

能登半島の地殻変動（2022年7月）

京都大学防災研究所
金沢大学理工研究域
東北大学大学院理学研究科

能登半島における群発地震の震源域周辺の GNSS 観測点において地殻変動が観測されている。本資料では、ソフトバンク株式会社が設置・運用している GNSS 観測点（独自基準点）のデータと周辺の国土地理院 GEONET 観測点データ、及び京都大学防災研究所と金沢大学理工研究域が 2021 年 9 月に設置した臨時 GNSS 観測点のデータを合わせて解析した結果について報告する。

4 機関のデータの統合解析を行なった 2020 年 9 月から 2022 年 6 月までの地殻変動については、群発地震の震源域を中心とする膨張・隆起を示す地殻変動が捉えられていることが明瞭となった（図 1 b, c）。水平変動のパターンは、概ね群発地震震源域から放射状に広がっており、比較的深部（深さ 10km 以深）に変動源があるという従来の解釈と矛盾しないと考えられる。

GEONET 観測点を除いた観測点については群発地震に伴う変動以前の観測データがなく、季節変動成分の補正が行うことができないため、1 年未満の変位については誤差が大きいことに留意する必要があるが、約 3 ヶ月間の期間毎の変位のスナップショット（図 2）を見ると、2020 年 11 月-2021 年 3 月の変動量が一番大きく（図 2a）、その後変動速度は徐々に減少しているように見えるものの、2022 年 3-6 月（図 2f）においても、群発地震震源域近傍での隆起及び膨張は継続しているように見える。各観測点の時系列からも変動が継続している傾向が見られる（図 3）。

2021 年 2 月からの 1 年間の観測変位に対して、球状圧力源、開口断層、逆断層をそれぞれ仮定してパラメータの推定を行う（図 4）と、どちらのモデルも大局的な変動パターンは説明するが、開口断層（シル）モデルが 3 つの中では最も良く（統計的に有意に）データをよく説明することがわかった。どのモデルも、変動源の深さは十数 km であり、球状圧力源と開口断層のモデルでは体積変化量は 2000 万立米を超えると推定される。また、2021 年 12 月からの半年間の観測変位に対しても同様のモデル化を行なった（図 5）が、変動源の位置は 2021 年 2 月からの位置と有意な変化は見られない。

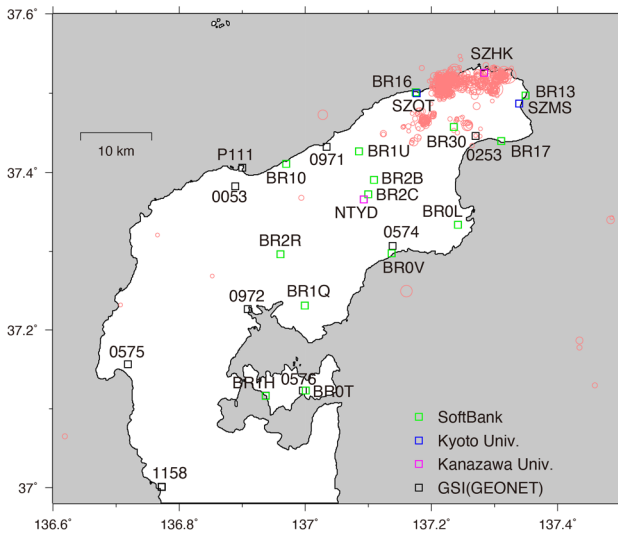
2022 年 6 月 19 日の M5.4 の地震前後の地殻変動については、地震に伴う地殻変動もしくは地震動の影響によるアンテナ位置の変化が震源域近傍で見られる（図 6、図 7）が、地殻変動の傾向は地震前後で大きく変わった様子は見られない（図 6）。

なお、本資料では、京都大学防災研究所において米国ジェット推進研究所（JPL）の精密暦及び速報暦を用いて GipsyX Ver1.4 の精密単独測位法（PPP）により計算した日座標値を用いた。

（文責 西村）

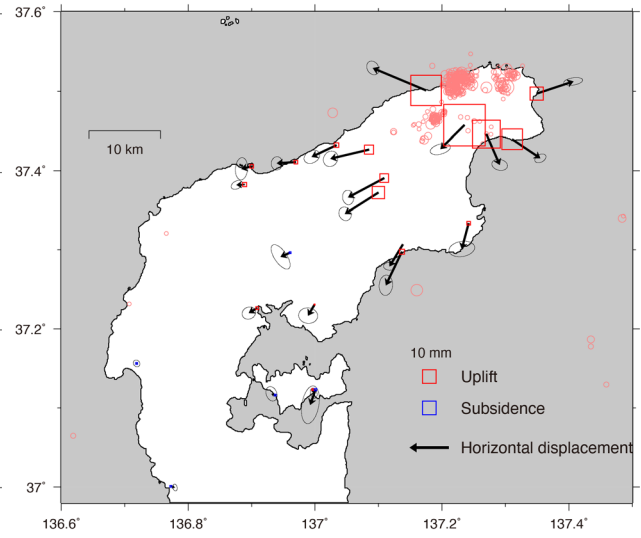
謝辞：本研究で使用したソフトバンク独自基準点の後処理解析用 RINEX データは、ソフトバンク株式会社・ALES 株式会社より東北大学大学院理学研究科が提供頂いたものを使用しました。国土地理院の電子基準点 RINEX データ、気象庁一元化震源データを使用しました。京都大学及び金沢大学の GNSS 観測点の設置にあたり、珠洲市教育委員会、珠洲市役所企画財政課及び能登町教育委員会にお世話になりました。ここに記してこれらの機関に感謝いたします。

