

トカラ列島における群発地震活動に伴う非定常地殻変動 (暫定)

東北大学大学院理学研究科
東北大学災害科学国際研究所

トカラ列島の悪石島から宝島にかけての近海で発生している群発地震活動に伴う非定常地殻変動の把握のため、ソフトバンク株式会社 (以下、ソフトバンク) 設置・運用している GNSS 観測網(独自基準点)と国土地理院 GEONET 観測網のデータを統合処理し、各観測点の日座標値を解析した結果について報告する。

使用した観測点を図 1 に示す。南から宝島 (GEONET: 1243, ソフトバンク: BQ1I), 小宝島 (ソフトバンク: BQ1J), 悪石島 (BQ1K), 諏訪之瀬島 (GEONET: 0729, ソフトバンク: BQ1L), 平島 (BQ89) の合計 7 観測点を使用した。使用した観測データの期間は 2019 年 11 月 1 日から 2025 年 7 月 1 日である。得られた日座標値に対して 31 日の移動中央値を計算し、残差の絶対値が 50mm を超える日を外れ値として除去した。その後、2024 年 12 月 1 日から 2025 年 5 月 31 日の期間で直線トレンドを推定し、時系列全体から除去した。2025 年 6 月 29 日から 7 月 1 日の座標値の平均値と、同年 6 月 16 日から 20 日の座標値の平均値の差から計算した水平変位を図 1 に示す。

図 2 に得られた時系列を示す。同図より、6 月 21 日ごろから BQ1J (小宝島) において北東方向への非定常な変位が確認できる。同様に 1243・BQ1I (宝島) においても変位量は BQ1J より小さいものの、同様の北東向きの変位が確認できる。一方、BQ1K (悪石島) ではわずかに南西向きの変位が確認できるものの、0729・BQ1L (諏訪之瀬島) では顕著な変位は認められない。得られた非定常地殻変動は、地震活動の活発化とほぼ同時期に開始し、BQ1J 等では地震活動の一時的な低下と地殻変動量が同期しているように見える。また、いずれの観測点においても、上下変動には顕著な変動は確認できない。

図 3 に、より長期 GNSS 時系列データ (2019 年 11 月 1 日から 2025 年 7 月 1 日) を地震活動と比較した結果を示す。同図より、今次の群発地震活動以外にも例えば 2021 年 12 月頃等、複数の時期に地震活動と動機した遷移的な地殻変動が発生していたことが確認できる。

図 4 に明瞭に地震活動と地殻変動量が同期している 4 事例それぞれの変位場を示す。おおよそどのイベントにおいても BQ1J (小宝島) が北西方向、BQ1K (悪石島) が南西方向に変位している傾向が確認できるが、今次イベントでは特に BQ1J (小宝島) での変位が大きく、周囲の観測点との変位勾配が大きい。

図 5 に、今次イベントの変位場に対して MCMC 法を用いた力源推定手法である RUNE (Real-time automatic uncertainty estimation of source models using crustal deformation data) Ver. 3.1.3 (Ohno, Ohta et al., EPS, 2022, 2024) を適用して推定した断層モデルを示す。推定時には断層の走向と傾斜に弱い事前分布を与えた。図 6 に得られた事後確率分布および周辺事後確率分布を示す。推定された断層モデルは北北西に傾き下がる断層面を持つ。すべり方向は正断層型であり、F-net による地震のメカニズム解を大局的な特徴が一致する。

図 7 に 2021 年 12 月のイベントについても同様の断層モデル推定を実施した結果を示す。変位場は 2021 年 12 月 21 日から 30 日の座標値の平均値と、同年 11 月 21 日から 30 日までの座標値の平均値の差から計算した。その結果、今次イベントと同様の正断層すべりで観測データをおおよそ説明できるものの、その深さが約 20km と推定された。これは水平変位の変位勾配が今次イベントと比較して小さいために、力源を深部に置く必要があるためと考えられる。

なお、本資料の日座標値は、東北大学大学院理学研究科において米国ジェット推進研究所(JPL)の軌道暦を用いた GipsyX Ver. 2.3 の精密単独測位法 (PPP) により計算した。(文責: 太田雄策, 岡田悠太郎)

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(第三次)」の支援を受けました。ここに記して感謝の意を表します。

