

令和4年11月25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237回定例会（2022年11月）－

地震予知連絡会は11月25日、第237回定例会を開催し、令和4年8月から令和4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「内陸地震の長期予測」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/237/237.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63回であった。このうち、震度5弱以上を観測した地震は4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

2022年8月から10月までの間に掲載基準を満たす超低周波地震活動は検出されなかったが、観測波形からは9月中旬～下旬に日向灘で超低周波地震活動が発生したものとみられる（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）※期間外

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、四国中部から西部において9月3日から8日、紀伊半島北部において9月30日から10月5日に発生した。これ以外の主な深部低周波微動活動は、東海地方（10月14日から26日）、四国東部（8月15日から20日及び10月16日から23日）、四国中部（8月24日から30日）、豊後水道（8月11日から14日）において観測された（防災科学技術研究所・資料6-8頁）。

○紀伊半島西部・四国東部の非定常的な地殻変動

GNSS連続観測によって、紀伊半島西部・四国東部で2019年春頃から捉えられている一連の非定常的な地殻変動は、2022年春頃からすべりが鈍化し、すでに停止していると考えられる（国土地理院・資料9頁）。

○四国中部の非定常的な地殻変動

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30cmのすべりが推定された（国土地理院・資料10頁）。

○九州地域の非定常的な地殻変動

GNSS連続観測によって、九州南部で2020年夏頃から捉えられている非定常的な地殻変動は、すでに停止していると考えられる（国土地理院・資料11頁）。

○大隅半島東方沖の地震（10月2日 M5.9）

2022年10月2日00時02分に大隅半島東方沖の深さ29kmでM5.9の地震（最大震度5弱）が発生した。この地震により長周期地震動階級2を観測した。この地震は、発震機構（CMT解）が西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、フィリピン海プレートと陸のプレートの境界で発生した（気象庁・資料12頁）。

3. その他

(1) 福島県沖の地震（10月21日 M5.0）

2022年10月21日15時19分に福島県沖の深さ29kmでM5.0の地震（最大震度5弱）が発生した。この地震は、発震機構（CMT解）が西北西－東南東方向に張力軸を持つ正断層型で、陸のプレート内で発生した（気象庁・資料13頁）。

(2) 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り、2021年7月頃からさらに活発になっている。最近もその傾向は継続している。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14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15-19頁）。これらの群発地震活動の2019年から最近までの変化を領域別に非定常ETASモデルで推定した背景活動度や地震誘発連鎖効果の累積変化とGNSSデータの変化との対応について報告する。（統計数理研究所・資料20頁）。

(3) 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30日から地震活動が活発になり、10月31日までに震度1以上を観測する地震が77回発生した。この地震活動は、沖縄トラフの活動で陸のプレート内で発生している。

このうち、久米島の北西約50kmの領域では、3月17日及び6月3日にはM5.9の地震（いずれも最大震度2）が発生した。これらの地震の発震機構（CMT解）は、北北西－南南東方向に張力軸を持つ正断層型である。この領域では1月30日から10月31日までに震度1以上を観測する地震が69回発生した。なお、10月に入り活動は低調になった。

また、久米島の西約80kmの領域では、9月18日17時09分にM6.0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、北西－南東方向に張力軸を持つ横ずれ断層型である。この領域では9月12日から地震活動が活発になったが、9月下旬ごろから活動は落ち着いている。9月12日から9月30日までに震度1以上を観測する地震が8回発生した。なお、10月に震度1以上を観測する地震は発生していない（気象庁・資料21頁）。

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1cmを超える地殻変動が観測されている（国土地理院・資料22頁）。

(4) 台湾付近の地震（9月18日 M7.3）

2022年9月18日15時44分に台湾付近の深さ3kmでM7.3の地震（日本国内で観測された最大の揺れは震度1）が発生した。この地震の発震機構（CMT解）は、北北西－南南東方向に圧力軸を持つ型である。気象庁はこの地震に対し、同日15時49分に宮古島・八重山地方に津波注意報を発表した（同日17時15分に解除）。なお、この地震による津波は観測されなかった（気象庁・資料23-24頁）。

4. 地殻活動の予測

(1) 能登半島の地殻活動の現状と今後について

能登半島の地殻活動における現状を整理し、今後の活動を予測するための鍵について議論を行なった（京都大学防災研究所・資料26-27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237回定例会 重点検討課題>

課題名 「内陸地震の長期予測」について（資料29頁）

コンビナー 西村 卓也 委員（京都大学防災研究所）

報告課題、報告者（敬称略）

1. 活断層の長期評価における課題（資料31頁）

石山 達也（東京大学地震研究所）

2. 測地データを用いた内陸地震の長期予測（資料32頁）

西村 卓也（京都大学防災研究所）

3. 背景地震活動度を用いた内陸地震の長期予測と検証評価（資料33頁）

尾形 良彦（統計数理研究所）

4. 地震発生履歴・応力変動を考慮した内陸地震発生予測（資料34頁）

遠田 晋次（東北大学災害科学国際研究所）

<次回重点検討課題>

課題名 「人工知能による地震研究の深化」について（資料35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（東京大学地震研究所）

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

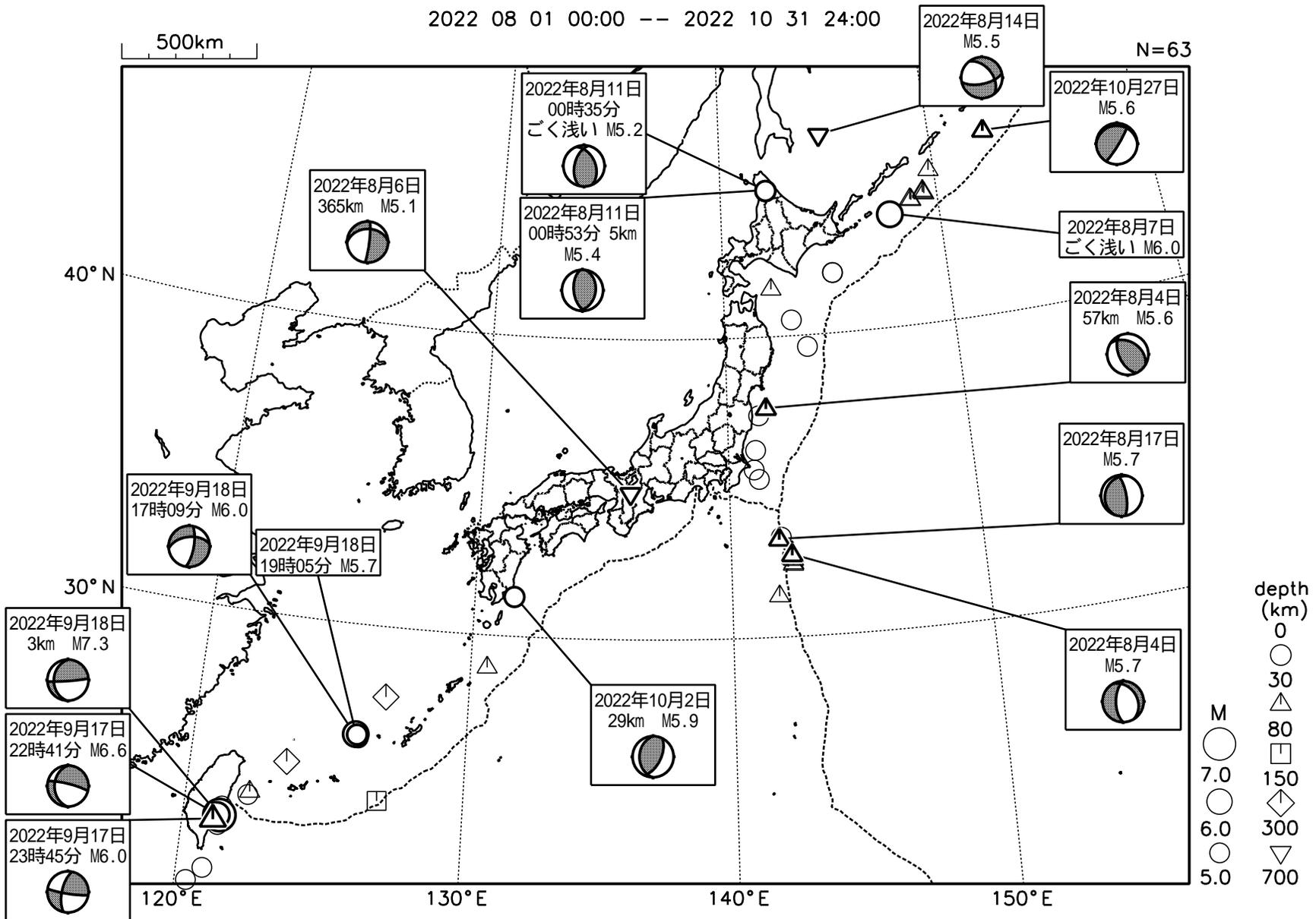
Tel : 029-864-5954（直通） Fax : 029-864-2655



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8月～2022年10月、M 5.0）

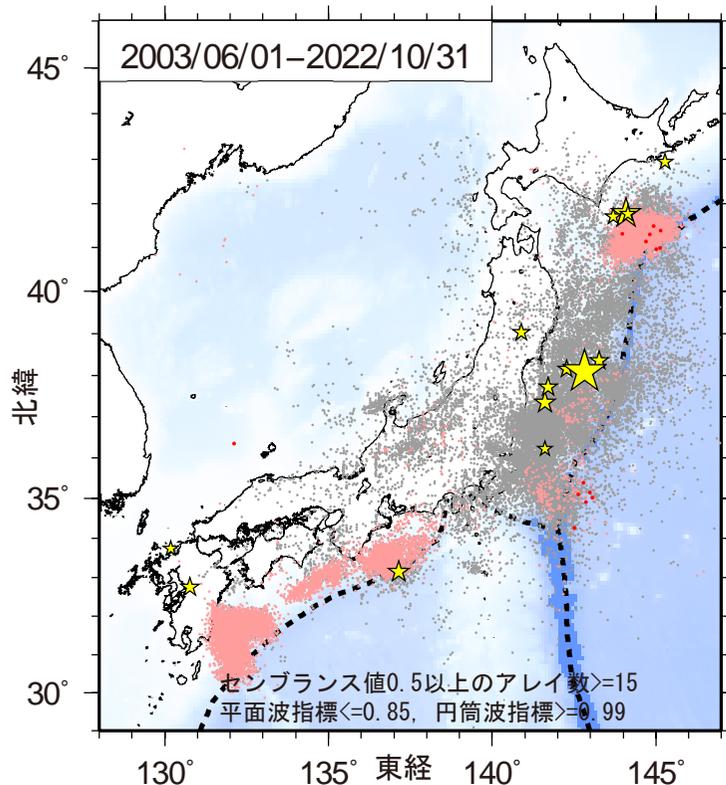
2022 08 01 00:00 -- 2022 10 31 24:00



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M6.0以上）

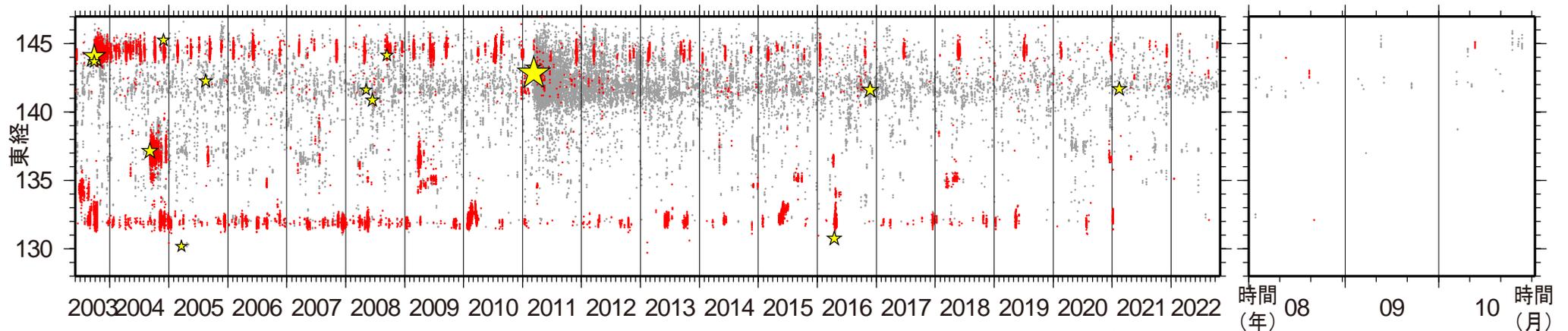
気象庁作成

日本周辺における浅部超低周波地震活動（2022年8月～10月）



●本解析において期間内に基準を満たす活動は検出されなかったが、記録波形からは日向灘で9月中旬～下旬に超低周波地震活動が発生したものとみられる。

第1図. 2003年6月1日から2022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（2022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.



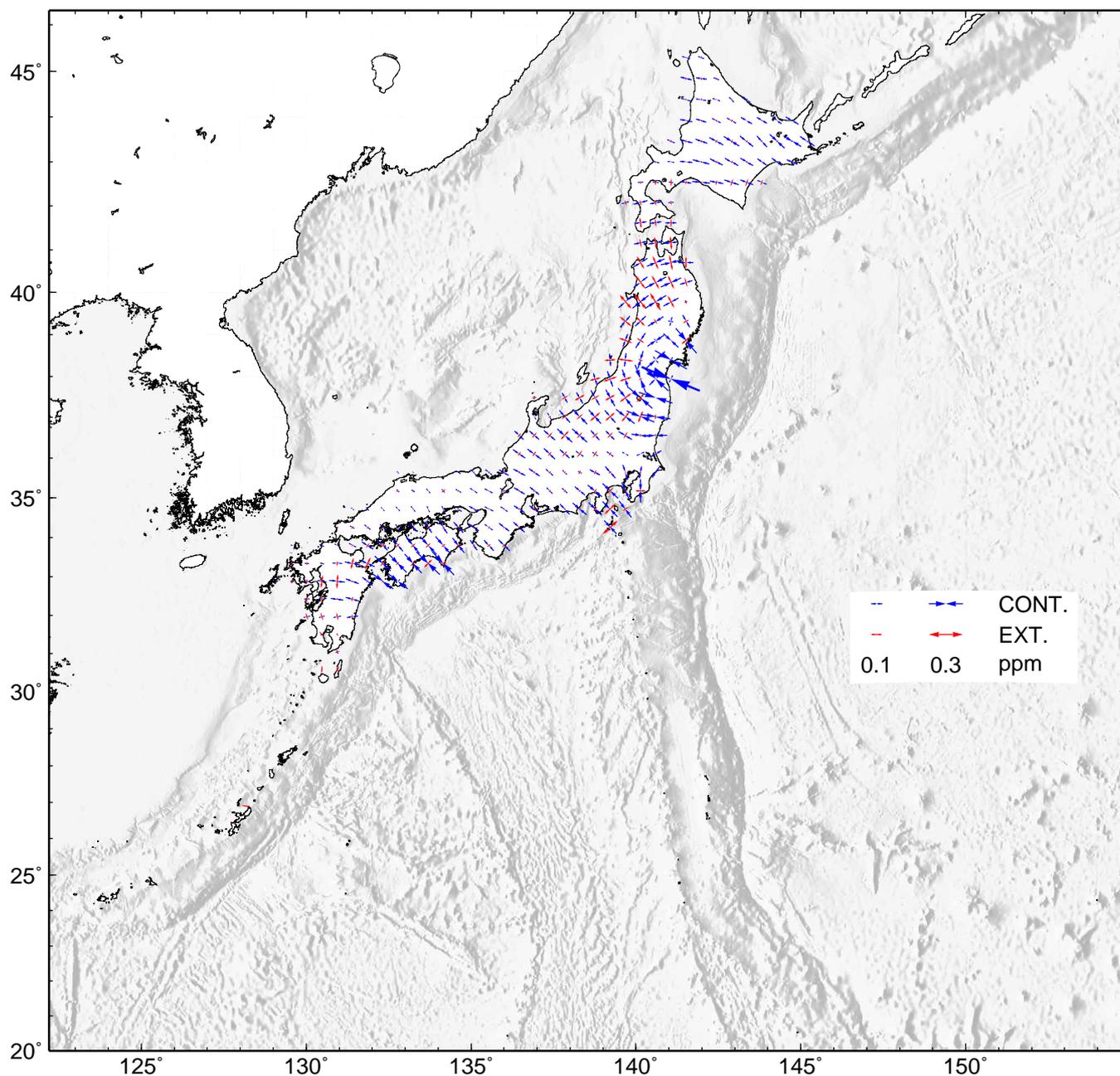
第2図. 2003年6月1日から2022年10月31日までの期間（左）および直近約3か月間（右）に検出されたイベントの時空間分布. 検出されたイベントを防災科研 Hi-net 手動または自動検測震源と照合し、対応する地震が見出されたイベントを灰色で、それ以外を赤色の点でそれぞれ示す. その他は第1図に同じ.

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：2021/09/24 – 2021/10/08 [F 5：最終解]

比較期間：2022/09/24 – 2022/10/08 [F 5：最終解]



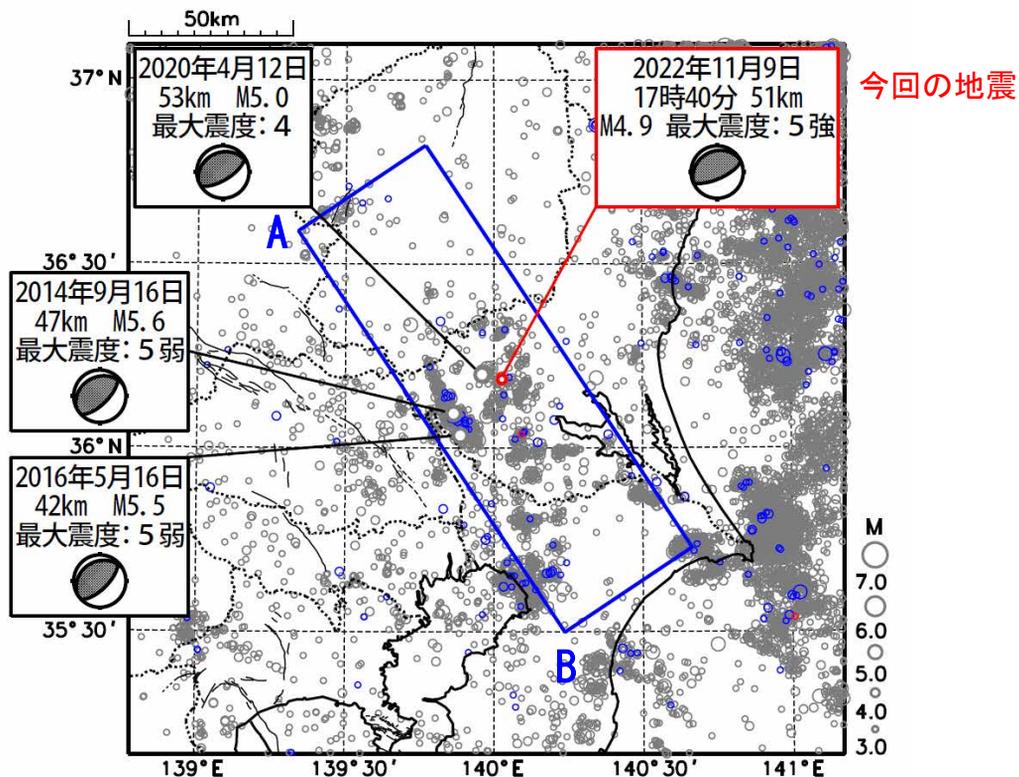
- ・GNSS 連続観測による変位ベクトルからひずみ変化図を作成した。
- ・海底地形データは ETOPO1 (Amante, C.&B.W.Eakins, 2009) を使用した。

