

令和5年2月28日

地震予知連絡会

地殻活動モニタリングに関する検討結果等について

－地震予知連絡会 第238回定例会（2023年2月）－

地震予知連絡会は2月28日、第238回定例会を開催し、令和4年11月から令和5年1月の地殻活動を主としたモニタリング結果に対する検討を実施しました。

また、重点検討課題「人工知能による地震研究の深化」についての検討も実施しました。

本定例会はオンライン会議併用形式で実施されました。記者会見につきましても、オンライン会議併用形式で実施いたします。

添付資料を含む一式の資料については、後日以下のURLに掲載いたします。

< <https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/activity/238/238.html> >



■地殻活動モニタリングの検討結果

1. 地殻活動の概況

(1) 全国の地震活動について

日本とその周辺で2022年11月から2023年1月までの3か月間に発生したM5.0以上の地震は35回であった。このうち、日本国内で震度5弱以上を観測した地震は無かった。一方、M5.0未満で震度5弱以上を観測した地震は1回発生した（気象庁・資料2頁）。

(2) 日本周辺における浅部超低周波地震活動

十勝沖で11月中旬から下旬に超低周波地震活動を検出した。その他、資料掲載基準に達していないが、種子島沖以南で11月下旬及び1月下旬以降に超低周波地震活動があったことを確認した（防災科学技術研究所・資料3頁）。

(3) 日本列島のひずみ変化

GNSS連続観測によると、最近1年間の日本列島のひずみには、東北地方太平洋沖地震及び熊本地震の余効変動の影響が見られる。また、福島県沖の地震及び石川県能登地方の地震活動の影響が見られる（国土地理院・資料4頁）。

2. プレート境界の固着状態とその変化

(1) 相模トラフ周辺・首都圏直下

○茨城県南部の地震（11月9日 M4.9）

2022年11月9日17時40分に茨城県南部の深さ51kmでM4.9の地震（最大震度5強）が発生した。この地震は、発震機構が北北西－南南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、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（気象庁・資料5頁）。

(2) 駿河トラフ・南海トラフ・南西諸島海溝周辺

○西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況

短期的スロースリップイベントを伴う顕著な微動活動が、豊後水道から四国西部において、11月17日から28日に発生した。これ以外の主な深部微動活動は、紀伊半島中部（12月16日から21日）、紀伊半島南部（11月8日から11日）、四国中部（12月21日から26日）で観測された。（防災科学技術研究所・資料6-7頁）。GNSS連続観測によって、四国中部で2019年春頃から開始した非定常的な地殻変動が引き続き捉えられた。プレート間のすべりを推定した結果、四国中部で最大34cmのすべりが推定された（国土地理院・資料8頁）。

3. その他

(1) 石川県能登地方の地震活動（最大規模の地震：2022年6月19日 M5.4）

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っている。2023年1月末時点でも活発な状態が継続している。活動の全期間を通じて最大規模の地震は、2022年6月19日に発生したM5.4の地震（最大震度6弱）である（気象庁・資料9頁）。この地震活動の開始以降、震源域に近い能登半島のGNSS連続観測点で南南西方向に最大1cmを超える水平変動や、4cm程度の隆起などの地殻変動が観測されている（国土地理院・資料10-14頁）。

(2) 三重県南東沖の地震（11月14日 M6.4）

2022年11月14日17時08分に三重県南東沖の深さ362kmでM6.4の地震（最大震度4）が発生した。この地震は太平洋プレート内部で発生した。発震機構（CMT解）は、太平洋プレートの沈み込む方向に圧力軸を持つ型である。この地震では、震央から離れた東北地方及び関東地方で強い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（気象庁・資料15頁）。

(3) 奄美大島近海の地震（12月13日 M6.0）

2022年12月13日23時25分に奄美大島近海の深さ18km（CMT解による）でM6.0の地震（最大震度4）が発生した。この地震の発震機構（CMT解）は、東西方向に圧力軸を持つ型である（気象庁・資料16頁）。

(4) 沖縄本島北西沖の地震活動

(最大規模の地震：久米島の北西約50kmの領域 3月17日・6月3日 M5.9、
久米島の西約80kmの領域 9月18日 M6.0)

沖縄本島北西沖では、2022年1月下旬の地震活動の活発化以降、震源域に近い久米島のGNSS連続観測点で南東方向に約2cmの地殻変動が観測されている。2022年11月頃からは停滞している（国土地理院・資料17頁）。

4. 2023年トルコの地震（2月6日 Mw7.8、Mw7.6、気象庁によるモーメントマグニチュード）

2023年2月6日10時17分（日本時間、以下同じ）に、トルコの深さ18kmでMw7.8の地震（Mwは気象庁によるモーメントマグニチュード）が発生した。発震機構（気象庁によるCMT解）は南北方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型である。また、同日19時24分には、トルコの深さ10kmでMw7.6の地震（Mwは気象庁によるモーメントマグニチュード）が発生した。発震機構（気象庁によるCMT解）は北東-南西方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型である。これらの地震により、少なくとも死者7,200人などの被害が生じた（2023年2月8日時点）（気象庁・資料18頁）。

SAR干渉解析、ピクセルオフセット法による解析を行い、地震に伴う地殻変動を検出した結果、東アナトリア断層（East Anatolian Fault）およびチャルダック断層（Çaldak Fault）に沿って地殻変動が見られた。地殻変動は地震のメカニズム（左横ずれ）と整合的である。また、上記断層の近傍で非干渉領域が見られた。地震に伴って地表面が変化した可能性がある。さらに、変動域では東アナトリア断層を挟んで最大で5mを超える変動、チャルダック断層を挟んで最大で4m程度の変動が見られた（国土地理院・資料19-23頁）。

2月16日までの余震活動をUSGSカタログのMc4.5余震データで最大余震M7.5の地震時を起点とした場合のETASモデルの最良の当てはまりを与えた。次に、2月6日の本震M7.8直後9時間以後から最大余震M7.5までの期間のデータに、ETASモデルのパラメタに制限をかけ適合度を比較した。全区間を通して同一モデルの場合の最良モデルは大森関数（ $p=1.0$ ）である。対して、本震時から1.1時間（0.046日）の経過時間で活動の変化があったとして適合度を調べたところ、AICを有意に改善しているが、余震数は十分でなく、さらに本震直後の検出率変化を考慮して研究する必要がある。相対的静穏化であると仮定して、本震と最大余震のモーメントテンソルに基づいて2月16日中のストレス変化を調べた（統計数理研究所・資料24-25頁）。

5. 地殻活動の予測

(1) 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

オンラインの震源データから、最近3年間の各地の時空間地震活動の短期予測の実

行結果とそれらの評価について報告した（統計数理研究所・資料27頁）。

■重点検討課題の検討 概要

モニタリング手法の高度化の検討を目的に、地震予知研究にとって興味深い現象や問題等を「重点検討課題」として選定し、集中的な検討を行っています。

<第238回定例会 重点検討課題>

課題名 「人工知能による地震研究の深化」について（資料29頁）

コンビナー 平田 直 委員（東京大学名誉教授）

共同コンビナー 長尾 大道 様（東京大学地震研究所）

報告課題、報告者

1. 人工知能による複数観測点を用いた地震・測地イベント検知手法開発（資料31頁）
矢野 恵佑 様（統計数理研究所）
2. 機械学習を併用した自動震源決定による微小地震の検出（資料32頁）
溜瀧 功史 様（気象研究所）
3. 地震動予測への機械学習技術の適用（資料33頁）
久保 久彦 様（防災科学技術研究所）
4. 深層学習に基づく地震計古記録からの低周波微動の検出（資料34頁）
長尾 大道 様（東京大学地震研究所）
5. Earthquake Early Warning using Elasto-gravity signals（資料35頁）
Bertrand Rouet-Leduc 様（京都大学防災研究所）

<次回重点検討課題>

課題名 「群発地震」について（資料36頁）

コンビナー 今西 和俊 委員（産業総合研究所）

議論概要については、地震予知連絡会ウェブサイトの活動報告に掲載いたします。

地震予知連絡会 <<https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/>>

（問い合わせ先）

○地震予知連絡会事務局

国土地理院地理地殻活動研究センター 研究管理課長補佐 堤 隆司

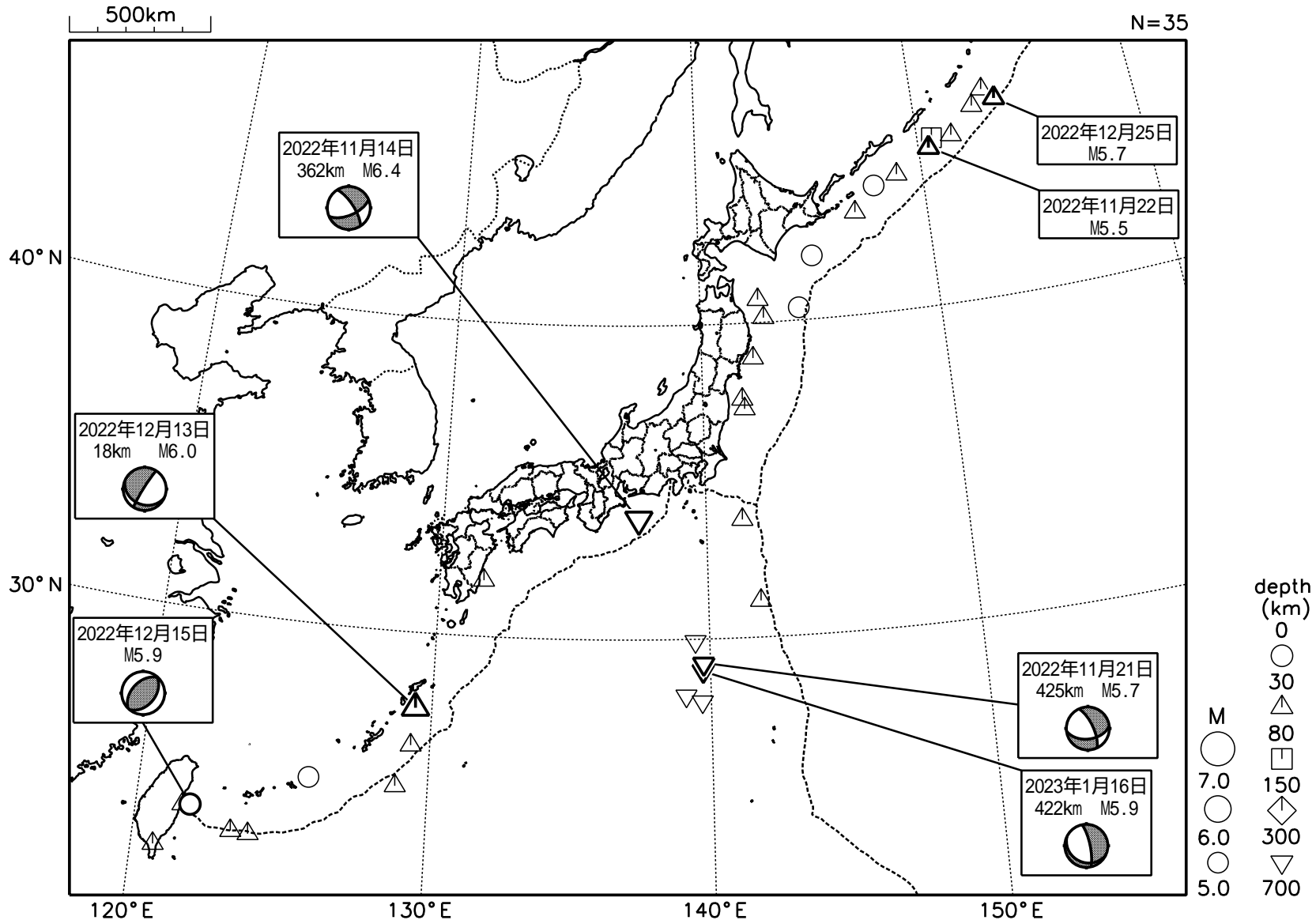
Tel：029-864-5954（直通）



地殻活動モニタリングに 関する検討

日本とその周辺の地震活動（2022年11月～2023年1月、M 5.0）

2022 11 01 00:00 -- 2023 01 31 24:00

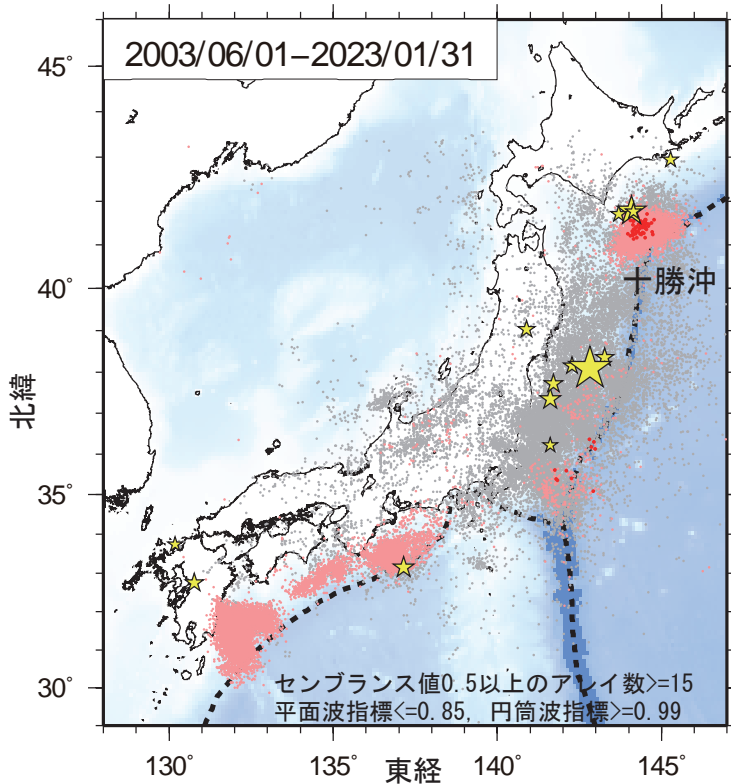


発震機構は気象庁によるCMT解
 深さはCMT解による
 図中の吹き出しは、陸域M5.0以上・海域M5.5以上（ただし、台湾付近はM5.5以上）

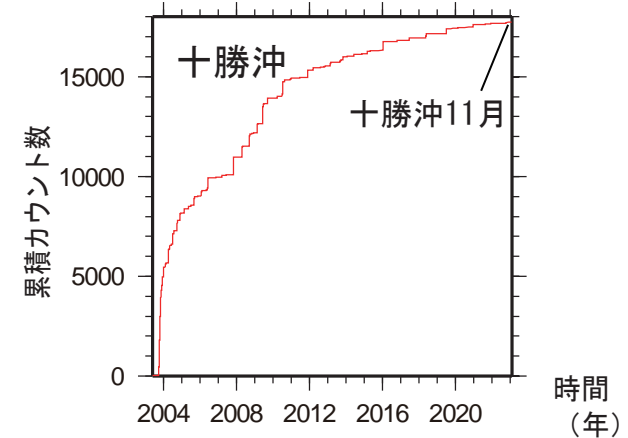
気象庁作成

日本周辺における浅部超低周波地震活動（2022年11月～2023年1月）

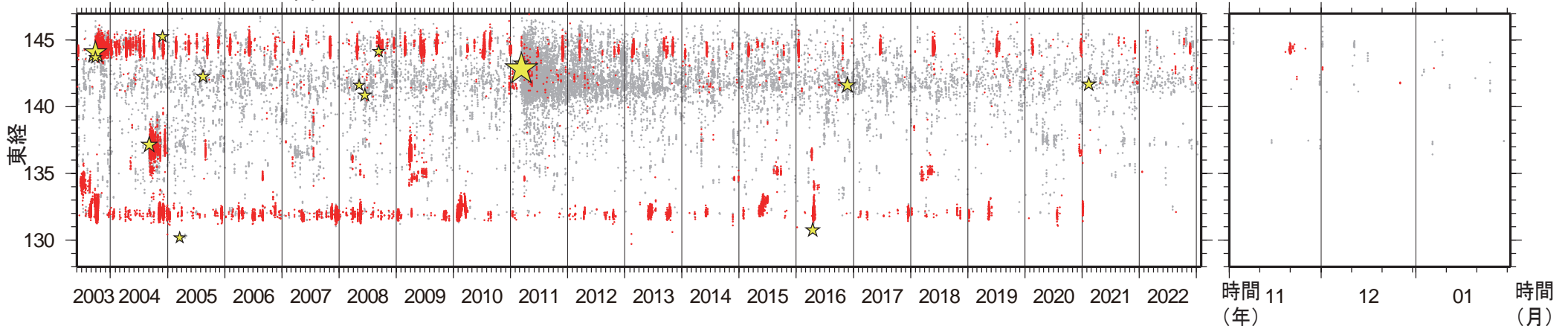
- 十勝沖で11月中旬～下旬に超低周波地震活動を検出。
- その他、種子島沖以南で11月下旬および1月下旬に検出基準に達しない超低周波地震を検出。



第1図. 2003年6月1日から2023年1月31日までの期間にアレイ解析によって検出された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, 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 (2022年10月31日以前), および赤色 (11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 (ただし, 2011年～2015年の期間は東北地方太平洋沖地震の本震のみ) の震央を黄色星印で示す.



第2図. 十勝沖における検出イベントの累積カウント数の時間変化. 幅60秒間の解析時間窓を15秒毎に設定し, それぞれの解析時間窓内にイベントが検出される度に1カウントと数えるよう定義した.



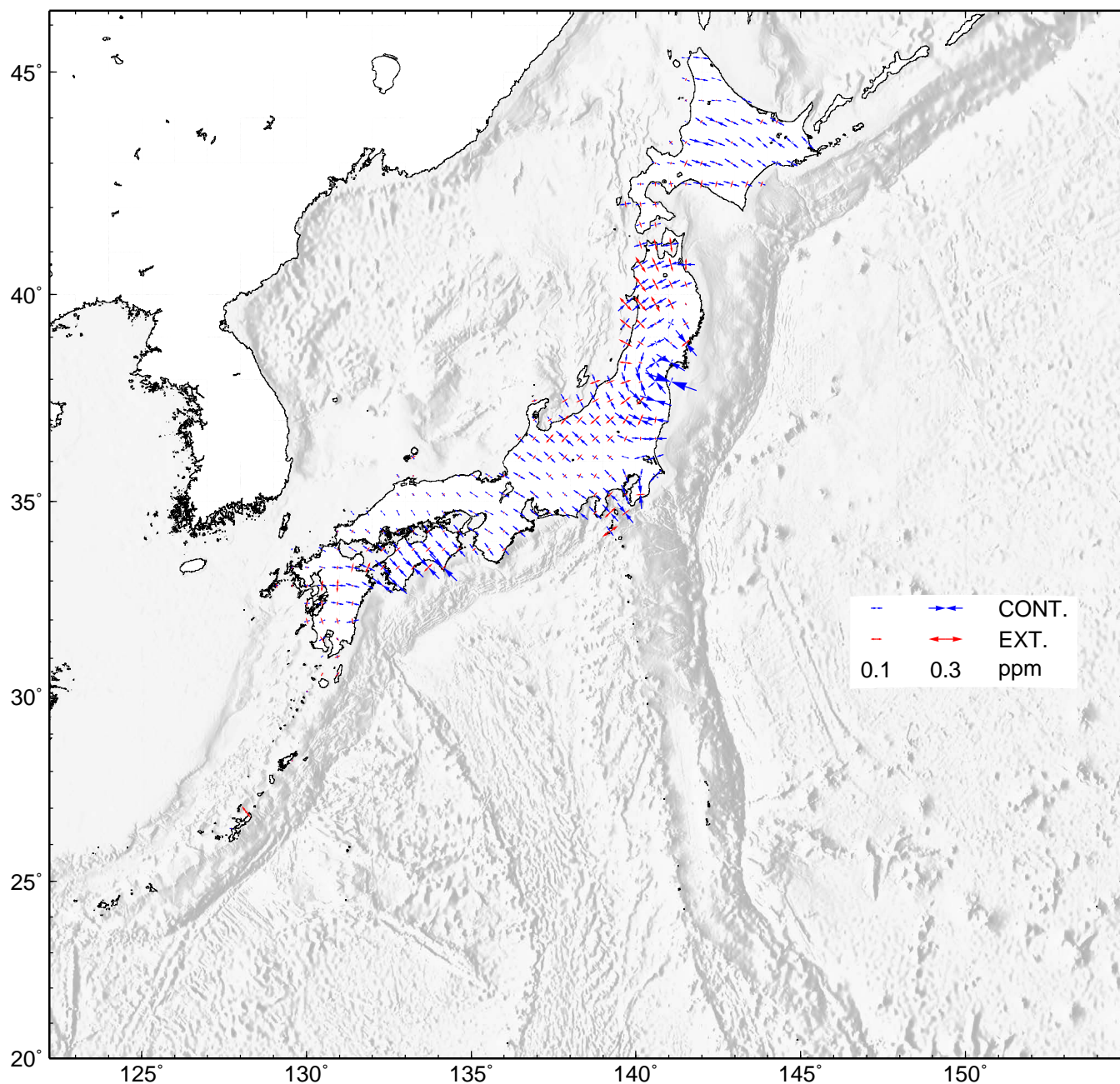
第3図. 2003年6月1日から2023年1月31日までの期間 (左) および直近約3か月間 (右) に検出されたイベントの時空間分布. 検出されたイベントを防災科研 Hi-net 手動または自動検測震源と照合し, 対応する地震が見出されたイベントを灰色で, それ以外を赤色の点でそれぞれ示す. その他は第1図に同じ.

