

令和3年11月26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233回定例会（2021年11月）－

地震予知連絡会は11月26日、第233回定例会を開催し、令和3年8月～令和3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（08）－試行から実施への移行」についての検討を実施しました。

本定例会はWEB会議形式で実施されました。記者会見につきましても、新型コロナウイルスの感染拡大防止対応のため、WEB会議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/233/233.html>



■地殻活動モニタリングの検討結果

1. 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2021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41回であった。このうち、最大震度5弱以上を観測した地震は3回発生した（気象庁・資料2頁）。

（2）日本周辺における浅部超低周波地震活動

十勝沖で8月および9月に超低周波地震が散発的に検出された。（防災科学技術研究所・資料3頁）。

（3）日本列島のひずみ変化

GNSS 連続観測によると、最近1年間の日本列島のひずみには、東北地方太平洋沖地震及び熊本地震の余効変動の影響が見られる。また、福島県沖の地震、宮城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）。

1. 2 プレート境界の固着状態とその変化

(1) 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、四国中部から豊後水道（7月16日～8月1日）において発生した。これ以外の主な深部低周波微動活動は、東海地方（9月19日～22日）、四国東部（8月22日～28日）で観測された（防災科学技術研究所・資料5頁）。

GNSS 連続観測により、2021 年 7 月中旬から 8 月上旬にかけて四国西部で短期的スロースリップが検出された。プレート間のすべりを推定した結果、最大 9 mm のすべりが推定された（国土地理院・資料6頁）。

○紀伊半島西部・四国東部の非定常的な地殻変動

GNSS 連続観測により、紀伊半島西部・四国東部で 2020 年夏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、最大 8cm のすべりが推定された（国土地理院・資料7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 17cm のすべりが推定された（国土地理院・資料8頁）。

○九州地域の非定常的な地殻変動

GNSS 連続観測により、2020 年夏頃から九州南部で観測されている非定常的な地殻変動は、2021 年春頃に鈍化したまま、現在もその状態が続いている（国土地理院・資料9頁）。

1. 3 その他

(1) 岩手県沖の地震（10月6日 M5.9）

2021 年 10 月 6 日 02 時 46 分に岩手県沖の深さ 56km で M5.9 の地震（最大震度 5 強）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逆断層型で、太平洋プレート内部で発生した（気象庁・資料10頁）。

(2) 千葉県北西部の地震（10月7日 M5.9）

2021 年 10 月 7 日 22 時 41 分に千葉県北西部の深さ 75km で M5.9 の地震（最大震度 5 強）が発生した。この地震は、発震機構が東西方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートとフィリピン海プレートの境界で発生した（気象庁・資料11-12頁）。

(3) 石川県能登地方の地震活動（最大規模の地震：9月16日 M5.1）

石川県能登地方では、2018 年頃から地震回数が増加傾向にあり、2020 年 12 月から地

震活動が活発になっている。2021 年 9 月 16 日 18 時 42 分には M5.1 の地震（最大震度 5 弱）が発生した。この地震は地殻内で発生した。この地震の発震機構は北西－南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であった（気象庁・資料 13 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約 1 cm の地殻変動や、最大 2 cm を超える隆起などの地殻変動が観測されている（国土地理院・資料 14-15 頁）。これらの地震活動の特徴を領域別に非定常 ETAS モデルで推定し、常時地震活動の変化と GNSS データなどとの対応について調べた（統計数理研究所・資料 16 頁）。

（４）和歌山県南方沖の地震（11 月 1 日 M5.0）

2021 年 11 月 1 日 05 時 35 分に和歌山県南方沖の深さ 20km で M5.0 の地震（最大震度 2）が発生した。この地震は、発震機構（CMT 解）が南北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 17 頁）。

（５）ハイチの地震（８月 14 日 Mw7.2）

2021 年 8 月 14 日 21 時 29 分（日本時間）、ハイチの深さ 10km で Mw7.2 の地震が発生した。この地震の発震機構（気象庁による CMT 解）は、北北東－南南西方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型であった（気象庁・資料 18-19 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 233 回定例会 重点検討課題>

課題名 「予測実験の試行（08）－試行から実施への移行」について（資料 22-24 頁）

コンビーナ 遠田 晋次（東北大学）

堀 高峰（海洋研究開発機構）

報告課題、報告者

1. 地殻変動予測：東北沖地震の余効変動 （資料 25 頁）

宗包 浩志（国土地理院）

藤原 智（国土地理院）

2. 気象庁震度データベースを用いた地震予測と

2015-2021 年の予測の評価 （資料 26-27 頁）

小泉 尚嗣（滋賀県立大学）

3. 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（6）

：これまでの取りまとめと今後の課題（資料 28 頁）

前田 憲二（気象研究所）

弘瀬 冬樹、溜渕 功史（気象研究所）

4. 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（資料 29 頁）

尾形 良彦（統計数理研究所）

5. 能登半島北部の地震活動と地震テクトニクス（資料 30 頁）

平松 良浩（金沢大学）

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 測量新技術研究官 岡谷 隆基

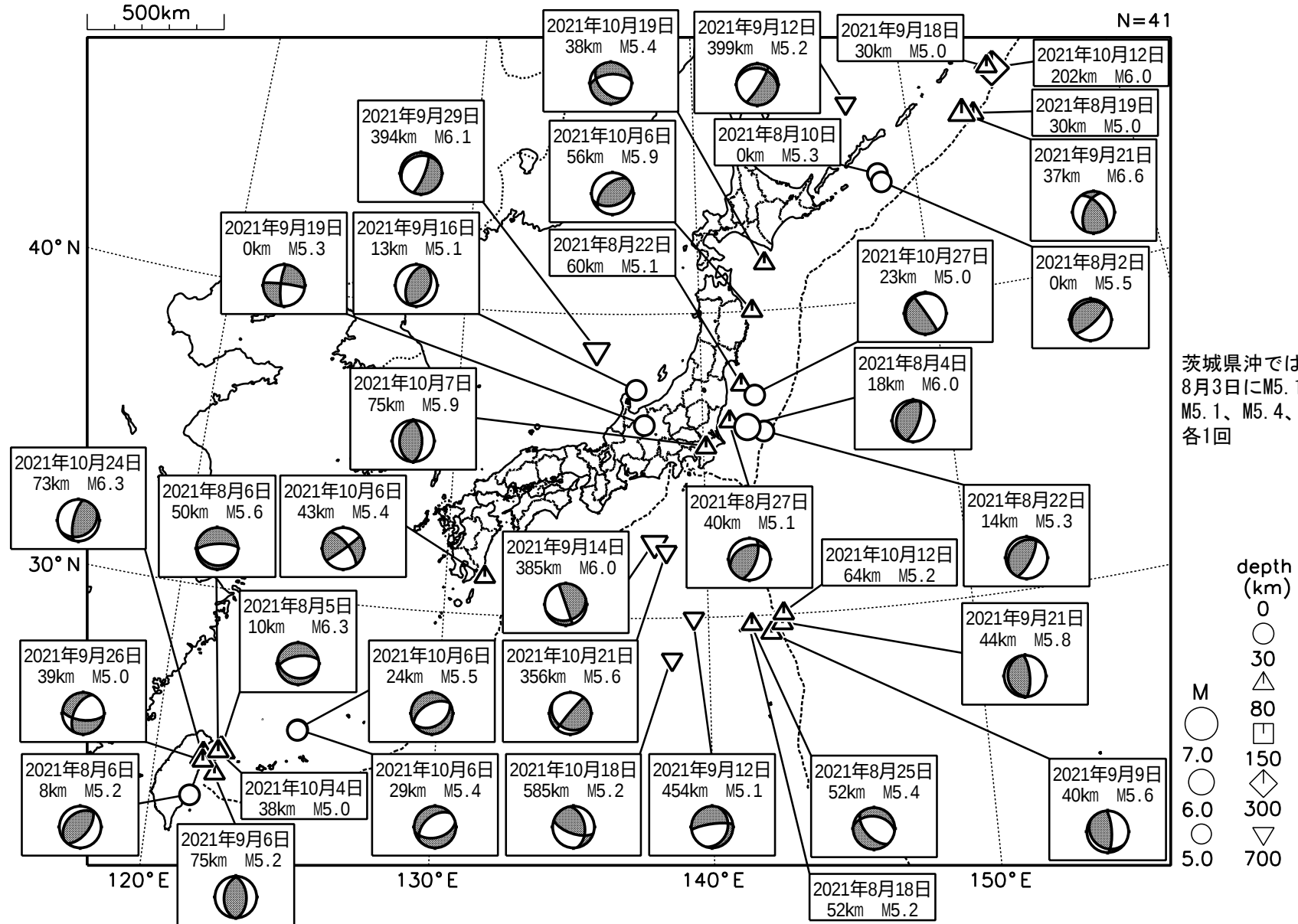
Tel：029-864-5903（直通） Fax：029-864-2655



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（2021年8月～10月、M 5.0）

2021 08 01 00:00 -- 2021 10 31 24:00

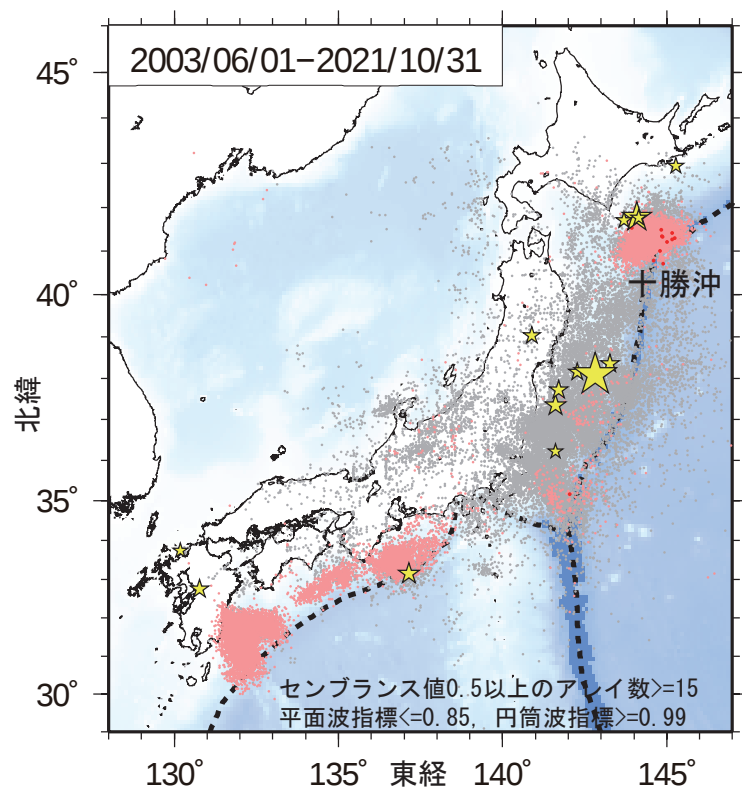


茨城県沖ではこの他に、
8月3日にM5.1、8月4日に
M5.1、M5.4、M5.7の地震
各1回

発震機構は気象庁によるCMT解
深さはCMT解による

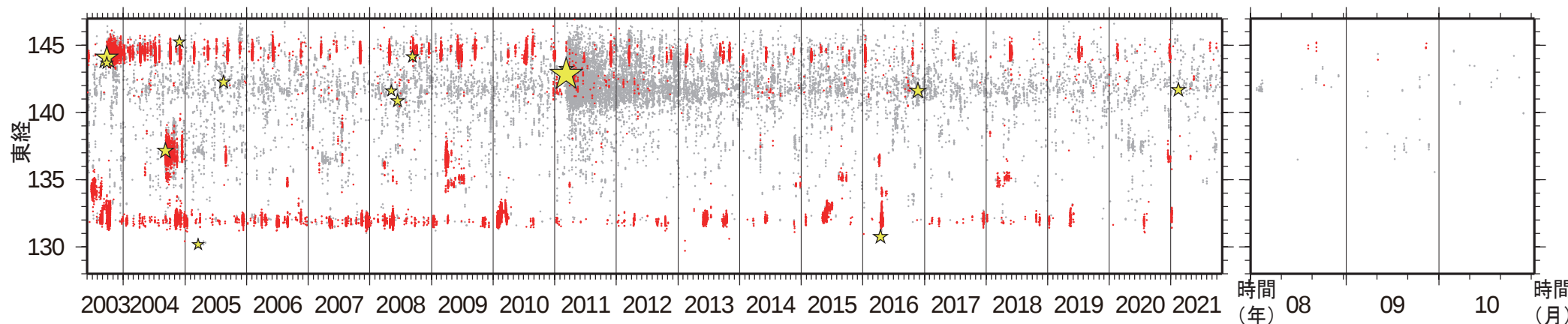
気象庁作成

日本周辺における浅部超低周波地震活動（2021年8月～10月）



●十勝沖で8月および9月に超低周波地震が検出されるも、目だった超低周波地震活動とはなかった。

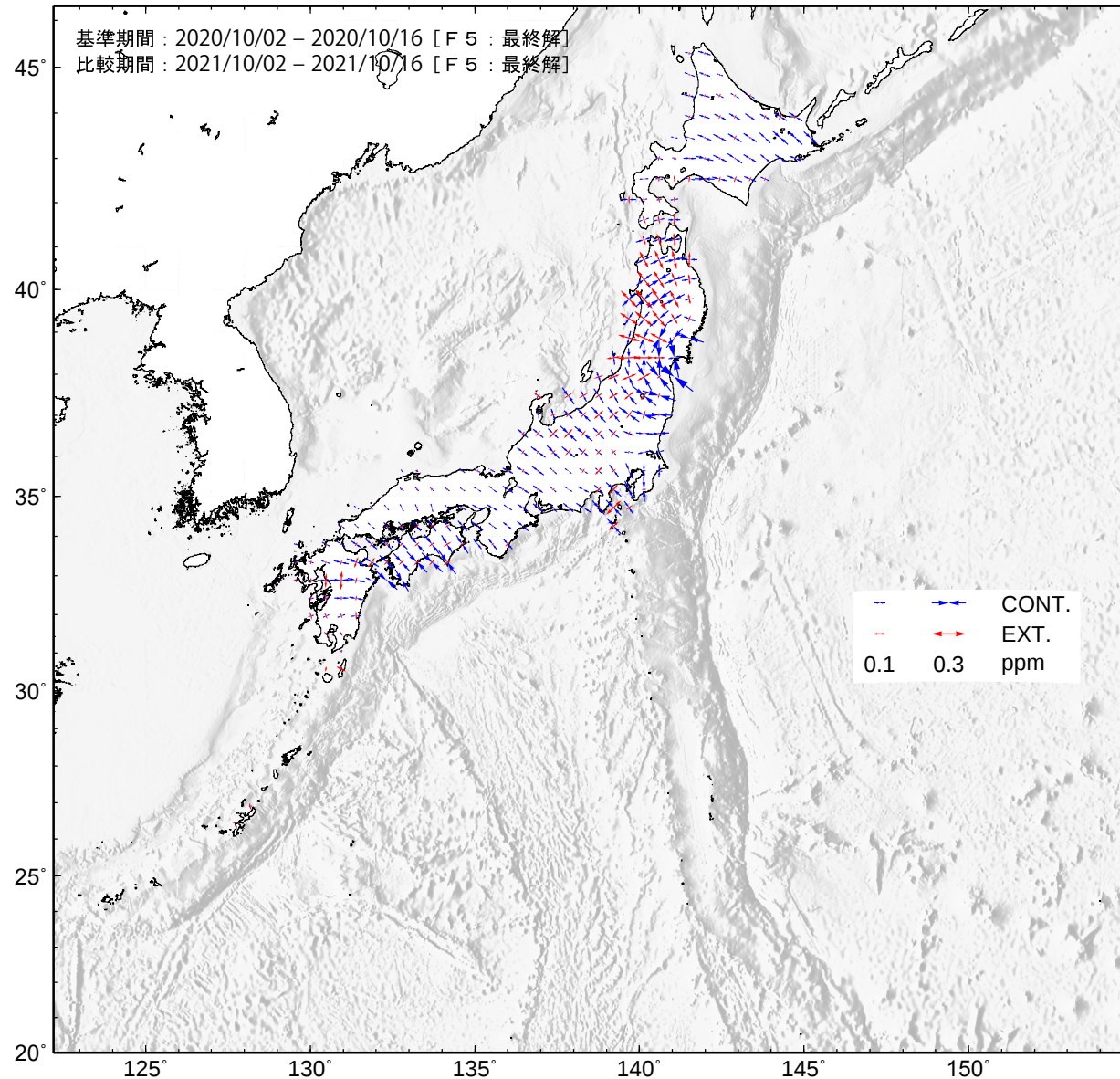
第1図. 2003年6月1日から2021年10月31日までの期間にアレイ解析によって検出されたイベントの震央分布. 検出イベントを防災科研 Hi-net の手動または自動検測震源と照合し、対応する地震が見出されたイベントを灰色で、それ以外を桃色（2021年7月31日以前）、および赤色（8月1日以降）の点でそれぞれ示す. これらは主として周期10秒以上に卓越する超低周波地震を表すが、東北地方太平洋沖地震の発生以降は、除去しきれない通常の地震を含む. 期間内に発生したM7以上の地震（ただし、2011年～2015年の期間は東北地方太平洋沖地震の本震のみ）の震央を黄色星印で示す.



