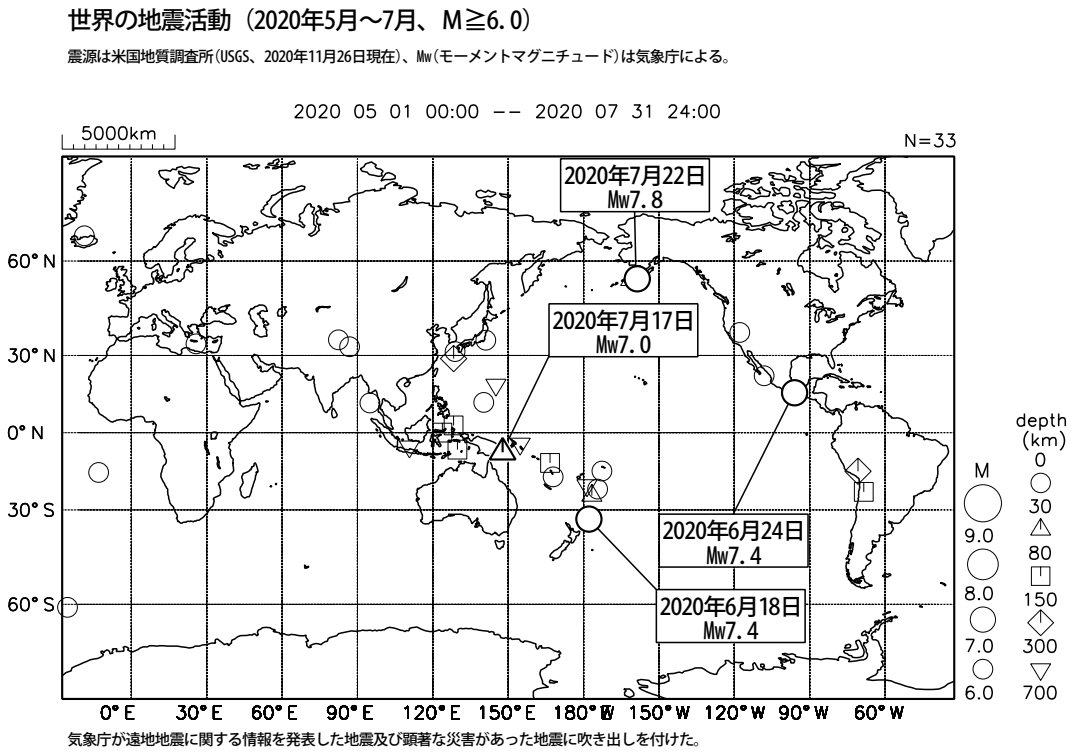
2020 年 7 月 22 日 15 時 12 分にアラスカ半島の深さ 28km で Mw7.8 の地震が発生した．この地震は，発震機構が北北西－南南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で，太平洋プレートと北米プレートの境界で発生した．この地震により，米国アラスカ州のサンドポイントで 0.24m の津波を観測した．遠地実体波による震源過程解析を行ったところ，プレート境界面に整合的な北北西傾斜の節面を仮定した場合は，破壊域が破壊の開始点周辺から西側の広い領域に広がり，破壊時間が約 50 秒続いた結果となった．

（4）アラスカ州南方の地震（Mw7.6，第 5 図）

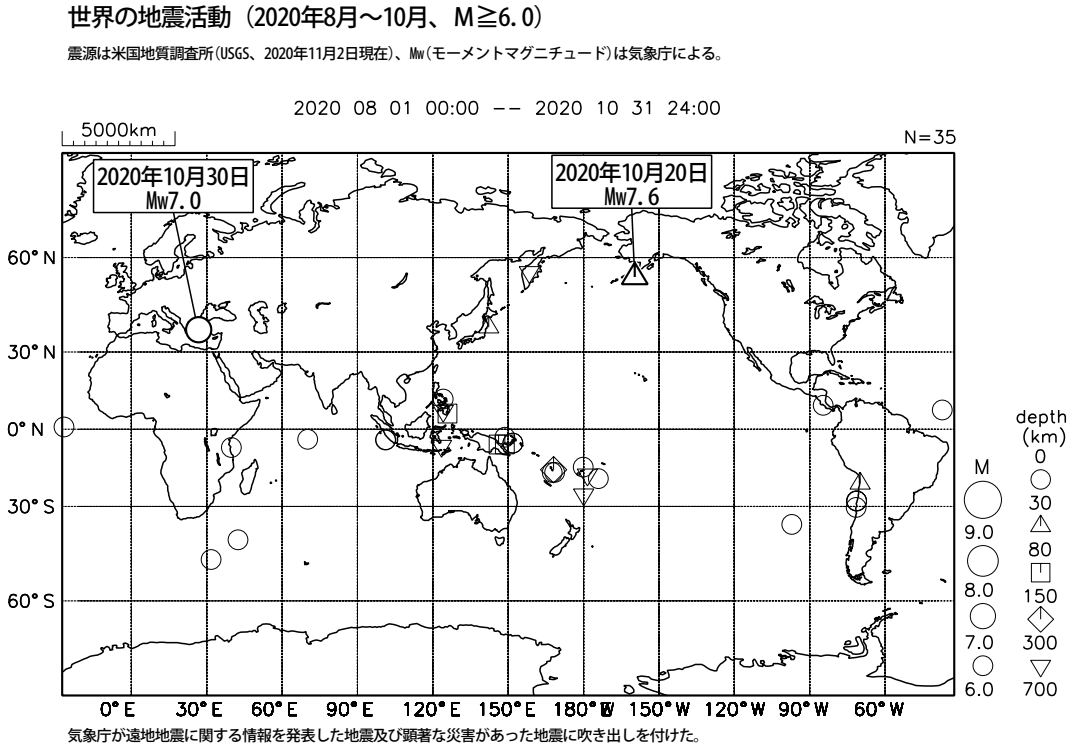
2020 年 10 月 20 日 05 時 54 分にアラスカ州南方の深さ 35km で Mw7.6 の地震が発生した．この地震の発震機構は，北西－南東方向に張力軸を持つ横ずれ断層型である．この地震により，米国アラスカ州のチグニクで 0.76m, 同じくサンドポイントで 0.7m などの津波を観測した．この地震は(3)の地震の余震と考えられる．

（5）エーゲ海の地震（Mw7.0，第 6 図）

2020 年 10 月 30 日 20 時 51 分にエーゲ海の深さ 21km で Mw7.0 の地震が発生した．この地震は，発震機構が南北方向に張力軸を持つ正断層型で, 地殻内で発生した．この地震により, 津波が発生し，イズミール・スフェリサル地区（トルコ）では，海岸から約 50m 内陸まで津波が到達したほか，サモス島(ギリシャ)では津波により建物被害が生じた．また, この地震により, トルコでは死者 114 人，ギリシャでは死者 2 人などの被害が発生した（2020 年 11 月 4 日現在）．



第 1 図 (a)　世界の地震活動（2020 年 5 月～ 7 月，M ≧ 6.0，深さ≦ 700km）
Fig. 1(a)　Seismic activity in the World (May –July 2020, M ≧ 6.0, depth ≦ 700 km).



第 1 図 (b)　つづき（2020 年 8 月～ 10 月，M ≧ 6.0，深さ≦ 700km）
Fig. 1(b)　Continued (August –October 2020, M ≧ 6.0, depth ≦ 700 km).

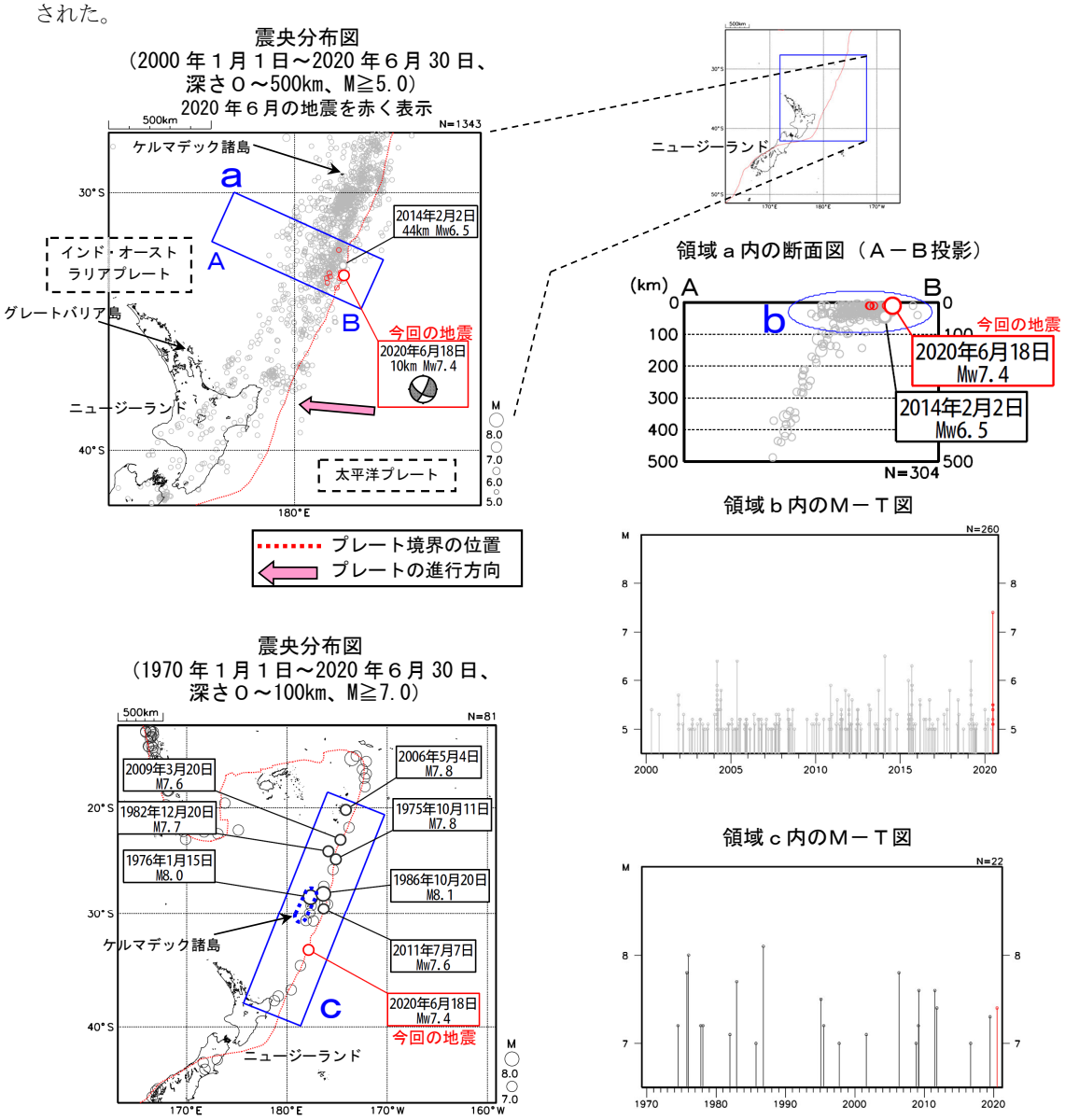
６月 18 日　ケルマデック諸島南方の地震

2020 年６月 18 日 21 時 49 分（日本時間、以下同じ）に、ケルマデック諸島南方の深さ 10km で Mw7.4 の地震が発生した。この地震は、発震機構（気象庁による CMT 解）が、北北西－南南東方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型で、太平洋プレートの内部で発生した。

気象庁は、この地震により、同日 22 時 15 分に遠地地震に関する情報（日本への津波の影響なし）を発表した。

この地震により、ニュージーランドのグレートバリア島で 0.11ｍなどの津波を観測した。

1970 年以降の地震活動を見ると、領域ｂ内のケルマデック諸島周辺では、M7.0 以上の地震がしばしば発生している。このうち、今回の地震の震央付近では 1986 年 10 月 20 日に M8.1 の地震が発生した。また、2011 年７月７日に Mw7.6 の地震が発生し、ケルマデック諸島のラウル島で 1.2ｍの津波が観測された。



※本資料中、今回の地震の発震機構と Mw、及び 2011 年７月７日の地震の Mw は気象庁による。その他の震源要素は、米国地質調査所（USGS）による。海外の津波観測施設の観測値は米国海洋大気庁（NOAA）による（７月１日 10 時現在）。プレート境界の位置と進行方向は Bird（2003）*より引用。

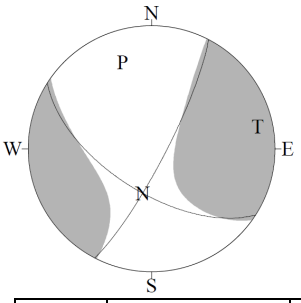
＊参考文献
Bird, P. (2003) An updated digital model of plate boundaries, Geochemistry Geophysics Geosystems, 4(3), 1027, doi:10.1029/2001GC000252.

第 2 図 (a)　2020 年 6 月 18 日ケルマデック諸島南方の地震（Mw7.4）
Fig. 2(a)　The earthquake in south of the Kermadec Islands (Mw7.4) on June 18, 2020.

6 月 18 日　ケルマデック諸島南方の地震の発震機構解析

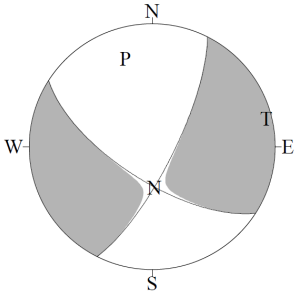
2020 年 6 月 18 日 21 時 49 分（日本時間）にケルマデック諸島南方で発生した地震について CMT 解析及び W-phase を用いた発震機構解析を行った。

1．CMT 解析　　セントロイドは、南緯 33.2°、西経 177.7°、深さ 32km となった。



Mw	M_0	断層面解 1（走向／傾斜／すべり角）	断層面解 2（走向／傾斜／すべり角）
7.4	1.43×10^{20}Nm	27.5°／80.8°／-28.8°	122.5°／61.6°／-169.6°

2．W-phase の解析　　セントロイドは、南緯 33.4°、西経 177.7°、深さ 31km となった。

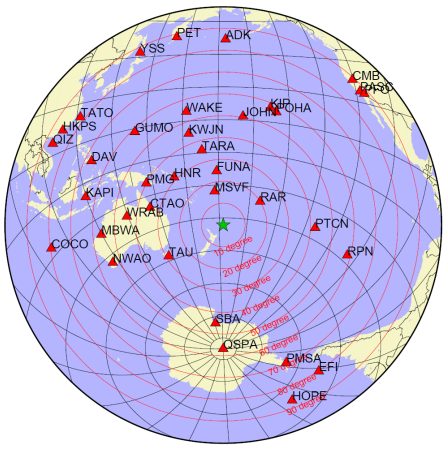


W-phase の解析では、震央距離 10°～90°までの 29 観測点の上下成分、25 観測点の水平成分を用い、100～500 秒のフィルターを使用した。
注）W-phase とは P 波から S 波付近までの長周期の実体波を指す。

Mw	M_0	断層面解 1（走向／傾斜／すべり角）	断層面解 2（走向／傾斜／すべり角）
7.4	1.53×10^{20}Nm	26.7°／75.9°／-23.0°	122.6°／67.8°／-164.7°

（W-phase に関する参考文献）
Kanamori, H and L. Rivera, 2008, Geophys. J. Int., **175**, 222-238.

解析データには、米国大学間地震学研究連合（IRIS）のデータ管理センター（DMC）より取得した広帯域地震波形記録を使用した。
また、解析には金森博士及び Rivera 博士に頂いたプログラムを使用した。記して感謝する。



解析に使用した観測点配置

第 2 図 (b)　発震機構解析
Fig. 2(b)　Moment tensor solution.

2020 年６月 18 日 ケルマデック諸島南方の地震
－　遠地実体波による震源過程解析（暫定）－（その１）

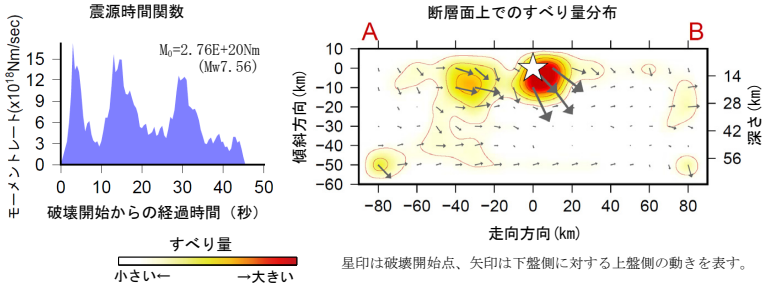
2020 年６月 18 日 21 時 49 分（日本時間）にケルマデック諸島南方で発生した地震について、米国大学間地震学研究連合（IRIS）のデータ管理センター（DMC）より広帯域地震波形記録を取得し、遠地実体波を用いた震源過程解析（注１）を行った。

破壊開始点は、米国地質調査所（USGS）による震源の位置（33° 17.6′ S、177° 50.3′ W、深さ 10km）とした。断層面は、気象庁 CMT 解の２枚の節面のうち、北北東－南南西走向の節面（走向 27° 、傾斜 81° 、すべり角-29° ）を仮定して解析した。最大破壊伝播速度は 3.0km/s とした。理論波形の計算には CRUST2.0（Bassin et al., 2000）および IASP91（Kennett and Engdahl, 1991）の地下構造モデルを用いた。

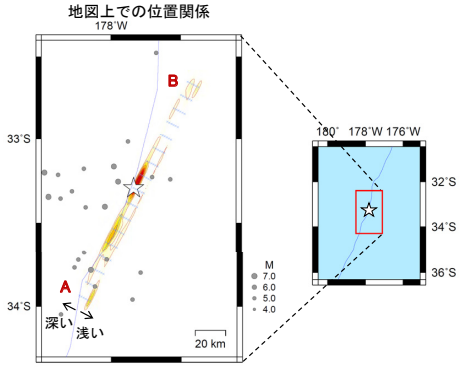
主な結果は以下のとおり（この結果は暫定であり、今後更新することがある）。

・主な破壊領域は走向方向に約 60km、傾斜方向に約 20km であった。
・主なすべりは破壊開始点から北北東方向に広がり、最大すべり量は 5.0m であった（周辺の構造から剛性率を 30GPa として計算）。
・主な破壊継続時間は約 40 秒であった。
・モーメントマグニチュード（Mw）は 7.6 であった。

結果の見方は、https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/world/about_srcproc.html を参照。

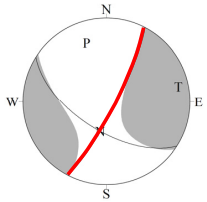


星印は破壊開始点、矢印は下盤側に対する上盤側の動きを表す。



星印は破壊開始点を示す。灰色の丸は今回の地震の発生後 10 日以内の地震の震央を示す（M4.0 以上、USGS による）。青線はプレート境界を示す。

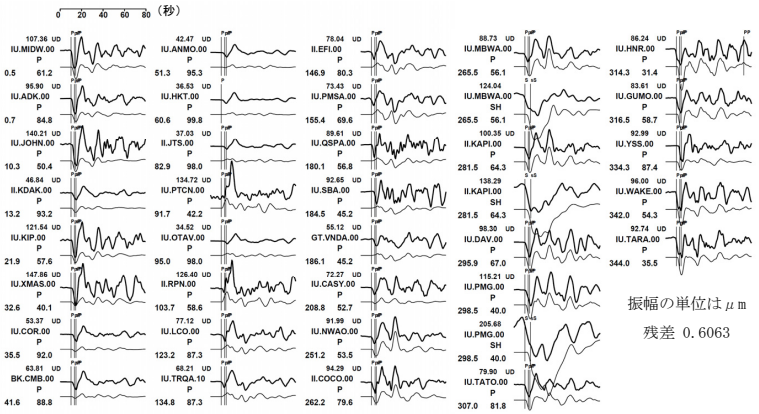
解析に用いた断層パラメータ：
走向 27° ，傾斜 81° ，すべり角-29°
（気象庁 CMT 解の値を用いた。）



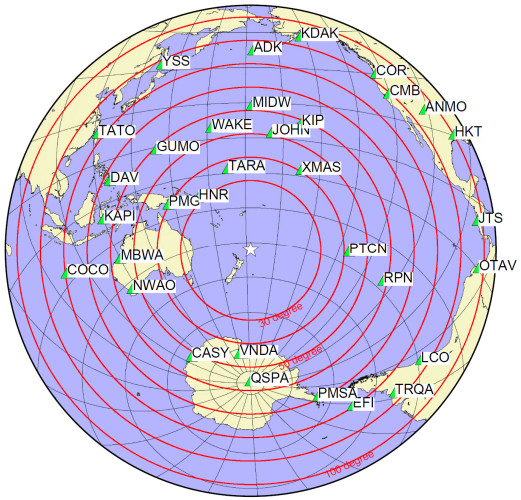
解析に用いた断層パラメータを震源球の赤線で示す。

（注１）解析に使用したプログラム
M. Kikuchi and H. Kanamori, Note on Teleseismic Body-Wave Inversion Program,
http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/ETAL/KIKUCHI/

観測波形（上：0.01Hz-0.5Hz）と理論波形（下）の比較



観測点分布



震央距離 30° ～100° ※1の 37 観測点※2（P 波：34、SH 波：3）を使用。
※１：近すぎると理論的に扱いづらくなる波の計算があり、逆に遠すぎると、液体である外核を通るため、直達波が到達しない。そのため、評価しやすい距離の波形記録のみを使用。
※２：IRIS-DMC より取得した広帯域地震波形記録を使用。

参考文献
Bassin, C., Laske, G. and Masters, G., 2000, The Current Limits of Resolution for Surface Wave Tomography in North America, EOS Trans AGU, 81, F897.
Kennett, B. L. N. and E. R. Engdahl, 1991, Traveltimes for global earthquake location and phase identification, Geophys. J. Int., 105, 429-465.

第 2 図 (c)　遠地実体波による震源過程解析
Fig. 2(c)　Source rupture process: analysis using teleseismic body-wave.

2020 年６月 18 日 ケルマデック諸島南方の地震
－　遠地実体波による震源過程解析（暫定）－（その２）

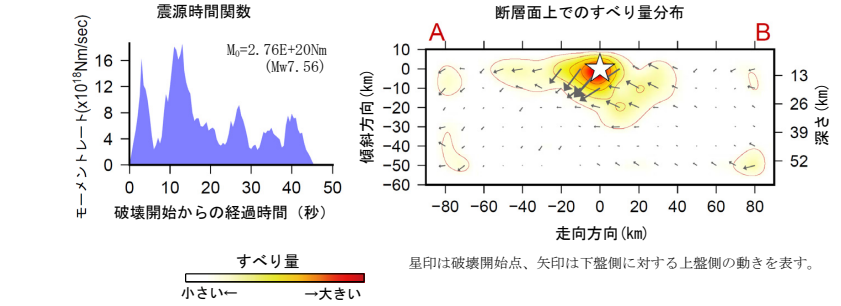
2020 年６月 18 日 21 時 49 分（日本時間）にケルマデック諸島南方で発生した地震について、米国大学間地震学研究連合（IRIS）のデータ管理センター（DMC）より広帯域地震波形記録を取得し、遠地実体波を用いた震源過程解析（注１）を行った。

破壊開始点は、米国地質調査所（USGS）による震源の位置（33° 17.6′ S、177° 50.3′ W、深さ 10km）とした。断層面は、気象庁 CMT 解の２枚の節面のうち、西北西－東南東走向の節面（走向 122°、傾斜 62°、すべり角-170°）を仮定して解析した。最大破壊伝播速度は 3.0km/s とした。理論波形の計算には CRUST2.0（Bassin et al., 2000）および IASP91（Kennett and Engdahl, 1991）の地下構造モデルを用いた。

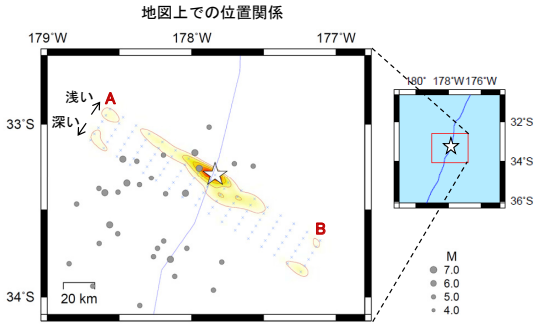
主な結果は以下のとおり（この結果は暫定であり、今後更新することがある）。

・主な破壊領域は走向方向に約 30km、傾斜方向に約 20km であった。
・主なすべりは破壊開始点から西北西方向に広がり、最大すべり量は 6.5m であった（周辺の構造から剛性率を 30GPa として計算）。
・主な破壊継続時間は約 45 秒であった。
・モーメントマグニチュード（Mw）は 7.6 であった。

結果の見方は、https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/world/about_srcproc.html を参照。

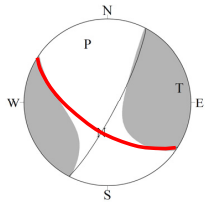


星印は破壊開始点、矢印は下盤側に対する上盤側の動きを表す。



星印は破壊開始点を示す。灰色の丸は今回の地震の発生後 10 日以内の地震の震央を示す（M4.0 以上、USGS による）。青線はプレート境界を示す。

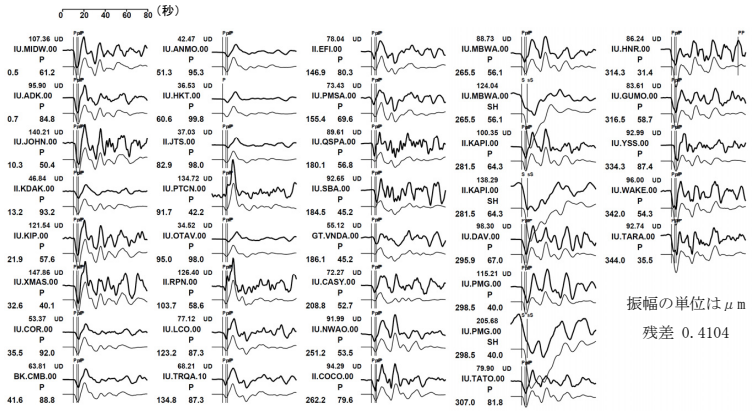
解析に用いた断層パラメータ：
走向 122°，傾斜 62°，すべり角-170°
（気象庁 CMT 解の値を用いた。）



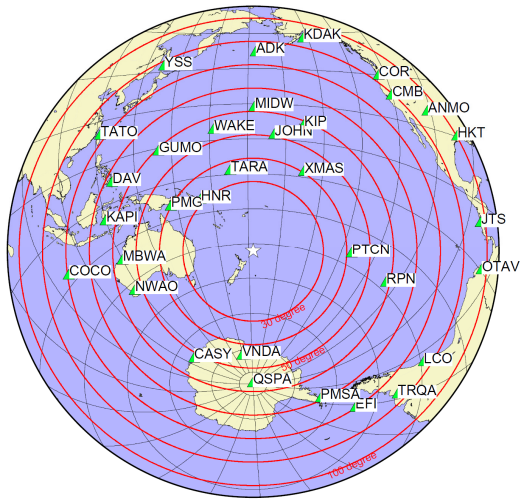
解析に用いた断層パラメータを震源球の赤線で示す。

（注１）解析に使用したプログラム
M. Kikuchi and H. Kanamori, Note on Teleseismic Body-Wave Inversion Program, http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/ETAL/KIKUCHI/

観測波形（上：0.01Hz-0.5Hz）と理論波形（下）の比較



観測点分布



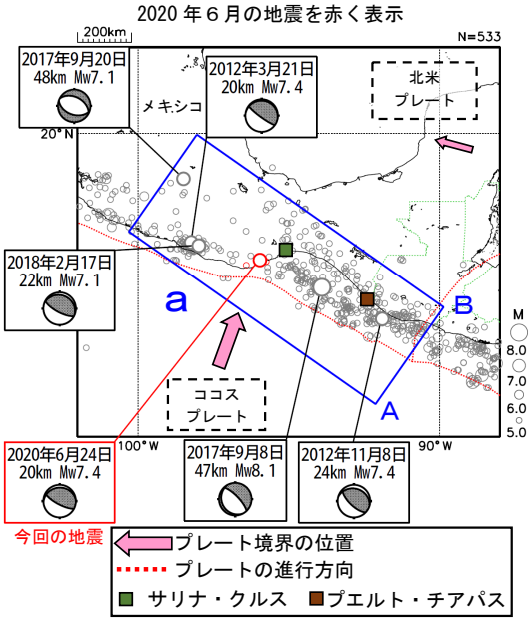
震央距離 30°～100°※1の 37 観測点※2（P 波：34、SH 波：3）を使用。
※１：近すぎると理論的に扱いづらくなる波の計算があり、逆に遠すぎると、液体である外核を通るため、直達波が到達しない。そのため、評価しやすい距離の波形記録のみを使用。
※２：IRIS-DMC より取得した広帯域地震波形記録を使用。

参考文献
Bassin, C., Laske, G. and Masters, G., 2000, The Current Limits of Resolution for Surface Wave Tomography in North America, EOS Trans AGU, 81, F897.
Kennett, B. L. N. and E. R. Engdahl, 1991, Traveltimes for global earthquake locat identification, Geophys. J. Int., 105, 429-465.

第 2 図 (c)　遠地実体波による震源過程解析
Fig. 2(c)　Source rupture process: analysis using teleseismic body-wave.