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。
- ・2022 年 3 月 16 日の福島県沖の地震の影響によるひずみが見られる。
- ・石川県能登地方で 2020 年 12 月から活発になっている地震活動とほぼ同期した地殻変動の影響によるひずみが見られる。

基準期間：2021/12/24 – 2022/01/07 [F 5：最終解]

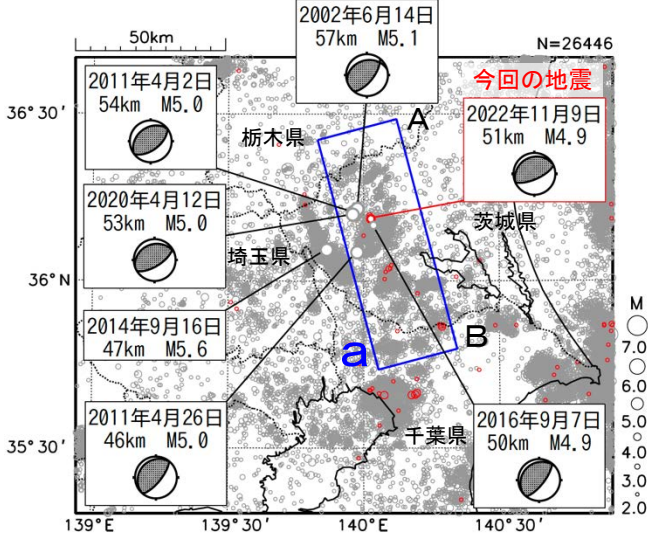
比較期間：2022/12/24 – 2023/01/07 [F 5：最終解]



- ・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。

11月9日 茨城県南部の地震

震央分布図
(1997年10月1日～2022年11月30日、
深さ0～120km、 $M \geq 2.0$)
2022年11月の地震を赤色で表示



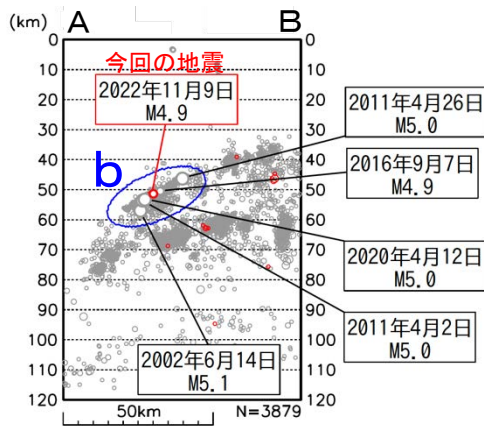
2022年11月9日17時40分に茨城県南部の深さ51kmでM4.9の地震 (最大震度5強) が発生した。この地震は、発震機構が北北西-南南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、フィリピン海プレートと陸のプレートの境界で発生した。また、この地震の震源付近では、11月11日にもM3.7の地震 (最大震度3) が発生した。

今回の地震により、軽傷1人の被害が生じた (11月16日17時00分現在、総務省消防庁による)。

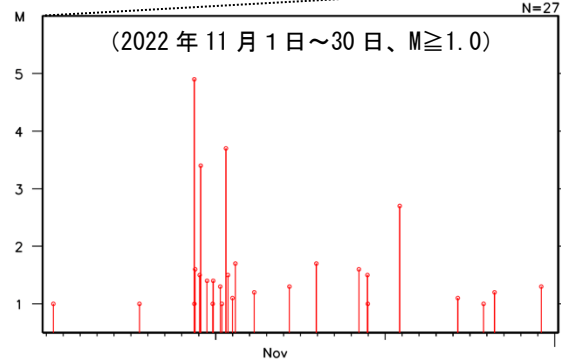
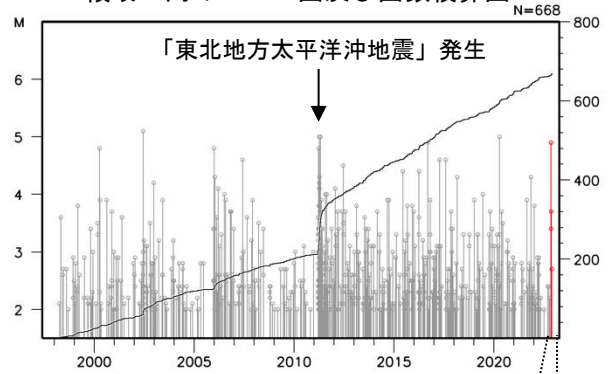
1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近 (領域b) は、地震活動が活発な領域であり、「平成23年 (2011年) 東北地方太平洋沖地震」 (以下、「東北地方太平洋沖地震」) の発生以降、地震活動がより活発になっている。この領域では、M5.0程度の地震が時々発生しており、最近では2020年4月12日にM5.0の地震 (最大震度4) が発生している。

1919年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺 (領域c) では、M6.0以上の地震が時々発生している。1923年1月14日に発生したM6.0の地震では、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)。

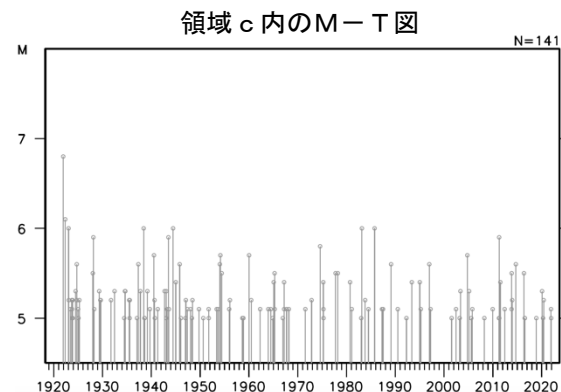
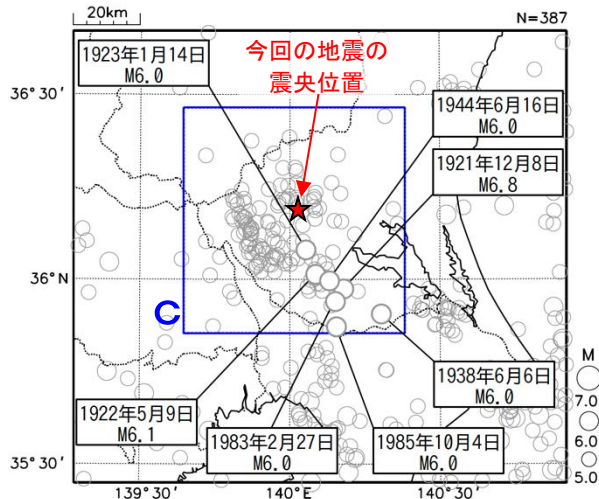
領域a内の断面図 (A-B投影)



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～2022年11月30日、
深さ0～120km、 $M \geq 5.0$)
2022年11月の地震を赤色で表示



気象庁作成

西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況 (2022年11月～2023年1月) その1

- 短期的スロースリップイベントを伴う顕著な微動活動：豊後水道から四国西部，11月17日～28日。
- 上記以外の主な微動活動：紀伊半島中部，12月16日～21日。紀伊半島南部，11月8日～11日，四国中部，12月21日～26日。

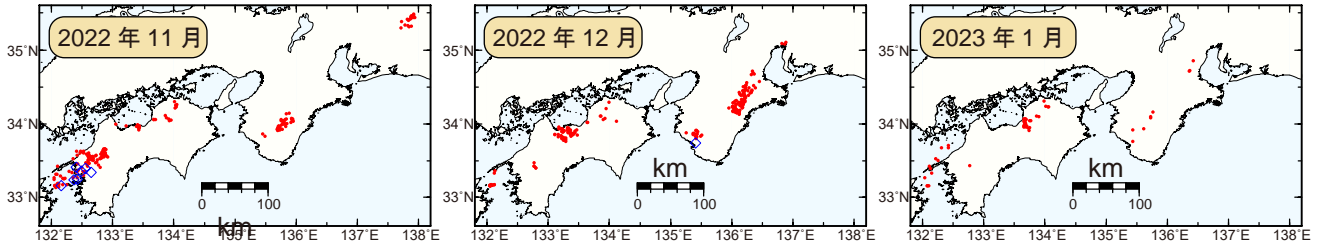


図1. 西南日本における2022年11月～2023年1月の月毎の深部低周波微動活動。赤丸はエンベロープ相関・振幅ハイブリッド法 (Maeda and Obara, 2009) およびクラスタ処理 (Obara et al., 2010) において、1時間毎に自動処理された微動分布の重心である。青菱形は周期20秒に卓越する深部超低周波地震 (Ito et al., 2007) である。

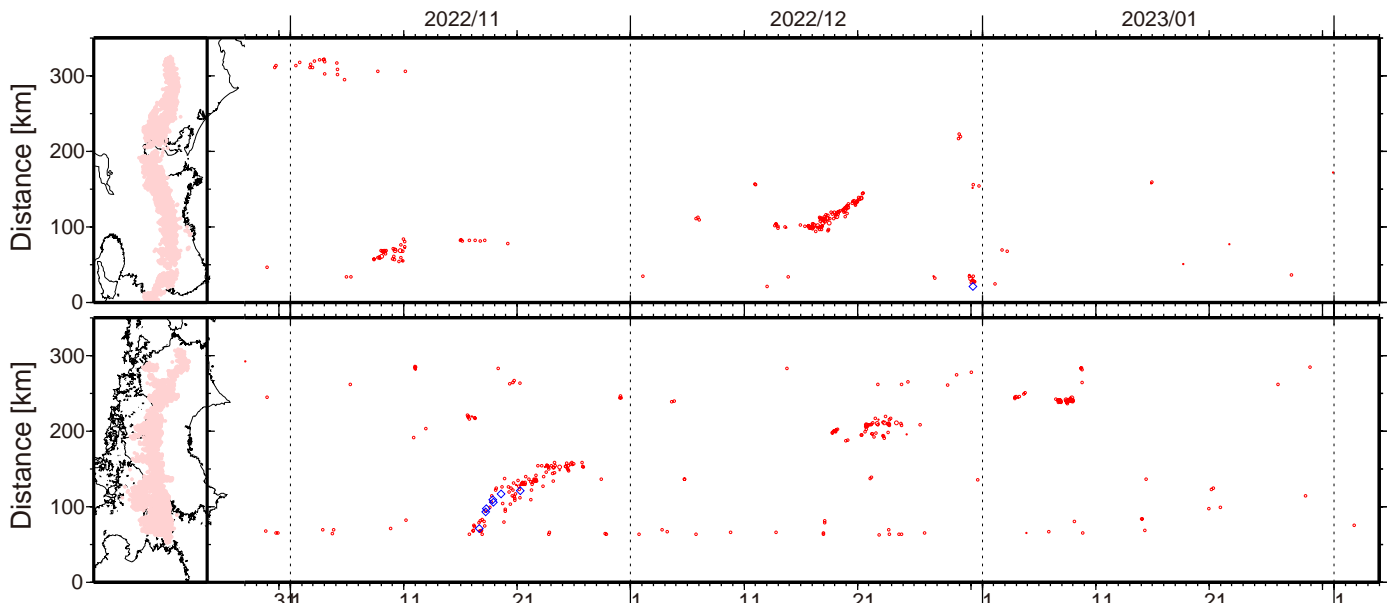


図2. 2022年10月28日～2023年2月4日の深部低周波微動 (赤) および、深部超低周波地震 (青菱形) の時空間分布。

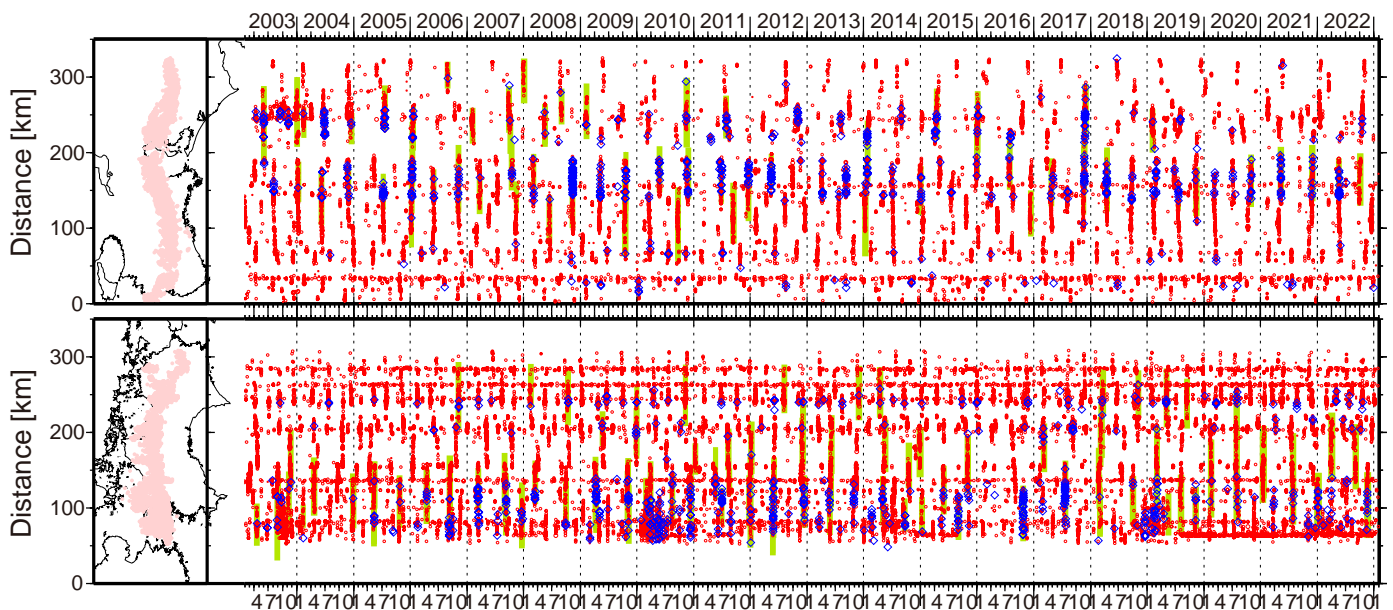


図3. 2003年2月～2023年2月4日までの深部低周波微動 (赤) および、深部超低周波地震 (青菱形) の時空間分布。緑太線は、傾斜変動から検出された短期的スロースリップイベント。

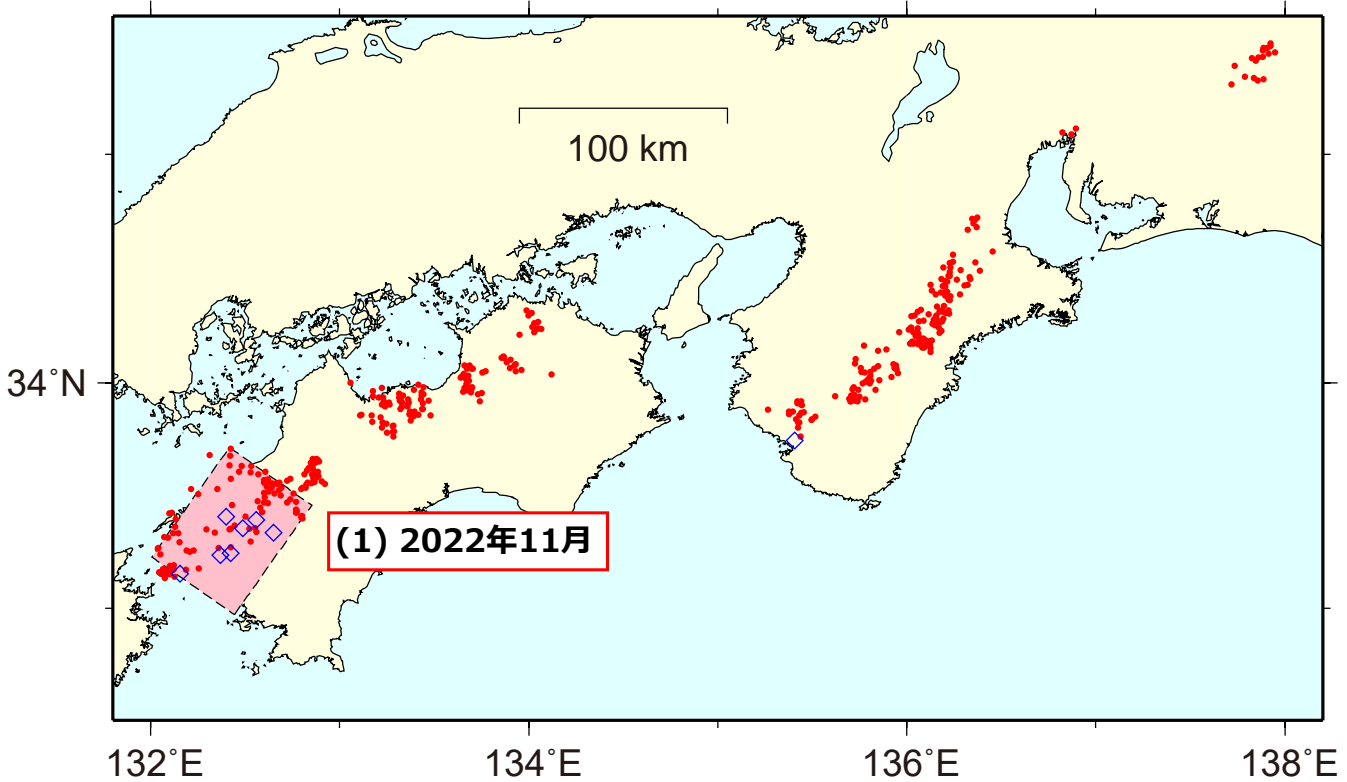


図1：2022年11月1日～2023年1月31日の深部低周波微動（赤点），深部超低周波地震（青菱形），短期的スロースリップイベント（SSE：ピンク四角）。

1. 2022年11月 四国中西部（Mw 6.2）

2021年12月～2022年1月（M_w 6.0）以来約10ヶ月ぶり

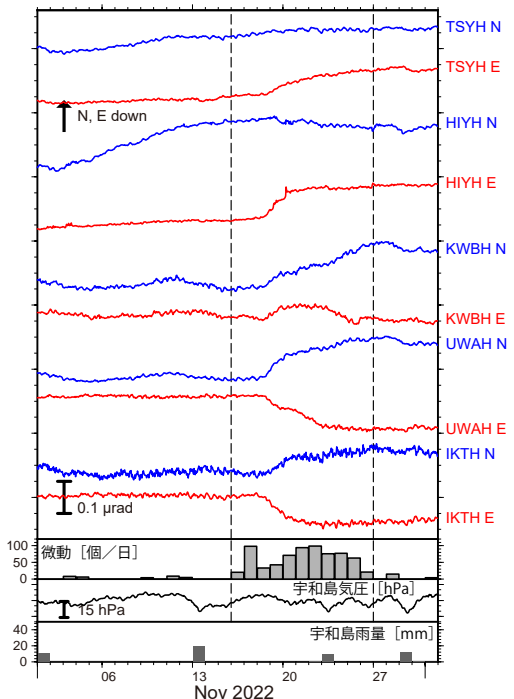


図2：2022年11月1日～12月1日の傾斜時系列。上方への変化が北・東下がりの傾斜変動を表し、BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答成分を除去した。11月16日～26日の傾斜変化ベクトルを図3に示す。四国西部～中部での微動活動度・気象庁宇和島観測点の気圧・雨量をあわせて示す。

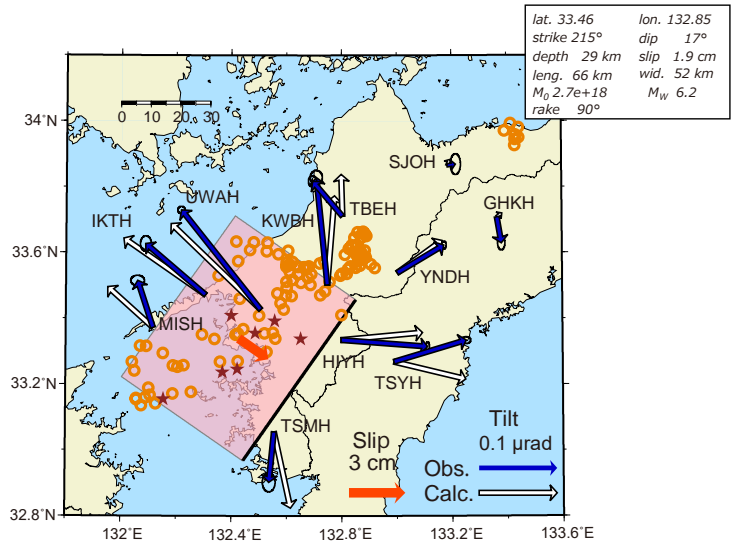
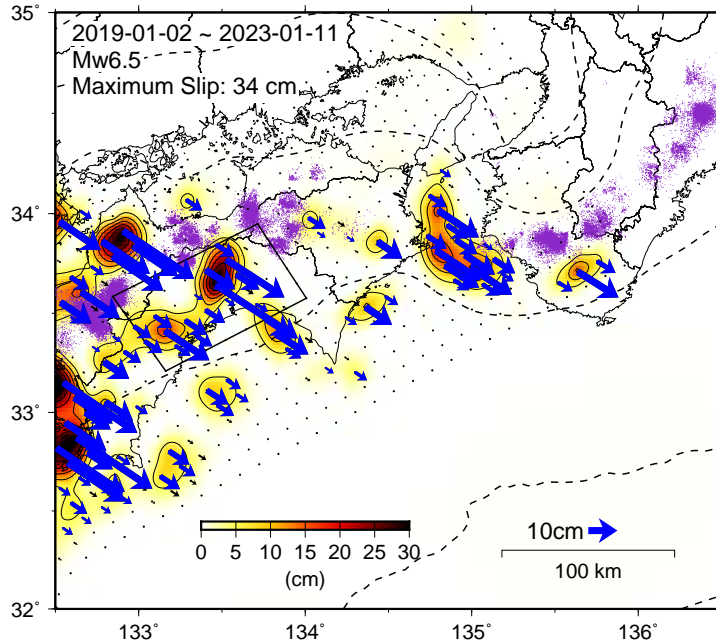


図3：2022年11月16日～26日に観測された傾斜変化ベクトル（青矢印），推定されたスロースリップイベントの断層モデル（赤矩形・矢印），モデルから計算される傾斜変化ベクトル（白抜き矢印）を示す。1時間ごとの微動エネルギーの重心位置（橙丸），深部超低周波地震の震央（茶星印）もあわせて示す。すべり角はプレート相対運動方向に固定している。

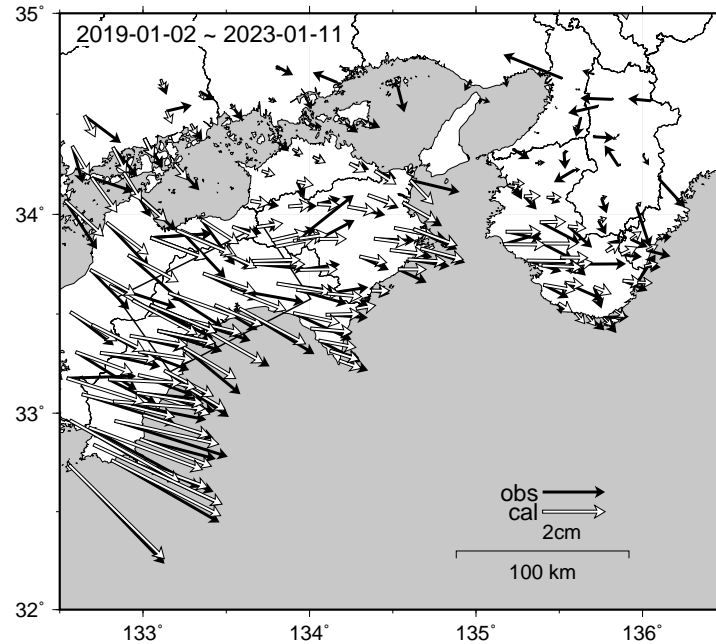
謝辞
気象庁のWEBページで公開されている気象データを使用させて頂きました。記して感謝いたします。

GNSS データから推定された四国中部の長期的ゆっくりすべり (暫定)

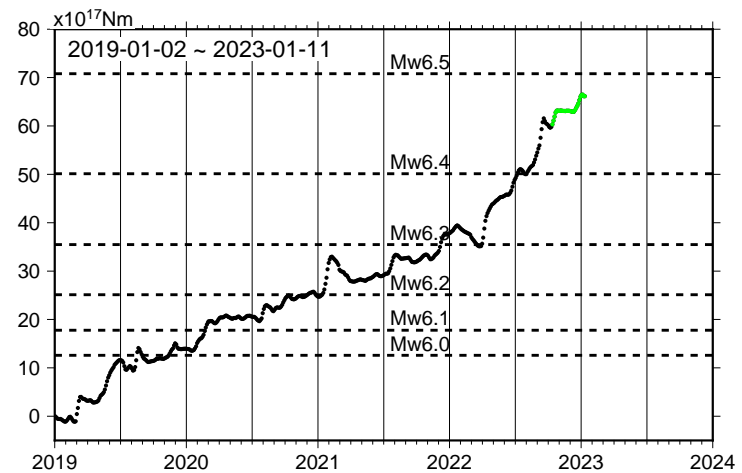
推定すべり分布



観測値 (黒) と計算値 (白) の比較



モーメント ※ 時系列 (試算)



