

令和 6 年能登半島地震 (M7. 6) に伴う地殻変動

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

能登半島の群発地震に伴う地殻変動について、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) と周辺の国土地理院 GEONET 観測網及び京都大学と金沢大学の臨時 GNSS 観測網 (図 1 a) のデータを併合処理し、2024 年 1 月 1 日の令和 6 年能登半島地震 (M7.6) 前後の観測点日座標値を解析した結果について報告する。

地震前後の日座標値から単純に差をとって計算した能登半島での地震時変位分布を図 1(b) に示す。地震時変位は奥能登地方のほぼ全域で最大で 2m に達する西向きから北西向きの水平変動が観測され、上下変動は能登半島北岸の観測点で最大 2m の隆起が観測された。GNSS 観測点で観測された変位を、矩形断層 3 枚でモデル化した震源断層モデルを図 2 に示す。断層パラメータは表 1 に示した。本モデルの推定にあたっては、国土地理院の矩形断層モデル (1 月 30 日発表) に多くのパラメータを強く拘束して、本解析によって得られた GNSS データを説明するパラメータを推定した。

図 3 は、地震後の日座標値の時系列を示したもので、余効変動の減衰しながら継続していることや能登半島の観測点で沈降していることがわかる。

地震後の地殻変動 (余効変動) を推定するために、2023 年 12 月 22 日から 2024 年 1 月 30 日までの日座標値の各成分に関数 $f(t) = a + \{b + c \log(1 + (t - t_0)/d)\} H(t - t_0)$ (t : 時間, t_0 : 地震発生日, $H(t)$: ヘビサイド関数, d : 2 日, a, b, c : 最小二乗法で推定) をフィティングした。log の項から地震後 28 日間の変位を推定したものを図 4 に示す。地震後 28 日間の水平変動は、最大 2cm 程度であり、地震時の地殻変動と似たパターンを示すが、①震源域近傍と遠方の観測点での変位量のコントラストが小さく、特に能登半島北岸での変位量が小さい。②震源域の上下変動が地震時と異なり沈降。という特徴がある。

図 5 は、厚さ 32km の弾性層の下に粘性率 1×10^{18} Pa s の半無限弾性体を仮定した場合の粘弾性緩和による地震後の余効変動のフォワードモデルである。このモデルにより能登半島を中心とした広域で観測された余効変動は概ね説明できる。

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、粘弾性緩和の計算には PSGRN/PSCMP (Wang et al., 2006) を使用した。

(文責 西村)

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。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、珠洲市企画財政課、珠洲市産業振興課、珠洲市総務課、能登町教育委員会、奥能登国際芸術祭実行委員会、輪島市役所、志賀町、北陸電力、日本海発電にお世話になりました。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。

