

令和5年11月30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241回定例会（2023年11月） －

地震予知連絡会は11月30日、第241回定例会を開催し、令和5年8月から令和5年10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「予測実験の試行（09）地震活動の中期予測の検証」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/241/241.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2023年8月から10月までの3か月間に発生したM5.0以上の地震は57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。なお、今期間中（8月～10月）にM5.0未満で震度5弱以上を観測した地震はなかった（気象庁・資料2頁）。

(2) 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、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（国土地理院・資料3頁）。

2. プレート境界の固着状態とその変化

(1) 日本海溝・千島海溝周辺

○青森県東方沖の地震（8月11日 M6.2）

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（気象庁・資料4頁）。

○三陸沖の地震（8月25日 M6.0）

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（気象庁・資料5頁）。

○日本周辺における浅部超低周波地震活動（2023年8月～2023年10月）

期間内に顕著な活動は認められなかったが、8月中旬～下旬に十勝沖で超低周波地震活動を検出した（防災科学技術研究所・資料6頁）。

(2) 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

期間中、主な深部微動活動は、紀伊半島北部（8月2日～10日）、豊後水道（8月16日～20日）、東海地方（9月13日～18日）及び四国東部から中部（9月13日～17日）において発生した（防災科学技術研究所・資料7頁）。

○南海トラフ浅部の微動活動（2023年8月～2023年10月）

8月29日～9月28日にかけて、潮岬沖において活発な微動活動を観測した（防災科学技術研究所・資料8頁）。

○四国中部の非定常的な地殻変動

GNSS連続観測により、四国中部で2019年春頃から南東向きの非定常的な地殻変動が見られている。2019年1月1日～2023年10月10日の期間では、すべり量の最大値は47cm、モーメントマグニチュードは6.6と求まった（国土地理院・資料9頁）。

○九州地域の非定常的な地殻変動

GNSS連続観測により、2023年初頭から九州南部で観測されている非定常的な地殻変動は、最近では停滞している（国土地理院・資料10頁）。

3. その他

(1) 択捉島南東沖の地震（9月29日 M6.2）

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は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型である（気象庁・資料11頁）。

(2) 石川県能登地方の地震活動（最大規模の地震：2023年5月5日 M6.5）

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8月～10月も活発な状態が継続している。なお、活動の全期間を通じて最大規模の地震は、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。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（気象庁・資料12頁）。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1cmの南西方向の水平変動及び約2cmの沈降等、震源域近傍で地殻変動が見られているが、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（国土地理院・資料13-17頁）。

(3) トカラ列島近海の地震活動（小宝島付近）（最大規模の地震：9月11日 M5.3）

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（気象庁・資料18-20頁）。この地震活動に伴い、震源域近傍のGNSS連続観測点でわずかな地殻変動が観測された（国土地理院・資料21頁）。また、トカラ列島の地震活動について、地震データの欠測率を考慮した活動解析結果の報告があった（統計数理研究所・資料22頁）。

(4) 宮古島北西沖の地震（9月18日 M6.5）

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（気象庁・資料23頁）。

(5) 宮古島近海の地震（10月16日 M6.0）

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（気象庁・資料24頁）。

(6) 鳥島近海の地震（9月19日 M6.1）

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（気象庁・資料25頁）。

(7) 鳥島近海の地震活動（最大規模の地震：10月5日M6.5）

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（気象庁・資料26-27頁）。また、鳥島近海の地震活動について、地震データの欠測率を考慮した活動解析結果の報告があった（統計数理研究所・資料22頁）。

（8）モロッコの地震（9月9日 Mw6.8）

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）（気象庁・資料28頁）。日本の地球観測衛星「だいち2号」のデータを使用したSAR干渉解析の結果、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（国土地理院・資料29-30頁）。

（9）アフガニスタン北西部の地震（最大規模の地震：10月7日に2回、11日、15日 Mw6.3）

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）（気象庁・資料31頁）。

4. 地殻活動の予測

（1）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

前震活動に基づく予測モデルを用い、前回までの報告以降の約2年間（2021年10月1日～2023年9月30日）における予測結果を報告した（気象研究所・資料33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241回定例会 重点検討課題>

課題名 「予測実験の試行（09）地震活動の中期予測の検証」について（資料35-37頁）

コンビナー 遠田 晋次 委員（東北大学災害科学国際研究所）

共同コンビナー 堀 高峰 委員（海洋研究開発機構）

報告課題、報告者

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（資料39頁）

松浦 律子 様（地震予知総合研究振興会）

2. 地震活動静穏化仮説に基づく予測実験（資料40頁）

勝俣 啓 様（北海道大学）

3. 北海道・東北沖の地震サイズ分布(b値)の時空間変化（資料41頁）

楠城 一嘉 様（静岡県立大学）

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（資料42頁）

内田 直希 様（東京大学地震研究所）

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（資料43-44頁）

熊澤 貴雄 様（統計数理研究所）

<次回重点検討課題>

課題名 「火山と地震」について（資料45頁）

コンビナー 山岡 耕春 会長（名古屋大学）

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 宮本 純一

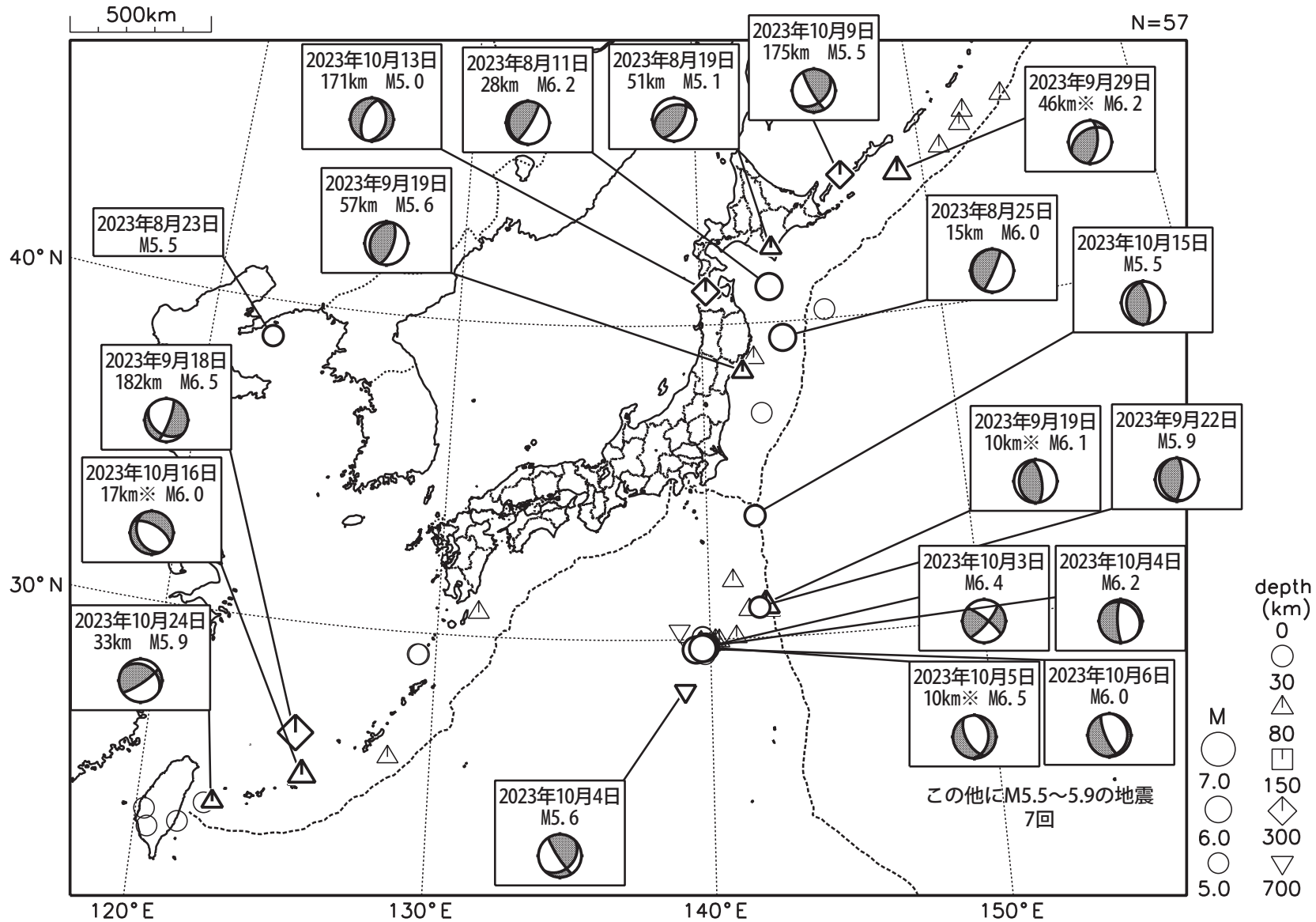
Tel : 029-864-5954 (直通)



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（2023年8月～2023年10月、M \geq 5.0）

2023 08 01 00:00 -- 2023 10 31 24:00



発震機構は気象庁によるCMT解

※深さはCMT解による

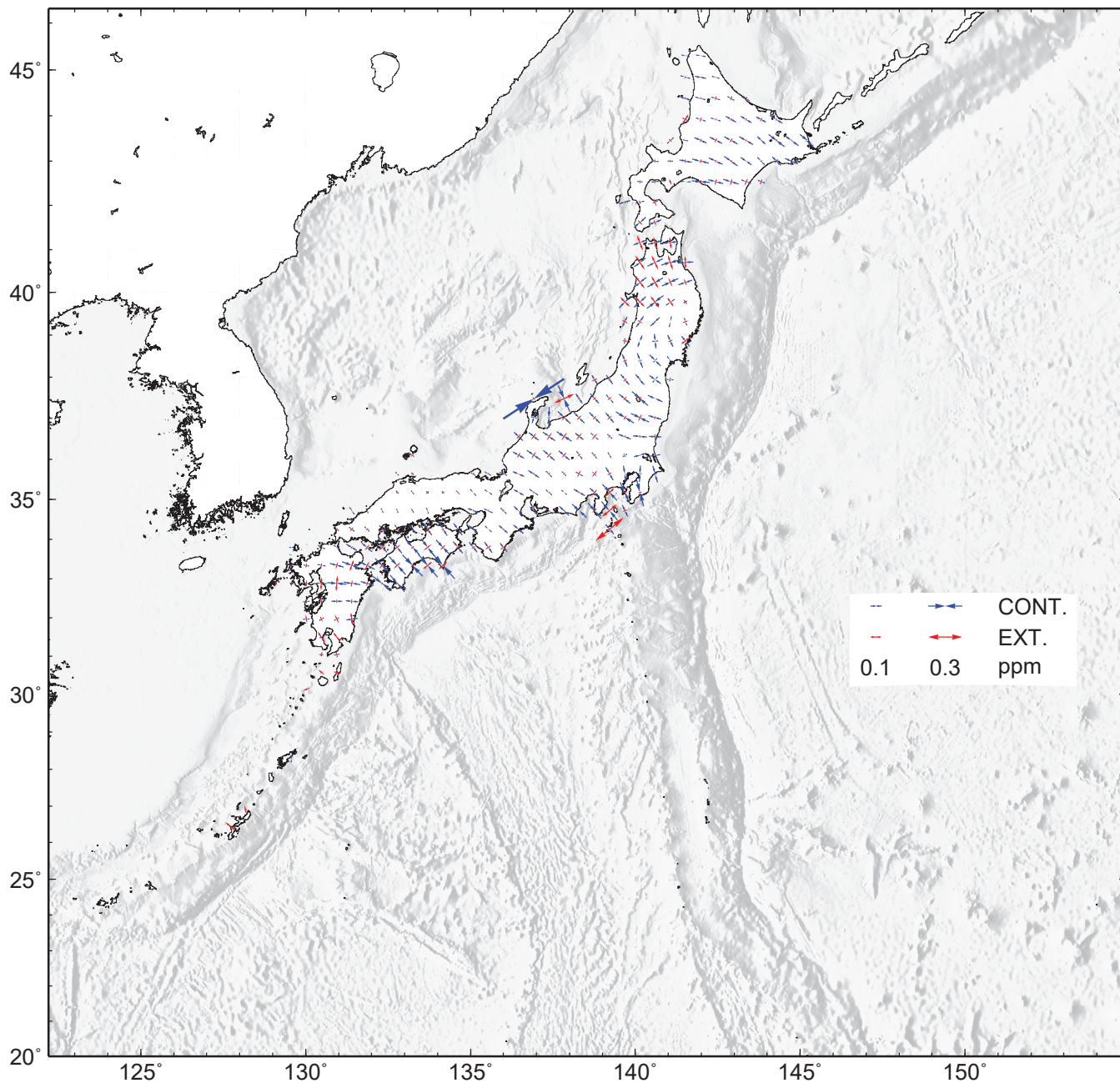
図中の吹き出しは、陸域M5.0以上・海域M5.5以上（ただし、台湾付近はM5.5以上）

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 [F 5：最終解]

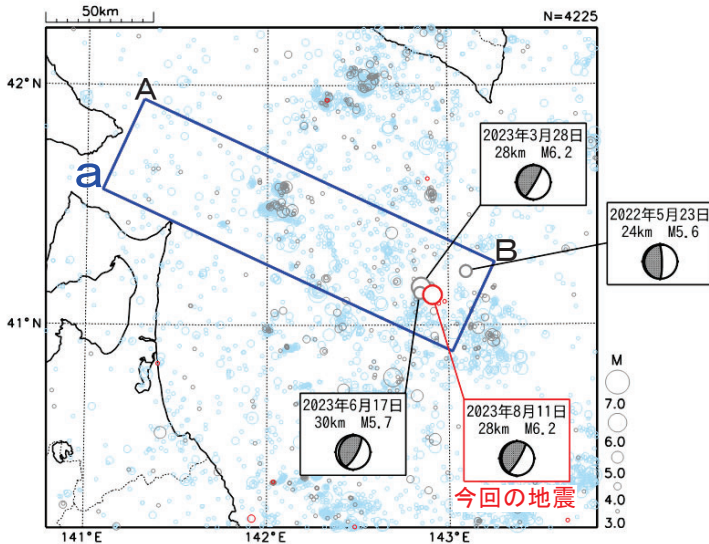
比較期間：2023-09-23 / 2023-10-07 [F 5：最終解]



- ・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。

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、 $M \geq 3.0$)
 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

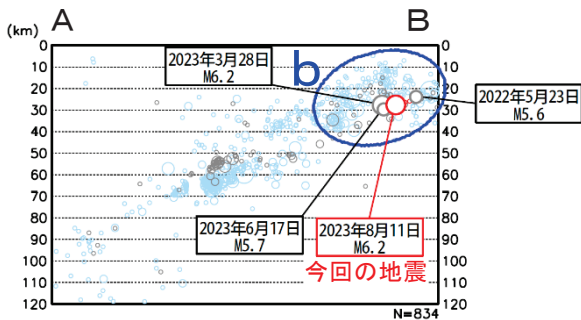


2023年8月11日09時14分に青森県東方沖の深さ28kmでM6.2の地震（最大震度4）が発生した。この地震は発震機構（CMT解）が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した。

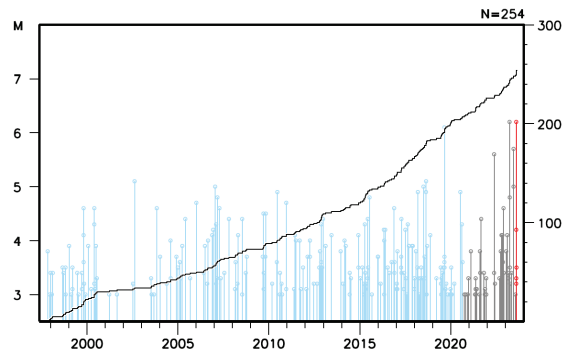
1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域b）では、M5.0以上の地震が時々発生している。

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。

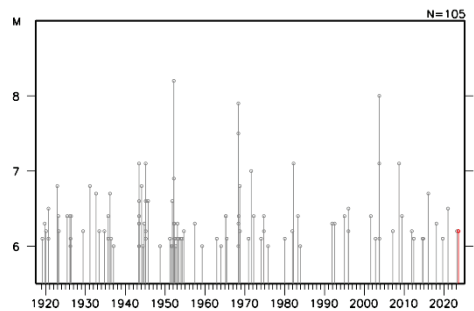
領域a内の断面図（A－B投影）



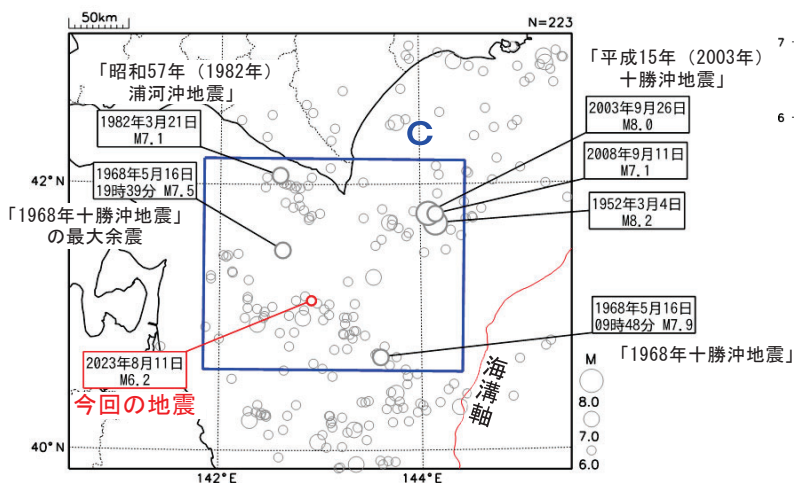
領域b内のM－T図及び回数積算図



領域c内のM－T図

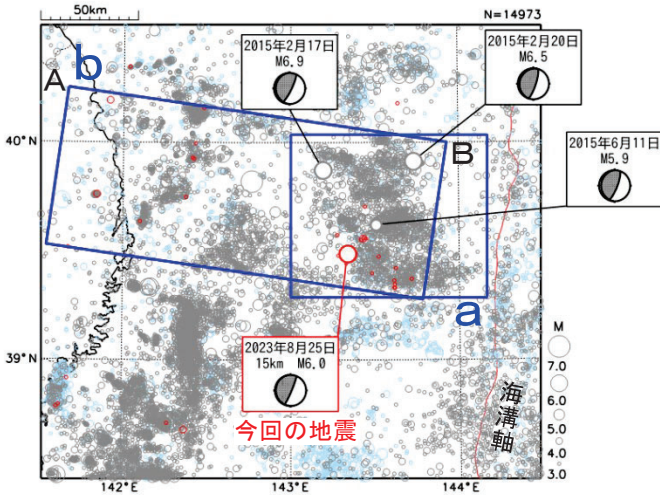


震央分布図
 (1919年1月1日～2023年8月31日、
 深さ0～120km、 $M \geq 6.0$)
 2023年8月に発生した地震を赤色で表示



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、 $M \geq 3.0$)
 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

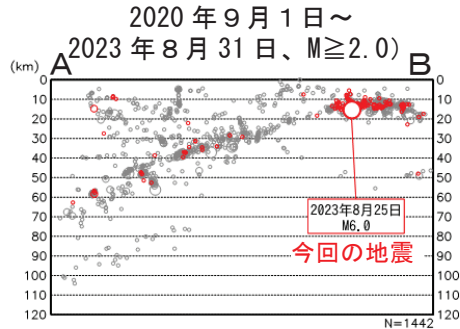


2023年8月25日07時48分に三陸沖の深さ15kmでM6.0の地震 (最大震度3) が発生した。この地震は発震機構 (CMT解) が西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した。

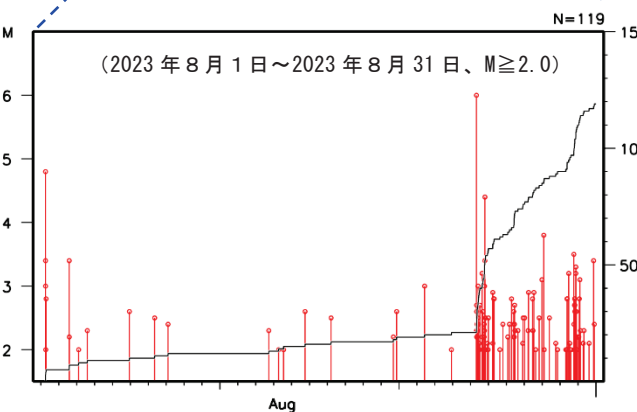
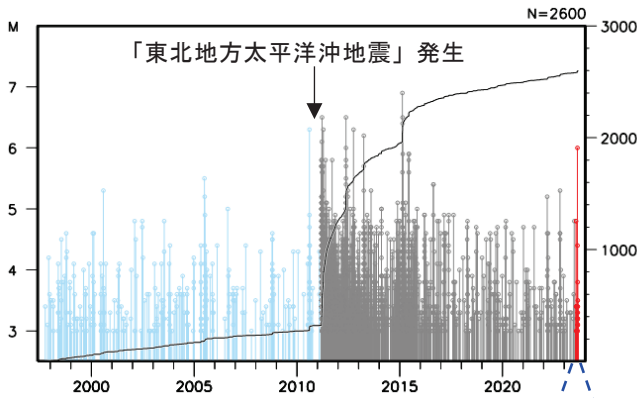
1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震央付近 (領域a) では、「平成23年 (2011年) 東北地方太平洋沖地震」 (以下、「東北地方太平洋沖地震」) の発生前からM5.0以上の地震が時々発生していたが、東北地方太平洋沖地震の発生以降、地震発生回数が増加し、M5.0以上の地震が度々発生している。

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。

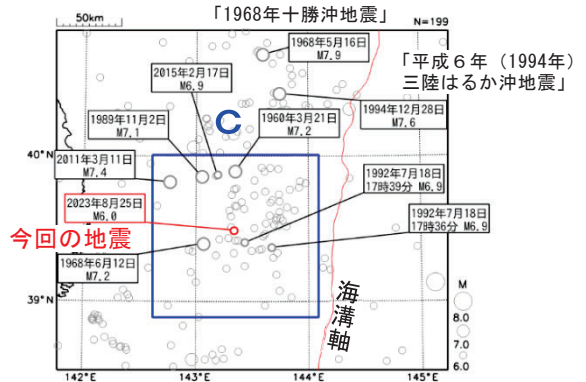
領域b内の断面図
 (A-B投影、
 2020年9月1日～
 2023年8月31日、 $M \geq 2.0$)



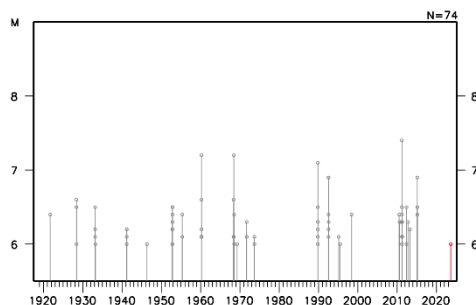
領域a内のM-T図及び回数積算図



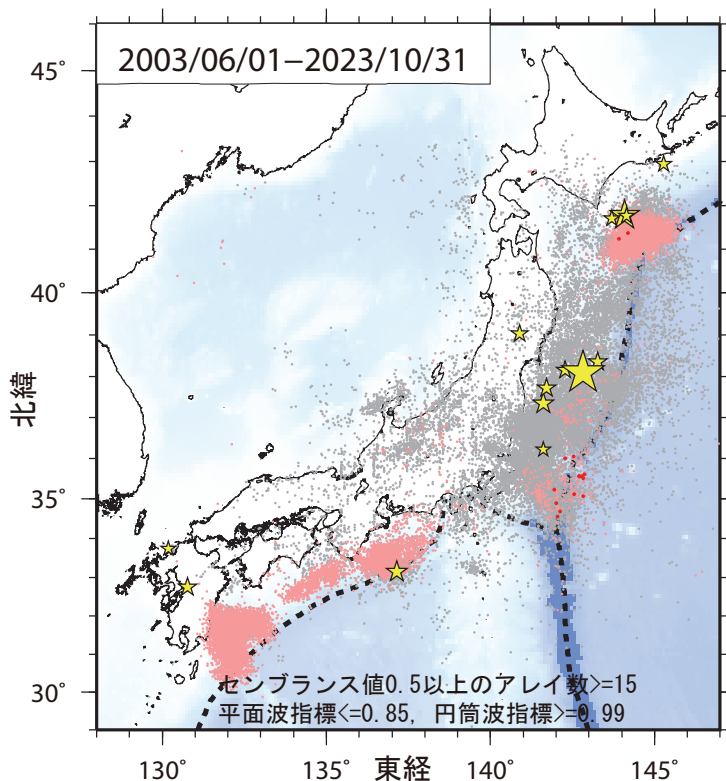
震央分布図
 (1919年1月1日～2023年8月31日、
 深さ0～120km、 $M \geq 6.0$)



領域c内のM-T図

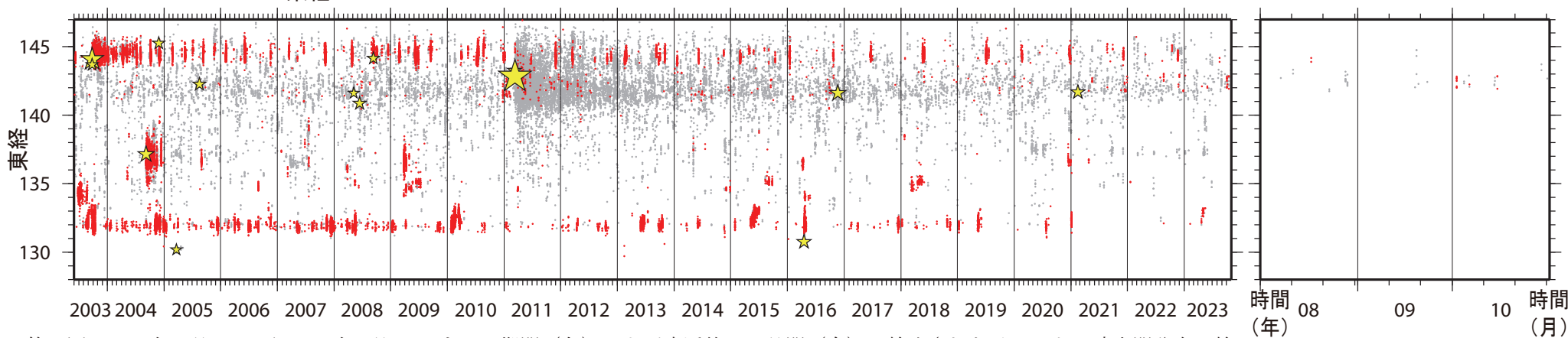


日本周辺における浅部超低周波地震活動（2023年8月～10月）



● 期間内に顕著な活動は認められなかったが、8月中旬～下旬に十勝沖で超低周波地震が検出された。

第1図. 2003年6月1日から2023年10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 (2023年7月31日以前), および赤色 (8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. 2003年6月1日から2023年7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.

