

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) が設置・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 4 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 75mm 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。

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 7 月 1 日まで 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。その後、7 月 2 日の M5.6 の地震以降、BQ1J (小宝島) で北北西向き、1243・BQ1I (宝島) で南向きの変位が確認できる。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現時点では確認できない。

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 4 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同期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。また、7 月 2 日以降に着目するとそれら変位の空間パターンが大きく変化している。

図 5 に GNSS 観測点におけるトレンド除去後の座標値の水平面内の軌跡を示す。BQ1J および BQ1I における水平変位の向きが時間変化している様子が明瞭である。

図 6 にトレンド除去に用いた地表変位速度ベクトル図を示す。周囲と比較して小宝島の変位速度ベクトルの向きがわずかに南向きに斜行する。

図 7 に非定常イベントが生じていないと思われる期間の変位速度 (定常変位速度) を異なる色のベクトルで観測点毎に示す。BQ1J 観測点を中心とした半径 200 km 以内に位置する観測点のうち、長期欠測のないものを用い、それらのうち図 1 に示した 7 観測点を除いたデータを用いて、共通誤差および季節変動を推定・除去した。その後、BQ1J 点において明瞭な非定常地殻変動が確認されない 7 期間それぞれについて、10 日間の中央値の差分から変位量を導出し、年速度 (/yr) に換算した。同図より、奄美大島や種子島・屋久島では推定された定常変位速度が期間を通じて安定しているのに対し、宝島・小宝島・悪石島ではそれらの

ばらつきが相対的に大きい。

図 8 に 2025 年 7 月 2 日 15 時 26 分に発生した M5.6 地震前後の BQ1I および BQ1J のキネマティック PPP (精密単独) 結果を示す。解析にはオンライン CSRS-PPP サービスを用いた。同時系列より M5.6 以降、1243、BQ1I (宝島)では主に南向き、BQ1J (小宝島)では北北西向きに遷移的な地殻変動が進行していたことが明瞭である。さらに BQ1J の南北成分が過渡的な北向き変動がキネマティック GNSS の精度でも確認できる量で進行していることが確認できる。一方、7 月 3 日 16 時 13 分の M5.5 地震にともなう明瞭な変位は確認できない。

図 9 に BQ1I、BQ1J、1243 の南北成分を比較のために並べた図を示す。図中の白線で因果律を満たす移動平均の結果を示す。同図からも、M5.6 地震の発生以降、遷移的な地殻変動がこれら観測点で進行したことが明瞭である。

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。キネマティック PPP 解析にはカナダ天然資源省が提供するオンラインシステム CSRS-PPP を使用しました。ここに記して感謝の意を表します。

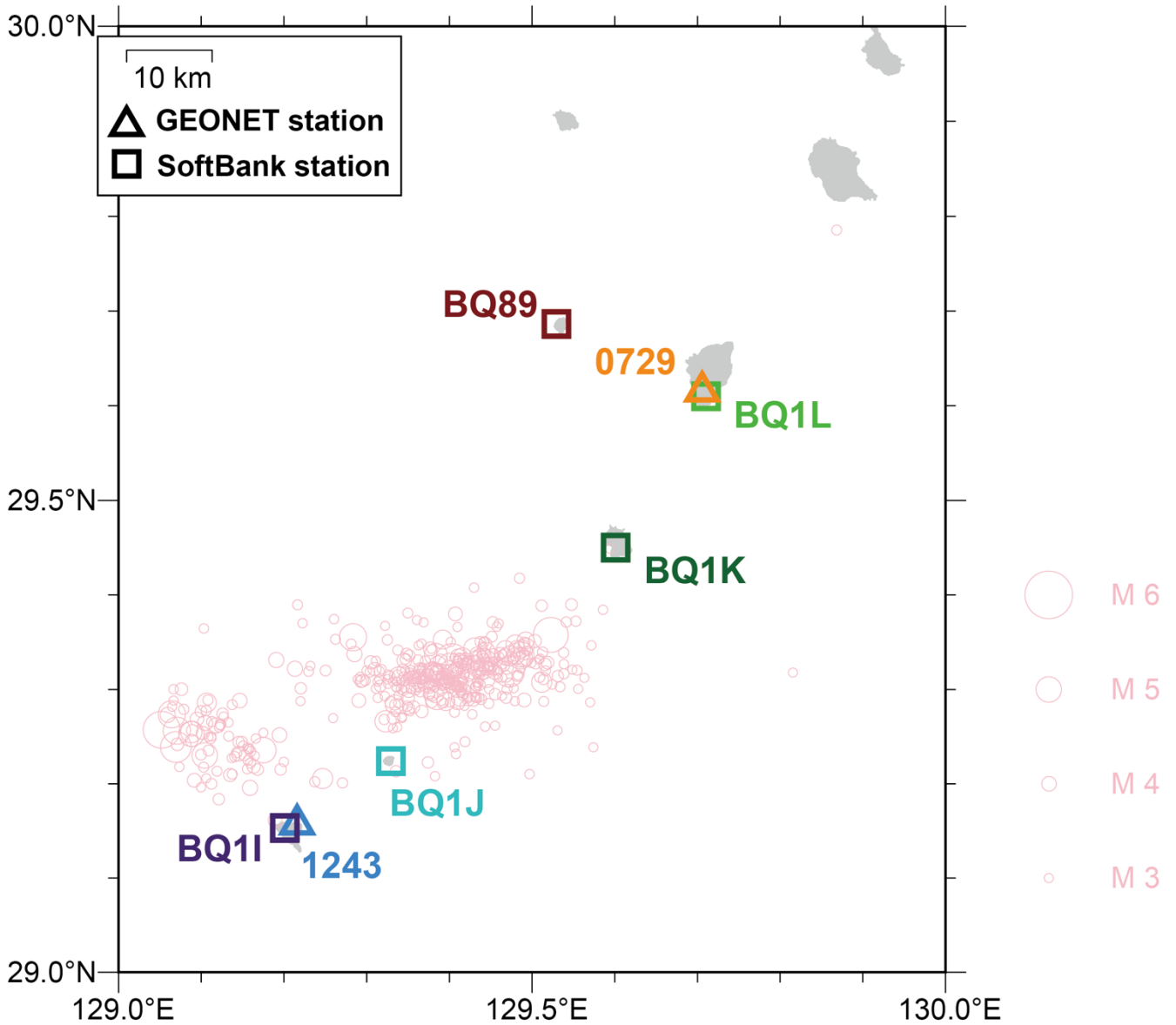


図 1. GNSS 観測局配置と地震の震央分布。三角で国土地理院が設置した GEONET 観測点を、四角でソフトバンク株式会社により設置された観測点をそれぞれ示す。薄い桃色の丸は、気象庁一元化震源カタログに記載された 2025 年 5 月 1 日から 2025 年 7 月 4 日までのマグニチュード 3 以上の地震の震央を示す。丸の大きさは地震のマグニチュードに対応している。