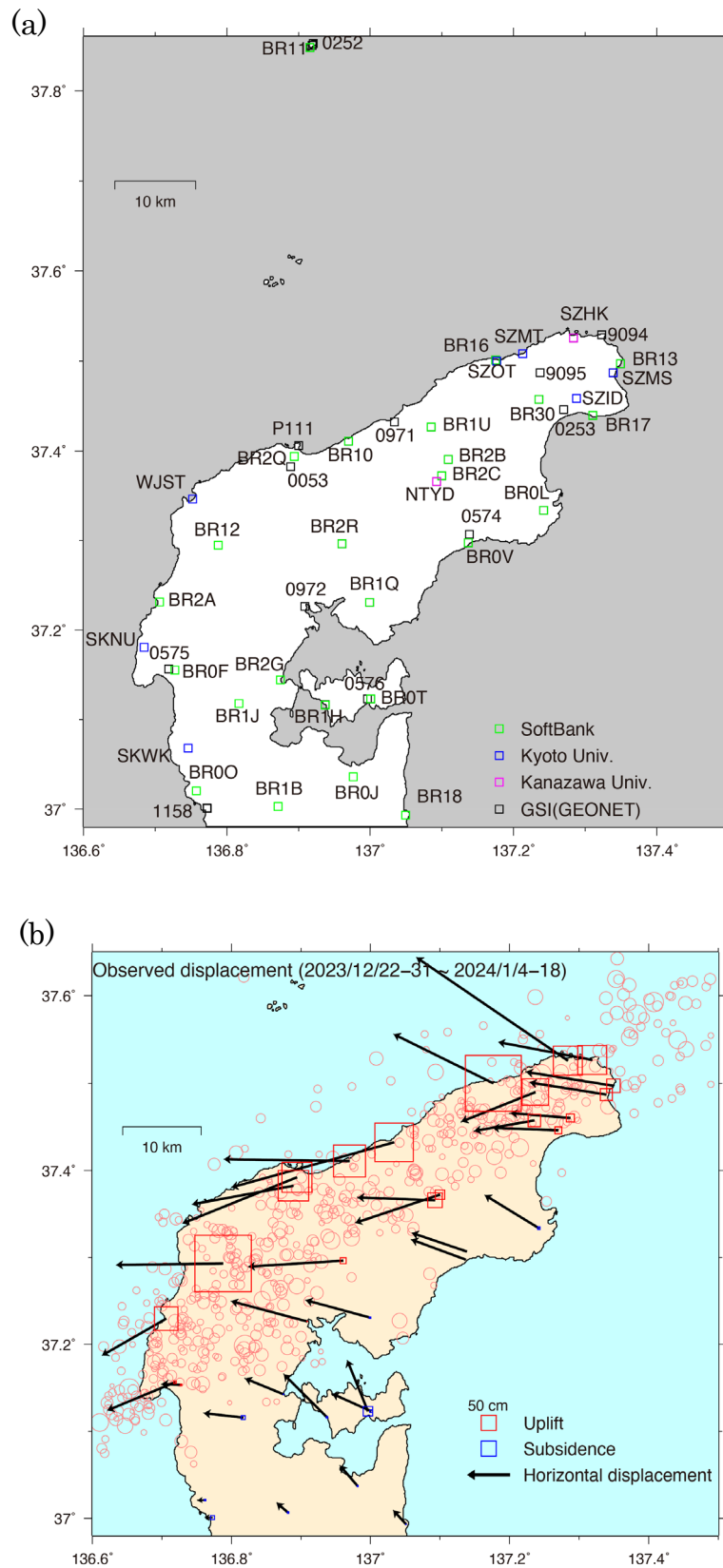


図1 各機関のGNSS観測網の観測点ID (a) と令和6年能登半島地震(M7.6)の地震時地殻変動 (b)。WJST, SKNU, SKWKは地震後に設置した観測点。(b)の赤丸は1月1日の気象庁一元化震源。地震時地殻変動は、2023年12月22-31日と2024年1月4-18日の平均座標値の差から計算した。固定点はGEONET三隅(950388)。観測点によっては、アンテナ支柱等の局所的変形を含む場合があることに注意。