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 (2023年8月～10月) その1

● 主な微動活動：
 東海地方，9月13日～18日．紀伊半島北部，8月2日～10日．
 四国東部から中部，9月13日～17日．豊後水道，8月16日～20日．

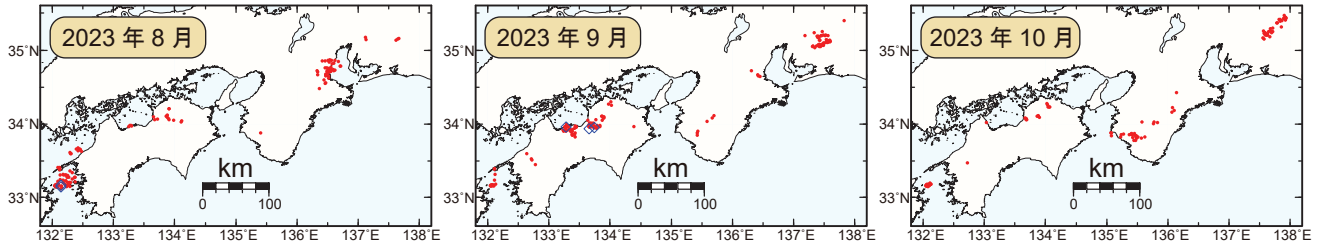


図1. 西南日本における2023年8月～10月の月毎の深部低周波微動活動．赤丸はエンベロープ相関・振幅ハイブリッド法 (Maeda and Obara, 2009) およびクラスタ処理 (Obara et al., 2010) において，1時間毎に自動処理された微動分布の重心である．青菱形は周期20秒に卓越する深部超低周波地震 (Ito et al., 2007) である．

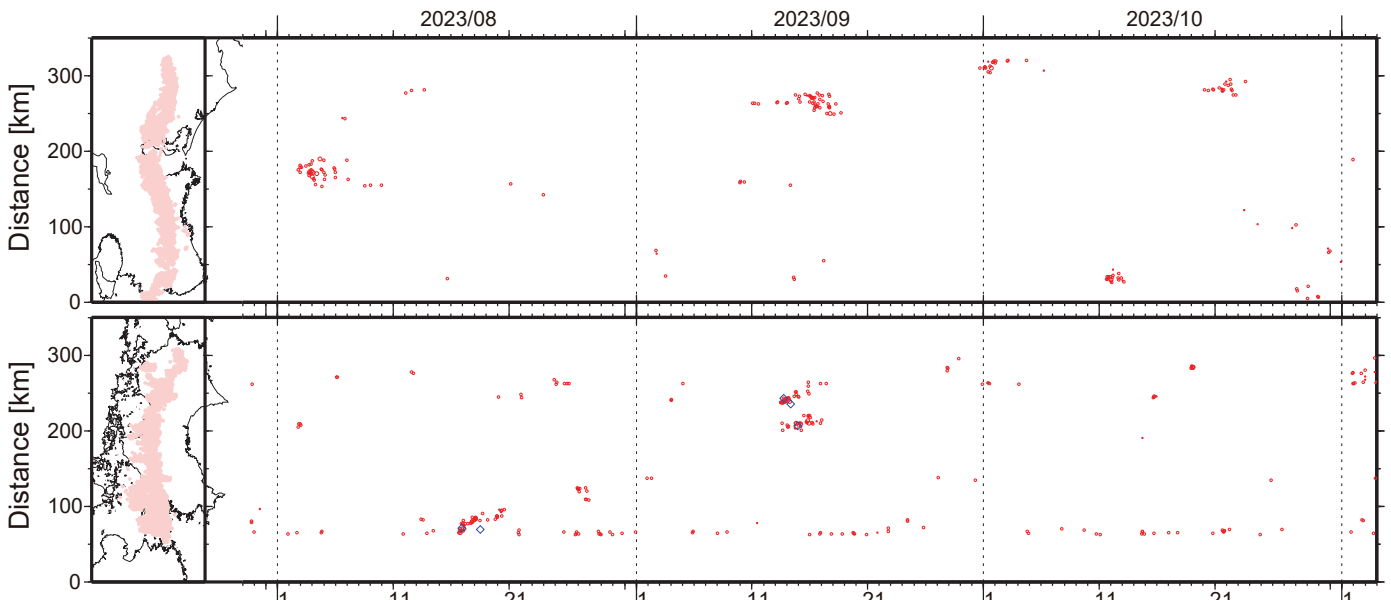


図2. 2023年7月29日～11月3日の深部低周波微動 (赤) および，深部超低周波地震 (青菱形) の時空間分布．

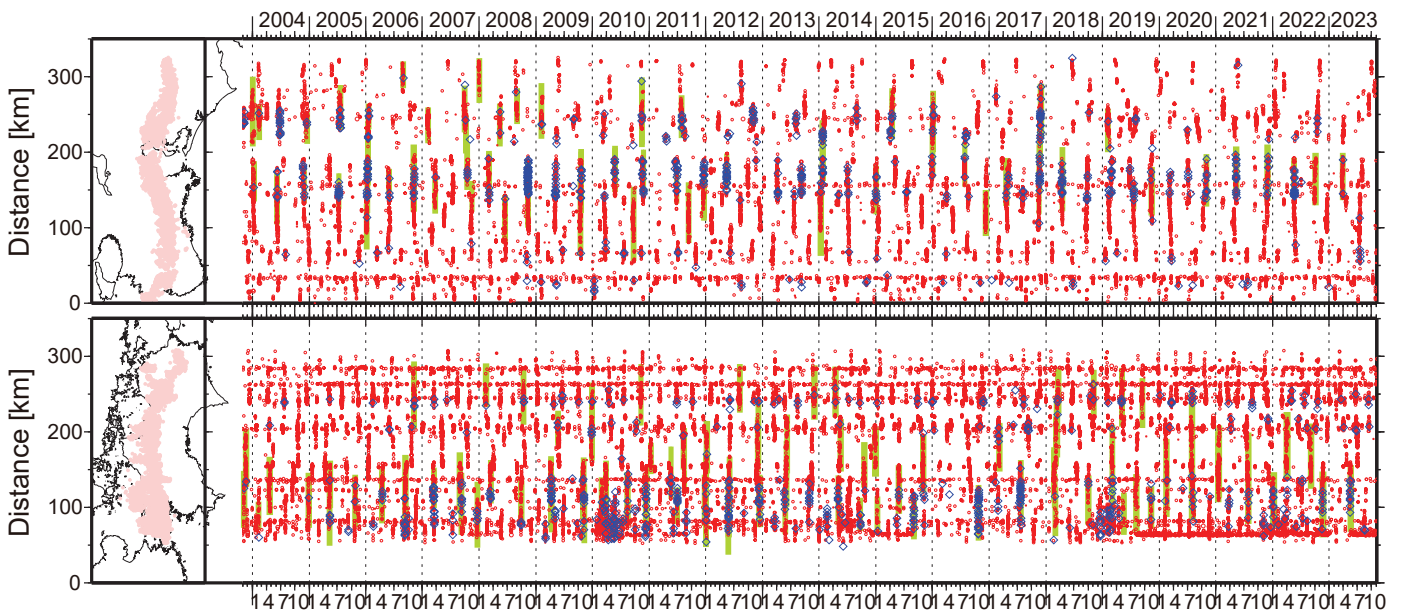


図3. 2003年11月～2023年11月3日までの深部低周波微動 (赤) および，深部超低周波地震 (青菱形) の時空間分布．緑太線は，傾斜変動から検出された短期的スロースリップイベント．

南海トラフ浅部の微動活動 (2023年8月~2023年10月)

・ 8月29日~9月28日にかけて、潮岬沖において活発な微動活動。

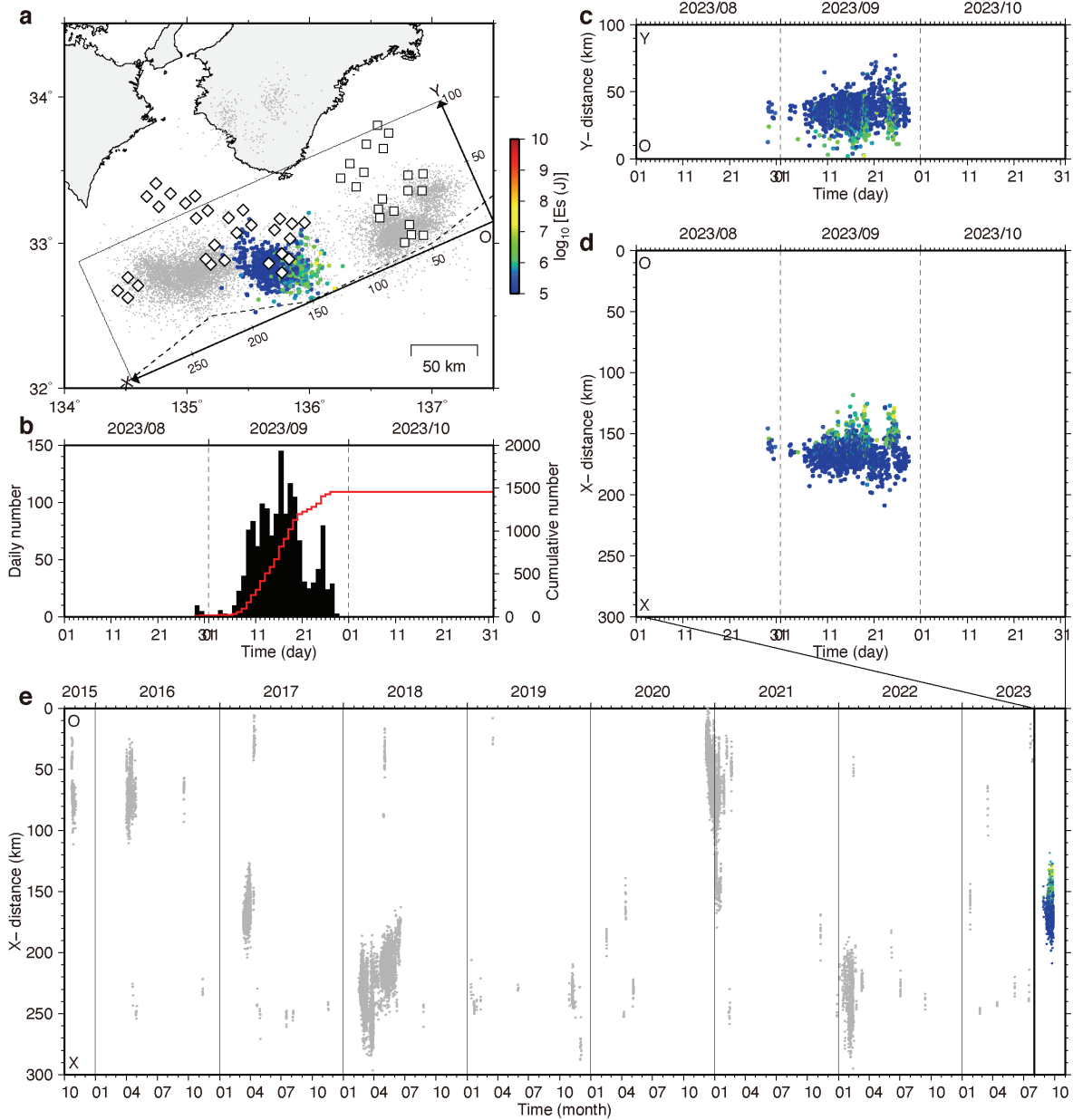
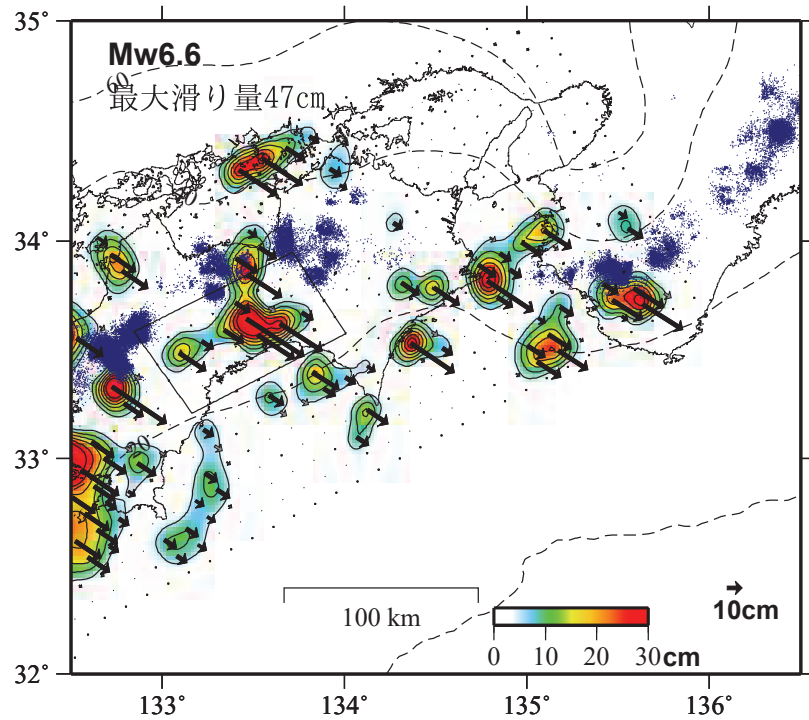


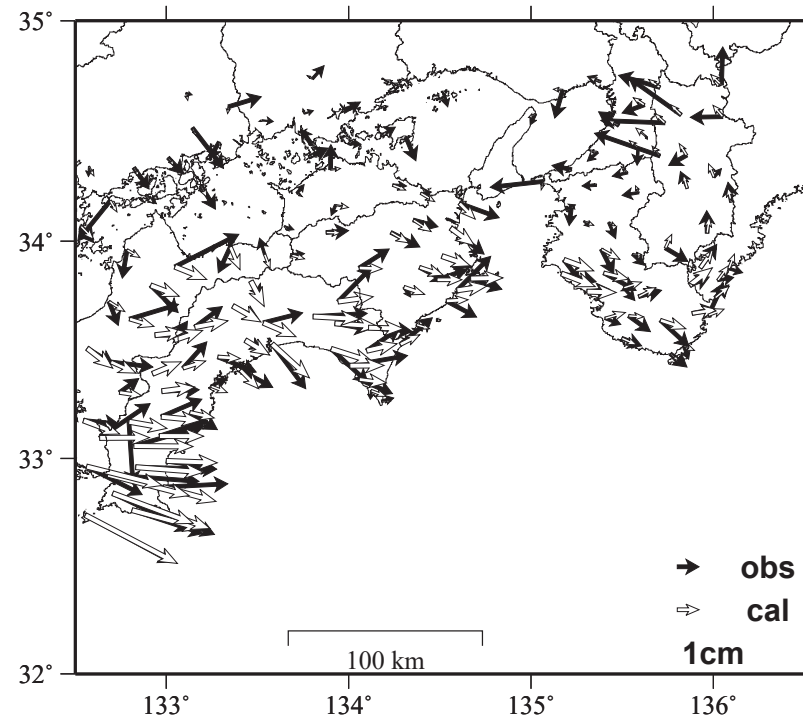
図1：微動の時空間分布。2015年10月1日から2023年10月31日までの処理。(a)微動の震央分布。2023年8月1日以降の微動を色付きの丸、それ以前の微動を灰色の点で示す。色は微動の地震波放射エネルギーを表す。□◇はそれぞれ DONET1, DONET2 観測点。点線は海溝軸。微動の検出・震源決定にはエンベロープ相関法(Ide, 2010; Ohta et al., 2019)を用い、DONET1・2の水平2成分速度波形(2-6Hz)を使用。エネルギー推定はYabe et al. (2019, 2021)に基づき、DONET1・2の3成分速度波形(2-8Hz)を使用。2023年8月29-30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。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。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低下。(b)検出数の日別ヒストグラムと累積。(c)震央の時空間分布。沈み込み傾斜方向(Y軸)に投影。(d)沈み込み走向方向(X軸)に投影。(e)全期間の微動の時空間分布(X軸投影)。

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）

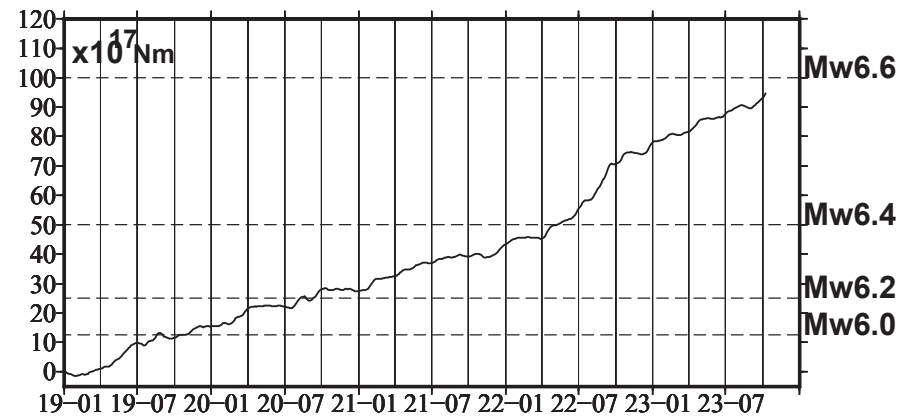
推定すべり分布
(2019-01-01/2023-10-10)



観測値（黒）と計算値（白）の比較
(2019-01-01/2023-10-10)



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(2019-01-01/2023-09-30)+R5解(2023-10-01/2023-10-10)
トレンド期間: 2017-04-01/2018-04-01(年周・半年周成分は補正なし)
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: 2019-01-01/2023-10-10)
固定局: 上対馬

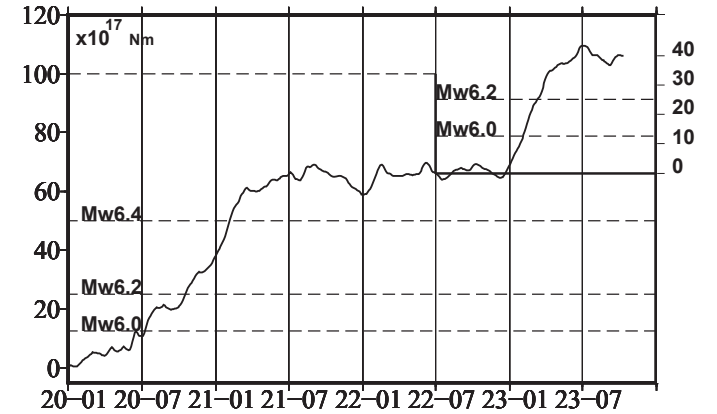
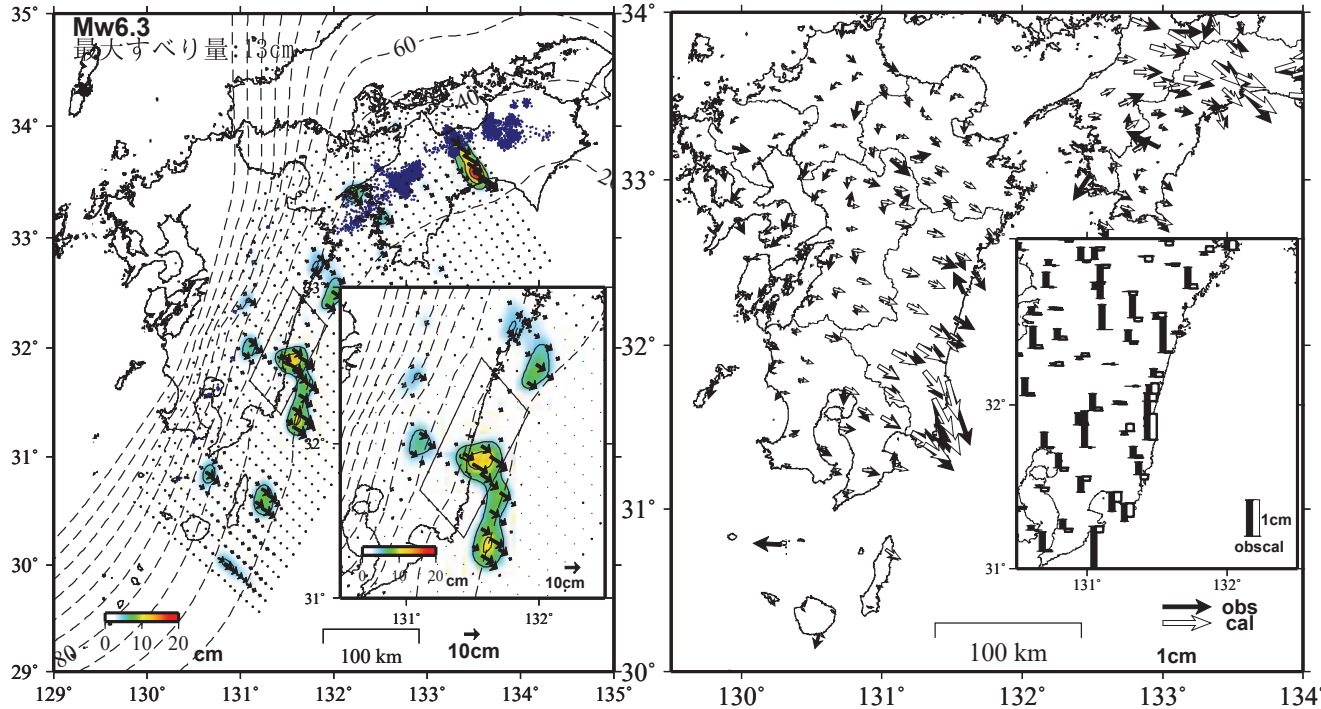
- *電子基準点の保守等による変動は補正済み
- *平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震及び平成28年(2016年)熊本地震の粘弾性変形は補正している (Suito, 2017, 水藤, 2017)。
- *気象庁カタログ(2017年以降)の短期的SSEを補正している。
- *共通誤差成分を推定している。
- *モーメント: 断層運動のエネルギーの目安となる量。

GNSSデータから推定された日向灘南部の長期的ゆっくりすべり（暫定）

推定すべり分布
(2022-07-01/2023-10-12)

観測値（黒）と計算値（白）の比較
(2022-07-01/2023-10-12)

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) * 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: 2006-01-01/2009-01-01 (年周・半年周成分は補正なし)

* 日向灘の地震(2022-01-22, M6.6)の地震時変動を除去している。

日向灘附近: 2007-10-01/2009-03-01

* 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)。

モーメント計算範囲: 左図の黒枠内側

* モーメント: 断層運動のエネルギーの目安となる量。

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

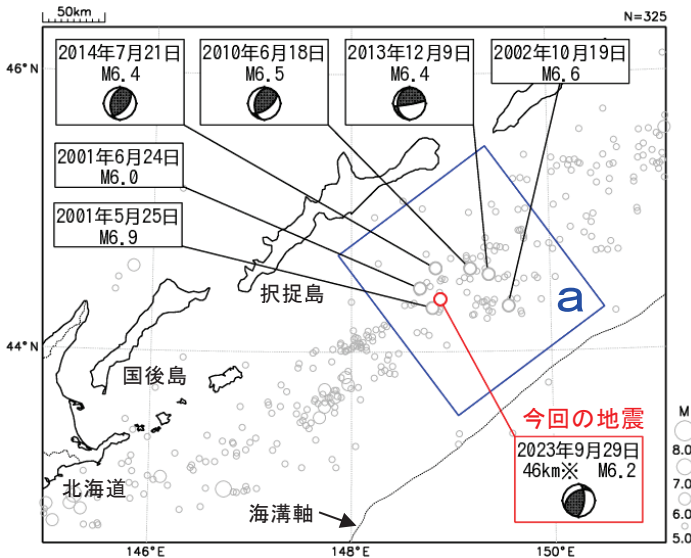
青丸: 低周波地震(気象庁一元化震源) (期間: 2022-07-01/2023-10-12)