第2図. 2003年6月1日から2021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。
- ・2021 年 2 月 13 日の福島県沖の地震の影響によるひずみが見られる。
- ・2021 年 3 月 20 日の宮城県沖の地震の影響によるひずみが見られる。
- ・2021 年 5 月 1 日の宮城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。



- ・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。

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（2021 年 8 月～10 月）その 1

- 短期的スロースリップイベントを伴う顕著な微動活動：
四国中部から豊後水道，7 月 16 日～8 月 1 日。
- 上記以外の主な微動活動：
東海地方，9 月 19 日～22 日。四国東部，8 月 22 日～28 日。

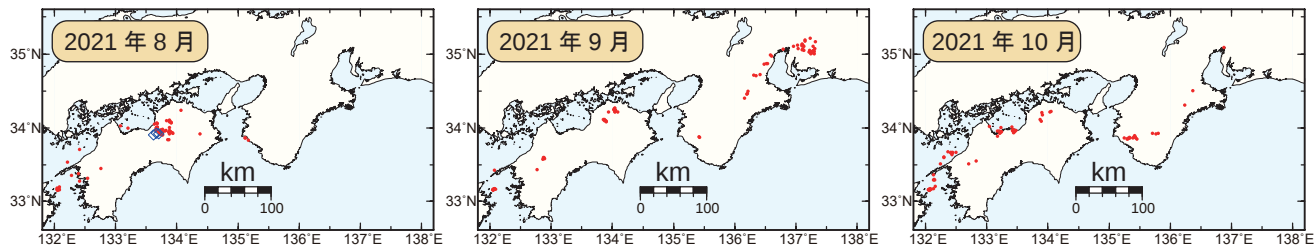


図 1. 西南日本における 2021 年 8 月～10 月の月毎の深部低周波微動活動。赤丸はエンベロープ相関・振幅ハイブリッド法 (Maeda and Obara, 2009) およびクラスター処理 (Obara et al., 2010) において，1 時間毎に自動処理された微動分布の重心である。青菱形は周期 20 秒に卓越する深部超低周波地震 (Ito et al., 2007) である。

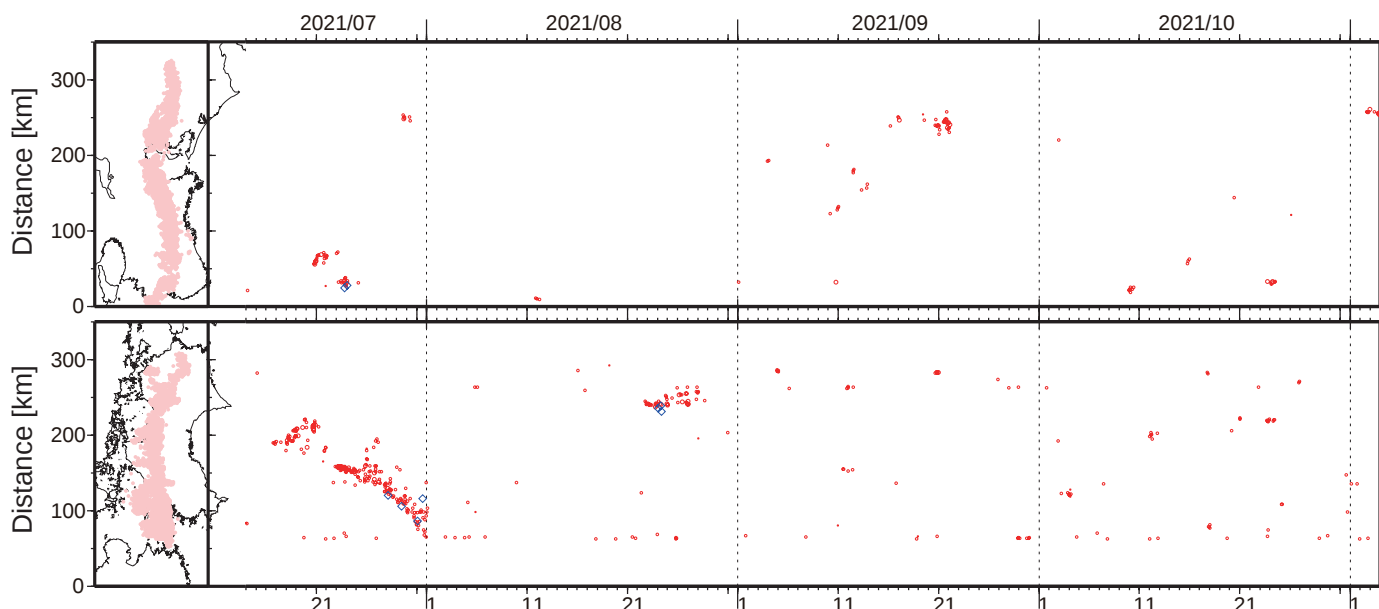


図 2. 2021 年 7 月 14 日～11 月 3 日の深部低周波微動（赤）および，深部超低周波地震（青菱形）の時空間分布。

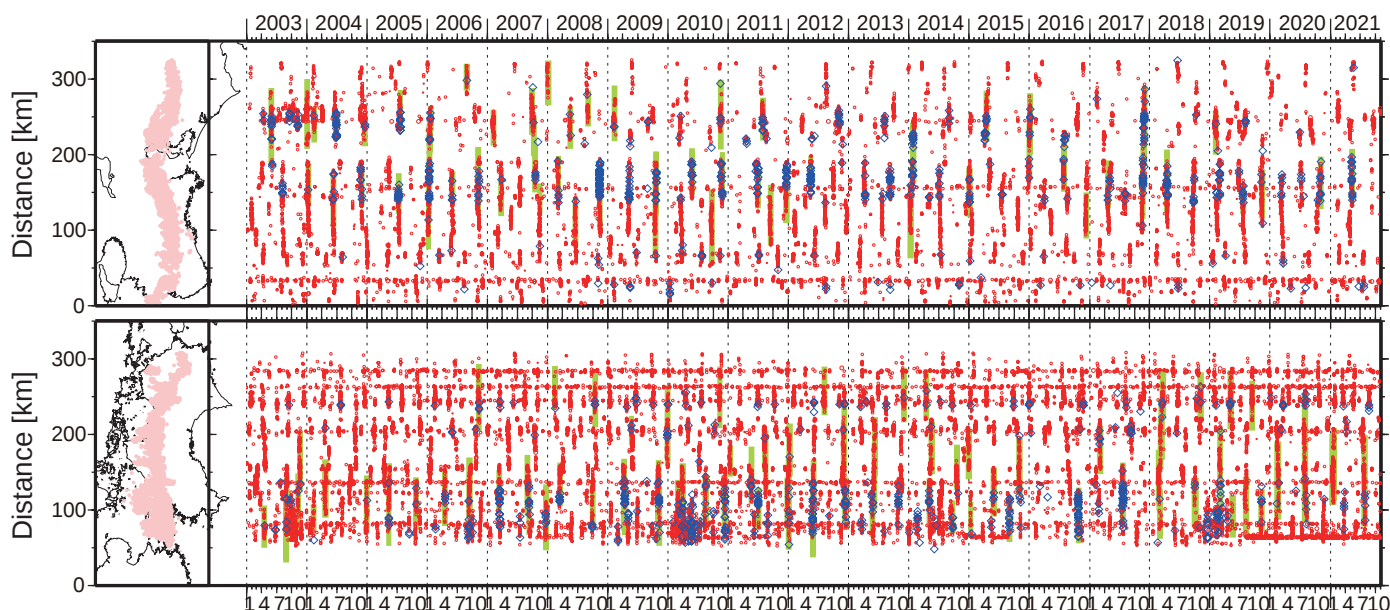
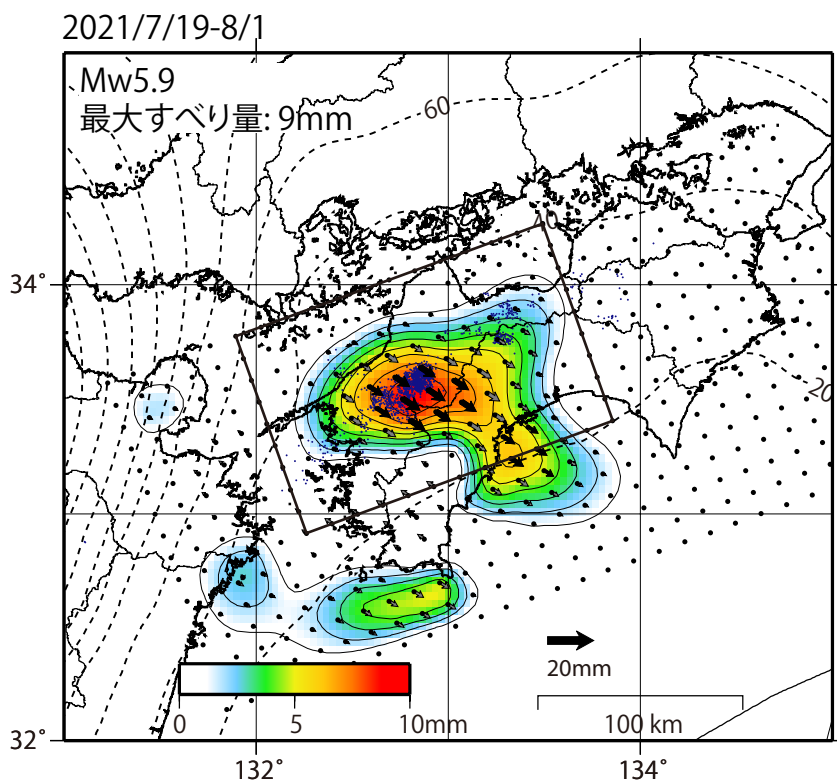


図 3. 2003 年 1 月～2021 年 11 月 3 日までの深部低周波微動（赤）および，深部超低周波地震（青菱形）の時空間分布。緑太線は，傾斜変動から検出された短期的スロースリップイベント。

GNSSデータから推定された
四国西部の深部低周波微動と同期したスロースリップ(暫定)

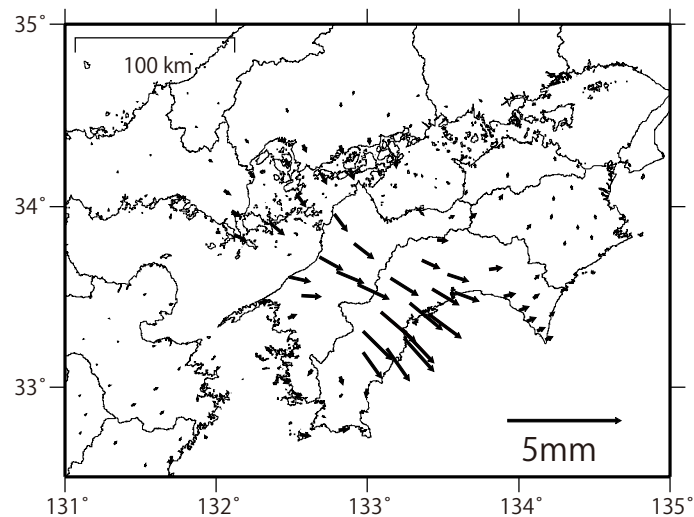
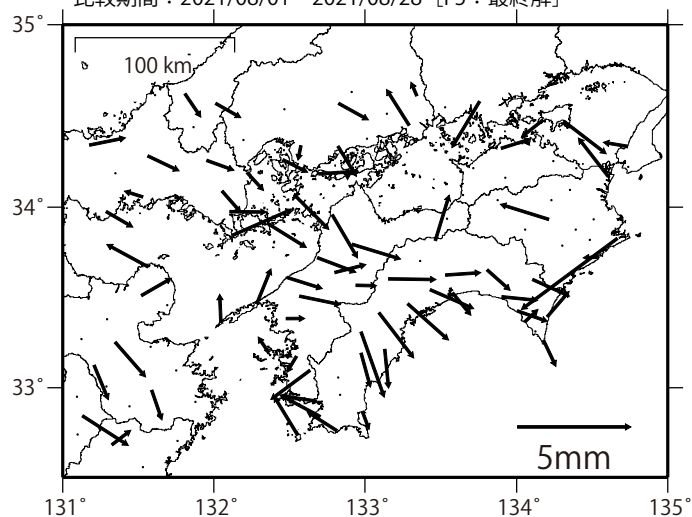


Mw及び最大すべり量はプレート面に沿って評価した値を記載。
すべり量(カラー)及びすべりベクトルは水平面に投影したものを示す。
推定したすべり量が標準偏差(σ)の3倍以上のグリッドを黒色表示している。

観測

計算

基準期間: 2021/06/10~2021/07/19 [F5: 最終解]
比較期間: 2021/08/01~2021/08/28 [F5: 最終解]



解析に使用した全観測点の座標時系列から、共通に含まれる時間変化成分は取り除いている。
また、基準期間と比較期間の間のオフセットをRamp関数で推定し、東西、南北のAICを合わせたAICで有意でない観測点は除外している。

解析に使用した観測点の範囲: 概ね北緯32~34.6°、東経131~134.8°

使用データ: F5解(2021/6/10 - 2021/8/28) ※電子基準点の保守等による変動は補正済み

トレンド期間: 2017/1/1 - 2018/1/1 (年周・半年周は2017/1/1-2021/8/28のデータで補正)

モーメント計算範囲: 上段の図の黒枠内側

黒破線: フィリピン海プレート上面の等深線(弘瀬・他、2007)

すべり方向: プレートの沈み込み方向と平行な方向に拘束

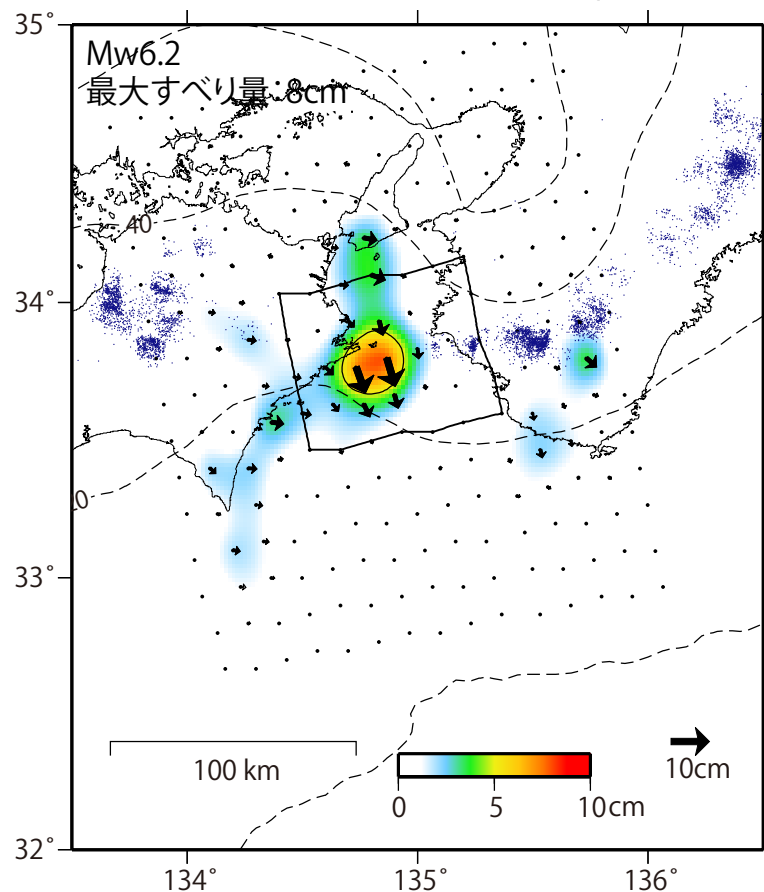
青丸: 低周波地震(気象庁一元化震源)

コンター間隔: 1mm

固定局: 三隅

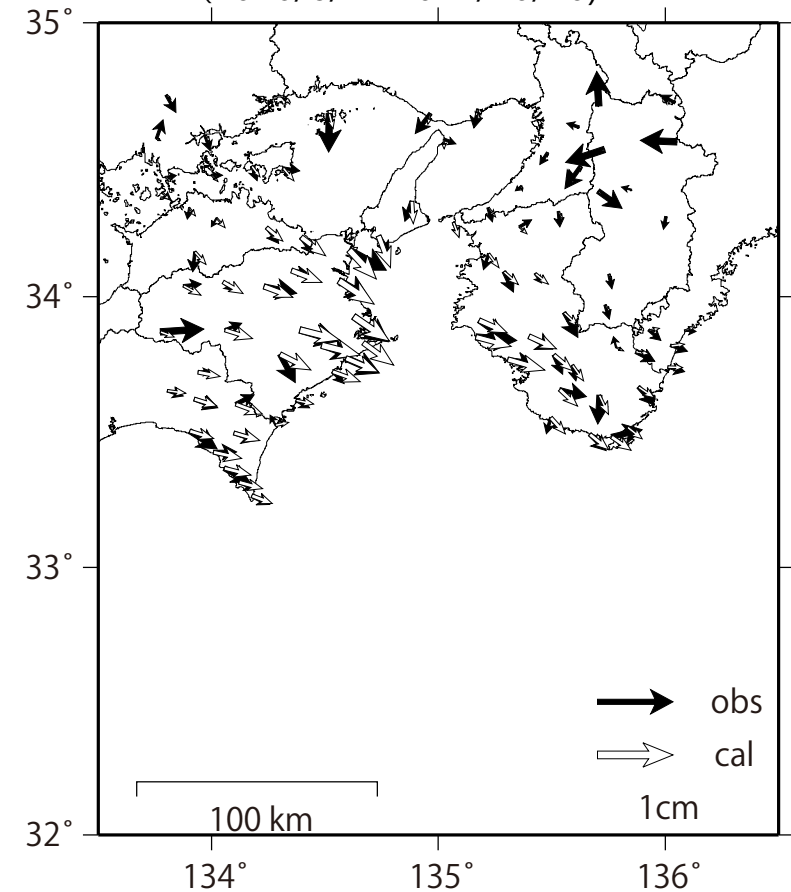
GNSSデータから推定された紀伊水道の長期的ゆっくりすべり（暫定）

推定すべり分布
(2020/6/1 - 2021/10/10)



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

観測値（黒）と計算値（白）の比較
(2020/6/1 - 2021/10/10)



使用データ：F5解 (2018/1/1 - 2021/9/26) + R5解 (2021/9/27 - 2021/10/10)

※電子基準点の保守等による変動は補正済み

トレンド期間：2017/1/1 - 2018/1/1

(年周・半年周成分は 2017/1/1 - 2021/10/10 のデータで補正)

モーメント計算範囲：左図の黒枠内側

観測値：3日間の平均値をカルマンフィルターで平滑化した値

黒破線：フィリピン海プレート上面の等深線 (弘瀬・他、2007)

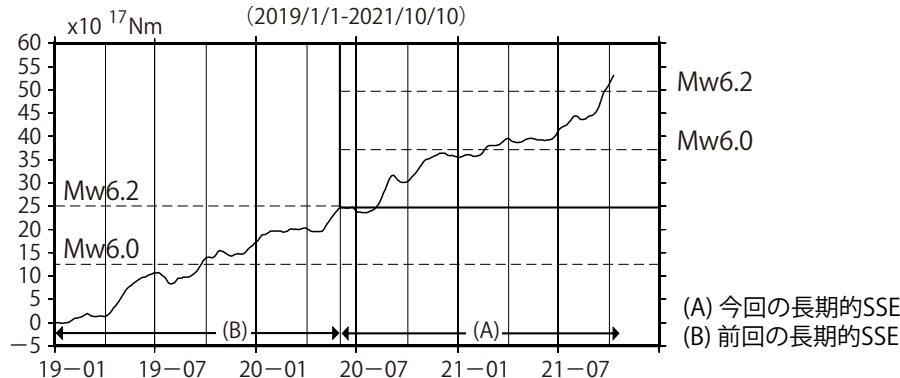
すべり方向：東向きから南向きの範囲に拘束

青丸：低周波地震（気象庁一元化震源）（期間：2020/6/1 - 2021/10/10）

固定局：網野

モーメント時系列(試算)

(2019/1/1-2021/10/10)

