

## 2024年能登半島地震(M7.6)前後の地殻変動

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1a)のデータを併合処理し、2024年1月1日の能登半島地震(M7.6)前後の観測点の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50cmから最大で2mに達する西向き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1m前後の隆起が観測される一方で、富山湾沿いの上下変動は小さい。

地震時と地震後の地殻変動を高精度に推定するために、2023年12月22日から2024年1月9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。パラメータ $b$ の推定値である地震時変位を図2(a)(b)、 $\log$ の項から地震後7日間の変位を推定したものを図2(c)(d)に示す。能登半島の地震時変位は図1(b)の特徴と同じであるが、遠方の富山県・新潟県や舭倉島の観測点でも震央付近に向かう方向の10-20cmの水平変動が観測されている。地震後7日間の水平変動は、一部の観測点を除き最大1cm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コントラストが小さい。②震源域の上下変動が地震時と異なり沈降。という点において異なる。

図3は、地震後の日座標値の時系列を示したもので、上記の特徴に加え、地震時地殻変動が一番大きかった能登半島北岸では余効変動が小さいことが注目される。

図4は、震源断層を矩形断層2枚で近似した断層モデルであり、単純なモデルでも概ね地殻変動のパターンは説明できる。設定したパラメータは表1に示した。能登半島直下の断層では、右横ずれ成分を含む逆断層すべり(滑り角:125°)が約4.5mと推定された。佐渡側の断層のジオメトリーは、陸域のGNSSデータからは拘束できないものの、この断層がないと舭倉島の変位を説明することが困難である。

図5は、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の傾向は概ね説明できる。この計算では、32km以深の粘性率は $2 \times 10^{17}$  Pa sとしたが、地震直後の遷移的な粘性率と考えれば、先行研究と矛盾しない。一方、能登半島北西側では変動の向きが観測と異なるなど、余効すべりなどの他のメカニズムの寄与も今後考慮する必要がある。

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、能登町教育委員会及び奥能登国際芸術祭実行委員会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。

