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

地震予知連絡会会報

〈第 111 巻〉

令和 6 年 3 月

国土地理院

REPORT OF THE COORDINATING COMMITTEE FOR EARTHQUAKE PREDICTION

VOL. 111

MARCH, 2024

EDITED BY
GEOSPATIAL INFORMATION AUTHORITY OF JAPAN

地震予知連絡会会報（第 111 巻）

この会報は，地震予知連絡会（第 240 回・第 241 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（2023 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（2023 年 5 月～ 10 月）……（防災科研）……5
1－3　日本全国の地殻変動……（地理院）……10
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）……36
2－1　北海道地方とその周辺の地震活動（2023 年 5 月～ 10 月）……（気象庁）……41
2－2　北海道地方の地殻変動……（地理院）……56
3－1　東北地方とその周辺の地震活動（2023 年 5 月～ 10 月）……（気象庁）……60
3－2　東北地方の地殻変動……（地理院）……86
3－3　日本海溝沿いの海底地殻変動観測結果……（海上保安庁）……93
3－4　地殻変動予測：東北沖地震の余効変動……（地理院）……98
3－5　2023年8月25日三陸沖の地震（M_{JMA} 6.0）の震源域近傍の地震活動の推移‥（防災科研）……102
4－1　関東・中部地方とその周辺の地震活動（2023 年 5 月～ 10 月）……（気象庁）……104
4－2　関東甲信地方の地殻変動……（地理院）……184
4－3　神奈川県西部地域の地下水位観測結果（2023 年 5 月～ 2023 年 10 月）
……（温泉地学研・産総研）……191
4－4　2023 年 10 月 9 日鳥島近海の地震の F-net 観測波形……（防災科研）……197
5－1　東海地方の地殻変動……（地理院）……201
5－2　東海・南関東地域におけるひずみ観測結果（2023年5月～10月）…（気象庁・気象研）……211
5－3　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
（2023 年 5 月～ 2023 年 10 月）……（産総研・防災科研）……227
5－4　東海・関東・伊豆地域における地下水等観測結果（2023 年 5 月～ 2023 年 10 月）(68)
……（産総研）……285
6－1　岐阜県東部・長野県西部における地殻活動観測結果（2023 年 5 月～ 2023 年 10 月）
……（産総研）……290
6－2　系統的な欠測を伴う地震カタログから実際の活動率変化の推定
：M6.5 能登半島地震の余震活動について……（統数研）……292
6－3　北陸・中部地方の地殻変動……（地理院）……299
7－1　近畿・中国・四国地方とその周辺の地震活動（2023 年 5 月～ 10 月）……（気象庁）……310
7－2　近畿地方の地殻変動……（地理院）……314
7－3　南海トラフ周辺の地殻活動（2023 年 5 月～ 10 月）……（気象庁）……322
7－4　南海トラフ浅部の微動活動（2023 年 8 月 –2023 年 10 月）……（防災科研）……372
7－5　南海トラフ沿いの海底地殻変動観測結果……（海上保安庁）……375
7－6　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）……381

７－７　南海トラフ周辺における最近の傾斜変動（2023年5月～2023年10月）…（防災科研）……384
７－８　内陸部の地震空白域における地殻変動連続観測 ……（気象研）……401
７－９　紀伊半島～四国の歪・傾斜・地下水観測結果（2023年5月～2023年10月）…（産総研）……405
７－10　近畿地域の地下水位・歪観測結果（2023 年 5 月～ 2023 年 10 月）……（産総研）……415
８－１　西南日本における深部低周波微動活動 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)…（防災科研）……419
８－２　中国・四国地方の地殻変動……（地理院）……425
８－３　西南日本における短期的スロースリップイベント
(2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)……（防災科研）……433
８－４　鳥取県における温泉水変化（2023 年 5 月～ 2023 年 10 月）……（鳥取大・産総研）……437
９－１　九州地方とその周辺の地震活動（2023 年 5 月～ 10 月）……（気象庁）……439
９－２　沖縄地方とその周辺の地震活動（2023 年 5 月～ 10 月）……（気象庁）……455
９－３　九州・沖縄地方の地殻変動……（地理院）……467
10－１　その他の地域の地震活動（2023 年 5 月～ 10 月）……（気象庁）……478
10－２　世界の地震活動（2023 年 5 月～ 10 月）……（気象庁）……482
10－３　モロッコの地震 SAR 干渉解析結果……（地理院）……494
10－４　地震データの欠測率を考慮したトカラ列島および鳥島近海の地震活動の解析‥（統数研）……497
10－５　群発的地震活動を前震活動と仮定して行う本震の発生予測手法（7）
：最近の活動事例による検証……（気象研）……505
11－１　第 240 回地震予知連絡会重点検討課題「関東地震 100 周年」の概要……（地震研）……510
11－２　関東地方のプレート構造と地震活動……（東大）……512
11－３　測地観測による 1923 年関東地震とその後の地殻変動
- 地震時すべり，プレート間固着及びスロースリップ -……（京大防）……514
11－４　1923 年関東大震災と南関東の強震動……（J-POWER 設計コンサルタント）……520
11－５　津波から見える 1923 年関東地震の震源過程 ……（北海道大）……527
11－６　関東地震の履歴の再評価……（産総研）……529
11－７　第 241 回地震予知連絡会重点検討課題
「予測実験の試行(09)地震活動の中期予測の検証」の概要…（海洋研究開発機構・東北大）……534
11－８　北海道東方沖の相対的地震活動度の静穏化のその後
：有意検出から 10 年後の現状……（地震予知振興会）……537
11－９　地震活動静穏化仮説に基づく予測実験……（北海道大）……546
11－10　北海道・東北沖の地震サイズ分布（b 値）の時空間変化 ……（静岡県立大）……549
11－11　日本海溝沿いの繰り返し地震活動とその繰り返しの特徴……（地震研）……554
11－12　能登半島群発地震の経過と大地震前後の異常活動の解釈……（統数研）……559

連絡会記事……569
運営要綱……573
委員名簿……574
投稿規程……576

その他
第 110 巻追加原稿

10－5　中規模繰り返し相似地震の発生状況と発生確率（2023）……（気象研）……578
10－6　地殻活動の予測実験（１）－ 内陸地震の短期確率予測と評価について……（統数研）……584

CONTENTS (Vol. 111)

1 － 1 Seismic Activity in and around Japan (May – October 2023) ····· (JMA)·····1

1 － 2 Activity of Shallow Very-low-frequency Earthquakes in and around Japan (May – October, 2023) ····· (NIED)·····5

1 － 3 Crustal Deformations of Entire Japan ····· (GSI)·····10

1 － 4 Position Change in the plate subduction direction of the nationwide GNSS points ···· (MRI)·····36

2 － 1 Seismic Activity in and around the Hokkaido District (May – October 2023)····· (JMA)·····41

2 － 2 Crustal Deformations in the Hokkaido District····· (GSI)·····56

3 － 1 Seismic Activity in and around the Tohoku District (May – October 2023)····· (JMA)·····60

3 － 2 Crustal Deformations in the Tohoku District····· (GSI)·····86

3 － 3 Seafloor movements along the Japan Trench observed by seafloor geodetic observations ····· (JCG)·····93

3 － 4 Experimental forecast of postseismic deformation of the 2011 Tohoku-oki earthquake ····· (GSI)·····98

3 － 5 Seismic activity around the Sanriku-oki earthquake (MJMA 6.0) on Aug. 25, 2023····· (NIED)·····102

4 － 1 Seismic Activity in and around the Kanto and Chubu Districts (May – October 2023) ····· (JMA)·····104

4 － 2 Crustal Deformations in the Kanto District····· (GSI)·····184

4 － 3 Temporal Variation in the Groundwater Level in the western part of Kanagawa Prefecture, Japan (May 2023 – October 2023) ····· (HSRI, AIST)·····191

4 － 4 Observed F-net seismograms of earthquakes in the near Torishima region on October 9,2023·· (NIED)·····197

5 － 1 Crustal Deformations in the Izu peninsula and its Vicinity····· (GSI)·····201

5 － 2 Observation of Crustal Strain by Borehole Strainmeters in the Tokai and Southern Kanto Districts (May – October 2023) ····· (JMA, MRI)·····211

5 － 3 Short-term slow slip events in the Tokai area, the Kii Peninsula and the Shikoku District, Japan (from May 2023 to October 2023) ····· (AIST, NIED)·····227

5 － 4 The Variation of the Groundwater Level and Subsidence in the Tokai, Kanto District and Izu Peninsula, Japan. (from May 2023 to Oct. 2023) (68)····· (AIST)·····285

6 － 1 Observation of Tectonic Activities in Eastern Gifu and Western Nagano Regions (May, 2023 ～ October, 2023) ····· (AIST)·····290

6 － 2 Estimation of actual activity rate changes from earthquake catalogs with systematic missing measurements : Aftershock activity of the M6.5 Noto Peninsula Earthquake.····· (ISM)·····292

6 － 3 Crustal Deformations in the Hokuriku and Chubu Districts ····· (GSI)·····299

7 － 1 Seismic Activity in and around the Kinki, Chugoku and Shikoku Districts (May – October 2023) ····· (JMA)·····310

7 － 2 Crustal Deformations in the Kinki District ····· (GSI)·····314

7 － 3 Crustal Activity around the Nankai Trough (May - October 2023)····· (JMA)·····322

7 － 4 Shallow tectonic tremor activity in the Nankai trough, southwest Japan (August, 2023–October, 2023)…… (NIED)……372
7 － 5 Seafloor movements along the Nankai Trough observed by seafloor geodetic observations ……(JCG)……375
7 － 6 Objective detection of long-term slow slip events along the Nankai Trough…… (MRI)……381
7 － 7 Recent Continuous Crustal Tilt Observation around the Nankai Trough (May 2023– October 2023) …… (NIED)……384
7 － 8 Continuous Observations of Crustal Deformations in and around Intraplate Seismic Gaps …… (MRI)……401
7 － 9 The variation of the strain, tilt and groundwater level in the Shikoku District and Kii Peninsula, Japan (from May 2023 to October 2023) …… (AIST)……405
7 －10 Observational Results of Groundwater Levels and Crustal Strains in the Kinki District, Japan (May 2023 – October 2023) …… (AIST)……415
8 － 1 Activity of deep low-frequency tremor in southwest Japan(May, 2023 – October, 2023)‥ (NIED)……419
8 － 2 Crustal Deformations in the Chugoku and Shikoku Districts…… (GSI)……425
8 － 3 Short-term slow slip events with non-volcanic tremor in southwest Japan (May 2023-October 2023)…… (NIED)……433
8 － 4 Temporal Variation in the hot spring water in the Tottori Prefecture, Japan (May 2023 – October 2023) …… (Tottori Univ., AIST)……437
9 － 1 Seismic Activity in and around the Kyushu District (May - October 2023) …… (JMA)……439
9 － 2 Seismic Activity around the Okinawa District (May - October 2023)…… (JMA)……455
9 － 3 Crustal Deformations in the Kyushu and Okinawa Districts…… (GSI)……467
10－1 Seismic Activity in Other Regions around Japan (May – October 2023)…… (JMA)……478
10－2 Seismic Activity in the World (May – October 2023) …… (JMA)……482
10－3 The 2023 Morocco Earthquake: Crustal deformation detected by ALOS-2 data. …… (GSI)……494
10－4 Analysis of seismic activity in near the Tokara Islands and the Torishima Island taking missing rates of earthquakes into account. ……(ISM)……497
10－5 Earthquake forecasting method by supposing swarm-like activity to be possible foreshocks (7) : its performance for recent seismicity data …… (MRI)……505
11－1 Centennial of Kanto earthquake …… (ERI)……510
11－2 The tectonic plate structure and seismicity beneath the Kanto region……(Univ. of Tokyo)……512
11－3 Crustal deformation at and after the 1923 Kanto earthquake based on geodetic measurements – Coseismic slip, interplate coupling, and slow slip events – …… (Kyoto Univ.)……514
11－4 The 1923 Great Kanto Earthquake Disaster and its strong ground motions in the southern Kanto district……(J-POWER Design Co., Ltd.)……520
11－5 Source process of the 1923 Kanto earthquake using tsunami data …… (Hokkaido Univ.)……527
11－6 Reevaluation of the History of the Kanto Earthquake …… (AIST)……529

11－7 Trials of experimental forecasts of crustal deformation and seismicity #9
: Validation of intermediate-term seismicity forecasts …… (JAMSTEC,Tohoku Univ.)……534
11－8 Current status of the Relative Quiescence of the seismicity off the east coast of Hokkaido
: a decade after its significance was revealed …… (ADEP)……537
11－9 Earthquake forecast experiment based on the seismic quiescence hypothesis‥ (Hokkaido Univ.)……546
11－10 Spatial and temporal changes in the Gutenberg-Richter size-frequency distribution (b value)
of earthquakes off the coast of Hokkaido and Tohoku districts …… (Univ. Shizuoka Pref.)……549
11－11 The activity of repeating earthquakes along the Japan trench and its characteristics of repetition‥ (ADEP)……554
11－12 Interpretation of the course of the Noto Peninsula earthquake swarm and some anomalous activities
before and after major earthquakes…… (ISM)……559

Other
The Vol.110 has missing pages

10－5 Probability of moderate repeating earthquakes within one and three years from
1 January 2023 …… (MRI)……578
10－6 Experiments in Prediction of Crustal Activity (1)
— Short-term Probability Prediction and Evaluation of Inland Earthquakes …… (ISM)……584

１－１　日本とその周辺の地震活動（2023 年 5 月～ 10 月）
Seismic Activity in and around Japan (May – October 2023)

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 111 回，M6.0 以上の地震は 16 回発生した．このうち最大は，2023 年 5 月 5 日 14 時 42 分に能登半島沖，5 月 30 日 09 時 52 分に硫黄島近海，9 月 18 日 22 時 21 分に宮古島北西沖及び 10 月 5 日 09 時 59 分に鳥島近海で発生したそれぞれ M6.5 の地震であった．2023 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）

2023 年 6 月 11 日 18 時 54 分に苫小牧沖の深さ 136km で M6.2 の地震（最大震度 5 弱）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．発震機構は太平洋プレートの傾斜方向に張力軸を持つ型である．

2023 年 9 月 29 日 02 時 40 分に択捉島南東沖の深さ 46 ㎞（CMT 解による）で M6.2 の地震（最大震度 2）が発生した．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逆断層型である．

(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）

2023 年 8 月 11 日 09 時 14 分に青森県東方沖の深さ 28km 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．

2023 年 8 月 25 日 07 時 48 分に三陸沖の深さ 15km で M6.0 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．

(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）

石川県能登地方では，2018 年頃から地震回数が増加傾向にあり，2020 年 12 月から地震活動が活発になり，2021 年 7 月頃からさらに活発になっている．2023 年 5 月～ 10 月も活発な状態が継続しており，活動の全期間を通じた最大規模である M6.5 の地震（最大震度 6 強）が 2023 年 5 月 5 日 14 時 42 分に発生した．M6.5 の地震発生後，地震活動はさらに活発になっていたが，時間の経過とともに地震の発生数は減少している．

2023 年 5 月 11 日 04 時 16 分に千葉県南部の深さ 40km で M5.2 の地震（最大震度 5 強）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．この地震の発震機構は北西－南東方向に張力軸を持つ型である．

2023 年 5 月 26 日 19 時 03 分に千葉県東方沖の深さ 50km で M6.2 の地震（最大震度 5 弱）が発生した．また，6 月 16 日 21 時 24 分に千葉県北東部の深さ 49km で M4.9 の地震（最大震度 4）が発生した．これらの地震は発震機構が東西方向の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．

2023 年 5 月 30 日 09 時 52 分に硫黄島近海の深さ 12km（CMT 解による）で M6.5 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）は北北東－南南西方向に圧力軸を持つ逆断層型である．

2023 年 9 月 19 日 15 時 22 分に鳥島近海の深さ 10km（CMT 解による）で M6.1 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．この地震の震央付近では，19 日（19 日 15 時 22 分の M6.1 の地震発生前）から地震活動がみられている．9 月 22 日には M5.9 の地震（震度 1 以上を観測した地点はなし）が発生した．

鳥島近海（鳥島から南西に約 100km）では，2023 年 10 月 2 日から 9 日にかけて，M6.0 以上の地震が 4 回発生するなど，地震活動が活発になった．このうち，最大規模の地震は，5 日 10 時 59 分に深さ 10km（CMT 解による）で発生した M6.5 の地震（震度 1 以上を観測した地点はなし）で，発震機構（CMT 解）は東北東－西南西方向に張力軸を持つ正断層型である．この地震はフィリピン海プレート内で発生した．気象庁はこの地震に伴い，5 日 11 時 06 分に伊豆諸島に津波注意報を発表した（5 日 13 時 15 分に解除）．この地震により，東京都の八丈島八重根で 0.2 ｍの津波を観測した．

また，6 日 10 時 31 分には M6.0 の地震（震度 1 以上を観測した地点はなし）が発生し，気象庁はこの地震に伴い，伊豆諸島及び小笠原諸島に津波予報（若干の海面変動）を発表した．この地震により，八丈島八重根で 0.2 ｍなどの津波を観測した．

さらに，これらの地震の震源付近では，9 日 04 時頃から 06 時台にかけて，規模が小さいうえに地震波の P 相及び S 相が不明瞭なため震源が決まらないものも含めて地震が多発した．このため，気象庁では地震及び津波の監視を強化していたところ，八丈島八重根で津波を観測したことから，9 日 06 時 40 分に伊豆諸島及び小笠原諸島に津波注意報を発表し，その後，津波注意報の範囲を拡大する続報を順次発表した（9 日 12 時 00 分に解除）．この地震活動により，八丈島八重根で 0.7 ｍなど，伊豆諸島，小笠原諸島及び千葉県から沖縄県にかけての太平洋沿岸で津波を観測した．また，9 日 04 時 10 分から 06 時 28 分にかけて宮崎県及び鹿児島県で観測したデータを精査したところ，この地震活動に伴う T 相によるものと考えられる震度（震度 2 ～ 1）を観測していたことを確認した．

（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）

特に目立った地震活動はなかった．

（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）

トカラ列島近海（口之島・中之島付近）では，2023 年 4 月 1 日頃からややまとまった地震活動があり，5 月 11 日以降，地震活動が活発となった．4 月 1 日から 6 月 30 日までに震度 1 以上を観測した地震が 132 回（震度 5 弱：1 回，震度 4：3 回，震度 3：6 回，震度 2：33 回，震度 1：89 回）発生した．このうち最大規模の地震は，5 月 13 日 16 時 10 分に発生した M5.1 の地震（最大震度 5 弱）である．この地震は陸のプレート内で発生した．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．

2023 年 9 月 8 日 02 時頃からトカラ列島近海（小宝島付近）で地震活動が活発となり，9 月 30 日までに震度 1 以上を観測した地震が 346 回（震度 4：2 回，震度 3：25 回，震度 2：82 回，震度 1：237 回）発生した．このうち最大規模の地震は，11 日 00 時 01 分に発生した M5.3 の地震（最大震度 4）で，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．これらの地震は陸のプレート内で発生した．9 月 13 日頃からは，地震の規模が小さくなり，地震の発生数も減少している．

（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）

2023 年 9 月 18 日 22 時 21 分に宮古島北西沖の深さ 182km で M6.5 の地震（最大震度 3）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．この地震の発震機構（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．

2023 年 10 月 16 日 19 時 42 分に宮古島近海の深さ 17km（CMT 解による）で M6.0 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震は，発震機構（CMT 解）が北東－南西方向に張力軸を持つ正断層型で，陸のプレート内で発生した．この地震の震央付近では，31 日までに震度 1 を観測する地震が 6 回（震度 4：1 回，震度 2：2 回，震度 1：3 回）発生している．今回の地震の震央付近では，2023 年 10 月 16 日の地震の発生以降，地震活動が一時的に活発となった．

（7）その他の地域の地震活動

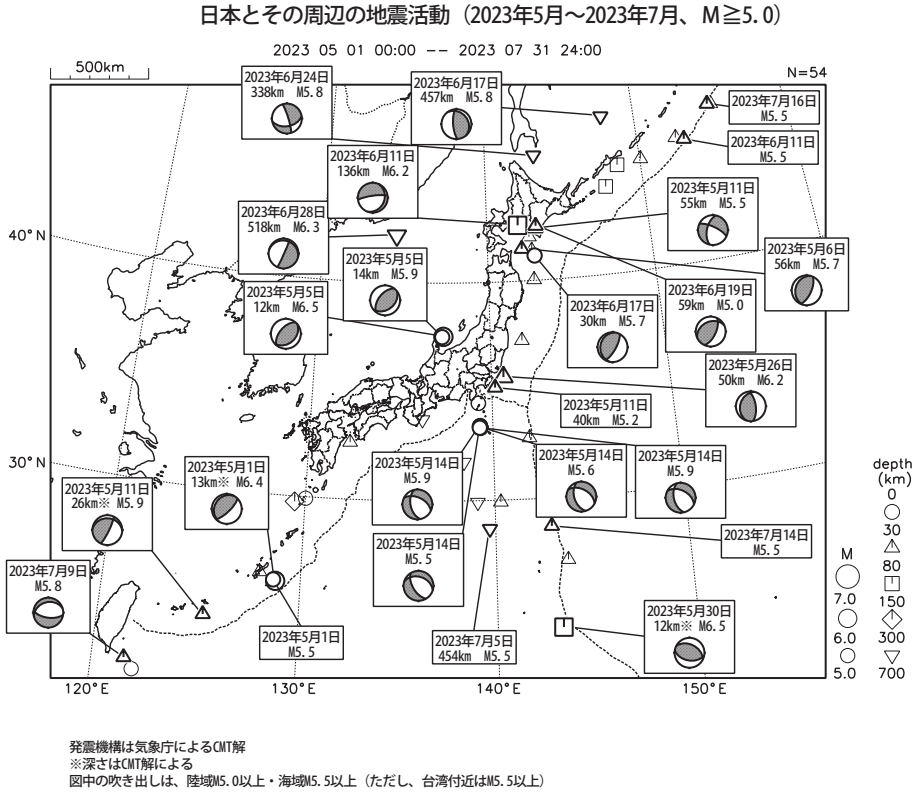
2023 年 6 月 28 日 08 時 38 分に日本海北部の深さ 518km で M6.3 の地震（最大震度 3）が発生した．この地震は太平洋プレート内部で発生した．発震機構（CMT 解）は太平洋プレートが沈み込む方向に圧力軸を持つ型である．今回の地震では，震央から離れた北海道や東北地方の太平洋側でも震度 3 ～ 1 の揺れを観測しており，この現象は「異常震域」と呼ばれている．

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），2022 年能登半島における合同地震観測グループによるオンライン臨時観測点（よしが浦温泉，飯田小学校），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．

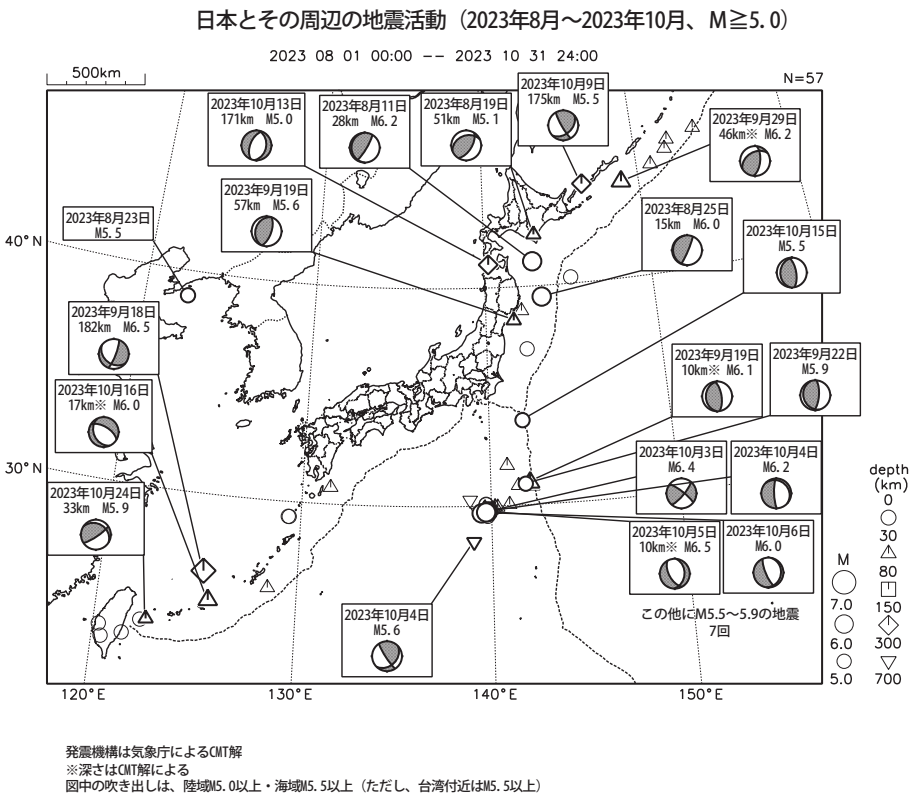
2016 年 4 月 1 日以降の震源では，M の小さな地震は，自動処理による震源を表示している場合がある．自動処理による震源は，震源誤差の大きなものが表示されることがある．

2020 年 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．

震源の深さを「CMT 解による」とした場合は，気象庁 CMT 解のセントロイドの深さを用いている．



第 1 図 (a)　日本とその周辺の地震活動（2023 年 5 月～ 7 月，M ≧ 5.0，深さ≦ 700km）
Fig. 1(a)　Seismic activity in and around Japan (May - July 2023, M ≧ 5.0, depth ≦ 700 km).



第 1 図 (b)　つづき（2023 年 8 月～ 10 月，M ≧ 5.0，深さ≦ 700km）
Fig. 1(b)　Continued (August - October 2023, 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（2023 年 5 月 ～ 10 月）
Activity of Shallow Very-low-frequency Earthquakes in and around Japan (May – October, 2023)

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 2023 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．

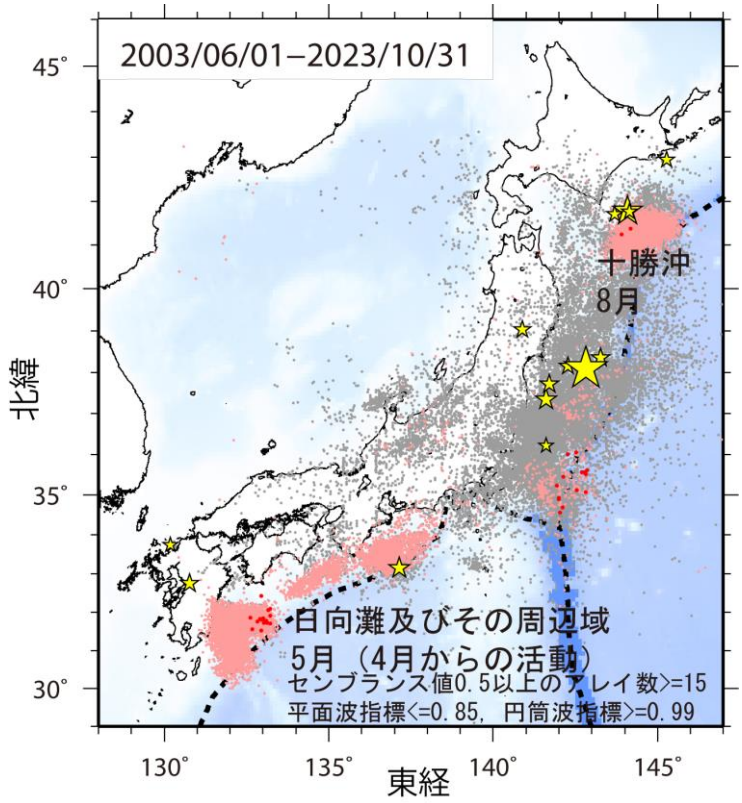
2023 年 5 月 1 日から 2023 年 10 月 31 日までの 6 ヶ月間においては，4 月中旬に種子島東方沖で始まった超低周波地震活動が 5 月にも引き続き検出された．この活動の活動域は 5 月上旬には足摺岬の南に到達したが，本アレイ解析では 5 月下旬以降には検出されなくなった．一方，十勝沖では 8 月中旬から下旬にいくつかの超低周波地震が検出された．

なお，日向灘及びその周辺域の活動についてはカバリッジの問題からアレイ解析による位置決定精度や検知能力が十分ではない．そこで，既知の地震・超低周波地震と類似したイベントを連続波形の中から波形相関によって検出して位置決定する解析 [2] も行った．解析期間は 2010 年 1 月 1 日から 2023 年 7 月 3 日までとした．この波形相関解析によるイベントの空間分布を第 3 図に，時空間分布図を第 4 図にそれぞれ示す．この結果からは，4 月中旬に種子島東方沖で始まった超低周波地震活動の活動域が，経過時間とともに北東方向に拡大して 5 月には足摺岬の南に到達し，6 月中旬には終息したことがわかる．

（浅野陽一）
ASANO Youichi

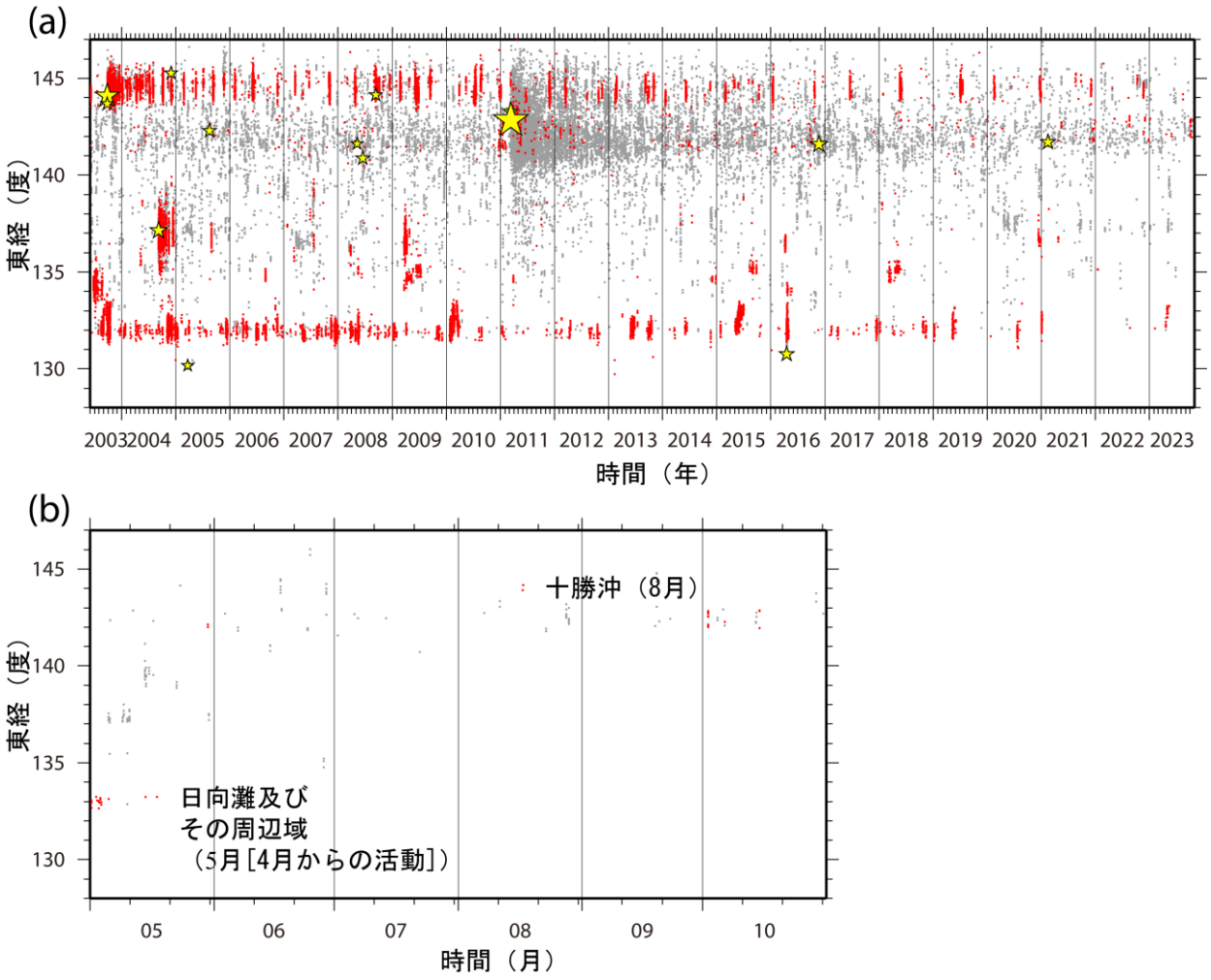
参考文献

1)　Asano et al. (2008), *Earth Planets Space*, **60**, 871-875.
2)　Asano et al. (2015), *Geophys. Res. Lett.*, **42**, doi:10.1002/2014GL062165.



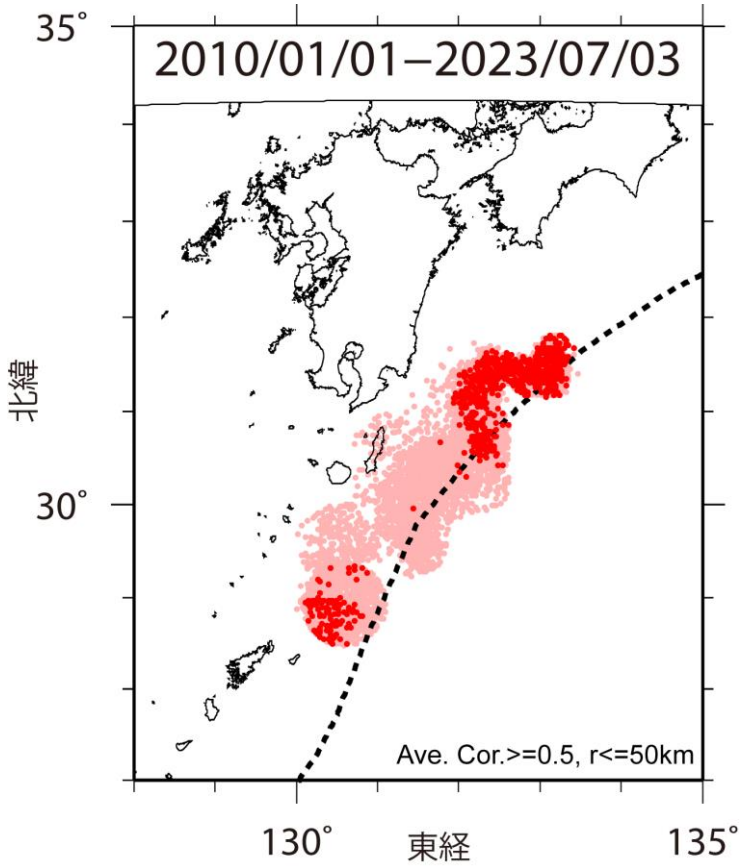
第 1 図　検出されたイベントの震央分布（2003 年 6 月 1 日から 2023 年 10 月 31 日）．検出イベントを防災科研 Hi-net の手動または自動検測震源と照合し，対応する地震が見出されたイベントを灰色で，それ以外を桃色（2023 年 4 月 30 日以前），および赤色（5 月 1 日以降）の点でそれぞれ示す．これらは主として周期 10 秒以上に卓越する超低周波地震を表すが，東北地方太平洋沖地震の発生以降は，除去しきれない通常の地震を含む．期間内に発生した M7 以上の地震の震央を黄色星印で併せて示す（ただし，2011 年 3 月 11 日から 2015 年までの東日本は東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 regular earthquakes listed in the NIED Hi-net catalogue. Pink and red dots denote other events in the periods of June 1, 2003 – April 30, 2023 and May 1 – October 31, 2023, respectively. These events are mainly very-low frequency earthquakes (VLFEs); however, this also contains miss-identified regular earthquakes just after the M 9 Tohoku earthquake due to incompleteness of the regular earthquake catalog. Earthquakes with larger magnitudes than 7.0 are shown by yellow stars.



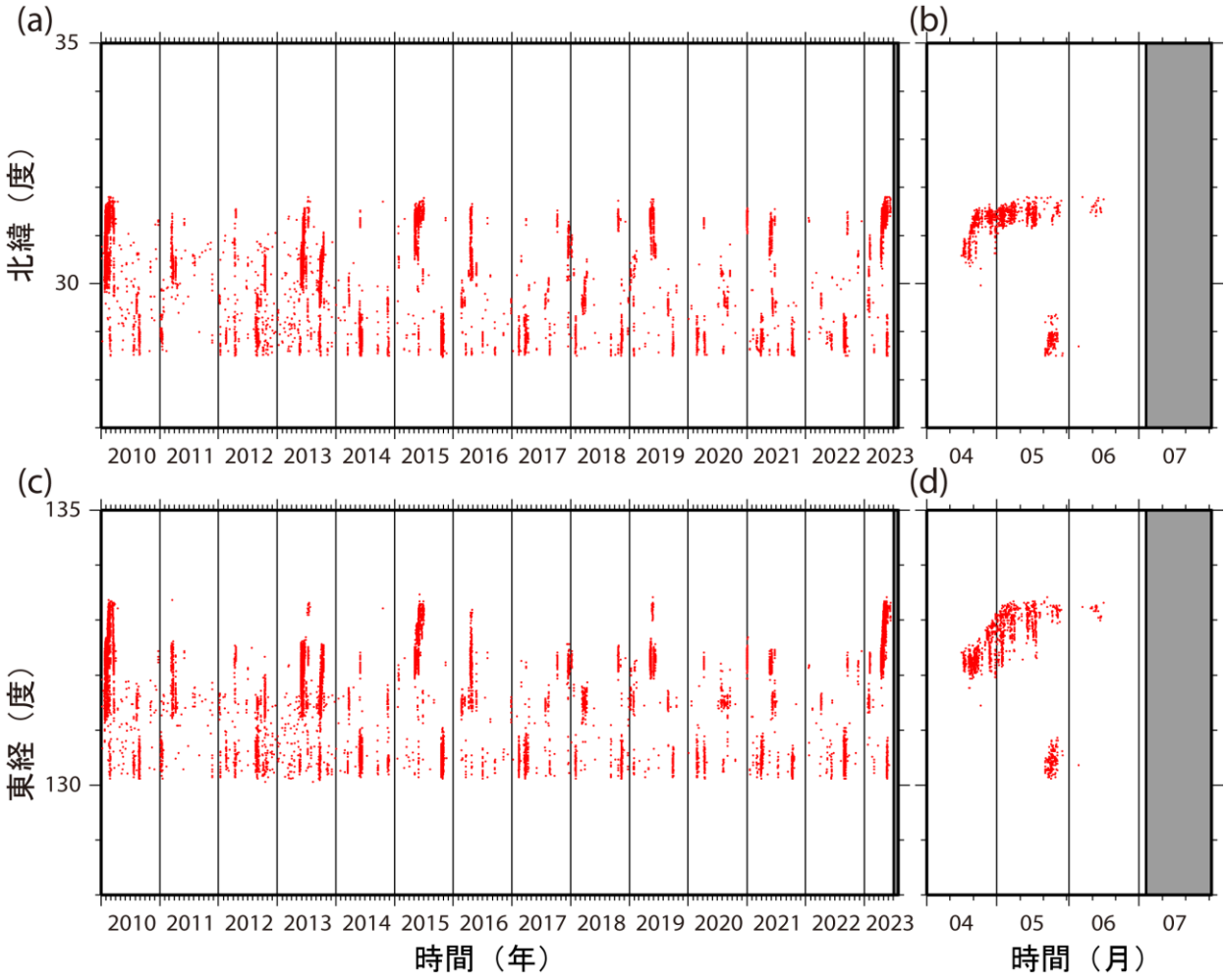
第 2 図　(a)2003 年 6 月 1 日から 2023 年 10 月 31 日までの期間，(b)2023 年 5 月 1 日から 2023 年 10 月 31 日までの期間に検出されたイベントの時空間分布．検出されたイベントを防災科研 Hi-net 手動または自動検測震源と照合し，対応する地震が見出されたイベントを灰色丸印で，それ以外を赤色丸印で示す．

Fig. 2　Spatiotemporal distribution of detected events in the period of (a) June 1, 2003 – October 31, 2023 and (b) May 1, 2023 – October 31, 2023, respectively. Gray and red dots denote events identified with regular earthquakes and other events that are mainly VLFEs. Other symbols are the same as shown in Fig. 1.



第 3 図　2010 年 1 月 1 日から 2023 年 7 月 3 日までの期間内に波形相関解析によって検出された超低周波イベントの震央分布．検出イベントを防災科研 Hi-net の手動または自動検測震源と照合して通常の地震を除去した後に，それ以外を超低周波イベントとして桃色（2023 年 3 月 31 日以前），および赤色（4 月 1 日以降）の点でそれぞれ示す．

Fig. 3　Spatial distribution of VLFEs in the period of January 1, 2010 – July 3, 2023. Events relocated by using the waveform correlation technique are plotted by pink or red dots, which denote VLFEs in the periods of January 1, 2010 – March 31, 2023 and April 1 – July 3, 2023, respectively. Bold dashed line denotes the Nankai trough and the Ryukyu trench.



第 4 図　第 3 図と同じ期間内に検出された超低周波イベントの時空間分布．超低周波イベントを赤色の点で示す．(a) および (b) に緯度分布の，(c) および (d) に経度分布の時間変化をそれぞれ示す．また，(a) および (c) に 2010 年 1 月 1 日以降，(b) および (d) には 2023 年 4 月 1 日以降の分布をそれぞれ示す．

Fig. 4　Spatiotemporal distribution of VLFEs shown in Fig. 3 for the periods of (a)(c) January 1, 2010 – July 3, 2023 and (b)(d) April 1 – July 3, 2023. (a)(b) and (c)(d) show spatiotemporal distribution in latitude and longitude, respectively.

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 ～ 7 図は，GEONET による GNSS 連続観測から求めた最近 3 か月間及び 1 年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 F5 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　3 か月］

第 1 ～ 3 図は，最近 3 か月間の水平変動ベクトル図である．

第 1 図の北海道・東北地方では，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）の余効変動の影響が見られる．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 2 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で見られる．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 3 図の日本列島西部の図では，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．また，2023 年 9 月のトカラ列島近海の地震活動に伴う地殻変動が見られる．

［GNSS　差の差　3 か月］

第 4 ～ 6 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変動ベクトルは, 白抜きの矢印で示している．

第 4 図の北海道・東北地方の図では特段の変動は見られない．

第 5 図の日本列島中央部の図では，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 6 図の日本列島西部の図では特段の変動は見られない．

［GNSS　1 年間］

第 7 図の最近 1 年間の全国の図においては，東北地方太平洋沖地震の後に続く余効変動が顕著である．また，2023 年 5 月 5 日に発生した石川県能登地方の地震に伴う地殻変動が見られる．

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変動，東海地方から九州にかけて，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．

［GNSS　ひずみ変化］

第 8 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．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，石川県能登地方では，2023 年 5 月 5 日に発生した石川県能登地方の地震に伴う地殻変動によるひずみが見られる．

第 9 図は，第 8 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 10 ～ 23 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 2021 年 12 月である．

第 10 ～ 11 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 12 ～ 13 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 11 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わずかな沈降は，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．

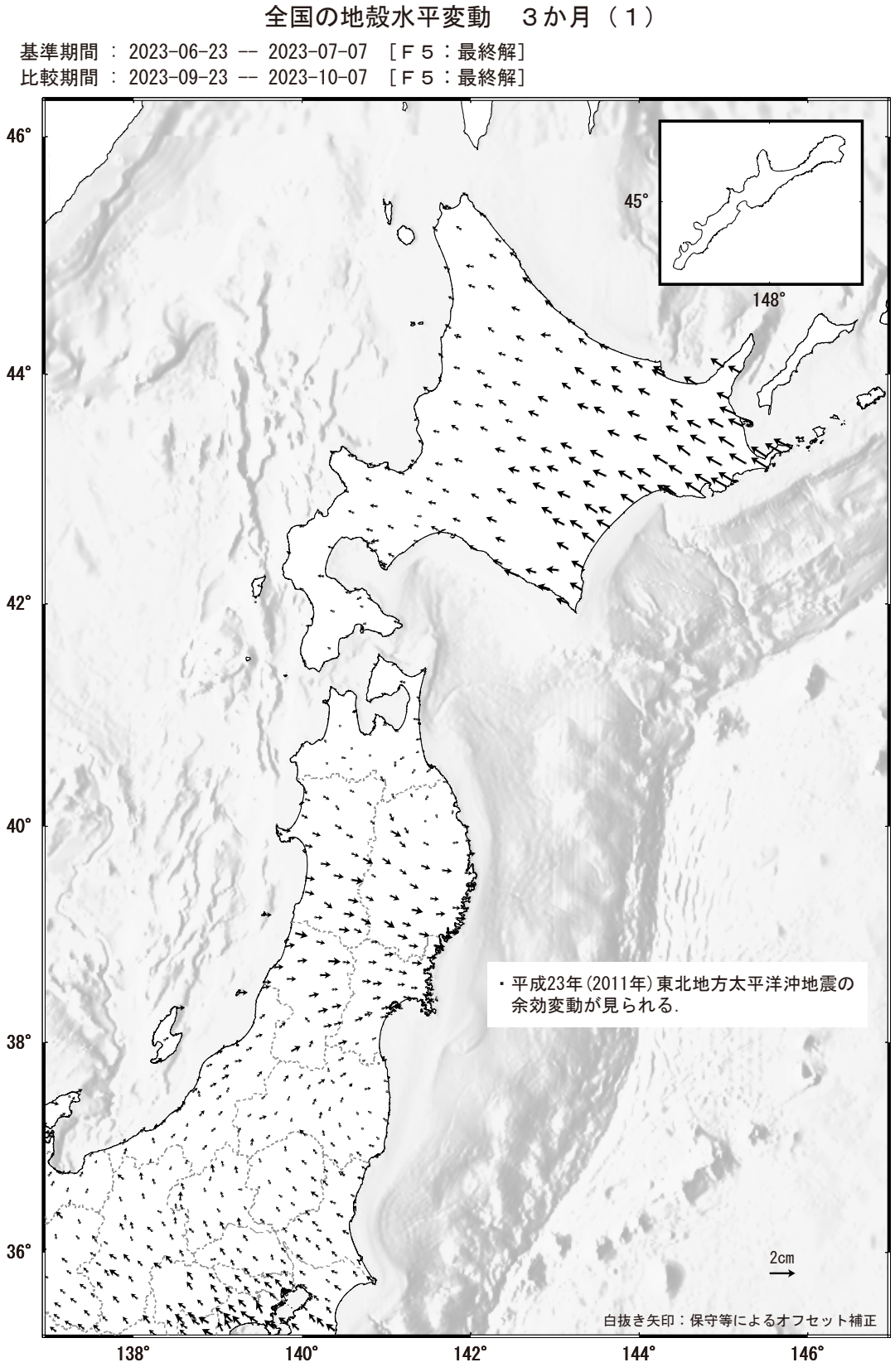
第 14 ～ 15 図は，東北地方から房総半島にかけての海域の験潮場のデータである．東北地方太平洋沖地震に伴う上下変動が大きいため，この海域における東北地方太平洋沖地震後の補正量の算出には，2014 年 12 月までは 2 点（銚子漁港，勝浦），2015 年 1 月から 2019 年 2 月においては 4 点（八戸港，鹿島港，銚子漁港，勝浦），2019 年 3 月以降は 3 点（八戸港，鹿島港，勝浦）のみを用いている．ただし，これらの観測点も数 cm 沈降したので，その影響による系統誤差が含まれる可能性がある．東北地方沿岸の験潮場で，東北地方太平洋沖地震に伴う大きな沈降と，その後の隆起が見られる．

第 16 ～ 17 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 18 ～ 19 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．

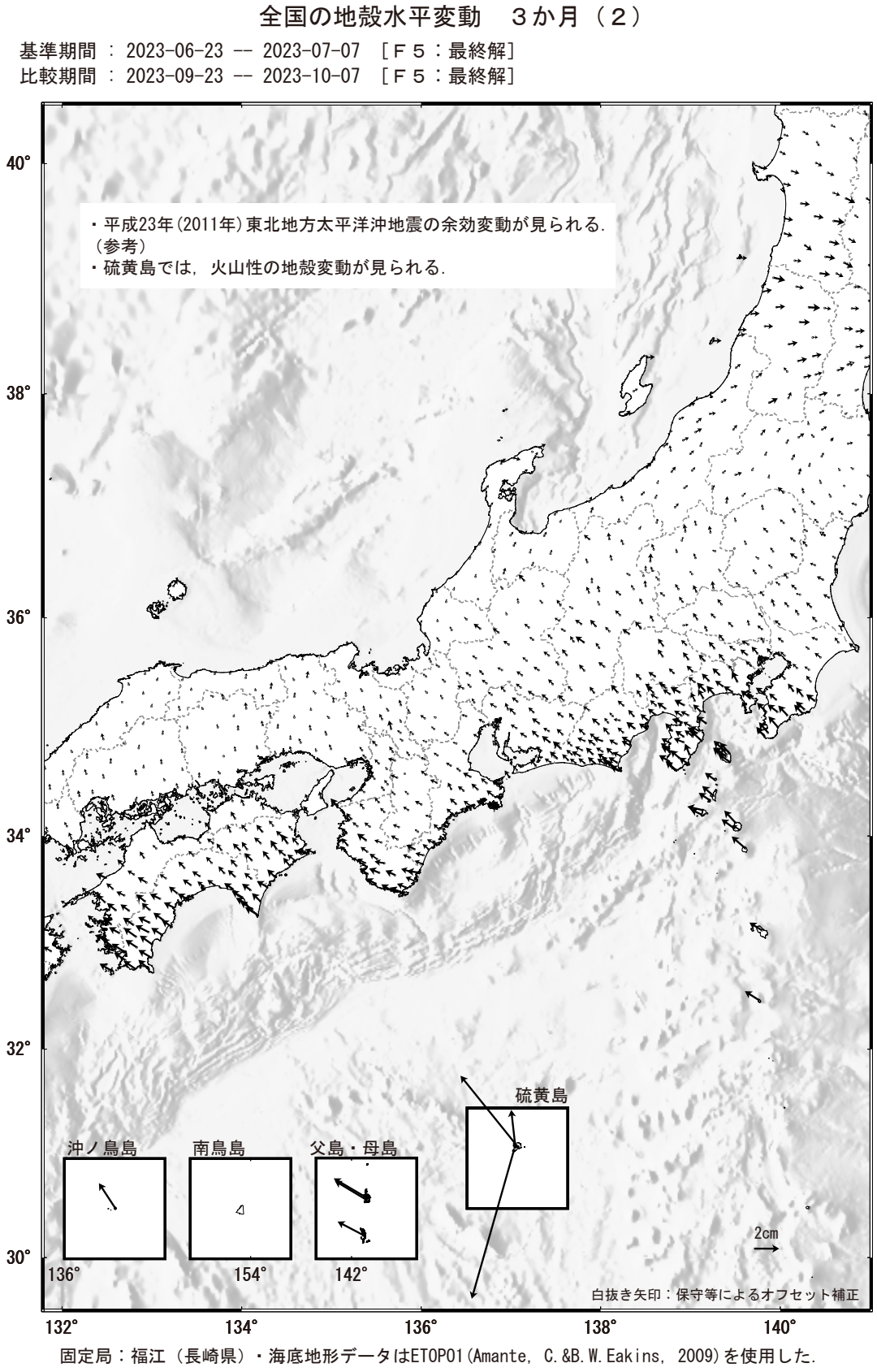
第 20 ～ 21 図は，中国・四国地方から九州地方にかけての験潮場のデータである．特段の傾向の変化は見られない．

第 22 ～ 23 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．



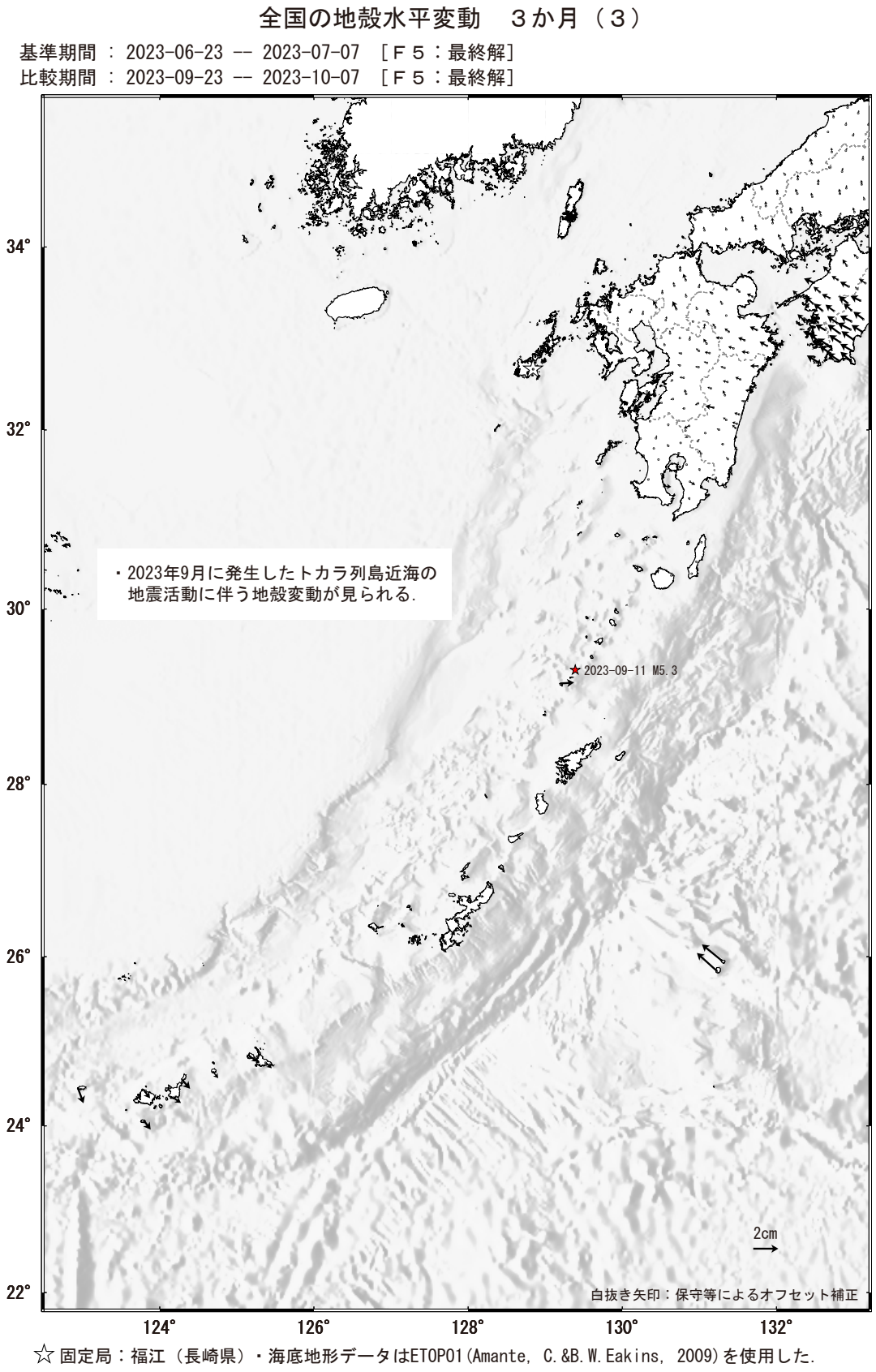
第 1 図　GNSS 連続観測から求めた 2023 年 7 月～ 2023 年 10 月の水平変動

Fig. 1　Horizontal displacements at GNSS sites during July 2023– October 2023. (☆ , Reference station is Fukue)



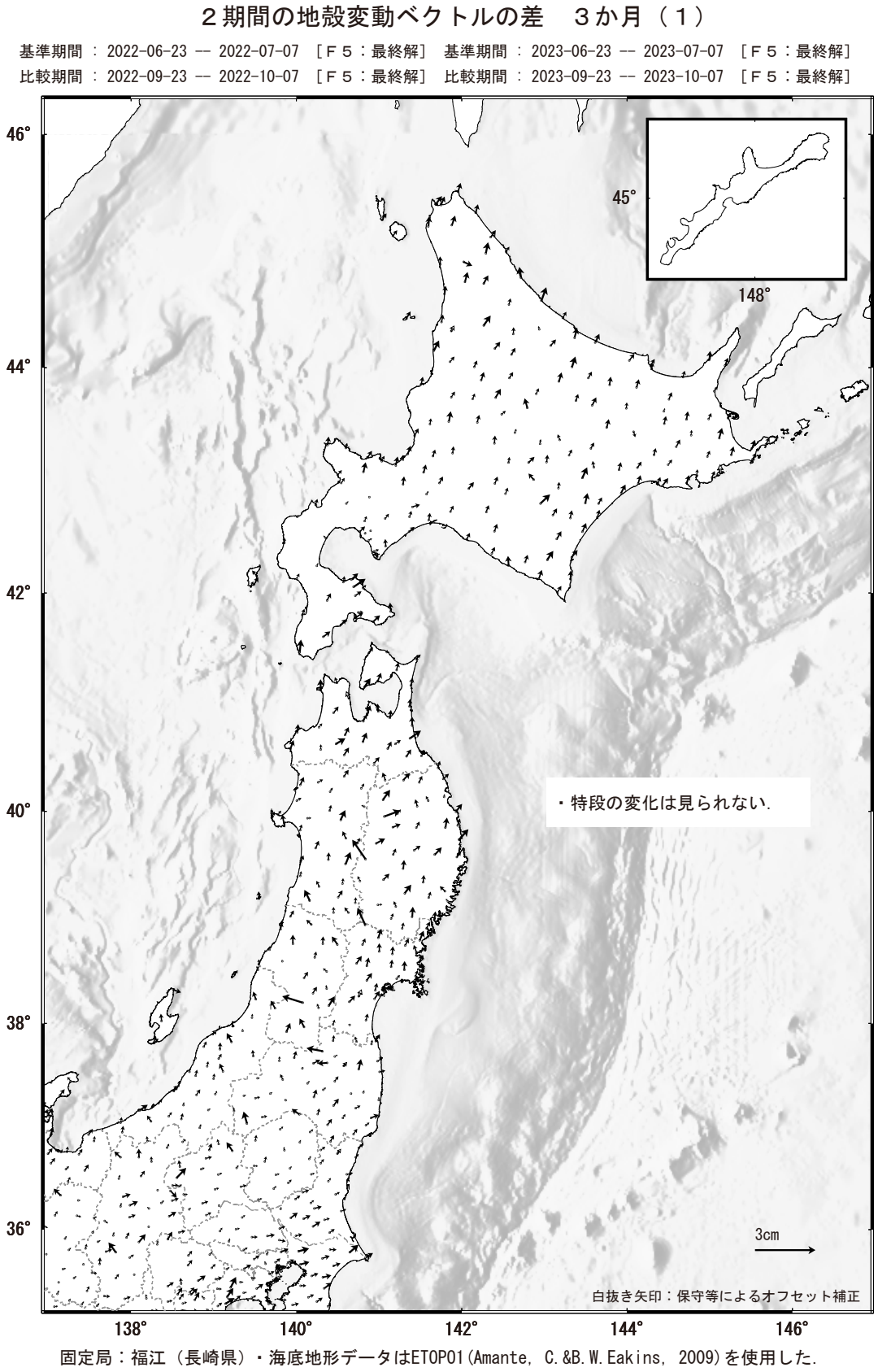
第 2 図　GNSS 連続観測から求めた 2023 年 7 月～ 2023 年 10 月の水平変動

Fig. 2　Horizontal displacements at GNSS sites during July 2023– October 2023. (☆ , Reference station is Fukue)



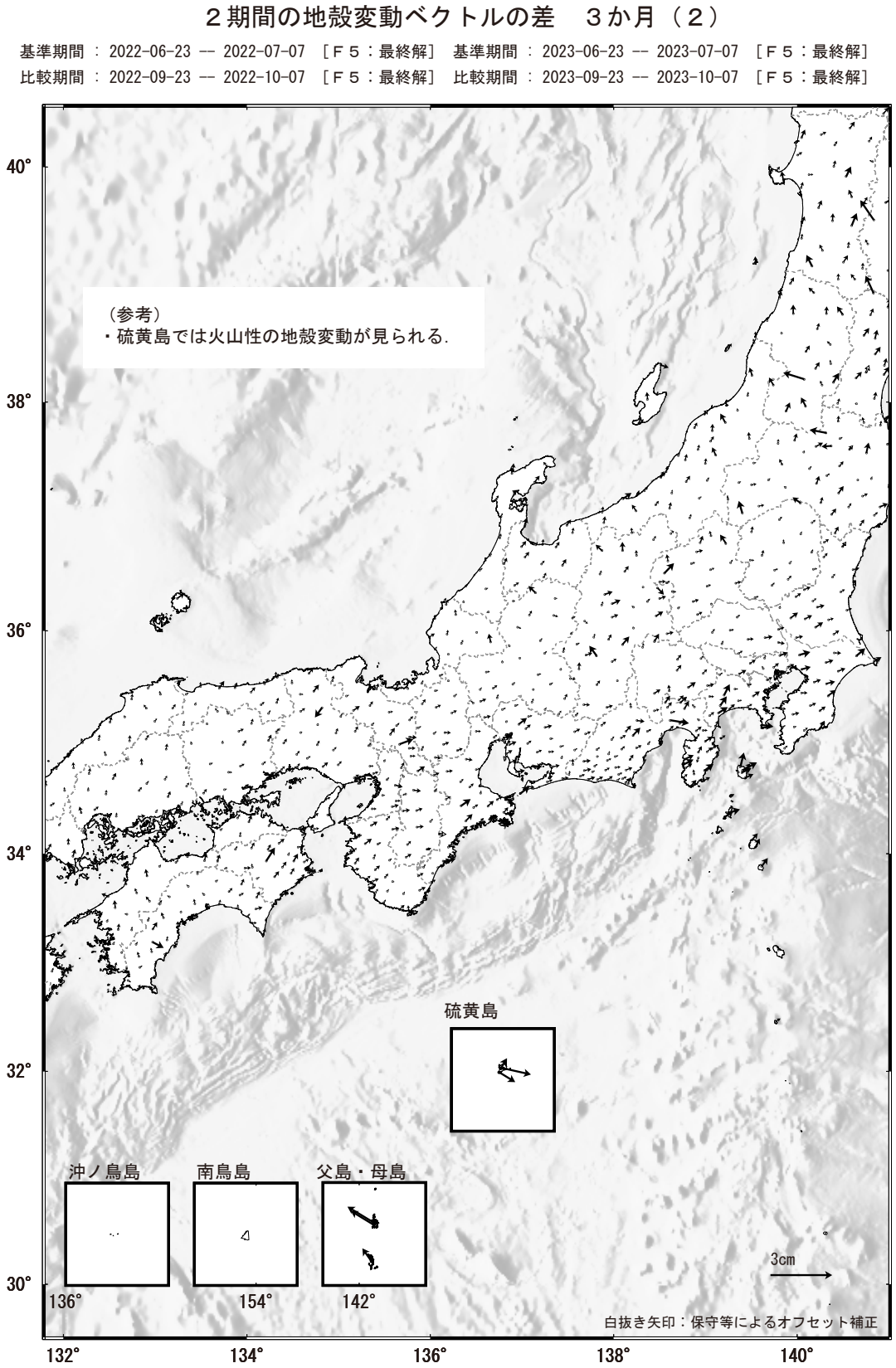
第 3 図　GNSS 連続観測から求めた 2023 年 7 月～ 2023 年 10 月の水平変動

Fig. 3　Horizontal displacements at GNSS sites during July 2023– October 2023. (☆ , Reference station is Fukue)



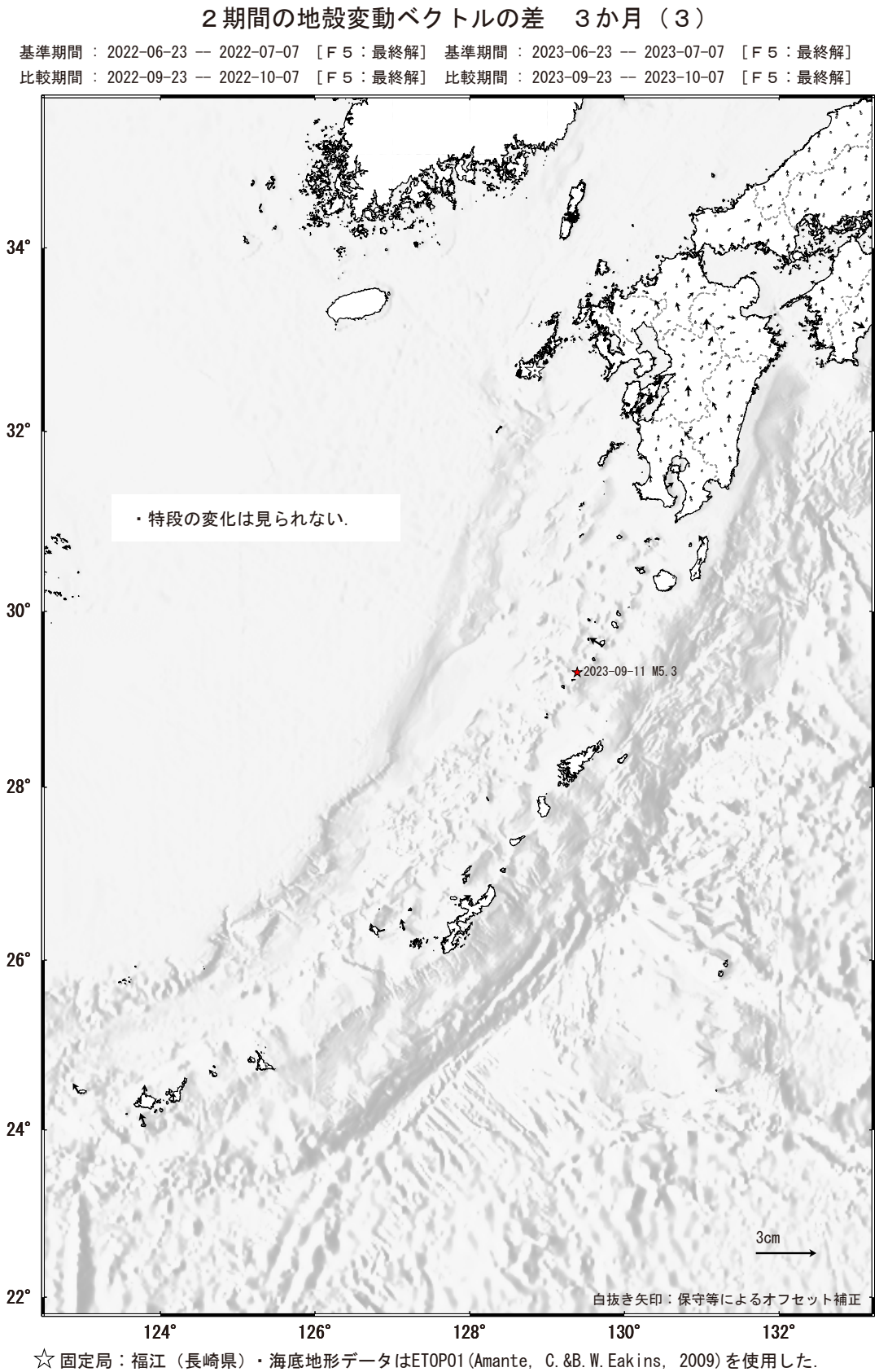
第 4 図　GNSS 水平変動の差（３か月間）

Fig. 4　Differences of horizontal displacements at GNSS sites between July 2022 – October 2022 and July 2023 – October 2023. (☆ , Reference station is Fukue)



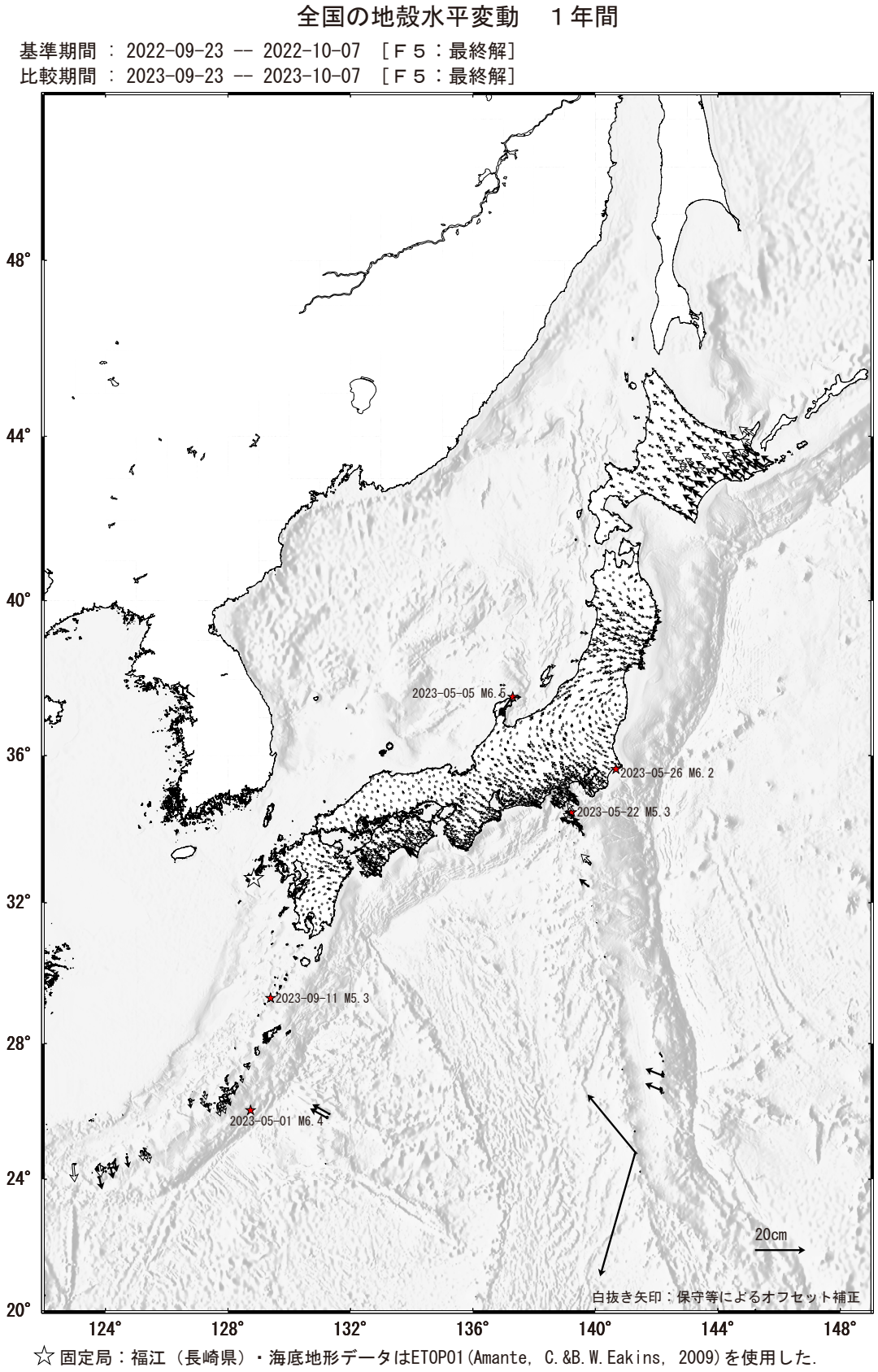
第 5 図　GNSS 水平変動の差（３か月間）

Fig. 5　Differences of horizontal displacements at GNSS sites between July 2022 – October 2022 and July 2023 – October 2023. (☆ , Reference station is Fukue)



第 6 図　GNSS 水平変動の差（３か月間）

Fig. 6　Differences of horizontal displacements at GNSS sites between July 2022 – October 2022 and July 2023 – October 2023. (☆ , Reference station is Fukue)



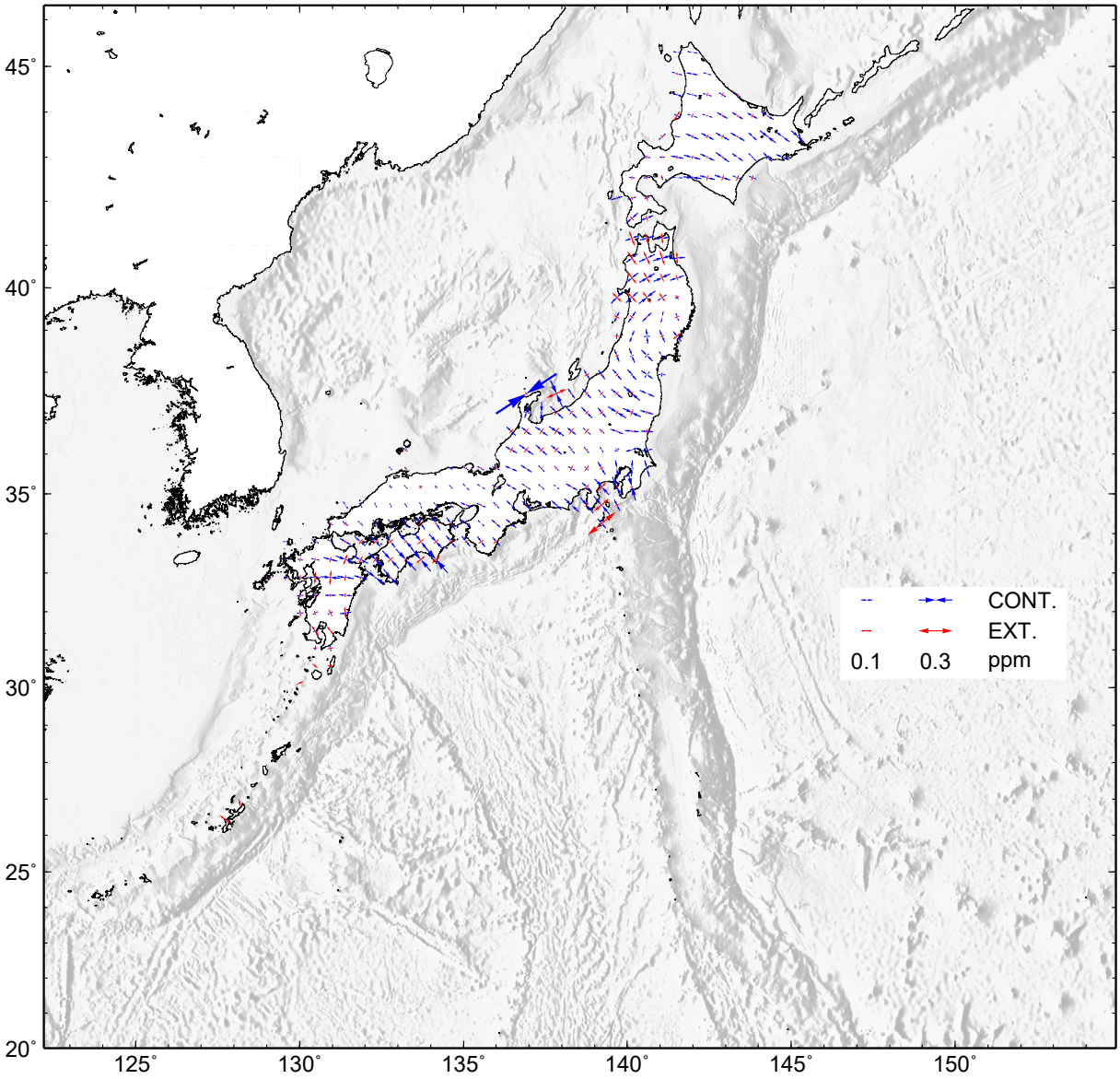
第 7 図　GNSS 連続観測から求めた 2022 年 10 月～ 2023 年 10 月の水平変動

Fig. 7　Horizontal displacements at GNSS sites during October 2022 – October 2023. (☆ , Reference station is Fukue)

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.
・石川県能登地方で 2023 年 5 月 5 日に発生した地震に伴う地殻変動の影響によるひずみが見られる.

基準期間：2022-09-23 / 2022-10-07 ［Ｆ５：最終解］
比較期間：2023-09-23 / 2023-10-07 ［Ｆ５：最終解］

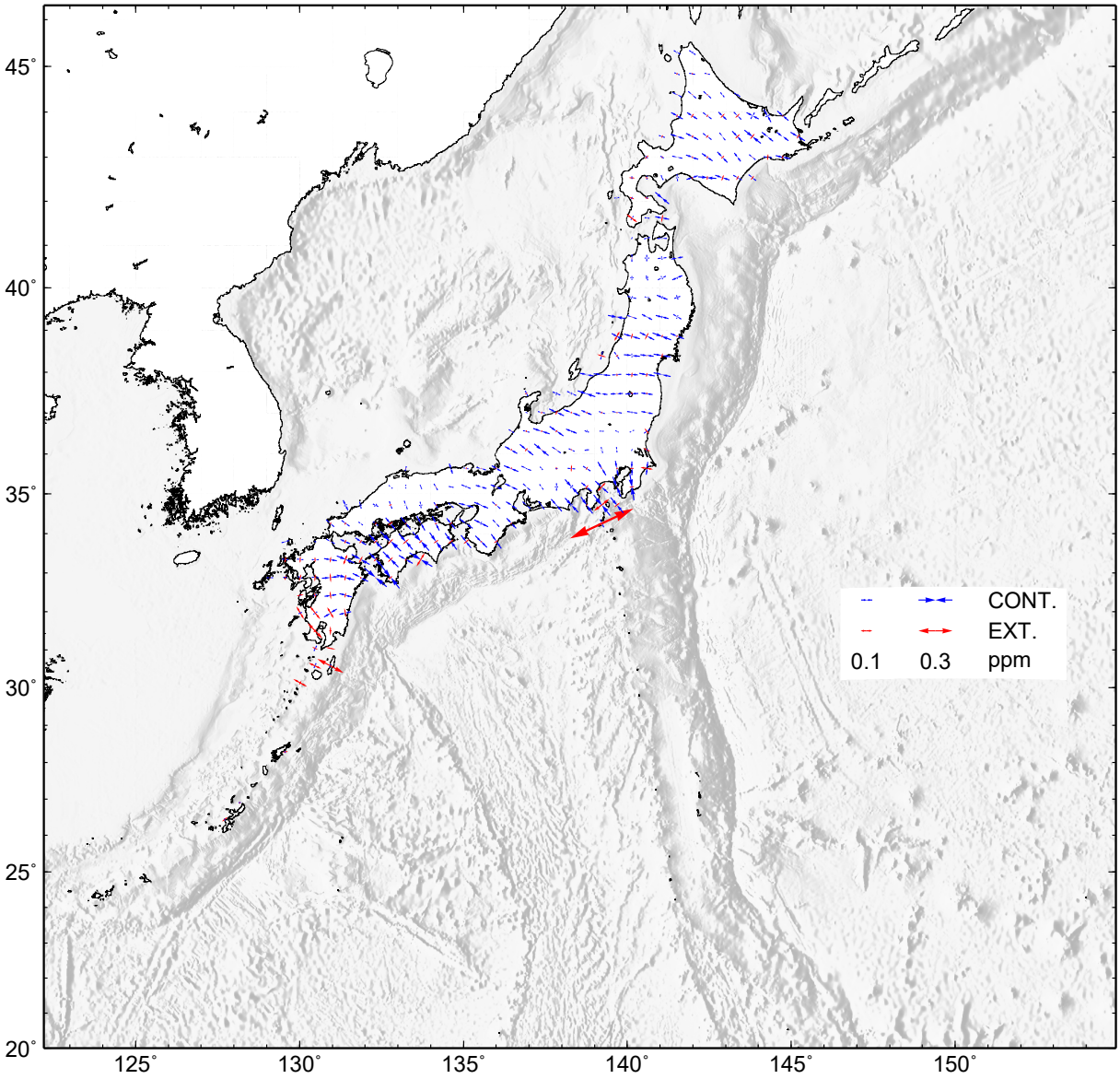


・GNSS 連続観測による変位ベクトルからひずみ変化図を作成した.
・海底地形データは ETOPO1（Amante, C.&B.W.Eakins, 2009）を使用した.

第 8 図　GNSS 連続観測データから推定した日本列島の水平歪（2022 年 10 月～ 2023 年 10 月）
Fig. 8　Horizontal strain in Japan derived from continuous GNSS measurements during October 2022– October 2023.

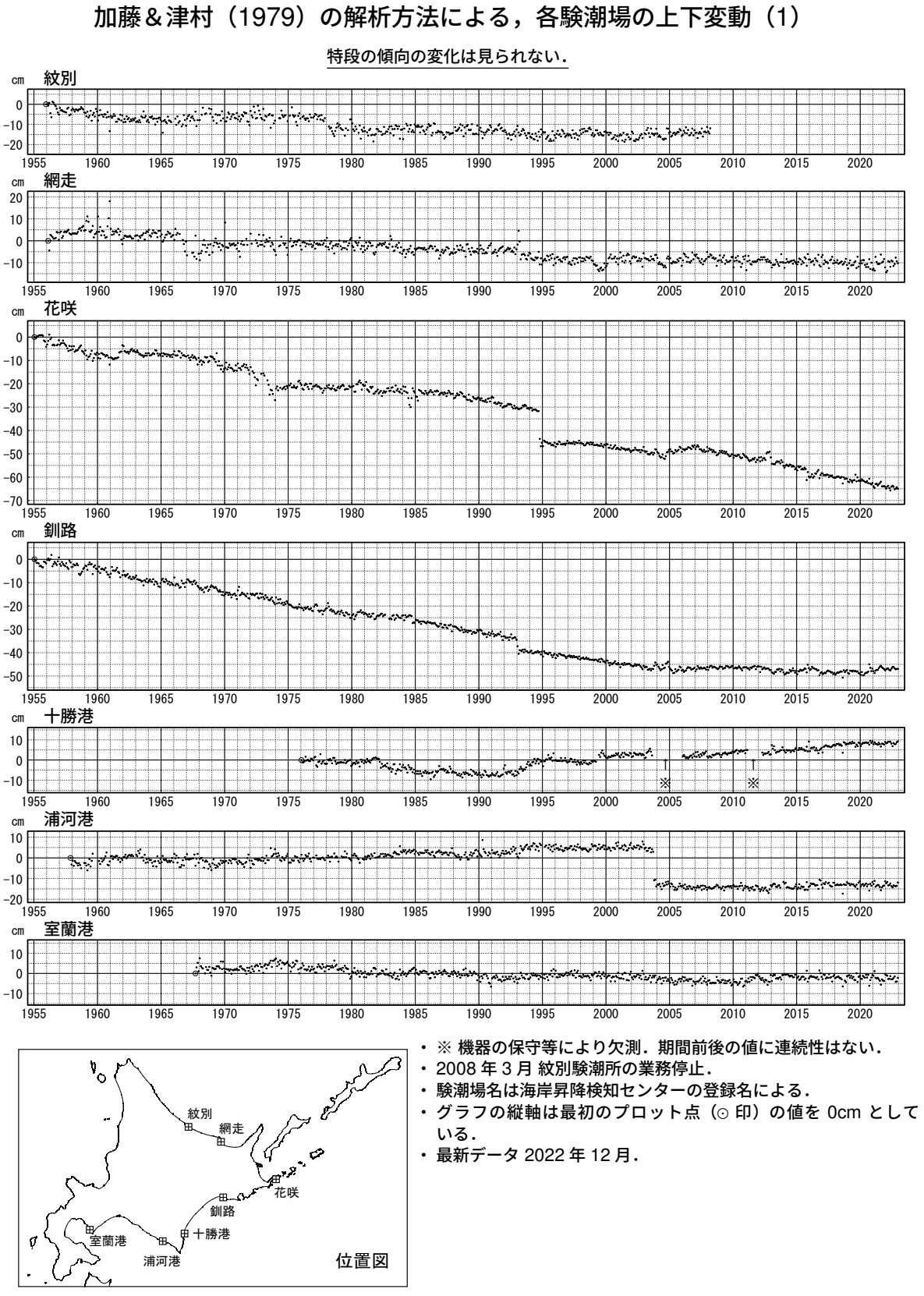
GNSS 連続観測から推定した日本列島のひずみ変化　定常時・比較用

基準期間：1998-09-23 / 1998-10-07 ［Ｆ５：最終解］
比較期間：1999-09-23 / 1999-10-07 ［Ｆ５：最終解］



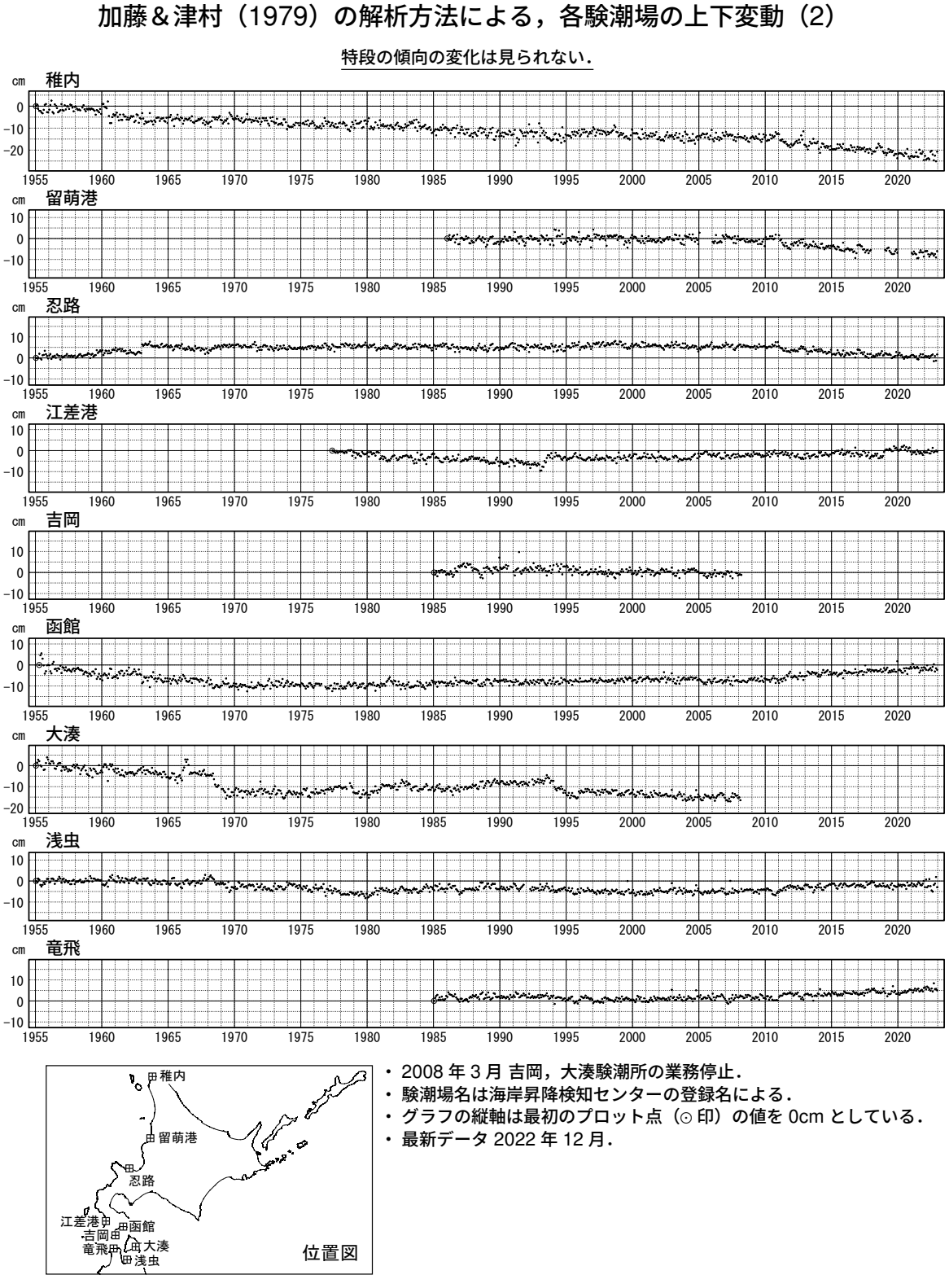
・ GNSS 連続観測による変位ベクトルからひずみ変化図を作成した.
・ 上図の期間は定常時の変動を示す（伊豆諸島周辺を除く）.
・ 海底地形データは ETOPO1（Amante, C.&B.W.Eakins, 2009）を使用した.

第 9 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. 9　Typical horizontal strain in Japan derived from continuous GNSS measurements.



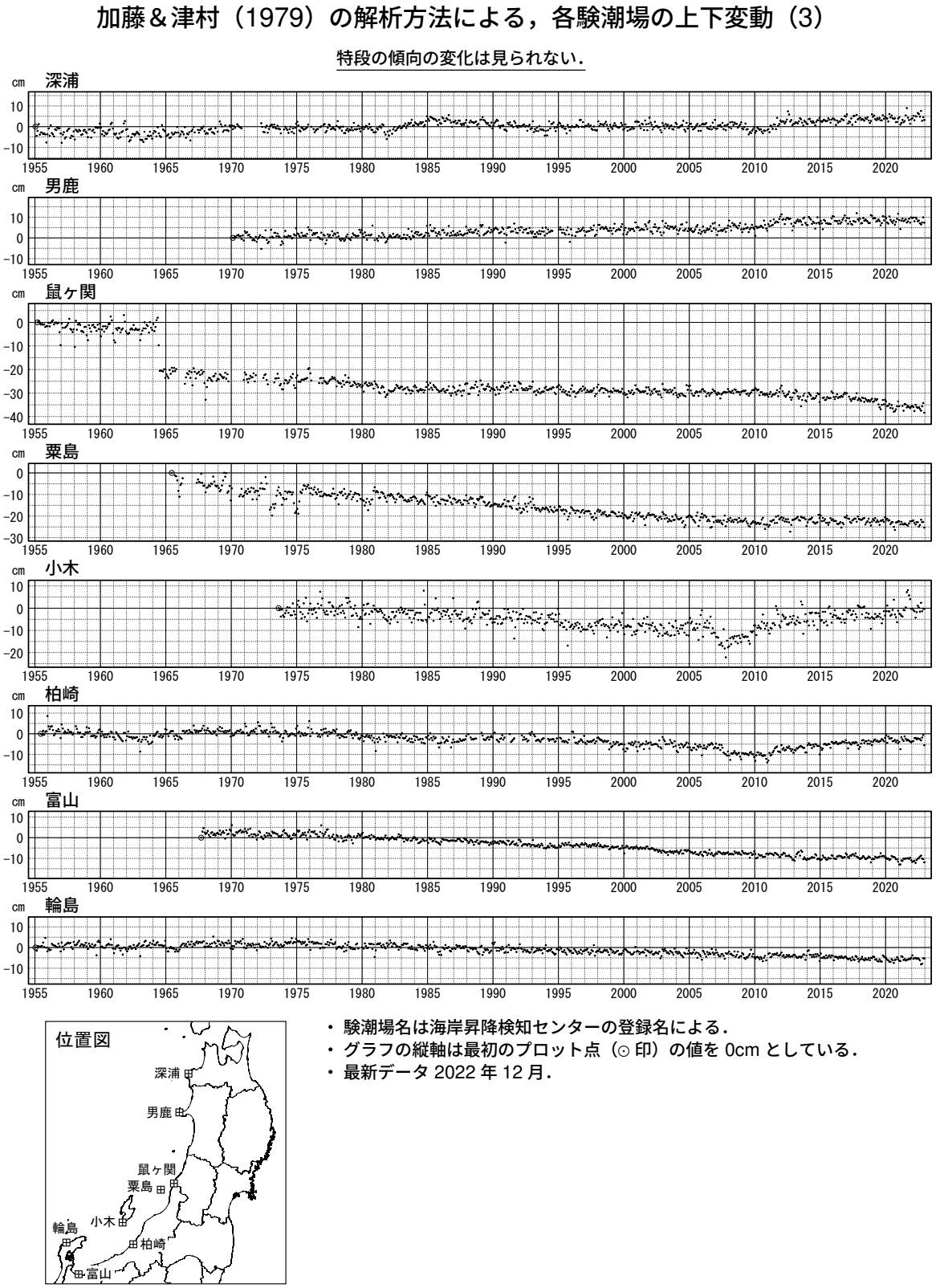
第 10 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動

Fig. 10　Vertical movements of the tide stations derived with the method by Kato and Tsumura (1979).



第 11 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動

Fig. 11　Vertical movements of the tide stations derived with the method by Kato and Tsumura (1979).

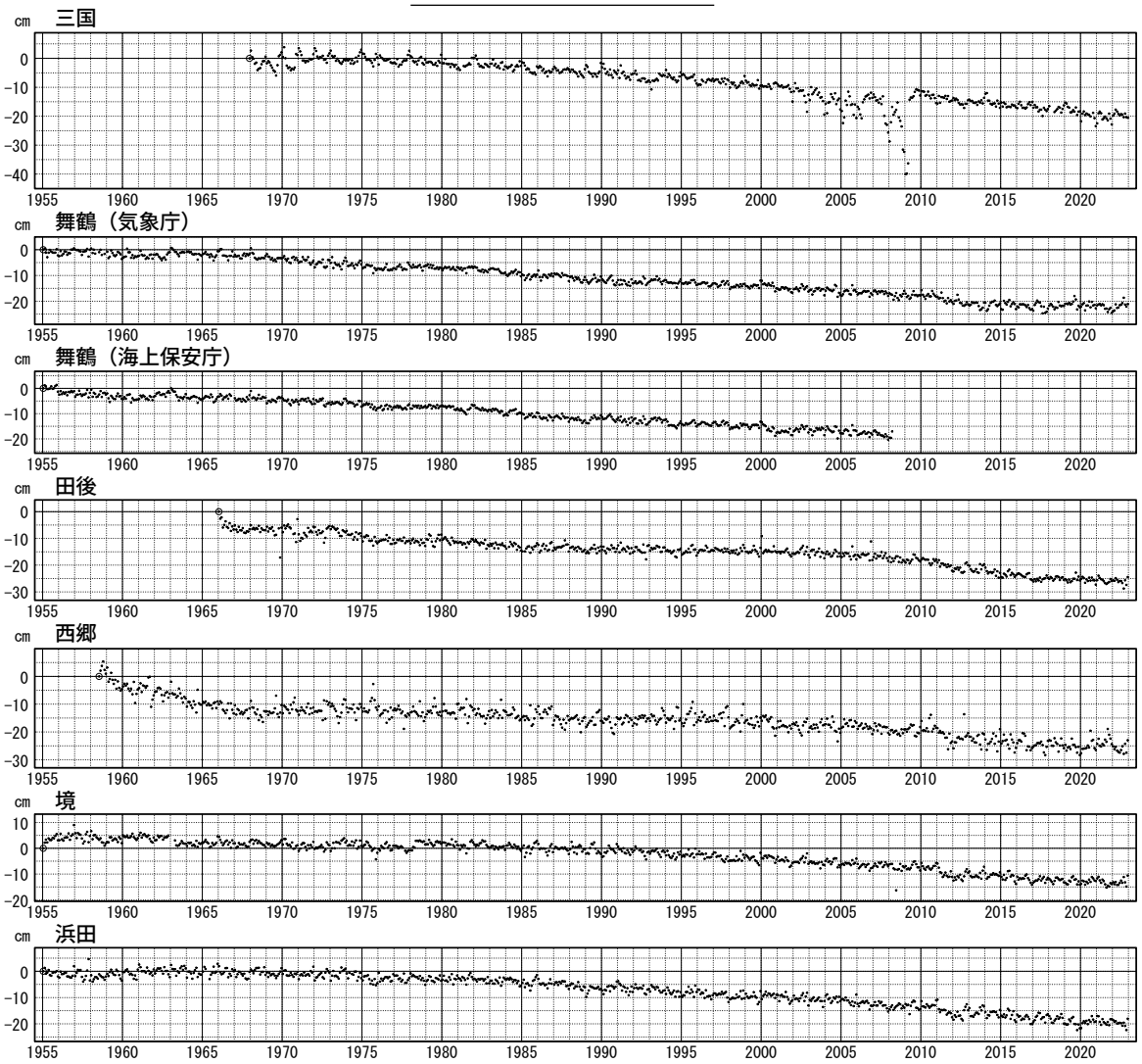


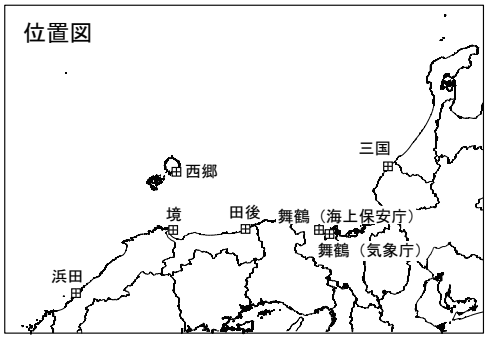
第 12 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動

Fig. 12　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．





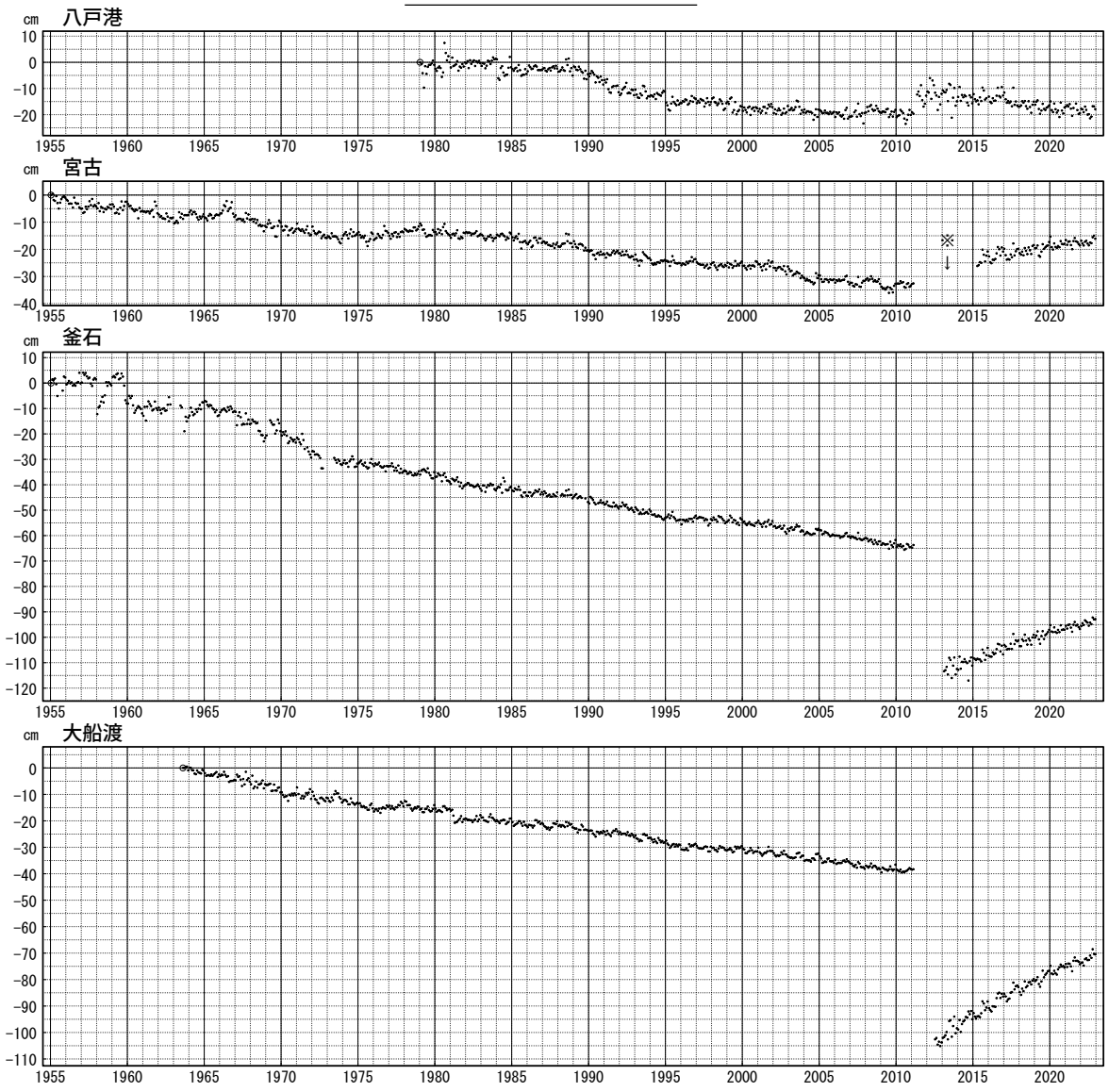
- 2008 年 3 月 舞鶴（海上保安庁）験潮所の業務停止．
- 2011 年 3 月以降の小さな変化は，同じ海域に属する北日本の観測点の隆起が解析において影響した見かけのものと考えられる．
- 験潮場名は海岸昇降検知センターの登録名による．
- グラフの縦軸は最初のプロット点（⊙ 印）の値を 0cm としている．
- 最新データ 2022 年 12 月．

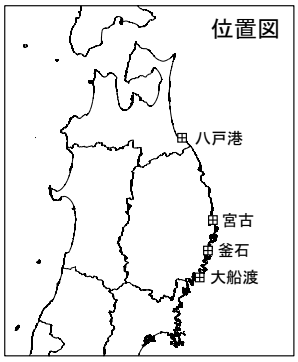
第 13 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動

Fig. 13　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（5）

特段の傾向の変化は見られない．

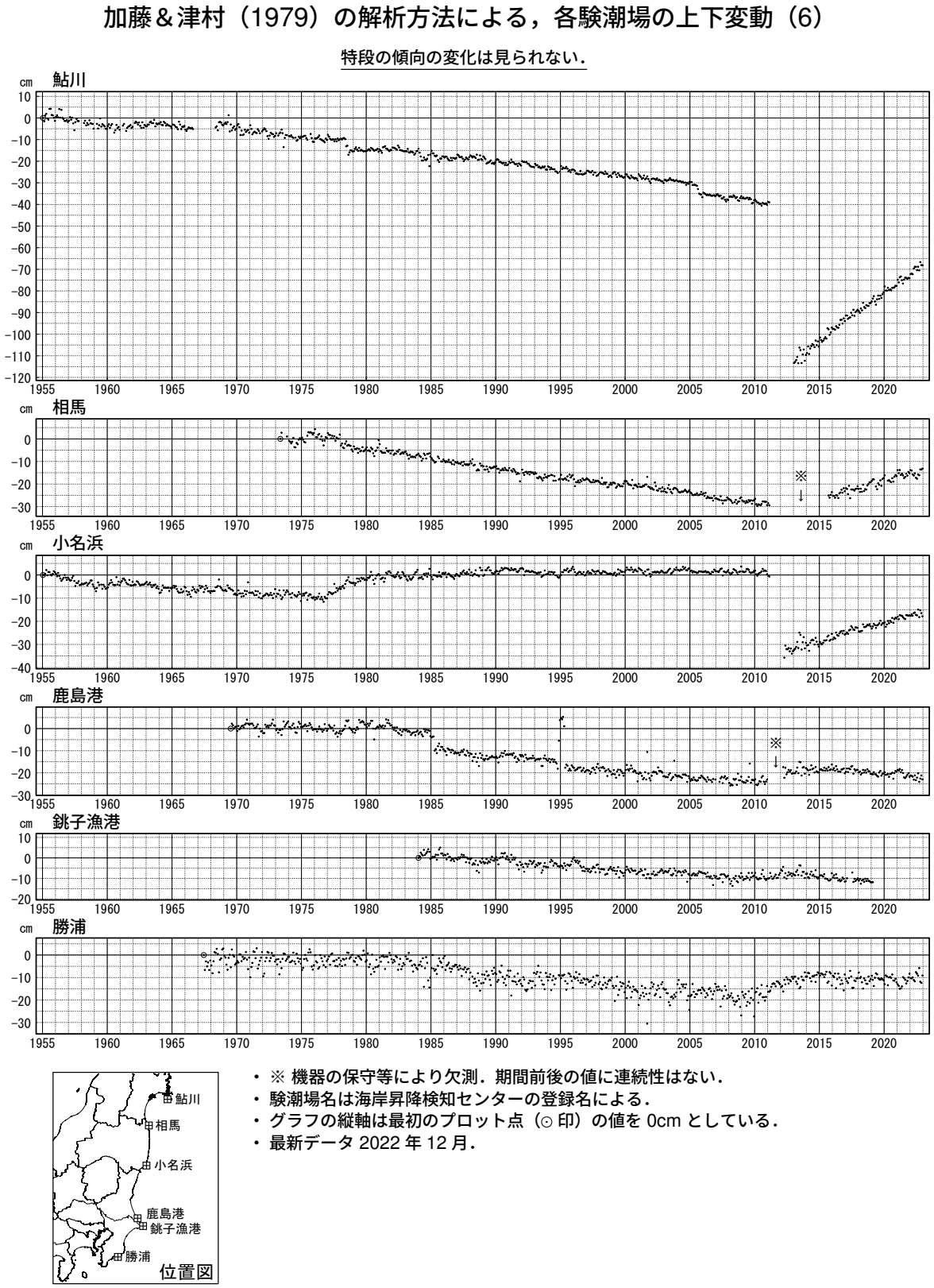




- 2011 年 3 月 八戸検潮所の業務停止のため八戸港検潮所に入れ替え．
- ※ 機器の保守等により欠測．期間前後の値に連続性はない．
- 験潮場名は海岸昇降検知センターの登録名による．
- グラフの縦軸は最初のプロット点（⊙ 印）の値を 0cm としている．
- 最新データ 2022 年 12 月．

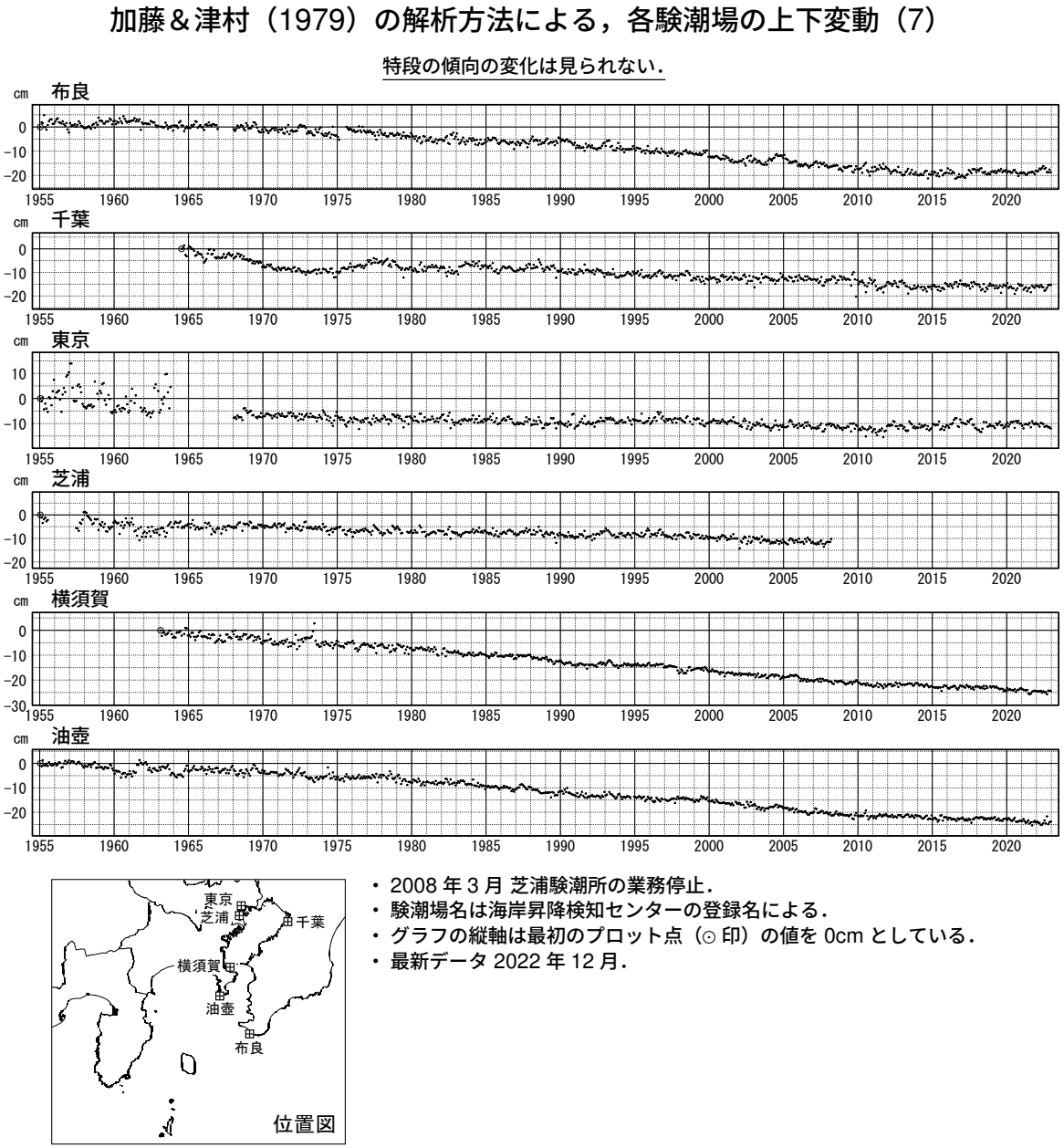
第 14 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動

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



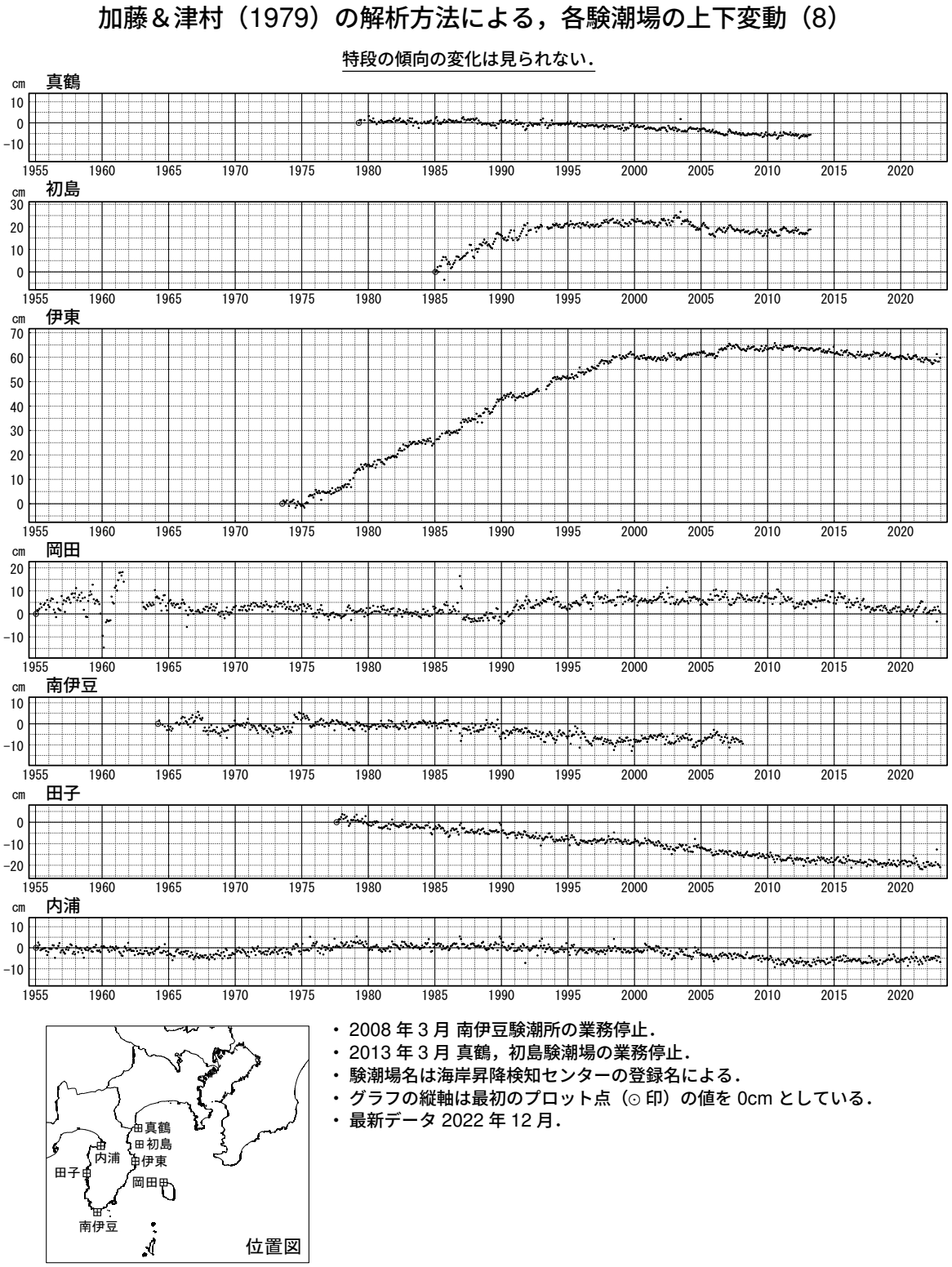
第 15 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動

Fig. 15　Vertical movements of the tide stations derived with the method by Kato and Tsumura (1979).



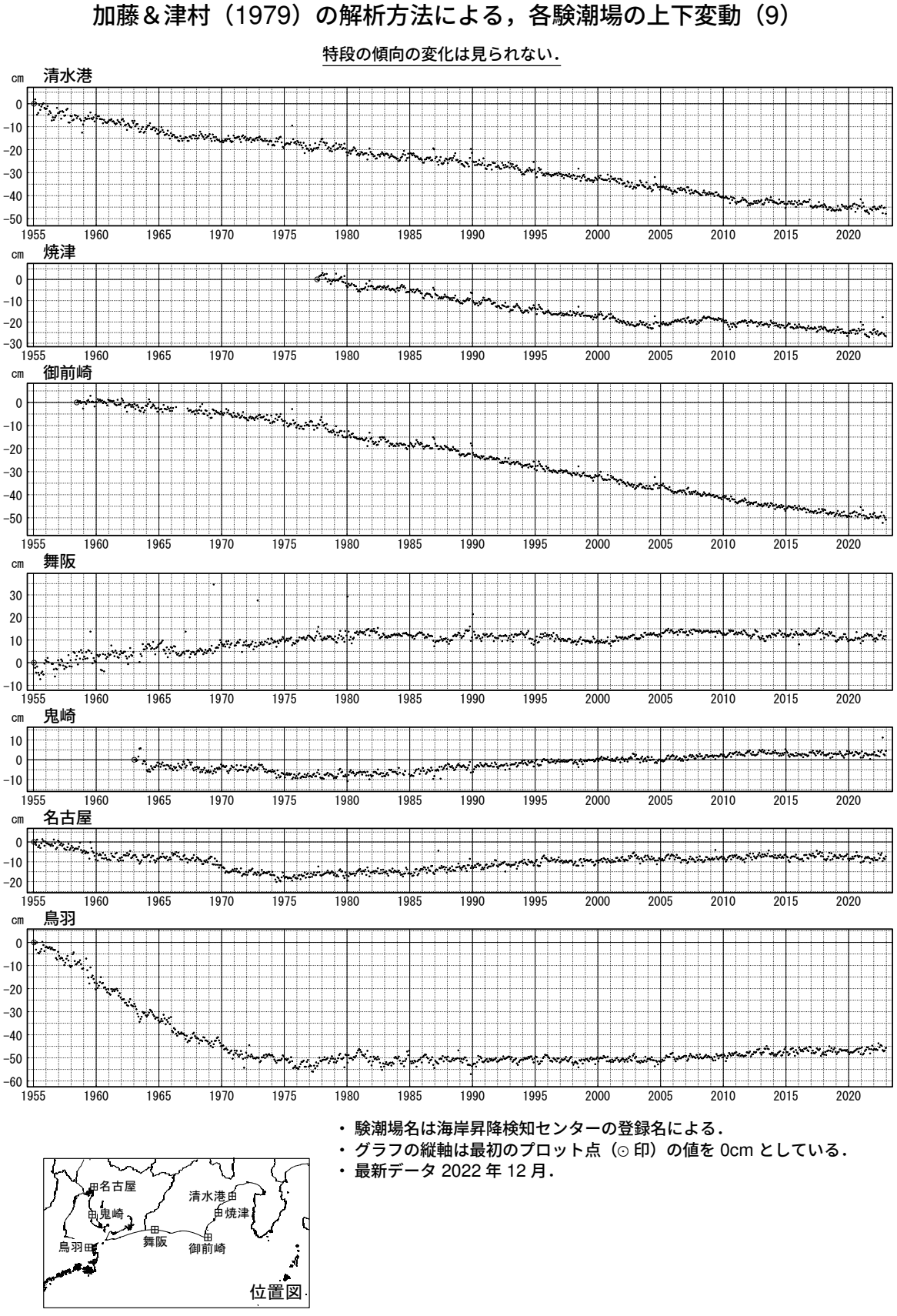
第 16 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動

Fig. 16　Vertical movements of the tide stations derived with the method by Kato and Tsumura (1979).



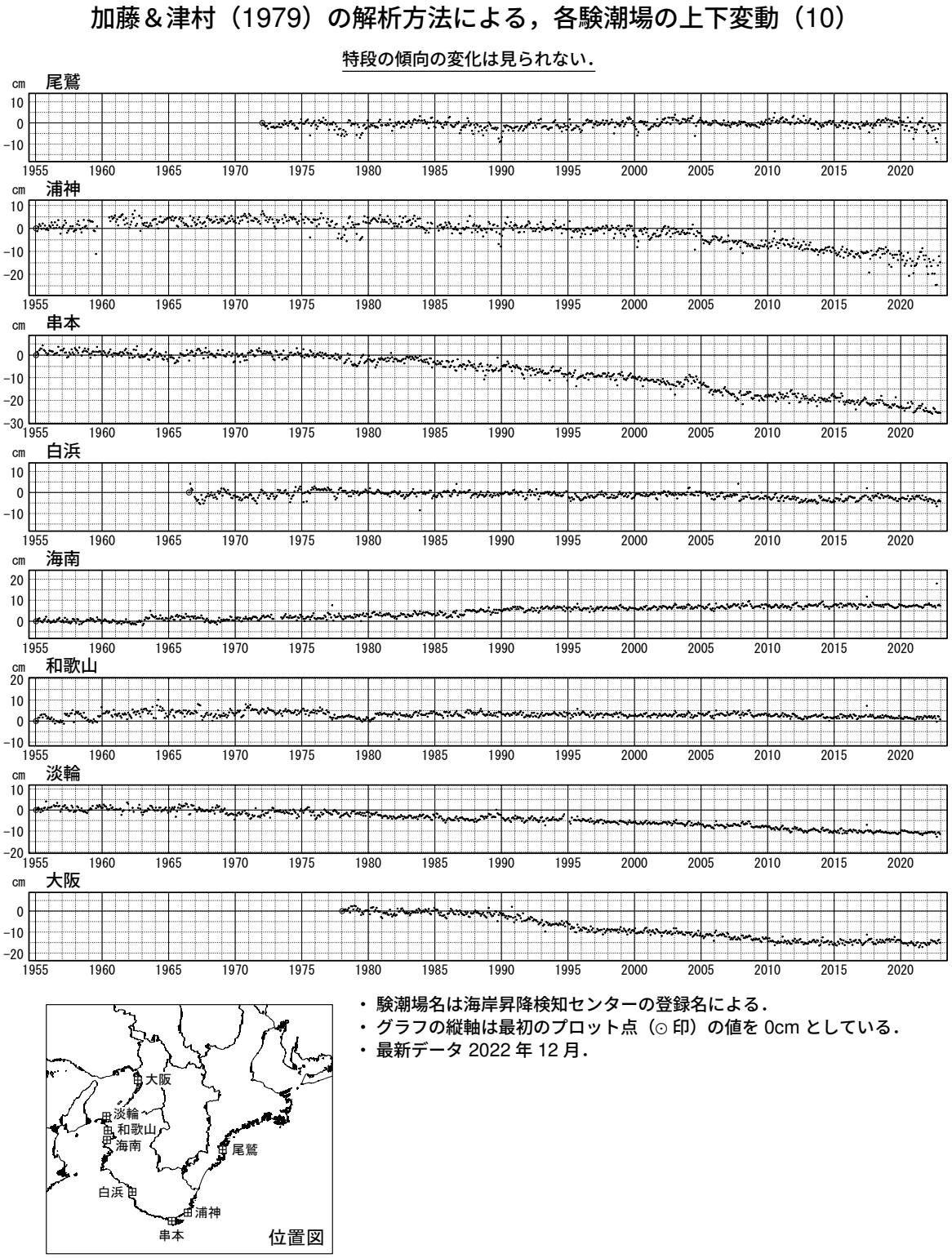
第 17 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動

Fig. 17　Vertical movements of the tide stations derived with the method by Kato and Tsumura (1979).



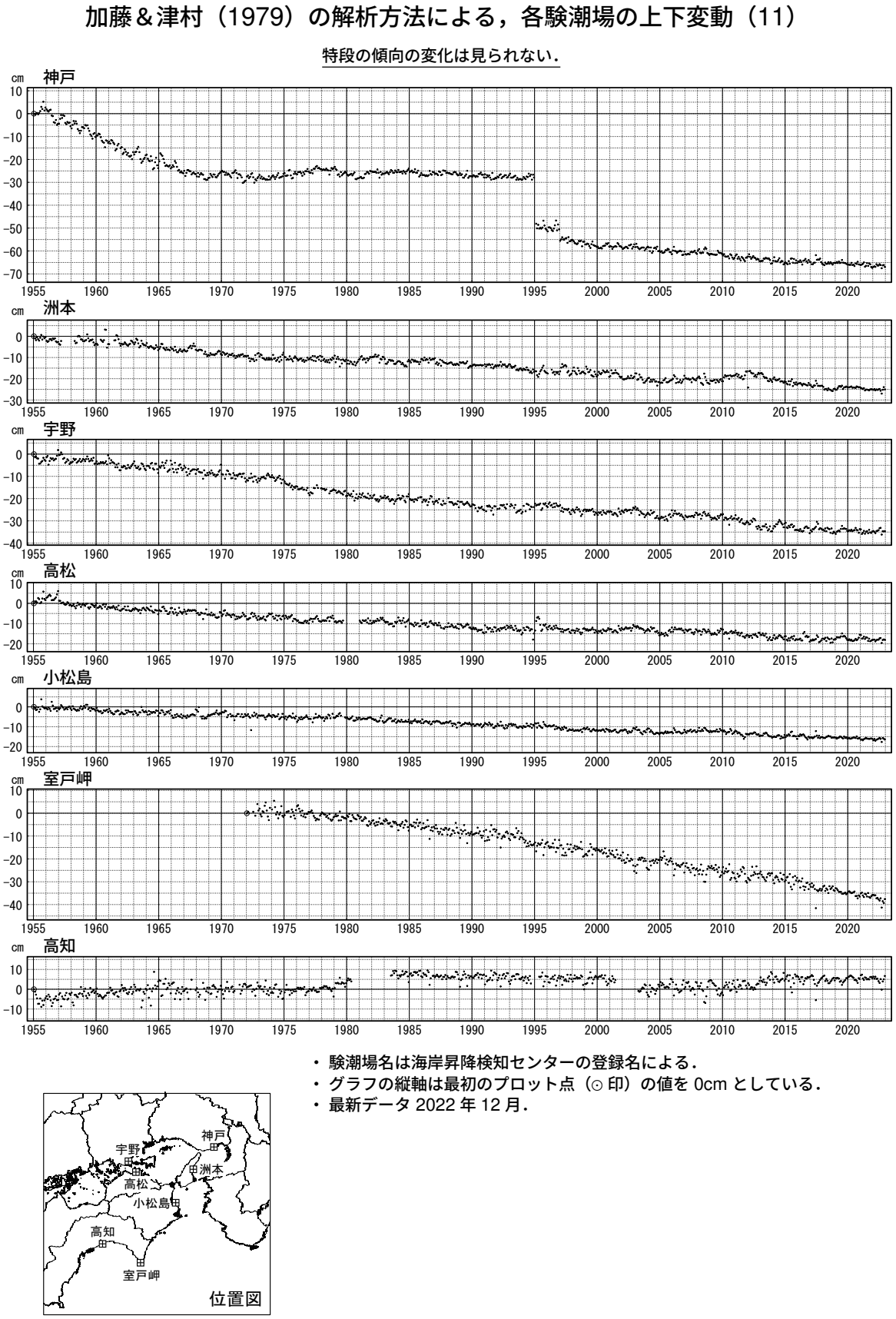
第 18 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動

Fig. 18　Vertical movements of the tide stations derived with the method by Kato and Tsumura (1979).



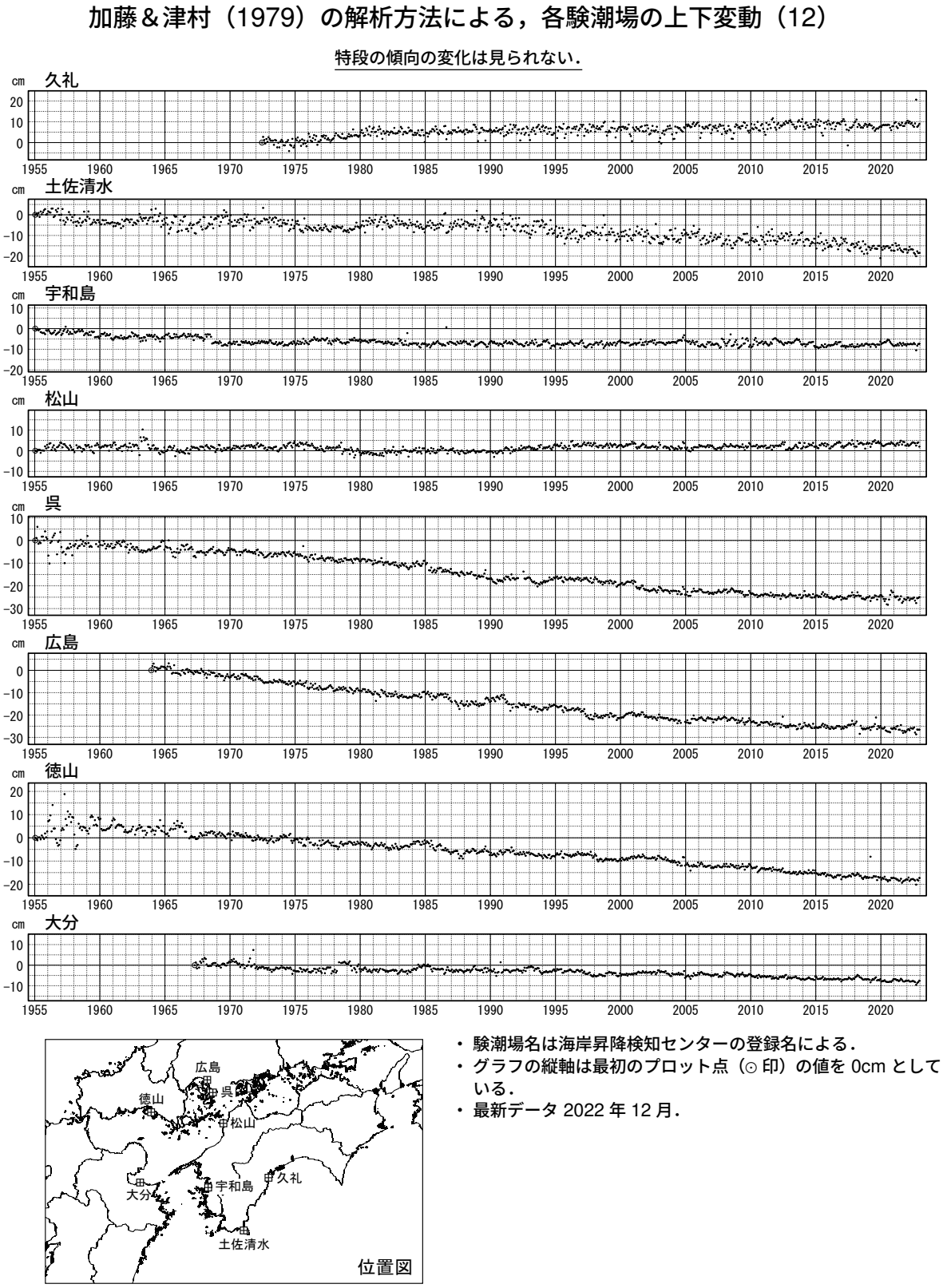
第 19 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動

Fig. 19　Vertical movements of the tide stations derived with the method by Kato and Tsumura (1979).



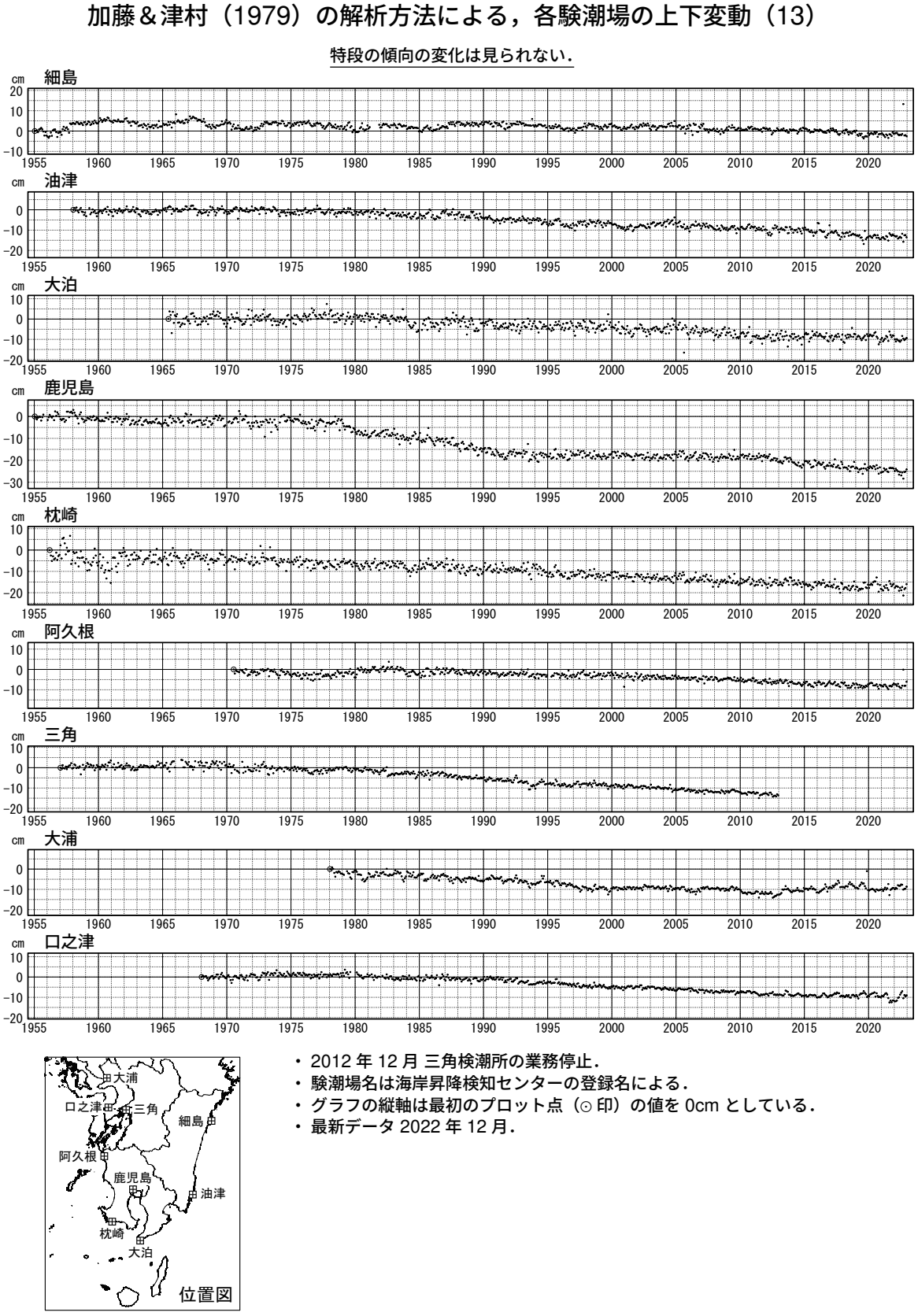
第 20 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動

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).

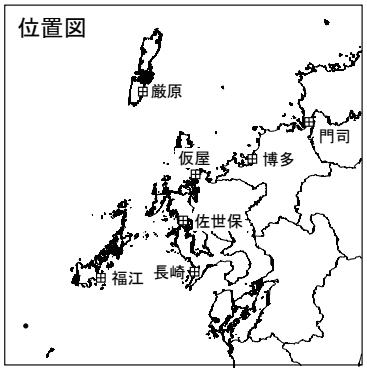


第 22 図　加藤・津村 (1979) の方法による験潮場の上下変動

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（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．
- ※ 機器の保守等により欠測．
- 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 2022 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).

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（N68W）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 F5 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 ～ 2003 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 年に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．四国中部に位置する地点 U に，2019 年頃から四国中部の長期的スロースリップに伴う小さな変化が見られる．

⑧八重山諸島

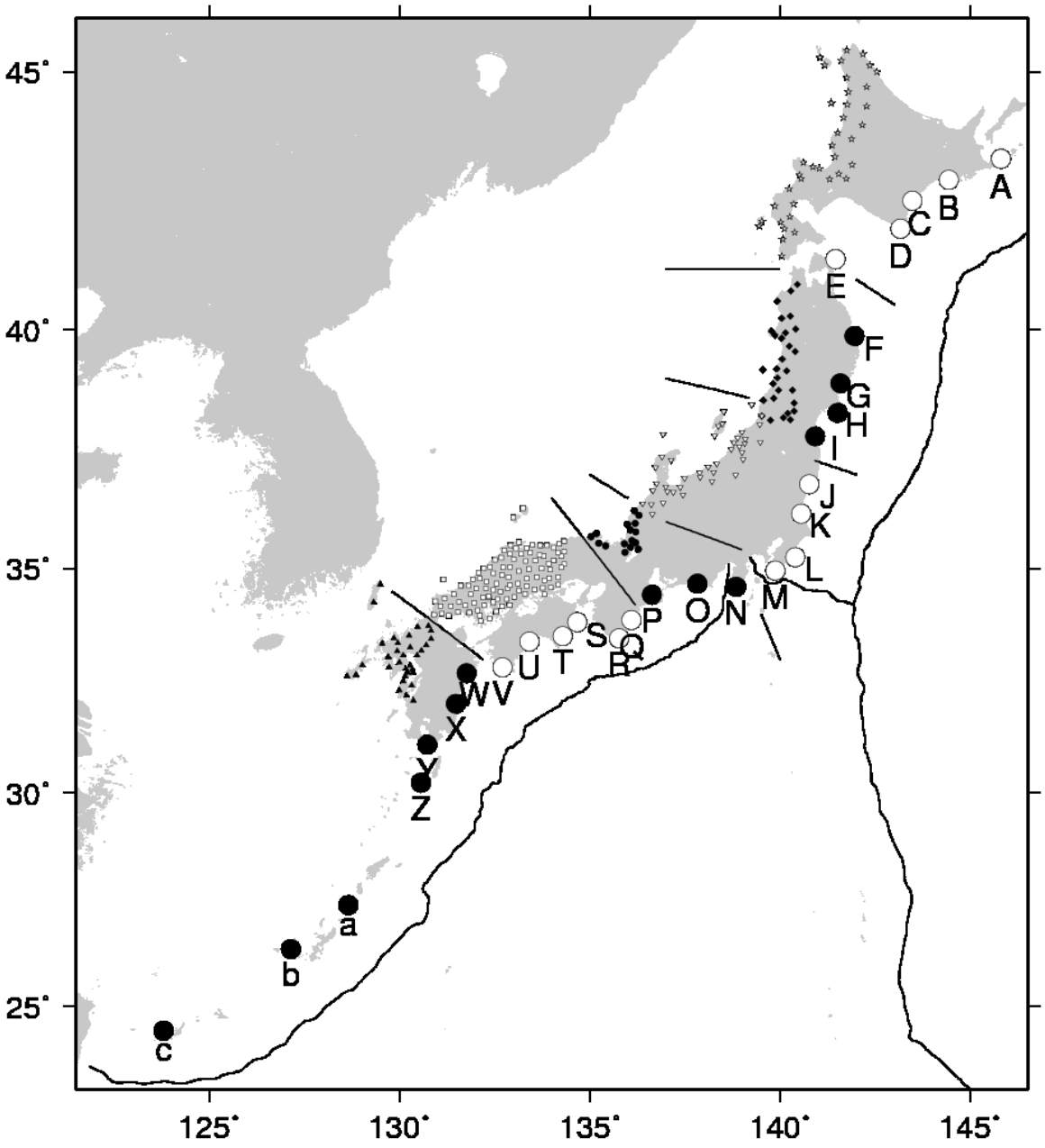
八重山諸島に位置する第 2b 図の地点 c に，約半年周期のスロースリップに伴う変化が見られる．

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．

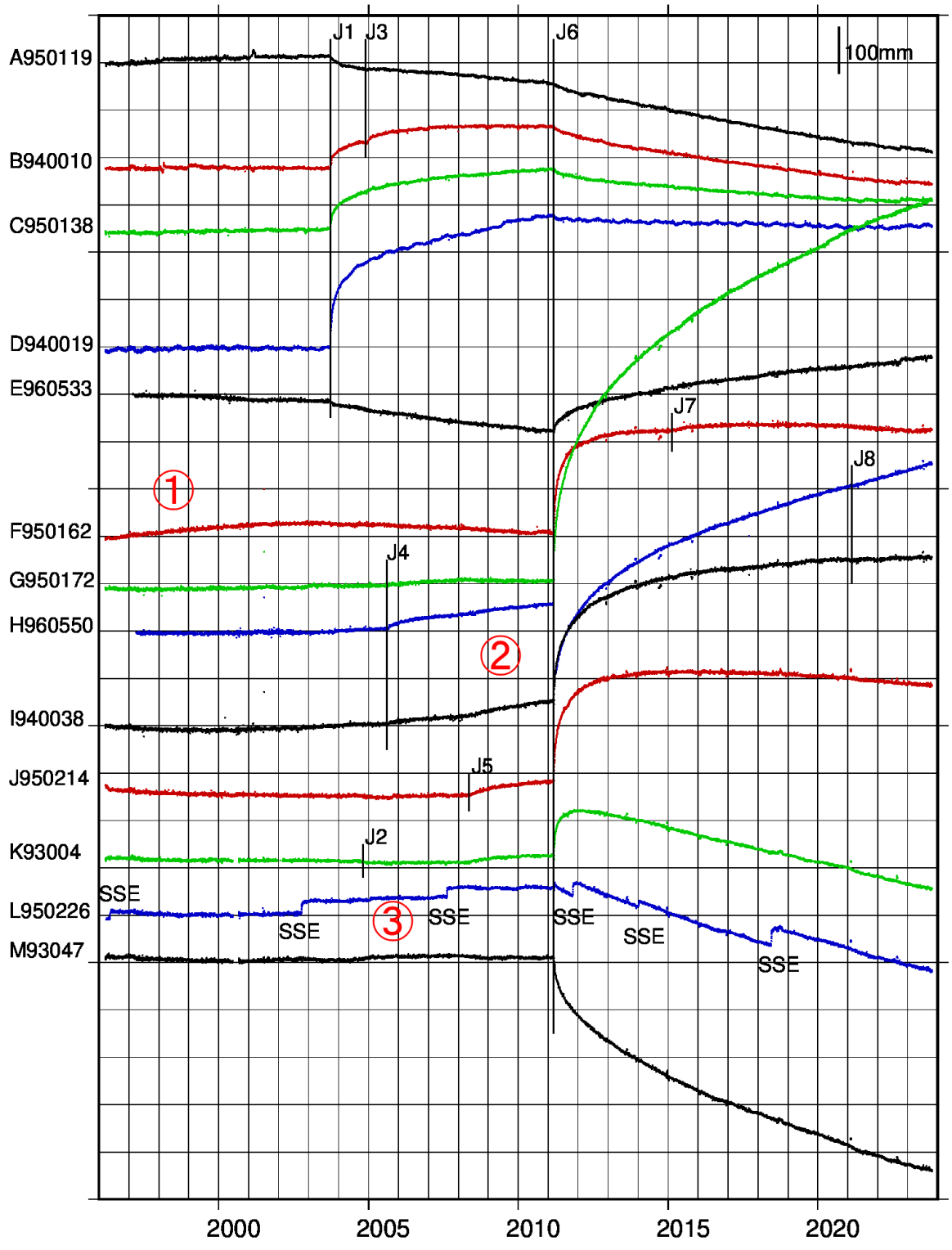
参考文献

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



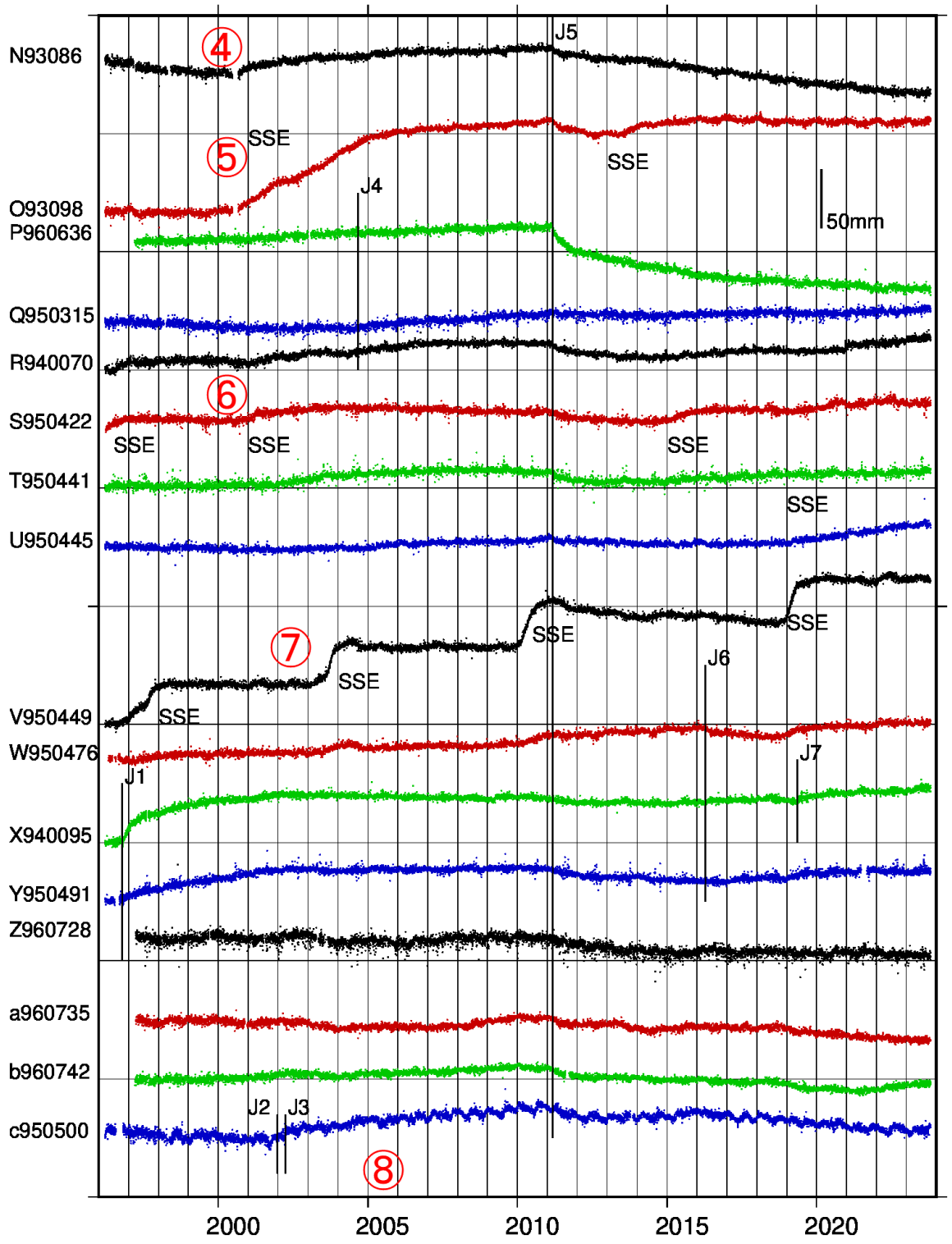
第 1 図　調査対象観測点（A-Z, a-c）と領域固定に用いた観測点
日本海側の記号（☆など）は，直線で区分けされた領域の領域固定に使用した観測点.

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 2023 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), J8:2021 年 2 月 13 日福島県沖の地震 (M7.3).

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 2023 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（2023 年 5 月～ 10 月）
Seismic Activity in and around the Hokkaido District (May – October 2023)

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 92 回，M5.0 以上は 20 回，M6.0 以上は 3 回発生した．このうち最大規模は，2023 年 6 月 11 日に苫小牧沖，2023 年 8 月 11 日に青森県東方沖，2023 年 9 月 29 日に択捉島南東沖で発生した M6.2 の地震であった．

2023 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）日高地方東部の地震（M5.5，最大震度 4，第 2 図）

2023 年 5 月 11 日 18 時 52 分に日高地方東部の深さ 55km で M5.5 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震の発震機構（CMT 解）は北北西－南南東方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型である．

（2）浦河沖の地震（M5.1，最大震度 3，第 3 図）

2023 年 6 月 3 日 19 時 35 分に浦河沖の深さ 65km で M5.1 の地震（最大震度 3）が発生した．この地震の発震機構は北西－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．

（3）苫小牧沖の地震（M6.2，最大震度 5 弱，第 4 図）

2023 年 6 月 11 日 18 時 54 分に苫小牧沖の深さ 136km で M6.2 の地震（最大震度 5 弱）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．発震機構は太平洋プレートの傾斜方向に張力軸を持つ型である．

（4）十勝地方南部の地震（M5.0，最大震度 3，第 5 図 (a)，(b)）

2023 年 6 月 19 日 13 時 50 分に十勝地方南部の深さ 59km で M5.0 の地震（最大震度 3）が発生した．この地震の発震機構は北西－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．

（5）十勝地方中部の地震（M4.5，最大震度 3，第 6 図 (a)，(b)）

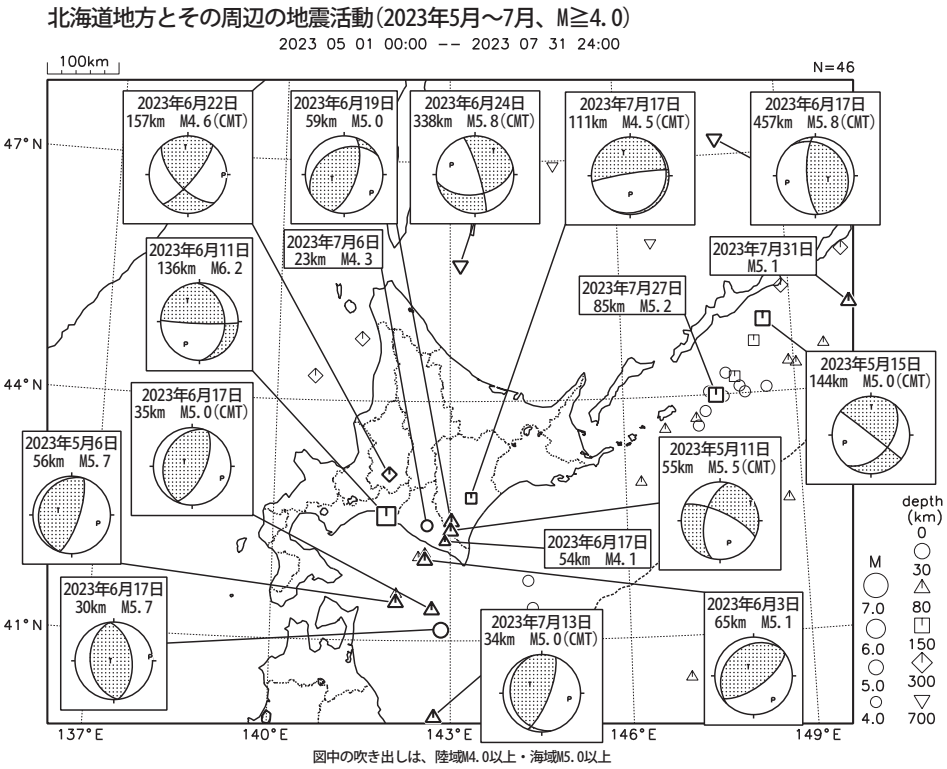
2023 年 7 月 17 日 09 時 37 分に十勝地方中部の深さ 111km で M4.5 の地震（最大震度 3）が発生した．この地震は太平洋プレート内部（二重地震面の下面）で発生した。発震機構（CMT 解）は太平洋プレートの傾斜方向に張力軸を持つ型である．

（6）十勝地方南部の地震（M5.1，最大震度 3，第 7 図 (a)，(b)）

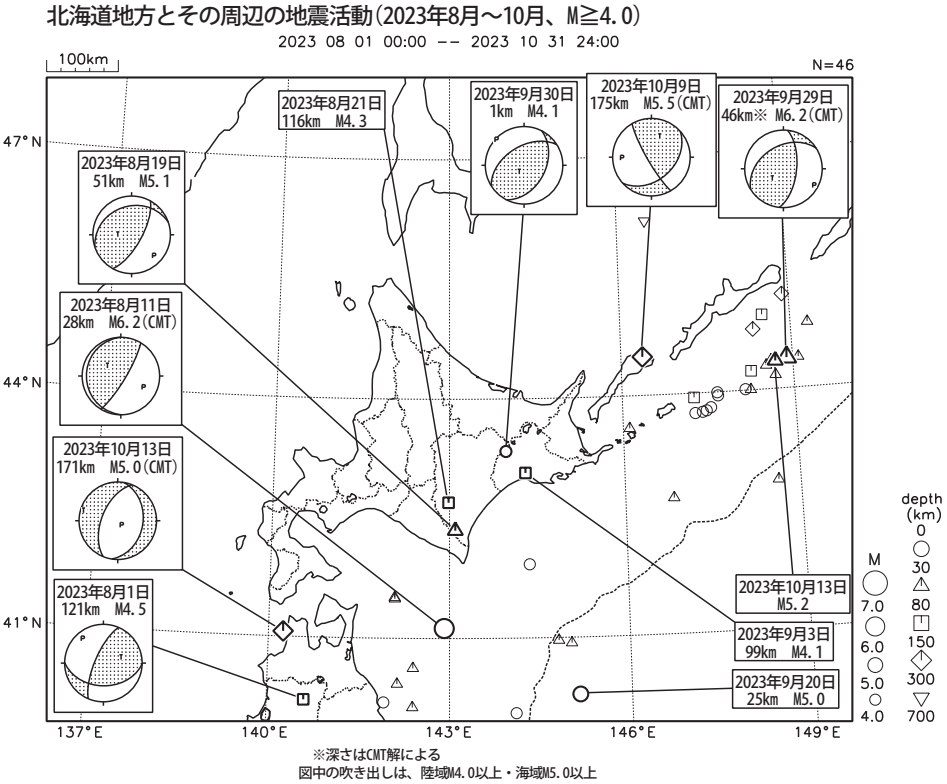
2023 年 8 月 19 日 03 時 33 分に十勝地方南部の深さ 51km で M5.1 の地震（最大震度 3）が発生した．この地震の発震機構は北西－南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で，太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した．

（7）択捉島南東沖の地震（M6.2，最大震度 2，第 8 図 (a) 〜 (c)）

2023 年 9 月 29 日 02 時 40 分に択捉島南東沖の深さ 46km（CMT 解による）で M6.2 の地震（最大震度 2）が発生した．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．



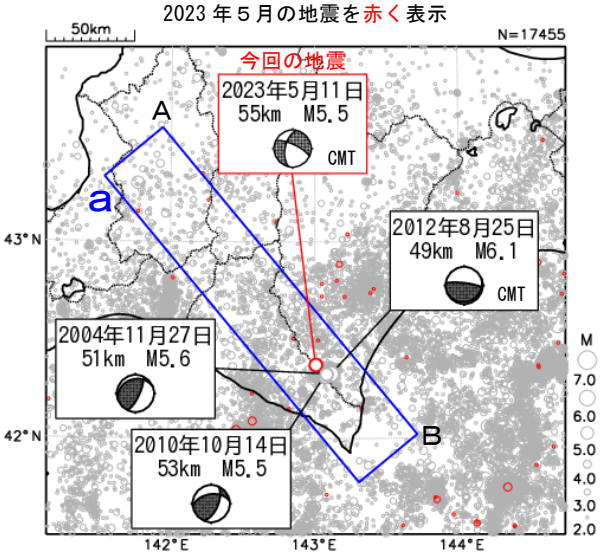
第 1 図 (a)　北海道地方とその周辺の地震活動（2023 年 5 月～ 7 月，M ≧ 4.0，深さ≦ 700km）
Fig. 1(a)　Seismic activity in and around the Hokkaido district (May – July 2023, M ≧ 4.0, depth ≦ 700km).



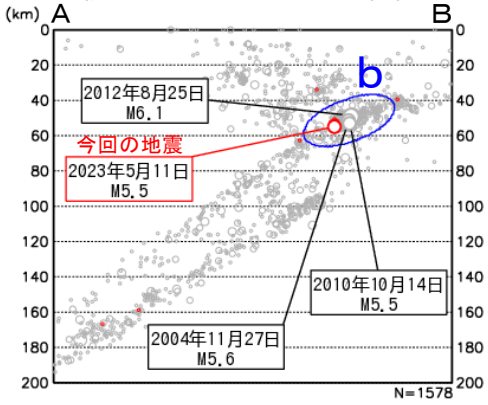
第 1 図 (b)　つづき（2023 年 8 月～ 10 月，M ≧ 4.0，深さ≦ 700km）
Fig. 1(b)　Continued (August – October 2023, M ≧ 4.0, depth ≦ 700km).

５月 11 日　日高地方東部の地震

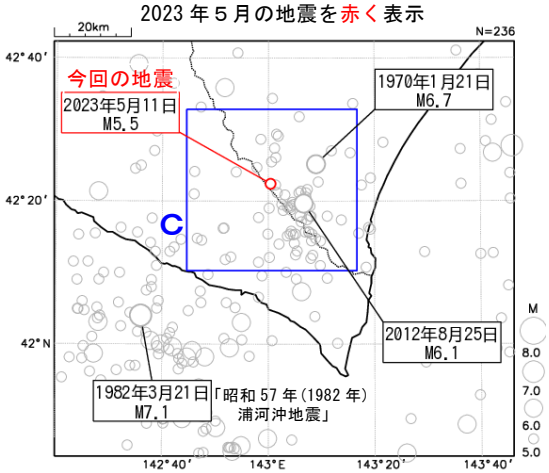
震央分布図
（2001 年 10 月１日～2023 年５月 31 日、
深さ０～200km、M≧2.0）
2023 年５月の地震を赤く表示



領域 a 内の断面図（A－B 投影）



震央分布図
（1919 年１月１日～2023 年５月 31 日、
深さ０～100km、M≧5.0）
2023 年５月の地震を赤く表示

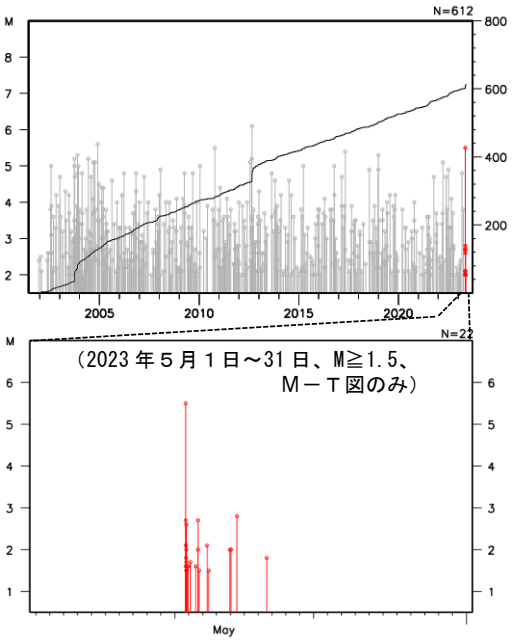


2023年５月11日18時52分に日高地方東部の深さ55kmでM5.5の地震（最大震度４）が発生した。この地震の発震機構（CMT解）は北北西－南南東方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型である。

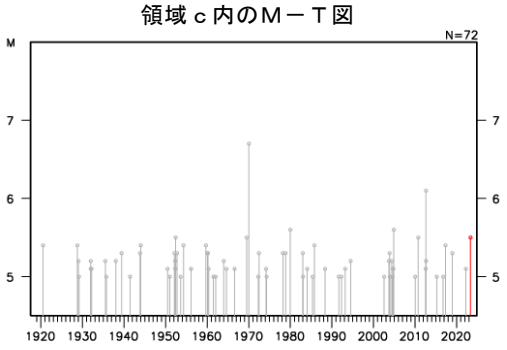
2001年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、M５程度の地震がしばしば発生しており、2012年８月25日にはM6.1の地震（最大震度５弱）が発生している。

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２回発生しており、1970年１月21日のM6.7の地震（最大震度５）では、負傷者32人、住家全壊２棟などの被害が生じた（「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

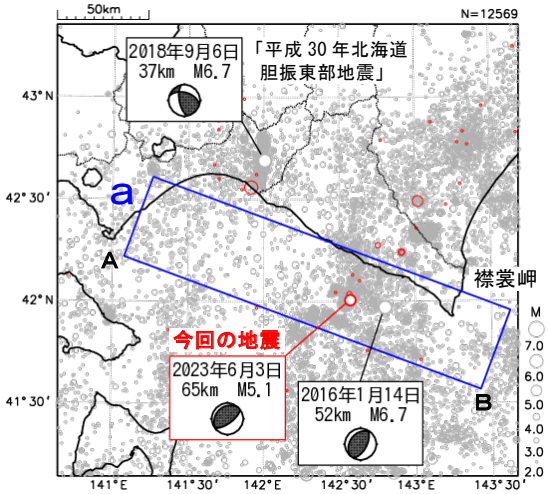


第 2 図　2023 年 5 月 11 日　日高地方東部の地震

Fig. 2　The earthquake in the eastern part of Hidaka region on May 11, 2023.

６月３日　浦河沖の地震

震央分布図
（2001 年 10 月１日～2023 年６月 30 日、
深さ０～150km、M≧2.0）
2023 年６月の地震を赤く表示

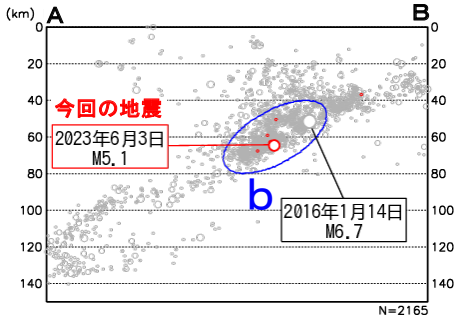


2023年６月３日19時35分に浦河沖の深さ65kmでM5.1の地震（最大震度３）が発生した。この地震の発震機構は北西－南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した。

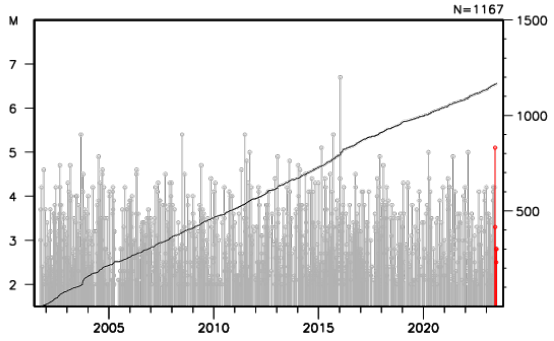
2001年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、Ｍ５程度の地震がしばしば発生している。

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 以上の地震がしばしば発生している。「昭和 57 年（1982 年）浦河沖地震」（M7.1、最大震度６）では、北海道で重軽傷者 167 人、住家全半壊 41 棟などの被害が生じた（「昭和 57・58 年災害記録」（北海道、1984）による）。

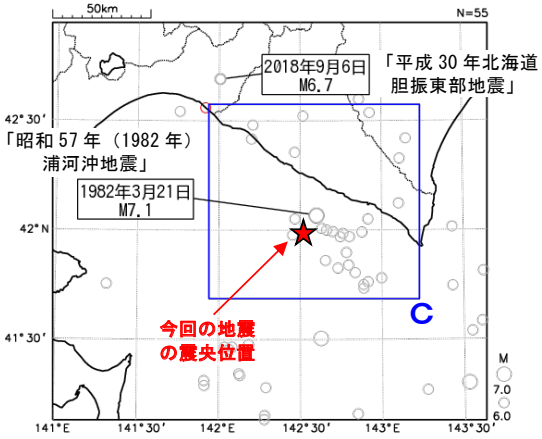
領域ａ内の断面図（Ａ－Ｂ投影）



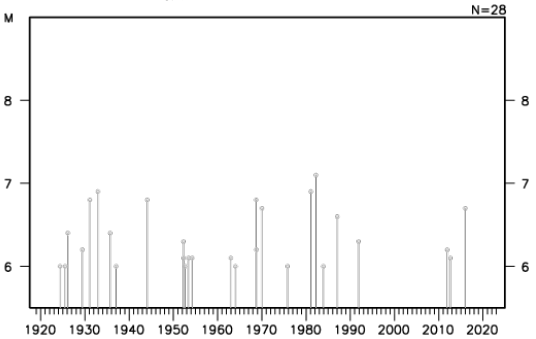
領域ｂ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図



震央分布図
（1919 年１月１日～2023 年６月 30 日、
深さ０～150km、M≧6.0）



領域ｃ内のＭ－Ｔ図

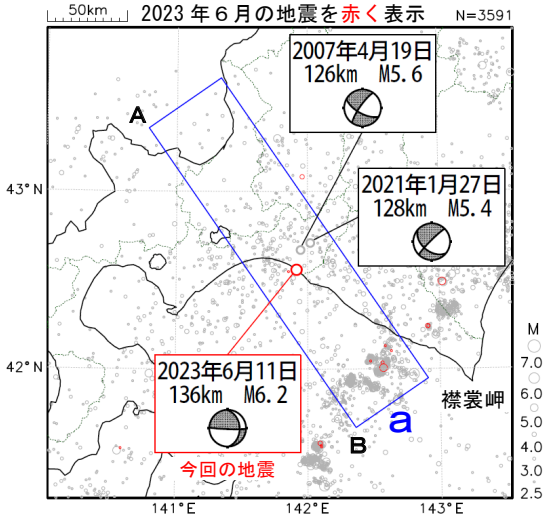


第 3 図　2023 年 6 月 3 日　浦河沖の地震
Fig. 3　The earthquake off Urakawa on June 3, 2023.

６月 11 日　苫小牧沖の地震

情報発表に用いた震央地名は〔浦河沖〕である。

震央分布図
（2001 年 10 月１日～2023 年６月 30 日、
深さ 50～200km、M≧2.5）
2023 年６月の地震を赤く表示

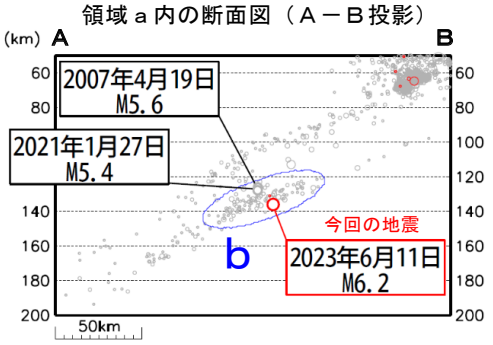


2023年６月11日18時54分に苫小牧沖の深さ136kmでM6.2の地震（最大震度５弱）が発生した。この地震は太平洋プレート内部（二重地震面の下面）で発生した。発震機構は太平洋プレートの傾斜方向に張力軸を持つ型である。この地震により、軽傷１人の被害が生じた（2023年６月19日17時00分現在、総務省消防庁による）。

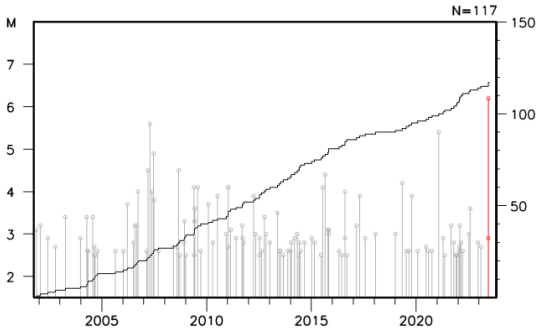
2001年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、M5.0以上の地震は今回を含めて３回発生している。

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 以上の地震がしばしば発生している。2018 年９月６日の「平成 30 年北海道胆振東部地震」（M6.7、最大震度７）により、死者 43 人、負傷者 782 人、住家全半壊 2,129 棟などの被害が生じた（総務省消防庁による）。

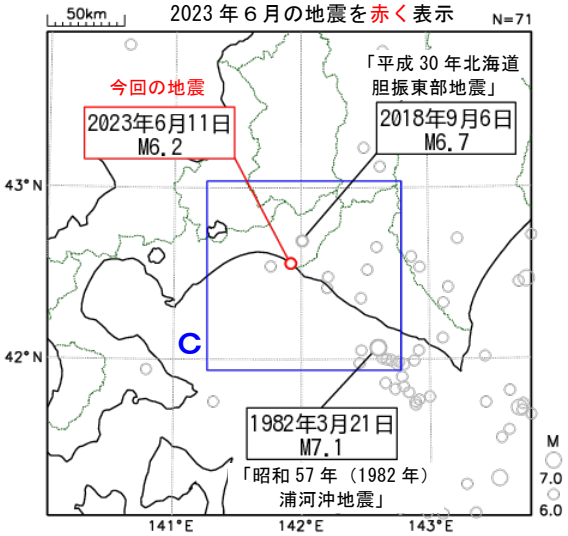
領域ａ内の断面図（Ａ－Ｂ投影）



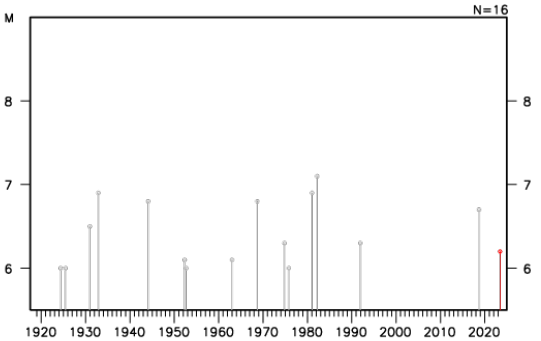
領域ｂ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図



震央分布図
（1919 年１月１日～2023 年６月 30 日、
深さ０～200km、M≧6.0）
2023 年６月の地震を赤く表示

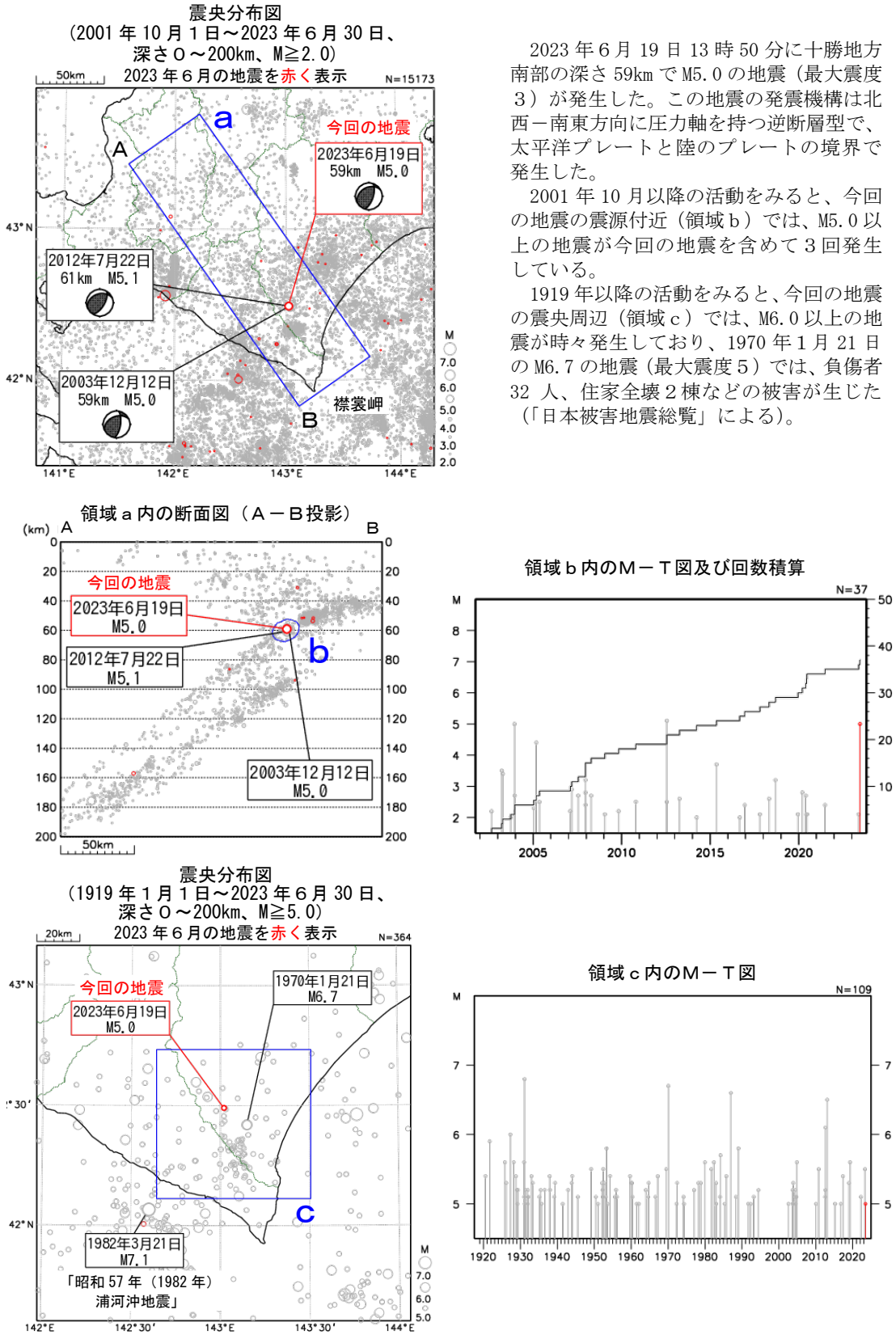


領域ｃ内のＭ－Ｔ図



第 4 図　2023 年 6 月 11 日　苫小牧沖の地震
Fig. 4　The earthquake off Tomakomai on June 11, 2023.

６月 19 日　十勝地方南部の地震



2023 年 6 月 19 日 13 時 50 分に十勝地方南部の深さ 59km で M5.0 の地震（最大震度３）が発生した。この地震の発震機構は北西－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。

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 以上の地震が今回の地震を含めて３回発生している。

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、1970 年１月 21 日の M6.7 の地震（最大震度５）では、負傷者 32 人、住家全壊２棟などの被害が生じた（「日本被害地震総覧」による）。

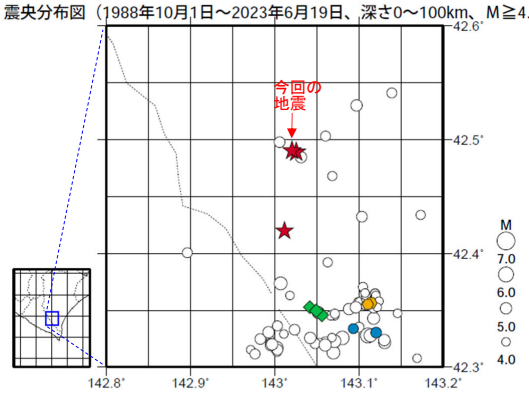
第 5 図 (a)　2023 年 6 月 19 日　十勝地方南部の地震

Fig. 5(a)　The earthquake in the southern part of Tokachi region on June 19, 2023.

6月19日　十勝地方南部の地震（相似地震）

2023年6月19日の十勝地方南部の地震（M5.0、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、
既往の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：今回の地震を含め3地震）※1。

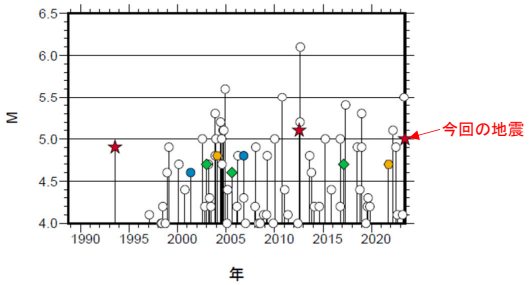
震央分布図（1988年10月1日～2023年6月19日、深さ0～100km、M≧4.0）



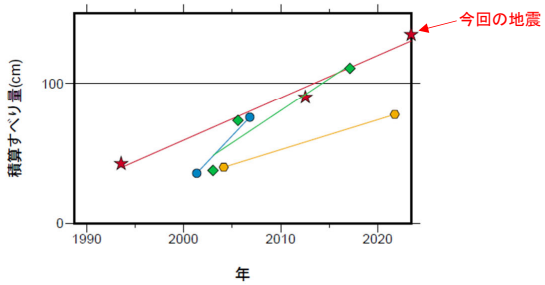
発生間隔と推定年平均すべり量※2

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	5.00	4	3	14.94	10.91	18.98	3.03
●B	2	4.70	4	3	5.48	5.48	5.48	7.28
◆C	3	4.67	3	3	7.07	2.61	11.53	4.59
●D	2	4.75	3	3	17.65	17.65	17.65	2.13

M－T図（上図内）

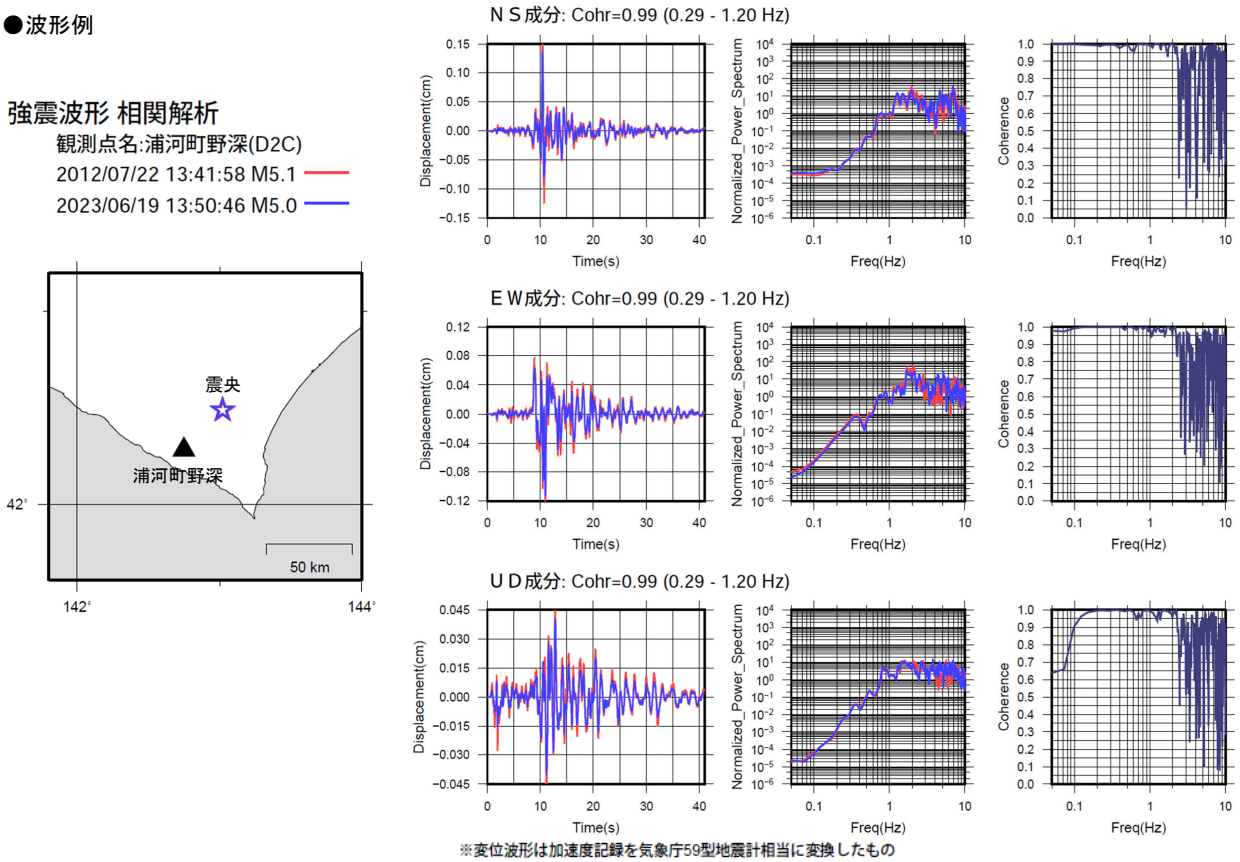


積算すべり量図※2



※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。

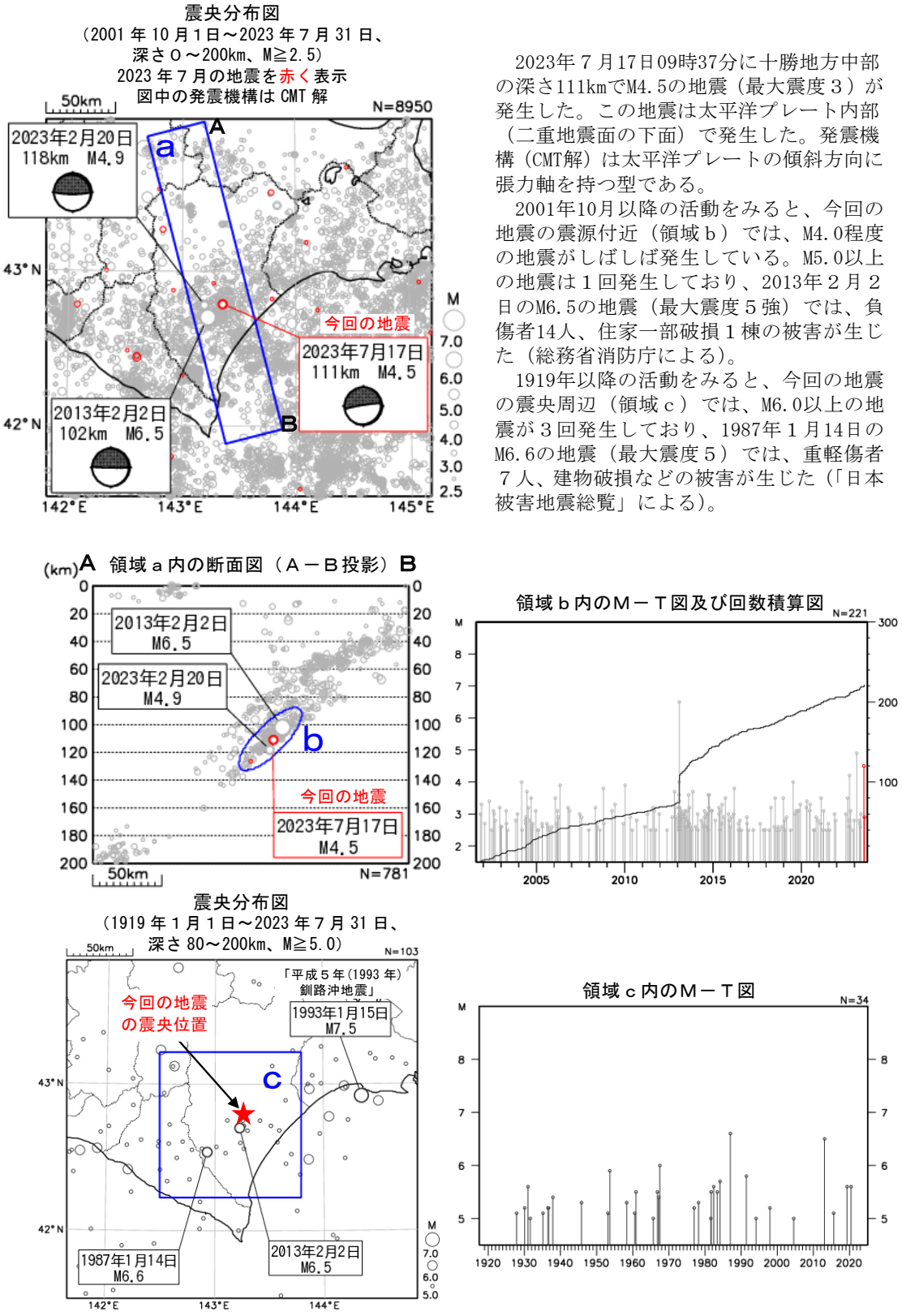
●波形例



※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たもの

第 5 図 (b)　つづき
Fig. 5(b)　　Continued.

７月 17 日　十勝地方中部の地震



2023年７月17日09時37分に十勝地方中部の深さ111kmでM4.5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（CMT解）は太平洋プレートの傾斜方向に張力軸を持つ型である。

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、M4.0程度の地震がしばしば発生している。M5.0以上の地震は１回発生しており、2013年２月２日のM6.5の地震（最大震度５強）では、負傷者14人、住家一部破損１棟の被害が生じた（総務省消防庁による）。

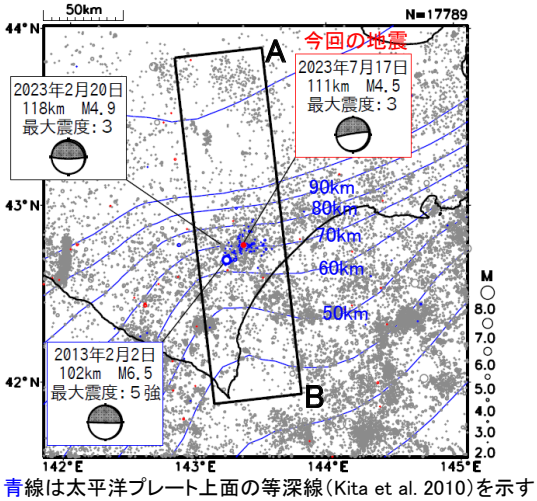
1919年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｃ）では、M6.0以上の地震が３回発生しており、1987年１月14日のM6.6の地震（最大震度５）では、重軽傷者７人、建物破損などの被害が生じた（「日本被害地震総覧」による）。

第 6 図 (a)　2023 年 7 月 17 日　十勝地方中部の地震
Fig. 6(a)　The earthquake in the central part of Tokachi region on July 17, 2023.

7月17日　十勝地方中部の地震
（太平洋プレート上面の位置と張力軸の方向）

震央分布図
（2001年10月1日～2023年7月31日、
深さ0～200km、M≧2.0）

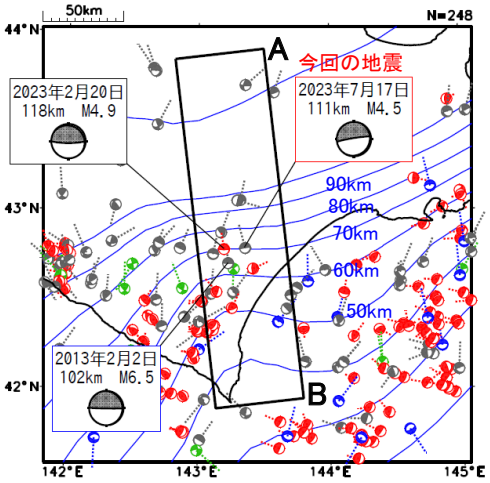
青丸：2013年2月2日 ～2月28日
赤丸：2023年7月1日～7月31日
灰丸：上記以外



青線は太平洋プレート上面の等深線（Kita et al. 2010）を示す
吹き出しは断面図の楕円内のM4.5以上の地震を示す

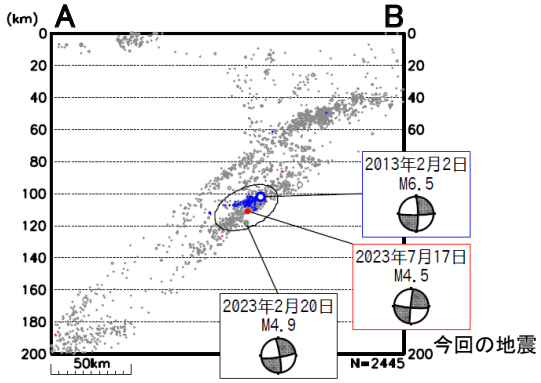
発震機構（CMT解）及び張力軸の分布図
（2001年10月1日～2023年7月31日、
深さ0～200km、M全て）

赤：逆断層型、青：正断層型、
緑：横ずれ断層型、灰：その他
断層型分類はFrohlich（2001）による

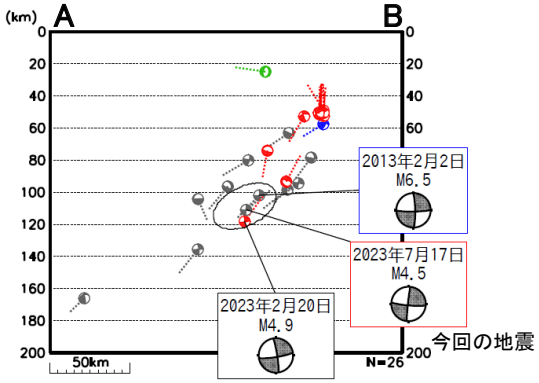


震源球からのびる点線は張力軸を示す

上図矩形内の断面図（A–B投影）

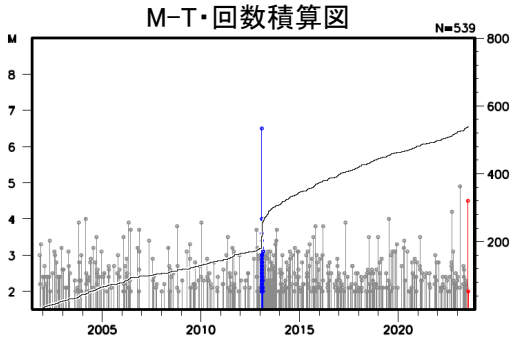


上図矩形内の断面図（ A–B投影）



発震機構は断面図に投影して表示

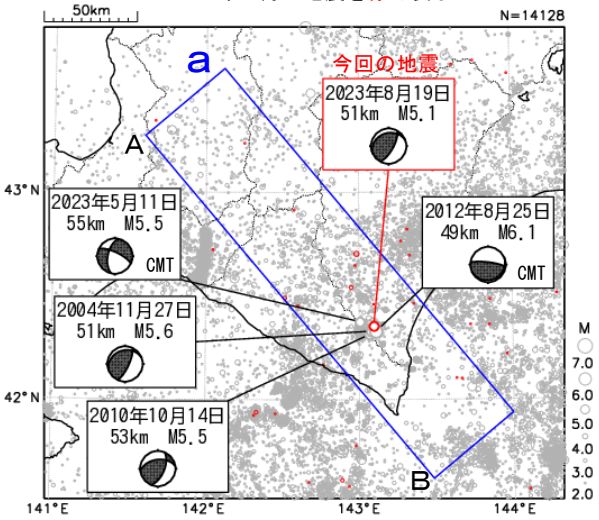
断面図の楕円内の
M–T・回数積算図



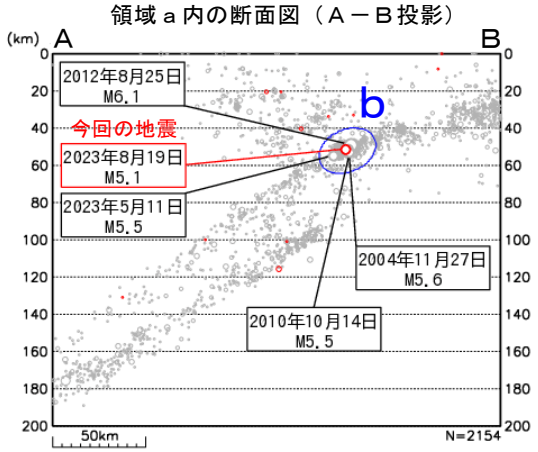
第 6 図 (b)　つづき
Fig. 6(b)　Continued.

８月 19 日　十勝地方南部の地震

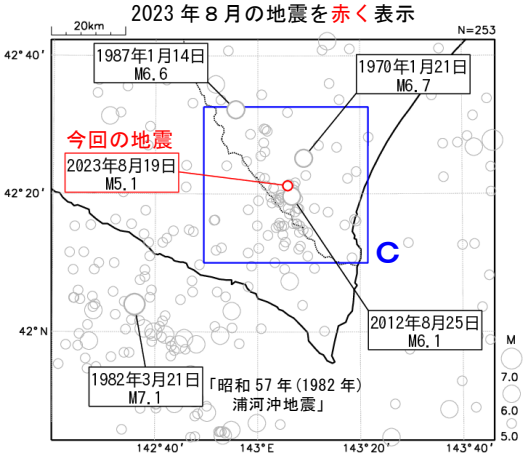
震央分布図
（2001 年 10 月１日～2023 年８月 31 日、
深さ０～200km、M≧2.0）
2023 年８月の地震を赤く表示



領域ａ内の断面図（Ａ－Ｂ投影）



震央分布図
（1919 年１月１日～2023 年８月 31 日、
深さ０～200km、M≧5.0）
2023 年８月の地震を赤く表示

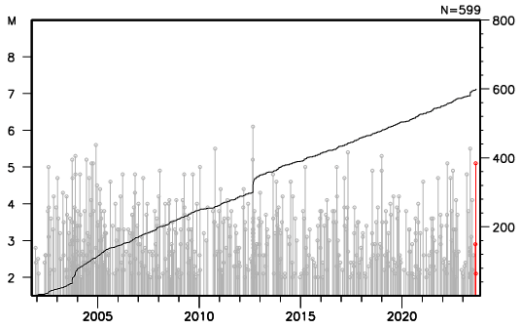


２023年８月19日03時33分に十勝地方南部の深さ51kmでM5.1の地震（最大震度３）が発生した。この地震の発震機構は北西－南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した。

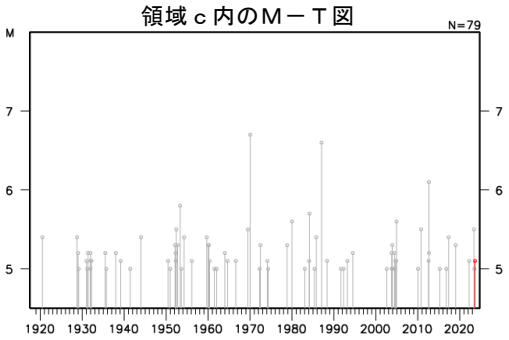
2001年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、M5.0以上の地震がしばしば発生しており、2012年８月25日にはM6.1の地震（最大震度５弱）が発生している。

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３回発生しており、1970年１月21日のM6.7の地震（最大震度５）では、負傷者32人、住家全壊２棟などの被害が生じた（「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

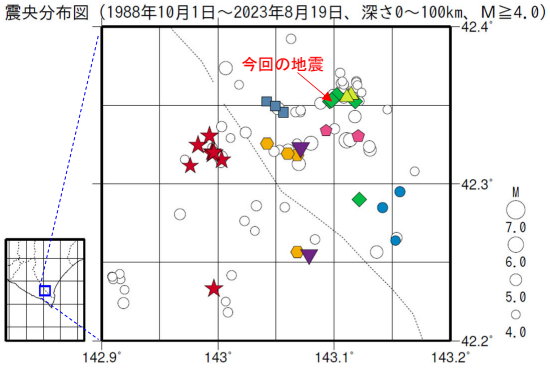


第 7 図 (a)　2023 年 8 月 19 日　十勝地方南部の地震
Fig. 7(a)　The earthquake in the southern part of Tokachi region on August 19, 2023.

8月19日　十勝地方南部の地震（相似地震）

2023年8月19日の十勝地方南部の地震（M5.1、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、
既往の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：今回の地震を含め5地震）※1。

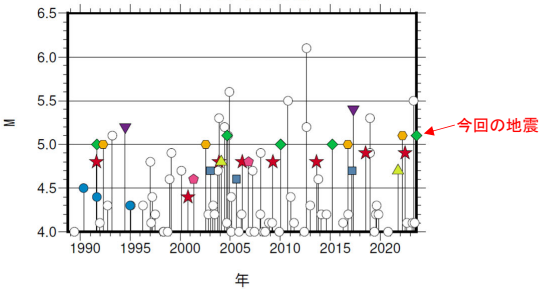
震央分布図（1988年10月1日～2023年8月19日、深さ0～100km、M≧4.0）



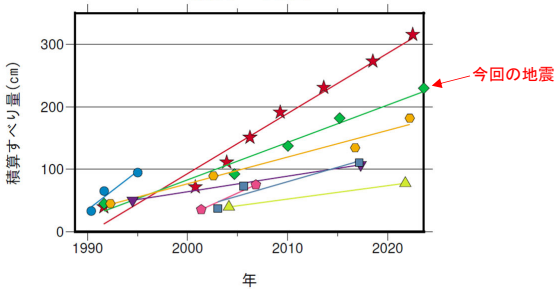
発生間隔と推定年平均すべり量※2

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	8	4.78	4	3	4.41	2.33	9.14	9.62
●B	3	4.40	3	2	2.33	1.32	3.34	12.33
◆C	5	5.04	3	3	7.99	5.19	13.02	5.98
⬢D	4	5.03	4	3	9.98	5.45	14.21	4.27
▼E	2	5.30	4	4	22.83	22.83	22.83	2.49
⬟F	2	4.70	4	3	5.48	5.48	5.48	7.28
■G	3	4.67	3	3	7.07	2.61	11.53	4.59
△H	2	4.75	3	3	17.65	17.65	17.65	2.13

M－T図（上図内）

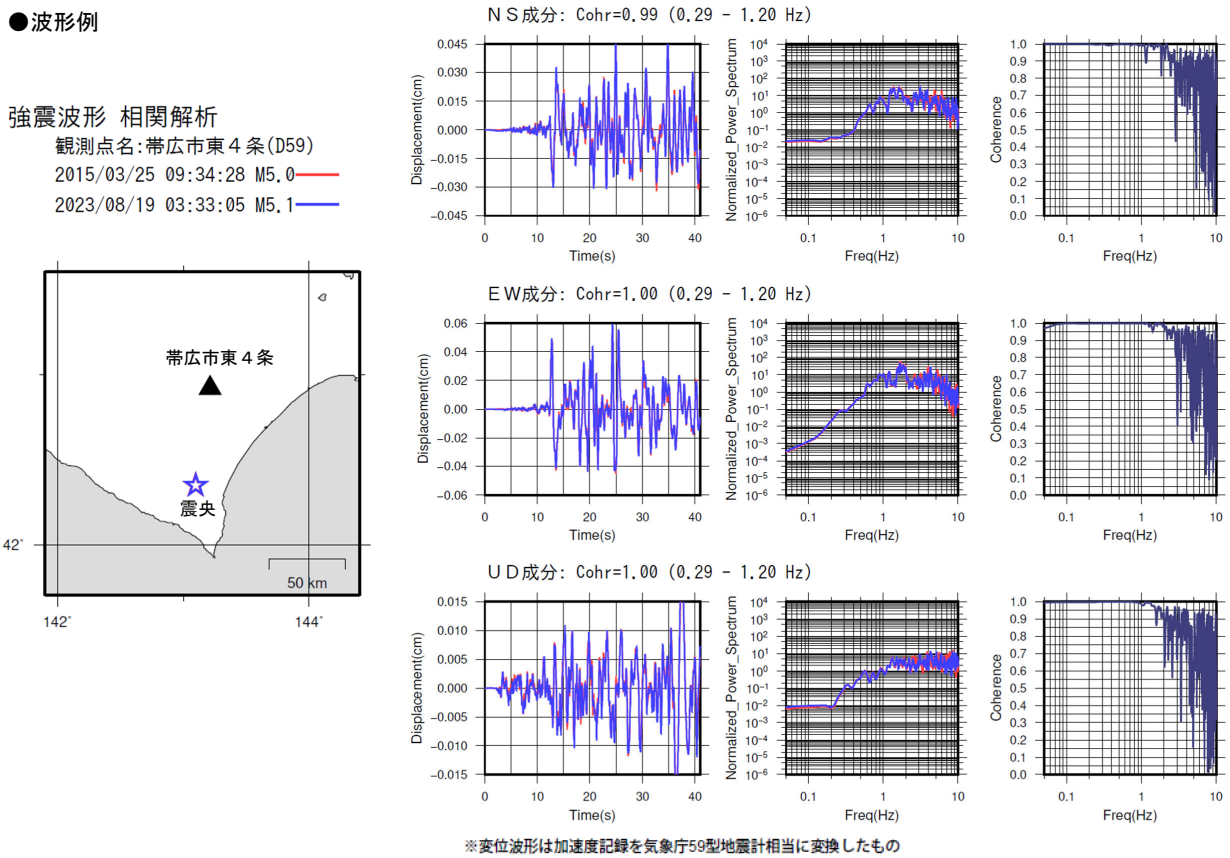


積算すべり量図※2



※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

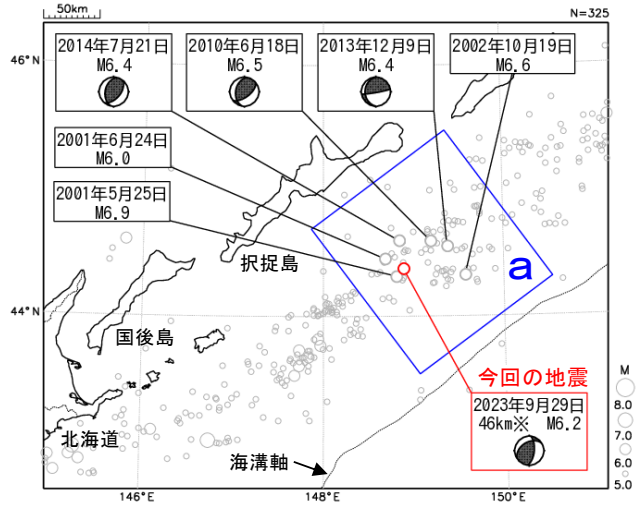


※変位波形は加速度記録を気象庁59型地震計相当に変換したもの

第 7 図 (b)　つづき
Fig. 7(b)　　Continued.

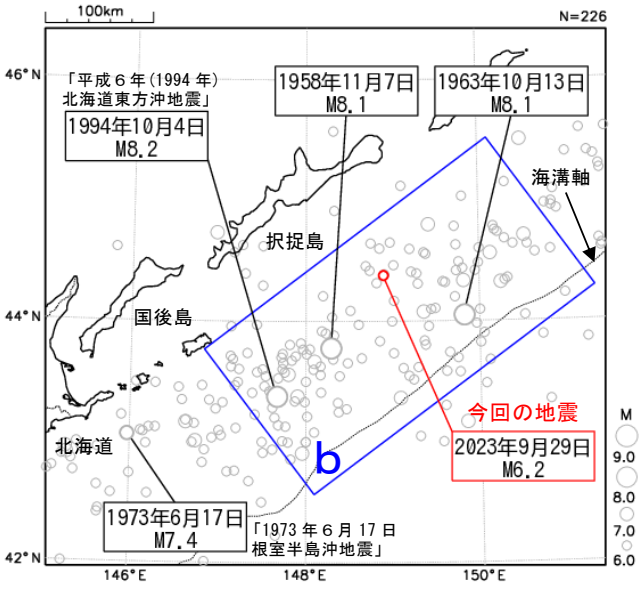
９月 29 日　択捉島南東沖の地震

震央分布図
（1997 年 10 月１日～2023 年９月 30 日、
深さ０～100km、M≧5.0）
2023 年９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。

震央分布図
（1919 年１月１日～2023 年９月 30 日、
深さ０～100km、M≧6.0）
2023 年９月の地震を赤く表示

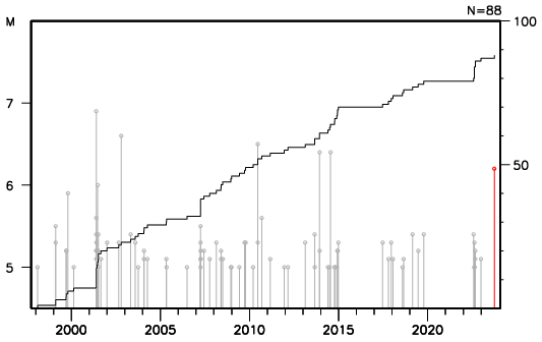


2023 年９月 29 日 02 時 40 分に択捉島南東沖の深さ 46 km（CMT 解による）で M6.2 の地震（最大震度２）が発生した。この地震の発震機構（CMT 解）は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型である。

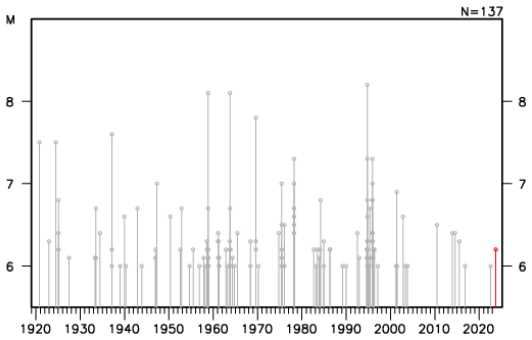
1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震央付近（領域ａ）では、M6.0以上の地震が時々発生している。

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、M8.0 以上の地震が３回発生している。1994 年 10 月４日に発生した「平成６年（1994 年）北海道東方沖地震」（M8.2、最大震度６）では、根室市花咲で 168cm（平常潮位からの最大の高さ）の津波を観測するなど、北海道から沖縄県にかけて津波を観測したほか、負傷者 436 人、住家被害 7,764 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Ｍ－Ｔ図及び回数積算図

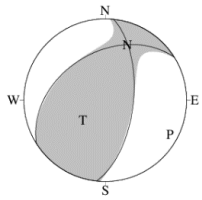
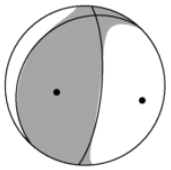
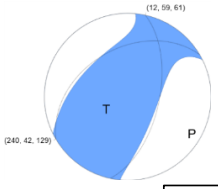


領域ｂ内のＭ－Ｔ図

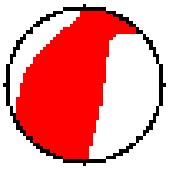
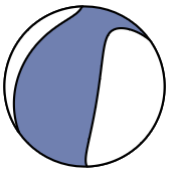


第 8 図 (a)　2023 年 9 月 29 日　択捉島南東沖の地震
Fig. 8(a)　The earthquake southern east off Etorofu Island on September 29, 2023.

2023年9月29日02時40分　択捉島南東沖の地震Mj6.2（各機関のMT解）

	気象庁CMT	防災科研（F-net）	USGS（W-pahse）
一元化震源 M6.2 深さ30km			
Mw	5.9	5.9	5.82
深さ	46km	35km	60.5km

USGS震源 深さ15.1km

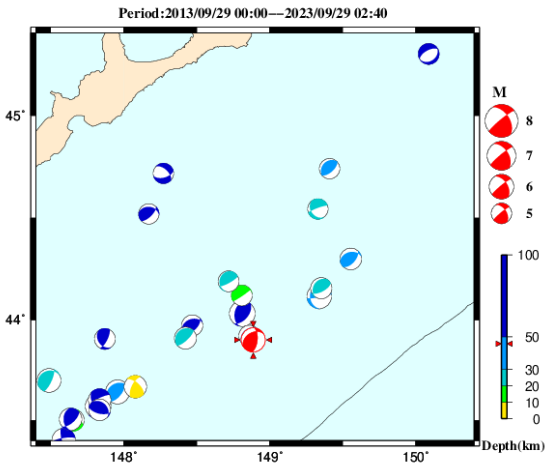
	Global CMT	GEOFON
		
Mw	5.9	5.8
深さ	34.7 km	32km

防災科研（F-net）: https://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: https://geofon.gfz-potsdam.de/eqinfo/list.php?mode=mt
防災科研（AQUA）: https://www.hinet.bosai.go.jp/AQUA/aqua_catalogue.php?LANG=ja

防災科研（AQUA）

（掲載なし）

周辺の気象庁CMT解の分布図

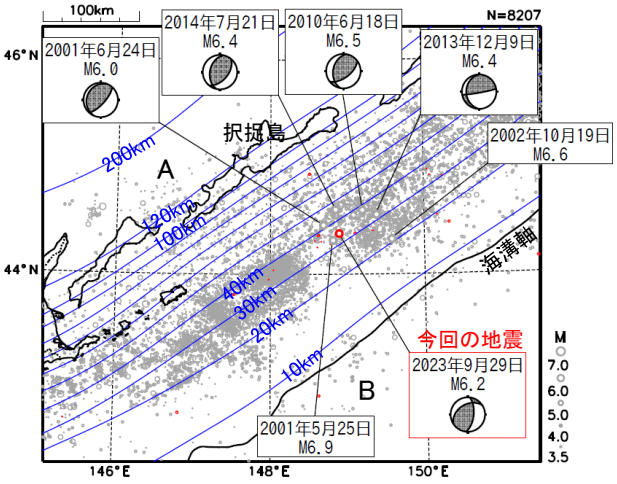


第 8 図 (b)　つづき
Fig. 8(b)　Continued.

9月29日択捉島南東沖の地震
（太平洋プレート上面との位置関係）

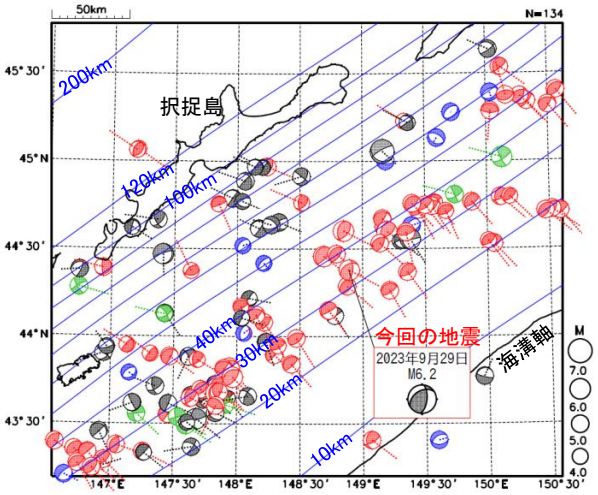
震央分布図
（1997年10月1日～2023年10月1日、
深さ0～200km、M≧3.5）

赤丸：2023年9月1日～



・吹き出しは断面図の楕円内のM6.0以上の地震を示す。
・青線は太平洋プレート上面の等深線（Iwasaki et al.(2015)、Lindquist et al.(2004)）を示す。

発震機構（CMT解）及び圧力軸の分布図
（ 1997年10月1日～2023年10月1日、
深さ0～200km、M全て）
赤：逆断層型、青：正断層型、
緑：横ずれ断層型、灰：その他



・震源球を一元化震源の位置に表示。
・震源球からのびる点線は圧力軸を示す。

※今回の地震のCMT解セントロイドの深さ：46km

第 8 図 (c)　つづき
Fig. 8(c)　Continued.

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

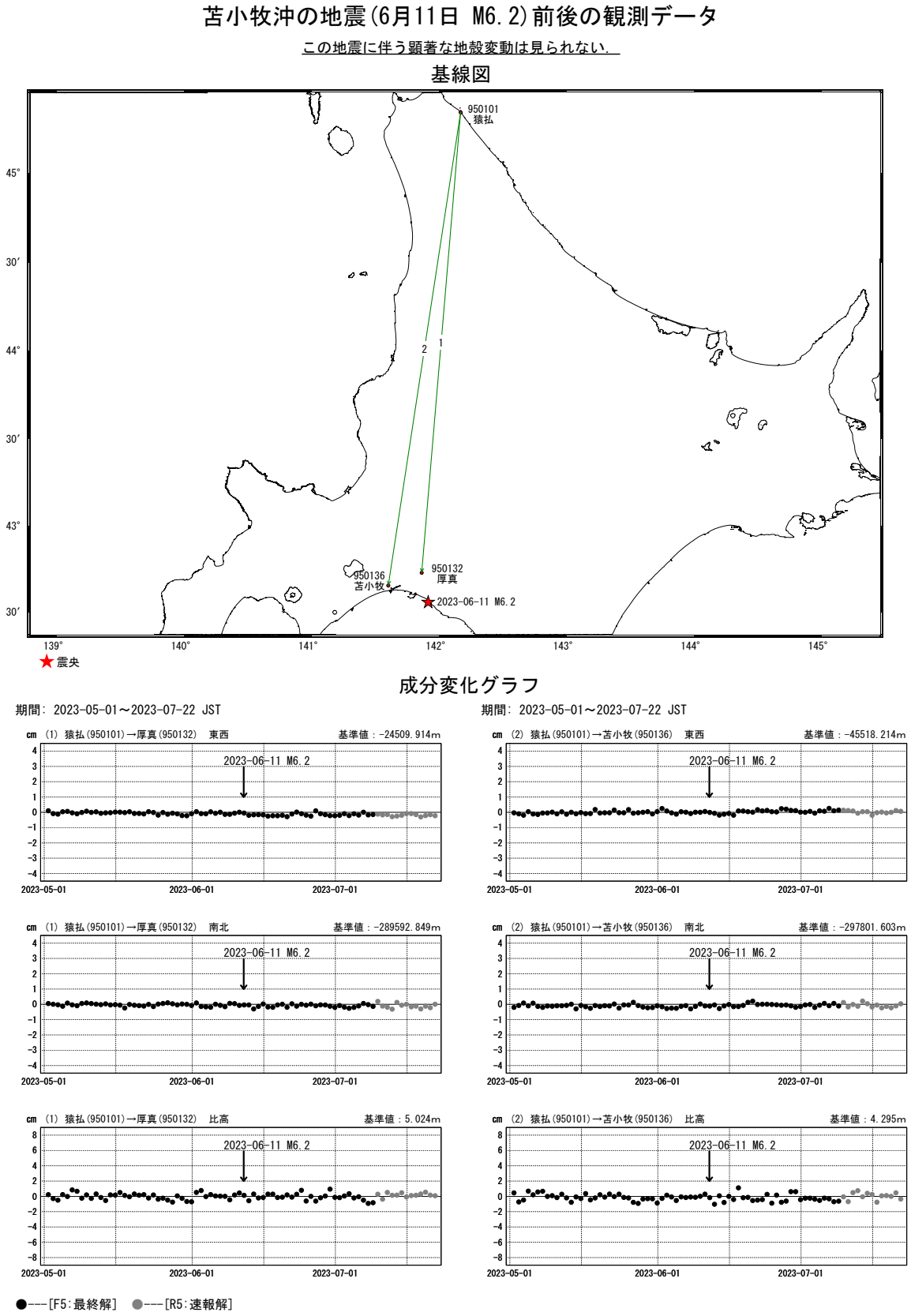
［苫小牧沖の地震（6 月 11 日）M6.2　GNSS］

第 1 図は，2023 年 6 月 11 日に発生した苫小牧沖の地震の地殻変動に関する資料である．第 1 図上段に示す震央周辺の 2 観測点の基線について，第 1 図下段に 3 成分時系列グラフを示している．この地震に伴う顕著な地殻変動は見られない．

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

第 2 ～ 3 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 2 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 3 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一次トレンド成分を，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．(4) 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 (2) ～ (3) 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．(2) ～ (4) 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，2015 年頃から鈍化している．(4) では，2016 年 1 月 14 日に発生した浦河沖の地震（M6.7）による地殻変動が見られる．

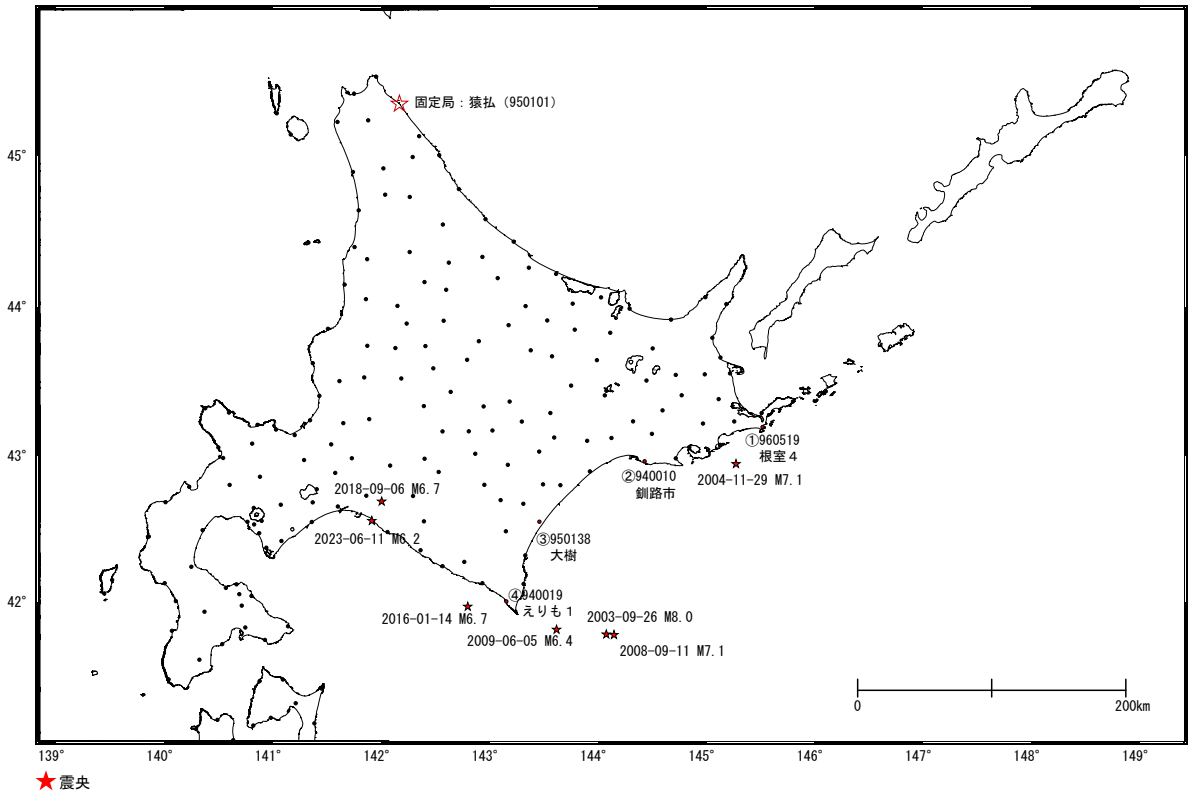


第 1 図　苫小牧沖の地震（2023 年 6 月 11 日，M6.2）前後の観測データ：（上図）基線図，（下図）３成分時系列グラフ

Fig. 1　Results of continuous GNSS measurements before and after the M6.2 earthquake off the coast of Tomakomai on June 11, 2023: baseline map (upper) and 3 components time series (lower) .

北海道太平洋岸　ＧＮＳＳ連続観測時系列（1）

配点図

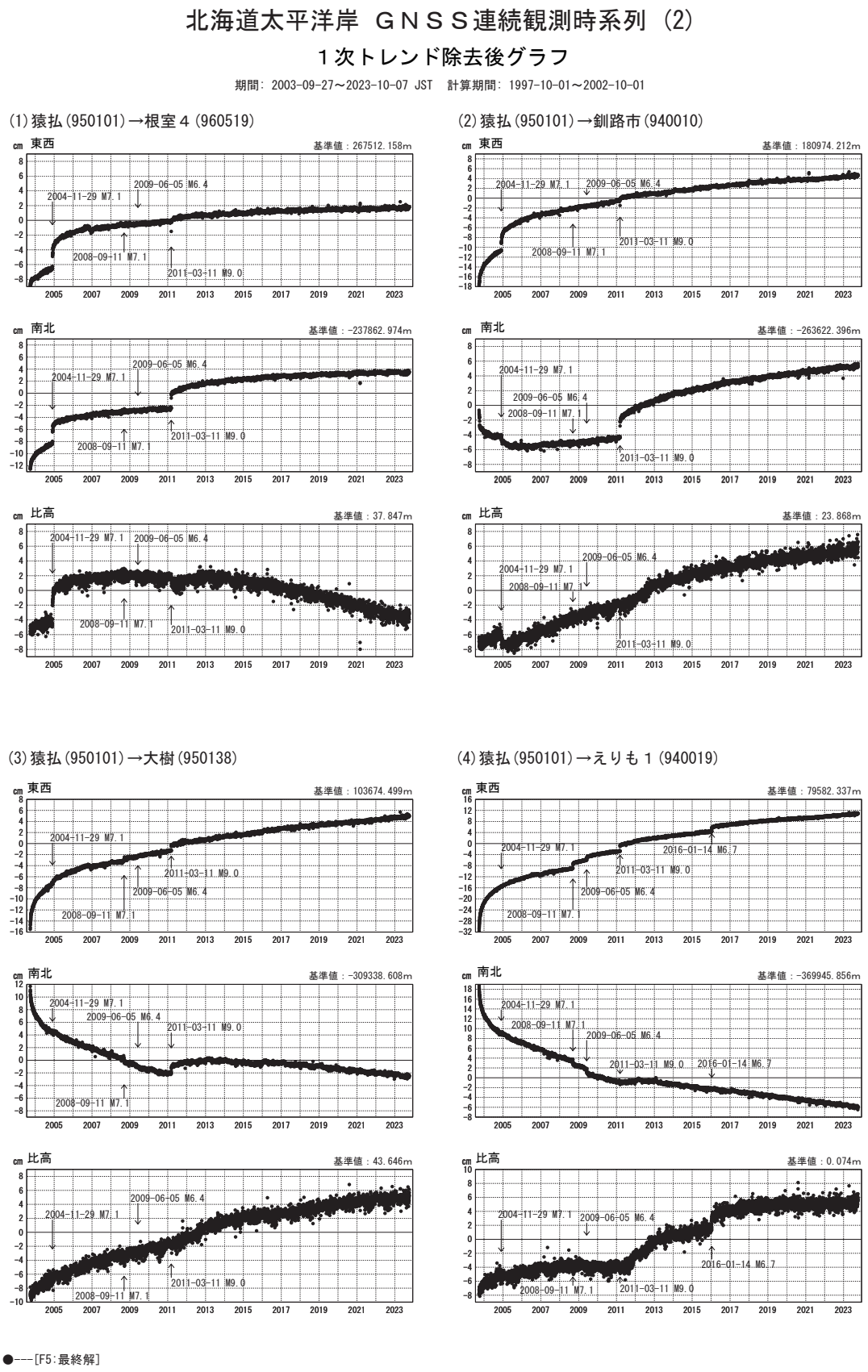


各観測局情報

点番号	点　名	日　付	保守内容
960519	根室4	2009-12-22	レドーム開閉・受信機更新
		2010-02-26	受信機交換
		2012-10-03	アンテナ更新
		2016-11-25	受信機更新
		2023-10-02	受信機更新
940010	釧路市	2003-11-07	凍上対策
		2010-12-14	レドーム開閉・受信機更新
		2012-09-26	アンテナ更新
		2020-11-03	受信機更新
		2023-10-06	アンテナ更新
950138	大樹	2012-01-17	アンテナ更新・受信機更新
		2016-02-17	アンテナ交換
		2018-02-19	受信機交換
		2019-02-06	受信機更新
940019	えりも1	2010-12-16	レドーム開閉・受信機更新
		2012-11-08	アンテナ更新
		2017-01-27	アンテナ交換
		2020-11-06	受信機更新
950101	猿払	2012-02-10	アンテナ更新・受信機更新
		2019-02-13	受信機更新

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（観測点配置図・保守状況）

Fig. 2　Results of continuous GNSS measurements along the eastern region and the Pacific coast of Hokkaido (Site location map and maintenance history).



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) .

3－1　東北地方とその周辺の地震活動（2023 年 5 月～ 10 月）
Seismic Activity in and around the Tohoku District (May – October 2023)

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 110 回，M5.0 以上の地震は 17 回発生した．このうち最大は，2023 年 5 月 5 日に石川県能登地方で発生した M6.5 の地震（詳細は関東・中部地方とその周辺の地震活動（2023 年 5 月～ 10 月）を参照）であった．また，石川県能登地方の地震活動を除く最大の地震は，2023 年 8 月 11 日に青森県東方沖で発生した M6.2 の地震であった．

2023 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）青森県東方沖の地震（M5.7，最大震度 4，第 2 図）

2023 年 5 月 6 日 02 時 47 分に青森県東方沖の深さ 56km で M5.7 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．

（2）青森県東方沖の地震（M5.7，最大震度 3，第 3 図 (a) ～ (c)）

2023 年 6 月 17 日 09 時 26 分に青森県東方沖の深さ 30km で M5.7 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．

（3）青森県東方沖の地震（M6.2，最大震度 4，第 5 図 (a)，(b)）

2023 年 8 月 11 日 09 時 14 分に青森県東方沖の深さ 28km 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．この地震の震源付近では，2023 年 6 月 17 日にも M5.7 の地震（最大震度 3）が発生した（第 3 図 (a) ～ (c)）．

（4）三陸沖の地震（M6.0，最大震度 3，第 6 図 (a) ～ (e)）

2023 年 8 月 25 日 07 時 48 分に三陸沖の深さ 15km で M6.0 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．この地震は新たな相似地震グループの最新の地震として検出された．

（5）宮城県沖の地震（M5.4，最大震度 4，第 7 図 (a) ～ (c)）

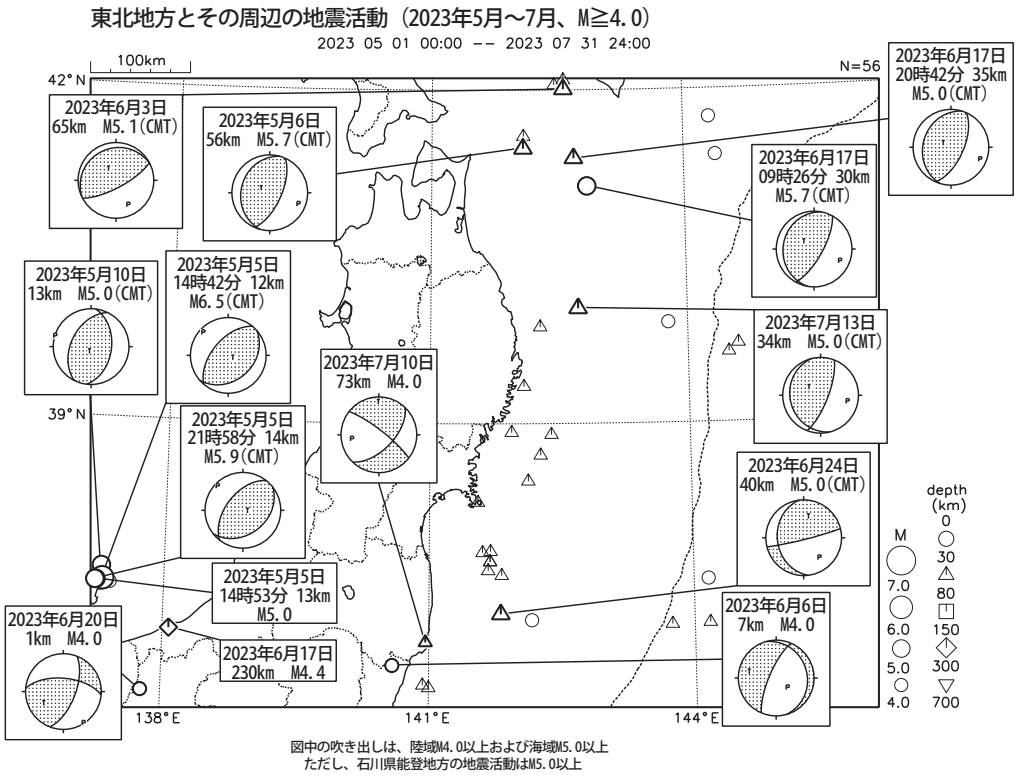
2023 年 9 月 8 日 18 時 28 分に宮城県沖の深さ 46km で M5.4 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震は，発震機構（CMT 解）が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で，太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した．この地震は既往の相似地震グループの最新の地震として検出された．

（6）宮城県沖の地震（M5.6，最大震度 4，第 8 図 (a) ～ (e)）

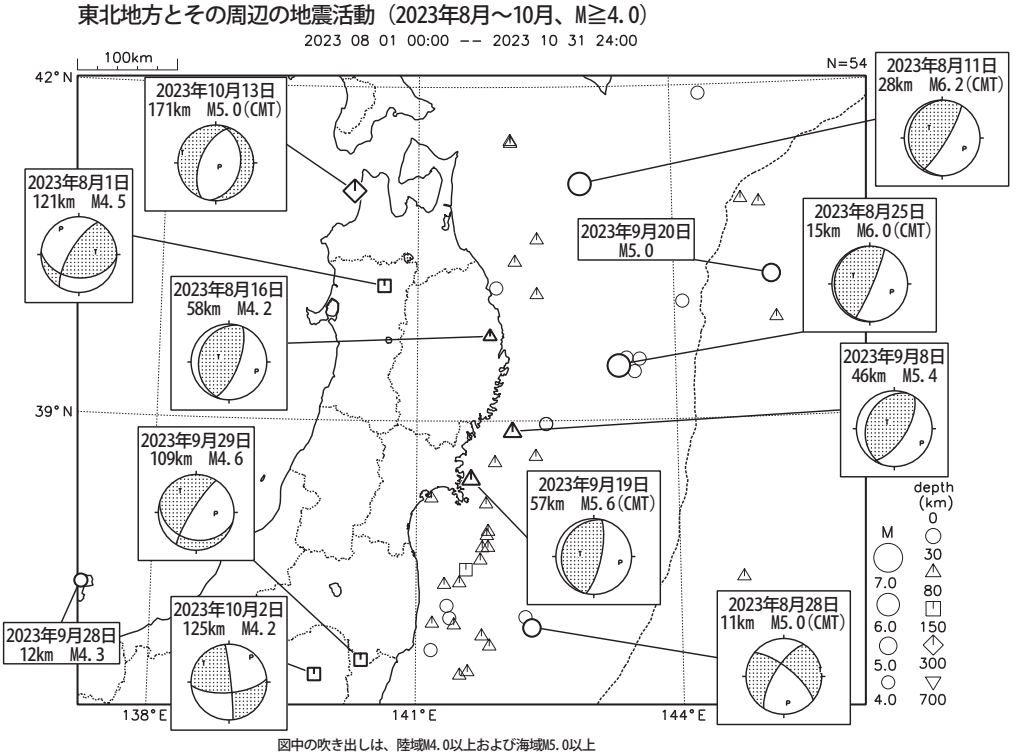
2023 年 9 月 19 日 04 時 33 分に宮城県沖の深さ 57km で M5.6 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震は，西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で，太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した．この地震は新たな相似地震グループの最新の地震として検出された．

（7）その他の地震活動

発生年月日	時分	震央地名	規模（M）	深さ（km）	最大震度	
2023年	6月24日09時58分	福島県沖	5.0	40	3	（第 4 図）



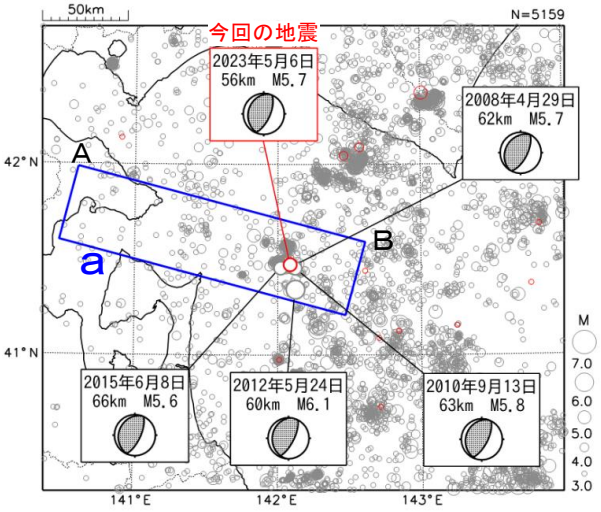
第 1 図 (a)　東北地方とその周辺の地震活動（2023 年 5 月～ 7 月，M ≧ 4.0，深さ≦ 700km）
Fig. 1(a)　Seismic activity in and around the Tohoku district (May – July 2023, M ≧ 4.0, depth ≦ 700km).



第 1 図 (b)　つづき（2023 年 8 月～ 10 月，M ≧ 4.0，深さ≦ 700km）
Fig. 1(b)　Continued (August – October 2023, M ≧ 4.0, depth ≦ 700km).

５月６日　青森県東方沖の地震

震央分布図
（1997年10月１日～2023年５月31日、
深さ０～150km、M≧3.0）
2023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

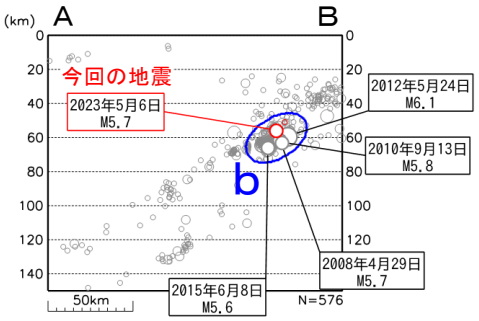


2023年５月６日02時47分に青森県東方沖の深さ56kmでM5.7の地震（最大震度４）が発生した。この地震は発震機構（CMT解）が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した。

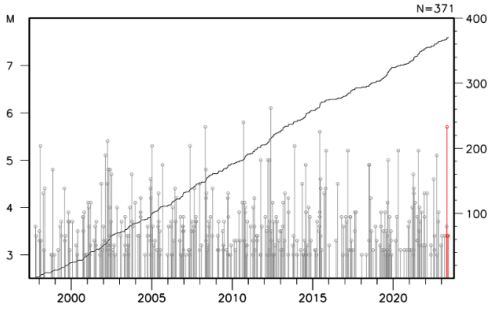
1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、M5.0以上の地震がしばしば発生している。このうち、2012年５月24日に発生したM6.1の地震（最大震度５強）では、青森県で文教施設の一部破損（ガラス破損など）10箇所などの被害が生じた（被害は総務省消防庁による）。

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以上の地震が時々発生している。この中には、「昭和57年（1982年）浦河沖地震」（M7.1、最大震度６）や「1968年十勝沖地震」の最大余震（M7.5、最大震度５）も含まれている。

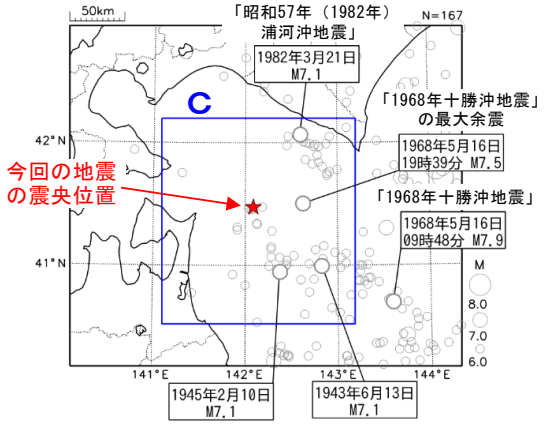
領域ａ内の断面図（Ａ－Ｂ投影）



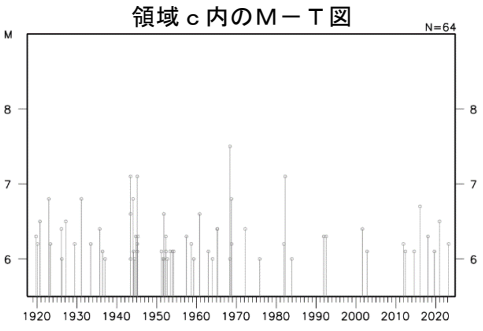
領域ｂ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図



震央分布図
（1919年１月１日～2023年５月31日、
深さ０～150km、M≧6.0）



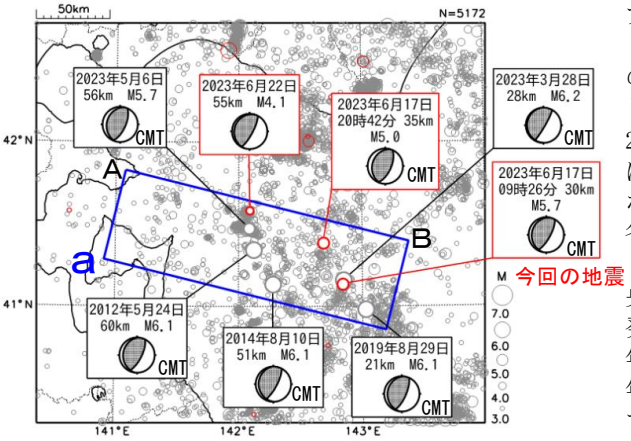
領域ｃ内のＭ－Ｔ図



第２図　2023 年５月６日　青森県東方沖の地震
Fig. 2　The earthquake east off Aomori Prefecture on May 6, 2023.

６月 17 日　青森県東方沖の地震

震央分布図
（1997年10月１日～2023年６月30日、
深さ０～150km、M≧3.0）
2023年６月に発生した地震を赤色で表示

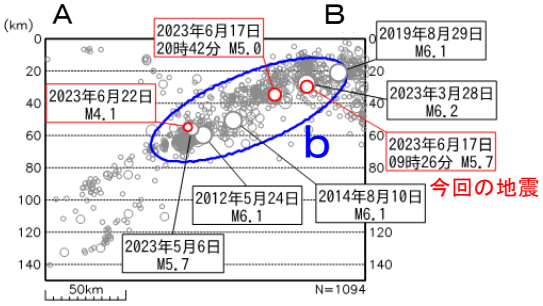


2023年６月17日09時26分に青森県東方沖の深さ30kmでM5.7の地震（最大震度３）が発生した。この地震は発震機構（CMT解）が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した。

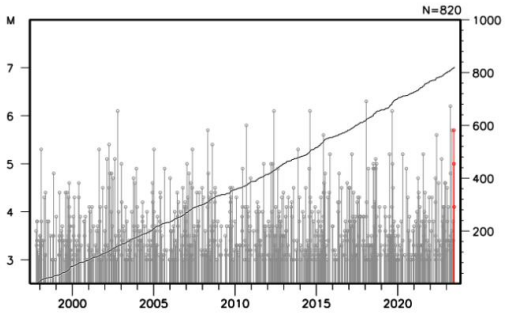
1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、M5.0以上の地震がしばしば発生している。このうち、2012年５月24日に発生したM6.1の地震（最大震度５強）では、青森県で文教施設の一部破損（ガラス破損など）10箇所などの被害が生じた（被害は総務省消防庁による）。

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以上の地震が時々発生している。この中には、「昭和57年（1982年）浦河沖地震」（M7.1、最大震度６）や「1968年十勝沖地震」（M7.9、最大震度５）も含まれている。

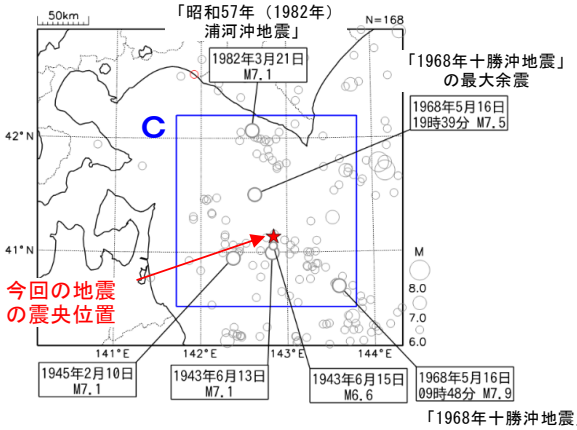
領域ａ内の断面図（Ａ－Ｂ投影）



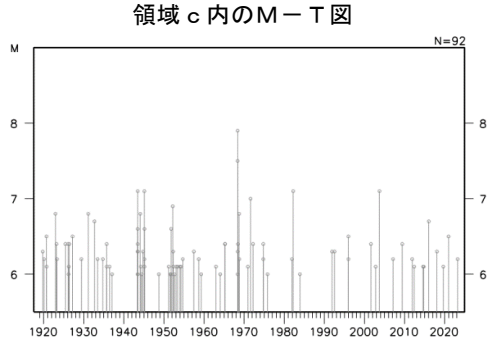
領域ｂ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図



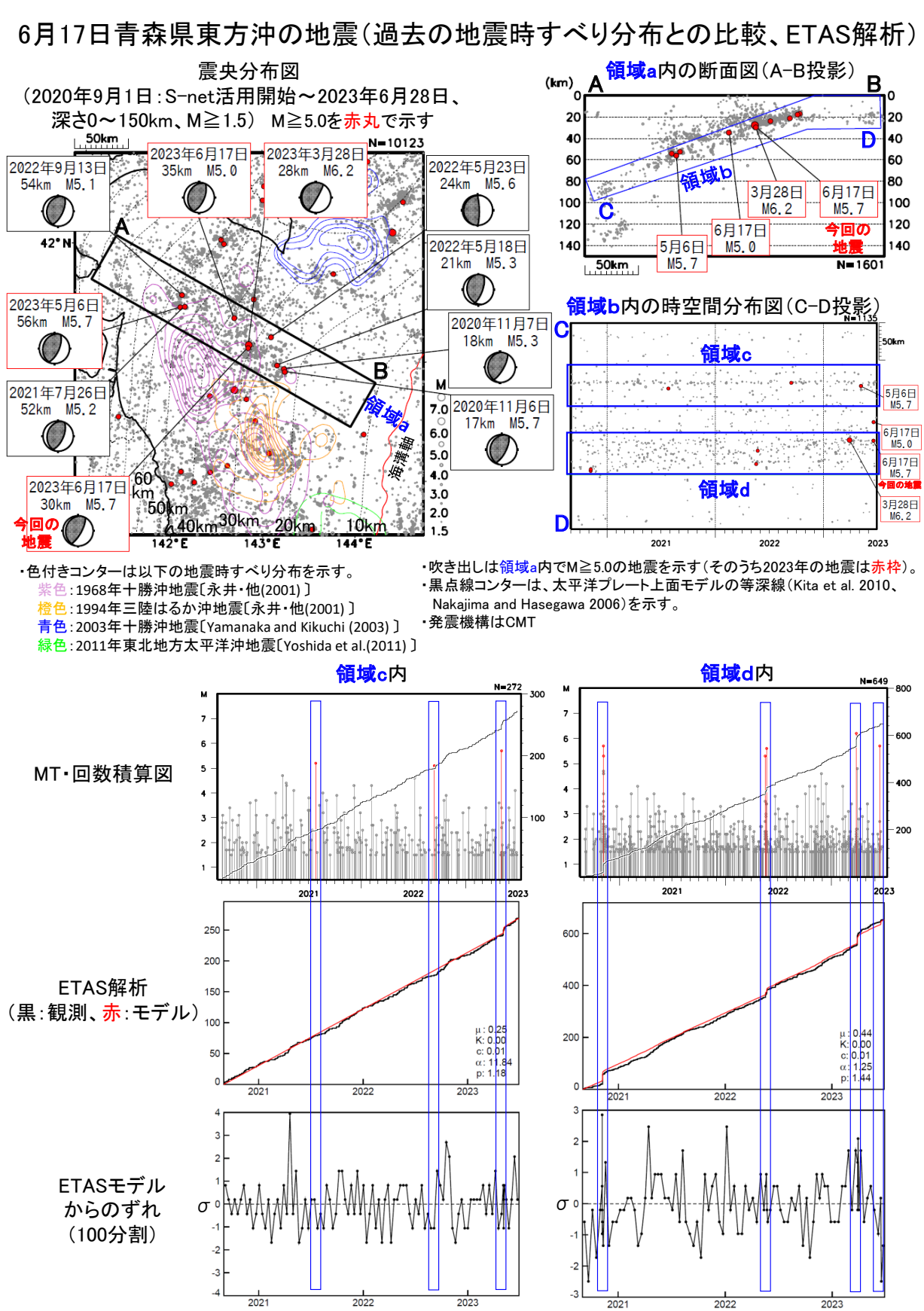
震央分布図
（1919年１月１日～2023年６月30日、
深さ０～150km、M≧6.0）



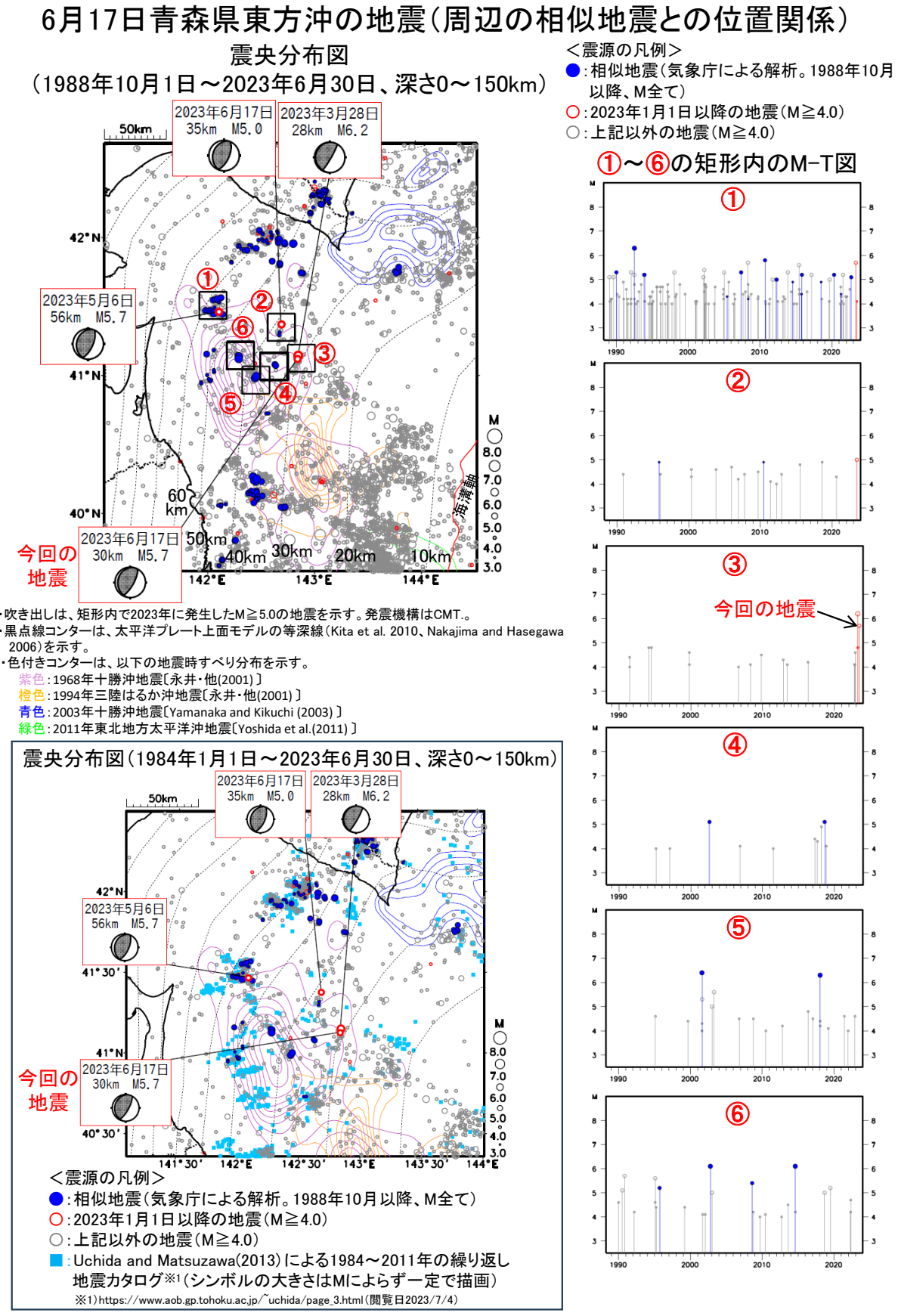
領域ｃ内のＭ－Ｔ図



第 3 図 (a)　2023 年 6 月 17 日　青森県東方沖の地震
Fig. 3(a)　The earthquake east off Aomori Prefecture on June 17, 2023.



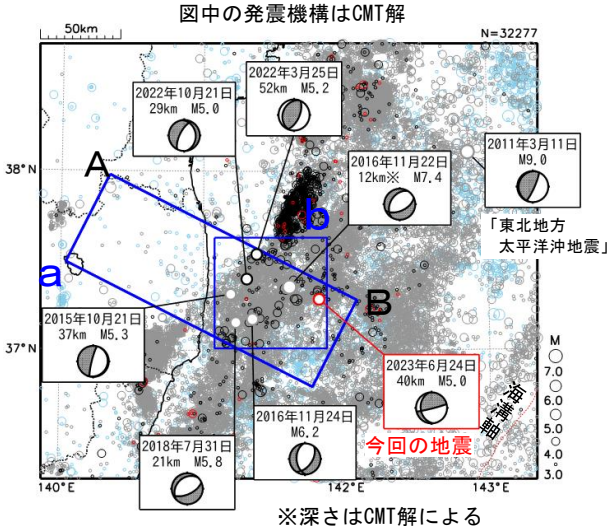
第 3 図 (b)　つづき
Fig. 3(b)　Continued.



第 3 図 (c)　つづき
Fig. 3(c)　Continued.

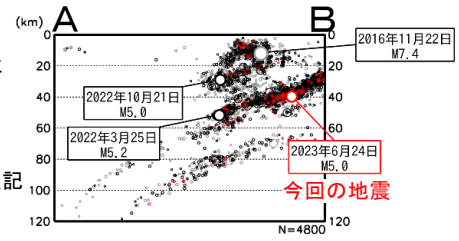
６月 24 日　福島県沖の地震

震央分布図
（1997年10月１日～2023年６月30日、
深さ０～120km、M≧3.0）
2011年３月10日以前に発生した地震を水色、
2011年３月11日以降に発生した地震を灰色、
2022年３月16日以降に発生した地震を黒色、
2023年６月に発生した地震を赤色で表示
図中の発震機構はCMT解



※深さはCMT解による

領域ａ内の断面図
（Ａ－Ｂ投影、2020年
９月１日～2023年６月
30日、M≧1.5）
図中に2016年11月22日の
地震（M7.4）の震源を追記

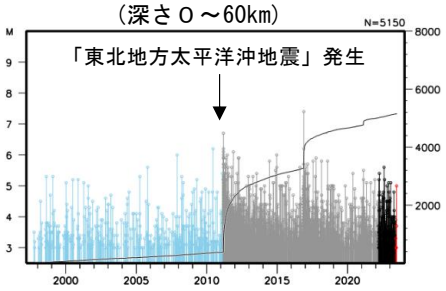


2023年６月24日09時58分に福島県沖の深さ40kmでM5.0の地震（最大震度３）が発生した。この地震は、発震機構（CMT解）が北西－南東方向に圧力軸を持つ型である。

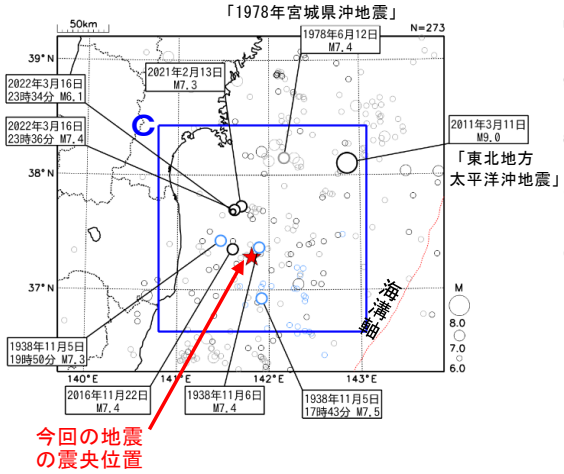
1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」（以下、「東北地方太平洋沖地震」）の発生前はM5.0以上の地震がしばしば発生していた。「東北地方太平洋沖地震」の発生以降は地震の発生数が増加し、M5.0以上の地震が度々発生している。

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、「東北地方太平洋沖地震」の発生前からM7.0以上の地震が時々発生しており、1938年11月５日17時43分にはM7.5の地震（最大震度５）が発生し、宮城県花淵で113cm（全振幅）の津波を観測した。

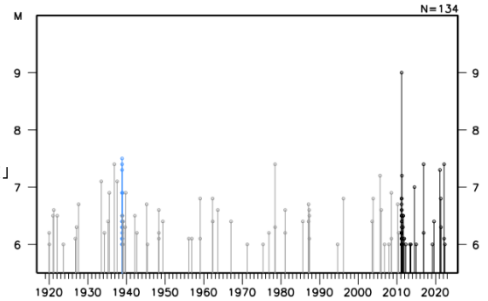
領域ｂ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図
（深さ０～60km）



震央分布図
（1919年１月１日～2023年６月30日、
深さ０～120km、M≧6.0）
1938年11月５日～1938年11月30日の地震を水色、
2011年３月11日以降に発生した地震を黒色、
その他の期間を灰色で表示



領域ｃ内のＭ－Ｔ図

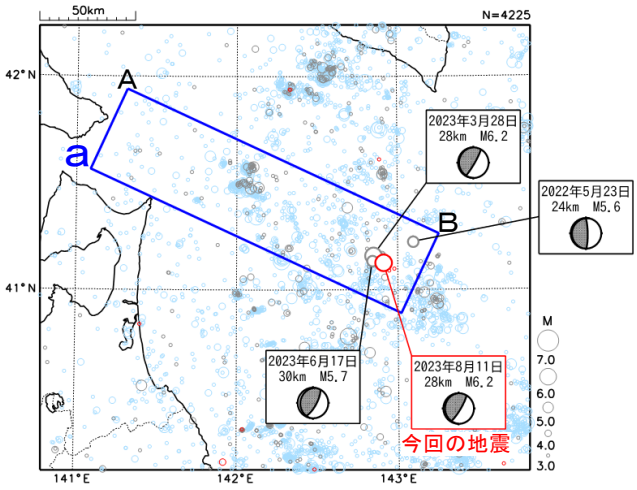


第 4 図　2023 年 6 月 24 日　福島県沖の地震

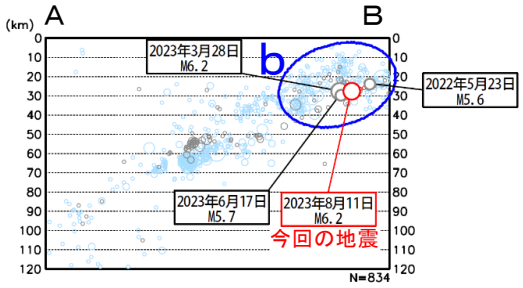
Fig. 4　The earthquake off Fukushima Prefecture on June 24, 2023.

８月 11 日　青森県東方沖の地震

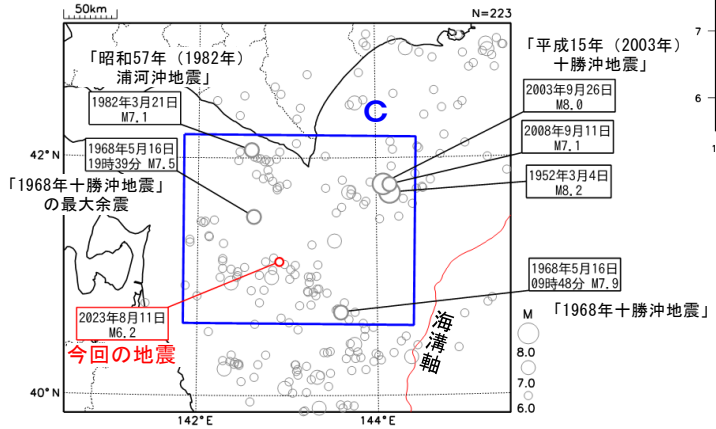
震央分布図
（1997年10月１日～2023年８月31日、
深さ０～120km、M≧3.0）
1997年10月以降に発生した地震を水色、
2020年９月以降に発生した地震を灰色、
2023年８月に発生した地震を赤色で表示
図中の発震機構はCMT解



領域ａ内の断面図（Ａ－Ｂ投影）



震央分布図
（1919年１月１日～2023年８月31日、
深さ０～120km、M≧6.0）
2023年８月に発生した地震を赤色で表示

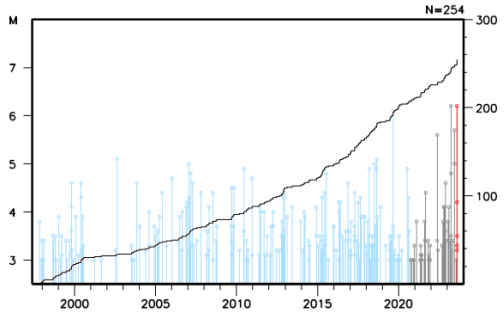


２023年８月11日09時14分に青森県東方沖の深さ28kmでM6.2の地震（最大震度４）が発生した。この地震は発震機構（CMT解）が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した。

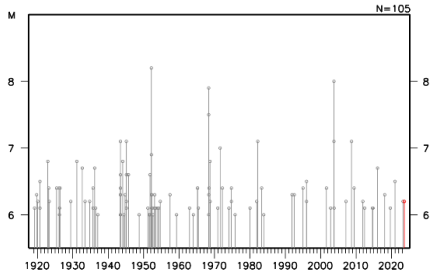
1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、M5.0以上の地震が時々発生している。

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、M6.0以上の地震がしばしば発生している。この中には、「平成15年（2003年）十勝沖地震」（M8.0、最大震度６弱）や「昭和57年（1982年）浦河沖地震」（M7.1、最大震度６）、「1968年十勝沖地震」（M7.9、最大震度５）も含まれている。

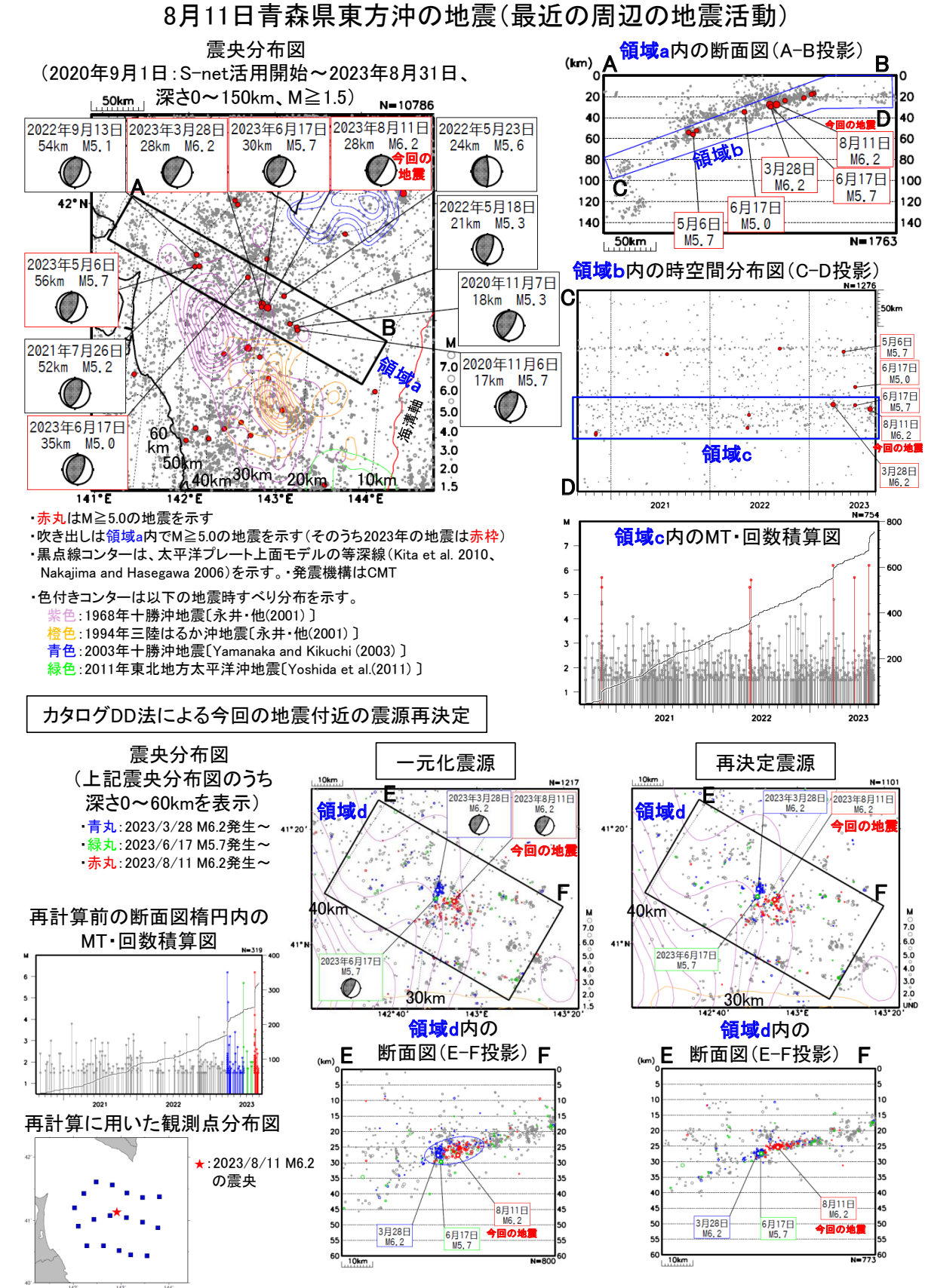
領域ｂ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図



領域ｃ内のＭ－Ｔ図



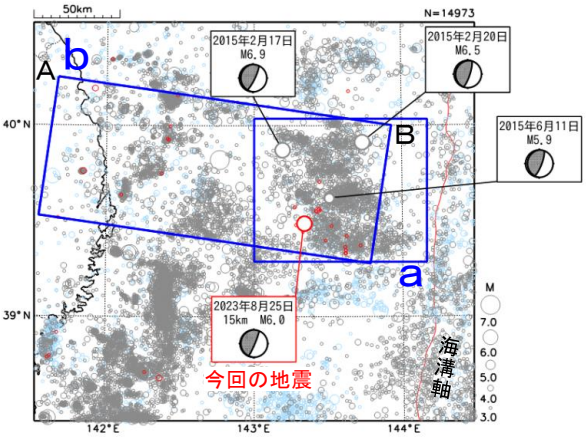
第 5 図 (a)　2023 年 8 月 11 日　青森県東方沖の地震
Fig. 5(a)　The earthquake east off Aomori Prefecture on August 11, 2023.



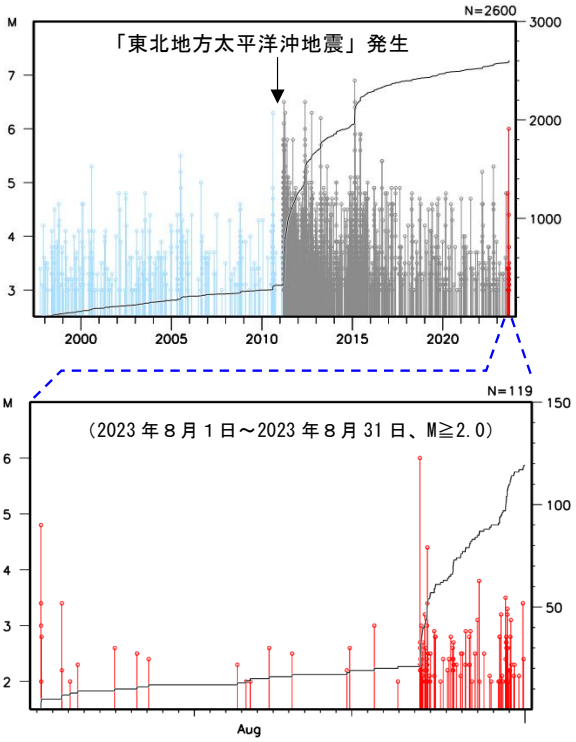
第 5 図 (b)　つづき
Fig. 5(b)　Continued.

８月 25 日　三陸沖の地震

震央分布図
（1997年10月１日～2023年８月31日、
深さ０～120km、M≧3.0）
1997年10月以降に発生した地震を水色、
2011年３月11日以降に発生した地震を灰色、
2023年８月に発生した地震を赤色で表示
図中の発震機構はCMT解



領域ａ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図

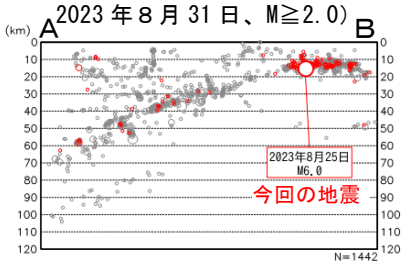


2023年８月25日07時48分に三陸沖の深さ15kmでM6.0の地震（最大震度３）が発生した。この地震は発震機構（CMT解）が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した。

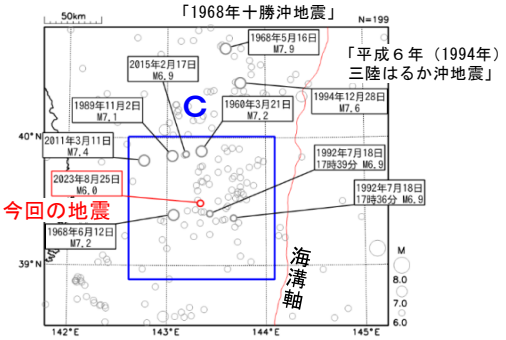
1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震央付近（領域ａ）では、「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」（以下、「東北地方太平洋沖地震」）の発生前からM5.0以上の地震が時々発生していたが、東北地方太平洋沖地震の発生以降、地震発生回数が増加し、M5.0以上の地震が度々発生している。

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、M6.0以上の地震がしばしば発生している。領域ｃの周辺では、「平成６年（1994年）三陸はるか沖地震」（M7.6、最大震度６）も発生している。

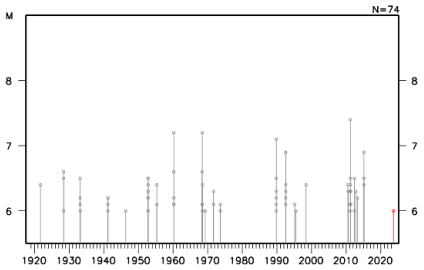
領域ｂ内の断面図
（Ａ－Ｂ投影、
2020 年９月１日～
2023 年８月 31 日、M≧2.0）



震央分布図
（1919年１月１日～2023年８月31日、
深さ０～120km、M≧6.0）



領域ｃ内のＭ－Ｔ図



第 6 図 (a)　2023 年 8 月 25 日　三陸沖の地震
Fig. 6(a)　The earthquake off Sanriku on August 25, 2023.

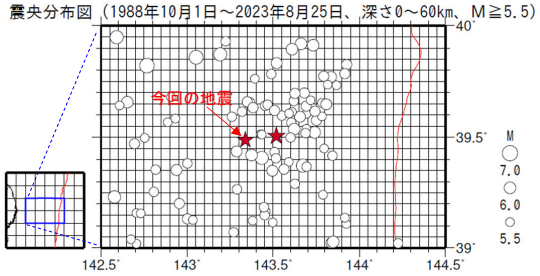
8月25日　三陸沖の地震（相似地震）

2023年8月25日の三陸沖の地震（M6.0、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、
新たな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：今回の地震を含め2地震）※1。

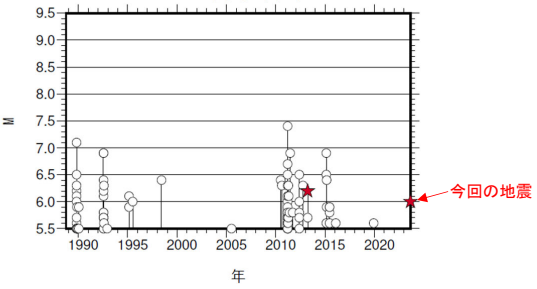
発生間隔と推定年平均すべり量※2

グループ	回数	平均M	震度 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	2	6.10	3	3	10.40	10.40	10.40	7.76

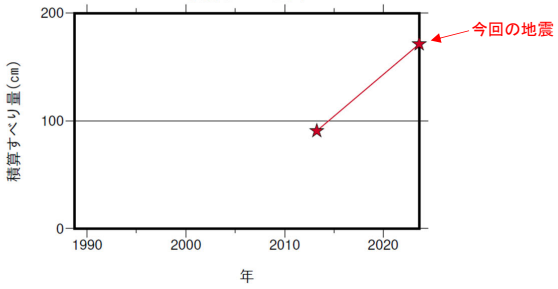
震央分布図（1988年10月1日～2023年8月25日、深さ0～60km、M≧5.5）



M－T図（上図内）

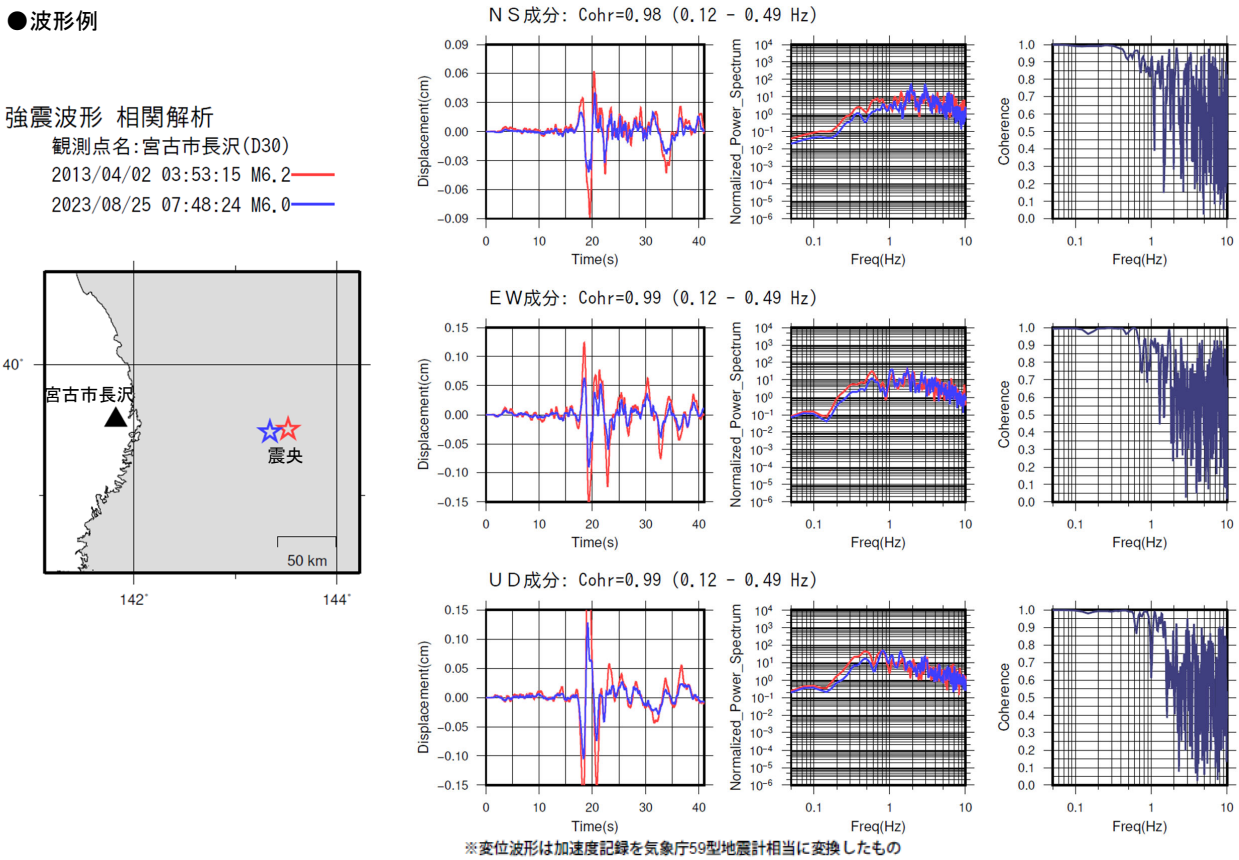


積算すべり量図※2



※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

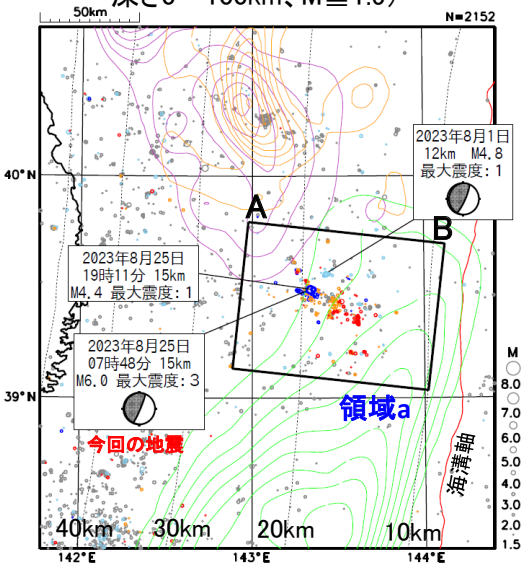


※変位波形は加速度記録を気象庁59型地震計相当に変換したもの

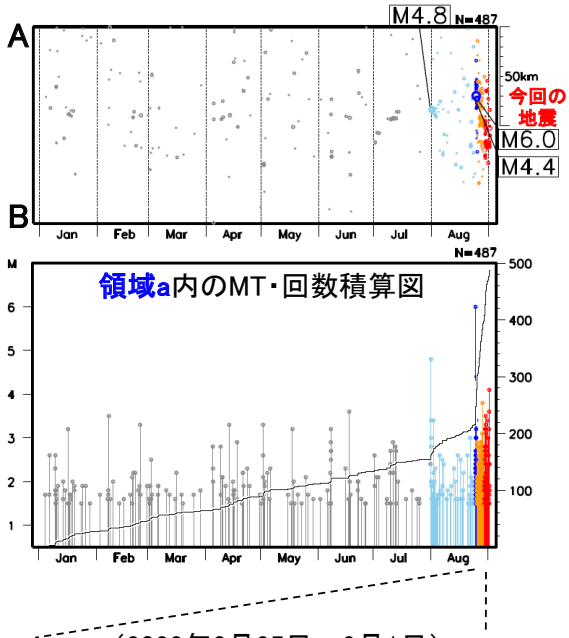
第 6 図 (b)　つづき
Fig. 6(b)　　Continued.

8月25日三陸沖の地震（地震活動）

震央分布図
（2023年1月1日～9月1日、
深さ0～100km、M≧1.5）

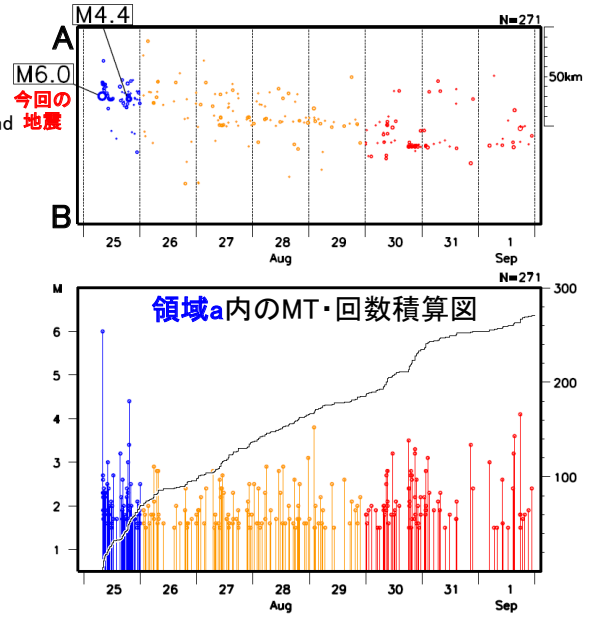


領域a内の時空間分布図（A-B投影）



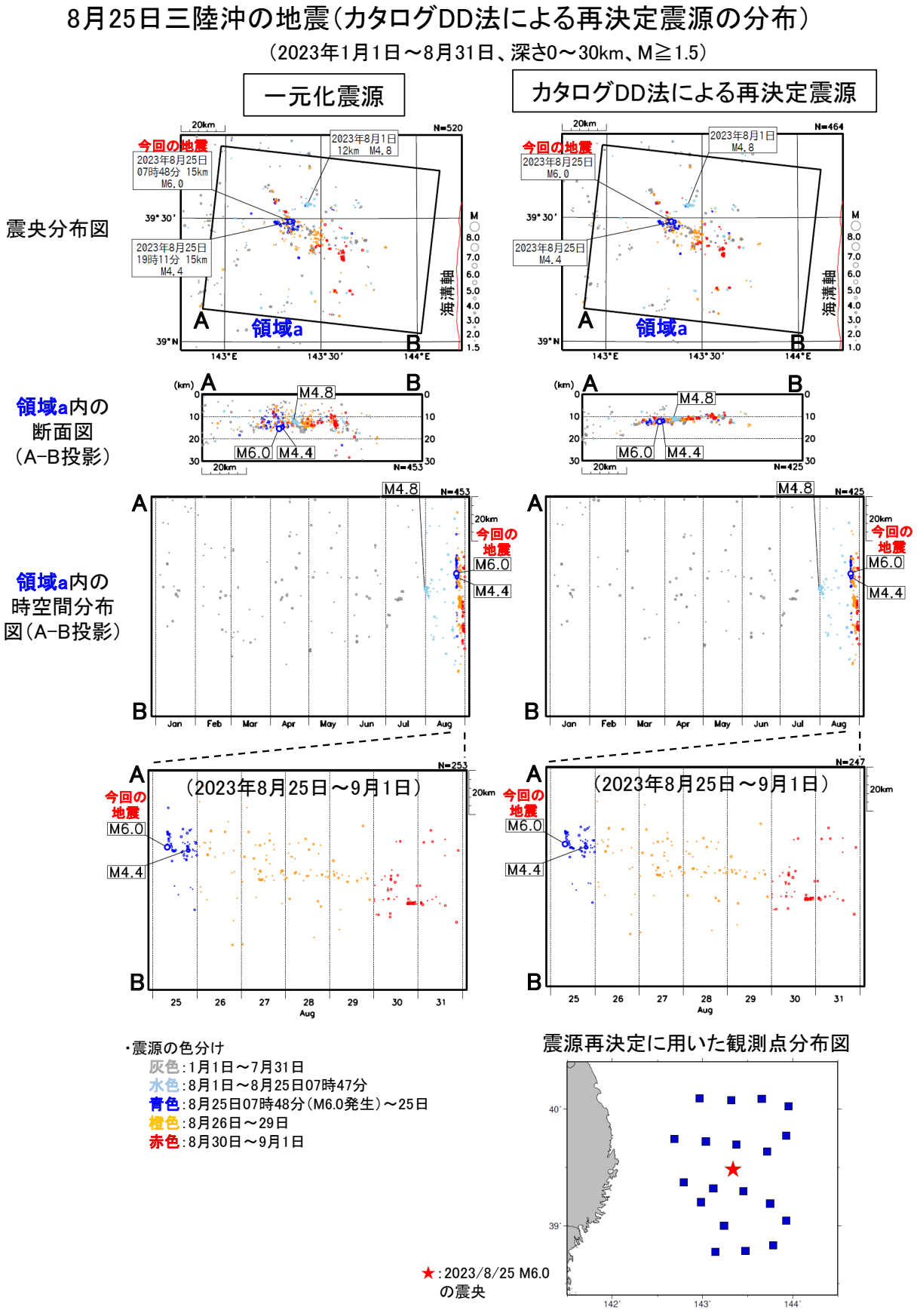
（2023年8月25日～9月1日）

領域a内の時空間分布図（A-B投影）

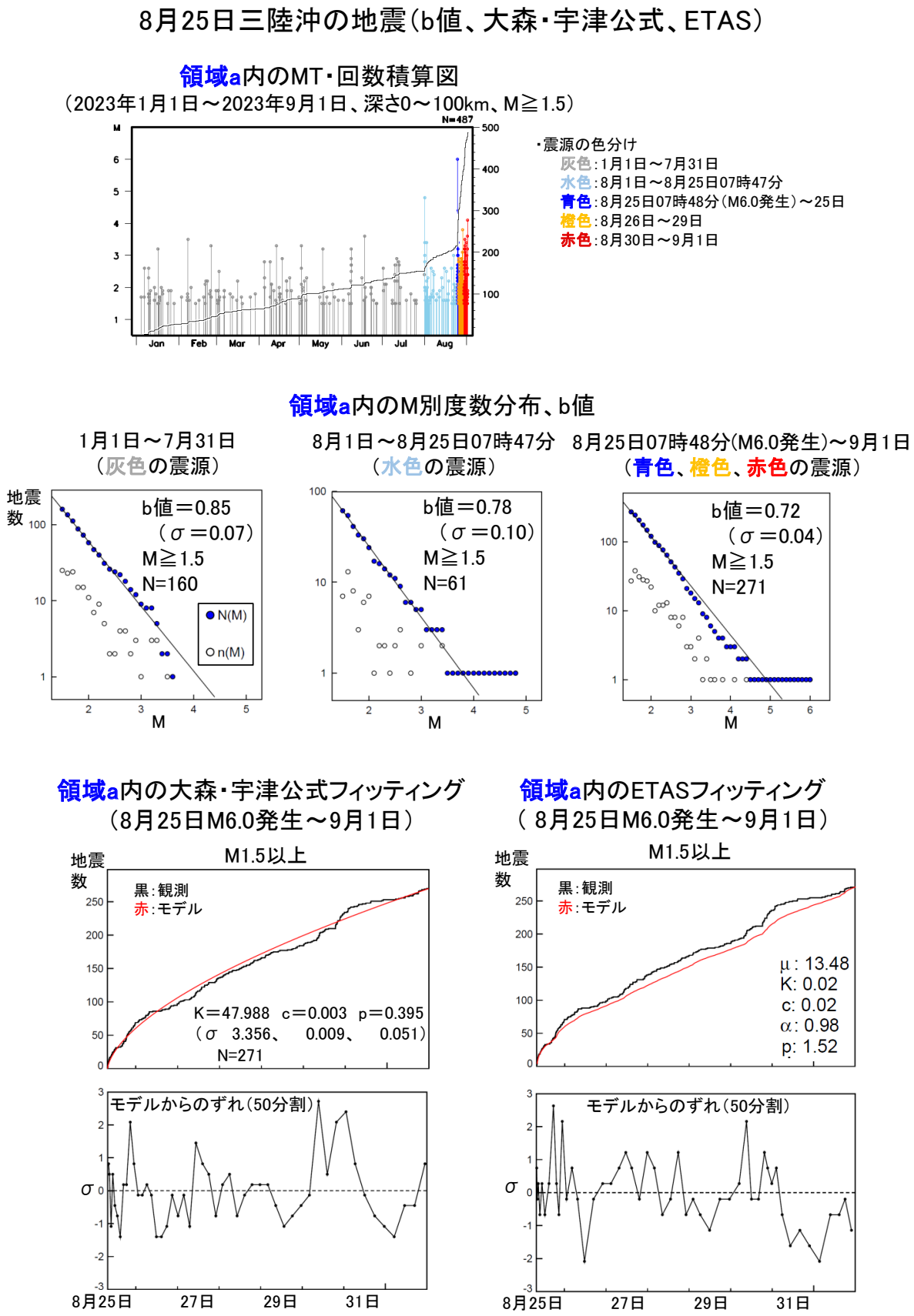


・震源の色分け
　灰色：1月1日～7月31日
　水色：8月1日～8月25日07時47分
　青色：8月25日07時48分（M6.0発生）～25日
　橙色：8月26日～29日
　赤色：8月30日～9月1日
・発震機構はCMT
・黒点線コンターは、太平洋プレート上面モデルの等深線（Nakajima and Hasegawa 2006）を示す。
・色付きコンターは以下の地震時すべり分布を示す。
　紫色：1968年十勝沖地震〔永井・他(2001)〕
　橙色：1994年三陸はるか沖地震〔永井・他(2001)〕
　緑色：2011年東北地方太平洋沖地震〔Yoshida et al.(2011)〕

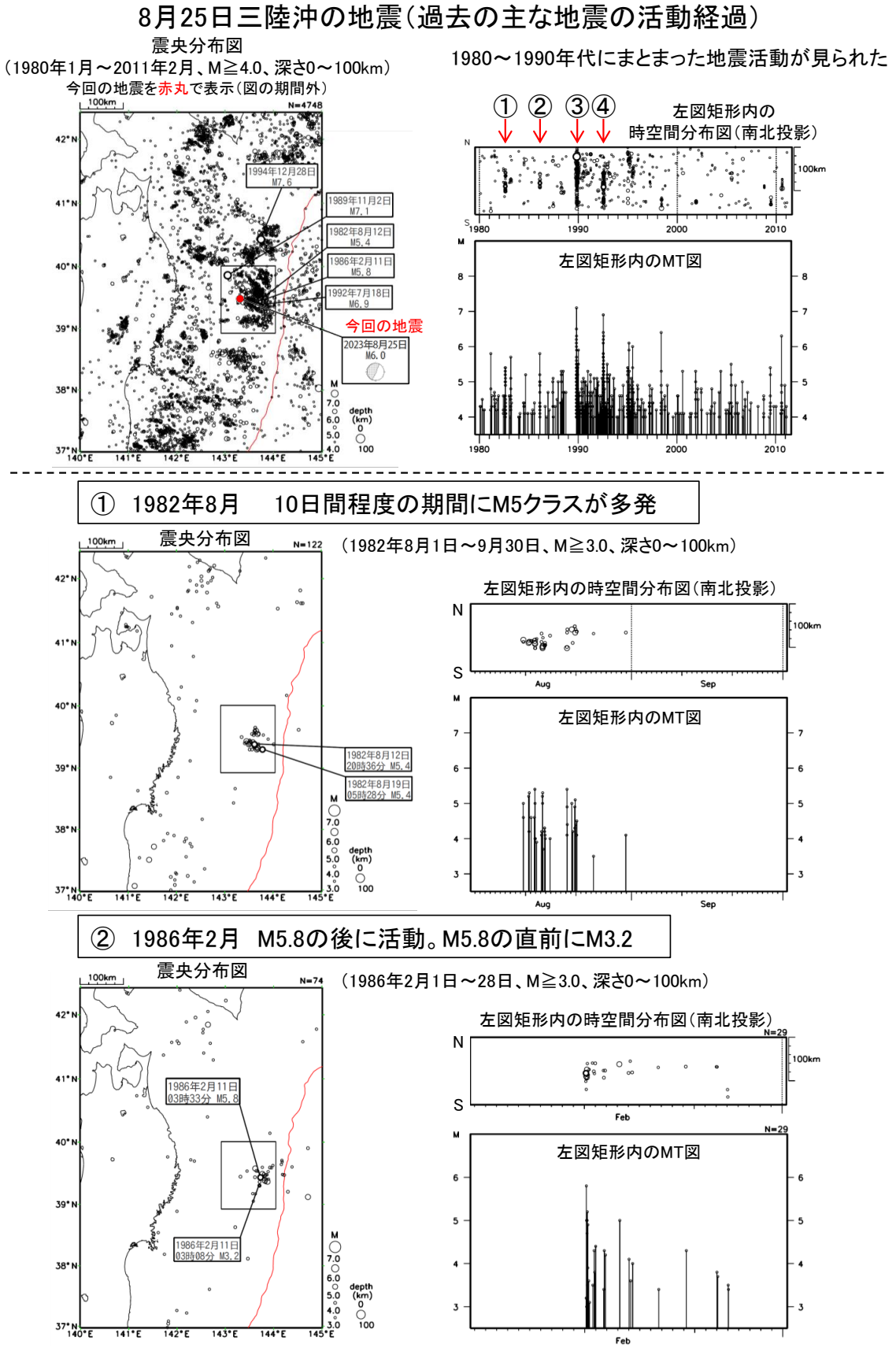
第 6 図 (c)　つづき
Fig. 6(c)　Continued.