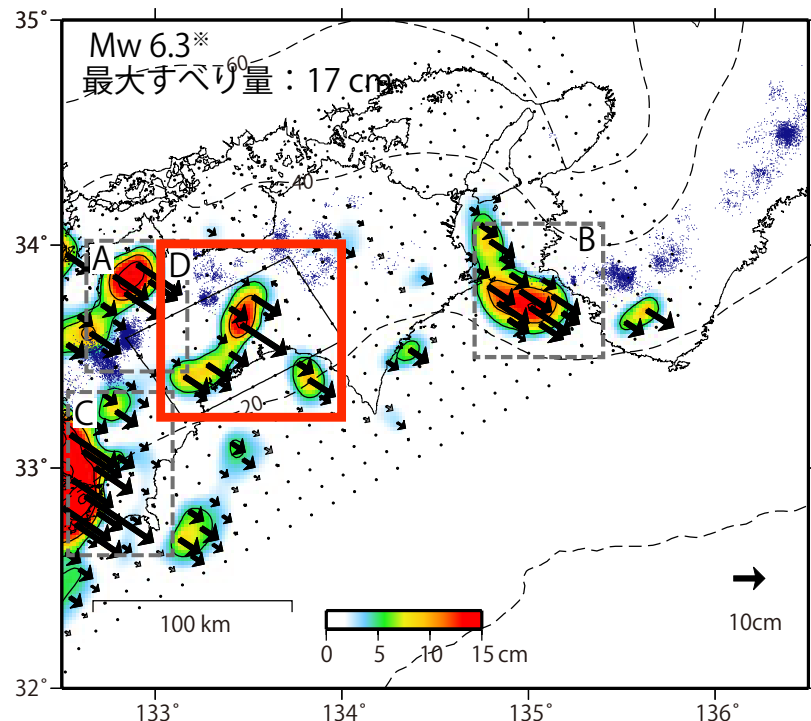


(A) 今回の長期的SSE

(B) 前回の長期的SSE

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）

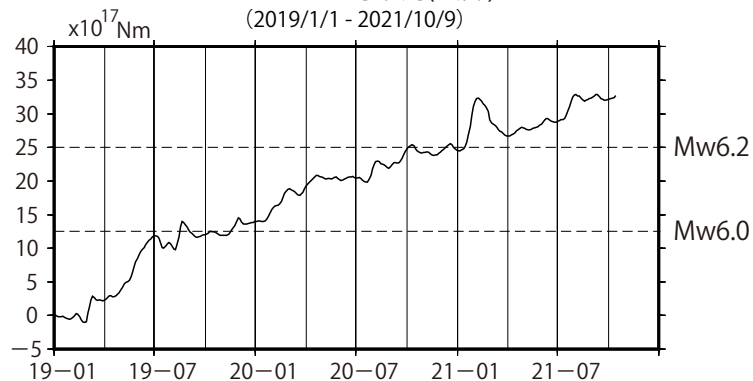
推定すべり分布
(2019/1/1 - 2021/10/9)



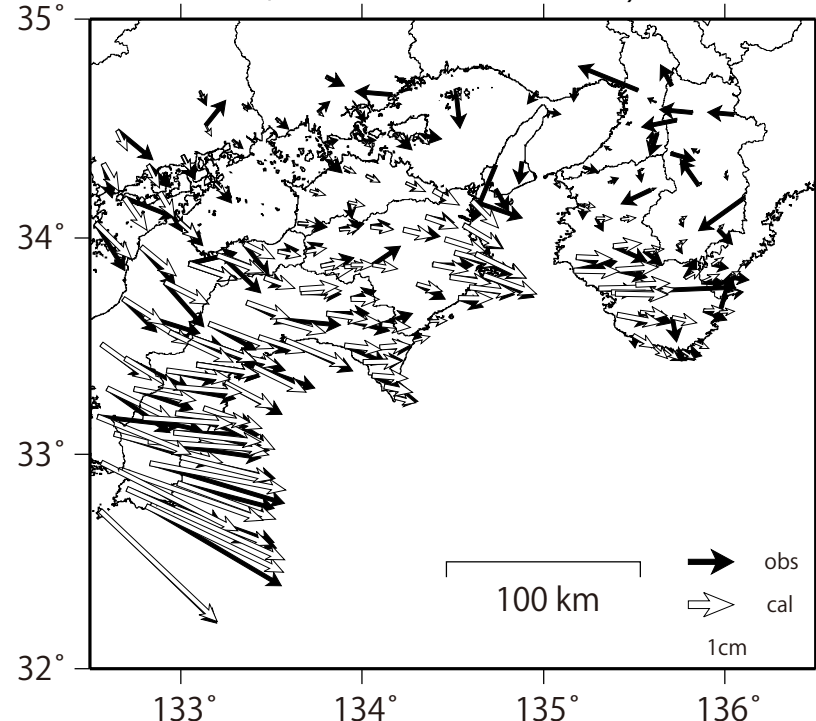
Mw及び最大すべり量はプレート面に沿って評価した値を記載。
すべり量(カラー)及びすべりベクトルは水平面に投影したものを示す。
推定したすべり量が標準偏差(σ)の3倍以上のグリッドを黒色表示している。

- A 四国西部の短期的ゆっくりすべり
- B 紀伊水道の長期的ゆっくりすべり
- C 豊後水道の長期的ゆっくりすべり
- D 四国中部の長期的ゆっくりすべり

モーメント時系列(試算)
(2019/1/1 - 2021/10/9)



観測値（黒）と計算値（白）の比較
(2019/1/1 - 2021/10/9)



使用データ：F5解 (2019/1/1 - 2021/9/26) + R5解 (2021/9/27 - 2021/10/9)

※電子基準点の保守等による変動は補正済み

トレンド期間：2017/1/1 - 2018/1/1

(年周・半年周成分は2017/1/1 - 2021/10/9のデータで補正)

モーメント計算範囲：左図の黒枠内側

観測値：3日間の平均値をカルマンフィルターで平滑化した値

黒破線：フィリピン海プレート上面の等深線 (弘瀬・他、2007)

すべり方向：プレートの沈み込み方向と平行な方向に拘束

青丸：低周波地震（気象庁一元化震源）(2019/1/1 - 2021/10/9)

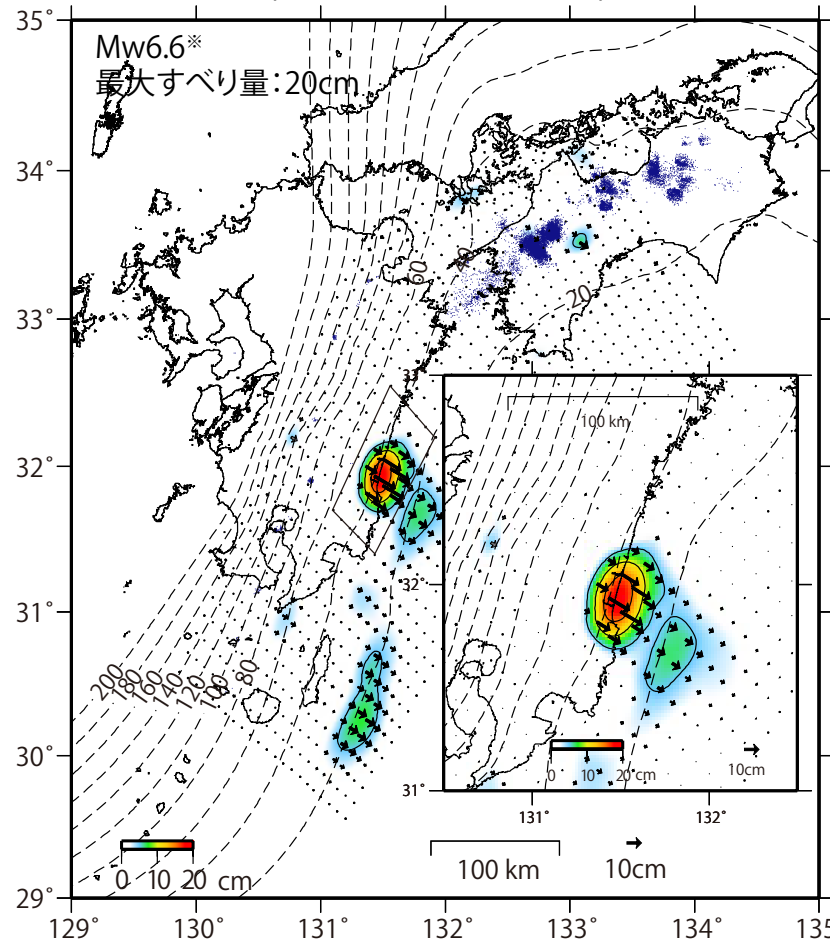
固定局：網野

※ Mwに換算するプログラムの不具合を修正して計算した値を記載。
(今期間について、修正前のプログラムで評価した場合、Mwは6.2。)

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

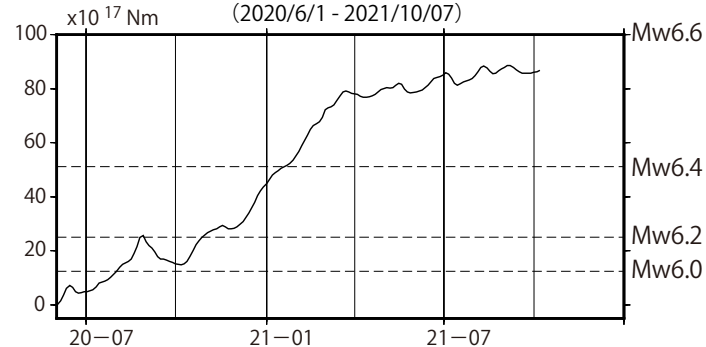
(2020/6/1 - 2021/10/7)



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

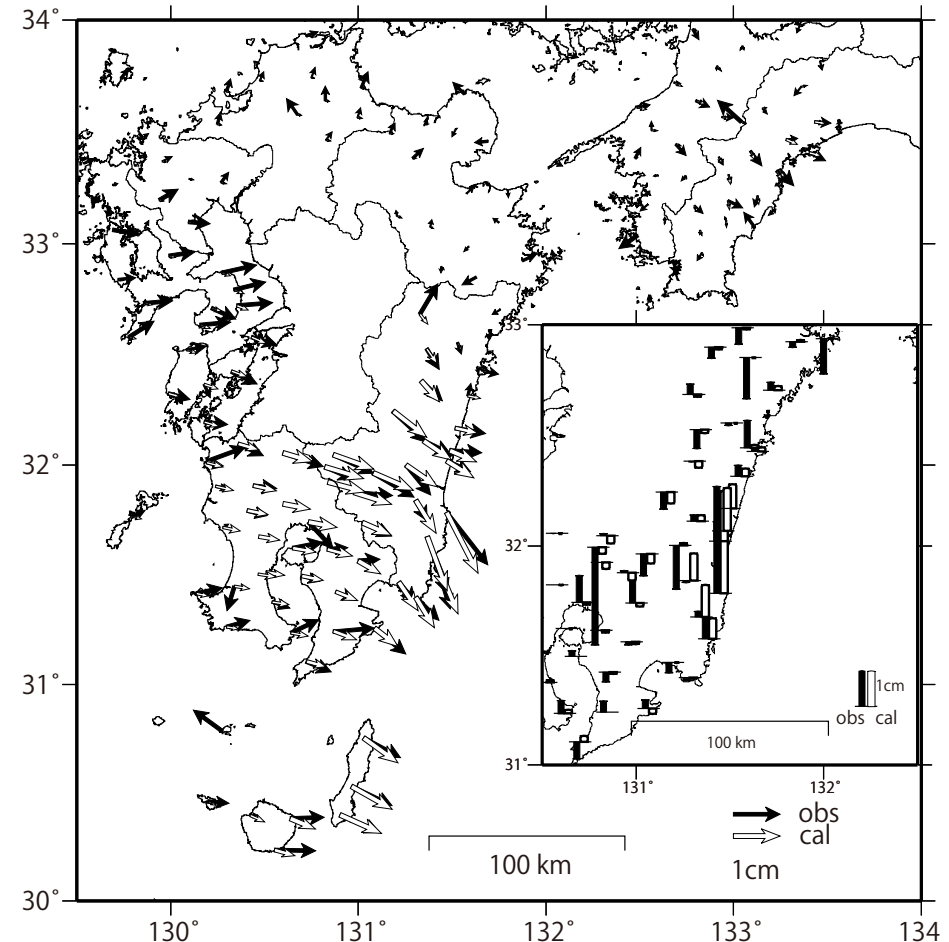
モーメント時系列(試算)

(2020/6/1 - 2021/10/7)



観測値（黒）と計算値（白）の比較

(2020/6/1 - 2021/10/7)



使用データ：F5解 (2020/1/1 - 2021/9/18) + R5解 (2021/9/19 - 2021/10/7)

※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：2012/1/1 - 2013/3/1（年周・半年周成分は補正無し）

※平成28年（2016年）熊本地震の余効変動等が顕著に見られる観測点は除外している。

モーメント計算範囲：左図の黒枠内側

観測値：3日間の平均値をカルマンフィルターで平滑化した値

黒破線：フィリピン海プレート上面の等深線（弘瀬・他、2007）

すべり方向：プレートの沈み込み方向と平行な方向に拘束

青丸：低周波地震（気象庁一元化震源）（期間：2020/1/1 - 2021/10/7）

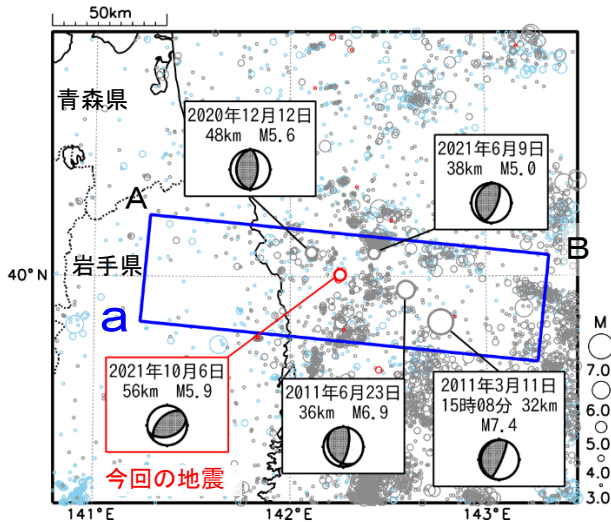
固定局：三隅

※ Mwに換算するプログラムの不具合を修正して計算した値を記載。

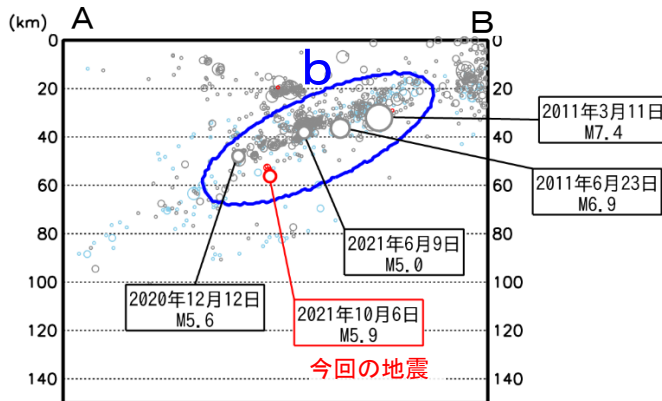
（今期間について、修正前のプログラムで評価した場合、Mwは6.5。）

10月6日 岩手県沖の地震

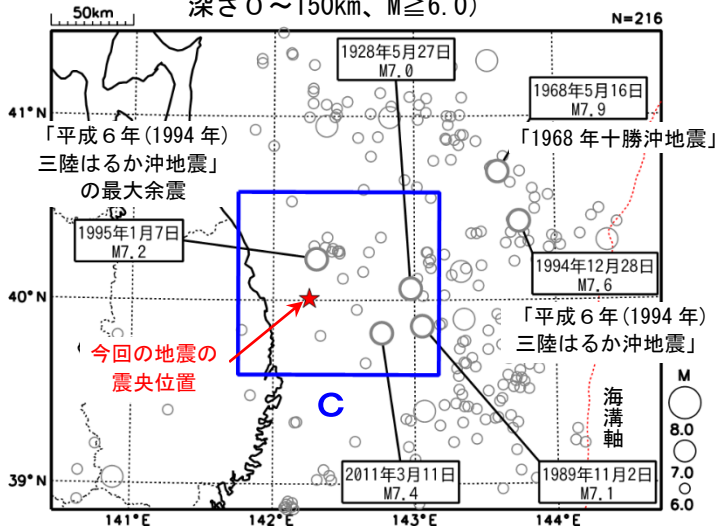
震央分布図
(1997年10月1日～2021年10月31日、
深さ0～150km、 $M \geq 3.0$)
2011年3月10日以前に発生した地震を**水色**、
2011年3月11日以降に発生した地震を**灰色**、
2021年10月の地震を**赤色**で表示
図中の発震機構はCMT解



領域a内の断面図 (A-B投影)



震央分布図
(1919年1月1日～2021年10月31日、
深さ0～150km、 $M \geq 6.0$)

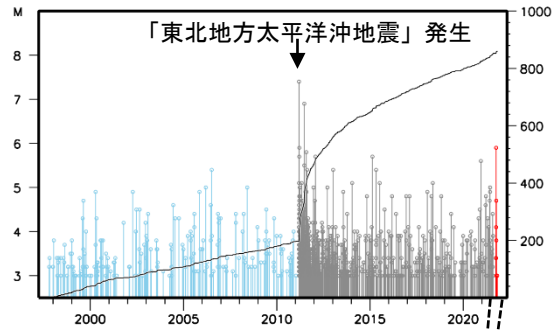


2021年10月6日02時46分に岩手県沖の深さ56kmでM5.9の地震 (最大震度5強) が発生した。この地震の発震機構 (CMT解) は北北西-南南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレート内部で発生した。この地震により軽傷3人、住家一部破損1棟の被害が生じた (10月13日17時現在、総務省消防庁による)。この地震の発生以降、この地震の震源付近では10月31日までに最大震度1以上を観測した地震が4回 (震度5強: 1回、震度3: 1回、震度2: 2回) 発生している。

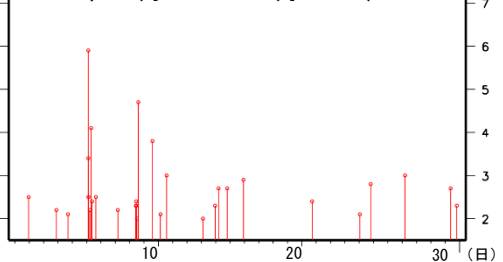
1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近 (領域b) では、「平成23年 (2011年) 東北地方太平洋沖地震」 (以下、「東北地方太平洋沖地震」) の発生以降、地震活動が活発になり、M5.0以上の地震がしばしば発生している。2011年6月23日に発生したM6.9の地震 (最大震度5弱) では住家一部破損1棟などの被害が生じた (総務省消防庁による)。