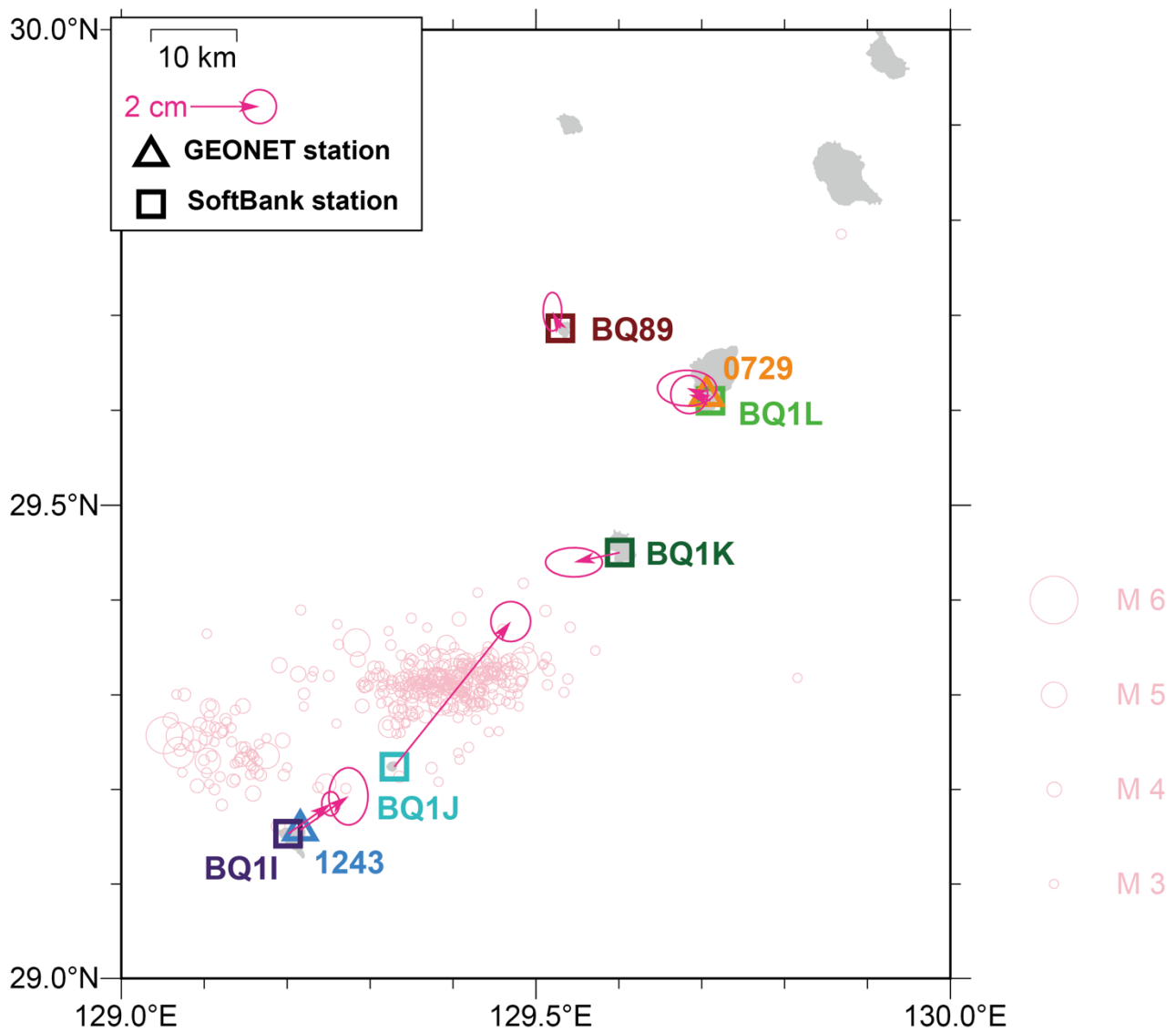


図 1. GNSS 観測局配置と水平変位。三角で国土地理院が設置した GEONET 観測局を、四角でソフトバンク株式会社の運用する独自基準点をそれぞれ示す。濃い桃色の矢印は 2025 年 6 月 29 日から 7 月 1 日の座標値の平均値と、同年 6 月 16 日から 20 日の座標値の平均値の差から計算した水平変位である。薄い桃色の丸は、気象庁一元化震源カタログに記載されたマグニチュード 3 以上の地震であり、丸の大きさは地震のマグニチュードに対応している。

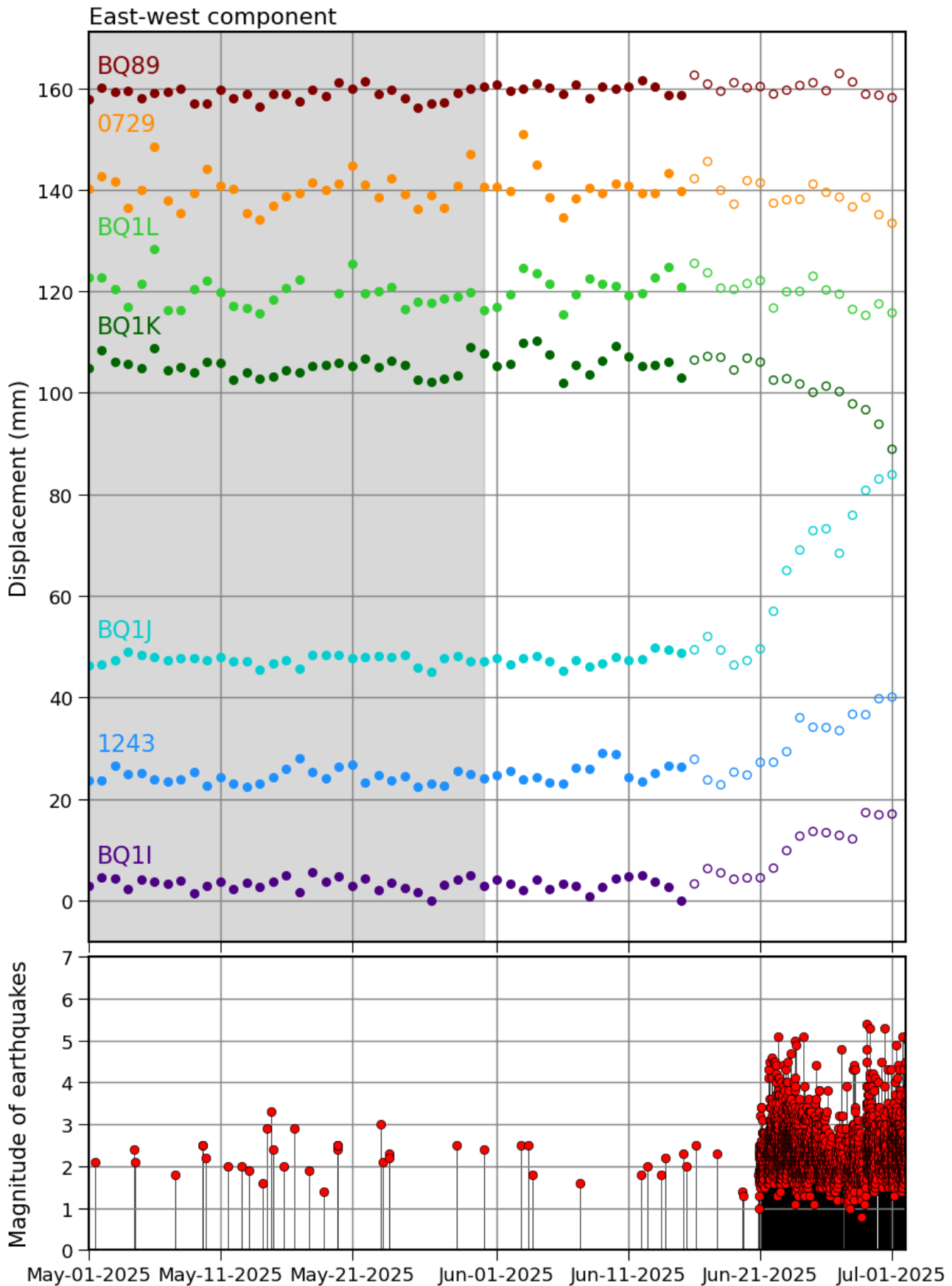


図 2 (a). (上パネル) 各日の座標値 (東西成分) を丸いシンボルで示す。塗りつぶされた丸は最終層を、白抜き丸は速報層を用いて算出された座標値をそれぞれ示す。また丸の色の違いは、観測点の違いを表す。(下パネル) 図 1 の領域 (東経 129 度から 130 度、および北緯 29 度から 30 度の矩形領域) 内で発生したマグニチュード 0 以上の地震の M-T 図。図の作成には気象庁一元化震源カタログを用いた。

