

## 第 409 回地震調査委員会資料

1. 稠密 GNSS 観測網に基づく 2024 年能登半島地震後の佐渡島西方沖における余効すべり  
(東北大学)
2. 2024 年能登半島地震による周辺活断層への静的クーロン応力変化とその後の地震活動  
(東北大学)
3. 2024 年能登半島地震の震源付近の詳細震源分布と同地震の破壊過程 (東北大学)
4. 2024 年能登半島地震震源域陸域の地震波速度構造 (東北大学・東京大学・九州大学・  
京都大学・名古屋大学・北海道大学・弘前大学・山形大学・鹿児島大学・産業技術総  
合研究所・金沢大学)

# 稠密 GNSS 観測網に基づく 2024 能登半島地震後の佐渡島西方沖における余効すべり

東北大学大学院理学研究科

2024 年能登半島地震の断層モデルは数多く存在するが、その多くで断層東端は佐渡島西方沖に位置する。こうした巨大地震発生時に、その断層端に隣接するセグメントへの応力载荷が懸念される。そのため、同地域の余効変動を詳細に調べた。

観測データとして、国土地理院 GEONET 観測網に加え、ソフトバンク株式会社（以下、ソフトバンク）が設置・運用している GNSS 観測網（独自基準点）のデータ(Ohta and Ohzono, 2022)を用いた。解析には Gipsy-X Ver. 2.2. による精密単独測位法を用い、島根県の複数観測点の平均値を用い、それらに対する変位場を得た。さらに地震前の期間のデータから定常変動成分を推定の上、それらを差し引くことで、余効変動のみの時系列を得た（図 1）。抽出された 2024 年 1 月 2 日～6 月 1 日の間の佐渡島およびその周辺の余効変動の水平成分を図 2 に示す。

図 2 より、佐渡島においては、余効変動として北西向きの変位が卓越していることが明瞭である。図 2 には粘弾性緩和によって期待される余効変動も併記した。粘弾性緩和の計算には半解析的境界要素法 (Barbot and Fialko, 2010a; Barbot and Fialko, 2010b) を用いて、地震時の断層すべりによる応力擾乱から期待されるマクスウェル粘弾性媒質の緩和を計算した。図 2 の青ベクトルで下部地殻の粘性率を  $10^{18} \text{ Pa s}$  と  $10^{21} \text{ Pa s}$  とした場合の計算結果を示すが、佐渡島に着目すると、いずれの結果も粘弾性緩和のみによって期待される水平変動は北東方向であり、観測された余効変動の北西向きの方角と一致しない。そのため、Fujii and Satake (2024)による地震時断層モデルの北端パッチである NT2 の断層面を参考にしつつ、その深部延長に余効すべりが生じていたと仮定し、試行錯誤的に断層パラメータを調整した。図 3 にその結果を示す。余効すべりを仮定することで、特に佐渡島南部の北西向きの変位をよく説明可能である。一方で、佐渡島中部から北部については、NT2 の深部延長に余効すべりを仮定しただけでは北西向きの変位を説明できない。そのため、NT2 深部延長にさらに余効すべり面を延長したモデルを構築した（図 4）。これによって観測データを誤差の範囲で説明可能である。推定された余効すべりの主要部分は余震が周囲と比較して集中して発生している領域と一致する。

(文責:太田 雄策)