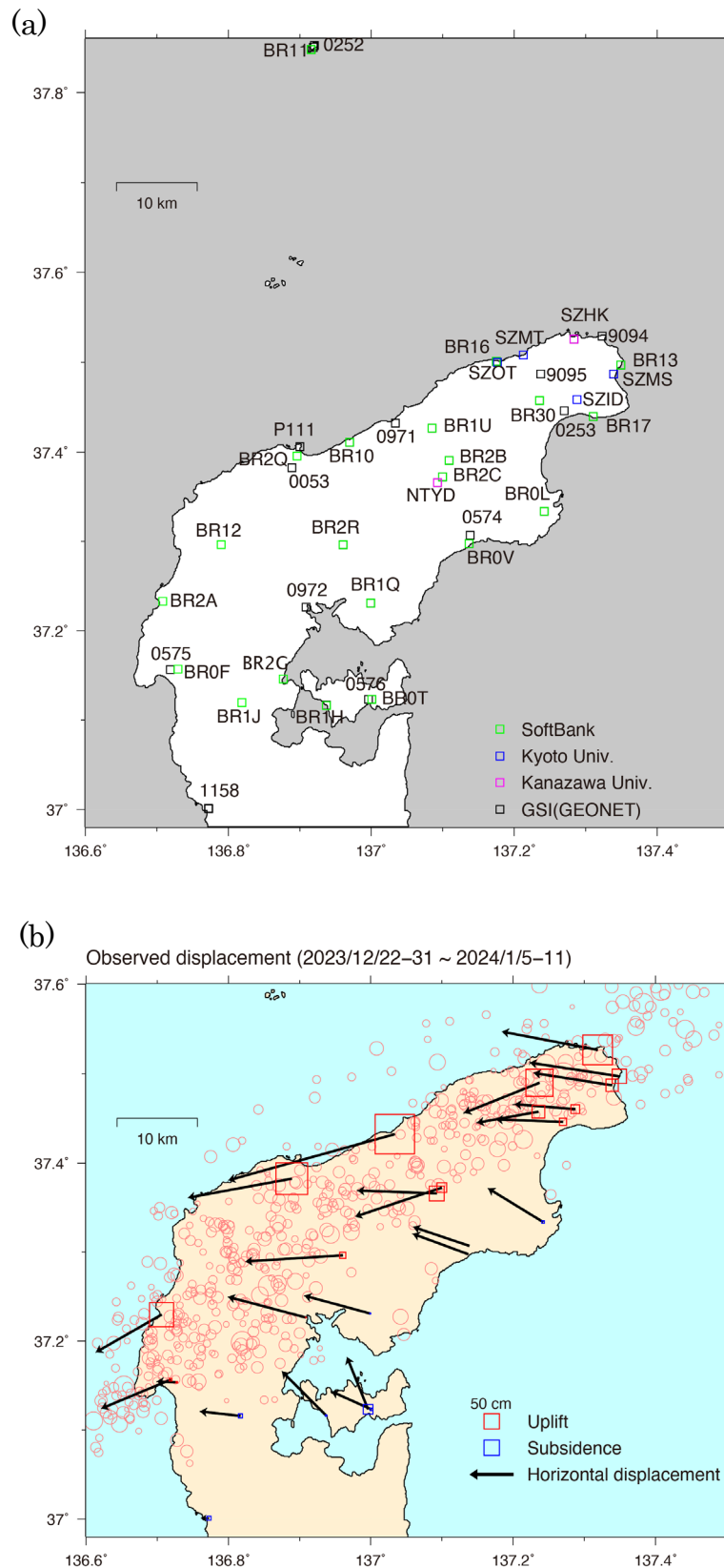


図1 各機関のGNSS観測網の観測点ID (a) と令和6年能登半島地震(M7.6)の地震時地殻変動 (b)。赤丸は1月1日の気象庁一元化震源。地震時地殻変動は、2023年12月22-31日と2024年1月5-11日の平均座標値の差から計算した。固定点はGEONET三隅(950388)。