(a)



(b)

Observed displacement (2021/2/23-3/4 ~ 2022/2/23-3/4)
Seismicity (JMA, $M \geq 2$, depth ≤ 20 km, 2021/2/23 ~ 2022/3/4)



(c)

Observed displacement (2020/11/16-25 ~ 2022/6/6-15)
Seismicity (JMA, $M \geq 2$, depth ≤ 20 km, 2020/11/16 ~ 2022/6/15)

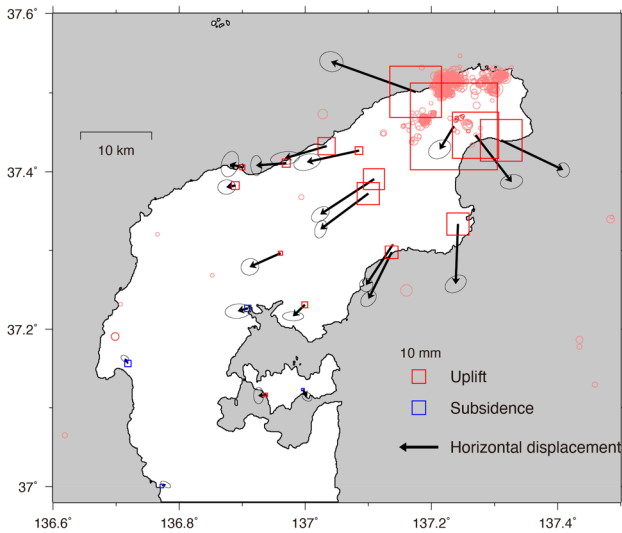


図 1 ソフトバンク、大学、国土地理院の GNSS 観測点統合解析結果。赤丸は気象庁一元化震源 ($M \geq 2$, 深さ ≤ 20 km) を表す。(a) 解析に用いた GNSS 観測点の ID。BR から始まる観測点がデータ提供を受けたソフトバンクの観測点。SZOT と SZMS 及び SZHK の NTYD は、それぞれ京大防災研と金沢大の観測点。P111 と数字 4 桁は、GEONET 観測点。(b) 2021 年 2 月 23 日からの 1 年間の変動ベクトル図。赤青の四角は上下変動を表す。精密暦を用いた ITRF2014 準拠の日座標値に基づき、群発地震活動の前から観測が行われている国土地理院による観測点の 2017-2019 年の期間で推定した 1 次トレンド・指数・対数・年周・半年周成分を外挿して除去した各期間の変位を表示した。ソフトバンク及び大学観測点については、一次トレンド成分のみを周囲の GEONET 観測点での推定値から Okazaki et al.(2022)の方法で補間して除去した。これらに加えて空間フィルターにより共通誤差成分についても除去している。(c) 2020 年 11 月 16-25 日から 2022 年 6 月 6-15 日までの変動ベクトル図。赤青の四角は上下変動を表す。