固定局: 三隅

国土地理院

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



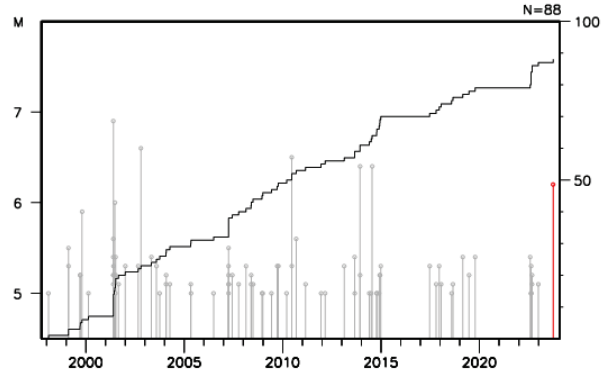
※深さはCMT解による。

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。

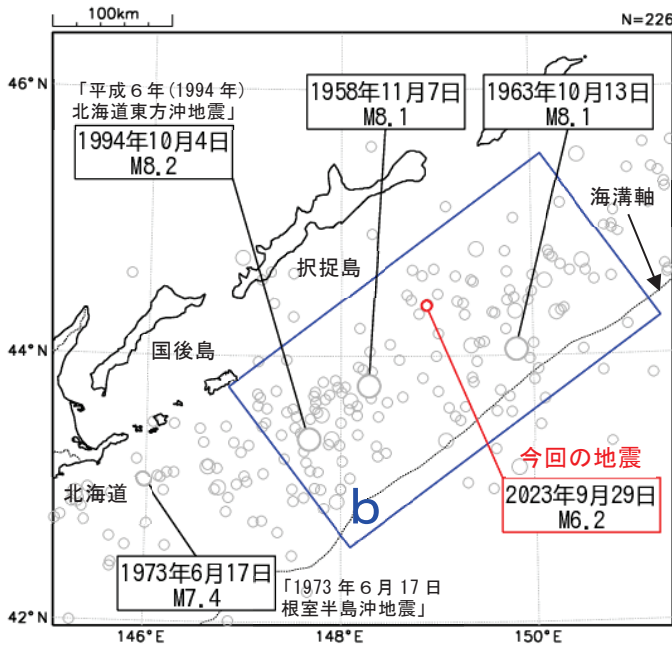
1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震央付近(領域a)では、M6.0以上の地震が時々発生している。

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)。

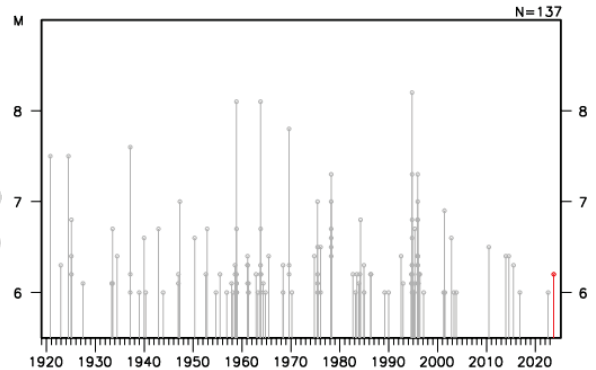
領域a内のM-T図及び回数積算図



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



領域b内のM-T図



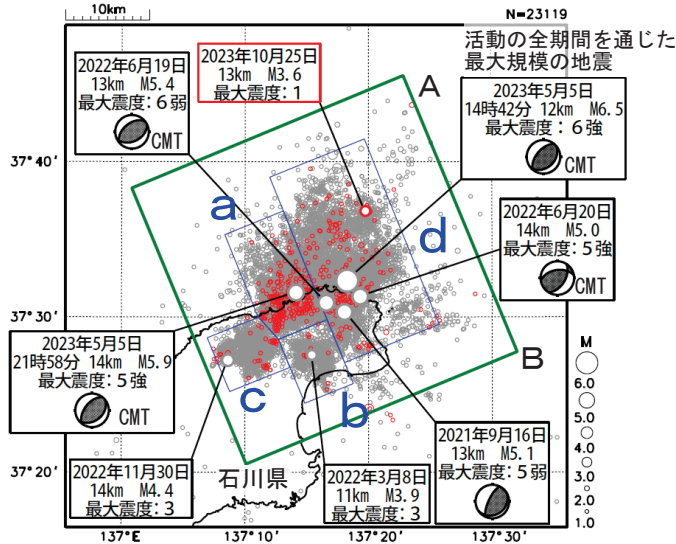
石川県能登地方の地震活動

震央分布図

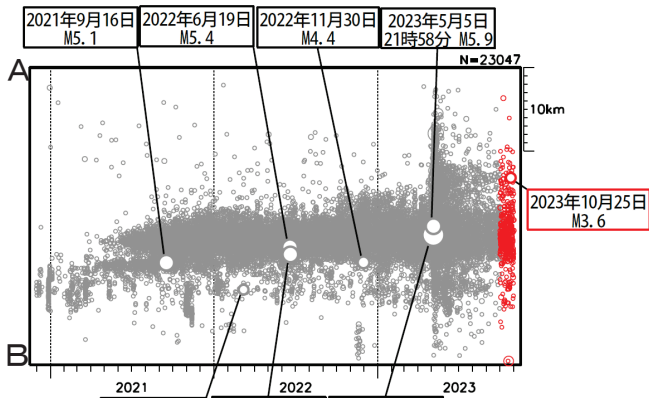
(2020年12月1日～2023年10月31日、
深さ0～25km、M \geq 1.0)

2023年10月の地震を赤色で表示

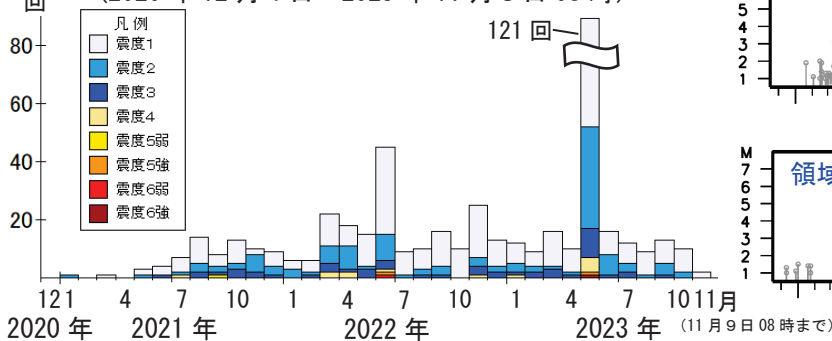
- ・ 黒色の吹き出し：領域a～dの各領域内で最大規模の地震及び最大震度5弱以上の地震
- ・ 赤色の吹き出し：緑色矩形内で2023年10月中の最大規模の地震



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)



期間別・震度別の地震発生回数表

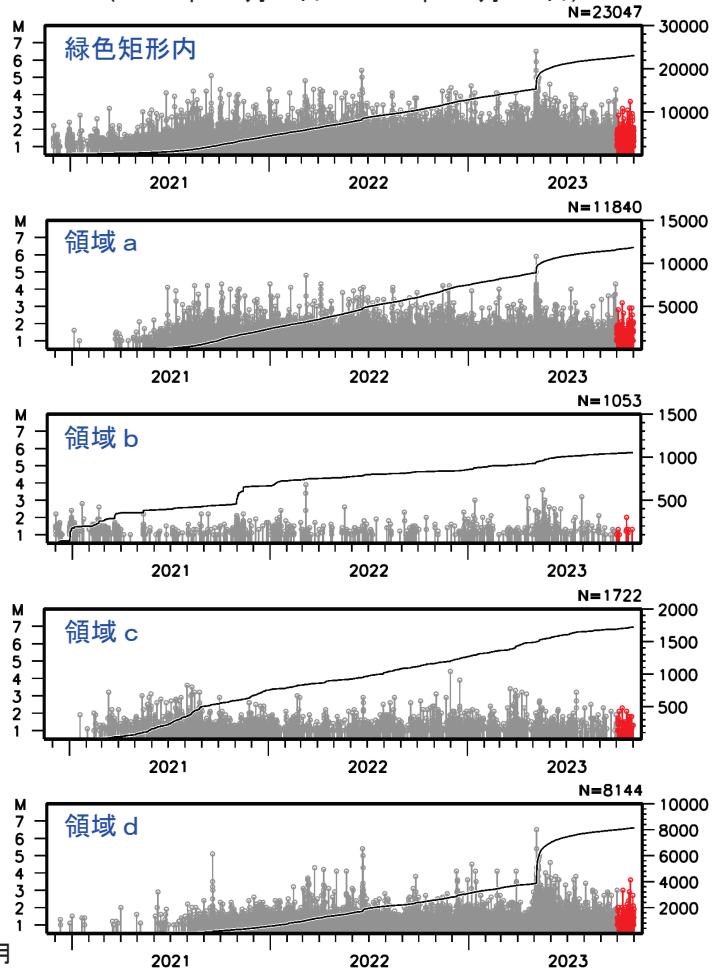
期間	最大震度別回数								
	1	2	3	4	5弱	5強	6弱	6強	計
2020年12月1日 ～2023年9月30日	301	115	49	13	1	2	1	1	483
2023年10月1日～31日	8	2	0	0	0	0	0	0	10
2023年11月1日～9日08時	2	0	0	0	0	0	0	0	2
計	311	117	49	13	1	2	1	1	495

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)

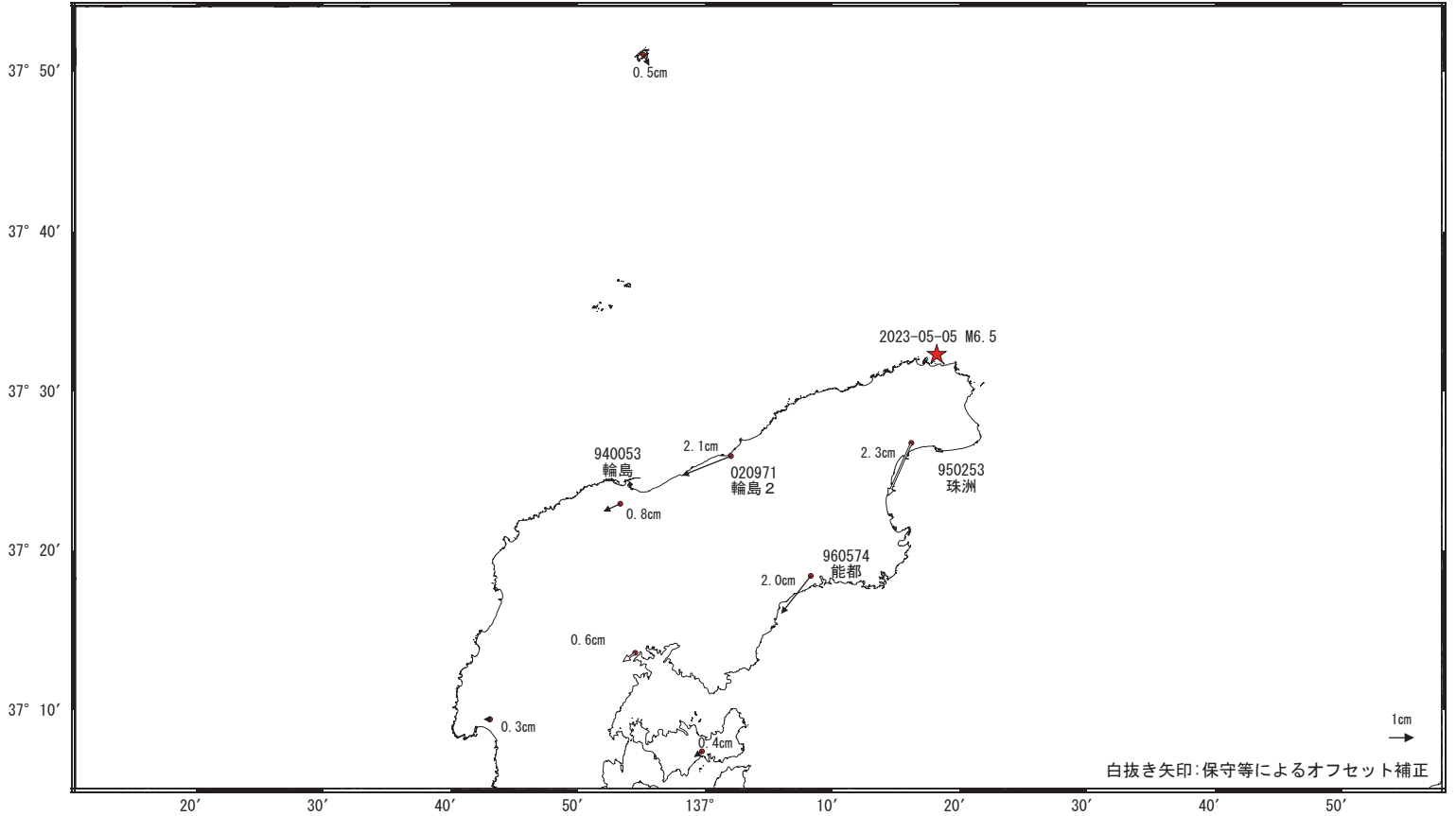


石川県能登地方の地殻変動（暫定）

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：2023-10-15～2023-10-21 [R5:速報解]

計算期間：2017-09-01～2020-09-01

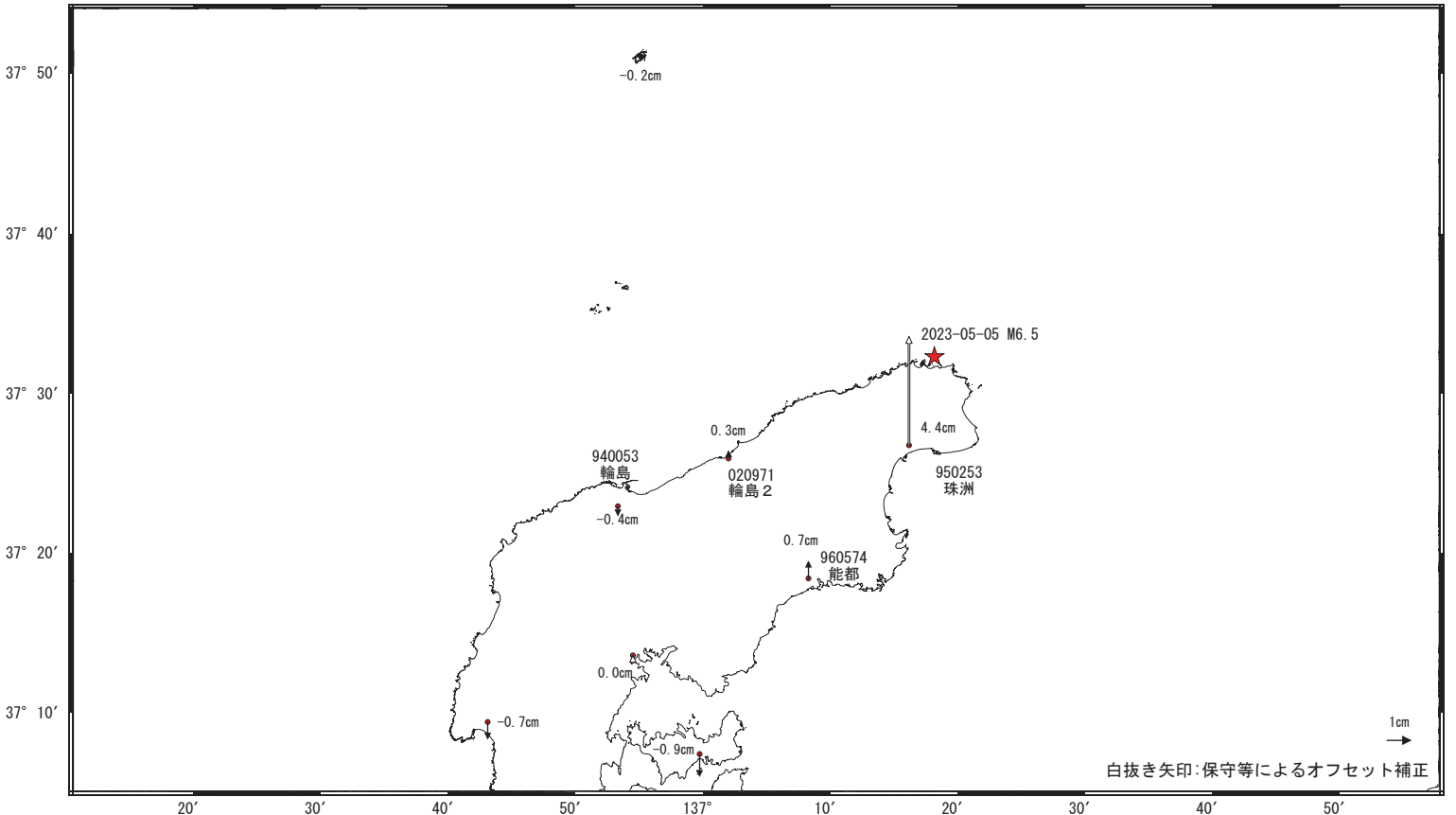


☆ 固定局:白鳥 (950282)
★ 震央

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：2023-10-15～2023-10-21 [R5:速報解]

計算期間：2017-09-01～2020-09-01



☆ 固定局:白鳥 (950282)
★ 震央

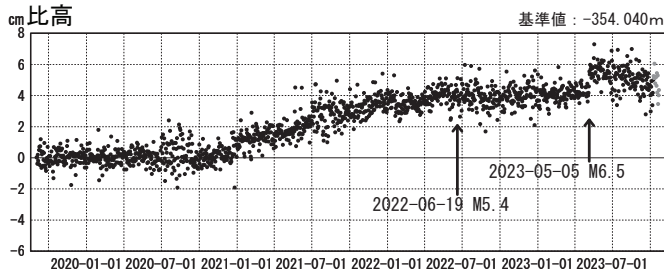
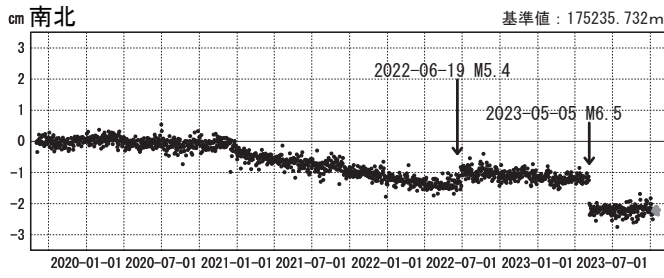
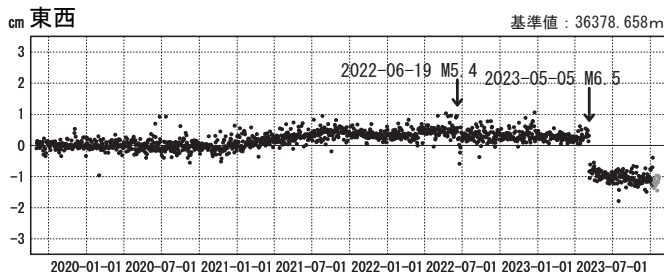
※電子基準点「珠洲」の位置が、地震（2022-06-19 M5.4）に伴いごくわずかに変化した可能性がある。

石川県能登地方の地殻変動（暫定）

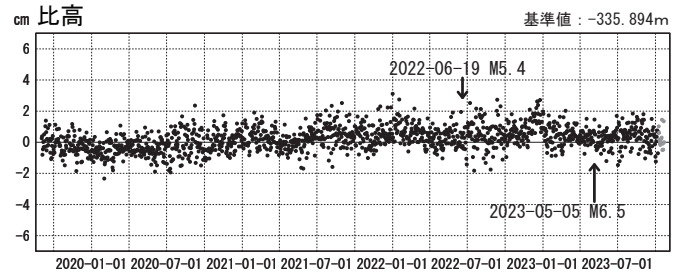
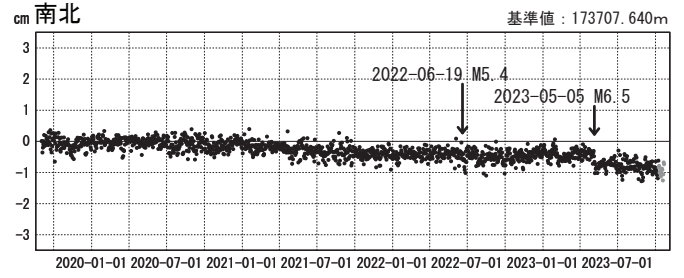
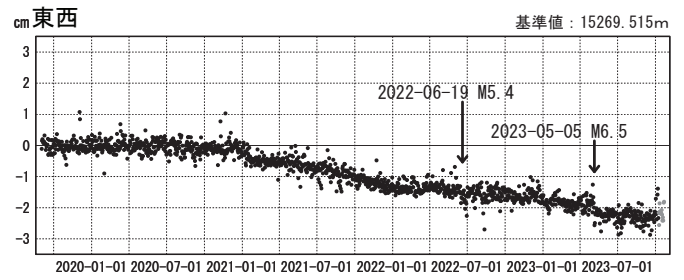
成分変化グラフ（一次トレンド・年周成分・半年周成分除去後）

期間：2019-09-01～2023-10-21 JST 計算期間：2017-09-01～2020-09-01

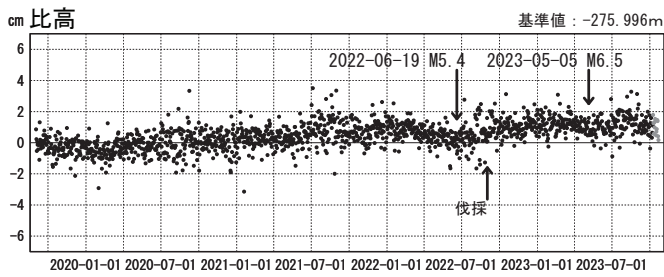
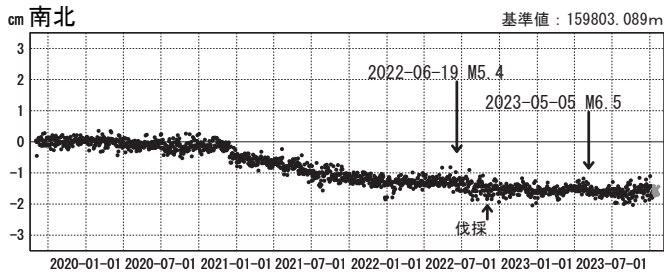
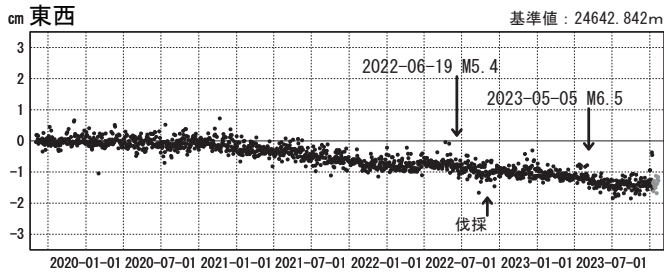
(1) 白鳥 (950282) → 珠洲 (950253)



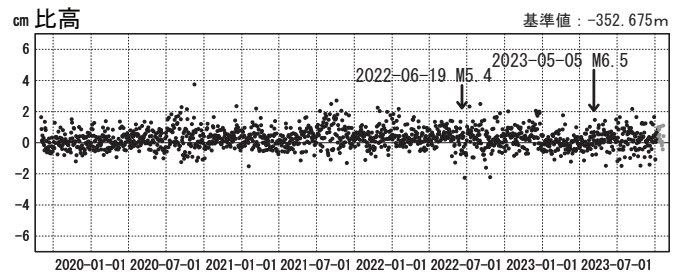
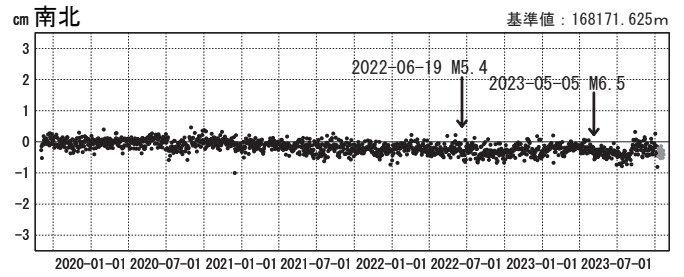
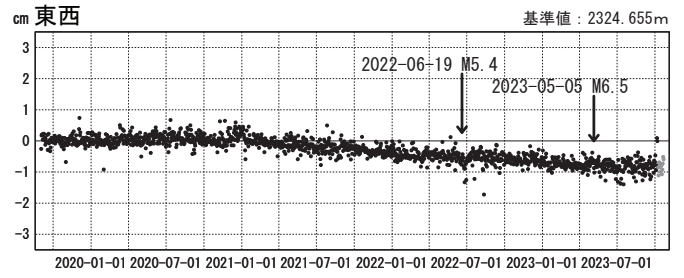
(2) 白鳥 (950282) → 輪島 2 (020971)