11月9日 茨城県南部の地震

震央分布図

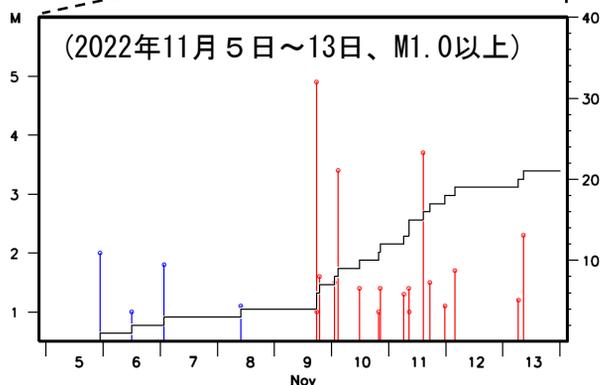
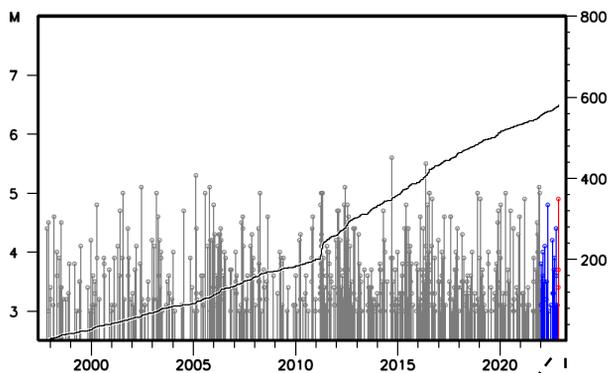
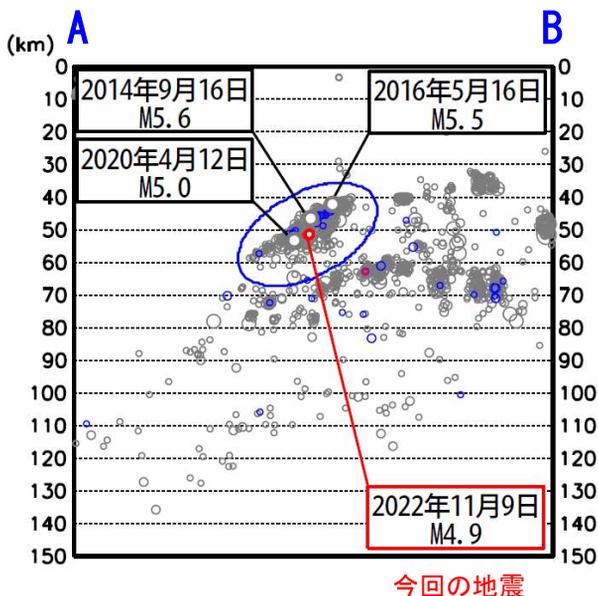
(1997年10月1日～2022年11月13日、深さ0～150km、M3.0以上)

2022年1月以降の地震を青色、2022年11月9日17時40分以降の地震を赤色で表示



上図の矩形領域内の断面図 (A-B投影)

左図の楕円領域内のM-T図及び回数積算図



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8月～10月) その1



防災科研



- 短期的スロースリップイベントを伴う顕著な微動活動：紀伊半島北部，9月30日～10月5日．四国中部から西部，9月3日～8日．
- 上記以外の主な微動活動：東海地方，10月14日～26日．四国東部，8月15日～20日，10月16日～23日．四国中部，8月24～30日．豊後水道，8月11日～14日．

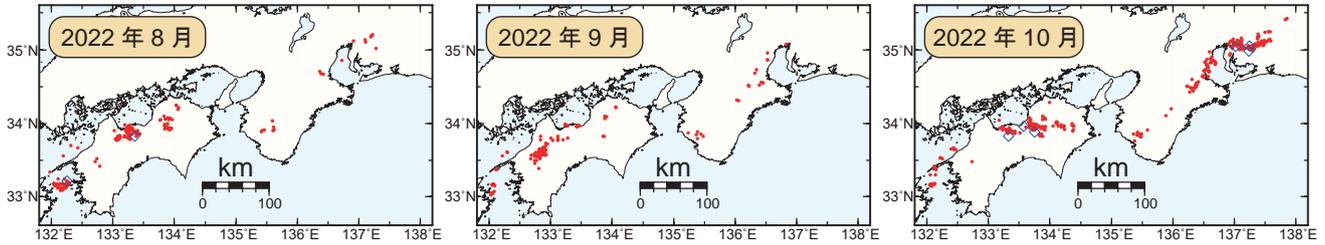


図1. 西南日本における2022年8月～10月の月毎の深部低周波微動活動．赤丸はエンベロープ相関・振幅ハイブリッド法 (Maeda and Obara, 2009) およびクラスタ処理 (Obara et al., 2010) において，1時間毎に自動処理された微動分布の重心である．青菱形は周期20秒に卓越する深部超低周波地震 (Ito et al., 2007) である．

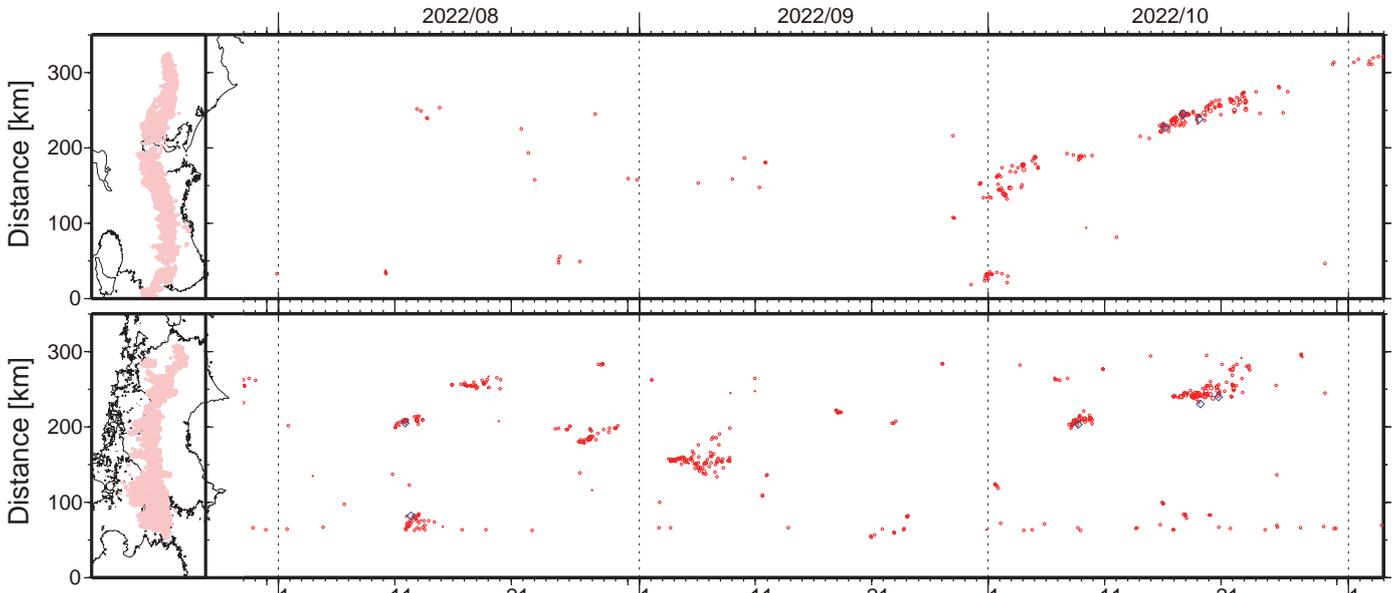


図2. 2022年4月28日～11月3日の深部低周波微動 (赤) および，深部超低周波地震 (青菱形) の時空間分布．

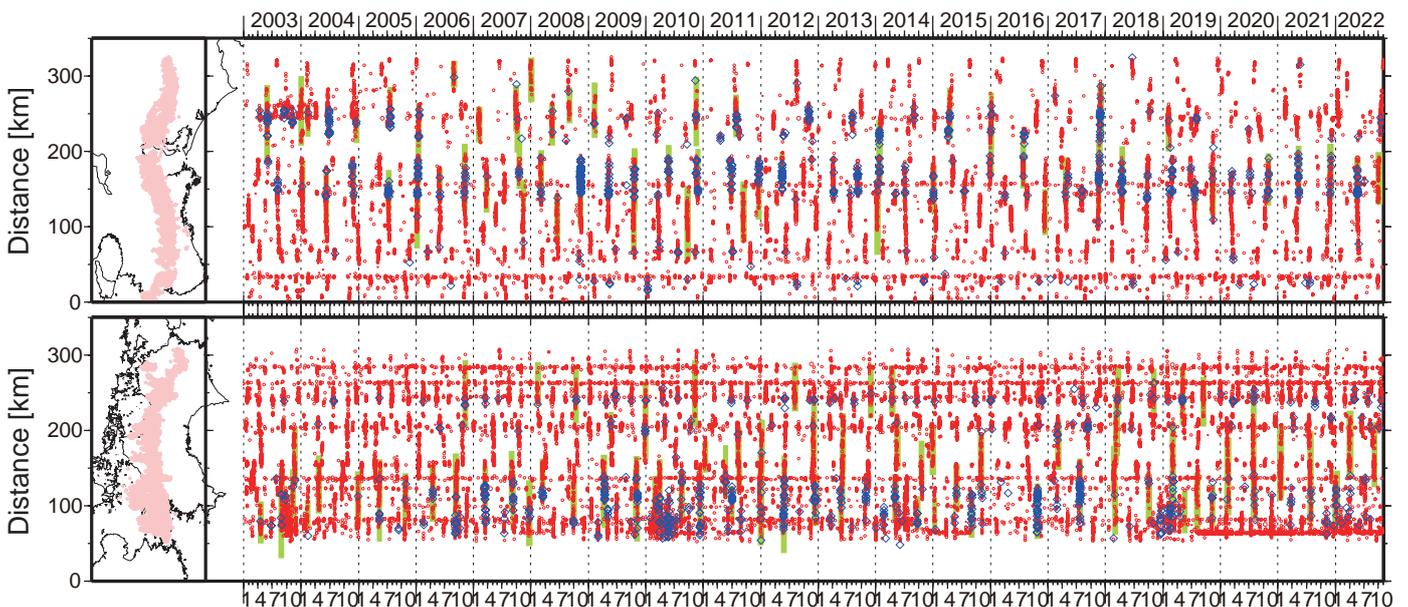


図3. 2003年1月～2022年11月3日までの深部低周波微動 (赤) および，深部超低周波地震 (青菱形) の時空間分布．緑太線は，傾斜変動から検出された短期的スロースリップイベント．

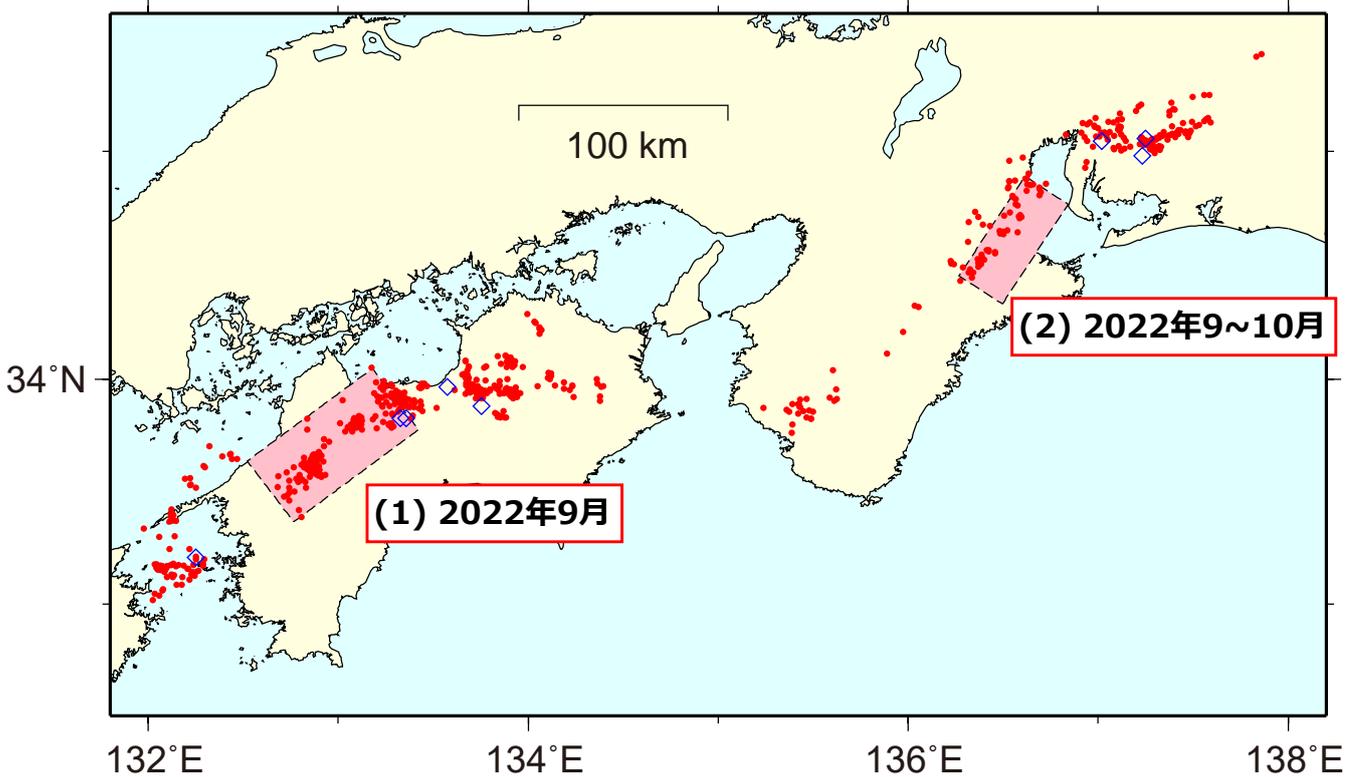


図1：2022年8月1日～2022年10月31日の深部低周波微動（赤点），深部超低周波地震（青菱形），短期的スロースリップイベント（SSE：ピンク四角）。

1. 2022年9月 四国中西部（Mw 5.8）

2022年3～4月（M_w 6.2）以来約5ヶ月ぶり

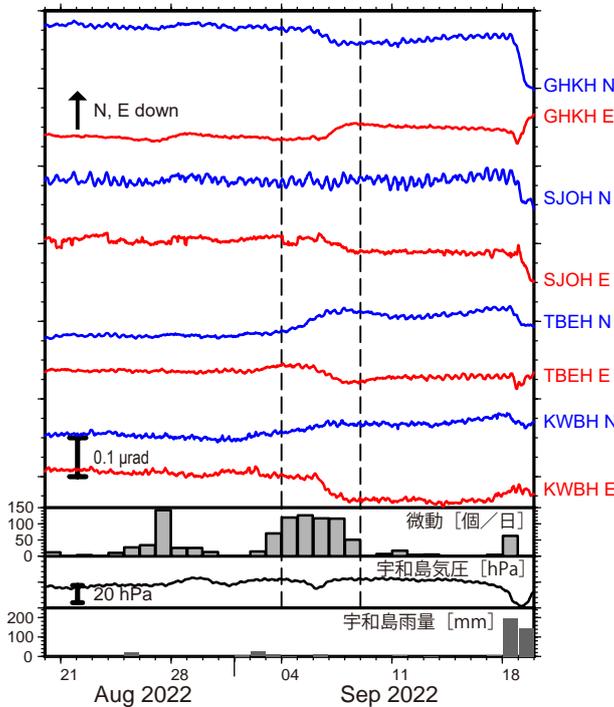


図2：2022年8月20日～9月19日の傾斜時系列。上方への変化が北・東下がりの傾斜変動を表し、BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答成分を除去した。9月4日～8日の傾斜変化ベクトルを図3に示す。四国西部～中部での微動活動度・気象庁宇和島観測点の気圧・雨量をあわせて示す。

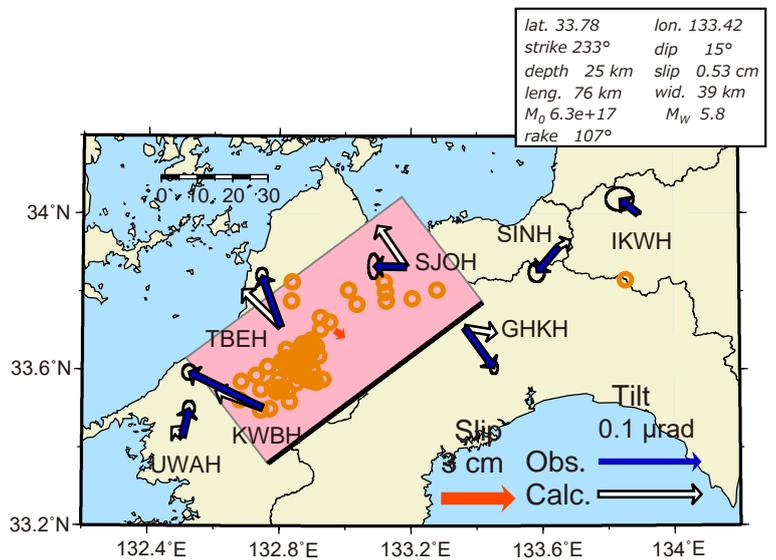


図3：2022年9月4日～8日に観測された傾斜変化ベクトル（青矢印），推定されたスロースリップイベントの断層モデル（赤矩形・矢印），モデルから計算される傾斜変化ベクトル（白抜き矢印）を示す。1時間ごとの微動エネルギーの重心位置（橙丸），深部超低周波地震の震央（茶星印）もあわせて示す。すべり角はプレート相対運動方向に固定している。

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。

2. 2022年9~10月 紀伊半島北部 (Mw 6.0) 2022年5月 (Mw6.0) 以来約4ヶ月ぶり

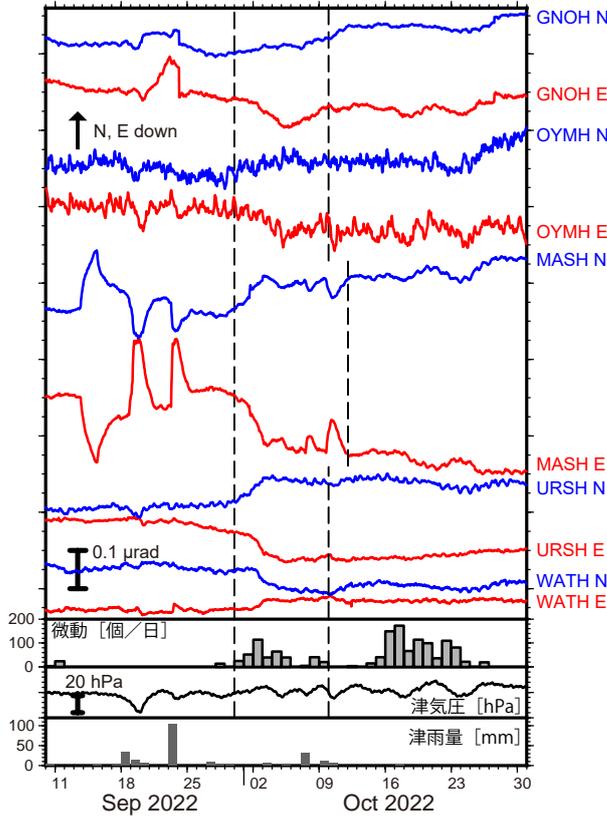


図4: 2022年9月10日~10月30日の傾斜時系列. 上方向への変化が北・東下がりの傾斜変動を表し, BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答成分を除去した. 9月30日~10月9日 (MASHのみ10月11日)の傾斜変化ベクトルを図5に示す. 紀伊半島北部~愛知県での微動活動度・気象庁津観測点の気圧・雨量をあわせて示す.

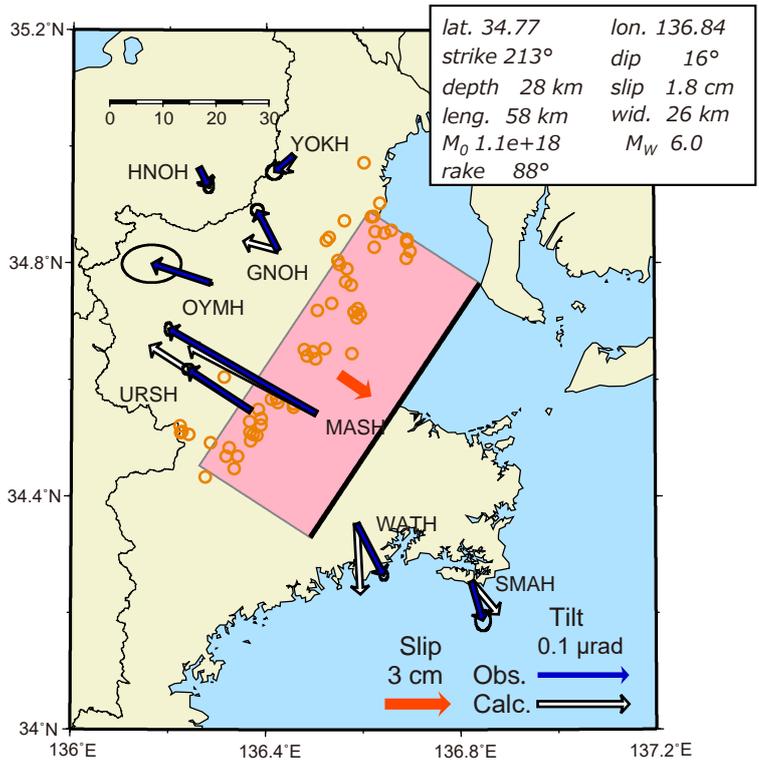
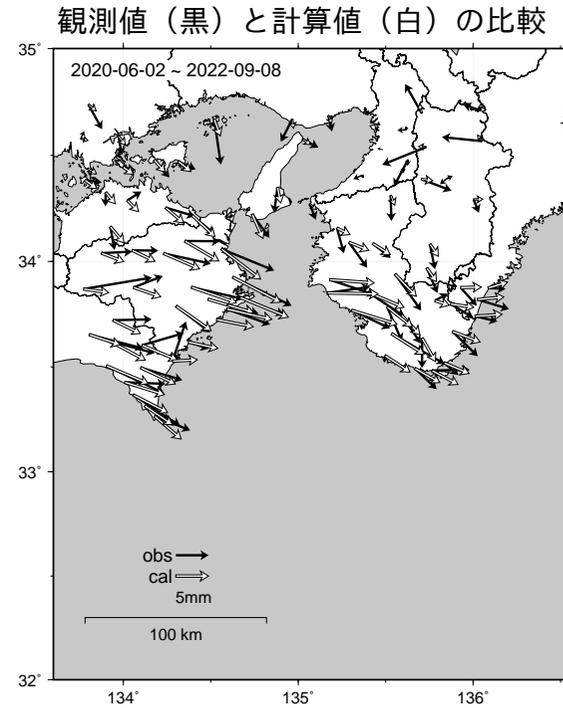
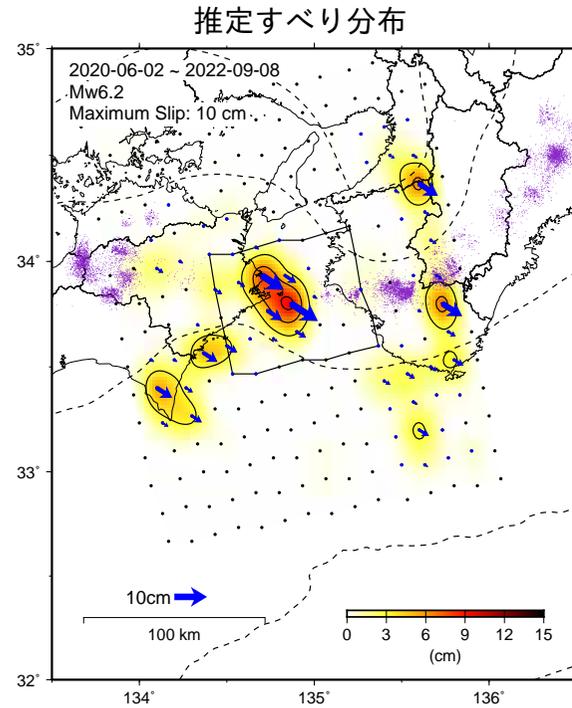


図5: 9月30日~10月9日 (MASHのみ10月11日)に観測された傾斜変化ベクトル (青矢印), 推定されたスロースリップイベントの断層モデル (赤矩形・矢印), モデルから計算される傾斜変化ベクトル (白抜き矢印)を示す. 1時間ごとの微動エネルギーの重心位置 (橙丸) もあわせて示す. すべり角はプレート相対運動方向に固定している.