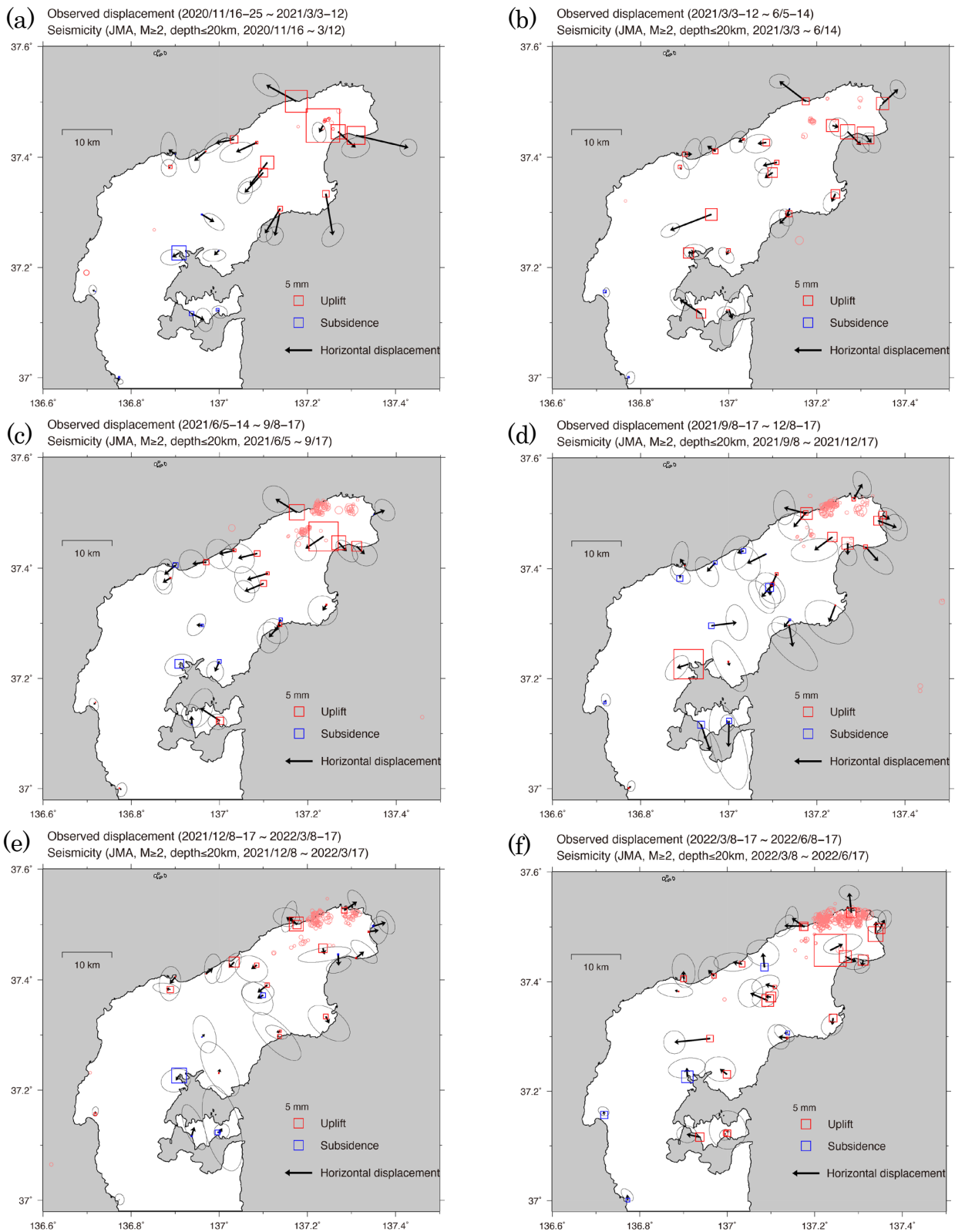


図2 各期間の変動ベクトル図。赤青の四角は上下変動を表す。赤丸は各期間の気象庁一元化震源 ($M \geq 2$, 深さ ≤ 20 km)。図1と同様のノイズ軽減処理を行なった。(a) 2020年11月16-25日から2021年3月3-12日まで(107日間)。(b) 2021年3月3-12日から6月5-14日まで(95日間)。(c) 2021年6月5-14日から9月8-17日まで(96日間)。(d) 2021年9月8-17日から12月8-17日まで(91日間)。(e) 2021年12月8-17日から2022年3月8-17日まで(90日間)。(f) 2022年3月8-17日から2022年6月8-17日まで(92日間)。