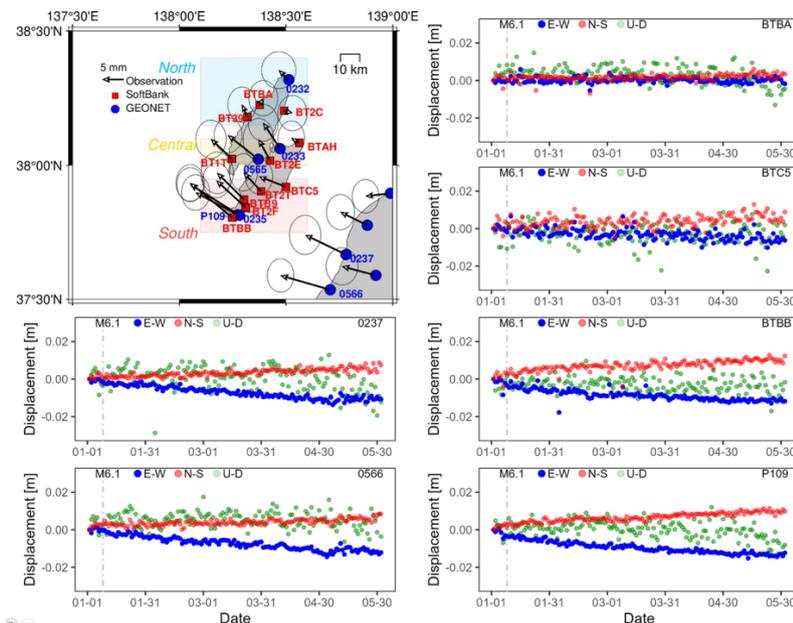


図 1. 2024 年 1 月 2 日～6 月 1 日までの期間における余効変動時系列。青色で東西成分、赤色で南北成分、緑色で上下成分をそれぞれ示す。

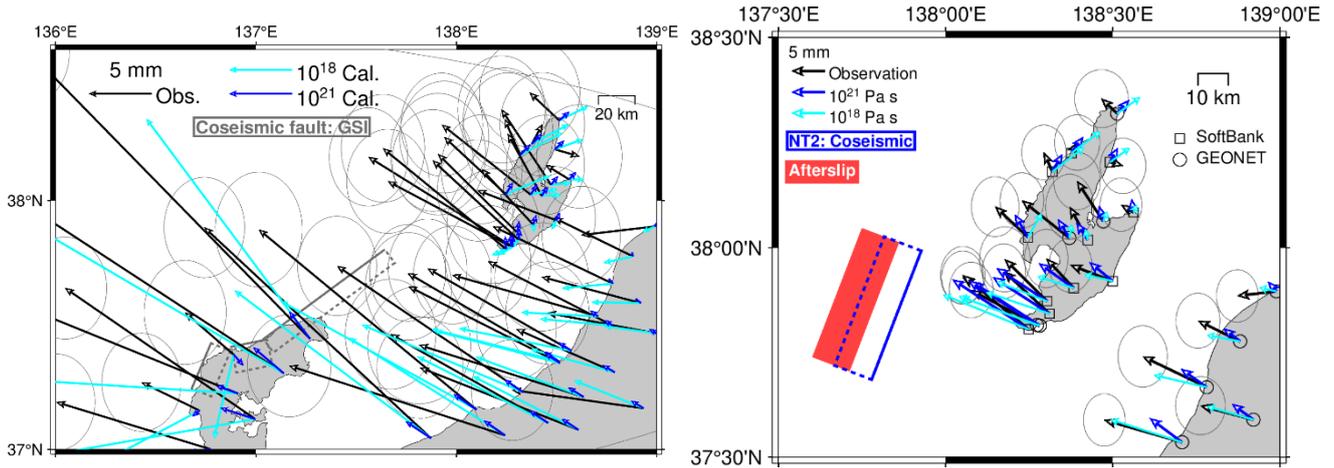


図 2. 2024 年 1 月～6 月 1 日までの期間における余効変動の水平成分 (黒矢印)。粘弾性緩和によって期待される余効変動を寒色系の矢印で示す。青色矢印が下部地殻の粘性率を  $10^{21}$  Pa s とした場合、水色矢印が  $10^{18}$  Pa s とした場合をそれぞれ示す。

図 3. 2024 年 1 月～6 月 1 日までの期間における余効変動の水平成分 (黒矢印)。仮定した余効すべりの断層位置を赤矩形で示す。仮定した余効すべりから期待される変位成分に粘弾性緩和の影響を足し合わせた結果を寒色系の矢印で示す。青色矢印が下部地殻の粘性率を  $10^{21}$  Pa s とした場合、水色矢印が  $10^{18}$  Pa s とした場合をそれぞれ示す。

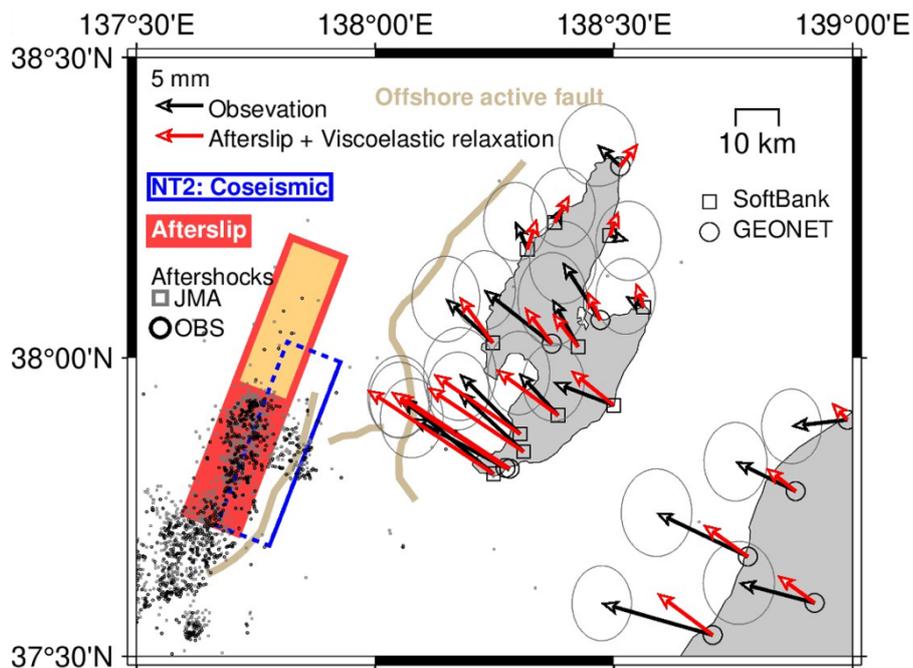


図 4. 2024 年 1 月～6 月 1 日までの期間における余効変動の水平成分 (黒矢印)。仮定した余効すべりの断層位置を赤矩形およびオレンジ色の矩形で示す。仮定した余効すべりから期待される変位成分に粘弾性緩和の影響 (下部地殻の粘性率を  $10^{21}$  Pa s を仮定) を足し合わせた結果を赤色の矢印で示す。赤で塗りつぶした矩形の地震モーメントは  $M_w$  換算で  $M_w$  6.56、その北部延長のオレンジ色の矩形は  $M_w$  6.16 である。灰色四角で気象庁による一元化震源を、黒色丸でそれらを OBS で再決定した震源 (Shinohara et al. 2024) を示す。

**謝辞：**本研究で使用したソフトバンクの独自基準点の後処理解析用データは、ソフトバンク株式会社および ALES 株式会社より「ソフトバンク独自基準点データの宇宙地球科学用途利活用コンソーシアム」の枠組みを通じて、ソフトバンク株式会社および ALES 株式会社より提供を受けたものを使用しました。国土地理院の電子基準点 RINEX データ、気象庁一元化震源データを使用しました。観測及び解析には JSPS 科研費 JP22K19949 と JP23K17482 の助成及び文部科学省による「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画 (第二次)」の支援を受けました。ここに記して感謝の意を表します。