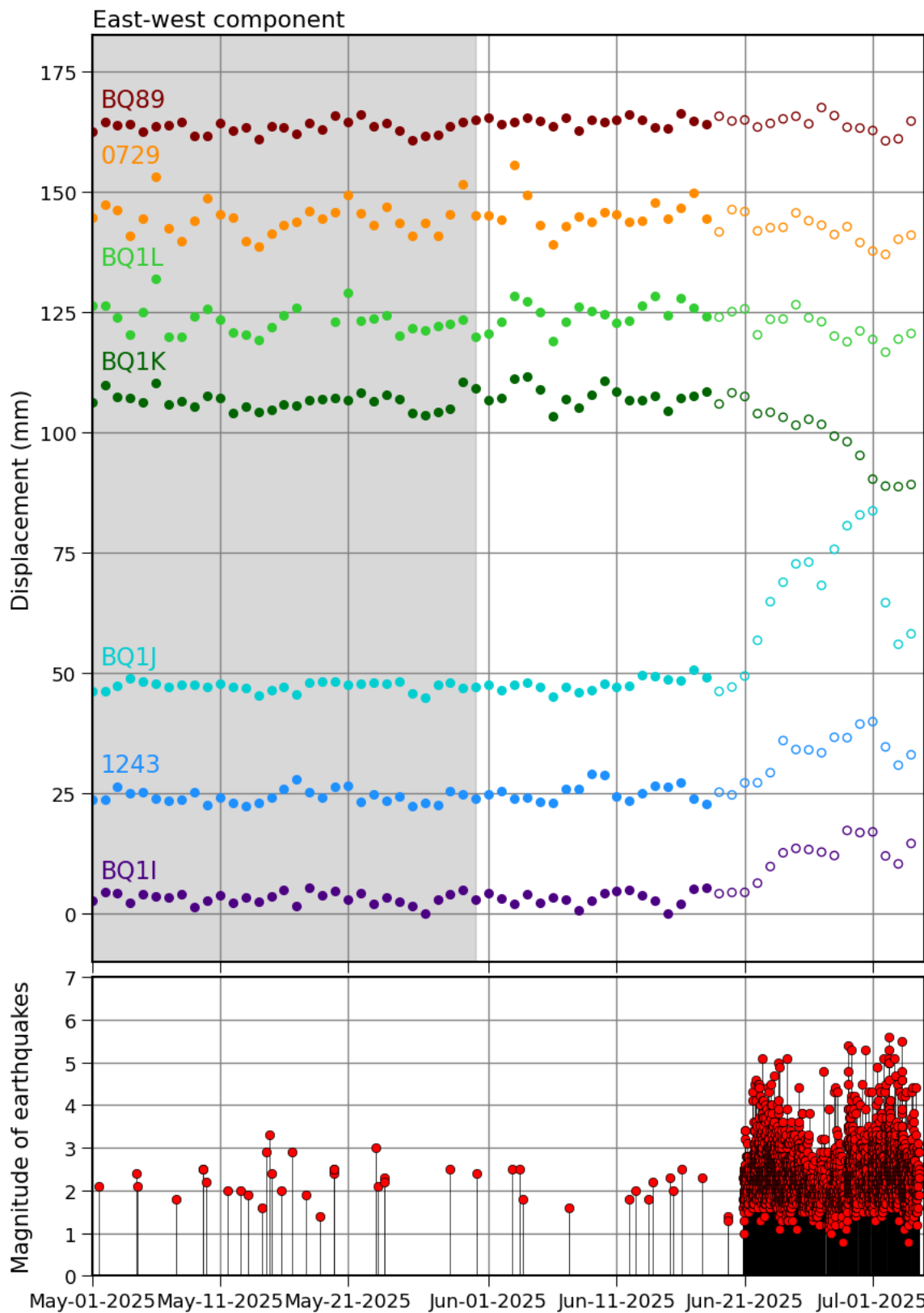


図 2 (a). (上パネル) 各日の座標値 (東西成分) を丸いシンボルで示す。塗りつぶされた丸は最終暦を、白抜きの丸は速報暦を用いて算出された座標値をそれぞれ示す。丸の色の違いは、観測点の違いを表す。また灰色で示された期間は、定常トレンドを推定した期間を表す。(下パネル) 図 1 の領域 (東経 129 度から 130 度、および北緯 29 度から 30 度の矩形領域) 内で発生したマグニチュード 0 以上の地震の M-T 図。図の作成には気象庁一元化震源カタログを用いた。