(3) 白鳥 (950282) → 能都 (960574)



(4) 白鳥 (950282) → 輪島 (940053)



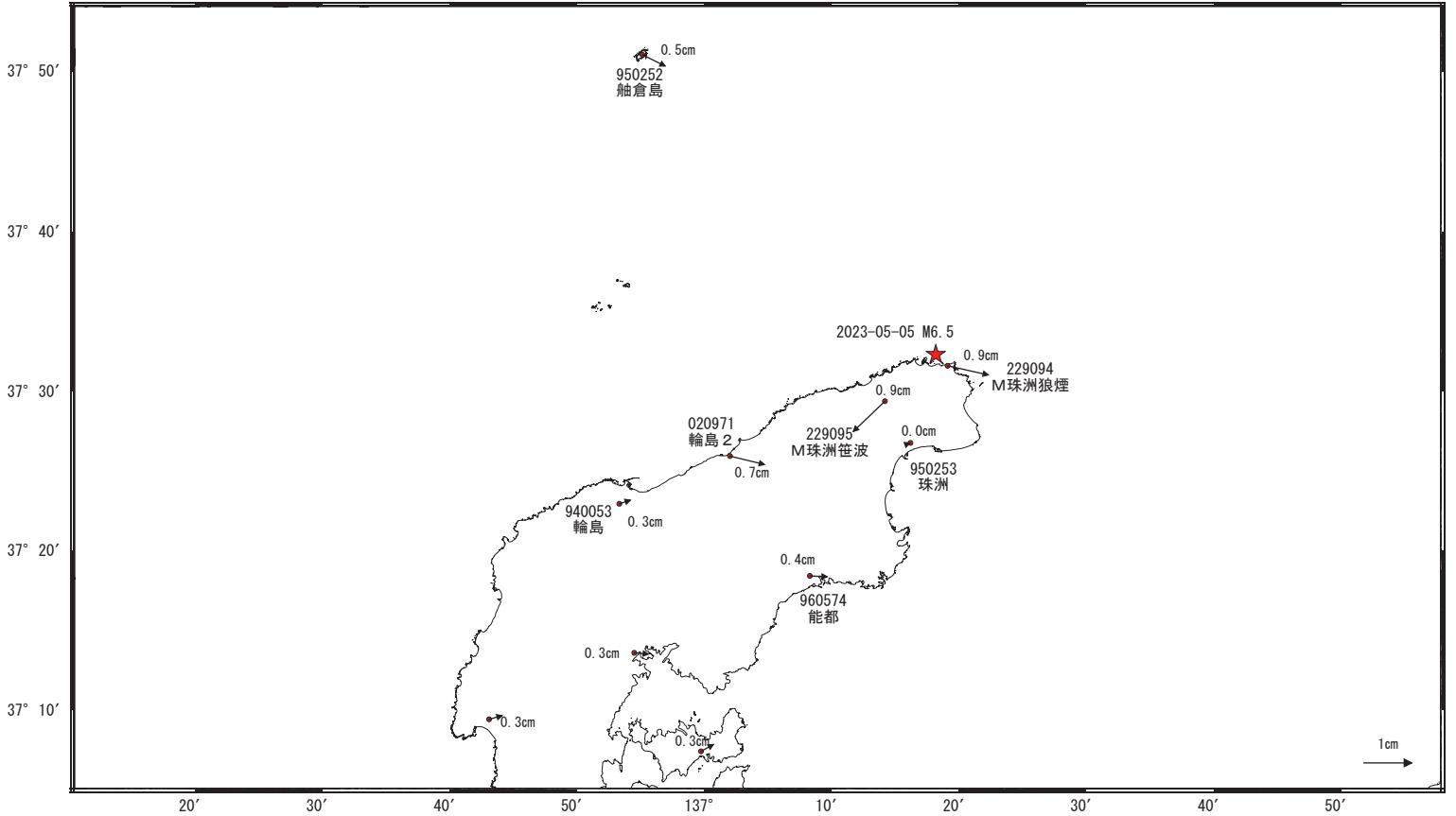
●---[F5:最終解] ●---[R5:速報解]

※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震(2023年5月5日)後の観測データ(暫定)

ベクトル図(水平)

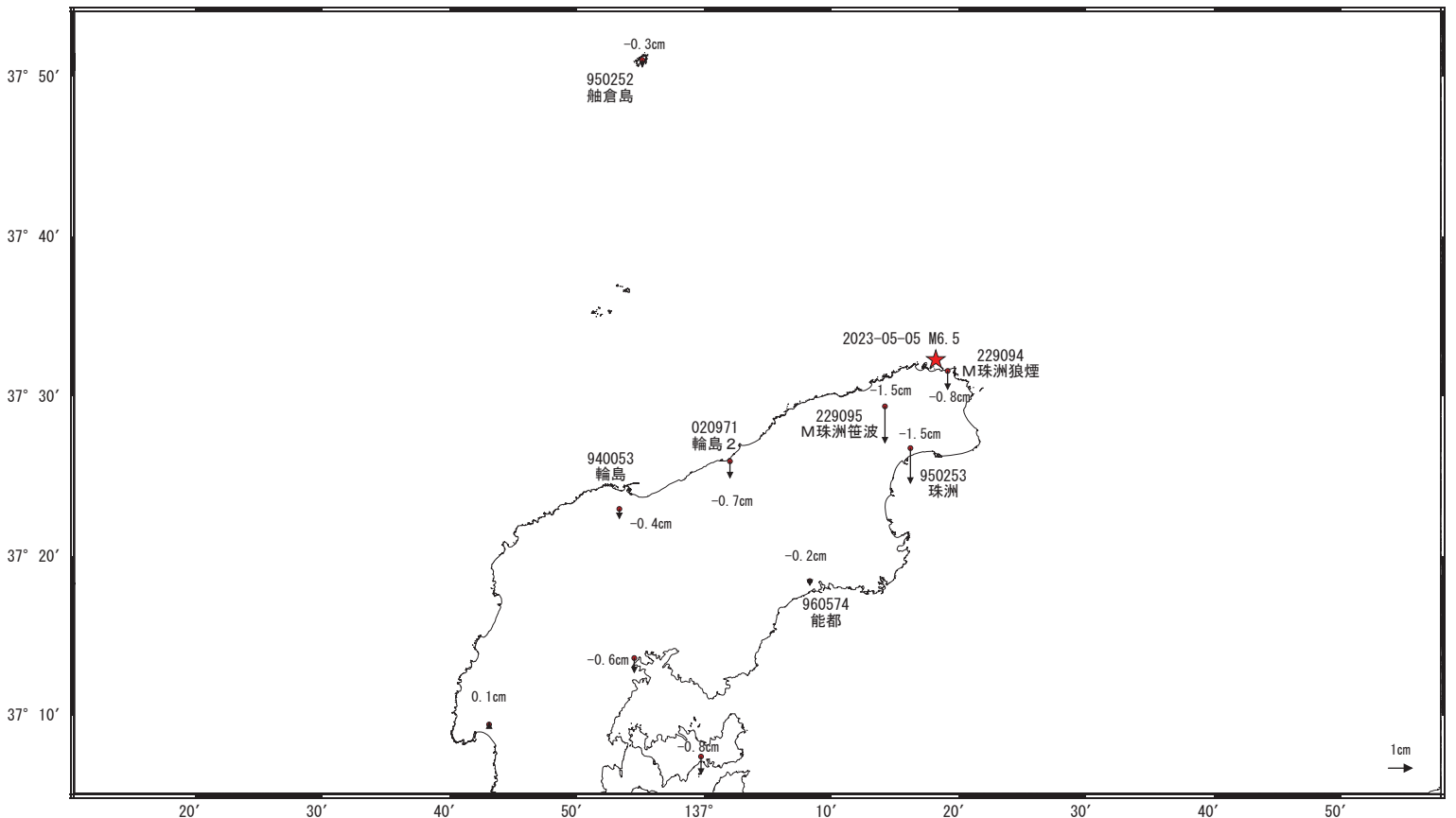
基準期間: 2023-05-07~2023-05-09 [F5: 最終解]
 比較期間: 2023-10-15~2023-10-21 [R5: 速報解]



☆ 固定局: 小松 (950255)
 ★ 震央

ベクトル図(上下)

基準期間: 2023-05-07~2023-05-09 [F5: 最終解]
 比較期間: 2023-10-15~2023-10-21 [R5: 速報解]

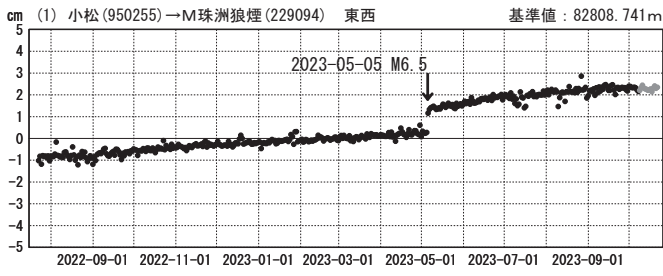


☆ 固定局: 小松 (950255)
 ★ 震央

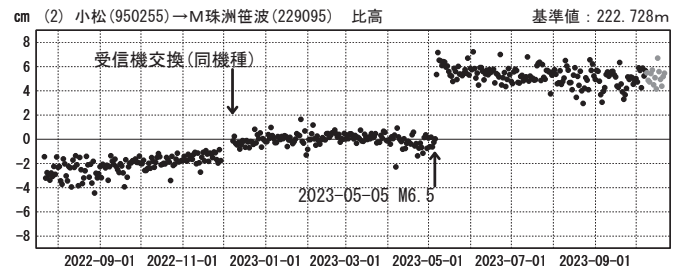
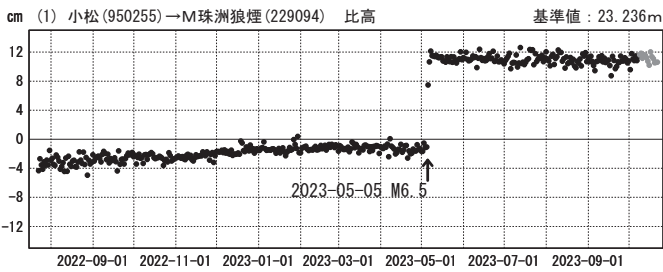
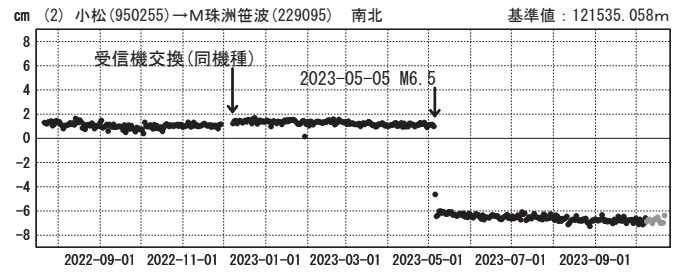
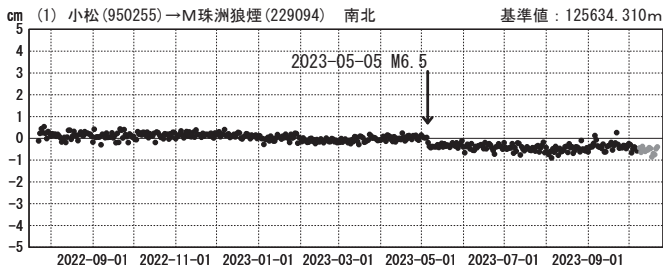
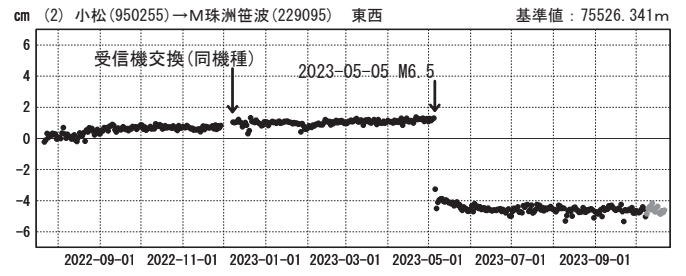
石川県能登地方の地殻変動（暫定）

成分変化グラフ

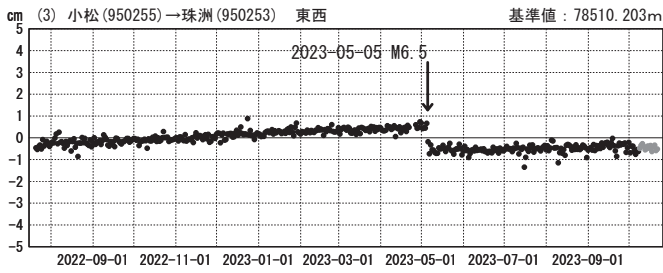
期間：2022-07-20～2023-10-21 JST



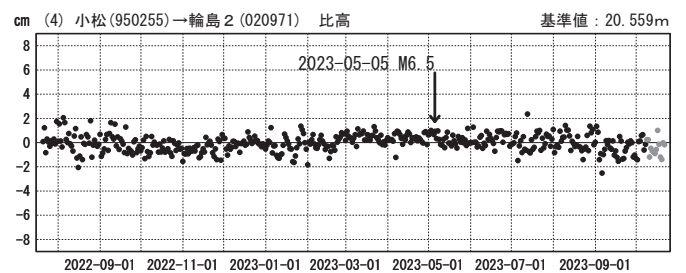
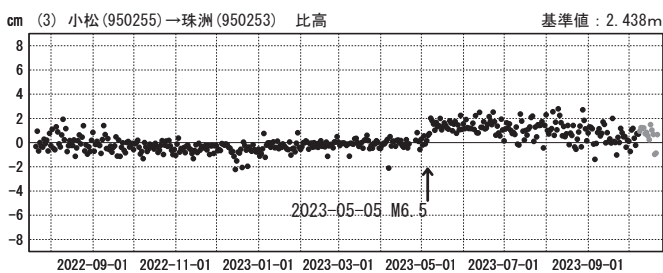
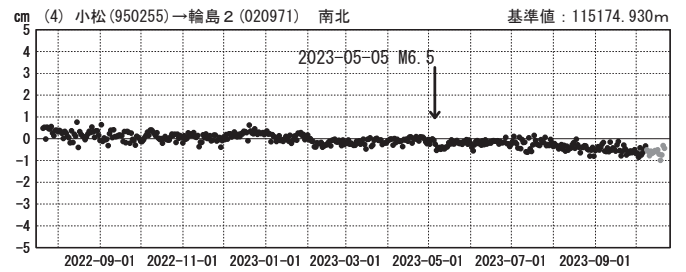
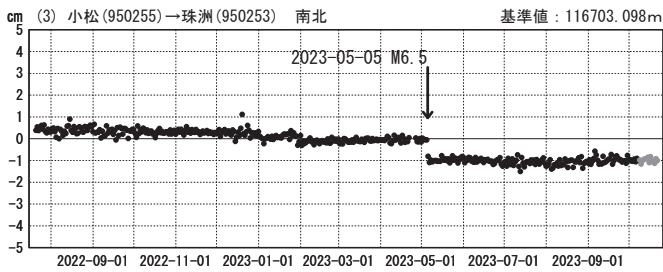
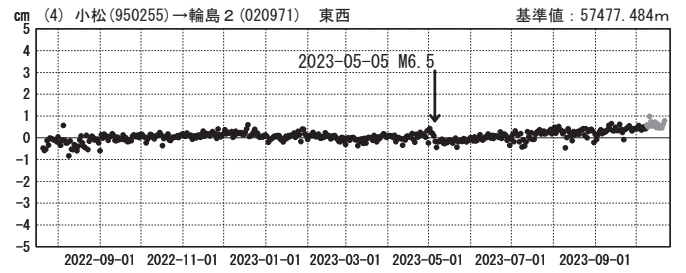
期間：2022-07-20～2023-10-21 JST



期間：2022-07-20～2023-10-21 JST



期間：2022-07-20～2023-10-21 JST

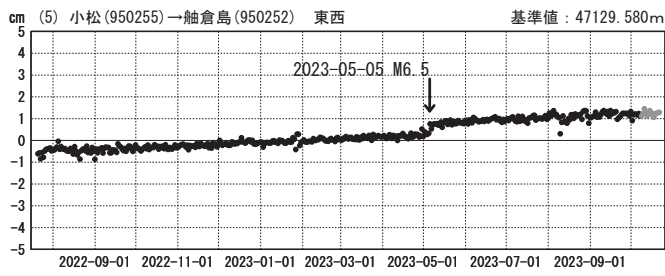


●---[F5:最終解] ●---[R5:速報解]

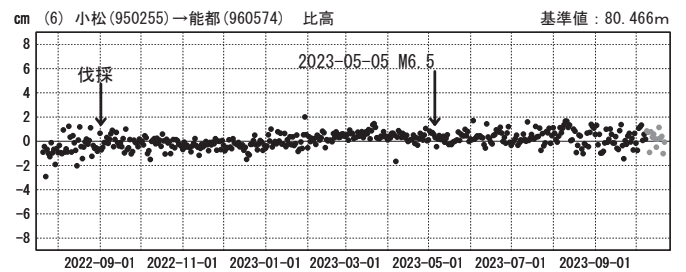
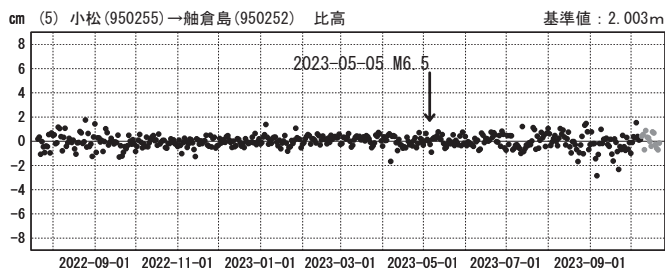
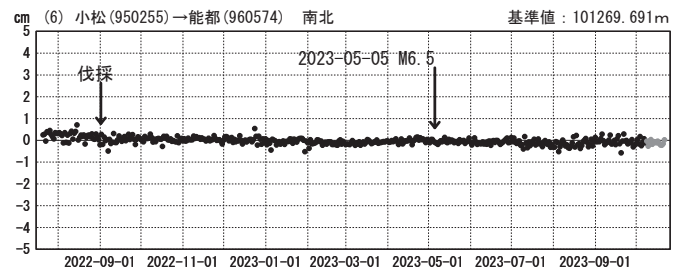
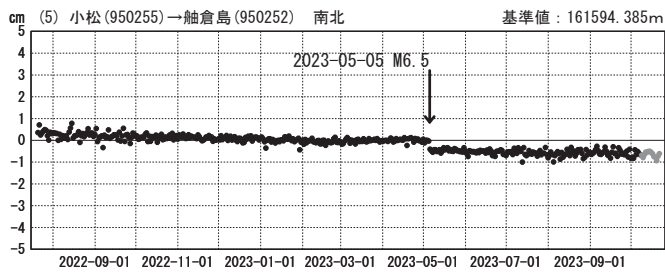
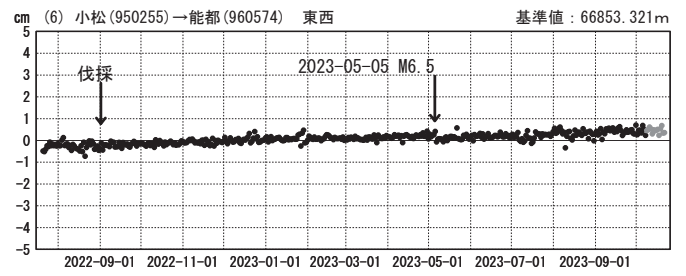
石川県能登地方の地殻変動（暫定）

成分変化グラフ

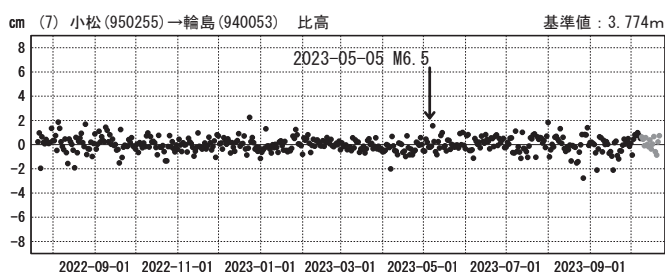
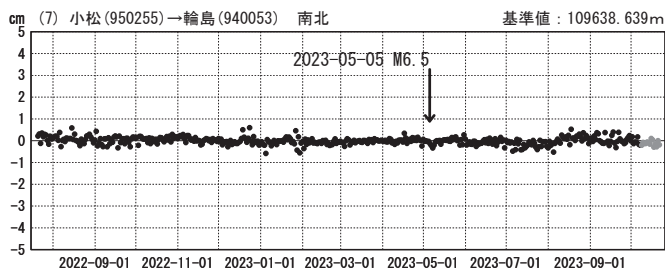
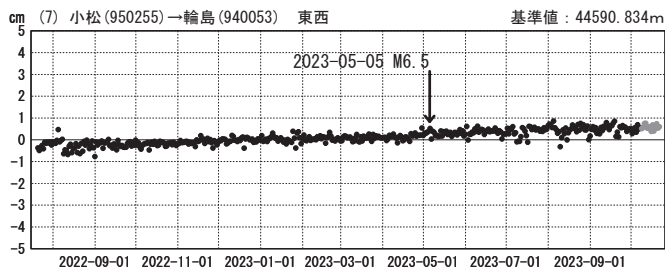
期間：2022-07-20～2023-10-21 JST



期間：2022-07-20～2023-10-21 JST



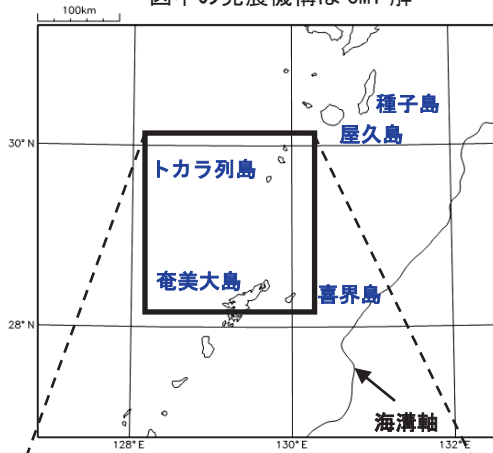
期間：2022-07-20～2023-10-21 JST



●---[F5:最終解] ●---[R5:速報解]

トカラ列島近海の地震活動（小宝島付近）

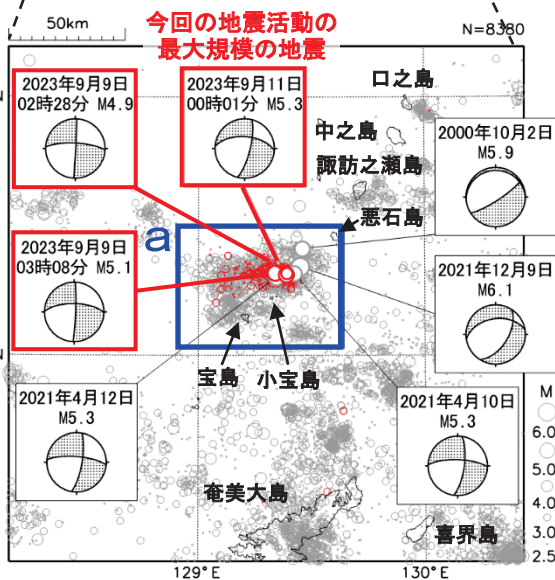
震央分布図
 (1994年10月1日～2023年9月30日、
 深さ0～50km、 $M \geq 2.5$)
 2023年9月の地震を赤色○で表示
 図中の発震機構はCMT解



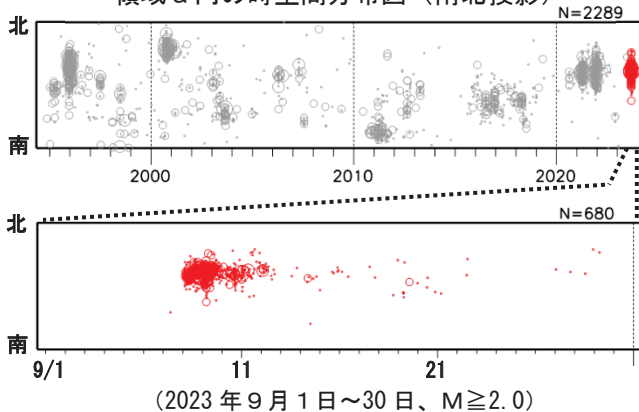
2023年9月8日02時頃からトカラ列島近海（小宝島付近）で地震活動が活発となり、9月30日までに震度1以上を観測した地震が346回（震度4：2回、震度3：25回、震度2：82回、震度1：237回）発生した。このうち、最大規模の地震は、11日00時01分に発生した $M5.3$ の地震（最大震度4）で、発震機構（CMT解）は、北西－南東方向に張力軸を持つ横ずれ断層型である。これらの地震は陸のプレート内で発生した。9月13日頃からは、地震の規模が小さくなり、地震の発生数も減少している。