# 2024年能登半島地震による周辺活断層への静的クーロン応力変化とその後の地震活動

東北大学

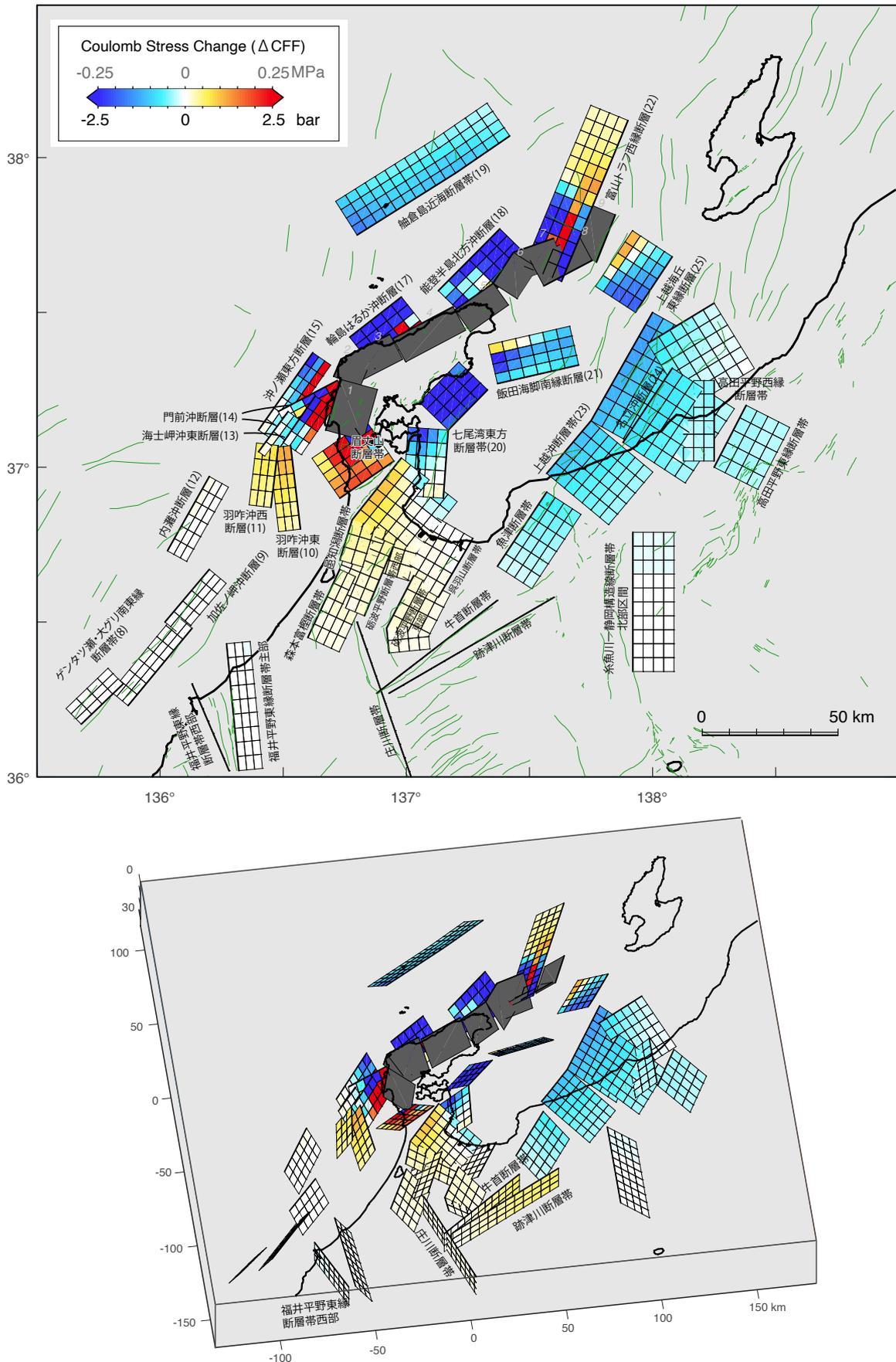


図1 能登半島地震による周辺活断層へのクーロン応力変化 ( $\Delta CFF$ )

遠田 (2024) の震源断層モデル (表1) を用いて, 地震本部 (2024, 日本海側の海域活断層の長期評価, 令和6年8月版) の海域活断層と周辺の陸域活断層 (地震本部, 主要活断層の評価結果) (表3) への  $\Delta CFF$  を解いた. 各断層の  $\Delta CFF$  表示は約  $5\text{ km} \times 5\text{ km}$  のサブパッチに分割した中心位置での値. みかけの摩擦係数は0.4. 眉丈山断層帯, 海士岬断層帯, 羽咋沖西断層, 羽咋沖東断層, 邑知潟断層帯北部には最大1bar(0.1MPa) を超える応力増加が見込まれる. 森本富樫断層帯, 砺波平野断層帯, 呉羽山断層帯も地震活動に影響があるとされる0.1barを上回る. 富山湾周辺の逆断層帯は概ね負の  $\Delta CFF$ .