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青色表示している。

紫丸: 低周波地震 (気象庁一元化震源) (期間: 2019-01-02~2023-01-11)
黒破線: フィリピン海プレート上面の等深線 (Hirose et al., 2008)

使用したデータ: GEONET による日々の座標値 (F5、R5 解)

※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: 2017-01-01~2018-01-01

(年周・半年周成分は 2017-01-01 ~ 最新のデータで補正)

モーメント計算範囲: 左図の黒枠内側

観測値: 3日間の平均値をカルマンフィルターで平滑化した値

すべり方向: プレートの沈み込み方向と平行な方向に拘束

固定局: 網野

※共通誤差成分を推定

※モーメント

断層運動のエネルギーの目安となる量。

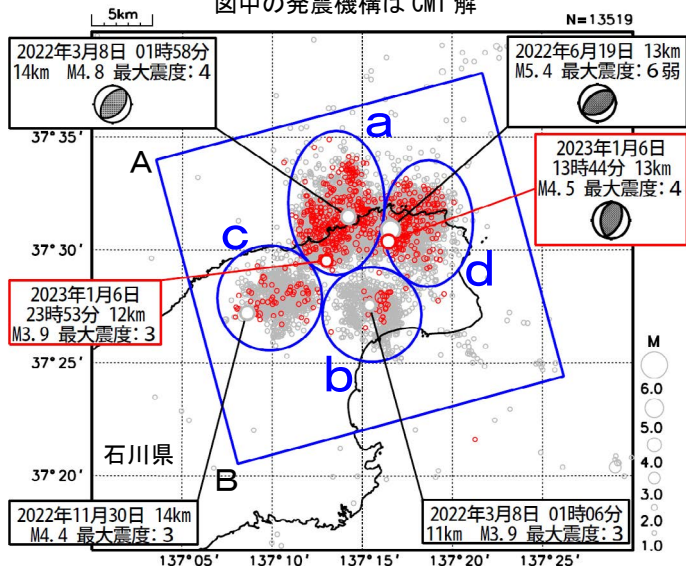
地震の場合の Mw (モーメントマグニチュード) に換算できる。

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1月31日、
深さ0～25km、M \geq 1.0)

2023年1月の地震を赤色で表示

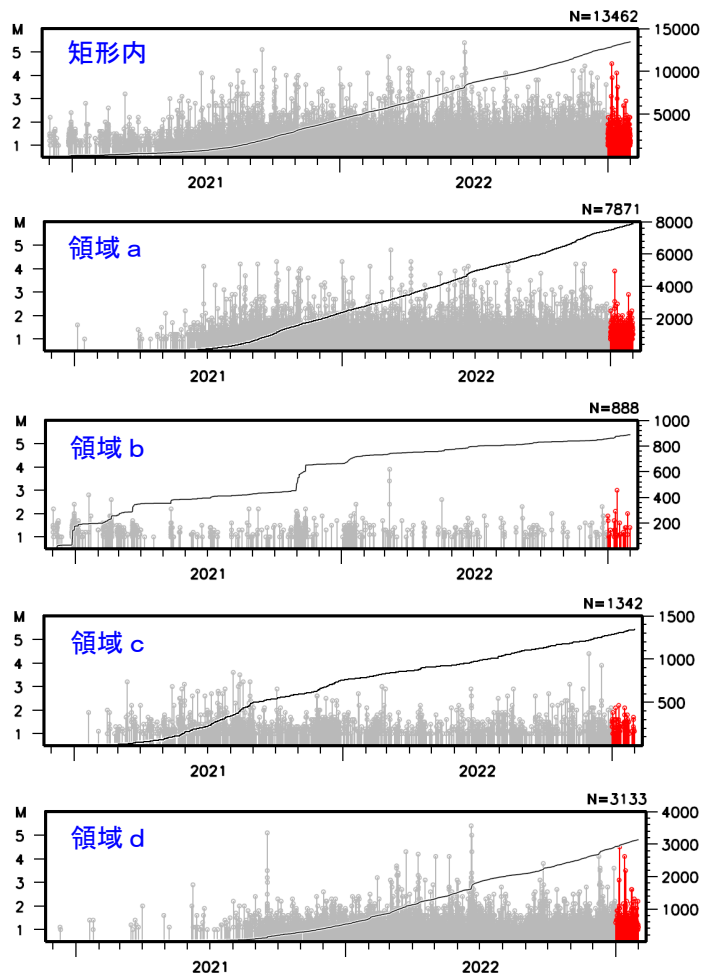
- ・ 黒色の吹き出し：領域 a～d の各領域内で最大規模の地震
 - ・ 赤色の吹き出し：矩形内で 2023 年 1 月中の最大規模の地震
及び 2023 年 1 月に震度 3 以上を観測した地震
- 図中の発震機構は CMT 解



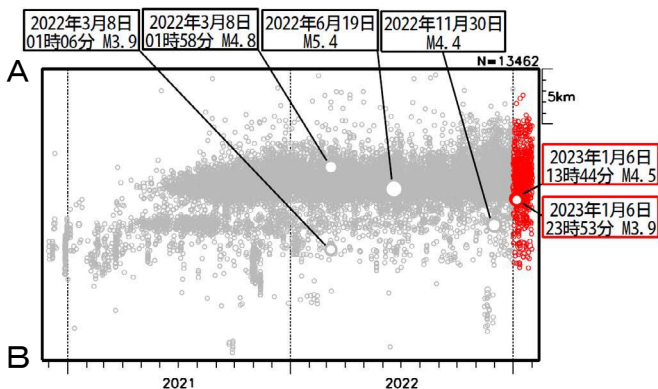
石川県能登地方 (矩形内) では、2018 年頃から地震回数が増加傾向にあり、2020 年 12 月から地震活動が活発になり、2021 年 7 月頃からさらに活発になっている。2023 年 1 月中も活発な状態が継続している。2023 年 1 月中の最大規模の地震は、6 日に発生した M4.5 の地震 (最大震度 4) である。なお、活動の全期間を通じて最大規模の地震は、2022 年 6 月 19 日に発生した M5.4 の地震 (最大震度 6 弱) である。

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・震度別の地震発生回数表のとおり。

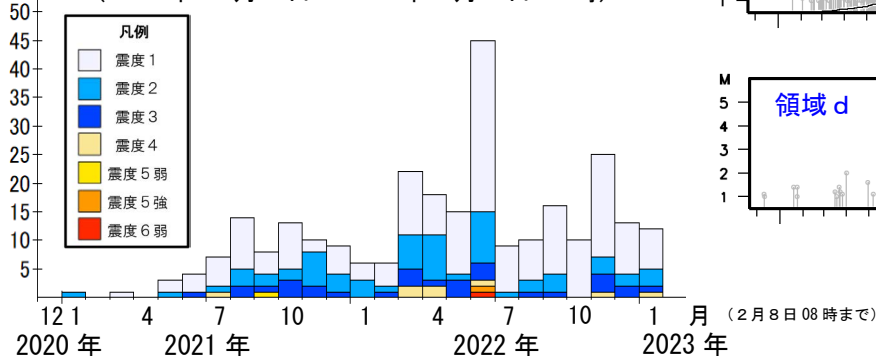
左図矩形内及び領域 a～d 内の
M-T 図及び回数積算図
(2020 年 12 月 1 日～2023 年 1 月 31 日)



上図矩形内の時空間分布図 (A-B 投影)



矩形内の地震の月別震度別発生回数
(2020 年 12 月 1 日～2023 年 2 月 8 日 08 時)



期間別・震度別の地震発生回数表

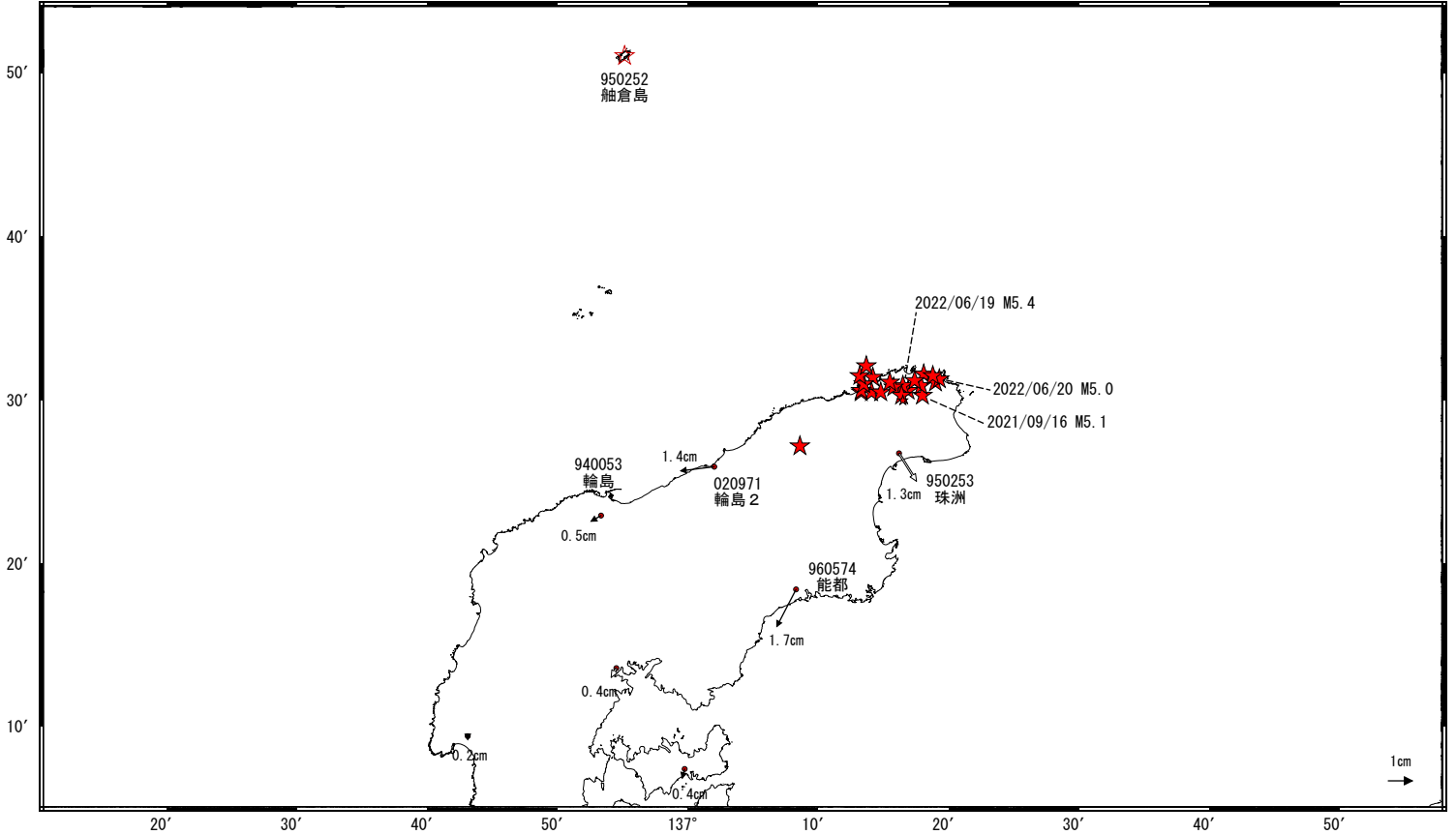
期間	最大震度別回数							計
	1	2	3	4	5弱	5強	6弱	
2020年12月1日 ～2022年12月31日	169	58	28	7	1	1	1	265
2023年1月1日～31日	7	3	1	1	0	0	0	12
2023年2月1日～8日08時	0	0	0	0	0	0	0	0
計	176	61	29	8	1	1	1	277

石川県能登地方の地殻変動（暫定）

ベクトル図（水平） （一次トレンド・年周成分・半年周成分除去後）

基準期間：2020/11/01～2020/11/07 [F5：最終解]
比較期間：2023/01/26～2023/02/01 [R5：速報解]

計算期間：2017/09/01～2020/09/01

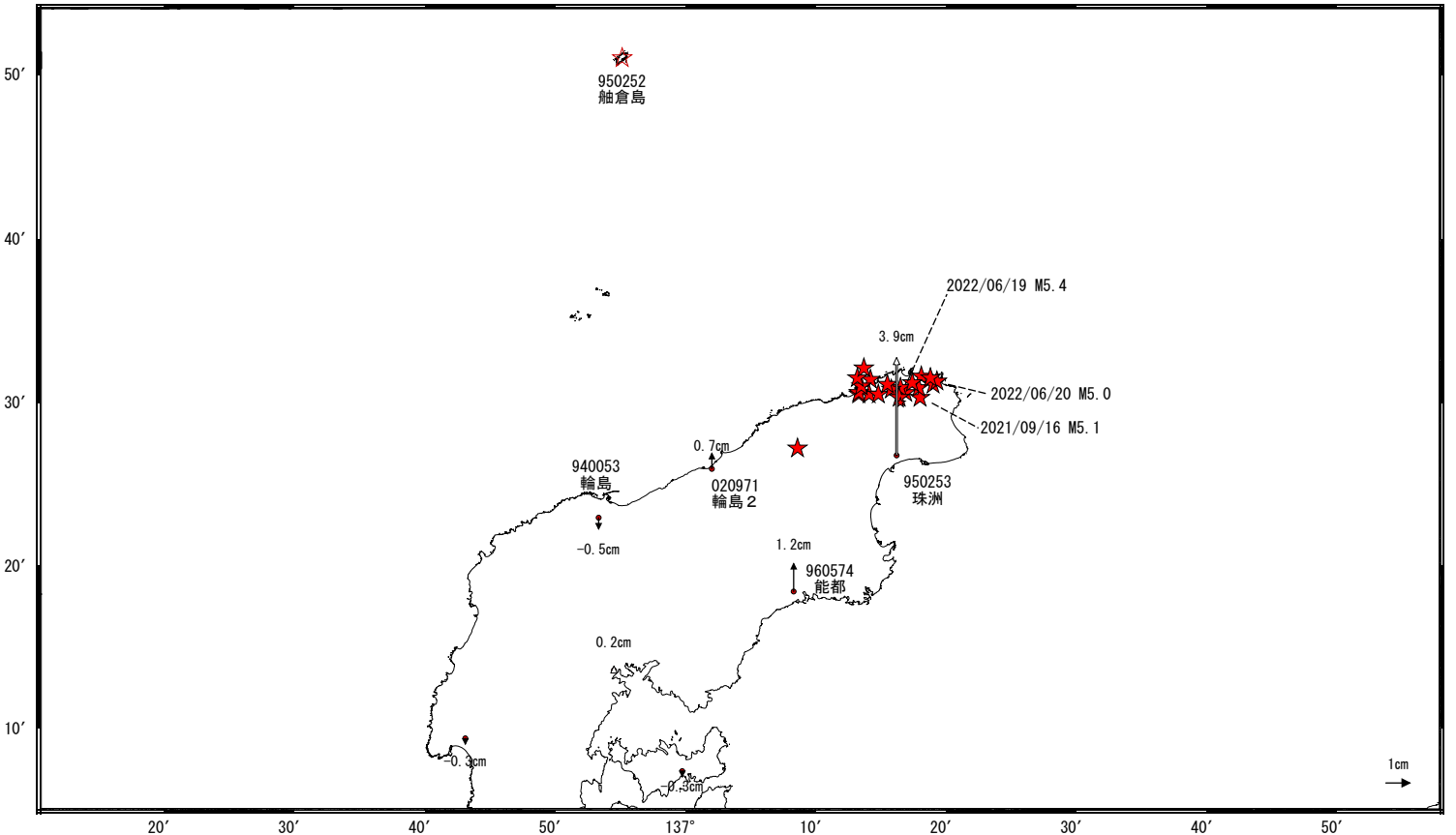


☆ 固定局：舳倉島 (950252)

ベクトル図（上下） （一次トレンド・年周成分・半年周成分除去後）

基準期間：2020/11/01～2020/11/07 [F5：最終解]
比較期間：2023/01/26～2023/02/01 [R5：速報解]

計算期間：2017/09/01～2020/09/01



☆ 固定局：舳倉島 (950252)

★ 震央（2020年11月以降 M>4.0）

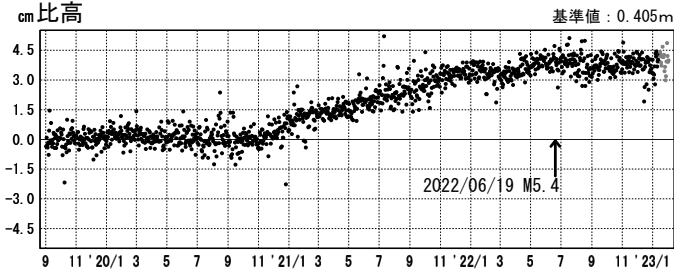
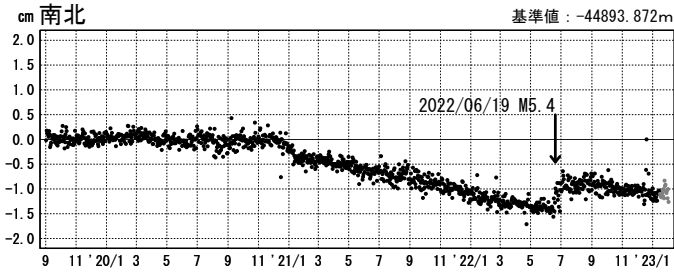
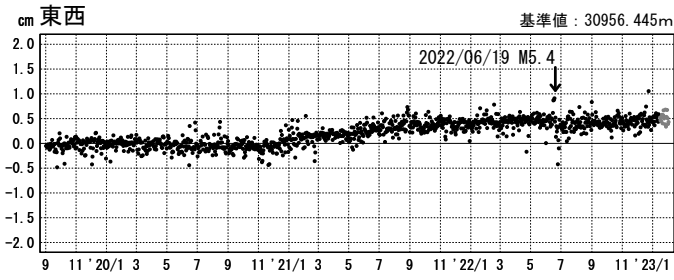
※電子基準点「珠洲」の位置が、地震（2022/06/19 M5.4）に伴いごくわずかに変化した可能性がある。

石川県能登地方の地殻変動（暫定）

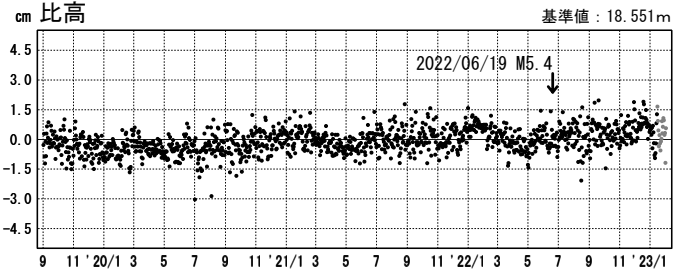
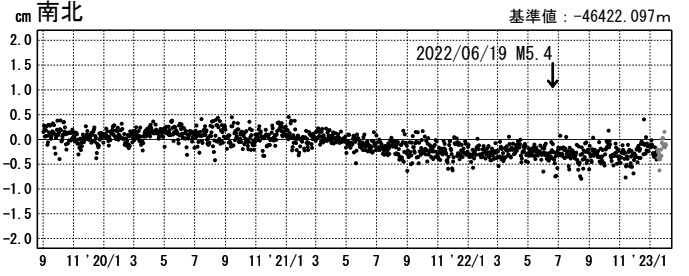
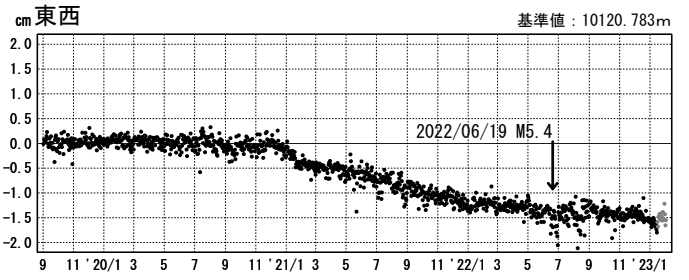
一次トレンド・年周成分・半年周成分除去後グラフ

期間：2019/09/01～2023/02/01 JST 計算期間：2017/09/01～2020/09/01

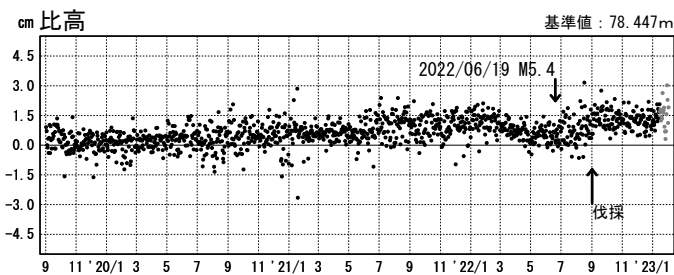
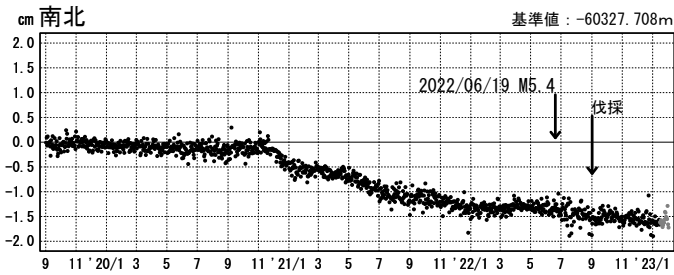
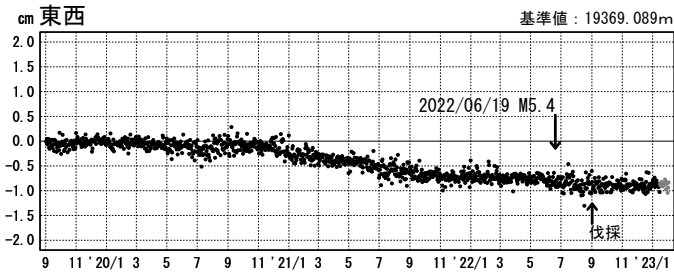
(1) 舢倉島(950252)→珠洲(950253)



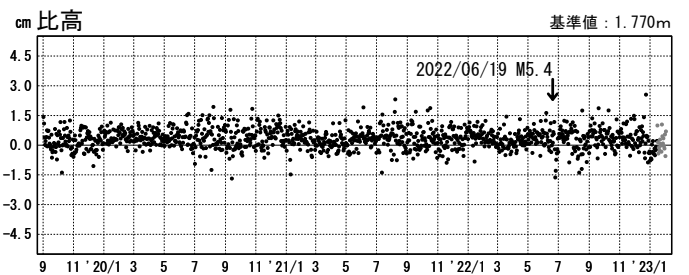
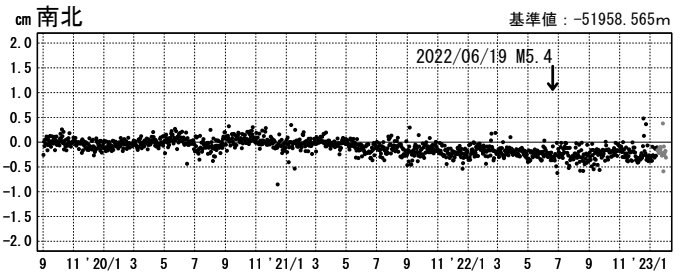
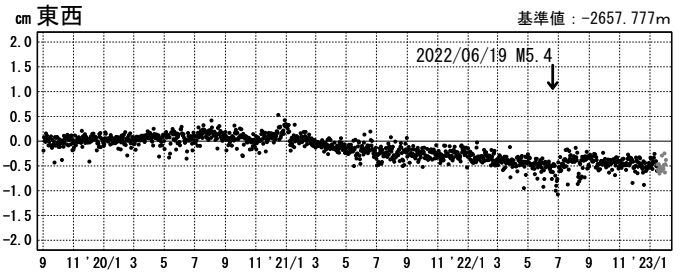
(2) 舢倉島(950252)→輪島2(020971)