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）。

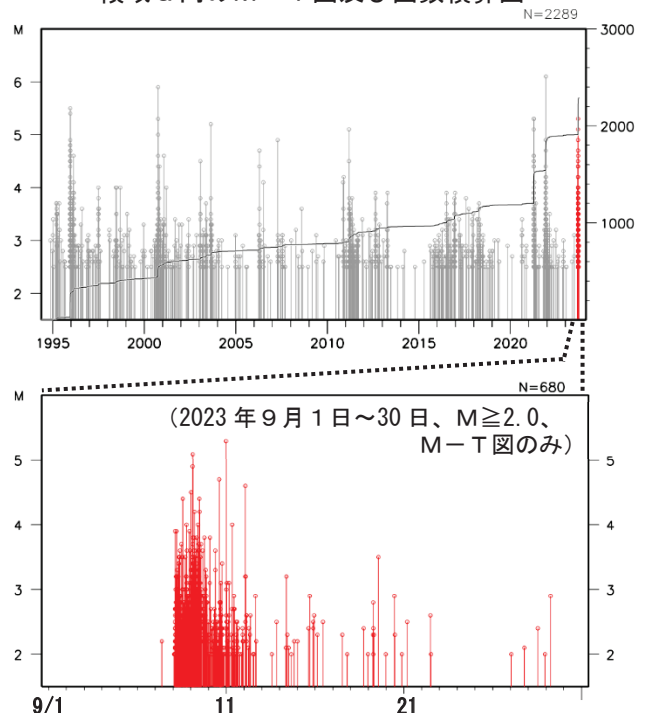
今回の地震活動と過去の主な地震活動について、活動期間ごとに120日間の期間で比較すると多様な活動の形態が見られる（次ページ参照）。この地域の地震活動は、活発な期間と落ち着いた期間を繰り返しながら継続することが多く、個々の地震活動の終わりの時期を特定することが難しい。



領域a内の時空間分布図（南北投影）



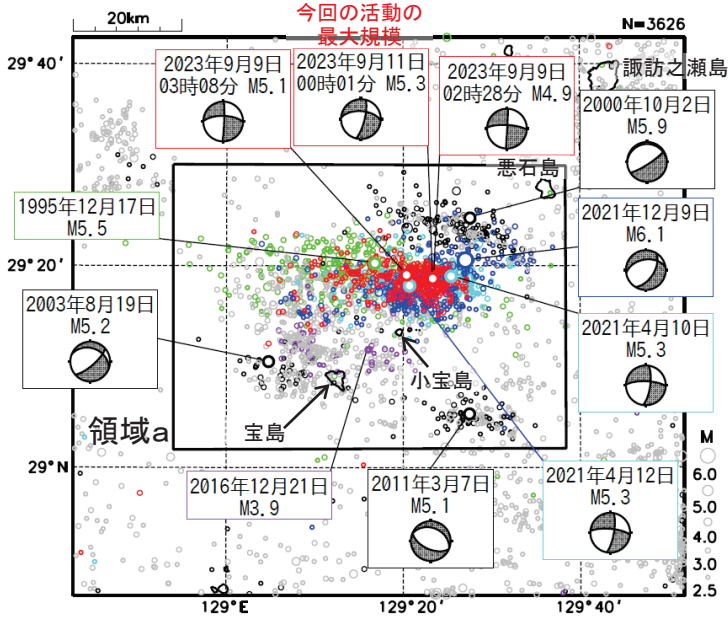
領域a内のM-T図及び回数積算図



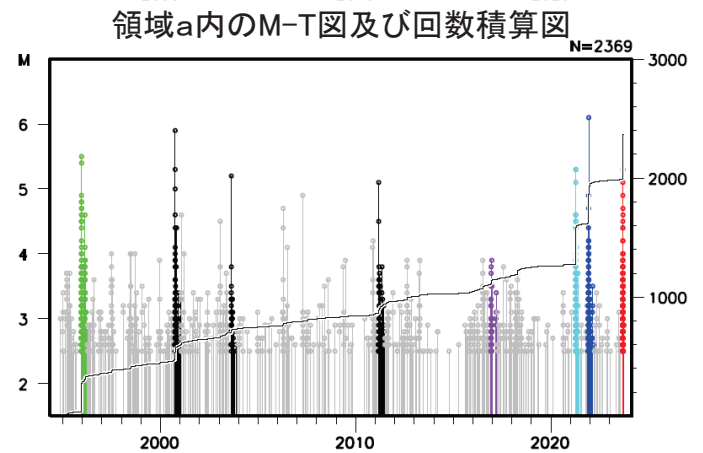
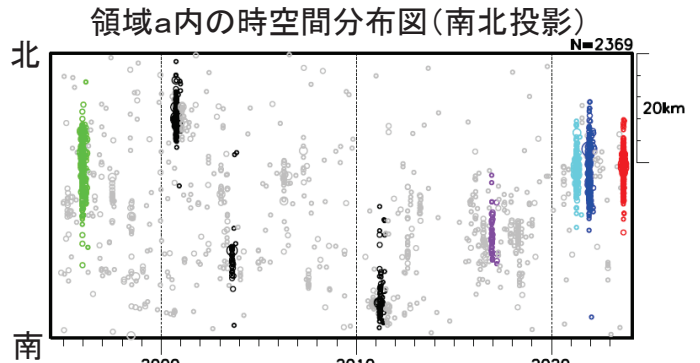
トカラ列島近海の地震活動(小宝島付近) (過去の活動状況との比較 M2.5以上、120日間)

震央分布図

(1994年10月1日～2023年9月30日、深さ0～50km、M \geq 2.5)



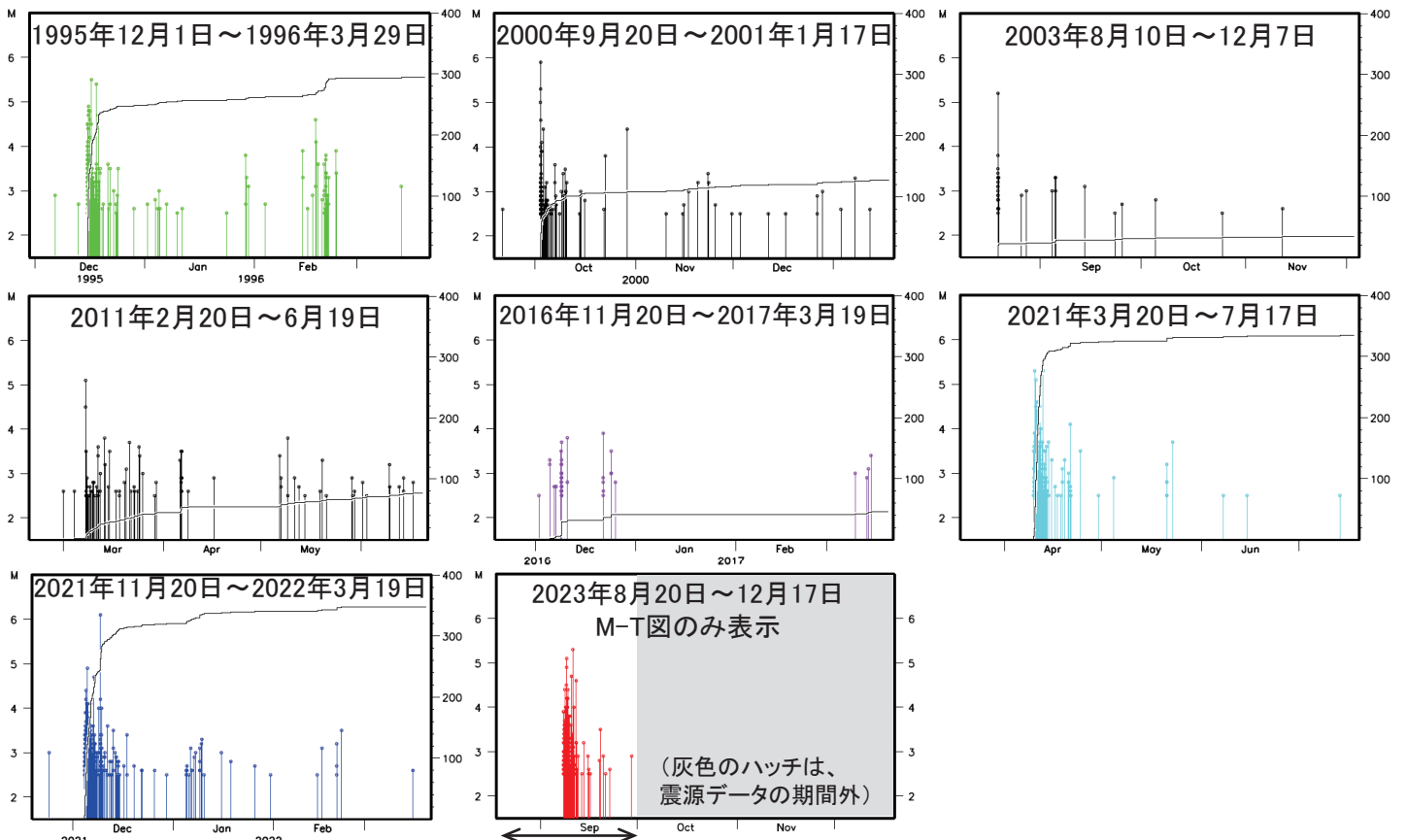
※2023年9月9日は未精査の地震がある



主な地震活動の期間別(今回の活動以外は各120日間)の色分け

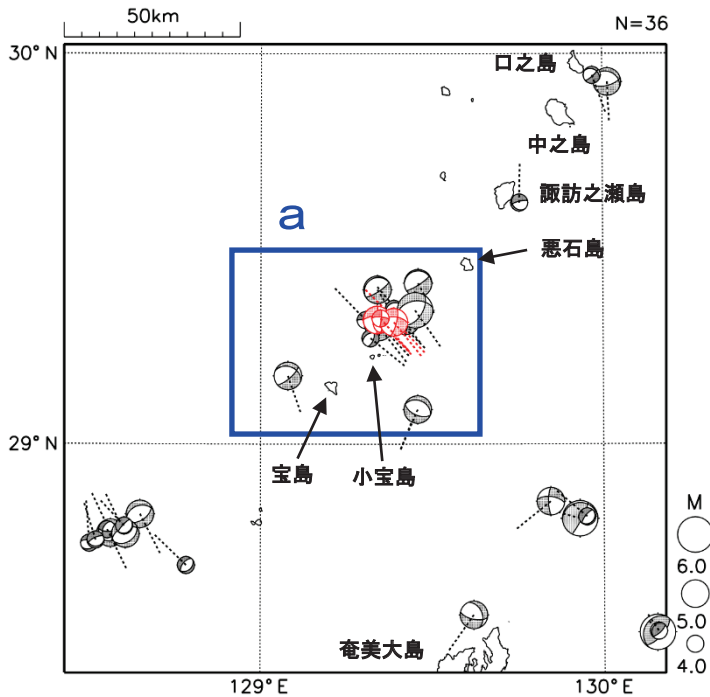
- 1995年12月1日～1996年3月29日: 緑丸
- 2000年9月20日～2001年1月17日: 黒丸
- 2003年8月10日～12月7日: 黒丸
- 2011年2月20日～6月19日: 黒丸
- 2016年11月20日～2017年3月19日: 紫丸
- 2021年3月20日～7月17日: 水色
- 2021年11月20日～2022年3月19日: 青色
- 2023年9月8日～9月30日: 赤丸
- 上記期間以外: 灰丸

領域a内の期間別(各120日間)のM-T図及び回数積算図



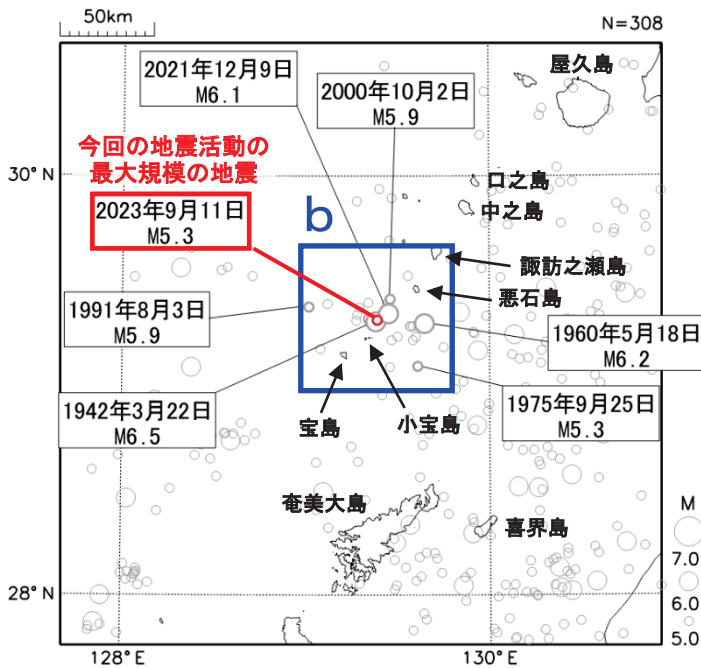
8月20日～9月30日 - 19 -

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



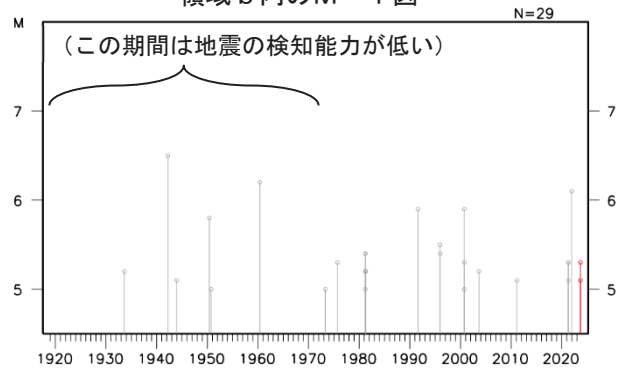
今回の地震活動付近(領域a)で求められた発震機構(CMT解)をみると、北西-南東方向に張力軸を持つ正断層型や横ずれ断層型がほとんどである。

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

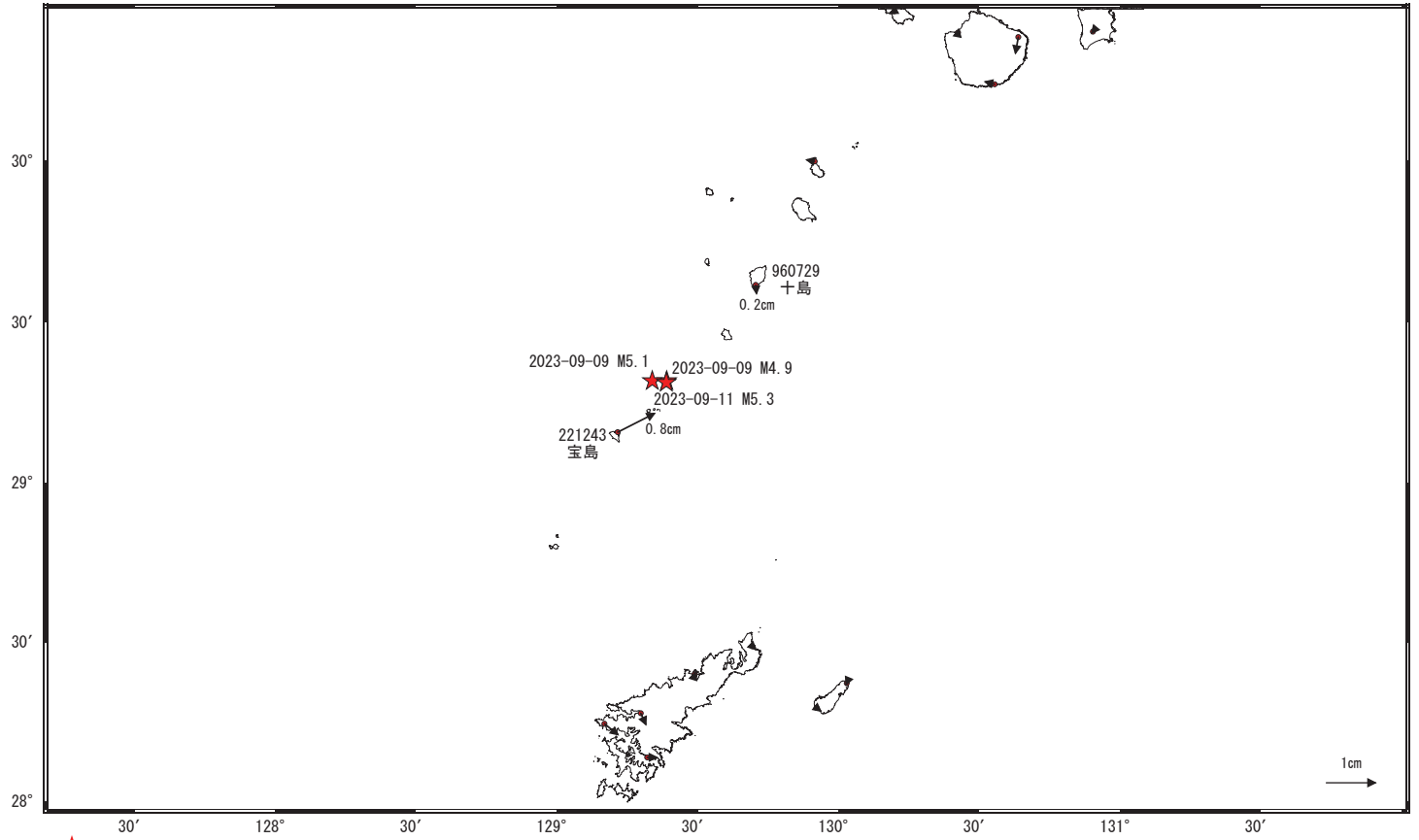


トカラ列島近海の地震活動(最大地震 9月11日 M5.3)の観測データ

この地震活動に伴わずかな地殻変動が観測された。

地殻変動 (水平)

基準期間: 2023-09-01~2023-09-07 [F5: 最終解]
比較期間: 2023-09-14~2023-09-20 [F5: 最終解]

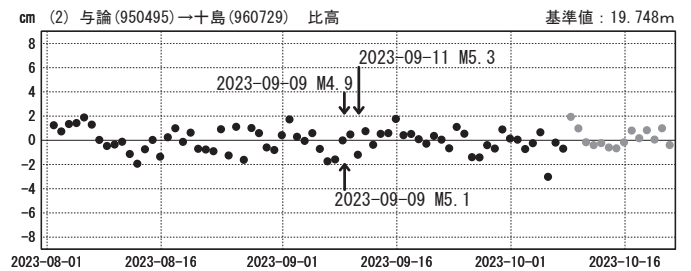
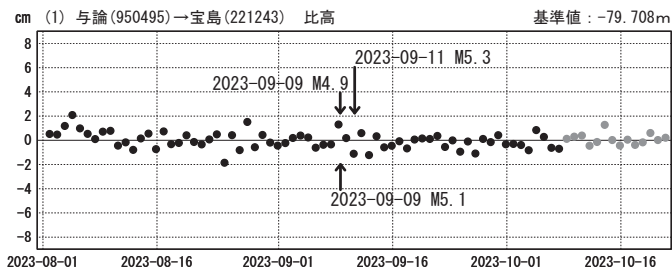
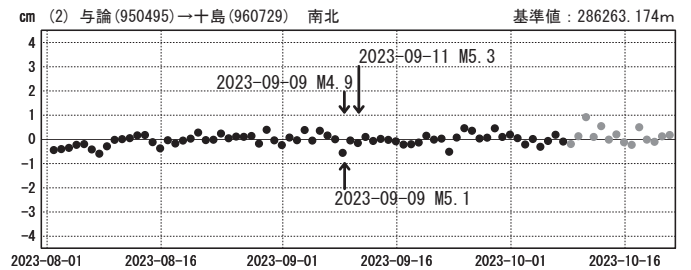
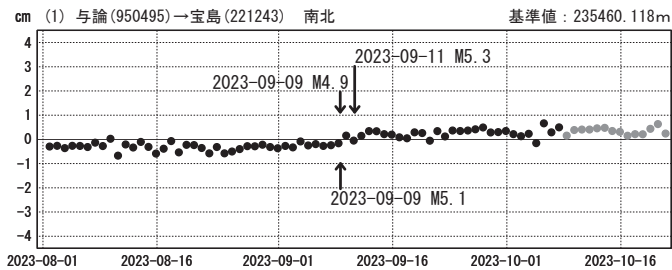
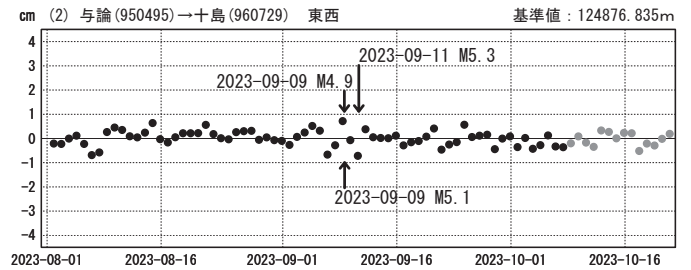
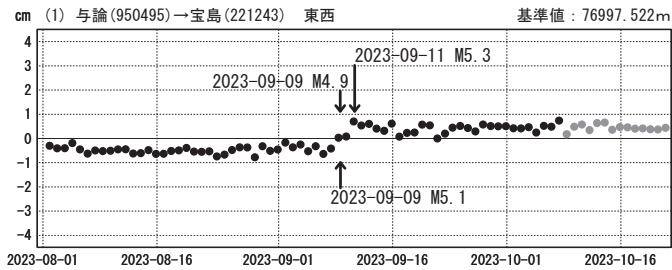


★ 震央
☆ 固定局: 与論 (950495)

成分変化グラフ

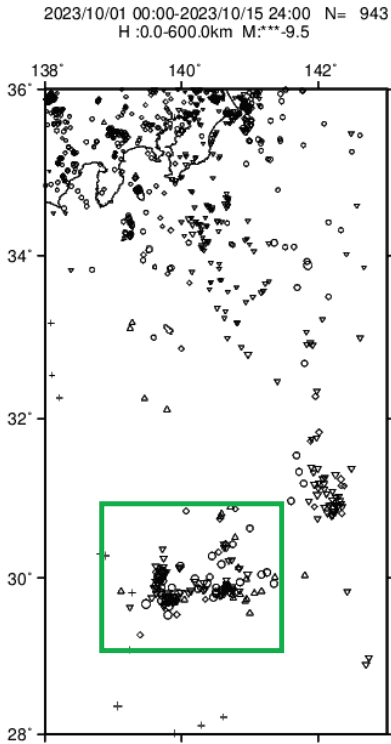
期間: 2023-08-01~2023-10-21 JST

期間: 2023-08-01~2023-10-21 JST

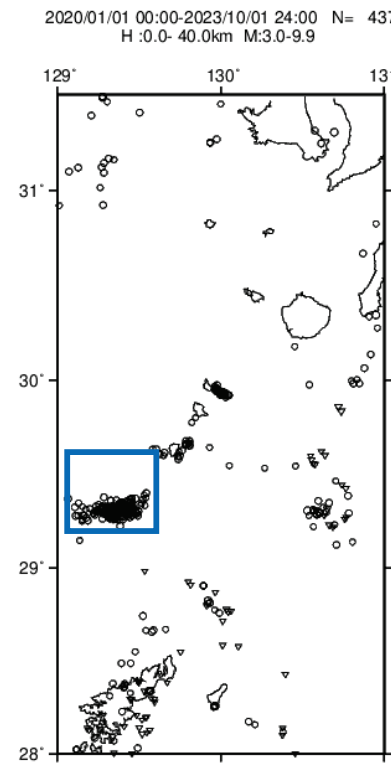
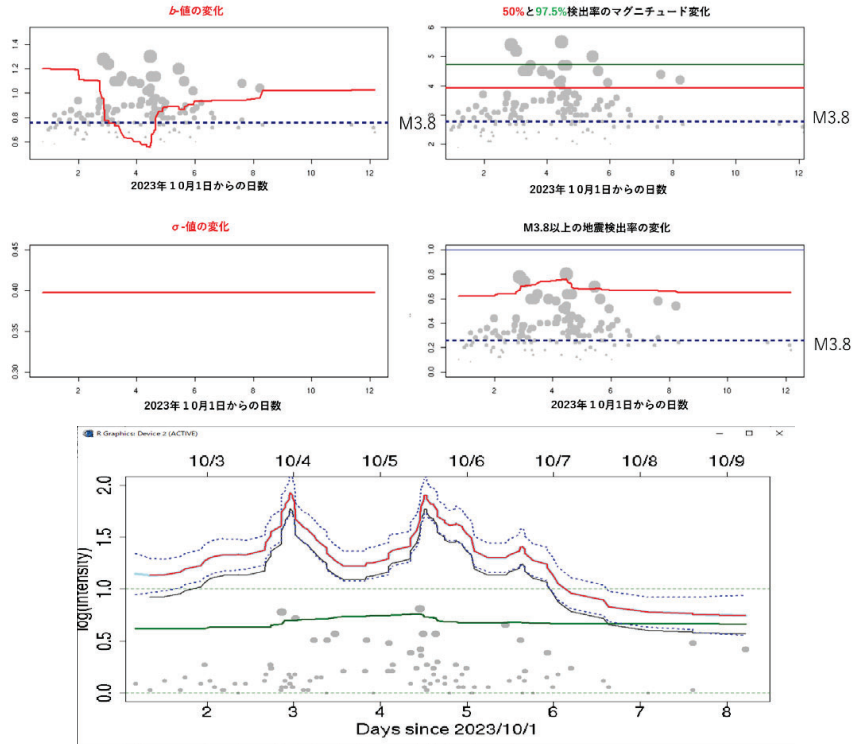