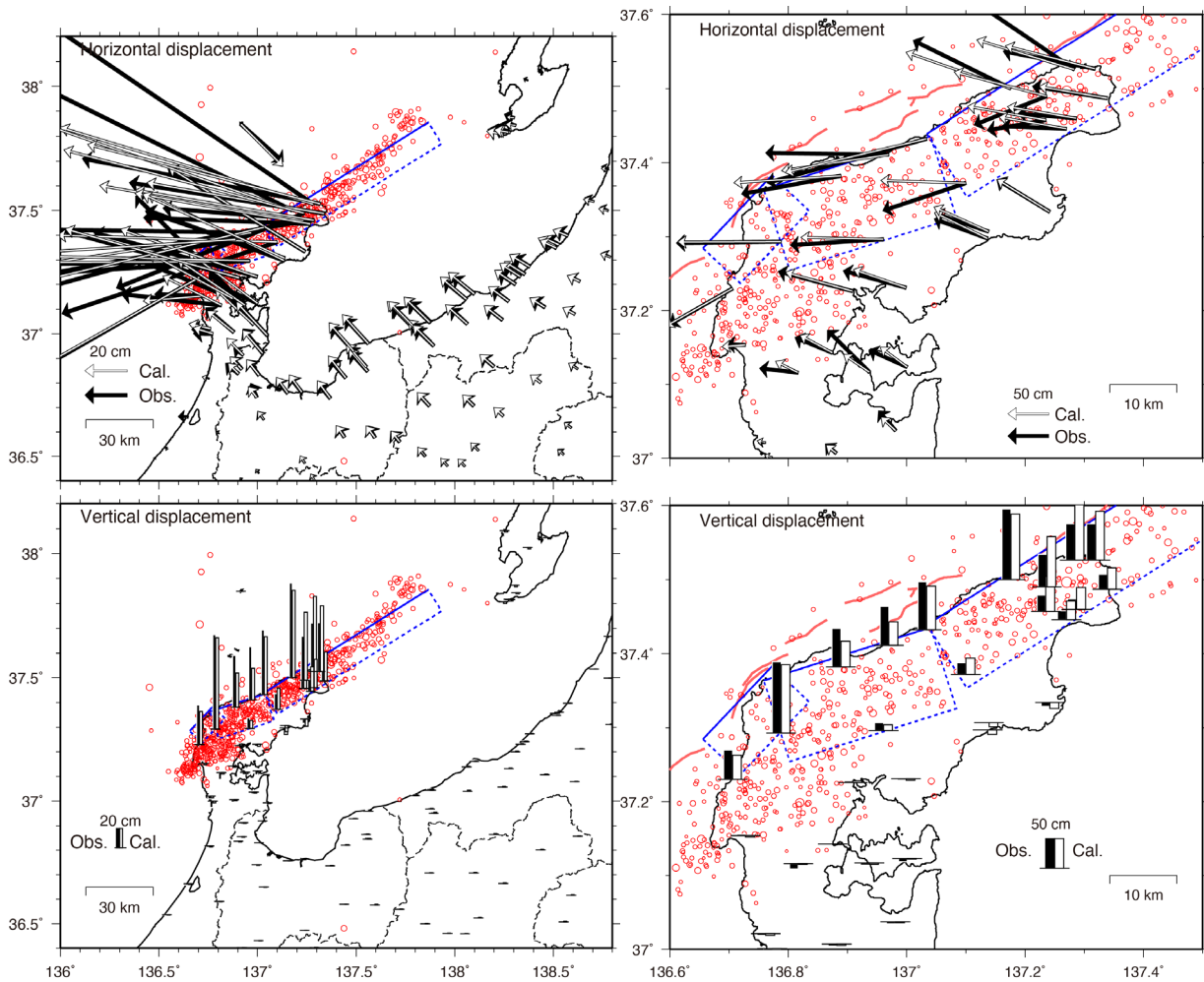


図2 GNSS観測データから推定した震源断層モデル。3枚の矩形断層を仮定。右側の図は左側の図の能登半島付近の拡大図。赤丸は気象庁一元化震源(2024年1月1日)。青の矩形が断層位置で実線が浅い方の辺を表す。赤実線は海底活断層の位置(井上・岡村, 2010)。

表1 GNSSデータから推定した令和6年能登半島地震の震源断層モデルのパラメータ。位置は矩形断層の西上端を示す。

領域	緯度 Lat.(°)	経度 Long.(°)	上端深さ Depth(km)	長さ Length(km)	幅 Width(km)	走向 Strike(°)	傾斜 Dip(°)	滑り角 Rake(°)	滑り量 Slip(m)	M _w
#1	37.285	136.656	0.1	15.0	10.0	44	45	95	8.74	7.02*
#2	37.364	136.759	0.1	26.2	19.6	72	49	146	2.40	6.98*
#3	37.650	137.400	0.1	86.8	14.9	57	41	109	3.68	7.37*