第 6 図 (c)　つづき
Fig. 6(c)　Continued.



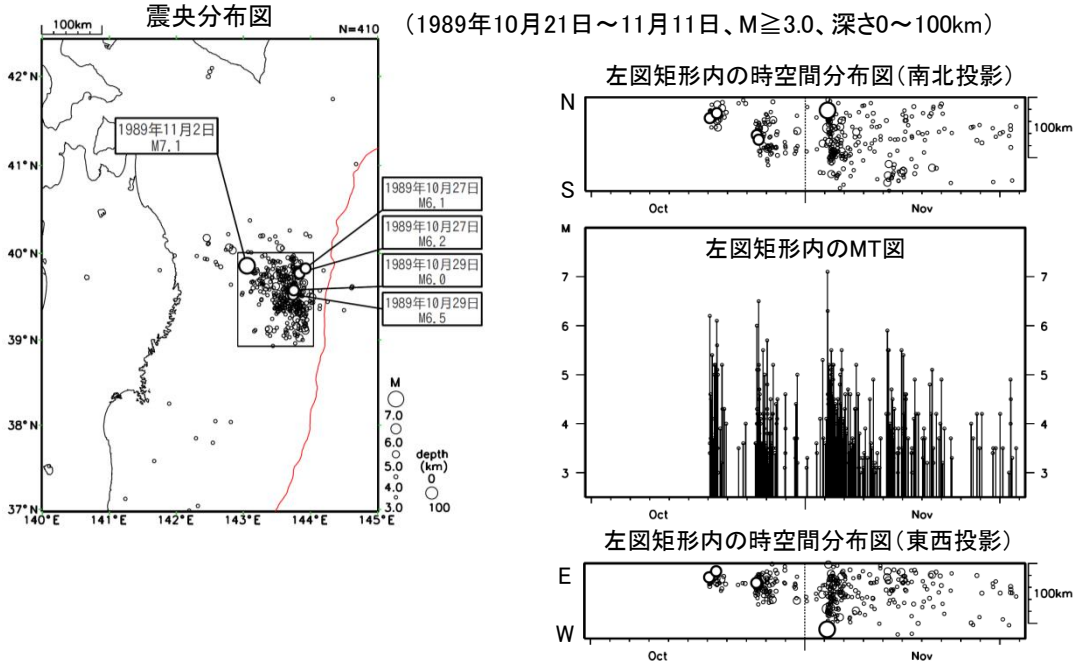
第 6 図 (c)　つづき
Fig. 6(c)　Continued.



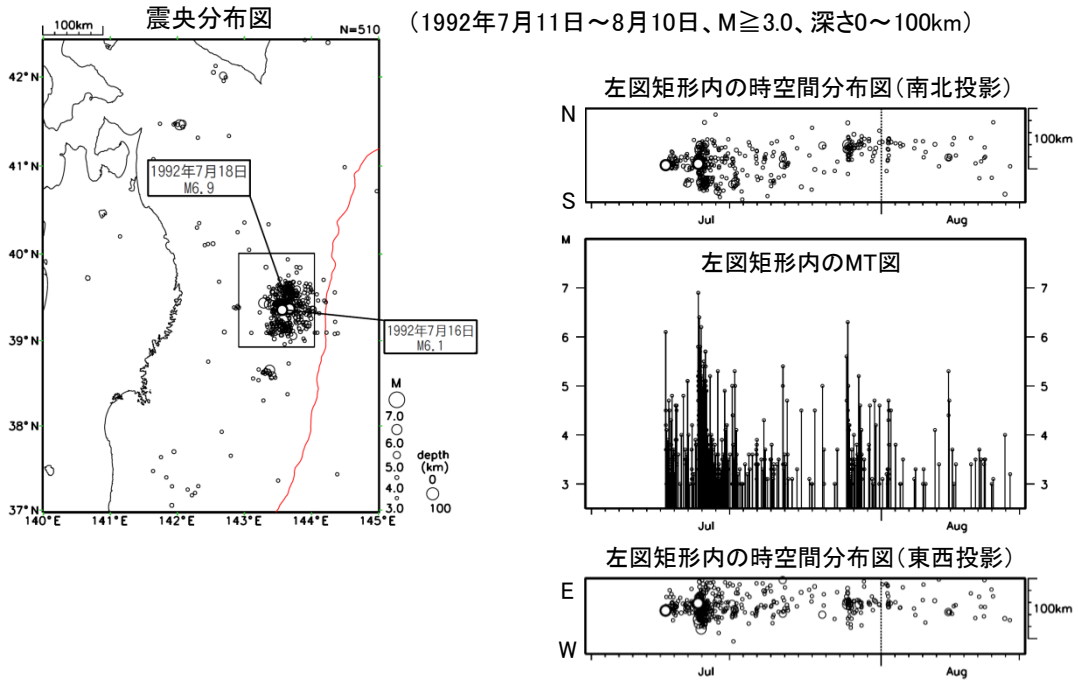
第 6 図 (d)　つづき
Fig. 6(d)　　Continued.

8月25日三陸沖の地震（過去の主な地震の活動経過（続き））

③　1989年10月～11月　　M7.1の地震の前に、M6.5などを含む活動



④　1992年7月　　M6.9の前にM6.1を含む活動

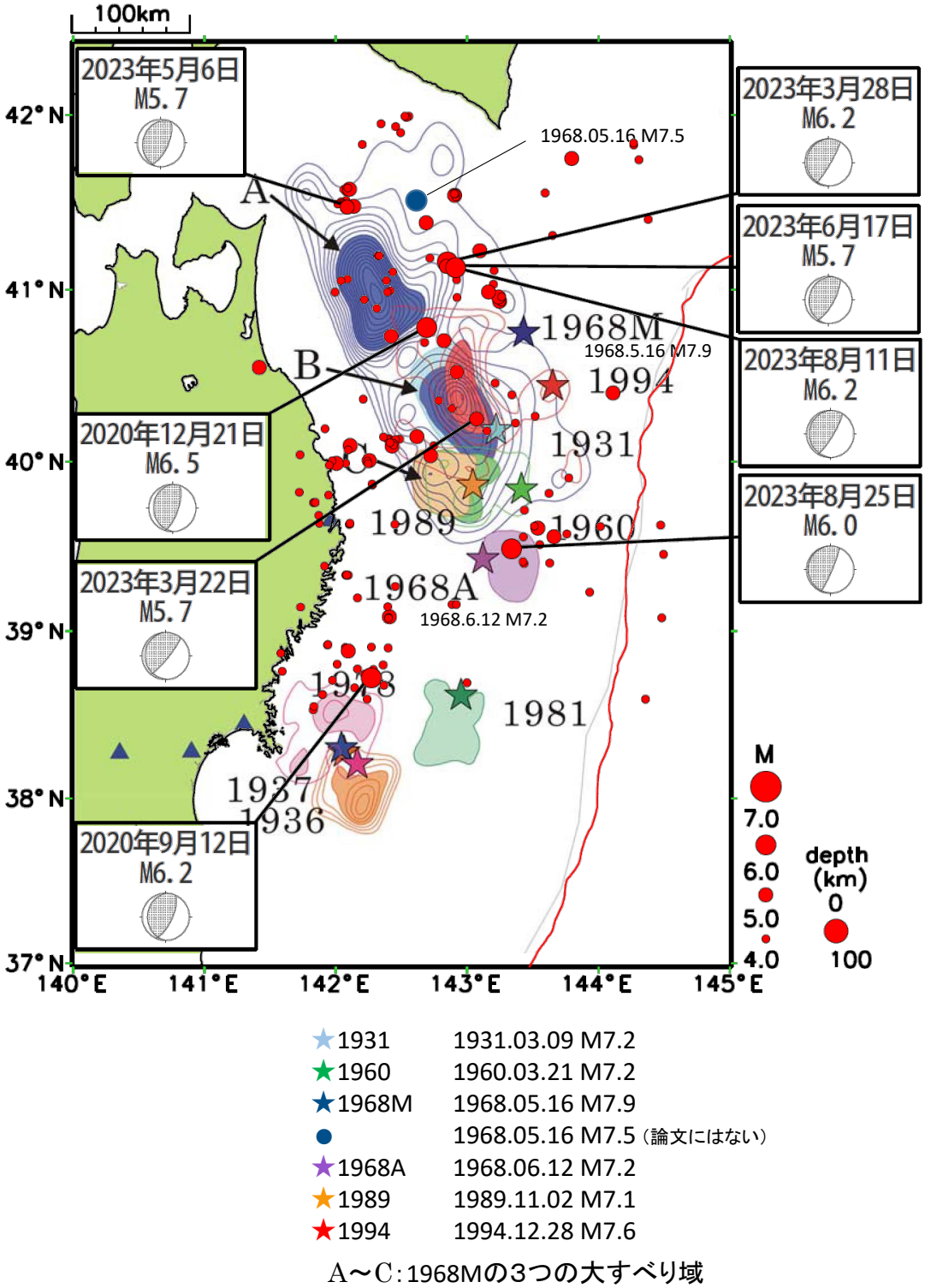


第 6 図 (d)　つづき
Fig. 6(d)　　Continued.

三陸沖の地震活動と、過去のすべり分布との比較

Yamanaka&Kikuchi (2004) のアスペリティーマップに最近の地震※をプロット

（※ 2020年9月～2023年8月の、概ねN38.5～N42° の範囲内の地震）



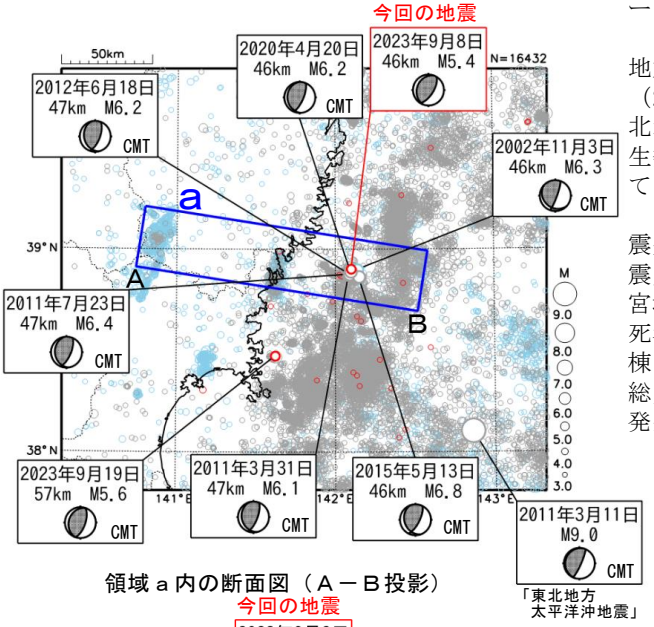
★1931	1931.03.09 M7.2
★1960	1960.03.21 M7.2
★1968M	1968.05.16 M7.9
●	1968.05.16 M7.5（論文にはない）
★1968A	1968.06.12 M7.2
★1989	1989.11.02 M7.1
★1994	1994.12.28 M7.6

A～C：1968Mの3つの大すべり域

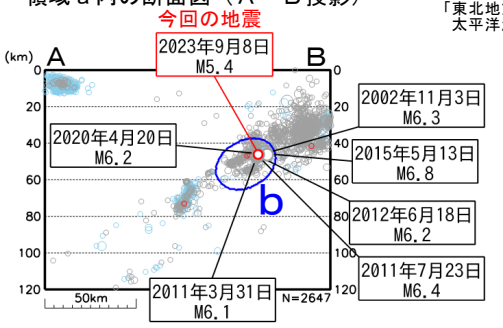
第 6 図 (e)　つづき
Fig. 6(e)　Continued.

９月８日　宮城県沖の地震

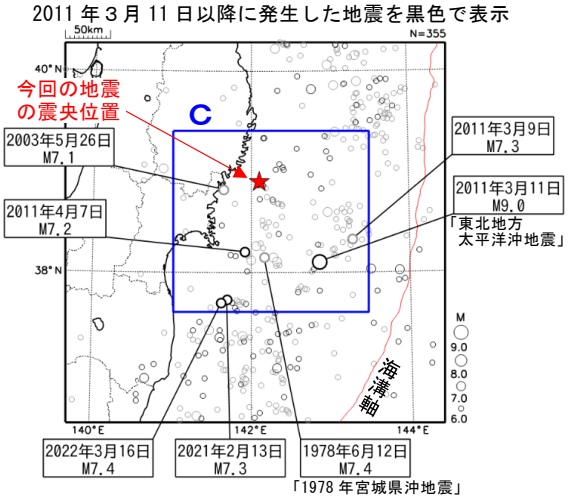
震央分布図
（1997 年 10 月１日～2023 年９月 30 日、
深さ０～120km、M≧3.0）
2011 年３月 10 日以前に発生した地震を水色、
2011 年３月 11 日以降に発生した地震を灰色、
2023 年９月に発生した地震を赤色で表示



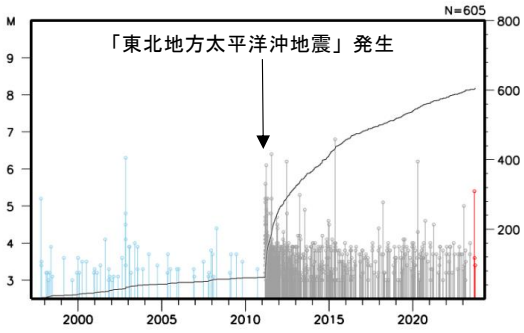
領域ａ内の断面図（Ａ－Ｂ投影）



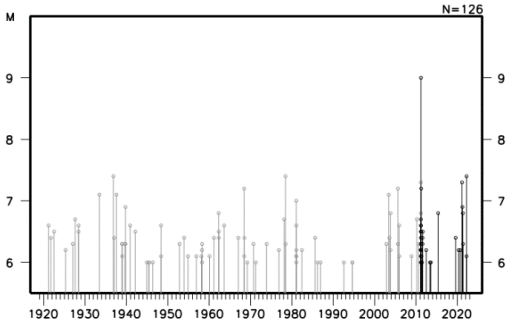
震央分布図
（1919 年１月１日～2023 年９月 30 日、
深さ０～120km、M≧6.0）
2011 年３月 10 日以前に発生した地震を灰色、
2011 年３月 11 日以降に発生した地震を黒色で表示



領域ｂ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図



領域ｃ内のＭ－Ｔ図



2023 年９月８日 18 時 28 分に宮城県沖の深さ 46km 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」）の発生以降、地震の発生数が増加し、M6.0 以上の地震が時々発生している。

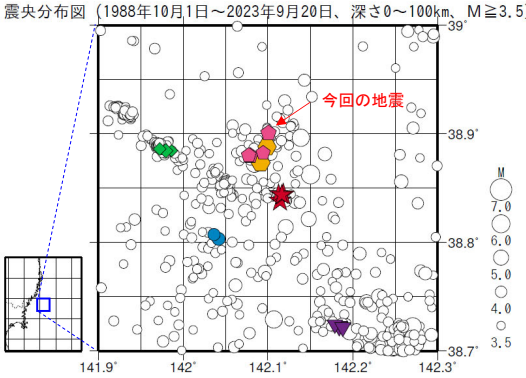
1919 年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｃ）では「東北地方太平洋沖地震」のほか、1978 年６月 12 日には「1978 年宮城県沖地震」（M7.4、最大震度５）が発生し、死者 28 人、負傷者 1,325 人、住家全壊 1,183 棟などの被害が生じる（被害は「日本被害地震総覧」による）など、M7.0 以上の地震が時々発生している。

第 7 図 (a)　2023 年 9 月 8 日　宮城県沖の地震
Fig. 7(a)　The earthquake off Miyagi Prefecture on September 8, 2023.

9月8日　宮城県沖の地震（相似地震）

2023年9月8日の宮城県沖の地震（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、
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（グループF：今回の地震を含め4地震）※1。

震央分布図（1988年10月1日～2023年9月20日、深さ0～100km、M≧3.5）



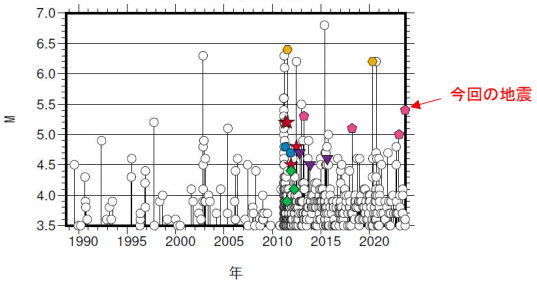
発生間隔と推定年平均すべり量※2

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	4	4.92	3	3	0.38	0.24	0.58	101.29
B	2	4.75	3	3	0.54	0.54	0.54	69.41
C	3	4.13	3	3	0.37	0.33	0.40	78.68
D	2	6.30	B	4	8.74	8.74	8.74	10.38
E	3	4.60	3	3	1.41	1.05	1.78	23.90
F	4	5.20	4	3	3.48	0.63	4.98	12.38

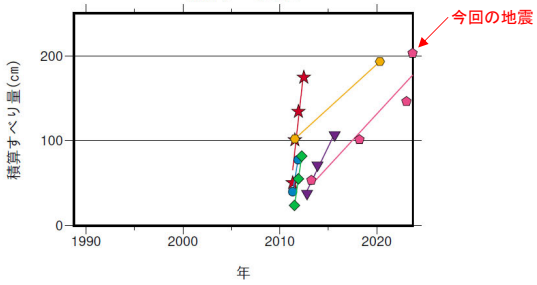
グループFの地震間コヒーレンス（橙色ハッチは0.95以上）

	2013/3/31 16:46	2018/3/23 6:32	2023/1/20 14:48	2023/9/8 18:28
2013/3/31 16:46		0.995	0.989	0.956
2018/3/23 6:32			0.99	0.946
2023/1/20 14:48				0.936
2023/9/8 18:28				

M－T図（上図内）

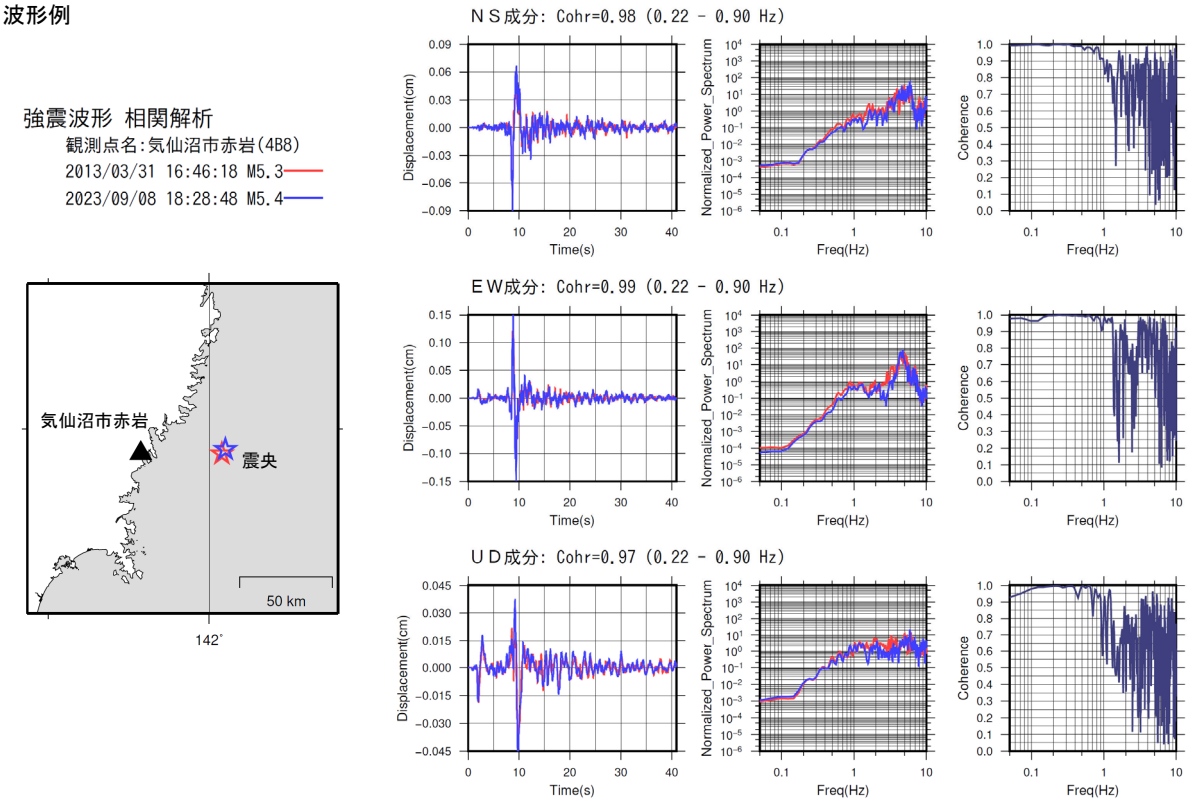


積算すべり量図※2



※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



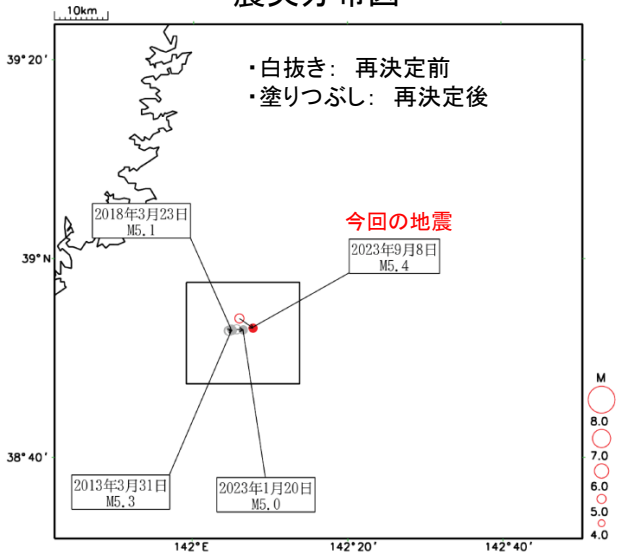
※変位波形は加速度記録を気象庁59型地震計相当に変換したもの

第 7 図 (b)　つづき
Fig. 7(b)　　Continued.

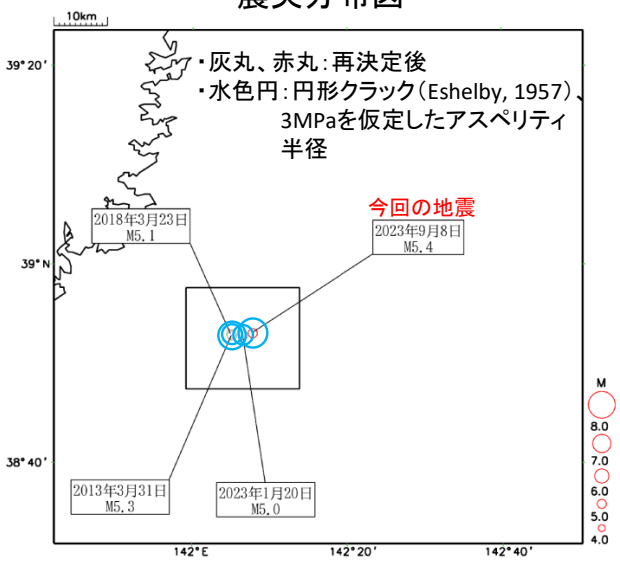
9月8日　宮城県沖の地震
（今回の地震の相似地震グループの震源再決定）

今回の地震はS相の検測値の一部を読み直し、
その他の地震はカタログ検測値を用いて再決定

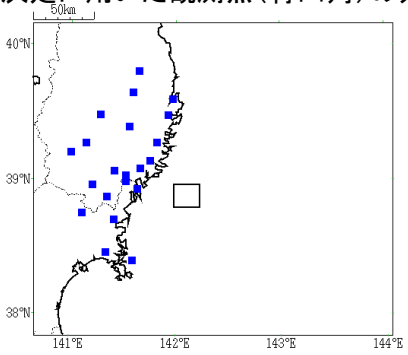
再決定前後を比較した
震央分布図



再決定後の
震央分布図



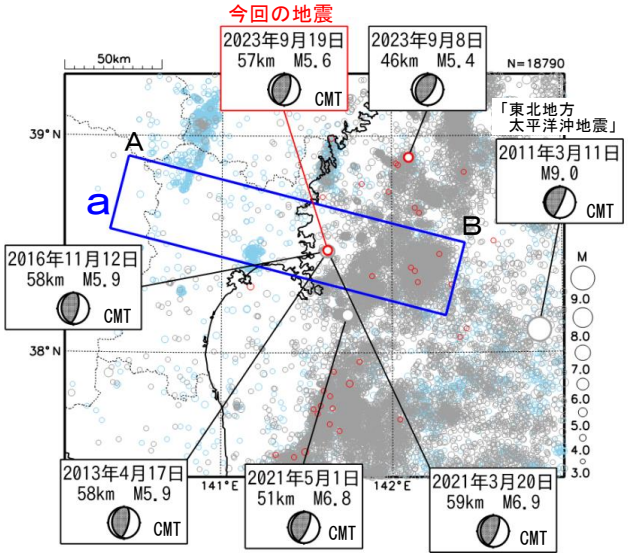
再決定に用いた観測点（青四角）の分布



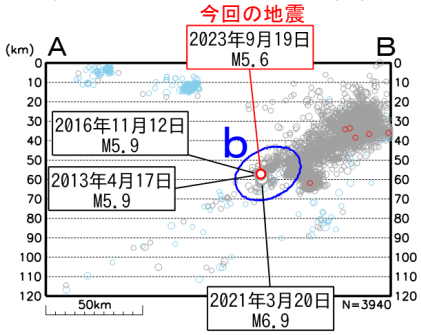
第 7 図 (c)　つづき
Fig. 7(c)　Continued.

９月 19 日　宮城県沖の地震

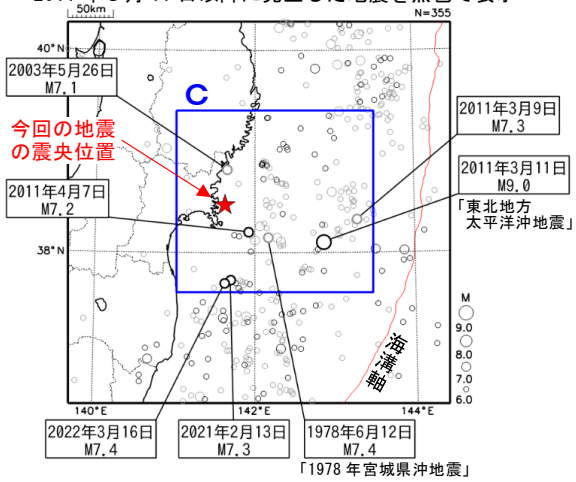
震央分布図
（1997 年 10 月１日～2023 年９月 30 日、
深さ０～120km、M≧3.0）
2011 年３月 10 日以前に発生した地震を水色、
2011 年３月 11 日以降に発生した地震を灰色、
2023 年９月に発生した地震を赤色で表示



領域 a 内の断面図（A－B 投影）



震央分布図
（1919 年１月１日～2023 年９月 30 日、
深さ０～120km、M≧6.0）
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で表示

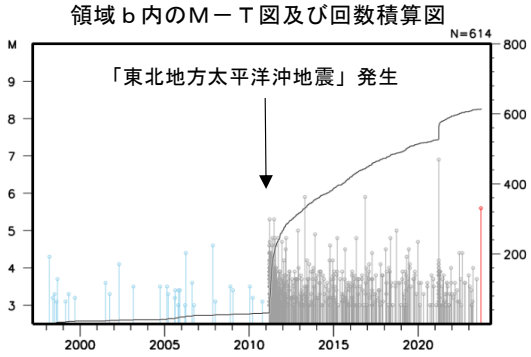


2023 年９月 19 日 04 時 33 分に宮城県沖の深さ 57km で M5.6 の地震（最大震度４）が発生した。この地震は発震機構（CMT 解）が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した。

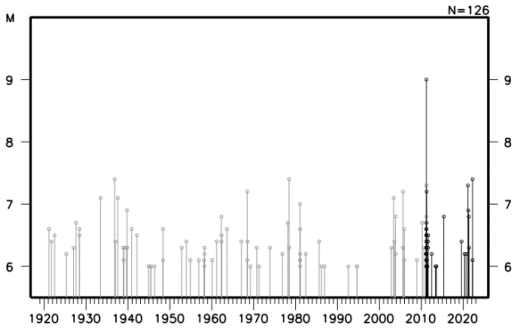
1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」（以下、「東北地方太平洋沖地震」）の発生以前は M5.0 以上の地震が発生していなかった。「東北地方太平洋沖地震」の発生以降は M5.0 以上の地震が時々発生している。このうち、2021 年３月 20 日に発生した M6.9 の地震（最大震度５強）では、負傷者 11 人、住家一部破損 12 棟などの被害が生じた（総務省消防庁による）。

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 棟などの被害が生じる（被害は「日本被害地震総覧」による）など、M7.0 以上の地震が時々発生している。

領域ｂ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図



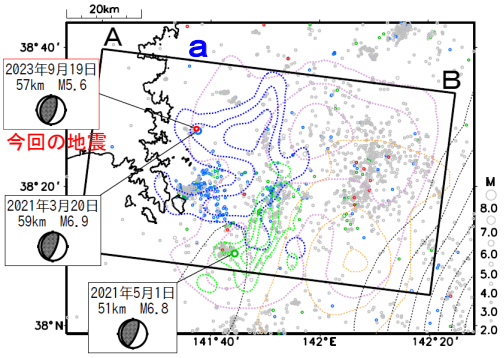
領域ｃ内のＭ－Ｔ図



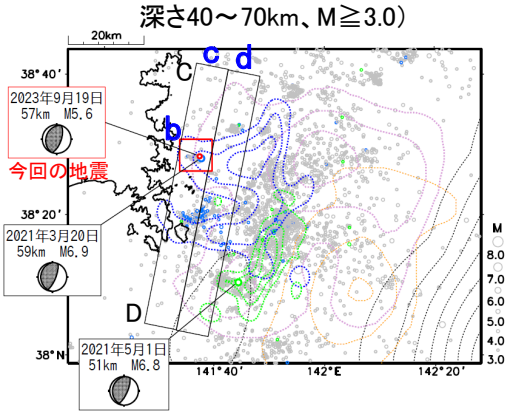
第 8 図 (a)　2023 年 9 月 19 日　宮城県沖の地震
Fig. 8(a)　The earthquake off Miyagi Prefecture on September 19, 2023.

9月19日　宮城県沖の地震（周辺の地震活動）

震央分布図
（2020年9月1日（S-net活用開始）～2023年9月25日、
深さ0～80km、M≧2.0）

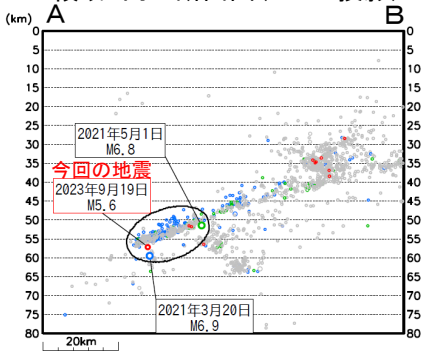


震央分布図
（1997年10月1日（一元化処理開始）～2023年9月25日、
深さ40～70km、M≧3.0）

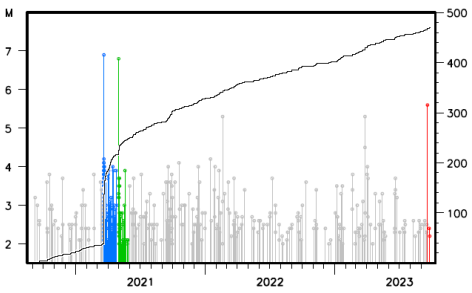


青丸：2021年3月20日M6.9発生～5月1日M6.8発生前
緑丸：2021年5月1日M6.8発生～5月30日
赤丸：2023年9月9日M5.6（今回の地震）発生以降

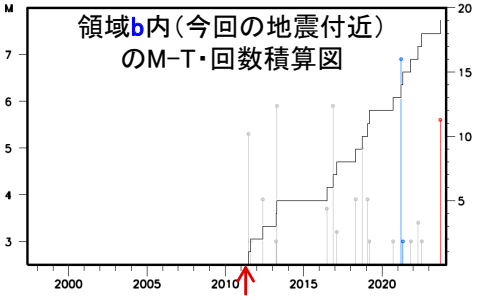
領域a内の断面図（A－B投影）



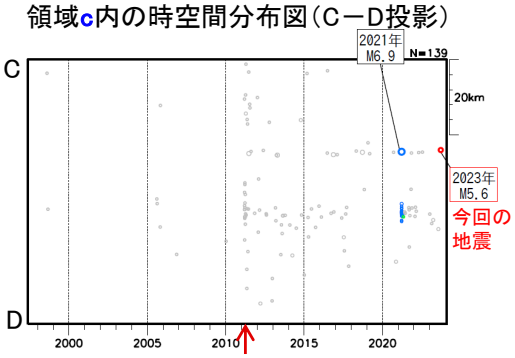
断面図楕円内のM-T・回数積算図



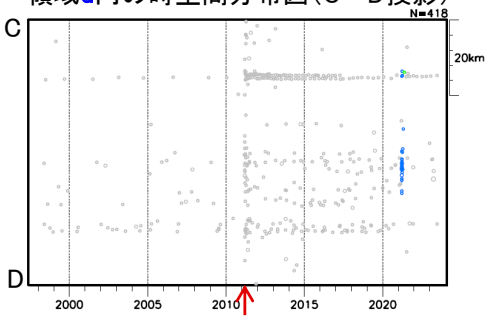
領域b内（今回の地震付近）のM-T・回数積算図



領域c内の時空間分布図（C－D投影）



領域d内の時空間分布図（C－D投影）



時系列図下の赤色矢印は、東北地方太平洋沖地震発生のタイミングを示す

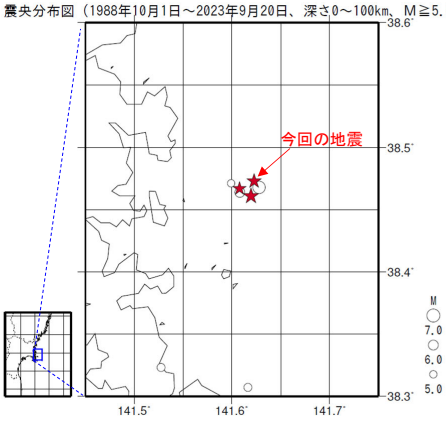
色付きの点線は以下の地震時すべり分布のコンターであることを示す。
薄紫色：　1978年宮城県沖地震〔Yamanaka and Kikuchi (2004) ：コンター間隔は0.5m〕
橙色：　2005年8月16日宮城県沖の地震〔山中 (2005)：コンター間隔は0.3m〕
黒色：　平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震〔Yoshida et al.(2011)：コンター間隔は4m〕
青色：　2021年3月20日宮城県沖の地震〔気象庁による近地強震波形解析：コンター間隔は0.15m〕
緑色：　2021年5月1日宮城県沖の地震〔気象庁による近地強震波形解析：コンター間隔は0.12m〕

第 8 図 (b)　つづき
Fig. 8(b)　Continued.

9月19日　宮城県沖の地震（相似地震）

2023年9月19日の宮城県沖の地震（M5.6、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、
新たな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：今回の地震を含め3地震）※1。

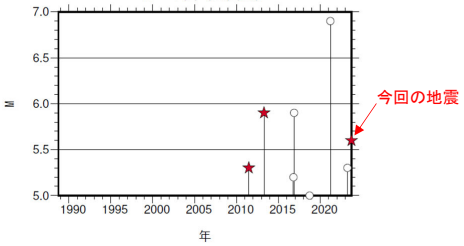
震央分布図（1988年10月1日～2023年9月20日、深さ0～100km、M≧5.0）



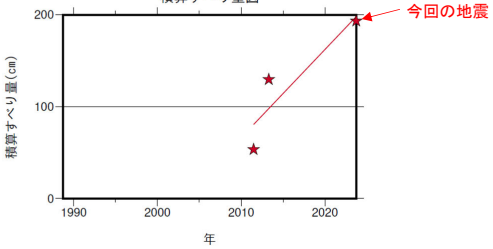
発生間隔と推定年平均すべり量※2

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	5.60	A	4	6.12	1.82	10.42	9.61

M－T図（上図内）

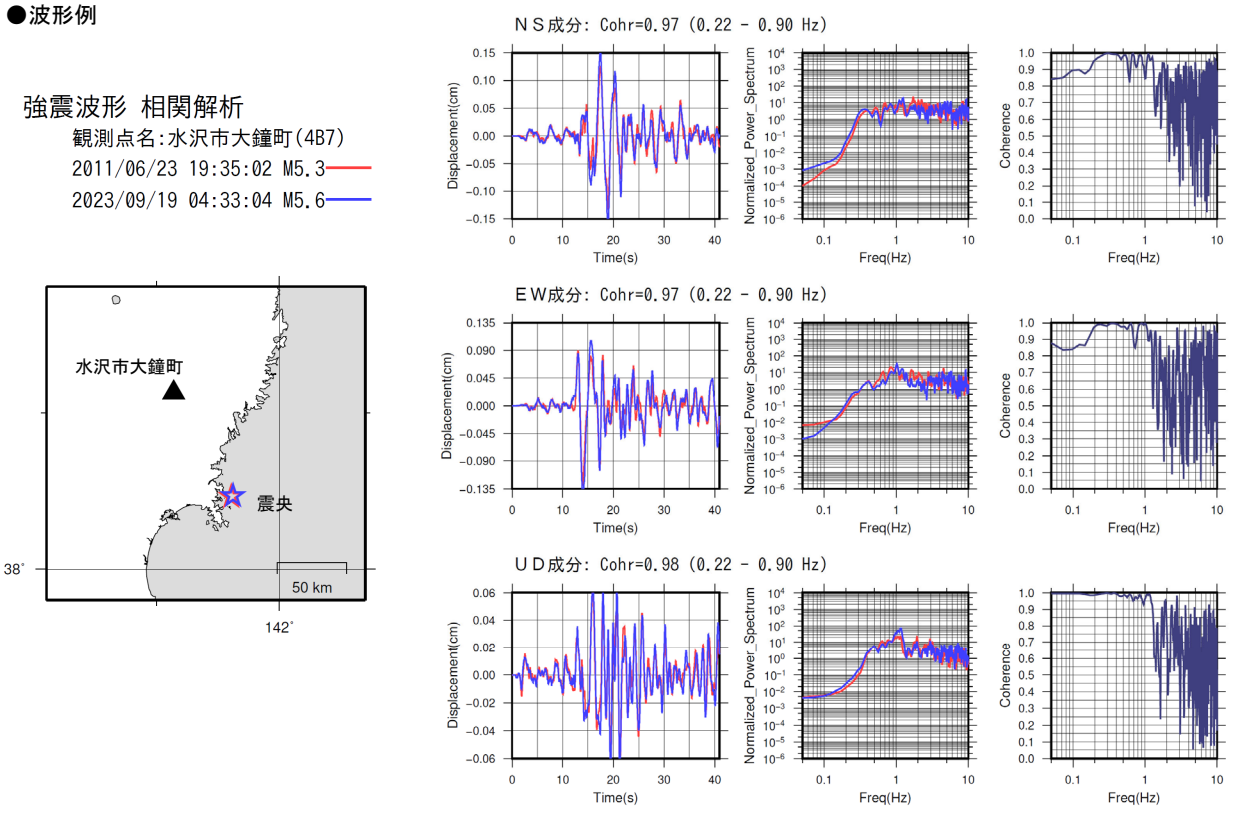


積算すべり量図※2



※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

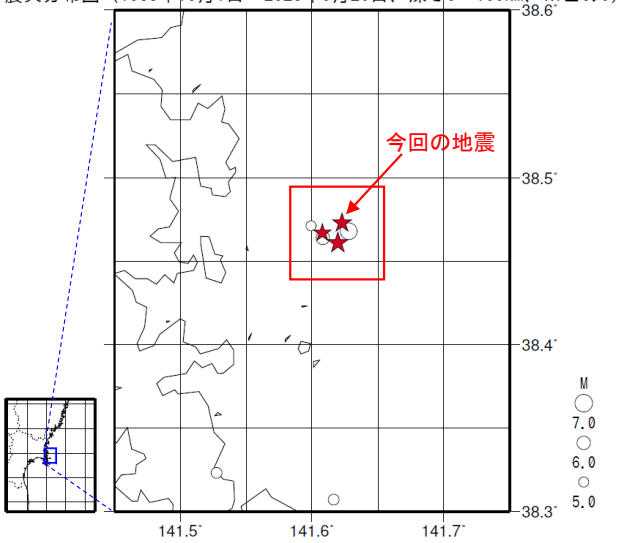


※変位波形は加速度記録を気象庁59型地震計相当に変換したもの

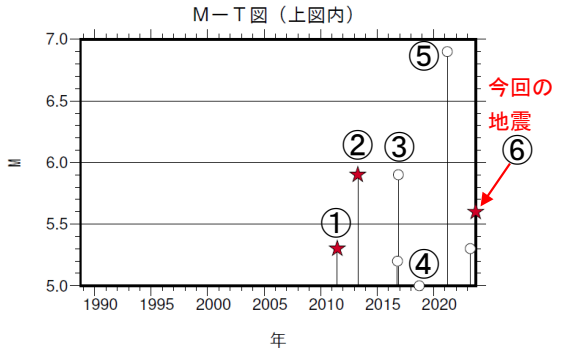
第 8 図 (c)　つづき
Fig. 8(c)　　Continued.

9月19日　宮城県沖の地震（相似地震）

震央分布図（1988年10月1日～2023年9月20日、深さ0～100km、M≧5.0）



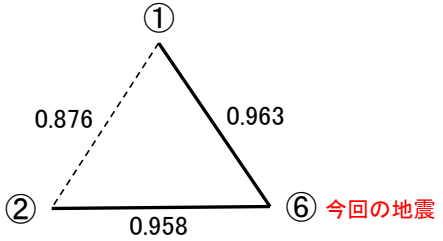
M－T図（上図内）



震央分布図の赤色矩形内の地震

★: ① 2011/06/23　M5.3 Mw5.3
★: ② 2013/04/17　M5.9 Mw5.9
○: ③ 2016/11/12　M5.9 Mw6.1
○: ④ 2018/09/19　M5.0 Mw5.1
○: ⑤ 2021/03/20　M6.9 Mw7.0
★: ⑥ 2023/09/19　M5.6 Mw5.5 今回の地震

今回検出された相似地震グループ
（左図の★:①、②、⑥）の
イベント間コヒーレンスの相関図
（実線:コヒーレンス0.95以上、点線:0.95未満）



今回の地震（⑥）の波形は近傍の地震（①、②）とよく似ている（コヒーレンスが0.95以上※1）が、①と②の間のコヒーレンスは十分に大きな値とはなっていない。

震央分布図の赤色矩形内の地震の
イベント間コヒーレンス

	①	②	③	④	⑤	⑥
①		0.876	0.748	0.804	0.676	0.963
②			0.786	0.808	0.708	0.958
③				0.691	0.722	0.77
④					0.614	0.802
⑤						0.703
⑥						

今回の地震近傍の①～⑤の地震は、Yoshida et al.(2022)※2により指摘されている準繰り返し地震（quasi-repeating earthquakes）に対応する。

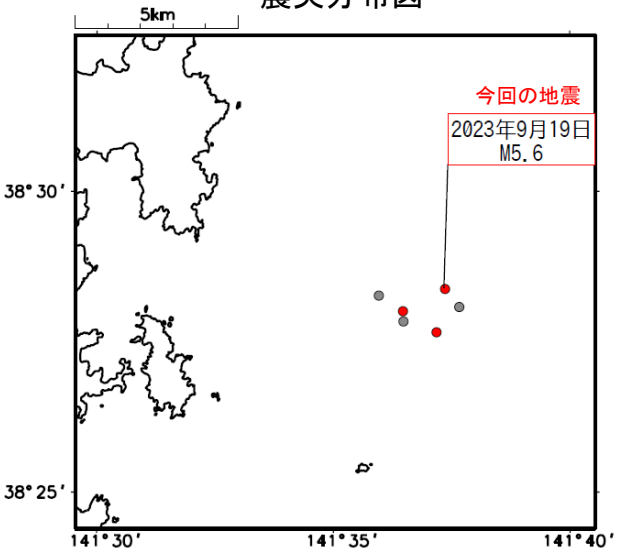
※1　各観測点の波形の比較で得られたコヒーレンスの中央値が0.95以上の場合に相似地震として検出し、相似地震のグループ分けはコヒーレンスを用いて機械的に行っている［溜渕ほか、2014］。
※2　Yoshida, K., Matsuzawa, T., & Uchida, N. (2022). The 2021 Mw7.0 and Mw6.7 Miyagi-Oki earthquakes nucleated in a deep seismic/aseismic transition zone: Possible effects of transient instability due to the 2011 Tohoku earthquake. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 127, e2022JB024887. https://doi.org/10.1029/2022JB024887

第 8 図 (d)　つづき
Fig. 8(d)　Continued.

9月19日　宮城県沖の地震
（今回の地震の相似地震グループとその周辺地震の震源再決定）

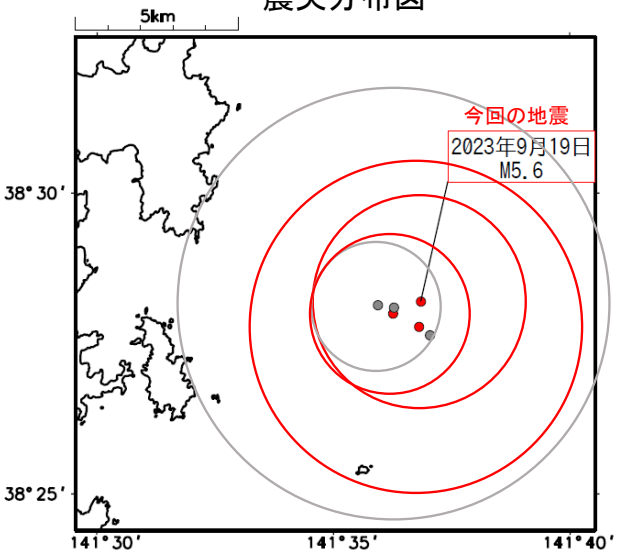
カタログ検測値を用いて観測点限定で再決定した震源

再決定前の
震央分布図



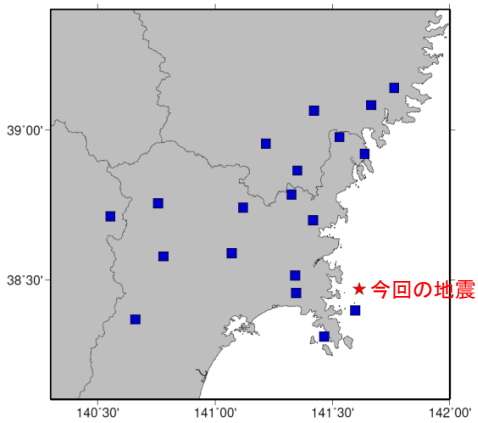
・赤丸：検出された相似地震
・灰丸：それ以外

再決定後の
震央分布図



・赤丸：検出された相似地震
・灰丸：それ以外
・灰円と赤円は、それぞれ赤丸と灰丸のMwから円形クラック（Eshelby, 1957）、3MPaを仮定して求めたアスペリティ半径の円。2021/3/20のM6.9は地図の範囲外。

再決定に用いた観測点（青四角）の分布



第 8 図 (e)　つづき
Fig. 8(e)　Continued.

３－２　東北地方の地殻変動
Crustal Deformations 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 ～ 3 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，全期間の累積の変動を，福江観測点を固定局として示したものである．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 167cm である．

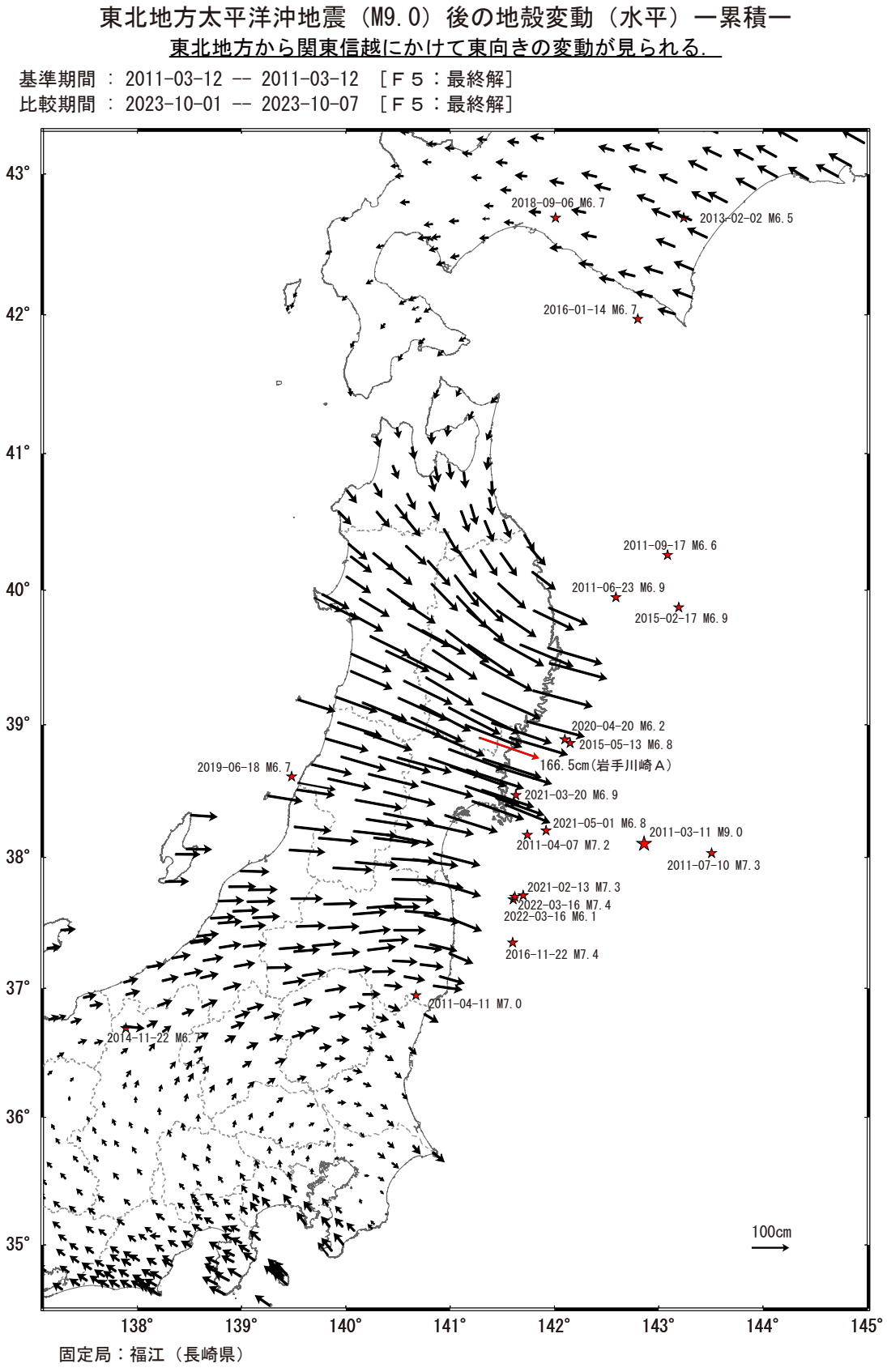
第 2 ～ 3 図は，地震後の全期間における上下変動の累積を，それぞれ，変動ベクトル図及び等値線図で示したものである．奥羽脊梁山脈付近で沈降が見られる一方，岩手県南部から千葉県の太平洋沿岸では隆起傾向が見られる．M牡鹿観測点は，2022 年 3 月 16 日の福島県沖の地震に伴って約 2cm 隆起し，累計で約 78cm の隆起となっている．

［GNSS　連続観測　東北地方太平洋沖地震後］

第 4 ～ 6 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 4 図の地図に示した太平洋岸の観測点 8 点について，第 5 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．

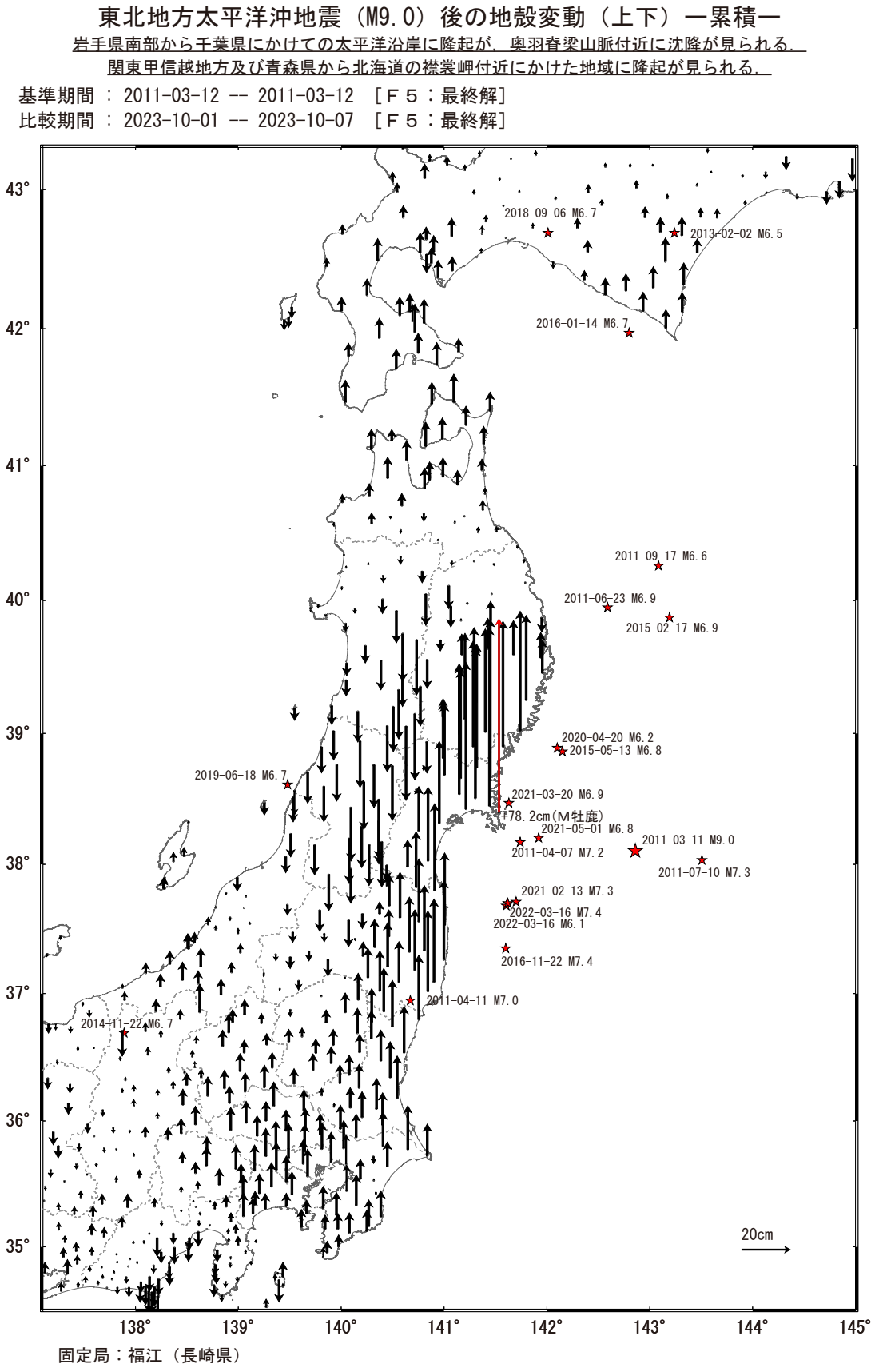
第 5 ～ 6 図の各観測点の時系列では，東北地方太平洋沖地震の余効変動が減衰しながらも継続している様子が見られる．また，第 4 図の地図に示した各地震の影響が，震源近傍の観測点で見られる．

上下成分については，(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．



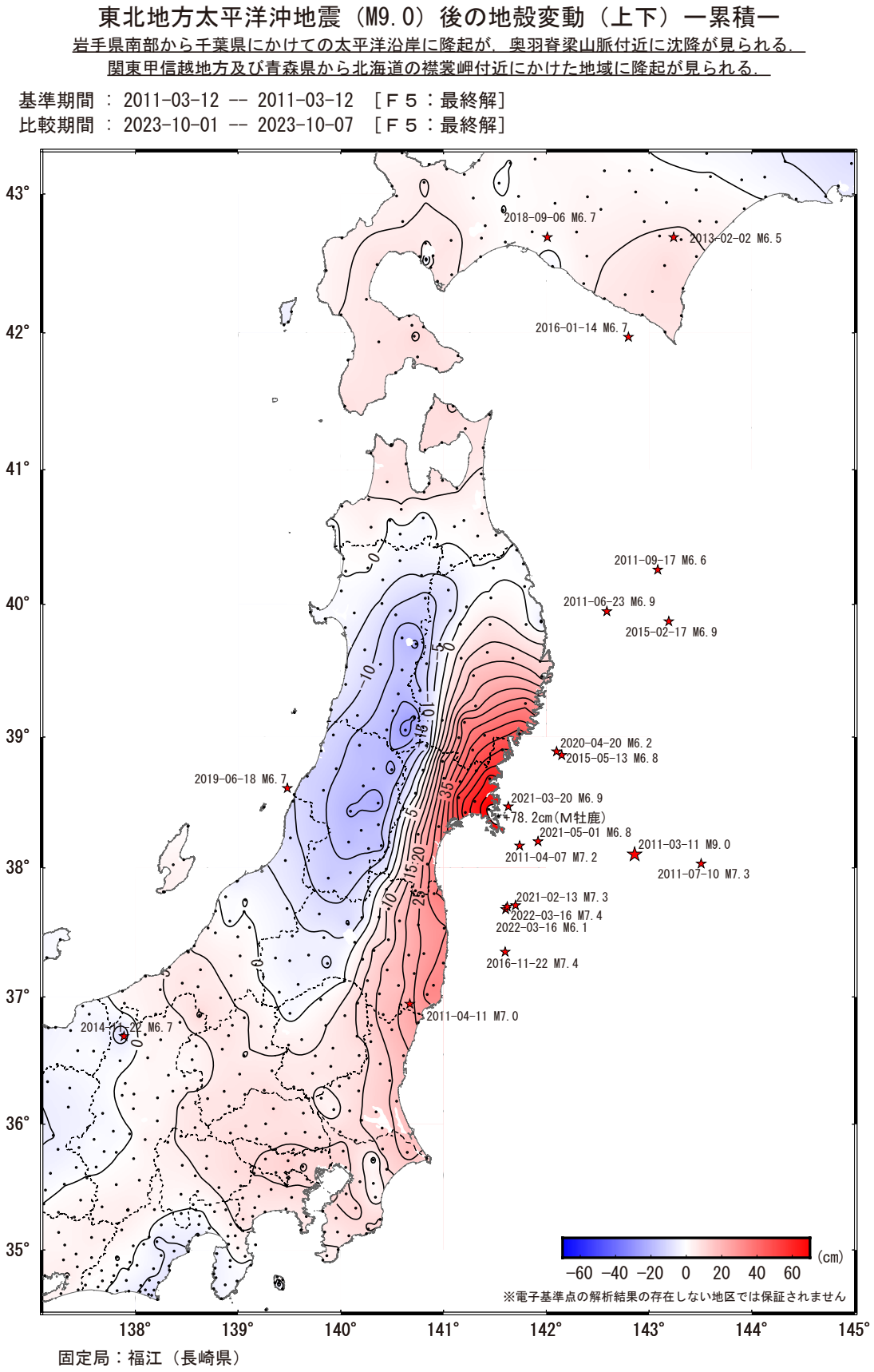
第 1 図　2011 年東北地方太平洋沖地震後の累積地殻変動（水平）

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）

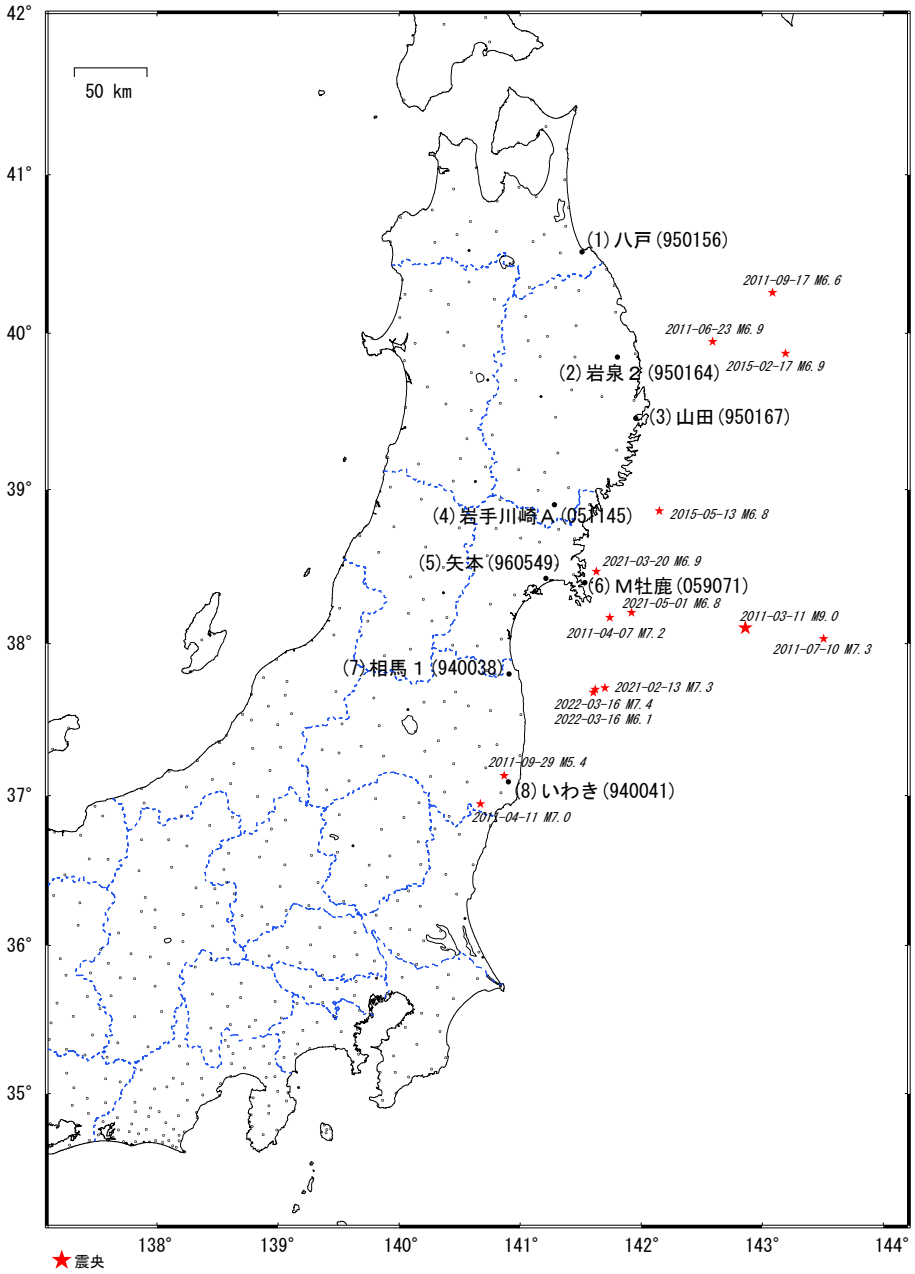
Fig. 2　Accumulated crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (vertical).



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).

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・受信機更新
		2018-01-20	アンテナ交換
		2020-10-06	アンテナ更新・レドーム交換
		2021-10-14	受信機更新
950164	岩泉２	2012-02-09	アンテナ更新
		2016-11-29	受信機更新
950167	山田	2012-02-04	アンテナ更新・受信機更新
		2018-11-28	受信機更新
051145	岩手川崎Ａ	2012-01-25	アンテナ更新・受信機更新
		2019-02-14	受信機更新
960549	矢本	2011-12-16	アンテナ更新
		2016-02-19	周辺伐採
		2016-12-02	受信機更新
		2019-11-13	周辺伐採

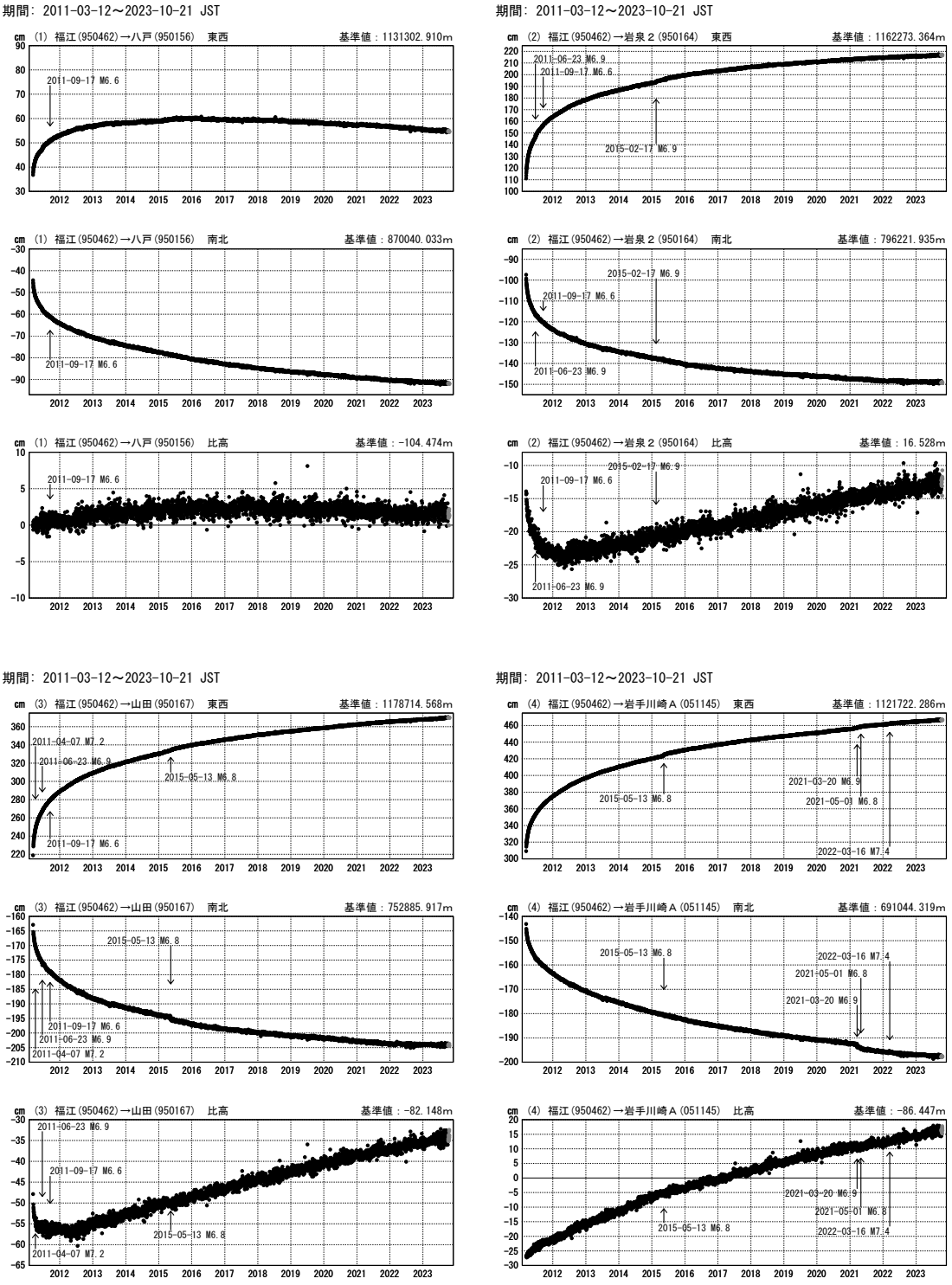
点番号	点　名	日　付	保守内容
059071	Ｍ牡鹿	2016-02-18	受信機更新
		2019-09-04	周辺伐採
		2019-09-24	受信機交換
		2019-10-16	受信機更新
		2019-10-31	周辺伐採
		2020-11-17	アンテナ交換・レドーム交換
		2022-10-24	アンテナ更新・受信機更新
		2023-05-12	受信機交換
940038	相馬１	2012-01-12	アンテナ更新・受信機更新
		2014-11-20	受信機交換
		2019-02-01	受信機更新
940041	いわき	2011-12-13	アンテナ更新
		2013-12-05	レドーム開閉
		2017-11-01	受信機更新
950462	福江	2012-11-07	アンテナ更新
		2016-02-17	受信機更新
		2021-02-04	受信機更新

第 4 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. 4　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）

成分変化グラフ



● ---[F5:最終解]　● ---[R5:速報解]

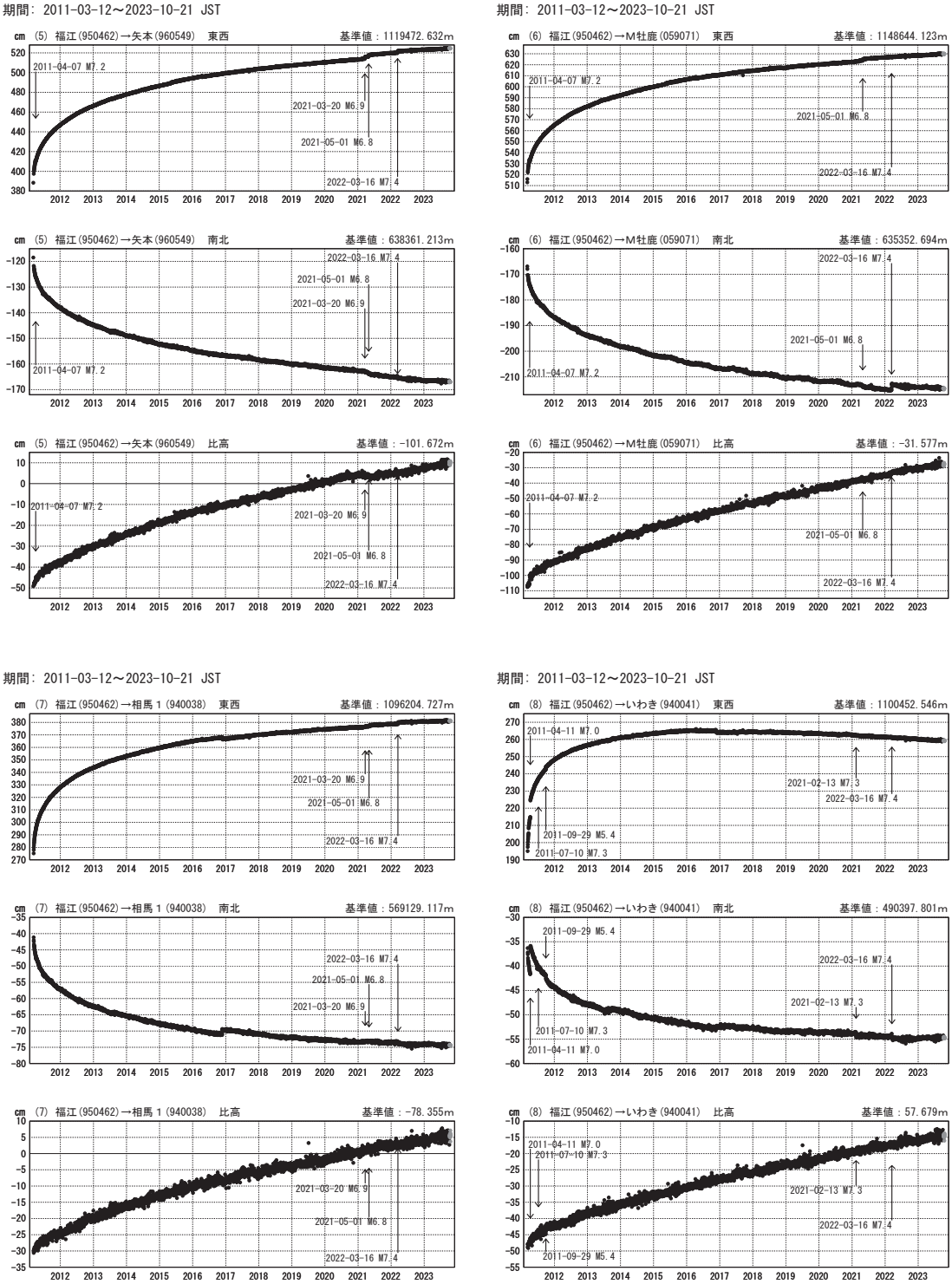
※グラフの縦軸は2011-03-10の値を0cmとした.

第 5 図　東北地方太平洋沖地震後の地殻変動（1/2）

Fig. 5　Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (1/2).

平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震後の地殻変動（２）

成分変化グラフ



● ---[F5:最終解]　● ---[R5:速報解]

※グラフの縦軸は2011-03-10の値を0cmとした.

第 6 図　東北地方太平洋沖地震後の地殻変動（2/2）

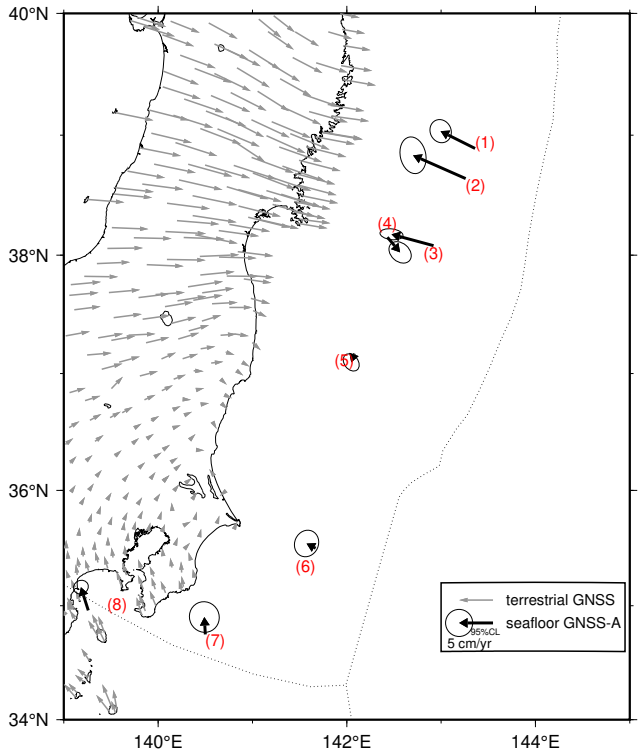
Fig. 6　Crustal deformation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (2/2).

３－３　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（F5 解）とともにそれぞれ示す．第 3 図には変位時系列を示す．

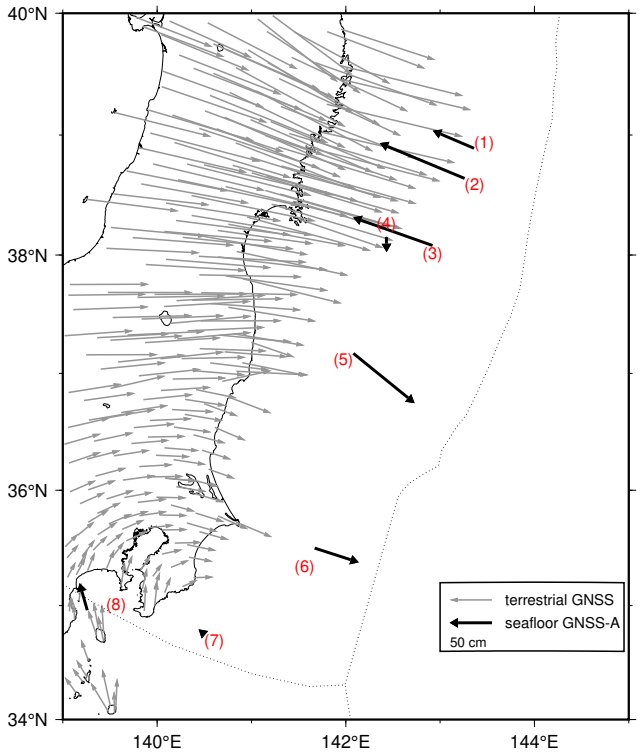
Site name	Lat. (°N)	Lon. (°E)	Velocity (cm/yr)	(deg)	Period	Data
(1) KAMN	38.89	143.36	5.7	296.7	02/07/2020 - 07/31/2023	10
(2) KAMS	38.64	143.26	8.5	293.9	10/20/2019 - 07/31/2023	12
(3) MYGI	38.08	142.92	6.4	285.2	10/20/2019 - 09/03/2023	15
(4) MYGW	38.15	142.43	2.9	139.8	03/09/2019 - 03/06/2023	16
(5) FUKU	37.17	142.08	1.4	199.4	10/19/2019 - 08/01/2023	15
(6) CHOS	35.50	141.67	1.5	297.5	10/17/2019 - 09/05/2023	13
(7) BOSN	34.75	140.50	2.6	356.8	03/05/2019 - 02/17/2023	15
(8) SAGA	34.96	139.26	3.6	342.4	08/11/2019 - 08/06/2023	15
GEONET					09/05/2019 - 09/05/2023	



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】

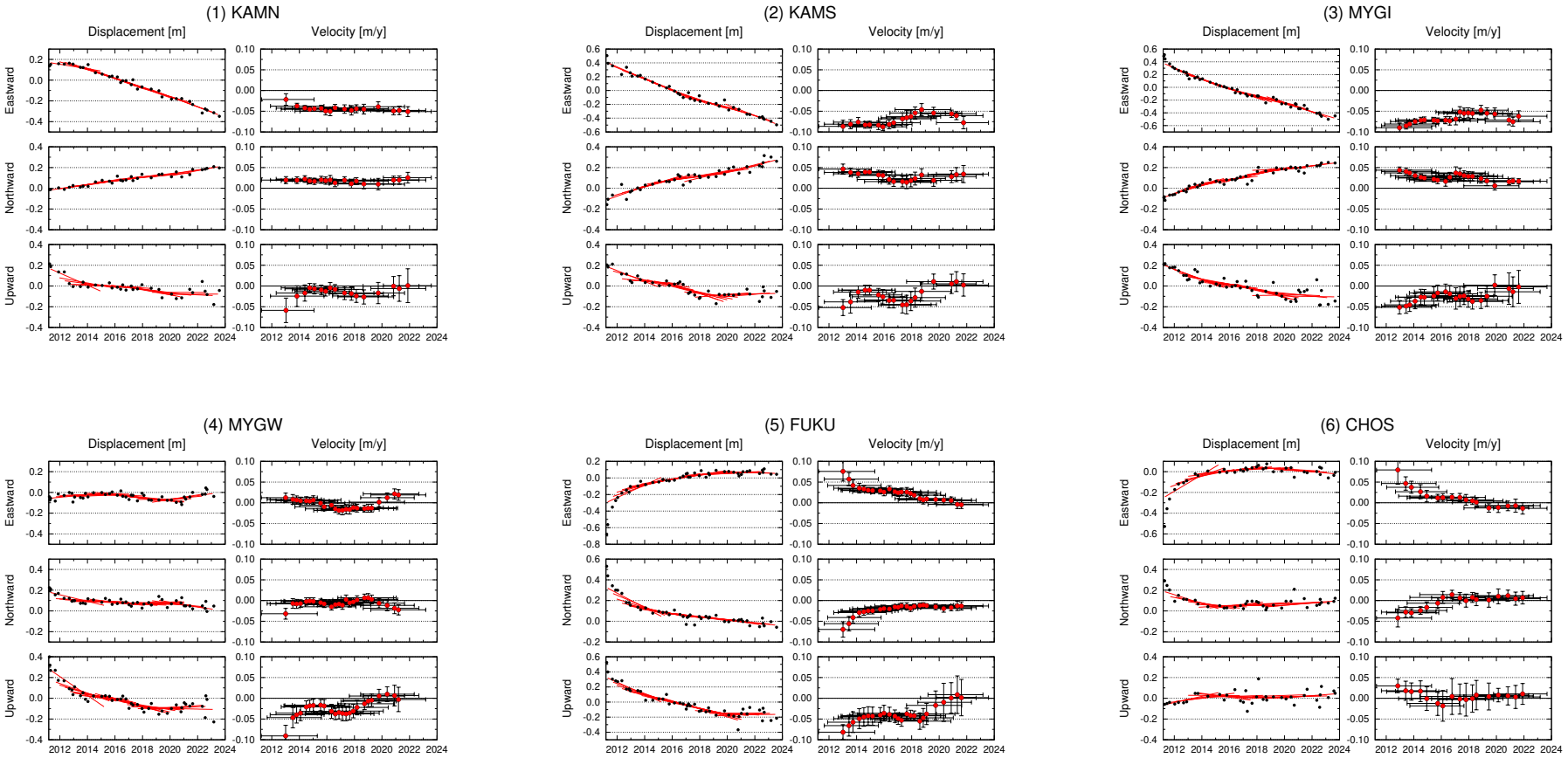
Fig. 1　Horizontal seafloor crustal movements along the Japan Trench in recent 4 years with respect to the stable part of the North American plate.

Site name	Lat. (°N)	Lon. (°E)	Movement (cm)	(deg)	Period
(1) KAMN	38.89	143.36	53.0	293.2	04/03/2011 - 07/31/2023
(2) KAMS	38.64	143.26	108.5	292.7	04/04/2011 - 07/31/2023
(3) MYGI	38.08	142.92	99.4	289.6	03/28/2011 - 09/03/2023
(4) MYGW	38.15	142.43	17.7	178.9	03/27/2011 - 03/06/2023
(5) FUKU	37.17	142.08	93.2	129.2	03/29/2011 - 08/01/2023
(6) CHOS	35.50	141.67	54.7	107.9	04/17/2011 - 09/05/2023
(7) BOSN	34.75	140.50	9.0	311.1	04/18/2011 - 02/17/2023
(8) SAGA	34.96	139.26	33.3	344.2	05/07/2011 - 08/06/2023
GEONET					04/01/2011 - 09/02/2023



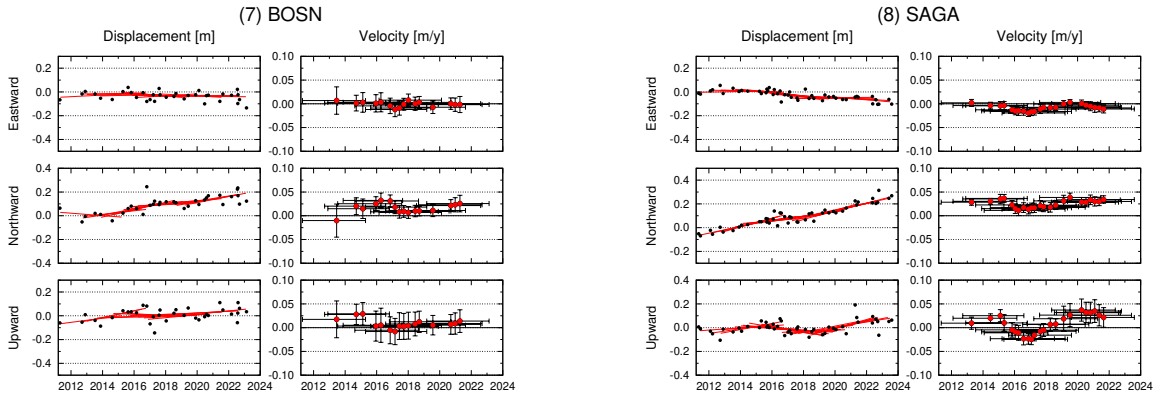
第 2 図　東北地震後の日本海溝沿いの累積水平移動量【北米プレート固定】

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 vertical bars indicate 95% confidence intervals, the horizontal bars indicate data periods for estimating the velocities.



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 111 巻　2024 年 3 月発行

３－４　地殻変動予測：東北沖地震の余効変動
Experimental forecast of postseismic deformation of the 2011 Tohoku-oki earthquake

宗包　浩志
Hiroshi Munekane (Geospatial Information Authority of Japan)

国土地理院では平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の余効変動の時系列に対し，ある期間を選んで関数近似を行いその後の余効変動の予測力を評価する予測実験に取り組んでいる．

最近，Fujiwara et al. (2022) [1] により，Tobita (2016)[2] の手法に基づき時空間モデルを構築し，その予測と 2020 年までの地殻変動を比較したところ，2015 年 2 月以降に広域でほぼ一定速度で進行するずれが見いだされた．また，この一定速度成分も新たな補正項として追加した改良時空間モデルを用いることで，予測精度が向上することも示されている．本発表では，Fujiwara et al. (2022)[1] に従って構築した時空間モデルについて，予測精度を定量的に評価した結果について報告する．

Fujiwara et al. (2022) [1] の時空間モデルは以下の式で表される．

$$D(t)=a\ln(1+t/b)+c+d\ln(1+t/e)-f\exp(-t/g)+Vt, \quad (1)$$

ここで，$D(t)$ は余効変動時系列の東西，南北または上下成分，t は地震後の日数，ln は自然対数，b, e, g は対数関数または指数関数の緩和時定数，V は定常速度である．緩和時定数は，Tobita(2016) [2] と同じ 4 観測点のデータを用い，地震後 3.9 年までのデータから決定している．また，V は Tobita (2016) [2] と同じく 1997 年 4 月 1 日から 2000 年 3 月 31 日の観測値の近似直線の傾きの値で固定している．また，係数 a, d, f は観測点，成分毎に地震後 3.9 年までのデータのフィッティングにより決定している．Fujiwara at al. (2022) [1] では，Tobita(2016) [2] の手法によるフィッティングにおいて 2015 年以降残差が直線的に増加することから，式 (1) を以下のように改良した．

$$D(t)=a\ln(1+t/b)+c+d\ln(1+t/e)-f\exp(-t/g)+Vt+(c'+vt)\mathrm{H}'(t-t_0). \quad (2)$$

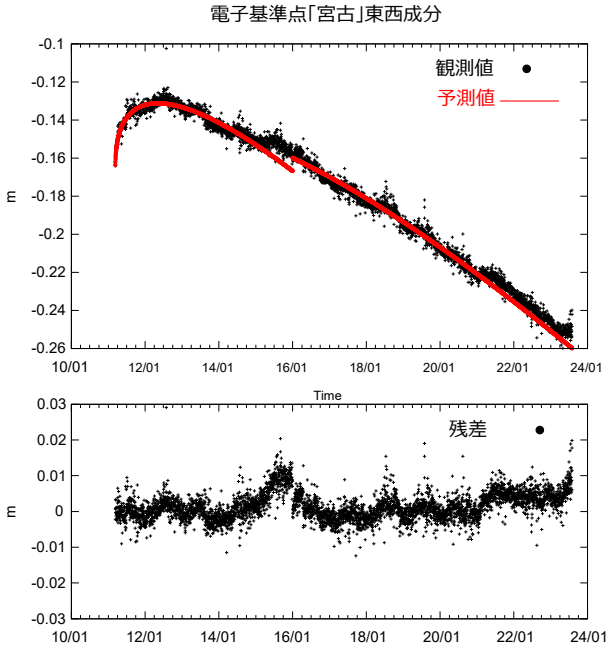
ここで H はステップ関数であり，t_0 としては 2015 年 7 月 1 日とする．追加された係数 c', v は 2016 年 1 月 1 日から 2020 年 12 月 31 日までのデータを用いて推定した．

式 (2) の予測力を評価するため，中部～北海道南部の電子基準点 340 点を用いた検証を行った．第 1 図に電子基準点「宮古」の東西成分における，GNSS 観測値と式 (2) による関数フィットとの比較を示す．おおむね良好なフィットが得られている．次に，予測期間として 2 年を取り，2021 年 1 月 1 日～ 10 日を基準とした 2023 年 1 月 1 日～ 10 日におけるずれを計算した．第 2 図に，ずれの水平成分，上下成分の大きさの空間分布を示す．多くの観測点で，水平 1cm，上下 1.5cm 以下に収まっていることが分かる．ずれが大きい観測点は，牡鹿半島の周辺および福島・宮城～山形の範囲に集中して分布している．ずれの平均値は，東西成分で 9.7mm，南北成分で 5.9mm，上下成分で 10.7mm であった．第 3 図に，予測値からのずれをプレート境界でのすべりによるものであると解釈した場合のすべり分布および観測値および計算値の比較を示す．すべりは，主に 2021 年 3 月と 5 月に発生したプレート間地震の震源断層モデルの近傍に位置し，推定されたすべりがこれらの地震の余効すべりであった可能性を示唆する．

（宗包　浩志）
MUNEKANE Hiroshi

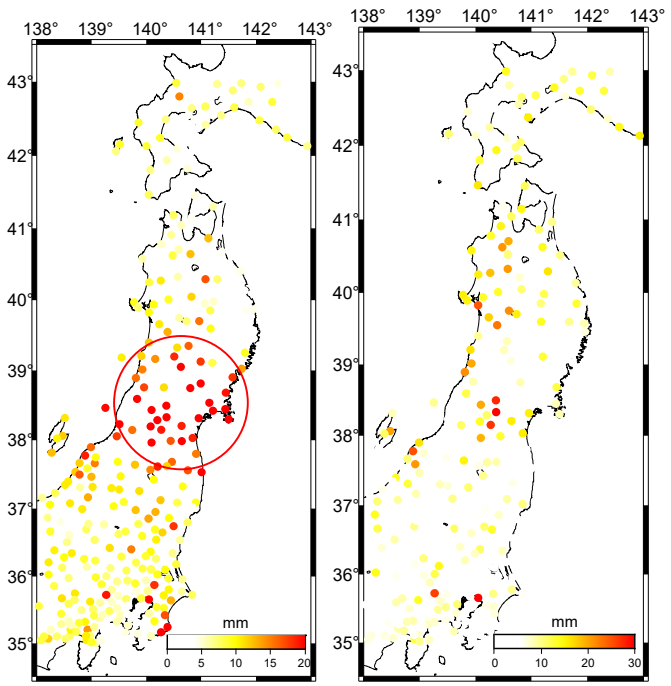
参考文献

1) Fujiwara et al. (2022), *Earth Planet Space*,74:13, https://doi.org/10.1186/s40623-021-01568-0
2) Tobita (2016), *Earth Planet Space*, 68:41, https://doi.org/10.1186/s40623-016-0422-4



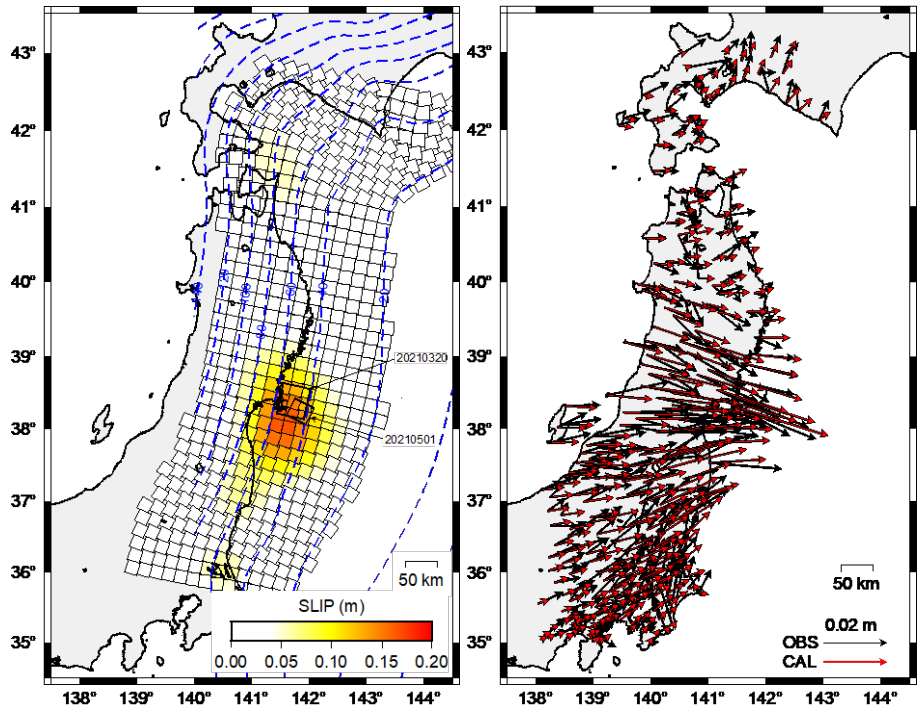
第 1 図　（上）電子基準点「宮古」における，座標時系列（東西成分）および時空間モデルによる予測値．黒が観測値，赤が式（２）による予測値を表す．（下）残差時系列．黒が式（１）による予測値からの残差，緑が式（２）による予測値からの残差を表す．
（下）残差時系列．

Fig. 1　(Upper) Observed and predicted deformation timeseries at Miyako station. Black dots represent observed deformation, and red lines denote deformation predicted by by equation (1).
(Lower) Residuals.



第 2 図　予測値からのずれの空間分布．（左）が水平成分，（右）が鉛直成分を表す．赤丸がずれの大きい観測点が集中している領域を示す．

Fig. 2　Distribution of the differences between observed and predicted deformation. Left and right figures represent horizontal and vertical components, respectively. Red circles denote the area where notable differences are observed.



第 3 図　（左）予測値からのずれから推定したプレート間すべり（右）観測値および計算値のベクトル.

Fig. 3　(Left) Slip distribution estimated with the differences between observed and predicted deformation. (Right) Observed and calculated deformation vectors.

３－５　2023 年 8 月 25 日三陸沖の地震（M_{JMA} 6.0）の震源域近傍の地震活動の推移
Seismic activity around the Sanriku-oki earthquake (M_{JMA} 6.0) on Aug. 25, 2023

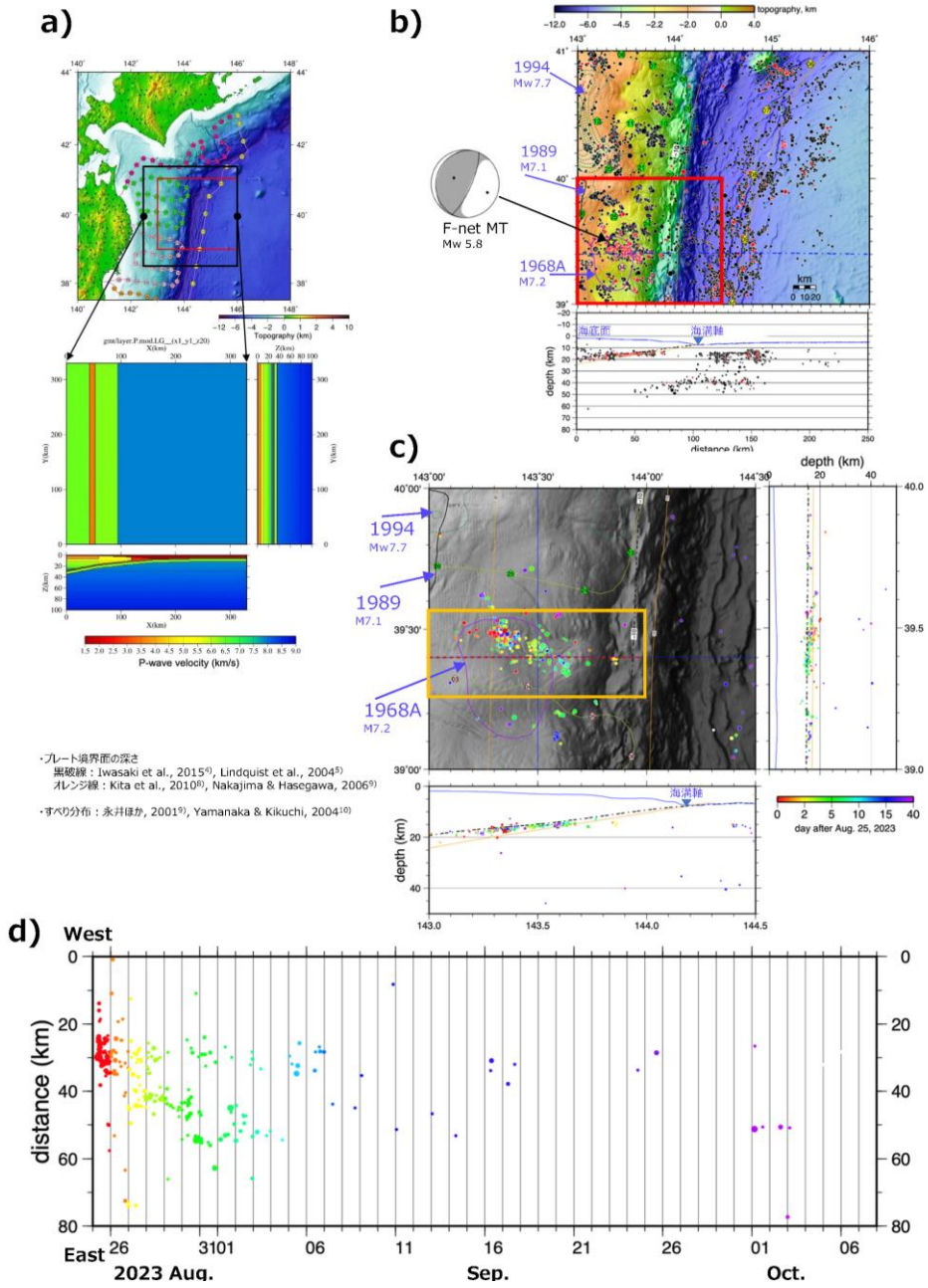
防災科学技術研究所
National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

2023 年 8 月 25 日 7 時 48 分に三陸沖において M_{JMA} 6.0，Mw7.4 (F-net MT) の地震（最大震度 3）が発生した．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逆断層型で，太平洋プレートと陸のプレート境界で発生した．その後，震源域近傍でやや活発な活動があり，震源はプレート境界に沿って移動しているように見えたため，その変化を詳細に捉えるために，日本海溝海底地震津波観測網（S-net）の手動読取値データを使用し，震源決定コードとして NonLinLoc[1)2)] を使って震源の再決定を行った. 震源決定に使用した P 波速度構造はこの領域で実施された構造探査の結果[3)] を参照し，北緯 40 度に沿った沈み込む太平洋プレートの境界面の深さ[4)5)] をもとに簡略化した 3 次元構造を設定した．S-net の各観測点には堆積層補正[6)] を施し，使用した全観測点に対して 2016 年 4 月 1 日から 2023 年 10 月 7 日の期間の震源計算時における走時残差から求めた観測点補正値を適用して得られた震源分布を第 1 図に示す．8 月 25 日より始まったプレート境界に沿う地震活動は，東方へ移動し，10 日ほどで沈静化した．

（西澤あずさ・植平賢司・望月将志）
NISHIZAWA Azusa, UEHIRA Kenji, and MOCHIZUKI Masashi

参考文献

1) Lomax et al. (2000), in *Advances in Seismic Event Location*, Thurber, C.H., and N. Rabinowitz (eds.), Kluwer, Amsterdam, 101-134.
2) Lomax et al. (2014), in *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*. Meyers R. (eds.), Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-3-642-27737-5_150-2
3) Takahashi et al. (2004), *Geophys. J. Int.*, **159**, 129–145.
4) Iwasaki et al. (2015), *AGU Fall meeting abstracts*, T31B2878.
5) Lindquist et al. (2004), *Eos Trans*. AGU, 85(19), **186**, https://doi.org/10.1029/2004EO190003.
6) 西澤・他 (2022), *防災科学技術研究所研究資料*，**471**, 1-18.
7) Nakajima and Hasegawa (2006): *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L16309. https://doi.org/10.1029/2006GL026773.
8) Kita et al. (2010), *Earth Planet. Sci. Lett.*, **290**(3-4), 415–426. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2009.12.038
9) 永井・他 (2001), *地震*，**54**, 267-280.
10) Yamanaka and Kikuchi (2004), *J. Geophys. Res.*, **109**, B07307, doi:10.1029/2003JB002683.



第 1 図　a）上図：震源決定に使用した観測点の範囲（黒枠）と震源分布の表示範囲（赤枠）．下図：上図の黒枠内の P 波速度構造モデル．b）上図：a）の赤枠内の 2016 年 4 月 1 日～ 2023 年 10 月 7 日の期間の震央分布．赤丸は 2023 年 8 月 25 日～ 10 月 7 日の期間の震央を示す．上段の震央分布図の青破線から 20 km 以内の震源分布の断面図を下段に示す．黄色星印は 8 月 25 日（M_{JMA} 6.0）の地震の震央．c）b）の震央分布図の赤枠内領域の拡大図．2023 年 8 月 25 日～ 10 月 7 日の期間の震央を発生時刻で色分けした．下図：東西断面図．右図：南北断面図．d) c) の震央図のオレンジ枠内の地震の時空間分布図．

Fig. 1　a) Top: location of S-net stations (pentagon) used in the hypocenter determination in the black box. The hypocenter distribution in the red box is enlarged and shown in b). Bottom: P-wave velocity model in the black box above. b) top: The epicenter distribution for the period from Apr. 1, 2016 to Oct. 7, 2023 within the red box in a). The red circles indicate the epicenters between Aug. 25 and Oct. 7, 2023. Bottom: The cross section of the epicentral distribution within 20 km from the blue dashed line in the upper panel. The yellow star indicates the epicenter of the Aug. 25 (M_{JMA} 6.0) earthquake. c) Enlarged view of the area within the red box in b) above. The epicenters for the period from Aug. 25 to Oct. 7, 2023, are color-coded according to the time of occurrence. Lower panel: east-west cross section. d) Spatiotemporal distribution of the earthquakes in the orange box of the epicenters in c).

４－１　関東・中部地方とその周辺の地震活動（2023 年 5 月～ 10 月）
Seismic Activity in and around the Kanto and Chubu Districts (May – October 2023)

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 153 回, M5.0 以上の地震は 20 回発生した. このうち最大は，2023 年 5 月 5 日に能登半島沖で発生した M6.5 の地震であった.

2023 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) 石川県能登地方の地震活動（今期間の最大 M6.5，最大震度 6 強，第 2 図 (a) ～ (o)）

石川県能登地方では，2018 年頃から地震回数が増加傾向にあり，2020 年 12 月から地震活動が活発になり，2021 年 7 月頃からさらに活発になっている．2023 年 10 月中も活発な状態が継続している．2020 年 12 月から 2023 年 10 月までに震度 1 以上を観測した地震は 493 回(震度 6 強:1 回, 震度 6 弱：1 回，震度 5 強：2 回，震度 5 弱：1 回，震度 4：13 回，震度 3：49 回，震度 2：117 回，震度 1：309 回）発生した．活動の全期間を通じて最大規模の地震は，2023 年 5 月 5 日に発生した M6.5 の地震（最大震度 6 強）であり, この地震により輪島港で 10 ㎝等の津波を観測した. 近地強震波形を用いた震源過程解析によると，M6.5 の主なすべりは地震活動域の沖合北西の浅部側に分布する．この M6.5 の地震発生後，地震活動域は北から東方の海域に広がり，さらに活発になっていたが，時間の経過とともに地震の発生数は減少している．非定常 ETAS 解析による背景地震活動度 μ (t) は，2023 年 5 月頃からやや低下しているが，2021 年前半以前に比べると，最近も高い状態が続いている.

(2) 千葉県南部の地震（M5.2，最大震度 5 強，第 3 図 (a) ～ (c)）

2023 年 5 月 11 日 04 時 16 分に千葉県南部の深さ 40km で M5.2 の地震(最大震度 5 強)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．この地震の発震機構は北西－南東方向に張力軸を持つ型である.

(3) 新島・神津島近海の地震活動（最大 M5.3，最大震度 5 弱，第 5 図 (a)，(b)）

新島・神津島近海では，2023 年 5 月 22 日から地震活動が活発となり，5 月 31 日までに震度 1 以上を観測した地震が 61 回（震度 5 弱:1 回，震度 4:1 回，震度 3:4 回，震度 2:13 回，震度 1:42 回）発生した．5 月 22 日 16 時 42 分には深さ 11km で M5.3 の地震（最大震度 5 弱）が発生した．この地震の発震機構は北西－南東方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型である．これらの地震はフィリピン海プレートの地殻内で発生した.

(4) 千葉県東方沖の地震（M6.2，最大震度 5 弱），千葉県北東部の地震（M4.9，最大震度 4）（第 6 図 (a) ～ (d)）

2023 年 5 月 26 日 19 時 03 分に千葉県東方沖の深さ 50km で M6.2 の地震（最大震度 5 弱）が発生した．また，6 月 16 日 21 時 24 分に千葉県北東部の深さ 49km で M4.9 の地震（最大震度 4）が発生した．これらの地震は発震機構が東西方向の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．5 月 26 日の M6.2 の地震発生から 6 月 30 日までに震度 1 以上を観測した地震が 12 回（震度 5 弱：1 回，震度 4：1 回，震度 2：5 回，震度 1：5 回）発生した．

（5）硫黄島近海の地震（M6.5，第 7 図 (a)，(b)）

2023 年 5 月 30 日 09 時 52 分に硫黄島近海の深さ 12km（CMT 解による）で M6.5 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）は北北東－南南西方向に圧力軸を持つ逆断層型である．

（6）鳥島近海の地震活動（最大 M6.5，第 14 図 (a-1) ～ (a-17)，(b-1) ～ (b-13)）

鳥島近海（鳥島から南西に約 100km）では，2023 年 10 月 2 日から 9 日にかけて，M6.0 以上の地震が 4 回発生するなど，地震活動が活発になった．このうち，最大規模の地震は，5 日 10 時 59 分に深さ 10km（CMT 解による）で発生した M6.5 の地震（震度 1 以上を観測した地点はなし）で，発震機構（CMT 解）は東北東－西南西方向に張力軸を持つ正断層型である．この地震はフィリピン海プレート内で発生した．気象庁はこの地震に伴い，5 日 11 時 06 分に伊豆諸島に津波注意報を発表した（5 日 13 時 15 分に解除）．この地震により，東京都の八丈島八重根で 0.2 ｍの津波を観測した．

また，6 日 10 時 31 分には M6.0 の地震（震度 1 以上を観測した地点はなし）が発生し，気象庁はこの地震に伴い，伊豆諸島及び小笠原諸島に津波予報（若干の海面変動）を発表した．この地震により，八丈島八重根で 0.2 ｍなどの津波を観測した．

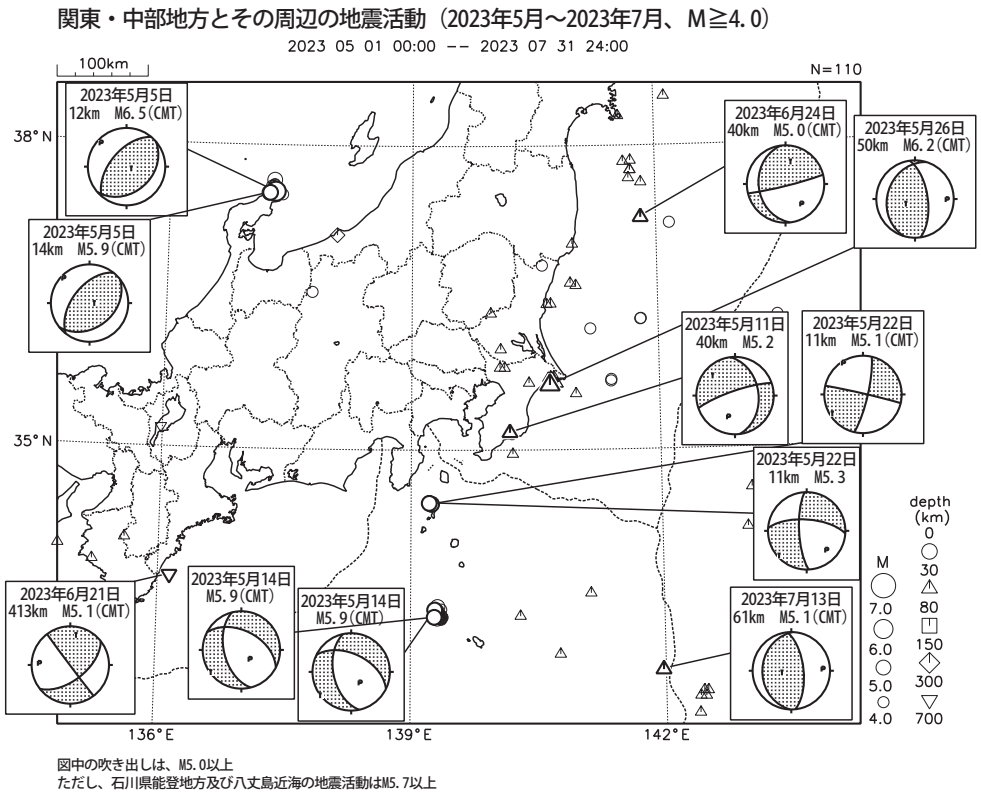
さらに，これらの地震の震源付近では，9 日 04 時頃から 06 時台にかけて，規模が小さいうえに地震波の P 相及び S 相が不明瞭なため震源が決まらないものも含めて地震が多発した（T 相を伴う地震が少なくとも 14 回発生）．このため，気象庁では地震及び津波の監視を強化していたところ，八丈島八重根で津波を観測したことから，9 日 06 時 40 分に伊豆諸島及び小笠原諸島に津波注意報を発表し，その後，津波注意報の範囲を拡大する続報を順次発表した（9 日 12 時 00 分に解除）．この地震活動により，八丈島八重根で 0.7 ｍなど，伊豆諸島，小笠原諸島及び千葉県から沖縄県にかけての太平洋沿岸で津波を観測した．

9 日 04 時頃から 06 時台に 14 回観測した T 相の発生源は孀婦岩（そうふがん）の西方に推定された．9 日 04 時 10 分から 06 時 28 分にかけて宮崎県及び鹿児島県で観測した震度データを精査したところ，この T 相によるものと考えられる震度（震度 2 ～ 1）を観測していたことを確認した．

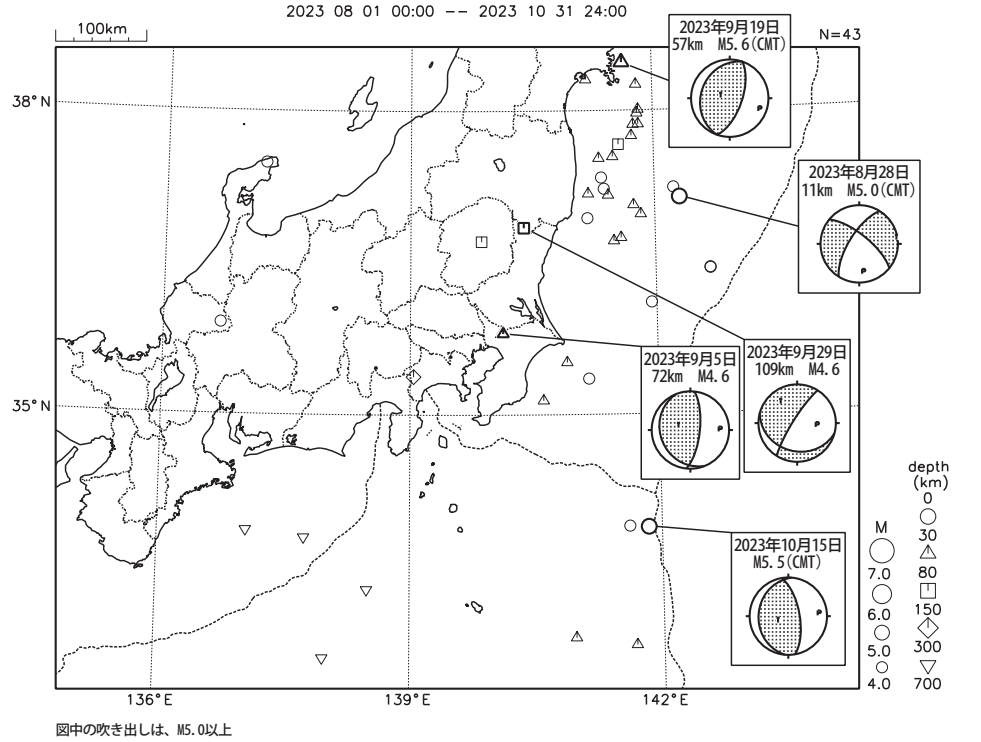
（7）その他の地震活動

発生年月日	震央地名	規模 (M)	深さ (km)	最大震度	
2023 年					
5 月 14 日	八丈島近海	5.6		3	（第 4 図）
6 月 4 日	千葉県北西部	4.6	70	3	（第 8 図）

7 月 22 日	茨城県沖	4.8	52	4	（第 9 図 (a), (b)）
7 月 29 日	茨城県南部	4.6	77	3	（第 10 図 (a), (b)）
9 月 5 日	千葉県北西部	4.6	72	3	（第 11 図）
9 月 19 日	鳥島近海	6.1	10		（第 12 図 (a), (b)）
9 月 29 日	茨城県北部	4.6	109	3	（第 13 図）



第 1 図 (a)　関東・中部地方とその周辺の地震活動（2023 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 2023, M ≧ 4.0, depth ≦ 700km).



第 1 図 (b)　つづき（2023 年 8 月～ 10 月，M ≧ 4.0，深さ≦ 700km）
Fig. 1(b)　Continued (August – October 2023, M ≧ 4.0, depth ≦ 700km).

石川県能登地方の地震活動

（１）概要

石川県能登地方では、2018年頃から地震回数が増加傾向にあり、2020年12月から地震活動が活発になり、2021年７月頃からさらに活発になっていた。このような中で、2023年５月５日14時42分に能登半島沖(注１)の深さ12kmでM6.5の地震（今回の地震①）が発生し、石川県珠洲市で震度６強を観測したほか、東北地方から中国・四国地方にかけて震度５強～１を観測した。また、石川県能登で長周期地震動階級３を観測したほか、北陸地方及び長野県で長周期地震動階級２～１を観測した。気象庁はこの地震に対して、最初の地震波の検知から7.3秒後の14時42分14.2秒に緊急地震速報（警報）を発表した。この地震により、石川県の珠洲市長橋で４cm、輪島港（港湾局）で10cmの津波を観測した。

また、今回の地震①の発生から約７時間後の同日21時58分に能登半島沖(注１)の深さ14kmでM5.9の地震（今回の地震②）が発生し、石川県珠洲市で震度５強を観測したほか、東北地方から四国地方にかけて震度５弱～１を観測した。また、この地震により、石川県能登で長周期地震動階級２を観測したほか、新潟県、石川県及び長野県で長周期地震動階級１を観測した。気象庁はこの地震に対して、21時58分14.2秒及び21時58分16.9秒に緊急地震速報（警報）を発表した（この地震に対する緊急地震速報の発表状況の詳細は39～43ページを参照）。

今回の地震①及び②は地殻内で発生した。発震機構（CMT解）はともに北西－南東方向に圧力軸を持つ逆断層型である。

これらの地震の震源付近では、５月１日から６月８日08時までに震度１以上を観測した地震が125回（震度６強：１回、震度５強：１回、震度４：５回、震度３：10回、震度２：37回、震度１：71回）(注２)発生した。

これらの地震により、死者１人、重傷者２人、軽傷者46人、住家全壊30棟、半壊169棟、一部破損535棟の被害が生じた（2023年６月７日13時00分現在、総務省消防庁による）。

金沢地方気象台は、震度５強以上を観測した震度観測点について点検を実施し、震度観測点の観測環境が地震によって変化していないことを確認した。また、震度観測点周辺の被害や揺れの状況について確認した。

被害状況を表１－１に、最大震度別地震回数表を表１－２に、2020年12月以降の震度１以上の月別地震回数グラフを図１－１に、今回の地震①の発生以降の震度１以上の日別地震回数グラフを図１－２に示す。

（注１）情報発表に用いた震央地名は〔石川県能登地方〕である。
（注２）能登半島沖及び富山湾で発生した地震を含む。

表１－１　2023年５月５日の能登半島沖の地震による被害状況
（2023年６月７日13時00分現在、総務省消防庁による）

都道府県名	人的被害						住家被害			
	死者	行方不明	負傷者			合計	全壊	半壊	一部破損	合計
			重傷	軽傷	小計					
	人	人	人	人	人	人	棟	棟	棟	棟
富山県				1	1	1				
石川県	1		2	45	47	48	30	169	535	734
合　計	1		2	46	48	49	30	169	535	734

第 2 図 (a)　石川県能登地方の地震活動
Fig. 2(a)　Seismic activity in Noto region of Ishikawa Prefecture.

表１－２　震度１以上の期間別最大震度別地震回数表
（2020年12月１日～2023年６月８日08時）

月別	最大震度別回数									震度1以上を観測した回数		備考
	1	2	3	4	5弱	5強	6弱	6強	7	回数	累計	
2020/12/1 - 12/31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2021/1/1 - 1/31	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
2/1 - 2/28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
3/1 - 3/31	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	
4/1 - 4/30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
5/1 - 5/31	2	1	0	0	0	0	0	0	0	3	5	
6/1 - 6/30	3	0	1	0	0	0	0	0	0	4	9	
7/1 - 7/31	5	1	0	1	0	0	0	0	0	7	16	
8/1 - 8/31	9	3	2	0	0	0	0	0	0	14	30	
9/1 - 9/30	4	2	1	0	1	0	0	0	0	8	38	
10/1 - 10/31	8	2	3	0	0	0	0	0	0	13	51	
11/1 - 11/30	2	6	2	0	0	0	0	0	0	10	61	
12/1 - 12/31	5	3	1	0	0	0	0	0	0	9	70	
2022/1/1 - 1/31	3	3	0	0	0	0	0	0	0	6	76	
2/1 - 2/28	4	1	1	0	0	0	0	0	0	6	82	
3/1 - 3/31	11	6	3	2	0	0	0	0	0	22	104	
4/1 - 4/30	7	8	1	2	0	0	0	0	0	18	122	
5/1 - 5/31	11	1	3	0	0	0	0	0	0	15	137	
6/1 - 6/30	30	9	3	1	0	1	1	0	0	45	182	
7/1 - 7/31	8	1	0	0	0	0	0	0	0	9	191	
8/1 - 8/31	7	2	1	0	0	0	0	0	0	10	201	
9/1 - 9/30	12	3	1	0	0	0	0	0	0	16	217	
10/1 - 10/31	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10	227	
11/1 - 11/30	18	3	3	1	0	0	0	0	0	25	252	
12/1 - 12/31	9	2	2	0	0	0	0	0	0	13	265	
2023/1/1 - 1/31	7	3	1	1	0	0	0	0	0	12	277	
2/1 - 2/28	5	2	2	0	0	0	0	0	0	9	286	
3/1 - 3/31	12	1	3	0	0	0	0	0	0	16	302	
4/1 - 4/30	8	1	1	0	0	0	0	0	0	10	312	
5/1 - 5/31	69	35	10	5	0	1	0	1	0	121	433	
6/1 -	2	2	0	0	0	0	0	0	0	4	437	
総計(2020/12/1～)	272	102	45	13	1	2	1	1	0		437	
【参考】 令和5年5月5日 14時42分の地震 （最大震度6強）以降	70	37	10	5	0	1	0	1	0		124	

【令和5年5月1日以降の日別発生回数】

日別	最大震度別回数									震度1以上を観測した回数		備考
	1	2	3	4	5弱	5強	6弱	6強	7	回数	累計	
5/1　00時-24時	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
5/2　00時-24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
5/3　00時-24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
5/4　00時-24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
5/5　00時-24時	27	20	7	2	0	1	0	1	0	58	59	
5/6　00時-24時	9	3	0	0	0	0	0	0	0	12	71	
5/7　00時-24時	7	1	0	0	0	0	0	0	0	8	79	
5/8　00時-24時	2	2	0	0	0	0	0	0	0	4	83	
5/9　00時-24時	3	1	1	1	0	0	0	0	0	6	89	
5/10　00時-24時	1	1	1	1	0	0	0	0	0	4	93	
5/11　00時-24時	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	95	
5/12　00時-24時	4	1	0	0	0	0	0	0	0	5	100	
5/13　00時-24時	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	102	
5/14　00時-24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	102	
5/15　00時-24時	2	1	0	0	0	0	0	0	0	3	105	
5/16　00時-24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	105	
5/17　00時-24時	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	106	
5/18　00時-24時	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	107	
5/19　00時-24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	107	
5/20　00時-24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	107	
5/21　00時-24時	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	109	
5/22　00時-24時	3	3	0	0	0	0	0	0	0	6	115	
5/23　00時-24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	115	
5/24　00時-24時	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	117	
5/25　00時-24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	117	
5/26　00時-24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	117	
5/27　00時-24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	117	
5/28　00時-24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	117	
5/29　00時-24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	117	
5/30　00時-24時	1	1	0	1	0	0	0	0	0	3	120	
5/31　00時-24時	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	121	
6/1　00時-24時	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	122	
6/2　00時-24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	122	
6/3　00時-24時	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	123	
6/4　00時-24時	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	124	
6/5　00時-24時	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	125	
6/6　00時-24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	
6/7　00時-24時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	
6/8　00時-08時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	
総計(5月1日～)	71	37	10	5	0	1	0	1	0		125	

第 2 図 (a)　つづき
Fig. 2(a)　Continued.

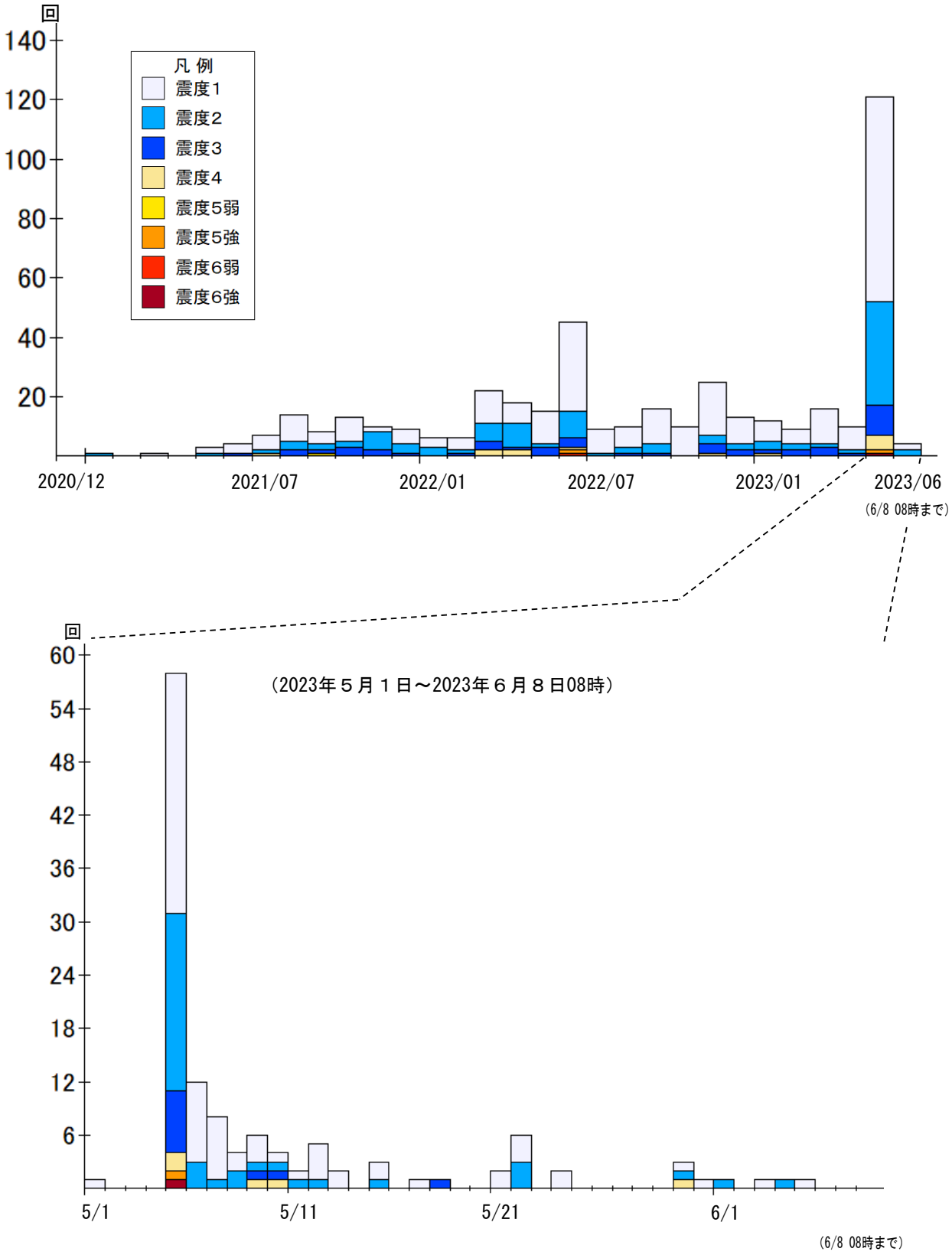


図１－１　震度１以上の月別地震回数グラフ
（2020年12月１日～2023年６月８日08時）

第 2 図 (a)　つづき
Fig. 2(a)　Continued.

（２）地震活動

ア．石川県能登地方の地震活動

石川県能登地方（図２－１の破線矩形内）では、2018年頃から地震回数が増加傾向にあり、2020年12月から地震活動が活発になり、2021年７月頃からさらに活発になっていた。このような中で、2023年５月５日14時42分に深さ12kmでM6.5の地震（今回の地震①）が発生した。この地震は活動の全期間を通じて最大規模の地震である。また、今回の地震①の発生から約７時間後の同日21時58分に深さ14kmでM5.9の地震（最大震度５強、今回の地震②）が発生した。今回の地震①及び②はともに地殻内で発生した。発震機構（CMT解）はともに北西－南東方向に圧力軸を持つ逆断層型である。

2020年12月以降の地震活動をみると、最初に領域ｂで活動が活発になり、続いて領域ｃで、さらに2021年半ば頃からは領域ａ及びｄでも活動が活発になった（図２－３）。特に領域ａ及びｄで地震活動が活発であり、今回の地震①は領域ｄで、今回の地震②は領域ａで発生した。

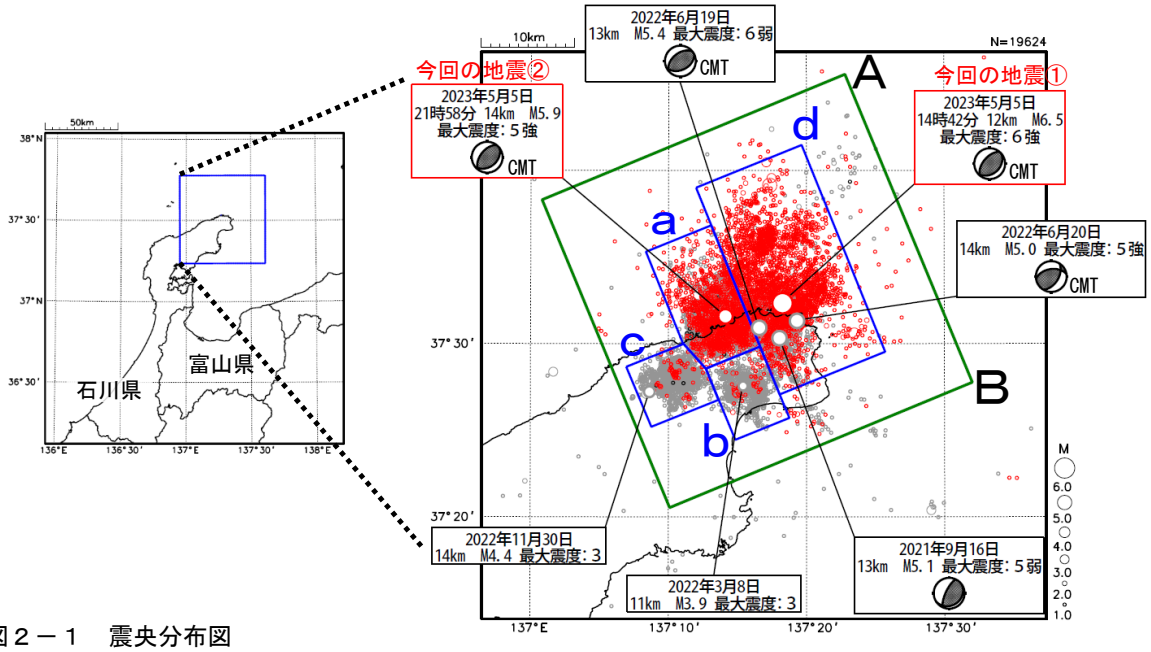


図２－１　震央分布図

（2020 年 12 月１日～2023 年５月 31 日、深さ０～25km、M≧1.0）

領域ａ～ｄの各領域内で最大規模の地震及び最大震度５弱以上の地震に吹き出しを付加

2023 年４月以前の地震を薄く、2023 年５月１日から今回の地震①の発生前までを濃く、

それ以降を赤色で表示

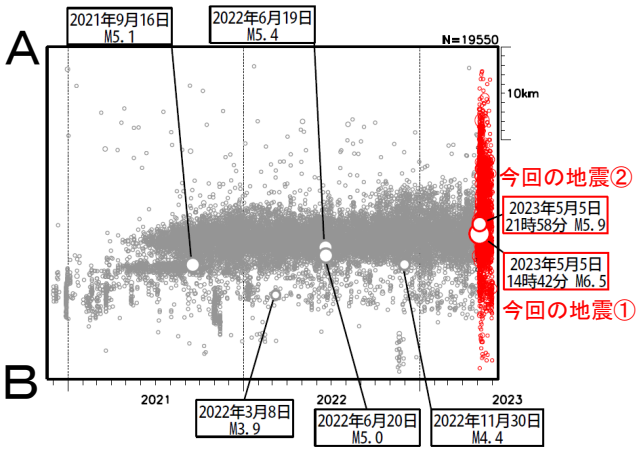


図２－２　図２－１の緑色矩形内の時空間分布図（Ａ－Ｂ投影）

吹き出しは図２－１と同じ

第 2 図 (b)　つづき

Fig. 2(b)　Continued.

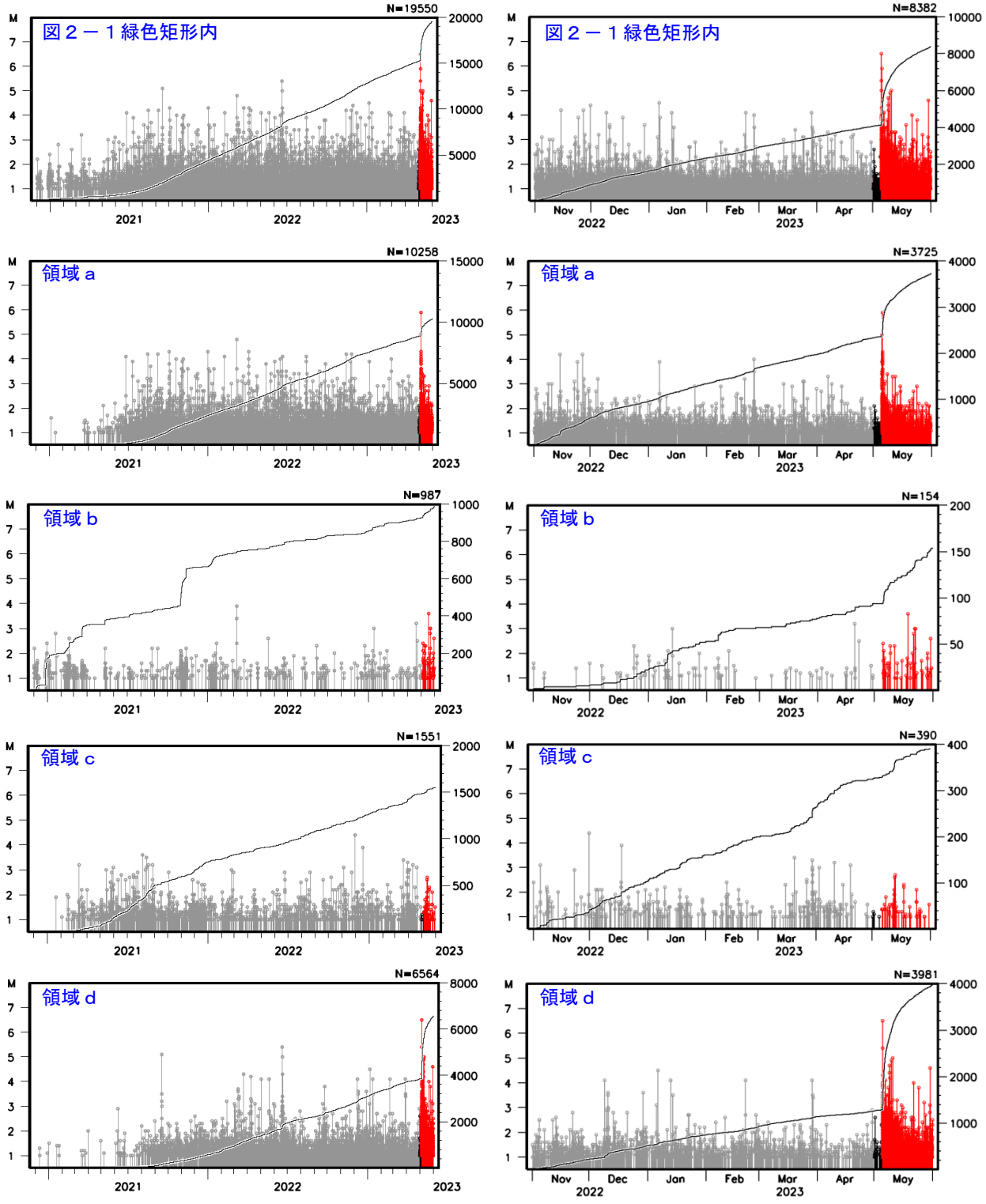


図２－３　図２－１の緑色矩形内及び領域ａ～ｄ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図
左：2020 年 12 月 1 日～2023 年５月 31 日
右：2022 年 11 月 1 日～2023 年５月 31 日

第 2 図 (b)　つづき
Fig. 2(b)　Continued.

イ．発震機構

2020年12月から2023年５月までに発生した地震の発震機構を図２－４に示す。今回の地震の震源付近では、逆断層型の地震が多く発生している。

また、図２－５に、図２－４の領域内の地震の発震機構の型及び圧力軸の分布を示す。

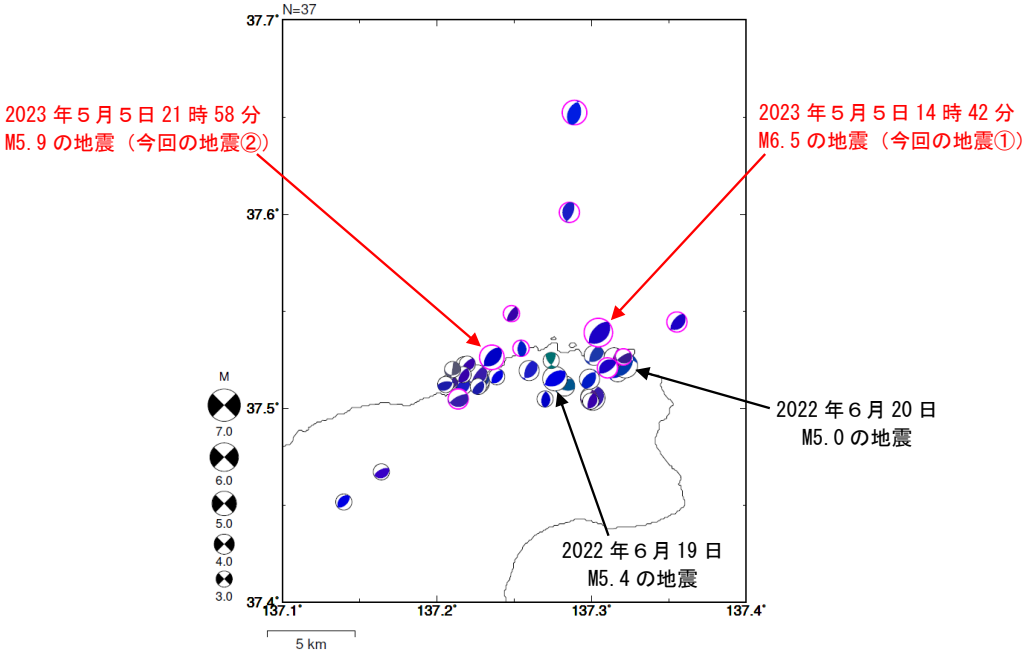


図２－４　発震機構分布図
（2020年12月１日～2023年５月31日、深さ０km～25km、M≧3.0）
逆断層型の地震を青色、正断層型の地震を赤色、横ずれ断層型を緑色で表示（Frohlich(2001)による分類）。
ピンク色の丸囲みで表示している地震は2023年５月５日14時42分以降の地震。
CMT解を表示している地震：2022年６月19日のM5.4の地震、2022年６月20日のM5.0の地震、2023年５月５日14時42分のM6.5の地震（今回の地震①）、同日21時58分のM5.9の地震（今回の地震②）、2023年５月９日のM4.7の地震、2023年５月10日07時14分のM4.9の地震及び同日21時54分のM5.0。

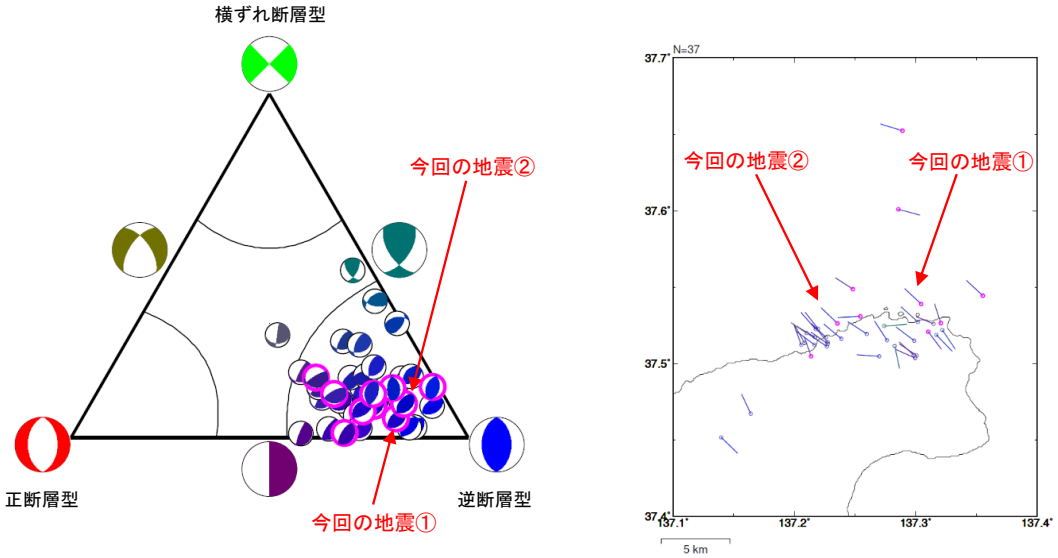


図２－５　図２－４の領域内の地震の発震機構の型の分布（左）と発震機構の圧力軸の分布（右）
逆断層型の地震を青色、正断層型の地震を赤色、横ずれ断層型を緑色で表示（Frohlich(2001)による分類）。
ピンク色の丸囲みで表示している地震は2023年５月５日14時42分以降の地震。

第 2 図 (c)　つづき
Fig. 2(c)　　Continued.

ウ．近地強震波形による震源過程解析

2023 年 5 月 5 日 14 時 42 分（日本時間）に能登半島沖で発生した地震（M_{JMA}6.5）について、国立研究開発法人防災科学技術研究所の強震観測網（K-NET、KiK-net）及び気象庁震度計の近地強震波形を用いた震源過程解析（暫定）を行った。

破壊開始点は、気象庁による震源の位置（37° 32.3′ N、137° 18.2′ E、深さ 12km）とした。断層面は走向 49° 、傾斜 45° を仮定して解析した。走向は気象庁 CMT 解の 2 枚の節面のうち南東傾斜の面、傾斜は DD 法による震源分布の傾斜とした。最大破壊伝播速度は 2.7km/s とした。理論波形の計算には、Koketsu et al. (2012)の結果から設定した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）。

- 主なすべり域の大きさは走向方向に約 10km、傾斜方向に約 10km であった。
- 主なすべりは破壊開始点から北西のやや浅い領域に広がり、最大すべり量は 1.0m であった（周辺の構造から剛性率を 31GPa 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は 6.3 であった。

結果の見方は、https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/sourceprocess/about_srcproc.html を参照。

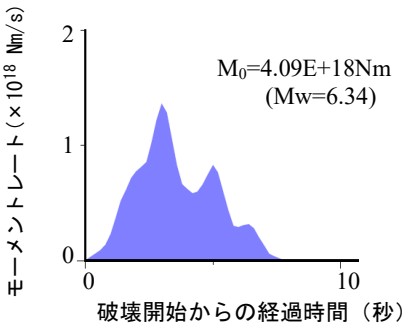
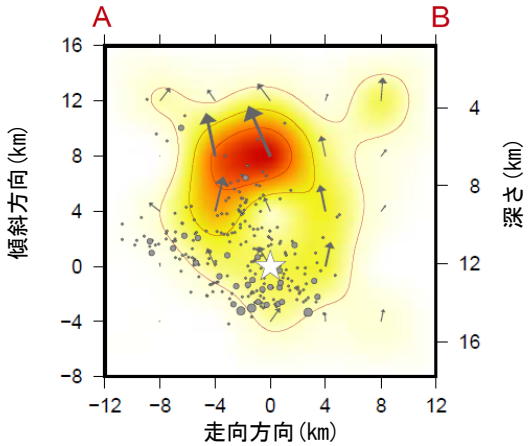
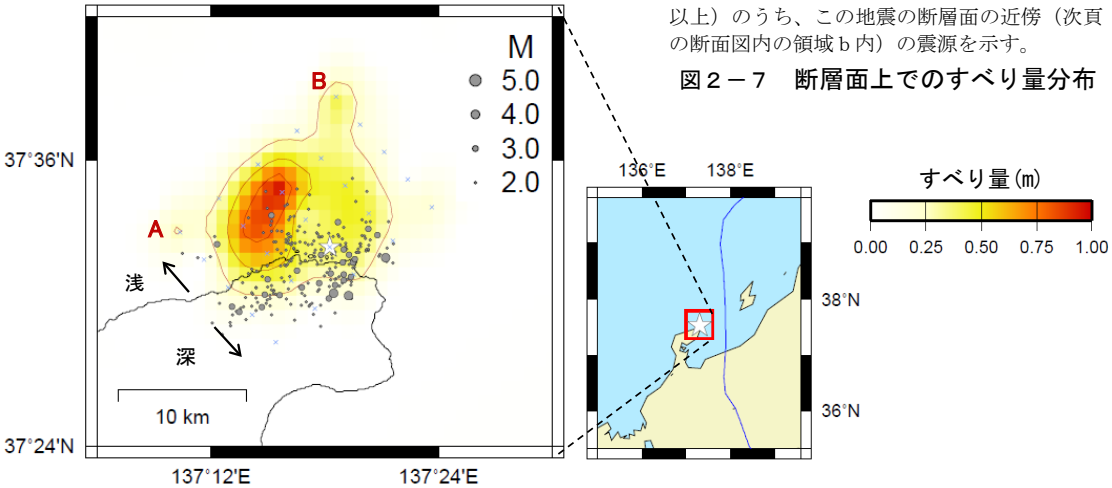


図２－６　震源時間関数



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。灰色丸はこの地震発生から 5 月 7 日 21 時 30 分までの DD 法による地震（M2.0 以上）のうち、この地震の断層面の近傍（次頁の断面図内の領域 b 内）の震源を示す。

図２－７　断層面上でのすべり量分布



星印は破壊開始点を示す。灰色丸はこの地震発生から 5 月 7 日 21 時 30 分までの DD 法による地震（M2.0 以上）の震央を示す。

図２－８　地図上に投影したすべり量分布

作成日：2023/05/26

第 2 図 (d)　つづき
Fig. 2(d)　Continued.

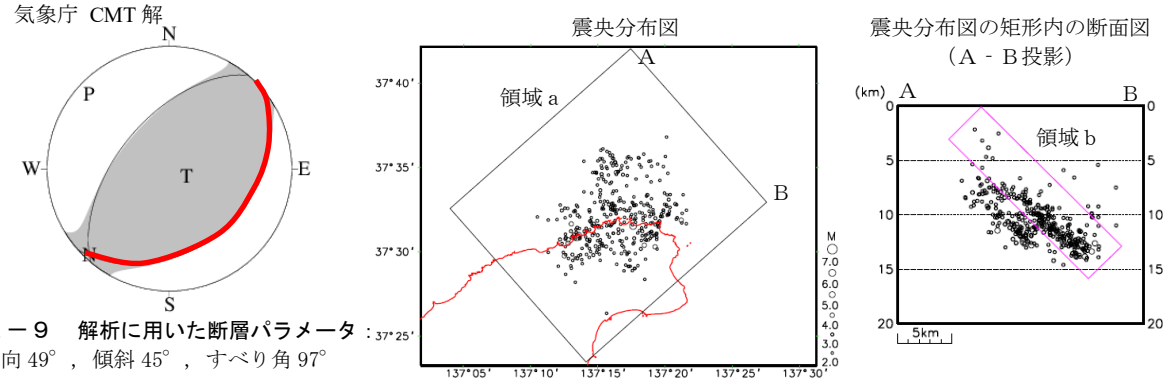


図２－９　解析に用いた断層パラメータ：走向 49°，傾斜 45°，すべり角 97°

走向とすべり角は気象庁 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。

傾斜は DD 法による震源分布の傾斜を用いた。

図２－10　DD 法による震源分布
（2023 年5月5日 14 時 42 分～5月7日 21 時 30 分）

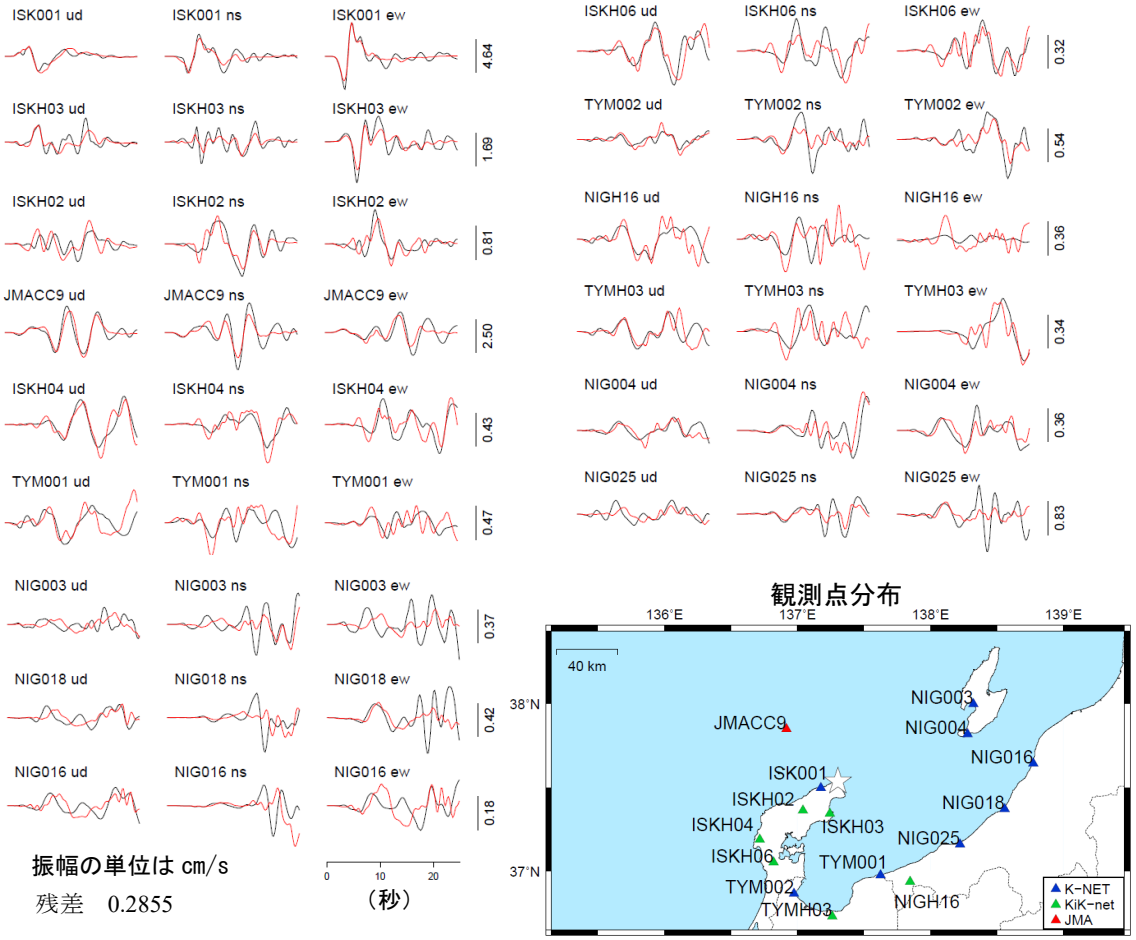


図２－11　観測波形（黒：0.05Hz-0.2Hz）と理論波形（赤）の比較

謝辞　国立研究開発法人防災科学技術研究所の強震観測網（K-NET、KiK-net）を使用しました。

参考文献

Koketsu, K., H. Miyake and H. Suzuki, Japan Integrated Velocity Structure Model Version 1, paper no. 1773. Paper Presented at the 15th World Conference on Earthquake Engineering, International Association for Earthquake Engineering, Lisbon, 24-28 Sept. 2012.

第 2 図 (d)　つづき

Fig. 2(d)　Continued.

エ．周辺の過去の地震活動

1700年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｅ）では、M5.0以上の地震が時々発生している。2007年３月25日には「平成19年（2007年）能登半島地震」が発生し、石川県珠洲市で22cmの津波を観測した。領域ｅ内の地震により石川県で生じた主な被害を下の表に示す。

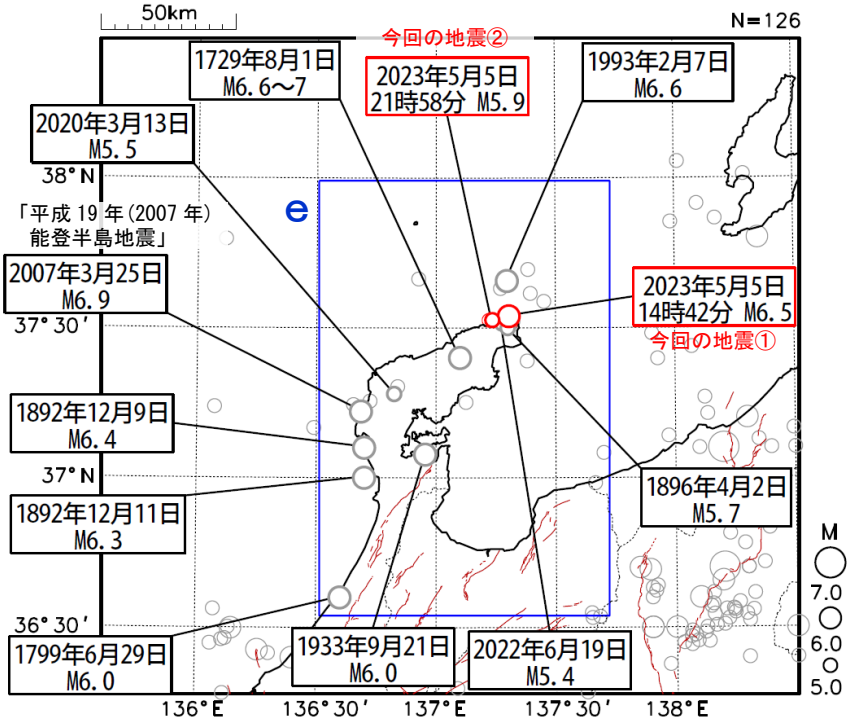


図２－12　震央分布図
（1700年１月１日～2023年５月31日、深さ０～50km、M≧5.0）
2023年５月の地震を赤色で表示
震央分布図中の茶色の実線は地震調査研究推進本部の長期評価による活断層を示す。
震源要素は、1700～1884年は理科年表、1885年～1918年は茅野・宇津（2001）、宇津（1982、1985）による※。

表２－１　領域ｅ内の地震により石川県で生じた主な被害（注１）

年月日	マグニチュード	主な被害
1729年８月1日	6.6～7.0	珠洲郡、鳳至郡で死者５人、家屋全壊・同損壊791棟、輪島村で家屋全壊28棟。能登半島先端で被害が大きい。
1799年６月29日	6.0	金沢城下で家屋全壊26棟、能美・石川・河北郡で家屋全壊964棟、死者は全体で21人
1892年12月９日	6.4	羽咋郡高浜町・火打谷村で家屋破損あり。堀松村末吉で、死者１人、負傷者５人、家屋全壊２棟。（12月11日にも同程度の地震あり。）
1896年４月２日	5.7	土蔵倒潰など（注２）
1933年９月21日	6.0	死者３人、負傷者55人、住家全壊２棟。
1993年２月７日	6.6	負傷者30人（重傷者１人、軽傷者29人［うち１人は新潟県］）
2007年３月25日	6.9	死者１人、負傷者356人、住家全壊686棟（注３）
2020年３月13日	5.5	軽傷者２人（注３）
2022年６月19日	5.4	軽傷者６人（注３）

（注１）「日本の地震活動」（第２版），地震調査委員会　に加筆
（注２）被害は「日本被害地震総覧」による。
（注３）被害は総務省消防庁による。

※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，60，639-642，1985.
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.

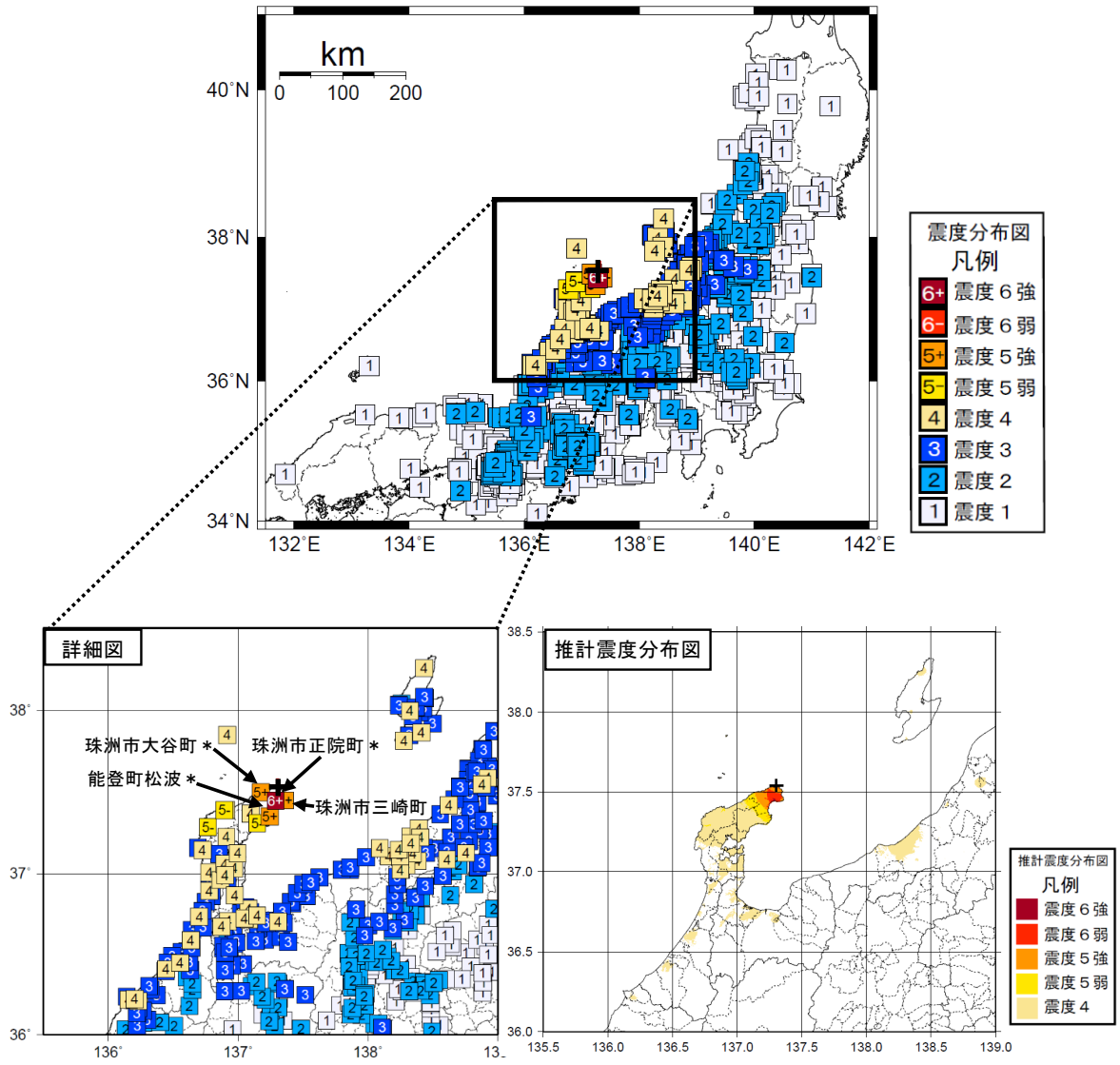
第 2 図 (e)　つづき
Fig. 2(e)　Continued.

（３）震度と加速度

2023年５月５日14時42分に発生した地震（M6.5）により、石川県珠洲市で震度６強を観測したほか、東北地方から中国・四国地方にかけて震度５強～１を観測した。また同日21時58分に発生した地震（M5.9）により、石川県珠洲市で震度５強を観測したほか、東北地方から四国地方にかけて震度５弱～１を観測した。

ア．５月５日14時42分のM6.5の地震の震度と加速度

この地震の震度分布図を図３－１に、震度５弱以上を観測した地点の計測震度及び最大加速度を表３－１に示す。また、各震度観測点における計測震度の距離別分布を図３－２に示す。



観測点名の＊印は、気象庁以外の震度観測点を示す。

＜推計震度分布図について＞
地震の際に観測される震度は、ごく近い場所でも地盤の違いなどにより１階級程度異なることがある。また、このほか震度を推計する際にも誤差が含まれるため、推計された震度と実際の震度が１階級程度ずれることがある。
このため、個々のメッシュの位置や震度の値ではなく、大きな震度の面的な広がり具合とその形状に着目して利用されたい。

図３－１　2023 年５月５日 14 時 42 分　能登半島沖の地震（M6.5、深さ 12km、最大震度６強）の震度分布図及び推計震度分布図（＋印は震央を表す）

第 2 図 (f)　つづき
Fig. 2(f)　Continued.

表３－１　2023 年５月５日 14 時 42 分　能登半島沖の地震の計測震度および最大加速度（震度５弱以上）

都道府県	市区町村	観測点名	震度	計測震度	最大加速度(gal=cm/s/s)				
					合成	南北成分	東西成分	上下成分	震央距離(km)
石川県	珠洲市	珠洲市正院町＊	6 強	6.1	675.9	560.4	465.4	376.5	10.3
石川県	珠洲市	珠洲市三崎町	5 強	5.0	381.9	275.7	337.6	163.3	11.0
石川県	珠洲市	珠洲市大谷町＊	5 強	5.4	531.3	377.9	451.8	240.0	12.1
石川県	能登町	能登町松波＊	5 強	5.2	246.8	228.3	165.7	110.8	21.3
石川県	輪島市	輪島市鳳至町	5 弱	4.9	170.2	166.2	146.0	52.2	39.8
石川県	輪島市	輪島市門前町走出＊	5 弱	4.6	94.8	78.2	72.5	27.6	55.1
石川県	能登町	能登町宇出津	5 弱	4.6	138.6	124.2	84.4	108.8	28.9

＊は気象庁以外の震度観測点を示す。

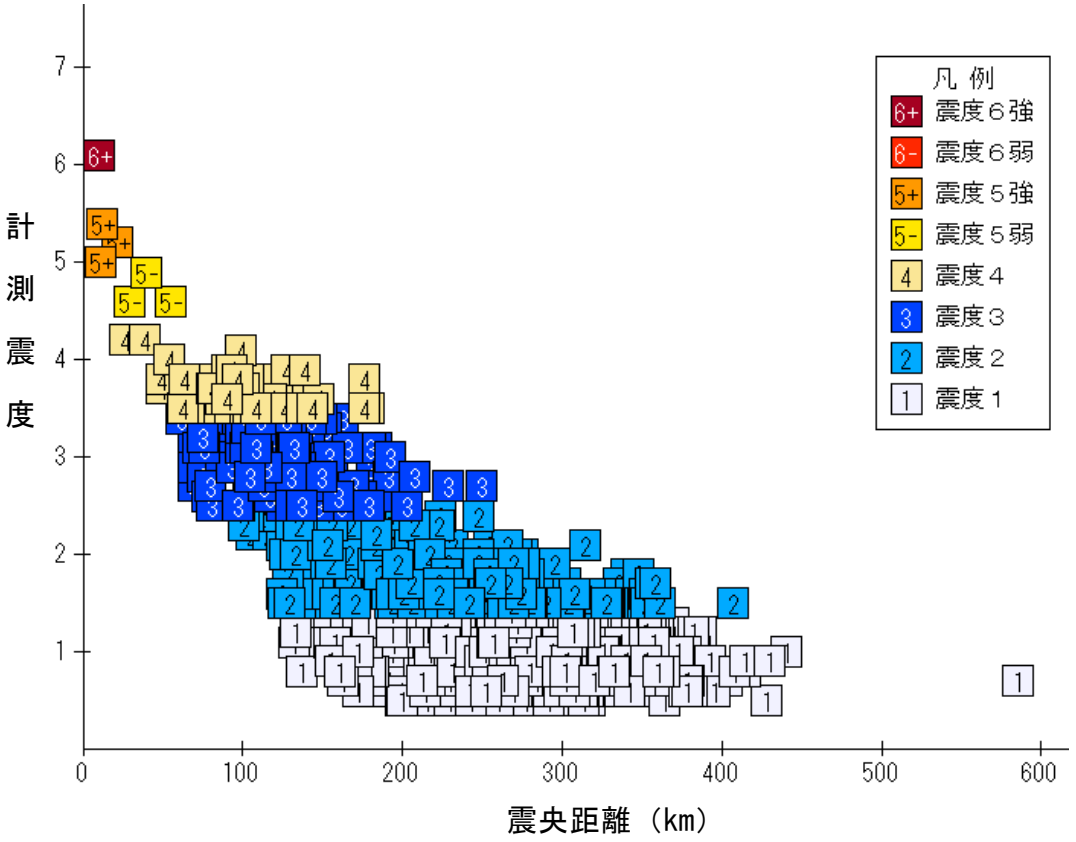
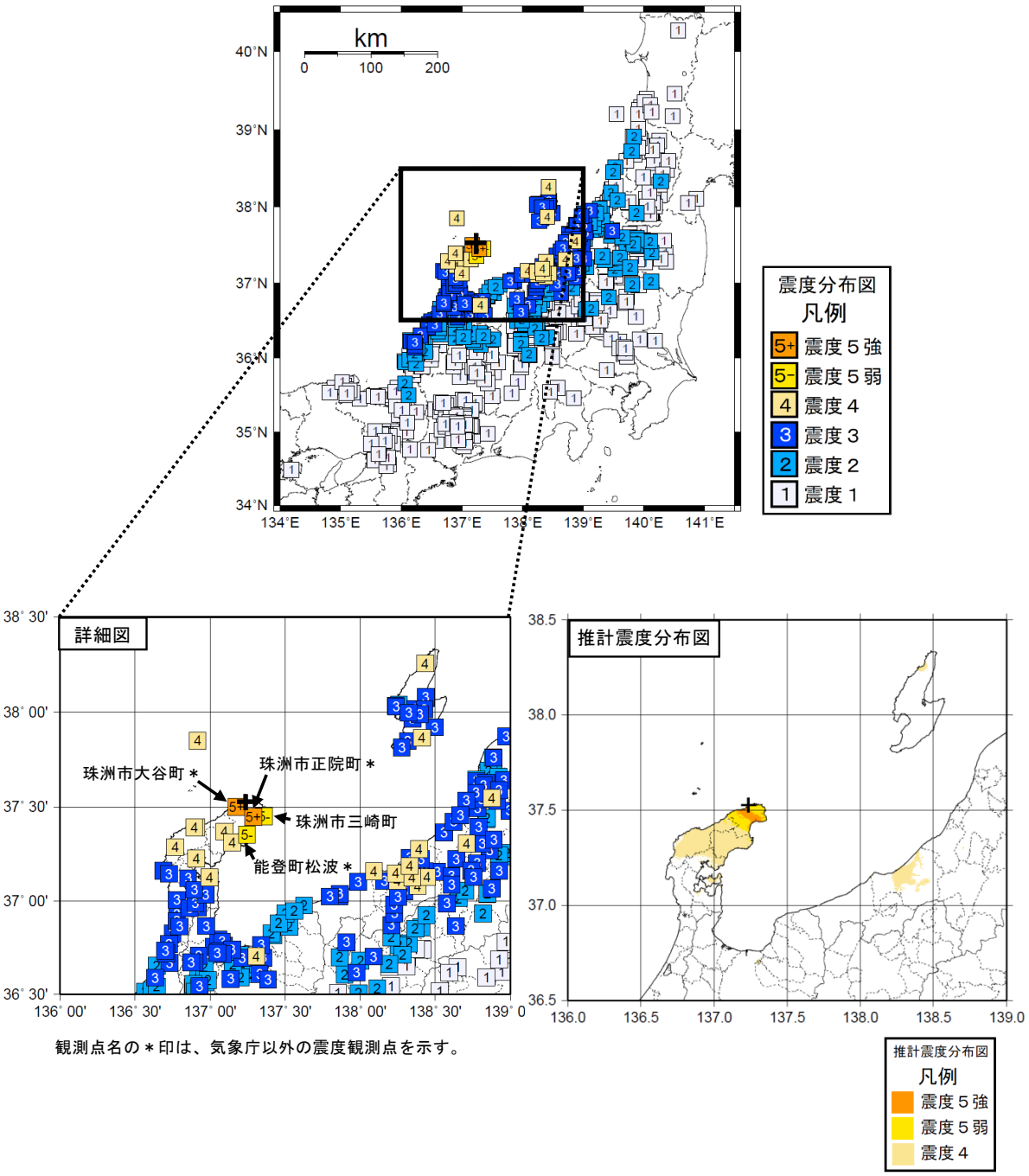


図３－２　2023 年５月５日 14 時 42 分　能登半島沖の地震（M6.5、深さ 12km、最大震度６強）の各震度観測点における計測震度の距離別分布
図中のシンボルの中の数字は震度階級

第 2 図 (f)　つづき
Fig. 2(f)　Continued.

イ．５月５日21時58分のM5.9の地震の震度と加速度

この地震の震度分布図を図３－３に、震度５弱以上を観測した地点の計測震度及び最大加速度を表３－２に示す。また、各震度観測点における計測震度の距離別分布を図３－４に示す。



＜推計震度分布図について＞
地震の際に観測される震度は、ごく近い場所でも地盤の違いなどにより１階級程度異なることがある。また、このほか震度を推計する際にも誤差が含まれるため、推計された震度と実際の震度が１階級程度ずれることがある。
このため、個々のメッシュの位置や震度の値ではなく、大きな震度の面的な広がり具合とその形状に着目して利用されたい。

図３－３　2023 年５月５日 21 時 58 分　石川県能登地方の地震（M5.9、深さ 14km、最大震度５強）の震度分布図及び推計震度分布図（＋印は震央を表す）

第 2 図 (f)　つづき
Fig. 2(f)　　Continued.

表３－２　2023 年５月５日 21 時 58 分　能登半島沖の地震の計測震度および最大加速度（震度５弱以上）

都道府県	市区町村	観測点名	震度	計測震度	最大加速度(gal=cm/s/s)				
					合成	南北成分	東西成分	上下成分	震央距離(km)
石川県	珠洲市	珠洲市正院町＊	５強	5.4	409.7	361.1	264.6	297.3	9.9
石川県	珠洲市	珠洲市大谷町＊	５強	5.1	624.9	361.3	570.9	192.1	6.0
石川県	珠洲市	珠洲市三崎町	５弱	4.8	320.2	165.3	283.4	98.0	13.8
石川県	能登町	能登町松波＊	５弱	4.6	232.8	171.3	196.1	119.1	19.2

＊は気象庁以外の震度観測点を示す。

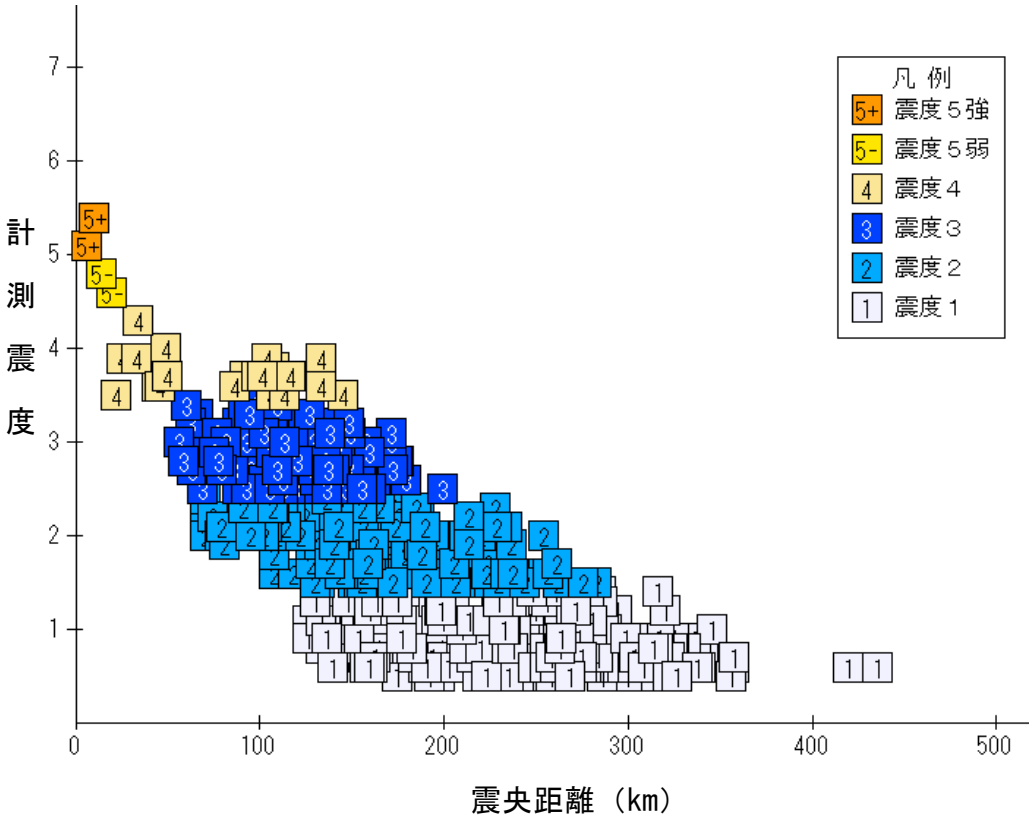


図３－４　2023 年５月５日 21 時 58 分　能登半島沖の地震（M5.9、深さ 14km、最大震度５強）の各震度観測点における計測震度の距離別分布
図中のシンボルの中の数字は震度階級

第 2 図 (f)　つづき
Fig. 2(f)　Continued.

（６）津波

2023年５月５日14時42分に発生した能登半島沖の地震（M6.5）により、石川県の珠洲市長橋で４cm、輪島港（港湾局）で10cmの津波を観測した。

表６－１　津波観測値

都道府県	観測点名	所属	第一波	最大波	
			到達時刻	発現時刻	高さ（cm）
石川県	珠洲市長橋	気象庁	05 日 14:46	05 日 14:50	4
	輪島港	国土交通省港湾局	05 日 15:04	05 日 15:26	10

※観測値は後日の精査により変更される場合がある
※所属機関の観測波形データをもとに気象庁が読み取った値
－ は値が決定できないことを示す

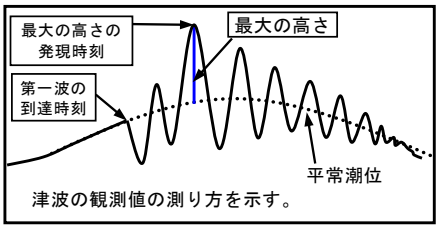


図６－１　津波の測り方の模式

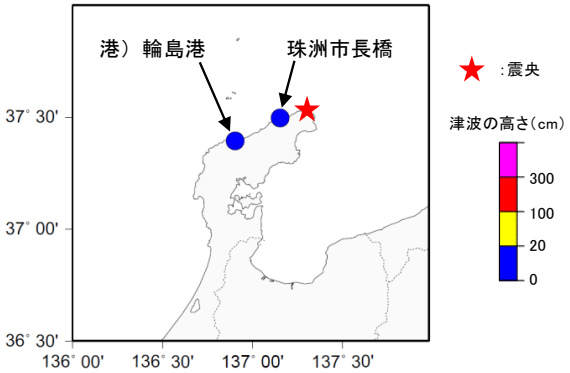


図６－２　津波を観測した地点

※　港）は国土交通省港湾局の所属であることを示す。

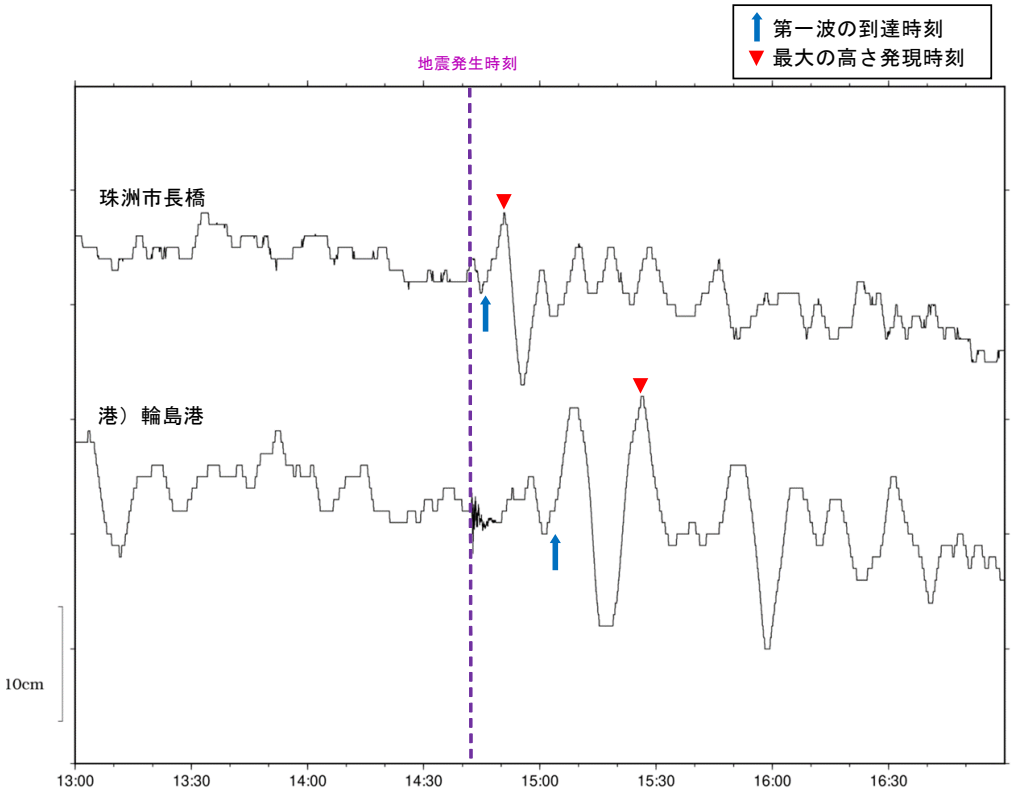


図６－３　津波波形

※　港）は国土交通省港湾局の所属であることを示す。

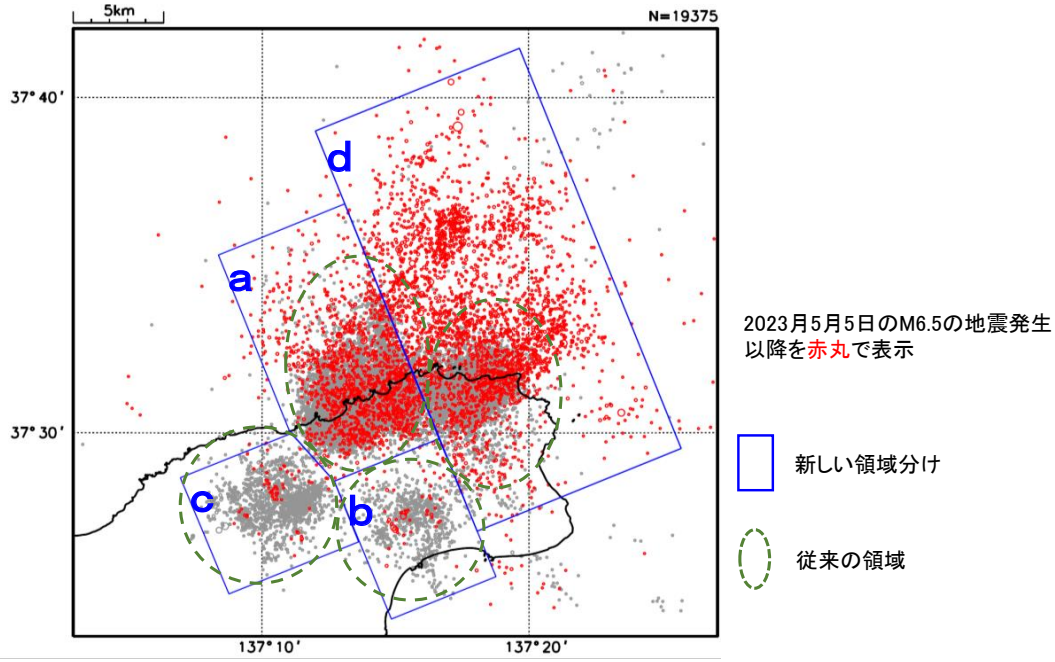
第 2 図 (g)　つづき
Fig. 2(g)　Continued.

石川県能登地方の地震活動　領域分けの変更

（参考）

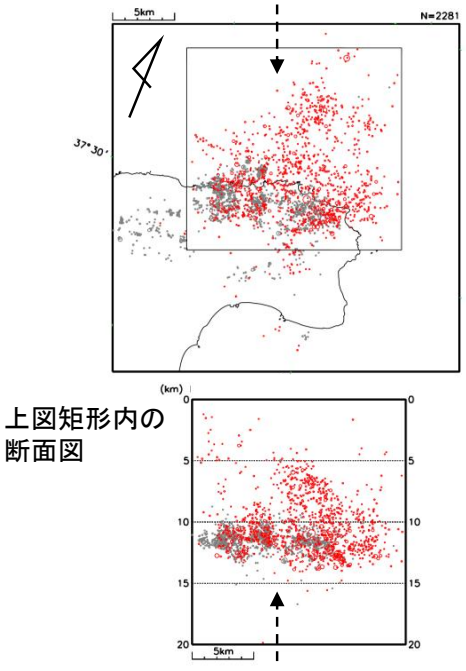
2023年5月5日のM6.5の地震発生以降、地震活動域が広がったことから、領域を下記の様に再設定した。基本的に従来同様、今後も主にa～dの4領域に分けて監視・評価を行う。

震央分布図
（2021年1月1日～2023年5月31日、M≧1.0、深さ0～20km）



領域分けの検討

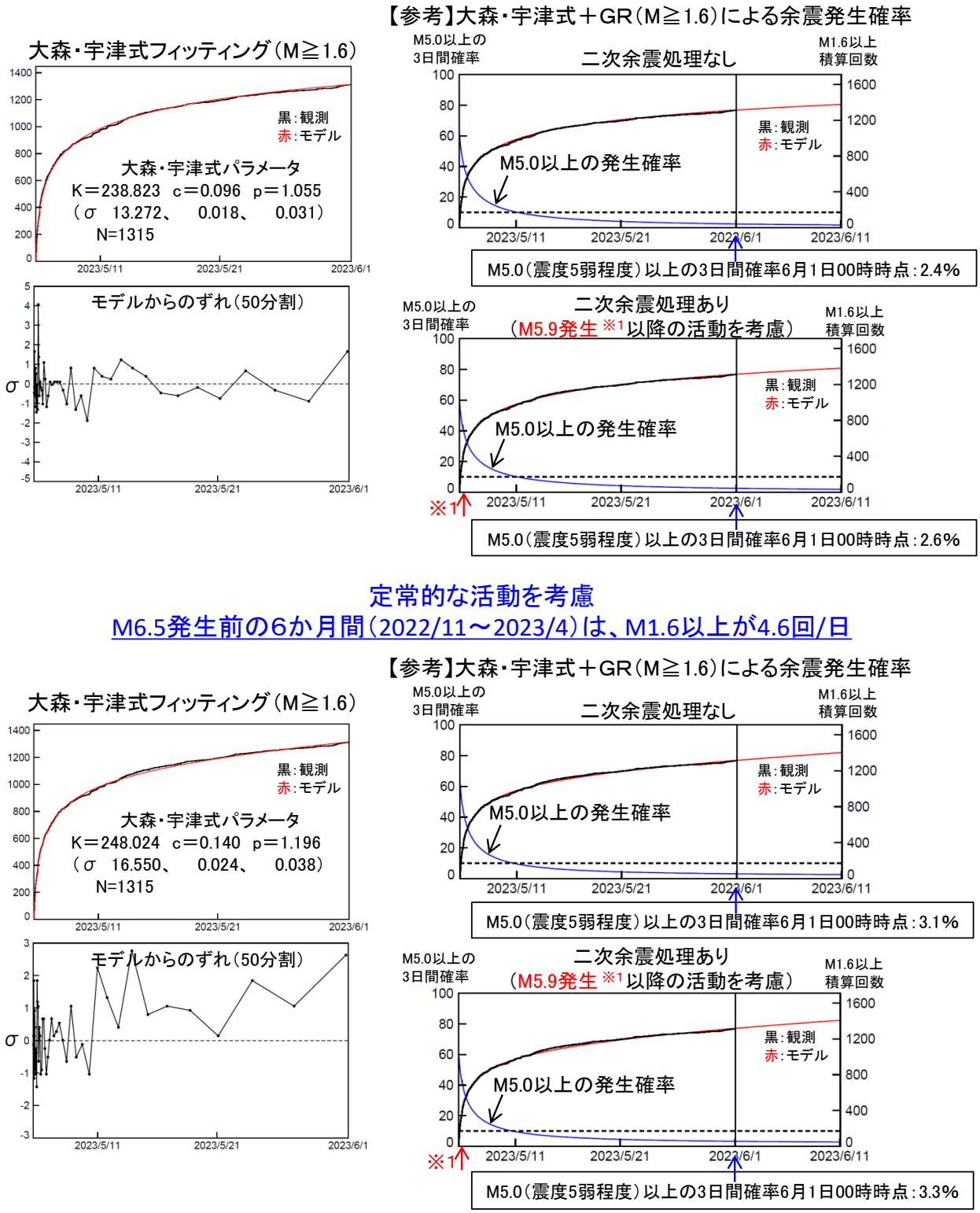
震央分布図
（上図の震央分布図を時計回りに22°回転）



上図矩形内の断面図

2023年5月5日のM6.5の地震発生以降も、領域aとdの間（左図中の矢印）に明瞭なギャップがあり、ここに境界を設定。

第 2 図 (h)　つづき
Fig. 2(h)　Continued.

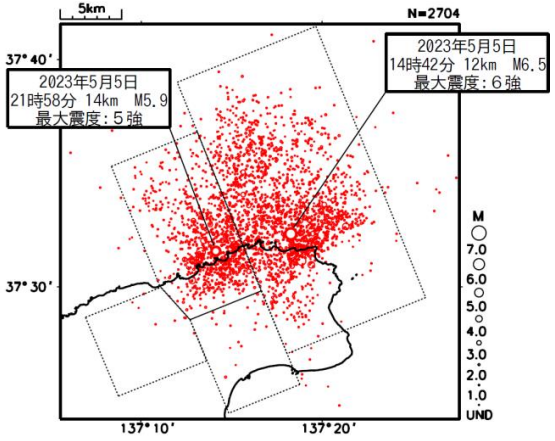


第 2 図 (i)　つづき
Fig. 2(i)　　Continued.

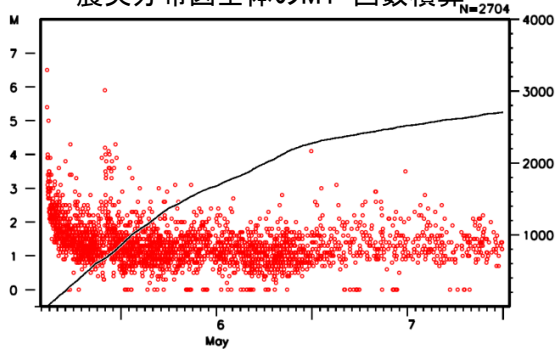
石川県能登地方の地震活動
「2023年5月5日14時42分（M6.5発生）～7日24時00分」における震源決定の追加処理

追加処理前

震央分布図
（2023年5月5日14時42分～
7日24時00分、深さ0～25km、M全て、
震源登録区分K,k,A）

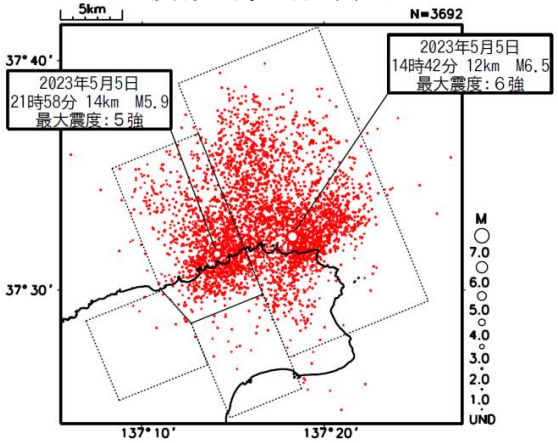


震央分布図全体のMT・回数積算

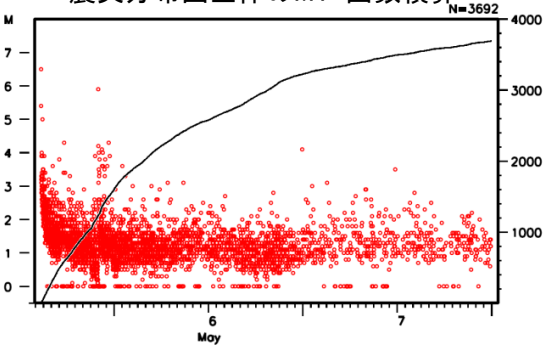


追加処理後

震央分布図
（2023年5月5日14時42分～
7日24時00分、深さ0～25km、M全て、
震源登録区分K,k,A ）



震央分布図全体のMT・回数積算



第 2 図 (j)　つづき
Fig. 2(j)　　Continued.

＜追加処理の概要＞

石川県能登地方における「2023年5月5日14時42分（M6.5発生）～5月7日24時00分」の期間は、地震活動の活発化により、震源決定作業に遅れが生じたため、震度1以上を観測した地震は精査検測の対象とし、それ以外は自動決定による震源（以下、自動震源）をそのまま登録した。

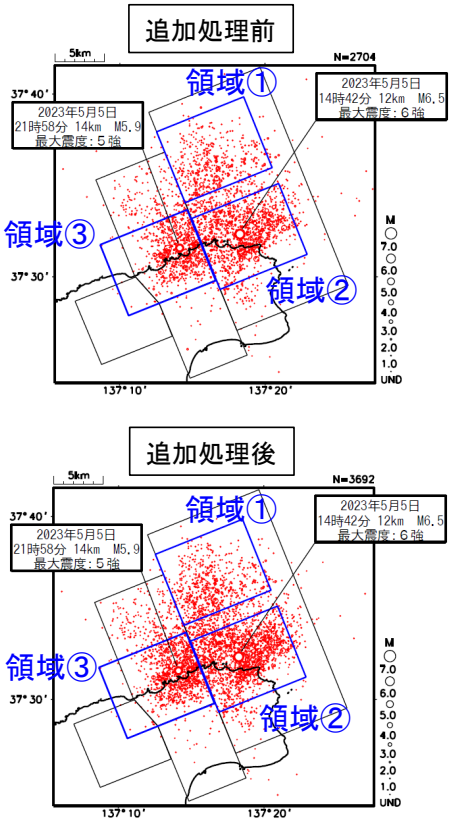
そのため、当該期間について、以下の追加処理を行い、**2023年8月21日に一元化震源データに反映**した。

- ○登録済みの自動震源について、通常の検測基準に従い、M1.7以上は精査検測、M1.7 未満は簡易検測を行った。
- ○地震活動の活発化によるトリガレベルの上昇により自動で検知できなかった概ねM1.0を超える地震についても、追加で検測を行った。

当該期間における追加処理前後の震源データを左図に示す。

石川県能登地方の地震活動
「 2023年5月5日14時42分（M6.5発生）～7日24時00分」における震源決定の追加処理（追加処理前後の比較）

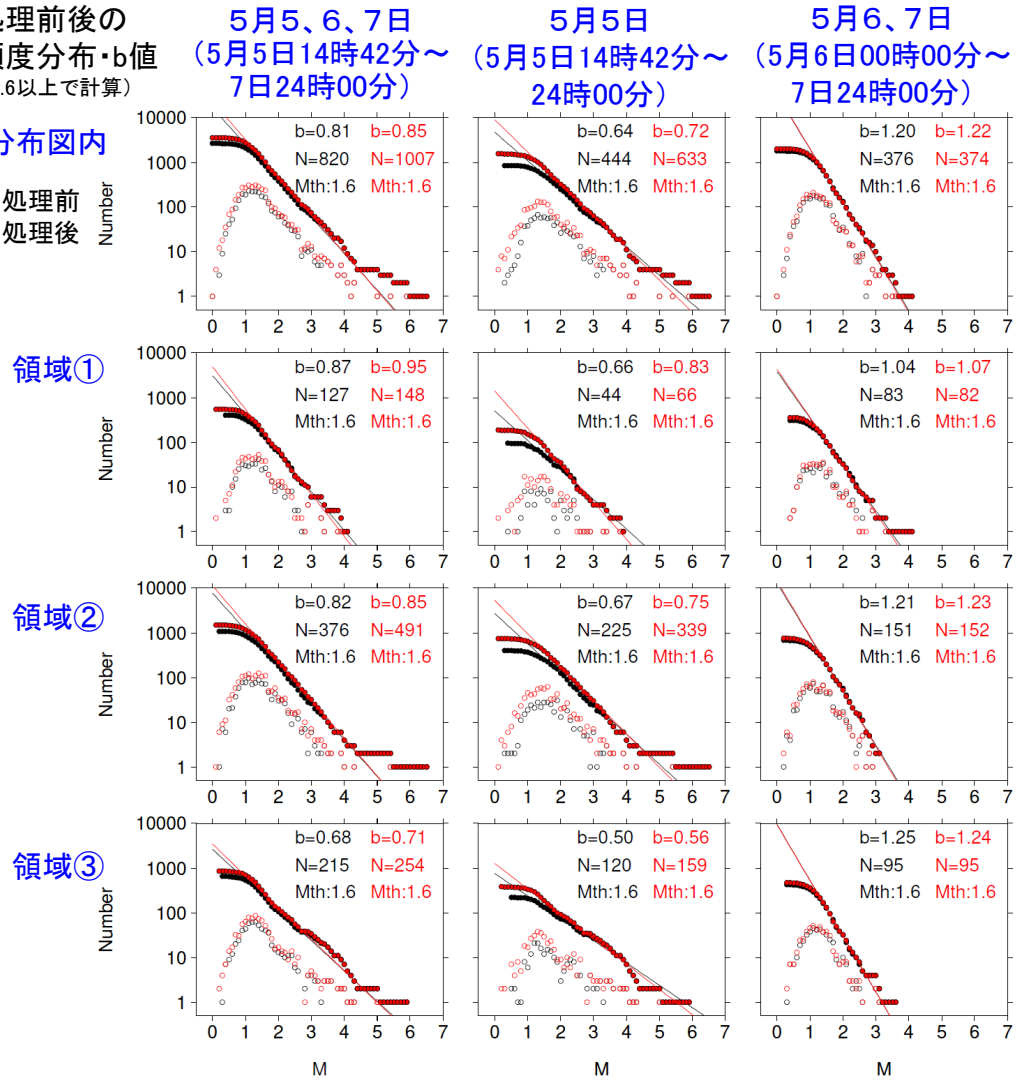
追加処理前後の
震央分布図
（2023年5月5日14時42分～
7日24時00分、深さ0～25km、M全て）



追加処理前後の
規模別頻度分布・b値
（b値はM1.6以上で計算）

震央分布図内

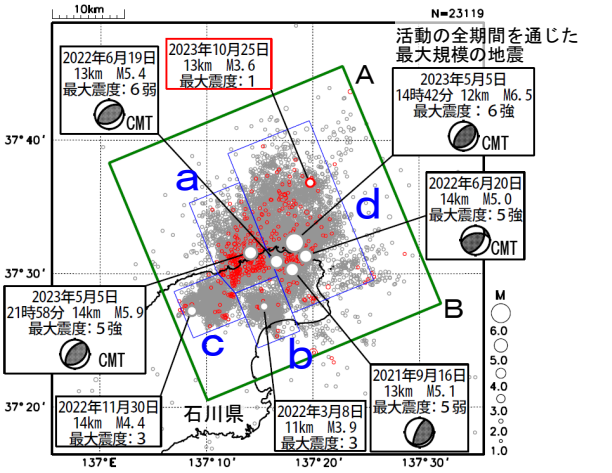
黒：追加処理前
赤：追加処理後



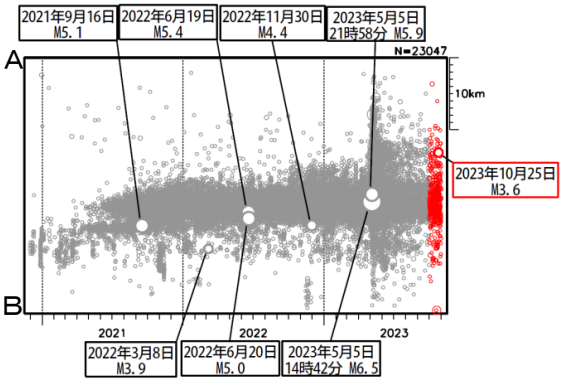
第 2 図 (j)　つづき
Fig. 2(j)　Continued.

石川県能登地方の地震活動

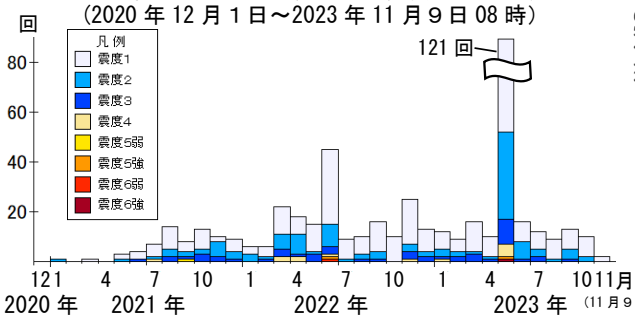
震央分布図
（2020 年 12 月 1 日～2023 年 10 月 31 日、
深さ 0～25km、M≧1.0）
2023 年 10 月の地震を赤色で表示
・黒色の吹き出し：領域 a～d の各領域内で最大規模の地震及び最大震度 5 弱以上の地震
・赤色の吹き出し：緑色矩形内で 2023 年 10 月中の最大規模の地震



上図緑色矩形内の時空間分布図（A－B 投影）



上図緑色矩形内の地震の月別震度別発生回数
（2020 年 12 月 1 日～2023 年 11 月 9 日 08 時）

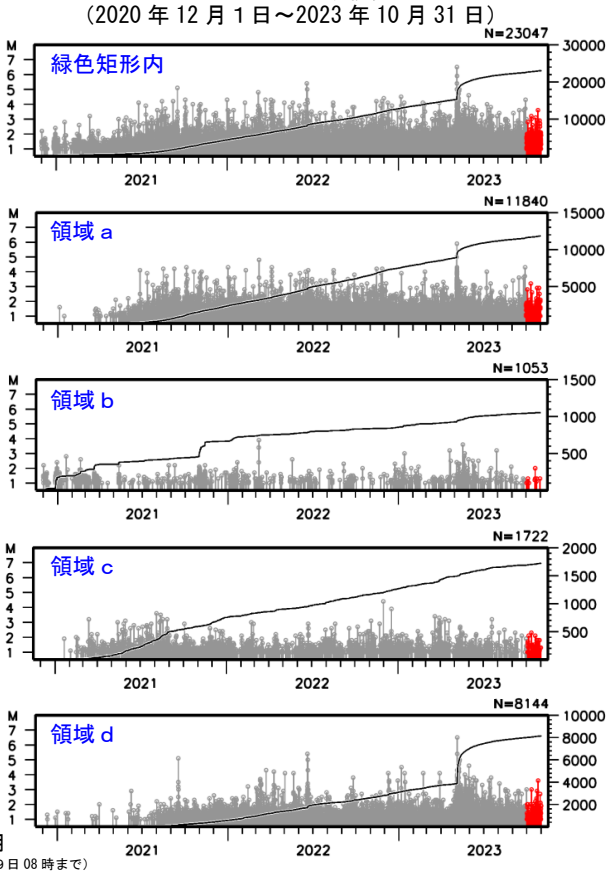


石川県能登地方（震央分布図の緑色矩形内）では、2018 年頃から地震回数が増加傾向にあり、2020 年 12 月から地震活動が活発になり、2021 年 7 月頃からさらに活発になっている。2023 年 10 月中も活発な状態が継続している。2023 年 10 月中の最大規模の地震は、25 日に発生した M3.6 の地震（最大震度 1）である。なお、活動の全期間を通じた最大規模の地震は、2023 年 5 月 5 日 14 時 42 分に発生した M6.5 の地震（最大震度 6 強）である。

2023 年 5 月 5 日に M6.5 の地震（最大震度 6 強）が発生した後、地震活動がさらに活発になっていたが、時間の経過とともに地震の発生数は減少している。

緑色矩形領域内で震度 1 以上を観測した地震の回数は、期間別・震度別地震発生回数のグラフ及び表のとおり。

左図緑色矩形内及び領域 a～d 内の
M－T 図及び回数積算図
（2020 年 12 月 1 日～2023 年 10 月 31 日）



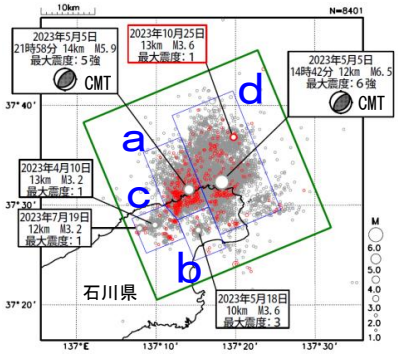
期間別・震度別の地震発生回数表

期間	最大震度別回数								
	1	2	3	4	5弱	5強	6弱	6強	計
2020 年 12 月 1 日～2023 年 9 月 30 日	301	115	49	13	1	2	1	1	483
2023 年 10 月 1 日～31 日	8	2	0	0	0	0	0	0	10
2023 年 11 月 1 日～9 日 08 時	2	0	0	0	0	0	0	0	2
計	311	117	49	13	1	2	1	1	495

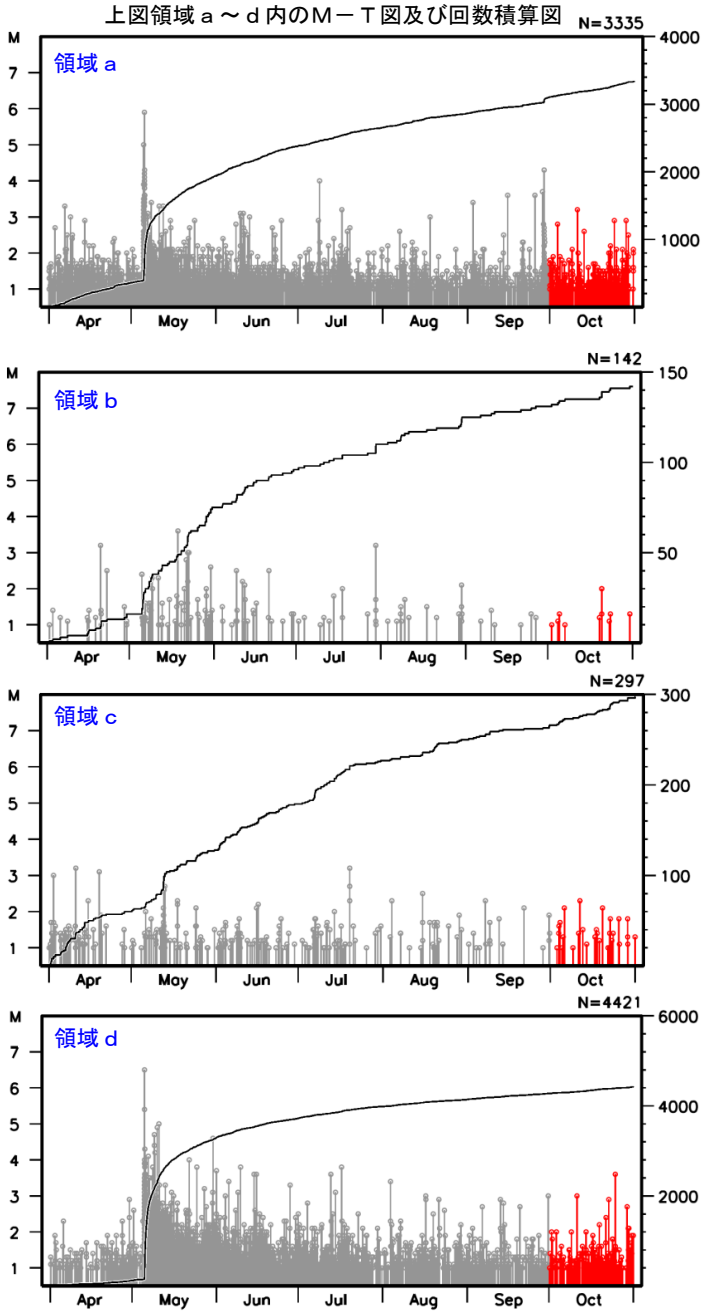
第 2 図 (k)　つづき
Fig. 2(k)　Continued.

石川県能登地方の地震活動（最近の活動）

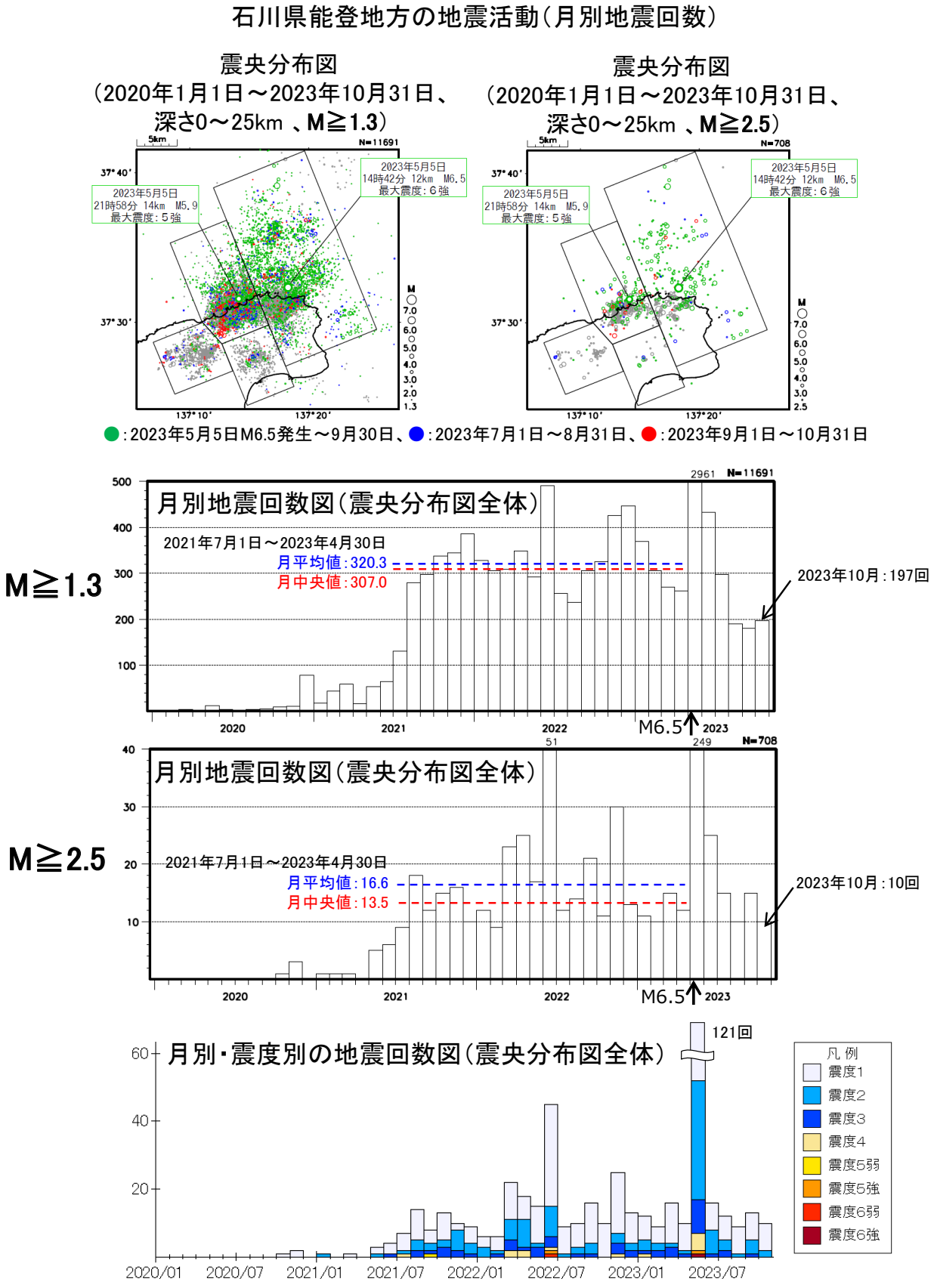
震央分布図
（2023 年 4 月 1 日～2023 年 10 月 31 日、
深さ 0～25km、M≧1.0）
2023 年 10 月の地震を赤色で表示
・黒色の吹き出し：領域 a～d の各領域内で最大規模の地震
・赤色の吹き出し：緑色矩形内で 2023 年 10 月中の最大規模の地震



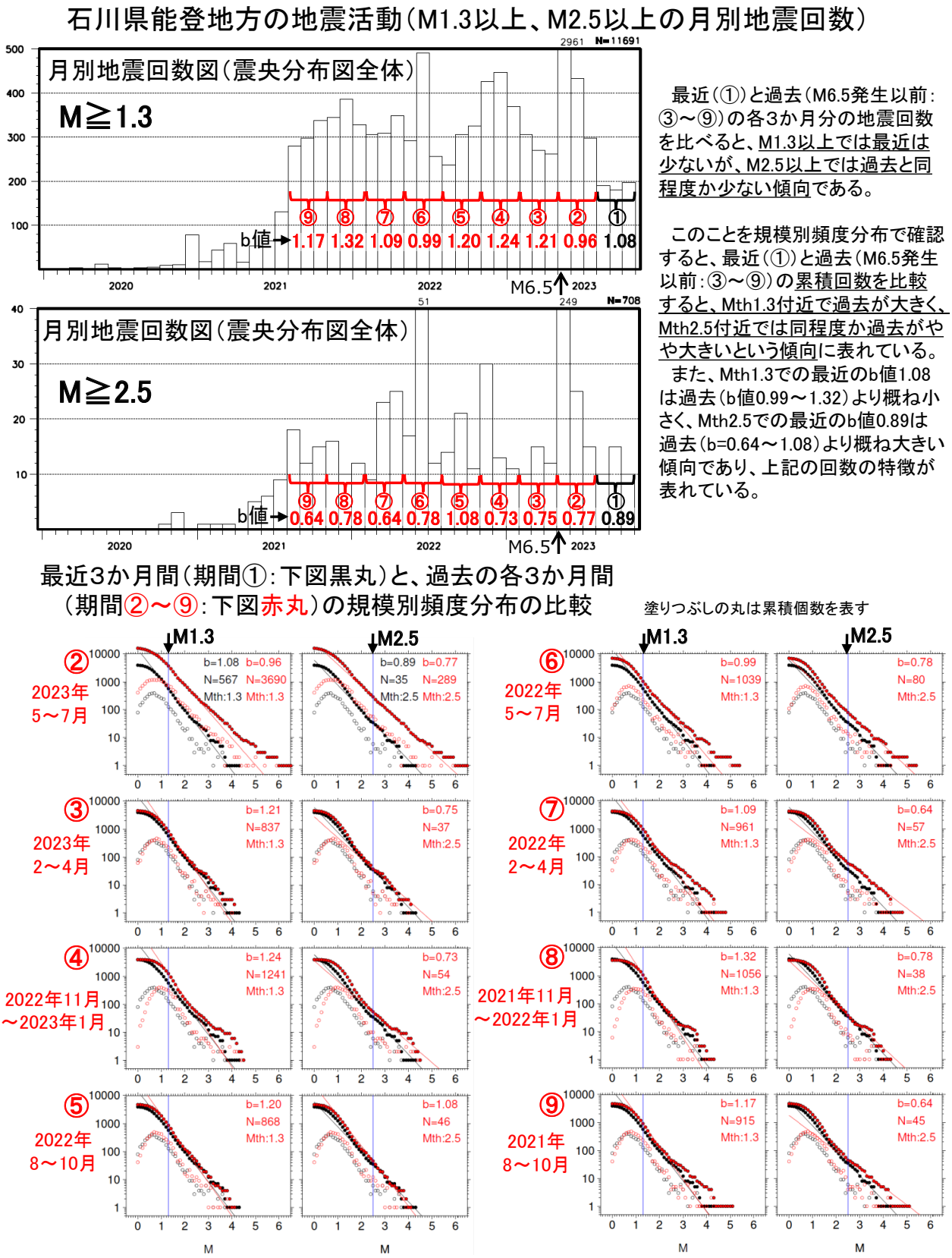
上図領域 a～d 内のＭ－Ｔ図及び回数積算図



第 2 図 (l)　つづき
Fig. 2(l)　　Continued.



第 2 図 (m)　つづき
Fig. 2(m)　Continued.



最近（①）と過去（M6.5発生以前：③～⑨）の各3か月分の地震回数を比べると、M1.3以上では最近は少ないが、M2.5以上では過去と同程度か少ない傾向である。

このことを規模別頻度分布で確認すると、最近（①）と過去（M6.5発生以前：③～⑨）の累積回数を比較すると、Mth1.3付近で過去が大きく、Mth2.5付近では同程度か過去がやや大きいという傾向に表れている。

また、Mth1.3での最近のb値1.08は過去（b値0.99～1.32）より概ね小さく、Mth2.5での最近のb値0.89は過去（b=0.64～1.08）より概ね大きい傾向であり、上記の回数の特徴が表れている。

第 2 図 (m)　つづき
Fig. 2(m)　Continued.

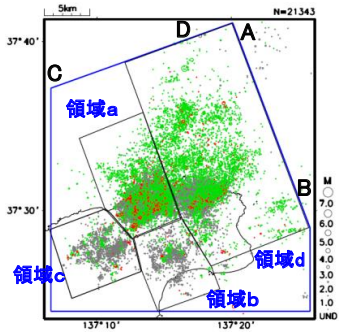
石川県能登地方の地震活動（カタログDD法による再計算震源）

観測点補正値※1を適用した再計算震源に、カタログの検測値を用いたDD法による震源再計算を行った。

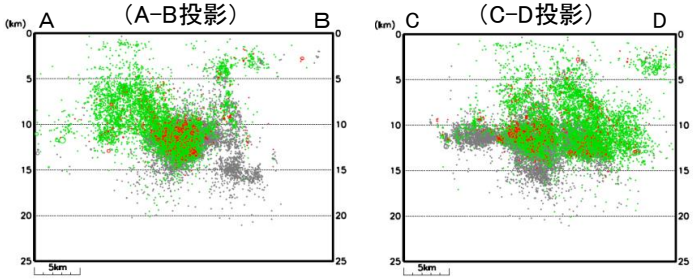
※1）臨時観測点を除いた観測点限定（Δ90km程度以内）による再計算震源を用いて求めた観測点補正値を、震源の再計算（臨時観測点を含む）に適用した。震源データ：2018年1月1日～2023年10月31日、深さ0～25km 、M≧1.0（震源計算にあたり観測点の標高は考慮していない）

震央分布図
（2020年7月1日～2023年10月31日、
深さ0～25km 、M≧1.0）

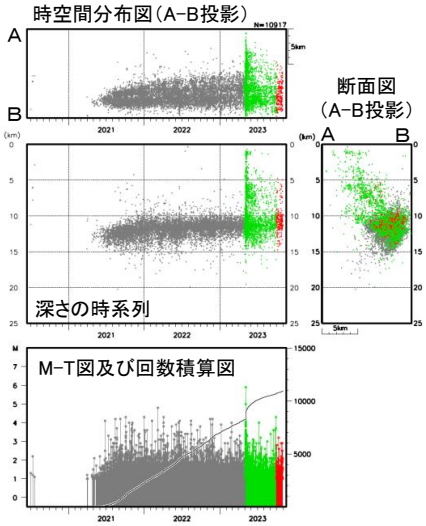
緑丸：2023年5月5日M6.5発生～9月30日
赤丸：2023年10月1日～31日
灰丸：上記以外の期間



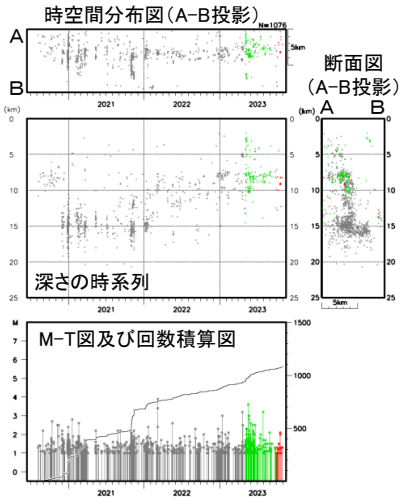
全体（青色領域内）の断面図



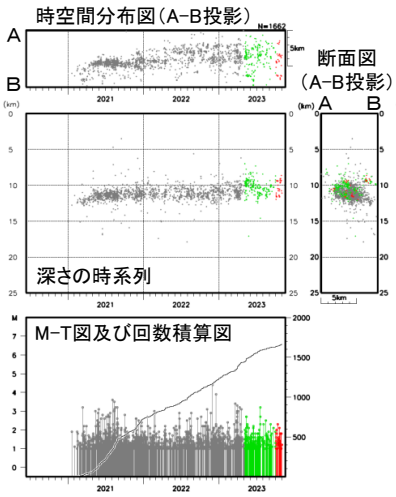
領域a内



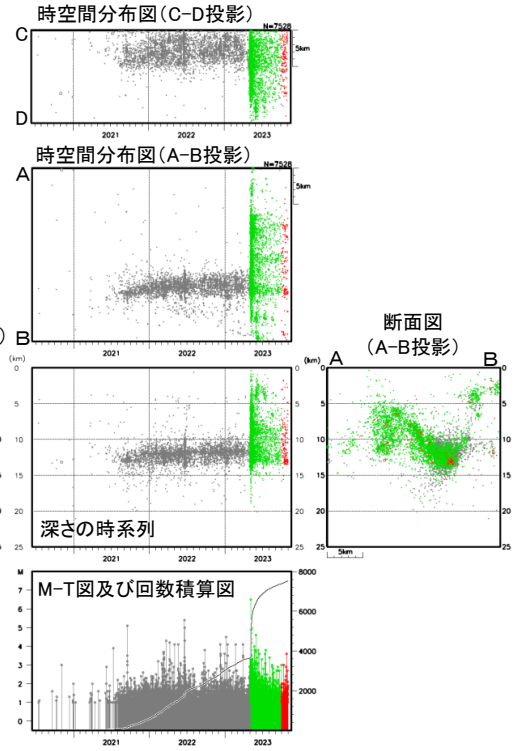
領域b内



領域c内



領域d内



第 2 図 (n)　つづき
Fig. 2(n)　Continued.

石川県能登地方の地震活動（非定常ETAS解析）

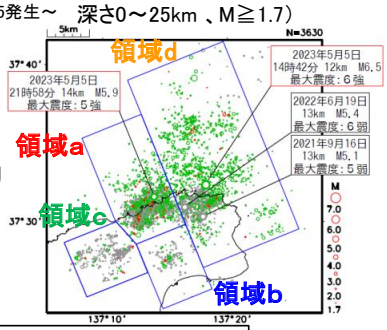
非定常ETASモデル（Kumazawa and Ogata, 2013）による背景地震活動度 μ（t），余震誘発強度K_0(t)を推定した。

$$\lambda_\theta(t|H_t) = \mu(t) + \sum_{\{i:t_i<t\}} \frac{K_0(t_i)e^{\alpha(M_i-M_c)}}{(t-t_i+c)^p}$$

$\lambda_\theta(t|H_t)$：強度関数、μ（t）：背景地震活動度、K_0(t)：余震誘発強度

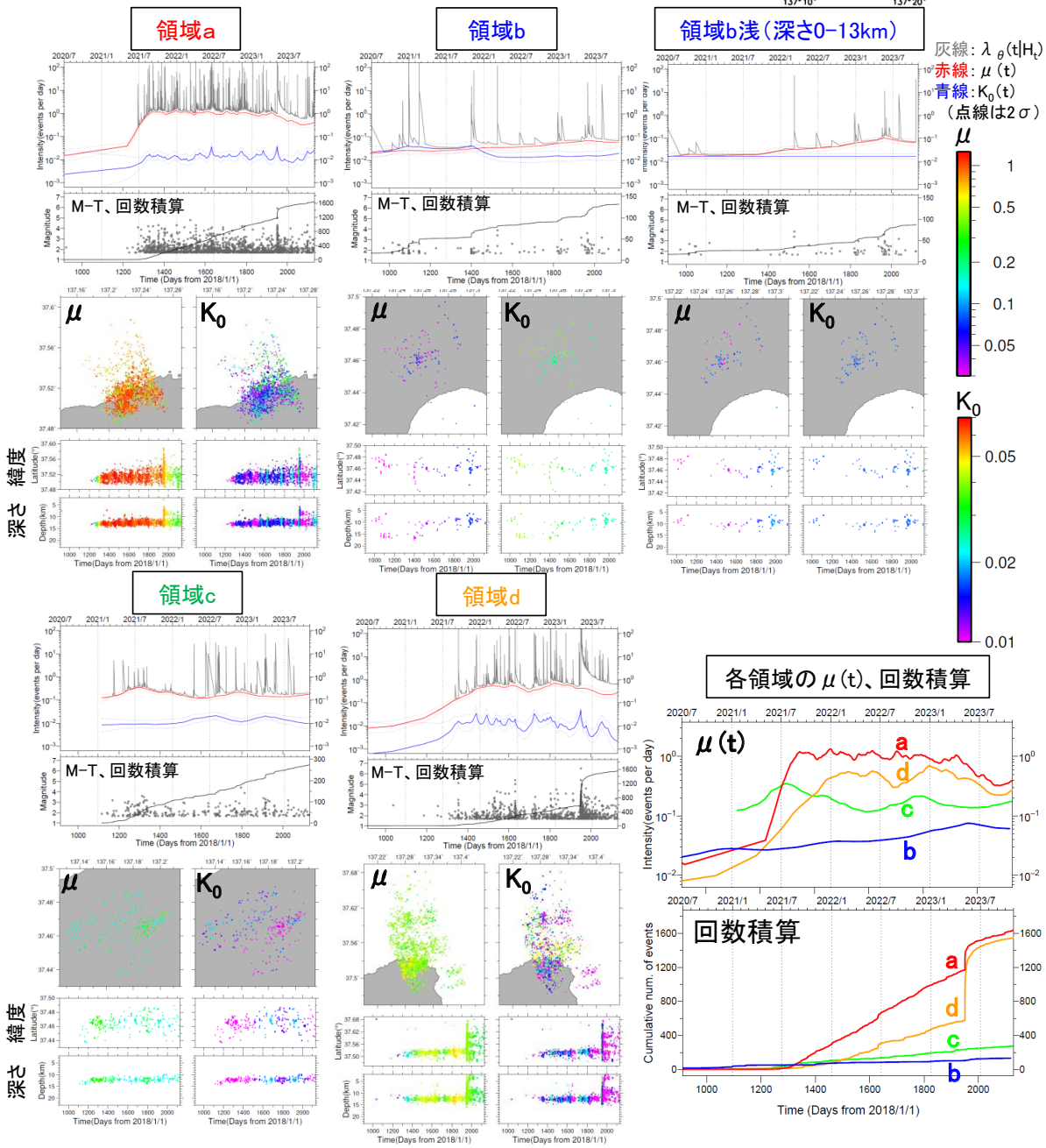
Kumazawa, T., Ogata, Y., 2013. Quantitative description of induced seismic activity before and after the 2011 Tohoku-Oki earthquake by nonstationary ETAS model. J. Geophys. Res.118, 6165-6182.

震央分布図
（2018年1月1日～2023年10月31日、
緑丸：2023年5月5日M6.5発生～　深さ0～25km 、M≧1.7）
青丸：2023年7月1日～
赤丸：2023年9月1日～



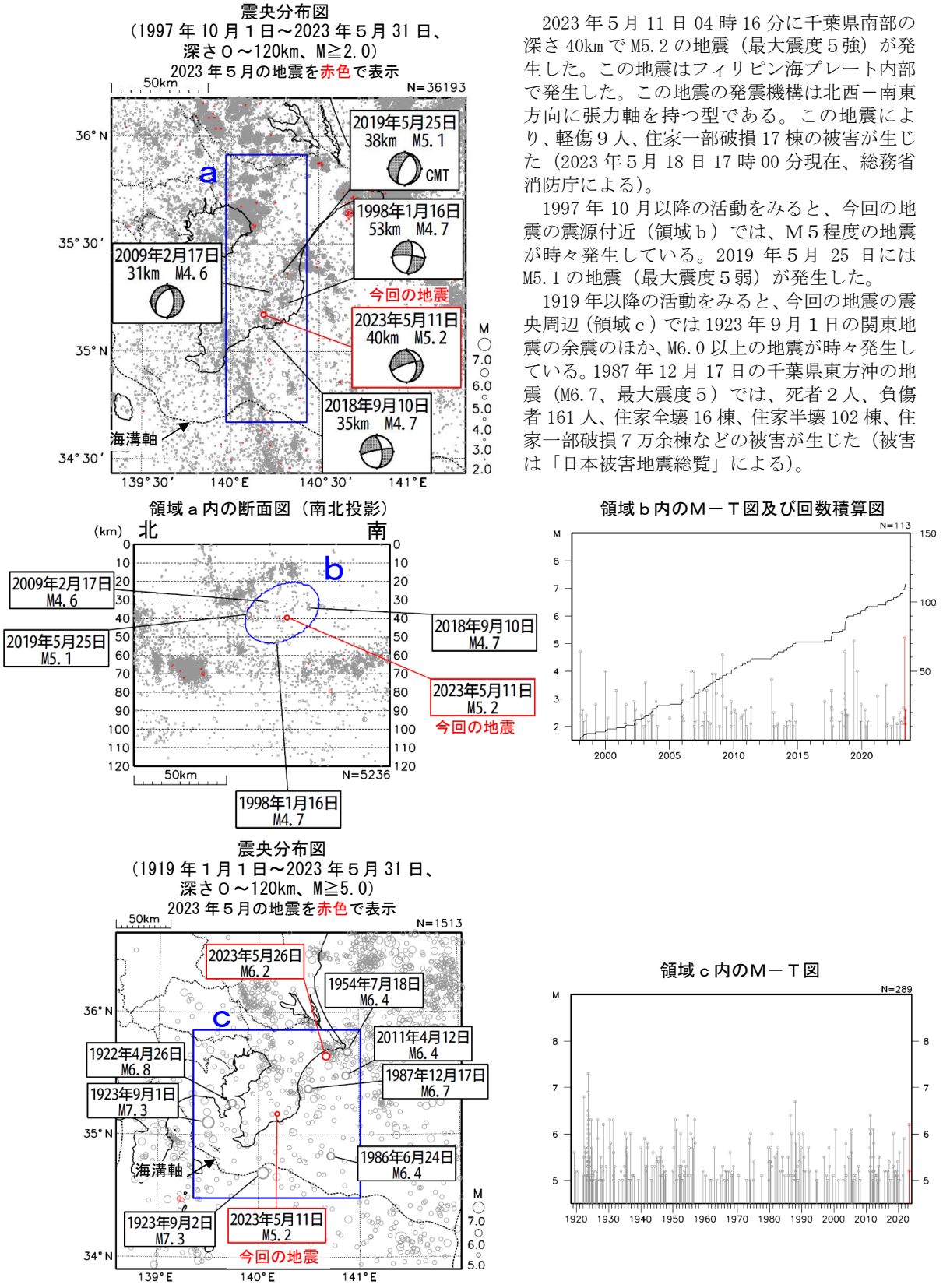
○非定常ETAS解析には右の震央分布図に示す震源データを使用した。μ、K_0の初期値及び固定値α、c、pは、2020年12月までの震央分布図内の主に陸域M1.0以上で定常ETAS解析により求めた値を基本としたが、領域a、c、dのα、pは、ABICを比較して先行研究（Ogata, 2011）の今回の活動付近の値とした。

○下の各グラフ・図は、2020年7月1日～2023年10月31日を表示。



第 2 図 (o)　つづき
Fig. 2(o)　Continued.

５月 11 日　千葉県南部の地震



2023 年 5 月 11 日 04 時 16 分に千葉県南部の深さ 40km で M5.2 の地震（最大震度 5 強）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。この地震の発震機構は北西－南東方向に張力軸を持つ型である。この地震により、軽傷 9 人、住家一部破損 17 棟の被害が生じた（2023 年 5 月 18 日 17 時 00 分現在、総務省消防庁による）。

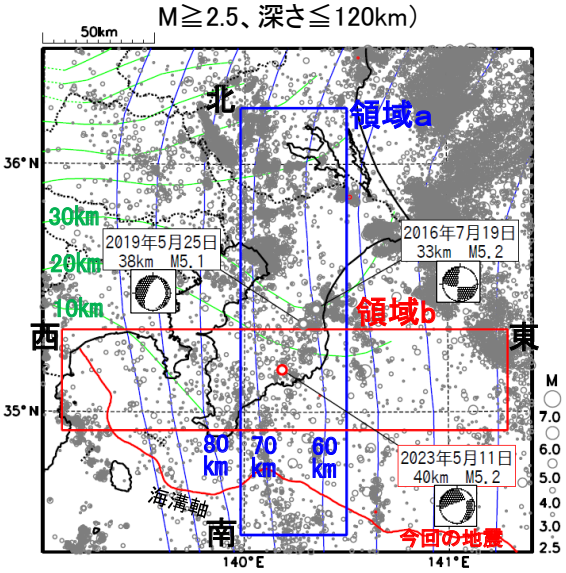
1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域 b）では、M 5 程度の地震が時々発生している。2019 年 5 月 25 日には M5.1 の地震（最大震度 5 弱）が発生した。

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 1923 年 9 月 1 日の関東地震の余震のほか、M6.0 以上の地震が時々発生している。1987 年 12 月 17 日の千葉県東方沖の地震（M6.7、最大震度 5）では、死者 2 人、負傷者 161 人、住家全壊 16 棟、住家半壊 102 棟、住家一部破損 7 万余棟などの被害が生じた（被害は「日本被害地震総覧」による）。

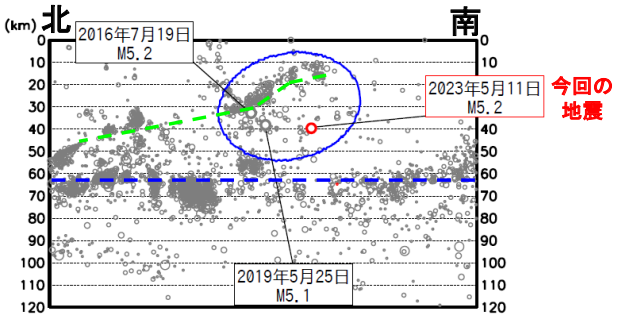
第 3 図 (a)　2023 年 5 月 11 日　千葉県南部の地震
Fig. 3(a)　The earthquake in the southern part of Chiba Prefecture on May 11, 2023.

5月11日 千葉県南部の地震（今回の地震活動）

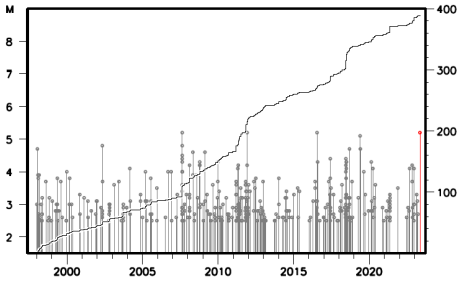
震央分布図
（1997年10月1日～2023年5月16日、
M≧2.5、深さ≦120km）



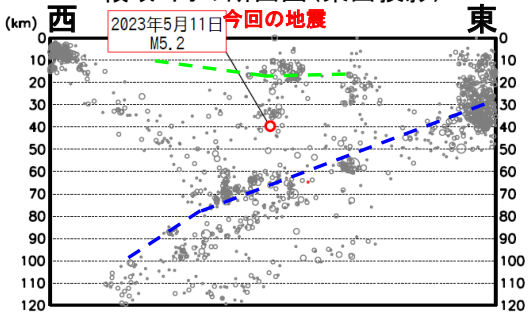
領域a内の断面図（南北投影）



上図の楕円領域内のMT・回数積算図



領域b内の断面図（東西投影）

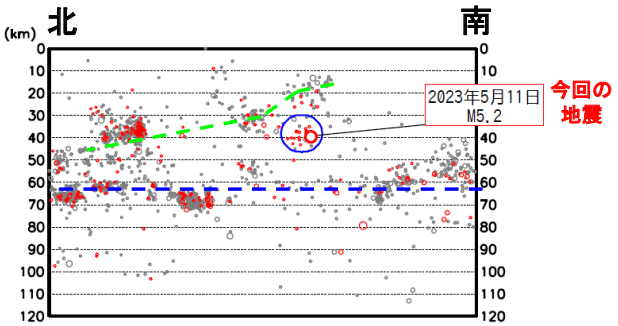


・赤丸は、2023年5月11日M5.2の地震発生以降の地震
・発震機構は今回の地震は初動解、それ以外はCMT解

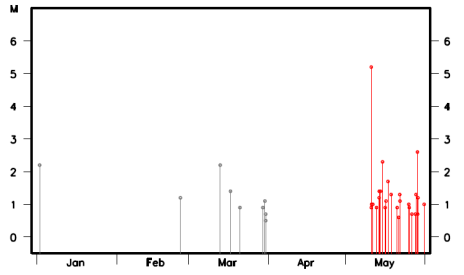
・震央分布図の青色コンターは太平洋プレート上面モデル（Nakajima et al., 2009）、緑色コンターはフィリピン海プレート上面モデル（弘瀬・他、2008）の等深線を示す。

・断面図の青色及び緑色の点線はそれぞれ、太平プレート上面及びフィリピン海プレート上面のおおよその位置を示す。

領域a内の断面図（南北投影）
（2023年1月1日～5月31日、Mすべて）



上図の楕円領域内のMT図



第 3 図 (b)　つづき
Fig. 3(b)　Continued.

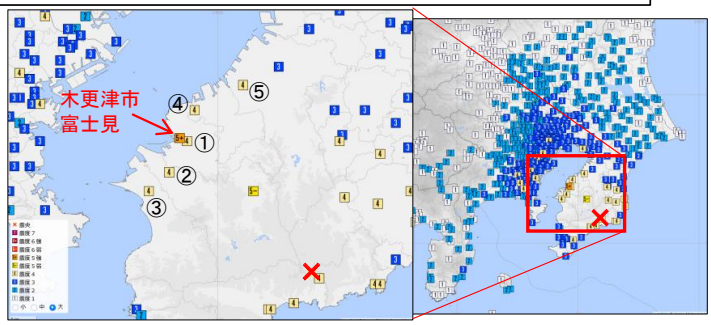
5月11日　千葉県南部の地震(「木更津市富士見」の震度の傾向)

今回の地震では「木更津市富士見」で周辺の観測点よりも大きな震度を観測した。地震発生日に実施した現地調査では震度観測点の観測環境に異常は認められなかった。

過去に観測された「木更津市富士見」の震度は、その周辺で観測された震度に比べて、震央が遠い地震では特に大きい傾向ではなかった(下記調査(1))が、震央が近い千葉県南部の地震では震度が大きくなる傾向がある(下記調査(2))。

今回の地震「2023年05月11日04時16分千葉県南部の地震(M5.2、深さ40km)」の震度分布

■木更津市富士見(震央距離33km):計測震度 5.2
■木更津市富士見より15 km以内の観測点との計測震度差
①木更津市太田:　計測震度 3.8 (−1.4)
②君津市久保:　計測震度 3.7 (−1.5)
③富津市下飯野:　計測震度 3.7 (−1.5)
④袖ケ浦市坂戸市場:　計測震度 4.0 (−1.2)
⑤市原市姉崎:　計測震度 4.0 (−1.2)

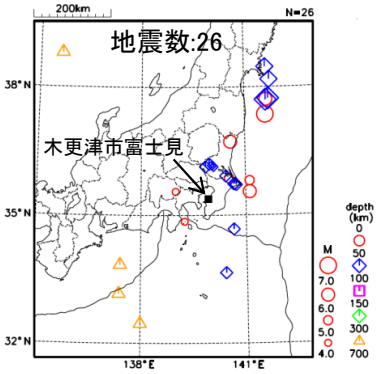


「木更津市富士見」の周辺15km以内の5観測点との計測震度の差を調査

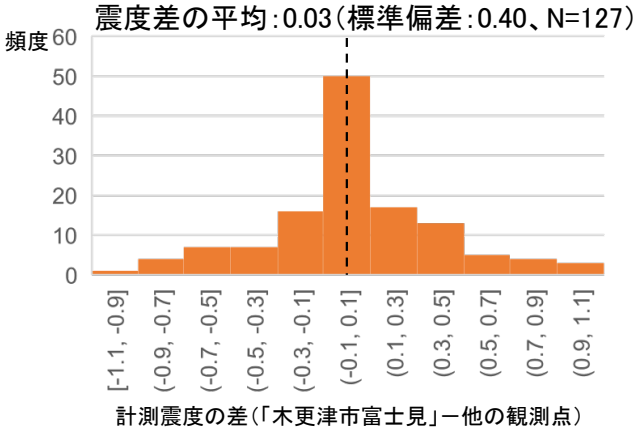
使用した震源データの期間:2015年9月24日(「木更津市富士見」活用以降)～2023年5月10日

(1)M4.0以上、「木更津市富士見」から震央距離75km以上の地震のうち「木更津市富士見」で計測震度1.5以上

調査に用いた地震の震央分布図

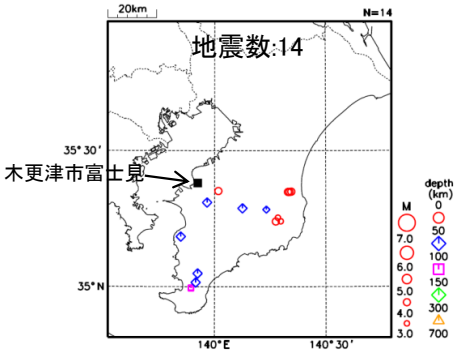


震度差の平均:0.03(標準偏差:0.40、N=127)

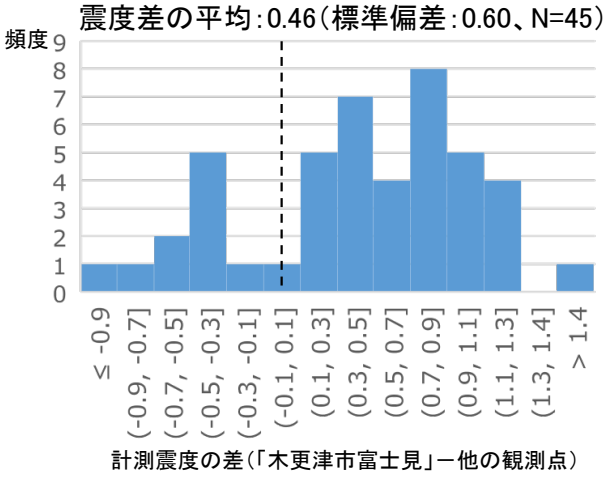


(2)M3.0以上、「木更津市富士見」から震央が近い地震(震央地名が千葉県南部)のうち「木更津市富士見」で計測震度0.5以上

調査に用いた地震の震央分布図

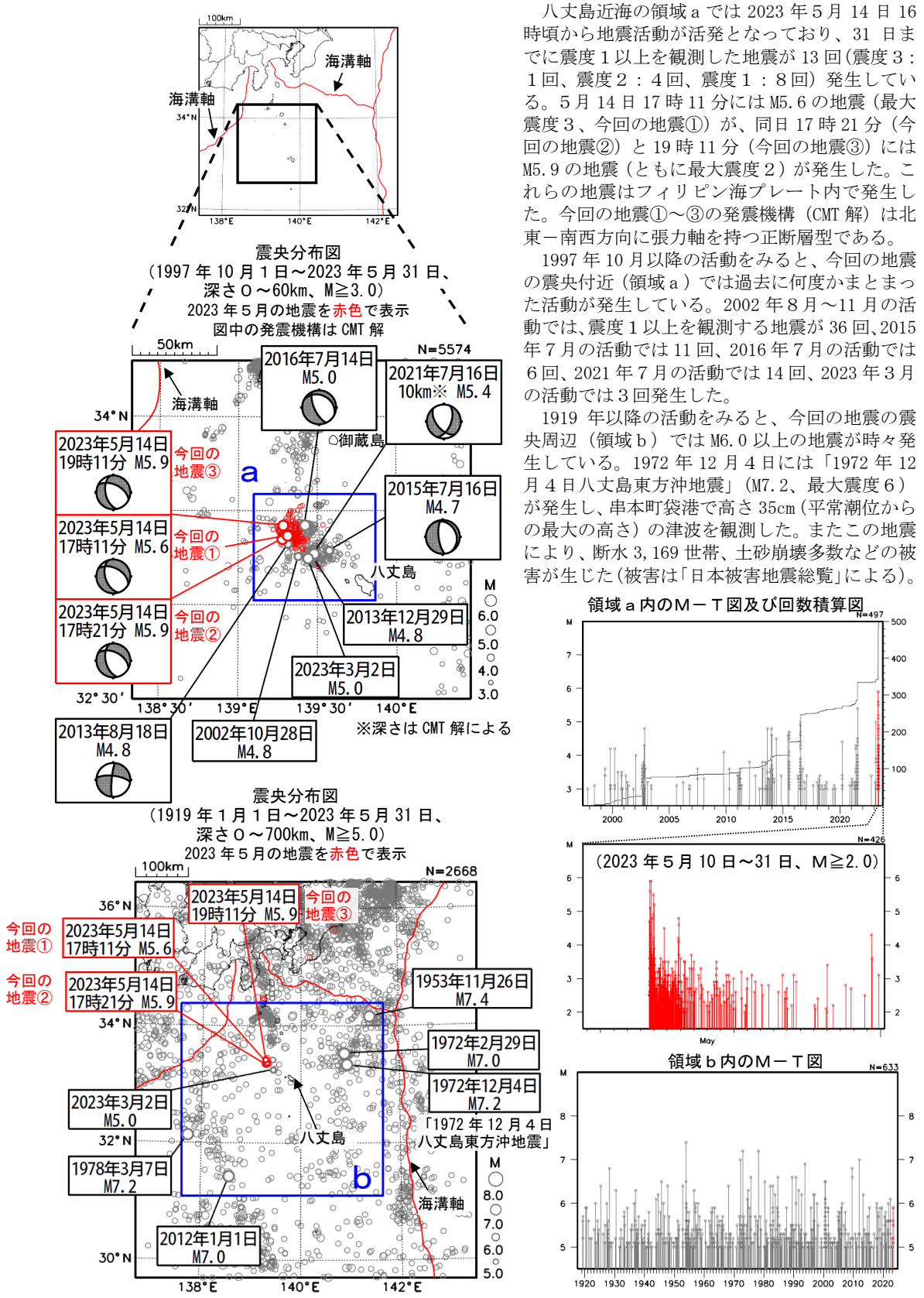


震度差の平均:0.46(標準偏差:0.60、N=45)



第 3 図 (c)　つづき
Fig. 3(c)　Continued.

八丈島近海の地震活動



八丈島近海の領域 a では 2023 年 5 月 14 日 16 時頃から地震活動が活発となっており、31 日までに震度 1 以上を観測した地震が 13 回（震度 3：1 回、震度 2：4 回、震度 1：8 回）発生している。5 月 14 日 17 時 11 分には M5.6 の地震（最大震度 3、今回の地震①）が、同日 17 時 21 分（今回の地震②）と 19 時 11 分（今回の地震③）には M5.9 の地震（ともに最大震度 2）が発生した。これらの地震はフィリピン海プレート内で発生した。今回の地震①～③の発震機構（CMT 解）は北東－南西方向に張力軸を持つ正断層型である。

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）では過去に何度かまとまった活動が発生している。2002 年 8 月～11 月の活動では、震度 1 以上を観測する地震が 36 回、2015 年 7 月の活動では 11 回、2016 年 7 月の活動では 6 回、2021 年 7 月の活動では 14 回、2023 年 3 月の活動では 3 回発生した。

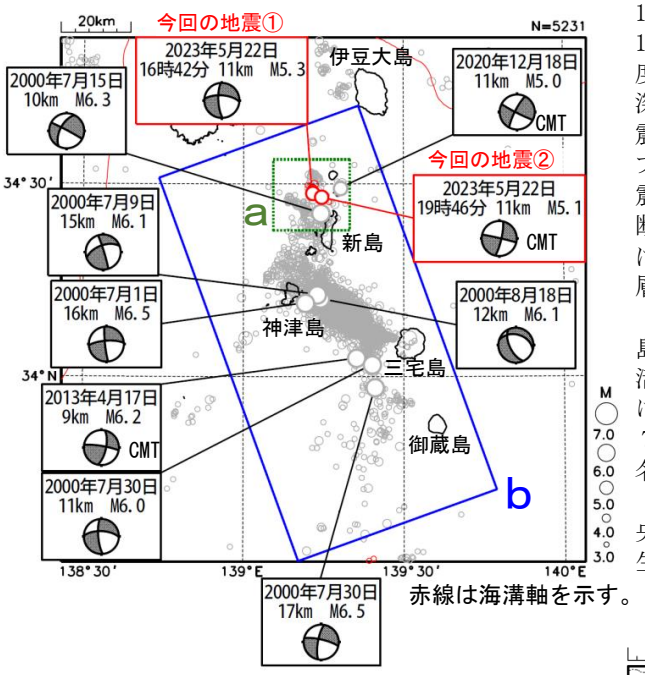
1919 年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域 b）では M6.0 以上の地震が時々発生している。1972 年 12 月 4 日には「1972 年 12 月 4 日八丈島東方沖地震」（M7.2、最大震度 6）が発生し、串本町袋港で高さ 35cm（平常潮位からの最大の高さ）の津波を観測した。またこの地震により、断水 3,169 世帯、土砂崩壊多数などの被害が生じた（被害は「日本被害地震総覧」による）。

第 4 図　2023 年 5 月 14 日　八丈島近海の地震

Fig. 4　The earthquake near Hachijojima Island on May 14, 2023.

新島・神津島近海の地震活動

震央分布図
（1997 年 10 月 1 日～2023 年 5 月 31 日、
深さ 0～30km、M≧3.0）
2023 年 5 月の地震を赤色で表示



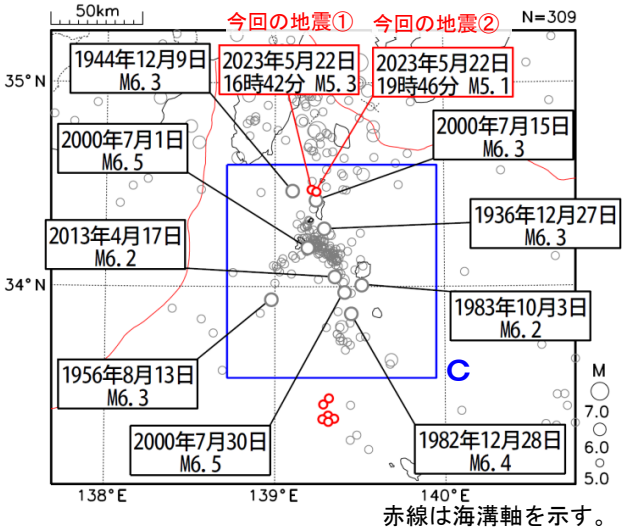
赤線は海溝軸を示す。

新島・神津島近海の領域 a では、2023 年 5 月 22 日から地震活動が活発となっており、31 日までに震度 1 以上を観測した地震が 61 回（震度 5 弱：1 回、震度 4：1 回、震度 3：4 回、震度 2：13 回、震度 1：42 回）発生している。5 月 22 日 16 時 42 分には深さ 11km で M5.3 の地震（最大震度 5 弱、今回の地震①）が、同日 19 時 46 分には深さ 11km で M5.1 の地震（最大震度 4、今回の地震②）が発生した。これらの地震はフィリピン海プレートの地殻内で発生した。今回の地震①の発震機構は北西－南東方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型である。今回の地震②の発震機構（CMT 解）は北北西－南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、新島・神津島から三宅島にかけての領域 b で、三宅島の火山活動が活発であった 2000 年の 7 月から 8 月にかけて M6.0 以上の地震が 6 回発生した。このうち 7 月 1 日に発生した M6.5 の地震により、死者 1 名などの被害が生じた（総務省消防庁による）。

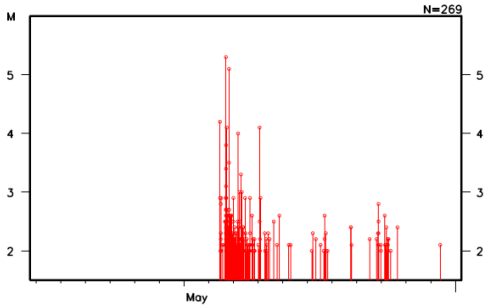
1919 年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域 c）では M6.0 以上の地震が時々発生している。

震央分布図
（1919 年 1 月 1 日～2023 年 5 月 31 日、
深さ 0～30km、M≧5.0）

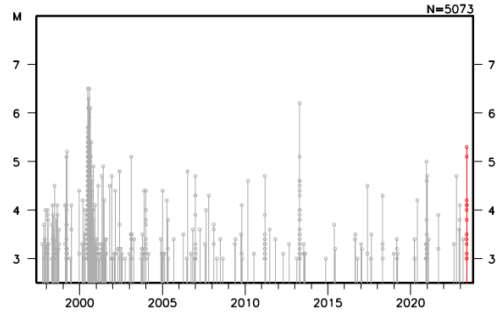


赤線は海溝軸を示す。

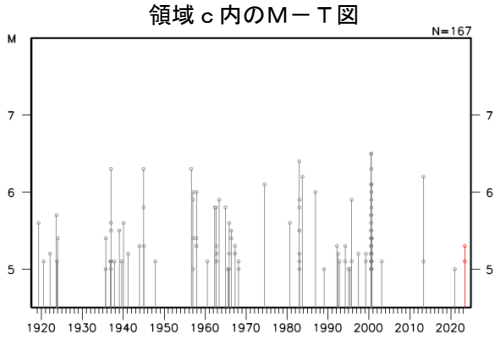
領域 a 内の M－T 図
（2023 年 5 月 15 日～31 日、M≧2.0）



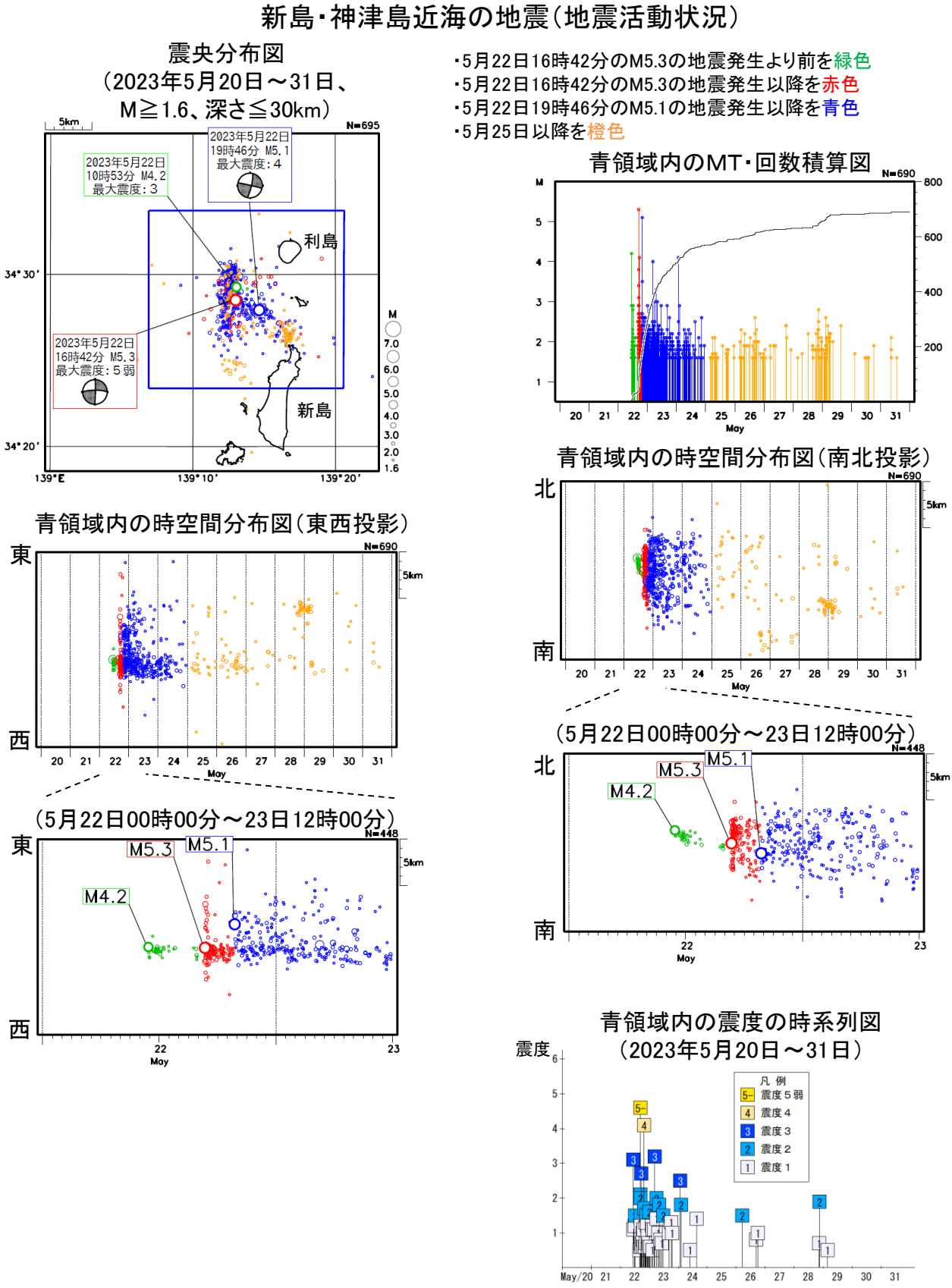
領域 b 内の M－T 図



領域 c 内の M－T 図

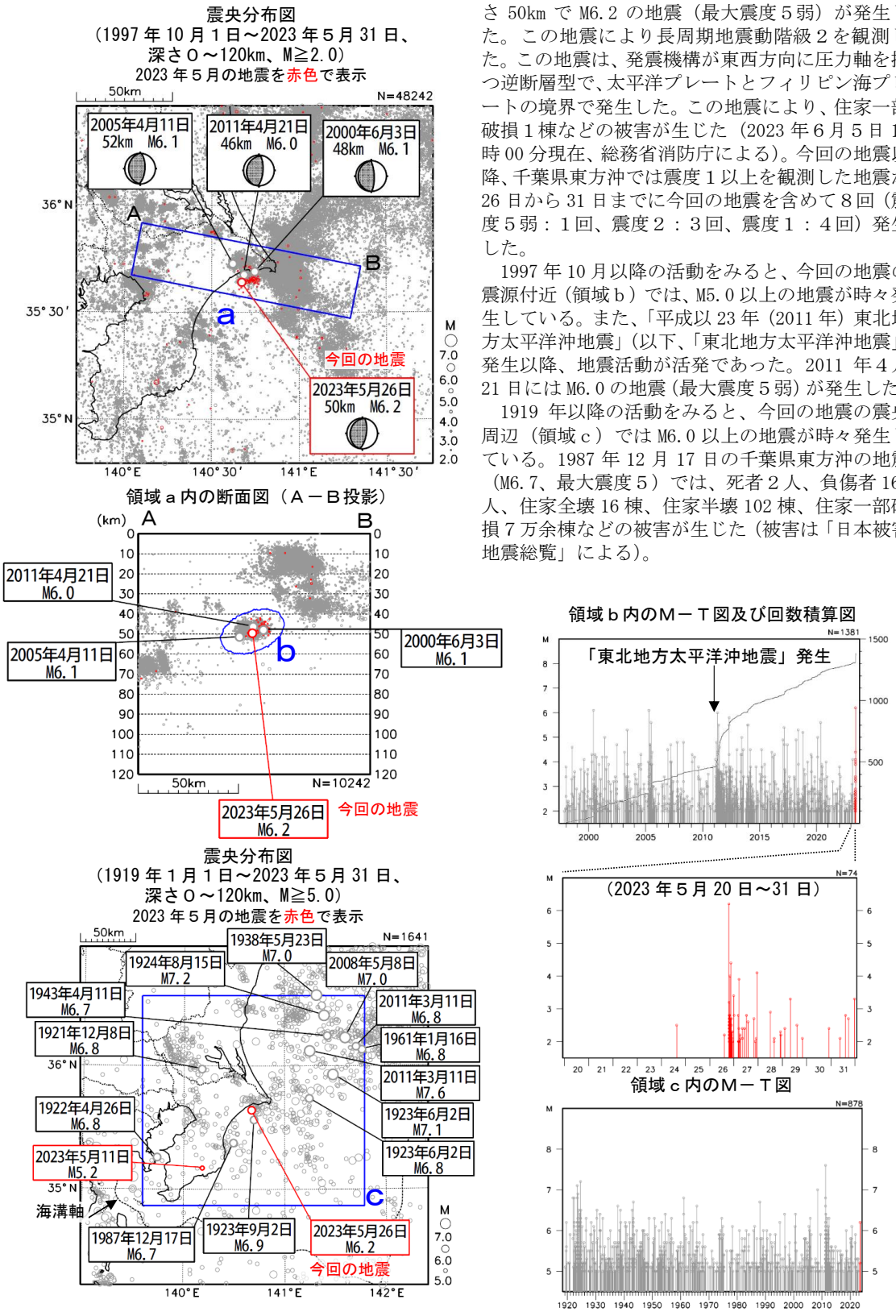


第 5 図 (a)　新島・神津島近海の地震活動
Fig. 5(a)　Seismic activity near the Niijima and Kozushima Islands.



第 5 図 (b)　つづき
Fig. 5(b)　Continued.

５月 26 日　千葉県東方沖の地震



2023 年５月 26 日 19 時 03 分に千葉県東方沖の深さ 50km で M6.2 の地震（最大震度５弱）が発生した。この地震により長周期地震動階級２を観測した。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。この地震により、住家一部破損１棟などの被害が生じた（2023 年６月５日 17 時 00 分現在、総務省消防庁による）。今回の地震以降、千葉県東方沖では震度１以上を観測した地震が 26 日から 31 日までに今回の地震を含めて８回（震度５弱：１回、震度２：３回、震度１：４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、M5.0 以上の地震が時々発生している。また、「平成以 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」）発生以降、地震活動が活発であった。2011 年４月 21 日には M6.0 の地震（最大震度５弱）が発生した。

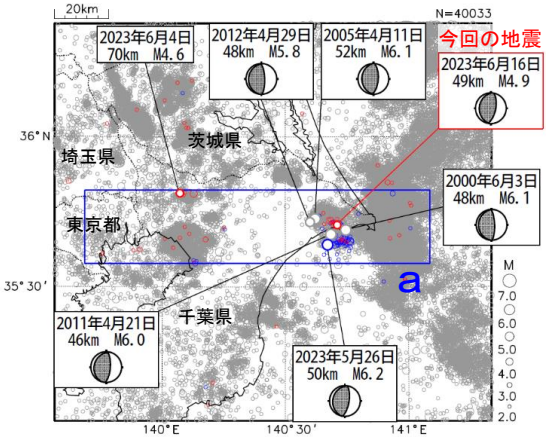
1919 年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｃ）では M6.0 以上の地震が時々発生している。1987 年 12 月 17 日の千葉県東方沖の地震（M6.7、最大震度５）では、死者２人、負傷者 161 人、住家全壊 16 棟、住家半壊 102 棟、住家一部破損７万余棟などの被害が生じた（被害は「日本被害地震総覧」による）。

第 6 図 (a)　2023 年 5 月 26 日　千葉県東方沖の地震

Fig. 6(a)　The earthquake east off Chiba Prefecture on May 26, 2023.

６月 16 日　千葉県北東部の地震

震央分布図
（1997 年 10 月１日～2023 年６月 30 日、
深さ０～120km、M≧2.0）
2023 年５月 26 日以降の地震を青色、
2023 年６月の地震を赤色で表示



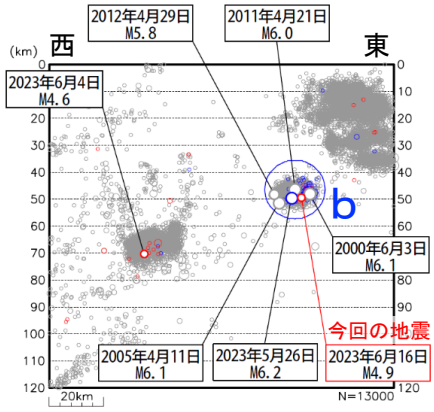
2023 年６月 16 日 21 時 24 分に千葉県北東部の深さ 49km で M4.9 の地震（最大震度４）が発生した。この地震は、発震機構が東西方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートとフィリピン海プレートの境界で発生した。

今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、2023 年５月 26 日に M6.2 の地震（最大震度５弱）が発生した後、今回の地震を含めて、５月 26 日から６月 30 日までに震度１以上を観測した地震が 12 回（震度５弱：１回、震度４：１回、震度２：５回、震度１：５回）発生した。

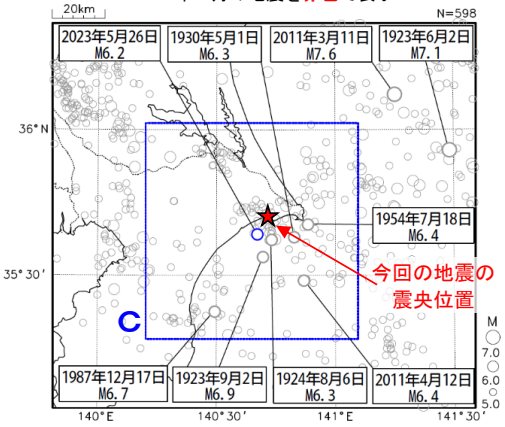
1997 年 10 月以降の活動をみると、領域ｂでは、M5.0 以上の地震が時々発生している。また、「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」（以下、「東北地方太平洋沖地震」）の発生以降、地震活動が活発になった。

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、M6.0 以上の地震が時々発生している。1987 年 12 月 17 日に発生した M6.7 の地震（最大震度５）では、死者２人、負傷者 161 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）。

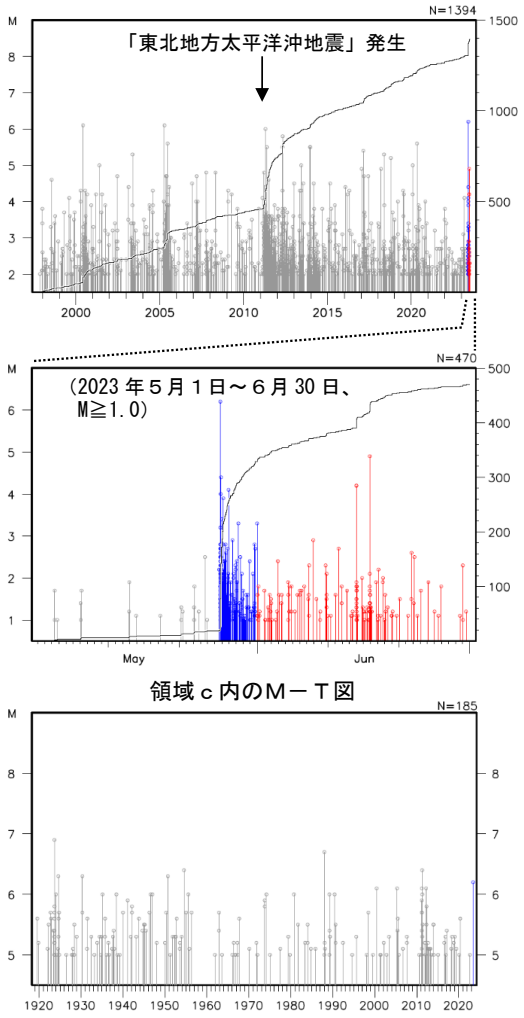
領域ａ内の断面図（東西投影）



震央分布図
（1919 年１月１日～2023 年６月 30 日、
深さ０～120km、M≧5.0）
2023 年５月 26 日以降の地震を青色、
2023 年６月の地震を赤色で表示



領域ｂ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図



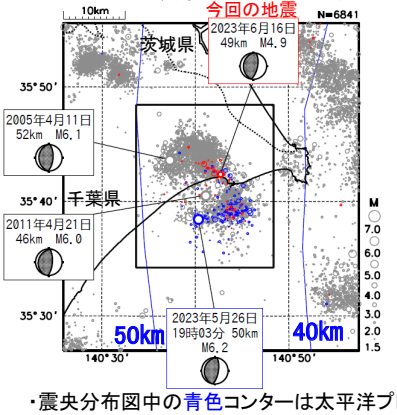
領域ｃ内のＭ－Ｔ図

第 6 図 (b)　つづき
Fig. 6(b)　Continued.

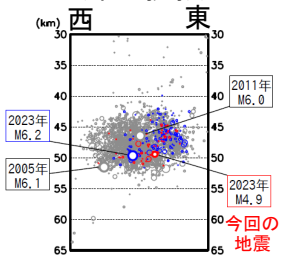
6月16日千葉県北東部の地震（5月26日M6.2からの地震活動、過去の地震活動）

震央分布図
（2002年10月1日～2023年6月27日、M≧1.5、深さ30～65km）

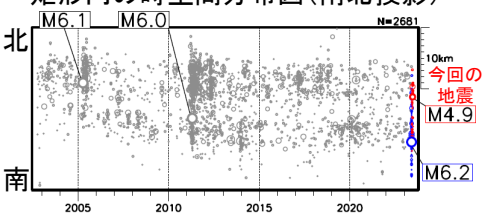
・青丸：2023年5月26日M6.2発生以降
・赤丸：2023年6月1日以降



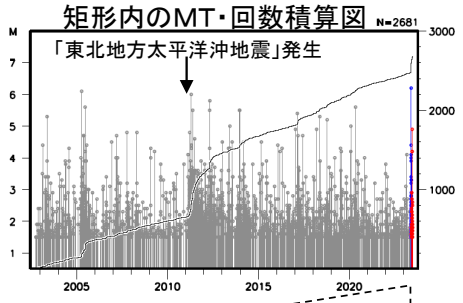
矩形内の断面図（東西投影）



矩形内の時空間分布図（南北投影）

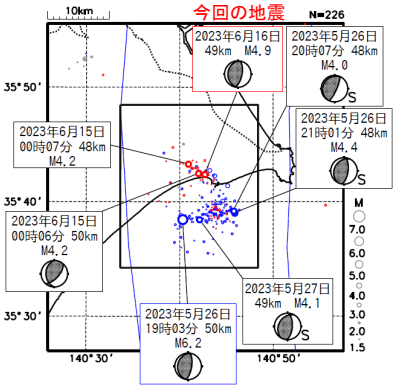


矩形内のMT・回数積算図

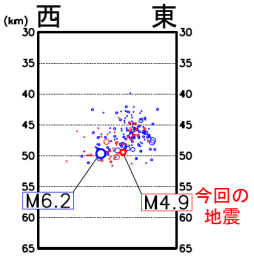


・震央分布図中の青色コンターは太平洋プレート上面モデル（Nakajima et al., 2009）の等深線を示す。

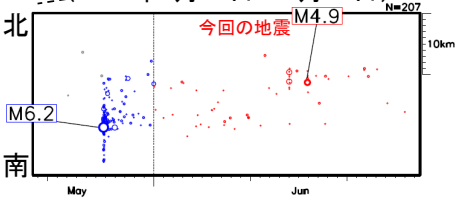
震央分布図
（2023年5月20日～6月27日、M≧1.5、深さ30～65km）

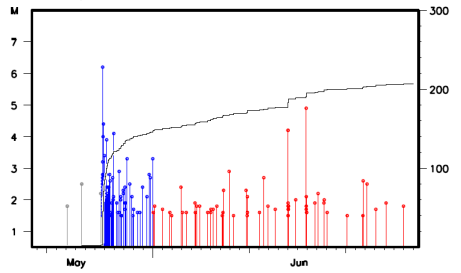


矩形内の断面図（東西投影）



（2023年5月20日～6月27日）



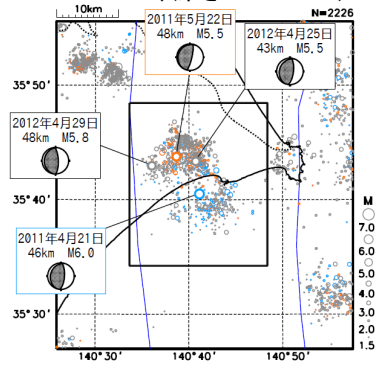


・発震機構の横の「S」は、精度がやや劣る解であることを示す。

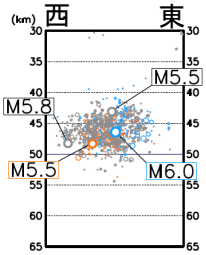
2011年～2012年の2年間の地震活動

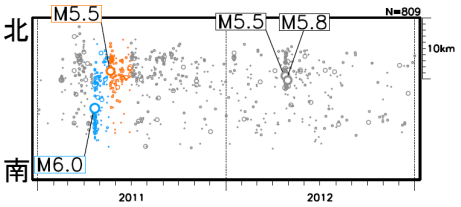
震央分布図
（2011年1月1日～2012年12月31日、M≧1.5、深さ30～65km）

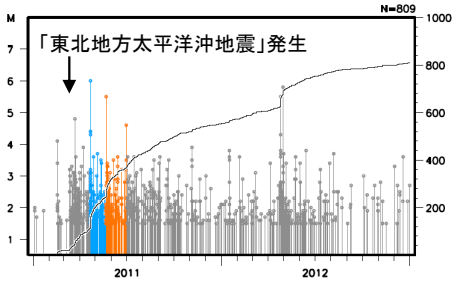
・水丸：2011年4月21日M6.0発生以降
・橙丸：2011年5月22日M5.5発生以降
2011年6月まで



矩形内の断面図（東西投影）







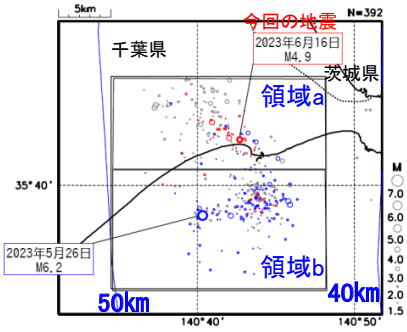
第 6 図 (c)　つづき
Fig. 6(c)　Continued.

６月16日千葉県北東部の地震（カタログDD法による再計算震源）

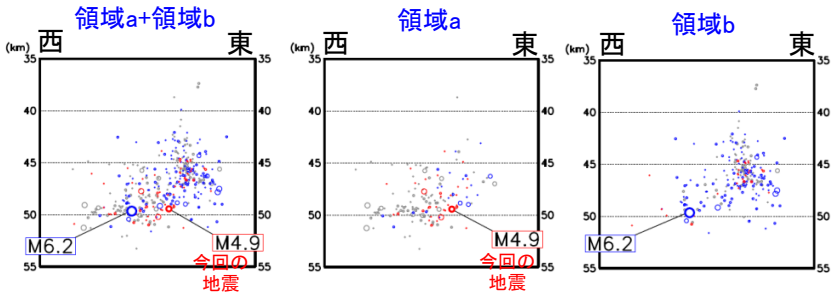
一元化震源（再計算前）

・青丸：2023年5月26日M6.2の地震発生以降の地震
・赤丸：2023年6月1日以降に発生した地震

震央分布図
（2020年9月1日：S-net活用開始～2023年6月26日、
M≧1.5、深さ35～55km）



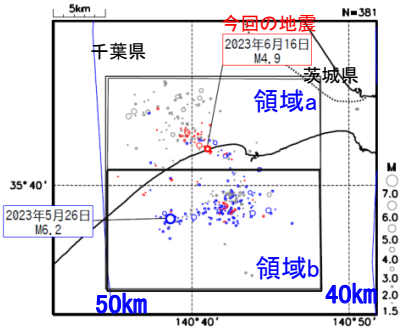
矩形内の断面図（東西投影）



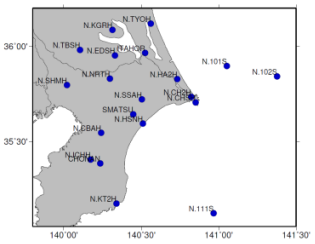
・震央分布図中の青色コンターは太平洋プレート上面モデル
（Nakajima et al., 2009）の等深線を示す。

カタログDD法による再計算震源

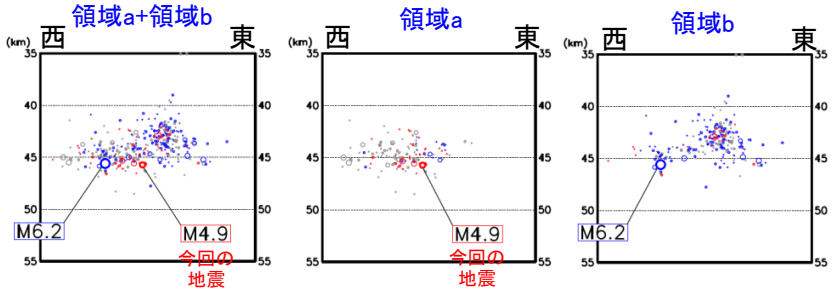
震央分布図
（2020年9月1日：S-net活用開始～2023年6月26日、
M≧1.5、深さ35～55km）



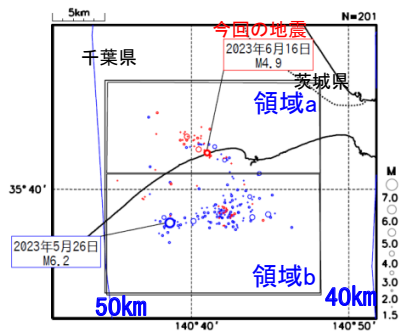
再計算に用いた
観測点分布



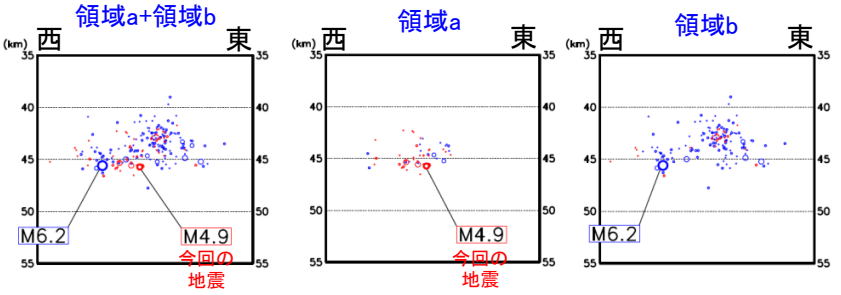
矩形内の断面図（東西投影）



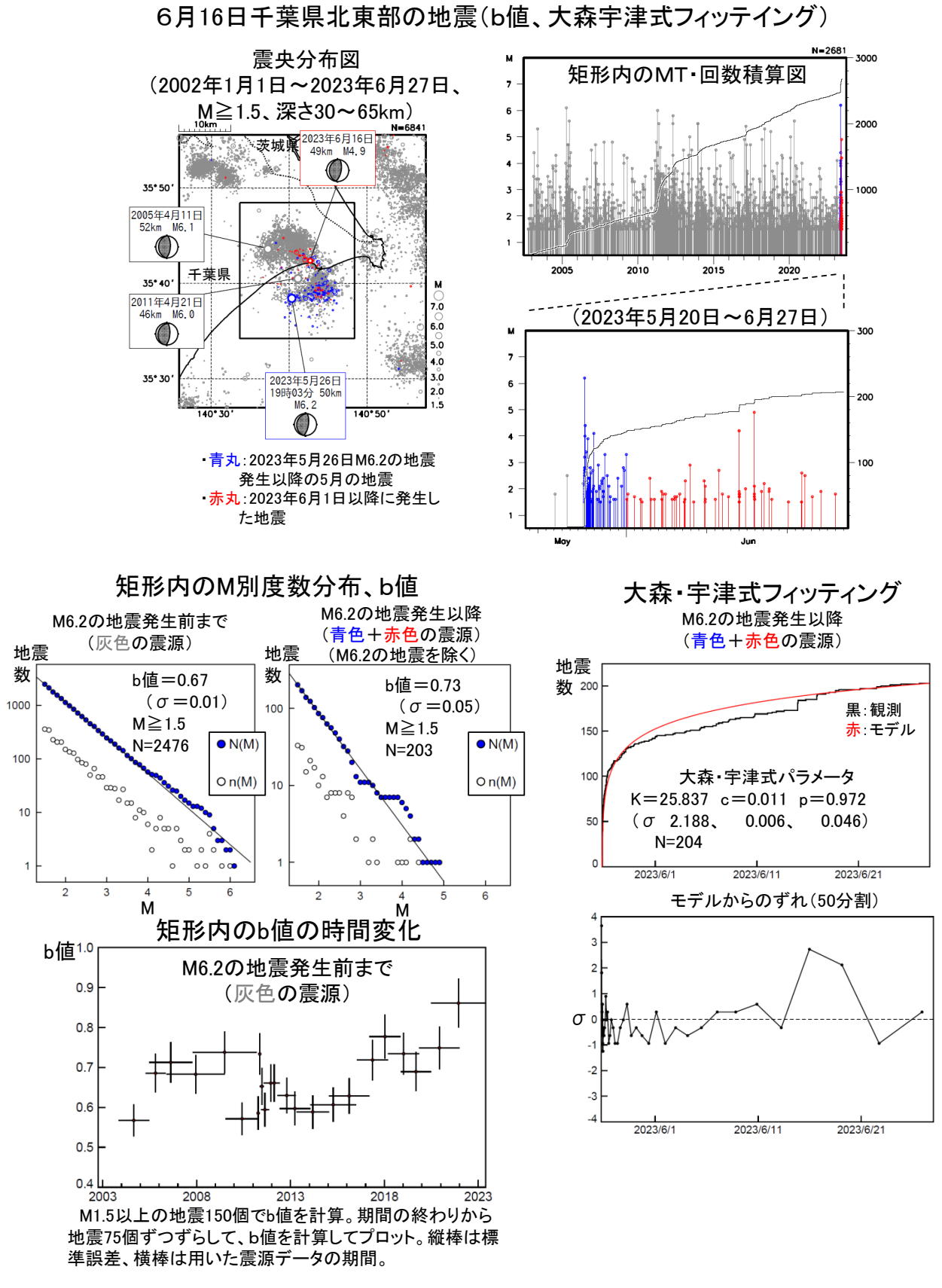
＜2023年5月26日M6.2の地震発生以降（青色＋赤色の震源）＞



矩形内の断面図（東西投影）



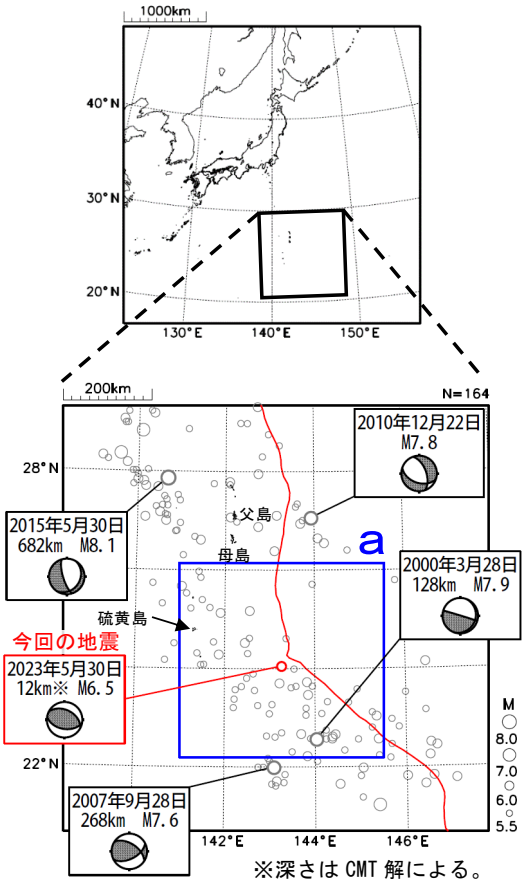
第 6 図 (c)　つづき
Fig. 6(c)　Continued.



第 6 図 (d)　つづき
Fig. 6(d)　　Continued.

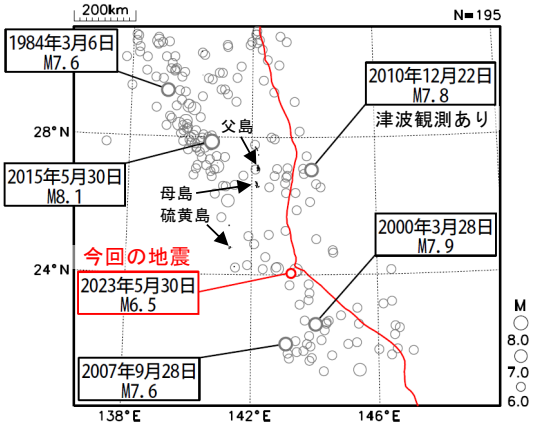
５月 30 日　硫黄島近海の地震

震央分布図
（2000 年１月１日～2023 年５月 31 日、
深さ０～700km、M≧5.5）
2023 年５月の地震を赤色で表示
図中の発震機構は CMT 解



※深さは CMT 解による。

震央分布図
（1919 年１月１日～2023 年５月 31 日、
深さ０～700km、M≧6.0）
2023 年５月の地震を赤色で表示



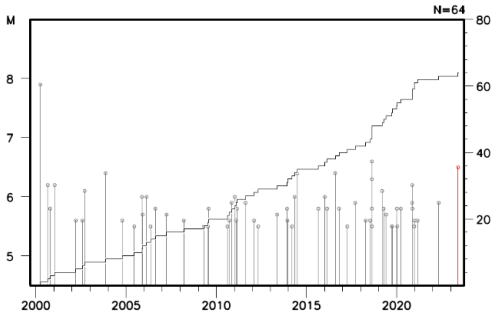
赤線は海溝軸を示す。

2023 年５月 30 日 09 時 52 分に硫黄島近海の深さ 12km（CMT 解による）で M6.5 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）は北北東－南南西方向に圧力軸を持つ逆断層型である。

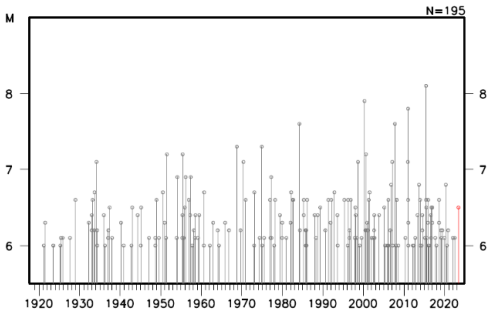
1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ａ）では、M6.0 以上の地震が時々発生している。

1919 年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺では、M7.5 以上の地震が時々発生している。2010 年 12 月 22 日には父島近海で M7.8 の地震（最大震度４）が発生し、八丈島八重根で 0.5m の津波など、東北地方から沖縄地方にかけて津波を観測した。

領域ａ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図

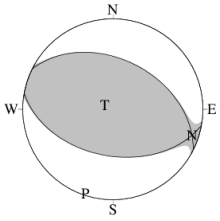
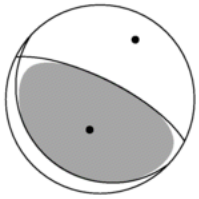
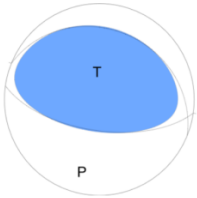


左図の領域内のＭ－Ｔ図

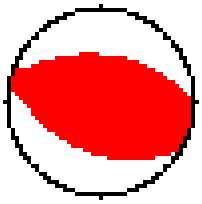
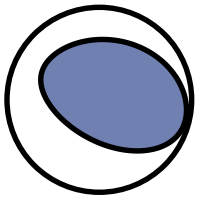


第 7 図 (a)　2023 年 5 月 30 日　硫黄島近海の地震
Fig. 7(a)　The earthquake near Ioto island on May 30, 2023.