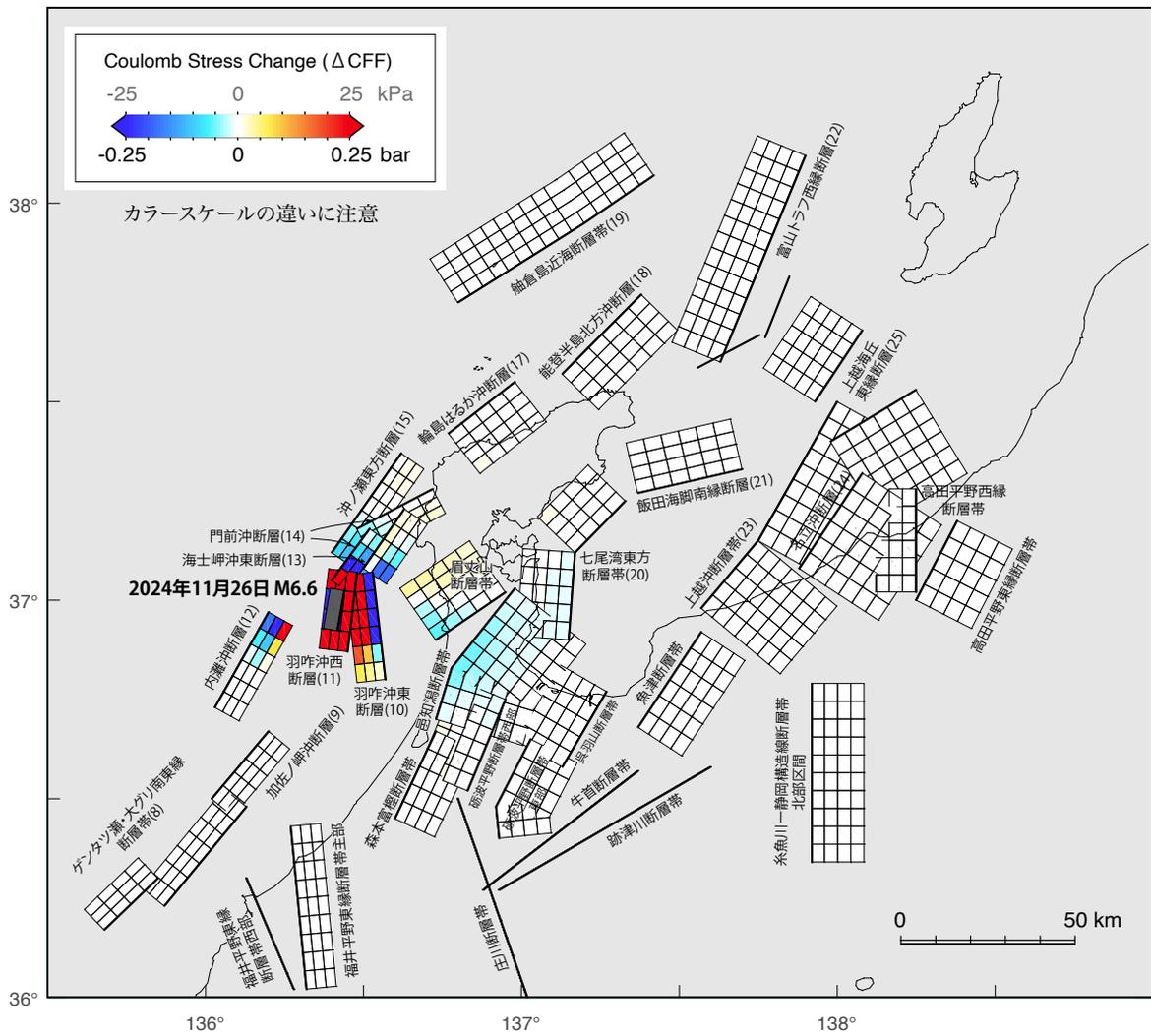


図2 2024年11月26日M6.6による周辺活断層へのクーロン応力変化（ $\Delta CFF$ ）

直後の余震活動とUSGSのW-phase MTを参考に作成した震源断層モデル（表2）をもとに計算。条件は図1と同様。羽咋沖東断層、羽咋沖西断層に顕著な応力増加が見込まれるが、影響はごく震源周辺に限定される。図1とのカラースケールの違いに注意。

表-1 2024年能登半島地震（M7.6）の震源断層モデル

断層番号	経度 [°]	緯度 [°]	上端深さ [km]	断層長 [km]	断層幅 [km]	走向 [°]	傾斜 [°]	すべり角 [°]	変位量 [m]
1	136.637	37.123	2.0	19.5	18.7	15.3	40.0	90.0	1.50
2	136.705	37.397	0.0	6.9	20.8	22.7	60.0	90.0	6.00
3	136.735	37.353	0.0	20.0	20.8	62.8	60.0	130.3	6.00
4	136.946	37.420	0.0	24.9	17.1	62.0	55.0	135.0	4.00
5	137.197	37.513	0.0	17.1	17.1	54.9	55.0	115.2	2.00
6	137.353	37.600	0.0	13.6	20.8	32.9	60.0	105.0	2.50
7	137.435	37.700	0.0	15.6	20.8	70.7	60.0	115.2	2.00
8	137.754	37.673	0.0	20.0	16.6	242.0	50.0	90.0	1.50
9	137.849	37.821	0.3	18.6	16.3	202.2	50.0	90.0	1.00

表-2 2024年11月26日M6.6 (Mw 6.1)の震源断層モデル

経度 [°]	緯度 [°]	上端深さ [km]	断層長 [km]	断層幅 [km]	走向 [°]	傾斜 [°]	すべり角 [°]	変位量 [m]
136.444	37.032	4.2	10.8	7.7	190	58	110	0.56

表-3 レシーバ断層（影響を被る断層）の断層パラメータ

断層名	記号	断層端-1		断層端-2		傾斜 (°)	すべり角 (°)
		東経 (°)	北緯 (°)	東経 (°)	北緯 (°)		
舩倉島近海断層帯 (南西区間)	19-1	137.20	37.95	136.80	37.75	46	90
舩倉島近海断層帯 (北東区間)	19-2	137.42	38.07	137.20	37.95	46	90
上越海丘東縁断層	25	138.08	37.68	137.93	37.50	41	90
飯田海脚南縁断層	21	137.70	37.33	137.37	37.27	46	90
七尾湾東方断層帯 (大泊鼻沖区間)	20-1	137.17	37.12	137.15	36.90	46	90
七尾湾東方断層帯 (城ヶ崎沖区間)	20-2	137.33	37.25	137.17	37.12	46	90
上越沖断層帯 (親不知沖区間)	23-1	137.57	36.98	137.75	37.15	27	90
上越沖断層帯 (鳥ヶ首沖区間)	23-2	137.75	37.15	138.00	37.50	29	90
上越沖断層帯 (上越海盆南縁区間)	23-3	137.98	37.40	138.25	37.53	28	90
名立沖断層	24	137.88	37.08	138.08	37.32	29	90
門前断層帯 (門前沖区間)	14-1	136.48	37.18	136.72	37.28	62	110
門前断層帯 (海士岬沖区間)	14-2	136.40	37.05	136.52	37.18	62	90
海士岬沖東断層	13	136.50	37.08	136.63	37.23	62	90
沖ノ瀬東方断層	15	136.40	37.12	136.62	37.37	62	90
内灘沖断層	12	136.03	36.73	136.20	36.97	62	90
羽咋沖西断層	11	136.48	37.07	136.45	36.87	62	90
羽咋沖東断層	10	136.53	37.07	136.57	36.80	62	90
加佐ノ岬沖断層	9	136.02	36.50	136.20	36.67	62	90
ゲンタツ瀬・大グリ南東縁断層帯 (大グリ区間)	8-2	136.13	36.48	135.87	36.23	62	90
ゲンタツ瀬・大グリ南東縁断層帯 (ゲンタツ瀬区間)	8-1	135.85	36.30	135.68	36.17	62	90
富山トラフ西縁断層	22	137.90	38.12	137.63	37.60	46	90
能登半島北方沖断層	18	137.13	37.57	137.38	37.77	46	90
輪島はるか沖断層	17	136.77	37.42	136.98	37.55	46	90
眉丈山断層		136.95	37.02	136.73	36.90	40	90
庄川断層帯		137.05	35.93	136.80	36.50	90	0
牛首断層帯		136.88	36.27	137.37	36.57	90	180
跡津川断層帯		136.93	36.27	137.60	36.58	90	180
呉羽山断層帯		137.27	36.77	137.13	36.58	45	90
砺波平野断層帯西部		136.95	36.75	136.83	36.52	45	90
砺波平野断層帯東部1		136.92	36.48	137.03	36.65	45	90
砺波平野断層帯東部2		136.93	36.40	136.92	36.48	45	90
森本富樫断層帯		136.60	36.45	136.73	36.67	50	90
邑知潟断層帯1		136.78	36.83	136.98	37.03	30	90
邑知潟断層帯2		136.73	36.70	136.78	36.83	30	90
魚津断層帯		137.37	36.68	137.57	36.92	45	90
福井平野東縁断層帯主部		136.32	36.02	136.27	36.43	60	45
福井平野東縁断層帯西部		136.28	36.02	136.13	36.30	90	0
高田平野西縁断層帯		138.25	37.28	138.25	37.02	45	90
高田平野東縁断層帯		138.25	37.00	138.38	37.20	40	90
糸魚川-静岡構造線断層帯北部区間		137.92	36.34	137.92	36.79	45	90