1919年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺 (領域c) では、M6.0以上の地震が時々発生しており、1995年1月7日には「平成6年 (1994年) 三陸はるか沖地震」の最大余震であるM7.2の地震 (最大震度5) が発生した。

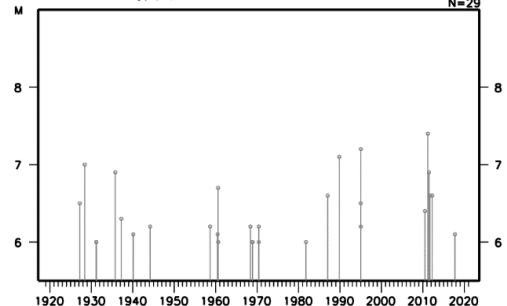
領域b内のM-T図及び回数積算図



2021年10月1日～10月31日、 $M \geq 2.0$



領域c内のM-T図



10月7日 千葉県北西部の地震

(1) 概要

2021年10月7日22時41分に千葉県北西部の深さ75kmでM5.9の地震が発生し、埼玉県川口市、宮代町及び東京都足立区で震度5強を観測したほか、東北地方から近畿地方にかけて震度5弱～1を観測した。また、千葉県北西部と東京都23区で長周期地震動階級2を観測したほか、関東地方で長周期地震動階級1を観測した。この地震は、発震機構が東西方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートとフィリピン海プレートの境界で発生した。

気象庁はこの地震に対して、最初の地震波の検知から3.7秒後の22時41分28.5秒に緊急地震速報（警報）を発表した。

この地震により、重傷者6人、軽傷者41人などの被害が生じた（2021年10月15日17時00分現在、総務省消防庁による）。被害状況を表1-1に示す。

この地震の発生以降10月31日までに、震源付近では最大震度1以上を観測した地震が8回（震度5強：1回、震度2：3回、震度1：4回）※発生している。

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

※ 10月8日05時11分及び10月9日11時16分の東京湾の地震（いずれも最大震度2）を含む。

表1-1 2021年10月7日の千葉県北西部の地震による被害状況
(2021年10月15日17時00分現在、総務省消防庁による)

都道府県名	人的被害					住家被害			
	死者	行方不明	負傷者		合計	全壊	半壊	一部破損	合計
			重傷	軽傷					
	人	人	人	人	人	棟	棟	棟	棟
茨城県				1	1				
埼玉県			3	10	13				
千葉県			2	12	14				
東京都			1	4	5				
神奈川県				14	14				
合 計			6	41	47				

上の表の被害の他、建物火災1件（東京都）、製油所火災1件（千葉県）、エレベーター閉じ込め5件、鉄道（案内軌道式鉄道）の脱輪等の被害も発生した。

(2) 地震活動

ア. 地震の発生場所の詳細及びその後の地震活動

2021年10月7日22時41分に千葉県北西部の深さ75kmでM5.9の地震（最大震度5強）が発生した。この地震は、発震機構が東西方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートとフィリピン海プレートの境界で発生した。この地震の発生以降、この地震の震源付近（領域b）では地震活動がやや活発になり、10月31日までに最大震度1以上を観測した地震が8回（震度5強：1回、震度2：3回、震度1：4回）※発生している。

1997年10月以降の活動を見ると、今回の地震の震源付近（領域b）では、M5.0以上の地震が時々発生している。2005年7月23日のM6.0の地震（最大震度5強）では、負傷者38人、住家一部破損12棟、建物火災3件、エレベータ閉じ込め47件などの被害が生じた（総務省消防庁による）。

※ 10月8日05時11分及び10月9日11時16分の東京湾の地震（いずれも最大震度2）を含む。

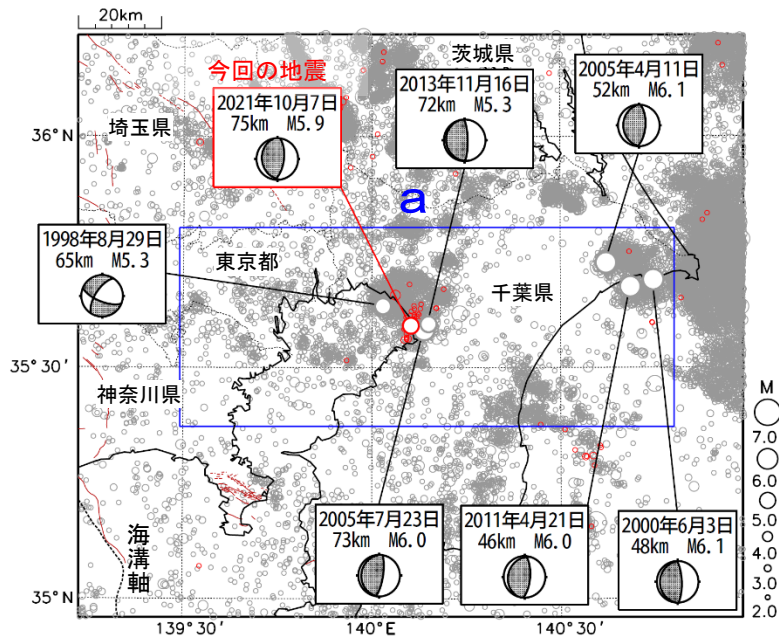


図2-1 震央分布図
(1997年10月1日～2021年10月31日、深さ0～120km、 $M \geq 2.0$)

2021年10月の地震を赤色で表示
茶線は地震調査研究推進本部の長期評価による活断層を示す

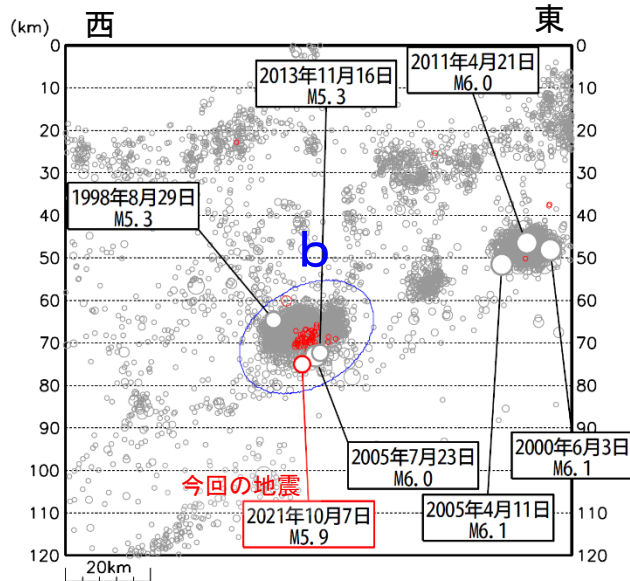


図2-2 領域a内の断面図（A-B投影）

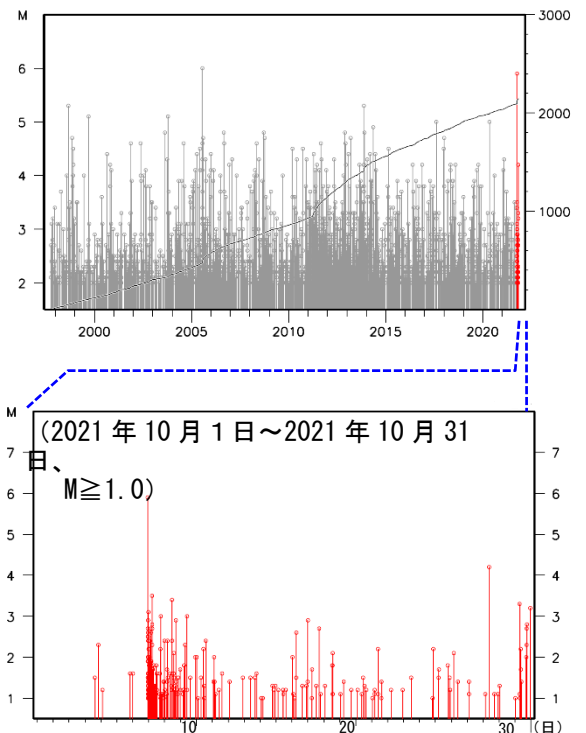
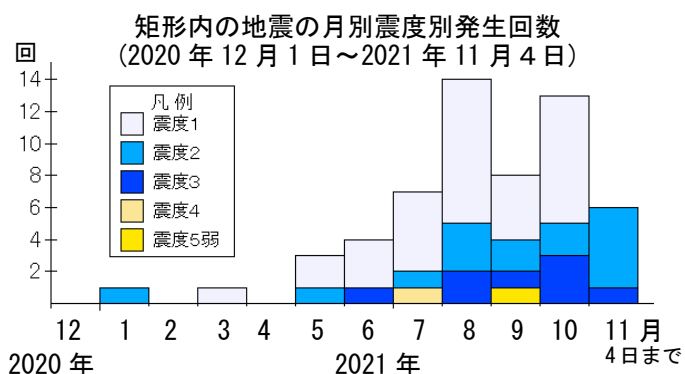
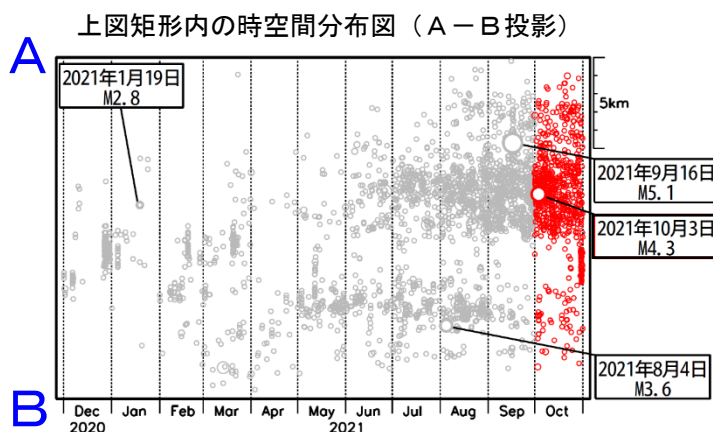
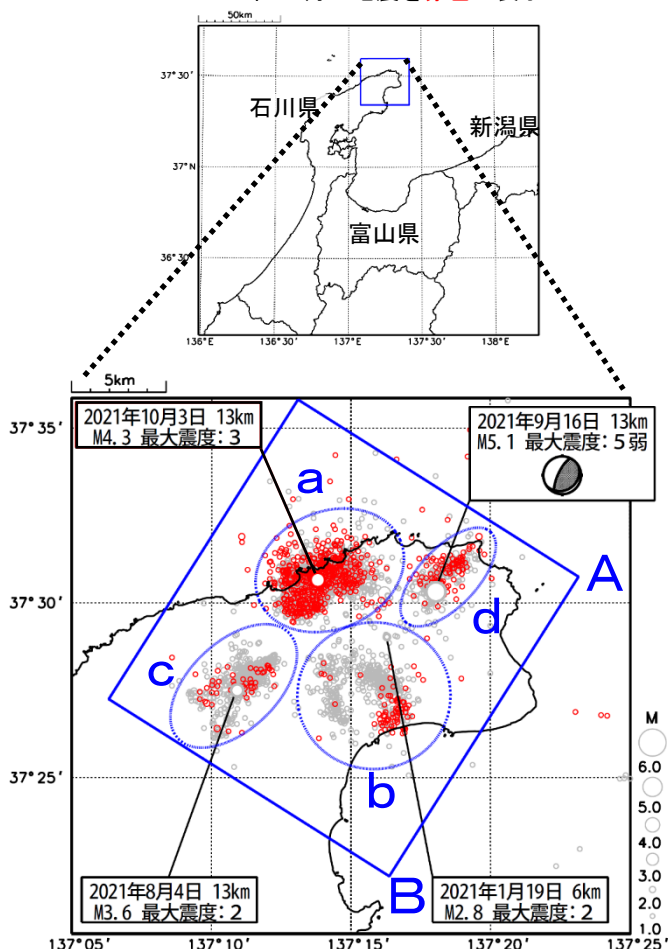


図2-3 領域b内のM-T図
及び回数積算図

石川県能登地方の地震活動

震央分布図
(2020年12月1日～2021年10月31日、
深さ0～25km、 $M \geq 1.0$)
吹き出しは、各領域(a～d)内で最大規模の地震
2021年10月の地震を赤色で表示



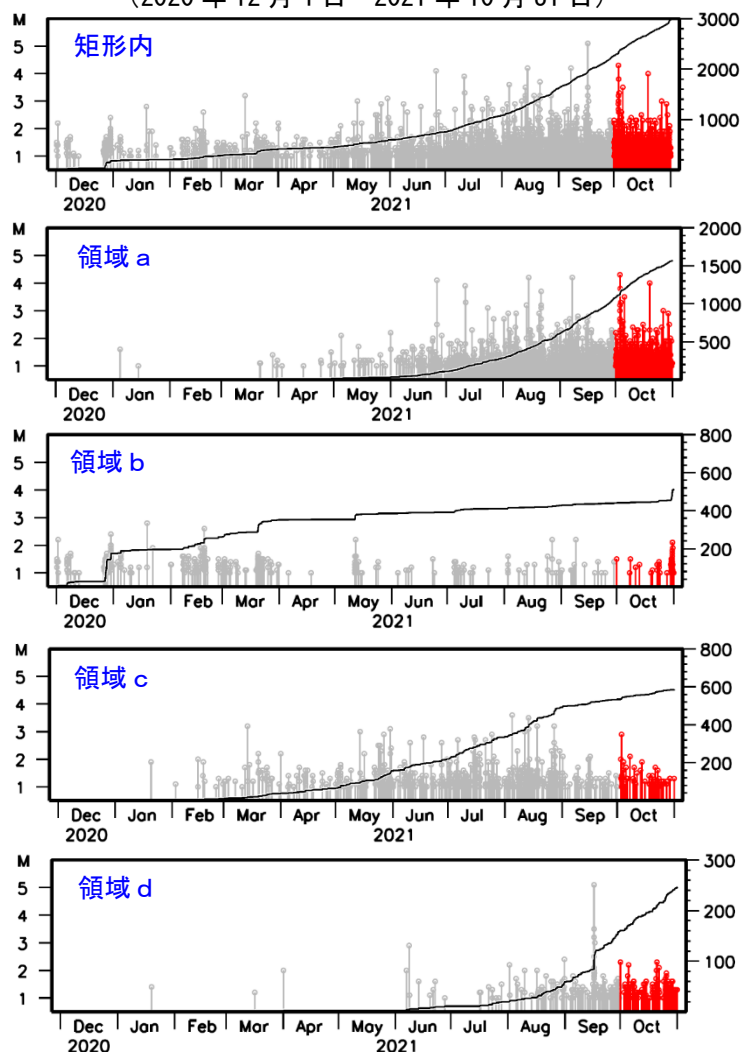
石川県能登地方 (拡大図の矩形内) では、2018年頃から地震回数が増加傾向にあり、2020年12月から地震活動が活発になっている。2021年9月16日18時42分には $M5.1$ の地震 (最大震度5弱) が発生した。この地震は地殻内で発生した。この地震の発震機構は北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であった。

2020年12月以降の領域別の地震活動をみると、12月末頃から活発化した領域bの活動は4月以降鈍化傾向であるが、10月末はやや増加した。領域bに続き活発化した領域cの活動も9月に入りやや低下している。それに対し、遅れて活発化した領域a及び領域dの活動は依然として活発であり、特に領域aの活動は活発である。矩形領域内で震度1以上を観測した地震の回数は以下の表のとおり。

期間別・震度別の地震発生回数表

期間	震度					
	1	2	3	4	5弱	計
2020年12月1日 ～2021年9月30日	24	8	4	1	1	38
2021年10月1～31日	8	2	3	0	0	13
2021年11月1～4日	0	5	1	0	0	6
計	32	15	8	1	1	57

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～2021年10月31日)



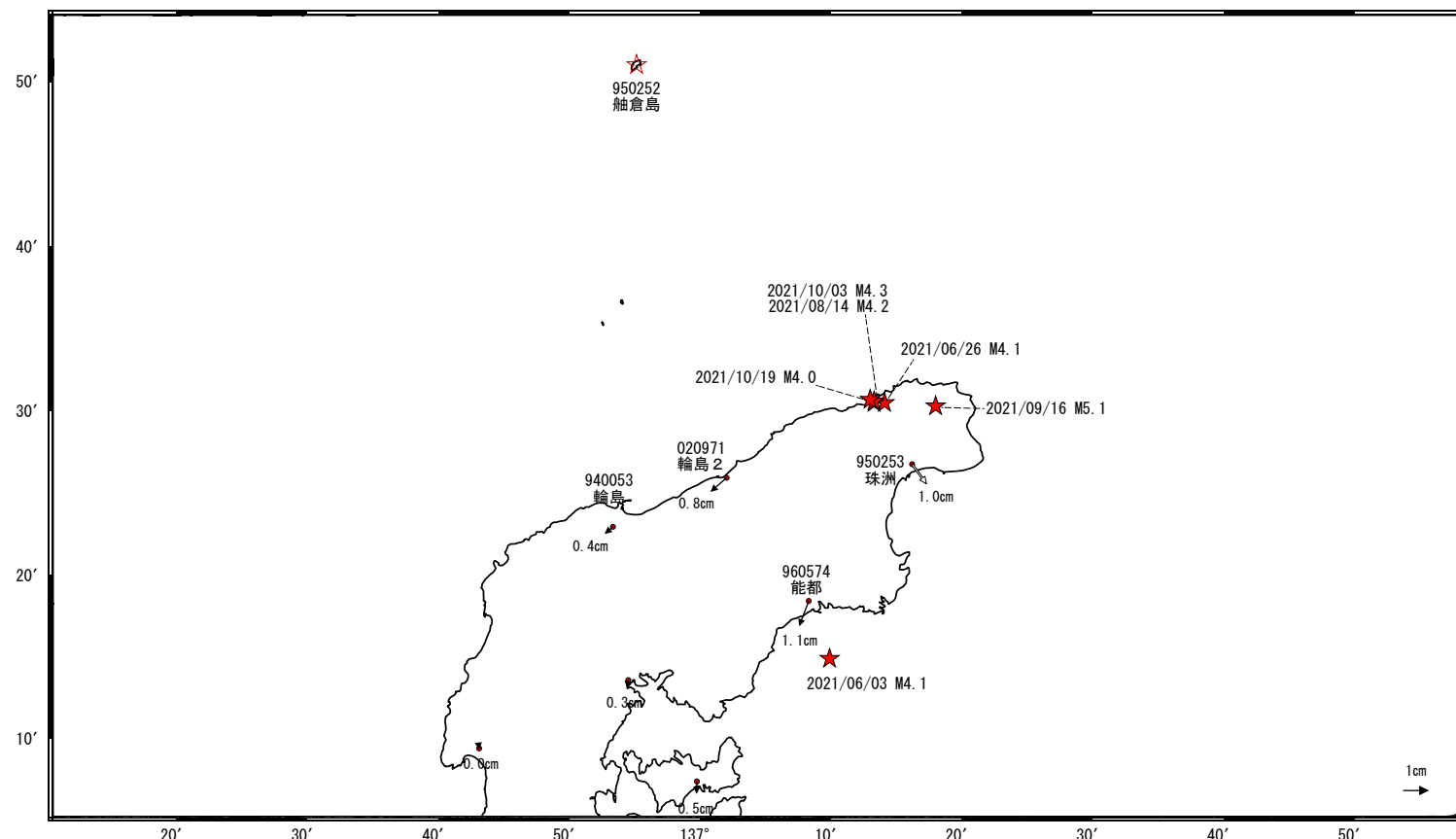
気象庁作成

石川県能登地方の地震活動時の観測データ（暫定）

ベクトル図（水平）（一次トレンド除去後）

基準期間: 2020/11/01~2020/11/07 [F5: 最終解]
比較期間: 2021/10/17~2021/10/23 [R5: 速報解]