６月 24 日　メキシコ、オアハカ州沿岸の地震

震央分布図
（2000 年１月１日～2020 年６月 30 日、
深さ０～150km、M≧5.0）
2020 年６月の地震を赤く表示



2020 年６月 24 日 00 時 29 分（日本時間、以下同じ）に、メキシコ、オアハカ州沿岸の深さ 20km で Mw7.4 の地震が発生した。この地震の発震機構（気象庁による CMT 解）は、北北東－南南西方向に圧力軸を持つ逆断層型である。

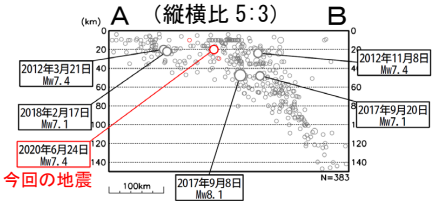
気象庁は、この地震により、同日 01 時 08 分に遠地地震に関する情報（日本沿岸で若干の海面変動あり）を発表した。

この地震により、メキシコのサリナ・クルスで 0.68ｍなどの津波を観測した。また、この地震により、死者が 10 人に達するなどの被害が発生した（６月 26 日現在）。

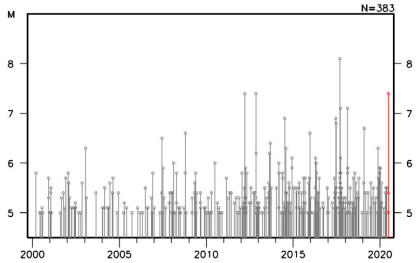
2000 年以降の地震活動を見ると、今回の地震の震央付近（領域ａ）では、M6.0 以上の地震がしばしば発生している。このうち、2017 年９月８日に発生した Mw8.1 の地震では、メキシコのプエルト・チアパスで 1.76ｍの津波を観測したほか、約 100 名の死者などの被害が生じた。

1960 年以降の地震活動を見ると、メキシコ太平洋側沿岸では、M7.0 以上の地震が時々発生している。1985 年９月 19 日の M8.1 の地震では、死者 9500 人などの被害が生じた（宇津の「世界の被害地震の表」による）。

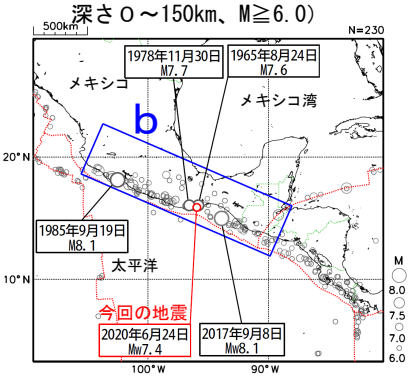
領域ａ内の断面図（Ａ－Ｂ投影）



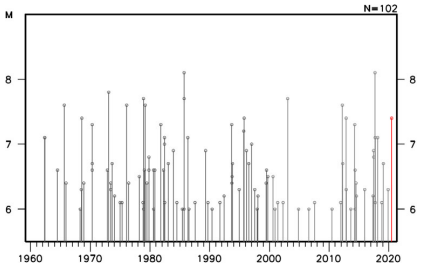
領域ａ内のＭ－Ｔ図



震央分布図※※
（1960 年１月１日～2020 年６月 30 日、
深さ０～150km、M≧6.0）



領域ｂ内のＭ－Ｔ図



※本資料中、領域ａ内における吹き出しの地震の発震機構と Mw は気象庁による。その他の震源要素は、米国地質調査所（USGS）による。海外の津波観測施設の観測値は米国海洋大気庁（NOAA）による（７月８日 12 時現在）。プレート境界の位置と進行方向は Bird（2003）*より引用。出典のない地震の被害については、国連人道問題調整事務所（OCHA）による。

※※震源データは、1960 年から 2016 年までは国際地震センター（ISC）、2017 年以降は米国地質調査所（USGS）のものを使用した。但し、2017 年９月８日の Mw は気象庁による。

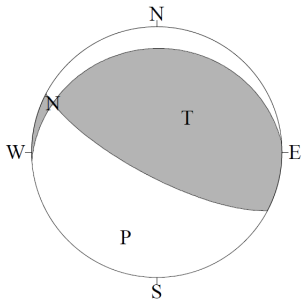
＊参考文献
Bird, P. (2003) An updated digital model of plate boundaries, Geochemistry Geophysics Geosystems, 4(3), 1027, doi:10.1029/2001GC000252.
宇津徳治，2004，世界の被害地震の表（古代から 2002 年まで），宇津徳治先生を偲ぶ会，東京，電子ファイル最終版．改定・更新版：http://iisee.kenken.go.jp/utsu/index.html.

第 3 図 (a)　2020 年 6 月 24 日メキシコ，オアハカ州沿岸の地震（Mw7.4）
Fig. 3(a)　The earthquake near the coast of Oaxaca, Mexico (Mw7.4) on June 24, 2020.

６月 24 日　メキシコ、オアハカ州沿岸の地震の発震機構解析

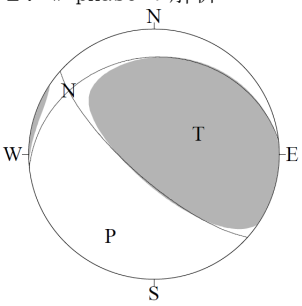
2020 年６月 24 日 00 時 29 分（日本時間）にメキシコ、オアハカ州沿岸で発生した地震について CMT 解析及び W-phase を用いた発震機構解析を行った。

１．CMT 解析　　セントロイドは、北緯 16.0°、西経 95.9°、深さ 23km となった。



Mw	M_0	断層面解１（走向／傾斜／すべり角）	断層面解２（走向／傾斜／すべり角）
7.4	1.37×10^{20}Nm	117.8°／74.3°／99.5°	266.1°／18.3°／59.6°

２．W-phase の解析　　セントロイドは、北緯 15.8°、西経 95.8°、深さ 26km となった。

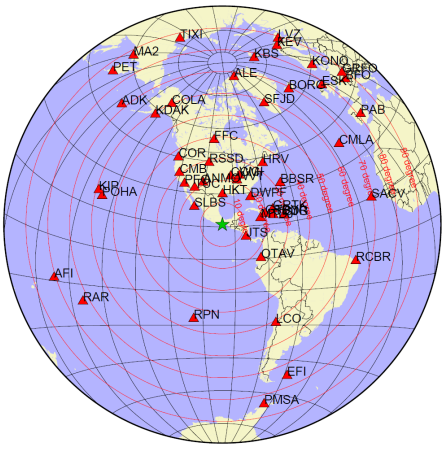


W-phase の解析では、震央距離 10°～90°までの 47 観測点の上下成分、36 観測点の水平成分を用い、200～600 秒のフィルターを使用した。
注）W-phase とは P 波から S 波付近までの長周期の実体波を指す。

Mw	M_0	断層面解１（走向／傾斜／すべり角）	断層面解２（走向／傾斜／すべり角）
7.3	1.26×10^{20}Nm	131.5°／73.8°／107.1°	263.6°／23.4°／44.5°

（W-phase に関する参考文献）
Kanamori, H and L. Rivera, 2008, Geophys. J. Int., **175**, 222-238.

解析データには、米国大学間地震学研究連合（IRIS）のデータ管理センター（DMC）より取得した広帯域地震波形記録を使用した。
また、解析には金森博士及び Rivera 博士に頂いたプログラムを使用した。記して感謝する。



解析に使用した観測点配置

第 3 図 (b)　発震機構解析
Fig. 3(b)　Moment tensor solution.

2020 年６月 24 日 メキシコ、オアハカ州沿岸の地震
－　遠地実体波による震源過程解析（暫定）－

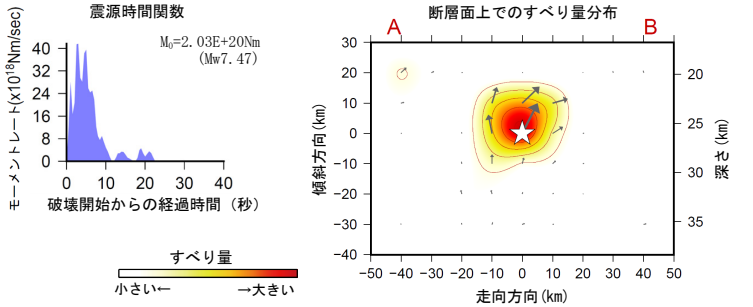
2020 年６月 24 日 00 時 29 分（日本時間）にメキシコ、オアハカ州沿岸で発生した地震について、米国大学間地震学研究連合（IRIS）のデータ管理センター（DMC）より広帯域地震波形記録を取得し、遠地実体波を用いた震源過程解析（注１）を行った。

破壊開始点は、米国地質調査所（USGS）による震源の位置（16° 01.7′ N、95° 54.1′ W、深さ 26km）とした。断層面は、気象庁 CMT 解の２枚の節面のうち、プレート境界面に整合的な北傾斜の節面（走向 266°、傾斜 18°、すべり角 60°）を仮定して解析した。最大破壊伝播速度は 3.0km/s とした。理論波形の計算には CRUST2.0（Bassin et al., 2000）および IASP91（Kennett and Engdahl, 1991）の地下構造モデルを用いた。

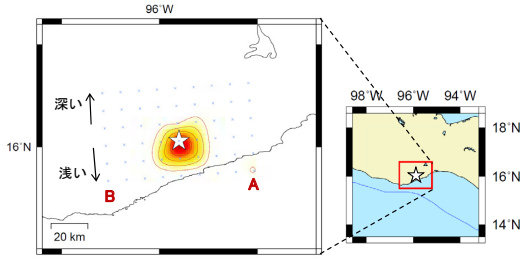
主な結果は以下のとおり（この結果は暫定であり、今後更新することがある）。

・主な破壊領域は走向方向に約 20km、傾斜方向に約 20km であった。
・主なすべりは破壊開始点周辺からやや浅い領域に広がり、最大すべり量は 10.2m であった（周辺の構造から剛性率を 40GPa として計算）。
・主な破壊継続時間は約 10 秒であった。
・モーメントマグニチュード（Mw）は 7.5 であった。

結果の見方は、https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/world/about_srcproc.html を参照。

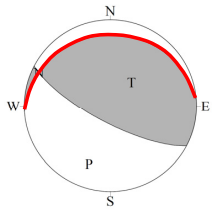


星印は破壊開始点、矢印は下盤側に対する上盤側の動きを表す。



星印は破壊開始点を示す。青線はプレート境界を示す。

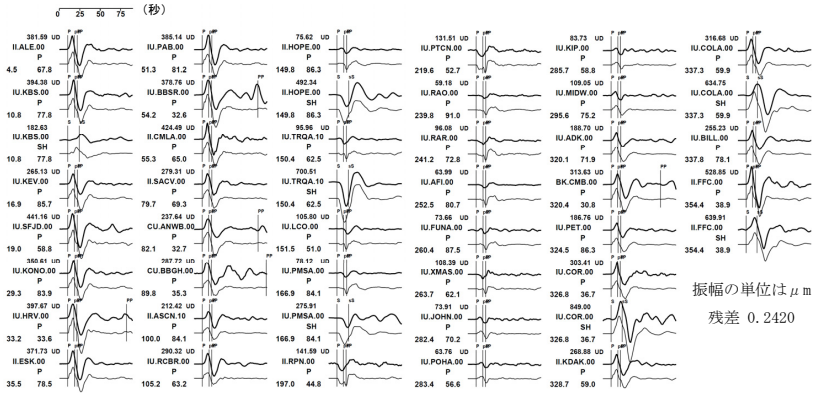
解析に用いた断層パラメータ：
走向 266°，傾斜 18°，すべり角 60°
（気象庁 CMT 解の値を用いた。）



解析に用いた断層パラメータを震源球の赤線で示す。

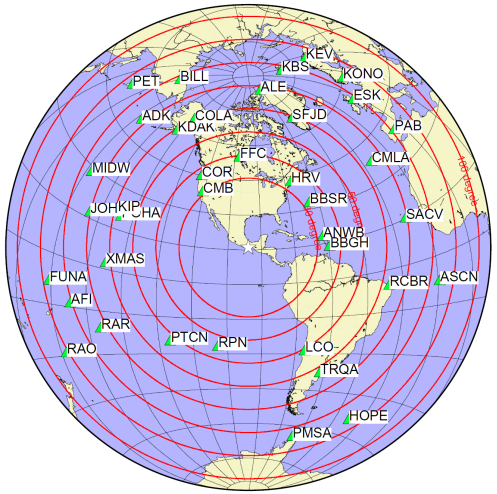
（注１）解析に使用したプログラム
M. Kikuchi and H. Kanamori, Note on Teleseismic Body-Wave Inversion Program,
http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/ETAL/KIKUCHI/

観測波形（上：0.01Hz-0.5Hz）と理論波形（下）の比較



振幅の単位は μm
残差 0.2420

観測点分布



震央距離 30° ～100° ※1の 45 観測点※2（P 波：38、SH 波：7）を使用。
※１：近すぎると理論的に扱いづらくなる波の計算があり、逆に遠すぎると、液体である外核を通るため、直達波が到達しない。そのため、評価しやすい距離の波形記録のみを使用。
※２：IRIS-DMC より取得した広帯域地震波形記録を使用。

参考文献
Bassin, C., Laske, G. and Masters, G., 2000, The Current Limits of Resolution for Surface Wave Tomography in North America, EOS Trans AGU, 81, F897.
Kennett, B. L. N. and E. R. Engdahl, 1991, Traveltimes for global earthquake location and phase identification, Geophys. J. Int., 105, 429-465.

第 3 図 (c)　遠地実体波による震源過程解析
Fig. 3(c)　Source rupture process: analysis using teleseismic body-wave.

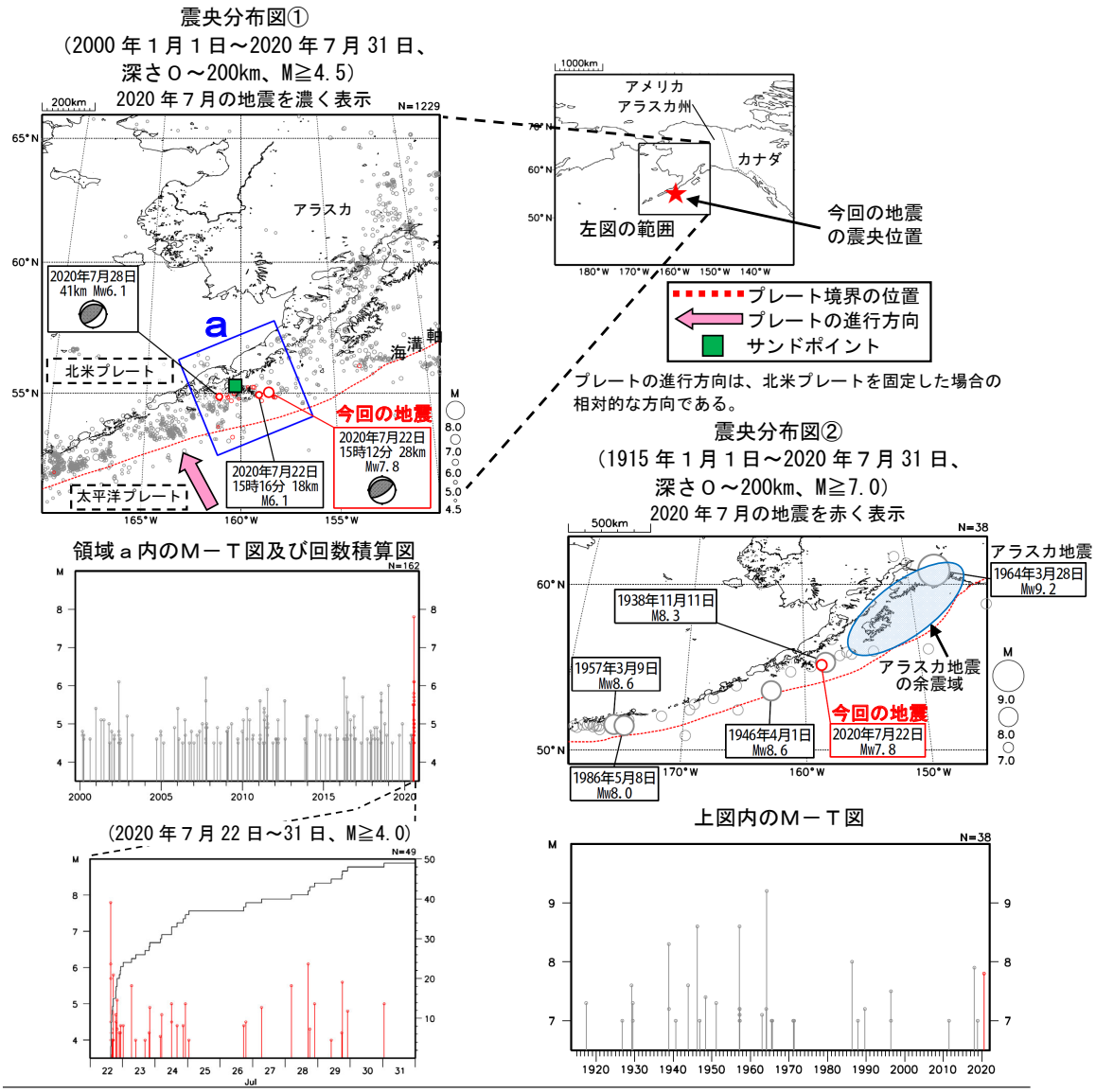
７月 22 日　アラスカ半島の地震

2020 年７月 22 日 15 時 12 分（日本時間、以下同じ）にアラスカ半島の深さ 28km で Mw7.8 の地震（Mw は気象庁によるモーメントマグニチュード）が発生した。この地震は発震機構（気象庁による CMT 解）が北北西－南南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと北米プレートの境界で発生した。

気象庁は、この地震により、遠地地震に関する情報を同日 15 時 50 分（日本沿岸で若干の海面変動あり）と同日 19 時 50 分（現地で津波を観測）に発表した。この地震によりサンドポイント（米国アラスカ州）で 0.24m の津波を観測した。今回の地震の震央周辺（領域ａ）では、この地震の後、同日 15 時 16 分に M6.1 の地震、また、７月 28 日にも Mw6.1 の地震が発生した。

2000 年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ａ）では、時々M6.0 以上の地震が発生している。

1915 年以降の活動をみると、アラスカ周辺では、1964 年３月 28 日に最大級規模の地震（アラスカ地震）（Mw9.2）が発生し、死者 131 人等の被害が生じている。



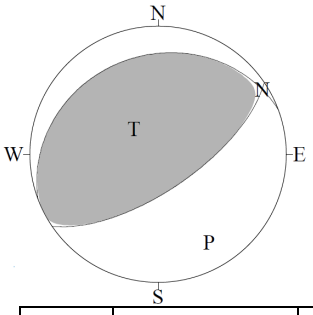
※本資料中、震央分布図①内の今回の地震の発震機構と Mw は気象庁、その他の地震の M は米国地質調査所（USGS）、発震機構は GlobalCMT による。震央分布図②内の 2016 年以前の地震の震源要素は国際地震センター（ISCGEM）による。その他の震源要素はいずれも米国地質調査所（USGS）による（2020 年８月３日現在）。1964 年３月 28 日の地震（アラスカ地震）のMと被害は宇津の「世界の被害地震の表」による。津波の高さは、米国海洋大気庁(NOAA)による（2020 年８月３日現在）。プレート境界の位置と進行方向は Bird（2003）*より引用。＊参考文献　Bird, P.（2003）An updated digital model of plate boundaries, Geochemistry Geophysics Geosystems, 4(3), 1027, doi:10.1029/2001GC000252.

第 4 図 (a)　2020 年 7 月 22 日アラスカ半島の地震（Mw7.8）
Fig. 4(a)　The earthquake in the Alaska Peninsula (Mw7.8) on July 22, 2020.

7 月 22 日　米国、アラスカ半島の地震の発震機構解析

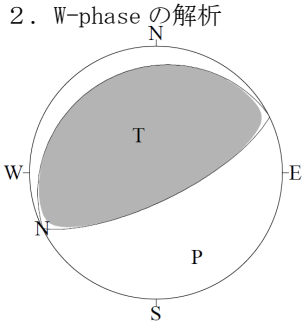
2020 年 7 月 22 日 15 時 12 分（日本時間）に米国、アラスカ半島で発生した地震について CMT 解析及び W-phase を用いた発震機構解析を行った。

1．CMT 解析　　セントロイドは、北緯 54.7°、西経 158.7°、深さ 41km となった。



Mw	M_0	断層面解 1（走向／傾斜／すべり角）	断層面解 2（走向／傾斜／すべり角）
7.8	5.36×10^{20}Nm	249.4°／23.6°／102.4°	55.9°／67.0°／84.6°

2．W-phase の解析　　セントロイドは、北緯 55.0°、西経 159.2°、深さ 41km となった。

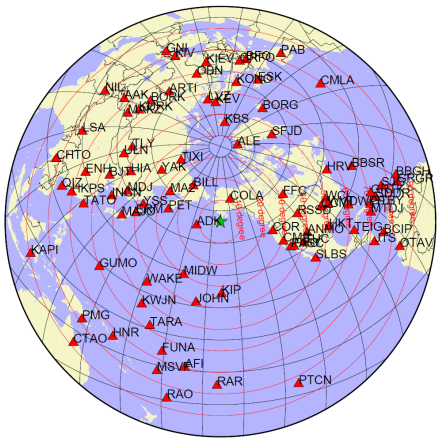


W-phase の解析では、震央距離 10°～90°までの 82 観測点の上下成分、72 観測点の水平成分を用い、200～600 秒のフィルターを使用した。
注）W-phase とは P 波から S 波付近までの長周期の実体波を指す。

Mw	M_0	断層面解 1（走向／傾斜／すべり角）	断層面解 2（走向／傾斜／すべり角）
7.8	7.00×10^{20}Nm	242.3°／18.2°／88.4°	63.9°／71.8°／90.5°

（W-phase に関する参考文献）
Kanamori, H and L. Rivera, 2008, Geophys. J. Int., **175**, 222-238.

解析データには、米国大学間地震学研究連合（IRIS）のデータ管理センター（DMC）より取得した広帯域地震波形記録を使用した。
また、解析には金森博士及び Rivera 博士に頂いたプログラムを使用した。記して感謝する。



解析に使用した観測点配置

第 4 図 (b)　発震機構解析
Fig. 4(b)　Moment tensor solution.

2020 年 7 月 22 日 米国、アラスカ半島の地震
― 遠地実体波による震源過程解析（暫定）―

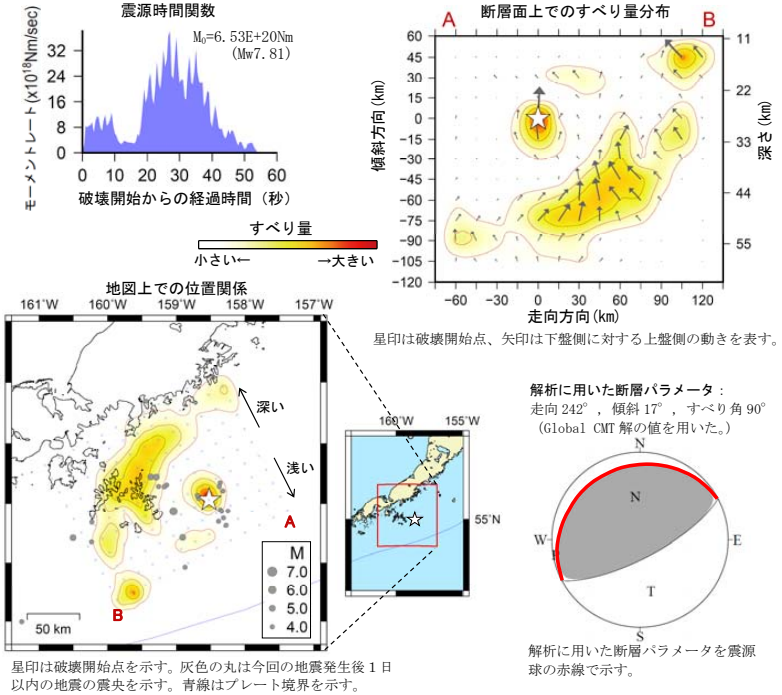
2020 年 7 月 22 日 15 時 12 分（日本時間）に米国、アラスカ半島で発生した地震について、米国大学間地震学研究連合（IRIS）のデータ管理センター（DMC）より広帯域地震波形記録を取得し、遠地実体波を用いた震源過程解析（注１）を行った。

破壊開始点は、米国地質調査所（USGS）による震源の位置（55° 01.8′ N、158° 31.3′ W、深さ 28km）とした。断層面は、Global CMT 解の２枚の節面のうち、プレート境界面に整合的な北北西傾斜の節面（走向 242°、傾斜 17°、すべり角 90°）を仮定して解析した。最大破壊伝播速度は 3.0km/s とした。理論波形の計算には CRUST2.0（Bassin et al., 2000）および IASP91（Kennett and Engdahl, 1991）の地下構造モデルを用いた。

主な結果は以下のとおり（この結果は暫定であり、今後更新することがある）。

・主な破壊領域は走向方向に約 140km、傾斜方向に約 130km であった。
・主なすべりは破壊開始点周辺から西側の広い領域に広がり、最大すべり量は 3.2m であった（周辺の構造から剛性率を 40GPa として計算）。
・主な破壊継続時間は約 50 秒であった。
・モーメントマグニチュード（Mw）は 7.8 であった。

結果の見方は、https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/world/about_srcproc.html を参照。



星印は破壊開始点、矢印は下盤側に対する上盤側の動きを表す。

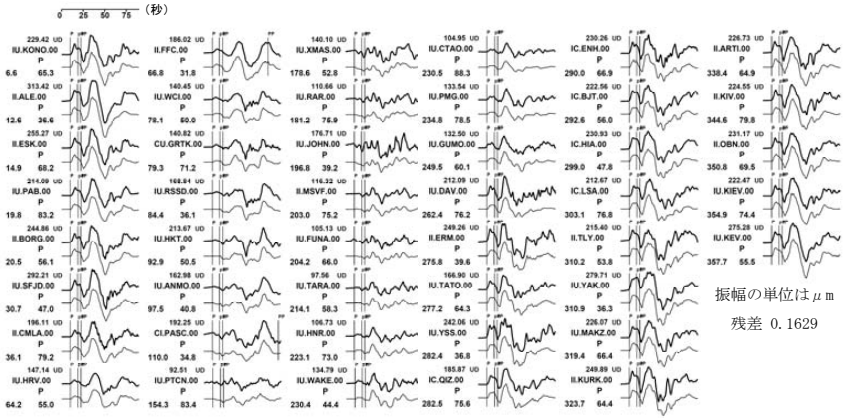
星印は破壊開始点を示す。灰色の丸は今回の地震発生後１日以内の地震の震央を示す。青線はプレート境界を示す。

解析に用いた断層パラメータを震源球の赤線で示す。

（注１）解析に使用したプログラム
M. Kikuchi and H. Kanamori, Note on Teleseismic Body-Wave Inversion Program, http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/ETAL/KIKUCHI/

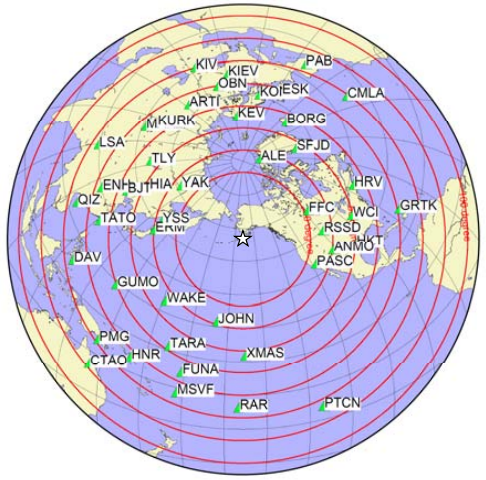
更新日：2020/08/07

観測波形（上：0.01Hz-0.5Hz）と理論波形（下）の比較



振幅の単位は μm
残差 0.1629

観測点分布



震央距離 30°～100°※1の 45 観測点※2（P 波：45、SH 波：0）を使用。
※１：近すぎると理論的に扱いづらくなる波の計算があり、逆に遠すぎると、液体である外核を通るため、直達波が到達しない。そのため、評価しやすい距離の波形記録のみを使用。
※２：IRIS-DMC より取得した広帯域地震波形記録を使用。

参考文献
Bassin, C., Laske, G. and Masters, G., 2000, The Current Limits of Resolution for Surface Wave Tomography in North America, EOS Trans AGU, 81, F897.
Kennett, B. L. N. and E. R. Engdahl, 1991, Traveltimes for global earthquake location and phase identification, Geophys. J. Int., 105, 429-465.

第 4 図 (c)　遠地実体波による震源過程解析
Fig. 4(c)　Source rupture process: analysis using teleseismic body-wave.

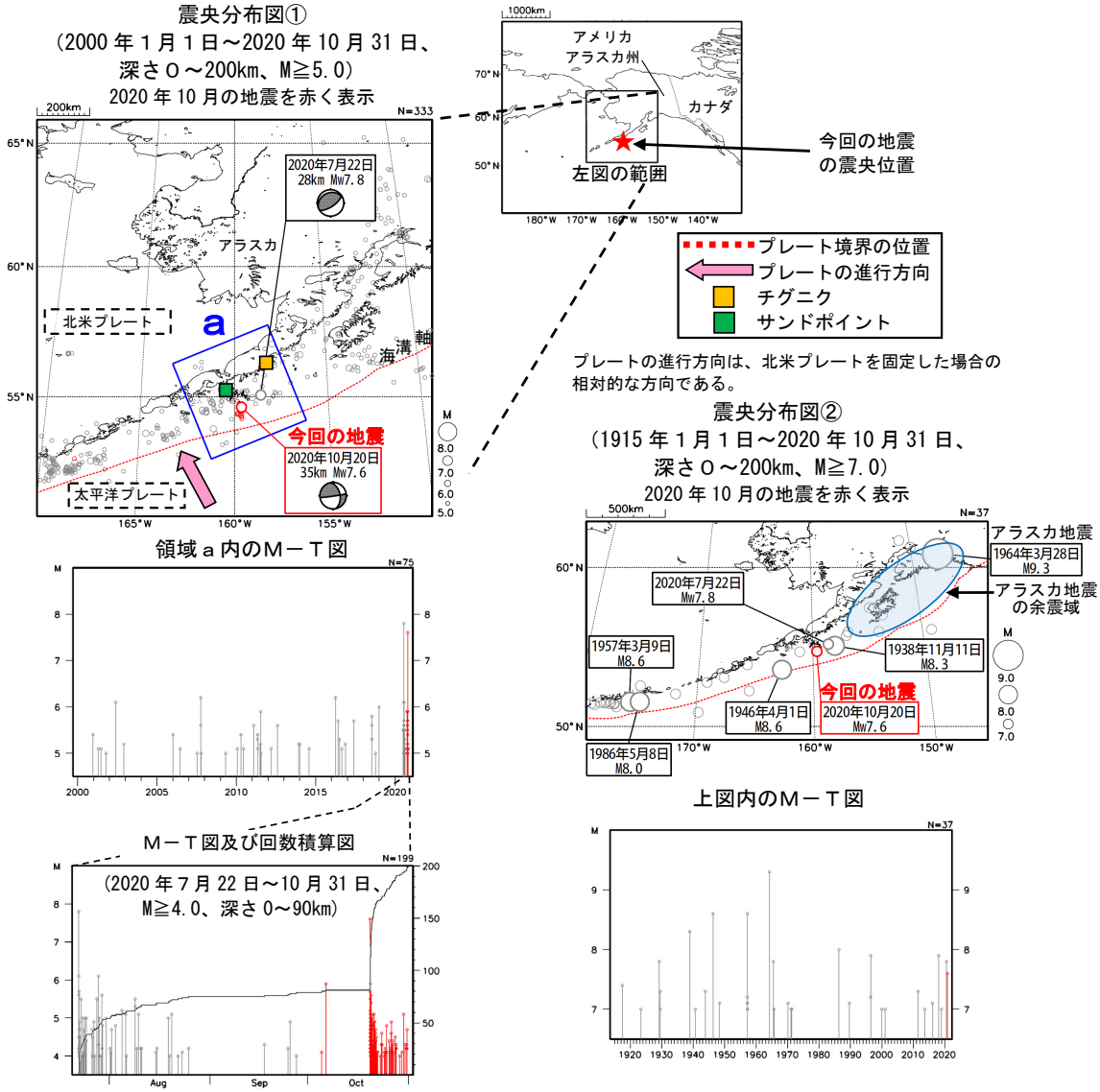
10 月 20 日　アラスカ州南方の地震

2020 年 10 月 20 日 05 時 54 分（日本時間、以下同じ）にアラスカ州南方の深さ 35km で Mw7.6 の地震（Mw は気象庁によるモーメントマグニチュード）が発生した。この地震の発震機構（気象庁による CMT 解）は北西－南東方向に張力軸を持つ横ずれ断層型である。

気象庁は、この地震により、遠地地震に関する情報を同日 06 時 30 分（日本への津波の影響なし）と同日 09 時 50 分（現地で津波を観測）に発表した。この地震により米国アラスカ州のチグニクで 0.76m、同じくサンドポイントで 0.7m などの津波を観測した。今回の地震の震央周辺（領域 a ）では、2020 年 7 月 22 日に Mw7.8 の地震（Mw は気象庁によるモーメントマグニチュード）が発生しており、今回の地震はその余震と考えられる。

2000 年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域 a ）では、時々M6.0 以上の地震が発生している。

1915 年以降の活動をみると、アラスカ周辺では、1964 年 3 月 28 日に最大級規模の地震（アラスカ地震）（M9.3）が発生し、死者 131 人等の被害が生じている。



※本資料中、震央分布図①内の吹き出しの付いた地震の発震機構と Mw は気象庁、その他の地震の M は米国地質調査所（USGS）による。震央分布図②内の 2017 年以前の地震の震源要素は国際地震センター（ISCGEM）による。ISCGEM による震源データの地震の規模は Mw である。その他の震源要素はいずれも米国地質調査所（USGS）による（2020 年 11 月 2 日現在）。1964 年 3 月 28 日の地震（アラスカ地震）の被害は宇津の「世界の被害地震の表」による。津波の高さは、米国海洋大気庁(NOAA)による（2020 年 11 月 2 日現在）。プレート境界の位置と進行方向は Bird（2003）*より引用。

＊参考文献　Bird, P. (2003) An updated digital model of plate boundaries, Geochemistry Geophysics Geosystems, 4(3), 1027, doi:10.1029/2001GC000252.