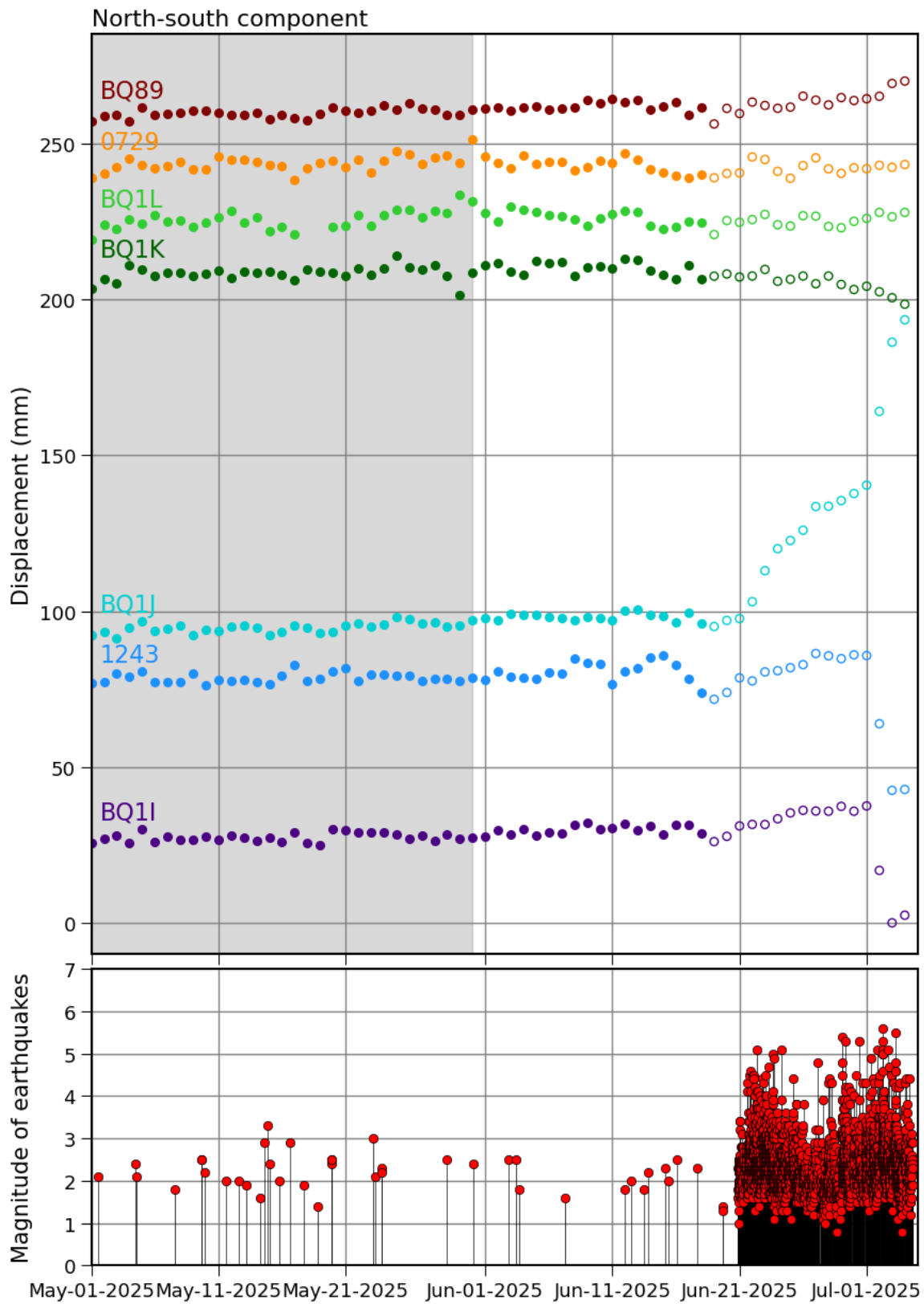


図 2 (b) 各日の座標値 (南北成分) を丸いシンボルで示す。他の表記は図 2(a)と同じ。

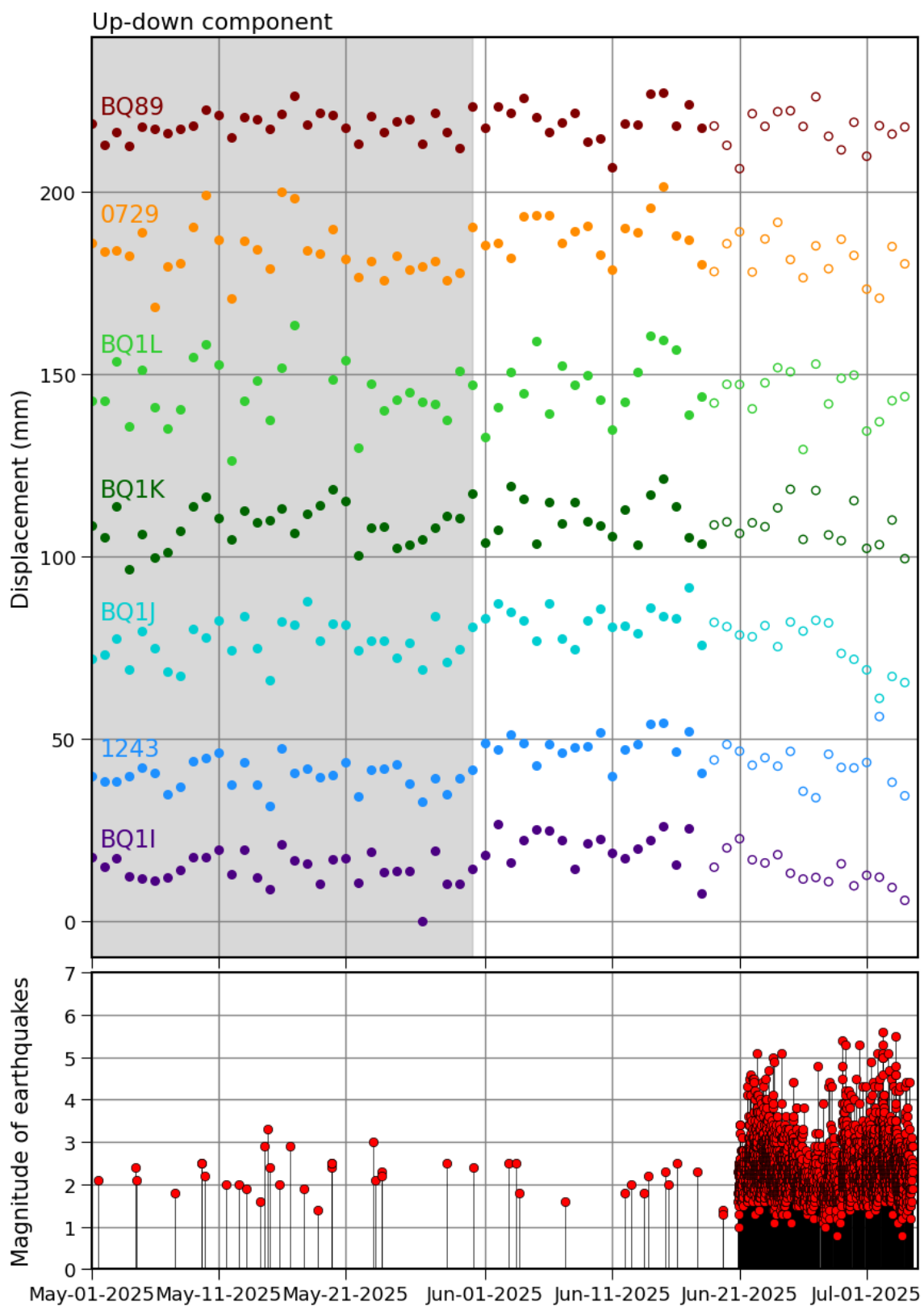


図 2 (c) 図 2 各日の座標値 (上下成分) を丸いシンボルで示す。他の表記は図 2(a)と同じ。

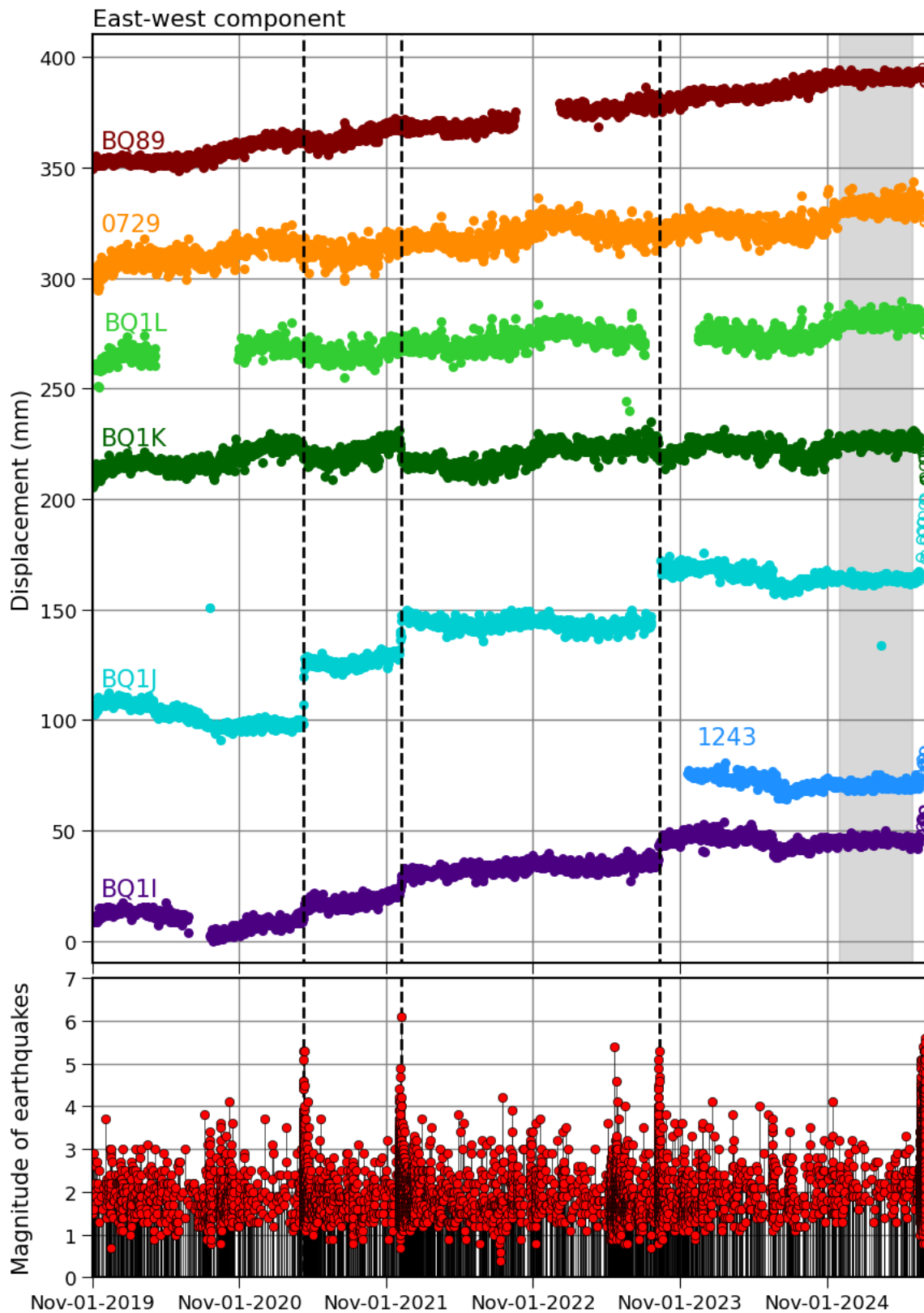


図 3(a). (上パネル) 2019 年 11 月以降の各日の座標値 (東西成分) を丸いシンボルで示す。濃い色で塗りつぶされた丸は最終暦を、白抜き丸は速報暦を用いて算出された座標値をそれぞれ示す。また丸の色の違いは、観測局の違いを表す。(下パネル) 図 1 の領域(東経 129 度から 130 度、および北緯 29 度から 30 度の矩形領域)内で発生したマグニチュード 0 以上の地震の M-T 図。図の作成には気象庁一元化震源カタログを用いた。図中破線は地震活動が活発化した位置と GNSS 時系列に対応が目視で確認できた点を示す。