●— [F5: 最終解] ●— [R5: 速報解]

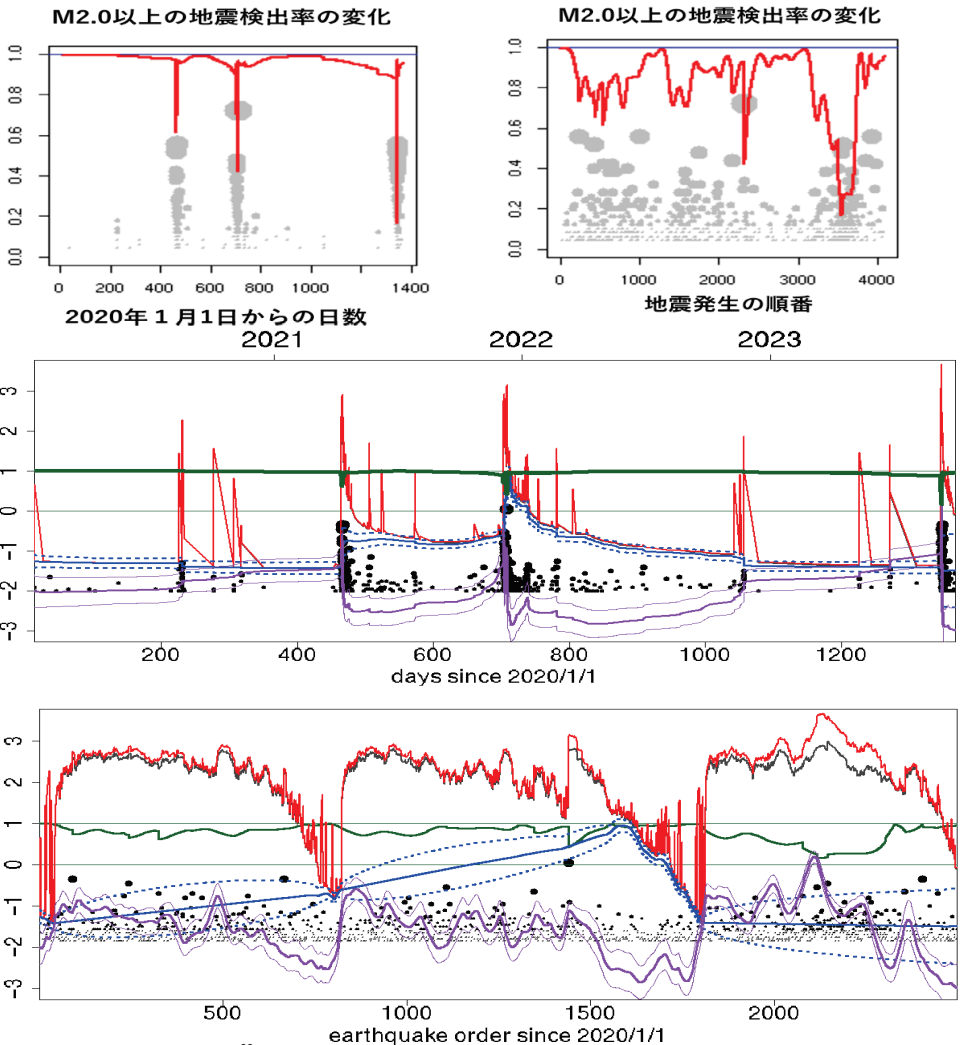
要旨: 前回の予知連以後に発生した, 上記の島しょ地域の活動解析結果を報告する。検出率が低い部分の変化を考慮した非定常ETASモデルの赤池ベイズ情報量規準(ABIC)によると、これらは群発型である有意性高い。流体間隙水圧やスロースリップなどの関与の時間変化を可視化することができる。



鳥島近海



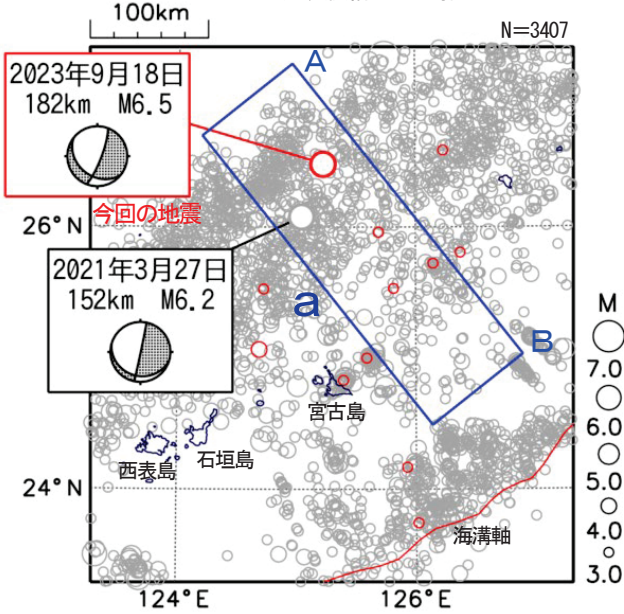
トカラ列島子宝島付近



9月18日 宮古島北西沖の地震

震央分布図

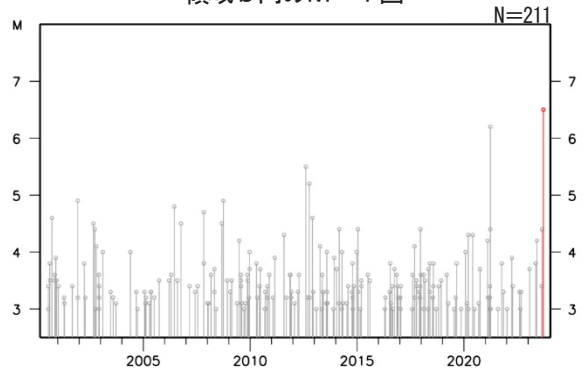
(2000年7月1日~2023年9月30日、
深さ50km~250km、 $M \geq 3.0$)
2023年9月の地震を赤色で表示
図中の発震機構はCMT解



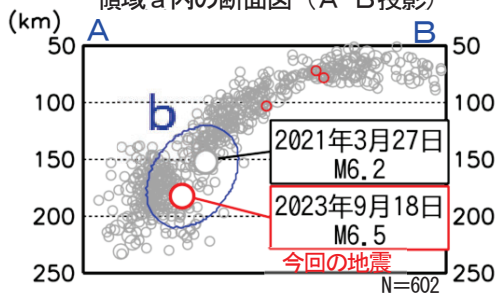
2023年9月18日22時21分に宮古島北西沖の深さ182kmでM6.5の地震 (最大震度3) が発生した。この地震はフィリピン海プレート内部で発生した。この地震の発震機構 (CMT解) は、フィリピン海プレートが沈み込む方向に圧力軸を持つ型である。

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。

領域b内のM-T図



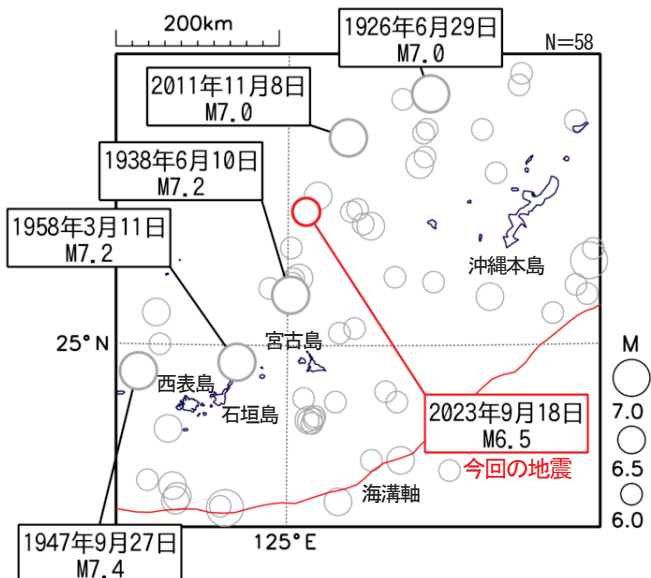
領域a内の断面図 (A-B投影)



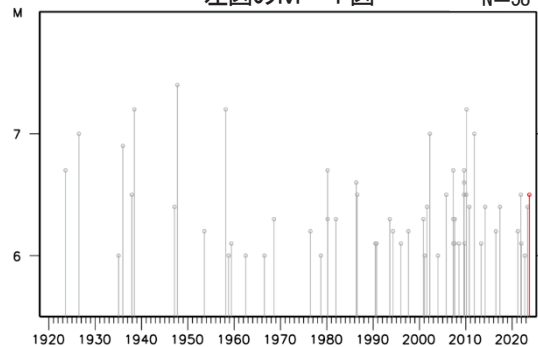
1919年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺では、過去にM6.0以上の地震が時々発生しており、1938年6月10日にM7.2の地震 (最大震度4) が発生し、宮古島平良港で1.5m程度の津波が目撃されており、棧橋の流出などの被害があった。また、1958年3月11日にM7.2の地震 (最大震度5) が発生し、先島諸島で死者2人、負傷者4人のほか家屋損壊などの被害が生じた (被害は、「日本被害地震総覧」による)。

震央分布図

(1919年1月1日~2023年9月30日、
深さ0km~250km、 $M \geq 6.0$)
2023年9月の地震を赤色で表示



左図のM-T図



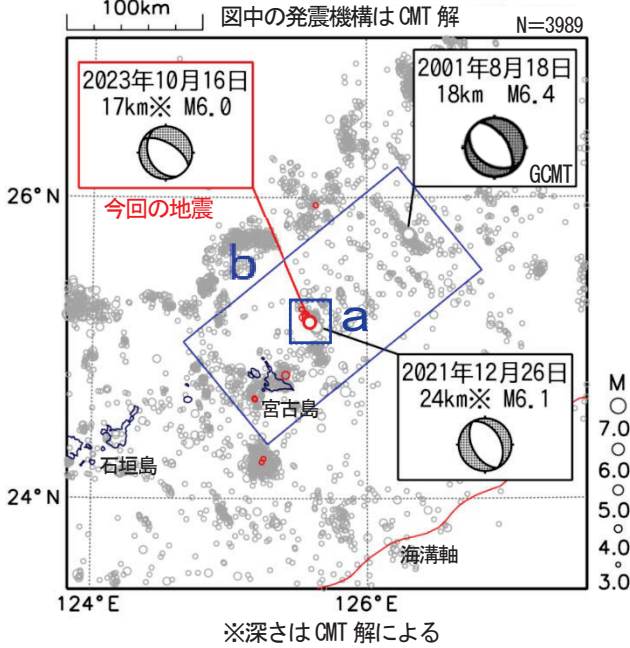
(この期間は検知能力が低い)

10月16日 宮古島近海の地震

震央分布図

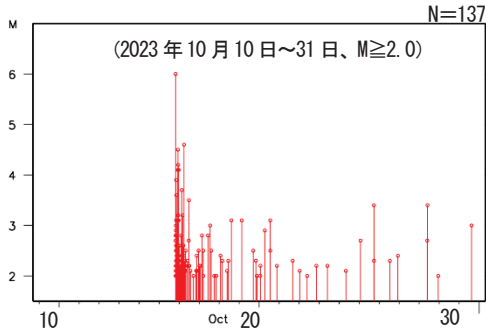
(2000年7月1日～2023年10月31日、
深さ0km～60km、 $M \geq 3.0$)

2023年10月の地震を赤色で表示



※深さはCMT解による

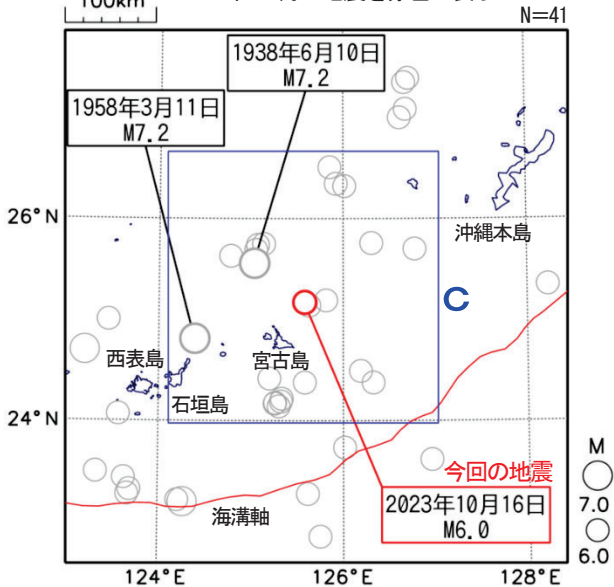
領域a内のM-T図



震央分布図

(1919年1月1日～2023年10月31日、
深さ0km～100km、 $M \geq 6.0$)

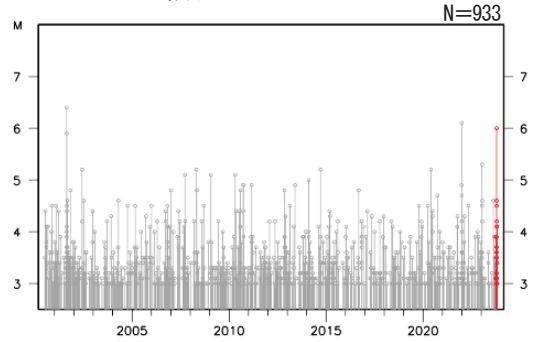
2023年10月の地震を赤色で表示



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。

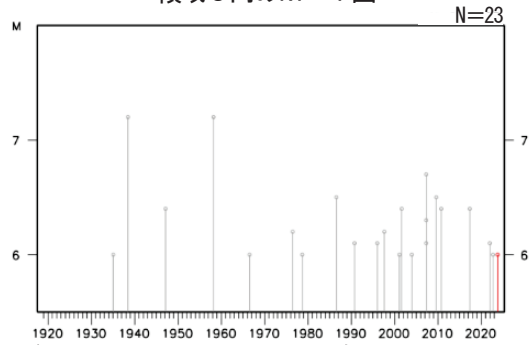
2000年7月以降の活動をみると、M5.0以上の地震が時々発生している。今回の地震の震央周辺 (領域b) では、2001年8月18日にM6.4の地震 (最大震度3) が発生している。また、2021年12月26日にM6.1の地震 (最大震度4) が発生している。

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

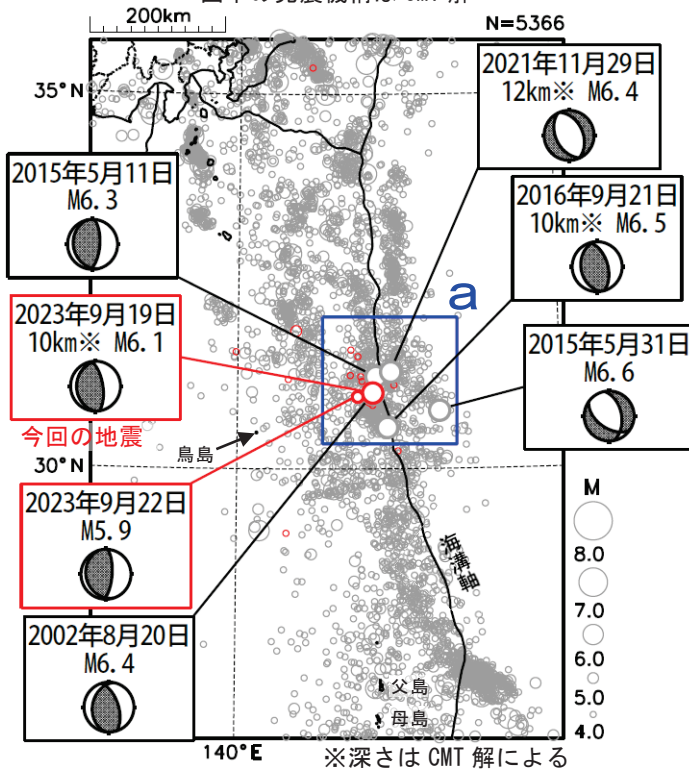


(この期間は検知能力が低い)

9月19日 鳥島近海の地震

震央分布図

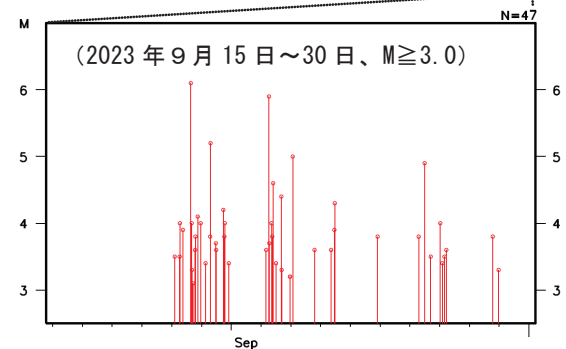
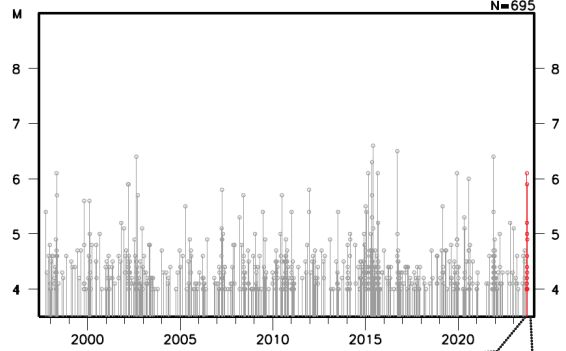
(197年10月1日~2023年9月30日、
深さ0~150km、 $M \geq 4.0$)
2023年9月の地震を赤く表示
図中の発震機構はCMT解



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。

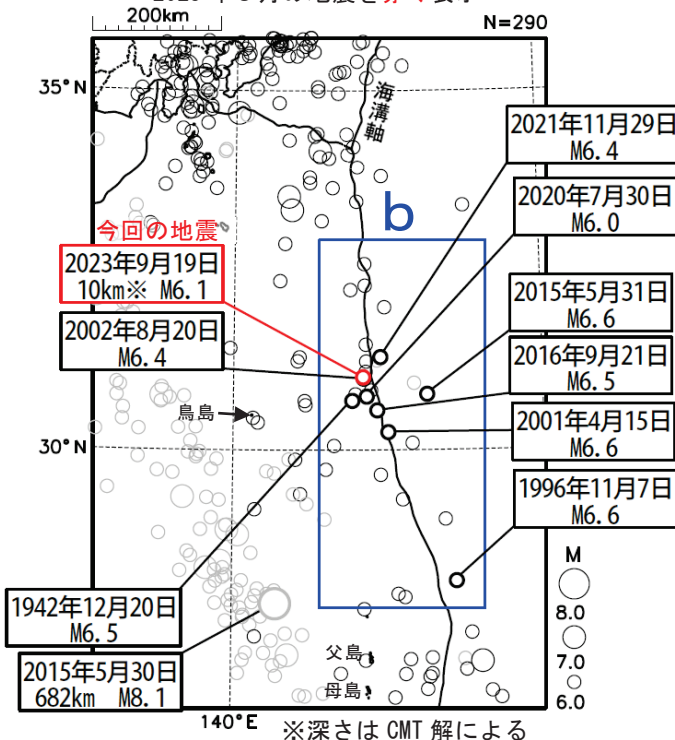
197年10月以降の活動をみると、今回の地震の震央付近(領域a)では、M6.0以上の地震が時々発生している。

領域a内のM-T図



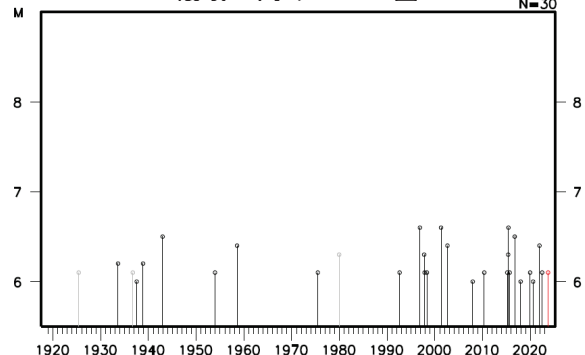
震央分布図

(1919年1月1日~2023年9月30日、
深さ0~700km、 $M \geq 6.0$)
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