第 5 図　2020 年 10 月 20 日アラスカ州南方の地震（Mw7.6）

Fig. 5　The earthquake in south of the Alaska (Mw7.6) on October 20, 2020.

10 月 30 日　エーゲ海の地震

2020 年 10 月 30 日 20 時 51 分（日本時間、以下同じ）にエーゲ海の深さ 21km で Mw7.0 の地震（Mw は気象庁によるモーメントマグニチュード）が発生した。この地震は、発震機構（気象庁による CMT 解）が南北方向に張力軸を持つ正断層型で、地殻内で発生した。

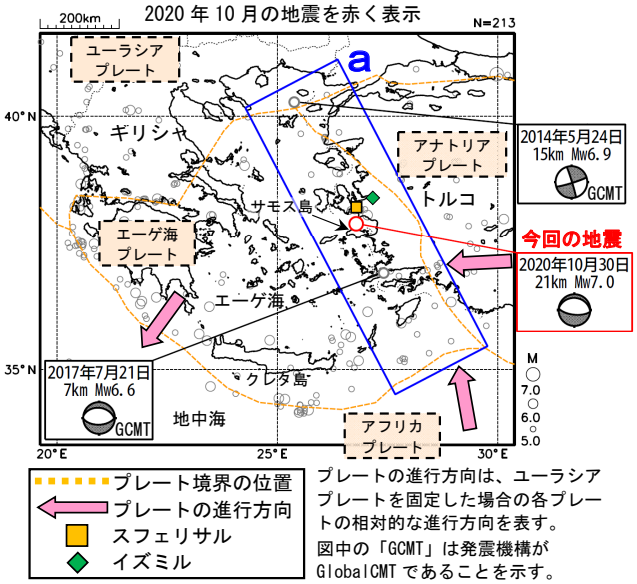
気象庁は、この地震により、遠地地震に関する情報を同日 21 時 25 分（日本への津波の影響なし）に発表した。

この地震により、津波が発生し、イズミール・スフェリサル地区（トルコ）では、海岸から約 50m内陸まで津波が到達したほか、サモス島（ギリシャ）では津波により建物被害が生じた（NOAA による）。また、この地震により、トルコでは死者 114 人、ギリシャでは死者２人などの被害が発生した（11 月４日現在）。

1990 年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ａ）では、2017 年７月 21 日に Mw6.6 の地震が発生し、死者２人などの被害が発生している。

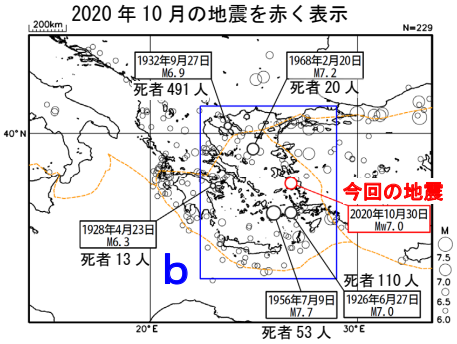
1910 年以降の活動をみると、エーゲ海周辺（領域ｂ）では、M7.0 以上の地震が時々発生している。1956 年７月９日に発生した M7.7 の地震では、死者 53 人等の被害が生じ、また津波も発生している。

震央分布図①
（1990 年１月１日～2020 年 10 月 31 日、
深さ０～100km、M≧5.0）
2020 年 10 月の地震を赤く表示

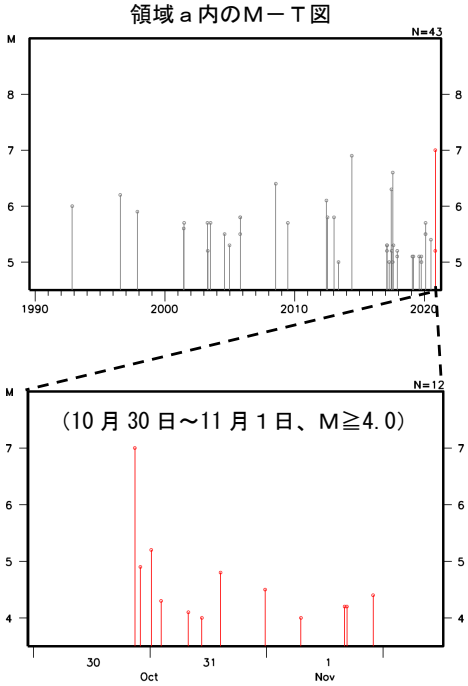


プレートの進行方向は、ユーラシアプレートを固定した場合の各プレートの相対的な進行方向を表す。
図中の「GCMT」は発震機構が GlobalCMT であることを示す。

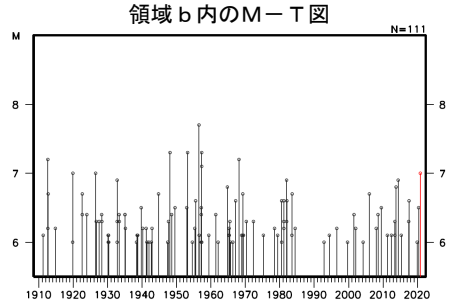
震央分布図②
（1910 年１月１日～2020 年 10 月 31 日、
深さ０～100km、M≧6.0）
2020 年 10 月の地震を赤く表示



領域ａ内のＭ－Ｔ図



領域ｂ内のＭ－Ｔ図



※気象庁が情報発表に用いた震源地名は「地中海」（詳しい震源の位置は「ギリシャ、ドデカネス諸島」）である。
※本資料中、今回の地震の発震機構と Mw は気象庁による。それ以外の震源要素は米国地質調査所（USGS）による（2020 年 11 月２日現在）。震央分布図②内の 2017 年以前の地震の震源要素は国際地震センター（ISCGEM）による。被害は、今回の地震と 2017 年の地震は国連人道問題調整事務所（OCHA）、それ以外の地震は宇津及び国際地震工学センターの「世界の被害地震の表」による。
津波の高さは、米国海洋大気庁(NOAA)による（2020 年 11 月４日現在）。プレート境界の位置と進行方向は Bird（2003）*より引用。
＊参考文献　Bird, P. (2003) An updated digital model of plate boundaries, Geochemistry Geophysics Geosystems, 4(3), 1027, doi:10.1029/2001GC000252.

第 6 図　2020 年 10 月 30 日エーゲ海の地震（Mw7.0）
Fig. 6　The earthquake in the Aegean Sea (Mw7.0) on October 30, 2020.

11－2　トルコ・ギリシャ沖の地震　SAR 干渉解析結果
The 2020 Turkey and Greece Earthquake：Geomorphic change detected by ALOS-2 data

国土地理院
Geospatial Information Authority of Japan

［トルコ・ギリシャ沖の地震 SAR］

第 1 図は，2020 年 10 月 30 日にトルコ・ギリシャ沖で発生した Mw7.0 の地震に関する，「だいち２号」データの解析結果に関する資料である．解析に用いたデータの諸元は，第 1 図下段の表に示すとおりである．図は南行軌道からの観測データを用いた SAR 干渉解析の結果を示し，サモス島の西側全体で衛星に近づく変動，島の北岸で衛星から遠ざかる変動が見られる．

2020 年 10 月 30 日 トルコ・ギリシャ沖の地震
だいち 2 号 SAR 干渉解析結果

2020 年 10 月 30 日にトルコ・ギリシャ沖で発生した地震（Mw7.00）について、だいち 2 号のデータの解析を行った。得られた結果は以下のとおりである。

- サモス島の西側全体で衛星に近づく変動が見られる。島の北岸では、衛星から遠ざかる変動が見られる。

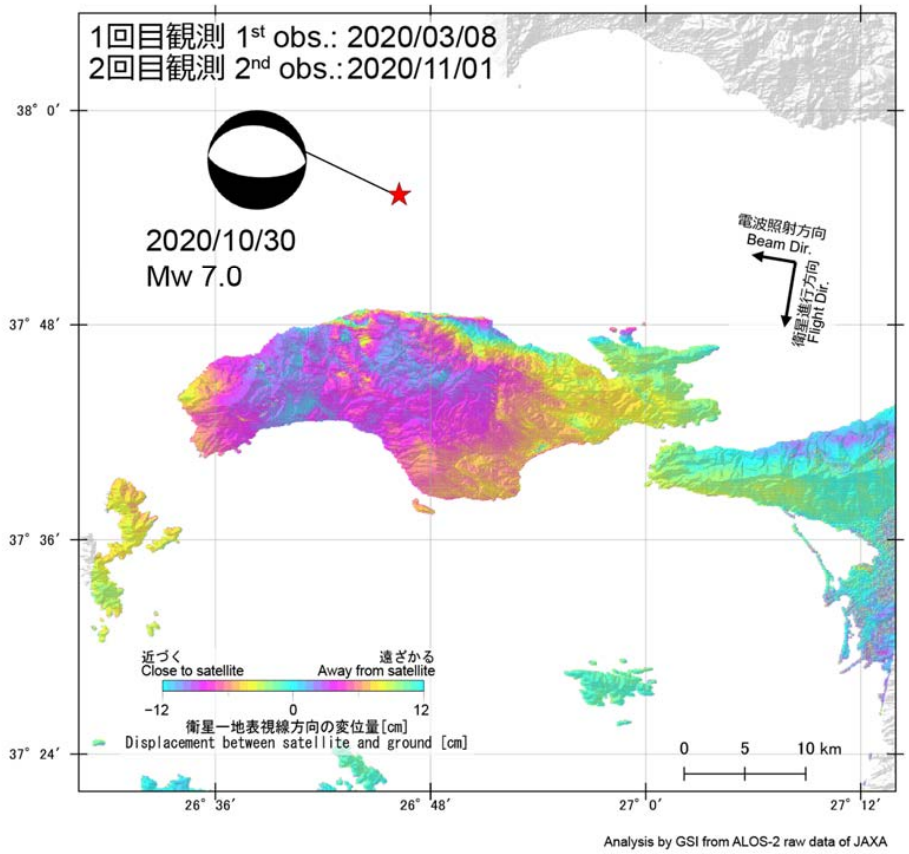


図 1. SAR 干渉画像（2020 年 3 月 8 日～2020 年 11 月 1 日）

表 1. 使用データ

図番号	観測日	観測時間 (UTC)	衛星進行方向	電波照射方向	観測モード	入射角（震央付近）	垂直基線長
1	2020/03/08 2020/11/01	10:14 頃	南行	右	高分解能 (Fine)	41°	-470m

本成果は、地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの活動を通して得られたものである。

第 1 図　南行右観測ペアの SAR 干渉画像
Fig. 1　Synthetic Aperture Radar (SAR) interferogram from descending orbit pair.

重点検討課題の検討

第２２８回　地震予知連絡会重点検討課題
「日本列島モニタリングの将来像」

第２２９回　地震予知連絡会重点検討課題
「予測実験の試行(07) −地震活動予測の検証−」

12 － 1　第 228 回地震予知連絡会重点検討課題「日本列島モニタリングの将来像」の概要
Future vision for monitoring of crustal activity in and around Japanese Islands

小原　一成（東京大学地震研究所）
Kazushige Obara (Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)

1．はじめに

日本列島周辺では，度重なる地震・火山・津波災害を教訓として，これらの災害の原因となる地殻活動現象を正確に把握し，その活動予測の評価に資するため，防災科学技術研究所（以下，防災科研という）MOWLAS に代表されるような世界屈指の広範囲かつ稠密に展開された地殻活動観測網を整備してきた．その結果，当初の目的を達成しつつ，沈み込みプレート境界における「固着域深部及び海溝付近の浅部低周波微動をはじめとする様々なスロー地震の発見など，サイエンス面でも多大なる貢献を果たしてきた．一方，近年の技術開発により，これまでに比べると格段に超稠密な観測データなどが得られつつある．そこで，日本列島周辺における地殻活動モニタリングについて，改めて振り返り，今後のモニタリングの在り方について議論を行うこととした．論点は以下のとおりである．

・現在のモニタリングは有効に機能しているか
・現在稼働しているモニタリングを継続するうえで課題は何か
・その課題を解決するために何が必要か
・今後，どのようなモニタリングを行うべきか
・そのモニタリングを実現するためにはどのような技術改良や新技術が必要か
・その実現に向けた見通しはあるか

以上を踏まえ，第 228 回地震予知連絡会では，陸域及び海域における基盤的地震・地殻変動観測網の現状の課題と展望，さらに新たな稠密観測に向けた観測技術開発の可能性について議論を行った．

2．研究紹介と議論の概要

2 － 1．陸域地殻変動モニタリング展望

国土地理院・畑中雄樹総括研究官から，国土地理院が実施している干渉 SAR および GEONET による地殻変動モニタリングの現状と展望が示された．特に，GEONET については，現行の F3 解に代わる新たな解析戦略である F5 解について，従来からの変更点や，精度評価の実例などが紹介された．また，GEONET の今後の課題として，安定運用の継続と座標解の長期安定性の確保，GNSS の近代化及びマルチ GNSS 対応の更なる推進，衛星軌道・時計推定＋精密単独測位法（PPP-AR）の導入などが挙げられた．

2 － 2．MOWLAS をはじめとする地震観測の現状と展望

防災科研・青井真委員より，防災科研が構築・運用する陸海統合地震津波火山観測網 MOWLAS の現状について紹介があった．また，新しい取り組みとして，防災科研が運用する MOWLAS, MeSO-net による汎用性が高い揺れデータと民間企業などが保有するが大量の揺れデータ，スマホ地震計のデータを統合して首都圏の揺れを把握可能にするマルチデータインテグレー

ションシステムの取り組みなどについても紹介があった．今後の展望として，安定した観測の継続，新たな観測網の構築，新たな観測技術・システムの開発及び技術の継承，ユーザーニーズの観点から課題が挙げられた．

2 － 3．海域地震・地殻変動観測の将来像

東京大学地震研究所・篠原雅尚委員より，現在の海域における観測システムとして，リアルタイムでのモニタリングを実現しているケーブル式観測システムとともに，準リアルタイム・オフラインの GNSS 音響結合方式地殻変動観測システム，自己浮上式海底地震・水圧計について説明があった．また，新しい観測技術として光ファイバーを用いる DAS（分散型音響計測）の現状について紹介があった．また，次期海底観測網のコンセプトとして，測地帯域から地震帯域までの広帯域観測の実施，空間密度の確保，リアルタイム観測を基本とする，ケーブルシステムを基幹とした観測網が提示された．

2 － 4．内陸地震発生場解明のための稠密地震観測（0.1 満点地震観測からわかったこと）

九州大学・松本聡委員より，2000 年鳥取県西部地震余震域で実施された 1000 か所（0.1 満点）の地震観測について報告があり，マグニチュード 0 未満の地震を多数検出し，発震機構解を高精度・高分解能に推定した結果，通常のダブルカップル成分以外に開口成分を含む小地震を発見し，地震活動と流体の関係を示唆する情報を得たことが紹介された．今後，大地震の断層周りに稠密に地震観測を行うことにより，M 7 クラスの地震においても断層帯応答の解明が進む可能性があることが指摘された．

2 － 5．光ファイバーケーブルを用いた DAS 観測 －地震学での利用－

東北大学・江本賢太郎助教より，新しい地震観測技術として，光ファイバーケーブル全体をセンサーとした DAS（分散型音響計測）が紹介された．DAS により，光ファイバーケーブルに沿ったひずみ速度を高密度に計測することが可能となり，浅部構造推定や地震活動モニタリングでの利用が期待されているとの報告があった．課題として，光ケーブルと地面とのカップリングの確保，大量のデータの取り扱い，交通ノイズへの対応などが挙げられた．

3．議論とまとめ

国土地理院，防災科研が運用する基盤的観測網における，長期的に安定したモニタリングを継続的に行うことの重要性が議論された．また，観測網を継続する中で，さらに信頼性の向上を図る取り組みも重要である．例えば，国土地理院では新たな解析方法の更新や座標系の更新にもその都度対応して，より信頼性の高い情報を出していく方針とのことである．一方，新たな手法によるデータ公開の際には，そのデータの利用者に対して，もともとの解に含まれる不安定性に関する情報も併せて提供することの重要性も指摘された．防災科研からは，観測の安定的継続において，観測を担う人材と予算が重要であるという指摘がなされた．人材育成については，大学が果たす役割も大きく，予算については，国及び国民に観測網の重要性が理解されるよう，その成果や価値について，分かりやすく説明することが必要と思われる．その一例として，コンビニのような国民に身近な場所に地震計を展開して，そのデータが様々に活用できるといった取り組みは，国民の理解を得る上で効果的であろう．

海域観測については，既に様々な技術開発が行われており，今後も音響 GNSS 結合方式海底測距のウェーブグライダーなどによる準リアルタイム測地観測が，地殻活動モニタリングに対して新たな展開を齎すものとして大いに期待される．これらについては，また機会があれば，改めて紹介していただくのが望ましい．

0.1 満点や DAS 等の超稠密観測は，詳細な地震波動伝播やそれに影響を及ぼす短波長不均質構造を解明するうえで非常に有効な研究手法であり，今後のさらなる発展が期待できる．一方，0.1 満点については，地震計の設置等における人的負担が大変大きいという課題に対して，現地のシニア人材を活用することで設置作業とアウトリーチを同時に達成するという実例が紹介され，今後の地震研究を支える一つのビジネスモデルとなるかもしれない．このような稠密観測と基盤観測を有機的に組み合わせたマルチスケールの観測は，今後の日本列島の詳細なモニタリングに大変有効であると考えられる．

12 － 2　陸域地殻変動モニタリング展望
Prospects of Monitoring of Crustal Deformation on Land

畑中　雄樹（国土地理院）
Yuki Hatanaka (Geospatial Information Authority of Japan)

1. はじめに

前世紀末から今世紀初めにかけて陸域地殻変動観測技術の大きな転換があり，GNSS 連続観測や干渉 SAR のような宇宙測地技術が主力となる一方，かつて主力であった三角点や水準点における繰り返し測量は縮小され，補強役となった．この傾向は今後も続くものと思われる．国土地理院では，他にも，VLBI 観測 , 験潮，重力等を行っているが，本稿では，干渉 SAR について簡単に触れた後，主として GNSS 連続観測網システム（GEONET）を展望する．

2. 干渉 SAR

2 時点間の地殻変動を面的に把握できる干渉 SAR は，ピンポイントを高精度・連続的に観測する GEONET とは相補的な技術である．その特徴は特に地殻変動の波長の短い陸域の浅い地震において遺憾なく発揮され，断層モデルの推定に制約条件を与えるとともに，地表断層変位やそれ以外のリニアメントを捉え，地質学的な断層変位の累積過程にも光をあてている [1)]．

解析技術の進歩も著しく，近年、多数の SAR 画像を統計的に処理して、精度を上げつつ、変動の時間変化を追跡する干渉 SAR 時系列解析技術が進展し，活断層周辺の長期的な累積変位の検証などへの活用も期待される . 国土地理院でも干渉 SAR 時系列解析を一部地域で実施しており，今後の全国への適用に向けた取り組みが行われている．SAR 衛星についても，新たな ALOS-4 の打ち上げが今後予定されており，植生に強い L-band でより頻度の高い観測が可能になるものと期待される．

3. GEONET による地殻変動モニタリングの現状

GEONET については，観測網の強化，リアルタイム化，マルチ GNSS 対応，解析システムの高度化など，様々な機能強化をこれまでに行ってきた [2)]．陸域地殻変動の基盤観測網として様々な役割を果たしてきたが，地震に伴う地殻変動や力源の迅速な把握以外に，地震後の余効滑り・粘性緩和，SSE（長・短期）やプレート固着といった地震サイクルにおける歪の蓄積・解放過程を理解するために重要な知見がこの観測によって発見され蓄積されつつあることは特筆すべきである．これらの現象の理解をさらに深めるには，長期に渡るモニタリングの継続が不可欠である．そのため，こうした変動を積分量として観測することができる GEONET にとって，観測の長期安定性は今後ますます求められる性能となるものと考えられる．

また，GEONET のデータをリアルタイムで解析して断層モデルを即座に推定する、REGARD が開発され，津波予測支援に活用されるようになった [3)]．その精度は 10cm 程度だが，地殻変動の規模がある程度以上大きければ超巨大地震以外にも適用可能であり , 2016 年熊本地震の際には，地殻変動を地震直後に把握するのに役立った．地殻変動のより小さな地震への対応にはさらなる精度向上・安定化が望まれるが，現在使用している GPS および GLONASS 以外に，準天頂衛星や GALILEO を加えることが一つの方法と考えられる．そのためには，ある程度精密でかつリア

ルタイムで使用可能な軌道情報が必要であるため，国土地理院ではこれらの衛星の軌道決定にも取り組んでいる．

4. GEONET の新たな定常解析

GEONET の現行の定常解析戦略 F3 は運用開始から 10 年以上が経過し，採用している座標系が古くなり不安定になるなど，いくつかの問題が明らかになってきた．特に，地殻変動の評価には相対変位を用いることが多く，絶対変位の誤差が問題になることはこれまではほとんどなかったが，近年，絶対変位を用いて地殻変動を議論する研究も出てきているなど[4]，基準座標系の安定性の保持はより重要になってきている．そのため，国土地理院では，これまでの解析仕様に改良を加えた新たな解析戦略（F5）の開発に取り組んでいる．

F5 解析戦略では，対流圏遅延補正のモデルや座標系を最新のものに更新するとともに，解析における固定点の座標値の推定にグローバル解析を取り入れることにより座標系の安定化を図る．また，GPS による解の他に，それとは独立な解である GLONASS 解，GPS 補完効果が期待される結合解（GPS+GLONASS）も算出する予定である．特に，座標系の更新とグローバル解析の導入によって，安定な座標系が実現され，F3 解に見られた座標系の不安定に起因する座標値のドリフトが解消される（第 1 図）とともに，上下成分の座標値（絶対値）の再現性が改善する見込みである．

観測点間の相対変位の精度については，顕著ではないものの，F3 解に対する改善が認められることが，試験的な解析結果によって確認されている．GPS のスタティック解析技術はかなり成熟しているので，今後も，劇的な改善は期待薄だが，GNSS 衛星についてのモデリングなど改善の余地はある．近年，短期的 SSE の議論に GNSS 観測による微少な地殻変動が用いられるようになるなど，地殻変動の議論は，すでに生のデータでは変動シグナルが見えない領域に入りつつある．目測ではわからない微少なノイズ，特に，系統的誤差や時間・空間的に相関を持つノイズがデータ処理によるシグナル抽出に影響する場合も想定される．日々の座標値を用いた精密な議論にとっては，個々の観測点の精度も重要であるが，むしろ，対象地域の観測点のアンサンブルとしての統計的な精度向上とその検証の意味が、今後、より大きくなるかもしれない．

5. 精密単独測位

精密単独測位（PPP; Precise Point Positioning）[5)6)]は，近年，発展が著しい GNSS 解析技術で，グローバル観測網のデータを用いて衛星軌道や補正情報を生成するグローバル解析と，補正情報を適応した観測点座標値の算出の 2 つのステップからなる．やや大がかりなグローバル解析を一旦行えば，あとは基線を組まずに観測点毎に座標解を算出できるので，通常の基線解析に比べてアルゴリズムがシンプルになり，手軽に座標解を得ることができる．かつては，位相アンビギュイティーを決定できないのが弱点であったが，ここ 10 年ほどの間にそれを可能にする技術（PPP-AR）も開発され，精度が向上したこともあり，PPP の利用は，今後ますます普及する可能性がある．（ただし，相対座標の精度については，原理的に，これまでの相対測位法よりも上回るものではない．また，ユーザが PPP を利用するためのサービスも出てきているが，基準座標系はグローバル解析を運用するプロバイダに依存する点には注意が必要である）．

国土地理院では，PPP-AR を用いて，2 時間以内に REGARD よりも高精度なキネマティック解を後処理で得られるシステムのプロトタイプを開発した（第 2 図）．現在，GEONET への導入を

目指して，システムの安定化や高度化に取り組んでいる．

6.「基盤」観測システムとしての GEONET

GEONET は陸域地殻変動モニタリングの基盤的ツールであると同時に，様々な GNSS 観測との連携の中核としても基盤的役割を果たしているといえる．GEONET による陸域の広域観測結果を基準として与え，海底地殻変動観測をはじめとするその他の地殻変動観測データを解析することによって，それらの結果を合わせて統一された基準で議論することが可能となる．国土地理院においても，この方法を実装した GPS 統合解析システムが運用されており，協定により入手した他機関の GNSS 観測点のデータに適用して得られた解析結果を，F3 解と合わせて地殻変動の監視に使用している．将来，PPP-AR が GEONET の定常解析に採用されれば，他機関の観測点に対しても同じ手法を適用することによって，現在の GPS 統合解析と同様の効果をよりシンプルに実装することが可能となるだろう．

PPP では絶対的な座標値が観測点ごとに直接得られるので，GEONET に合わせなくても，各点の座標値から得られる変位をそのまま共有すればよいと思われるかもしれない．これは co-seismic な変位のような短期的な変動についてはある程度正しいが，長期的な変動を精密に追跡する場合には 2 点ほど注意すべき点がある．一つは，絶対変位が基準とする ITRF 座標系が必ずしも地殻変動の解釈に適さないことである．地殻変動を解釈・イメージするためには何らかのモデルが必要であり，そのモデルには暗黙裡に「不動の」座標フレーム（例えば無限遠で変位が 0 のような境界条件に対応した座標フレーム）が仮定される．しかし，ITRF 座標系はそういった地殻変動の解釈の枠組みとしての座標フレームとは別物である．そのため，地殻変動を解釈するには，得られた変位をそのモデルに適合する座標系に変換する操作が，いずれにしても，必要となる（例えば, 地殻変動を表示する際に力源から離れた観測点を固定点として設定するのはそういった方法の一つである）．日本列島を広域的にカバーする GEONET は，その際の指針を与えるのに必要となろう．

もう一つの注意点は座標系の統一に関するものである（第 3 図）．IERS（国際地球回転および基準系サービス）によって維持され，現在最も権威ある座標系である ITRF（以下,「本家 ITRF」と記す）は，近年は 6 〜 7 年に一度更新されている．GNSS に関しては，本家 ITRF ではなく，本家 ITRF に整合するように IGS（国際 GNSS サービス）によって実現された座標系（以下「IGS 版 ITRF」と記す）が通常使用される．IGS 版 ITRF は数年後に追加更新されることもあり，過去のデータを再解析し，本家 ITRF の更新に反映するのが最近の流れになっている．一方，GEONET の定常解析に使用されている座標系は，ITRF（本家，または IGS 版）に基づく独自の実現系である．同じ ITRF でも，その実現方法により微妙な違いがあるため，異なる組織・システム・手法・機関の GNSS 解析結果を組み合わせて長期的な変動について精密な議論をするためには，それぞれの解析において参照された座標系の素性とその整合性には細心の注意が必要となる．各座標系（実現系）間の不整合をその時間変化も含めて把握し，変換・補正する仕組みが必要になるであろう．

（国土地理院地理地殻活動研究センター　畑中　雄樹）

参考文献

1） Fujiwara, S., et al. (2016), *Earth, Planets and Space*, **68**, 160, DOI 10.1186/s40623-016-0534-x.

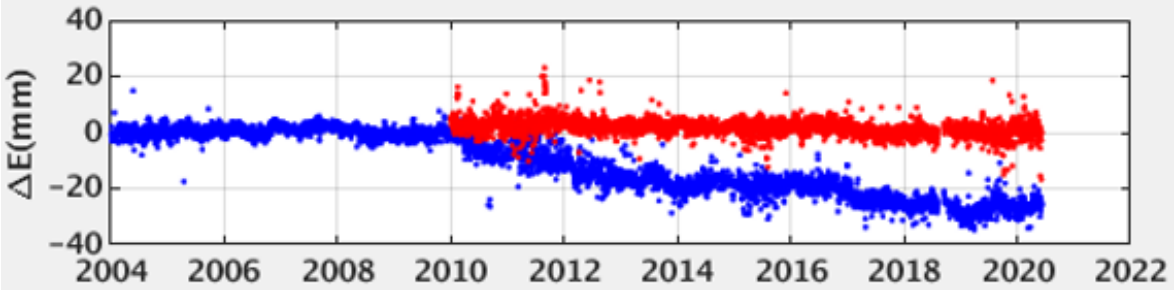
2） 辻宏道・他（2017）, *国土地理院時報* , **129**, 85-111.

3） Kawamoto, S., et al. (2018), *J. Disaster Res.*, **13**, No.3, 440-452.

4） Bedford, J.R. et al., *Nature* **580**, 628–635 (2020). https://doi.org/10.1038/s41586-020-2212-1.

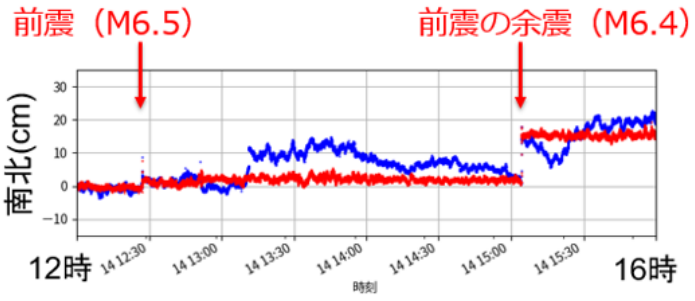
5） Zumberge, J. F., et al. (1997), *J. Geophys. Res.*, **102**(B3), 5005–5017, doi:10.1029/96JB03860.

6） Ge, M., et al. (2008), *J. Geod.*, **82**, 389 － 399, DOI 10.1007/s00190-007-0187-4.