2023年5月30日09時52分　硫黄島近海の地震Mj6.5（各機関のMT解）

	気象庁CMT	防災科研（F-net）	USGS（W-phase）
一元化震源 M6.5 深さ97km			
Mw	5.7	5.9	5.8
深さ	12km	5km	19.5km

USGS震源 深さ10.0km

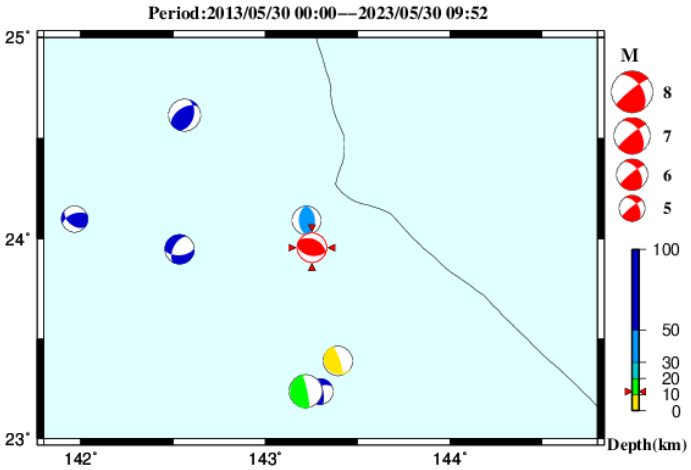
	Global CMT	GEOFON
		
Mw	5.8	5.7
深さ	12.1km	10km

防災科研（F-net）：https://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：https://geofon.gfz-potsdam.de/eqinfo/list.php?mode=mt
防災科研（AQUA）：https://www.hinet.bosai.go.jp/AQUA/aqua_catalogue.php?LANG=ja

防災科研（AQUA）

周辺の気象庁CMT解の分布図

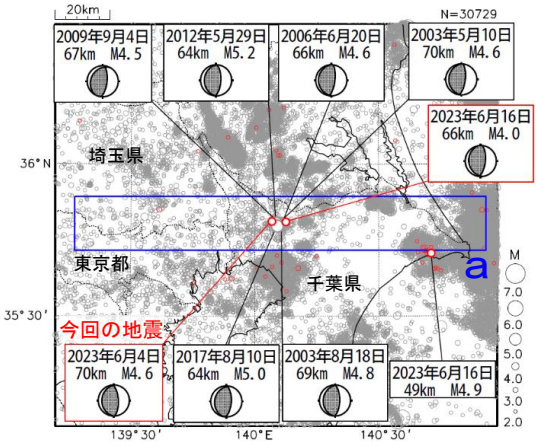
（掲載なし）



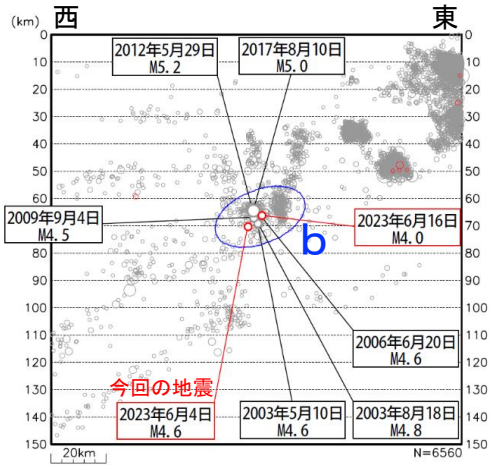
第 7 図 (b)　つづき
Fig. 7(b)　Continued.

６月４日　千葉県北西部の地震

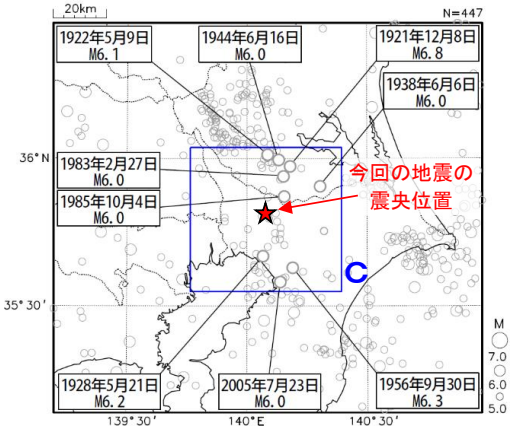
震央分布図
（1997 年 10 月 1 日～2023 年６月 30 日、
深さ０～150km、M≧2.0）
2023 年６月の地震を赤色で表示



領域ａ内の断面図（東西投影）



震央分布図
（1919 年１月１日～2023 年６月 30 日、
深さ０～150km、M≧5.0）
2023 年６月の地震を赤色で表示

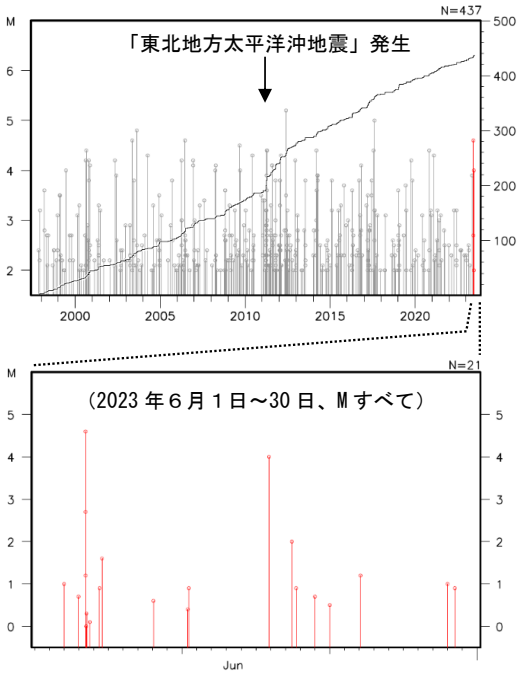


2023 年６月４日 10 時 58 分に千葉県北西部の深さ 70km で M4.6 の地震（最大震度３）が発生した。この地震は、発震機構が東西方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートとフィリピン海プレートの境界で発生した。

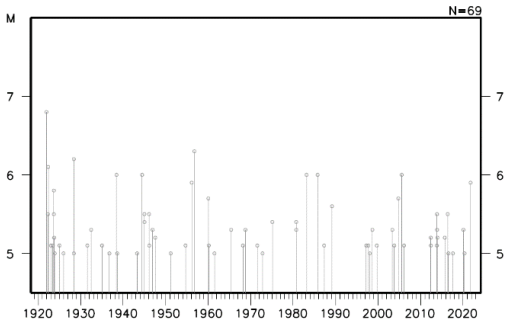
1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）は、M4.0 以上の地震がしばしば発生している。また、「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」（以下、「東北地方太平洋沖地震」）の発生以降、地震活動が一時的に活発になった。

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、M6.0 以上の地震が時々発生している。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）。

領域ｂ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図



領域ｃ内のＭ－Ｔ図

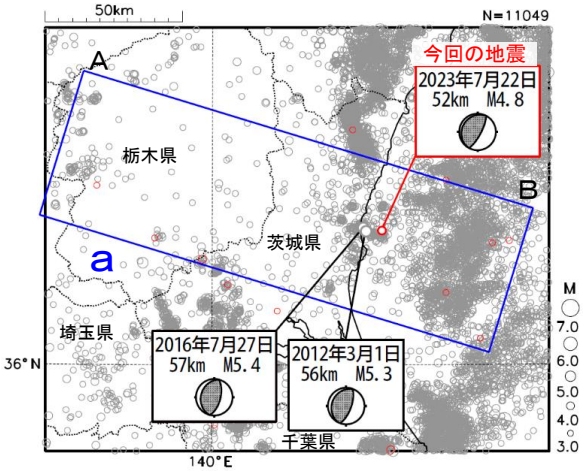


第 8 図　2023 年 6 月 4 日　千葉県北西部の地震

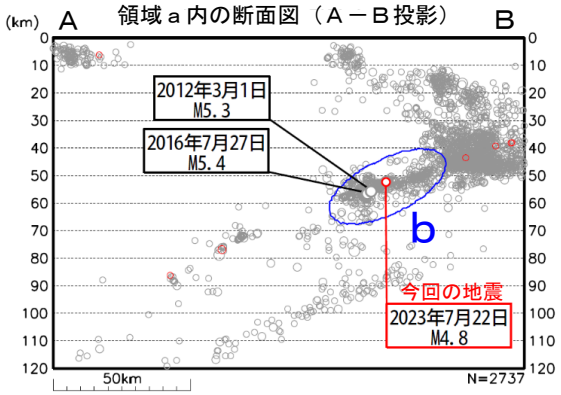
Fig. 8　The earthquake in the north-western part of Chiba Prefecture on June 4, 2023.

７月 22 日　茨城県沖の地震

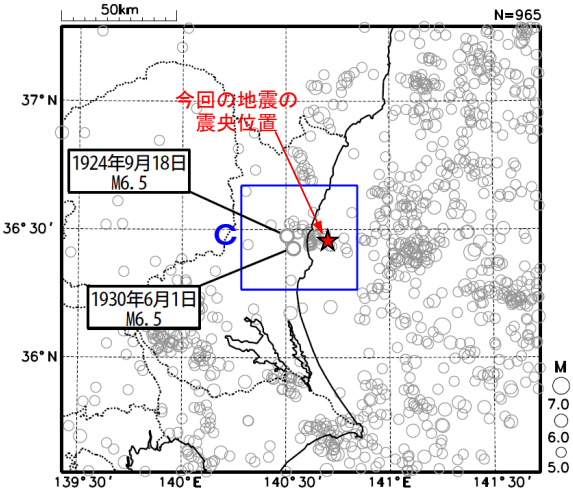
震央分布図
（1997 年 10 月 1 日～2023 年 7 月 31 日、
深さ 0～120km、M≧3.0）
2023 年 7 月の地震を赤色で表示



領域 a 内の断面図（A－B 投影）



震央分布図
（1919 年 1 月 1 日～2023 年 7 月 31 日、
深さ 0～150km、M≧5.0）
2023 年 7 月の地震を赤色で表示

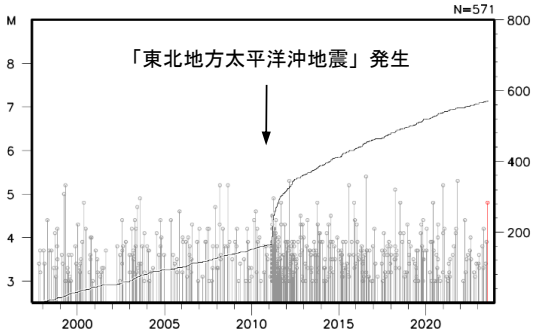


2023 年 7 月 22 日 10 時 52 分に茨城県沖の深さ 52km で M4.8 の地震（最大震度４）が発生した。この地震は、発震機構が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した。

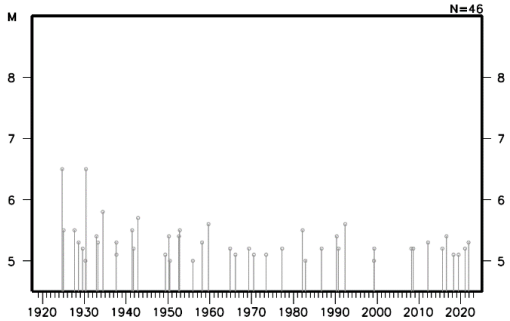
1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、M5.0 以上の地震が時々発生している。「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」（以下、「東北地方太平洋沖地震」）の発生以降、活動がより活発になっており、2012 年３月１日には M5.3 の地震（最大震度５弱）、2016 年７月 27 日には M5.4 の地震（最大震度５弱）などが発生している。

1919 年１月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（「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

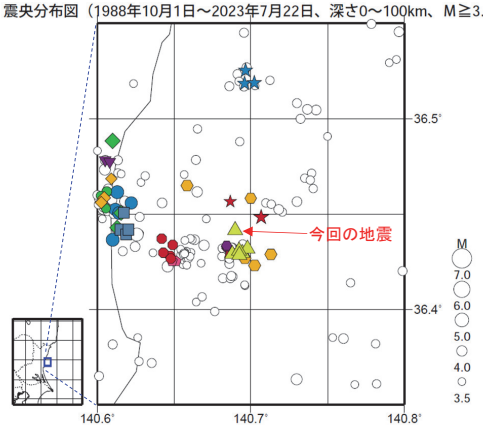


第 9 図 (a)　2023 年 7 月 22 日　茨城県沖の地震
Fig. 9(a)　The earthquake off Ibaraki Prefecture on July 22, 2023.

7月22日　茨城県沖の地震（相似地震）

2023年7月22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、
既往の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H：今回の地震を含め6地震）※1。

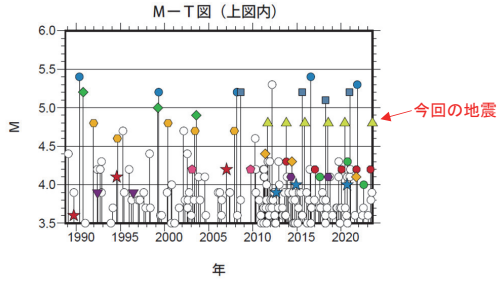
震央分布図（1988年10月1日～2023年7月22日、深さ0～100km、M≧3.5）



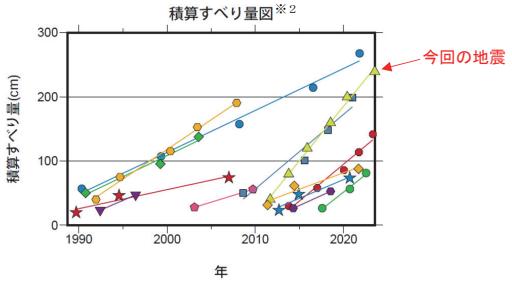
発生間隔と推定年平均すべり量※2

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	3	3.97	3	2	8.65	4.86	12.44	2.97
B	5	5.30	A	4	7.87	5.27	8.98	6.54
C	3	5.03	4	4	6.41	4.36	8.47	6.59
D	5	4.72	4	3	3.99	2.72	5.71	9.23
E	2	3.90	3	2	4.03	4.03	4.03	5.84
F	2	4.20	3	3	6.63	6.63	6.63	4.23
G	4	5.17	4	4	4.12	2.65	6.95	11.64
H	6	4.80	4	4	2.37	1.88	3.13	16.97
I	5	4.22	4	3	2.38	1.59	3.25	11.48
J	3	3.97	3	3	4.01	2.25	5.78	5.84
K	3	4.13	3	3	2.49	1.86	3.12	10.83
L	3	4.27	3	3	5.16	3.02	7.29	5.11
M	2	4.10	3	3	4.23	4.23	4.23	6.26

M－T図（上図内）

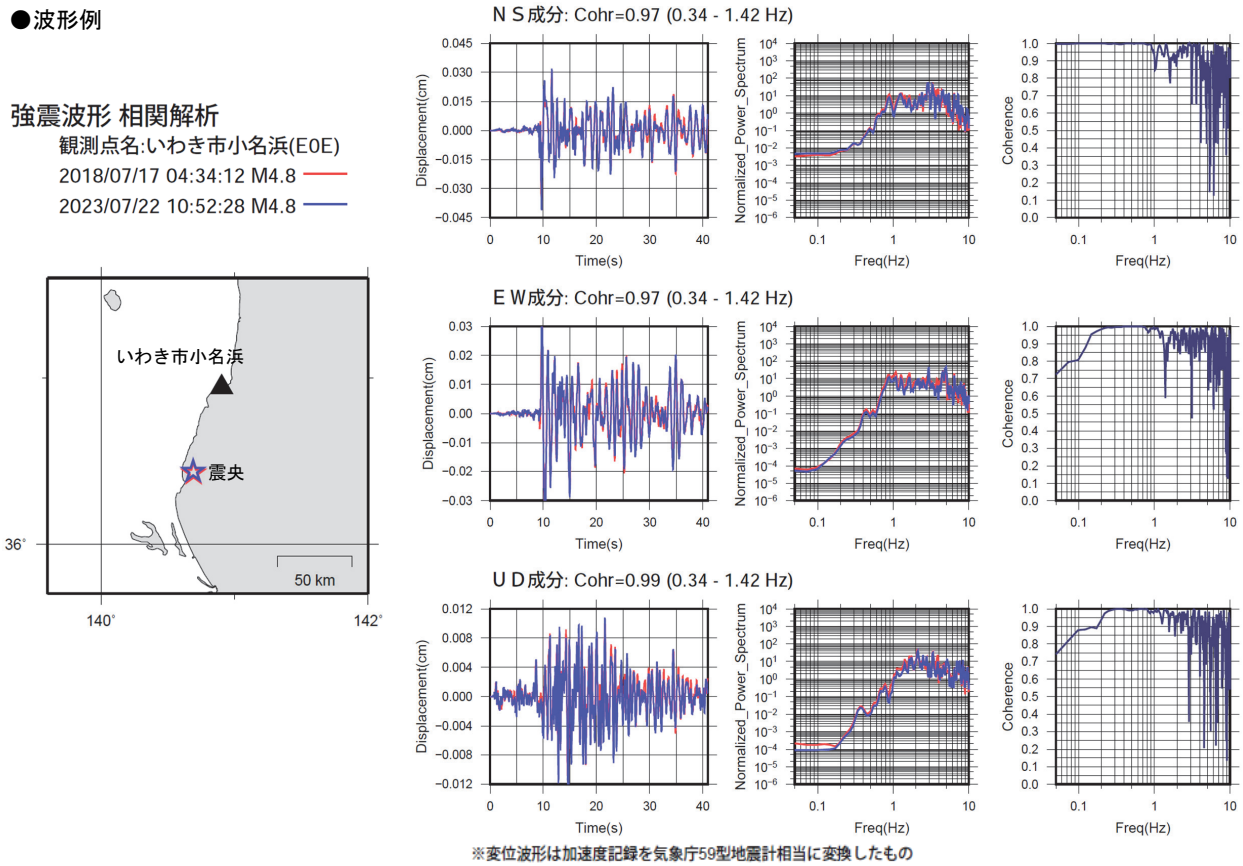


積算すべり量図※2



※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たもの

第 9 図 (b)　つづき
Fig. 9(b)　　Continued.

7 月 29 日　茨城県南部の地震

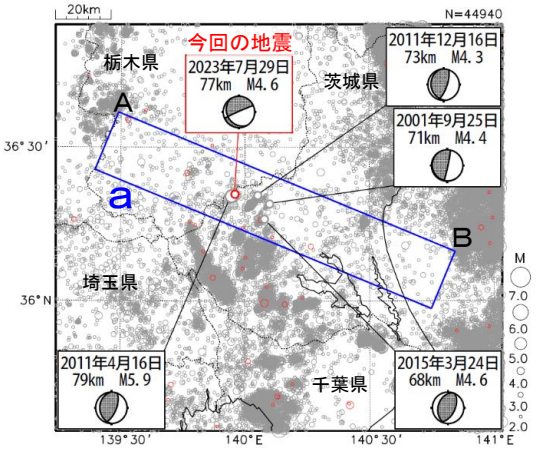
情報発表に用いた震央地名は〔栃木県南部〕である。

2023 年 7 月 29 日 19 時 34 分に茨城県南部の深さ 77km で M4.6 の地震（最大震度 3）が発生した。この地震の発震機構は北西－南東方向に圧力軸を持つ型である。

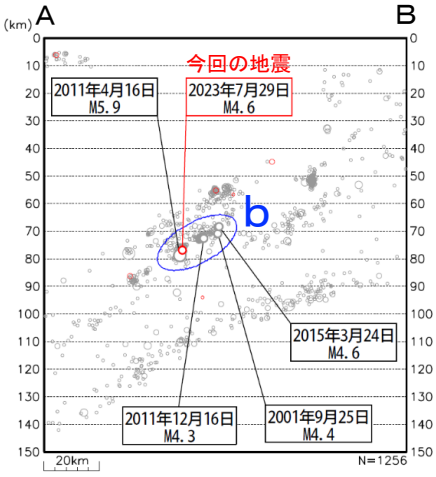
1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域 b）では、M4.0 以上の地震が時々発生している。また、「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」（以下、「東北地方太平洋沖地震」）の発生以降、地震活動がより活発になっており、2011 年 4 月 16 日には M5.9 の地震（最大震度 5 強）が発生した。

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 程度の地震が時々発生している。1923 年 1 月 14 日に発生した M6.0 の地震（最大震度 3）では、負傷者 1 人などの被害が生じた（被害は「日本被害地震総覧」による）。

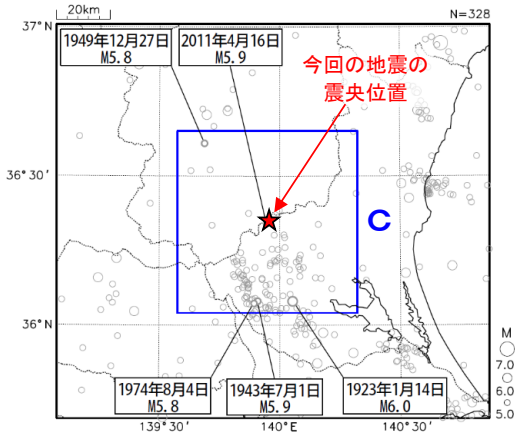
震央分布図
（1997 年 10 月 1 日～2023 年 7 月 31 日、
深さ 0～150km、M≧2.0）
2023 年 7 月の地震を赤色で表示



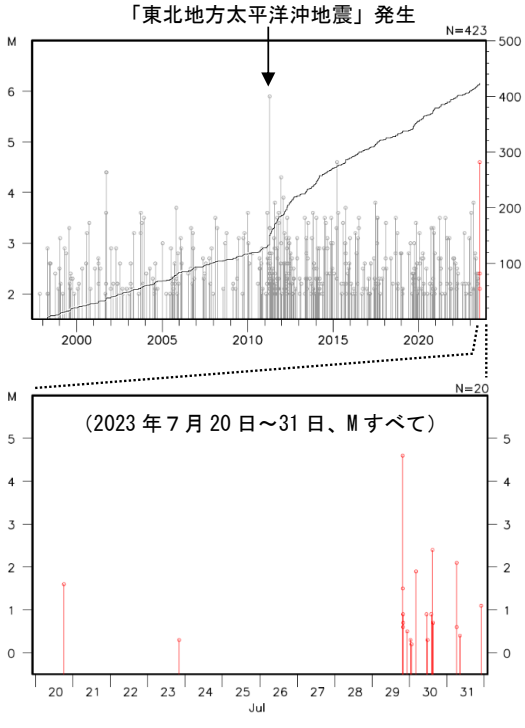
領域 a 内の断面図（A－B 投影）



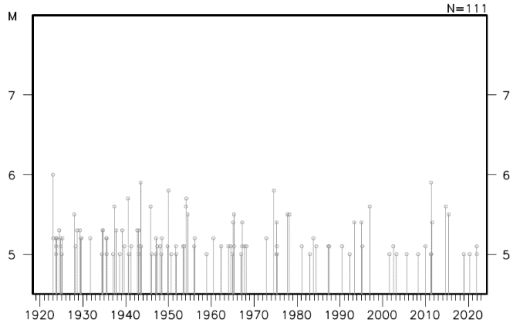
震央分布図
（1919 年 1 月 1 日～2023 年 7 月 31 日、
深さ 0～150km、M≧5.0）
2023 年 7 月の地震を赤色で表示



領域 b 内のM－T 図及び回数積算図
「東北地方太平洋沖地震」発生



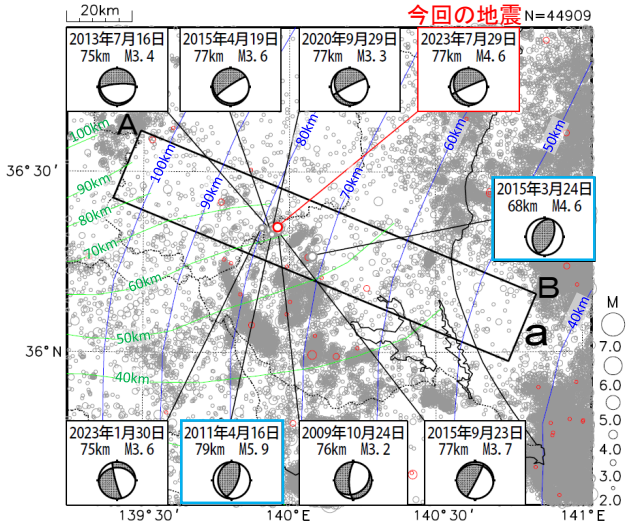
領域 c 内のM－T 図



第 10 図 (a)　2023 年 7 月 29 日　茨城県南部の地震
Fig. 10(a)　The earthquake in the southern part of Ibaraki Prefecture on July 29, 2023.

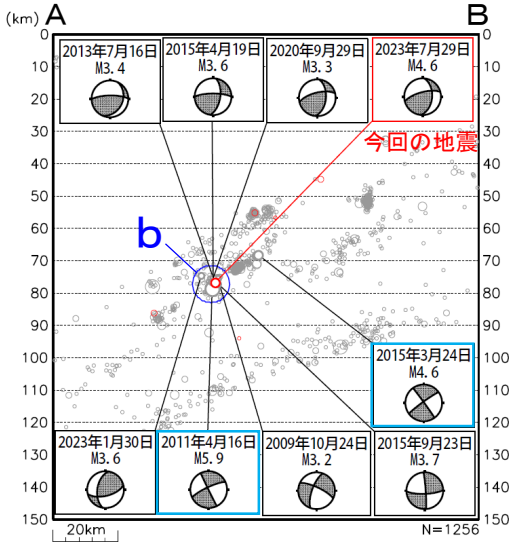
2023年7月29日　茨城県南部の地震
震源付近での過去の地震の発震機構

震央分布図
（震源データ：1997年10月１日～2023年７月31日、
深さ0～150km、M≧2.0）
７月の地震を赤色で表示

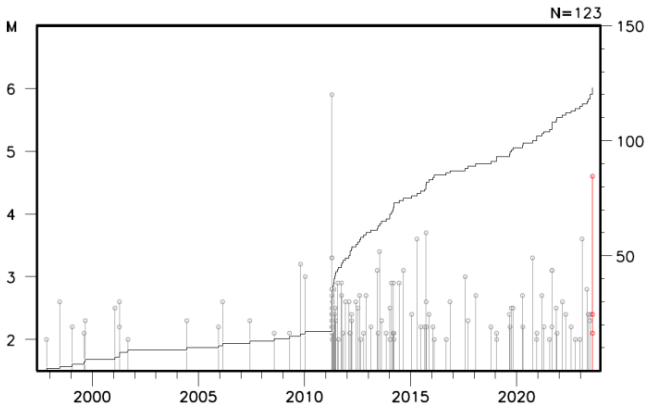


発震機構は初動解を示す。
水色枠の吹き出しは、太平洋プレートとフィリピン海プレートの境界で発生したと示唆される逆断層型の地震。
青線はNakajima et al. (2009, GRL)による太平洋プレート上面の等深度線、緑線は弘瀬・他(2008, 地震)によるフィリピン海プレート上面の等深度線を示す。

上図の領域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

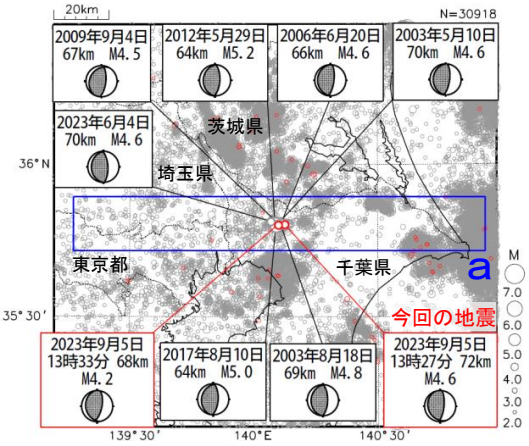


発震機構は断面図に投影して表示。

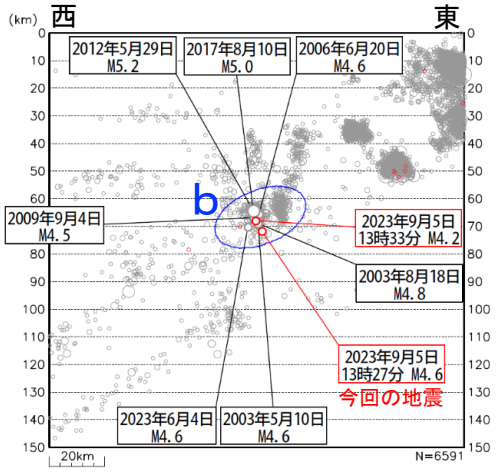
第 10 図 (b)　つづき
Fig. 10(b)　Continued.

９月５日　千葉県北西部の地震

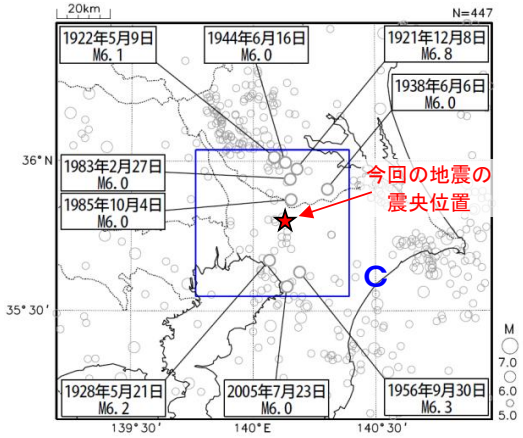
震央分布図
（1997 年 10 月１日～2023 年９月 30 日、
深さ０～150km、M≧2.0）
2023 年９月の地震を赤色で表示



領域ａ内の断面図（東西投影）



震央分布図
（1919 年１月１日～2023 年９月 30 日、
深さ０～150km、M≧5.0）
2023 年９月の地震を赤色で表示

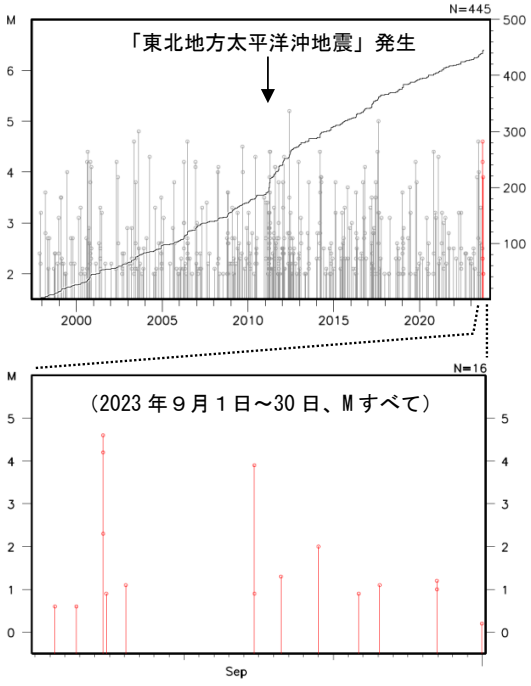


2023 年９月５日 13 時 27 分に千葉県北西部の深さ 72km で M4.6 の地震（最大震度３）が発生した。この地震は、発震機構が東西方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートとフィリピン海プレートの境界で発生した。また、この地震の震源付近では、同日 13 時 33 分に深さ 68km で M4.2 の地震（最大震度２）が発生した。

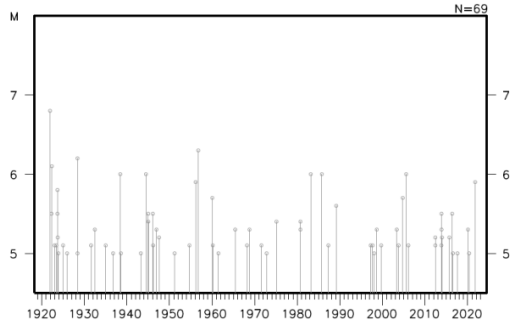
1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）は、M4.0 以上の地震がしばしば発生している。また、「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」（以下、「東北地方太平洋沖地震」）の発生以降、地震活動が一時的に活発になった。

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、M6.0 以上の地震が時々発生している。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）。

領域ｂ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図



領域ｃ内のＭ－Ｔ図

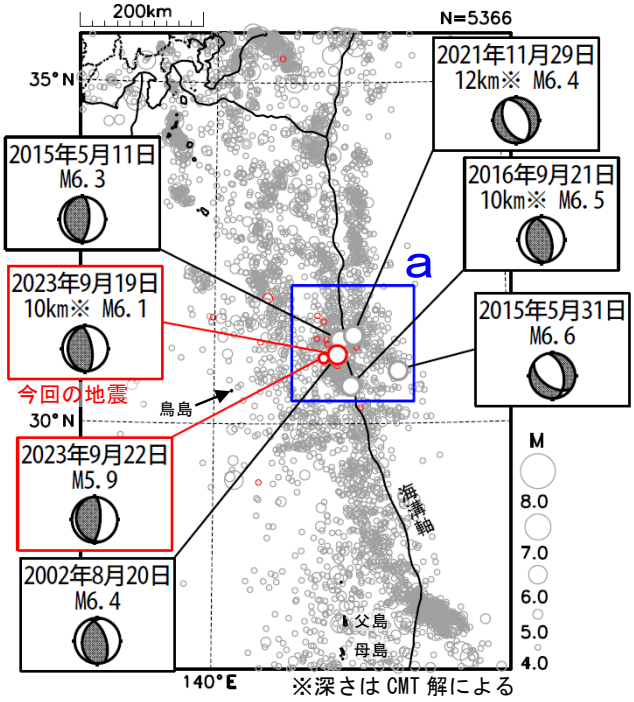


第 11 図　2023 年 9 月 5 日　千葉県北西部の地震

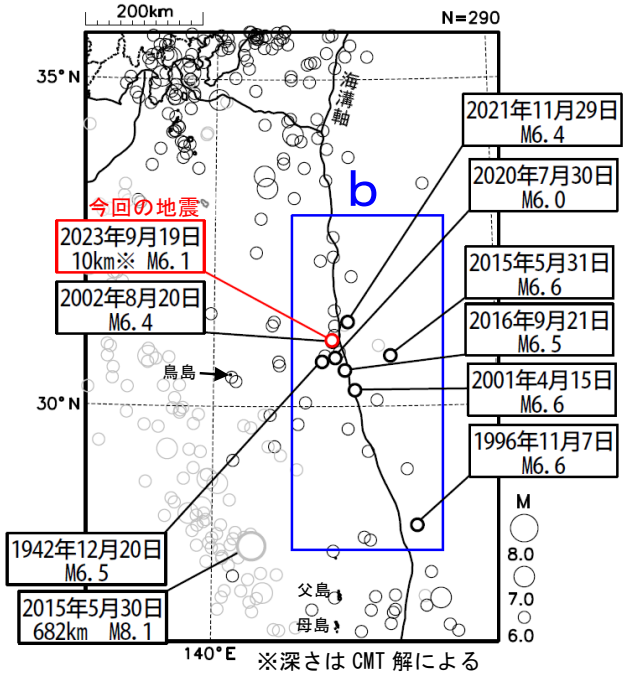
Fig. 11　The earthquake in the north-western part of Chiba Prefecture on September 5, 2023.

９月 19 日　鳥島近海の地震

震央分布図
（1997 年 10 月１日～2023 年９月 30 日、
深さ０～150km、M≧4.0）
2023 年９月の地震を赤く表示
図中の発震機構は CMT 解



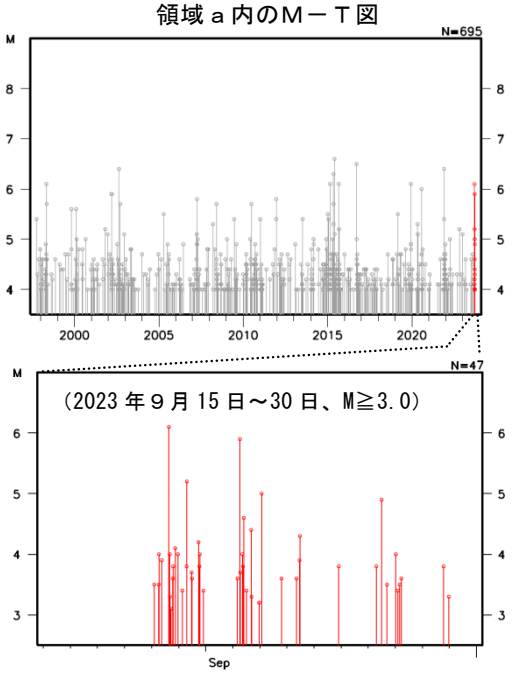
震央分布図
（1919 年１月１日～2023 年９月 30 日、
深さ０～700km、M≧6.0）
2023 年８月以前の深さ０～100km の地震を濃く、
2023 年８月以前の深さ 100～700km の地震を薄く、
2023 年９月の地震を赤く表示



2023 年９月 19 日 15 時 22 分に鳥島近海の深さ 10km（CMT 解による）で M6.1 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。この地震の震央付近では、19 日（19 日 15 時 22 分の M6.1 の地震発生前）から地震活動がみられている。９月 22 日には M5.9 の地震（震度１以上を観測した地点はなし）が発生した。

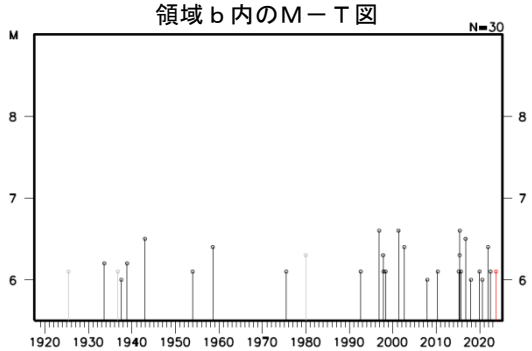
1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震央付近（領域ａ）では、M6.0 以上の地震が時々発生している。

領域ａ内のＭ－Ｔ図



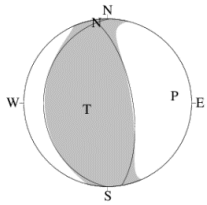
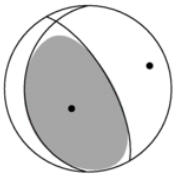
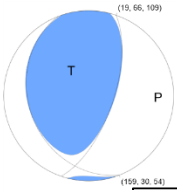
1919 年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｂ）では、M6.0 以上の地震が時々発生しているが、被害が生じた地震は発生していない。なお、2015 年５月 30 日に深さ 682km で発生した M8.1 の地震（最大震度５強）では、軽傷８人、住家一部破損２棟などの被害が生じた（総務省消防庁による）。

領域ｂ内のＭ－Ｔ図

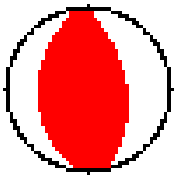
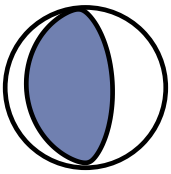


第 12 図 (a)　2023 年 9 月 19 日　鳥島近海の地震
Fig. 12(a)　The earthquake near Torishima Island on September 19, 2023.

2023年9月19日15時22分　鳥島近海の地震Mj6.1（各機関のMT解）

	気象庁CMT	防災科研（F-net）	USGS（W-pahse）
一元化震源 M6.1 深さ42km			
Mw	5.8	5.9	5.76
深さ	10km	5km	13.5km

USGS震源 深さ10.0km

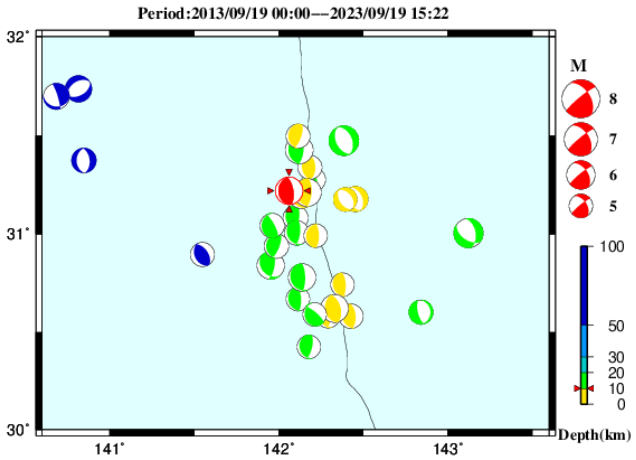
	Global CMT	GEOFON
		
Mw	5.7	5.7
深さ	12.0 km	13km

防災科研（F-net）：https://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：https://geofon.gfz-potsdam.de/eqinfo/list.php?mode=mt
防災科研（AQUA）：https://www.hinet.bosai.go.jp/AQUA/aqua_catalogue.php?LANG=ja

防災科研（AQUA）

（掲載なし）

周辺の気象庁CMT解の分布図

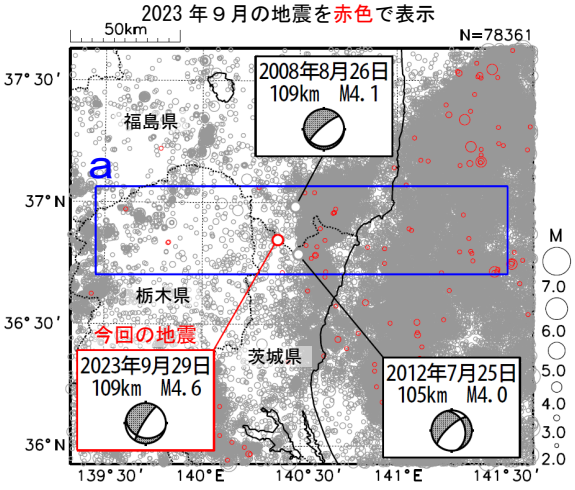


第 12 図 (b)　つづき
Fig. 12(b)　Continued.

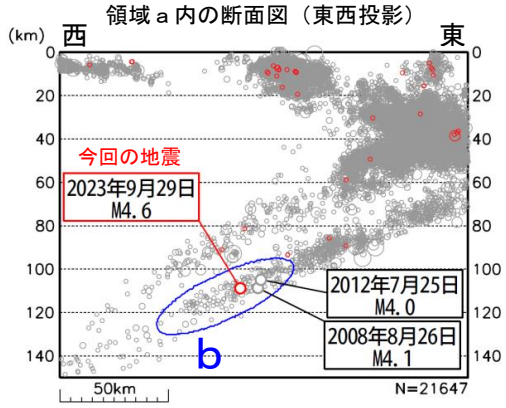
９月 29 日　茨城県北部の地震

情報発表に用いた震央地名は〔福島県中通り〕である。

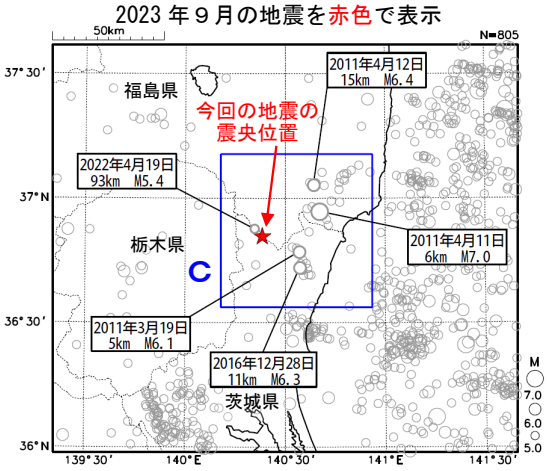
震央分布図
（1997 年 10 月 1 日～2023 年９月 30 日、
深さ０～150km、M≧2.0）
2023 年９月の地震を赤色で表示



領域ａ内の断面図（東西投影）



震央分布図
（1919 年 1 月 1 日～2023 年９月 30 日、
深さ０～150km、M≧5.0）
2023 年９月の地震を赤色で表示

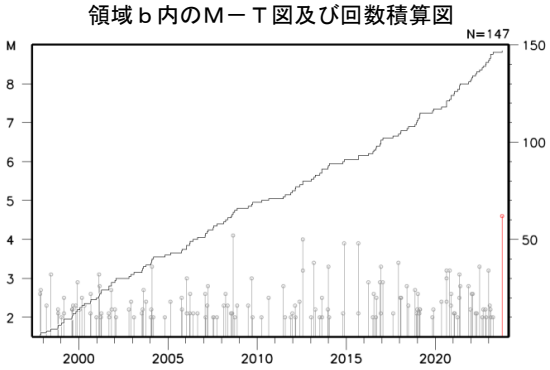


2023 年９月 29 日 16 時 57 分に茨城県北部の深さ 109km で M4.6 の地震（最大震度３）が発生した。この地震は太平洋プレート内部（二重地震面の下面）で発生した。発震機構は東西方向に圧力軸を持つ型である。

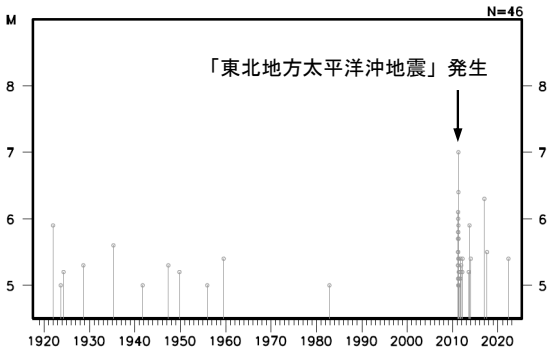
1997 年 10 月以降の活動を見ると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、これまでに M4.0 以上の地震が今回の地震を含めて３回発生している。

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、「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」の発生以降、2016 年までに M6.0 以上の地震が５回発生している。このうち、2011 年４月 11 日に発生した M7.0 の地震（最大震度６弱）により死者４人、負傷者 10 人、翌 12 日に発生した M6.4 の地震（最大震度６弱）により負傷者１人の被害が生じた（被害は「日本被害地震総覧」による）。また、2016 年 12 月 28 日に発生した M6.3 の地震（最大震度６弱）により軽傷２人、住家半壊１棟、住家一部破損 25 棟などの被害が生じた（被害は総務省消防庁による）。

領域ｂ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図



領域ｃ内のＭ－Ｔ図



第 13 図　2023 年 9 月 29 日　茨城県北部の地震

Fig. 13　The earthquake in the northern part of Ibaraki Prefecture on September 29, 2023.

2023年10月２日からの鳥島近海の地震活動

（１）概要

鳥島近海（鳥島から南西に約100km）では、2023年10月２日から９日にかけて、M6.0以上の地震が４回発生するなど、地震活動が活発になった。このうち、最大規模の地震は、５日10時59分に深さ10km（CMT解による）で発生したM6.5の地震（震度１以上を観測した地点はなし）で、発震機構（CMT解）は東北東－西南西方向に張力軸を持つ正断層型である。この地震はフィリピン海プレート内で発生した。気象庁はこの地震に伴い、５日11時06分に伊豆諸島に津波注意報を発表した（５日13時15分に解除）。この地震により、東京都の八丈島八重根で0.2mの津波を観測した。

また、６日10時31分にはM6.0の地震（震度１以上を観測した地点はなし）が発生し、気象庁はこの地震に伴い、伊豆諸島及び小笠原諸島に津波予報（若干の海面変動）を発表した。この地震により、八丈島八重根で0.2mなどの津波を観測した。

さらに、これらの地震の震源付近では、９日04時頃から06時台にかけて、規模が小さいうえに地震波のＰ相及びＳ相が不明瞭なため震源が決まらないものも含めて地震が多発した。このため、気象庁では地震及び津波の監視を強化していたところ、八丈島八重根で津波を観測したことから、９日06時40分に伊豆諸島及び小笠原諸島に津波注意報を発表し、その後、津波注意報の範囲を拡大する続報を順次発表した（９日12時00分に解除）。この地震活動により、八丈島八重根で0.7mなど、伊豆諸島、小笠原諸島及び千葉県から沖縄県にかけての太平洋沿岸で津波を観測した。また、９日04時10分から06時28分にかけて宮崎県及び鹿児島県で観測したデータを精査したところ、この地震活動に伴うＴ相[注１]によるものと考えられる震度（震度２～１）を観測していたことを確認した。

10月５日及び９日の鳥島近海の地震に伴い発表した津波注意報をそれぞれ図１－１及び図１－２に、10月５日から９日にかけて気象庁が発表した主な情報及び報道発表を表１に示す。

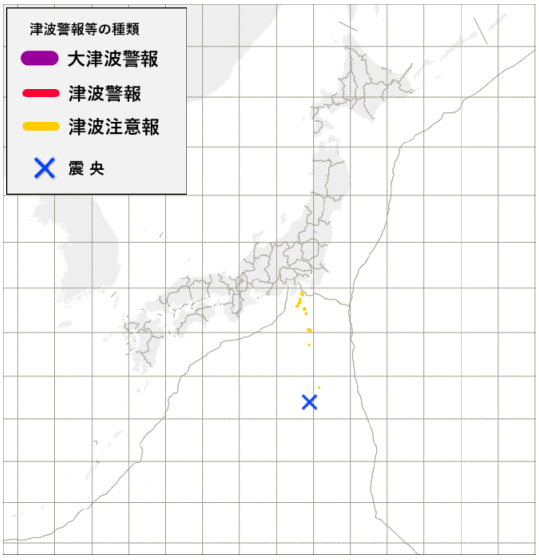


図１－１　10月５日の鳥島近海の地震に対して発表した津波注意報

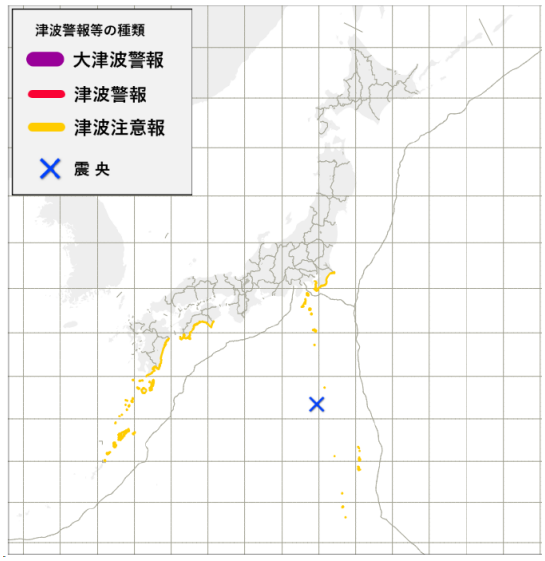


図１－２　10月９日の鳥島近海の地震に対して発表した津波注意報

[注１] 地震波が海底面で音波に変換され海中を伝わったもの。

第 14 図 (a-1)　鳥島近海の地震活動
Fig. 14(a-1)　Seismic activity near the Torisihma Island.

表１　気象庁が発表した主な情報及び報道発表（2023年10月５日～９日）

月　日	時刻	情報発表、報道発表等の状況	備考（主な内容等）
10 月 5 日	10 時 59 分	地震発生	鳥島近海、M6.5、震度１以上を観測した地点はなし
	11 時 06 分	津波注意報	伊豆諸島に津波注意報を発表
		津波予報（若干の海面変動）	
	11 時 07 分	津波情報（各地の満潮時刻・津波到達予想時刻に関する情報）	
	11 時 09 分	地震情報（震源・震度に関する情報）	５日 11 時 00 分頃に鳥島近海で地震発生。震度１以上を観測した地点はなし
	12 時 05 分	報道発表	令和５年 10 月 5 日 11 時 00 分頃の鳥島近海の地震について
	12 時 20 分	津波情報（津波観測に関する情報）	［５日 12 時 20 分現在の値］
	13 時 15 分	津波注意報の解除	
		津波予報（若干の海面変動）	
	13 時 16 分	津波情報（津波観測に関する情報）	［５日 12 時 20 分現在の値］
	14 時 00 分	報道発表	令和５年 10 月 5 日 11 時 00 分頃の鳥島近海の地震について（第２報）
10 月 6 日	10 時 31 分	地震発生	鳥島近海、M6.0、震度１以上を観測した地点はなし
	10 時 46 分	地震情報（震源・震度に関する情報）	６日 10 時 31 分頃に鳥島近海で地震発生。震度１以上を観測した地点はなし
	10 時 47 分	津波予報（若干の海面変動）	
10 月 9 日	04 時頃～06 時台	地震が多発	鳥島近海
	06 時 40 分	津波注意報	伊豆諸島及び小笠原諸島に津波注意報を発表
		津波情報（各地の満潮時刻・津波到達予想時刻に関する情報）	
	06 時 41 分	地震情報（震源・震度に関する情報）	９日 05 時 25 分頃に鳥島近海で地震発生。震度１以上を観測した地点はなし
	06 時 45 分	津波情報（津波観測に関する情報）	［９日 06 時 42 分現在の値］
	07 時 01 分	津波情報（津波観測に関する情報）	［９日 06 時 59 分現在の値］
	07 時 21 分	津波情報（津波観測に関する情報）	［９日 07 時 19 分現在の値］
	07 時 26 分	津波注意報の切り替え	津波予報（若干の海面変動）を発表
	07 時 44 分	津波注意報の切り替え	高知県に津波注意報を発表
	07 時 45 分	津波情報（各地の満潮時刻・津波到達予想時刻に関する情報）	
	07 時 49 分	津波情報（津波観測に関する情報）	［９日 07 時 47 分現在の値］
	07 時 51 分	津波注意報の切り替え	千葉県九十九里・外房及び千葉県内房に津波注意報を発表
	07 時 52 分	津波情報（各地の満潮時刻・津波到達予想時刻に関する情報）	
	07 時 54 分	津波情報（津波観測に関する情報）	［９日 07 時 52 分現在の値］
	08 時 09 分	津波情報（津波観測に関する情報）	［９日 08 時 08 分現在の値］
	08 時 24 分	津波注意報の切り替え	宮崎県、鹿児島県東部、種子島・屋久島地方及び奄美群島・トカラ列島に津波注意報を発表
	08 時 25 分	津波情報（各地の満潮時刻・津波到達予想時刻に関する情報）	
	08 時 30 分	津波情報（津波観測に関する情報）	［９日 08 時 28 分現在の値］
	08 時 40 分	報道発表	令和５年 10 月 9 日 05 時 25 分頃の鳥島近海の地震について
	08 時 41 分	津波情報（津波観測に関する情報）	［９日 08 時 39 分現在の値］
	11 時 00 分	報道発表	令和５年 10 月 9 日 05 時 25 分頃の鳥島近海の地震について（第２報）
	12 時 00 分	津波注意報の解除	
		津波予報（若干の海面変動）	
	12 時 02 分	津波情報（津波観測に関する情報）	［９日 11 時 59 分現在の値］

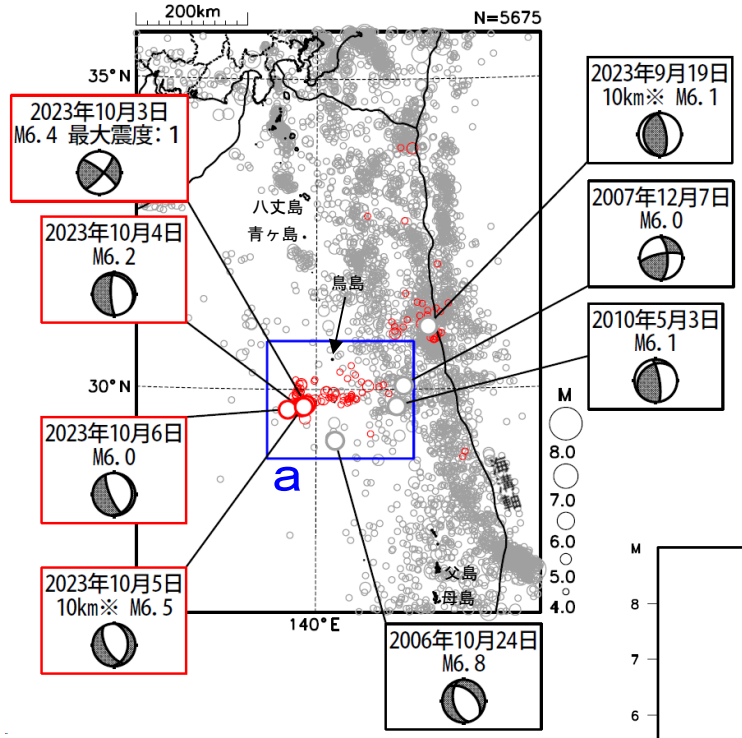
第 14 図 (a-2)　つづき
Fig. 14(a-2)　Continued.

（２）地震活動

ア．鳥島近海の地震活動

鳥島近海（領域ａ）では、2023年10月２日から９日にかけて地震活動が活発になり、３日20時38分にはM6.4の地震（最大震度１）、５日10時59分にはM6.5の地震（震度１以上を観測した地点はなし）が発生するなど、M6.0以上の地震が４回発生した。このうち、最大規模の地震は、５日10時59分に深さ10km（CMT解による）で発生したM6.5の地震（震度１以上を観測した地点はなし）で、発震機構（CMT解）は東北東－西南西方向に張力軸を持つ正断層型である。この地震はフィリピン海プレート内で発生した。また、これらの地震の震源付近では、９日04時頃から06時台にかけて、規模が小さいうえに地震波のＰ相及びＳ相が不明瞭なため震源が決まらないものも含めて地震が多発した。

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。2006年10月24日にはM6.8の地震（最大震度２）が発生し、三宅島坪田で16cmなどの津波を観測した。



※深さは CMT 解による

図２－１　震央分布図（1997 年 10 月１日～2023 年 10 月 31 日、深さ０～150km、M≧4.0）
2023 年 10 月の地震を赤色で表示、図中の発震機構は CMT 解

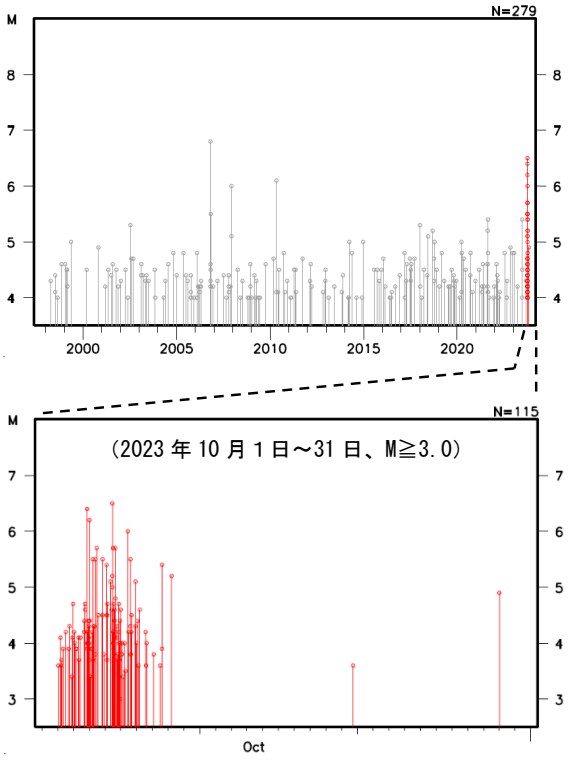
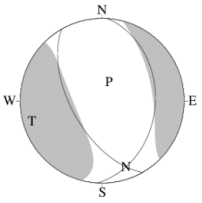
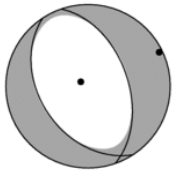
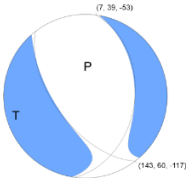


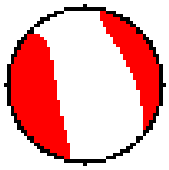
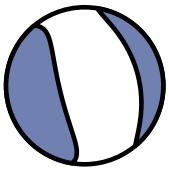
図２－２　図２－１の領域ａ内のＭ－Ｔ図

第 14 図 (a-3)　つづき
Fig. 14(a-3)　Continued.

2023年10月５日10時59分　鳥島近海の地震Mj6.5（各機関のCMT解）

	気象庁CMT	防災科研（F-net）	USGS（W-pahse）
一元化震源 M6.5 深さ17km			
Mw	6.1	6.0	6.13
深さ	10km	5 km	11.5km

USGS震源 深さ10.0km

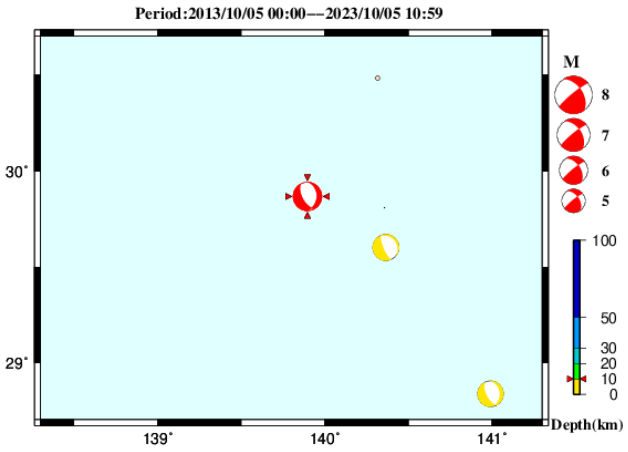
	Global CMT	GEOFON
		
Mw	6.1	6.1
深さ	12.0 km	10km

防災科研（F-net）：https://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：https://geofon.gfz-potsdam.de/eqinfo/list.php?mode=mt
防災科研（AQUA）：https://www.hinet.bosai.go.jp/AQUA/aqua_catalogue.php?LANG=ja

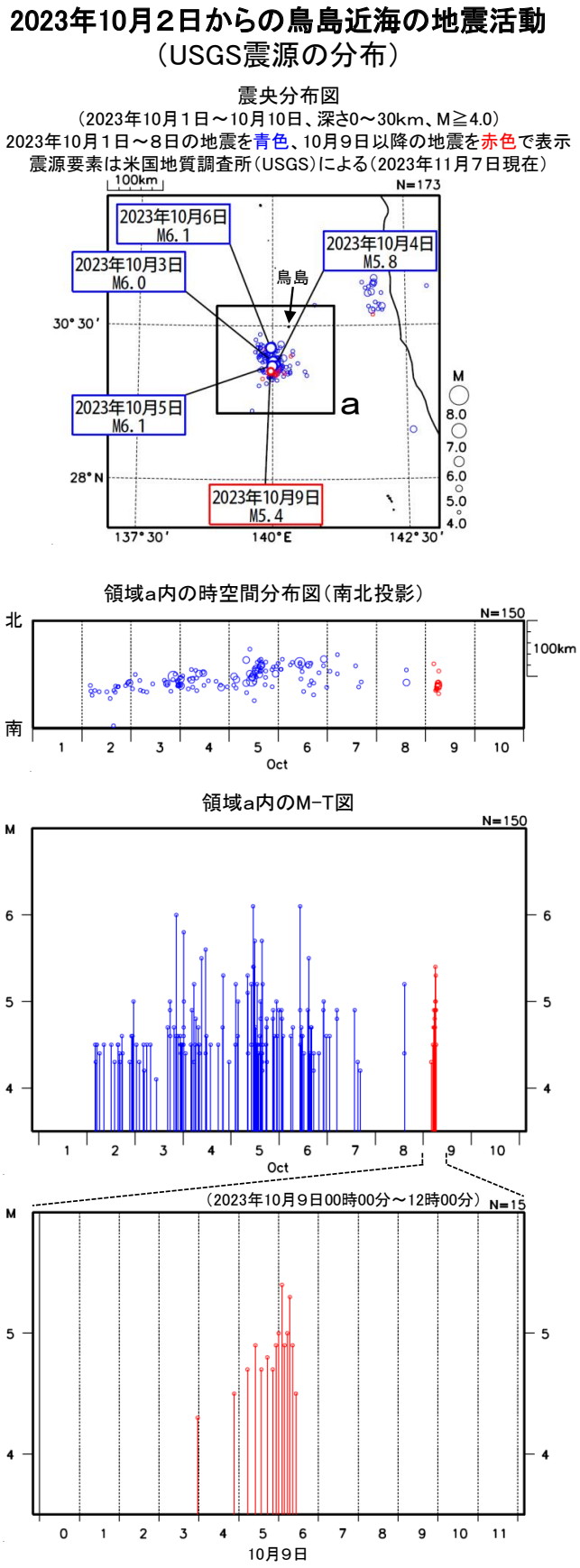
防災科研（AQUA）

（掲載なし）

周辺の気象庁CMT解の分布図



第 14 図 (a-4)　つづき
Fig. 14(a-4)　Continued.



第 14 図 (a-5)　つづき
Fig. 14(a-5)　　Continued.

イ．地震波形

気象庁の八丈島三根観測点（HACHJ3）及び国立研究開発法人防災科学技術研究所の小笠原観測点（OSW）で観測された広帯域地震計の上下動成分の記録について、10 月 3 日 20 時 38 分の地震（M6.4）、10 月 5 日 10 時 59 分の地震（M6.5）、10 月 6 日 10 時 31 分の地震（M6.0）及び 10 月 9 日 05 時 25 分の地震の波形を比較したものを図２－３から図２－５に示す。また、八丈島三根観測点及び小笠原観測点における 10 月 9 日 05 時 25 分の地震の広帯域地震計の上下動成分の記録を図２－６に示す。10 月 9 日 05 時 25 分の地震は他の地震に比べて振幅が小さいが、振幅を拡大すると地震波が記録されていることが分かるが、地震波のＰ相及びＳ相は不明瞭である。

気象庁震度計の父島観測点での 10 月 9 日 04 時から 07 時までの上下動成分の記録を図２－７に示す。同時間帯において、振幅の大きな波形（Ｔ相と考えられる）が少なくとも 14 個みられる。

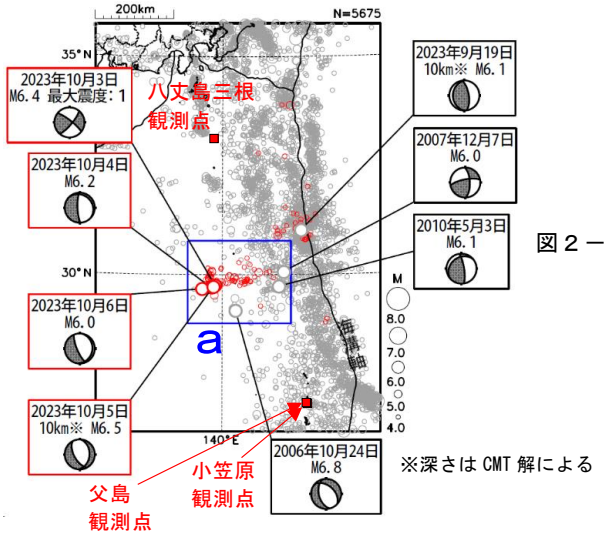
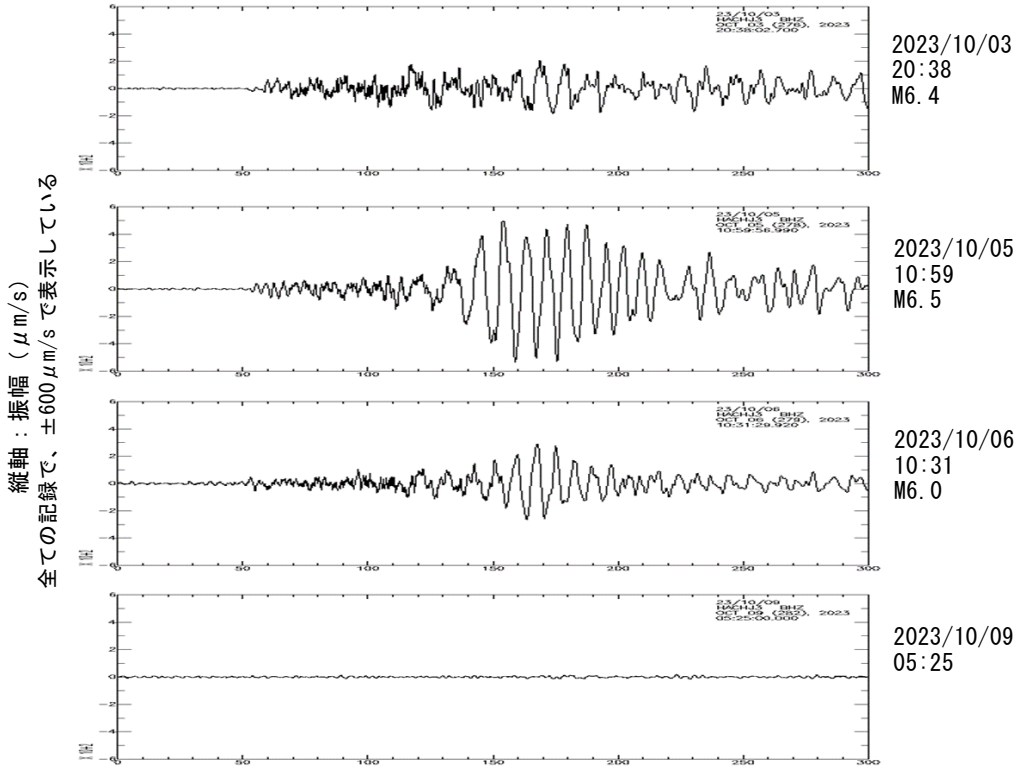


図２－３　震央分布図（図２－１に同じ）に重ねた観測点の配置



横軸：地震発生時からの経過時間（秒）
ただし最下段は 10 月９日 05 時 25 分 00 秒からの経過時間（秒）

図２－４　気象庁・八丈島三根観測点（HACHJ3）における広帯域地震計の上下動成分の記録

第 14 図 (a-6)　つづき
Fig. 14(a-6)　Continued.

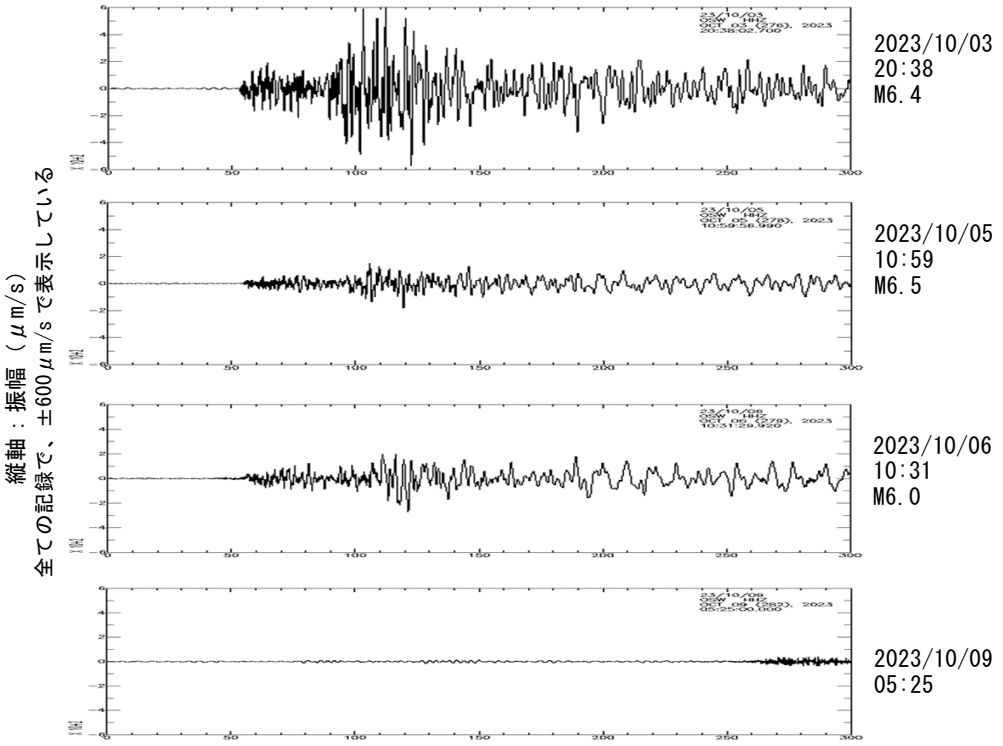


図２－５　防災科学技術研究所・小笠原観測点（OSW）における広帯域地震計の上下動成分の記録
国立研究開発法人防災科学技術研究所のF-net観測点の波形データを用いた

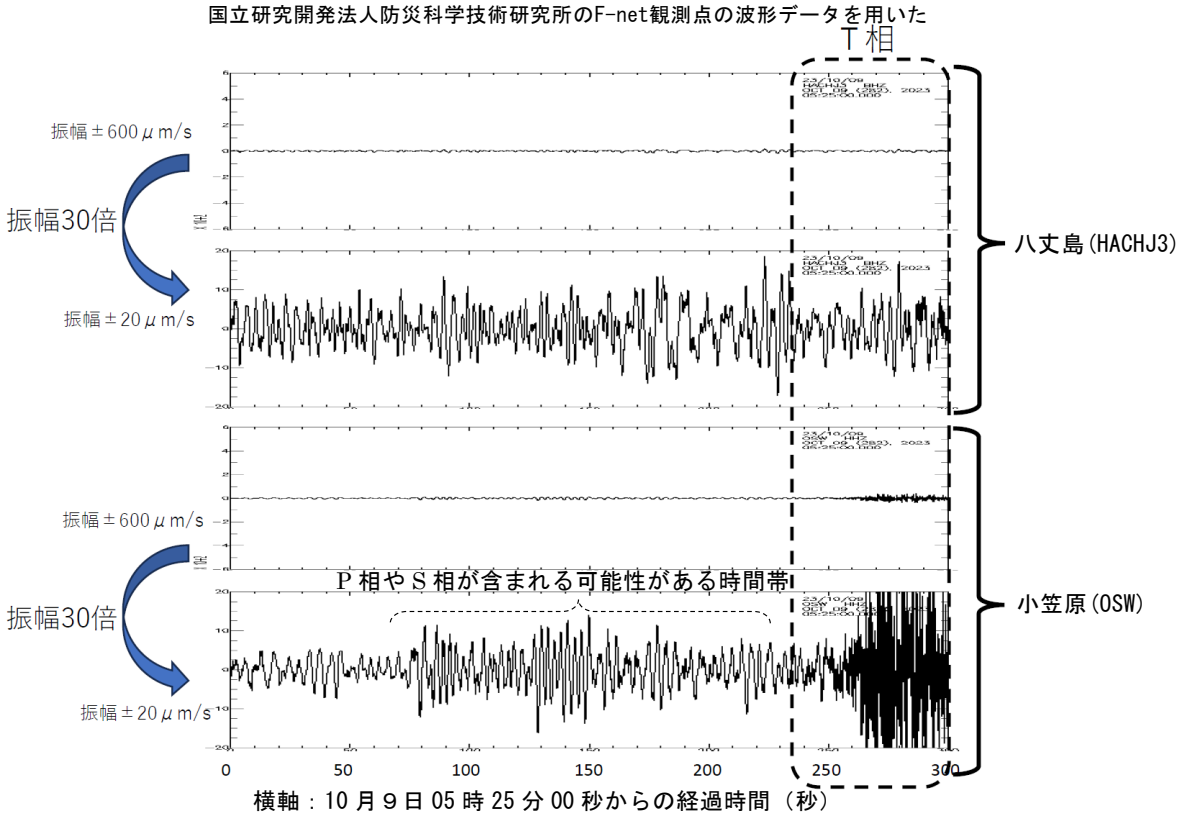


図２－６　八丈島三根観測点及び小笠原観測点における広帯域地震計の上下動成分の記録
国立研究開発法人防災科学技術研究所のF-net観測点の波形データを用いた

第 14 図 (a-7)　つづき
Fig. 14(a-7)　Continued.

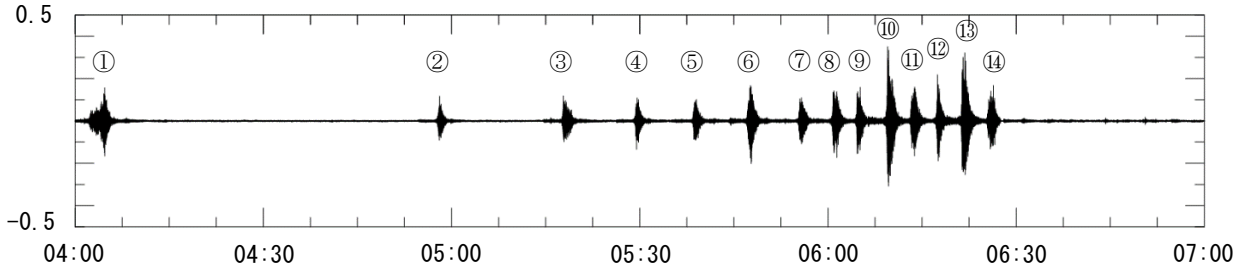
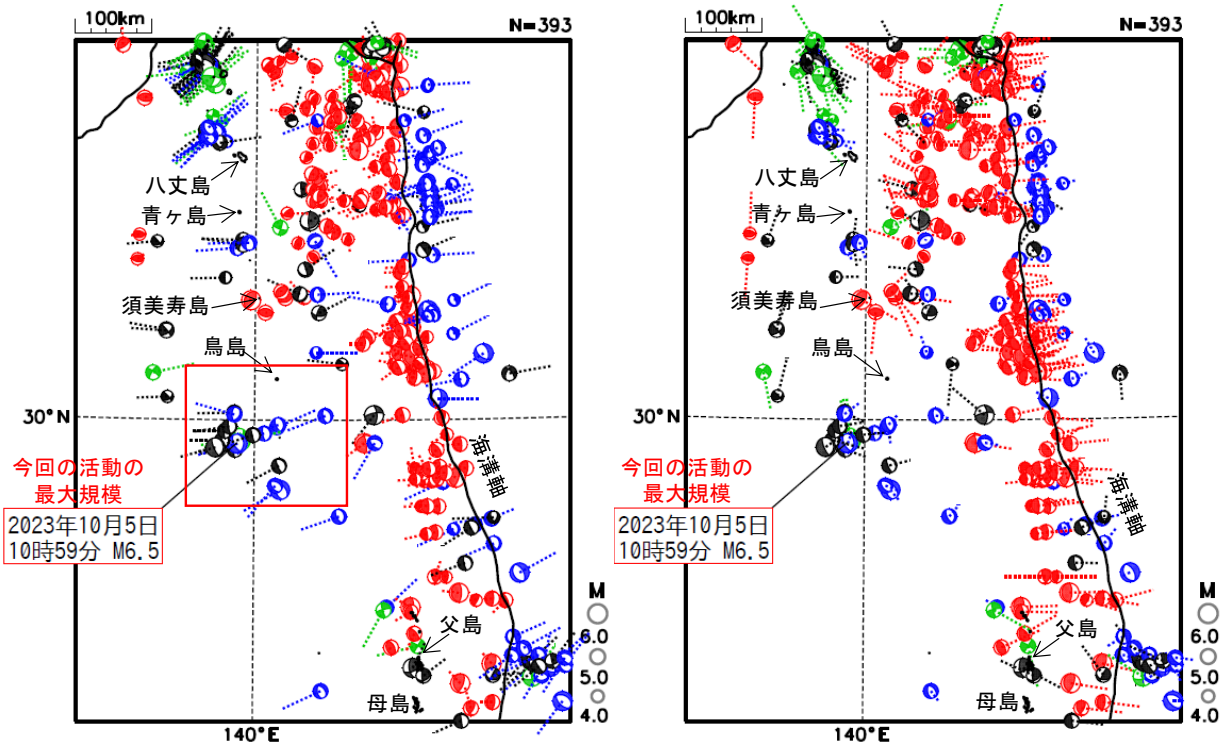


図２－７　気象庁震度計（多機能型地震観測点）の父島観測点における10月９日04時00分から07時00分までの上下動成分の記録
縦軸は加速度(gal)、横軸は時刻を示す。

第 14 図 (a-8)　つづき
Fig. 14(a-8)　Continued.

ウ．発震機構

今回の地震活動域周辺の発震機構分布図を図２－８から図２－10 に示す。今回の地震活動の周辺では、概ね東北東－西南西方向に張力軸を持つ型の地震が多く発生している。また、今回の地震活動の東側の海溝軸付近では、概ね東北東－西南西方向に圧力軸を持つ型の地震が多く発生している。



発震機構（CMT 解）を一元化震源の位置に表示
赤：逆断層型、青：正断層型、緑：横ずれ断層型、灰：その他

図２－８　発震機構（CMT解）の分布図
（1994年9月1日～2023年10月31日、
深さ0～100km）
張力軸を震源球からのびる点線
で表示

図２－９　発震機構（CMT解）の分布図
（1994年9月1日～2023年10月31日、
深さ0～100km）
圧力軸を震源球からのびる点線
で表示

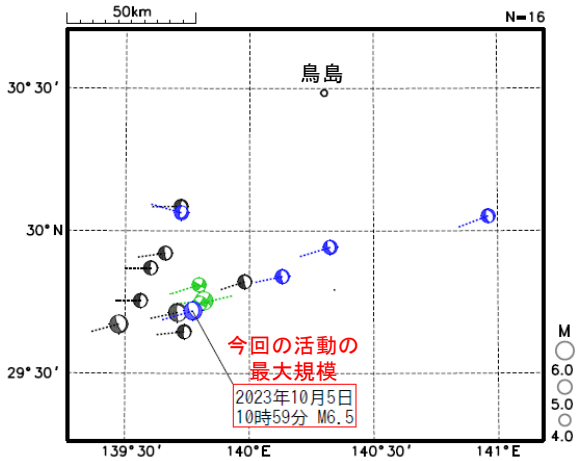


図２－10　図２－８の赤色矩形内の拡大図（2023年10月２日～31日を表示）

第 14 図 (a-9)　つづき
Fig. 14(a-9)　Continued.

エ．過去の地震活動

1980 年以降の今回の地震活動域周辺の地震活動を図２－11 から図２－13 に示す。各図には、フィリピン海プレート内で発生した地震で津波を観測した地震を明示した。今回の地震活動域の北方の須美寿島付近では、M6.0 程度の規模にもかかわらず津波を観測した地震が時々発生しており、これらの地震の発震機構（CMT 解）はよく似ている。1984 年の M5.9 の地震について、Kanamori et al.（1993）[注３] はマグマが関与した地殻変動によって津波が発生した可能性があることを示している。今回の地震活動（発震機構は図２－１も参照）及び 2006 年の M6.8 の地震は、これらの須美寿島付近の地震とは発震機構の特徴が異なっている。

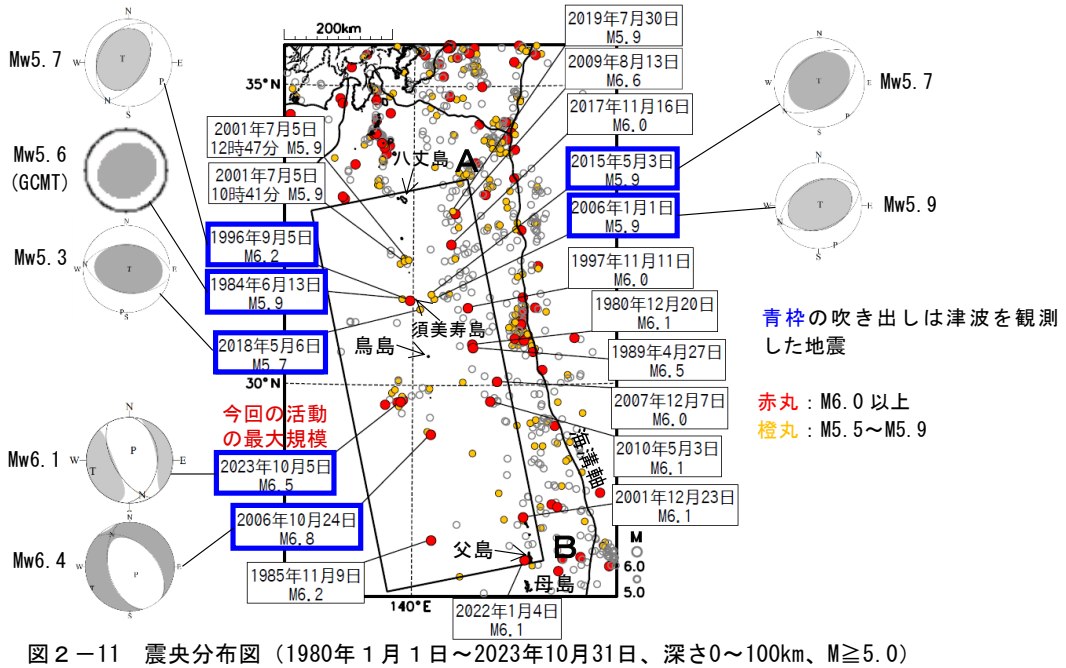


図２－11　震央分布図（1980年１月１日～2023年10月31日、深さ0～100km、M≧5.0）
矩形領域内は、フィリピン海プレート内で発生したと考えられる地震
ただし、矩形領域内の東端付近は太平洋プレート内の地震を含む
吹き出しは、矩形領域内で M5.9 以上及び 2018 年 5 月 6 日 M5.7 の地震
発震機構は 1984 年 6 月 13 日の地震は Global CMT、その他の地震は気象庁の CMT 解

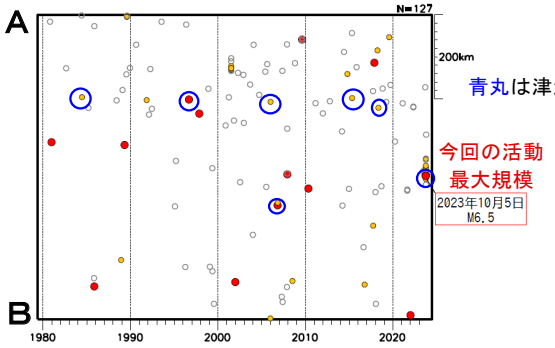


図２－12　図２－11 の矩形領域内の
時空間分布図（Ａ－Ｂ投影）

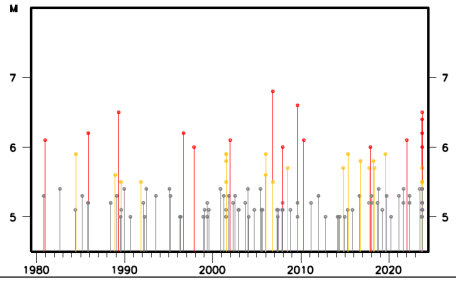


図２－13　図２－11 の矩形領域内の
Ｍ－Ｔ図

[注３] 参考文献　Kanamori, H., G. Ekstrom, A. Dziewonski, J. S. Barker, and S. A. Sipkin, 1993, J. Geophys. Res., 98, 6511-6522

第 14 図 (a-10)　つづき
Fig. 14(a-10)　Continued.

1919 年以降の地震活動を図２－14 及び図２－15 に示す。今回の地震の震央周辺（領域ｂ）では、Ｍ７程度の地震が時々発生している。2015 年５月 30 日に深さ 682km で発生した M8.1 の地震（最大震度５強）では、軽傷８人、住家一部破損２棟などの被害が生じた（総務省消防庁による）。

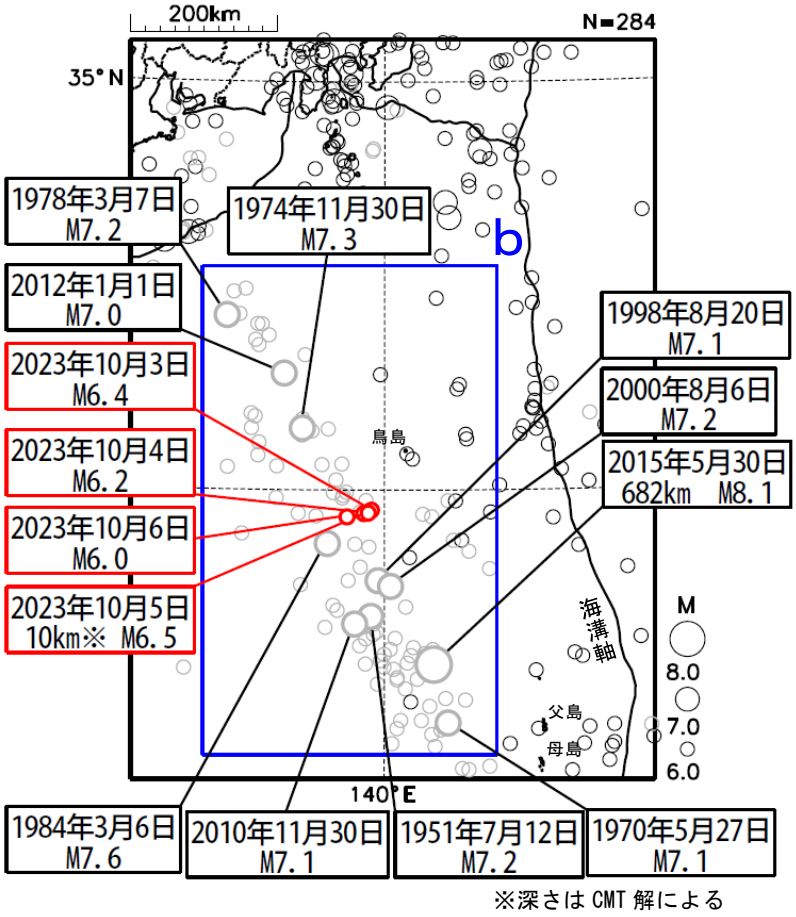


図２－14　震央分布図（1919年１月１日～2023年10月31日、深さ０～700km、M≧6.0）
2023年９月以前の深さ０～100kmの地震を濃く、
2023年９月以前の深さ100～700kmの地震を薄く、
2023年10月の地震を赤く表示

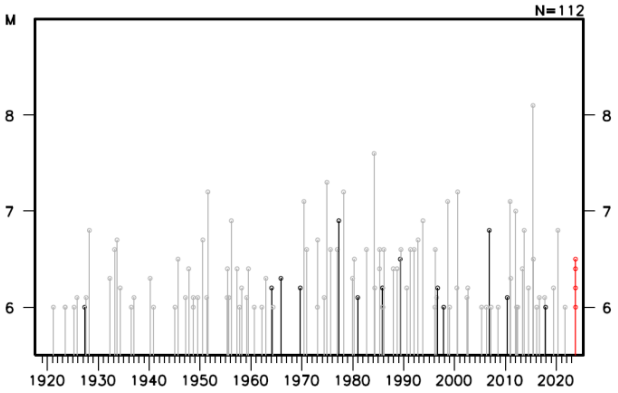
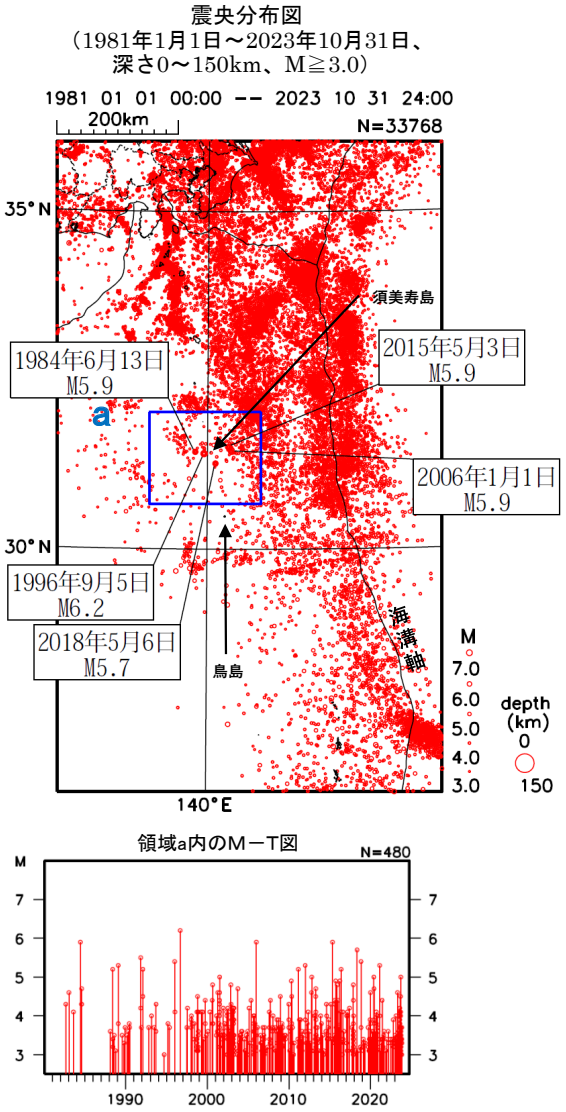
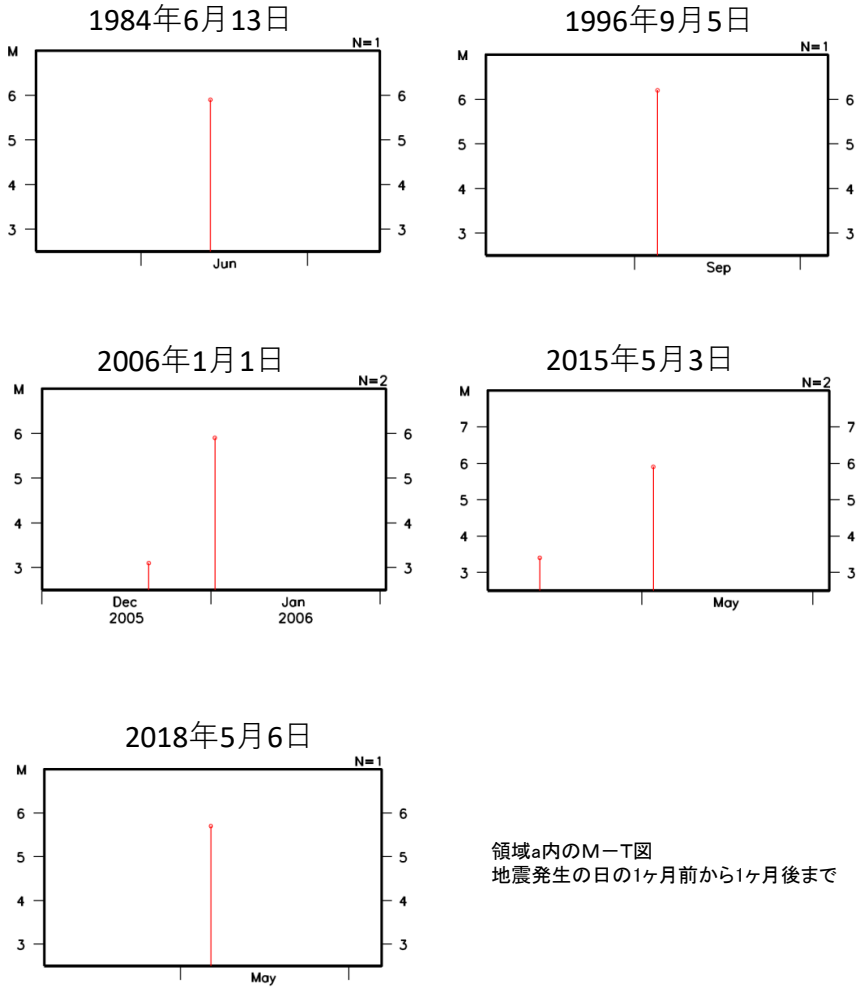


図２－15　図２－14の領域ｂ内のＭ－Ｔ図

第 14 図 (a-11)　つづき
Fig. 14(a-11)　Continued.

須美寿島付近で過去に津波を伴った地震の前後１ケ月の地震活動





第 14 図 (a-12)　つづき
Fig. 14(a-12)　Continued.

（３）津波

ア．2023年10月５日10時59分 鳥島近海の地震（M6.5）

この地震により、伊豆諸島の八丈島八重根で最大0.2mの津波を観測した。精査後の津波観測値は以下のとおり。

表３－１　津波観測値（2023 年 10 月５日）

都道府県	観測点名	所属	第一波	最大波	
			到達時刻	発現時刻	高さ（cm）
東京都	八丈島八重根*1	気象庁	05 日 11:-	05 日 12:17	0.2m

- は値が決定できないことを示す。
※観測値は後日の精査により変更される場合がある。
*1 は巨大津波観測計により観測されたことを示す（観測単位は 0.1m）。

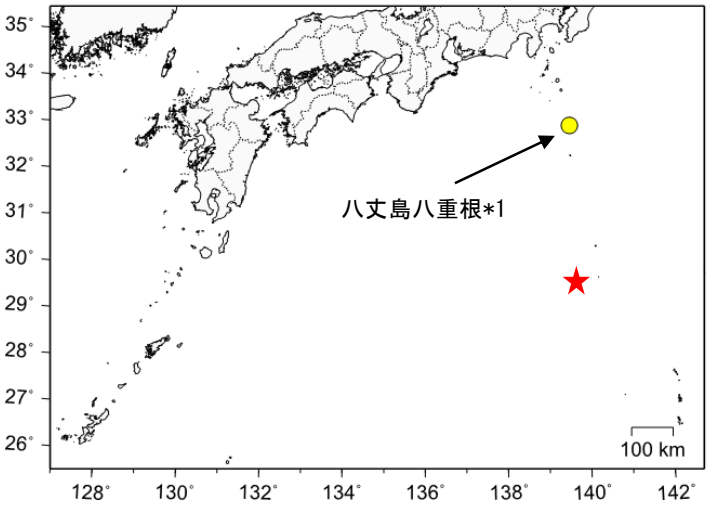


図３－２　津波を観測した地点（2023 年 10 月５日）

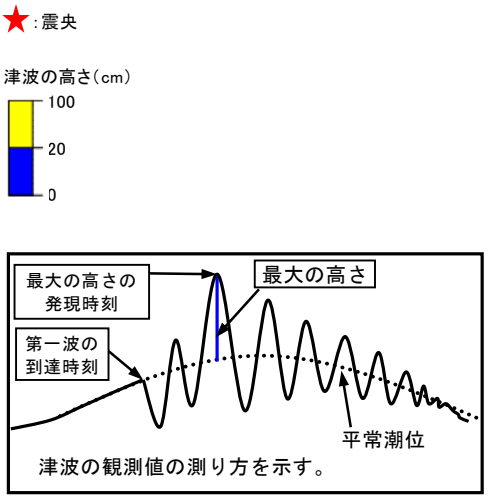


図３－１　津波の測り方の模式

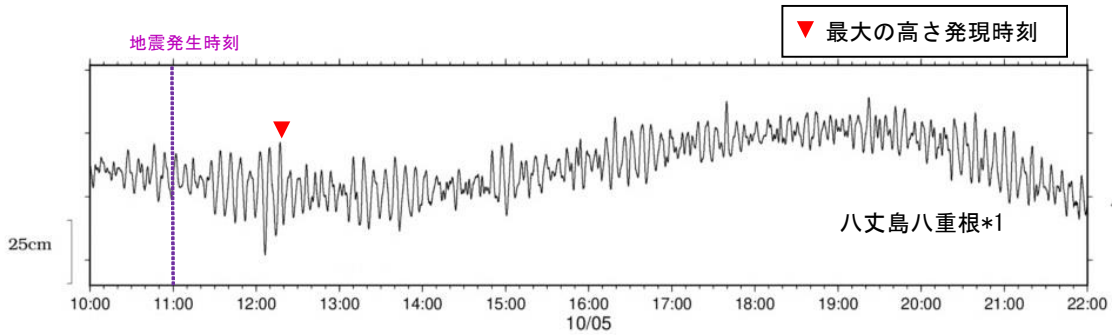


図３－３　津波波形（2023 年 10 月５日）

第 14 図 (a-13)　つづき
Fig. 14(a-13)　Continued.

イ．2023年10月６日10時31分 鳥島近海の地震（M6.0）

この地震に伴う津波について精査した結果、伊豆諸島の八丈島八重根などで最大0.2mの津波を確認した。精査後の津波観測値は以下のとおり。

表３－２　津波観測値（2023 年 10 月６日）

都道府県	観測点名	所属	第一波	最大波	
			到達時刻	発現時刻	高さ（cm）
東京都	八丈島神湊	海上保安庁	06 日 11:-	06 日 11:52	5
	八丈島八重根*1	気象庁	06 日 11:-	06 日 11:40	0.2m
鹿児島県	南大隅町大泊	海上保安庁	06 日 -:-	06 日 13:44	6
	中之島	海上保安庁	06 日 -:-	06 日 12:27	8

- は値が決定できないことを示す。
※観測値は後日の精査により変更される場合がある。
※所属機関の観測波形データをもとに気象庁が検測した値。
*1 は巨大津波観測計により観測されたことを示す（観測単位は 0.1m）。

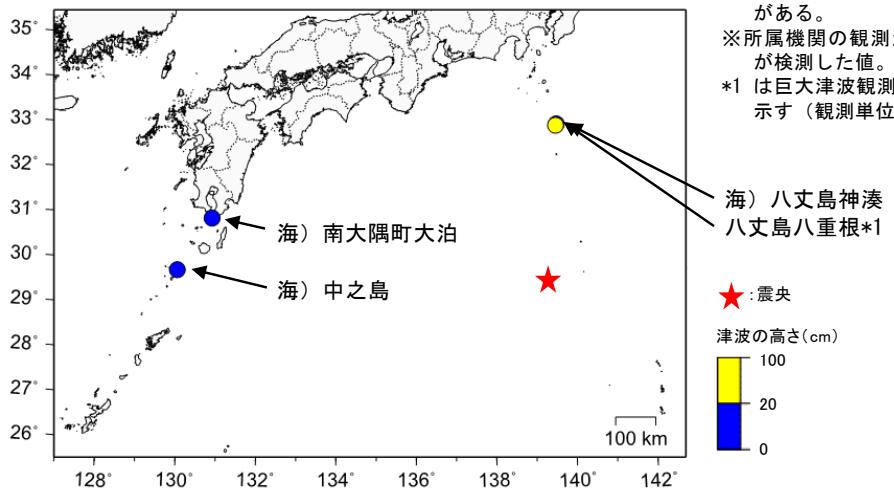


図３－４　津波を観測した地点（2023 年 10 月６日）
※ 海）は海上保安庁の所属であることを表す。

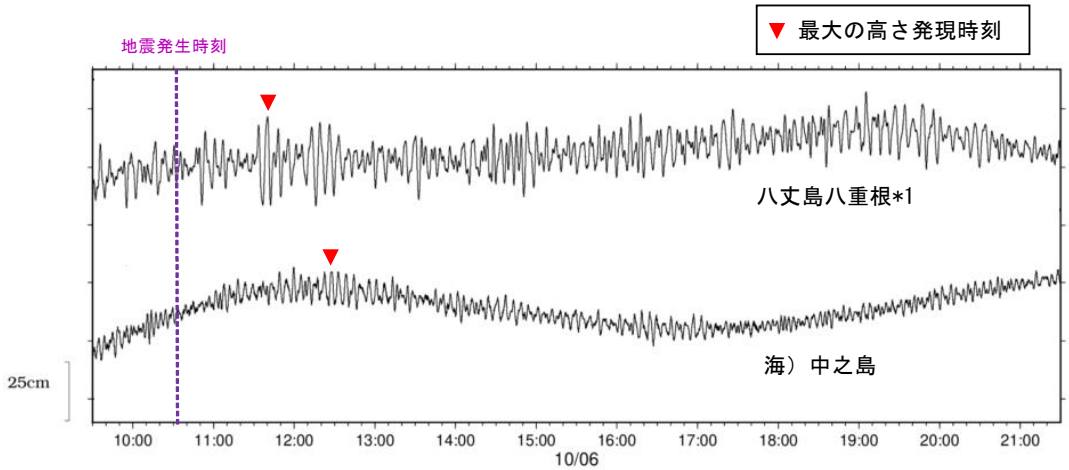


図３－５　主な津波波形（2023 年 10 月６日）
※ 海）は海上保安庁の所属であることを表す。

第 14 図 (a-14)　つづき
Fig. 14(a-14)　Continued.

ウ．2023年10月９日04時頃から06時台に鳥島近海で発生した地震活動

この地震活動により、伊豆諸島の八丈島八重根で最大0.7mの津波を観測したほか、千葉県から沖縄県にかけて津波を観測した。精査後の津波観測値は以下のとおり。

表３－３　津波観測値（2023 年 10 月９日）

都道府県	観測点名	所属	第一波	最大波	
			到達時刻	発現時刻	高さ（cm）
千葉県	館山市布良	気象庁	09 日 −:−	09 日 07:43	17
東京都	伊豆大島岡田	気象庁	09 日 −:−	09 日 08:37	17
	神津島神津島港	海上保安庁	09 日 −:−	09 日 08:01	44
	三宅島坪田	気象庁	09 日 −:−	09 日 08:11	41
	三宅島阿古	海上保安庁	09 日 −:−	09 日 07:45	29
	八丈島神湊	海上保安庁	09 日 −:−	09 日 07:12	23
	八丈島八重根*1	気象庁	09 日 −:−	09 日 07:17	0.7m
	父島二見	気象庁	09 日 −:−	09 日 07:24	16
神奈川県	三浦市三崎漁港*1	気象庁	09 日 −:−	09 日 09:01	0.1m
静岡県	南伊豆町手石港	気象庁	09 日 −:−	09 日 08:21	16
	伊東	国土地理院	09 日 −:−	09 日 07:59	10
愛知県	田原市赤羽根	気象庁	09 日 −:−	09 日 09:01	12
三重県	熊野市遊木	気象庁	09 日 −:−	09 日 07:58	11
和歌山県	串本町袋港	気象庁	09 日 −:−	09 日 07:15	13
	御坊市祓井戸	気象庁	09 日 −:−	09 日 08:42	15
徳島県	徳島由岐	気象庁	09 日 −:−	09 日 07:11	8
愛媛県	宇和島	気象庁	09 日 −:−	09 日 11:04	10
高知県	室戸市室戸岬	気象庁	09 日 −:−	09 日 08:17	13
	土佐清水	気象庁	09 日 −:−	09 日 08:09	34
	中土佐町久礼港	国土地理院	09 日 −:−	09 日 08:15	18
大分県	佐伯市松浦	気象庁	09 日 −:−	09 日 10:20	6
宮崎県	日南市油津	気象庁	09 日 −:−	09 日 08:08	14
鹿児島県	志布志港*1	気象庁	09 日 −:−	09 日 08:54	0.2m
	南大隅町大泊	海上保安庁	09 日 −:−	09 日 08:18	26
	種子島西之表	海上保安庁	09 日 −:−	09 日 09:27	10
	奄美市小湊	気象庁	09 日 −:−	09 日 08:06	9
	中之島	海上保安庁	09 日 −:−	09 日 09:46	31
沖縄県	南城市安座真	国土地理院	09 日 −:−	09 日 08:52	5

− は値が決定できないことを示す。
※観測値は後日の精査により変更される場合がある。
※所属機関の観測波形データをもとに気象庁が検測した値。
*1 は巨大津波観測計により観測されたことを示す（観測単位は 0.1m）。

第 14 図 (a-15)　つづき
Fig. 14(a-15)　Continued.

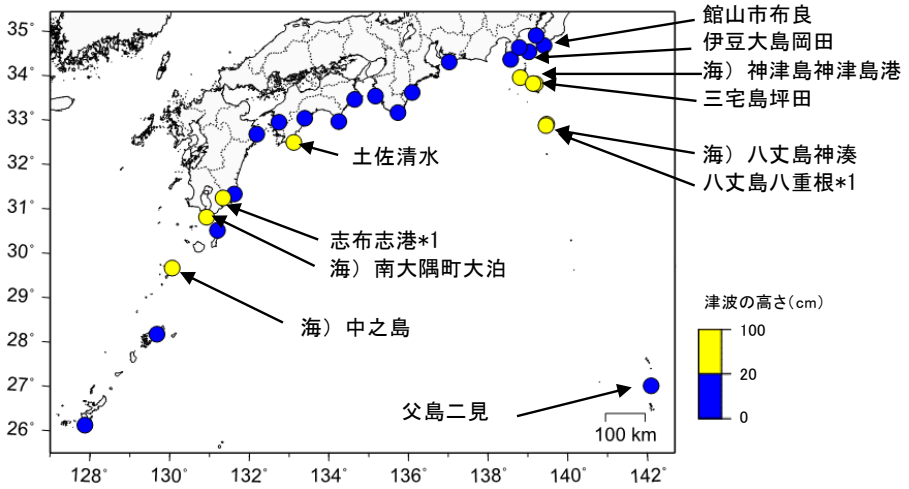


図３－６　津波を観測した地点（2023 年 10 月９日）
※ 海）は海上保安庁の所属であることを表す。

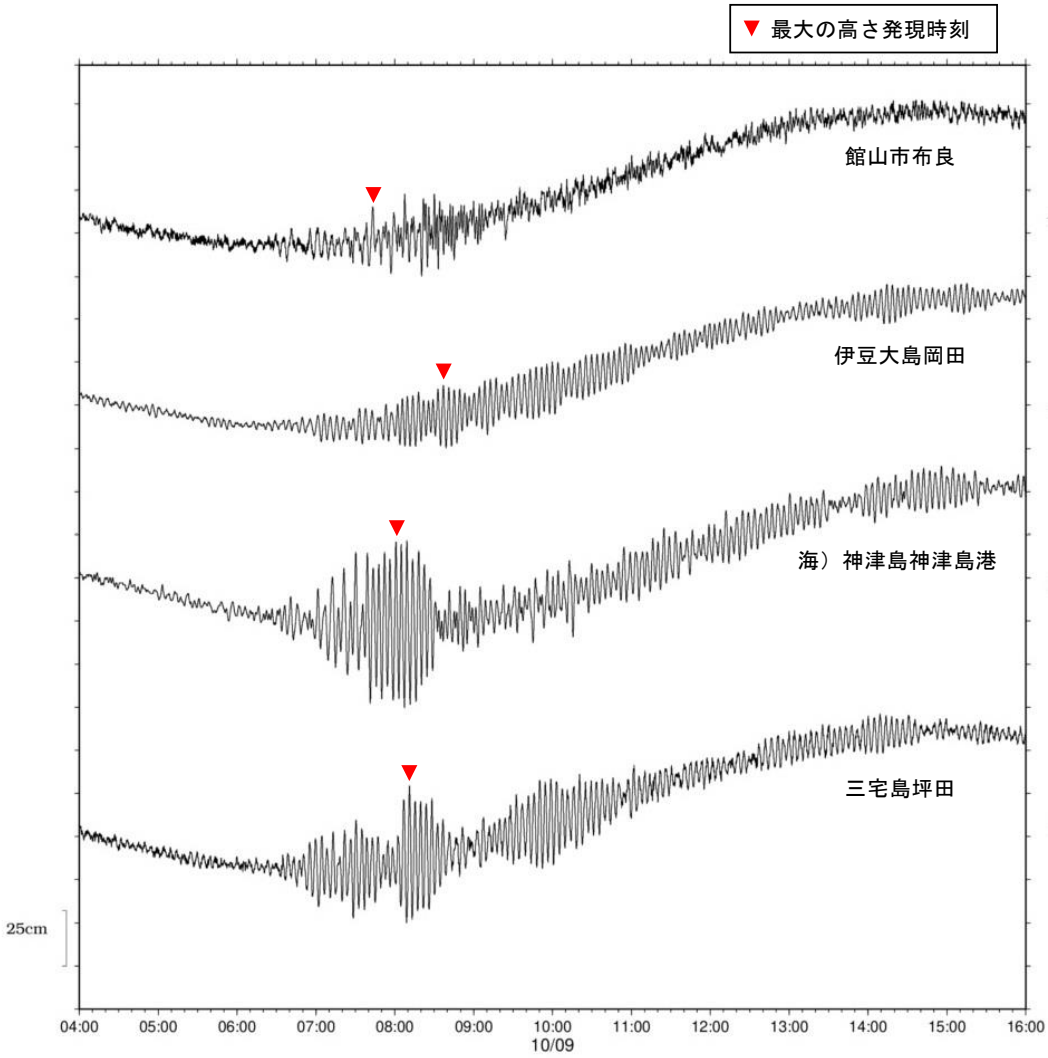


図３－７－１　主な津波波形（2023 年 10 月９日）
※ 海）は海上保安庁の所属であることを表す。

第 14 図 (a-16)　つづき
Fig. 14(a-16)　Continued.

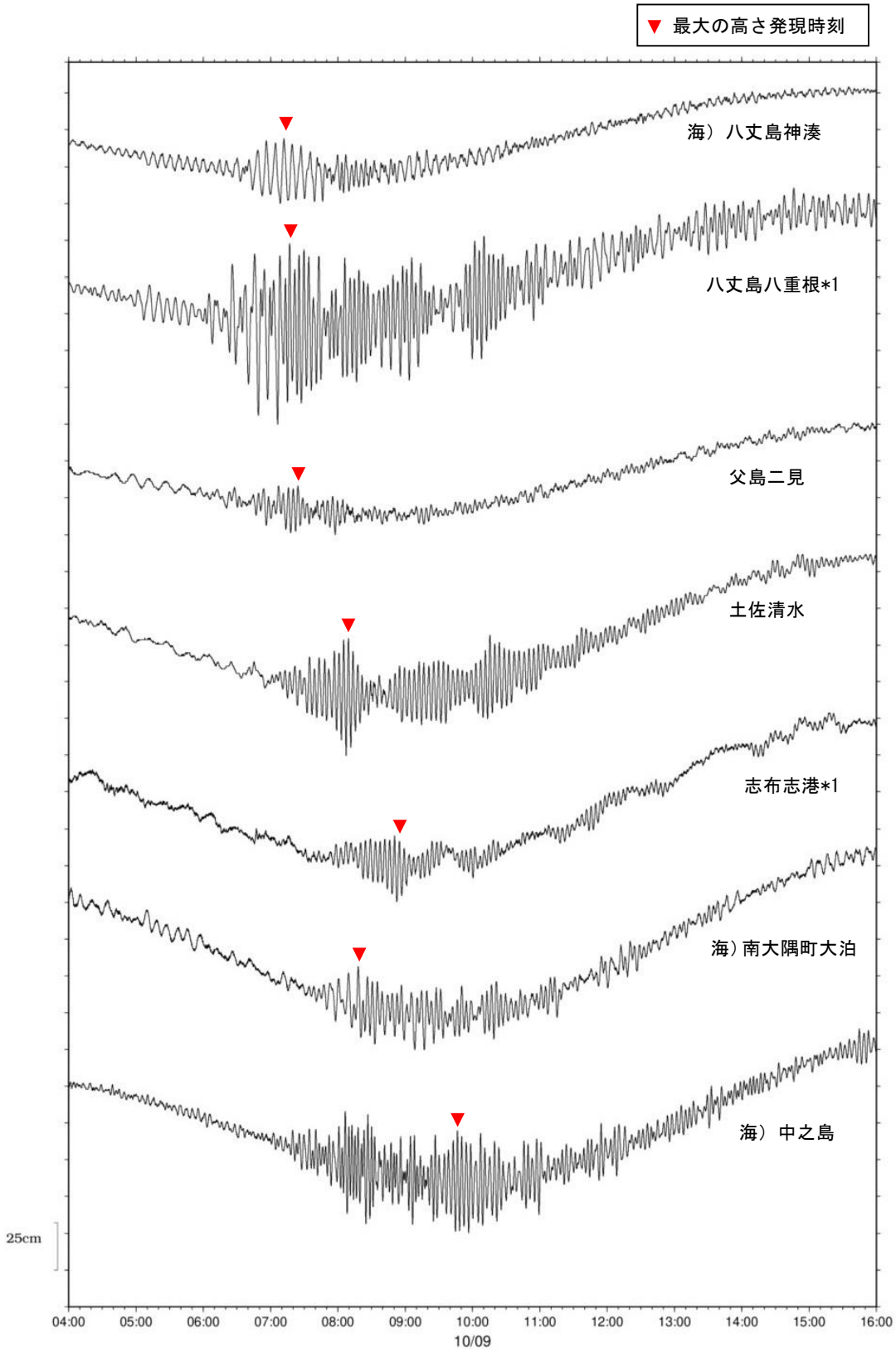


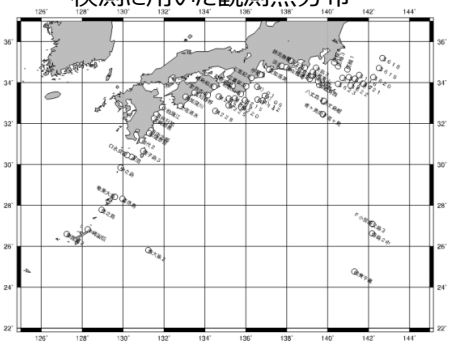
図３－７－２　主な津波波形（2023 年 10 月９日）
※ 海）は海上保安庁の所属であることを表す。

第 14 図 (a-17)　つづき
Fig. 14(a-17)　Continued.

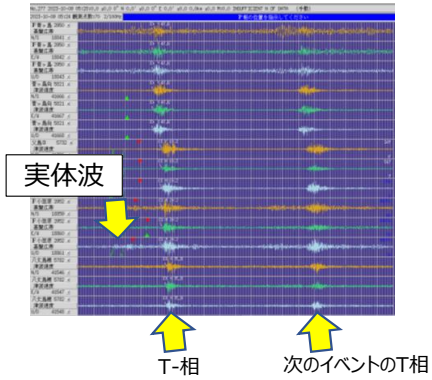
2023年10月 鳥島近海の地震活動（T相の発生源決定）

（１）T相の到着時刻の検測

検測に用いた観測点分布

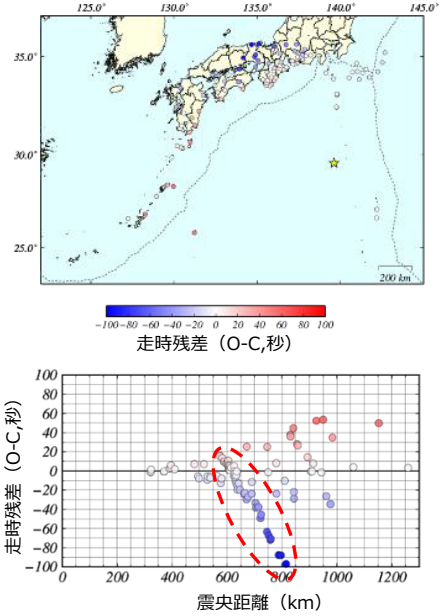


人手による会話検測画面



通常の地震波検測のように時間軸を拡大すると、T相の立ち上がり部分は不明瞭なため、検測の任意性が高い。そのため時間軸をあまり拡大せずに、T相の大振幅の立ち上がり部分を検測した。

10月09日05時25分M4.4のイベントの走時残差（O-C,秒）の分布



予備的な検測によると、内陸の観測点ではT相の見かけ速度から大きく外れる波群（上図の赤点線部分。実体波の走時と合う）を検測してしまうため、T相の検測には海底地震計と沿岸部の観測点の波形データを使用した。

（２）T相の発生源の決定方法

■次の2 stepで実施

Step 1　グリッドサーチ

北緯10～50°、東経110～160°の範囲における2°間隔、時間は30秒間隔でグリッドサーチ（深さ0km固定、V=1.5km/sの均質構造）により、走時残差のRMS最小のグリッドを求め、そのグリッドからさらに±2°の範囲における10′間隔、時間は１秒間隔でグリッドサーチを実施。

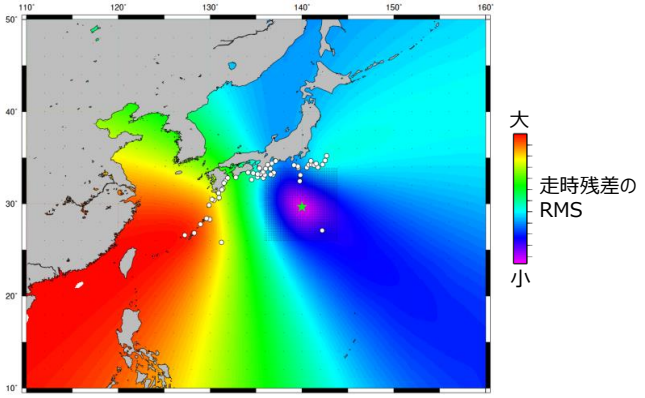
Step 2　Step 1のグリッドサーチの結果を初期値とした一元化震源決定処理

深さ0km固定、V=1.5km/sの均質構造により、発生源及びMを決定

■Mの決定

T相ではなく実体波の部分で最大振幅を検測し、一元化震源決定処理により速度マグニチュードを計算した。

10月9日05時56分のイベントのグリッドサーチの結果（上記Step 1）



グリッドサーチで決まったT相の発生源を星印、検測した観測点を白丸、走時残差のRMSが大きい領域を赤色、小さい領域を青色で示す。

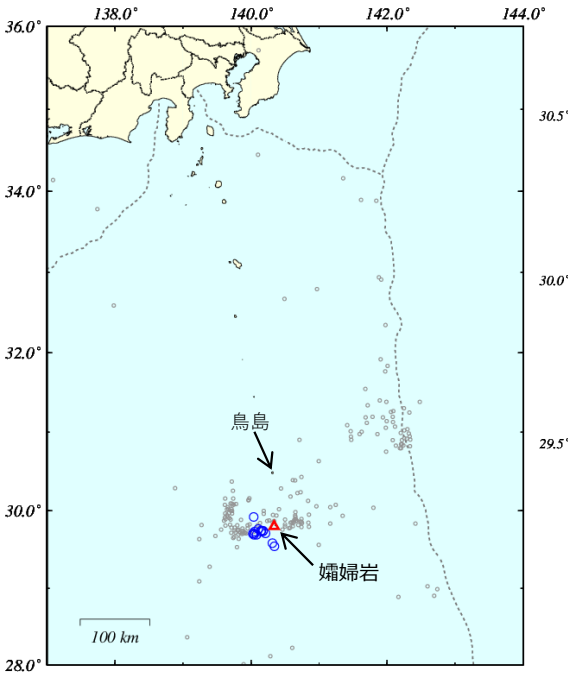
第 14 図 (b-1)　鳥島近海の地震活動（T 相）

Fig. 14(b-1)　Seismic activity near the Torisihma Island (T-phase).

2023年10月 鳥島近海の地震活動（T相の発生源決定）

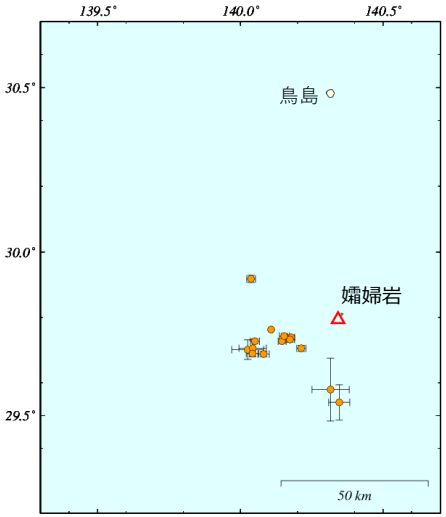
（３）T相の発生源の決定結果

T相の発生源の分布図



○：T相の発生源
○：2023年10月1日以降のM3.5以上の一元化震源
△：孀婦岩の位置

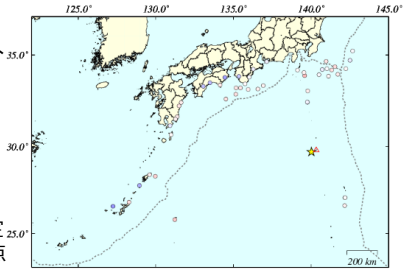
T相の発生源付近の拡大図



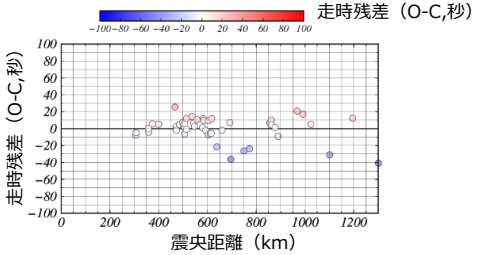
●：T相の発生源
エラーバー：計算で求まる標準偏差

走時残差（O-C,秒）の分布

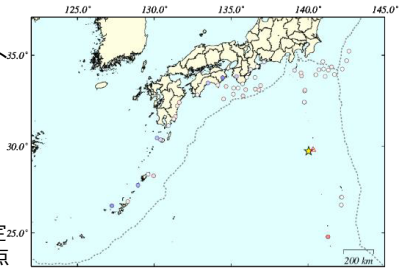
2023年10月9日
03時58分のイベント



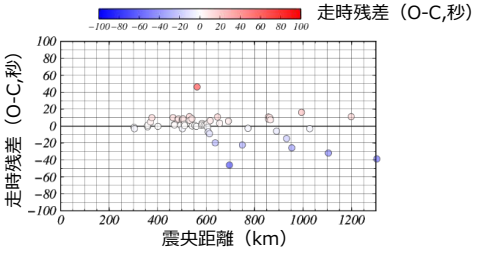
★：T相の発生源
○：発生源の決定に用いた観測点



2023年10月9日
05時25分のイベント



★：T相の発生源
○：発生源の決定に用いた観測点



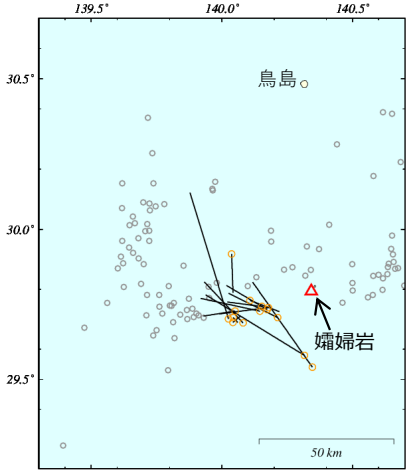
T相の発生源は孀婦岩の西側から南側に決まる。
計算で求まる標準偏差は数km程度で、孀婦岩の南側の発生源の値が大きい。

第 14 図 (b-2)　つづき
Fig. 14(b-2)　Continued.

2023年10月 鳥島近海の地震活動（T相の発生源決定）

（４）USGS震源との比較

T相の発生源をUSGSで決定されていた震源と比較した。



○：T相の発生源
黒線の先：USGSによる震央

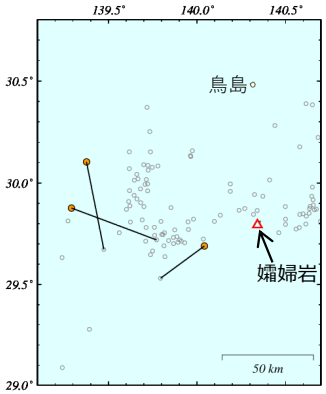
T相の発生源　　USGSで決定された震源（2023年10月31日時点）

	JMA				USGS				
Event No.	Origin Time	Lon.(°)	Lat.(°)	Mag.	Origin Time	Lon.(°)	Lat.(°)	Dep.(km)	Mag.
1	2023/10/09 03:58:13.38	140.0258	29.7018	4.4(V)	2023/10/09 03:58:10.35	139.8780	30.1220	10.0	4.3(mb)
2	2023/10/09 04:53:44.11	140.0432	29.7062	4.8(V)	2023/10/09 04:53:46.09	140.0610	29.6900	10.0	4.5(mb)
3	2023/10/09 05:13:49.09	140.0423	29.6898	4.8(V)	2023/10/09 05:13:51.05	140.0700	29.7100	10.0	4.7(mb)
4	2023/10/09 05:25:21.59	140.0508	29.7277	4.4(V)	2023/10/09 05:25:22.66	139.9300	29.7110	10.0	4.9(mb)
5	2023/10/09 05:34:32.94	140.1778	29.7393	4.8(v)	2023/10/09 05:34:32.71	139.9900	29.7180	10.0	4.7(mb)
6	2023/10/09 05:43:14.05	140.1080	29.7630	-	2023/10/09 05:43:09.46	140.2200	29.7260	10.0	4.8(mb)
7	2023/10/09 05:51:25.84	140.1462	29.7273	-	2023/10/09 05:51:25.66	139.9190	29.7700	10.0	4.7(mb)
8	2023/10/09 05:56:47.73	140.0813	29.6882	-	2023/10/09 05:56:48.38	139.9330	29.8250	10.0	4.9(mb)
9	2023/10/09 06:00:39.90	140.1738	29.7325	4.4(v)	2023/10/09 06:00:41.70	140.0180	29.8130	10.0	5.0(mb)
10	2023/10/09 06:05:33.32	140.1538	29.7428	-	2023/10/09 06:05:33.64	140.0210	29.7580	10.0	5.3(mb)
11	2023/10/09 06:08:58.21	140.3462	29.5405	-	2023/10/09 06:09:16.47	140.1180	29.8240	10.0	4.9(mb)
12	2023/10/09 06:13:40.85	140.0375	29.9177	-	2023/10/09 06:13:28.93	140.0430	29.7890	10.0	5.1(mb)
13	2023/10/09 06:17:24.23	140.2137	29.7058	-	2023/10/09 06:17:29.57	140.0260	29.7870	10.0	5.4(mb)
14	2023/10/09 06:21:13.07	140.3160	29.5797	-	2023/10/09 06:21:42.19	139.9380	29.7820	10.0	4.9(mb)

T相の発生源のマグニチュードが決まっていない理由は、T相が
短時間に連続して波形に現れ、実体波部分が不明瞭なため。

（５）一元化震源との比較

鳥島近海の一元化震源３個についても、T相の発生源を決定し、一元化震源と比較した。



●：T相の発生源
黒線の先：一元化震源の震央

T相の発生源　　一元化震源

	T-phase				ZANTEI				
Event No.	Origin Time	Lon.(°)	Lat.(°)	Mag.	Origin Time	Lon.(°)	Lat.(°)	Dep.(km)	Mag.
1	2023/10/05 10:59:16.36	139.2916	29.8768	-	2023/10/05 10:59:56.99	139.7727	29.7193	17.0	6.5(D)
2	2023/10/06 10:30:39.48	139.3767	30.1033	-	2023/10/06 10:31:29.92	139.4748	29.6720	19.0	6.0(D)
3	2023/10/09 05:13:49.09	140.0423	29.6898	4.8(V)	2023/10/09 05:13:48.49	139.7947	29.5303	1.0	5.2(D)

第 14 図 (b-3)　つづき
Fig. 14(b-3)　　Continued.

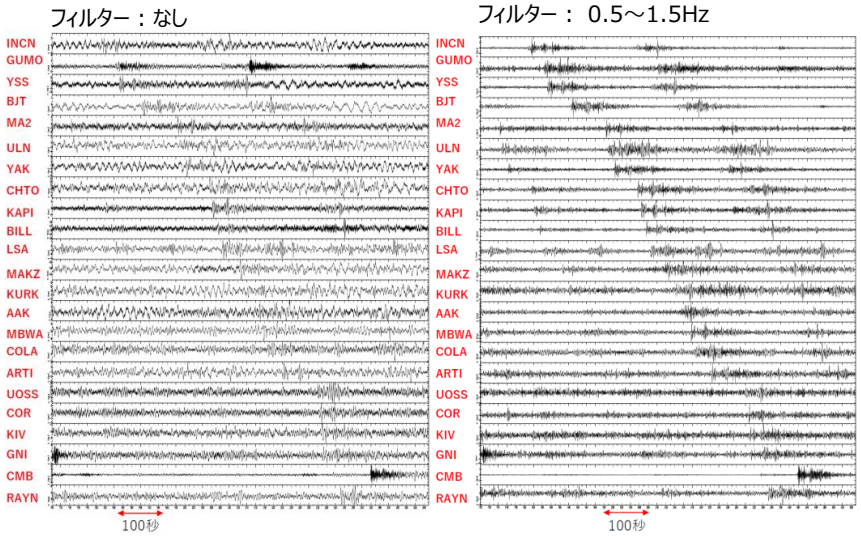
2023年10月 鳥島近海の地震活動（T相の発生源決定）

（６）海外観測点を用いて決定した震源との比較

海外観測点のP相のみを用いて2023年10月9日 06時17分の地震の震源を決定した。
P相の検測にあたっては、0.5～1.5Hzのバンドパスフィルターを通した波形（下図右側の波形）を用いた。

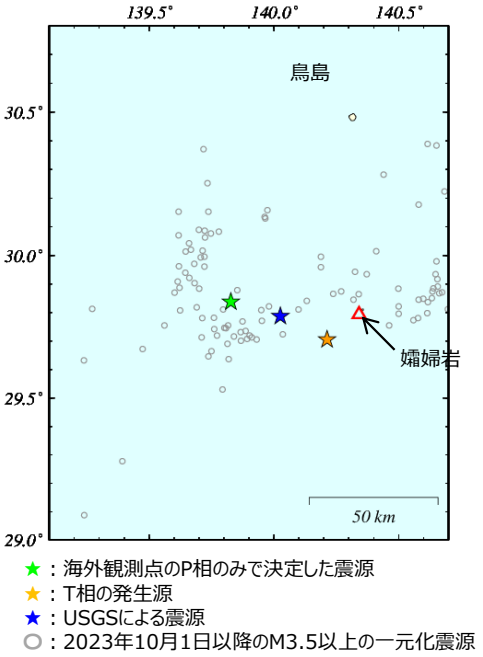
観測点配置図
（中央の星印が震央）

10月9日06時17分の地震（USGS：M5.4）による海外観測点の波形



※目視でシグナルが見える観測点のみ描画

10月9日06時17分の地震の震央比較

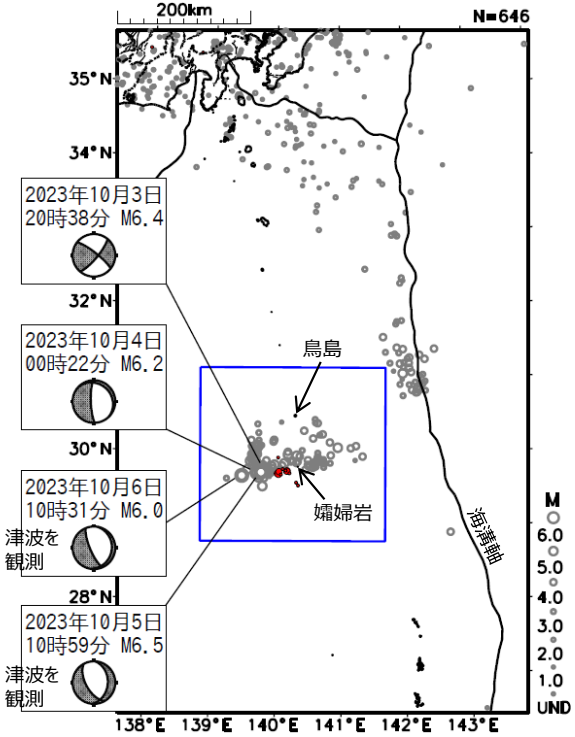


★：海外観測点のP相のみで決定した震源
★：T相の発生源
★：USGSによる震源
○：2023年10月1日以降のM3.5以上の一元化震源

第 14 図 (b-4)　つづき
Fig. 14(b-4)　　Continued.

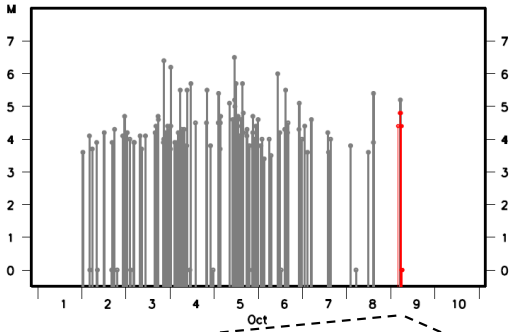
2023年10月 鳥島近海の地震活動（T相の発生源）

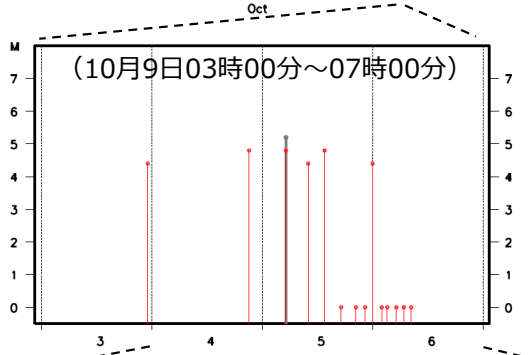
震央分布図
（2023年10月1日～10月10日、
深さ0～100km、M全て）



●：T相の発生源
○：一元化震源
（吹き出しはM6.0以上の地震）

青矩形内のM-T図

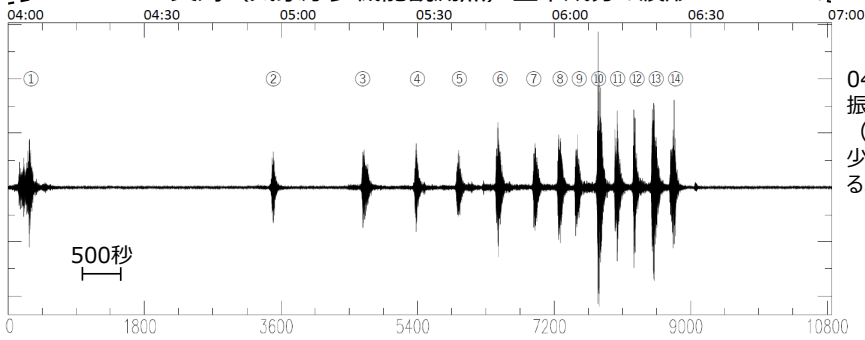




10月9日04時頃から06時台のT相の発生源に対応する地震活動について、マグニチュードが推定できたものの最大はM4.8である。

赤色はT相の発生源のマグニチュード。
マグニチュードが決定できなかったものはマグニチュード0.0で表示。

父島（気象庁多機能観測点）上下成分の波形

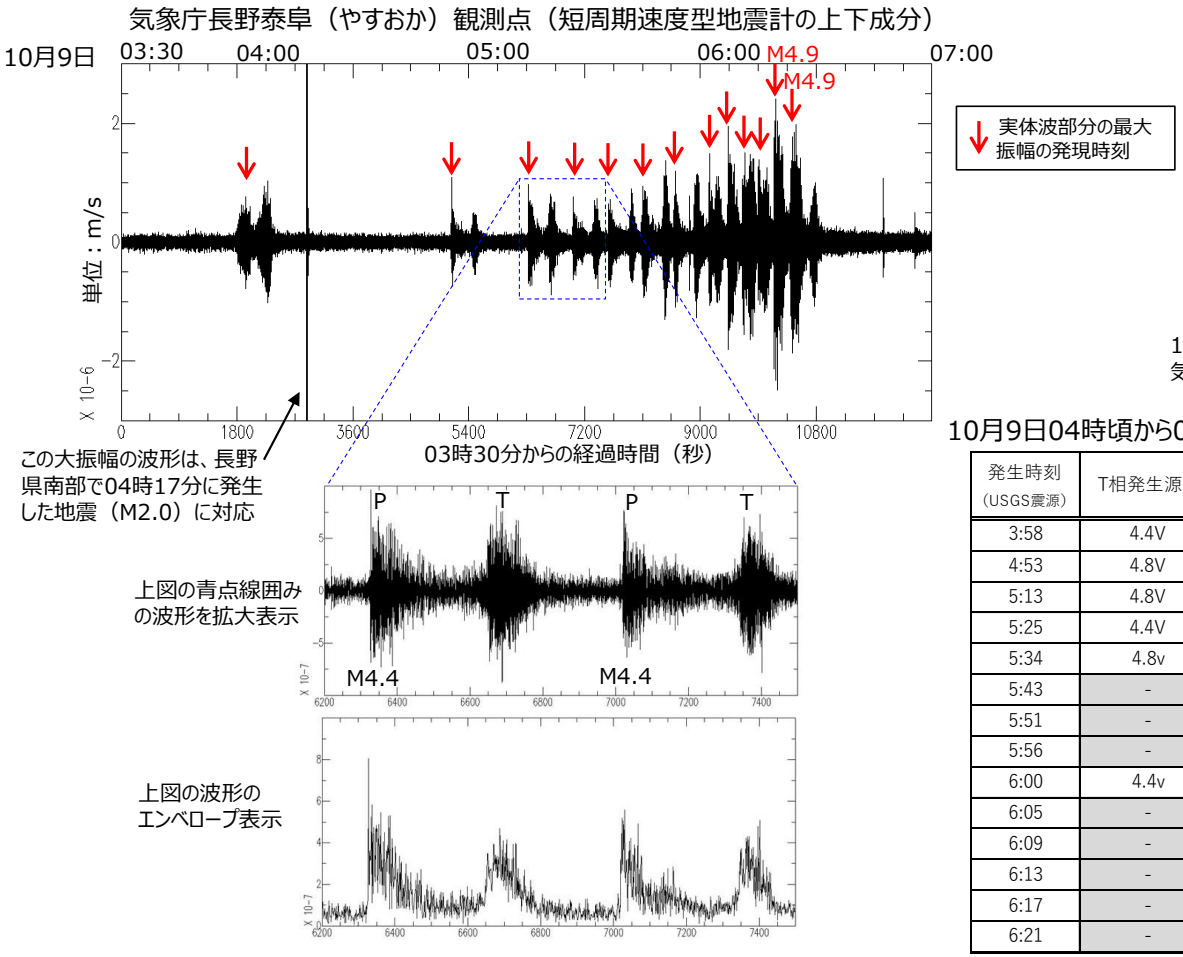


04時頃～06時台に振幅の大きな波形（T相と考えられる）が少なくとも14個みられる。

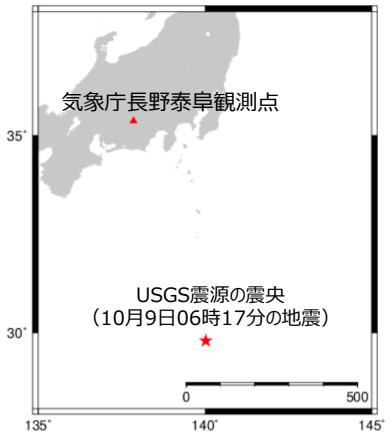
第 14 図 (b-5)　つづき
Fig. 14(b-5)　Continued.

2023年10月 鳥島近海の地震活動（10月9日04時頃から06時台における地震活動の規模の上限の推定）

10月9日04時頃から06時台における地震活動の規模の上限を推定するため、T相の影響をあまりうけない内陸の「長野泰阜観測点」における、この期間における各地震の実体波部分の最大振幅に対応する観測点Mを推定した結果、最大規模の地震はM4.9と推定された。



観測点と震央位置



10月9日06時17分の地震のUSGSによる震源位置を元に、気象庁一元化震源処理と同じ手法で速度Mを計算した

10月9日04時頃から06時台の各地震のマグニチュード比較

発生時刻（USGS震源）	T相発生源M	USGS mb	長野泰阜観測点 速度M
3:58	4.4V	4.3	4.1
4:53	4.8V	4.5	4.4
5:13	4.8V	4.7	4.4
5:25	4.4V	4.9	4.4
5:34	4.8v	4.7	4.4
5:43	-	4.8	4.4
5:51	-	4.7	4.6
5:56	-	4.9	-
6:00	4.4v	5.0	4.6
6:05	-	5.4	4.8
6:09	-	4.9	4.6
6:13	-	5.0	4.6
6:17	-	5.3	4.9
6:21	-	4.9	4.9

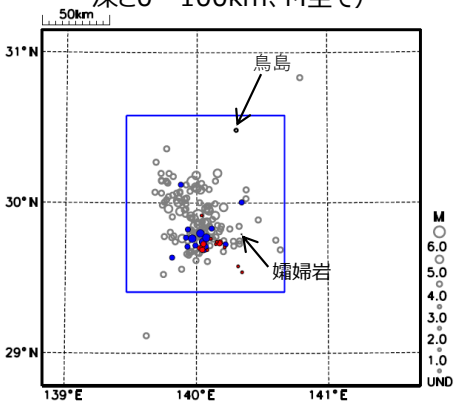
灰色ハッチはM未決定を示す

（USGSの震源データは2023年11月7日時点）

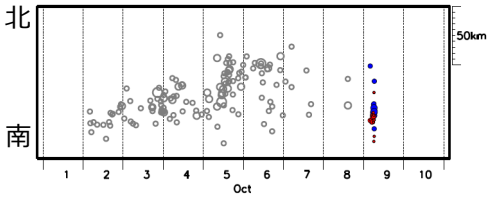
第 14 図 (b-6)　つづき
Fig. 14(b-6)　Continued.

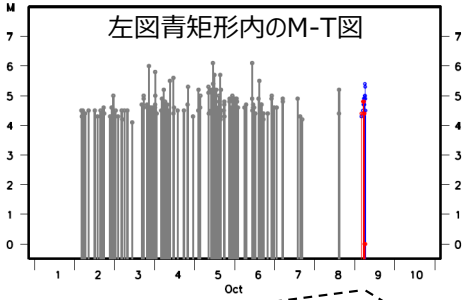
2023年10月 鳥島近海の地震活動（T相の発生源とUSGS震源の比較）

震央分布図
（2023年10月1日～10月10日、
深さ0～100km、M全て）



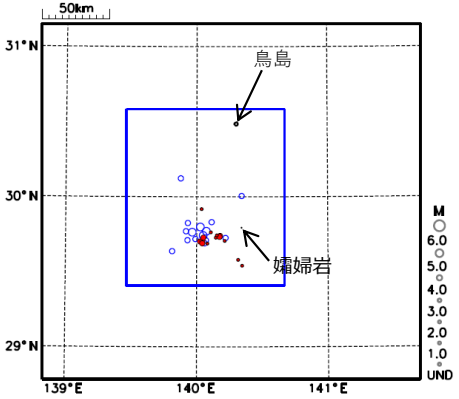
左図青矩形内の時空間分布図（南北投影）



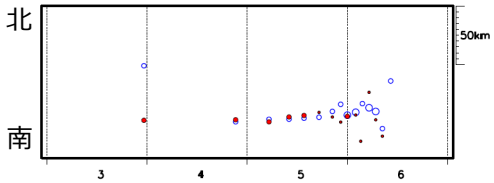


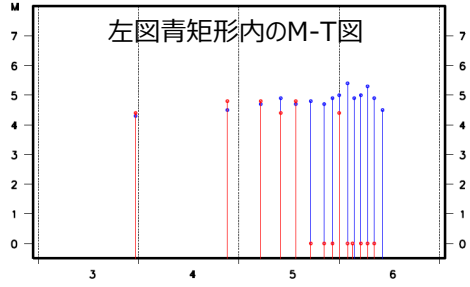
○：USGSによる震源
●：USGSによる震源（10月9日03時00分～07時00分）
●：T相の発生源（10月9日03時00分～07時00分）

震央分布図
（2023年10月9日03時00分～07時00分、
深さ0～100km、M全て）



左図青矩形内の時空間分布図（南北投影）

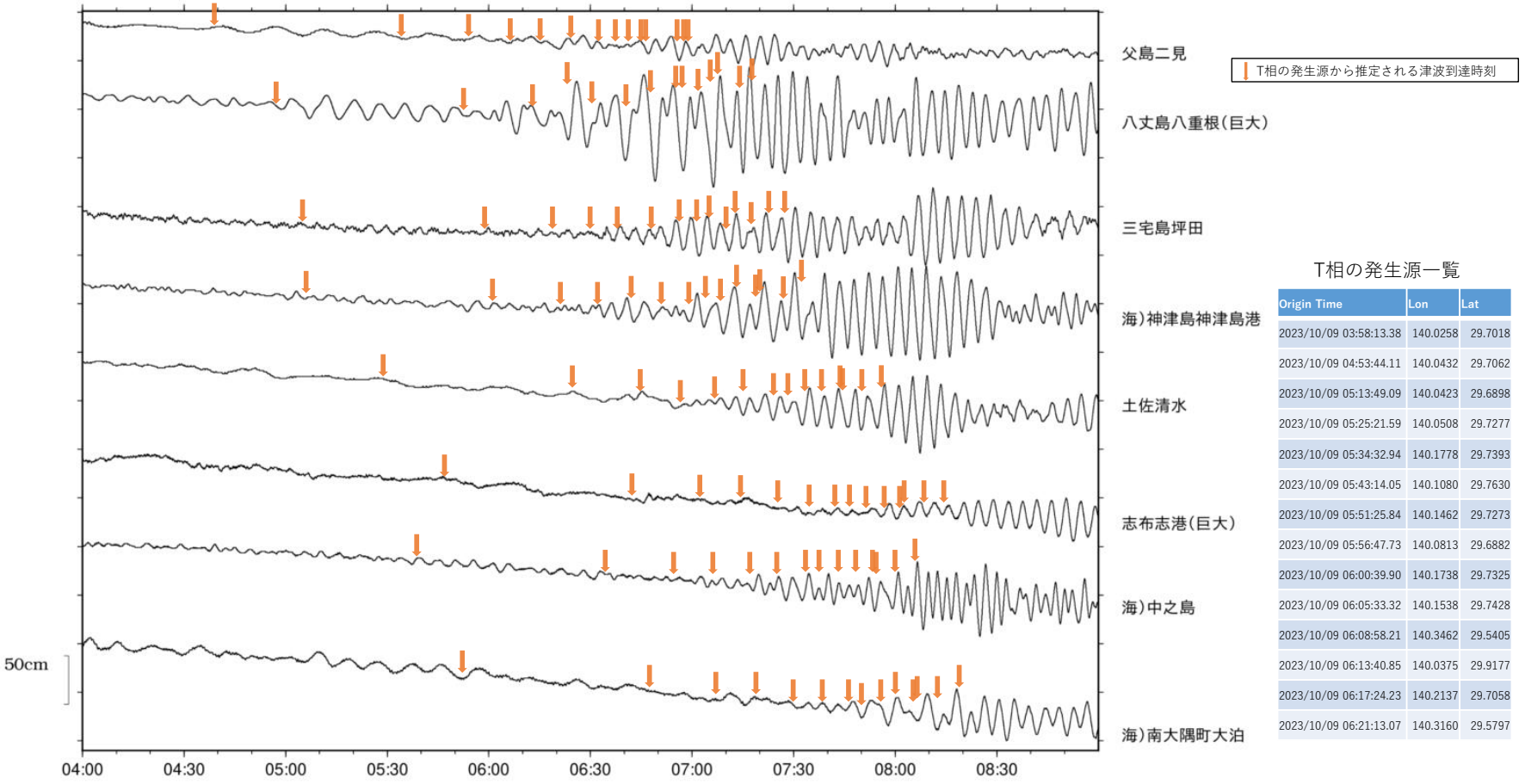




（USGSによる震源データは
2023年11月7日時点）

第 14 図 (b-7)　つづき
Fig. 14(b-7)　Continued.

2023年10月 9 日の検潮記録と、T相の発生源から推定される津波到達時刻



T相の発生源一覧

Origin Time	Lon	Lat
2023/10/09 03:58:13.38	140.0258	29.7018
2023/10/09 04:53:44.11	140.0432	29.7062
2023/10/09 05:13:49.09	140.0423	29.6898
2023/10/09 05:25:21.59	140.0508	29.7277
2023/10/09 05:34:32.94	140.1778	29.7393
2023/10/09 05:43:14.05	140.1080	29.7630
2023/10/09 05:51:25.84	140.1462	29.7273
2023/10/09 05:56:47.73	140.0813	29.6882
2023/10/09 06:00:39.90	140.1738	29.7325
2023/10/09 06:05:33.32	140.1538	29.7428
2023/10/09 06:08:58.21	140.3462	29.5405
2023/10/09 06:13:40.85	140.0375	29.9177
2023/10/09 06:17:24.23	140.2137	29.7058
2023/10/09 06:21:13.07	140.3160	29.5797

第 14 図 (b-8)　つづき
Fig. 14(b-8)　　Continued.

（４）Ｔ相によるものと考えられる震度

2023 年 10 月 9 日 04 時 10 分から 06 時 28 分にかけて宮崎県及び鹿児島県で観測したデータを精査したところ、Ｔ相によるものと考えられる震度（震度２～１）を観測していたことを確認した（表４－１、図４－１）。これらの震度の観測時刻は、鳥島近海で発生した一連の地震活動[注4]により気象庁震度計の父島観測点で観測された顕著なＴ相（図４－２）が、1.5km/s で各震度観測点に到達したと考えると整合する。米国地質調査所（USGS）による震央を囲む、海沿い及び島嶼部の気象庁震度計で観測された加速度波形を見ると、喜界町滝川観測点以外の観測点では、それより小さな振幅のＴ相しか観測されていないことが分かる（図４－３）。

06 時 16 分に震度１を観測した喜界町滝川観測点の波形及びランニングスペクトルを図４－４上に示す。伊豆諸島や小笠原諸島の地震により喜界町滝川観測点では過去にもＴ相を観測したことがある。例えば、10 月５日 10 時 59 分に発生した鳥島近海の地震でもＴ相が観測されているが、喜界町滝川観測点での震度は１未満であった（図４－４下）。10 月９日に観測されたＴ相（図４－４上）は、10 月５日 10 時 59 分に発生した通常の地震で観測されたＴ相（図４－４下）と比較すると、振幅が大きく、高周波成分が含まれており、パルス的で継続時間が短いという点が異なっている。

[注4] 参考情報として米国地質調査所（USGS）で決定された震源を表４－２に示す。

謝辞：観測された震度データの確認のため、宮崎県が設置した震度計の波形データを提供いただいた。また、国立研究開発法人防災科学技術研究所のホームページから K-NET 観測点の波形データをダウンロードし、データの確認を行った。

表４－１　10 月９日に観測されたＴ相によるものと考えられる震度

震度観測点名称	震度	計測震度	観測時刻	対応事象※
宮崎都農町役場＊	1	0.6	4時10分18秒	①
宮崎都農町役場＊	1	0.8	5時03分43秒	②
宮崎都農町役場＊	1	0.7	5時52分56秒	⑥
宮崎都農町役場＊	1	0.5	6時01分09秒	⑦
宮崎都農町役場＊	1	0.5	6時06分34秒	⑧
宮崎都農町役場＊	1	1.1	6時10分23秒	⑨
川南町川南＊	1	0.6	6時10分24秒	
宮崎都農町役場＊	2	1.7	6時15分14秒	⑩
川南町川南＊	1	1.2	6時15分15秒	
木城町高城＊	1	0.5	6時15分19秒	
喜界町滝川	1	1.1	6時16分49秒	
宮崎都農町役場＊	1	1.0	6時18分59秒	⑪
宮崎都農町役場＊	1	1.1	6時23分10秒	⑫
宮崎都農町役場＊	2	1.7	6時27分10秒	⑬
川南町川南＊	1	0.9	6時27分11秒	
喜界町滝川	1	0.9	6時28分45秒	

＊印は気象庁以外の震度観測点である。
※図４－２参照

第 14 図 (b-9)　つづき
Fig. 14(b-9)　Continued.

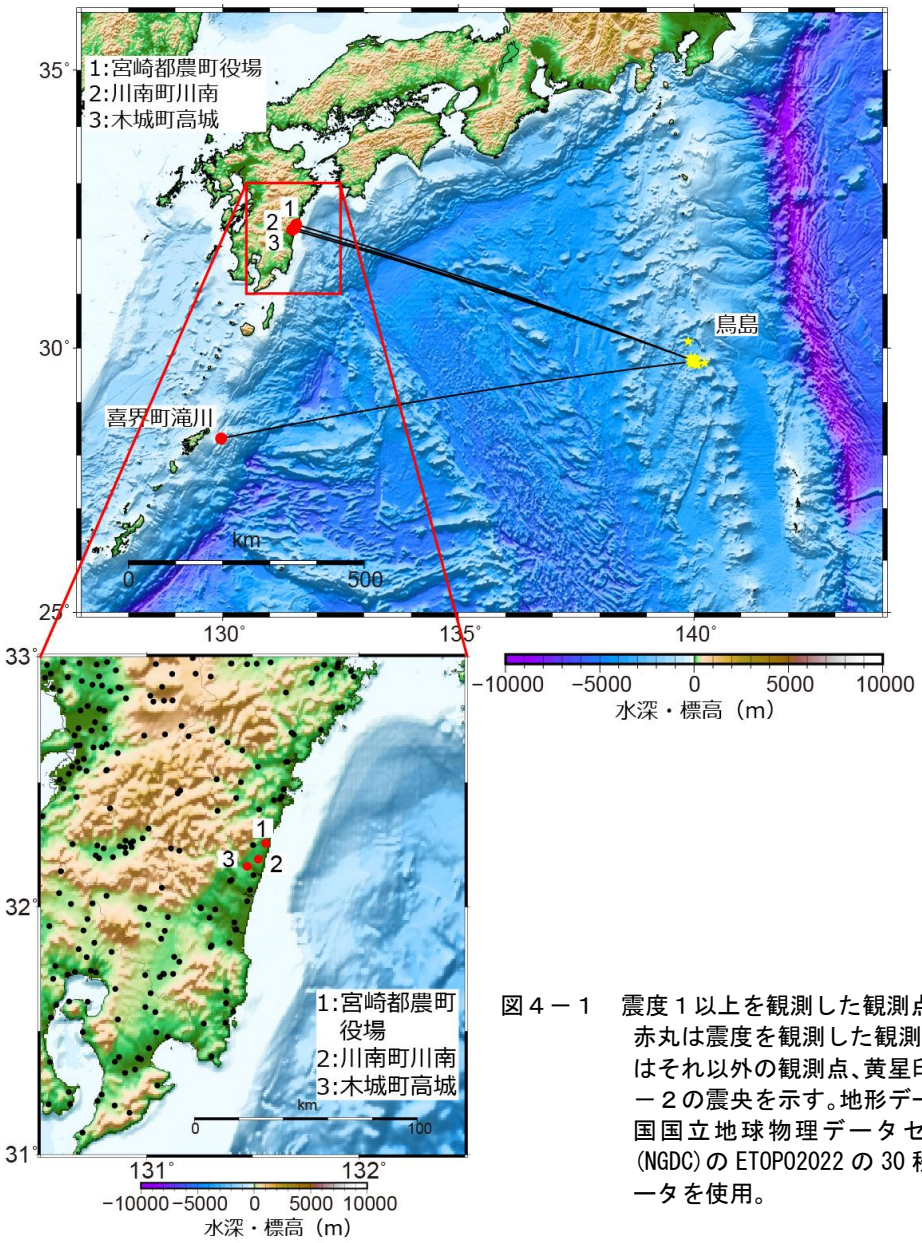


図４－１　震度１以上を観測した観測点の位置
赤丸は震度を観測した観測点、黒点はそれ以外の観測点、黄星印は表４－２の震央を示す。地形データは米国国立地球物理データセンター(NGDC)の ETOPO2022 の 30 秒毎のデータを使用。

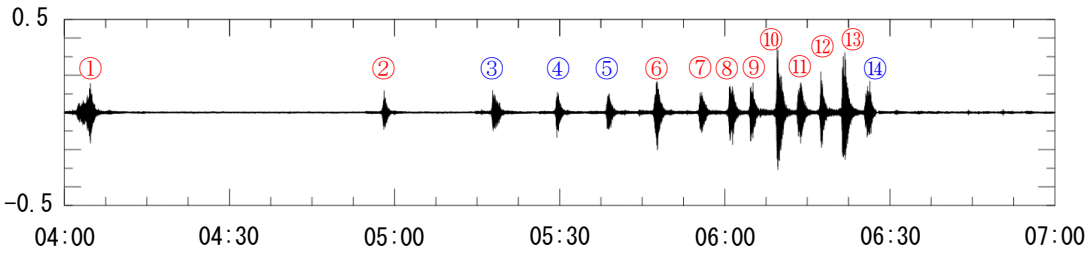
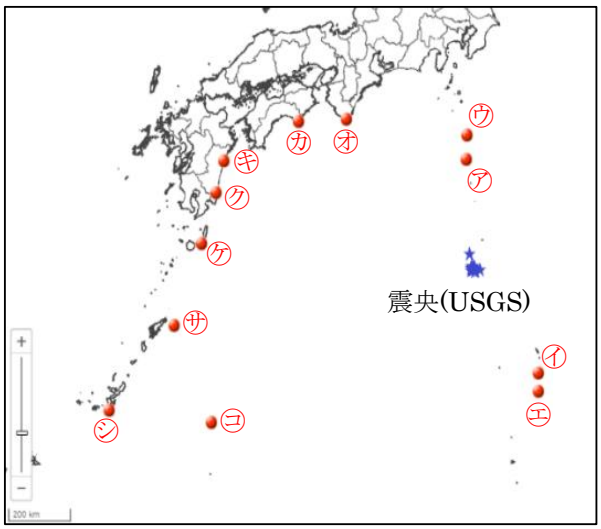


図４－２　2023/10/09 04:00～07:00 に父島観測点で観測されたＴ相
気象庁震度計（多機能型地震観測点）の上下動成分。縦軸は加速度(gal)、横軸は時刻を示す。また、赤色の丸数字は震度１以上を観測した地震に対応したＴ相を示す。

第 14 図 (b-10)　つづき
Fig. 14(b-10)　Continued.



㋐ 青ヶ島村
㋑ 小笠原村父島三日月山
㋒ 八丈町樫立
㋓ 小笠原村母島
㋔ 串本町潮岬
㋕ 室戸市吉良川町
㋖ 日向市大王谷運動公園
㋗ 日南市北郷町大藤
㋘ 南種子町中之下
㋙ 南大東村池之沢
㋚ 喜界町滝川
㋛ 南城市玉城字玉城

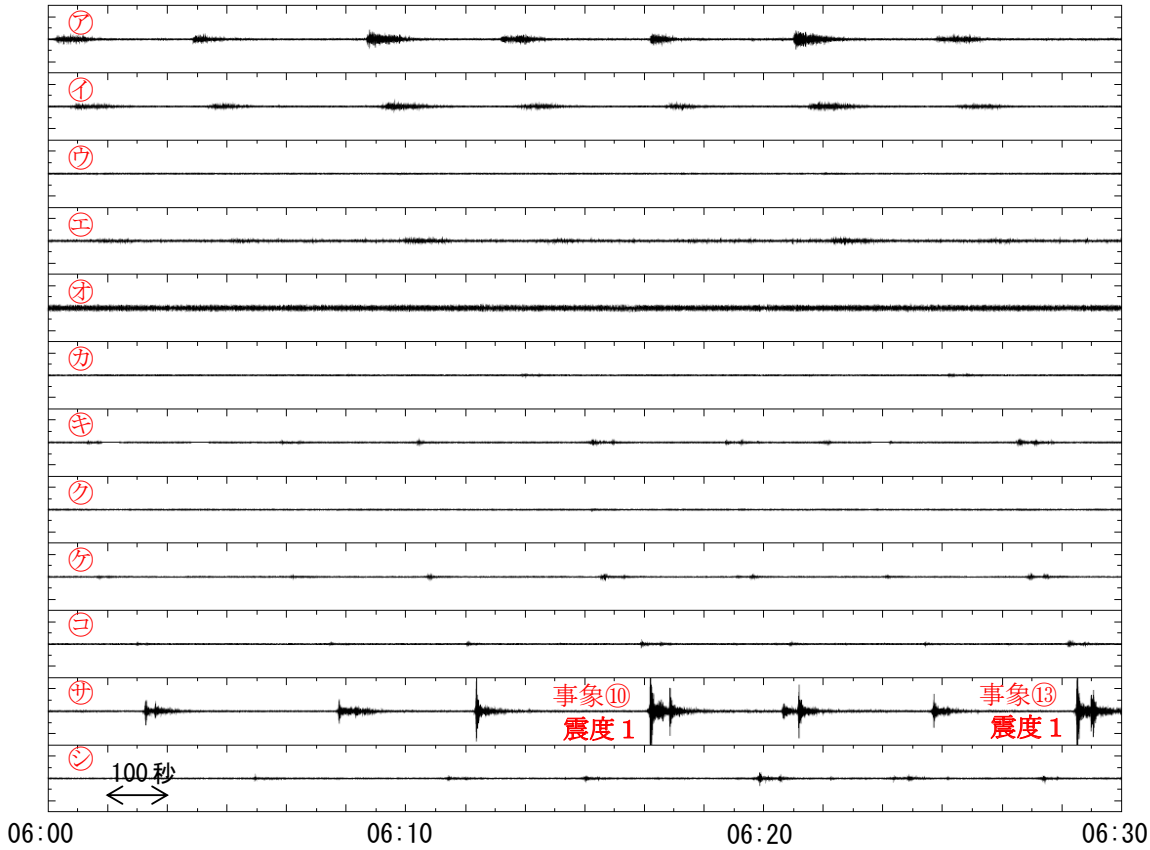


図４－３　気象庁震度計（多機能型地震地震計）の観測点の配置図（上）と 2023/10/9 06:00～06:30 に各地で観測されたＴ相（上下動成分、縦軸のスケールはすべての記録で±３gal）（下）
上図の赤丸（㋐～㋛）は観測点の位置、青星印は USGS で決定された震央（表４－２）の位置を示す。

第 14 図 (b-11)　つづき
Fig. 14(b-11)　Continued.

表４－２　2023/10/9 03:58～06:21 頃にかけて鳥島近海で発生した地震の震源（USGS）
※参考情報（2023/11/6 時点）

番号	地震発生時刻	緯度(° N)	経度(° E)	深さ(km)	mb
①	2023/10/9 3:58:10	30.122	139.878	10.0	4.3
②	2023/10/9 4:53:46	29.690	140.061	10.0	4.5
③	2023/10/9 5:13:51	29.710	140.070	10.0	4.7
④	2023/10/9 5:25:22	29.711	139.930	10.0	4.9
⑤	2023/10/9 5:34:32	29.718	139.990	10.0	4.7
⑥	2023/10/9 5:43:09	29.726	140.220	10.0	4.8
⑦	2023/10/9 5:51:25	29.770	139.919	10.0	4.7
⑧	2023/10/9 5:56:48	29.825	139.933	10.0	4.9
⑨	2023/10/9 6:00:41	29.813	140.018	10.0	5.0
⑩	2023/10/9 6:05:32	29.764	139.966	10.0	5.4
⑪	2023/10/9 6:09:16	29.831	140.114	10.0	4.9
⑫	2023/10/9 6:13:27	29.799	140.028	10.0	5.0
⑬	2023/10/9 6:17:28	29.770	140.074	10.0	5.3
⑭	2023/10/9 6:21:41	29.637	139.813	10.0	4.9

・震源要素は米国地質調査所(USGS)ホームページの“Search Earthquake Catalog”
(https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/)による。
・地震発生時刻は日本時間［日本時間＝協定世界時＋９時間］である。
・赤色の丸数字は震度１以上を観測した地震を示す。

第 14 図 (b-12)　つづき
Fig. 14(b-12)　Continued.

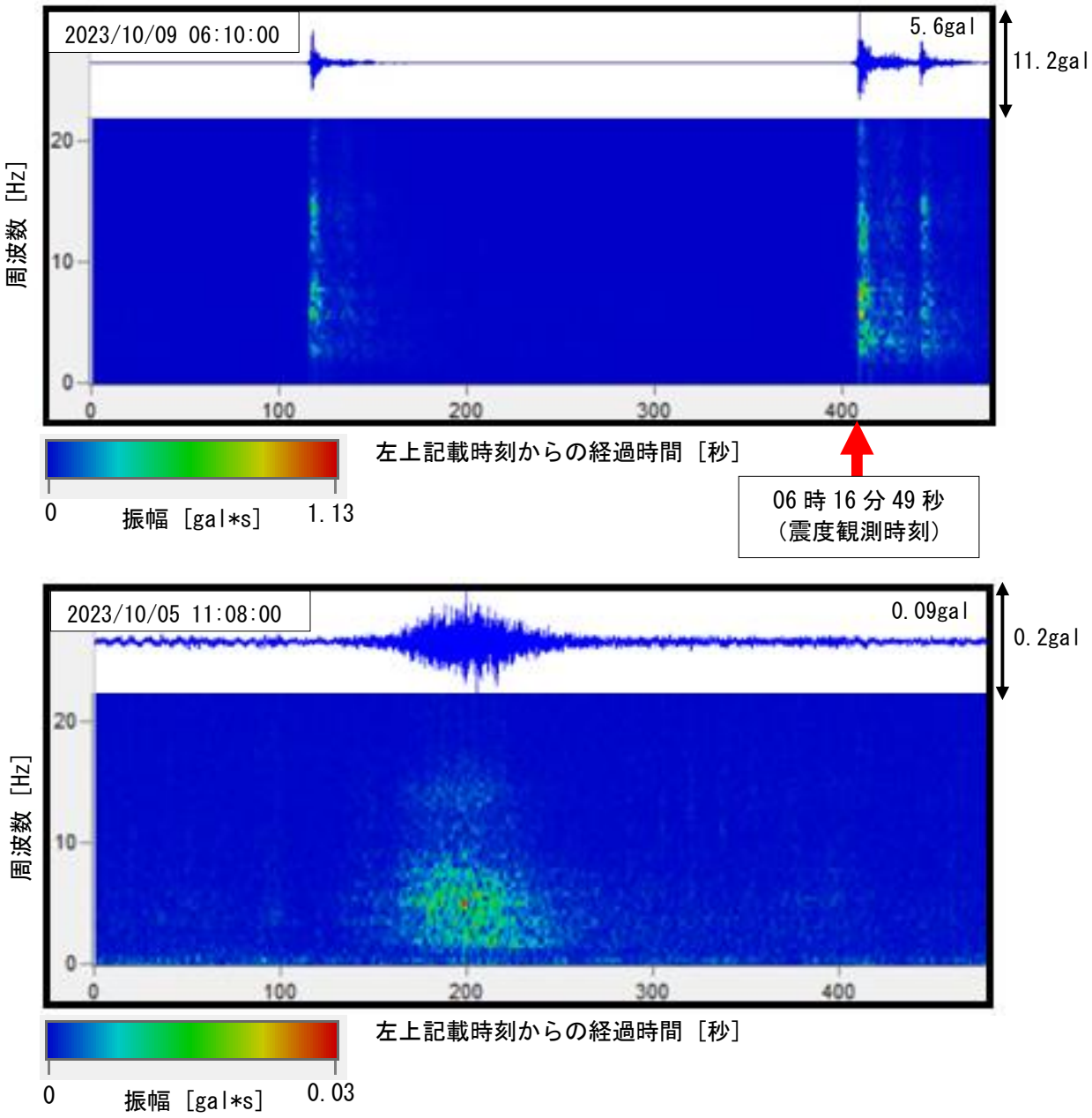


図４－４　喜界町滝川観測点で観測されたＴ相の波形（上段）及びランニングスペクトル（下段）

上図は 2023 年 10 月９日 06 時 10 分 00 秒から８分間の波形及びランニングスペクトル、下図は 2023 年 10 月５日 11 時 08 分 00 秒から８分間の波形及びランニングスペクトルを示す。気象庁震度計（多機能型地震計）の加速度の上下動成分を用いている。ランニングスペクトルのウィンドウ幅は約 2.5 秒で、0.5 秒ずつずらして解析している。

波形及びランニングスペクトルの描画は、（国研）防災科学技術研究所の SMDA2 を使用した。

第 14 図 (b-13)　つづき
Fig. 14(b-13)　Continued.

４－２　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

［千葉県南部の地震（5 月 11 日）M5.2　GNSS］

第 1 図は，2023 年 5 月 11 日に発生した千葉県南部の地震の地殻変動に関する資料である．第 1 図上段に示す震央周辺の 2 観測点の基線について，第 1 図下段に 3 成分時系列グラフを示している．この地震に伴う顕著な地殻変動は見られない．

［新島・神津島近海の地震（5 月 22 日）M5.3　GNSS］

第 2 図は, 2023 年 5 月 22 日に発生した新島･神津島近海の地震の地殻変動に関する資料である．第 2 図上段は GNSS 連続観測結果による水平変動ベクトル図で, 固定局は静岡清水町観測点（静岡県）である．第 2 図下段に震央周辺の 2 観測点の 3 成分時系列グラフを示している．この地震に伴いわずかな地殻変動が観測された．

［千葉県東方沖の地震（5 月 26 日）M6.2　GNSS］

第 3 図は，2023 年 5 月 26 日に発生した千葉県東方沖の地震の地殻変動に関する資料である．第 3 図上段は GNSS 連続観測結果による水平変動ベクトル図で，固定局は白鳥観測点（岐阜県）である．一次トレンド，年周・半年周成分を除去している．第 3 図下段にベクトル図中の 2 観測点の 3 成分時系列グラフを示している．この地震に伴い, ごくわずかな地殻変動が観測された．

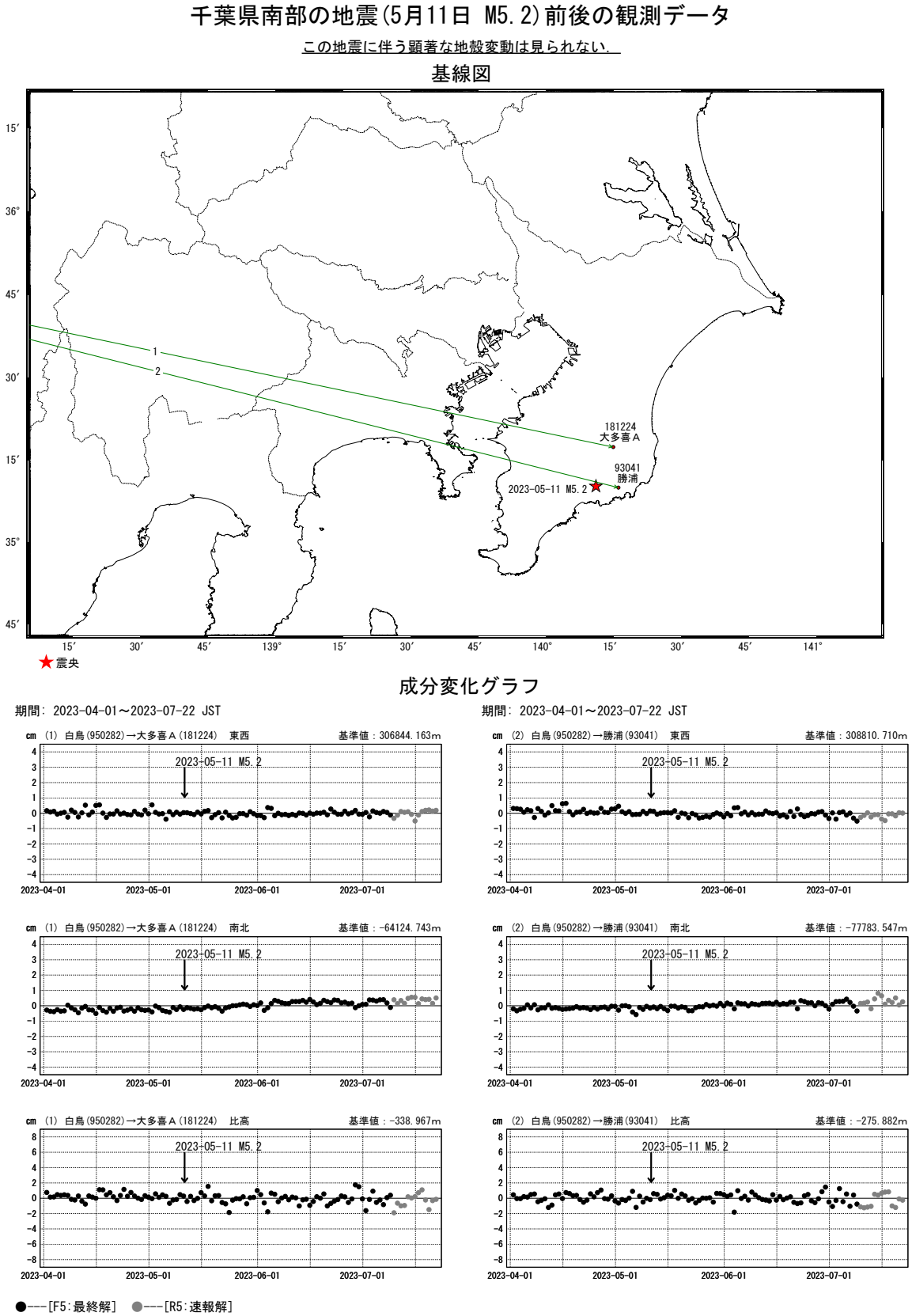
[関東周辺　GNSS 連続観測時系列]

第 4 ～ 6 図は，房総半島から三浦半島にかけての地域の GNSS 連続観測時系列である．第 4 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 5 ～ 6 図は，房総半島から三浦半島にかけての 4 観測点について，岐阜県の白鳥観測点を固定局として，2019 年 1 月～ 2021 年 1 月の期間で推定された一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．左列は 2015 年 1 月以降の約 8 年間の長期，右列が最近約 2 年間の短期の時系列グラフである．

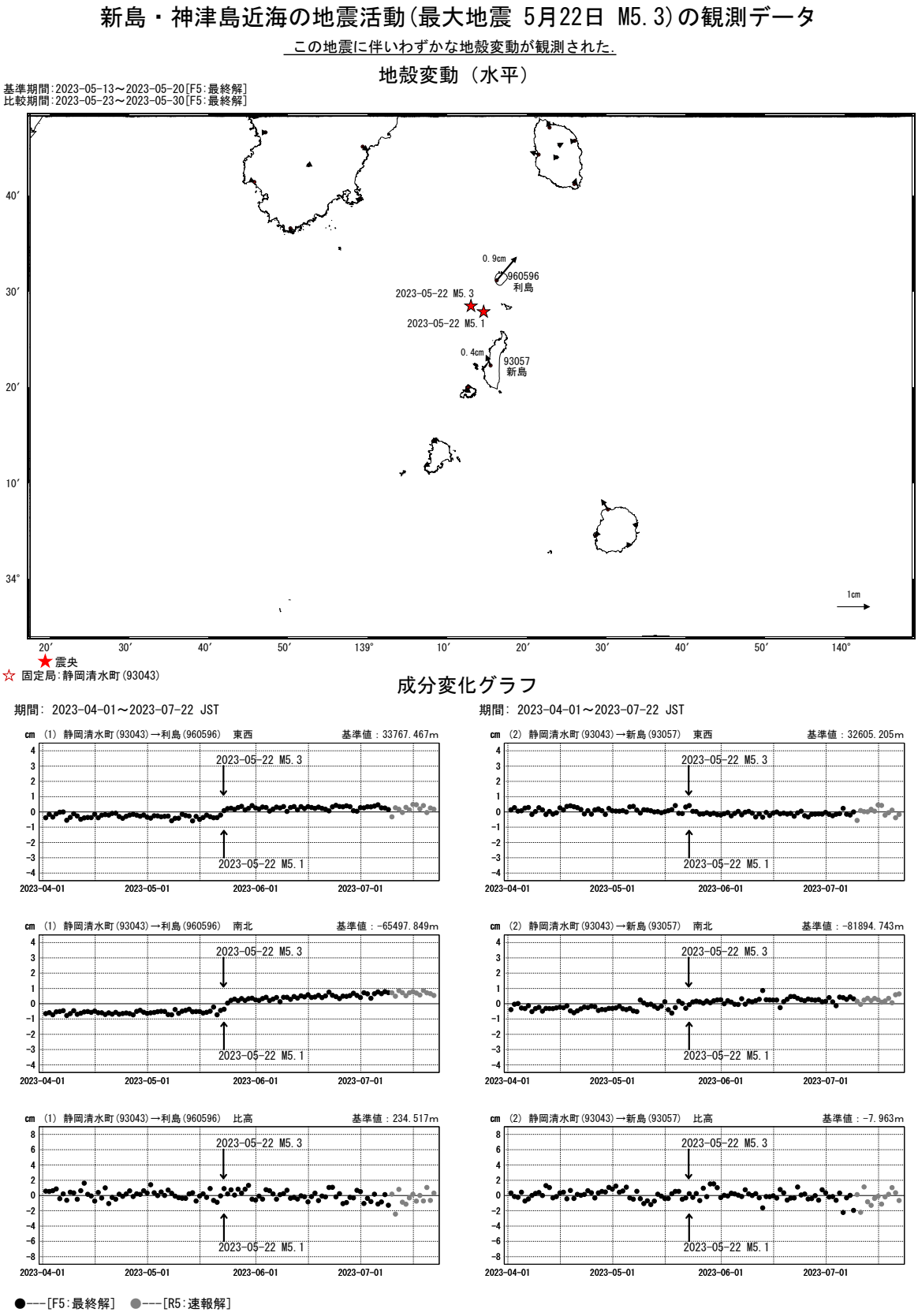
第 5 図の (1) 白鳥－銚子基線と (2) 白鳥－千葉大原基線では，2018 年 6 月に房総半島沖で発生したスロースリップイベントに伴う地殻変動が見られる．(1) 白鳥－銚子基線では 2023 年 5 月 26 日に発生した千葉県東方沖の地震に伴う地殻変動も見られる．

第 6 図の (3) 白鳥－丸山基線では，特段の変動は見られない．(4) 白鳥－三浦 2 基線では，2023 年 7 月頃から三浦 2 観測点周辺の樹木の生長に伴う見かけ上の変動が見られる．



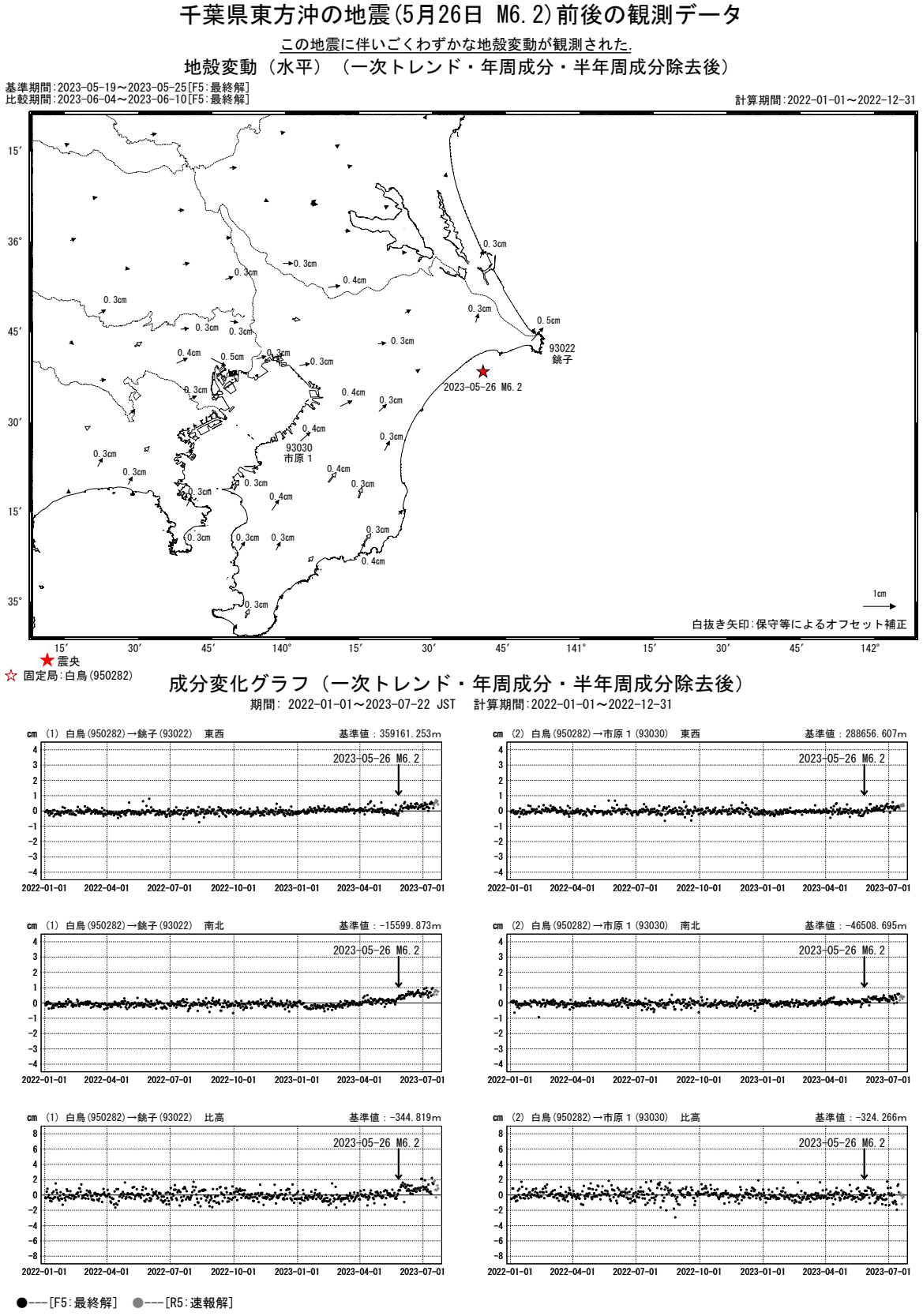
第 1 図　千葉県南部の地震（2023 年 5 月 11 日，M5.2）前後の観測データ：（上図）基線図，（下図）３成分時系列グラフ

Fig. 1　Results of continuous GNSS measurements before and after the M5.2 earthquake in the southern Chiba Prefecture on May 11, 2023: baseline map (upper) and 3 components time series (lower) .



第 2 図　新島・神津島近海の地震（2023 年 5 月 22 日，M5.3）に伴う地殻変動：（上図）水平変動，（下図）３成分時系列グラフ

Fig. 2　Crustal deformation associated with the M5.3 earthquake around the Niijima, Kozushima on May 22, 2023: horizontal displacement (upper) and 3 components time series (lower).

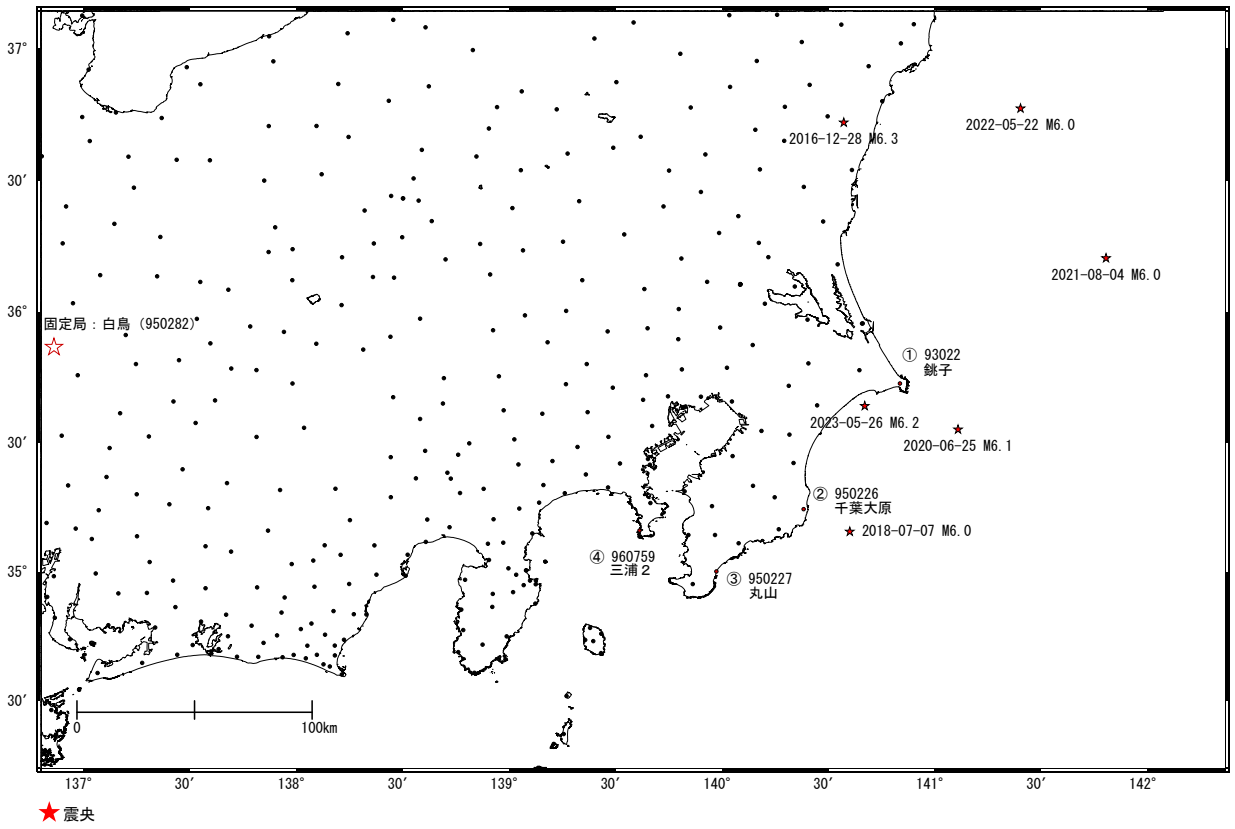


第 3 図　千葉県東方沖の地震（2023 年 5 月 26 日，M6.2）に伴う地殻変動：（上図）水平変動，（下図）３成分時系列グラフ

Fig. 3　Crustal deformation associated with the M6.2 earthquake off the east coast of Chiba Prefecture on May 26, 2023: horizontal displacement (upper) and 3 components time series (lower).

関東周辺　ＧＮＳＳ連続観測時系列（1）

配点図

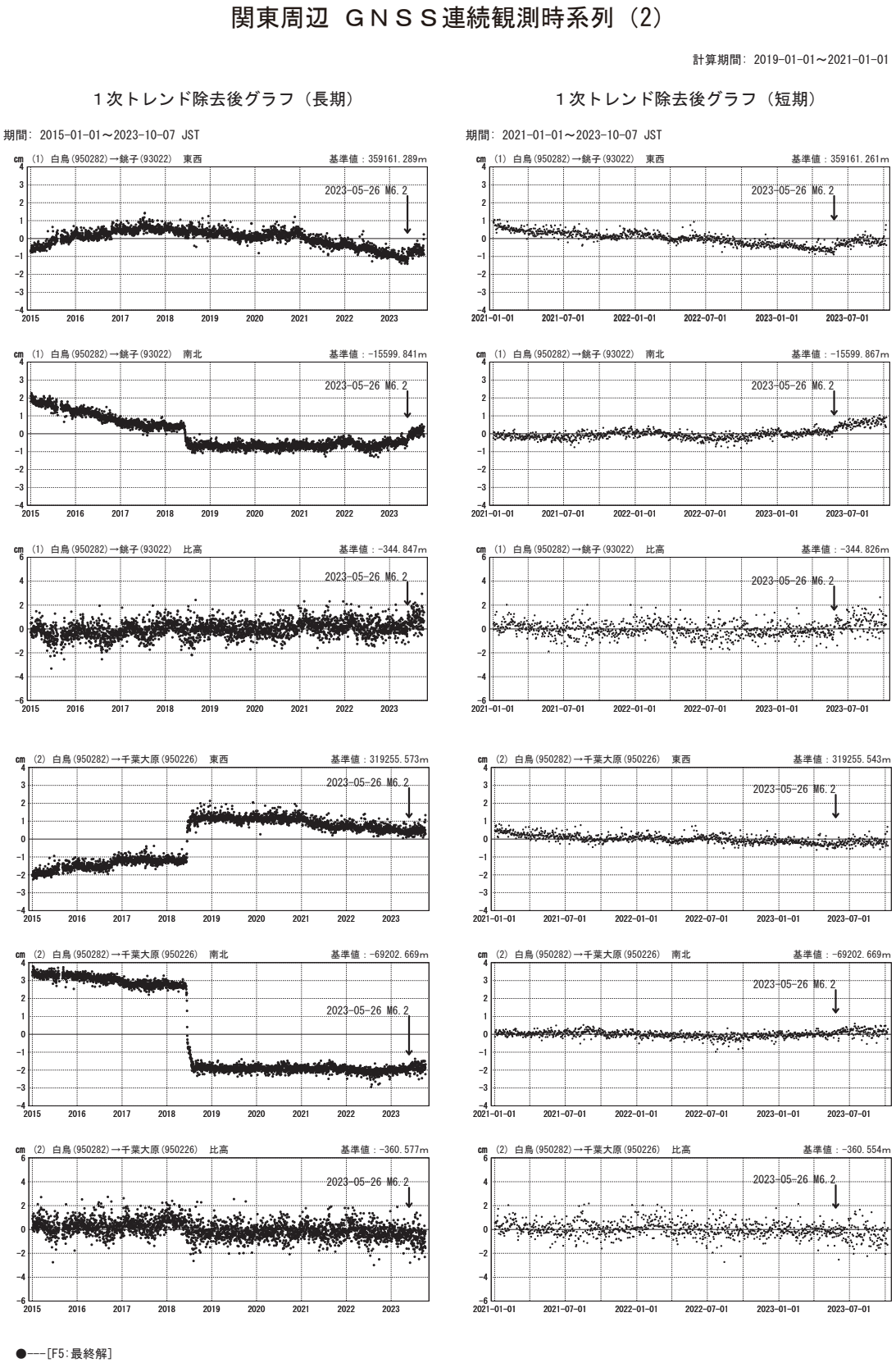


各観測局情報

点番号	点　名	日　付	保守内容
93022	銚子	2020-01-30	受信機更新
950226	千葉大原	2020-01-29	受信機更新
950227	丸山	2018-08-06	受信機交換
		2019-01-28	受信機更新
960759	三浦２	2017-01-24	アンテナ交換
		2020-02-06	受信機更新
		2020-06-08	周辺伐採
		2022-06-29	受信機交換
950282	白鳥	2019-10-09	受信機更新

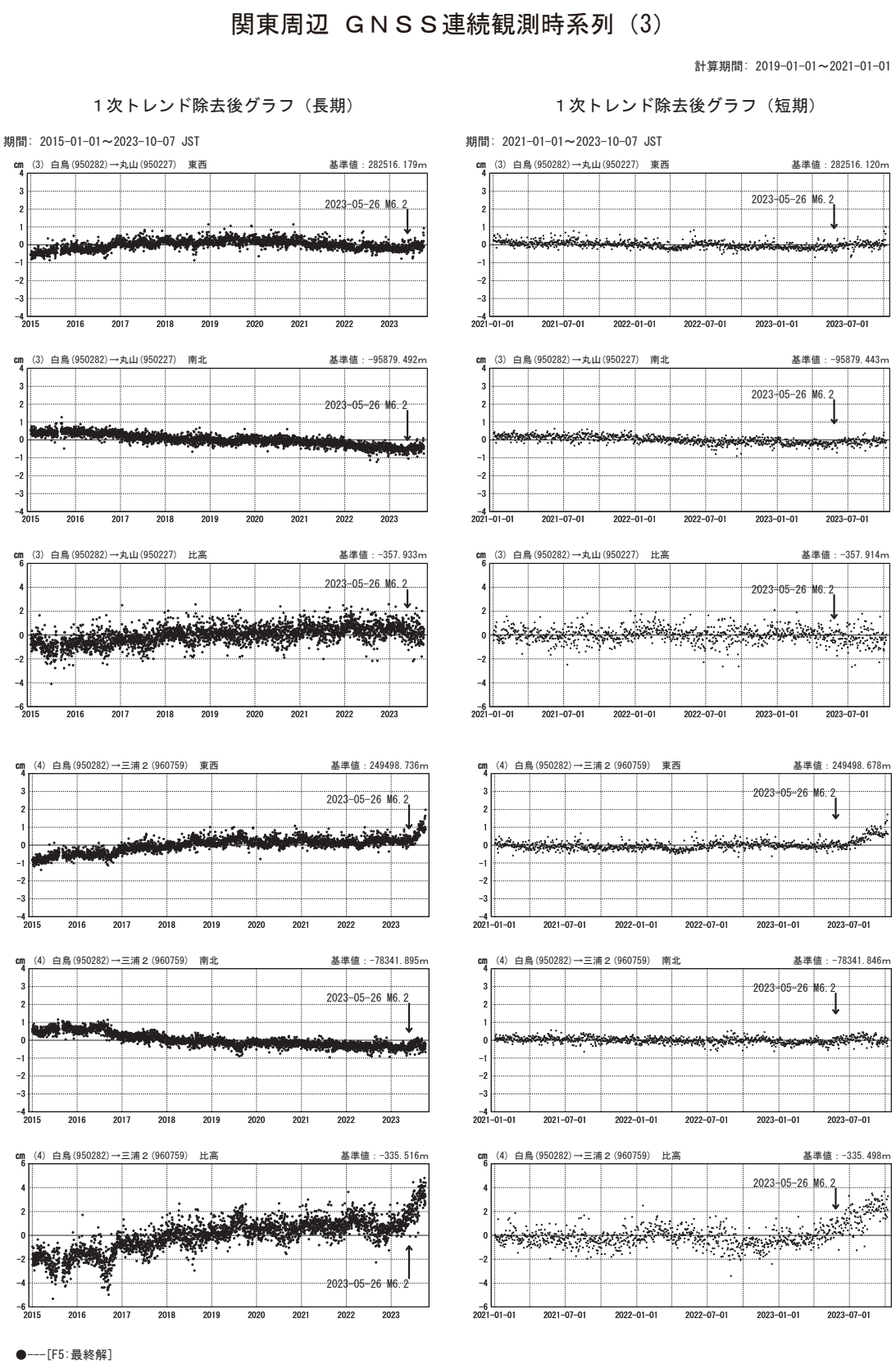
第 4 図　関東周辺における GNSS 連続観測結果（観測点配置図・保守状況）

Fig. 4　Time series of continuous GNSS measurements along the Kanto (site location map and history of the site maintenance).



第 5 図　関東周辺における 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：白鳥）

Fig. 5　Time series of continuous GNSS measurements along the Kanto with reference to the Shiratori station (detrended time series with seasonal terms removed) (1/2).



第 6 図　関東周辺における 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：白鳥）

Fig. 6　Time series of continuous GNSS measurements along the Kanto with reference to the Shiratori station (detrended time series with seasonal terms removed) (2/2).

４－３　神奈川県西部地域の地下水位観測結果（2023 年 5 月～ 2023 年 10 月）
Temporal Variation in the Groundwater Level in the western part of Kanagawa Prefecture, Japan (May 2023 – October 2023)

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．2023 年 5 月～ 2023 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．

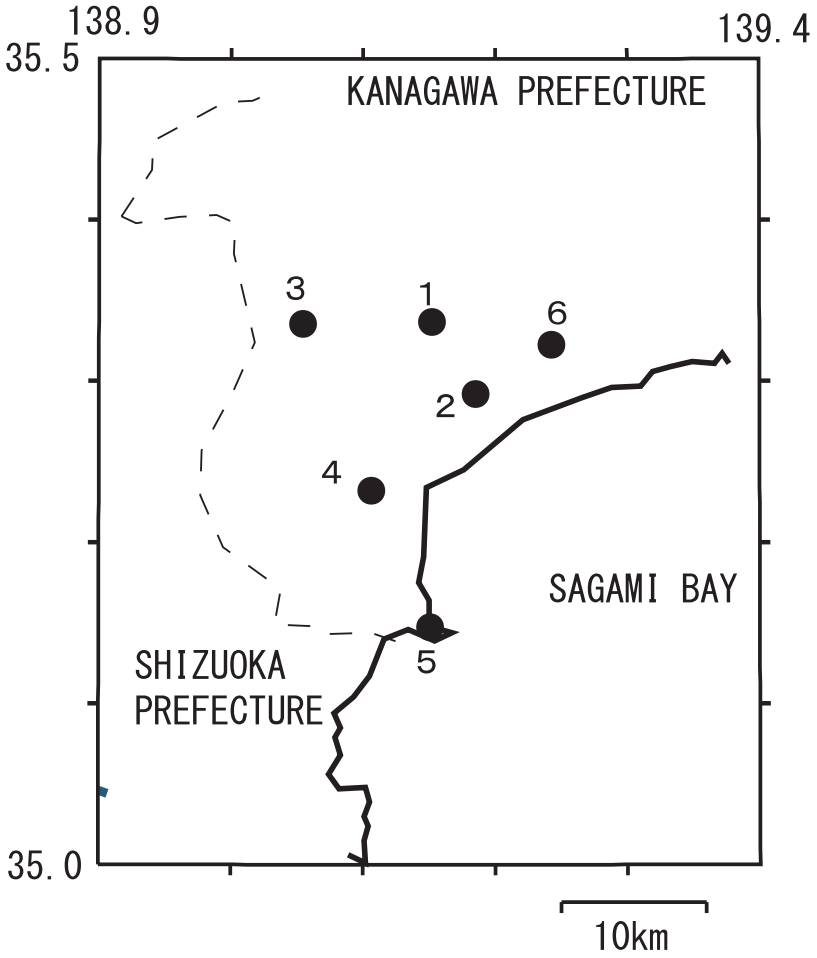
3. 結果

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，2023 年 5 月～ 2023 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 3 個である．同期間では，5 月 5 日の能登半島沖の地震（M6.5, 第 3 表），5 月 11 日の千葉県南部の地震（M5.2, 第 2 表）と，5 月 26 日の千葉県東方沖の地震（M6.2, 第 2 表）の際に，大井観測点においてそれぞれ 6 ㎝程度，2 ㎝程度，1 ㎝程度のコサイスミックと見られる水位の上昇が観測された．

（板寺一洋・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.



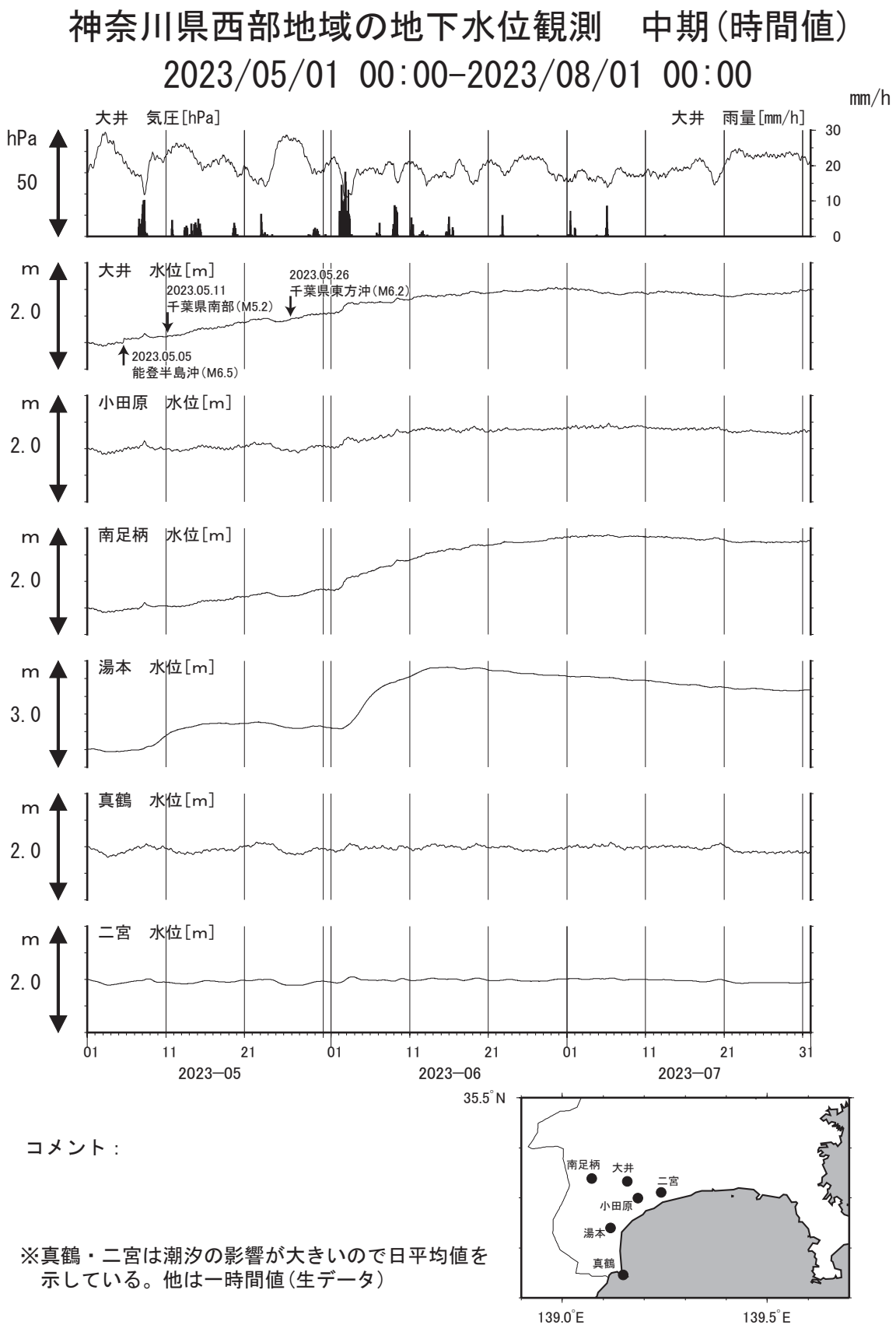
第 1 図　神奈川県温泉地学研究所の地下水観測点の分布（●）．１：大井，２：小田原，３：南足柄，４：湯本，５：真鶴，６：二宮の各観測点．

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)]

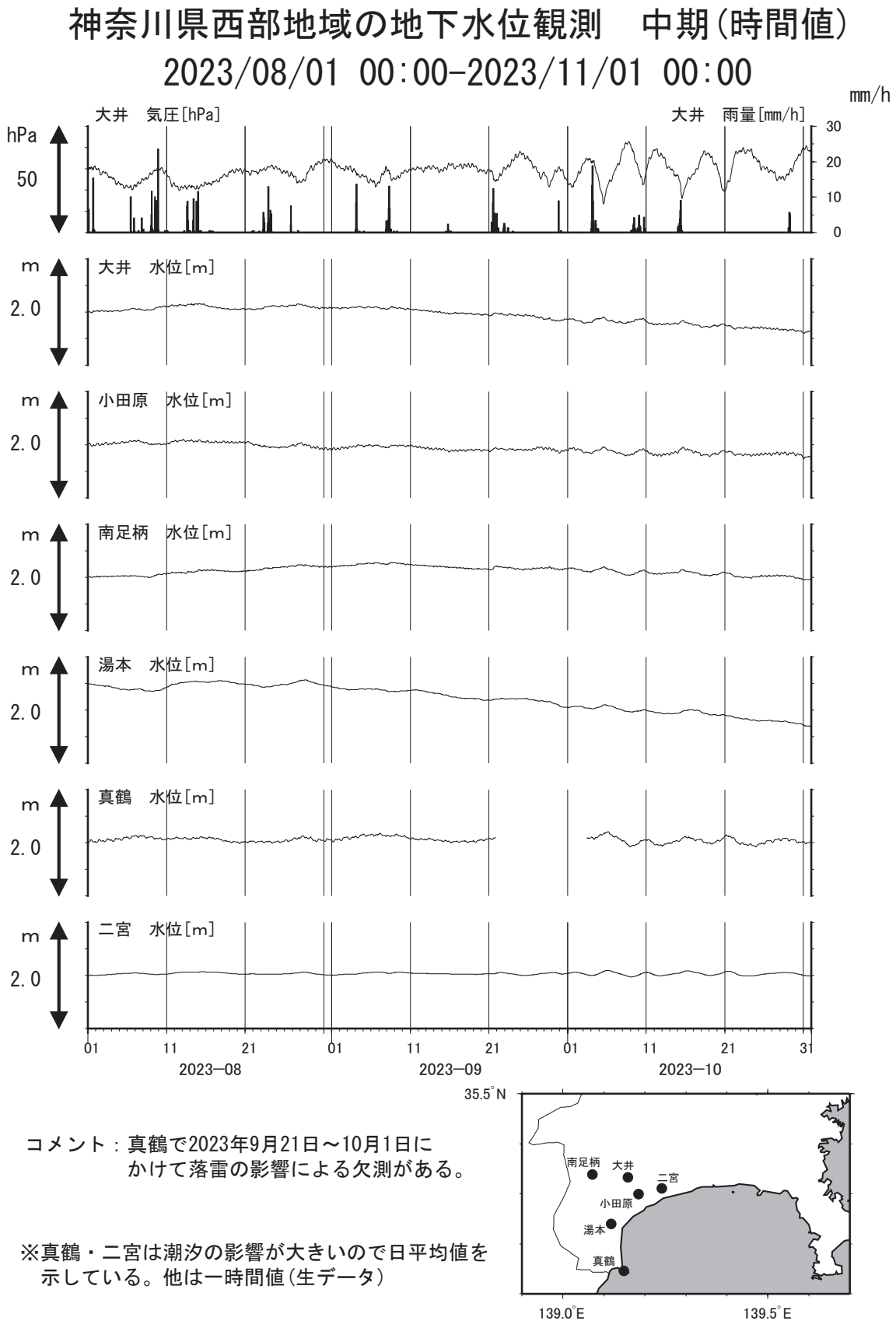
Table 1　List of the groundwater observation stations. [1)]

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



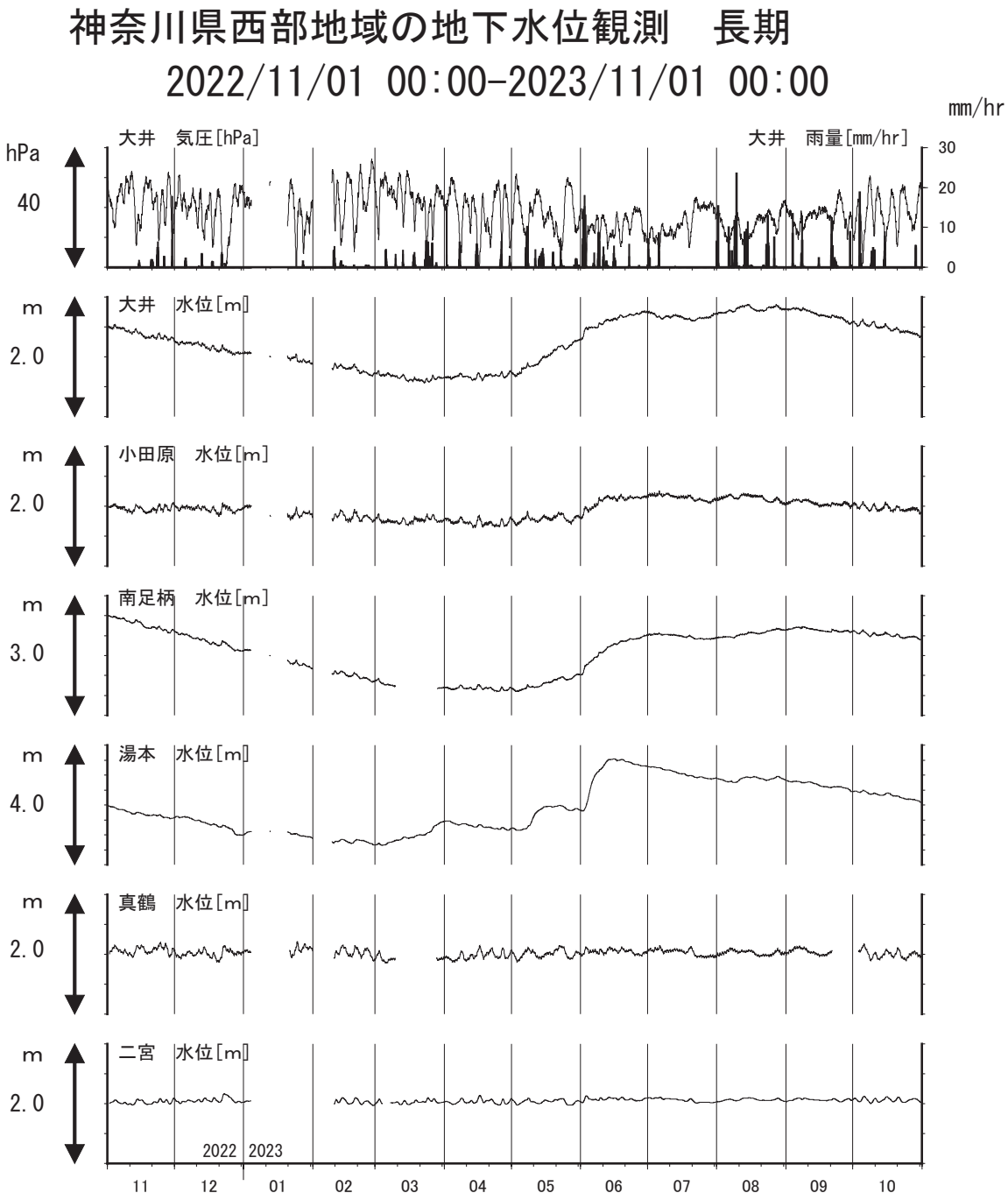
第 2 図　2023 年 5 月 - 2023 年 7 月の観測結果.

Fig. 2　Observation results from May 2023 to July 2023.



第 3 図　2023 年 8 月 - 2023 年 10 月の観測結果.

Fig. 3　Observation results from August 2023 to October 2023.



コメント：収録サーバーの不具合により、2023年1月～3月にかけてデータが表示されていない期間がある。また、真鶴で2023年9月21日～10月1日にかけて落雷の影響による欠測がある。

※真鶴・二宮以外は毎正時の瞬時値を示している。

第 4 図　2022 年 11 月 - 2023 年 10 月の観測結果.

Fig. 4　Observation results from November 2022 to October 2023.

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	2023/5/11 4:16	Chiba-ken Nanbu	5.2	40	1-2
2	2023/5/26 19:03	Chiba-ken Toho-oki	6.2	50	1-3
3	2023/9/5 13:27	Chiba-ken Hokutobu	4.6	72	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	2023/5/5 14:42	Noto-Hanto Oki	6.5	12	-

*1: Magnitude.

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

４－４　2023 年 10 月 9 日鳥島近海の地震の F-net 観測波形
Observed F-net seismograms of earthquakes in the near Torishima region on October 9, 2023

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

鳥島近海付近を震源とし，日本列島の広域に伝播する地震波が，2023 年 10 月 9 日 4 時～ 6 時台に観測された（第 1 図，第 2 図）．この活動に際し，津波も観測されている [1)]．防災科研広帯域地震観測網（F-net）の広帯域地震計による上下動成分について，2 ～ 6 Hz の周波数帯域でバンドパスフィルターを適用した波形記録のエンベロープ波形（黒線．以下エンベロープ波形）および，0.02 ～ 0.05 Hz の周波数帯域でバンドパスフィルターを適用した波形（赤線．以下，長周期波形）のトレースを図に示した．また比較のため，鳥島近海で発生した先行する地震として，2023 年 10 月 4 日 0:22 頃に発生した M_w5.7 の地震（第 1 図），および 2023 年 10 月 5 日 10:59 頃に発生した M_w 6.0 の地震（第 1，2 図），2023 年 10 月 6 日 10:31 頃に発生した M_w6.0 の地震（第 2 図）の波形を示した（M_w はいずれも F-net 解）．

10 月 9 日のエンベロープ波形においては，4 時頃から 6 時半過ぎまで，顕著な波動の伝播が断続的に計 13 回みられた．6 時台には発生間隔が短くなり，振幅が大きくなる傾向がみられた．また，北海道の太平洋側から沖縄の観測点にわたって広域に伝播が確認され，到達時刻の早い青ヶ島観測点 (AOG) および小笠原観測点 (OSW) においてはとくに大きな振幅がみられた．この波の立ち上がりを手動で検測し，見かけ速度を最小二乗法により推定したところ，約 1.5 km/s となった．このことから，エンベロープ波形で広域な伝播がみられたシグナルは，T フェーズであると考えられる．10 月 9 日の活動において，こうした T フェーズの振幅は図に示した先行する地震に比べて大きい一方，実体波と考えられる見かけ速度の速い波の伝播は顕著でない．

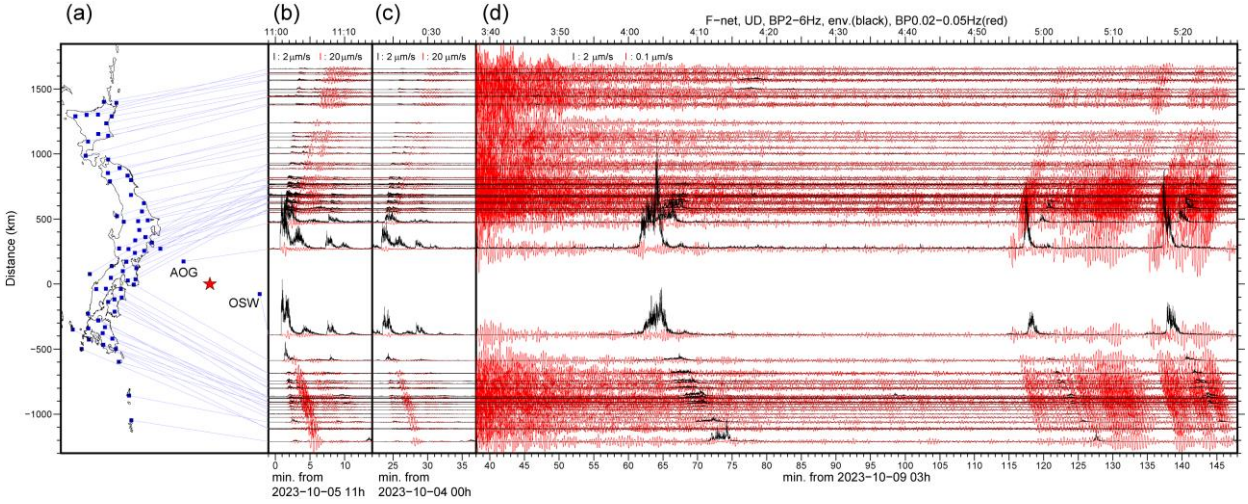
10 月 9 日の長周期波形においても，鳥島近海からの断続的な地震波の伝播が確認できる．これらは見かけ速度と減衰の特徴から，とくに遠方においては表面波が卓越した波と考えられる．この地震波の励起は 4:55 頃から顕著となり，徐々に振幅が大きくなりつつ 6 時半過ぎまで確認される．また，先行する地震との比較から，10 月 9 日の活動はこれらと同様な場所で発生した地震と考えられる．長周期波形においては，T フェーズの励起に対応した地震波伝播だけでなく，それ以外の時間にも伝播が確認でき，より連続的な地震波の励起がみられる．この波の励起は，T フェーズ励起イベントの前にいったん小さくなる傾向がみられる．なお，これらの対応関係を図から確認する際には，長周期の地震波の伝播と T フェーズの伝播には時間差があるため，先行する地震の波形との比較が有用である．

10 月 9 日の 4 時頃にみられた最初の T フェーズイベントに対応する，長周期波形での地震波の伝播は明瞭でない．ただし，同日 3:07 頃にパプアニューギニアで発生した M_w 5.9（USGS 解）の地震のコーダ波の影響のため開始時間は明瞭でないものの，2 回目の T フェーズに伴い明瞭な長周期帯での地震波伝播がみられるようになった 4:55 以前にも，微弱な地震波の伝播が断続的にみられる（第 1 図）．

（松澤孝紀（防災科研））
MATSUZAWA Takanori

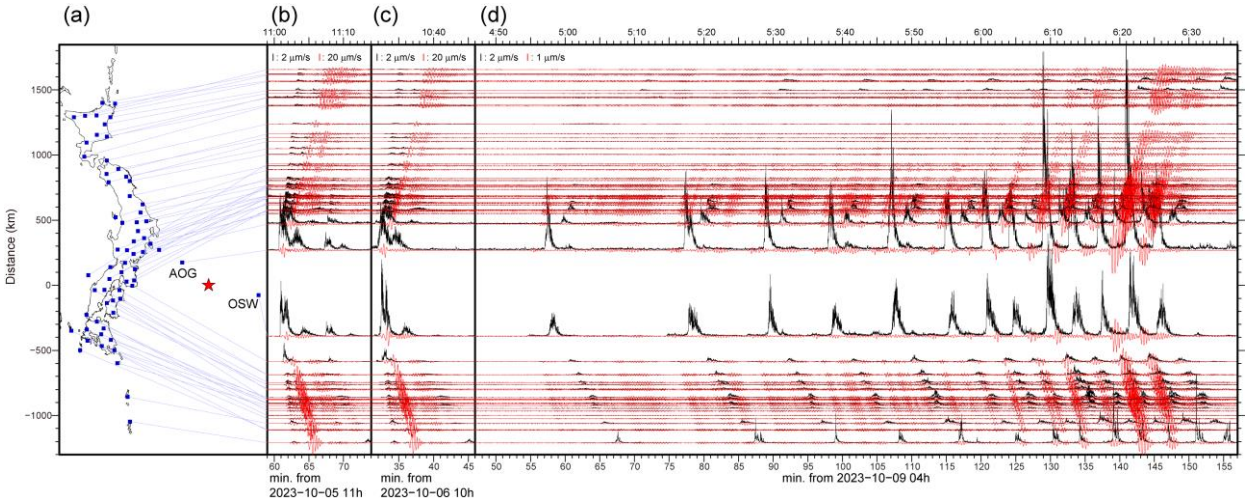
参考文献

1) 気象庁 (2023)，令和 5 年 10 月 9 日 05 時 25 分頃の鳥島近海の地震について（第 2 報），https://www.jma.go.jp/jma/press/2310/09b/202310091100.html .



第 1 図　防災科研 F-net の広帯域地震計記録の上下動成分について機器特性の補正後，0.02 〜 0.05 Hz の帯域でバンドパスフィルターを適用した地震波形（赤線）および，2 〜 6 Hz の帯域でバンドパスフィルターを適用し，スムージング処理したエンベロープ波形（黒線）．(a) 使用した F-net 観測点分布（青四角）．(b) 2023 年 10 月 5 日 10:59 頃に鳥島近海で発生した Mw6.0 の地震（F-net 解）に関する，10:59 から 15 分間の観測波形．この震央（図 (a) の赤星印）からの距離順に波形をプロットしている．振幅のスケールを図中上側に示した．(c) (b) と同様にプロットした，2023 年 10 月 4 日 0:22 頃に鳥島近海で発生した Mw5.7 の地震（F-net 解）に関する，0:22 から 15 分間の観測波形．(d) (b) と同様にプロットした 2023 年 10 月 9 日 3:38 から 110 分間の地震波形．エンベロープ波形（黒線）について振幅スケールは (b)，(c)，(d) のすべてで同一であるが，0.02 〜 0.05 Hz の帯域（赤線）の波形の振幅は (d) において，(b) および (c) の 200 倍に拡大されている．

Fig. 1　Seismograms in the UD component of F-net broadband seismometers. Black lines in (b)-(d) are smoothed envelope seismograms, after correcting the instrumental response and applying a band-pass filter between 2 Hz and 6 Hz. Red lines in (b)-(d) are seismograms after correcting the instrumental response and applying a band-pass filter between 0.02-0.05 Hz. (a) F-net stations used in the figures (blue circles). (b) Waveforms for 15 minutes from 10:59 on Oct. 5, 2023, at which a Mw6.0 earthquake occurred in the near Torishima region. Vertical position of each seismic trace is based on the distance from the epicenter of this earthquake (a red star in (a)). (c) Waveforms for 15 minutes from 0:22, Oct. 4, 2023, at which a Mw5.7 earthquake occurred in the near Torishima region. (d) Waveforms for 110 minutes from 3:38 on Oct. 9, 2023. The scale of the amplitude of black lines is common in all figures. The scale of the amplitude of red lines in (d) is enlarged by 200 times than those in (b) and (c).



第 2 図　防災科研 F-net の広帯域地震計記録について，第 1 図と同様に表示した上下同成分の波形．(a) および (b) は，第 1 図と共通．(c) (b) と同様にプロットした，2023 年 10 月 6 日 10:31 頃に鳥島近海で発生した Mw6.0 の地震（F-net 解）に関する，10:31 から 15 分間の観測波形．(d) (b) と同様にプロットした，2023 年 10 月 9 日 4:47 から 110 分間の地震波形．エンベロープ波形（黒線）の振幅スケールは同一であるが，赤線の波形の振幅は 20 倍に拡大されている．

Fig. 2　Seismograms of F-net broadband seismometers. (a) and (b) are the same as in Figure 1. (c) Waveforms for 15 minutes from 10:31, Oct. 6, 2023, at which a Mw5.7 earthquake occurred in the near Torishima region. (d) Waveforms for 110 minutes from 4:47 on Oct. 9, 2023. The scale of the amplitude of black lines is common in all figures. The scale of the amplitude of red lines in (d) is enlarged by 20 times than those in (b) and (c).

５－１　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　上下　御前崎］

第 1 ～ 4 図は，掛川～御前崎間における電子基準点の GNSS 連続観測による比高変化である．

第 1 図は，電子基準点間の比高変化である．日々の座標値から計算した月平均値をプロットしており，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，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の影響については，地震前後に電子基準点と周辺の水準点で行われていた水準測量の結果を用いて補正している．

第 2 ～ 3 図は，御前崎地域の GNSS 連続観測による比高変化時系列である．第 2 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 3 図の比高変化グラフは，左列が 1999 年 4 月以降の約 24 年間の長期，右列が最近約 2 年間の短期の時系列グラフである．(5) については，2009 年 8 月 11 日の駿河湾の地震に伴う御前崎 A 観測点の局所的な沈降量を水準測量の結果を用いて補正している．掛川 A 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．

第 4 図に，各電子基準点の掛川 A 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．

［GNSS　駿河湾］

第 5 ～ 6 図は，駿河湾とその周辺の GNSS 連続観測による基線長変化時系列である．第 5 図に基線図と，アンテナ交換等の保守の履歴を示す．

第 6 図の基線長変化グラフは，左列が 2013 年 4 月以降の約 10 年間の長期，右列が最近約 2 年間の短期の時系列グラフである．傾向に特段の変化は見られない．

［東海地方の地殻変動］

第 7 ～ 9 図は，三隅観測点を固定局として示した，東海地方の地殻変動である．

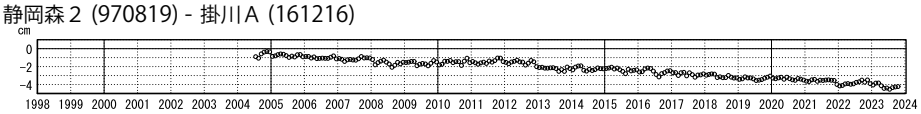
第 7 ～ 8 図は，東北地方太平洋沖地震前の 2008 年 1 月～ 2011 年 1 月の期間の変動を定常変動と仮定し，それからの変動の差を非定常変動として示した図である．水平成分及び上下成分のそれぞれについて，最近の約 1 年間の図と 3 か月ごとの図を示す．特段の変動は見られない．

第 9 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．

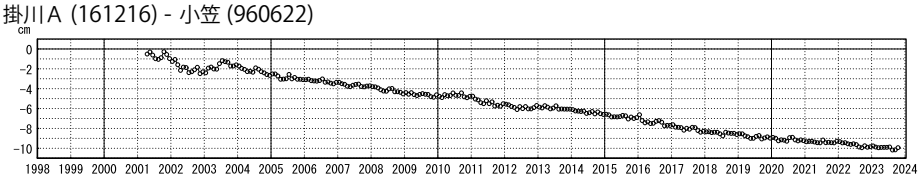
御前崎　電子基準点の上下変動

御前崎周辺の長期的な沈降傾向に変化は見られない.

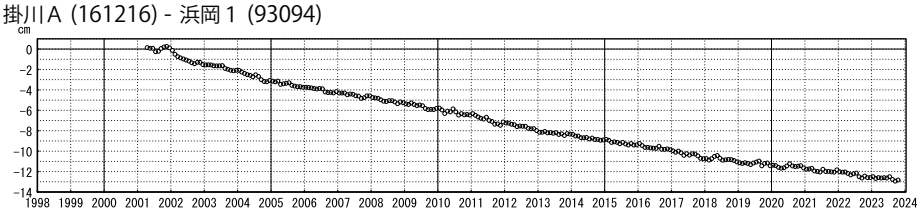
（1）静岡森 2 (970819) - 掛川 A (161216)



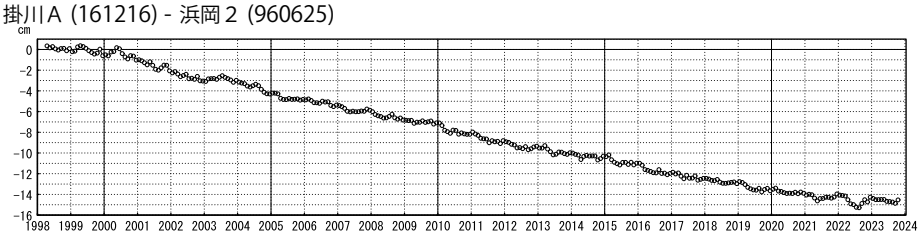
（2）掛川 A (161216) - 小笠 (960622)



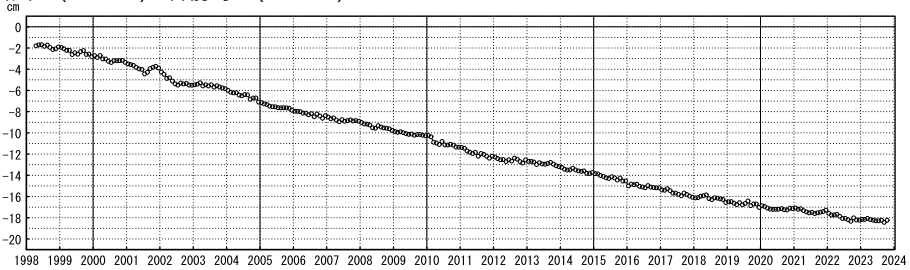
（3）掛川 A (161216) - 浜岡 1 (93094)



（4）掛川 A (161216) - 浜岡 2 (960625)

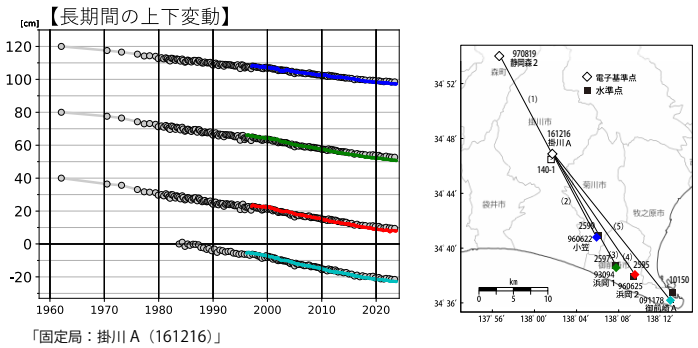


（5）掛川 A (161216) - 御前崎 A (091178)



○：GNSS 連続観測（GEONET 月平均値）

【長期間の上下変動】



「固定局：掛川 A（161216）」

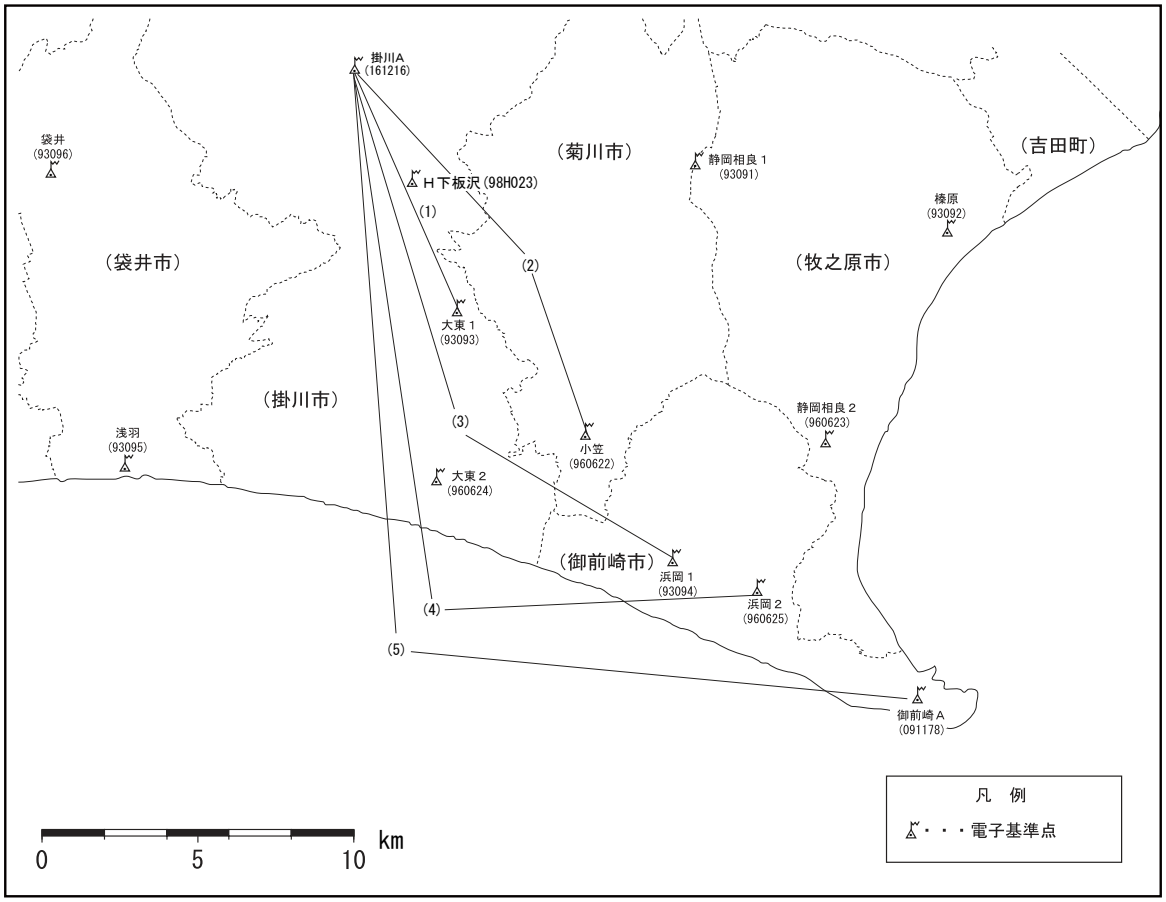
・ GNSS 連続観測のプロット点は，GEONET による日々の座標値（F5：最終解）から計算した値の月平均値．最新のプロット点は 10/1～10/7 の平均.
・ 各プロットの色は配色図の電子基準点の色と対応する.
・ 灰色のプロットは電子基準点の最寄りの水準点「2599」「2597」「2595」「10150」の水準測量結果を示している（固定：140-1）.
※ 1 2009 年 8 月 11 日の駿河湾の地震に伴う電子基準点「御前崎」の局所的な変動について，地震前後の水準測量で得られた「御前崎」周辺の水準点との比高の差を用いて補正を行った.
※ 2 電子基準点「御前崎 A」については，2010 年 3 月 23 日まで電子基準点「御前崎」のデータを使用.
※ 3 電子基準点「掛川 A」については，2017 年 1 月 29 日まで電子基準点「掛川」のデータを使用.

第 1 図　御前崎 電子基準点の上下変動

Fig. 1　Vertical displacements of GEONET stations in the Omaezaki region.

御前崎　ＧＮＳＳ連続観測時系列（１）

配点図（基線図）



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	アンテナ更新・受信機更新
		2008-07-25	受信機交換
		2010-02-24	レドーム開閉・受信機更新
		2010-10-08	周辺伐採
		2010-11-12	周辺伐採
		2012-11-20	アンテナ更新
		2017-01-25	データ切替(掛川→掛川A)※
		2021-11-13	受信機更新
		2023-02-26	アンテナ更新
93093	大東1	2003-02-10	レドーム設置
		2003-03-04	アンテナ更新・受信機更新
		2006-06-19	周辺伐採
		2010-02-24	レドーム開閉・受信機更新
		2010-10-12	周辺伐採
		2012-11-20	アンテナ更新
		2017-11-09	受信機更新
960622	小笠	2003-05-27	アンテナ更新
		2010-02-23	レドーム開閉・受信機更新
		2012-11-28	アンテナ更新
		2017-11-08	受信機更新

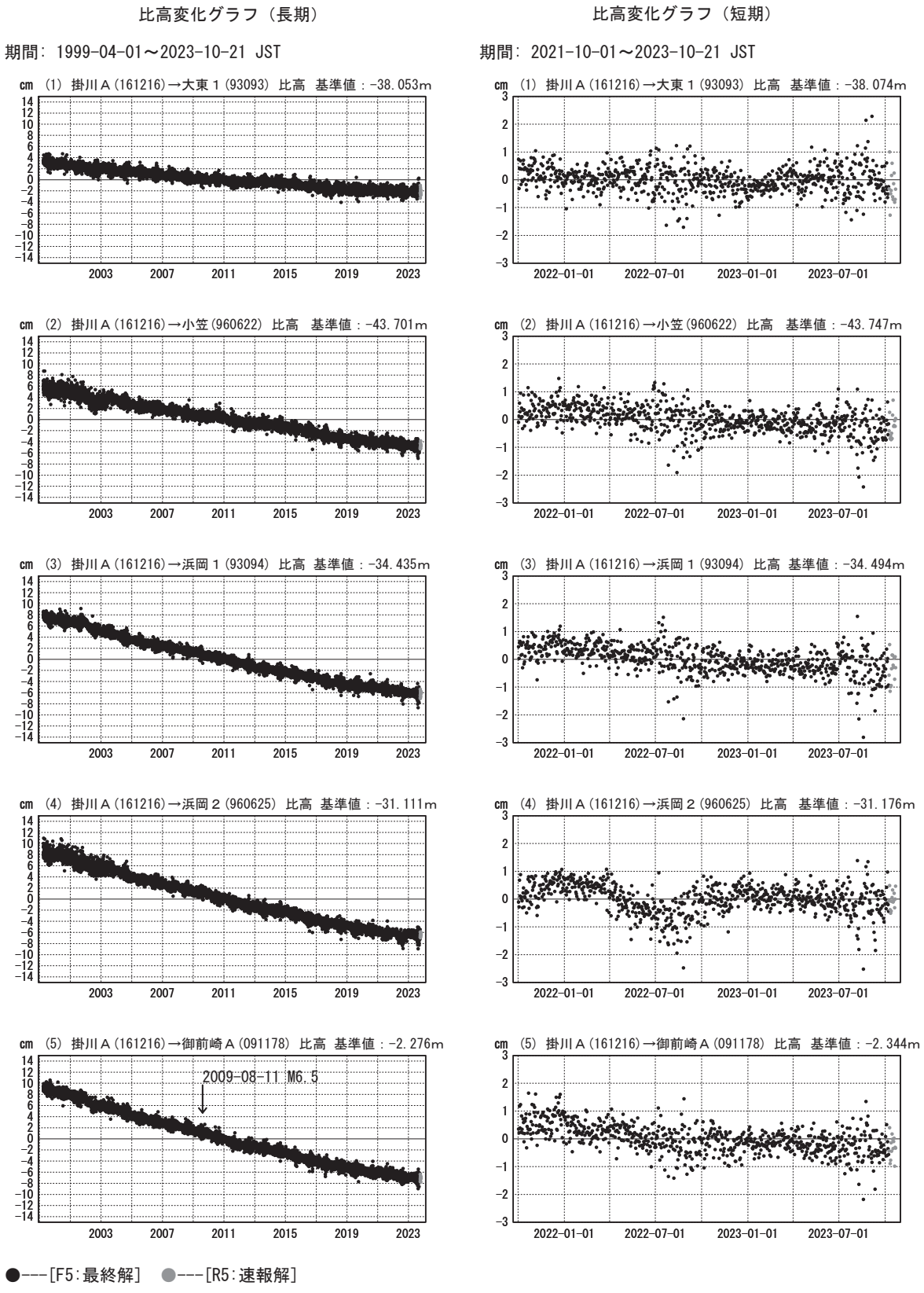
点番号	点名	日付	保守内容
93094	浜岡1	2003-02-10	レドーム設置
		2003-05-16	アンテナ更新・受信機更新
		2010-02-23	レドーム開閉・受信機更新
		2012-11-22	アンテナ更新
		2012-12-21	周辺伐採
		2017-11-08	受信機更新
960625	浜岡2	2001-03-15	受信機更新
		2003-06-19	アンテナ更新
		2008-01-29	レドーム開閉・受信機更新
		2012-11-28	アンテナ更新・受信機更新
		2014-08-11	周辺伐採
		2016-05-20	アンテナ交換
		2019-11-19	受信機更新
		2022-02-07	周辺伐採
		2023-03-03	周辺伐採
091178	御前崎A	2003-02-11	レドーム設置
		2003-02-28	アンテナ更新
		2010-03-17	データ切替(御前崎→御前崎A)※
		2012-11-28	アンテナ更新・受信機更新
		2019-10-09	受信機交換
		2020-12-16	受信機更新

※移転に伴う使用データの切替

第 2 図　御前崎における GNSS 連続観測結果（観測点配置図・保守状況）

Fig. 2　Time series of continuous GNSS measurements in the Omaezaki region (site location map and history of the site maintenance).

御前崎　ＧＮＳＳ連続観測時系列（２）



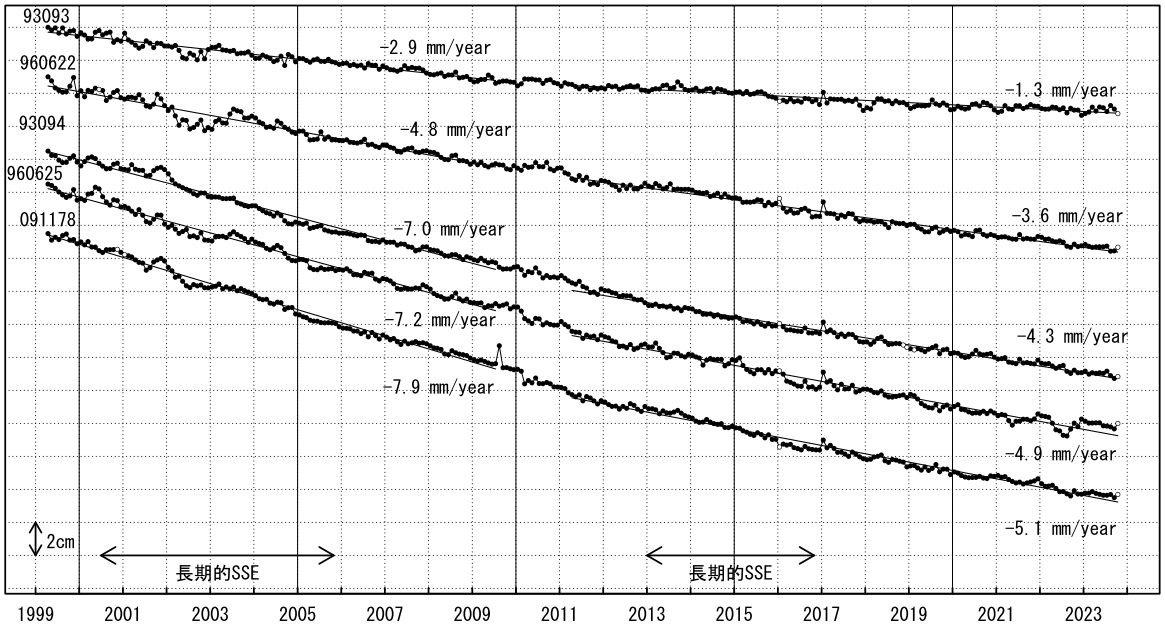
第 3 図　御前崎地域の GNSS 連続観測結果（比高）

Fig. 3　Results of continuous GNSS measurements in the Omaezaki region (relative height).

電子基準点による比高変化　月平均値・10 日間平均値　F5 解版

月平均値

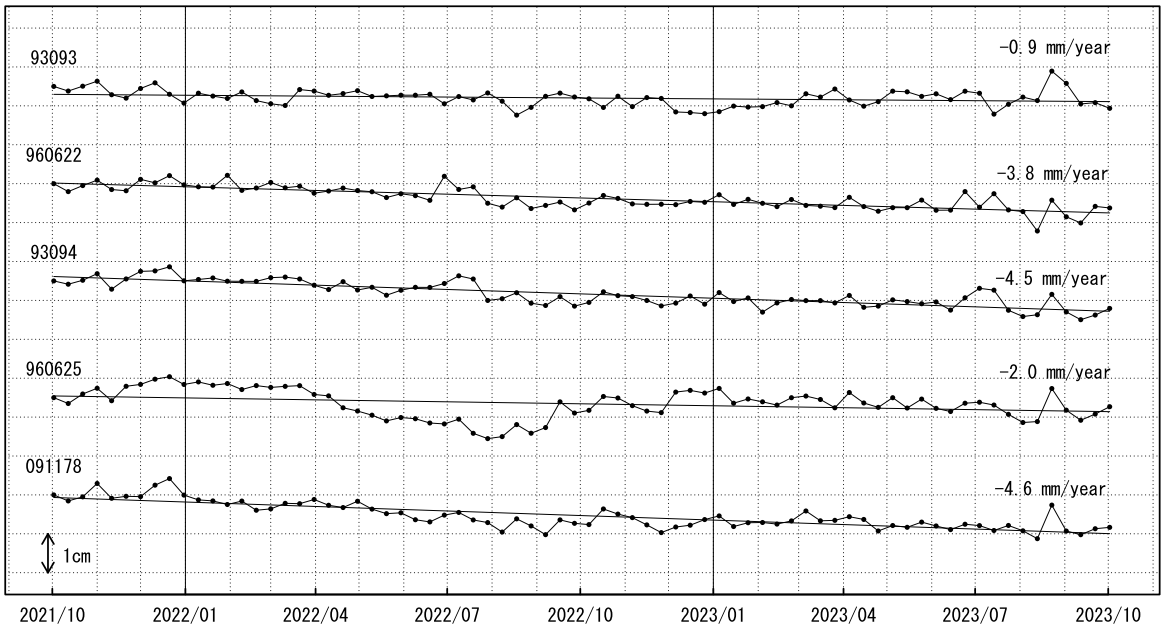
期間：1999/04/01 – 2023/10/07［F 5 ：最終解］



固定局：161216

10 日間平均値

期間：2021/09/28 – 2023/10/07［F 5 ：最終解］



固定局：161216

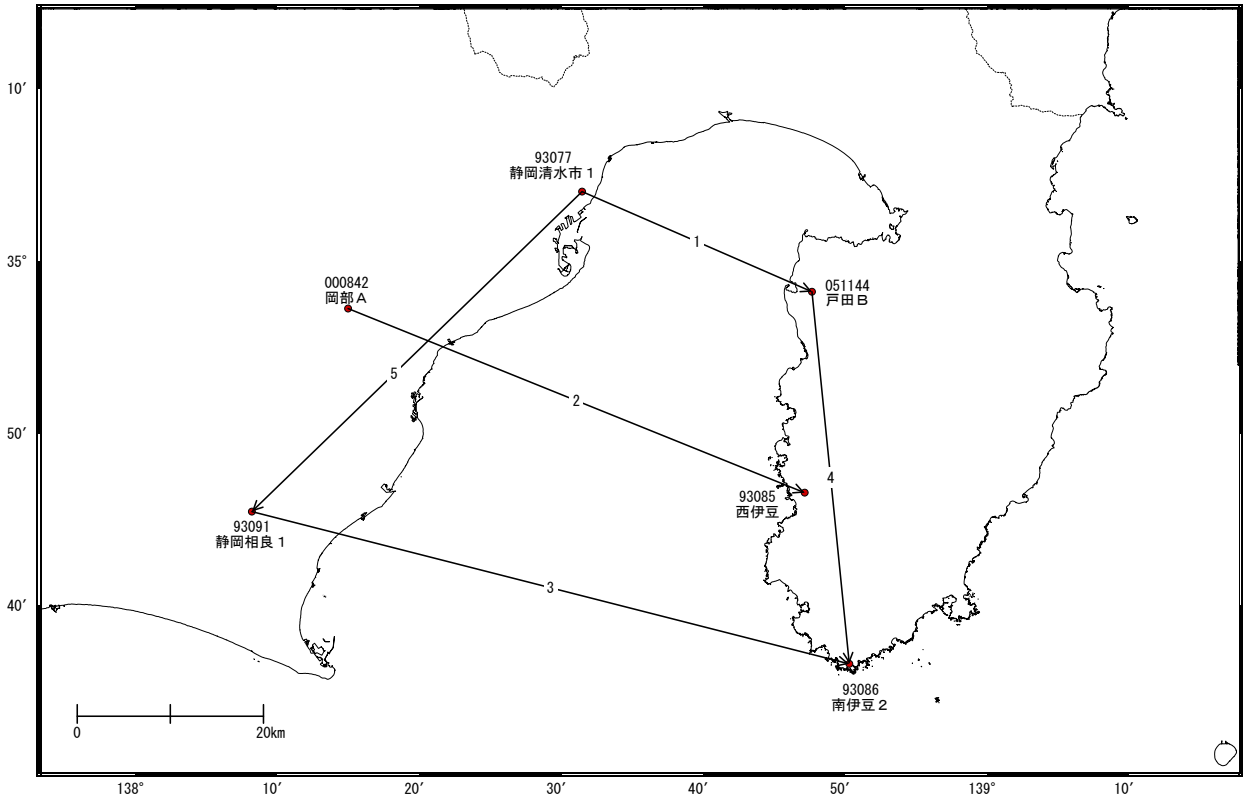
- プロット位置は平均を求めた期間の中央.
- 最新のプロット点は月平均値は 10/01～10/07 , 10 日間平均値は 09/28～10/07 の平均.
- 平均に用いたデータ数が少ない場合（月平均：25 未満, 10 日平均：8 未満）は白抜き.
- 月平均値の回帰モデルは,2009 年 8 月 11 日に発生した駿河湾の地震前, および,2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震後の各期間について作成.

第 4 図　電子基準点　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 vertical GNSS measurements in the Omaezaki region (Time series of 1 month and 10 days running mean).

駿河湾周辺　ＧＮＳＳ連続観測時系列（1）

基線図



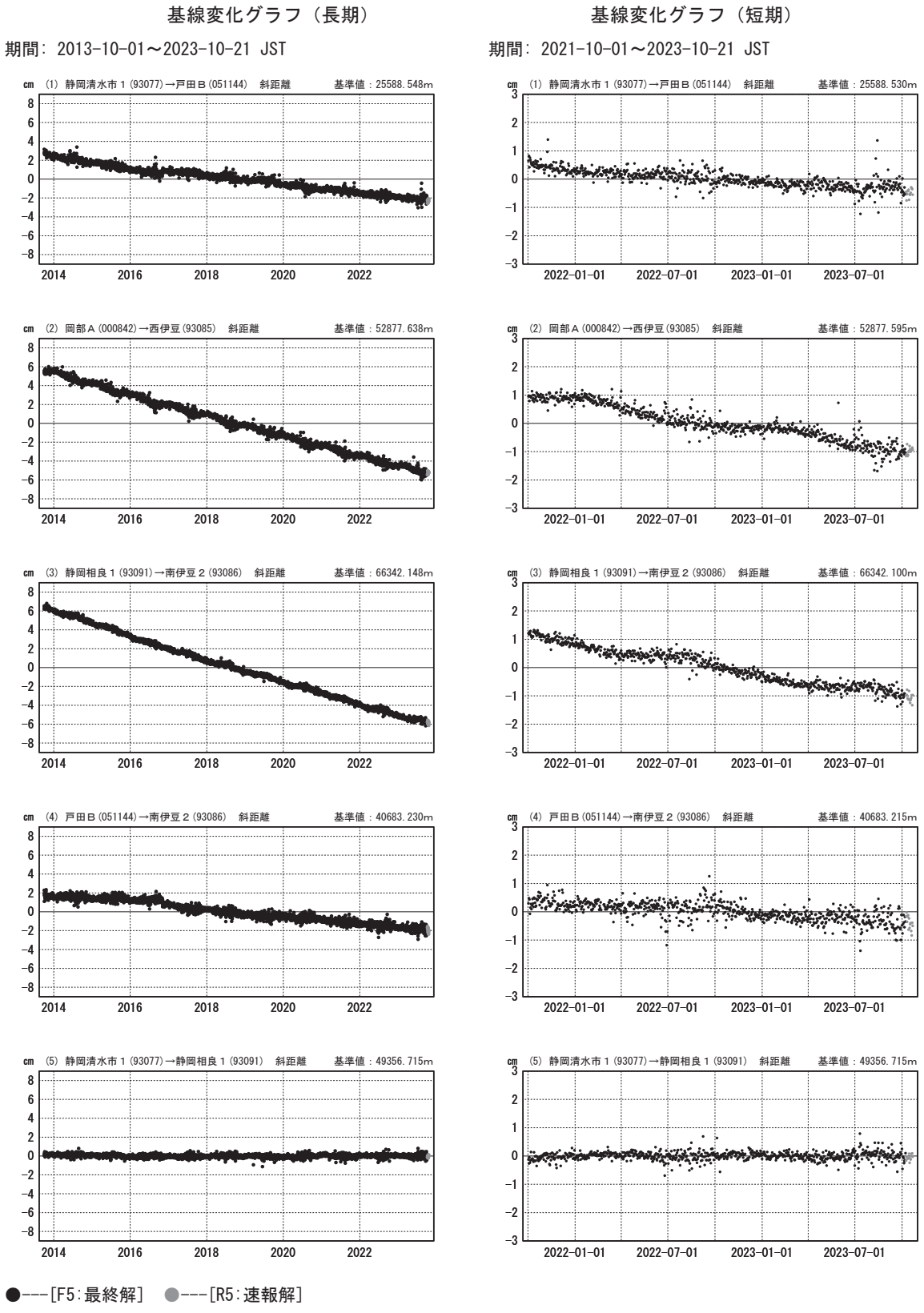
各観測局情報

点番号	点　名	日　付	保　守　内　容
93077	静岡清水市1	2015-10-10	アンテナ交換
		2020-12-15	受信機更新
		2022-04-25	受信機交換
		2022-04-28	受信機交換
		2023-01-25	アンテナ更新
051144	戸田Ｂ	2016-11-05	周辺伐採
		2016-11-21	受信機更新
000842	岡部Ａ	2016-11-22	受信機更新
93085	西伊豆	2021-11-14	受信機更新
93091	静岡相良1	2019-11-19	受信機更新
		2023-03-07	周辺伐採
93086	南伊豆2	2019-11-22	受信機更新

第 5 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）

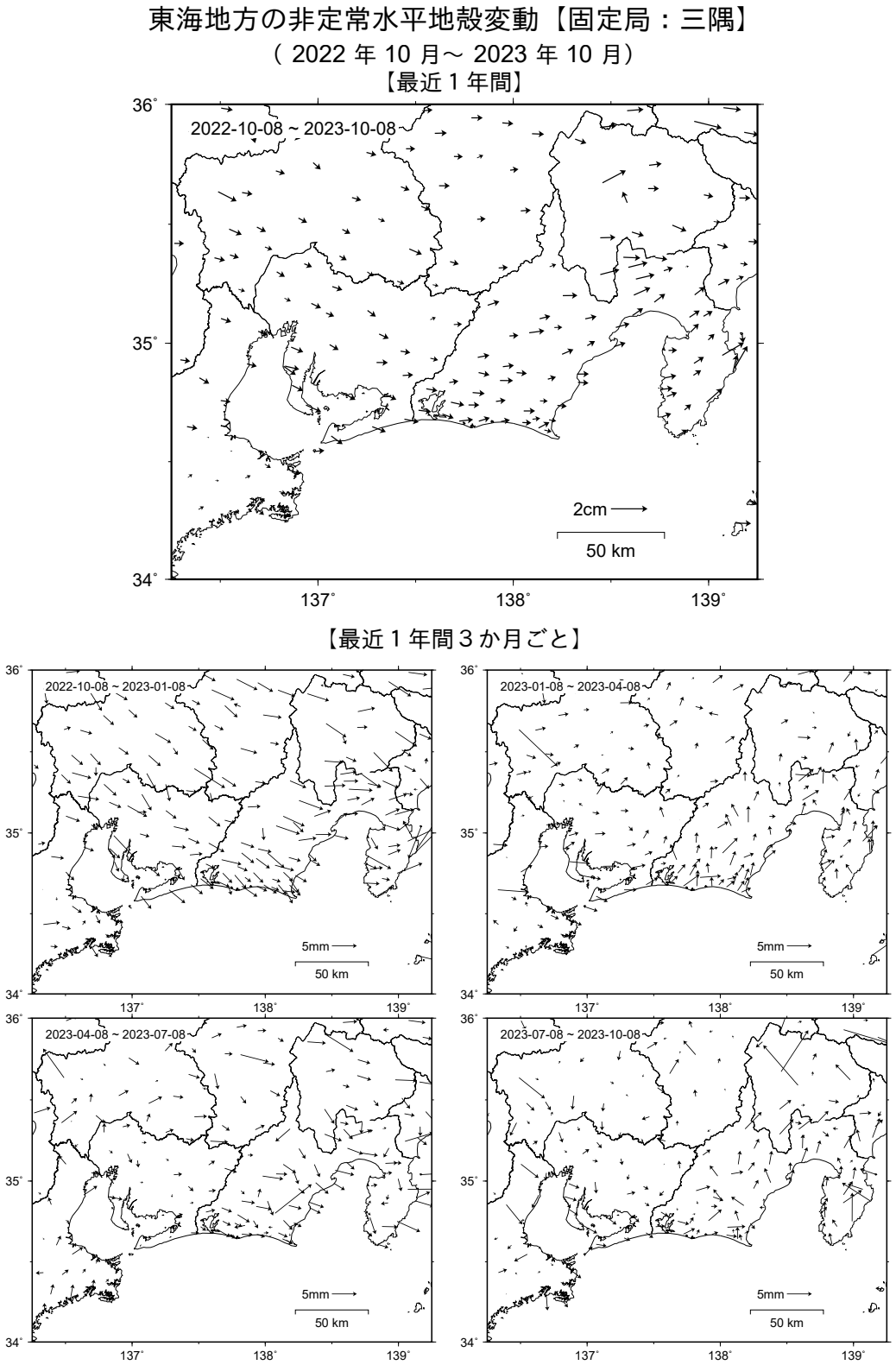
Fig. 5　Results of continuous GNSS measurements around the Suruga Bay (Baseline map and history of the site maintenance).

駿河湾周辺　ＧＮＳＳ連続観測時系列（2）



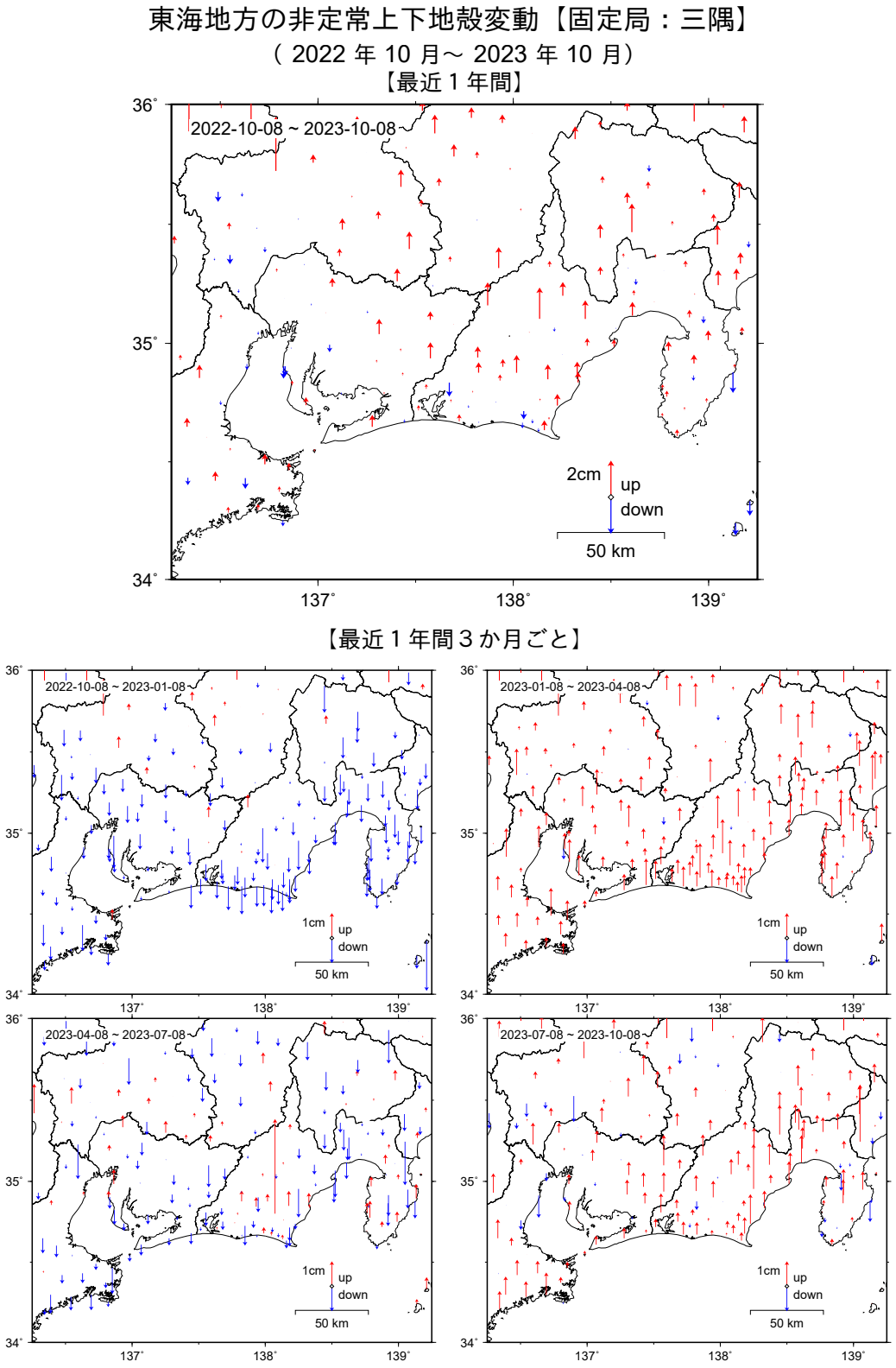
第 6 図　駿河湾周辺 GNSS 連続観測点観測結果（斜距離）

Fig. 6　Results of continuous GNSS measurements around the Suruga Bay (baseline length).



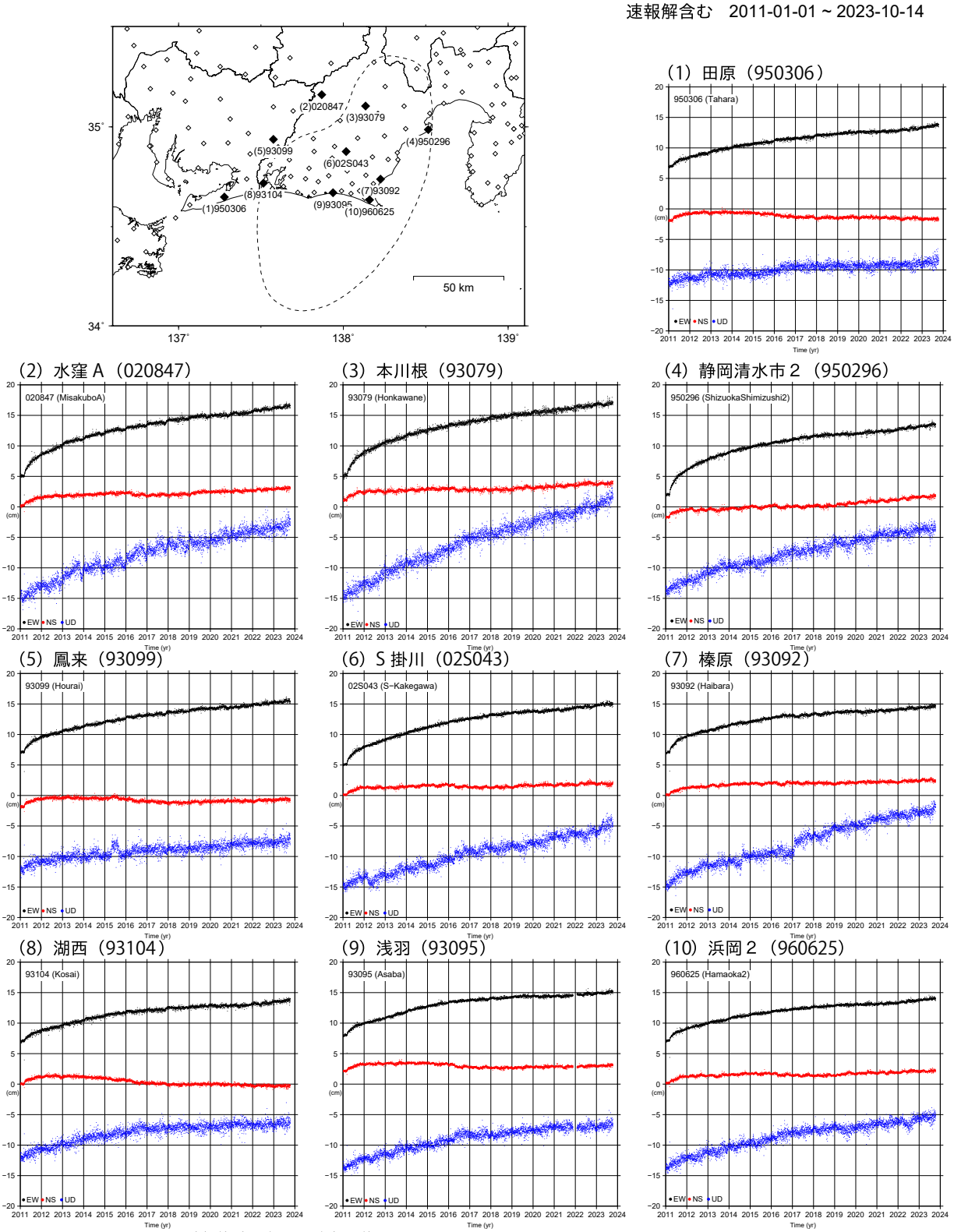
・GEONET による日々の座標値（F5 解、R5 解）を使用している。
・非定常地殻変動時系列のうち、各日付 ± 6 日の計 13 日間の変動量の中央値をとり、その差から１年間と３か月間の変動量を表示している。
※非定常地殻変動時系列：
2008 年 1 月から 2011 年 1 月のデータから平均変動速度、年周／半年周成分を推定して、元の時系列データから除去した時系列。

第 7 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. 7　Transient horizontal deformation of recent 1 year and every 3 months in the Tokai region.



・GEONET による日々の座標値（F5 解、R5 解）を使用している。
・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 8 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. 8　Transient vertical deformation of recent 1 year and every 3 months in the Tokai region.



・GEONET　による日々の座標値（F5 解、R5 解）を使用している。
・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 9 図　東海地方の非定常地殻変動時系列

Fig. 9　Time series of transient deformation at selected stations in the Tokai region.

５－２　東海・南関東地域におけるひずみ観測結果（2023 年 5 月～ 10 月）
Observation of Crustal Strain by Borehole Strainmeters in the Tokai and Southern Kanto Districts (May – October 2023)

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 2016 年以降の変化を第 2 図に，2023 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]．

2023 年 8 月 3 日から 5 日にかけて，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，田原高松で観測された．（第 3 図 (a)，第 4 図 (j) の *1）（本巻※参照）．

2023 年 8 月 23 日から 25 日にかけて，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，田原高松で観測された．（第 3 図 (a)，第 4 図 (j) の *2）（本巻※参照）．

2023 年 9 月 15 日から 17 日にかけて，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，浜松春野，浜松佐久間，売木岩倉，新城浅谷で観測された．（第 3 図 (a)，第 4 図 (b)，(c)，(h)，(i) の *3）（本巻※参照）．

2023 年 9 月 30 日から 10 月 2 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，浜松春野，売木岩倉で観測された．（第 3 図 (a)，第 4 図 (b)，(h) の *4）（本巻※参照）．

2023 年 10 月 20 日から 23 日にかけて，愛知県から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，浜松春野，浜松佐久間，売木岩倉で観測された．（第 3 図 (a)，第 4 図 (b)，(c)，(h) の *5）（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．

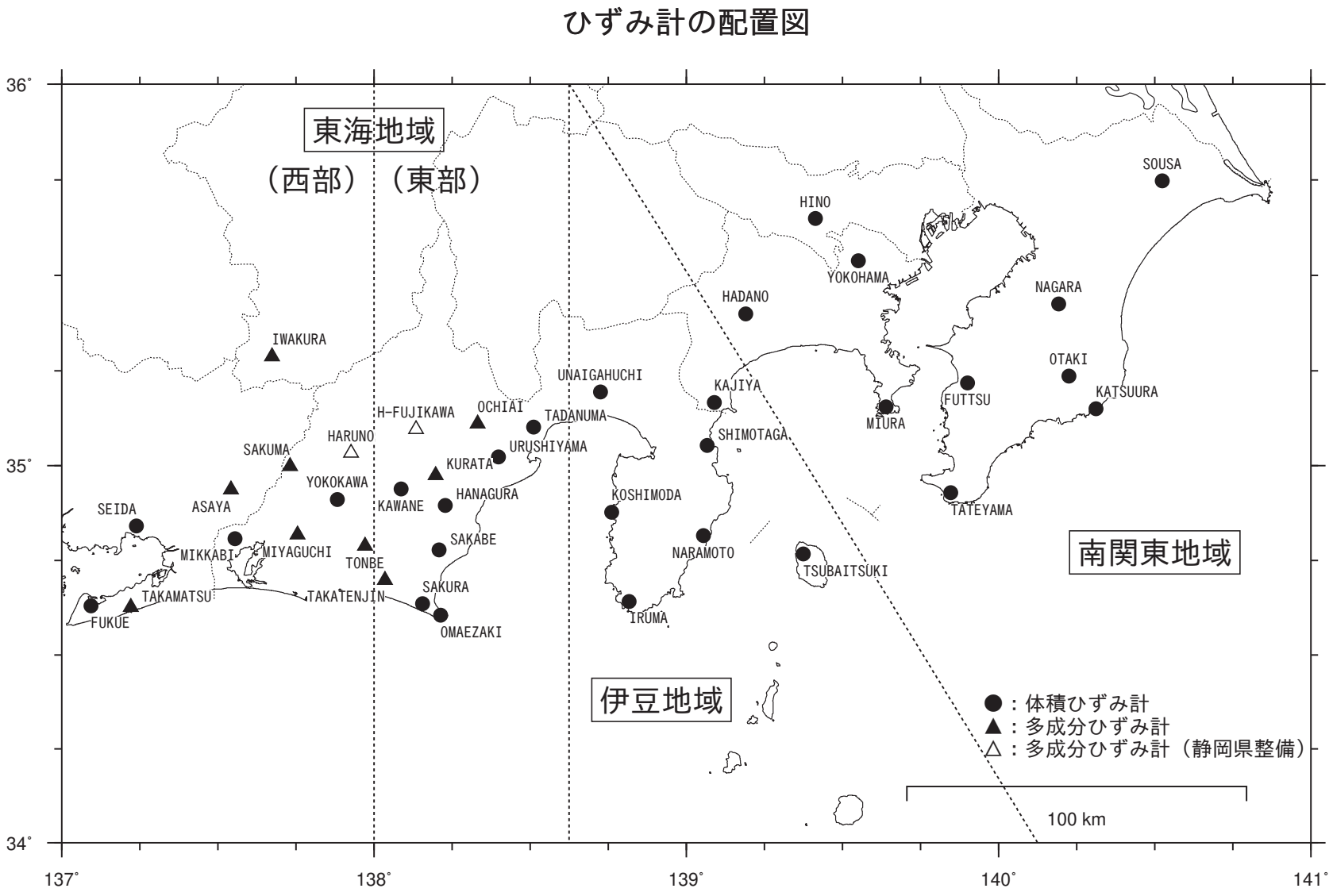
館山中里，匝瑳飯高は 2023 年 6 月 30 日に観測を終了した．

※ :「南海トラフ周辺の地殻活動（2023 年 5 月～ 10 月）」（気象庁）

参考文献

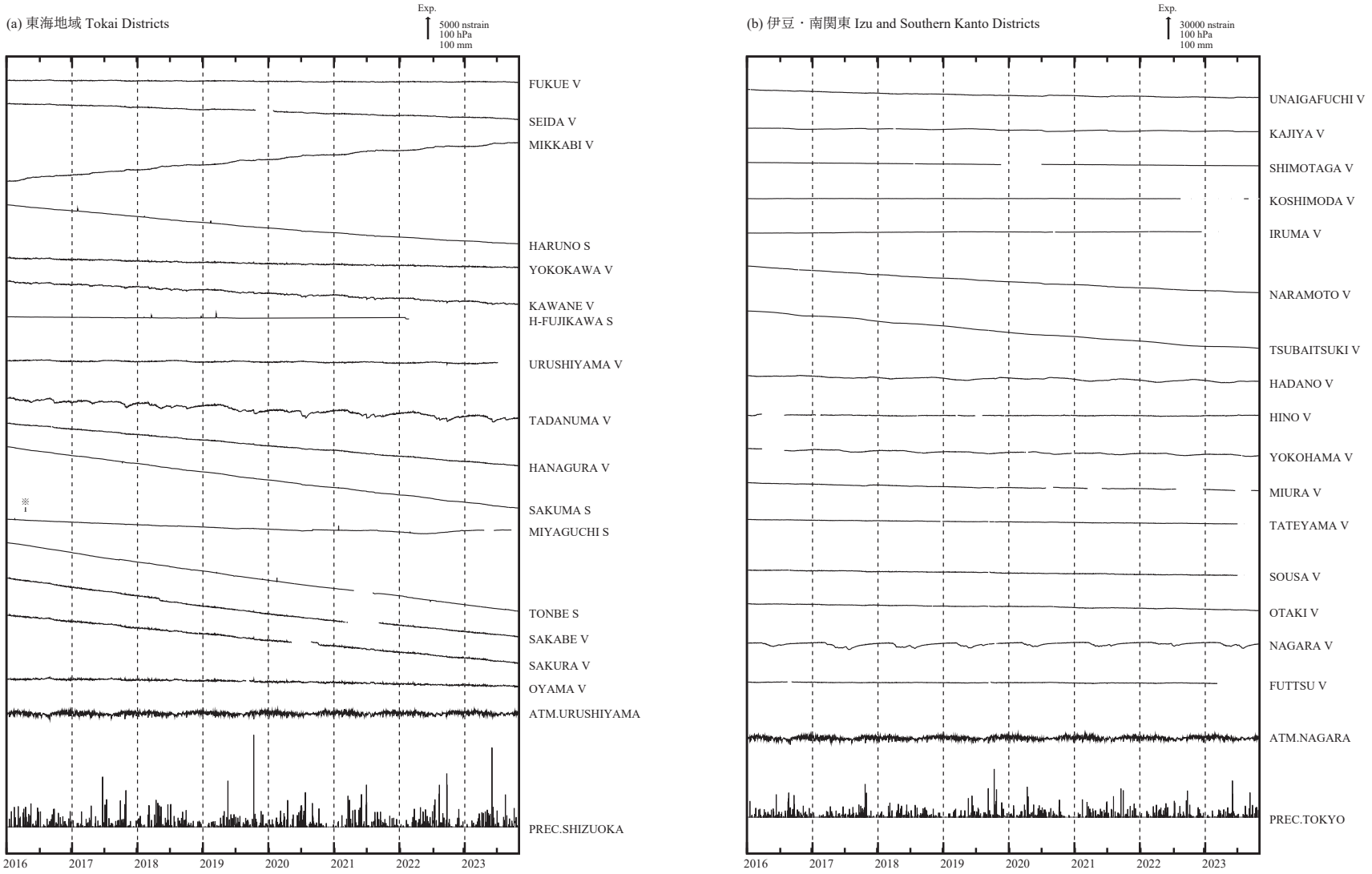
1) 二瓶信一・上垣内修・佐藤 馨：埋込式体積歪計による観測，1976 年～ 1986 年の観測経過，*験震時報*，**50**，65-88 (1987).
2) 石井紘ほか：新しい小型多成分ボアホール歪計の開発と観測，*地球惑星科学関連学会 1992 年合同大会予稿集*，C22-03 (1992).

3) 上垣内修ほか：気象庁石井式歪計の応答特性解析，*1999 年度日本地震学会秋季大会予稿集*, B72 (1999).
4) 気象庁：東海・南関東地域における歪観測結果（2006 年 5 月～ 2006 年 10 月），*連絡会報*，**77** (2006).
5) 気象庁：東海・南関東地域における歪観測結果（2006 年 11 月～ 2007 年 4 月），*連絡会報*，**78** (2007).



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）

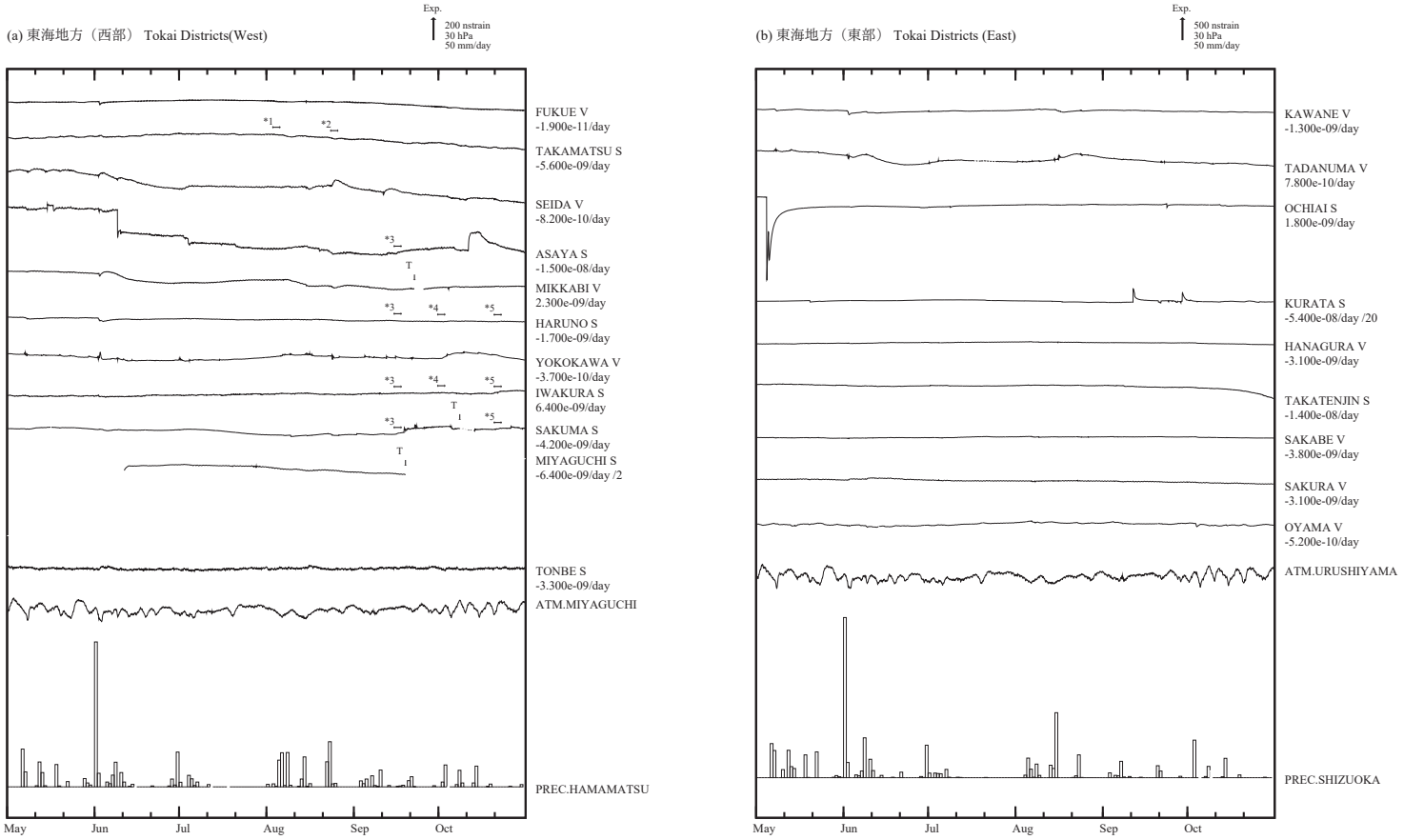
Fig. 1　Observation points (borehole strainmeters).



※面積ひずみは、熊本地震に伴うステップを除外して計算している。

第 2 図 (a), (b)　2016 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 2016 (daily mean values).

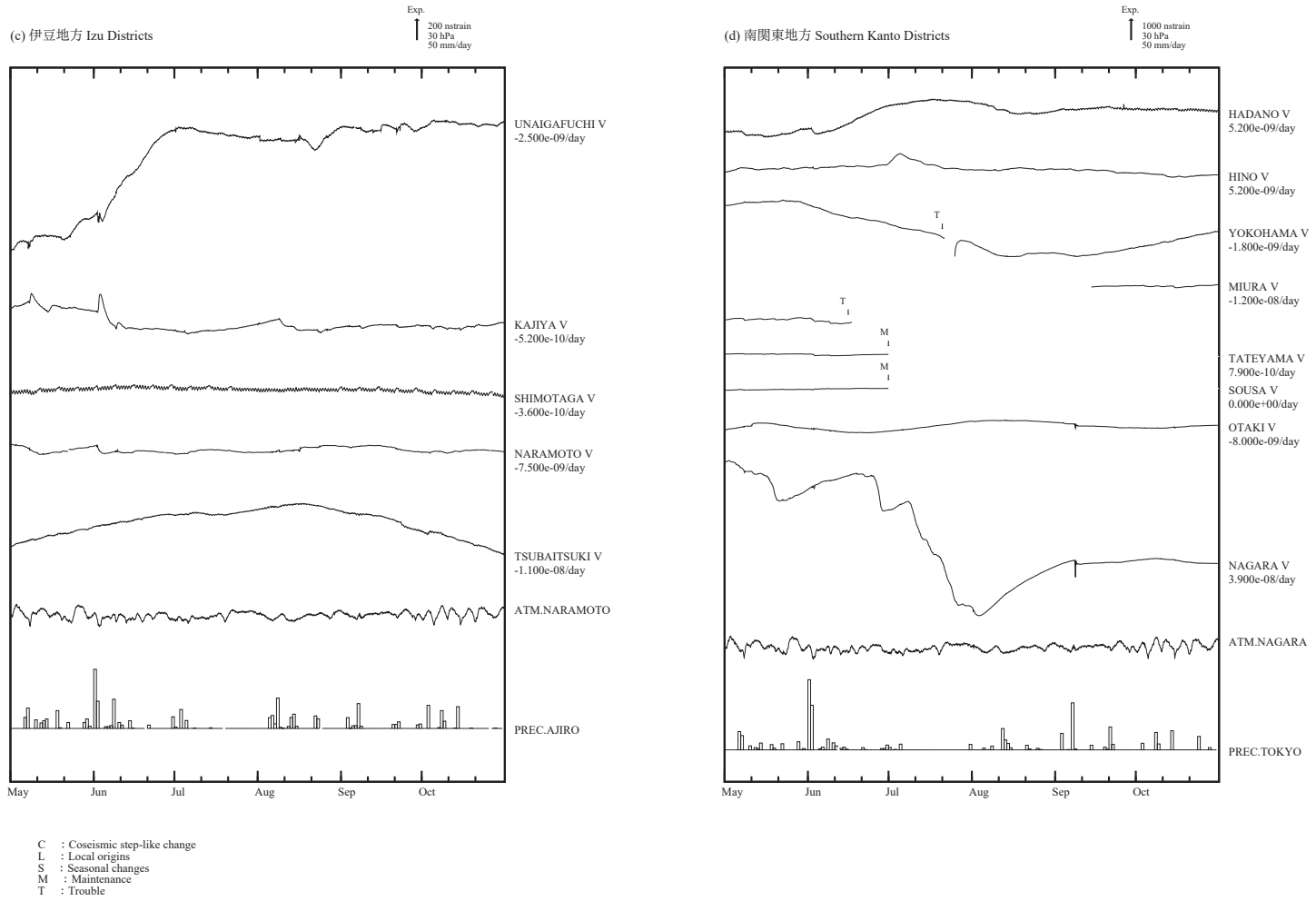


*1 : Slow Slip Event 2023.08.03-08.05
*2 : Slow Slip Event 2023.08.23-08.25
*3 : Slow Slip Event 2023.09.15-09.17
*4 : Slow Slip Event 2023.09.30-10.02
*5 : Slow Slip Event 2023.10.20-10.23

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

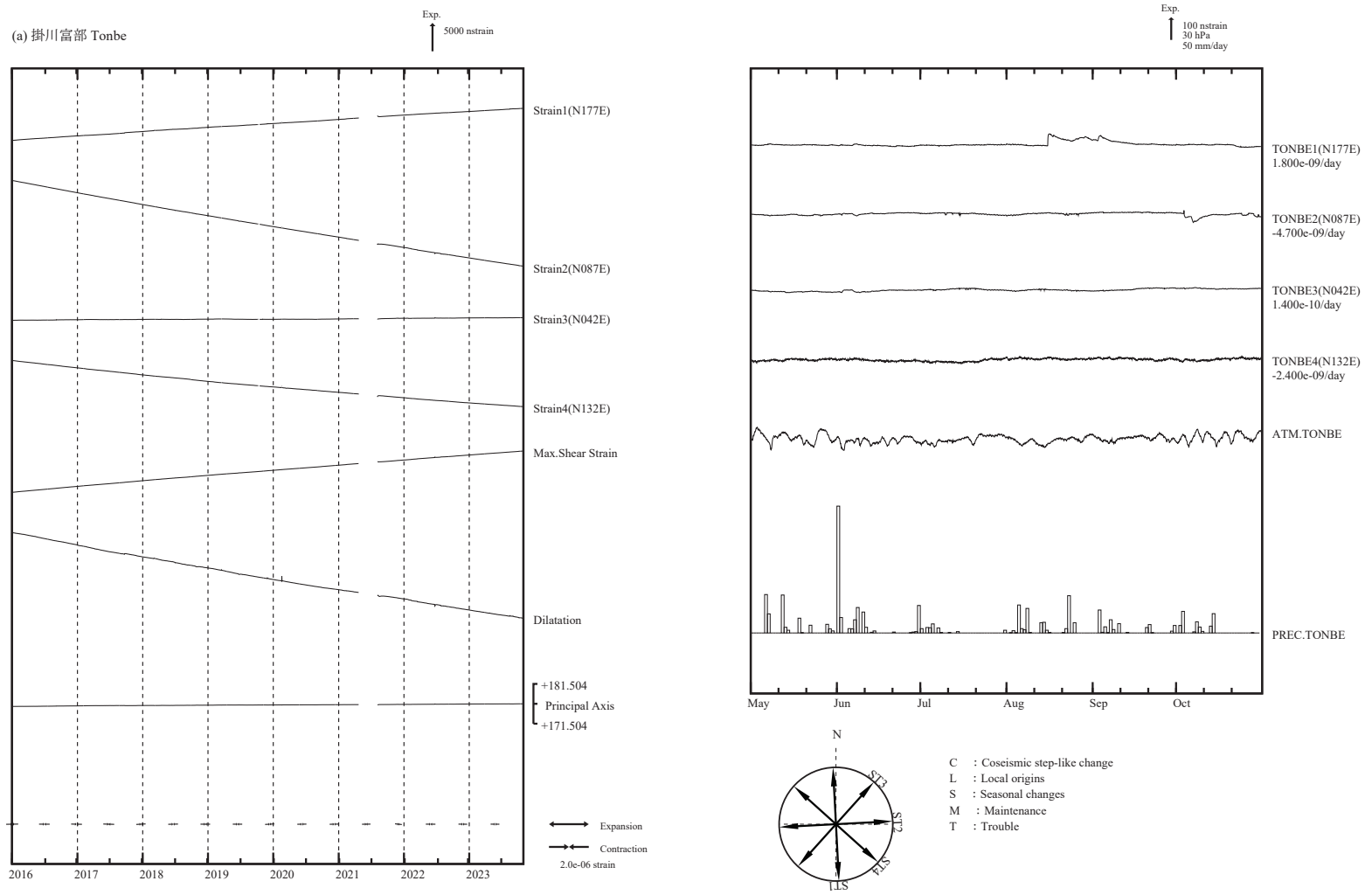
第 3 図 (a), (b)　2023 年 5 月～ 10 月の東海・伊豆・南関東地域における区域別体積ひずみ（V）及び面積ひずみ（S）の変化（時間値 : 気圧・潮汐・降水補正した値）. 各図下部に区域を代表する気圧変化と降水量を示す. 地点名の下の D strain/day 及び /M はそれぞれ 1 日あたりのトレンド変化量を D として補正していること及び縮尺を 1/M 倍にして表示していることを示している.