(3) 舢倉島(950252)→能都(960574)



(4) 舢倉島(950252)→輪島(940053)

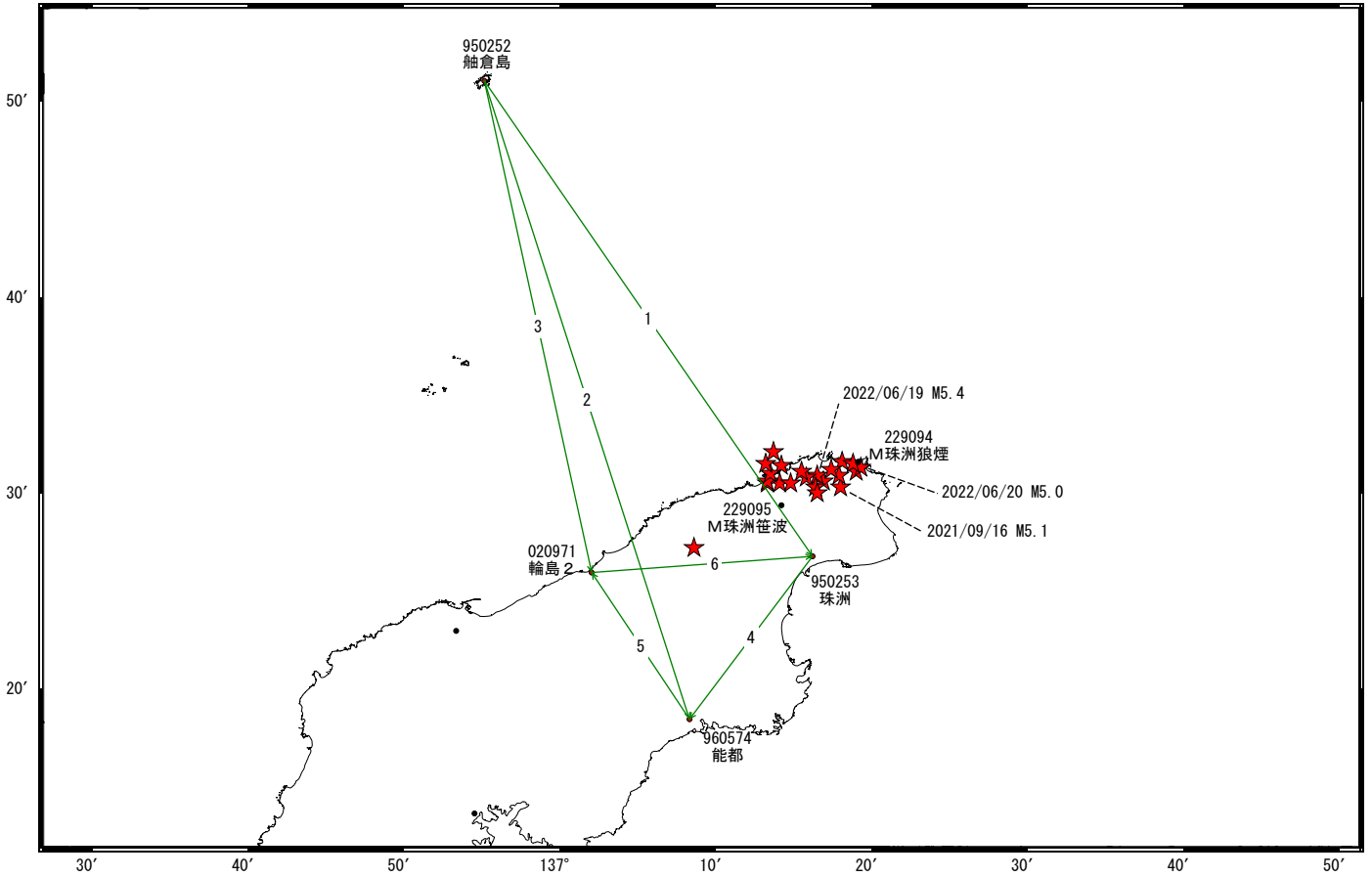


●---[F5:最終解] ●---[R5:速報解]

※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。

石川県能登地方の地殻変動（暫定）

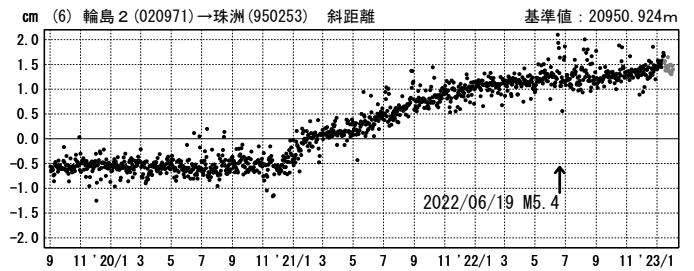
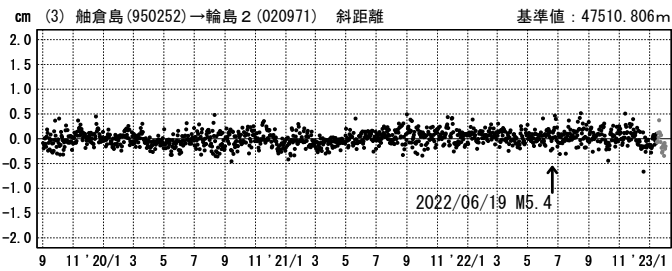
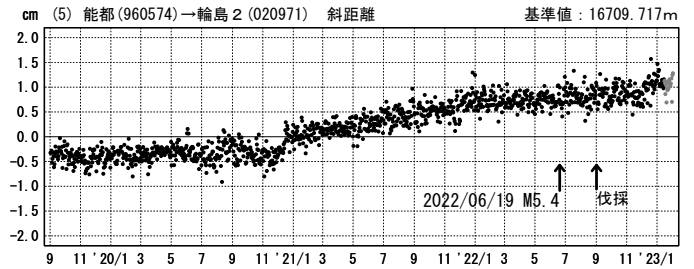
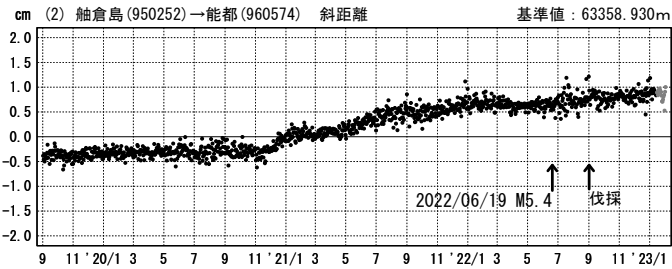
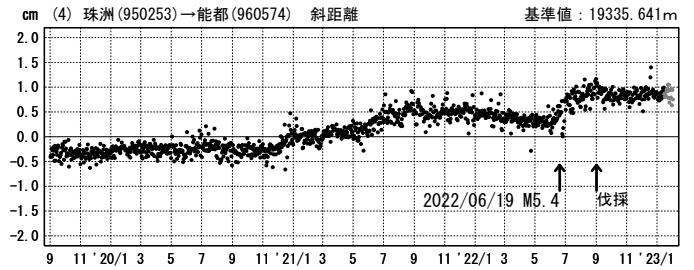
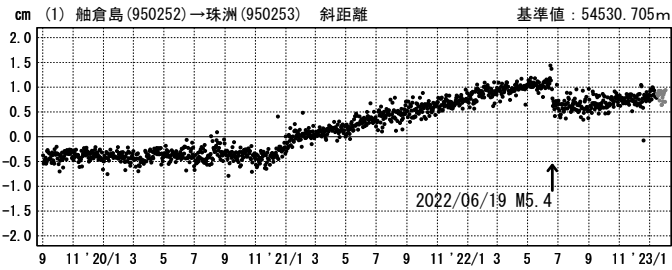
基線図



★ 震央 (2020年11月以降 M>4.0)

斜距離（一次トレンド・年周成分・半年周成分除去後）

期間：2019/09/01～2023/02/01 JST 計算期間：2017/09/01～2020/09/01

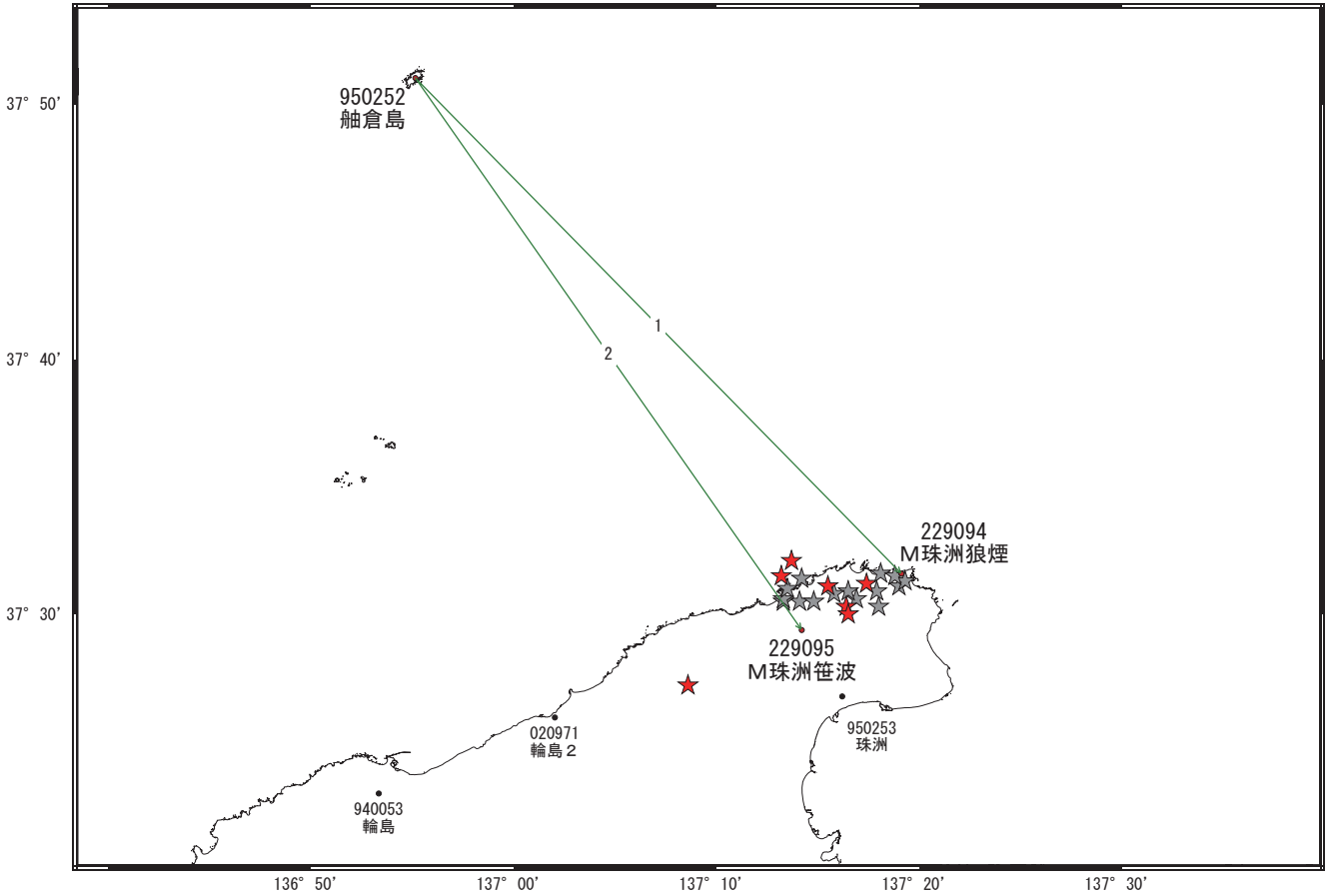


●—[F5:最終解] ●—[R5:速報解]

※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。

石川県能登地方の地殻変動（暫定）

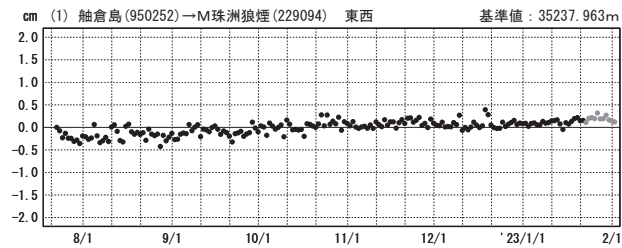
— 可搬型GNSS連続観測装置（REGMOS）による観測結果 —
基線図



★ 震央 M > 4.0 (灰色：2020年11月～2022年7月 赤：2022年8月以降)

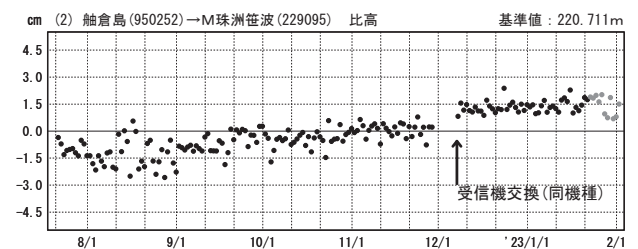
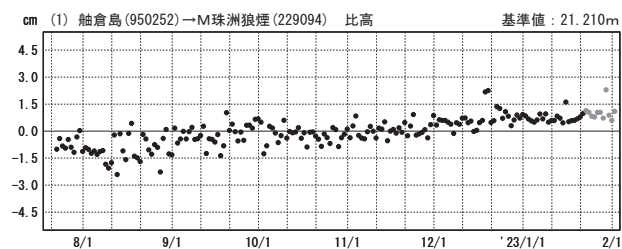
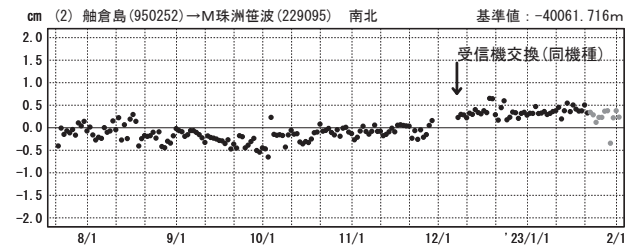
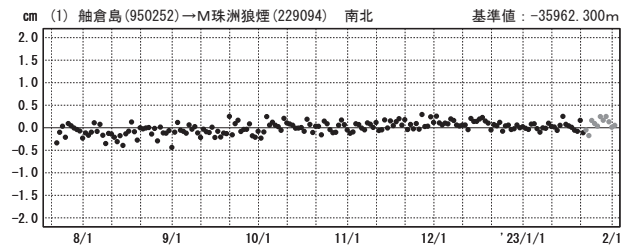
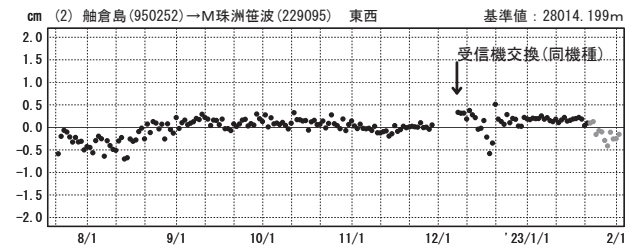
成分変化グラフ

期間：2022/07/20～2023/02/01 JST



成分変化グラフ

期間：2022/07/20～2023/02/01 JST

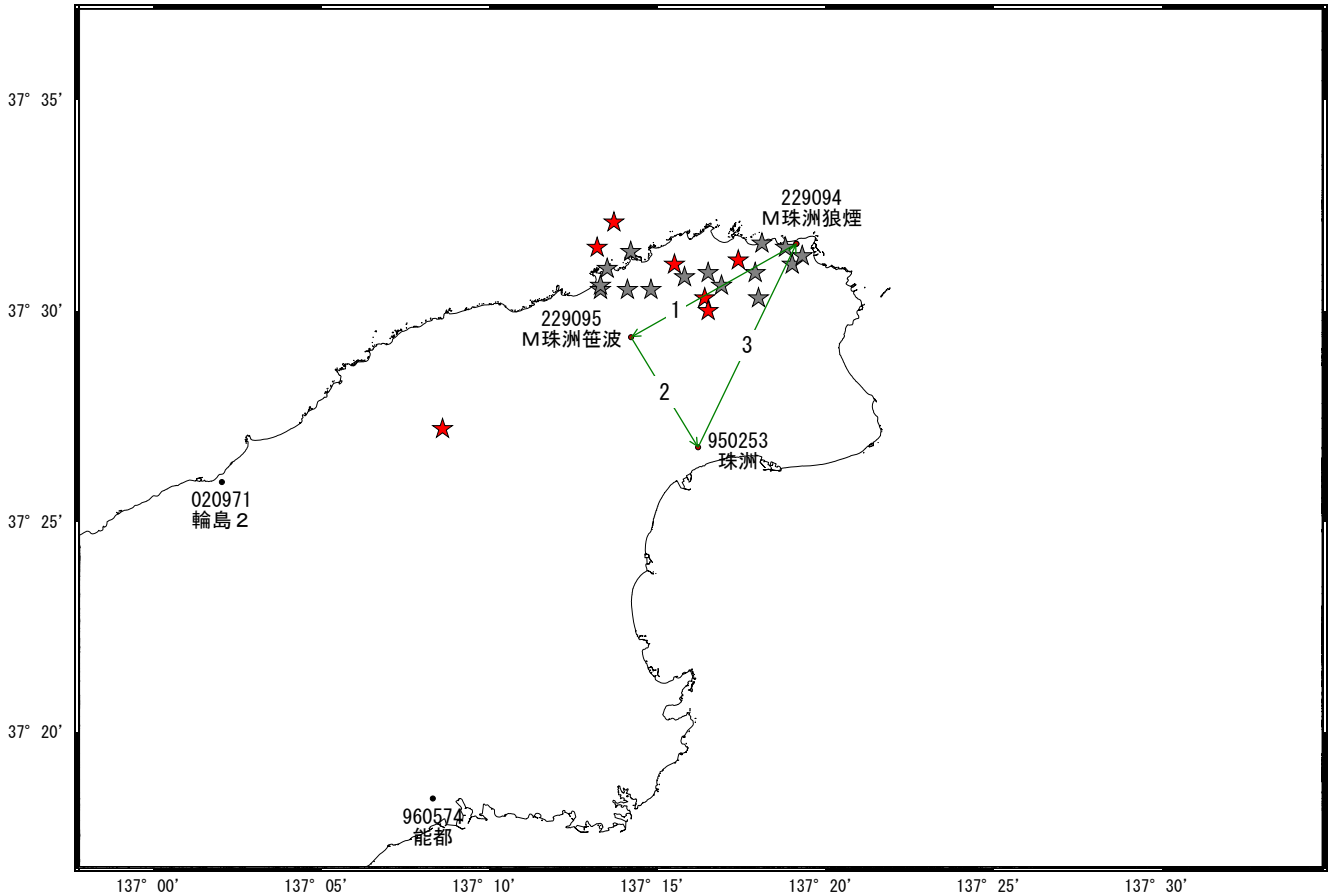


●— [F5:最終解] ●— [R5:速報解]

石川県能登地方の地殻変動（暫定）

— 可搬型GNSS連続観測装置（REGMOS）による観測結果 —

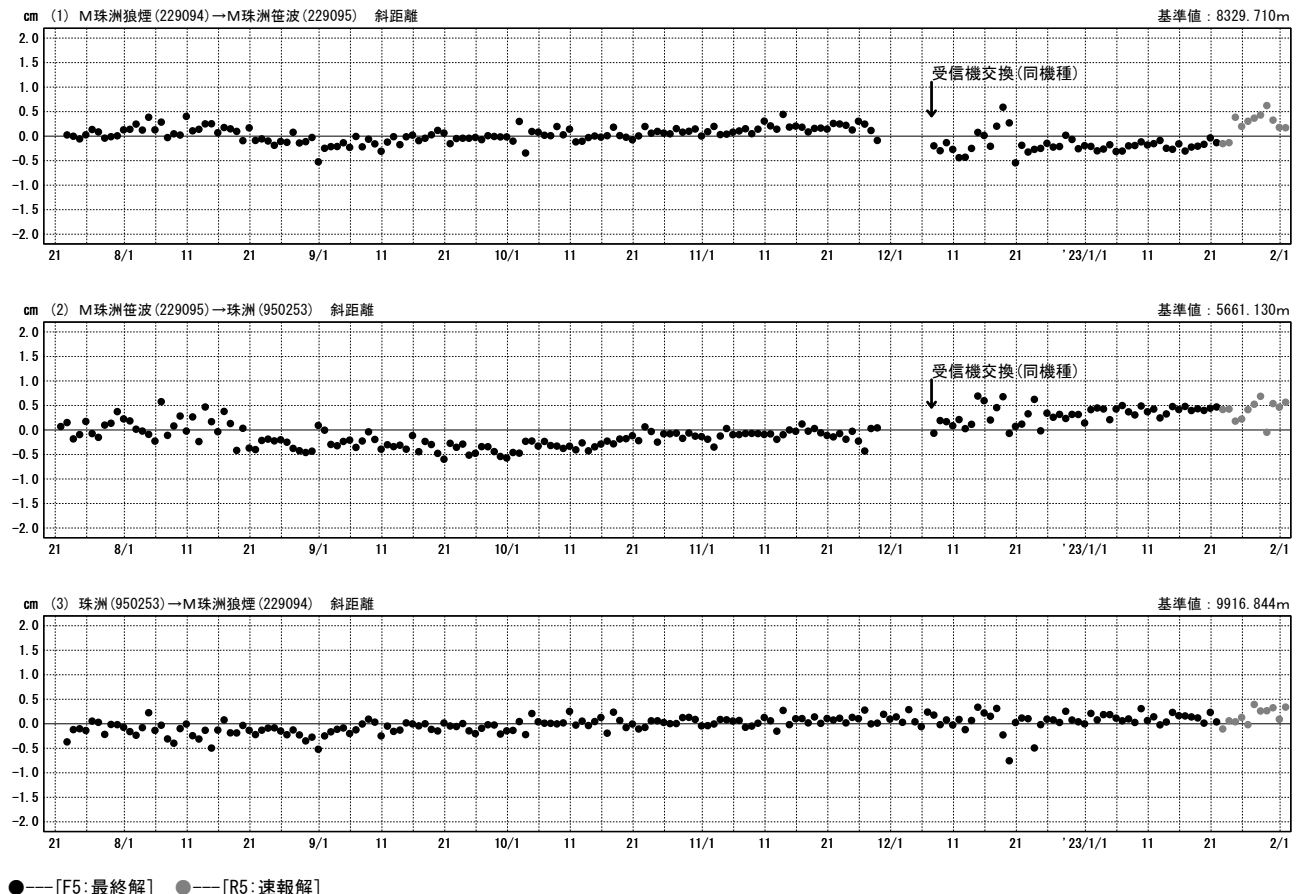
基線図



★ 震央 M>4.0 (灰色：2020年11月～2022年7月 赤：2022年8月以降)