GNSS データから推定された紀伊水道の長期的ゆっくりすべり (暫定)

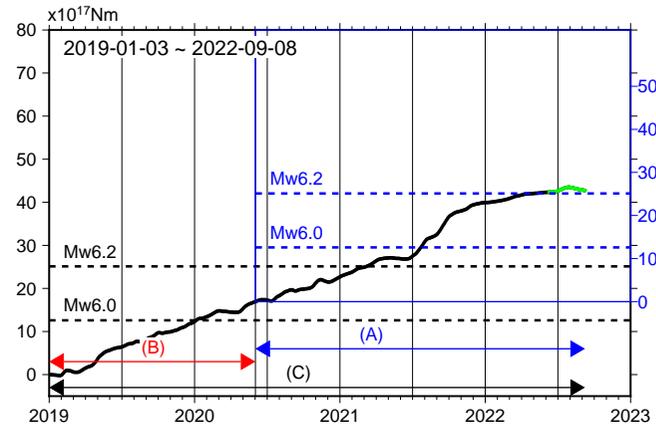


Mw 及び最大すべり量はプレート面に沿って評価した値を記載。
すべり量 (カラー) 及びすべりベクトルは水平面に投影したものを示す。
推定したすべり量が標準偏差 (σ) の3倍以上のグリッドを青色表示している。

紫丸: 低周波地震 (気象庁一元化震源) (期間: 2020-06-02~2022-09-08)
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

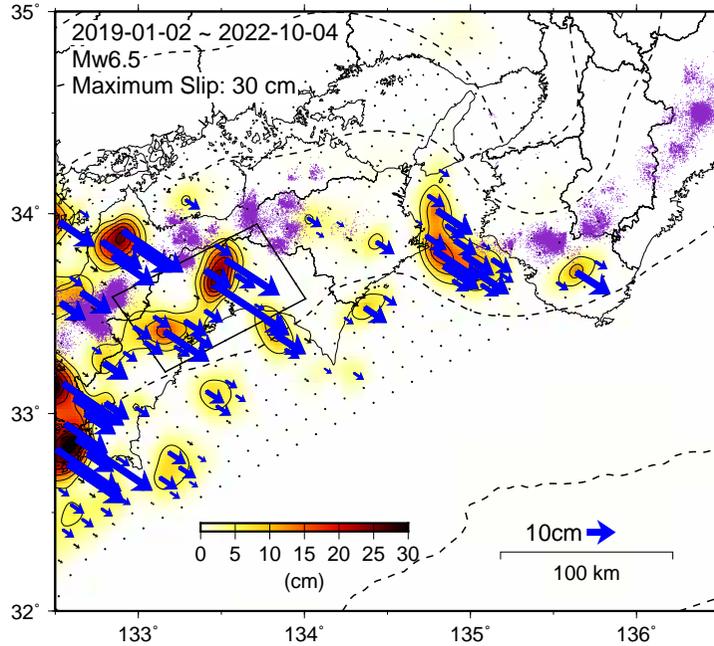
モーメント ※ 時系列 (試算)



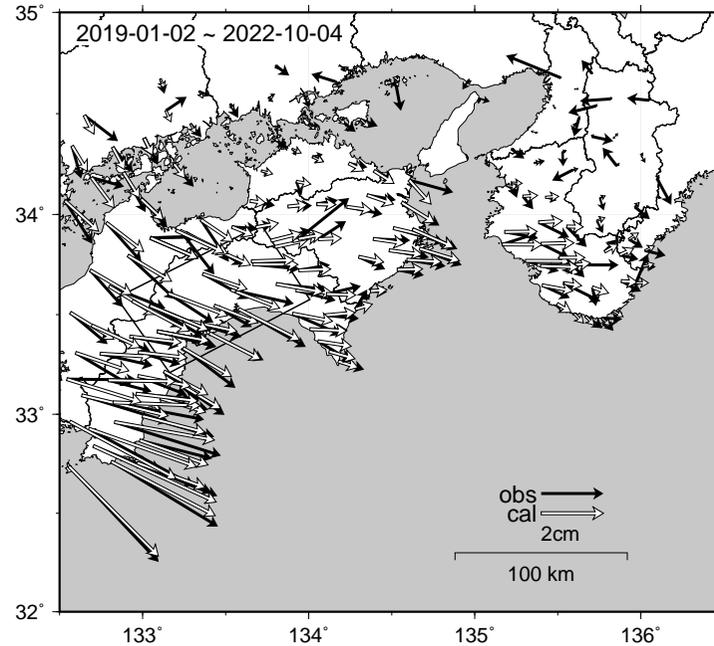
※モーメント
断層運動のエネルギーの目安となる量。
地震の場合の Mw (モーメントマグニチュード) に換算できる。

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)

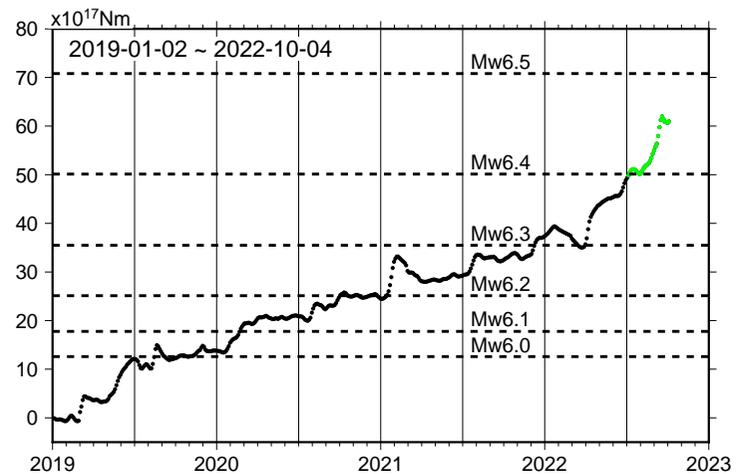
推定すべり分布



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: 2019-01-02~2022-10-04)
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

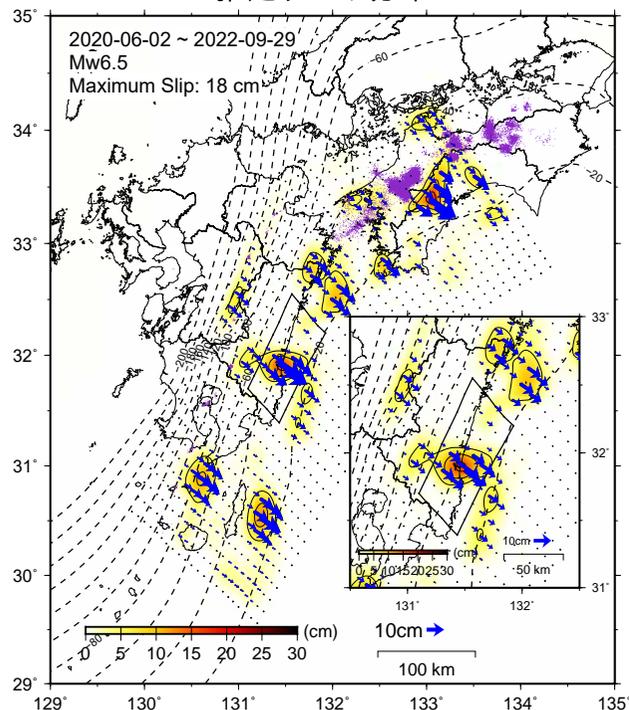
※モーメント

断層運動のエネルギーの目安となる量。

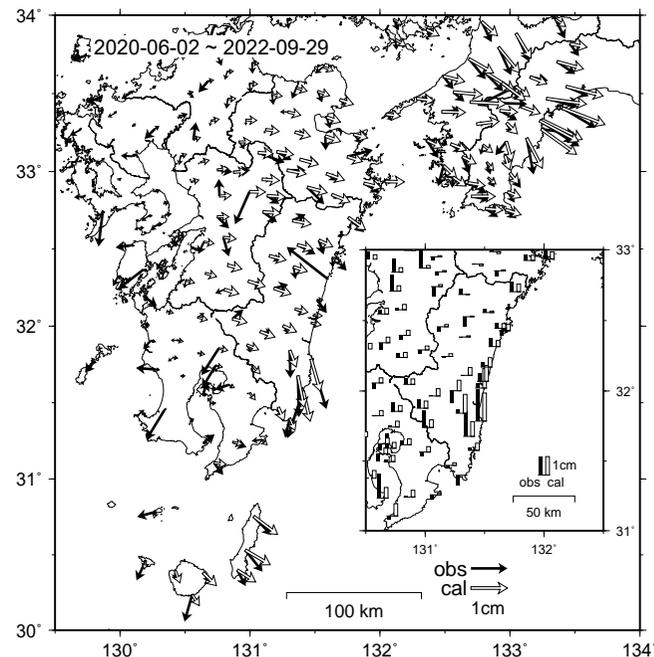
地震の場合の Mw (モーメントマグニチュード) に換算できる。

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



観測値（黒）と計算値（白）の比較



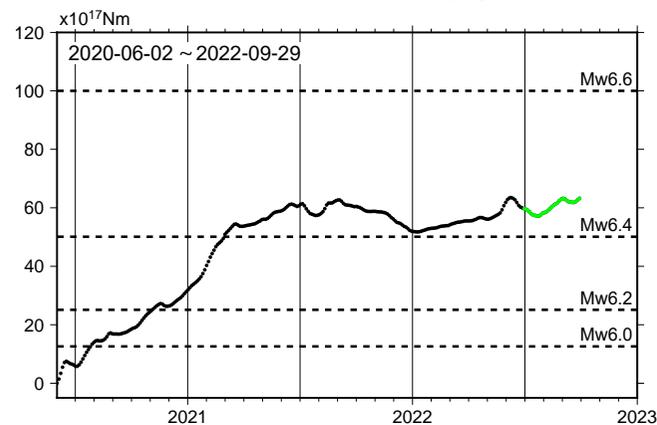
Mw 及び最大すべり量はプレート面に沿って評価した値を記載。
すべり量（カラー）及びすべりベクトルは水平面に投影したものを示す。
推定したすべり量が標準偏差（ σ ）の3倍以上のグリッドを青色表示している。

紫丸：低周波地震（気象庁一元化震源）（期間：2020-06-02~2022-09-29）
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
※平成 23 年東北地方太平洋沖地震および平成 28 年熊本地震の粘性緩和による変動を補正している。
※日向灘の地震（2022-01-22, Mw6.6）の地震時変動を除去している。
トレンド期間：2006-01-01~2009-01-01（年周・半年周成分は補正無し）
ただし、宮崎平野周辺は 2007-10-01~2009-03-01、
種子島周辺は 2008-03-01-2011-03-01。

モーメント計算範囲：左図の黒枠内側
観測値：3 日間の平均値をカルマンフィルターで平滑化した値
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：三隅
※共通誤差成分を推定

モーメント※時系列（試算）



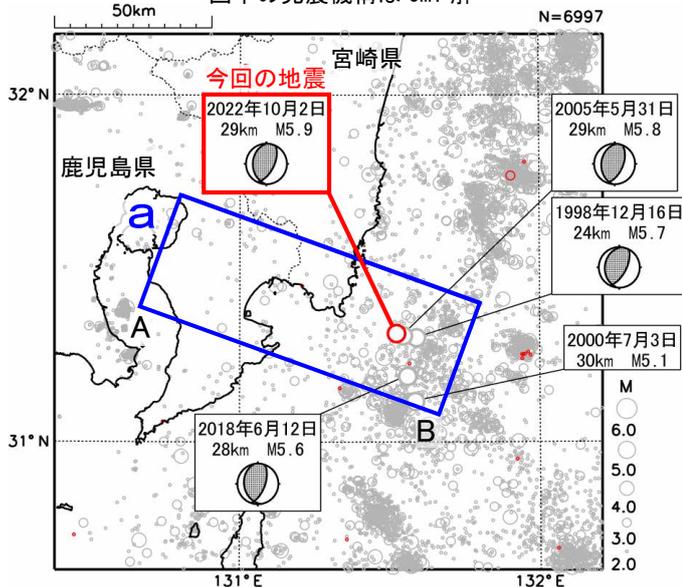
※モーメント
断層運動のエネルギーの目安となる量。
地震の場合の Mw（モーメントマグニチュード）に換算できる。

10月2日 大隅半島東方沖の地震

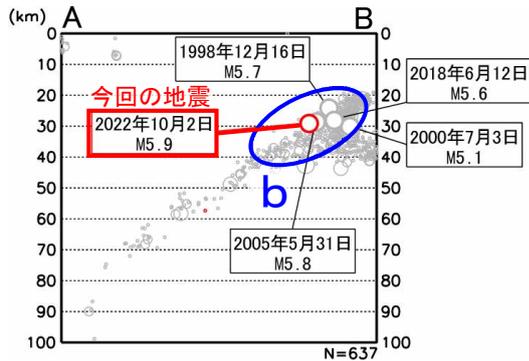
震央分布図

(1997年10月1日～2022年10月31日
深さ0～100km、M \geq 2.0)

2022年10月の地震を赤色○で表示
図中の発震機構はCMT解



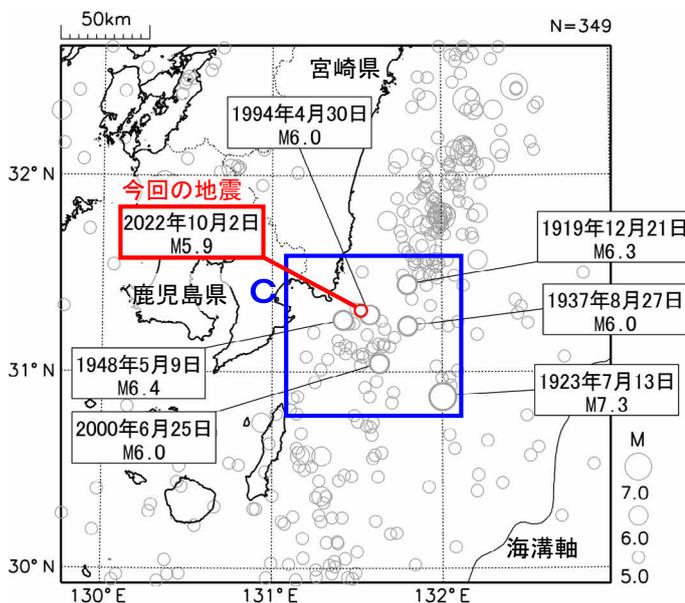
領域a内の断面図 (A-B投影)



震央分布図

(1919年1月1日～2022年10月31日、
深さ0～100km、M \geq 5.0)

今回の地震とM6.0以上の地震に吹き出しを付加

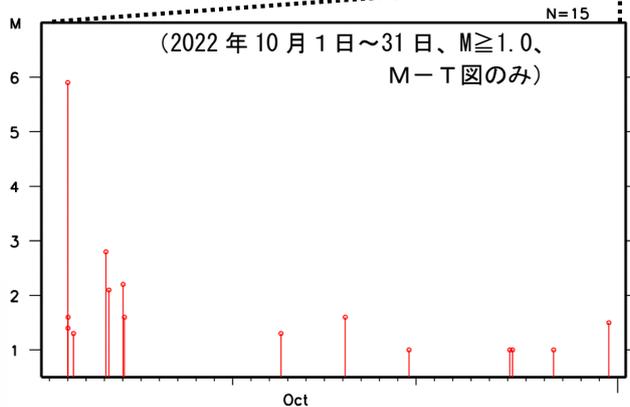
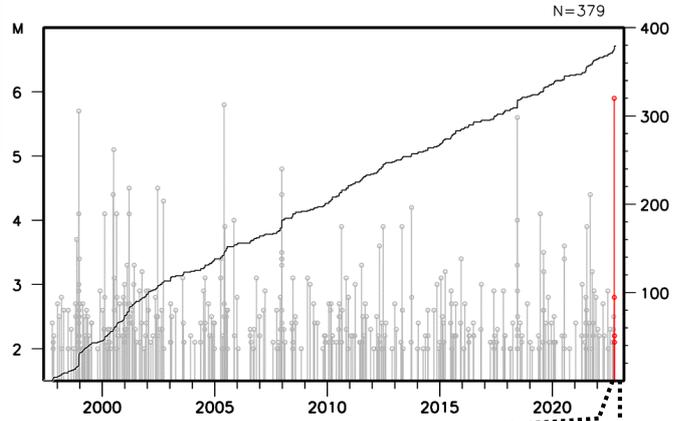


2022年10月2日00時02分に大隅半島東方沖の深さ29kmでM5.9の地震 (最大震度5弱) が発生した。この地震により長周期地震動階級2を観測した。この地震は、発震機構 (CMT解) が西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、フィリピン海プレートと陸のプレートの境界で発生した。

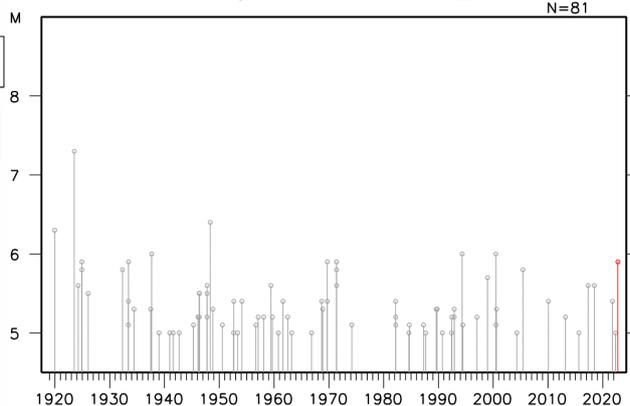
1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近 (領域b) ではM5.0以上の地震が今回の地震を含め5回発生している。

1919年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺 (領域c) ではM6.0以上の地震が6回発生している。このうち、1923年7月13日に発生したM7.3の地震では、鹿兒島県の中種子村 (現在の中種子町) で住家小破27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b内のM-T図及び回数積算図