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 2023 (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.



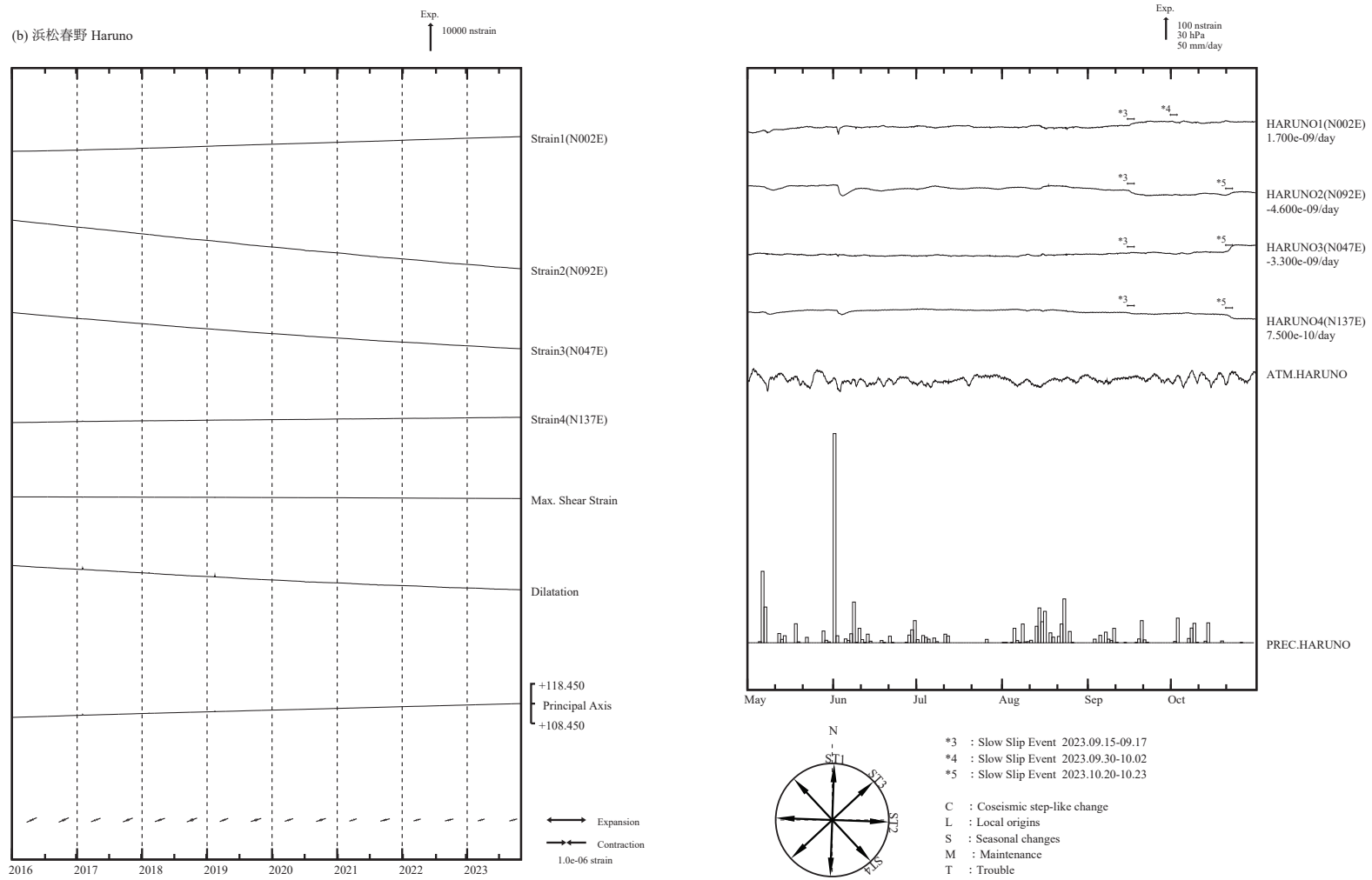
第 3 図 (c), (d)　2023 年 5 月～ 10 月の東海・伊豆・南関東地域における区域別体積ひずみ（V）及び面積ひずみ（S）の変化（時間値 : 気圧・潮汐・降水補正した値）. 各図下部に区域を代表する気圧変化と降水量を示す．地点名の下の D strain/day 及び /M はそれぞれ 1 日あたりのトレンド変化量を D として補正していること及び縮尺を 1/M 倍にして表示していることを示している.

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 2023 (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.



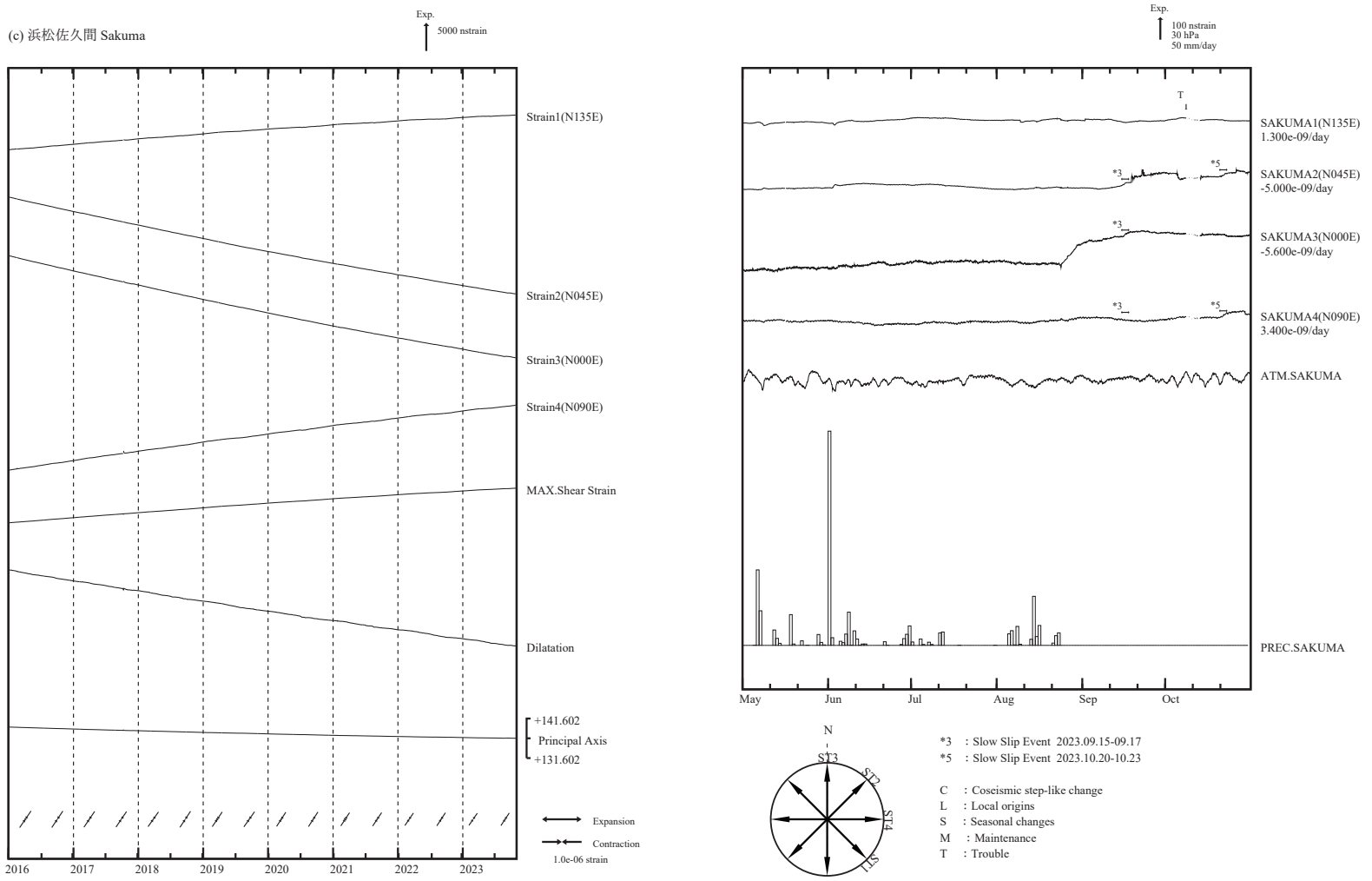
第 4 図 (a)　左：2016 年 1 月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）．主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている．
右：2023 年 5 月～ 10 月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気・降水補正した値）．各図下部に気圧変化と降水量を示す．

Fig. 4(a)　(Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2016 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes May to October 2023 (hourly values where changes due to barometric pressure, tidal effects, geomagnetic effects and rain effects are corrected) observed by multi-component borehole strainmeters.



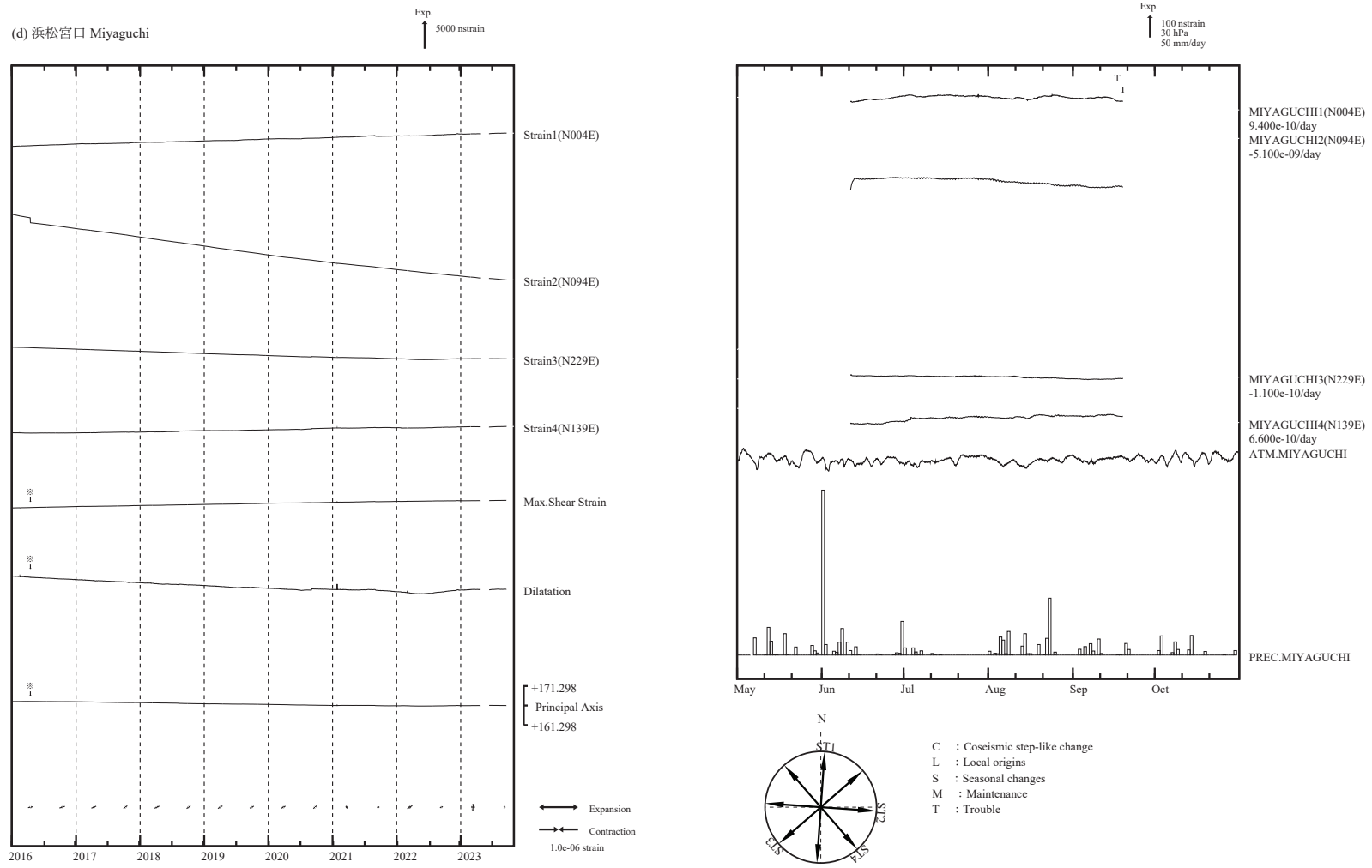
第 4 図 (b)　左：2016 年 1 月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）．主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている．
右：2023 年 5 月～ 10 月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気・降水補正した値）．各図下部に気圧変化と降水量を示す．

Fig. 4(b)　(Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2016 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes May to October 2023 (hourly values where changes due to barometric pressure, tidal effects, geomagnetic effects and rain effects are corrected) observed by multi-component borehole strainmeters.



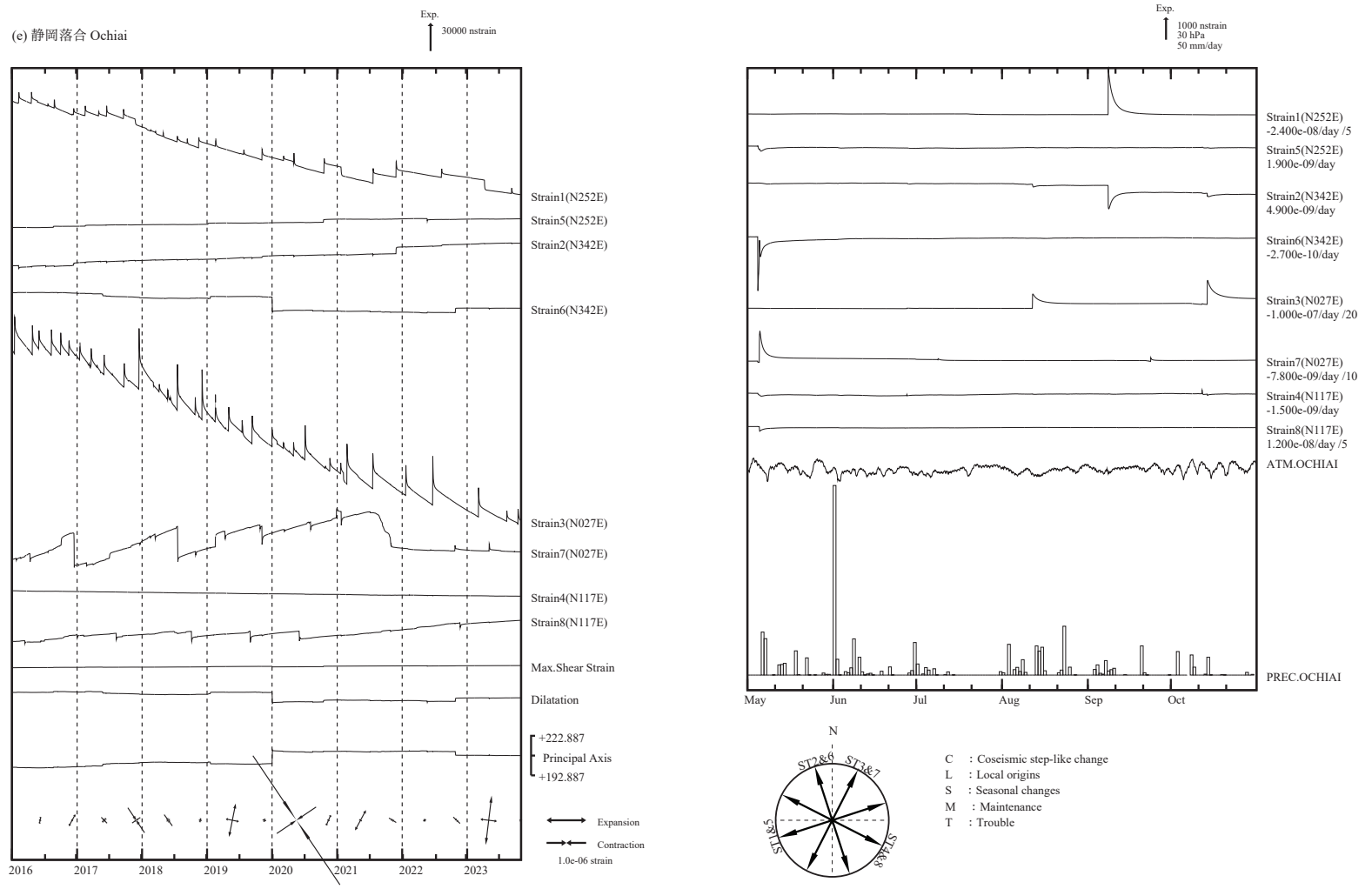
第 4 図 (c)　左：2016 年 1 月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）．主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている．
右：2023 年 5 月～ 10 月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気・降水補正した値）．各図下部に気圧変化と降水量を示す．

Fig. 4(c)　(Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2016 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes May to October 2023 (hourly values where changes due to barometric pressure, tidal effects, geomagnetic effects and rain effects are corrected) observed by multi-component borehole strainmeters.



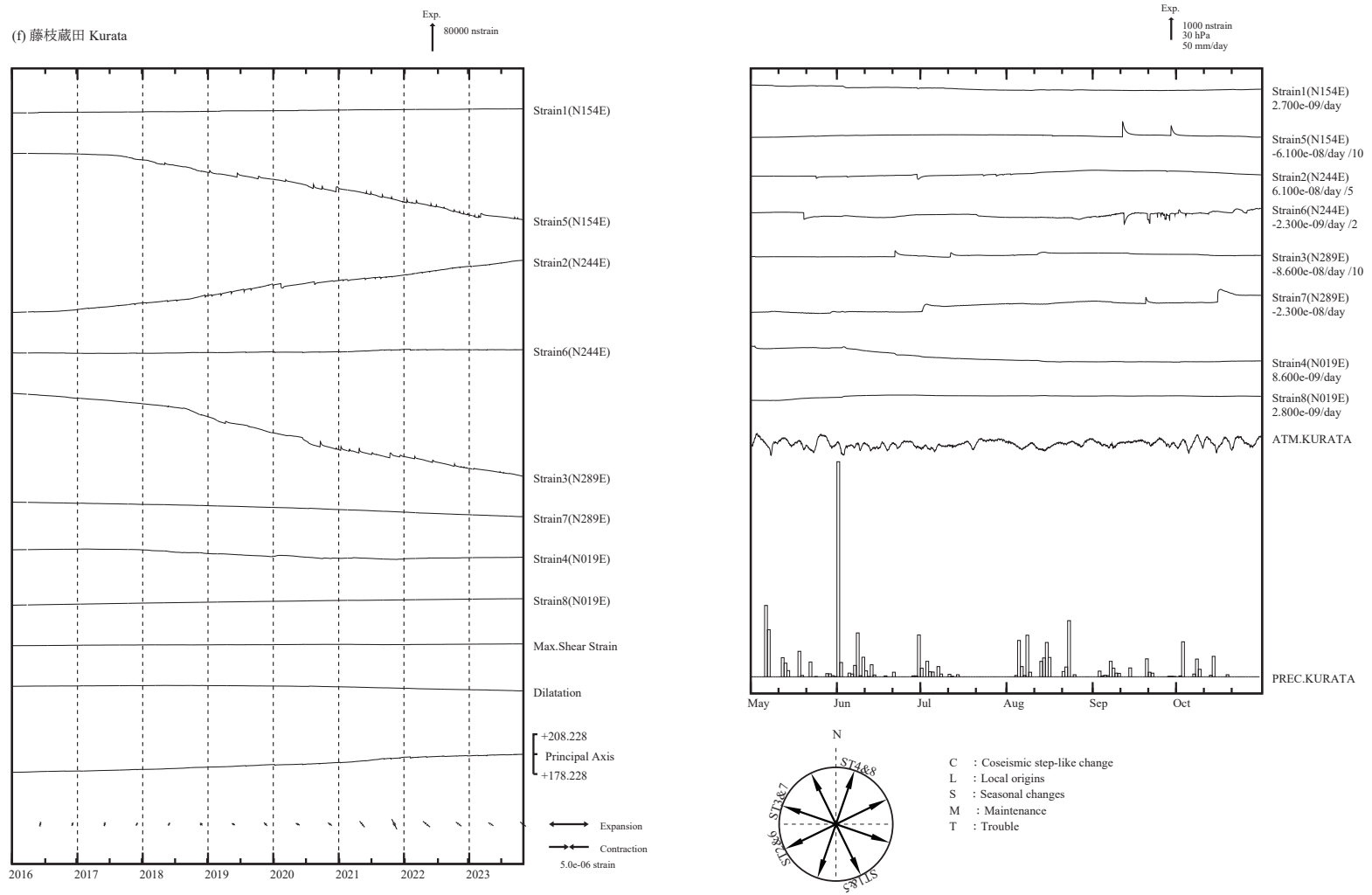
第 4 図 (d)　左：2016 年 1 月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）．主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている．
右：2023 年 5 月～ 10 月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気・降水補正した値）．各図下部に気圧変化と降水量を示す．

Fig. 4(d)　(Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2016 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes May to October 2023 (hourly values where changes due to barometric pressure, tidal effects, geomagnetic effects and rain effects are corrected) observed by multi-component borehole strainmeters.



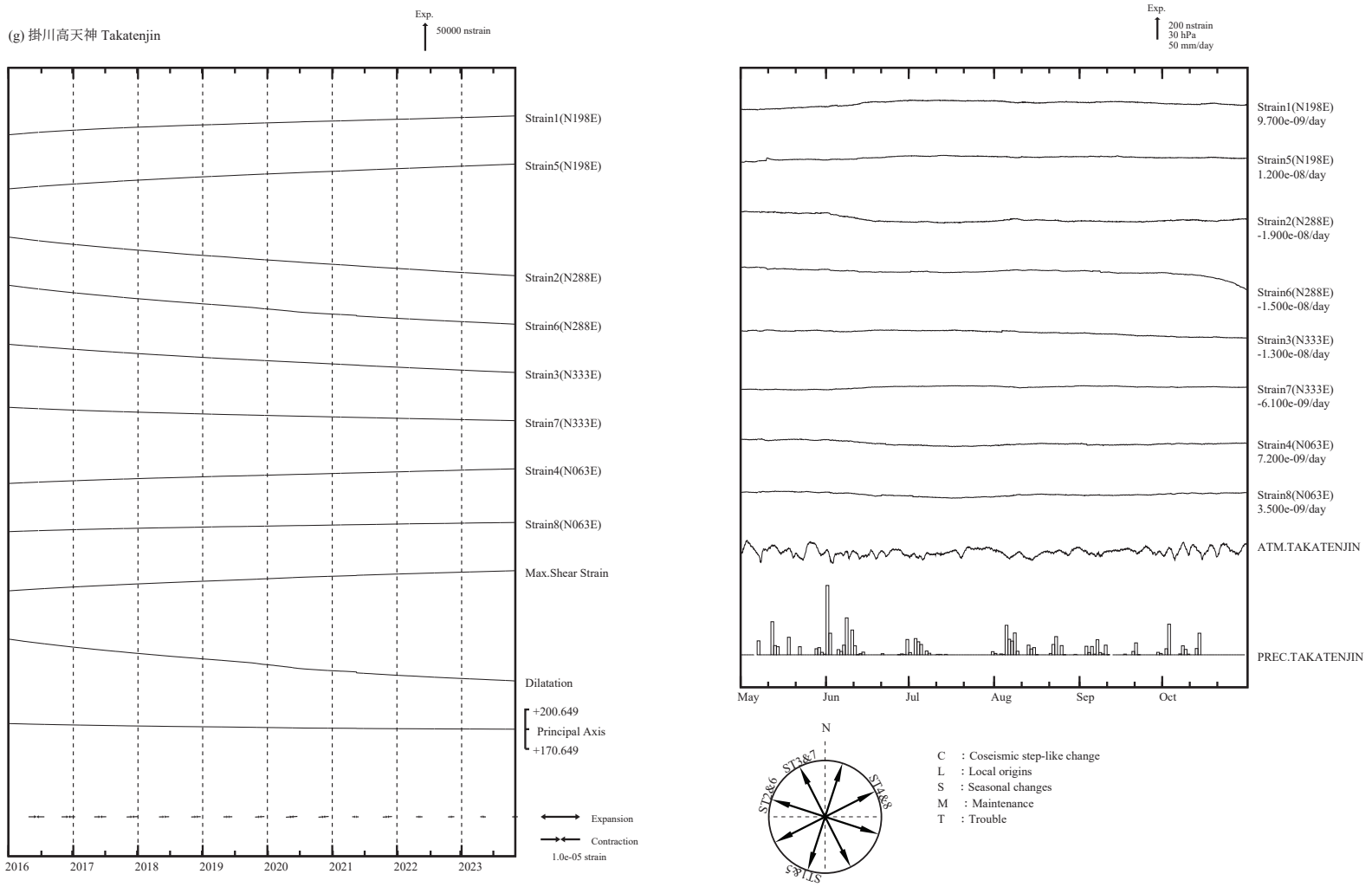
第 4 図 (e)　左：2016 年 1 月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）．主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている．
右：2023 年 5 月～ 10 月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気・降水補正した値）．各図下部に気圧変化と降水量を示す．

Fig. 4(e)　(Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2016 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes May to October 2023 (hourly values where changes due to barometric pressure, tidal effects, geomagnetic effects and rain effects are corrected) observed by multi-component borehole strainmeters.



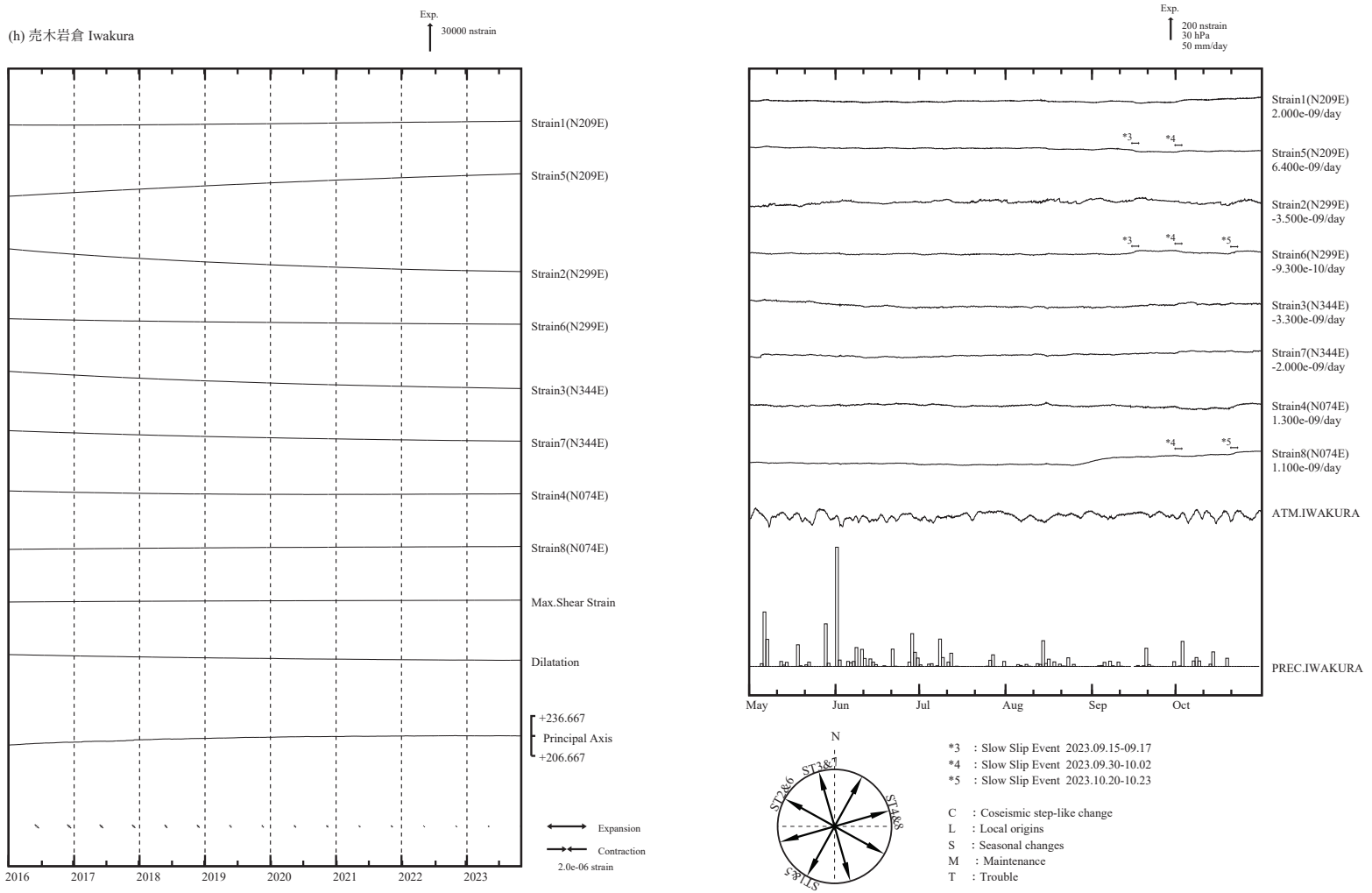
第 4 図 (f)　左：2016 年 1 月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）．主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている．
右：2023 年 5 月～ 10 月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気・降水補正した値）．各図下部に気圧変化と降水量を示す．

Fig. 4(f)　(Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2016 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes May to October 2023 (hourly values where changes due to barometric pressure, tidal effects, geomagnetic effects and rain effects are corrected) observed by multi-component borehole strainmeters.



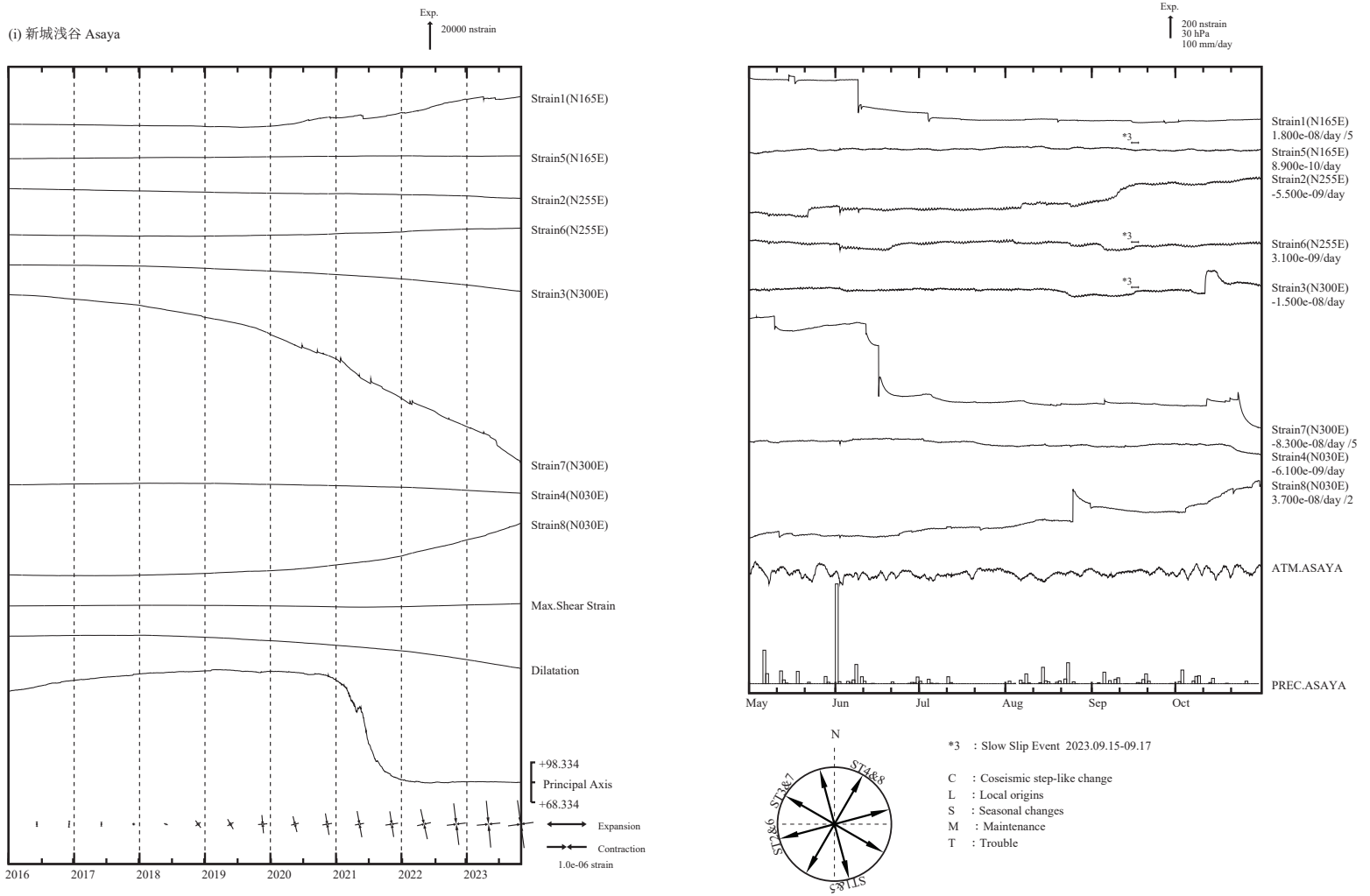
第 4 図 (g)　左：2016 年 1 月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）．主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている．
右：2023 年 5 月～ 10 月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気・降水補正した値）．各図下部に気圧変化と降水量を示す．

Fig. 4(g)　(Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2016 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes May to October 2023 (hourly values where changes due to barometric pressure, tidal effects, geomagnetic effects and rain effects are corrected) observed by multi-component borehole strainmeters.



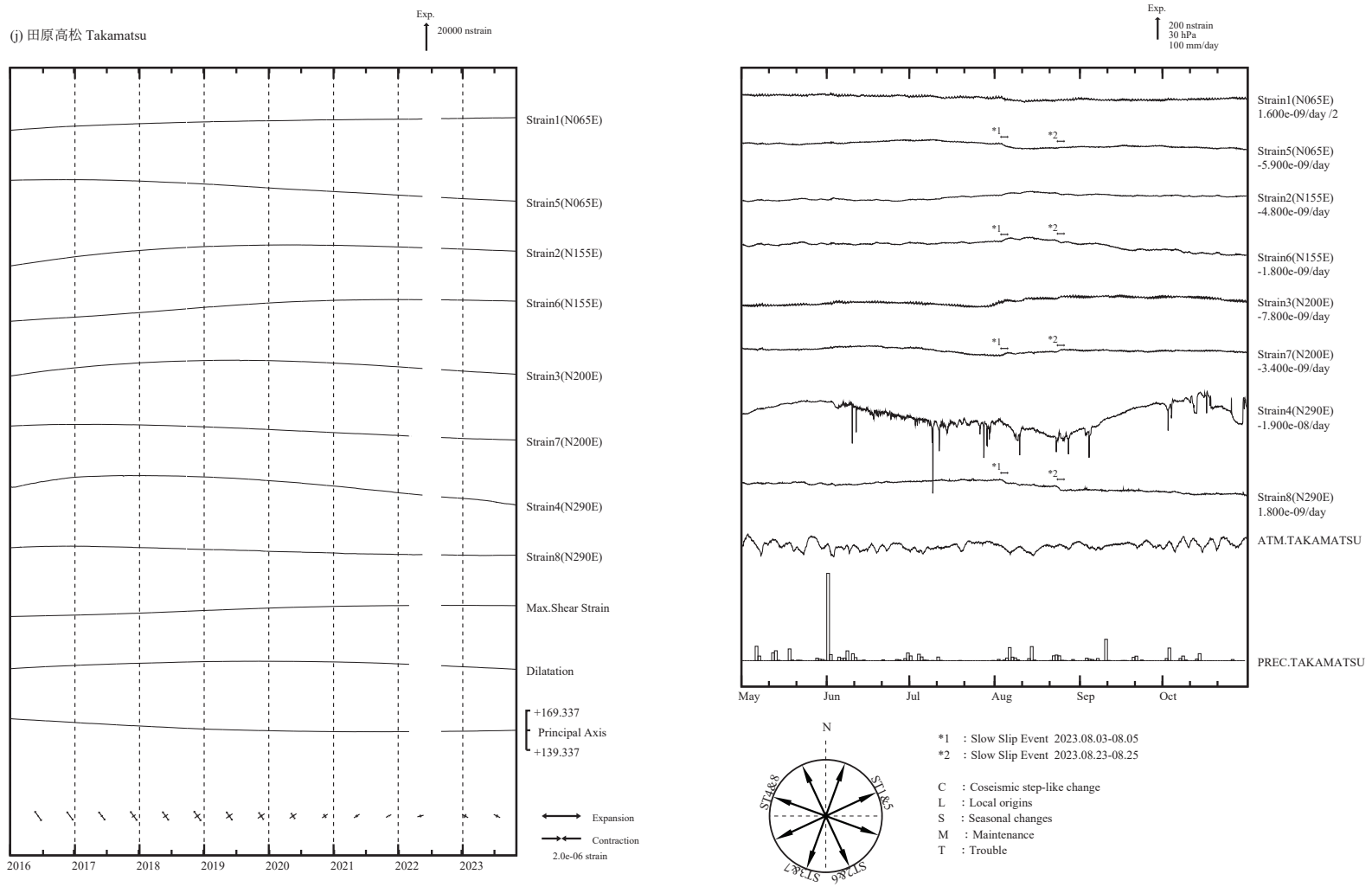
第 4 図 (h)　左：2016 年 1 月以後の多成分ひずみ計変化（日平均値）．主ひずみ・最大せん断ひずみ・面積ひずみは各方向成分から計算されている．
右：2023 年 5 月～ 10 月の多成分ひずみ計変化（時間値：気圧・潮汐・地磁気・降水補正した値）．各図下部に気圧変化と降水量を示す．

Fig. 4(h)　(Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2016 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes May to October 2023 (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 (i)　左：2016 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：2023 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(i)　(Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2016 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes May to October 2023 (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 (j)　左：2016 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：2023 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(j)　(Left) Strain changes observed by multi-component borehole strainmeters since January 2016 (daily mean values). Principal strain, maximum shear strain and dilatation are calculated with strain values obtained from each component.
(Right) Strain changes May to October 2023 (hourly values where changes due to barometric pressure, tidal effects, geomagnetic effects and rain effects are corrected) observed by multi-component borehole strainmeters.

５－３　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（2023 年 5 月～ 2023 年 10 月）

Short-term slow slip events in the Tokai area, the Kii Peninsula and the Shikoku District, Japan (from May 2023 to October 2023)

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．

2023 年 5 月 3 日から 5 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 1 図）．第 2 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, 2023 年 4 月 20 日から 5 月 2 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 5.5）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, 2022 年 12 月 30 日午後から 31 日午前（Mw 5.3；第 3 図の灰色矩形 2）である．

2023 年 5 月 15 日午後から 21 日午前にかけて，愛媛県中予～南予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，2023 年 4 月 29 日から 5 月 15 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 6，7 図は第 5 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 Mw5.9, 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，2022 年 9 月 4 日から 5 日（Mw5.7；第 6，7 図の灰色矩形 1），2022 年 9 月 6 日から 7 日（Mw 5.8；同 2），2022 年 11 月 17 日から 18 日午前（Mw5.6；同 3），2022 年 11 月 18 日午後から 20 日（Mw5.9；同 4），2022 年 11 月 21 日から 24 日午前（Mw5.8；同 5），2022 年 11 月 24 日午後から 26 日（Mw5.6；同 6），2023 年 2 月 15 日から 17 日午前（Mw5.7；同 7）である．

2023 年 6 月 12 日から 14 日午前にかけて，和歌山県中部で深部低周波地震が観測された（第 8 図）．第 9 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，2023 年 5 月 30 日から 6 月 11 日のデータを用いて 1 次トレンドを除去したものである．

第 10 図は第 9 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 5.3）である．今回の活動域付近における最近の短期的 SSE の活動は, 2022 年 12 月 30 日午後から 31 日午前（Mw 5.3；第 10 図の灰色矩形 2），2023 年 3 月 7 日午後から 9 日午前（Mw5.4；同 3），2023 年 5 月 3 日から 5 日（Mw5.5；同 4；今回の断層面と同位置）である．

2023 年 6 月 21 日午後から 24 日午前にかけて, 四国中部～東部で深部低周波地震が観測された（第 11 図）．第 12 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，2023 年 6 月 7 日から 6 月 21 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 13 図は第 12 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（Mw5.8）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，2022 年 8 月 15 日から 19 日（Mw5.7；第 13 図の灰色矩形 1), 2022 年 10 月 18 日から 20 日（Mw 5.5;同 2), 2022 年 10 月 21 日から 23 日（Mw5.5;同 3），2023 年 4 月 1 日午後から 4 日午前（Mw5.6；同 4）である．

2023 年 6 月 21 日午後～ 7 月 10 日午前にかけて，四国西部～東部で深部低周波地震が観測された（第 14 図）．第 15 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，2023 年 6 月 7 日～ 21 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 16 ～ 19 図は第 47 図 [A] ～ [D] 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 Mw5.8, Mw5.4, Mw5.9, Mw5.4）である．なお期間 [B]（第 17 図）については最も残差が小さい領域が微動発生領域とは異なっていたため，残差が小さく微動が発生している領域に限定して断層モデルの推定を行っている．今回の活動域付近における最近の短期的 SSE の活動は，2022 年 8 月 15 日～ 19 日（Mw5.7；第 16 ～ 19 図の灰色矩形 1），2022 年 9 月 4 日～ 5 日（Mw 5.7；同 2），2022 年 9 月 6 日～ 7 日（Mw5.8；同 3），2022 年 10 月 18 日～ 20 日（Mw5.5；同 4），2022 年 10 月 21 日～ 23 日（Mw5.5；同 5），2022 年 11 月 17 日～ 18 日午前（Mw5.6；同 6），2022 年 11 月 18 日午後～ 20 日（Mw5.9；同 7），2022 年 11 月 21 日～ 24 日午前（Mw5.8；同 8），2022 年 11 月 24 日午後～ 26 日（Mw5.6；同 9），2023 年 4 月 1 日午後～ 4 日午前（Mw5.6；同 10）である．

2023 年 7 月 16 日～ 22 日午前にかけて，和歌山県中部～奈良県南部・東部～三重県中部で深部低周波地震が観測された（第 20 図）．第 21 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，2023 年 7 月 2 日～ 15 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 22 ～ 25 図は第 21 図 [A]・[Bsw]・[Csw]・[Bne] の変化を説明する短期的 SSE の断層モデルの推定結果（順に Mw 5.6, Mw5.9, Mw5.4, Mw5.5）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，2022 年 5 月 28 日～ 30 日（Mw 5.8；第 22 ～ 25 図の灰色矩形 1），2022 年 12 月 30 日午後～ 31 日午前（Mw5.3；同 2），2023 年 3 月 7 日午後～ 9 日午前（Mw5.4；同 3），2023 年 3 月 26 日～ 28 日（Mw5.5；同 4），2023 年 3 月 29 日～ 31 日（Mw5.9；同 5），2023 年 4 月 1 日～ 4 日（Mw5.6;同 6), 2023 年 4 月 5 日～ 7 日（Mw5.3;同 7), 2023 年 4 月 21 日午後～ 24 日午前（Mw5.7;同 8），2023 年 6 月 12 日～ 14 日午前（Mw5.3；同 9）である．

2023 年 08 月 03 日から 07 日にかけて，三重県において深部低周波地震活動が観測された（第 26 図）．第 27 図は三重県・愛知県の産総研・防災科研・気象庁・静岡県の観測点における歪・傾斜の観測結果である．歪・傾斜の結果は BAYTAP-G により気圧応答成分，潮汐成分およびホワイトノイズ成分を取り除き，2023 年 07 月 21 日から 27 日のデータを用いて 1 次トレンドを除去したもの

である．

第 28 図は第 27 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，2023 年 04 月 21 日午後から 24 日午前 (Mw 5.7：第 28 図の灰色矩形 1)，2023 年 03 月 26 日から 04 月 07 日 (Mw 5.3, 5.6, 5.9, 5.5：同 2, 3, 4, 5)，2022 年 12 月 17 日から 21 日 (Mw 5.6, 5.5：同 6, 7).

2023 年 08 月 16 日から 21 日にかけて，愛媛県・大分県において深部低周波地震活動が観測された（第 29 図）．第 30 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．歪・傾斜の結果は BAYTAP-G により気圧応答成分，潮汐成分およびホワイトノイズ成分を取り除き，2023 年 08 月 01 日から 07 日のデータを用いて 1 次トレンドを除去したものである．

第 31, 32 図は第 30 図 [A], [B] の変化を説明する短期的 SSE の推定結果（順に Mw 6.0, 5.5）である．今回の活動域付近における最近の短期的 SSE の活動は，2023 年 04 月 01 日午後から 04 日午前 (Mw 5.6：第 31, 32 図の灰色矩形 1), 2022 年 11 月 17 日から 26 日 (Mw 5.6, 5.8, 5.9, 5.6：同 2, 3, 4, 5) である．

2023 年 08 月 23 日から 24 日にかけて，三重県において深部低周波地震活動が観測された（第 33 図）．第 34, 35 図は三重県・愛知県・静岡県の産総研・防災科研・気象庁・静岡県の観測点における歪・傾斜の観測結果である．歪・傾斜の結果は BAYTAP-G により気圧応答成分，潮汐成分およびホワイトノイズ成分を取り除き，2023 年 08 月 10 日から 16 日のデータを用いて 1 次トレンドを除去したものである．

第 36 図は第 34, 35 図 [A] の変化を説明する短期的 SSE の推定結果（Mw 5.5）である．今回の活動域付近における最近の短期的 SSE の活動は，2023 年 08 月 03 日から 05 日 (Mw 5.8：第 36 図の灰色矩形 1)，2023 年 03 月 26 日から 04 月 07 日 (Mw 5.3, 5.6, 5.9, 5.5：同 2, 3, 4, 5)，2022 年 10 月 11 日午後から 23 日午前 (Mw 5.9, 5.8, 5.8：同 6, 7, 8) である．

2023 年 09 月 13 日から 17 日にかけて，愛媛県・高知県・徳島県・香川県において深部低周波地震活動が観測された（第 37 図）．第 38 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．歪・傾斜の結果は BAYTAP-G により気圧応答成分，潮汐成分およびホワイトノイズ成分を取り除き，2023 年 09 月 03 日から 09 日のデータを用いて 1 次トレンドを除去したものである．

第 39, 40 図はそれぞれ第 38 図 [A], [B] の変化を説明する短期的 SSE の推定結果（順に Mw 5.3, 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，2023 年 06 月 21 日午後から 07 月 10 日午前 (Mw 5.8, 5.4, 5.9, 5.8：第 39, 40 図の灰色矩形 1, 2, 3, 4)，2023 年 04 月 01 日午後から 04 日午前 (Mw 5.6：同 5)，2022 年 12 月 18 日から 23 日 (Mw 5.5, 5.5：同 6, 7).

2023 年 09 月 14 日から 18 日にかけて，愛知県・長野県において深部低周波地震活動が観測された（第 41 図）．第 42 図は愛知県・長野県・静岡県の産総研・気象庁・静岡県の観測点における歪の観測結果である．歪の結果は BAYTAP-G により気圧応答成分，潮汐成分およびホワイトノイズ成分を取り除き，2023 年 09 月 01 日から 07 日のデータを用いて 1 次トレンドを除去したものである．

第 43 図は第 42 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，2022 年 10 月 11 日午後から 23 日午前 (Mw 5.8, 5.8, 5.9：

第 43 図の灰色矩形 1, 2, 3)，2022 年 03 月 17 日から 20 日 (Mw 5.9：同 4)，2022 年 01 月 15 日から 23 日 (Mw 5.8, 5.8：同 5, 6) である．

2023 年 09 月 30 日から 10 月 04 日にかけて，長野県・静岡県において深部低周波地震活動が観測された（第 44 図）．第 45 図は長野県・静岡県の防災科研・気象庁・静岡県の観測点における歪・傾斜の観測結果である．歪・傾斜の結果は BAYTAP-G により気圧応答成分，潮汐成分およびホワイトノイズ成分を取り除き，2023 年 09 月 21 日から 27 日のデータを用いて 1 次トレンドを除去したものである．

第 46 図は第 45 図 [A] の変化を説明する短期的 SSE の推定結果（Mw 5.7）である．今回の活動域付近における最近の短期的 SSE の活動は，2023 年 09 月 15 日から 17 日 (Mw 5.8：第 46 図の灰色矩形 1)，2022 年 10 月 19 日から 23 日午前 (Mw 5.9：同 2)，2022 年 03 月 17 日から 20 日 (Mw 5.9：同 3)，2022 年 01 月 15 日から 19 日 (Mw 5.8：同 4)，2020 年 08 月 05 日から 07 日 (Mw 5.6：同 5) である．

2023 年 10 月 11 日から 13 日にかけて，和歌山県・奈良県において深部低周波地震活動が観測された（第 47 図）．第 48 図は和歌山県・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．歪の結果は BAYTAP-G により気圧応答成分，潮汐成分およびホワイトノイズ成分を取り除き，2023 年 10 月 01 日から 07 日のデータを用いて 1 次トレンドを除去したものである．

第 49 図は第 48 図 [A] の変化を説明する短期的 SSE の推定結果（Mw 5.3）である．今回の活動域付近における最近の短期的 SSE の活動は，2023 年 03 月 07 日午後から 09 日午前 (Mw 5.4：第 49 図の灰色矩形 1)，2022 年 12 月 30 日午後から 31 日午前 (Mw 5.3：同 2)，2022 年 11 月 08 日から 10 日 (Mw 5.8：同 3)，2022 年 09 月 30 日午後から 10 月 01 日 (Mw 5.6：同 4)，2022 年 05 月 28 日から 30 日 (Mw 5.8：同 5) である．

2023 年 10 月 20 日から 23 日にかけて，長野県・愛知県において深部低周波地震活動が観測された（第 50 図）．第 51 図は長野県・静岡県・愛知県の産総研・気象庁・静岡県の観測点における歪・傾斜の観測結果である．歪・傾斜の結果は BAYTAP-G により気圧応答成分，潮汐成分およびホワイトノイズ成分を取り除き，2023 年 10 月 11 日から 17 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 52 図は第 51 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，2023 年 09 月 30 日午後から 10 月 02 日 (Mw 5.7：第 52 図の灰色矩形 1)，2023 年 09 月 15 日から 17 日 (Mw 5.8：同 2)，2022 年 10 月 19 日から 23 日午前 (Mw 5.9：同 3)，2022 年 03 月 17 日から 20 日 (Mw 5.9：同 4)，2022 年 01 月 15 日から 19 日 (Mw 5.8：同 5)，2020 年 08 月 05 日から 07 日 (Mw 5.6：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 [Tamura et al., 1991] により計算し，GOTIC2 [Matsumoto et al., 2001] により推定した地球固体潮汐および海洋荷重潮汐（O1 および M2 分潮）との振幅比を用いて，体積歪に変換する．歪・地下水・傾斜ともに，観測波形か

らBAYTAP-Gにより，気圧応答成分，潮汐成分およびホワイトノイズ成分を取り除く．また，イベント直前の期間を用いて1次トレンドも取り除く．微動活動も参考にして，数時間〜半日単位で活動開始・終了時期を判断し，その期間の変化量を短期的SSEによる変化量とする．その際，歪についてはMatsumoto et al. [2010]の手法で理論潮汐歪を用いてキャリブレーションを行っている．

断層面の推定は，板場ほか[2012]の手法を用いて次の2段階で行う．1段階目では，断層面の位置（0.1°間隔）とすべり量（1-50 mm）を可変とする．幅･長さともに20 kmに固定した断層面をフィリピン海プレート境界面[弘瀬ほか，2007]上で動かし，各位置での最適なすべり量を探す．結果を示す図には，それぞれの位置で残差を最小にするすべり量を与えたときの，観測値とそのすべり量による計算値（Okada [1992]による）との残差の総和の分布を示している．これにより，短期的SSEが生じている可能性が高い領域を絞り込むとともに，次の2段階目で推定された結果の任意性を確認することができる．2段階目では，1段階目で絞り込んだ領域付近で，断層面の位置（0.1°間隔）・すべり量（1-50 mm）・長さ（10-80 kmの間で1 km間隔）および幅（10-50 kmの間で1 km間隔）を可変として残差を最小にする解を求める．ただし，計算に使用している観測点数が少ない場合や，断層面と観測点配置の関係によっては解の任意性が高くなるので注意が必要である．

なお，残差はノイズレベルによって規格化している．これは異種の観測値を統合するための処置である．ノイズレベルの定義は，気圧応答，潮汐成分およびホワイトノイズ成分を取り除いた後（微動活動が活発な期間および周辺の日雨量50 mmを超える時期を除く）の24時間階差の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・板場智史・落唯史・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

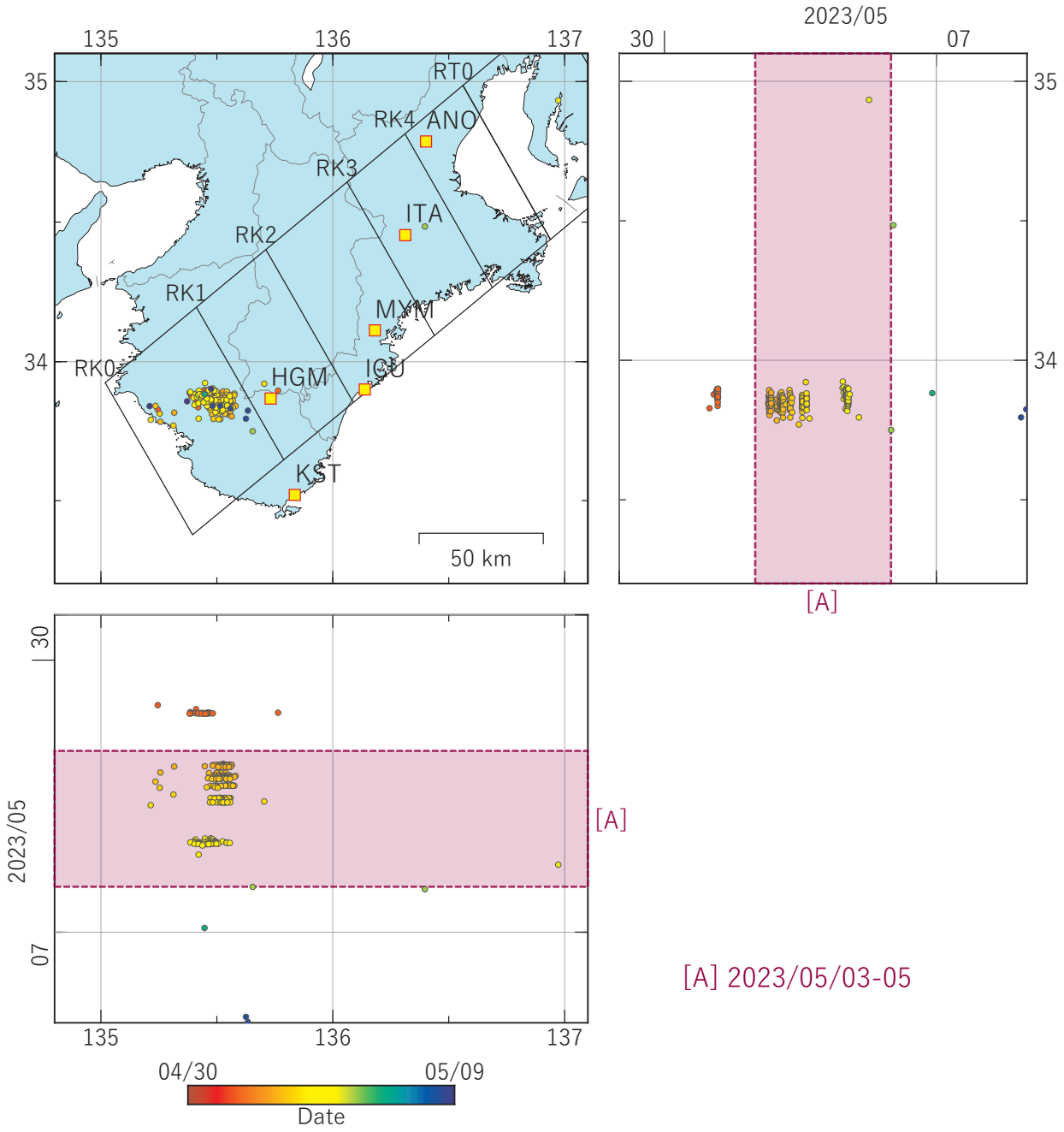
短期的SSEの断層モデル推定には，気象庁，静岡県の多成分歪計および体積歪計の記録を使用しました．気象庁の歪計データを解析する際には，気象庁によるキャリブレーション係数を使用しました．微動の解析には，気象庁，東京大学，京都大学，名古屋大学，高知大学，九州大学の地震波形記録を使用しました．低周波地震の震央位置表示には，気象庁の一元化カタログを使用しました．ここに記して感謝します．

参考文献

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

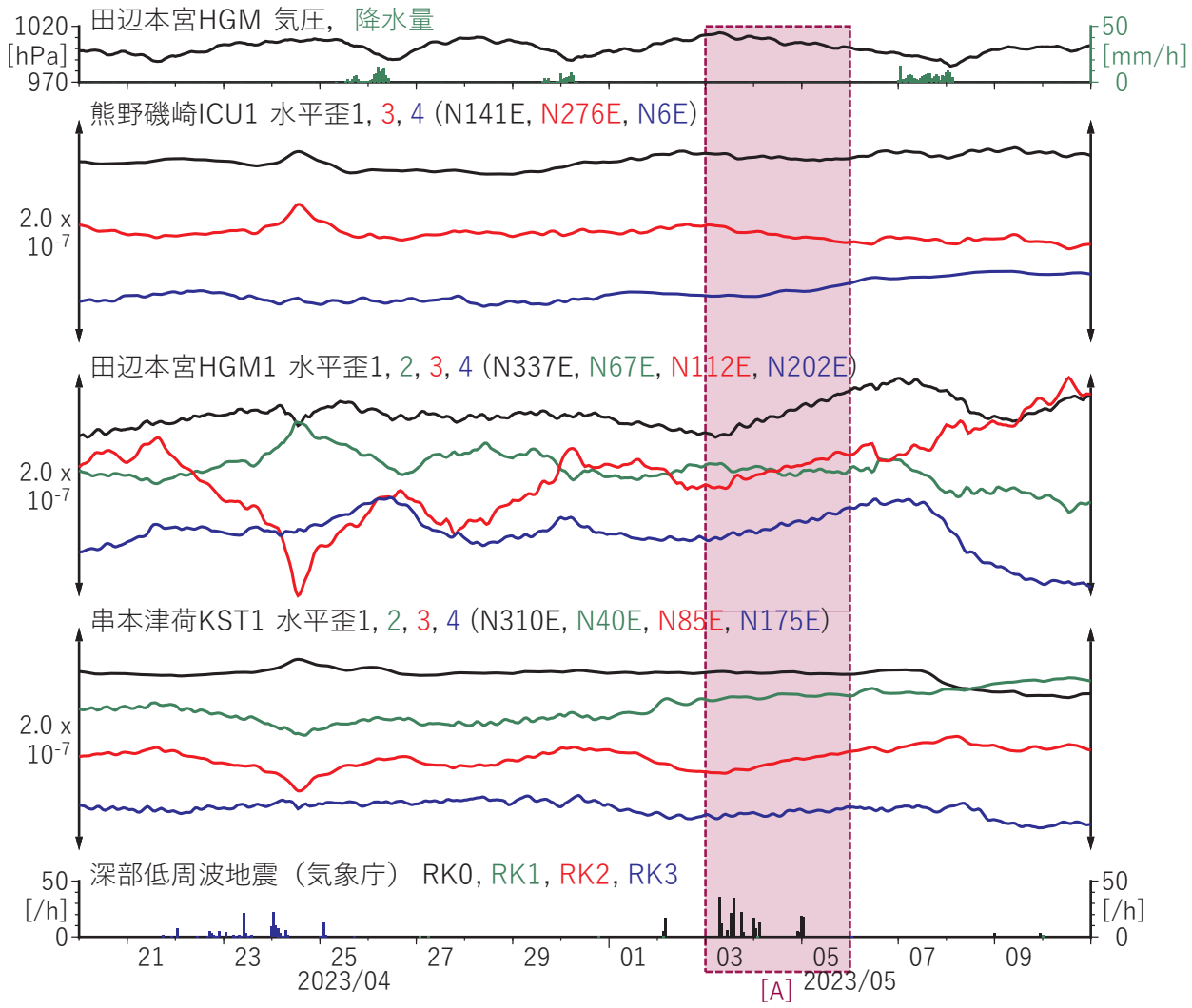
Am., **82**, 1018-1040.

6) 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.



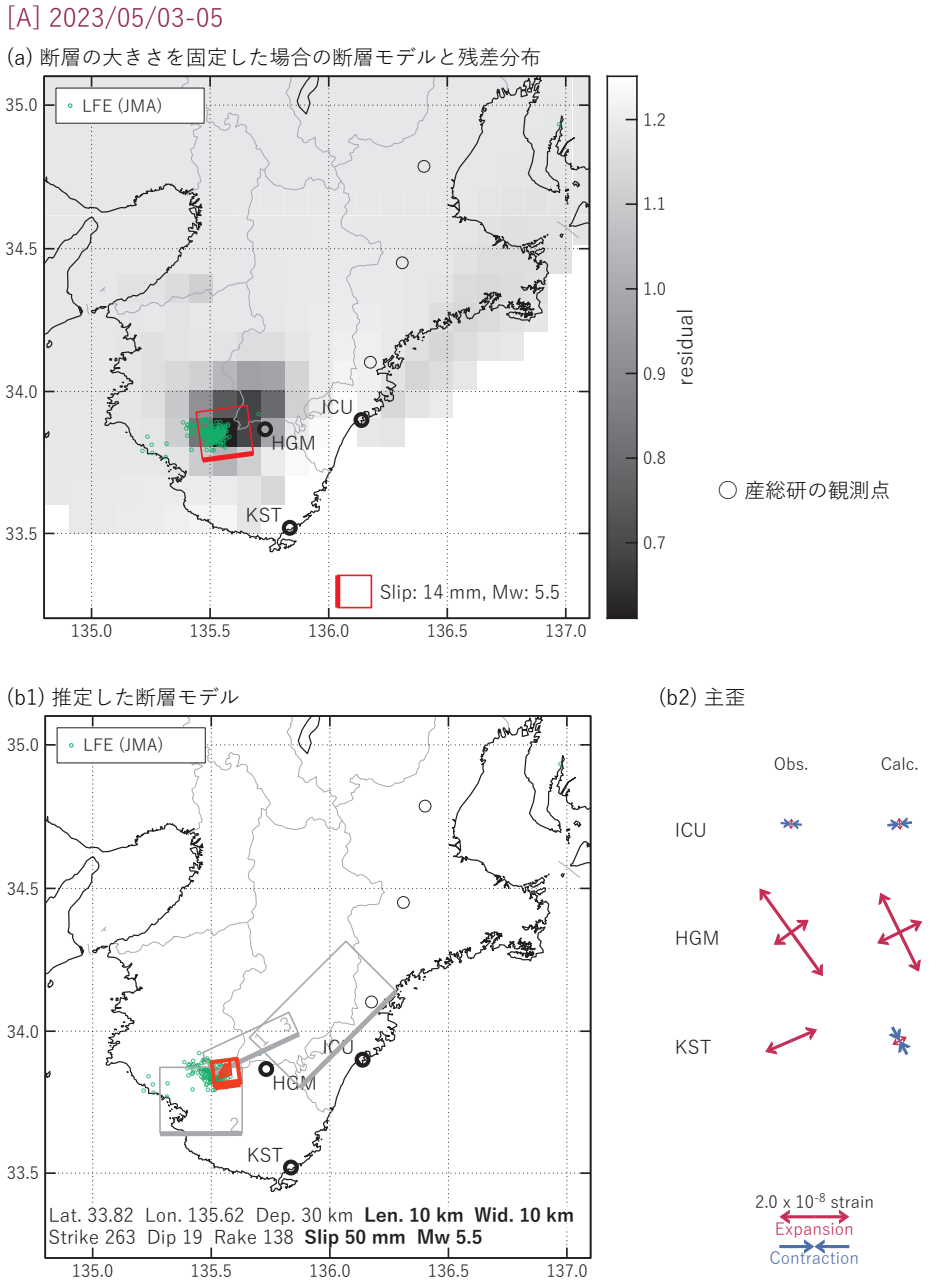
第 1 図　紀伊半島における低周波地震（気象庁一元化カタログによる）の時空間分布（2023/04/30 ～ 2023/05/08）.

Fig. 1　Space-time distribution of low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Kii Peninsula from April 30 to May 8, 2023.



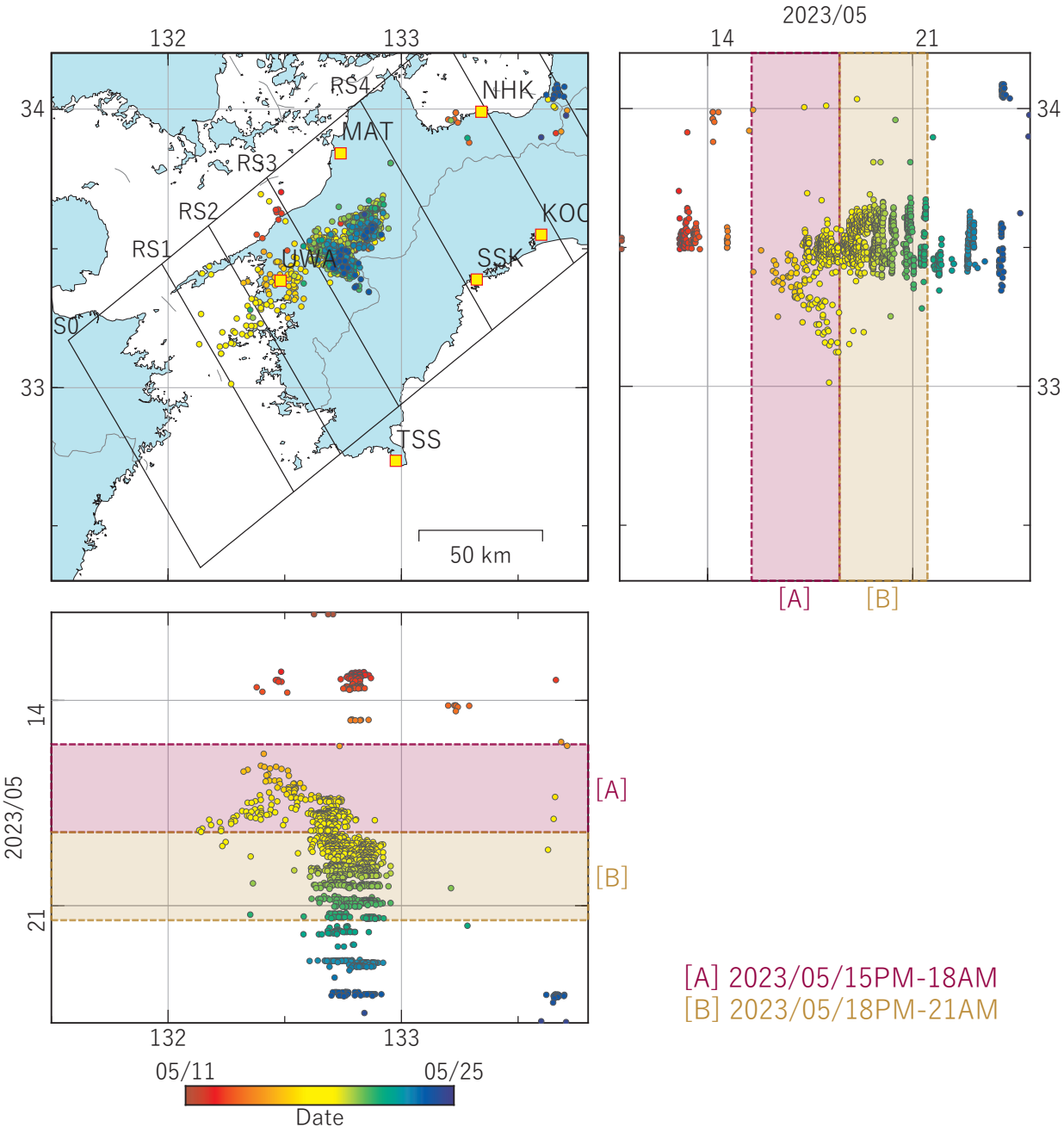
第 2 図　紀伊半島における歪の観測結果と低周波地震の検出数（2023/04/20 ～ 2023/05/11）.

Fig. 2　Observed strain data and detected number of low-frequency earthquakes in the Kii Peninsula from April 20 to May 11, 2023.



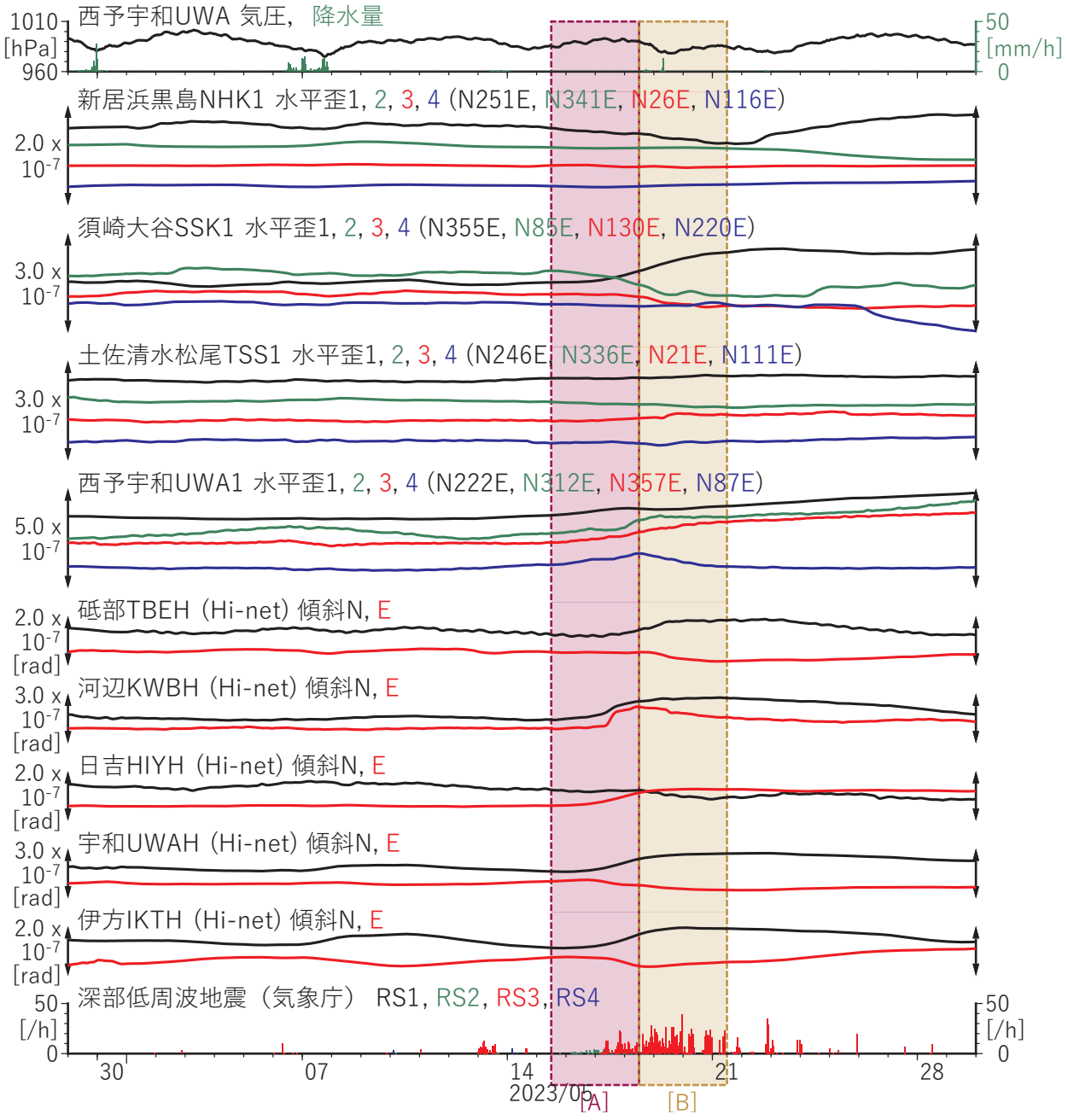
第 3 図　第 2 図 [A] を説明する断層モデル．以下の凡例の説明は以降の同様の図に共通．（図によっては気象庁・静岡県の観測点や (b3) 体積歪の結果はない場合がある．）黒・緑・青の丸印はそれぞれ産総研・気象庁および静岡県・防災科研 Hi-net の観測点，緑の小さな丸印は気象庁の推定した低周波地震．(a) 1 段階目の結果．灰色の濃淡は残差の総和で，赤色矩形が残差の総和が最小となる断層面の位置（大きさは 20x20 km で固定）．(b1) 2 段階目の結果．赤色矩形が残差の総和が最小となる断層面．矢印は傾斜の観測値と計算値の比較．灰色矩形は最近周辺で発生した短期的 SSE の推定断層面（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　四国地方における低周波地震（気象庁一元化カタログによる）の時空間分布（2023/05/11 ～ 2023/05/24）.

Fig. 4　Space-time distribution of low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Shikoku region from May 11 to 24, 2023.

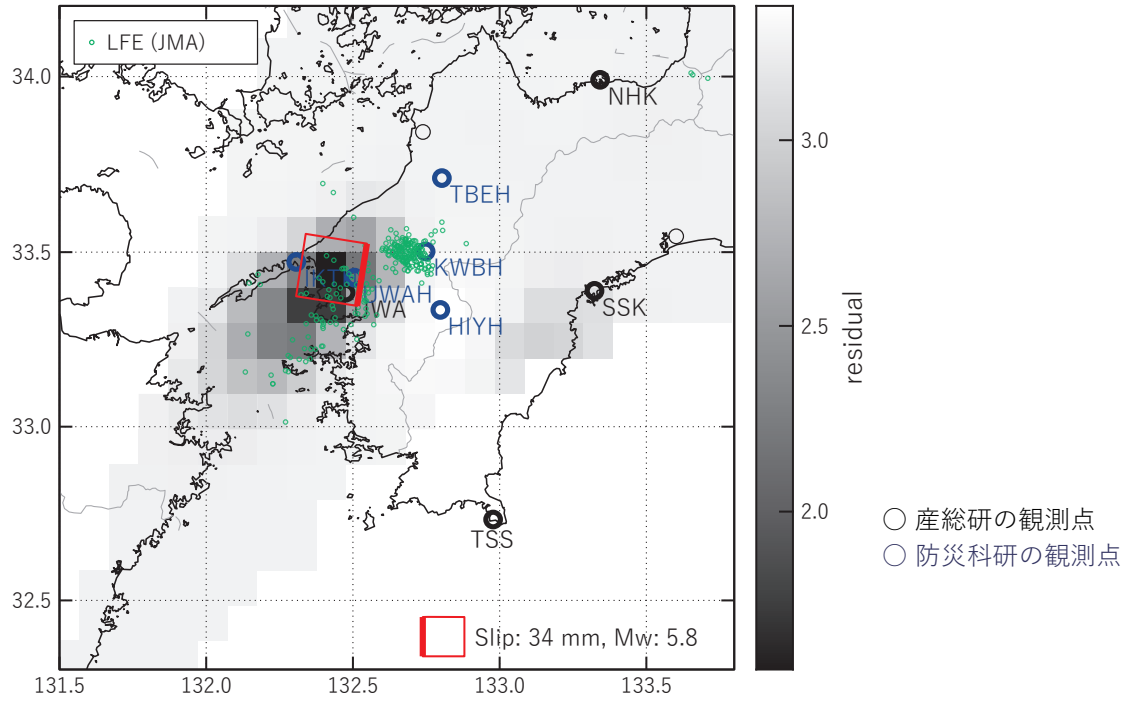


第 5 図　四国地方における歪・傾斜の観測結果と低周波地震の検出数（2023/04/29 ～ 2023/05/29）.

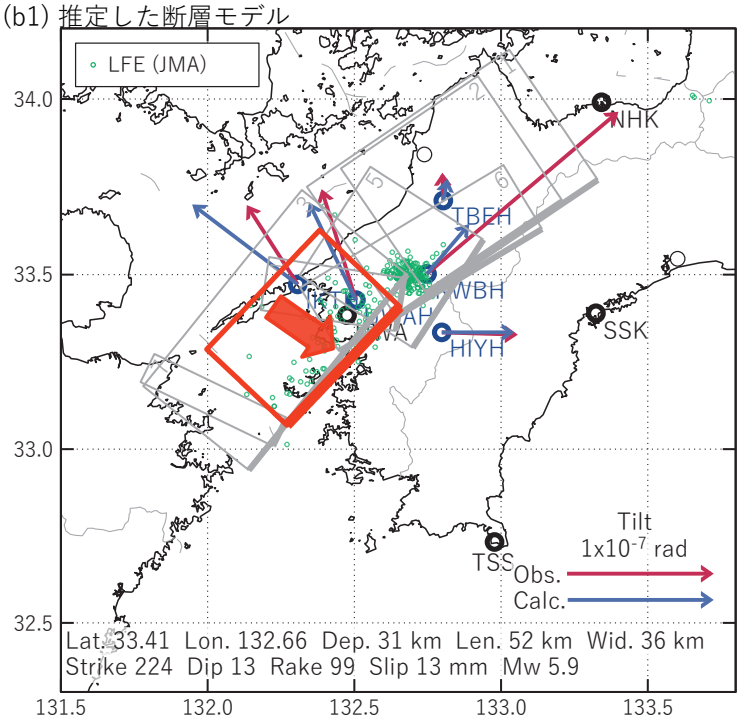
Fig. 5　Observed strain and tilt data and detected number of low-frequency earthquakes in the Shikoku region from April 29 to May 29, 2023.

[A] 2023/05/15PM-18AM

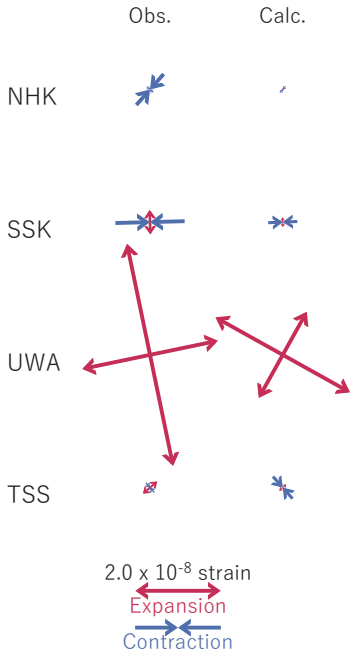
(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



(b1) 推定した断層モデル



(b2) 主歪

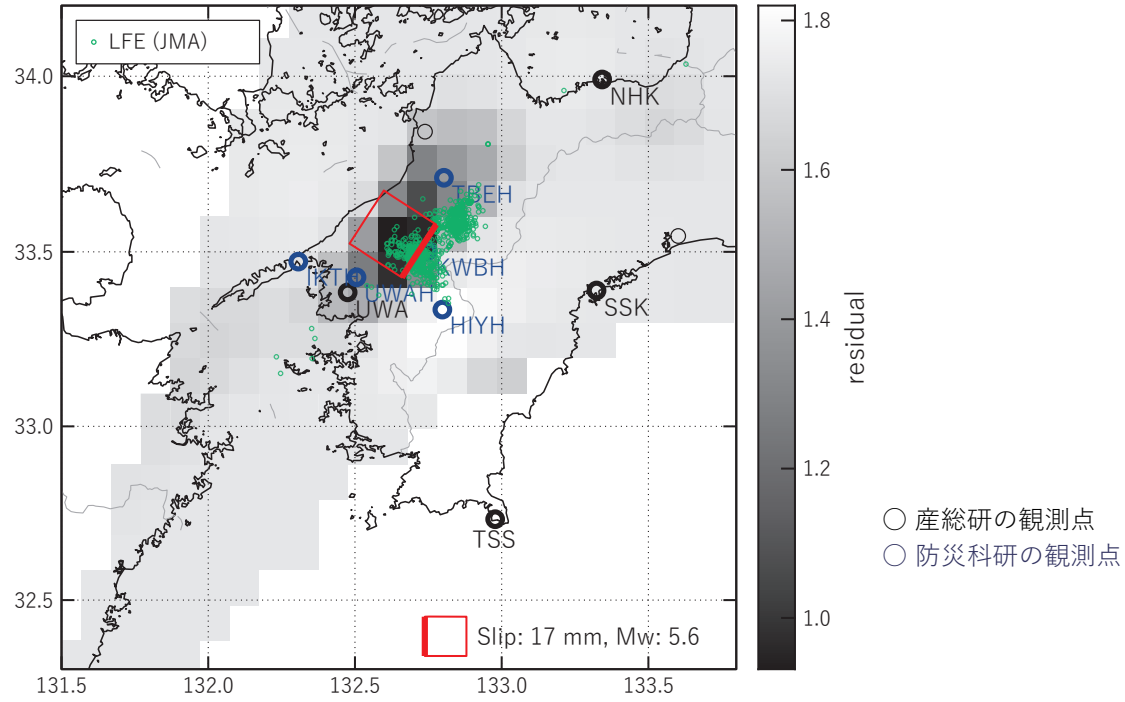


第 6 図　第 5 図 [A] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．

Fig. 6　Inferred fault models for Fig. 5[A]. See also the caption of Fig. 3.

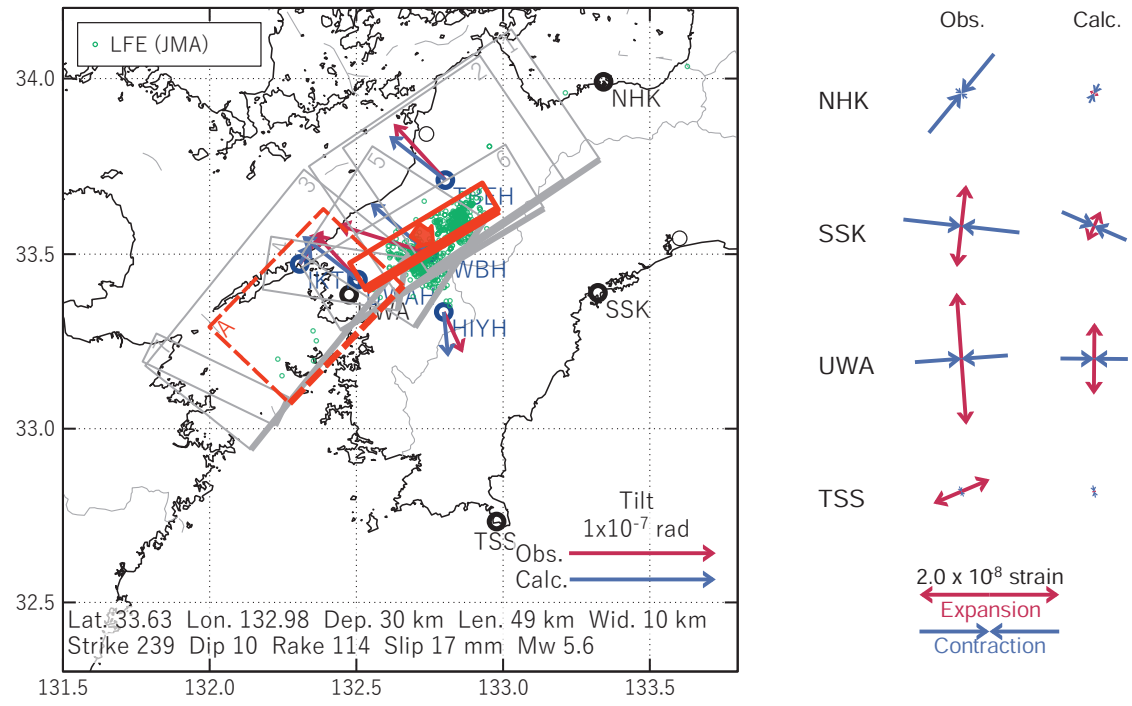
[B] 2023/05/18PM-21AM

(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



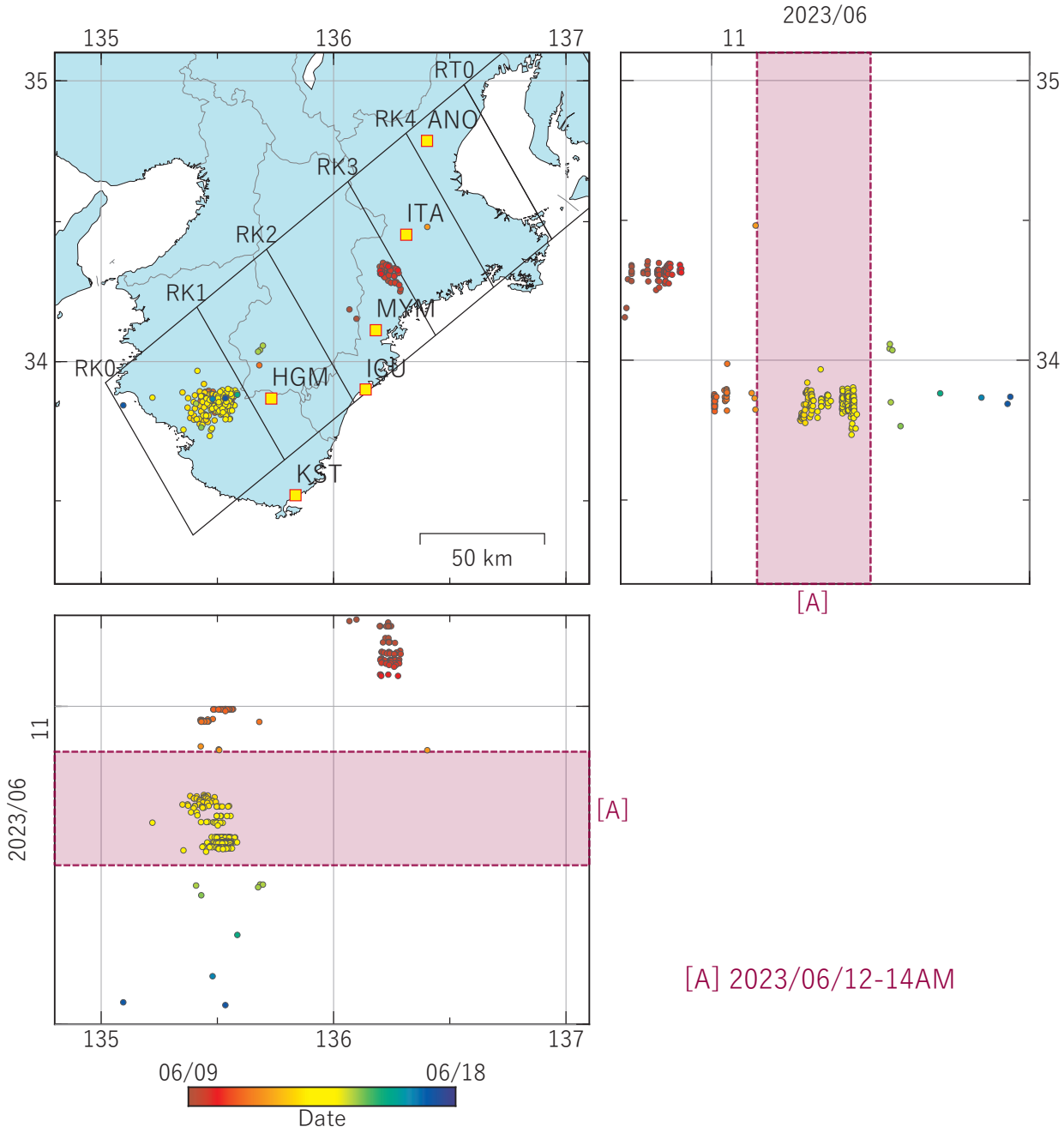
(b1) 推定した断層モデル

(b2) 主歪



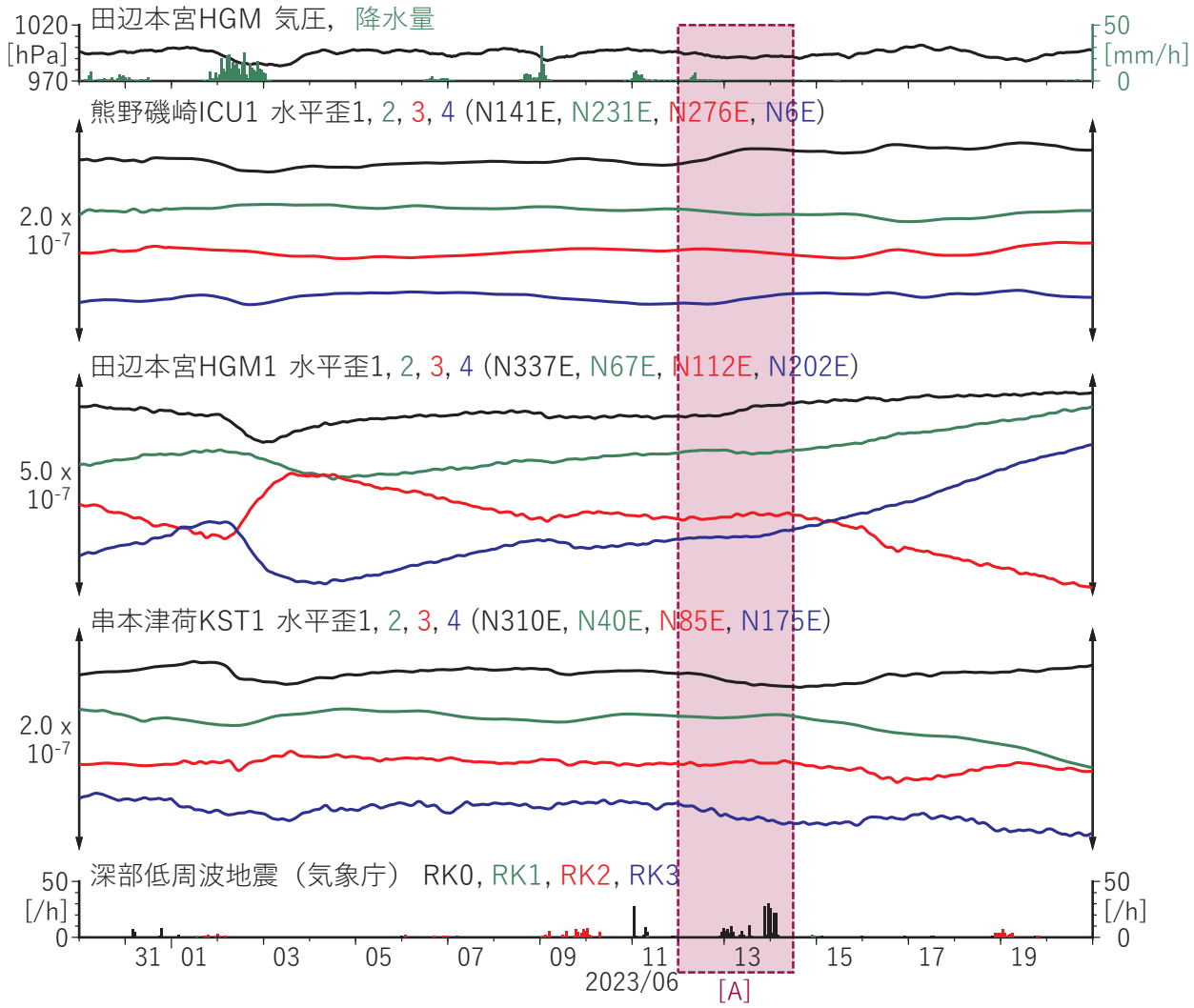
第 7 図　第 5 図 [B] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．

Fig. 7　Inferred fault models for Fig. 5[B]. See also the caption of Fig. 3.



第 8 図　紀伊半島における低周波地震（気象庁一元化カタログによる）の時空間分布（2023/06/09 ～ 2023/06/17）.

Fig. 8　Space-time distribution of low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Kii Peninsula from June 9 to 17, 2023.

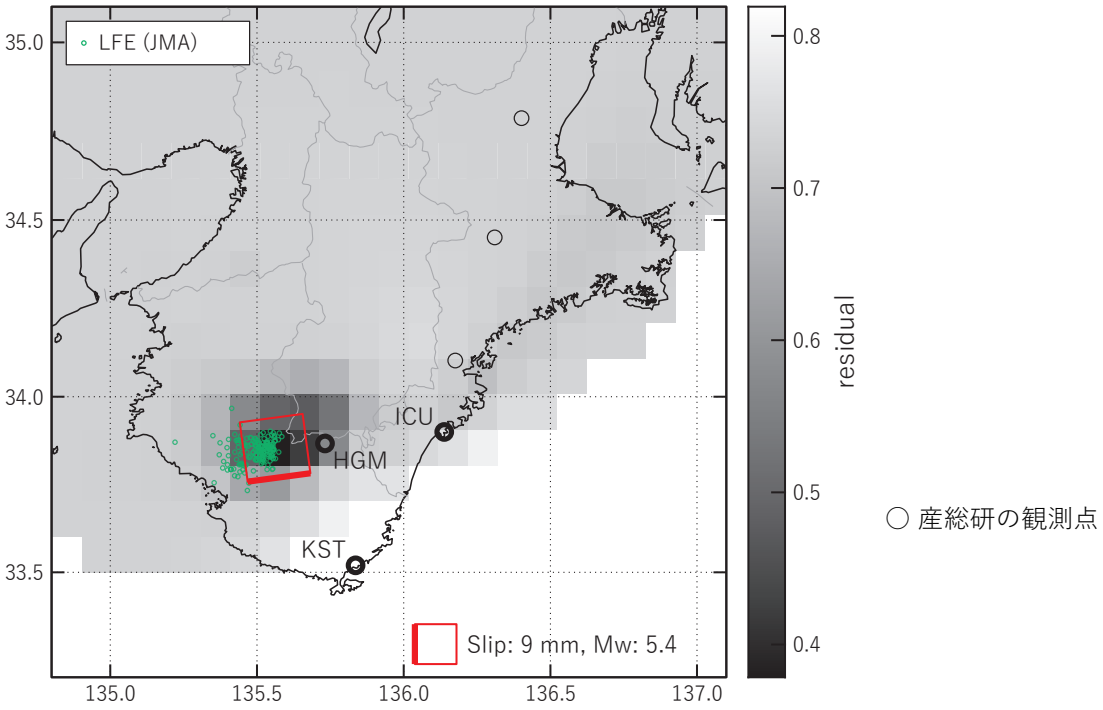


第 9 図　紀伊半島における歪の観測結果と低周波地震の検出数（2023/05/30 ～ 2023/06/21）.

Fig. 9　Observed strain data and detected number of low-frequency earthquakes in the Kii Peninsula from May 30 to June 21, 2023.

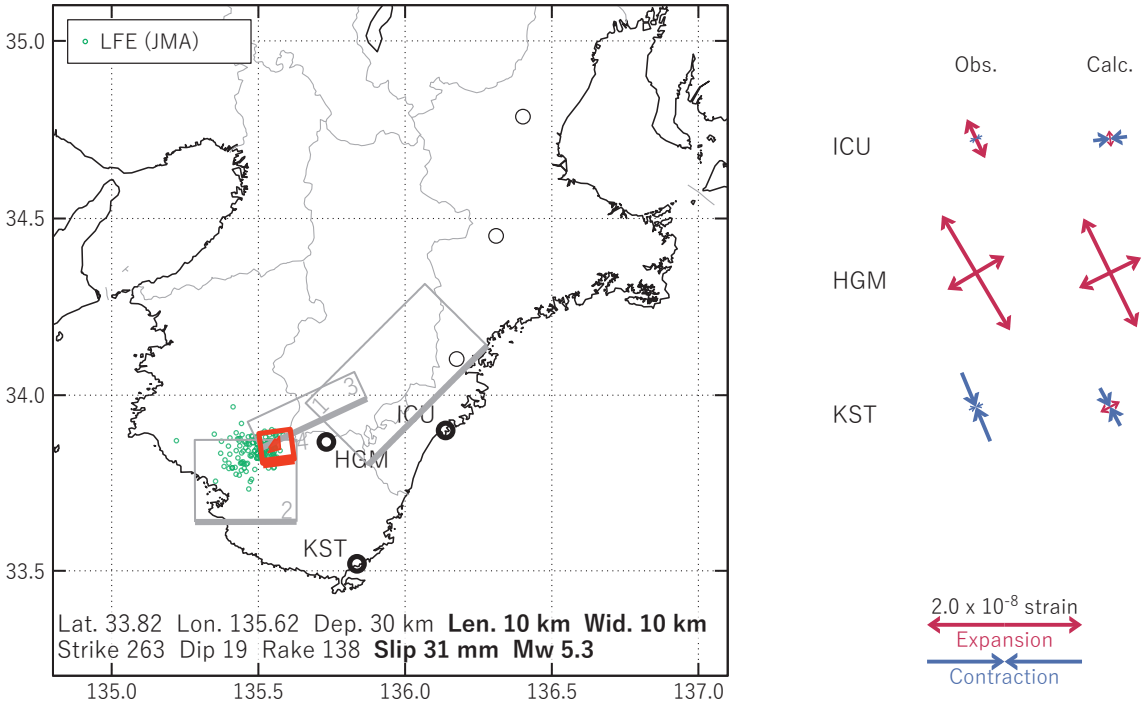
[A] 2023/06/12-14AM

(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



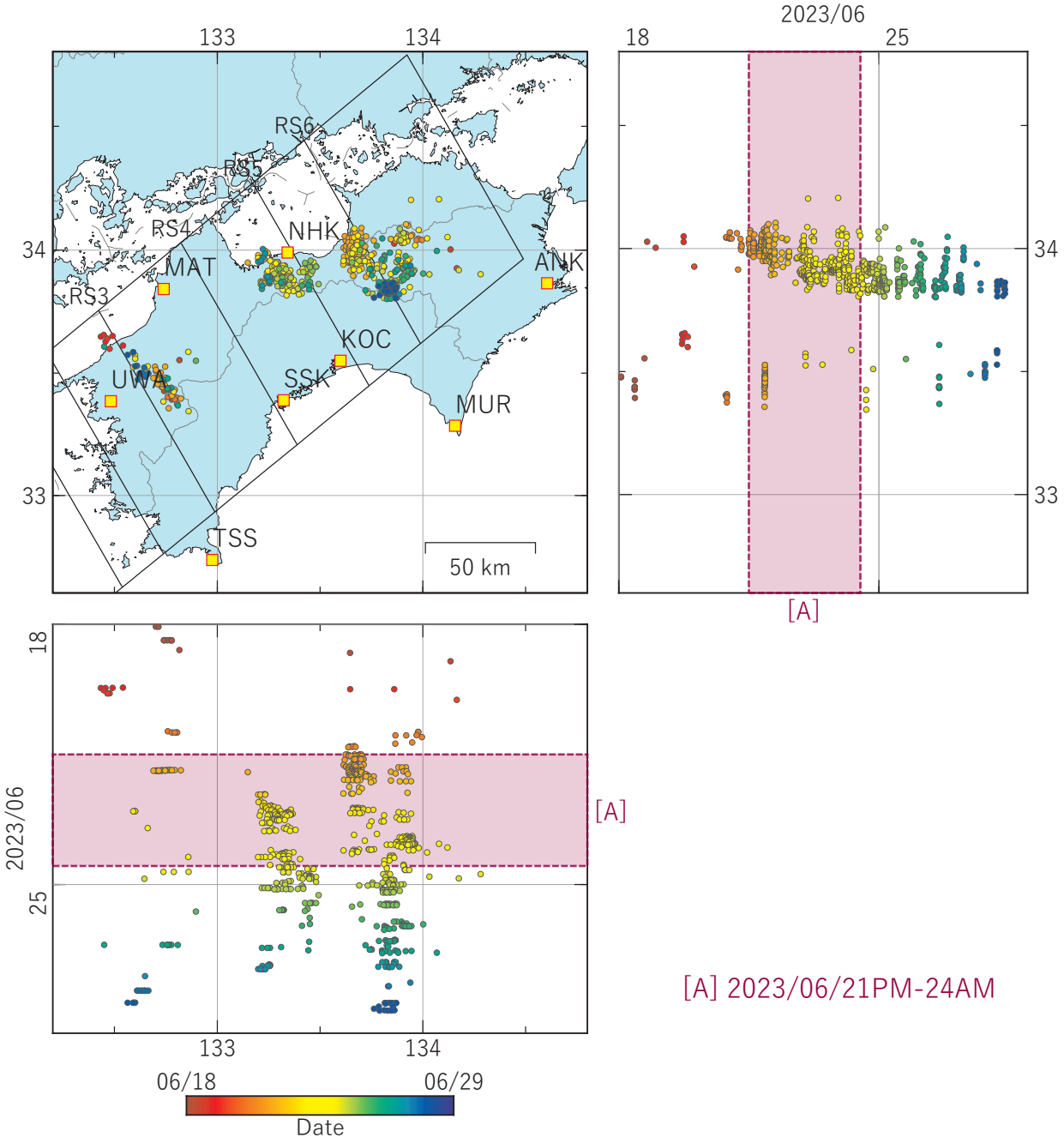
(b1) 推定した断層モデル

(b2) 主歪



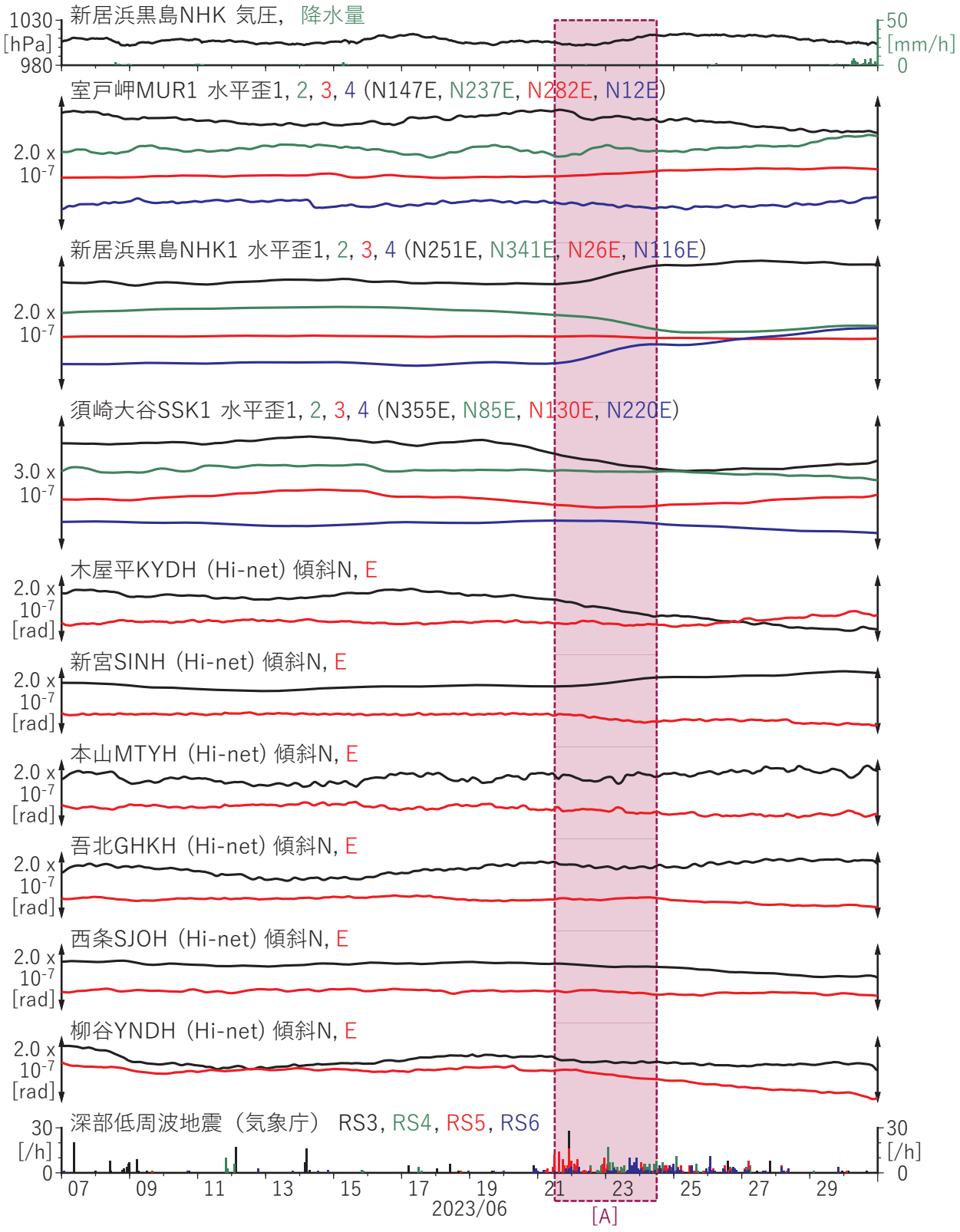
第 10 図　第 9 図 [A] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．

Fig. 10　Inferred fault models for Fig. 9[A]. See also the caption of Fig. 3.



第 11 図　四国地方における低周波地震（気象庁一元化カタログによる）の時空間分布（2023/06/18 ～ 2023/06/28）.

Fig. 11　Space-time distribution of low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Shikoku region from June 18 to 28, 2023.

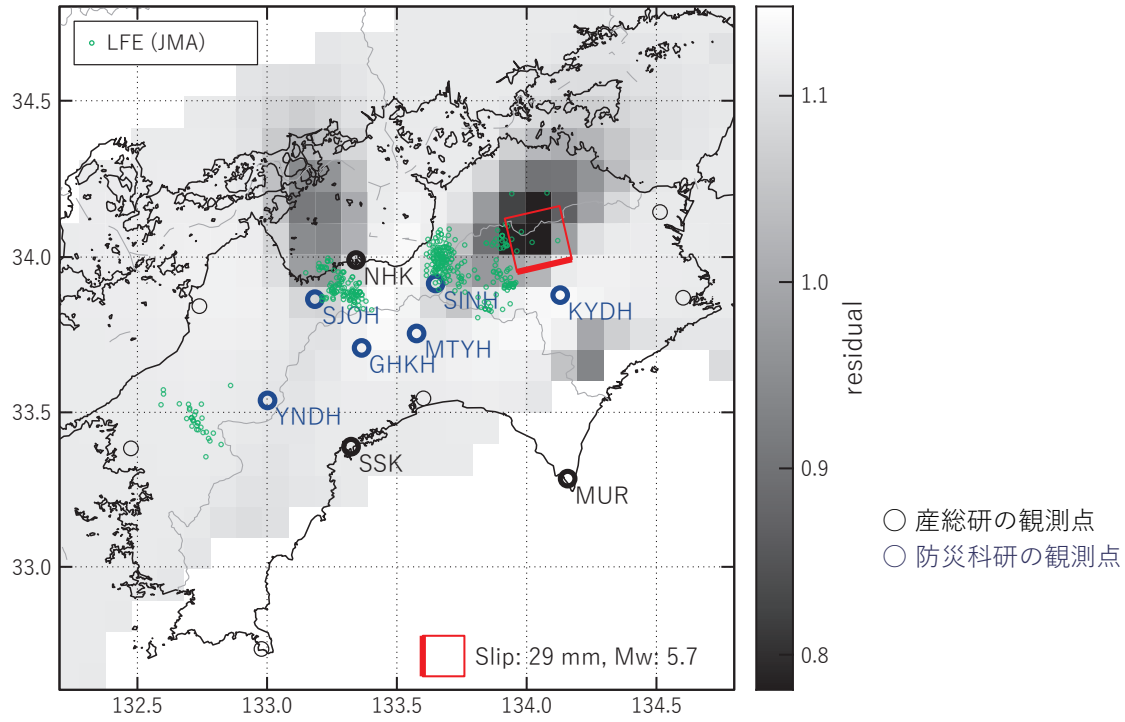


第 12 図　四国地方における歪・傾斜の観測結果と低周波地震の検出数（2023/06/07 ～ 2023/06/30）.

Fig. 12　Observed strain and tilt data and detected number of low-frequency earthquakes in the Shikoku region from June 07 to 30, 2023.

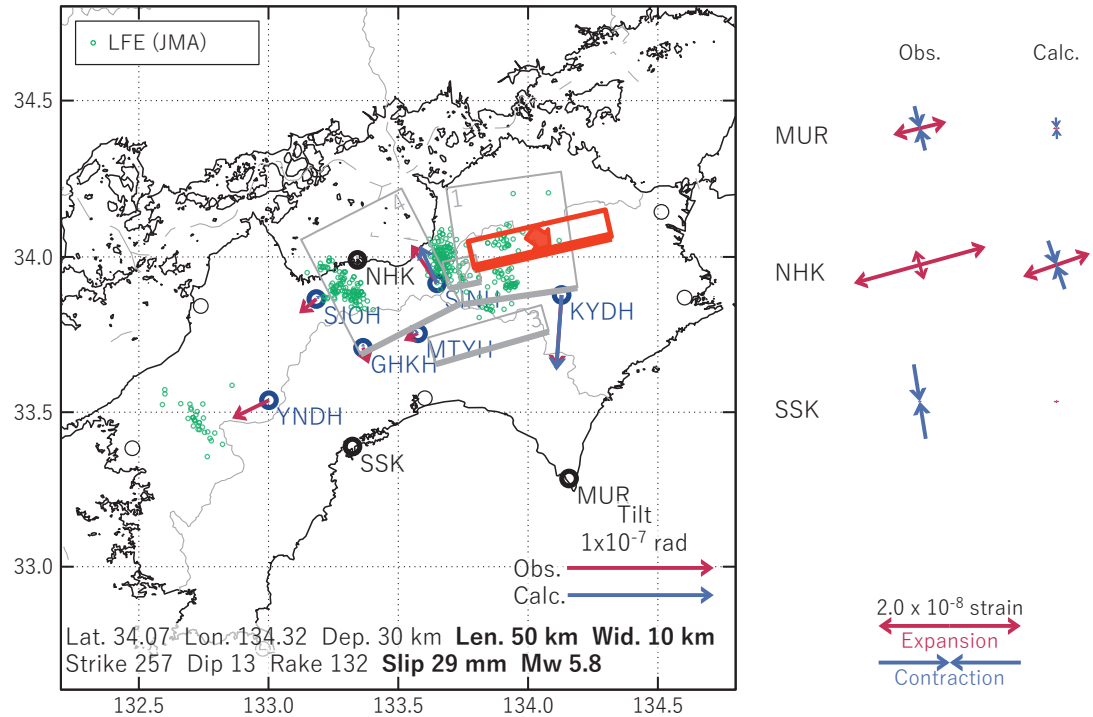
[A] 2023/06/21PM-24AM

(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



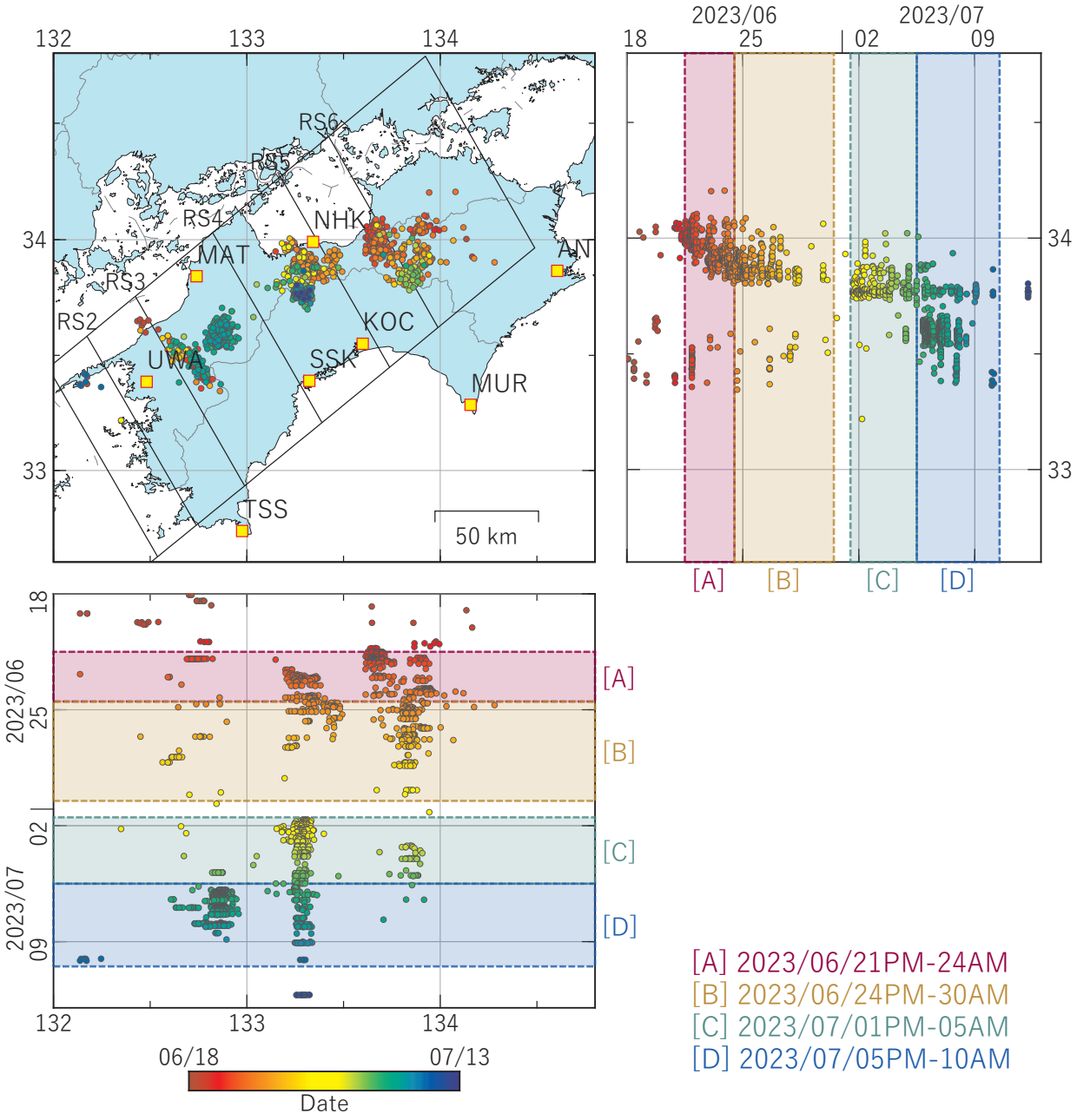
(b1) 推定した断層モデル

(b2) 主歪



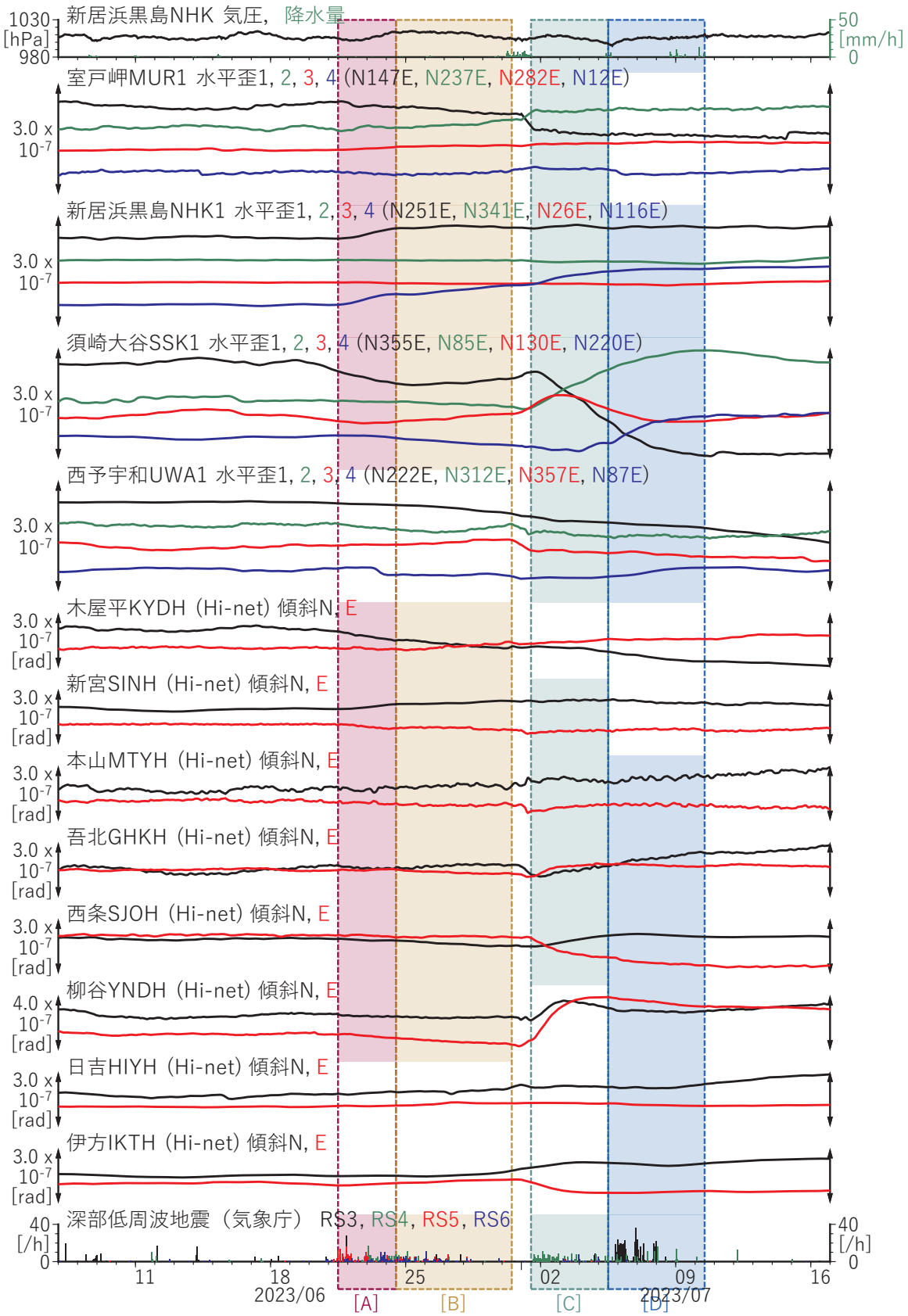
第 13 図　第 12 図 [A] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．

Fig. 13　Inferred fault models for Fig. 12[A]. See also the caption of Fig. 3.



第 14 図　四国地域における低周波地震（気象庁一元化カタログによる）の時空間分布（2023/06/18 〜 2023/07/12）.

Fig. 14　Space-time distribution of low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Shikoku region from June 18 to July 12, 2023.

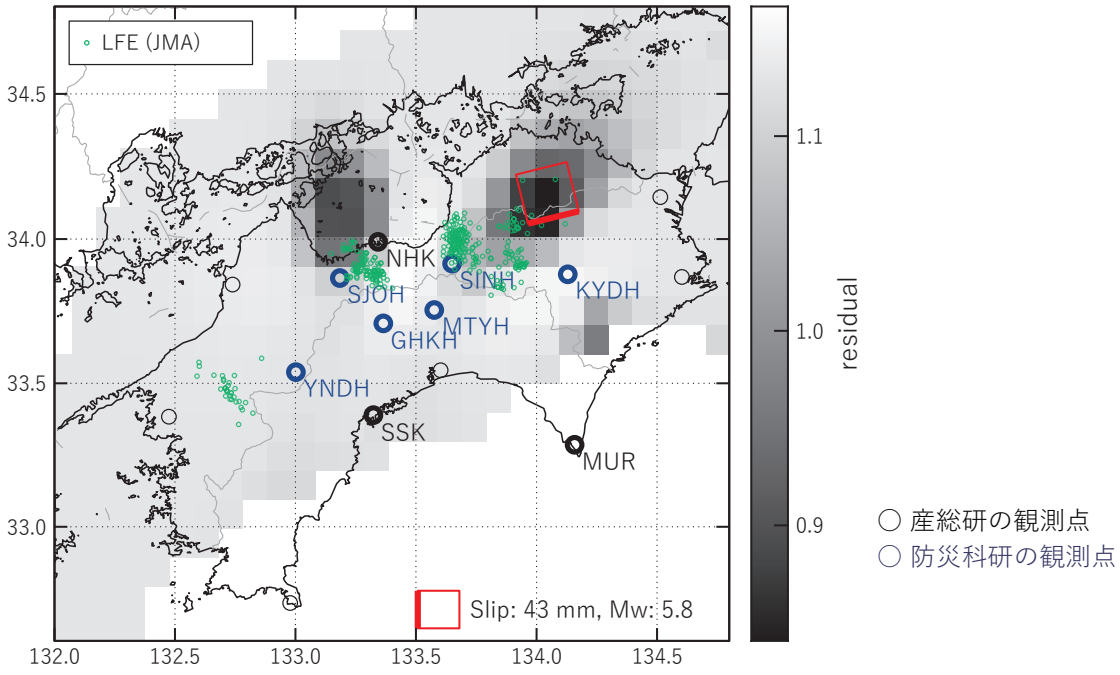


第 15 図　四国地域における歪・傾斜の観測結果と低周波地震の検出数（2023/06/07 ～ 2023/07/16）.

Fig. 15　Observed strain and tilt data and detected number of low-frequency earthquakes in the Shikoku region from June 7 to July 16, 2023.

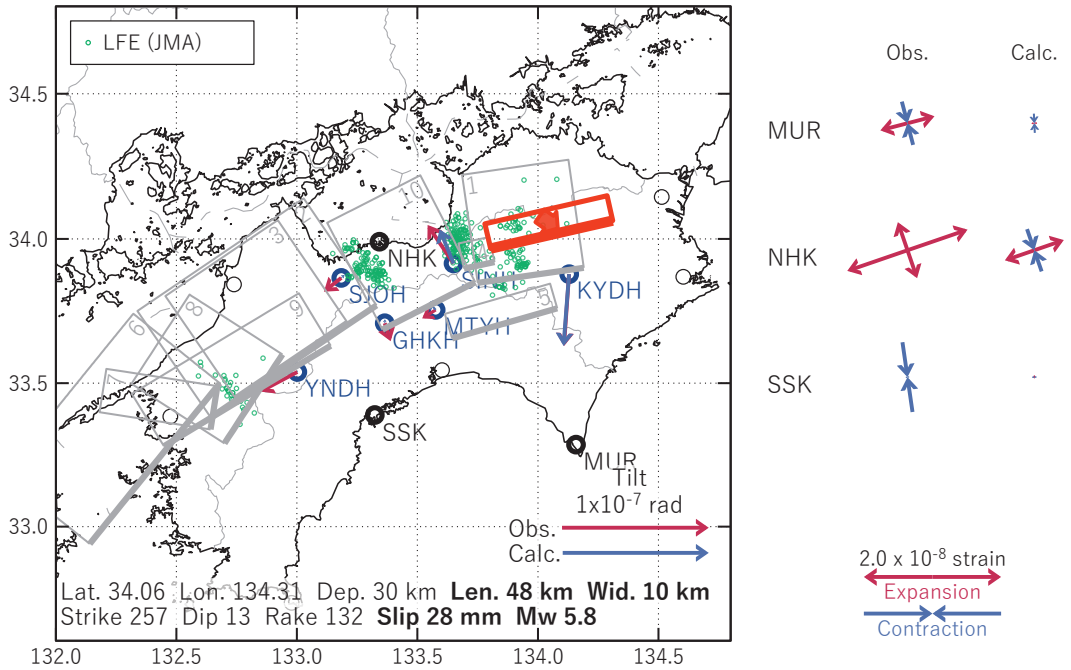
[A] 2023/06/21PM-24AM

(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

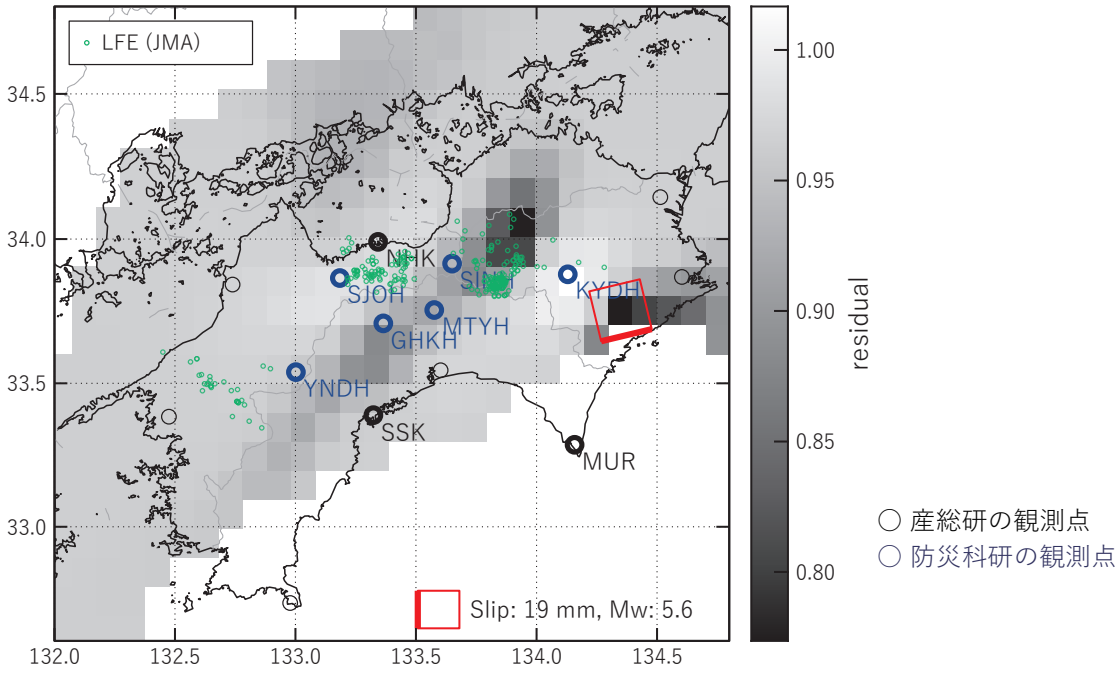


第 16 図　**第 15 図 [A] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．**

Fig. 16　Inferred fault models for Fig. 15[A]. See also the caption of Fig. 3.

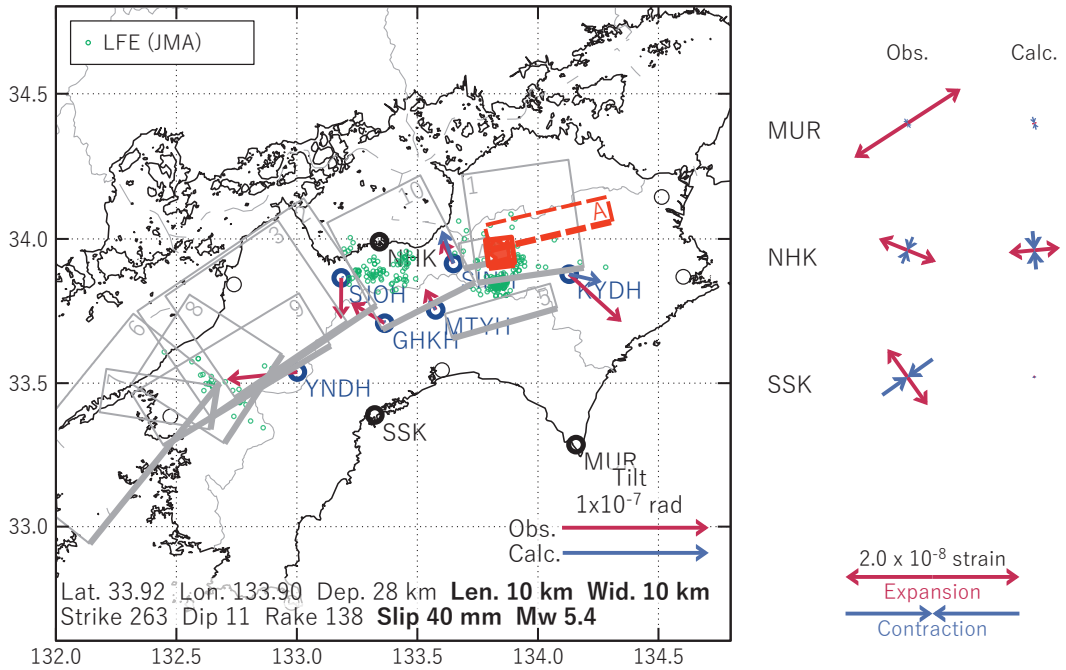
[B] 2023/06/24PM-30AM

(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

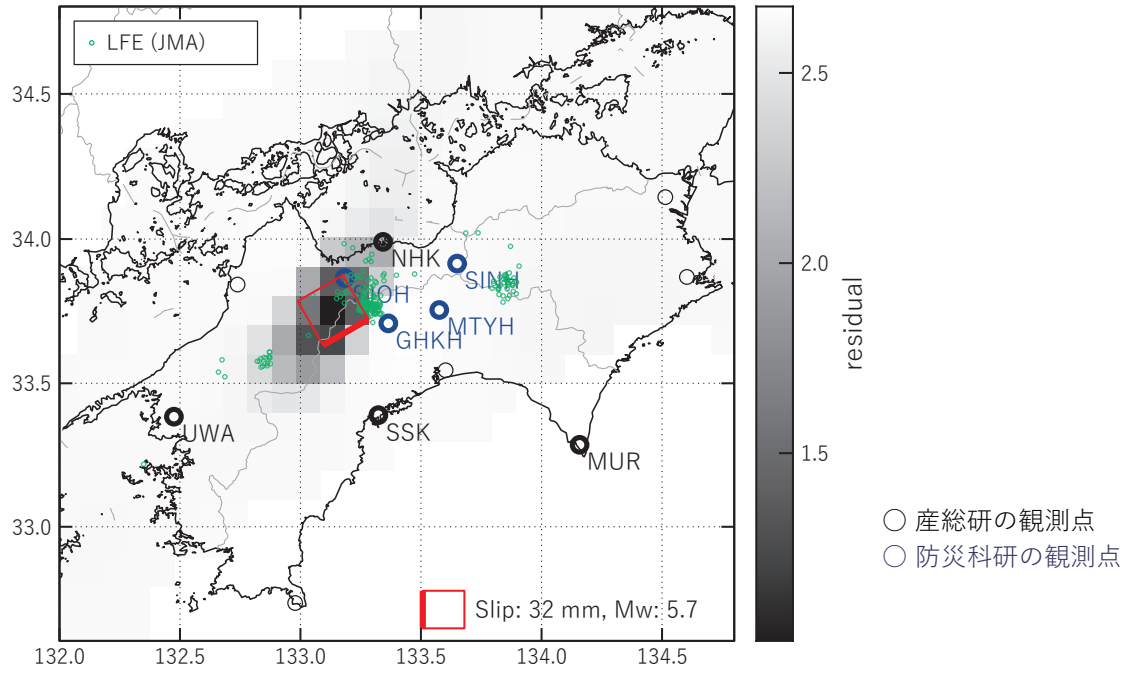


第 17 図　第 15 図 [B] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．

Fig. 17　Inferred fault models for Fig. 15[B]. See also the caption of Fig. 3.

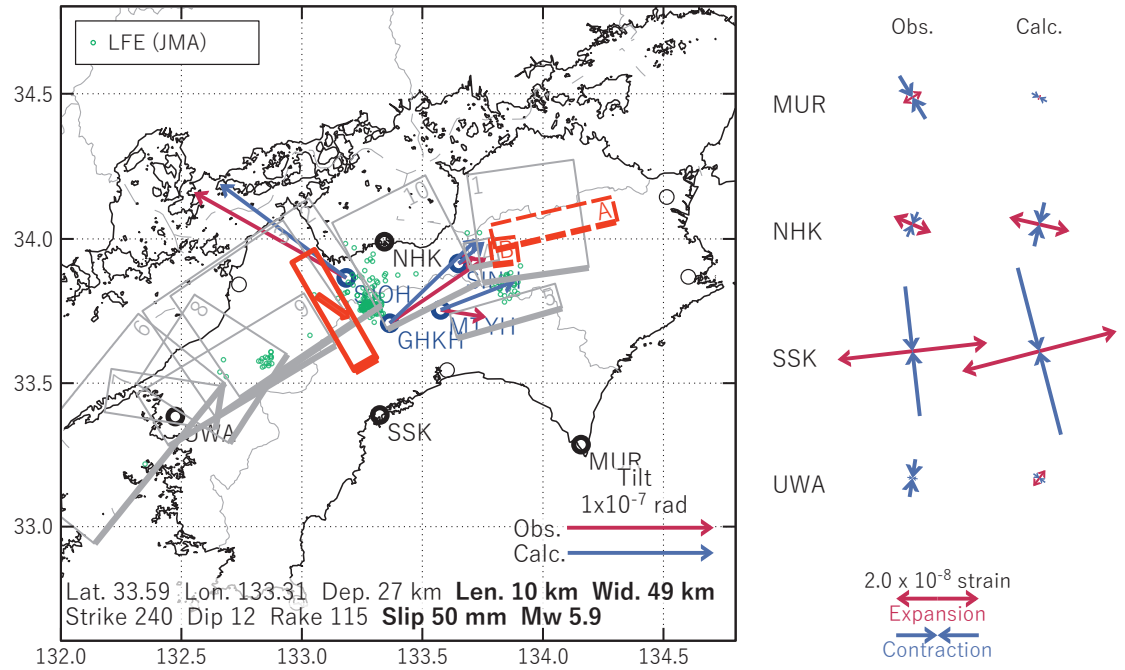
[C] 2023/07/01PM-05AM

(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

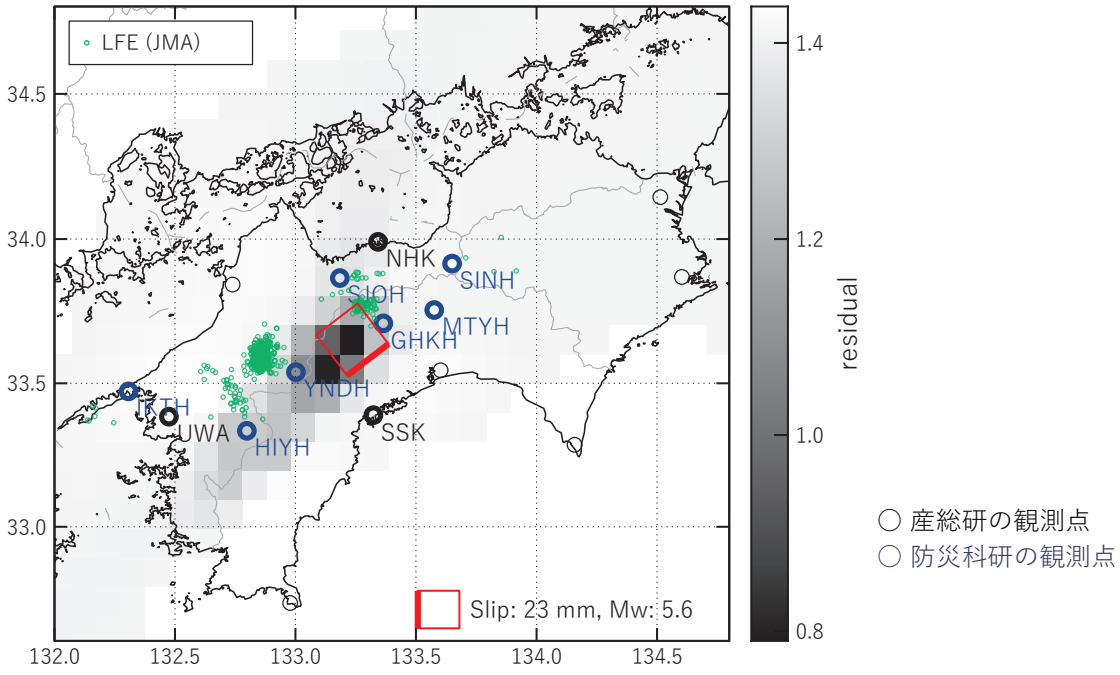


第 18 図　第 15 図 [C] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．

Fig. 18　Inferred fault models for Fig. 15[C]. See also the caption of Fig. 3.

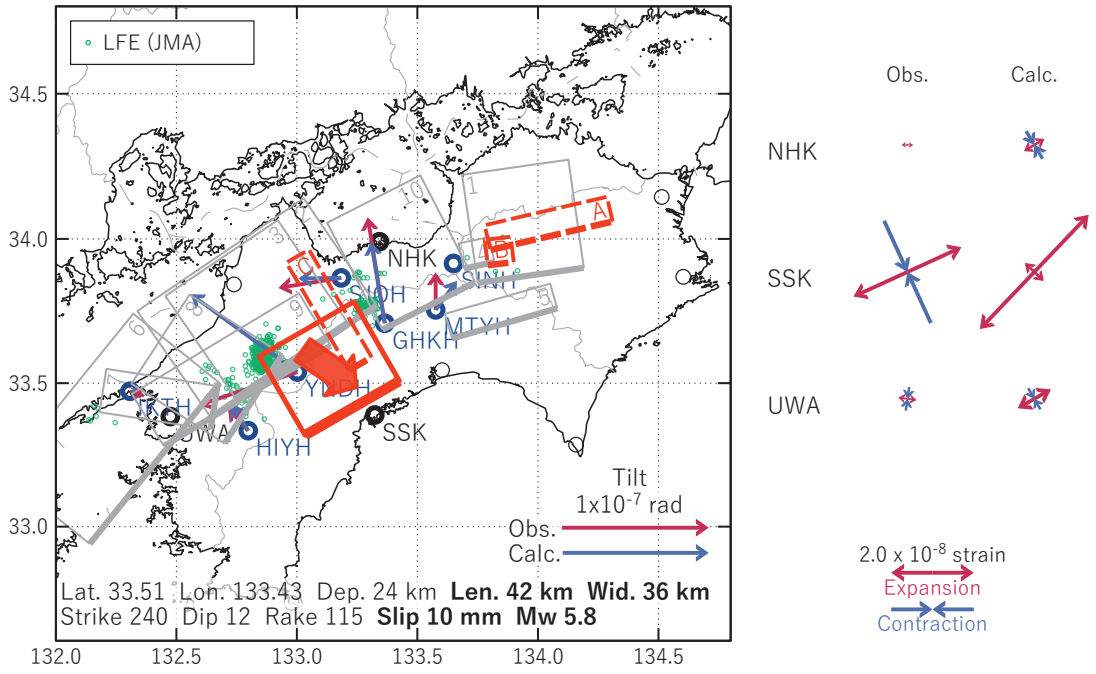
[D] 2023/07/05PM-10AM

(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



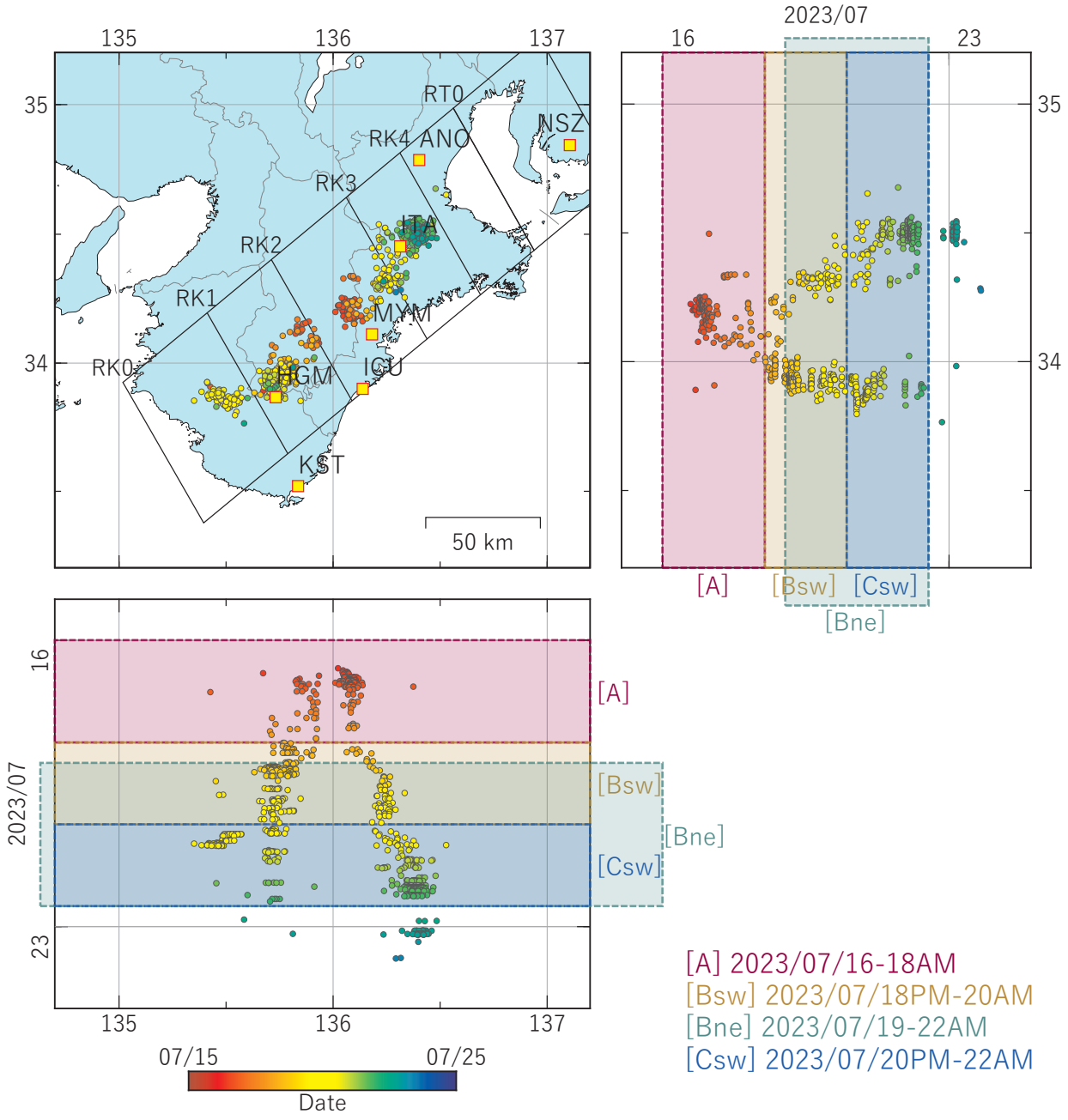
(b1) 推定した断層モデル

(b2) 主歪



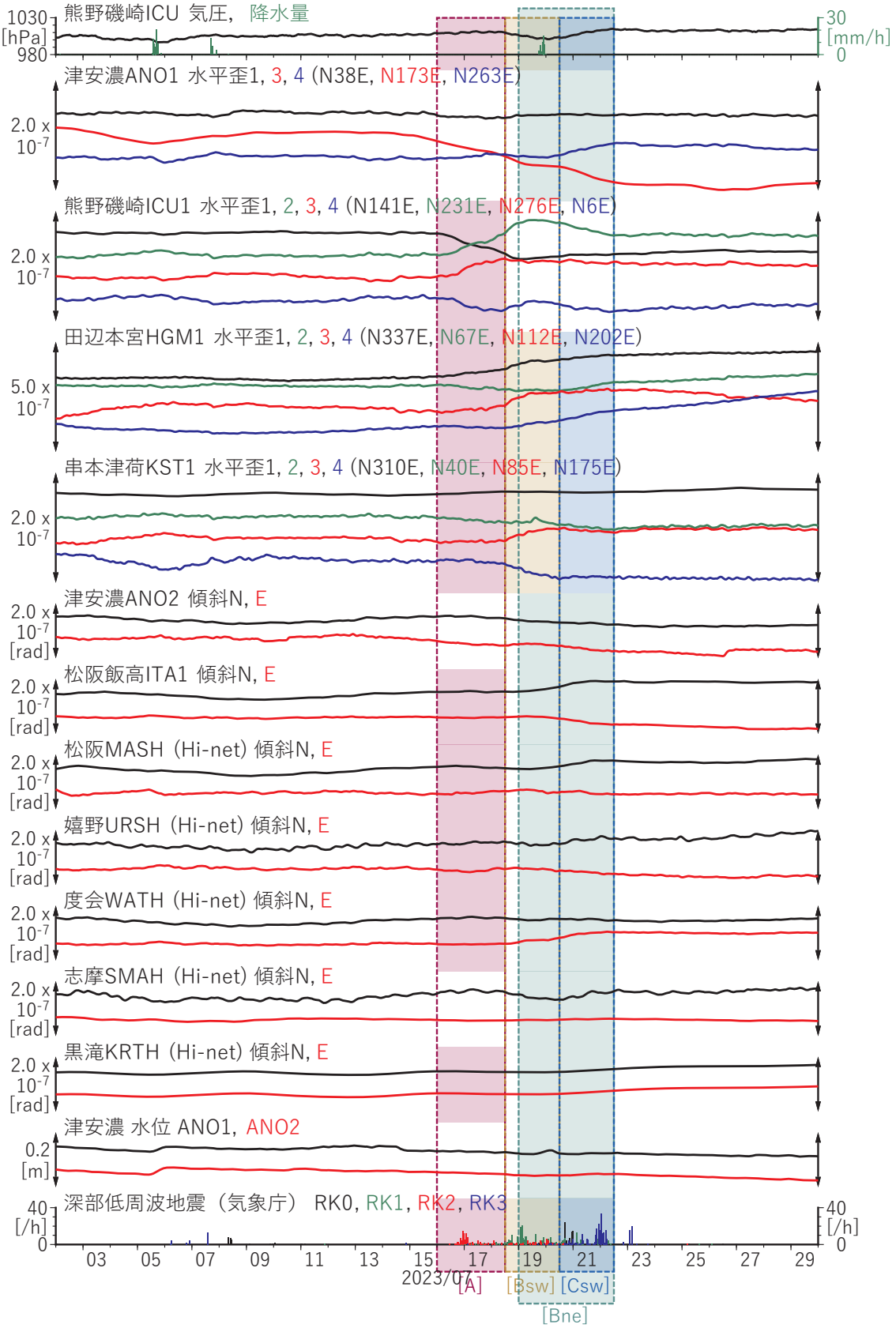
第 19 図　第 15 図 [D] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．

Fig. 19　Inferred fault models for Fig. 15[D]. See also the caption of Fig. 3.



第 20 図　紀伊半島における低周波地震（気象庁一元化カタログによる）の時空間分布（2023/07/15 〜 2023/07/24）.

Fig. 20　Space-time distribution of low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Kii Peninsula from July 15 to 24, 2023.

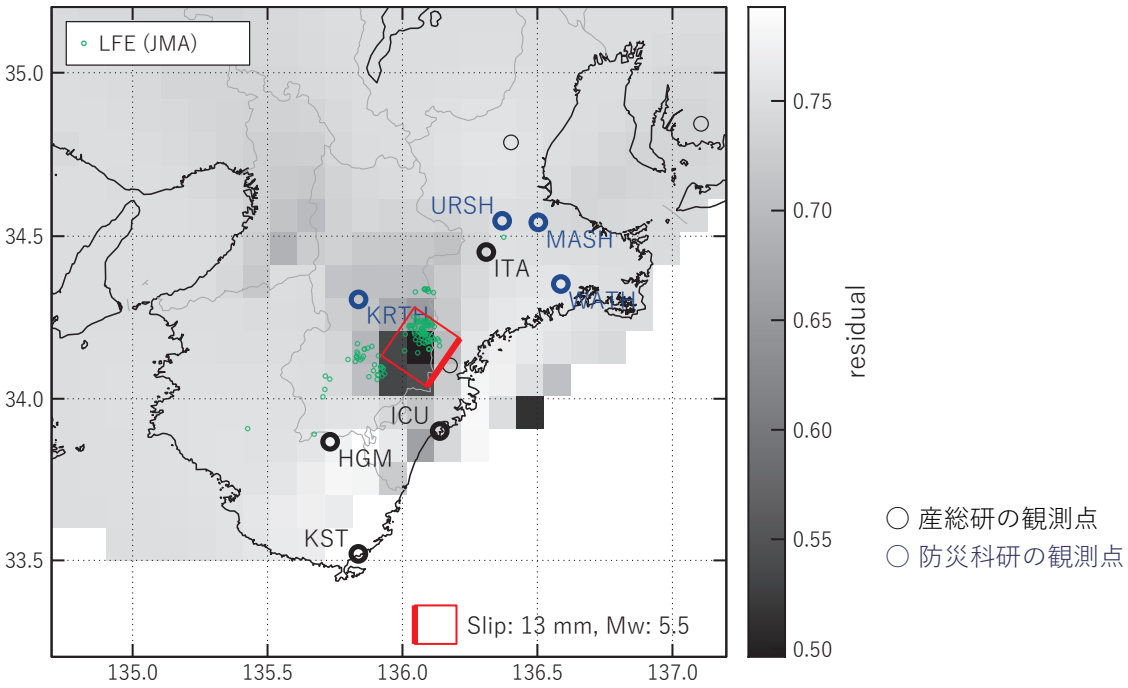


第 21 図　紀伊半島における歪・傾斜・地下水の観測結果と低周波地震の検出数（2023/07/02 ～ 2023/07/29）.

Fig. 21　Observed strain, tilt, and groundwater data and detected number of low-frequency earthquakes in the Kii Peninsula region from July 2 to 29, 2023.

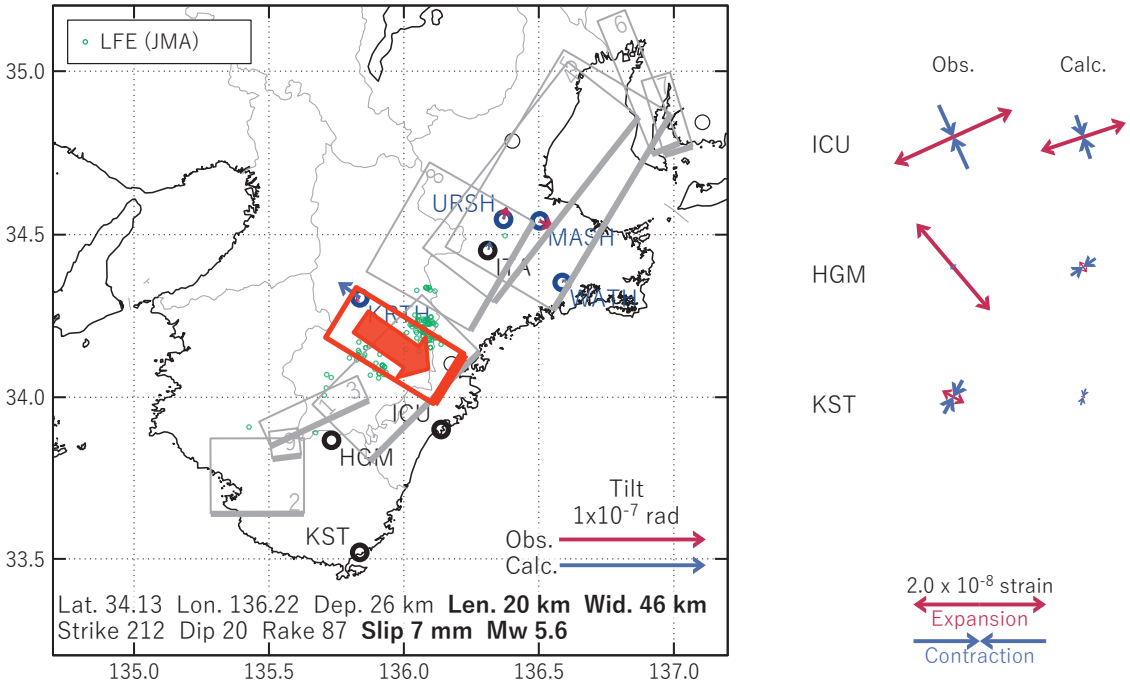
[A] 2023/07/16-18AM

(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



(b1) 推定した断層モデル

(b2) 主歪

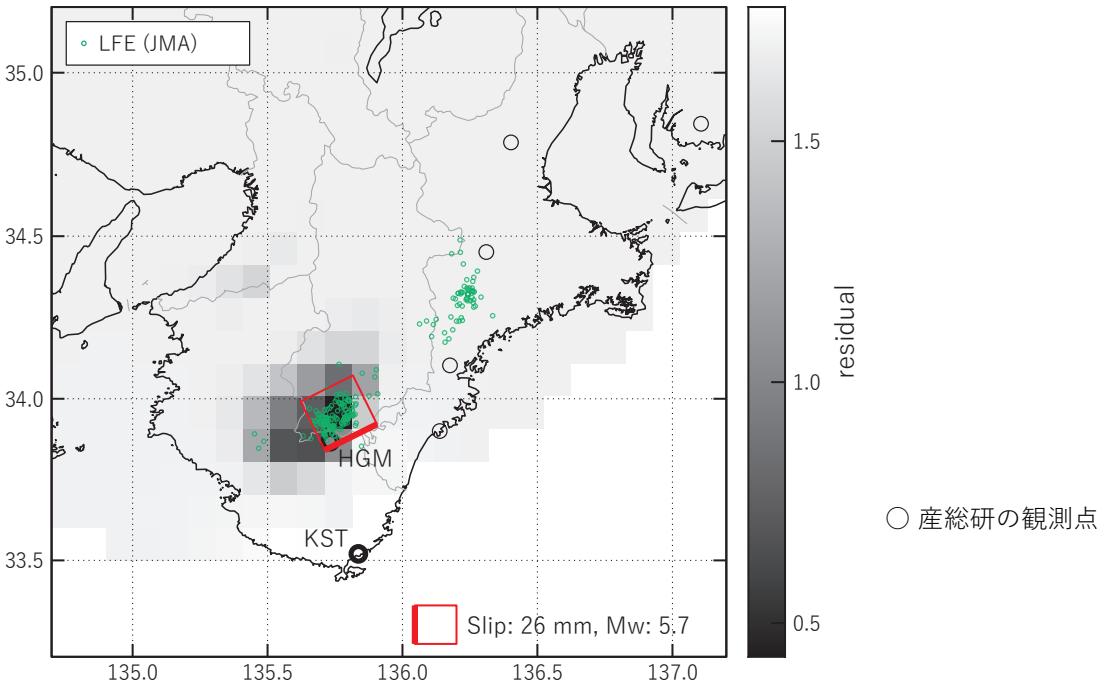


第 22 図　第 21 図 [A] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．

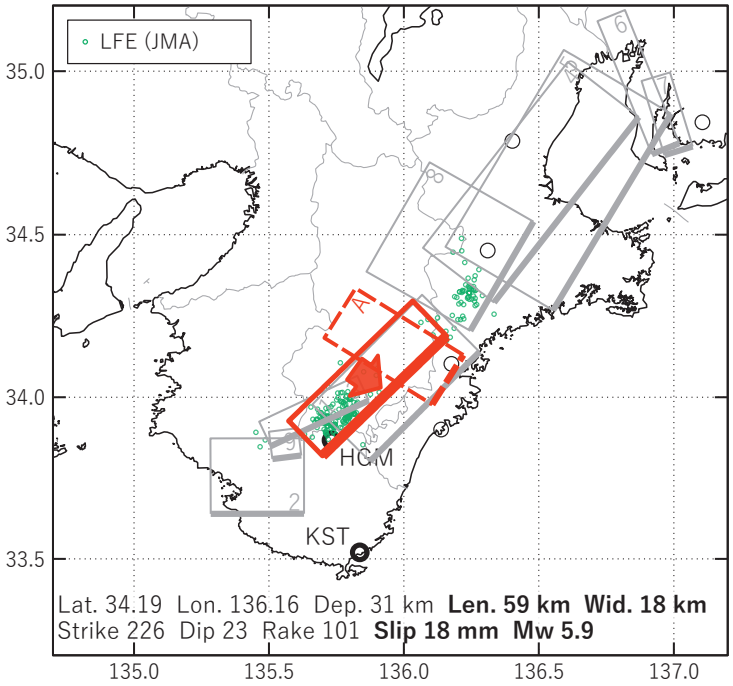
Fig. 22　Inferred fault models for Fig. 21[A]. See also the caption of Fig. 3.

[Bsw] 2023/07/18PM-20AM

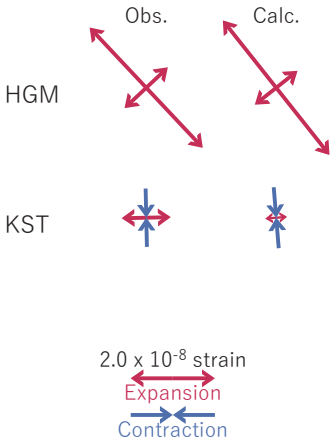
(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



(b1) 推定した断層モデル



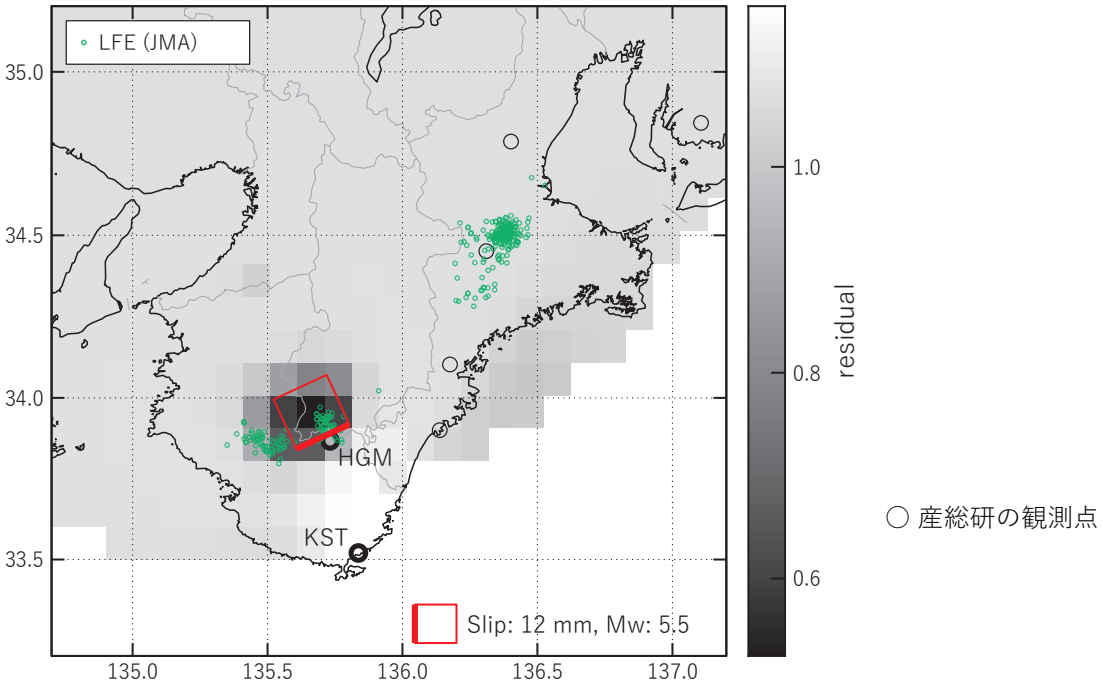
(b2) 主歪



第 23 図　第 21 図 [Bsw] 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. 21[Bsw]. See also the caption of Fig. 3.

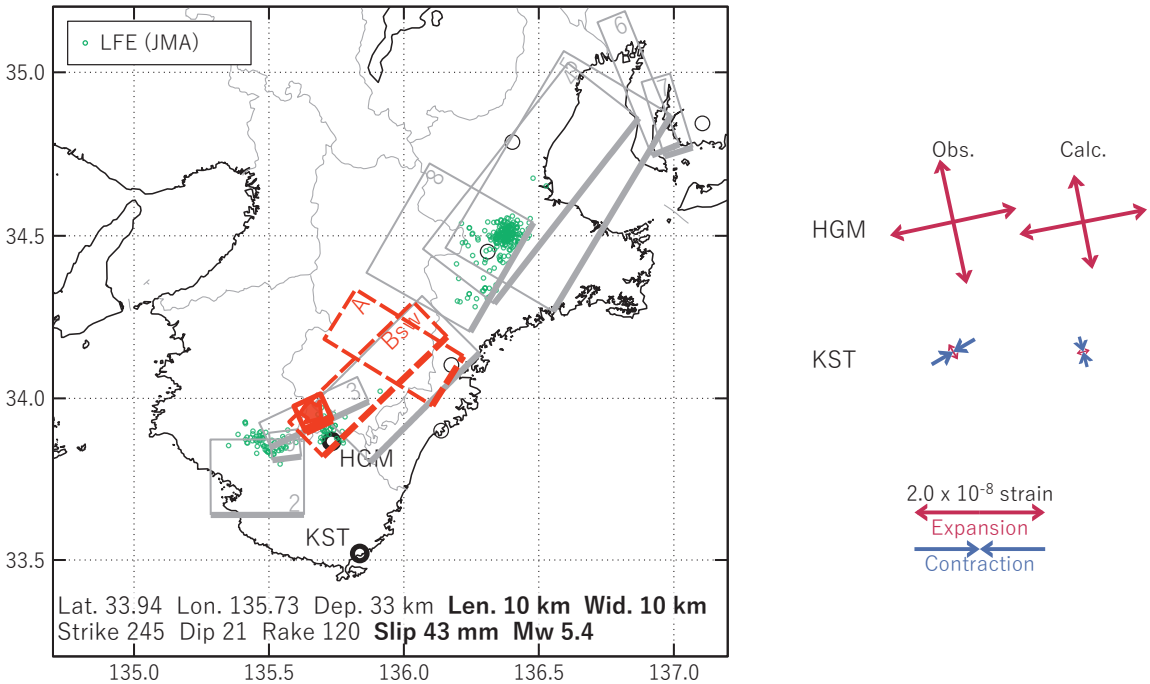
[Csw] 2023/07/20PM-22AM

(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布

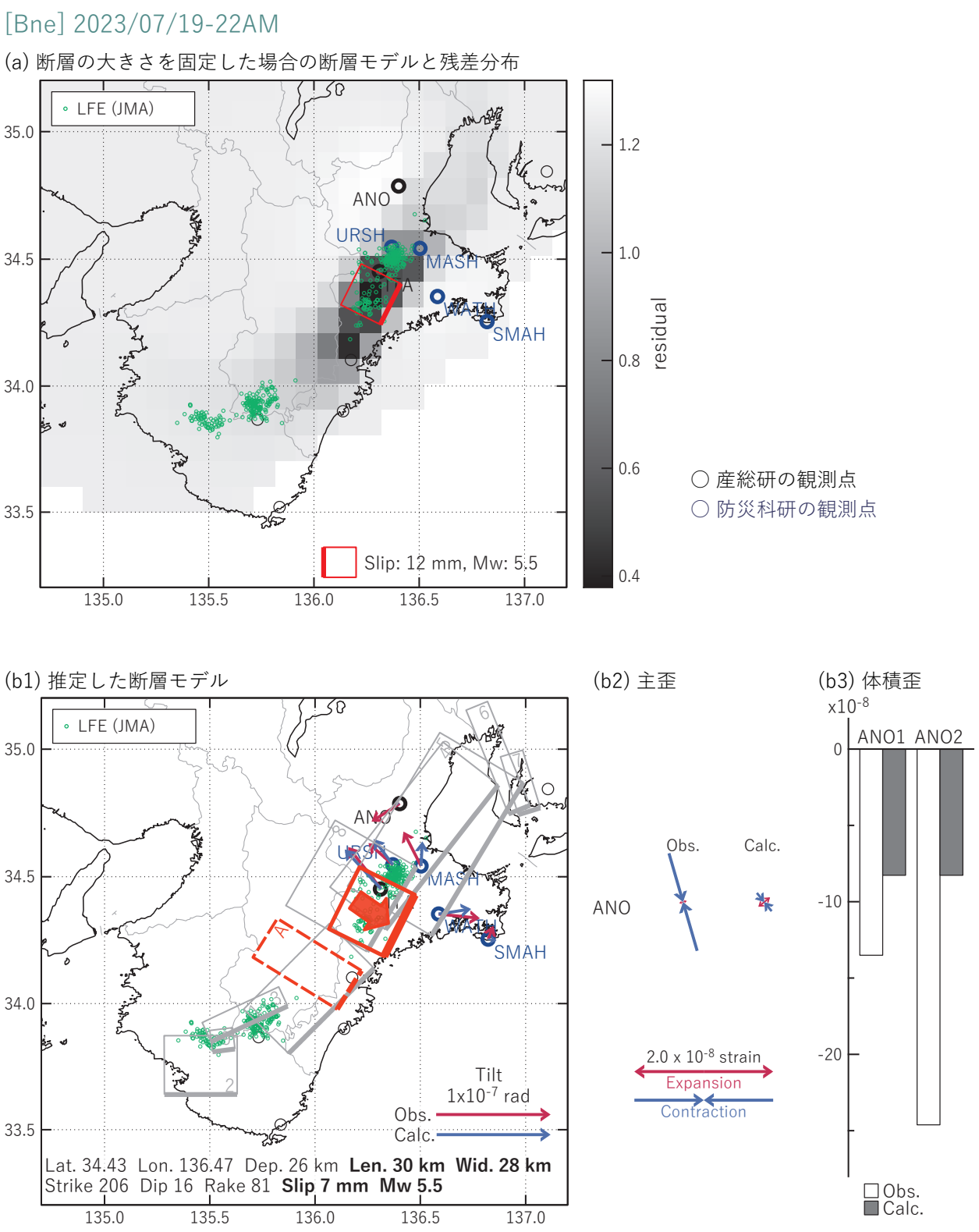


(b1) 推定した断層モデル

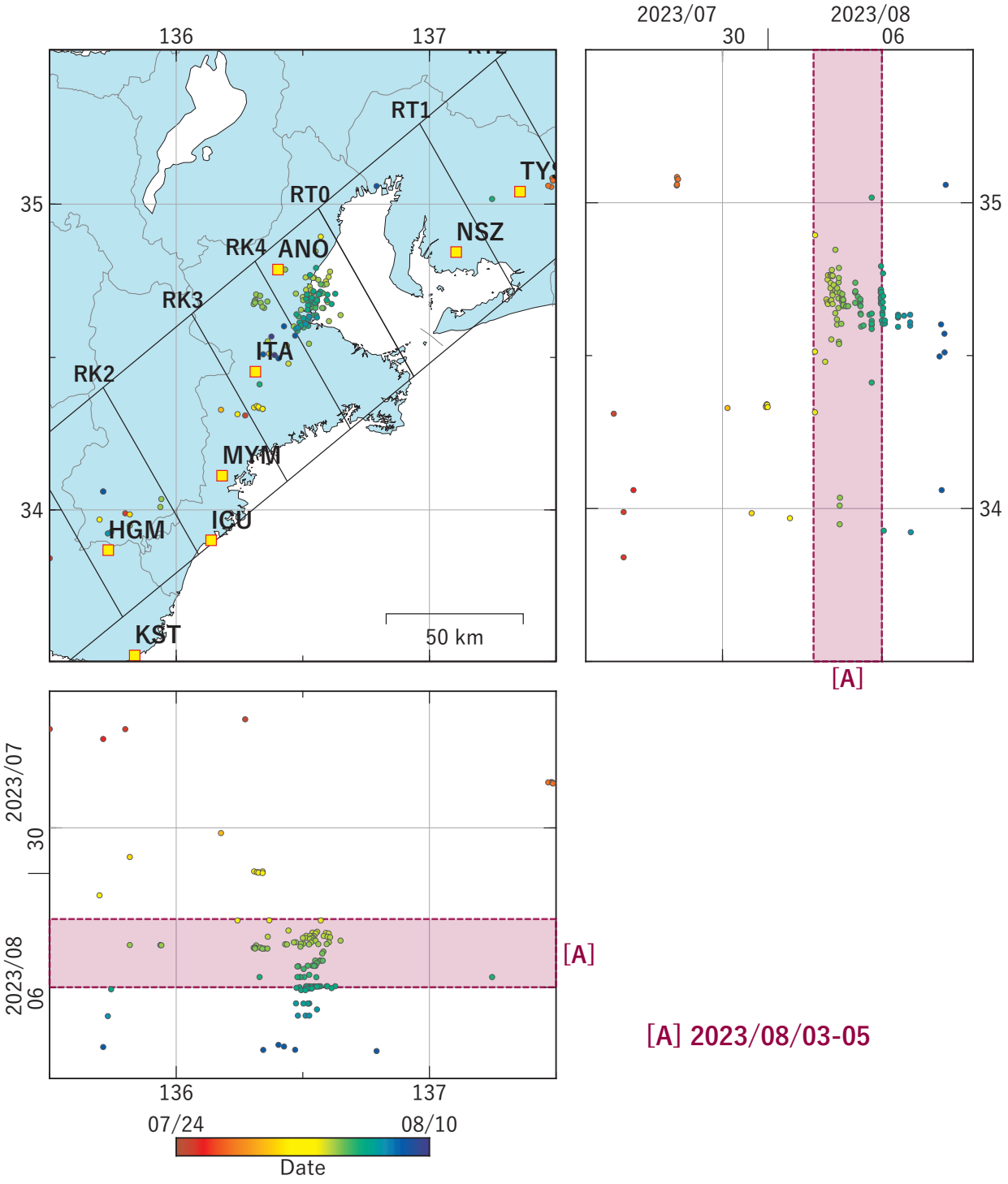
(b2) 主歪



第 24 図　第 21 図 [Csw] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．
Fig. 24　Inferred fault models for Fig. 21[Csw]. See also the caption of Fig. 3.

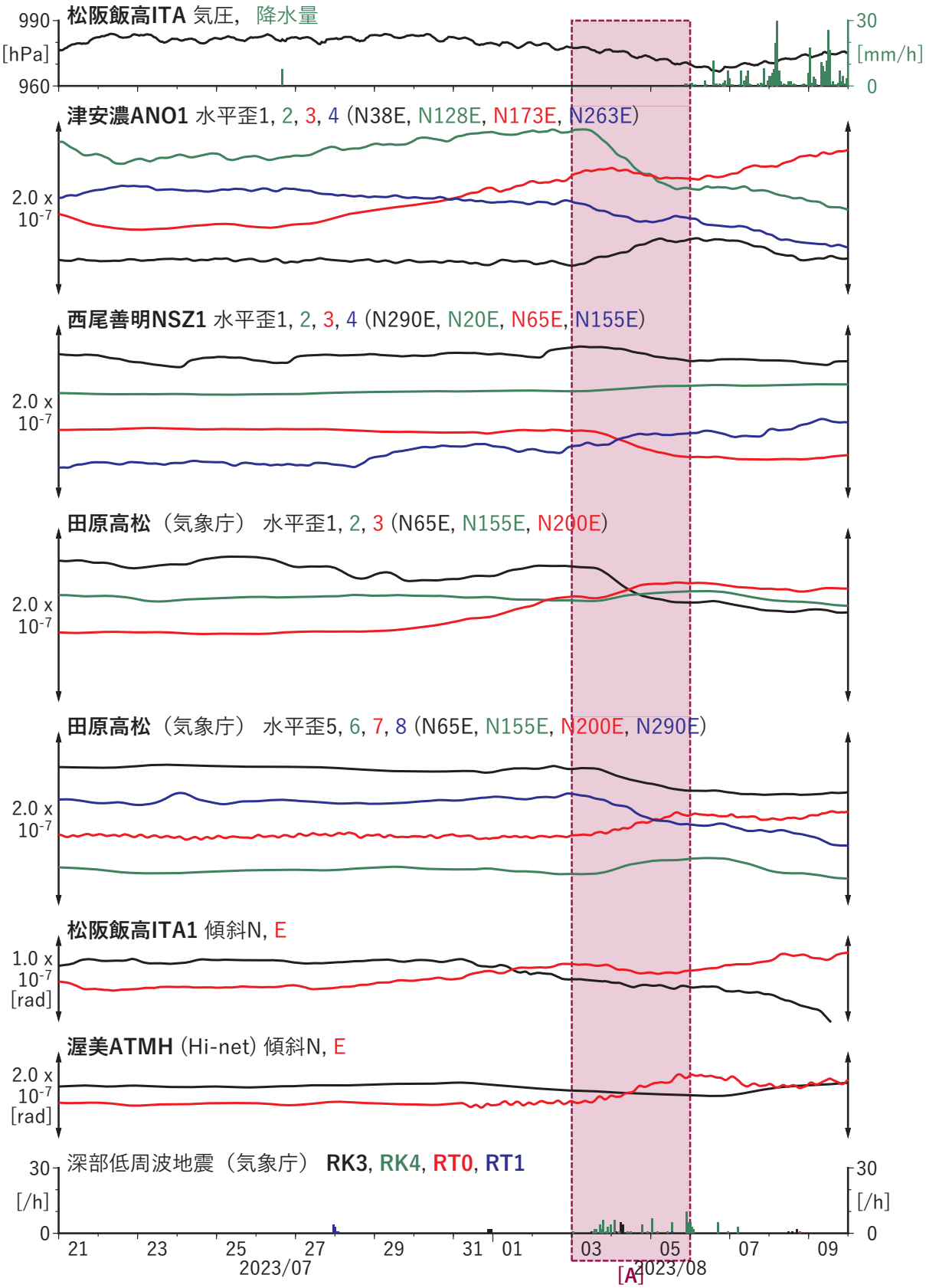


第 25 図　第 21 図 [Bne] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．
Fig. 25　Inferred fault models for Fig. 21[Bne]. See also the caption of Fig. 3.



第 26 図　紀伊半島における低周波地震（気象庁一元化カタログによる）の時空間分布（2023/07/24 ～ 2023/08/09）.

Fig. 26　Space-time distribution of low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Kii Peninsla from July 24 to August 9, 2023.

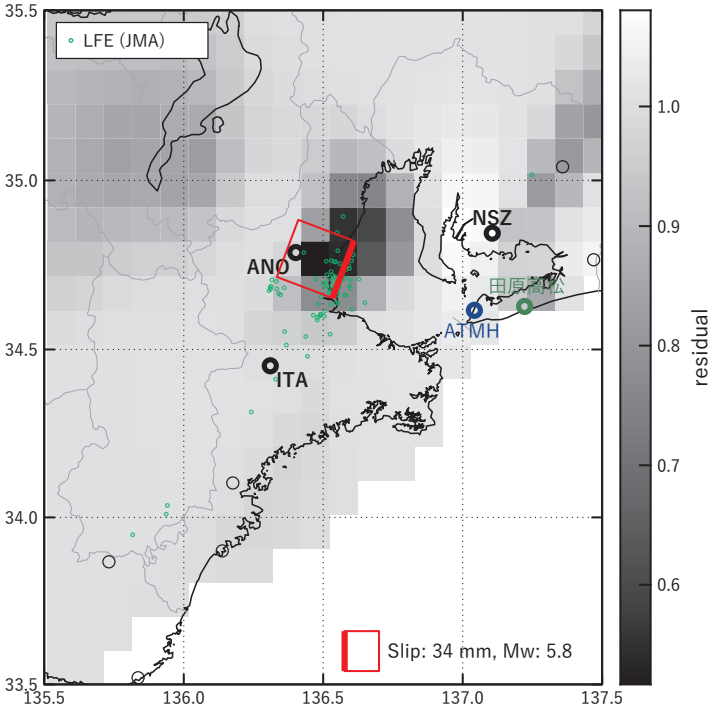


第 27 図　紀伊半島から東海地方における歪・傾斜の観測結果と低周波地震の検出数（2023/07/21 ～ 2023/08/09）.

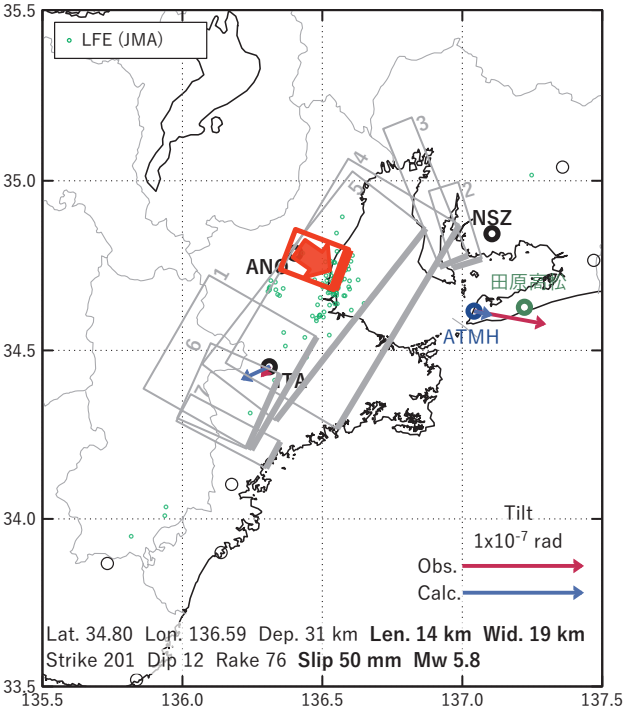
Fig. 27　Observed strain and tilt data and detected number of low-frequency earthquakes in the Kii Peninsula and Tokai region from July 21 to August 9, 2023.

[A] 2023/08/03-05

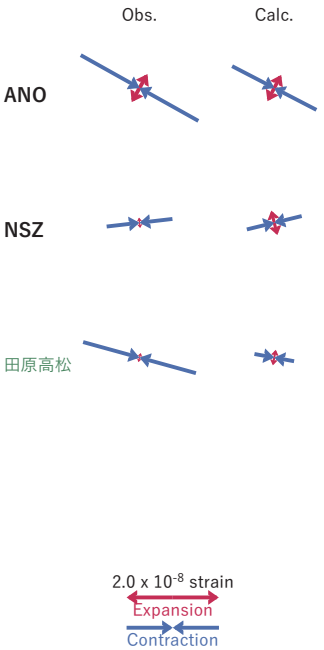
(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



(b1) 推定した断層モデル

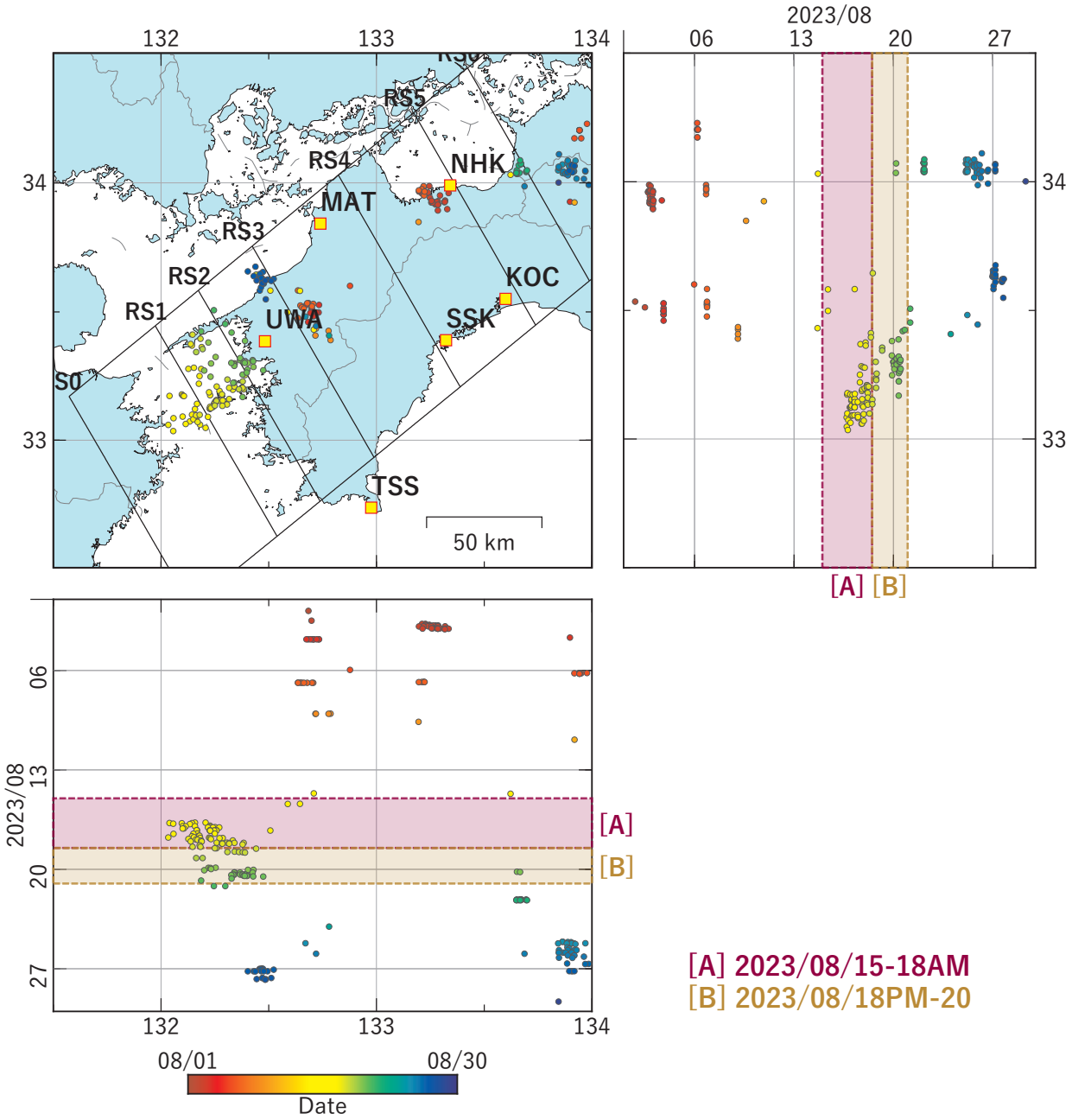


(b2) 主歪



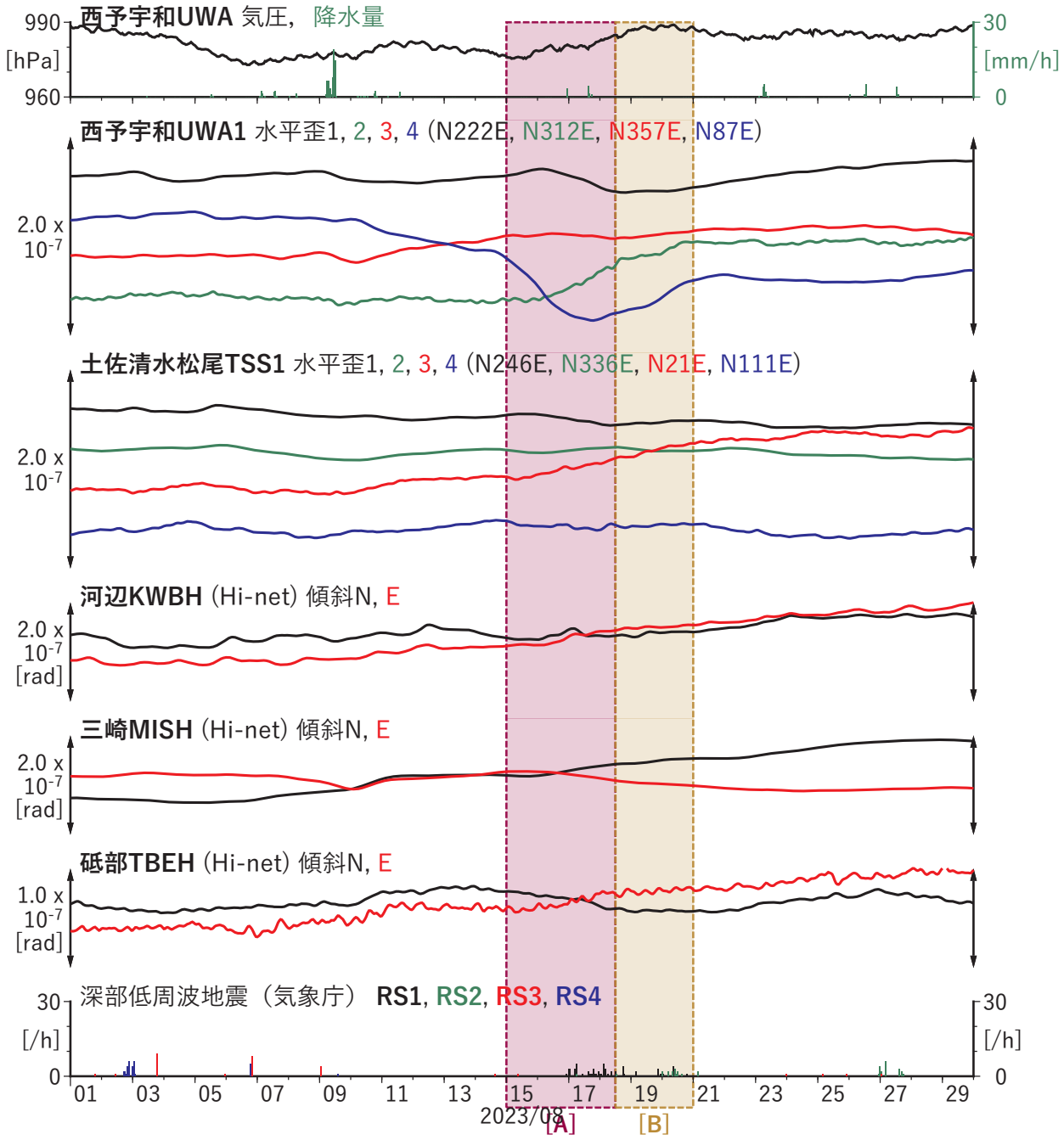
○ 産総研の観測点
○ 防災科研の観測点
○ 気象庁・静岡県の観測点

第 28 図　第 27 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. 28　Inferred fault models for Fig. 27[A]. See also the caption of Fig. 3.



第 29 図　四国地域における低周波地震（気象庁一元化カタログによる）の時空間分布（2023/08/01 ～ 2023/08/29）.

Fig. 29　Space-time distribution of low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Shikoku region from August 01 to 29, 2023.

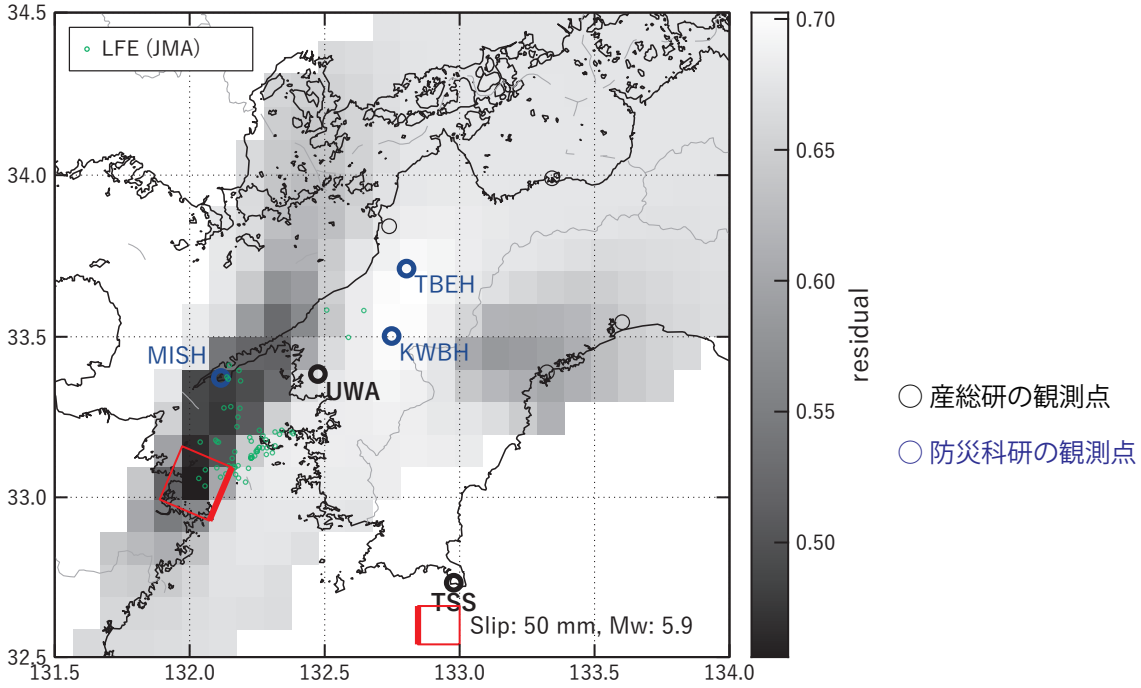


第 30 図　四国地方における歪・傾斜の観測結果と低周波地震の検出数（2023/08/01 ～ 2023/08/29）.

Fig. 30　Observed strain and tilt data and detected number of low-frequency earthquakes in the Shikoku region from August 1 to 29, 2023.

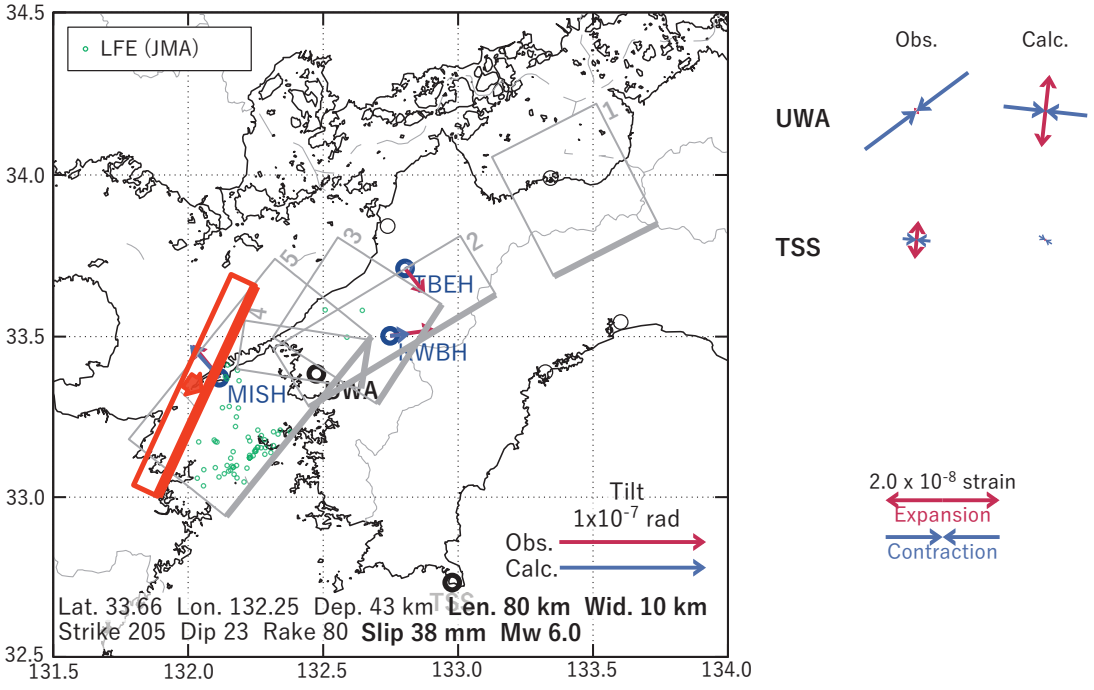
[A] 2023/08/15-18AM

(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



(b1) 推定した断層モデル

(b2) 主歪

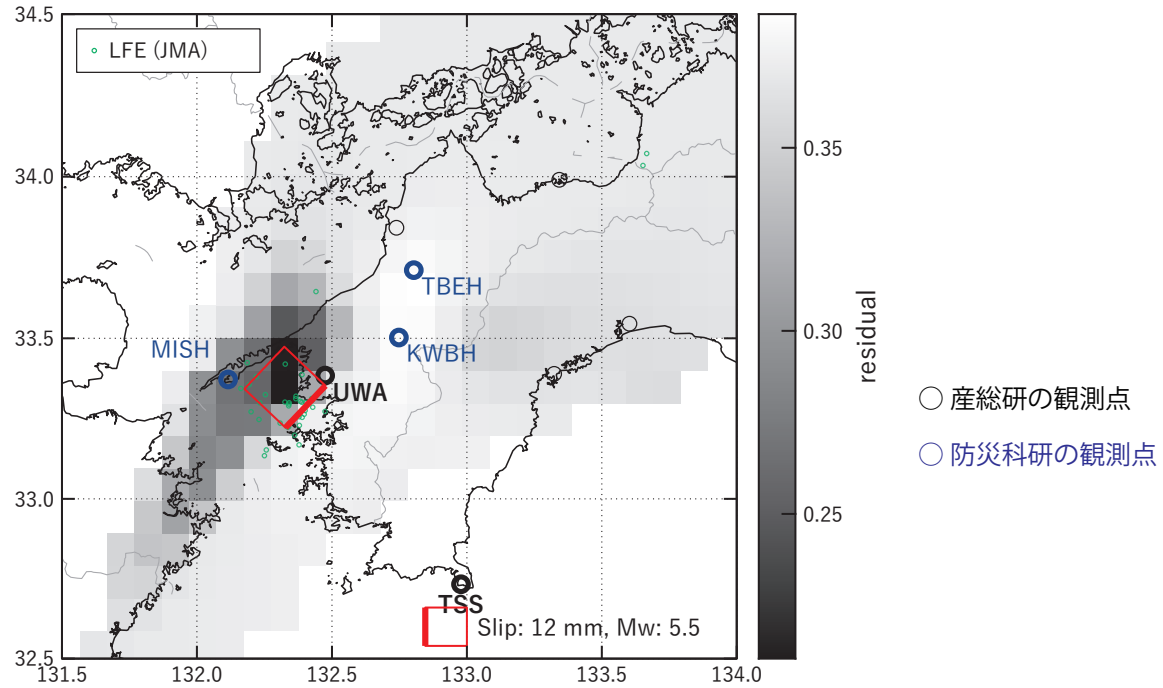


第 31 図　第 30 図 [A] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．

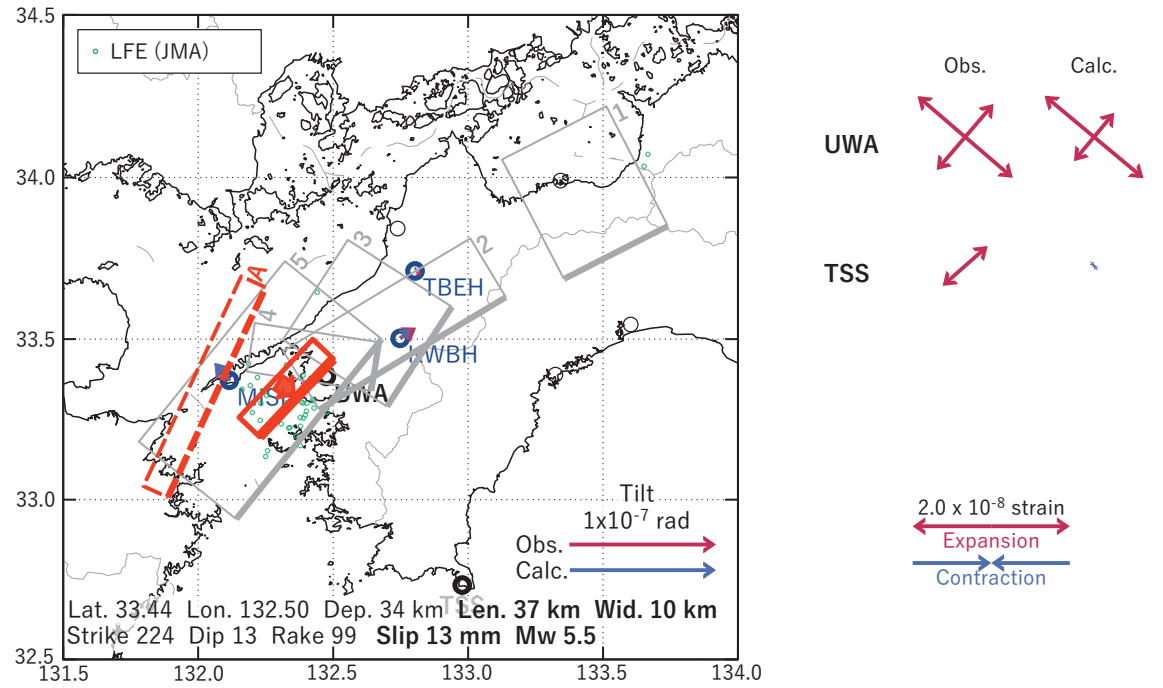
Fig. 31　Inferred fault models for Fig. 30[A]. See also the caption of Fig. 3.

[B] 2023/08/18PM-20

(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布

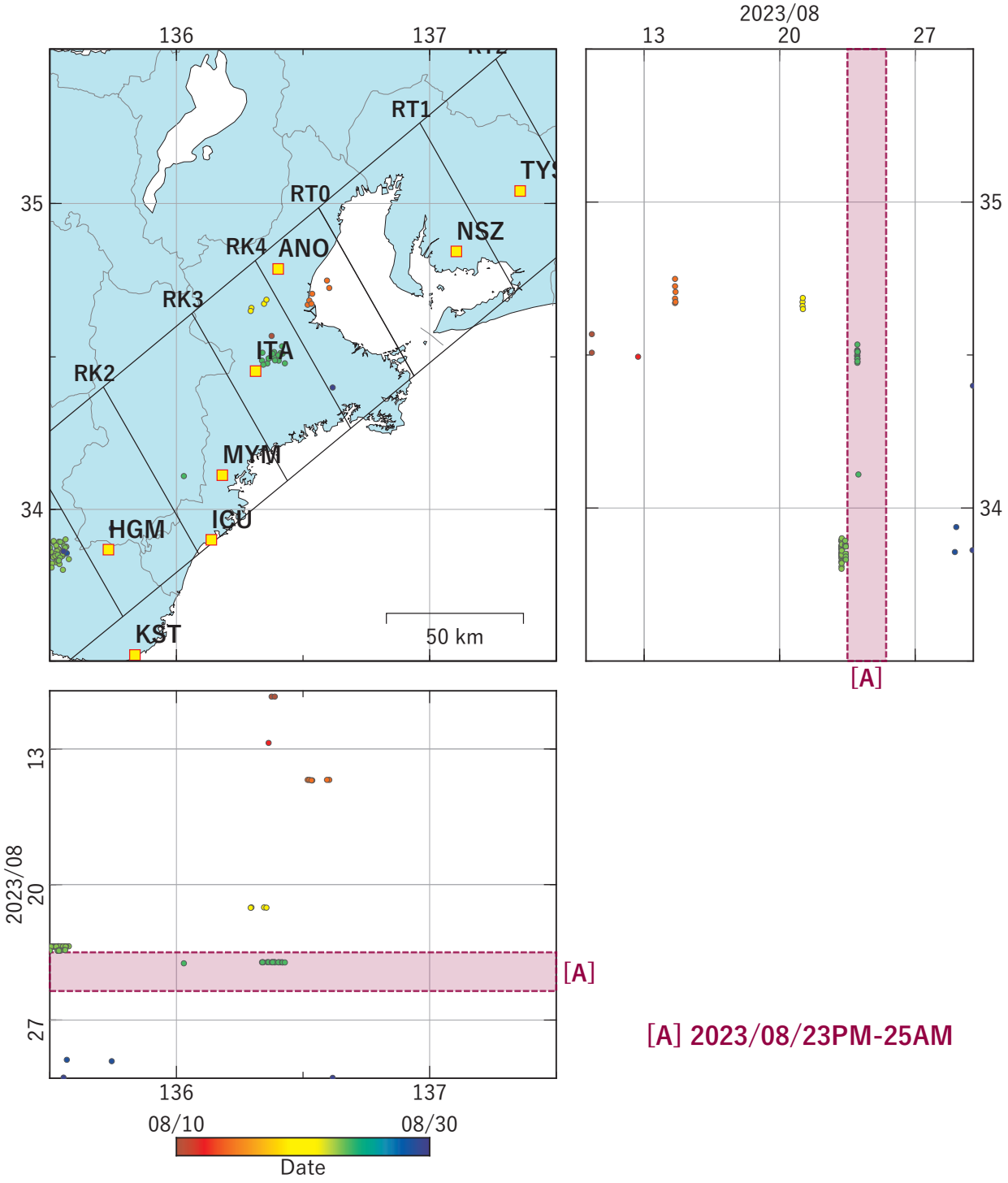


(b1) 推定した断層モデル　　(b2) 主歪



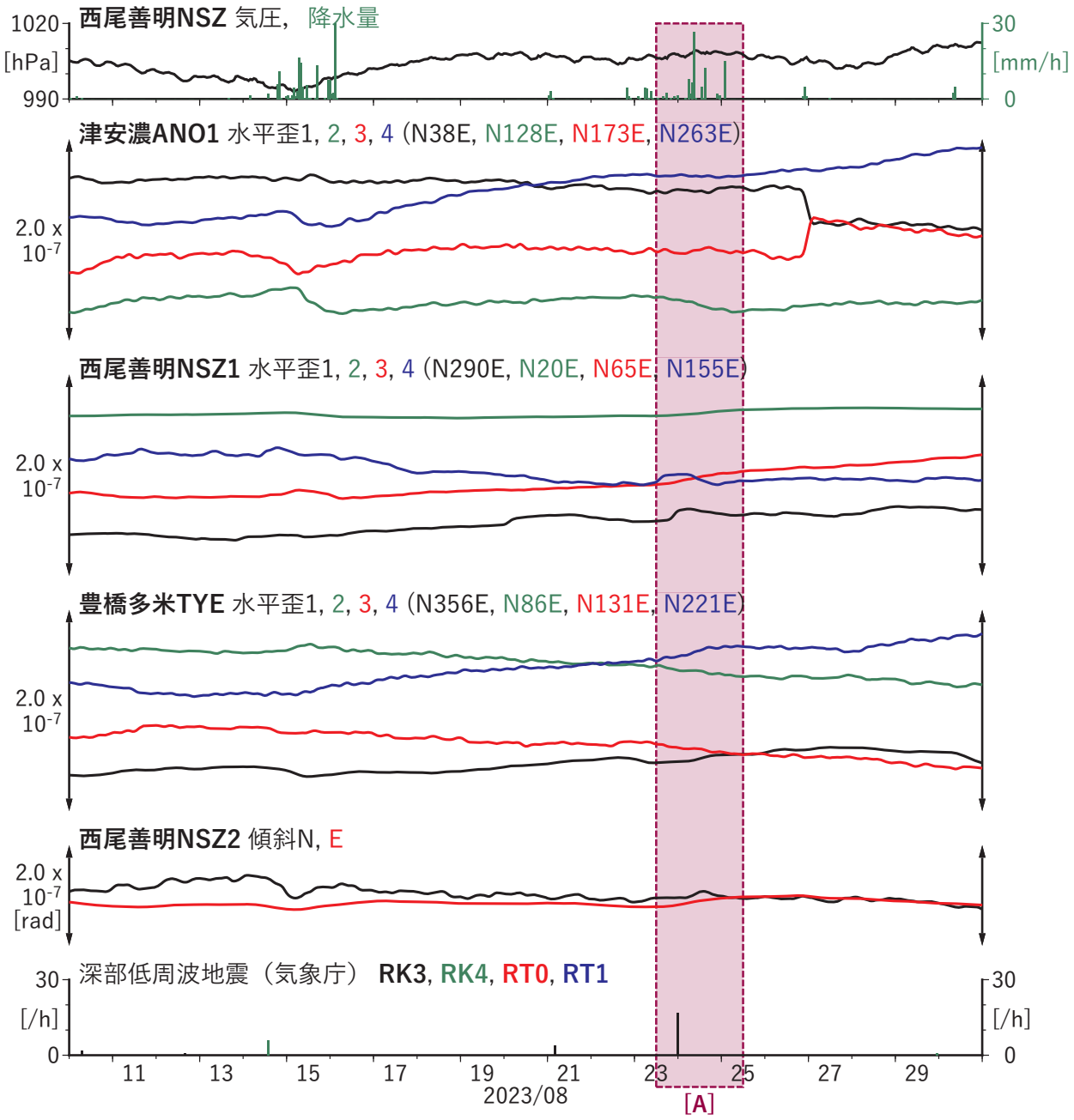
第 32 図　第 30 図 [B] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．

Fig. 32　Inferred fault models for Fig. 30[B]. See also the caption of Fig. 3.



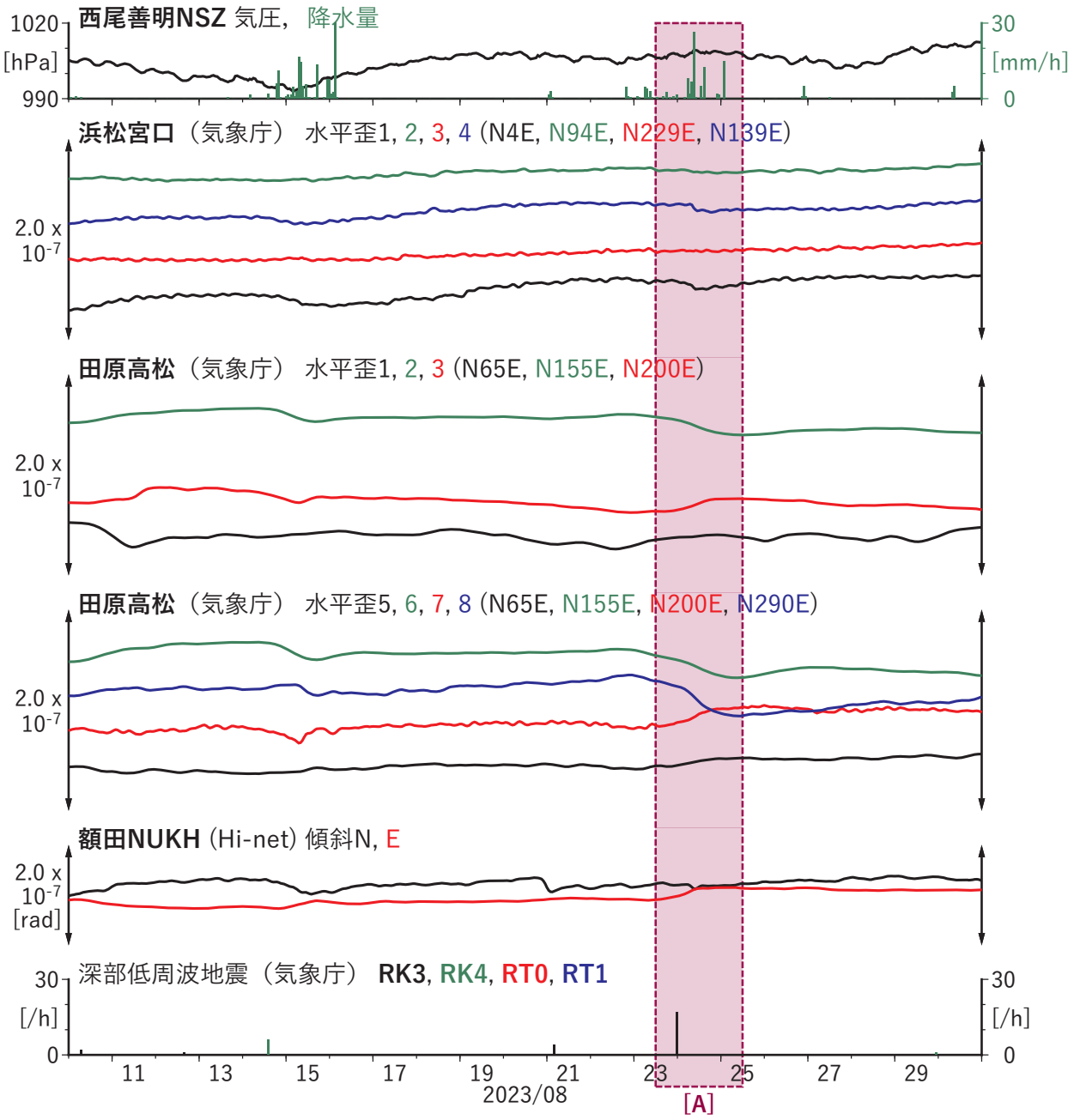
第 33 図　紀伊半島から東海地方における低周波地震（気象庁一元化カタログによる）の時空間分布（2023/08/10 ～ 2023/08/29）.

Fig. 33　Space-time distribution of low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Kii Peninsula and Tokai region from August 10 to 29, 2023.



第 34 図　紀伊半島から東海地方における歪・傾斜の観測結果と低周波地震の検出数 (1)（2023/08/10 ～ 2023/08/30）.

Fig. 34　Observed strain and tilt data and detected number of low-frequency earthquakes in the Kii Peninsula and Tokai region from August 10 to 30, 2023 (1).

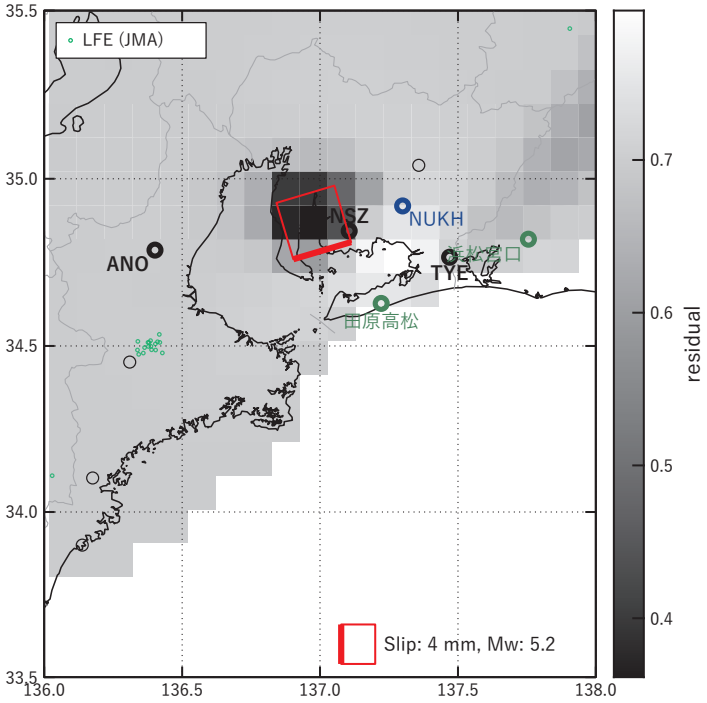


第 35 図　紀伊半島から東海地方における歪・傾斜の観測結果と低周波地震の検出数 (2)（2023/08/10 ～ 2023/08/30）.

Fig. 35　Observed strain and tilt data and detected number of low-frequency earthquakes in the Kii Peninsula and Tokai region from August 10 to 30, 2023 (2).

[A] 2023/08/23PM-25AM

(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布

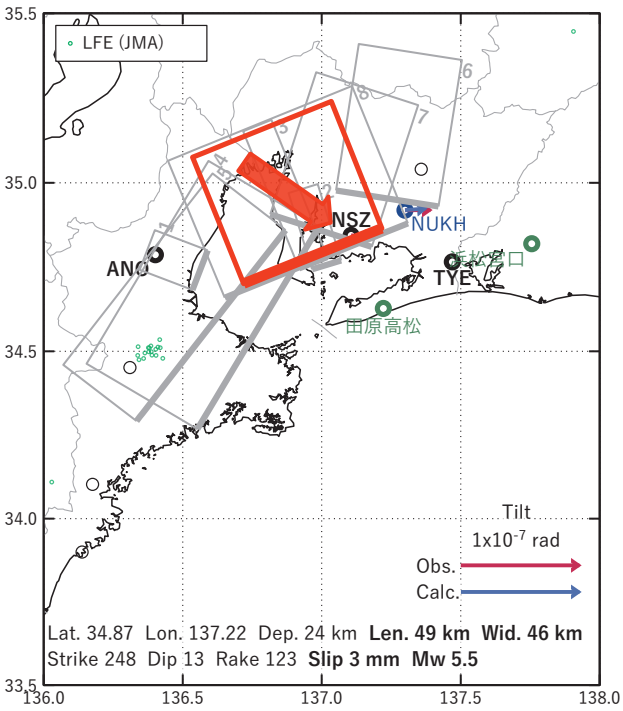


◯ 産総研の観測点

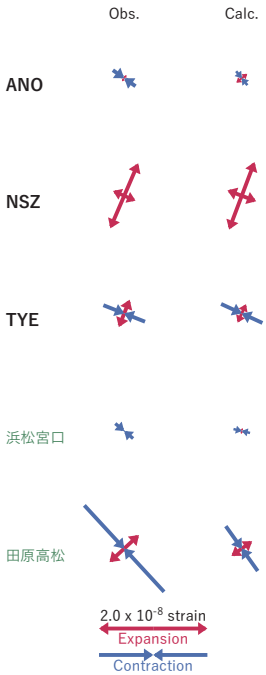
◯ 防災科研の観測点

◯ 気象庁・静岡県の観測点

(b1) 推定した断層モデル

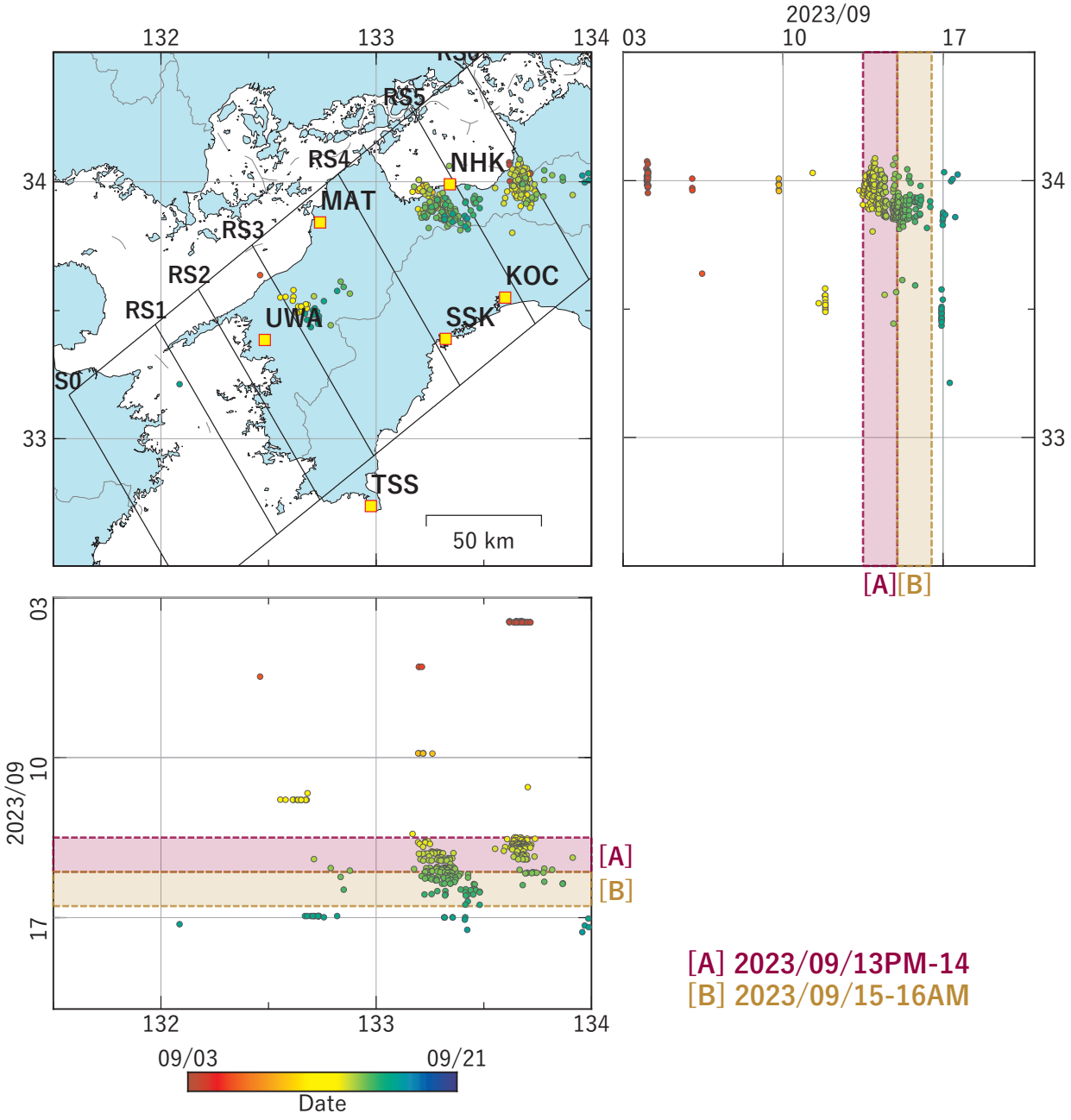


(b2) 主歪



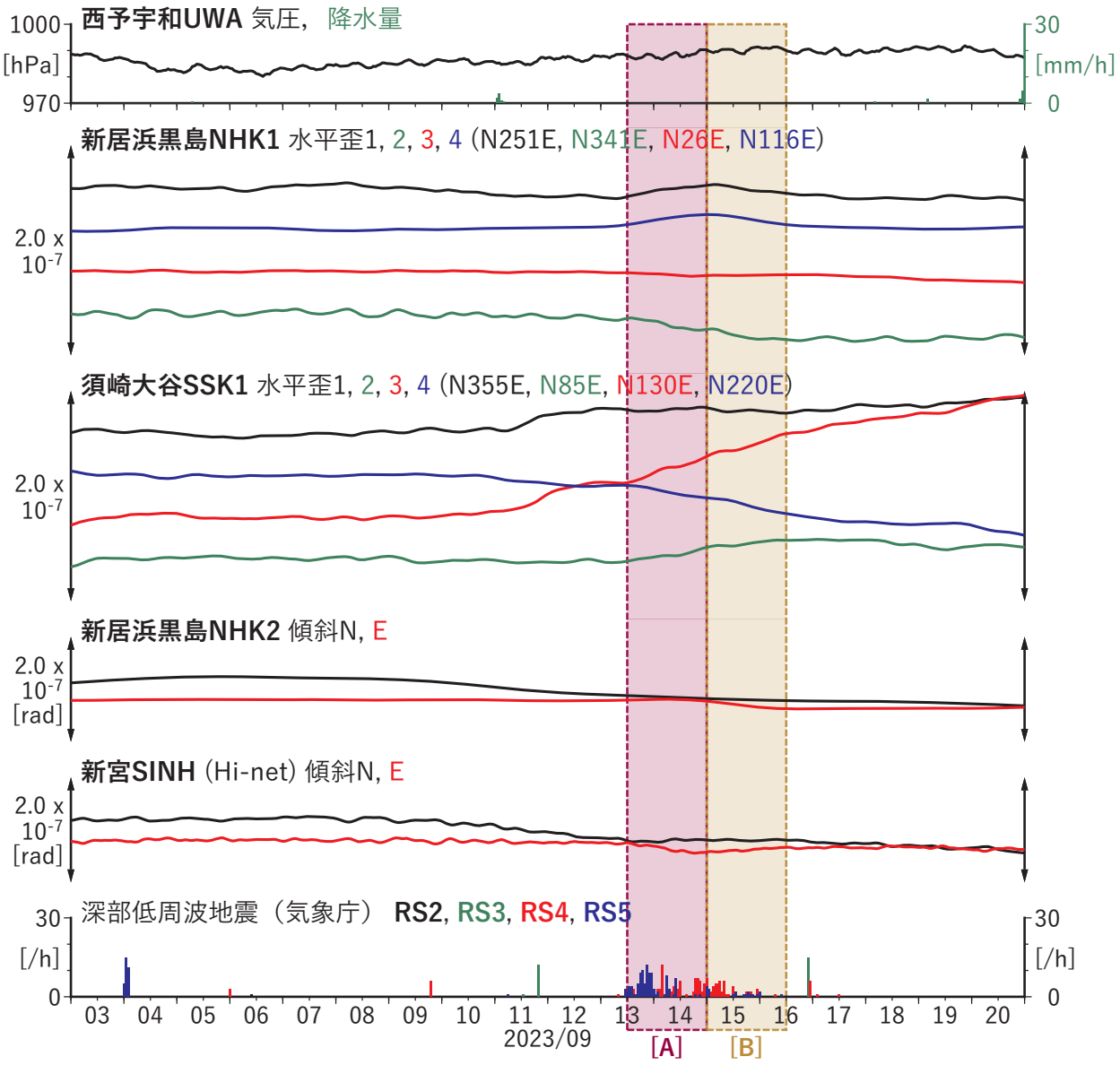
第 36 図　第 34, 35 図 [A] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．

Fig. 36　Inferred fault models for Fig. 34, 35[A]. See also the caption of Fig. 3.



第 37 図　四国地方における低周波地震（気象庁一元化カタログによる）の時空間分布（2023/09/03 ～ 2023/09/20）.

Fig. 37　Space-time distribution of low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Shikoku region from September 3 to 20, 2023.

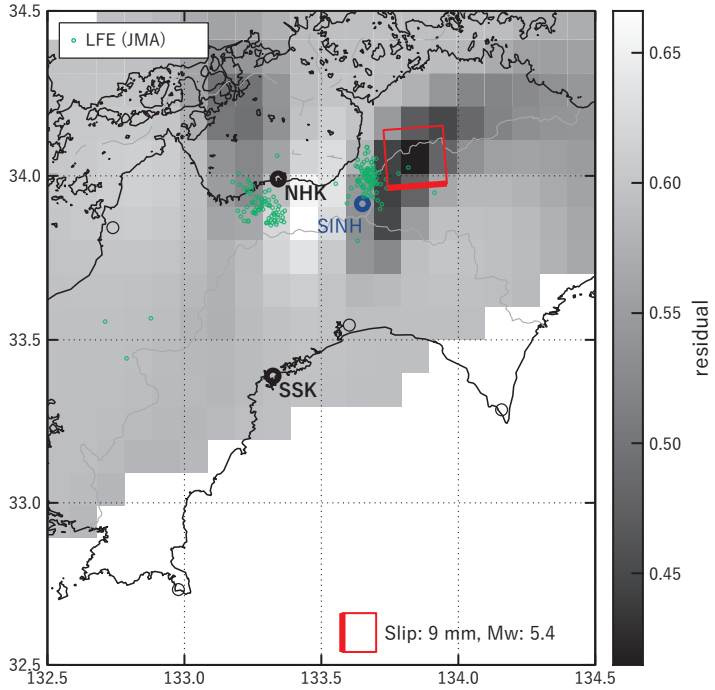


第 38 図　四国地方における歪・傾斜の観測結果と低周波地震の検出数（2023/09/03 ～ 2023/09/20）.

Fig. 38　Observed strain and tilt data and detected number of low-frequency earthquakes in the Shikoku region from September 3 to 20, 2023.

[A] 2023/09/13PM-14

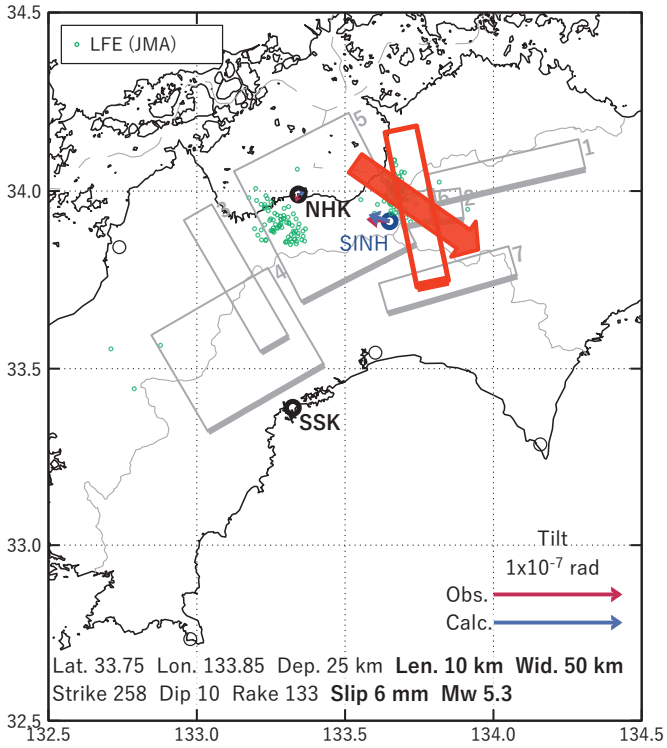
(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



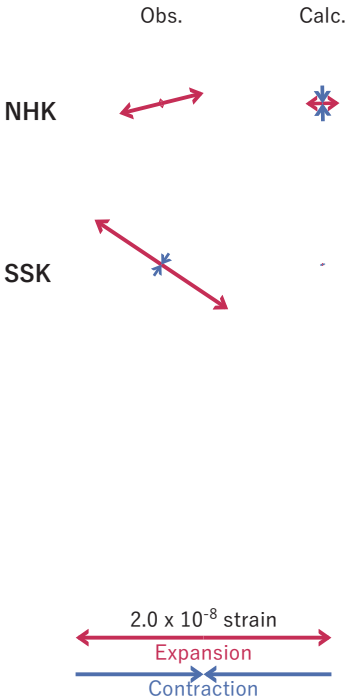
○ 産総研の観測点

○ 防災科研の観測点

(b1) 推定した断層モデル



(b2) 主歪

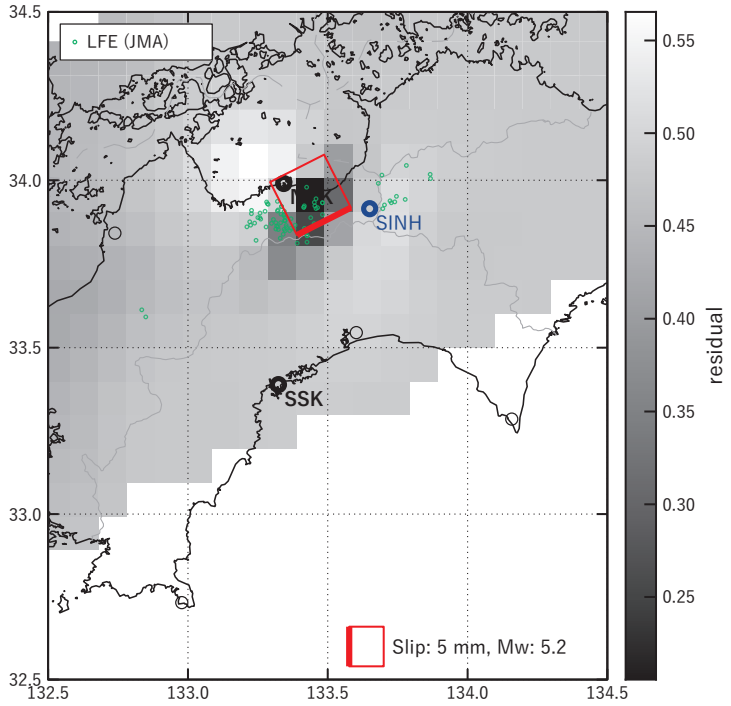


第 39 図　第 38 図 [A] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．

Fig. 39　Inferred fault models for Fig. 38[A]. See also the caption of Fig. 3.

[B] 2023/09/15-16AM

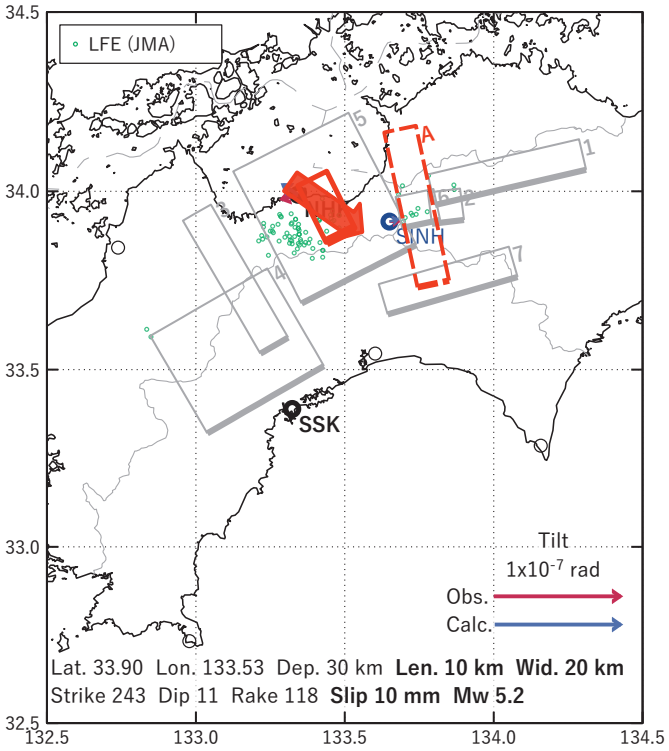
(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



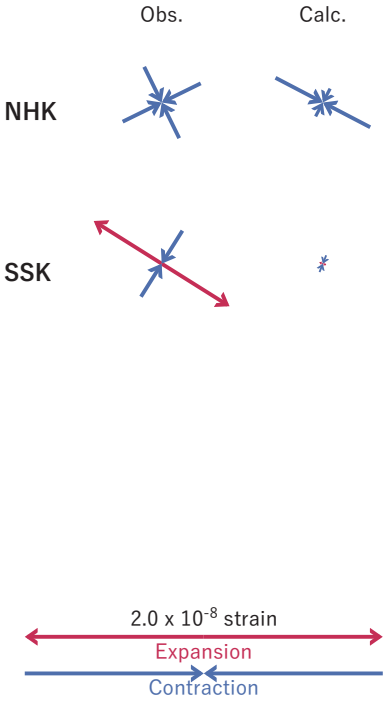
○ 産総研の観測点

○ 防災科研の観測点

(b1) 推定した断層モデル

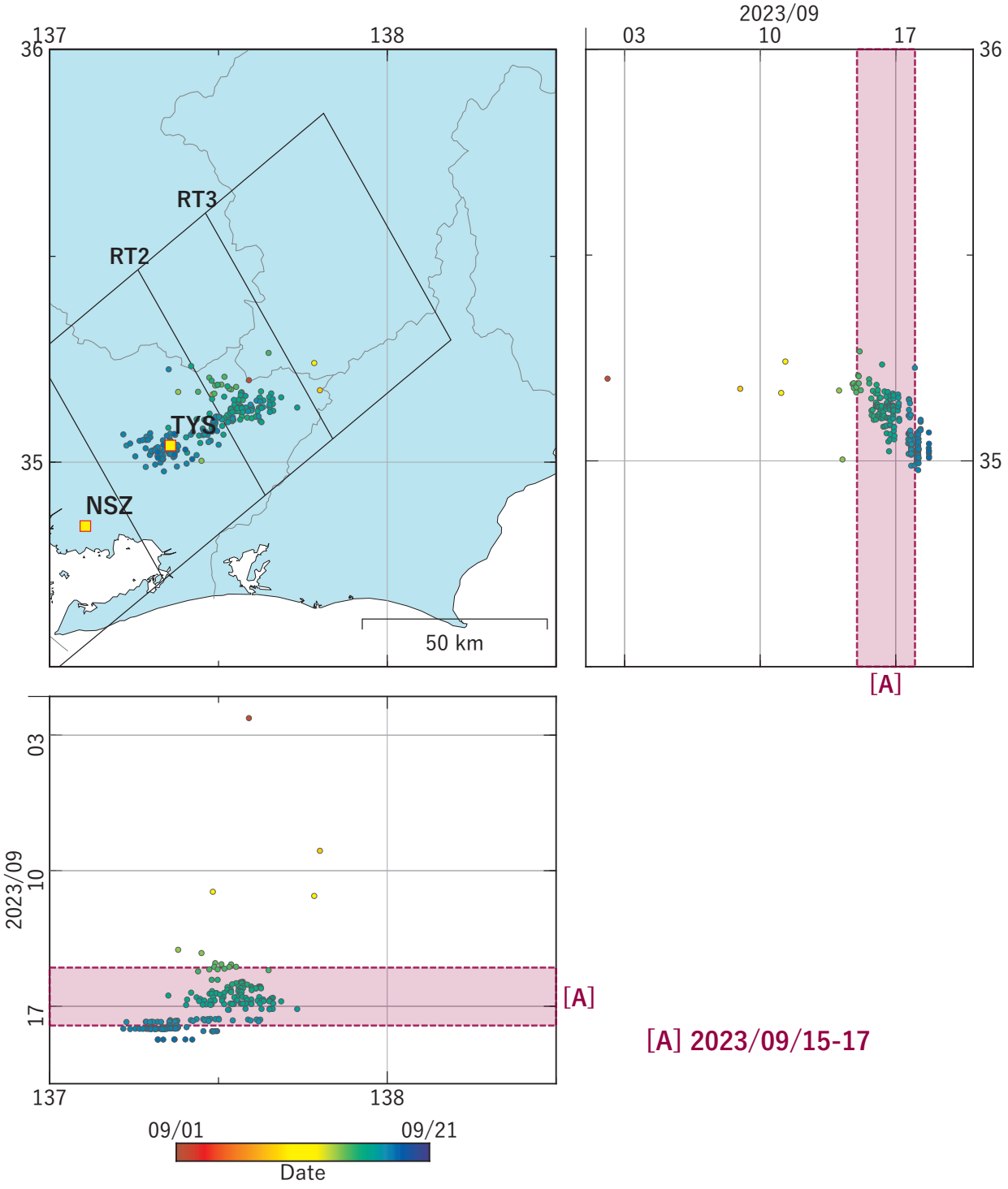


(b2) 主歪



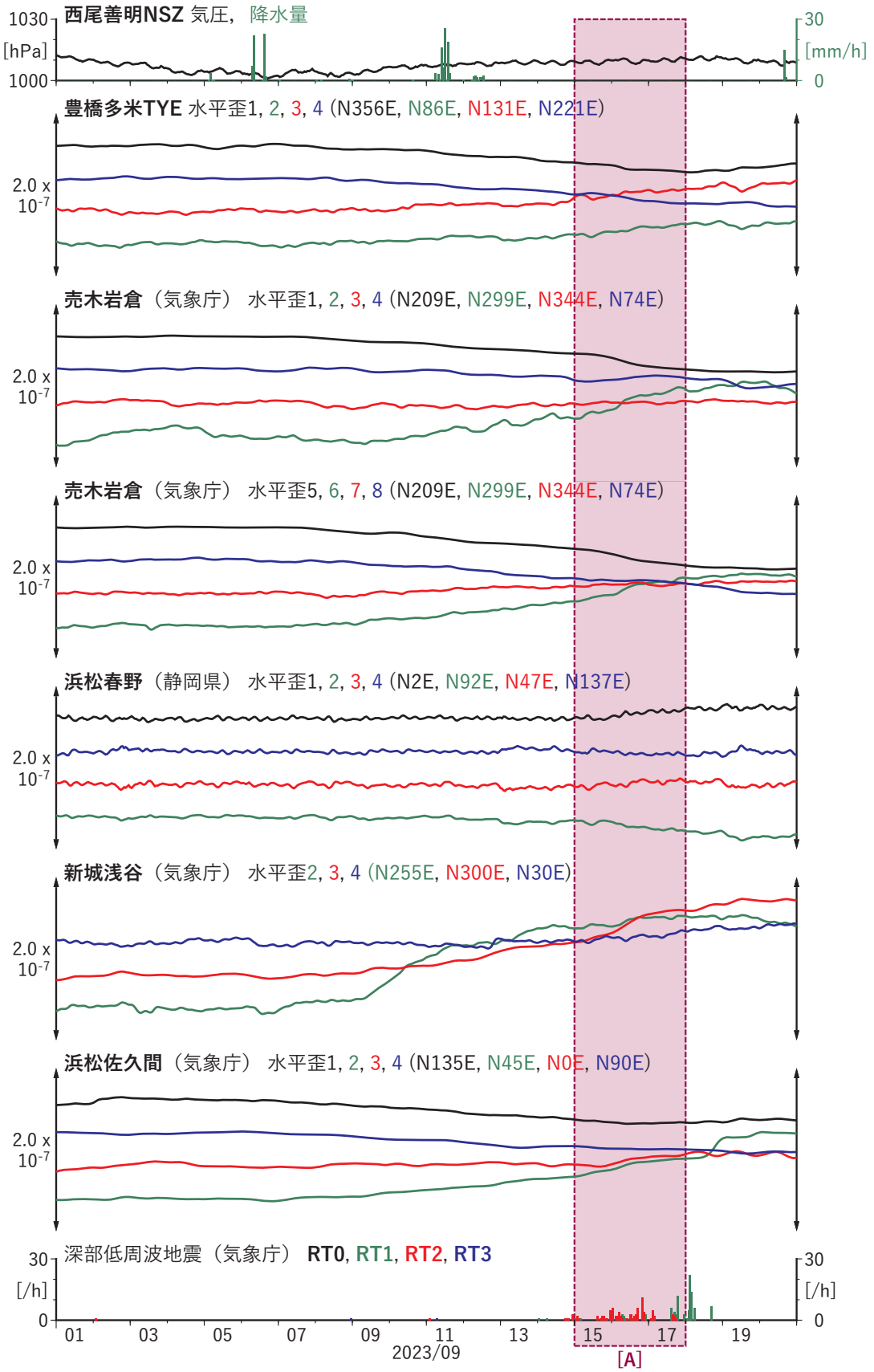
第 40 図　第 38 図 [B] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．

Fig. 40　Inferred fault models for Fig. 38[B]. See also the caption of Fig. 3.



第 41 図　東海地方における低周波地震（気象庁一元化カタログによる）の時空間分布（2023/09/01 ～ 2023/09/20）.

Fig. 41　Space-time distribution of low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Tokai region from September 1 to 20, 2023.

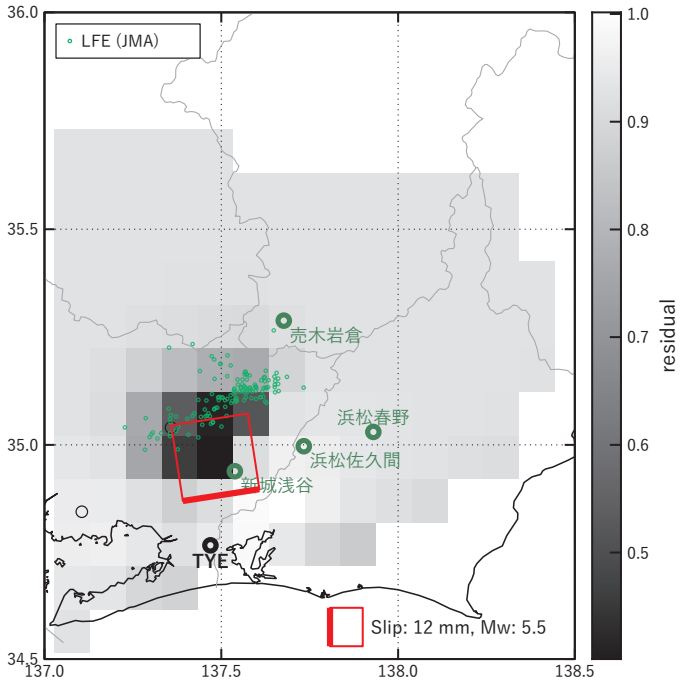


第 42 図　東海地方における歪・傾斜の観測結果と低周波地震の検出数（2023/09/01 ～ 2023/09/20）.

Fig. 42　Observed strain and tilt data and detected number of low-frequency earthquakes in the Tokai region from September 1 to 20, 2023.

[A] 2023/09/15-17

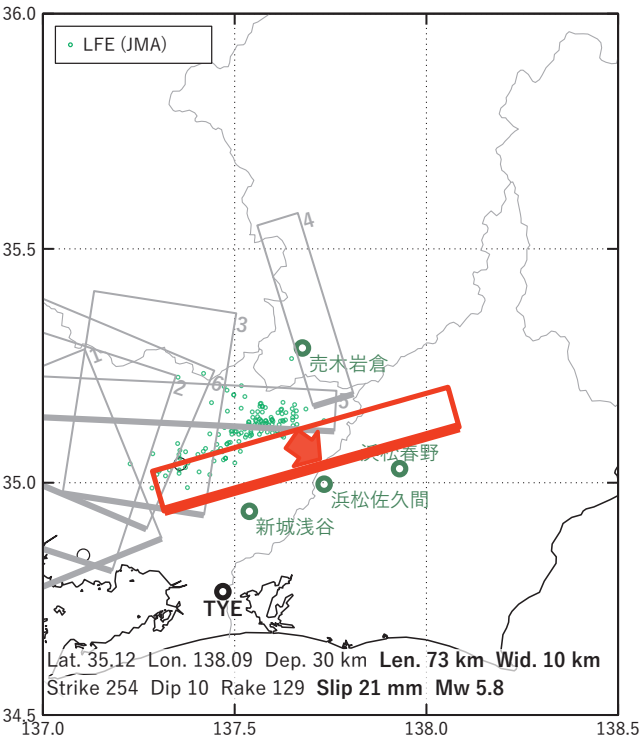
(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



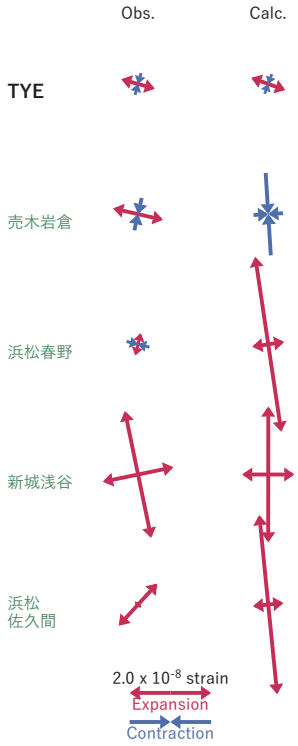
○ 産総研の観測点

○ 気象庁・静岡県の観測点

(b1) 推定した断層モデル

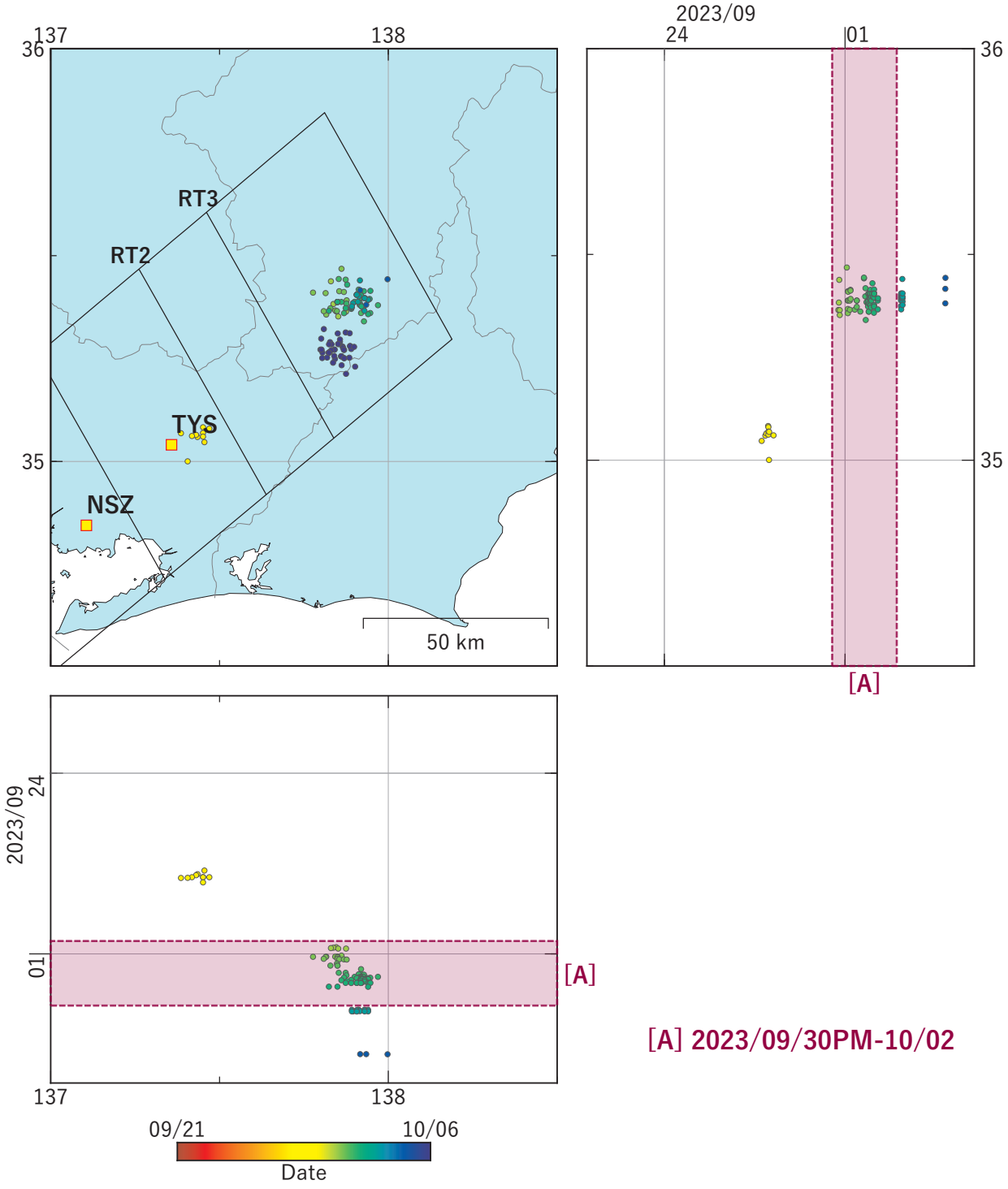


(b2) 主歪



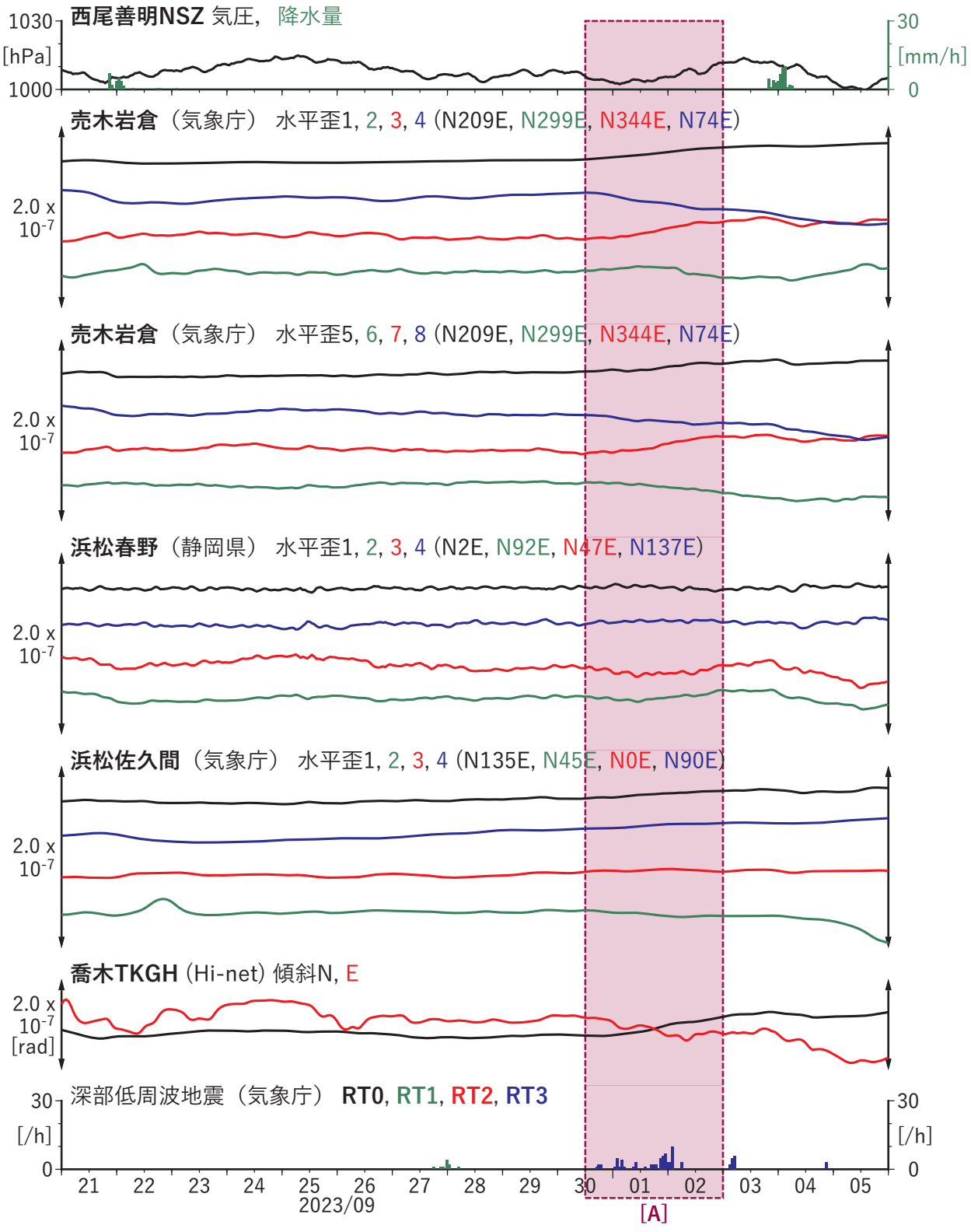
第 43 図　第 42 図 [A] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．

Fig. 43　Inferred fault models for Fig. 42[A]. See also the caption of Fig. 3.



第 44 図　東海地方における低周波地震（気象庁一元化カタログによる）の時空間分布（2023/09/21 ～ 2023/10/05）.

Fig. 44　Space-time distribution of low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Tokai region from September 21 to October 5, 2023.

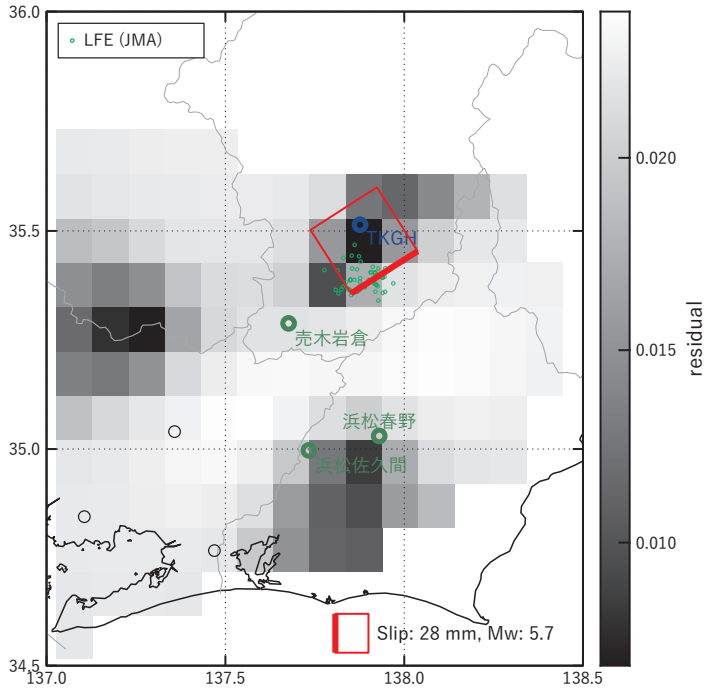


第 45 図　東海地方における歪・傾斜の観測結果と低周波地震の検出数（2023/09/21 ～ 2023/10/05）.

Fig. 45　Observed strain and tilt data and detected number of low-frequency earthquakes in the Tokai region from September 21 to October 5, 2023.

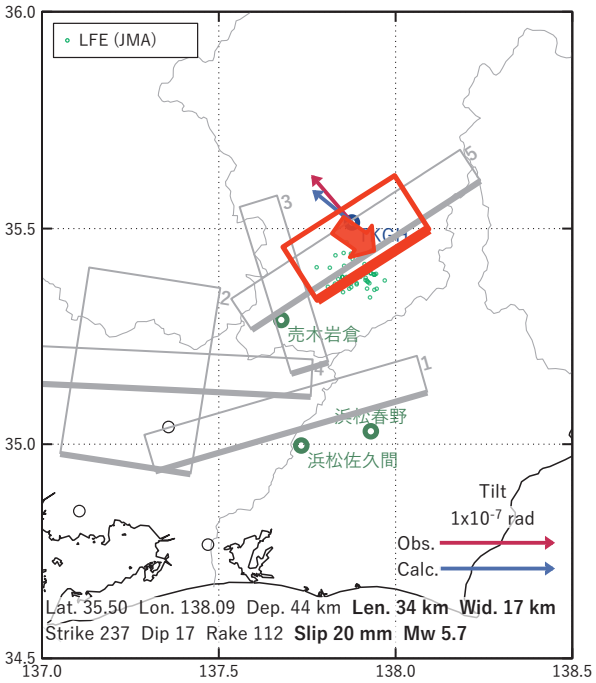
[A] 2023/09/30PM-10/02

(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布

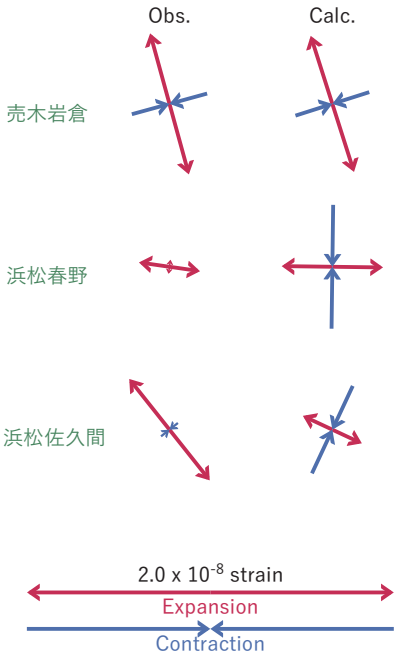


○ 産総研の観測点
○ 防災科研の観測点
○ 気象庁・静岡県の観測点

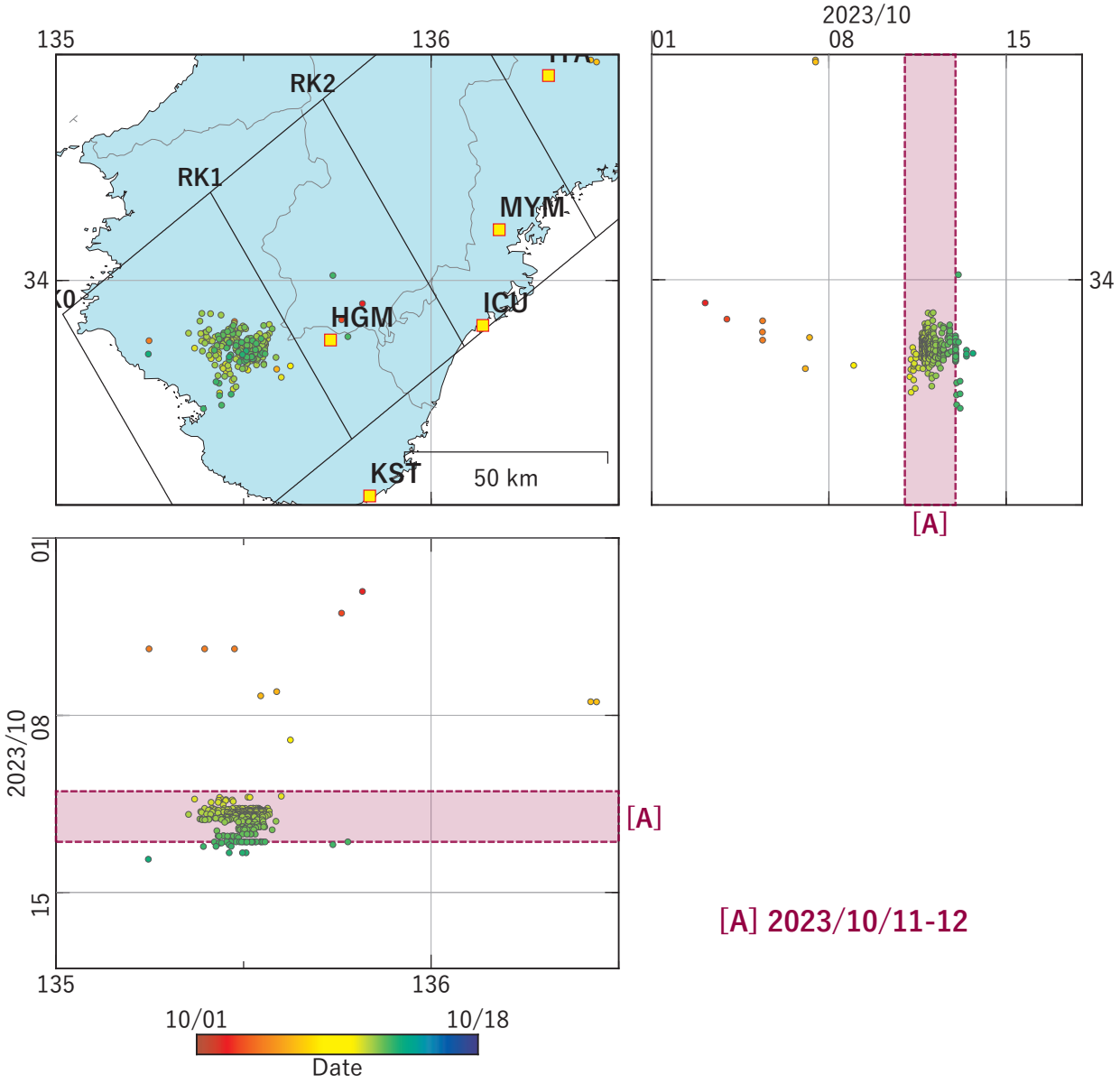
(b1) 推定した断層モデル



(b2) 主歪

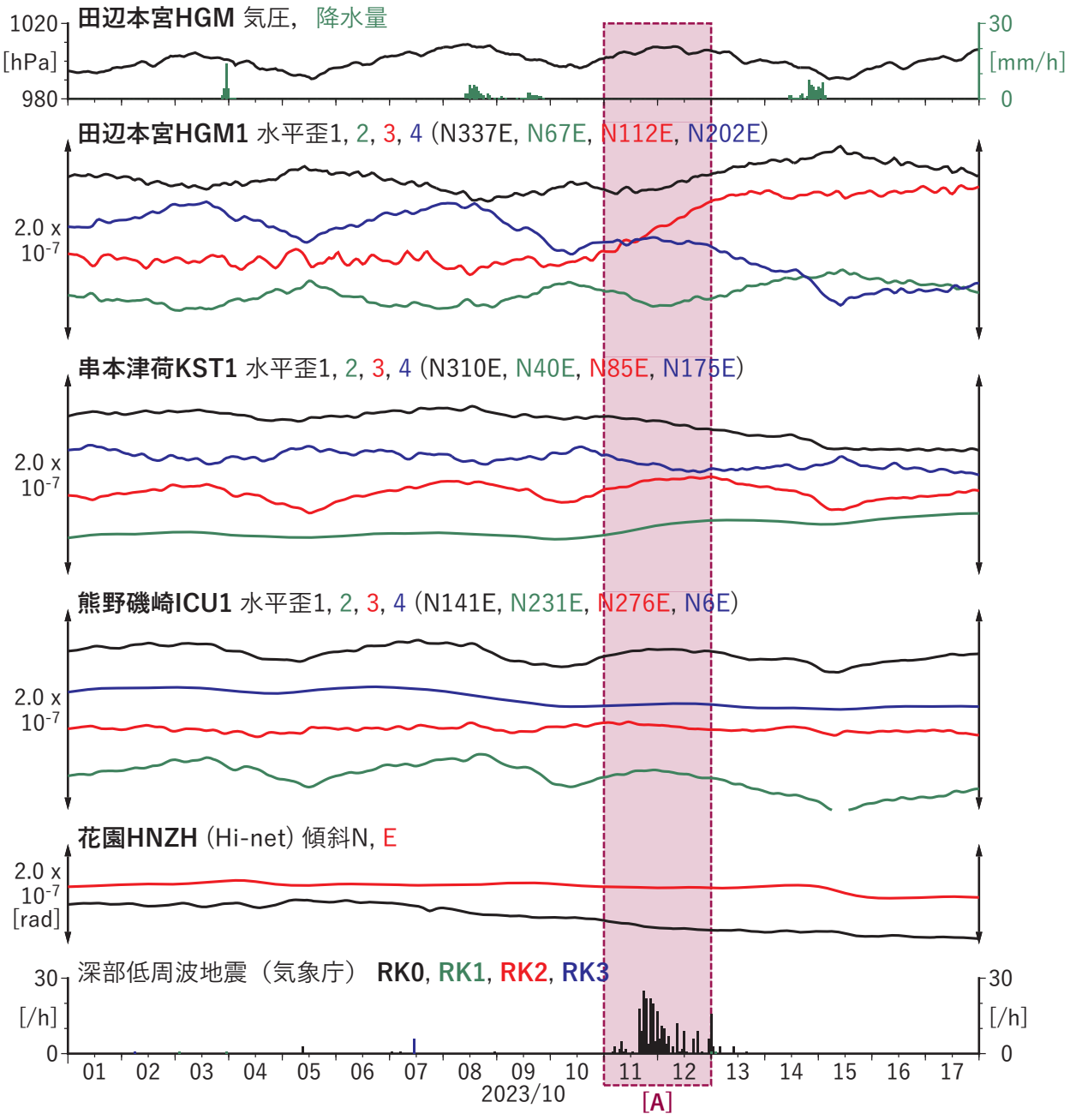


第 46 図　第 45 図 [A] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．
Fig. 46　Inferred fault models for Fig. 45[A]. See also the caption of Fig. 3.



第 47 図　紀伊半島における低周波地震（気象庁一元化カタログによる）の時空間分布（2023/10/01 ～ 2023/10/17）.

Fig. 47　Space-time distribution of low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Kii Peninsula from October 1 to 17, 2023.

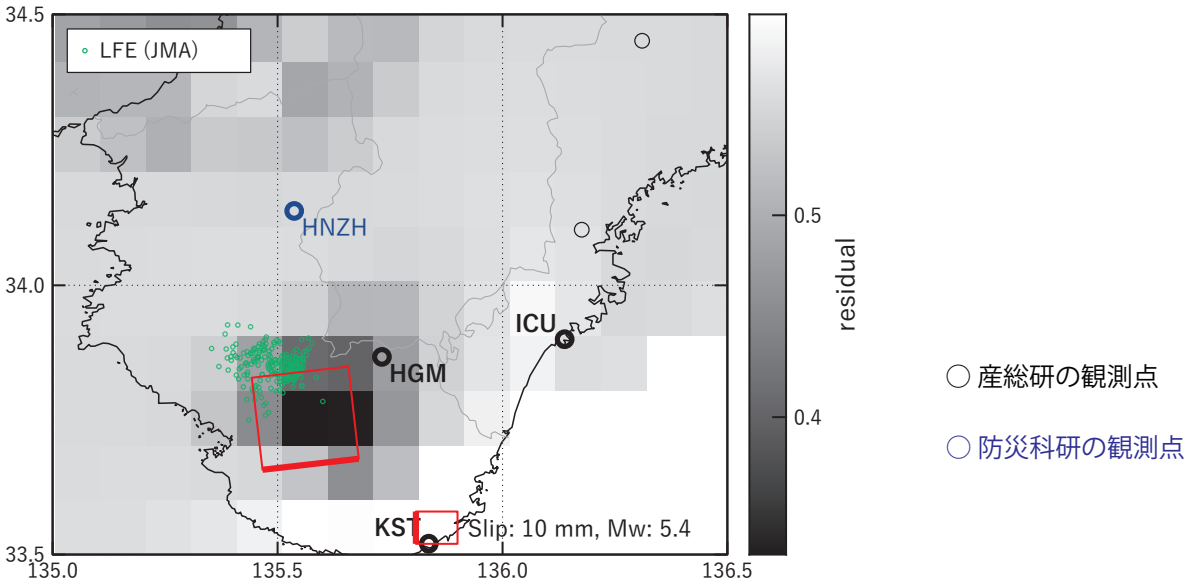


第 48 図　紀伊半島における歪・傾斜の観測結果と低周波地震の検出数（2023/10/01 ～ 2023/10/17）.

Fig. 48　Observed strain and tilt data and detected number of low-frequency earthquakes in the Kii Peninsula region from October 1 to 17, 2023.

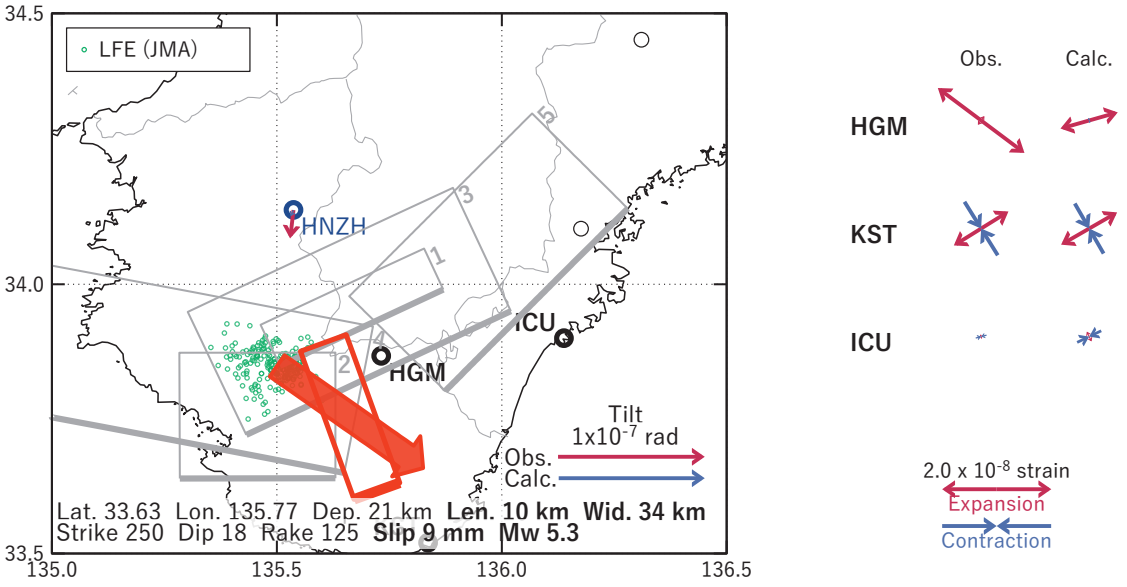
[A] 2023/10/11-12

(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



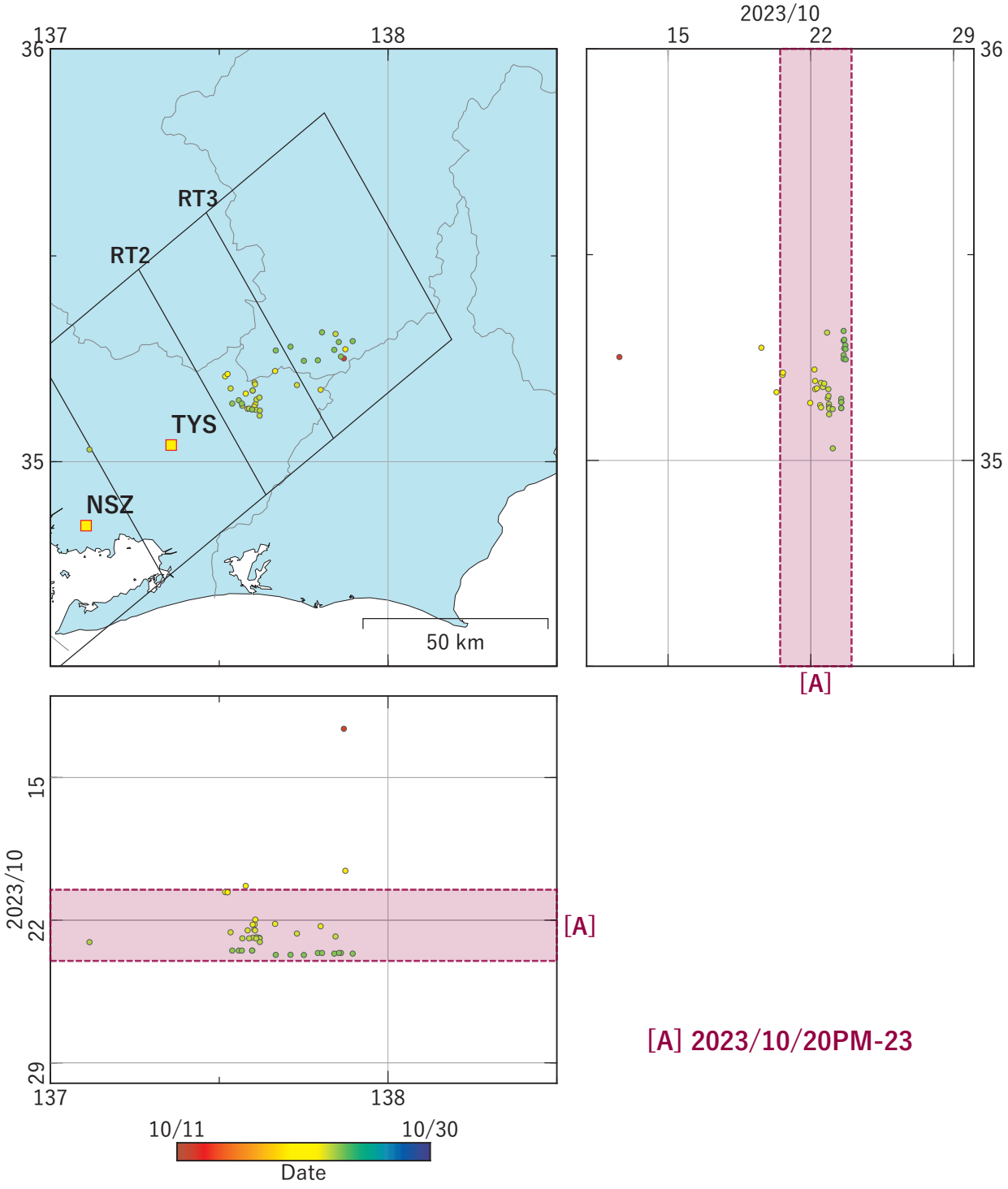
(b1) 推定した断層モデル

(b2) 主歪



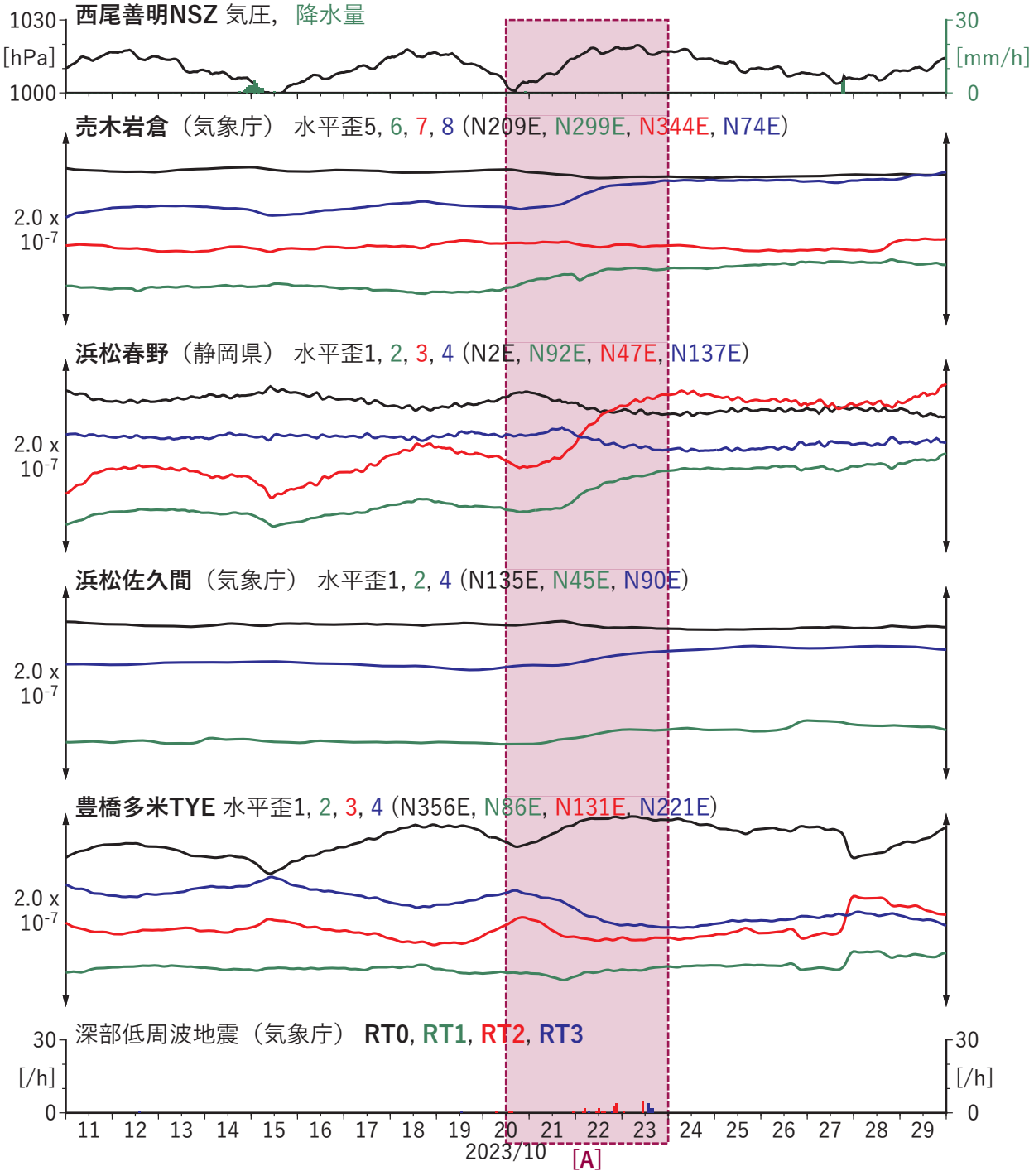
第 49 図　第 48 図 [A] を説明する断層モデル．各図の説明は第 3 図を参照．

Fig. 49　Inferred fault models for Fig. 48[A]. See also the caption of Fig. 3.



第 50 図　東海地方における低周波地震（気象庁一元化カタログによる）の時空間分布（2023/10/11 ～ 2023/10/29）.

Fig. 50　Space-time distribution of low-frequency earthquakes by JMA unified hypocenter catalog in the Tokai region from October 11 to October 29, 2023.

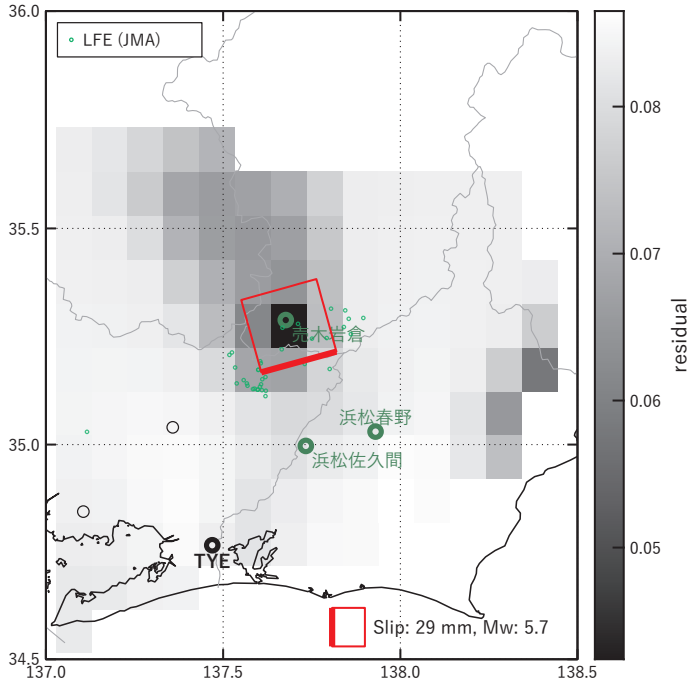


第 51 図　東海地方における歪の観測結果と低周波地震の検出数（2023/10/11 ～ 2023/10/29）.

Fig. 51　Observed strain data and detected number of low-frequency earthquakes in the Tokai region from October 11 to 29, 2023.

[A] 2023/10/20PM-23

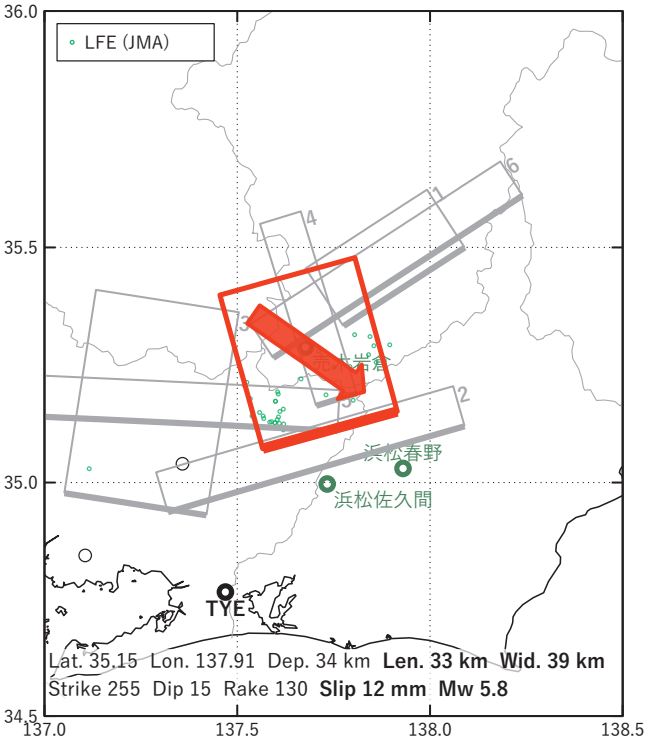
(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



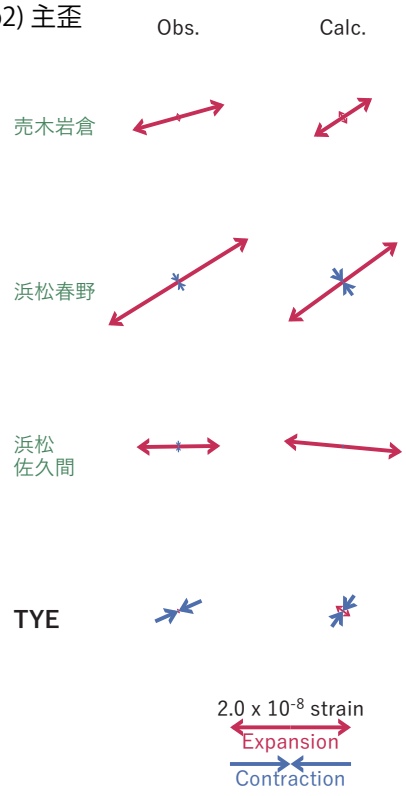
○ 産総研の観測点

○ 気象庁・静岡県の観測点

(b1) 推定した断層モデル



(b2) 主歪



第 52 図　第 51 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. 52　Inferred fault models for Fig. 51[A]. See also the caption of Fig. 3.