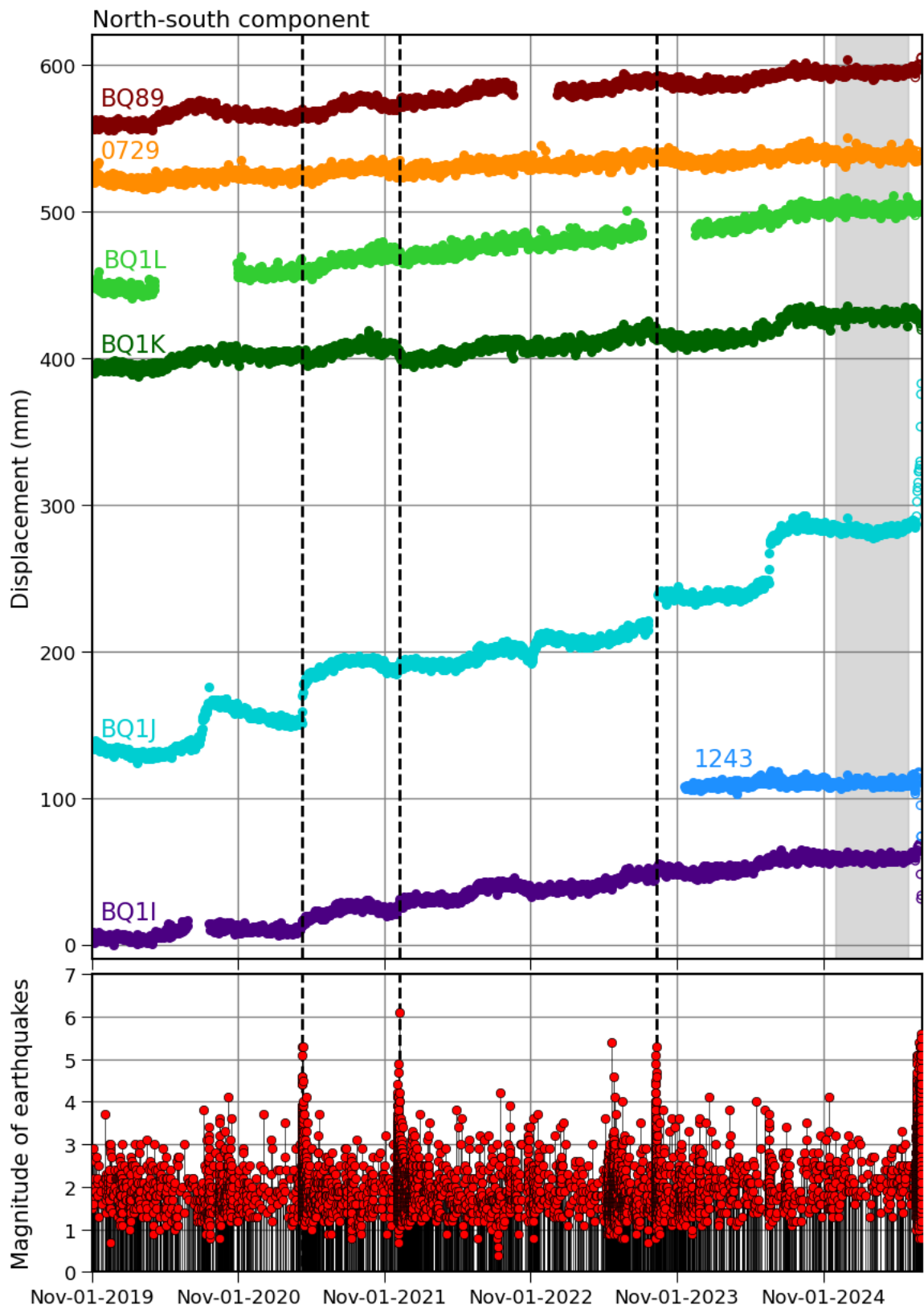


図 3 (b). (上パネル) 2019 年 11 月以降の各日の座標値 (南北成分) を丸いシンボルで示す。他の表記は図 3(a)と同じ。

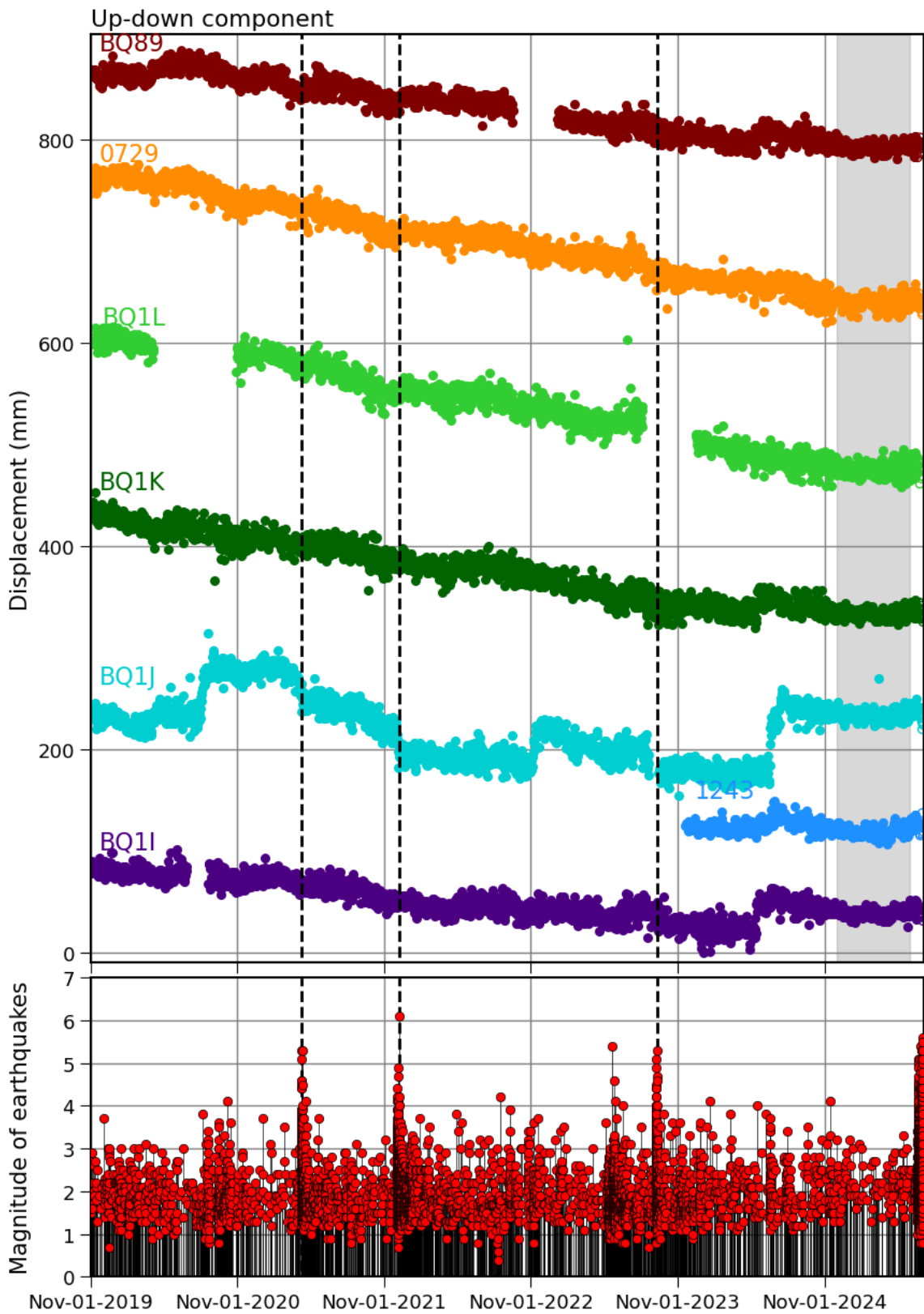


図 3(c). (上パネル) 2019 年 11 月以降の各日の座標値 (上下成分) を丸いシンボルで示す。他の表記は図 3(a)と同じ。

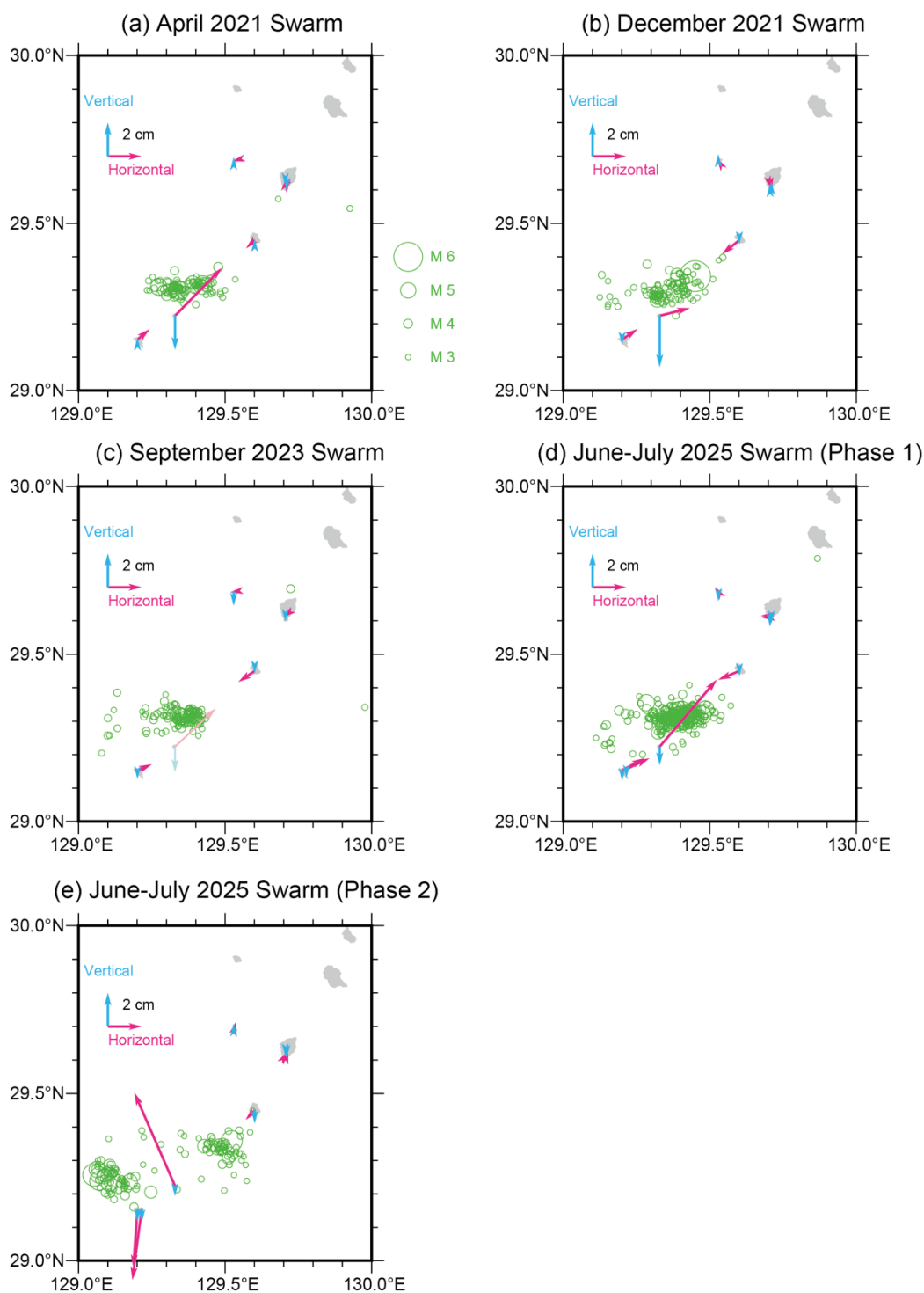


図 4. (a) 2021 年 4 月イベント時の変位ベクトル場。2021 年 4 月 15 日から 4 月 24 日の平均と 2021 年 3 月 30 日から 4 月 8 日の平均の差から計算した結果。あわせて 2021 年 3 月 9 日から 5 月 9 日に発生したマグニチュード 3 以上の地震の震央を描画している。(b) 2021 年 12 月イベント時の変位ベクトル場。2021 年 12 月 21 日から 12 月 30 日の平均と 2021 年 11 月 21 日から 11 月 30 日の平均の差から計算した結果。あわせて 2021 年 11 月 9 日から 2022 年 1 月 9 日に発生したマグニチュード 3 以上の地震の震央を描画している。(c) 2023 年 9 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。また、欠測のあった BQ1J の変位を薄い色で示している。あわせて 2023 年 8 月 10 日から 10 月 10 日に発生したマグニチュード 3 以上の地震の震央を描画している。(d) 2025 年 6 月イベント(Phase 1)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 11 日から 6 月 20 日の平均の差から計算した結果。あわせて 2025 年 6 月 20 日から 7 月 1 日に発生したマグニチュード 3 以上の地震の震央を描画している。(e) 2025 年 6 月イベント(Phase 2)時の変位ベクトル場。2025 年 7 月 4 日の座標値と 2025 年 6 月 29 日から 7 月 1 日の平均の差から計算した結果。あわせて 2025 年 7 月 2 日から 7 月 4 日に発生したマグニチュード 3 以上の地震の震央を描画している。