基線変化グラフ

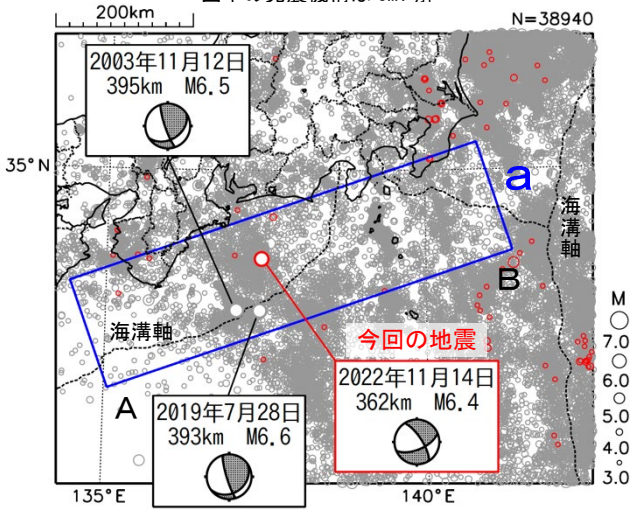
期間：2022/07/20～2023/02/01 JST



●— [F5:最終解] ●— [R5:速報解]

11月14日 三重県南東沖の地震

震央分布図
(1997年10月1日～2022年11月30日、
深さ0～700km、 $M \geq 3.0$)
2022年11月の地震を赤色で表示
図中の発震機構はCMT解

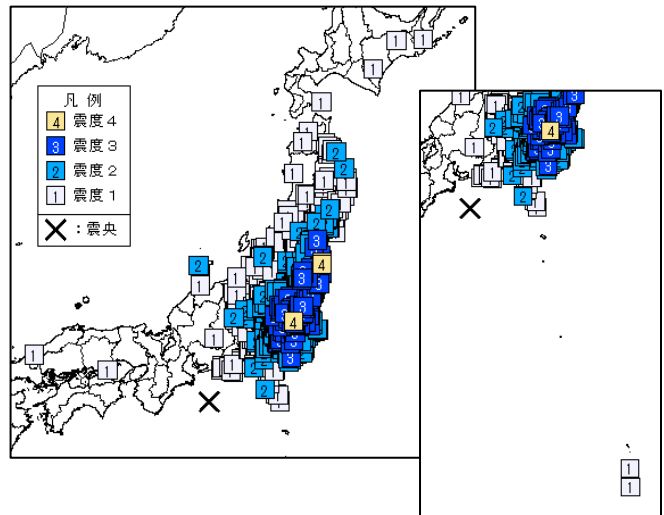


2022年11月14日17時08分に三重県南東沖の深さ362kmでM6.4の地震(最大震度4)が発生した。この地震は太平洋プレート内部で発生した。発震機構(CMT解)は、太平洋プレートの沈み込む方向に圧力軸を持つ型である。今回の地震では、震央から離れた東北地方及び関東地方で強い揺れを観測しており、この現象は「異常震域」と呼ばれている。

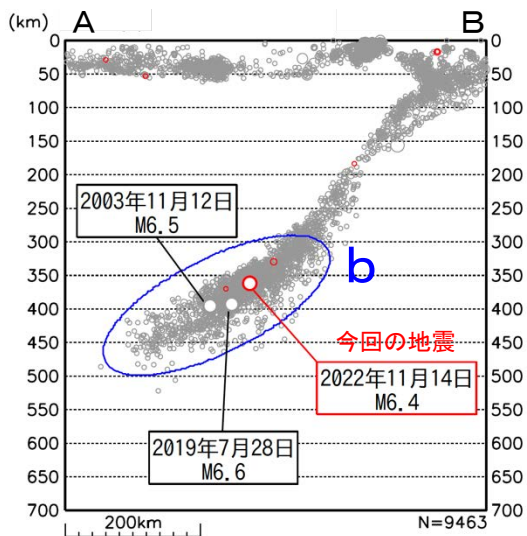
1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近(領域b)では、M5.0以上の地震が時々発生しており、2003年11月12日にM6.5の地震、2019年7月28日にM6.6の地震(ともに最大震度4)が発生した。

1919年以降の活動をみると、今回の地震の震央付近から小笠原諸島西方沖にかけて、M7.0以上の深い地震が時々発生している。

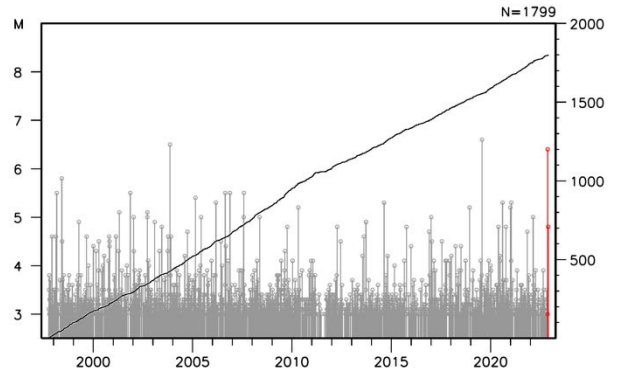
今回の地震の震度分布図



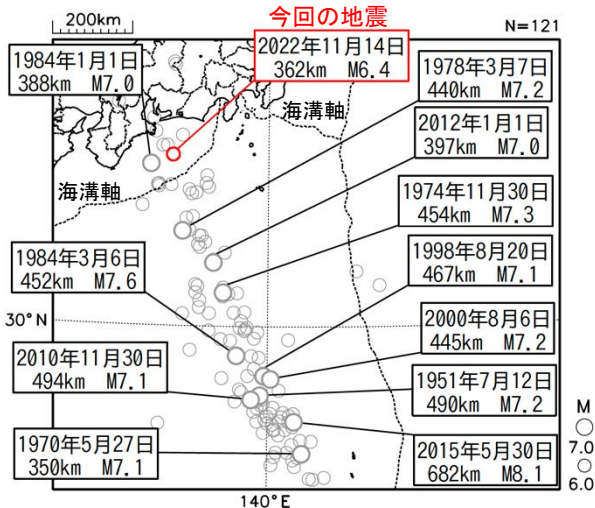
領域a内の断面図(A-B投影)



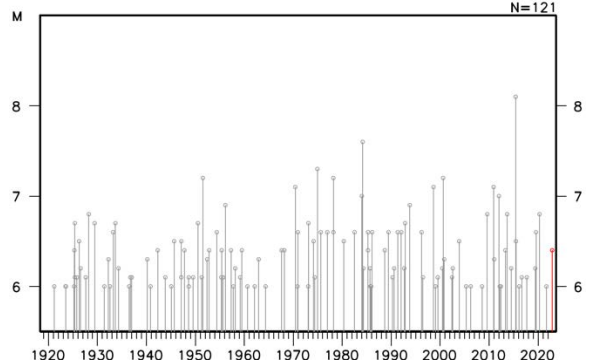
領域b内のM-T図及び回数積算図



震央分布図
(1919年1月1日～2022年11月30日、
深さ200～700km、 $M \geq 6.0$)
2022年11月の地震を赤色で表示



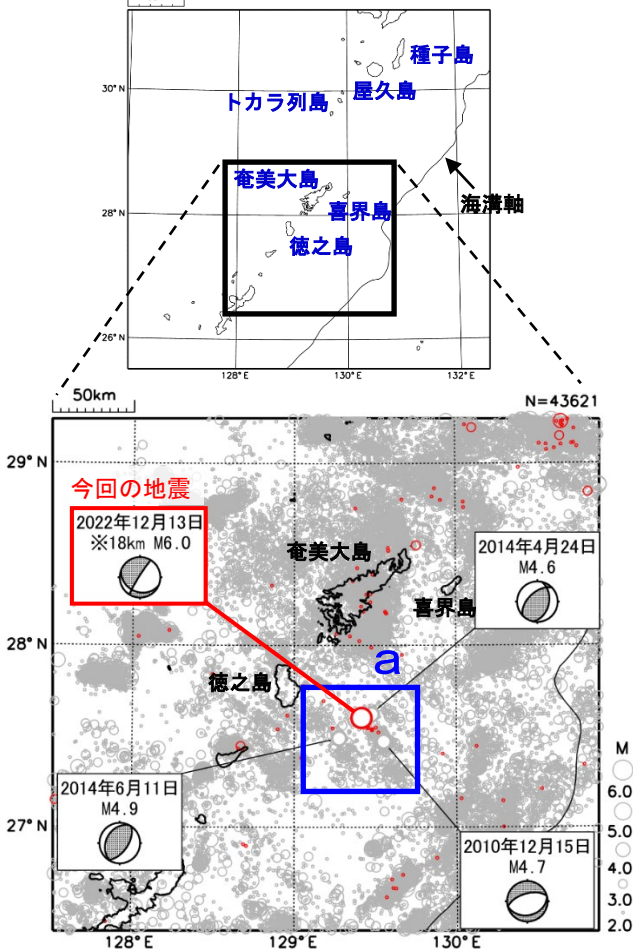
左図のM-T図



気象庁作成

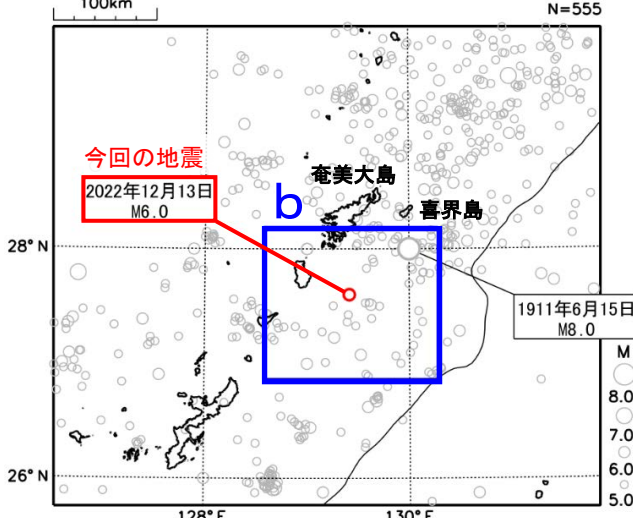
12月13日 奄美大島近海の地震

震央分布図
(1997年10月1日～2022年12月31日、
深さ0～90km、 $M \geq 2.0$)
2022年12月の地震を赤色○で表示
図中の発震機構はCMT解



※の付いた地震の深さはCMT解による。

震央分布図
(1885年1月1日～2022年12月31日、
深さ0～150km、 $M \geq 5.0$)
2022年12月の地震を赤色○で表示



(震源要素は、1885年～1918年は茅野・宇津 (2001)、
宇津 (1982, 1985) による※)

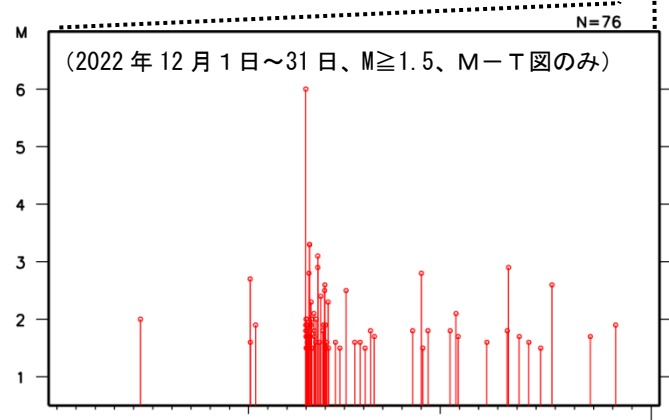
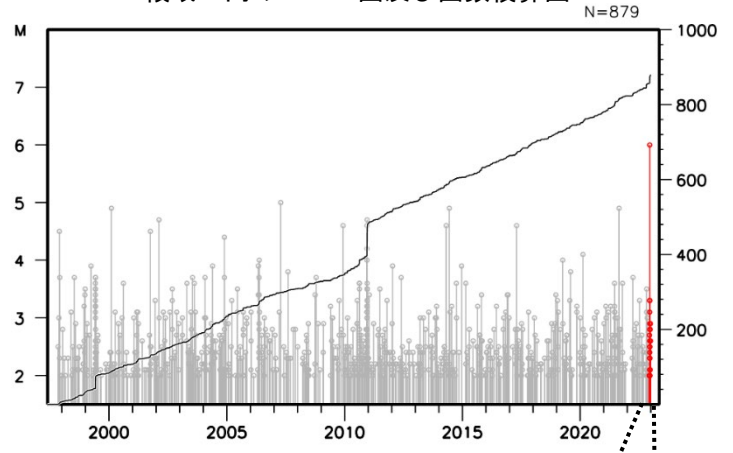
※宇津徳治 (1982) : 日本付近の $M6.0$ 以上の地震および被害地震の表 : 1885年～1980年, 震研彙報, 56, 401-463.
宇津徳治 (1985) : 日本付近の $M6.0$ 以上の地震および被害地震の表 : 1885年～1980年 (訂正と追加), 震研彙報, 60, 639-642.
茅野一郎・宇津徳治 (2001) : 日本の主な地震の表, 「地震の事典」第2版, 朝倉書店, 657pp.

2022年12月13日23時25分に奄美大島近海の深さ18km (CMT解による) で $M6.0$ の地震 (最大震度4) が発生した。この地震の発震機構 (CMT解) は、東西方向に圧力軸を持つ型である。

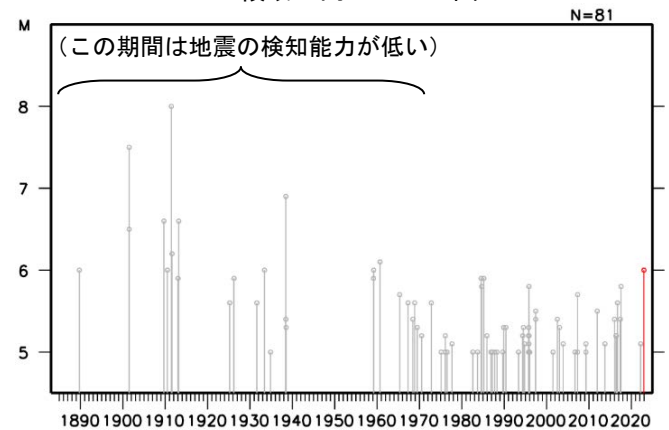
1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震央付近 (領域 a) では、 $M5$ 程度の地震は時々発生しているが、 $M6.0$ 以上の地震は発生していなかった。

1885年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺 (領域 b) では、 $M6.0$ 以上の地震が時々発生している。1911年6月15日には $M8.0$ の地震が発生し、死者7人、負傷者26人、住家全壊418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 M-T 図及び回数積算図



領域 b 内の M-T 図

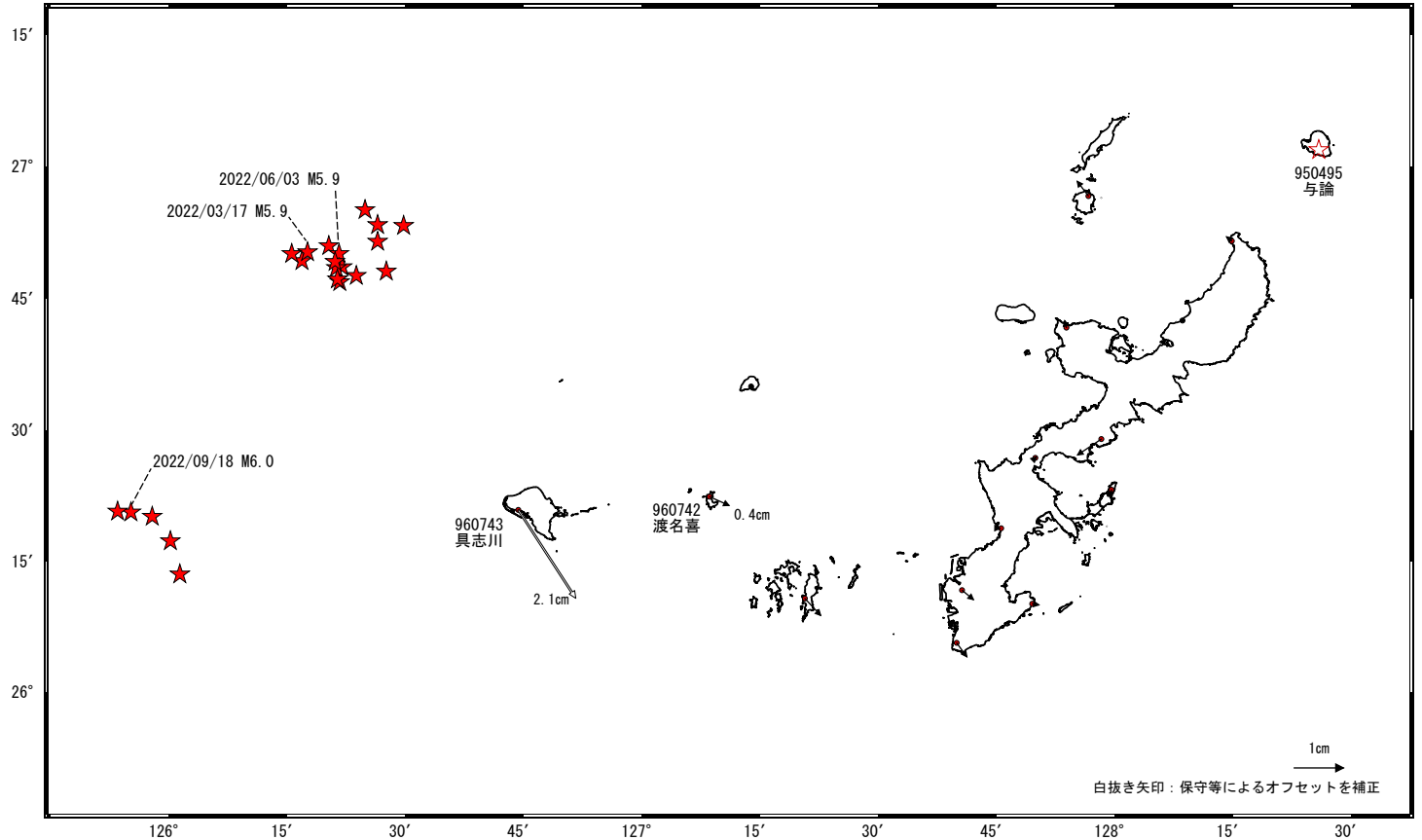


久米島周辺の地殻変動（暫定）

地殻変動(水平) (一次トレンド除去後)

基準期間: 2022/01/22~2022/01/28 [F5: 最終解]
比較期間: 2023/02/02~2023/02/08 [R5: 速報解]

計算期間: 2021/01/01~2021/12/31

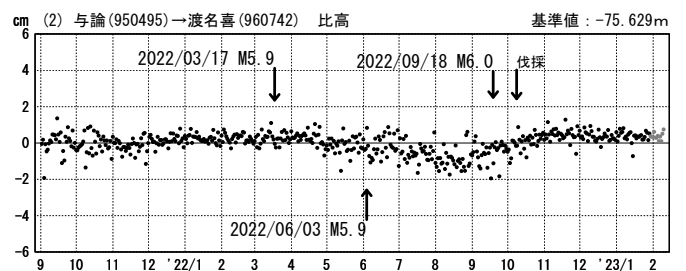
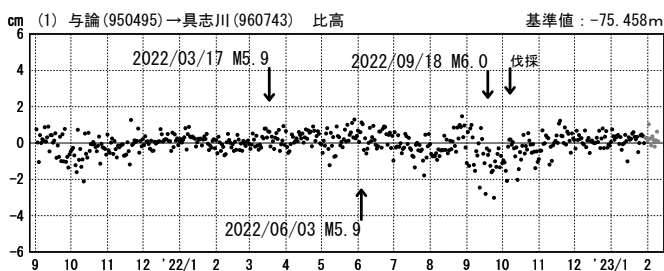
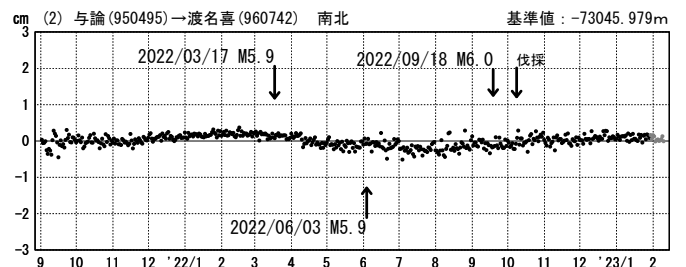
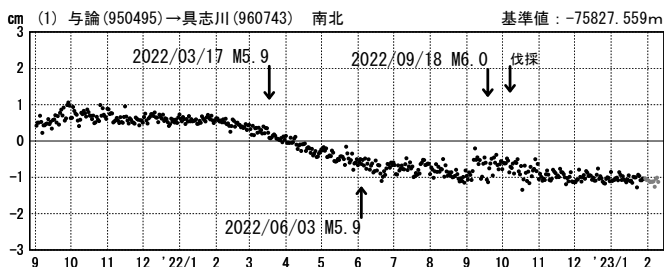
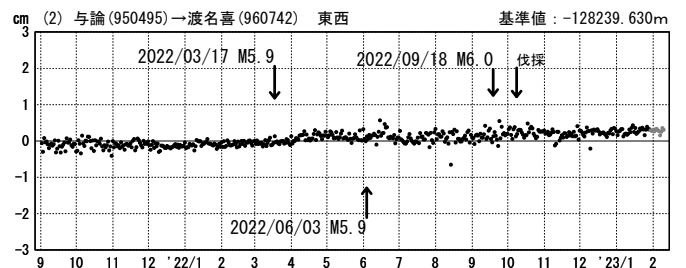
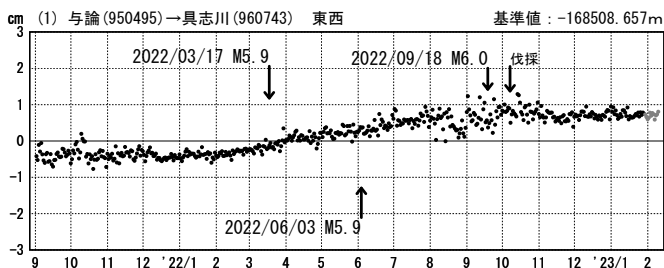


☆ 固定局: 与論 (950495) ★ 震央

1次トレンド除去後グラフ

期間: 2021/09/01~2023/02/09 JST

期間: 2021/09/01~2023/02/09 JST 計算期間: 2021/01/01~2022/01/01



●--- [F5: 最終解] ●--- [R5: 速報解]

2月6日 トルコの地震

2023年2月6日10時17分（日本時間、以下同じ）に、トルコの深さ18kmでMw7.8の地震（Mwは気象庁によるモーメントマグニチュード、図中①）が発生した。発震機構（気象庁によるCMT解）は南北方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型である。気象庁は、この地震に対して、同日10時47分に遠地震に関する情報（津波の心配なし）を発表した。