すべての断層において、断層上端と下端はそれぞれ0 km, 15 kmに設定

眉丈山断層のパラメータは独自に設定。その他は地震調査研究推進本部に基づく。

記号は地震本部（2024年8月公表資料、日本海側の海域活断層の長期評価―兵庫県北方沖～新潟県上越地方沖―（令和6年8月版））に対応

### 地震発生率の変化（本震後1年 / 本震前2年）

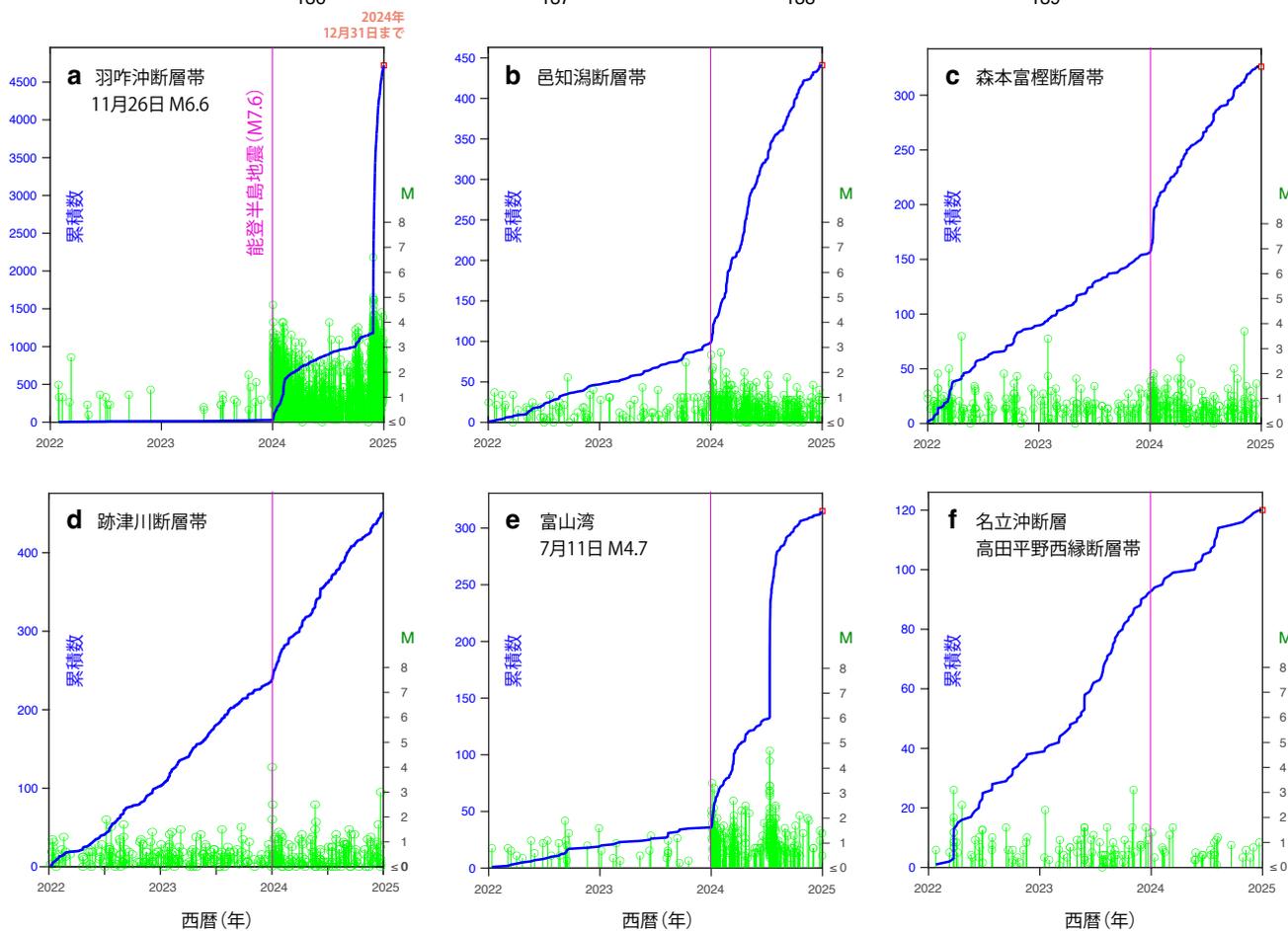
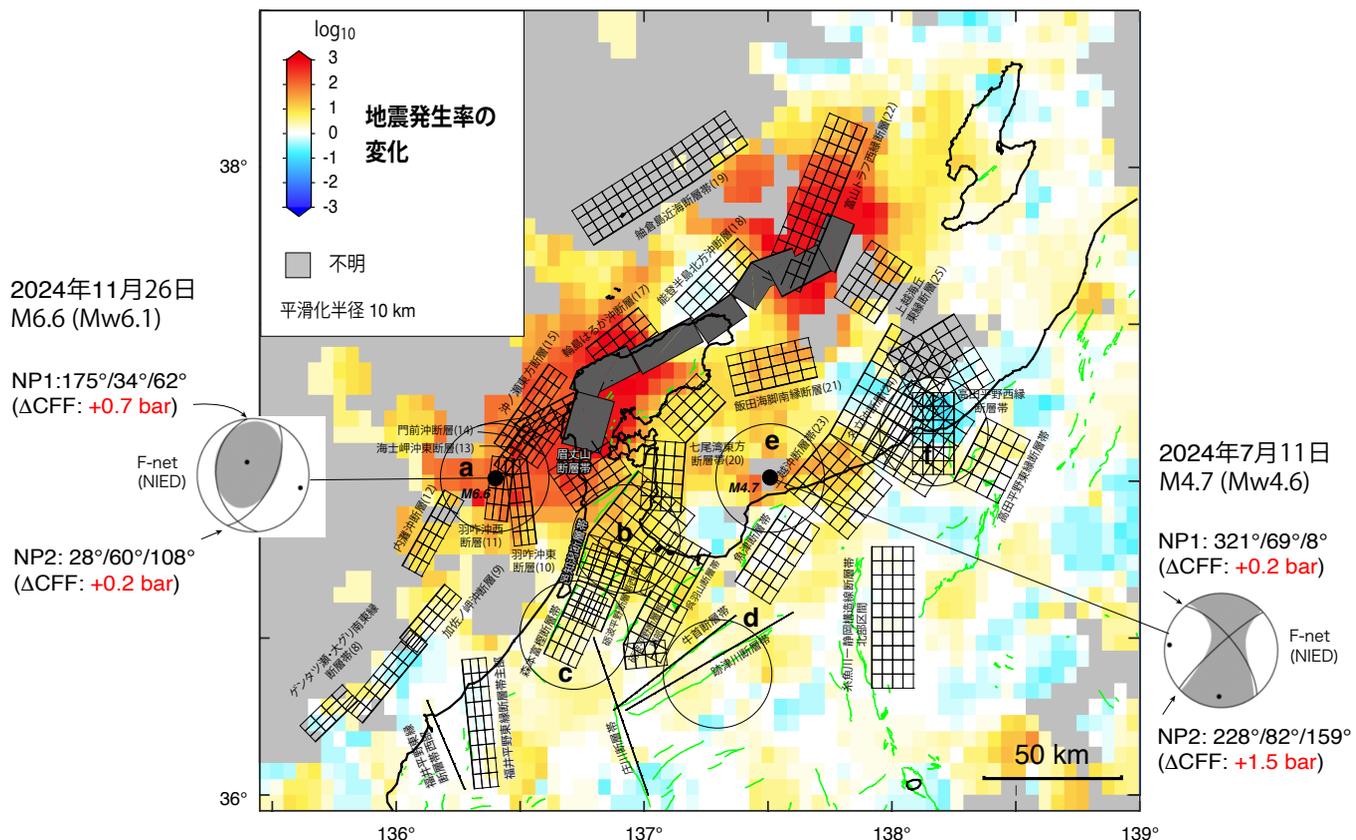