５－４　東海･関東･伊豆地域における地下水等観測結果（2023 年 5 月～ 2023 年 10 月）(68)

The Variation of the Groundwater Level and Subsidence in the Tokai, Kanto District and Izu Peninsula, Japan. (from May 2023 to Oct. 2023) (68)

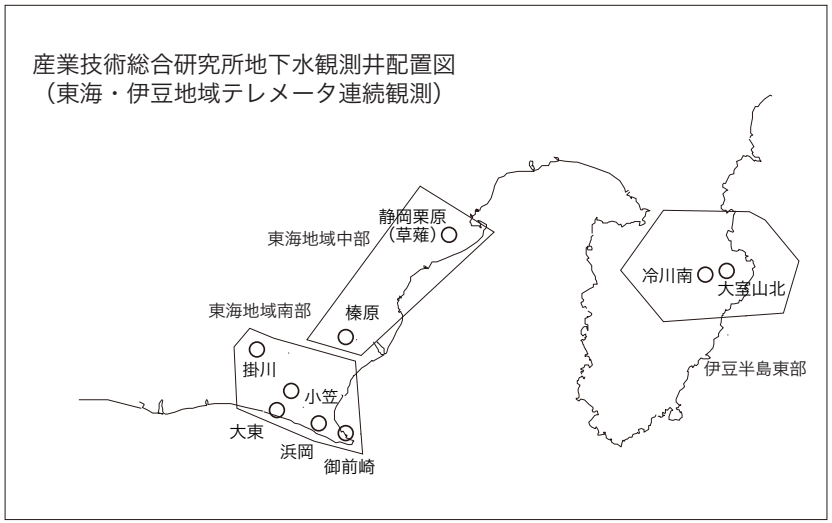
産業技術総合研究所
Geological Survey of Japan, AIST

2023 年 5 月～ 2023 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 3 地域および第 2 図に示す地域に分けて，6 ヶ月間の観測データを示し．また掛川における沈下等の観測結果についても示す（第 3 ～ 7 図）．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．
伊豆半島東部地域：特記すべき変化はない．
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．

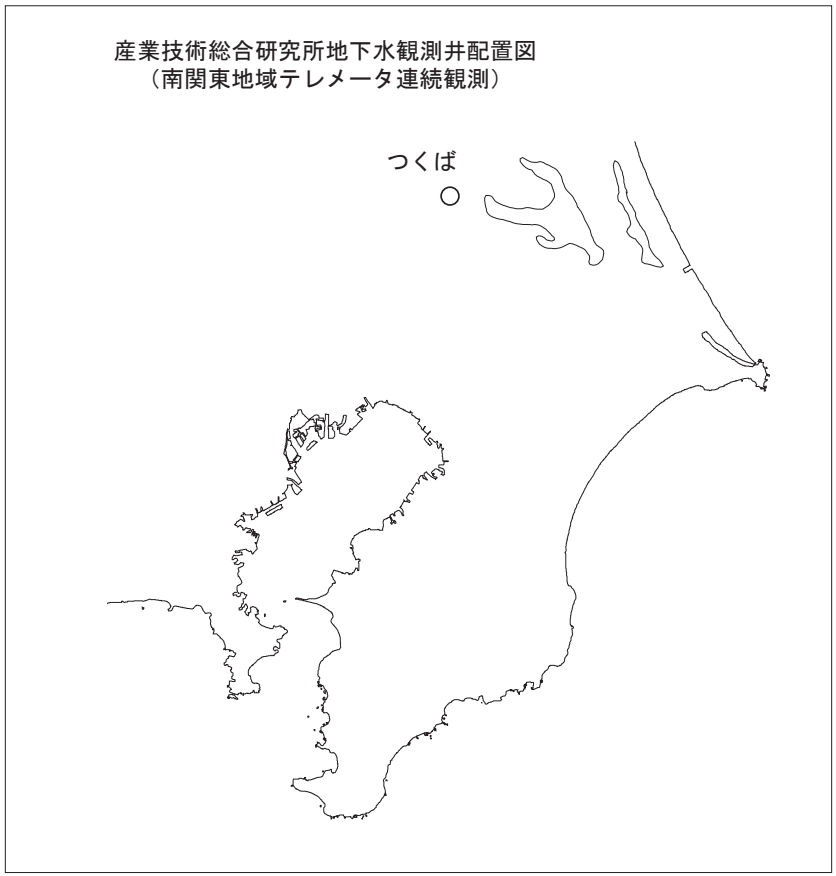
これらのデータは WellWeb (http://www.gsj.jp/wellweb) にて公開している．

（木口　努・松本則夫・北川有一・板場智史・落　唯史・佐藤　努・矢部　優）



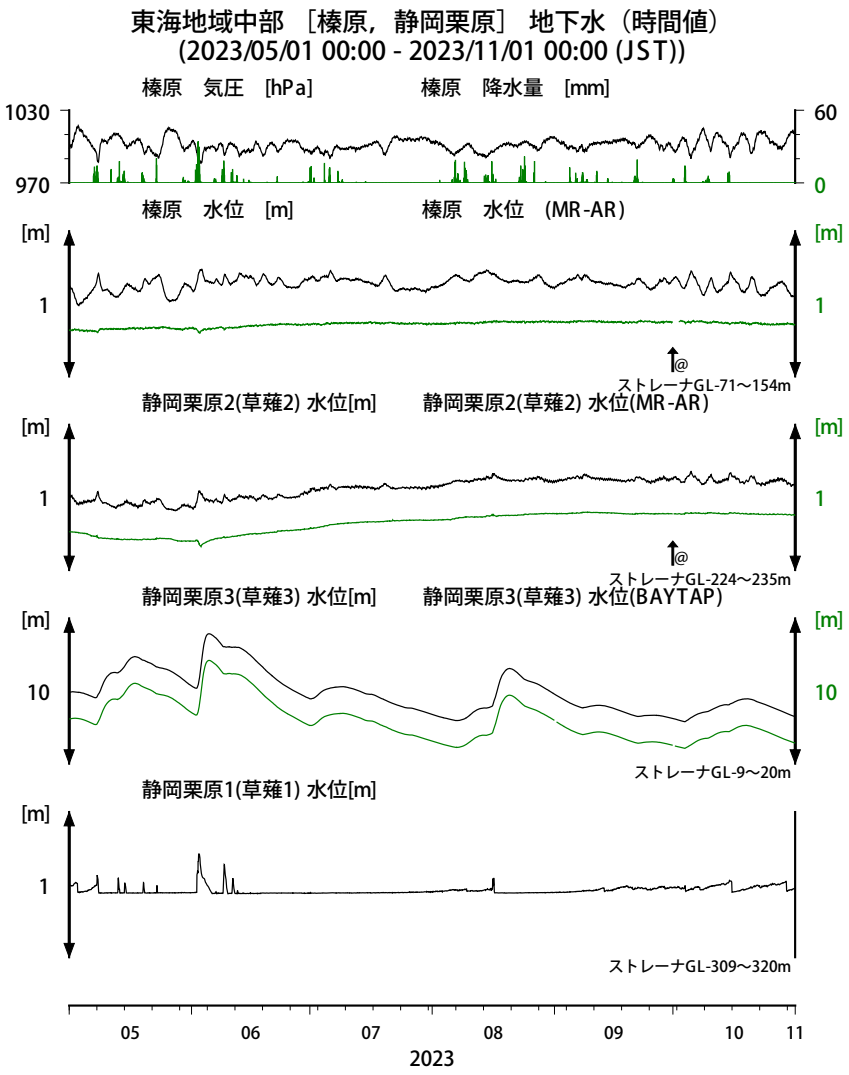
第 1 図　伊豆・東海地域の産業技術総合研究所地下水等観測井の配置図

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



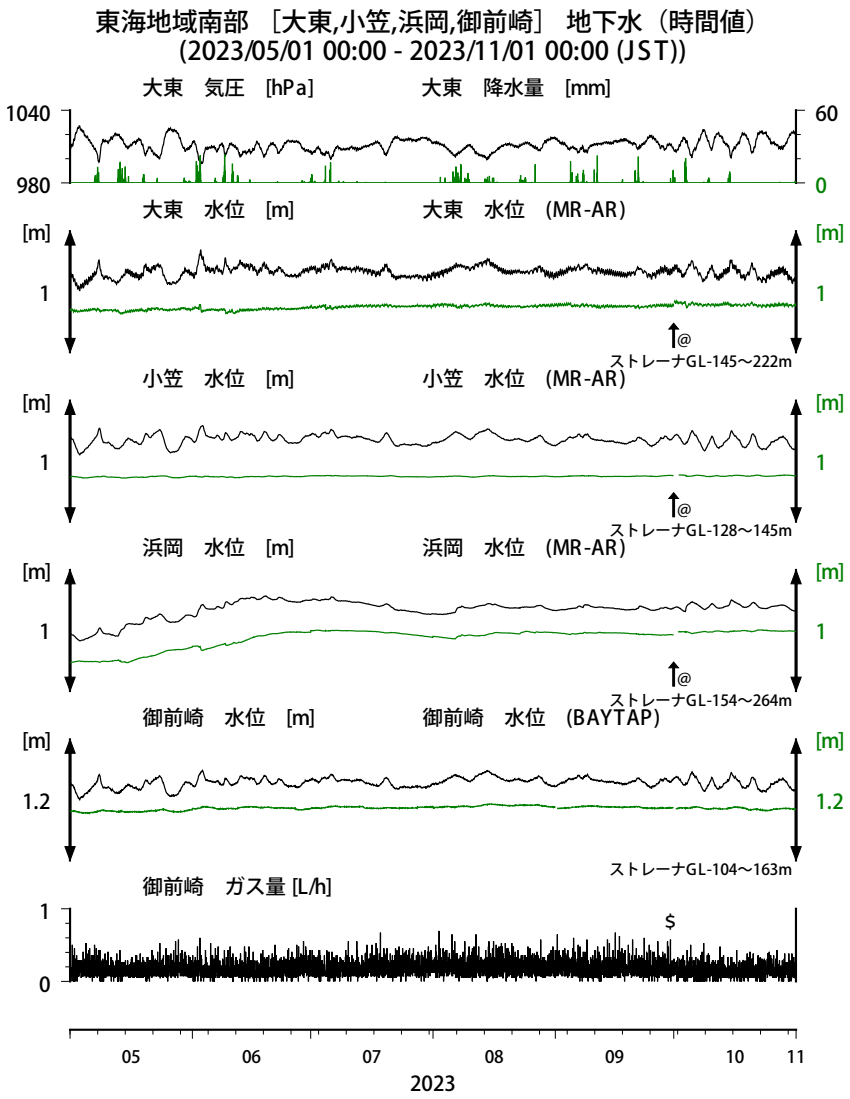
第 2 図　関東地域の産業技術総合研究所地下水等観測井の配置図

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



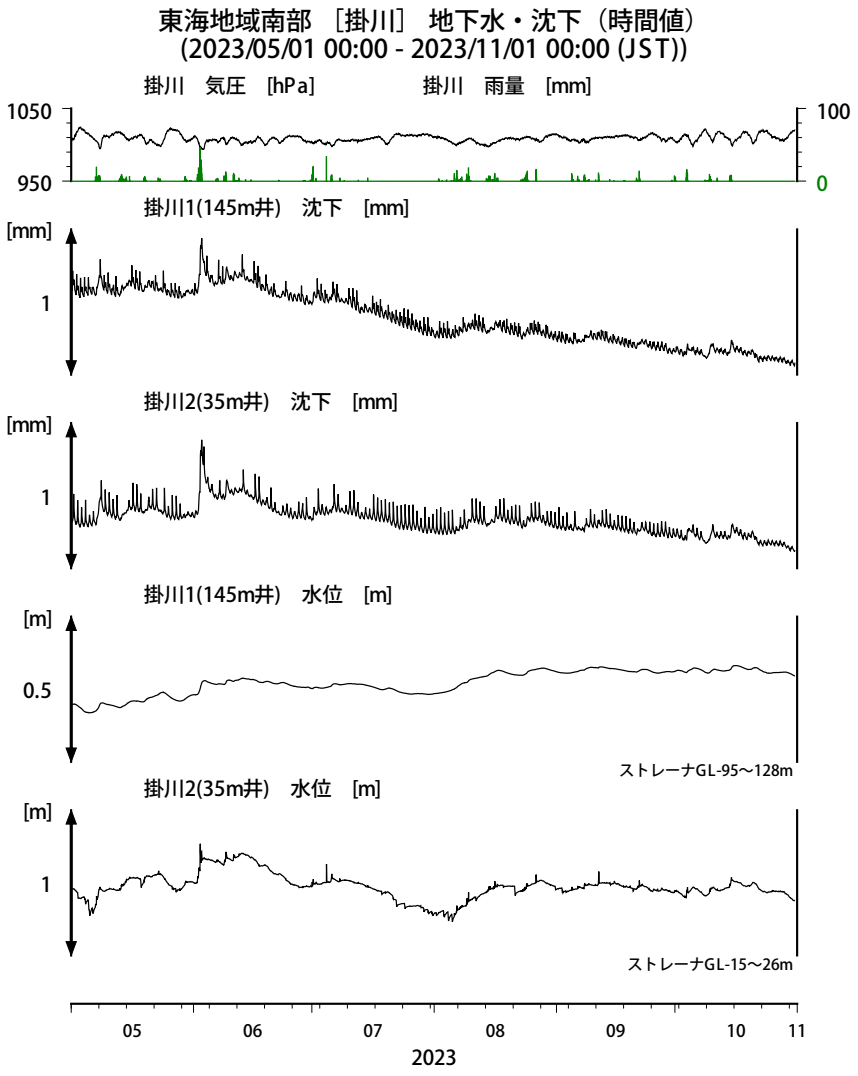
第 3 図　東海地域中部の地下水等の観測結果（2023 年 5 月～ 2023 年 10 月）

Fig. 3　Observed groundwater levels and others in the central Tokai district from May 2023 to Oct. 2023.



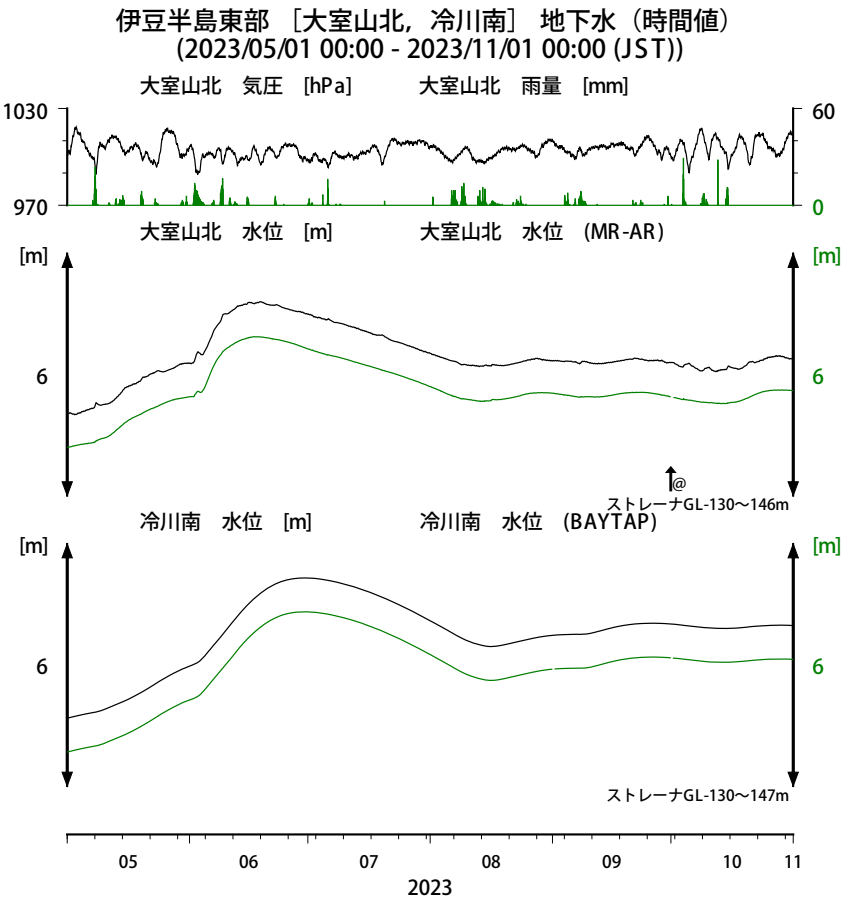
第 4 図　東海地域南部の地下水等の観測結果（2023 年 5 月～ 2023 年 10 月）

Fig. 4　Observed groundwater levels and others in the southern Tokai district from May 2023 to Oct. 2023.



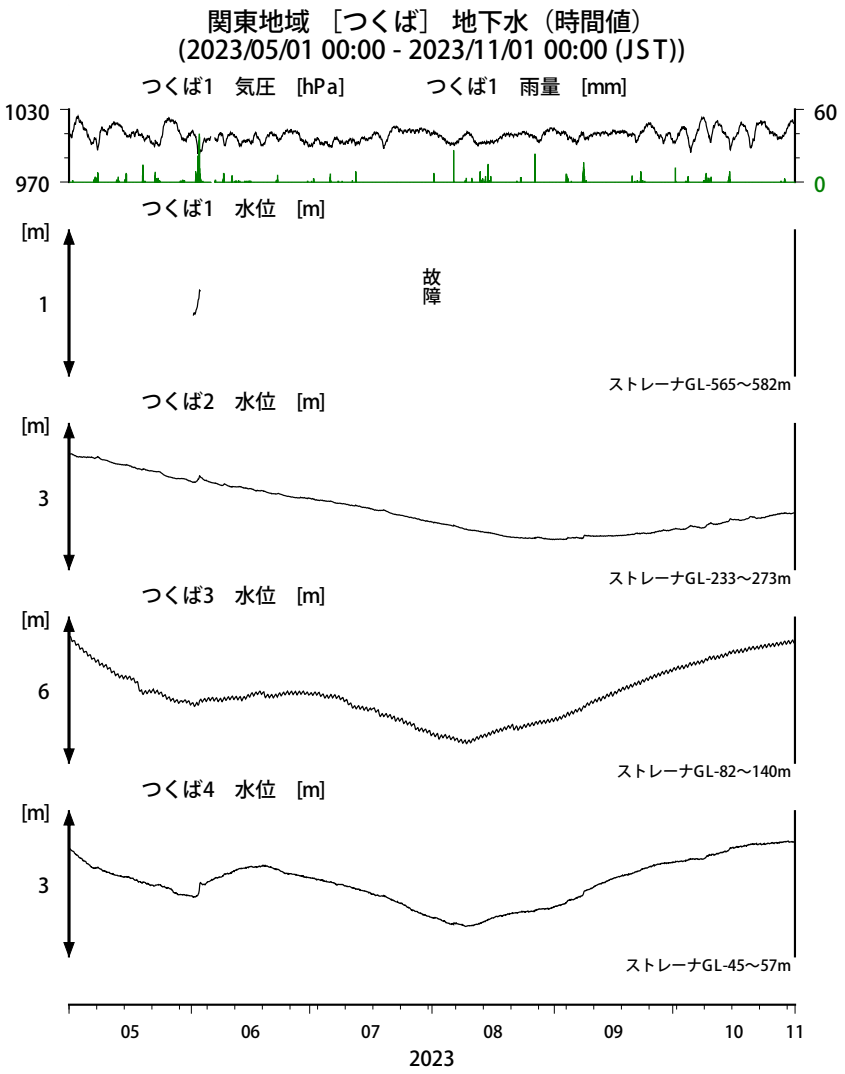
第 5 図　掛川における沈下等の観測結果（2023 年 5 月～ 2023 年 10 月）

Fig. 5　Observed subsidence data and others at the Kakegawa observation well from May 2023 to Oct. 2023.



第 6 図　伊豆半島東部の地下水等の観測結果（2023 年 5 月～ 2023 年 10 月）

Fig. 6　Observed groundwater levels and others in the eastern Izu peninsula district from May 2023 to Oct. 2023.



第 7 図　関東地域の地下水等の観測結果（「2023 年 5 月～ 2023 年 10 月）

Fig. 7　Observed groundwater levels and others in the Kanto district from May 2023 to Oct. 2023.

６－１　岐阜県東部・長野県西部における地殻活動観測結果（2023 年 5 月～ 2023 年 10 月）
Observation of Tectonic Activities in Eastern Gifu and Western Nagano Regions (May, 2023 ～ October, 2023)

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

1 . 観測概要

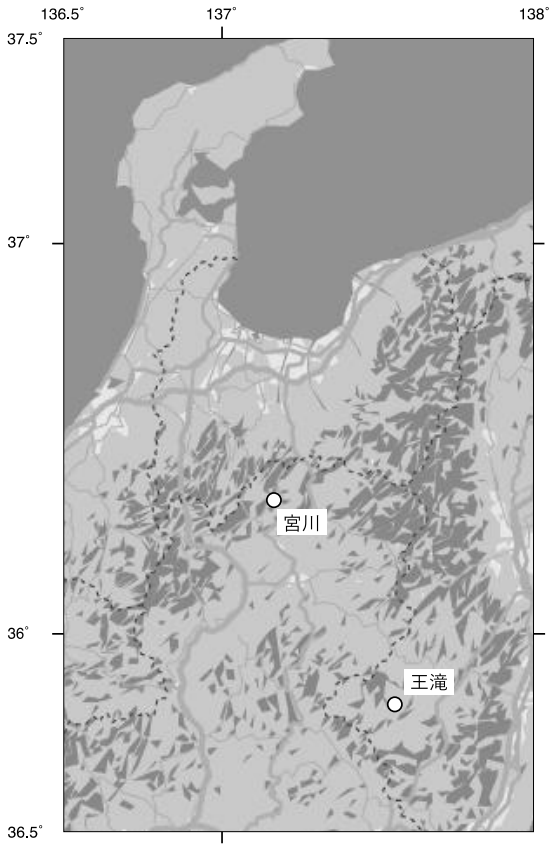
産業技術総合研究所は岐阜県東部の宮川及び長野県西部の王滝において地殻活動総合観測設備を設置している（第 1 図）．宮川では深度約 300m の孔井を掘削し，深度 256.78 ～ 267.66m の滞水層の地下水位の計測を行なっており，王滝では深度約 815m の孔井を掘削し，深度 645.24 ～ 663.35m の滞水層の地下水位の計測を行なっている．

2. 観測結果概要

宮川・王滝の水位（第 2 図，第 3 図）：

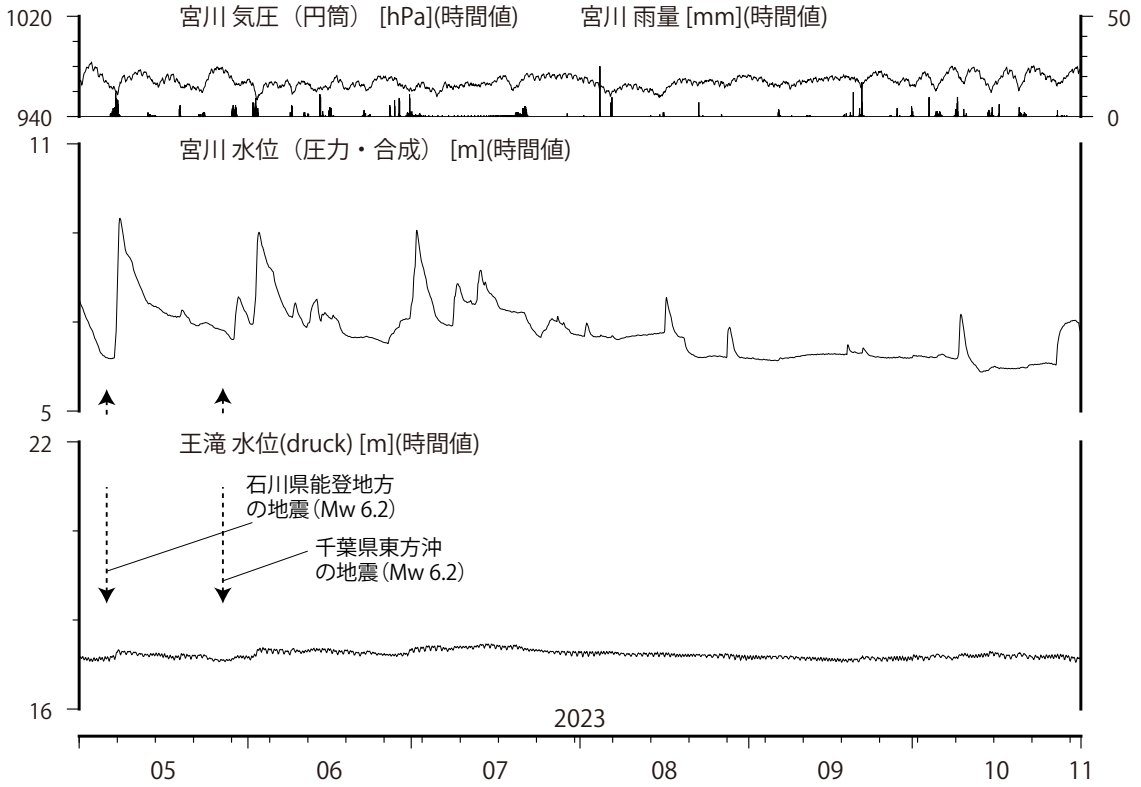
潮汐変化を書く．宮川では降雨の影響が大きい．2023 年 5 月 5 日石川県能登地方の地震 Mw6.2 及び 5 月 26 日千葉県東方沖の地震 Mw6.2 では地下水位の変化は見られない．

（木口努・今西和俊・松本則夫）



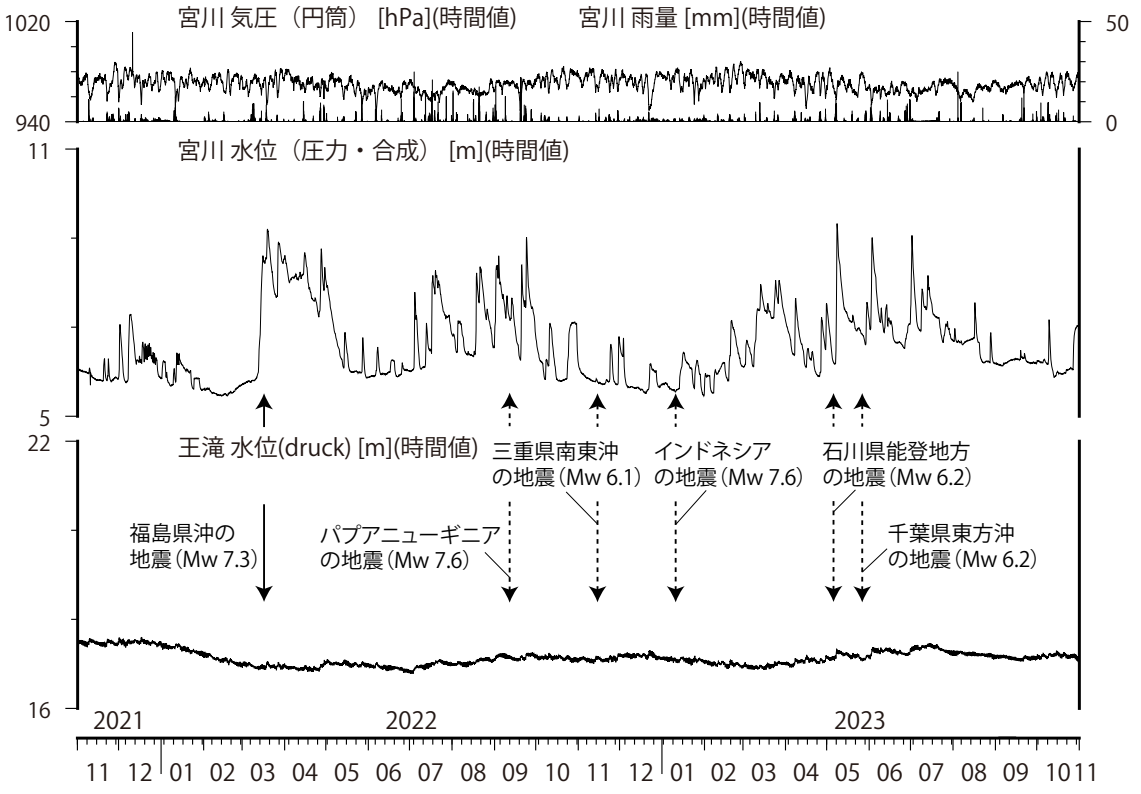
第 1 図　岐阜県東部の宮川及び長野県西部の王滝の観測点位置

Fig. 1　Location map of the observation boreholes at Miyagawa and Outaki.



第 2 図　宮川と王滝における水位観測結果（6 ヶ月間）

Fig. 2　Results of groundwater levels at Miyagawa and Outaki (for 6 months).



第 3 図　宮川と王滝における水位観測結果（2 年間）

Fig. 3　Results of groundwater levels at Miyagawa and Outaki (for 2 years).

６－２　系統的な欠測を伴う地震カタログから実際の活動率変化の推定：M6.5 能登半島地震の余震活動について

Estimation of actual activity rate changes from earthquake catalogs with systematic missing measurements: Aftershock activity of the M6.5 Noto Peninsula Earthquake.

統計数理研究所
The Institute of Statistical Mathematics

１．はじめに

ETAS モデルによる大地震直後の余震活動の詳細把握は，カタログの不完全さによって妨げられる．比較的大きな余震でさえも検出できてないためである．あえて大森宇津モデルを本震直後の一定期間で当て嵌めると，本震直後の余震欠測を贖うためにマグニチュード下限に応じて c 値は大きくなる．従来からの余震の予測の実装は，これに基づいている．

本稿では，本震直後の詳細の把握のために，各地震の検出確率を推定して ETAS モデルと併せたモデル化を考慮する．

２．欠測を考慮したマグニチュード頻度分布モデル

第 1 図で示すように，時刻 t における瞬間の，各マグニチュード M_t の密度関数は，背景の指数関数（G-R 頻度分布則）に，平均値 ν 標準偏差 σ の累積正規分布（誤差関数）の検出率を掛け合わせた式

$$f(M_t \mid b_t, \nu_t, \sigma_t) \propto 10^{-b_t M_t} erf\left\{(M-\nu_t)/\sigma_t\right\} \tag{1}$$

によってモデル化される．本震からの経過時間 t に依存するパラメタ b_t, μ_t, σ_t を，データ長の等分割節の三次スプライン関数によって表現する．1 階微分及び 2 階微分のそれぞれの 2 乗和関数の積分を重み付で平滑性制約し，ペナルティ付き最小 2 乗法の最小化は，この方法にとって重要であり，重み（超パラメタ）の最適な決定 は赤池ベイズ情報量規準（ABIC）を最小化することによって得られる [1)]．

３．ETAS モデル

$$\lambda(t \mid H_t) = \mu + \sum_{t_i<t} Ke^{\alpha(M_i-M_c)} \Big/ (t-t_i+c)^p \tag{2}$$

の下限マグニチュード M_c を定めた時，検出できた余震の系列履歴 $H_t = \left\{(t_i, M_i);\ t_i < t, M_i \geq M_c\right\}$ に対して，検出されたデータから推定した ETAS モデルは $M \geq M_c$ の余震の検出確率を乗じた条件付き強度関数

$$\psi_\theta(t \mid H_t) = \lambda_\theta(t \mid H_t) \cdot erf\left\{\frac{M_c-\nu_t}{\sigma_t}\right\} \tag{3}$$

の対数尤度 $\log L(\theta)$ の最大化（最尤法）で推定する．

４．非定常 ETAS モデル

非定常 ETAS モデルを仮定する場合，$\mu(t)$ および $K(t)$ は，地震 i に対応する値 $\mu_i = \mu(t_i)$ と $K_i = K(t_i)$ をそれぞれの隣を繋ぐ局所線形関数で，ベイズ的に最適化する．すなわち式 (3) の対数尤度に平滑化ペナルティを付して対数事後分布関数

$$\log L(\theta) - \sum_i w_\mu (\mu_{i+1} - 2\mu_i + \mu_{i-1})^2 / 2 - \sum_i w_K (K_{i+1} - 2K_i + K_{i-1})^2 / 2 \tag{4}$$

において平滑化の重み w_μ と w_K の最適化と ETAS モデルのパラメタ (c, α, p) の最適化をめざして，ABIC を最小化し，その後 (4) 式から $\mu_i = \mu(t_i)$ と $K_i = K(t_i)$ の最大事後推定値 (MAP estimate) を求めることになる [2]．

本稿では，本震や大余震前後の平滑化制約の強さを自動的に緩和するため，実時間 $[0,\ T_{end}]$ を等分割した三次スプライン関数に代わって，イベント系列の自然時間間隔 $[0,\ N_{end}]$ を等分割した三次スプライン関数に適用されるペナルティを課する．これは発生時間が高度にクラスタ化されている場合，実時間に適用されるペナルティよりも通常 ABIC 比較で効果的である．

５．M6.5 能登半島地震の余震活動について

群発地震 [3] が続発している領域の北辺で 2023 年 5 月 5 日に M6.5 の地震が発生した . 群発地震活動と余震活動の詳細を前記のモデルを使用して，本震以降の数か月間（7 月 4 日まで）の活動について，約 1 万 5 千の検出地震に基づいて調べた（第 2 図）．

以下の全ての結果図では，本震直後の変化を詳しく見るために，発生地震の時間についての変化図のみならず，発生順番についての変化図も並記した．第 3 図で，余震活動と群発地震活動の重なった数か月間のマグニチュード頻度モデル (1) のインバージョン結果を示している．マグニチュードの 50% 検出率 ν 値（赤曲線）と 97.5% 検出率（緑曲線）は本震直後数日に，それぞれ M1 以上と M1.5 ~ 2 以上であり，1 週間以後はそれぞれ M0.5 と M1 前後で推移している．これらは摂動しているが，中規模以上の余震直後のクラスタによる欠測が原因と考えられる．ここの図には載せていないが σ 値は全期間を通して 0.27 である．b 値は 0.9 ~ 1.3 を摂動しているが余震域内各地のクラスタの地域特性を反映していると思われる．

第 3 図の M ≧ 1.0 の検出率に基づいて欠測を考慮した ETAS モデル (3) のインバージョン結果が第 4 図に示されている．最初の数日の欠測を補完した結果が示されており，その後はほとんど重なっている．

このモデルを基礎に，非定常 ETAS モデル (4) の最適 ABIC のインバージョンした結果が第 3 図に示されている．ここで注目すべき非定常性は背景強度 $\mu(t)$ 値であり，本震後数日間で 100 倍のオーダーで増加・減少している．これは本震動により流体圧が変動をしていると推察される [2]．$K(t)$ は変動が小さく，第 5 図の縦スケール内枠には無い．

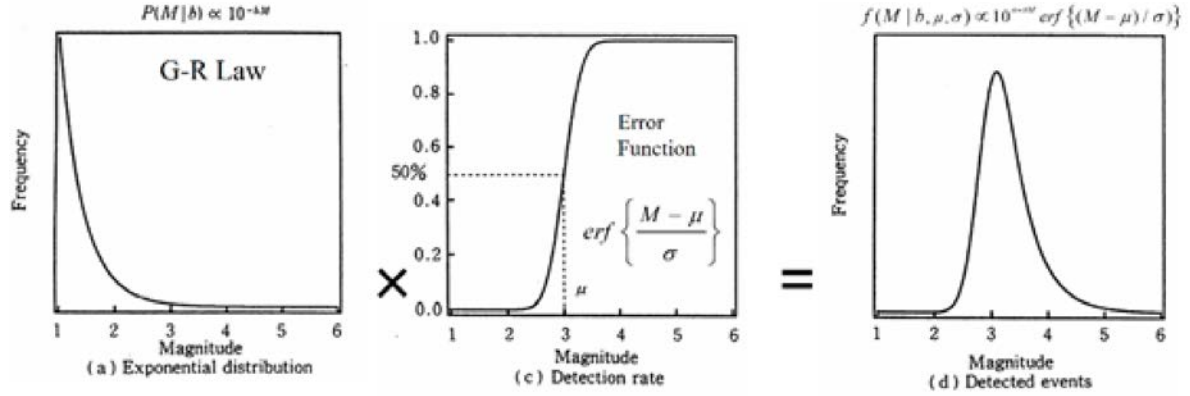
参考のため，欠測効果を考慮しないで M ≧ 1.5 と 1.0 の余震（7 月 14 日まで）に対して，従来の非定常 ETAS モデル [3] を当て嵌めた結果を第 6 図に示した．定性的に $\mu(t)$ 値の変化は第 5 図の結果を支持している．

謝意．本解析に関して 2023 年 7 月 14 日時点での気象庁 PDE 震源カタログを使用した．

（尾形良彦 , 熊澤貴雄 ; OGATA Yosihiko, KUMAZAWA Takao）

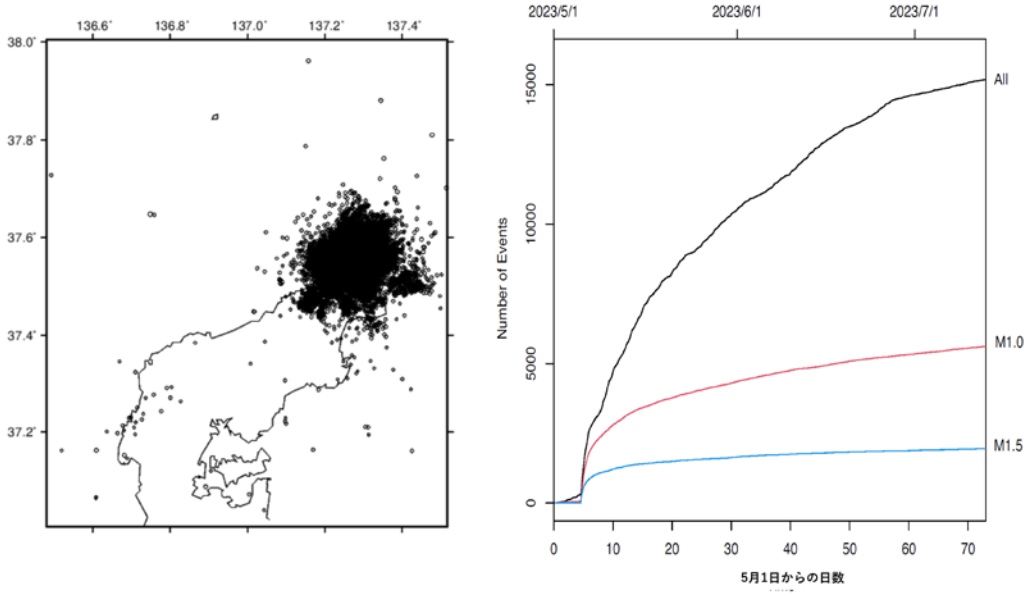
参考文献

1) Ogata, Y. and Katsura, K. (1993) *Geophys. J. Int.*, **113**, 727–738.
2) Kumazawa, T.and Ogata, Y., (2013) *J. Geophys. Res.*, **118**, 6165–6182.
3) 熊澤貴雄 , 尾形良彦 (2022). *予知連会報* , **107** (7-4)
https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou107/07_04.pdf.



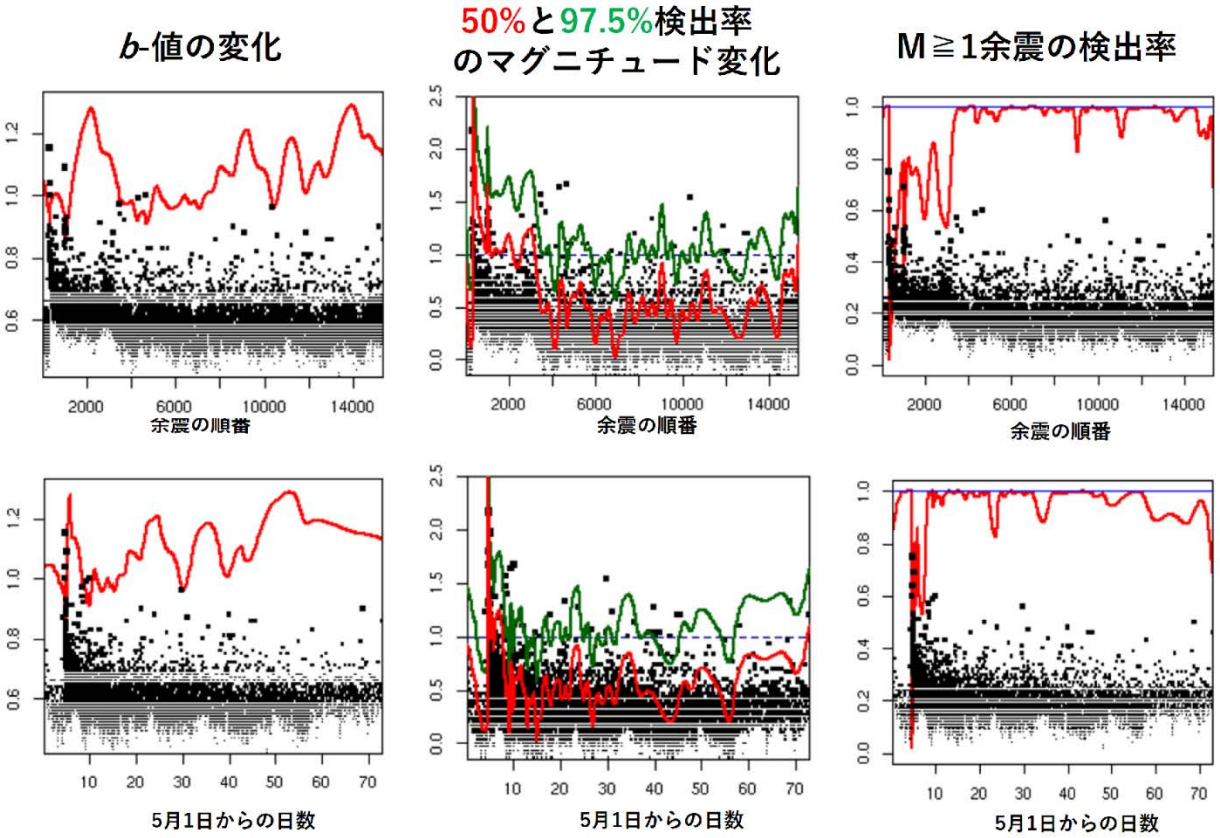
第 1 図　検出マグニチュード分布モデルの模式図．本文 (1) 式参照

Fig. 1　Schematic diagram of the detected magnitude distribution model. See equation (1) in the main text.



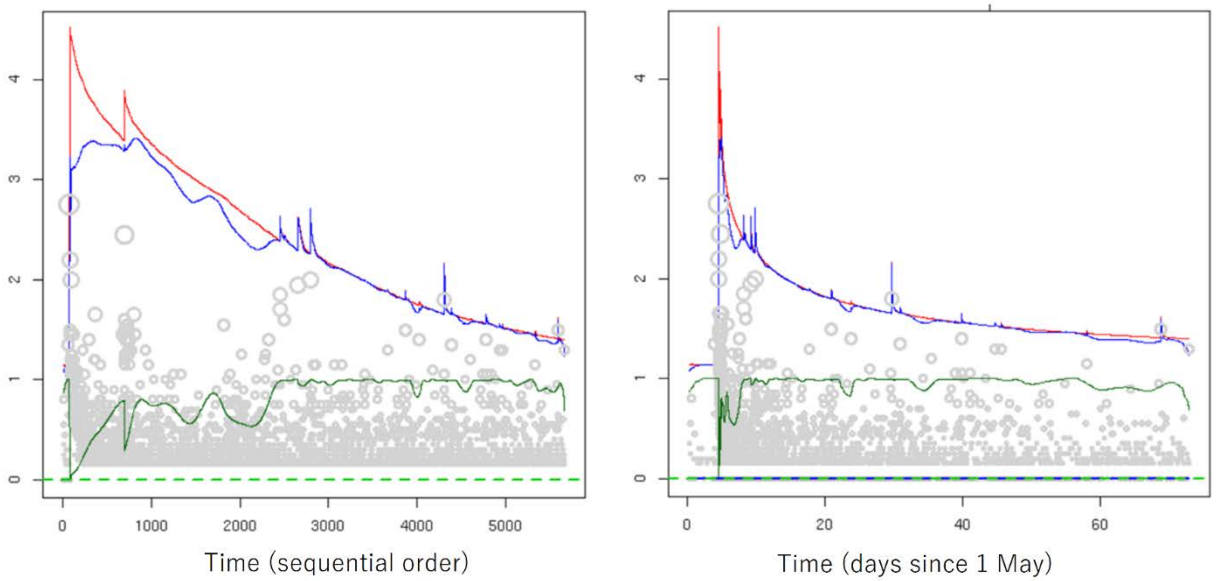
第 2 図　2023 年 5 月 能登半島 M6.5 地震の余震．累積関数図

Fig. 2　May 2023 Noto Peninsula M6.5 earthquake's aftershocks. Cumulative function diagram.



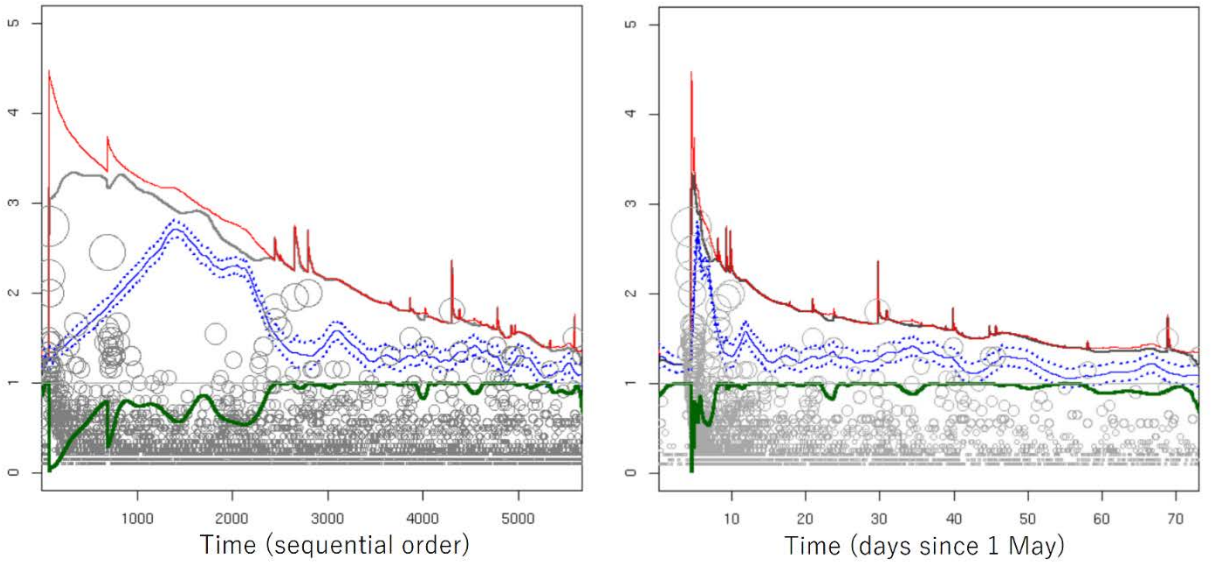
第 3 図　2023 年 5 月 能登半島 M6.5 地震の余震とそれらの検出率.
左側図は *b*- 値の変化，中央図は 50% 検出率のマグニチュード ν 値の変化（赤曲線）と 97.5% 検出率のマグニチュード変化（緑曲線），右側図は M ≧ 1 余震の検出率（赤曲線）．黒点は検出された全ての余震のマグニチュード．水平軸は，上段図が地震の順番で下段図が５月１日からの日数.

Fig. 3　May 2023 Noto Peninsula M6.5 aftershocks and their detection rates.
Left side column shows *b*-value change. Middle column shows ν -value change with 50% detection rate (red curve) of magnitude and 97.5% detection rate (green curve). Right side column shows detection rate of M ≥ 1 aftershocks. Black dots are magnitudes of all detected aftershocks. Horizontal axis is the order of earthquakes in the upper panel and the number of days since May 1 in the lower panel.



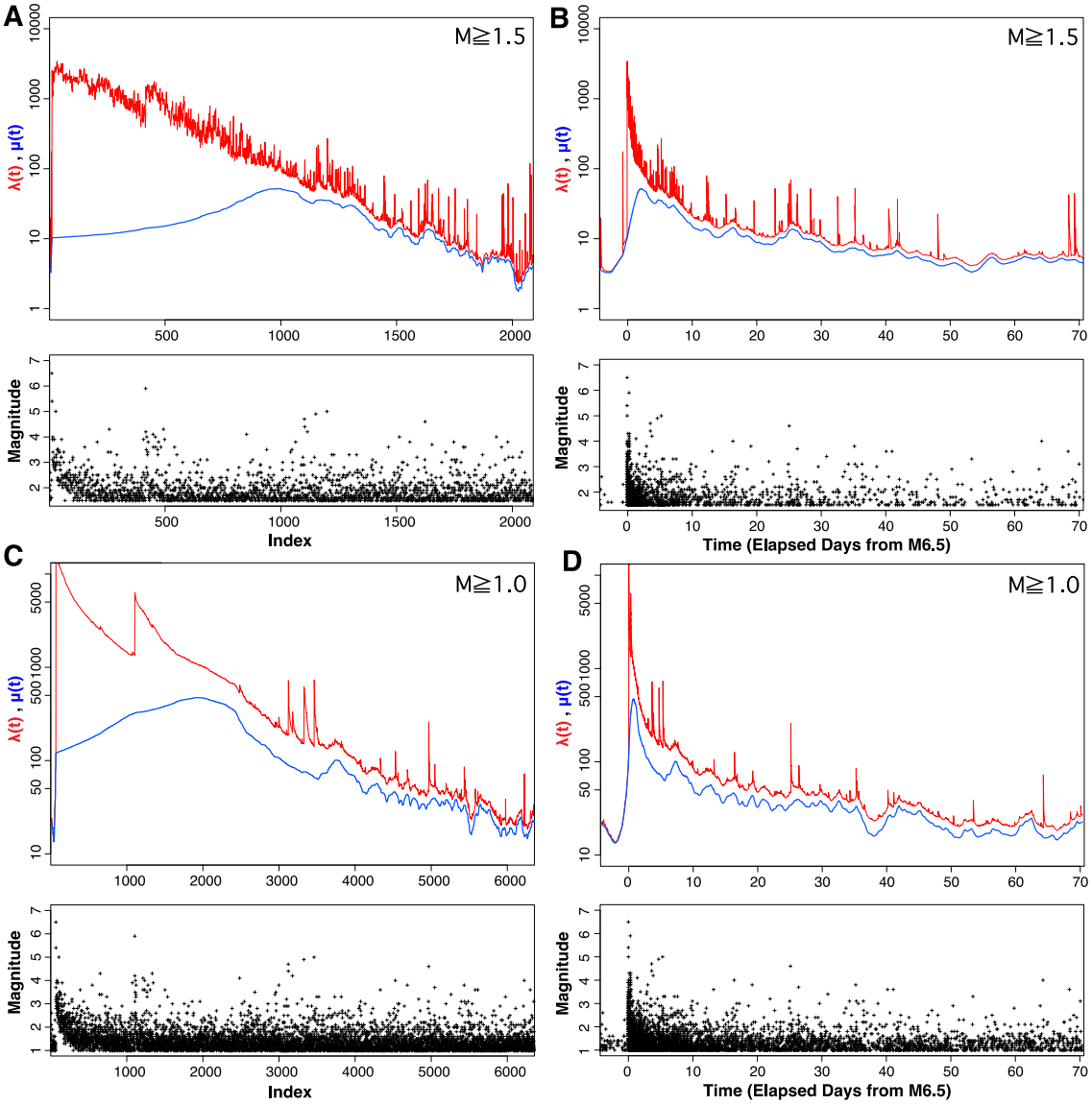
第 4 図　2023 年 5 月 能登半島 M6.5 地震の余震：定常 ETAS モデル , 本文 (3) 式で適合
赤色曲線は M ≧ 1 余震の基本活動率の推定値（常用対数），青色曲線は活動率の観測値（常用対数），緑色曲線は M ≧ 1 余震の検出率（線形スケール）, 灰色の円は M ≧ 1 余震のマグニチュード（線形スケール）. 平軸は，左図が地震の順番で右図が 5 月 1 日からの日数.

Fig. 4　May 2023 Noto Peninsula M6.5 Aftershock: Stationary ETAS model fitting (3).
Red curves are estimates of the basic activity rate for M ≥ 1 aftershocks (normal logarithm), blue curves are observed activity rates (normal logarithm), green curves are detection rates for M ≥ 1 aftershocks (linear scale), and gray circles are magnitudes for M ≥ 1 aftershocks (linear scale). The horizontal axis shows the order of earthquakes on the left and the time of days since May 1 on the right.



第 5 図　2023 年 5 月 能登半島 M6.5 地震の余震：非定常 ETAS モデル , 本文 (4) 式適合
赤色曲線は M ≧ 1 余震の基本活動率の推定値（常用対数），灰色曲線は活動率の観測値（常用対数），誤差付き青色曲線はバックグラウンド発生率（常用対数）, 緑色曲線は M ≧ 1 余震の検出率（線形スケール）, 灰色の円は M ≧ 1 余震のマグニチュード（線形スケール）. 水平軸は，左図が地震の順番で右図が 5 月 1 日からの日数.

Fig. 5　May 2023 Noto Peninsula M6.5 Aftershock: Non-stationary ETAS model fitting (4).
Red curves are estimates of the basic activity rate for M ≥ 1 aftershocks (normal logarithm), gray curves are observed activity rates (normal logarithm), blue curves with errors are background occurrence rates (normal logarithm), green curves are detection rates for M ≥ 1 aftershocks (linear scale), and gray circles are magnitudes for M ≥ 1 aftershocks (linear scale). The horizontal axis shows the order of earthquakes on the left and the time of days since May 1 on the right.



第 6 図　余震 (M ≧ 1.5, M ≧ 1.0, 7 月 14 日まで) に当てはめた非定常 ETAS モデル .
パネル A, B は M ≧ 1.5, パネル C, D は M ≧ 1.0. 各パネル上段図の赤曲線と青曲線はそれぞれ，欠測を考慮しない非定常 ETAS モデル [2-6] の成分 λ (t) と μ (t) を示している．各パネル下段図は余震のマグニチュード．左側パネル A, C の水平軸は地震の順番で，右図パネル B, D が 5 月 5 日 M6.5 発生時からの経過日数.

Fig. 6　Nonstationary ETAS model [2-6] fitted to aftershocks (M ≥ 1.5, M ≥ 1.0).
Each upper panels: red and blue curves indicate components λ (t) and μ (t) of nonstationary ETAS model[2-6], respectively. Each lower panel: magnitudes of aftershocks. A, B: M ≥ 1.5. C, D: M ≥ 1.0. Horizontal axes for left panels (A, C) are the order of earthquakes, for the right panels (B, D) are the number of days since M6.5, May 5.

６－３　北陸・中部地方の地殻変動
Crustal Deformations in the Hokuriku and Chubu Districts

国土地理院
Geospatial Information Authority of Japan

［石川県能登地方の地震活動　GNSS］

第 1 ～ 9 図は，石川県能登地方で 2020 年 12 月頃から見られている地殻変動に関する資料である．2020 年 12 月から能登地方で地震活動が活発になっており，この地震活動とほぼ同期して能登半島北部で地殻変動が観測されている．

第 1 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 9 月 1 日～ 2020 年 9 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．固定局は白鳥観測点（岐阜県）である．2020 年 11 月 1 日～ 11 月 7 日に対する 2023 年 10 月 15 日～ 10 月 21 日の約 3 年の期間での非定常的な地殻変動を表し，上段が水平成分，下段が上下成分を示す．能登半島北部で変動が見られる．なお，2023 年 5 月 5 日の能登地方の地震に伴う地殻変動も含まれている．

第 2 図は，第 1 図の図中に示した 4 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．2020 年 12 月頃から変動がゆっくりと進行し，2023 年 5 月 5 日の地震に伴って各観測点で変位が生じている．地震後は複数の観測点で地震前とは異なる傾向のゆっくりとした変動が見られていたが，その後鈍化し，最近は地震前の状況にほぼ戻っているように見える．なお，珠洲観測点では 2022 年 6 月 19 日の M5.4 の地震時に北向きにごくわずかな変位が見られるが，珠洲観測点が局所的に変位した可能性がある．

第 3 図は，第 1 図と同様の一次トレンド・年周・半年周成分除去後の非定常地殻変動ベクトル図で，2020 年 12 月から 2023 年 5 月 5 日の地震の前までの期間での非定常的な地殻変動を示している．上段が水平成分，下段が上下成分である．能都観測点で南南西方向に 1 ㎝を超える移動，珠洲観測点で南南東に 1 ㎝を超える移動及び 4cm 程度の隆起等，能登半島北部で変動が見られる．

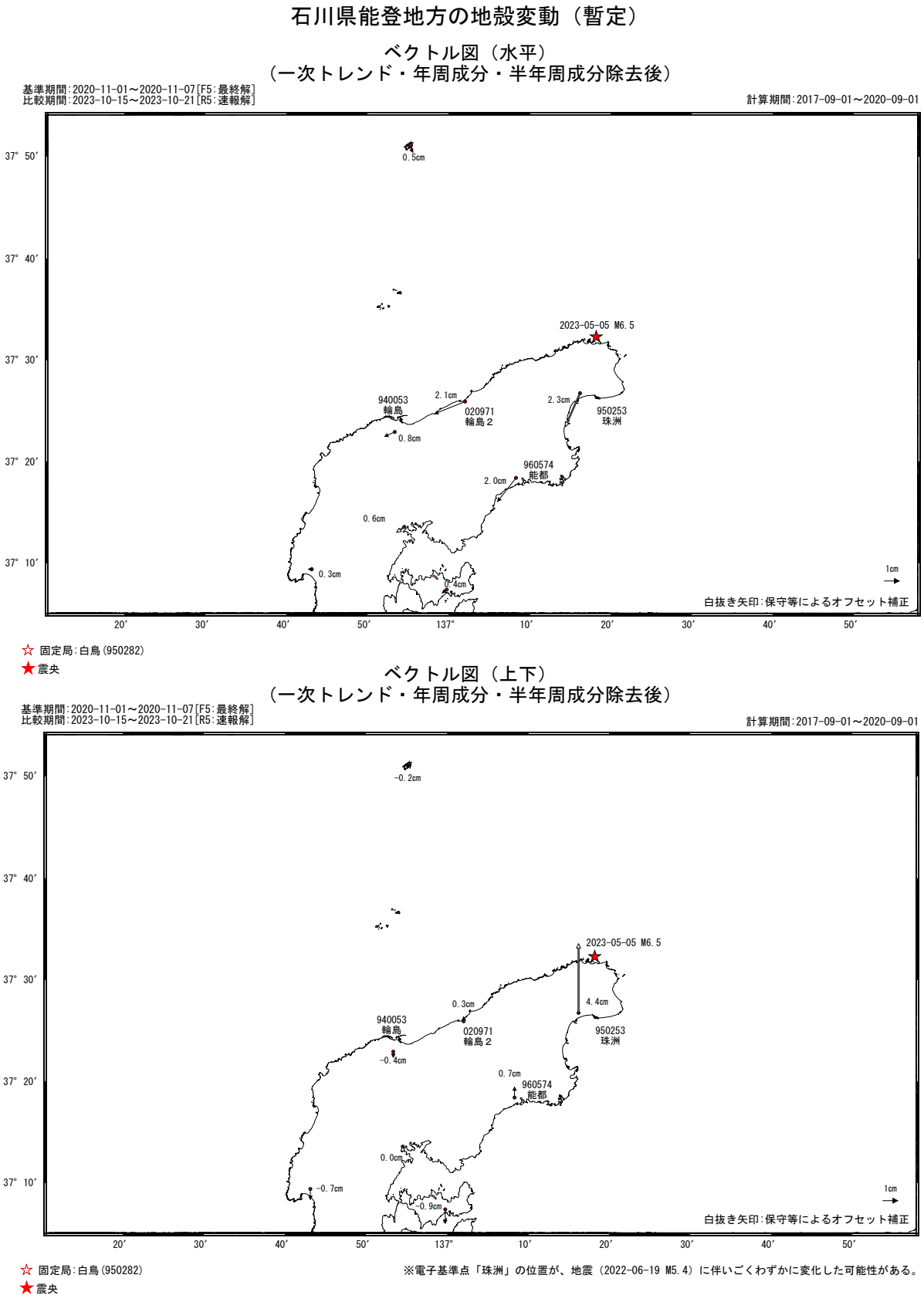
第 4 図は，2023 年 5 月 5 日の地震に伴う地殻変動を示すベクトル図である．固定局は小松観測点（石川県）である．2022 年 7 月下旬に臨時に設置した 2 点の可搬型 GNSS 連続観測装置（REGMOS）で特に顕著な地殻変動が観測され，M珠洲笹波観測点で南西方向に 9 ㎝程度の水平変位，震央の東側のM珠洲狼煙で 13cm 程度の隆起等，能登半島北東部で地殻変動が観測された．

第 5 図は，2023 年 5 月 5 日の地震後の地殻変動を示すベクトル図である．固定局は小松観測点（石川県）である．2023 年 5 月 5 日の地震後，M珠洲狼煙観測点で約 1cm の東方向の水平変動及び約 1cm の沈降，M珠洲笹波観測点で約 1 ㎝の南西方向の水平変動及び約 2 ㎝の沈降等，震源域近傍で地殻変動が見られている．

第 6 ～ 7 図は，第 5 図の図中に示した 7 観測点の 3 成分時系列グラフである．2023 年 5 月 5 日の地震に伴い，各観測点で地殻変動が見られる．地震後に地震前とは異なる傾向のゆっくりとした地殻変動が見られており，特に震源域近傍の 2 点の REGMOS では顕著である．地震後に見られていた変動はその後鈍化し，最近は 2023 年 5 月 5 日の地震前の傾向にほぼ戻っているように見える．

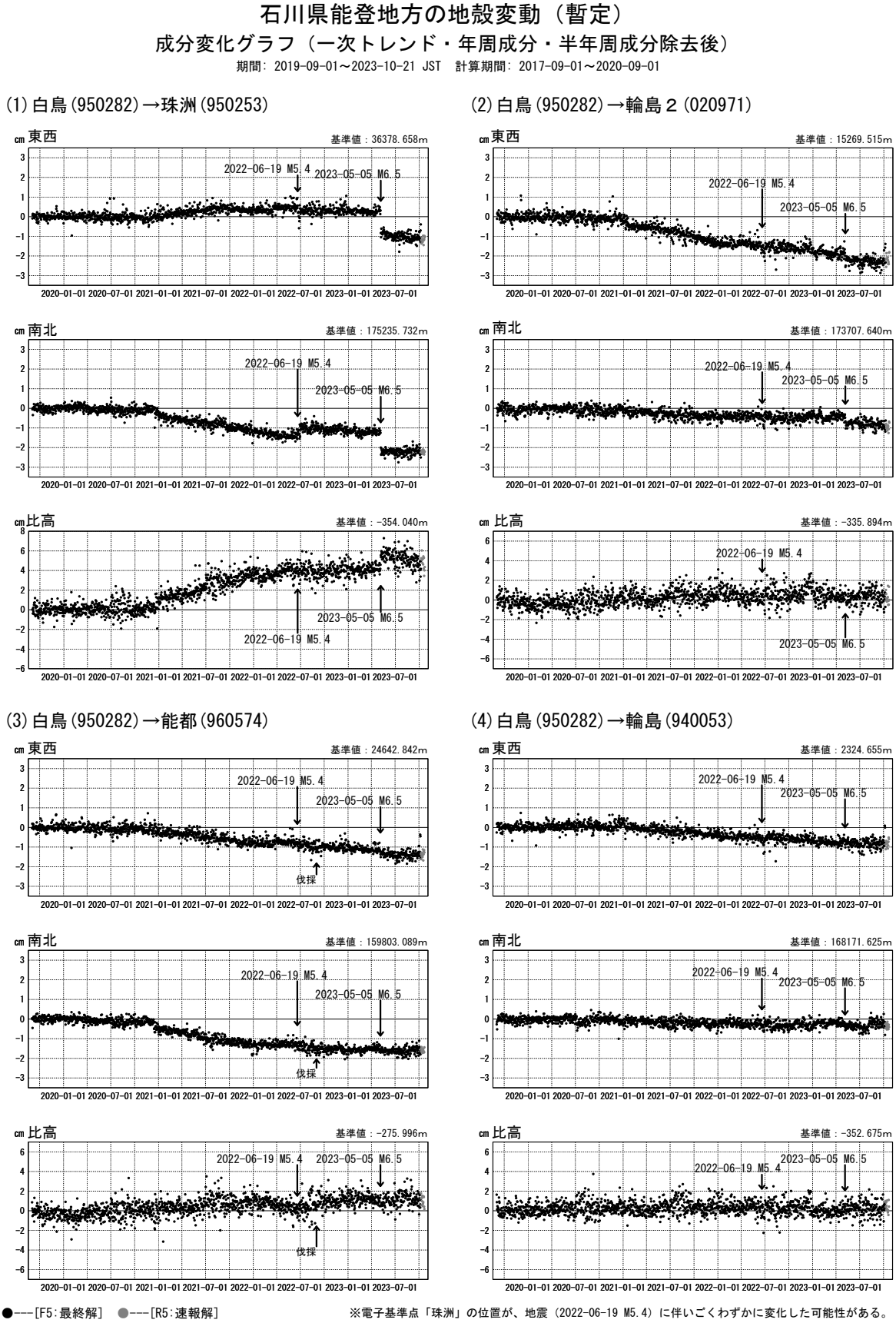
第 8 図下段は，上段図中の 6 基線の斜距離の非定常変動成分を示す．非定常地殻変動は 2020 年 12 月以降一様ではなく，基線によっても異なる傾向を示している．

第 9 図は，2 点の REGMOS と電子基準点「珠洲」を結ぶ 3 基線の斜距離の変化を示す時系列図である．(1) M珠洲狼煙－M珠洲笹波では，2023 年 5 月 5 日の地震後，一時的に短縮が見られ，その後伸びに転じている．この地震後のゆっくりとした変動はその後鈍化し，最近は 5 月 5 日の地震前の傾向にほぼ戻っているように見える．



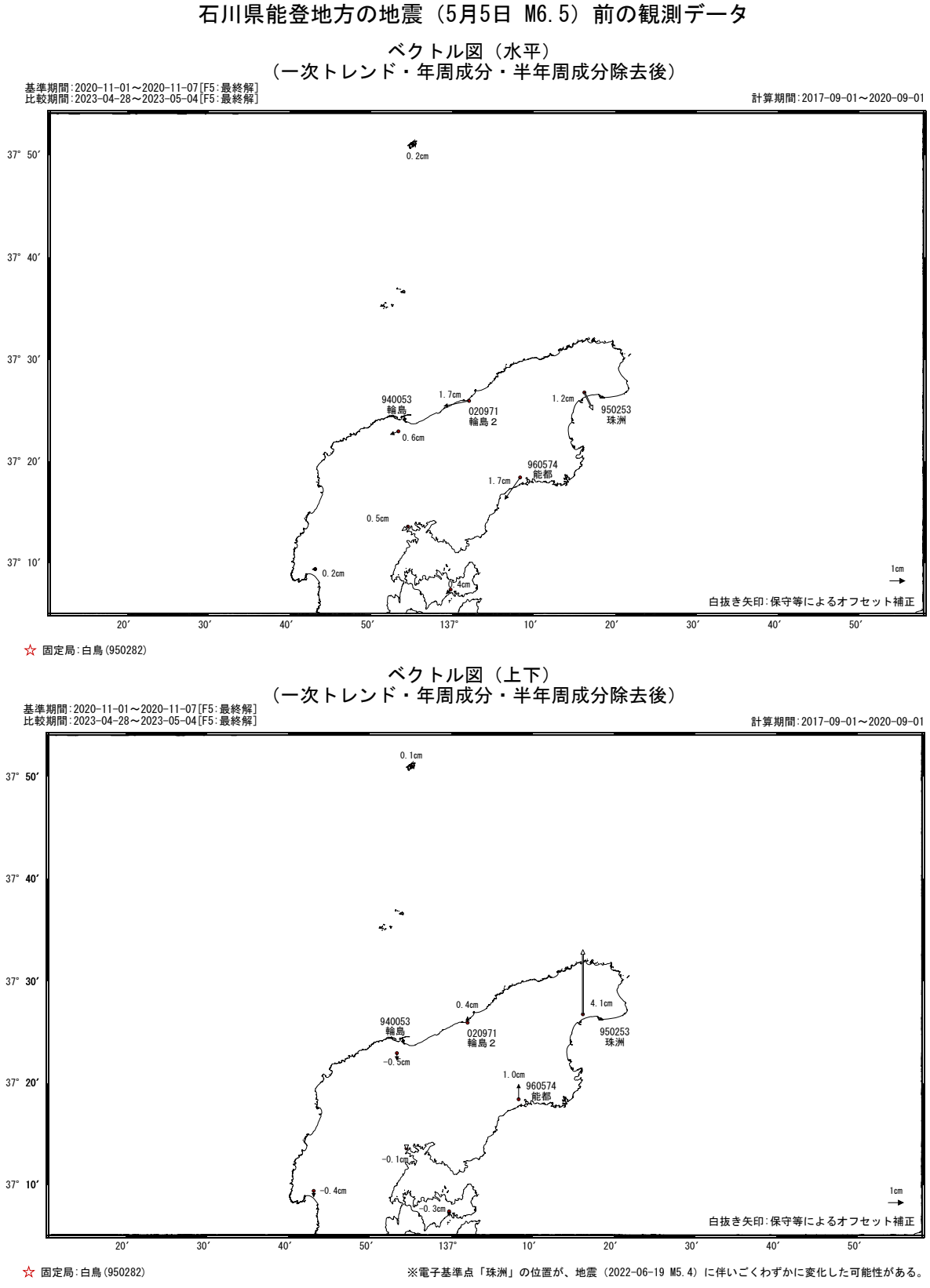
第 1 図　石川県能登地方の非定常的な地殻変動（水平及び上下変動）（暫定）

Fig. 1　Horizontal (upper) and vertical (lower) transient displacement in the Noto region of Ishikawa Prefecture (preliminary results).



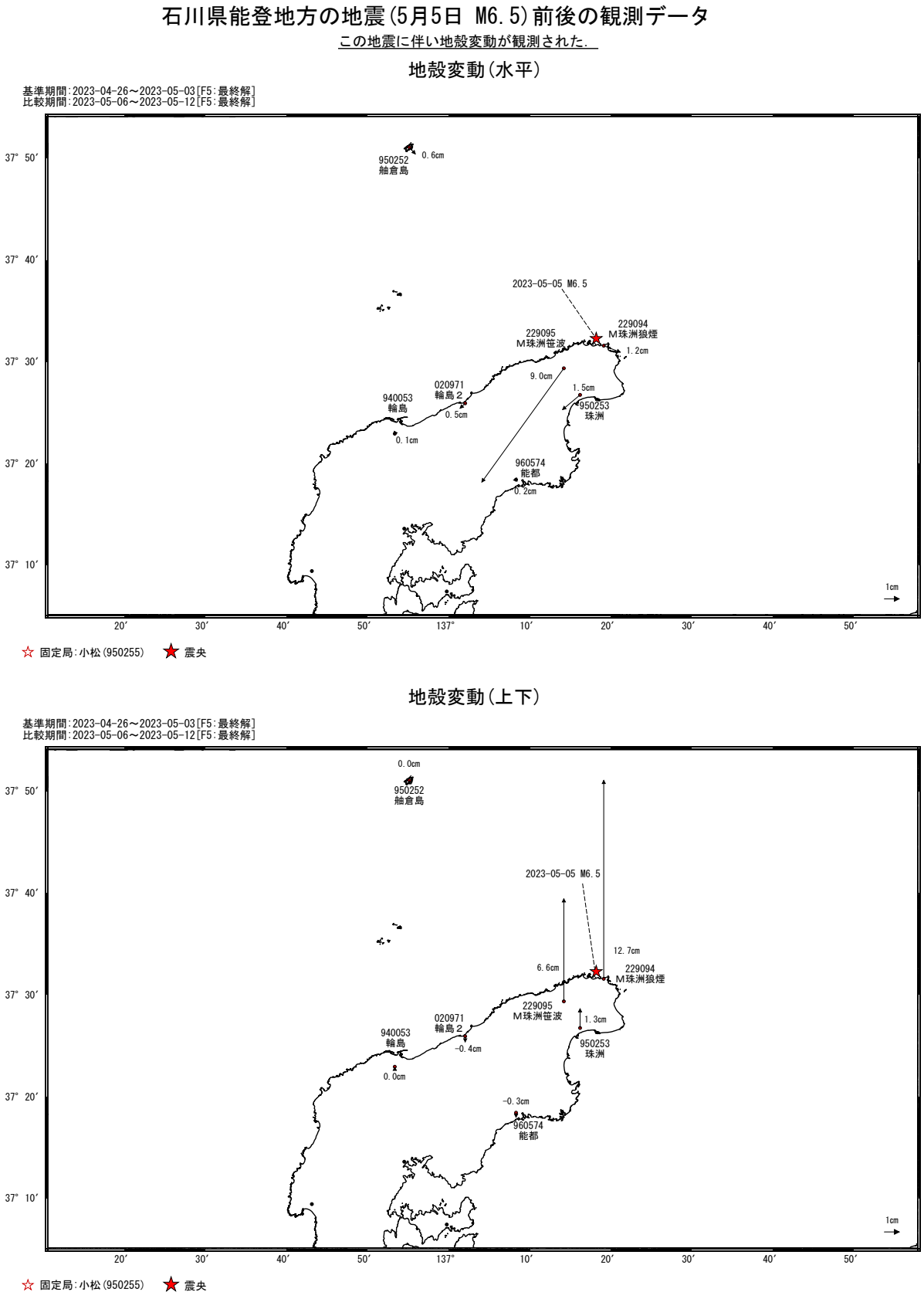
第 2 図　石川県能登地方の非定常的な地殻変動（３成分時系列）（暫定）

Fig. 2　Time series of transient displacement in the Noto region of Ishikawa Prefecture (preliminary results).



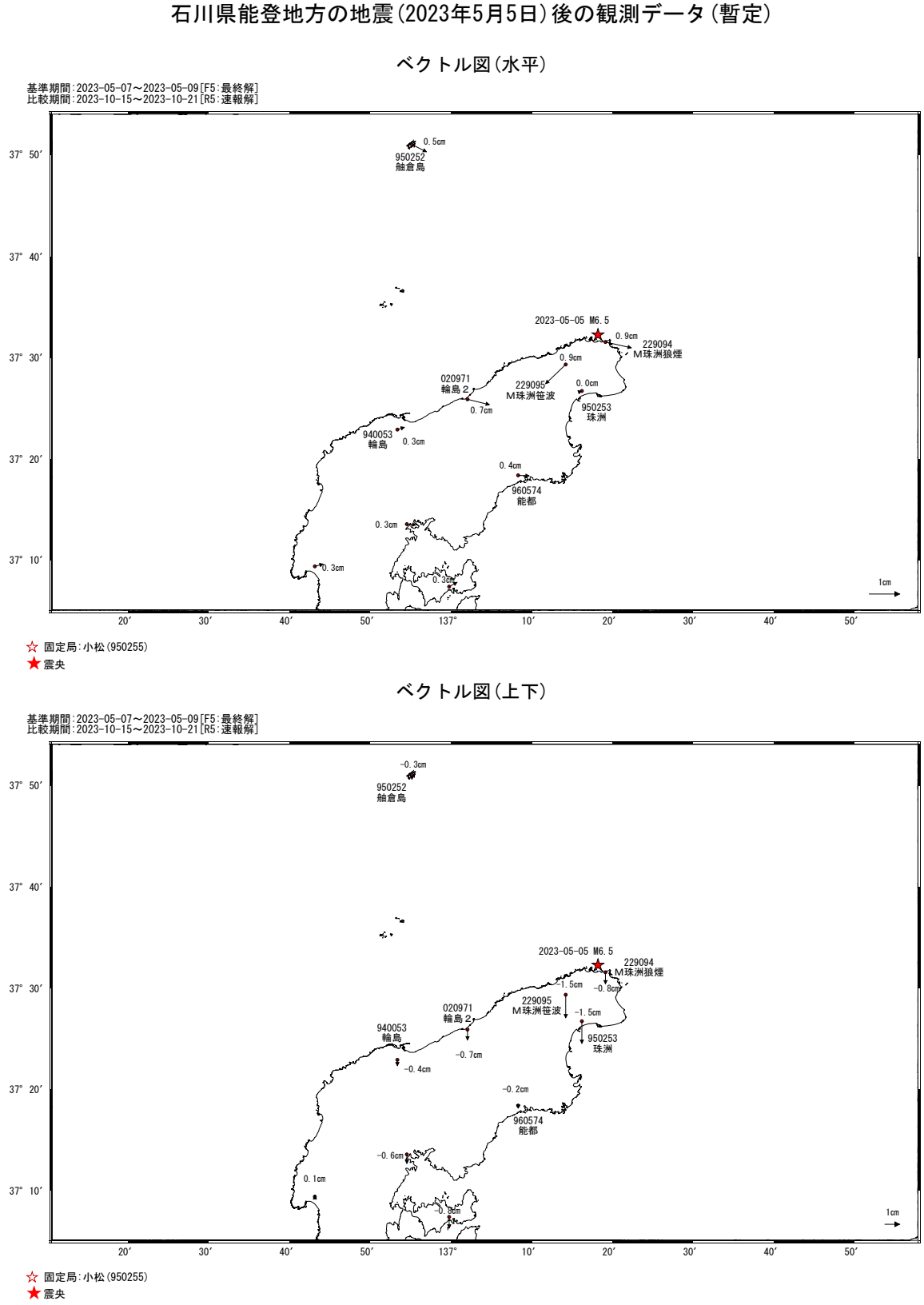
第 3 図　石川県能登地方の非定常的な地殻変動（水平及び上下変動）：石川県能登地方の地震（2023 年 5 月 5 日，M6.5）前のデータ

Fig. 3　Horizontal (upper) and vertical (lower) transient displacement in the Noto region of Ishikawa Prefecture : Results of continuous GNSS measurements before the M6.5 earthquake in the Noto region of Ishikawa Prefecture on May 5, 2023



第 4 図　石川県能登地方の地震（2023 年 5 月 5 日，M6.5）に伴う地殻変動：水平（上図）及び上下（下図）変動

Fig. 4　Crustal deformation associated with the M6.5 earthquake in the Noto region of Ishikawa Prefecture on May 5, 2023: horizontal (upper) and vertical (lower) displacement.

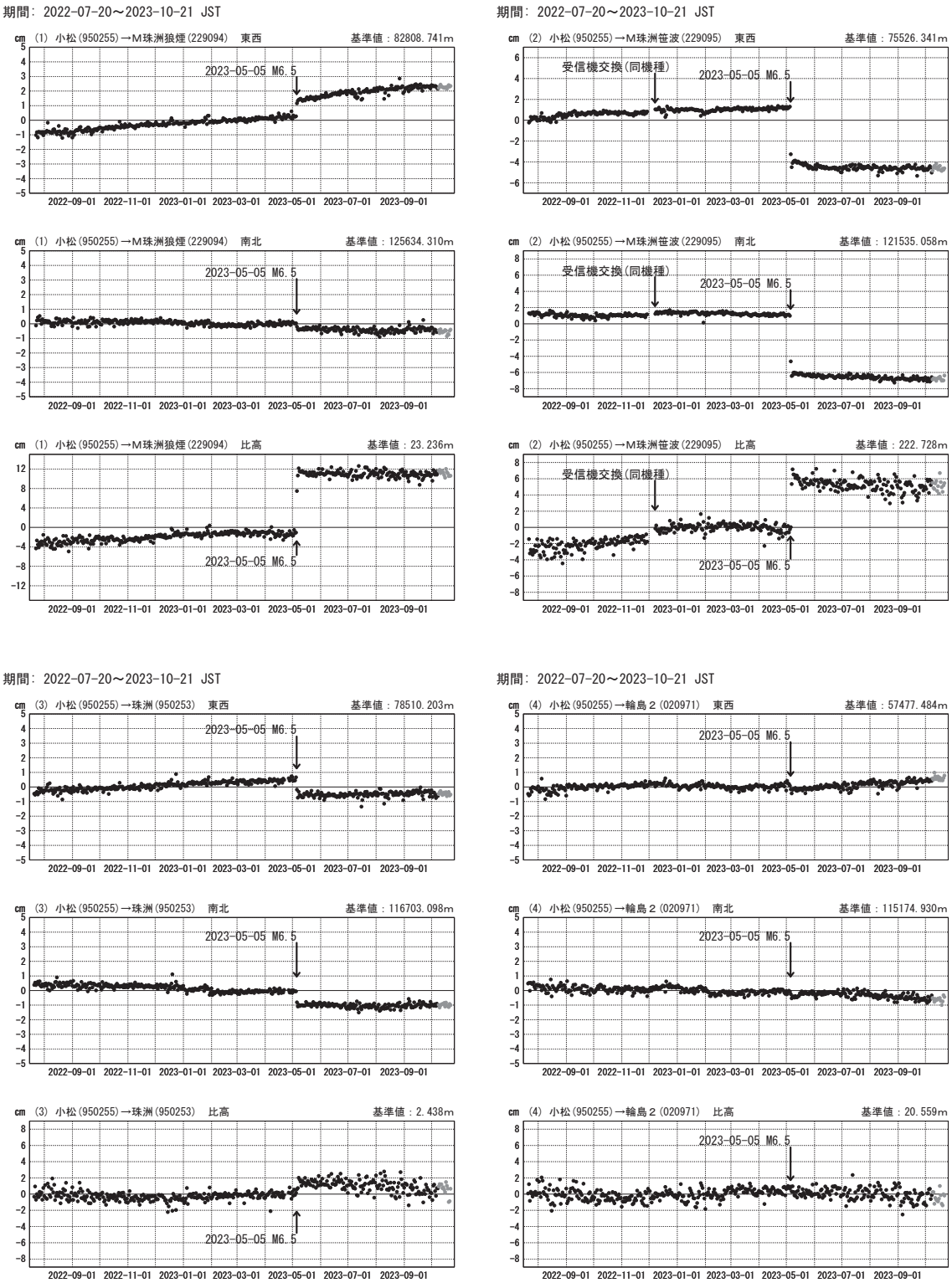


第 5 図　石川県能登地方の非定常的な地殻変動（水平及び上下変動）：石川県能登地方の地震（2023 年 5 月 5 日，M6.5）後のデータ（暫定）

Fig. 5　Horizontal (upper) and vertical (lower) transient displacement in the Noto region of Ishikawa Prefecture : Results of continuous GNSS measurements after the M6.5 earthquake in the Noto region of Ishikawa Prefecture on May 5, 2023 (preliminary results).

石川県能登地方の地殻変動（暫定）

成分変化グラフ

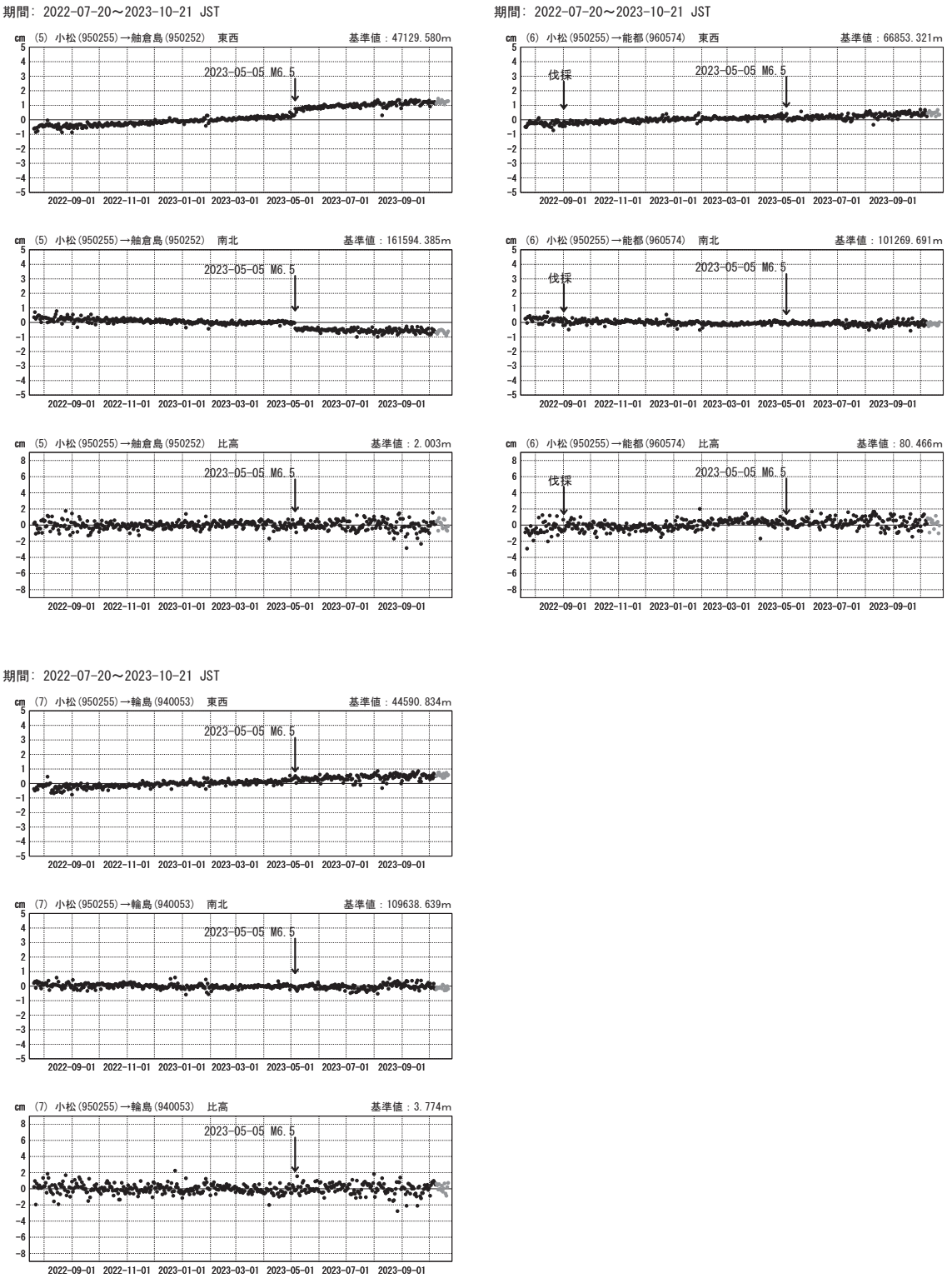


第 6 図　石川県能登地方の地震（2023 年 5 月 5 日，M6.5）前後の観測データ：３成分時系列グラフ（暫定）

Fig. 6　Results of continuous GNSS measurements before and after the M6.5 earthquake in the Noto region of Ishikawa Prefecture on May 5, 2023: 3 components time series（1/2）(preliminary results).

石川県能登地方の地殻変動（暫定）

成分変化グラフ

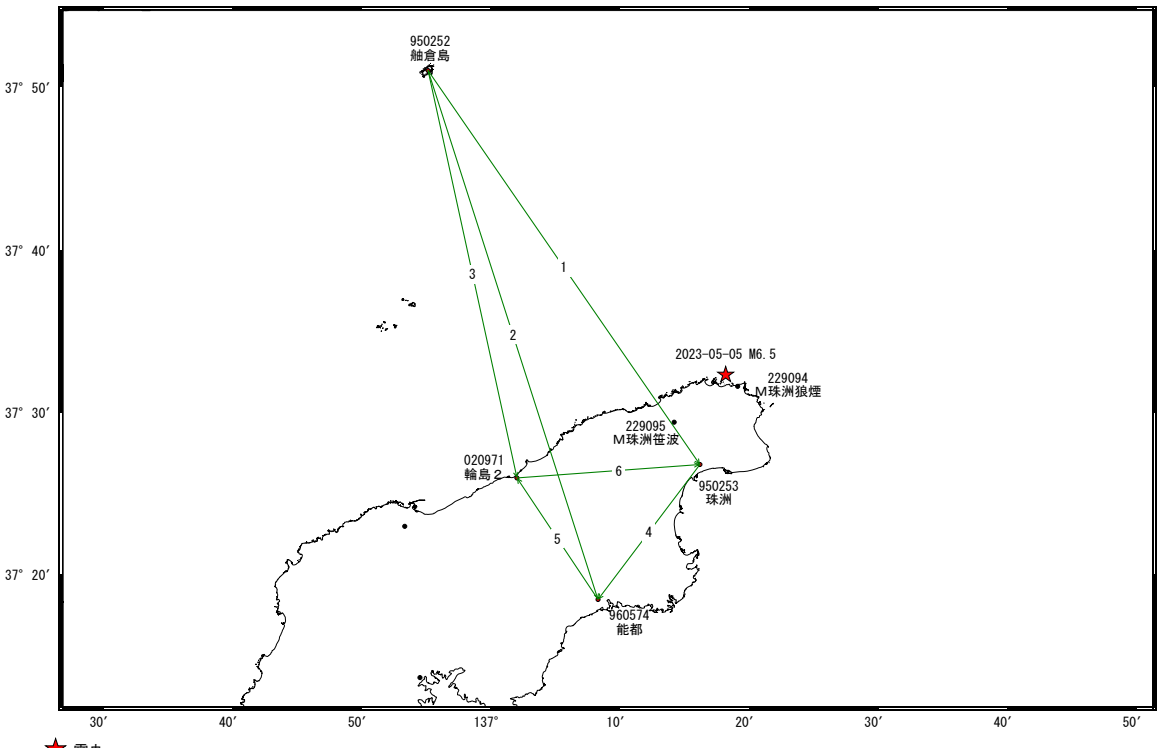


第 7 図　石川県能登地方の地震（2023 年 5 月 5 日，M6.5）前後の観測データ：３成分時系列グラフ（暫定）

Fig. 7　Results of continuous GNSS measurements before and after the M6.5 earthquake in the Noto region of Ishikawa Prefecture on May 5, 2023: 3 components time series（2/2）(preliminary results).

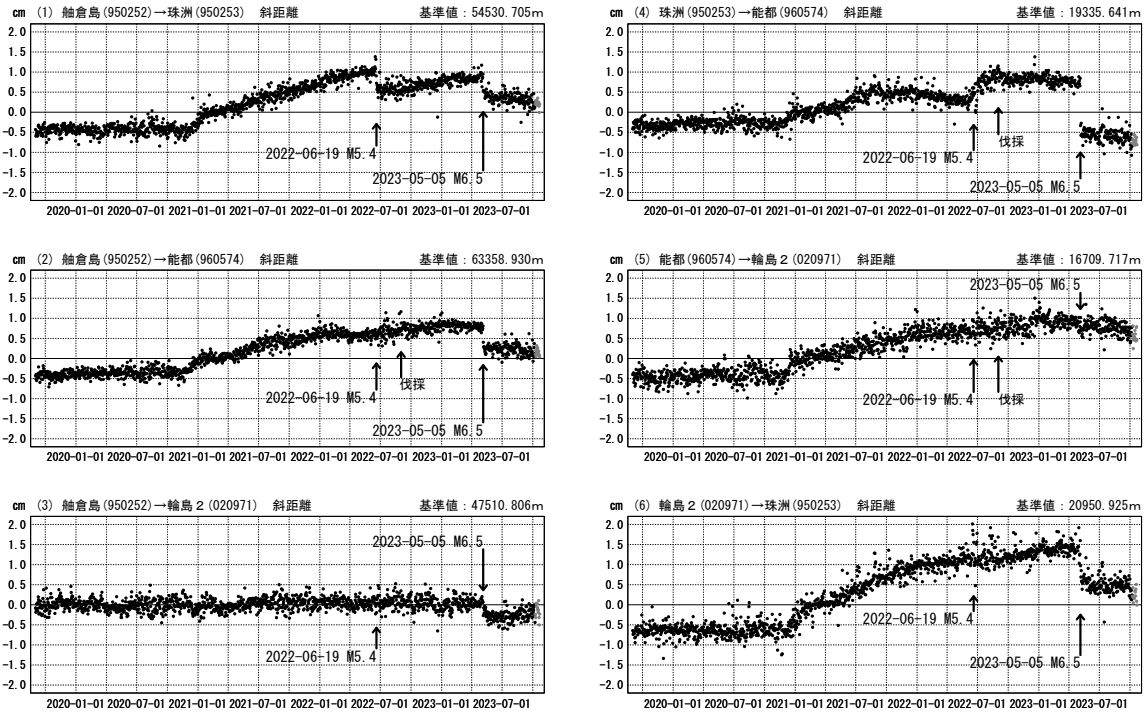
石川県能登地方の地殻変動（暫定）

基線図



基線変化グラフ（一次トレンド・年周成分・半年周成分除去後）

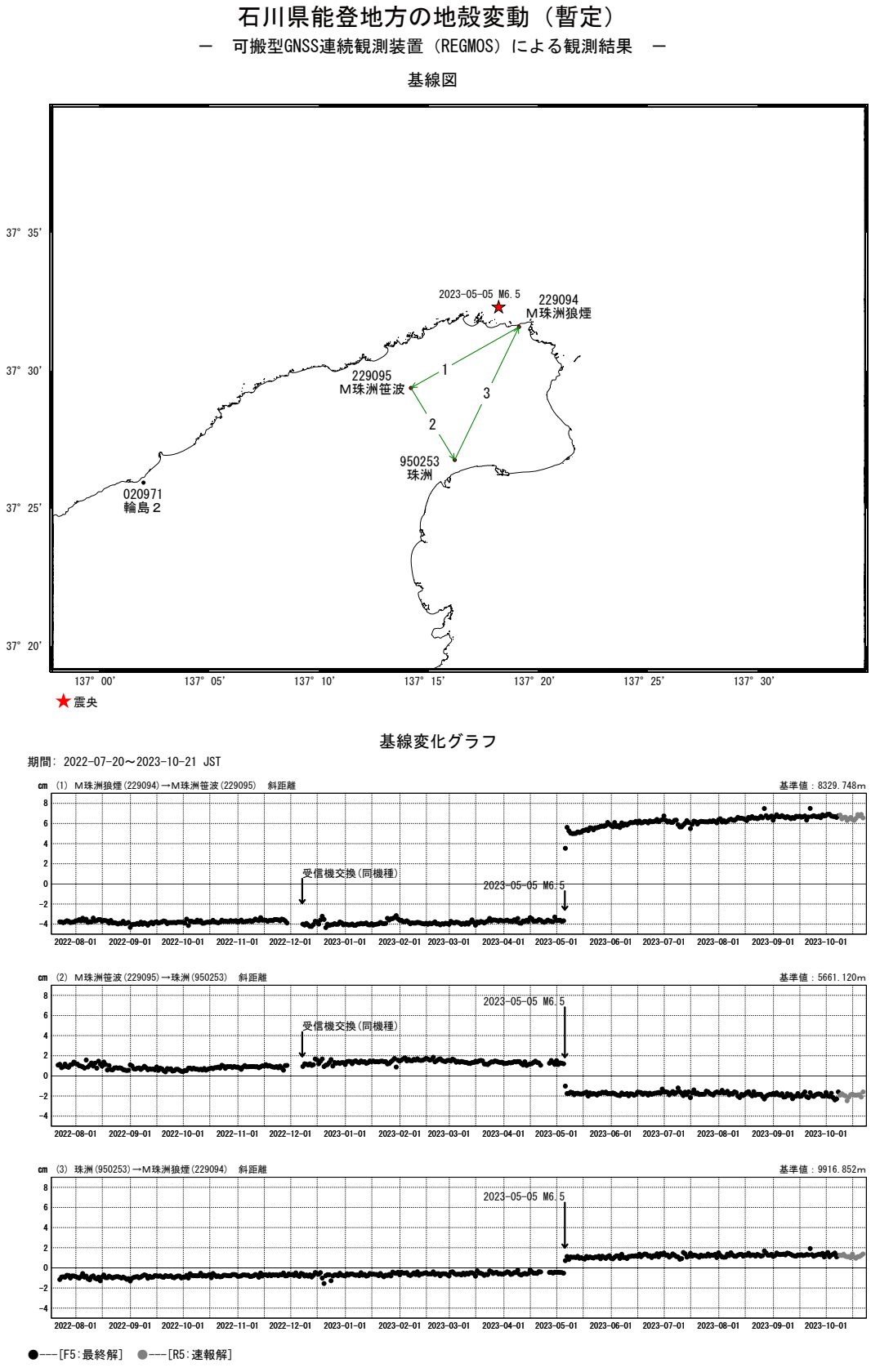
期間：2019-09-01～2023-10-21 JST　計算期間：2017-09-01～2020-09-01



●---[F5：最終解]　●---[R5：速報解]　※電子基準点「珠洲」の位置が、地震（2022-06-19 M5.4）に伴いごくわずかに変化した可能性がある。

第 8 図　石川県能登地方の非定常的な地殻変動（基線図及び斜距離）（暫定）

Fig. 8　Transient displacement in the Noto region of Ishikawa Prefecture: baseline map (upper) and baseline length time series (lower) (preliminary results).



第 9 図　石川県能登地方の地殻変動：可搬型 GNSS 連続観測装置（REGMOS）による観測結果（基線図及び斜距離）（暫定）

Fig. 9　Transient displacement in the Noto region of Ishikawa Prefecture observed by Removable GNSS Monitoring System (REGMOS): baseline map (upper) and baseline length time series (lower) (preliminary results).

7 － 1　近畿・中国・四国地方とその周辺の地震活動（2023 年 5 月～ 10 月）
Seismic Activity in and around the Kinki, Chugoku and Shikoku Districts (May – October 2023)

気象庁 大阪管区気象台
Osaka District Meteorological Observatory, 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 14 回発生した．これらのうち，規模が最大の地震は，2023 年 6 月 21 日に三重県南東沖で発生した M5.1 の地震であった．

2023 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．

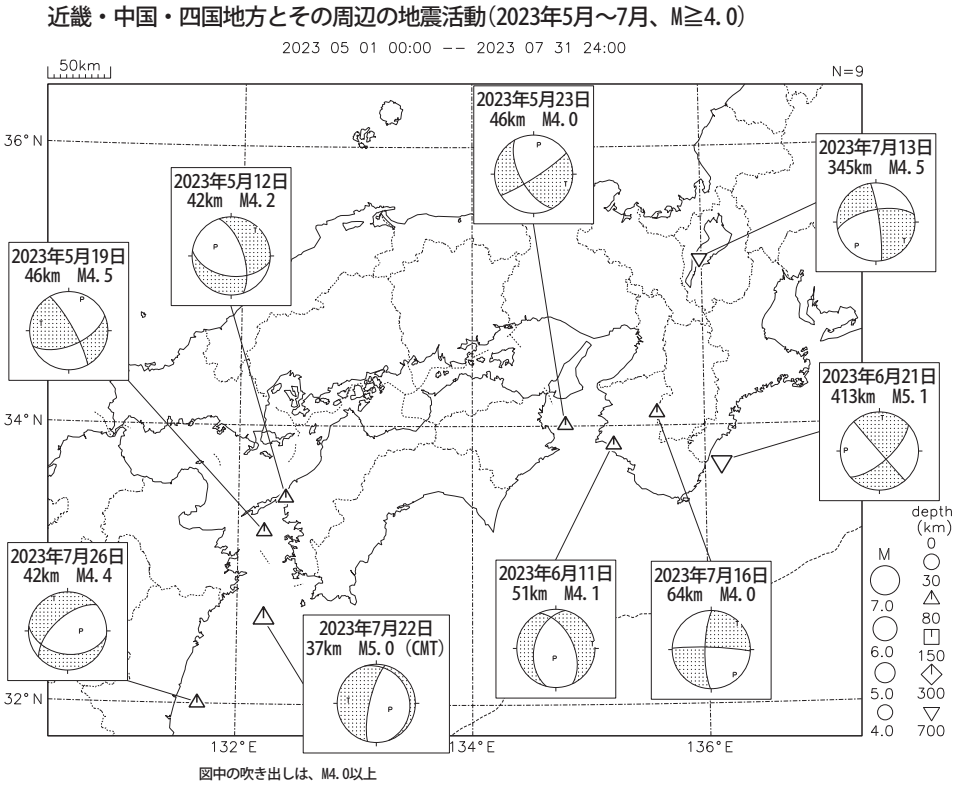
主な地震活動は以下のとおりである．

(1) 豊後水道の地震（M4.5，最大震度 4，第 2 図）

2023 年 5 月 19 日 06 時 56 分に豊後水道の深さ 46km で M4.5 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震の発震機構は西北西－東南東方向に張力軸を持つ型で，フィリピン海プレート内部で発生した．

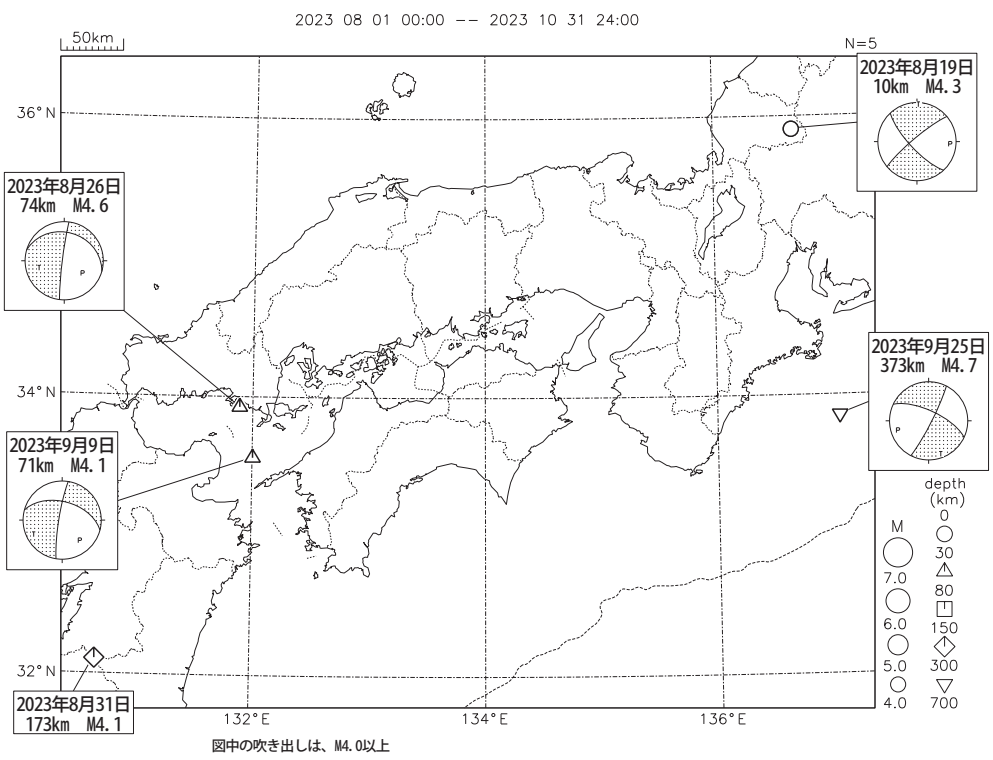
(2) 周防灘の地震（M4.6，最大震度 3，第 3 図）

2023 年 8 月 26 日 22 時 29 分に周防灘の深さ 74km で M4.6 の地震（最大震度 3）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．この地震の発震機構は東北東－西南西方向に張力軸を持つ型である．



第 1 図 (a)　近畿・中国・四国地方とその周辺の地震活動（2023 年 5 月～ 2023 年 7 月，M ≧ 4.0，深さ≦ 700km）

Fig. 1(a)　Seismic activity in and around the Kinki, Chugoku and Shikoku districts (May – July 2023, M ≧ 4.0, depth ≦ 700 km)

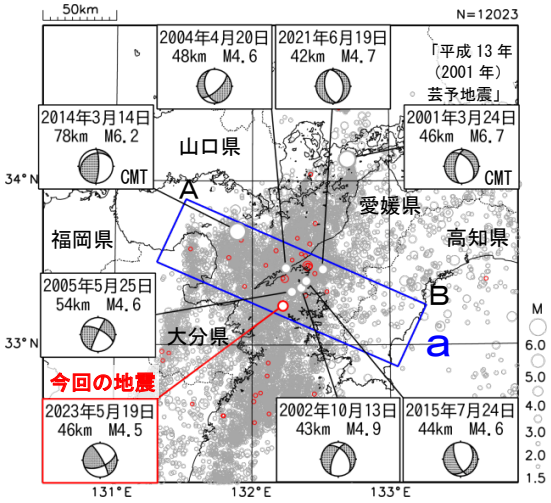


第 1 図 (b)　つづき（2023 年 8 月～ 10 月，M ≧ 4.0，深さ≦ 700km）

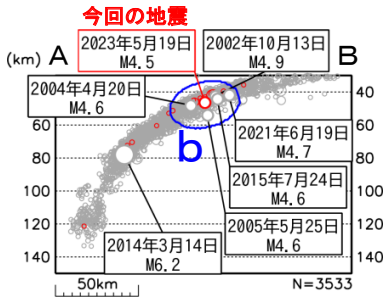
Fig. 1(b)　Continued (August – October 2023, M ≧ 4.0, depth ≦ 700 km)

５月 19 日　豊後水道の地震

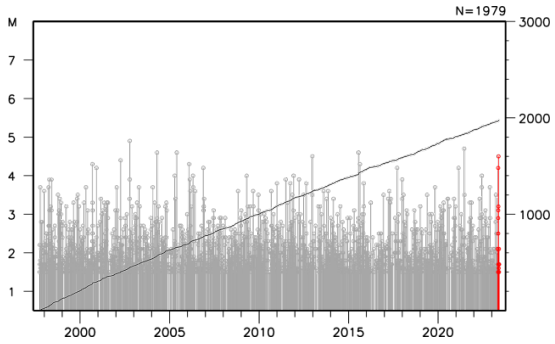
震央分布図
（1997 年 10 月 1 日～2023 年５月 31 日、
深さ 30～150km、M≧1.5）
2023 年５月の地震を赤色で表示



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

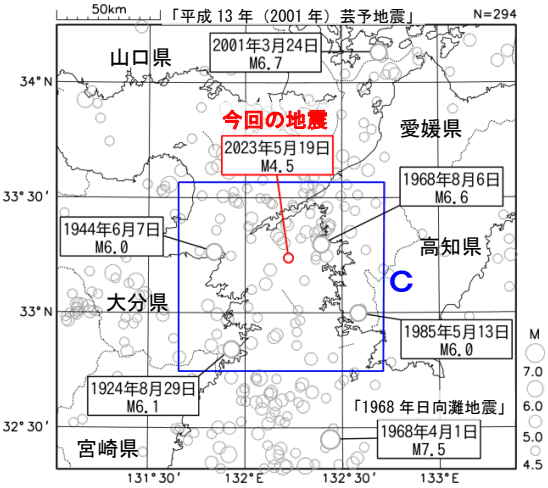


2023年５月19日06時56分に豊後水道の深さ46kmでM4.5の地震（最大震度４）が発生した。この地震の発震機構は、西北西－東南東方向に張力軸を持つ型で、フィリピン海プレート内部で発生した。

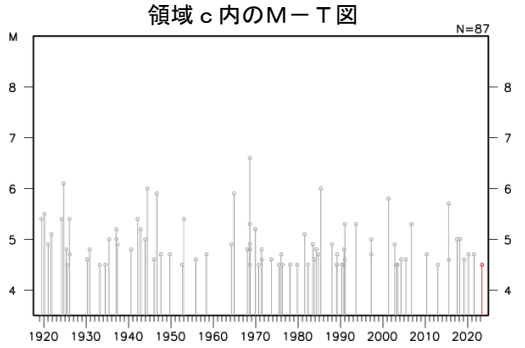
1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、M4.0 程度の地震が時々発生している。また、今回の地震の震央から北西に約 60km 離れたところで、2014 年３月 14 日に M6.2 の地震（最大震度５強）が発生した。この地震により、負傷者 21 人、住家一部破損 57 棟などの被害が生じた（総務省消防庁による）。

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、M6.0 程度の地震が時々発生している。1968 年８月６日に発生した M6.6 の地震（最大震度５）では、愛媛県を中心に負傷者 22 人、また宇和島の重油タンクのパイプ破損により重油 170kl が海上に流出する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～2023 年５月 31 日、
深さ０～150km、M≧4.5）
2023 年５月の地震を赤色で表示



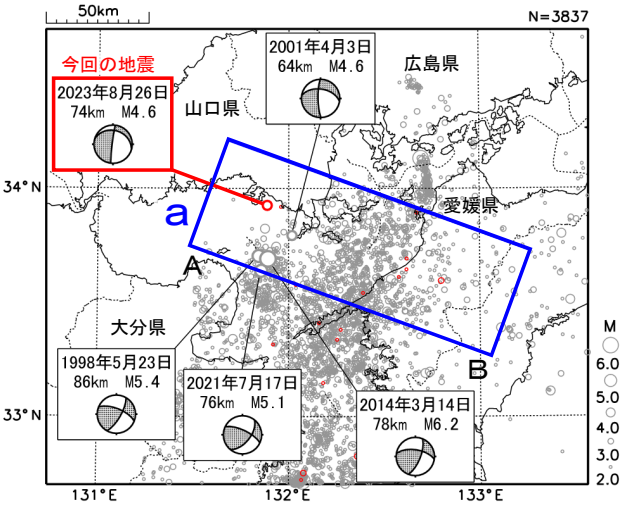
領域ｃ内のＭ－Ｔ図



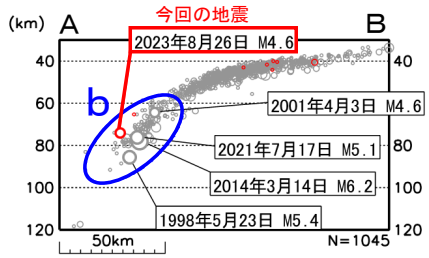
第 2 図　2023 年 5 月 19 日の豊後水道の地震
Fig. 2　The earthquake in the Bungo Channel on May 19, 2023.

８月 26 日　周防灘の地震

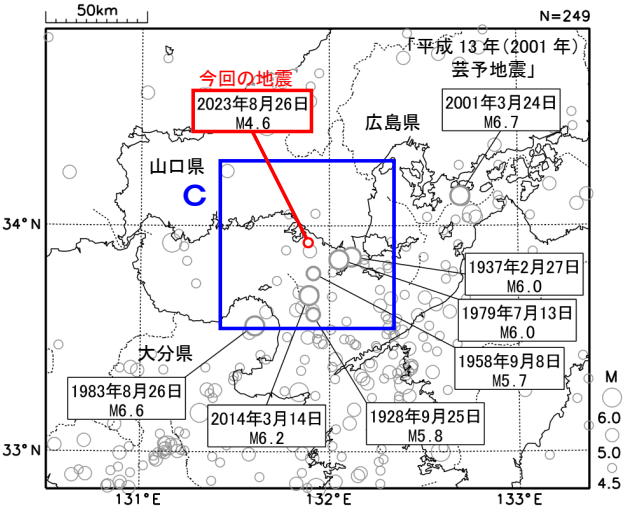
震央分布図
（1997 年 10 月 1 日～2023 年８月 31 日
深さ 30～120km、M≧2.0）
2023 年８月の地震を赤色○で表示



領域 a 内の断面図（A－B 投影）



震央分布図
（1919 年１月１日～2023 年８月 31 日、
深さ０～120km、M≧4.5）
2023 年８月の地震を赤色○で表示
今回の地震と「平成 13 年（2001 年）芸予地震」と
領域 c 内の M5.5 以上の地震に吹き出しを付加

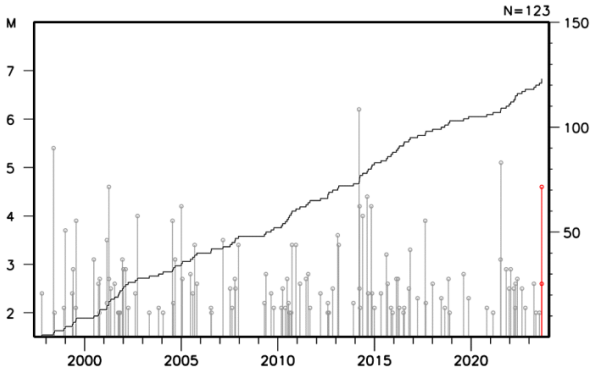


2023年８月26日22時29分に周防灘の深さ74kmでM4.6の地震（最大震度３）が発生した。この地震はフィリピン海プレート内部で発生した。発震機構は、東北東－西南西方向に張力軸を持つ型である。

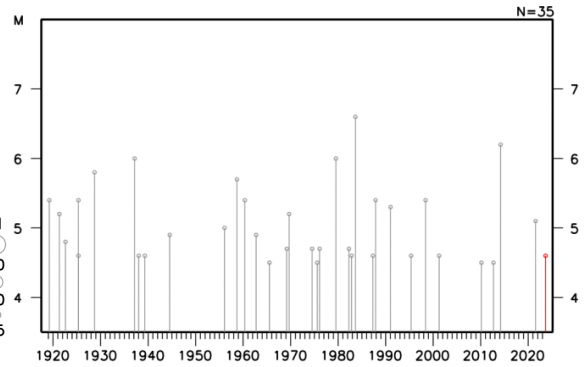
1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、M4.0以上の地震が時々発生している。2014年３月14日にはM6.2の地震（最大震度５強）が発生し、負傷者21人、住家一部破損57棟の被害が生じた（総務省消防庁による）。

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、M6.0以上の地震が４回発生している。このうち、1983年８月26日に発生したM6.6の地震では、負傷者１人などの被害が生じた（「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 3 図　2023 年 8 月 26 日の周防灘の地震

Fig. 3　The earthquake in the Suonada sea on August 26, 2023.

７－２　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　電子基準点の上下変動］

第 1 ～ 2 図は，紀伊半島の電子基準点間の比高変化を示したものである．GNSS 連続観測結果は長期的には潮岬周辺が沈降する傾向を示している．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，GNSS 連続観測の結果は灰色でプロットした水準測量の長期的な沈降傾向と整合している．

［南海トラフ周辺　GNSS 連続観測時系列］

第 3 ～ 6 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 3 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 4 ～ 6 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一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．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．また，南海トラフ沿いで発生する長期的 SSE に伴う変動が次のように各基線で見られる．紀伊水道 SSE（2015 年～ 2016 年初頭及び 2019 年～ 2020 年初頭に (4)，(5) で東南東方向の変動），四国中部 SSE（2019 年春頃から (8) で南東方向のわずかな変動），豊後水道 SSE（2010 年～ 2011 年初頭及び 2018 年 12 月～ 2019 年中頃に (9) ～ (12) で南東方向の変動及び隆起，また 2014 年半ば及び 2015 年半ば～ 2016 年にも微小な南東方向の変動と隆起），日向灘北部 SSE（2018 年 6 月以降に (10)，(11) で微小な東方向の変動，(12) で微小な南方向の変動）．このほか，2022 年 1 月 22 日の日向灘の地震に伴い，(10) ～ (12) で微小な南東方向の変動が見られる．なお，(3) で 2020 年 5 月頃から見られる変動は，阿南 2 観測点周辺の樹木の生長に伴う見かけ上のもので，2020 年 12 月 23 日と 2021 年 2 月 6 日に行なった周辺樹木の伐採後，元に戻っている．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．

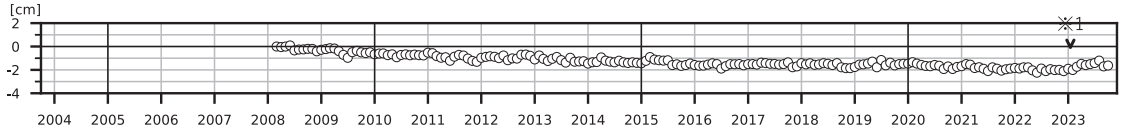
［南海トラフ沿いの地殻変動］

第 7 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．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ている．上図は最近の 1 年間の水平成分，下図は同期間の上下成分である．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，九州において熊本地震の余効変動，四国において四国中部の長期的 SSE，九州南部において日向灘南部の長期的 SSE による地殻変動が見られる．それら以外には，特段の変動は見られない．

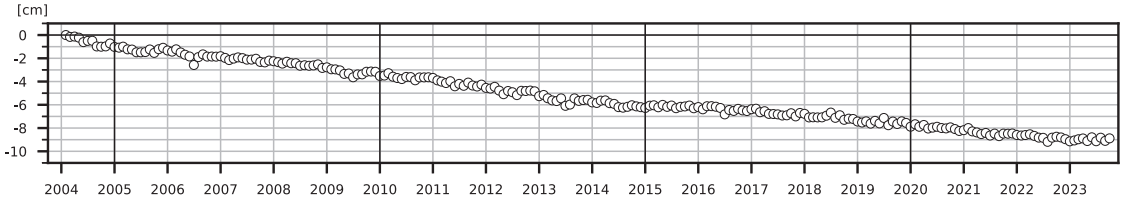
紀伊半島　電子基準点の上下変動（１）

潮岬周辺の長期的な沈降傾向に変化は見られない.

（1）鵜殿 (950316) - 那智勝浦３ (071155)

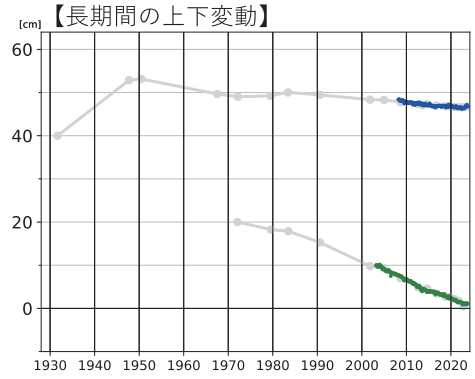


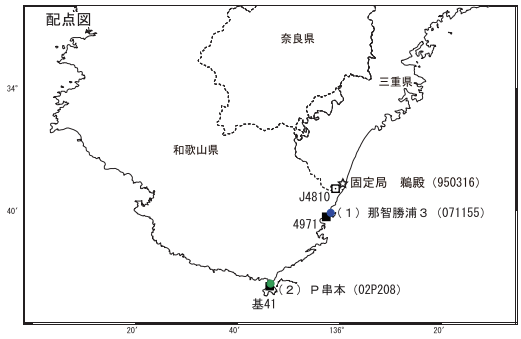
（2）鵜殿 (950316) - Ｐ串本 (02P208)



○：GNSS 連続観測（GEONET 月平均値）

【長期間の上下変動】





「固定局：鵜殿（950316）」

- GNSS 連続観測のプロット点は，GEONET による日々の座標値（F5：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：10/1～10/7 の平均値）
- 各プロットの色は配色図の電子基準点の色と対応する。
- 灰色のプロットは電子基準点の最寄りの水準点の水準測量結果を示している（固定：J4810）。

※ 1 2023 年 1 月 16 日に電子基準点「那智勝浦３」のアンテナ更新及び受信機更新を実施した。

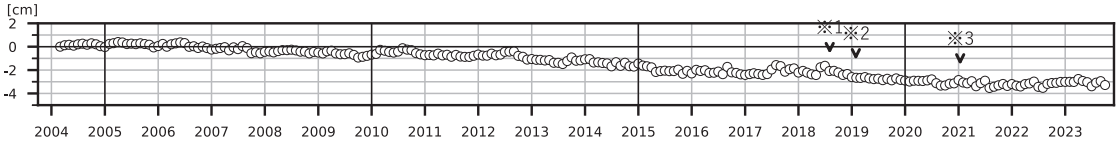
第 1 図　紀伊半島 電子基準点の上下変動（水準測量と GNSS）（1）

Fig. 1　Vertical displacements of GEONET stations in the Kii Peninsula (leveling and GNSS measurements) (1).

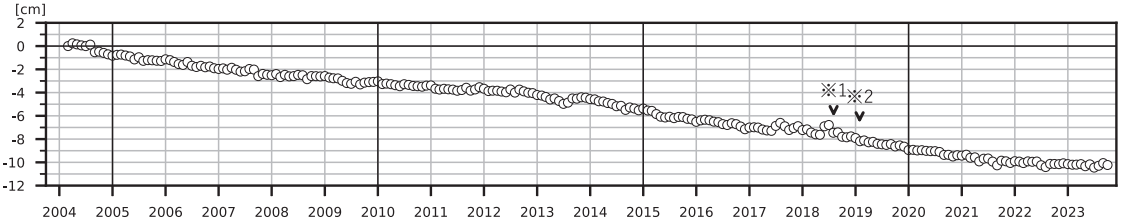
紀伊半島　電子基準点の上下変動（２）

潮岬周辺の長期的な沈降傾向に変化は見られない.

（1）白浜（031112) - すさみ２ (960653)

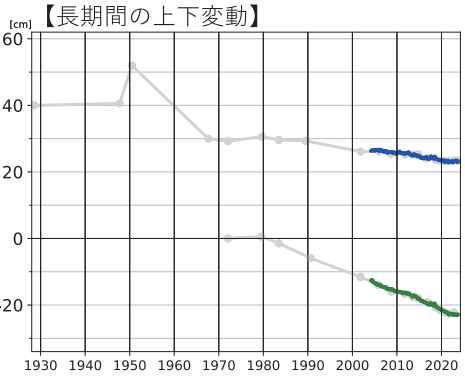


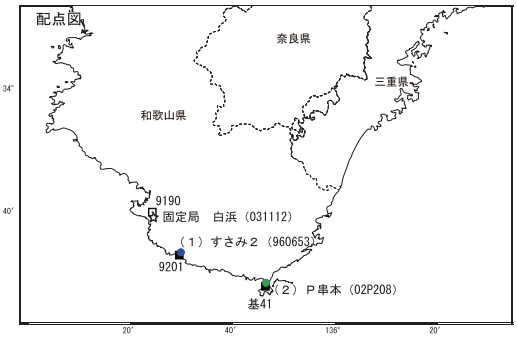
（2）白浜（031112) - Ｐ串本 (02P208)



○：GNSS　連続観測（GEONET　月平均値）

【長期間の上下変動】





「固定局：白浜（031112)」

・GNSS　連続観測のプロット点は，GEONET　による日々の座標値（F5：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：10/1～10/7 の平均値）
・各プロットの色は配色図の電子基準点の色と対応する。
・灰色のプロットは電子基準点の最寄りの水準点の水準測量結果を示している（固定：9190)。

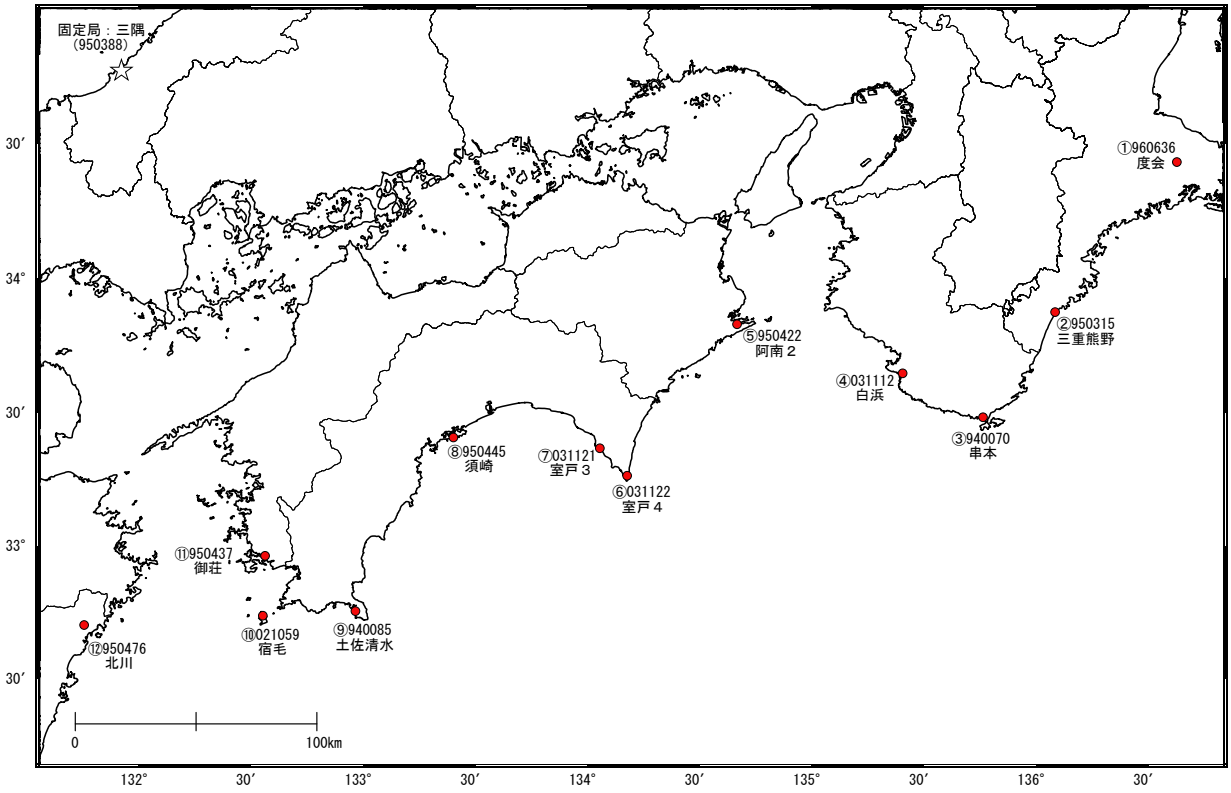
※ 1　2018 年 8 月 3 日に電子基準点「白浜」周辺の樹木を伐採した。
※ 2　2019 年 1 月 29 日に電子基準点「白浜」周辺の樹木を伐採した。
※ 3　2021 年 1 月 12 日に電子基準点「すさみ２」のアンテナ更新及びレドーム交換を実施した。
※ 4　1966 年 11 月に一等水準点「9190」を再設した。

第 2 図　紀伊半島 電子基準点の上下変動（水準測量と GNSS）（2）

Fig. 2　Vertical displacements of GEONET stations in the Kii Peninsula (leveling and GNSS measurements) (2).

南海トラフ周辺　ＧＮＳＳ連続観測時系列（１）

配点図



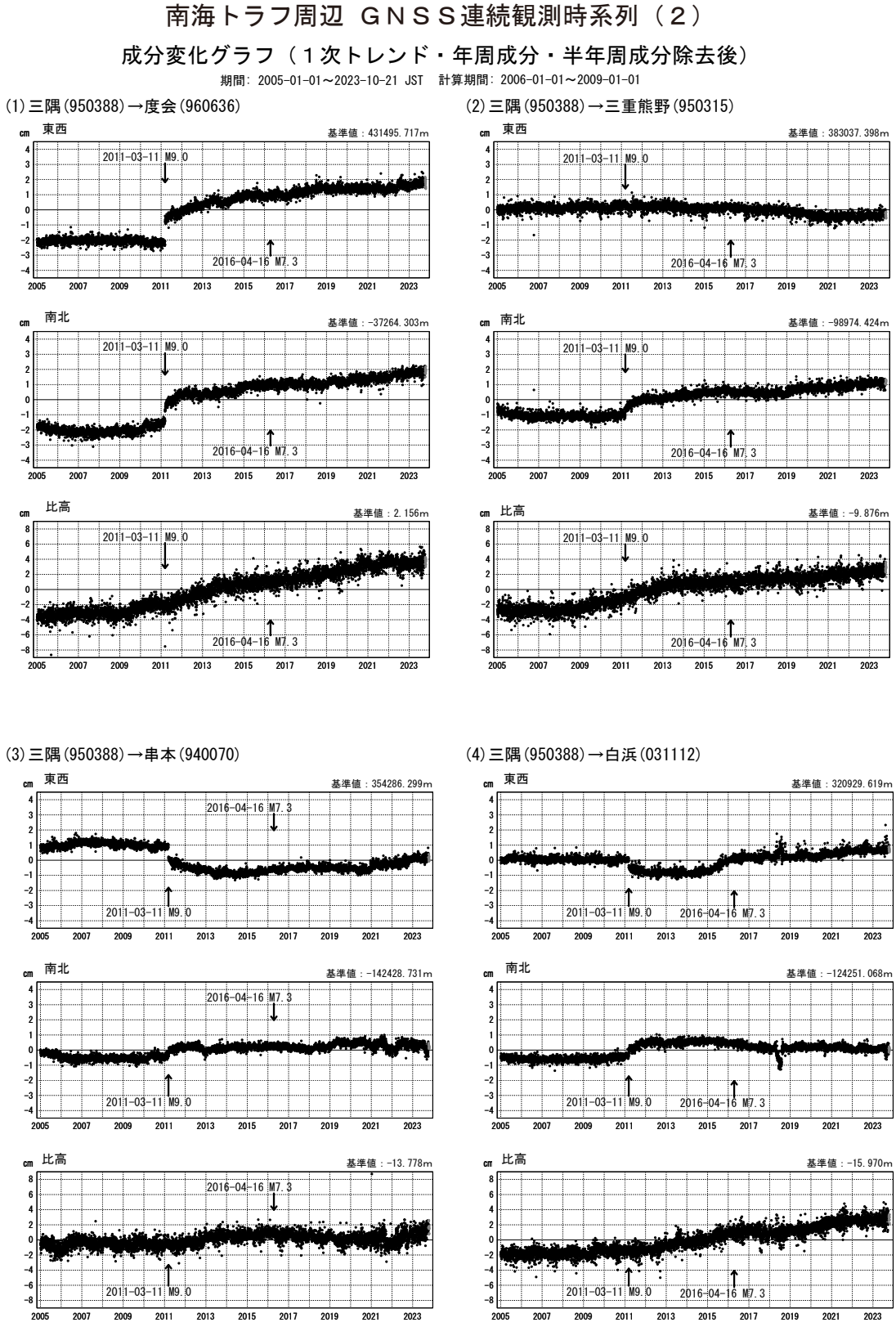
各観測局情報

点番号	点　名	日付	保守内容
960636	度会	2010-02-09	受信機更新・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	受信機更新
		2022-08-02	受信機交換
950315	三重熊野	2011-01-14	受信機更新・レドーム開閉
		2012-10-31	アンテナ更新
		2021-01-17	受信機更新
		2023-01-17	アンテナ更新
940070	串本	2012-11-14	アンテナ更新・受信機更新
		2017-01-22	アンテナ交換
		2021-01-09	アンテナ更新・レドーム交換
		2021-12-01	受信機更新
		2022-07-04	アンテナ交換・受信機交換
031112	白浜	2010-01-22	受信機更新
		2012-11-13	アンテナ更新
		2018-01-10	受信機更新
		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・受信機更新
		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	受信機更新
		2020-12-23	周辺伐採
		2021-01-09	周辺伐採
		2021-01-10	アンテナ更新・レドーム交換
		2021-02-06	周辺伐採

点番号	点　名	日付	保守内容
031122	室戸４	2010-01-26	受信機更新
		2012-10-22	アンテナ更新
		2017-05-23	受信機交換
		2018-01-30	受信機更新
031121	室戸３	2010-01-25	受信機更新
		2012-10-22	アンテナ更新
		2017-01-18	受信機更新
950445	須崎	2012-10-11	アンテナ更新・受信機更新
		2017-06-23	アンテナ交換
		2019-11-28	受信機更新
940085	土佐清水	2012-11-15	アンテナ更新・受信機更新
		2019-11-26	受信機更新
021059	宿毛	2012-11-16	アンテナ更新・受信機更新
		2015-11-19	アンテナ交換
		2021-12-11	受信機更新
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・受信機更新
		2015-10-05	周辺伐採
		2016-07-19	アンテナ交換
		2021-12-10	受信機更新
		2022-07-14	受信機交換
		2023-02-08	アンテナ更新
950476	北川	2012-11-22	アンテナ更新・受信機更新
		2014-12-18	アンテナ交換
		2019-11-28	受信機更新
950388	三隅	2012-10-29	アンテナ更新・受信機更新
		2014-10-01	周辺伐採
		2019-11-13	受信機更新

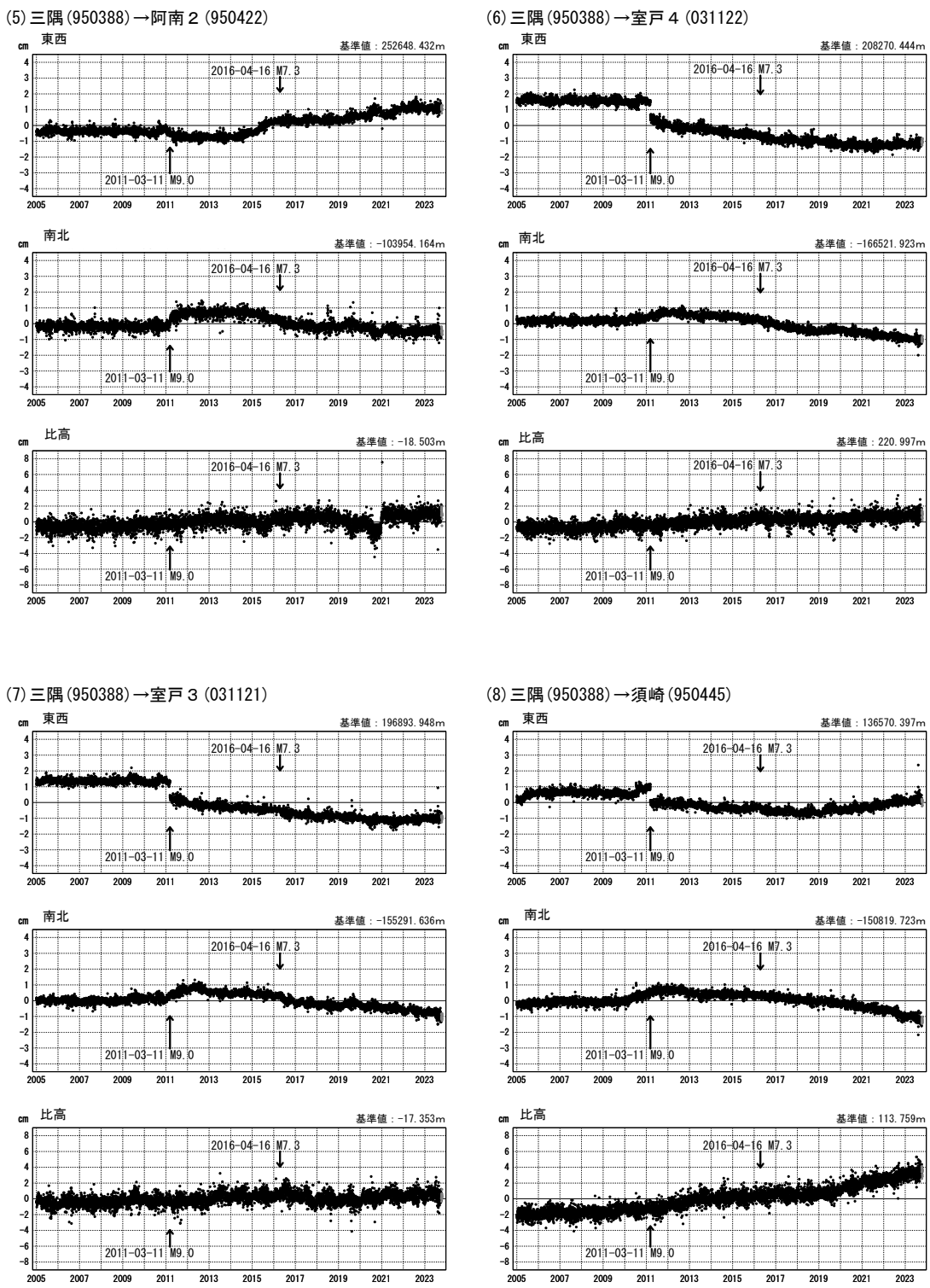
第 3 図　南海トラフ周辺における GNSS 連続観測結果（観測点配置図・保守状況）

Fig. 3　Time series of continuous GNSS measurements along the Nankai Trough (site location map and history of the site maintenance).



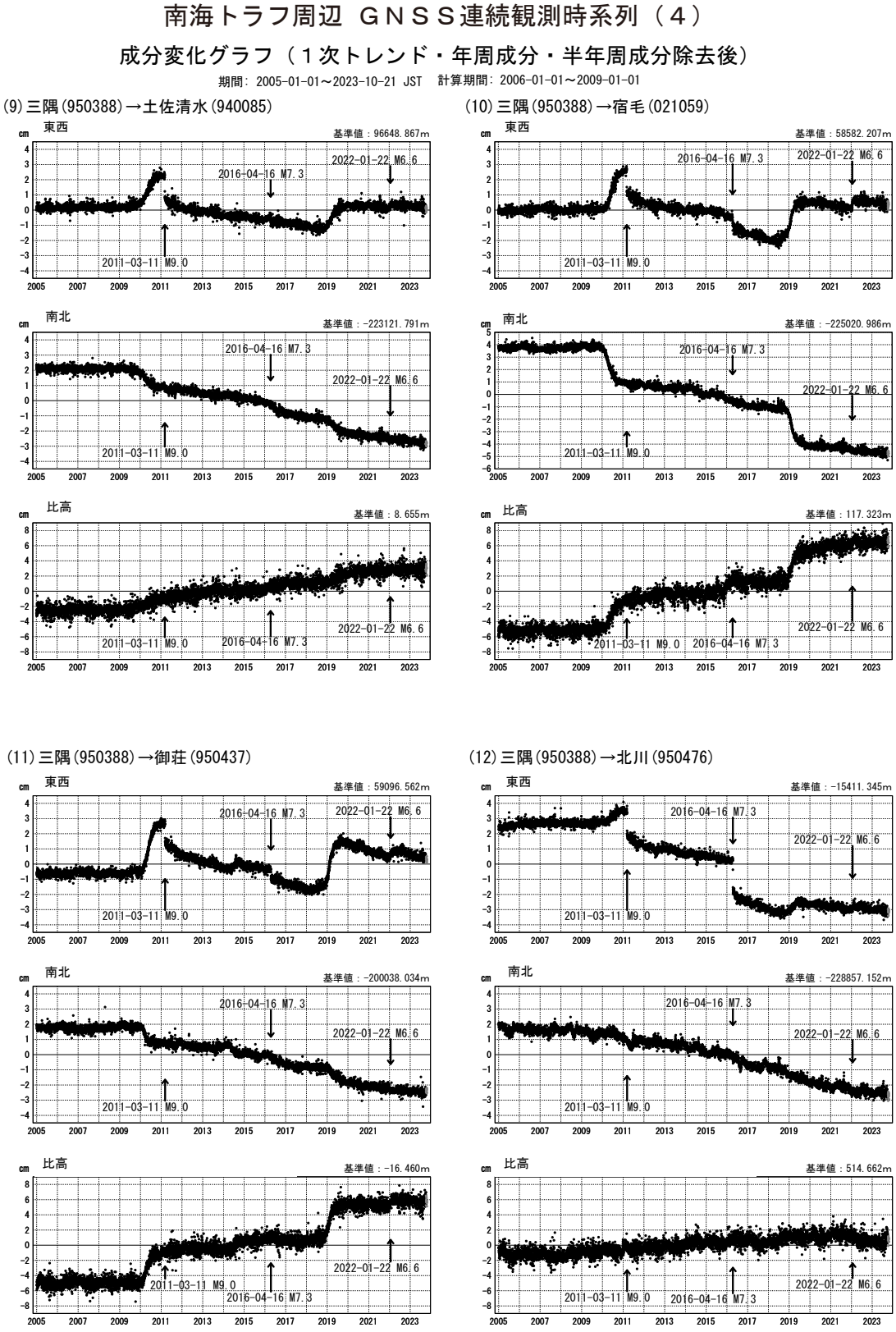
第 4 図　南海トラフ周辺における GNSS 連続観測結果：１次トレンド及び年周・半年周成分を除去した時系列（固定局：三隅）

Fig. 4　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).



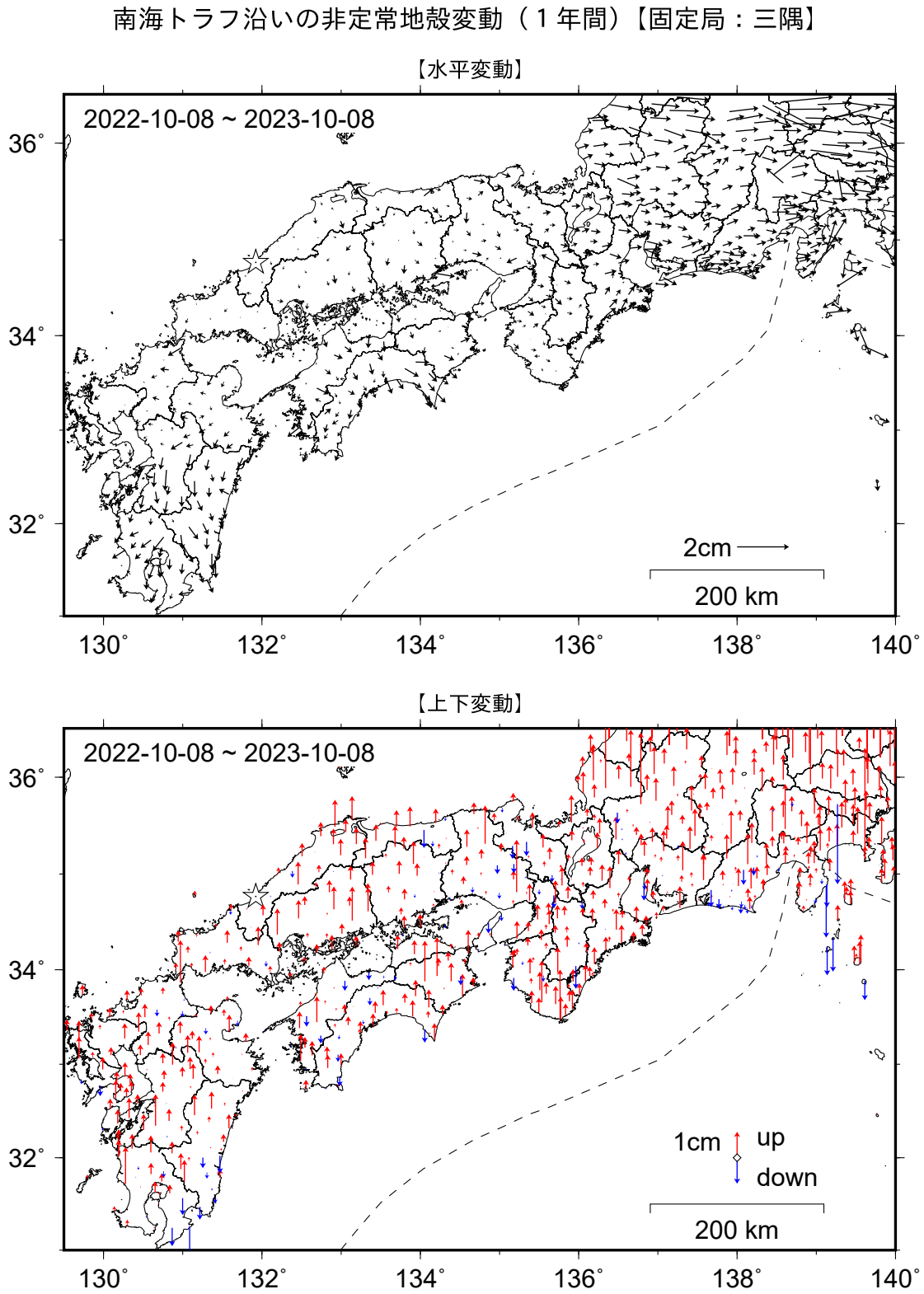
第 5 図　南海トラフ周辺における GNSS 連続観測結果：１次トレンド及び年周・半年周成分を除去した時系列（固定局：三隅）

Fig. 5　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 6 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. 6　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).



・GEONET　による日々の座標値（F5 解、R5 解）を使用している。
・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 7 図　GNSS 連続観測から求めた 2022 年 10 月～ 2023 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. 7　Horizontal (upper) and vertical (lower) transient displacement along the Nankai Trough during October 2022 – October 2023.

7 － 3　南海トラフ周辺の地殻活動（2023 年 5 月～ 10 月）
Crustal Activity around the Nankai Trough (May - October 2023)

気象庁
Japan Meteorological Agency

1. 南海トラフ周辺の地殻活動（第 1 図～第 16 図）

2023 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．

・2023 年 7 月 22 日 21 時 14 分　日向灘（フィリピン海プレート内部の地震）M5.0

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．

・2023 年 5 月 1 日から 5 月 6 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．

・2023 年 5 月 13 日から 5 月 25 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．

・2023 年 6 月 11 日から 6 月 19 日まで，紀伊半島西部（第 6 図 (a)，(b)）．周辺の複数のひずみ計で変化あり．

・2023 年 6 月 18 日から 7 月 10 日まで，四国東部から四国中部（第 7 図 (a)，(b)）．周辺の複数のひずみ計で変化あり．

・2023 年 7 月 16 日から 7 月 23 日まで，紀伊半島北部から紀伊半島中部（第 8 図 (a)，(b)）．周辺の複数のひずみ計で変化あり．

・2023 年 8 月 3 日から 8 月 8 日まで，紀伊半島北部（第 9 図 (a)，(b)）．周辺の複数のひずみ計で変化あり．

・2023 年 8 月 14 日から 8 月 21 日まで，四国西部（第 10 図 (a)，(b)）．周辺の複数のひずみ計で変化あり．

・2023 年 9 月 13 日から 9 月 17 日まで，四国東部から四国中部（第 12 図 (a)，(b)）．周辺の複数のひずみ計で変化あり．

・2023 年 9 月 14 日から 9 月 18 日まで，東海（第 13 図 (a)，(b)）．周辺の複数のひずみ計で変化あり．

・2023 年 9 月 30 日から 10 月 4 日まで，東海（第 14 図 (a)，(b)）．周辺の複数のひずみ計で変化あり．

・2023 年 10 月 11 日から 10 月 13 日まで，紀伊半島西部（第 15 図 (a)，(b)）．周辺の複数のひずみ計で変化あり．

・2023 年 10 月 19 日から 10 月 23 日まで，東海（第 16 図 (a)，(b)）．周辺の複数のひずみ計で変化あり．

なお，深部低周波地震（微動）は観測されなかったが，以下の期間で地殻変動が観測された．
・2023 年 8 月 23 日から 8 月 25 日まで, 東海（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 17 図，第 18 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 17 図 (a)，(b) 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 ± 8km の地震を抽出し地震活動の推移を見たものである．

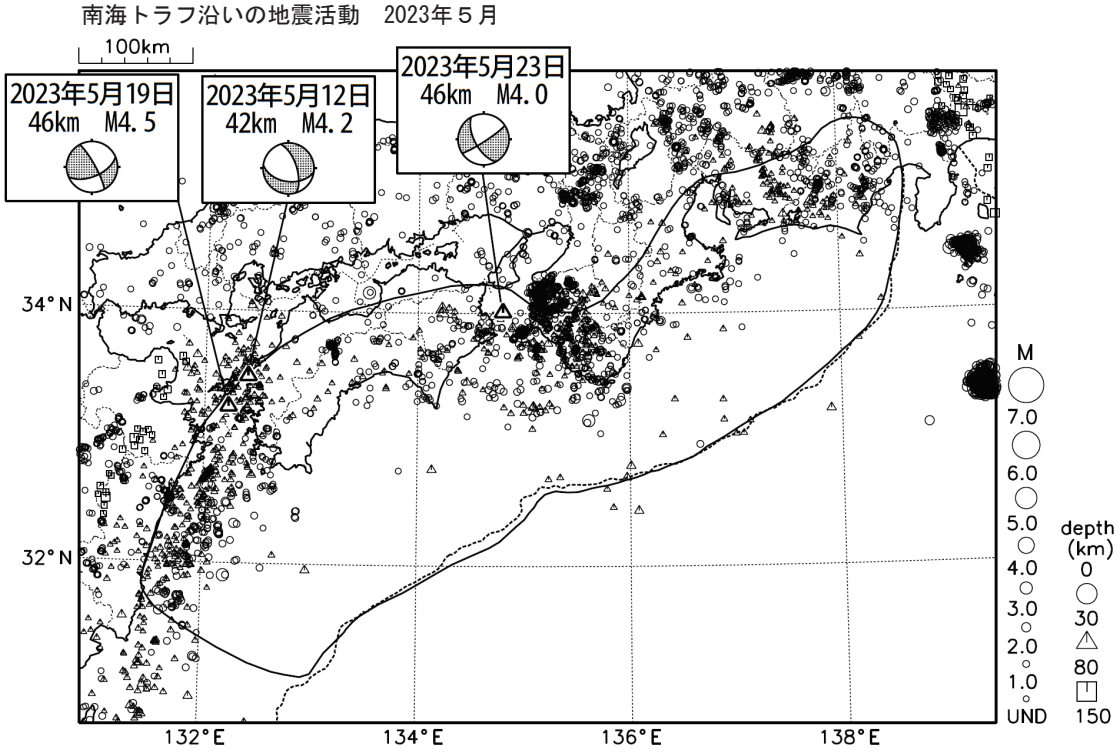
第 18 図は，想定南海トラフ地震の発震機構解と類似の型の地震を抽出したものである．プレート境界で発生したと考えられる地震の他，その震源の深さから考えて明らかに地殻内やスラブ内で発生したと推定される地震も含まれている．

3. 南海トラフ周辺の地震活動の推移（第 19 図，第 20 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 19 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 20 図 (a) ～ (c) は，それらの地震活動指数の変化を示すグラフである．

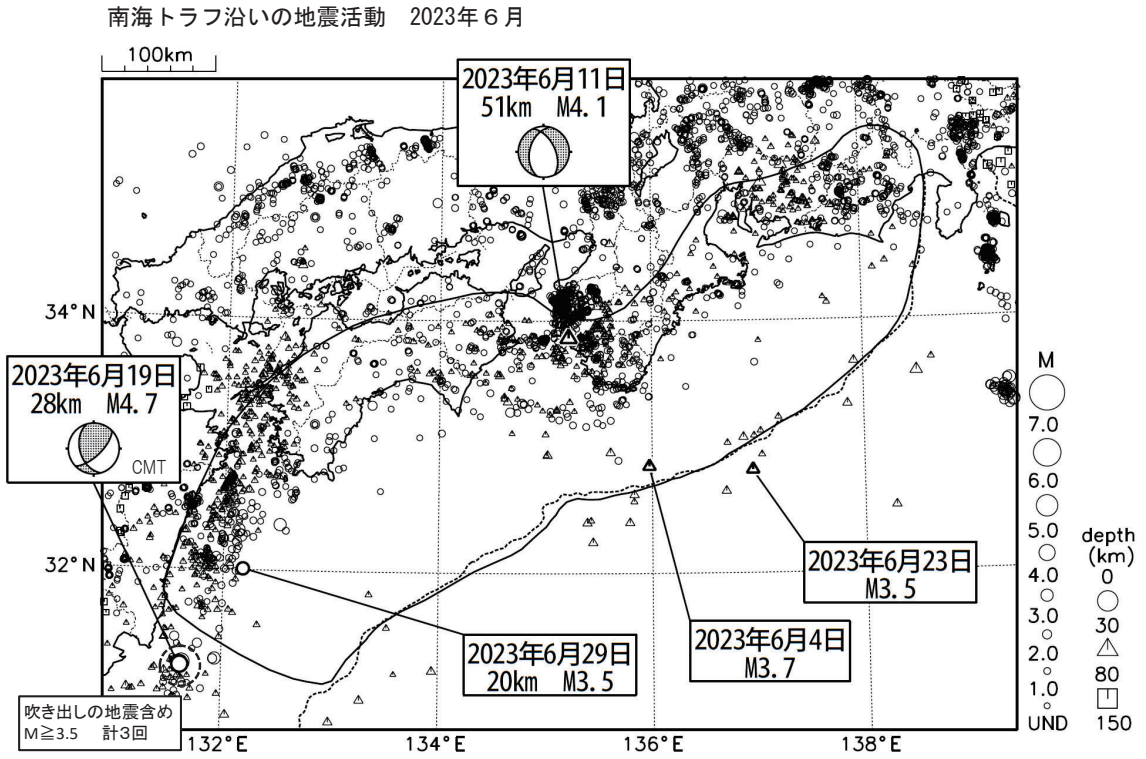
参考文献

1) 気象庁 (2023)，南海トラフ周辺の地殻活動，*令和 5 年 5 月地震・火山月報（防災編）*，35.
2) 気象庁 (2023)，南海トラフ周辺の地殻活動，*令和 5 年 6 月地震・火山月報（防災編）*，29.
3) 気象庁 (2023)，南海トラフ周辺の地殻活動，*令和 5 年 7 月地震・火山月報（防災編）*，18.
4) 気象庁 (2023)，南海トラフ周辺の地殻活動，*令和 5 年 8 月地震・火山月報（防災編）*，21.
5) 気象庁 (2023)，南海トラフ周辺の地殻活動，*令和 5 年 9 月地震・火山月報（防災編）*，26.
6) 気象庁 (2023)，南海トラフ周辺の地殻活動，*令和 5 年 10 月地震・火山月報（防災編）*，16.
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.



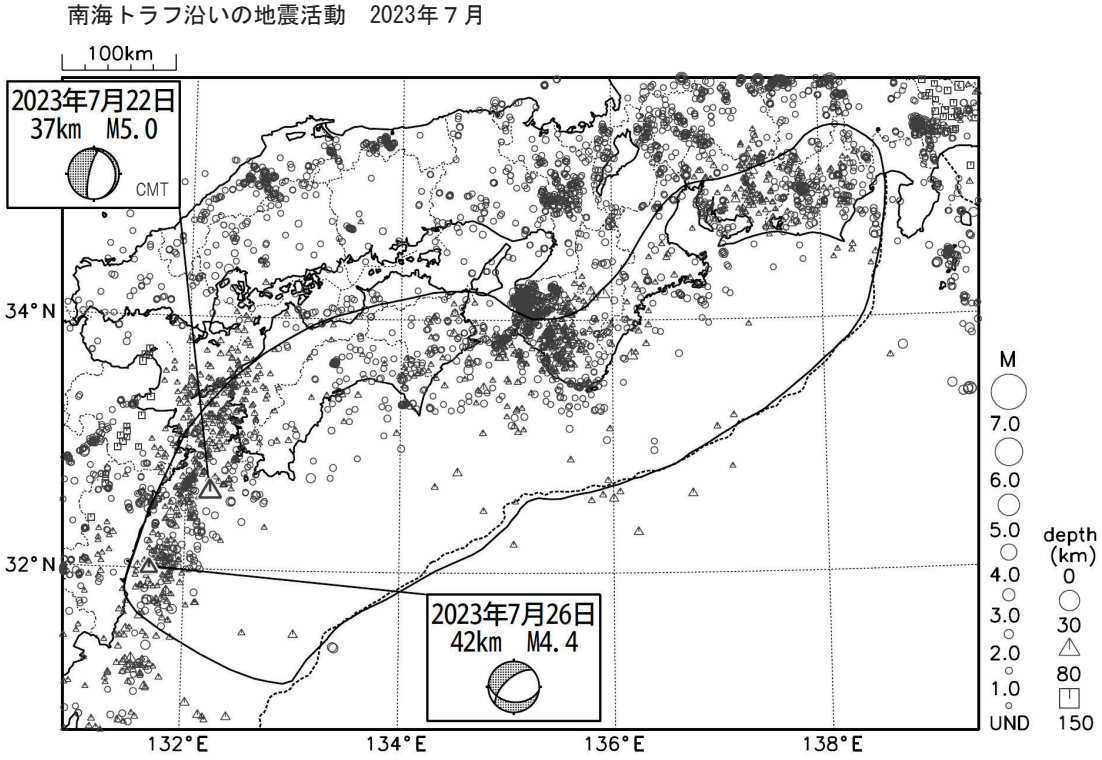
・発震機構解の横に「S」の表記があるものは、精度がやや劣るものである。

第 1 図 (a)　南海トラフ周辺の月別震央分布（2023 年 5 月）
Fig. 1(a)　Monthly epicenter distribution in and around the Nankai Trough (May 2023).



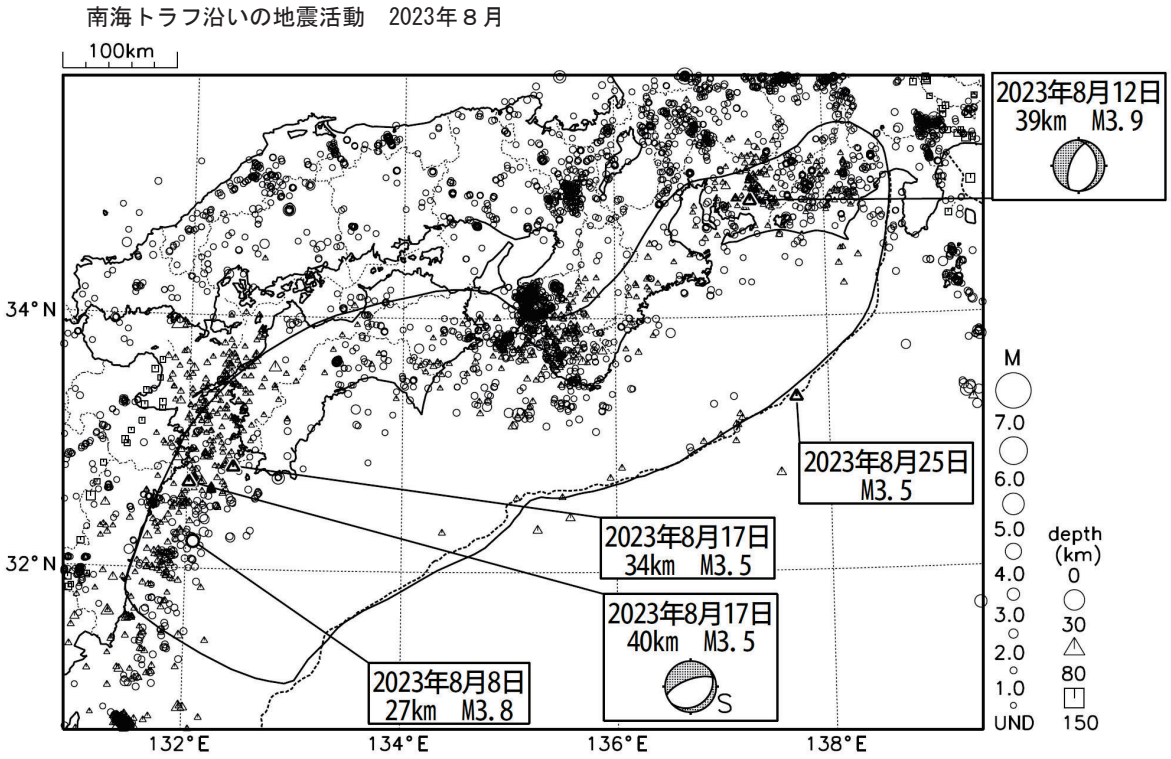
・発震機構解の横に「S」の表記があるものは、精度がやや劣るものである。

第 1 図 (b)　つづき（2023 年 6 月）
Fig. 1(b)　Monthly epicenter distribution in and around the Nankai Trough (June 2023).



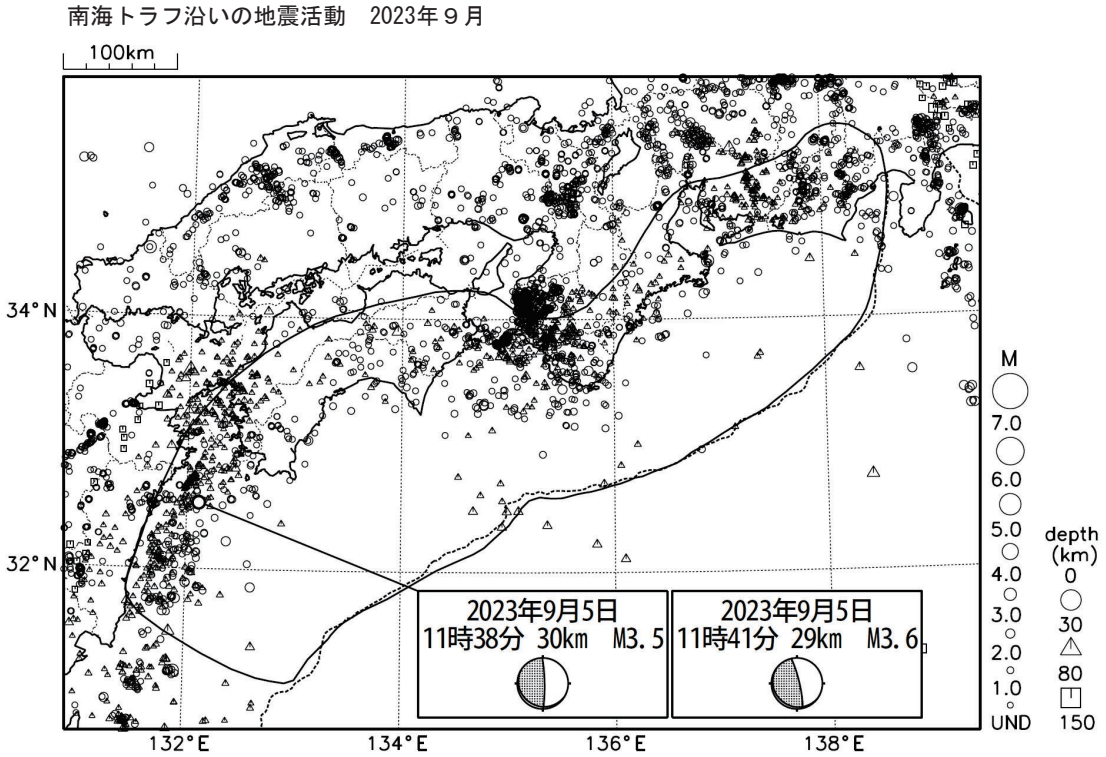
・発震機構解の横に「S」の表記があるものは、精度がやや劣るものである。

第 1 図 (c)　つづき（2023 年 7 月）
Fig. 1(c)　Monthly epicenter distribution in and around the Nankai Trough (July 2023).



・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。

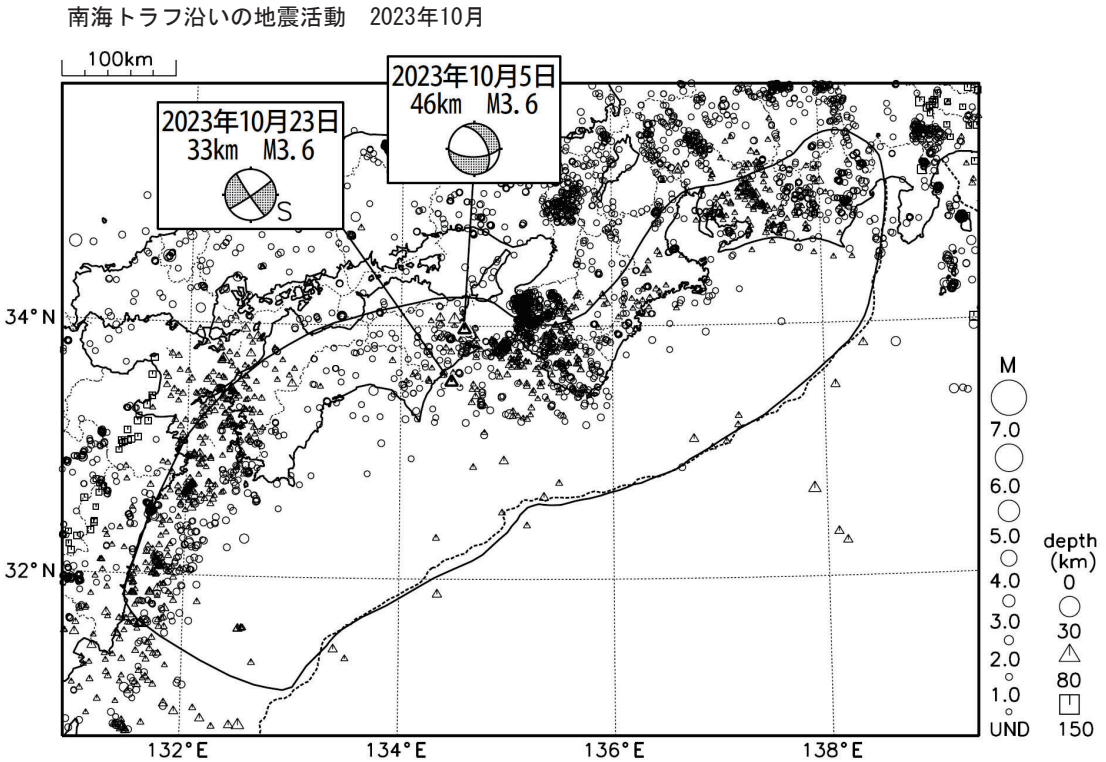
第 1 図 (d)　つづき（2023 年 8 月）
Fig. 1(d)　Monthly epicenter distribution in and around the Nankai Trough (August 2023).



・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（2023 年 9 月）

Fig. 1(e)　Monthly epicenter distribution in and around the Nankai Trough (September 2023).

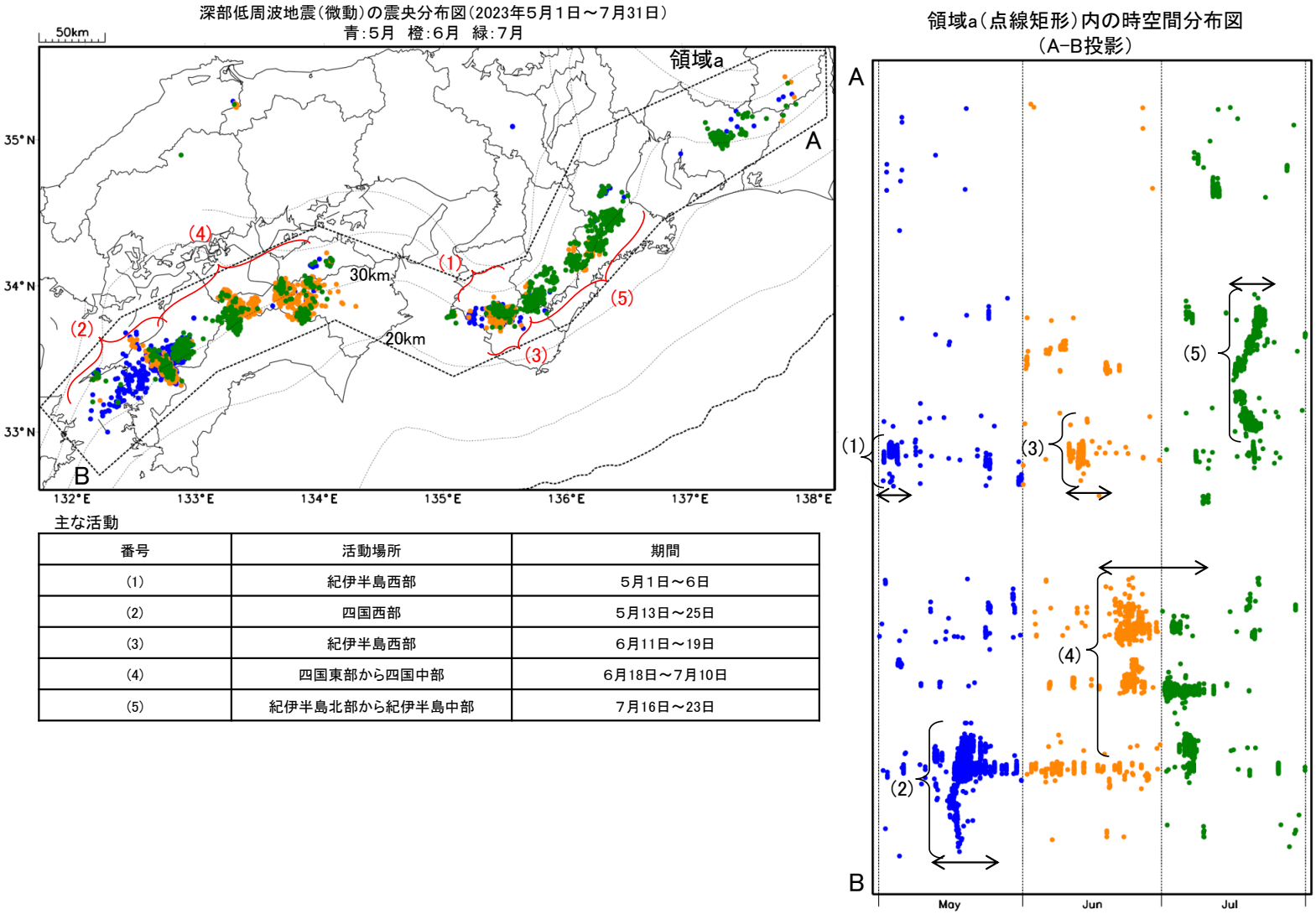


・発震機構解の横に「S」の表記があるものは、精度がやや劣るものである。

第 1 図 (f)　つづき（2023 年 10 月）

Fig. 1(f)　Monthly epicenter distribution in and around the Nankai Trough (October 2023).

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1日～6日
(2)	四国西部	5月13日～25日
(3)	紀伊半島西部	6月11日～19日
(4)	四国東部から四国中部	6月18日～7月10日
(5)	紀伊半島北部から紀伊半島中部	7月16日～23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。

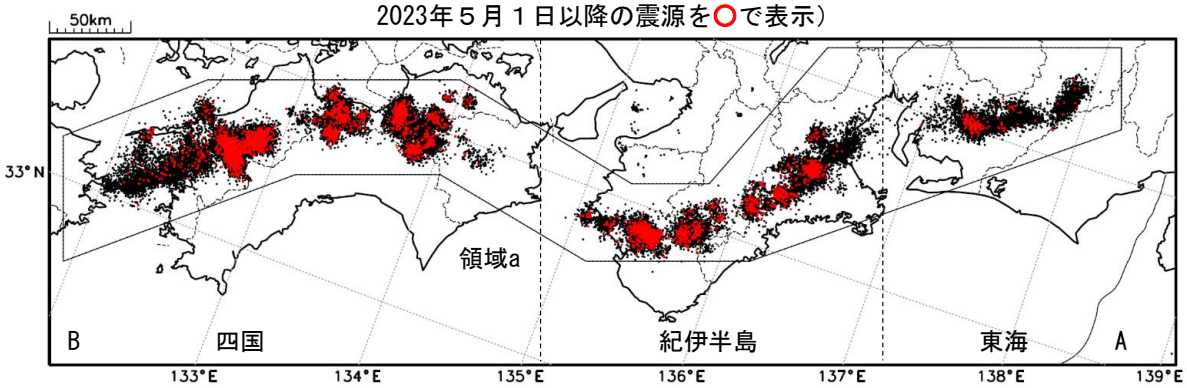
第 2 図 (a)　東海地域から豊後水道にかけての深部低周波地震活動（2023 年 5 月～ 7 月）

Fig. 2(a)　Seismic activity of Low-Frequency Events from the Tokai region to the Bungo Channel (May – July 2023).

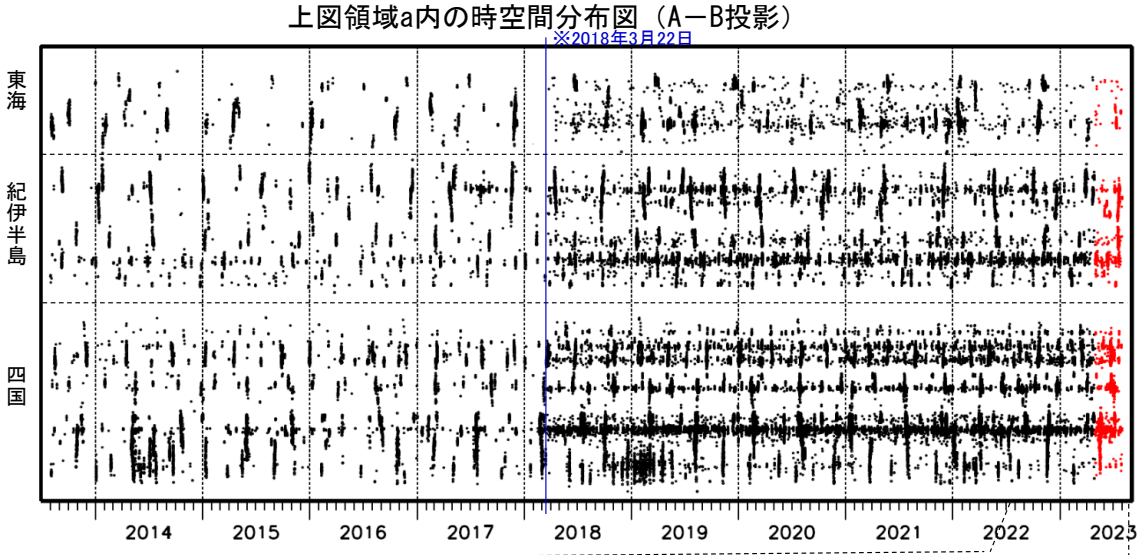
深部低周波地震（微動）活動（2013年８月１日～2023年７月31日）

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。

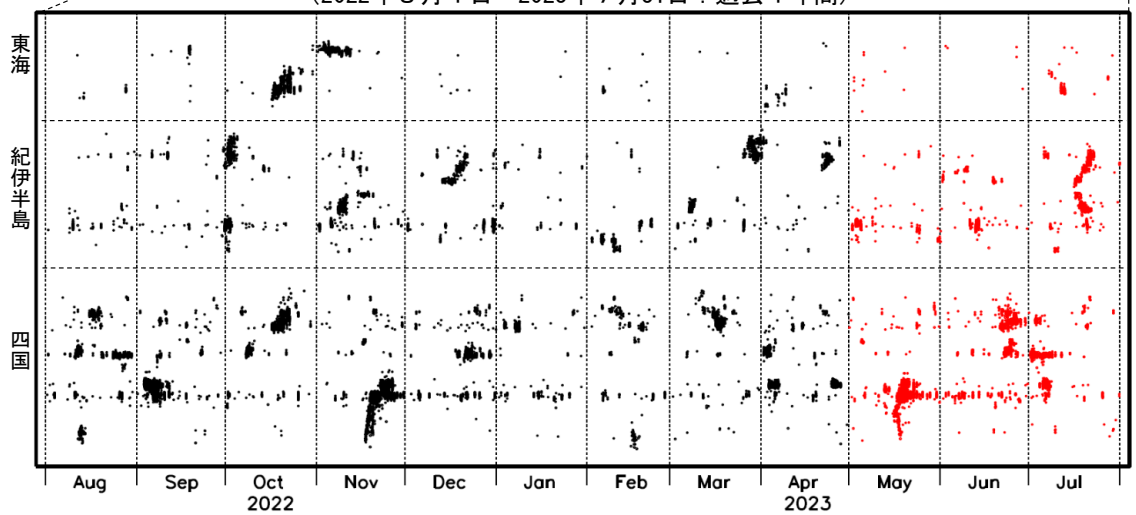
震央分布図（2013年８月１日～2023年７月31日：過去10年間
2023年５月１日以降の震源を○で表示）



上図領域a内の時空間分布図（A－B投影）



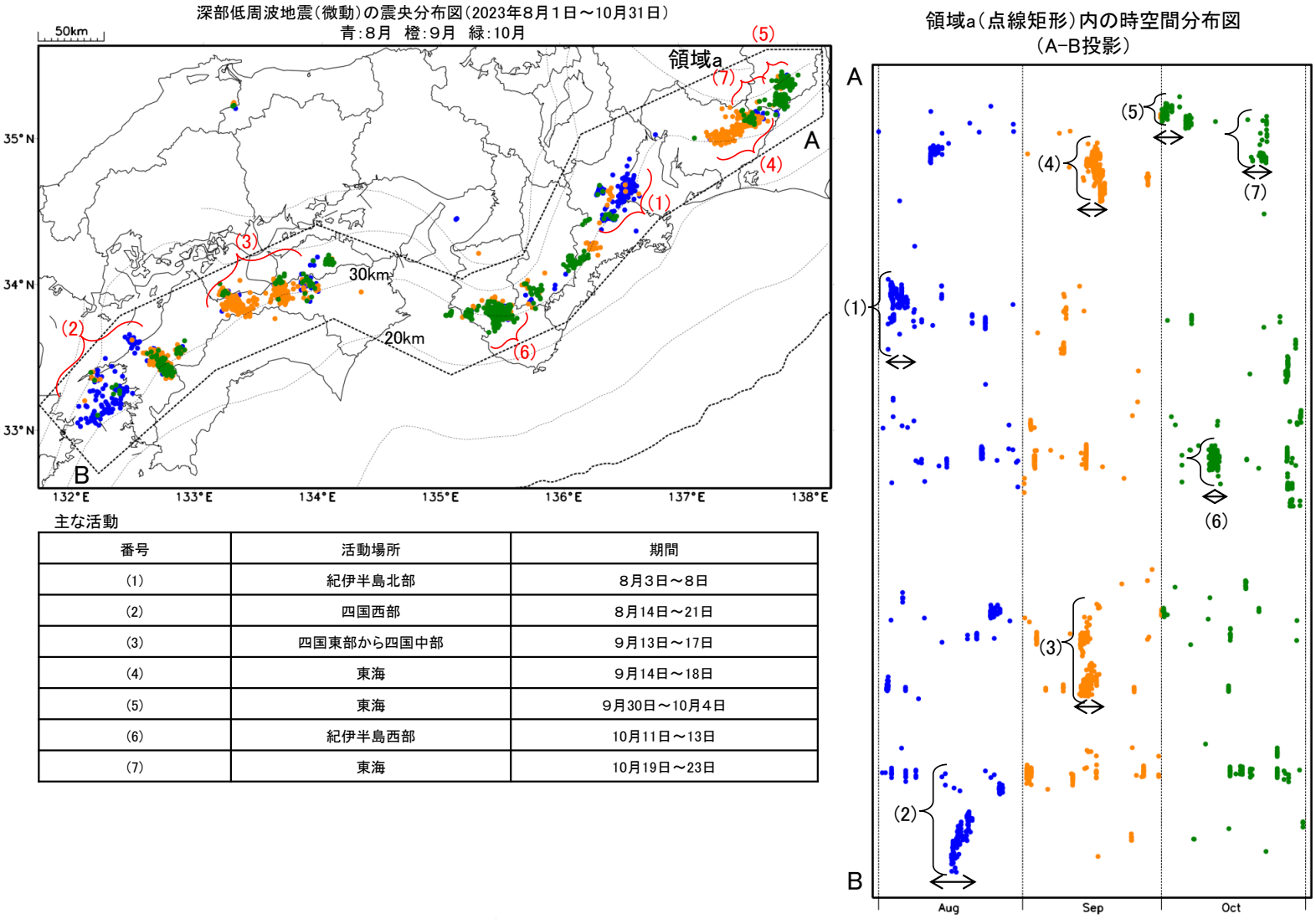
（2022年８月１日～2023年７月31日：過去１年間）



※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（2013 年 8 月～ 2023 年 7 月）
Fig. 2(b)　Continued (August 2013 – July 2023).

深部低周波地震（微動）活動



主な活動

番号	活動場所	期間
(1)	紀伊半島北部	8月3日～8日
(2)	四国西部	8月14日～21日
(3)	四国東部から四国中部	9月13日～17日
(4)	東海	9月14日～18日
(5)	東海	9月30日～10月4日
(6)	紀伊半島西部	10月11日～13日
(7)	東海	10月19日～23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。

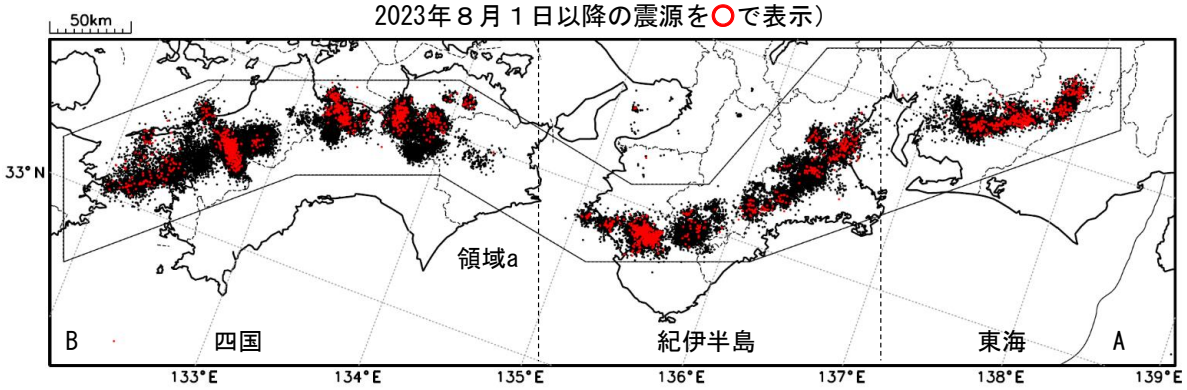
第 2 図 (c)　東海地域から豊後水道にかけての深部低周波地震活動（2023 年 8 月～ 10 月）

Fig. 2(c)　Seismic activity of Low-Frequency Events from the Tokai region to the Bungo Channel (August – October 2023).

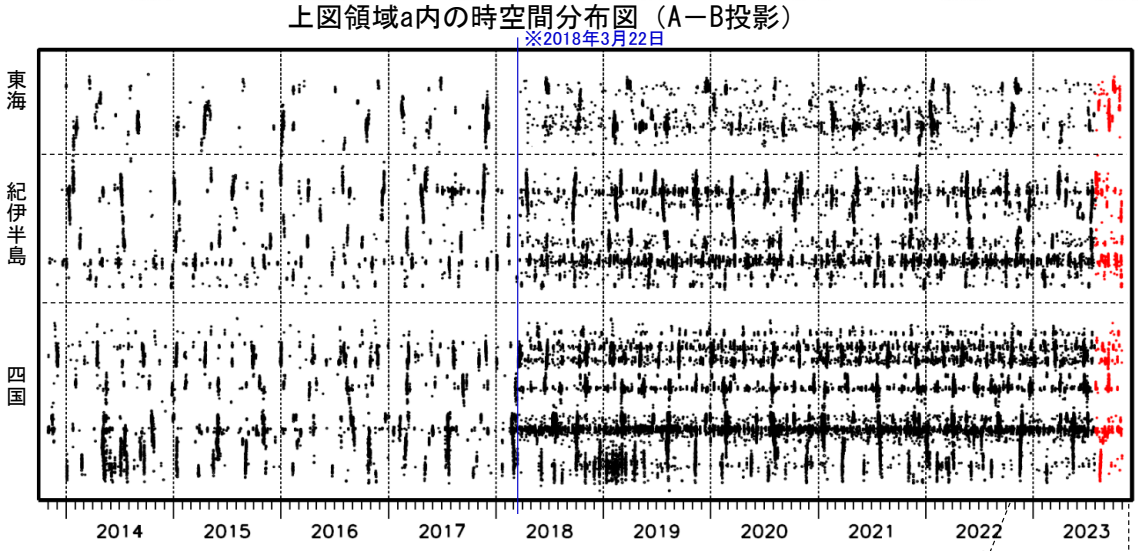
深部低周波地震（微動）活動（2013年11月１日～2023年10月31日）

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。

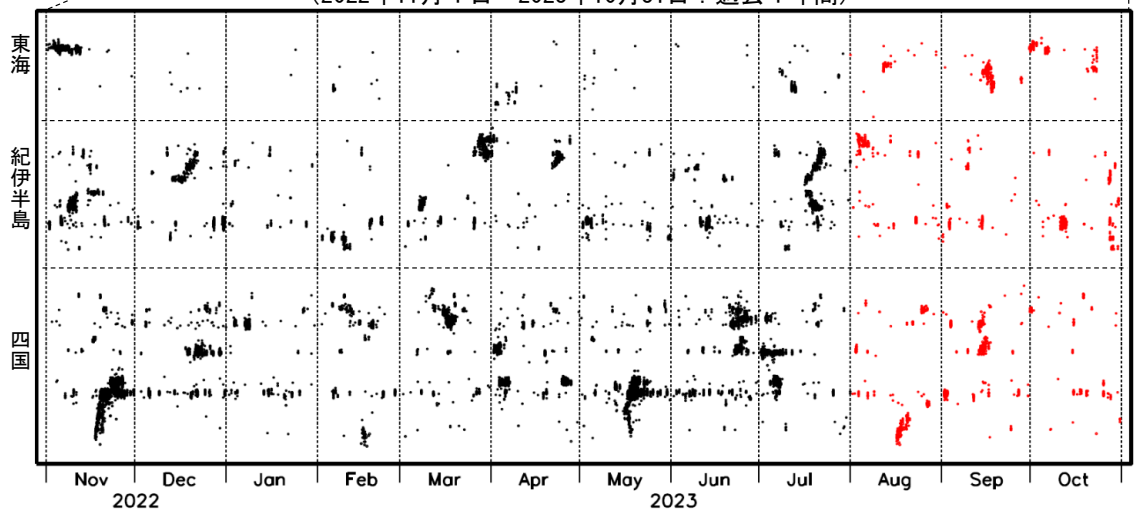
震央分布図（2013年11月１日～2023年10月31日：過去10年間
2023年８月１日以降の震源を○で表示）



上図領域a内の時空間分布図（A－B投影）

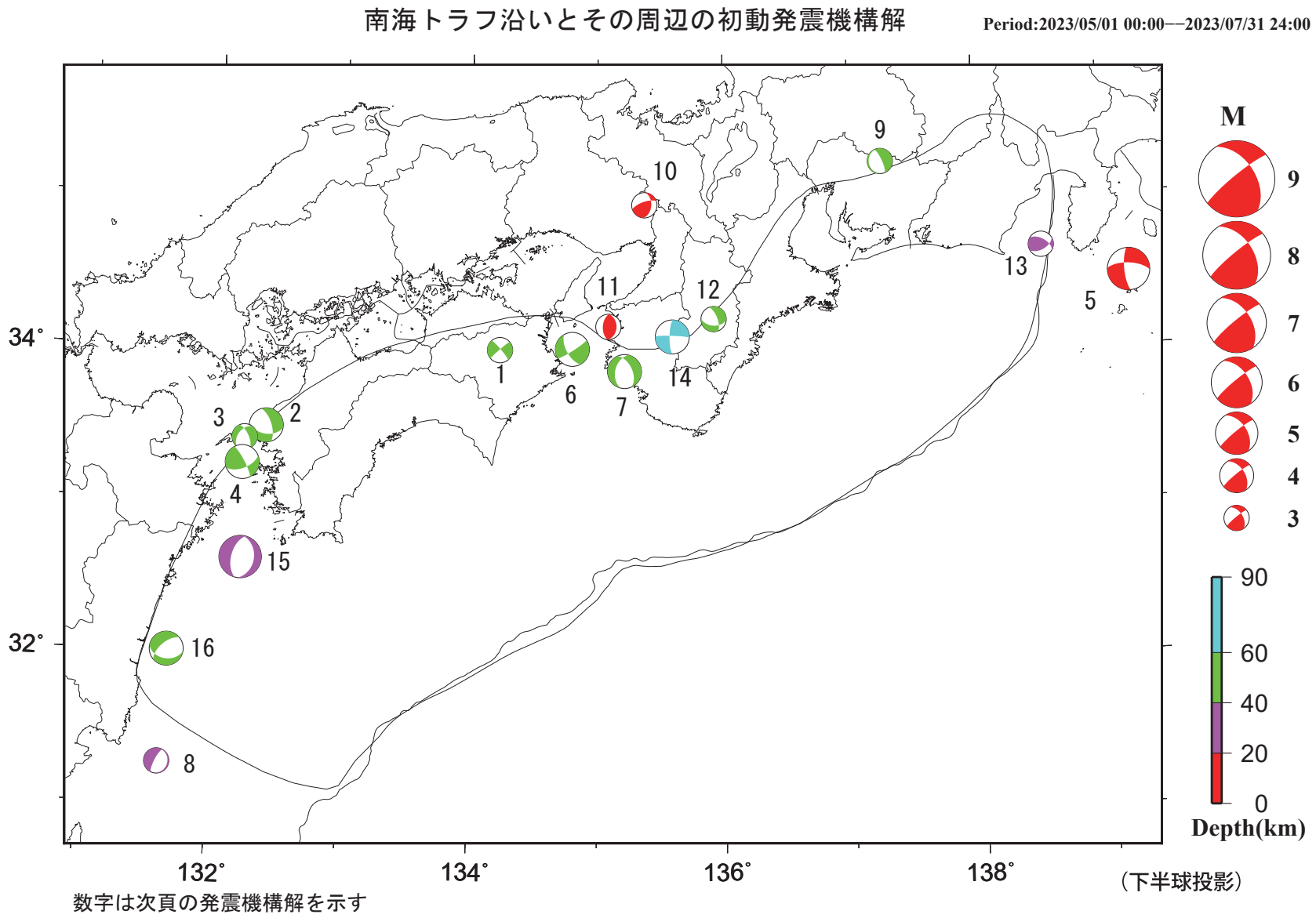


（2022年11月１日～2023年10月31日：過去１年間）



※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。

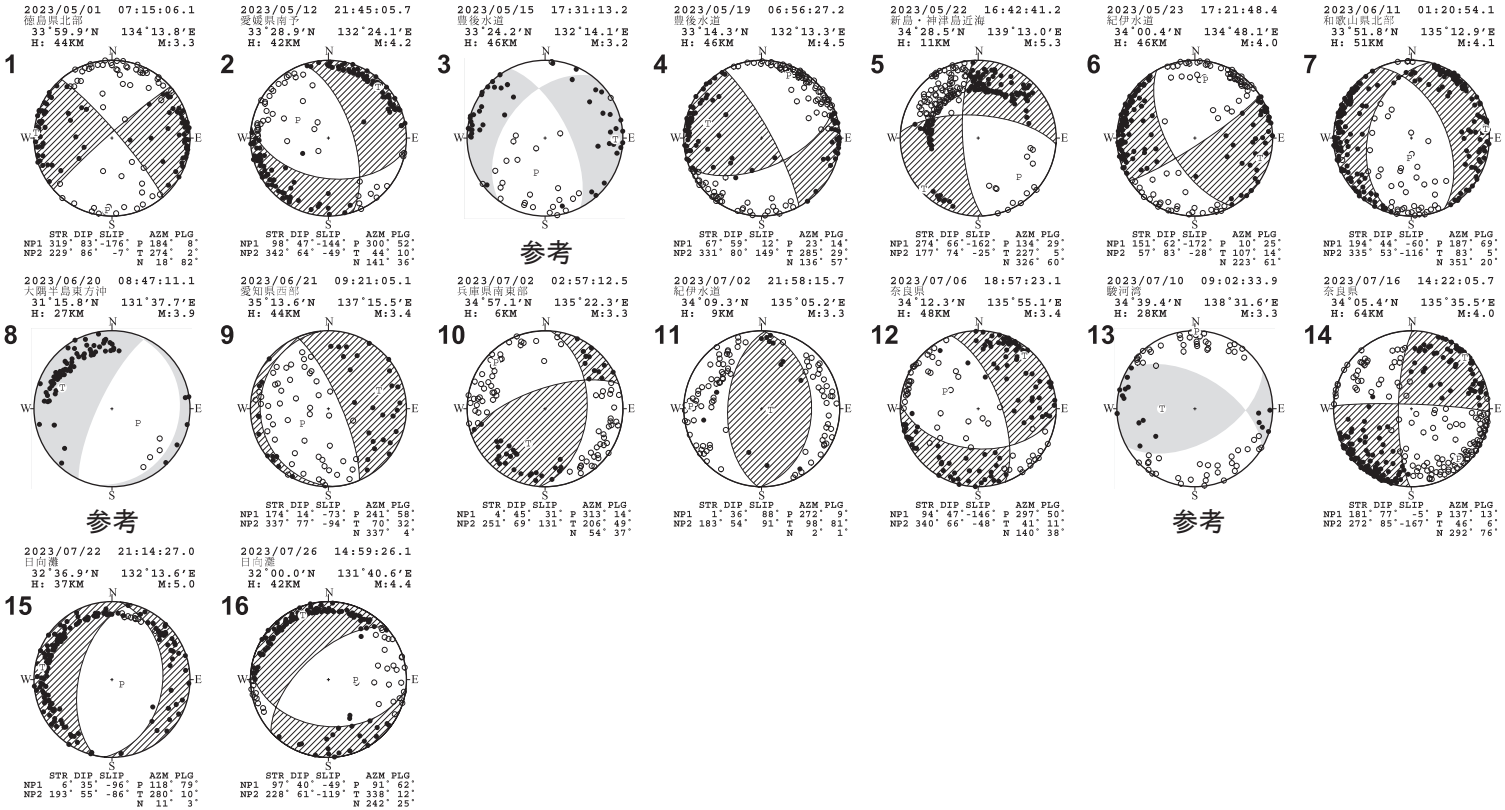
第 2 図 (d)　つづき（2013 年 11 月～ 2023 年 10 月）
Fig. 2(d)　　Continued (November 2013 – October 2023).



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（2023 年 5 月～ 7 月）

Fig. 3(a)　Focal mechanism solutions for major earthquakes in and around the Nankai Trough (May – July 2023).

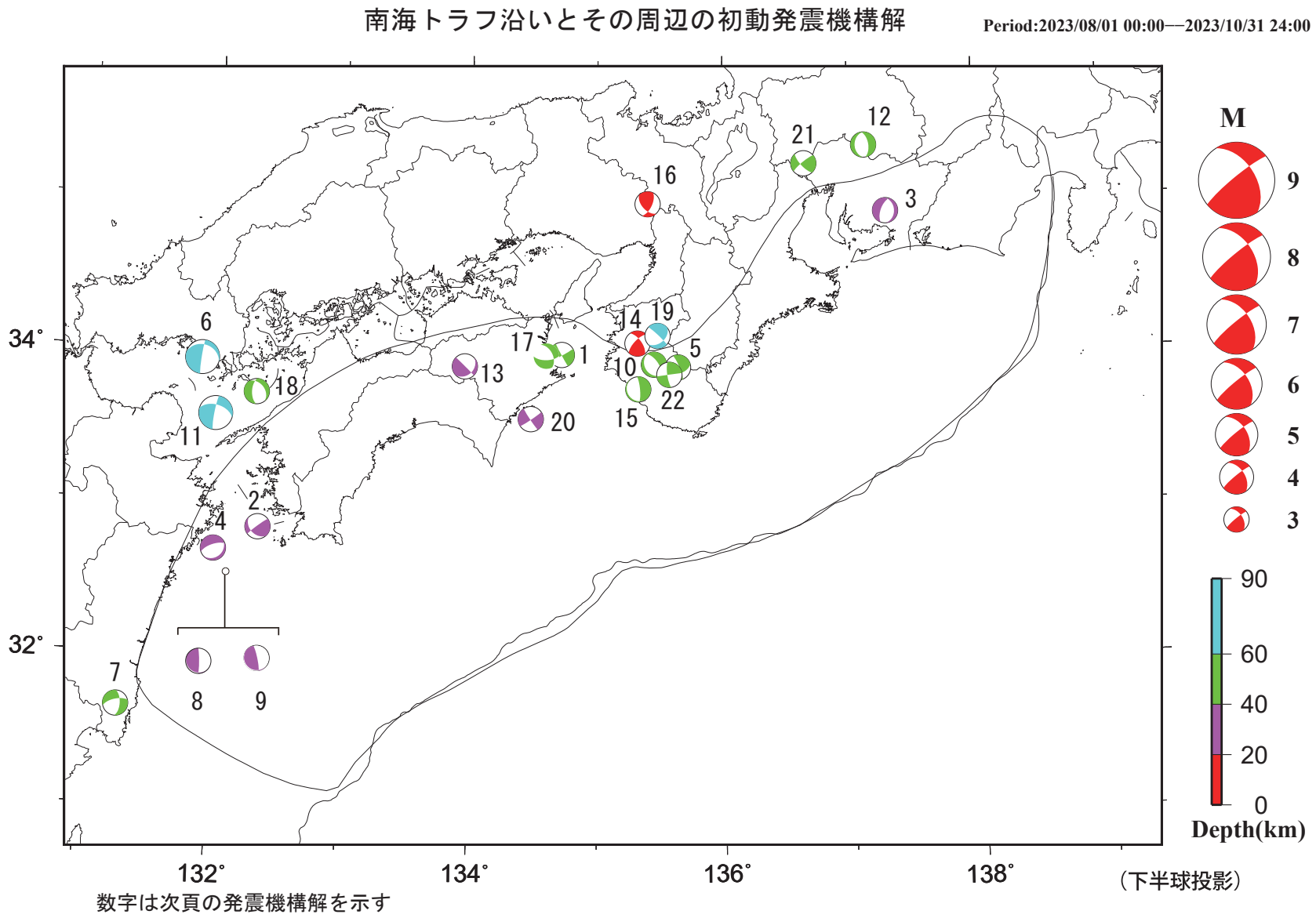
南海トラフ沿いとその周辺の初動発震機構解（２）



（下半球投影）

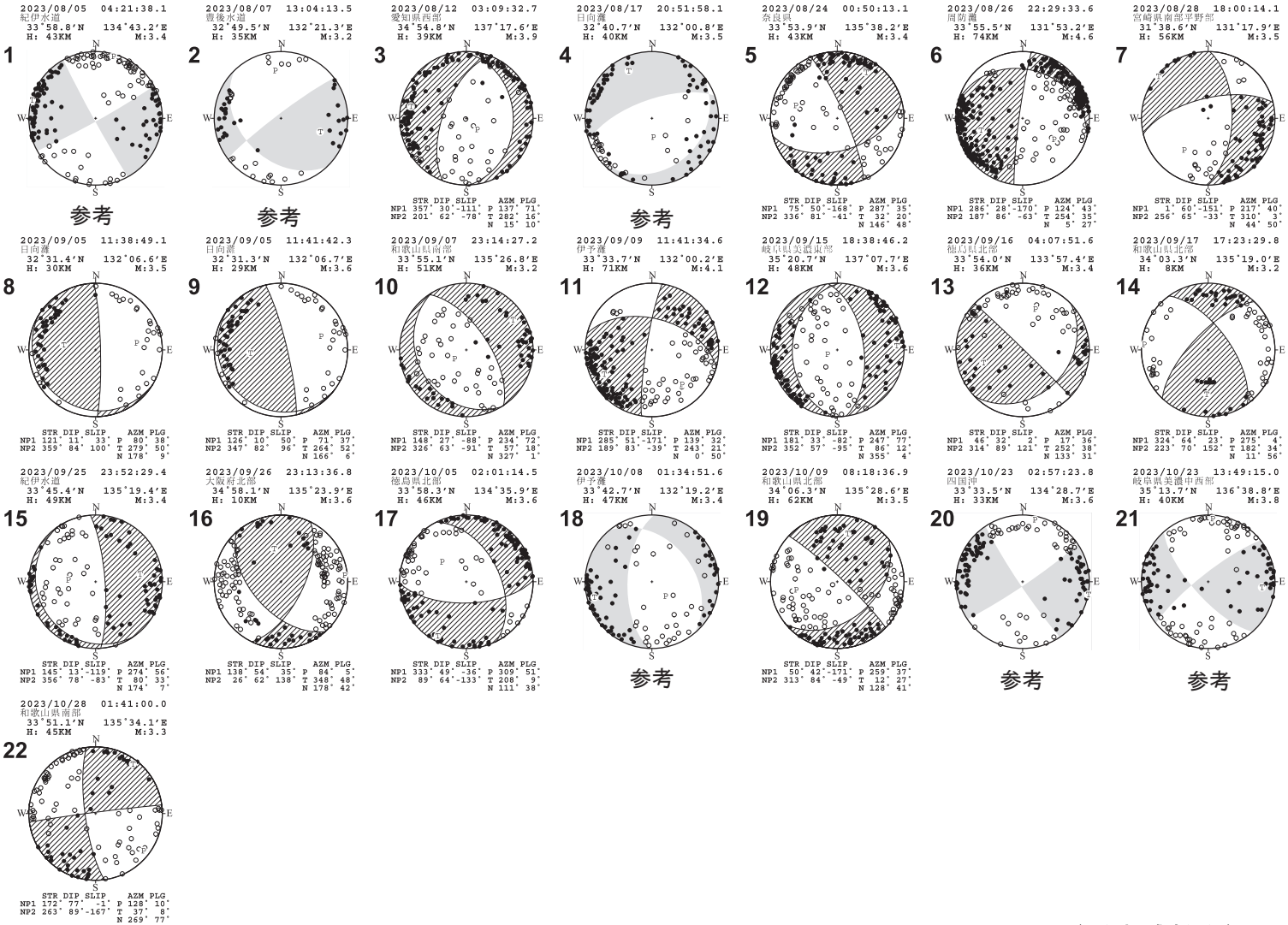
第 3 図 (b)　つづき（2023 年 5 月～ 7 月）

Fig. 3(b)　Continued (May – July 2023).



第 3 図 (c)　つづき（2023 年 8 月～ 10 月）
Fig. 3(c)　Continued (August – October 2023).

南海トラフ沿いとその周辺の初動発震機構解（２）



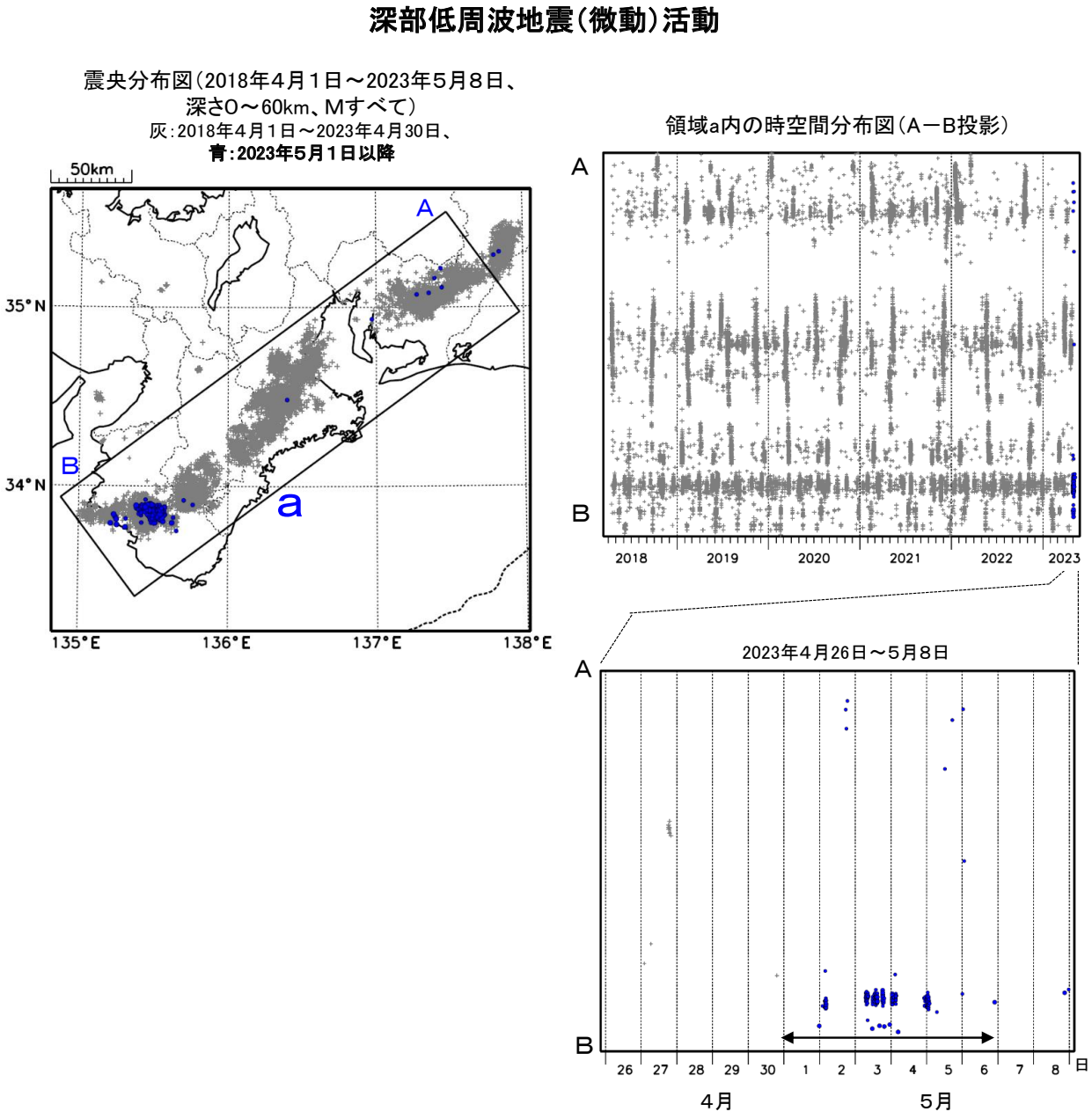
（下半球投影）

第 3 図 (d)　つづき（2023 年 8 月～ 10 月）

Fig. 3(d)　Continued (August – October 2023).

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

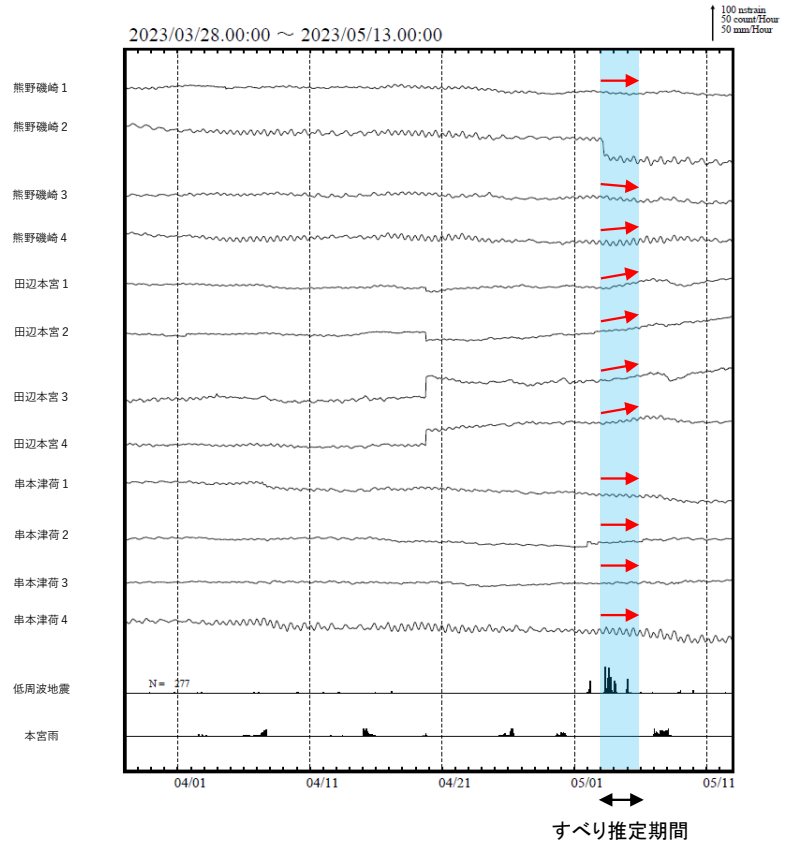
５月１日から６日にかけて、紀伊半島西部で深部低周波地震（微動）を観測した。
深部低周波地震（微動）活動とほぼ同期して、周辺に設置されている複数のひずみ計で地殻変動を観測した。これらは、短期的ゆっくりすべりに起因すると推定される。



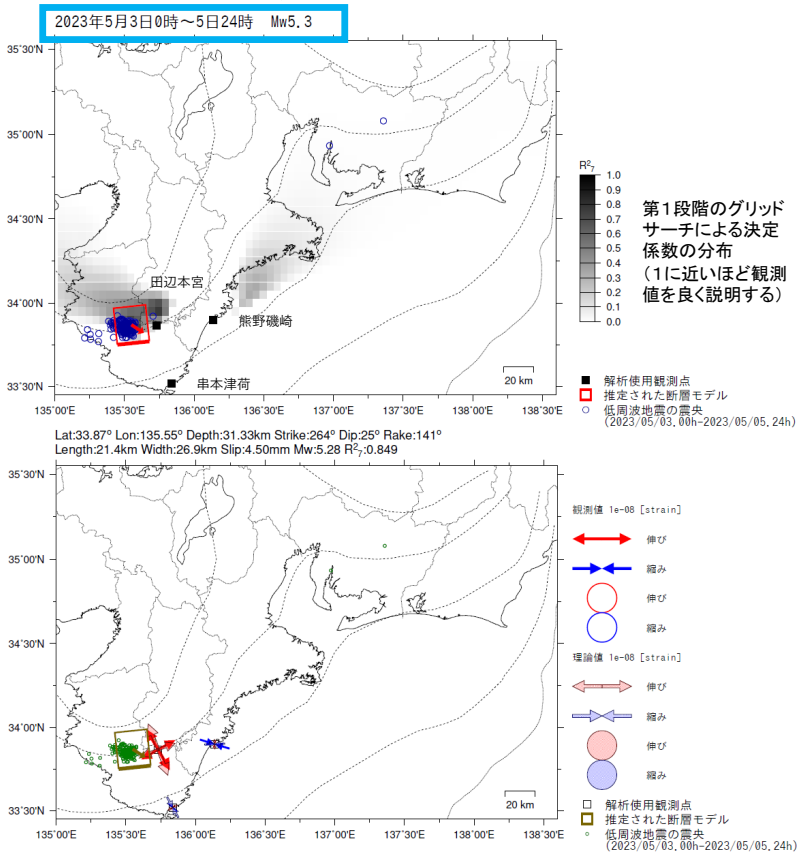
第 4 図 (a)　紀伊半島西部の深部低周波地震活動とひずみ変化，及び推定されるゆっくりすべり領域
Fig. 4(a)　Activity of deep low-frequency earthquakes in western part of Kii Peninsula and strain changes, and the estimated slow slip region.

紀伊半島西部で観測した短期的ゆっくりすべり（5月3日～5日）

三重県から和歌山県で観測されたひずみ変化



熊野磯崎、田辺本宮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）

左図に示す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。

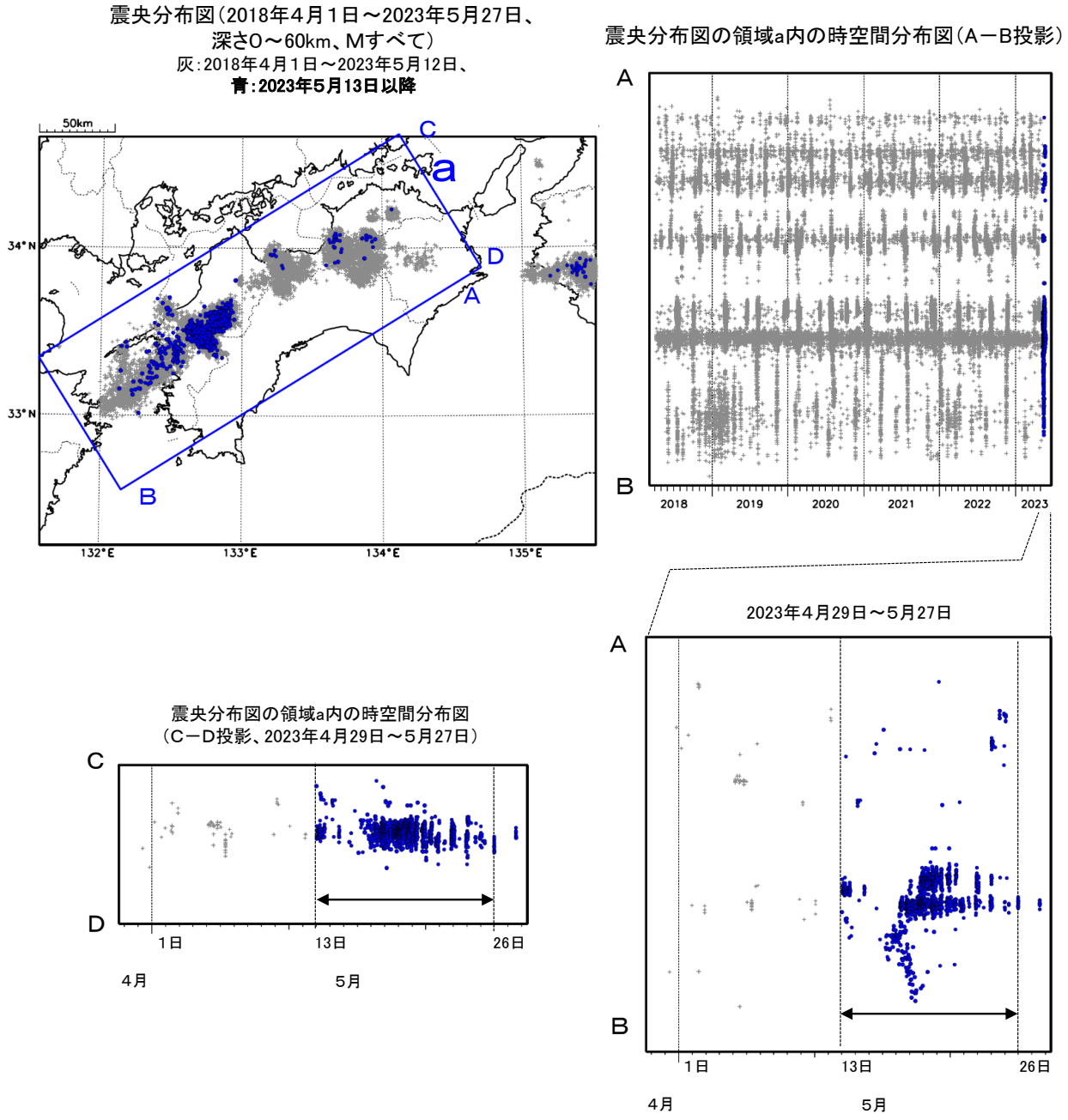
断層モデルの推定は、産総研の解析方法（板場ほか，2012）を参考に以下の2段階で行う。
・断層サイズを20km×20kmに固定し、位置を0.05度単位でグリッドサーチにより推定する。
・その位置を中心にして、他の断層パラメータの最適解を求める。

第 4 図 (b)　つづき
Fig. 4(b)　Continued.

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13日から25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。

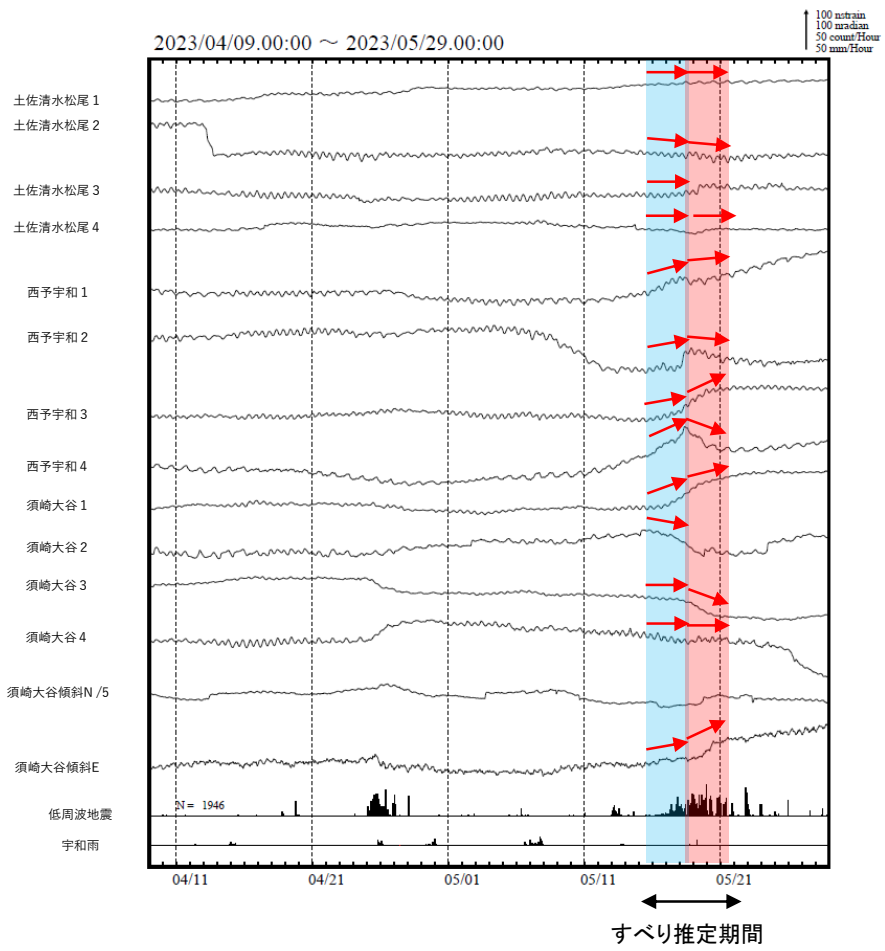
深部低周波地震（微動）活動

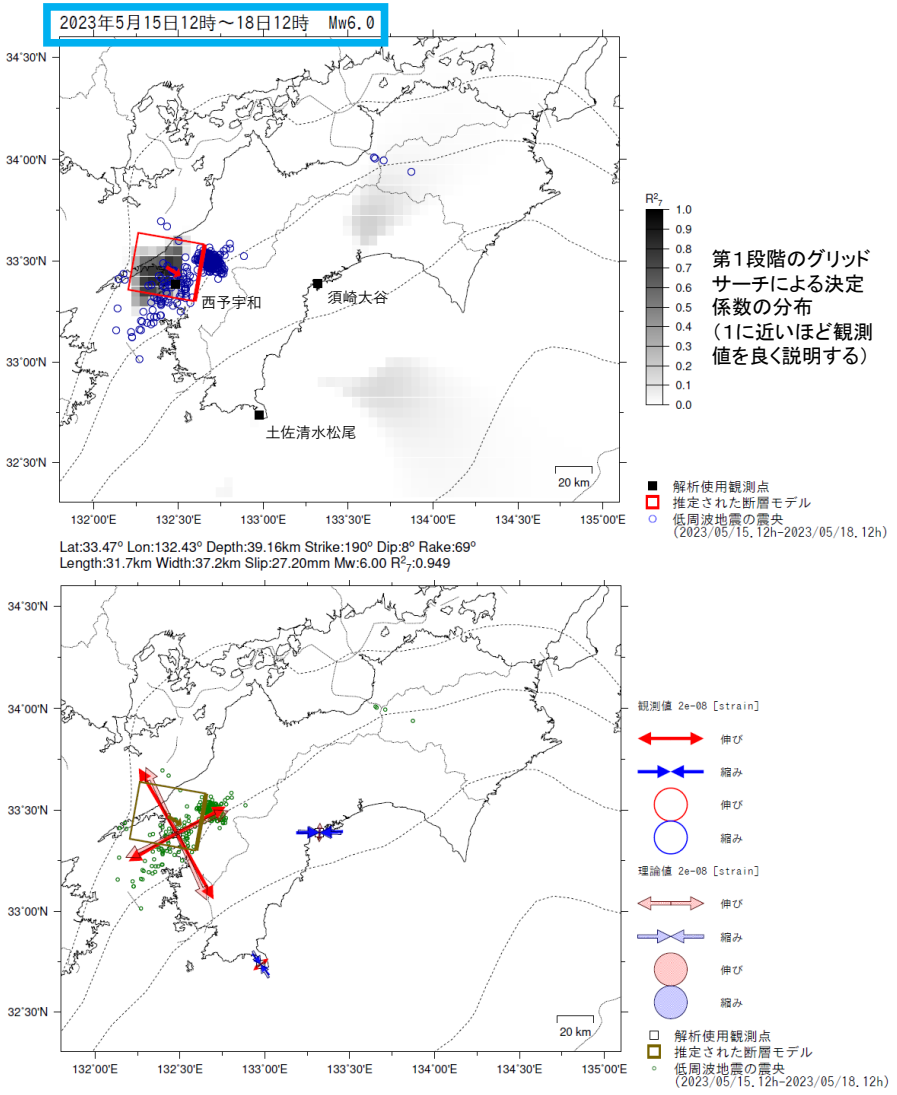


第 5 図 (a)　四国西部の深部低周波地震活動とひずみ変化，及び推定されるゆっくりすべり領域
Fig. 5(a)　Activity of deep low-frequency earthquakes in western part of Shikoku region and strain changes, and the estimated slow slip region.

四国西部で観測した短期的ゆっくりすべり（5月15日～21日）

高知県から愛媛県で観測されたひずみ・傾斜変化

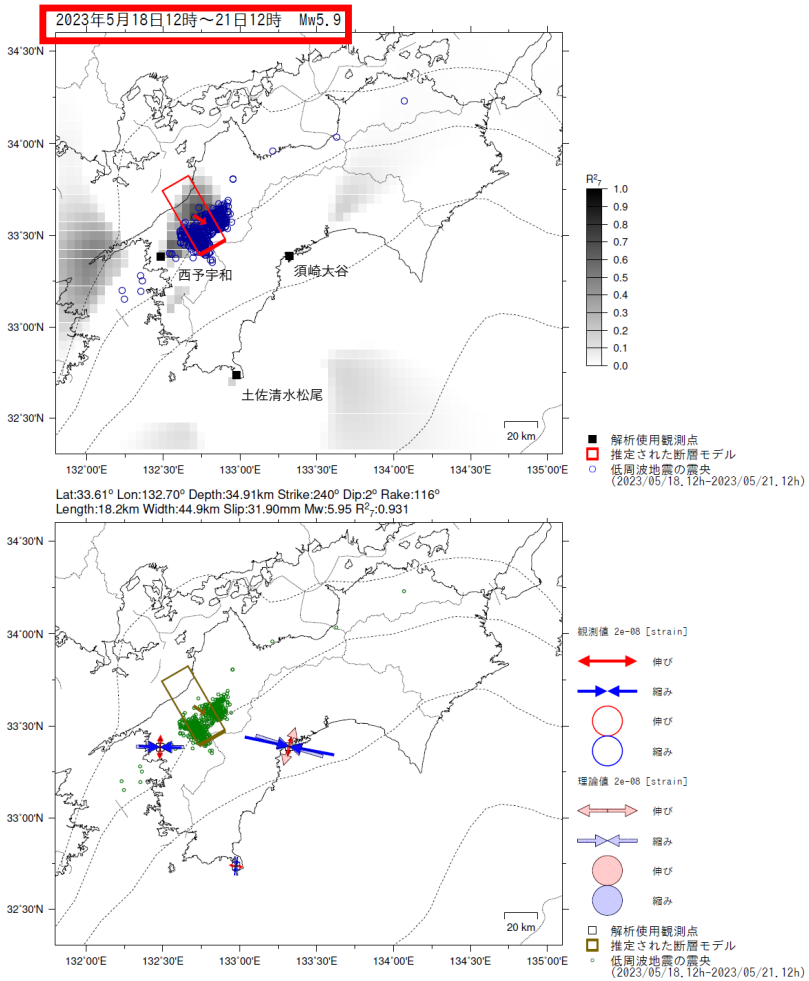




土佐清水松尾、西予宇和及び須崎大谷は産業技術総合研究所のひずみ・傾斜計である。

第 5 図 (b)　つづき
Fig. 5(b)　Continued.

四国西部で観測した短期的ゆっくりすべり（5月15日～21日）



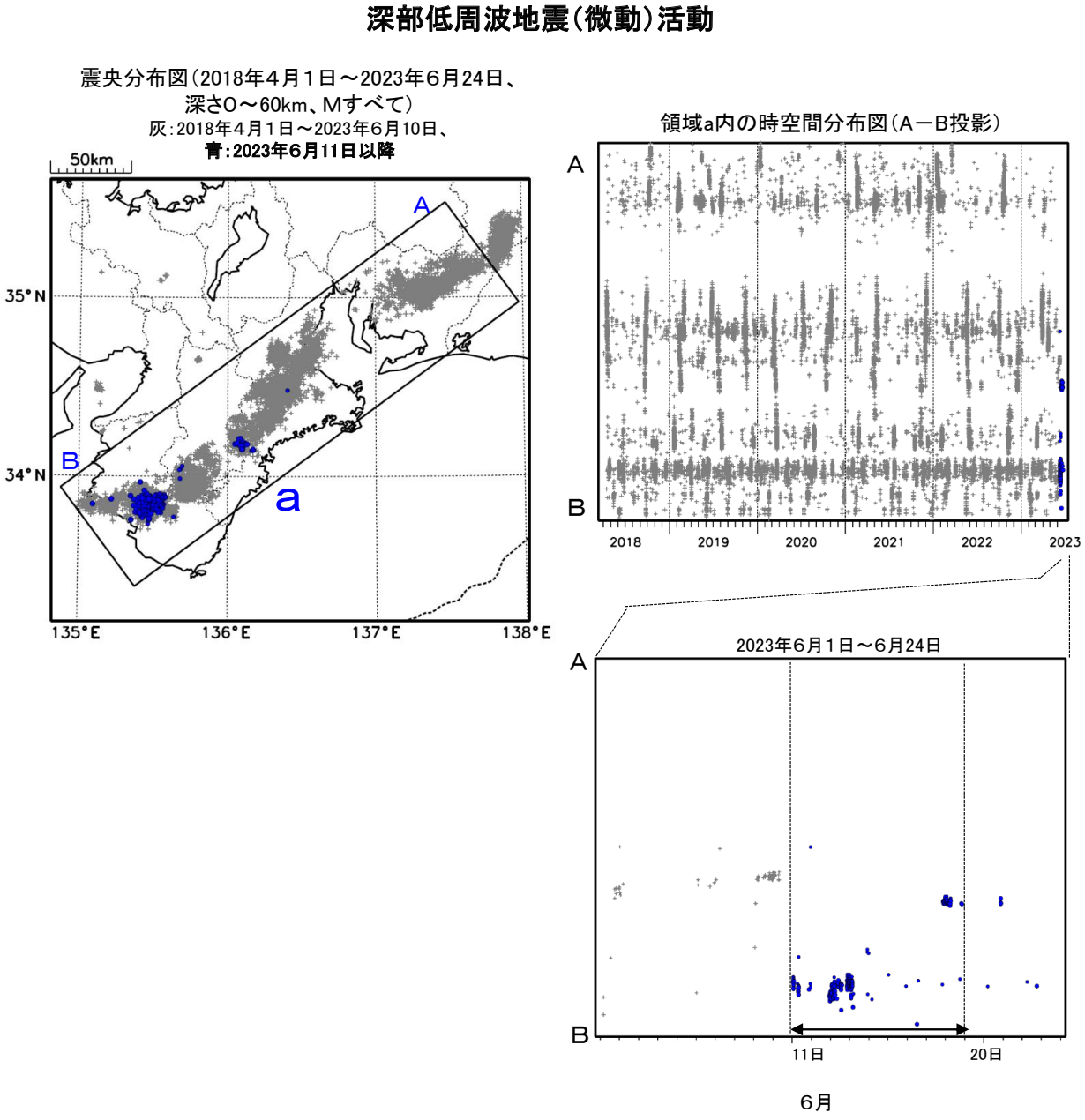
前図に示す観測点での変化量を元にすべり推定を行ったところ、図の場所にすべり域が求まった。

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.

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

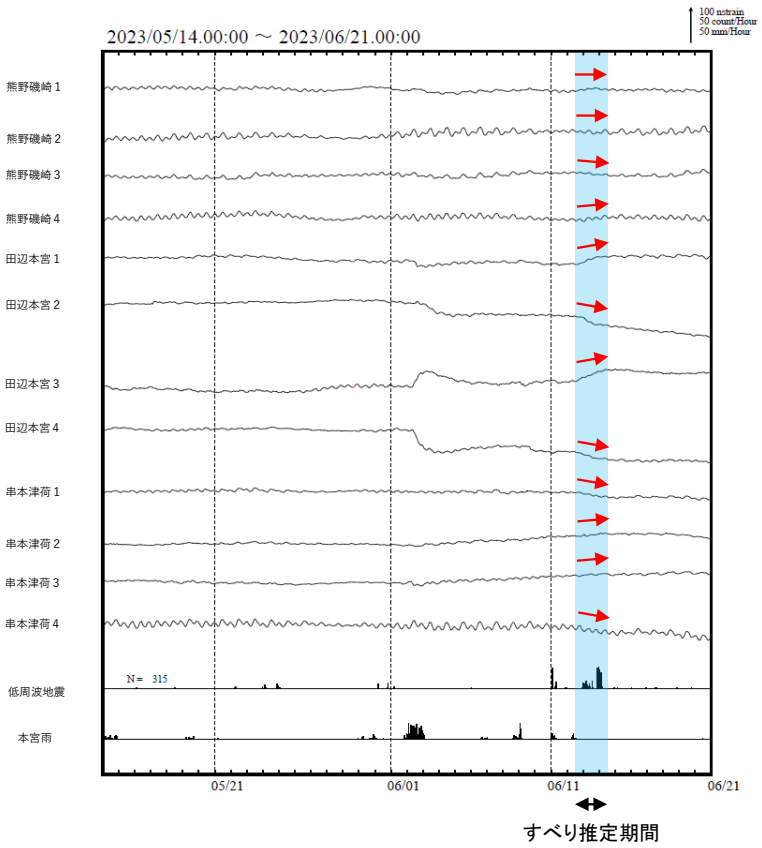
６月11日から19日にかけて、紀伊半島西部で深部低周波地震（微動）を観測した。
深部低周波地震（微動）活動とほぼ同期して、周辺に設置されている複数のひずみ計で地殻変動を観測した。これらは、短期的ゆっくりすべりに起因すると推定される。



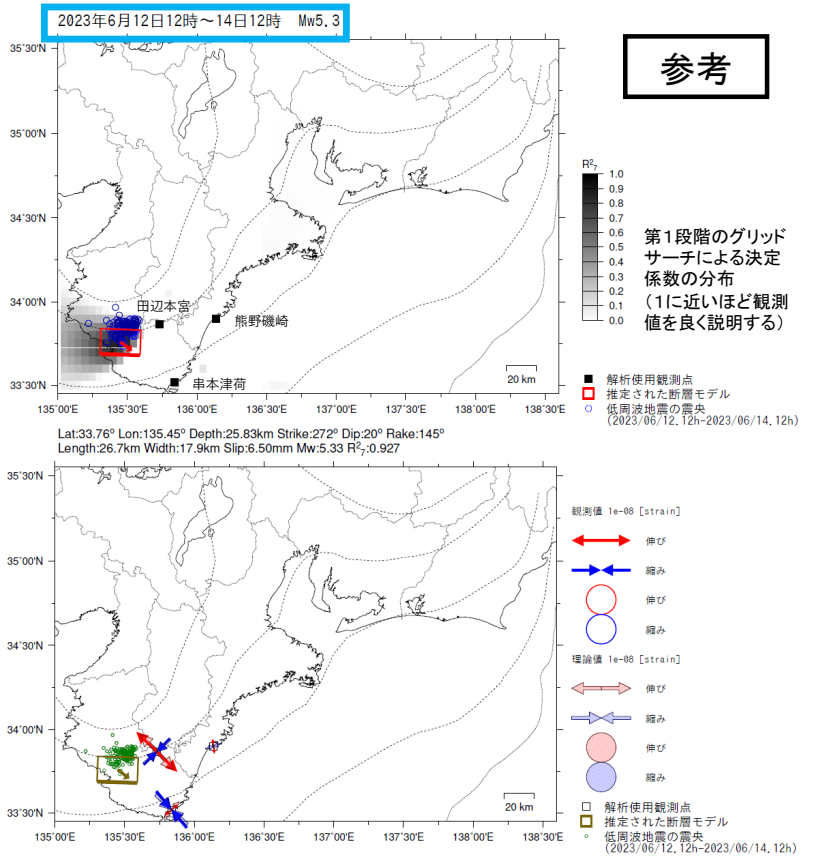
第 6 図 (a)　紀伊半島西部の深部低周波地震活動とひずみ変化，及び推定されるゆっくりすべり領域
Fig. 6(a)　Activity of deep low-frequency earthquakes in western part of Kii Peninsula and strain changes, and the estimated slow slip region.

紀伊半島西部で観測した短期的ゆっくりすべり（6月12日～14日）

三重県から和歌山県で観測されたひずみ変化



熊野磯崎、田辺本宮及び串本津荷は産業技術総合研究所のひずみ計である。



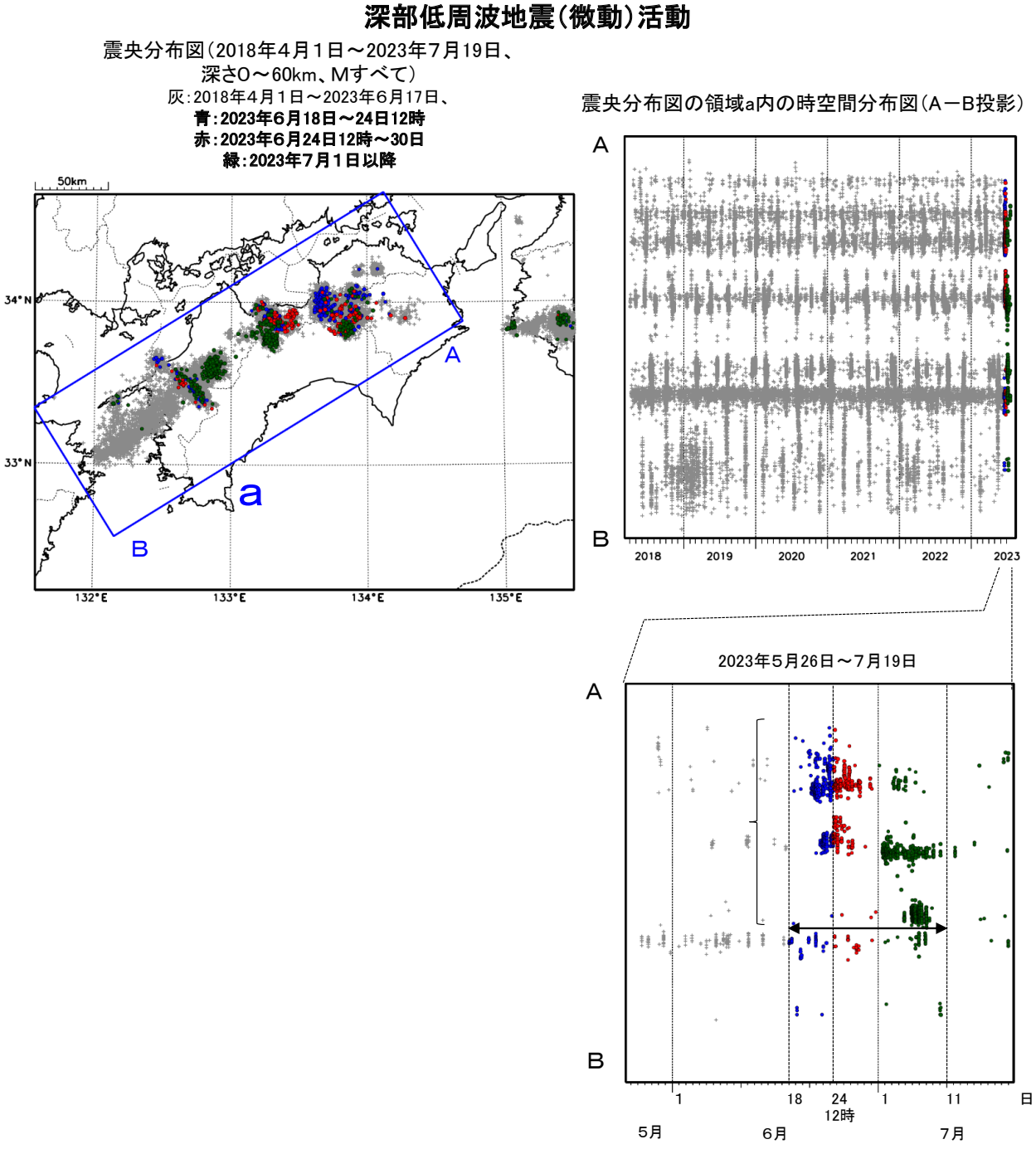
左図に示す観測点での変化量を元にすべり推定を行ったところ、低周波地震とほぼ同じ場所にすべり域が求まった。

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.

四国東部から四国中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18日から７月10日にかけて、四国東部から四国中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。

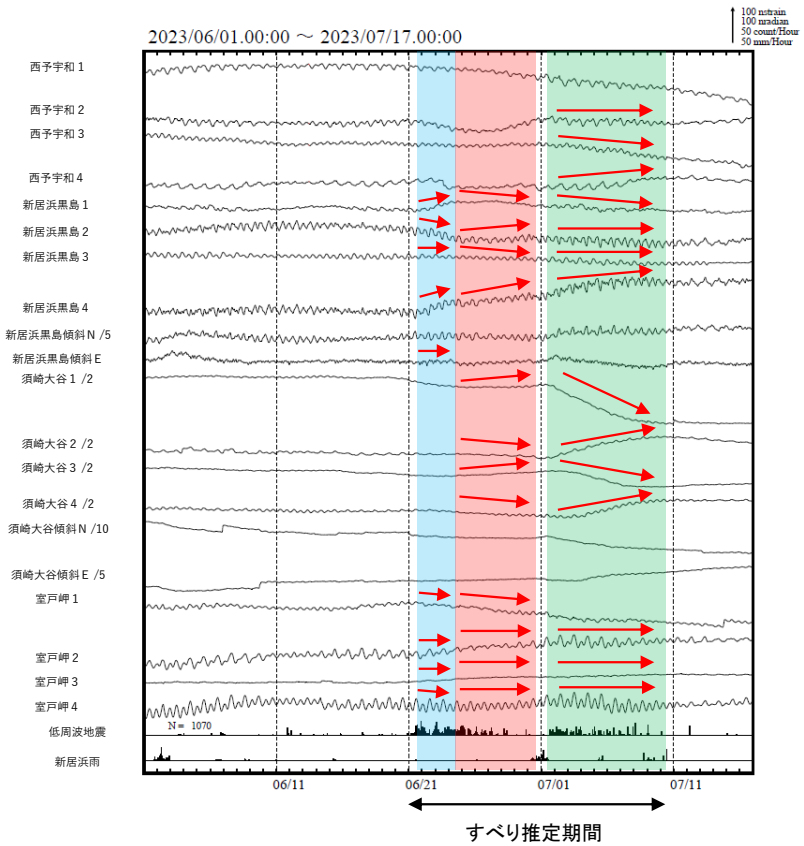


第 7 図 (a)　四国東部から四国中部の深部低周波地震活動とひずみ変化，及び推定されるゆっくりすべり領域

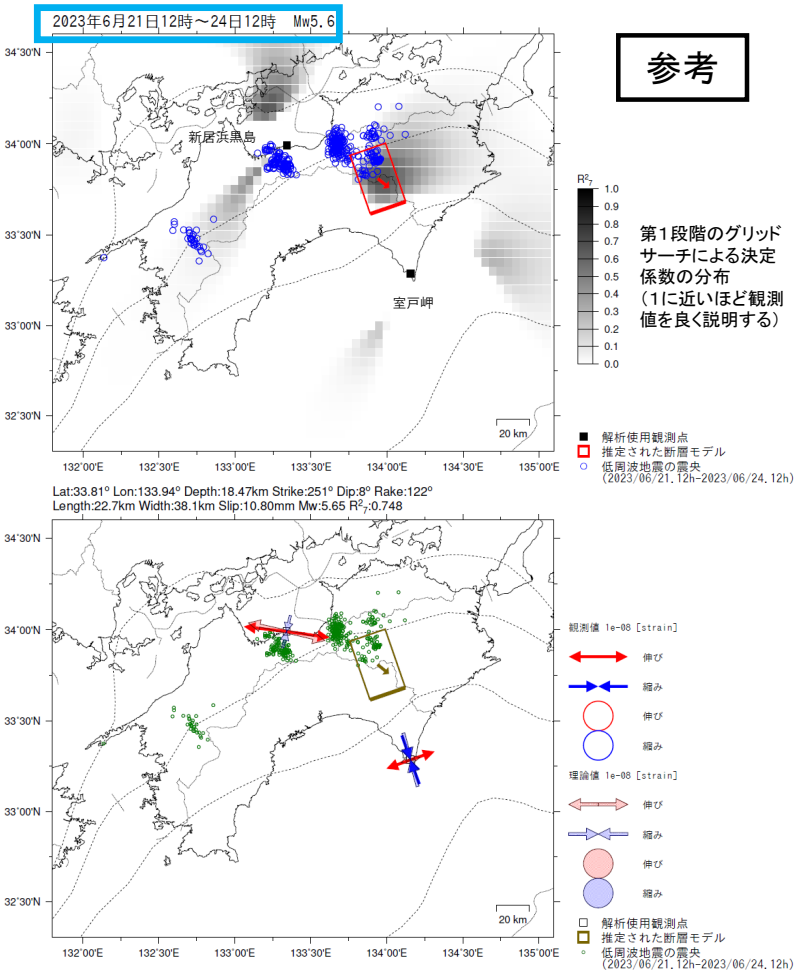
Fig. 7(a)　Activity of deep low-frequency earthquakes in eastern to central part of Shikoku region and strain changes, and the estimated slow slip region.

四国東部から中部で観測した短期的ゆっくりすべり（6月21日～7月10日）

愛媛県から高知県で観測されたひずみ・傾斜変化



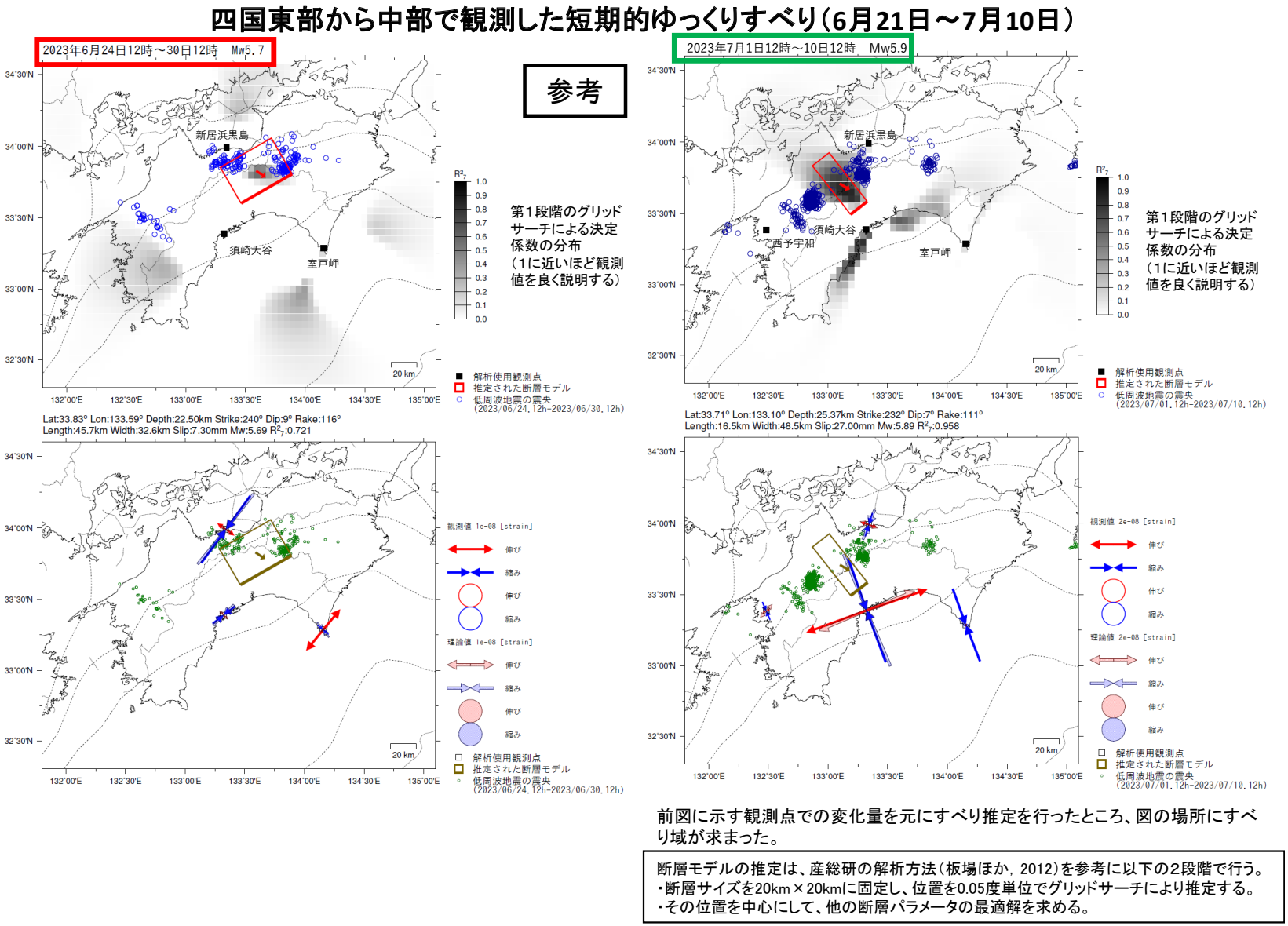
西予宇和、新居浜黒島、須崎大谷及び室戸岬は産業技術総合研究所のひずみ・傾斜計である。



左図に示す観測点での変化量を元にすべり推定を行ったところ、図の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.



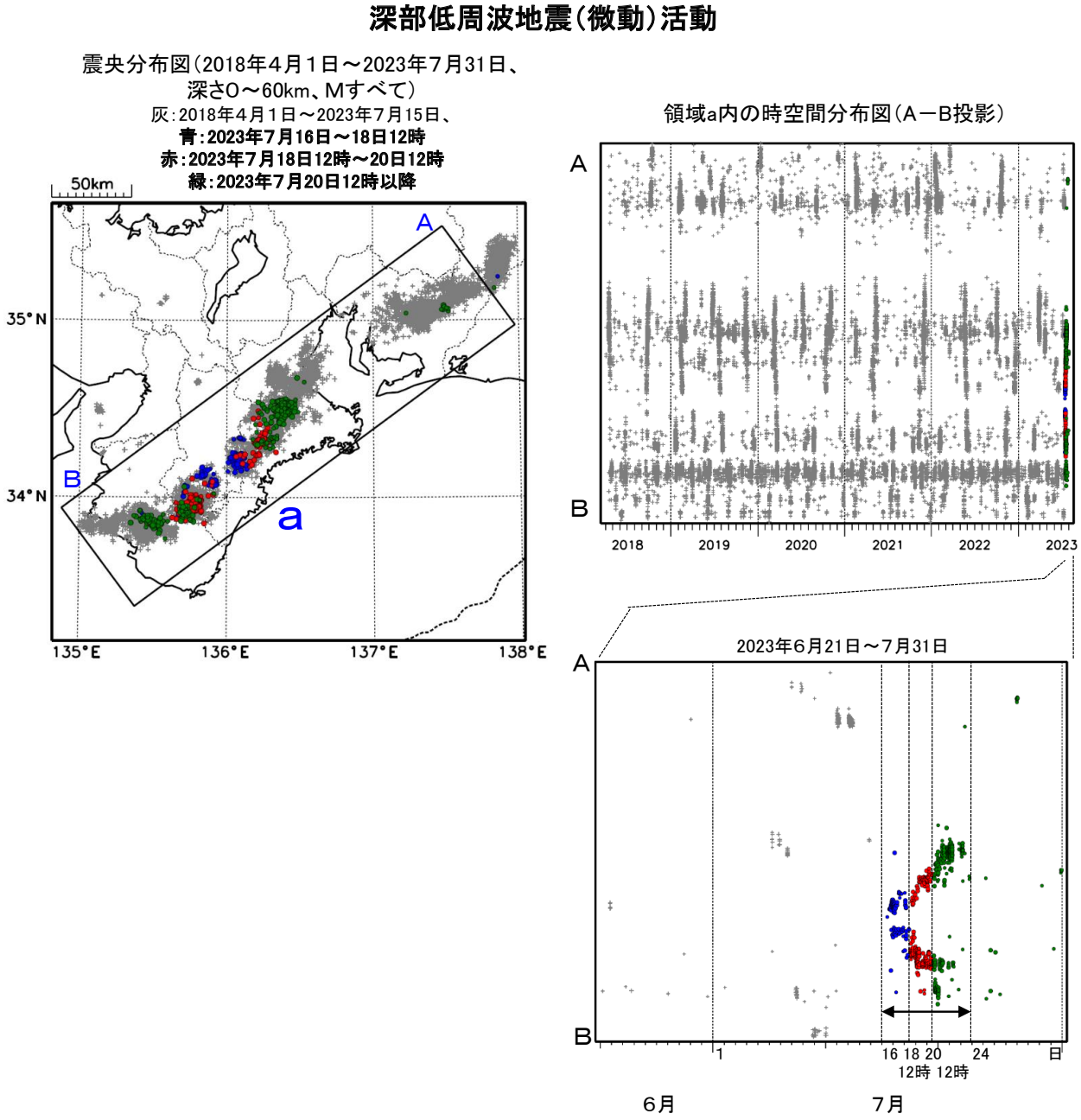
前図に示す観測点での変化量を元にすべり推定を行ったところ、図の場所にすべり域が求まった。

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.

紀伊半島北部から紀伊半島中部の深部低周波地震（微動）活動と短期的ゆっくりすべり

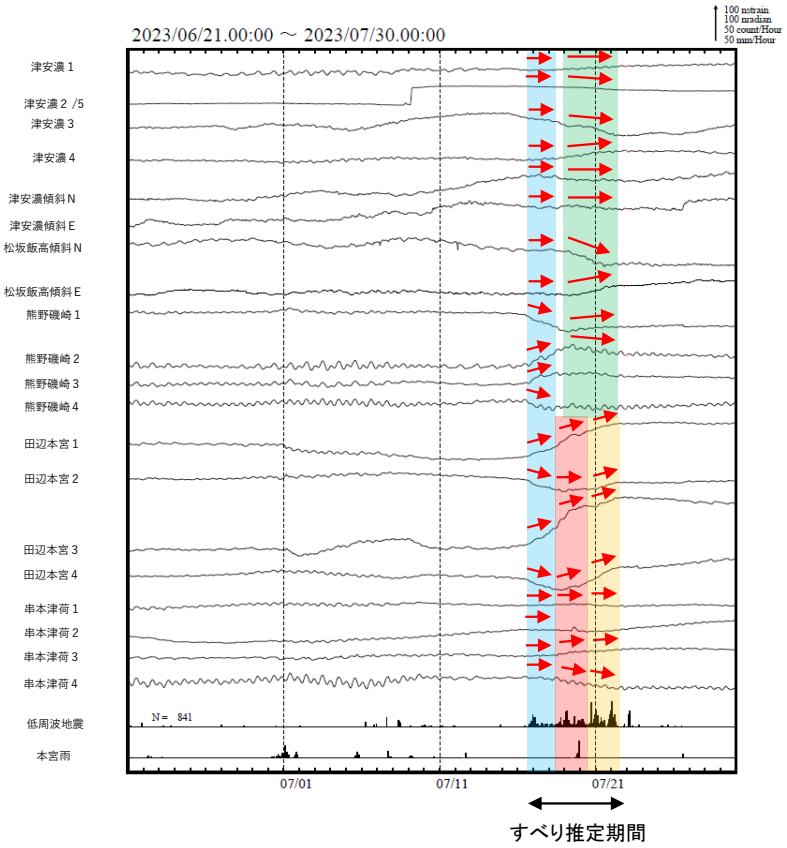
７月16日から23日にかけて、紀伊半島北部から紀伊半島中部で深部低周波地震（微動）を観測した。
深部低周波地震（微動）活動とほぼ同期して、周辺に設置されている複数のひずみ計で地殻変動を観測した。これらは、短期的ゆっくりすべりに起因すると推定される。

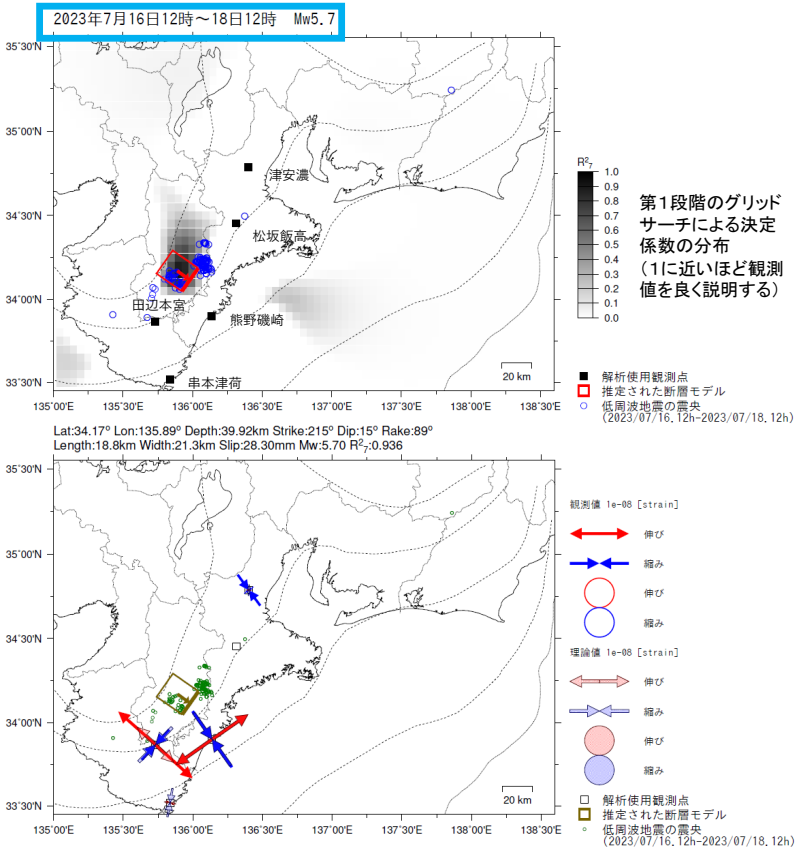


第 8 図 (a)　紀伊半島北部から紀伊半島中部の深部低周波地震活動とひずみ変化，及び推定されるゆっくりすべり領域
Fig. 8(a)　Activity of deep low-frequency earthquakes in northern to central part of Kii Peninsula and strain changes, and the estimated slow slip region.

紀伊半島北部から中部で観測した短期的ゆっくりすべり（7月16日～22日）

三重県から和歌山県で観測されたひずみ・傾斜変化





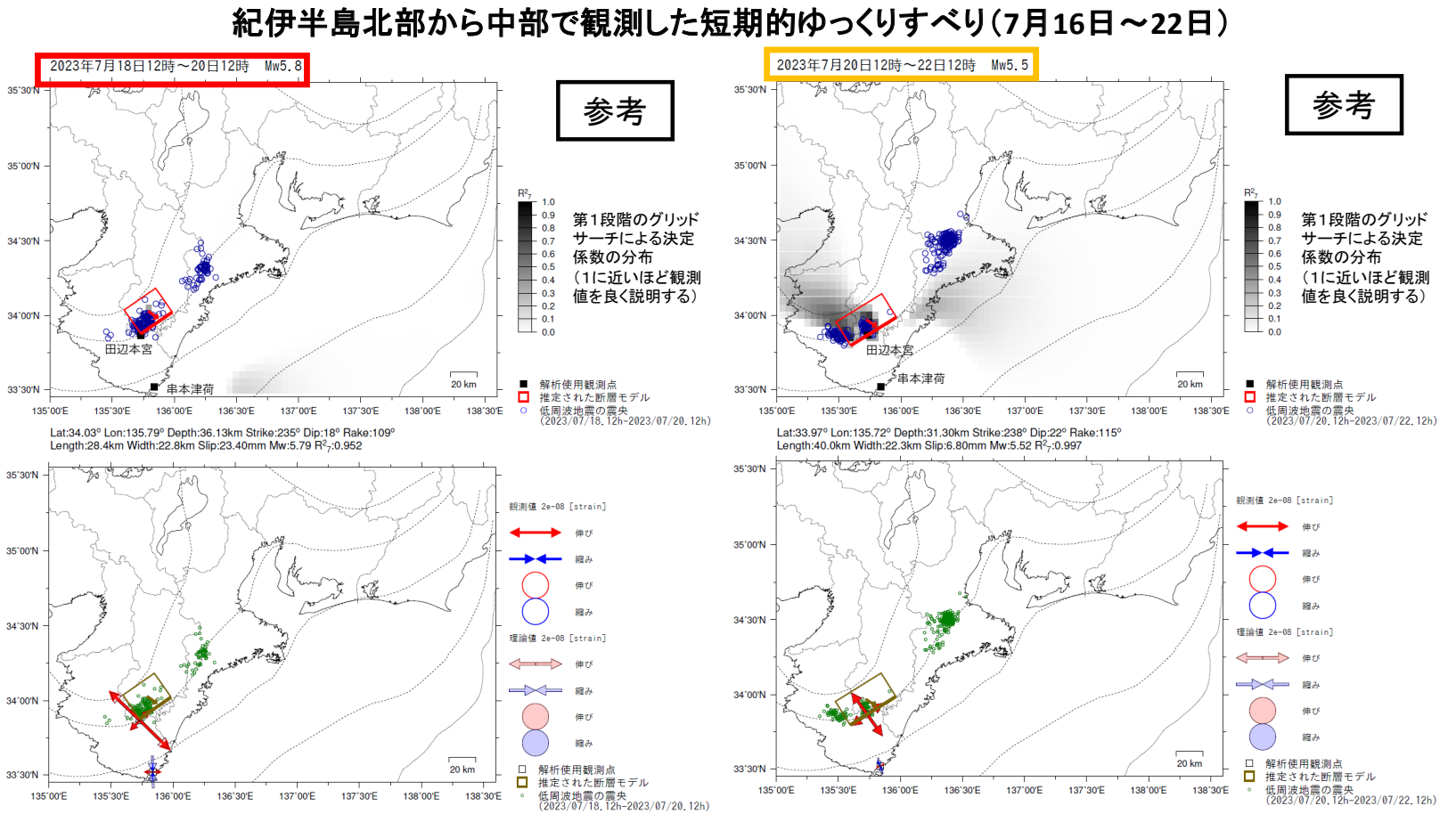
第1段階のグリッドサーチによる決定係数の分布（1に近いほど観測値を良く説明する）

津安濃、松坂飯高、熊野磯崎、田辺本宮及び串本津荷は産業技術総合研究所のひずみ・傾斜計である。

左図に示す観測点での変化量を元にすべり推定を行ったところ、図の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.

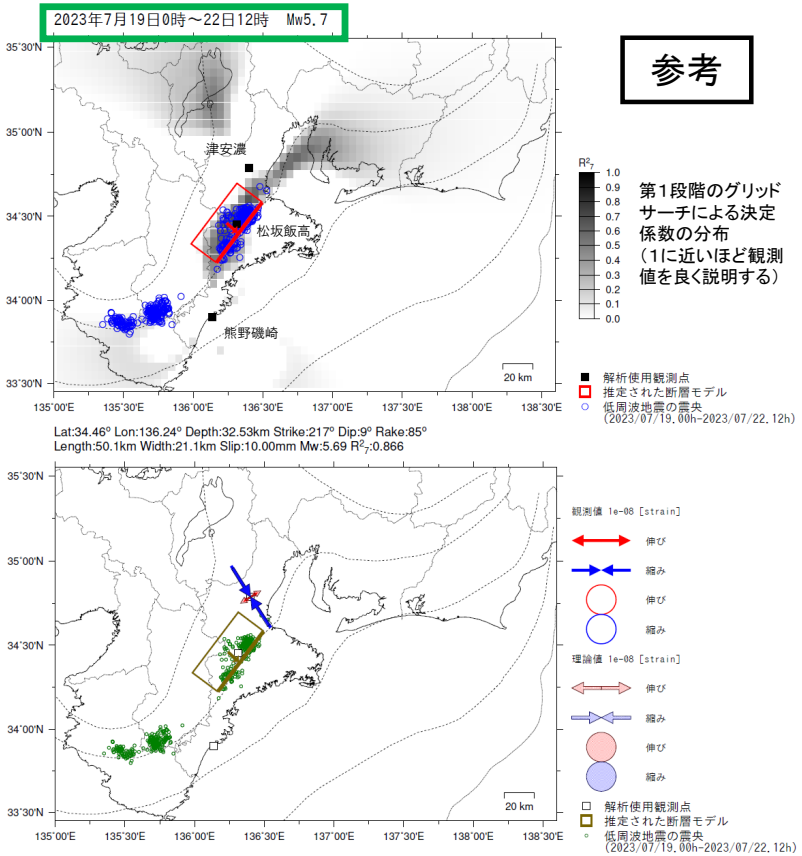


前図に示す観測点での変化量を元にすべり推定を行ったところ、図の場所にすべり域が求まった。

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.

紀伊半島北部から中部で観測した短期的ゆっくりすべり（7月16日～22日）



前図に示す観測点での変化量を元にすべり推定を行ったところ、図の場所にすべり域が求まった。

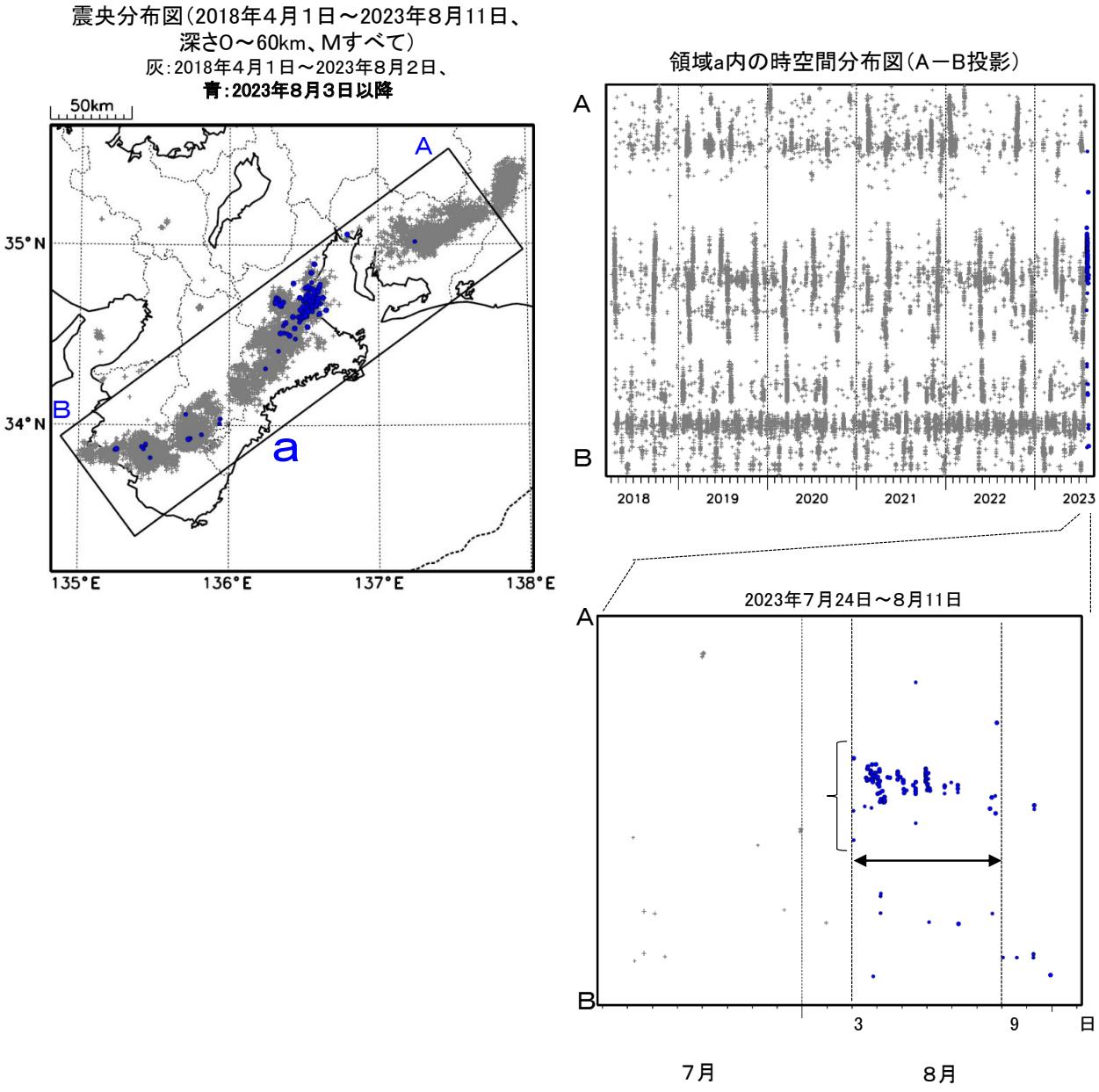
断層モデルの推定は、産総研の解析方法（板場ほか，2012）を参考に以下の2段階で行う。
・断層サイズを20km×20kmに固定し、位置を0.05度単位でグリッドサーチにより推定する。
・その位置を中心にして、他の断層パラメータの最適解を求める。

第 8 図 (b)　つづき
Fig. 8(b)　Continued.

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

８月３日から８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。
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・傾斜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。

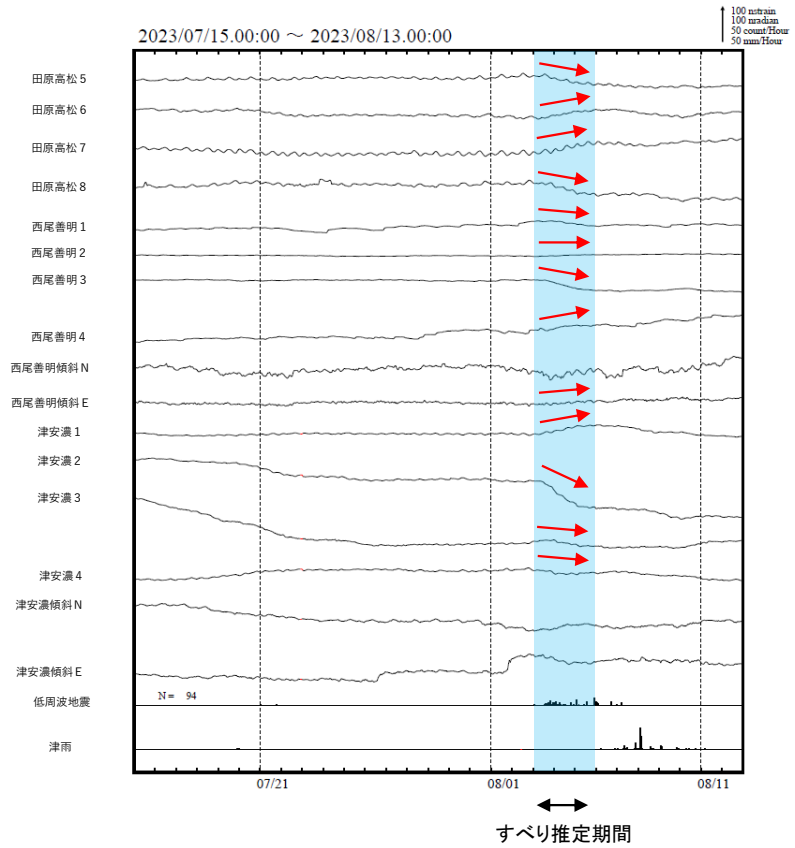
深部低周波地震（微動）活動



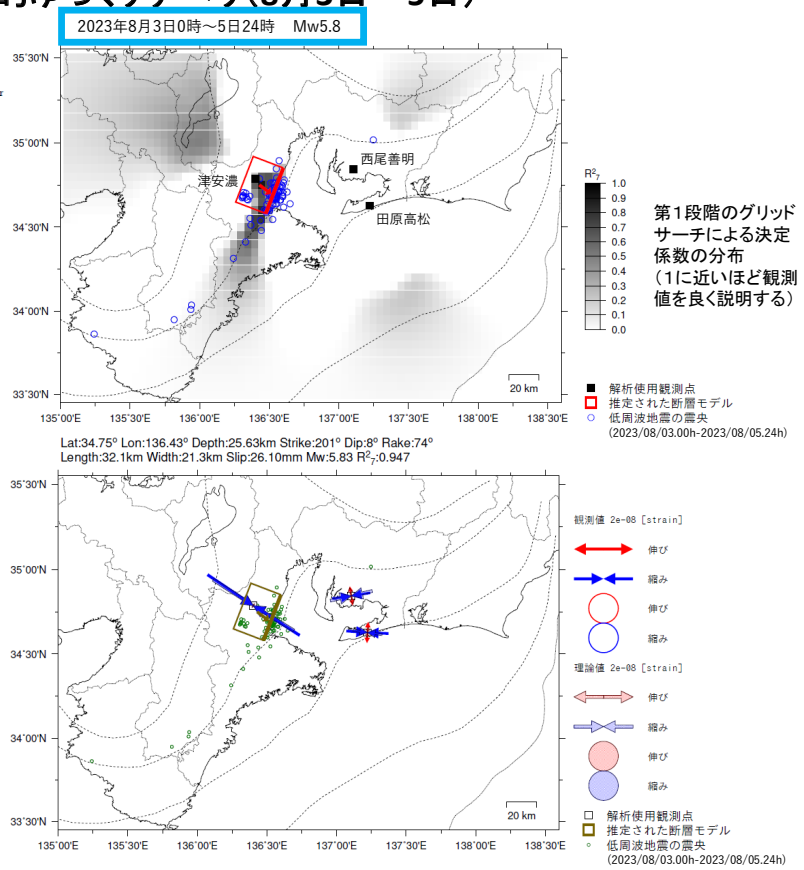
第 9 図 (a)　紀伊半島北部の深部低周波地震活動とひずみ変化，及び推定されるゆっくりすべり領域
Fig. 9(a)　Activity of deep low-frequency earthquakes in northern part of Kii Peninsula and strain changes, and the estimated slow slip region.

紀伊半島北部で観測した短期的ゆっくりすべり（8月3日～5日）

愛知県から三重県で観測されたひずみ・傾斜変化



西尾善明及び津安濃は産業技術総合研究所のひずみ・傾斜計である。



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）

左図に示す観測点での変化量を元にすべり推定を行ったところ、図の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。

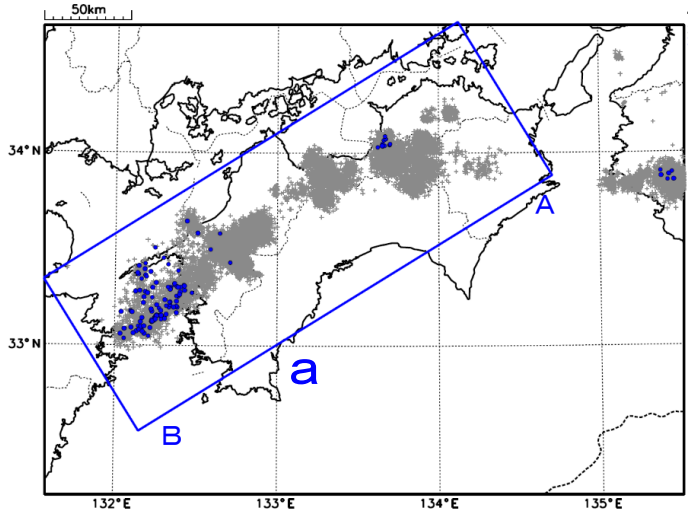
第 9 図 (b)　つづき
Fig. 9(b)　Continued.

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

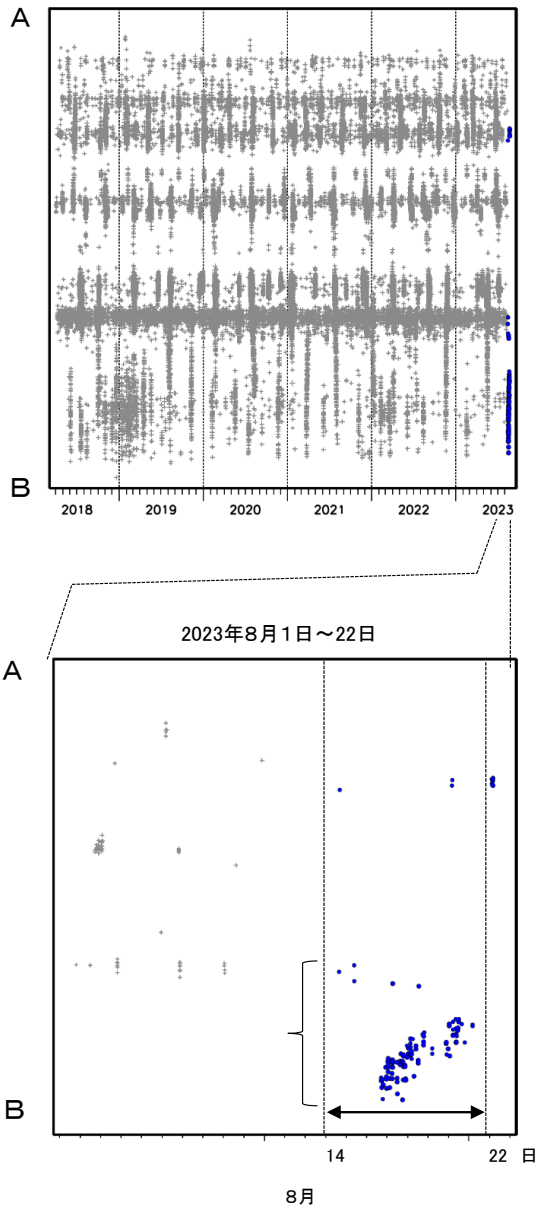
８月14日から21日にかけて、四国西部で深部低周波地震（微動）を観測した。
深部低周波地震（微動）活動とほぼ同期して、周辺に設置されている複数のひずみ計で地殻変動を観測した。これらは、短期的ゆっくりすべりに起因すると推定される。

深部低周波地震（微動）活動

震央分布図（2018年４月１日～2023年８月22日、
深さ0～60km、Mすべて）
灰：2018年４月１日～2023年８月13日、
青：2023年８月14日以降



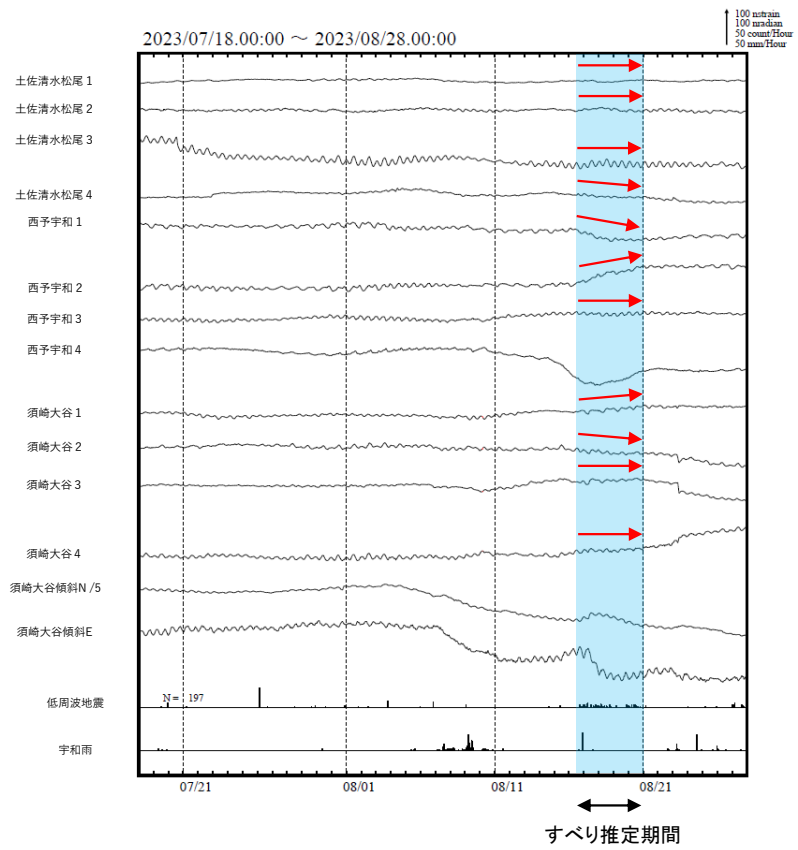
震央分布図の領域a内の時空間分布図（A－B投影）



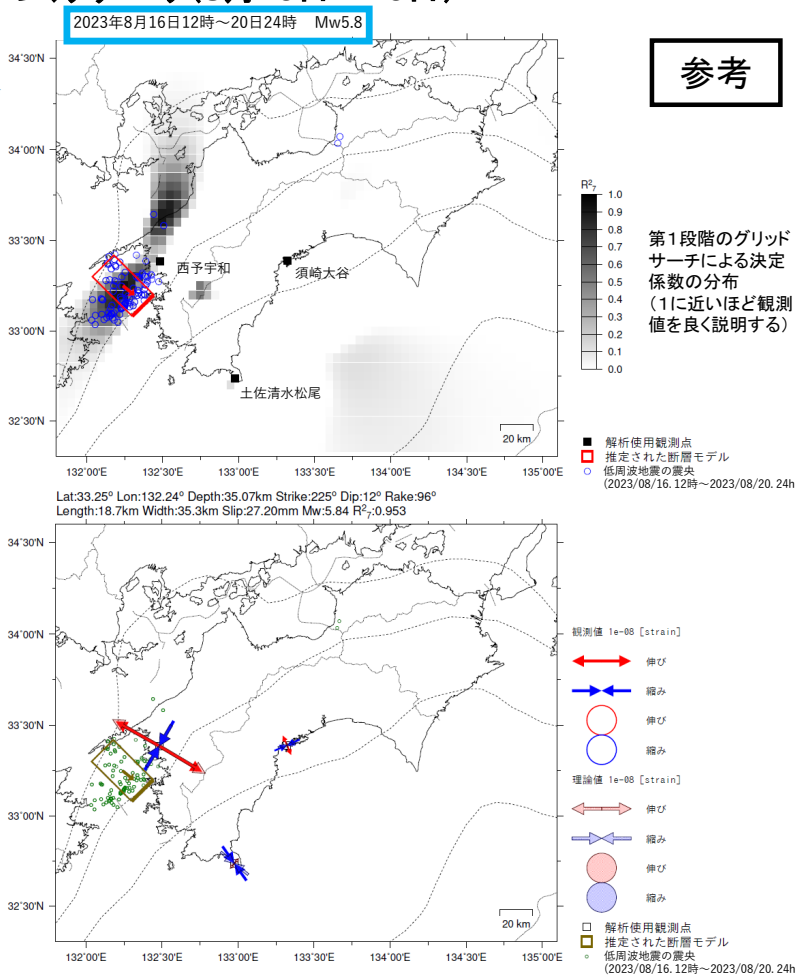
第 10 図 (a)　四国西部の深部低周波地震活動とひずみ変化，及び推定されるゆっくりすべり領域
Fig. 10(a)　Activity of deep low-frequency earthquakes in western part of Shikoku region and strain changes, and the estimated slow slip region.

四国西部で観測した短期的ゆっくりすべり（8月16日～20日）

高知県から愛媛県で観測されたひずみ・傾斜変化



土佐清水松尾、西予宇和及び須崎大谷は産業技術総合研究所のひずみ・傾斜計である。



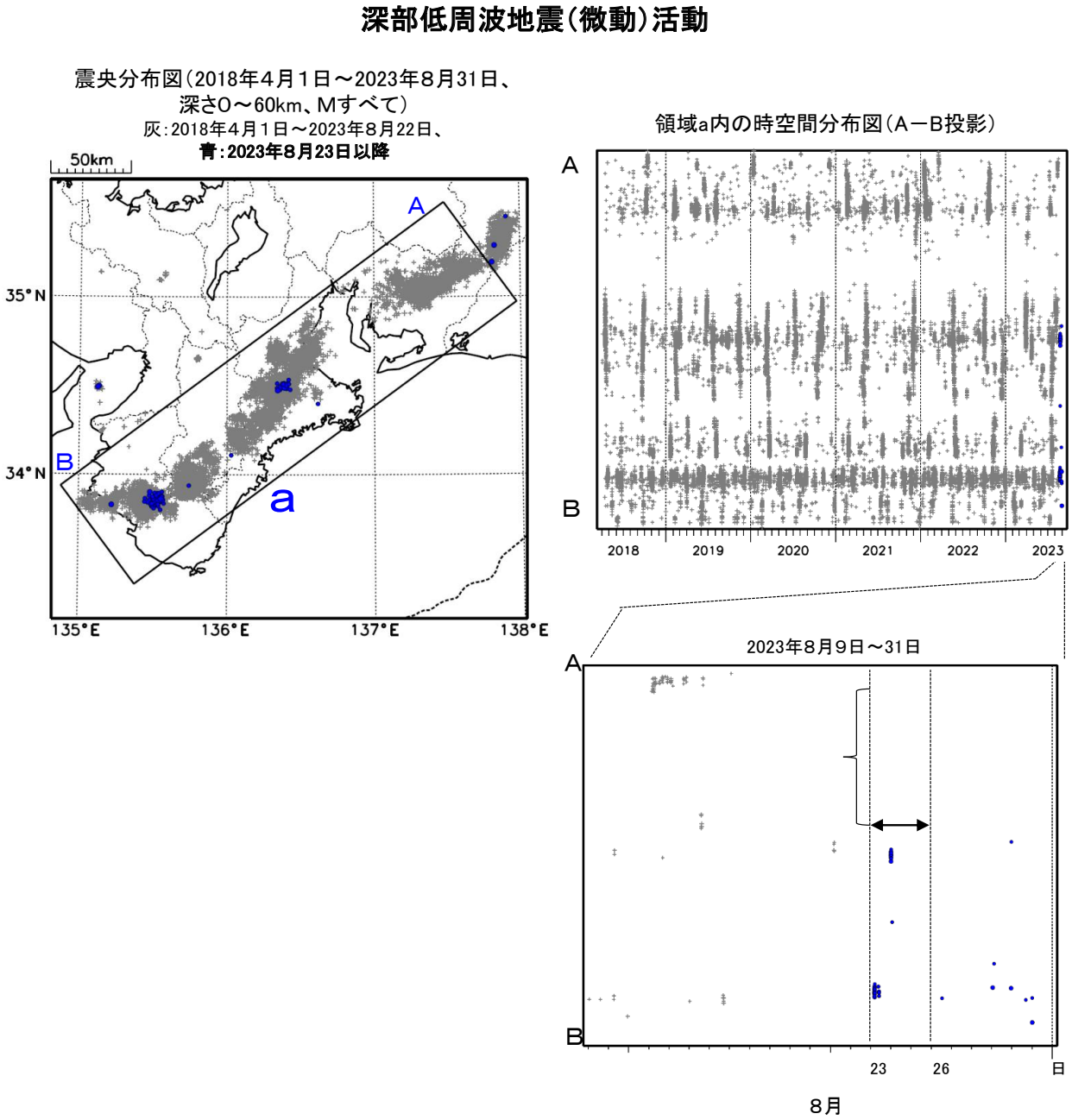
左図に示す観測点での変化量を元にすべり推定を行ったところ、図の場所にすべり域が求まった。

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.

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23日から25日にかけて、伊勢湾周辺に設置されている複数のひずみ・傾斜計で地殻変動を観測した。これは、短期的ゆっくりすべりに起因すると推定される。なお、対応する深部低周波地震（微動）活動は観測されていない。

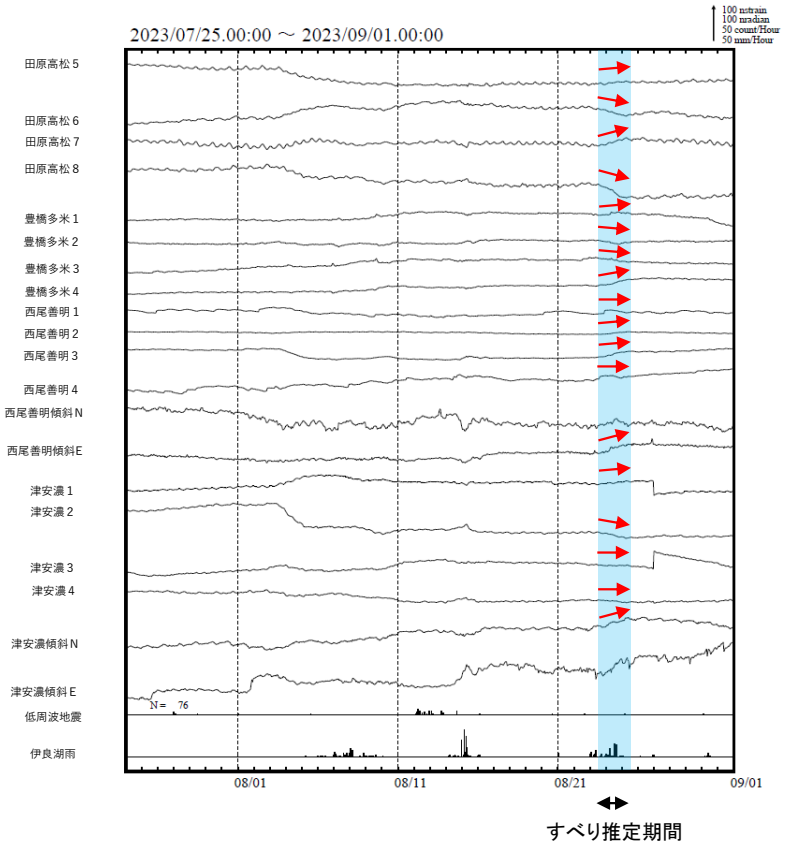


第 11 図 (a)　東海の深部低周波地震活動とひずみ変化，及び推定されるゆっくりすべり領域

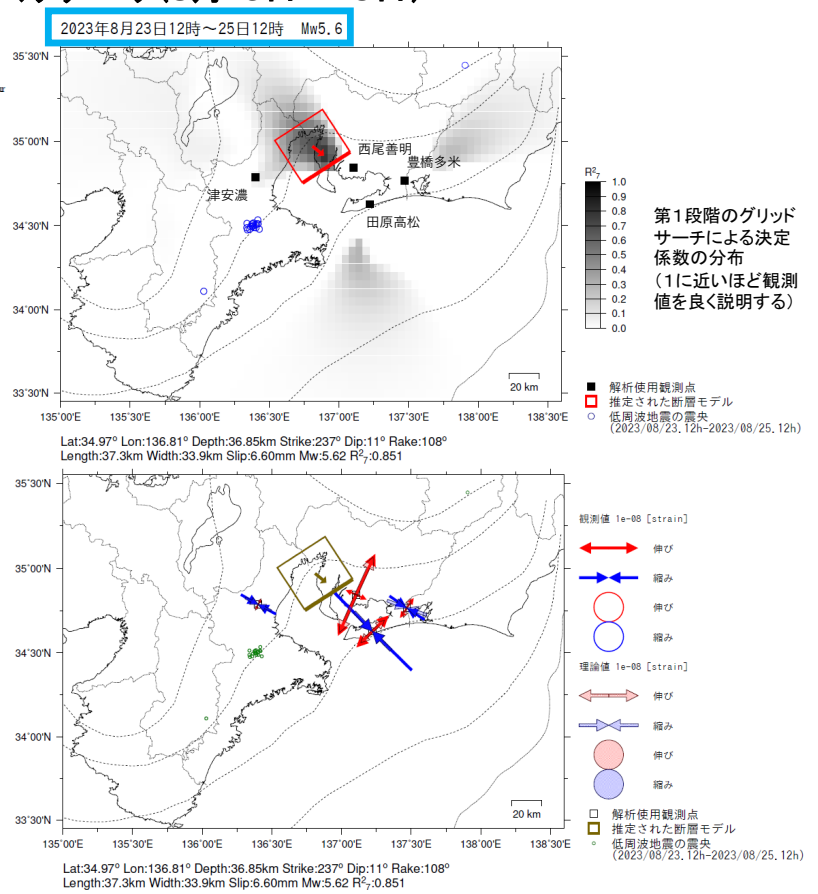
Fig. 11(a)　Activity of deep low-frequency earthquakes in Tokai region and strain changes, and the estimated slow slip region.