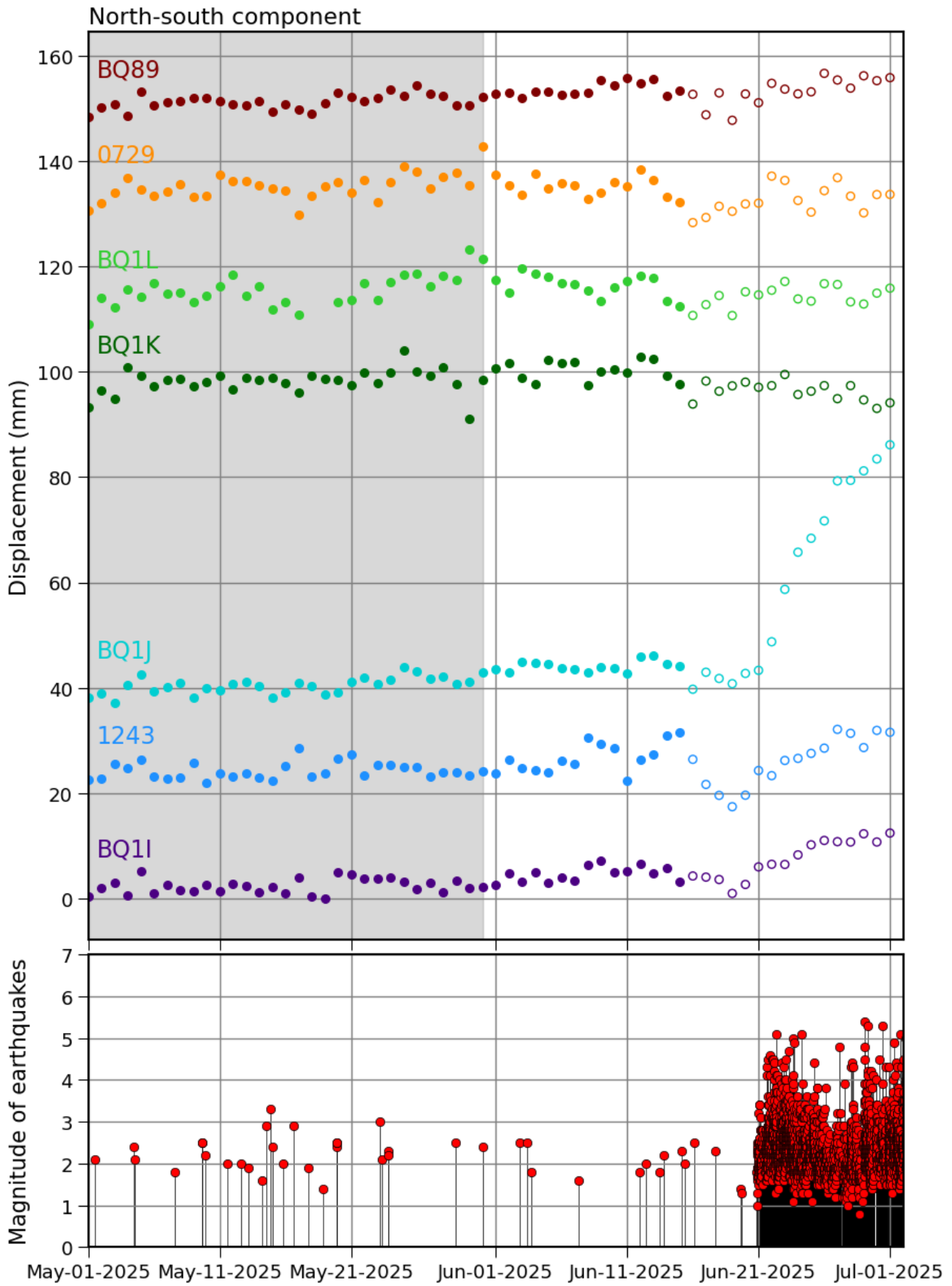


図 2 (b) 各日の座標値 (南北成分) を丸いシンボルで示す。他の表記は図 2(a)と同じ。

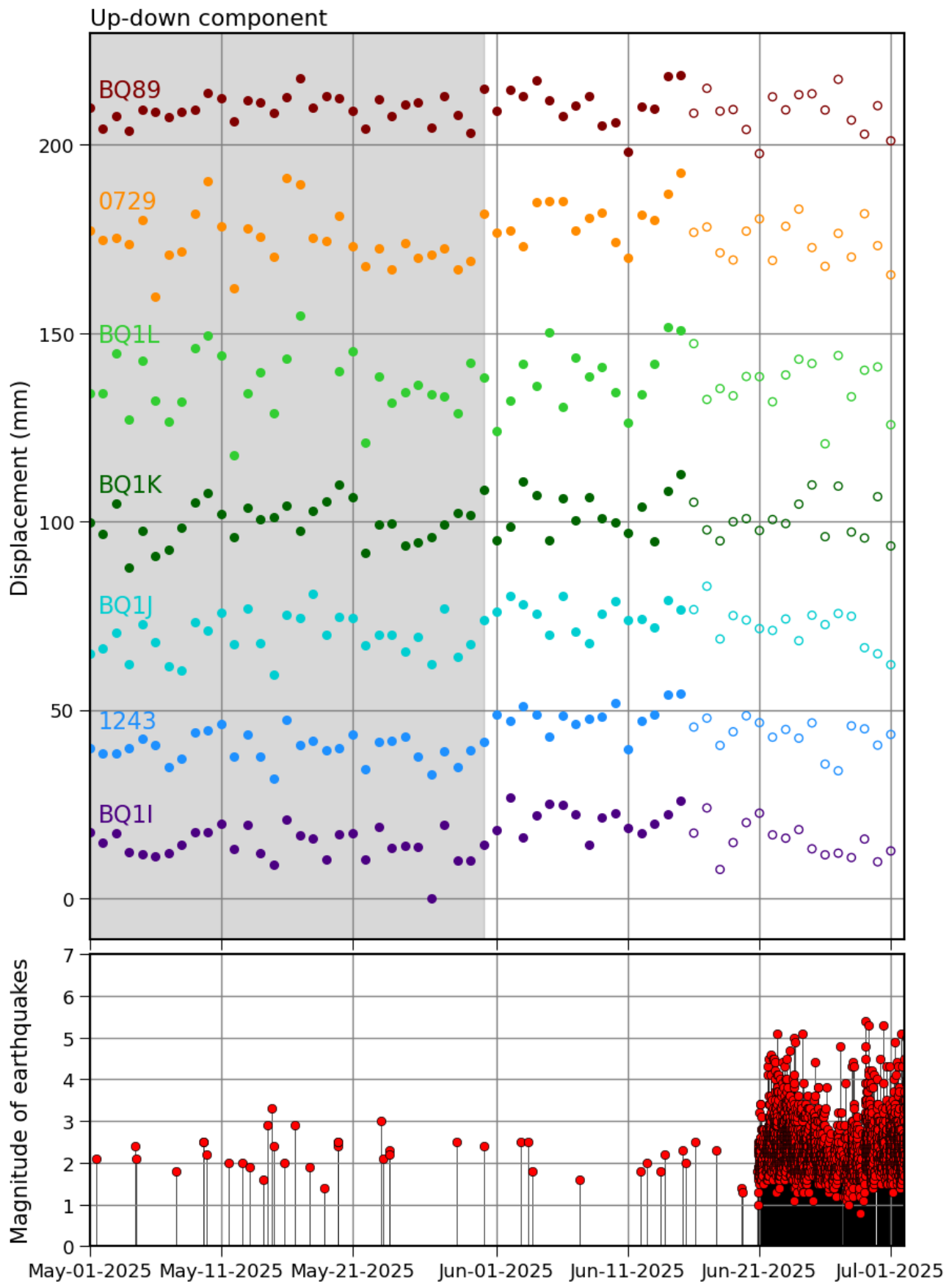


図 2 (c) 図 2 各日の座標値 (上下成分) を丸いシンボルで示す。他の表記は図 2(a)と同じ。

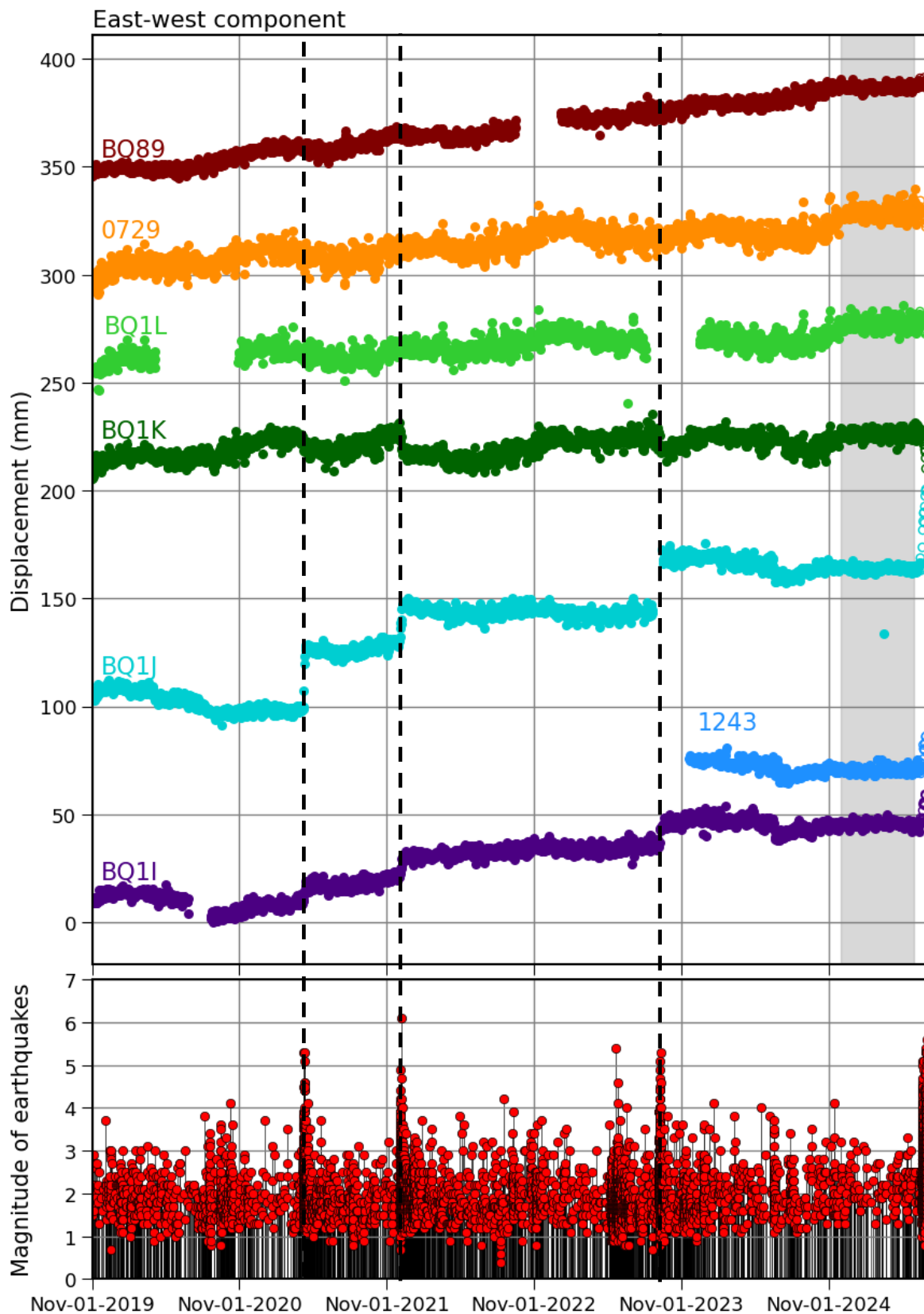


図 3 (a). (上パネル) 2019 年 11 月以降の各日の座標値 (東西成分) を丸いシンボルで示す。濃い色で塗りつぶされた丸は最終暦を、白抜きの丸は速報暦を用いて算出された座標値をそれぞれ示す。また丸の色の違いは、観測局の違いを表す。(下パネル) 図 1 の領域(東経 129 度から 130 度、および北緯 29 度から 30 度の矩形領域)内で発生したマグニチュード 0 以上の地震の M-T 図。図の作成には気象庁一元化震源カタログを用いた。図中破線は地震活動が活発化した位置と GNSS 時系列に対応が目視で確認できた点を示す。