図3 能登半島地震前後の地震発生率変化（上段）と主要地域での地震活動時系列（下段）

気象庁一元化震源（暫定）の全ての検知Mを使用。0.05°グリッド上で半径10kmの移動シリンダーによって発生率変化をマッピング。震源断層から100km弱の範囲に影響が見られる。能登半島北方沖断層付近の発生率減少は本震前2年間の群発地震活動のため。時系列は半径20kmのエリアの震源を積算したもの。それぞれの中心位置は、a (136.398°/37.009°), b(136.935°/36.813°), c(136.724°/36.510°), d(137.401°/36.484°), e(137.515°/37.009°), f(138.174°/37.154°)。11月26日M6.6羽咋沖断層ではオフフォルト余震活動が顕著。邑知潟断層付近でも発生率が継続的に高い状態が続く。森本富樫断層帯もやや高い。跡津川断層帯もレートの増加が見られる。富山湾南東部（M4.7周辺）では一時期活発化したがレートは戻りつつある（7月11日M4.7は横ずれ断層解でΔCFFは正）。名立断層—高田平野西縁断層帯周辺に変化は認められない。

# 2024 年能登半島地震の震源付近の詳細震源分布 と同地震の破壊過程

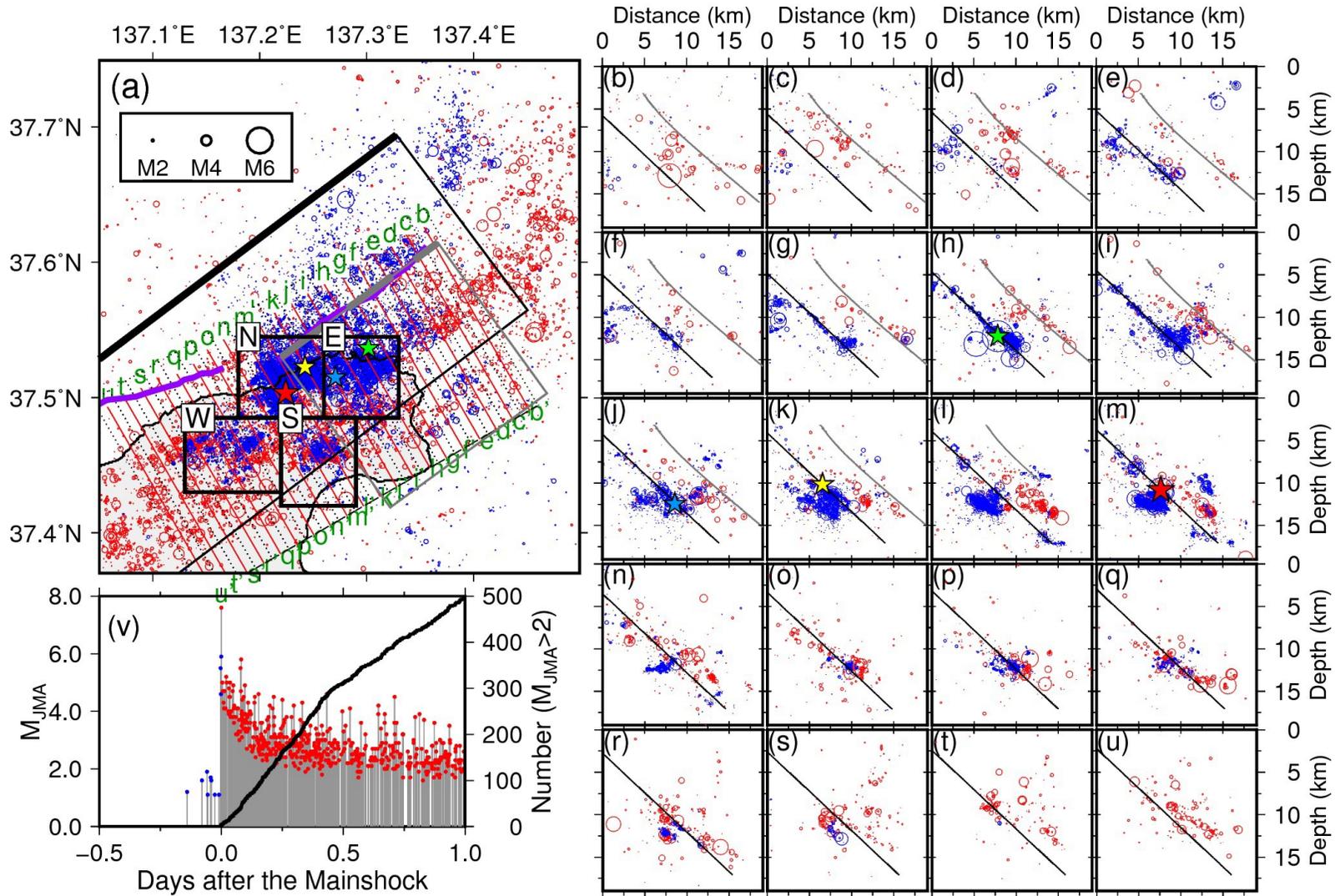
(東北大学大学院理学研究科)