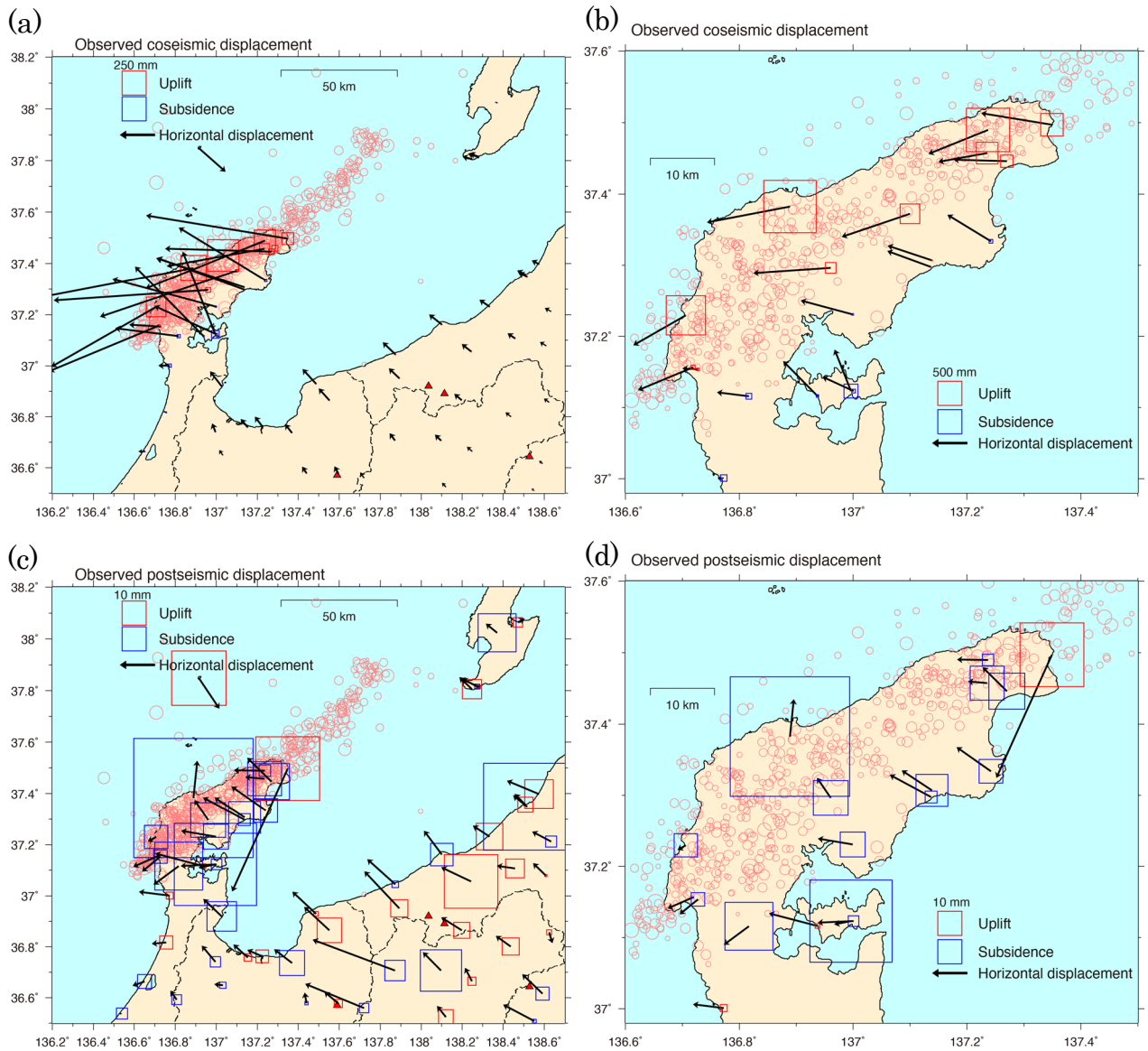


図2 時系列への関数フィッティングから推定された令和6年能登半島地震 (M7.6) 時と地震後7日間の地殻変動。(a) 地震時地殻変動ベクトル図 (広域)。(b) 地震時地殻変動ベクトル図 (震源域周辺)。(c) 地震後7日間の地殻変動ベクトル図 (広域)。(d) 地震後7日間の地殻変動ベクトル図 (震源域周辺)。