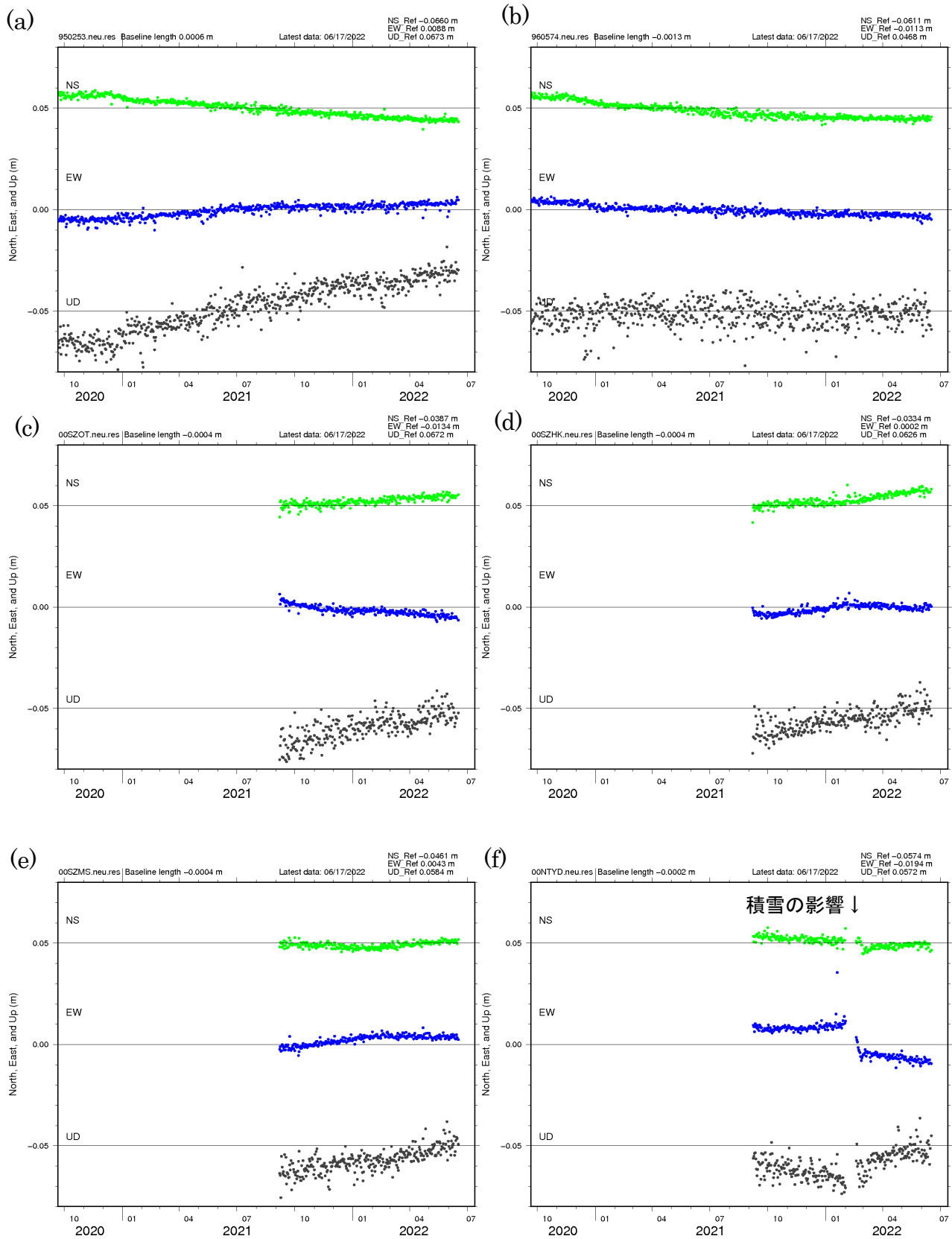


図3 各観測点の日座標値の時間変化。図1と同様のトレンド補正及びノイズ軽減処理を行なっている。各観測点の位置は図1b参照。(a) 0253。(b) 0574。(c) SZOT。(d) SZHK。(e) SZMS。(f) NTYD。2022年1-2月の変化は積雪の影響によるアンテナピラーの移動に伴うものと考えられる。