領域c内のM-T図

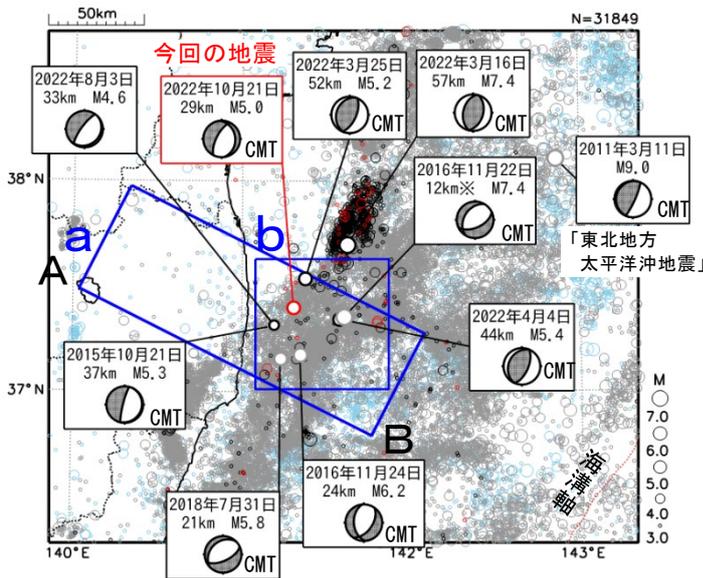


気象庁作成

10月21日 福島県沖の地震

震央分布図
(1997年10月1日～2022年10月31日、
深さ0～120km、 $M \geq 3.0$)

2011年3月10日以前に発生した地震を**水色**、
2011年3月11日以降に発生した地震を**灰色**、
2022年3月16日以降に発生した地震を**黒色**、
2022年10月に発生した地震を**赤色**で表示



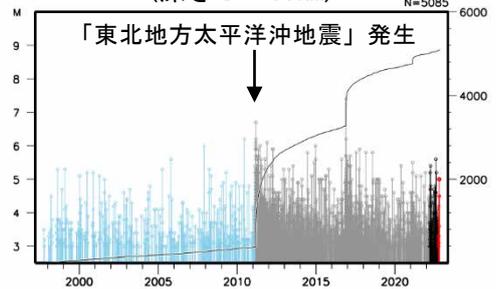
※深さはCMT解による

2022年10月21日15時19分に福島県沖の深さ29kmでM5.0の地震（最大震度5弱）が発生した。この地震は、発震機構（CMT解）が西北西－東南東方向に張力軸を持つ正断層型で、陸のプレート内で発生した。

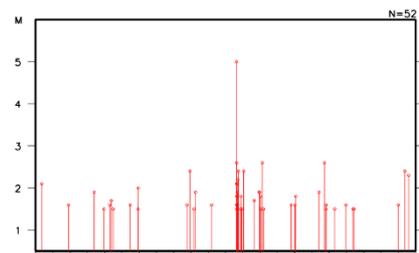
1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近（領域b）では、「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」（以下、「東北地方太平洋沖地震」）の発生前はM5.0以上の地震がしばしば発生していた。「東北地方太平洋沖地震」の発生以降は地震の発生数が増加し、M5.0以上の地震が度々発生している。

1919年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺（領域d）では、「東北地方太平洋沖地震」の発生前からM7.0以上の地震が時々発生しており、1938年11月5日17時43分にはM7.5の地震（最大震度5）が発生し、宮城県花巻で113cm（全振幅）の津波を観測した。

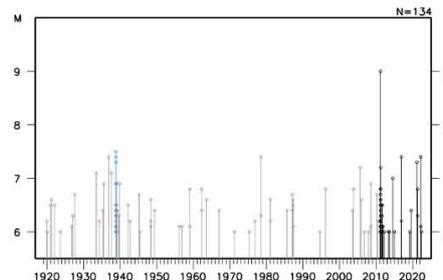
領域b内のM-T図及び回数積算図
(深さ0～60km)



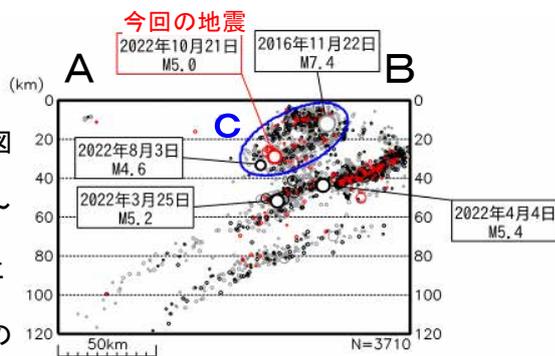
領域c内のM-T図
(2022年10月10日～10月31日)



領域d内のM-T図



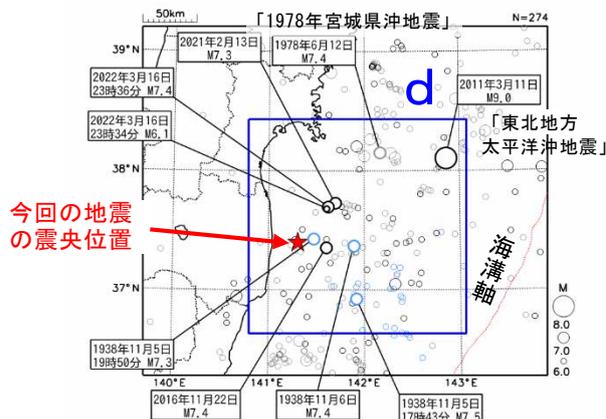
領域a内の断面図
(A-B投影、
2020年9月1日～
2022年10月31日、
 $M \geq 1.5$) 図中に
2016年11月22日
の地震 (M7.4) の
震源を追記



震央分布図

(1919年1月1日～2022年10月31日、
深さ0～150km、 $M \geq 6.0$)

1938年11月5日～1938年11月30日の地震を**水色**、
2011年3月11日以降に発生した地震を**黒色**、
その他の期間を**灰色**



今回の地震
の震央位置

石川県能登地方の地震活動

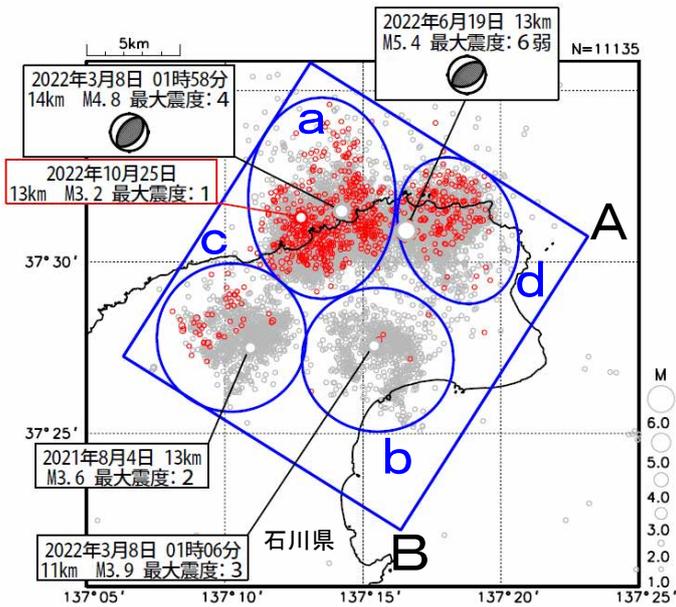
震央分布図

(2020年12月1日～2022年10月31日、
深さ0～25km、M≥1.0)

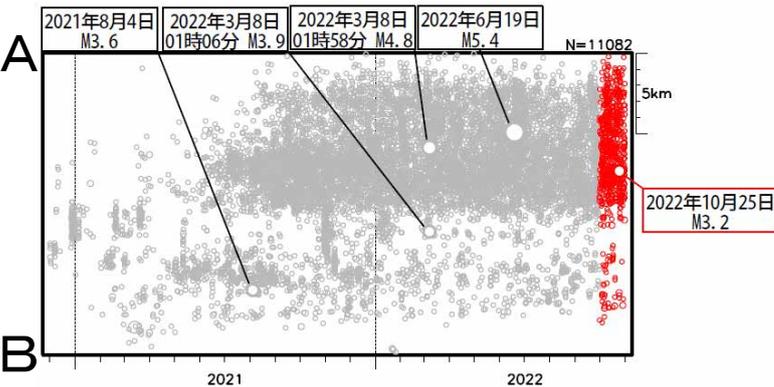
- 2022年10月の地震を赤色で表示、図中の発震機構はCMT解
- 黒色の吹き出し：領域a～dの各領域内で最大規模の地震
- 赤色の吹き出し：矩形内で2022年10月中の最大規模の地震

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。2022年10月中もその傾向は継続している。2022年10月中の最大規模の地震は、25日に発生したM3.2の地震（最大震度1）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。

2020年12月以降の領域別の地震活動をみると、最初に活発化した領域bの活動は、2021年4月以降鈍化傾向であるが、2021年11月初頭前後、2022年1月頃及び3月頃に一時的に活発になった。領域bに続き活発化した領域cの活動も、2021年9月以降鈍化傾向であるが、2021年12月にやや活発になった。一方、遅れて2021年半ば頃から活発化した領域a及び領域dの活動は依然活発である。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。

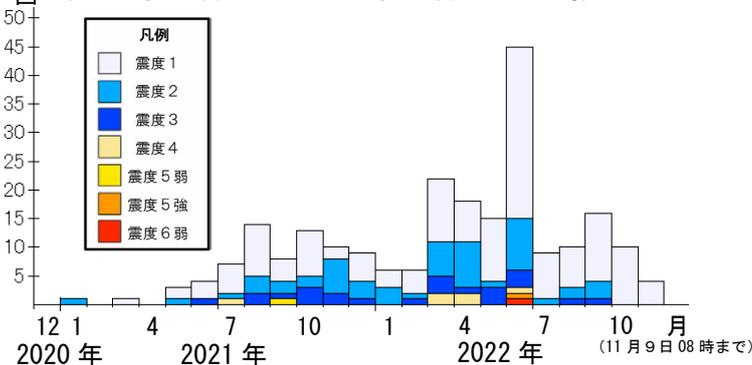


上図矩形内の時空間分布図（A-B投影）



矩形内の地震の月別震度別発生回数

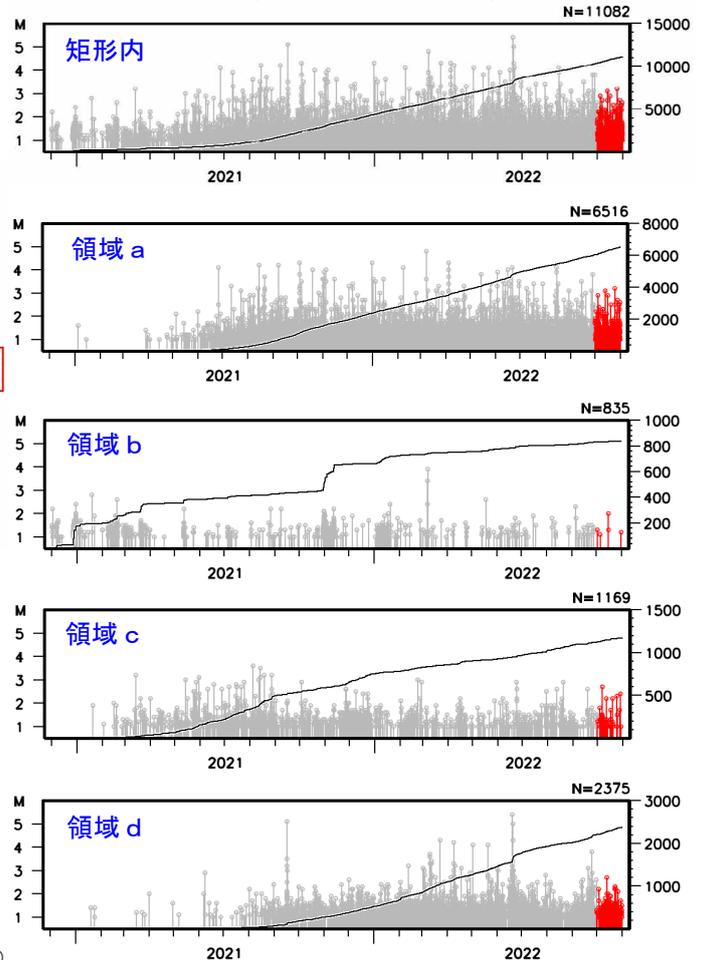
(2020年12月1日～2022年11月9日08時)



期間別・震度別の地震発生回数表

期間	最大震度別回数							計
	1	2	3	4	5弱	5強	6弱	
2020年12月1日 ～2022年9月30日	132	53	23	6	1	1	1	217
2022年10月1日～31日	10	0	0	0	0	0	0	10
2022年11月1日～9日08時	4	0	0	0	0	0	0	4
計	146	53	23	6	1	1	1	231

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～2022年10月31日)

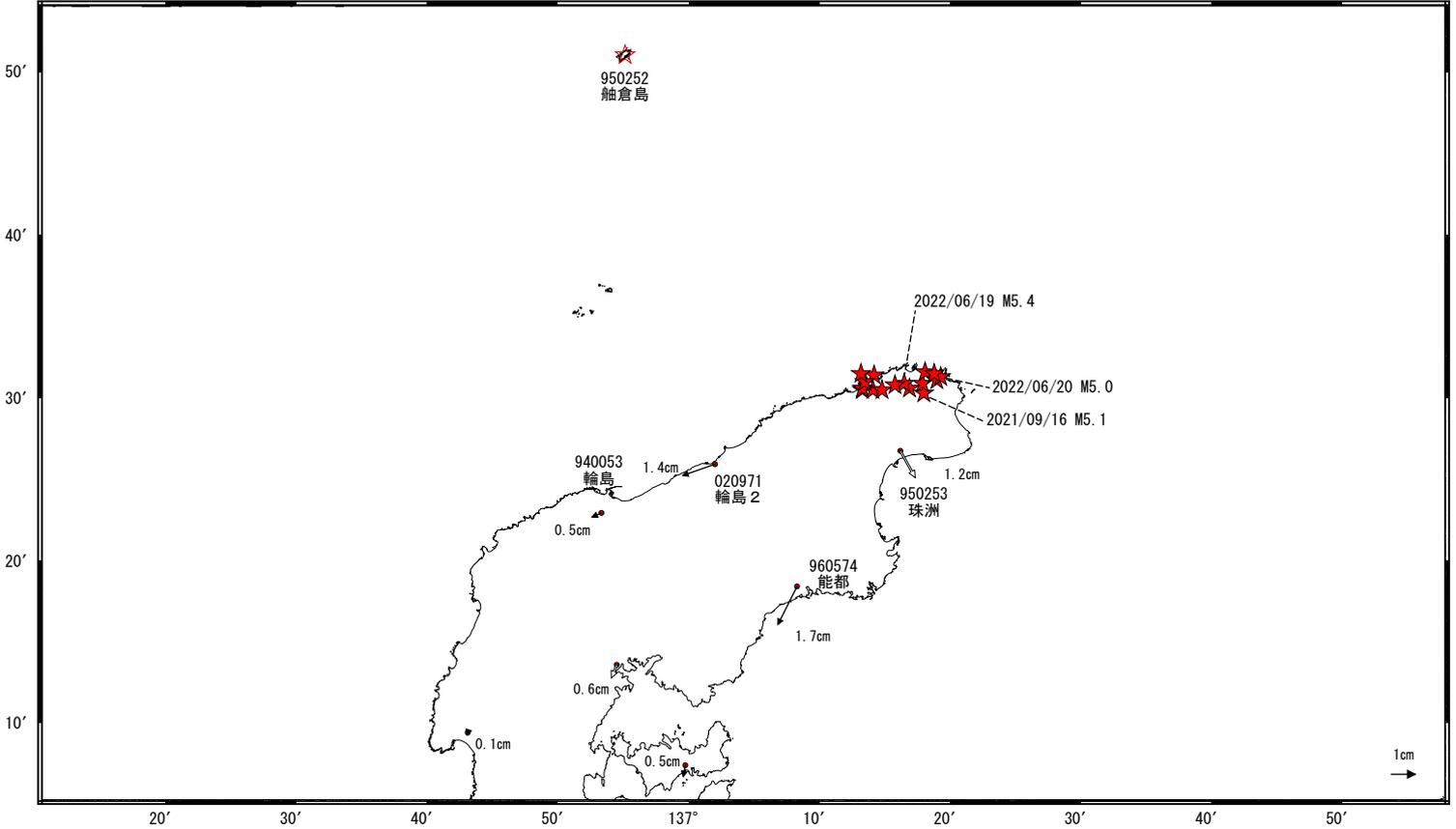


石川県能登地方の地殻変動（暫定）

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：2022/10/27～2022/11/02 [R5:速報解]

計算期間：2017/09/01～2020/09/01

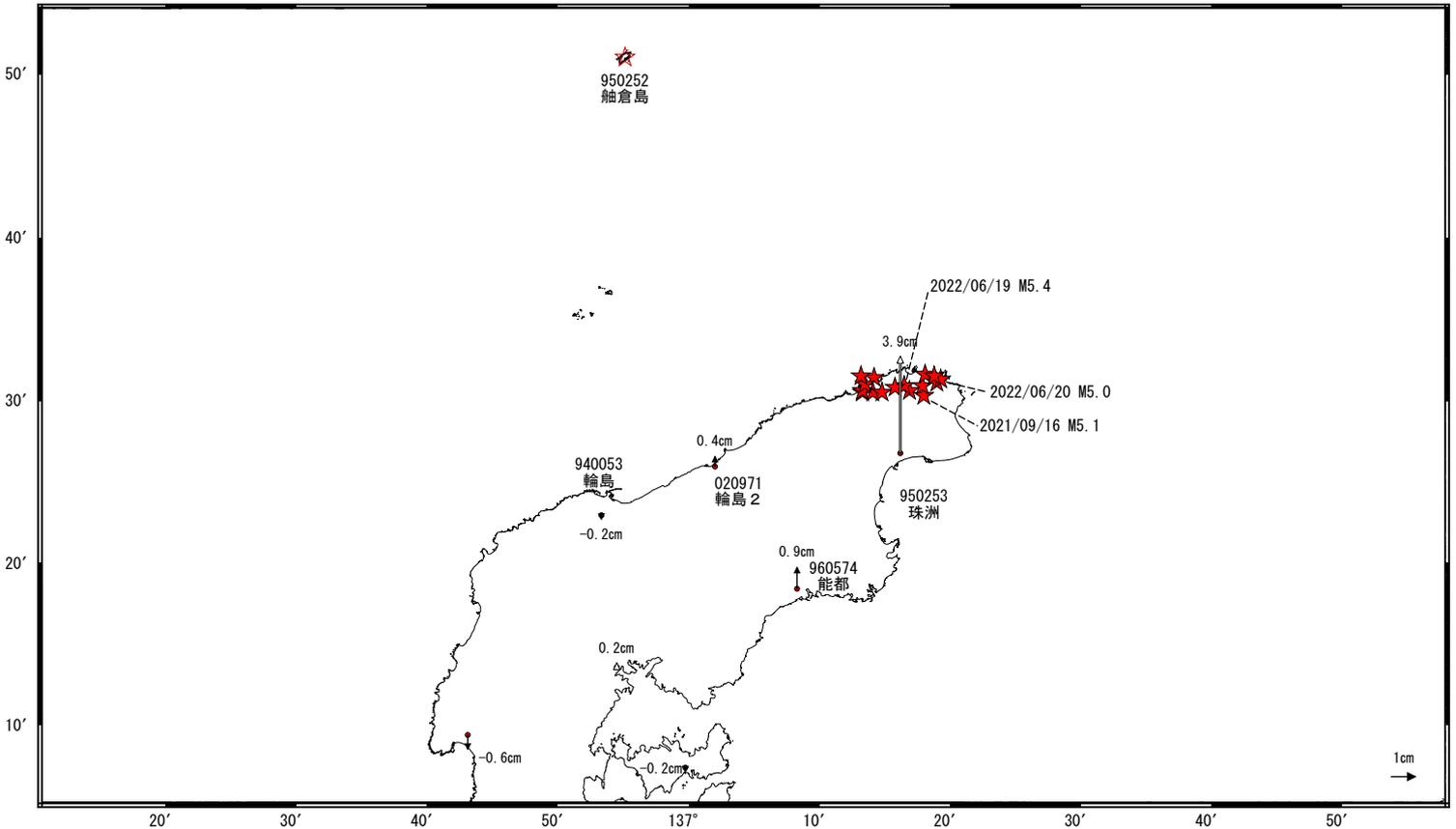


☆ 固定局：舳倉島 (950252)

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：2022/10/27～2022/11/02 [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）

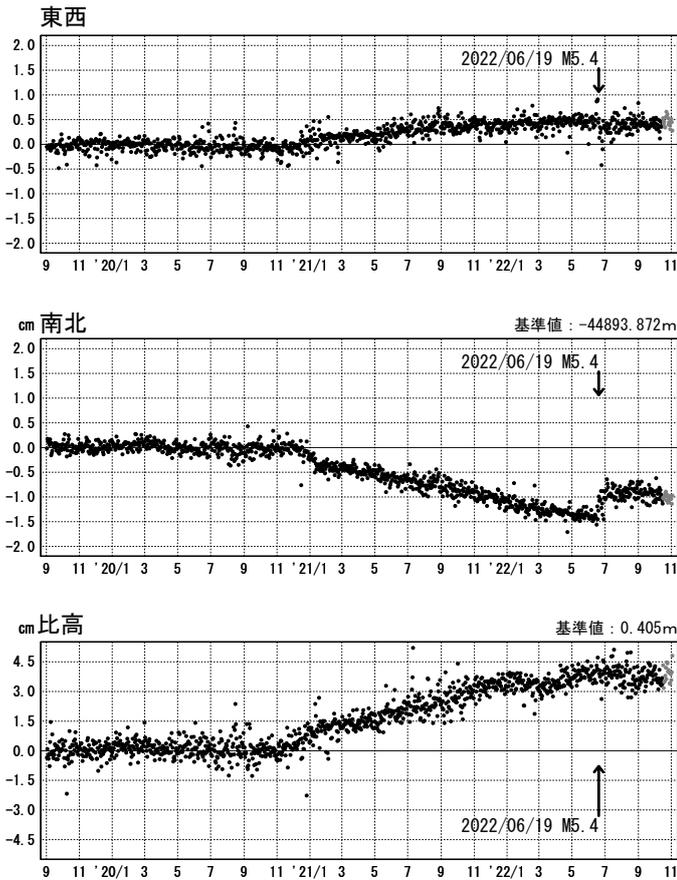
※電子基準点「珠洲」の位置が、地震（2022/06/19 M5.4）に伴いごくわずかに変化した可能性がある。