今回の地震の震央付近（領域a）では、この地震の発生後に地震活動が活発になっている。同日19時24分には、トルコの深さ10kmでMw7.6の地震（Mwは気象庁によるモーメントマグニチュード、図中②）が発生した。発震機構（気象庁によるCMT解）は北東-南西方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型である。気象庁はこの地震に対して、同日19時52分に遠地震に関する情報（津波の心配なし）を発表した。

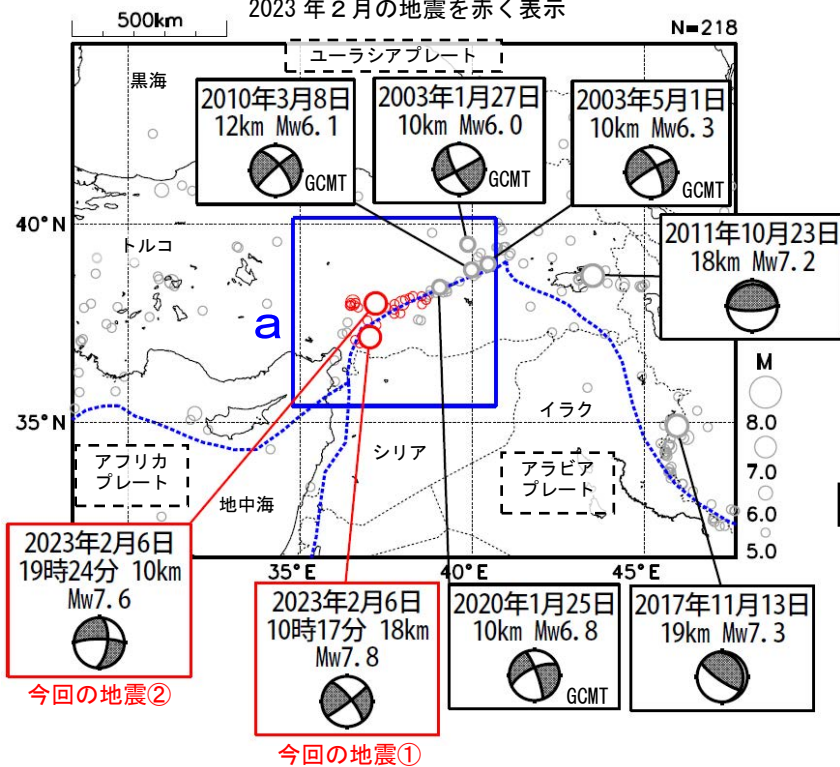
これらの地震により、少なくとも死者7,200人などの被害が生じた（2023年2月8日時点）。

今回の地震の震央周辺はユーラシアプレートとアラビアプレートの境界付近に位置する領域であり、2000年以降の活動をみると、M6.0以上の地震が時々発生している。2020年1月25日にはMw6.8の地震が発生し、死者41人、負傷者約1,600人などの被害が生じた。

また、1970年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺では、大きな被害を伴う地震が多く発生している。1999年8月17日にはMw7.6の地震が発生し、死者17,118人、負傷者約50,000人などの被害が生じた。

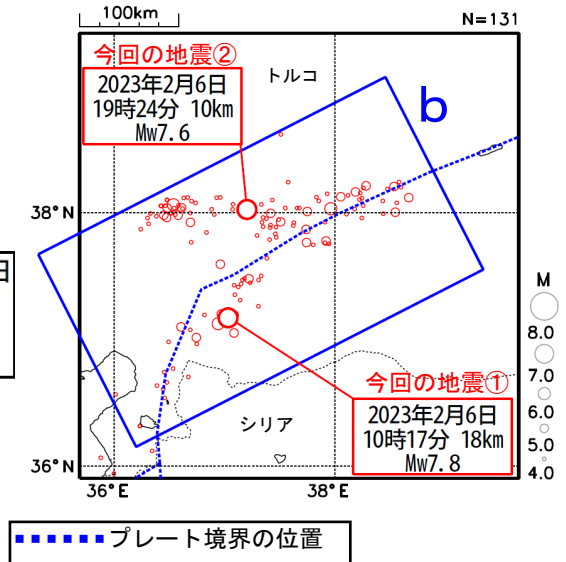
震央分布図

(2000年1月1日～2023年2月8日08時、
深さ0～30km、M≥5.0)
2023年2月の地震を赤く表示



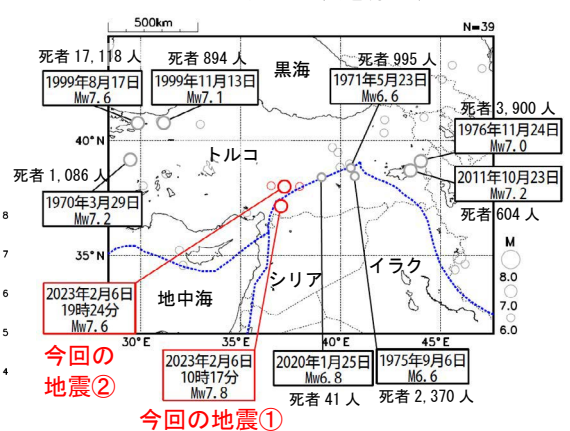
領域a内の震央分布図

(2023年2月6日00時～8日08時、M≥4.0)

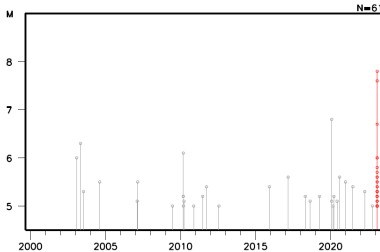


震央分布図

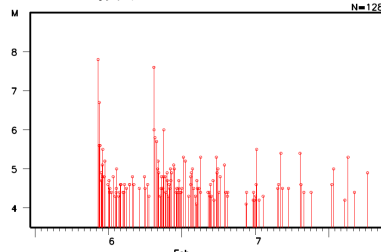
(1970年1月1日～2023年2月8日08時、
深さ0～50km、M≥6.0)
2023年2月の地震を赤く表示



領域a内のM-T図



領域b内のM-T図



※震源要素は米国地質調査所 (USGS) による (2023年2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①及び②、2011年10月23日の地震及び2017年11月13日の地震は気象庁、1970年3月29日の地震、1971年5月23日の地震及び1975年9月6日の地震はISC-GEM Global Instrumental Earthquake Catalogue Version 9.1 (1904-2018)、その他の地震はGlobal CMTによる。被害は、今回の地震及び2020年1月25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2月8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) 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.

気象庁作成

2023年2月6日トルコ共和国の地震 だいち2号SAR干渉解析結果

2023年2月6日（UTC）にトルコ共和国でM7.7、M7.6（トルコ防災危機管理庁；AFAD）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画像の分析を行いました。得られた結果は以下のとおりです。

- ・M7.7およびM7.6（AFADによる）の地震に伴う地殻変動が見られます。
- ・東アナトリア断層（East Anatolian Fault）およびチャルダック断層（Çaldak Fault）に沿って地殻変動が見られます。地殻変動は地震のメカニズム（左横ずれ）と整合的です。
- ・上記断層の近傍で非干渉領域が見られます。地震に伴って地表面が変化した可能性があります。
- ・変動域では、東アナトリア断層を挟んで最大で5mを超える変動、チャルダック断層を挟んで最大で4m程度の変動が見られます。

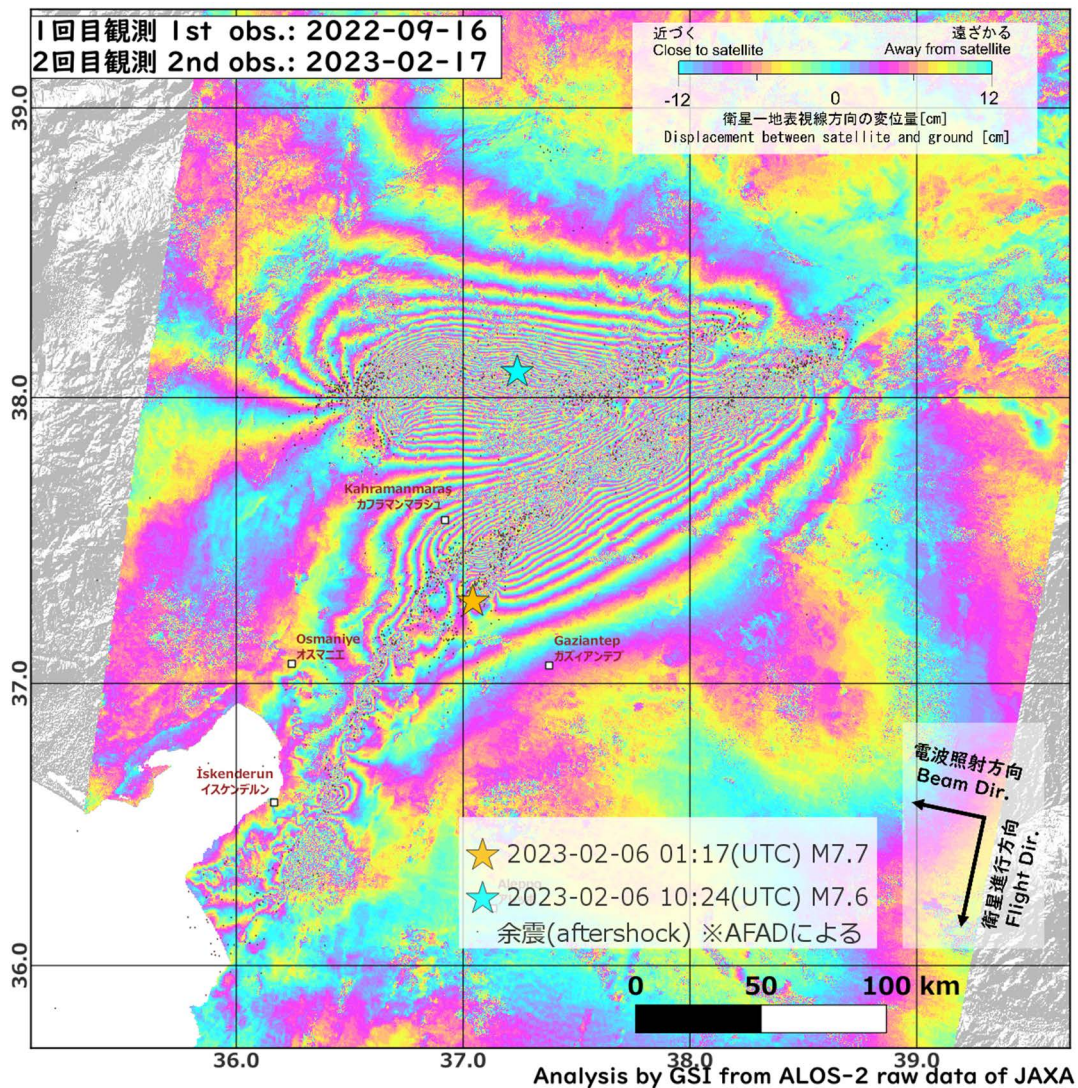


図1-1. SAR干渉解析結果。震央・余震分布はAFADによる。

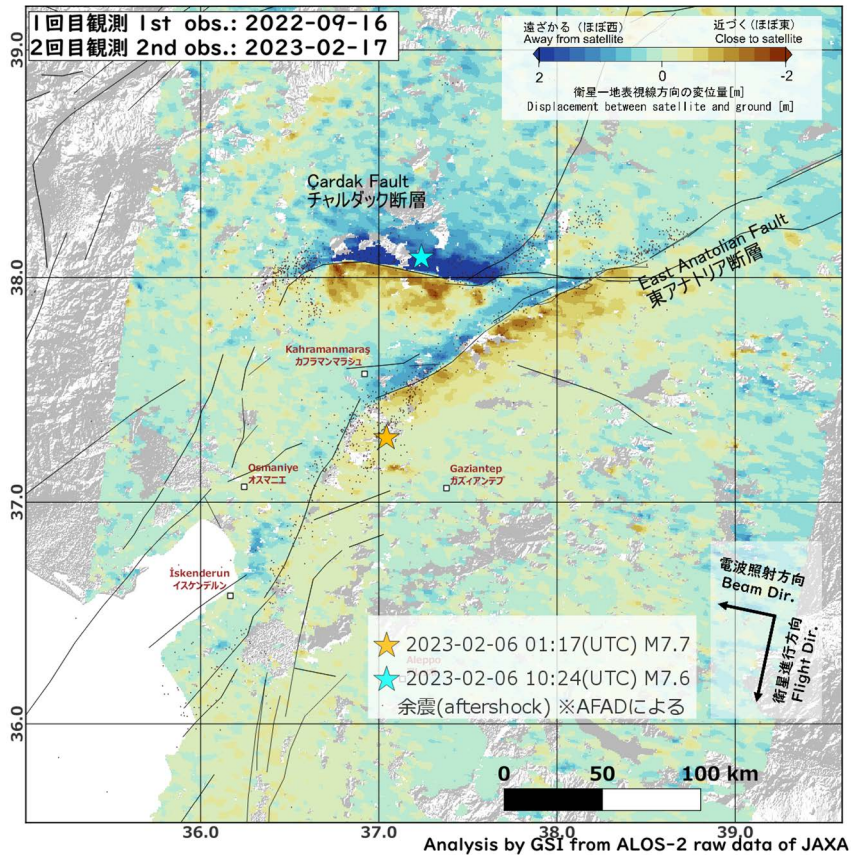


図1-2. ピクセルオフセット法により明らかになった地殻変動（衛星視線方向）。
震央・余震分布はAFADによる、断層線はStyron et al. (2020)より。

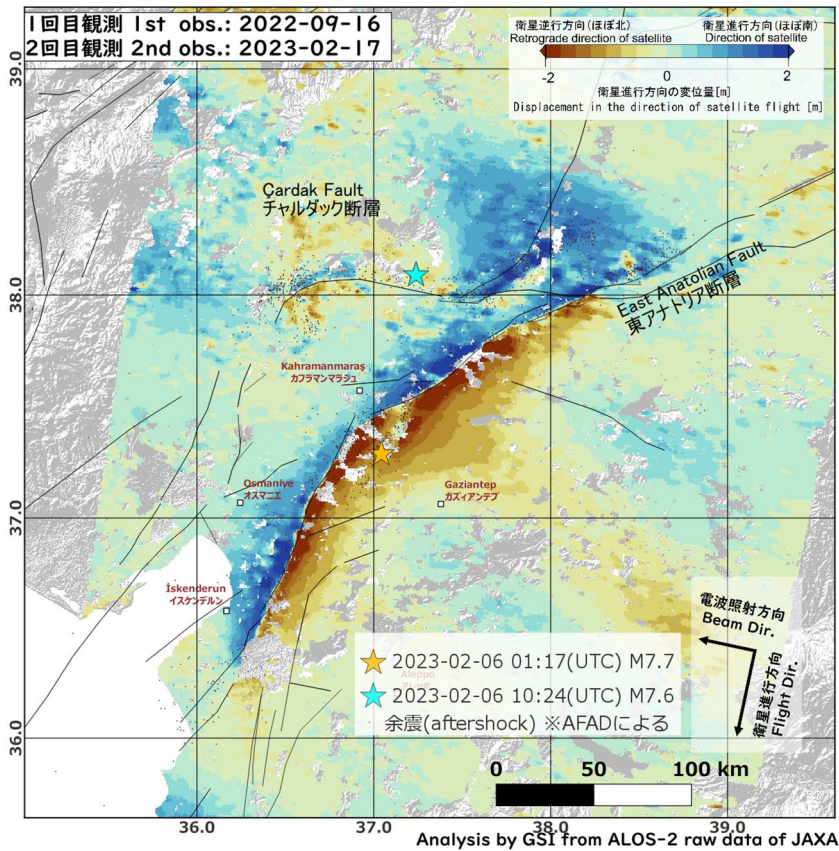


図1-3. ピクセルオフセット法により明らかになった地殻変動（衛星進行方向）。
震央・余震分布はAFADによる、断層線はStyron et al. (2020)より。

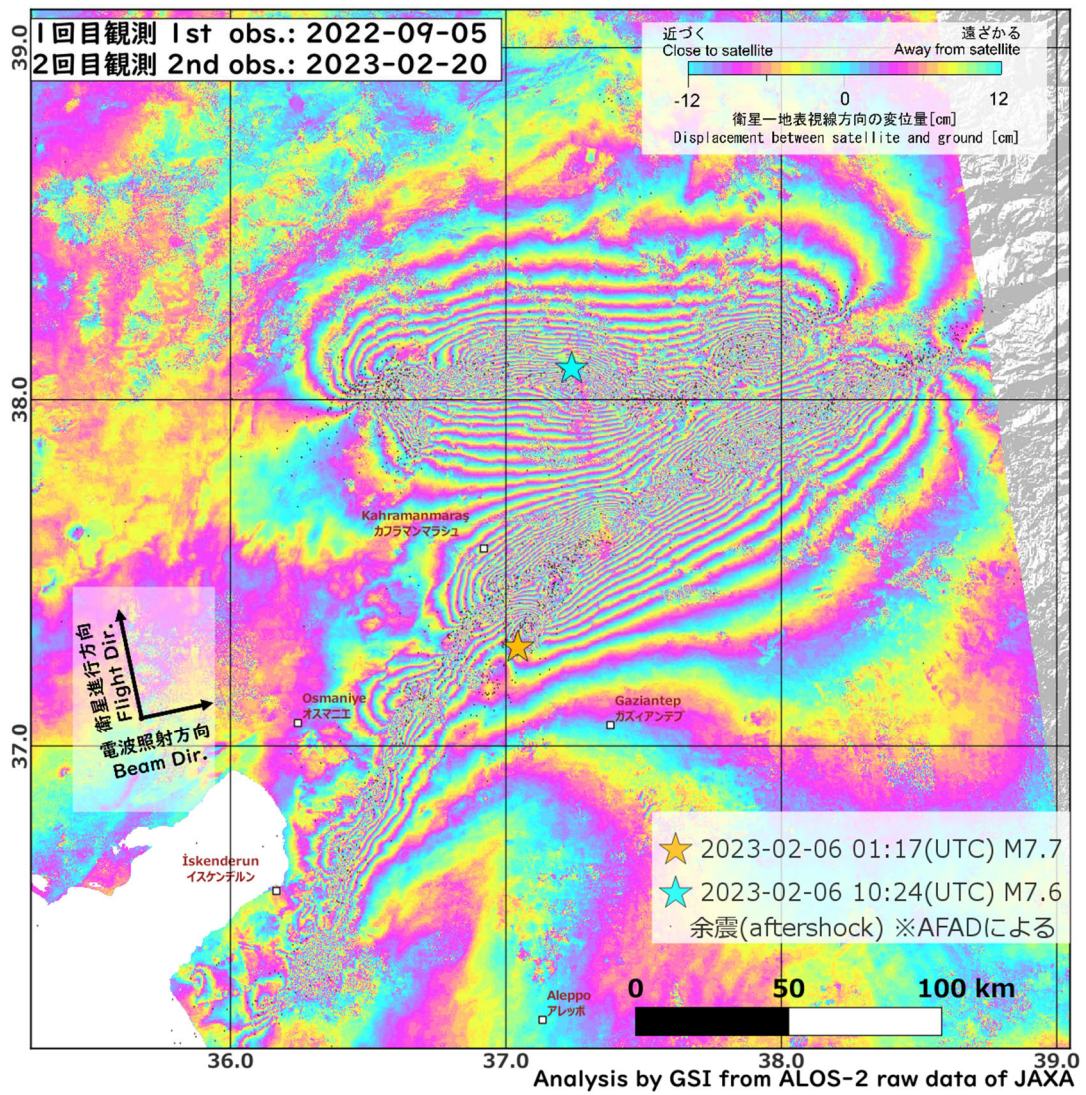


図2-1. SAR干渉解析結果。震央・余震分布はAFADによる。

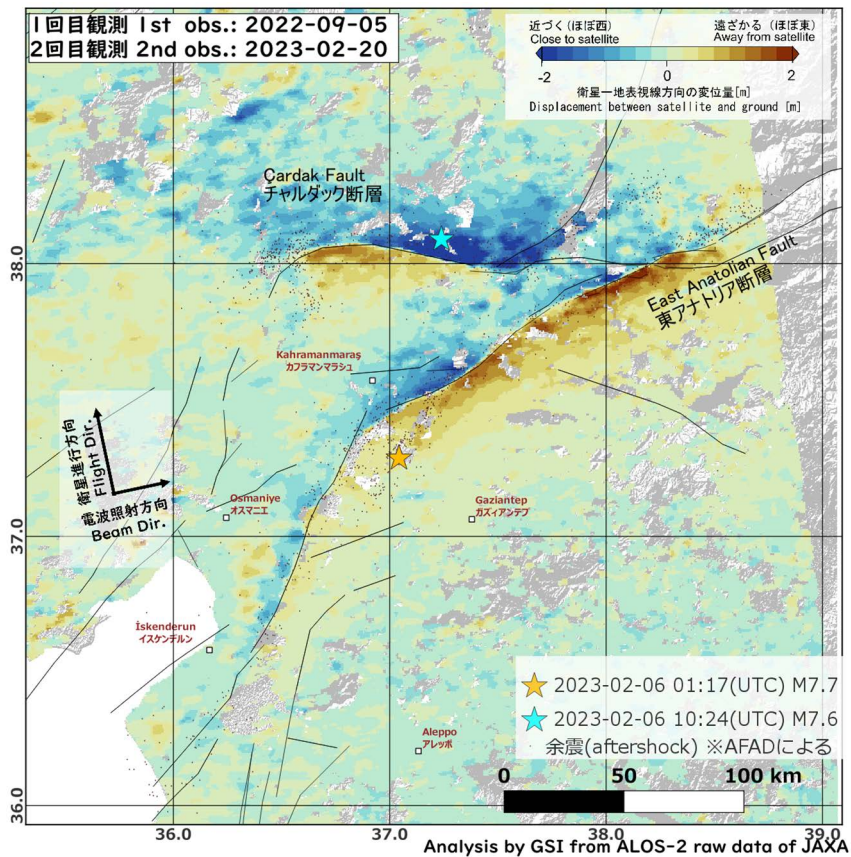


図2-2. ピクセルオフセット法により明らかになった地殻変動（衛星視線方向）。
震央・余震分布はAFADによる、断層線はStyron et al. (2020)より。