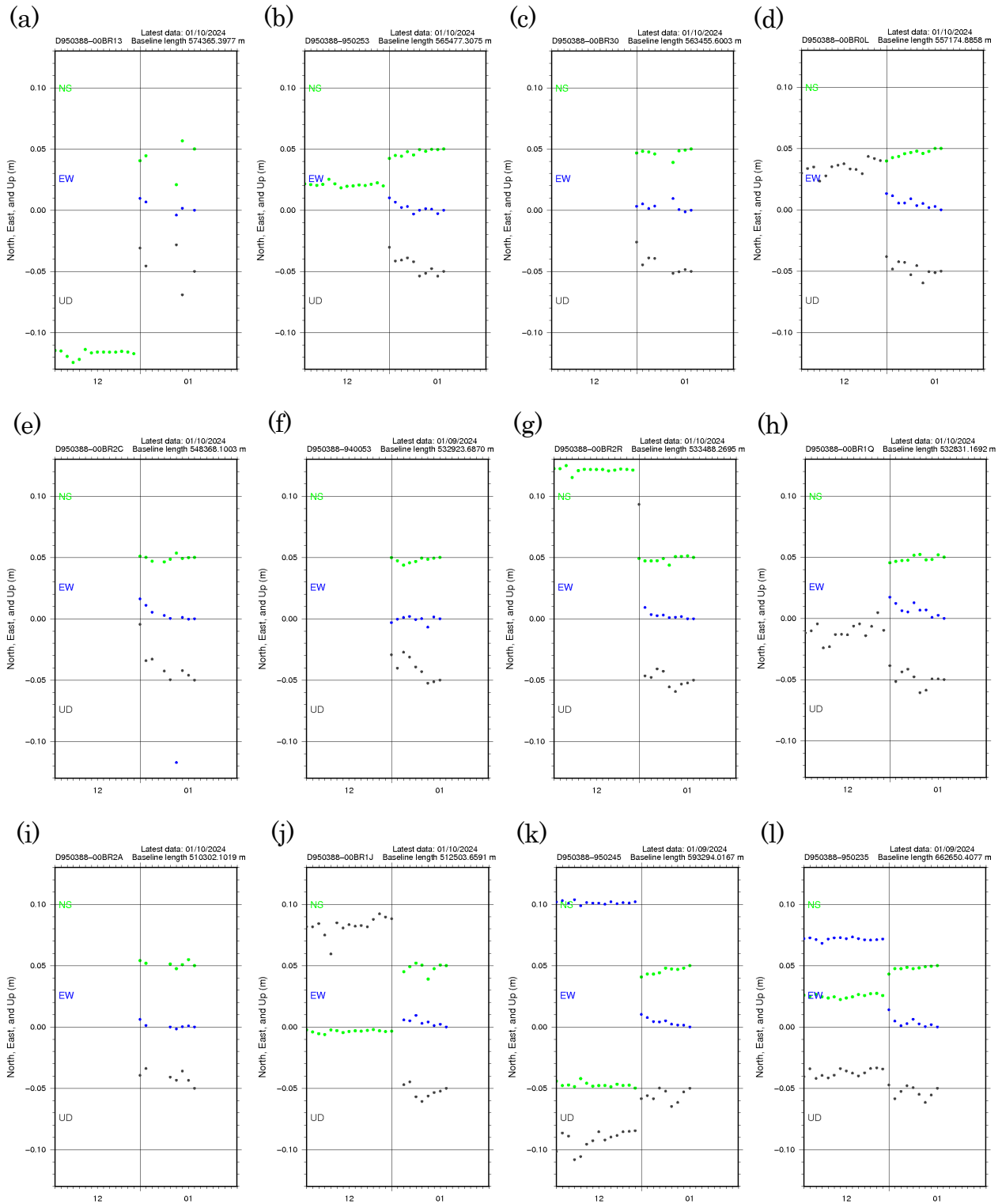


図3 令和6年能登半島地震前後の地殻変動時系列（日座標値、速報暦使用）。参照点は950388(島根県三隅) (a) BR13。 (b) 950253。 (c) BR30。 (d) BR0L。 (e) BR2C。 (f) 940053。 (g) BR2R。 (h) BR1Q。 (i) BR2A。 (j) BR1J。 (k) 950245 (糸魚川)。 (l) 950235 (佐渡小木)。