*剛性率は30GPa。合計したM_wは7.51。

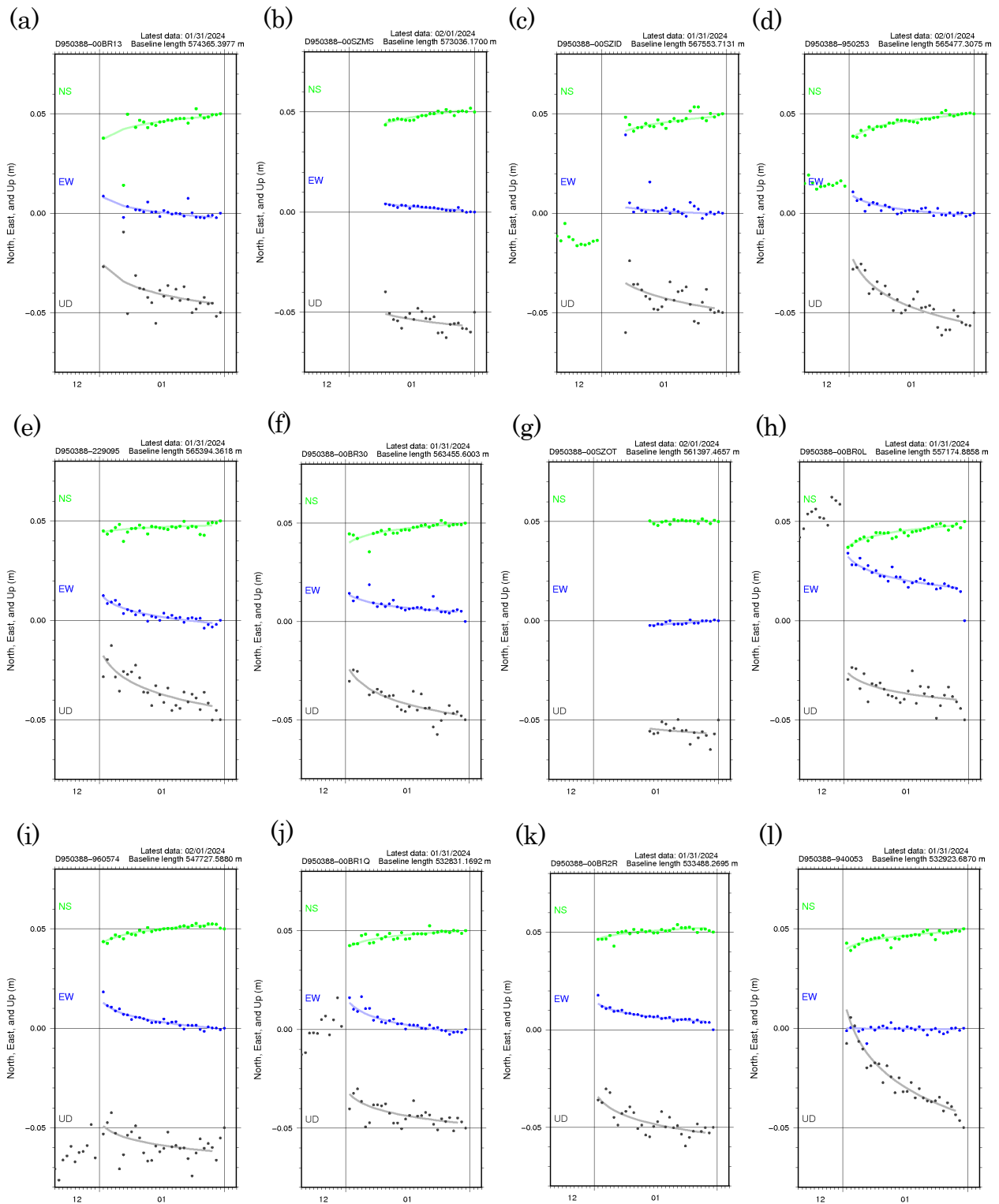


図3 令和6年能登半島地震前後の地殻変動時系列（日座標値、速報暦使用）。参照点は950388(島根県三隅)。薄い色の実線は日座標値にフィッティングした関数。(a) BR13。(b) SZMS。(c) SZID。(d) 950253。(e) 229095。(f) BR30。(g) SZOT。(h) BR0L。(i) 960574。(j) BR1Q。(k) BR2R。(l) 940053。