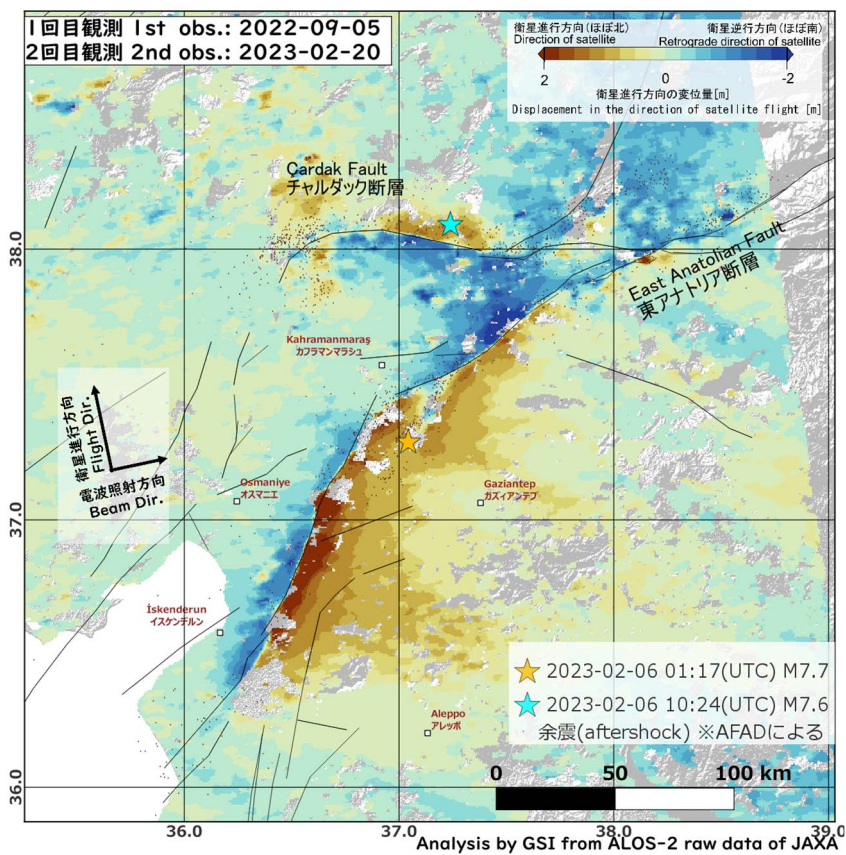


図2-3. ピクセルオフセット法により明らかになった地殻変動（衛星進行方向）。
震央・余震分布はAFADによる、断層線はStyron et al. (2020)より。

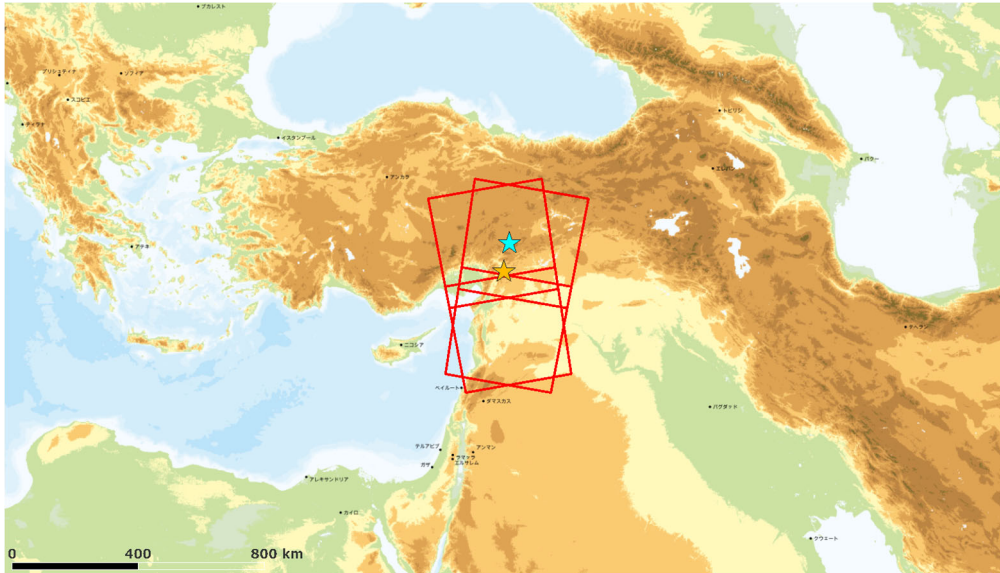


図6. 解析エリア

表. 使用データ

図番号 (解析ペア)	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
1-1, 1-2, 1-3 (ペア1)	2022-09-16 2023-02-17	9:33頃	南行	右	広域観測 (350km)	41.5°	-49m
2-1, 2-2, 2-3 (ペア2)	2022-09-05 2023-02-20	21:28頃	北行	右	広域観測 (350km)	40.5°	15m

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。

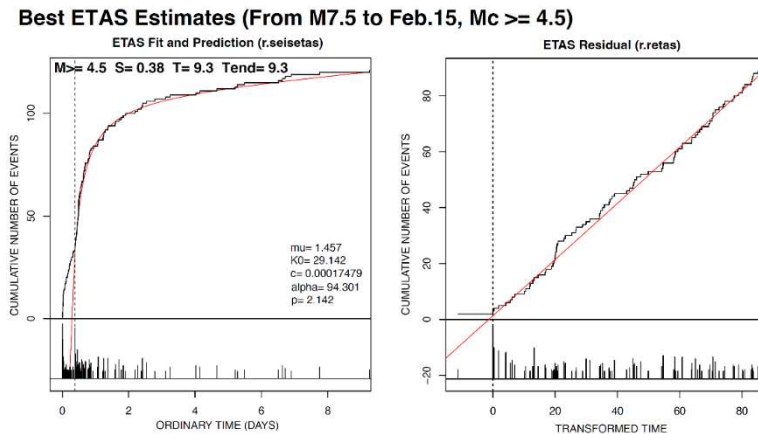
2023年2月6日に発生したトルコ中部地震の余震活動について

統計数理研究所 尾形良彦, 熊澤貴雄

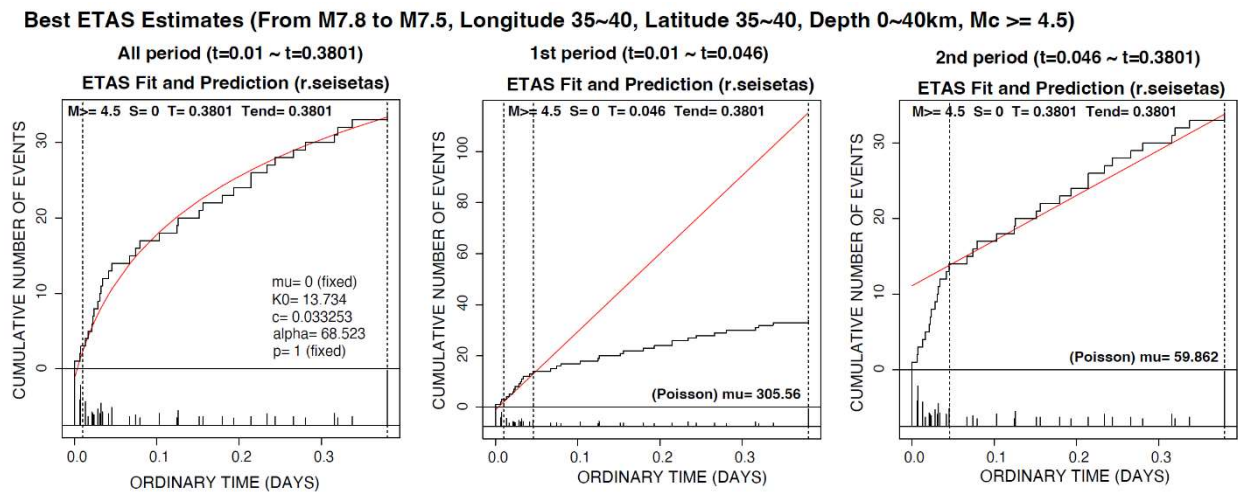
1) 2月16日までの余震活動 (第1図): USGSカタログの余震データを下限マグニチュード $m_b 4.5$ として最大余震 M7.5 の地震時を起点とした場合の ETAS モデルの最良の当てはまりである。

2) 2月6日の本震から最大余震までの活動 (第2図, 第3図): 本震 M7.8 直後9時間以後から最大余震 M7.5 までの期間のデータに, ETAS モデルのパラメタに制限をかけ適合度を比較した. 全区間を通して同一モデルの場合の最良モデルは大森関数 ($p=1.0$) である. 対して, 本震時から1.1時間 (0.046日) の経過時で活動の変化があったとして適合度を調べたところ, μ 値が変化している場合が, AIC を有意に改善している. これは相対的静穏化であると理解した. さらに本震より南部地域での静穏化が見られる. 本震と最大余震のモーメントテンソルに基づいて2月16日のストレス変化を見た. これらのことから, 深部からの流体の影響が示唆され, 最大余震は深部でのスロースリップに誘発されて起きたと考えられ, 余震の静穏化につながったと説明できる.

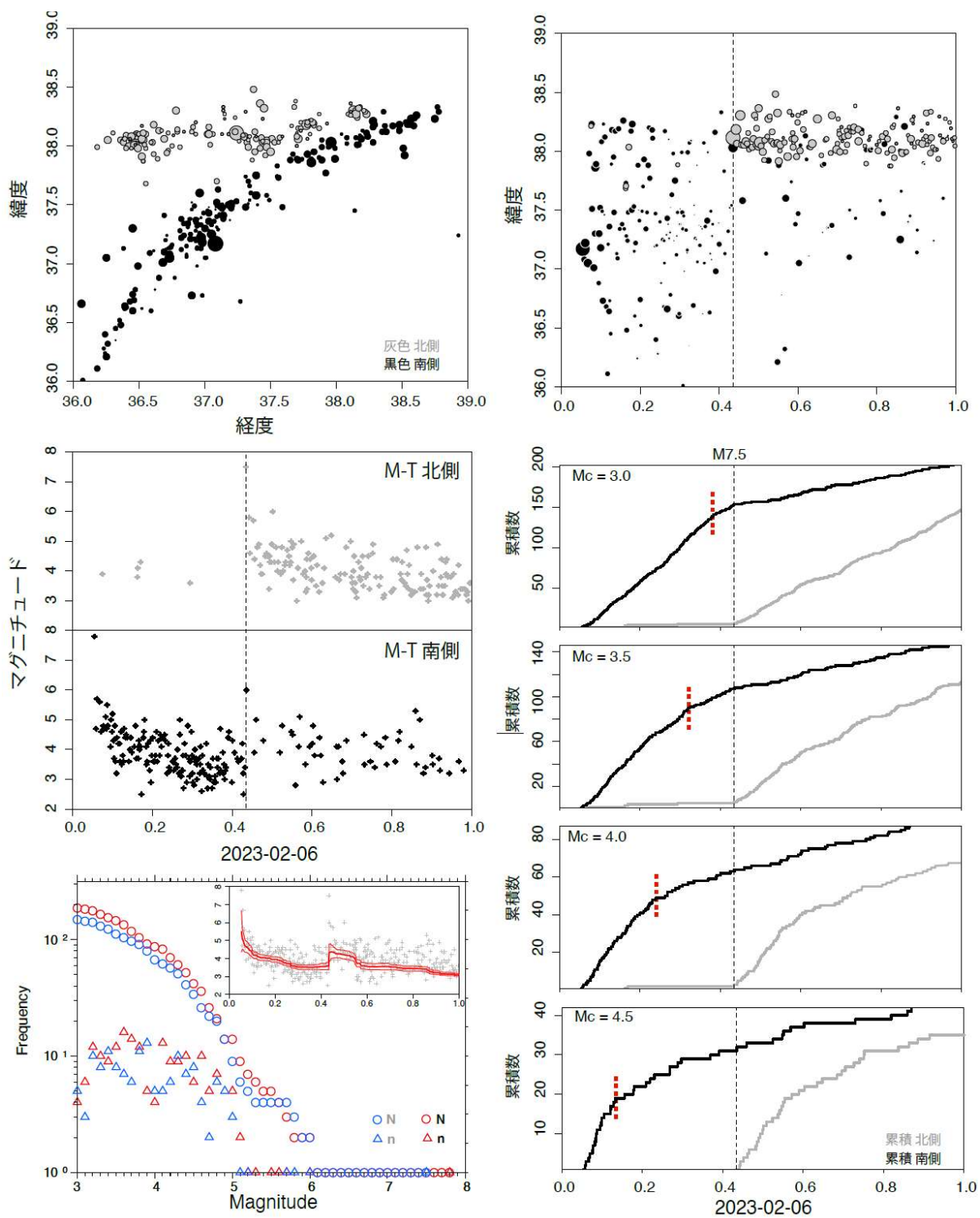
ヨーロッパ地中海地震センターの検出データに基づく2月6日の活動の特徴とも比較し議論した。



第1図 最大余震 M7.5 から2月16日までの余震活動の適合図



第2図 本震 M7.8 から最大余震 M7.5 までの活動. 左端は全区間, 中央と右端は変化点を考慮.



第3図 ヨーロッパ地中海地震センター（EMSC）のオンライン検出データに基づく2月6日の活動の特徴。

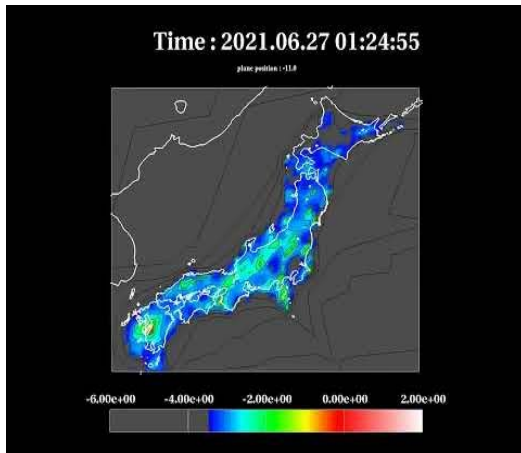
地殻活動モニタリングに 関する検討

地殻活動の予測に関する報告

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

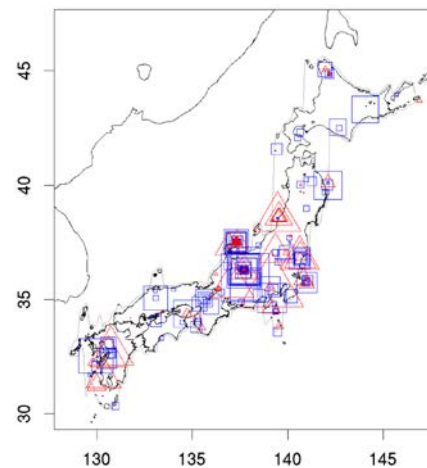
尾形良彦 統計数理研究所

- 1) 2018年までの気象庁震源データから推定した3つの時空間 ETAS モデル, (a) **HIST-ETAS5pa** モデル (b) **HIST-ETAS- μK** モデル および (c) 通常の時空間 ETAS モデルを使って, 2019年から最近3年間の各地の時空間地震活動の発生率を予測し, その画像列を動画で示した.
- 2) 地震発生ごとに計算された**対数尤度累積スコア**およびその増減差分の大小で時・空間的な予測結果の優劣を評価した.
- 3) 予測結果は, 2019-2022を通して, 総じて (a) モデルが最も優れており (b) 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.

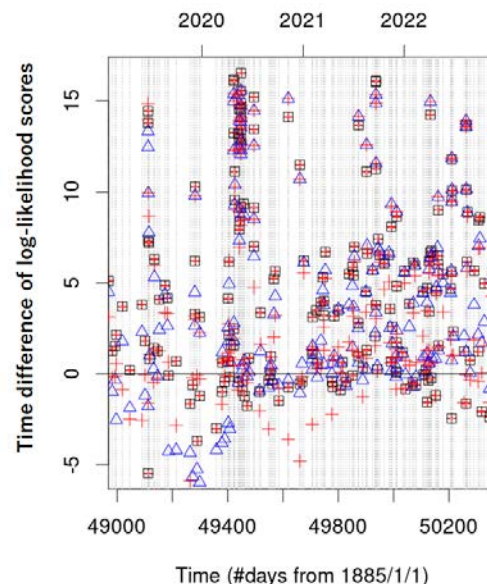
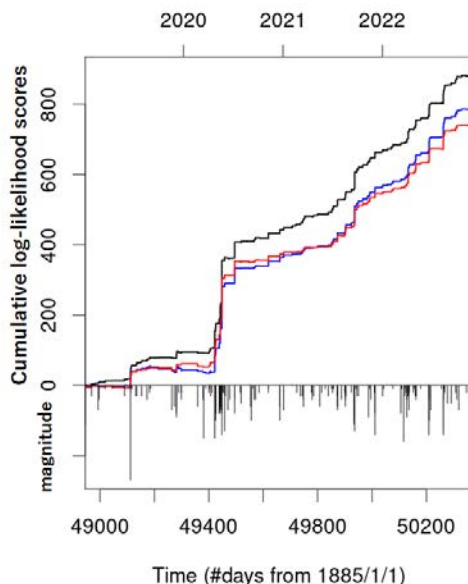


<https://www.youtube.com/watch?v=l9r8pLVrYkE>

第1図 HIST-ETAS5pa (a) モデルの短期予測の動画値.



第3図 対数尤度差分値 vs 位置. 青□正值, 赤△負



2図 各種時空間 ETAS モデルの (左図) 対数尤度累積スコアと (右図) それらの差分の時間的推移.

左図の累積の黒線, 青線および赤線, そして右図の黒口, 青△および赤+は, それぞれ時空間 ETAS モデル (a), (b) および (c) に対応する. 左図ではマグニチュード系列を下向きに描いた.

重点検討課題の検討

「人工知能による地震研究の深化」
について

第 238 回地震予知連絡会 重点検討課題 趣旨説明

「人工知能による地震研究の深化」

“Evolution of Seismology with Artificial Intelligence”

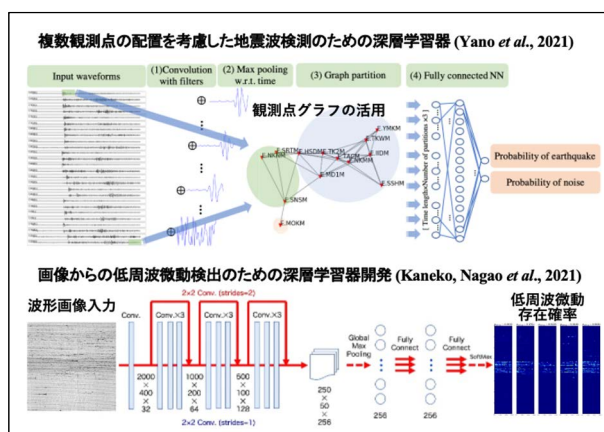
コンビーナ 東京大学名誉教授 平田 直
東京大学地震研究所 長尾大道

1. 背景

地震学分野においても人工知能の導入が国際的に急速に進められている。わが国では、1995 年兵庫県南部地震を契機に整備された二千点以上の高感度・広帯域地震計からなる地震観測網に加え、近年ではライフラインなどに設置された振動計やスマートフォンに内蔵された加速度計の地震研究への利活用が検討され始め、数千万点以上の地震観測点が誕生する「地震超ビッグデータ」時代の到来を予感させているが、ここから情報を余すことなく引き出すためには、人工知能の導入は必然であると言える。これを加速させるため、JST CREST「次世代地震計測と最先端ベイズ統計学とによるインテリジェント地震波動解析」を皮切りに、文部科学省「STAR-E プロジェクト」や学術変革領域研究(A)「SF 地震学」など、地震学と情報科学の専門家が参画する「情報×地震」の大型プロジェクトが発足した。

2. 課題

人工知能は、囲碁やチェスなど、定められたルールの下で明確な目的を達成する場合において、大きな威力を発揮する。地震学においても、深層学習による地震波検測は、時に経験豊かな地震学者の能力を上回ることもある。しかしながら、地球内部起源の振動現象には、通常の地震以外にも、低周波微動を含むスロー地震など、多種多様な現象が混在して



おり、それらを分類しながら検出するためには、地震学の知見を上回る人工知能が必要であるが、まだ十分とは言えない。また、地震活動の時空間分布や地球内部構造のモデリングにおいては、人工知能が人間の頭脳を凌駕するまでには、まったく至っていない。これは、現在の深層学習は「人間が理解可能となるように思考過程を示す」ことができず、得られたモデルの妥当性の検証や、それに基づくモデルの更新が困難であることが大きな要因である。

3. 報告

- ①地震研究への人工知能技術の導入に関する国際的動向
- ②わが国における情報科学と地震学の融合プロジェクト
- ③深層学習に基づく地震波検測手法および低周波微動検出手法の開発とその応用
- ④様々な地震関連データへの人工知能技術の応用展開

4. 論点

- 現在の人工知能技術は、地震研究をどこまで革新することができるか？
- 地震研究をより深化させるため、人工知能技術がどのように進歩すると良いか？
- 地震学と情報科学の専門家の連携をより強化するためには何が必要か？

話題提供者〔敬称略〕

1. 人工知能による複数観測点を用いた地震・測地イベント検知手法開発

統計数理研究所 矢野 恵佑

2. 機械学習を併用した自動震源決定による微小地震の検出

気象研究所 溜瀧 功史

3. 地震動予測への機械学習技術の適用

防災科学技術研究所 久保 久彦

4. 深層学習に基づく地震計古記録からの低周波微動の検出

東京大学地震研究所 長尾 大道

5. Earthquake Early Warning using Elasto-gravity signals

京都大学防災研究所 Bertrand Rouet-Leduc

人工知能による複数観測点を用いた地震・測地イベント検知手法開発

矢野 恵佑 (統計数理研究所)

- ポイント
- 深層学習は地震学における事実上の標準手法になりつつある
 - 「地震現象は複数地震観測点で観測される」ことに着目した深層学習手法を開発し首都圏稠密地震観測網に適用

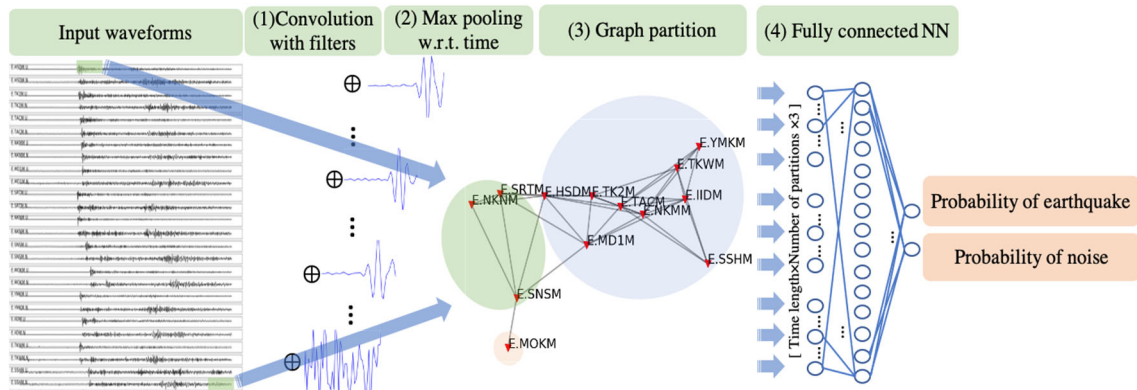


図 1 : 深層学習器を用いた複数地震観測点からの地震イベント検知法の開発

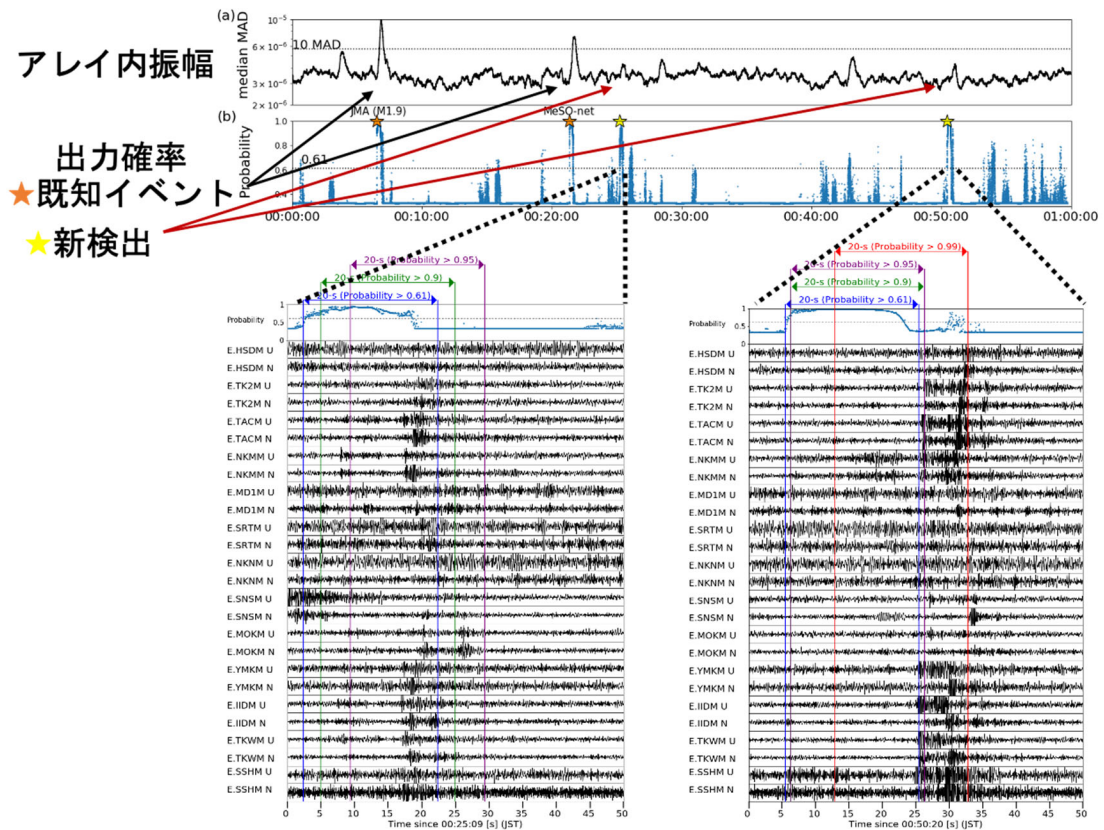


図 2 : 開発手法を連続適用した際の出力と新検出

機械学習を併用した自動震源決定による微小地震の検出

#溜瀨功史・工藤祥太*・下條賢梧*（気象研究所） [*気象庁地震火山部]