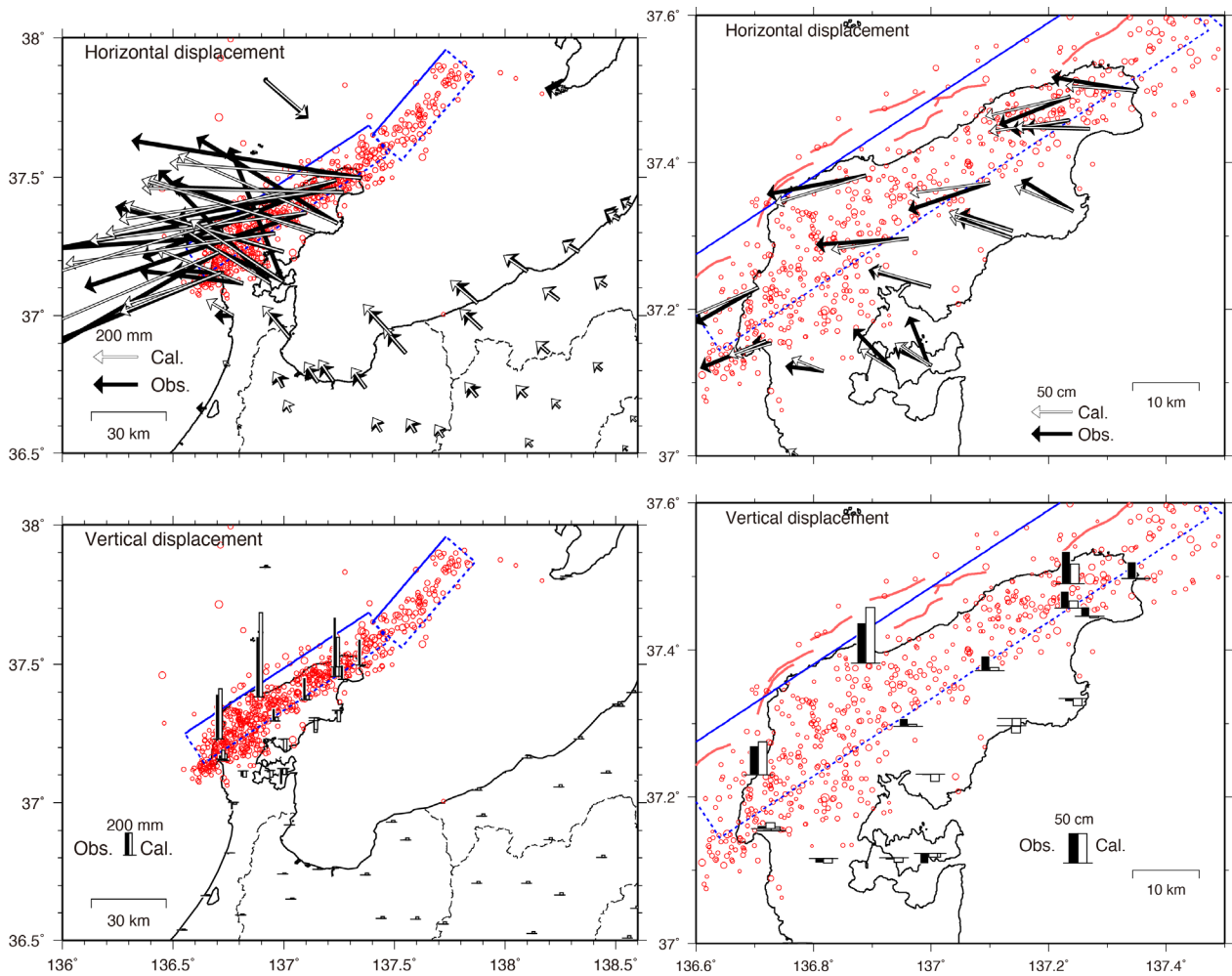


図4 GNSS観測データから推定した震源断層モデル。2枚の一樣滑り矩形断層からなるモデル。右側の図は左側の図の能登半島付近の拡大図。赤丸は気象庁一元化震源。青の矩形が断層位置で実線が浅い方の辺を表す。赤実線は海底活断層の位置（井上・岡村，2010）。

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。剛性率は30GPaを仮定。

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	37.250	136.553	4.0	88.0	16.8	56	33	125	4.49	7.47*
#2	37.650	137.400	5.0	45.0	20.0	40	40	83	1.11	6.91*

\*合計した  $M_w$  は 7.51。

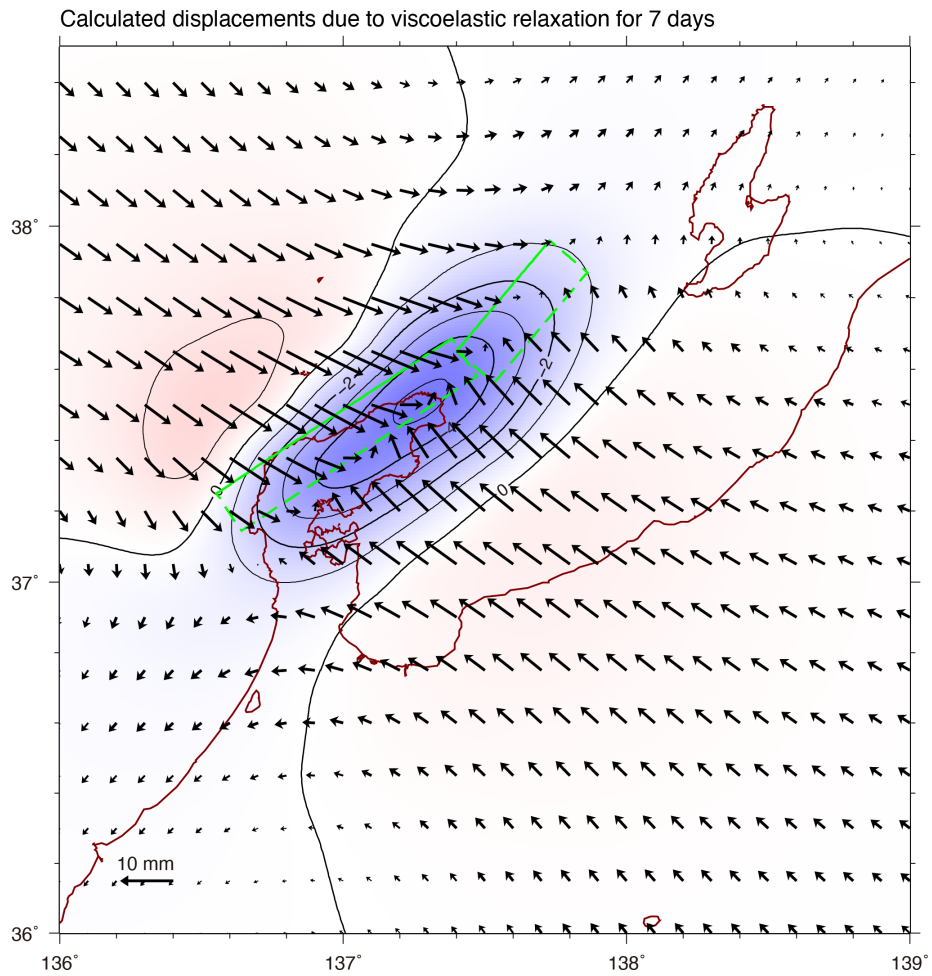


図5 粘弾性緩和による地震後地殻変動の計算例。厚さ 32km の弾性層の下に、粘性率  $2 \times 10^{17}$  Pa s の半無限 Maxwell 弾性体を仮定した場合の地震後 7 日間の地殻変動分布。青は沈降域、赤は隆起域を表し、等値線間隔は 1mm。