東海で観測した短期的ゆっくりすべり（8月23日～25日）

愛知県から三重県で観測されたひずみ・傾斜変化



豊橋多米、西尾善明及び津安濃は産業技術総合研究所のひずみ・傾斜計である。



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）

左図に示す観測点での変化量を元にすべり推定を行ったところ、図の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 11 図 (b)　つづき
Fig. 11(b)　Continued.

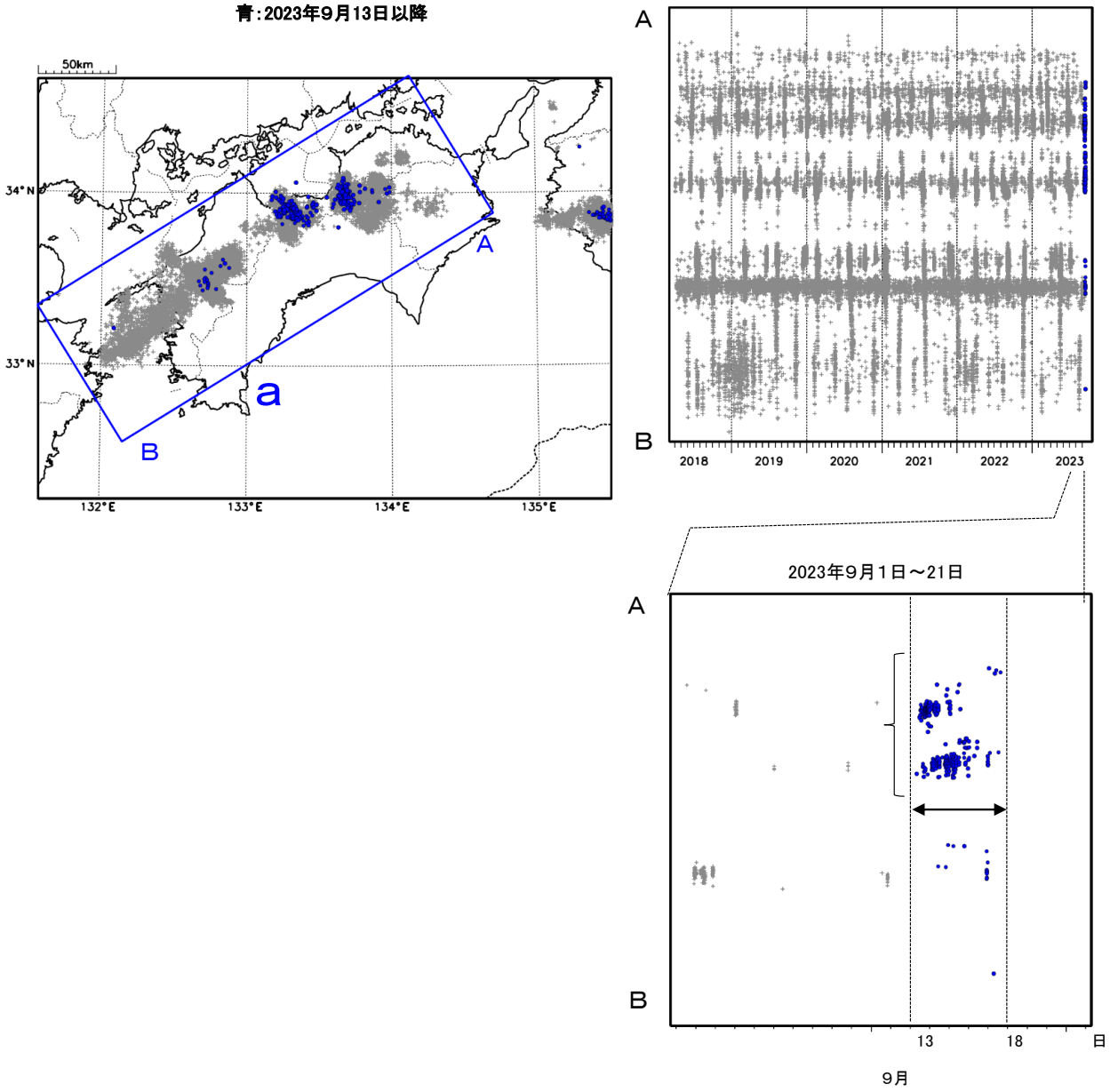
四国東部から四国中部の深部低周波地震（微動）活動と短期的ゆっくりすべり

９月13日から17日にかけて、四国東部から四国中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。

深部低周波地震（微動）活動

震央分布図（2018年４月１日～2023年９月21日、
深さ0～60km、Mすべて）
灰：2018年４月１日～2023年８月13日、
青：2023年９月13日以降

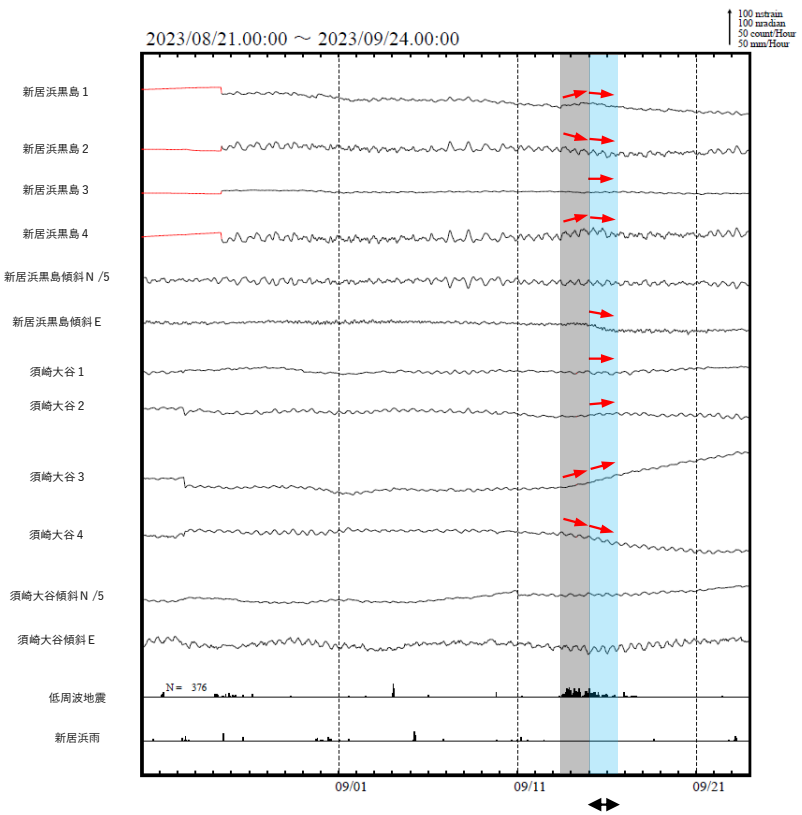
震央分布図の領域a内の時空間分布図（A－B投影）



第 12 図 (a)　四国東部から四国中部の深部低周波地震活動ひずみ変化，及び推定されるゆっくりすべり領域
Fig. 12(a)　Activity of deep low-frequency earthquakes in eastern to central part of Shikoku region and strain changes, and the estimated slow slip region.

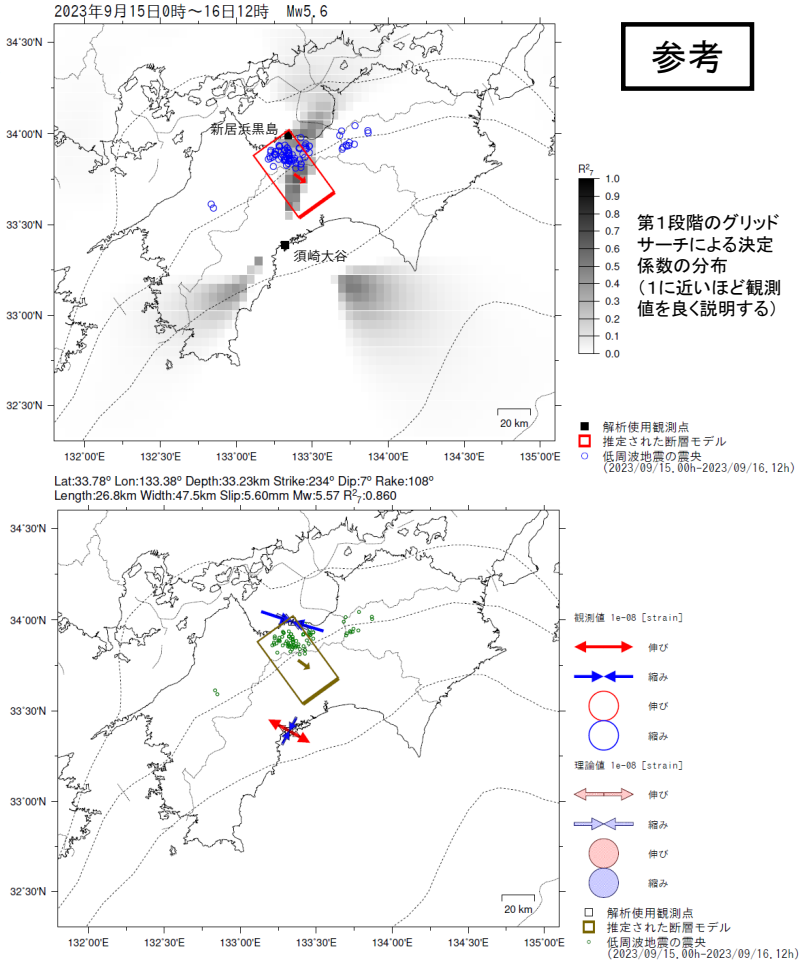
四国東部から中部で観測した短期的ゆっくりすべり（9月13日～16日）

愛媛県から高知県で観測されたひずみ・傾斜変化



新居浜黒島及び須崎大谷は産業技術総合研究所のひずみ・傾斜計である。

グラフ中の灰色で示す期間については、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。



左図に示す観測点での変化量を元にすべり推定を行ったところ、図の場所にすべり域が求まった。

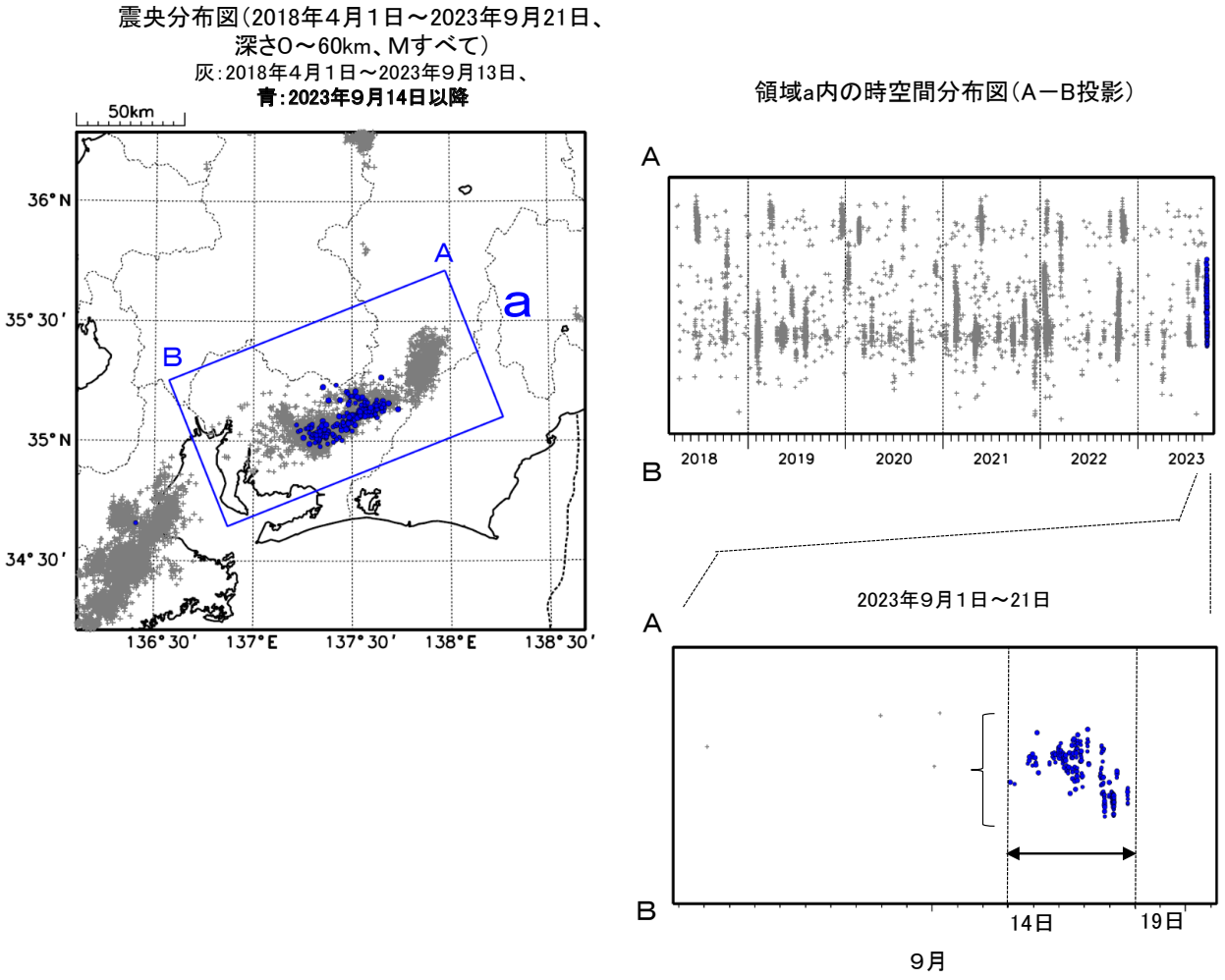
断層モデルの推定は、産総研の解析方法（板場ほか，2012）を参考に以下の2段階で行う。
・断層サイズを20km×20kmに固定し、位置を0.05度単位でグリッドサーチにより推定する。
・その位置を中心にして、他の断層パラメータの最適解を求める。

第 12 図 (b)　つづき
Fig. 12(b)　Continued.

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14日から18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。

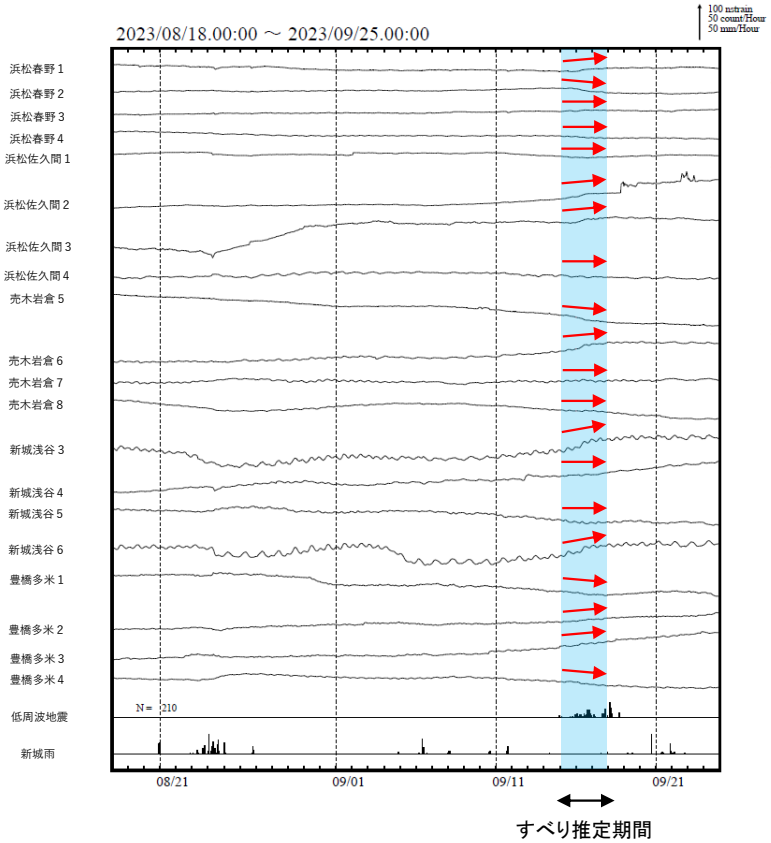
深部低周波地震（微動）活動



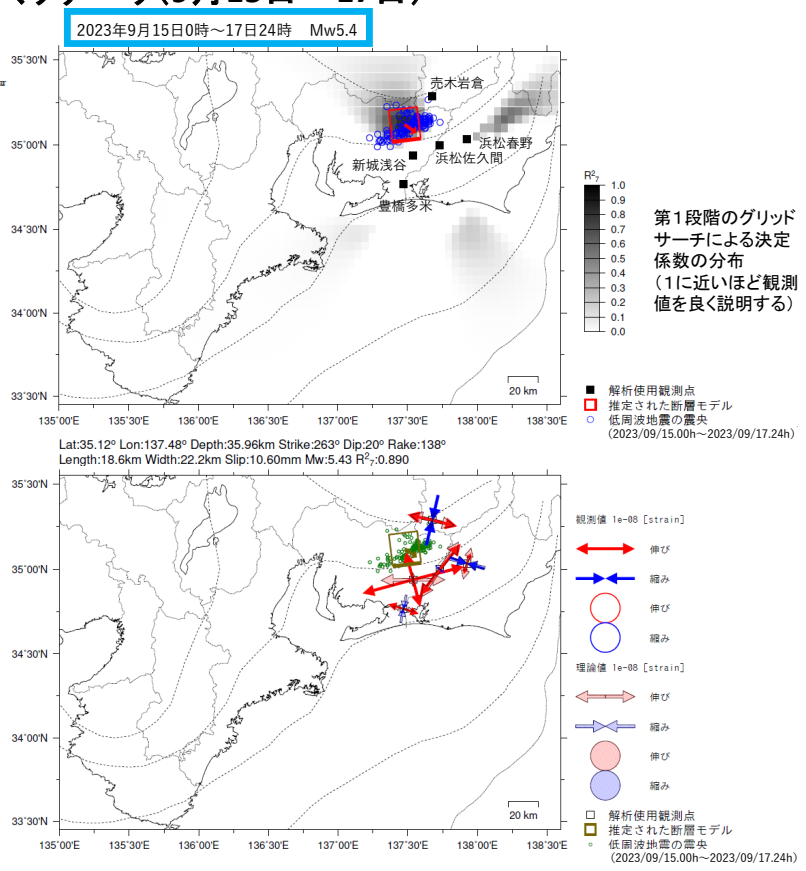
第 13 図 (a)　東海の深部低周波地震活動とひずみ変化，及び推定されるゆっくりすべり領域
Fig. 13(a)　Activity of deep low-frequency earthquakes in Tokai region and strain changes, and the estimated slow slip region.

東海で観測した短期的ゆっくりすべり（9月15日～17日）

静岡県から愛知県で観測されたひずみ変化



豊橋多米は産業技術総合研究所のひずみ計である。



左図に示す観測点での変化量を元にすべり推定を行ったところ、図の場所にすべり域が求まった。

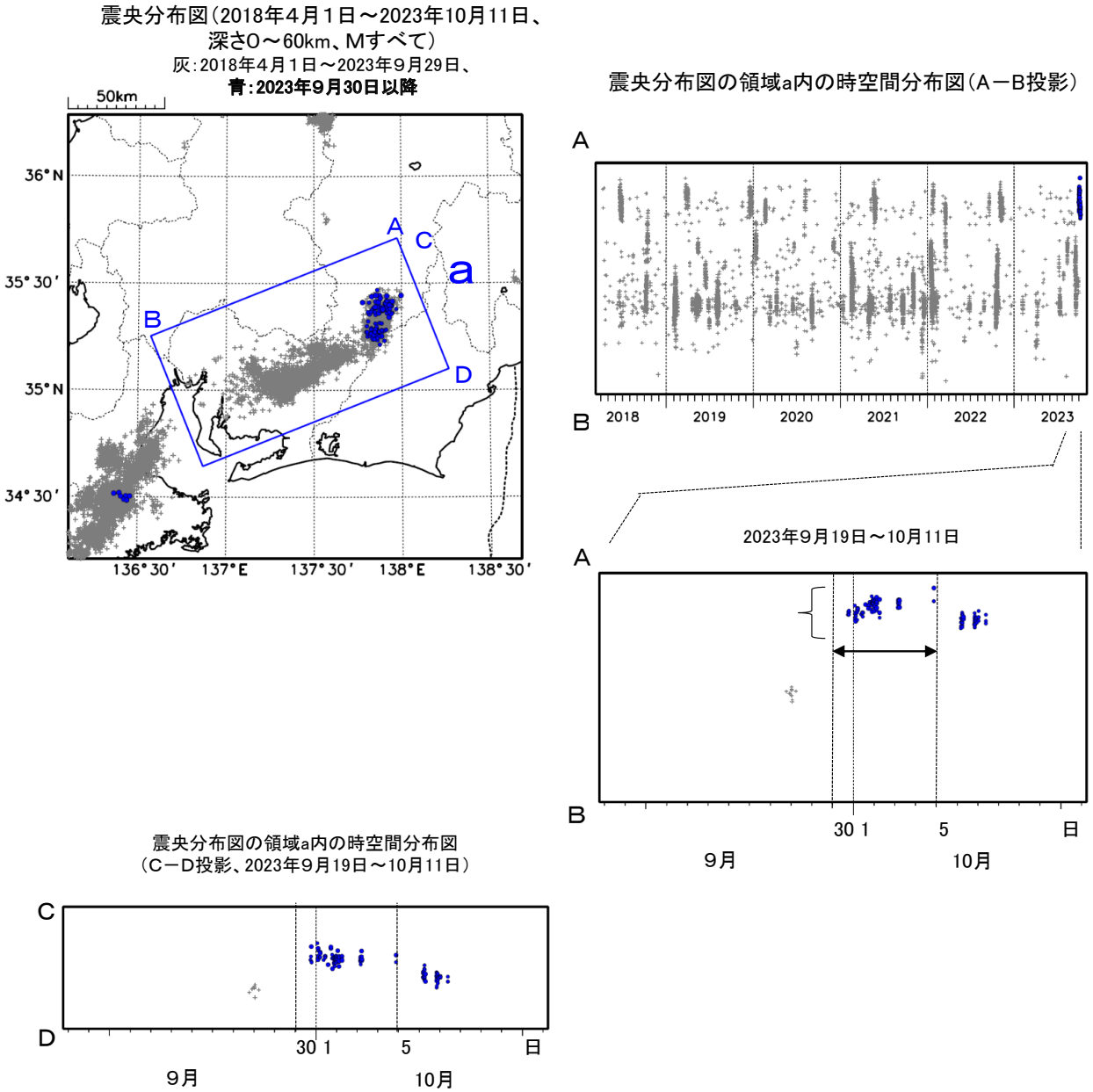
断層モデルの推定は、産総研の解析方法（板場ほか，2012）を参考に以下の2段階で行う。
・断層サイズを20km×20kmに固定し、位置を0.05度単位でグリッドサーチにより推定する。
・その位置を中心にして、他の断層パラメータの最適解を求める。

第 13 図 (b)　つづき
Fig. 13(b)　Continued.

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30日から10月４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。

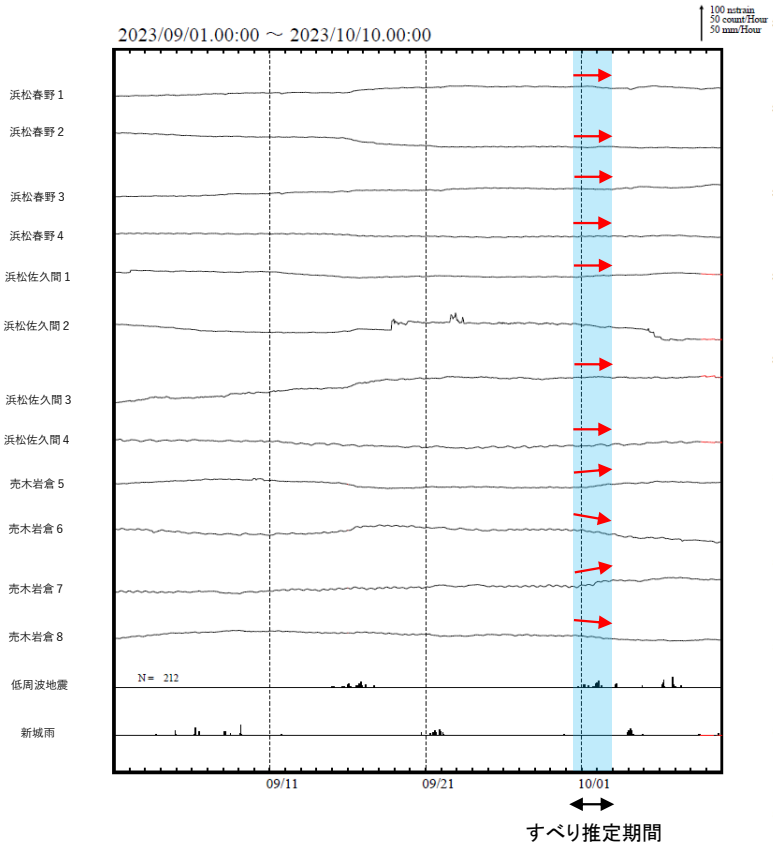
深部低周波地震（微動）活動



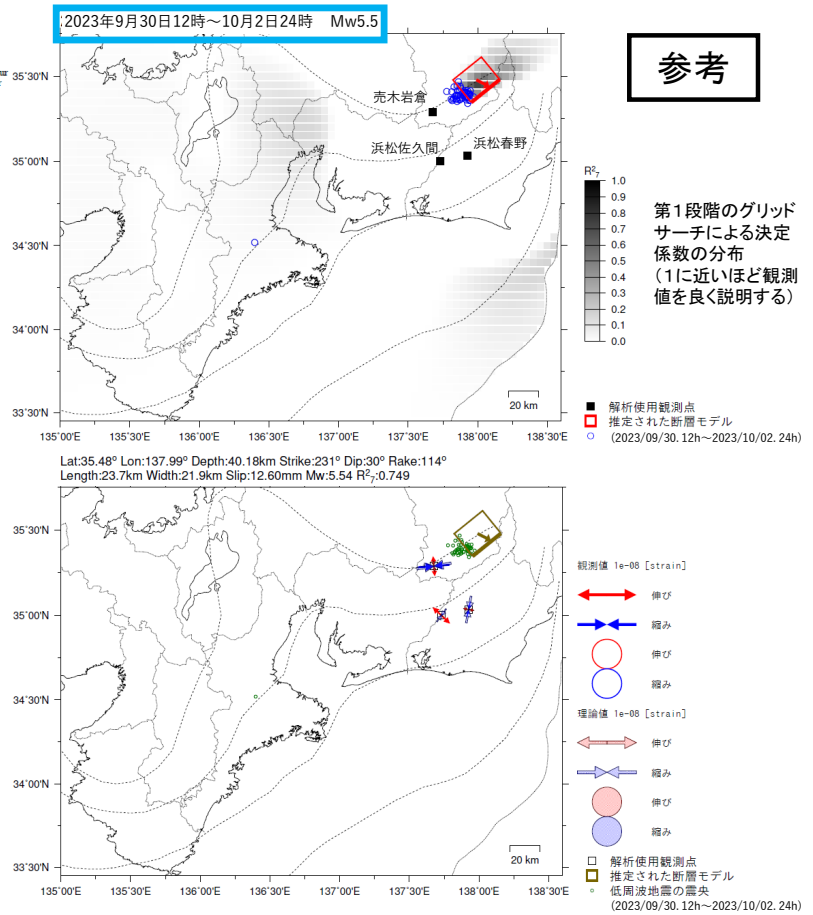
第 14 図 (a)　東海の深部低周波地震活動とひずみ変化，及び推定されるゆっくりすべり領域
Fig. 14(a)　Activity of deep low-frequency earthquakes in Tokai region and strain changes, and the estimated slow slip region.

東海で観測した短期的ゆっくりすべり（9月30日～10月2日）

静岡県から長野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。



左図に示す観測点での変化量を元にすべり推定を行ったところ、図の場所にすべり域が求まった。

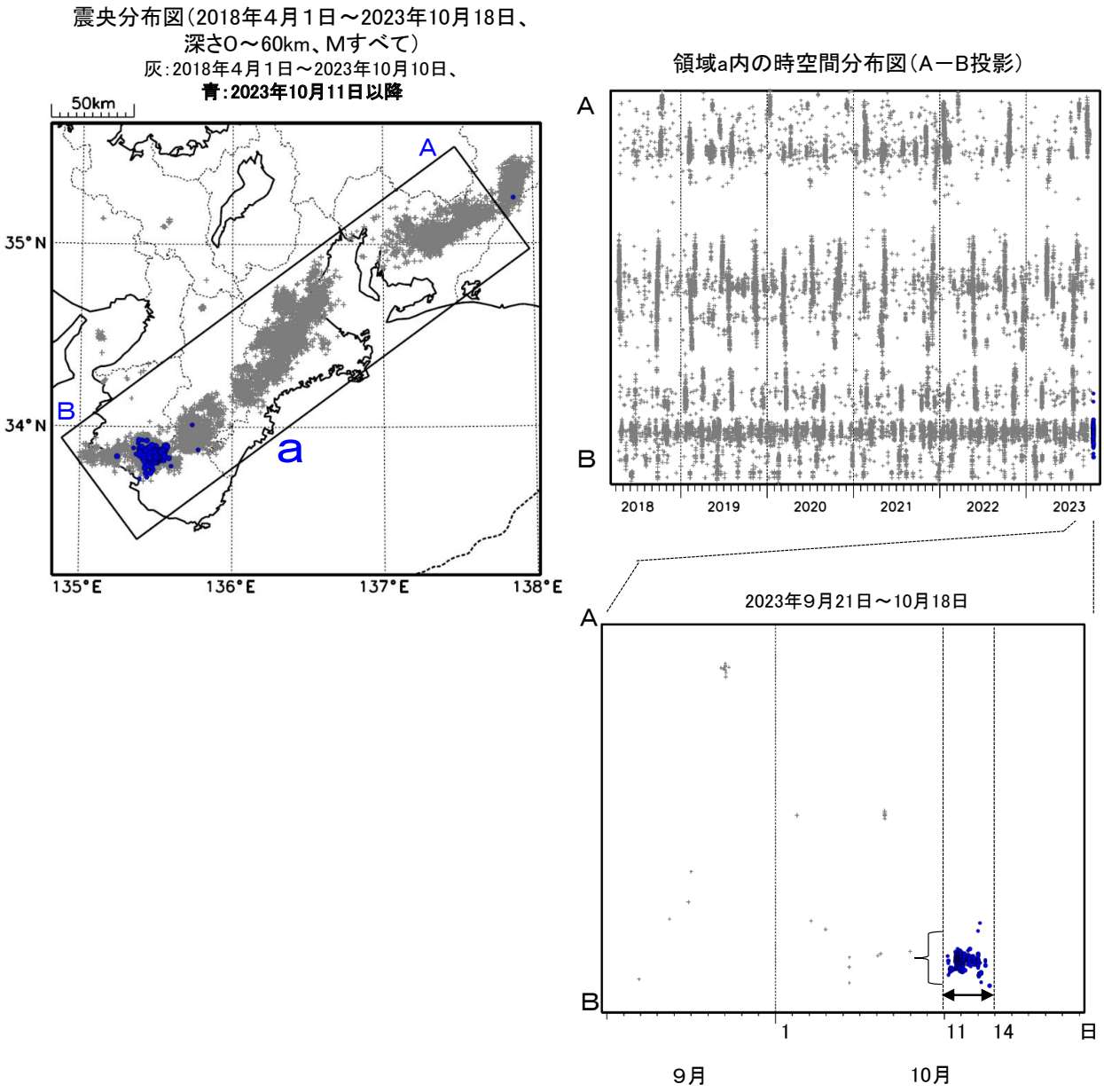
断層モデルの推定は、産総研の解析方法（板場ほか，2012）を参考に以下の2段階で行う。
・断層サイズを20km×20kmに固定し、位置を0.05度単位でグリッドサーチにより推定する。
・その位置を中心にして、他の断層パラメータの最適解を求める。

第 14 図 (b)　つづき
Fig. 14(b)　Continued.

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

10月11日から13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。

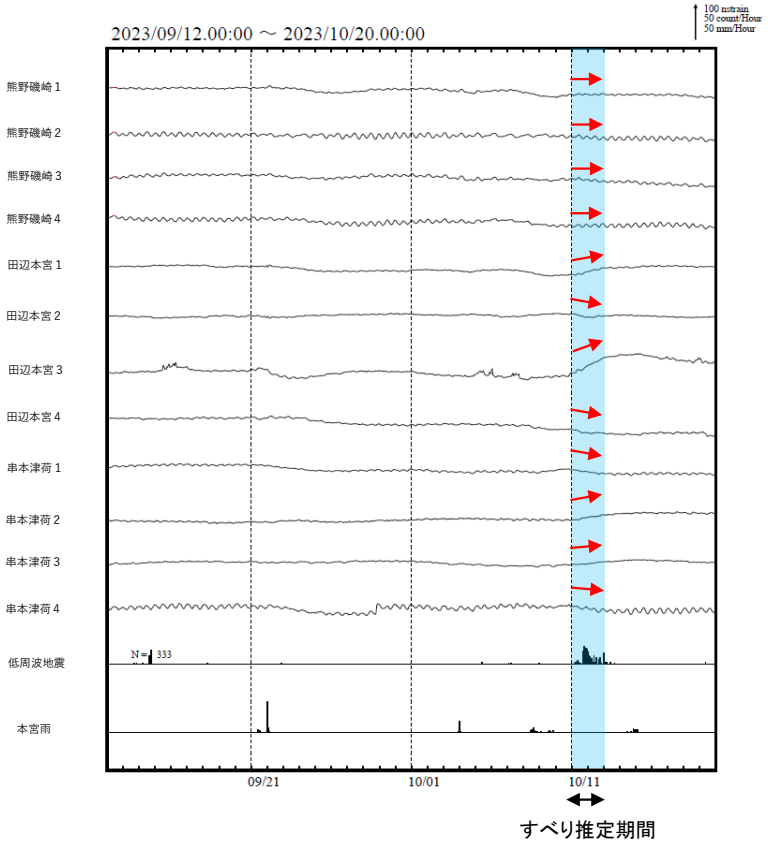
深部低周波地震（微動）活動



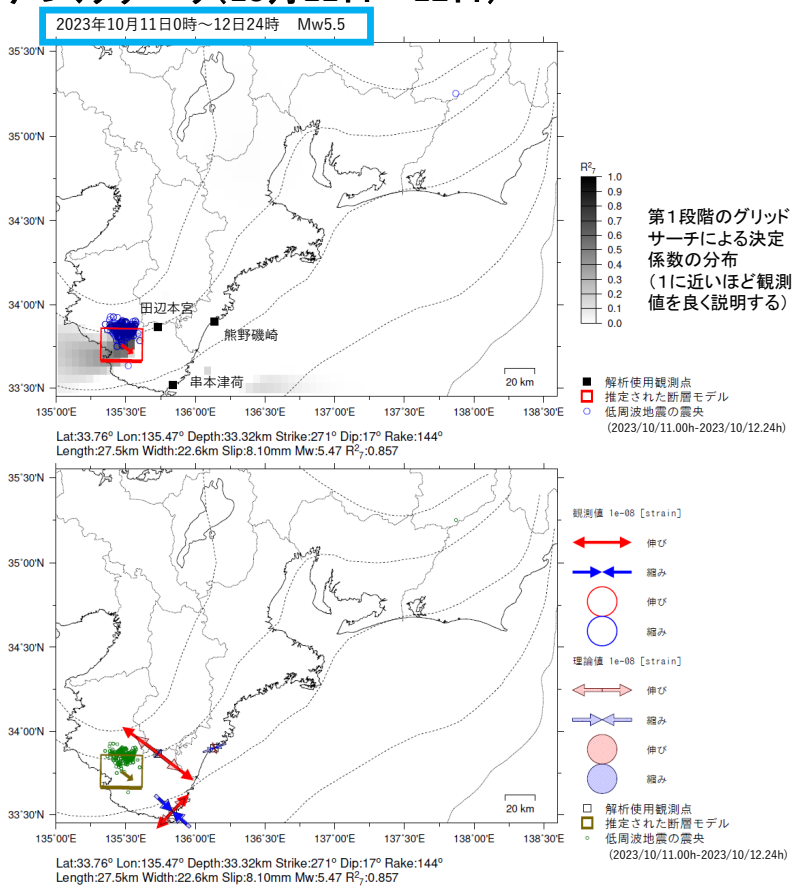
第 15 図 (a)　紀伊半島西部の深部低周波地震活動とひずみ変化，及び推定されるゆっくりすべり領域
Fig. 15(a)　Activity of deep low-frequency earthquakes in western part of Kii Peninsula and strain changes, and the estimated slow slip region.

紀伊半島西部で観測した短期的ゆっくりすべり（10月11日～12日）

三重県から和歌山県で観測されたひずみ変化



熊野磯崎、田辺本宮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）

左図に示す観測点での変化量を元にすべり推定を行ったところ、図の場所にすべり域が求まった。

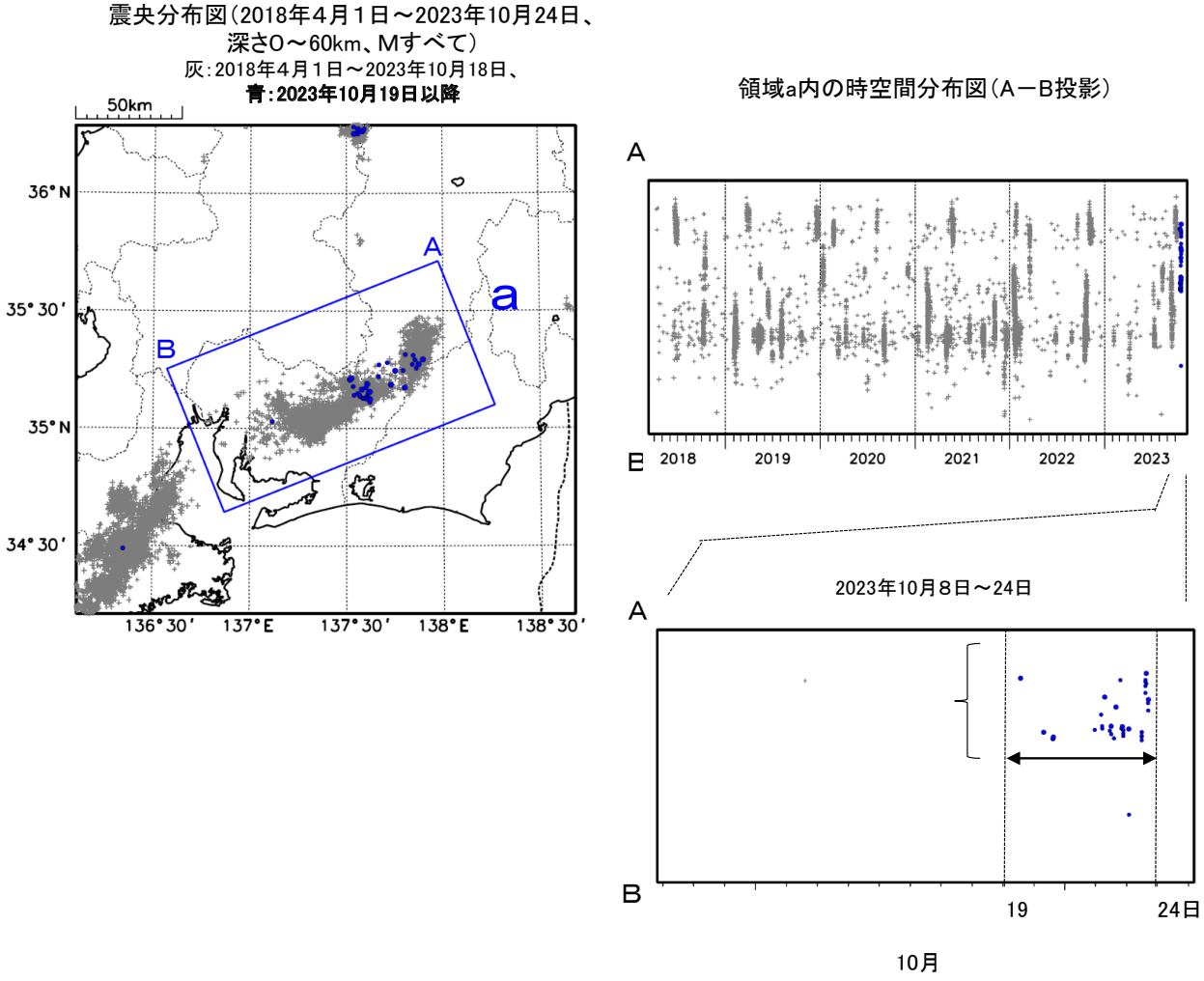
断層モデルの推定は、産総研の解析方法（板場ほか，2012）を参考に以下の2段階で行う。
・断層サイズを20km×20kmに固定し、位置を0.05度単位でグリッドサーチにより推定する。
・その位置を中心にして、他の断層パラメータの最適解を求める。

第 15 図 (b)　つづき
Fig. 15(b)　Continued.

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

10月19日から23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。

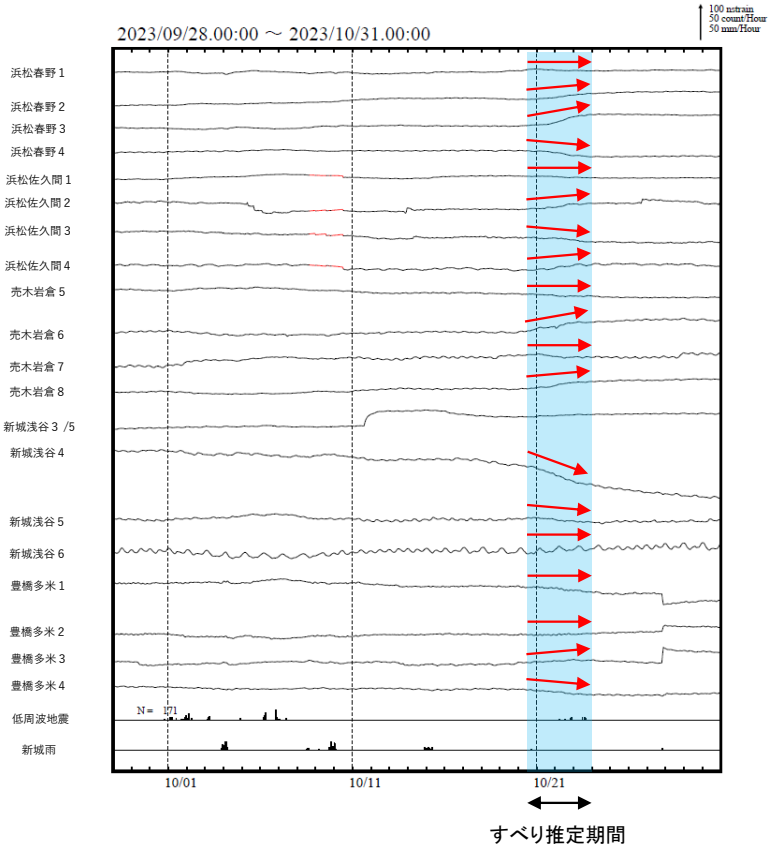
深部低周波地震（微動）活動



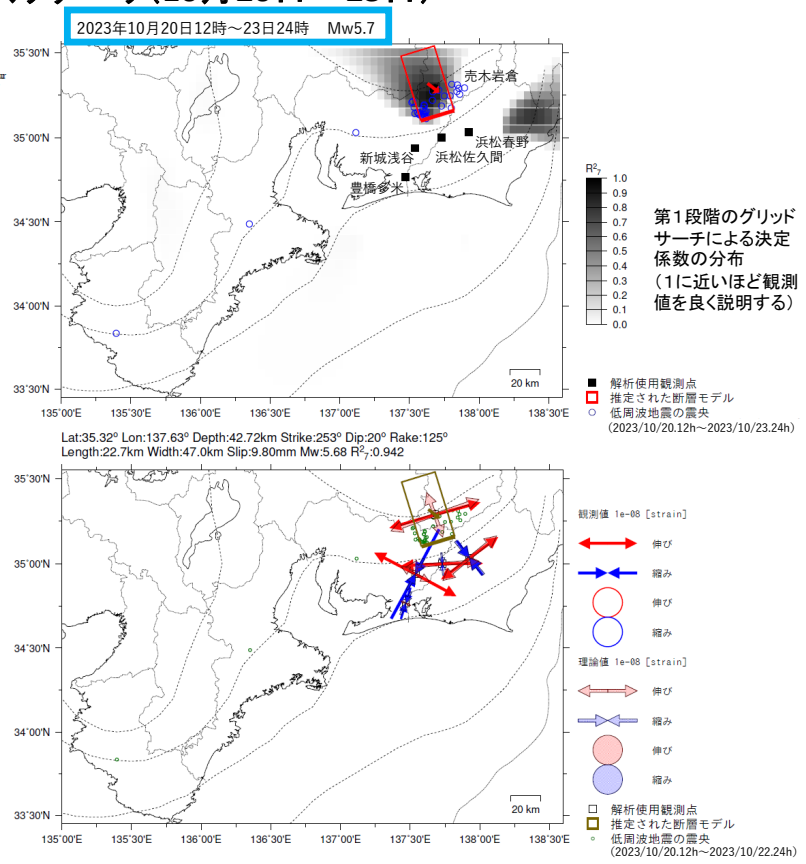
第 16 図 (a)　東海の深部低周波地震活動とひずみ変化，及び推定されるゆっくりすべり領域
Fig. 16(a)　Activity of deep low-frequency earthquakes in Tokai region and strain changes, and the estimated slow slip region.

東海で観測した短期的ゆっくりすべり（10月20日～23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、豊橋多米は産業技術総合研究所のひずみ計である。



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）

左図に示す観測点での変化量を元にすべり推定を行ったところ、図の場所にすべり域が求まった。

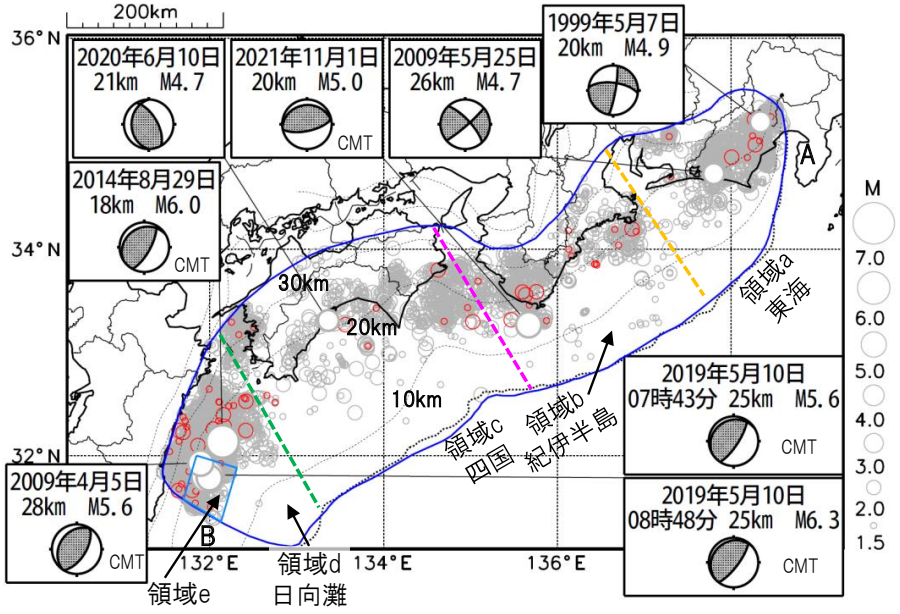
断層モデルの推定は、産総研の解析方法（板場ほか，2012）を参考に以下の２段階で行う。
・断層サイズを20km×20kmに固定し、位置を0.05度単位でグリッドサーチにより推定する。
・その位置を中心にして、他の断層パラメータの最適解を求める。

第 16 図 (b)　つづき
Fig. 16(b)　Continued.

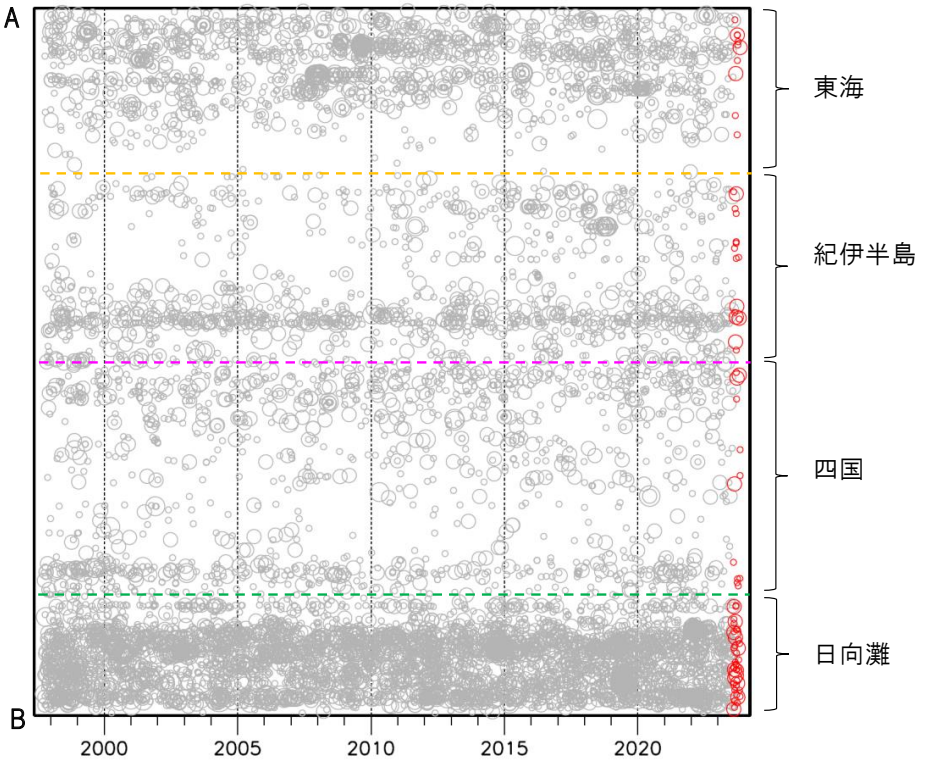
プレート境界とその周辺の地震活動

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～2023年10月31日、M≧1.5、2023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）



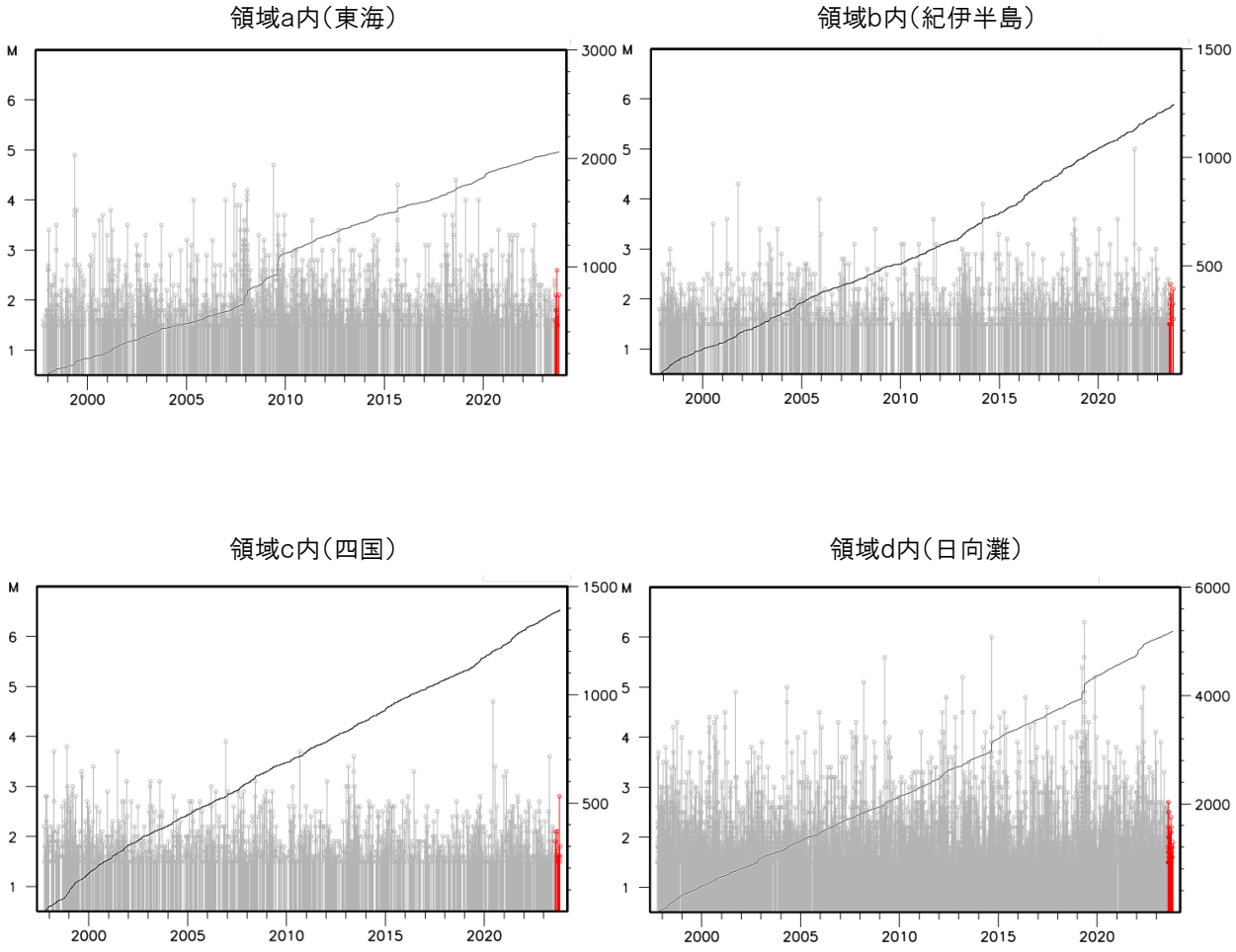
・フィリピン海プレート上面の深さは、Hirose et al.(2008)、Baba et al.(2002)による。震央分布図中の点線は10kmごとの等深線を示す。
・日向灘のM5.5以上の地震、その他の領域のM4.5以上の地震に吹き出しを付している。
・発震機構解の横に「S」の表記があるものは、精度がやや劣るものである。

第 17 図 (a)　プレート境界とその周辺の地震活動
Fig. 17(a)　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
（1997年10月1日～2023年10月31日、M≧1.5、2023年8月以降の地震を赤く表示）

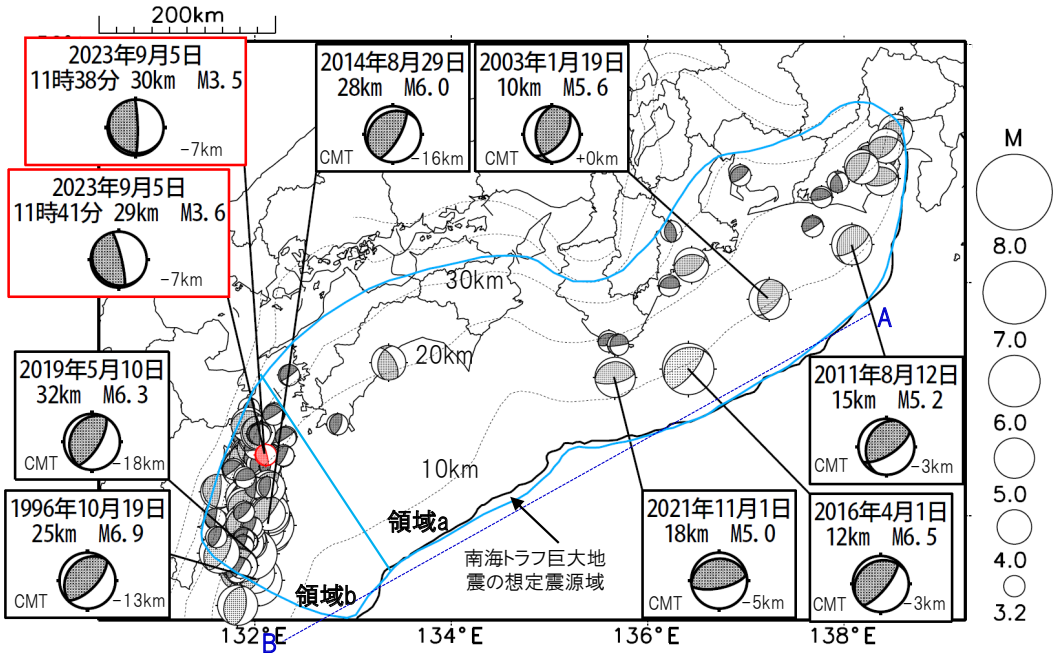


※M≧1.5の地震を表示していることから、検知能力未満の地震も表示しているため、回数積算図は参考として表記している。

第 17 図 (b)　つづき
Fig. 17(b)　Continued.

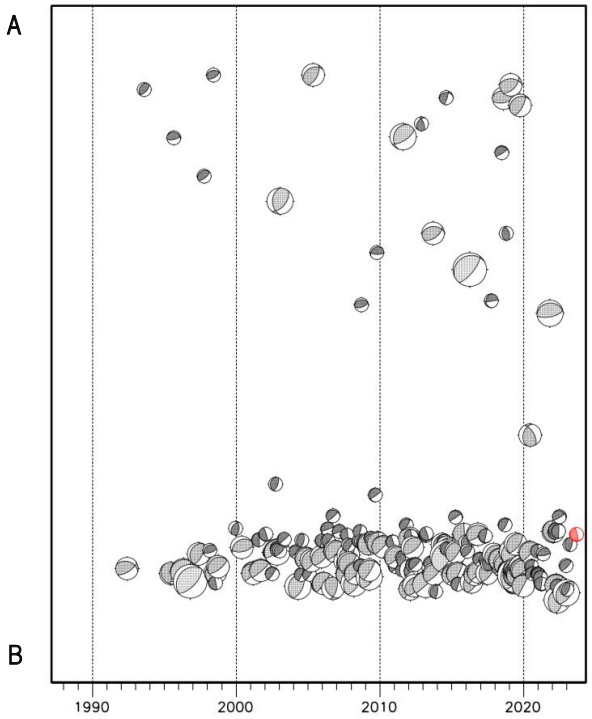
想定南海トラフ地震の発震機構解と類似の型の地震

震央分布図（1987年9月1日～2023年10月31日、M≧3.2、2023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。

震央分布図内の時空間分布図



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 18 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. 18　Earthquakes whose focal mechanisms were similar to that of the anticipated Nankai Trough earthquake.

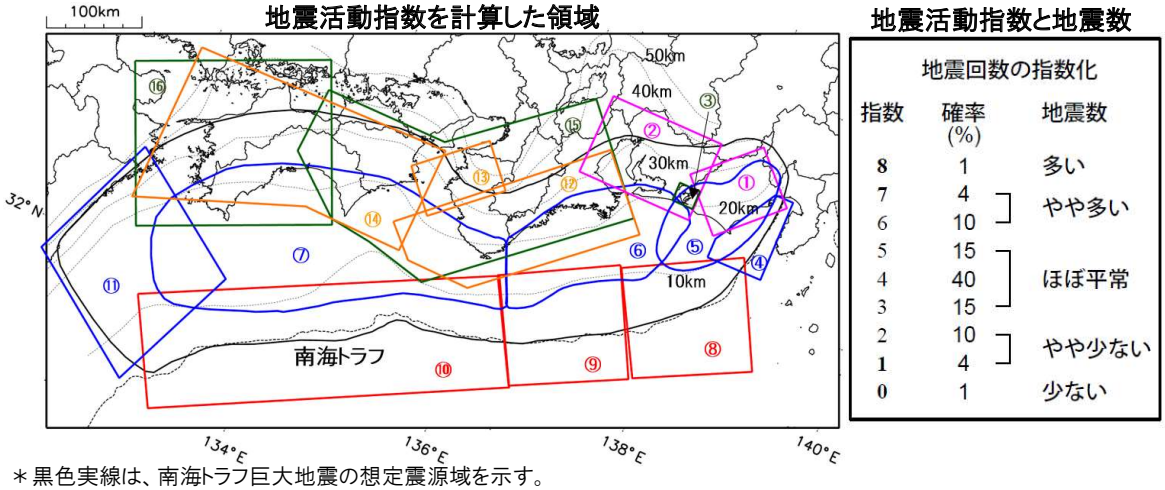
南海トラフ巨大地震の想定震源域とその周辺の地震活動指数

2023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		5	3	5	6	3	5	4	4	5
平均回数		16.4	18.2	26.6	13.8	13.1	13.2	17.9	19.7	21.7
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

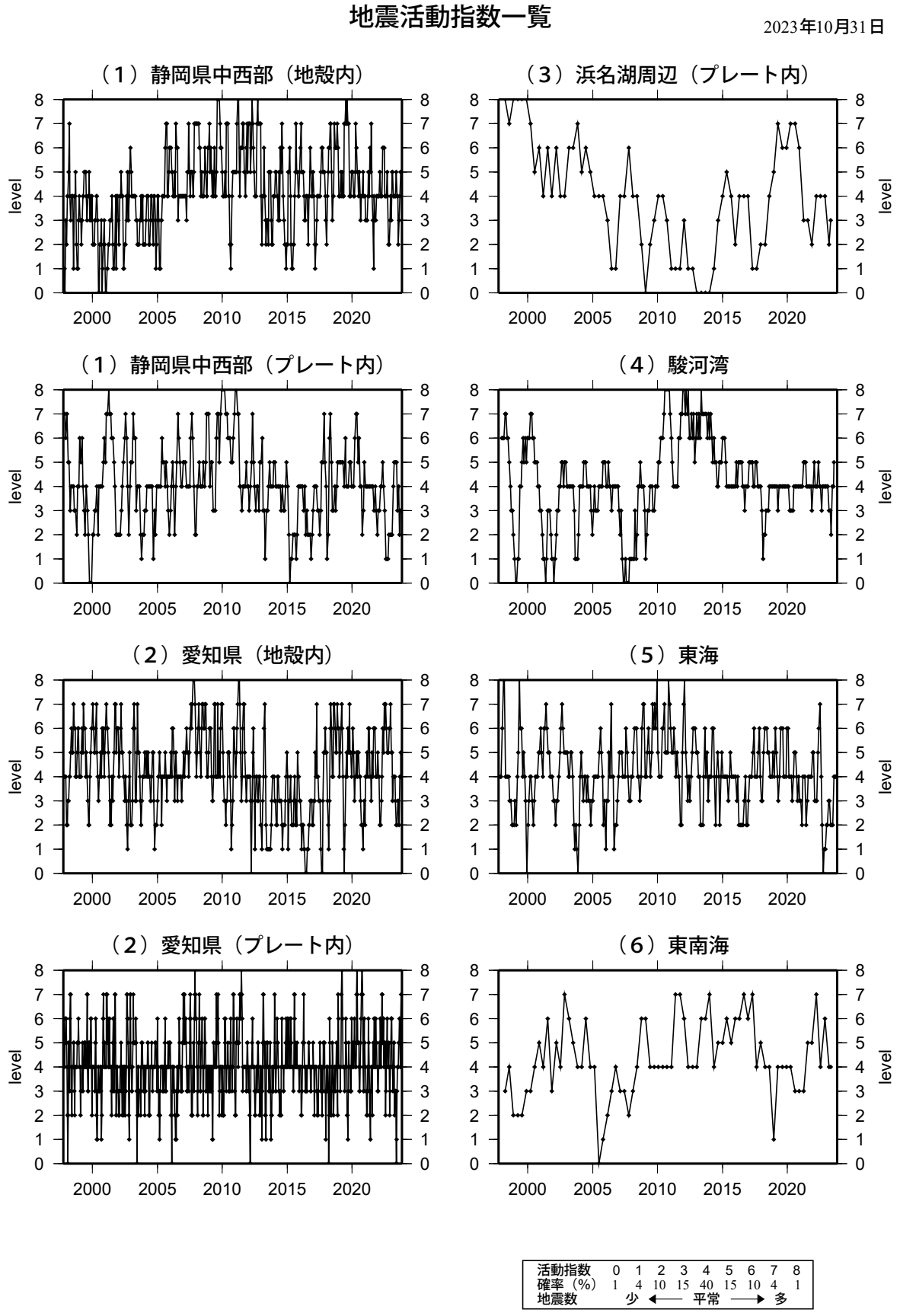
領域		南海トラフ沿い ⑧東側	南海トラフ沿い ⑩西側	⑪日向灘	⑫紀伊半島	⑬和歌山	⑭四国	⑮紀伊半島	⑯四国
		全	全	全	地	地	地	プ	プ
地震活動指数		6	4	6	4	3	6	5	5
平均回数		12.8	14.5	20.9	22.8	41.4	31.1	27.9	28.3
Mしきい値		2.5	2.5	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
クラスタ除去	距離	10km	10km	10km	3km	3km	3km	3km	3km
	日数	10日	10日	10日	7日	7日	7日	7日	7日
対象期間		720日	360日	60日	120日	60日	90日	30日	30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～2023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。



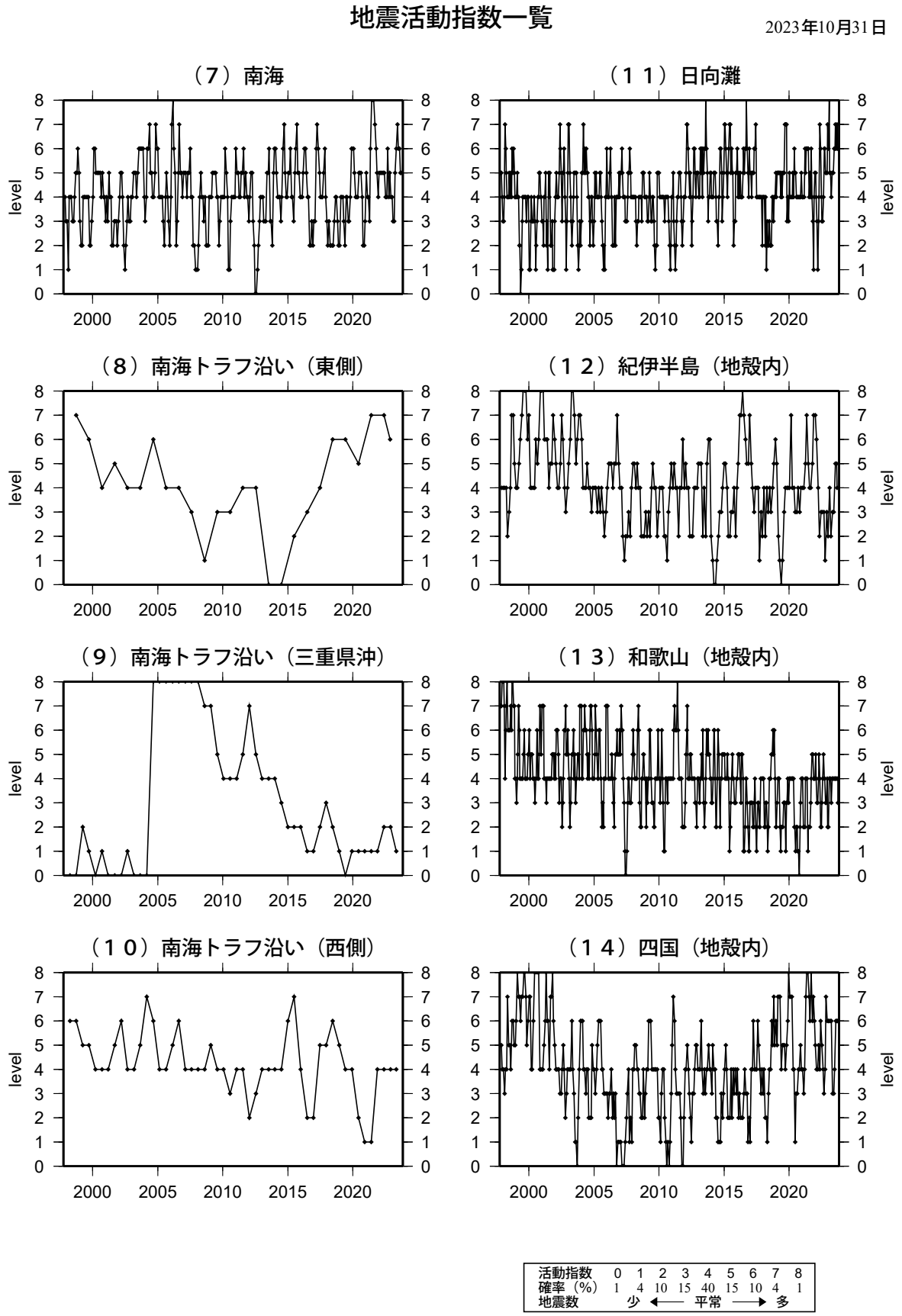
＊黒色実線は、南海トラフ巨大地震の想定震源域を示す。
＊Hirose et al.(2008)、Baba et al.(2002)によるプレート境界の等深線を破線で示す。

第 19 図　南海トラフ周辺の地震活動指数の表
Fig. 19　Table of seismic activity levels in and around the Nankai Trough.

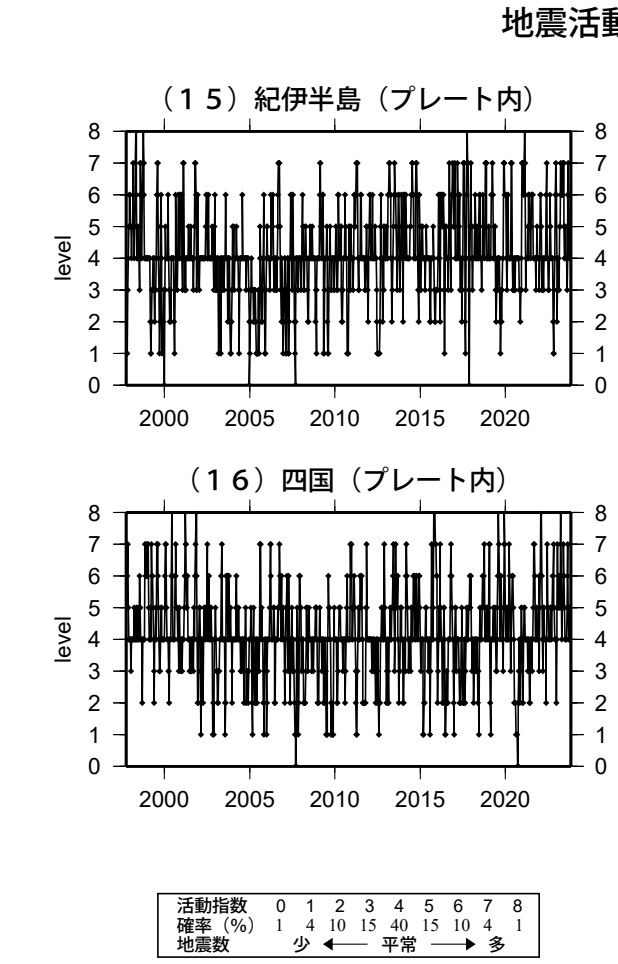


第 20 図 (a)　南海トラフ周辺の地震活動指数の推移

Fig. 20(a)　Time series of seismic activity levels in and around the Nankai Trough.



第 20 図 (b)　つづき
Fig. 20(b)　Continued.



第 20 図 (c)　つづき
Fig. 20(c)　Continued.

7 － 4　南海トラフ浅部の微動活動（2023 年 8 月 –2023 年 10 月）
Shallow tectonic tremor activity in the Nankai trough, southwest Japan (August, 2023–October, 2023)

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

西南日本の南海トラフ沈み込み帯に発生する深部低周波微動 [1] は，沈み込みプレート境界において巨大地震発生領域よりも深部側で発生し，しばしば短期的スロースリップイベント [2] や超低周波地震 [3] を伴う．浅部側でも類似の現象が発生することがあり，室戸沖から紀伊半島南東沖にかけての広い領域で，短期的スロースリップや超低周波地震を伴う微動活動が観測されている [4-5]．本稿では 2023 年 8 月から 2023 年 10 月の期間に発生した微動活動について報告する．

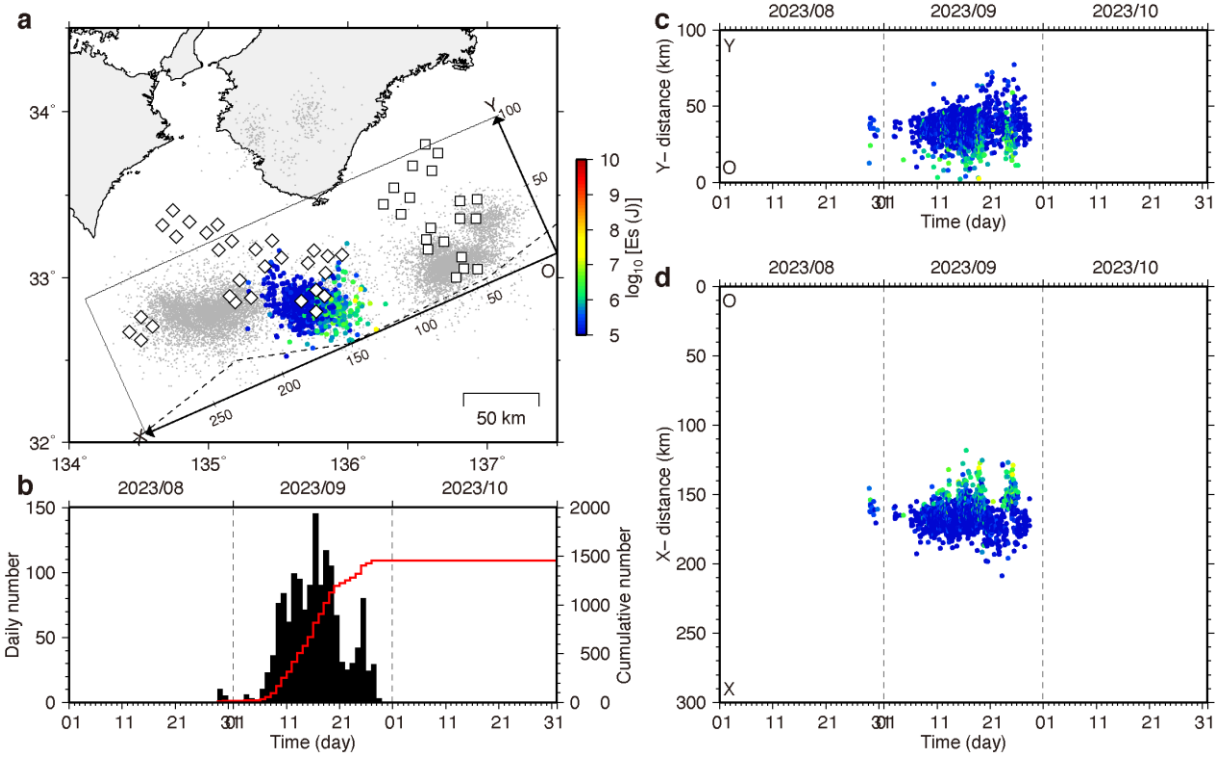
防災科学技術研究所の運用する地震・津波観測監視システム DONET1 および DONET2 の広帯域地震計記録を使用し，エンベロープ相関解析 [1,6] によって南海トラフ浅部域の微動活動を調べた．2023 年 8 月から 2023 年 10 月にかけての微動の震央分布と検出数，プレート沈み込みの傾斜方向および走向方向に投影した時空間分布を第 1 図に示す．本解析期間において，8 月 29–30 日，9 月 2–4 日の断続的な活動を経て，9 月 6–28 日にかけて潮岬沖で活発な微動活動が観測された．活動は潮岬の真南にあたる DONET2 の E ノード直下付近で開始し，東西双方向に活動域を拡大する様子が見られた．また，9 月 27 日頃より，DONET2 近傍の海域におけるエアガン探査により検出率が低下した．

南海トラフ浅部域における 2015 年 10 月から 2023 年 10 月までの期間全体の微動活動を第 2 図に示す．潮岬沖では過去に 2017 年 3 月から 4 月にかけて活発な微動活動が発生しており，本解析期間の微動活動はそれとほぼ同規模の活動であった．

（太田和晃・松澤孝紀・汐見勝彦）
OHTA Kazuaki, MATSUZAWA Takanori, and SHIOMI Katsuhiko

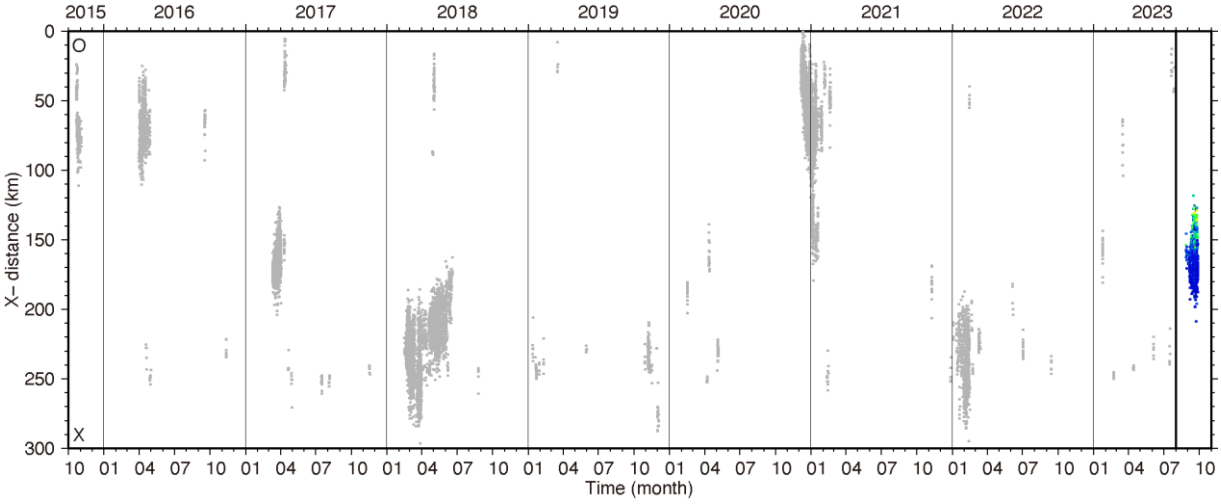
参考文献

1) Obara (2002), *Science*, **296**, 1679-1681.
2) Obara et al. (2004), *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L23602.
3) Ito et al. (2007), *Science*, **315**, 503-506.
4) Araki et al. (2017), *Science*, **356**, 1157-1160.
5) Yokota and Ishikawa (2020), *Sci. Adv.*, **6**, eaay5786.
6) Ide (2010), *Nature*, **466**, 356-359.



第 1 図　検出された微動活動．(a) 2023 年 8 月 1 日から 2023 年 10 月 31 日における微動の震央分布．矩形領域内の微動を色付きの丸で，領域外の微動を白抜きの丸で示す．色は微動の地震波輻射エネルギーを表す．灰色の点は本解析期間以前（2015 年 10 月 1 日から 2023 年 7 月 31 日）の微動を表す．DONET1 の観測点を四角印で，DONET2 の観測点を菱形印で示す．X 軸と Y 軸はそれぞれプレート沈み込みの走向方向，傾斜方向を表す．点線は海溝軸を表す．(b) 微動の検出数の日別のヒストグラムと累積の検出数．(c) プレート沈み込みの傾斜方向へ投影した震央の時空間分布．シンボルは (a) と対応する．(d) プレート沈み込みの走向方向に投影した震央の時空間分布．シンボルは (a) と対応する．

Fig. 1　Detected tremor activity. (a) Tremor epicenters from August 1, 2023, to October 31, 2023. The colored circles show tremor events in the rectangular area, and the open circles show those outside. The color denotes the seismic energy of tremor events. Grey dots show the past tremor activity (October 1, 2015–July 31, 2023). Squares denote DONET1 stations. Diamonds denote DONET2 stations. The X-axis and Y-axis show the along-strike direction and along-dip direction, respectively. The dashed line shows the trench axis. (b) Daily histogram of detected tremor events and the cumulative number of tremor events. (c) Space-time plot of tremor epicenters projected in the along-dip direction. Symbols are as in (a). (d) Space-time plot of tremor epicenters projected in the along-strike direction. Symbols are as in (a).



第 2 図　全期間の微動活動（2015 年 10 月から 2023 年 10 月）．プレート沈み込みの走向方向へ投影した震央の時空間分布．シンボルは図 1d と対応する．

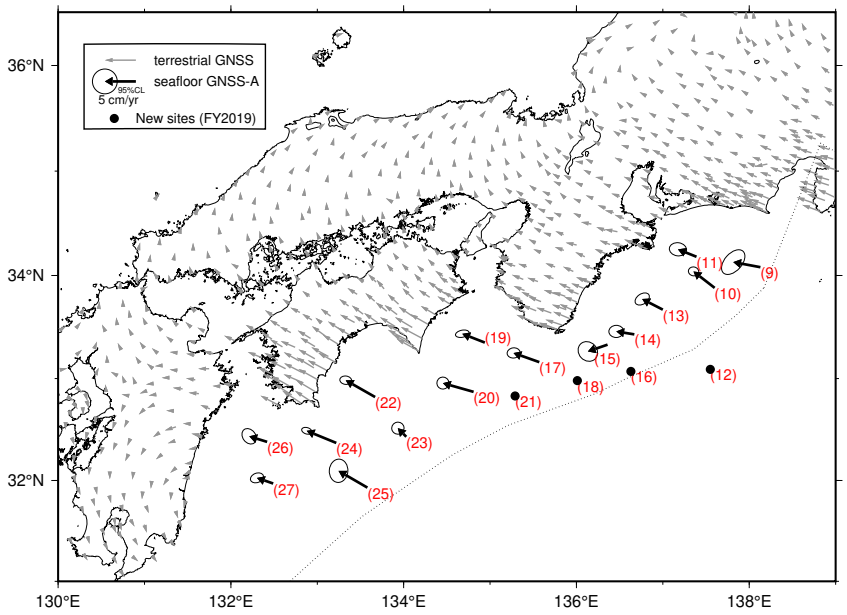
Fig. 2　Whole tremor activity (October, 2015–October, 2023). Space-time plot of tremor epicenters projected in the along-strike direction. Symbols are as in Fig. 1d.

7－5　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

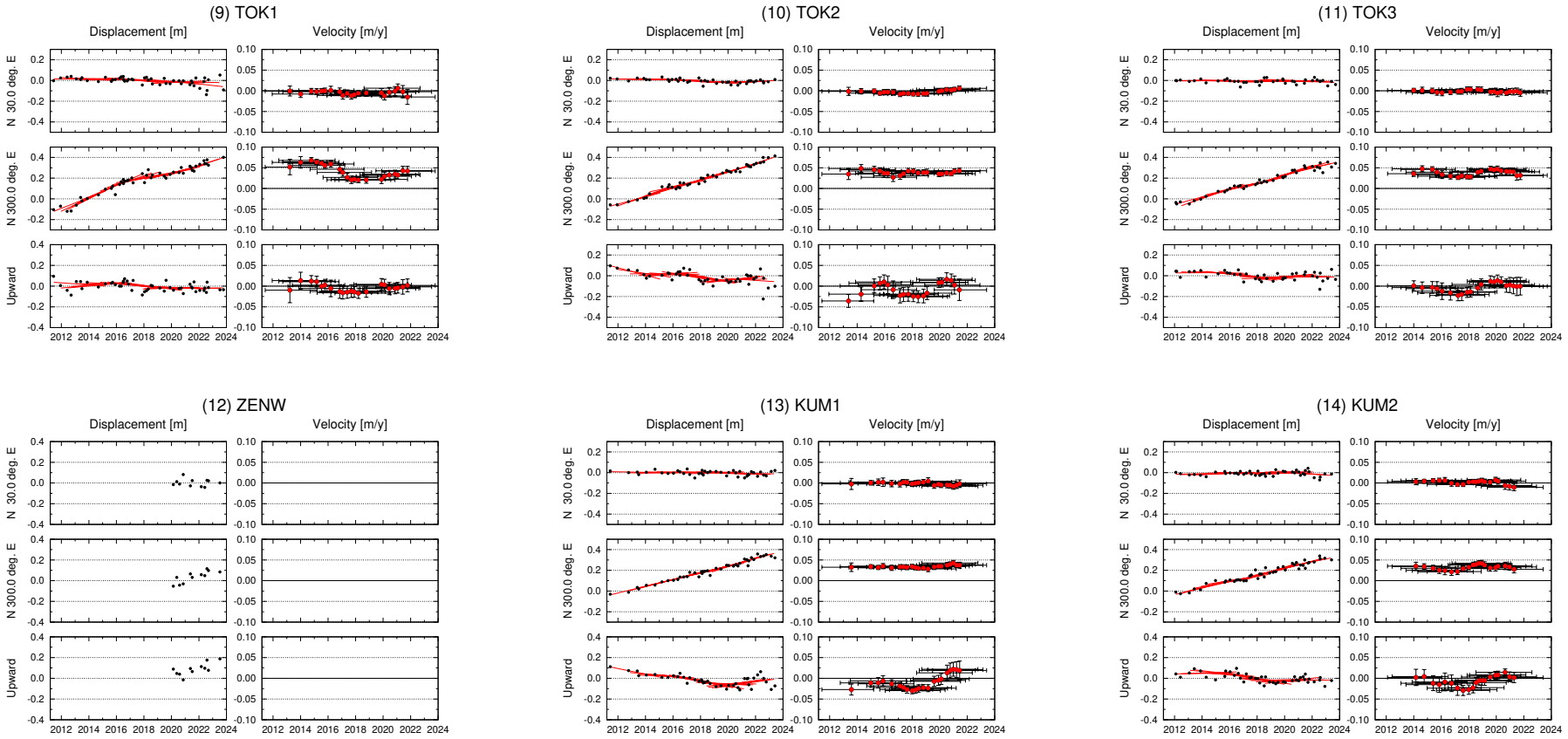
海上保安庁では，南海トラフ巨大地震の想定震源域近傍での固着状態ならびに地殻変動を把握するため，南海トラフ沿いにおいて，海底地殻変動観測を実施している．第 1 図に，最近約 4 年間の観測結果を示す．海底の移動速度は，観測結果をロバスト回帰したものである．陸上の移動速度は国土地理院 GEONET の同一期間の F5 解を線形回帰したものである．第 2 図には，変位及び変位速度（4.1 年の移動時間窓でのロバスト回帰）の時系列を示す．

Site name	Lat. (°N)	Lon. (°E)	Velocity (cm/yr)	(deg)	Period	Data
(9) TOK1	34.08	138.13	4.5	280.7	11/26/2019 - 10/13/2023	18
(10) TOK2	33.88	137.60	4.3	308.0	08/10/2019 - 05/31/2023	18
(11) TOK3	34.18	137.39	3.2	291.9	11/13/2019 - 09/13/2023	17
(12) ZENW	33.09	137.55	-	-	02/20/2020 - 07/11/2023	11
(13) KUM1	33.67	137.00	3.7	297.3	06/25/2019 - 05/31/2023	19
(14) KUM2	33.43	136.67	2.9	279.3	05/10/2019 - 05/30/2023	19
(15) KUM3	33.33	136.36	3.4	250.9	11/24/2019 - 09/12/2023	18
(16) KUM4	33.08	136.64	-	-	02/21/2020 - 05/29/2023	14
(17) SIOW	33.16	135.57	4.4	289.7	05/09/2019 - 05/21/2023	19
(18) SIO2	32.98	135.99	-	-	03/18/2020 - 05/29/2023	14
(19) MRT1	33.35	134.94	3.9	291.5	05/02/2019 - 05/24/2023	17
(20) MRT2	32.87	134.81	5.2	285.9	11/11/2019 - 09/12/2023	21
(21) MRT3	32.80	135.35	-	-	08/10/2019 - 05/28/2023	16
(22) TOS1	32.82	133.67	5.5	299.8	05/03/2019 - 05/22/2023	19
(23) TOS2	32.43	134.03	1.9	315.8	11/11/2019 - 09/11/2023	18
(24) ASZ1	32.37	133.22	5.1	292.4	11/10/2019 - 09/11/2023	16
(25) ASZ2	31.93	133.58	5.4	300.3	07/07/2019 - 07/10/2023	15
(26) HYG1	32.38	132.42	3.0	287.4	07/05/2019 - 07/09/2023	16
(27) HYG2	31.97	132.49	2.8	289.3	07/06/2019 - 07/09/2023	18
GEONET					10/13/2019 - 10/13/2023	



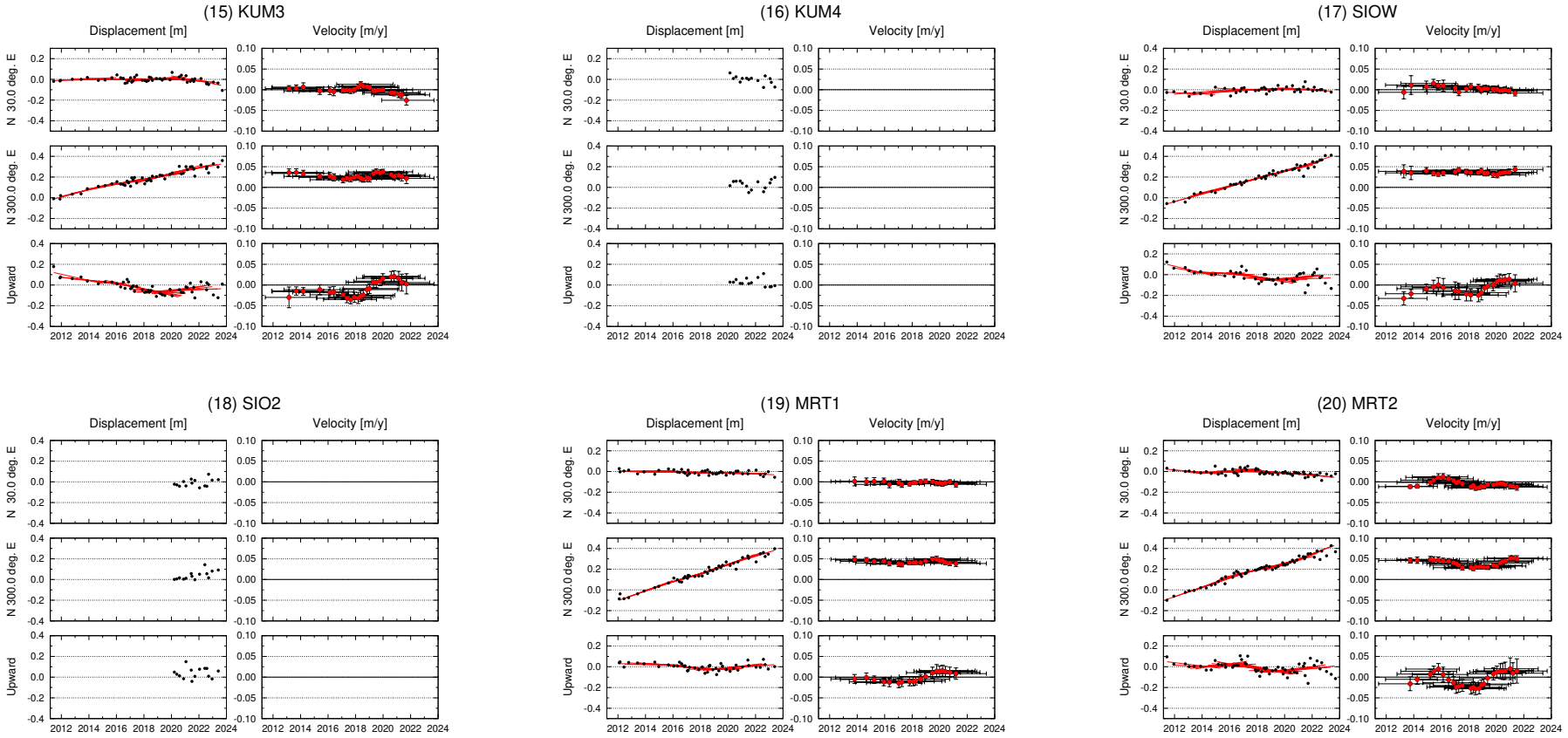
第 1 図　南海トラフ沿いの海底の水平地殻変動
（直近約 4 年間の移動速度）【アムールプレート固定】

Fig. 1　Horizontal seafloor crustal movements along the Nankai Trough in recent 4 years with respect to the stable part of the Amur plate.



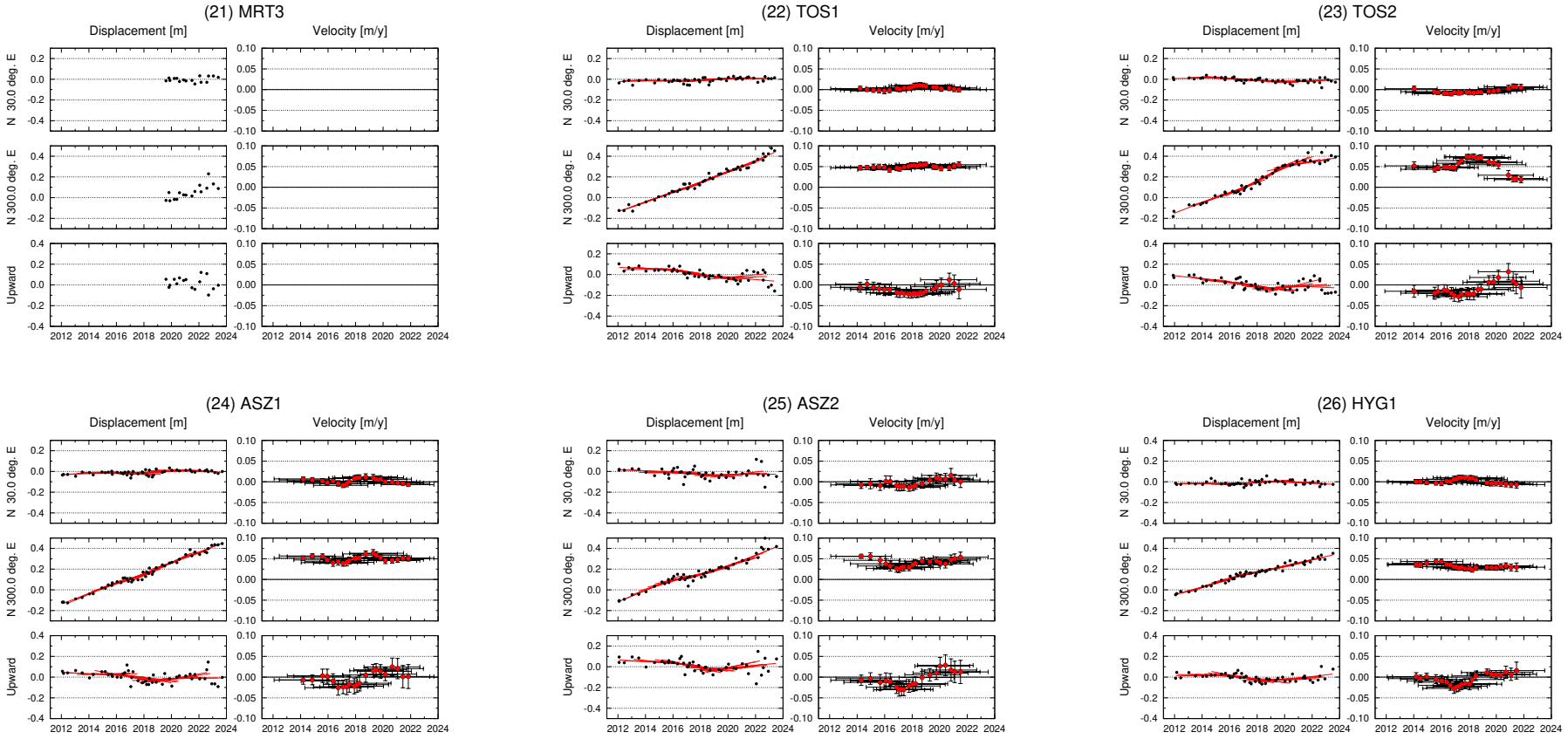
第 2 図　GNSS-A 観測時系列【アムールプレート固定】
※各図の右列は ,4.1 年の時間窓による回帰直線から求めた変動速度
※縦のバーは速度推定の 95% 信頼区間，横のバーは速度推定のデータ期間
※水平成分の座標軸は北から時計回りに 300˚ 回転

Fig. 2　GNSS-A time series data with respect to the stable part of the Amur plate.
※ Plots on the right columns indicate velocities, derived by linear regression using a 4.1 year rolling time window.
※ The vertical bars indicate 95% confidence intervals, the horizontal bars indicate data periods for estimating the velocities.
※ The horizontal axes are rotated 300˚ clockwise from the north.



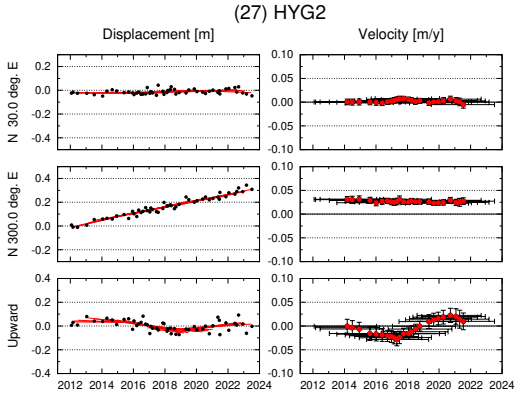
第 2 図　GNSS-A 観測時系列【アムールプレート固定】
※各図の右列は ,4.1 年の時間窓による回帰直線から求めた変動速度
※縦のバーは速度推定の 95% 信頼区間，横のバーは速度推定のデータ期間
※水平成分の座標軸は北から時計回りに 300° 回転

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，横のバーは速度推定のデータ期間
※水平成分の座標軸は北から時計回りに 300° 回転

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，横のバーは速度推定のデータ期間
※水平成分の座標軸は北から時計回りに 300° 回転

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 111 巻　2024 年 3 月発行

7－6　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 F5 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（九州沿いは九州北西部）の観測点の共通ノイズを全点から引き去り，領域全体を固定する．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 0.1 度間隔の地点ごとに設定した 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)，2016 年熊本地震 (M7.3)，2019.1/8 種子島近海の地震 (M6.0)，および 2019.5/10 日向灘の地震 (M6.3) 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．また，今回から東北地方太平洋沖地震の余効変動補正を適正にするため, 東海の長期的 SSE の期間（2013 ～ 2016 年）を除いたうえで, フィッティング期間を 2022 年 12 月までに変更した．

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．

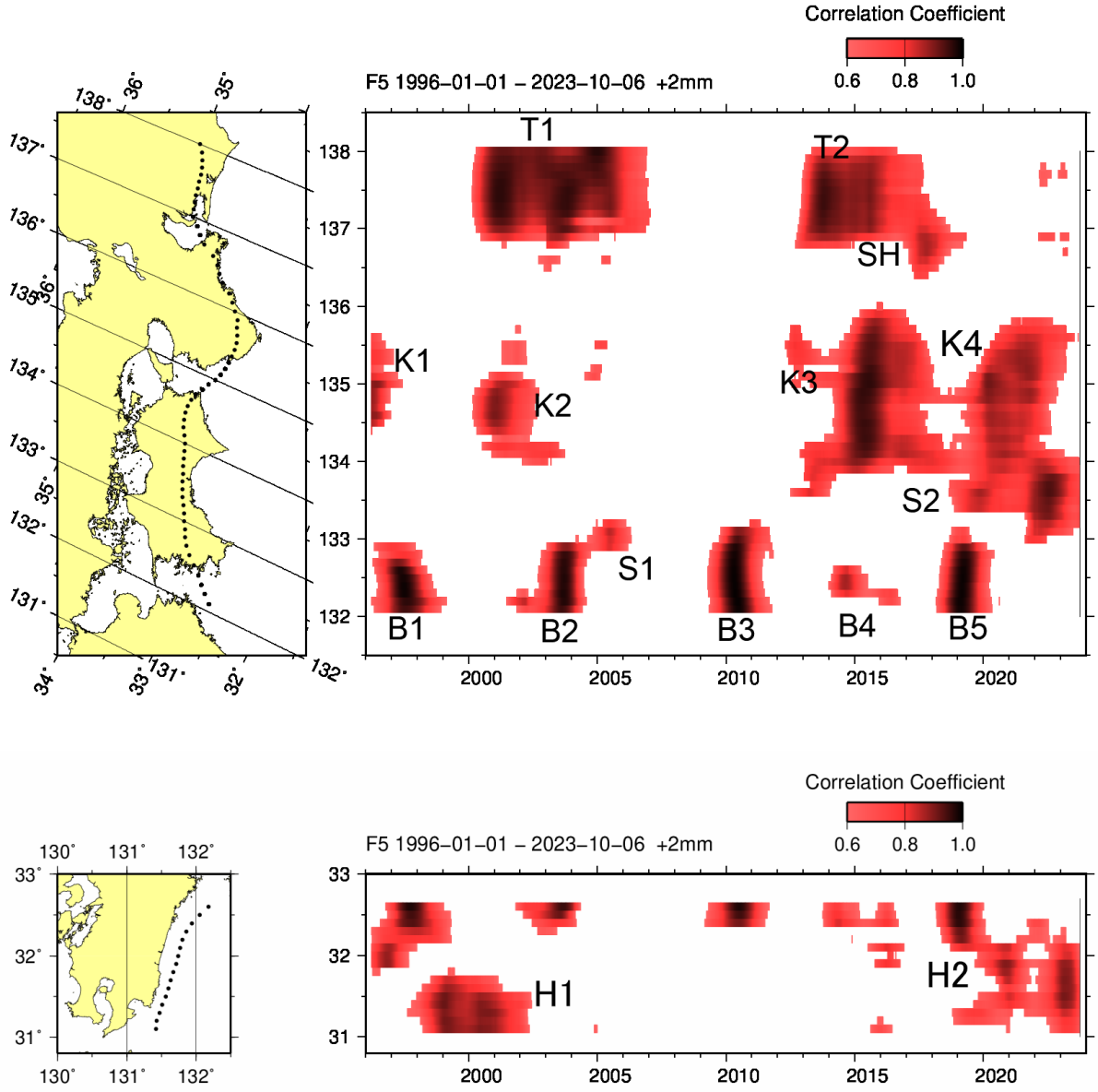
また，第 2 図に 2 年間あたりの変化量から推定した長期的スロースリップのモーメントマグニチュード Mw 分布を示す[2]．上記同様の 0.1 度間隔の地点を中心としたプレート境界上の矩形断層に一定のすべりを与え，その地点に対応する地表の矩形範囲内の各観測点の理論変位の平均を求めた．2 年間の観測変化量が大きい／小さい場合でも，すべりの範囲は理論範囲を計算した矩形断層にあると仮定すると，矩形断層でのすべり量と観測変化量は比例関係にあるため，2 年間の観測変化量から 2 年あたりのすべり量を求め，対応する Mw を算出した．継続期間の長い東海地域 T1 など一部を除き，観測値から個別に推定された規模との差は概ね Mw 0.2 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．

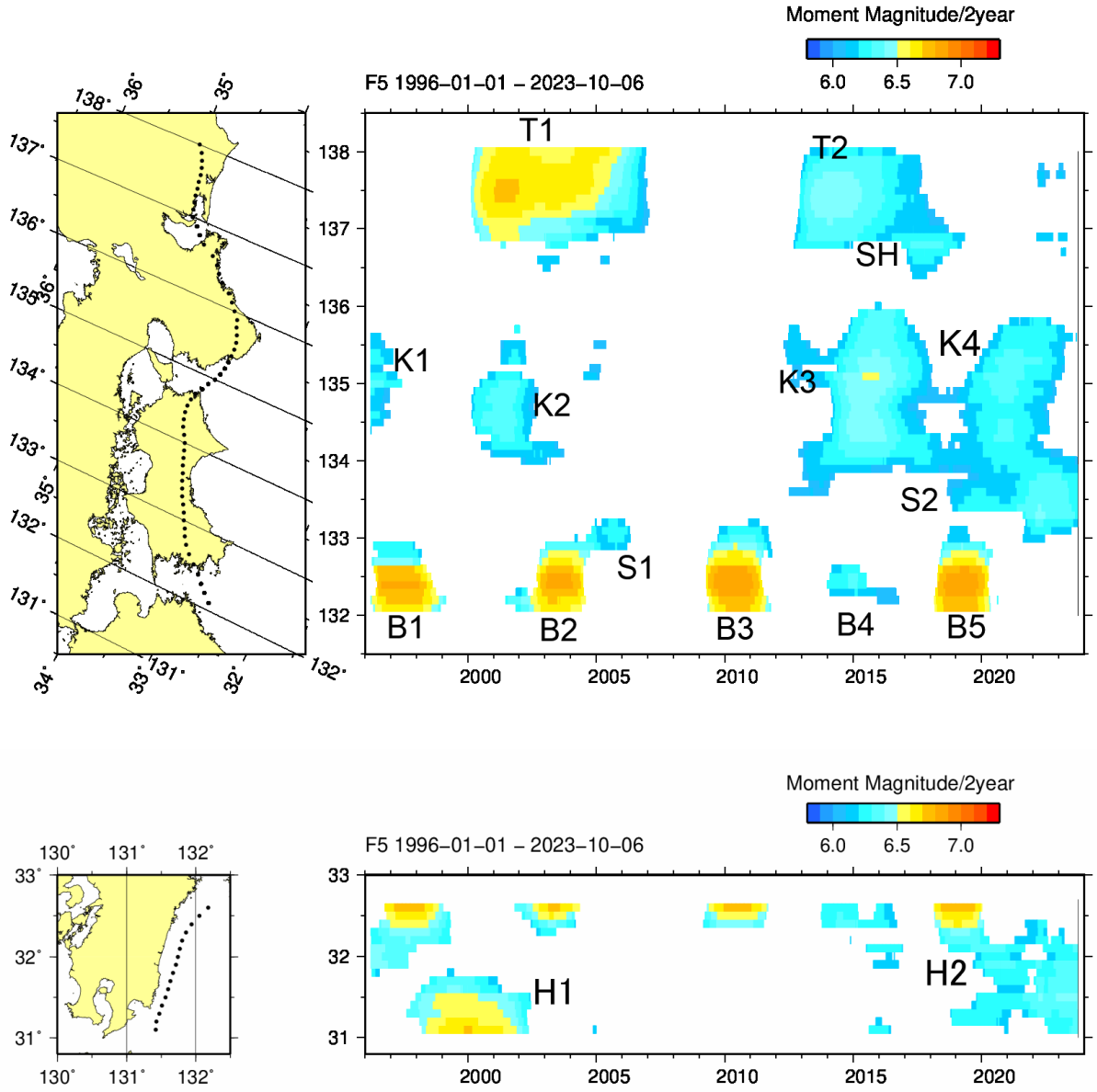
参考文献

1) Kobayashi (2017), *Earth Planets Space*, **69**, 171, doi:10.1186/s40623-017-0755-7.
2) 小林昭夫 (2021), *気象研究所研究報告* , **69**, 1-14, doi:10.2467/mripapers.69.1.



第 1 図　長期的スロースリップ客観検知図（1996 年から 2023 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，K4: 紀伊水道 2019 ～ 2022 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
H1: 日向灘南部 2020 ～ 2021 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, K4: Kii Channel 2019 –2022
S1: Western Shikoku 2005, S2: Central Shikoku 2019 –
B1: Bungo Channel 1997 – 1997, B2: Bungo Channel 2003, B3: Bungo Channel 2010, B4: Bungo Channel 2014, B5: Bungo Channel 2018 – 2019
H1: Southern Hyuganada 2020 – 2021.



第 2 図　長期的スロースリップの規模分布（1996 年から 2023 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. 2　Moment magnitude distribution of long-term slow slip events. The event abbreviations are the same as in Fig. 1.

7 － 7　南海トラフ周辺における最近の傾斜変動（2023 年 5 月～ 2023 年 10 月）
Recent Continuous Crustal Tilt Observation around the Nankai Trough (May 2023– October 2023)

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

2023 年 5 月から 2023 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-G[1] により潮汐及び気圧応答成分を除去し，適宜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．

・2023 年 5 月 15 日～ 5 月 22 日頃　　四国西部（第 2 図 (a) (b)）

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．

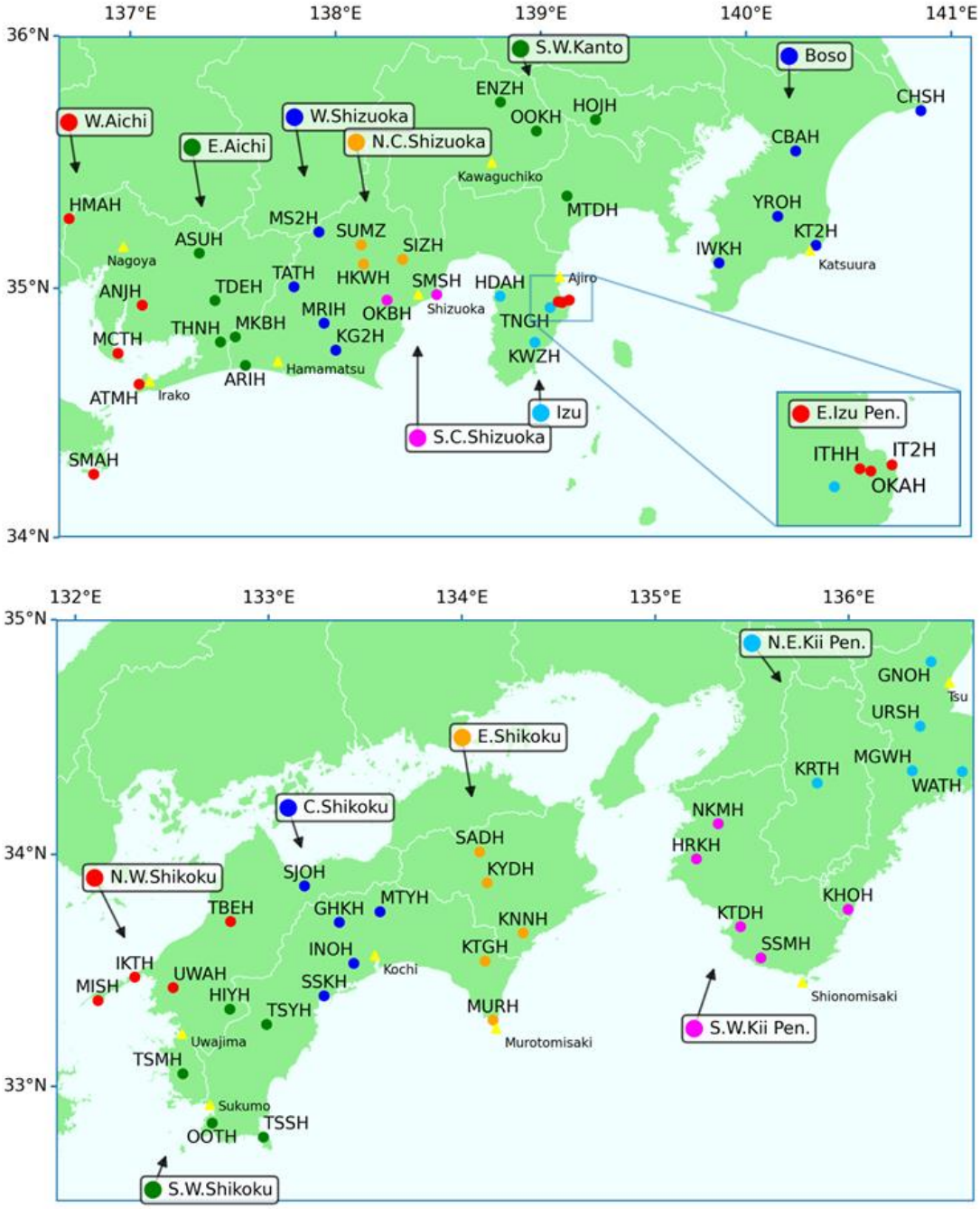
（関口渉次）
SEKIGUCHI Shoji

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.

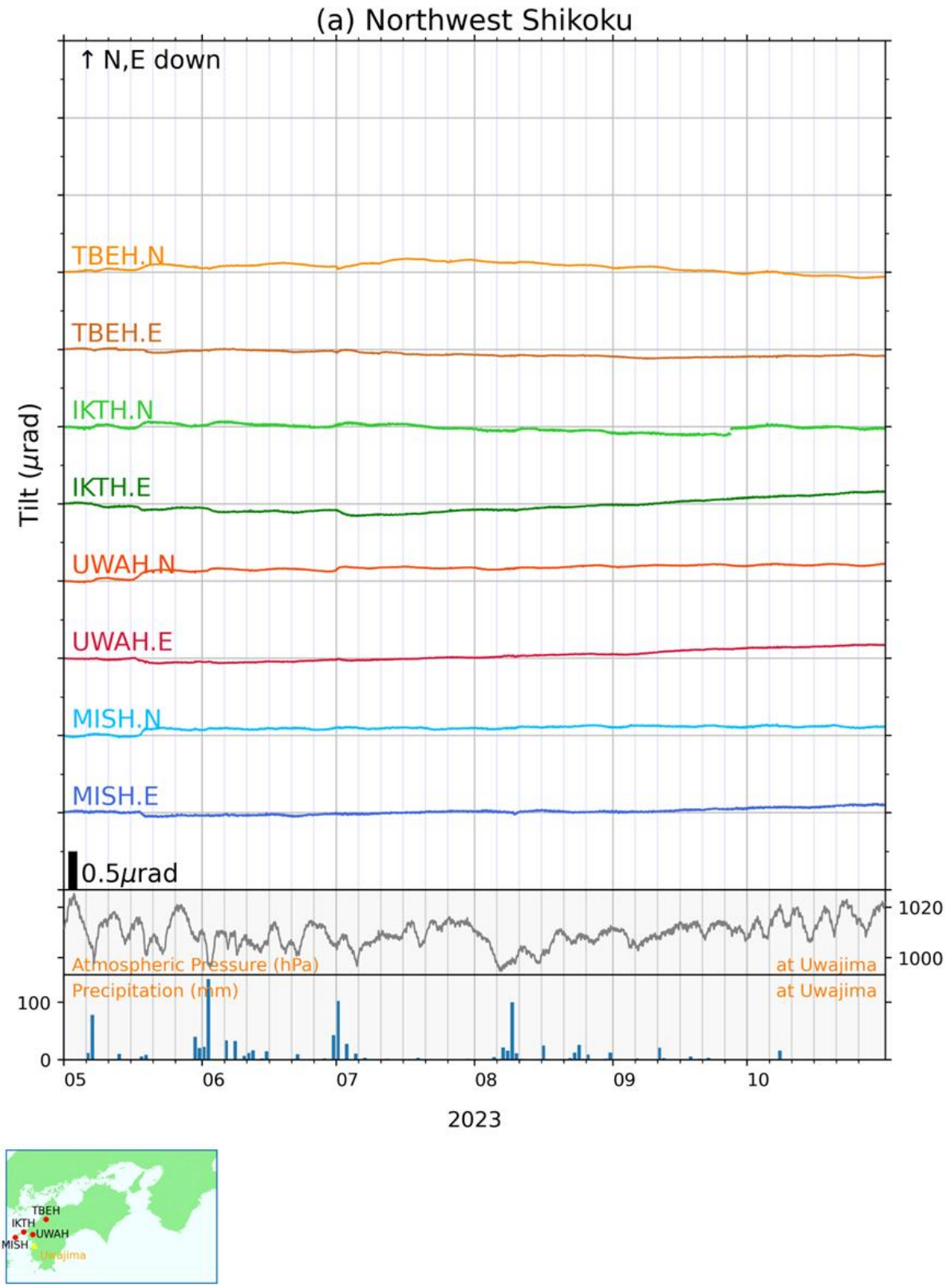
参考文献

1) Tamura, Y. et al. (1991), *Geophys. J. Int.*, **104**, 507-516. A procedure for tidal analysis with a Bayesian information criterion
2) 防災科学技術研究所 (2024), 西南日本における短期的スロースリップイベント (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月), *予知連会報*，本号.
3) 防災科学技術研究所 (2024), 西南日本における深部低周波微動活動 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月), *予知連会報*，本号.

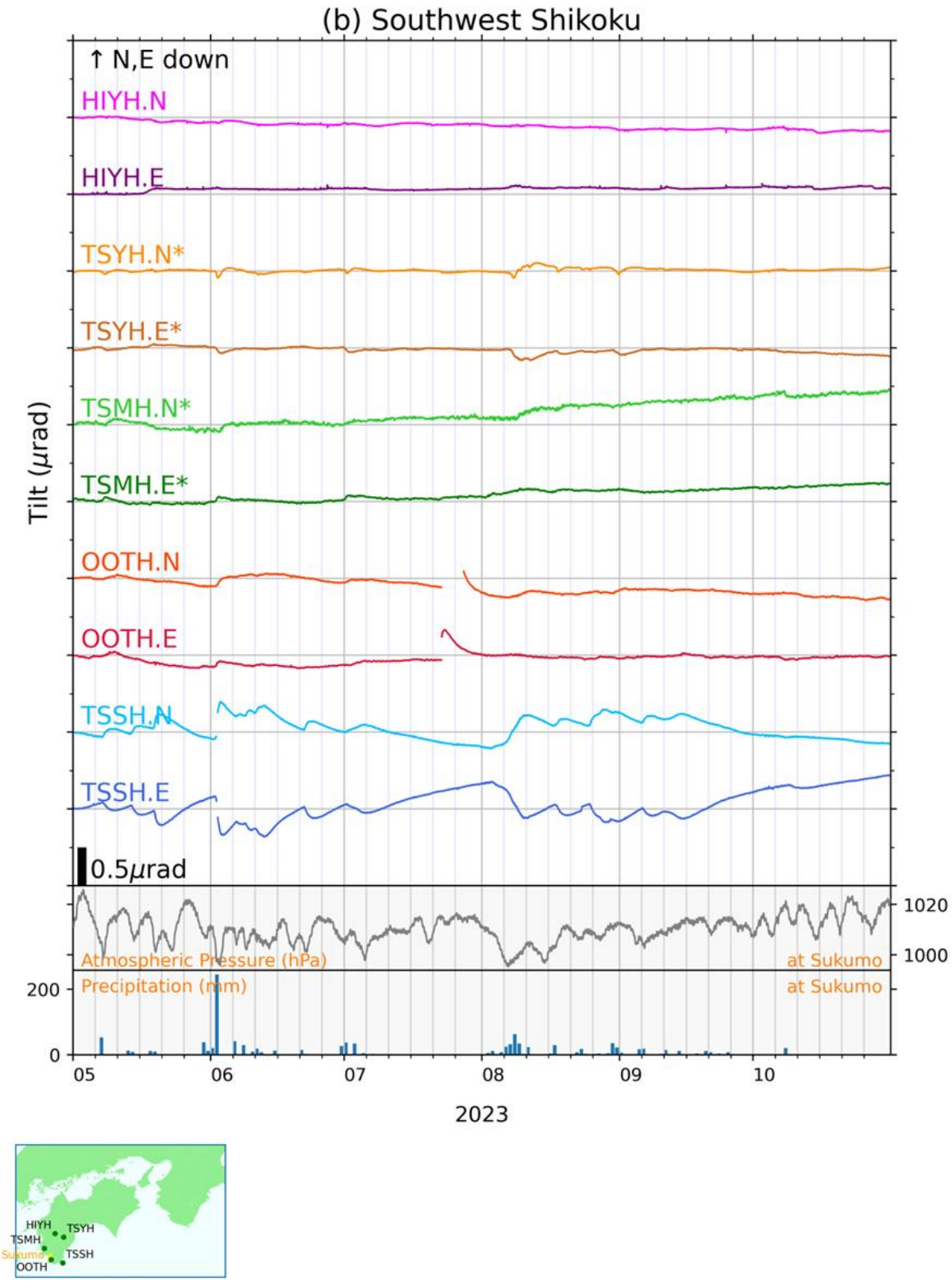


第 1 図　傾斜観測点（丸印）の配置．シンボルの色で分けた観測点グループ毎に図２で傾斜記録を表示している．使用した気象庁気象観測点を三角形（黄色）であわせて示す．

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.

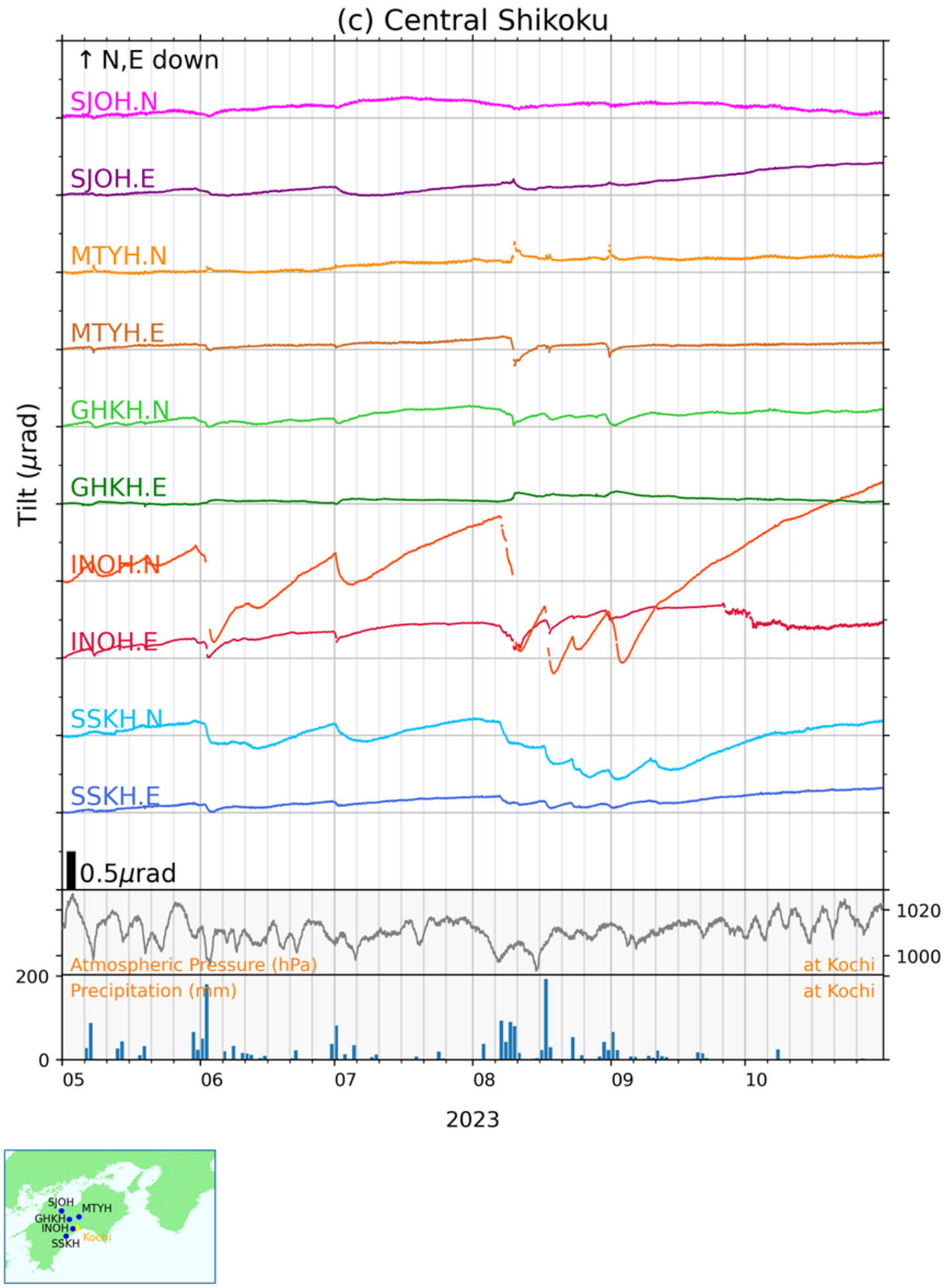


第 2 図 (a)　傾斜の時間値記録（四国北西部）及び気圧・日雨量（宇和島）.
Fig. 2(a)　Hourly tilt record in northwest Shikoku, and atmospheric pressure and daily precipitation at Uwajima.

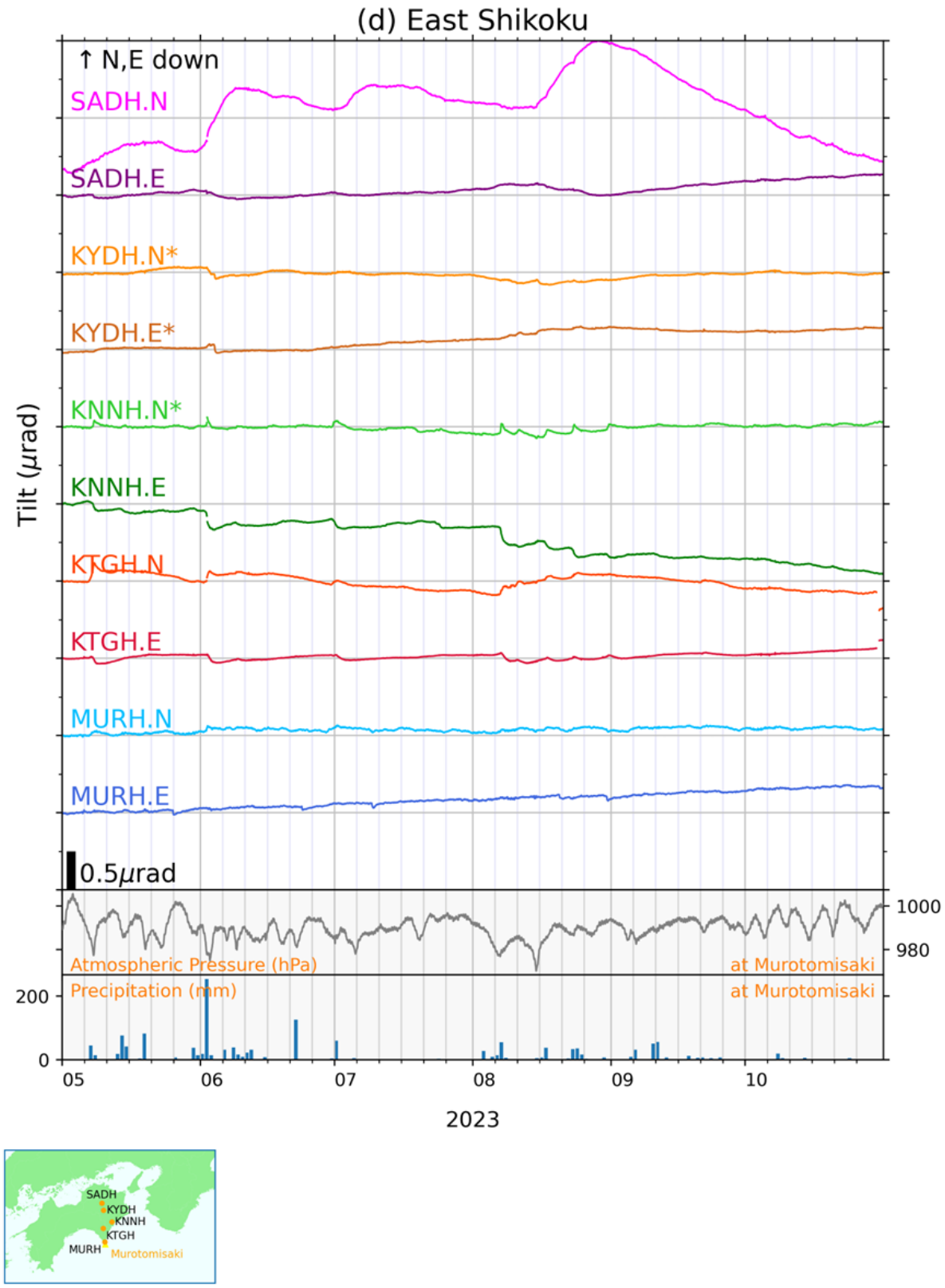


第 2 図 (b)　傾斜の時間値記録（四国南西部）及び気圧・日雨量（宿毛）．なお，観測点名に星印が付記されたデータは直線補正が施されている．

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.

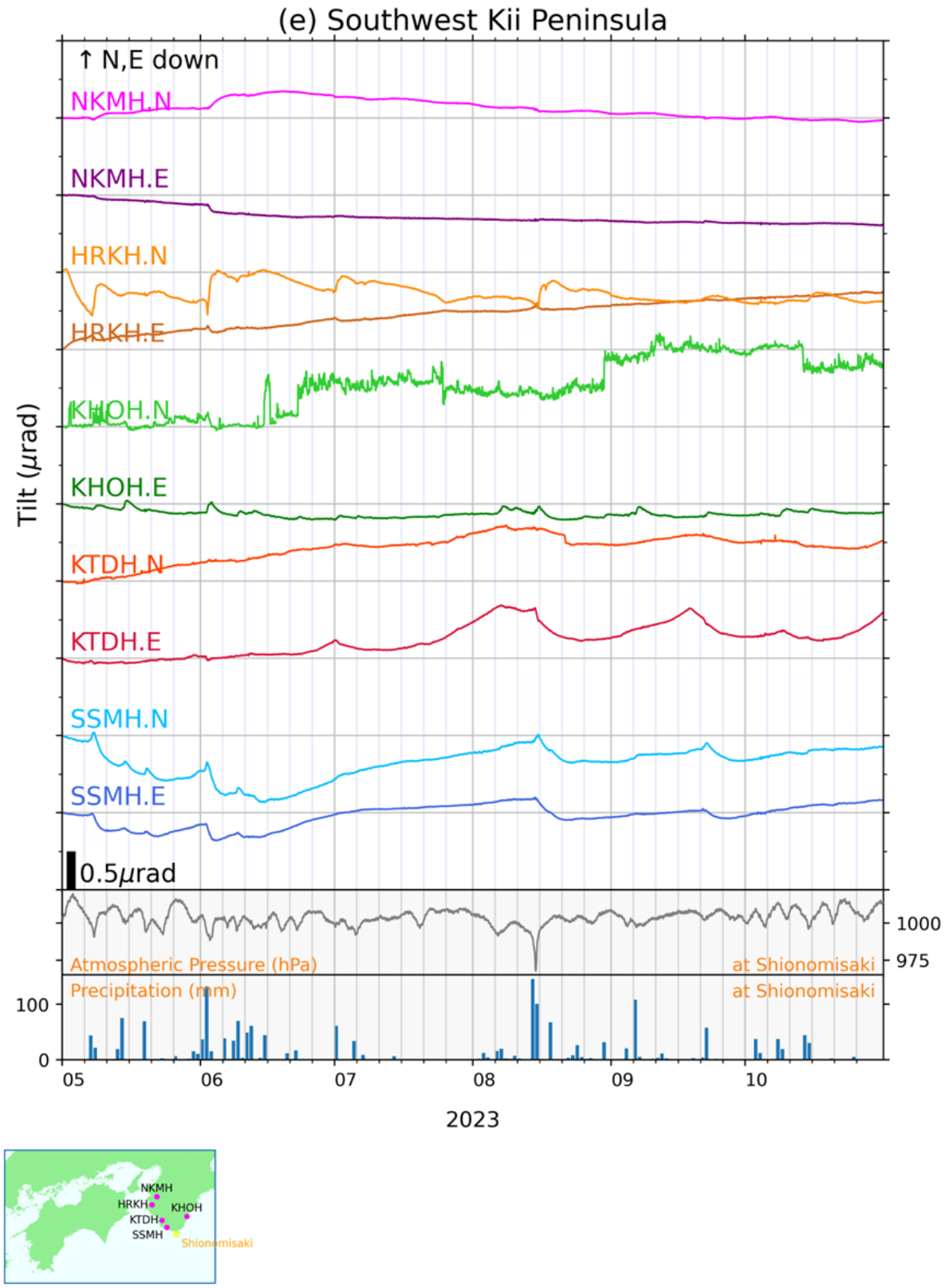


第 2 図 (c)　傾斜の時間値記録（四国中部）及び気圧・日雨量（高知）.
Fig. 2(c)　Hourly tilt record in central Shikoku, and atmospheric pressure and daily precipitation at Kochi.

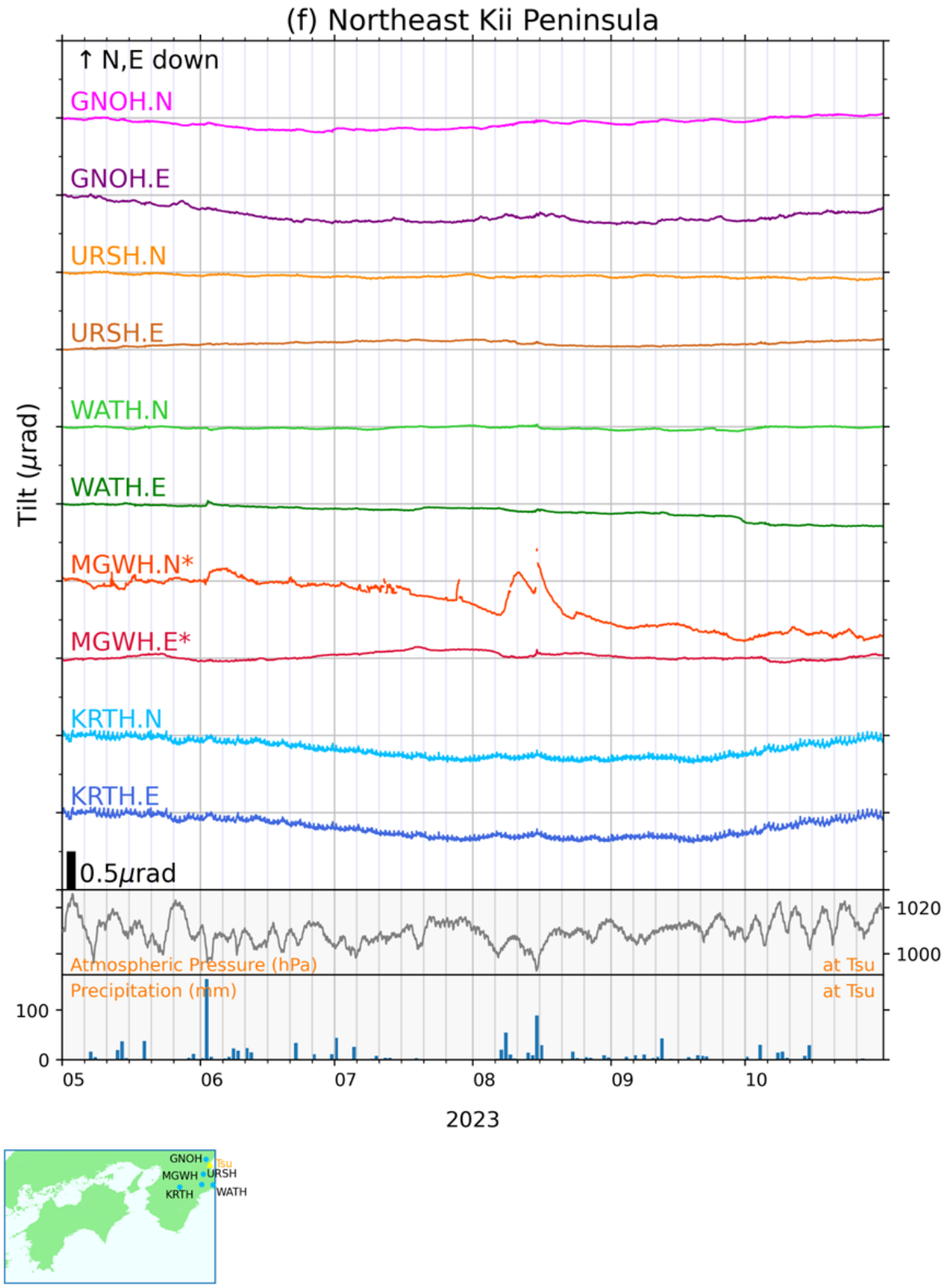


第 2 図 (d)　傾斜の時間値記録（四国東部）及び気圧・日雨量（室戸岬）．なお，観測点名に星印が付記されたデータは直線補正が施されている．

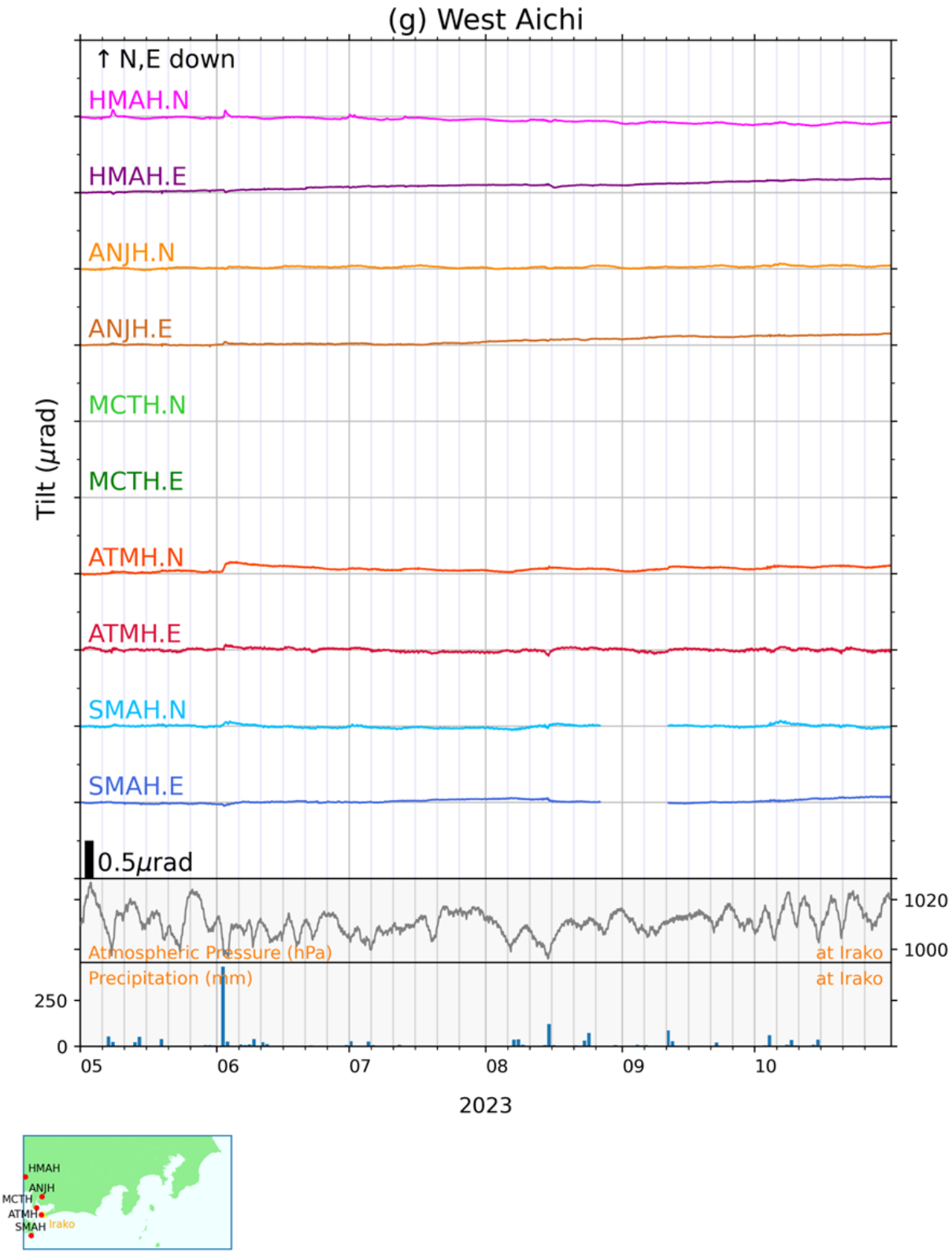
Fig. 2(d)　Hourly tilt record in east Shikoku, and atmospheric pressure and daily precipitation at Muroto-misaki. Linear detrend is applied to the channel of which code name ends with asterisk.



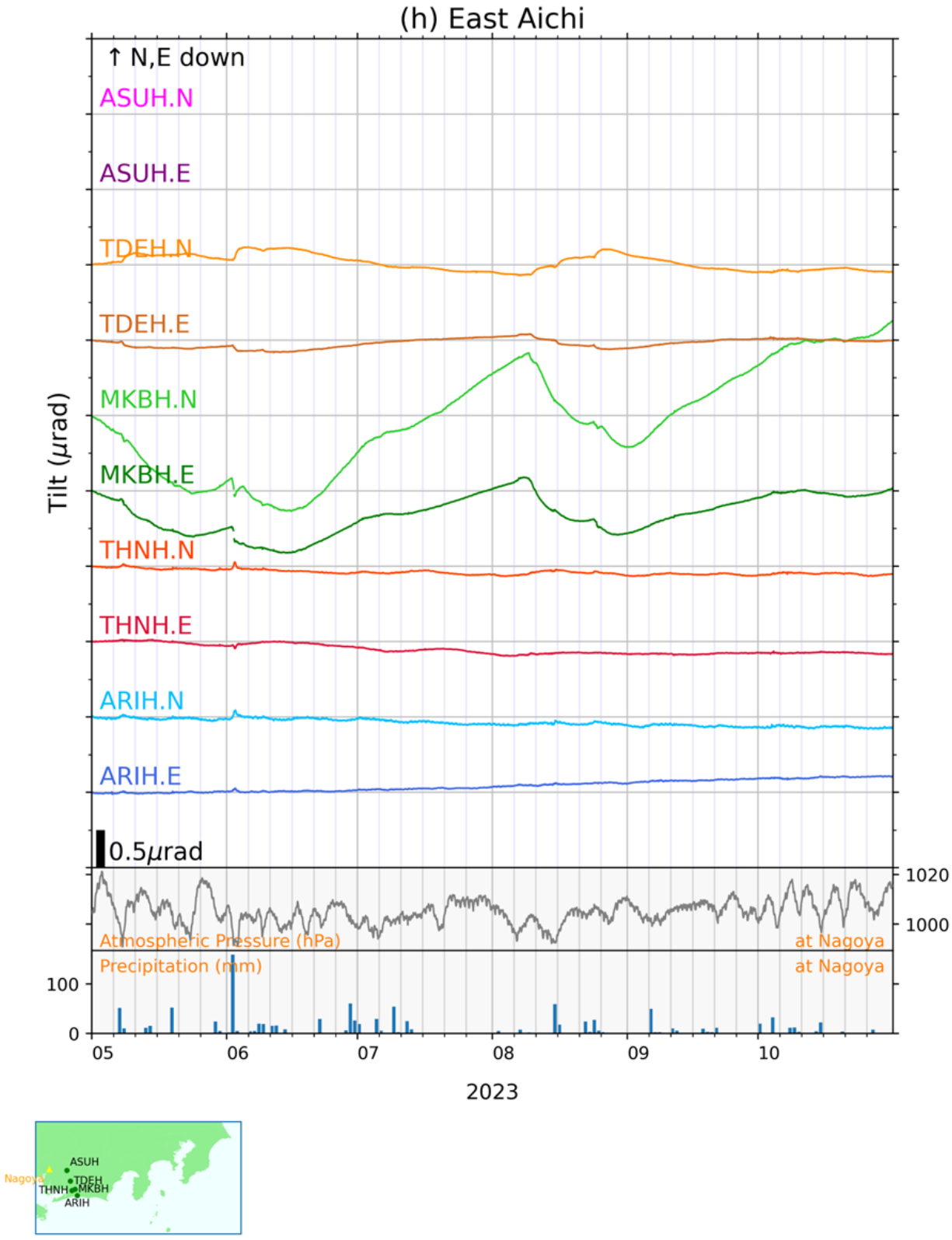
第 2 図 (e)　傾斜の時間値記録（紀伊半島南西部）及び気圧・日雨量（潮岬）.
Fig. 2(e)　Hourly tilt record in southwest Kii peninsula, and atmospheric pressure and daily precipitation at Shiono-misaki.



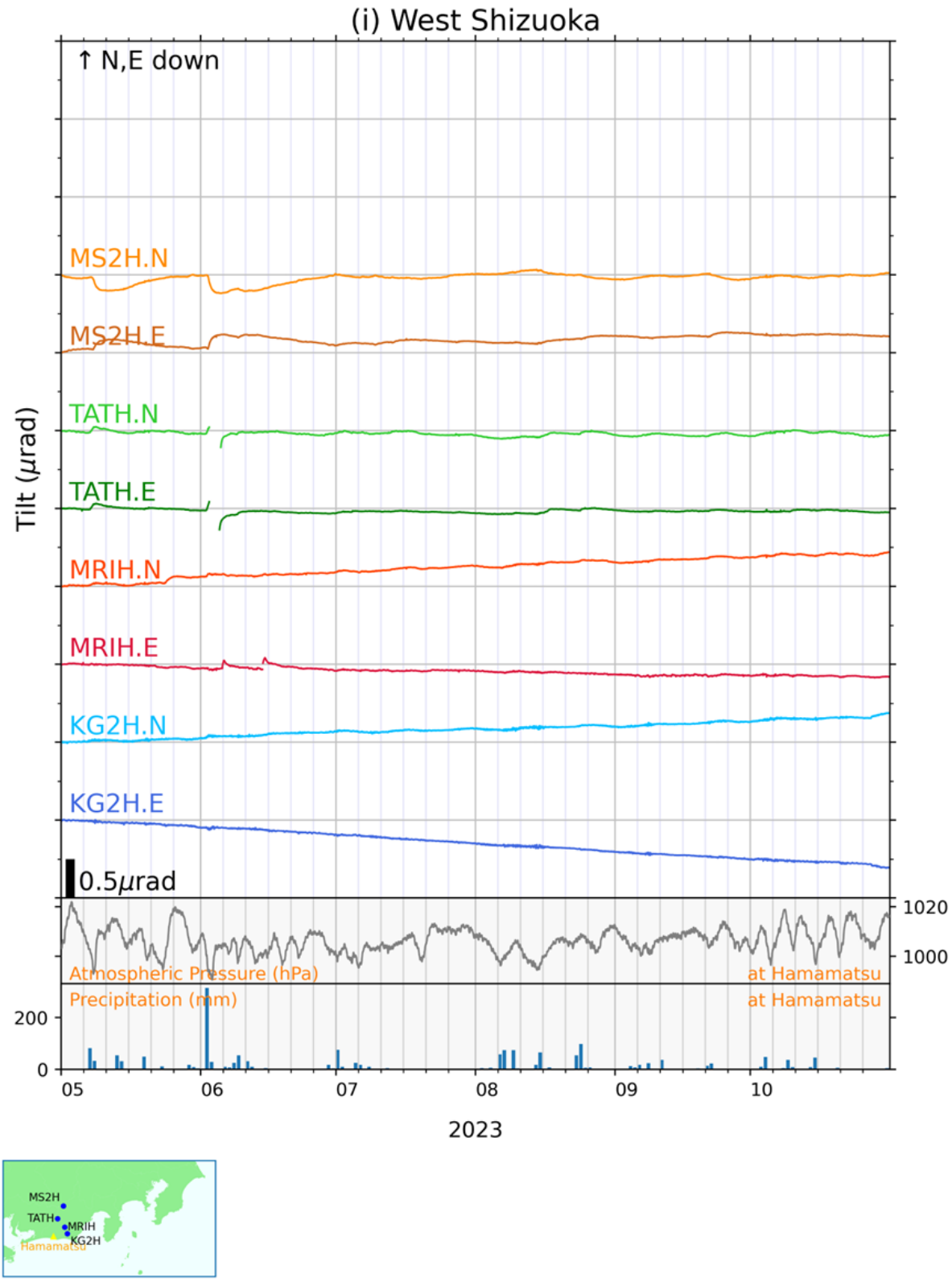
第 2 図 (f)　傾斜の時間値記録（紀伊半島北東部）及び気圧・日雨量（津）.
Fig. 2(f)　Hourly tilt record in northeast Kii peninsula, and atmospheric pressure and daily precipitation at Tsu.



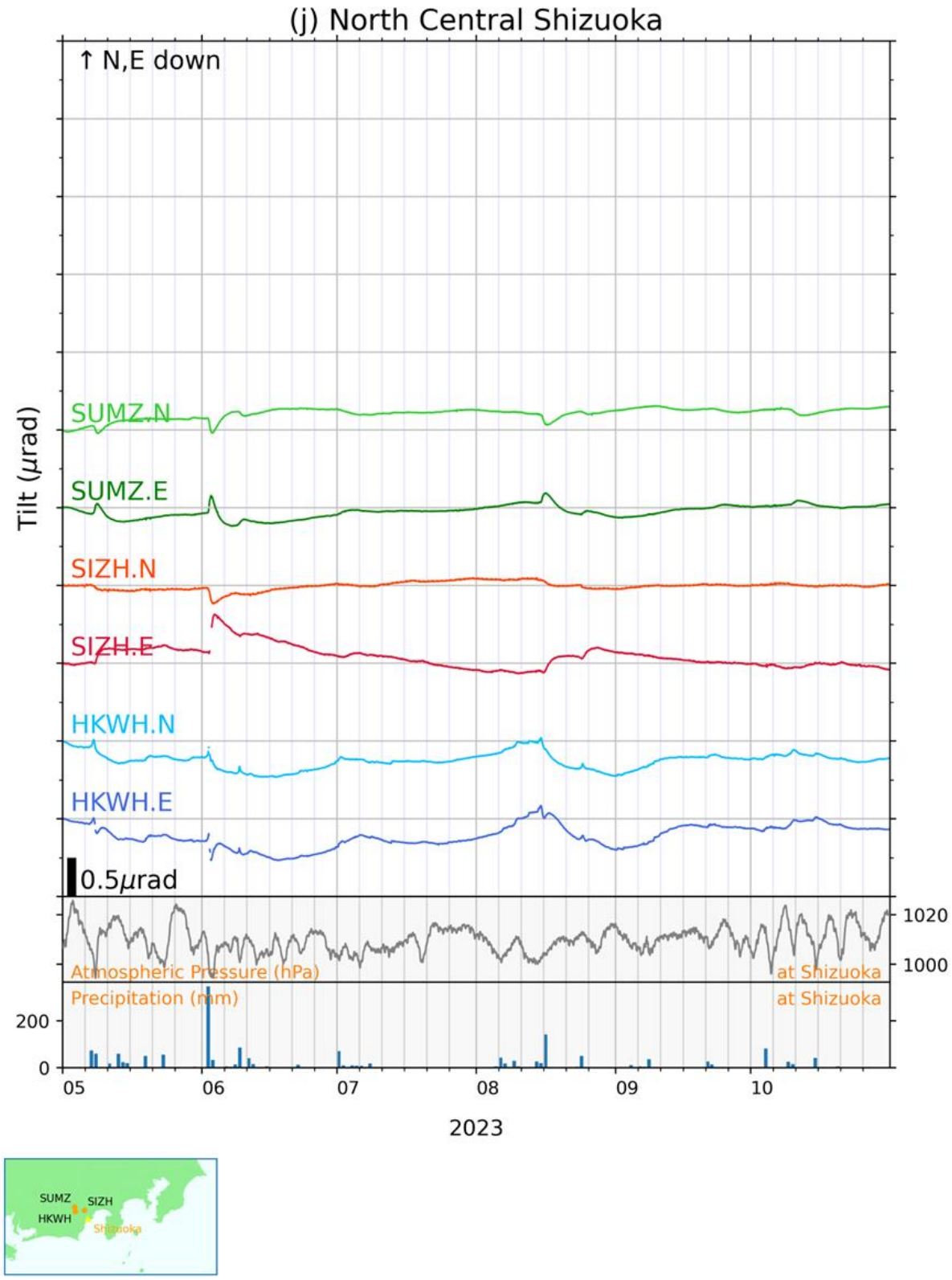
第 2 図 (g)　傾斜の時間値記録（愛知西部）及び気圧・日雨量（伊良湖）.
Fig. 2(g)　Hourly tilt record in west Aichi, and atmospheric pressure and daily precipitation at Irako.



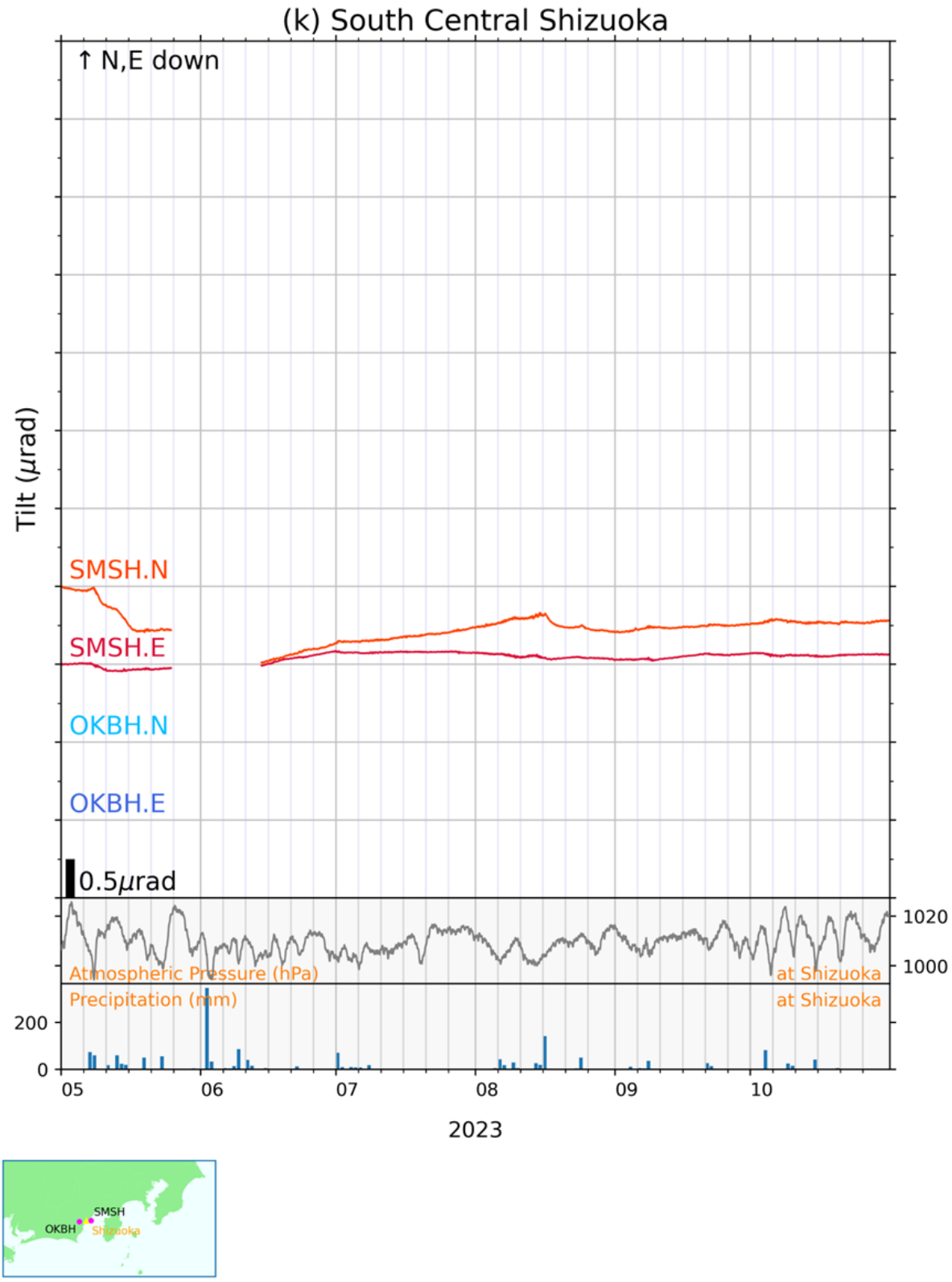
第 2 図 (h)　傾斜の時間値記録（愛知東部）及び気圧・日雨量（名古屋）.
Fig. 2(h)　Hourly tilt record in east Aichi, and atmospheric pressure and daily precipitation at Nagoya.



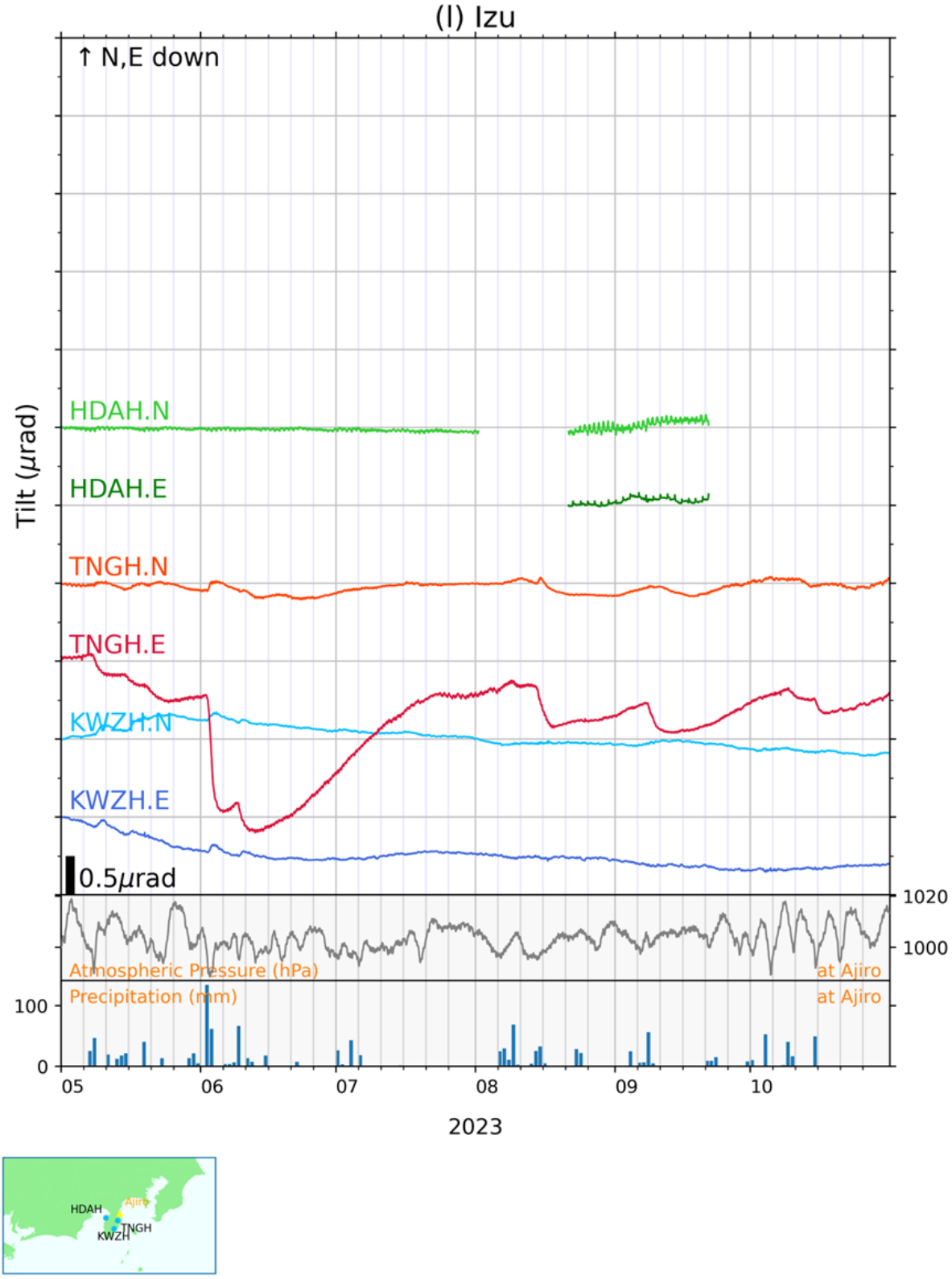
第 2 図 (i)　傾斜の時間値記録（静岡西部）及び気圧・日雨量（浜松）.
Fig. 2(i)　Hourly tilt record in west Shizuoka, and atmospheric pressure and daily precipitation at Hamamatsu.



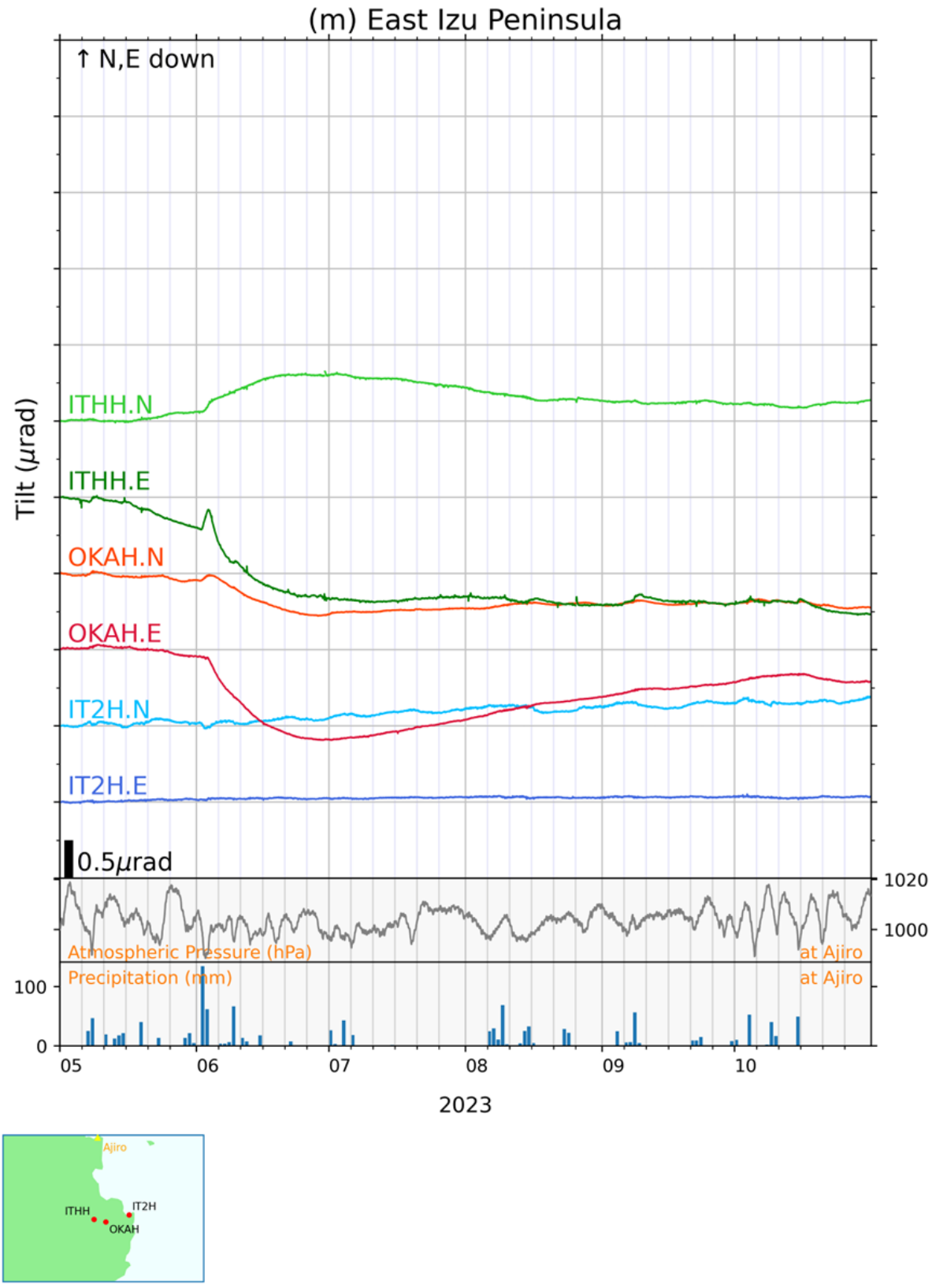
第 2 図 (j)　傾斜の時間値記録（静岡中北部）及び気圧・日雨量（静岡）.
Fig. 2(j)　Hourly tilt record in north-central Shizuoka, and atmospheric pressure and daily precipitation at Shizuoka.



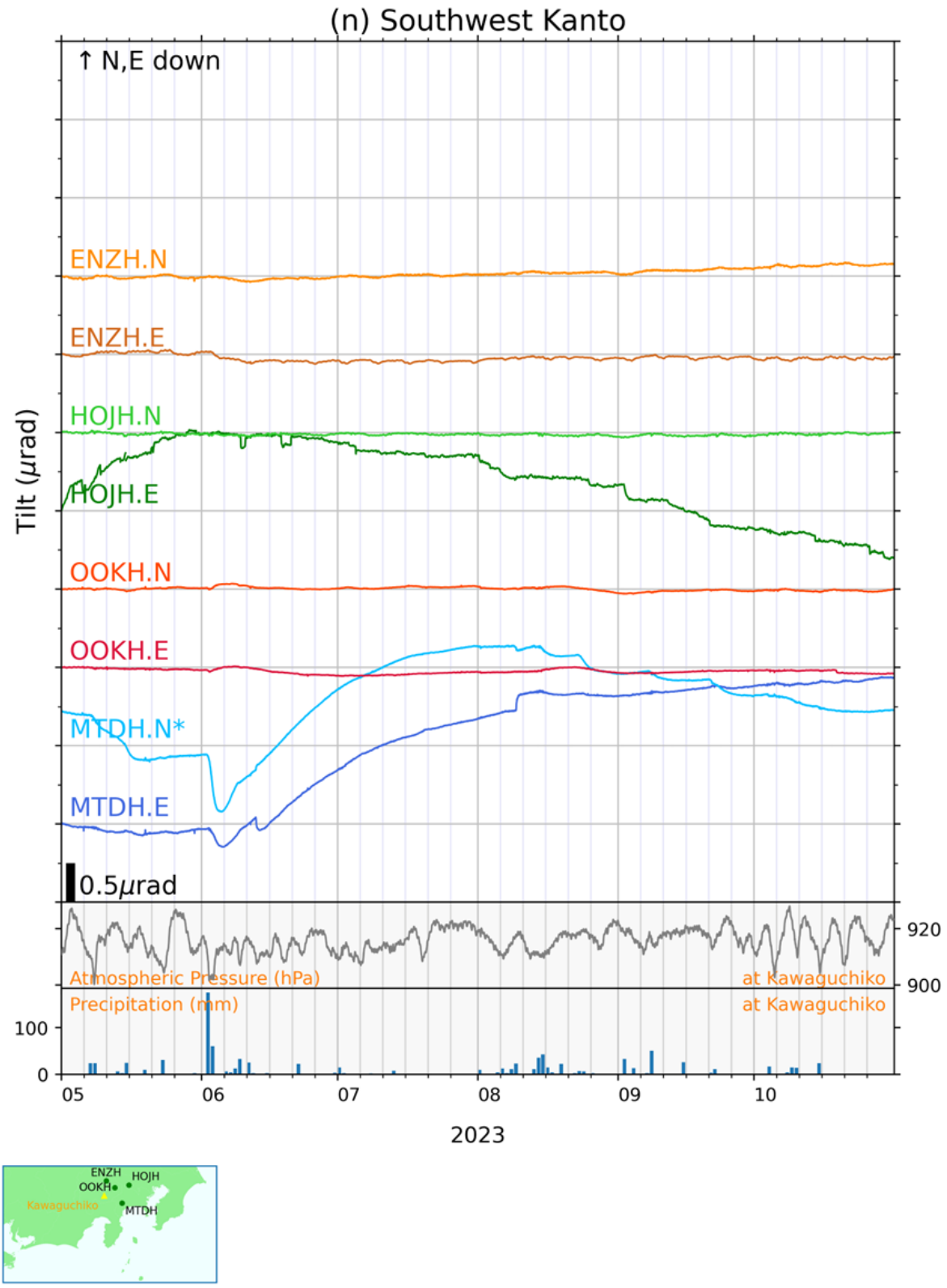
第 2 図 (k)　傾斜の時間値記録（静岡中南部）及び気圧・日雨量（静岡）.
Fig. 2(k)　Hourly tilt record in south-central Shizuoka, and atmospheric pressure and daily precipitation at Shizuoka.



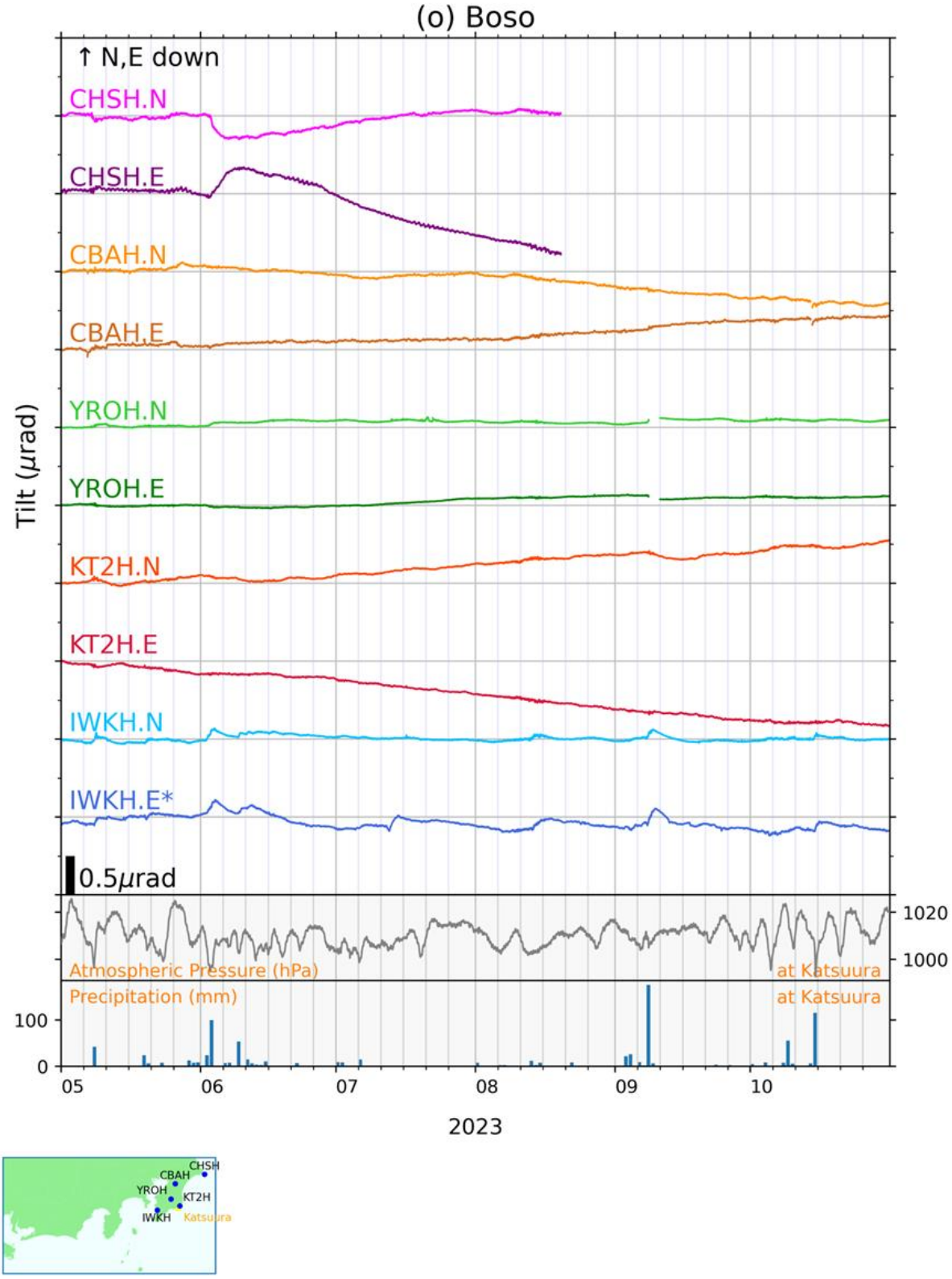
第 2 図 (l)　傾斜の時間値記録（伊豆）及び気圧・日雨量（網代）.
Fig. 2(l)　Hourly tilt record in Izu peninsula, and atmospheric pressure and daily precipitation at Ajiro.



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.

7－8　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

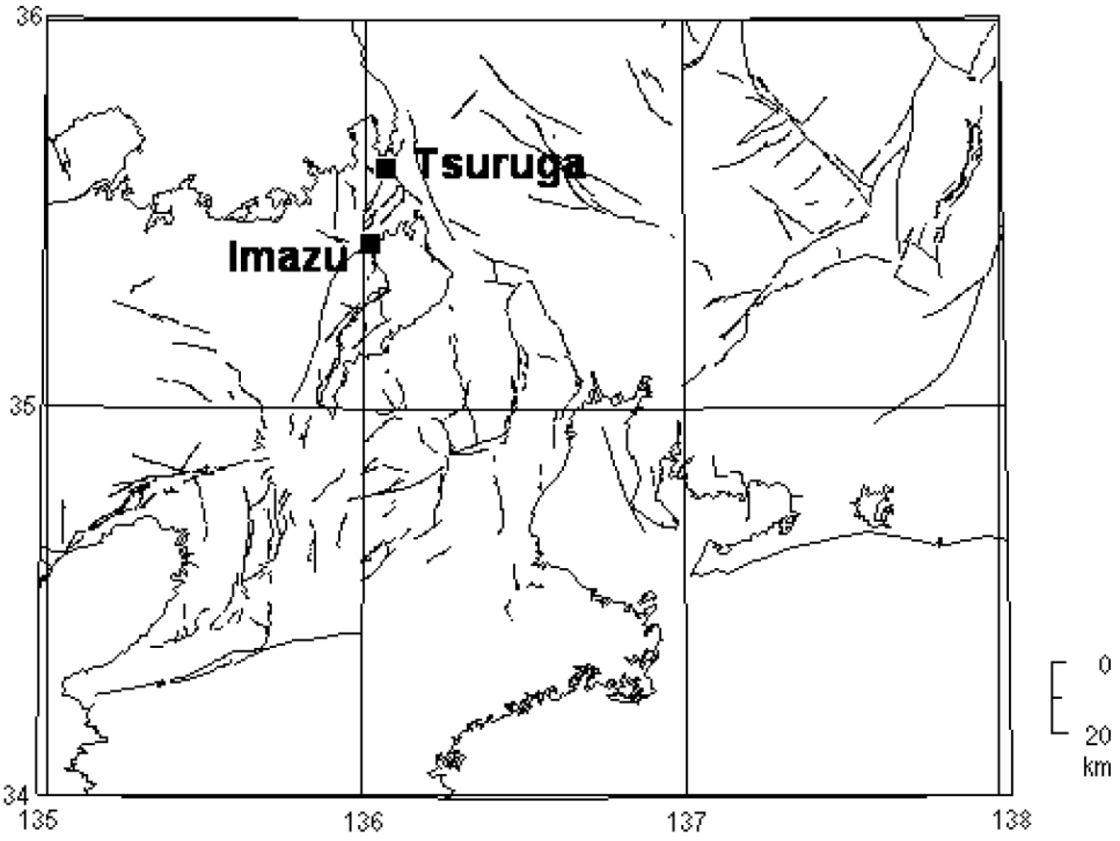
気象庁気象研究所
Meteorological Research Institute, JMA

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^{-6}strain 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^{-6}strain 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．

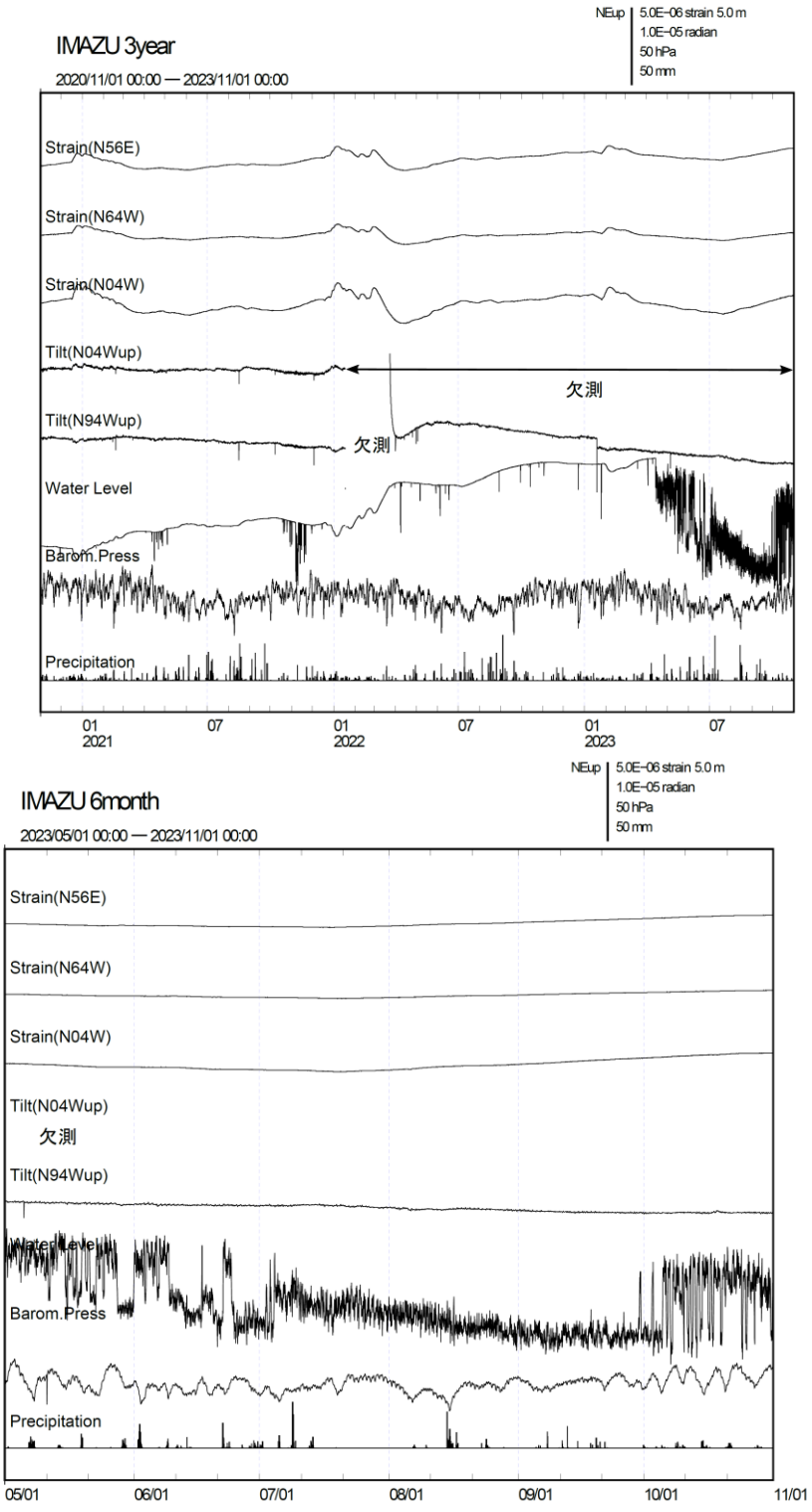
参考文献

1) 気象研究所，内陸部の地震空白域における地殻変動観測，*連絡会報*，**57**，554-558，1997.
2) 地震調査委員会，琵琶湖西岸断層帯の評価（一部改訂），
https://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/65_biwako-seigan_2.pdf
3) 地震調査委員会，湖北山地断層帯の評価，
https://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/64_kohoku-sanchi.pdf
4) 活断層研究会，新編日本の活断層，東京大学出版会，437pp，1991.



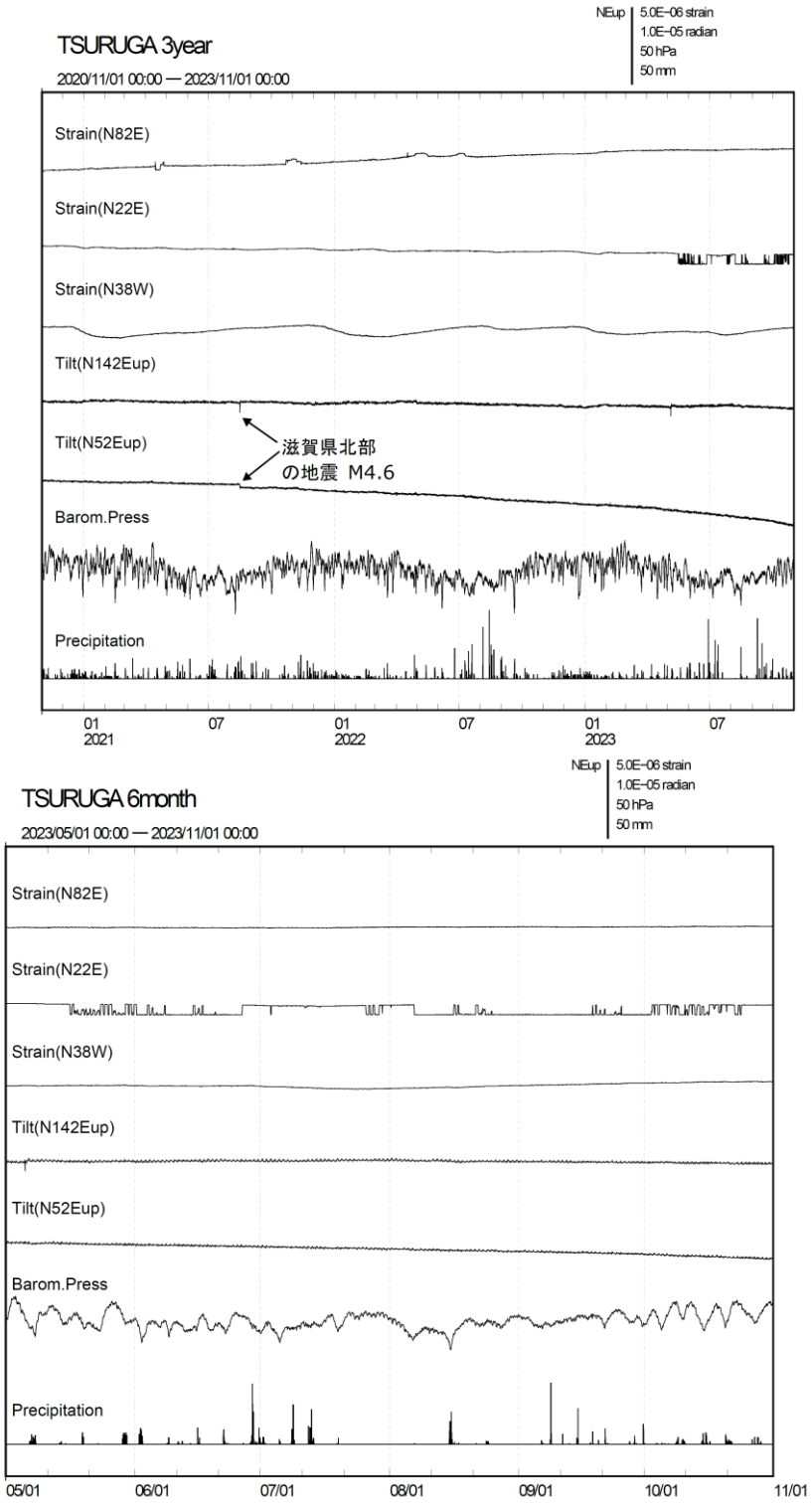
第 1 図　今津・敦賀観測点の位置．図中の線は活断層研究会 (1991)[4] による活断層の位置．

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) 2020 年 11 月～2023 年 10 月, (下)2023 年 5 月～2023 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 2020 to October 2023. (Lower) Changes in the same values from May 2023 to October 2023. 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) 2020 年 11 月～2023 年 10 月, (下)2023 年 5 月～2023 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 2020 to October 2023. (Lower) Changes in the same values from May 2023 to October 2023.

7 － 9　紀伊半島～四国の歪・傾斜・地下水観測結果（2023 年 5 月～ 2023 年 10 月）
The variation of the strain, tilt and groundwater level in the Shikoku District and Kii Peninsula, Japan (from May 2023 to October 2023)

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

産業技術総合研究所（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.

ITA, ANK, KOC, MAT（第 1 図の■）に併設されている Gladwin 式歪計は故障にて観測終了したため，今回の資料から歪のグラフを掲載していない.

第 2 ～ 32 図には，2023 年 5 月～ 2023 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 度東方向に回転していることを示す．HKS 以外の補正値は，潮汐解析プログラム BAYTAP-G[Tamura et al., 1991] 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．HKS 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.

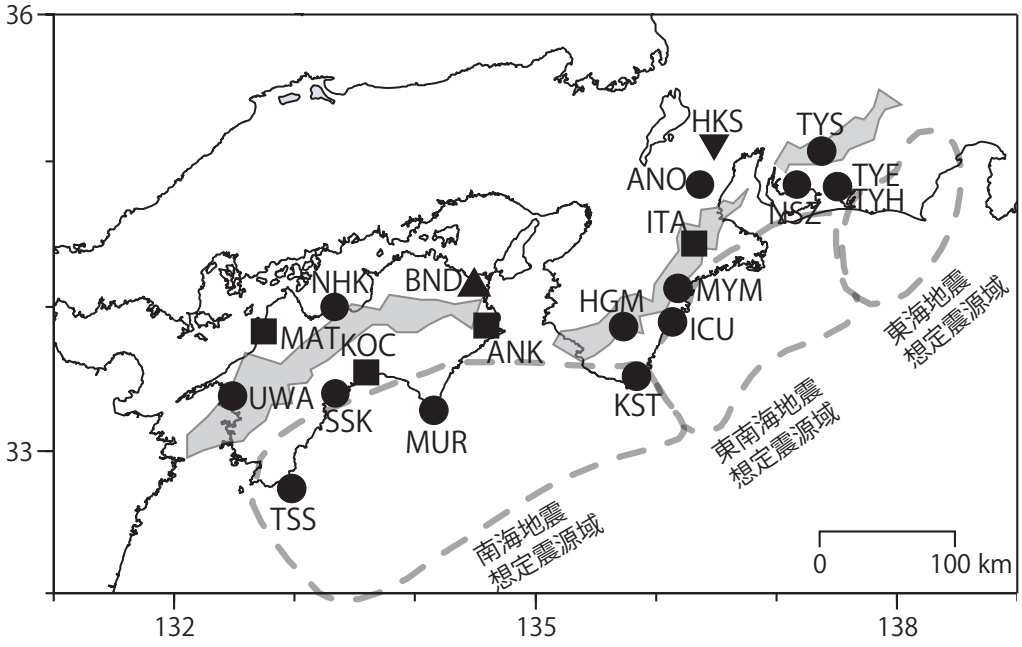
（北川　有一・板場　智史・松本　則夫・落　唯史・木口　努・矢部　優）

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.

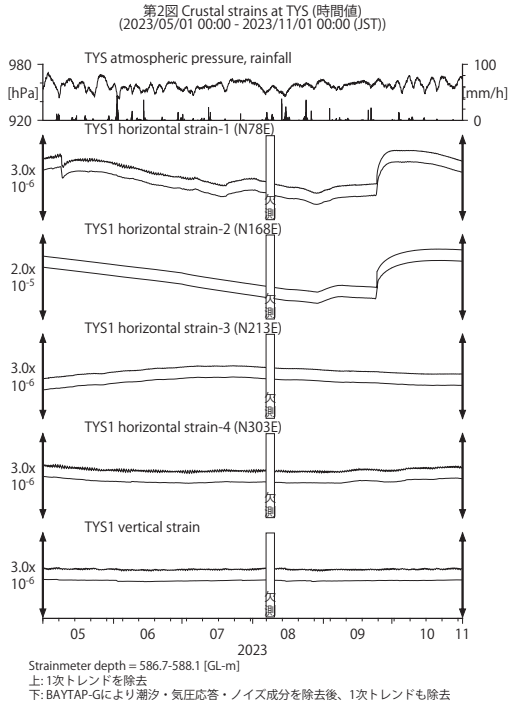
第 1 表　地下水等総合観測点の一覧.
Table 1　List of the observation sites.

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
MYM	海山	→	紀北海山	きほくみやま	三重県北牟婁郡紀北町	11,12
ICU	井内浦	→	熊野磯崎	くまのいそざき	三重県熊野市	13,14
HGM	本宮三越	→	田辺本宮	たなべほんぐう	和歌山県田辺市	15,16
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	17,18
BND	板東	→	鳴門大麻	なるとおおあさ	徳島県鳴門市	19
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	20
MUR	室戸	→	室戸岬	むろとみさき	高知県室戸市	21,22
KOC	高知市	→	高知五台山	こうちごだいさん	高知県高知市	23
SSK	須崎	→	須崎大谷	すさきおおたに	高知県須崎市	24,25
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	26,27
UWA	宇和	→	西予宇和	せいようわ	愛媛県西予市	28,29
MAT	松山	→	松山南江戸	まつやまみなみえど	愛媛県松山市	30
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	31,32



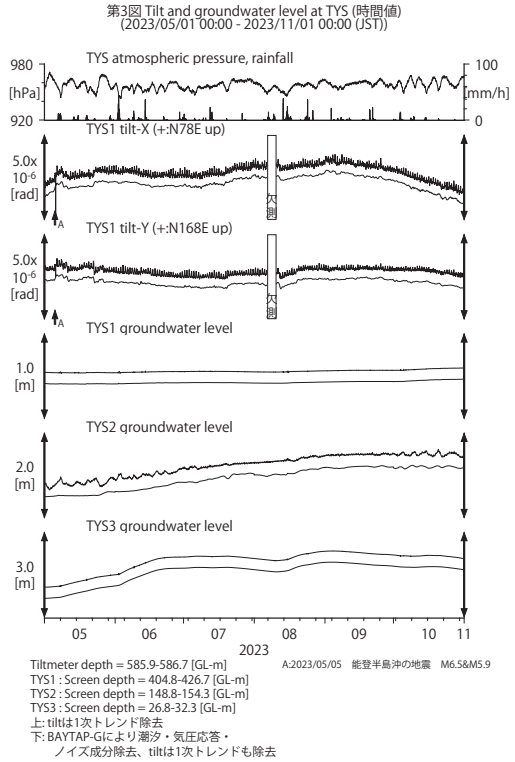
第 1 図　産総研の地殻変動・地下水観測点の分布図（●・■・▲・▼）. それぞれの観測点に設置されている機器は次のとおり. ●はボアホール歪・傾斜計（デジタル）および水位計. ■は傾斜計および水位計. ▲はボアホール歪計（アナログ）および水位計. ▼は水位計. 灰色の領域は短期的 SSE および深部低周波微動が定常的に発生していると考えられる地域.

Fig. 1　Location map of the crustal deformation and groundwater observation sites of AIST (● , ■ , ▲ , ▼). The observation equipments installed at each site is as follows. ● indicates a borehole strainmeter & tiltmeter (digital) and water-level gauges. ■ indicates a tiltmeter and water-level gauges. ▲ indicates a borehole strainmeter (analog) and a water-level gauge. ▼ indicates a water-level gauge. The gray mesh shows the area which is thought that short-term slow slip events and deep low frequency tremors occur stationarily.



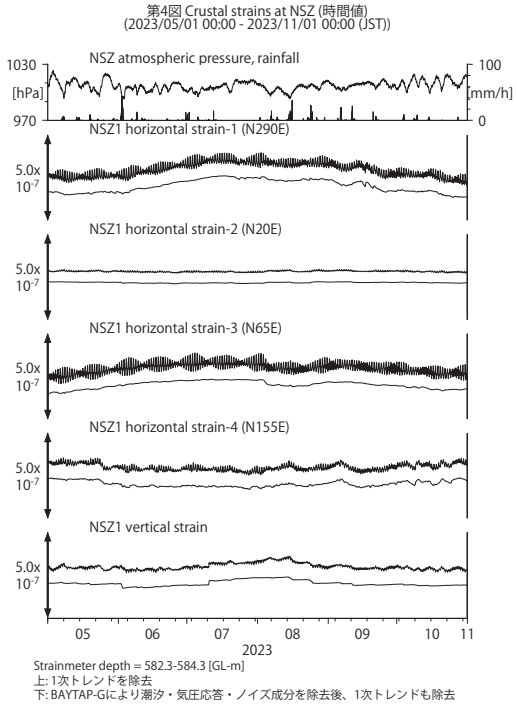
第 2 図　TYS における歪観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 2　Observed strains at the TYS observation site from May 2023 to October 2023.



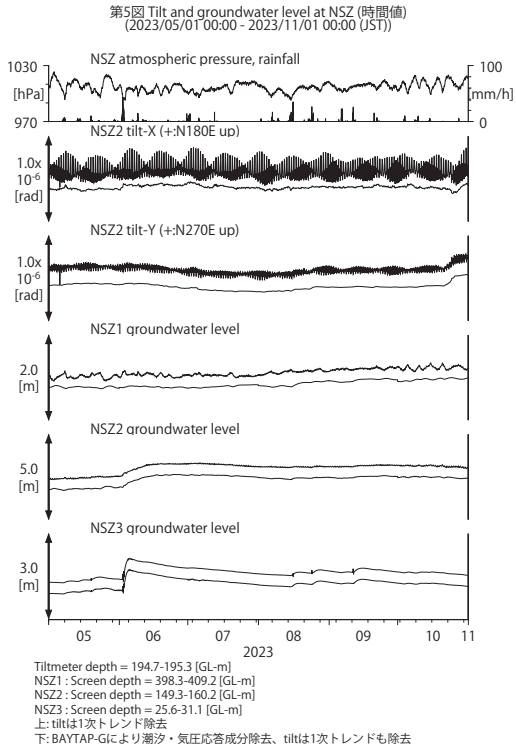
第 3 図　TYS における傾斜・地下水位観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 3　Observed tilts and groundwater levels at the TYS observation site from May 2023 to October 2023.



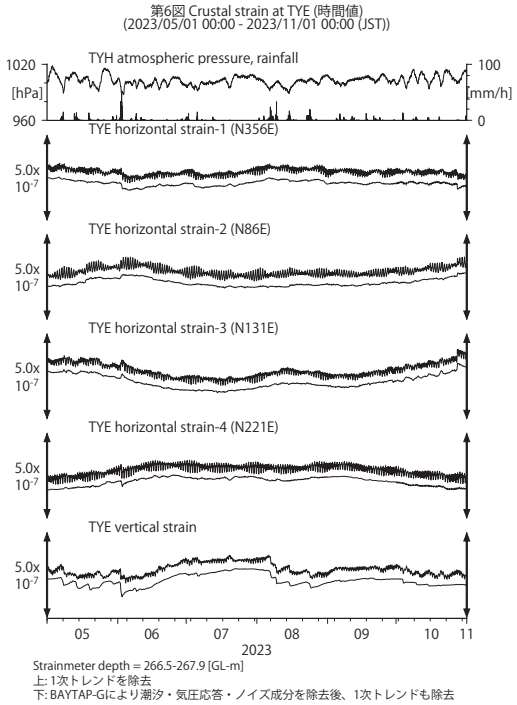
第 4 図　NSZ における歪観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

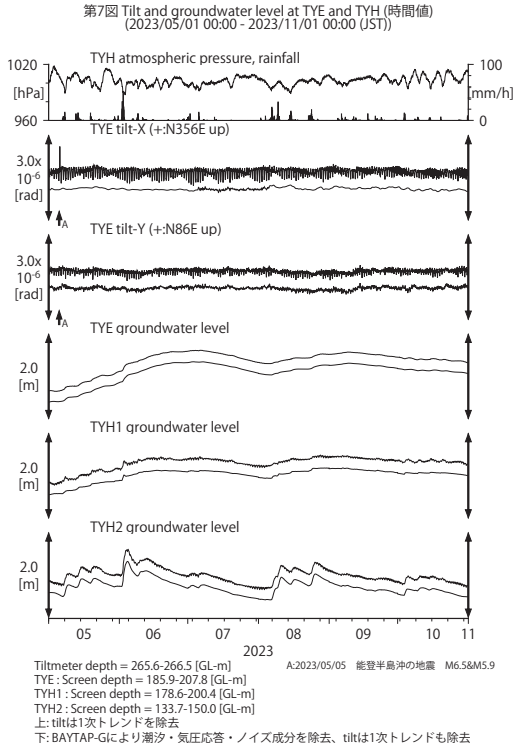
Fig. 4　Observed strains at the NSZ observation site from May 2023 to October 2023.



第 5 図　NSZ における傾斜・地下水位観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 5　Observed tilts and groundwater levels at the NSZ observation site from May 2023 to October 2023.



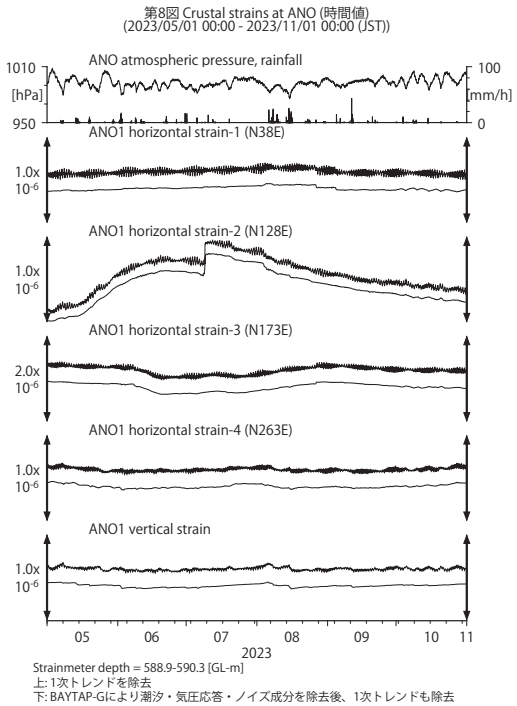


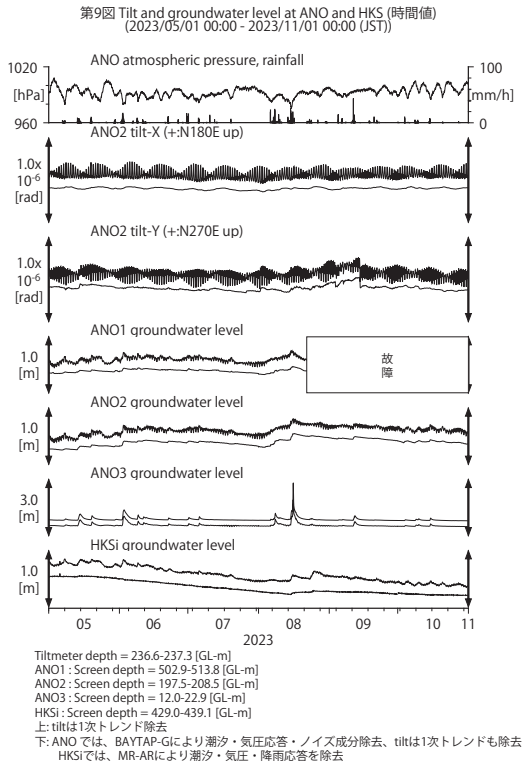
第 6 図　TYE における歪観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 6　Observed strains at the TYE observation site from May 2023 to October 2023.

第 7 図　TYE および TYH における傾斜・地下水位観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 7　Observed tilts and groundwater levels at the TYE and the TYH observation site from May 2023 to October 2023.



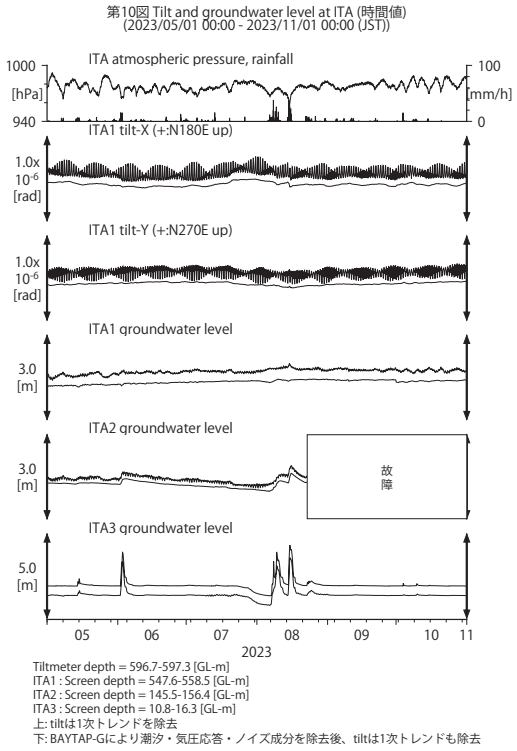


第 8 図　ANO における歪観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 8　Observed strains at the ANO observation site from May 2023 to October 2023.

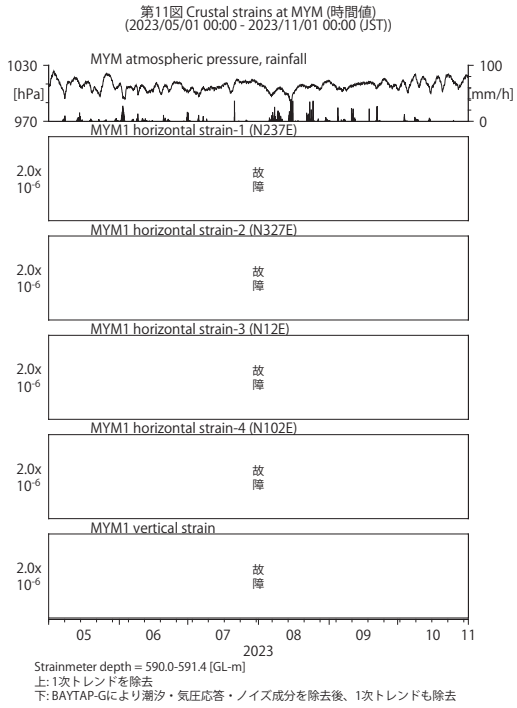
第 9 図　ANO および HKS における傾斜・地下水位観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 9　Observed tilts and groundwater levels at the ANO and the HKS observation site from May 2023 to October 2023.



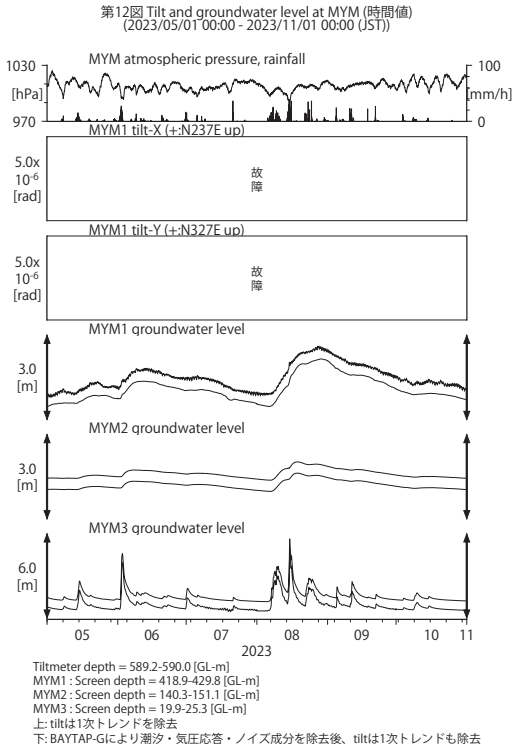
第 10 図　ITA における傾斜・地下水位観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 10　Observed tilts and groundwater levels at the ITA observation site from May 2023 to October 2023.



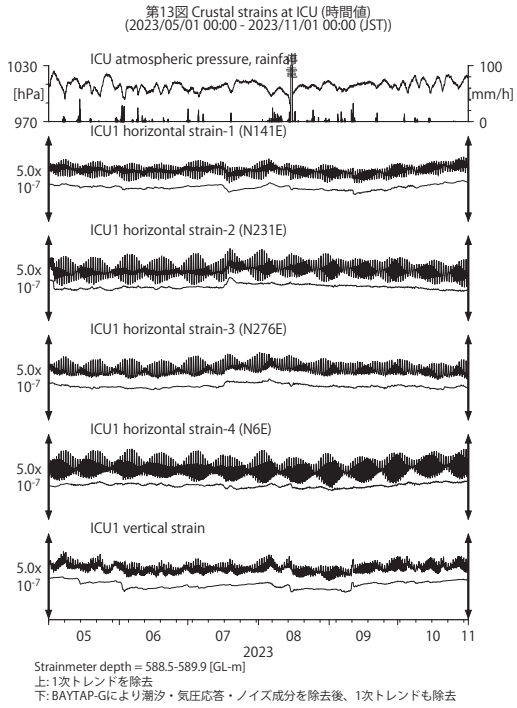
第 11 図　MYM における歪観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 11　Observed strains at the MYM observation site from May 2023 to October 2023.



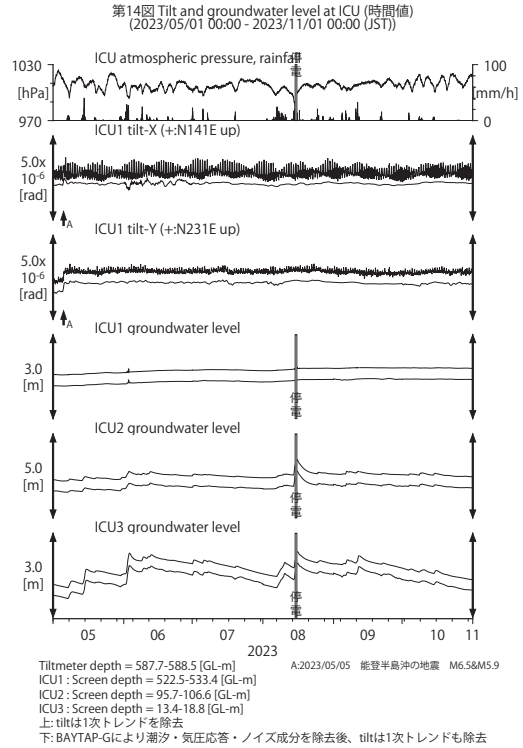
第 12 図　MYM における傾斜・地下水位観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 12　Observed tilts and groundwater levels at the MYM observation site from May 2023 to October 2023.



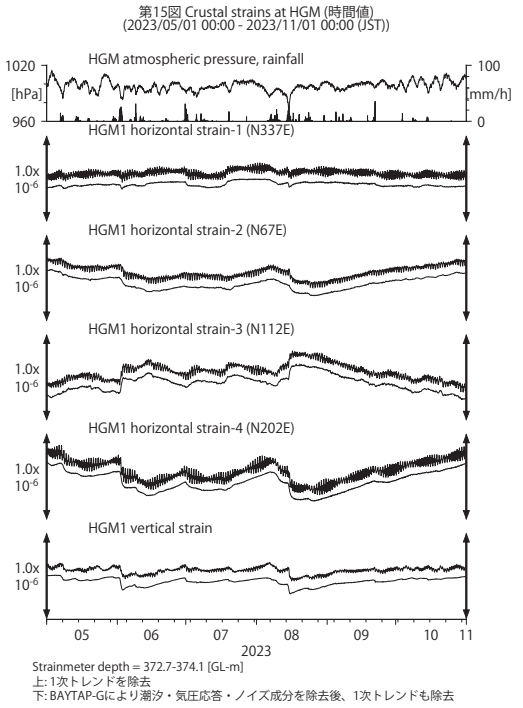
第 13 図　ICU における歪観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 13　Observed strains at the ICU observation site from May 2023 to October 2023.



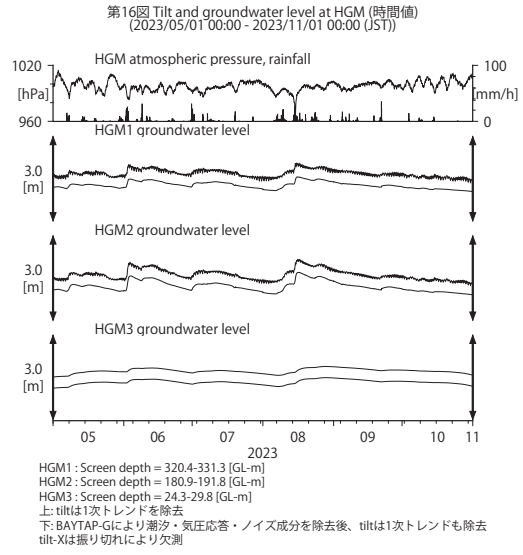
第 14 図　ICU における傾斜・地下水位観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 14　Observed tilts and groundwater levels at the ICU observation site from May 2023 to October 2023.



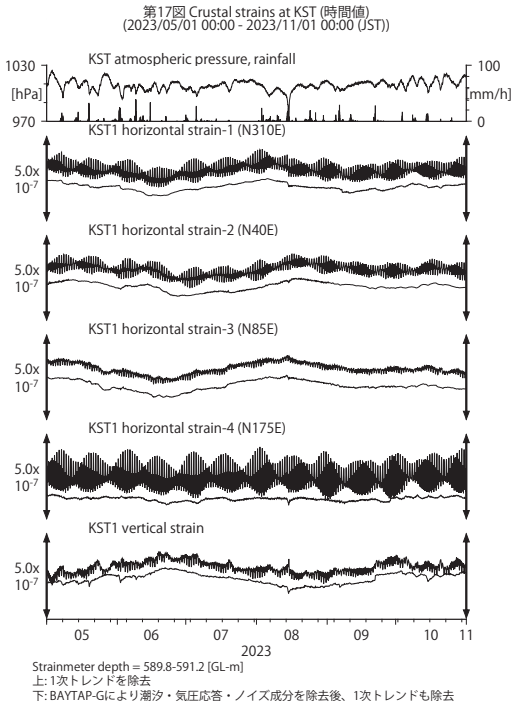
第 15 図　HGM における歪観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 15　Observed strains at the HGM observation site from May 2023 to October 2023.



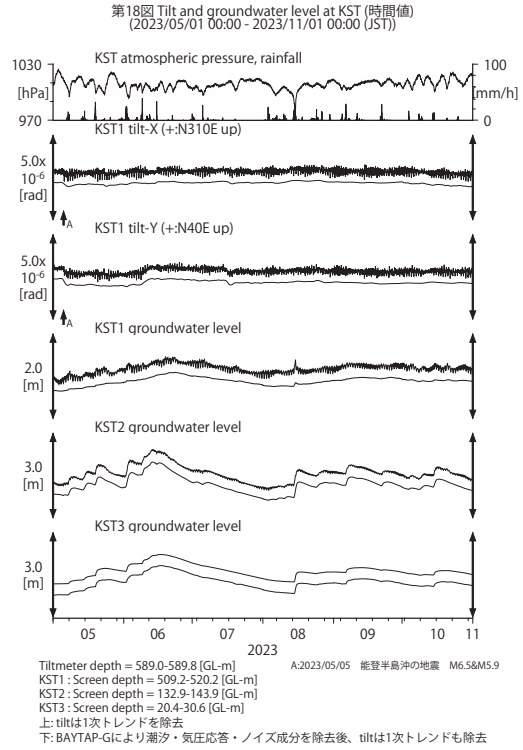
第 16 図　HGM における傾斜・地下水位観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 16　Observed tilt and groundwater levels at the HGM observation site from May 2023 to October 2023.



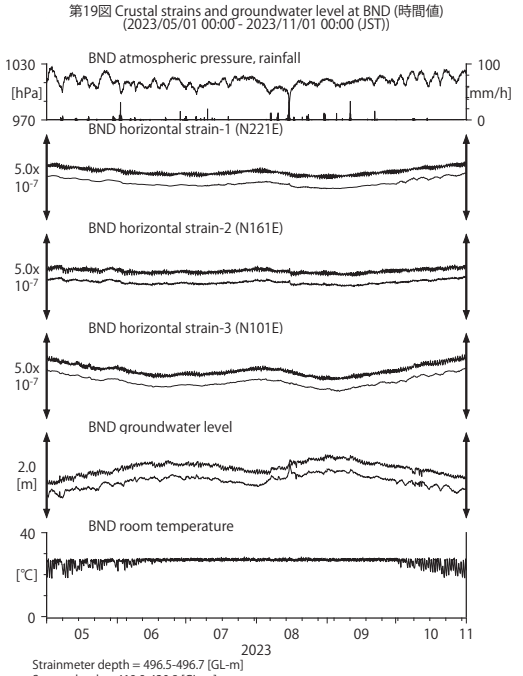
第 17 図　KST における歪観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 17　Observed strains at the KST observation site from May 2023 to October 2023.



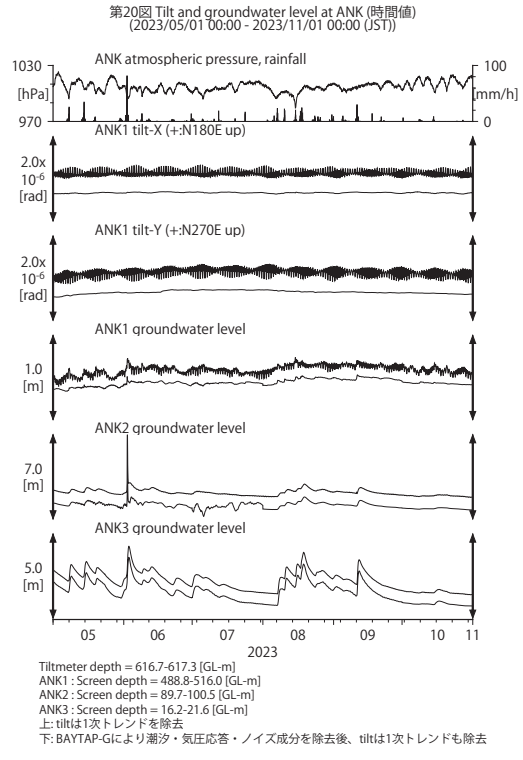
第 18 図　KST における傾斜・地下水位観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 18　Observed tilts and groundwater levels at the KST observation site from May 2023 to October 2023.



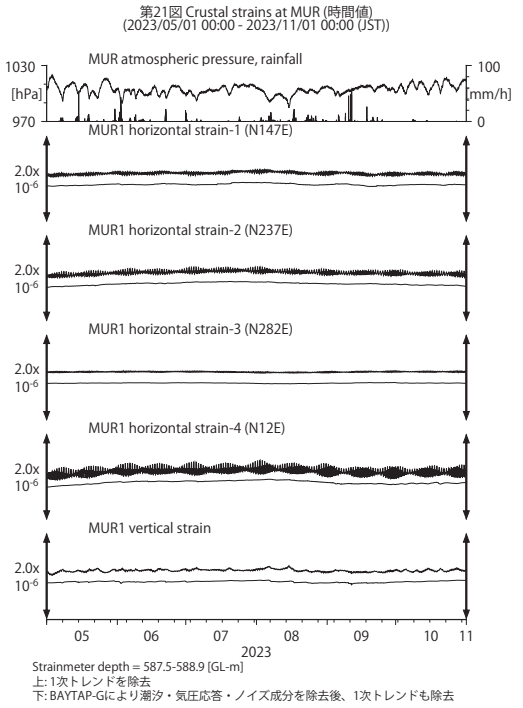
第 19 図　BND における歪・地下水位観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 19　Observed strains and groundwater level at the BND observation site from May 2023 to October 2023.



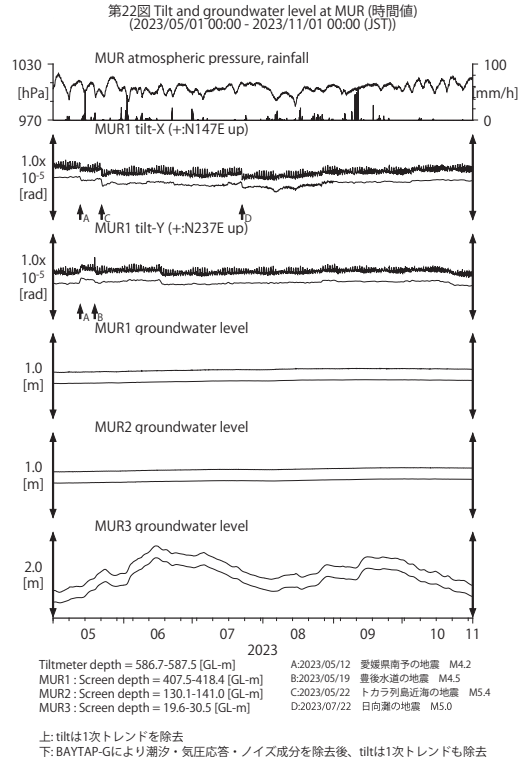
第 20 図　ANK における傾斜・地下水位観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 20　Observed tilts and groundwater levels at the ANK observation site from May 2023 to October 2023.



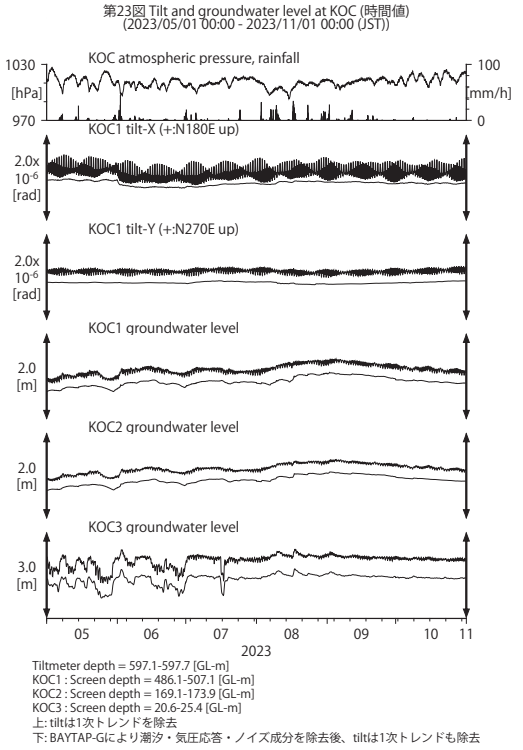
第 21 図　MUR における歪観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 21　Observed strains at the MUR observation site from May 2023 to October 2023.



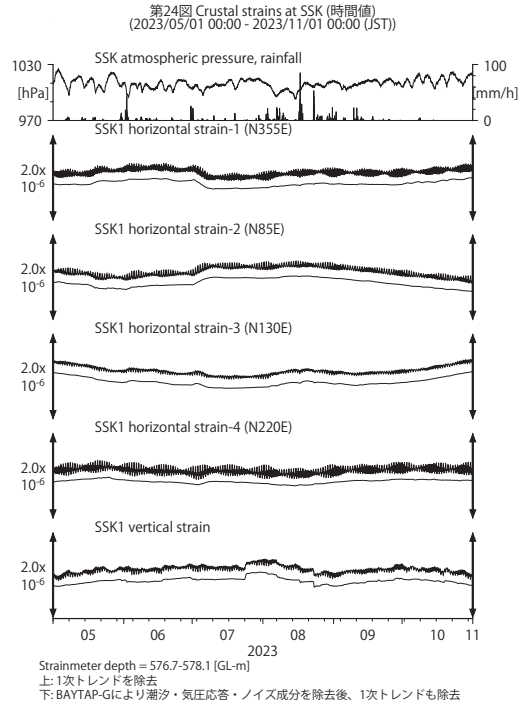
第 22 図　MUR における傾斜・地下水位観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 22　Observed tilts and groundwater levels at the MUR observation site from May 2023 to October 2023.



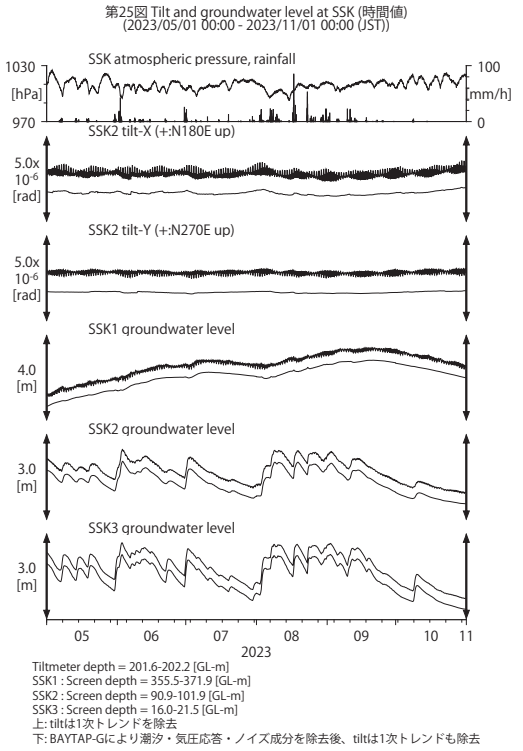
第 23 図　KOC における傾斜・地下水位観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 23　Observed tilts and groundwater levels at the KOC observation site from May 2023 to October 2023.



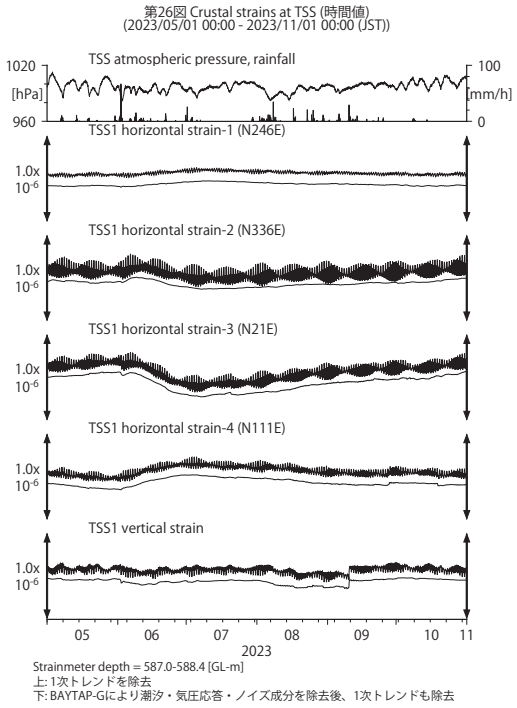
第 24 図　SSK における歪観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 24　Observed strains at the SSK observation site from May 2023 to October 2023.



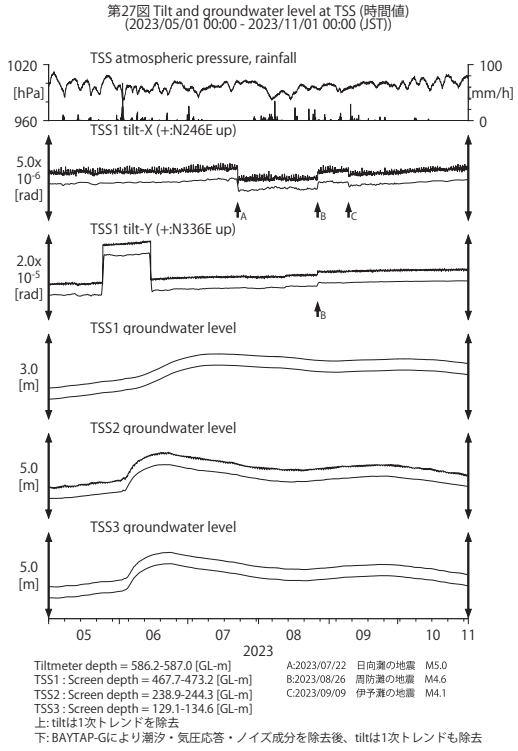
第 25 図　SSK における傾斜・地下水位観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 25　Observed tilts and groundwater levels at the SSK observation site from May 2023 to October 2023.



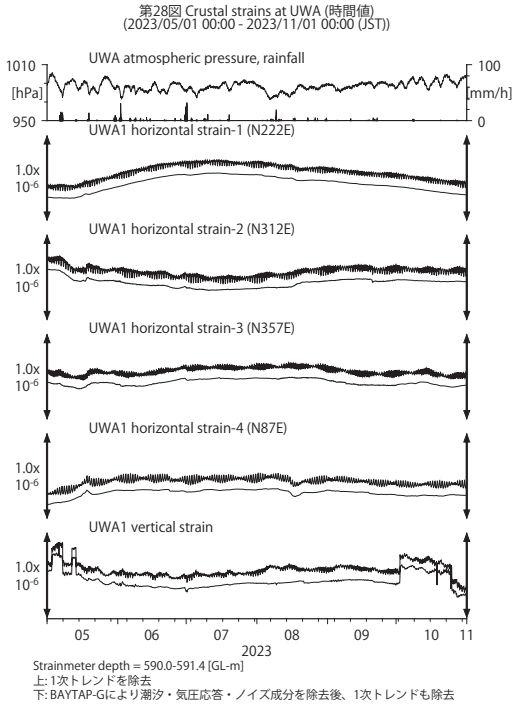
第 26 図　TSS における歪観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 26　Observed strains at the TSS observation site from May 2023 to October 2023.



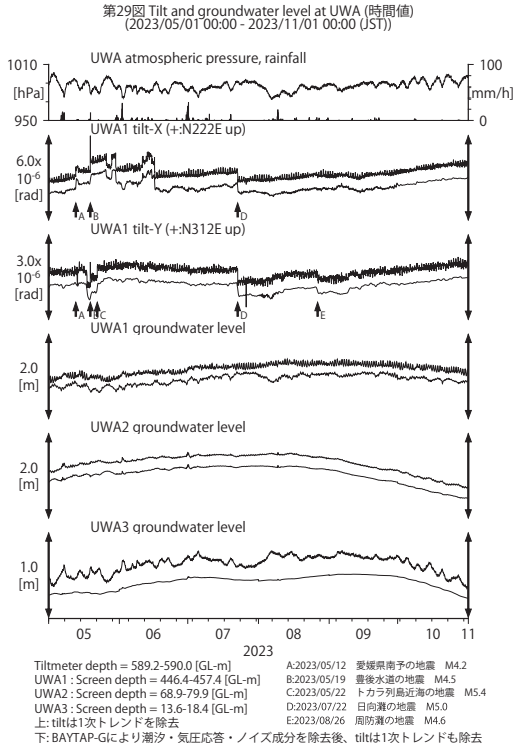
第 27 図　TSS における傾斜・地下水位観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 27　Observed tilts and groundwater levels at the TSS observation site from May 2023 to October 2023.



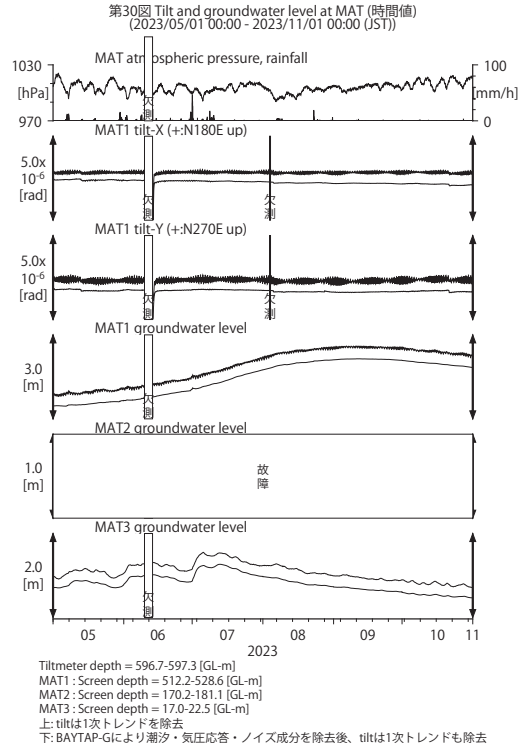
第 28 図　UWA における歪観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 28　Observed strains at the UWA observation site from May 2023 to October 2023.



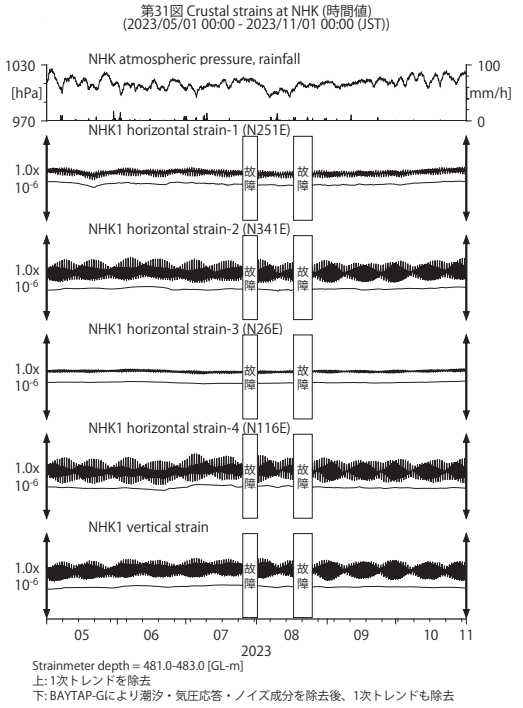
第 29 図　UWA における傾斜・地下水位観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 29　Observed tilts and groundwater levels at the UWA observation site from May 2023 to October 2023.



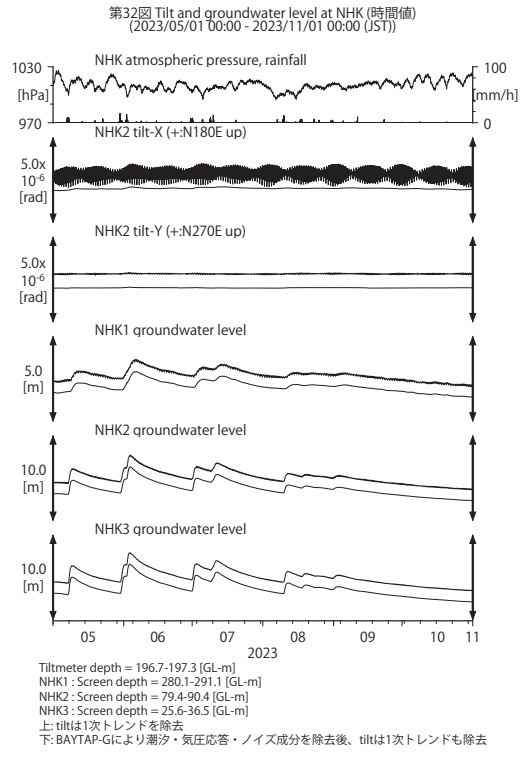
第 30 図　MAT における傾斜・地下水位観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 30　Observed tilts and groundwater levels at the MAT observation site from May 2023 to October 2023.



第 31 図　NHK における歪観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 31　Observed strains at the NHK observation site from May 2023 to October 2023.



第 32 図　NHK における傾斜・地下水位観測結果 (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)

Fig. 32　Observed tilts and groundwater levels at the NHK observation site from May 2023 to October 2023.

7 － 10　近畿地域の地下水位・歪観測結果（2023 年 5 月～ 2023 年 10 月）
Observational Results of Groundwater Levels and Crustal Strains in the Kinki District, Japan (May 2023 – October 2023)

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

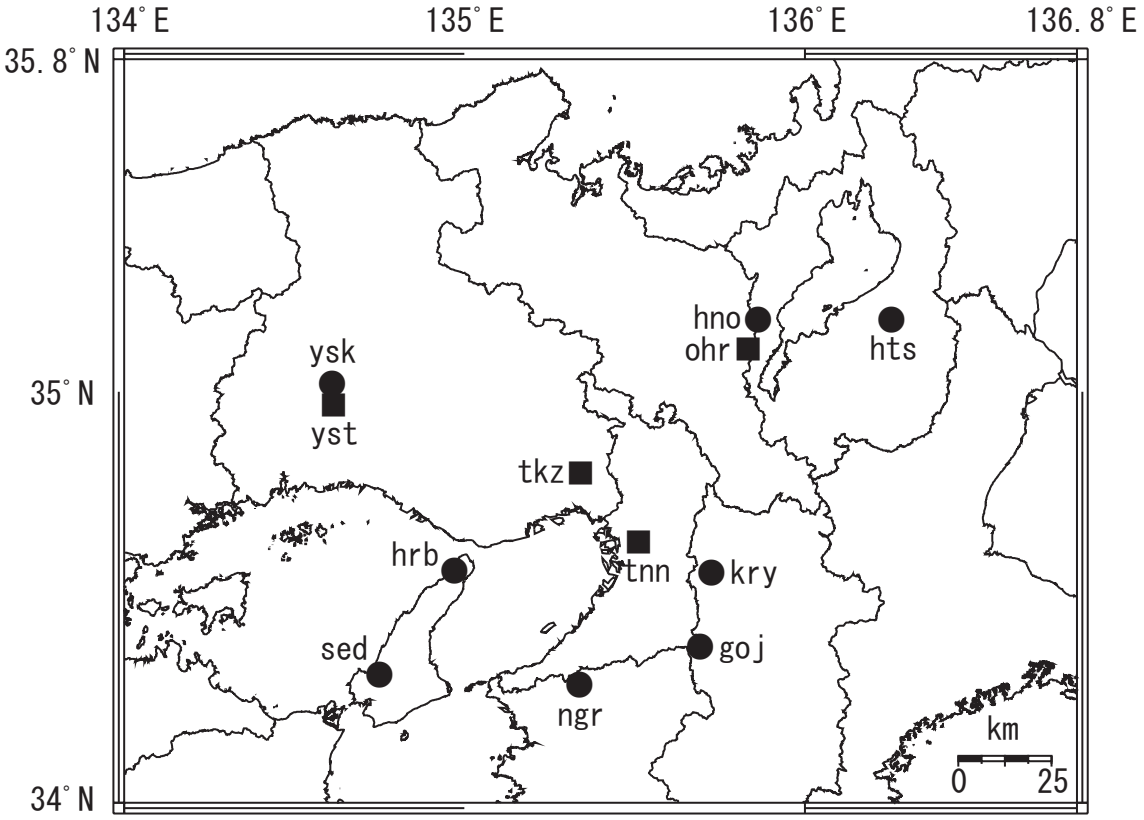
2023 年 5 月～ 2023 年 10 月の近畿地域におけるテレメータによる地下水位およびボアホール型歪計による地殻歪（水平 3 成分）の観測結果を報告する．観測点は 12 点（観測井は 14 井戸）である（第 1 図）．同期間中に第 1 図で示す範囲内で，M4 以上で深さ 30km より浅い地震は，なかった．

第 2 ～ 5 図には，2023 年 5 月～ 2023 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 2021 年 6 月 2 日以降の故障は水位計本体の故障である（第 2 図）．tkz の歪の 2023 年 7 月 3 日以降の故障は歪計地上装置の故障と思われる（第 3 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である（第 4 図）．

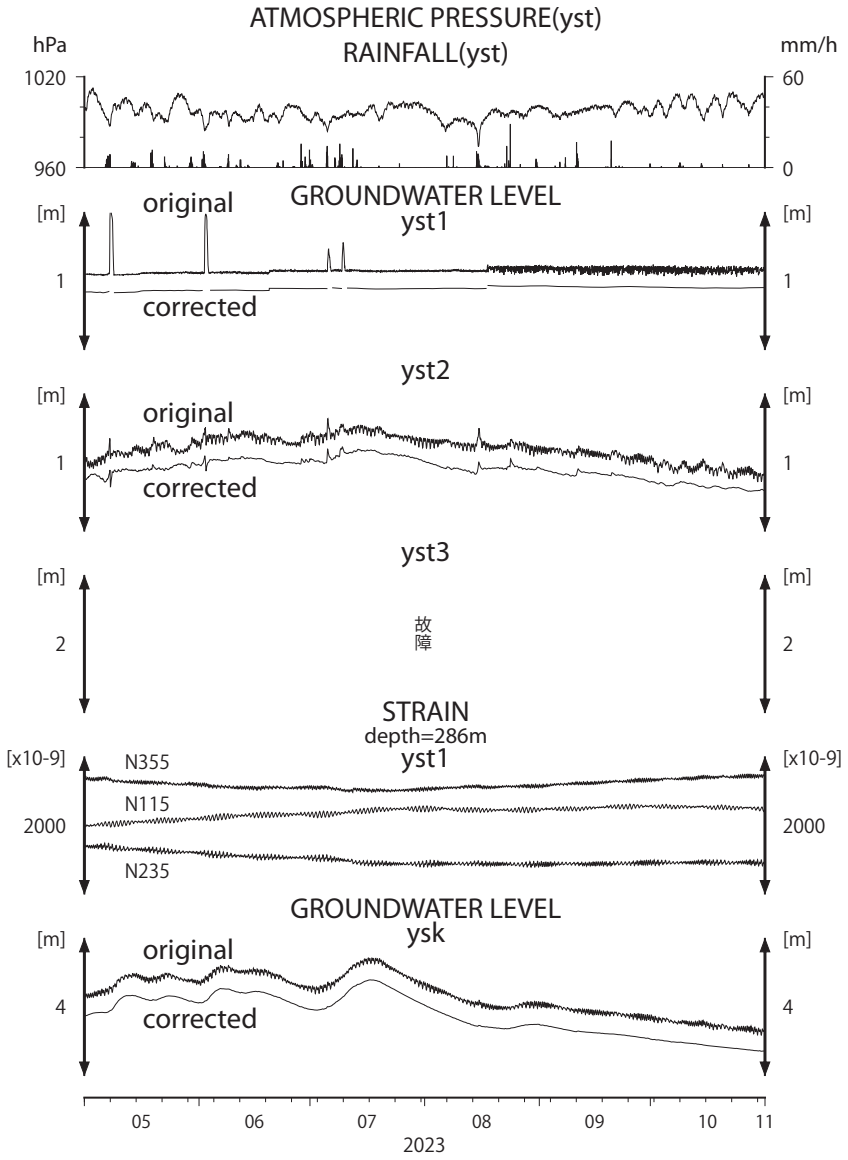
これらのデータ（グラフ等）は，http://www.gsj.jp/wellweb/ で公開されている．

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

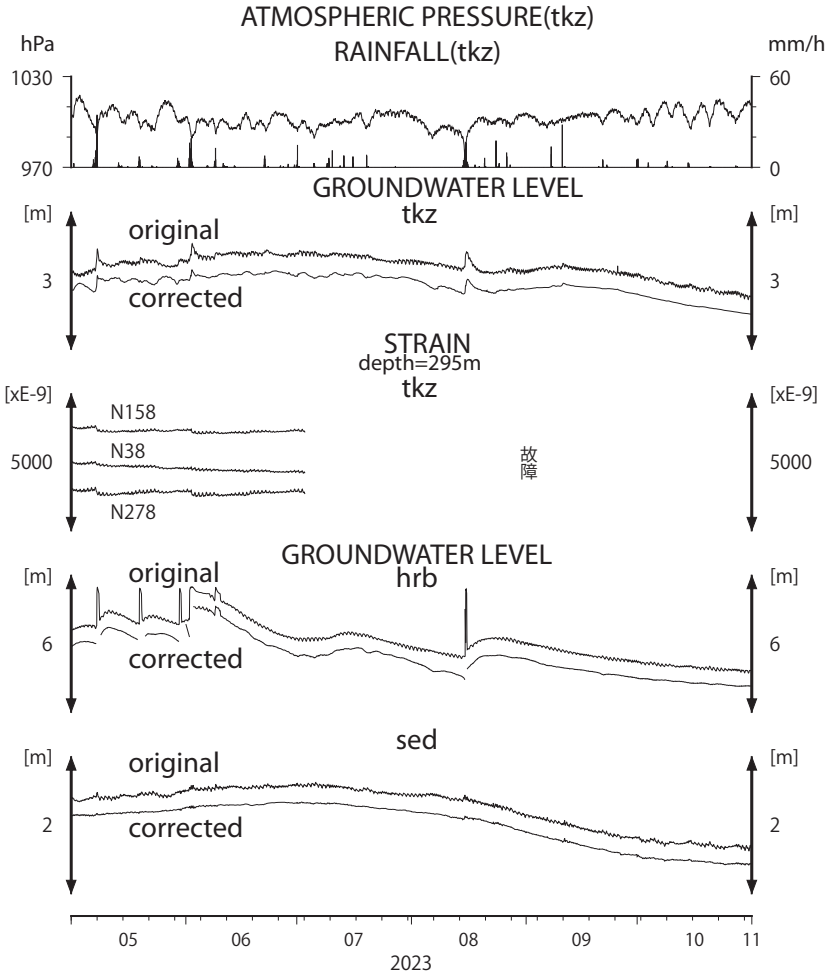


第 1 図　地下水観測点分布図（●・■）．■は，地下水位に加えて，ボアホール型歪計で地殻歪を測定している観測点．yst：安富，ysk：安富北，tkz：宝塚，hrb：平林，sed：西淡，tnn：天王寺，kry：広陵，goj：五條，ngr：岩出東坂本，ohr：大原，hno：花折，hts：愛荘香之庄．

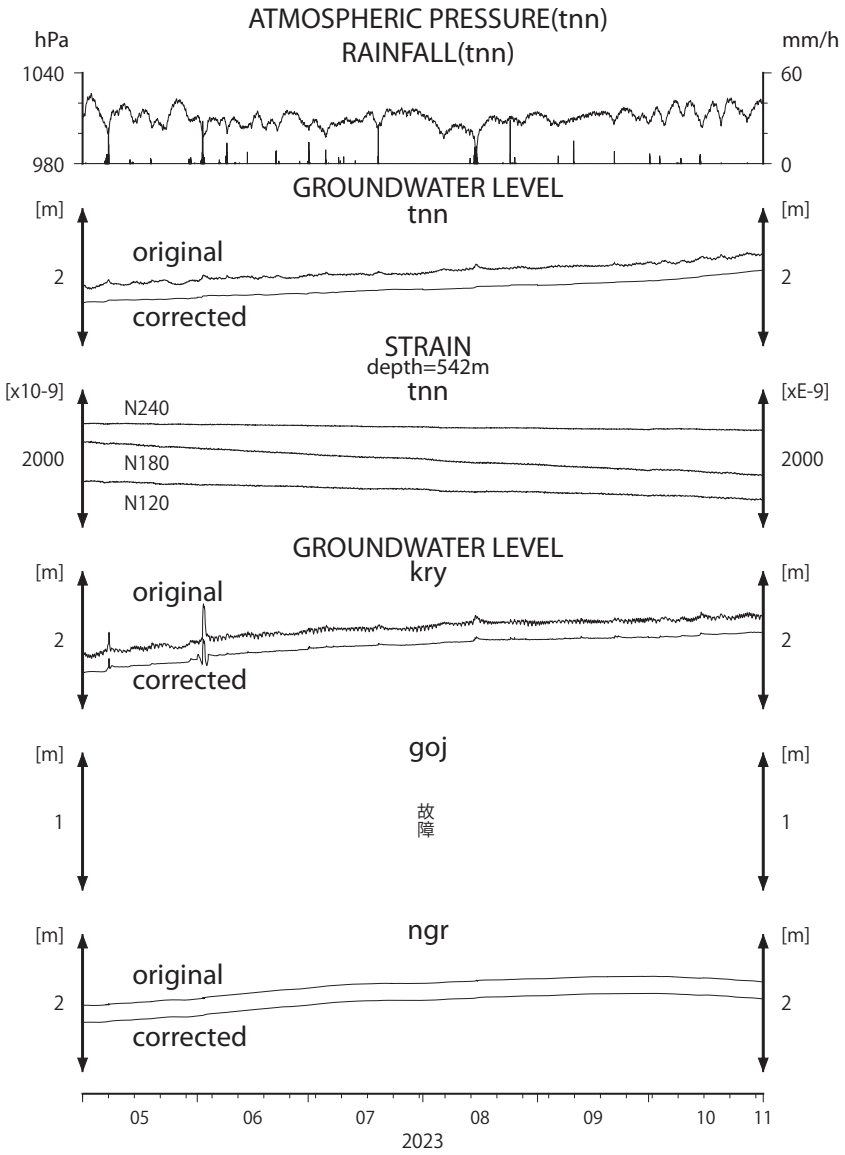
Fig. 1　Distribution of groundwater observation stations of Geological Survey of Japan, AIST (● ・ ■). At the stations shown by the solid squares, crustal strains are also observed by borehole strainmeters. yst : Yasutomi, ysk : Ystutomi-kita, tkz : Takarazuka, hrb : Hirabayashi, sed : Seidan, tnn : Tennoji, kry : Koryo, goj : Gojo, ngr : Iwade-higashisakamoto, ohr : Oohara, hno : Hanaore, hts : Aishou-konoshou.



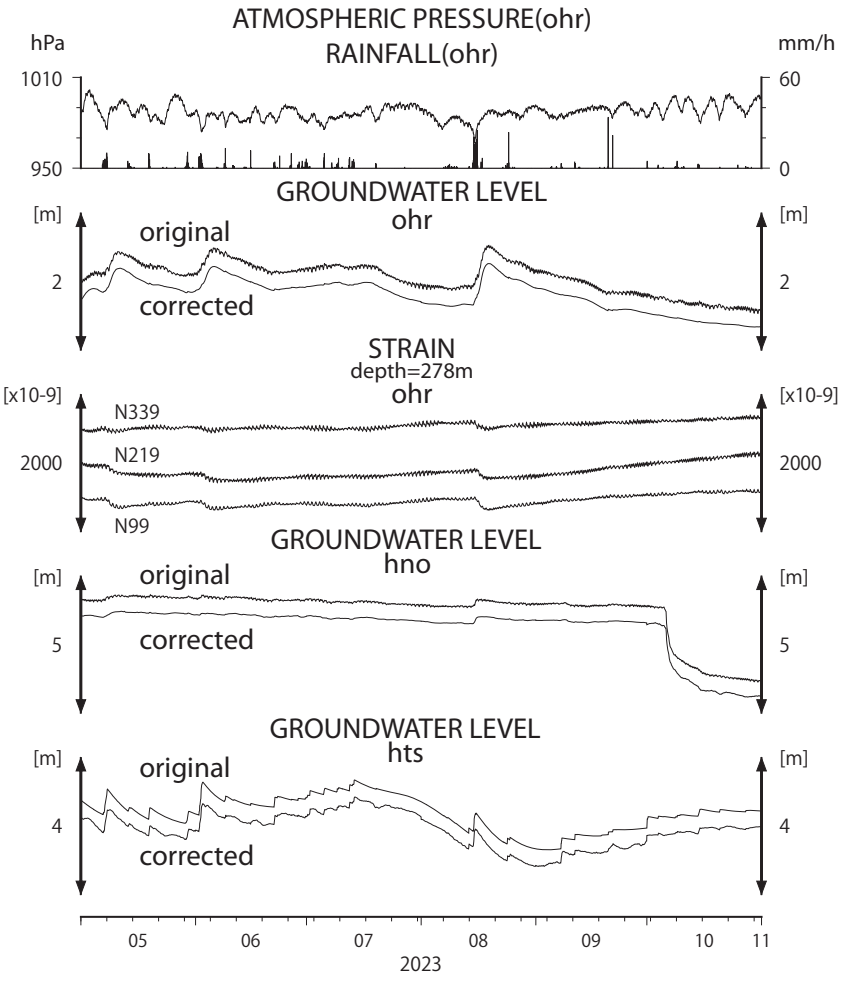
第 2 図　yst1, yst2, yst3, ysk の 2023 年 5 月～ 2023 年 10 月の観測結果.
Fig. 2　Observation results at yst1, yst2, yst3 and ysk from May 2023 to October 2023.



第 3 図　tkz, hrb, sed の 2023 年 5 月～ 2023 年 10 月の観測結果.
Fig. 3　Observation results at tkz, hrb and sed from May 2023 to October 2023.



第 4 図　tnn, kry, goj, ngr の 2023 年 5 月～ 2023 年 10 月の観測結果.
Fig. 4　Observation results at tnn, kry, goj and ngr from May 2023 to October 2023.



第 5 図　ohr, hno, hts の地下水位・地殻歪の 2023 年 5 月～ 2023 年 10 月の観測結果.
Fig. 5　Observation results at ohr, hno and hts from May 2023 to October 2023.

８－１　西南日本における深部低周波微動活動（2023 年 5 月～ 2023 年 10 月）
Activity of deep low-frequency tremor in southwest Japan (May, 2023 – October, 2023)

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．2023 年 5 月から 2023 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．

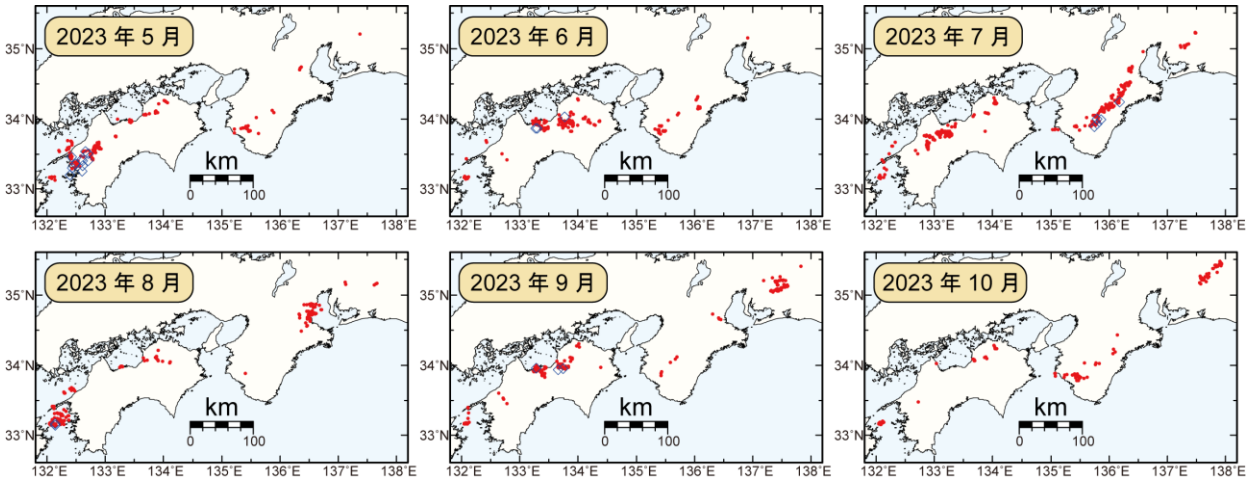
・2023 年 5 月 18 日～ 22 日頃，四国西部．この活動は愛媛県西部で発生し，東西方向への活動域の拡大がみられた．（第 2，4 図）．この領域での顕著な微動活動は，2022 年 11 月以来となる（第 3 図）．

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 2023 年 9 月 13 日～ 18 日頃に（第 4 図），紀伊半島北部では 2023 年 8 月 2 日～ 10 日頃に，紀伊半島中部から西部では 2023 年 7 月 15 日～ 22 日頃に（第 4 図），四国東部では 2023 年 7 月 19 日～ 22 日頃に（第 5 図），四国東部から四国中部では 2023 年 9 月 13 日～ 17 日頃に（第 5 図），四国東部から西部では 2023 年 6 月 18 日～ 7 月 9 日頃に，豊後水道では 2023 年 8 月 16 日～ 20 日頃（第 5 図）に，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

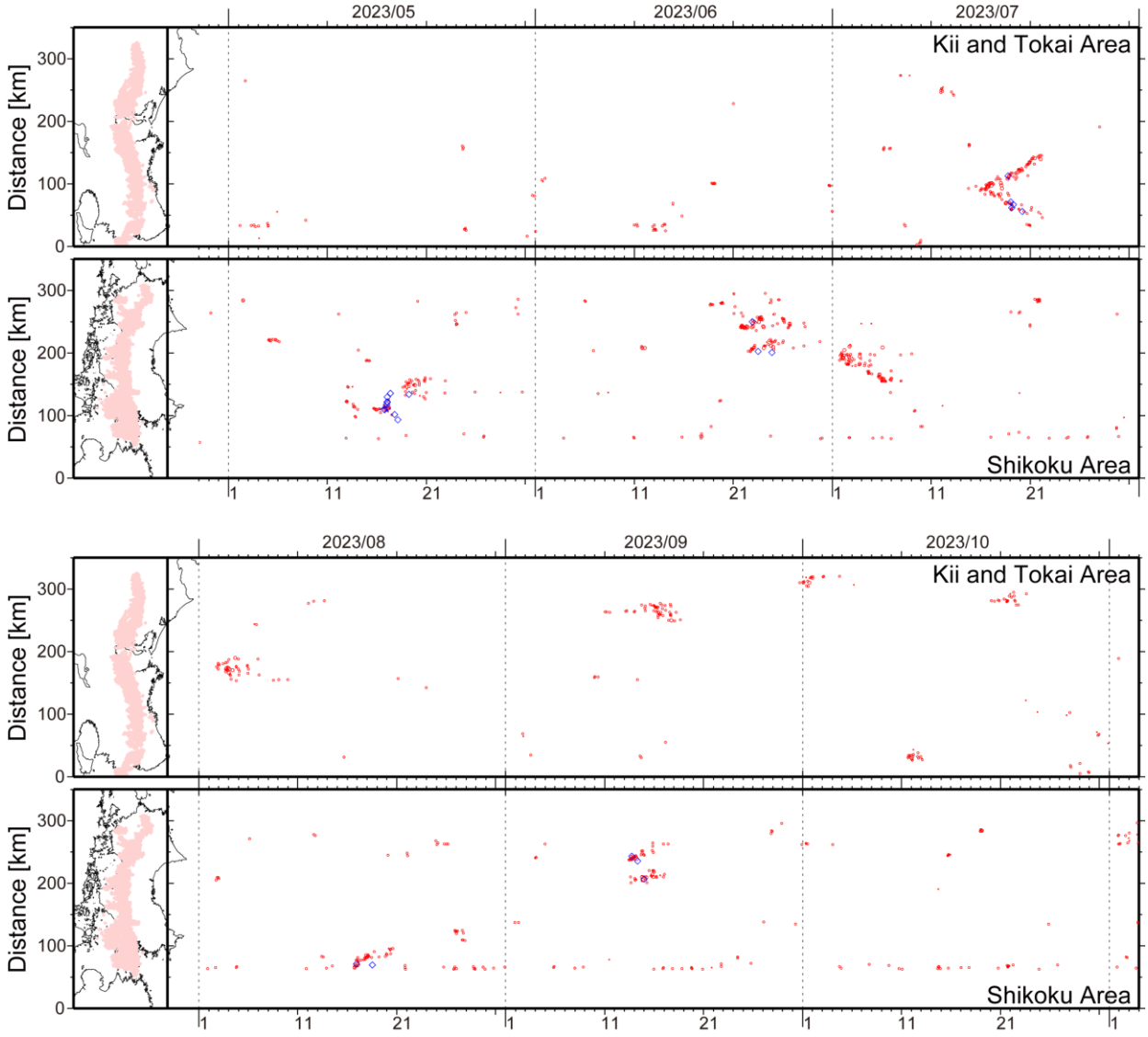
参考文献

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 (2024), *予知連会報*, **111**,「西南日本における短期的スロースリップイベント (2023 年 5 月～ 2023 年 10 月)」.
6) Maeda & Obara (2009), *J. Geophys. Res.*, **114**, B00A09.
7) Obara et al. (2010), *Geophys. Res. Lett.*, **37**, L13306.



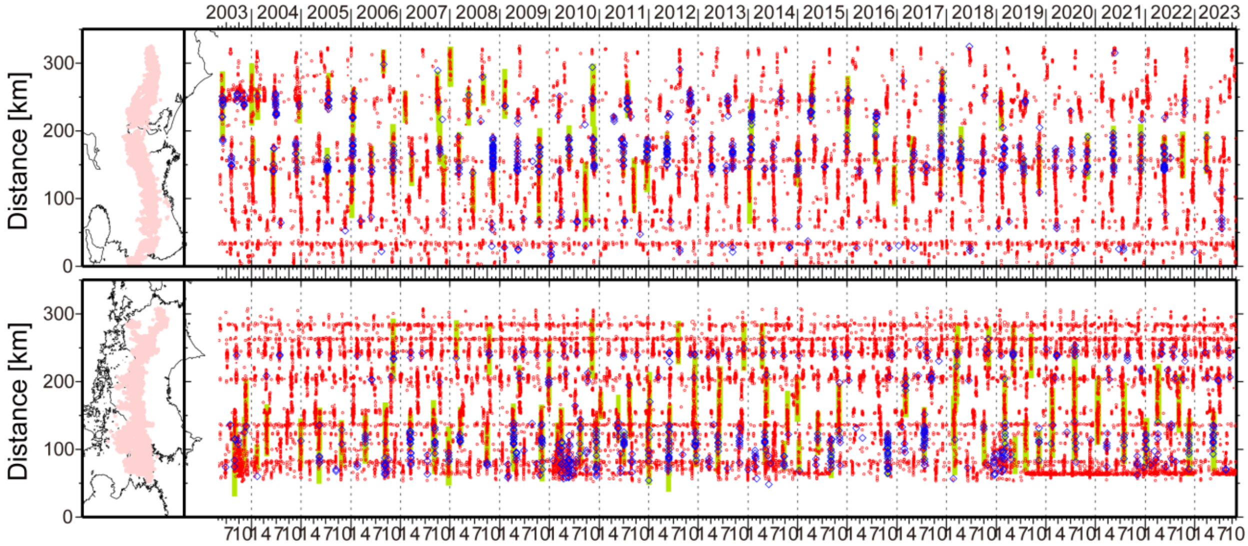
第 1 図　西南日本で発生した深部低周波微動及び深部超低周波地震 [4] の月別震央分布．赤丸が当該期間の微動の震央を表す．この震央はエンベロープ相関・振幅分布ハイブリッド法 [6] 及びクラスタリング処理 [7] によって１時間毎に自動処理された微動分布の重心である．青菱形は深部超低周波地震の震央を示す．

Fig. 1　Monthly epicentral distribution of deep low-frequency tremor and deep very low-frequency earthquakes [4] in southwest Japan from May 2023 to October 2023. 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.



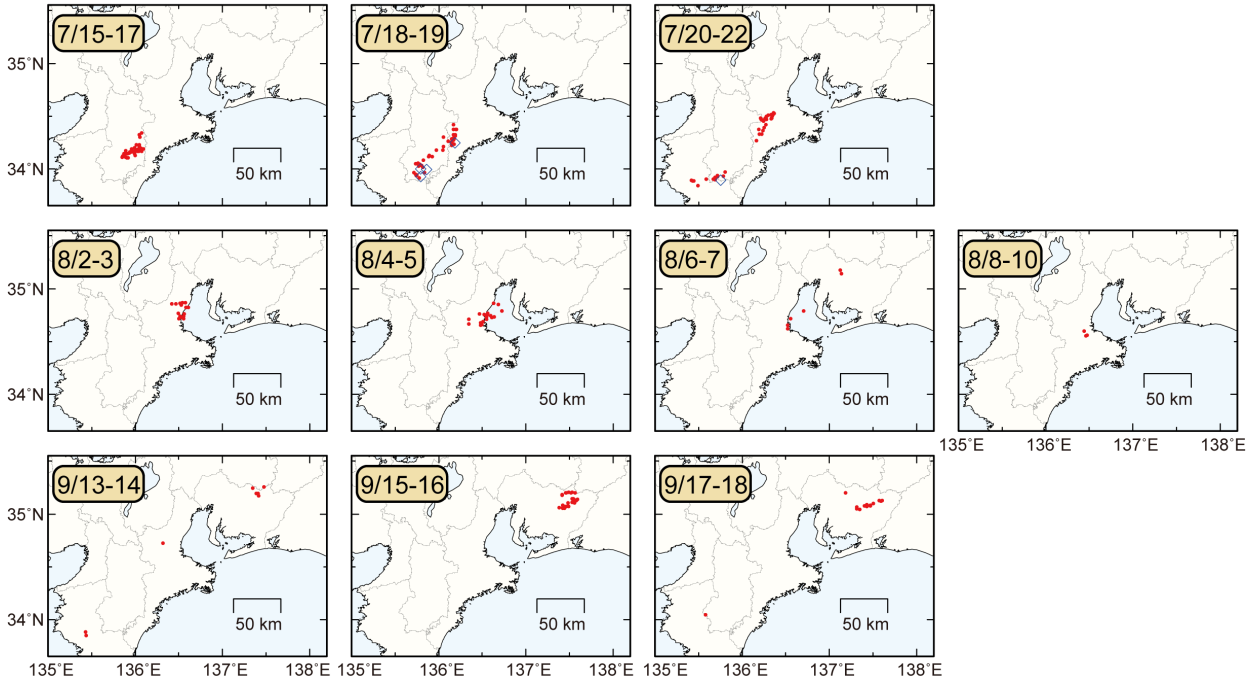
第 2 図　西南日本で発生した深部低周波微動（赤丸）及び深部超低周波地震（青菱形）の約 6 ヶ月間の時空間分布.

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.



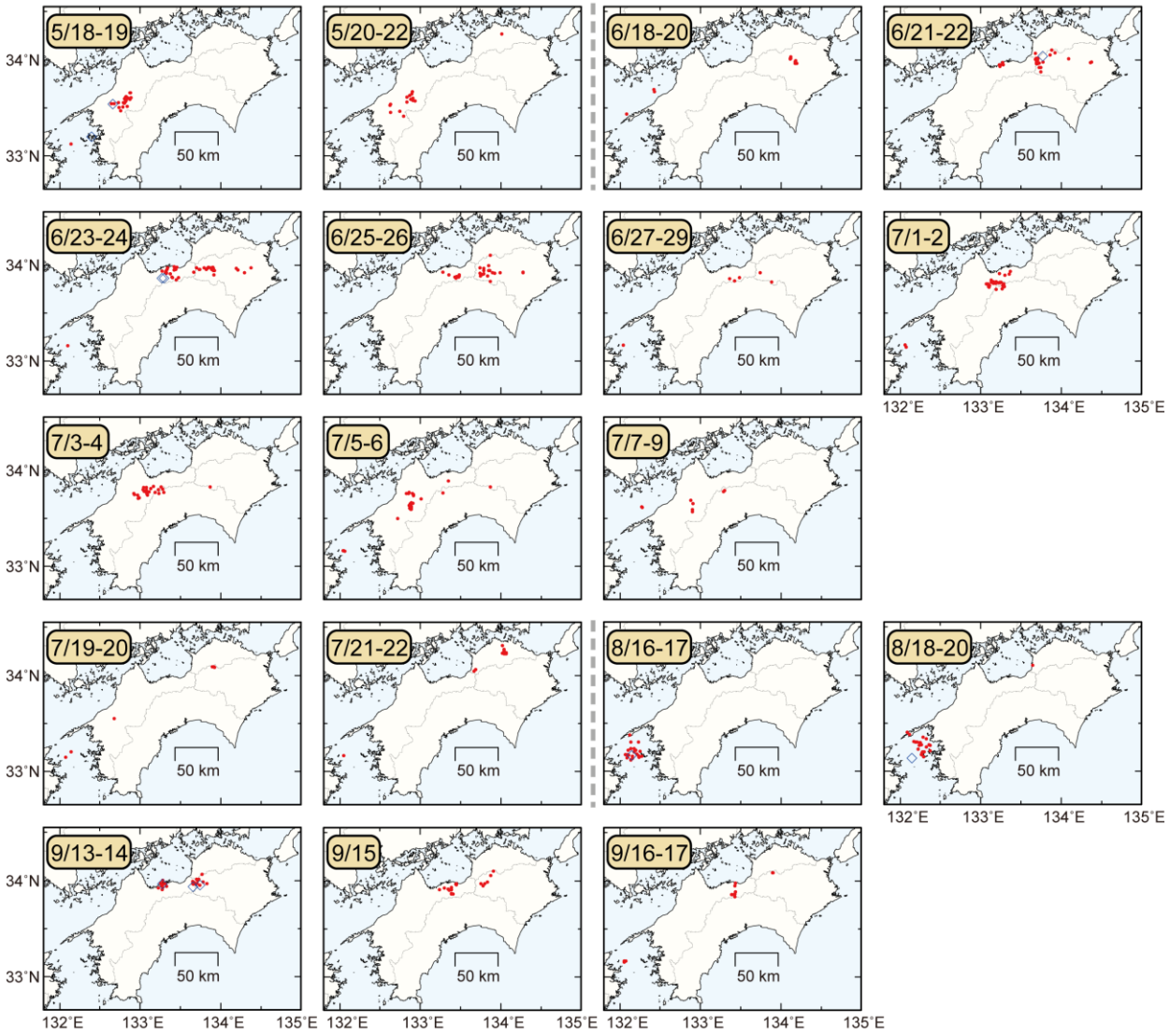
第 3 図　西南日本で発生した深部低周波微動（赤丸）及び深部超低周波地震（青菱形）の 2003 年 5 月から約 20 年間の時空間分布．黄緑色太線は，傾斜変動から検出された短期的スロースリップイベントを示す．

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 20 years from May 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　2023 年 5 月から 2023 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 2023 to October 2023. 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　2023 年 5 月から 2023 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 2023 to October 2023. 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.

８－２　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

［四国西部の非定常水平地殻変動（短期的 SSE）］

第 1 図は，2023 年 6 ～ 7 月に四国中部から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 図上段は，2023 年 6 月 28 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～ 2023 年 8 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．四国中部から西部にかけての低周波地震の発生領域付近ですべりが推定されている．すべり量の最大は約 13mm と推定され，モーメントマグニチュードは 6.0 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．上段右の図は，左図中の実線で囲まれた領域に位置するグリッドのすべりから求めたモーメントの時系列グラフである．7 月に入ってからモーメントが増大し，7 月 10 日頃までで増加が収まったように見える．下段の 2 枚の図は，左が基準期間と比較期間の間のオフセットをランプ関数で推定し，有意と判断された観測点だけを取り出した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，観測値をよく説明できていることが分かる．

［四国中部の非定常水平地殻変動（長期的 SSE）］

第 2 ～ 4 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．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．固定局は上対馬（950456）である．また，気象庁の短期的 SSE のカタログを用いて短期的 SSE による変動を除去，東北地方太平洋沖地震及び熊本地震の粘性緩和による変動を補正している．それらの補正後，2017 年 4 月 1 日～ 2018 年 4 月 1 日の期間で推定したトレンドを除去している．また，固定局の上対馬（950456）に起因する誤差の影響を避けるため，非定常的な地殻変動から共通誤差成分を同時推定している．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 2 図は，下段に示した 8 観測点の観測値と計算値を比較した時系列図である．2019 年春頃から南東向きの変動が見られる．計算値は観測値をよく説明できていることが分かる．

第 3 図左上の図は，2019 年 1 月 1 日～ 2023 年 10 月 10 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 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 47cm，モーメントマグニチュードは 6.6 と求まった．

第 3 図右上の図は，観測値と計算値の比較の水平変動ベクトル図である．計算値は観測値をよく説明できていることが分かる．

第 3 図右下の図は，推定すべり分布図中の太い実線で囲まれた領域に位置するグリッドのすべりから求めたモーメントの時系列グラフである．2019 年春頃からモーメントの増大が見られる．

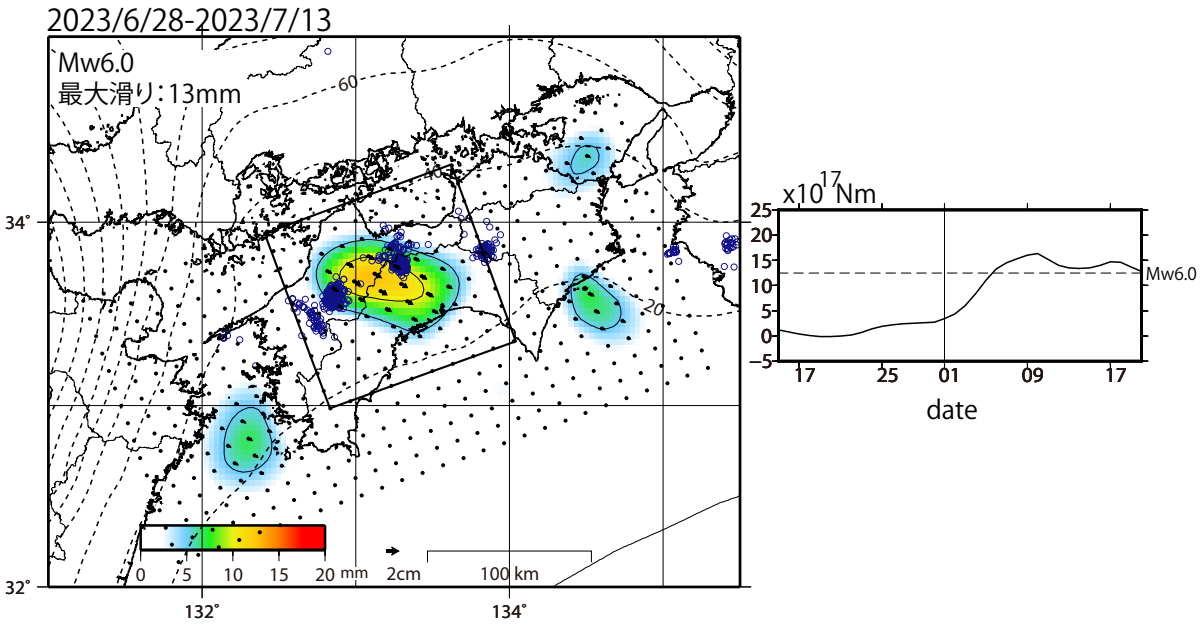
第 4 図は，四国中部に位置するグリッドのすべりの時間変化を示した図である．2019 年春頃からすべりが見られる．

［室戸岬周辺　電子基準点の上下変動］

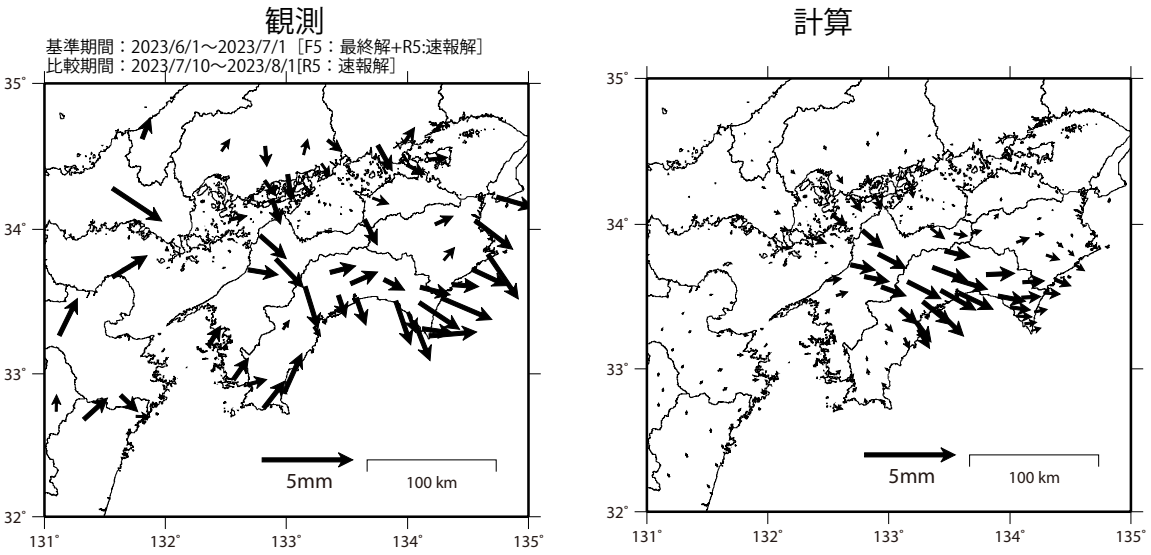
第 5 ～ 6 図は，室戸岬周辺の電子基準点間の比高変化を示したものである．最新のデータは室戸岬周辺が沈降する長期的な傾向に沿っている．各図の左下に長期間の変動グラフを示す．室戸岬先端側の沈降が長期的に継続しており，GNSS 連続観測の結果は，灰色でプロットした水準測量の長期的な沈降傾向と整合している．

GNSSデータから推定された
四国中部～西部の深部低周波地震（微動）と同期したスロースリップ（暫定）

【参考】



Mw及び最大すべり量はプレート面に沿って評価した値を記載。
すべり量（カラー）及びすべりベクトルは水平面に投影したものを示す。
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。

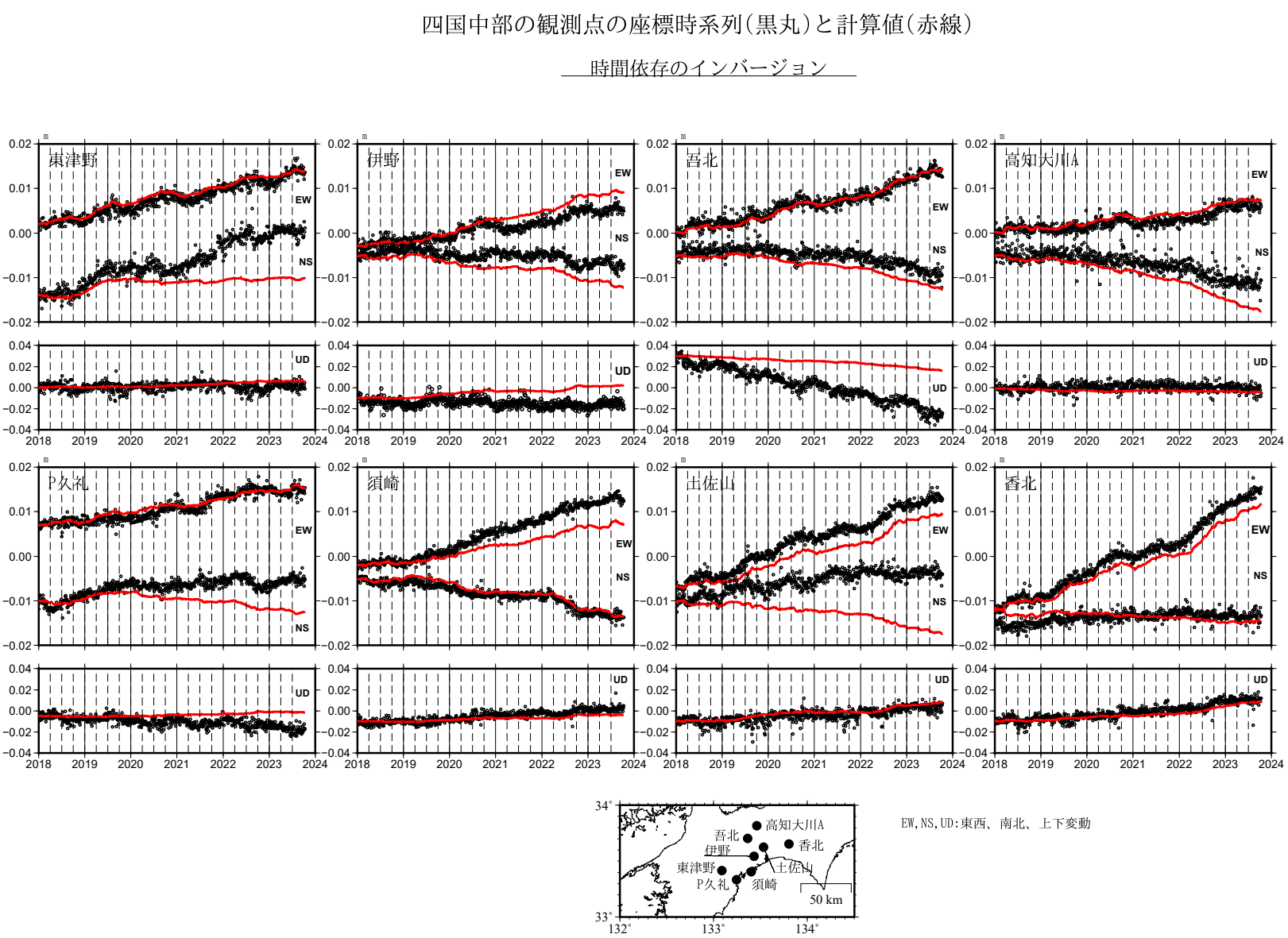


解析に使用した全観測点の座標時系列から、共通に含まれる時間変化成分は取り除いている。
また、基準期間と比較期間の間のオフセットをRamp関数で推定し、東西、南北のAICを合わせたAICで有意でない観測点及び北向き成分を含む観測点は除外している。

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:GEONETによる日々の座標値(F5解、R5解)
F5解(2023/6/1- 2023/7/20) +R5解 (2023/7/21-2023/8/1)　＊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・半年周は 2017/1/1-2023/8/1のデータで補正）
モーメント計算範囲：図の黒枠内側
黒破線：フィリピン海プレートの上面の等深線(Hirose et al., 2008)
すべり方向：プレートの沈み込み方向に拘束
青丸：低周波地震（気象庁一元化震源）（期間:2023/6/28 -8/1）
コンター間隔：5mm
固定局：三隅

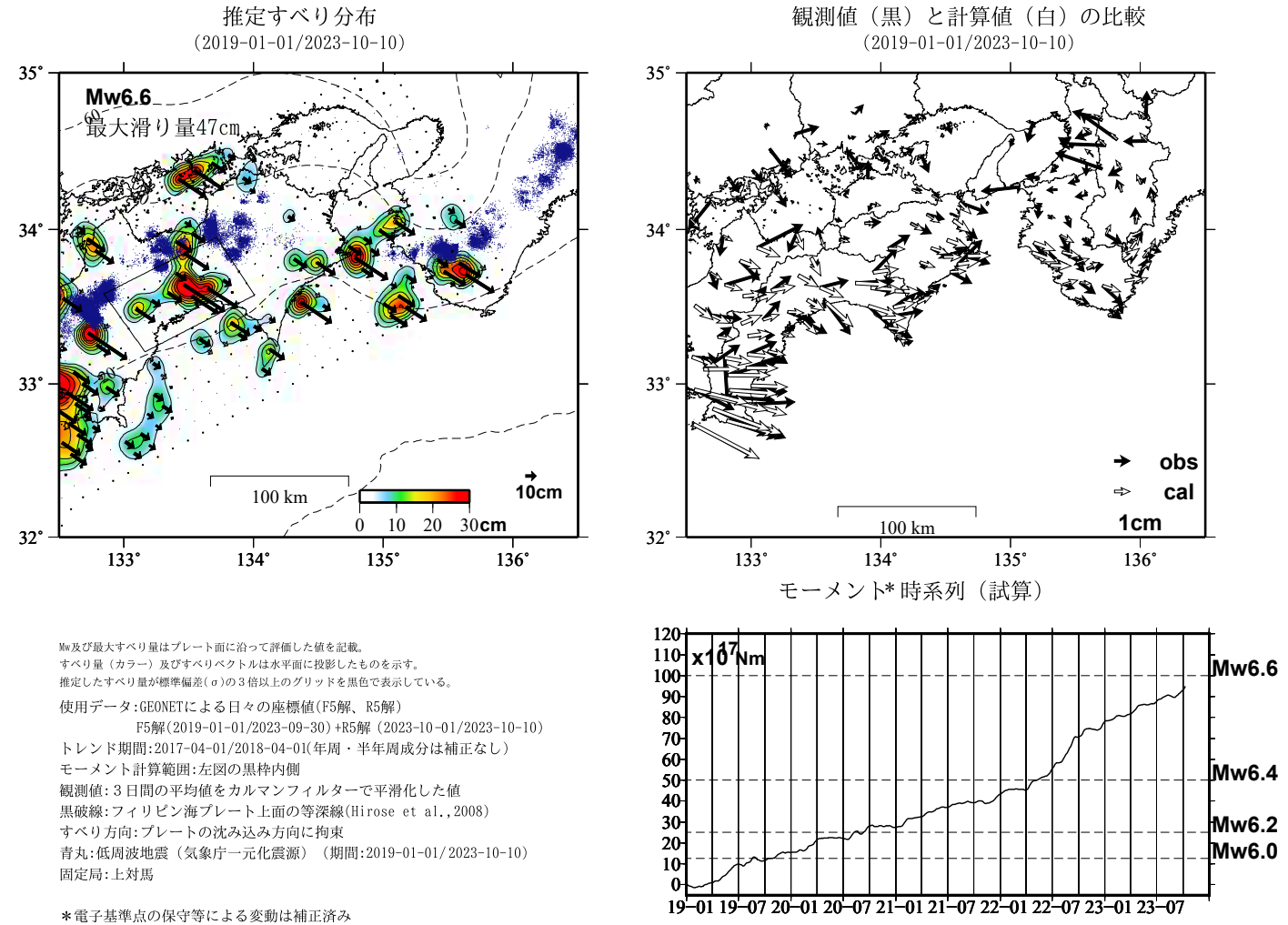
第 1 図　四国中部～西部の深部低周波微動と同期したスロースリップ（暫定）

Fig. 1　Estimated slip distribution on the plate interface beneath the central and western part of Shikoku (preliminary results).