ポイント

- 機械学習を併用した自動震源決定により誤決定を低減。
 - ✓ 地震波検測後に深層学習（CNN）により地震波形からP波・S波・ノイズを識別。
 - ✓ アンサンブル学習（LightGBM）により検測値の特徴量から誤決定を除去。
- 2011年3月から1年間の長期間にわたる地震波形に適用し、従来の地震カタログ（32万個）の約2倍に相当する61万個の微小地震活動を新たに検出（総数93万個）。
- 検出された微小地震は微細な断層構造や微小な前震活動の把握などに貢献。

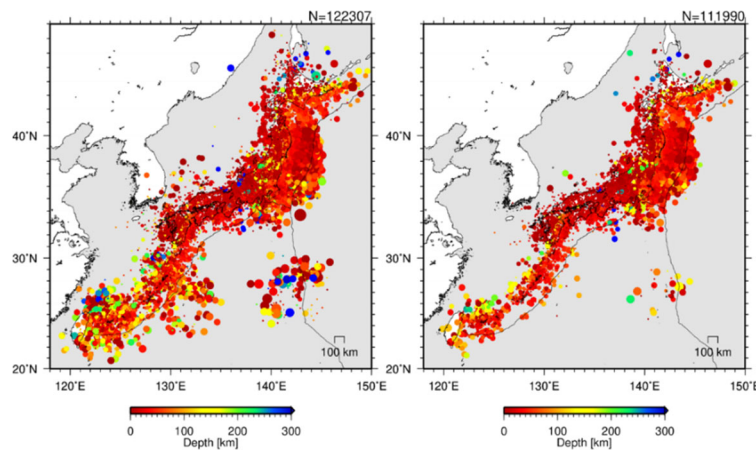


図1. 2011年3月の自動震源決定結果。左図は従来手法（溜瀨・中川，2020），右図は提案手法。従来手法で見られた島しょ部や日本海付近の誤決定が低減された。

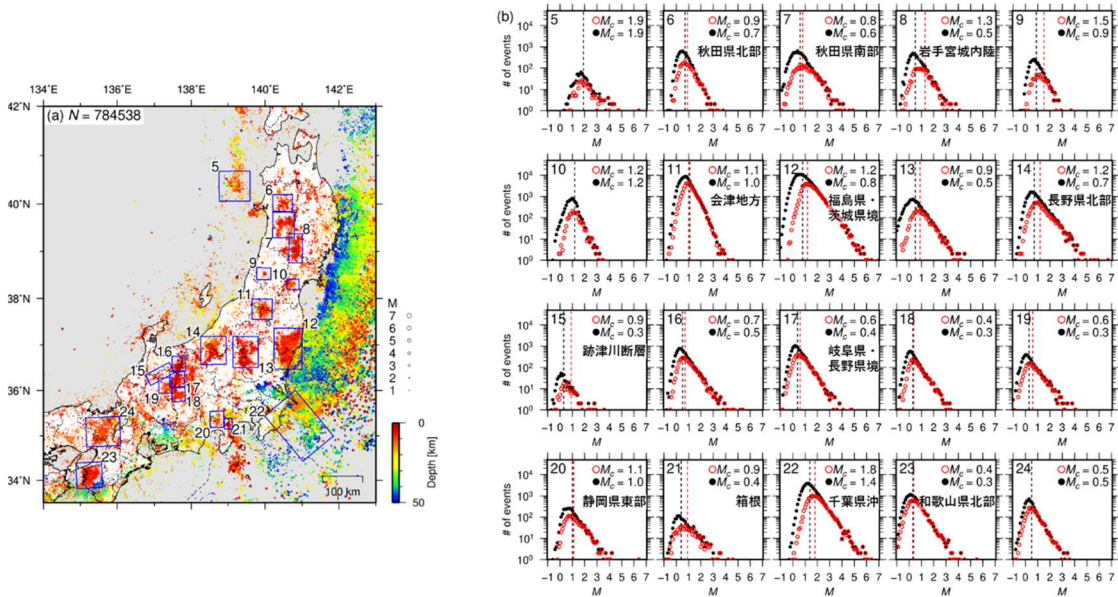


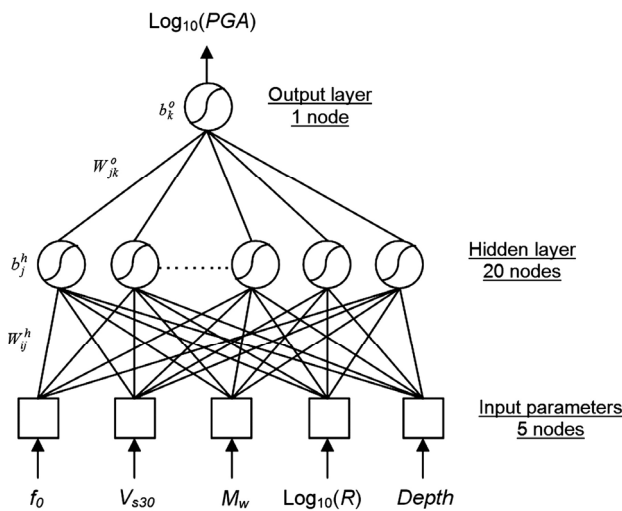
図2. (a) 2011年3月から2012年2月までの自動処理結果を含めた震源分布（50 km以浅）。(b) (a)の各領域の規模別頻度分布図。赤が一元化震源，黒が自動処理結果を含めた震源。

地震動予測への機械学習技術の適用

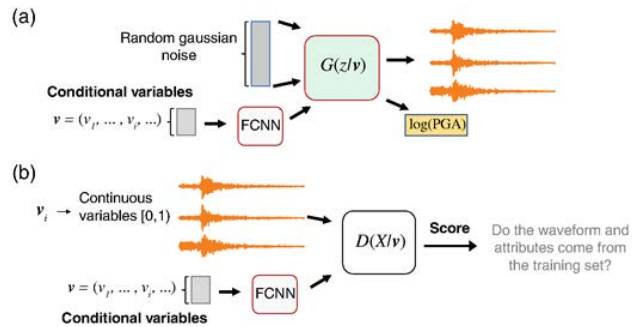
久保 久彦 (防災科学技術研究所)

ポイント

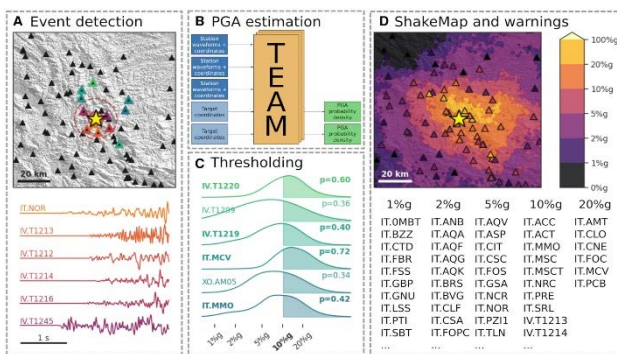
- ◆ 2023 年当初時点での地震動予測分野への機械学習技術の適用状況をまとめた。既に多くの研究成果が得られており、今後の更なる飛躍が期待される。
- ◆ 他方で、地震動の観測データは根本的に不均衡であり、これが予測モデルに与える影響が懸念される。シミュレーションなどを用いたデータ拡張・物理モデルとのハイブリッドなどの対応が考えられる。



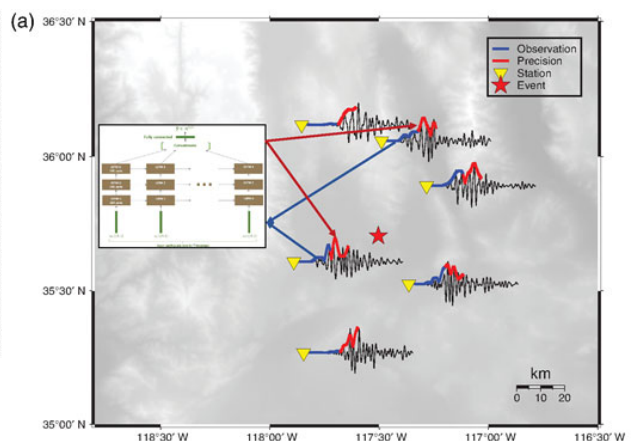
第 1 図 震源情報などで構成される説明変数から地震動指標値を予測した研究例。Derras et al. (2012, BSSA) より引用。



第 2 図 震源情報などで構成される説明変数から地震動時系列を予測した研究例。Florez et al. (2022, BSSA) より引用。



第 3 図 ある時点までの地震動時系列から最終的な地震動指標値を予測した研究例。Münchmeyer et al. (2020, GJI)より引用。



第 4 図 ある時点までの地震動時系列から将来の地震動時系列を予測した研究例。Datta+ (2022, SRL)より引用。

深層学習に基づく地震計古記録からの低周波微動の検出

長尾大道（東京大学地震研究所／東京大学大学院情報理工学系研究科）

スロー地震の一種である低周波微動は、プレート境界型大地震と関連があることが期待されており、現代の地震学におけるホットトピックの一つです。しかしながら、微動については Hi-net をはじめとする稠密な地震観測網の波形データが利用可能な直近の約 20 年間のものしか把握されておらず、大地震発生サイクルの周期が 100~200 年程度であることを考えると、地震観測網設置以前に時間軸を大幅に引き延ばして調べるのが重要であることは明白です。

そこで本研究では、約 50 年前に稼働していた東京大学地震研究所 和歌山観測所熊野観測点の紙記録から微動を検出する深層学習器を開発しました(図 1)。紙記録を模した人工波形画像と現代の Hi-net 記録の画像を深層学習器に大量に学習させ、1966~1977 年の古記録に適用したところ、波形を描画したペンの太さが細い場合に、微動を検出することに成功しました(図 2)。今後、強力な GPU 計算機を用いることによって、より大規模な学習を行うことにより、信頼性の高い微動検出が可能な深層学習器を開発していきます。

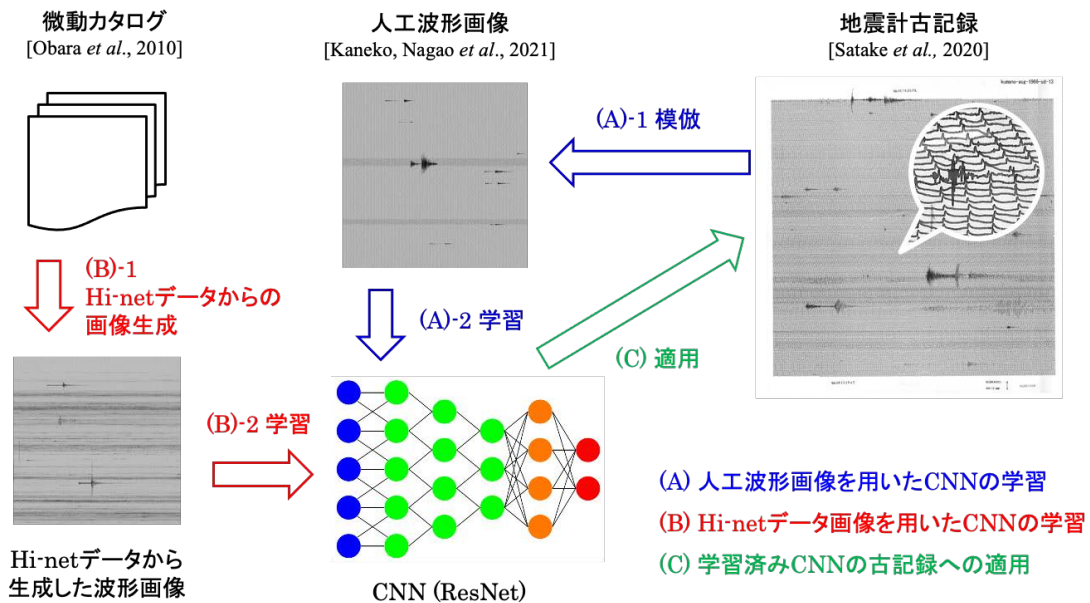


図 1: 地震計古記録から低周波微動を検出するための深層学習器 (ResNet) の構築

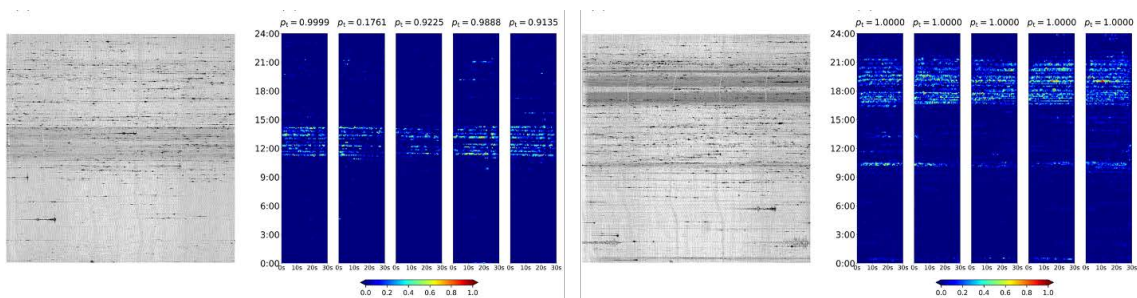


図 2: ResNet によって古記録から検出された低周波微動の例 (Kaneko, Nagao et al., in press)

A team from Kyoto University and Géoazur has developed a new approach, based on a deep learning AI for detecting *prompt elasto-gravity signals*, or PEGS. These are gravitational changes generated by large-mass motion in megaquakes and can be recorded by seismometers. Until now, however, the minute amplitude of PEGS has prevented their use for earthquake and tsunami alert systems.

The team was then able to demonstrate their deep-learning model's ability to instantaneously track an earthquake in real time after it reaches a certain size (Fig. 1 shows the performance of the algorithm on synthetic data). The event was sourced from actual Japanese seismic data after training the AI to process simulated waveforms (Fig. 2 shows the performance of the algorithm on historical data from the Tohoku-oki earthquake).

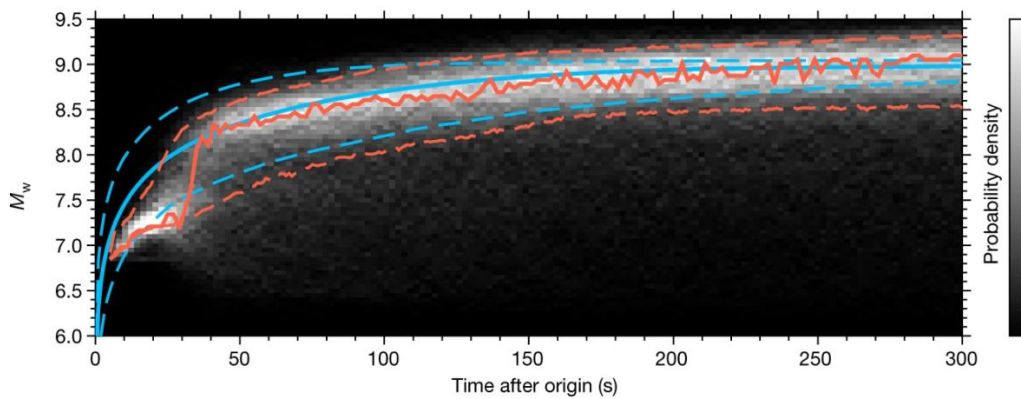


Fig. 1: Performance of the algorithm at tracking earthquake magnitude over time, for a number of magnitude 9 earthquake scenarios.

Although the algorithm still needs to be tested on live data, the scientists believe the results have the potential to improve earthquake and tsunami alert systems.

The research "Instantaneous tracking of earthquake growth with elastogravity signals" appeared on May 11, 2022 in *Nature*, with doi: 10.1038/s41586-022-04672-7, and will be presented at the CCEP meeting on February 28, 2023.

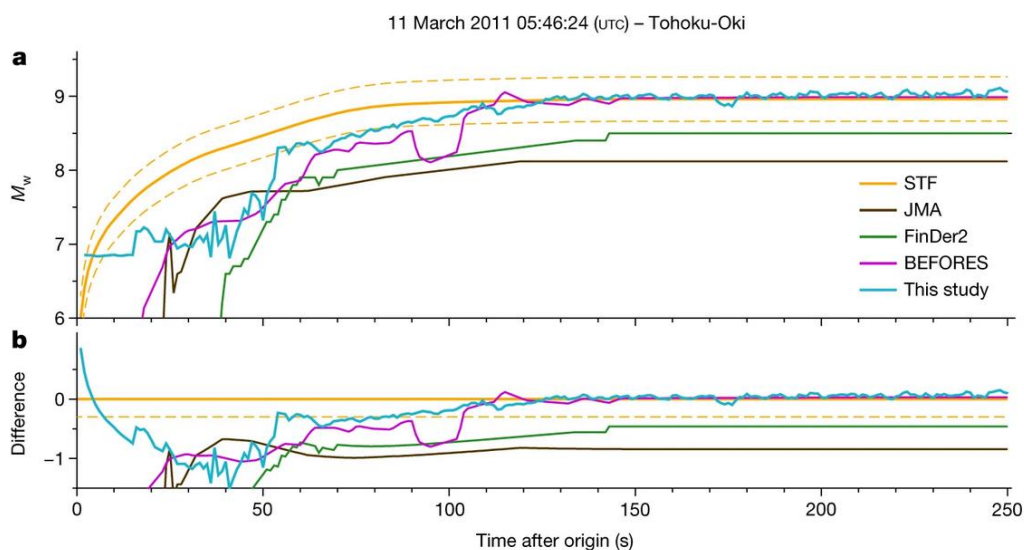


Fig. 2: Performance of the algorithm at tracking the magnitude of the Tohoku-oki earthquake on historical data, compared with other EEW algorithms.

第 239 回地震予知連絡会 重点検討課題 趣旨説明

「群発地震」 “Earthquake swarm”

コンビーナ 産業技術総合研究所 今西和俊

1. 背景

群発地震とは、本震・余震の区別がはっきりせず、ある地域に集中して地震が頻発する地震活動のことをさす。通常地震のように大森公式による地震数の経時変化は見られず、活動域を拡大しながら、中には数年以上にわたり継続する場合もある。国内においてよく知られている群発地震は、1965 年から数年に渡り活発に続いた松代群発地震のほか、伊豆半島東方沖や 2000 年の三宅島噴火に伴う活動などがあげられる。最近では能登半島北東部において複数の M5 クラスの地震を含む活発な群発地震活動が 2 年以上継続しており、今後の活動推移は社会的な関心となっている。

2. 課題

群発地震は火山や地熱地帯で多く報告されており、その発生にはマグマや地下水、構造的不均質などが関与していると考えられてきた。一方、能登半島北東部の群発地震のように、火山地帯から離れた場所でも発生しており、その発生要因は必ずしも明らかになっていない。群発地震は一般に地下浅部で起こることが多く、マグニチュードが 5 程度でも大きな被害につながる可能性もある。また、周辺に活断層がある場合は、群発地震から大地震へ繋がる可能性もある。2009 年ラクイア地震 (M6.3) はその一例である。これまで発生した群発地震や関連研究からの知見をレビューし、群発地震の発生メカニズムを改めて検討することが必要である。

3. 報告 (予定)

- ①能登半島北東部で起きている群発地震のレビューと最新知見
- ②他の群発地震の事例からの知見と物理メカニズム
- ③ゆっくりすべりに起因する群発地震
- ④流体を注入する岩石実験から示唆される群発地震のメカニズム

4. 論点 (予定)

- ・群発地震の駆動メカニズムは何が考えられるか？
- ・群発地震の規模や継続時間には何が寄与しているのか？
- ・群発地震の理解を深化させるうえで必要な観測項目は何があるか？
- ・群発地震の活動を予測する上での今後の課題は？

令和5年2月28日
地震予知連絡会
運営検討部会

令和4年度第2回 運営検討部会報告

1. 令和5年度後期重点検討課題の選定

令和5年度後期の重点検討課題名（予定）を以下のとおり選定した。

地震予知連絡会	コンビーナ	課 題 名
第241回(2023/11)	予測実験 WG	地震予測研究の進展（仮）
第242回(2024/02)	山岡会長	火山と地震（仮）

令和5年2月28日
地震予知連絡会事務局

令和5年度地震予知連絡会の開催について

1. 令和5年度地震予知連絡会の開催日

次年度の地震予知連絡会会合の開催を下記のとおり予定しています。

回	年 月 日	※仮の予定
第239回	令和5年(2023年)	5月31日(水)
第240回	令和5年(2023年)	8月31日(木)
第241回	令和5年(2023年)	11月30日(木)
第242回	令和6年(2024年)	2月29日(木)

○ (参考) 地震予知連絡会の議事の流れ

- (1) 事務的事項
- (2) 地殻活動モニタリングに関する検討
 - 1) 地殻活動の概況
 - 2) 東北地方太平洋沖地震関連
 - 3) プレート境界の固着状態とその変化
 - 4) その他の地殻活動等
 - 5) 地殻活動の予測実験
- (3) 重点検討課題の検討
 - 1) 報告
 - 2) 総合討論
 - 3) 次回課題の趣旨説明
- (4) その他の議事