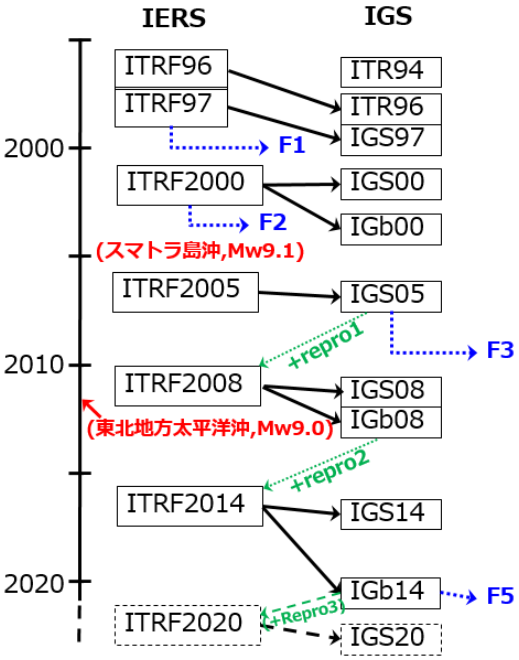
第 1 図　F3 解（青）および F5 試験解 (GPS 解，赤) の IGS 解からの差の時系列（TSKB, 東西成分）

Fig. 1　Time series of deviation of the coordinates of the IGS site TSKB from the IGS final solutions (E-W component). The F3 solutions (blue) and the F5 test solutions (red).



第 2 図　2016 年熊本地震における，「福江」に対する「城南」の相対変位の時系列の比較．REGARD 解（青）および後処理 PPP 解（赤）．横軸は 2016/4/14 の時刻 (UT).

Fig. 2　Comparison of time series of N-S component of Fukue-Jounan baseline. The REGARD solutions (blue) and the post processed PPP-AR solutions (red). Horizontal axis shows time on 14 April, 2016 (UT).



第 3 図　最近 25 年間の国際地球基準座標系 (ITRF) の更新履歴

Fig. 3　ITRF update history for the last 25 years.

12 － 3　MOWLAS をはじめとする地震観測の現状と展望
Current status and prospects for earthquake observation of MOWLAS

青井　真（防災科学技術研究所）
AOI Shin (National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

地震観測は気象庁や大学，研究機関，さらには民間の機関などにより，百年以上にわたり行われてきている．現在の稠密かつ高精度な観測の体制は，平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震及び平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の発生とそれらに伴う 2 つの大震災を契機に構築された．全国どこでも地震が起こりうるということを前提に，陸域においては空間的に均質な観測を行うとともに，海域においても地震や津波をリアルタイムで観測するよう，日本の防災に向けた地震観測の方針は大きく変革した．

6400 名以上が犠牲者となった平成 7 年（1995 年）兵庫県南部地震発生当時の当該地域における観測体制は十分であったとはいえず，地震後ただちに事態の全体像を把握することが困難であった．この震災を契機に地震防災対策特別措置法が施行され，そのもとに地震調査研究推進本部（以下，地震本部）が設置された．防災科学技術研究所（以下，防災科研）では地震本部が策定した基盤的調査観測計画の方針に沿って，全国の陸域をほぼ均一にカバーする高精度で確実な観測を行う基盤観測網を構築し運用してきた．基盤観測網は地震による被害の軽減と地震像の解明を目指し，地震発生の長期評価, 地震活動の現状把握･評価, 地震ハザード評価, 地震情報の早期伝達の四つを目的としている．

基盤地震観測網は，微小な揺れを測るための高感度地震観測網（Hi-net：High Sensitivity Seismograph Network of Japan, 約 800 観測点），強い揺れを測るための 2 つの強震観測網，全国強震観測網（K-NET：Kyoshin Network, 約 1050 観測点）と基盤強震観測網（KiK-net：Kiban Kyoshin Network, 約 700 観測点），さらには，周期が数十秒以上に至る広帯域の地震波を測定することができる広帯域地震観測網（F-net：Full-range Seismograph Network of Japan, 73 観測点）から成っている．その一部は地震の翌年の 1996 年から運用を開始し，2000 年頃までには現在の陸域における観測体制が構築された．この他，16 火山に 55 観測点から成る火山観測網（V-net：The Fundamental Volcano Observation Network in Japan）を構築・運用し，火山噴火のメカニズム解明などの基礎的な研究や火山活動監視に貢献している．

防災科研は，平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震発生後，東日本地域太平洋岸沖合における地震や津波の早期検知・情報伝達などを目的として，2011 年度より日本海溝海底地震津波観測網（S-net：Seafloor observation network for earthquakes and tsunamis along the Japan Trench）の整備を開始した．S-net は，千葉県房総半島沖から北海道沖日本海溝沿いの海域 150 地点において地震と津波をリアルタイムで観測するケーブル式観測網として，2017 年 3 月に完成した．房総沖，茨城・福島沖，宮城・岩手沖，三陸沖北部，釧路・青森沖，海溝軸外側の 6 つのセグメントの合計約 5500km にわたる光海底ケーブルを敷設し，海底に地震計や津波計からなる観測装置を数珠つなぎに設置した．観測点はおおむね 30 ～ 60km 間隔で設置されており，それぞれの観測地点には津波を観測するための水圧計と地震を観測するための速度計や加速度計が設置されている．

一方，近い将来巨大地震の発生が懸念されている南海トラフ沿いには，海洋研究開発機構が整備した地震・津波観測監視システム（DONET：Dense Oceanfloor Network system for Earthquakes and Tsunamis）がある．東日本大震災発生当時は，熊野灘沖をカバーする DONET1 は当時まだ整備途中

であったが，約半数の 10 点で観測を開始していた．2011 年 8 月には 20 観測点での観測を開始し，その後，紀伊水道沖をカバーする DONET2 は，東日本大震災の発生を受け整備計画が前倒された．2016 年 3 月に全 51 点の整備を完了したのち，2016 年 4 月に防災科研に移管された．

DONET によりカバーされるのは南海トラフ巨大地震の想定震源域の東半分のみであり，西半分である高知県沖から日向灘にかけての海域は現在も観測の空白域である．この空白域を解消するため，文部科学省による補助事業として防災科研は南海トラフ海底地震津波観測網（N-net: Nankai Trough Seafloor Observation Network for Earthquakes and Tsunamis）の構築を進めている[1)]．

地震は陸域でも海域でも発生し，海域の地震であってもエネルギーは地震波として陸へ到達して被害を起こす．観測を陸域と海域に分けているのは観測技術の問題に過ぎず，陸域と海域の観測データを統合的に解析することはさまざまなメリットがあるため，観測データの蓄積と統合的な解析を行うための研究および統合データの活用を進展することが重要である．防災科研は，上述の陸海の 6 つの地震観測網及び基盤的火山観測網 V-net と合わせて 7 つの観測網を陸海統合地震津波火山観測網 MOWLAS（Monitoring of Waves on Land and Seafloor）として 2017 年 11 月より統合運用している 1)．MOWLAS データの利活用を推進するため，各観測網データはデジタルオブジェクト識別子（DOI: Digital Object Identifier）が付与されている[2)]．地震観測は様々な機関により実施されており，その観測状況は地震本部が毎年度調査し公開している[3)]．

全国を均質な密度で網羅する観測網としては，MOWLAS の観測点密度は世界的に見ても極めて稠密ではあるが，複雑な地盤条件と社会基盤を有する首都圏をはじめとする大都市における観測としては十分とはいえない．特に，3 つのプレートの上にある首都圏は様々なタイプの地震が起こるため地震学的にもより詳細な観測を行うことが重要である．このような背景から，首都圏地震観測網（MeSO-net：Metropolitan Seismic Observation network）が 2007 年から東京大学地震研究所，神奈川県温泉地学研究所，防災科研によって構築された．この観測網は 2017 年 4 月に防災科研に移管され，現在は防災科研によって運用されている．観測点は，首都圏の約 300 カ所（東京都，茨城県，神奈川県，千葉県，山梨県，埼玉県）に，直線状（観測点間隔 3km 程度）および面状（4 ～ 10km 間隔）に配置されている．各観測点における地震計は，首都圏の大きなノイズや温度変化を避けるため約 20m の縦孔の底に設置されており，地上には地震データの収録装置，電源装置，通信機器のほか，温度・気圧計を設置している．取得されたデータはリアルタイムで防災科研へ送信され，防災科研および東京大学地震研究所で蓄積されている．MeSO-net では，通信回線の輻輳や停電等で不通になったりする場合に備え，観測点でデータの送信速度をコントロールし，回線復旧後に自動的に再送する自律協調型地震観測装置を使用している．MeSO-net データは，MOWLAS のデータと同様に防災科研のウェブサイトからダウンロード可能となっている．

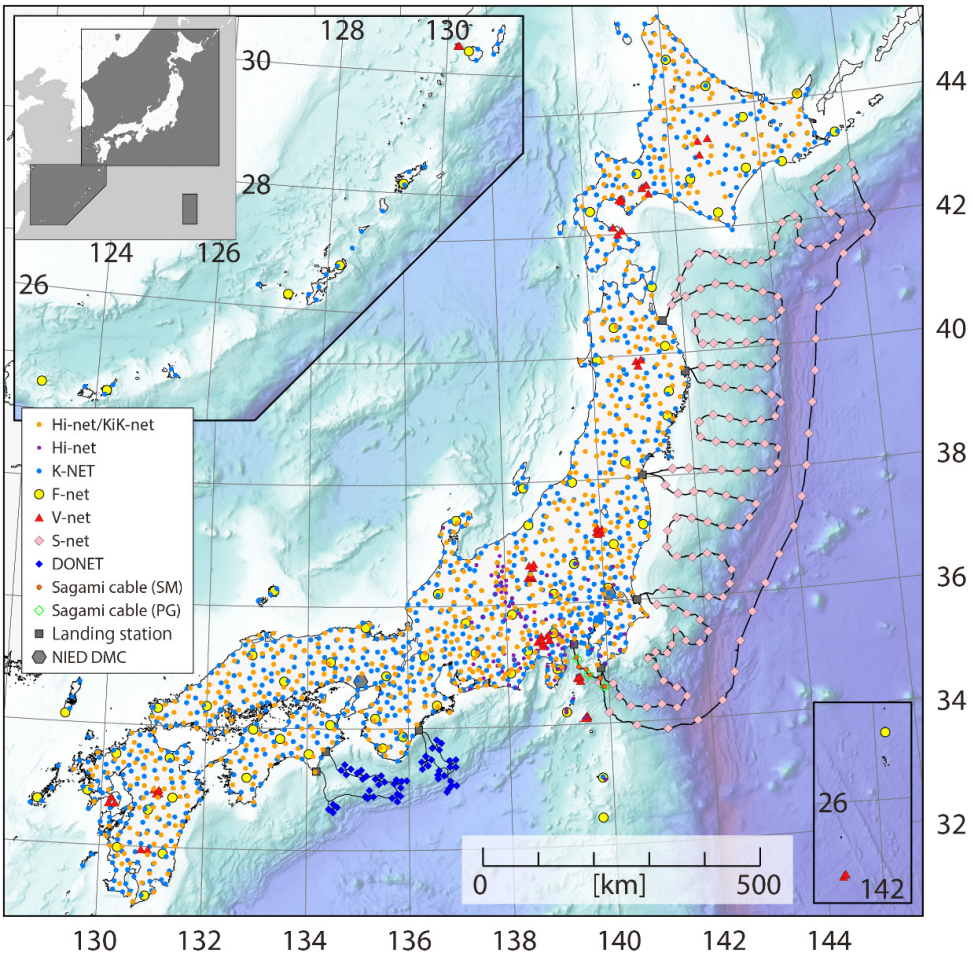
詳細な地震動把握に関しては，地盤条件などを考慮することで約 1km ないしは約 250m 四方のメッシュで震度分布を推定する試みがされているものの，このように詳細な地震動分布を高い精度で推定するには，現在の観測点の密度は極めて不十分な状況にある．一方で，防災科研や気象庁，自治体を初めとする公的機関による観測点数の劇的増加は予算的な制約などからほぼ望めない状況にある．このような状況への対応として我々は，防災科研が運用する K-NET・KiK-net や MeSO-net の地震観測データに加え，民間企業などが保有する地震観測データやスマートフォン地震計による観測データなどを統合し，あたかも一つの大規模な観測網であるかのごとくデータを利活用するためにマルチデータインテグレーションシステム[4)] の開発・構築を行っている．

（青井　真）

AOI Shin

参考文献

1）　Aoi et al. (2020a), *Earth Planets Space*, **72**, 126, https://doi.org/10.1186/s40623-020-01250-x
2）　防災科学技術研究所 (2019), http://www.mowlas.bosai.go.jp/news/20190408/
3）　地震調査研究推進本部 (2020), https://www.jishin.go.jp/database/observation_station/
4）　Aoi et al. (2020b), *J. Disaster Res*, accepted.



第 1 図　防災科研が全国に設置・運用する陸海統合地震津波火山観測網 MOWLAS の観測点分布 [1)]
Fig. 1　MOWLAS station distribution for the three regions of the inset map[1)]

12 － 4　海域地震・地殻変動観測の将来像
Marine seismic and geodetic observation in the future

篠原　雅尚（東京大学地震研究所）
Masanao Shinohara (Earthquake Research Institute,The University of Tokyo)

日本列島周辺ではプレート境界型地震の多くが海底下で発生しており，海底における地震・地殻変動観測が重要である．海底における観測は技術的困難があるため，海域は観測の空白域となっていた．しかしながら，近年エレクトロニクス・材料工学・制御工学・海洋工学などの技術的進歩により海底においても地震・津波・地殻変動の観測が可能となってきた．

海底における地球物理学的な観測測器の一つとして，地震帯域を観測する海底地震計がある．海底地震計は大きくわけてケーブル式海底地震計と自己浮上式海底地震計がある．ケーブル式海底地震計はデータをリアルタイムで収集することが可能であるという大きな利点を持ち，モニタリング観測に大きく寄与することから現在日本周辺では整備が進められている．海底における津波及び上下地殻変動の観測には精密圧力計が用いられる．海底の圧力は海水層の厚さに対応しており，現在の海底圧力観測では海水の高さに換算して 1cm 以下の変化を捉えることができる．近年，小型で消費電力が少ない精密圧力計が開発され，自己浮上式システムと海底ケーブルを用いたシステムの両方に用いられている（第 1 図）．

日本におけるケーブル式海底地震・津波観測システムを用いた海底観測は，1970 年代後半からは始まった．当初のシステムは，通信に用いられる電信電話技術を全面的に採用し，同軸ケーブルを用いたアナログデータ伝送システムであった[1)]．1990 年代には海底光ケーブルを用いたデジタル伝送方式となり，順次設置が進められた．2010 年以前に設置されたシステムは海底観測装置を海底ケーブルで数珠繋ぎ（インライン式）にしておりケーブル長は長い場合で 250km 程度である．1 本の海底ケーブルに接続される海底観測装置の数も限られていた[2)]．2000 年代後半から実績があり信頼性が高い光ケーブルを用いた大規模システムの研究開発が開始され，観測ネットワークとして日本近海に展開されるようになってきた．地震・津波観測監視システム（DONET）は紀伊半島沖及び紀伊水道に展開された大規模海底ケーブル観測システムである[3)]．DONET の特徴は通信海底ケーブル技術を用いた信頼性の高い基幹ケーブルとそれに接続された分岐装置とノードからなる展開型ケーブルシステムであることである．基幹ケーブル設置後に水中ロボットを用いて多項目観測装置を接続する．2011 年東北地方太平洋沖地震の発生を受けて千島海溝および日本海溝では地震と津波の発生を早期に検知することを主な目的として日本海溝海底地震津波観測網（S-net）の整備が行われた[4)]．この観測網は 6 つのサブシステムからなり，それぞれのサブシステムは長さ 730km から 1470km の光海底ケーブルに 22 点から 28 点の観測ノードが挟み込まれているインライン式である．それぞれの観測ノードには，短周期地震計，加速度計，津波を検出する水圧計が複数個装備されている．海底ケーブルは基本的には両端が陸上局に接続されており，電力供給およびデータ伝送の冗長化がなされている．一方，多数の観測点を配置できるようにコストを抑えて柔軟性の高い観測を行えるシステムを目指して，インターネット技術利用する観測システムの開発が 2000 年代後半から行われており[5)]，最新のシステムは岩手県釜石市沖（三陸沖）に 2015 年に設置された．DONET および S-net の整備より、日本周辺の海底観測点数は東北地方太平洋地震以前に比べて飛躍的に増加し海底データを用いたモニタリング手法の開発も進んでいる（第 2 図）．南海トラフ沿いでは今

後大きな地震の発生が想定されており，震源域西部に地震や津波の早期検知のためにケーブル式海底地震・津波観測システムの整備が進んでいる．このシステムは DONET および S-net の方式をハイブリッドしており，さらにデータ収集にインターネット技術を活用することが計画されている．ケーブル観測システムとして新しいシステムになるとともに，南海トラフ西部におけるモニタリングが進むことが期待されている．

これまでのケーブル式海底観測システムは従来の地震計や津波計を海底ケーブルで結んだものであるが, 近年, 新技術として光ファイバ自身をセンサとして用いる Distributed Acoustic Sensing（DAS）計測技術が進展している．DAS 計測は光ファイバセンシング技術の一つでコヒーレントなレーザー光の短いパルスをシングルモードファイバに連続して送信し後方散乱を観測する．ファイバ近傍で発生した振動により発生したファイバの微小な変形が後方散乱波のパターンを変化させることから振動を検出する．パルスを送出してからの時間が観測点までの距離に対応する．また，後方散乱波のパターン変化検出には干渉計測を用いており，散乱源間の距離変化（歪変化）を計測する．干渉させる散乱波の散乱源の距離（ゲージ長）が空間的な分解能に相当し，地震観測の場合はゲージ長は数十 m に設定することが多い．すなわち，地震計を数十 m 間隔で長さが敷設されているファイバに対応するアレイ観測が行うことができる．DAS 技術による観測は，これまで「点」であった観測を「線」での観測に変化させる画期的なものである． 1996 年に三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システムが東京大学地震研究所により設置された。このシステムは将来の拡張用として 6 本（3 組）のスペアファイバを持っており，その一つを用いて DAS 技術によるパイロット観測が行われている．その結果，マグニチュード 1 クラスの微小地震を始め観測システム近傍で発生した小さな地震や深発地震など多数の地震が観測されている．また，DAS 計測で記録された雑微動を用いて浅部構造が求められた[6]．

自由落下自己浮上式海底地震計は地震計センサの他にデータレコーダ、電池などを収納した耐圧容器の外側に沈降用錘を装着して海底への設置は自由落下により行われる．回収は音響信号を用いて錘を切り離すことにより浮力を持つ耐圧容器を自己浮上させる．技術の進歩に伴い海底における連続記録期間は 1 年間以上に延伸された[7]．その結果，同一地点に繰り返し長期観測型海底地震計を設置するモニタリング的な観測が可能となったが，データがリアムタイムで得られないことが最大の欠点である．現在は計測センサーとして水圧計や広帯域地震計，加速度計などを選べるようになっている．

海底における地殻変動モニタリングの一つに，GNSS/ 音響測距結合方式海底地殻変動観測がある[8]．この方法は、GNSS 測位と音波による測位を組み合わせた方式であり、1990 年ごろに考案された．現在は GPS に加えて，GLONASS を用いた解析、海中音速場の空間不均質を推定可能な観測・解析などの高度化により測定精度は従来に比べて大幅に向上した．また，船舶による超高頻度観測（ほぼ毎月）が実施され，ウェーブグライダーやブイを用いた観測が開発中である（第 3 図）．

現在の状況を踏まえ，今後の海域観測網は従来を大きく超える空間的密度で測地帯域から地震帯域までの広帯域リアムタイム観測となることが予想される（第 1 図）．この場合，現在発展中の海底ケーブルを用いた観測網は，海底ケーブル観測システムを海域観測のインフラストラクチャーとしても利用する観測網に発展する可能性がある（第 4 図）．特に測地帯域でのリアルタイム観測が今後の課題であり，光ファイバーを用いた測地観測，海底掘削孔内における歪・傾斜観測，2 点間音響測距観測，GNSS/A 方式地殻変動システムの海底ケーブルシステムへの接続などが有望な技術である．一方，地震帯域における空間密度の向上には，さらにコストをさげ多数の観測点をケーブ

ルに接続する技術開発や DAS 計測技術の開発などが期待される．また，自由落下自己浮上式測器は海底ケーブル観測システムが設置されていない領域での観測に重要であるが，さらにケーブル式観測システムと連携し空間密度の増大を行った観測の実施なども今後必要性が増すと考えられる．

参考文献

1） 気象研究所地震火山研究部（1980），*気象研究所技術報告* , **4**, 1-232. 海底地震常時観測システムの開発

2） 藤原法之・他（2009），*NEC 技報* , **62**, 4, 56 - 59. 海底地震観測システム

3） Kaneda, Y. et al. (2015), *Seafloor Observatories,* P. Favali et al., Springer Praxis Books, 643 - 662. Development and application of an advanced ocean floor network system for megathrust earthquakes and tsunamis

4） Kanazawa, T. et al. (2016), *SubOptic 2016*, WE2B3. S-net project, Cabled observation network for earthquakes and tsunamis

5） Shinohara, M. et al. (2014), *Marine Geophys. Res.*, **35,** 231-242. New compact ocean bottom cabled seismometer system deployed in the Japan Sea

6） Spica, Z. J. et al. (2020), *Geophys. Res. Let.*, **47**, e2020GL088360. Marine sediment characterized by ocean‐bottom fiber‐optic seismology

7） 金沢敏彦・他，（2009），*地震 2*, **61**, S55-S68. 海底地震観測の最近の進展 － 海底地震観測システムと海底における自然地震観測の進展について－

8） 佐藤まりこ・藤田雅之（2012），*海洋情報部研究報告*, **48**, 26-40. GPS/ 音響測距結合方式による海底地殻変動観測技術の進展 - この 10 年の歩み -

現在の海域におけるモニタリング観測システム

- 海底地殻変動観測
  - GNSS 音響結合方式地殻変動観測システム（準リアムタイム）
  - 自己浮上式海底水圧計（海底上下変動観測）（オフライン）
- 地震・津波観測
  - 海底ケーブル式地震・津波計（リアルタイム）
  - 自己浮上式海底地震計（オフライン）

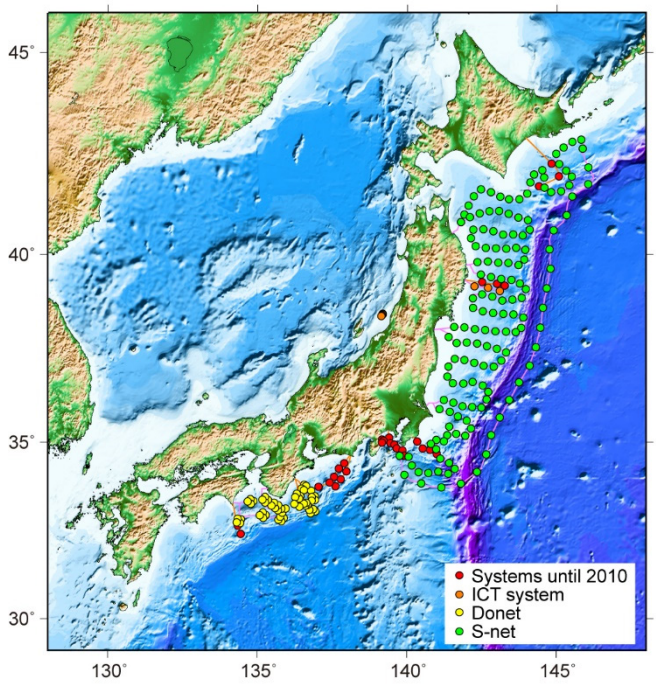
次期海域観測網のコンセプト

- 測地帯域から地震帯域までの広帯域の観測を実施
- 従来を大きく超える空間的密度を確保する
- リアムタイム観測が基本である

ケーブルシステムを基幹とした観測網の展開

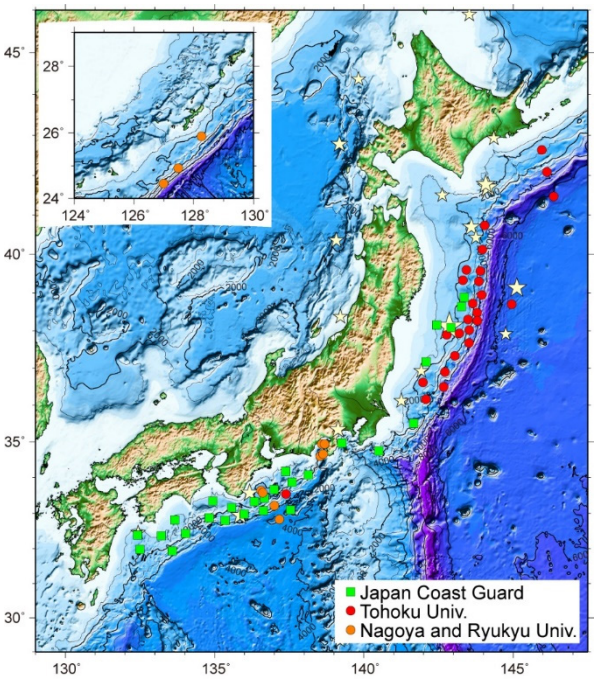
第 1 図　現在の海域におけるモニタリング観測システムと次期海域観測網のコンセプト

Fig. 1　Present monitoring observation system in marine environment and concept of next marine observational networks in the future.



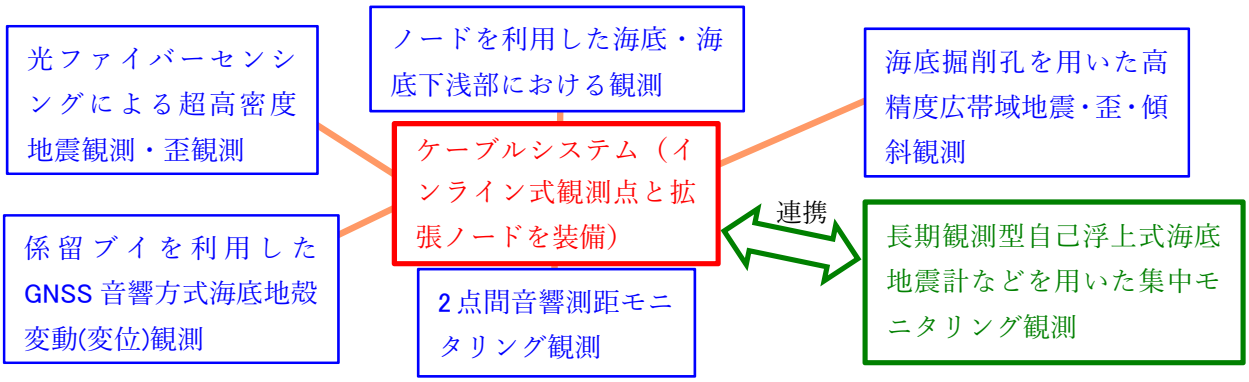
第 2 図　2020 年 8 月時点における海底ケーブル式地震観測点の位置．赤丸は 2010 年以前に設置された観測点を示している．黄色と緑の丸は，それぞれ Donet と S-net の観測点位置，橙丸はインターネット技術を用いたシステムの観測点位置を示す．南海トラフ西域にも，設置計画が進行している．

Fig. 2　Positions of seafloor cabled seismic stations around Japan as of August 2020. Red circles indicate stations installed before 2010. Yellow and green circles denote stations of Donet and S-net, respectively. Orange circles mean stations which introduces Internet Communication Technology. Deployment of a new cable observation system to western area of the Nankai trough is planned.



第 3 図　2020 年 8 月時点における GNSS 音響海底地殻変動観測海底局の位置．色は設置機関を表す．星は 1923 年以降に発生したマグニチュード 7.5 以上の地震の震央を示す．

Fig. 3　Positions of seafloor stations for Global Navigation Satellite System/Acoustic ranging (GNSS/A) system for crustal deformation measurement around Japan as of August 2020. Colors of symbols mean institutions which installed stations. Stars indicate epicenters of earthquakes with a magnitude greater than 7.5.