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



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。

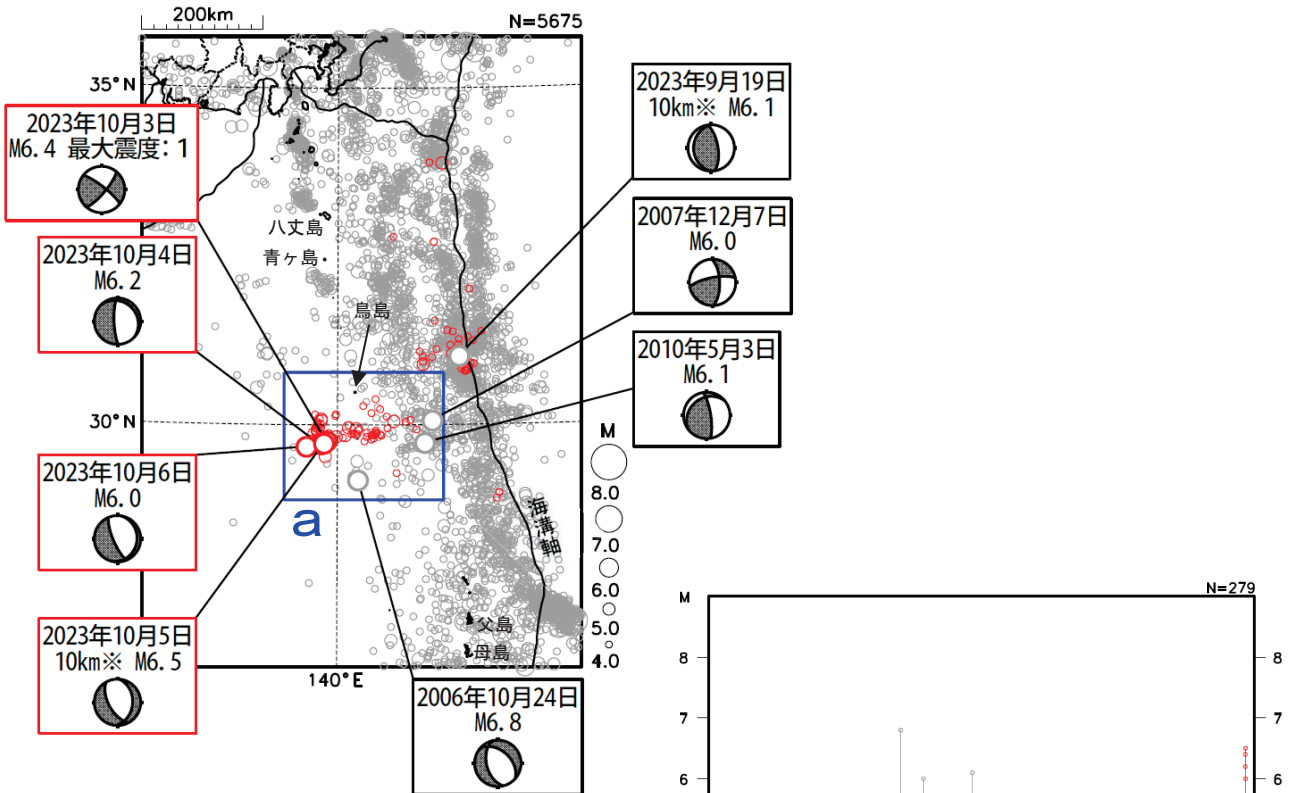
(注1) 地震波が海底面で音波に変換され海中を伝わったもの。

(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

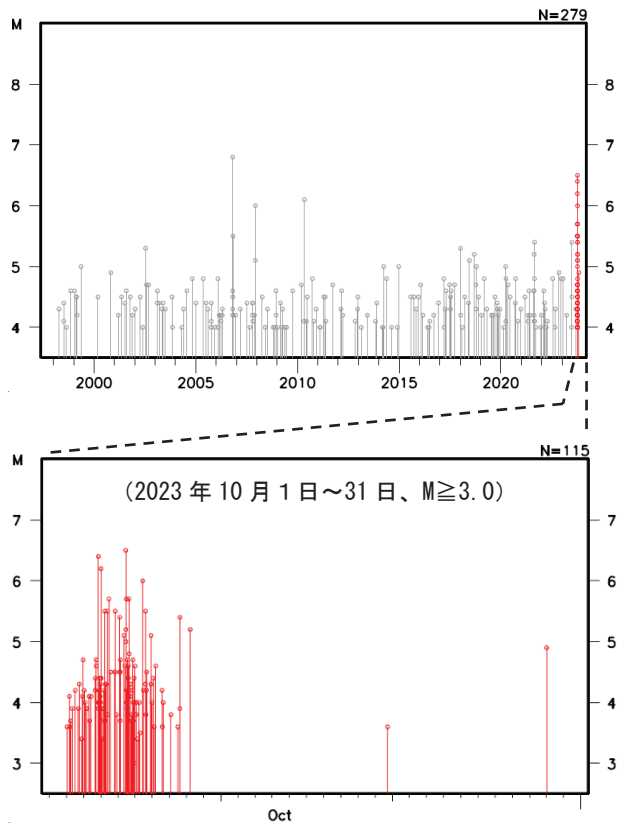


図 2-2 図 2-1 の領域 a 内の M-T 図

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。

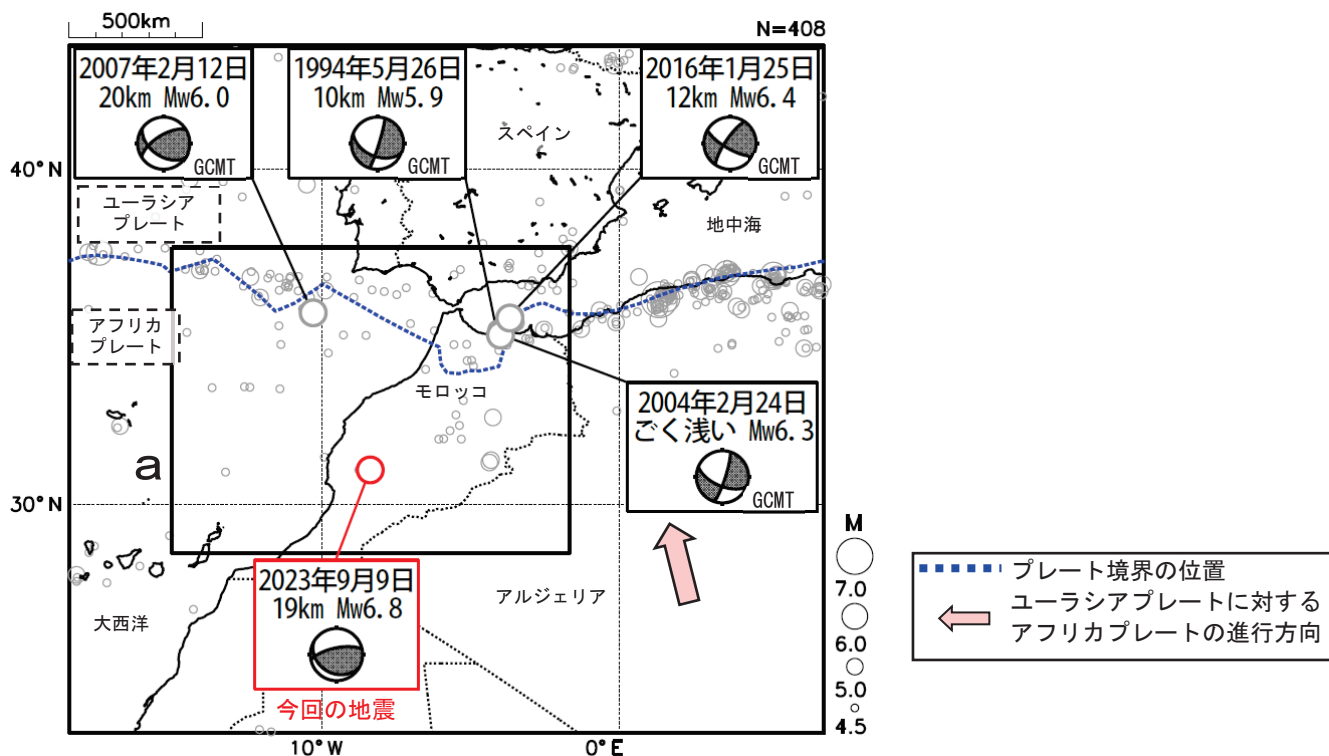


図1-1 震央分布図 (1980年1月1日～2023年9月30日、深さ0～50km、M≥4.5)
2023年9月の地震を赤く表示。

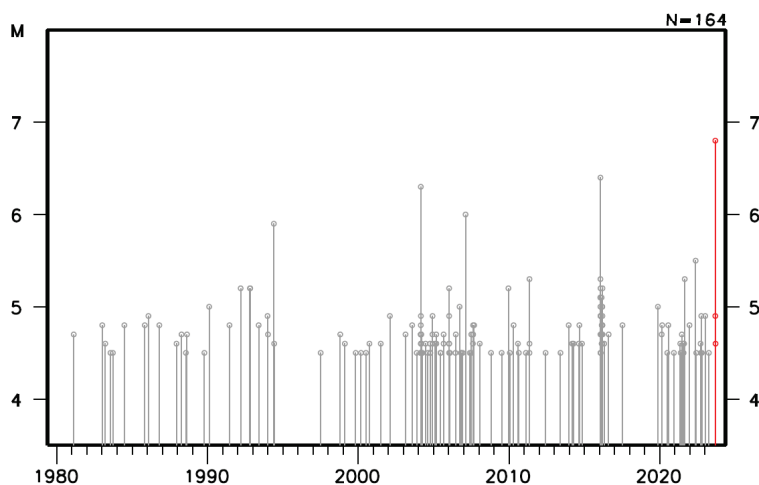


図1-2 図1-1の領域a内のM-T図

(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.

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。

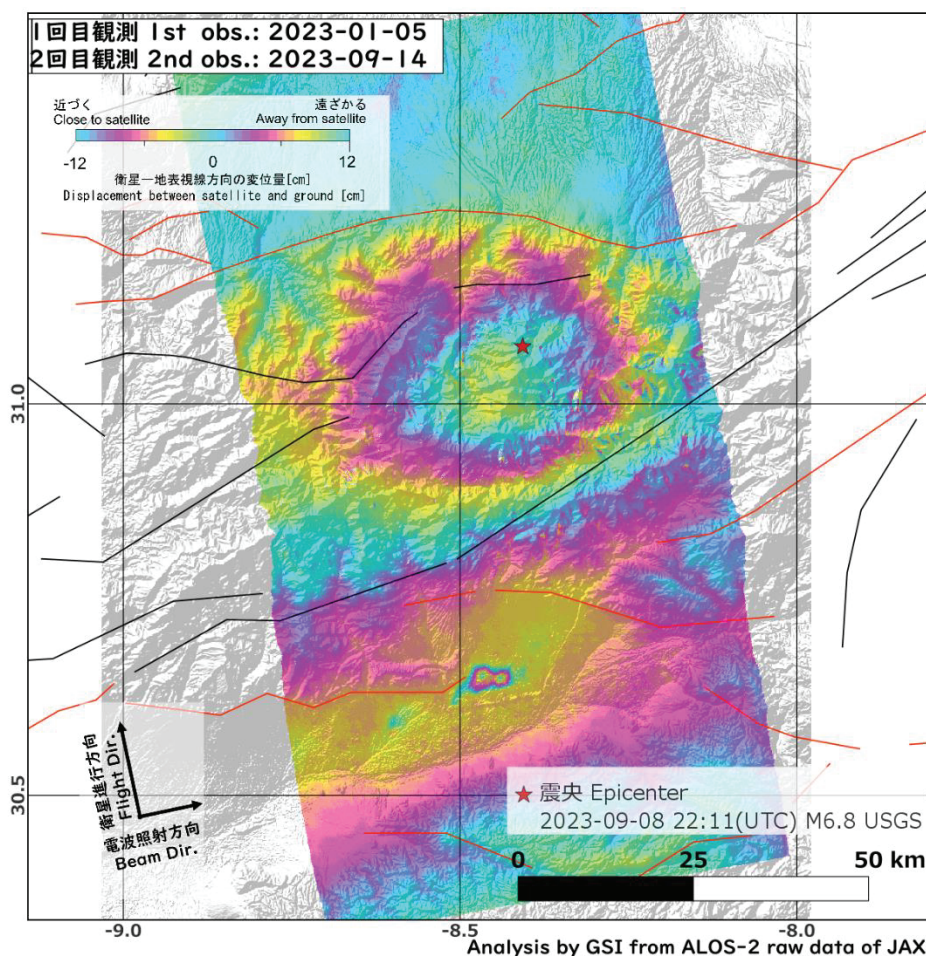


図1. SAR干渉解析結果。震央はUSGSによる。断層線はSébrier et al. (2006)より。

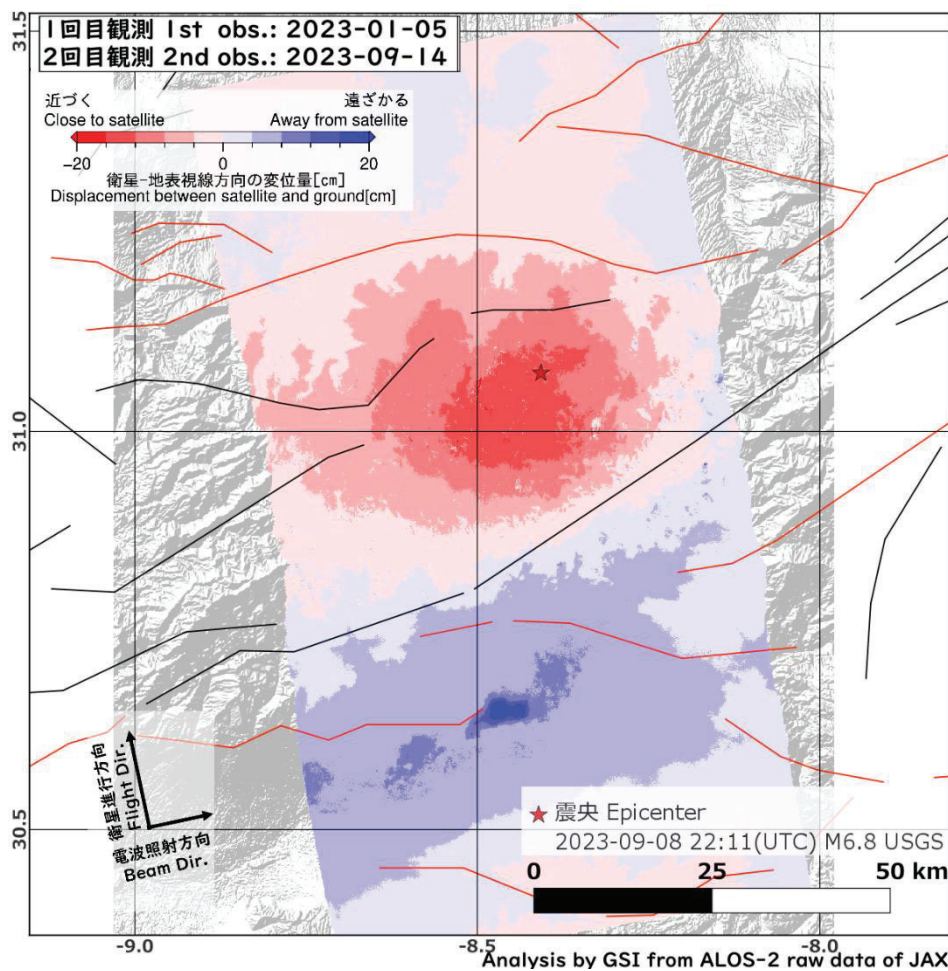


図2. SAR干渉解析結果(アンラップ済み)。震央はUSGSによる。断層線はSébrrier et al. (2006)より。

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

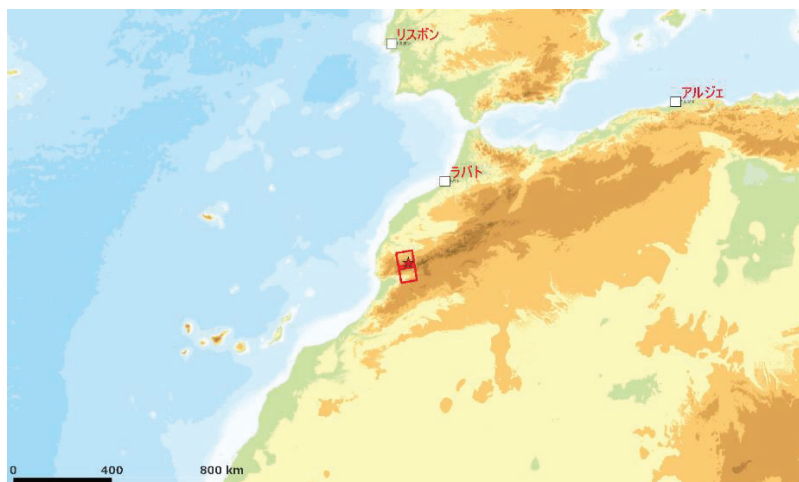


図3. 解析範囲

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。

国土地理院

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。

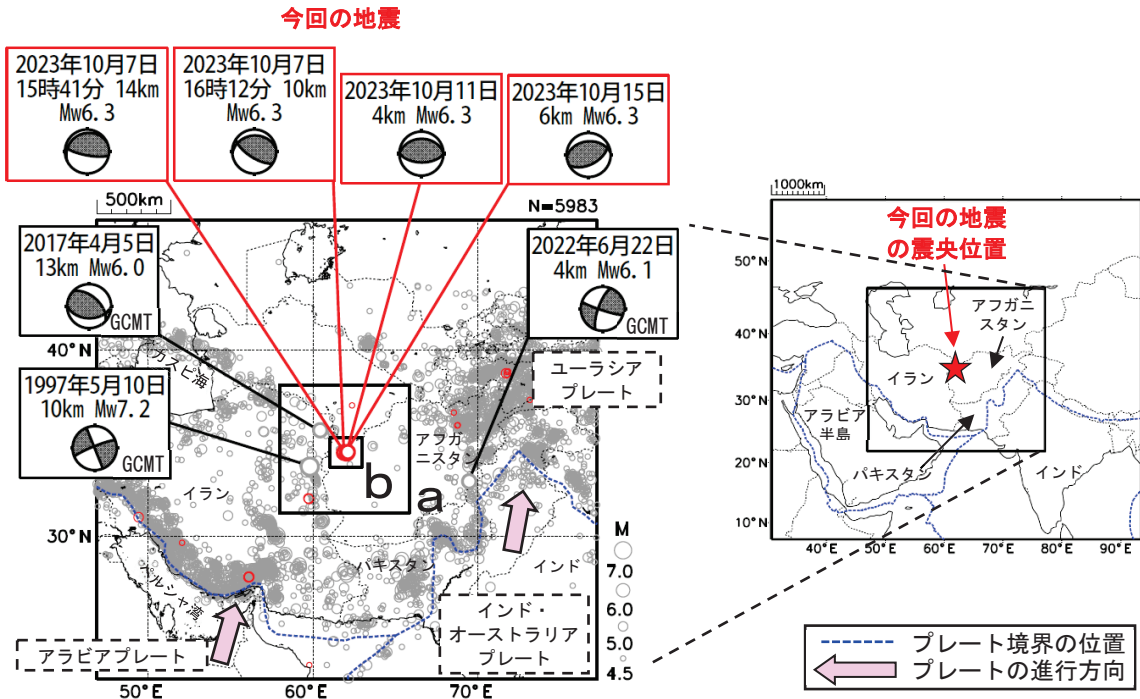


図1-1 震央分布図(1980年1月1日~2023年10月31日、深さ0~100km、M \geq 4.5)
2023年10月の地震を赤色で表示

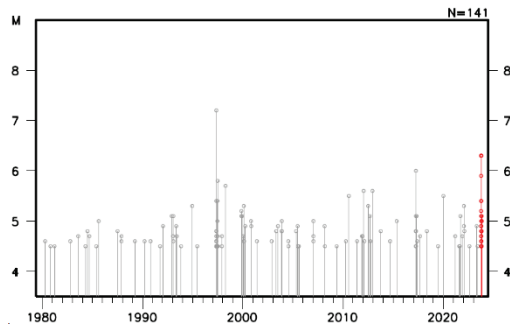


図1-2 図1-1の領域a内のM-T図

(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.

地殻活動モニタリングに 関する検討

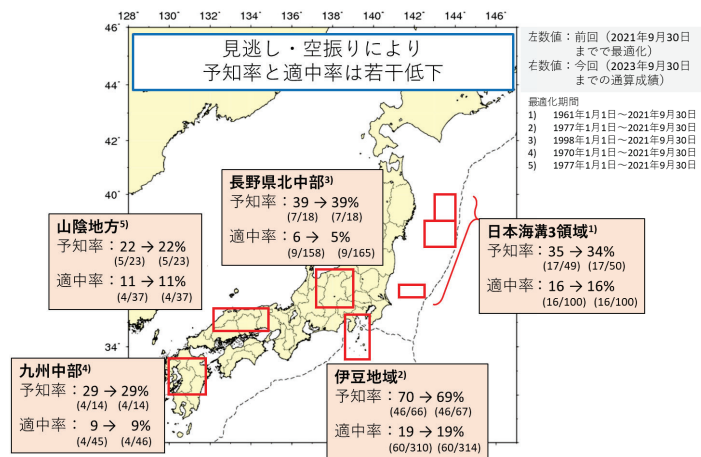
地殻活動の予測に関する報告

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

弘瀬冬樹・前田憲二（気象研究所）

ポイント

- 前震活動に基づく予測モデル（以下、本予測モデル）を用い、前回までの報告以降の約2年間（2021年10月1日～2023年9月30日）における予測結果を報告
- 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
- 見逃し・空振りにより、山陰地方を除く領域において予知率 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 ΔAIC は若干上昇



第1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.

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, 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.

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 \geq 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 \geq 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

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

第 241 回地震予知連絡会 重点検討課題 趣旨説明

「予測実験の試行（09）－地震活動の中期予測の検証」について

Trials of experimental forecasts of crustal deformation and seismicity #9:
Validation of intermediate-term seismicity forecasts

コンビーナ 東北大学災害科学国際研究所 遠田晋次
共同コンビーナ 海洋研究開発機構 堀 高峰
予測実験 WG

1. 背景

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。そのなかでも、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）

2. 課題

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。ここでは、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取りあげる。具体的には、6 年前の重点検討課題（2017 年、第 217 回予知連）等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) の時空間変化などを振り返る。加えて、中規模繰り返し地震、長期継続する群発地震活動など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う。

3. 報 告

- 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)
- 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)
- 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)
- 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)
- 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)

4. 論 点

M5-6 程度までの予測や、地震活動の全体傾向は、「地殻活動の予測に関する報告」で 1 年ごとに検証を行うことができる。しかし、本来の地震予知・予測のターゲットは被害をもたらす大地震であろう。これらは、きわめて低頻度で、数カ月～数年といった予測期間では実際のところ検証不能である (図 1)。予測 M を大きくすれば、そのような短期では全地球規模でしか検証できず、現実的な地域毎の予測とは言い難い。そのため、今回報告するような中規模～大規模地震につながる中期予測について、数年に一度総括し評価を行うことも必要である。特に、大地震に先行する静穏化や b 値変化、中規模地震の繰り返し、2～3 年以上続くような群発地震などについては、ここでの評価検証・議論を踏まえて今後の地殻活動の長期的モニタリングにいかす視点が重要である。

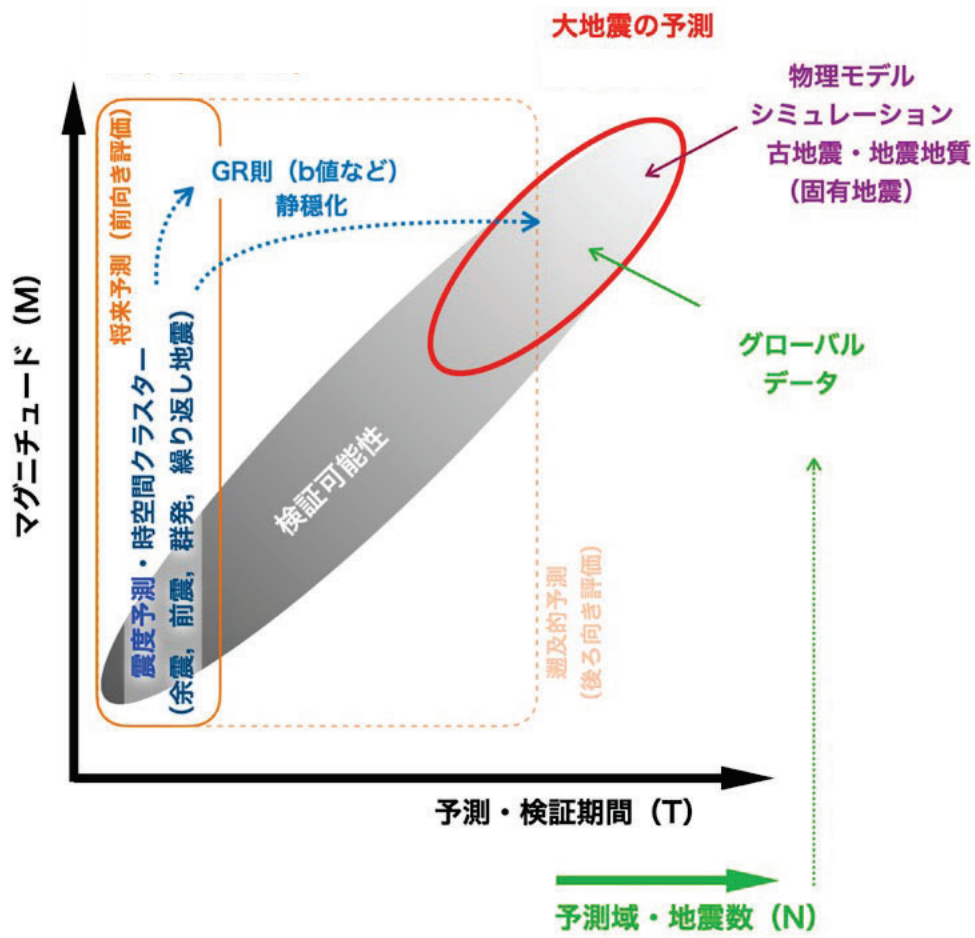


図 1. 地震活動予測と検証可能性に関する概念図

話題提供者〔敬称略〕

1. 北海道東方沖の相対的地震活動度の静音化のその後

地震予知総合研究振興会 松浦 律子

2. 地震活動静穏化仮説に基づく予測実験

北海道大学 勝俣 啓

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 楠城 一嘉

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

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

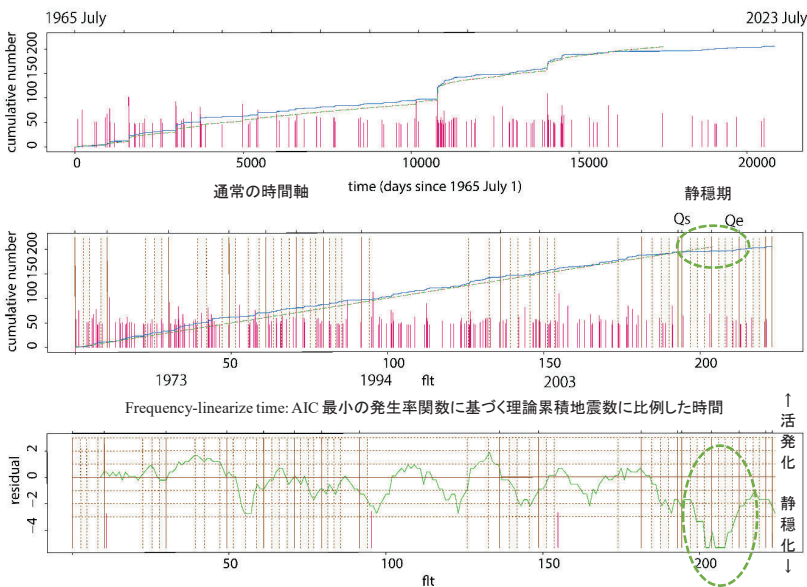
統計数理研究所 熊澤 貴雄

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

松浦 律子((公財)地震予知総合研究振興会)

ポイント

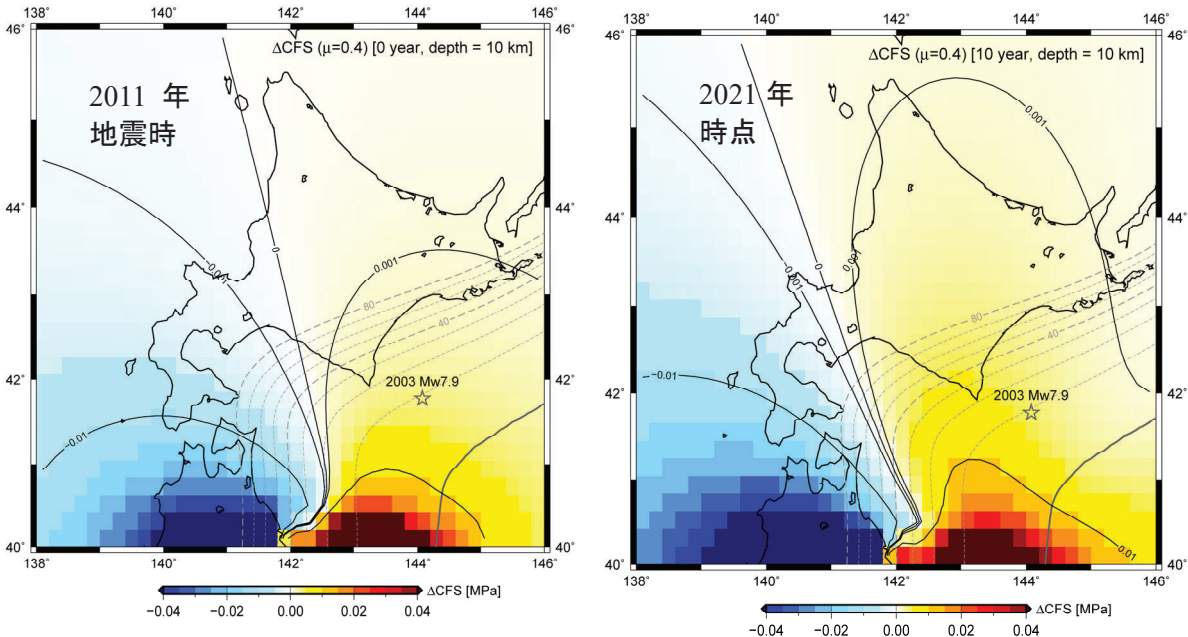
- 4-500 年の再来間隔で超巨大地震が繰り返し発生してきたとされる北海道東部で前回 2009 年から出現していた静穏化が 2016 年前に回復していると報告したが、今回は 5 年後の検討を実施した。
- 現在まだ完全に地震活動度が復活した状態ではなく、M6 程度の地震が散発的には発生している。千島海溝東部よりは活動は低調であるが、「静穏」ではない。
- 2011 年東北地方太平洋沖地震は、弾性的にも、粘弾性的にも、この領域のプレート境界地震に対しては、地震発生を促進する影響を与えるので、「静穏化の終了」と検出されたものは、2011 年地震による余効変動効果が、静穏化過程を僅かに上回ったこと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。



←M5.7 以上の累積地震数(二種類の時間軸)と最適 ETAS モデルに対する地震数の過不足を正規分布変換したグラフ

↓2011 年地震の地震時(左)および 10 年後(右)の弾性および粘弾性効果による北海道東部の ΔCFS . レシーバー断面は 2003 年十勝沖地震と同じとして、深さ 10km、見かけ摩擦係数 0.4 の場合. 深さ 30km でも促進傾向(暖色)は変わらない。(橋間・石辺の計算による)

Fig. 1. The revised version of Fig. 5 in Matsu'ura(2019) with the latest data.