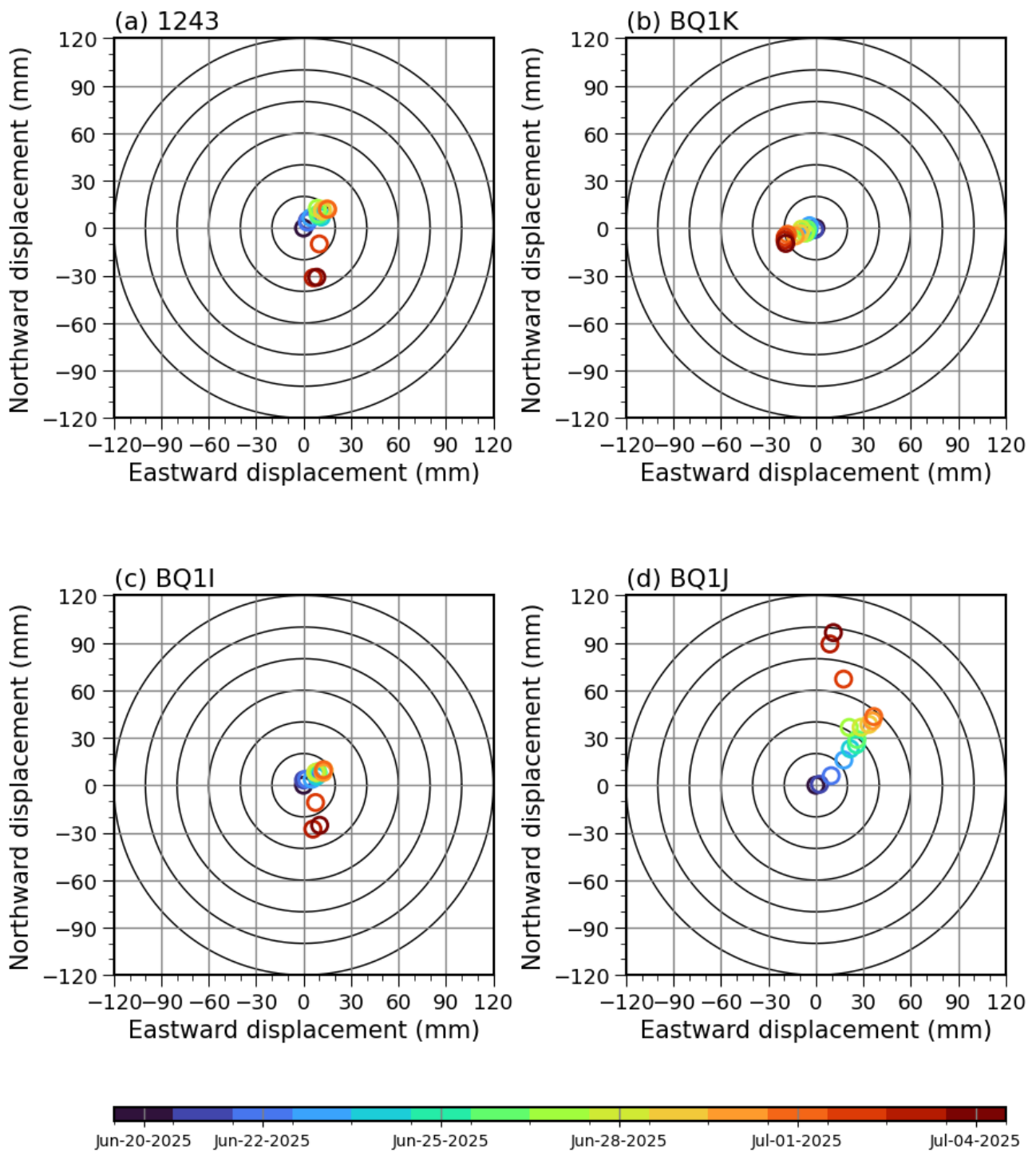


図 5. GNSS 観測点におけるトレンド除去後の座標値の水平面内の軌跡。2025 年 6 月 20 日の座標値を基準としている。また、丸いシンボルで各日の座標を、丸の色で観測日を示している。黒い線で描画された円は、水平変動量を示す 2 cm ごとの基準線である。(a) 1243 (宝島)、(b) BQ1K (悪石島)、(c) BQ1I (宝島)、(d) BQ1J (小宝島)をそれぞれ示す。