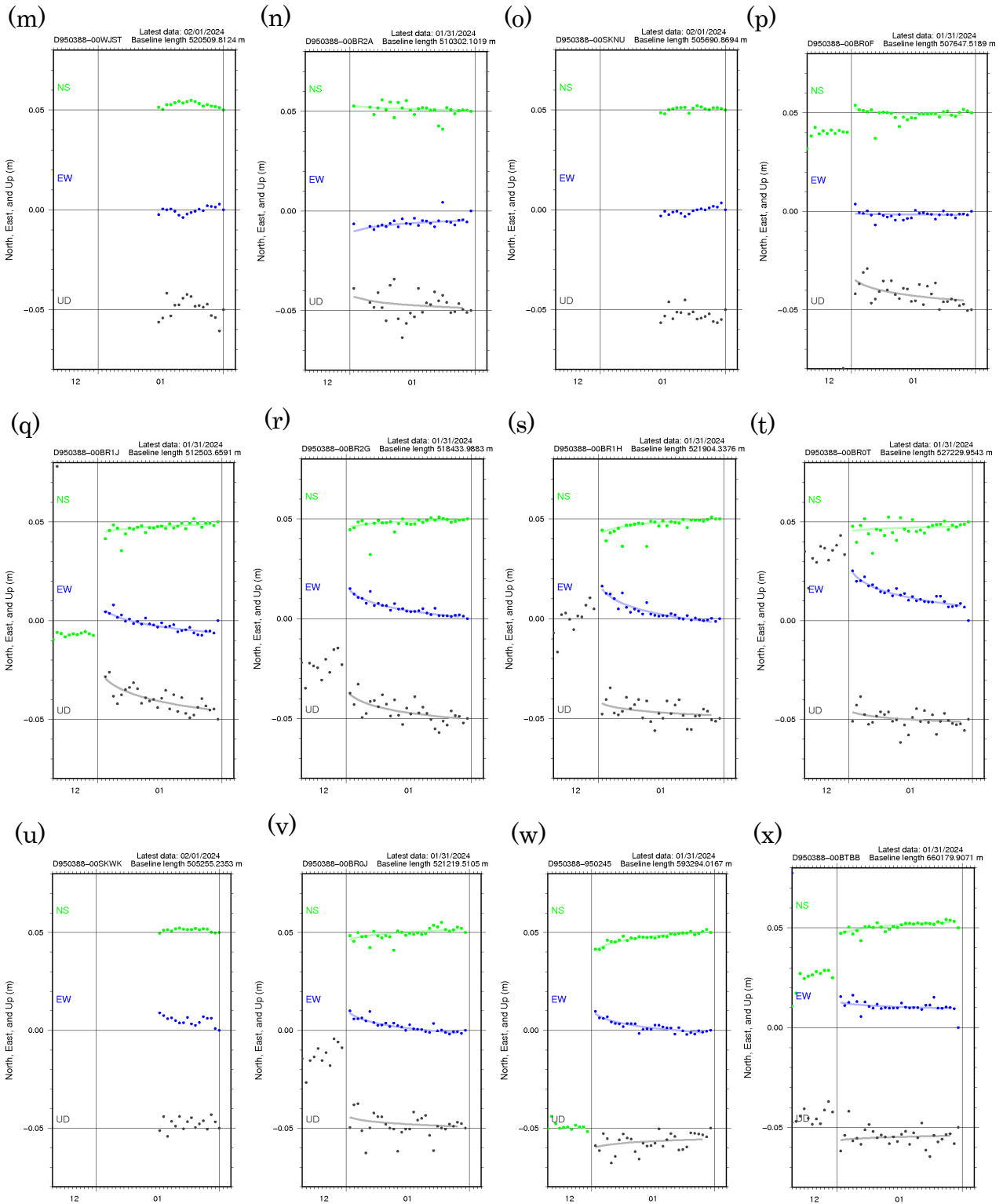


図3 (つづき) (m) WJST。 (n) BR2A。 (o) SKNU。 (p) BR0F。 (q) BR1J。 (r) BR2G。
 (s) BR1H。 (t) BR0T。 (u) SKWK。 (v) BR0J。 (w) 950245(糸魚川1)。 (x) BTBB(佐渡市
 小木)。