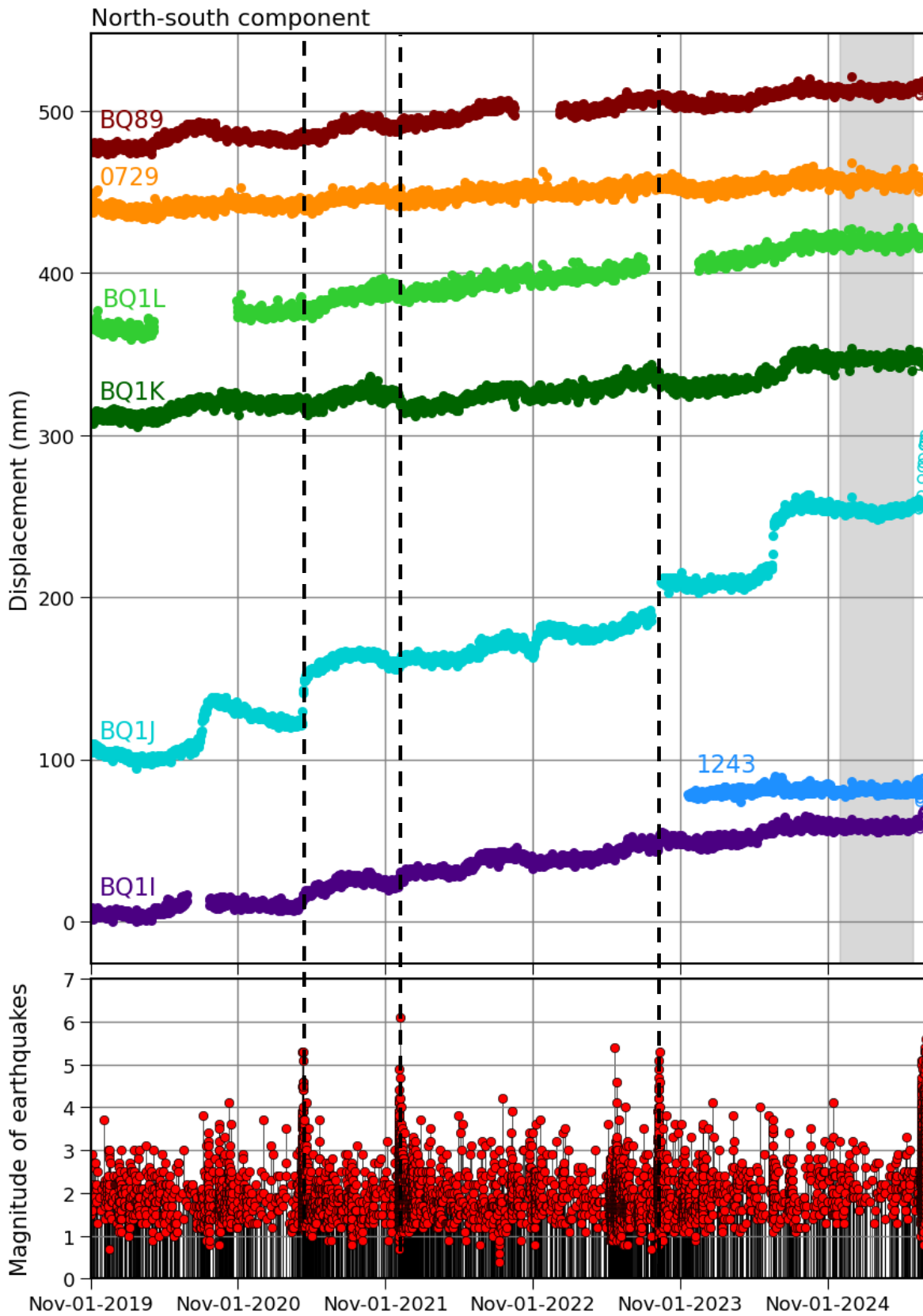


図 3(b). (上パネル) 2019 年 11 月以降の各日の座標値 (南北成分) を丸いシンボルで示す。他の表記は図 3(a)と同じ。

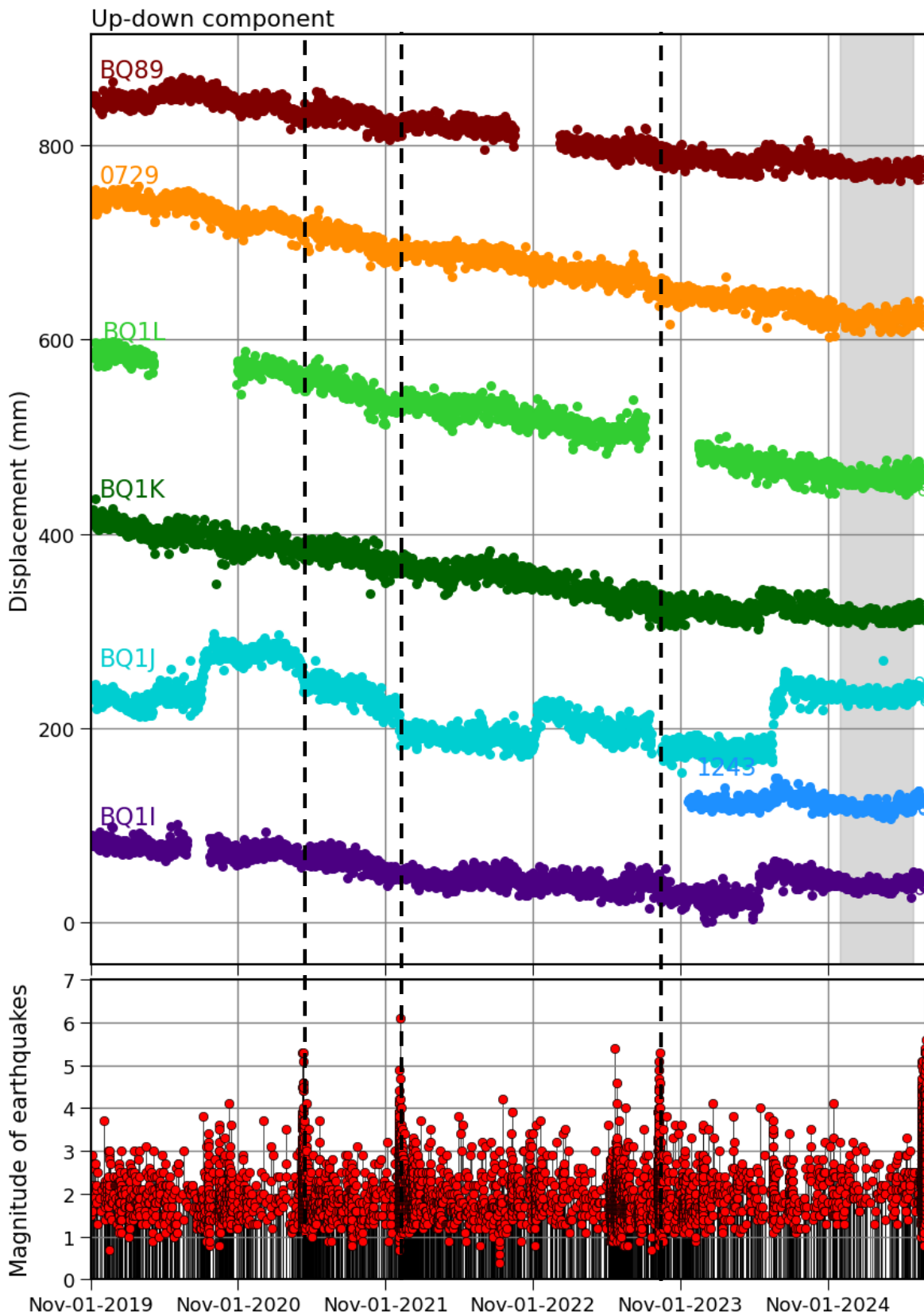


図 3(c). (上パネル) 2019 年 11 月以降の各日の座標値 (上下成分) を丸いシンボルで示す。他の表記は図 3(a)と同じ。

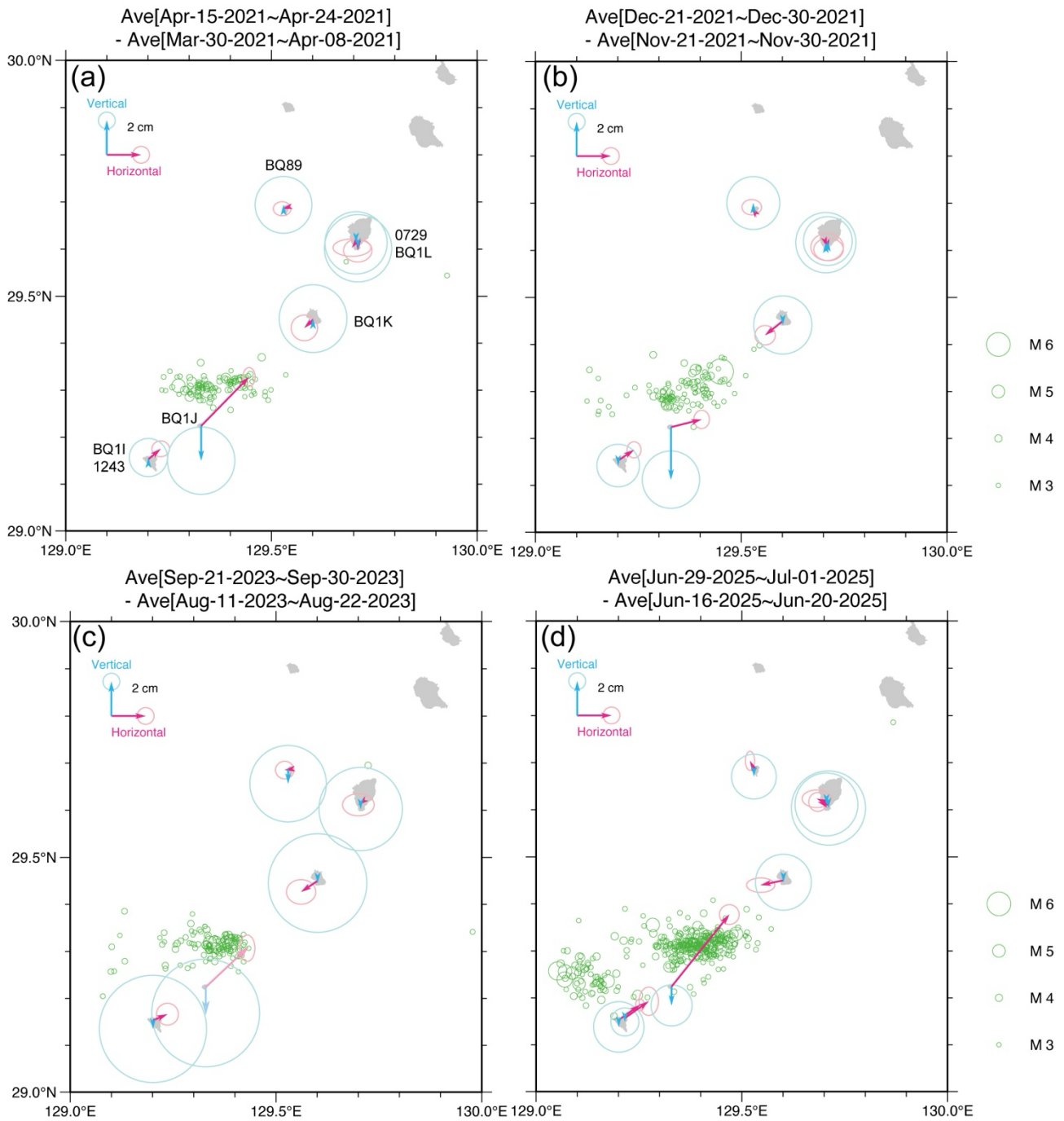


図 4. (a) 2021 年 4 月イベント時の変位ベクトル場。2021 年 4 月 15 日から 4 月 24 日の平均と 2021 年 3 月 30 日から 4 月 9 日の平均の差から計算した結果。(b) 2021 年 12 月イベント時の変位ベクトル場。2021 年 12 月 21 日から 12 月 30 日の平均と 2021 年 11 月 21 日から 11 月 30 日の平均の差から計算した結果。(c) 2021 年 12 月イベント時の変位ベクトル場。2023 年 9 月 21 日から 9 月 30 日の平均と 2023 年 8 月 11 日から 8 月 22 日の平均の差から計算した結果。同期間において BQ1J で欠測があったため、観測データが存在する前後から変位量を計算した。(d) 2025 年 6 月イベント時の変位ベクトル場。2025 年 6 月 29 日から 7 月 1 日の平均と 2025 年 6 月 16 日から 6 月 20 日の平均の差から計算した結果。