計算期間: 2019/09/01~2020/08/31

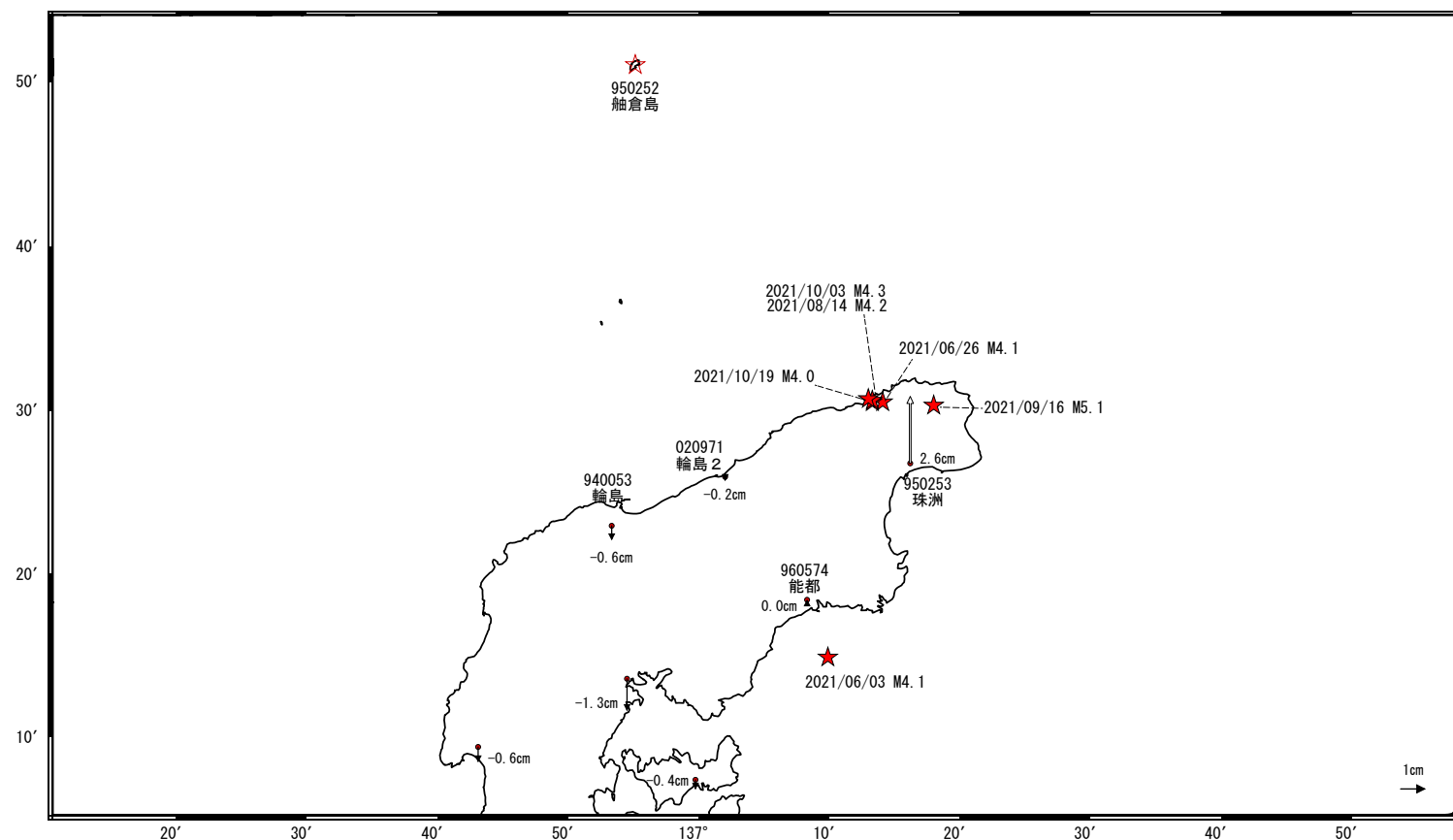


☆ 固定局: 舳倉島 (950252)

ベクトル図（上下）（一次トレンド除去後）

基準期間: 2020/11/01~2020/11/07 [F5: 最終解]
比較期間: 2021/10/17~2021/10/23 [R5: 速報解]

計算期間: 2019/09/01~2020/08/31



☆ 固定局: 舳倉島 (950252)

★ 震央

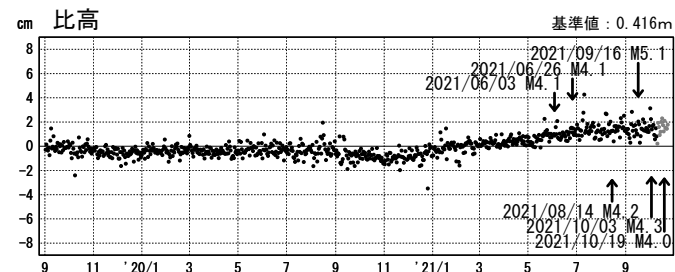
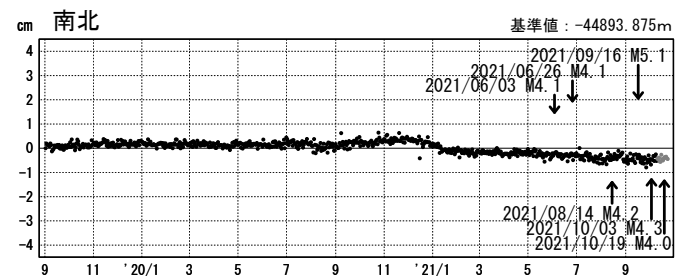
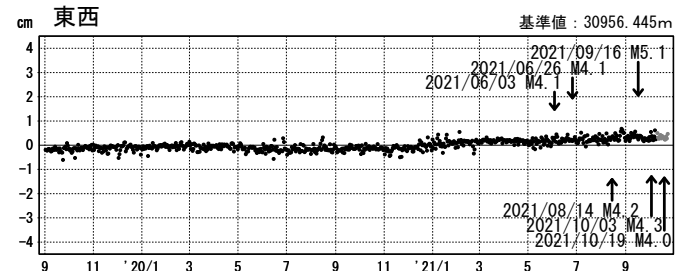
国土地理院

石川県能登地方の地震活動時の観測データ（暫定）

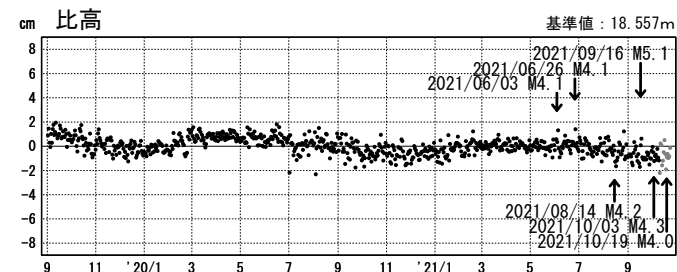
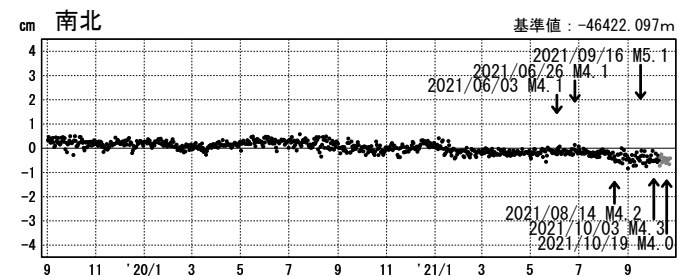
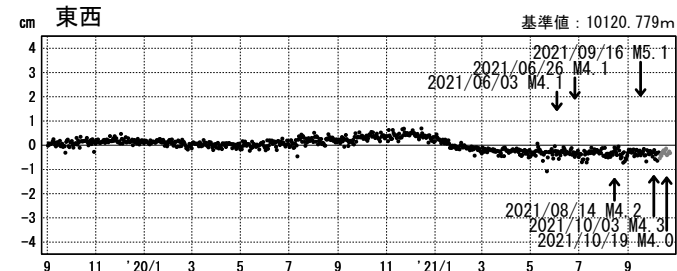
一次トレンド除去後グラフ

期間：2019/09/01～2021/10/23 UTC 計算期間：2019/09/01～2020/09/01

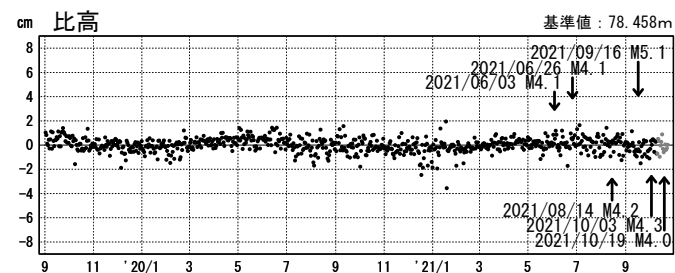
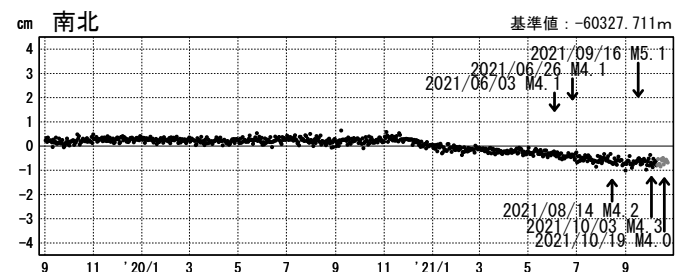
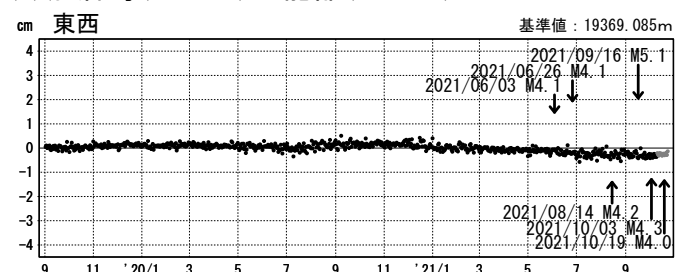
(1) 舩倉島(950252)→珠洲(950253)



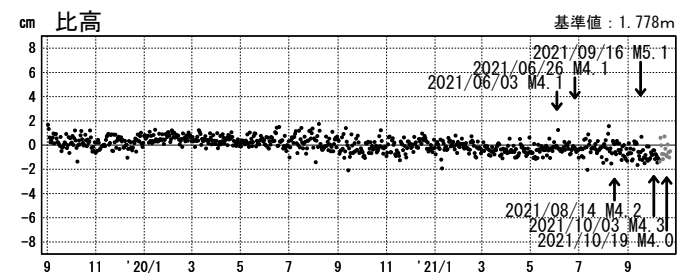
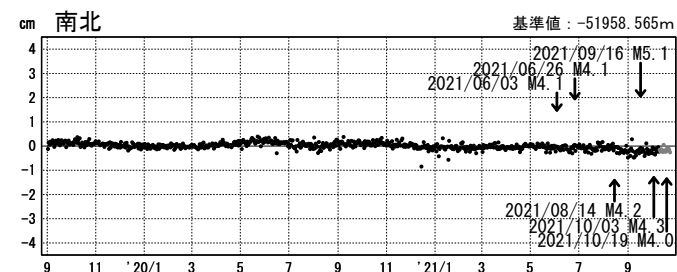
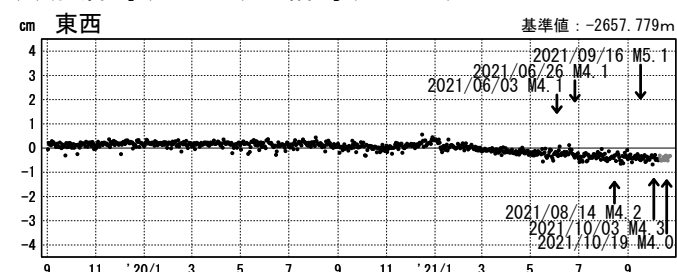
(2) 舩倉島(950252)→輪島2(020971)



(3) 舩倉島(950252)→能都(960574)



(4) 舩倉島(950252)→輪島(940053)



●---[F5:最終解] ●---[R5:速報解]

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

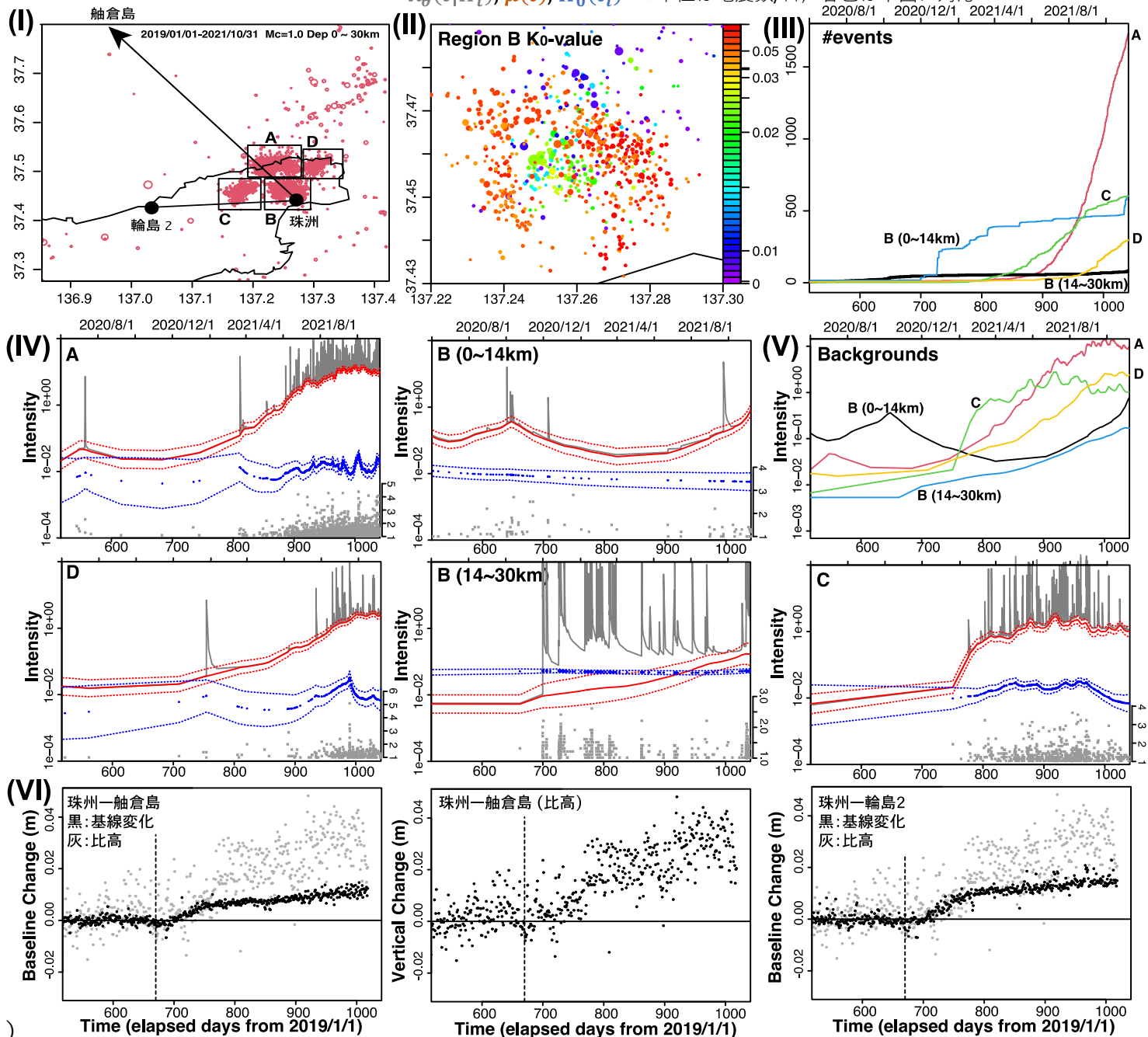
熊澤貴雄(地震研究所), 尾形良彦(統計数理研究所)

- 2020年末より活発化した能登半島の群発地震活動を非定常ETASモデル（式1）で領域別(A~D；上段左図）に解析し、背景強度の時間変化を調べた。
- 背景強度の上昇時期と強度は各領域で異なり、B域の深部が最も初期に上昇し、その後C域、A域、D域の順に活発化し（第2段および3段図）、今年の夏以降は一定の活動を維持している。
- B域では群発以前にも浅い深度で活動が見られたが、群発地震の活発化に伴い下方（14km以深）へと移行した。最近になって再び浅い方向へと推移し、背景強度が上昇した（図第2列B）。浅部震央分布を深部の震央分布が囲み、それぞれの誘発係数 K_0 値の分布が対応する（上段中図）。
- 領域A、D、Bの背景強度の変化の仕方は珠洲観測所の比高時系列に相似し、領域Cの背景強度の変化は珠洲-輪島基線距離の時系列に相似し、いずれもGNSS時系列（最下段）が背景強度の変動に先行している（図1(VI)）。

非定常ETAS: $\lambda_{\theta}(t|H_t) = \mu(t) + \sum_{\{t_i: S \leq t_i < t\}} K_0(t_i) e^{\alpha(M_i - M_c)} / (t - t_i + c)^p$,

(式1)