## 概要

1. 2024年 Mw7.5地震は、これまで群発地震が発生していた断層の一つ (以下, Suzu Blind Fault; SBF)から開始.
2. その震源直下では、2年以上前から複数の微細断層を通じた深部から浅部への震源マイグレーションが発生していた。深部からの流体供給が本震開始を triggerした可能性。SBFでは、東側から西側への震源マイグレーションも発生していた。
3. 開始した本震破壊は、輪島セグメント・珠洲沖セグメント等の活断層でも大すべりをトリガーし、Mw7.5地震に至ったと推定される。

2024年 Mw7.5本震は、2022年 Mw5.2地震や2023年 Mw6.2地震が発生したのと同じ断層 (以下, Suzu Blind Fault; SBF ; 黒線)の西側延長で開始.

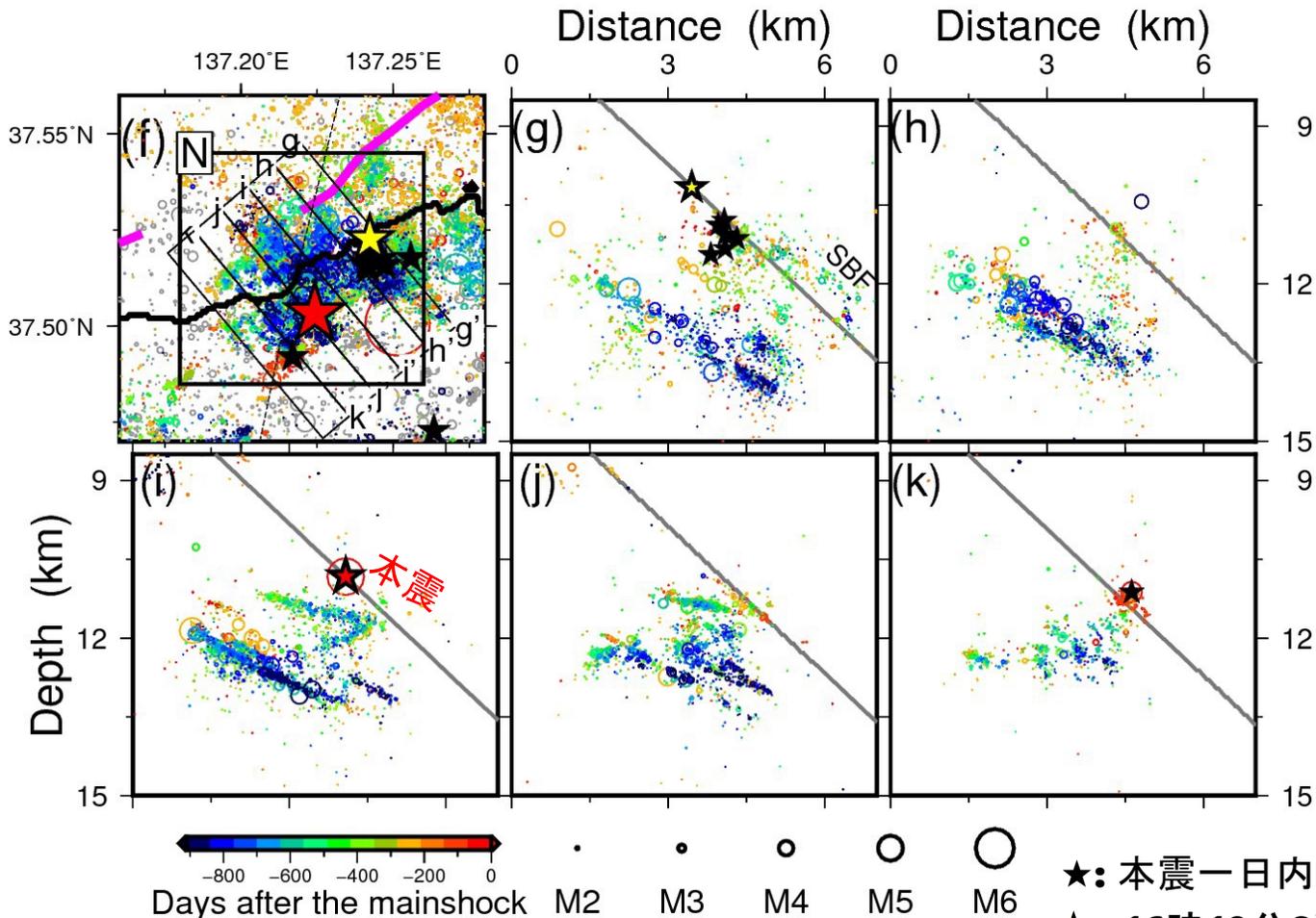
- ★ : Mw7.5本震
- ☆ : 16時10分8秒前震,
- ★ : 2023 Mw6.2地震,
- ☆ : 2022 Mw5.2地震)
- : 本震前
- : 本震後



Mw7.5地震の開始として、16時10分10秒地震を採用.