石川県能登地方の地殻変動（暫定）

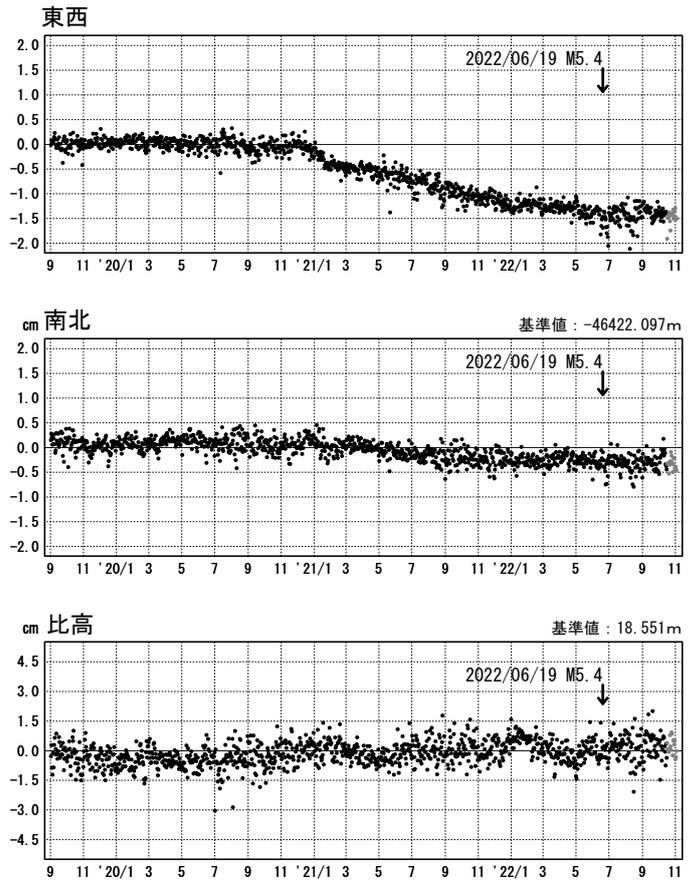
一次トレンド・年周成分・半年周成分除去後グラフ

期間：2019/09/01～2022/11/02 JST 計算期間：2017/09/01～2020/09/01

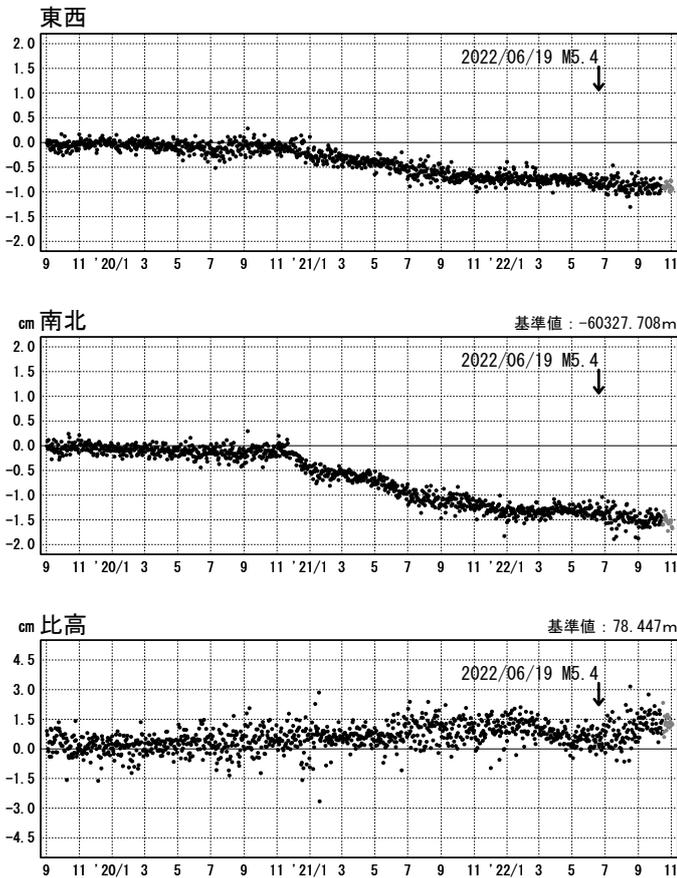
(1) 舢倉島 (950252) → 珠洲 (950253)



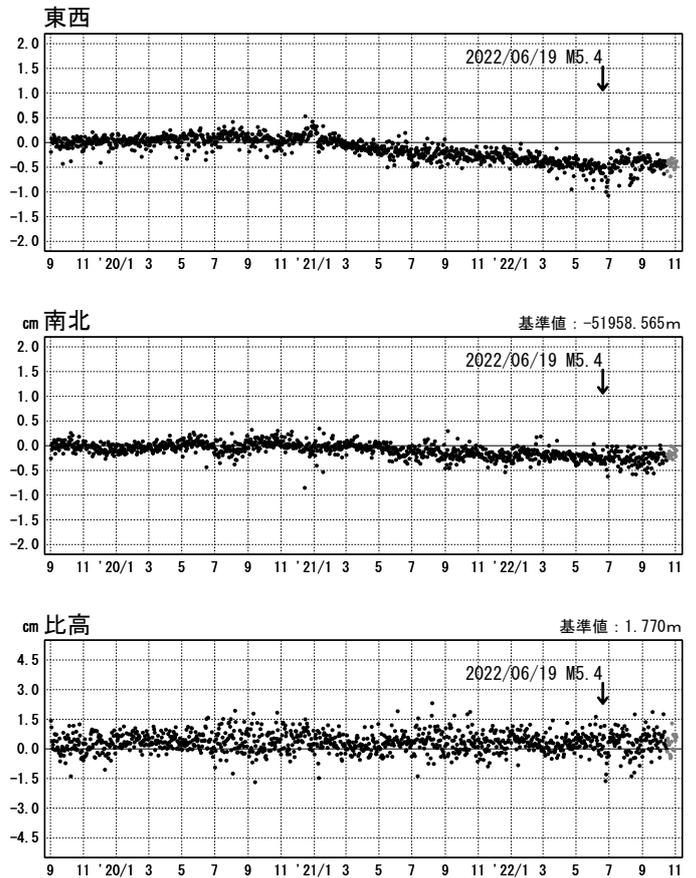
(2) 舢倉島 (950252) → 輪島 2 (020971)



(3) 舢倉島 (950252) → 能都 (960574)



(4) 舢倉島 (950252) → 輪島 (940053)

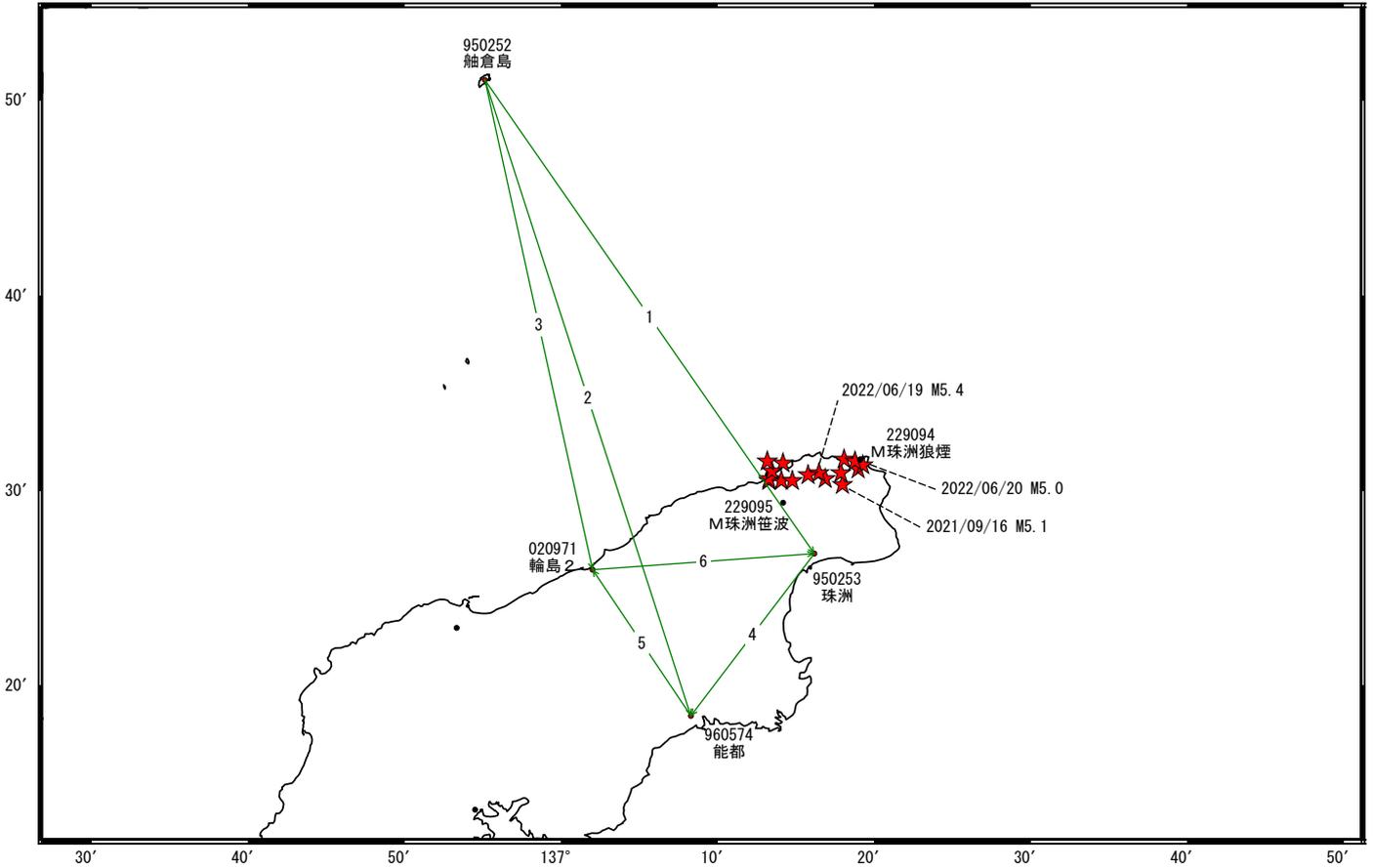


●---[F5:最終解] ●---[R5:速報解]

※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）

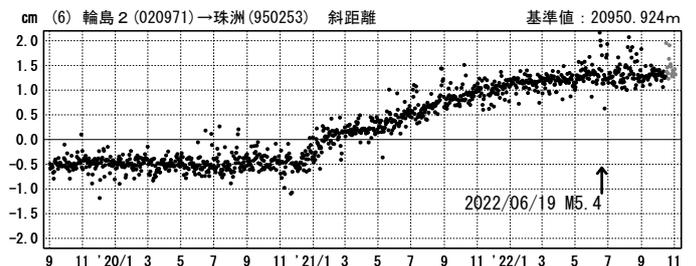
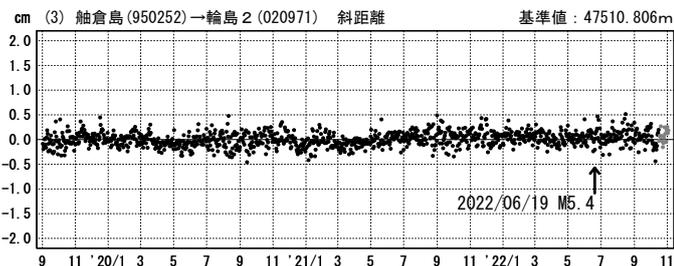
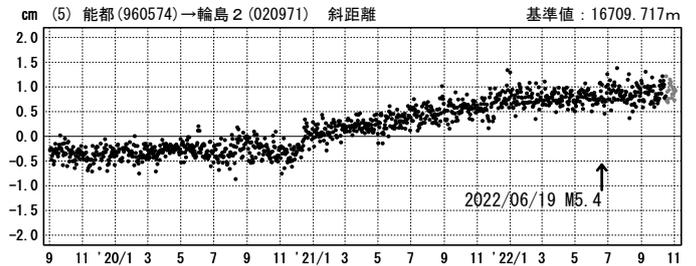
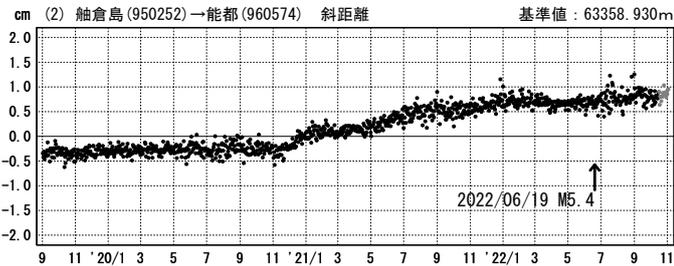
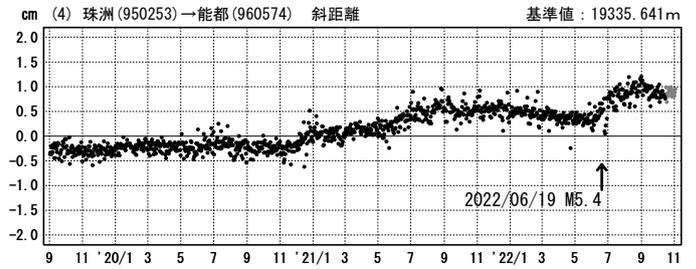
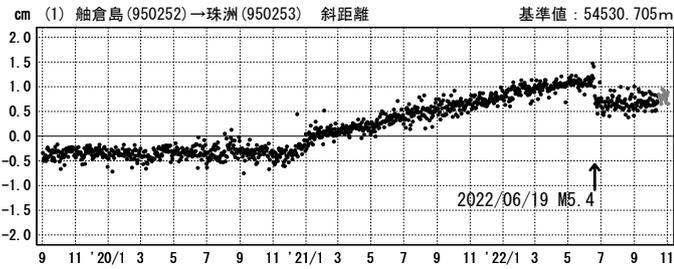
基線図



★ 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：2019/09/01～2022/11/02 JST 計算期間：2017/09/01～2020/09/01

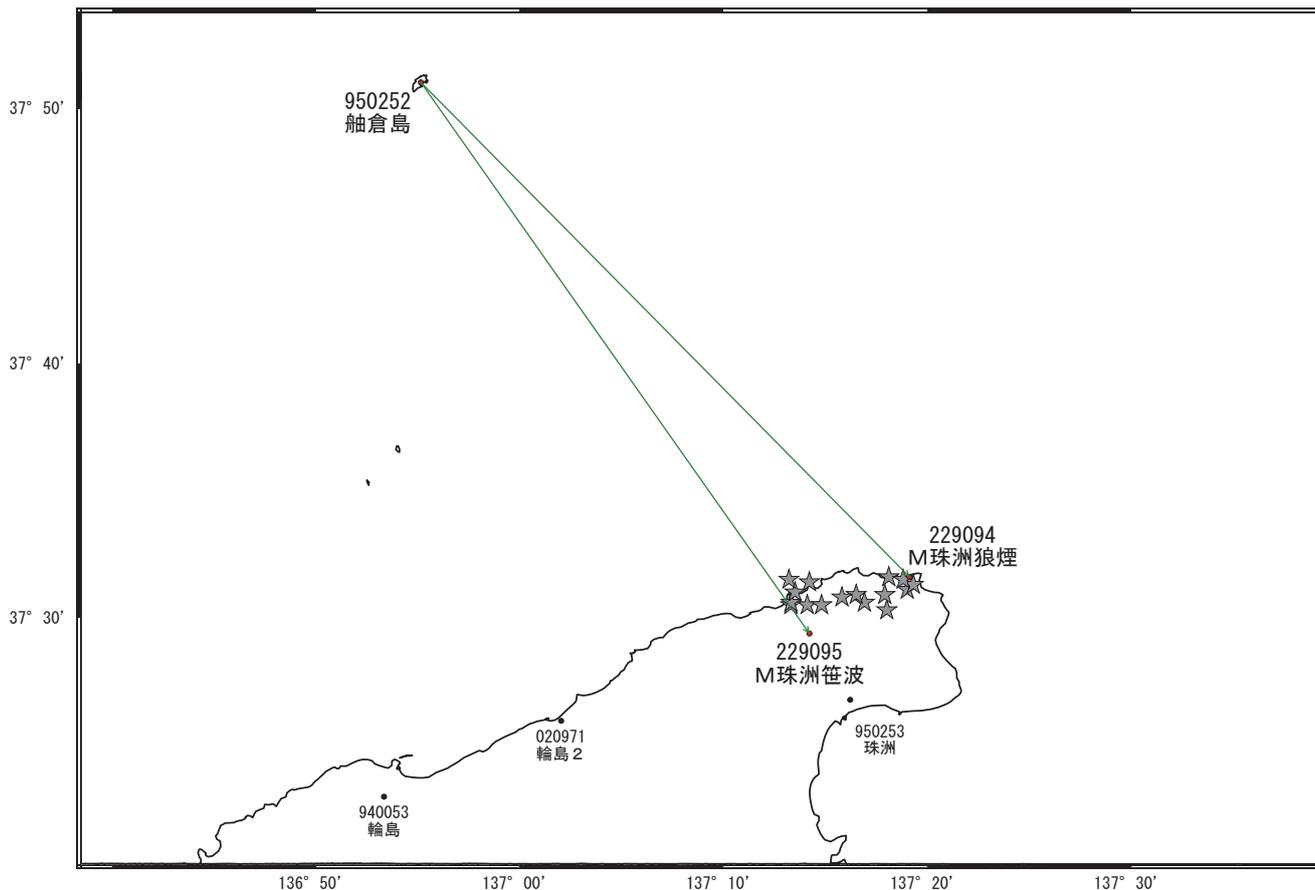


●—[F5:最終解] ●—[R5:速報解]

※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）

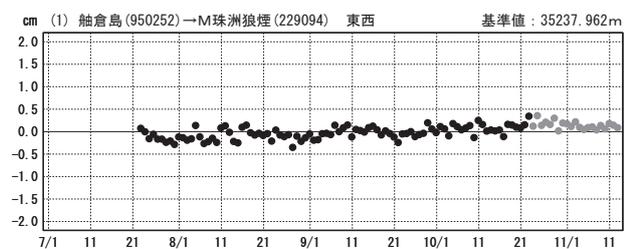
— 可搬型GNSS連続観測装置（REGMOS）による観測結果 —
 基線図



★ 震央（2020年11月以降 M>4.0）

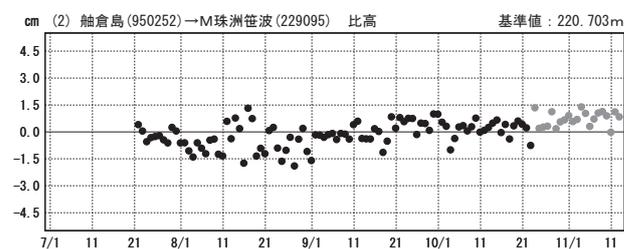
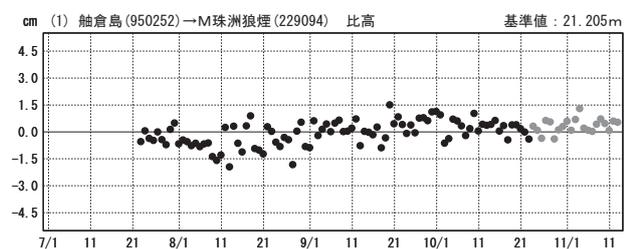
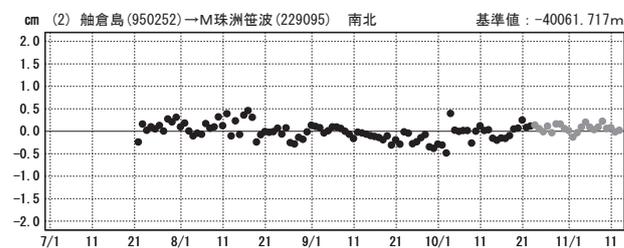
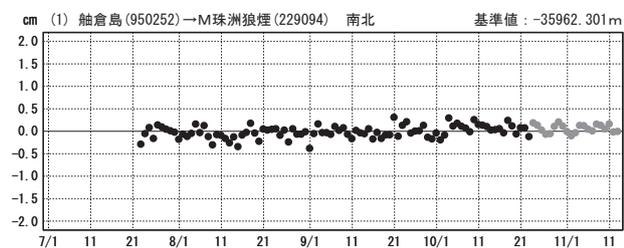
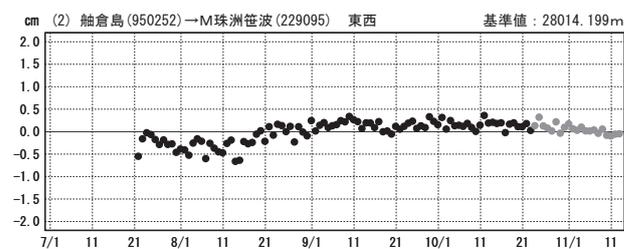
成分変化グラフ