$\lambda_{\theta}(t|H_t)$, $\mu(t)$, $K_0(t_i)$ の単位は地震数/日、各色は下図に対応



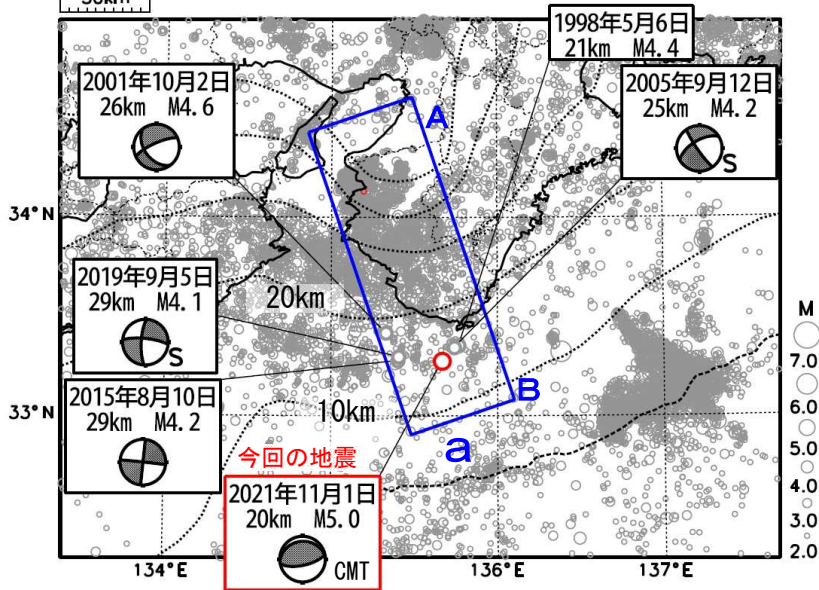
(図1)

11月1日 和歌山県南方沖の地震

震央分布図

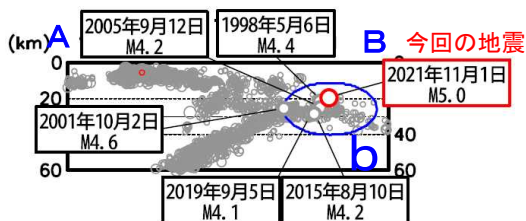
(1997年10月1日～2021年11月4日、
深さ0～60km、 $M \geq 2.0$)

2021年11月1日以降の地震を赤く表示



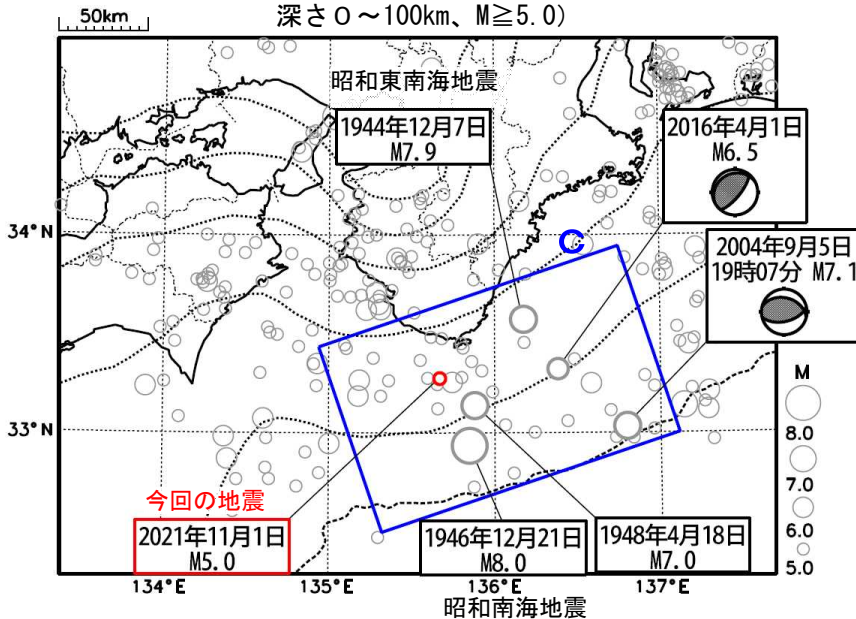
※ 発震機構解の横に「S」の表記があるものは、精度がやや劣るものである。

領域a内の断面図 (A-B投影)



震央分布図

(1919年1月1日～2021年11月4日、
深さ0～100km、 $M \geq 5.0$)



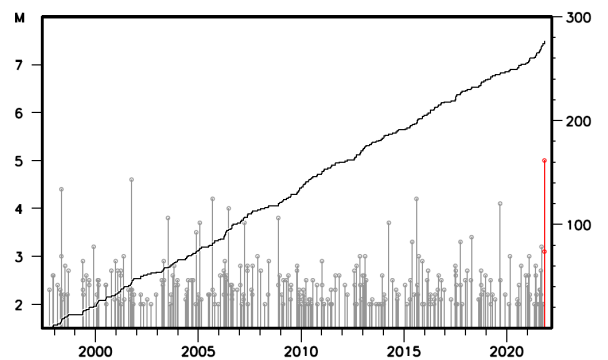
※ 震央分布図中の黒色の点線は、Hirose et al. (2008)、Baba et al. (2002)によるフィリピン海プレート上面のおおよその深さを示す。

2021年11月1日05時35分に和歌山県南方沖の深さ20kmでM5.0の地震 (最大震度2) が発生した。この地震は、発震機構 (CMT解) が南北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。

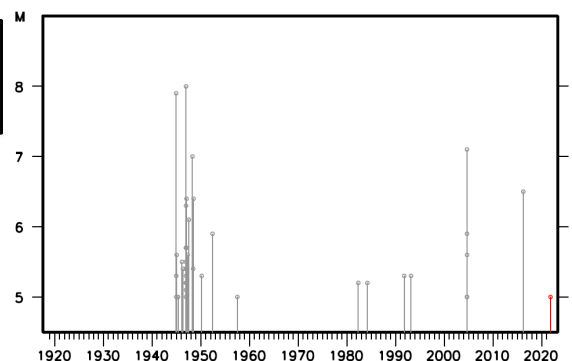
1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源周辺 (領域b) では、M4.0以上の地震が時々発生している。2001年10月2日にはM4.6の地震 (最大震度2) が発生した。

1919年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺 (領域c) では、1944年の昭和東南海地震 (M7.9) や1946年の昭和南海地震 (M8.0) が発生している。

領域b内のM-T図及び回数積算図



領域c内のM-T図



2021 年 8 月 14 日 ハイチの地震

(1) 概要

2021 年 8 月 14 日 21 時 29 分（日本時間、以下同じ）、ハイチの深さ 10km で Mw7.2 の地震が発生した。この地震の発震機構（気象庁による CMT 解）は、北北東-南南西方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型であった。

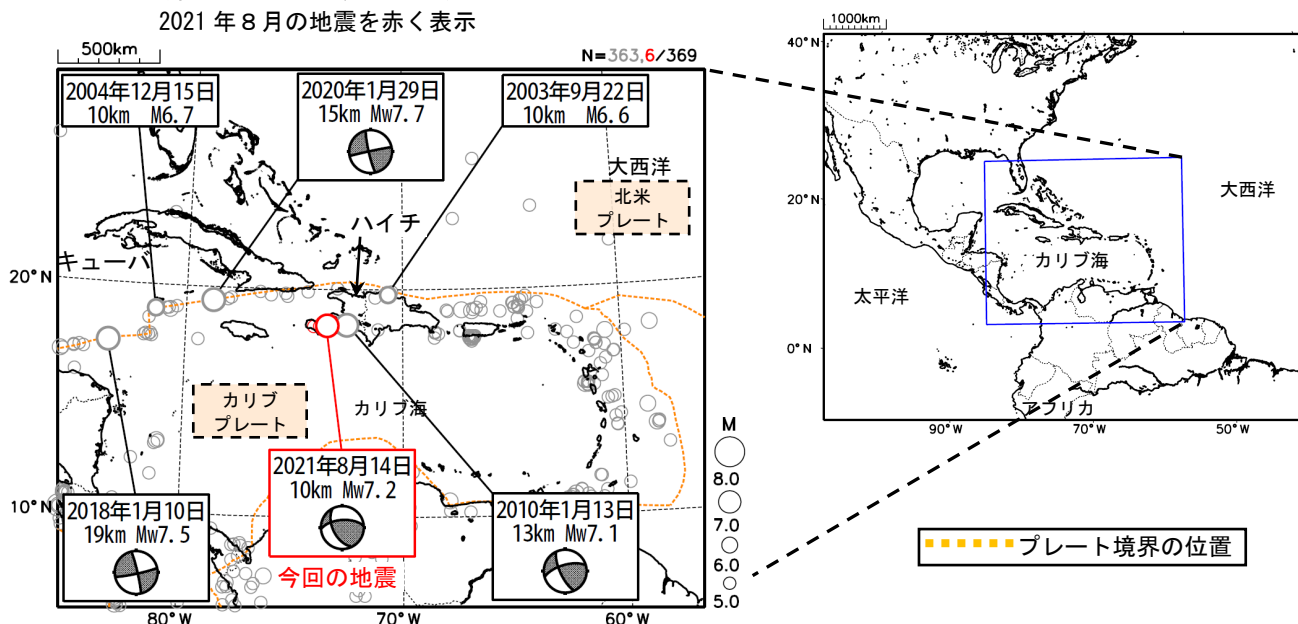
気象庁は、この地震により、遠地地震に関する情報を同日 21 時 55 分（日本への津波の影響なし）に発表した。

この地震により、ハイチのポルトープランス、メキシコのパエルト・モレロス、及びムヘーレス島で微弱な津波を観測した（NOAA による^(注1)）。

この地震により、死者 2,207 人、行方不明者 320 人、負傷者 12,268 人、家屋破壊約 5 万 3 千棟、家屋損傷約 7 万 7 千棟などの被害が生じた^(注2)。

震央分布図（注3）

（2000 年 1 月 1 日～2021 年 8 月 31 日、
深さ 0～100km、M $\geq$ 5.0）
2021 年 8 月の地震を赤く表示



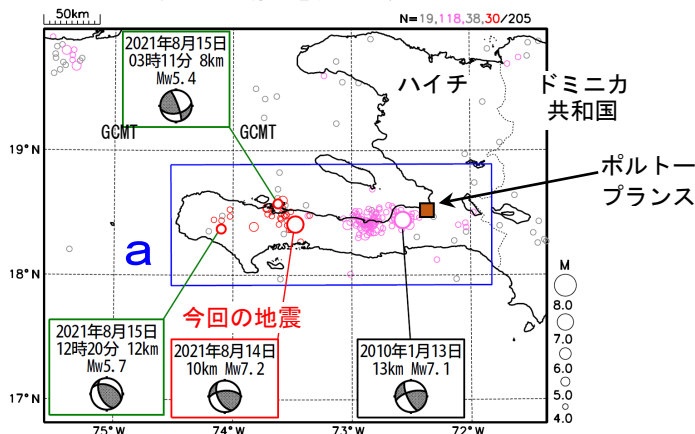
(2) 地震活動

今回の地震の震央は、死者約 31 万 6 千人の被害が生じた 2010 年 1 月 13 日の Mw7.1 の地震の震央から西方へ約 100km に位置する。今回の地震の発生後は、翌 15 日 12 時 20 分に Mw5.7 の地震（Mw は Global CMT による）が発生するなど、数日間には活発に推移したが、次第に収まってきている（8 月 31 日現在）。

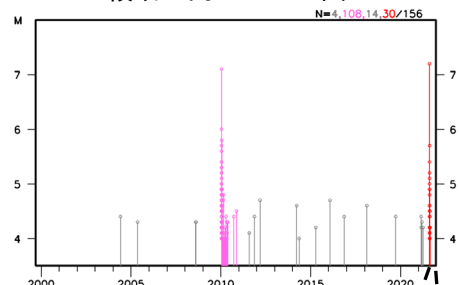
震央分布図（注3）

（2000 年 1 月 1 日～2021 年 8 月 31 日、
深さ 0～100km、M $\geq$ 4.0）

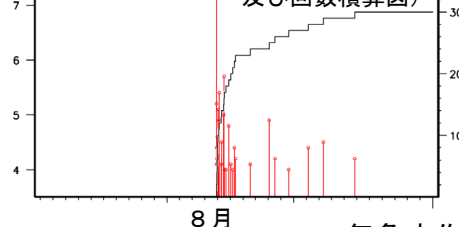
2010 年に発生した地震を桃色、2021 年 8 月の地震を赤色、
その他の期間を灰色で表示



領域 a 内の M-T 図



（2021 年 8 月 1 日～31 日、M-T 図、
及び回数積算図）



8 月

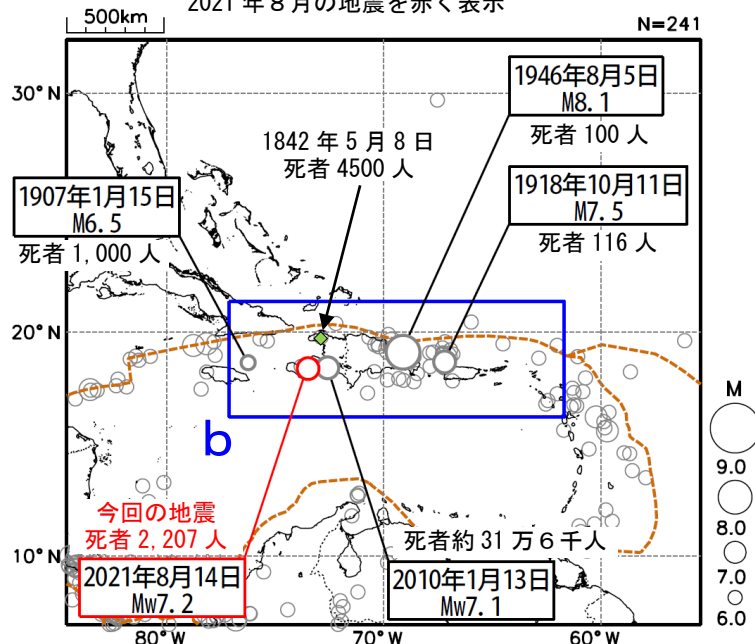
気象庁作成

(3) 過去の地震活動

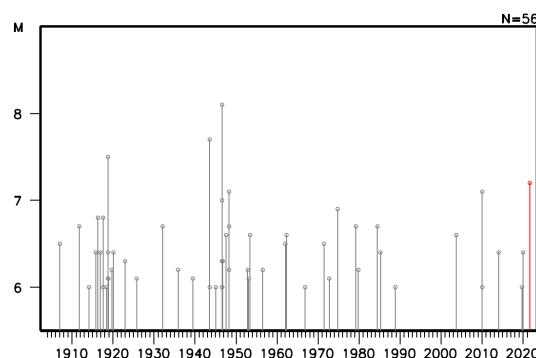
ハイチ周辺は北米プレートとカリブプレートの境界付近に位置し、これまでも M6.0 以上で被害を伴う地震がしばしば発生している。今回の地震の震央周辺では、前述した 2010 年 1 月 13 日の Mw7.1 の地震で死者約 31 万 6 千人などの被害が生じた。ただし、死者 10 万人以上の被害を伴う地震は世界的にも稀である。2010 年 1 月 13 日の Mw7.1 の地震は、北米プレートとカリブプレートのプレート境界の近くに存在するエンリキロ断層で発生したと考えられている。エンリキロ断層では、1700 年代半ばから 1800 年代半ばにかけて、規模の大きな地震が発生している。

震央分布図 (注3) (注4)

(1904 年 1 月 1 日～2021 年 8 月 31 日、
深さ 0～100km、M≥6.0)
2021 年 8 月の地震を赤く表示



領域 b 内の M-T 図



過去にエンリキロ断層で発生した主な地震 (米国地質調査所の資料による)

年月日	被害等
1751 年 10 月 18 日	ドミニカ共和国で大きな被害
1751 年 11 月 21 日	ポルトープランスで大きな被害
1770 年 6 月 3 日	ポルトープランスで大きな被害
1860 年 4 月 8 日	津波を生じる

(注1) NOAA (米国海洋大気庁: National Oceanic and Atmospheric Administration)。津波の高さは 2021 年 8 月 28 日現在のもの。

(注2) 今回の地震の被害は、国連人道問題調整事務所 (OCHA) による (2021 年 8 月 30 日現在)。

(注3) 今回の地震の発震機構と Mw は気象庁による。また、以下の地震の発震機構と Mw も気象庁による。

2010 年 1 月 13 日 (Mw7.1)、2018 年 1 月 10 日 (Mw7.5)、2020 年 1 月 29 日 (Mw7.7)

次の地震の発震機構と Mw は Global CMT による。

2021 年 8 月 15 日 03 時 11 分 (Mw5.4)、同日 12 時 20 分 (Mw5.7)

次の地震の M 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。

1907 年 1 月 15 日 (M6.5)、1918 年 10 月 11 日 (M7.5)、1946 年 8 月 5 日 (M8.1)

それ以外の震源要素は、1904 年から 1999 年までは国際地震センター (ISCGEM)、2000 年以降は USGS による。(2021 年 9 月 1 日現在)

(注4) 過去の地震の被害は、2010 年 1 月 13 日の地震は外務省中米局、それ以外の地震は宇津及び国際地震工学センターの「世界の被害地震の表」による。

プレート境界の位置は Bird (2003) *より引用。

*参考文献 Bird, P. (2003) An updated digital model of plate boundaries, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 4(3), 1027, doi:10.1029/2001GC000252.