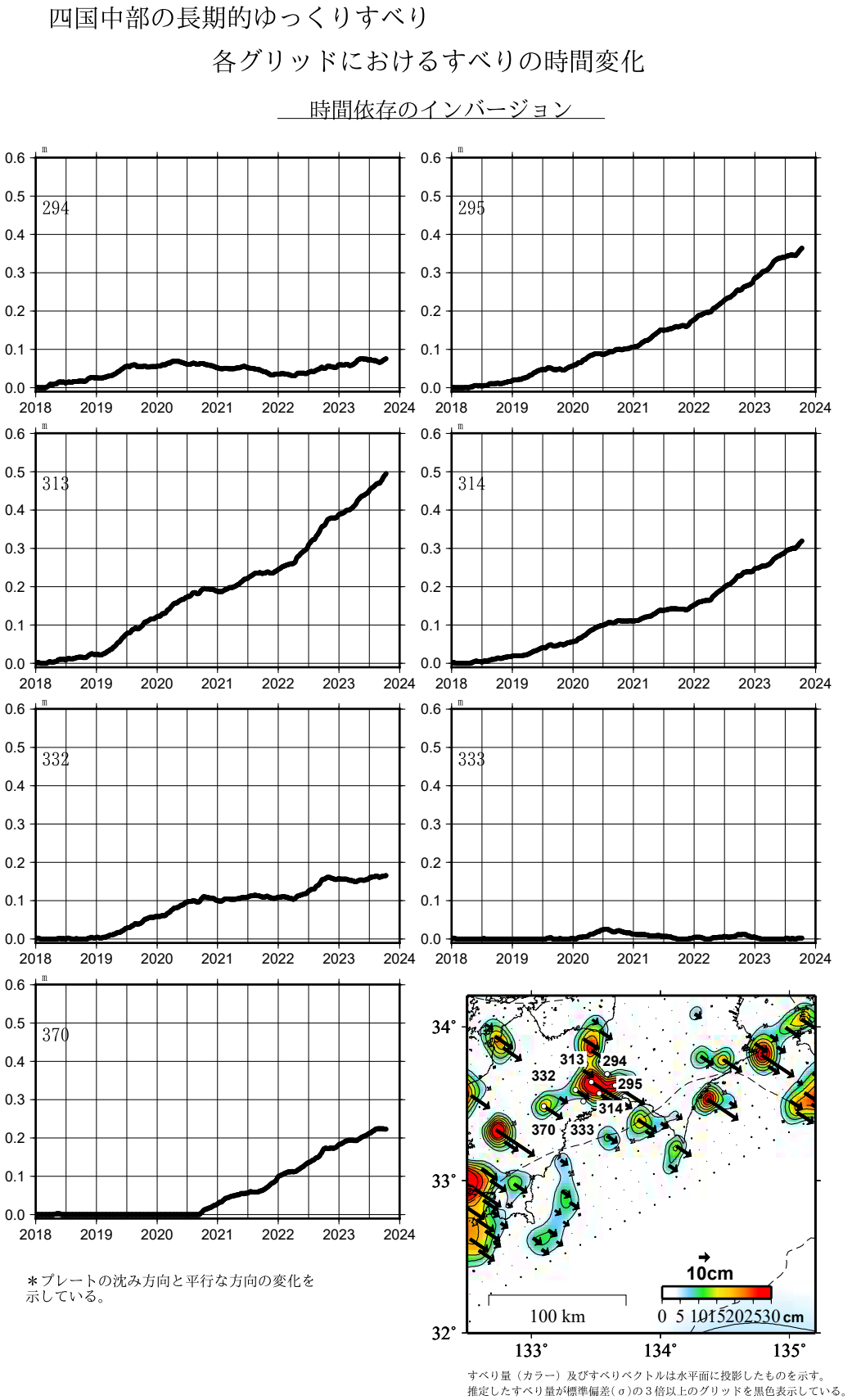
第 2 図　四国中部の観測点の非定常地殻変動時系列：観測値（黒丸）と時間依存インバージョンによる計算値（赤線）

Fig. 2　Observed (black dots) and calculated (red line) time series of transient crustal deformations at the GNSS stations in the central part of Shikoku.



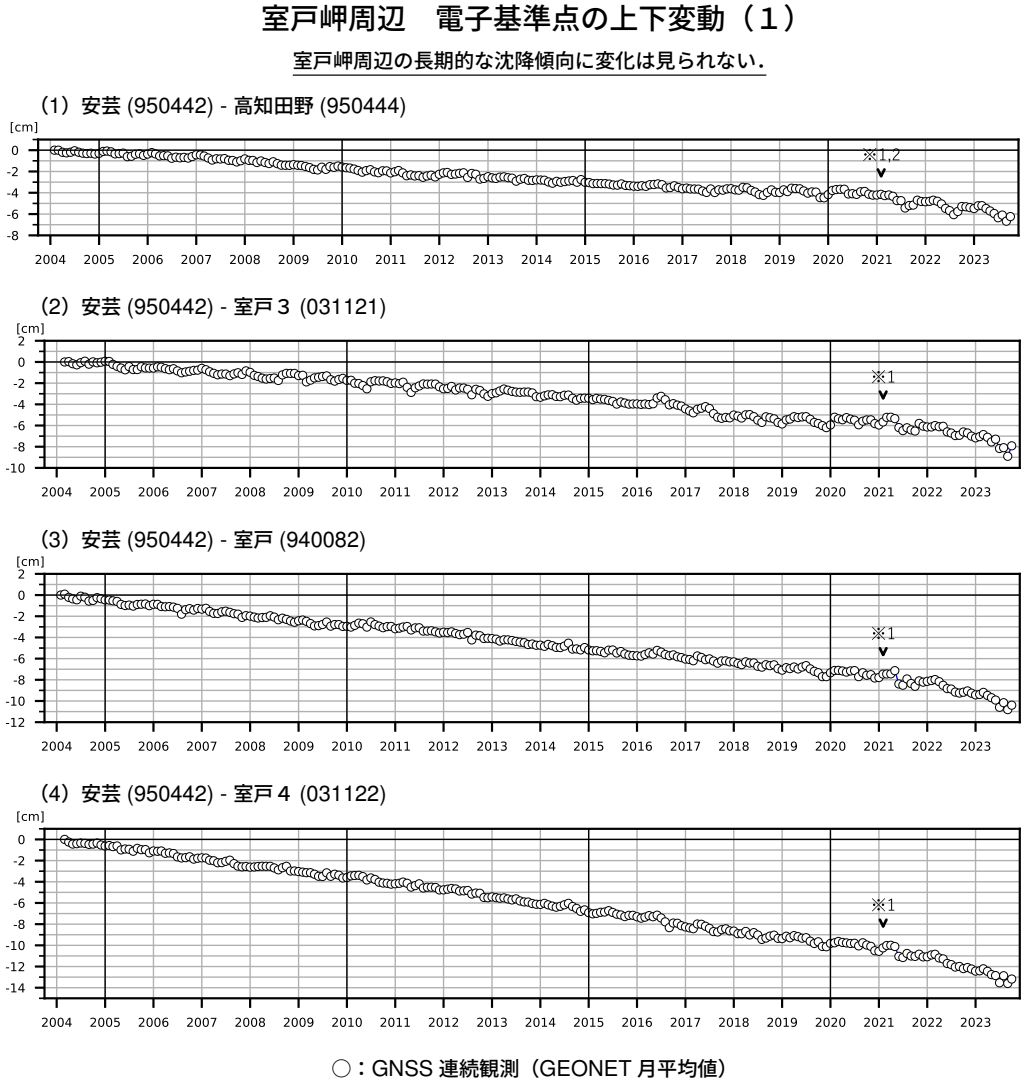
第 3 図　四国中部において推定される長期的ゆっくりすべり（暫定）

Fig. 3　Estimated slip distribution on the plate interface beneath the central part of Shikoku (preliminary results).



第 4 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. 4　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（F5：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：10/1～10/7 の平均値）
- 各プロットの色は配色図の電子基準点の色と対応する。
- 灰色のプロットは電子基準点の最寄りの水準点の水準測量結果を示している（固定：5164）。

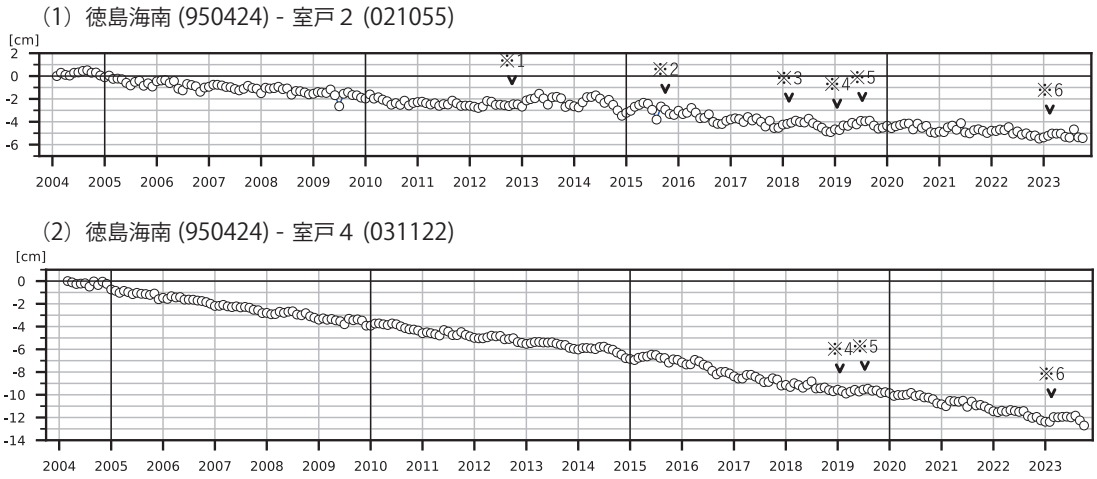
※１ 2021 年２月２日に電子基準点「安芸」のアンテナ更新及びレドーム交換を実施した。
※２ 2021 年２月５日に電子基準点「高知田野」のアンテナ更新及びレドーム交換を実施した。

第 5 図　室戸岬周辺 電子基準点の上下変動（水準測量と GNSS）（1）

Fig. 5　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.



「固定局：徳島海南（950424）」

・GNSS 連続観測のプロット点は，GEONET による日々の座標値（F5：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：10/1～10/7 の平均値）
・各プロットの色は配色図の電子基準点の色と対応する。
・灰色のプロットは電子基準点の最寄りの水準点の水準測量結果を示している（固定：5113）。

※1 2012 年 10 月 23 日に電子基準点「室戸２」のアンテナ更新及び受信機更新を実施した。
※2 2015 年 10 月 1 日に電子基準点「室戸２」の受信機交換を実施した。
※3 2018 年 2 月 13 日に電子基準点「室戸２」のアンテナ及び受信機交換を実施した。
※4 2019 年 1 月 16 日に電子基準点「徳島海南」の受信機更新を実施した。
※5 2019 年 7 月 11 日に電子基準点「徳島海南」のアンテナ交換を実施した。
※6 2023 年 2 月 13 日に電子基準点「徳島海南」のアンテナ更新を実施した。

第 6 図　室戸岬周辺 電子基準点の上下変動（水準測量と GNSS）（2）

Fig. 6　Vertical displacements of GEONET stations around Cape Muroto (leveling and GNSS measurements) (2).

８－３　西南日本における短期的スロースリップイベント（2023 年 5 月～2023 年 10 月）
Short-term slow slip events with non-volcanic tremor in southwest Japan (May 2023-October 2023)

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

2023 年 5 月から 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] 参照されたい．

（1）2023 年 5 月　四国西部

2023 年 5 月 15 日～ 22 日に四国西部の観測点で，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．SSE の規模は Mw 6.2 に推定され，すべり域は同期間の微動および超低周波地震 [5]（VLFE）の震央とよく一致している．2022 年 11 月に同地域で Mw 6.2 の短期的 SSE が発生している [6]．

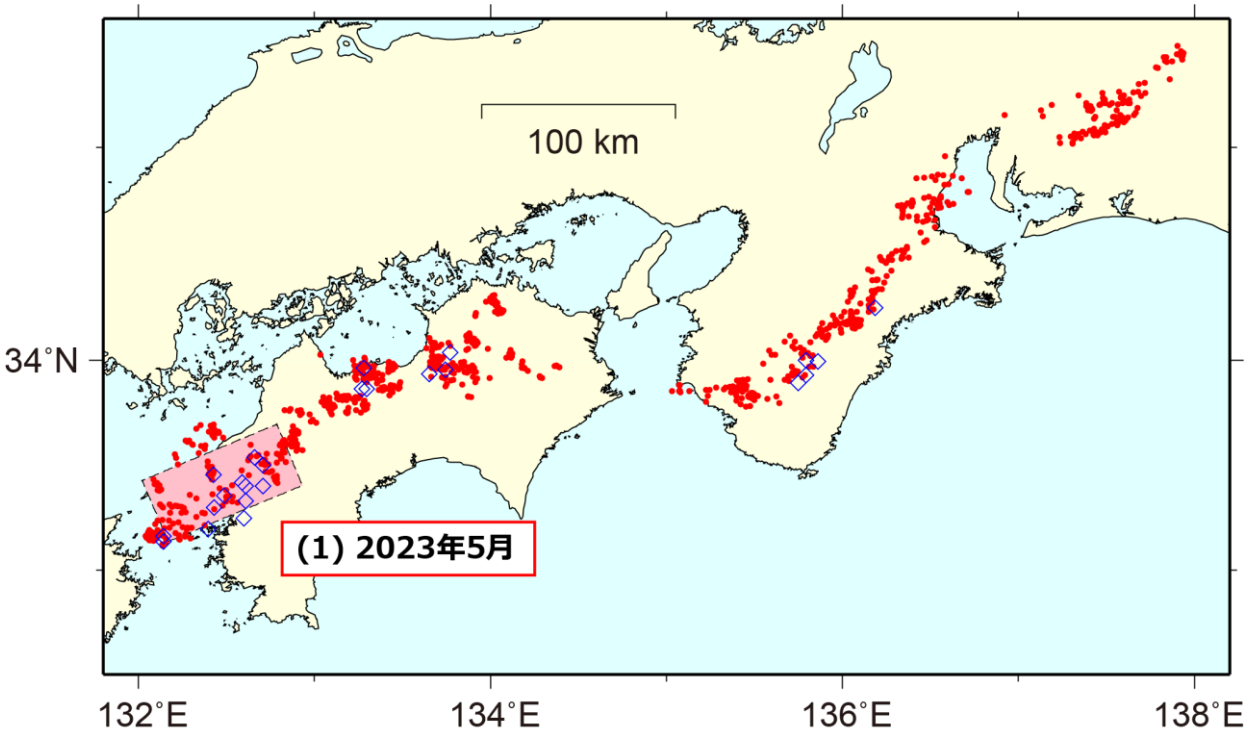
（木村武志）
KIMURA Takeshi

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．

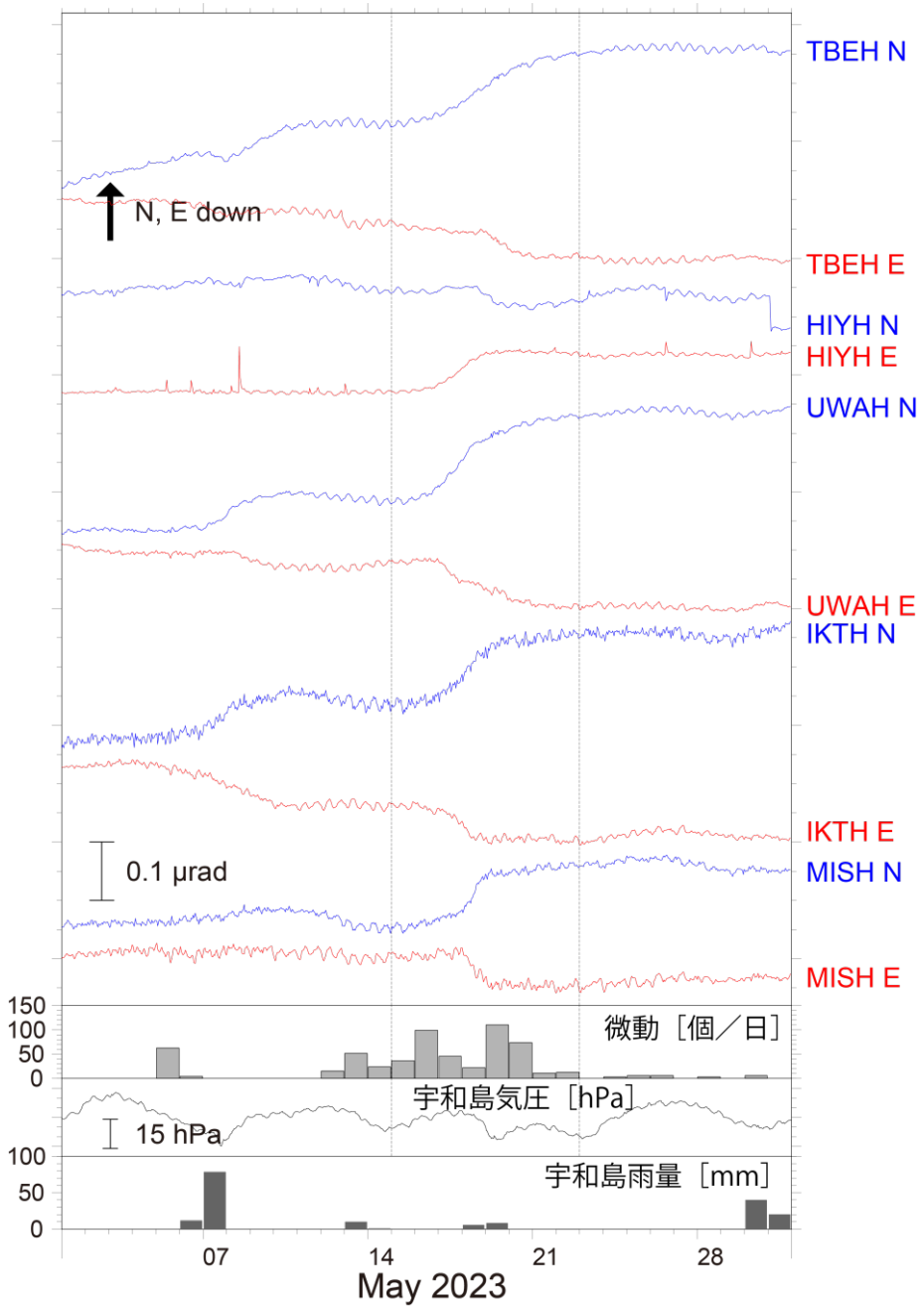
参考文献

1) 防災科学技術研究所 (2023), *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 (2023), *予知連会報* , 110, 340-345.



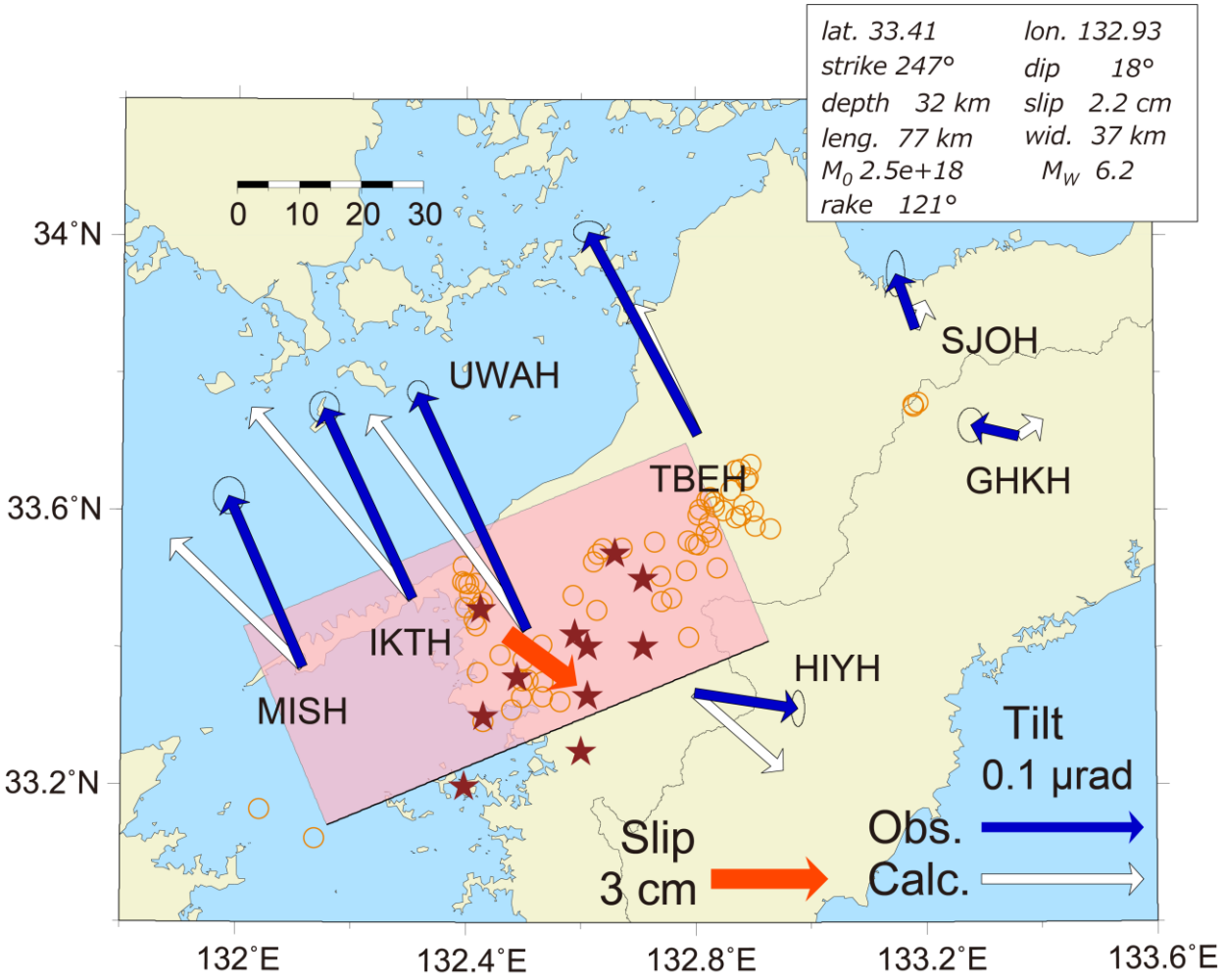
第 1 図　2023 年 5 月 1 日～ 10 月 31 日の期間に検知された短期的 SSE (ピンク矩形).　同期間に発生した深部低周波微動 (赤点) 及び VLFE の震央 (青菱形) を重ねて表示した.

Fig. 1　Distribution of SSEs detected from May 1, 2023, to October 31, 2023. Red dots and blue diamonds show epicenters of tremors and VLFEs, respectively.



第 2 図　2023 年 5 月 1 日から 5 月 31 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-G[4] 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．5 月 15 日～ 5 月 22 日の傾斜変化量を SSE によるものと仮定した．四国西部～中部での微動活動度・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 western Shikoku region from May 1, 2023, to May 31, 2023. `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-G[4].



第 3 図　2023 年 5 月四国西部の短期的 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 VLFE 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 in 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, that occurred in the time.

８－４　鳥取県における温泉水変化（2023 年 5 月～ 2023 年 10 月）
Temporal Variation in the hot spring water in the Tottori Prefecture, Japan (May 2023 – October 2023)

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 3 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．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．

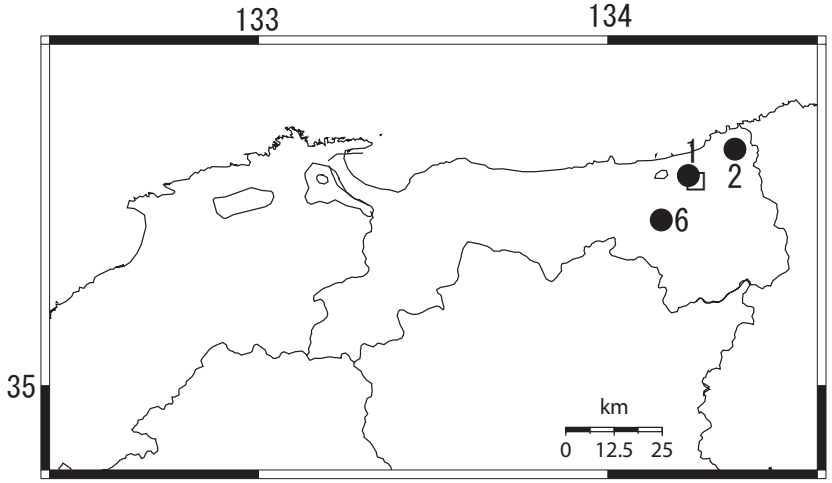
水位・水温の測定インターバルは 10 秒で 1 分間の平均値を記録している．温度センサーは，事前の温度検層により, 湯谷温泉等を除いて, 最も温度変化の大きい位置（深さ）に設置している（鳥取温泉 175m，岩井温泉 150m）．なお，湯谷（第 1 図の 6）では 2012 年度から，その他の点では 2016 年 6 月からデータをテレメーター集録から現地集録に切り替えている．

３．結果（第 2 図）

結果（原則として 1 時間値）を第 2 図に示す．気圧や気温の記録は，鳥取の気象台の測定値を用いている．鳥取温泉の水位は 2022 年 5 月以降測定範囲の上限まで度々上昇したため，2023 年 8 月 3 日に水位計の位置を 1m 上げた．

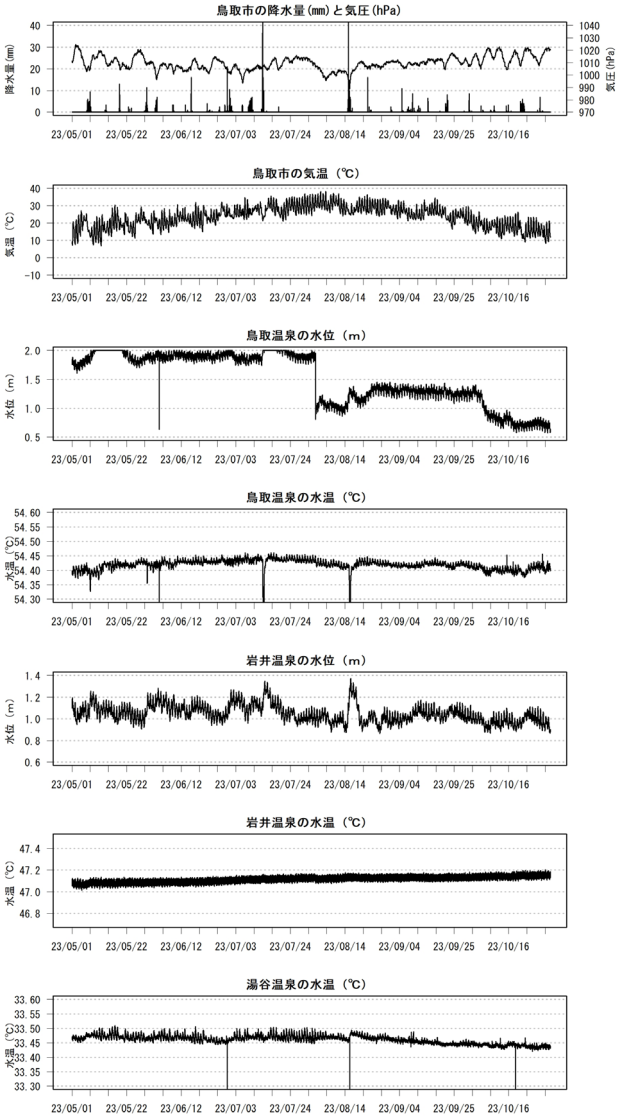
2023 年 5 月～ 2023 年 10 月の間に, 第 1 図の範囲内（北緯 34.8 ～ 35.8 度, 東経 132.4 ～ 134.6 度）で深さ 30km 以浅で M4 以上の地震は，なかった．M4 未満で観測点周辺に震度 2 以上の揺れをもたらした地震は，なかった．

（野口　竜也・香川　敬生・西田　良平・北川　有一）



第 1 図　鳥取気象台（□）と温泉水観測点（●）の分布．１：鳥取温泉，２：岩井温泉，6：湯谷温泉

Fig. 1　Location of Tottori Local Meteorological Observatory (□) and hot spring water observation stations (●). 1:Tottori, 2:Iwai, 6:Yudani



第 2 図　鳥取温泉（第１図の 1）・岩井温泉（2）・湯谷温泉（6）の 2023 年 5 月～ 2023 年 10 月における観測結果．

Fig. 2　Observation results at Tottori (1), Iwai (2) and Yudani (6) from May 2023 to October 2023.

９－１　九州地方とその周辺の地震活動（2023 年 5 月～ 10 月）
Seismic Activity in and around the Kyushu District (May - October 2023)

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 48 回，M5.0 以上の地震は 6 回発生した．このうち最大のものは，2023 年 5 月 22 日にトカラ列島近海，2023 年 8 月 7 日に大隅半島東方沖で発生した M5.4 の地震である．

2023 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) トカラ列島近海の地震活動（口之島・中之島付近）（M5.1，最大震度 5 弱，第 2 図 (a) ～ (c)）

トカラ列島近海（口之島・中之島付近）では，2023 年 4 月 1 日頃からややまとまった地震活動があり，5 月 11 日以降，地震活動が活発となった．4 月 1 日から 8 月 31 日までに震度 1 以上を観測した地震は，145 回（震度 5 弱：1 回，震度 4：3 回，震度 3：6 回，震度 2：35 回，震度 1：100 回）発生した．このうち最大規模の地震は，5 月 13 日 16 時 10 分に発生した M5.1 の地震（最大震度 5 弱）である．この地震は陸のプレート内で発生した．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．6 月中旬頃から発生する地震の規模が徐々に小さくなり，地震の発生数も減少しているが，地震活動は継続している．

(2) トカラ列島近海の地震（M5.4，最大震度 3，第 3 図）

2023 年 5 月 22 日 07 時 20 分にトカラ列島近海の深さ 191km で M5.4 の地震（最大震度 3）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の沈み込む方向に張力軸を持つ型である．

(3) 日向灘の地震（M5.0，最大震度 4，第 4 図）

2023 年 7 月 22 日 21 時 14 分に日向灘の深さ 37km で M5.0 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震は，発震機構（CMT 解）が東西方向に張力軸を持つ正断層型で，フィリピン海プレート内部で発生した．

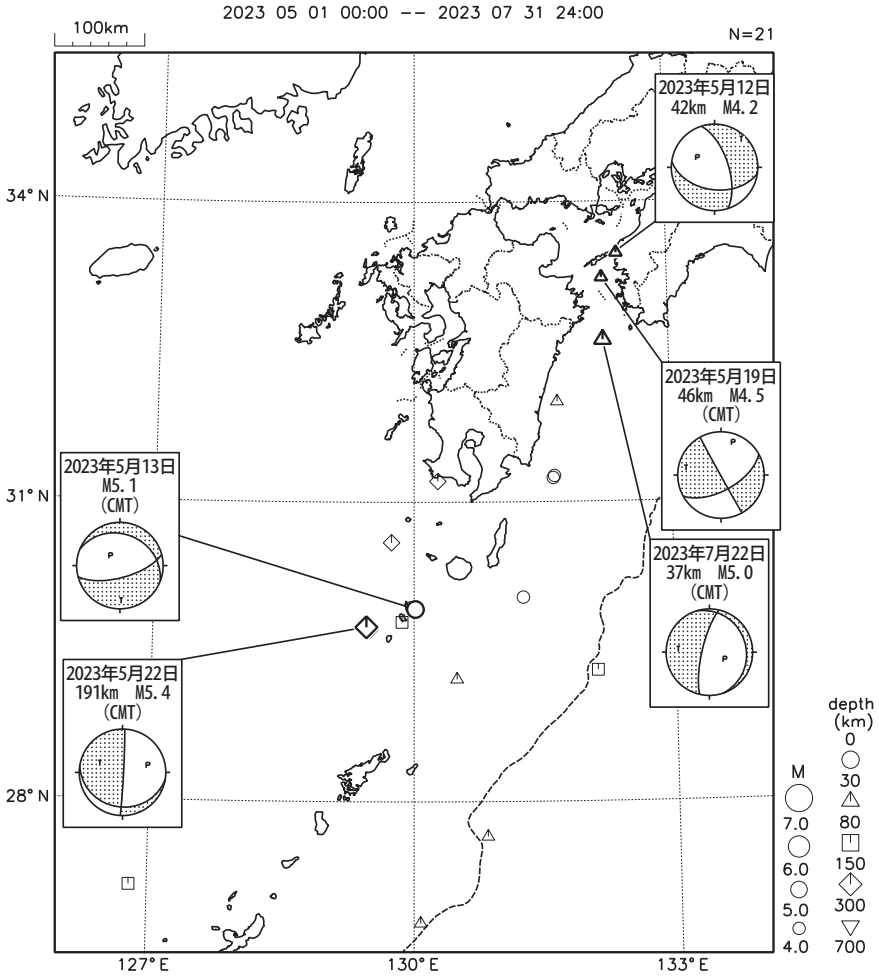
(4) 大隅半島東方沖の地震（M5.4，最大震度 3，第 5 図 (a) ～ (c)）

2023 年 8 月 7 日 03 時 12 分に大隅半島東方沖の深さ 15km（CMT 解による）で M5.4 の地震（最大震度 3）が発生した．この地震の発震機構（CMT 解）は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ型である．

(5) トカラ列島近海の地震活動（小宝島付近）（M5.3，最大震度 4，第 6 図 (a) ～ (c)）

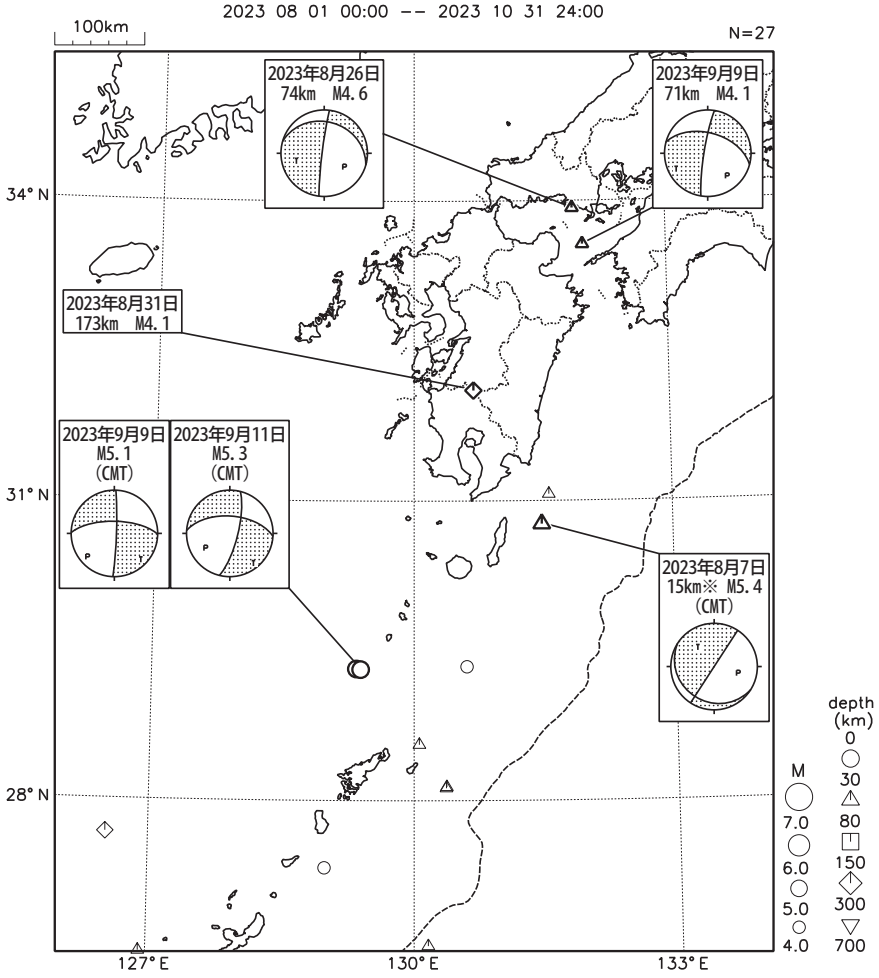
2023 年 9 月 8 日 02 時頃からトカラ列島近海（小宝島付近）で地震活動が活発となり，9 月 30 日までに震度 1 以上を観測した地震が 346 回（震度 4：2 回，震度 3：25 回，震度 2：82 回，震度 1：237 回）発生した．このうち最大規模の地震は，11 日 00 時 01 分に発生した M5.3 の地震（最大震度 4）

で，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．これらの地震は陸のプレート内で発生した．9 月 13 日頃からは，地震の規模が小さくなり，地震の発生数も減少している．



第 1 図 (a)　九州地方とその周辺の地震活動（2023 年 5 月～ 7 月，M ≧ 4.0，深さ≦ 700km）

Fig. 1(a)　Seismic activity in and around the Kyushu district (May – July 2023, M ≧ 4.0, depth ≦ 700 km)

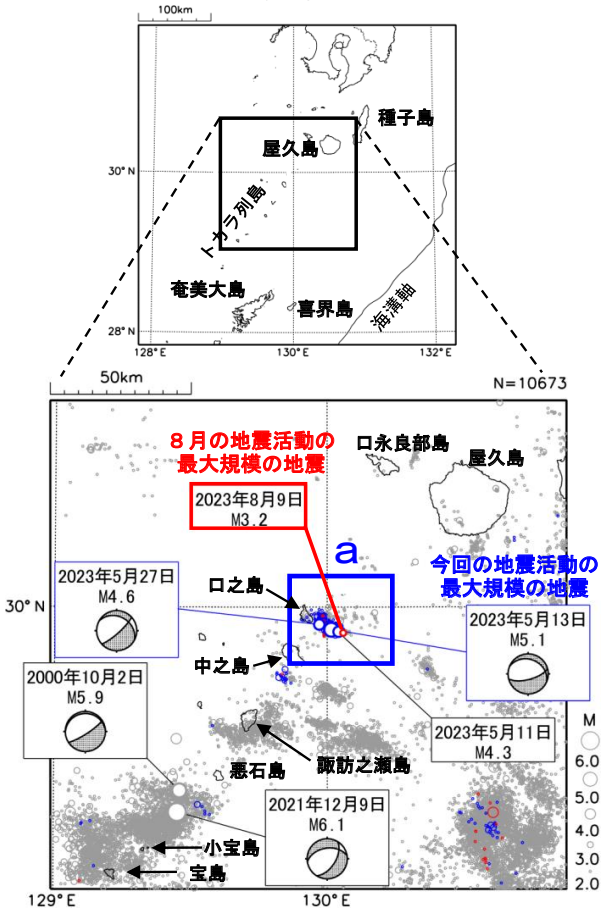


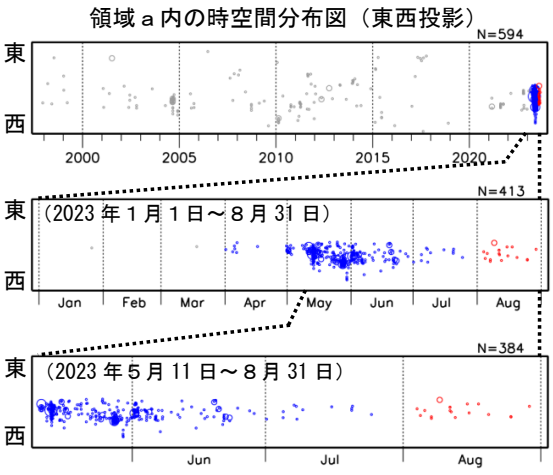
第 1 図 (b)　つづき（2023 年 8 月～ 10 月，M ≧ 4.0，深さ≦ 700km）

Fig. 1(b)　Continued (August – October 2023, M ≧ 4.0, depth ≦ 700 km).

トカラ列島近海の地震活動（口之島・中之島付近）

震央分布図
（1997 年 10 月 1 日～2023 年 8 月 31 日、
深さ 0～30km、M≧2.0）
2023 年 4 月～7 月の地震を青色○、
2023 年 8 月の地震を赤色○で表示
図中の発震機構は CMT 解





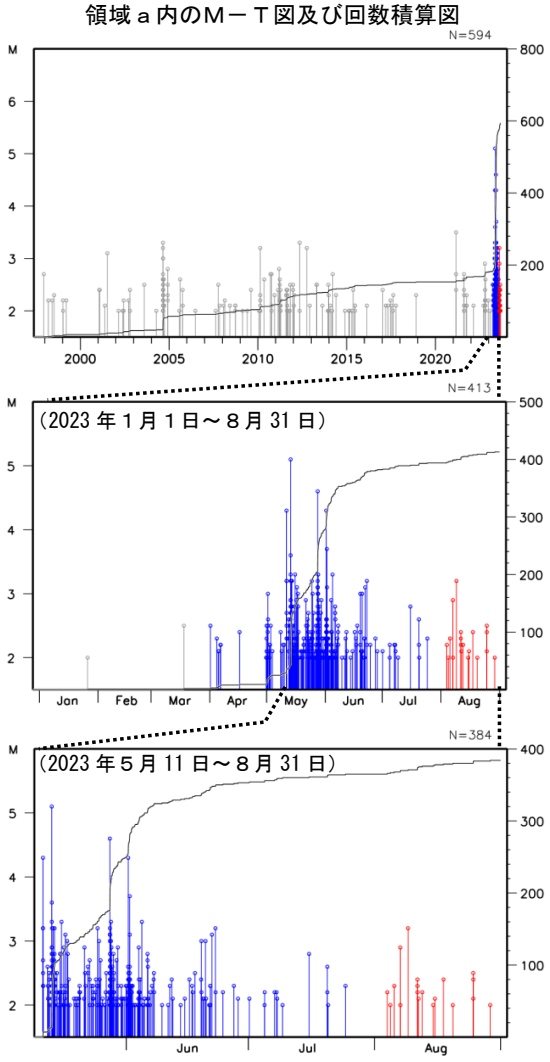
トカラ列島近海（口之島・中之島付近）では、2023年４月１日頃からややまとまった地震活動があり、５月11日以降、地震活動が活発となった。

６月中旬頃から発生する地震の規模が徐々に小さくなり、地震の発生数も減少しているが、地震活動は継続している。

４月１日から９月８日08時までに震度１以上を観測した地震は、146回（震度５弱：１回、震度４：３回、震度３：６回、震度２：35回、震度１：101回）発生した。このうち、８月に震度１以上を観測した地震は、11回（震度２：１回、震度１：10回）発生した。８月に発生した最大規模の地震は、９日05時48分に発生したM3.2の地震（最大震度１）である。また、最大の震度を観測した地震は、７日08時18分に発生したM2.9の地震（最大震度２）である。これらの地震は陸のプレート内で発生した。

1997年10月以降の活動をみると、今回の地震活動付近（領域ａ）は、時々まとまった活動があるが、M4.0以上の地震は発生していなかった。

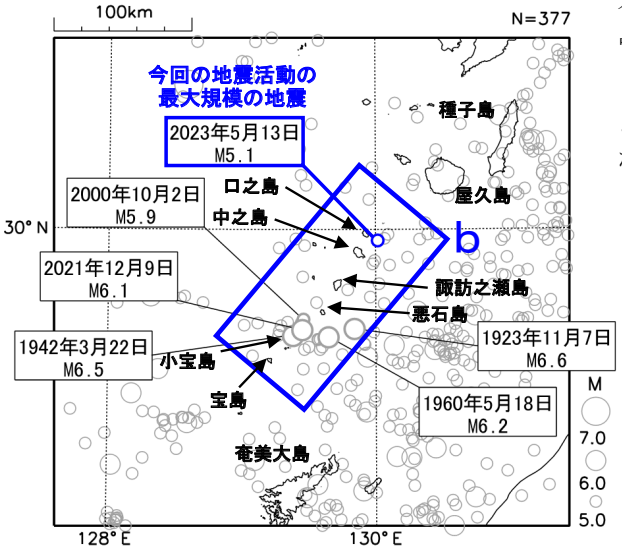
領域ａ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図



第 2 図 (a)　2023 年 5 月～ 8 月　トカラ列島近海の地震活動（口之島・中之島付近）

Fig. 2(a)　Seismic activity near Tokara Islands (near Kuchinoshima Island and Nakanoshima Island) in May – August 2023.

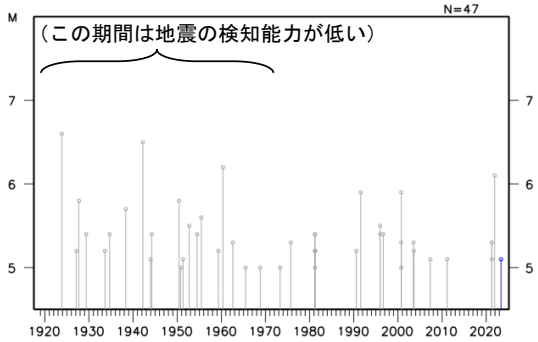
震央分布図
（1919 年 1 月 1 日～2023 年 8 月 31 日、
深さ 0～100km、M≧5.0）
2023 年 4 月以降の地震を青色○で表示
今回の地震活動の最大規模の地震と
2000 年 10 月 2 日の M5.9 の地震と
領域 b 内の M6.0 以上の地震に吹き出しを付加



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。2021年12月には地震活動が活発となり震度１以上を観測した地震が308回発生した。このうち、最大規模の地震は、2021年12月９日に発生したM6.1の地震（最大震度５強）で、鹿児島県十島村（悪石島）でがけ崩れなどの被害が生じた（被害は鹿児島県による）。

また、2000年10月２日にはM5.9の地震（最大震度５強）が発生するなど、地震活動が活発となった。この地震活動により、水道管破損１箇所等の被害が生じた（総務省消防庁による）。

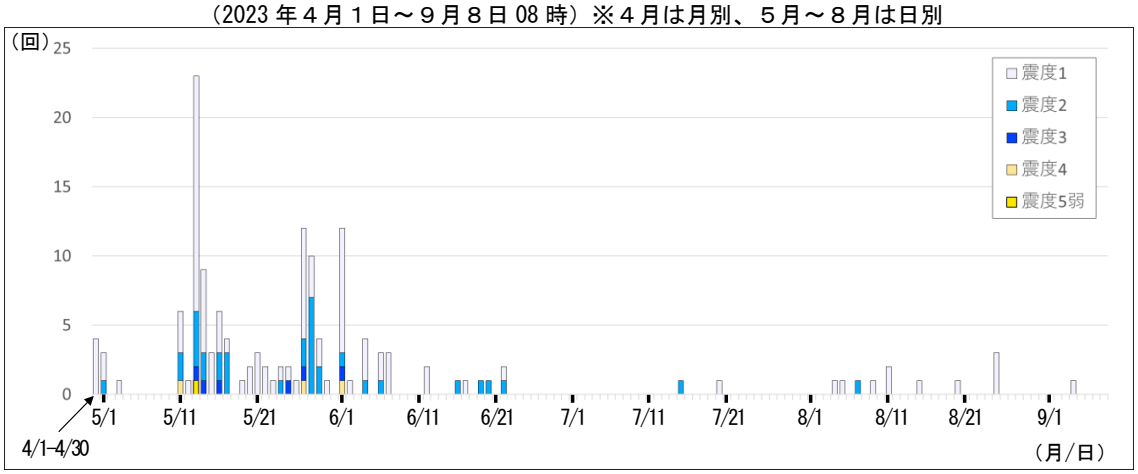
領域ｂ内のＭ－Ｔ図



今回の地震活動における震度１以上の月別最大震度別地震回数表
（2023 年４月１日～９月８日 08 時）※月別

月	最大震度別回数									震度1以上を観測した回数	
	震度1	震度2	震度3	震度4	震度5弱	震度5強	震度6弱	震度6強	震度7	回数	累計
4月	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4
5月	63	26	5	2	1	0	0	0	0	97	101
6月	22	7	1	1	0	0	0	0	0	31	132
7月	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	134
8月	10	1	0	0	0	0	0	0	0	11	145
9月（～8日08時）	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	146
合計	101	35	6	3	1	0	0	0	0		146

今回の地震活動における震度１以上の日別最大震度別地震回数図
（2023 年４月１日～９月８日 08 時）※４月は月別、５月～８月は日別

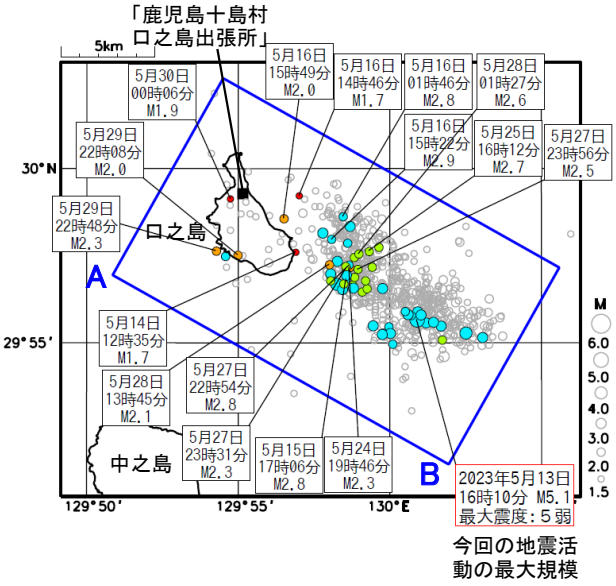


第 2 図 (a)　つづき
Fig. 2(a)　　Continued.

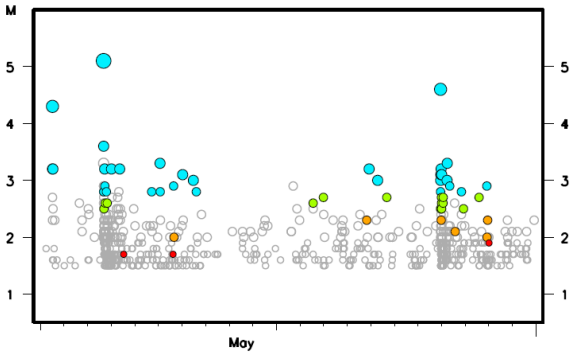
トカラ列島近海の地震
（口之島で震度１以上を観測した地震の活動状況）

震央分布図※1
（2023年5月11日※2～5月31日、
M≧1.5、深さ≦30km）

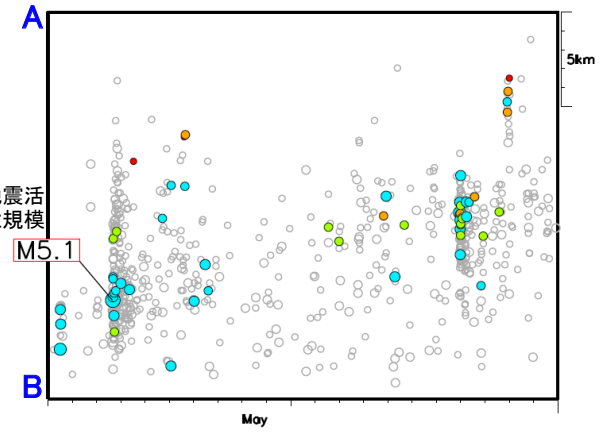
※1）震央分布図中の黒枠の吹き出しは「鹿児島十島村口之島出張所」のみで震度1以上を観測した地震
※2）今回の地震活動で「鹿児島十島村口之島出張所」において震度1以上を観測したのは5月11日以降



青矩形内のMT図



青矩形内の時空間分布図（A–B投影）

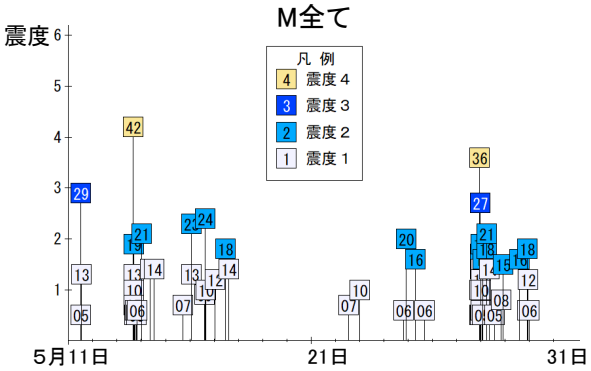


■色付きの丸は「鹿児島十島村口之島出張所」で震度１以上を観測した地震
- M2.0未満：赤丸
- M2.0～2.3：橙丸
- M2.4～2.7：緑丸
- M2.8以上：青丸

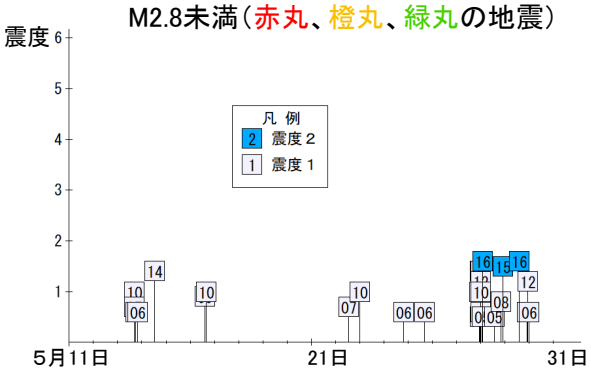
■灰色の丸はそれ以外の地震

「鹿児島十島村口之島出張所」で観測した震度の時系列図

M全て

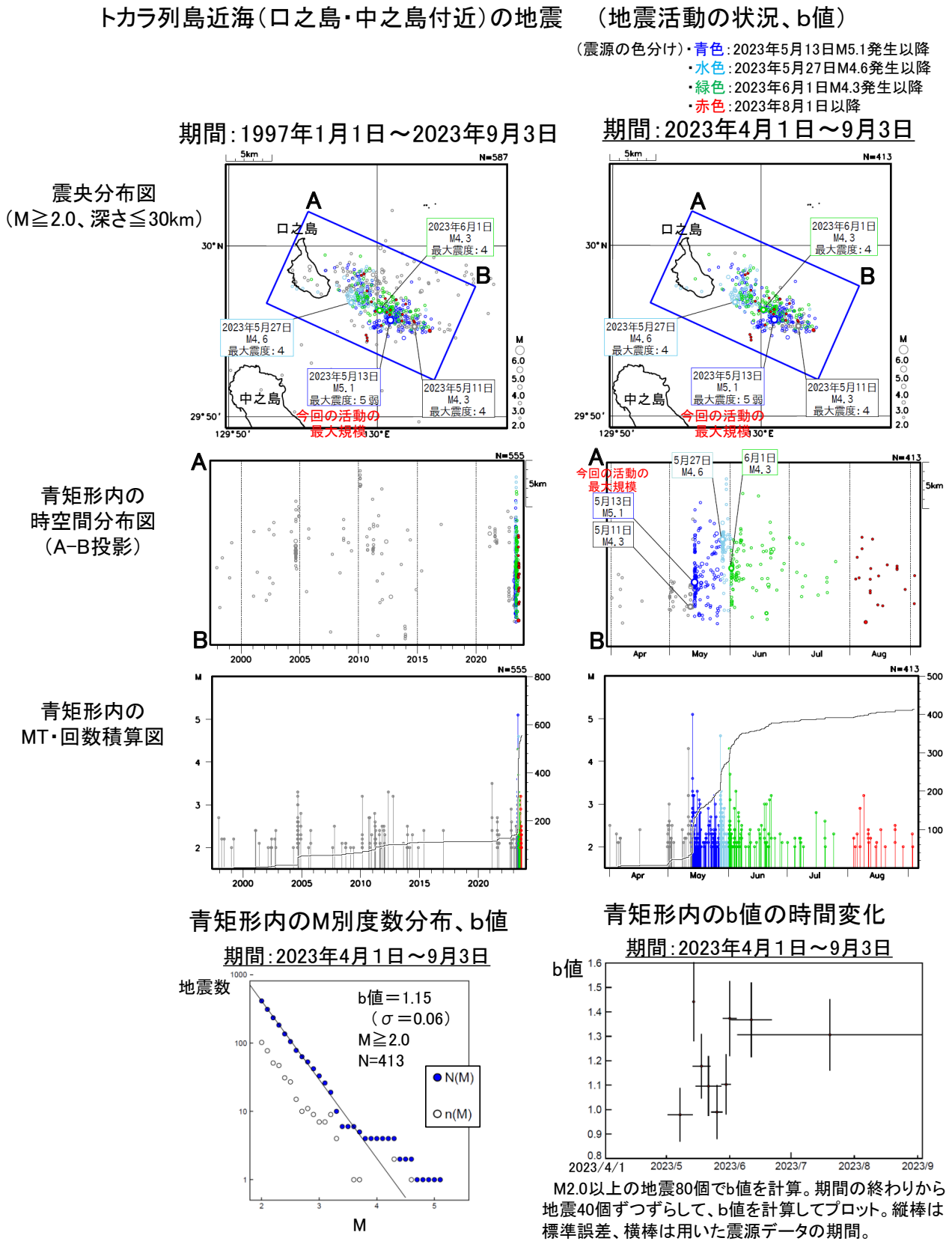


M2.8未満（赤丸、橙丸、緑丸の地震）



（グラフ中の数値×0.1は、計測震度）

第 2 図 (b)　つづき
Fig. 2(b)　Continued.

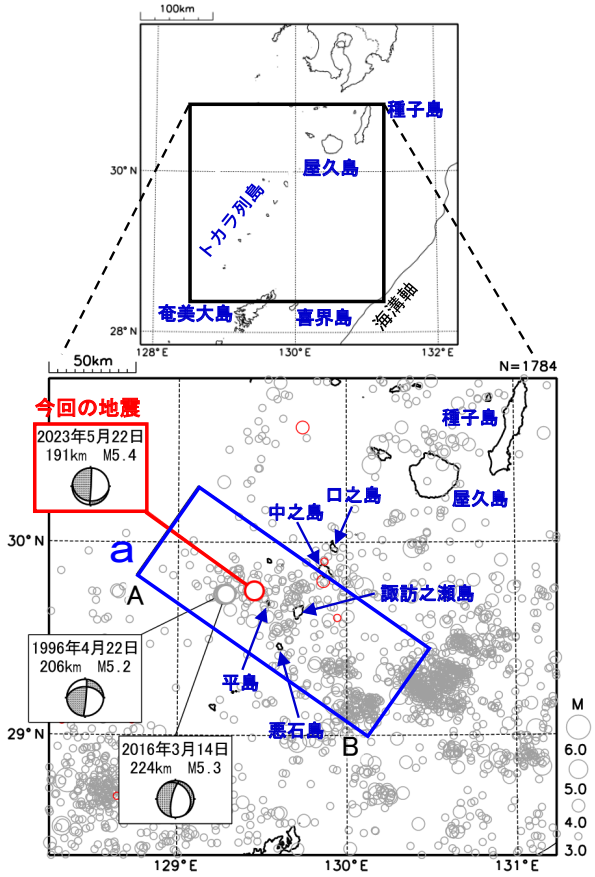


第 2 図 (c)　つづき

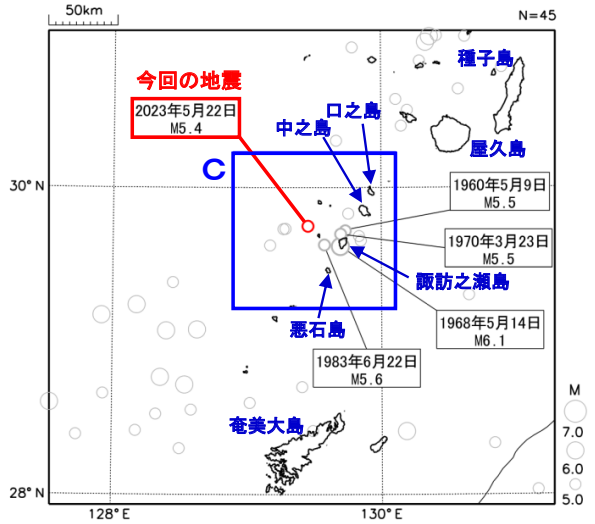
Fig. 2(c)　Continued.

５月 22 日　トカラ列島近海の地震

震央分布図
（1994 年 10 月 1 日～2023 年５月 31 日、
深さ 50～300km、M≧3.0）
2023 年５月の地震を赤色○で表示
図中の発震機構は CMT 解



震央分布図
（1919 年 1 月 1 日～2023 年５月 31 日、
深さ 100～300km、M≧5.0）
今回の地震と領域 c 内の M5.5 以上の地震に吹き出しを付加

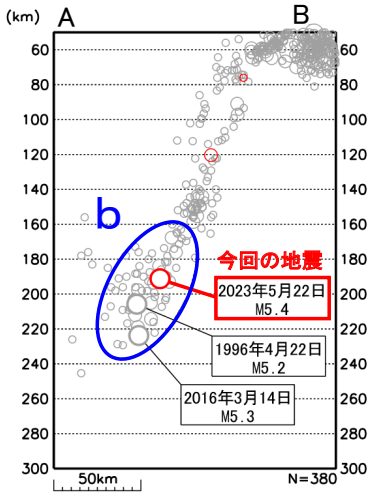


2023年５月22日07時20分にトカラ列島近海の深さ191kmでM5.4の地震（最大震度３）が発生した。この地震は、フィリピン海プレート内部で発生した。発震機構（CMT解）はフィリピン海プレートの沈み込む方向に張力軸を持つ型である。

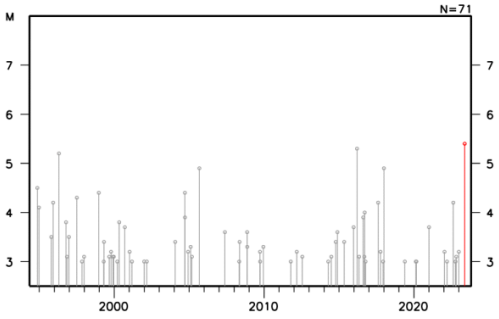
1994年10月以降の活動を見ると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、M5.0以上の地震が今回の地震を含め３回発生している。

1919年以降の活動を見ると、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。1968年５月14日にはM6.1の地震（最大震度４）が発生した。

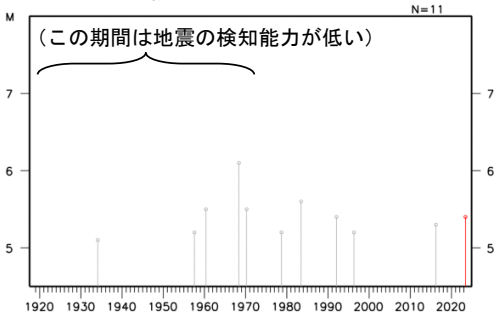
領域ａ内の断面図（Ａ－Ｂ投影）



領域ｂ内のＭ－Ｔ図



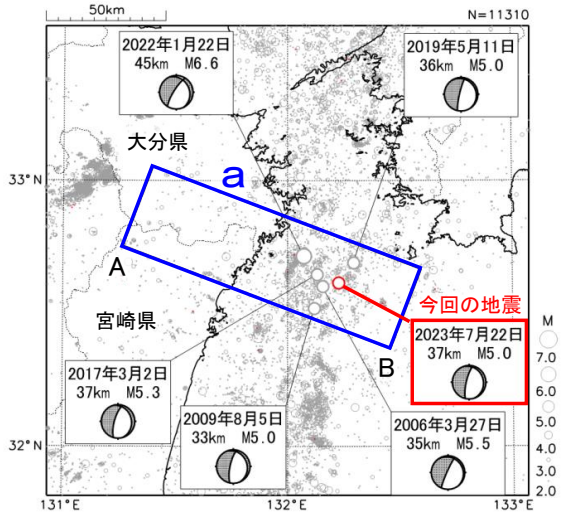
領域ｃ内のＭ－Ｔ図



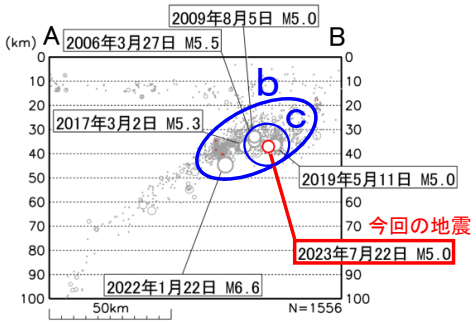
第 3 図　2023 年 5 月 22 日　トカラ列島近海の地震
Fig. 3　The earthquake near Tokara Islands on May 22, 2023.

7 月 22 日　日向灘の地震

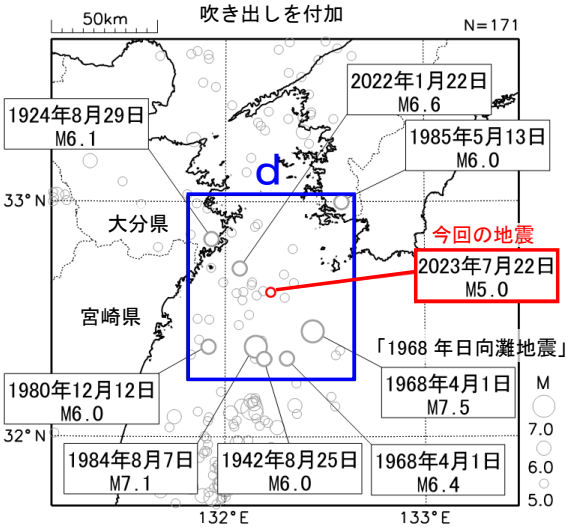
震央分布図
（1994 年 10 月 1 日～2023 年 7 月 31 日
深さ 0～100km、M≧2.0）
2023 年 7 月の地震を赤色○で表示
図中の発震機構は CMT 解



領域 a 内の断面図（A－B 投影）



震央分布図
（1919 年 1 月 1 日～2023 年 7 月 31 日、
深さ 0～100km、M≧5.0）
今回の地震と領域 d 内の M6.0 以上の地震に
吹き出しを付加

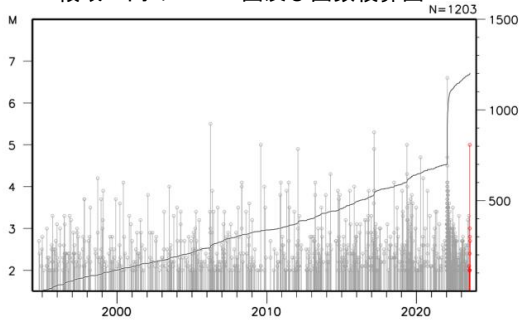


2023年７月22日21時14分に日向灘の深さ37kmでM5.0の地震（最大震度４）が発生した。この地震は、発震機構（CMT解）が東西方向に張力軸を持つ正断層型で、フィリピン海プレート内部で発生した。

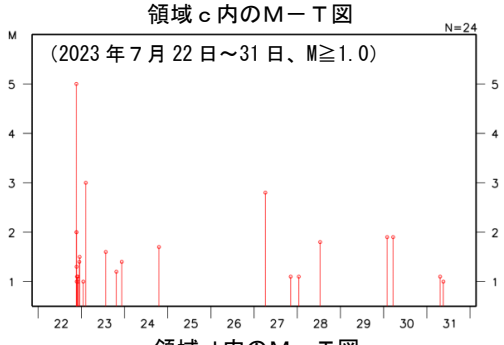
1994年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）では、M5.0以上の地震が今回の地震を含め６回発生している。2022年１月22日に発生したM6.6の地震（最大震度５強）では、負傷者13人、住家半壊２棟、住家一部破損599棟の被害が生じた（令和５年３月24日現在、総務省消防庁による）。

1919年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｄ）ではM6.0以上の地震が８回発生している。1968年４月１日に発生した「1968年日向灘地震」（M7.5、最大震度５）では、負傷者57人、住家被害7,423棟などの被害が生じた（「日本被害地震総覧」による）。この地震により、大分県の蒲江で240cm（全振幅）の津波を観測した（「日本被害津波総覧」による）。

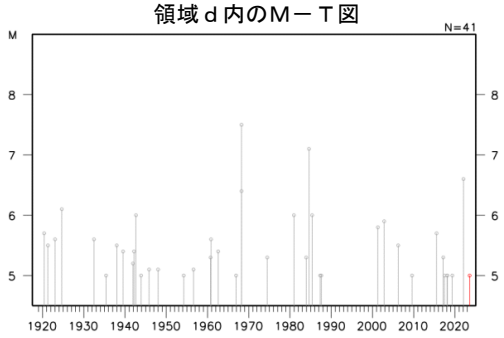
領域ｂ内のM－Ｔ図及び回数積算図



領域ｃ内のM－Ｔ図



領域ｄ内のM－Ｔ図

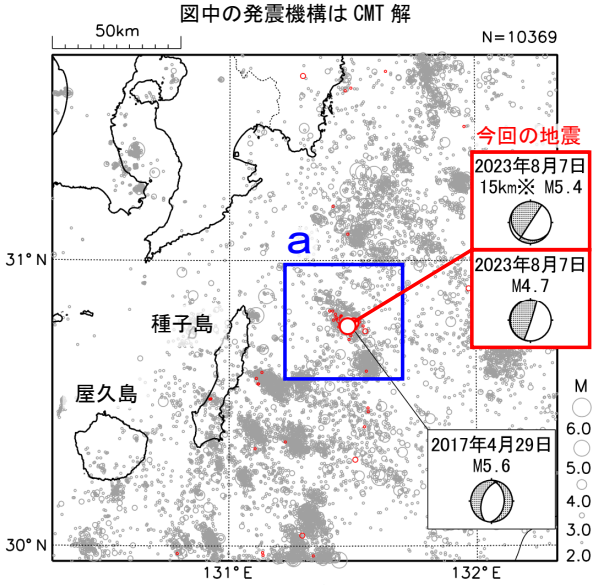


第 4 図　2023 年 7 月 22 日　日向灘の地震

Fig. 4　The earthquake in the Hyuganada Sea on July 22, 2023.

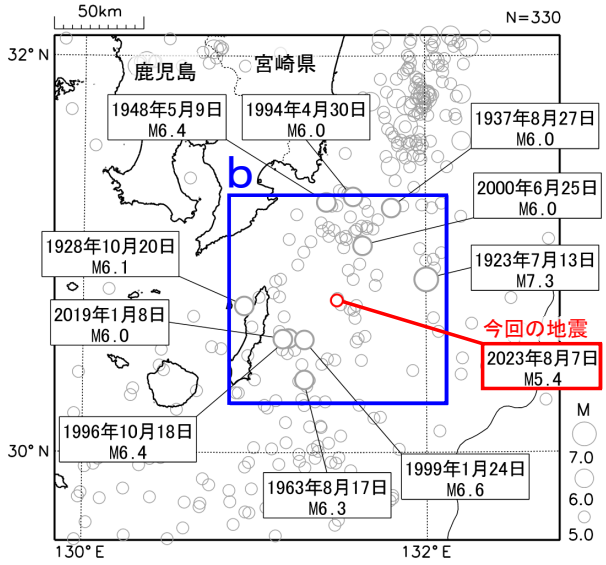
８月７日　大隅半島東方沖の地震

震央分布図
（1997 年 10 月 1 日～2023 年 8 月 31 日
深さ 0～60km、M≧2.0）
2023 年 8 月の地震を赤色○で表示
図中の発震機構は CMT 解



※深さは CMT 解による。

震央分布図
（1919 年 1 月 1 日～2023 年 8 月 31 日、
深さ 0～100km、M≧5.0）
2023 年 8 月の地震を赤色○で表示
今回の地震と領域 b 内の M6.0 以上の地震に
吹き出しを付加

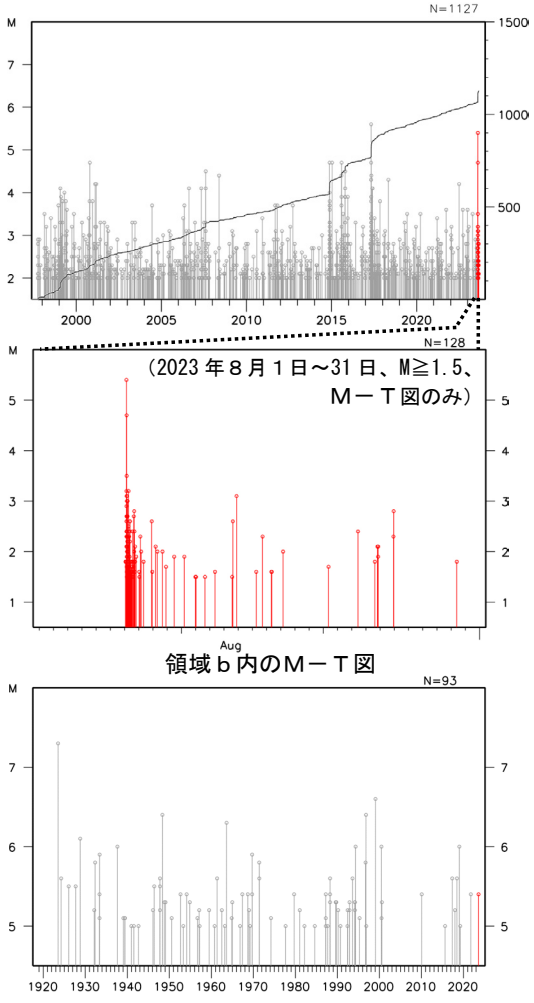


2023年８月７日03時12分に大隅半島東方沖の深さ15km（CMT解による）でM5.4の地震（最大震度３）が発生した。この地震の発震機構（CMT解）は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ型である。また、同日03時32分にほぼ同じ場所でM4.7の地震（最大震度３）が発生した。この地震の発震機構（CMT解）は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型である。

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）は、時々まとまった地震活動が見られる。2017年４月29日にはM5.6の地震（最大震度３）後、地震活動がやや活発となり、４月29日から５月４日までに、この地震を含め震度１以上を観測した地震が７回発生した。

1919年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｂ）ではM6.0以上の地震が時々発生している。1923年７月13日にはM7.3の地震が発生し、種子島の中種子村（現、中種子町）で住家小破27棟、南種子村（現、南種子町）で住家小破約30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Ｍ－Ｔ図及び回数積算図

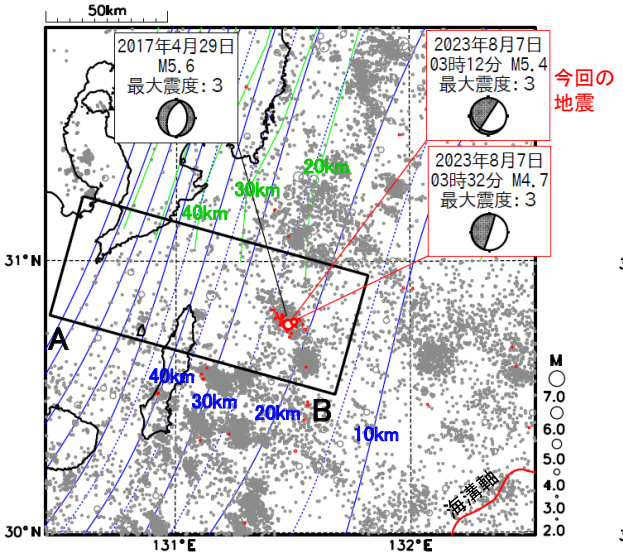


第 5 図 (a)　2023 年 8 月 7 日　大隅半島東方沖の地震

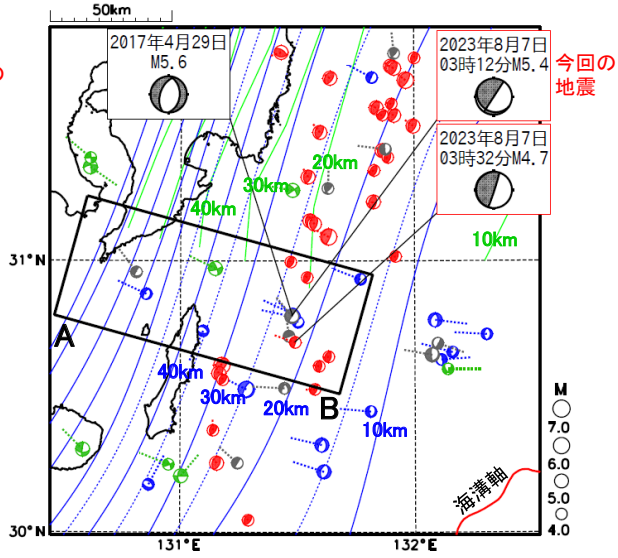
Fig. 5(a)　The earthquake east of the Osumi Peninsula on August 7, 2023.

8月7日　大隅半島東方沖の地震
（フィリピン海プレート上面との位置関係）

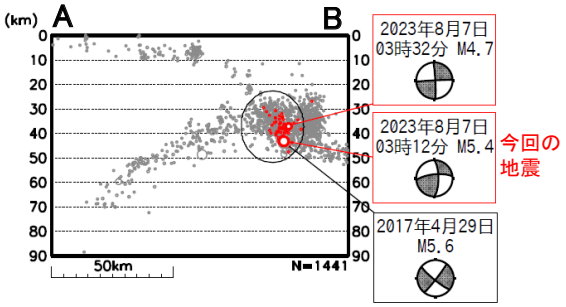
震央分布図
（1997年10月1日～2023年8月31日、
深さ0～90km、M≧2.0）
2023年8月7日以降を赤丸で示す



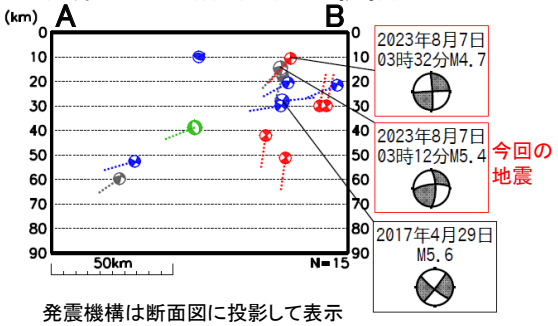
発震機構（CMT解）及び張力軸の分布図
（1997年10月1日～2023年8月31日、
深さ0～90km）
赤：逆断層型、青：正断層型、緑：横ずれ断層型、灰：その他
・発震機構はCMT解のセントロイドの位置に描画
・震源球からのびる点線は張力軸を示す



上図矩形内の断面図（A-B投影）

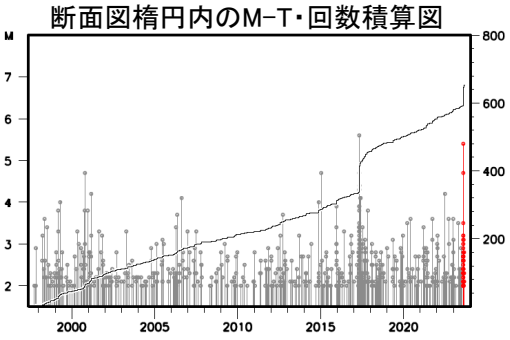


上図矩形内の断面図（ A-B投影）



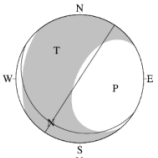
発震機構は断面図に投影して表示

断面図楕円内のM-T・回数積算図

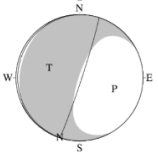


2023年8月7日の2つの地震（M5.4、M4.7）のCMT解

2023年8月7日03時12分のM5.4の地震
気象庁CMT解のセントロイド深さ：15km



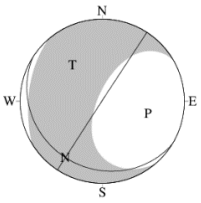
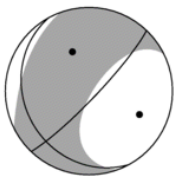
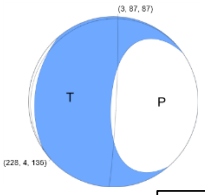
2023年8月7日03時32分のM4.7の地震
気象庁CMT解のセントロイド深さ：11km



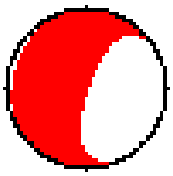
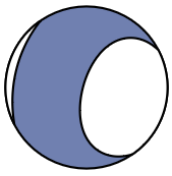
震央分布図中の青線（Iwasaki et al., 2015、Lindquist et al., 2004）、
緑線（Hirose et al., 2008, Baba et al.,2002）は、フィリピン海プレー
ト上面の等深線を示す

第 5 図 (b)　つづき
Fig. 5(b)　Continued.

2023年8月7日03時12分　大隅半島東方沖の地震Mj5.4（各機関のMT解）

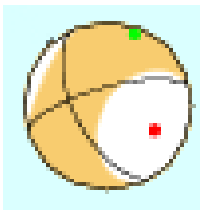
	気象庁CMT	防災科研（F-net）	USGS（W-pahse）
一元化震源 M5.4 深さ43km			
Mw	5.5	5.5	5.5
深さ	15km	26km	13.5km

USGS震源 深さ12.9km

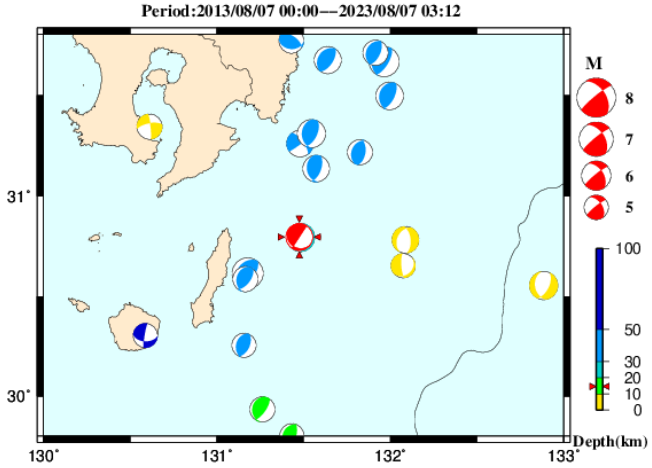
	Global CMT	GEOFON
		
Mw	5.6	5.5
深さ	16.2 km	25km

防災科研（F-net）: https://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: https://geofon.gfz-potsdam.de/eqinfo/list.php?mode=mt
防災科研（AQUA）: https://www.hinet.bosai.go.jp/AQUA/aqua_catalogue.php?LANG=ja

防災科研（AQUA）

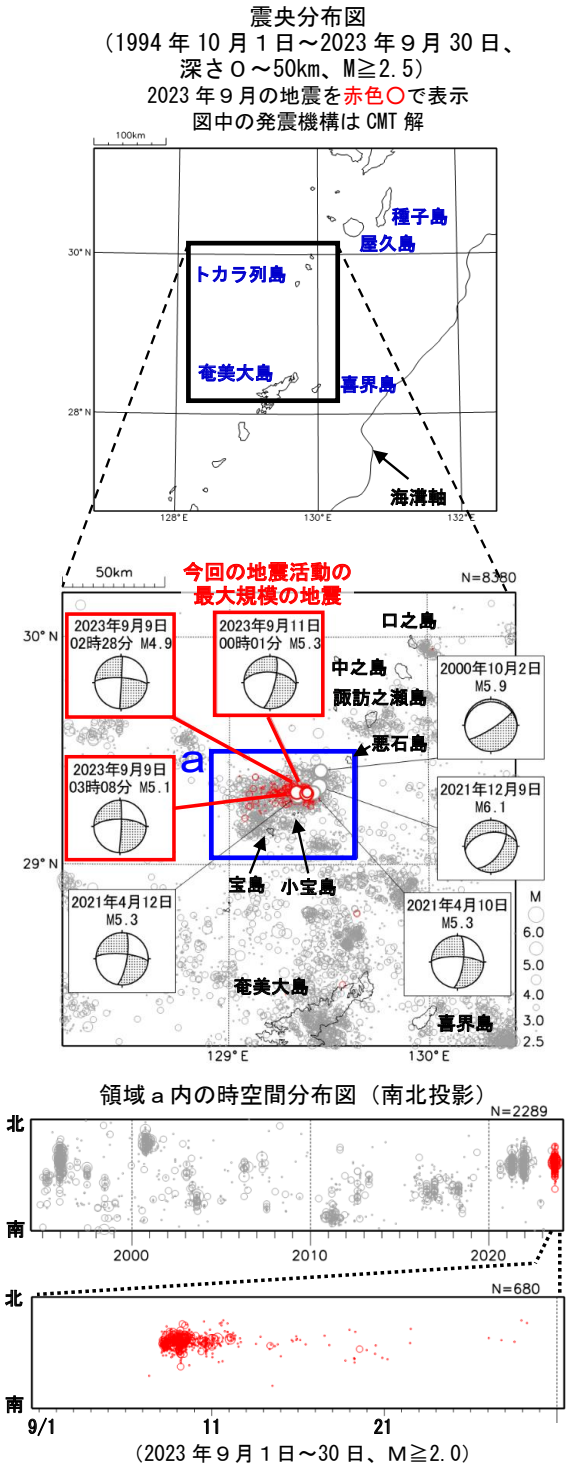


周辺の気象庁CMT解の分布図



第 5 図 (c)　つづき
Fig. 5(c)　Continued.

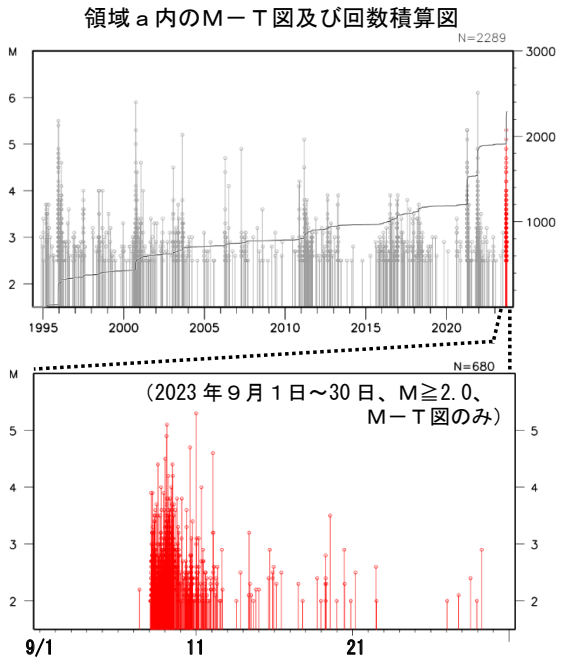
トカラ列島近海の地震活動（小宝島付近）



2023年９月８日02時頃からトカラ列島近海（小宝島付近）で地震活動が活発となり、９月30日までに震度１以上を観測した地震が346回（震度４：２回、震度３：25回、震度２：82回、震度１：237回）発生した。このうち、最大規模の地震は、11日00時01分に発生したM5.3の地震（最大震度４）で、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。これらの地震は陸のプレート内で発生した。９月13日頃からは、地震の規模が小さくなり、地震の発生数も減少している。

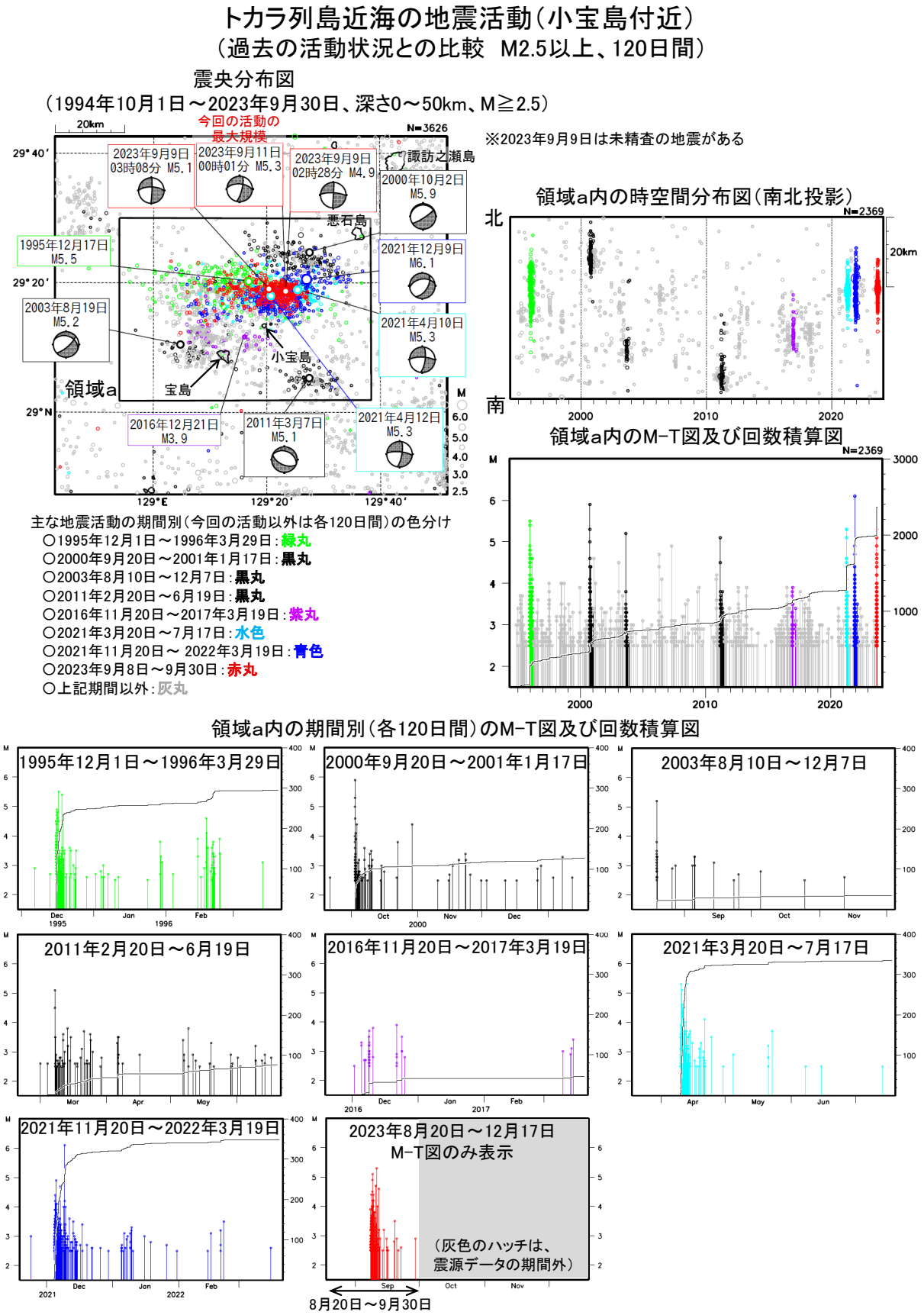
1994年10月以降の活動をみると、今回の地震活動付近（領域ａ）では、時々まとまった活動がある。2021年12月４日12時頃から活発になった地震活動では、12月31日までに震度１以上を観測した地震が308回（震度５強：１回、震度４：２回、震度３：15回、震度２：85回、震度１：205回）発生した。このうち、最大規模の地震は、12月９日11時05分に発生したM6.1の地震（最大震度５強）である。この地震活動により、鹿児島県十島村（悪石島）でがけ崩れなどの被害が生じた（被害は鹿児島県による）。また、2000年10月２日に発生したM5.9の地震（最大震度５強）を最大とする活発な地震活動により、鹿児島県十島村悪石島で水道管破損１箇所などの被害が生じた（総務省消防庁による）。

今回の地震活動と過去の主な地震活動について、活動期間ごとに120日間の期間で比較すると多様な活動の形態が見られる（次ページ参照）。この地域の地震活動は、活発な期間と落ち着いた期間を繰り返しながら継続することが多く、個々の地震活動の終わりの時期を特定することが難しい。



第 6 図 (a)　2023 年 9 月　トカラ列島近海の地震活動（小宝島付近）

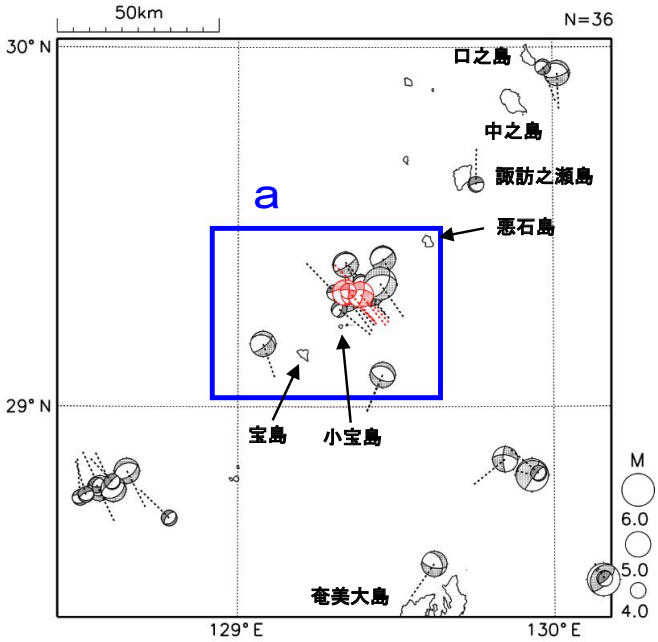
Fig. 6(a)　Seismic activity near Tokara Islands (near Kodakarajima Island) in September 2023.



第 6 図 (b)　つづき

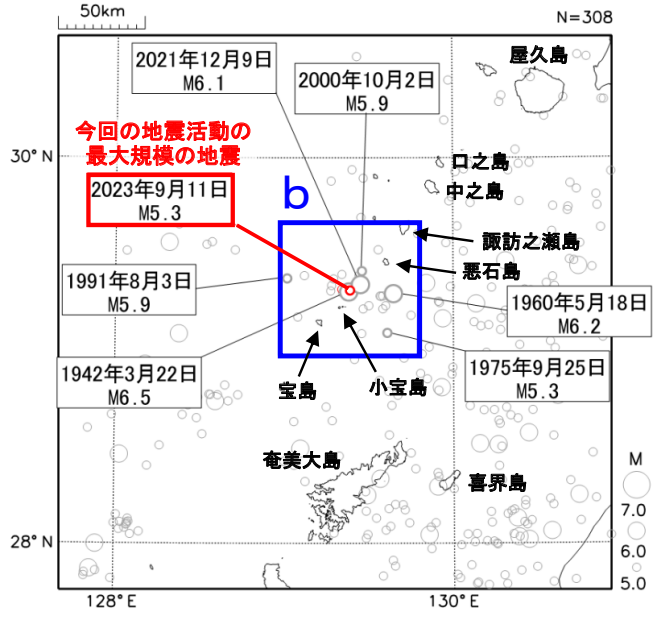
Fig. 6(b)　　Continued.

発震機構分布図
（1994 年 10 月 1 日～2023 年 9 月 30 日、
深さ 0～50km、M全て）
図中の発震機構は CMT 解
張力軸の方向を点線で表示
2023 年 9 月の地震を赤色で表示



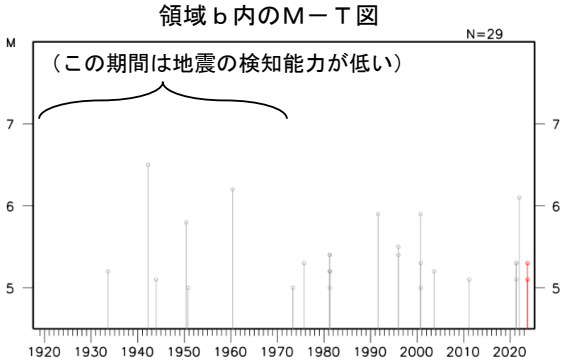
今回の地震活動付近（領域ａ）で求められた発震機構（CMT解）をみると、北西－南東方向に張力軸を持つ正断層型や横ずれ断層型がほとんどである。

震央分布図
（1919 年 1 月 1 日～2023 年 9 月 30 日、
深さ 0～100km、M≧5.0）
今回の地震活動の最大規模の地震、1975 年 9 月 25 日の地震
及び領域ｂ内の M5.9 以上の地震に吹き出しを付加
2023 年 9 月の地震を赤色○で表示



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、M5.0以上の地震が時々発生している。このうち、1975年９月25日に発生したM5.3の地震により、鹿児島県十島村小宝島で地割れの被害が、1972年７月７日に発生したＭ３クラスの地震により、鹿児島県十島村小宝島で地割れや瓦のずれなどの被害が生じた（「日本被害地震総覧」による）。

領域ｂ内のＭ－Ｔ図

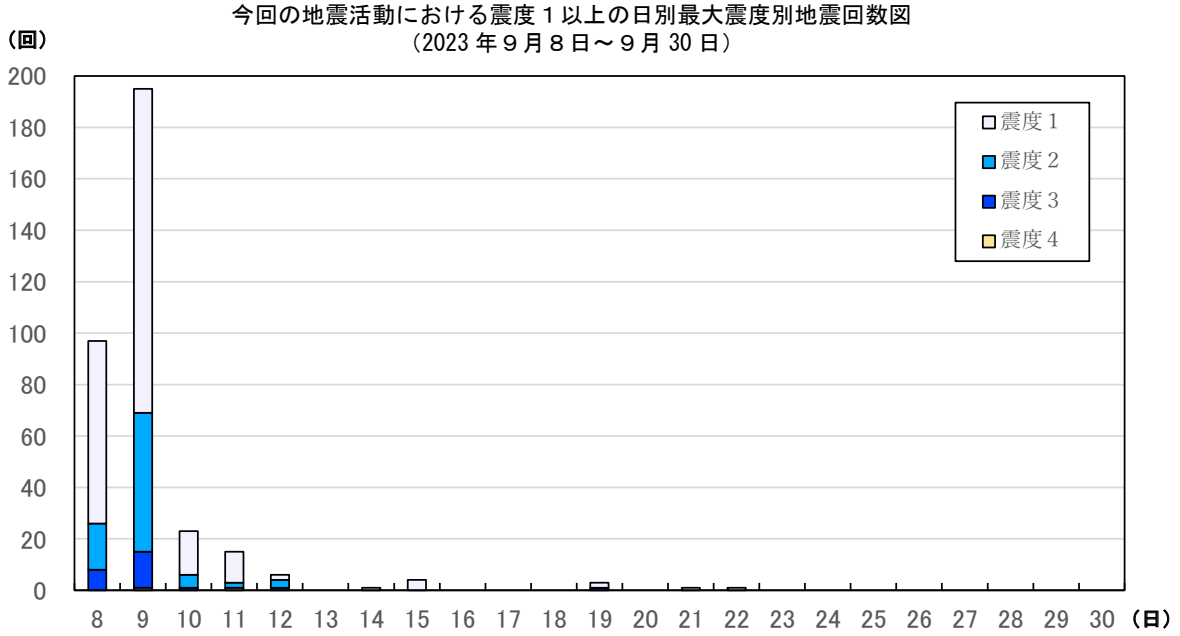


第 6 図 (c)　つづき
Fig. 6(c)　　Continued.

今回の地震活動における震度１以上の日別最大震度別地震回数表
（2023 年９月８日～９月 30 日）

日	最大震度別回数									震度1以上を観測した回数	
	震度1	震度2	震度3	震度4	震度5弱	震度5強	震度6弱	震度6強	震度7	回数	累計
8日	71	18	8	0	0	0	0	0	0	97	97
9日	126	54	14	1	0	0	0	0	0	195	292
10日	17	5	1	0	0	0	0	0	0	23	315
11日	12	2	0	1	0	0	0	0	0	15	330
12日	2	3	1	0	0	0	0	0	0	6	336
13日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	336
14日	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	337
15日	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	341
16日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	341
17日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	341
18日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	341
19日	2	0	1	0	0	0	0	0	0	3	344
20日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	344
21日	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	345
22日	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	346
23日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	346
24日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	346
25日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	346
26日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	346
27日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	346
28日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	346
29日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	346
30日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	346
総計	237	82	25	2	0	0	0	0	0		346

今回の地震活動における震度１以上の日別最大震度別地震回数図
（2023 年９月８日～９月 30 日）



第 6 図 (c)　つづき
Fig. 6(c)　Continued.

９－２　沖縄地方とその周辺の地震活動（2023 年 5 月～ 10 月）
Seismic Activity around the Okinawa District (May - October 2023)

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 120 回，M5.0 以上の地震は 17 回発生した．このうち最大は，2023 年 9 月 18 日に宮古島北西沖で発生した M6.5 の地震であった．

2023 年 5 月～ 2023 年 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）沖縄本島近海の地震（M6.4，最大震度 2，第 2 図 (a)，(b)）

2023 年 5 月 1 日 12 時 22 分に沖縄本島近海の深さ 13km（CMT 解による）で M6.4 の地震（最大震度 2）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．この地震の震央付近（領域 a）では，4 月 27 日から地震活動がやや活発になり，4 月 27 日から 5 月 31 日までに震度 1 以上を観測する地震が 8 回（震度 2：3 回，震度 1：5 回）発生した．

（2）宮古島近海の地震（M5.9，最大震度 3，第 3 図 (a)，(b)）

2023 年 5 月 11 日 22 時 33 分に宮古島近海の深さ 26km（CMT 解による）で M5.9 の地震（最大震度 3）が発生した．この地震の発震機構（CMT 解）は北西－南東方向に圧力軸を持つ型である．

（3）沖縄本島近海の地震（M5.2，最大震度 3，第 4 図）

2023 年 6 月 22 日 10 時 24 分に沖縄本島近海の深さ 39km 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．

（4）宮古島北西沖の地震（M6.5，最大震度 3，第 5 図）

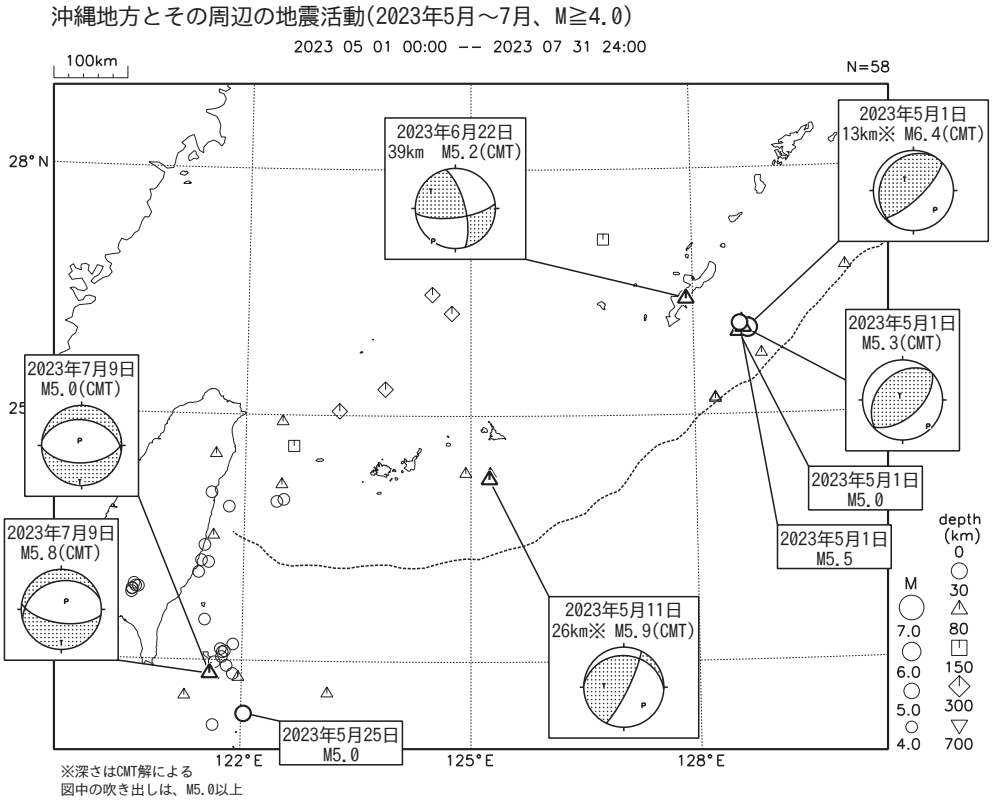
2023 年 9 月 18 日 22 時 21 分に宮古島北西沖の深さ 182km で M6.5 の地震（最大震度 3）が発生した．この地震はフィリピン海プレート内部で発生した．この地震の発震機構（CMT 解）は，フィリピン海プレートが沈み込む方向に圧力軸を持つ型である．

（5）宮古島近海の地震（M6.0，最大震度 4，第 6 図 (a)，(b)）

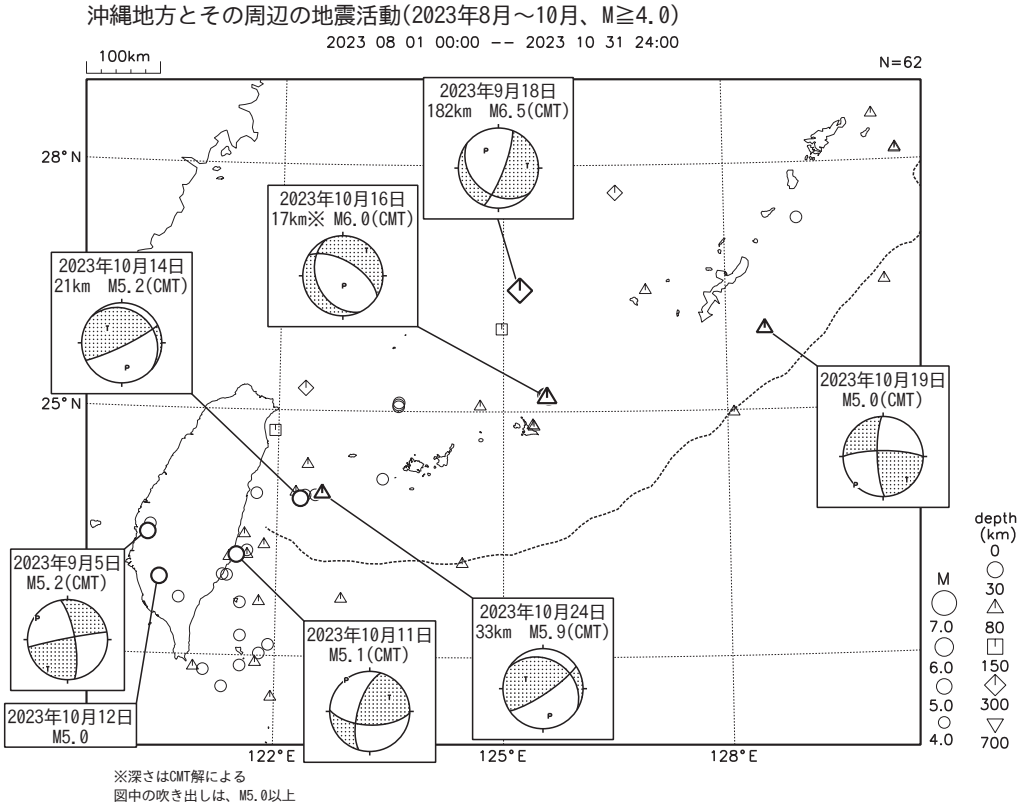
2023 年 10 月 16 日 19 時 42 分に宮古島近海の深さ 17km（CMT 解による）で M6.0 の地震（最大震度 4）が発生した．この地震は，発震機構（CMT 解）が北東 - 南西方向に張力軸を持つ正断層型で，陸のプレート内で発生した．この地震の震央付近では，31 日までに震度 1 を観測する地震が 6 回（震度 4：1 回，震度 2：2 回，震度 1：3 回）発生している．今回の地震の震央付近（領域 a）では 2023 年 10 月 16 日の地震の発生以降，地震活動が一時的に活発となった．

(6) 与那国島近海の地震（M5.9，最大震度 3，第 7 図）

2023 年 10 月 24 日 08 時 05 分に与那国島近海の深さ 33km で M5.9 の地震（最大震度 3）が発生した．この地震の発震機構（CMT 解）は北北西－南南東方向に圧力軸を持つ型である．



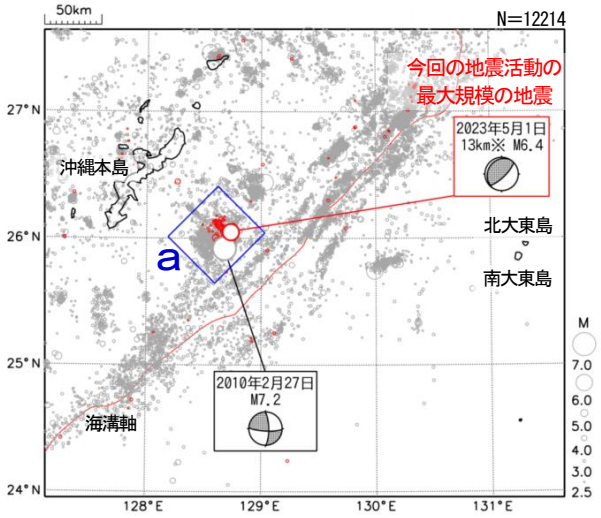
第 1 図 (a)　沖縄地方とその周辺の地震活動（2023 年 5 月～ 7 月，M ≧ 4.0，深さ≦ 700km）
Fig. 1(a)　Seismic activity around the Okinawa district (May - July 2023, M ≧ 4.0, depth ≦ 700km)



第 1 図 (b)　つづき（2023 年 8 月～ 10 月，M ≧ 4.0，深さ≦ 700km）
Fig. 1(b)　Continued (August - October 2023, M ≧ 4.0, depth ≦ 700km)

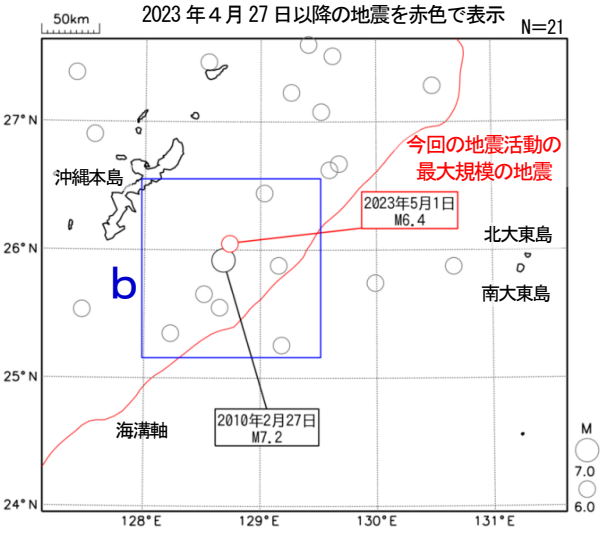
沖縄本島近海の地震活動

震央分布図
（2000 年７月１日～2023 年５月 31 日、
深さ０km～90km、M≧2.5）
４月 27 日以降の地震を赤色で表示
図中の発震機構は CMT 解



※深さは CMT 解による

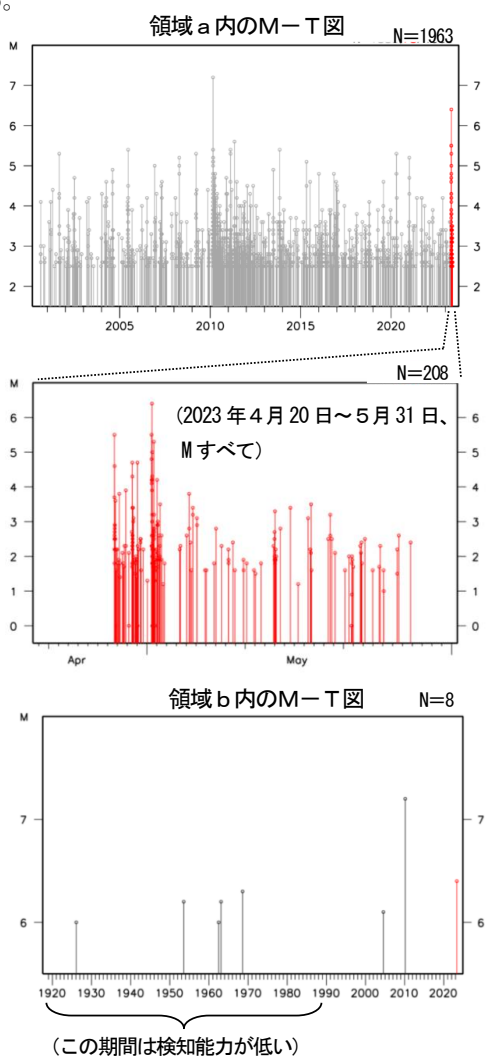
震央分布図
（1919 年１月１日～2023 年５月 31 日、
深さ０km～200km、M≧6.0）
2023 年４月 27 日以降の地震を赤色で表示



2023年５月１日12時22分に沖縄本島近海の深さ13km（CMT解による）でM6.4の地震（最大震度２）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。この地震の震央付近（領域ａ）では、４月27日から地震活動がやや活発になり、４月27日から５月31日までに震度１以上を観測する地震が８回（震度２：３回、震度１：５回）発生した。

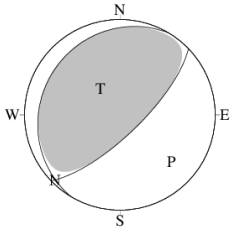
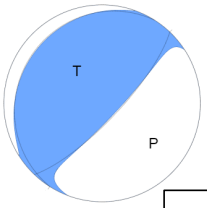
2000年７月以降の活動をみると、今回の地震の震央付近（領域ａ）では、2010年２月27日にM7.2の地震が発生し、軽傷者２人、住家一部損壊４棟などの被害が生じた（総務省消防庁による）。また、この地震により南城市安座真で13cm、南大東島漁港で３cmの津波を観測した。

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、M6.0 以上の地震が時折発生している。

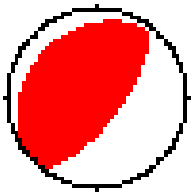
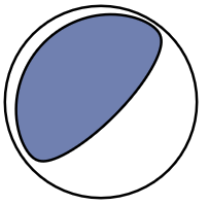


第 2 図 (a)　2023 年 5 月 1 日　沖縄本島近海の地震
Fig. 2(a)　The earthquake near Okinawajima Island on May 1, 2023

2023年5月1日12時22分　沖縄本島近海の地震Mj6.4（各機関のMT解）

	気象庁CMT	防災科研（F-net）	USGS（W-phase）
一元化震源 M6.4 深さ18km		（掲載なし）	
Mw	5.8		5.9
深さ	13km		13.5km

USGS震源 深さ10.8km

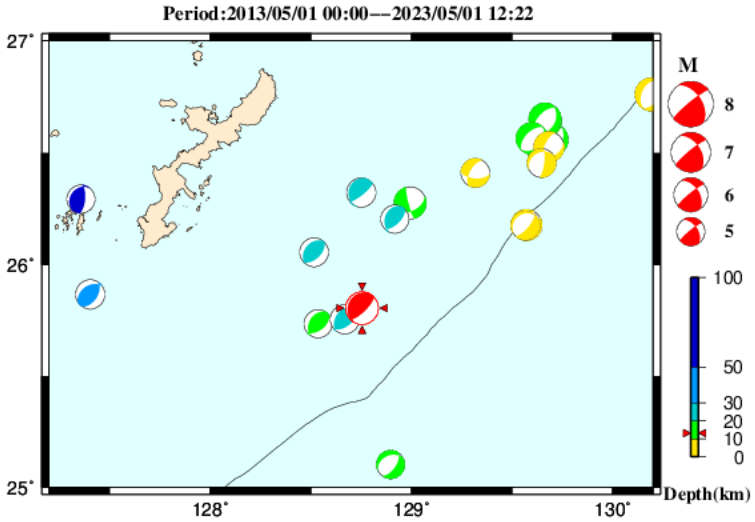
	Global CMT	GEOFON
		
Mw	5.8	5.9
深さ	15km	20km

防災科研（F-net）：https://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：https://geofon.gfz-potsdam.de/eqinfo/list.php?mode=mt
防災科研（AQUA）：https://www.hinet.bosai.go.jp/AQUA/aqua_catalogue.php?LANG=ja

防災科研（AQUA）

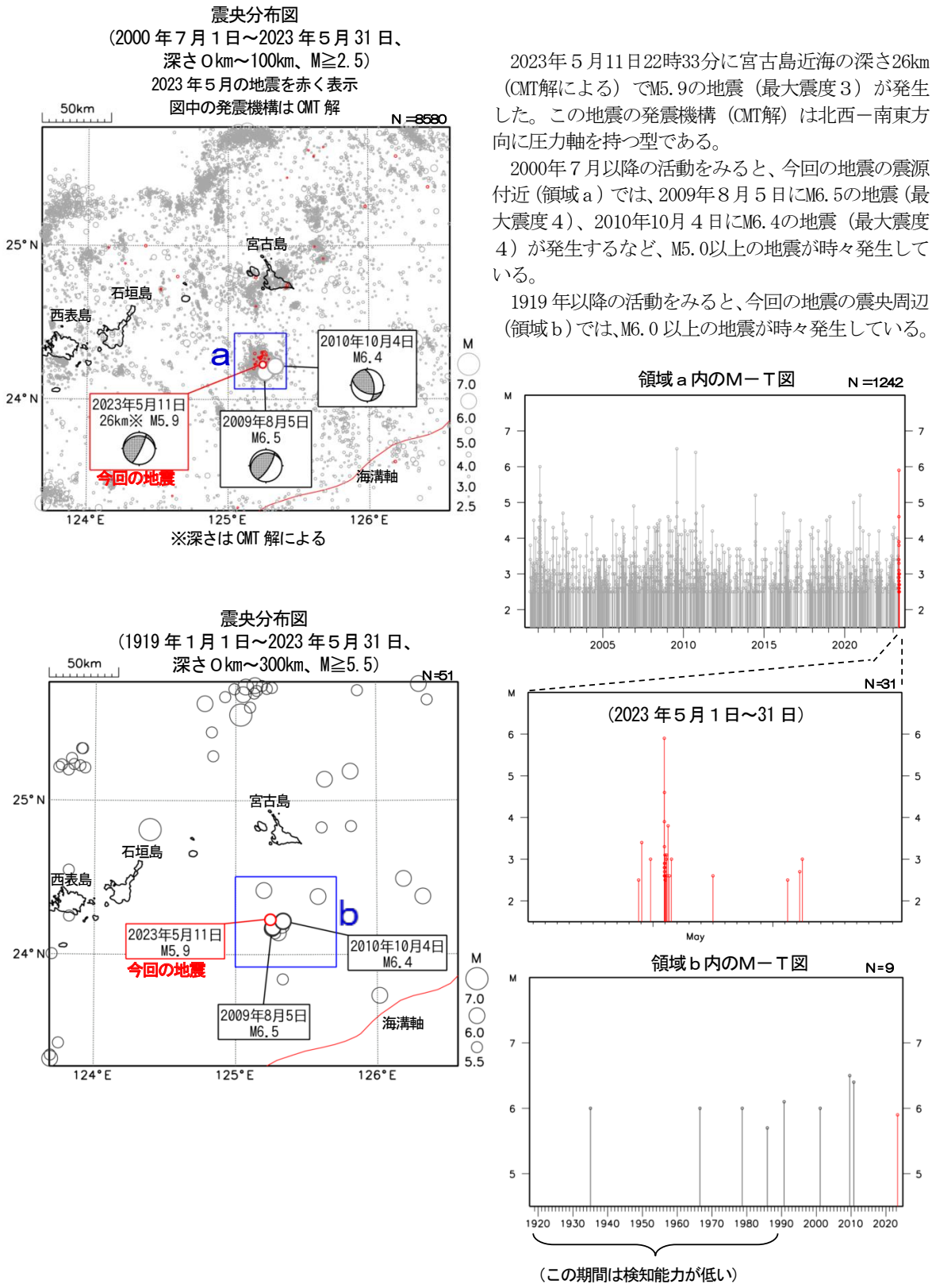
（掲載なし）

周辺の気象庁CMT解の分布図



第 2 図 (b)　つづき
Fig. 2(b)　Continued.

５月 11 日　宮古島近海の地震



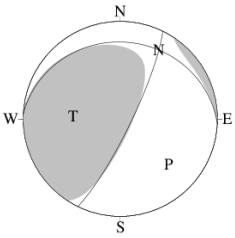
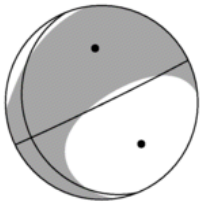
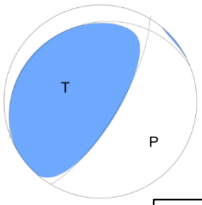
2023年５月11日22時33分に宮古島近海の深さ26km（CMT解による）でM5.9の地震（最大震度３）が発生した。この地震の発震機構（CMT解）は北西－南東方向に圧力軸を持つ型である。

2000年７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、2009年８月５日にM6.5の地震（最大震度４）、2010年10月４日にM6.4の地震（最大震度４）が発生するなど、M5.0以上の地震が時々発生している。

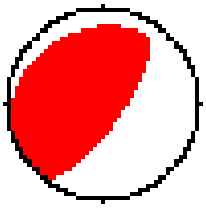
1919 年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域ｂ）では、M6.0 以上の地震が時々発生している。

第 3 図 (a)　2023 年 5 月 11 日　宮古島近海の地震
Fig. 3(a)　The earthquake near Miyakojima Island on May 11, 2023

2023年5月11日22時33分　宮古島近海の地震Mj5.9（各機関のMT解）

	気象庁CMT	防災科研（F-net）	USGS（W-phase）
一元化震源 M5.9 深さ33km			
Mw	5.8	5.8	5.8
深さ	26km	26km	23.5km

USGS震源 深さ21.6km

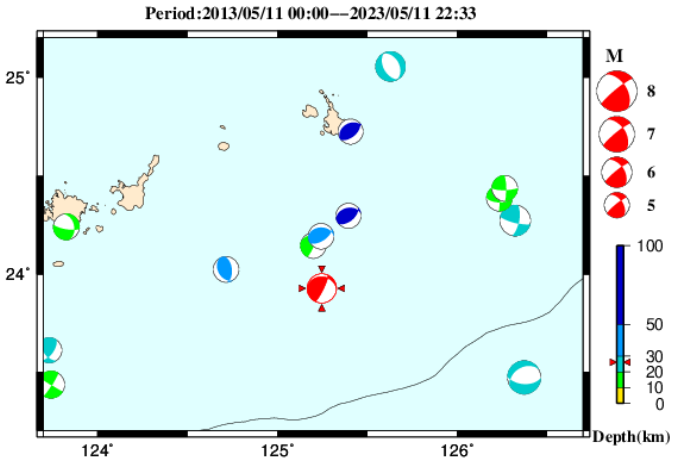
	Global CMT	GEOFON
		
Mw	5.8	5.8
深さ	28.0km	10km

防災科研（F-net）: https://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: https://geofon.gfz-potsdam.de/eqinfo/list.php?mode=mt
防災科研（AQUA）: https://www.hinet.bosai.go.jp/AQUA/aqua_catalogue.php?LANG=ja

防災科研（AQUA）

周辺の気象庁CMT解の分布図

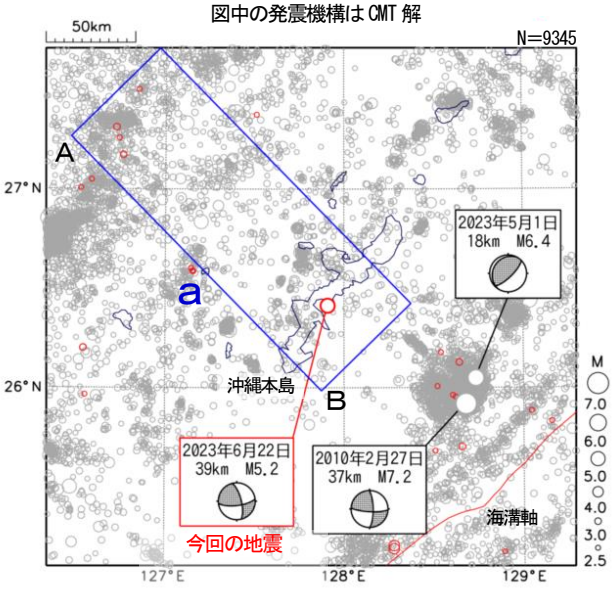
（掲載なし）



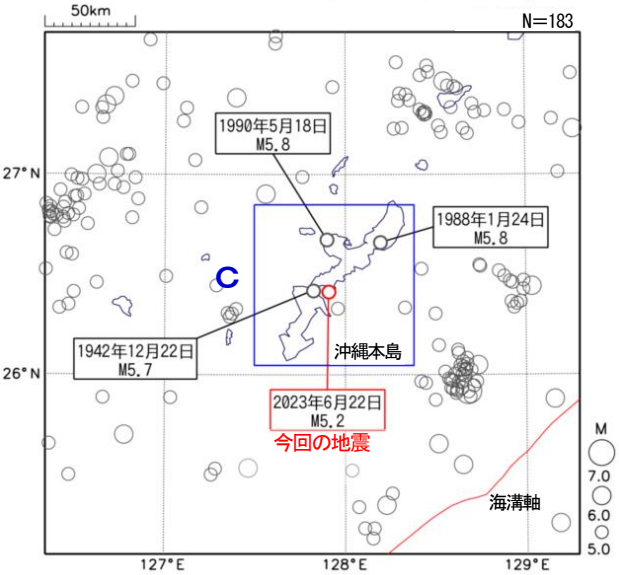
第 3 図 (b)　つづき
Fig. 3(b)　Continued.

６月 22 日　沖縄本島近海の地震

震央分布図
（2000 年７月１日～2023 年６月 30 日、
深さ０km～200km、M≧2.5）
６月の地震を赤色で表示
図中の発震機構は CMT 解



震央分布図
（1919 年１月１日～2023 年６月 30 日、
深さ０km～200km、M≧5.0）
2023 年６月の地震を赤色で表示

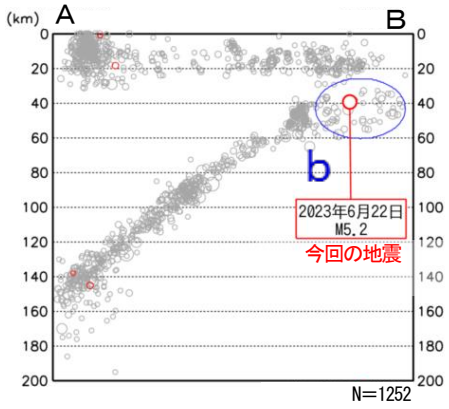


2023年６月22日10時24分に沖縄本島近海の深さ39kmでM5.2の地震（最大震度３）が発生した。この地震は、発震機構（CMT解）が北西－南東方向に張力軸を持つ横ずれ断層型で、フィリピン海プレート内部で発生した。

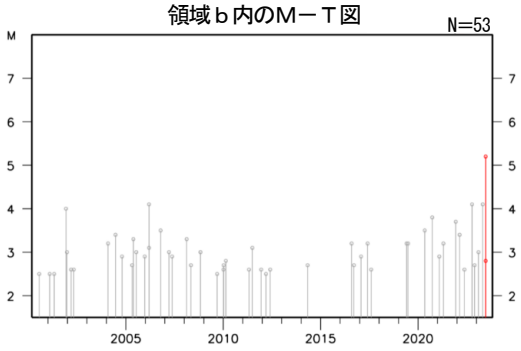
2000年７月以降の活動をみると、今回の震央付近（領域ｂ）では、M5.0以上の地震が発生したのは初めてである。

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、M5.0 以上の地震が今回の地震を含めて６回発生している。

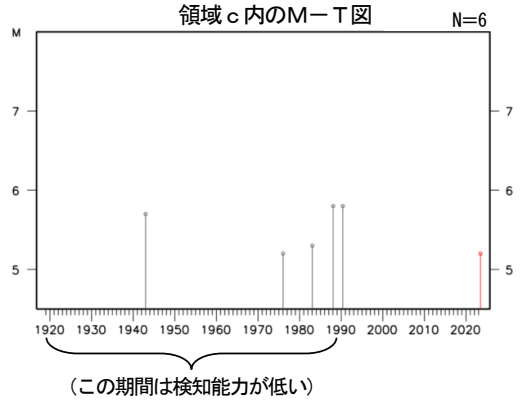
領域内ａの断面図（Ａ－Ｂ投影）



領域ｂ内のＭ－Ｔ図

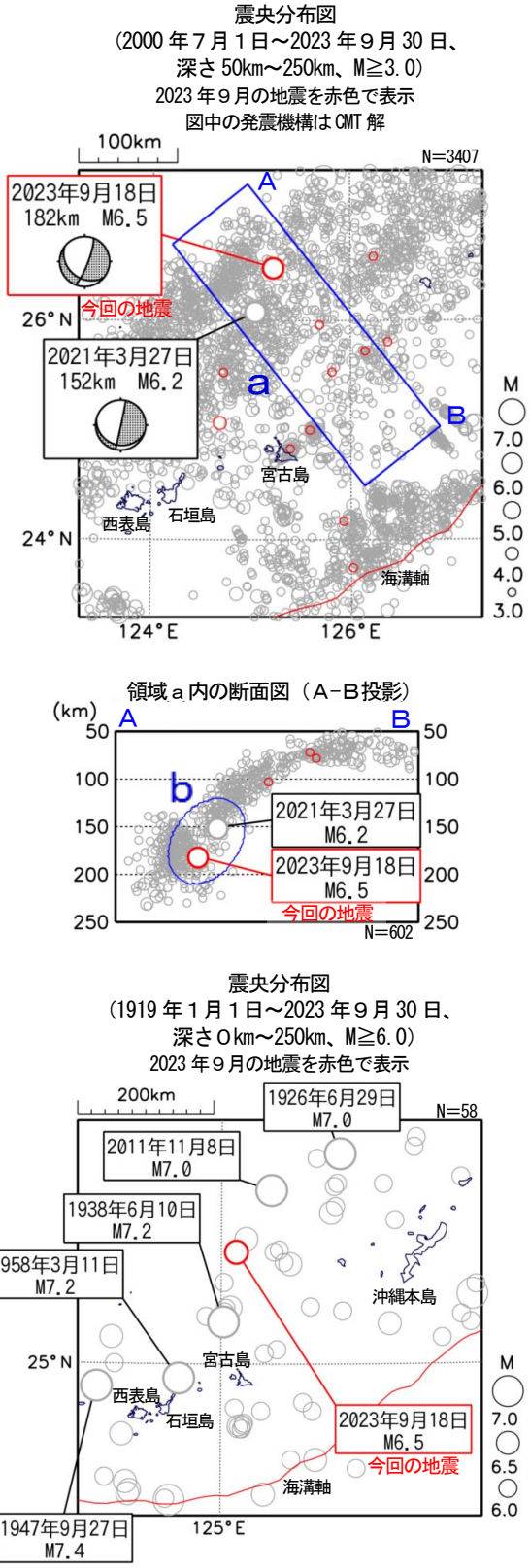


領域ｃ内のＭ－Ｔ図



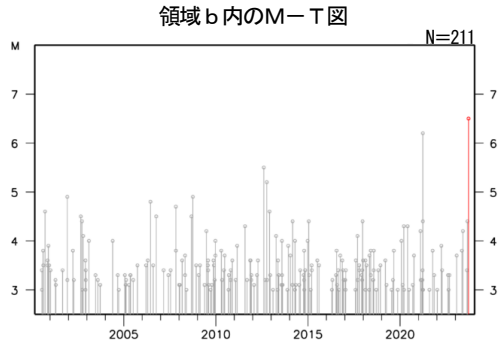
第 4 図　2023 年 6 月 22 日沖縄本島近海の地震
Fig. 4　The earthquake near Okinawajima Island on June 22, 2023

９月 18 日　宮古島北西沖の地震

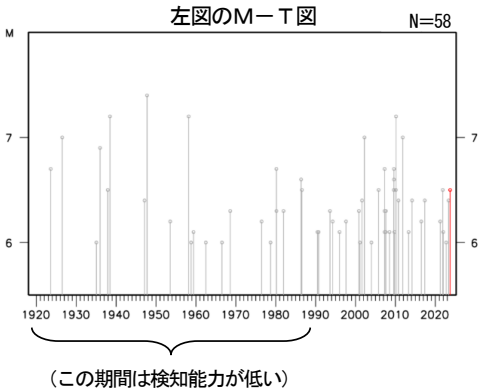


2023年９月18日22時21分に宮古島北西沖の深さ182kmでM6.5の地震（最大震度３）が発生した。この地震はフィリピン海プレート内部で発生した。この地震の発震機構（CMT解）は、フィリピン海プレートが沈み込む方向に圧力軸を持つ型である。

2000年７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、M6.0以上の地震が今回の地震を含めて２回発生しており、もう一つは2021年３月27日にM6.2の地震（最大震度２）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では、過去にM6.0以上の地震が時々発生しており、1938年６月10日にM7.2の地震（最大震度４）が発生し、宮古島平良港で1.5m程度の津波が目撃されており、桟橋の流出などの被害があった。また、1958年３月11日にM7.2の地震（最大震度５）が発生し、先島諸島で死者２人、負傷者４人のほか家屋損壊などの被害が生じた（被害は、「日本被害地震総覧」による）。

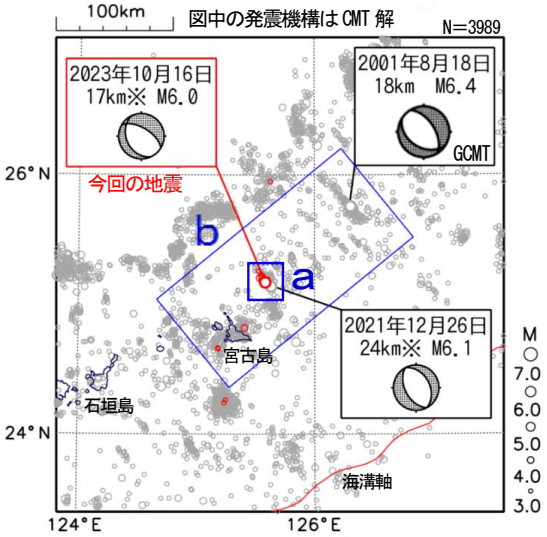


第 5 図　2023 年 9 月 18 日宮古島北西沖の地震

Fig. 5　The earthquake northwest Miyakojima Island on September 18, 2023

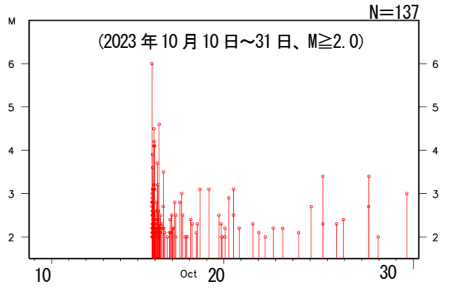
10 月 16 日　宮古島近海の地震

震央分布図
（2000 年 7 月 1 日～2023 年 10 月 31 日、
深さ 0km～60km、M≧3.0）
2023 年 10 月の地震を赤色で表示
図中の発震機構は CMT 解

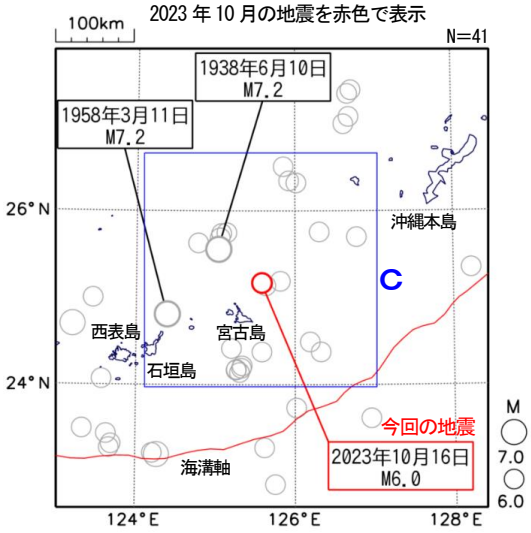


※深さは CMT 解による

領域 a 内のM－T図



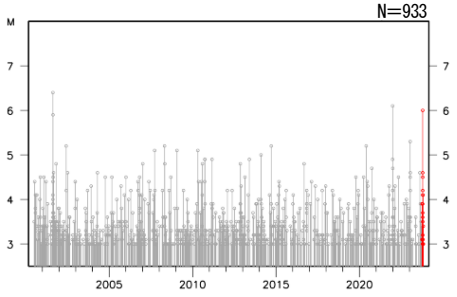
震央分布図
（1919 年 1 月 1 日～2023 年 10 月 31 日、
深さ 0km～100km、M≧6.0）
2023 年 10 月の地震を赤色で表示



2023年10月16日19時42分に宮古島近海の深さ17km（CMT解による）でM6.0の地震（最大震度４）が発生した。この地震は、発震機構（CMT解）が北東－南西方向に張力軸を持つ正断層型で、陸のプレート内で発生した。この地震の震央付近では、31日までに震度１を観測する地震が６回（震度４：１回、震度２：２回、震度１：３回）発生している。今回の地震の震央付近（領域ａ）では、2023年10月16日の地震の発生以降、地震活動が一時的に活発となった。

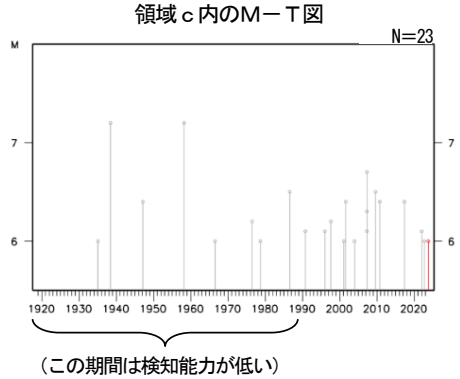
2000年７月以降の活動をみると、M5.0以上の地震が時々発生している。今回の地震の震央周辺（領域ｂ）では、2001年８月18日にM6.4の地震（最大震度３）が発生している。また、2021年12月26日にM6.1の地震（最大震度４）が発生している。

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、過去にM6.0以上の地震が時々発生している。1938年６月10日にM7.2の地震（最大震度４）が発生し、宮古島平良港で1.5m程度の津波が目撃されており、桟橋の流出などの被害があった。また、1958年３月11日にM7.2の地震（最大震度５）が発生し、先島諸島で死者２人、負傷者４人のほか家屋損壊等の被害が生じた（被害は、「日本被害地震総覧」による）。

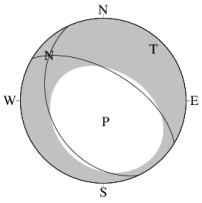
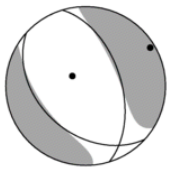
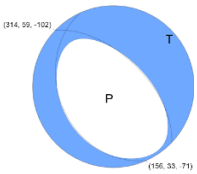
領域ｃ内のM－T図



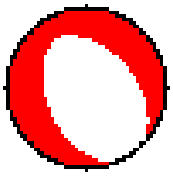
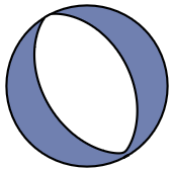
（この期間は検知能力が低い）

第 6 図 (a)　2023 年 10 月 16 日宮古島近海の地震
Fig. 6(a)　The earthquake near Miyakojima Island on October 16, 2023

2023年10月16日19時42分　宮古島近海の地震Mj6.0（各機関のMT解）

	気象庁CMT	防災科研（F-net）	USGS（W-pahse）
一元化震源 M6.0 深さ33km			
Mw	5.7	5.6	5.65
深さ	17km	11 km	17.5km

USGS震源 深さ27.9km

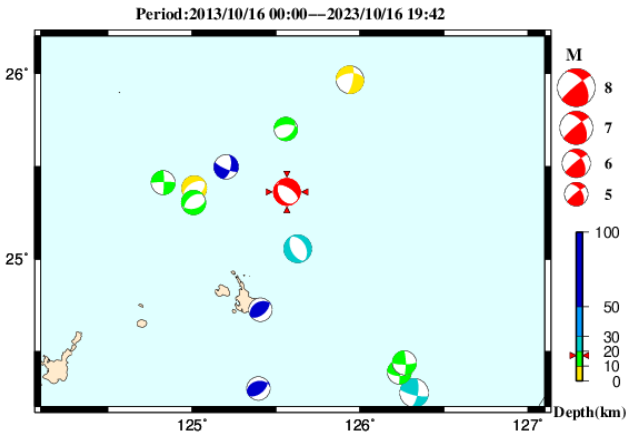
	Global CMT	GEOFON
		
Mw	5.6	5.6
深さ	16.9 km	17km

防災科研（F-net）: https://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: https://geofon.gfz-potsdam.de/eqinfo/list.php?mode=mt
防災科研（AQUA）: https://www.hinet.bosai.go.jp/AQUA/aqua_catalogue.php?LANG=ja

防災科研（AQUA）

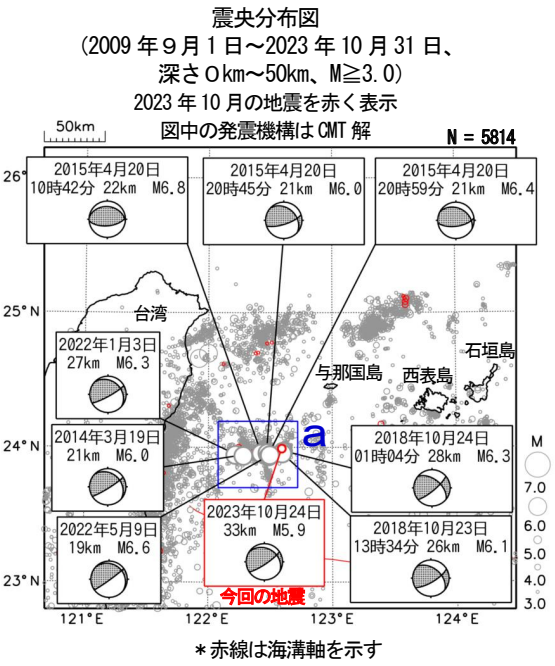
（掲載なし）

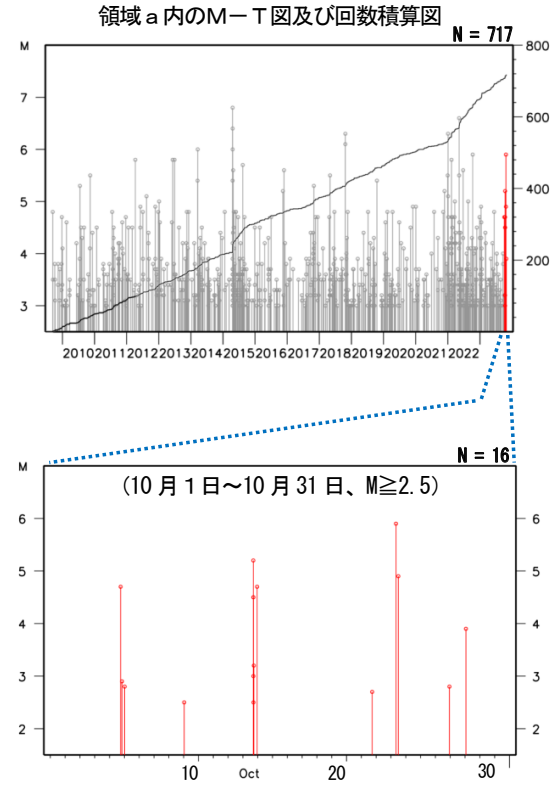
周辺の気象庁CMT解の分布図

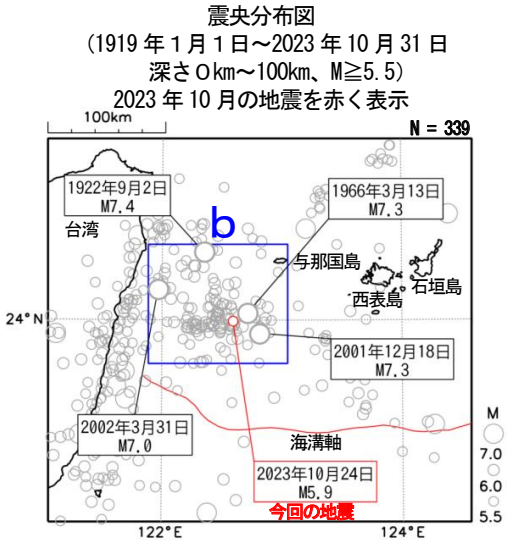


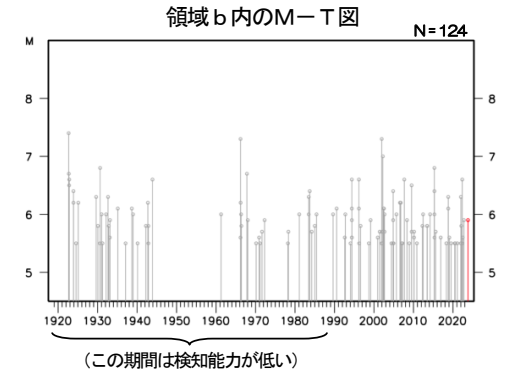
第 6 図 (b)　つづき
Fig. 6(b)　Continued.

10 月 24 日　与那国島近海の地震









2023年10月24日08時05分に与那国島近海の深さ33kmでM5.9の地震（最大震度３）が発生した。この地震の発震機構（CMT解）は北北西－南南東方向に圧力軸を持つ型である。

2009年９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。2015年４月20日10時42分にM6.8の地震（最大震度４）が発生し、同日20時45分にM6.0の地震（最大震度３）、同日20時59分にM6.4の地震（最大震度２）が発生した。また、2018年10月23日13時34分にM6.1の地震（最大震度３）が発生し、翌24日01時04分にM6.3の地震（最大震度３）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ｂ）では、M7.0 以上の地震が４回発生している。1966年３月13日に発生したM7.3の地震（最大震度５）では、与那国島で死者２人、家屋全壊１棟などの被害が生じた（被害は「日本被害地震総覧」による）。2001年 12 月 18 日に発生した M7.3 の地震（最大震度４）では、与那国島で 12cm、石垣島で４cm の津波を観測している。

第 7 図　2023 年 10 月 24 日与那国島近海の地震

Fig. 7　The earthquake near Yonagunijima Island on October 24, 2023

９－３　九州・沖縄地方の地殻変動
Crustal Deformations in the Kyushu and Okinawa Districts

国土地理院
Geospatial Information Authority of Japan

［沖縄本島近海の地震（5 月 1 日）M6.4　GNSS］

第 1 図は 2023 年 5 月 1 日に発生した沖縄本島近海の地震の地殻変動に関する資料である．

第 1 図上段は GNSS 連続観測結果による水平変動ベクトル図で，固定局は沖永良部島の和泊観測点（鹿児島県）である．下段は，震央近傍の 2 観測点の 3 成分時系列グラフである．この地震に伴い，沖縄本島の複数の観測点でごくわずかな地殻変動が観測された．地震時の変位のほかは，特段の変化は見られない．なお，観測された地殻変動は，地震規模（例えば，気象庁 CMT 解では Mw5.8）から想定される地殻変動よりも有意に大きいことが特徴として挙げられる．

［トカラ列島近海の地震活動（最大地震　5 月 13 日　M5.1）　GNSS］

第 2 図は, 2023 年 5 月 13 日に発生したトカラ列島近海の地震の地殻変動に関する資料である．第 2 図上段に示す震央周辺の 2 観測点の基線について，第 2 図下段に 3 成分時系列グラフを示している．この地震に伴う顕著な地殻変動は見られない．

［トカラ列島近海の地震活動（最大地震　9 月 11 日　M5.3）　GNSS］

第 3 図は，2023 年 9 月に発生したトカラ列島近海の地震活動に伴う地殻変動に関する資料である．第 3 図上段に示す震央周辺の 2 観測点の基線について，第 3 図下段に 3 成分時系列グラフを示している．この地震活動に伴い，震源域近傍の宝島観測点（鹿児島県）で東南東方向のわずかな地殻変動が観測された．

［九州地域の非定常水平地殻変動（長期的 SSE)］

第 4 ～ 6 図は，2022 年春頃初頭から九州南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．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．この解析では，東北地方太平洋沖地震以前の 2006 年 1 月 1 日～ 2009 年 1 月 1 日の期間で一次トレンドを推定し除去，東北地方太平洋沖地震，熊本地震の粘弾性変形をモデル計算（Suito,2017; 水藤，2017）により除去している．また，固定局の三隅（950388）に起因する誤差の影響を避けるため，非定常的な地殻変動から共通誤差成分を同時推定している．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 4 図は，下段に示した 6 観測点の観測値と計算値を比較した時系列図である．九州南部で 2023 年初頭から南向きの変動が見られるが，最近は停滞しているように見える．計算値は観測値をよく説明できていることが分かる．

第 5 図左の図は，2022 年 7 月 1 日～ 2023 年 10 月 12 日の期間で推定されたすべり分布を示している．日向灘の南部ですべりが推定された．推定されたすべりの最大値は 13cm，モーメントマグニチュードは 6.3 と求まった．

第 5 図中央の図は，観測値と計算値の比較の水平変動ベクトル図である．九州南部の南向き

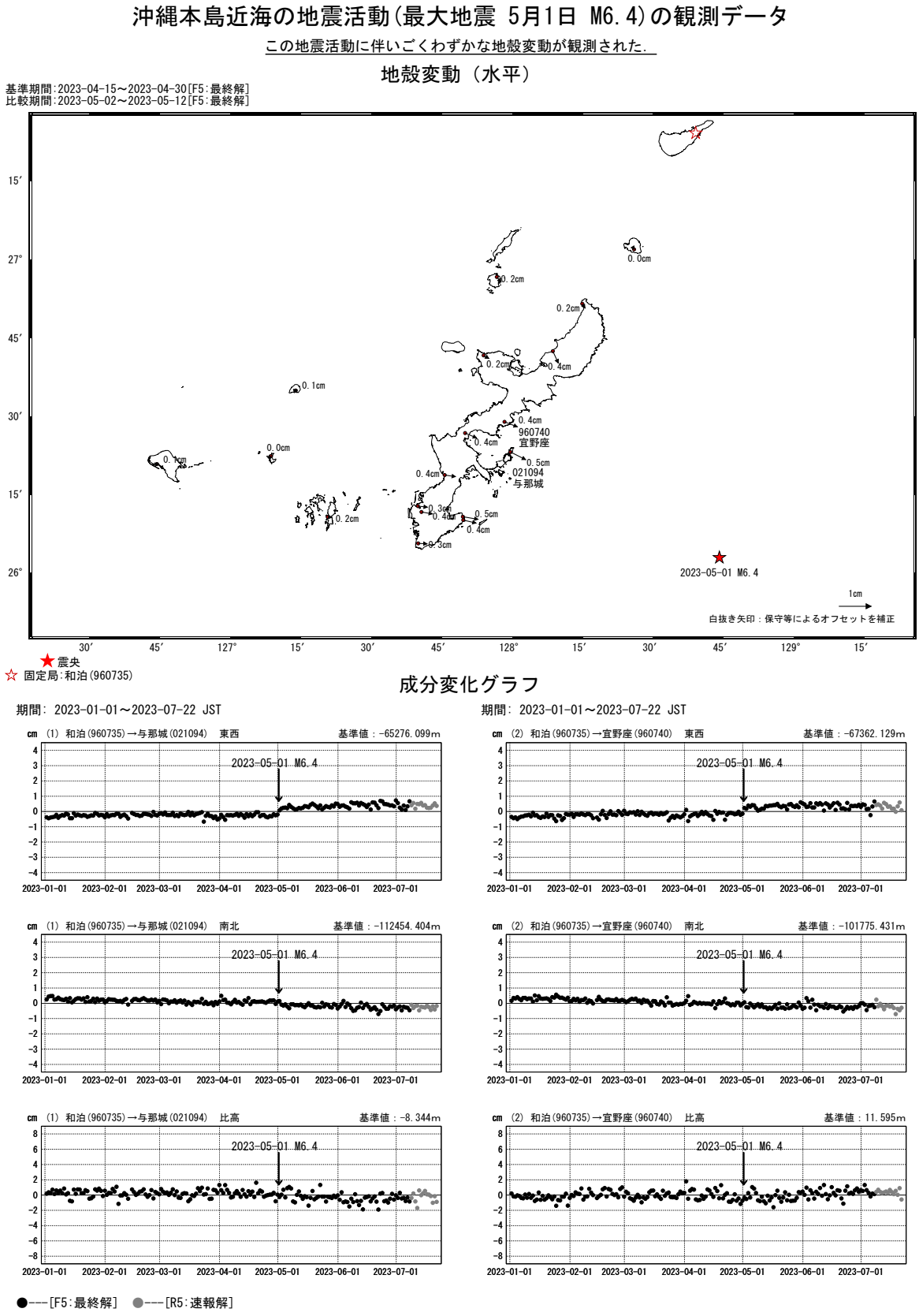
の変動がよく説明できている．

第 5 図右の図は，推定すべり分布図中の実線で囲まれた領域に位置するグリッドのすべりから求めたモーメントの時系列グラフである．2020 年春頃からの前回のイベントに伴うモーメント増大が 2021 年夏頃に停滞し，その後収束していた．2023 年初頭から再びモーメントの増大が見られていたが，最近は停滞しているように見える．

第 6 図は，日向灘南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．2020 年春頃からのすべりが 2021 年夏頃に停滞し，その後停止していた．2023 年初頭から再びすべりが見られるが，最近は停滞しているように見える．

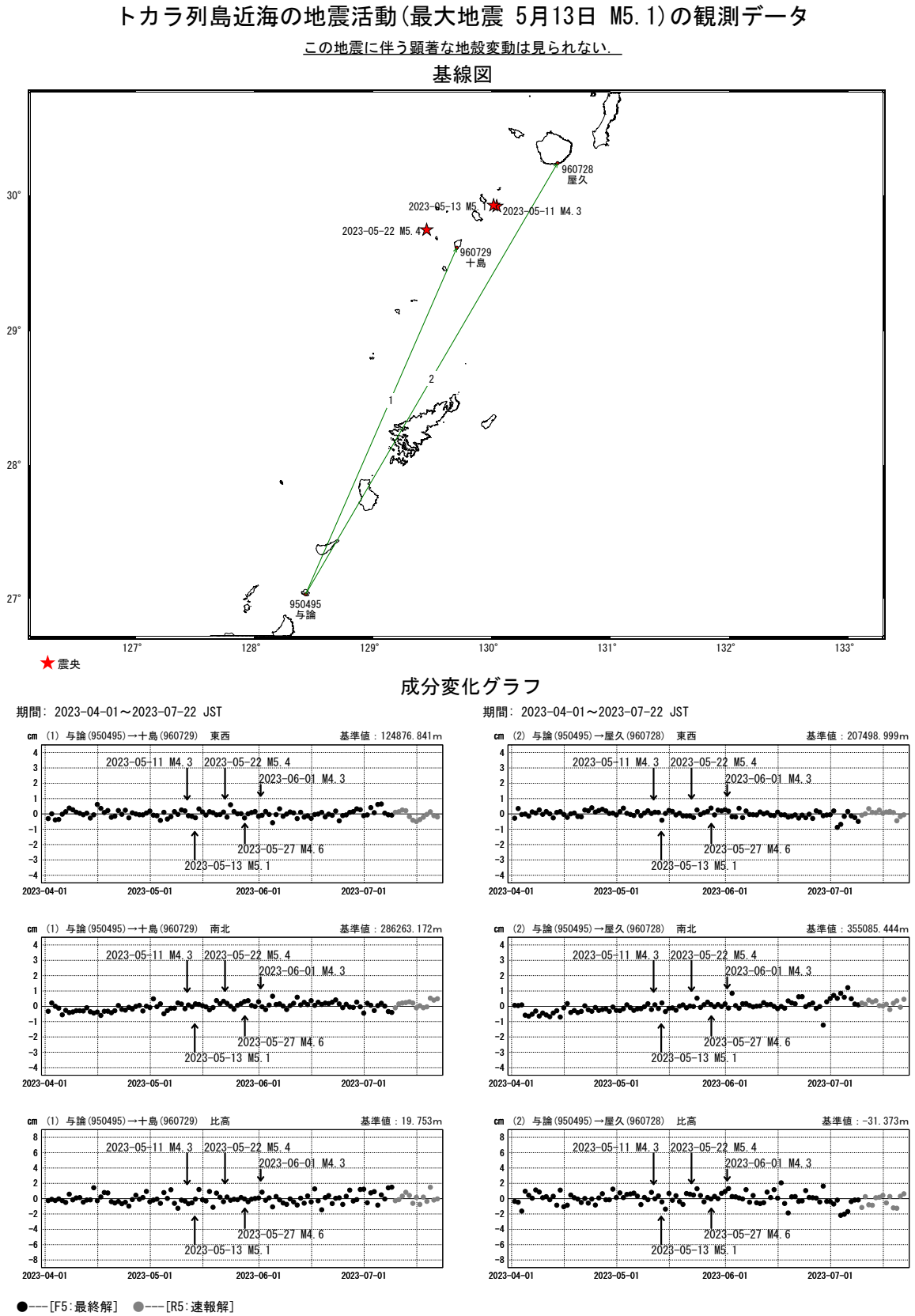
［先島諸島の非定常水平地殻変動］

第 7 〜 9 図は，GNSS 連続観測によって観測された先島諸島の非定常地殻変動についての水平変動ベクトル図及び 3 成分時系列グラフである．2023 年 9 月下旬から 10 月上旬にかけて，波照間島観測点が南南東に約 1cm 変動したのをはじめ，石垣島と西表島でも南南東〜南東方向のわずかな変動が観測された．この地域では，今回と同様の非定常地殻変動が半年程度の間隔で発生しており，プレート境界でスロースリップが発生しているものと考えられている．



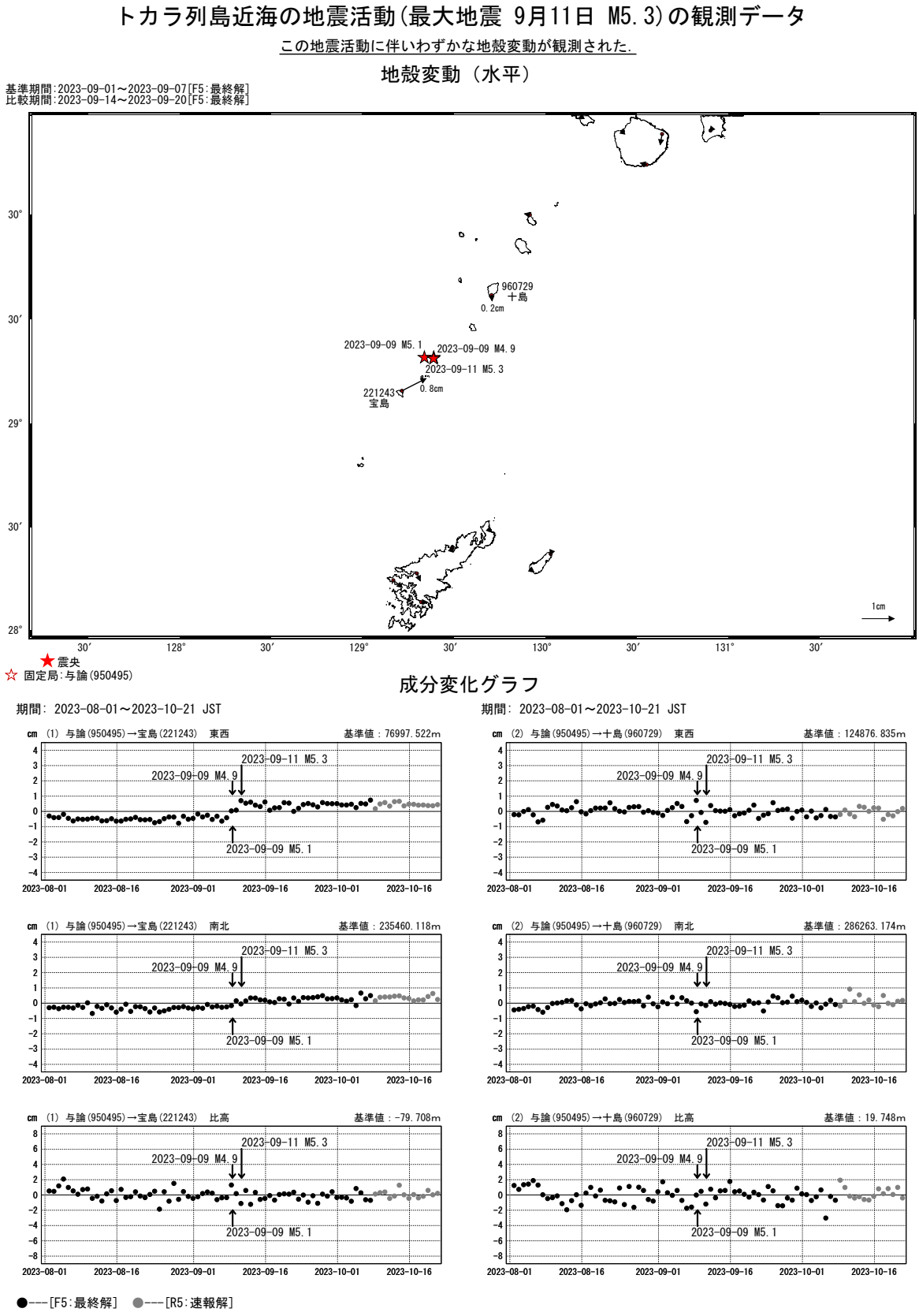
第 1 図　沖縄本島近海の地震（2023 年 5 月 1 日，M6.4）前後の観測データ：（上図）水平変動，（下図）３成分時系列グラフ

Fig. 1　Results of continuous GNSS measurements before and after the M6.4 earthquake around the Okinawajima island on May 1, 2023: horizontal displacement (upper) and 3 components time series (lower) .



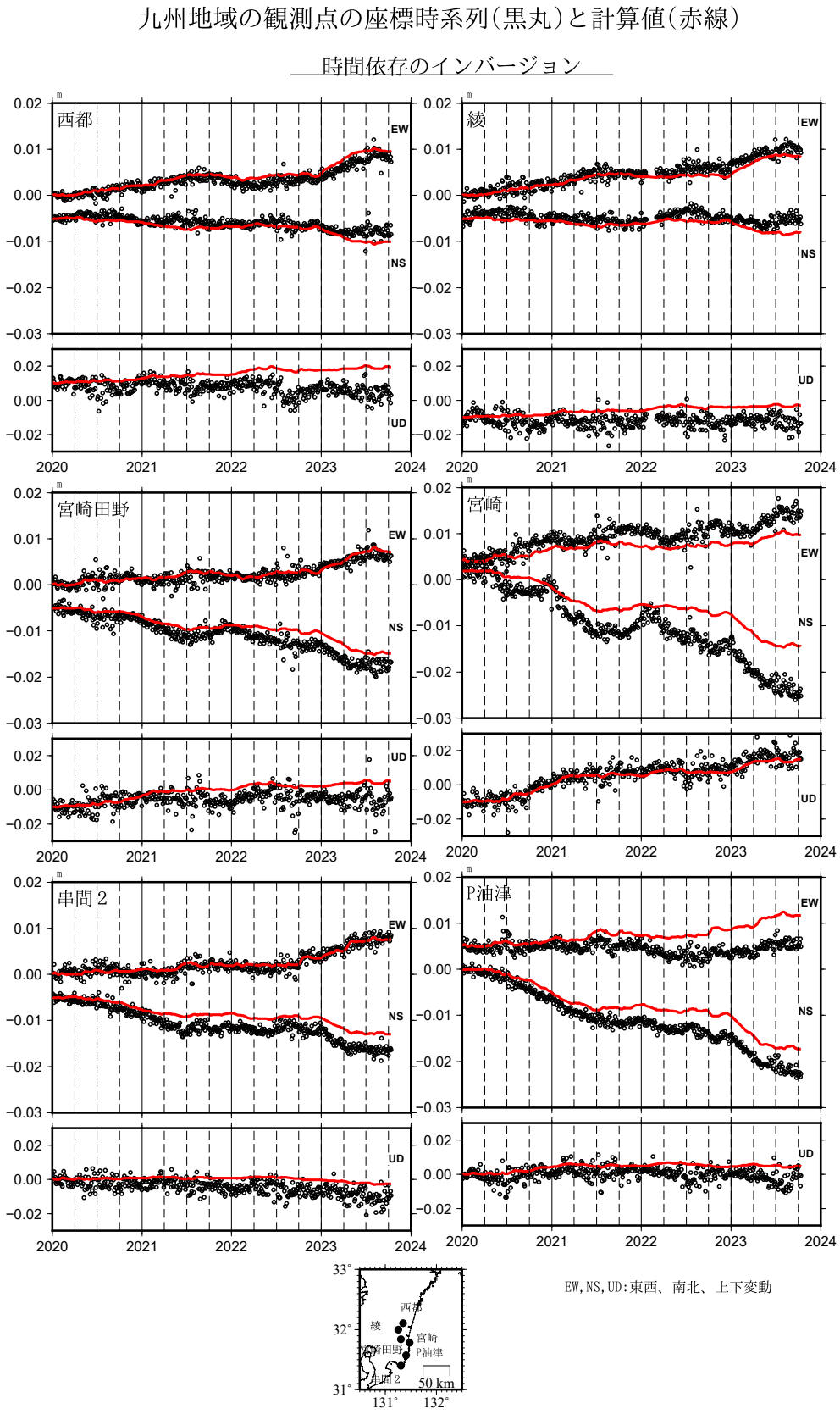
第 2 図　トカラ列島近海の地震活動（最大地震 2023 年 5 月 13 日, M5.1）前後の観測データ:（上図）基線図,（下図）３成分時系列グラフ

Fig. 2　Results of continuous GNSS measurements with seismic activity near the Tokara islands in May~ June 2023: baseline map (upper) and 3 components time series (lower) .



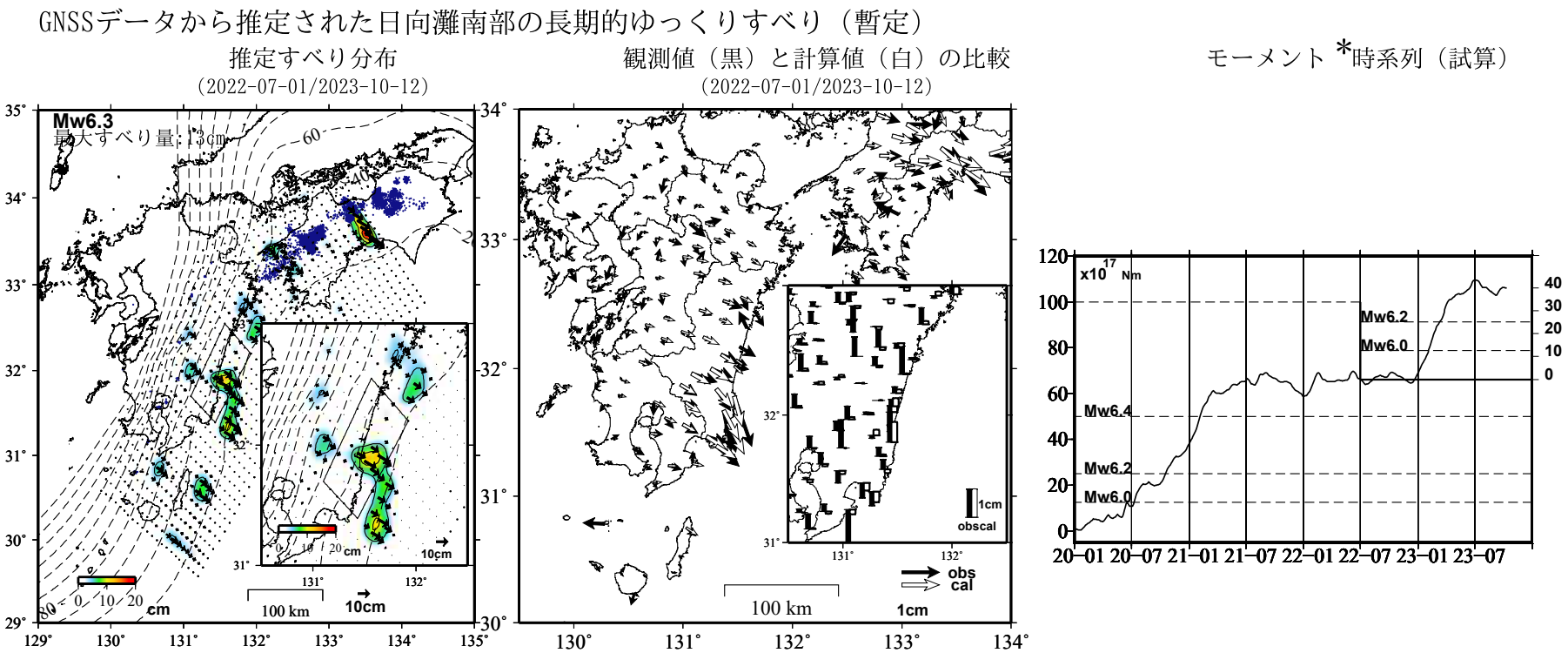
第 3 図　トカラ列島近海の地震活動（最大地震 2023 年 9 月 11 日，M5.3）前後の観測データ:（上図）水平変動，（下図）３成分時系列グラフ

Fig. 3　Results of continuous GNSS measurements with seismic activity near the Tokara islands in September 2023: horizontal displacement (upper) and 3 components time series (lower) .



第 4 図　九州地域の観測点の非定常地殻変動時系列:観測値（黒丸）と時間依存インバージョンによる計算値（赤線）

Fig. 4　Observed (black dots) and calculated (red line) time series of transient crustal deformations at the GNSS stations in the Kyusyu district.



Mw及び最大すべり量はプレート面に沿って評価した値を記載。
すべり量（カラー）及びすべりベクトルは水平面に投影したものを示す。
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で表示している。

使用データ:GEONETによる日々の座標値(F5解、R5解)
F5解(2020-01-01/2023-09-30)+R5解（2023-10-01/2023-10-12)
トレンド期間:2006-01-01/2009-01-01（年周・半年周成分は補正なし）
日向灘附近:2007-10-01/2009-03-01
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(Hirose et al.,2008)
すべり方向:プレートの沈み込み方向に拘束
青丸:低周波地震（気象庁一元化震源）（期間:2022-07-01/2023-10-12）
固定局:三隅

＊電子基準点の保守等による変動は補正済み
＊日向灘の地震(2022-01-22,M6.6)の地震時変動を除去している。
＊平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震及び平成28年(2016年)熊本地震の粘弾性変形は補正している(Suito,2017;水藤,2017)。
＊モーメント:断層運動のエネルギーの目安となる量。

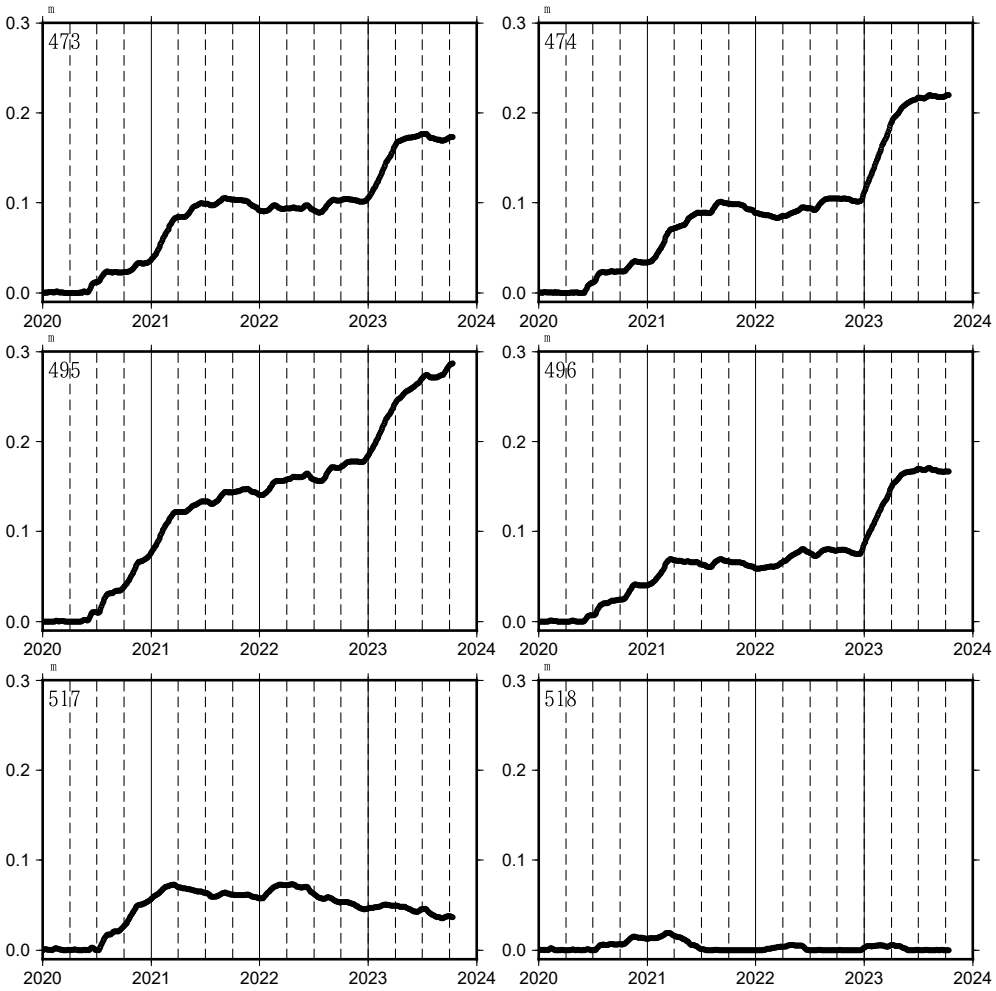
第５図　日向灘南部において推定される長期的ゆっくりすべり（暫定）

Fig. 5　Estimated slip distribution on the plate interface beneath the southern part of Hyuga-nada (preliminary results).

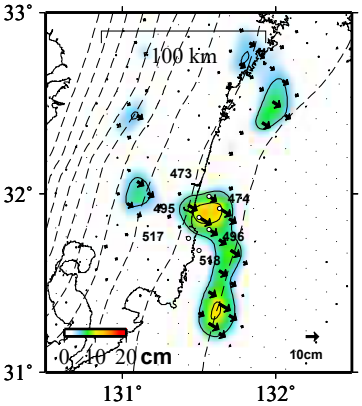
日向灘南部の長期的ゆっくりすべり

各グリッドにおけるすべりの時間変化

時間依存のインバージョン



＊プレートの沈み方向と平行な方向の変化を示している。



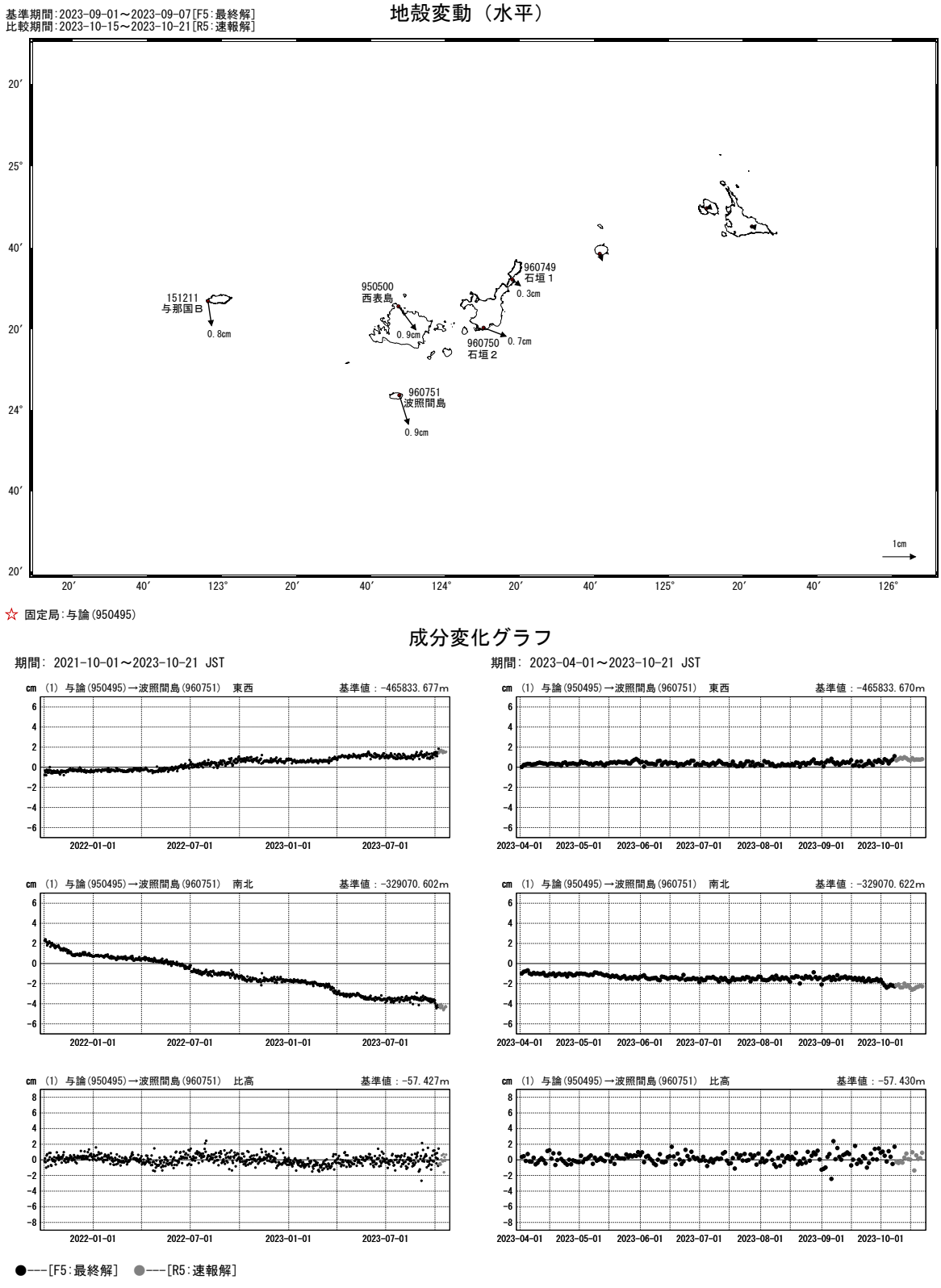
すべり量（カラー）及びすべりベクトルは水平面に投影したものを示す。
推定したすべり量が標準偏差(σ)の３倍以上のグリッドを黒色表示している。

第 6 図　時間依存インバージョンで推定された日向灘南部のプレート間滑りの時間変化

Fig. 6　Time evolution of the estimated slip beneath the southern part of Hyuga-nada by the time dependent inversion method.

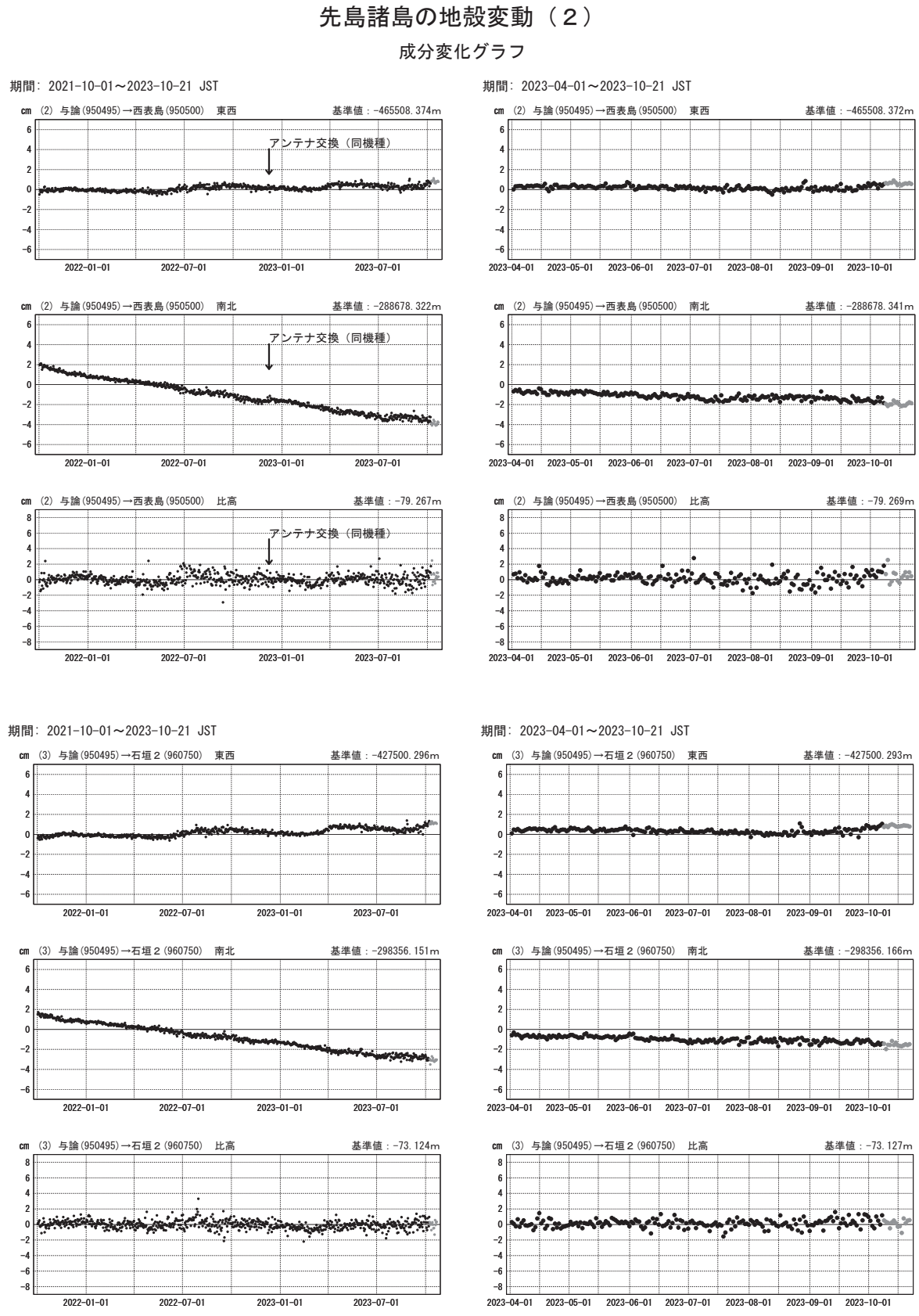
先島諸島の地殻変動（１）

先島諸島で2023年9月から10月にかけて，定常とは異なる地殻変動が観測された．



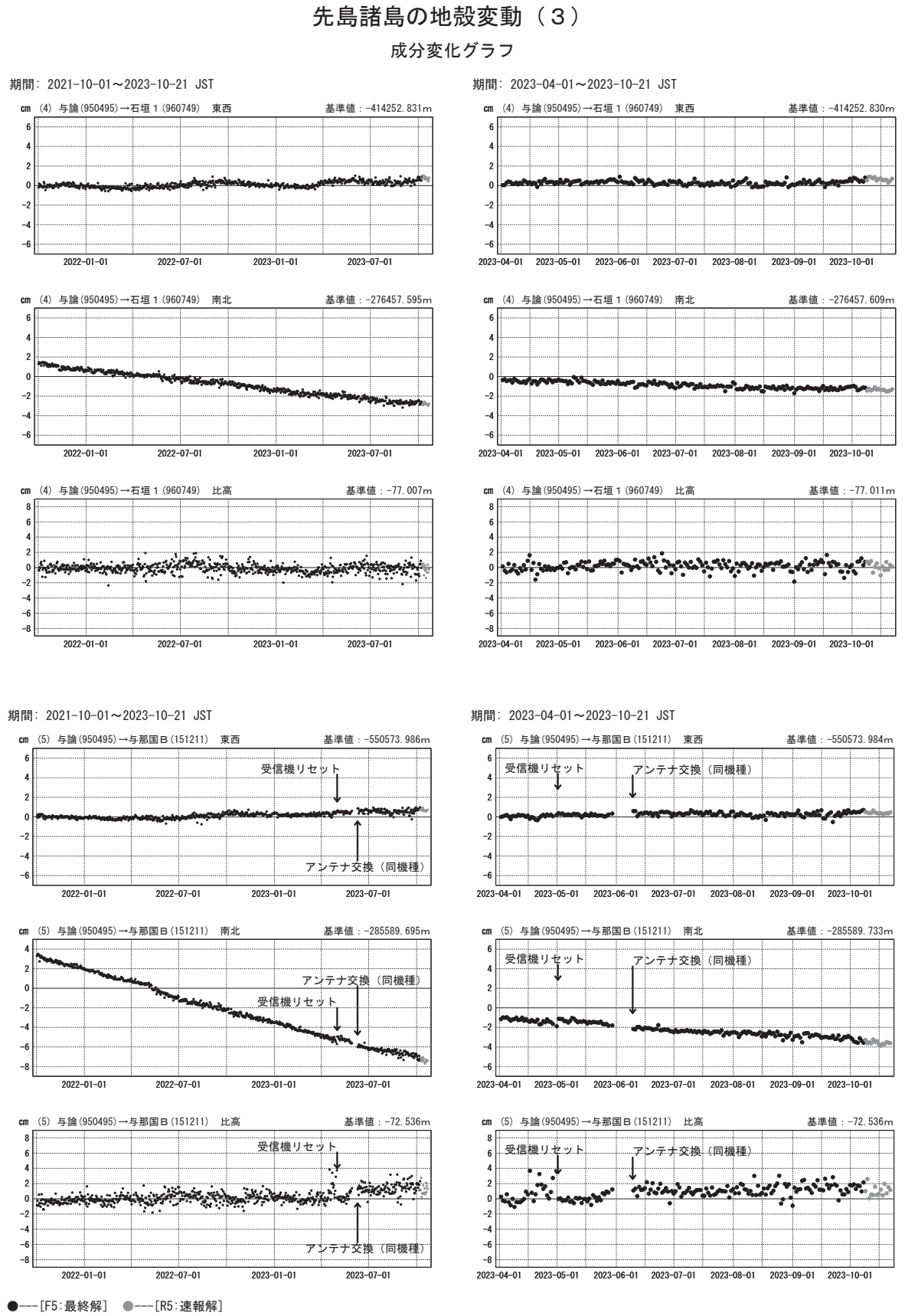
第 7 図　先島諸島の地殻変動：（上図）水平変動，（下図）３成分時系列グラフ

Fig. 7　Transient displacement on the Sakishima Islands: horizontal displacement (upper) and time series of transient displacement (lower).



第 8 図　先島諸島の地殻変動：３成分時系列グラフ

Fig. 8　Transient displacement on the Sakishima Islands: 3 components time series.



第 9 図　先島諸島の地殻変動：３成分時系列グラフ

Fig. 9　Transient displacement on the Sakishima Islands: 3 components time series.

10 － 1　その他の地域の地震活動（2023 年 5 月～ 10 月）
Seismic Activity in Other Regions around Japan (May – October 2023)

気象庁
Japan Meteorological Agency

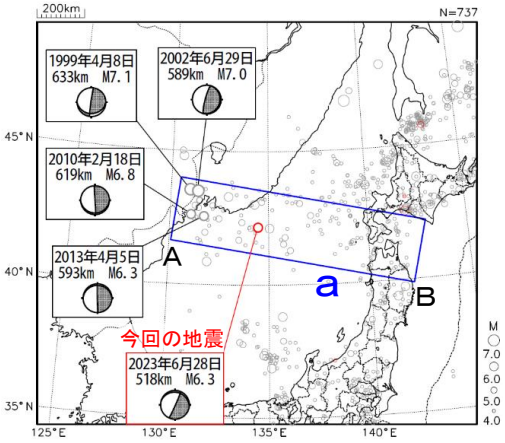
今期間，その他の地域で発生した主な地震活動は以下のとおりである．時刻は日本時間である．

(1) 日本海北部の地震（M6.3，第 1 図 (a)，(b)）

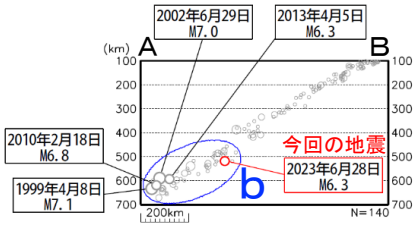
2023 年 6 月 28 日 08 時 38 分に日本海北部の深さ 518km で M6.3 の地震（最大震度 3）が発生した．この地震は太平洋プレート内部で発生した．発震機構（CMT 解）は太平洋プレートが沈み込む方向に圧力軸を持つ型である．今回の地震では，震央から離れた北海道や東北地方の太平洋側でも震度 3 ～ 1 の揺れを観測しており，この現象は「異常震域」と呼ばれている．

６月 28 日　日本海北部の地震

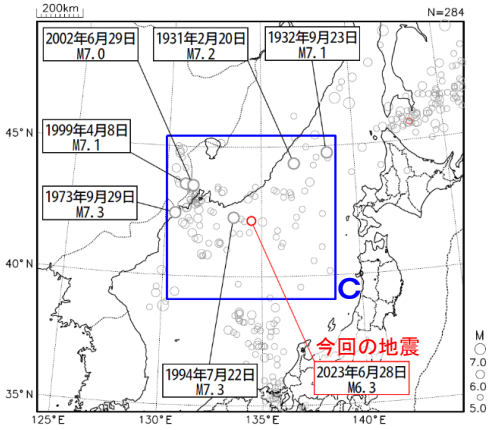
震央分布図
（1997 年 10 月 1 日～2023 年６月 30 日、
深さ 100～700km、M≧4.0）
2023 年６月の地震を赤色で表示
図中の発震機構は CMT 解



領域 a 内の断面図（A－B 投影）



震央分布図
（1919 年 1 月 1 日～2023 年６月 30 日、
深さ 300～700km、M≧5.0）
2023 年６月の地震を赤色で表示

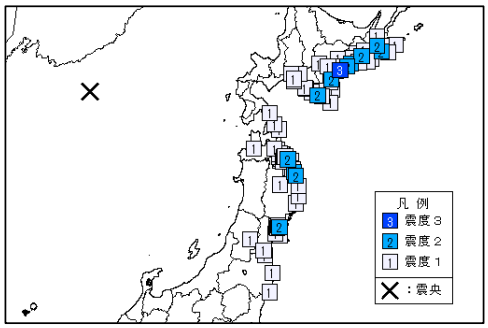


2023 年６月 28 日 08 時 38 分に日本海北部の深さ 518km で M6.3 の地震（最大震度３）が発生した。この地震は太平洋プレート内部で発生した。発震機構（CMT 解）は太平洋プレートが沈み込む方向に圧力軸を持つ型である。今回の地震では、震央から離れた北海道や東北地方の太平洋側でも震度３～１の揺れを観測しており、この現象は「異常震域」と呼ばれている。

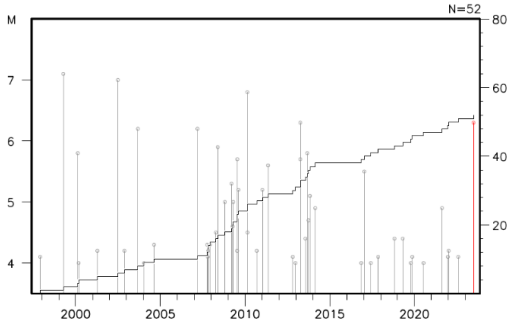
1997 年 10 月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域ｂ）は、M6.0 以上の地震が時々発生している。

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、M6.0 以上の地震が時々発生しており、1994 年７月 22 日に発生した M7.3 の地震では、東日本を中心に広い範囲で震度３～１を観測した。

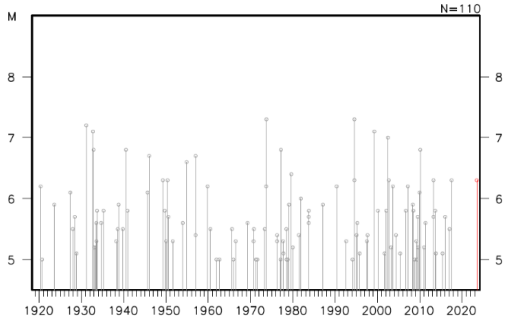
今回の地震の震度分布図



領域ｂ内のＭ－Ｔ図及び回数積算図



領域ｃ内のＭ－Ｔ図



第 1 図 (a)　2023 年 6 月 28 日　日本海北部の地震

Fig. 1(a)　The earthquake northern sea of Japan on June 28, 2023.

（参考資料）

【参考】震央付近の場所よりも震央から離れた場所で大きな震度を観測する地震について

震源が非常に深い場合、震源の真上ではほとんど揺れないのに、震源から遠くはなれた場所で揺れを感じることがあります（次ページ参照）。この現象は、「異常震域」という名称で知られています。原因は、地球内部の岩盤の性質の違いによるものです。

プレートがぶつかり合うようなところでは、陸のプレートの地下深くまで海洋プレートが潜り込んで（沈み込んで）います。通常、地震波は震源から遠くになるほど減衰するものですが、この海洋プレートは地震波をあまり減衰せずに伝えやすい性質を持っています。このため、沈み込んだ海洋プレートのかなり深い場所で地震が発生すると（深発地震）、真上には地震波があまり伝わらないにもかかわらず、海洋プレートでは地震波はあまり減衰せずに遠くの場所まで伝わります（下図）。その結果、震源直上の地表での揺れ（震度）が小さくとも、震源から遠く離れた場所で震度が大きくなることがあります。

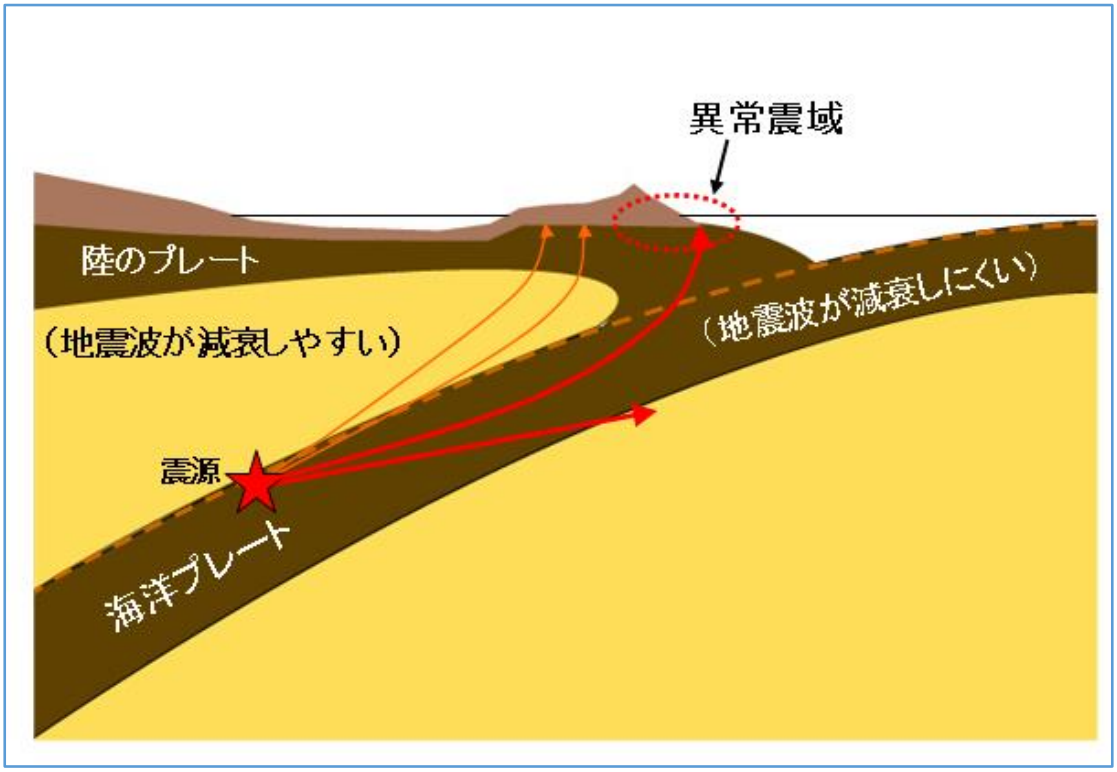
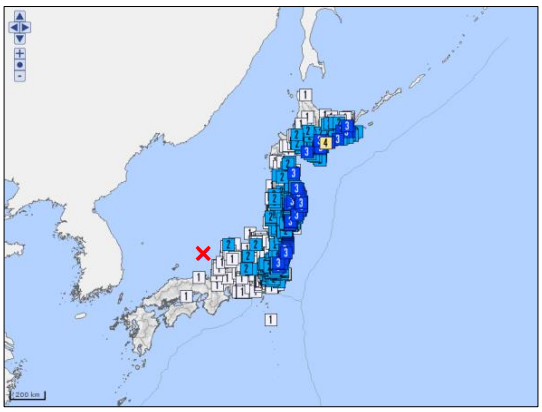


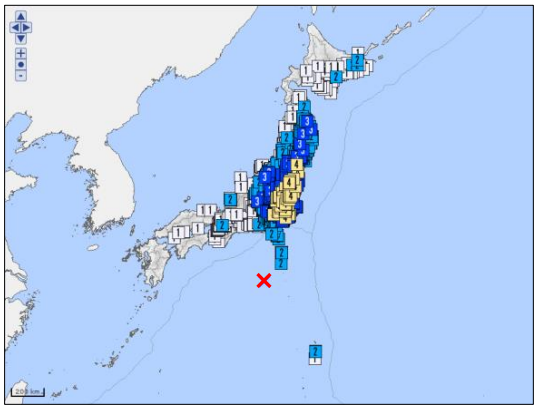
図　深発地震と異常震域

第 1 図 (b)　つづき
Fig. 1(b)　　Continued.

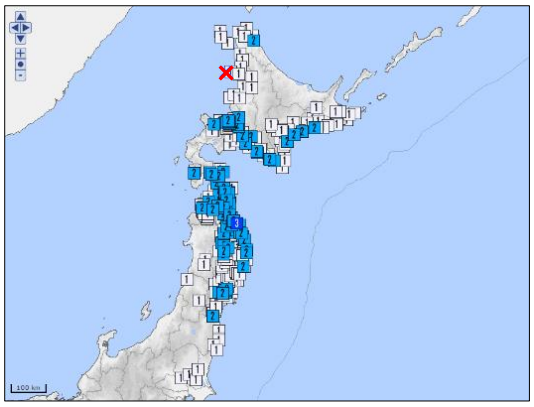
◇　異常震域のあった過去の地震の震度分布図の例



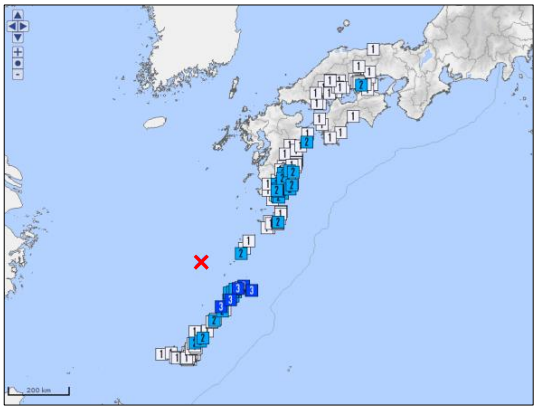
2007 年 7 月 16 日の京都府沖の地震
（M6.7、震源の深さ 374km）



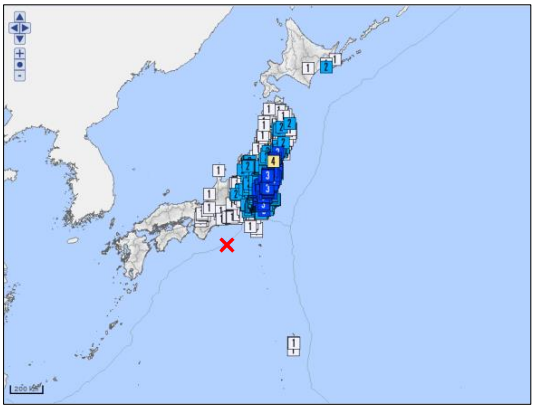
2012 年 1 月 1 日の鳥島近海の地震
（M7.0、震源の深さ 397km）



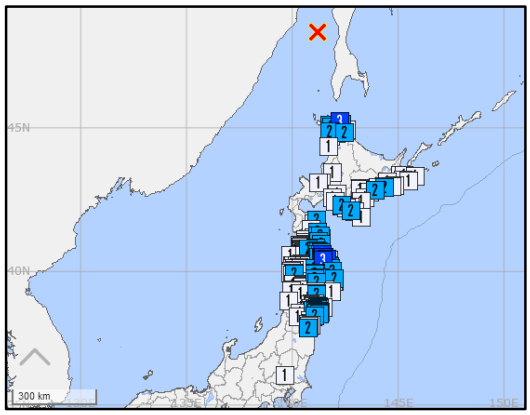
2016 年 1 月 12 日の北海道北西沖の地震
（M6.2、震源の深さ 265km）



2019 年 7 月 13 日の奄美大島北西沖の地震
（M6.0、震源の深さ 256km）



2019 年 7 月 28 日の三重県南東沖の地震
（M6.6、震源の深さ 393km）



2020 年 12 月 1 日のサハリン西方沖の地震
（M6.7、震源の深さ 619km）

※震度分布図は気象庁の震度データベース検索
（気象庁ホームページ：https://www.data.jma.go.jp/eqdb/data/shindo/）にて検索したものを使用。
※震度分布図の地図に国土交通省国土数値情報のデータを使用している。

第 1 図 (b)　つづき
Fig. 1(b)　　Continued.

10 － 2　世界の地震活動（2023 年 5 月～ 10 月）
Seismic Activity in the World (May – October 2023)

気象庁
Japan Meteorological Agency

今期間, 世界で M6.0 以上の地震は 72 回発生し, M7.0 以上の地震は 6 回発生した. このうち最大は, 2023 年 5 月 19 日（日本時間）にローヤリティー諸島南東方の深さ 18km で発生した Mw7.7（気象庁による）の地震であった.

2023 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（2023 年 12 月 18 日現在）. また, 時刻は日本時間である.

（1）ローヤリティー諸島南東方の地震（Mw7.7, 第 2 図）

2023 年 5 月 19 日 11 時 57 分にローヤリティー諸島南東方の深さ 18km で Mw7.7 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. この地震はインド・オーストラリアプレート内部で発生した. 発震機構（気象庁による CMT 解）は南北方向に張力軸を持つ正断層型である. 気象庁は, この地震に対して, 同日 12 時 30 分（日本沿岸で若干の海面変動あり）, 同日 13 時 46 分及び 15 時 36 分（現地で津波を観測）に遠地地震に関する情報を発表した. この地震により, タンナ島（バヌアツ）のレナケルで 0.61m などの津波を観測した.

（2）モロッコの地震（Mw6.8, 第 3 図 (a) ～ (d)）

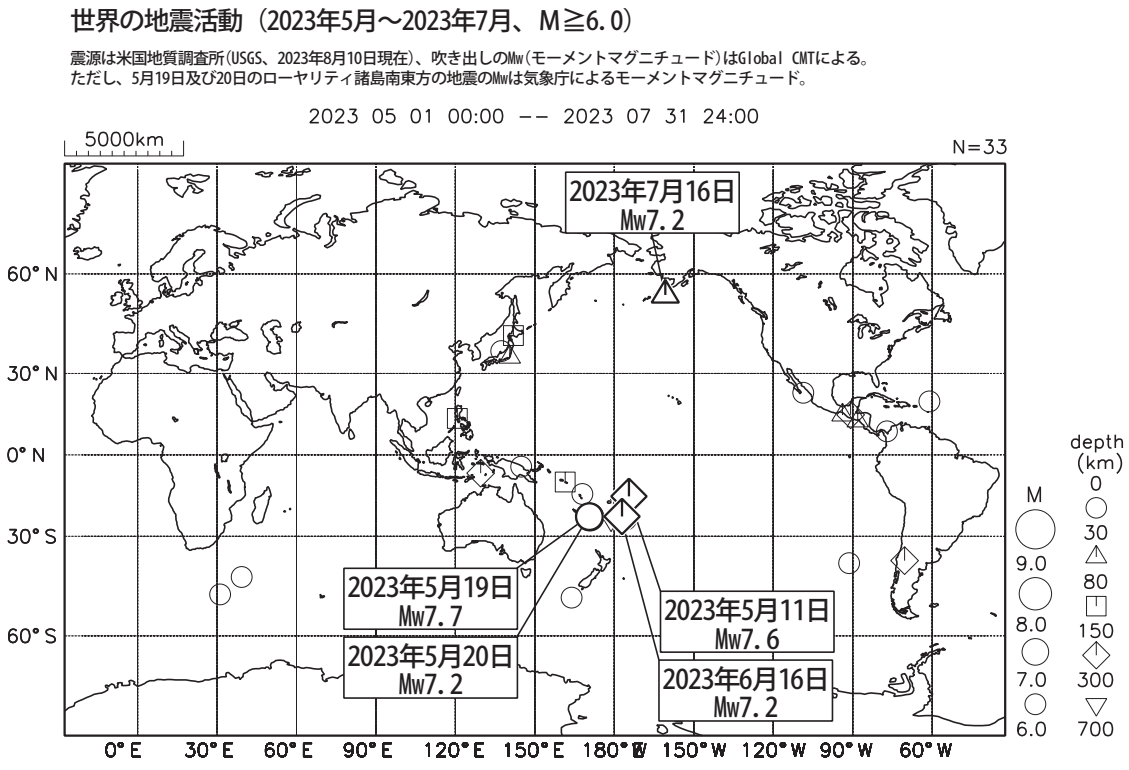
今回の地震活動域は, ユーラシアプレートとアラビアプレートの境界に位置する地域である.

2023 年 9 月 9 日 07 時 11 分にモロッコの深さ 19km で Mw6.8 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. この地震の発震機構（気象庁による CMT 解）は, 南北方向に圧力軸を持つ逆断層型である.

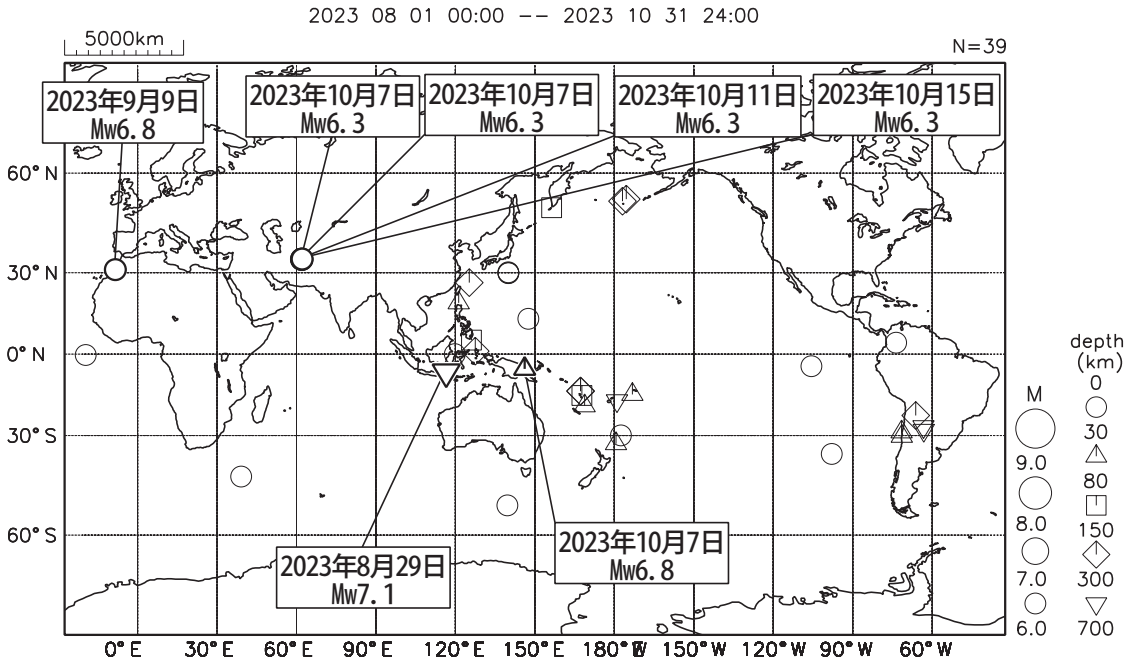
今回の地震により, 死者 2,946 人, 負傷者 5,674 人などの被害が生じた（2023 年 9 月 27 日時点）.

（3）アフガニスタン北西部の地震（Mw6.3, 第 4 図 (a), (b)）

2023 年 10 月 7 日 15 時 41 分にアフガニスタン北西部の深さ 14km で Mw6.3 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）は南北方向に圧力軸を持つ逆断層型である. この地震の震源付近（領域 b）では, 10 月 7 日 15 時 41 分に Mw6.3 の地震が発生した後, 約 30 分後の同日 16 時 12 分, 11 日 09 時 41 分及び 15 日 12 時 36 分にそれぞれ Mw6.3 の地震（Mw はいずれも気象庁による）が発生した. これらの地震はユーラシアプレート内で発生した. これらの地震により, 死者 1,482 人, 負傷者 2,100 人などの被害が生じた（2023 年 11 月 3 日現在）.



第 1 図 (a)　世界の地震活動（2023 年 5 月～ 7 月，M ≧ 6.0，深さ≦ 700km）
Fig. 1(a)　Seismic activity in the World (May –July 2023, M ≧ 6.0, depth ≦ 700 km).



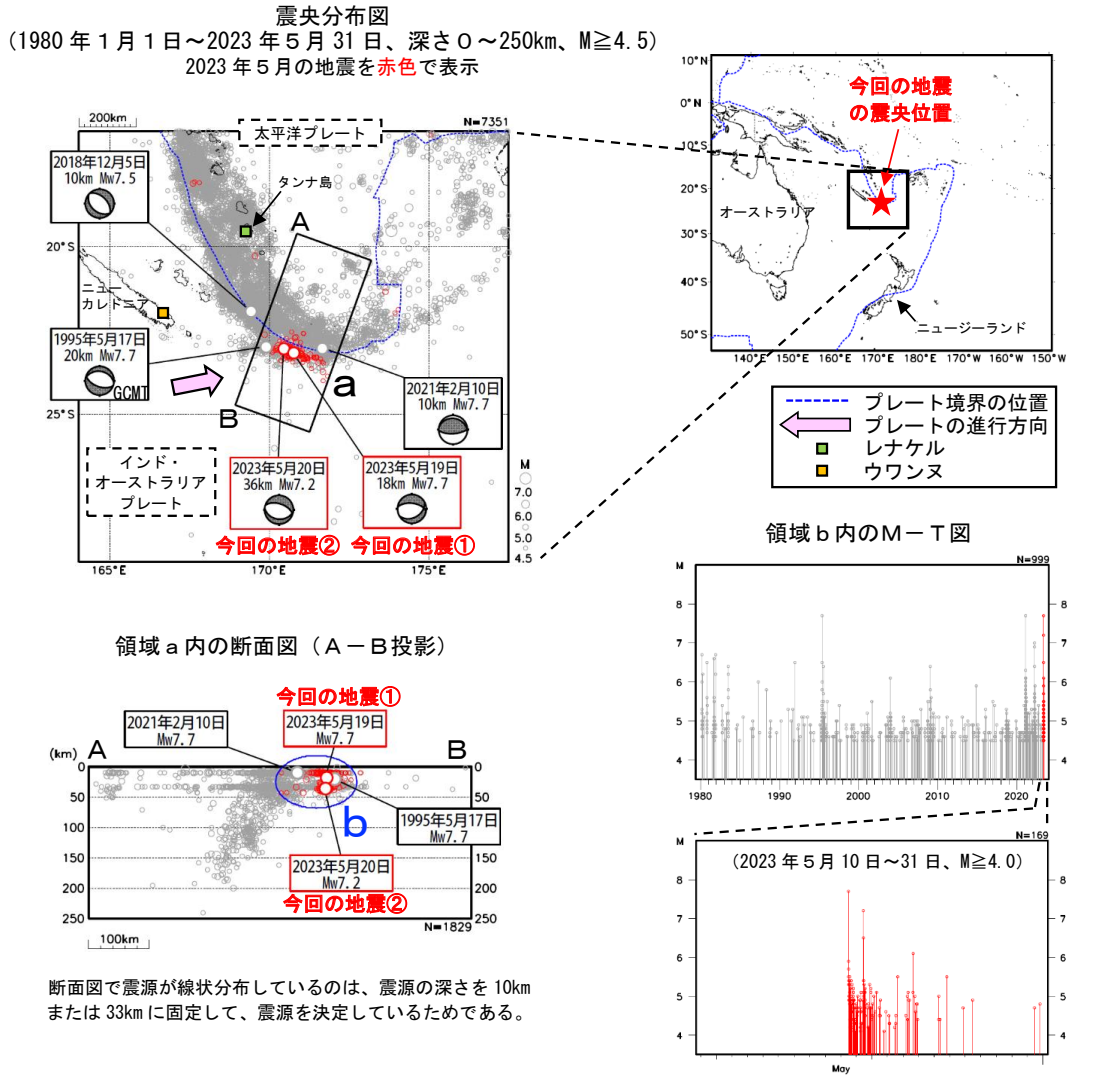
第 1 図 (b)　つづき（2023 年 8 月～ 10 月，M ≧ 6.0，深さ≦ 700km）
Fig. 1(b)　Continued (August –October 2023, M ≧ 6.0, depth ≦ 700 km).

５月 19 日　ローヤリティー諸島南東方の地震

2023 年５月 19 日 11 時 57 分（日本時間、以下同じ）にローヤリティー諸島南東方の深さ 18km で Mw7.7 の地震（Mw は気象庁によるモーメントマグニチュード、今回の地震①）が発生した。この地震はインド・オーストラリアプレート内部で発生した。発震機構（気象庁による CMT 解）は南北方向に張力軸を持つ正断層型である。気象庁は、この地震に対して、同日 12 時 30 分（日本沿岸で若干の海面変動あり）、同日 13 時 46 分及び 15 時 36 分（現地で津波を観測）に遠地地震に関する情報を発表した。この地震により、タンナ島（バヌアツ）のレナケルで 0.61m などの津波を観測した。

また、20 日 10 時 51 分にはローヤリティー諸島南東方の深さ 36km で Mw7.2 の地震（Mw は気象庁によるモーメントマグニチュード、今回の地震②）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－南南西方向に張力軸を持つ正断層型である。気象庁は、この地震に対して、同日 11 時 23 分（日本沿岸で若干の海面変動あり）及び同日 12 時 42 分（震源要素の訂正、現地で津波を観測）に遠地地震に関する情報を発表した。この地震により、ウワンヌ（仏領ニューカレドニア）で 0.14m などの津波を観測した。

1980 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 M6.0 以上の地震が時々発生するなど、活発な地震活動がみられる。最近では、2021 年２月 10 日に Mw7.7 の地震が発生し、タンナ島のレナケルで 0.78m などの津波を観測した。



※震源要素は米国地質調査所（USGS）による（2023 年６月６日現在）。ただし、発震機構と Mw は、1995 年５月 17 日の地震は Global CMT、その他の地震は気象庁による。津波の高さは米国海洋大気庁（NOAA）による（2023 年６月６日現在）。プレート境界の位置と進行方向は Bird（2003）[*1] より引用。

[*1] 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　2023 年 5 月 19 日ローヤリティー諸島南東方の地震（Mw7.7）

Fig. 2　The Earthquake the southeastern Loyalty islands (Mw7.7) in May 19, 2023.

2023 年９月９日　モロッコの地震

（１）概要及び最近の地震活動 (注１)

2023 年９月９日 07 時 11 分（日本時間、以下同じ）にモロッコの深さ 19km で Mw6.8 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。この地震の発震機構（気象庁による CMT 解）は、南北方向に圧力軸を持つ逆断層型である。

今回の地震により、死者 2,946 人、負傷者 5,674 人などの被害が生じた（2023 年９月 27 日時点）。

今回の地震はアフリカプレート内で発生した。今回の地震の震央周辺は地震活動が多い地域ではないが、今回の地震の震央の北側（約 550km）にはユーラシアプレートとアフリカプレートの境界が位置しており、1980 年以降の活動をみると、M５程度の地震がしばしば発生している。2004 年２月 24 日には Mw6.3 の地震が発生し、死者 631 人、負傷者 926 人などの被害が生じた。

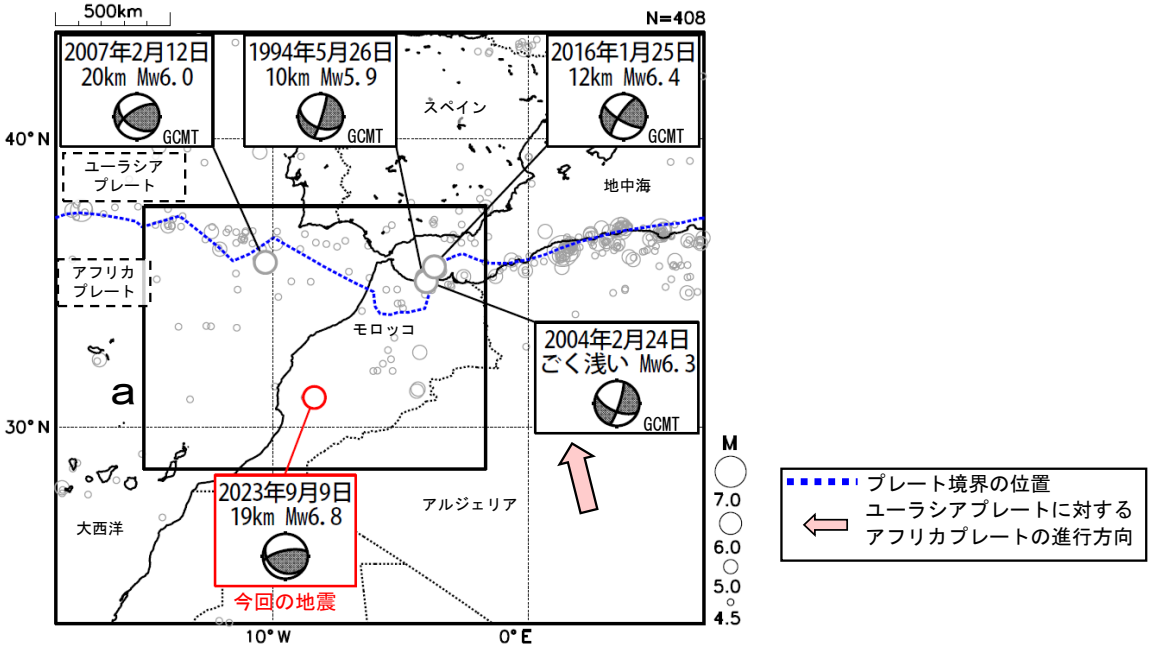


図１－１　震央分布図（1980 年１月１日～2023 年９月 30 日、深さ０～50km、M≧4.5）
2023 年９月の地震を赤く表示。

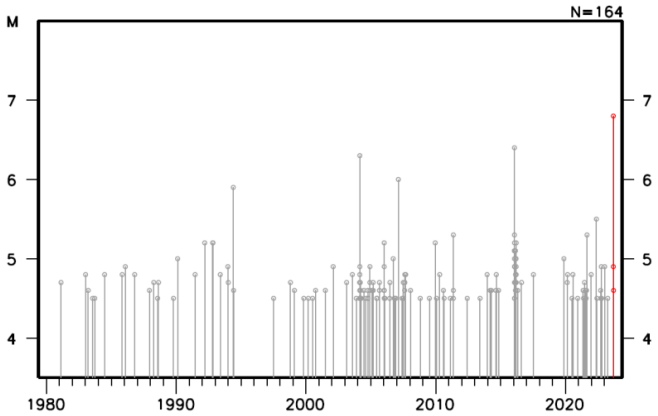


図１－２　図１－１の領域 a 内のＭ－Ｔ図

(注１) 震源要素は米国地質調査所（USGS）による（2023 年 10 月２日現在）。ただし、吹き出しのある地震のうち、発震機構と Mw は、今回の地震は気象庁、その他の地震は Global CMT による。被害は、今回の地震は OCHA（UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs：国連人道問題調整事務所、2023 年９月 27 日現在）、その他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。プレート境界の位置は Bird（2003）*1 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 3 図 (a)　2023 年 9 月 9 日モロッコの地震（Mw6.8）
Fig. 3(a)　The Earthquake in Morocco (Mw6.8) in September 9, 2023.

（２）発震機構（注２）

今回の地震の震央周辺地域の発震機構の分布をみると、概ね北北西－南南東方向から北西－南東方向に圧力軸を持つ逆断層型又は横ずれ断層型の地震が多く発生している（図２）。

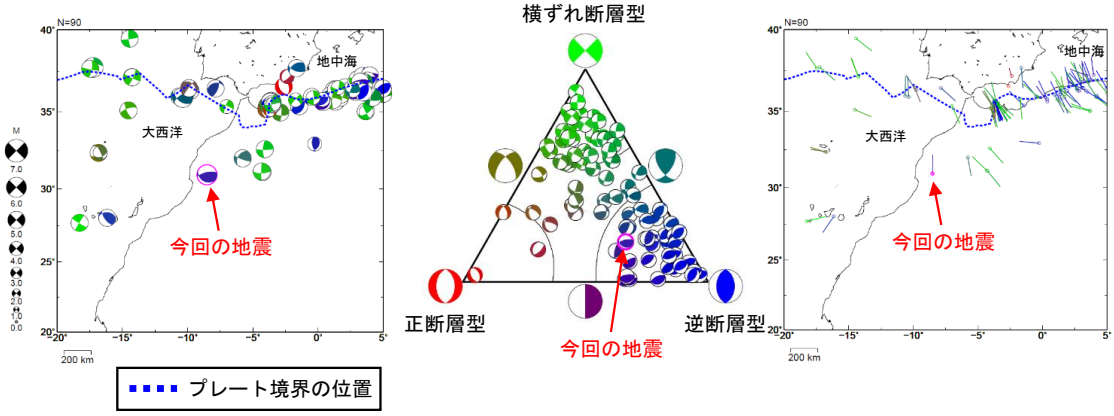


図２　発震機構分布図（左）、発震機構の型の分布（中）及び発震機構の圧力軸の分布（右）
（1980 年１月１日～2023 年９月 30 日、深さ０～50km、Ｍすべて）
逆断層型の地震を青色、正断層型の地震を赤色、横ずれ断層型の地震を緑色で表示（Frohlich（2001）による分類）。

（３）過去に発生した主な地震（注３）

1904 年以降の活動をみると、今回の地震の震央付近では 1960 年３月１日に M5.9 の地震が発生し、死者 13,100 人、負傷者 25,000 人の被害が生じた。また、その北側のアフリカプレートとユーラシアプレートの境界周辺ではＭ６程度以上の地震が時々発生しており、大きな被害を伴っている。

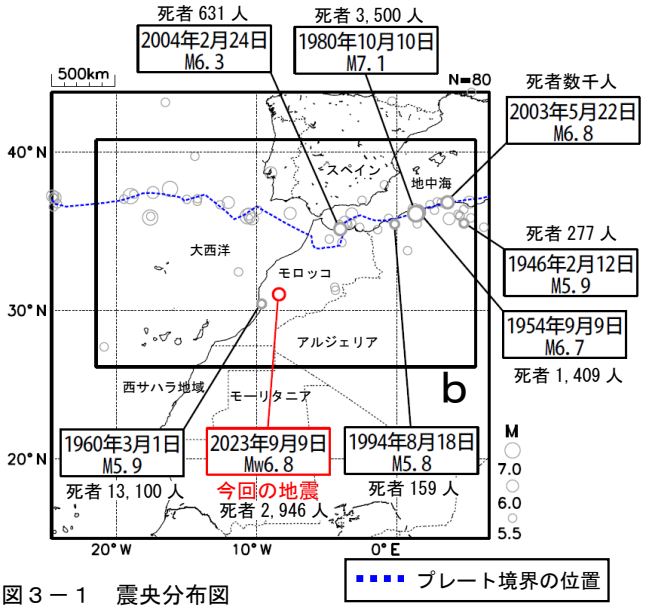


図３－１　震央分布図
（1904 年１月１日～2023 年９月 30 日、
深さ０～50km、M≧5.5）
2023 年９月の地震を赤色で表示
死者 100 人以上の被害を伴った地震に吹き出しを付加

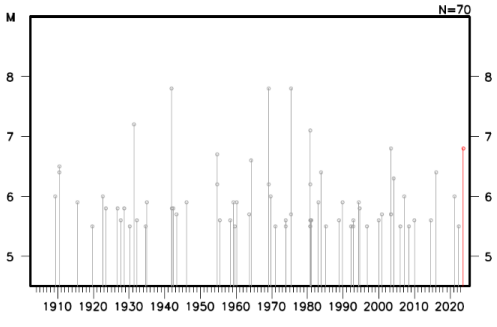


図３－２　図３－１の領域ｂ内のＭ－Ｔ図

（注２）震源要素及び発震機構は、今回の地震は気象庁、その他の地震は Global CMT による。震源の位置はセントロイドの位置。プレート境界の位置は Bird（2003）*1より引用。

（注３）震源要素は、2019 年までは ISC-GEM Global Instrumental Earthquake Catalogue Version 10（1904-2019）、2020 年以降は米国地質調査所（USGS）による（2023 年 10 月５日現在）。ただし今回の地震の Mw は気象庁によるモーメントマグニチュード。地震の被害は、今回の地震は OCHA（UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs：国連人道問題調整事務所、2023 年９月 27 日現在）、その他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。

*1参考文献　Bird, P.（2003）An updated digital model of plate boundaries, Geochemistry Geophysics Geosystems, 4(3), 1027, doi:10.1029/2001GC000252

第 3 図 (b)　つづき
Fig. 3(b)　Continued.

2023 年９月９日 モロッコの地震
－　遠地実体波による震源過程解析（暫定）－（その１）

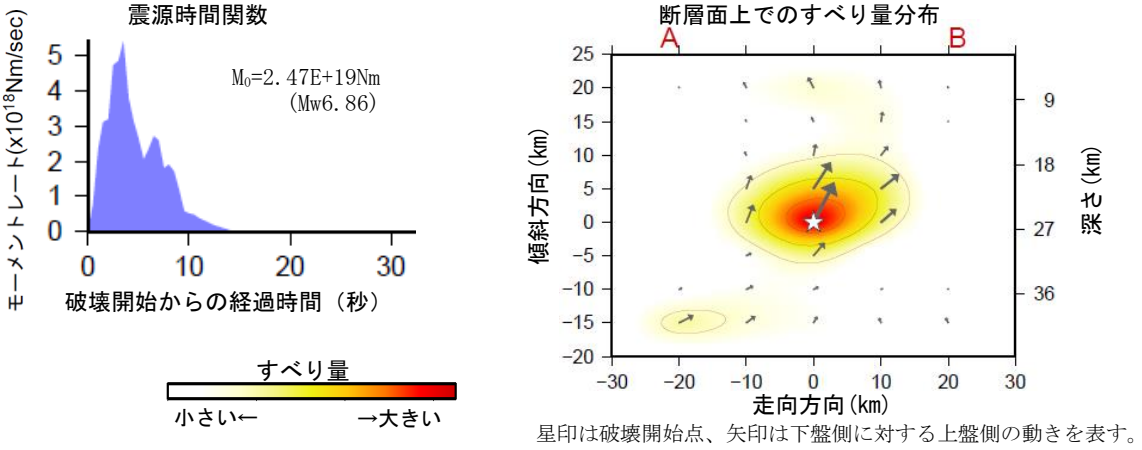
2023 年９月９日 07 時 11 分（日本時間）にモロッコで発生した地震について、米国大学間地震学研究連合（IRIS）のデータ管理センター（DMC）より広帯域地震波形記録を取得し、遠地実体波を用いた震源過程解析（注１）を行った。

破壊開始点は、米国地質調査所（USGS）による震源の位置（31° 03.8′ N、8° 23.4′ 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、東北東－西南西走向の節面（走向 258°、傾斜 69°、すべり角 72°）を仮定して解析した。最大破壊伝播速度は 2.7km/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。

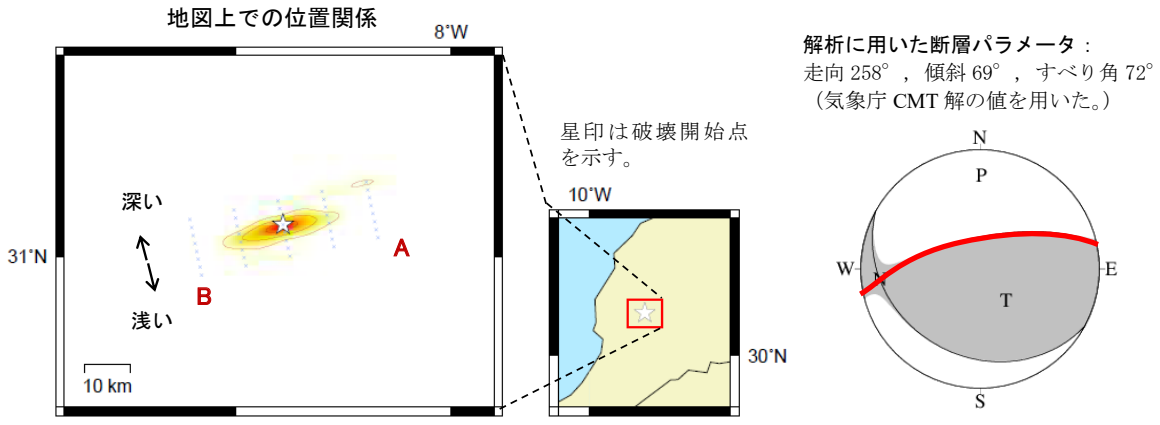
主な結果は以下のとおり（この結果は暫定であり、今後更新することがある）。

・主な破壊領域は走向方向に約 20km、傾斜方向に約 10km であった。
・主なすべりは、破壊開始点周辺に広がり、最大すべり量は 1.8m 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 6.9 であった。

結果の見方は、https://www.data.jma.go.jp/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。



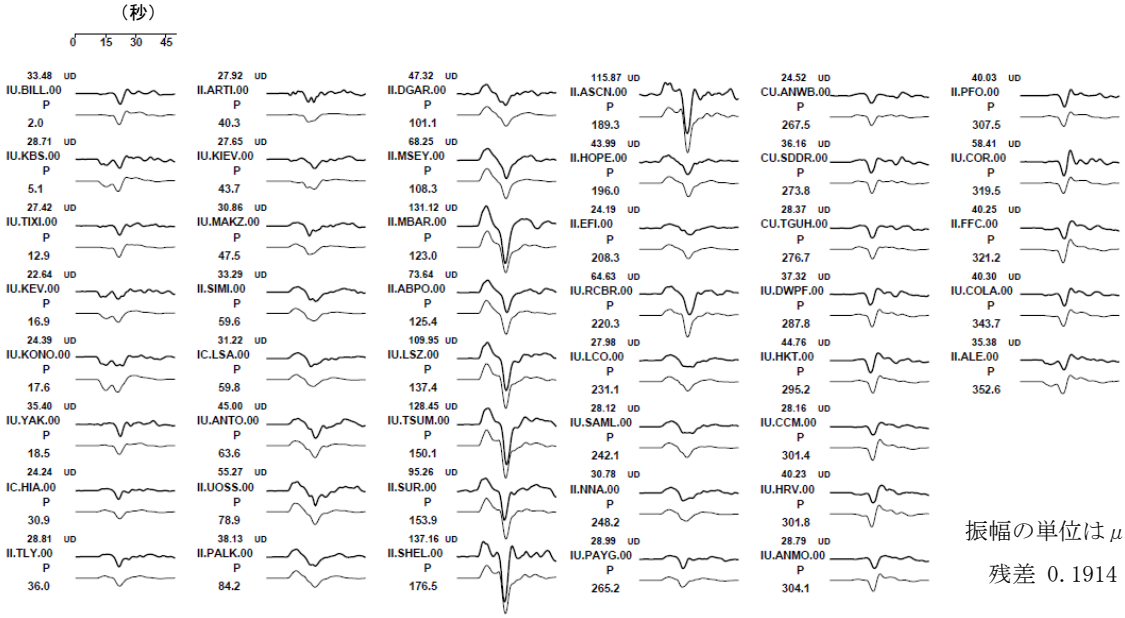
解析に用いた断層パラメータを震源球の赤線で示す。

（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/

作成日：2023/09/21

第 3 図 (c)　つづき
Fig. 3(c)　Continued.

観測波形（上：0.01Hz-0.5Hz）と理論波形（下）の比較



振幅の単位は μ m

残差 0.1914

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.

作成日：2023/09/21

第 3 図 (c)　つづき

Fig. 3(c)　Continued.

2023 年９月９日 モロッコの地震
－　遠地実体波による震源過程解析（暫定）－（その２）

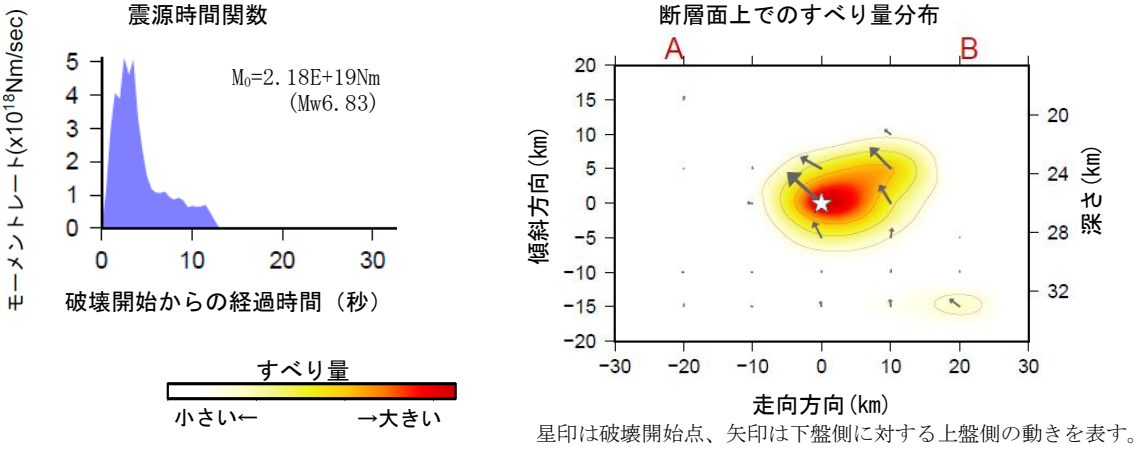
2023 年９月９日 07 時 11 分（日本時間）にモロッコで発生した地震について、米国大学間地震学研究連合（IRIS）のデータ管理センター（DMC）より広帯域地震波形記録を取得し、遠地実体波を用いた震源過程解析（注１）を行った。

破壊開始点は、米国地質調査所（USGS）による震源の位置（31° 03.8′ N、8° 23.4′ 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、西北西－東南東走向の節面（走向 119°、傾斜 28°、すべり角 128°）を仮定して解析した。最大破壊伝播速度は 2.7km/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。

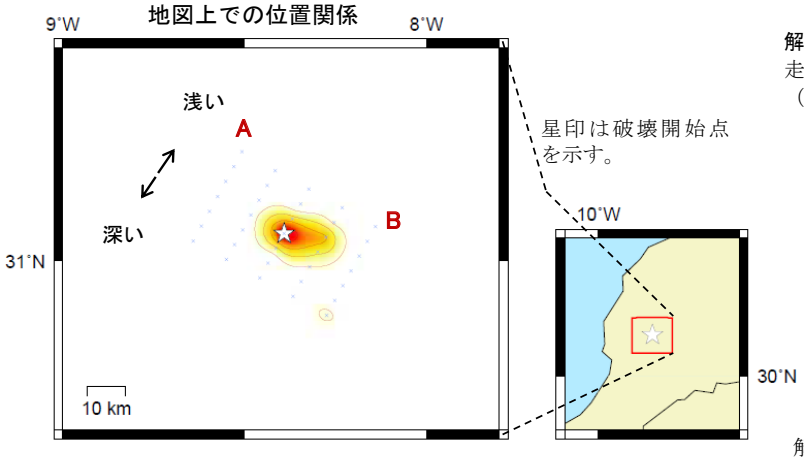
主な結果は以下のとおり（この結果は暫定であり、今後更新することがある）。

・主な破壊領域は走向方向に約 20km、傾斜方向に約 10km であった。
・主なすべりは、破壊開始点周辺に広がり、最大すべり量は 2.4m 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 6.8 であった。

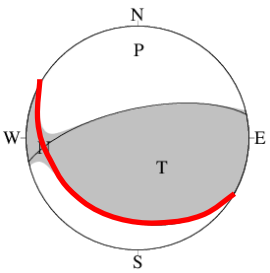
結果の見方は、https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/world/about_srcproc.html を参照。



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。



解析に用いた断層パラメータ：
走向 119°，傾斜 28°，すべり角 128°
（気象庁 CMT 解の値を用いた。）



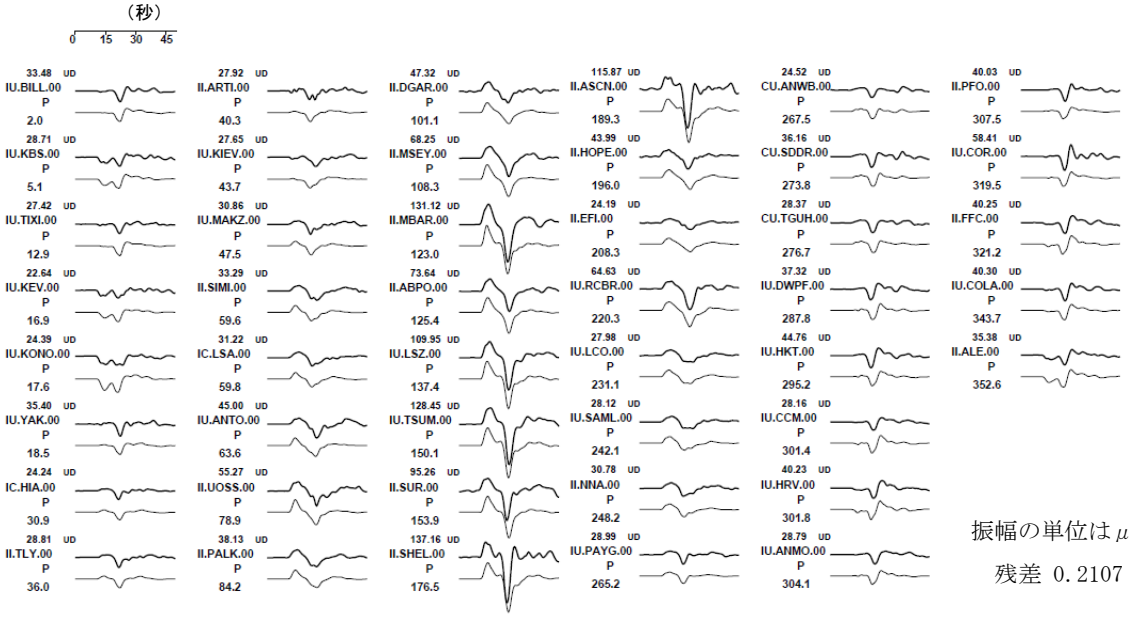
解析に用いた断層パラメータを震源球の赤線で示す。

（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/

作成日：2023/09/21

第 3 図 (d)　つづき
Fig. 3(d)　Continued.

観測波形（上：0.01Hz-0.5Hz）と理論波形（下）の比較



振幅の単位は μ m

残差 0.2107

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.

作成日：2023/09/21

第 3 図 (d)　つづき

Fig. 3(d)　Continued.

10 月 7 日　アフガニスタン北西部の地震

（１）概要及び最近の地震活動 (注１)

2023 年 10 月 7 日 15 時 41 分（日本時間、以下同じ）にアフガニスタン北西部の深さ 14km で Mw6.3 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）は南北方向に圧力軸を持つ逆断層型である。この地震の震源付近（領域ｂ）では、10 月 7 日 15 時 41 分に Mw6.3 の地震が発生した後、約 30 分後の同日 16 時 12 分、11 日 09 時 41 分及び 15 日 12 時 36 分にそれぞれ Mw6.3 の地震（Mw はいずれも気象庁による）が発生した。これらの地震はユーラシアプレート内で発生した。これらの地震により、死者 1,482 人、負傷者 2,100 人などの被害が生じた（2023 年 11 月 3 日現在）。

1980 年以降の活動をみると、今回の地震の震央付近は地震活動が多い地域ではないが、周辺地域（領域ｂ）では M5.0 以上の地震が時々発生しており、1997 年５月 10 日には Mw7.2 の地震が発生し、死者 1,572 人などの被害が生じた。

アフガニスタンでは、南東部で、2022 年６月 22 日に Mw6.1 の地震が発生し、死者 1,036 人、負傷者 2,949 人などの被害が生じた。

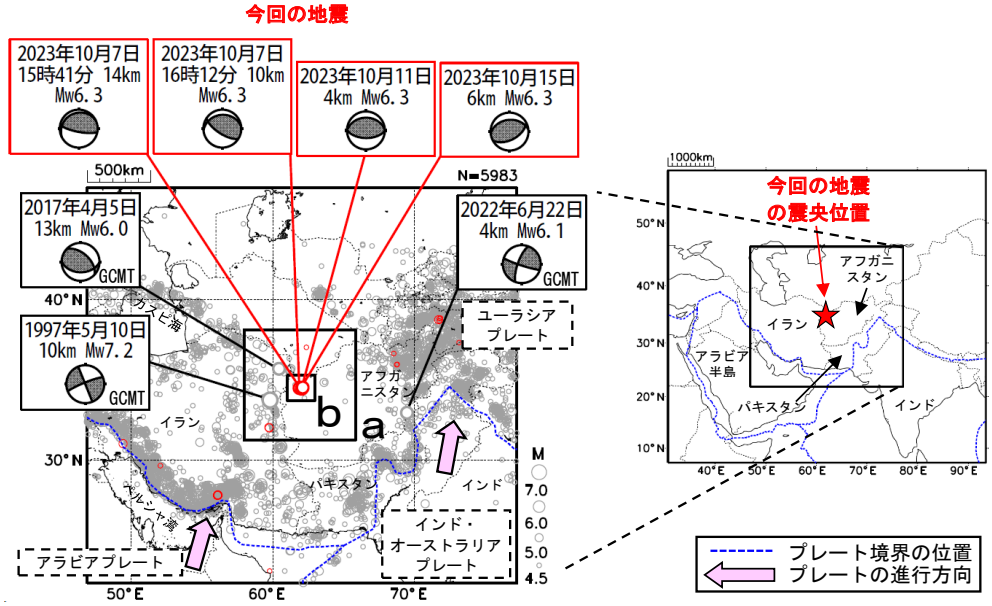


図１－１　震央分布図（1980 年１月１日～2023 年 10 月 31 日、深さ０～100km、M≧4.5）
2023 年 10 月の地震を赤色で表示

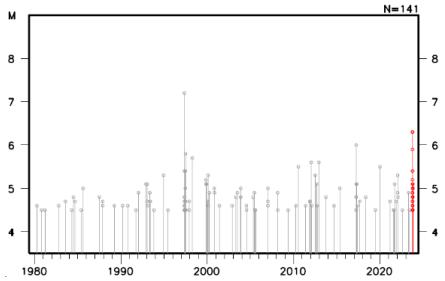


図１－２　図１－１の領域ａ内のＭ－Ｔ図

(注１) 震源要素は米国地質調査所（USGS）による（2023 年 11 月８日現在）。ただし、吹き出しのある地震のうち、発震機構と Mw は、今回の地震は気象庁、その他の地震は Global CMT による。被害は、今回の地震及び 2022 年６月 22 日の地震は OCHA（UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs：国連人道問題調整事務所、2023 年 11 月３日現在）、その他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。プレート境界の位置は Bird（2003）*1 より引用。

*1 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)　2023 年 10 月 7 日アフガニスタン北西部の地震（Mw6.3）
Fig. 4(a)　The Earthquake in the northwestern part of Afghanistan (Mw6.3) on October 7, 2023.

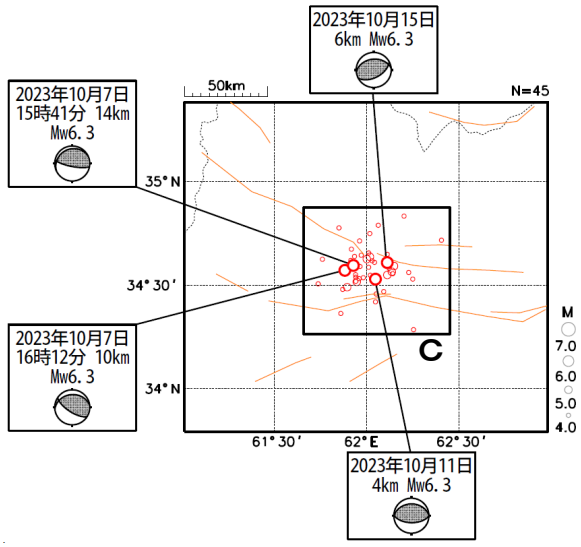


図１－３　図１－１の領域ｂ内の拡大図（2023 年 10 月１日～2023 年 10 月 31 日、深さ０～100km、M≧4.0）(注２)
図中の橙色線は活断層（Styron and Pagani, 2020*2）を示す。

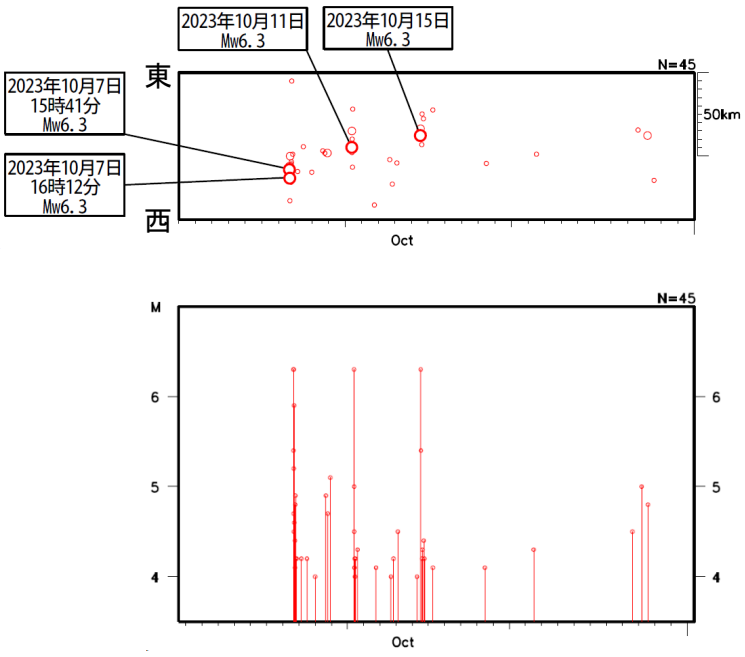


図１－４　図１－３の領域ｃ内の時空間分布図（東西投影）（上）及びＭ－Ｔ図（下）

(注２) 震源要素は米国地質調査所（USGS）による（2023 年 11 月８日現在）。ただし、吹き出しのある地震の発震機構と Mw は気象庁による。図中の橙色線は活断層（Styron and Pagani, 2020*2）を示す。

*2 参考文献　Styron, R. and Pagani, M. (2020) The GEM Global Active Faults Database. Earthquake Spectra, 36(1), pp. 160-180, doi:10.1177/8755293020944182.

第 4 図 (a)　つづき
Fig. 4(a)　Continued.

（２）発震機構（注３）

今回の地震の震央周辺地域（領域ａ）の発震機構の分布をみると、概ね北東－南西方向に圧力軸を持つ逆断層型又は横ずれ断層型の地震が多く発生している（図２）。

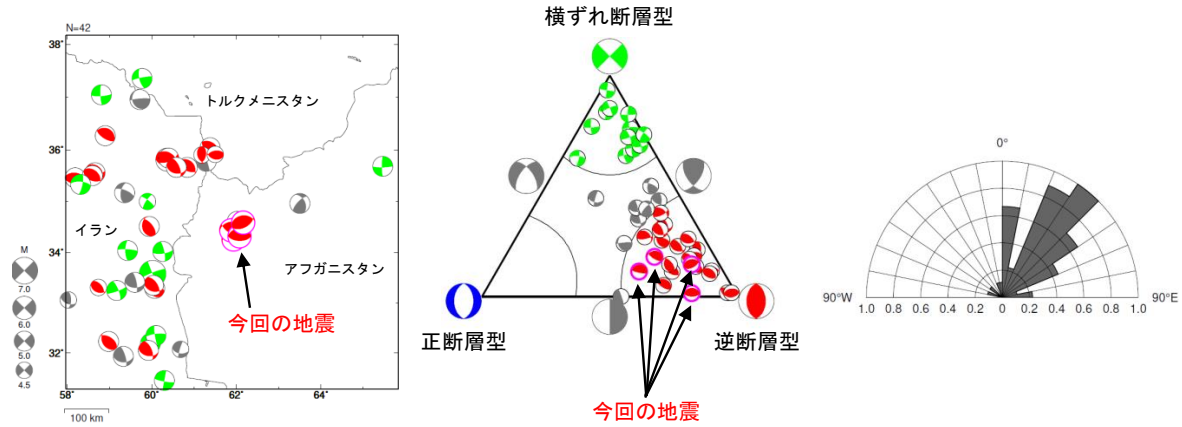


図２　発震機構分布図（左）、発震機構の型の分布（中）及び発震機構の圧力軸の方位分布（右）
（1980 年１月１日～2023 年 10 月 31 日、深さ０～100km、M≧4.5）
正断層型の地震を青色、逆断層型の地震を赤色、横ずれ断層型の地震を緑色で表示（Frohlich（2001）による分類）。

（３）過去に発生した主な地震（注４）

1904 年以降の活動をみると、アフガニスタン周辺（領域ｃ）では、M7.0 以上の地震が時々発生しており、大きな被害を伴っている。2005 年 10 月８日には M7.6 の地震が発生し、死者数万人などの被害が生じた。

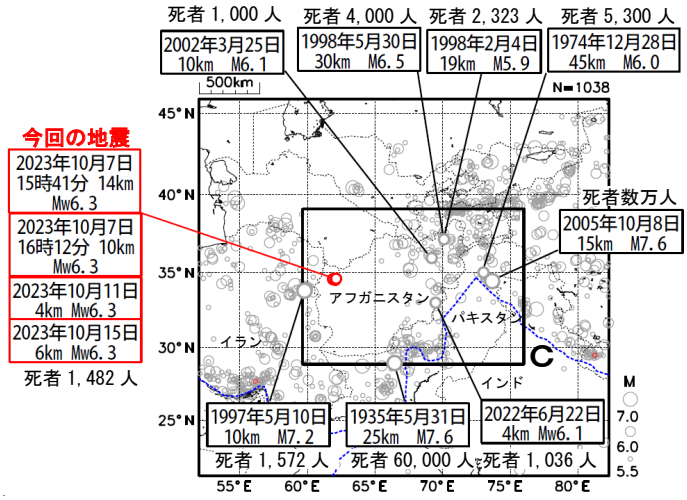


図３－１　震央分布図（1904 年１月１日～2023 年 10 月 31 日、深さ０～100km、M≧5.5）
2023 年 10 月の地震を赤色で表示
死者 1,000 人以上の地震に吹き出しを付加

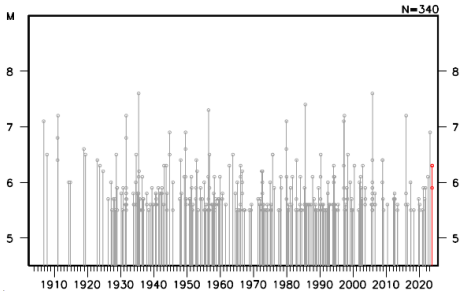


図３－２　図３－１の領域ｃ内のＭ－Ｔ図

（注３）震源要素及び発震機構は、2023 年 10 月の地震は気象庁、その他の地震は Global CMT による。震源の位置はセントロイドの位置。
（注４）震源要素は、2019 年までは ISC-GEM Global Instrumental Earthquake Catalogue Version 10（1904-2019）、2020 年以降は米国地質調査所（USGS）による（2023 年 11 月８日現在）。ただし、吹き出しのある地震の Mw は、今回の地震は気象庁、その他の地震は Global CMT による。被害は、今回の地震及び 2022 年６月 22 日の地震は OCHA（UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs：国連人道問題調整事務所、2023 年 11 月３日現在）、その他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。プレート境界の位置は Bird（2003）*1より引用。
*1参考文献　Bird, P.（2003）An updated digital model of plate boundaries, Geochemistry Geophysics Geosystems, 4(3), 1027, doi:10.1029/2001GC000252.

第 4 図 (b)　つづき
Fig. 4(b)　Continued.

10 － 3　モロッコの地震 SAR 干渉解析結果
The 2023 Morocco Earthquake: Crustal deformation detected by ALOS-2 data.

国土地理院
Geospatial Information Authority of Japan

［モロッコ王国の地震　SAR］

第 1 ～ 2 図は, 2023 年 9 月 8 日（UTC）にモロッコ王国で発生した M6.8 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 2 図中段の表に示すとおりである．

第 1 図は SAR 干渉解析結果，第 2 図の上段の図は，第 1 図の SAR 干渉解析結果をアンラップ処理して得られた衛星視線方向の変位量分布である．震央周辺で最大 20cm 程度の衛星に近づく地殻変動が検出され，変動の特徴は地震波から推定されている東北東－西南西走向の北傾斜の逆断層運動と整合的である．

2023年9月8日モロッコ王国の地震
だいち2号SAR干渉解析結果

2023年9月8日（UTC）にモロッコ王国でM6.8（米国地質調査所；USGS）の地震が発生しました。日本の地球観測衛星「だいち2号」（ALOS-2）に搭載された合成開口レーダー（PALSAR-2）のデータを使用してSAR干渉解析を行いました。得られた結果は以下のとおりです。

・震央周辺に、最大20cm程度の衛星に近づく変動が見られます。
・地震波から推定されている、東北東－西南西走向の北傾斜の逆断層と整合的な変動です。

＊画像下部に見られる小規模な変動は、今回の地震とは関係がないと考えられます。

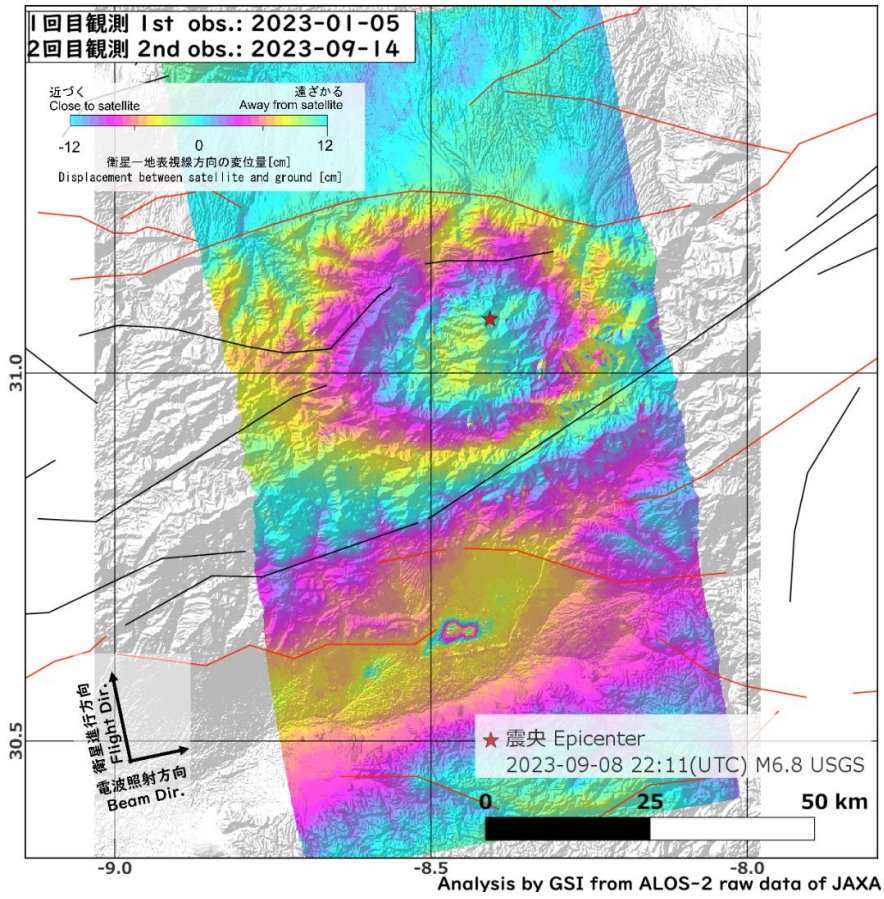


図1. SAR干渉解析結果。震央はUSGSによる。断層線はSébrier et al. (2006)より。

第 1 図　SAR 干渉解析結果
Fig. 1　Result of Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry using ALOS-2 data.

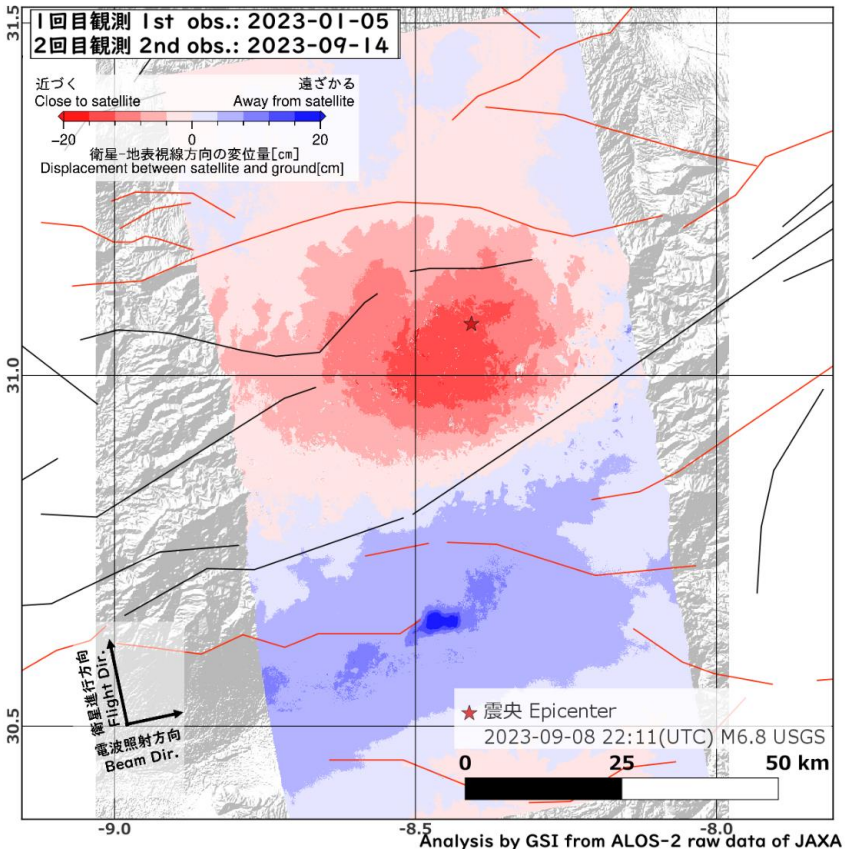


図2. SAR干渉解析結果（アンラップ済み）。震央はUSGSによる。断層線はSébrier et al. (2006)より。

表：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, 2	2023-01-05 2023-09-14	00:34頃	北行	右	高分解能（10m）	41.2°	64m

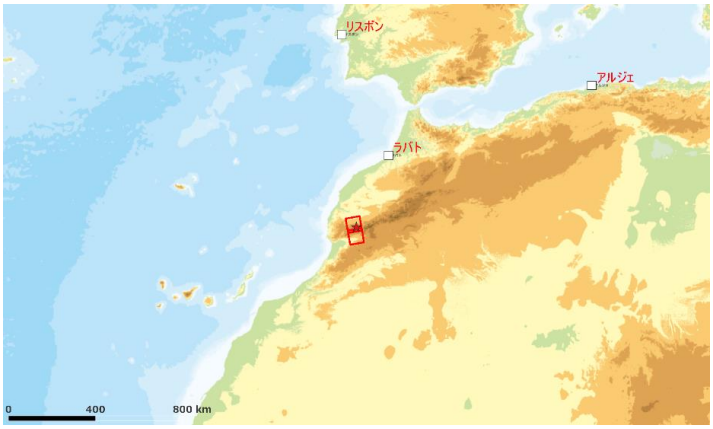


図3. 解析範囲

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 2 図　SAR 干渉解析結果（アンラップ済み）
Fig. 2　Unwrapped SAR interferogram.

10 － 4　地震データの欠測率を考慮したトカラ列島および鳥島近海の地震活動の解析
Analysis of seismic activity in near the Tokara Islands and the Torishima Island taking missing rates of earthquakes into account.

統計数理研究所
The Institute of Statistical Mathematics

１．はじめに

静的に誘発（static triggering）された続発地震が主な場合，通常の本震余震型活動が考えられる．これに対して，動的に誘発（dynamic triggering）された群発型活動の成分が有意の含まれるかを確認したい．このための解析には非定常 ETAS モデル [1)]

$$\lambda_\theta(t|H_t) = \mu(t) + \sum_{\{i:S\le t_i<t\}} K_0(t_i) e^{\alpha(M_i - M_c)} / (t - t_i + c)^p \qquad (1)$$

を用いる．このモデルの非定常性は (1) 式の第 1 項の背景強度μ (*t*) と第 2 項の余震的誘発率 $K_0(t)$ のそれぞれの時間変化が含まれる．これらの係数変化の平滑化の最適化と，定数係数（定常 ETAS モデル）に対する有意性を確かめるために赤池ベイズ情報量規準（ABIC）の最小化によりモデル比較を目指す．詳細は文献 1 を参照されたい．

背景強度関数μ (*t*) は地震活動の対象領域内や周辺でのゆっくりすべりによる応力変化，または内在する断層系内での流体貫入による断層の弱化などを反映すると考えられる [1, 2, 3)]．他方 $K(t_i)$ は領域内の先行地震 *i* による近傍断層群への応力増加による地震の連鎖効果（余震生産性）を表す．非定常性が有意であれば，流体間隙水圧変化やスロースリップの関与の定量的な時間経過が反映されている．

ただし，大きな地震直後では，静的誘発も動的誘発も圧倒的に大きく作用する可能性が高いにもかかわらず，地震検知率が甚だしく低いため後続地震データの欠測率が大きい．それゆえデータの G-R 則の b 値とマグニチュードごとの欠測率をモデル化（検出モデル）[4)] して，下限マグニチュードを出来るだけ低く取り，非定常 ETAS モデルの局所的なデータ欠測による偏りを修復し，より高い精度の活動の推定を目論む [5)]．

本報告では，そのような方法論 [5)] を述べた第 240 回地震予知連絡会以降に新たに発生した，遠方島嶼部での，活動全体の検出率自身も低い 2 つの地震系列についての解析結果を報告する．

２．鳥島近海の地震活動について

今回の地震発生領域（第 1 図）では，これまで M6 クラスの地震を含む群発地震活動が間欠的に続発している．この領域で 2023 年 9 月 1 日以降の活動を解析した．1 週間程の全検出地震 140 件に基づいて調べた．まず特徴的なのは，結構深いところでの地震が見える．これは深さの精度の問題はあるにしても，70~80km ぐらいの深さにある程度の塊があったりしているということは一つのポイントとして考慮しておく必要がある．

検出モデル [4)] から導かれた第 2 図 b,c によれば，全観測時間区間を通して検出率は一定である．特に σ 値が一定なのは近接観測網が定常で地震活動範囲より可なり広いためであろう．しかし b 値（第 2 図 a）については活動前半で減少して M6.5 の最大地震後に増加している．ほぼ完全な検出地震マグニチュード（97.5% 以上の検出率；第 2 図 b の緑曲線）は M4.8 以上である．しかし，これでは 7 地震数にしかならない．そこで下限マグニチュードを下げて, M3.8 以上の 99 地震について,

検出率（第 2 図 d）を考慮して非定常 ETAS モデルに当てはめた（参考文献 5 参照）.

第 1 表の ABIC 値は定常 ETAS モデル（第 3 図上段パネル）よりも，バックグラウンド μ 値が変化している非定常 ETAS モデル（第 3 図下段パネル）の方が遥かに当てはまりの良いことを示している（Δ ABIC = − 33.5）. 特に背景強度 $\mu(t)$ の変化は数日間で約 10 倍のオーダーで増加・減少を繰り返している．一方、地震同士のトリガー効果 $K(t)$ は定数 2×10^{-6} で，極めて小さく，第 3 図下段の縦スケール枠には無い．これらから，第 1 図にあるように震源分布がフィリピン海プレートに潜り込んでいる太平洋プレート上面からのマグマ上昇に絡む火山性の流体圧の変動による群発地震活動を示唆していると推察される（類似の解析結果は文献 6 および 7 参照）.

3．トカラ列島の地震活動について

トカラ列島近海で第 4 図に示した小宝島付近の領域では，2020 年から，M5 以上（最大 M6.1）の 6 件の地震を含む，大規模小規模の 5 つほどの間欠的な地震群が続発していた．本年も 9 月 8 日から纏った地震活動があった．先ず今年の 9 月 30 日までの 4091 地震に基づいて検出率を調べた．大きな地震直後に欠測率が急上昇して捕捉率が下がっている（第 5 図 2 列目のパネル）ので，横軸を地震発生時でなく発生順序でみると検出率経過の詳細が見える（第 5 図 4 列目のパネル）．このように第 5 図と以下に示す全ての図には，通常の時刻についての経過図のみならず，間欠的な集中発生部分を詳しく見るために，地震の発生順番についての経過図も併記する．

特に今年の活動の検出率は可なり悪いことが分かる．全区間を通して完全な下限マグニチュードは M3.4（第 5 図の緑曲線の最大値）であるが，そのような地震は僅か 145 件である．そこで下限マグニチュードを下げて M2.0 以上地震 2496 件を使い, それらの検出率（第 5 図 4 列目の下パネル）を考慮して，非定常 ETAS モデルを当てはめた（参考文献 5 参照）.

第 2 表の ABIC 値は，定常 ETAS モデル（第 6 図）よりも，バックグラウンド μ 値が変化している非定常 ETAS モデル（第 7 図）の方が，Δ ABIC = − 379.58 で，遥かに当てはまりの良いことを示している．特に，背景強度 $\mu(t)$ は 2020 年から増加し，2021 年 12 月の最大 M6.1 を含む地震群でピークに達し，その後減少したままである．この変化はスロースリップまたは流体圧増加などの何らかの非地震性要因を反映した群発地震活動と推察される．地震同士の静的トリガー効果 $K(t)$ は変動が小さいが，地震群内で急速な摂動をして，発生位置でのトリガー効果の違いを反映している.

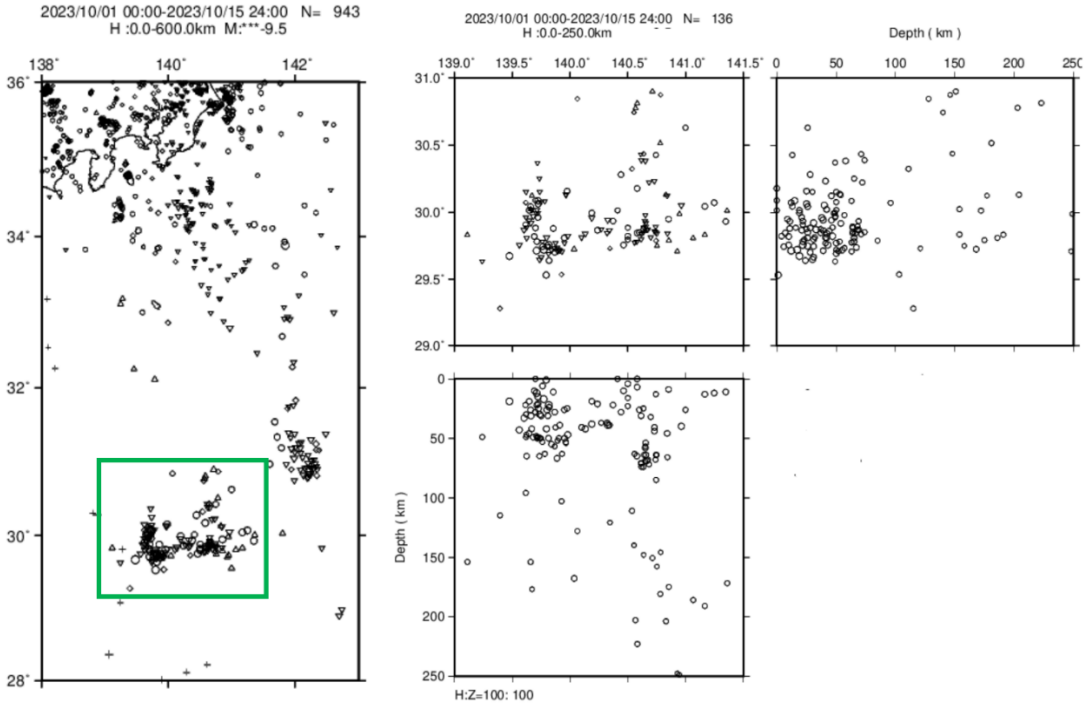
謝辞.
本解析に関して気象庁 PDE 震源カタログ，および地震活動可視化ソフト TSEIS を使用した.

（尾形良彦 , OGATA Yosihiko）

参考文献

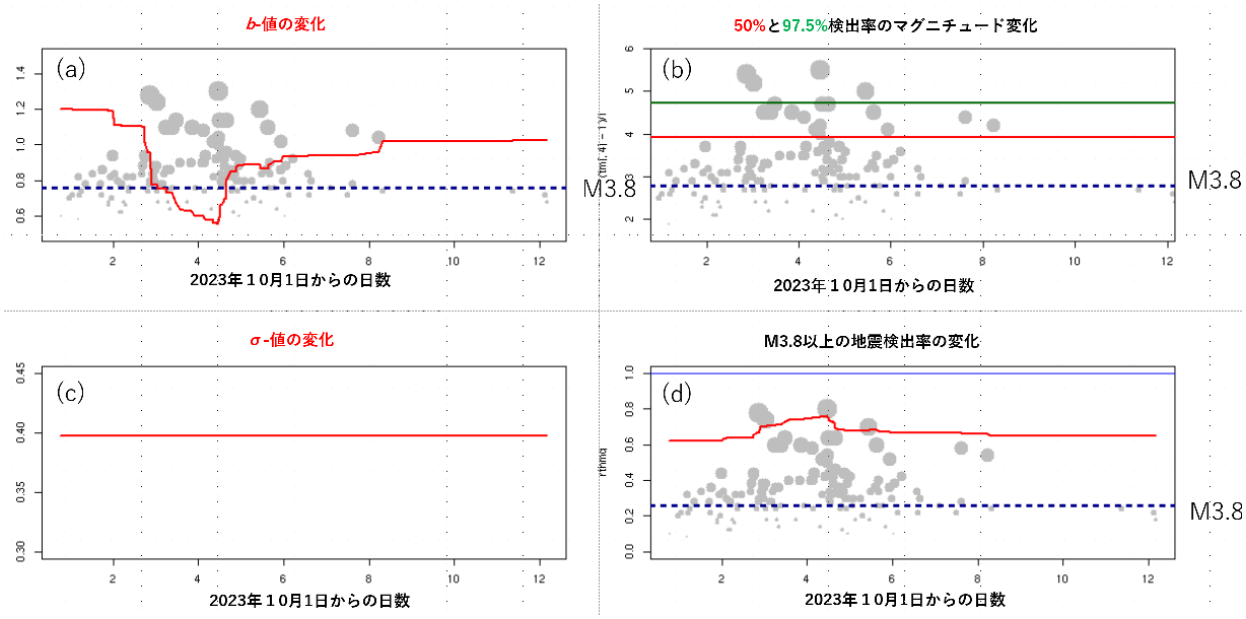
1) Kumazawa, T.and Ogata, Y. (2013) *J. Geophys. Res.*, **118**, 6165–6182. https://doi.org/10.1002/2013JB010259
2) 熊澤貴雄 , 尾形良彦 (2023) *予知連会報* 109 (7-2) https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou109/07_02.pdf
3) Kumazawa, T., Ogata, Y. and Tsuruoka, H. (2019) *Earth, Planets and Space*, **71** (130) https://doi.org/10.1186/s40623-019-1102-y

4) Ogata, Y. and Katsura, K. (1993) *Geophys. J. Int.*, **113**, 727–738.
https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1993.tb04663.x
5) 尾形良彦，熊澤貴雄 (2023) 第 111 巻予知連会報に掲載予定.
https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/index111.html
6) Kumazawa et al. (2016) *EPSL* **442**, 51-60
https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.02.049
7) 熊澤貴雄，尾形良彦 (2021) *予知連会報* 106 (7-2)
https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou106/07_02.pdf



第 1 図　2023 年 10 月の鳥島付近の群発地震活動．震央と深さ分布

Fig. 1　Earthquake swarm activity around Torishima Island in October 2023. Epicenters and depth distribution.



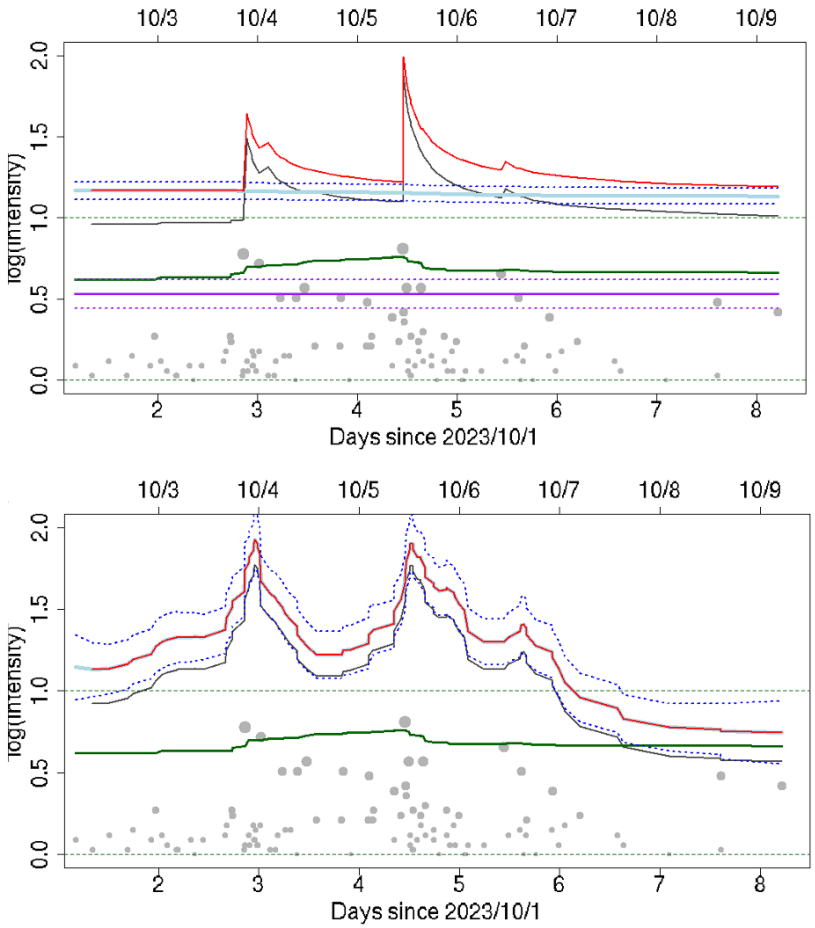
第 2 図　マグニチュード検出率分布モデルの 3 パラメータ推定図．(a) b 値，(b) μ 値，(c) σ 値，の赤線．(b) の緑曲線は $\mu+2\sigma$ で 97.5% の検出率．(d) 赤曲線は M ≥ 3.8 地震の検出率．灰色円盤は検出された地震の M-T 図．

Fig. 2　Estimated detection magnitude distribution model. (a) b values, (b)μ values, and (c) σ values is red line, respectively. The green curve in (b) shows 97.5% detection rate of $\mu+2\sigma$. (d) Red curve is detection rates for M ≥ 3.8 earthquakes. Gray disks are M-T diagrams of detected earthquakes.

第 1 表　非定常 ETAS の平滑化重みの ABIC 値の行列表．行は μ 値の平滑化重み，列は K 値の平滑化重み，但し平滑化重み値は 10 の累乗．

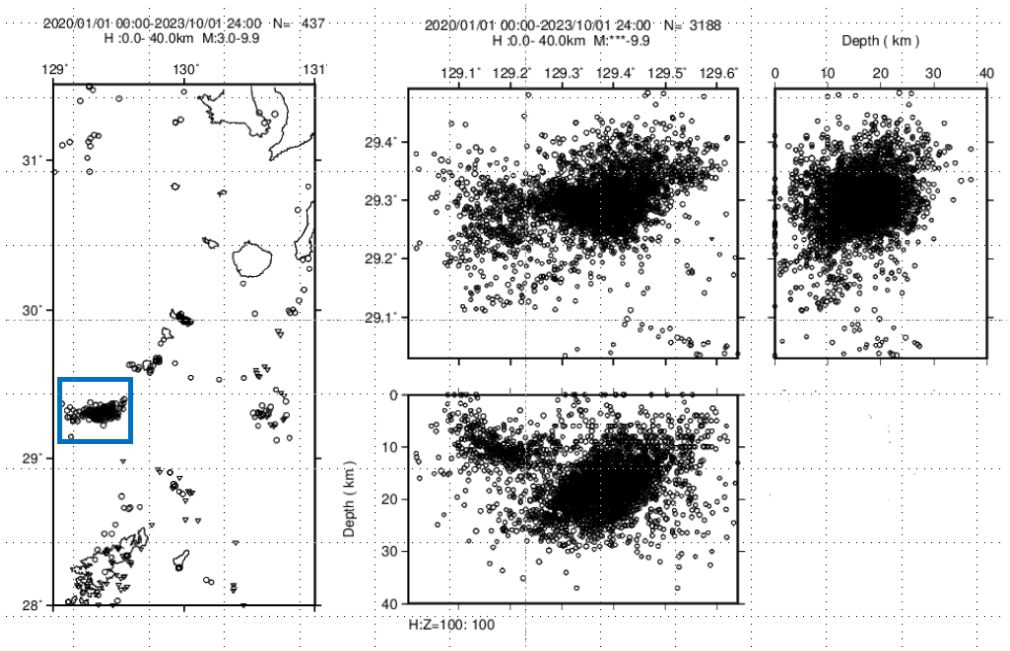
Table 1　Matrix table of ABIC values for the smoothing weights for non-stationary ETAS, where the row stand for the weight to μ -value smoothing, and the columns stands for those of K, respectively; where the smoothing weight values are powers of 10.

ΔABIC	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	203.9	200.3	204.6	205.1	207.1	206.8	201.9	225.1	201.7	204.3	225.1	225.1
1	53.7	53.7	54.6	57.0	57.7	54.9	53.5	4.4	53.2	55.4	57.8	24.5
2	6.6	0.6	32.8	5.5	4.6	1.3	**0.0**	1.0	0.0	22.6	3.2	22.6
3	79.6	46.6	35.9	35.9	27.0	25.1	24.6	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5
4	116.0	78.5	41.5	36.8	33.4	30.6	29.7	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5
9												**33.5**



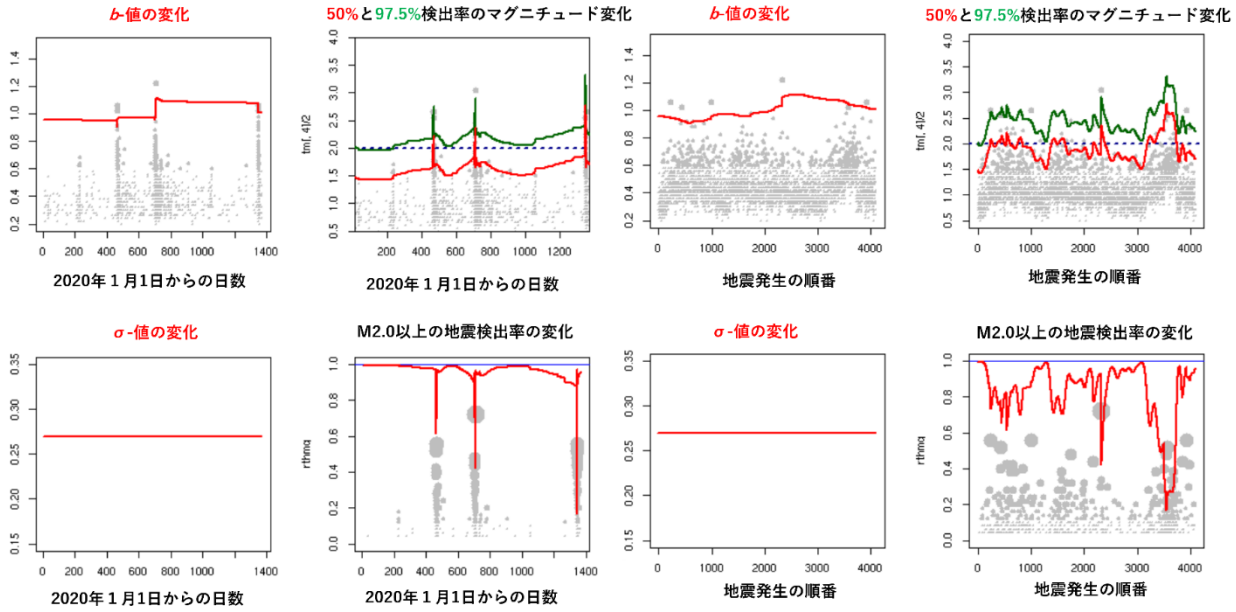
第 3 図　鳥島付近の群発地震活動に各地震の検出確率を推定して ETAS モデルと併せたモデルの推定．赤色曲線は M ≧ 2 地震の潜在的活動強度関数の推定値（常用対数），青色曲線はバックグラウンド強度の誤差（常用対数），紫水平線は K 値とその誤差．灰色曲線は検出された地震の強度関数の推定値（常用対数），緑色曲線は M ≧ 2 地震の検出率（0.0 ~ 1.0 の線形スケール），灰色の円盤は M ≧ 2 余震の M-T 図．上段パネルが定常 ETAS モデルで，下段パネルが最適非定常 ETAS モデル．下段のパネルでは K 値は極めて小さく，下段の縦スケール枠には描かなかった．

Fig. 3　Estimation of the model together with the ETAS model by estimating the probability of detection for each earthquake in the seismic swarm activity around Torishima Island. Red curves are estimates of the potential intensity function of M ≥ 2 earthquakes (normal logarithm), blue curves are errors in background intensity (normal logarithm), and purple horizontal lines are K values and their errors. The gray curve is the estimated intensity function of detected earthquakes (normal logarithm), the green curve is the detection rate of M ≥ 2 earthquakes (linear scale of 0.0 ~ 1.0), and the gray disks are M-T diagrams for M ≥ 2 aftershocks. The upper panel is the steady-state ETAS model and the lower panel is the optimal unsteady ETAS model. In the lower panel, the K value is extremely small and were not drawn in the lower vertical scale frame.



第 4 図　トカラ列島近海の地震群．震央と深さ分布

Fig. 4　Epicenter map of the earthquake near the Tokara Archipelago. Epicenters and depth distribution.



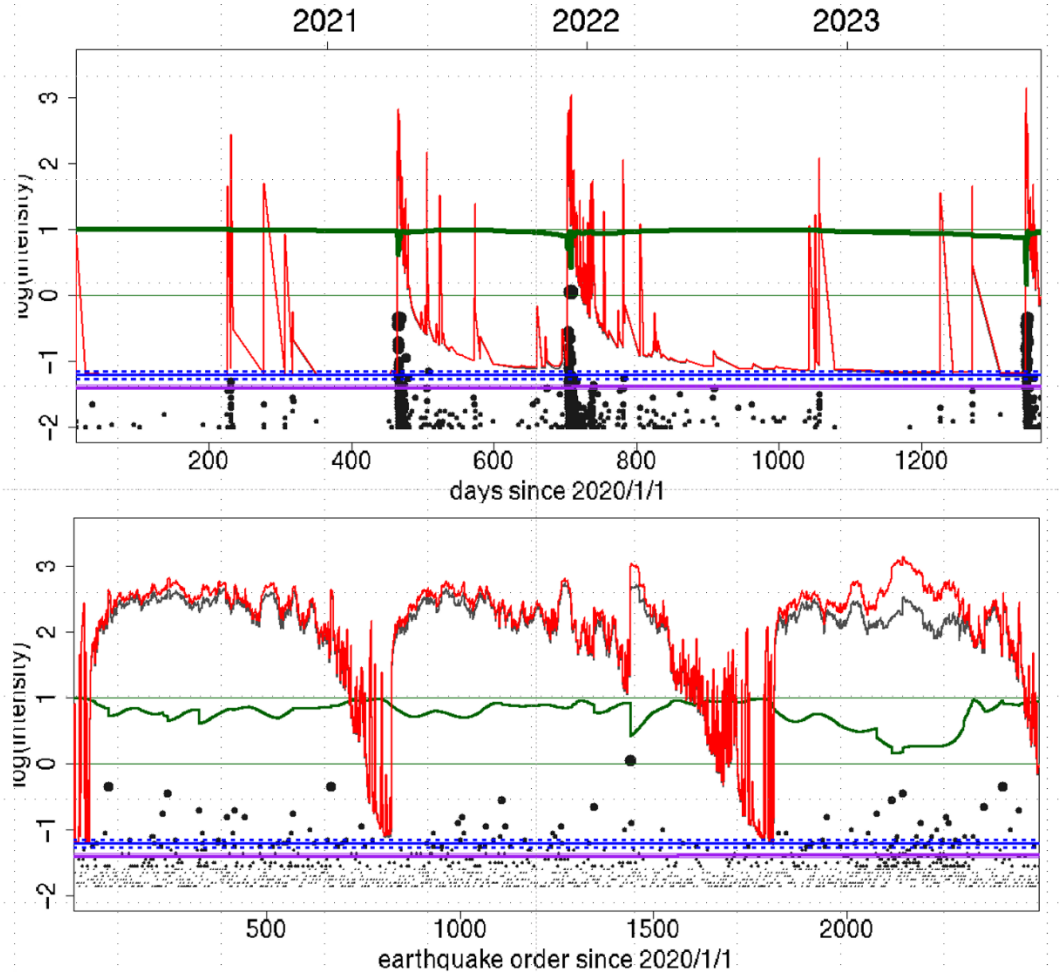
第 5 図　マグニチュード検出率分布モデルの推定図．左側 4 パネルのフォーマットは第 2 図と同じ．右側 4 パネルは左側 4 パネルの横軸を発生順番に替えたもの．灰色円盤は検出された地震の M-T 図．

Fig. 5　Magnitude detection rate distribution model estimates. The format of the four panels on the left is the same as in Figure 2. The four panels on the right side replace the horizontal axis of the four panels on the left side with the order of occurrence. The gray disks are M-T diagrams of detected earthquakes.