第 4 図　ケーブルシステムを基幹とする海底地震・地殻変動・津波観測システム

Fig. 4　A real-time seafloor seismic, geodesy and tsunami observation system based on seafloor cable systems as infrastructure of observational networks

12 － 5　内陸地震発生場解明のための稠密地震観測（0.1 満点地震観測からわかったこと）
Dense seismic observation design for capturing background of large inland earthquakes (lessons from "0.1Manten" hyper dense seismic observation)

松本　聡（九州大学大学院理学研究院）
Satoshi Matsumoto (Faculty of Science, Kyushu University)

はじめに　内陸地震はその発生頻度が数千年から数万年と考えられ，発生時期や場所を予測することは難しい．一方，我々の居住地近傍で発生することからその被害がマグニチュードのわりに甚大となる．2016 年熊本地震でも多くの被害を生み，現在もなおその影響が続いている．このため，将来の内陸地震の予測に資するためには，大地震が発生した領域の活動や構造の特性を把握し，内陸地震発生場解明を進めることが必要である．近年の観測技術向上によって内陸地震発生場の特徴が明らかになってきた．たとえば，地震時大すべり域は高速度異常域に対応し，破壊の開始点直下は低速度異常域になっていることが報告されている [1)]．また，大地震を引き起こした断層周辺の応力場や地震時変形が詳細に推定されるようになってきた．しかしながら，これらの分解能は数～10km 程度であり，マグニチュード（M）7 クラスの地震断層の長さ約 30 ㎞と比較すると詳細な活動把握，構造推定が困難なことが多い．そのため，我々は 2000 年鳥取県西部地震震源域に 1000 点の観測点をおよそ 1 年間設置し，余震活動や構造などの詳細把握を試みた．

0.1 満点地震観測　2000 年鳥取県西部地震はおよそ 35 ㎞の範囲で北北西―南南東に広がる余震域を持つ地震である．この領域を取り囲むように 1000 カ所上下動地震計を設置した（0.1 満点地震観測）．観測点密度はおよそ 1 点 / km^2，観測期間は 2017 年 3 月から 2018 年 4 月である．各観測点には地震計と新たに開発したデータロガーを設置した．地震計は地面の上下動成分を測定する速度型地震計（固有周波数 2 もしくは 4.5 Hz）を用いた．通常，活断層調査などの人工地震を用いた物理探査では 10 Hz 程度のものを用いるが，本観測で低周波数地震計を用いるのは観測網内で発生する自然地震を収録対象としていて，その卓越周波数が 10 Hz 程度以下である場合も多くあること，低周波数の波を用いることにより検知深度が地殻全体におよぶことを目的としているためである．また，1000 点という観測点数は反射法地震探査やアメリカで近年実施されている数千点に及び観測よりは少ないが，M7 クラスの地震発生域を取り囲むこと，設置や伝送が簡便であること，低コストなどの条件から最適にデザインした観測である．観測の意義，概要については先行研究 [1)] に詳細に述べられている．

1 年間でおよそ 5000 個の震源決定精度の高い地震が観測された．この観測は構造や活動を詳細に調べるため，高い検知能力，精度の高い発震機構解を得ることを目的にしていた．結果として，推定精度数度以下の発震機構解が得られた [1), 2)]．また，発生した地震のうち，通常のダブルカップル型地震では説明できない，いわゆるノンダブルカップル（NDC）成分を持つ地震が発見された [2)]．第 1 図に先行研究 [2)] で解析された自然地震の P 波初動極性分布データを地図上にプロットした図を示す．この図を見てわかるように，発震機構解を特徴づける節面の推定が数度以下の精度で推定できていること，顕著な NDC 成分を持った地震が存在することが見て取れる．解析から NDC 成分を持つ地震は断層運動に伴って開口するクラックの寄与を意味し，媒質は流体が貫入しやすい（引張強度の弱い）地域であることが明らかになった（第 1 図に模式図を示す）．この NDC 成分を持つ地

震は観測点が同じ範囲に 500 点以上なければ検出することができない[2] ことから，0.1 満点地震観測のスペックによってはじめて明らかになった観測事実である．さらに，高い検知能力・発震機構推定によって，2000 年の本震発生直後と比較して，断層周辺の応力緩和過程をモデリングが可能となった[3]．これによると，断層周辺域はほぼ n=5 程度のべき乗流体の応答として非弾性ひずみが余震活動によって進行していること，応答では説明できず，何らかの余効的な断層滑りを示唆する部分が余震域北部に存在することなどが見いだされた．

まとめ　以上のように稠密観測により今まで得られなかった地震断層とそれを取り巻く活動や構造特性が明らかになりつつある．今後は同様程度の検出能力を持った観測を M7 クラスの地震断層で行い，特性比較することで内陸地震発生場の理解がより進むと考えられる．しかし，必ずしも 1000 点ではなく，地域の特性をよく理解したうえで観測のスペックをデザインすることが非常に大切であり，同時にそれが可能な人材を育成することが極めて重要である．一方，1000 点の展開は地元のボランティアや地方自治体の協力なくしてはなしえなかった．このような観測は研究者だけではなく社会との連携を深めることの大きなきっかけとなると考える．

（九州大学大学院理学研究院．松本　聡）
Satoshi Matsumoto

謝辞

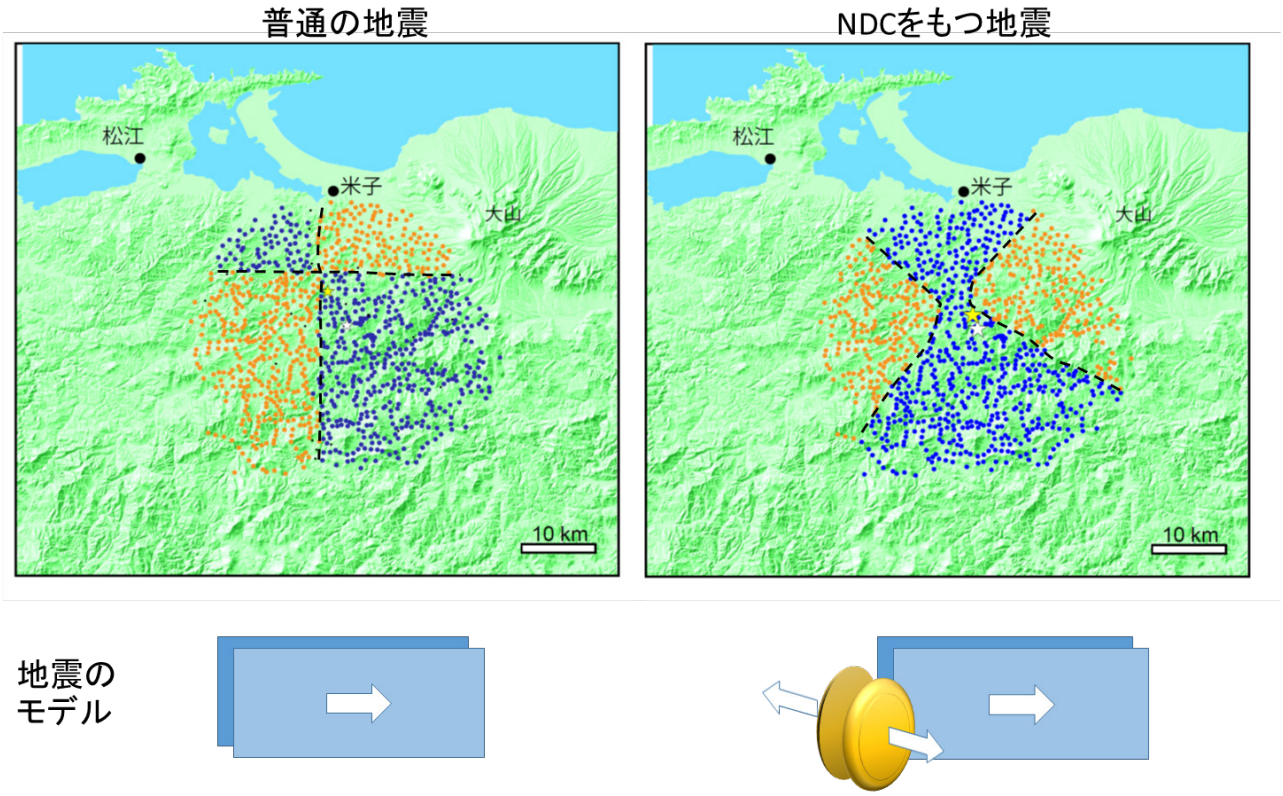
0.1 満点地震観測は京都大，東京大，九州大が中心となって多くの研究者とともに実施された観測である．また，地方自治体は地元住民の方々に多大な協力が得られた．記して感謝の意を表します．

参考文献

1） 松本聡，飯尾能久，酒井慎一，加藤愛太郎，0.1 満点地震観測グループ (2020)， 超多点稠密地震観測による断層帯発達過程の解明に向けて　－ 2000 年鳥取県西部地震域への適用―，*地学雑誌*，**129** 巻 4 号 , doi:10.5026/jgeography.129.511

2） Hayashida, Y., S. Matsumoto, Y. Iio, S. Sakai, A. Kato (2020), Non-double-couple micro-earthquakes in the focal area of the 2000 Western Tottori earthquake (M 7.3) via hyperdense seismic observations, *Geophysical Research Letters*, **47**, 4, https://doi.org/10.1029/2019GL084841...

3） Matsumoto, S., Y. Iio, S. Sakai, A. Kato (2020), Inelastic strain in the hypocentral region of the 2000 Western Tottori Earthquake (M7.3) inferred from the seismic moment tensor of the aftershocks, *Earth Planets Space*, **72**, 62, https://doi.org/10.1186/s40623-020-01186-2.



第 1 図　地表に置いた地震計でとらえた自然地震の P 波の初めの揺れ（極性分布）．初動極性は●：上，●：下を示す．動きのパターンが違うところが断層の方向を示している（黒波線）．左に通常の地震，右に NDC 成分を持つ地震の極性分布を示す．下段には発生メカニズムの模式図を示す．

Fig. 1　Polarity distribution of first P wave onset for earthquakes in double couple type (left) and with non-double couple component (right). Blue and orange circles indicate the polarities observed as “UP” and “DOWN”, respectively. Dashed line shows nodal plane of the focal mechanism. Schematic illustration of fault behavior for the events is shown in the lower part of the figure.

12 － 6　光ファイバーケーブルを用いた DAS 観測 －地震学での応用－
DAS observation using fiber optic cable: Application in Seismology

江本　賢太郎（東北大学）
Kentaro Emoto (Tohoku University)

光ファイバーケーブルにセンサーを接続する，もしくはケーブル自体としセンサーとすることで，温度・ひずみ・圧力・振動などの物理量が測定でき，インフラや地盤のモニタリングとして活用されている[1)]．ケーブル全体をセンサーとし，任意の場所でのひずみ時系列を測定する手法は一般に Distributed Acoustic Sensing（DAS）と呼ばれ, 2011 年頃から物理探査の分野で使用されるようになった．近年，地震学や火山学などの地球物理の分野でも急速に利用が広まっている[2)]．DAS 観測では，既存の通信用光ファイバーケーブルが使用でき，光パルス送信機と，ケーブル中のわずかな不純物から反射される反射波を解析するサーバをケーブルの一端に接続することで計測が可能である．数十 km のケーブルを用い，数 m 毎にひずみを計測することが可能であるため，従来の地震計を用いた観測と比較し，非常に高密度な観測を低コストで行うことが可能となる．現在，DAS を用いて地震学で何ができるかの検証や，地震学向けの装置開発が進んでいるところである．地震学での DAS 計測としては，内陸での余震観測[3)]，海底ケーブルを用いた断層調査[4)]，雑微動を用いた地震波干渉法による地下構造推定[5)] といった報告例があり，従来の地震学の手法･解釈を DAS に応用できる．DAS で計測されるのは，ひずみテンソルのうちケーブルに沿った方向の 1 成分のみである．これを克服するために，光ファイバーケーブルの近くに設置した地震計の上下動成分と組み合わせることで，H/V スペクトル解析[6)] やレシーバー関数解析[7)] を行うアイデアも提案されている．また，鉛直ボアホールに沿って設置した光ファイバーケーブルも利用できることから，鉛直方向の波動伝播を捉えられることも DAS 観測の利点である[8)]．

我々は，福島県吾妻山において，火山における DAS 観測の有用性を検証した．光ファイバーケーブルは，国土交通省が火山監視用に敷設した既存のケーブルを借用し，麓側の一端に計測装置である hDVS（シュルンベルジェ社製）を設置した．ケーブルは磐梯吾妻スカイラインの道路沿いの深さ数十 cm に設置してあり，全長 14km を 10m 間隔（1400 チャンネル）でひずみ速度の時系列を取得した．道路を走る自動車ノイズが多く記録されたものの，火山性地震，近地地震，遠地地震といった自然地震も十分な S/N 比で観測することができた（第 1 図）．DAS 記録を用いて，火山性地震の震源決定を行った．震源決定にとって理想的なケーブルの配置ではないものの，地震計の観測から推定される場所の近くに推定することができた[9)]．また，遠地地震を用いて地下の不均質構造推定も行えることを示した[10)]．

このように，DAS の稠密観測データに従来の地震学の手法を適用し，主に浅部構造を推定することが可能であることが示されてきている．しかし，DAS で計測されるひずみは，従来の地震計で記録される変位・速度・加速度といったものの空間微分に相当する物理量であり，波の到来方向に対する感度も異なる[2)]．そのため，従来の手法をそのまま使用するのではなく，より厳密にはひずみに拡張した手法や解釈を行う必要がある．連続観測ではデータ量も多く，機械学習を利用した自動処理も必要であると考えられる．また，DAS の計測装置は，高周波を想定して設計されたものが一般的であるが，地震学ではさらに低周波まで計測できる装置が必要とされる場面が多い．既存のケーブルを利用する際の注意点としては，地面とケーブルのカップリングも波形に影響することが挙げら

れる．このような課題はあるものの，近いうちに手法や装置開発が進み，DAS 観測ならではの結果が多く得られると期待される．光ファイバーケーブルを用いた DAS 観測は，従来の地震計による観測に置き換わるものではなく，観測手法の一つの選択肢として地震学に定着していくと考えられる．

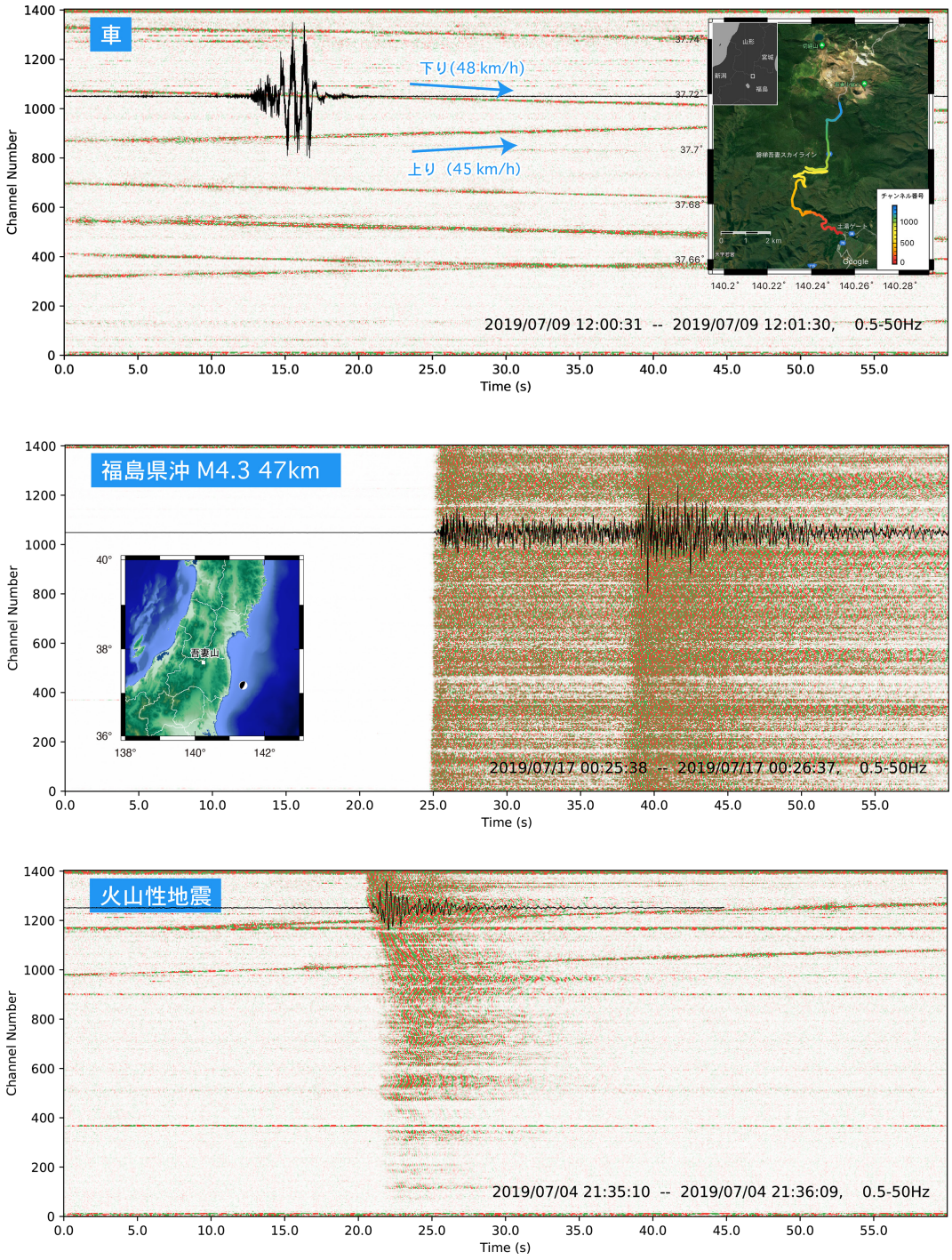
（江本　賢太郎）
EMOTO Kentaro

謝辞

吾妻山での DAS 観測では，国土交通省福島河川国道事務所の方々に便宜を図っていただいた．地震波伝播シミュレーションには，東京大学地震研究所の EIC 計算機システムを使用させていただいた．

参考文献

1） 光ファイバセンシング振興協会（2019），光ファイバセンサ入門，＜ http://www.phosc.jp/cms/index.html?c=4>（参照 2020-09-10）
2） Zhan, Z. (2020), Distributed Acoustic Sensing Turns Fiber-Optic Cables into Sensitive Seismic Antennas, *Seismol. Res. Lett.*, **91**, 1-15.
3） Zhan, Z., Z. Li, Z. Shen, Y. Yang, E. F. Williams, X. Wang, J. B. Muir, A. Klesh, and M. Karrenbach (2020), A rapid response Distributed Acoustic Sensing (DAS) array after the 2019 Ridgecrest earthquakes, 2020 SCEC Annual Meeting.
4） Lindsey, N.J., T.C. Dawe, and J.B. Ajo-Franklin (2019), Illuminating seafloor faults and ocean dynamics with dark fiber distributed acoustic sensing, *Science*, **366**, 1103-1107.
5） Ajo-Franklin, J.B., S. Dou, N.J. Lindsey, I. Monga, C. Tracy, M. Robertson, V.R. Tribaldos, C. Ulrich, B. Freifeld, T. Daley, and X. Li (2019), Distributed Acoustic Sensing Using Dark Fiber for Near-Surface Characterization and Broadband Seismic Event Detection, *Scientific Reports*, **9**, 1328.
6） Spica, Z.J., M. Perton, E.R. Martin, G.C. Beroza, and B. Biondi (2020), Urban Seismic Site Characterization by Fiber‐Optic Seismology, *J. Geophys. Res.*, **125,** e2019JB018656.
7） Yu, C., Z. Zhan, N.J. Lindsey, J.B. Ajo-Franklin, and M. Robertson (2019), The potential of DAS in teleseismic studies: Insights from the Goldstone experiment, *Geophys. Res. Lett.*, **46**, 1320-1328.
8） Galybin, K., T. Kimura, and F. Exton (2018), Fibre-Optic Vsps: Borehole Seismic Revolution in Australia, ASEG Extended Abstracts, 1-3.
9） 西村太志, 江本賢太郎, 中原恒, 三浦哲, 山本希, 杉村俊輔, 植田尚大, 石川歩, 木村恒久（2020），光ファイバーと DAS の記録を用いた吾妻山の火山性地震の震源決定，JpGU-AGU Joint Meeting 2020, SVC45-30.
10） Emoto, K., T. Nishimura, H. Nakahara, S. Miura, M. Yamamoto, S. Sugimura, T. Ueda, A. Ishikawa, and T. Kimura (2020), Effect of complex topography on the wavefield recorded by DAS and buried fiber optic cable at Azuma volcano, Northeast Japan, EGU General Assembly 2020, EGU2020-9825.



第 1 図　吾妻山で行った DAS 観測の記録例．チャンネルの位置は，上段の図中の地図に示す通りであり，0 が土湯（麓側），1400 が浄土平（山頂側）である．上段，中段，下段は，それぞれ自動車ノイズ，近地地震，火山性地震の 1 分間の記録である．自動車ノイズでは，自動車の移動を追跡することができ，移動速度がわかる．近地地震では P 波と S 波が十分な振幅で記録されている様子がわかる．火山性地震の複雑な波動場も DAS による稠密観測により明らかになった．

Fig. 1　Examples of waveforms recorded by the DAS observation at Azuma volcano. The location of the channel is indicated in the inserted map in the top figure. The fiber optic cable is installed along the road and channel number 0 is located at the Tsuchyu side. Top, middle and bottom figures show 1-minute records of the traffic noise, local earthquake and the volcanic earthquake, respectively. We can track the moving vehicle from the noise record and clear P and S wavefronts of the local earthquake are recognized. The complex wavefield of the volcanic earthquake is revealed by the dense record of the DAS observation.

12 － 7　第 229 回地震予知連絡会重点検討課題「予測実験の試行 07 - 地震活動予測の検証 -」の概要

Summary of “Trials of experimental forecasts of crustal deformation and seismicity #07: Validations of seismicity forecasts”

遠田　晋次（東北大学災害科学国際研究所）
Shinji Toda, International Research Institute of Disaster Science (IRIDeS)

地震発生の予知・予測に関する研究の現状を正しく社会に伝えることが，地震予知連絡会の役割の 1 つである．そのためには，多数の既往研究論文のように，過去に遡及してモデルの予測能力を評価することが求められるが，明確にルール化されたフレームワークのもとで将来予測を逐次提示し，その後に得られた観測結果と比較して客観的・定量的に評価することも重要である．一般に，前者をレトロスペクティブテスト（retrospective test），後者をプロスペクティブテスト（prospective test）と呼ぶ．プロスペクティブテストの重要性は, Collaboratory for the Study of Earthquake Predictability (CSEP, 地震活動予測実験) で度々強調され，テストの明確なルール作りや使用データの統一化，モデル提出者と評価者を分離するなど, 評価の厳密性や客観性が担保されるような努力が進められてきた（例えば，Scholemmer et al., 2007，Nanjo et al., 2011）．予知連では，そのような昨今の予測評価研究のトレンドと 2011 年東北地方太平洋沖地震後の顕著な地殻変動や地震活動変化を受けて，予測実験を逐次進めることとなった．2015 年 8 月以降,「予測実験の試行について」と題して, プロスペクティブテストの概念にしたがい，地殻活動・地震活動予測に関する多様なモデルや確率利得等の客観的評価軸を提示・検討してきた．過去 6 回の報告では，半年～ 1 年間毎に次回までの予測とその後の観測結果が比較検証され，モデルや評価法の改善につながる提案がなされた．同時に，物理モデルや新手法の提案，既往モデルの課題や改良案などの発表もあり，実験を進行させつつも地震研究者のコミュニティとして，最善のモデルを追求する前向きの議論も続けられてきた．ただし，準定期的に報告される性質ゆえ，地殻活動モニタリングと重なる内容も散見されることになり，ややインパクトに欠ける側面もあった．また，一部に難解なモデルもあり，予知連内での議論が不十分なだけではなく,「予測実験の試行」内容が噛み砕かれたかたちで社会に広く正確に伝わらない部分もあった．そのことから，最初の試行から約 5 年経った現在，まずは地震活動予測のみに焦点をあて，各種モデルの長所・短所などを総括し，今後の課題と展開をはかるという目的で，代表的な予測モデルの研究に従事してきた方々に現状を紹介していただいた．以下に発表概要を記し，総合討論でのコメントを加えた．

1）気象庁震度データベースを用いた地震予測の過去 5 年間の評価

滋賀県立大学の小泉尚嗣氏からは，2001 年以降の気象庁震度データベースを用いた都道府県別のプロスペクティブ予測とその評価についての紹介があった．2001 年～ 2010 年の都道府県別の震度 4 以上の平均的な地震発生間隔を用いて，2020 年 1 月～ 9 月の発生状況を見ると，的中率は 80%となることが示された. また, 予知連での予測実験が始まった 2015 年以降の 1 年間の平均的中率は 0.83 となる．きわめてシンプルな予測手法にも関わらず，通常の地震活動を用いることにより，ある程度の地震発生予測は可能である．一般市民におおよその相場観を理解してもらうのに十分であることが強調された．小泉氏のモデルは一般市民にも容易く理解できる内容でもあり，まずは巷の科学

的根拠に基づかない複雑怪奇な予知予測を払拭する上でも重要である．

2）b 値に基づく大地震発生予測のモデルレビュー

静岡県立大学の楠城一嘉氏からは，地震規模別頻度分布のグーテンベルグ・リヒター則の b 値の時空間変動を用いた予測の総括が行われた．一般的には低い b 値が大地震発生につながりやすく，物理的にも b 値が地域的な差応力と逆相関を示すことが示された．特に，楠城氏自身のカリフォルニア州リッジクレスト地震などでの続発大地震の事例では，最初の M6 級後に b 値低下がみられ，それが続く M7 級の本震発生につながった．同様な続発大地震例を調べた研究では，b 値時間変化を用いて続発地震の警報レベルを信号機のように青・黄・赤で表示する試みなどについても紹介された．ただし，熊本地震の布田川断層帯の地震活動など一部の例外もあり，低 b 値が大地震の先行現象となるかどうかは依然検証が必要である．また，b 値変化は東北地方太平洋沖地震後の応力回復，南海トラフ巨大地震震源域の固着状況の指標になることが示されたが，応力変動や応力伝播，断層強度変化など地震・断層の物理との関連に関しては今後も十分な検討が必要とのこと．

3）階層的時空間 ETAS モデルに基づく予測

統計数理研究所の尾形良彦委員からは，短期，中期，長期の 3 つの視点から，時空間 ETAS モデルによる日本列島の地震活動予測の現状と展望を紹介いただいた．特に時空間を階層化した HIST-ETAS を用いた解析では，日本列島とその周辺の明瞭な背景地震活動（background seismicity）を示すことができ，普段の地震活動の相場観を理解することができる．小泉氏のアプローチとは別に独立した手法で地震活動の地域性を示すという点でアウトリーチでの利用が期待される．また，短期には東北地方太平洋沖地震での検証例や履歴に依存するマグニチュード分布からの前震識別の予測性能検証が示された．中期予測に関しては ETAS を用いた相対的静穏化，長期予測に関しては数少ない古地震履歴データからどのように発生確率を算定すべきかなどについて，昨今の検討事例が紹介された．今後は海底地震観測網の充実などにともなって，地震検出率の向上が考えられ，階層 ETAS の役割や予測精度が高まるものと期待される．

4）階層的アスペリティを前提とした短期前兆

東京大学地震研究所の中谷正生氏からは，まず，大地震の準備過程に関して，ゆっくりすべり（プレスリップ）から加速度的不安定すべりに発展する場合と，小破壊からカスケード的に大破壊に発展する場合の 2 つの概念モデルが示された．これまでは予測に直結する前兆過程の検出は前者の考えに従っていたが，実際は後者である場合が多く，「結果としての前震」「結果としての前兆」と理解できるとのこと．この場合，前者の従来的な考え方での予知予測はひとまず否定されるが，後者はトリガリングを考慮した確率算定に有効である．このようなカスケード的破壊は，階層的アスペリティモデルでも説明でき，従来からのプレスリップ遅延破壊についても完全に矛盾するわけではなく，確率利得を示せる点で有用である．物理モデルやメカニズムに関しては今後も追求していく必要があるが，確率を通じて現時点でもある程度の定量的評価を公表することは可能であろう．

参考文献

1）　Schorlemmer et al. (2007), *Seismological Research Letters*, **78**, 30-36. doi: 10.1785/gssrl.78.1.30.

2）　Nanjo et al. (2011), *Earth Planets Space*, **63**, 159-169. doi: 10.5047/eps.2010.10.003.

12 － 8　気象庁震度データベースを用いた地震予測と 2015-2020 年の予測の評価
Earthquake forecasting by using the seismic intensity database of Japan Meteorological Agency and evaluation of the forecasts for 2015-2020.

小泉　尚嗣（滋賀県立大学環境科学部）
KOIZUMI Naoji (Sch. Environ. Sci., Univ. Shiga Pref.)

小泉・今給黎（2016）[1] や小泉（2020）[2] は，今給黎（2016）[3] の原理を用いて，気象庁震度データベース（気象庁，2020）[4] を用いて 2015 年～ 2019 年の日本全国 47 都道府県における震度 4 以上の地震の予測を行い，前年までの予測結果も評価した．その目的は，「通常の地震活動から当然予想できる地震発生について，一般市民に「地震の相場観（どの程度の地震なら起きても当たり前という感覚）」を理解してもらうこと」[1] である．また，民間の地震予知・予測情報を適切に評価する手法を知ってもらうという目的もある．そのため，予測と結果の検証を地震予知連絡会で毎年行うとともに，Solid Earth Channel（固体地球雑学）[5] というウエブサイトでも報告を行っている．今回は，2015 年から 2020 年 9 月までの予測結果の評価を行う．

2001 年～ 2010 年，及び，2012 年から 2019 年まで，1 年ずつずらした 3 年毎の期間について，各都道府県で震度 4 以上の揺れを記録した地震の平均発生間隔を第 1 表に示す．この平均発生間隔で定常ポアッソン過程に従って震度 4 以上の地震が発生すると仮定する（この仮定については，村上（2019）[6] が検証を行っている）．この場合，平均発生間隔 T の時，時間 t 以内に震度 4 以上の地震が 1 つ以上発生する確率は 1-exp（-t/T）となる．確率が 70％以上なら赤予報，30％未満なら青予報，30％以上 70％未満なら黄予報とする．結果として，t ＞ 1.20T で赤予報，t ＜ 0.36T で青予報，1.20T ≧ t ≧ 0.36T で黄予報となる．2001-2010 年の発生間隔を用いた 1 年間（365 ～ 366 日間）の予測と 2020 年 1-9 月の実際の地震発生状況を第 1 図に，2017-2019 年の発生間隔を用いた 1 年間の予測と 2020 年 1-9 月の実際の地震発生状況を第 2 図に示す．第 3 図と第 4 図は，2001 年～ 2010 年及び 2017 ～ 2019 年の地震活動を用いた 1 年間と 3 ヶ月間（90 日～ 92 日間）の予測である（2020 年の予測と考えても良い）．2004 年新潟県中越地震・2007 年新潟県中越沖地震・2007 年能登半島沖地震の影響が第 3 図左図や第 4 図左図に認められ，2016 年熊本地震（の余震）や 2018 年島根県西部地震の影響が，第 3 図右図や第 4 図右図に認められる．

第 1 図と第 2 図を 2020 年の 1 年間予測として，2020 年 9 月までの結果を評価したのが第 2 表・第 3 表である．それぞれの表で，赤予報については，適中率（出した予報がどれくらいあたるかの割合）と予知率（発生した地震の中でどれくらい予測されていたかを示す割合）を計算した[7]．青予報については，青予報を出して実際に地震が起きなかった割合を仮に「安心率」として評価した．黄予報については評価していない．

同様に，2020 年の 1 ～ 3 月・4 ～ 6 月・7 ～ 9 月の各 3 ヶ月について，震度 4 以上の地震発生予測を行ない検証した結果を第 4，5 表に示す．1 年予測の場合に比べて，予測期間が短くなるので発生確率は小さくなり，結果として，赤予報の割合が減り，青予報の割合が増える．赤予報が減るので予知率も下がる．2015 年～ 2020 年 9 月の 1 年予測および 3 ヶ月予測における予知率・適中率・安心率の推移を第 6 表・第 7 表に示す．また，2001 年～ 2020 年 9 月に日本で震度 4 以上を記録した地震の数を第 8 表に示す．2015 年～ 2020 年 9 月の予知率・適中率・安心率について，予測に用いた地震活動期間を 2001 ～ 2010 年に固定した時と予測年の前の 3 年にした時では，3 ヶ月予測の

予知率は，予測に用いた地震活動期間を予測年の前の 3 年間にした時の方が成績がよい．しかし，他の指標では両者に差はない．また，それぞれの指標のばらつき（標準偏差）は，予測に用いた地震活動期間を 2001 ～ 2010 年に固定した時の方が小さい傾向にある（第 6，7 表）．

なお，第 6，7 表に示すように，1 年間予報で適中率 80％・予知率 60％・安心率 60％，3 ヵ月予報で適中率 60-70％・予知率 15-40％・安心率 85％という結果を出しているが，マスコミからの取材は来ていない．

（小泉　尚嗣）
KOIZUMI Naoji

謝辞

気象庁震度データベースを作成している気象庁職員および関係者に感謝する．

参考文献

1） 小泉尚嗣・今給黎哲郎 (2016)，*地震ジャーナル*，**62**，35-40.
2） 小泉尚嗣 (2020)，*予知連会報*，**104**，
https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou104/11_06.pdf，2020 年 11 月 15 日確認 .
3） 今給黎哲郎 (2016), *予知連会報*，**95**，425-431.
4） 気象庁 (2020)，http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php，
2020 年 11 月 15 日確認.
5） Solid Earth Channel（固体地球雑学）(2020), https://www.solid-earth.com/,2020 年 12 月 5 日確認.
6） 村上英記 (2019)，*高知大学理工学部紀要*，http://science.cc.kochi-u.ac.jp/scientific_reports/vol02/ 201909.html，2020 年 11 月 15 日確認 .
7） 宇津徳治 (1977), *地震* 2，**30**，179-185.
8） 白地図ぬりぬり (2020)，https://n.freemap.jp/，2020 年 11 月 15 日確認.

第 1 表　各都道府県において震度 4 以上を記録した地震の平均発生間隔.「-」は対応する期間に震度 4 以上を記録する地震がなかったことを示す.

Table 1　Average interval of the earthquake whose seismic intensity in JMA is 4 or greater in each prefecture. “-” shows that there was no earthquake whose seismic intensity is 4 or greater.