宇津徳治 (2004) 世界の被害地震の表 (古代から 2002 年) まで, 宇津徳治先生を偲ぶ会, 東京, 電子ファイル最終版。

改定・更新版: <http://iisee.kenken.go.jp/utsu/index.html>

気象庁作成

重点検討課題の検討

「予測実験の試行（08）
－試行から実施への移行」について

話題提供者〔敬称略〕

1. 地殻変動予測：東北沖地震の余効変動

国土地理院 宗包 浩志
藤原 智

2. 気象庁震度データベースを用いた地震予測と 2015-2021 年の予測の評価

滋賀県立大学 小泉 尚嗣

3. 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（6）：これまでの取りまとめと今後の課題

気象研究所 前田 憲二
弘瀬 冬樹
溜渕 功史

4. 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

統計数理研究所 尾形 良彦

5. 能登半島北部の地震活動と地震テクトニクス

金沢大学 平松 良浩

第 233 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（08）－試行から実施への移行」について
Trials of experimental forecasts of crustal deformation and seismicity #8:
Moving towards the prospective tests

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

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 からの提言を踏まえて始まった。その後、約 6 年間に 7 回にわたって実施され、延べ 40 人による発表が行われた。「試行」というテーマのもと、相応に確立された予測手法の紹介と、半年～1 年間の予測とその後の観測結果が比較検証された。同時に、物理モデルや新手法、既往モデルの課題や改善案などの提案もあり、実験を進行させつつも地震研究者のコミュニティとして、最善のモデルを追求する前向きな議論が続けられた。さらに、前回の第 229 回地震予知連絡会では、地震活動予測について、各種モデルの長所・短所などの総括と今後の展開が議論された。

以上を踏まえ、令和 3 年 2 月に行われた運営検討部会では、「ある程度確立された手法は、「実験試行」からモニタリング同様に定期的な「実験実施」に移行してはどうか」という意見が出され、実用化へ一歩踏み出すことで合意された。同時に、これまで同様、課題の整理・抽出も行い、既往手法の改良、新手法の提案も引き続き検討することとなった。

2. 課題

過去 8 回のキーワード別の話題提供回数は、前震・群発地震（8）、余震・ETAS（7）、検証・評価法（7）、物理モデル・発生メカニズム（5）、東北沖余効変動・地殻変動（4）、 b 値変化（3）、静穏化（2）、震度予測（2）、異常組み合わせ（2）である。

話題提供数が示すとおり、前震・群発地震、ETAS モデル、余効変動モデルについては、具体的かつ詳細な予測モデルと準定期的な報告が既に行われている。「実験の試行」から「実験の実施」への移行が可能と思われる。特に、時空間 ETAS モデルは学術的信頼度も高く CSEP Japan などでも常時検証されてきた。予知連としても、モニタリング同様に定例報告化が可能と考える。また、今給黎・小泉（2016）による気象庁データベースを用いた震度予測は手法として単純で客観性も担保でき、定型化に適している。

一方で、これらの予測に影響を与える前震の識別、地震サイズ分布（ b 値）の時空間変化、大地震に先行する地震活動静穏化、広域余震の時空間変化などについても今後検討を進めていく必要があり、今回において課題整理を行う。

3. 報 告

趣旨説明

- 1) 地殻変動予測：東北沖地震の余効変動，全国地殻変動平均像からの予測
(国土地理院 宗包浩志)
- 2) 気象庁震度データベースによる1年間の地域別震度予測 (滋賀県立大 小泉尚嗣)
- 3) 群発的地震活動を前震活動として行う本震の発生予測 (気象研究所 前田憲二)
- 4) 階層的時空間 ETAS モデルによる短期・中期予測 (統計数理研究所 尾形良彦)
- 5) 総合評価の例：能登半島群発地震 (金沢大学 平松良浩)

総合討論

4. 論 点

- 定期予測・検証型の実験報告を「地殻活動モニタリング」の一部として行うか，年1度の重点検討課題で報告するか，別枠の報告時間を設定するか.
- 実施予測モデルの改良，新手法の採用などのプロセスを最新の研究動向に照らして予知連内でどのように進めるべきか.
- 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るが，きわめて低頻度である．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 (図1)．短時間での検証には予測 M を小さくする必要があるが，予測 M を大きくすれば，全地球規模でしか検証できず，さまざまな問題が生じる (図1)．中規模地震，中程度の震度での検証だけで良いか．特に，大地震に先行する静穏化については，長期的モニタリングが必要である．
- 同様に定量化・検証不能という観点だけで，物理モデル・シミュレーション，古地震・地質学的長期予測などはどのような位置づけで扱うのがよいか (図1)．
- 手法改良の際には，短期間の前向き予測 (prospective) だけではなく，過去の長期間のデータを用いた後ろ向き評価 (retrospective forecast) も話題として重要ではないか．
- 複数の異常現象や長期・中期・短期予測をかけあわせて確率を評価するなど，既往モデルの組み合わせも検討すべきでは．
- 今回の能登半島のような特定の対象地域に関する総合評価を含めていくか．その場合，対象地域をどこにするか．

地殻変動予測：東北沖地震の余効変動

宗包 浩志・藤原 智（国土地理院）

ポイント

- 東北沖地震から10年を経ても余効変動と呼ばれる地殻変動が継続している。余効変動は時間的にも空間的にもなめらかであり、簡単な関数モデル（時空間モデル）で表現できる。
- 電子基準点で観測された地殻変動について、地震後3.9年のデータからTobita (2016)の手法に基づき時空間モデルを構築した。時空間モデルの予測と2020年までの地殻変動を比較したところ、2015年2月以降に広域でほぼ一定速度で進行する新たな変動が見いだされた。
- 上記の一定速度成分も新たに補正項として追加することで地殻変動の予測精度が向上した。2020年1月～2021年10月までの1年10ヶ月の期間で地殻変動の予測を試行した結果、予測からのずれは平均で1cm弱（水平成分）であった。
- 予測からのずれが大きい観測点は、牡鹿半島の周辺および福島・宮城から山形にかけてに固まって分布しており、2021年3月及び5月の宮城県沖の地震の余効変動の影響を受けていると思われる。

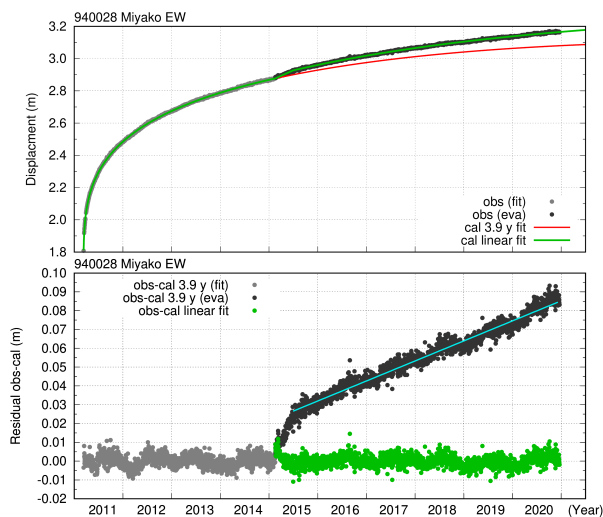


図1 電子基準点宮古（岩手県東部）における、ほぼ一定速度で進行する地殻変動および補正項を追加した時空間モデルからの残差（東西成分）

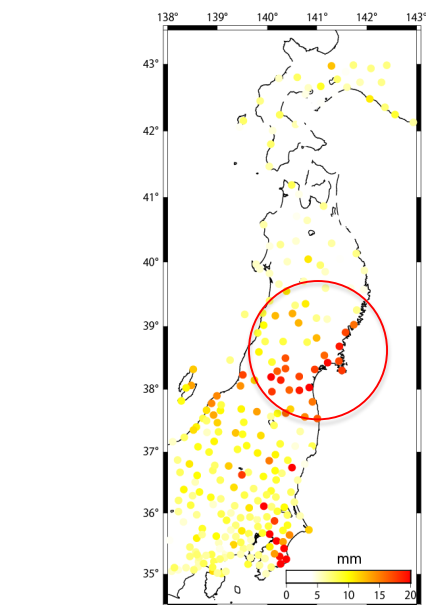


図2 2020年1月～2021年10月で地殻変動を予測した場合の予測からのずれ（水平成分）

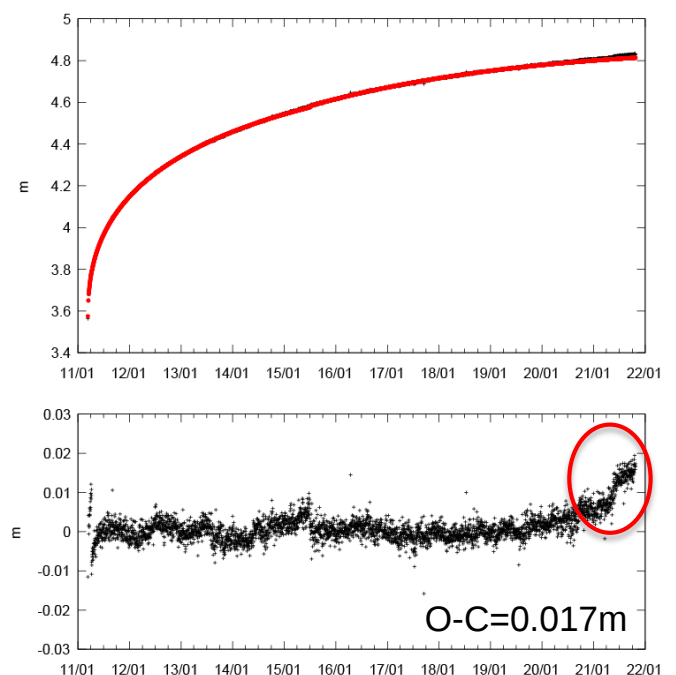


図3 電子基準点矢本（宮城県東部）における時空間モデルからの残差（東西成分）

*GNSS時系列として、国土地理院 電子基準点日々の座標解（F3解）を使用した。

気象庁の地震データベースを用いた地震予測と2015-2021年の予測の評価

小泉尚嗣(滋賀県立大学環境科学部)

ポイント

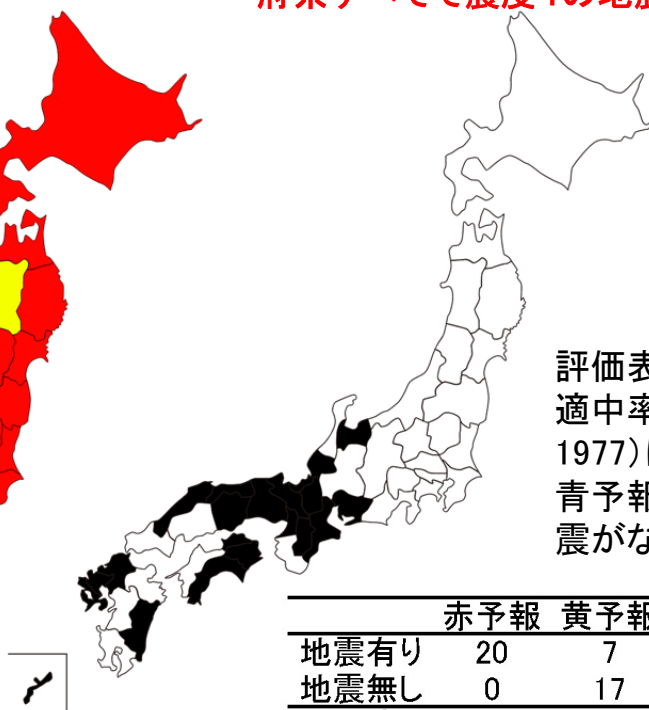
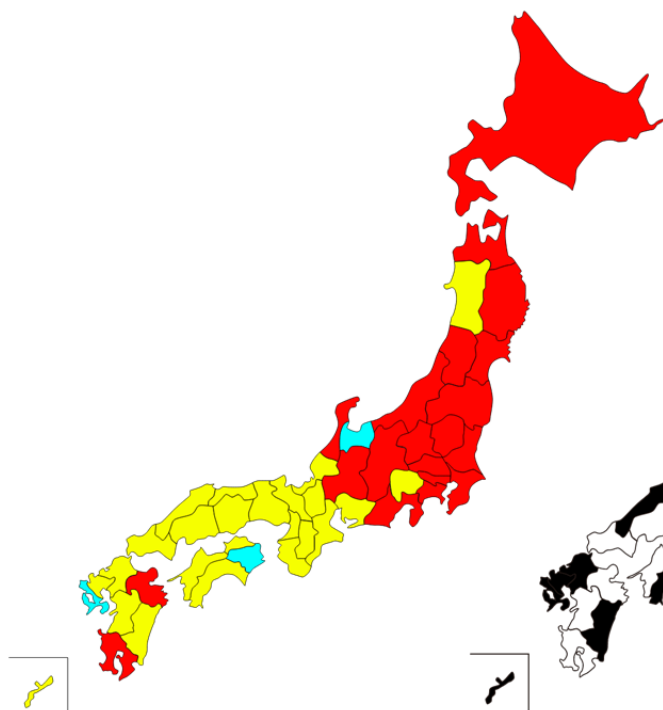
- ・目的: 通常の地震活動から当然予想できる地震発生について、**一般市民に「地震の相場観(どの程度の地震なら起きても当たり前という感覚)」を理解してもらうこと**。また、**地震予測(予知)の評価の仕方(適中率と予知率の両方の評価が必要)**について知ってもらうこと。
- ・気象庁震度データベースを用いて各都道府県の震度4以上の平均的な地震発生間隔を求める。
- ・その**平均発生間隔**で、さいころのように**ランダムに地震が発生すると考え**、各都道府県における震度4以上の地震予測(1年間予報と3か月間予報)を2015年から毎年行い結果を検証。
(公表場所: 地震予知連, 固体地球雑学: <https://www.solid-earth.com/>)
- ・1年間予測では、**適中率(当たった数/予報数)が80%程度**、**予知率(当たった数/地震数)が60%程度**。2021年に関して言えば**適中率100%**を達成。
- ・3か月間予測では、**適中率が60%程度**、**予知率は15-40%**。
- ・**ルーチン化へのポイント**: 高校レベルの数学を理解できる人なら実施可能な手法という利点がある(佐野日本大学高等学校、2017年)。他方、あくまでも、**通常時の地震発生を予測したものであり、突発的に起こる大地震を予測しているものではない**ことを理解してもらうのが課題

1. 2021年の1年間予報の評価

図の作成には、白地図ぬりぬり(2021)というプログラムを用いた。

2001-2010年の平均地震発生間隔を用いた1年間(365~366日間)の予報

2021年1-9月の実際の地震発生状況(右図、白:地震有、黒:地震無)。左の**赤予報の都道府県すべてで震度4の地震→適中率100%**。



評価表

適中率・予知率は(宇津, 1977)による。安心率は、青予報の出した地域で地震がなかった地域の率。

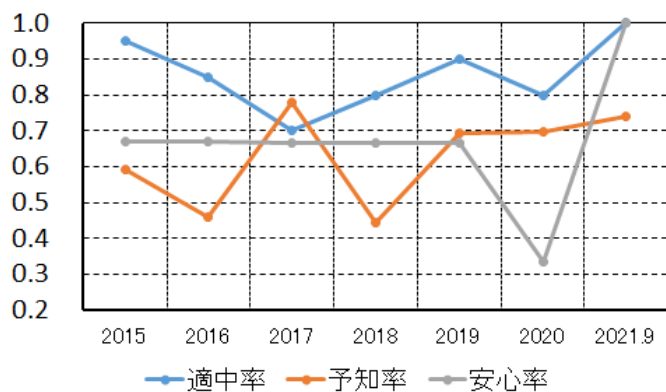
	赤予報	黄予報	青予報	小計
地震有り	20	7	0	27
地震無し	0	17	3	20
小計	20	24	3	47

適中率	20/20	1.00
予知率	20/27	0.74
安心率	3/3	1.00

小泉尚嗣(滋賀県立大学環境科学部)

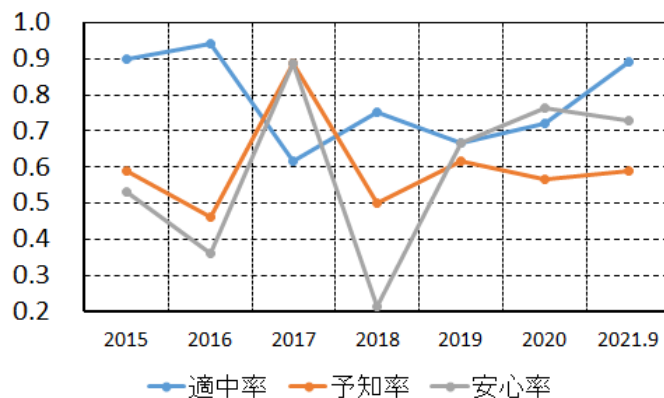
2. 2015－2021年の1年間予報と3ヵ月予報の評価

地震活動期間を2001～2010年に
固定したときの1年間予報の評価



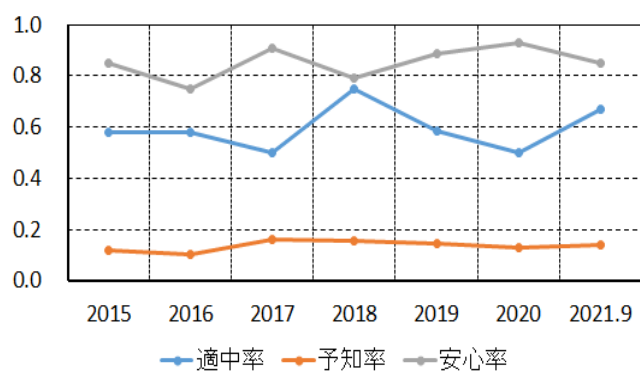
	平均	標準偏差
適中率	0.86	0.10
予知率	0.63	0.13
安心率	0.67	0.19

地震活動期間を予測年の前の3年間にした
ときの1年間予報の評価



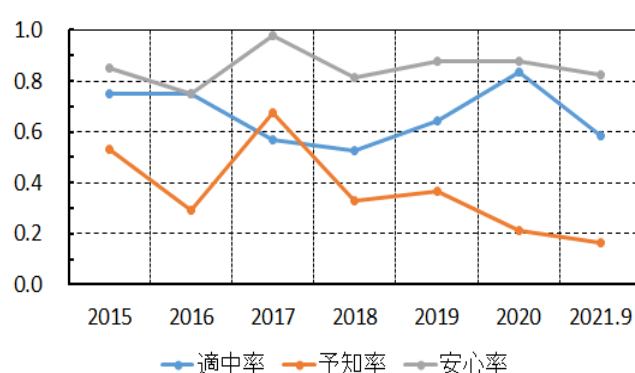
	平均	標準偏差
適中率	0.78	0.13
予知率	0.60	0.14
安心率	0.59	0.24

地震活動期間を2001～2010年に
固定したときの3ヵ月間予報の評価



	平均	標準偏差
適中率	0.60	0.10
予知率	0.14	0.02
安心率	0.85	0.07

地震活動期間を予測年の前の3年間にした
ときの3ヵ月間予報の評価



	平均	標準偏差
適中率	0.67	0.11
予知率	0.37	0.18
安心率	0.85	0.07

小泉尚嗣(滋賀県立大学環境科学部)

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(6): これまでの取りまとめと今後の課題

#前田憲二*・弘瀬冬樹・溜渕功史(気象研) [*気象庁地震火山技術・調査課から併任]

まとめ

- 前震活動に基づく予測モデルの成績(最適化期間と通算期間)(図1)
 - 対象領域や期間によって成績は変化する
予知率(22~68%)、適中率(5~28%)
 - 当初最適化したときの成績に比べ、通算では成績は下がった
- ETASモデルによる予測結果との比較(図2)
 - 定常時空間 ETAS モデルを基にした予測より、
前震活動に基づく予測の方が平均的に予測成績は良い
 - 地震による余震トリガー効果だけでは、前震活動の特徴を再現できない