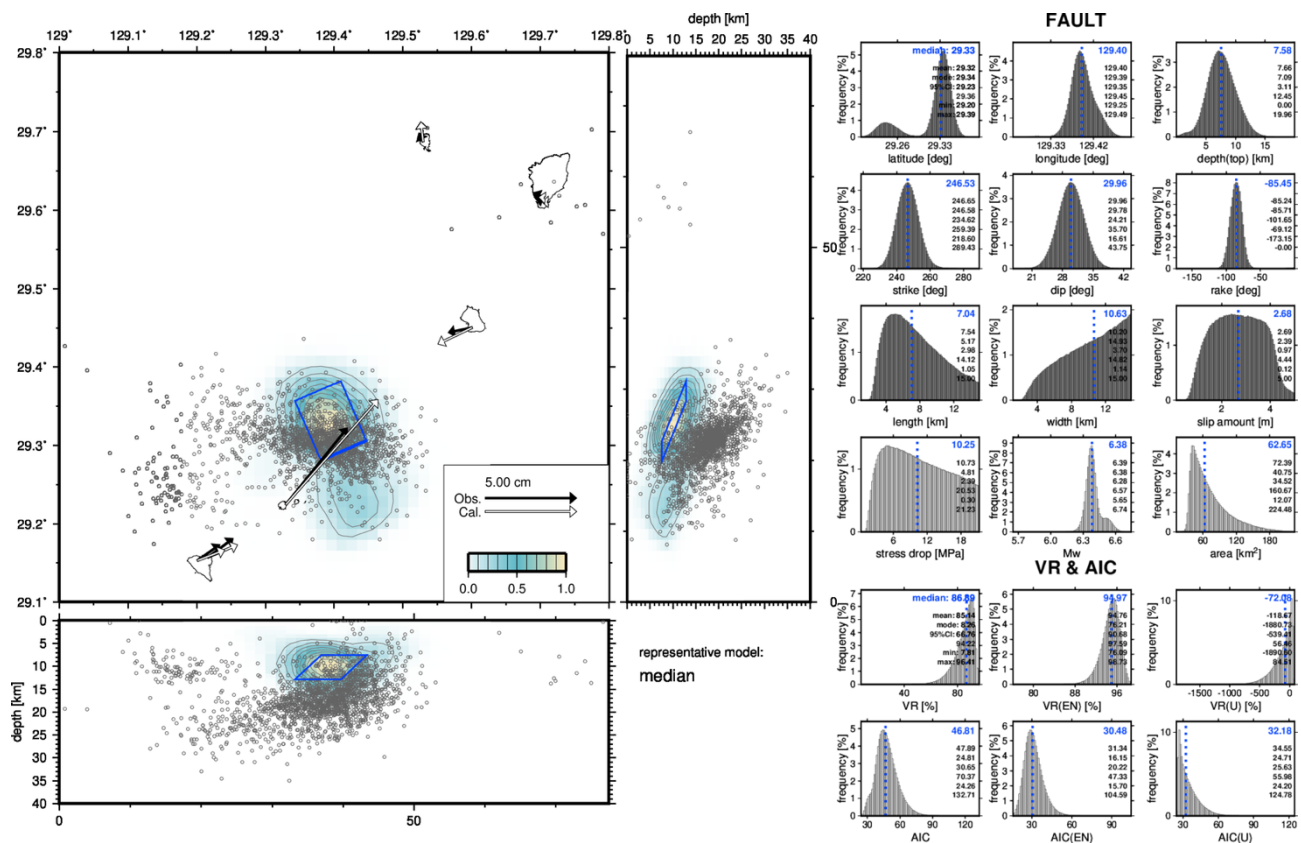


図 5. (左)2025 年 6 月 29 日から 7 月 1 日の座標値の平均値と、同年 6 月 16 日から 20 日までの座標値の平均値の差から計算した変位場に対して MCMC 法を用いた力源推定手法である RUNE (Real-time automatic uncertainty estimation of source models using crustal deformation data) Ver. 3.1.3 (Ohno, Ohta et al., EPS, 2022, 2024) を適用して推定した断層モデル。色付きコンターが MCMC 法でのサンプル値から計算した断層位置および広がり存在確率。(右) 事後確率分布。事後確率分布中の数値は上から中央値 (図中縦青破線に相当)、平均値、最頻値、95% 信頼区間、最小、最大をそれぞれ示す。