NO.	都道府県	2001–2010 年平均発生間隔（日）	2012–2014 年平均発生間隔（日）	2013–2015 年平均発生間隔（日）	2014–2016 年平均発生間隔（日）	2015–2017 年平均発生間隔（日）	2016–2018 年平均発生間隔（日）	2017–2019 年平均発生間隔（日）
1	北海道	61	58	68	61	69	26	27
2	青森	174	64	64	69	91	137	137
3	岩手	99	38	58	78	122	137	122
4	宮城	59	30	52	69	78	78	84
5	秋田	522	365	548	365	219	365	365
6	山形	243	548	1,095	548	548	1,096	1,095
7	福島	85	24	37	46	48	44	55
8	茨城	78	20	32	38	37	38	55
9	栃木	87	41	44	46	55	69	91
10	群馬	228	110	122	157	219	274	274
11	埼玉	130	64	78	69	91	100	219
12	千葉	114	58	78	84	73	64	78
13	東京	94	137	137	137	183	365	274
14	神奈川	215	73	110	110	183	274	548
15	新潟	34	183	365	365	1,096	548	365
16	富山	1,826	1,096	1,095	–	–	–	–
17	石川	174	365	365	548	548	1,096	1,095
18	福井	609	–	–	–	–	1,096	1,095
19	山梨	730	219	548	548	1,096	–	–
20	長野	166	122	156	137	157	122	137
21	岐阜	261	–	1,095	1,096	548	548	365
22	静岡	183	274	548	1,096	1,096	–	548
23	愛知	406	1,096	548	1,096	1,096	548	548
24	三重	522	–	–	1,096	1,096	548	1,095
25	滋賀	913	1,096	1,095	1,096	–	1,096	1,095
26	京都	913	548	548	548	1,096	365	548
27	大阪	913	548	548	365	548	274	548
28	兵庫	913	1,096	1,095	1,096	1,096	548	1,095
29	奈良	609	1,096	1,095	1,096	1,096	548	1,095
30	和歌山	522	274	274	548	548	365	548
31	鳥取	522	1,096	219	69	73	91	1,095
32	島根	457	1,096	1,095	365	548	137	183
33	岡山	913	548	548	365	548	365	1,095
34	広島	730	1,096	548	274	365	274	548
35	徳島	1,217	548	365	548	1,096	1,096	548
36	香川	913	548	548	548	1,096	548	1,095
37	愛媛	332	1,096	365	219	274	274	274
38	高知	457	1,096	365	274	365	548	548
39	山口	457	1,096	1,095	219	274	274	–
40	福岡	365	1,096	548	100	110	122	1,095
41	佐賀	913	1,096	548	157	183	219	–
42	長崎	1,217	–	–	157	137	137	1,095
43	熊本	332	274	365	8	8	8	84
44	大分	281	548	548	52	48	48	219
45	宮崎	365	274	274	100	100	110	156
46	鹿児島	215	157	122	73	73	91	137
47	沖縄	457	274	219	219	1,096	1,096	1,095

第 2 表　2001 ～ 2010 年の地震活動に基づく震度 4 以上の地震の 1 年予測における 2020 年 1-9 月の検証結果.
Table 2　Evaluation of the one-year-forecast of the earthquake whose seismic intensity in JMA scale is four or greater during the period from January 2020 to September 2020. The forecast is based on the seismic activity during the period from 2001 to 2010.

	赤予報	黄予報	青予報	小計
地震有り	16	5	2	23
地震無し	4	19	1	24
小計	20	24	3	47

適中率	16/20	0.80
予知率	16/23	0.70
安心率	1/3	0.33

第 3 表　2017 ～ 2019 年の地震活動に基づく震度 4 以上の地震の 1 年予測における 2020 年 1-9 月の検証結果.
Table 3　Evaluation of the one-year-forecast of the earthquake during the period from January 2020 to September 2020, which is based on the seismic activity from 2017 to 2019.

	赤予報	黄予報	青予報	小計
地震有り	13	6	4	23
地震無し	5	6	13	24
小計	18	12	17	47

適中率	13/18	0.72
予知率	13/23	0.57
安心率	13/17	0.76

第 4 表　2001 ～ 2010 年の地震活動に基づく震度 4 以上の地震の 3 ヶ月予測（3 回分）における 2020 年 1-9 月の検証結果
Table 4　Evaluation of the three-month-forecast during the period from January 2020 to September 2020, which is based on the seismic activity during the period from 2001 to 2010.

	赤予報	黄予報	青予報	小計
地震有り	5	26	8	39
地震無し	4	19	79	102
小計	9	45	87	141

適中率	5/9	0.56
予知率	5/39	0.13
安心率	79/87	0.91

第 5 表　2017 ～ 2019 年の地震活動に基づく震度 4 以上の地震の 3 ヶ月予測（3 回分）における 2020 年 1-9 月の検証結果
Table 5　Evaluation of the three-month-forecast during the period from January 2020 to September 2020, which is based on the seismic activity during the period from 2017 to 2019.

	赤予報	黄予報	青予報	小計
地震有り	7	17	15	39
地震無し	2	19	81	102
小計	9	36	96	188

適中率	7/9	0.78
予知率	7/39	0.18
安心率	81/96	0.84

第 6a 表　予測に用いた地震活動期間を 2001 ～ 2010 年に固定したときの 1 年予測の評価
Table 6a　Evaluation of the one-year-forecast, which is based on the seismic activity during the period from 2001 to 2010.

	2015	2016	2017	2018	2019	2020.9	平均	標準偏差
適中率	0.95	0.85	0.70	0.80	0.90	0.80	0.83	0.09
予知率	0.59	0.46	0.78	0.44	0.69	0.70	0.61	0.14
安心率	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.33	0.61	0.14

第 6b 表　予測に用いた地震活動期間を直前の 3 年間にしたときの 1 年予測の評価
Table 6b　Evaluation of the one-year-forecast, which is based on the seismic activity for the last three years.

	2015	2016	2017	2018	2019	2020.9	平均	標準偏差
適中率	0.90	0.94	0.62	0.75	0.67	0.72	0.77	0.13
予知率	0.59	0.46	0.89	0.50	0.62	0.57	0.60	0.15
安心率	0.53	0.36	0.89	0.21	0.67	0.76	0.57	0.25
予測に用いた地震活動期間	2012–14	2013–15	2014–16	2015–17	2016–18	2017–19		

第 7a 表　予測に用いた地震活動期間を 2001 ～ 2010 年に固定したときの 3 ヶ月予測の評価
Table 7a　Evaluation of the three-month-forecast, which is based on the seismic activity during the period from 2001 to 2010.

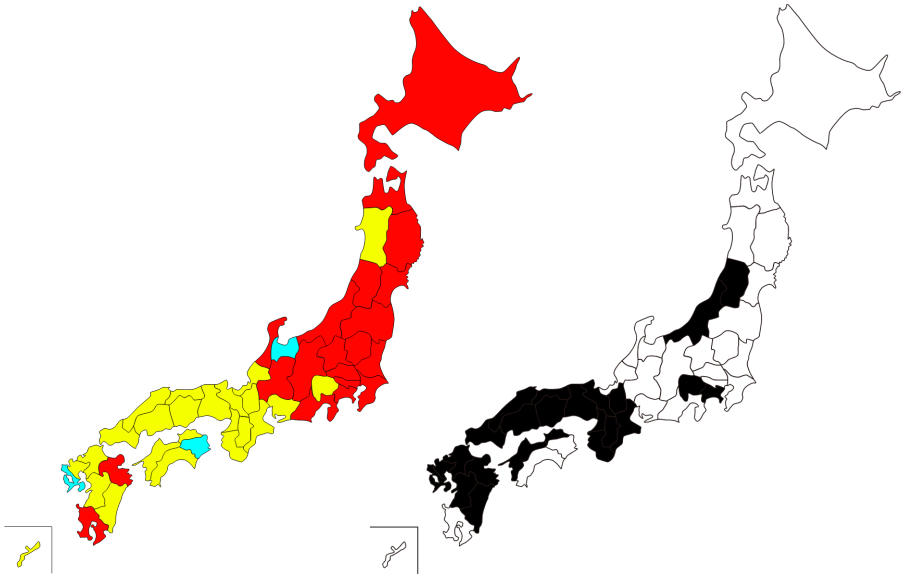
	2015	2016	2017	2018	2019	2020.9	平均	標準偏差
適中率	0.58	0.58	0.50	0.75	0.58	0.56	0.59	0.09
予知率	0.12	0.10	0.16	0.16	0.14	0.13	0.14	0.02
安心率	0.85	0.75	0.91	0.79	0.89	0.91	0.85	0.07

第 7b 表　予測に用いた地震活動期間を直前の 3 年間にしたときの 3 ヶ月予測の評価
Table 7b　Evaluation of the three-month-forecast, which is based on the seismic activity for the last three years.

	2015	2016	2017	2018	2019	2020.9	平均	標準偏差
適中率	0.75	0.75	0.57	0.53	0.64	0.78	0.67	0.11
予知率	0.53	0.29	0.68	0.33	0.37	0.18	0.40	0.18
安心率	0.85	0.75	0.98	0.81	0.88	0.84	0.85	0.08
予測に用いた地震活動期間	2012–14	2013–15	2014–16	2015–17	2016–18	2016–19		

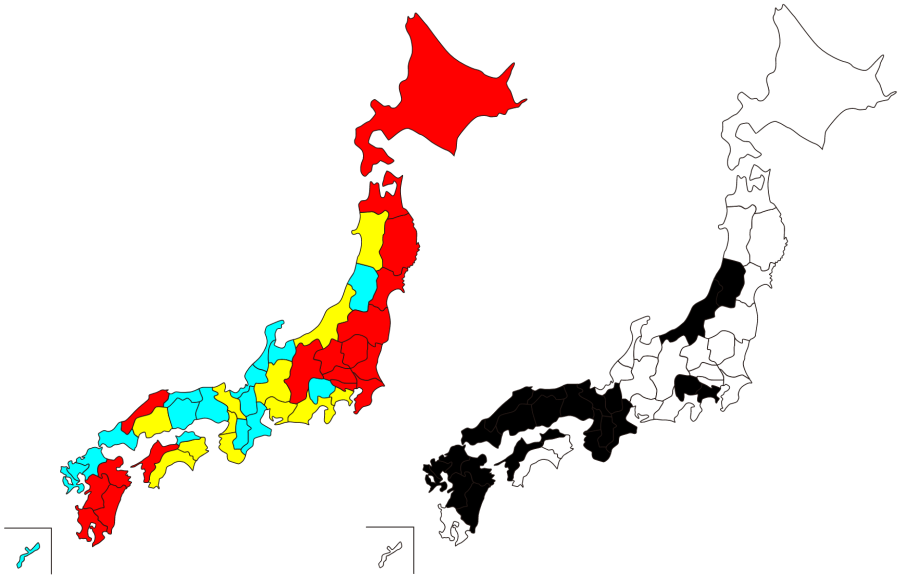
第 8 表　2001 年～ 2020 年 9 月に日本で震度 4 以上を記録した地震の数
Table 8　Numbers of the earthquake whose seismic intensity in JMA scale is four or greater in Japan from January 2001 to September 2020.

年	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020.9
地震数	37	28	71	105	49	28	57	42	40	37	324	81	64	55	44	192	40	78	40	(38)



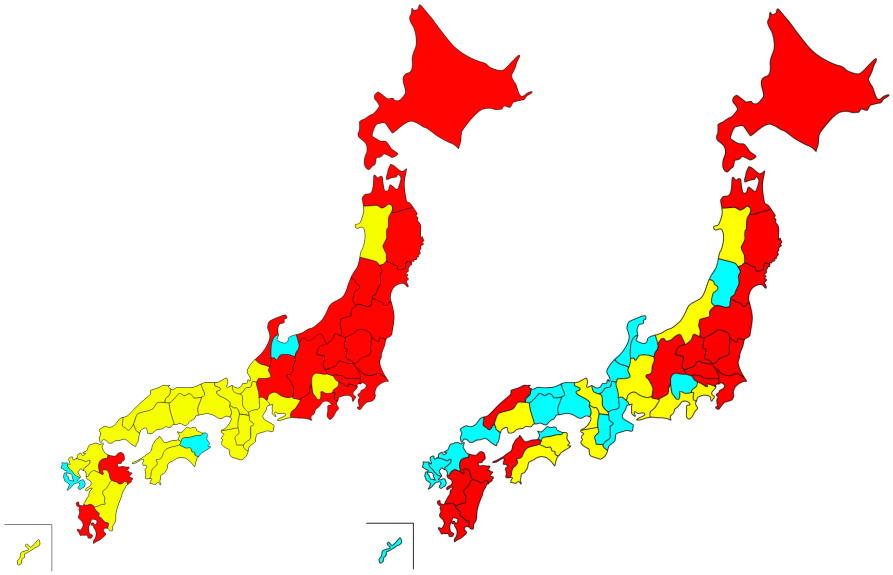
第 1 図　左図：2001～2010 年の地震活動に基づく震度 4 以上の揺れを感じる地震の各都道府県における 1 年間の予報．赤：地震あり（確率 70%以上），黄色：不明（同 30-70%），青：地震無し（同 30%未満）．なお，この図の作成には，白地図ぬりぬり 8) というプログラムを用いた．他の図も同様である．右図：2020 年 1 月～9 月に震度 4 以上の地震を記録した都道府県．白：地震有り，黒：地震無し．

Fig. 1　Left: One-year-forecast of the earthquake whose seismic intensity in JMA scale is four or greater in each prefecture. Red: The probability is 70% or greater. Yellow: The probability is 30% or greater but smaller than 70%. Blue: The probability is smaller than 30%. Each probability is calculated from the seismic activity during the period from 2001 to 2010. This figure was drawn by the program for map display named “Shiro-chizu nuri nuri”7). The other figures were also drawn by the same program. Right: Occurrence of the earthquake whose seismic intensity in JMA scale is four or greater in each prefecture during the period from January 2020 to September 2020. White color means the earthquake occurred and black color means the earthquake did not.



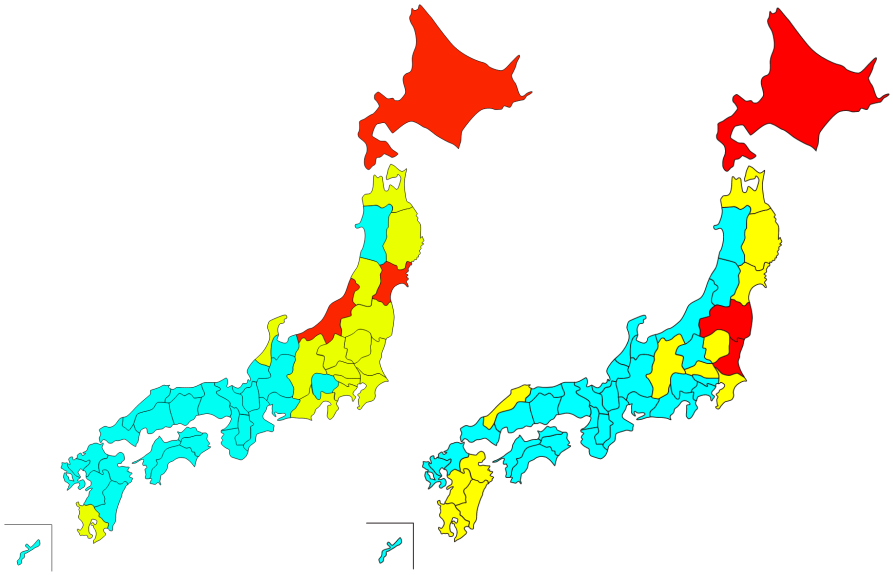
第 2 図　左図：2017 ～ 2019 年の地震活動に基づく震度 4 以上の揺れを感じる地震の各都道府県における 1 年間予報
右図：2020 年 1 月～ 9 月に震度 4 以上の地震を記録した都道府県．白：地震有り，黒：地震無し．

Fig. 2　Left: One-year-forecast of the earthquake whose seismic intensity in JMA scale is four or greater in each prefecture. The probability is calculated from the seismic activity during the period from 2017 to 2019. Right: Occurrence of the earthquake whose seismic intensity in JMA scale is four or greater in each prefecture from January 2020 to September 2020. White color means the earthquake occurred and black color means the earthquake did not.



第 3 図　震度 4 以上の揺れを感じる地震の各都道府県における 1 年間予報．左図：2001 ～ 2010 年の地震活動に基づく予報．右図：2017 ～ 2019 年の地震活動に基づく予報．

Fig. 3　One-year-forecast of the earthquake whose seismic intensity in JMA scale is four or greater in each prefecture. Left: The forecast based on the seismic activity during the period from 2001 to 2010. Right: The forecast based on the seismic activity during the period from 2017 to 2019.



第 4 図　震度 4 以上の揺れを感じる地震の各都道府県における 3 ヶ月間予報．左図：2001 ～ 2010 年の地震活動に基づく予報．右図：2017 ～ 2019 年の地震活動に基づく予報．

Fig. 4　Three-month-forecast of the earthquake whose seismic intensity in JMA scale is four or greater in each prefecture.
Left: The forecast based on the seismic activity during the period from 2001 to 2010.
Right: The forecast based on the seismic activity during the period from 2017 to 2019.

12 － 9　*b* 値にもとづく大地震発生予測のモデルのレビュー
A review of earthquake forecast modeling based on *b*-value

楠城　一嘉（静岡県立大学）
NANJO Kazuyoshi (University of Shizuoka)

地震の頻度分布は，一般に，グーテンベルグ･リヒター則に従う．Log$N = a - bM$ (M はマグニチュード, N は M 以上のマグニチュードの地震数, a と b は定数)．b は 1 付近の値をとるが, 時間や場所によってばらつき，又，大地震の発生に伴って変動する．そのため，b 値は，大地震のメカニズムや予測と関係すると議論されてきた[1)]．本報告では，この視点から最近の研究を中心にレビューした．

はじめに，地震発生前の数年から数十年の間，震源付近で b 値が小さい，又は，b 値が減少した事例を報告した．例として，米国の 2004 年パークフィールド地震[2)] と 2019 年リッジクレスト地震 (第 1 図)[3)] に加えて，2011 年東北地方太平洋沖地震（以下，東北沖地震)[4)]，2016 年熊本地震[5)]，そして，2014 年のチリのイキケ地震[6)] を挙げた．岩石破壊実験等から，b 値と差応力の間の逆相関が知られているので[7, 8)]，これらの地震の震源付近では差応力が大きかった事が示唆される．尚，東北沖地震については後続研究も紹介した[9)]．その論文では，東北沖地震直後に増加した b 値が減少に転じており，地震前の b 値の様子に似ている事から，別の大地震が起きやすくなりつつあると言う．しかし，同地震の物理モデルによれば，現在歪が溜まっておらず，大地震の兆候は考えられないとする反論がある[10)]．

次に，大地震後の b 値が，平時の b 値（大地震前の b 値）より大きければ，それは余震の b 値であり，大地震の続発の可能性が低いとするモデルを報告した[11)]．このモデルがどの地震にも当てはまれば，リスク評価に役立つ可能性があり，論文では，信号機モデルと呼ばれている[11)]．つまり，余震の b 値は今後大地震の可能性が低いので，安全の意味の青信号，前震の b 値と判断した場合（b 値が平時より小さい場合)，大地震の可能性が高いので，危険の意味の赤信号，そして，前震とも余震とも言えない b 値（b 値が平時と同程度）の場合，大地震の可能性は否定できないので，注意の意味の黄信号で表現される．モデル適用の代表例として熊本地震を挙げ，先発の M6.5 地震と後発の M7.3 地震の間の b 値は増加しつつも，平時より大きくならなかったので，黄信号であったと言う．

しかしながら，本報告では，信号機モデルを熊本地震には単純に適用できないと問題提起をした．先発の M6.5 地震後の b 値を南北で分けて解析した結果（第 2 図)[12)]，北側は青信号であり，南側は黄信号であった．北側は M7.3 地震がこれから起きる布田川断層を含む領域であり，南側は既に M6.5 地震が起きた日奈久断層を含む領域である．北側の b 値が平時より高かったのは，M7.3 の地震に先行してゆっくり滑りが布田川断層で起き，応力が緩和して，b 値が上昇したためと考えられている．

次に，現在の b 値から，将来の地震像を推定するモデルを紹介した．事例として，熊本地域[13)]，南海トラフ[14)]，リッジクレスト地域[3)] の解析結果を挙げた．現在の布田川・日奈久断層沿いの b 値は熊本地震前より概ね高いが, 日奈久断層の中部だけ b 値は小さい (第 3 図)[13)]．又, 地殻変動から, そこは, 熊本地震の余効滑りが起きている領域と，起きていない領域の境界であり，歪が集中しつつあると推定される[15, 16)]．熊本地震の様に，低 b 値の領域が将来の地震発生の場所となる可能性がある．そして，もし地震が起きれば，未破壊の日奈久断層の南部へ破壊が進展する可能性もある．地震活動の推移を見守る必要があり，日奈久断層の監視の重要性を本報告で指摘した．

南海トラフの現在の b 値は，昭和東南海・南海地震の大滑り域で小さい[14)]．大滑り域は，海底地殻

変動から固着が強いと推定される地域でもあり[17]，*b* 値と固着の相関がある．さらに固着の強い領域だけに注目して，南海トラフの東西の *b* 値を解析すると，東側の *b* 値が西側より小さい．固着の強い領域が東側で狭く，西側で広い事により，応力蓄積レートが東側で大きく，西側で小さいため，それを反映して *b* 値に東西で差があると解釈される．繰り返す南海トラフ地震は，東側から破壊が開始する傾向があり，今回の解析結果はその傾向と矛盾しないと考えられる．

現在のリッジクレスト地域の *b* 値は，ガーロック断層の近くで比較的小さい（第 1 図）[3]．その値はリッジクレスト地震の直前ほど小さくはないが，*b* 値の時間変化は減少傾向を示す．低 *b* 値の領域は，リッジクレスト地震のクーロン応力変化により，将来の地震の発生が促進される領域でもある．*b* 値が更に減少すれば，そこで地震活動が活発になり，ガーロック断層に影響を与える可能性がある．地質調査は，その断層で大地震が何度も起きた痕跡を見つけており，将来の大地震が危惧されていた．熊本地域と同様に，リッジクレスト地域の低 *b* 値の領域を中心とした監視体制の強化が望まれる．

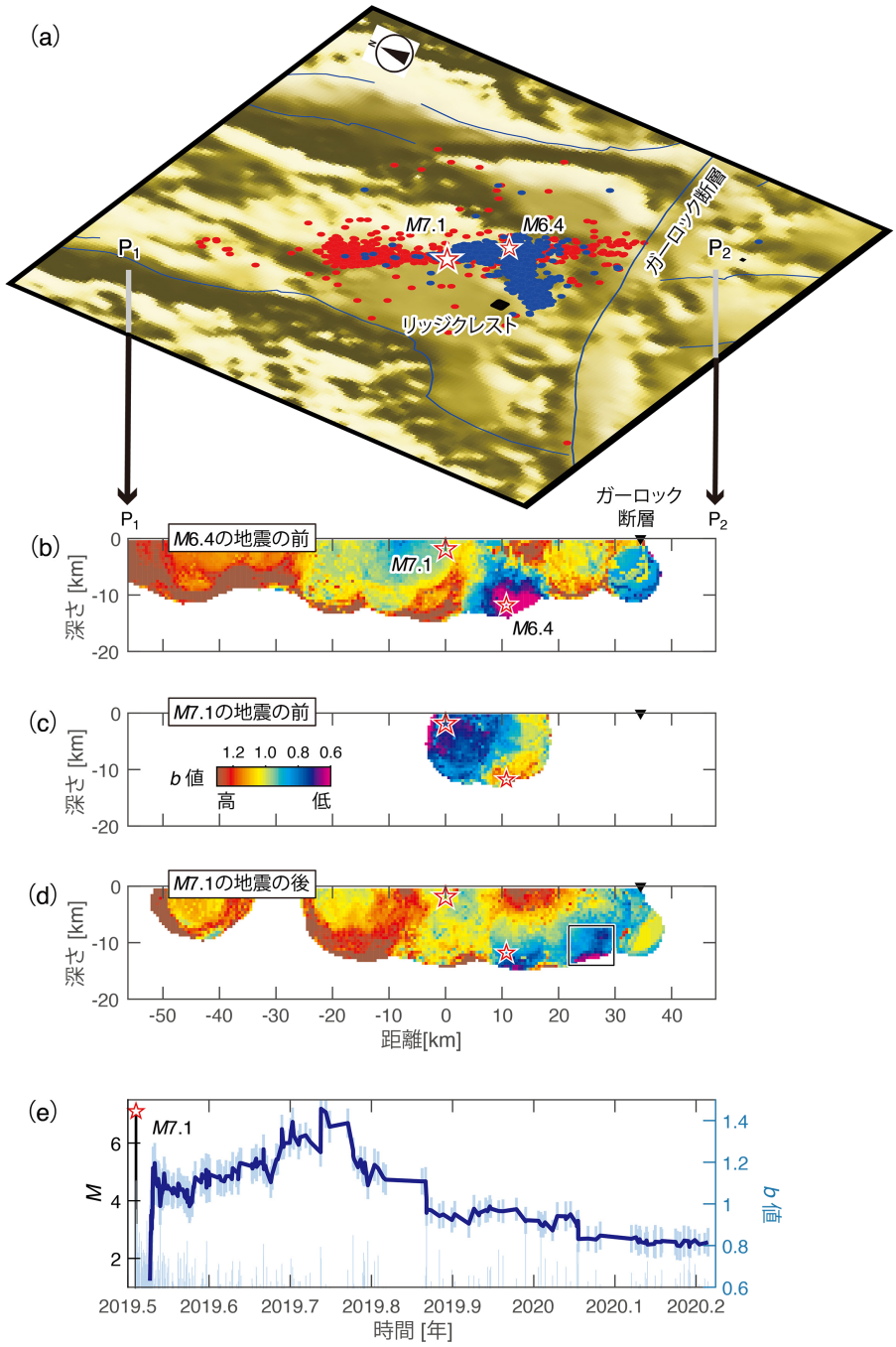
最後に，大地震前にしばしば観測される低 *b* 値や *b* 値の減少が，先行現象であるかの検証について議論した．検証方法の一つとして，それらを先行現象とみなし，地震予測モデルを作って，予測の精度が，ランダム予測ではほとんど到達出来ない事を示す事である．そのモデルの一つが，地震予知連絡会で報告されており[18]，その検証が課題である．ただし，モデルの予測精度は未学習の地震に対して評価されなければいけない．学習したデータに対する評価結果は，過学習の賜物だからである．過学習問題を回避する機械学習分野の技術を援用して，この課題に取り組む予定である．

（楠城　一嘉）

NANJO Kazuyoshi

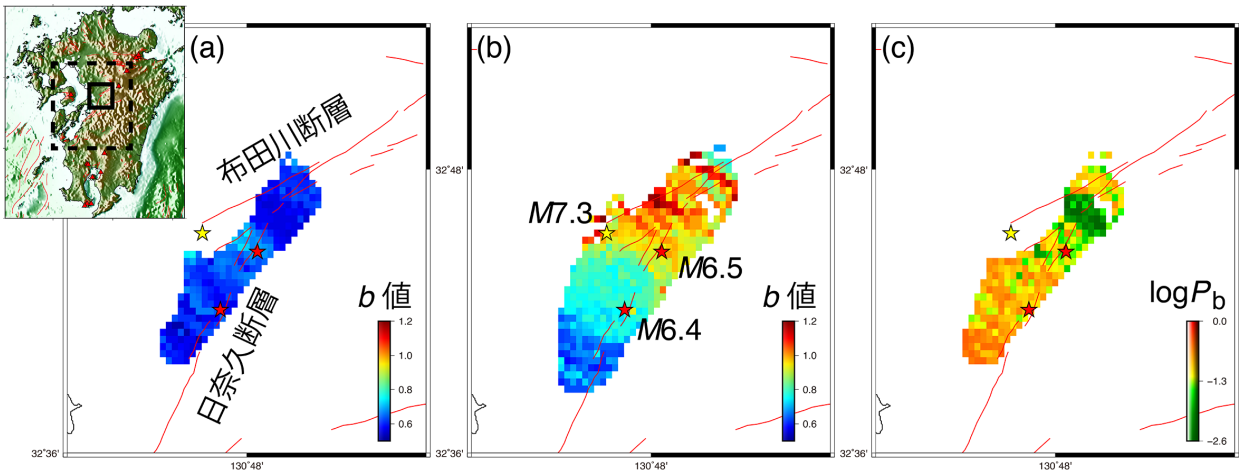
参考文献

1） Wiemer & Wyss (2002), *Adv. Geophys.*, **45**, 259-302.
2） Schorlemmer & Wiemer (2005) *Nature*, **434**, 1086.
3） Nanjo (2020), *Nat. Commun.*, **11**, 3082.
4） Nanjo et al. (2012), *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L20304.
5） Nanjo et al. (2016) *Earth Planets Space*, **68**, 187.
6） Schurr et al. (2014), *Nature*, **512**, 299-302.
7） Scholz (1968), *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **58**, 399-415.
8） Scholz (2015), *Geophys. Res. Lett.*, **42**, 1399-1402.
9） Tormann et al. (2015), *Nat. Geosci.*, **8**, 152-158.
10）Bürgmann et al. (2016), *Nature Geosci.*, **9**, 183.
11）Gulia & Wiemer (2019), *Nature*, **574**, 193-199.
12）Nanjo & Yoshida (2017), *Earth Planets Space*, **69**, 13.
13）Nanjo et al. (2019), *Geophys. Res. Lett.*, **46**, 9489-9496.
14）Nanjo & Yoshida (2018), *Nat. Commun.*, **9**, 1117.
15）Pollitz et al. (2017), *Geophys. Res. Lett.*, **44**, 8795-8803.
16）小林知勝 (2018), *予知連会報* , **100**, 405-408.
17）Yokota et al. (2016), *Nature*, **534**, 374-377.
18）楠城一嘉 (2018), *予知連会報* , **99**, 459-462.



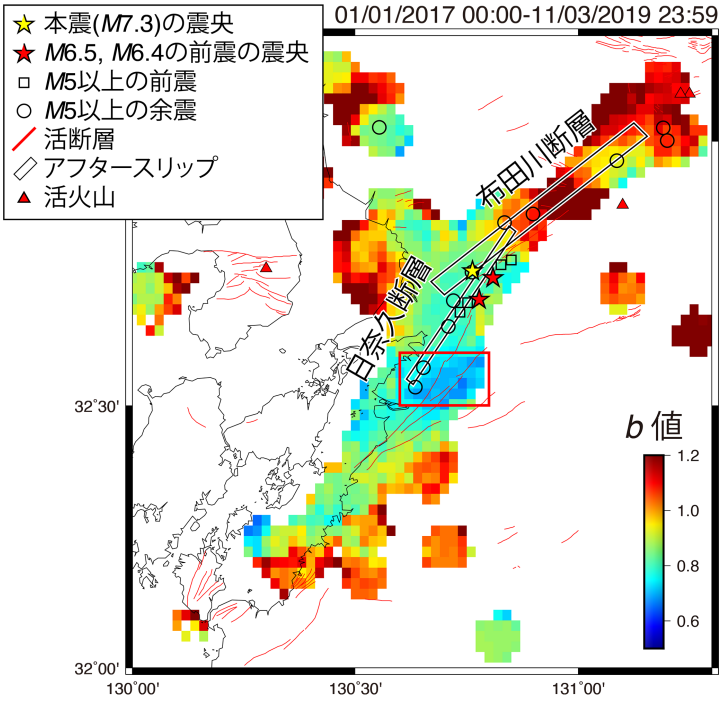
第 1 図　リッジクレスト地震 [3]. (a) 2019 年 7 月 4 日に *M*6.4 地震が起き，その後の約 34 時間の地震活動は活発で，くの字の様に分布した（青点）．その活動の北端で，*M* 7.1 地震の破壊が開始した．*M*7.1 地震の後の 12 時間に起きた地震から（赤点），*M* 7.1 地震でずれた断層は約 50km の長さに達する．*M* 7.1 地震の断層に沿った断面図を (b)~(d) に示す．ガーロック断層の位置を三角で示す．(b) *b* 値が低い所で，*M* 6.4 地震が起きた．(c) その後，*b* 値の低い所が変わり，そこで *M*7.1 地震が起きた．(d) 2 つの地震が起こったことで，四角で囲った別の所で *b* 値が低くなっている．(e)*M*7.1 地震の後，(d) の四角で囲った所の *b* 値が徐々に減少している．

Fig. 1　The Ridgecrest earthquakes[3]. (a) A *M*6.4 earthquake occurred on July 4, 2019 and this preceded a *M*7.1 earthquake 34 h later. Blue dots indicate seismicity during the period between these events. The hypocenter of the *M*7.1 earthquake is located at the north end of this activity. Red dots are earthquakes in 0.5 days after the *M*7.1 earthquake. (b) *b*-values for seismicity before the *M*6.4 quake along the fault ruptured by the *M*7.1 quake. Triangle: location of the Garlock fault. (c) Same as (b) for seismicity before the *M*7.1 quake. (d) Same as (b) for seismicity after the *M*7.1 quake. (e) Plot of *b* as a function of time after the *M*7.1 quake for seismicity within the rectangle in (d).