期間：2022/07/01～2022/11/12 JST



成分変化グラフ

期間：2022/07/01～2022/11/12 JST

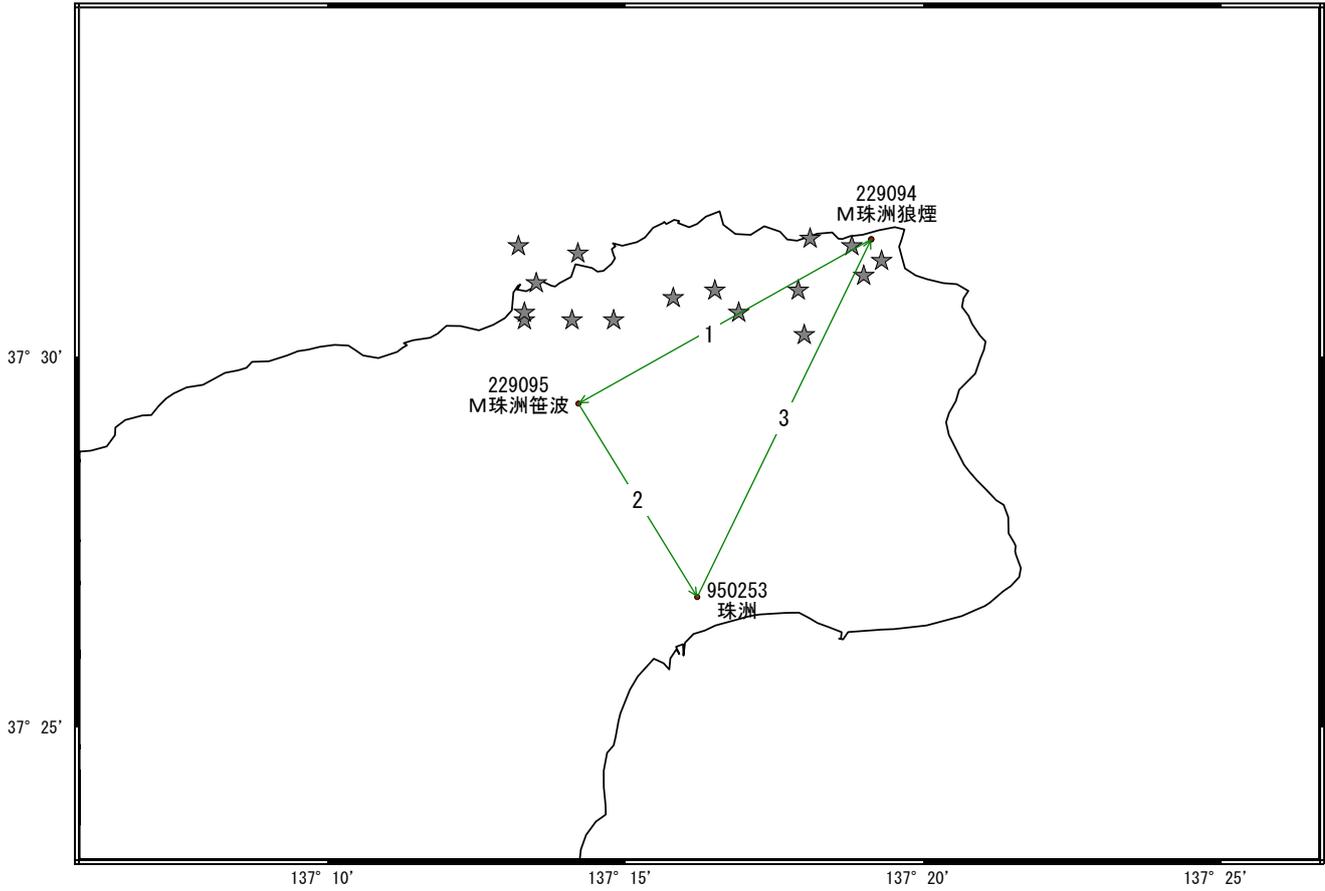


●— [F5:最終解] ●— [R5:速報解]

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 —

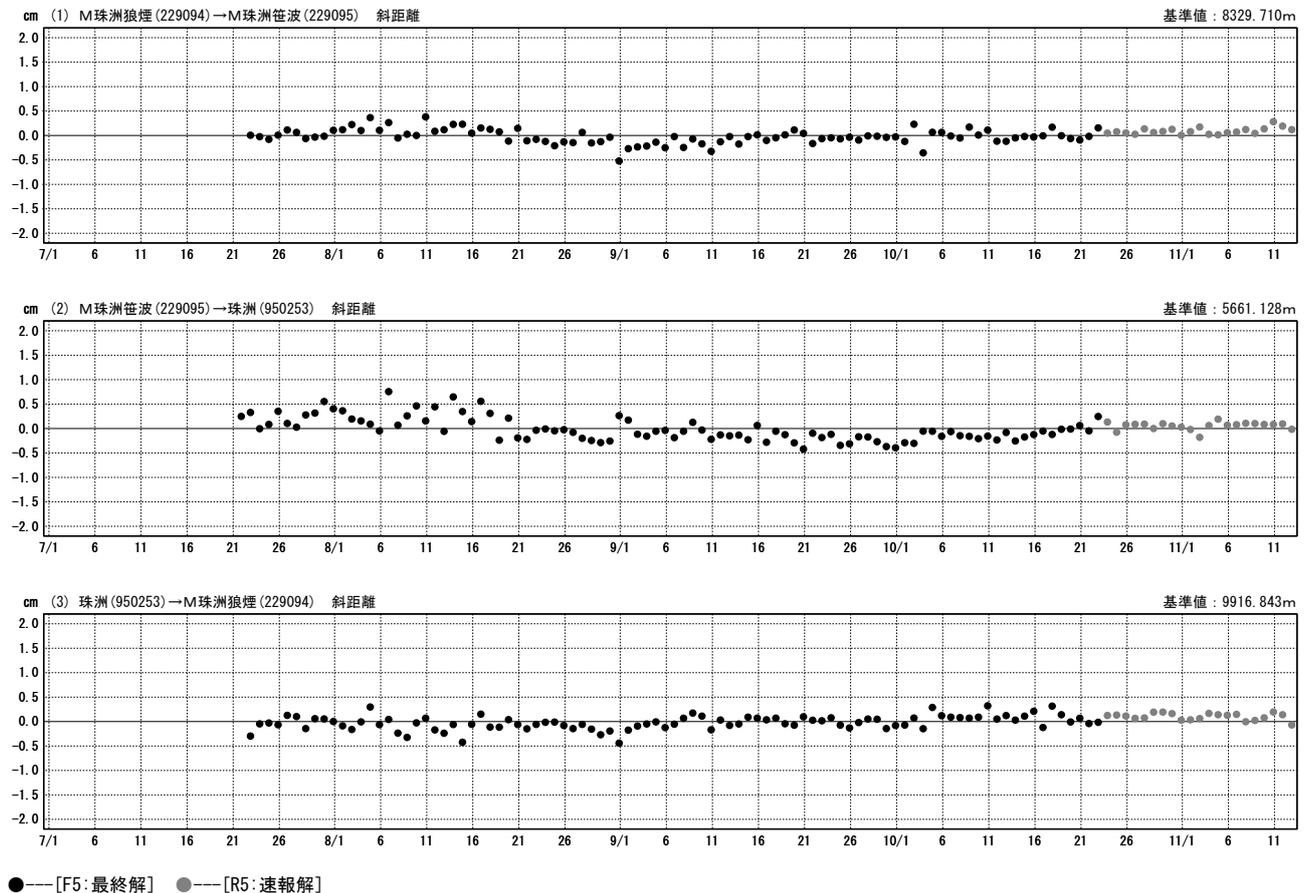
基線図



★ 震央（2020年11月以降 M>4.0）

基線変化グラフ

期間：2022/07/01～2022/11/12 JST



非定常ETASモデルから見える能登半島群発地震活動の地域的变化（続報2）

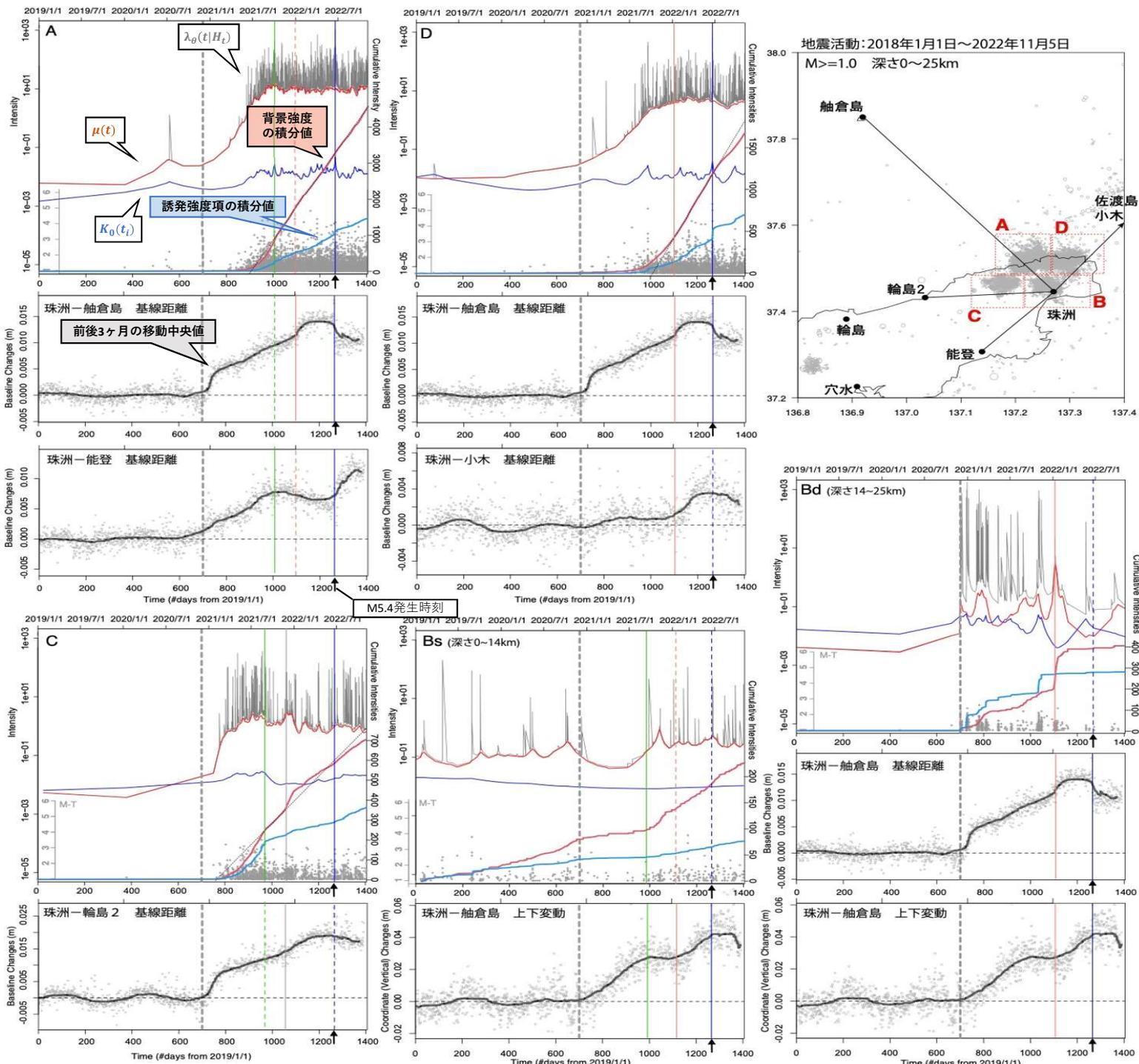
熊澤貴雄、尾形良彦（統計数理研究所）

1. 各領域A~Dの背景強度 $\mu(t)$ の時間発展を推定し、各群発領域を通るGNSS斜距離の変化との対応を考察した。
2. 背景強度 $\mu(t)$ と斜距離の加速増大はB地域深部から他地域の脆性断層内への流体貫入による破壊に至るシナリオを支持する。
3. 領域B深部（Bd）で珠洲観測点の上昇変化が $\mu(t)$ の急増加と同時に珠洲-舢倉島の斜距離が加速的増大し、次いで10か月間程度等速（線形）に増加した。これらに対応して、A, C, D群の $\mu(t)$ が何れも加速増大し、そして等速的に増大した。
4. 加速開始から等速的増大に至る時間的遅延や時間間隔はB地域と群発他地域が離れていることに関係している。
5. 珠洲-舢倉島の斜距離はその1年後で再び加速度的に増大し、約半年間停滞し、その後急減少した。前者は領域B深部（Bd）での間欠的な活動の $\mu(t)$ の急上昇に伴い、後者は領域AとDの境界でのM5.4地震のストレス変化が起きたためである。
6. B地域深部（Bd）でのバースト活動で余震強度成分の少ない $\mu(t)$ の急増加が地殻変動に大きく寄与している。
7. 最近（2022年11月5日現在）では、能登半島のストレス場方向の斜距離変化率が一定値に向かっている様に見え、領域B深部（Bd）、D、Cの $\mu(t)$ は減少している。しかし、AとDの $\mu(t)$ は高いままである。

非定常ETASモデル：
$$\lambda_{\theta}(t|H_t) = \underbrace{\mu(t)}_{\text{背景強度}} + \sum_{\{i: S \leq t_i < t\}} \underbrace{K_0(t_i)}_{\text{余震誘発強度}} e^{\alpha(M_i - M_c)} / (t - t_i + c)^p$$
 単位は地震数/日、各色は下図に対応

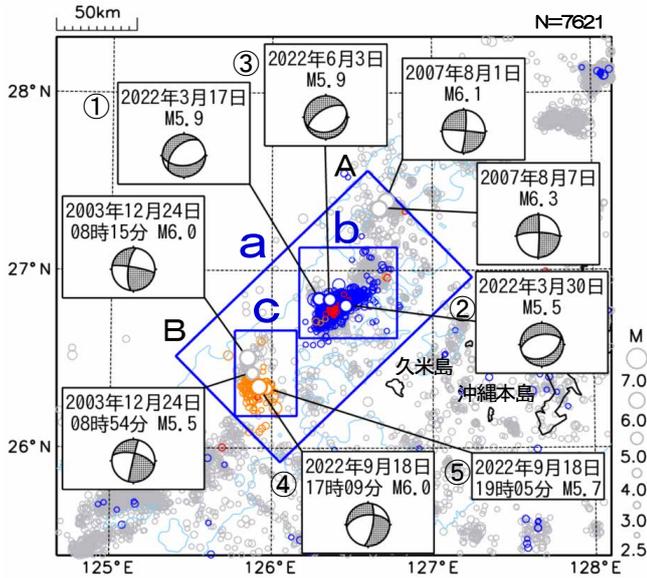
背景強度

余震誘発強度



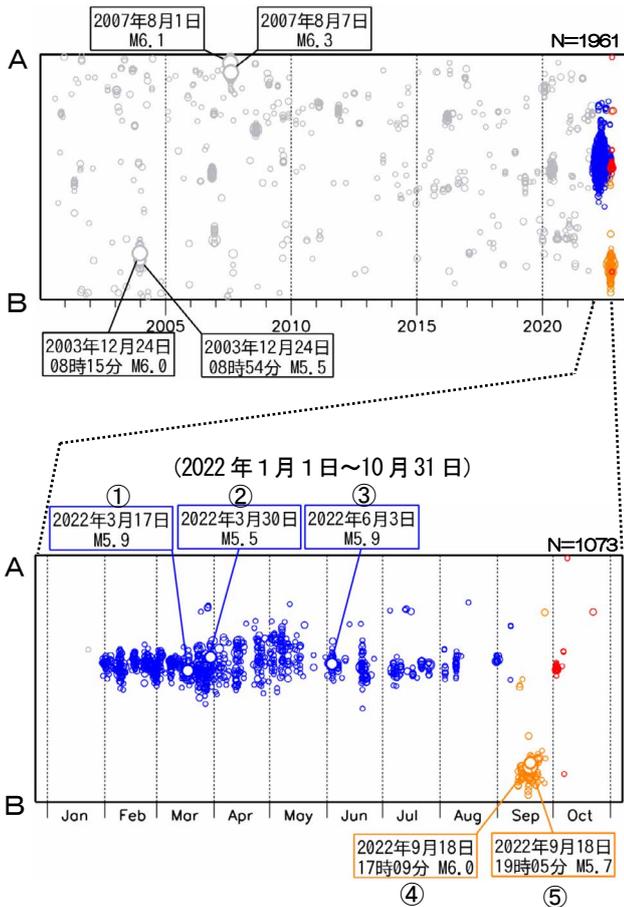
沖縄本島北西沖の地震活動

震央分布図
 (2000年7月1日～2022年10月31日、
 深さ0km～60km、 $M \geq 2.5$)
 2022年1月30日以降の地震を青色、9月12日以降の地震
 を橙色、10月の地震を赤色で表示

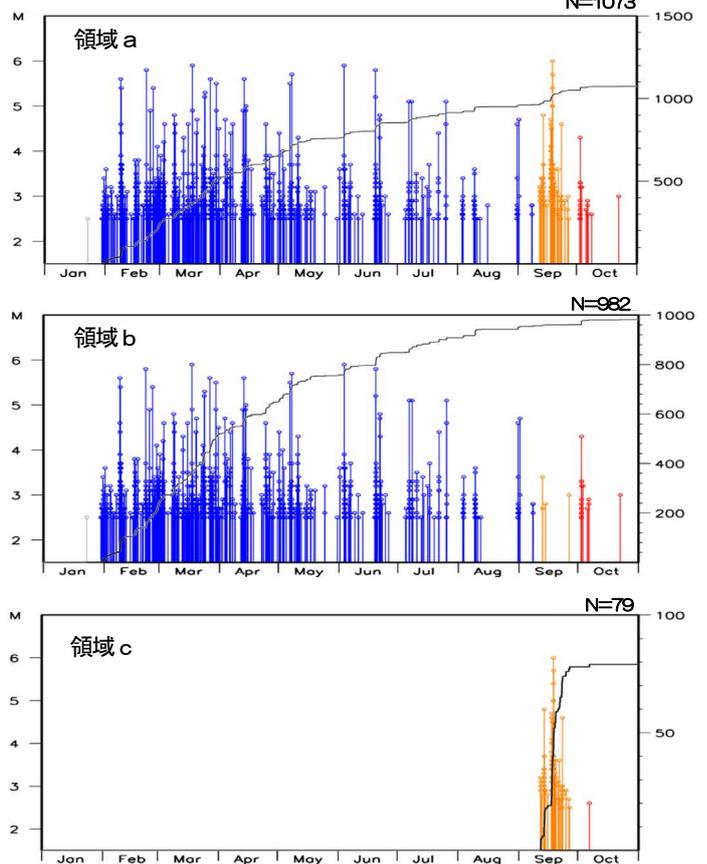


図中の水色の等値線は水深1500mを示す。

領域a内の時空間分布図 (A-B投影)



各領域内のM-T図及び回数積算図
 (2022年1月1日～10月31日)



沖縄本島北西沖 (領域a) では、2022年1月30日から地震活動が活発になり、10月31日までに震度1以上を観測する地震が77回 (震度3 : 2回、震度2 : 27回、震度1 : 48回) 発生した。この地震活動は、沖縄トラフの活動で陸のプレート内で発生している。

久米島の北西約50km (領域b) では、3月17日及び6月3日にはM5.9の地震 (いずれも最大震度2、それぞれ図中①、③)、3月30日にはM5.5の地震 (最大震度3、図中②) が発生した。これらの地震の発震機構 (CMT解) は、北北西-南南東方向に張力軸を持つ正断層型である。領域bでは1月30日から10月31日までに震度1以上を観測する地震が69回 (震度3 : 1回、震度2 : 26回、震度1 : 42回、このうち10月中は震度1 : 2回) 発生している。なお、10月に入り活動は低調になった。