第 2 表　非定常 ETAS の平滑化の重みに対する ABIC 相対値．行列のフォーマットは第 1 表に同じ．

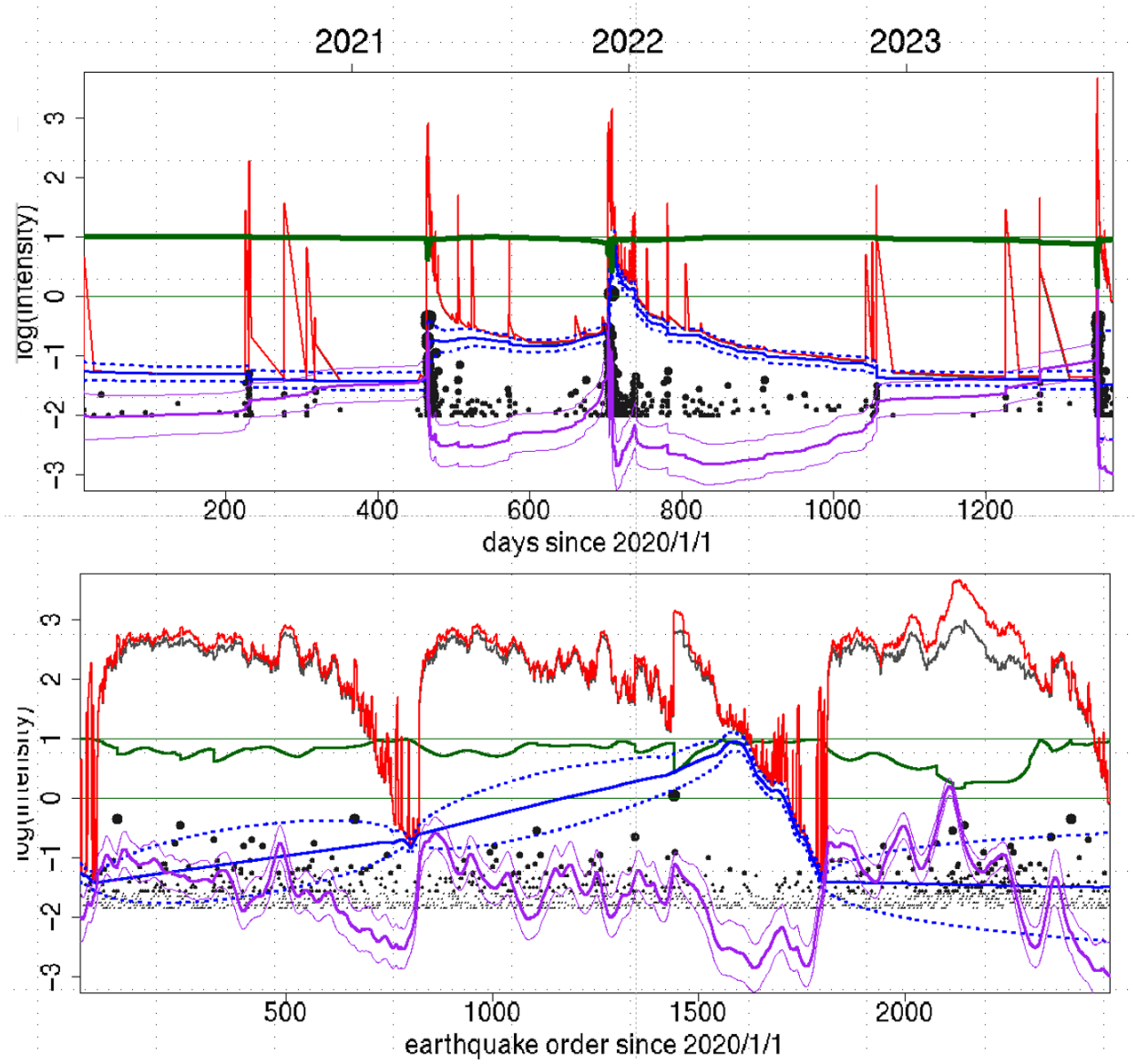
Table 2　Table of the ABIC’ s relative values for smoothing weights for non-stationary ETAS model. The format of the matrix is the same as in Table 1.

	1	2	3	4	5	9
1	1343.45	1050.62	958.17	986.26	1465.56	
2	710.73	179.17	92.27	126.86	318.30	
3	775.58	127.27	**0.00**	65.26	211.85	
4	828.65	163.40	28.99	89.02	225.41	
5	844.76	177.03	40.51	98.39	232.62	
9						**379.58**



第 6 図　トカラ列島付近の群発地震活動について M ≧ 2.0 定常 ETAS モデルの推定．赤色曲線は M ≧ 2 地震の潜在活動強度関数の推定値（常用対数），灰色曲線は検出地震の活動強度関数の推定値（常用対数），誤差付き青色曲線はバックグラウンド強度（常用対数），緑色曲線は M ≧ 2 地震の検出率（0~1 の線形スケール），灰色の円は M ≧ 2 余震のマグニチュード（線形スケール）．水平軸は，上段パネルが 2020 年 1 月 1 日からの経過日数，下段パネルが地震の順番で描き直した．m(t) 値は 10 倍のものを示している．

Fig. 6　Estimation of the M ≥ 2.0 optimal unsteady ETAS model for cluster seismicity near the Tokara Islands. The red curve is the estimated latent activity intensity function for M ≥ 2 earthquakes (normal log scale), the gray curve is the estimated activity intensity function for detected earthquakes (log), the blue curve with error is the background intensity (log scale), the green curve is the detection rate for M ≥ 2 earthquakes (0~1 linear scale), and the gray circles are magnitudes of M ≥ 2 aftershocks (linear scale). Horizontal axes are redrawn in the order of days elapsed since January 1, 2020 in the upper panel and earthquakes in the lower panel.



第 7 図　トカラ列島付近の M ≧ 2.0 群発地震活動の最適非定常 ETAS モデルの推定．各色曲線は第 5 図に同じ．

Fig. 7　Estimation of the optimal unsteady ETAS model for M ≥ 2.0 group seismicity near the Tokara Islands. Each color curve is the same as in Figure 5.

10 － 5　群発的地震活動を前震活動と仮定して行う本震の発生予測手法（7）：最近の活動事例による検証

Earthquake forecasting method by supposing swarm-like activity to be possible foreshocks (7): its performance for recent seismicity data

弘瀬冬樹・前田憲二（気象研究所）
HIROSE Fuyuki & MAEDA Kenji (Meteorological Research Institute)

１．はじめに

本報告では前震活動に基づく予測モデル（以下，本予測モデル）[1] を用い，前回までの報告 [2)-7)] 以降の約 2 年間における予測結果を報告する．

２．前震活動に基づく予測モデルの成績（過去 2 年間）

前回の報告 [7] に引き続き 2021 年 10 月 1 日～ 2023 年 9 月 30 日の 2 年間の本震発生の予測結果の調査を行った．今期間，ターゲット地震の発生の予測に成功した事例はなかった．各領域における予測結果の状況は以下のとおりである（第 1 図参照）．

(a) 日本海溝沿い 3 領域：ターゲット地震が 1 回（2023/8/25 M6.0）発生した．その地震前にサーチ対象の M5.0 以上の地震は発生しなかったため，見逃しとなった．前震候補は今期発生しなかった．
(b) 伊豆地域：ターゲット地震が 1 回（2023/05/22 M5.3）発生した．約 6 時間前に M4.2 の地震とその余震（M3 未満）が発生しているが，前震候補の基準を満たさなかった．前震候補は今期間 4 回発生したが，いずれもその後ターゲット地震は発生しなかった．
(c) 長野県北中部：ターゲット地震は発生しなかった．前震候補となる地震は 7 回発生したが，いずれもその後ターゲット地震は発生せず，空振りとなった．
(d) 九州中部：ターゲット地震は発生しなかった．前震候補は 1 回発生したが，その後ターゲット地震は発生しなかった．
(e) 山陰地方：ターゲット地震も前震候補も発生しなかった．

予測対象領域におけるこれまでの予測成績を第 2 図にまとめた．矢印の左側の数値はそれぞれの領域の最適化期間（図中に表示）における成績を示し，右側の数値は最適化期間を含む 2023 年 9 月 30 日までの通算の成績を示す．見逃し・空振りにより，山陰地方を除く領域において成績（予知率 or 適中率）は若干低下した．

第 1 表に最適化期間及び通算期間に対する成績一覧を記載する．ここで，D，Mf_0，Mm_0，Tf, Nf, Ta はそれぞれセグメントサイズ（°），前震のマグニチュード下限，本震のマグニチュード下限，前震候補抽出の時間窓（日），前震候補抽出の地震個数，アラーム期間（日）を表す．

成績の評価には次の定義による指標を用い，いずれも大きいほど性能が高いことを示す．

- 予知率 (AR) ＝予測されたターゲット数 (A) ／全ターゲット数 (C)
- 適中率 (TR) ＝適中したアラーム数／全アラーム数
- 確率利得 (PG) ＝アラーム時空間 (B) 内のターゲット発生率／全時空間 (D) 内のターゲットの発生率 ＝ (A/B)/(C/D) ＝ (A/C)/(B/D) ＝ 予知率／警報分率

- Δ AIC ＝定常ポアソンモデルによる AIC －予測モデルによる AIC
  ＝ 2*C*AR*log(PG)+2*C*(1-AR)*log((1-AR)/(1-AR/PG))-2

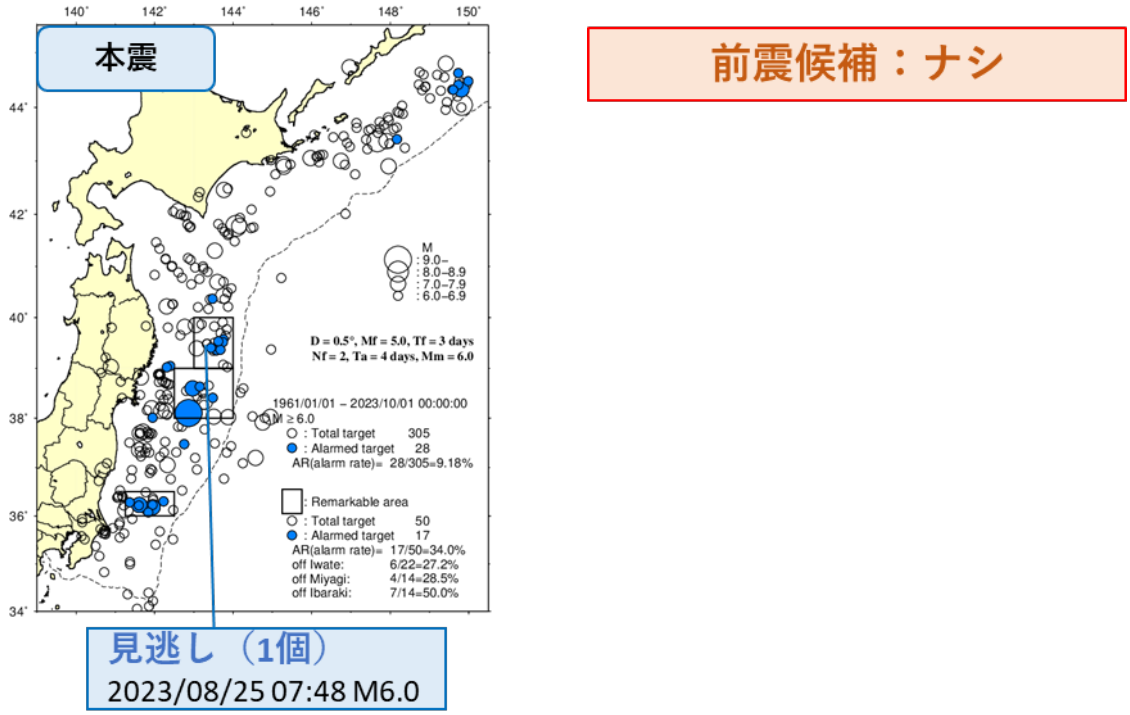
３．まとめ

- この 2 年間で見逃し・空振りにより予知率 or 適中率は若干低下
- ただし，期間が延びた割にはターゲット地震の発生数が少なかったため，確率利得とΔ AIC は若干上昇

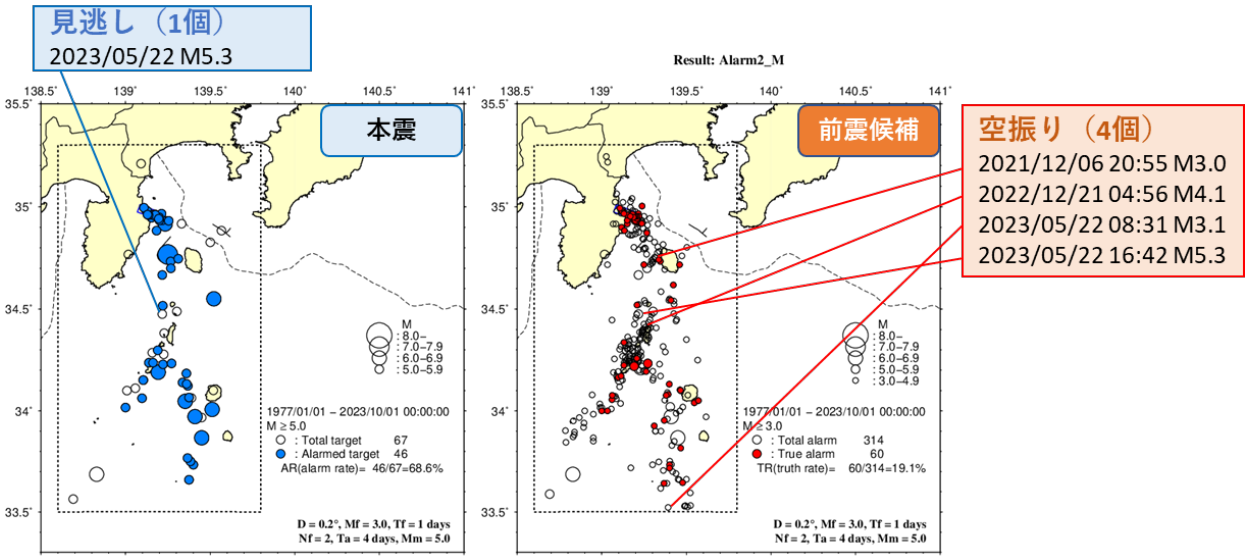
参考文献

1) Maeda, K. (1996), The use of foreshocks in probabilistic prediction along the Japan and Kuril trenches, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **86**, 242-254.
2) 気象研 (2016), *予知連会報* , **95**, 415-419.
3) 気象研 (2016), *予知連会報* , **96**, 476-480.
4) 気象研 (2017), *予知連会報* , **98**, 465-469.
5) 気象研 (2019), *予知連会報* , **101**, 492-494.
6) 気象研 (2020), *予知連会報* , **103**, 356-360.
7) 気象研 (2022), *予知連会報* , **107**, 539-546.

(a) 日本海溝 3 領域

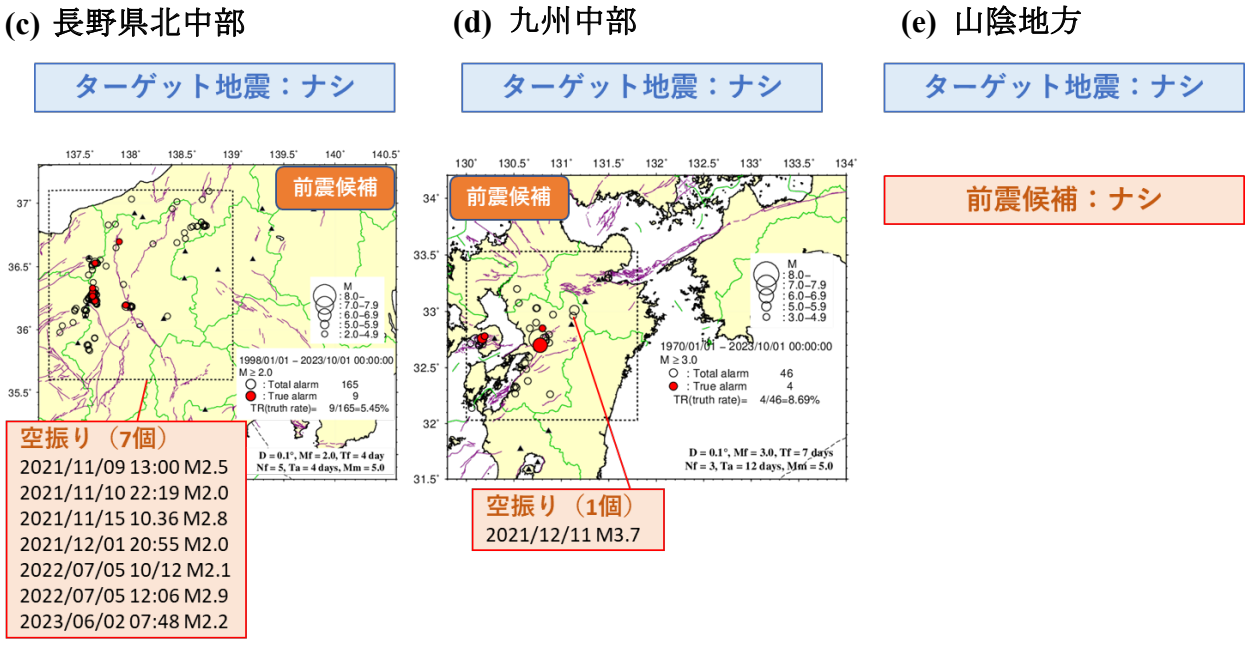


(b) 伊豆地域



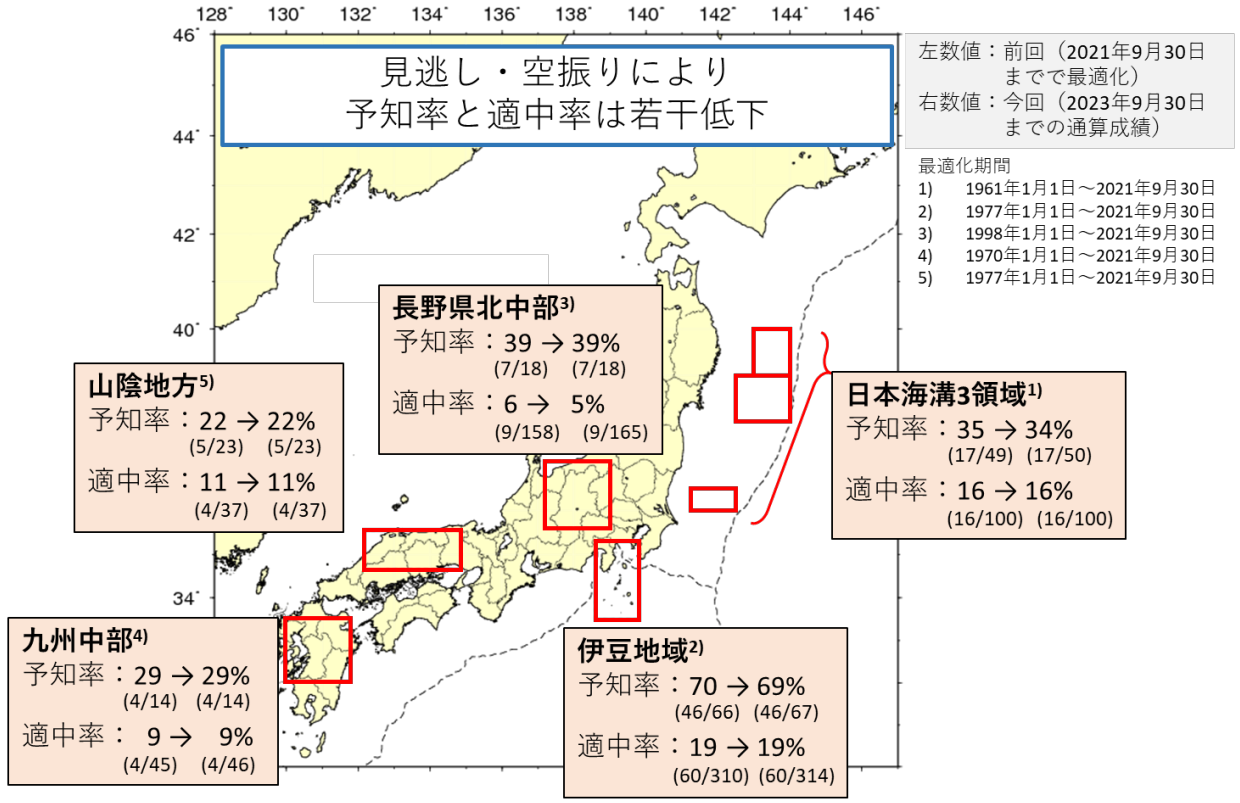
第 1 図　各領域における最近約 2 年間（2021 年 10 月～ 2023 年 9 月）の予測結果．予測が適中した地震はなかった．吹き出しに見逃し及び空振りの数を示す．(a) 日本海溝３領域，(b) 伊豆領域．（続く）

Fig. 1　Forecast results in each region from 10/1/2021 to 9/30/2023. No target event was forecasted. Number of missed targets and false alarms are shown in balloons.
(a) 3 regions in Japan trench, (b) Izu region. (To be continued)



第 1 図　（続き）(c) 長野県北中部，(d) 九州中部，(e) 山陰地方

Fig. 1　(Continued) (c) North-central part of Nagano, (d) Central part of Kyushu, (e) San’ in region.



第 2 図　各領域及び期間における本予測モデルの予測成績の変化．矢印の左は最適化期間（～ 2021 年 9 月末）の成績を，右は 2023 年 9 月末までの通算の成績を示す．

Fig. 2　Forecast result variation for each region since the forecast test began. The left side of arrows indicates results for optimizing period (to 9/30/2021), and the right for throughout the test period until 9/30/2023.

第 1 表　各地域･期間ごとに用いた予測パラメータと予測成績．(上段) 前回の通算成績（～ 2021 年 9 月 30 日）．(下段) 今回の通算成績（～ 2023 年 9 月 30 日）．ここで，D，Mf0，Mm0，Tf，Nf，Ta はそれぞれセグメントサイズ（°），前震のマグニチュード下限，本震のマグニチュード下限，前震候補抽出の時間窓（日），前震候補抽出の地震個数，アラーム期間（日）を表す．

Table. 1　Optimum parameters and forecast performance for each region and periods. Top: results for the total period up to (Top) 9/30/2021 and (Bottom) 9/30/2023.

前回の報告（通算期間の再最適化による成績）　（※D,Mf_0は固定しTf,Nf,Taを再最適化）

領域	期間	前震条件と本震M (D,Mf_0,Tf,Nf,Ta), Mm_0	予知率	適中率	確率利得	ΔAIC
日本海溝３領域	1961～2021/9/30	0.5, 5.0, 3, 2, 4, 6.0	17/49 = 35(%)	16/100 = 16(%)	192	150
伊豆地域	1977～2021/9/30	0.2, 3.0, 1, 2, 4, 5.0	46/66 = 70(%)	60/310 = 19(%)	332	484
長野県北中部	1998～2021/9/30	0.1, 2.0, 4, 5, 4, 5.0	7/18 = 39(%)	9/158 = 6(%)	1024	84
九州中部	1970～2021/9/30	0.1, 3.0, 7, 3, 12, 5.0	4/14 = 29(%)	4/45 = 9(%)	1083	47
山陰	1977～2021/9/30	0.1, 3.0, 1, 2, 24, 5.0 (適中率≧5%を条件)	5/23 = 22(%)	4/37 = 11 (%)	364	48

今回

領域	期間	前震条件と本震M (D,Mf_0,Tf,Nf,Ta), Mm_0	予知率	適中率	確率利得	ΔAIC
日本海溝３領域	1961～2023/9/30	0.5, 5.0, 3, 2, 4, 6.0	17/50 = 34(%)	16/100 = 16(%)	195	150
伊豆地域	1977～2023/9/30	0.2, 3.0, 1, 2, 4, 5.0	46/67 = 69(%)	60/314 = 19(%)	336	485
長野県北中部	1998～2023/9/30	0.1, 2.0, 4, 5, 4, 5.0	7/18 = 39(%)	9/165 = 5(%)	1040	84
九州中部	1970～2023/9/30	0.1, 3.0, 7, 3, 12, 5.0	4/14 = 29(%)	4/46 = 9(%)	1096	47
山陰	1977～2023/9/30	0.1, 3.0, 1, 2, 24, 5.0 (適中率≧5%を条件)	5/23 = 22(%)	4/37 = 11 (%)	386	49

※下段の赤字は上段から変わった数値

※各表中の確率利得は地震が1個以上発生したセグメントを対象とした背景地震発生率から算出

重点検討課題の検討

第２４０回　地震予知連絡会重点検討課題

「関東地震100周年」

第２４１回　地震予知連絡会重点検討課題

「予測実験の試行(09)地震活動の中期予測の検証」

11 － 1　第 240 回地震予知連絡会重点検討課題「関東地震 100 周年」の概要
Centennial of Kanto earthquake

佐竹健治（東京大学地震研究所）
Kenji SATAKE (Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)

2023 年は , 1923 年関東大震災の発生から 100 周年である．この 1 世紀の地震学の発展により，関東地震についての様々なことがわかってきた．本課題では，関東地方の地下構造・地震活動，測地観測とプレート間カップリング，1923 年関東地震の被害と強震動，1923 年関東地震の津波，歴史地震と変動地形に関して 5 件の報告が行われた．以下に簡単にまとめる．

1.　関東地方のプレート構造と地震活動

南関東では，東から太平洋プレートが，南からフィリピン海プレートが沈み込んでおり，さまざまな深さで異なるタイプの地震が発生している．1923 年関東地震のような M 8 クラスの巨大地震や，南関東で発生する M 7 クラスの地震の発生を理解して予測するためには，首都圏直下の地下構造の解明が重要である．1970 年代以来の地震観測網の進展により多くのフィリピン海プレートのモデルが提案され，地震被害想定に用いられてきた．内閣府から 2013 年に公表された最新の被害想定では，フィリピン海プレート上面の深さが従来の想定よりも浅くなり，従来想定されていた「東京湾北部地震」の震源域は，1923 年関東地震の際に同時に破壊されたとされた．フィリピン海プレートの形状については，その後も新知見が得られており，関東地方における地震発生の仕組みを理解し，強震動の発生を予測することに貢献する（東京大学・平田 直　委員）.

2. 測地観測による 1923 年関東地震とその後の地殻変動―地震時すべり，プレート間固着及びスロースリップ―

1923 年の関東地震に伴う地殻変動は，国土地理院の前身である陸地測量部によって詳細に調査され，約 50 年後に断層モデルの推定等の地震像の解明に役立てられた．関東地震後の 100 年間で，地震時地殻変動の約 1/4 が回復し，現在の GNSS データからは関東地震の震源域から房総半島南東沖までのプレート境界は強く固着していると推定される．房総半島南東沖では Mw 6.5 を超えるスロースリップ（SSE）が準周期的に発生しており，さらに沖合でも大規模な SSE が発生している．一方，これらの SSE 発生領域と 1923 年関東地震の震源域の間には複数のギャップがあり，これらの地域の地震発生ポテンシャルは現在のところ不明である（京都大学防災研究所・西村 卓也　委員）.

3.　1923 年関東大震災と南関東の強震動

関東大震災の住家被害と人的被害について，被害数の単位をそろえた統一的な指標のデータベースが作成された．関東大震災の主な原因は，住家被害の 57%，死者数の 87% をもたらした大火災であった．一方で，地震動・津波・山崩れなどの被害も大規模であり，関東大震災は，あらゆる震災が首都圏を含む南関東全域で一度に発生した歴史的な災害と言える．住家全壊率から強震動を推定すると，震源域直上から埼玉県東部の沖積低地に震度 6 弱から震度 7 に至る高震度地帯が認められ，地形や地質等の地盤条件が地震動の大きさに影響している可能性が高い．大火災の主要因は台

風の余波による風速 10 ～ 15m/ 秒の強風であったが，この程度の強風は特殊な気象条件と言えず，将来においても，大地震との同時発生も想定すべき事象であると考えられる（(株）J-POWER 設計コンサルタント・諸井 孝文氏）.

4. 津波から見える 1923 年関東地震の震源過程

1923 年関東地震のすべり量分布を震源近傍の検潮所で記録された津波波形と地殻変動データから推定したところ，既往研究とよく似た 2 つの大すべり域が推定された．ただ，震源域西側の相模トラフ沿いに，これまでの結果とは異なる大きなすべり約 9 mが推定された．推定されたすべり分布を用いると，これまで説明できないとされてきた伊豆半島沿岸の大きな津波調査結果と整合的な結果が得られることがわかった（北海道大学・谷岡 勇市郎　教授）.

5. 関東地震の履歴の再評価

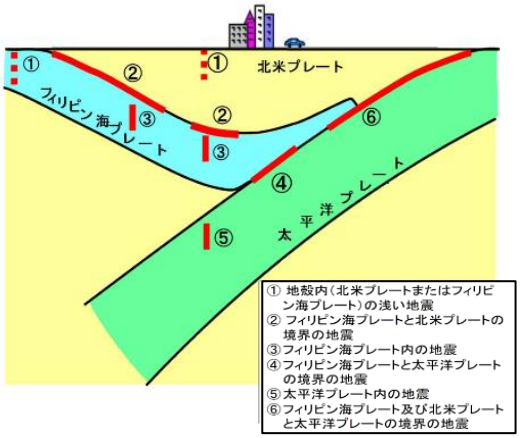
元禄型関東地震については，海岸段丘の地形・地質学的痕跡に基づき，平均発生間隔が 2300 年程度とされてきた．段丘の離水年代を再評価した結果，発生間隔は 1200 ～ 2500 年とかなりばらつくことが確認された．また，歴史上の関東地震について，津波・隆起の地質痕跡から，878 年元慶地震は候補となる隆起痕跡はあるものの不明な点が多いこと，1293 年正応（永仁）地震は国府津―松田断層が同時に活動した可能性があること, 15 世紀の地震（1433 年永享地震・1495 年明応地震）については対応する津波痕跡があるが，隆起痕跡は未確認であること（伊東における同時期の隆起痕跡はマグマ活動を示す可能性が高い），1703 年元禄地震は相模湾西部にあまり影響していない可能性があること，などが報告された（産業技術総合研究所・宍倉 正展　国内連携グループ長）.

以上の報告では，関東地方の地下構造モデルの発展に伴う想定震源域に関する知見の変化，相模トラフ沿いのカップリングと SSE の発生領域との関連，プレート間カップリングと過去の地震の収支の矛盾，1923 年関東地震の震度分布の特徴及び地形・地質との相関，津波・測地データに基づく最新の 1923 年関東地震の震源モデル，関東地震の発生履歴の知見の変化などについて議論が行われた．1923 年から 100 年が経ち，関東地震が発生した背景について多くのことが分かってきたが，まだ未解明の点も多く，将来の地震発生や被害の想定のためには，さらに調査研究が必要であることが明らかとなった.

11 － 2　関東地方のプレート構造と地震活動
The tectonic plate structure and seismicity beneath the Kanto region

東京大学
The University of Tokyo

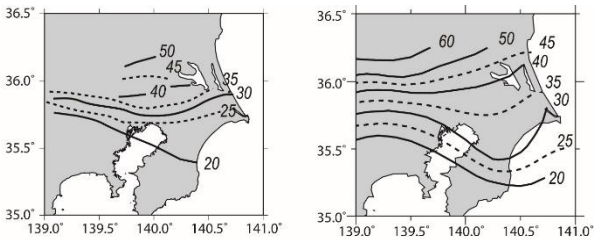
1923 年関東地震（M7.9）のような M8 クラスの巨大地震や，南関東で発生する M7 クラスの地震の発生を理解して予測するためには，首都圏の地殻とマントルの構造を理解することが必要である．南関東では，陸のプレートの下に，フィリピン海プレートと太平洋プレートが沈みこむことによって，プレート境界とプレート内部で地震が発生する（第 1 図）．このような概念モデルは，1970 年代には既に関東下の地震の分布などの情報によって知られていた [1]．一方，その後の観測網の進展によって，新しい定量的なプレート形状モデルが提案され，中央防災会議の首都直下地震被害想定で用いられた（例えば 文献 2)）．



第 1 図　南関東地域で発生する地震のタイプ．
Fig. 1　Earthquake types beneath the southern Kanto region.

2013 年（平成 25 年）の内閣府の想定では，プレートモデルが改訂され，フィリピン海プレートが浅くなった．このことによって，1923 年関東地震の震源モデルが修正された．従来想定されていた「東京湾北部地震」の震源域は 1923 年関東地震の時に同時に破壊されたとされ，この地震が起きるのは次の関東地震タイプの地震が発生する時であり，M7 クラスの想定地震としては，スラブ内地震の「都心南部直下地震」などが想定された．現在の地震学では，次に発生する巨大地震の位置を予測することは難しいが，大地震がどのような仕組みで発生するかを理解するためには，プレートの形状の知見が基本的に重要である．

近年の観測網の発達によって良質なデータが大量に利用できるようになってきた．この結果，より詳細なモデル，例えば，地震波の伝播速度異方性を取り入れたトモグラフィー解析が可能となり，新しいプレートモデルが提案されている [3]．地震波速度異方性の分布を用いると，従来は速度の分布だけから推定していたプレート境界の位置が変わる場合がある．フィリピン海プレートの形状については，新知見が得られ，従来よりもプレート境界深度が浅い可能性が指摘されている（第 2 図）．



第 2 図　フィリピン海プレート上面の深度モデル（左）最新モデル [3]．（右）従来モデル [4]．
Fig. 2　Comparison of depth distributions of the upper boundary of the Philippine Sea Plate by the new model[3] (left) and the previous model[4] (right).

こうした知見は，プレート境界付近での地震発生の仕組みを理解し，強震動の発生を予測することに貢献する．

（東京大学地震研究所，平田直）
HIRATA Naoshi

参考文献

1) 津村建四郎（1973），*関東大地震 50 周年論文集 (東京大学地震研究所)*，67 － 87, 関東地方の地震活動 .
2) Ishida, M. (1992), *J. Geophys. Res.*, **97**, 489– 513. Geometry and relative motion of the Philippine sea plate and Pacific plate beneath the Kanto-Tokai district, Japan.
3) Ishise, et al. (2021). *J. Geophys. Res.*, **126**, e2020JB021194. Improved 3-D P Wave Azimuthal Anisotropy Structure Beneath the Tokyo Metropolitan Area, Japan: New Interpretations of the Dual Subduction System Revealed by Seismic Anisotropy.
4) Nakajima et al. (2009), *J. Geophys. Res.*, **114**, B08309. Seismotectonics beneath the Tokyo metropolitan area, Japan: Effect of slab-slab contact and overlap on seismicity.

11 － 3　測地観測による 1923 年関東地震とその後の地殻変動 - 地震時すべり，プレート間固着及びスロースリップ -

Crustal deformation at and after the 1923 Kanto earthquake based on geodetic measurements - Coseismic slip, interplate coupling, and slow slip events –

西村卓也（京都大学防災研究所）
Takuya NISHIMURA (Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univ.)

１．はじめに

1923 年 9 月 1 日に発生した大正関東地震（M_{JMA}7.9）は，明治期に開始された日本列島の測地測量（一等三角測量，一等水準測量）が 1913（大正２）年にほぼ終了した後に発生した．そのため，震災復旧測量として地震後速やかに再測量が行われ，地震前後の測量結果の差から地震に伴う地殻変動が詳細に明らかになった地震である．それゆえ，沈み込みプレート境界で発生した地震としては，関東地震は世界で初めて測地測量により地殻変動が明らかになった地震と言えるであろう．地震後の測地測量や現在行われている GNSS 観測からは，関東地震の震源域近傍である神奈川県から房総半島南部において，地震時とは反対方向の地殻変動が観測されている．すなわち，100 年前に取得された関東地震の詳細な測地データのおかげで，相模トラフから沈み込むフィリピン海プレートと陸側プレートの境界断層における地震間のひずみの蓄積と地震時のひずみの解放を，現在の我々が把握することができるのである．本稿では，大正関東地震の前後から近年までの測量データの一部を紹介するとともに，地震時地殻変動から推定された断層モデル，地震間地殻変動から推定されたプレート間固着分布，GNSS データなどから推定されたスロースリップ（SSE）の既往研究を簡単に紹介する．

２．水準測量と菱形基線測量による地震時・地震後地殻変動

関東地震に関連する上下変動の時間変化は，主に水準測量と潮位観測のデータから明らかにすることができる．日本全国の水準測量は 1880 年代に開始された．三浦半島の先端部には潮位を観測する油壺験潮所が作られ，東京三宅坂の水準原点から油壺験潮場に向けた水準測量は，1896 年より前に第 1 回の測量が行われている．1923 年の関東地震以降は頻繁に再測量が行われ，上下変動の時間変化が詳細に明らかにされている [1]．第 1 図は，横浜市付近の 2 水準点（F25, J35-7）と油壺験潮場に近い水準点 5367-2 の間の上下変動を示したものである．F25 を基準とした 5367-2 の比高で見ると，関東地震の前後で 126 cm の隆起が観測されており，その後の 100 年間では，約 30 cm 沈降している．すなわち地震時変動の約 1/4 が地震後に回復したことになる．また，油壺験潮所の潮位変化 [2] からは，地震時に約 1.4m の海面低下，地震後の 100 年間で約 50 cm の海面上昇が観測されている．海面の変動量だけを見ると，地震時変動の約 1/3 が地震後に回復したことになるが，地震後の海面上昇には地球温暖化に伴う世界的な海面上昇が含まれていることを考慮すれば，地震後の沈降量は 50cm より小さく，水準測量と潮位観測の結果は整合的だと言える．

一方，関東地震に関連する水平変動の時間変化を議論できるデータは限られている．GNSS などの宇宙測地技術の登場以前は，三角測量や三辺測量などの水平位置を測る測量が，それほど頻繁に行われていないためである．その中で，東京都三鷹市の国立天文台構内にある菱形基線では，一辺 100 m の菱形の辺長と対角線長（一部のみ）が，数～十年ごとに計測され，関東地震の地震時とそ

の後 100 年間の水平変動のデータとして利用できる[3, 4]．第 2 図は，基線長の変化から，東西方向と南北方向の線ひずみ（e_{ee}, e_{nn}）と剪断ひずみ（e_{en}）を計算したものである．e_{nn} 成分では，地震時に 3.6×10^{-5} の伸びと地震後に経年的な縮みが観測され，地震後約 90 年でほぼ地震時の変化を相殺している．相模トラフにおけるプレート収束方向や関東地震のすべり方向から考えて，上記のひずみの 3 成分のうち最も地震時の断層すべりや地震後の断層の固着に敏感な成分は e_{nn} になる．よって，e_{nn} 成分の変化は関東地震の地震サイクルに伴う地殻変動であると考えられる．地震時と地震後の変化を水平変動と上下変動で比較すると，上下変動では地震後の変化は地震時の 1/3 程度であったものが，水平変動では地震時と地震後の変化がほぼ等しいことは注目される．これは菱形基線の位置が，地震時のすべり域や地震後の固着域の下端に近い場所にあるため，両者の下端のわずかな違いによって，このような差が生じるものと考えられる．一方，e_{ee} 成分では，地震時にはわずかな縮みが観測されているが，その大きさは地震後約 10 年間のばらつきと同程度である．その後の約 50 年間はほとんど変化が見られなかったが，1980 年頃からは急激な縮みが観測されている．1990 年代半ば以降に整備された周辺の GNSS 観測点ではこのような大きな東西短縮は観測されておらず，菱形の西側の頂点に関係する辺だけに大きな変化が見られているため，西側の標石に関係する局所的な変化である可能性が指摘されている．

３．地震時すべり・プレート間固着・スロースリップ

大正関東地震の地震時の水平変動は，三角測量の結果を整理する際の仮定する固定点の違いなどによる複数の研究によってまとめられている．その 1 つである佐藤・市原 (1971)[5] の一等三角点の変位は，断層モデルの推定によく用いられている．地震後の再測量は三等三角点まで行われており，二等三角点までの変位は，Fujii and Nakane(1983)[6] にまとめられているが，三等三角点のデータについては地球科学的な解析はほとんど行われていない．測地データを用いて推定された地震時すべりの震源断層モデルは，Ando(1974)[7] の研究を筆頭に，最近 20 年間にも Sato et al. (2005)[8], Pollitz et al. (2005)[9], Matsu’ura et al.(2007)[10] など，精力的に行われおり，小田原付近と三浦半島付近にすべり量が大きい場所（アスペリティ）があるという点で共通している．

地震間のプレート間固着分布の推定が本格的に行われるようになったのは，GNSS により地震間の変位速度が高精度に推定されるようになってからで，Sagiya et al.(2004)[11] の研究を筆頭に多くの研究[12-16] が行われている．推定された固着分布に共通する特徴として，大正関東地震の震源域だけでなく，房総半島の南東沖まで固着の強い領域が広がっていることが挙げられる．しかし，2011 年東北地方太平洋沖地震（M_w9.0）の発生以降は，関東地方の地殻変動が東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響が強く受けているため，プレート間固着を推定するためには余効変動を適切に補正する必要があり，プレート間固着の推定に関する研究はほとんど行われていない．

GNSS データを用いたプレート間固着の推定は，数年程度の期間における平均変位速度を用いて行われることが多いため，次の大地震までのプレート間すべりの収支を見積もる上では，地震間の地殻変動速度の時間変化に留意する必要がある．特に，房総半島南東沖では，2-6 年程度の間隔で M_w6.5 を超える規模のスロースリップの発生が発生していることが知られており[11, 17-19]，蓄積されたひずみの一部を解放していることを考慮する必要がある．Nishimura(2021)[20] は，約 25 年間の GNSS データの解析から相模トラフ沿いの継続時間が概ね 80 日より短い SSE の系統的な検出を行い，SSE の断層モデルを推定した．その結果，従来からよく知られている 2-6 年で発生する房総 SSE に加えて，さらに東の沖合にも Mw7 程度の規模の大きな SSE が発生する領域があることがわ

かった（第 3 図）．これらの領域では SSE の累積すべり量が，この間のプレート相対運動と同程度であり，一時的にひずみが蓄積しても SSE によって概ね蓄積されたひずみが解消するのに対して，大正関東地震の震源域とこれらの SSE のすべり域の間には，SSE の発生しない空白域（第 3 図の Gap1 と Gap2）があることがわかった．西村 (2011) のプレート間固着の推定では，複数の房総 SSE を含む 14 年間（1997 年 2 月 ~2011 年 2 月）の平均変位速度を用いても，大正関東地震の震源域の東側の領域では固着していることが推定されており，房総半島南東沖では SSE の発生だけでは解消されないひずみが蓄積されている可能性がある．現在のところ，SSE の空白域における地震発生ポテンシャルは不明であるが，津波堆積物の調査から従来知られてきた大正型・元禄型関東地震とは異なる大地震が房総半島南東沖に発生したことも指摘されており [21]，相模トラフ沿いの地震発生ポテンシャルについて今後の研究が待たれる．

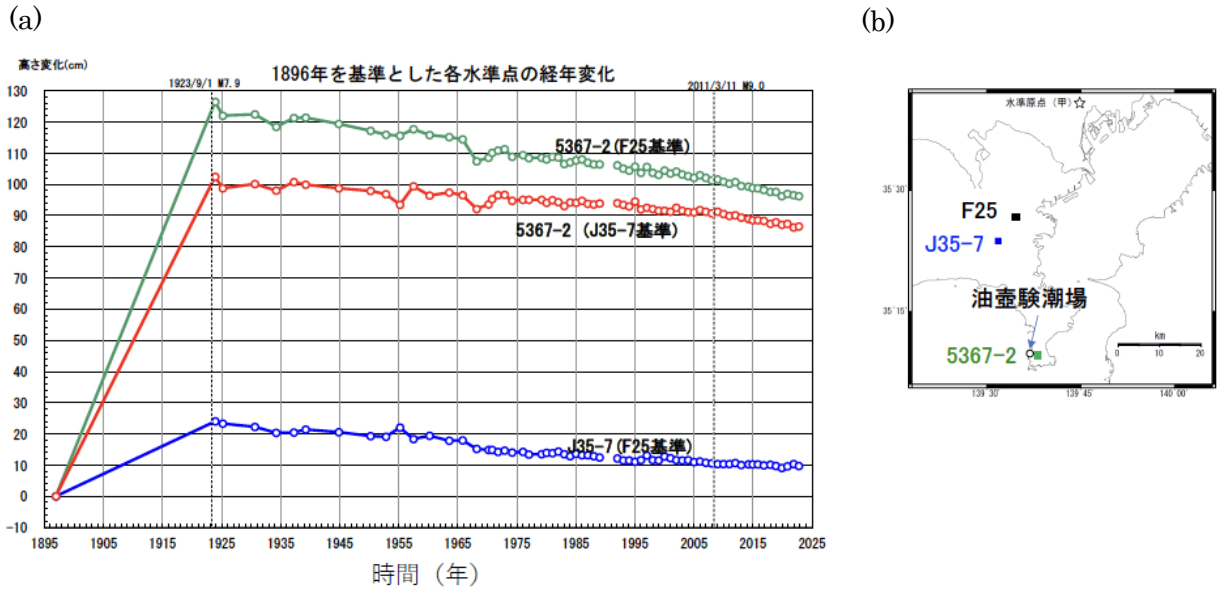
（京都大学防災研究所　西村卓也）
NISHIMURA Takuya

謝辞
　宗包浩志博士をはじめとする国土地理院の方々には，水準測量の数値データを提供いただきました．ここに記して感謝いたします．

参考文献

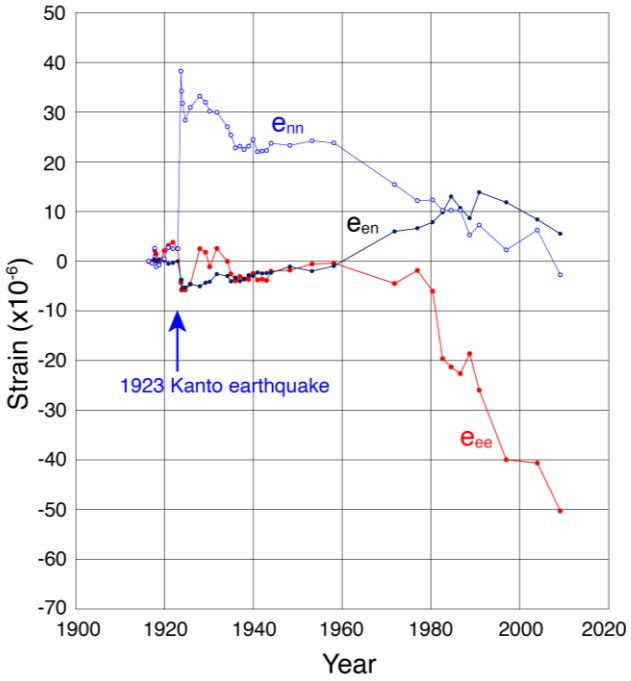
1) 国土地理院 (2023), 関東甲信地方の地殻変動 , *地震予知連絡会会報* , **109**, 177-182.
2) 海岸昇降検知センター (2023), 日本列島沿岸の年平均潮位（1894 年～ 2021 年）グラフ , https://cais.gsi.go.jp/cmdc/center/annualgra.html
3) 国土地理院 (2009), 関東甲信地方の地殻変動 , *地震予知連絡会会報* , **82**, 178-186.
4) Thatcher, W., and N. Fujita (1984), Deformation of the Mitaka Rhombus: Strain buildup following the 1923 Kanto earthquake, central Honshu, Japan, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, **89**(B5), 3102-3106, doi:10.1029/JB089iB05p03102.
5) 佐藤裕・市原満 (1971), 関東震災復旧三角測量について , *測地学会誌* , **17**, 178-186.
6) Fujii, Y., and K. Nakane (1983), Horizontal crustal movements in the Kanto-Tokai district, Japan, as deduced from geodetic data, *Tectonophysics*, **97**(1), 115-140, doi:10.1016/0040-1951(83)90134-8.
7) Ando, M. (1974), SEISMO-TECTONICS OF THE 1923 KANTO EARTHQUAKE, *J. Phys. Earth*, **22**(2), 263-277, doi:10.4294/jpe1952.22.263.
8) Sato, H., et al. (2005), Earthquake Source Fault Beneath Tokyo, *Science*, **309**(5733), 462-464, doi:10.1126/science.1110489.
9) Pollitz, F., M. Nyst, T. Nishimura, and W. Thatcher (2005), Coseismic slip distribution of the 1923 Kanto earthquake, Japan, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, **110**(B11), doi:10.1029/2005JB003638.
10) Matsu'ura, M., A. Noda, and Y. Fukahata (2007), Geodetic data inversion based on Bayesian formulation with direct and indirect prior information, *Geophys. J. Int.*, **171**(3), 1342-1351, doi:10.1111/j.1365-246X.2007.03578.x.
11) Sagiya, T. (2004), Interplate Coupling in the Kanto District, Central Japan, and the Boso Peninsula Silent Earthquake in May 1996, *Pure Appl. Geophys.*, **161**(11-12), doi:10.1007/s00024-004-2566-6.

12) Loveless, J. P., and B. J. Meade (2014), Kinematic Barrier Constraints on the Magnitudes of Additional Great Earthquakes Off the East Coast of Japan, *Seismol. Res. Lett.*, **86**(1), 202-209, doi:10.1785/0220140083.
13) 西村卓也（2011）, 関東南部の地震間地殻変動とプレート間カップリング , *地震予知連絡会会報* , **88**, 521-525
14) Nishimura, T., T. Sagiya, and R. S. Stein (2007), Crustal block kinematics and seismic potential of the northernmost Philippine Sea plate and Izu microplate, central Japan, inferred from GPS and leveling data, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, **112**(B5), doi:10.1029/2005JB004102.
15) Nishimura, T., Y. Yokota, K. Tadokoro, and T. Ochi (2018), Strain partitioning and interplate coupling along the northern margin of the Philippine Sea plate, estimated from Global Navigation Satellite System and Global Positioning System-Acoustic data, *Geosphere*, **14**(2), 535-551, doi:10.1130/ges01529.1.
16) Noda, A., C. Hashimoto, Y. Fukahata, and M. Matsu'ura (2013), Interseismic GPS strain data inversion to estimate slip-deficit rates at plate interfaces: application to the Kanto region, central Japan, *Geophys. J. Int.*, **193**(1), 61-77, doi:10.1093/gji/ggs129.
17) Hirose, H., H. Kimura, B. Enescu, and S. Aoi (2012), Recurrent slow slip event likely hastened by the 2011 Tohoku earthquake, *Proc Natl Acad Sci USA*, **109**(38), 15157-15161, doi:10.1073/pnas.1202709109.
18) Fukuda, J. (2018), Variability of the Space-Time Evolution of Slow Slip Events Off the Boso Peninsula, Central Japan, From 1996 to 2014, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, **123**(1), 732-760, doi:10.1002/2017jb014709.
19) Ozawa, S., H. Yarai, and T. Kobayashi (2019), Recovery of the recurrence interval of Boso slow slip events in Japan, *Earth Planets Space*, **71**(1), doi:10.1186/s40623-019-1058-y.
20) Nishimura, T. (2021), Slow Slip Events in the Kanto and Tokai Regions of Central Japan Detected Using Global Navigation Satellite System Data During 1994–2020, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **22**(2), doi:10.1029/2020gc009329.
21) Pilarczyk, J. E., et al. (2021), A further source of Tokyo earthquakes and Pacific Ocean tsunamis, *Nature Geoscience*, **14**(10), 796-800, doi:10.1038/s41561-021-00812-2.



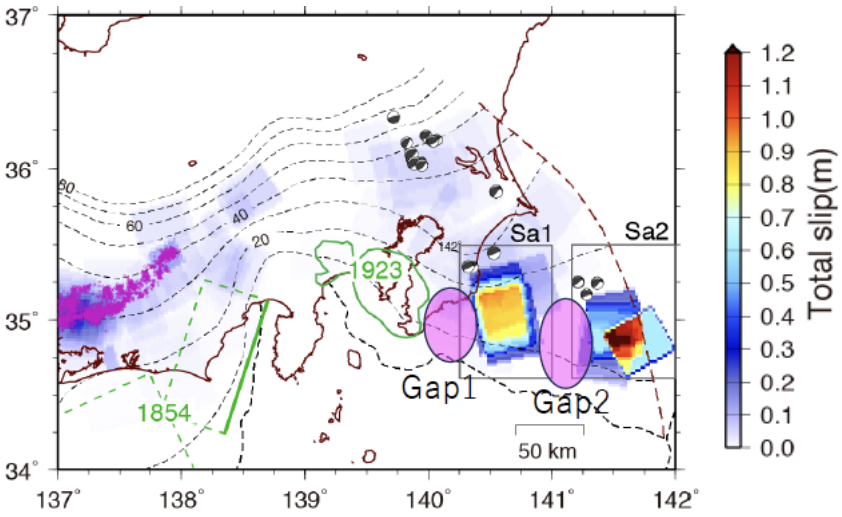
第 1 図　水準測量による三浦半島の上下変動．（a）時系列グラフ．（b）水準点の位置図．

Fig. 1　Vertical deformation of the Miura Peninsula observed by leveling. (a) Time-series. (b) Location of leveling benchmarks.



第 2 図　三鷹菱形基線で測定されたひずみ３成分の時系列グラフ．

Fig. 2　Time-series of 3 strain components measured at the Mitaka rhombus.



第 3 図　GNSS データから検出・推定された短期的 SSE の累積すべり量（1994 年 7 月～ 2019 年 11 月）(Nishimura, 2021 の Fig 7a に加筆).

Fig. 3　Cumulative slip of short-term slow slip events (SSEs) detected using GNSS data from July 1994 to November 2019 (Modified from Fig. 7a of Nishimura, 2021).

11 － 4　1923 年関東大震災と南関東の強震動
The 1923 Great Kanto Earthquake Disaster and its strong ground motions in the southern Kanto district

諸井　孝文（J-POWER 設計コンサルタント）
Takafumi Moroi (J-POWER Design Co., Ltd.)

1．はじめに

1923 年関東地震は首都圏に最大級の被害を与え，その後の耐震設計や防災計画にひとつの基準を与えた地震である．この地震には数多くの調査報告書や各地の郷土史料に被害統計が残されており，今日においても被害の実態を垣間見ることができる．関東地震は近代化した首都圏を襲った唯一の巨大地震であり，残された資料に学ぶべき点は多い．ところが一方で，複数の資料を見比べると多くの相違点が散見され，それらが被害データの活用を妨げる原因となっていた．

本稿では諸井・武村 (2002)[1]，諸井・武村 (2004)[2] 及び諸井・武村 (2006)[3] に基づき，1923 年関東地震の被害資料に対して詳細な検討を加え，その結果を踏まえて作成した被害データベースの概要を示す．次にそこから得られる関東大震災の特徴ならびに南関東の強震動と地形・地質との関連性について議論する．最後に関東大震災における大規模火災の原因とその再来について考察する．

2．住家被害及び人的被害のデータベース

1923 年関東地震の実像を伝える代表的な資料に震災予防調査会報告第 100 号がある．これは全 6 編で構成され，そのうちの甲（地震編）に載せられた今村 (1925)[4] の各府県別被害調査表（第 1 表）は，長期にわたり関東大震災の概要として取り上げられてきた．しかしながら，この表に示された被害データには次のような問題点が指摘される．

① それぞれの被害数の出典が記されていない
② 東京府の膨大な行方不明者数にも係らず，大規模火災が生じた東京市は異常に少ない
③ 家屋数の単位が建物棟数か世帯数か不明であり，かつ住家・非住家の区別が無い
④ 焼失・流失家屋数に全半壊家屋が含まれているのか不明である

一方，被災地全域を網羅した被害資料として松澤 (1925)[5]，内務省社会局 (1926)[6] 及び内務省社会局 (1924)[7] があげられる．前半の 2 資料は第 1 図に見るとおり，地方自治体や管轄警察署の報告が主体である．最後の資料はそれとは異なり，地震直後に政府の勅令で設置された臨時震災救護事務局によって行われた全国一斉のアンケート方式による罹災者の後追い調査がまとめられている．このアンケート調査は，国による罹災状況の把握に加え，震災や復興に伴う人口動態調査が目的であった．

被害データの問題点の例として，第 2 図に松澤 (1925)[5] のデータ（松澤データ）と内務省社会局 (1926)[6] のデータ（内務省データ）の全壊数を比較する．埼玉県や千葉県では概ね一致するものの，東京市や神奈川県では違いが大きい．これは埼玉県や千葉県のデータに住家・非住家の分類があるのに対し，東京府や神奈川県では区別されていないこと，さらに東京市の内務省データの単位が他と異なり世帯数であることなどが原因である．また火災被害の大きい本所区，浅草区，神田区などの内務省データからは全壊後に焼失した世帯数が除かれているため，松澤データの全壊棟数よりも極端に少ない値が示されている．

こうした被害資料間のくい違いをデータの統計処理を介して取り除き，市区町村単位の住家被害ならびに人的被害のデータベースを作成した．第 2 表にはその府県ならびに主要 3 市の集計を示す．

3. 関東大震災の特徴

第 2 表によれば，関東大震災の住家被害は合計 37 万棟以上，総死者数は 10 万 5 千余名にのぼり，住家被害の約 57%，死者数の約 87% は火災が発生要因となっている．特に東京市と横浜市の焼死者をあわせると総死者数の約 86% を占め，両市の火災が大震災の中心と見て間違いはない．ところが同時に，揺れによる住家全壊あるいは津波や山崩れ等による流失・埋没からも膨大な犠牲者が生じている．住家全壊による死者数 11,086 名だけを見ても 1891 年濃尾地震（7,273 名）や 1995 年兵庫県南部地震（関連死除き 5,504 名）を凌ぐ大きさであり，関東大震災は甚大な火災被害に留まらず，あらゆる震災が首都圏を含む南関東一円を同時に襲った歴史的な災害であったと言える．

市区町村別の住家全壊率及び震度の分布を第 3 図，被害要因別の死者数の分布を第 4 図にそれぞれ示す．震源断層の直上から埼玉県東部にかけての一帯で高い全壊率や震度の広がりが現れている．ところが被災状況は一様ではなく，地域ごとのばらつきが目立つ．また住家全壊を要因とした死者数は当然ながら住家全壊率と対応して広く分布するが，火災や流失・埋没による死者はそれと異なり局所的に発生し，特に焼死者は東京市と横浜市で極端に集中していたことが良くわかる．また大正期の基幹産業であった紡績工場などの産業施設において，作業場や寄宿舎で就寝中あるいは移動中の女工などの職工に大量の犠牲者が発生したことは，当時の社会背景を知る上からも見逃せない．

住家全壊率及び焼失率に伴う死者の増加率を第 5 図に示す．これは焼失率が全壊率の 10 分の 1 以下の市区町村を非火災地域，それ以上を火災地域と定義し，左図は非火災地域の全壊率 Y に伴う死者増加率，右図は火災地域の焼失率 Y_B に伴う死者増加率を表している．ここで死者増加率とは実際の死者数 D と住家全壊による死者数の推定値 D_0 の比としており，D_0 は非火災地域の分析をふまえて全壊住家の居住者の 1.634% と見なしている．非火災地域の左図は，揺れが強く全壊率が大きい地域においても全壊住家 1 棟あたりの死者数に大きな変化が見られない．これに対し火災地域の右図からは焼失率に伴って死者数が大幅に増加する傾向が認められ，平均的に見ると焼失率が 80% を越えた地域では火災が無い場合の 15 〜 30 倍の死者が発生したことを示している．

4. 住家全壊率から推定される強震動

先の第 3 図では住家全壊率ないし震度の広がりが一様ではないことを述べた．この現象は強震動が震源からの距離ばかりでなく，地形・地質などの地盤条件に左右される可能性を示唆している．そのことを明確にするため，第 6 図では南関東の地形・地質を地質調査所 (1995)[8] より作成し，震度分布との関係について示している．震源断層直上に位置する神奈川県の相模川低地や酒匂川低地，千葉県の館山低地では大半が震度 7 に達しており，周辺の台地・丘陵地にも震度 6 強以上の強い揺れが生じている．一方，震源から離れた埼玉県東部の中川低地・荒川低地から東京湾沿岸の東京低地にも高震度の帯が発生し，台地との境界をトレースするように震度 6 弱以上が認められる．

次に，埼玉県東部から東京湾沿岸に現れた沖積低地の強震動についてさらに考える．これらの低地は江戸初期まで利根川や荒川などの大河川が集合する地域であり，それが高震度の帯と密接に関連する可能性が高い．大河川が現在の流路に改変される以前の水脈想定図を吉田 (1910)[9] より引用し，震度分布と重ねて第 7 図に示す．大宮台地東側の中川低地には荒川，利根川，太日川というかつての大河川が流れており，その流域と高震度の帯が見事に一致する．大宮台地と武蔵野台地間の

荒川低地も同様であり，中心を流れる入間川に沿って高い震度が広がっている．埼玉県東部に認められるこのような高震度の原因として大河川流域の堆積地盤の影響が考えられるが，それ以上に大河川を形成した基盤の谷地形が根本的な要因と見た方が合理的である．最近では本震直後の余震やフィリピン海プレートの深さが埼玉県東部の強震動の原因とする議論もあるが，低地に沿って北に伸びる高震度の帯を考えるにあたり，深く刻まれた基盤構造の影響は無視できないであろう．

5. 火災による大震災の原因と再来

中村 (1925)[10] によれば関東大震災における東京府の火元の数は 163 個であるが，そのうち延焼火災に発展した起災火元は 84 個であった．これに対し 1855 年安政江戸地震の起災火元は 66 個であり，両者に著しい違いは無い．しかしながら焼失面積は大きく異なり，安政江戸地震の 1.5km^2（中村・他 (2005)[11]）に比べると関東大震災は 38km^2（中村 (1925)[10]）と極端に広い．

焼失面積の違いの原因として風の影響が考えられる．安政江戸地震当時の天候は薄曇り，風は微風に対し，関東大震災時は前日に九州の有明海に上陸した台風が勢力を弱めながら日本海を北上し，曇りがちで蒸し暑く，帽子を飛ばすほどの突風が吹いていた．関東大震災における大規模な延焼火災とそれに伴う膨大な数の焼死者は，こうした気象条件が強く影響したものと考えられる．

藤原 (1924)[12] は，関東地震前後の東京の気圧，気温，風向，風速を記録している．その中から東京元衛町（大手町）の中央気象台で観測された風速の変化を第 8 図に示す．本所被服廠跡で火災旋風が発生した 9 月 1 日 16 時以降から風速は急激に増加し，23 時には約 22m/s のピークを迎えている．しかしながら藤原 (1924)[12] は，同日夜半前後に風速が強まったのは神田日本橋方面の猛火のためと推測している．つまり大規模火災をもたらした風速は，発震時の正午から火災旋風拡大前の 18 時の 10 ～ 15m/s とするのが妥当である．次に現在の風速を理科年表の 1991 年～ 2020 年平均値で調べると，東京において日最大風速が 15m/s 以上となる日数は 0.4 日 / 年となっている．つまり大震災をもたらした風速を超える 15m/s 以上の強風は，2.5 年に 1 回程度の発生が予想されることになる．大震災時の強風はそれほど特殊な気象条件とは言えず，大地震との同時発生も想定すべき事象であろう．

6. まとめ

1923 年関東大震災に関する既往資料の問題点を分析し，その結果をふまえて住家被害と人的被害のデータベースを作成した．総死者数 10 万 5 千余名の約 86% は東京市及び横浜市の焼死者であり，両市の大規模火災をこの大震災の中心と見て間違いはない．ところが同時に，揺れ・津波・山崩れ等のあらゆる震災が首都圏を含む南関東一円で同時に襲った歴史的な災害であったとも言える．住家全壊率から強震動を推定すると，震源断層直上から埼玉県東部の沖積低地に震度 6 弱から震度 7 に至る高震度地帯が現れ，南関東の地形・地質ならびに旧河川流路との強い相関が認められた．関東大震災における大規模火災の主要因は台風の余波による風速 10 ～ 15m/s の強風であったが，この程度の強風は特殊な気象条件とは言えず，大地震との同時発生も想定すべき事象であろう．

（J-POWER 設計コンサルタント　諸井　孝文）
MOROI Takafumi

参考文献

1) 諸井・武村 (2002), *日本地震工学会論文集* , **2**, 35-71. 関東地震（1923 年 9 月 1 日）による木造住家被害データの整理と震度分布の推定.
2) 諸井・武村 (2004), *日本地震工学会論文集* , **4**, 21-45. 関東地震（1923 年 9 月 1 日）による被害要因別死者数の推定.
3) 諸井・武村 (2006), *歴史地震* , **21**, 47-58. 1923 年関東地震における死者発生のプロセス－ 1855 年安政江戸地震との比較をふまえて－.
4) 今村 (1925), *震災予防調査会報告* , **100(甲)**, 21-140. 関東大地震調査報告.
5) 松澤 (1925), *震災予防調査会報告* , **100(甲)**, 163-260. 木造建築物に依る震害分布調査報告.
6) 内務省社会局 (1926), *大正震災志（上）*, 1236pp.
7) 内務省社会局 (1924), *震災調査報告* , 162pp.+141pp.
8) 地質調査所 (1995), *100 万分の 1 日本地質図第 3 版 CD-ROM 版* , 数値地質図 G-1.
9) 吉田 (1910), 利根治水考 , *日本歴史地理学会* , (復刻版 , 1974, 崙書房), 254pp.
10) 中村 (1925), *震災予防調査会報告* , **100(戊)**, 81-134. 大地震による東京火災調査報告.
11) 中村・茅野・松浦 (2005), *歴史地震* , **20**, 223-232. 安政江戸地震（1855）の江戸市中の焼失面積の推定.
12) 藤原 (1924), *関東大震災調査報告 (気象篇), 中央気象台* , 161pp.
13) Kanamori (1971), *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, **49**, 13-18. Faulting of the great Kanto earthquake of 1923 as revealed by seismological data.

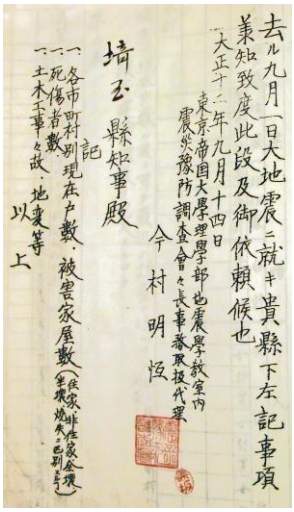
第 1 表　今村 (1925)[1] による各府県別被害調査表.

Table 1　Damage survey table for each prefecture by Imamura(1925).

第二表　大正十二年九月一日大地震

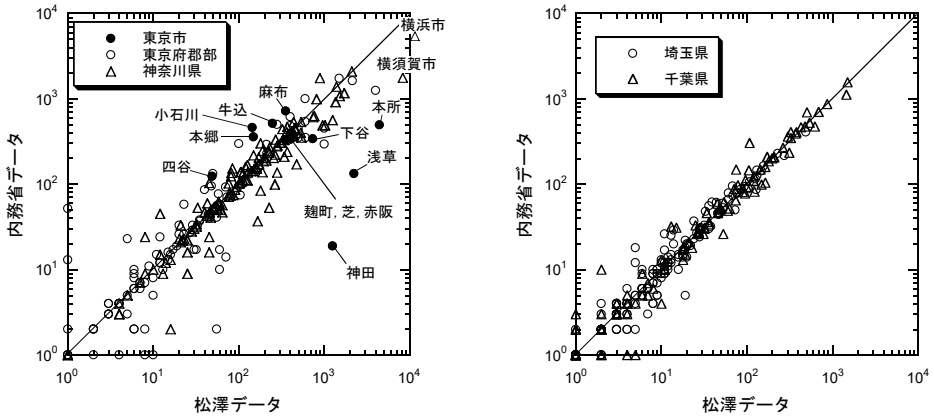
各府縣別被害調査表

府縣	死者ノ數	傷者ノ數	行方不明者	家屋數 全潰	半潰	焼失	流失	合計(全潰ノ外ヲ含ム)
神奈川(横濱横須賀ヲ含ム)	29065	56269	4002	62887	52863	68569	136	131592
横濱市	23440	42053	3183	11615	7992	58981		70496
横須賀市	540	982	125	8300	2500	3500		11800
東京(東京市ヲ含ム)	68215	42135	39304	20179	34632	377907		398086
東京市	59065	15674	1055	3886	4230	366262		370148
千葉	1335	3426	7	31186	14919	647	71	31904
埼玉	316	497	95	9268	7577			9268
山梨	20	116		1763	4994			1763
靜岡	375	1243	68	2298	10219	5	661	2964
茨城	5	40		517	681			517
長野				45	176			45
栃木		3		16	2			16
群馬		4		107	170			107
合計	99331	103733	43476	128266	126233	447128	868	576262



第 1 図　審査予防調査会から埼玉県への調査依頼書.

Fig. 1　Damage investigation request letter from the Investigation Committee to Saitama Prefecture.



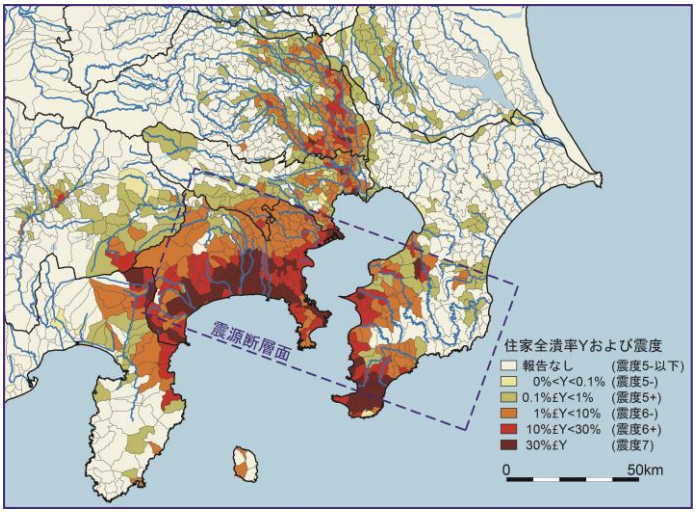
第 2 図　松澤データと内務省データの全壊数の比較.

Fig. 2　Comparison of collapse numbers between the Matsuzawa data and the Ministry of Home Affairs data.

第 2 表　市区町村データベースに基づく住家被害棟数及び死者数の集計.

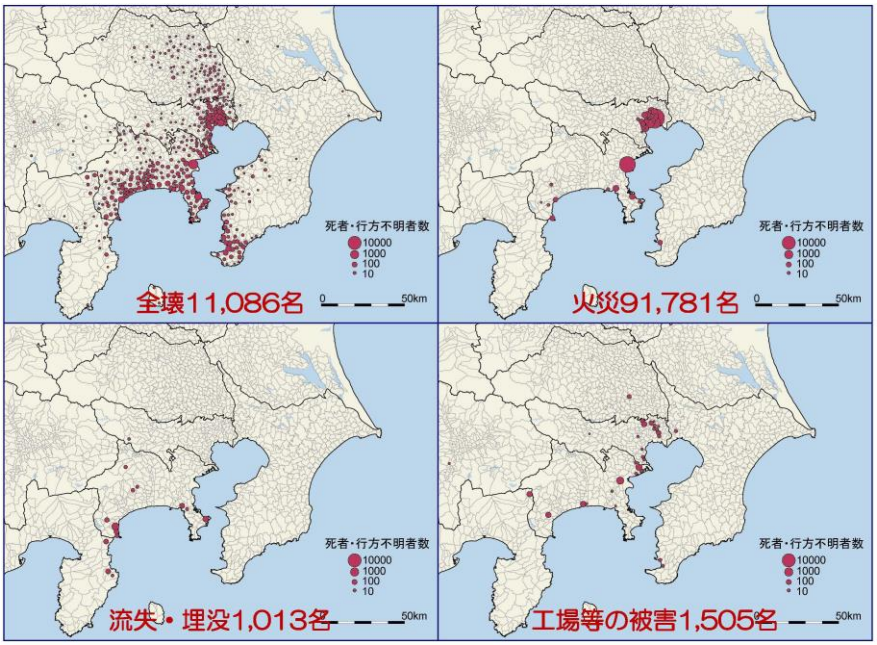
Table 2　Statistics of structural damage and casualties based on the detailed database.

府県	住家被害棟数 全潰	(うち)非焼失	半潰	(うち)非焼失	焼失	流失埋没	合計	死者数(行方不明者含む) 住家全潰	火災	流失埋没	工場等の被害	合計
神奈川県	63577	46621	54035	43047	35412	497	125577	5795	25201	836	1006	32838
東京府	24469	11842	29525	17231	176505	2	205580	3546	66521	6	314	70387
千葉県	13767	13444	6093	6030	431	71	19976	1255	59	0	32	1346
埼玉県	4759	4759	4086	4086	0	0	8845	315	0	0	28	343
山梨県	577	577	2225	2225	0	0	2802	20	0	0	2	22
静岡県	2383	2309	6370	6214	5	731	9259	150	0	171	123	444
茨城県	141	141	342	342	0	0	483	5	0	0	0	5
長野県	13	13	75	75	0	0	88	0	0	0	0	0
栃木県	3	3	1	1	0	0	4	0	0	0	0	0
群馬県	24	24	21	21	0	0	45	0	0	0	0	0
合計	109713	79733	102773	79272	212353	1301	372659	11086	91781	1013	1505	105385
(うち)												
東京市	12192	1458	11122	1253	166191	0	168902	2758	65902	0	0	68660
横浜市	15537	5332	12542	4380	25324	0	35036	1977	24646	0	0	26623
横須賀市	7227	3740	2514	1301	4700	0	9741	495	170	0	0	665



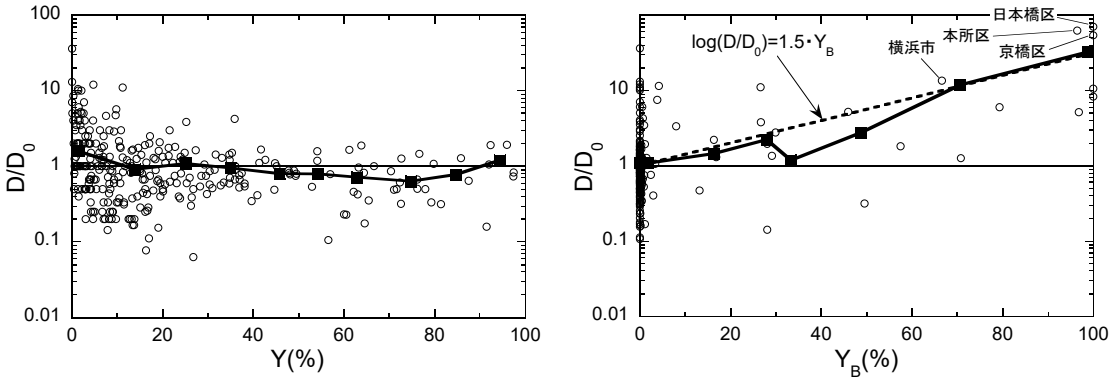
第 3 図　市区町村別の住家全壊率及び震度の分布．破線は Kanamori(1971)[13] による震源断層の地表投影を示す．

Fig. 3　Distribution of housing collapse rate and seismic intensity. Broken lines indicate surface projection of the fault plane after Kanamori(1971)[13].



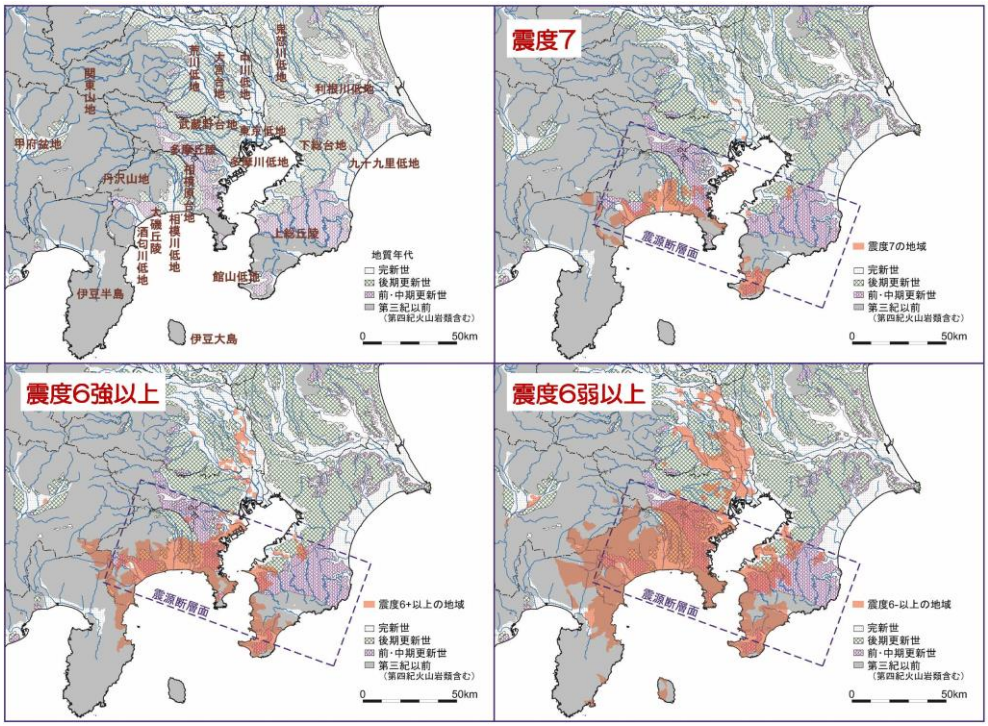
第 4 図　被害要因別の死者数の分布．

Fig. 4　Distribution of death tolls by cause of death.



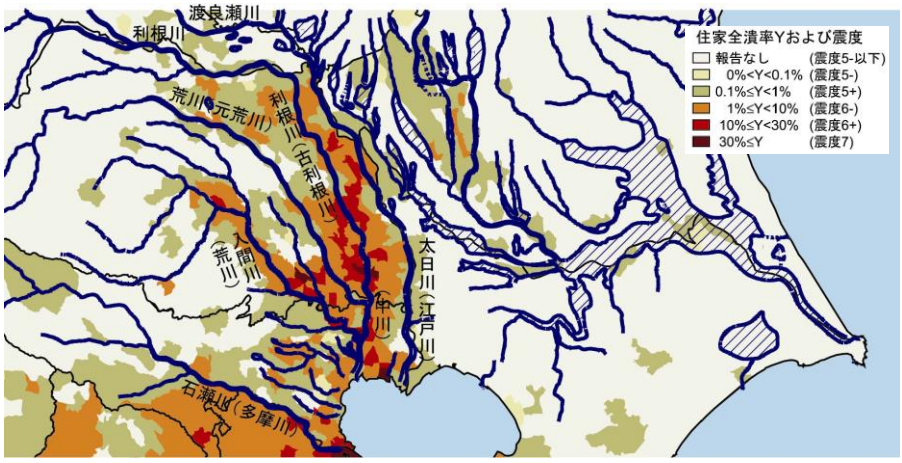
第 5 図　非火災地域の住家全壊率 Y 及び火災地域の焼失率 YB に伴う死者増加率．

Fig. 5　Increase rate of death toll due to collapse rate Y in non-fire areas and burnt down rate YB in fire areas.



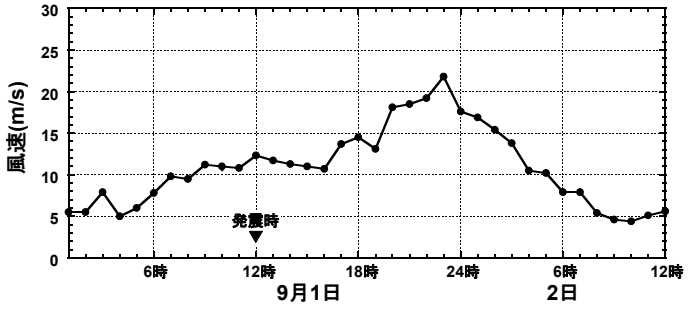
第 6 図　南関東の地形・地質と震度分布の関係.

Fig. 6　Relationship between topography/geology and seismic intensity distribution in southern Kanto district.



第 7 図　埼玉県東部から東京湾に至る地域の旧河川流路と震度分布の関係.

Fig. 7　Relationship betweeen old river flows and seismic intensity distribution in the area from eastern Saitama Prefecture to Tokyo Bay.



第 8 図　1923 年関東地震当時の東京元衛町（大手町）の中央気象台における風速.

Fig. 8　Wind speeds observed at the Central Meteorological Observatory in Motoecho(Otemachi), Tokyo at the time of the 1923 Kanto Earthquake.

11 － 5　津波から見える 1923 年関東地震の震源過程
Source process of the 1923 Kanto earthquake using tsunami data

北海道大学大学院理学研究院地震火山研究観測センター
Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University

1923 年に発生した関東大地震の詳細については震災予防調査会報告（第 100 号）により詳細に報告されている．地震の震源過程については，これまで測量に基づく地震時地殻変動データや地震波形記録を用いて詳しく調査されてきた（例えば，Wald and Somerville, 1995; Matsuura et al., 2007; Kobayashi and Koketsu, 2005）．さらに，関東地震は津波も発生させ特に伊豆半島沿岸で大きな津波被害が出た．相田（1978）はこれら伊豆半島沿岸の津波を説明するには，プレート境界の断層モデルだけでは難しく，伊豆半島沖の垂直に近い小さな断層の動きが必要だとされた．

また，震災予防調査会報告（第 100 号）には東京湾沿岸での検潮所で記録された津波波形を含めて多くの津波波形記録が収録されている．しかし，現在までこれらの津波波形記録は震源過程解析には使用されてこなかった．そこで Nakadai et al. (2023) はこれら検潮記録と測量に基づく地震時地殻変動記録を同時にインバージョンに用いる事で震源過程の推定を試みた．本報告では Nakadai et al. (2023) の研究成果をレビューする．東京湾での検潮記録を利用するためには，1923 年当時の地形を再現する必要がある．現在の東京湾は埋め立てにより当時とは大きく異なっている．当時の東京湾を古地図から再現する事で津波数値計算を可能にした．また，相模トラフから沈み込んでいるフィリピン海プレートの上面の形状は複雑で長方形の小断層では表現できないため，三角断層を利用してプレート境界を表現する事で，津波波形及び地震時地殻変動のグリーン関数を計算する事とした．津波波形は東京湾内の 3 検潮所（芝浦・深川・千葉）と茨城県（湊町）のデータを利用した．地震時地殻変動データは水準測量による 683 カ所での鉛直変位を用いた．津波波形と地震時鉛直変位のジョイントインバージョンによりすべり量分布を推定した結果は，それまでに推定されていた Matsuura et al. (2007) や Kobayashi and Koketsu (2005) の結果と同じく 2 つの大きなすべり域が存在する事を示した．しかし，詳細の見ると相模の沖合（相模トラフ近傍）に 9 m程度の大きなすべり量が推定され，この場所でのすべりはこれまでの結果とは違っていた．さらにこのすべりを必要とするのは過去の解析では使用されていなかった津波波形である事も確認できた．そこで推定されたすべり量分布を用いて，伊豆半島沿岸の津波遡上を計算する事とした．そのため，２秒格子の詳細な海底地形データと陸上地形データを作成し，津波の遡上計算を実施した．その結果，相田（1978）によって示された伊豆半島沿岸での調査津波高を上手く説明できる事が分かった．つまり，伊豆半島沿岸の津波波高分布はプレート境界のすべりで概ね説明可能であることが判明した．ただし，震災予防調査会報告（第 100 号）にも報告されている初島での大きな隆起（約 2 m）はこのモデルでは説明できていない．この隆起を説明するためにはまだ，伊豆半島沖の小断層は必要かもしれない．今後のさらなる研究に期待する．研究成果の詳細は Nakadai et al. (2023) を参照.

（谷岡勇市郎）
TANIOKA Yuichiro

参考文献

1) Wald　D. J, and Somerville　P. G. (1995), Variable‐slip rupture model of the great 1923 Kanto, Japan, earthquake: Geodetic and body‐waveform analysis, *Bull. Seismol. Soc. Am.* **85**, 159–177.
2) Matsu’ura M. Noda A., and Fukahata Y. (2007). Geodetic data inversion based on Bayesian formulation with direct and indirect prior information, *Geophys. J. Int.* **171**, 1342–1351.
3) Kobayashi R., and Koketsu K. (2005), Source process of the 1923 Kanto earthquake inferred from historical geodetic, teleseismic, and strong motion data, *Earth Planets Space* **57**, 261–270.
4) Nakadai, Y., Y. Tanioka, Y. Yamanaka, T. Nakagaki (2023). Re‐Estimating a Source Model for the 1923 Kanto Earthquake by Joint Inversion of Tsunami Waveforms and Coseismic Deformation Data, Bull. Sei. Soc. Am., doi:10.1785/0120230050

11 － 6　関東地震の履歴の再評価
Reevaluation of the History of the Kanto Earthquake

産業技術総合研究所　宍倉正展
Geological Survey of Japan/AIST, Masanobu SHISHIKURA

1．はじめに

相模トラフ沿いのプレート境界を震源とする巨大地震（関東地震と呼ぶ）の履歴は，1703 年元禄関東地震（M8.2）と 1923 年大正関東地震（M7.9）（以下，元禄地震および大正地震と呼ぶ）以外には確実な歴史記録がなく，おもに地形や地層に残された痕跡から復元されてきた．地震調査研究推進本部による長期評価では，海岸段丘などの年代に基づいて平均発生間隔は約 390 年，ばらつきを考慮すると 180 ～ 590 年と算出している [1]．また平均 2300 年間隔で元禄型とされる規模の大きな地震も想定されてきた．しかし近年，房総半島南部の海岸段丘について研究が進み，元禄型地震の発生年代が見直されるようになった．また歴史上の関東地震についても史料の検討が進み，元禄と大正以外の地震についても候補となる歴史地震が提案されるようになった．さらに伊豆半島東部でも新たな隆起痕跡の報告がある．そこで本稿では，最近 10 年ほどの間に進んだこれらの関東地震の履歴の再評価に関する研究について紹介する．

2．海岸段丘（沼面群）からみた従来の関東地震の履歴

房総半島南部沿岸には標高 30 m 以下に複数段の完新世海岸段丘が発達しており，古くから研究が進められてきた．段丘はおおまかに 4 面に区分され，高位から沼Ⅰ～Ⅳ面と呼ばれる [2]．沼Ⅳ面は元禄地震の隆起で形成されていることから，沼Ⅰ～Ⅲ面も同様の隆起（元禄型地震）で形成されたとみなされ，その年代は 7200 年前，5000 年前，3000 年前とされてきた．一方，大正型地震の隆起は房総半島南西部の岩井や保田の離水浜堤列に記録され，平均 400 年程度の発生間隔が推定されている [3]．大正型地震はおもに相模湾のプレート境界（第 1 図 A の領域）のみが破壊し，房総半島南東沖（第 1 図 B，C の領域）まで破壊域が拡がるのが元禄型地震と定義される [4]．この房総半島南東沖の断層における元禄地震時のすべり量は 10 ～ 15 m 程度と推定される [5]．これが元禄型地震で平均 2300 年おきに破壊される場合，測地観測によるプレートのすべり欠損速度がおよそ 30 mm/year と推定されている [6] ので，1 回あたり 70 m 近くもすべらないと収支が合わない．このため筆者は，第 195 回地震予知連絡会の重点検討課題において，沼面群の年代が房総半島の相模湾側と太平洋側で一致しない可能性 [7] と，これを根拠として房総南東沖のみが破壊する地震がより高頻度で起き，収支を合わせている可能性を指摘した [8]．

3．最近の調査研究による海岸段丘（沼面群）の再検討

その後沼面群の年代について，特に房総半島の太平洋側で再評価するため，千倉低地において集中的なボーリング調査が行われた．その結果，沼Ⅰ～Ⅲ面の年代は従来と比べて全体的に若くなることが明らかになった [9]．これは一見すると前述の沼面群の年代が相模湾側と太平洋側で一致しない可能性を肯定するように見える．そこで次に，千倉低地の段丘が相模湾側の段丘とは実際に異なる面なのかどうかを検証するため，航空レーザー測量に基づく高解像度 DEM を用いた地形解析を行った [10]．従来の空中写真判読に基づいた段丘の地形判読では，館山と千倉との間にある平砂浦

という地域で段丘が砂丘砂に覆われているため，地域間での段丘面対比を困難にしていた．この研究では機械学習によって各段丘の旧汀線の地形を自動抽出する手法を開発し，千倉から館山にかけての段丘面の連続性を確認した．その結果，沼Ⅰ～Ⅲ面はいずれも平砂浦を挟んで連続して分布することがわかり，各段丘面間の比高もほぼ同程度であることが明らかになった．すなわち沼面群は各面とも相模湾側から太平洋側まで一連の面であり，それらの離水をもたらす隆起イベントは，毎回ほぼ同じパターンと規模を示している．したがって結果的に沼面群の年代が相模湾側と太平洋側で一致しない可能性は否定され，館山低地を含めた従来の沼面群の年代自体の再検討が必要になった．そこで房総半島南部全域において，既存研究も含めたすべての年代測定データを用いて，段丘堆積物の再堆積の効果も考慮しながら統計分析を行い，沼面群の年代を再評価した [11]．その結果，沼Ⅰ面が約 5700 年前，沼Ⅱ面が約 3200 年前，沼Ⅲ面が約 2000 年前と推定され，再来間隔は 1200 ～ 2500 年とばらつくことが明らかになった（第 1 図）．

これらの結果が示すことは，見かけ上隆起の規模（断層すべり量）は毎回同程度なのに，その歪の蓄積期間（再来間隔）はばらつくということである．フィリピン海プレートが一定の速度で沈み込んでいるとすると，歪とすべりとの収支が合わない．また前節で指摘されていたすべり欠損速度との矛盾も解決していないままである．これらの課題に対して，プレートの沈み込みモデルの再検討が行われており，房総半島南部直下のフィリピン海プレート上面に海山状の凸部がある効果を考慮したすべり領域の分割などで説明する考えなどが示されている [12]．

4. 歴史記録に残る関東地震の候補

歴史上の関東地震として，元禄地震と大正地震以外で今のところ最も可能性が高いとされているのは 1293 年正応（永仁）鎌倉地震である．その根拠として，歴史記録はもちろんであるが，三浦半島での津波堆積物の発見 [13] や房総半島南西部の離水浜堤列の存在 [3] からも裏付けられ，地震調査研究推進本部の長期評価でもすでに取り入れられている．この地震はいわゆる大正型に相当するものとみなされるが，一方で国府津―松田断層が活動した可能性も指摘されている [14]．つまりプレート間地震に連動して内陸活断層の活動も伴っていたと考えられる．このほか 878 年元慶地震が，かつては伊勢原断層の活動と考えられてきた [15] が，その後関東地震の候補とされ，この時代の海岸隆起の痕跡が鎌倉・逗子の地層 [16] や房総半島南西部の離水浜堤列 [3] で見つかっている．この地震は歴史記録も地形・地質痕跡データもまだ不足しているが，もし仮に関東地震の 1 つとすると 878 年，1293 年，1703 年とおおよそ 400 年間隔となり，房総半島南西部の離水浜堤列から推定される平均再来間隔と整合する（第 2 図）．

一方で近年，注目されているのは 1293 年と 1703 年の間に 1495 年明応関東地震が発生したという説である．従来から明応年間に鎌倉で津波被害があったことは歴史記録で知られていたが，1498 年（明応七年）の明応東海地震による津波とみなされていた [17]．歴史記録に記された日付は明応四年すなわち 1495 年であったが，誤記という判断であった．その後，歴史記録の再検証から明応四年の記述の信憑性が高いことがわかり，また伊東の宇佐美遺跡における津波痕跡の発見などから 1495 年明応関東地震が提唱されるようになった [18]．この場合，1293 年，1495 年，1703 年，1923 年とほぼ 200 年の発生間隔である（第 2 図）．ただし津波の地質痕跡は必ずしも相模トラフ沿いの地震（関東地震）でなくとも形成されうる．1495 年明応関東地震を裏付けるには，房総半島や三浦半島で明応に相当する隆起の痕跡を認定することが重要であるが, 今のところ見つかっていない．

5. 伊豆半島東部の海岸隆起痕跡が意味すること

最近，伊豆半島東部の伊東周辺の海岸において，少なくとも 3 つのレベル（Zone 1 ～ 3）の隆起痕跡が見つかった [19]．そのうちの Zone 2 が明応年間を含む 15 ～ 16 世紀頃の年代を示す．最低位の Zone 3 は大正地震後の 1930 年と 1970 ～ 1990 年代に群発地震を伴うマグマ活動による隆起で離水したことがわかっている．このため Zone 2 以上もマグマ活動の隆起を示す可能性が高いものの，地震性隆起の可能性も否定はできない．伊豆半島東方沖には西相模湾断裂が提唱され，大正地震における真鶴や初島の隆起を説明する断層が指摘されている [20] が，仮にこの断層を南方まで延長して活動させれば伊東の海岸も隆起する．したがって 1495 年明応の地震が西相模湾断裂とその南方延長の活動によるものという考え方もできる．西相模湾断裂は相模トラフでは下盤側のフィリピン海プレート内の断層であるので, これが単体で動いたのであれば関東地震とはメカニズムが異なり，三浦半島や房総半島で明応の隆起痕跡が見つからないことと整合する．西相模湾断裂の活動によって発生する津波で，明応の鎌倉の津波被害や宇佐美遺跡の津波痕跡が説明可能かどうかは今後検証していく必要があるだろう．

6. 今後に向けて

本稿で示したように関東地震の履歴はこの 10 年ほどの間に新たな知見が増えた．特に房総半島南部の沼面群については年代，高度分布ともにおおよそ確定できたと言える．しかし実は沼 I 面よりも高位に分布，年代ともにまだ確定できていない不連続な段丘面がある．またいわゆる大正型の隆起を記録した段丘についても年代データが不足しており，今後これらの解明が求められる．歴史上の関東地震についても候補となる歴史地震の理解が進んでおり，1293 年正応（永仁）の地震はかなり確度が高い．一方，検証が進む 1495 年明応の地震については地形，地質の証拠による裏付けが不足しており，現時点でまだ関東地震と認定することは難しい．最近発見された伊東の隆起痕跡からは新たな明応の地震像を示すことができる可能性もあり, 今後のさらなる検証が必要である．

参考文献

1) 地震調査委員会（2004）：相模トラフ沿いの地震活動の長期評価について，http://www.jishin.go.jp/main/chousa/04aug_sagami/index.htm, .
2) 中田　高・木庭元晴・今泉俊文・曹　華龍・松本秀明・菅沼　健（1980）：房総半島南部の完新世海成段丘と地殻変動，*地理学評論*，**53**，29-44.
3) 宍倉正展（2003）：変動地形からみた相模トラフにおけるプレート間地震サイクル , *東京大学地震研究所彙報*，**78**，245-254.
4) Shishikura, M. (2014) : History of the paleo-earthquakes along the Sagami Trough, central Japan: Review of coastal paleoseismological studies in the Kanto region, Episodes, 37, 246-257, doi: 10.18814/epiiugs/2014/v37i4/004.
5) 行谷佑一・佐竹健治・宍倉正展（2011）：南関東沿岸の地殻上下変動から推定した 1703 年元禄関東地震と 1923 年大正関東地震の断層モデル，*活断層・古地震研究報告*，**11**，97-106.
6) Sagiya, T. (2004) : Interplate coupling in the Kanto District, central Japan, and the Boso Silent earthquake in May 1996, *Pure Appl. Geophys.*, v. **161**, pp. 11-12, 2601-2616.
7) 宇野知樹・宮内崇裕・宍倉正展（2007）：完新世離水海岸地形からみた相模トラフ沿いのプレート間地震の再検討－内房と外房で対比されない海成段丘の存在から－，*日本地球惑星科学連合*

2007 年大会予稿集，S141-007.

8) 宍倉正展（2012）：相模トラフ沿いの海溝型地震の新しい解釈，*地震予知連絡会会報*，第 88 巻，536–539.

9) Komori, J., Shishikura, M., Ando, R., Yokoyama, Y. and Miyairi, Y. (2017) : History of the great Kanto earthquakes inferred from the ages of Holocene marine terraces revealed by a comprehensive drilling survey. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **471**, 74–84. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2017.04.044

10) Komori, J., Ando, R. and Shishikura, M. (2020) : Cluster analysis of marine terraces and quantitative seismotectonic interpretation of the Boso Peninsula, central Japan. *Jour. of Geoph. Res.: Solid Earth*, **125**, e2019JB019211. https://doi.org/10.1029/2019JB019211

11) Komori, J., Shishikura, M., Ando, R., Yokoyama, Y. and Miyairi, Y. (2021) : The history of the great Kanto earthquakes, central Japan: A Bayesian approach to age estimation of marine terraces, *Quaternary Science Reviews*, **272**, 107217, https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.107217

12) Komori, J. and Ando, R. (2022) : Mechanical examination of the marine terrace formation and history of megathrust earthquakes on the irregular plate interface of the Sagami Trough subduction zone, central Japan. *AGU Fall Meeting 2022*, Chicago, T55A-04.

13) Shimazaki, K, Kim, H. Y., Chiba, T., and Satake, K. (2011) : Geological evidence of recurrent great Kanto earthquakes at the Miura Peninsula, Japan, *Jour. Geoph. Res.*, **116**, B12408, doi:10.1029/2011JB008639.

14) 神奈川県（2003）:*平成 14 年度神奈川県活断層（神縄･国府津－松田断層帯）調査事業成果報告書*, 78p.

15) 松田時彦・由井将雄・松島義章・今永　勇・平田大二・東郷正美・鹿島　薫・松原彰子・中井信之・中村俊夫・松岡数充（1988）：伊勢原断層（神奈川県）の試錐による地下調査－過去約 7000 年間の堆積環境と元慶 2 年の地震変位 , *地震研究所彙報* , **63**，145-182.

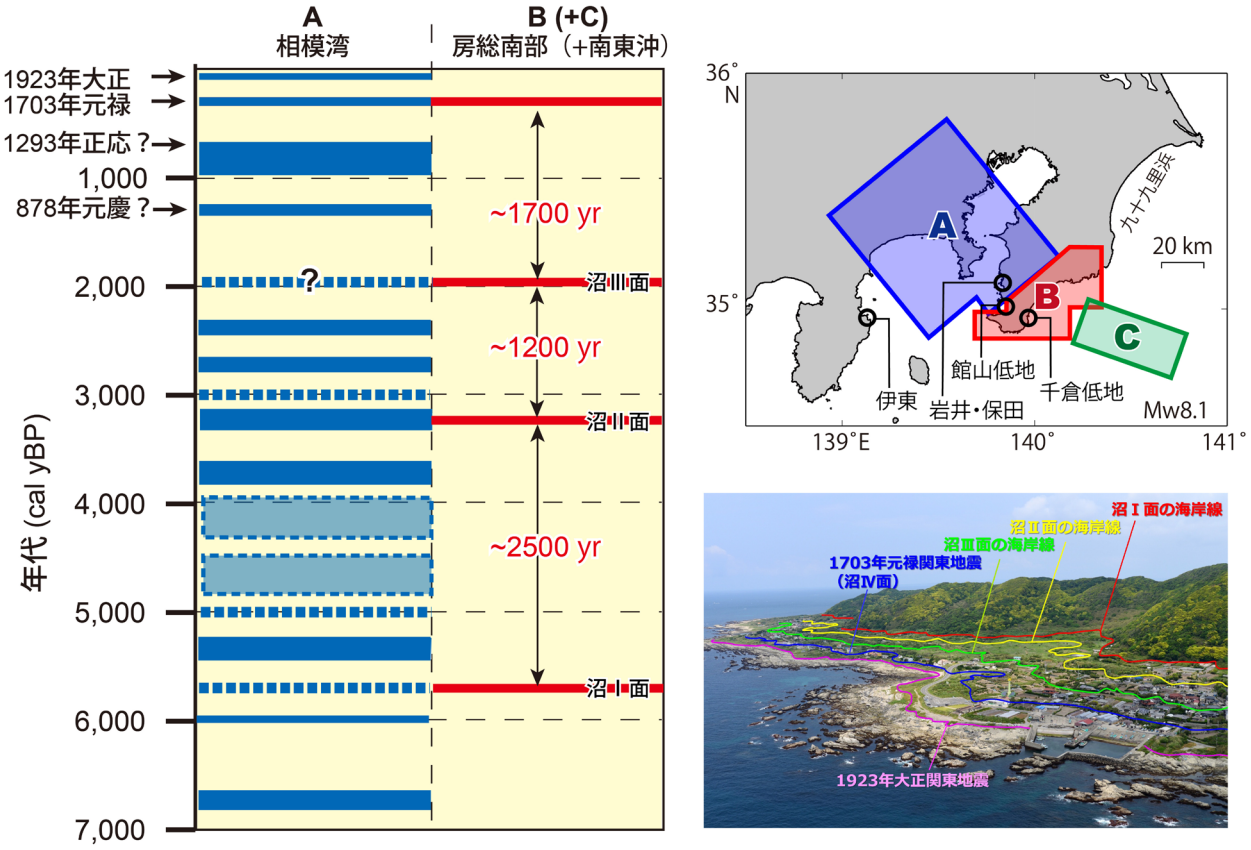
16) Mannen, K., Kim., H. Y., Suzuki, S., Matsushima, Y., Ota, Y., Kain, C. L. and Goff, J. (2018) : History of ancient megathrust earthquakes beneath metropolitan Tokyo inferred from coastal lowland deposits, *Sed. Geo.*, **364**, 258-272, doi:10.1016/j.sedgeo.2017.11.014.

17) 宇佐美龍夫（1996）：*新編日本被害地震総覧 416–1995（増補改訂版）*，493p

18) 金子浩之（2012）：宇佐美遺跡検出の津波堆積物と明応四年地震・津波の再評価 , *伊東の今・昔 , 伊東市史研究* , 10 号，102–124.

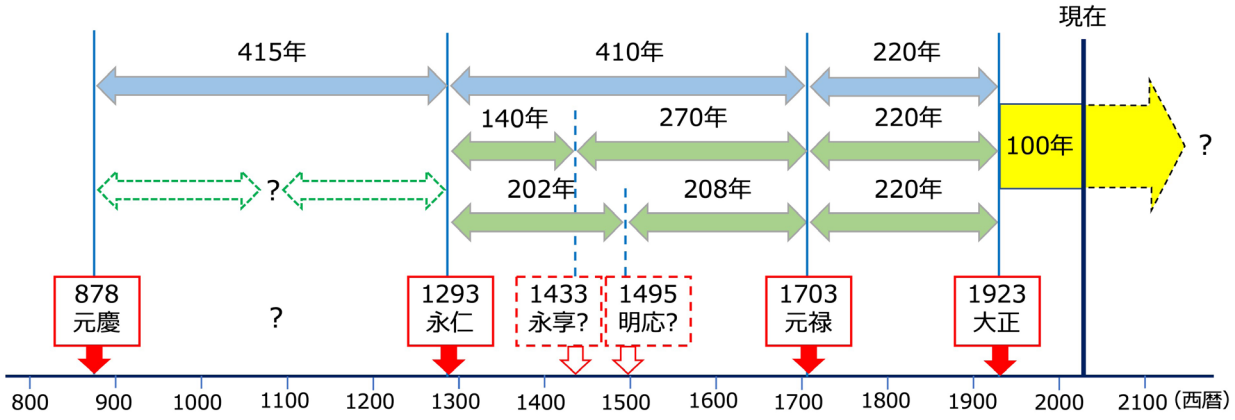
19) Shishikura, M., Namegaya, Y., Kaneko, H. and Koyama, M. (2023) : Late Holocene tectonics inferred from emerged shoreline features in Higashi-Izu monogenetic volcano field, Central Japan, *Tectonophysics*, https://doi.org/10.1016/j.tecto.2023.229985.

20) 石橋克彦（1977）:「西相模湾地震」の可能性と東海地震との関連，地震予知連絡会東海部会編 : *地震予知連絡会東海部会資料*，53-68.



第 1 図　房総半島の海岸段丘から再評価された過去 7000 年における関東地震の履歴．右上の断層モデルは行谷ほか（2011）に基づいて領域区分した．右下は千葉県館山市西川名付近の沼面群の写真．

Fig. 1　History of Kanto earthquakes in the past 7000 years reevaluated from Holocene marine terraces along the Boso Peninsula. The upper right panel shows the fault model divided into three segments based on Namegaya et al. (2011). The lower right photo shows a Numa terrace series in Nishikawana, Tateyama City, Chiba Prefecture, Japan.



第 2 図　歴史上の関東地震（候補も含む）と再来間隔．

Fig. 2　Historical Kanto earthquakes (including candidates) and recurrence intervals.

11 － 7　第 241 回地震予知連絡会重点検討課題「予測実験の試行（09）地震活動の中期予測の検証」の概要

Trials of experimental forecasts of crustal deformation and seismicity #9: Validation of intermediate-term seismicity forecasts

堀高峰（海洋研究開発機構）・遠田晋次（東北大学災害科学国際研究所）・予測実験 WG
Takane Hori (JAMSTEC)・Shinji Toda (Tohoku Univ.)・WG for experimental forecasts

１．はじめに

当重点検討課題は，「地殻活動・地震活動のモニタリングとして何が重要かを検討し，今の予測能力の実力を把握・提示するために，今後，予測実験の試行を行うことが有効である」という平成 25 年度将来検討 WG の提言から始まった．その後，約 7 年間に 8 回にわたって重点検討課題に取りあげられ，延べ 45 名による発表が行われた．前震・群発地震，余震・ETAS，検証・評価法，物理モデル・発生メカニズム，東北沖余効変動・地殻変動，b 値変化，静穏化，震度予測，異常組み合わせなど，多岐にわたる研究成果が示された．その中でも，軸となったのが相応に確立された予測手法に関する半年～ 1 年間の予測と観測結果の比較検証である．最新の第 233 回地震予知連絡会で，これらの予測手法の一部（下記 4 手法）については「試行」から「実施」に踏み出すこととなった．これを受けて，令和 4 年 5 月に運営検討部会の傘下に「予測実験 WG」が設置され，1）定例会における報告方法，2）報告する予測事項の選定，3）報告された予測の評価・とりまとめ，4）新たな予測実験項目の提案・選定，の検討が始まった．その後，WG からの提案・本会議での承認を経て，第 238 回（令和 5 年 2 月）より「地殻活動モニタリングに関する検討」枠の最後に「地殻活動の予測に関する報告」として 1 課題ずつの報告が実施されることとなった．

1）階層的時空間 ETAS モデルなどによる短期・中期の地震確率予測と検証評価（第 238 回）
2）気象庁震度データベースを用いた地震予測（第 239 回）
3）地殻変動予測：東北沖地震の余効変動（第 240 回）
4）群発的地震活動を前震活動と仮定して行う本震の発生予測手法（第 241 回）

予測実験 WG における検討項目の 1 つに「新たな予測実験項目の提案・選定」がある．現状の定期報告は，数ヵ月～ 1 年にターゲットを絞ったものであり，例えば 5 年～ 10 年といった，より長期の検証が必要な予測手法もある．今回は，数年程度の期間を中期予測と定義し，中期的視点でなければ議論できない内容をとりあげた．具体的には，５年前の重点検討課題（2018 年，第 221 回予知連）で扱った大地震に先行する地震活動静穏化，地震サイズ分布（b 値）の時空間変化を振り返った．加えて，中規模繰り返し地震，長期継続する群発地震活動に関する最新の研究成果についても紹介していただき，中期予測の予測能力の検証と課題整理を行った．

２．研究紹介と議論の概要

２－１．北海道東方沖の相対的地震活動度の静穏化のその後：有意検出から 10 年後の現状（地震予知総合研究振興会地震調査研究センター 松浦律子氏）

5 年前の解析では 2016 年に静穏化が回復した可能性があるとしていたが，現在まだ完全に地震活動度が復活した状態ではなく，M6 程度の地震が散発的には発生している状況であり，千島海溝東部よりは活動は低調であるが，「静穏」ではない．2011 年東北地方太平洋沖地震は，弾性的にも，

粘弾性的にも，この領域のプレート境界地震に対しては，地震発生を促進する影響を与えるので，「静穏化の終了」と検出されたものは，2011 年地震による余効変動効果が，静穏化過程を僅かに上回ったことによる可能性もある．地震発生数が未だに少ないので，能動的に当該地域の物性状態などを繰り返し計測するなど，場の状態の検出や，験潮・GNSS データによる地殻変動の時系列データ詳細解析が必要である．

２－２．地震活動静穏化仮説に基づく予測実験（北海道大学大学院理学研究院 勝俣啓氏）

ここでの地震活動静穏化とは，大地震に先行して数年から 10 数年程度，震源域付近の定常的な地震活動が低下する現象を指す．静穏化仮説を統計的に検証するため，過去に発生した地震を予測した．「11 年以上の静穏化が検出されたら，半径 60km 以内を 7 年間警報オンにする」というルールで警報を出すと，適中率が最大（75%）になる．ランダムに警報オンにした場合と比較すると，2 倍程度予測性能が向上した．警報オンでも大地震が発生しない場合（空振り）が多いことも判明．最新の予測マップでは根室・十勝沖から千島南部で警報オン状態である．

２－３．北海道・東北沖の地震サイズ分布（b 値）の時空間変化（静岡県立大学グローバル地域センター 楠城一嘉氏）

北海道・東北沖におけるグーテンベルグ・リヒター則の b 値の時空間変化を調べた．東北沖地震前に減少した b 値は現在高い値を維持している．十勝沖地震の震源域の東側では b 値は減少中で，東北沖地震前に観測された値に近づきつつある．この領域は応力が高まりつつあると示唆される．同領域は静穏化が継続中の地域に含まれ，十勝沖地震の前よりもプレート間の固着が強くなったと考えられる地域にも含まれる．北海道沖の丁寧な監視を今後も継続することが課題．

２－４．日本海溝沿いの繰り返し地震活動とその繰り返しの特徴（東京大学地震研究所 内田直希氏）

小中規模の繰り返し地震は，数年程度の短い期間で断層上の同じ場所で起こる．繰り返し地震は，大地震のミニチュア版として，あるいは断層上のクリープメータとして用いることができ，以下のような点で中期的な地震発生予測の高度化に貢献できると考えられる．１）将来の震源域周辺での地震活動の時空間変化に関する普遍的な特徴の解明．２）載荷レート等，地震の規模を決める要因の解明．３）固着域周辺での断層クリープのモニタリングによる地震発生確率の変化の推定．４）地殻変動 / 地震サイクルモデリングの改良による地震発生予測の高度化．

２－５．能登半島群発地震の経過と大地震前後の異常活動の解釈（統計数理研究所 熊澤貴雄氏）

2023 年 1 月頃以後の北西部領域の静穏化や南部領域震源の東方への拡散，GNSS 観測点間の斜距離増大は M6.5 地震の深部でスロースリップを仮定したモデルによる応力変化や地殻変動と矛盾しない．M6.5 発生前の 1 日間に本震付近の発生強度が低い部分で纏まった数の地震 ($M \geq 1.0$ の地震が 8 個) が発生した . 本震 M6.5 とその最大余震 M5.9 も同様に低い所で起こった．2022 年 6 月 20 日の M5.0（22 年 6 月 19 日 M5.4 の最大余震）から 23 年 5 月 5 日の M6.5 にかけるストレス場に沿って地震が発生した．これは深部から浅部への流体の移動を示唆する．大森宇津モデルを M6.5 本震から最大余震 M5.9 前までで当て嵌めると，最大余震付近での相対的な空白が明瞭になる．これは最大余震周辺でのゆっくりすべりで本震で誘発された余震活動にストレスシャドーが生じたためである．群発地震開始から 23 年 11 月 12 日までのカタログに非定常 ETAS モデルを適用すると，背景強度は本震以降に各地域で一様に減衰し，再び上昇した．これは本震によって一旦捌けた流体の分布が時間を置いて回復したものと考えられる．

３．議論とまとめ

千島海溝（根室沖～十勝沖）では，大地震に先行する静穏化が複数の手法で見られ，b 値のさらなる減少も確認されたことから，これらの領域は大地震の発生可能性が高く，引き続き注意が必要であり，より能動的な監視が望まれる．また，小中地震の繰り返し間隔の揺らぎとクリープとの関係，あるいは群発地震の時空間変化とスロースリップとの関係を用いると，予測実験を構成できる可能性があると考えられる．今後も，今回報告したような中規模～大規模地震につながる中期予測について，数年に一度総括して評価を行うことが重要である．

11 － 8　北海道東方沖の相対的地震活動度の静穏化のその後：有意検出から 10 年後の現状

Current status of the Relative Quiescence of the seismicity off the east coast of Hokkaido: a decade after its significance was revealed

松浦　律子・石辺　岳男 (公益財団法人地震予知総合研究振興会）
橋間　昭徳（東京学芸大学）
Ritsuko S. Matsu'ura, Takeo Ishibe (ADEP)
Akinori Hashima (Tokyo Gakugei Univ.)

予知連会報 101 号 [1] に報告された，千島海溝西端部，えりも岬～根室半島～色丹島の沖合領域の地震活動度の静穏化は，現地の住民にとっては 2010 年頃既に体感で近地の有感地震数の減少として認知される程顕著なものであったが，この領域は国境に近く必然的に地震観測網の北東端部にあたるため，地震規模レンジの広い長期均質データが得難い．標準 ETAS モデルからの乖離である相対的静穏化として開始期が 2009 年初頃と統計的に有意検出できたのは，2014 年である．この海域では 17 世紀に超巨大プレート間地震が発生したと津波堆積物から推定されており，Matsu’ura et al.[2] や岡村・行谷 [3] は 1611 年慶長三陸津波が千島海溝での 17 世紀の超巨大地震に該当して既に 400 年以上経過していると考えている．例え 1611 年が該当しなくとも，南海トラフの宝永地震よりも前回からの経過年数は十分大きいと推定される．この領域は日本の他の何処よりも巨大地震の切迫性が高いので，この静穏化は十分注視され，実際海底地震計による臨時観測等が実施されるなど，静穏化検出は学術的注目喚起に貢献できた．

今回は前回から 5 年経過し，2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震（以下 3.11 と略）発生から 12 年経過して，3.11 発生後の周辺部の多大な地震活動等の変化も定常的になりつつあるので，再度 ETAS モデルを用いた点過程解析で，前回まだ変化点導入ペナルティーを大きく凌駕していなかった 2015 年末頃の静穏化の終了＝活動度の回復の有意性に関して検討した．解析データは前回と同様，第 1 図の黒破線で示された範囲に分布する気象庁震源である．現在 2021 年までしか利用できない ISC 震源とも比較したが，ISC 震源との差は震央分布と深さのばらつきが気象庁震源の方が若干大きい程度であり，大きい差異はなかった．

尚, 1994 年 10 月の北海道東方沖地震（M8.2：スラブ内地震）のような, 2003 年十勝沖地震（M8.0：プレート境界地震）とは異なる地震タイプを M5.7 以上の全地震で分離してターゲットのプレート境界地震だけの解析が実施できないこと，震源の深さ精度が時期によって異なること，から領域内の深さ 120km まで全ての地震を対象とした．1919 年以降の気象庁カタログの N-T 図，M-T 図（第 2 図）および規模別頻度分布（第 3 図）から，前回同様 1965 年 7 月以降の M5.7 以上のデータを用いた．また，2023 年 3 月以降解析領域に M5.7 以上の地震は 2023 年 12 月 20 日現在まで 1 個も発生していないが，計算は 2023 年 3 月末日を終点とした期間で実施したものを示す（第 1 表）．

点過程解析のモデルは第 4 図に示した 3 種類を中心に検討した．静穏化の始期と終期を動かして AIC が小さい主な物を第 1 表に纏めた．有感地震数変化で判る程の静穏化であったので，(1) の活動低下が無いとするモデルは（2）や（3）の静穏化が有ったモデルよりも AIC は十分大きくなる．しかし静穏化の終了は，前回同様圧倒的な有意性は示していない．データと AIC 最小のモデルとの比較を第 5 図に示す．第 5 図最下段のモデルと実データとの乖離度合いを見ると，右端の最近は

2017 年頃に比べると地震活動の低調さは 2/3 程度には減少しているがまだ -1 σ未満で停滞している．

AIC 最小のモデルは 2009 年初から 2015 年末の丸 7 年間，背景活動度がそれ以前の 2 割以下に低下して ETAS 効果も見られなかったが，2016 年以降は 2008 年末以前と同程度の背景活動度と ETAS 効果とが復活している，というモデルとなる．しかしながら，これは AIC の変化点導入ペナルティーを統計理論値で最低の 6 とした場合であり，地震数を考慮した場合のペナルティーの取り方によっては，静穏化が現在も継続中である，とするモデルとの差は十分に有意ではない．また実際に 2016 年以降最近まで M6 程度の地震が散発的に極小数発生してはいるものの，活動の回復は極めて弱い．一方，解析領域より北東側のロシア領の沿岸部沖合では，既に ETAS 効果を伴った活動が近年見られて，所謂ドーナッツ状態が出現している．前回は，3.11 の影響を定性的に「東北日本東側沿岸部一帯のプレート間地震が消費するひずみエネルギーが殆ど使われた」ことによる抑制傾向と推測して，地震活動度の回復がマスクされる可能性を懸念していたが，現実は逆になっている．

そこで今回は, 定量的に 3.11 の地震時の弾性効果とその後長期的に働く粘弾性効果とを検討した．CAMP モデルのプレート形状 [4] で同じ構造を用いて産出された 3.11 の震源モデル [5] を用いて，3.11 の地震時の弾性的および地震後百年間の粘弾性的影響を，厚さ 60km の弾性体が粘性率 10^{19}Pa s の半無限粘弾性体の上に載っている水平二層構造で計算 [6] した（第 6 図，第 7 図）．受け手の断層モデルを，解析領域で代表的なプレート境界地震である 2003 年十勝沖地震の F-NET によるメカニズム解 [7] と同一として，深さ 10km と 30km と 2 種類で，地震時の弾性的影響だけでなく，地震後の粘弾性緩和に関して百年後まで試算した．その結果，数 kPa ～十数 Pa 程度の発生促進の影響があることが判明した．3.11 は従来の日本周辺の大地震とは桁違いに大きく，千島海溝沿いも含めて東北日本に影響を与えている．定量的には，3.11 後の最近 12 年間は余効滑りまで考慮したとしても，千島海溝西端部周辺はむしろプレート境界地震の発生が促進されている．にも関わらず ETAS 解析でも 2016 年以降の地震活動度の回復が鈍いということは，17 世紀型のような地震の準備過程としての静穏化プロセスが現在も未了である可能性が高い．またその準備過程は十数 Pa 程度の応力変化相当以上の影響があることになる．

この様な別の活動促進要因が徐々に増加傾向にある千島海溝西端部では，3.11 前の東北地方のように，静穏化の終了が明瞭に検出できるかは不明である．また地震活動が低調である，ということは，将来の震源域の物理的状態を地震活動から検出する事は困難であるということを意味する．幸い解析領域より東側のウルップ島などの沖合領域では既に M6 の地震などが散発的ではあるが発生しているので，このような地震の波が，想定される震源域を通過してくる波形などを色々な期間で比較するなど，能動的な震源域の物理的状態の時期による差異の把握作業を工夫しつつ監視する必要がある．

また，当該地域は，そもそもプレート境界の巨大地震の中で日本付近では最も切迫性が高い領域であるので，大きい揺れを感じたら，近隣住民は速やかに高台に避難するなど，慎重な行動が今後倦まず弛まず継続されるような努力も理学の専門家として関係者に奨励し続ける必要がある．

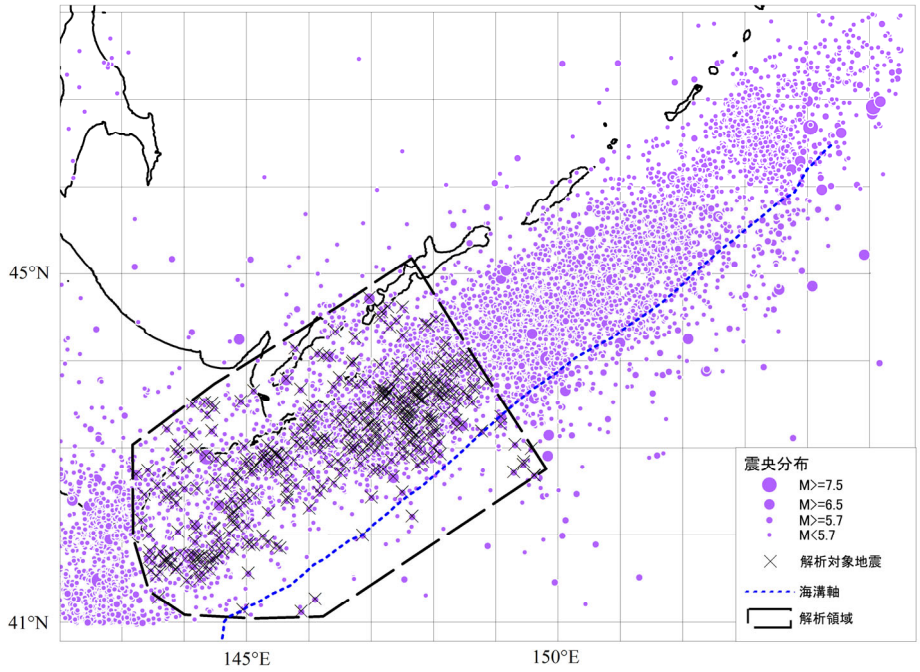
謝辞

5 年ぶりの再検討の機会を頂き，図らずも粘弾性的に 2011 年以降継続的に発生が促進されていることを示せた．堀高峰氏ほか予知連の方々に感謝する．1952 年十勝沖地震の氷交じりの津波被

害の災害教訓を拾って下さって，困難を伴う冬季での津波避難訓練等を北海道各地で実現させせつつある国交省や地元自治体・住民など関係者の賢明な努力にも感謝する．そういった現実的備えの進展こそが，年単位で注目地点を抽出するのがせいぜいである地震活動度のデータ検討による予知研究の継続に意義を与えるものである．

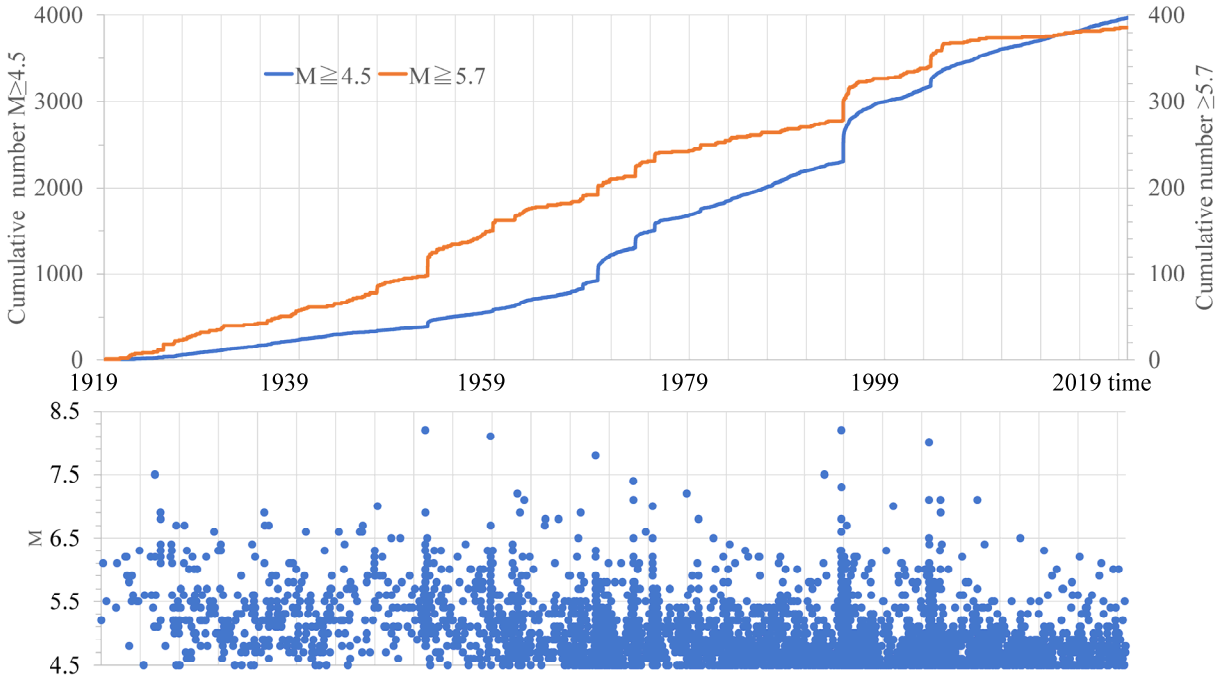
参考文献

1) Matsu’ura (2019), *予知連会報* , **101**, 475-483.
2) Matsu’ura et al. (2017), IAG-IASPEI2017 abstract book, S04-2-02, p. 695.
3) Okamura and Namegaya (2011), *活断層・古地震研究報告*, **11**, 15–20.
4) Hashimoto et al. (2004), *Pure Appl. Geophys.*, **161**,2053-2068.
5) Hashimoto et al. (2012), *Geophys. J. Int.*, **189**, 1-5, doi: 10.1111/j.1365-246X.2011.05368.x
6) Hashima et al. (2014), *Pure Appl. Geophys.*, **171**,1669-1693.
7) https://www.fnet.bosai.go.jp/event/tdmt.php?_id=20030925194900&LANG=ja（2023May01 閲覧）



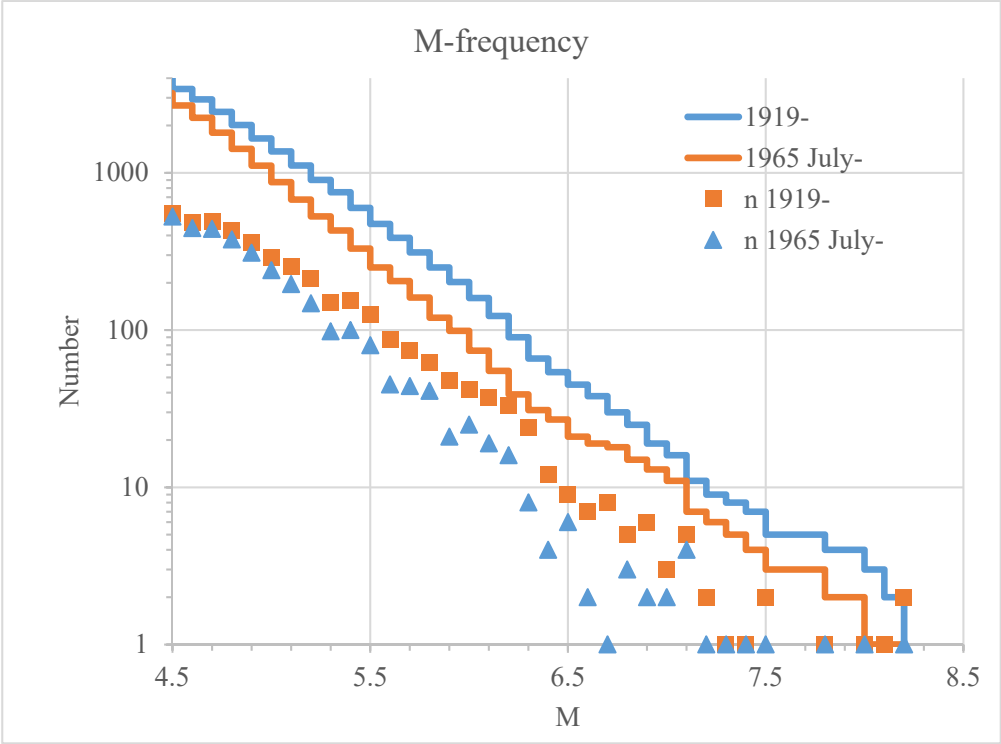
第 1 図　解析領域周辺の気象庁震央分布と解析対象地震．M4.5 以上の 1919 年～ 2023 年 11 月 19 日の気象庁震源（気象庁ウェブサイトから 2023 年 11 月 21 日取得）の震央を M に応じた大きさの円で表示．深さは 120km 以下．M5.7 以上の点過程解析対象地震には黒×で表示．

Fig. 1　The analyzed area and distribution of JMA epicenters around it. M ≥ 4.5 earthquakes of 120 km or shallower depths from 1919 to Nov. 19, 2023 in the JMA catalog on Nov. 21, 2023 are shown. Chishima trench and the analyzed area are also shown.



第 2 図　第 1 図の解析エリア内の累積地震数と M-T．M の下限は 4.5（左縦軸）と 5.7（右縦軸）とを示した．

Fig. 2　Cumulative numbers of earthquakes in the analyzed area shown in Fig. 1. M-T is also shown. Cumulative numbers of $M_{th4.5}$ and $M_{th5.7}$ are shown for left and right axes, respectively.



第 3 図　第 2 図の地震の規模別頻度分布．気象庁カタログの全期間と解析した 1965 年 7 月以降の二期を示した．

Fig. 3　Frequency of magnitude in the analyzed area. Blue indicates data from 1919 to Nov. 19, 2023, and orange indicates data from July 1965, after WWSSN observation had started.

$$\lambda_o(t) = \mu + \sum_i^N \kappa \exp\{\alpha(M_i - M_{th})\} / (t - t_i + c)^p \qquad (1)$$

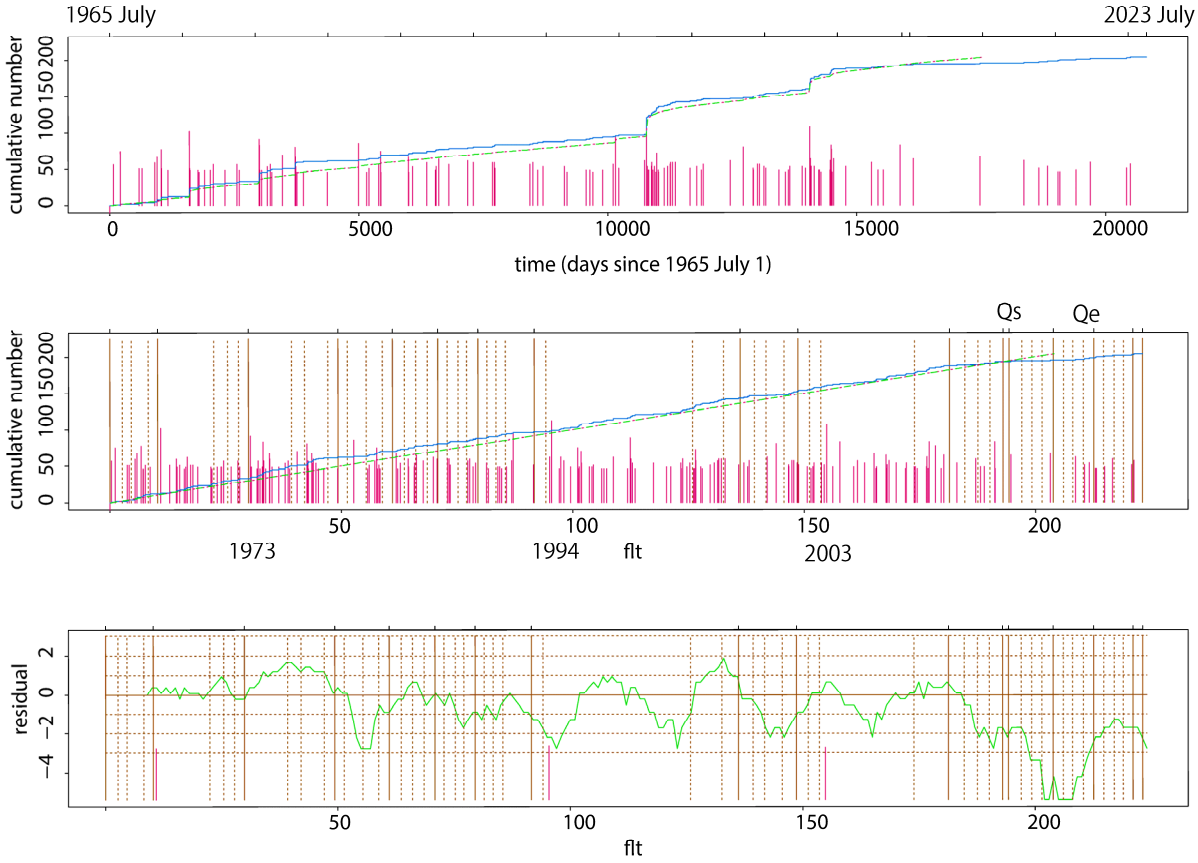
$$\lambda_q(t) = \begin{cases} \mu_o + \sum_i^N \dfrac{\kappa \exp\{\alpha(M_i - M_{th})\}}{(t - t_i + c)^p} & where \;\; t \le Q_s, t > Q_e \\ \mu_q + \sum_i^N \dfrac{\kappa \exp\{\alpha(M_i - M_{th})\}}{(t - t_i + c)^p} & where \;\; Q_e \ge t > Q_s \end{cases} \qquad (2)$$

$$\lambda_{q'}(t) = \begin{cases} \mu_o + \sum_i^N \dfrac{\kappa \exp\{\alpha(M_i - M_{th})\}}{(t - t_i + c)^p} & where \;\; t \le Q_s, t > Q_e \\ \mu_{q'} & where \;\; Q_e \ge t > Q_s \end{cases} \qquad (3)$$

If $\{Q_s, Q_e\}$ is short, AIC($\lambda_{q'}$) is often more efficient.

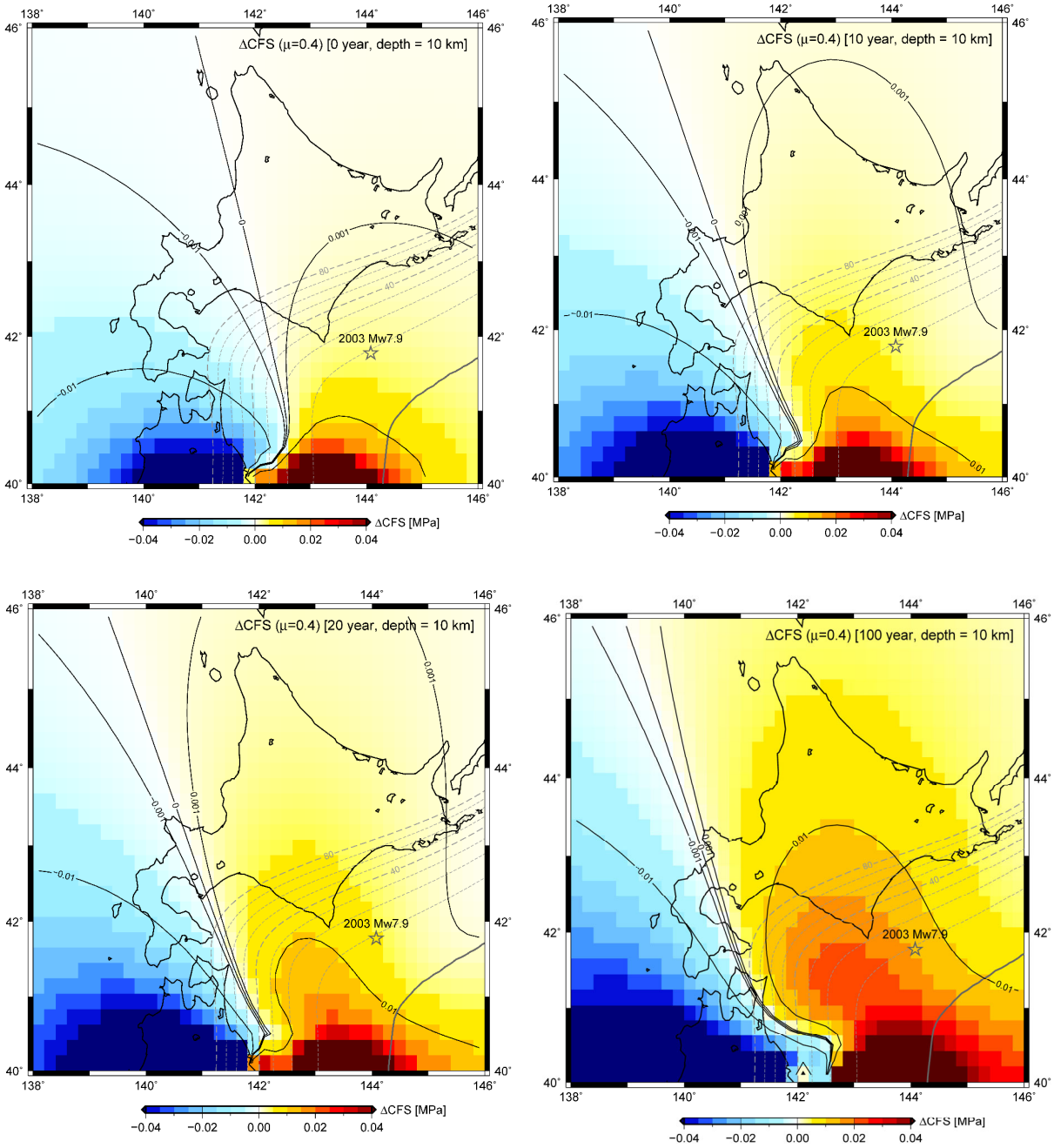
第 4 図　検討した ETAS モデルの地震発生率 λ (t). Qs, Qe: 静穏化の開始時と終了時 μ_o, μ_q, μ_q' : 通常および静穏期の背景発生率モデル (1) が活動度変化なしの単純モデル，(2), (3) は，静穏期に ETAS 効果が有る場合と無い場合．

Fig. 4　Occurrence rates [λ (t)] of ETAS models examined. Qs, Qe: Start and end times of a quiescence term. μ_o, μ_q, μ_q': background rates of each term. (1): a simple ETAS model, (2), (3): quiescence models with/without the ETAS effect.



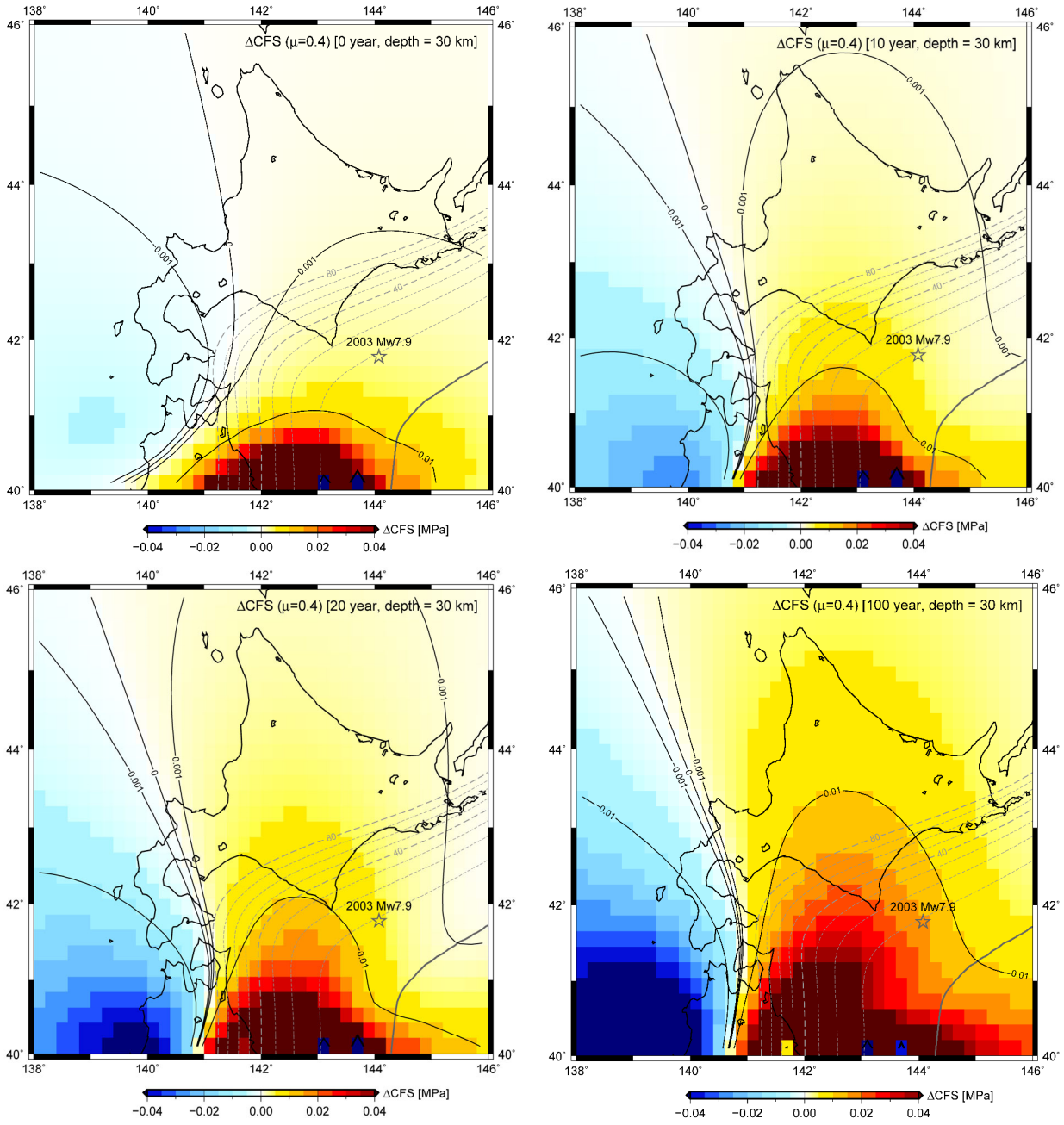
第 5 図　表 1 中の最小 AIC モデルと実際のデータの対比．　時間軸は上段が通常，中・下段は Frequency-linearized time (flt)．上・中段は累積地震数（青実線）とモデルの予測値（破線）．赤棒は発生地震の M を示す．中・下段には実時間の 1 年・4 年を破線・実線で示す．下段は，5 flt 毎のモデルと実データの数の差．モデルと完全に一致すれば 0，最大の静穏化は -5 が下限な一方，活発化の上限は∞の片ぶれ分布であるものを，N(0,1) の正規分布に変換して表示したもの．0 がモデルとの完全合致，上は活発化，下は静穏化を示す．Q_s 以降は -1 σ 未満が現在まで継続している．

Fig. 5　Minimum AIC model in Table 1 versus actual data. The time axis of the upper panel is a normal time, while those in the middle and lower panels are the frequency-linearized time (flt). The upper and middle panels show the cumulative number of earthquakes (solid blue line) and the model predictions (dashed line). Red bars indicate M of each earthquake. In the middle and lower panels, one and four years of real time are shown by dashed and solid lines, respectively. The lower panel shows the difference between the model and the number of real data at every 5-flt. Since the difference shows the one-sided distribution with 0 for perfect agreement with the model, -5 for the maximum quiescence, and ∞ for some extreme activation, it is converted to the value distributed according to N(0,1). In this panel, positive shows activation, and the negative shows the quiescence. After Q_s, negative values smaller than -1 σ have lasted even after the detected Q_e.



第 6 図　厚さ 60km の弾性層が半無限粘弾性体の上にある二層構造モデルで計算した 3.11 による弾性・粘弾性変化による Δ CFS の値の分布．深さ 10 km で 2003 年十勝沖地震の F-NET によるメカニズムと同じ走向，傾斜，レーク角の断層に対する各地点での値．摩擦係数は 0.4，粘弾性率 10^{19}Pa s の場合．上段左，右，下段左，右に地震時，10 年後，20 年後，100 年後．静穏化していた領域では 2011 年以降プレート境界型の地震発生を促進する影響が徐々に増加している方向にある．

Fig. 6　Distribution of Δ CFS values due to elastic and viscoelastic changes caused by 3.11. The two-layer structure of the 60-km thick elastic layer lying on the semi-infinite viscoelastic body of 10^{19}Pa s is used for the calculation. The friction coefficient is set as 0.4. Faults of the same strike, dip, and rake angles as those of the F-Net solution of the 2003 off Tokachi earthquake are assumed as the receiver fault at each point of 10-km depth. Coseismic, 10 years later, 20 years later, and 100 years later are shown. The area concerned has been in the induced zone since 2011, and will be for years after.



第 7 図　深さ 30 km の場合の ΔCFS の値の分布．深さ以外の計算条件は図 6 参照

Fig. 7　Distribution of ΔCFS values at 30-km depth. For other conditions, see the caption of Fig. 6.

第 1 表　各モデルの最小 AIC パラメター値と AIC

Table 1　Minimum AIC for each set of (Qs, Qe), and parameter values of each model.
Np: number of parameters CP: number of change points of a model

Q_s	Q_e	μ	κ	α	c	p	μ_q	μ_r	Np	CP	AIC
		$\times10^{-3}$	$\times10^{-8}$		$\times10^{-3}$		$\times10^{-3}$	$\times10^{-3}$			
No Change		2.41	1500	1.34	16.8	1.015	−	−	5	−	1665.8
2008/10/20	continuing	4.49	1.28	2.32	12.9	1.044	2.27	−	6	1	1620.6
2005/1/1	2016/1/1	4.11	1.00	2.34	3.04	0.997	2.38	$=Q_s$前	6	2	1645.7
2009/1/1	2016/1/1	4.15	0.998	2.35	5.47	1.000	0.78	$=Q_s$前	6	2	1614.7
2009/7/1	2016/1/1	2.61	1.95	2.21	4.68	0.935	0.84	$=Q_s$前	6	2	1650.7
2009/7/1	2016/7/1	4.03	1.03	2.32	2.98	0.953	1.17	$=Q_s$前	6	2	1638.0

11 － 9　地震活動静穏化仮説に基づく予測実験
Earthquake forecast experiment based on the seismic quiescence hypothesis

北海道大学理学研究院附属地震火山研究観測センター
Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Hokkaido University

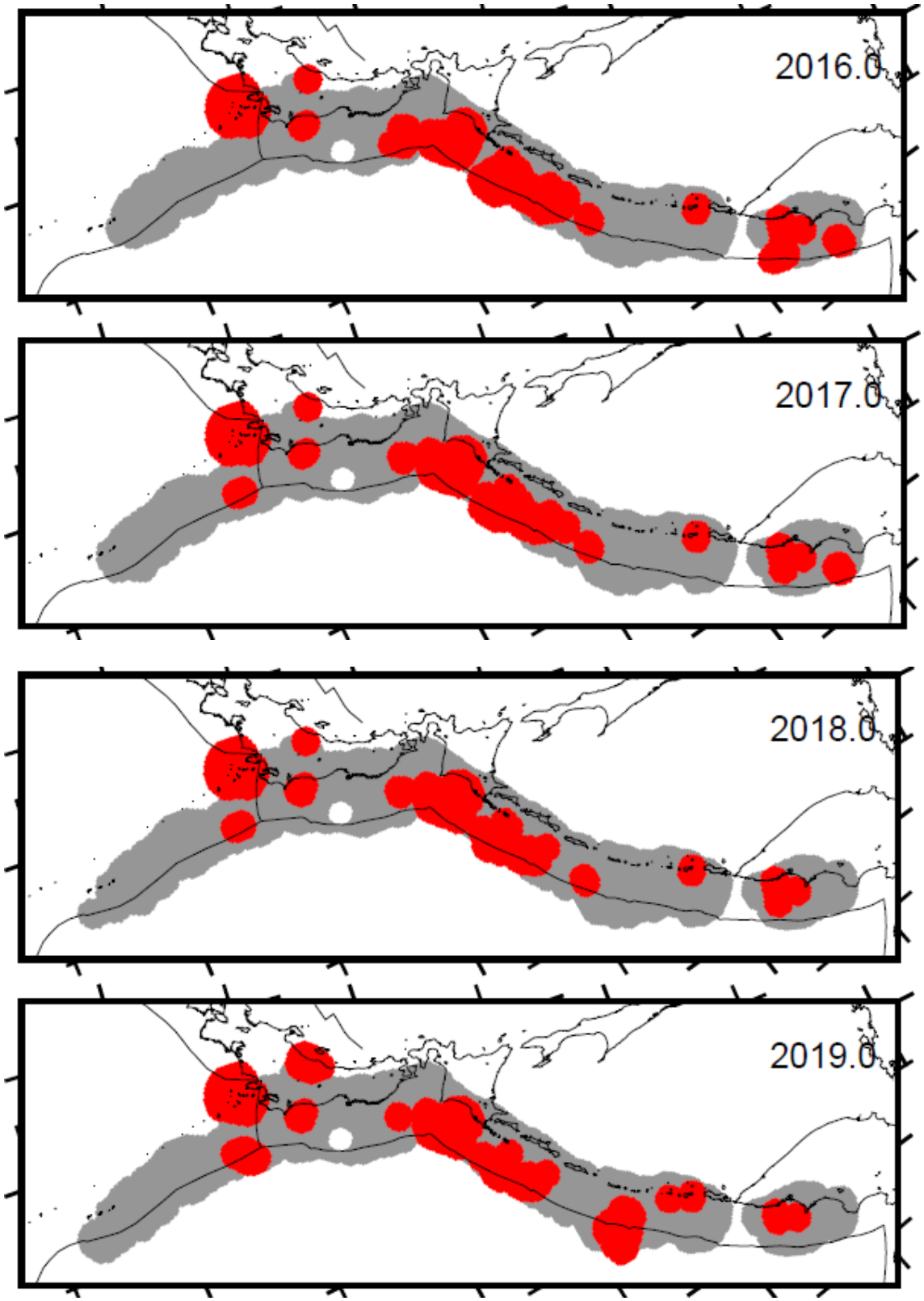
地震活動静穏化仮説とは，数年から 10 数年程度，震源域付近の定常的な地震活動が低下し，これが大地震に先行した前兆現象であるというものである．すでに出版されている論文[1)]では，1964 年 1 月 1 日から 2015 年 12 月 31 日までの ISC 震源カタログを使用し，地震活動の長期静穏化に基づく予測実験を実施した．その結果「11 年以上の静穏化が検出されたら，半径 60km 以内を 7 年間警報 on にする」というルールで警報を出すと，M_w7.5 以上の 8 地震の適中率が最大（75%）になること，ランダムに警報 on にした場合と比較すると，2 倍程度予測性能が向上することが明らかとなった．ただし，警報 on でも大地震が発生しない場合（空振り）が多いことも判明した．

本報告では，その後，2016 年 1 月 1 日から 2020 年 12 月 31 日までのデータを追加して警報 on-off マップを作成した．警報 on-off マップの作成方法は，論文[1)]で詳述している方法とまったく同じなので，ここでは説明を省略する．結果を第 1 図に示す．「11 年以上の静穏化が検出されたら，半径 60km 以内を 7 年間警報 on にする」というルールを使用した．最新のマップでは，根室・十勝沖から千島南部で警報 on 状態である点が注目される．

勝俣　啓
KATSUMATA Kei

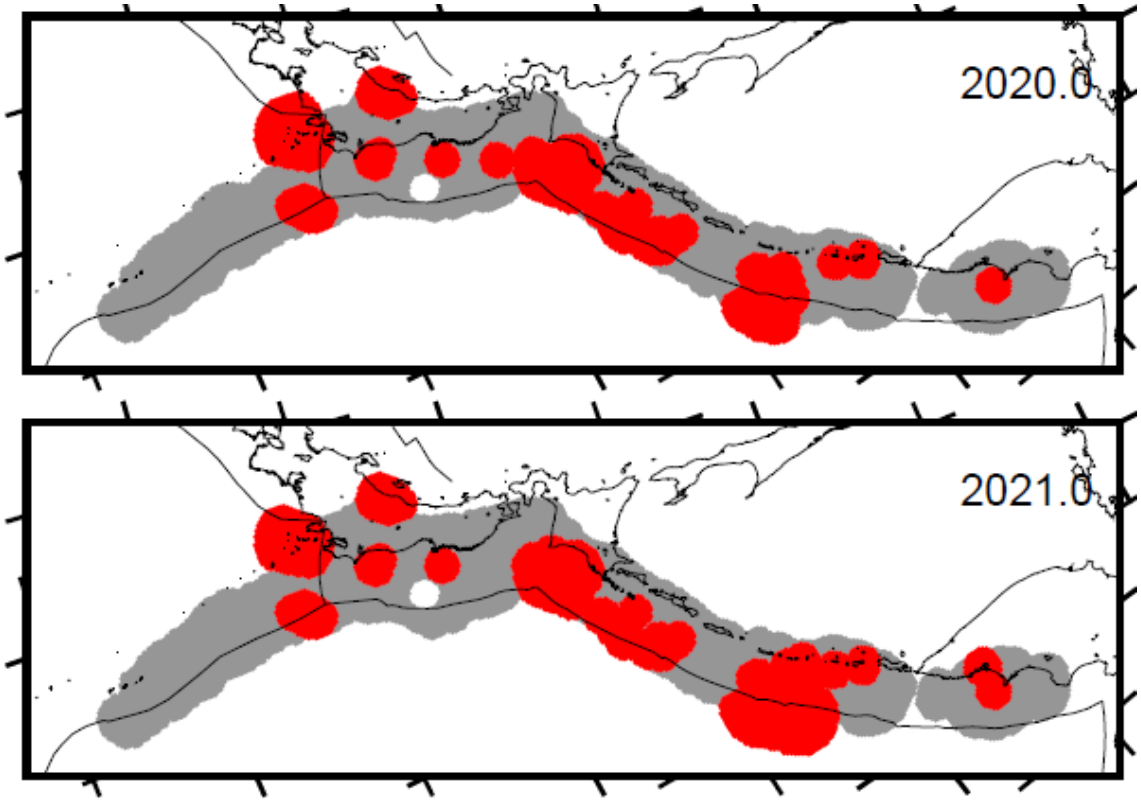
参考文献

1) Katsumata and Nakatani (2021), Testing the seismic quiescence hypothesis through retrospective trials of alarm-based earthquake prediction in the Kurile–Japan subduction zone, *Earth Planet. Space*, **73**, 100, doi:10.1186/s40623-021-01418-z



第 1 図　2016 年から 2021 年までの警報 on-off マップ．赤領域は警報 on，灰領域は警報 off，それ以外は判定不能を示す．

Fig. 1　An alarm map between 2016.0 and 2021.0. Areas in red, gray, and white indicate alarm-on, alarm-off, and alarm-undecidable areas, respectively.



第 1 図　つづき
Fig. 1　Continued.

11 － 10　北海道・東北沖の地震サイズ分布 (*b* 値) の時空間変化
Spatial and temporal changes in the Gutenberg-Richter size-frequency distribution (*b* value) of earthquakes off the coast of Hokkaido and Tohoku districts

静岡県立大学
University of Shizuoka

第 221 回地震予知連絡会（予知連）の重点検討課題において「北海道東方沖の地震活動の相対的静穏化を受けた他の物理量変化の検討」と題した報告があり [1]，学会や論文で発表された解析結果 [2-4] を見直して，「2015 年頃までの静穏化は顕著であり，*b* 値がかなり低い状態が続いており，東北沖地震前に見られた中長期的な先行過程に相当する変化が起きている」という指摘がなされた．報告後約 5 年経過した現在（2023 年 11 月），*b* 値の時空間変化に注目して再検討する．

地震の規模別頻度分布はグーテンベルグ・リヒター則 Log$N$=a-bM により特徴づけられる．ここで，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 は定数である．b は 1 付近の値をとるが, 時間や場所によってばらつき, また, 大地震の発生に伴って変動する [5]．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論じられてきた [6]．

2011 年東北地方太平洋沖地震（東北沖地震）の震源域付近の b 値は地震前に減少し [7,8]（第 1a 図），現在高い値を維持している（第 1b 図）．b 値は差応力と逆相関があると考えられるので [7,8]，震源域付近で大きかった差応力が東北沖地震により解放され，未だ地震前の状態に戻っていないと考えられる（第 1c 図）．2014 年までのデータを用いた先行研究では [8]，東北沖地震直後に増加した b 値が減少に転じており，別の大地震が起きやすくなりつつあるという指摘があった．しかしながら，2023 年 10 月末までのデータを用いた本研究は，先行研究の指摘は当たらない事を示す．

2003 年十勝沖地震の震源域の東側で b 値は減少中で，東北沖地震前に観測された値に近づきつつあり，応力が高まりつつあると示唆される（第 2a,c 図）．第 221 回予知連 [1,3] で指摘された状況が今も継続していると考えられる．また，この領域はスロー地震関連現象 [11] の起きる場所と隣接しているが重なりはほとんどない（第 2b 図）．東北沖地震，十勝沖地震の震源域 [12,13] と，同現象の起きる場所との関係に類似している．

北海道東方沖において相対的地震活動度の静穏化 [14] が 2008 年 10 月に開始し約 7 年間継続後，2015 年後半から回復期に入った可能性が高いとの報告がある [15]．根室半島以東の地域では静穏化は回復したが（第 3b 図），以西の地域では回復が遅れている（第 3a 図）．b 値が減少中の領域は，静穏化が継続中の後者の地域に含まれる．また，b 値が減少中の領域は，十勝沖地震の前よりもプレート間の固着が強くなったと考えられる地域 [1,4] に含まれることも分かった．

本報告は，北海道東方沖の丁寧な監視が課題であるとする従来の提案 [1,15] を改めて支持する．

（楠城　一嘉）
NANJO Kazuyoshi

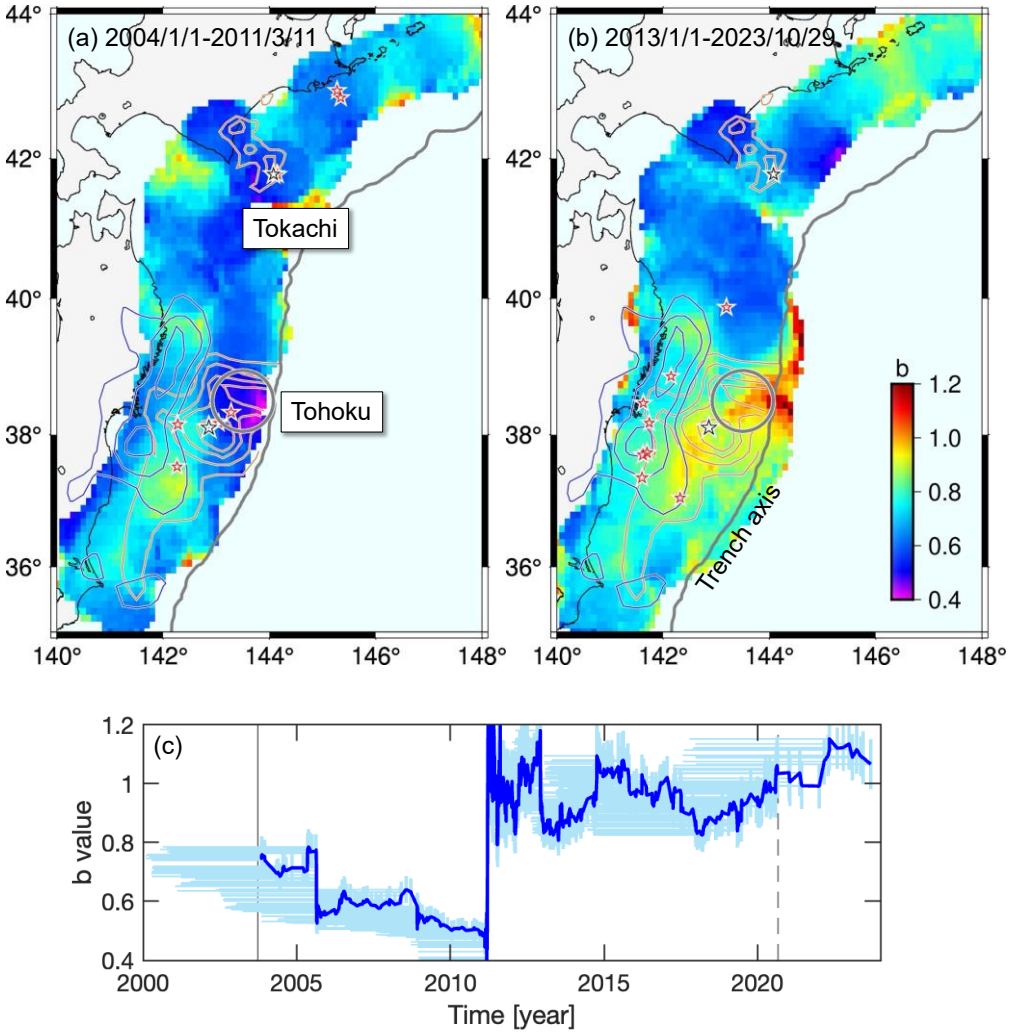
謝辞

本研究では，気象庁一元化震源カタログとスロー地震関連現象 [11] のカタログを使用し，ZMAP[5]

と XETAS[14] を用いた解析を行なった．本研究の一部は，文部科学省による「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画 (第 2 次)」および「情報科学を活用した地震調査研究プロジェクト (STAR-E プロジェクト)」(JPJ010217)，中部電力株式会社「原子力に係る公募研究」の支援を受けて実施した．

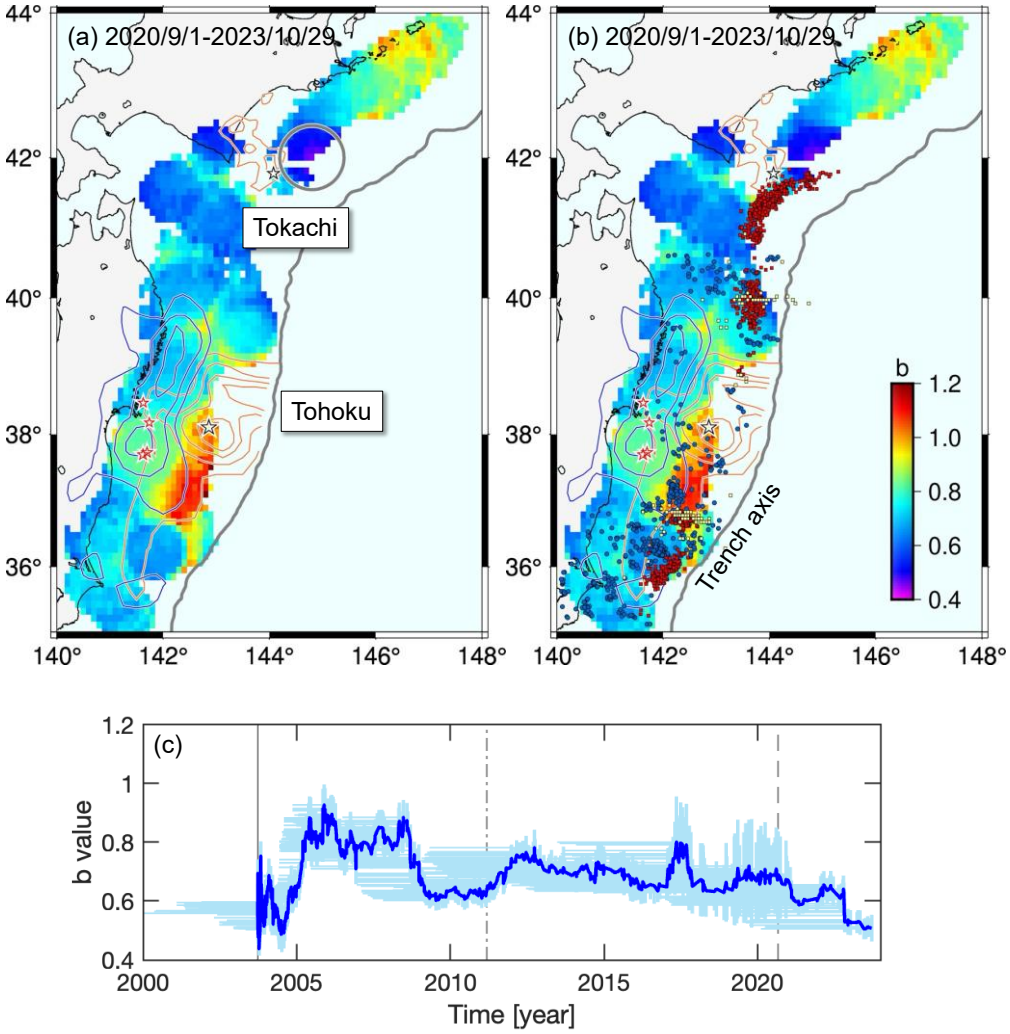
参考文献

1) 堀 (2019), *予知連会報* , **101**, 507-510.
2) 勝俣・中谷 (2018), *日本地震学会 2018 年度秋季大会* , S23-01.
3) 楠城・吉田 (2017), *JpGU-AGU Joint Meeting 2017*, SSS14-02.
4) Iinuma (2018), *Geophys. J. Int.*, **213**, 30-47.
5) Wiemer (2001), *Seismol. Res. Lett.*, **72(2)**, 373-382.
6) Wiemer & Wyss (2002), *Adv. Geophys.*, **45**, 259-302.
7) Nanjo et al. (2012), *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L20304.
8) Tormann et al. (2015), *Nat. Geosci.*, **8**, 152-158.
9) Scholz (1968), *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **58**, 399-415.
10) Scholz (2015), *Geophys. Res. Lett.*, **42**, 1399-1402.
11) Nishikawa et al. (2019), *Science*, **365(6455)**, 808-813.
12) Ozawa et al. (2012) *J. Geophys. Res.*, **117(B7)**, B07404.
13) Yagi (2004) *Earth Planet Space*, **56**, 311-316.
14) Ogata & Tsuruoka (2016), *Earth Planets Space*, **68**, 44.
15) 松浦 (2019) *予知連会報* , **101**, 475-483.



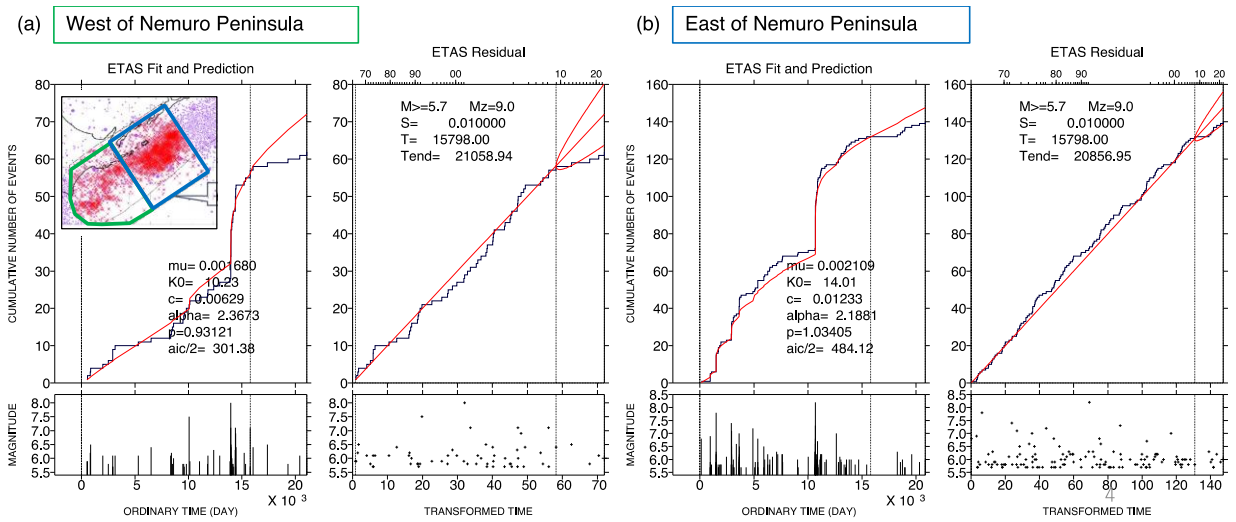
第 1 図　*b* 値の時空間変化．(a) 2004 年 1 月 1 日から東北沖地震 (2011 年 3 月 11 日 14:46) 直前までの地震データ ($M \geq 2.5$) に基づく．黒色の星は東北沖地震と十勝沖地震の震源を示す．オレンジ色と青色のコンターラインは, それぞれコサイスミックとポストサイスミックの滑り領域を示す (東北沖地震 [12] と十勝沖地震 [13] のデータは文献より入手)．赤色の星は $M \geq 6.8$ の地震を示す．低 *b* 値の領域を直径 100km の円で囲んだ．円内の地震を使用して (c) を作成．(b) (a) と同じ．ただし, 2013 年 1 月 1 日から 2023 年 10 月 29 日までの地震データに基づく．(c) *b* 値の時系列．ムービングウインドウ法を使用した．100 個の地震を含む時間窓 (水色の横の線分) に対して *b* 値を計算し，時間窓を徐々にずらすことで *b* 値の時系列を作成．*b* 値は時間窓の最新の時間にプロットした．水色の縦の線分は *b* 値の誤差を示す．灰色の実線は十勝沖地震のタイミングを示す．灰色の破線は S-net のデータが気象庁の一元化震源カタログの作成に導入されたタイミングを示す．東北沖地震が発生したタイミングで *b* 値が大きく変動している．

Fig. 1　Spatial and temporal variation of *b* values. (a) We used earthquakes ($M \geq 2.5$) during the period from Jan. 1, 2004 to immediately before the Tohoku earthquake (Mar. 11, 2011, 14:46). Black stars indicate the epicenter of the Tohoku and Tokachi earthquakes. Orange and blue contour lines indicate coseismic and postseismic slips, respectively (data for the Tohoku and Tokachi earthquakes are from Refs[12,13]). Red stars indicate earthquakes ($M \geq 6.8$) in the corresponding period. Circle with a diameter of 100 km includes a zone of low *b* values. Earthquakes falling in the circle were used to create (c). (b) Same as (a) for using earthquakes during the period from Jan. 1, 2013 to Oct. 29, 2023. (c) Timeseries of *b* values. A moving window approach was used, whereby the window (Light-blue horizontal segment) covered 100 events. *b* values were plotted at the end of the moving window that they represent. Light-blue vertical segments indicate uncertainties in *b*. Grey solid line indicates the timing of the Tokachi earthquake. Grey broken line indicates the timing when data observed by the S-net started to be used to create the JMA earthquake catalog. At the timing of the Tohoku earthquake, *b* values pronouncedly fluctuated.



第 2 図　第 1 図と同じ. ただし, (a,b) では 2020 年 9 月 1 日から 2023 年 10 月 29 日までの地震データ ($M \geq 2.5$) を使用し, (c) では (a) に示す直径 100km の円内で起きた地震を使用した. また, (b) ではスロー地震関連現象 [11] をプロットした. ここで, 赤色の四角は微動 (継続時間が 80 秒以上), 黄色の四角は超低周波地震, 青色の丸は繰り返し地震を含む群発地震イベントを示す. (c) の一点鎖線は東北沖地震のタイミングを示す.

Fig. 2　Same as Fig. 1, except for that earthquakes ($M \geq 2.5$) during the period from Sep. 1, 2020 to Oct. 29, 2023 were used to create (a,b), and that earthquakes falling in the circle with a diameter of 100 km were used to create (c). In (b), tremors with a duration of 80 s or longer (red squares), very-low-frequency earthquakes (yellow squares), and events of background swarms containing repeaters (blue circles) were plotted[11]. In (c), dash-dot line indicates the timing of the Tohoku earthquake.



第 3 図　相対的静穏化．文献 [15] で定義した領域を根室半島以西の地域 (挿入図の緑色) と以東の地域 (青色) に分割した．(a) 緑色の地域で起きた地震 ($M \geq 5.7$) を使用して ETAS 解析 [14] を実施した．左右のパネルはそれぞれ通常の時間，変換時間を使用した．1965 年 1 月 (縦実線) から 2008 年 10 月 (縦実線) までの地震に ETAS フィッティングを行い，2023 年 10 月まで外挿した．ここで，文献 [15] と同じフィティング期間を採用した．右側のパネルの双曲線は 95% 信頼区間を示す．挿入図は文献 [15] を修正した図．(b) (a) と同じ．ただし，挿入図で示す青色の地域の結果を示す．

Fig. 3　Relative quiescence. We considered two regions into which the study region defined by Ref[15] was divided: (a) west of Nemuro Peninsula (green region shown in the inset) and (b) east of it (blue region). (a) Results of ETAS analysis conducted by using earthquakes ($M \geq 5.7$) in the green region. Left and right panels were created by using ordinary and transformed times, respectively. These panels show the ETAS fitting in the target interval from Jan. 1965 (vertical solid line) until Oct. 2008 (vertical solid line) and then extrapolated until Oct. 2023, where the target interval is the same as that used by Ref[15]. The parabola in the right panel represents the 95% confidence intervals of the extrapolation. Inset was modified from Ref[15]. (b) Same as (a) for the blue region shown in the inset.

11 － 11　日本海溝沿いの繰り返し地震活動とその繰り返しの特徴
The activity of repeating earthquakes along the Japan trench and its characteristics of repetition

内田 直希（東京大学地震研究所）
Naoki Uchida (Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

小中規模の繰り返し地震は，数年程度の短い期間で断層上の同じ場所で起こる[1)]．繰り返し地震は，大地震のミニチュア版として，あるいは断層上のクリープメータとして用いることができ，中期的な地震発生予測の高度化に貢献できると考えられる．具体的には，大地震のミニチュア版としては，複数の地震サイクルにわたる観測に基づき行うことで，大地震では難しい知見の取得が期待できる．また，断層上のクリープメータとしては，断層そのものの上でのすべりの値を得ることができるため，地表での観測に比べより微小なすべりを検知できる可能性があり，大地震の発生との関係も調査することができる．

1. 大地震のミニチュア版としての活用例

1.1 将来の震源域周辺での地震活動の時空間変化に関する普遍的な特徴の解明

岩手県釜石沖の地震クラスターでは，M5 程度の繰り返し地震の間の期間に発生する小地震が，5 年程度のサイクルの後半で活発であることが知られていた．この地震クラスターについて精密震源決定を行うと，小地震が M5 クラスの地震のすべり域の内部や端に位置していることがわかった[2)]．同じような階層性は北海道沖や茨城県沖でも発見された[3,4)]他，M9.0 の東北沖地震でも指摘されており[4)]地震規模模よらず普遍的な現象であると考えられる．東北沖地震直後には，釜石沖の地震クラスタでの最大地震の発生間隔は，1 ヶ月以内と非常に短くなった．しかし，地震サイクルの序盤に小地震の活動が小さく，その後増えるという特徴は保存されていた（第 1 図）．このようなすべり域内の地震活動は，固着域での応力状態を反映している可能性が考えられる．このことは，将来の破壊域での地震活動をモニタリングすれば，地震サイクルの中での位置を推定できる可能性を示す．

1.2 地震の規模を決める要因の解明

前述の釜石沖の地震クラスターでは，2011 年の東北沖地震後，それまでに比べマグニチュードが 1 程度大きい地震が起き，その後マグニチュードが減少していくという変化が見られた[5)]．同様の変化が東北沖地震による余効すべりが大きかった領域で発生した他の繰り返し地震系列でもみられ，余効すべりによる急速な載荷が，マグニチュード変化の要因と考えられた．波形インバージョンによるすべり域の範囲の推定[5)]やいくつかの小領域での繰り返し地震活動の推移[6)]（第 2 図）から，大きくなった地震のすべり域はそれ以外に比べ広く，条件付き安定の振る舞いをする領域において急速な載荷の際に地震性すべりが起き，地震の規模が大きくなったと考えられる．このことは，載荷レートが将来起こる地震の規模を決める 1 つの要因となることを示す．

2. 断層上のクリープメータとしての活用例

2.1 固着域周辺での断層クリープのモニタリングによる地震発生確率の変化の推定

断層上で地震性すべりと非地震性すべり（クリープ）は互いに影響を及ぼしあっており，地震性すべりだけでなく，非地震性すべりの状況を知ることは非常に重要である．地震発生に関係した非地震性すべりとして，Uchida et al. 2013[7] や Mavrommatis et al., 2015[8] は，東北沖地震前の震源域での非地震性すべりの加速を繰り返し地震による断層クリープの観測から指摘している．また，東北沖では，数年周期で非地震性すべりの速度が時間変化しており，すべり速度が速い時期に M5 以上の地震が多く起きていたことが示された[9]（第 3 図）．このような傾向は，地震の発生確率の時間変化の推定に活用できる可能性がある．

2.2 地殻変動 / 地震サイクルモデリングによる地震発生予測の高度化

前述の断層クリープの観測は，断層そのものでの変位の観測として重要であり，地殻変動や地震サイクルのモデリングにおいて重要な拘束条件となりうる．例えば，東北沖地震後の地殻変動のモデリング研究[10]では，粘弾性緩和のパラメタの推定により，将来の変形も予測することができ，断層にかかる力の時間発展を予測することができる．また，地震サイクルのシミュレーションにおいても同様に，最適なパラメタの選定に用いることで，より現実的な将来予測に繋げることができる．東北沖の地震発生シミュレーションでは，宮城県沖地震の発生に加え，東北沖地震のすべり域での固着の時間変化も予測された[11]．繰り返し地震や地殻変動観測により断層上のクリープをモニタリングを継続することにより，モデルの高度化に貢献できると考えられる．

（内田 直希）
Naoki Uchida

参考文献

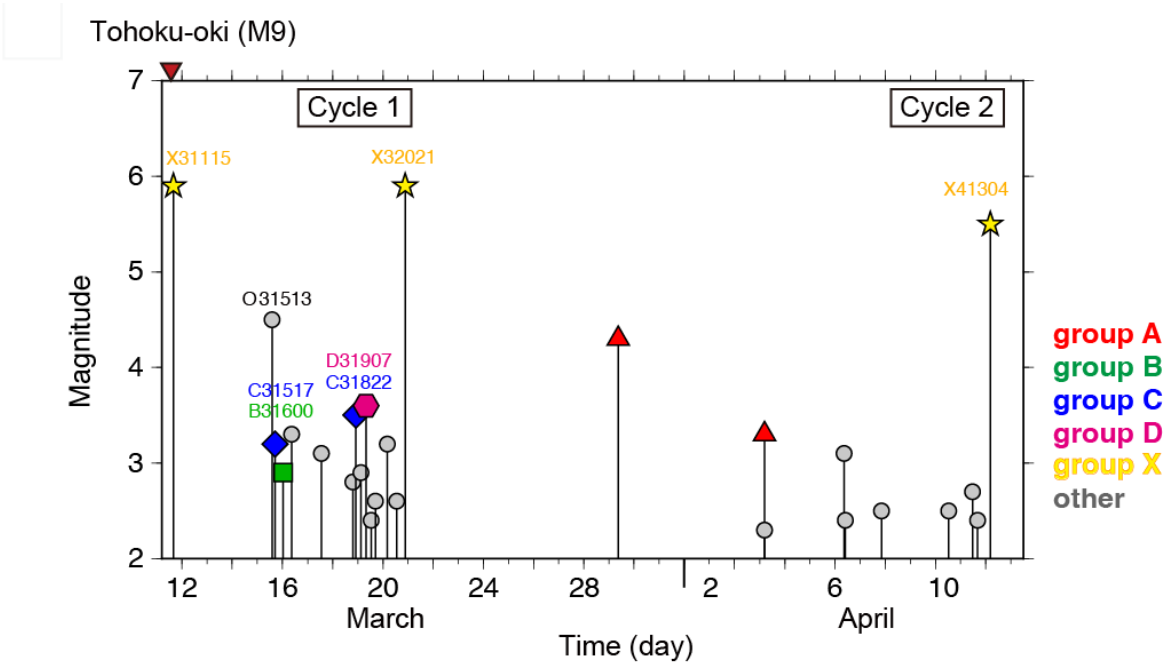
1) Uchida and Burgmann (2016), *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* **47**, 305-332. Repeating earthquakes.
2) Uchida et al. (2012), *Geophys. J. Int.*, **189**, 999-1014. Source parameters of microearthquakes on an interplate asperity off Kamaishi, NE Japan over two earthquake cycles.
3) Okuda and Ide (2018), *Earth, Planets and Space*, **70**:132. Streak and hierarchical structures of the Tohoku–Hokkaido subduction zone plate boundary.
4) Chang and Ide (2021), *J. Geophys. Res.*, **126(9)**, e2021JB021991. Hypocenter hotspots illuminated using a new cross‐correlation‐based hypocenter and centroid relocation method.
5) Uchida et al. (2015), *J. Geophys. Res.*, **120(1)**, 259-274. Postseismic response of repeating earthquakes around the 2011 Tohoku-oki earthquake: Moment increases due to the fast loading rate.
6) Hatakeyama et al. (2017), *J. Geophys. Res.*, **122(7)**, 5160-5180. Emergence and disappearance of interplate repeating earthquakes following the 2011 M9.0 Tohoku-oki earthquake: Slip behavior transition between seismic and aseismic depending on the loading rate.
7) Uchida and Matsuzawa (2013), *Earth Planet. Sci. Lett.*, **374**, 81-91. Pre- and post-seismic slow slip surrounding the 2011 Tohoku-oki earthquake rupture.
8) Mavrommatis et al. (2015), *Geophys. Res. Lett.*, **42**, 9717-9725. Long-term acceleration of aseismic slip

preceding the Mw 9 Tohoku-oki earthquake: Constraints from repeating earthquakes.

9) Uchida et al. (2016), *Science*, **351**(6272), 488-492. Periodic slow slip triggers megathrust zone earthquakes in northeastern Japan.

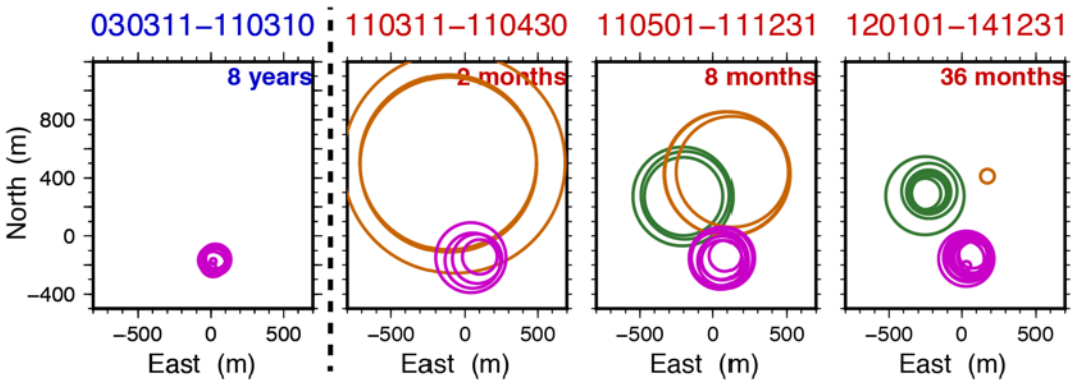
10) Hu et al. (2016), *J. Geophys. Res.*, **12**, 385–411. Stress-driven relaxation of heterogeneous upper mantle and time-dependent afterslip following the 2011 Tohoku earthquake.

11) Nakata et al. (2023), *Progress in Earth and Planetary Science*, **126(9)**, e2021JB021991. Recurrence intervals for M> 7 Miyagi-ken-Oki earthquakes during an M~ 9 earthquake cycle.



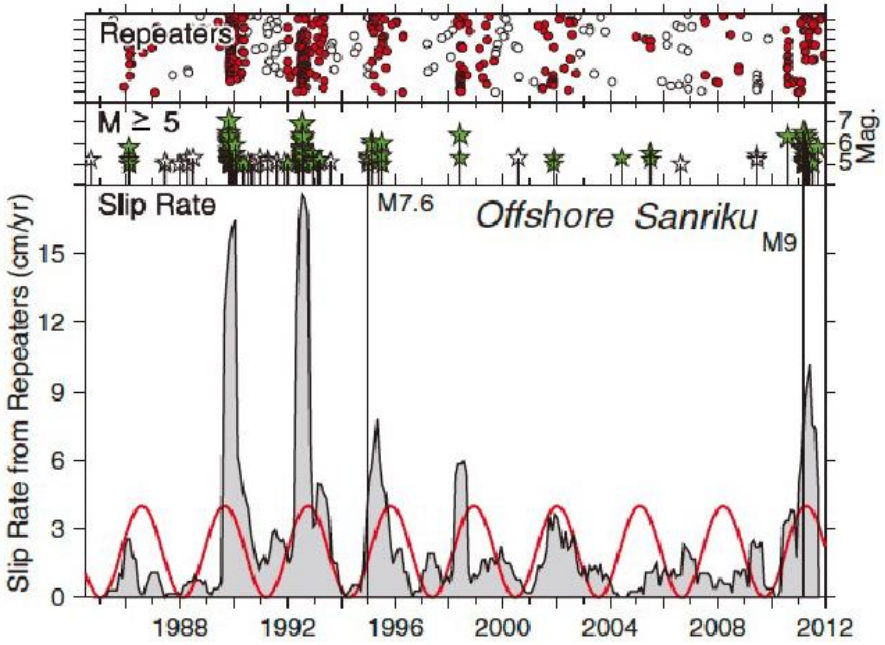
第 1 図　2011年東北沖地震直後の釜石沖地震クラスターでの地震活動．極端に発生が短くなった東北沖地震直後の２つの地震サイクルにおいても，サイクルの初めは地震活動が低い．[奥田・他 2018]

Fig. 1　The time-magnitude ploy of the seismicity at the Kamaishi-oki earthquake cluster just after the 2011 Tohoku-oki earthquake.



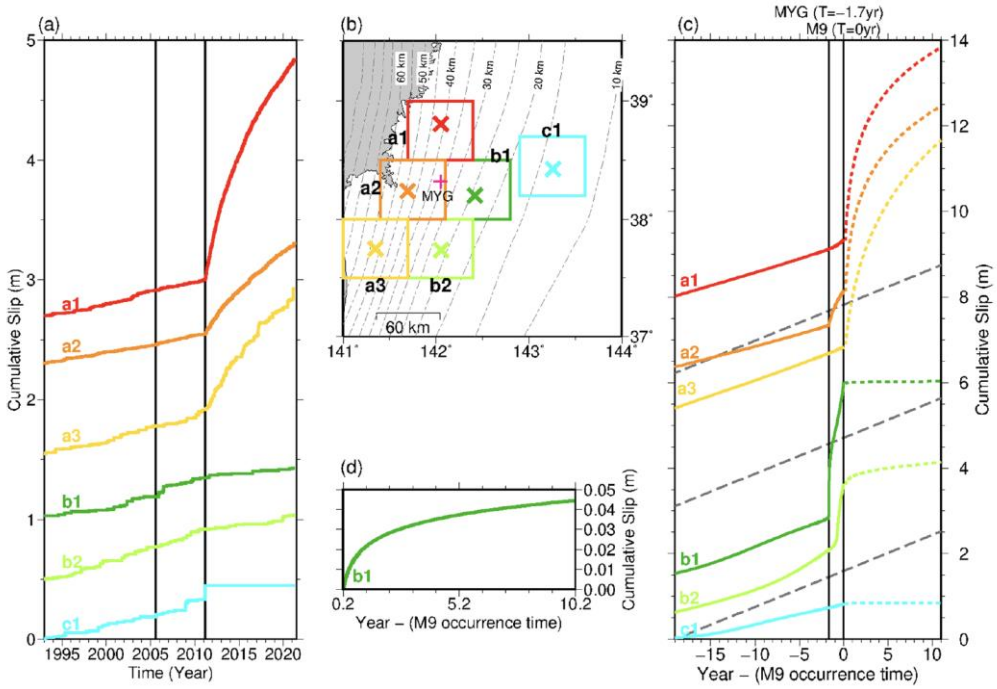
第 2 図　2011年東北沖地震前後の三陸沖の地震活動の例．断層面を上から見た図で，丸のサイズは断層サイズを示す．
縦の破線で示す東北沖地震後，ピンクの繰り返し地震のサイズが大きくなったほか，その北部で大きな繰り返し地震が起きるようになり，その後全体的にサイズが小さくなっていった．[Hatakeyama et al., 2017].

Fig. 2　The spatio-temporal change of seismicity in a small region offshore Sanriku. The circle size represents the slip area of each earthquake. The slip area of the cyan-colored earthquake after the Tohoku-oki earthquake. A large earthquake (orange) stated to occur after the Tohoku-oki earthquake [Hatakeyama et al., 2017].



第 3 図　三陸沖の海溝近傍の領域における繰り返し地震活動（上段），M5 以上の地震の活動（中段）および繰り返し地震から推定したすべりレート（下段）．すべりレートが高い時期に M5 以上の地震が集中して起きている．[Uchida et al. 2016].

Fig. 3　The activity of repeating earthquakes at near-trench area off Sanriku (top), the activity of M>=5 earthquakes in the same area (middle), and slip rate estimated from repeating earthquakes. [Uchida et al., 2016].



第 4 図　宮城県沖における繰り返し地震から推定したプレート境界上の断層クリープの時間変化（左）と地震サイクルシミュレーションによる計算値（右）．[Nakata et al.2023].

Fig. 4　The temporal change of the aseismic slip estimated from the repeating earthquakes (a) and model predicted slip on the plate boundary (b). [Nakata et al., 2023].

11 － 12　能登半島群発地震の経過と大地震前後の異常活動の解釈
Interpretation of the course of the Noto Peninsula earthquake swarm and some anomalous activities before and after major earthquakes

熊澤貴雄，尾形良彦（統計数理研究所）
KUMAZAWA Takao, OGATA Yosihiko(The Institute of Statistical Mathematics)

１．はじめに．

石川県能登半島の北東部では，2020 年 11 月末から，それぞれに特徴のある活動性の高い群発地震が 4 つの地域に別れて発生している（第 1 図）[1-5]．群発地震の開始以前から微小地震活動の見られた南東部領域 B では，2020 年 11 月末に活動が突如として 14km 以深へ移行し，数ヶ月の遅れで周辺領域に時計回りの順で活動が波及した．先行研究 [6-9] では当地域の深部から流体が供給されたことが指摘されており，地震発生地域が分かれた理由は，この流体が地殻の強固な部分（地震空白地帯）を浸透して，周辺の脆弱な領域へと拡散していったことが示唆される．以降，北部地域 A と D の地震活動性は高いまま推移し，両地域を東西に隔てる空白地帯付近で 2022 年 6 月 19 日に M5.4 地震が発生し，その約 19 時間後に D 地域の東端で M5.0 が伴った．2023 年 5 月 5 日には D 地域東部の北辺で M6.5 の地震が発生し，その余震は北部地域全体からその北方にかけて広く分布した．

群発地震開始から本震 M6. 5 とその余震活動を含む非一様な地震発生パターンに対応するために，本稿の解析には以下の非定常 ETAS モデル [10] を用いた．

$$\lambda_\theta(t|H_t) = \mu(t) + \sum_{\{i:S\le t_i<t\}} K_0(t_i) e^{\alpha(M_i - M_c)} / (t - t_i + c)^p \quad . \qquad (1)$$

このモデルは定常 ETAS モデルの第 1 項の”背景強度 μ と第 2 項の余震的誘発率のそれぞれに独立に時間変動要素を加味し，これらの変化を赤池ベイズ情報量規準（ABIC）法 [10] で推定するものである．背景強度関数 μ (t) は対象領域周辺でのゆっくりすべりによる応力変化，または断層内での流体貫入による断層弱化などを反映すると考えられる．他方 $K(t_i)$ は領域内の先行地震による近傍小断層群への地震連鎖効果（余震誘発率）を表わす．

本稿では，非定常 ETAS モデルの背景強度関数 μ (*t*) 及び地震密度分布推定から分かる地震活動異常が, 幾つかのスロースリップまたは間隙流体圧変化のシナリオと矛盾しないことを示す．また, 2023 年 5 月 5 日の M6.5 地震前後の地震発生パターンに流体圧変化が関与したことを示す．データは 2023 年 11 月 12 日のまでの JMA カタログを使用した．

２．群発地震活動の拡散について

本節では 2023 年 5 月の M6.5 発生以前の群発地震活動に対して地域別に非定常 ETAS モデル (1) を当てはめ，背景強度 μ (t) と GNSS 観測及び地震発生の時間密度分布との対応を考察した．

B 地域では 2020 年末に突如として深部（14km 以深）で間欠的な群発地震活動が始まり，それ以前から安定した地震活動の見られた浅い部分は静穏化した．2021 年中頃より震源は徐々に浅い部分に移動し，2022 年 1 月頃に背景強度主導の地震バーストが発生している．このバースト期間の地震分布はこの地域の主応力方向に沿っており，その延長方向にある舳倉島観測点と珠洲観測点間の斜距離に急上昇が伴った．このことは流体の大規模移動が伴ったことを示唆する（文献 4: 第 1 図, 第 2 図参照）．

B 地域での浅部へのマイグレーション開始から数ヶ月遅れで群発活動が波及した周辺地域（A, C, D）の背景強度 μ (t)（第 2 図 a）は，各地域での群発開始から約半年程度の加速的活動を経て定常的活動に推移した．2022 年以降，A 地域とＣ地域では増大・減少を繰り返して，トレンドは緩やかに減少している． D および B 地域では比較的ゆっくりと増大・減少を繰り返している．A 地域の背景強度（赤曲線）は M6.5 直前になって減少していることが明瞭である．一方で D 地域（黄曲線）は 2023 年 3 月頃以降に一旦減少し，M6. 5 直前に再び増加している．

３．2022 年から 2023 年 M6.5 地震発生までの地震活動と測地変動の時空間的特徴について

A と D を合わせた地域の時空間活動（M ≥ 1）を，2022 年から M6.5 本震前までの経度対時間の数密度分布で表示した（第 2 図 c）．この結果は経度対経過日数の震源座標（着色点）を結んだ２次元デロネ型関数を用いた空間非一様ポアソンモデルで当てはめ，ベイズ的平滑化プログラム HIST-PPM[11] によって最適な数密度分布を計算した．この数密度分布でみると，M 6.5 の直前では，5 月 4 日の前震を除いて，静穏化がＤ地域を中心に A 地域の東部にも及んで見られる（静穏化 Q1）．この静穏化に対応するように，両地域の背景強度（第 2 図 a）は低下している．また，2023 年以降の A 地域の背景強度（第 2 図 a）は減少トレンドであり，これに対応する第 2 図 c の発生分布の密度低下は明白である（静穏化 Q2）．同様に，両地域の背景強度（第 2 図 a）が 2022 年 6 月 19 日の M5.4 発生後しばらく経って減少したことに対応して，第 2 図 c ではＤ地域に加えて A 地域の東部にも静穏化が見られる（静穏化 Q3）．

静穏化 Q1 及び Q2 は M6.5 震源断層 [12]（第 1 表）の深部延長域で，ゆっくりすべりを仮定した場合のＡとＤ地域でのクーロン応力シャドウ（CFS ＜ 0 の領域）と対応する．同仮定による CFS ＞ 0 の領域は，（文献 4: 第 4 図参照）で示した 2023 年初頭前後からの南東部地域震源の東方へのマイグレーションパターンも支持する．さらに，GNSS 珠洲観測点を起点とする周辺地域（舳倉島，輪島 2，小木）との基線斜距離の 2023 年初頭からの増加トレンド（第 3 図）も，同一仮説に基づく MICAP-G[13] で計算された地表変動ベクトルに基づく距離変化と矛盾しない．静穏化 Q3 は 2022 年 6 月の M5. 4 断層の事後滑りを仮定した場合のクーロン応力シャドウと一致している．

４．M6.5 地震の前震と最大余震

第 4 図は M6.5 発生直前までの北部地域ＡとＤの全ての地震の震央（参考の為，赤△は M6.5 地震と最大余震 M5.9 を付加した）から空間ポアソン過程のベイズ平滑化法 [11] によって得られた地震密度分布である．これによると，M6.5 は D 地域北縁の，群発地震の疎密度な領域に発生した． 同様に，M6.5 地震発生前の 1 日間に起きた M ≥ 1 の地震の位置を×印で示したが，M6.5 周辺の低密度領域（四角内）では集中的に 8 個発生している（赤×）．密度分布が示す相場的発生率から逸脱する発生パターンを示すこれらの活動は前震と捉えることができる．第 2 図 a で示した，D 地域の背景強度の M6.5 直前での上昇はこれらの前震活動を反映している．これらの平均 b 値は 0.85 で標準より低く，その殆どは元々極めて低い b 値の領域に起きていることが，２次元デロネ型関数に基づく空間的 b 値のベイズ平滑化法 [11] によって得られたパターンから示される（文献 5: 第 3 図参照）．本震と同様に，最大余震 M5.9 も密度分布の等高線が谷状に入り込んだ低い部位で発生していることが分かる．

５．2022 年 6 月の M5.4 地震の最大余震（M5.0）から M6.5 への局所的マイグレーション活動

2023 年 M6.5 地震発生前の調査期間における最大地震であった 2022 年 6 月の M5.4 地震は A 地域と D 地域を隔てる地震空白地帯付近に発生し，その約 19 時間後に D 地域活動の東端部において最大余震である M5.0 が続発した．後に起こる M6.5 地震とこの地震とは当地域のストレス場に沿って分布しており，主応力方向に採った矩形領域（第 5 図 a）の地震活動を X – Y 軸対深さへ投影すると第 5 図 b になる．M5.0 から M6.5 にかけて，この領域では地震活動が増加しており，深部の M5.0 からより浅い M6.5 に向かって地震活動が分布する（第 5 図 b）．これらの観測は M5.0 発生後に深部から M6.5 の震源に向けて流体の移動やスロースリップが伴ったことを示唆する．

６．M6.5 地震後の余震の異常時空間パターンとその解釈について

M6.5 本震から最大余震直前迄の間で大森宇津モデルが良く当てはまる期間を探すと（第 6 図 a の本震後 0.13 日の縦線参照），その後に相対的静穏化が顕著に表れる．この適合曲線の線形変換時間について経度座標をプロットすると，事前に最大余震周辺での相対的な空白地帯が明瞭となる（第 6 図 b）．これは本震で誘発された最大余震周辺でのゆっくりすべりによって，M6.5 の余震活動の当該部にストレスシャドーが生じたためと解釈できる．

第 7 図 a は 2019 年から 2023 年 11 月 12 日まで，M6.5 とその余震を含めた活動を地域別に非定常 ETAS で計算した結果を線形スケールで示した．ただし本震 - 余震領域を含む北部両地域（A と D）は本震直後の甚だしいデータ欠損を考慮して下限マグニチュードを 1.5 とし，B 地域については 2023 年初頭前後からの東方への拡散を考慮した（文献 5: 第 4 図参照）．すなわち第 1 図の B 地域とその東方への延長部分を含む B’ 地域を対照領域とした．黄色塗り部分は M6.5 地震以降の期間を表す．第 7 図 b には M6.5 地震以降の背景強度を (1) 式の余震活動度と合わせて対数スケールで示した．背景強度は各地域に於いて本震以降に同様に減少し再び回復する．この結果は M6.5 の余震活動を構成する地震成分の中で，本震の静的トリガー（CFS > 0）が誘発するものだけでなく，流体貫入が誘発する成分が本震直後に一旦増加した後に大きく減衰し，時間を置いて再び増加したことが原因と考えられる．これは一旦捌けた断層内の流体分布が時間を於いて回復する過程を反映したものと捉えられるかもしれない．背景強度が本震直後に上昇するのは，データ欠損の影響に加えて，断層活動によって地殻内の流体貫入が増加した経過を示したものと考えられる．この所見については下記 8 節を参照されたい．

７．まとめ

定常 ETAS モデルは対象とする地震時系列のみから地震活動同士の静的誘発（static triggering）に基づく地震発生強度を説明しようとする．これに対して非定常 ETAS モデルは外部からの動的誘発（dynamic triggering）も含み，非地震的誘発効果を考慮した点が特徴である．この外部からの誘発効果は ETAS モデルではパラメータ μ（背景強度）に含まれることから，この詳細な時間変動を調べることがスロースリップや間隙流体圧の変動を間接的に推定することに繋がる．M6.5 本震発生前の背景強度の変化と GNSS 観測との対比考察は先行報告 [1-5] に於いて詳述してきた．

本報告の内容は以下の 4 点に纏めることができる．先ず，群発地震開始地域 B の深部で，2022 年初めに一連の加速的な群発地震活発化を検出し，それに伴う GNSS 基線斜距離の同時的急増加と対比した．この時に流体の大規模な移動とゆっくりすべりが開始，それらが継続したと考えられる．

次に，M6.5 地震の断層モデルの深部延長部で前駆的滑りを仮定した場合の応力変化と，地震活動変化や測地学的変動との対応関係に関して論じた．すなわち深部すべりを仮定したΔ CFS パターンは，A 地域全域での静穏化，珠洲観測点を起点とする斜距離の増加トレンド，そして南部地域（B 地域）の地震群の東方へのマイグレーションと矛盾しない．これらはいずれも 2022 年終わりから見られた変動であった．同様に，M5.4 断層の事後的な滑りを仮定したΔ CFS パターンは，M5.4 発生（2022 年 6 月 19 日）の後暫くして北部地域（A, D 地域）で見られた活動静穏化と矛盾しない．

そして，M6.5 とその最大余震 M5.9 は群発地震の数密度分布が低い領域で発生し，かつ本震周辺で纏まった数の前震が起こった点を指摘した．また，2022 年の M5.4 地震直後の最大余震である M5.0 から本震 M6.5 への主応力方向に沿う短冊域での地震発生分布は深部から浅部への流体の移動またはスロースリップを示唆する．

最後に本震以降の活動に関しては，本震後 0.4 日間の解析では最大余震 M5.9 直前にその周辺地域で静穏化が見られた．より長期間の非定常 ETAS モデル解析によると M6.5 以降に各地域の背景強度は大きく減少し，暫くして増大した．

８．予測に向けた議論

能登半島の最近のバックグラウンドレートが下がり切って上昇しているという点に関しては，今回の能登半島の M6.5 地震の余震活動には動的誘発に因るものと静的誘発に因るものの両方が混在している．M6.5 地震の直後に流体の大量貫入で背景強度が急増し，余震減衰とともに大きく減少した [22)]．そのまましばらく経つと流体効果そのものが止まってしまうという可能性もあったが，深部からの流体の供給が振り返してきているという推定は今後の予測において無視できない点である．

本震の断層解が分かっていれば，回顧的に周辺でのスロースリップを仮定して，本報告の様に測地データや地震活動変化を解釈することはできる [14-20)] ので，スロースリップの情報を事前に把握することは予測的観点から重要である．しかし多くの場合，特に内陸部でのスロースリップは規模が微小なのでインバージョンが難しく，精度の問題が付き纏う．その解決案として，可能なスロースリップの断層モデルを敷き詰めて地殻変動解析のプログラム MICAP-G などを用いれば，どの断層モデルが地震発生パターンや GNSS 測地時系列の変化に適合しているか評価でき，それらの適合度を重みとして予測することが考えられる．このようなフォワード推論は組み合わせの問題だから大掛かりでモデル作成の労力や計算負荷が大きいであろうが，今の計算機だったら可能であろうかと思う．

一時的なゆっくり滑りは，中期および短期の予測において大規模地震の前兆の可能性として有望であるが, 習慣的なゆっくり滑りや地震後のゆっくり滑りとは何らかの形で区別されねばならない．大地震の確率増加を経験的に評価できるようにするには，地震活動の時空間パターンに基づいてこれらの種類の滑りを統計的に特定する必要がある．加えて測地観測など多様な種類のデータに基づいて物理的設定を制約することにより，前兆滑りをより明確に特定することができれば，確率利得はさらに高くなる可能性がある．

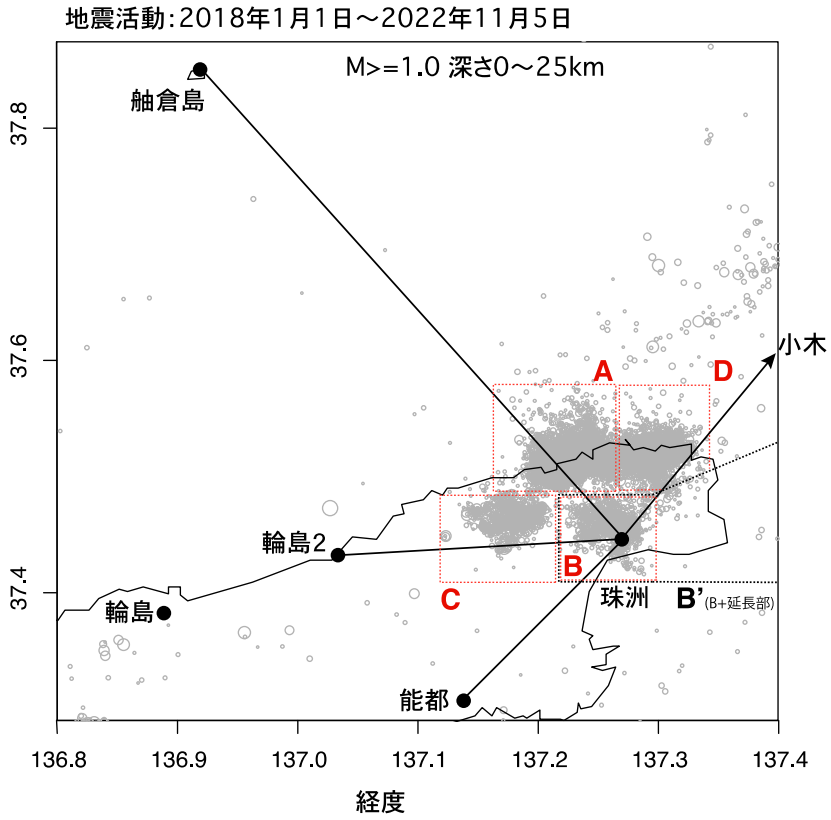
謝意.

本解析に関して気象庁震源カタログ，地震活動解析ソフト [23)] , GEONET データ，地殻変動解析支援プログラム MICAP-G[13)] およびデロネ型三角網上の平滑化プログラム HIST-PPM[11)] を用いた．

東北大理学研究科吉田圭佑氏の地震カタログ[24]は深さ分布を理解するのに有益であった.

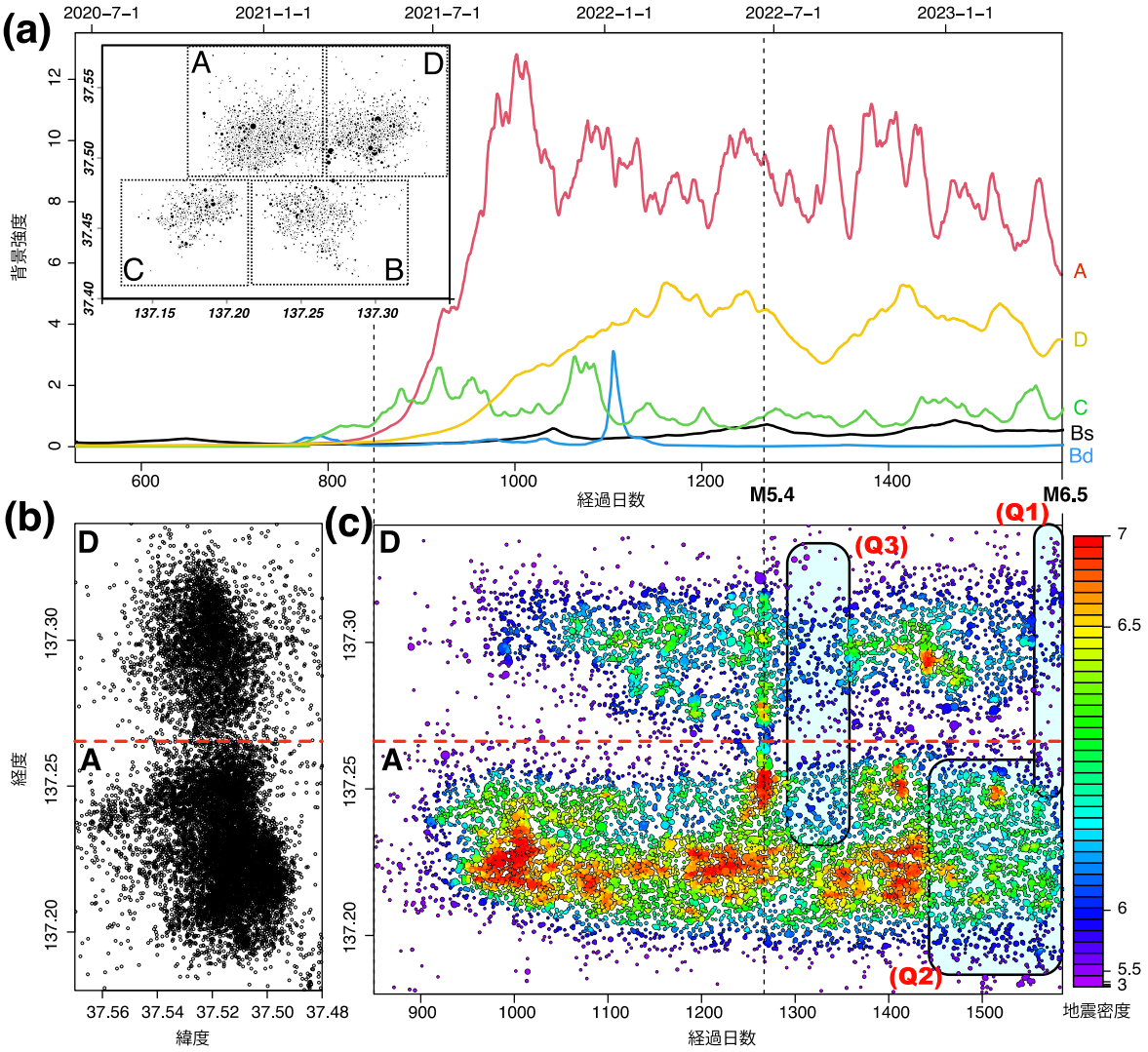
参考文献

1) 熊澤貴雄, 尾形良彦 (2010) *予知連会報* **84** (3-5), https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou84/03_05.pdf
2) 熊澤貴雄, 尾形良彦 (2022a). *予知連会報* **107** (7-4) , https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou107/07_04.pdf
3) 熊澤貴雄, 尾形良彦 (2022b). *予知連会報* **108** (7-3), https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou108/07_03.pdf
4) 熊澤貴雄, 尾形良彦 (2023a). *予知連会報* **109** (7-2) , https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou109/07_02.pdf
5) 熊澤貴雄, 尾形良彦 (2023b). *予知連会報* **110** (10-6) , https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou110/10_06.pdf
6) Nakajima J (2022) *Earth, Planets and Space* **74**, https://doi.org/10.1186/s40623-022-01719-x
7) Nishimura T Hiramatsu Y, Ohta Y (2023) *Scientific Reports* 13, https://doi.org/10.1038/s41598-023-35459-z
8) Yoshida K et al (2022) *J. Geophys. Res.* **128 (6)**, https://doi.org/10.1029/2022jb026047
9) Yoshimura, R et al. (2022) *Planetary and Space Sciences*, 3–7 November, Sagamihara, Japan 152th.
10) Kumazawa T, Ogata Y (2013) *J Geophys. Res. Solid Earth* **118 (12)**: 6165–6182. http://doi.wiley.com/10.1002/2013JB010259
11) Ogata Y. et al. (2020). Computer Science Monograph, No. 35, 統計数理研究所 , https://www.ism.ac.jp/editsec/csm/index_j.html
12) 地理院 (2023) 令和 5 年 5 月 5 日の石川県能登地方の地震活動の震源断層モデル（暫定）, https://www.gsi.go.jp/common/000249465.pdf https://www.gsi.go.jp/cais/topic20220505.html
13) 内藤宏人 , 吉川澄夫 (1999) *地震 第 2 輯* **52(1)** DOI, https://doi.org/10.4294/zisin1948.52.1_101
14) Ogata Y (2007) *J. Geophys. Res.* **112**, B10301, https://doi.org/10.1029/2006JB004697
15) 尾形良彦 (2008) *予知連会報* **79** (7-3), https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou79/07_03.pdf
16) Ogata Y (2010). *PAGEOPH* **167** (8-9) 1115-1127, https://doi.org/10.1007/s00024-010-0096-y
17) Ogata Y (2011). *Geophys. J. Int.* **186(1)**, 331-348, https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2011.05033.x
18) 尾形良彦 (2007) *予知連会報* **78** (7-11), https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou78/07_11.pdf
19) 尾形良彦 , 遠田晋次 (2008) *予知連会報* , **80** (12-05), https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou80/12_05.pdf
20) Kumazawa T, Ogata Y, Toda S (2020). *Geophys. J. Int.*, **223(2)**, 1304-1312, https://doi.org/10.1093/gji/ggaa356
21) Ogata Y, Tsuruoka H (2016). *Earth Planets Space* **68 (44)**, https://doi.org/10.1186/s40623-016-0410-8
22) 尾形良彦, 熊澤貴雄 (2023) 第 240 回地震予知連絡会議, 第 110 巻予知連会報に掲載予定.
23) 鶴岡 弘 (1995) *地震研究所技術研究報告* No. 2. 34–42
24) Yoshida, K et al (2023) Zendo, https://zenodo.org/records/10019860



第 1 図　震央マップと GNSS 観測網．地図中の赤い四角は地域分（A-D）を示す．黒い多角形 B' は地域 B とその東の延長を含む地域を表す．黒丸は GNSS 観測点を示す．

Fig. 1　Epicenter map and GNSS observation network. Red squares in the map indicate the regional divisions (A-D). Black polygon 'B' indicates region B and its eastern extension. Black circles indicate GNSS observation points.



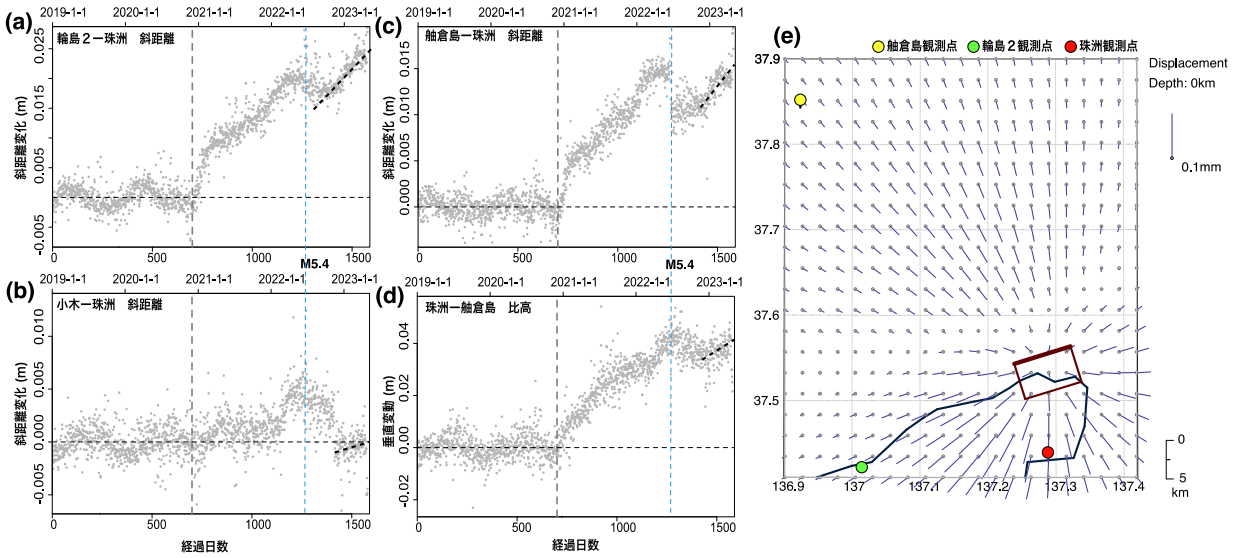
第 2 図　背景ポアソン強度の時間変化と時空間変化（2023/5 M6.5 発生以前）．(a) 各地域の背景地震強度を色別で線形スケールで表す．(b) A 地域と D 地域の震央分布 . (c) 時間対経度分布．色はポアソン密度を表す．それぞれ M ≥ 1 の地震活動．特徴的な静穏化領域を Q1~Q3 で示す．

Fig. 2　Background Poisson intensity rates of time and of space-time (before the 2023/5 M6.5 event). (a) Variation of the background intensity function of time in each region on linear scale. (b) Epicenters of the earthquakes of M ≥ 1 in regions A and D. (c) Coordinate of the longitude vs time events with colors indicated logarithmic intensity values at respective events' coordinates of the optimally smoothed Delaunay surface of Poisson intensity rates in logarithmic scale. Systematically low Poisson intensity (density) regions are indicated by Q1~Q3.

第 1 表　国土地理院の M6.5 震源断層モデル解 [11)]

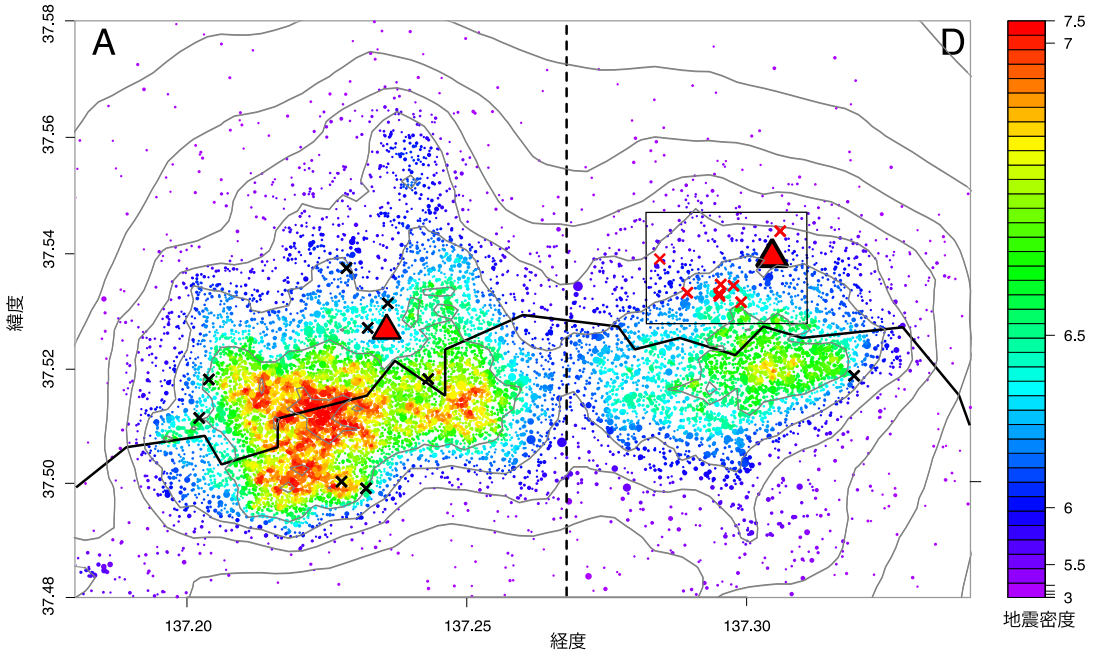
Table 1　The M6.5 epicenter fault model solution[11)] by GSI.

経度 [°]	緯度 [°]	上端深さ [km]	長さ [km]	幅 [km]	走向 [°]	傾斜 [°]	すべり角 [°]	すべり量 [m]
137.238	37.578	0.2	5.6	10.6	74.2	63.9	110.3	1.7
(0.003)	(0.002)	(0.2)	(0.4)	(0.2)	(2.5)	(1.4)	(1.1)	(0.2)



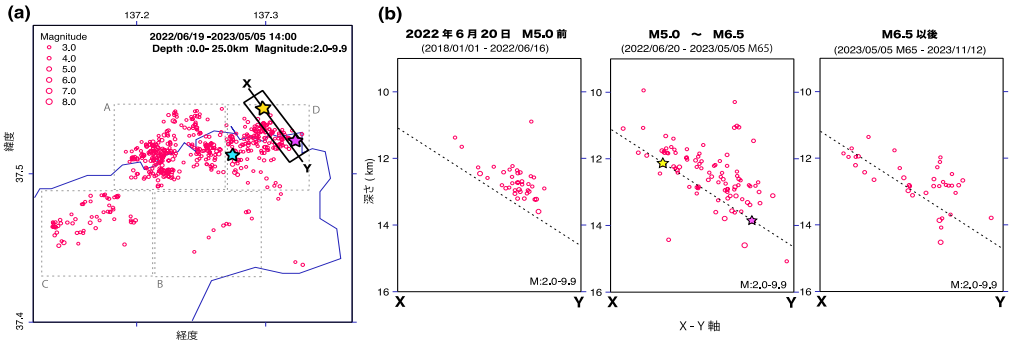
第 3 図　珠洲観測所を起点とした M6.5 地震前 1 年間の斜距離及び比高の時系列
（a ~d）は斜距離変動（珠洲観測点とそれぞれ輪島 2，小木，舳倉島観測点間）及び舳倉島を基準とした珠洲の垂直変動．2023 初頭前後以降 2023 年 5 月 4 日までのトレンドを黒点線で示す．（e）M6.5 地震の断層[12] の深部延長部モデル（茶色矩形）でのスロースリップを仮定した場合の地表の変動ベクトル．

Fig. 3　Time series of the distances and specific height between GNSS observation points during one year before the M6.5 earthquake. (a ~d) Distance variations (between Suzu station and Wajima2, Ogi, and Hegura Island stations, respectively) and vertical variations of Suzu with respect to Hekurajima; trends from around the beginning of 2023 to May 4, 2023 are shown by black dotted lines. (e) Vector of surface deformation assuming slow slip in the M6.5 deep extension (brown rectangle).



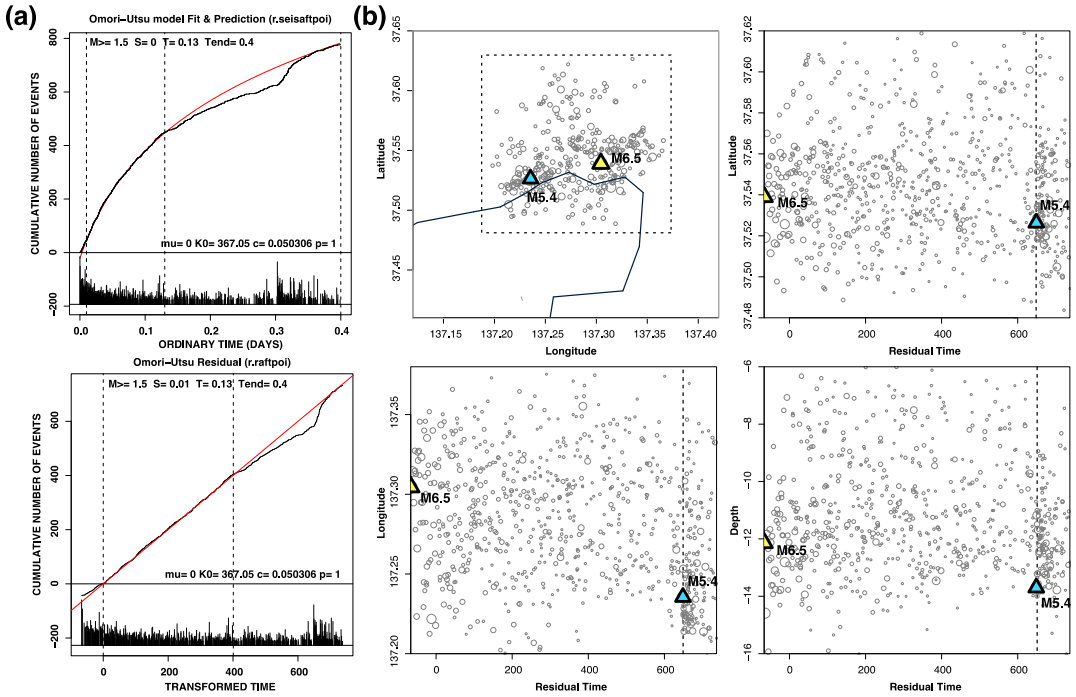
第 4 図　A と D 地域の空間地震密度分布 . 配色の形式は第 2 図と同様．色票は 1 平方度当たりの対数平均個数で密度等高線に対応し，赤三角は東側が M6.5，西側が M5.9 を表す．×印は 5 月 4 日から 5 月 5 日の M6.5 までの震央分布を示す．

Fig. 4　Spatial density intensity in A and D regions. The Poisson intensity corresponds to the logarithmic color markers and the equidistant contour lines. Red triangles are epicenters of the M6.5 and M5.9 from east to west, and red and black × marks the epicenters that occurred from May 4 to 5 before the M6.5 ocurred.



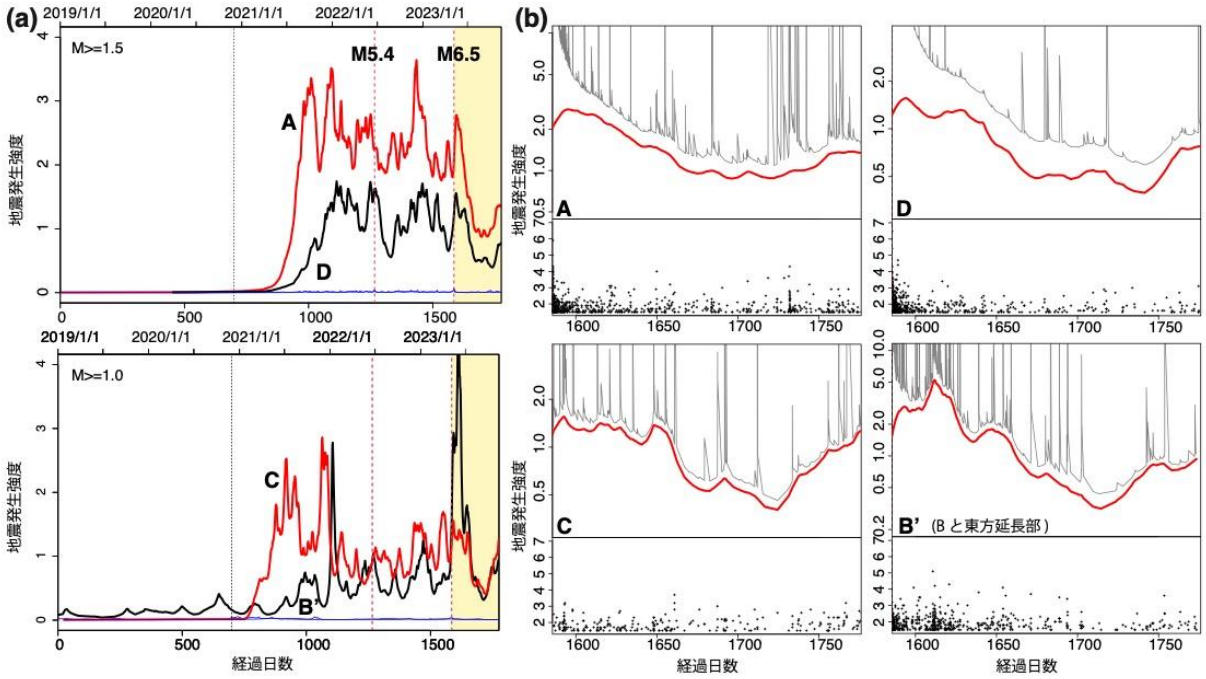
第 5 図　M5.4 地震から M6.5 地震にかけての小地域の深さ分布．(a) 2022 年 6 月 19 日の M5.4（青色星）から 2023 年 5 月 5 日 M6.5（黄色星）までの震央分布．ピンク色星は 2022 年 6 月 20 日の M5.0（M5. 4 の最大余震）を表す．M ≥ 2.0．(b) パネル (a) の矩形領域内の震源を X—Y 軸対深さ方向へ投影したもの．期間は左からそれぞれ 2018 年から M5.0 直前まで，M5.0 から M6.5，M6.5 以降（2023 年 11 月 12 日まで）．

Fig. 5　Distribution of hypocenter depths in small areas between M5.4 and M6.5. (a) Epicenter distribution of M ≥ 2.0 events from M5.4 on June 19, 2022 (blue star) to M6.5 on May 5, 2023 (yellow star). The pink star represents the M5.0 on June 20, 2022 (the largest aftershock of M5.4 earthquake). (b) X-Y axis distance versus depth projection of the epicenter within the rectangular region in panel (a). Periods from left to right panels are 2018 to just before M5.0, M5.0 to M6.5, and after M6.5 (until November 12, 2023), respectively.



第 6 図　M6.5 地震の余震活動．2023 年 5 月 5 日の M6.5 から 0.4 日間の M ≥ 1.5 余震活動．(a) M6.5 から 0.13 日までを大森宇津式で当て嵌め，外挿した（赤曲線）．黒曲線は観測累積数．上段は通常時間，下段は変換時間（残渣時間）．(b) 震央分布（左上）及び変換時間に基づく時空間分布．

Fig. 6　Aftershock of M6.5. Aftershock activity of M ≥ 1.5 events during 0.4 days after the May 5, 2023 M6.5 event. (a) Extrapolation by fitting the Omori-Utsu formula from M6.5 to 0.13day (red curve). The black curve is the cumulative number of observations, M ≥ 1.5. upper panel: normal time, lower panel: transformed time (residual time). (b) Epicentral distribution (upper left), and spatiotemporal distribution based on the transformed time.



第 7 図　M6.5 地震以降の余震活動度と背景強度の変化．（a）2019 年から 2023 年 11 月 12 日までの背景強度推定値．上パネルは地域 A と D の背景強度（それぞれ赤線と黒線）で下限マグニチュードは M1.5. 下パネルは地域 C と B’（それぞれ赤線と黒線）. B’は旧 B 地域と東方延長部を含む（第 1 図参照）で下限マグニチュードは M1.0．縦軸はリニアスケール．　M6.5 以降を薄黄色で強調した．（b）M6.5 以降の背景強度 (赤線) を地域別に表示．スパイク曲線は非定常 ETAS モデルの強度関数．縦軸は対数スケール．

Fig. 7　Changes in aftershock activity and background intensity since the M6.5 Earthquake. (a) Background intensity estimates from 2019 to November 12, 2023. The upper panel shows the background intensity for regions A and D (red and black lines, respectively). The lower magnitude is M1.5. The lower panel is for regions C and B' (red and black lines, respectively). B' includes former area B and its eastern extension (Fig. 1). The lower magnitude is M1.0. Vertical axis is linear scale. The area after M6.5 is highlighted in light yellow. (b) Background intensity (red line) after M6.5 is shown by region. Spiky curves are intensity functions of the non-stationary ETAS model. Vertical axis is on a log scale.

連 絡 会 記 事

第 240 回地震予知連絡会議事次第

日　　時：令和 5 年 8 月 31 日　13：00 ～ 17：00
開催形式：地震予知連絡会大会議室（関東地方測量部内，オンライン会議併用）

1．開　会
2．院長・会長挨拶
3．事務的事項
　1）出席者・資料の確認
　2）第 239 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）運営検討部会検討事項報告
　　・運営検討部会委員及び予測実験 WG 委員について
　　・今後の重点検討課題の決定について
　　・予測実験 WG の活動報告について
　　・その他

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
　　(4) 統計数理研究所
　2）地殻活動の予測に関する報告
　　(1) 地殻変動予測：東北地方太平洋沖地震の余効変動

5．重点検討課題の検討
　1）第 240 回地震予知連絡会重点検討課題の検討
　　「関東地震 100 周年」
　　コンビーナ　佐竹　健治 委員
　　(1) 関東地方のプレート構造と地震活動
　　東京大学名誉教授　平田　直 委員
　　(2) 測地観測による 1923 年関東地震とその後の地殻変動
　　－地震時すべり、プレート間固着及びスロースリップ－
　　京都大学防災研究所　西村　卓也 委員
　　(3) 1923 年関東大震災と南関東の強震動
　　J-POWER 設計コンサルタント　諸井　孝文 様
　　(4) 津波から見える 1923 年関東地震の震源過程
　　北海道大学大学院理学研究院　谷岡　勇市郎 様

(5) 関東地震の履歴の再評価
産業技術総合研究所　宍倉　正展 様

2）総合討論

3）第 241 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（09）地震活動の中期予測の検証」
コンビーナ　遠田　晋次 委員

6．その他の議事
閉　会

第 241 回地震予知連絡会議事次第

日　　時：令和5年 11 月 30 日　13：00 ～ 17：00
場　　所：地震予知連絡会大会議室（関東地方測量部内, オンライン会議併用）

1．開　会
2．会長選出
3．院長・会長挨拶
4．事務的事項
　1）出席者・資料の確認ほか
　2）第 240 回の議事録確認
　3）地震予知連絡会 SAR 解析 WG の活動状況

5．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
　　(4) 統計数理研究所
　2）地殻活動の予測に関する報告
　　(1) 地殻変動予測：群発的地震活動を前震活動と仮定して行う本震の発生予測手法（7）
　　：最近の活動事例による検証

6．重点検討課題の検討
　1）第 241 回地震予知連絡会重点検討課題の検討
　「予測実験の試行（09）地震活動の中期予測の検証」について
　　コンビーナ　遠田　晋次 委員
　　共同コンビーナ　堀　高峰 委員
　　(1) 北海道東方沖の相対的地震活動度の静穏化のその後：有意検出から 10 年後の現状
　　地震予知総合研究振興会地震調査研究センター　松浦　律子 様
　　(2) 地震活動静穏化仮説に基づく予測実験
　　北海道大学大学院理学研究院　勝俣　啓 様
　　(3) 北海道・東北沖の地震サイズ分布（b 値）の時空間変化
　　静岡県立大学グローバル地域センター　楠城　一嘉 様
　　(4) 日本海溝沿いの繰り返し地震活動とその繰り返しの特徴
　　東京大学地震研究所　内田　直希 様
　　(5) 能登半島群発地震の経過と大地震前後の異常活動の解釈
　　統計数理研究所　熊澤　貴雄 様
　2）総合討論
　3）第 242 回地震予知連絡会重点検討課題の趣旨説明
　　課題名「火山と地震」について

コンビーナ　山岡　耕春 会長

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２８期　地震予知連絡会

（令和５年５月 31 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	小原　一成	東京大学地震研究所教授
副 会 長 運営検討部会長	高橋　浩晃	北海道大学大学院理学研究院教授
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	石山　達也	東京大学地震研究所准教授
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	田所　敬一	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・理学部教授
委　　員	西村　卓也	京都大学防災研究所教授
委　　員	堤　浩之	同志社大学理工学部教授
委　　員	松本　聡	九州大学大学院理学研究院教授
委　　員	中尾　茂	鹿児島大学大学院理工学研究科理学専攻教授
委　　員	尾形　良彦	統計数理研究所名誉教授
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	今西　和俊	国立研究開発法人産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門副研究部門長
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 東京大学名誉教授
委　　員	石川　直史	海上保安庁海洋情報部技術・国際課地震調査官
委　　員	束田　進也	気象庁地震火山部地震火山技術・調査課長
委　　員	中村　雅基	気象庁気象研究所地震津波研究部長
委　　員	山後　公二	国土地理院地理地殻活動研究センター長
委　　員	矢来　博司	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	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２８期　運営検討部会

部会長	高橋　浩晃	北海道大学大学院理学研究院教授
委員	山岡　耕春	名古屋大学大学院環境学研究科教授
委員	小原　一成	東京大学地震研究所教授
委員	遠田　晋次	東北大学災害科学国際研究所教授
委員	篠原　雅尚	東京大学地震研究所教授
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	今西　和俊	国立研究開発法人産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門副研究部門長
委員	束田　進也	気象庁地震火山部地震火山技術・調査課長
委員	中村　雅基	気象庁気象研究所地震津波研究部長
委員	山後　公二	国土地理院地理地殻活動研究センター長
委員	矢来　博司	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-eqyochi-9jimu@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．〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇

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．〇〇〇

(1 行あけ)

参考文献

1) Myoji et al. (yyyy), *Earth Planets Space*, **11**, 22-33. 〇〇〇

2) Myoji et al. (yyyy), *予知連会報* , **100**, 44-55. 〇〇

(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**．〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇 Fig. 1 Times New Roman, 9pt. 〇〇〇

Fig. 1　Times New Roman, 9pt. 〇〇

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.

その他

会報第110巻に以下の落丁がありましたので、本111巻に掲載いたします。

※第110巻における10-5以降については、順次番号が繰り下がります。

10 － 5　中規模繰り返し相似地震の発生状況と発生確率（2023）
Probability of moderate repeating earthquakes within one and three years from 1 January 2023

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

日本各地で波形がよく似た地震（相似地震）が観測されている．その多くはプレート境界で発生しており，プレート間の定常的なすべりと密接な関係があると考えられている．気象研究所は中規模の繰り返し地震（相似地震）について発生状況を取りまとめ[1)]，その後も相関係数とコヒーレンスを用いて調査を継続している[2)]．前回報告した期間[2)]以降（2022 年 1 月から 2022 年 12 月末まで）の発生状況を報告する．そして，ここで整理した地震系列について，岡田・他（2007）[4)]のベイズ統計対数正規分布モデルを使い，2023 年 1 月 1 日を予測日として，今後 1 年及び 3 年以内の発生確率予測を行っている．なお，平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震等による余効変動の影響は考慮していない．平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震によりイベント間間隔が不均等な系列（No.18, 20, 22, 26, 28）については，平均強度関数を冪関数とし，時間変換後のイベント間間隔が逆ガウス分布に従う非定常更新過程モデル[5)]を使い，2023 年 1 月 1 日を予測日として，今後 1 年及び 3 年以内の発生確率予測を行った．本報告は，地震活動評価の高度化を目的として実施しているものであり，気象庁が別途実施している宮古島近海等の繰り返し地震の報告における目的・手法とは異なるものである．

今期間（2022 年 1 月～ 2022 年 12 月）に発生したものを含めて，地震が 3 個以上の地震系列は 56 系列ある（第 1 表）．各系列の地震発生状況を第 1 図に示す．この 56 系列のうち，今期間は 16 系列で新たに発生した（第 1 表と第 1 図の No. 2, 6, 7, 10, 12, 13, 20, 21, 26, 28, 29, 30, 37, 41, 44, 54, 第 2 図の□印）．なお，今期間に発生して 3 個以上となった系列はない．第 1 図を見ると岩手県沖と福島県沖については，平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（赤色縦線）以降，発生間隔が短くなっていることがわかる．これは，同地震の余効変動による影響と考えられている[6) 7)]．余効変動は減衰しつつあるため，今後徐々に元の発生間隔へ戻っていくと思われる．

2023 年 1 月 1 日時点のベイズ統計対数正規分布モデルによる発生確率予測で，今後 1 年以内の発生確率が 50% 以上の地震系列は，釧路沖（No.1，平均 M4.4，平均発生間隔 4.5 年），岩手県沖（No.21，M4.1，1.4 年），福島県沖（No.26，M4.9，1.2 年）と茨城県北部（No.33，M4.8，3.2 年）の 4 系列ある（第 1 表 , 第 2 図）．また，非定常更新過程モデルによる発生確率予測で，今後 1 年以内の発生確率が 50% 以上の地震系列は，岩手県沖（No.22，M4.9，1.8 年）と福島県沖（No.26）の 2 系列ある（第 3 図）．前回提出の資料[3)]で，2022 年 1 月 1 日時点のベイズ統計対数正規分布モデルによる発生確率予測を 56 系列について行っており，1 年予測の予測期間は終了している．平均対数尤度と Brier スコアの指標[8)]による 1 年予測の成績は，平均対数尤度は－ 0.525，Brier スコアは 0.167 であった．系列数の少ない状況での結果ではあるが，指数分布モデルで予測した成績（平均対数尤度－ 0.518，Brier スコア 0.173）と比べると，Brier スコアでは良く，平均対数尤度では劣る．予測期間内に発生した系列で予測確率 50%以上は 2 系列（No.29, 54），平均対数尤度と Brier スコア共に非常に悪い成績は 12 系列（No.6, 7, 10, 12, 13, 20, 21, 26, 28, 30, 37, 41）あった．

謝辞

本資料は，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），2022 年能登半島における合同地震観測グループによるオンライン臨時観測点（よしが浦温泉，飯田小学校），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．非定常更新過程モデルの発生確率計算に早稲田大学の野村俊一先生提供のソースコードを使用させて頂きました．本研究の一部は，JSPS 科研費 JP20K11722 の助成を受けて行いました．

（田中昌之）

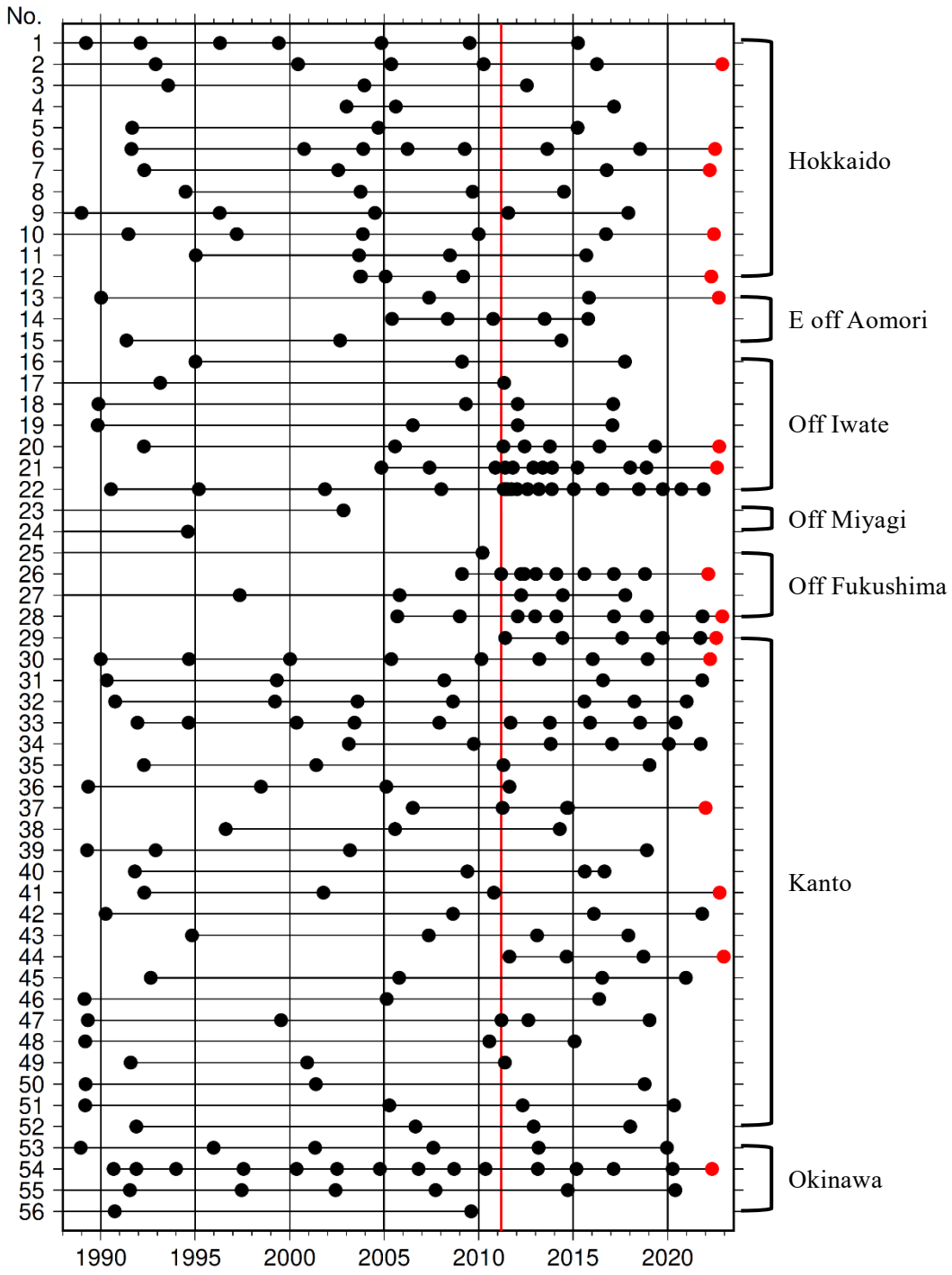
参考文献

1) 地震火山研究部，地震火山部，気象大学校，札幌管区気象台，仙台管区気象台，大阪管区気象台，福岡管区気象台，沖縄気象台，日本各地域の繰り返し相似地震発生状況に関する研究，*気象研究所技術報告*，**72**，pp.144，2014.
2) 気象庁気象研究所，中規模繰り返し相似地震の発生状況と発生確率 (2017)，*連絡会報*，**98**，437–442，2017.
3) 気象庁気象研究所，中規模繰り返し相似地震の発生状況と発生確率 (2022)，*連絡会報*，**108**，608–612，2022.
4) 岡田正実・他，地震長期発生確率予測に使用する更新過程対数正規分布モデルのパラメータ事前分布，*地震 2*，**60**，85–100，2007.
5) 野村俊一・田中昌之，余震誘発効果を考慮した繰り返し地震の予測，*統計数理*，**69(2)**，239-543，2021.
6) 東北大学大学院理学研究科，小繰り返し地震から推定された 2011 年東北地方太平洋沖地震震源域周辺の準静的すべり，*連絡会報*，**86**，3–44，2011.
7) 気象庁，平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震の余震域周辺における相似地震活動，*連絡会報*，**87**，3–4，2012.
8) 田中昌之・他，繰り返し回数の少ない繰り返し地震系列に対する長期的地震発生確率予測の成績と検証，*地震 2*，**70**，195-213，2018.

第 1 表　中規模相似地震系列リスト

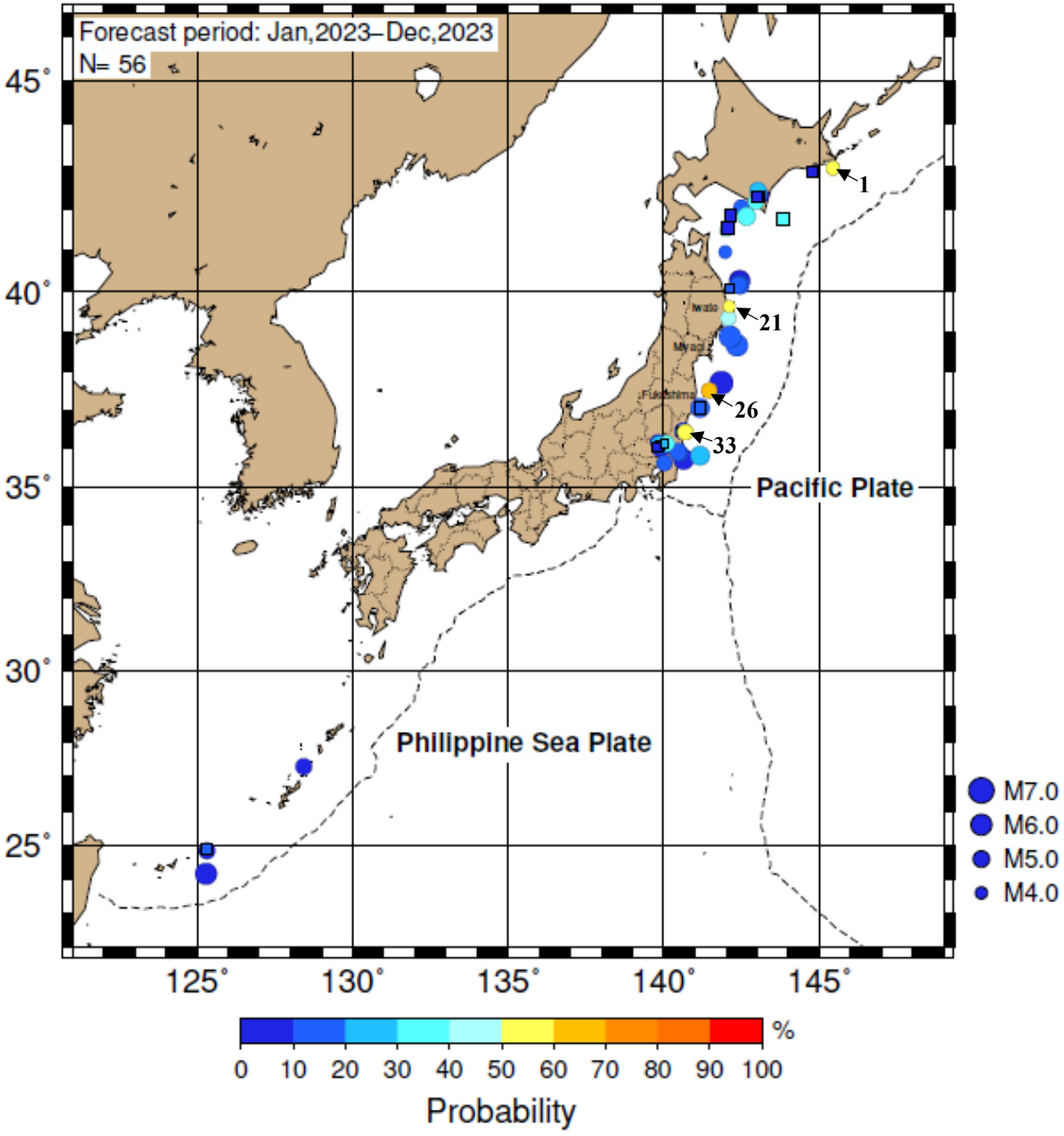
Table 1　List of the moderate repeating earthquake sequence and probabilities of the event occurrence within one year and three years from 1 January 2023 calculated with the lognormal distribution model with Bayesian approach. Seismic intensity is the JMA seismic intensity scale. For series where the earthquake occurred in 2022, No., Last event, and Probability of 1-year forecast for 2022/1/1 are shown in red text.

No.	Latitude	Longitude	Depth (km)	First event	Last event	Repeat count	Mean magnitude	Maximum seismic intensity	Interval (year)			Probability (%)		
												2023/1/1		2022/1/1
									Ave.	Short.	Long.	1year	3year	1year
1	42.974	145.435	47	1979/05/11 06:02	2015/04/06 13:58	9	4.4	2 ～ 3	4.5	2.9	5.7	52.5	87.2	54.9
2	42.890	144.762	57	1954/09/17 20:52	2022/11/20 18:17	12	4.9	2 ～ 4	5.9	4.6	7.5	0.0	0.4	45.2
3	42.452	143.019	70	1969/11/07 17:06	2012/07/22 13:41	5	5.0	3 ～ 4	10.6	8.6	13.0	23.1	57.8	20.0
4	42.349	143.049	52	2003/01/07 03:27	2017/02/27 18:10	3	4.7	3 ～ 3	7.1	2.6	11.5	20.3	48.6	19.8
5	42.333	143.107	56	1991/09/02 12:03	2015/03/25 09:34	3	5.0	3 ～ 3	11.8	10.5	13.0	9.0	31.2	6.3
6	42.309	142.992	56	1991/08/16 23:16	2022/07/05 17:52	8	4.8	3 ～ 4	4.1	2.0	9.1	1.7	36.7	35.1
7	42.305	143.060	55	1992/04/20 05:36	2022/03/27 08:15	4	5.0	3 ～ 4	9.3	3.5	14.2	0.3	3.5	2.9
8	42.177	142.965	54	1994/07/02 07:43	2014/07/06 05:22	4	4.9	4 ～ 4	6.7	4.8	9.2	32.2	67.6	32.0
9	42.044	142.484	68	1973/08/18 11:08	2017/12/02 05:48	7	4.9	3 ～ 3	7.4	6.4	8.6	16.2	61.4	6.6
10	41.853	142.161	69	1957/01/06 14:15	2022/06/10 11:14	13	4.8	2 ～ 3	5.1	2.9	7.5	0.1	11.5	40.8
11	41.827	142.653	56	1995/01/11 16:48	2015/09/12 22:38	4	5.4	3 ～ 4	6.9	4.8	8.6	31.3	68.4	28.4
12	41.767	143.810	38	2003/09/26 05:10	2022/04/24 17:16	5	5.5	3 ～ 3	4.1	0.0	11.1	30.9	56.2	7.2
13	41.567	142.064	62	1990/01/07 22:28	2022/09/13 09:51	4	5.2	3 ～ 4	10.3	4.9	17.4	0.1	1.7	5.4
14	41.491	142.005	64	2005/06/03 01:32	2015/10/18 09:47	5	4.2	2 ～ 3	2.6	2.3	2.9	48.1	81.5	54.6
15	40.971	141.979	59	1991/05/13 12:24	2014/05/19 21:02	3	4.3	3 ～ 3	11.5	11.3	11.7	12.0	37.8	9.1
16	40.266	142.433	36	1995/01/07 11:36	2017/09/27 05:22	3	6.1	3 ～ 4	11.4	8.6	14.1	4.6	19.9	2.7
17	40.251	142.436	30	1960/08/13 16:11	2011/05/08 05:52	4	5.9	3 ～ 4	16.6	15.0	18.2	6.4	22.6	4.8
18	40.165	142.385	36	1989/11/21 13:47	2017/02/12 22:36	4	5.0	3 ～ 3	9.1	2.8	19.4	15.9	40.6	15.3
19	40.162	142.441	37	1989/11/06 17:56	2017/01/26 17:06	4	5.5	3 ～ 4	9.1	5.0	16.7	15.8	43.3	13.3
20	40.073	142.116	48	1992/04/17 09:43	2022/09/20 09:06	8	4.4	3 ～ 4	4.1	1.1	13.3	11.0	52.3	28.6
21	39.634	142.105	48	2004/11/05 13:45	2022/08/08 09:46	12	4.1	3 ～ 3	1.4	0.4	3.5	55.1	90.3	49.9
22	39.338	142.072	49	1990/07/16 21:35	2021/11/24 17:06	18	4.9	3 ～ 4	1.8	0.1	6.7	43.8	74.9	32.0
23	38.876	142.133	47	1940/11/20 00:01	2002/11/03 12:37	5	6.3	3 ～ 5−	15.5	13.0	19.0	19.7	48.2	19.6
24	38.656	142.355	35	1937/01/07 15:11	1994/08/14 18:06	5	6.3	3 ～ 4	14.0	11.7	16.0	16.4	40.6	17.0
25	37.704	141.853	45	1942/02/21 16:07	2010/03/14 17:08	4	6.6	4 ～ 5−	22.5	21.0	24.6	2.3	8.9	1.7
26	37.512	141.455	48	2009/02/17 09:12	2022/02/26 08:32	10	4.9	3 ～ 4	1.2	0.2	2.1	60.2	90.8	32.6
27	37.067	141.162	53	1929/06/24 11:04	2017/10/06 23:56	13	5.7	3 ～ 5−	7.1	2.2	11.2	19.8	52.8	15.9
28	37.065	141.183	50	2005/09/11 05:06	2022/11/21 05:19	9	4.8	3 ～ 5−	1.9	0.0	3.3	14.7	83.2	12.3
29	36.459	140.606	56	2011/05/28 11:13	2022/07/29 08:03	6	4.2	3 ～ 3	1.9	0.0	3.2	22.5	85.8	57.4
30	36.458	140.580	56	1990/01/01 18:03	2022/04/02 16:27	9	4.4	3 ～ 4	3.8	1.3	5.4	1.1	45.1	39.2
31	36.451	140.614	58	1990/05/03 16:45	2021/11/01 06:14	5	5.3	4 ～ 5−	7.6	4.3	9.0	0.2	4.5	0.0
32	36.451	140.616	56	1990/10/06 23:33	2020/12/30 09:35	7	5.1	4 ～ 4	5.1	2.6	8.5	13.7	55.8	25.8
33	36.435	140.693	52	1991/12/12 11:27	2020/06/04 05:31	10	4.8	3 ～ 4	3.2	1.9	5.7	52.0	91.5	31.7
34	36.428	140.648	54	2003/02/14 10:54	2021/09/29 12:26	6	4.2	3 ～ 4	3.5	0.7	6.6	16.9	68.5	2.5
35	36.171	139.814	56	1992/04/14 12:03	2019/01/14 13:23	4	4.9	4 ～ 4	8.9	7.7	9.9	3.3	21.4	1.2
36	36.138	140.091	68	1989/05/09 02:51	2011/08/15 15:26	4	4.8	3 ～ 4	7.4	6.5	9.1	31.4	65.6	32.5
37	36.137	140.023	49	2006/07/06 15:17	2022/01/05 21:34	5	3.9	3 ～ 3	3.4	0.1	5.3	27.9	54.3	11.5
38	36.128	139.846	52	1996/08/16 01:03	2014/04/18 07:53	3	4.8	3 ～ 4	8.9	8.7	9.0	23.4	57.6	20.5
39	36.084	139.875	52	1989/04/12 04:41	2018/11/27 08:33	4	4.8	3 ～ 4	9.9	3.6	15.7	9.2	30.4	6.4
40	36.083	139.894	50	1991/10/19 08:31	2016/08/27 22:46	4	4.2	3 ～ 4	8.3	1.0	17.6	14.4	35.6	15.1
41	36.081	139.864	49	1992/04/23 01:21	2022/09/30 14:58	4	4.4	3 ～ 4	9.5	9.0	9.9	0.0	0.4	24.8
42	36.058	139.915	47	1990/04/09 00:52	2021/10/28 09:55	4	4.6	3 ～ 4	10.2	4.7	18.4	0.8	7.0	0.2
43	36.056	139.896	47	1994/11/04 19:06	2017/12/02 00:12	4	4.5	3 ～ 4	7.7	4.8	12.5	17.8	50.5	13.1
44	36.051	139.797	78	2011/08/17 09:23	2022/12/16 09:25	4	4.3	3 ～ 4	3.1	2.2	4.1	0.3	26.9	48.0
45	36.048	139.945	48	1992/08/27 13:09	2020/12/17 16:42	4	4.9	3 ～ 4	9.4	4.4	13.1	2.2	13.9	3.3
46	36.031	139.894	48	1989/02/19 21:27	2016/05/16 21:23	3	5.5	4 ～ 5−	13.6	11.3	16.0	3.7	15.5	2.4
47	35.921	140.449	56	1989/04/26 02:18	2019/01/18 21:46	5	5.2	3 ～ 4	7.4	1.4	11.7	16.3	42.6	14.5
48	35.889	140.509	39	1989/03/11 16:12	2015/01/26 07:20	3	5.0	3 ～ 5−	12.9	4.5	21.4	10.9	30.0	10.3
49	35.818	141.158	38	1991/08/06 23:49	2011/05/20 09:46	3	5.7	3 ～ 4	9.9	9.3	10.5	23.2	54.8	22.4
50	35.746	140.693	50	1989/03/18 01:37	2018/10/12 13:15	3	5.2	3 ～ 4	14.8	12.2	17.4	0.8	4.4	0.4
51	35.718	140.635	51	1989/03/06 23:39	2020/05/04 22:07	4	5.9	4 ～ 5+	10.4	7.1	16.1	1.6	10.6	0.6
52	35.631	140.022	75	1991/11/19 17:24	2018/01/06 00:54	4	4.8	4 ～ 4	8.7	5.1	14.8	13.5	41.6	9.7
53	27.289	128.434	47	1968/12/08 18:08	2019/12/18 08:35	9	5.1	2 ～ 4	6.4	5.4	7.5	3.6	42.0	0.4
54	24.898	125.322	42	1990/09/10 19:08	2022/05/04 12:53	15	4.4	1 ～ 3	2.1	0.1	3.6	17.9	95.3	69.9
55	24.841	125.319	43	1966/07/11 07:04	2020/05/27 18:19	10	5.1	2 ～ 4	6.0	5.0	7.0	2.0	39.5	0.1
56	24.169	125.297	41	1966/07/11 01:12	2009/08/05 09:17	3	6.2	3 ～ 4	21.5	18.9	24.0	4.1	14.0	3.3



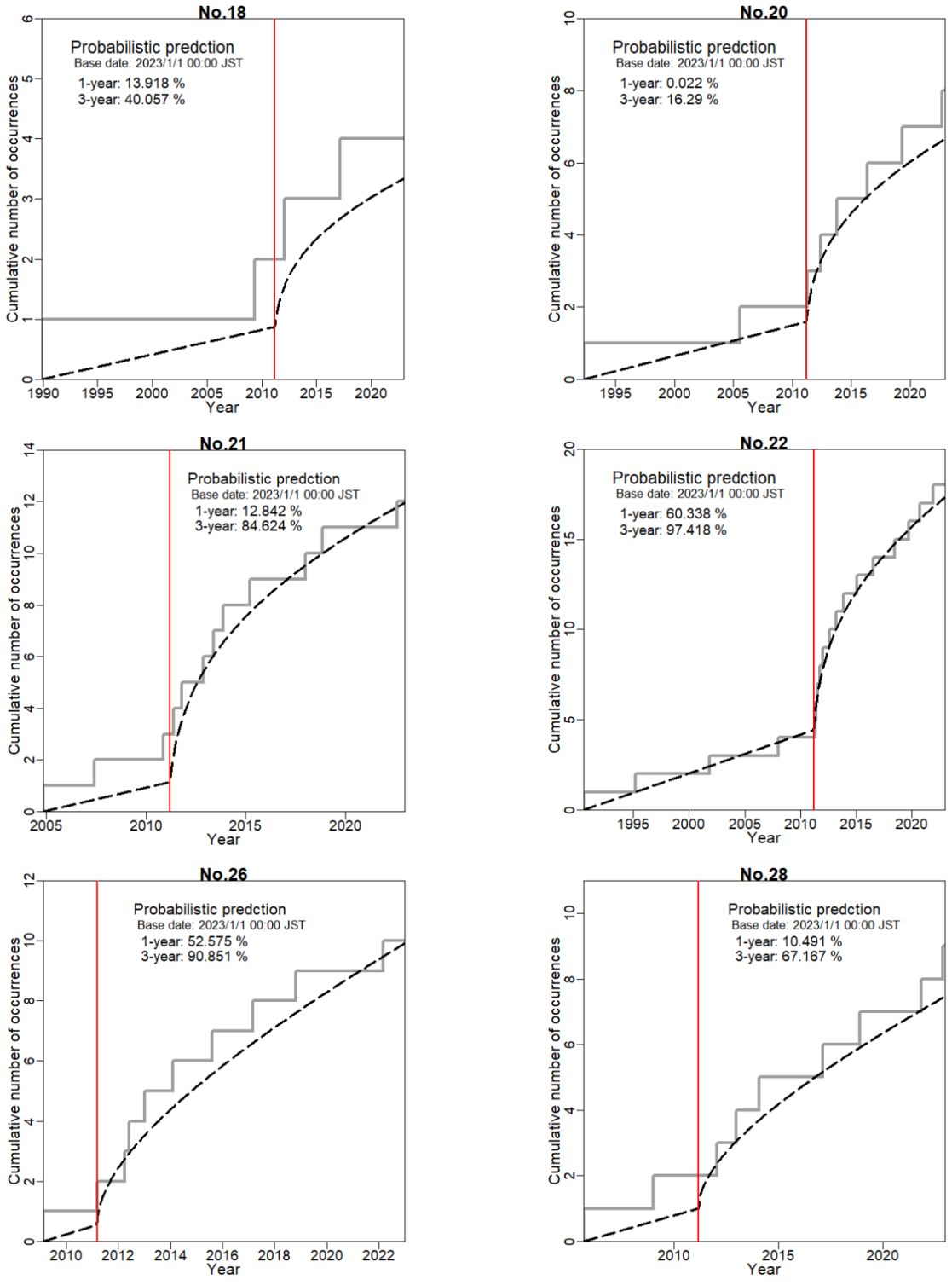
第 1 図　中規模相似地震活動経過図（～ 2022 年 12 月末）

Fig. 1　Time diagrams of repeating earthquakes for the period from October 1988 to December 2022. The red vertical line indicates the occurrence of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. The red marks and horizontal lines denote the newly added events or sequence in this report.



第 2 図　ベイズ統計対数正規分布モデルによる 2022 年 1 月から 1 年以内の発生確率

Fig. 2　Probability of moderate repeating earthquakes for the period from January 2023 to December 2023 by the lognormal distribution model with Bayesian approach. The circles and square marks indicate the epicenter of the repeated earthquake, the color of the mark indicates the occurrence probability of the next earthquake, and the size indicates the average of the earthquake's magnitude. Square marks indicate that an earthquake occurred between January 2022 and December 2022.



第 3 図　非定常更新過程モデルによる 2023 年 1 月から 1 年以内の発生確率

Fig. 3　Probability of moderate repeating earthquakes for the period from January 2023 to December 2023 by the nonstationary renewal process model that incorporates the aftershock-triggering effect of nearby large earthquakes as a relative change in the loading rate. The red vertical line indicates the occurrence of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake.

10 － 6　地殻活動の予測実験（１）－ 内陸地震の短期確率予測と評価について
Experiments in Prediction of Crustal Activity (1)　— Short-term Probability Prediction and Evaluation of Inland Earthquakes

尾形良彦（統計数理研究所）
OGATA Yosihiko (The Institute of Statistical Mathematics)

１．内陸部の地震活動度予測のための短期予測モデル

現在進行中の地震活動の震源データから，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ため階層ベイズ型的時空間 Epidemic-Type Aftershock Sequence (HIST-ETAS) モデル

$$\lambda_\theta(t,x,y\,|\,H_t)=\mu(x,y)+\sum_{\{i;\,t<t_i\}}\frac{K_0(x_i,y_i)}{\left(t-t_i+c\right)^{p(x_i,y_i)}}\left[\frac{(x-x_i,y-y_i)S_j^{-1}(x-x_i,y-y_i)^t}{e^{\alpha(x_i,y_i)(M_i-M_0)}}+d\right]^{-q(x_i,y_i)} \tag{1}$$

を使う[1~3]，ただし $H_t=\left\{(t_j,x_j,y_j,M_j);\ 0<t_j<t,\ M_j\ge M_c\right\}$ は M_c = 4.0 以上の地震の時刻 t までの全ての発生情報履歴である．パラメタ $\mu\,(x,y)$ は常時活動密度でパラメタ $K_0\,(x,y)$ は短期予測に有用な余震誘発強度の位置情報になり，本震直後からの余震発生の時空間的予測に使用される．パラメタ $\alpha\ ,p,q$ が，(1) 式のように場所 (x,y) に依存する場合は (a) HIST-ETAS5pa モデルと呼び，定数の場合は (b) HIST-ETAS-μ K モデルと呼ぶことにし，本報告では前者のモデルによる予測図を第 1 図の動画で示した[4]．さらに，一定の背景密度 $\mu\,(x,y)=\mu$ が内陸のみで成り立ち，海域では $\mu\,(x,y)=0$ とする，(c) 最尤推定値 (MLE) の時空間 ETAS モデルも考慮する．

時間的に一様で，かつ内陸部のみで同一値の発生率で，その外域では発生率 0 の (d) 内陸部一様ポアソン過程を基準モデルとして上記のモデル (a) ~ (c) 同士を以下の規準で時空間的に比較を試みた．

２．予測・検証・評価

学習期間として，宇津カタログを含む気象庁 PDE 震源カタログに基づき S = 2018 年までのデータから求めた上記モデルの ABIC 適合度は，モデル (c), (b), (a) の順に優れているが，実際に最大事後分布（MAP 解）モデルで良く予測できるかについては不明である．

そこで，2019 年から最近 3 年間の時間区間 $S\le t\le T$ での発生率を各 MAP 解で予測した．たとえば第 1 図の動画は (a) モデルによる各地震発生時までの予測率の画像列である．地震の発生ごとに計算された対数尤度累積スコア

$$\log L\,(t_i,x_i,y_i;M_c)=\sum\nolimits_{\{j:\,S<t_j<t_i\}}\log\hat{\lambda}\,(t_j,x_j,y_j\,|\,H_{t_j})\ -\ \int_S^{t_i}\iint_{\text{Inland}}\lambda\,(t,x,y\,|\,H_t)\,dx\,dy\,dt \tag{2}$$

およびその増減差分値

$$\Delta(t_i,x_i,y_i)\ \triangleq\ \log L(t_i,x_i,y_i)-\log L(t_{i-1},x_{i-1},y_{i-1}),\quad i=1,2,\cdots,\#(\text{forecast events}) \tag{3}$$

の大小で，時間・空間的な予測結果の優劣を評価する（第 2, 3, 4 図参照）．予測結果は 2019 – 2022 を通して，総じて (a) HIST-ETAS-5pa モデルが最も優れており，(b) HIST-ETAS-μK モデルがそれに次ぐ．しかし，どの地域でも，どの活動時も常に良い結果となるわけでない（第 2,3,4 図参照）．時と場所によって，最尤推定値モデル (c) がベイズ（b）MAP 解モデルに劣らない場合が見られる．強くて狭い地域性がかなり予測の評価に反映していると考えられる．

３．追記

このように優劣が微妙な場合には，逐次的に尤度を重みとして，平均化されたベイズ予測を採用することで予測を改善できる可能があるが，時間的余裕がなく今回は結果を示さなかった．また本報告では 2019 年までのデータの推定をそのまま使っている．

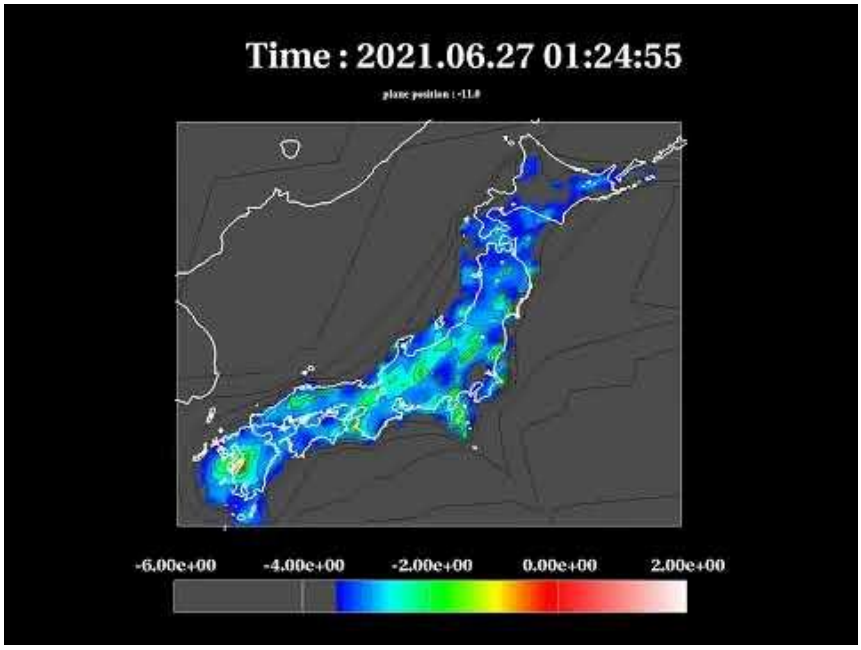
また，短期予測の本来は，2000 年から 3 年間に地震が一つ起こるごとに，逐次的に推定をやり直し，そのもとで予測をする．しかし，評価結果には長々とした計算を必要とするので，今回の評価設定に反映されていない．

謝辞

気象庁一元化 PDE 震源カタログを使用しました．

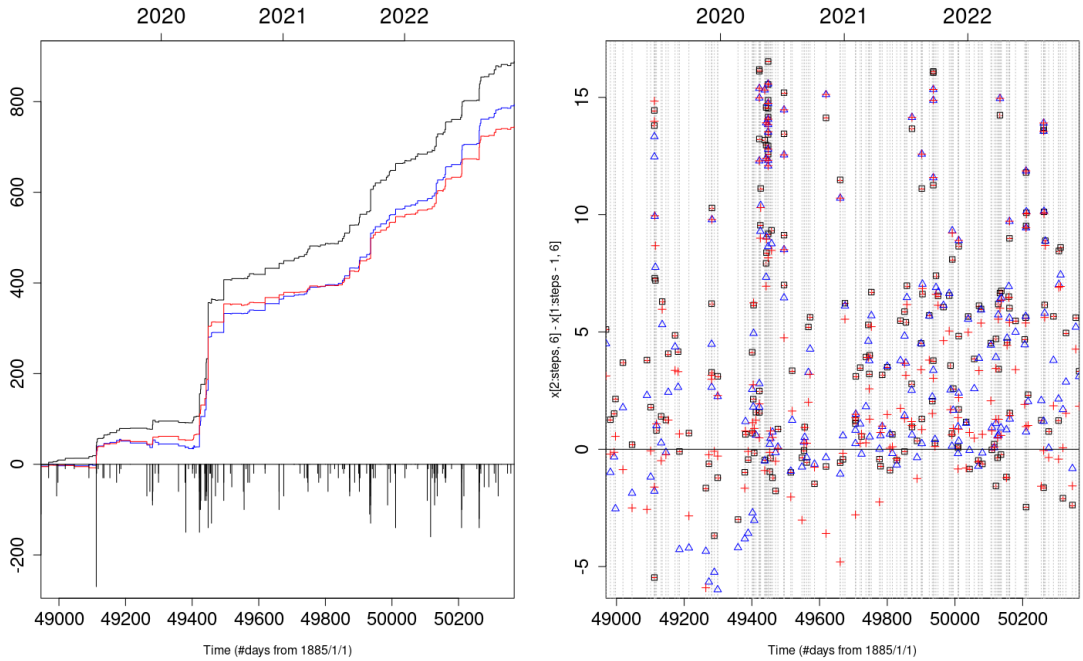
参考文献

1) 統計数理研究所 (尾形良彦 , 2010), *予知連会報* **83** (1-2) 5-8, https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou83/01_02.pdf
2) 統計数理研究所 (尾形良彦 , 2013), *予知連会報* **109**, 掲載予定
3) 庄建倉，尾形良彦 (2015) *統計数理* **63** (1), https://www.ism.ac.jp/editsec/toukei/pdf/63-1-029.pdf
4) Ogata Yosihiko YouTube avspredict5pa https://www.youtube.com/watch?v=l9r8pLVrYkE



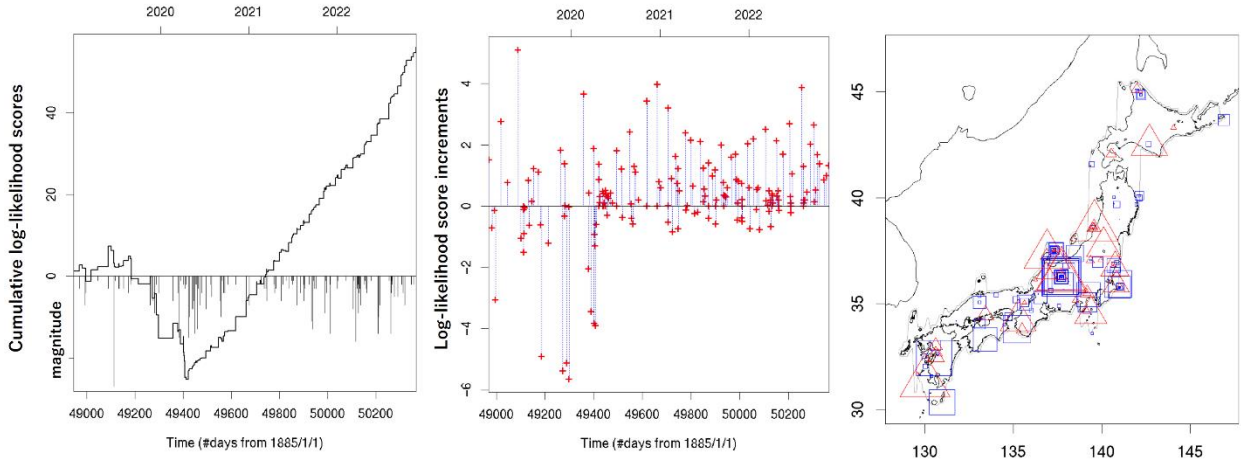
第 1 図　HIST−ETAS5pa (a) モデルの短期予測の動画
https://www.youtube.com/watch?v=l9r8pLVrYkE&list=PL8kF1GCipFPvZDWZvMk5At-txqIskUKOo&index=5

Fig. 1　Animation of the short-term prediction sequence by HIST-ETAS5pa model (a).



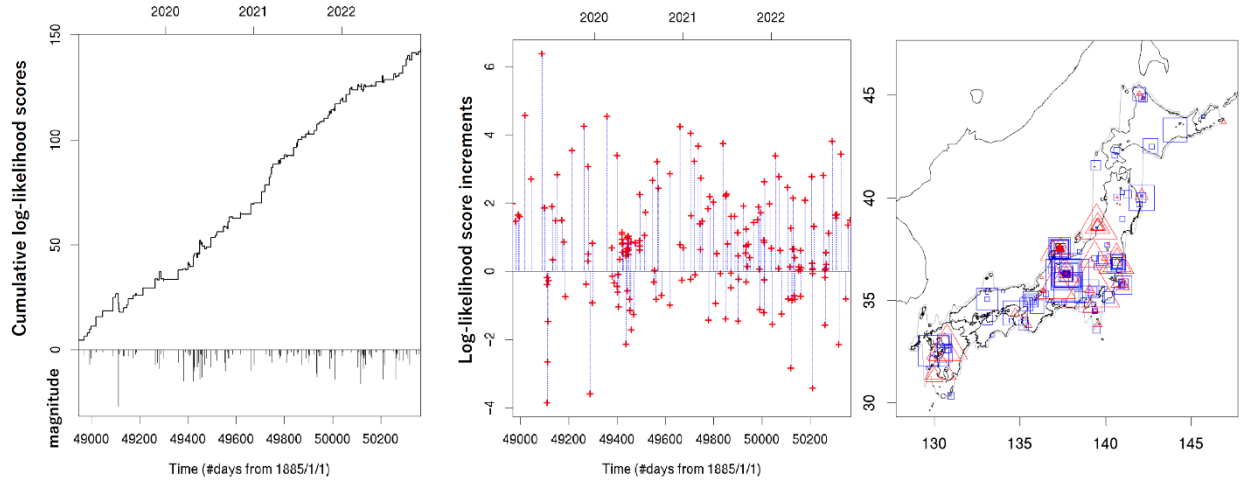
第 2 図　各種時空間 ETAS モデルの（左図）対数尤度スコア (2) と（右図）それらの差分 (3) の時間的推移．左図の累積の黒線，青線および赤線，そして右図の黒□，青△および赤＋は，それぞれ時空間 ETAS モデル (a) HIST-ETAS5pa, (b) HIST-ETAS-μK および (c) MLE 時空間 ETAS モデルに対応する．左図の線分はマグニチュード系列を下向きに描いた．

Fig. 2　Log-likelihood scores (2) and their differences (3) for various space-time ETAS models.
The cumulative black, blue and red lines in the left panel and the black □ , blue △ and red + in the right panel correspond to models (a), (b) and (c), respectively. The line segments in the left figure depict the magnitude series downward.



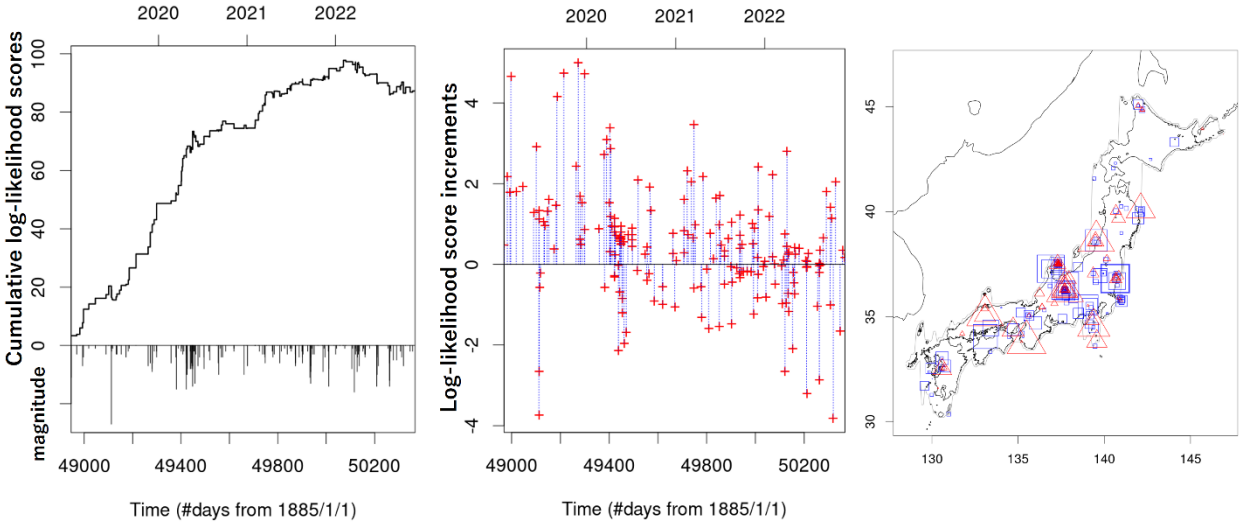
第 3 図　HIST-ETAS-μK（b）モデルの通常時空間 ETAS（c）モデルに対する対数尤度スコアの比較．
左図は予測結果の地震系列について累積対数尤度チュード系列を下向きに描いた．中図の赤＋印はそれらの差分の時間推移．右図は対数尤度スコアの差分値の位置依存．青□は正値，赤△は負値．

Fig. 3　Comparison of log-likelihood scores for HIST-ETAS-μK (b) model against the normal space-time ETAS (c) model. The left figure depicts the cumulative log-likelihood for the resulting earthquake series. The magnitude series are drawn downward. The red plus sign in the middle panel shows the time evolution of their score differences. The right figure shows the position dependence of the score difference values of the log-likelihood scores for each realized earthquakes. Blue squares indicate positive values, and red triangles indicate negative values.



第 4 図　HIST-ETAS5pa（a）モデルの通常時空間 ETAS（c）モデルに対する対数尤度スコアの比較．
第 3 図と同じ説明．

Fig. 4　Comparison of log-likelihood scores for HIST-ETAS5pa (a) model against the normal space-time ETAS (c) model. Same description as in Figure 3.



第 4 図　HIST-ETAS5pa（a）モデルの HIST-ETAS-μK（b）モデルに対する対数尤度スコアの比較.
第 3 図と同じ説明.

Fig. 4　Comparison of log-likelihood scores for HIST-ETAS5pa (a) model against HIST-ETAS-μK（b）model.
Same description as in Figure 3.

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 111 巻〉

令和 6 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