第 2 図　熊本地震の震源域における b 値の変化[12]. (a) M7.3 地震まで 1.16-0.98 日の b 値．挿入図は，第 2 図（実線の四角）と第 3 図（点線の四角）の地域を示す．(b) M7.3 地震まで 0.98-0 日の b 値．布田川断層付近の b 値は平時の b 値（b = 0.8, 熊本地震前の b 値[11]）より高い．(c) (a) と (b) の b 値の有意差を評価する指標 log$P$b から，布田川断層付近の b 値の増加は優位に高い (log$P$b < -1.3, 緑色).

Fig. 2　b-value change in the focal area of the Kumamoto earthquakes[12]. (a) b-values in 1.16-0.98 days prior to the M7.3 earthquake. The zoomed inset is a map showing the study regions of Fig. 2 (solid-line rectangle) and Fig. 3 (dashed-line rectangle) in the Kyushu district. (b) b-values in 0.98-0 days prior to the M7.3 earthquakes. We see that b-values near the Futagawa fault are higher than b = 0.8, a background value stated in the reference[11]. (c) log$P$b, the logarithm of the probability that the b-value for 1.16-0.98 days is different from the b-value for 0.98-0 days. The increase in b in part of the northern area is significant (log$P$b ≤ -1.3: green).



第 3 図　現在の熊本地域の b 値[13]. 布田川・日奈久断層沿いの b 値は，熊本地震前と比較して，概ね高いが，日奈久断層の中部だけ（四角），b 値が低く，又，減少している．そこは，余効滑りの領域の南端に相当する．

Fig. 3　Current b-value map in the Kumamoto region[13]. Comparison with the b-values before the start of the Kumamoto earthquake sequence along the Futagawa and Hinagu faults pinpoints a zone showing low and decreasing b-values in the central section (rectangle) of the Hinagu fault. This includes the south end of an afterslip plane representing the northern section of the Hinagu fault.

12 － 10 階層的時空間 ETAS モデルに基づく短期・中期・長期予測および背景率予測 ― 自動予測の開発に向けて ―

Short-, medium-, long-term and background-rate forecasts based on a hierarchical space-time ETAS model: Towards the development of automated forecasts

尾形　良彦（統計数理研究所）
Yosihiko Ogata, The Institute of Statistical Mathematics

1. リアルタイム確率予測を目指して

地震予測の的中率を高めるために宇津（1979）・安芸（1981）が「多項目確率予測式（multi elements prediction formula）」[1, 2] を提案し 40 年経った．従来は, いろいろな観測項目について「前兆」現象を捜して，ある項目について明瞭な異常が認められたときには，その地域周辺で観測を強化して他の項目についても調べ，総合的に判断をするという方向であった．結果として，地震の予知率が極めて低かったといえる．

それゆえ，予知率を高めるために，予め永年確率や各異常現象の確率を与える準備や環境を整えておく必要がある．今日では，大量のデータが殆どリアルタイムで利用可能であり，広領域での地震確率のリアルタイムの予測は喫緊の課題である．機会を逃がさず，大地震の見逃しが少なくなるように，とくに短期・中期予測の試行を積み重ねる必要がある．

点過程の条件付強度関数による多項目確率予測式は

$$\lambda(t,x,y,M \mid H_t,\mathbf{F_t}) = \mu(x,y,M)\,\frac{\lambda_{ETAS}(t,x,y,M \mid H_t)}{\mu(x,y,M)}\prod_{k=1}^{K}\frac{\lambda_k(t,x,y,M \mid F_t^k)}{\mu(x,y,M)} \tag{1}$$

の如く，時・空間・マグニチュードの表現 [3, 4] ができる．ここで $\mu\,(x, y, M)$ は永年確率の空間・マグニチュードの背景率（ポアソン過程；第 1 図参照）で，(1) 式の各々の項の比は「危険拡大度（risk enhancement factor）[5]」と呼ばれる．これらによって諸異常事象が大地震の前兆かもしれない可能性, その時間的切迫度と地域的影響範囲に関する条件つき時空間的強度関数のリアルタイム・モニタリングを実施する．例え的中率が僅かでも，異常事象に基づく条件つき大中規模地震の強度関数のモデル化の開発を進め，検証・評価・改善する根拠になる．

2. 広域の地震活動度のモニタリングと診断解析

先ず現在進行中の地震活動の震源データベースから，時空間の地震活動度のリアルタイム予測可視化モニターシステムを構築し，各地の時空間地震活動の短期予測を実行できるようにする．そのため階層ベイズ型的時空間 Epidemic-Type Aftershock Sequence (HIST-ETAS) モデル [2, 3, 20]

$$\lambda(t,x,y \mid H_t) = \mu(x,y) + \frac{K_0(x_i,y_i)}{\left(t-t_i+c\right)^{p(x_i,y_i)}}\left[\frac{(x-x_i,y-y_i)S_j^{-1}(x-x_i,y-y_i)^t}{e^{\alpha(x_i,y_i)(M_i-M_0)}}+d\right]^{-q(x_i,y_i)} \tag{2}$$

を使う．ここで，一定の大きさ以上の地震については，震央座標 (x_j, y_j) や分散行列 S_j は準リアルタイムで検出地震群（例えば 1 時間以内）から AIC で判定し補正される．

まず $\mu\,(x, y)$ が時間に依存しない常時活動度を永年確率として使用される．$K_0\,(x, y)$ は短期予測に有用な余震生産性のパラメータになり，本震の一時間後からの余震発生の時空間的予測に使用する．

本報告では，これまで CSEP 実験で予測した条件付強度の予測動画を示したが，第 2 図はそのスナップショットである．第 3 図は東北地方太平洋沖地震の 1 年程度前と後の条件つき強度関数や各時点後 1 年間の平均活動度の比である．このように地震活動の活発化（狭義・広義の余震活動）や静穏化（余震減衰や相対的静穏化）が可視化できる．

危険拡大度 $\lambda(t,x,y\,|\,H_t)/\mu(x,y)$ は短期・中期の誘発（トリガリング）の時空間的効果を表す．常時活動度 $\mu\,(x,\,y)$ が高いところ[6, 7, 13] に将来の M6.0 以上の大地震や過去の歴史被害地震の大地震の大方が発生している[16]が，$\mu\,(x,\,y)$ が低いところで異常現象が認められた場合，その危険拡大度が高くなることは注目に値する．

3. 地震検出率の時空間発展

今後の課題として，危険拡大度や背景率の解像度を上げるために，下限マグニチュードを十分下げてデータを増やしたい．その場合，長期的なデータの不均質性を補うと同時に，大きな地震直後の余震検出率の低下によるバイアスを補正して，正しい HIST-ETAS モデルの推定と予測が出来るようにしなければならない．そのために地震検出率モデル[21] を時空間的に展開する．このため震源から作ったデローネ 4 面体ネット上での時空間検出モデル

$$\xi(t,x,y,M)=10^{a+b(t,x,y)(M-M_0)}q\left\{M\,|\,\mu'(t,x,y),\sigma(t,x,y)\right\} \tag{3}$$

を準備する．ここで $b\,(\mathrm{t},\,x,\,y)$ は b 値の時空間変化，$q\left\{M\,|\cdot,\cdot\right\}$ は正規分布の分布関数で，平均パラメータ $\mu'(\mathrm{t},\,x,\,y)$ は 50% 検出のマグニチュードに対応し，$\sigma\,(\mathrm{t},\,x,\,y)$ は部分的に検出されるマグニチュードの範囲を示す．ゆえに $\mu'(\mathrm{t},\,x,\,y)+3\,\sigma\,(\mathrm{t},\,x,\,y)$ が 99.5% 検出されているマグニチュードを与える．

本報告ではベイズ解 $\mu'(\mathrm{t},\,x,\,y)$ の動画を示したが，東北沖地震直後のスナップショットを第 3 図に示した．これらを基に，低い下限マグニチュードで HIST-ETAS モデルの再推定が期待できる．

4. 広域の地震活動のための短期・中期・長期モデル

主にマグニチュード系列データに基づいた前震の確率予測が，時空間 ETAS モデルによる誘発予測より確率利得や情報利得が高いという報告[8, 9 10] の根拠を解説した[11, 23]．また大地震発生直後（特に一日以内）は，余震検出率の低下によるバイアスの補正で，大きな余震のみならず，前震確率予測も可能[11, 12] で，地震検出率の時空間発展を組み込めば，時空間危険拡大度を評価できる．

時間または時空間 ETAS モデルの診断解析の異常に基づく中期予測に関して，危険拡大度の作成の試みを説明した．特に典型的な余震活動の解析の静穏化については時空間的な危険拡大度関数を確保することが可能である[22]（第 4 図）．時空間 ETAS モデルで，検出率効果を補正して下限マグニチュードを下げて時空間の相対的静穏化[20] を詳細に可視化することも期待される．

長期予測の時空間的な危険拡大度は地震調査委員会の活断層群データのモンテカルロ法による地域別地震発生確率の算出方法[13] が有用である．また HIST-ETAS モデルの予測で宇津カタログ（明治大正＋歴史被害）を先駆情報として採用すると情報利得が有意に優れていることがわかる．

測地学的歪み変化の地域的ゆらぎ[17] は測定誤差だけでなく周辺地域の中小地震や遠地の大規模地震の地震時やその前後のすべり変動が混ざり合っている．これらの中から地震活動変化につながるモデル化・解析法[14] を開発したい．特に内陸部の地震活動について，稠密に網羅されている GEONET システムから追求したい．

その他，特定の物理量（歪み変化量[14]，地下電位など[18]）と地震の発生強度との因果関係についての統計モデルは ETAS 効果と入力成分の和として情報利得や有意性を議論できるが，入力成分を積の形[19]で考慮できれば，尤度計算は数値的に複雑になるかも知れないが，時空間危険拡大度の多項目確率予測の枠組みに適している．

各危険拡大度の変化と多項目確率予測の適中率はたいして高くないことも見込まれる[15]が，何時何処でどのように低下・向上するか，変動経過を準リアルタイムでモニターして，大・中地震に至った場合の適中率や情報利得の地域性などを求め，今後の展開の礎としたい．

まとめ

① 予め永年確率や各異常現象の確率を準リアルタイムで与える準備や環境を整えることが必要．
② 広領域での多項目確率予測式は点過程の条件付強度関数を使って，HIST-ETAS モデルの時空間背景率 μ (x, y, M) を永年強度として危険拡大度 (1) で時空間表現する．
③ 階層時空間 ETAS（HIST-ETAS) モデルは，標準的な短期予測に使用する．
④ 前震の統計的識別法は 独立 G-R 分布の ETAS モデルより優れた短期予測を与える．
⑤ 本震直後 (例えば 1 日以内）の余震予報は前震の確率予測も与える．
⑥ 相対的静穏化などの異常事象に基づき大中規模地震を予測する条件つき強度関数で時間的切迫度や影響地域範囲のスケーリングを示すモデルを備える．
⑦ 地震活動の異常強度の精度を上げるために，データのマグニチュード下限を下げ，欠測によるバイアスの補正ために時空間的検出率を準備する．

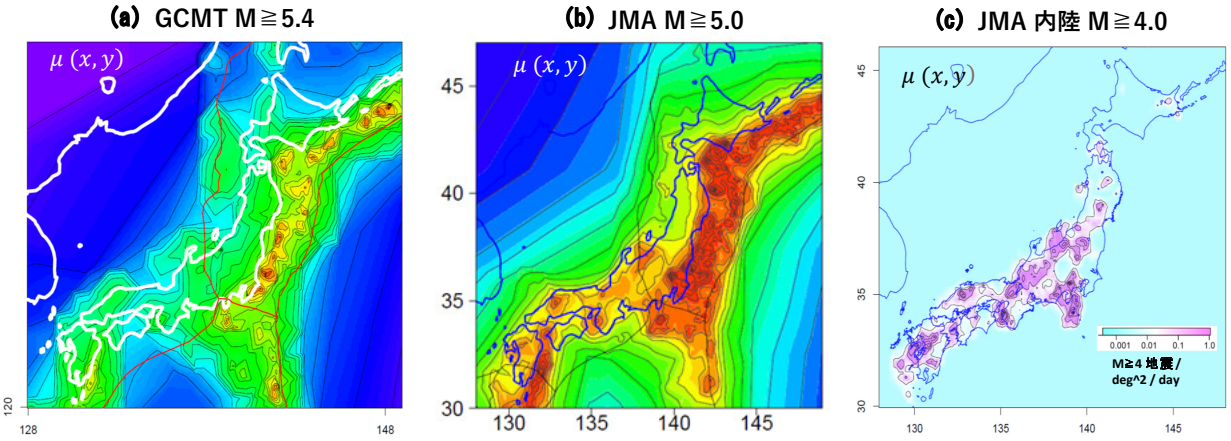
謝辞

気象庁震源カタログを使用しました．本研究は科研費 # 17H00727 の補助を受けている．

文献

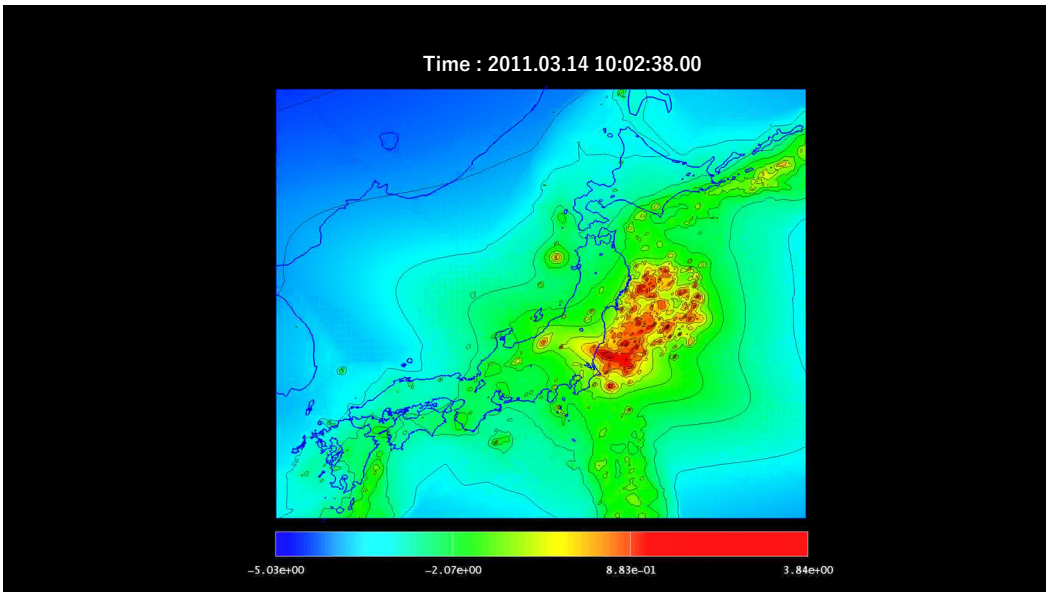
1） 統計数理研究所（尾形）(2014)，*予知連会報 ,* **91** (12-6).
2） 統計数理研究所（尾形）(2016)，*予知連会報 ,* **96** (12-23).
3） 尾形 (2015). *統計数理 ,* **63** (1), https://www.ism.ac.jp/editsec/toukei/pdf/63-1-029.pdf
4） Ogata (2017), *Ann. Rev. Earth Planet. Sci*., **45** doi:10.1146/annurev-earth-063016-015918.
5） Vere-Jones (1978), *J. Phys. Earth*, **26**, 126-146.
6） 統計数理研究所（尾形）(2008)，*予知連会報 ,* **79** (12-1).
7） 統計数理研究所（尾形）(2017)，*予知連会報 ,* **97** (1-3).
8） Ogata and Katsura (2014), *J. Gophys. Res*., **119** (11), 8457-8477.
9） 気象研究所（前田，弘瀬，溜渕）(2019)，*予知連会報 ,* **103** (12-7).
10）Lippiello et al. (2012), *Scientific Reports,* **2** (846).
11）統計数理研究所（野村，尾形）(2019)，*予知連会報 ,* **103** (12-8).
12）Ogata and Omi (2020), *Bull. Seism. Soc. Am*., **110** (4), 1781–1798.
13）地震調査委員会 (2013), https://www.jishin.go.jp/main/chousa/13feb_chi_kyushu/kyushu_gaiyo.pdf
14）統計数理研究所（熊澤，尾形）(2019), *予知連会報 ,* **103** (12-12).
15）Cao and Aki (1983), *J. Gophys. Res*., **88** (B3), 2185-2190.
16）統計数理研究所（尾形）(2020)，*予知連会報 ,* **103** (12-13).

17）Wang et al. (2013), *Geophys. Res. Lett.*, **40**, doi:10.1002/grl.50554.
18）統計数理研究所（尾形，庄）(2001)，*予知連会報*, **66** (10-4).
19）岩田（2015），*統計数理*，**63** (1), https://www.ism.ac.jp/editsec/toukei/pdf/63-1-129.pdf.
20）Ogata et al. (2003), *Appl. Statist.* (*J. Roy. Statist. Soc. C*), **52** (4), 499–509.
21）Ogata and Katsura (1996), *Geophys. J. Int*., **113**, 727-738.
22）Ogata (2001), *J. Geophys. Res.* **106** (B5), 8729-8744.
23）Ogata and Katsura (2014), *J. Geophys. Res.,* **119** (11), 8457-8477.



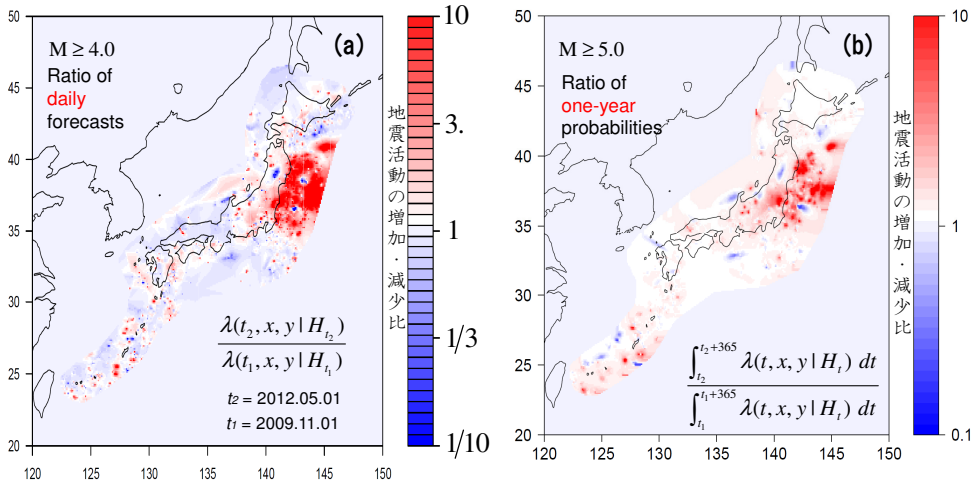
第 1 図　時空間の μ パラメータ（通年確率の微分値）.
(a) Global CMT カタログの世界の μ 画像は, 日本付近に限定しています．対象期間は 1973 年から 1995 年で, M ≥ 5.4．(b) 気象庁データからの推定イメージ，対象期間は 1926 年～ 1995 年で M ≥ 5.0，宇津のカタログを用いた前駆期間は 1885 年～ 1926 年．(c) 内陸部に限定した推計．対象期間は 1926 年～ 1995 年で M ≥ 4.0, 宇津のカタログを用いて前駆期間は 1885 年～ 1926 年である．

Fig. 1　The μ parameter in space-time that is the derivatives of the perennial probability.
(a) World μ image from the Global CMT catalog is restricted in around Japan. Target period is 1973 - 1995 with M ≥ 5.4. (b) The estimate image from JMA data, Target period is 1926 - 1995 with M ≥ 5.0, and precursory period is 1885 - 1926 using Utsu's catalog. (c) Estimates restricted to inland areas. Target period is 1926 - 1995 with M ≥ 4.0; precursory period is 1885 - 1926 using Utsu's catalog.



第 2 図　HIST-ETAS モデルの予測動画の記載日時におけるスナップショット．一平方度，一日当たりの M ≥ 4 地震の発生率予測の対数が下記の色表で示されている．

Fig. 2　A snapshot of the HIST-ETAS model prediction movie at the indicated date and time, which is being tested in CSEP-Japan. The logarithm of the predicted incidence of M≥4 earthquakes per square degree and per day is shown in the color table below.

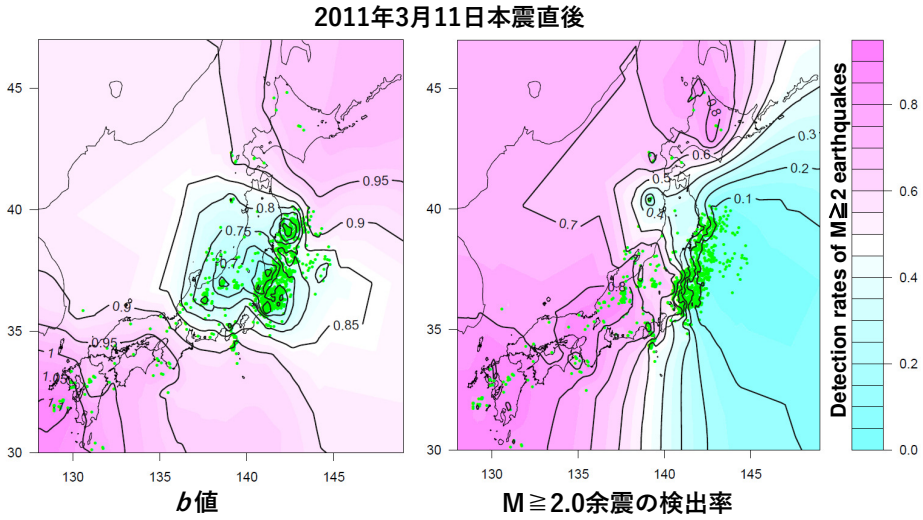


第 3 図　東北地方太平洋沖地震前後の強度の比．

(a) 2009 年 11 月 1 日 12 時時点の予測と 2012 年 5 月 1 日 12 時時点の予測の強度の予測強度の比．東北地方太平洋沖地震の震源域とその周辺では，かなりの上昇率が見られる．なお，赤と青の小さな点は必ずしもノイズではなく，詳細なシグナルが多い．赤色は活発化で，東北沖地震の余震域と，その周辺部に，たくさん点々としている広義余震が見られる．紺色の地域は，以前に起きた大地震の余震活動の自然な減衰を示しているが，岩手宮城県境の余震活動や M9 地震の前震活動の，濃い青スポットは，いわゆる相対的静穏化を示している．(b) 下限マグニチュードを M5 に高くとった，各時点後 1 年間の平均活動度の比．自然な活発化や静穏化が安定して見られる．

Fig. 3　The ratio of the forecasts before and after the Tohoku-Oki earthquake.

(a) The ratio of the forecasts at the indicated two time points, with considerable increase in the epicenter area of the March 11, 2011 M9 Tohoku-Oki earthquake and its vicinity. The small dots in red and blue are not always noises, but possibly some signals. The red color is activation, and there are many red spots of wide-sense aftershocks in and around the aftershock area of the Tohoku-Oki earthquake. Dark blue spots of aftershock activity on the Iwate-Miyagi border and foreshock activity of the M9 earthquake indicate so-called relative quietness, while darker areas indicate natural decay of aftershock activity from previous large earthquakes. (b) Ratio of average activity for one year after each time point, where the lower limit of magnitude was taken higher to M5. Regions of natural activation or the quiescence are seen stably.

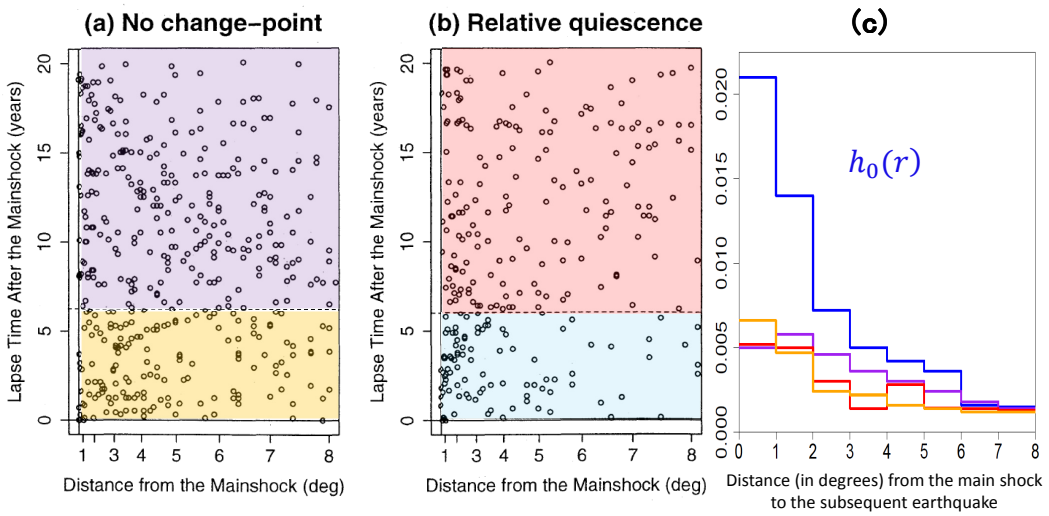


第 4 図　時空間データの不均質性

等高線は，東北地方太平洋沖地震の直後のスナップショットから求めた b 値分布と，例えば M2 の地震が 99.5%検出できている割合を示している．

Fig. 4　Heterogeneity of space-time data

The contours show the b-value distribution obtained from the immediate snapshot of the M9 Tohoku earthquake and the percentage of, say, M2 earthquakes that have been detected 99.5% of the time.



第 5 図　調査した余震列の本震から後続する全ての M6.5 以上の地震との時空間の距離関係 [22].
(a) 余震列が変化点を持たない 43 個の本震から M ≧ 6.5 の大規模事象の時間差と距離のスタッキング図，横軸は与えられた距離を半径とする円盤の面積に比例するように，距離の二乗でスケーリングされている．(b) 余震列が有意に相対的に静穏化 している 34 個の本震についての同様なスタッキング図．最初の 6 年程度の間に，距離の集中が顕著に見られる．(c) 調査した余震列の本震からの距離に対する単位面積 (1 平方度) あたりの M ≧ 6.5 の地震の平均回数で，青と黄色のヒストグラムは最初の 6 年間，赤と紫色のヒストグラムは 7 年から 20 年までの間の後続 M ≧ 6.5 地震平均数をそれぞれ表している．静穏化ありの場合，6 年以内かつ近傍範囲で，他のケースより 2 倍ほど後続地震が多く，特に 200km 以内で数倍の確率利得が見込まれる．(d) 相対的静穏化の後続地震についてのスケーリングを示す時空間危険度拡大関数は（b）の点パターンを非定常ポアソン時空間過程としてベイズ平滑化したものを使う．

Fig. 5　Distance in time and space from the main shock of the studied aftershock sequence to all subsequent earthquakes of M ≥ 6.5[22].
(a) Stacked diagram of time differences and distances between the 43 main shocks with no aftershock sequences with no change points and large events with M≥6.5, where the horizontal axis scaled by the square of the distance so that the horizontal axis is proportional to the area of the disk with the radius of the given distance. (b) Similar stacking plots for 34 main shocks for which the aftershock sequence is significantly quiet relative to the ETAS prediction. There is a significant concentration of distances during the first 6 years or so. (c) Average number of M ≥ 6.5 earthquakes per unit area (1 square degree) against the distance from the main shocks of the studied aftershock sequence, is shown by blue and yellow color histograms representing the first 6 years period, and red and purple color histograms representing aftershock activity for the next 7 to 20 years, respectively. In the case of quieting, there are approximately twice as many subsequent earthquakes within 6 years and in the vicinity as in the other cases, and the probability gain is expected to be several times greater, especially within 200 km. (d) Spatio-temporal risk magnification function showing the scaling of relative quieting for subsequent earthquakes. This risk enhancement factor in time and space is obtained by the Bayesian smoothing of the point pattern in (b) assuming Poisson space-time process.