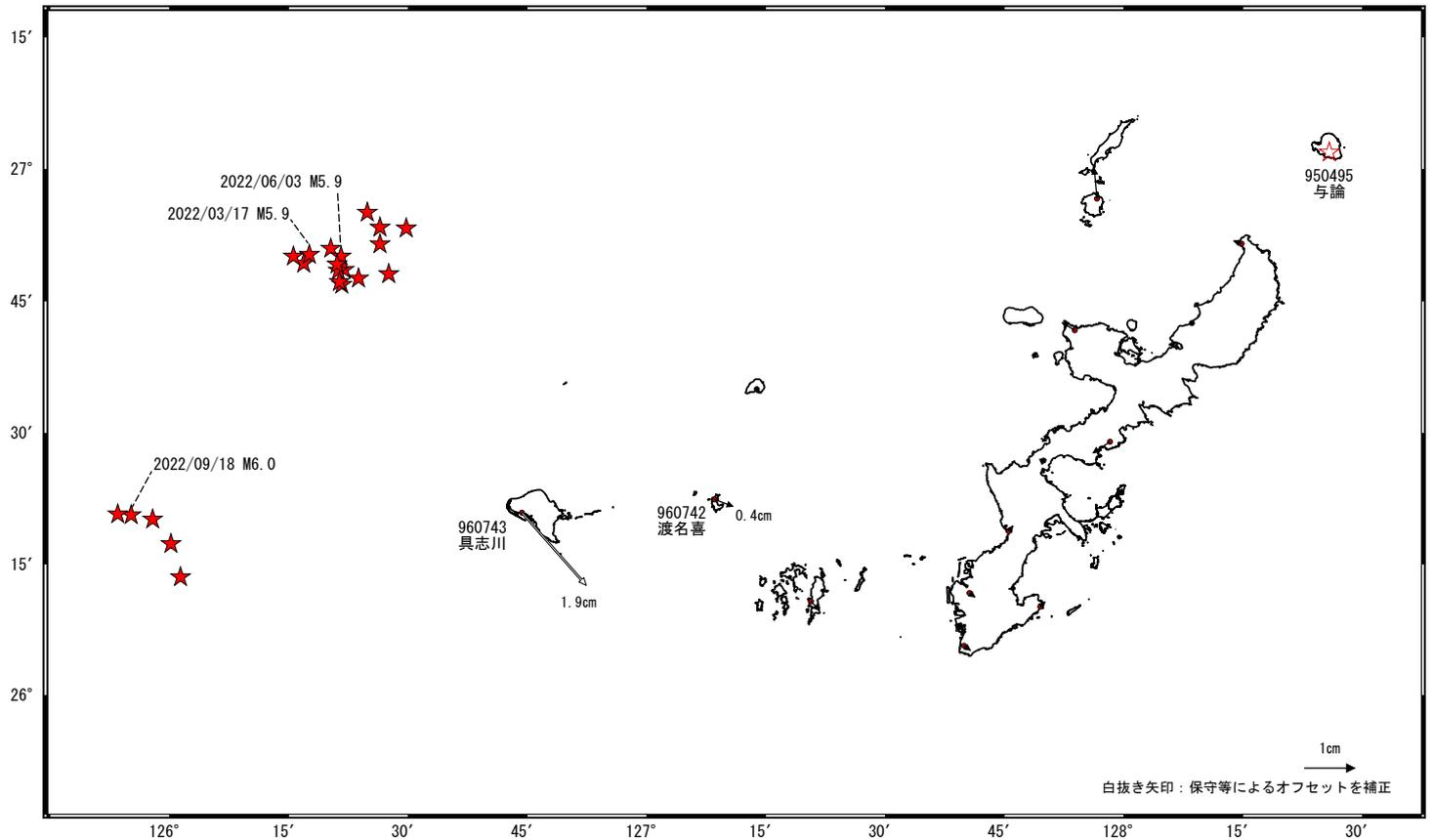
久米島の西約80km (領域c) では、2022年9月18日17時09分にM6.0の地震 (最大震度2、図中④) が発生した。この地震の発震機構 (CMT解) は、北西-南東方向に張力軸を持つ横ずれ断層型である。また、領域cでは同日19時05分にM5.7の地震 (最大震度3、図中⑤) が発生した。領域cでは9月12日から地震活動が活発になったが、9月下旬ごろから活動は落ち着いている。9月12日から9月30日までに震度1以上を観測する地震が8回 (震度3 : 1回、震度2 : 1回、震度1 : 6回) 発生した。なお、10月に震度1以上を観測する地震は発生していない。

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: 2022/10/27~2022/11/02 [R5: 速報解]

計算期間: 2021/01/01~2021/12/31

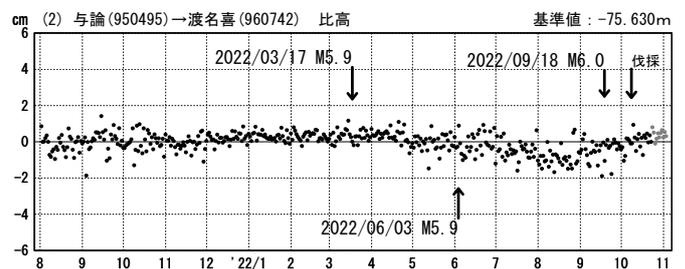
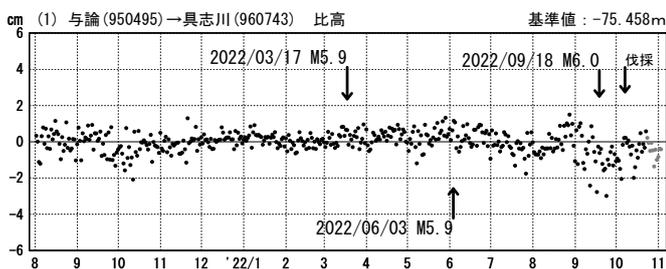
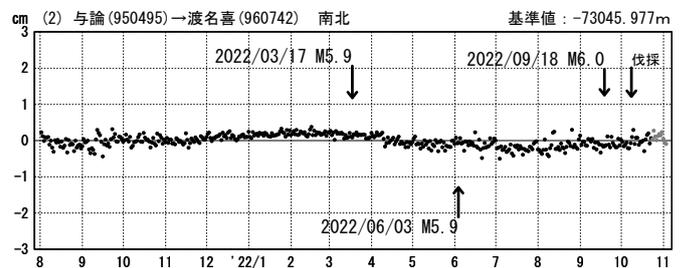
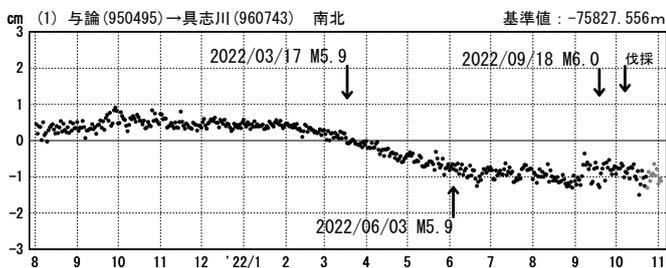
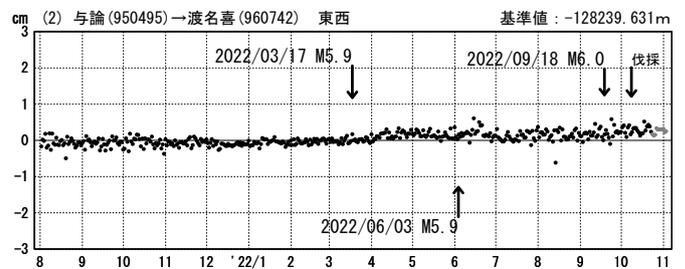
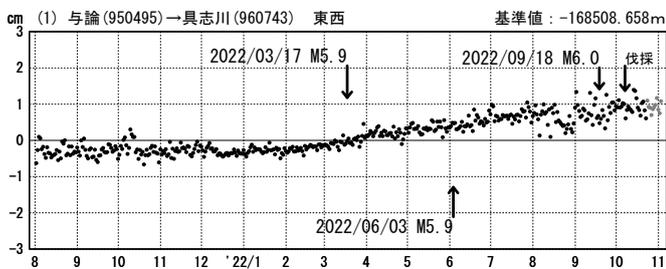


☆ 固定局: 与論 (950495) ★ 震央

1次トレンド除去後グラフ

期間: 2021/08/01~2022/11/02 JST

期間: 2021/08/01~2022/11/02 JST 計算期間: 2021/01/01~2022/01/01



●--- [F5: 最終解] ●--- [R5: 速報解]

2022年9月18日 台湾付近の地震

(1) 概要

2022年9月18日15時44分に台湾付近の深さ3kmでM7.3の地震（日本国内で観測された最大の揺れは震度1）が発生した。この地震の発震機構（CMT解）は、北北西－南南東方向に圧力軸を持つ型である。気象庁はこの地震に対し、同日15時49分に宮古島・八重山地方に津波注意報を発表した（同日17時15分に解除）。なお、この地震による津波は観測されなかった。

今回の地震による日本国内の被害はなかった（総務省消防庁による）。台湾では、少なくとも死者1人、負傷者140人以上などの被害※が生じた。

9月18日の台湾付近の地震に対して発表した津波注意報を図1－1に示す。

※被害は、OCHA（UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs：国連人道問題調整事務所）による（2022年10月4日現在）。



図1－1 9月18日の台湾付近の地震に対して発表した津波注意報

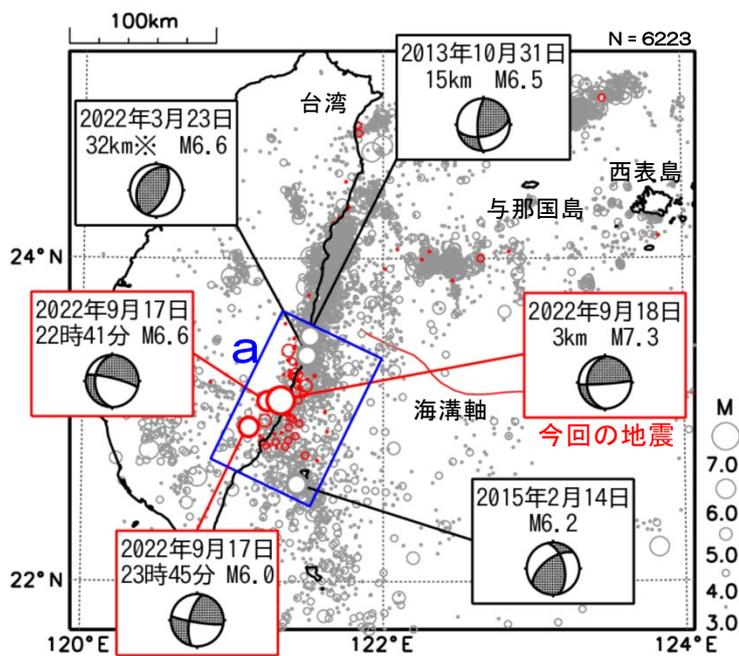
(2) 地震の発生場所の詳細及び地震の発生状況

2022年9月18日15時44分に台湾付近の深さ3kmでM7.3の地震（日本国内で観測された最大の揺れは震度1）が発生した。

今回の地震の震央付近（図2－1の領域a）では、前日17日22時41分にM6.6の地震及び17日23時45分にM6.0の地震が発生したが、これらの地震による日本国内での揺れは観測されなかった。

今回の地震発生直後は、地震活動が活発であった。

2009年9月以降の活動をみると、今回の地震の震央付近（図2－1の領域a）では、M6.0以上の地震が時々発生しており、2022年3月23日のM6.6の地震では、日本国内で観測された最大の揺れは震度2であった。



※の付いた地震の深さは CMT 解による。

図 2-1 震央分布図
(2009年9月1日~2022年9月30日、深さ0~50km、 $M \geq 3.0$)
2022年9月の地震を赤く表示、図中の発震機構は CMT 解。

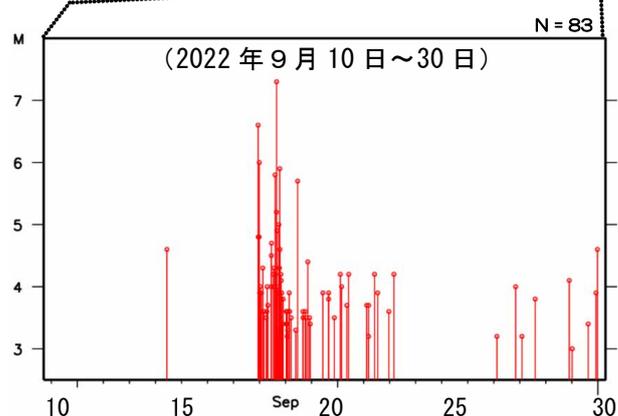
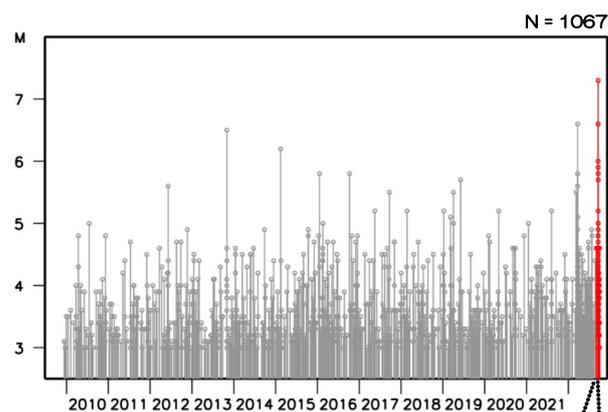


図 2-2 図 2-1 の領域 a 内の M-T 図

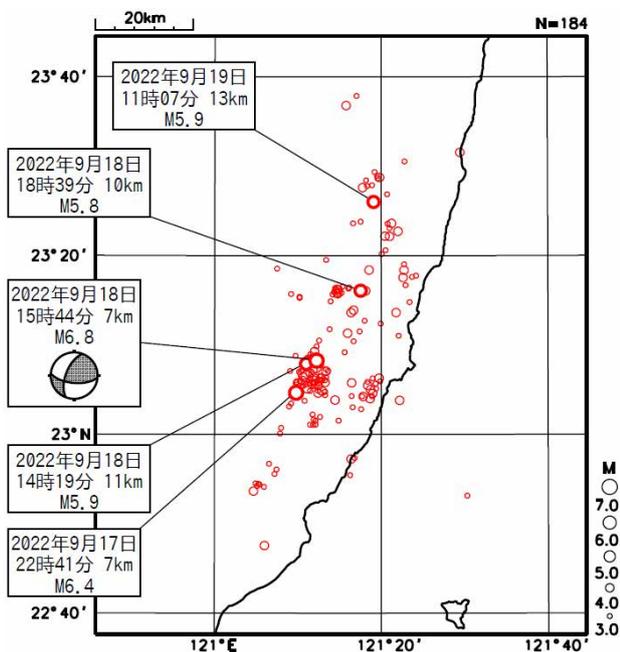


図 2-3 台湾中央気象局による震源^{※1}の震央分布図
(2022年9月17日~22日、 $M \geq 3.0$ 、深さ0~30km)

図中の発震機構は CMT 解 (Global CMT)。

※1) 台湾中央気象局による震源時、震源位置、マグニチュード
(<https://scweb.cwb.gov.tw/zh-tw/earthquake/data/>)。

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

第 237 回地震予知連絡会 地殻活動の予測実験

「能登半島の地殻活動の現状と今後について」趣旨説明

京都大学防災研究所 西村卓也

1. 背景

石川県珠洲市では、2020 年 12 月から地震活動が活発になり、2022 年 11 月現在も依然として活発な群発活動が継続している。この地震活動と同期するように群発地震震源域周辺の隆起や膨張を示す地殻変動も観測されており、2022 年 6 月 19 日には、現在までの最大地震（M5.4、最大震度 6 弱）が発生し、地震調査委員会は一連の地震活動は当分続く可能性を指摘している。このような能登半島の群発地震活動は、継続期間や地震規模の点から見て、近年では有数の規模であり、活発な活動が非火山地域かつプレート境界のような活動的な断層帯も存在しない能登半島北東部で発生した原因についてはよくわかっていない。

一連の地震に関しては、本年 7 月には科学研究費助成事業（特別研究促進費）の助成により「能登半島北東部において継続する地震活動に関する総合調査」が開始されているほか、10 月に開催された日本地震学会においては 13 件の研究発表があった。本日の連絡会においても地殻活動モニタリングに関する検討において、気象庁、国土地理院、統計数理研究所などからの報告がある。そこで、能登半島の地殻活動における現状を整理し、今後の活動を予測するための鍵について議論を行う。

2. 論点

- 群発地震を発生させている原動力は何か？地震活動の拡大の様子などから、流体の関与が指摘されているが、具体的にどのように地震活動に関わっているのか？
- 4つの主要活動域の地震活動の時間変化の差をもたらす要因は何か？特に南側深部（気象庁資料の d 領域）のバースト的な活動をどのように捉えるか？
- 現在のところ南側の活動域を除いて、震源の深さは概ね 10km 以深にとどまっているように見えるが、なぜ浅部へは移動しないのか？
- 地殻変動源の有意な時間変化はあるか？
- 今後の地震活動を予測するためには、どのような観測・理論が必要か？現状不足しているものは何か？

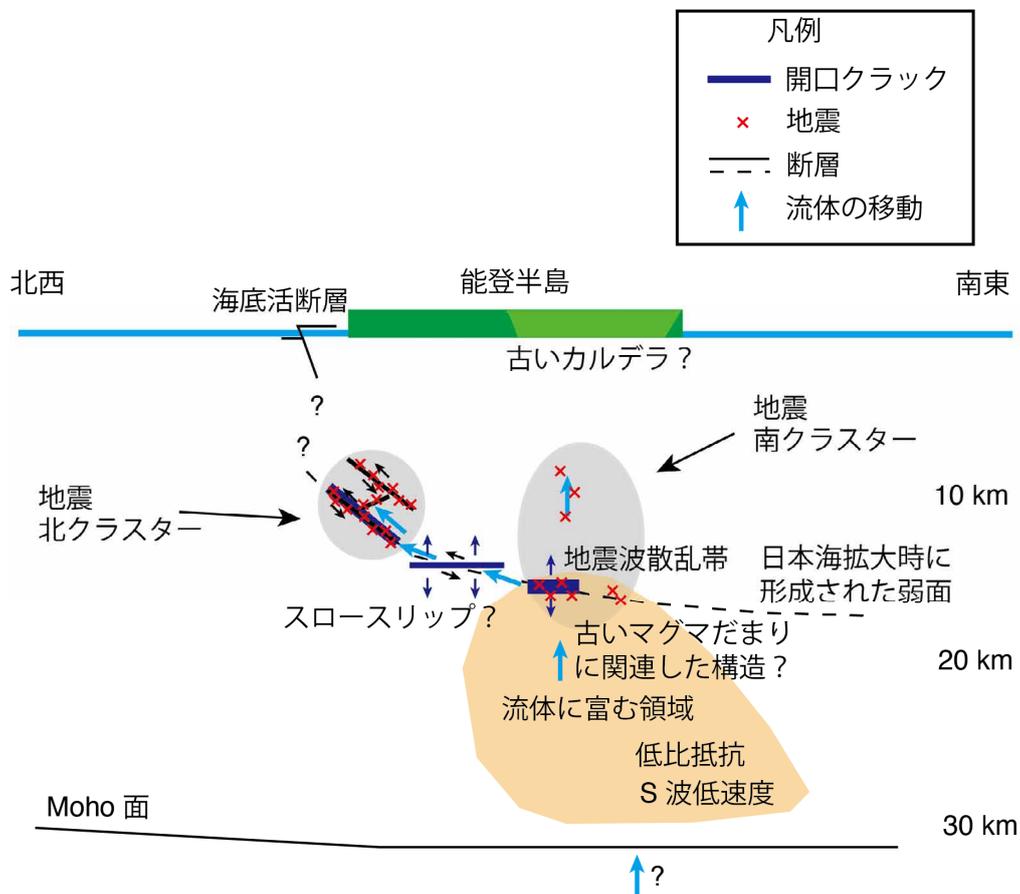


図 能登半島の地殻活動に関する模式図. 平松(2022 JpGU), 西村・他(2022 地震学会), 吉田・他(2022 地震学会), 吉村・他(2022 SGEPPS), Nakajima(2022 EPS)らを参考に作成した。

重点検討課題の検討

「内陸地震の長期予測」
について

第 237 回地震予知連絡会 重点検討課題 趣旨説明

「内陸地震の長期予測」 “Long-term forecast of crustal earthquakes”

コンビーナ 京都大学防災研究所 西村卓也

1. 背景

我が国における内陸地震の長期予測は、1995年の阪神淡路大震災以降、地震調査研究推進本部（地震本部）による「主要活断層帯の長期評価」として実施されており、防災対策の基礎資料として活用されている。現在では、全国の陸域における主要活断層帯の長期評価は一通りの評価が終了し、新たな知見や大地震の発生による更新や海域の活断層の評価が行われている。一方、2014年長野県北部の地震(M6.7)、2016年熊本地震(M7.3)や2018年大阪府北部地震(M6.1)、2018年北海道胆振東部地震(M6.7)などの内陸被害地震の発生により、活断層評価に基づく内陸地震の長期予測の有効性や課題が明らかになりつつある。