地震活動静穏化仮説に基づく予測実験

勝俣 啓（北海道大学）

ポイント

- ・ 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
- ・ 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てみた
- ・ 「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
- ・ 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

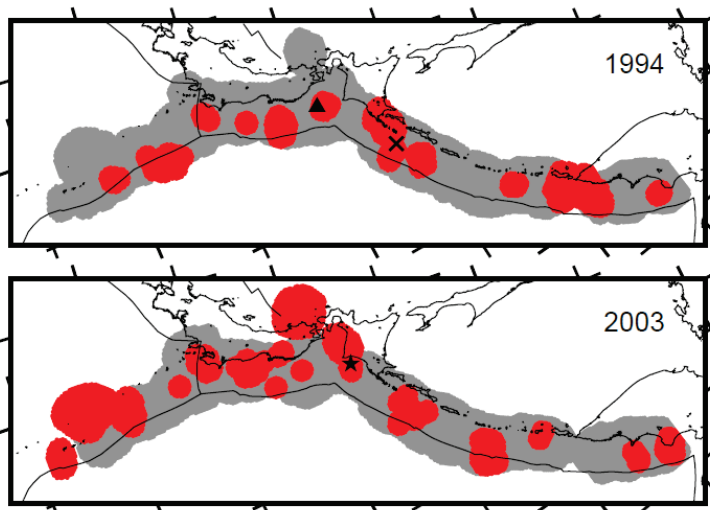


図 1 予測マップの例

赤領域：警報オン領域

灰領域：警報オフ領域

×：1994 年北海道東方沖地震

▲：1994 年三陸はるか沖地震

★：2003 年十勝沖地震

上記 3 地震は警報オン領域内で発生した

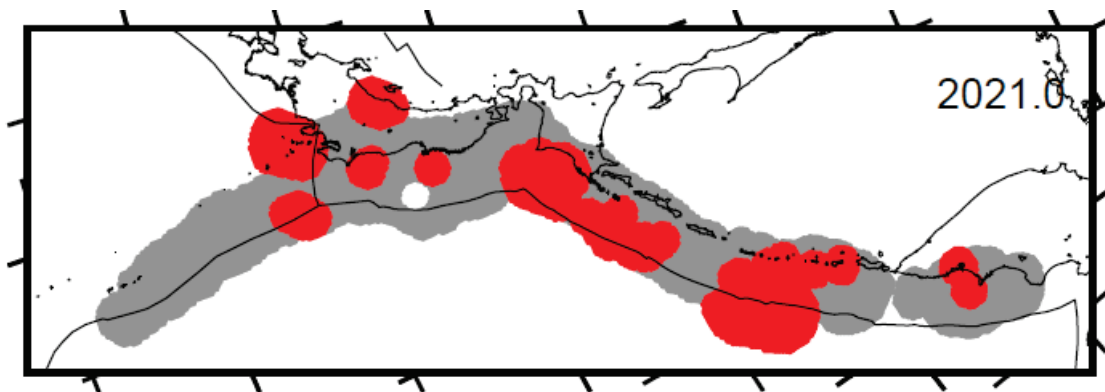


図 2 最新の予測マップ（2021 年 1 月 1 日時点）

北海道・東北沖の地震のサイズ分布(b 値)の時空間変化

楠城一嘉 (静岡県立大学)

ポイント

- 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(図 1)の時空間変化を報告する。
- 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(図 2)。 b 値は差応力と負の相関があるので、東北沖地震によって解放された応力は既に地震前の状態に戻りつつあるとは考えられない。
- 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(図 2)。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。

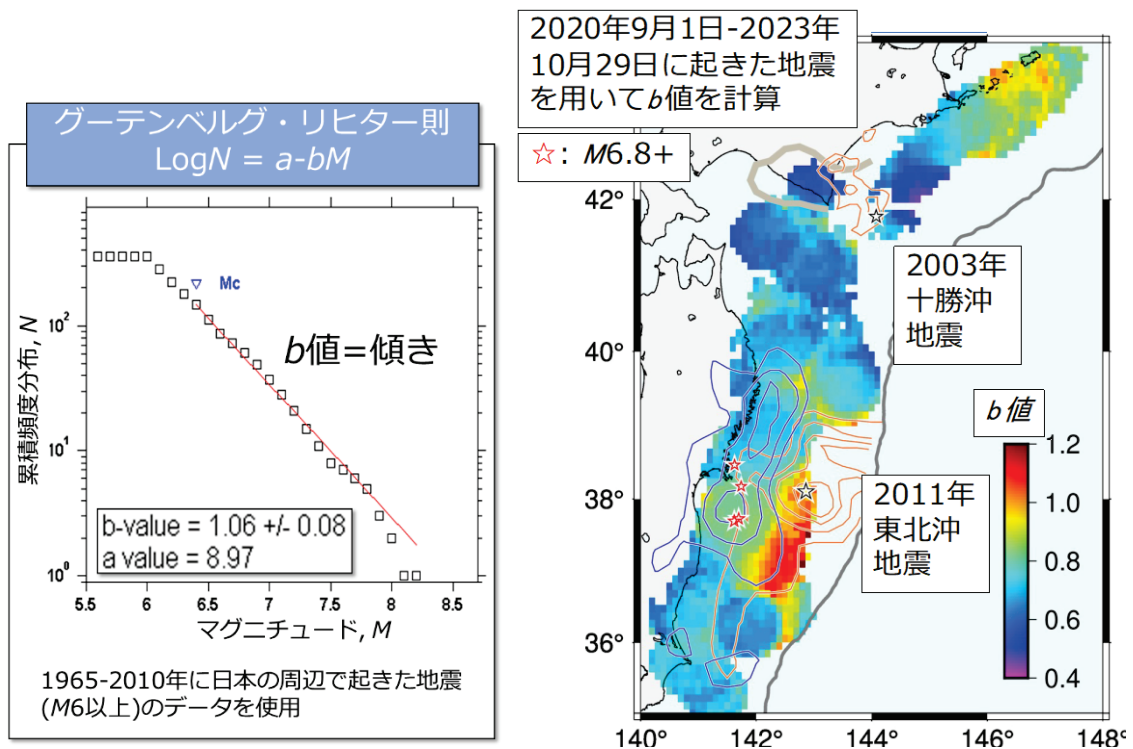


図 1. 地震の規模別頻度分布はグーテンベルグ・リヒター則に従う。 b 値は大きい地震と小さい地震の頻度の関係の特徴づける指標と見なせる。

図 2. 過去 3 年間の地震活動を用いて計算された b 値の空間分布を示す。2011 年東北沖地震の震源域周辺では b 値は高く、2003 年十勝沖地震の震源域の東側では b 値は低い。

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)

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. 载荷レート等、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

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

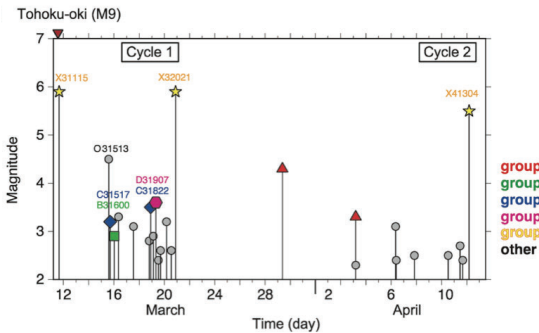


図 2. 2011 年東北沖地震直後の釜石沖地震クラスターでの地震活動. 極端に発生が短くなった東北沖地震直後の 2 つの地震サイクルにおいても、サイクルの初めは地震活動が低い. [奥田・他 2018]

2. 载荷レート等、地震の規模を決める要因の解明

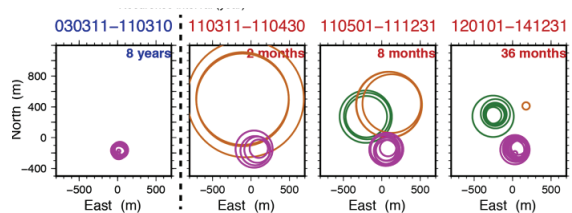


図 3. 三陸沖の東北沖地震の余効すべりが大きかった領域での地震活動の推移. 断層面を上から見た図で、丸のサイズは断層の大きさを示す. 縦の破線で示す東北沖地震後、ピンクの繰り返し地震のサイズが大きくなったほか、その北部で大きな繰り返し地震が起きるようになり、その後全体的にサイズが小さくなっていった. [Hatakeyama+ 2017]

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

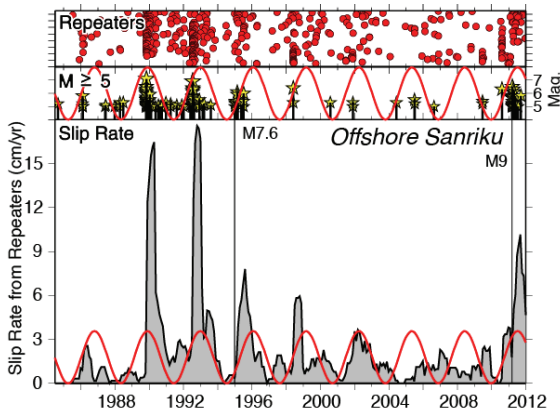


図 1. 三陸沖の海溝近傍の領域における繰り返し地震活動 (上段), M5 以上の地震の活動 (中段) および繰り返し地震から推定したすべりレート (下段). すべりレートが高い時期に M5 以上の地震が集中して起きている. [Uchida+ 2016]

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

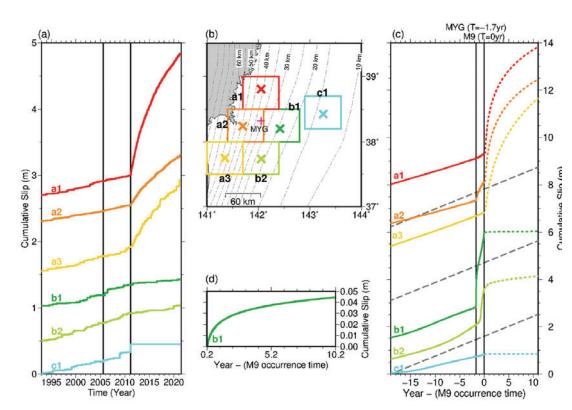
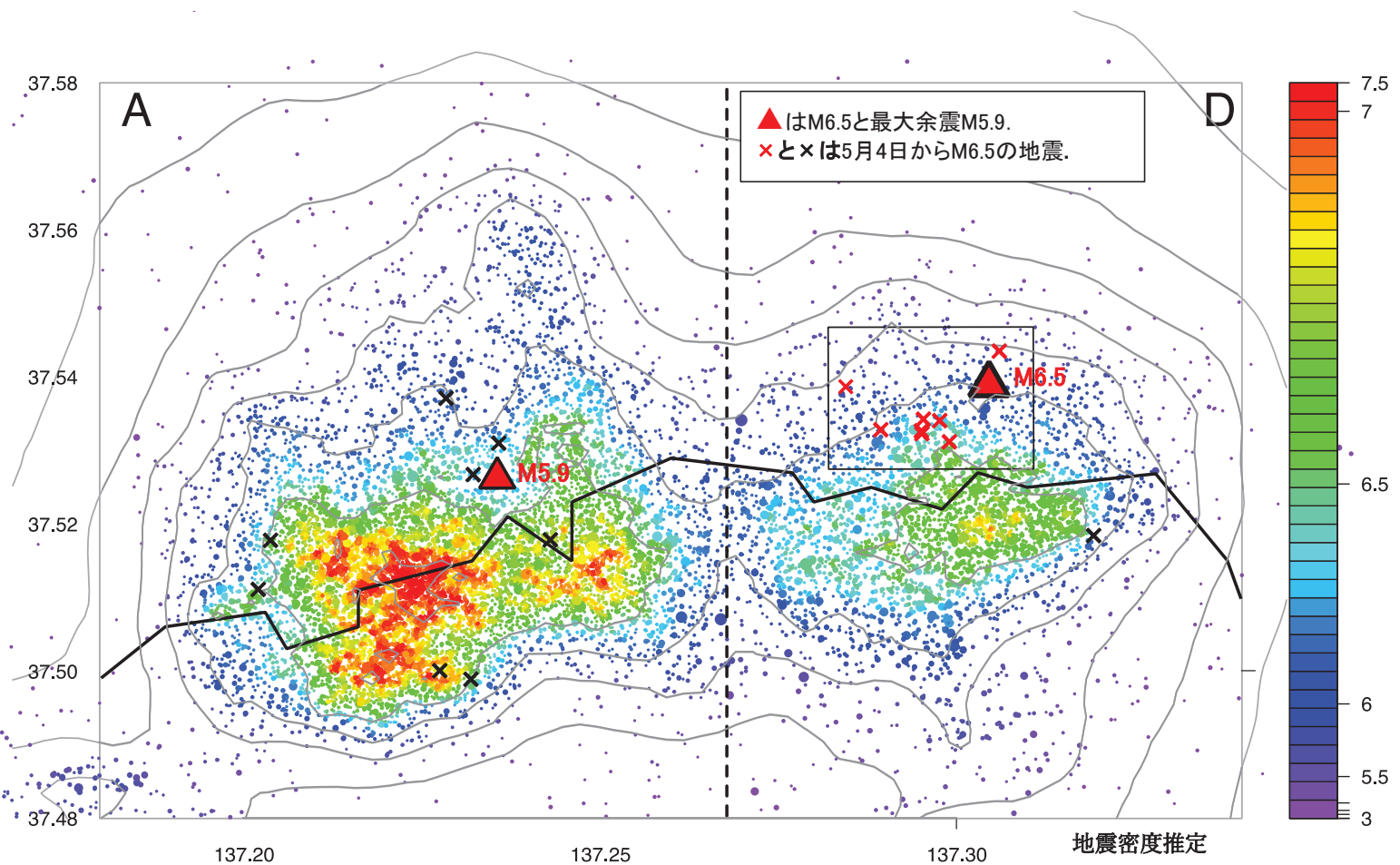


図 4. 宮城県沖における繰り返し地震から推定したプレート境界上の断層クリープの時空間変化 (左) と地震サイクルシミュレーションによる計算値 (右). [Nakata+ 2023]

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

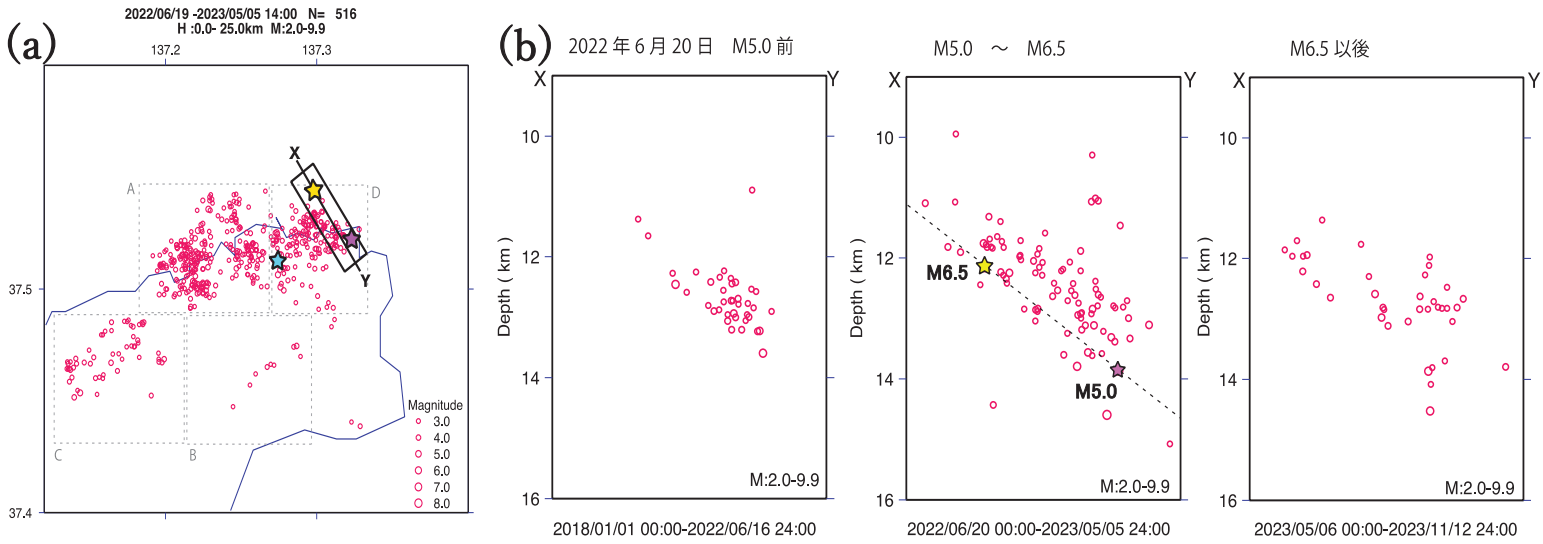
熊澤貴雄、尾形良彦(統計数理研究所)

- 2023年1月頃以後の北西部領域(A)の**静穏化**や南部領域(B)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。(第1図)
- 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。(第2図)
- 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**ストレスシャドウ**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のと考えられる。(第3図)

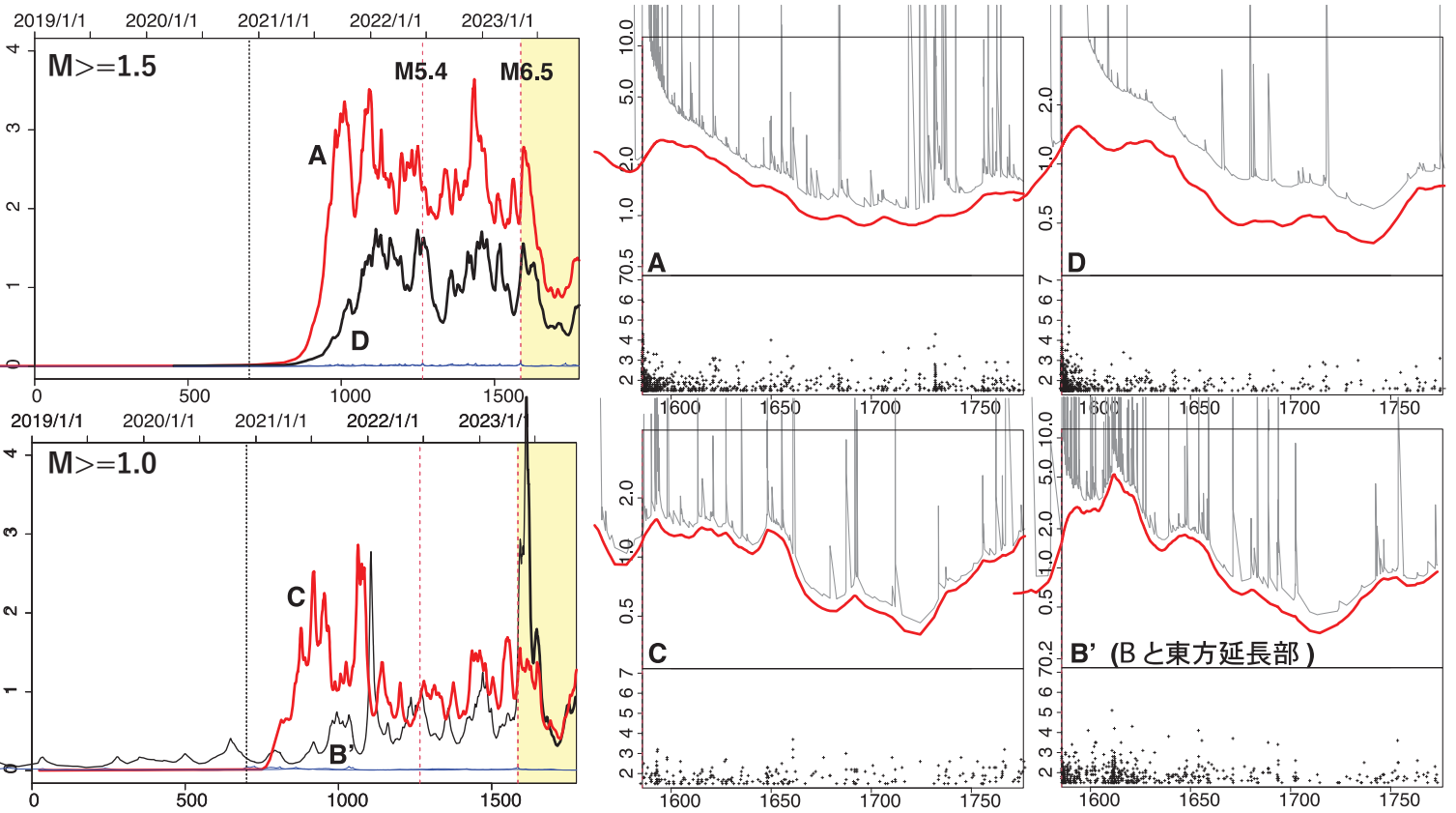


第1図: 領域AとDの地震発生強度 ($M \geq 1.0$) の空間分布.

▲はM6.5と最大余震M5.9. ×印は5月4日からM6.5の地震. ×は前震(?).



第2図: 2022年6月20日のM5.0 (M5.4の最大余震) から2023年5月5日M6.5にかけての震源分布。右図は左図矩形領域をX-Y軸に投影した深さ分布。



第3図: 2019年から2023年11月12日まで地域毎の非定常ETAS推定。

地域 A, D は $M \geq 1.5$. B' (Bと東方延長部), C は $M \geq 1.0$. 左側はリニアスケールでのプロット。右図はM6.5以降(黄色区間)を地域別に対数スケールで拡大プロットしたもの。

第 242 回地震予知連絡会 重点検討課題 趣旨説明

「火山と地震」について

コンビーナ 名古屋大学環境学研究科 山岡耕春

1. 背景

火山噴火に伴い地震が発生する。2000 年の三宅島-神津島の地震活動では、マグマが大規模に貫入し、最大 M6.5 の地震が発生させた。1914 年の大正桜島噴火では、火山としては最大規模の地震である M7.1 の地震が発生した。一方、大地震が噴火の引き金を引いた可能性についてもしばしば議論される。1990 年にフィリピンで M7.8 の地震が発生した 11 ヶ月後に 100km 離れたピナツボ山が噴火した。日本でも 1707 年宝永地震 (M8.6) の 2 ヶ月後に富士山の宝永噴火が起きた。さらに、火山では通常地震とは異なる様々な地震や微動が発生し、そのような地震・微動と火山活動との関連も議論となることが多い。

2. 課題

上記のように、火山と地震との関連は、1) 火山活動が比較的規模の大きな地震を引き起こすケース、2) 大規模な地震が火山噴火の引き金を引くケース、3) 火山直下で火山活動を反映した地震や微動が発生するケースがある。それぞれ多様な火山噴火の中で整理して理解しておく必要がある。そのため、重点検討課題において、これら 3 つのケースについて報告を受け、議論したい。

3. 報告 (予定)

- ① 地震が引き金を引く火山噴火について
- ② 火山の地殻変動と地震活動
- ③ マグマ活動による応力・ひずみ変化と地震発生シミュレーション
- ④ 火山特有の地震・微動とそのメカニズム

4. 論点 (予定)

大地震が火山噴火の引き金を引く条件は何か？

火山周辺で発生する地震活動は、どのような火山活動と関連しているのか。

火山直下で発生する地震・微動の特徴やその原因にはどのようなものがあるのか。