12 － 11 階層的アスペリティを前提とした短期前兆のメカニズムについて
On possible mechanisms of short-term precursors while admitting hierarchical asperities

中谷　正生（東京大学地震研究所）
Masao Nakatani (Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)

1．震源核 ―「壊れ始め」

地震のように，外部からのさらなる載荷に頼らずに弾性波速度に近いスピードで自発的に拡がる破壊現象（滑りも，変形によって強度が低下するという意味で破壊と呼ぶことにする）が開始するには，新たに拡大する滑り域で摩擦の滑り弱化に消費される破壊エネルギー G_c [J/m^2] を上回るレート G（破壊伸展力 [J/m^2]）で，既に破壊フロント近傍に溜っている弾性エネルギーが供給される状況がととのっていなければならない（グリフィスのエネルギー規準）．G はその時点での滑り域の 1 次元サイズ（L）に比例することが弾性計算で示されている [1]．

断層の応力や強度の分布は大なり小なり不均質であるから，滑りはまずどこか弱い場所で始まる．滑り域が小さく G が G_c より小さいうちは自発的に拡大することはできず，テクトニックな外部載荷の上昇によって，応力が摩擦強度に達した領域が新たに滑り域に加わるだけの準静的な拡大しかおこらない．やがて滑り域のサイズが，臨界条件 $G(L) = G_c$ の解である L_c に到達すると，滑り域は外部載荷の上昇を必要とせず自発的に拡大を始め，フロントの拡大速度はあっという間に弾性波限界まで加速する [2]．

以上の考察からだけでも，地震には有限の大きさの「たね」が先行するはずだが，現実の物質の摩擦のキレの悪さ，すなわち，いわゆる摩擦強度以下の応力でもゆっくりは滑るという観察事実（レートステート摩擦 [3]）を加味すると，L が L_c に達する少し前からテクトニックな載荷の増加を要せず自発的に滑り域が拡大・加速するフェーズが期待される．これが，地震前兆と絡めて議論される震源核あるいはプレスリップであるが，このフェーズは，L の成長に伴う G の増大，および，プレスリップによる強度の低下という 2 つのポジティブフィードバック機構により爆発的な破壊に向かって自発的に加速するから,「壊れ始めプロセス」と呼ぶにふさわしい．ポジティブフィードバックだから，一旦このフェーズに入れば最後まで行きそうだ（空振りしにくい）し，応力が限界値に近付くという段階をスキップして応力が限界値に達することはできないから見逃しもない．よって，決定論的予知は原理的には可能だと，少なくとも筆者は考えていた．

レートステート摩擦によって議論が定量的になった 80 年代後半からは，現実の大断層の G_c は観測可能な L_c をもたらすほど高いのか？という点に議論が集中したが，この点に関しては以下のコロンブスの卵のような考察 [4] から楽観的な示唆が得られる．

少なくとも沈み込み型プレート境界の巨大地震に関しては，その直接の載荷機構がインターサイスミックな期間の深部の定常クリープの累積であることが測地観測から示されている．よって地震サイクルの後半では，深部クリープ域に累積した数メートル以上の食い違い変位が，その浅部延長で滑り遅れている固着域に巨大な応力集中を作っている．固着域はこの巨大な G に耐えられているわけで，これはとりもなおさず固着域の G_c が相当高いということである．それに対応する L_c は本震破壊域サイズの O(1/10) 程度で，測地観測網のととのった地域ではプレスリップは十分捕捉しうる大きさと考えられる．

2. 階層的アスペリティ説と cascade-up

にもかかわらず，現在，筆者を含め多くの地震学者は，たいていの巨大地震は，そのような大きなプレスリップの段階をスキップして起きていると考えている．これには，以下に述べるようにまっとうな理由があるが，最も重要な観測的根拠は，巨大地震の震源域の一部だけが破壊したと思われる小地震がたくさん存在することである．巨大地震の震源域が一様に高い G_c をもっていれば，上述した，巨大地震の断層で期待される震源核サイズ $L_c^{大}$ 以下の破壊サイズしかもたない小地震は起きえないはずなのに，実際には日常茶飯事なのだ．

これを説明するためには，第 1 図のように，高い G_c をもつ大地震の震源域（薄い灰色）の中に G_c の低い小領域（濃い灰色）が存在すればよい．これが階層的アスペリティモデル[5]である．第 1 図右のように，この小領域の一部で小規模なプレスリップがおきると，それは，この領域の低い G_c に対応する小さな臨界サイズ $L_c^{小}$ に成長した段階で地震になり，滑りは，比較的均質である濃い灰色の低 G_c の領域全体に拡がる．こうなると，濃い灰色の小パッチのサイズのプレスリップ域ができたのと同程度の G が生じている．したがって，小パッチの大きさが，その外側の大パッチの高 G_c 域の大きな臨界サイズ $L_c^{大}$ 程度以上である場合には，大パッチにある程度応力が溜っている段階でこれがおきると，引き続いて大パッチの動的な破壊がおきて，大パッチ全体を壊す大地震に cascade-up[6] してしまう．第 1 図左のような準静的な大きな震源核 $L_c^{大}$ のプレスリップの発生を待たずに大地震がおきてしまえるのである．なお，仮に $L_c^{小}$ の小さなプレスリップを観測できたとしても，大パッチでの応力蓄積が十分でない時期であれば cascade-up せず小地震で終ってしまうから，決定論的な予知にはつながならない．

レートステート摩擦を用いたサイクルシミュレーションでは，小パッチが $L_c^{大}$ と同じ大きさであれば，大地震の約半数が $L_c^{大}$ の準静的プレスリップに先行されたが，小パッチが $L_c^{大}$ の 1.5 倍より大きいと，大地震はほぼ毎回 cascade-up で起きた[6]．なお，シミュレーションでは，各パッチの G_c の大きさは，パッチの大きさと正比例，絶対値としては，L_c がパッチサイズの 1/3 程度になるよう設定した．こうすると，応力降下一定則や，地震のラプチャ速度は弾性波限界の 7 割程度にとどまることが多いという観察が再現できる[5]からである．この，パッチサイズとそこに割り当てられた G_c（もしくは，臨界滑り距離 D_c）の比例性が，階層アスペリティモデルが「フラクタル」と言われるゆえんである．断層がフラクタルなのは当たり前と感じるかもしれないが，実際に G_c のプロファイル（第 2 図）を描いてみると，このモデルで仮定されているのは非常に強烈な不均質であることが実感される．しかし，破壊というものは，いったん走り始めれば G が L に比例するために，尋常の不均質では止めることができない．「地震はいつも止まりかけ」という地震学の観察を説明するには，蛮勇を奮って，これほどにも強烈な不均質を仮定する以外に手はないだろうと，筆者は考える．

3.「結果的に前兆」as opposed to「壊れ始めのサイン」

階層的アスペリティ説を信じれば，準静的な震源核（プレスリップ）の大きさなど「壊れ始め」の情報と，始まった地震がどこまで大きくなるかの相関は薄いと思われる[7]．しかし，対象を M6 以上に絞っても，有意な先行性をもつ（すなわち，1 をこえる確率利得を稼ぐことができる）短期的な先行現象はいくつもある[8]．これらの先行現象の存在を説明するためには，短期先行現象は「壊れ始めのプロセスから派生するサイン」であるという伝統的な準備過程の考え方[9]に拘泥せず，大地震の震源域の準備状況とは関係なくおきる事象が，既に十分な応力が蓄積している時期におきた場合には大地震をトリガしてしまう「結果的に前兆」というシナリオが有力であると筆者は考える．

この考えに至ったのは筆者が初めてではなく，自然発火 vs 引火というたとえが提案され，「壊れ始め」によるものが「真の前兆」，「結果的に前兆になった外的トリガ事象」が「見かけの前兆」と呼ばれている[10]．が，筆者はこの表現を避けたい．「結果的に前兆」に過ぎないとはいえ，実際に，その後ほどなく地震がおきたことと物理的な因果関係（トリガ）があり，また統計的に示された確率利得分だけ予測に寄与できる[11]ものであって，確率利得が 1 をこえることが示せていないが，起きた時期が，本当の偶然で大地震の直前だったから地震の前兆だったのではないかと「思い過ご」されているにすぎないようなものとごっちゃにされたくないからである．「結果的に前兆」は，決して「ニセ」でも「幻」でもなく，「見かけの前兆」と言ってしまうとミスリーディングである．

第 3 図に，「壊れ始め」と「結果的に前兆」それぞれの，地震発生シナリオにおける役割を図解した．「壊れ始め」（第 3 図 a）については，震源核が代表的であるが，実験室での AE 実験のように，応力が限界強度に近づいたところで微小破壊が急速に増加することに着目したダイラタンシー前兆説[12]などでも論理構造は同じである．応力が断層強度に十分近付いたことによって発生する事象なので，地震サイクルに必然性をもって内在するビルトインプロセスであり，先述したように，原理的には見逃しも空振りもない．

「結果的に前兆」となる外部トリガ（第 3 図 b）は，近所の断層の地震や震源域外でおきる SSE などによる震源域への急速な載荷を例にとって示してある．そのようなアドホックな外部事象に頼らずとも，テクトニック載荷によりいつか地震はおきるし（その場合は前兆なしに地震がおき，見逃しになる），また，外部からの載荷は，ことさら震源域の応力が強度に近付いているときを狙って起きるわけでもないので，たいていは空振りになるようなものである．

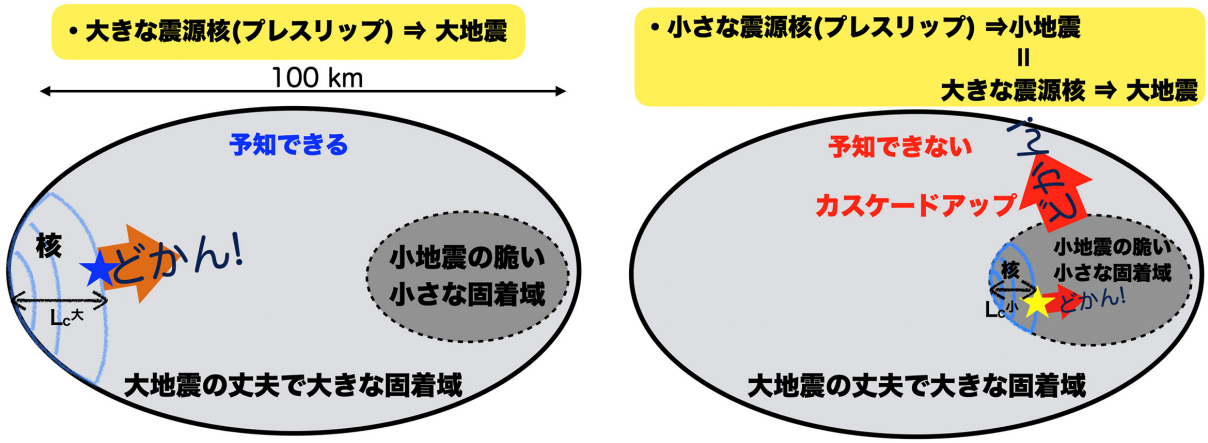
このような外部トリガの観測によって確率利得 1 をこえる予測はできるが，原理的に決定論的な予知には結びつかない[13]．しかし，それでも相当な確率利得を稼ぎうることに注意する必要がある．例えば，以下に述べるように，短期的な地震活動の高まり（そのあと大地震がおきれば，前震だったと見なされる現象である）に基いてアラームを立てると，*O*(百-万) の高い確率利得で本震の予測ができるが，以下に述べるように，その予測能力の大部分は「結果的に前兆」のシナリオで説明できる．

地震は地震を大森―宇津則に従う余震としてトリガするということを認めれば，最近の地震活動度が高ければ，近い将来の地震発生確率は，全てのマグニチュードの地震について，そのマグニチュードクラスの地震のベースレートから，ETAS[14]式で算出される同じ倍数だけ上がることになる．このことによって，ETAS を用いて作成された人造カタログの解析[15]においても，また自然地震の ETAS 解析[16]においても，*O*(百-千) の確率利得が得られる．実際の前震活動から得られる予測の確率ゲインが全て ETAS 効果によるとは限らないが，現在知られている前震識別法について解析した結果では，ETAS トリガリングの効果がもたらす *O*(百-千) の利得に，ETAS からは出てこないエキストラな数倍の利得がかかっているように見うけられる[17)-18)]．

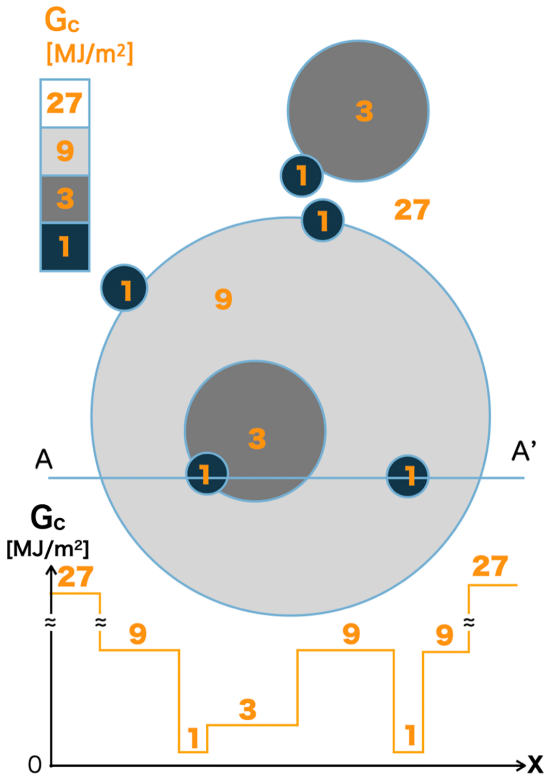
参考文献

1） Lawn, B. (1993), *Fracture of Brittle Solids - 2nd Edition,* Cambridge Univ. Press.
2） Andrews, D. J. (1985), *BSSA*, **75**, 1-21.
3） 中谷正生・永田広平 (2009), *地震 2*, **69** 特集号 , S519-S526.
4） Kato, N. (2012), *EPSL*, **353-354**, 190-197.
5） Ide, S. and H. Aochi (2005), *JGR*, **110**, B11303.

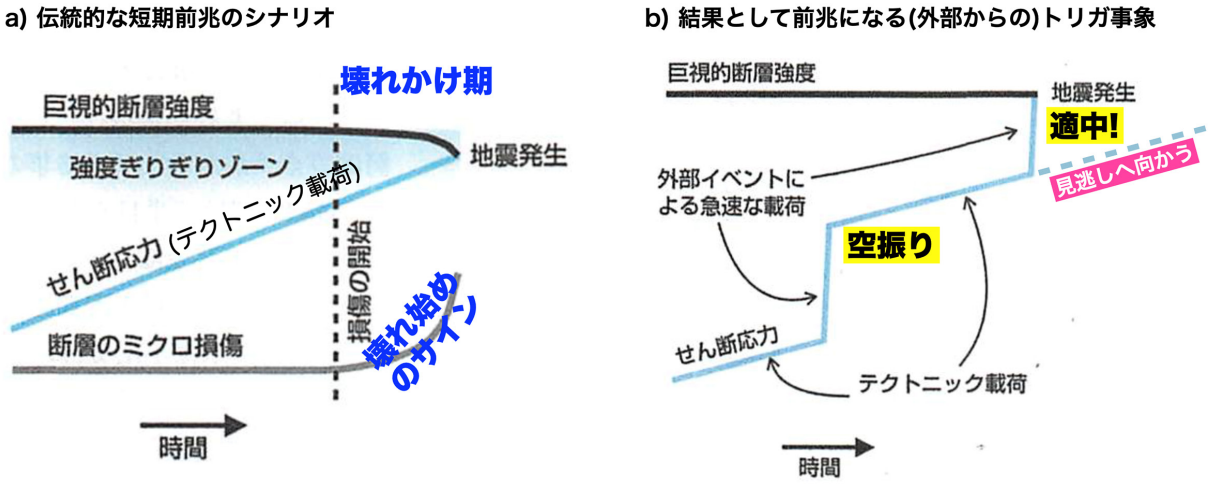
6）　Noda, H., M. Nakatani, and T. Hori (2013), *JGR*, **118**, 2924-2952.
7）　吉田真吾・加藤尚之 (2005), *地震 2*, **58**, 231-246.
8）　中谷正生 (2018), *予知連会報* , **99**, 465-469.
9）　Scholz, C. H. (2002), *The Mechanics of Earthquakes and Faulting - 2nd Edition*, Cambridge Univ, Press.
10）津村 健四郎 (2019), *地震ジャーナル* , **67**, 52-53.
11）Nakatani, M. (2020), *JDR*, **15**, 112-143.
12）Scholz, C. H., L. R. Sykes, and Y. P. Aggarwal (1973), *Science*, **181**, 803-810.
13）中谷正生 (2019), *パリティ* , **34**, No. 2, 84-88.
14）Ogata, Y. (1989), *Tectonophysics*, **169**, 159-174.
15）Helmstetter, A., D. Sornette, and J. -R. Grasso (2003), *JGR*, **108**, No. B10, 2457.
16）Hardebeck, J. L. (2013), *USGS Open-File Rep.* **No.2013**-1165-S.
17）Lippiello, E. et al. (2012), *Sci. Rep.*, **2**:846.
18）前田憲二・弘瀬冬樹・溜渕功史 (2020), *予知連会報* , **103**, 356-360.



第 1 図　最も単純化した階層的アスペリティと cascade-up の概念図．Noda et al. [2013] にもとづく．
Fig. 1　Very simplified cartoon of hierarchical asperity and cascade-up. After Noda et al. [2013].



第 2 図　フラクタル的階層アスペリティモデルにおける G_c の空間分布．下は AA’ に沿う G_c のプロファイル．
Fig. 2　Spatial distribution of G_c in a hierarchical, fractal asperity model. At the bottom is the profile of G_c along AA’.



第 3 図　地震発生シナリオと短期前兆の関係．中谷 [2019] に加筆．
Fig. 3　Role of precursors in seismogenesis scenarios. Added to Nakatani [2019].

連　絡　会　記　事

第２２８回地震予知連絡会議事次第

日　　時：令和２年８月 28 日　13：00 ～ 17：00
開催方式：WEB 会議形式

１．開　会
２．会長挨拶
３．事務的事項
　1）出席者・資料の確認
　2）第 227 回の議事録確認
　3）地震予知連絡会 SAR 解析 WG の活動状況
　4）重点検討課題運営部会報告
　5）今後の部会のあり方について
　6）その他部会での審議事項について

４．地殻活動モニタリングに関する検討
　１）メール審議結果の報告
　　(1) 国土地理院
　　(2) 気象庁
　　(3) 防災科学技術研究所

５．重点検討課題の検討
　1）第 228 回地震予知連絡会重点検討課題の検討
　　「日本列島モニタリングの将来像」について
　　　コンビーナ　小原一成 委員
　　(1) 陸域地殻変動モニタリング展望
　　　畑中　雄樹 委員
　　(2) MOWLAS をはじめとする地震観測の現状と展望
　　　青井　真 委員
　　(3) 海域地震・地殻変動観測の将来像
　　　篠原　雅尚 委員
　　(4) 内陸地震発生場解明のための稠密地震観測（0.1 満点地震観測からわかったこと）
　　　松本　聡 委員
　　(5) 光ファイバーケーブルを用いた DAS 観測 －地震学での利用－
　　　東北大学　江本　賢太郎 様

　2）総合討論

3）第 229 回地震予知連絡会重点検討課題の趣旨説明

課題名「予測実験の試行（07）　－地震活動予測の検証－」

コンビーナ　遠田晋次 委員

6．その他の議事

閉　会

第２２９回地震予知連絡会議事次第

日　　時：令和２年11.月 26 日　13：00 ～ 17：00
開催方式：WEB 会議形式

１．開　会
２．会長挨拶
３．事務的事項
　1）出席者・資料の確認
　2）第 228 回の議事録確認
　3）地震予知連絡会 SAR 解析 WG の活動状況
　4）運営検討部会の設置について
　5）WEB 会議での開催時における会議公開について

４．地殻活動モニタリングに関する検討
　1）メール審議結果の報告
　　(1) 国土地理院
　　(2) 気象庁
　　(3) 防災科学技術研究所

５．重点検討課題の検討
　1）第 229 回地震予知連絡会重点検討課題の検討
　　「予測実験の試行（07）　－地震活動予測の検証－」について
　　コンビーナ　遠田晋次 委員
　(1) 気象庁震度データベースを用いた地震予測と 2015-2020 年の予測の評価
　　滋賀県立大学　小泉　尚嗣 様
　(2) ｂ値にもとづく大地震発生予測のモデルのレビュー
　　静岡県立大学　楠城　一嘉 様
　(3) 階層的時空間 ETAS モデルに基づく短期・中期・長期予測および背景率予測
　　－自動予測の開発に向けて－
　　尾形　良彦 委員
　(4) 階層的アスペリティを前提とした短期前兆のメカニズムについて
　　東京大学地震研究所　中谷　正生 様
　2）総合討論

　3）第 229 回地震予知連絡会重点検討課題の趣旨説明
　　課題名「東北地方太平洋沖地震から 10 年－この 10 年で何が起きたか、何がわかったか－」
　　コンビーナ　松澤暢 委員

６．その他の議事
　閉　会

地震予知連絡会運営要綱

昭和 44 年 4 月 24 日制定
昭和 51 年 8 月 23 日改正
平成 13 年 1 月 6 日改正
平成 16 年 8 月 23 日改正
平成 25 年 2 月 18 日改正
平成 26 年 2 月 17 日改正

地震の予知・予測により震災軽減に貢献することを目的とし，地震に関する観測・研究を実施している関係機関等が提供する情報を交換するとともに，将来発生する地震の予知・予測に関する学術的検討を行うため，地震予知連絡会（以下「予知連」という．）の運営要綱を下記のとおり定める．

記

1．予知連は，委員 30 人以内で組織するものとし，必要に応じて臨時委員を置くことができる．
2．委員および臨時委員は，学識経験者および関係機関の職員のうちから国土地理院長がそれぞれ委嘱する．
3．委員の任期は，2 年とし，その欠員が生じた場合の補欠委員の任期は，前任者の残任期間とする．
4．予知連に会長を置き，委員の互選によってこれを定める．会長は，会務を総理する．
　会長の選出は，新しい期の最初の予知連において行う．
　会長の任期は，あらたに会長が定まるまでとする．
5．予知連に副会長を置く．
　副会長は，委員の中から会長が指名する．
6．会長に事故あるときは，あらかじめ会長が指名する副会長がその職務を代理するものとし，早期に会長の選出を行う．
7．特別の事項を調査検討する必要があるときは，予知連に部会を置くことができる．
　部会は，委員及び臨時委員で構成する．
　部会には，部会長を置き，部会長は，会長が指名する．
8．予知連は，必要に応じ，会長が招集する．
　部会は，部会長が招集する．
9．会長は，予知連に専門家を招聘し，意見を聴取することができる．
　部会長は，部会に専門家を招聘し，意見を聴取することができる．
10．予知連の運営に関し，必要な事項は，予知連の議を経て会長が定める．
11．予知連の庶務は，国土地理院において処理する．

委 員 名 簿

第２６期　地震予知連絡会

（令和２年 5 月 20 日現在）

会　　長	山岡　耕春	名古屋大学大学院環境学研究科教授
副　会　長 東日本部会長	松澤　　暢	東北大学大学院理学研究科教授
副　会　長 重点検討課題 運営部会長	小原　一成	東京大学地震研究所教授
中日本部会長	平田　　直	地震調査研究推進本部地震調査委員会委員長 南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会会長 地震防災対策強化地域判定会会長 国立研究開発法人防災科学技術研究所　参与
西日本部会長	澁谷　拓郎	京都大学防災研究所教授
委　　員	高橋　浩晃	北海道大学大学院理学研究院教授
	遠田　晋次	東北大学災害科学国際研究所教授
	八木　勇治	筑波大学生命環境系教授
	宮内　崇裕	千葉大学大学院理学研究科教授
	佐藤比呂志	東京大学地震研究所教授
	佐竹　健治	東京大学地震研究所教授
	篠原　雅尚	東京大学地震研究所教授
	中島　淳一	東京工業大学理学院地球惑星科学系教授
	伊藤　武男	名古屋大学大学院環境学研究科准教授
	久家　慶子	京都大学理学研究科・理学部教授
	松本　　聡	九州大学大学院理学研究院准教授
	中尾　　茂	鹿児島大学大学院理工学研究科 地球環境科学専攻教授
	尾形　良彦	統計数理研究所名誉教授
	青井　　真	国立研究開発法人防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター長
	汐見　勝彦	国立研究開発法人防災科学技術研究所 地震津波防災研究部門　副部門長
	堀　　高峰	国立研究開発法人海洋研究開発機構 海域地震火山部門・地震津波予測研究開発センター長
	丸山　　正	国立研究開発法人産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門活断層評価研究グループ主任研究員

	楠　勝浩	海上保安庁海洋情報部沿岸調査課長
	中村　雅基	気象庁地震火山部地震予知情報課長
	干場　充之	気象庁気象研究所地震津波研究部長
	藤原　智	国土地理院地理地殻活動研究センター長
	宗包　浩志	国土地理院地理地殻活動研究センター地殻変動研究室長
名誉委員	高木　章雄	東北大学名誉教授
	茂木　清夫	東京大学名誉教授
	大竹　政和	東北大学名誉教授
	島崎　邦彦	東京大学名誉教授
	平原　和朗	京都大学名誉教授

第２６期　重点検討課題運営部会

（令和 2 年 5 月 20 日現在）

部会長	小原　一成	東京大学地震研究所教授
委員	高橋　浩晃	北海道大学大学院理学研究院教授
	松澤　暢	東北大学大学院理学研究科教授
	遠田　晋次	東北大学災害科学国際研究所教授
	篠原　雅尚	東京大学地震研究所教授
	青井　真	国立研究開発法人防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター長
	堀　高峰	国立研究開発法人海洋研究開発機構 海域地震火山部門・地震津波予測研究開発センター長
	丸山　正	国立研究開発法人産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門活断層評価研究グループ主任研究員
	中村　雅基	気象庁地震火山部地震予知情報課長
	干場　充之	気象庁気象研究所地震津波研究部長
	藤原　智	国土地理院地理地殻活動研究センター長
	宗包　浩志	国土地理院地理地殻活動研究センター地殻変動研究室長

第２６期　地震予知連絡会

（令和 2 年 11 月 26 日現在）

会　　長	山岡　耕春	名古屋大学大学院環境学研究科教授
副　会　長	松澤　　暢	東北大学大学院理学研究科教授
副　会　長 運営検討部会長	小原　一成	東京大学地震研究所教授
委　　員	高橋　浩晃	北海道大学大学院理学研究院教授
委　　員	遠田　晋次	東北大学災害科学国際研究所教授
委　　員	八木　勇治	筑波大学生命環境系教授
委　　員	宮内　崇裕	千葉大学大学院理学研究科教授
委　　員	佐藤比呂志	東京大学地震研究所教授
委　　員	佐竹　健治	東京大学地震研究所教授
委　　員	篠原　雅尚	東京大学地震研究所教授
委　　員	中島　淳一	東京工業大学理学院地球惑星科学系教授
委　　員	伊藤　武男	名古屋大学大学院環境学研究科准教授
委　　員	久家　慶子	京都大学大学院理学研究科教授
委　　員	澁谷　拓郎	京都大学防災研究所教授
委　　員	松本　　聡	九州大学大学院理学研究院准教授
委　　員	中尾　　茂	鹿児島大学大学院理工学研究科 地球環境科学専攻教授
委　　員	尾形　良彦	統計数理研究所名誉教授
委　　員	青井　　真	国立研究開発法人防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター長
委　　員	汐見　勝彦	国立研究開発法人防災科学技術研究所 地震津波防災研究部門　副部門長
委　　員	堀　　高峰	国立研究開発法人海洋研究開発機構 海域地震火山部門・地震津波予測研究開発センター長
委　　員	丸山　　正	国立研究開発法人産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門活断層評価研究グループ主任研究員
委　　員	平田　　直	地震調査研究推進本部地震調査委員会委員長 南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会会長 地震防災対策強化地域判定会会長 国立研究開発法人防災科学技術研究所　参与
委　　員	楠　　勝浩	海上保安庁海洋情報部沿岸調査課長
委　　員	中村　雅基	気象庁地震火山部地震火山技術・調査課長
委　　員	干場　充之	気象庁気象研究所地震津波研究部長
委　　員	畑中　雄樹	国土地理院地理地殻活動研究センター長
委　　員	黒石　裕樹	国土地理院地理地殻活動研究センター地理地殻活動総括研究官

名誉委員	茂木　清夫	東京大学名誉教授
名誉委員	大竹　政和	東北大学名誉教授
名誉委員	島崎　邦彦	東京大学名誉教授
名誉委員	平原　和朗	京都大学名誉教授

第 26 期　運営検討部会

（令和 2 年 11 月 26 日現在）

部会長	小原　一成	東京大学地震研究所教授
委員	高橋　浩晃	北海道大学大学院理学研究院教授
	松澤　　暢	東北大学大学院理学研究科教授
	遠田　晋次	東北大学災害科学国際研究所教授
	篠原　雅尚	東京大学地震研究所教授
	青井　　真	国立研究開発法人防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター長
	堀　　高峰	国立研究開発法人海洋研究開発機構 海域地震火山部門・地震津波予測研究開発センター長
	丸山　　正	国立研究開発法人産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門活断層評価研究グループ主任研究員
	中村　雅基	気象庁地震火山部地震火山技術・調査課長
	干場　充之	気象庁気象研究所地震津波研究部長
	畑中　雄樹	国土地理院地理地殻活動研究センター長
	黒石　裕樹	国土地理院地理地殻活動研究センター地理地殻活動総括研究官

地震予知連絡会会報投稿規程

平成 9 年10 月 13日制　　定
平成 26 年 7 月 3 日改　　訂
令和 2 年 2 月 21 日全部改正
令和 2 年 8 月 28 日一部改訂

1．本文は，簡潔明瞭とし，図及び表を主体に説明する．

2．原稿は，基本的に「Word」で作成する．

3．原稿の書式は，別添の記載例に従う．

4．原稿に図及び表を貼り付けない場合は，基の電子ファイル（BMP，EPS，GIF，Illustrator，Excel，PDF，TIFF 等）及びレイアウトを原稿と併せて提出する．

5．参考文献は必要最小限にとどめる．雑誌名その他は簡略化する．

6．提出する電子ファイルは，全てウィルスチェックを実施する．

7．電子ファイルは，メール添付又は関係者向け大容量ファイル転送システムを利用して提出する．

8．本文の末尾に著者名（執筆者氏名又は著作権者となる所属機関内組織名）を明記する．なお，著作権の扱いについては「『地震予知連絡会会報』の著作権の扱いについて」によるものとする．

・メール添付の場合の提出先
　地震予知連絡会事務局：gsi-yochi-jimu@gxb.mlit.go.jp
・大容量ファイル転送システム
　下記の URL にアクセスし，利用する．
　　https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/local.html

1－1　日本語の標題は游明朝，12pt，太字（英数字は Times New Roman）
英語の標題は必ず併記，Times New Roman, 12pt, Bold

（1 行あけ）

日本語の機関名は游明朝，10.5pt

英語の機関名は必ず併記，Times New Roman, 10.5pt

（1 行あけ）

原稿は A4 判，原稿の向きは縦，横書き，44 字× 40 行とする．○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○

余白は上及び下 30mm，左及び右 23mm とする．

本文（日本語）は游明朝，10.5pt．英数字及び記号は Times New Roman，10.5pt．なお , 游明朝がない場合は，MS 明朝とし，事務局で修正する．

読点は全角カンマ「, 」，句点は全角ピリオド「. 」を使う．

本文中の文献の引用は上付き，半角数字，半角片括弧「1)」とする．参考文献は文末に一括して記載する．

(1 行あけ)

（著者名又は著作権者となる所属機関内組織名を記載する．名字　名前）

MYOJI Namae

(1 行あけ)

謝辞

必要に応じて，謝辞を記載する．○○○

(1 行あけ)

参考文献

1) Myoji et al. (yyyy), Earth Planets Space, 11, 22-33. ○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○

2) Myoji et al. (yyyy), 予知連会報 , 100, 44-55.

(改ページ)

図及び表

原稿に図を貼り付ける場合，画像は 350dpi 以上の解像度とする．

図及び表の向きは，極力縦向きとする．

原稿に図及び表を貼り付ける場合は，基の電子ファイルは提出不要とする．

キャプション

第 1 図　日本語は MS ゴシック，9pt．英数字及び記号は Times New Roman，9pt．**英文を必ず併記．**○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○

Fig. 1　Times New Roman, 9pt. ○○○

第 1 表　日本語は MS ゴシック，9pt．英数字及び記号は Times New Roman，9pt．**英文を必ず併記．**

Table 1　Times New Roman, 9pt.

地震予知連絡会会報の著作権について

『地震予知連絡会会報』に掲載された記事の著作権は個々の記事の著者に属します．引用として認められる範囲を超えて，会報の内容を転載・複製される場合は著作権者の許可を得て下さい．

地震予知連絡会会報について

国土地理院ホームページでご覧いただけます．
https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report.html

地震予知連絡会会報〈第 105 巻〉

令和 3 年 3 月　発行

編集・発行者　国　土　地　理　院
〒 305-0811　茨 城 県 つ く ば 市 北 郷 1 番
TEL（029）864−1111