2. 課題

現在実施されている「主要活断層帯の長期評価」では、M7以上の地震を引き起こす可能性のある主要活断層帯のみが評価対象であり、それより小さな内陸地震は評価対象外となっているが、M6-7程度の内陸地震でも多くの被害が発生している。また、活断層の一部のみがずれる地震や地表に痕跡を残さない伏在断層で生じる内陸地震を評価できないという問題点もある。地震本部ではこれらの問題点を踏まえて、「活断層の地域評価」を実施しているが、まだ全国の評価は終了していない。

一般的に地震の長期予測には、地震活動や活断層データが用いられことが多いが、最近では測地観測に基づく地殻変動データを用いた予測モデルも提案されている。米国カリフォルニア州では、これら3種のデータを組み合わせた長期予測も実施されており、我が国でも地震活動や測地データを用いた大地震の予測研究が試みられている状況にある。

3. 報告

- ①活断層の長期評価における課題
- ②背景地震活動度を用いた内陸地震の長期予測と検証評価
- ③測地データを用いた内陸地震の長期予測
- ④地震発生履歴・応力変動を考慮した内陸地震発生予測

4. 論点

- 活断層評価に基づく長期予測の今後の展開は？
- 地震活動や測地データを用いた長期予測の有効性とその課題は何か？
- 複数の予測手法を組み合わせる手法について
- 長期予測から現状評価に基づく中短期の予測に発展させるためには何が必要か？

話題提供者〔敬称略〕

1. 活断層の長期評価における課題

東京大学地震研究所 石山 達也

2. 測地データを用いた内陸地震の長期予測

京都大学防災研究所 西村 卓也

3. 背景地震活動度を用いた内陸地震の長期予測と検証評価

統計数理研究所 尾形 良彦

4. 地震発生履歴・応力変動を考慮した内陸地震発生予測

東北大学災害科学国際研究所 遠田 晋次

活断層の長期評価における課題

石山達也（東京大学地震研究所）

ポイント：

- 高分解能 LiDAR データの利活用、広帯域バイブレーター震源など新しい物理探査技術の活用等による、活断層の位置・形状・活動性の解明
- 多様な時空間スケールのすべりを考慮した、特に長大・複雑な構造を持つ活断層の長期予測
- 伏在活断層・海域活断層の長期評価には、位置・形状・活動性の解析・データの蓄積が必要

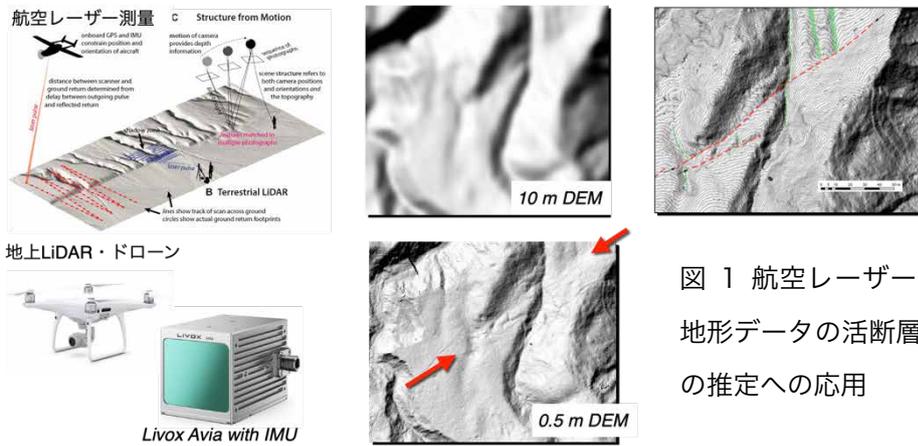


図 1 航空レーザー測量による高解像度地形データの活断層の詳細位置・活動性の推定への応用

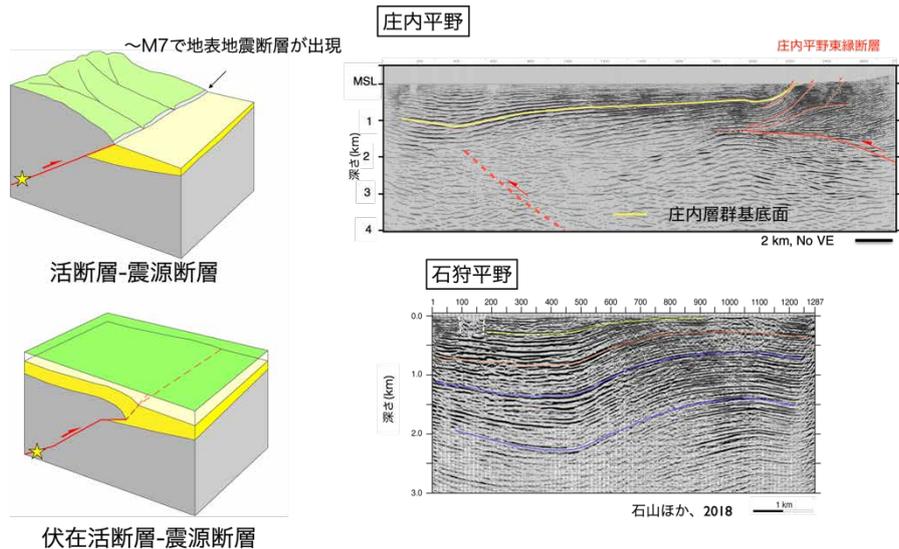


図 2 (左) 伏在活断層の模式図。(右) 日本海側の堆積平野で高分解能反射法地震探査により発見された伏在活断層。人口の多い堆積平野の伏在活断層の位置・長さ・活動度を解明することが長期評価上の重要な課題である。

測地データを用いた内陸地震の長期予測

西村卓也（京都大学防災研究所）

ポイント

- 西日本と北海道を対象に、測地（GNSS）データから内陸（地殻内）地震の発生確率の試算を行った。
- 実際の地震活動と比較して予測モデルの検証を行い、西日本では有効性が明らかになった。
- 北海道における試算では、発生確率の高い場所で地震がより多く起こる傾向は確かめられたものの、絶対数が過大となる問題点も明らかになった。

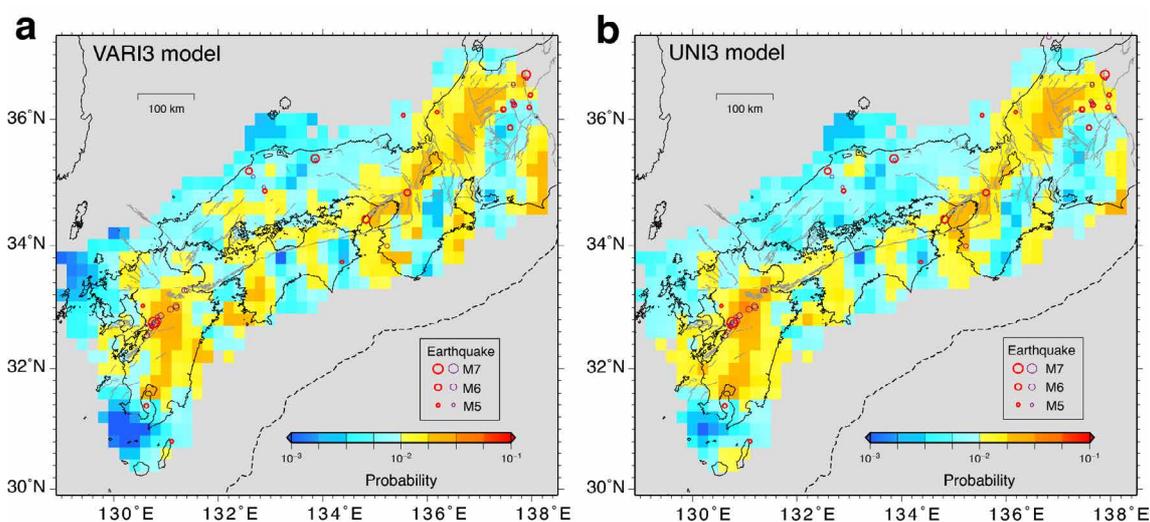


図 1. GNSS データから計算される西日本の地殻内地震の発生確率. カラスケールは 30 年間にマグニチュード 6 以上の地殻内地震が発生する確率を表す. (a) 地震発生層厚さと剛性率の空間変化を考慮したモデル. (b) 地震発生層厚さと剛性率を一様としたモデル

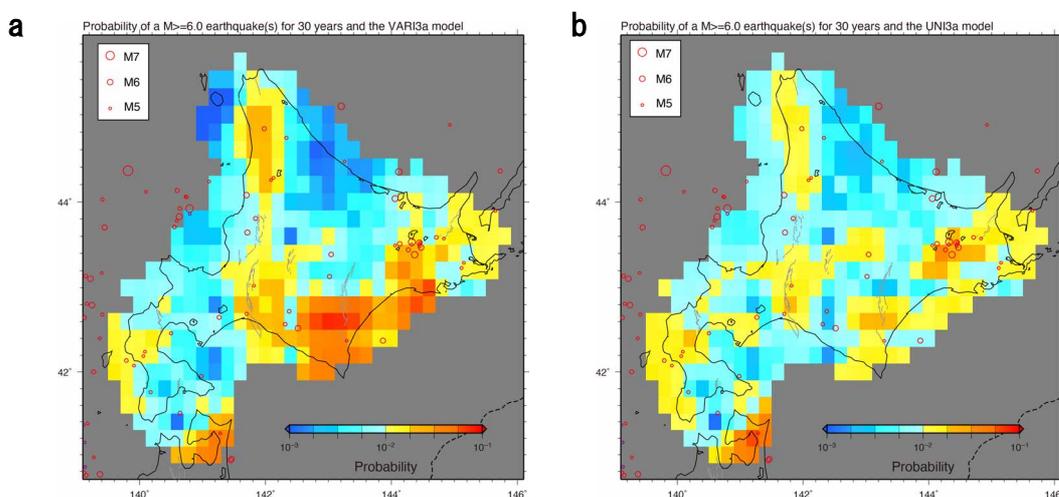


図 2. GNSS データから計算される北海道の地殻内地震の発生確率. それ以外は図 1 と同じ.

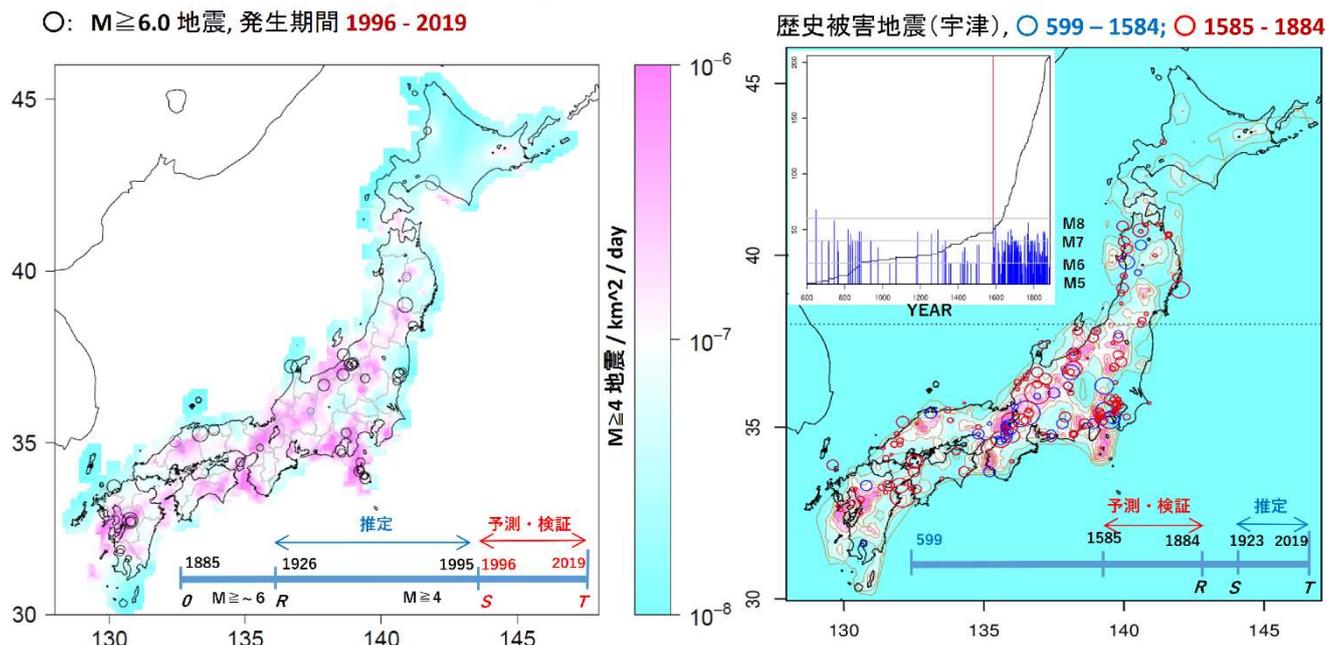
背景地震活動度を用いた内陸地震の長期予測と検証評価

尾形良彦（統計数理研究所）

1. 直下型地震を予測するモデルとして、内陸部で一様な配置のモデル(a); 非一様な配置のモデル(b); 地域性を考慮した2種類の時空間 ETAS (HIST-ETAS) モデルから誘発項を取り除いた背景活動密度モデル(cとd; モデルdはcの拡張) の予測性能を比較評価した。

2. マグニチュード分布のグーテンベルク・リヒター則でb値が内陸全域で0.9を仮定し、発生地震結果の対数尤度スコアによると、モデル(d) (下記の両図の配色や等高線) はM6クラス以上の内陸地震の長期確率予測や歴史被害地震の発生場の所在の説明に最も優れている (下記の2表の赤字)。

HIST-ETAS 常時地震活動度 (M \geq 4.0)



予測期間 1996~2019

予測マグニチュードの範囲	M \geq 4.0	M \geq 4.5	M \geq 5.0	M \geq 5.5	M \geq 6.0	M \geq 6.5	M \geq 7.0
地震数	2765	990	305	103	43	18	5
(a) 内陸部一様ポアソン密度	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(b) 不均質な最適ポアソン密度	2835.0	1024.9	264.8	60.1	12.3	9.8	2.5
(c) HIST-ETAS- μK の背景密度	2270.7	843.5	230.0	53.7	16.9	9.2	3.0
(d) HIST-ETAS-5pa の背景密度	2576.7	954.1	263.7	61.6	19.9	10.6	2.5

歴史被害地震 予測期間 1585~1884; 予測範囲 北緯38°以南 (北海道、北東北を除く)

予測マグニチュードの範囲	全て	M \geq 5.5	M \geq 6.0	M \geq 6.5	M \geq 7.0	M \geq 7.5
地震数	131	129	114	57	25	3
(a) 内陸部一様ポアソン密度	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(b) 不均質な最適ポアソン密度	-7.8	-11.3	-15.7	-16.3	-12.4	-1.2
(c) HIST-ETAS- μK の背景密度	32.9	28.1	24.0	9.8	4.0	1.1
(d) HIST-ETAS-5pa の背景密度	36.7	31.8	29.4	12.5	5.5	1.6

赤字は比較している予測モデルの最大対数尤度値

地震発生履歴・応力変動を考慮した内陸地震発生予測

遠田晋次（東北大学 災害科学国際研究所）

ポイント

- 活断層における大地震発生確率は、近傍の地震活動によって変動。周辺の大地震による応力伝播の影響を受けやすい。
- 応力伝播の影響継続時間は歪速度に反比例。内陸では数十年程度。つまり、過去数十年間に起こった大地震の周辺域で次の地震が発生しやすい。
- 【熊本地震の例】震源域での余震期間は短く、熊本市、有明海南部、八代市、八代海などでは数十年と推定。日奈久断層帯など周辺活断層の確率も一時的に上昇。一方で、応力低下に対応した地震活動静穏化も顕著。

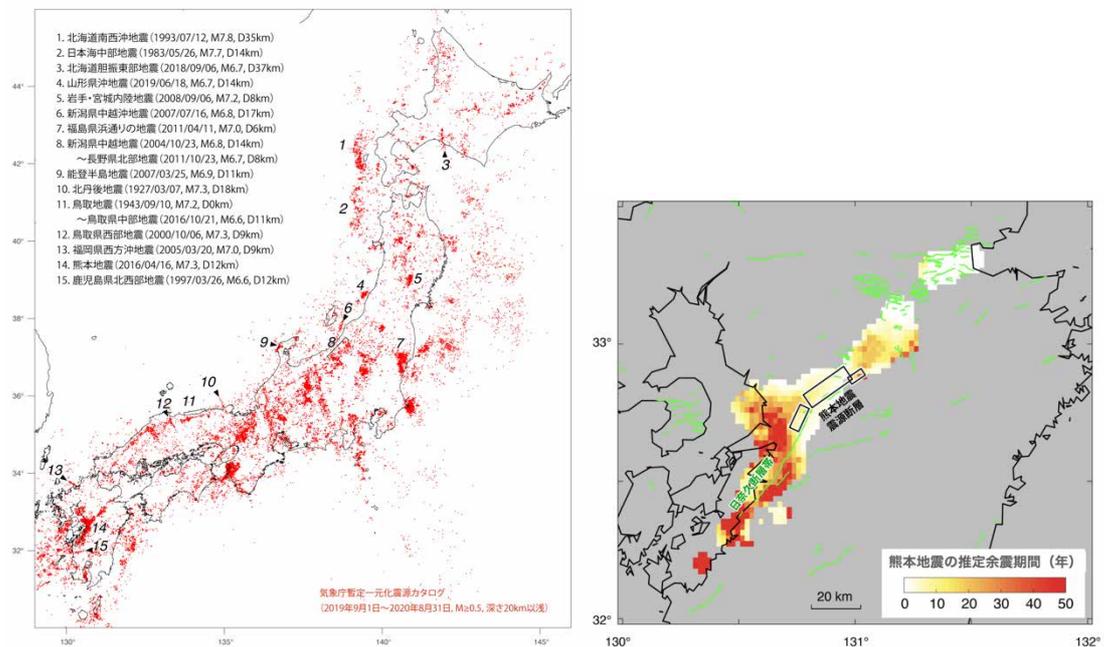


図1 最近1年間の浅部地殻内地震と過去の内陸大地震 図2 熊本地震の広義の余震の推定継続期間

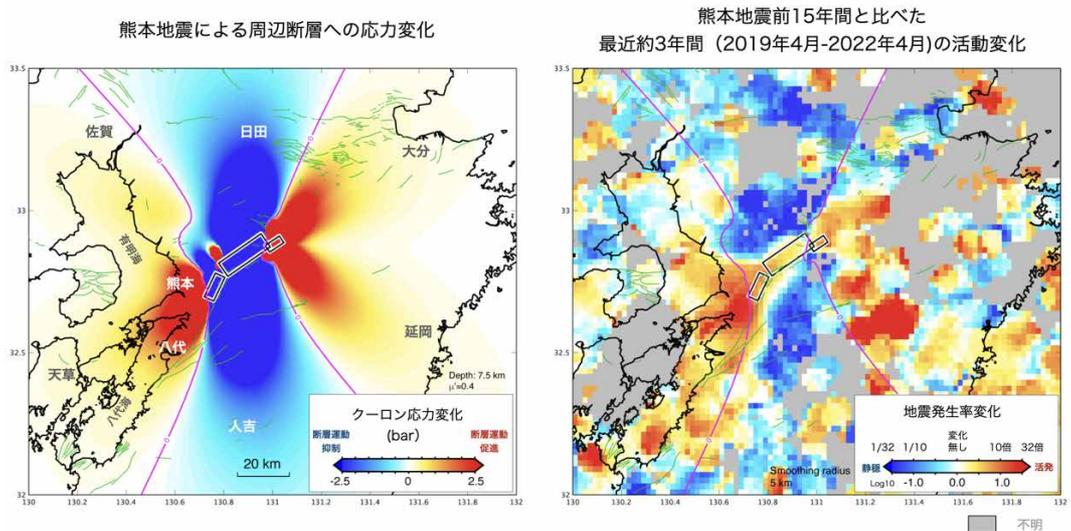


図3 熊本地震による応力変化（左）と同地震前後の地震発生率変化（右、最近3年間）

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”

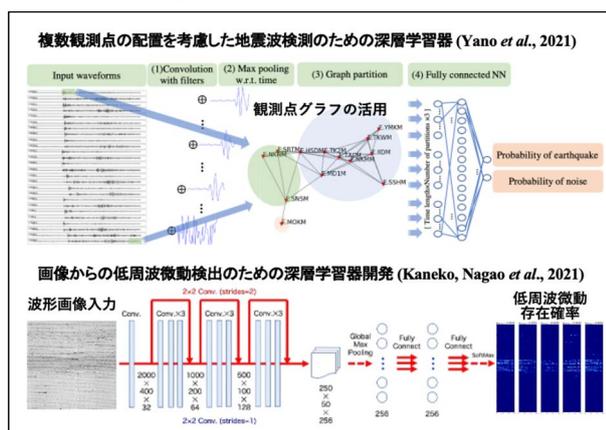
コンビーナ 東京大学名誉教授 平田 直
東京大学地震研究所 長尾大道

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 (予定)

- 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 (予定)

- 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？