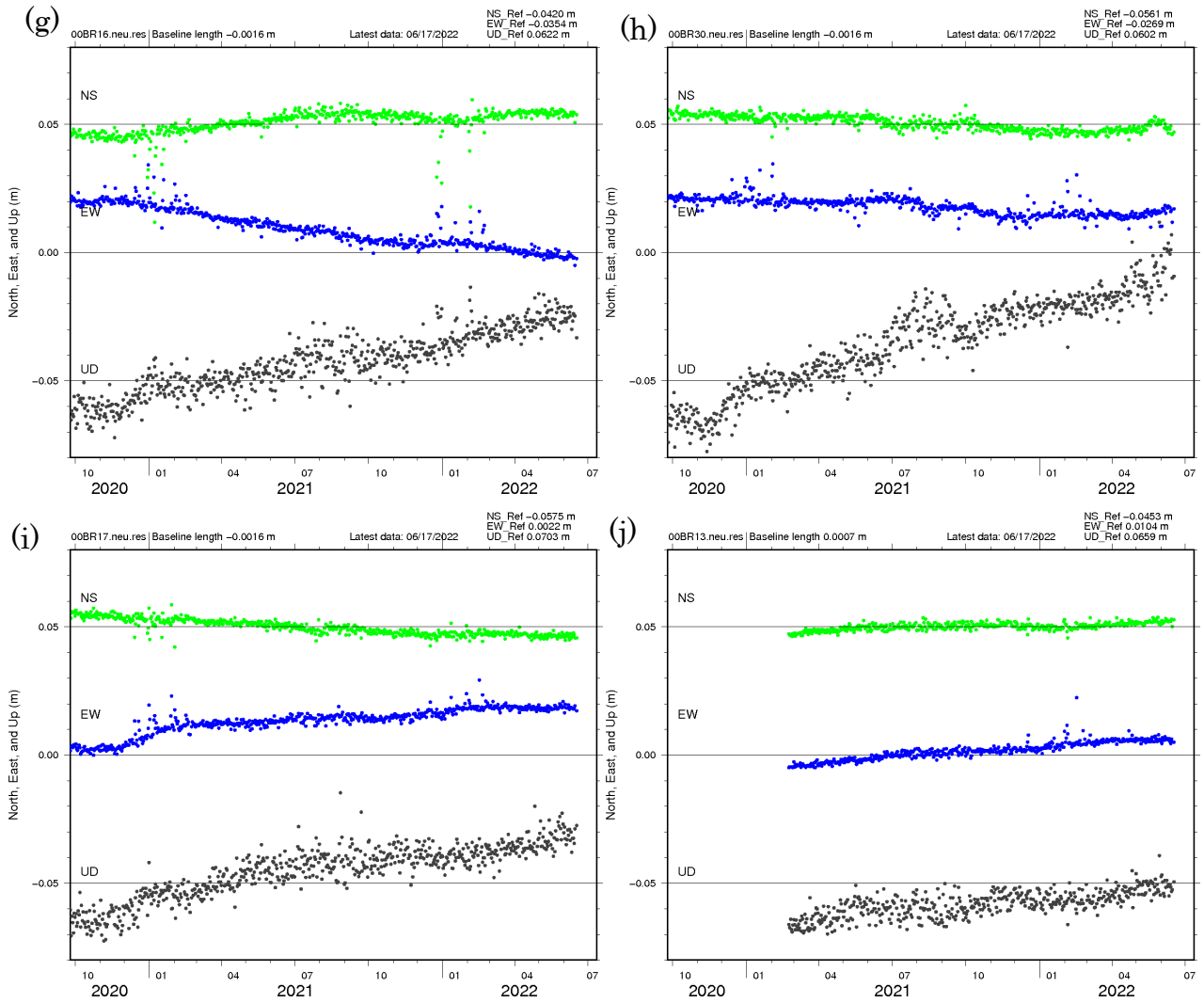
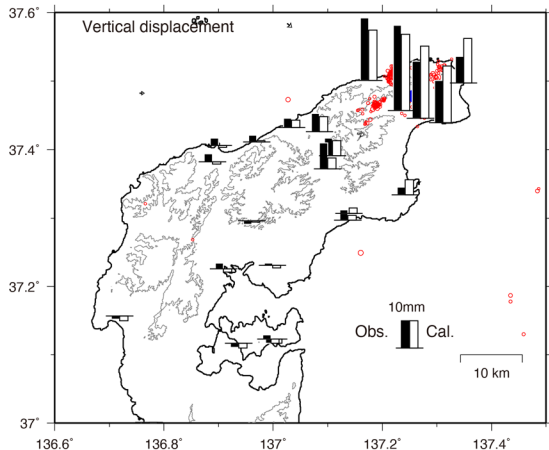
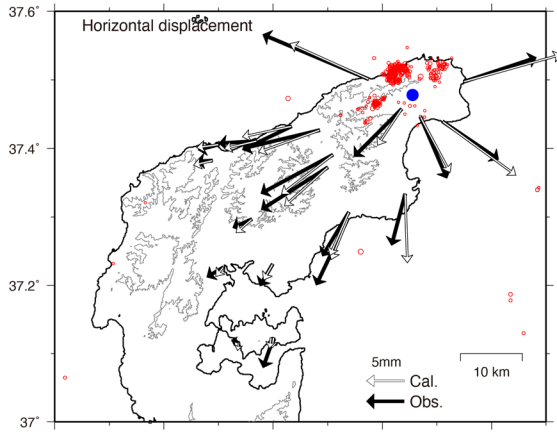
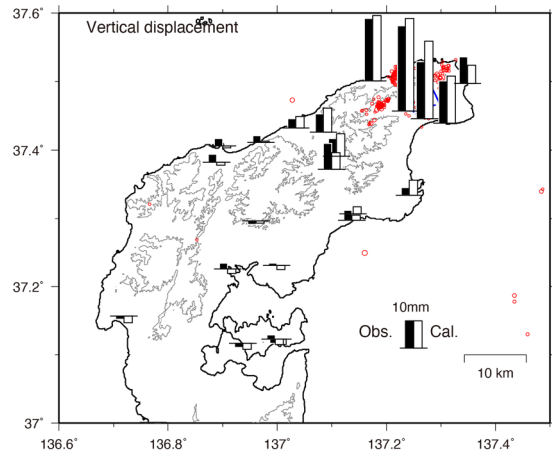
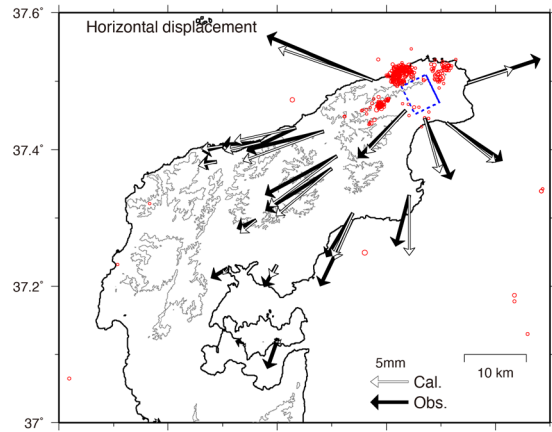


図3 (続き) (g) BR16。 (h) BR30。 (i) BR17。 (j) BR13。

(a) Point inflation source:
 $37.478 \pm 0.004^\circ$ N, $137.255 \pm 0.003^\circ$ E, $D=12.7 \pm 0.7$ km, $\Delta V=2.18 \pm 0.23 \times 10^7 \text{m}^3$



(b) Tensile fault model: $37.509 \pm 0.004^\circ$ N, $137.272 \pm 0.003^\circ$ E, $D=13.6 \pm 0.8$ km, $L=5$ km, $D=5$ km, Strike $154 \pm 5^\circ$, Dip $29 \pm 3^\circ$, Open 0.84 ± 0.07 m ($\Delta V=2.1 \times 10^7 \text{m}^3$)



(c) Reverse fault model: $37.479 \pm 0.004^\circ$ N, $137.225 \pm 0.004^\circ$ E, $D=16.3 \pm 0.9$ km, $L=5$ km, $D=5$ km, Strike $45 \pm 4^\circ$, Dip $36 \pm 2^\circ$, Rake $105 \pm 3^\circ$, Slip 2.10 ± 0.18 m ($M_w=6.1$)