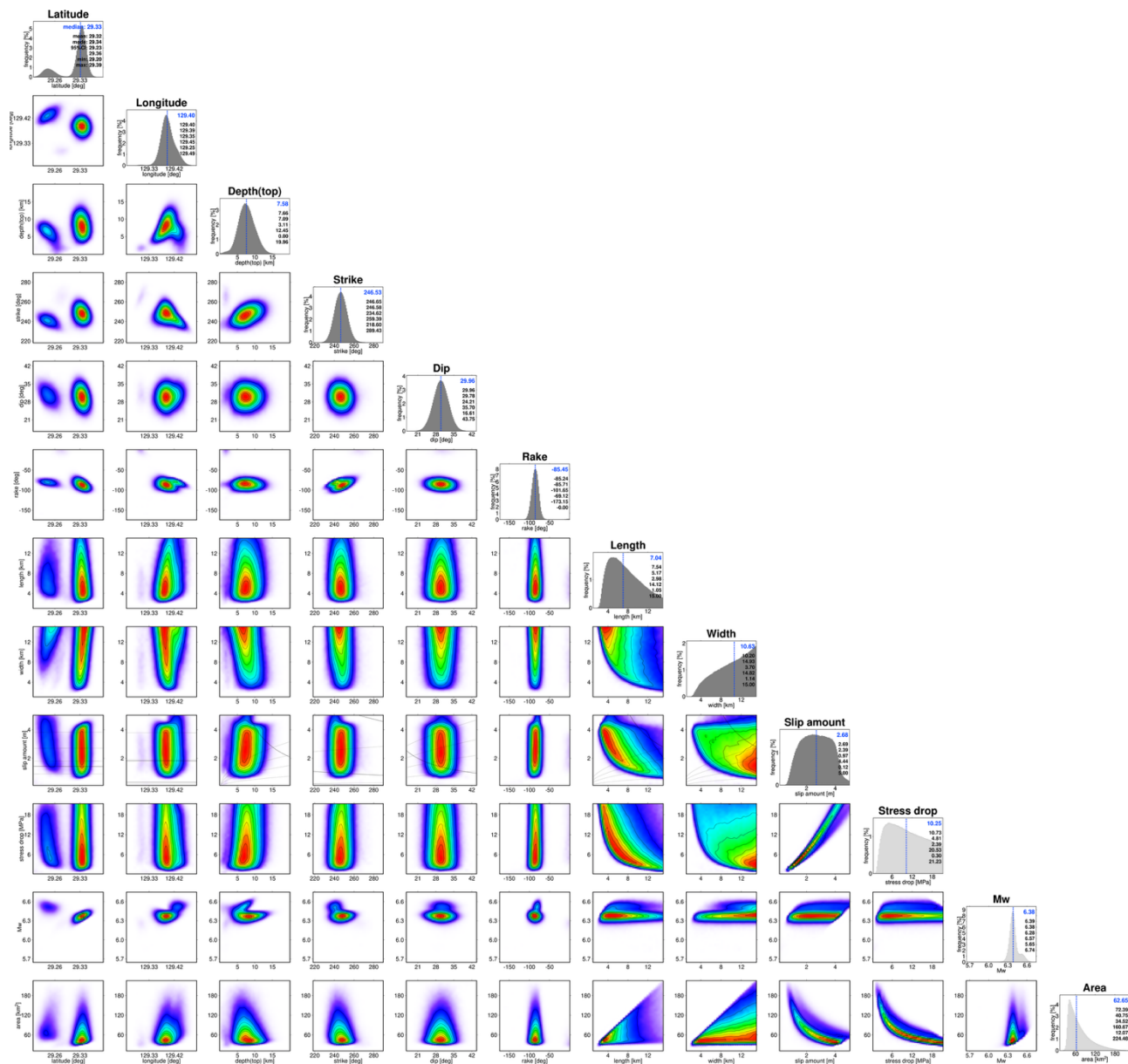


図 6. 2025 年 6 月 29 日から 7 月 1 日の座標値の平均値と、同年 6 月 16 日から 20 日までの座標値の平均値の差から計算した変位場を用いて推定された断層モデルの周辺事後確率分布。

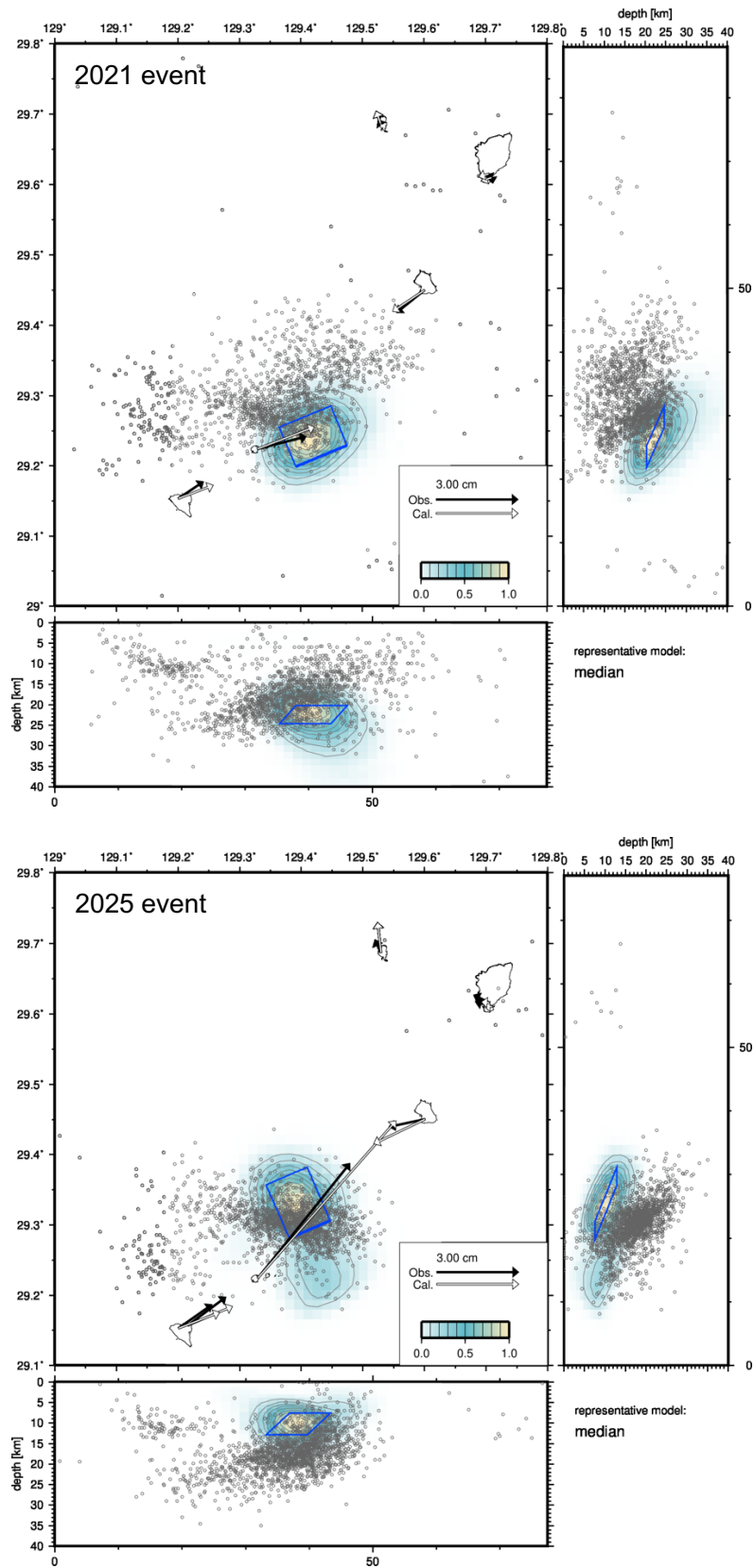


図7. (上図)2021年12月および(下図)2025年6-7月の群発地震活動発生時期の水平地殻変動場およびそれらから推定された断層モデル。色付きコンターがMCMC法でのサンプル値から計算した断層位置および広がり存在確率。