余震は、これまでよりも浅い断層に集中して発生し出した (灰色線). 珠洲沖セグメントにおける活動? この断層における活動はその後活発化し、断層面もより明瞭になった (補足資料).

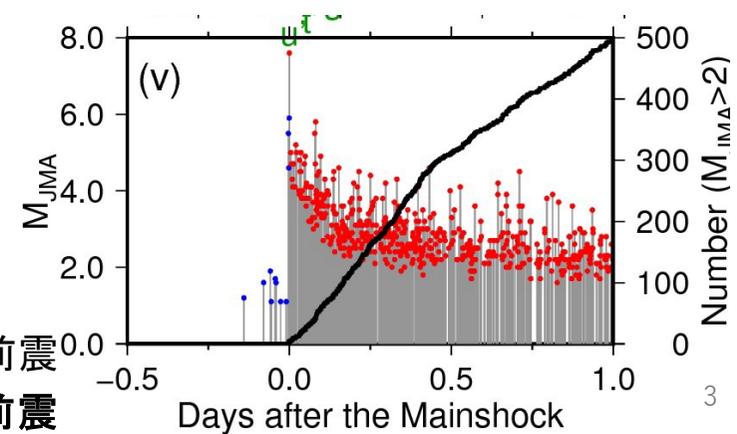
# 本震の開始は、それ以前に報告されていた群発地震のマイグレーションしていた先端とSBFの合流部付近で発生.



このマイグレーションは先行研究でも報告されていた (Yoshida et al., 2023, JGR)

微細断層を経由した流体の深部から浅部への上昇が本震開始をトリガー?

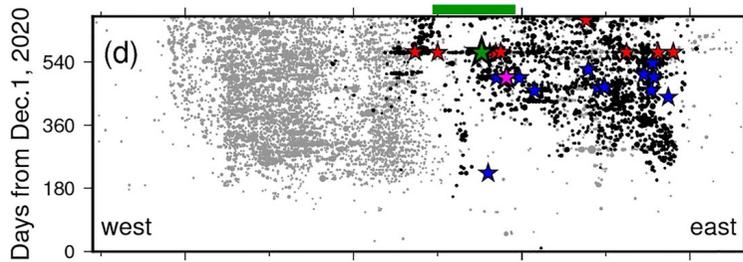
一日内の前震も SBFの付近で発生



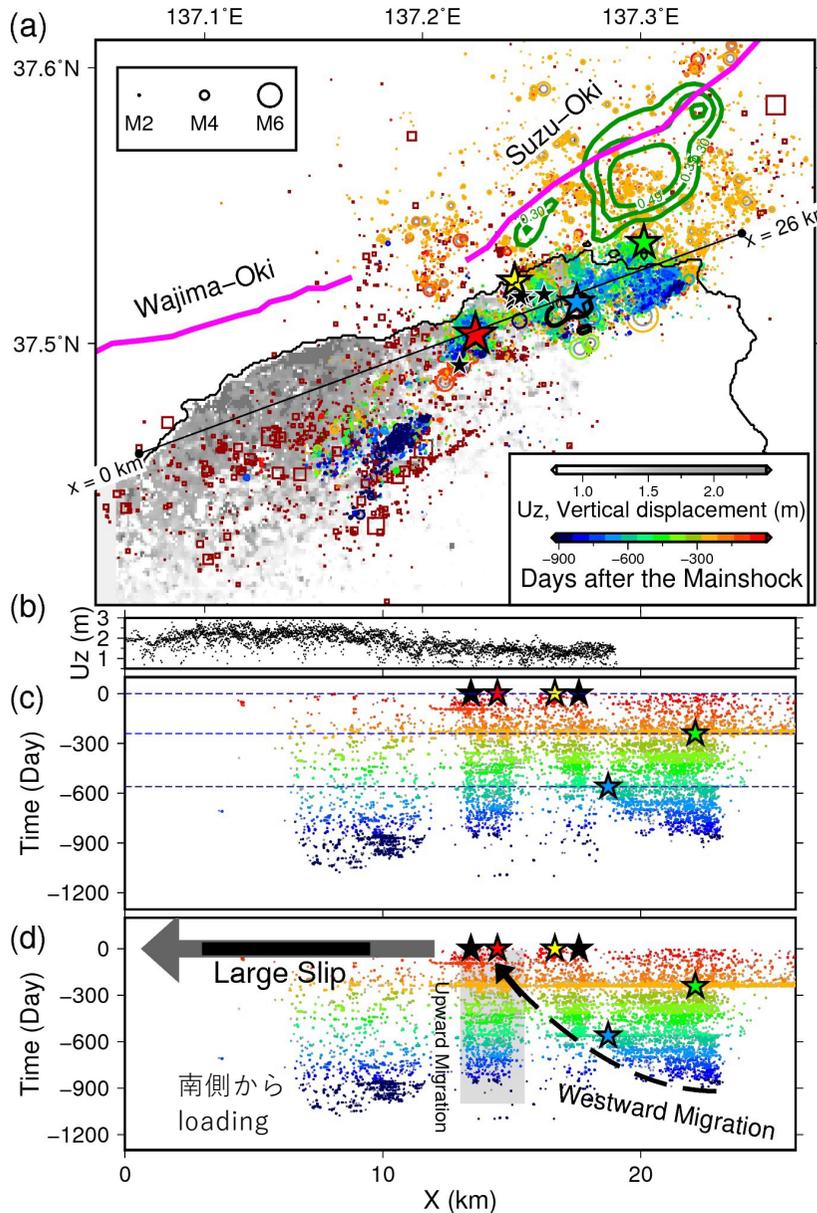
★: 本震一日内の前震  
 ★: 16時10分8秒前震

# SBFでは、東側から西側への群発地震マイグレーションが発生。

断層上の非地震性すべりや流体移動の可能性。  
 本震時には、震源のすぐ西側で、大きなすべりを示唆する大きな隆起が発生。



Reported by Yoshida et al. (2023, JGR) before and after the 2022 Mw5.2 event



本震破壊は、輪島セグメント・珠洲沖セグメント等の活断層で大すべりを次々とリガーしていった結果、Mw7.5の規模に至ったと推定される。

- ★ : Mw7.5本震
- (★) : 16時10分8秒前震,
- ★ : 2023 Mw6.2地震,
- ★ : 2022 Mw5.2地震)