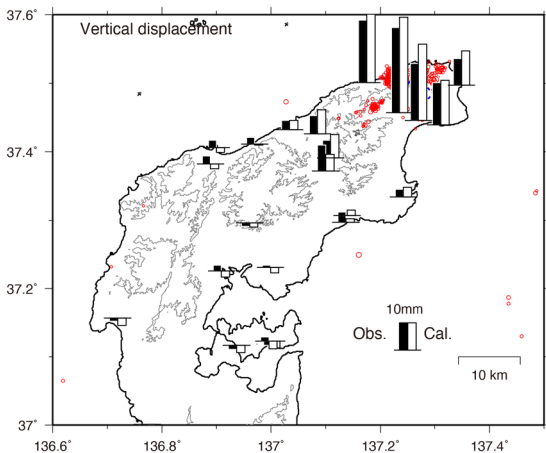
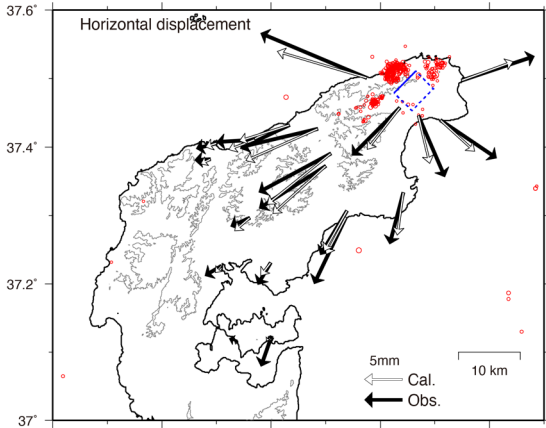


図4 2021年2月23日からの1年間の地殻変動に対する力源モデル (a) 点圧力源 (茂木モデル) を仮定したモデル。(b) 開口断層を仮定したモデル。(c) 逆断層を仮定したモデル。

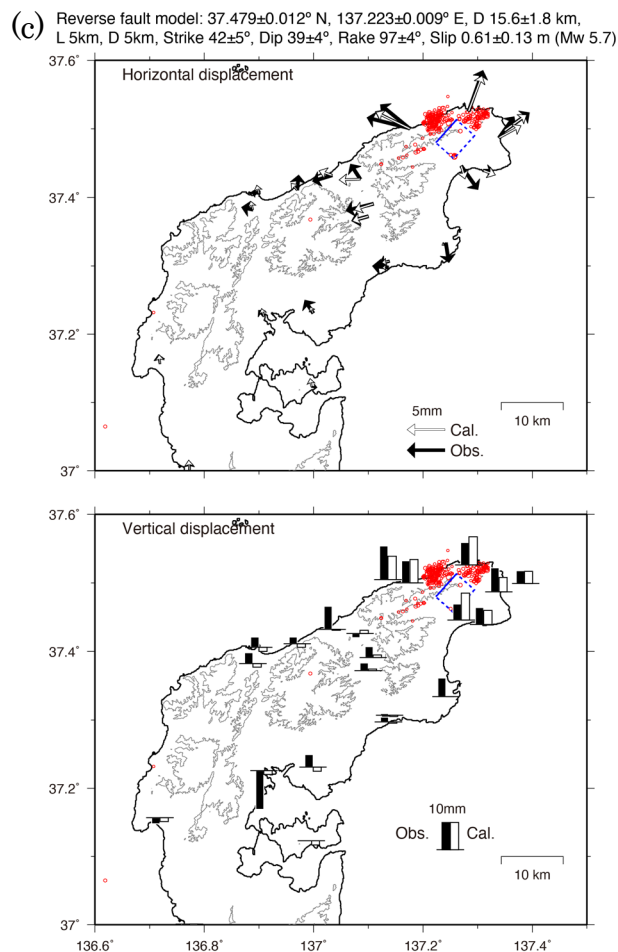
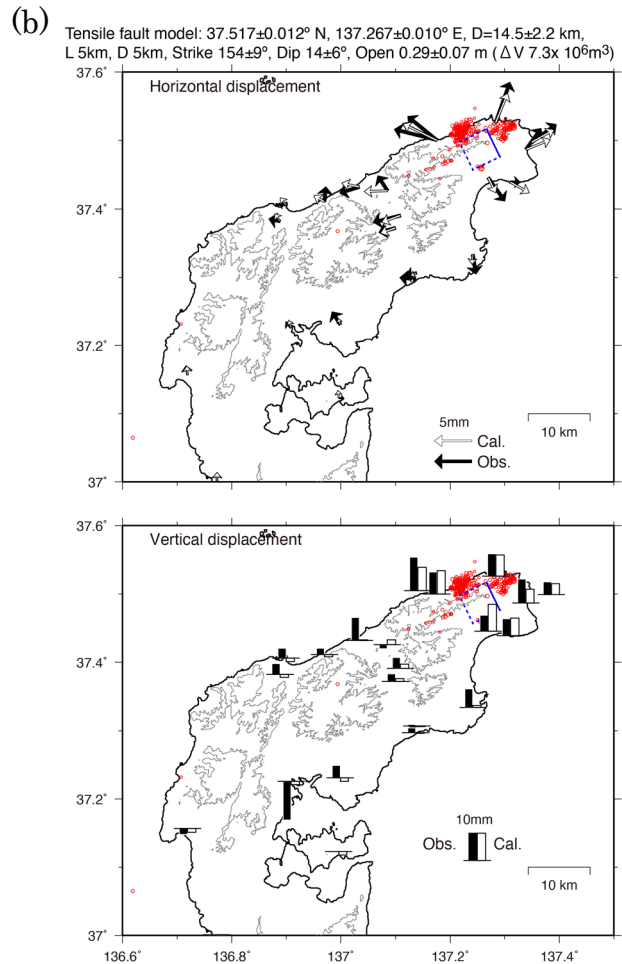
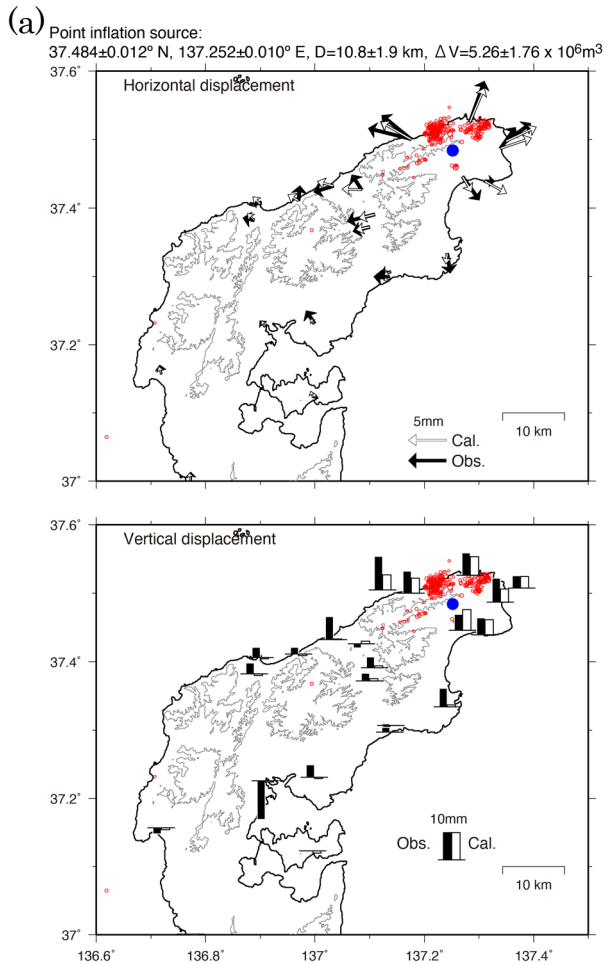