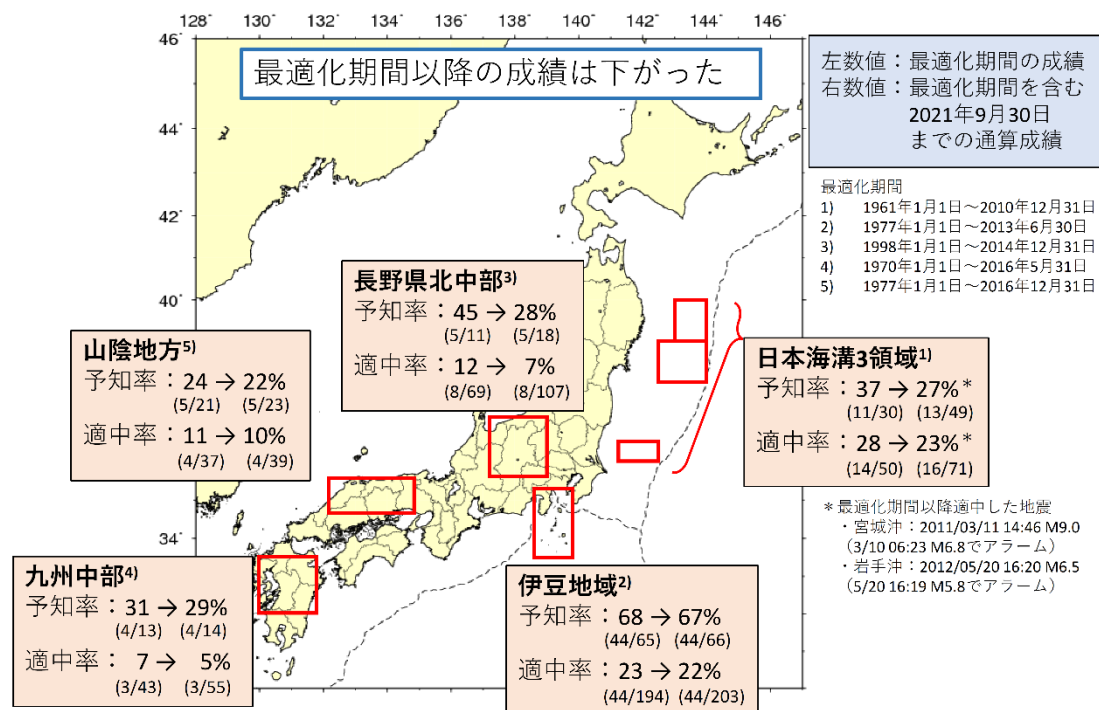
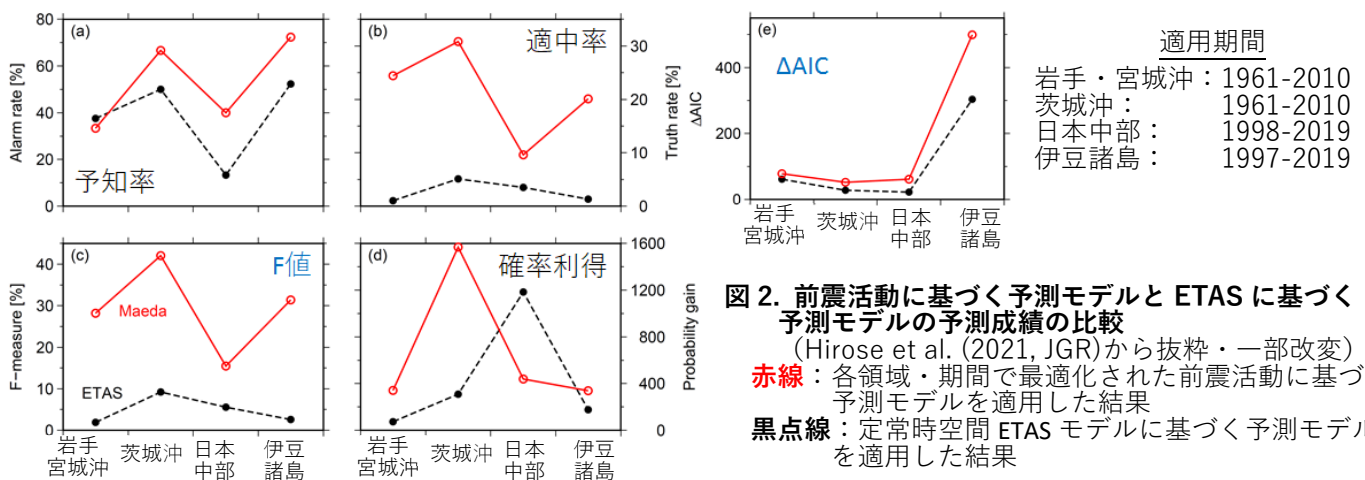


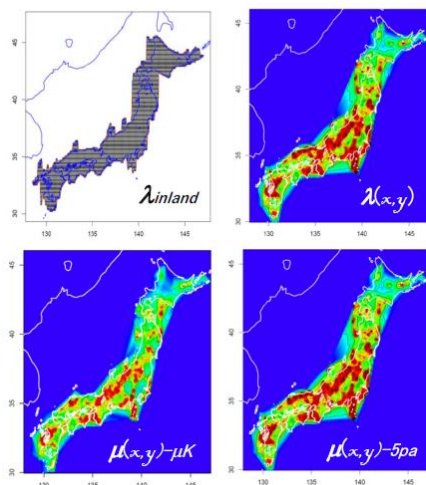
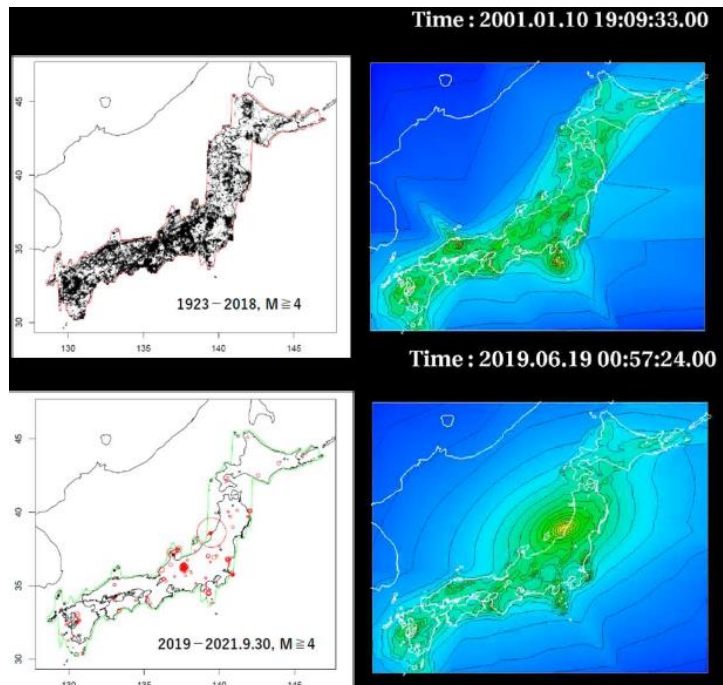
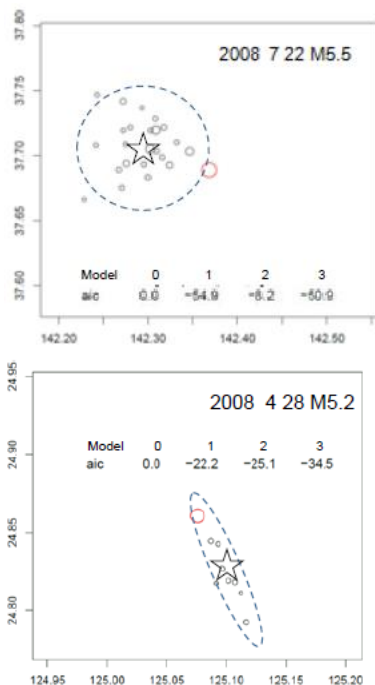
図1. 前震活動に基づく予測モデルの成績の変化

矢印左：最適パラメータ推定期間に対する成績、矢印右：2021年9月30日までの通算成績

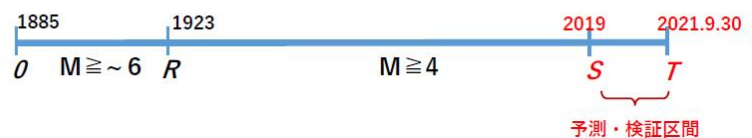


階層的時空間 ETAS モデルなどによる短期・中期の地震確率予測と検証評価 尾形良彦（統計数理研究所）

1. 内陸部直下型の地震予測を議論した（海域を含む全日本の予測も可能である）。
2. 2019 年以前の宇津カタログと気象庁震源データに基づき、それ以降の予測と評価法を与えた。
対数尤度スコアで短期・中期予測の結果を評価した。
3. 最近 2 年 9 ヶ月間の短期予測結果は HIST-ETAS-5pa モデルが M4.0 から M5.0 までの全ての下限マグニチュードの地震に対する予測結果が一番優れており HIST-ETAS- μ K モデルがそれに次ぐ。それ以上のマグニチュードでは評価すべき予測の地震数が足りない。
4. 中期予測に限れば「定常非一様ポアソン」モデルが「内陸部一様」のポアソンモデルより遥かに優れている。



時空間点過程モデル 地震数(2019-2021.sept)	Mc4.0	Mc4.5	Mc5.0	Mc5.5
HIST-ETAS-5pa	638.7	276.6	55.8	-3.9
HIS-TETAS- μ k	551.2	252.5	49.9	-3.2
λ_{inland} : 内陸部 一様 Poisson	0.0	0.0	0.0	0.0
$\lambda(x,y)$: 非一様 Poisson	157.9	105.6	41.7	9.3
$\mu(x,y)$ -Poisson (HIST-ETAS-5pa)	64.7	85.2	36.3	8.3
$\mu(x,y)$ -Poisson (HIST-ETAS- μ K)	111.5	91.5	35.3	7.9



能登半島北部の地震活動と地震テクトニクス

平松 良浩（金沢大学）

ポイント

- 能登半島北部珠洲市周辺での地震活動の活発化は2018年6月頃から始まり、2021年以降は地震活動は4つの領域で活発化している。有感地震(マグニチュードが相対的に大きな地震)の多発は2021年5月以降。
- 地震のメカニズムは南東に傾斜した断層面での逆断層型が支配的である。
- 2020年12月頃からの地震活動の活発化は、この地域での局所的な非定常地殻変動が観測された時期と同じであり、この非定常地殻変動源による応力変化により地震活動の活発化がもたらされたと考えられる。
- 能登半島北部では歴史的にマグニチュード6～7程度の地震が発生しており、またマグニチュード7程度の地震を起こしうる活断層も存在することから、現時点での最大地震(M5.1)をこえる規模の地震の発生について注意する必要がある。

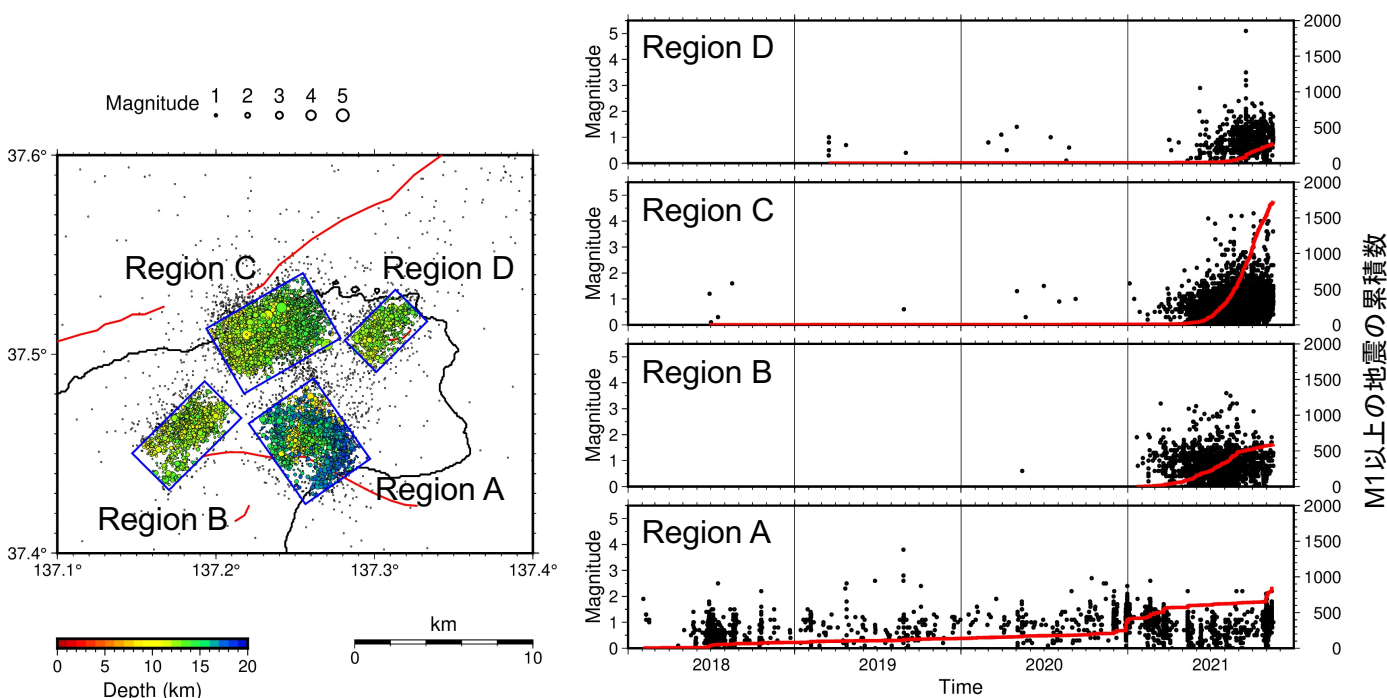


図1. 能登半島北部珠洲市周辺での地震活動。4つの領域で地震活動が顕著であり、Region D で最大地震(M5.1)が発生した(2021年11月17日時点)。

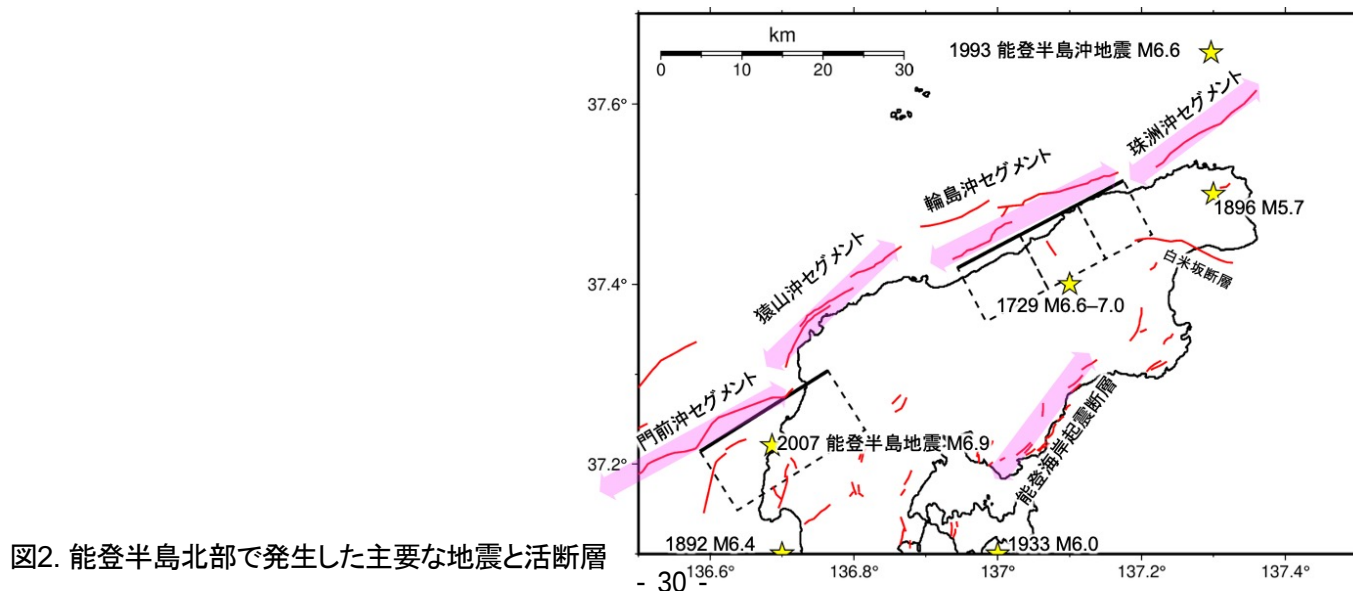


図2. 能登半島北部で発生した主要な地震と活断層

「スロー地震の理解の現状」

Current understanding of slow earthquakes

コンビーナー 東京大学地震研究所 小原一成

1. 背景

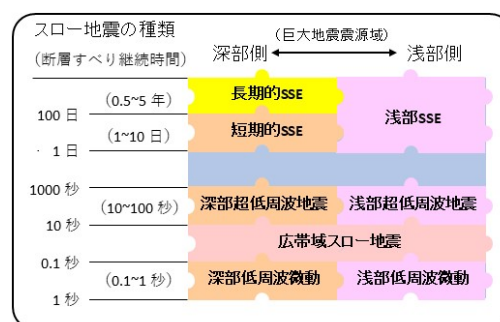
阪神・淡路大震災を契機に稠密な地震・地殻変動観測網が日本全国に整備されたことに伴い、2000 年前後にスロースリップイベントや深部低周波微動が相次いで西南日本で発見され、その後さまざまなスロー地震が日本周辺及び世界中で検出されてきた。これらのスロー地震は巨大地震震源域に隣接した場所で発生することが多く、発見当初より巨大地震との関連性が指摘されており、スロー地震に関する理解の深化が期待されてきた。ごく最近になって、海域の地震・地殻変動観測が充実し、スロー地震に関する新たな観測事実が得られてきたとともに、地質学との連携によりスロー地震の地質学的実像も見え始めている。さらに、摩擦則を適切に設定した数値モデリングによるスロー地震の再現や、大型岩石実験によるスロー地震のメカニズム解明に迫る研究も進められている。

2. 課題

多様性を示すスロー地震には普遍的な性質が存在するか、スロー地震の多様性や普遍性は何によって支配されるのか、などの課題を解決するため、スロー地震の活動様式を海陸における地震・地殻変動等の様々な観測データや手法に基づいて用いて明らかにするとともに、スロー地震震源域周辺の地球物理学のおよび地質学的環境を解明し、さらに、地球科学や地質学などの観点からスロー地震発生原理を解明するためのモデル化を進めることが必要とされる。

3. 報告（予定）

- ①スロー地震の活動様式に関する新たな描像
- ②スロー地震の地球物理学的発生環境
- ③スロー地震の地質学的実像
- ④スロー地震の実験的観察



4. 論点（予定）

- ・スロー地震の理解は、何のために必要か？
- ・スロー地震についてさらに何を解明する必要があるか？
- ・そのためには今後、どんな観測・研究が必要か？