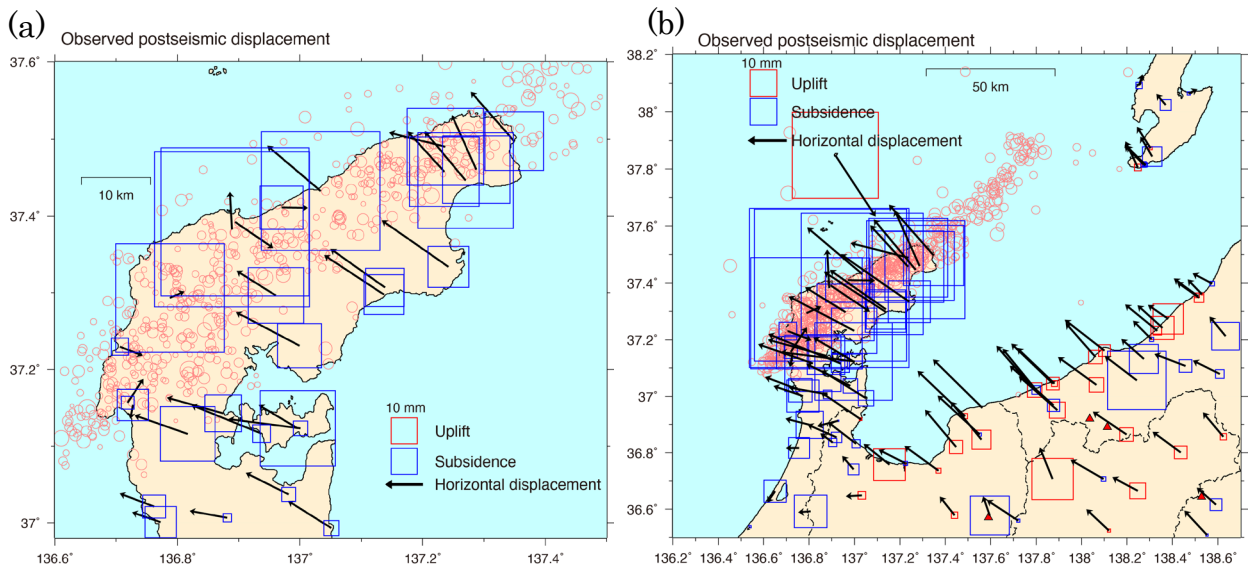


図4 時系列への関数フィッティングから推定された令和6年能登半島地震 (M7.6) 後28日間の地殻変動。(a) 震源域周辺の拡大図。(b) 広域での変動図。

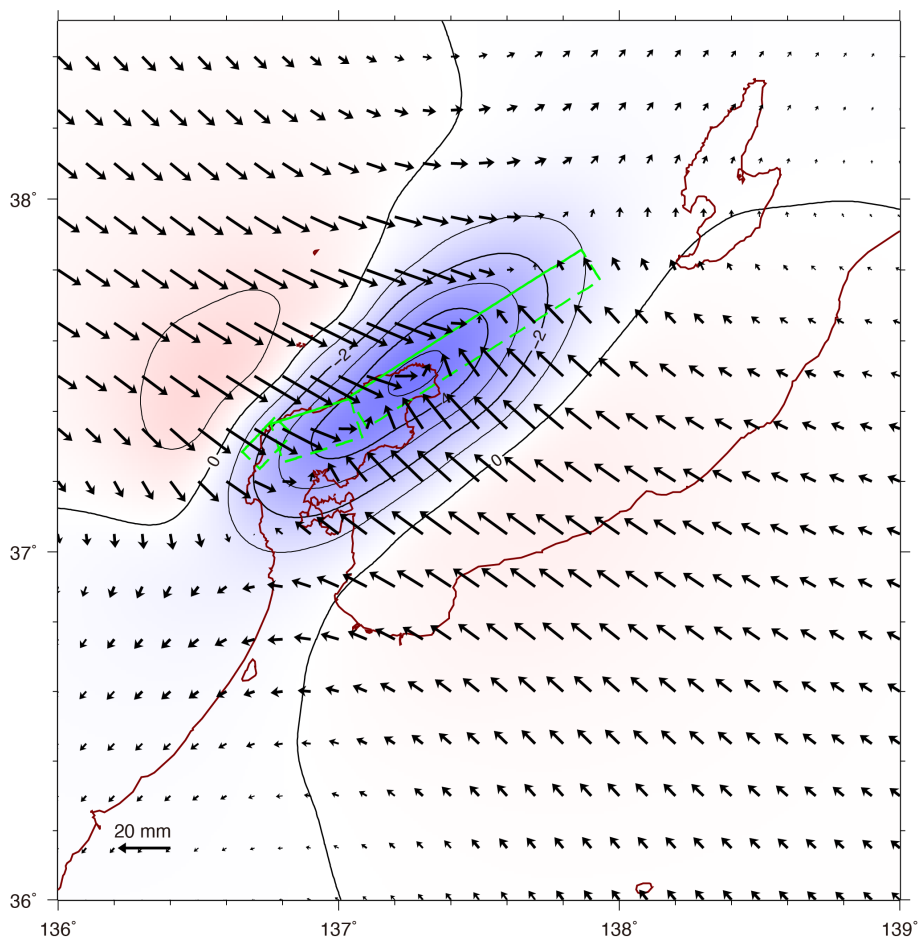


図5 粘弾性緩和による地震後地殻変動の計算例。厚さ32kmの弾性層の下に、粘性率 1×10^{18} Pa sの半無限Maxwell弾性体を仮定した場合の地震後28日間の地殻変動分布。青は沈降域、赤は隆起域を表し、等値線間隔は1mm。