図5 2021年12月8-17日から2022年6月8-17日までの地殻変動に対する力源モデル。(a) 点圧力源(茂木モデル)を仮定したモデル。(b) 開口断層を仮定したモデル。(c) 逆断層を仮定したモデル。

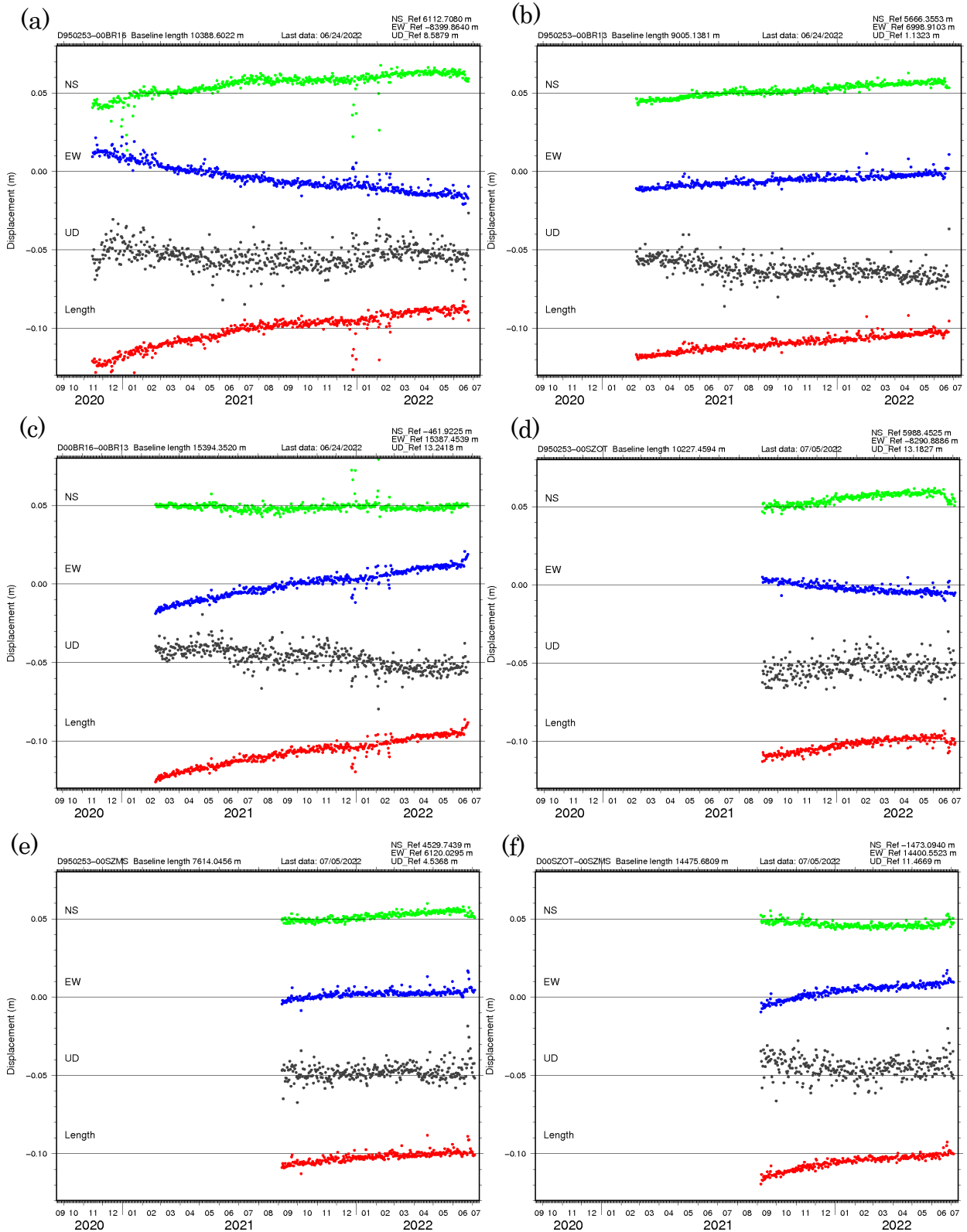


図6 各基線における日座標値の時間変化。速報暦に基づく日座標値を使用。トレンド補正及びノイズ軽減処理は行っていない。(a) 0253-BR16。(b) 0253-BR13。(c) BR16-BR13。(d) 0253-SZOT。(e) 0253-SZMS。(f) SZOT-SZMS。

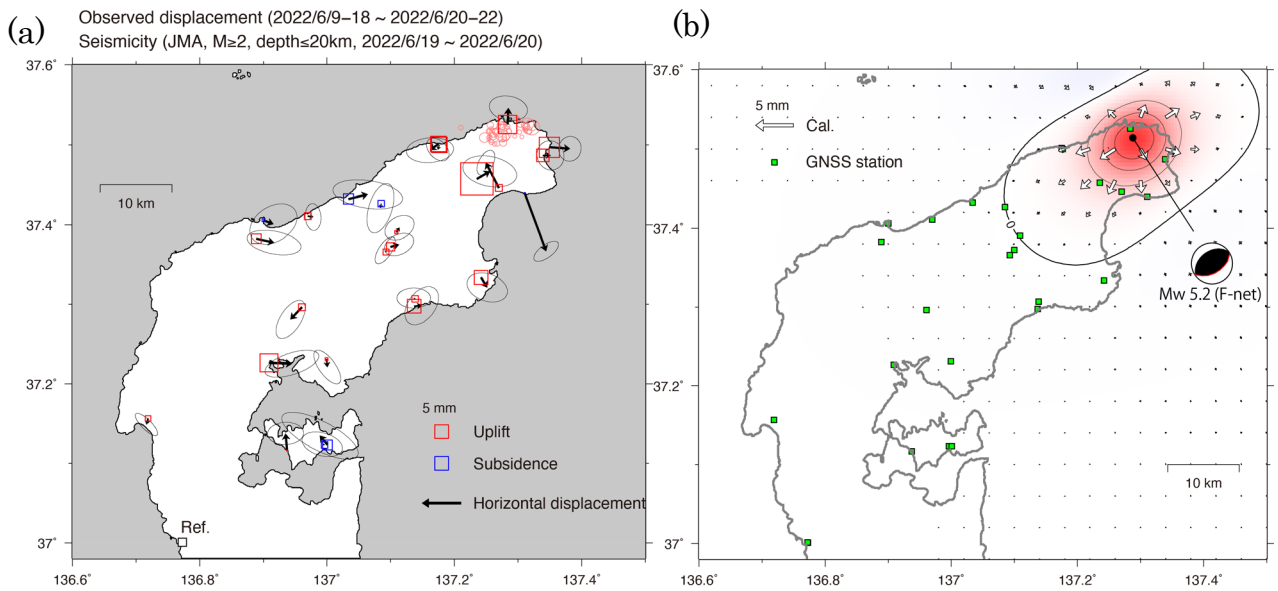


図7 2022年6月19日のM5.4の地震前後の地殻変動。(a) 6月9-18日から6月20-22日までの変位。速報暦に基づく日座標値を使用。(b) F-net解の南東傾斜節面を用いて半無限均質弾性体から期待される地表地殻変動。赤系は隆起を表し、等値線の間隔は1mm。