Velocity field (Dec-01-2024~May-31-2025) w.r.t. ITRF2020

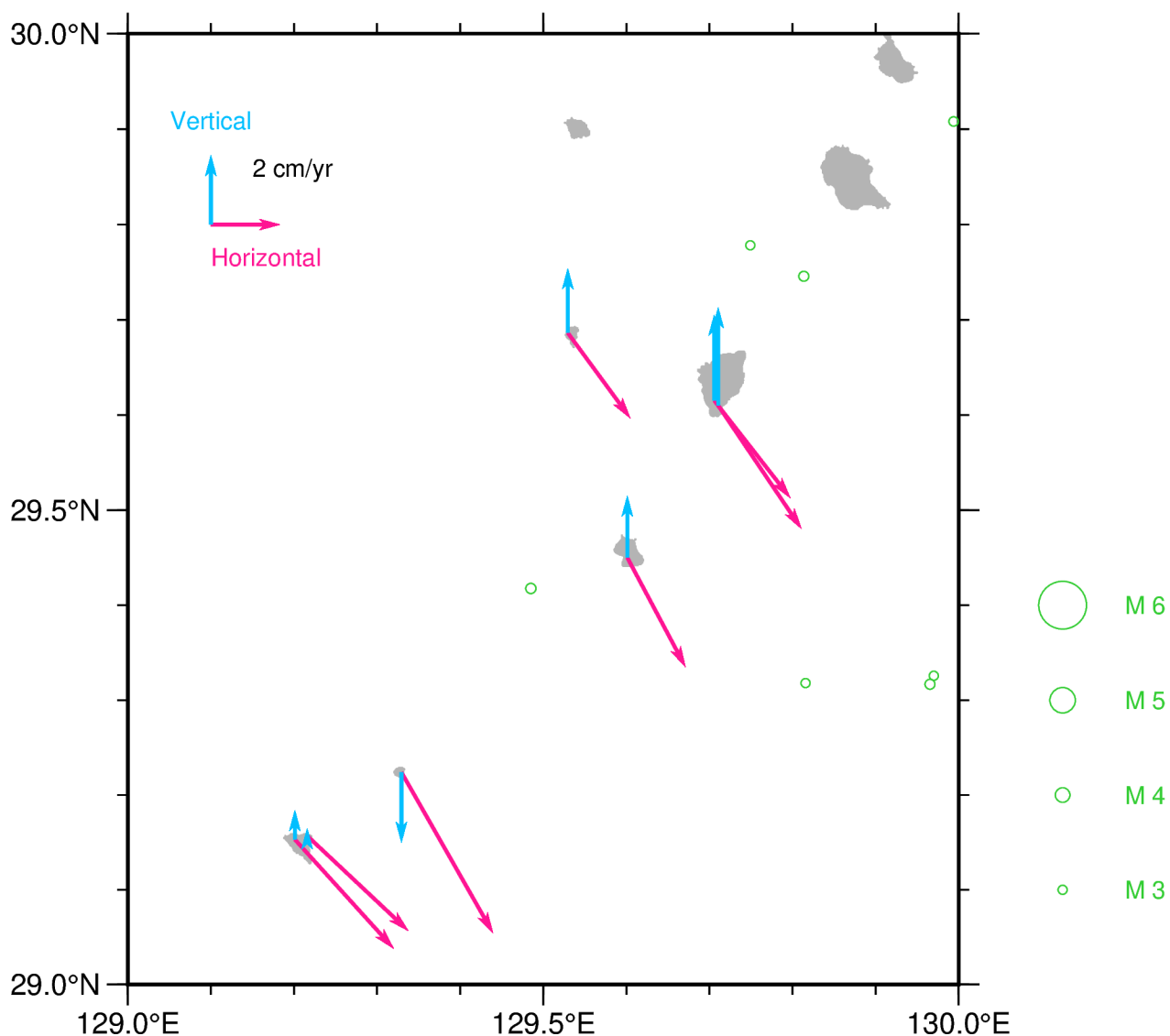


図 6. トレンド除去に用いた地表変位速度ベクトル図。変位速度は 2024 年 12 月 1 日から 2025 年 5 月 31 日の座標値を用いて直線近似により算出した。また、同期間のマグニチュード 3 以上の地震の震央をあわせて示す。

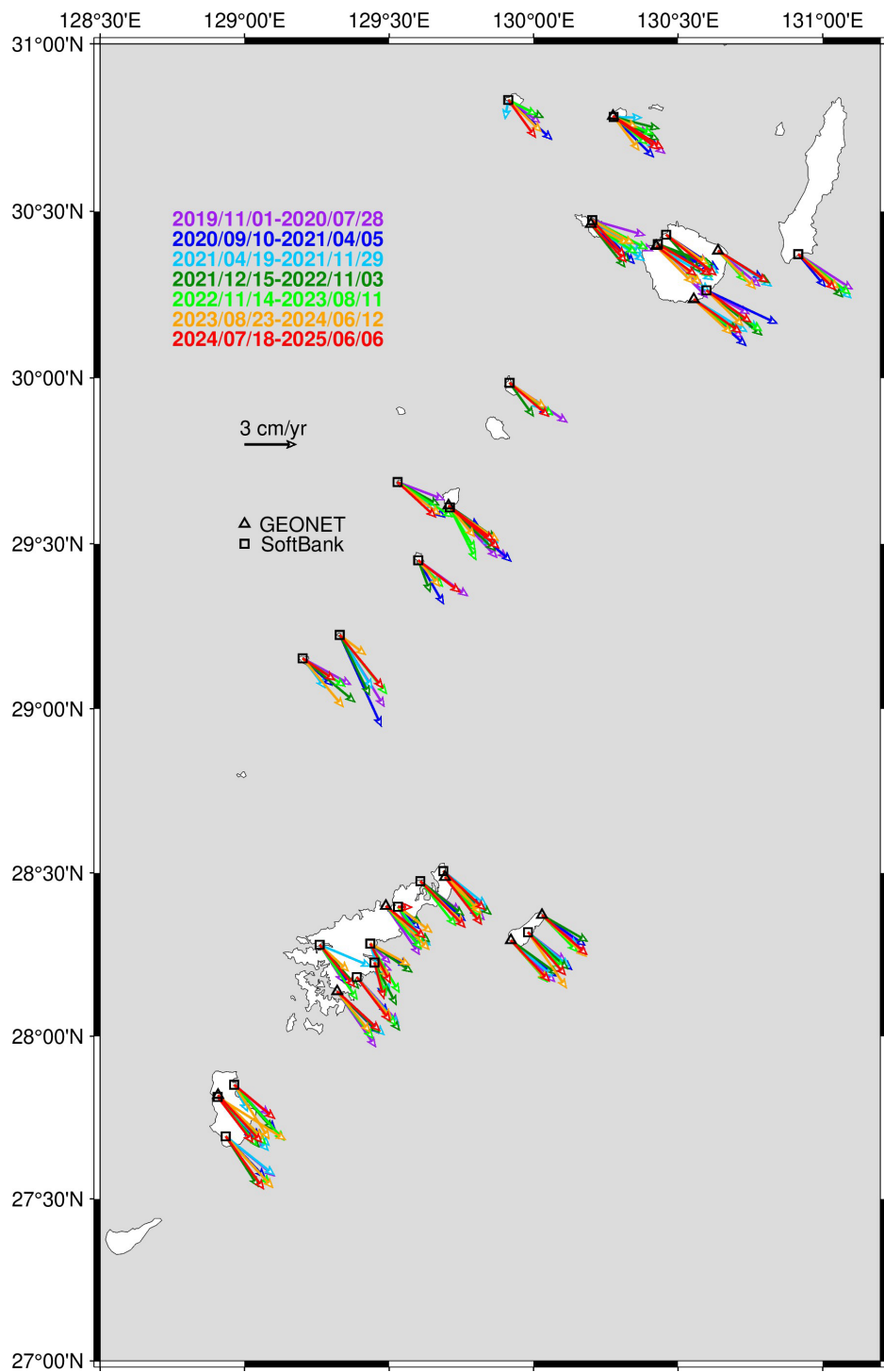


図 7. 非定常イベントが生じていないと考えられる期間の変位速度(定常変位速度)を異なる色のベクトルで観測点毎に示す。三角印で GEONET を、四角でソフトバンク独自基準点データを示す。

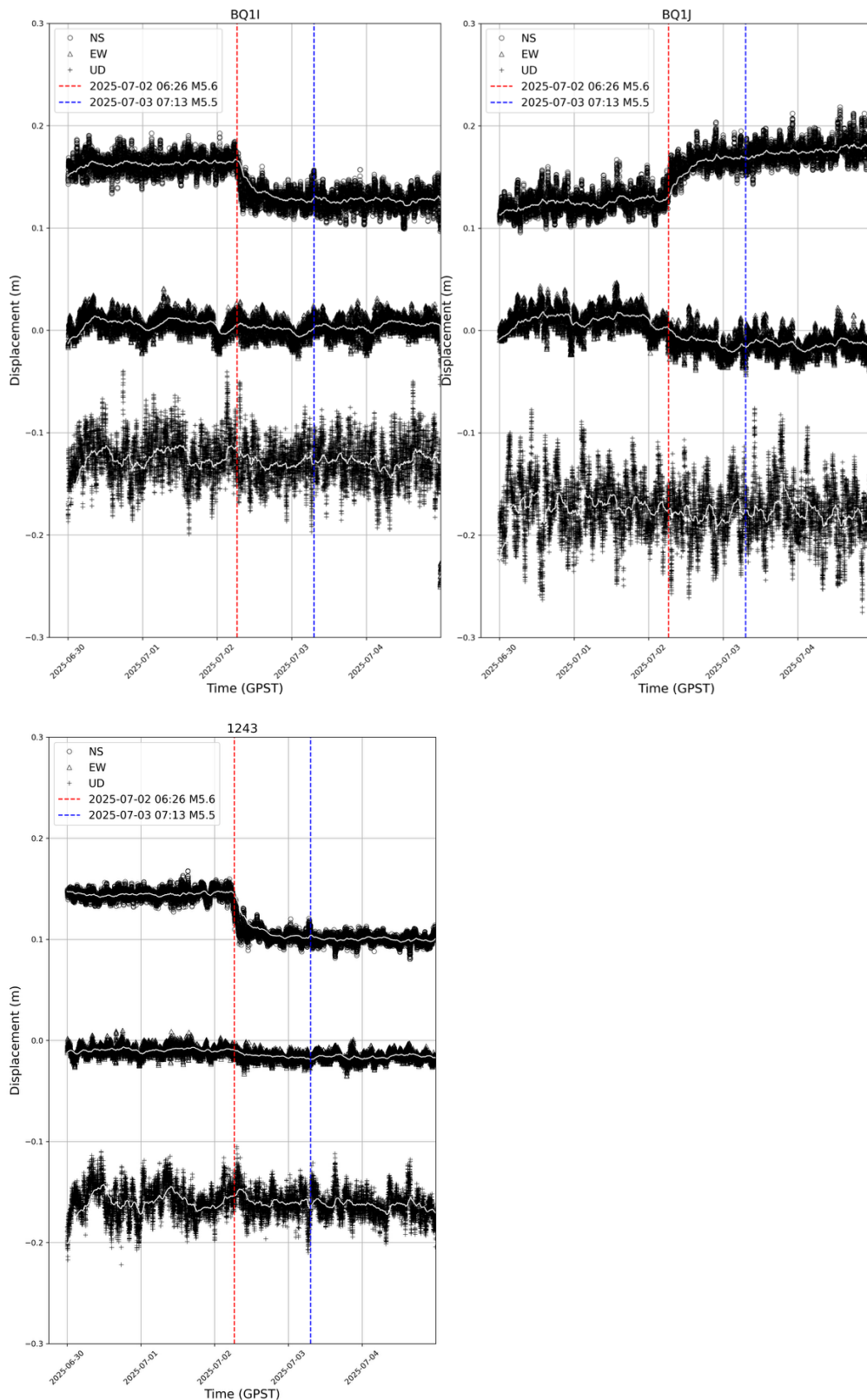


図 8. 2025 年 7 月 2 日 15 時 26 分 M5.6 (図中赤破線) 前後の BQ1I (宝島)、1243 (宝島)、BQ1J (小宝島)、のキネマティック PPP (精密単独測位法) による 30 秒毎の座標時系列。上から南北、東西、上下成分を示す。図中青線で 7 月 3 日 16 時 13 分 M5.5 (図中青破線) のタイミングを示す。図中白線は過去約 5 時間 (= 600 サンプル分) を対象とした指数移動平均 (Exponential Moving Average, EMA) を適用した結果を示す。なお時系列の最後に擾乱が見られるのは解析上のノイズと考えられる。

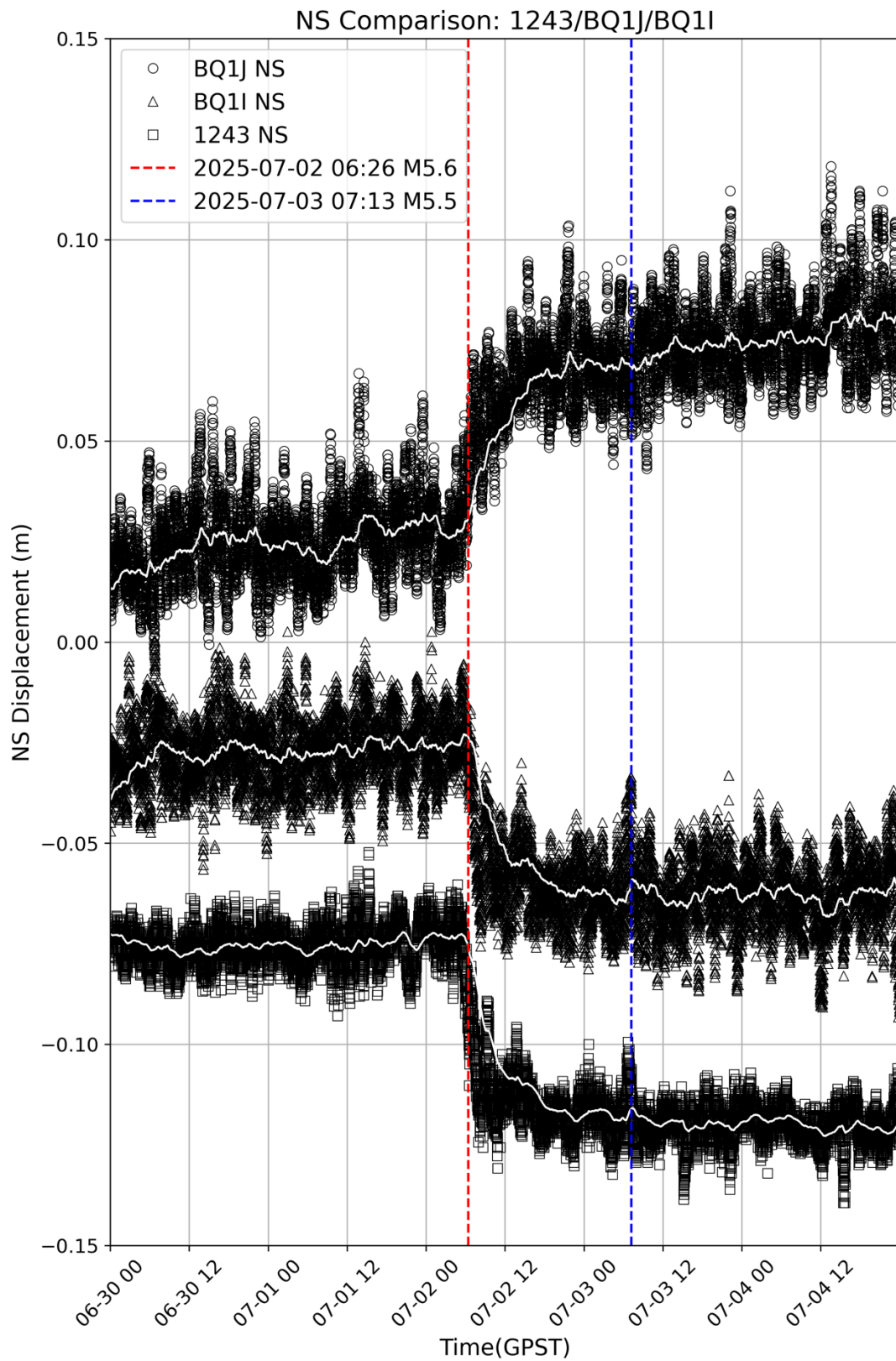


図9. 2025年7月2日15時26分M5.6(図中赤破線)前後の1243、BQ1I(宝島)、BQ1J(小宝島)のキネマティックPPP(精密単独測位法)による30秒毎の南北成分の座標時系列。図中青線で7月3日16時13分M5.5(図中青破線)のタイミングを示す。図中白線は過去約5時間(=600サンプル分)を対象とした指数移動平均(Exponential Moving Average, EMA)を適用した結果を示す。なお時系列の最後に擾乱が見られるのは解析上のノイズと考えられる。