3.4 GNSS データを用いた高精細ひずみ速度分布の解明（サブテーマ 3.1）

(1) 業務の内容

(a) 業務題目　GNSS データを用いた高精細ひずみ速度分布の解明

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター	教授	太田　雄策
国立大学法人京都大学防災研究所附属地震災害研究センター	教授	西村　卓也
国立大学法人京都大学防災研究所附属地震災害研究センター	特定研究員	Dhanya Thomas

(c) 業務の目的

GNSS による測地観測データを用いて、日本列島の詳細なひずみ速度分布を明らかにし、内陸地震の長期発生確率を計算する手法の基盤となる情報の獲得を目的とする。

(d) 3 か年の年次実施業務の要約

1) 令和 7 年度：

基盤観測網である国土地理院 GEONET（～1,300 点）に加え、ソフトバンクが運用する独自基準点網（3,300 点超）のデータの日座標値解析を実施し、それらから地殻変動場を適切に抽出するための作業を実施し、暫定的な地震間 3 次元地殻変動場の構築を行った。

2) 令和 8 年度：

正確な地震間地殻変動場の把握のために、外れ値等を適切に考慮するためのクラスタリング処理を適用する。また、得られた地殻変動場から高精細ひずみ速度分布を得るために、観測点の空間分布の不均一性を考慮できる手法や、変位場の基底関数展開法などの複数のひずみ速度推定手法を比較検討し、適切なひずみ速度分布を得る。

3) 令和 9 年度：

前年度に引き続き高精細ひずみ速度分布の推定を継続し、最終的なひずみ速度分布を得る。さらに、それらの推定不確実性の定量化を試行し、得られた結果の解釈の妥当性を検討する。得られた最終的なひずみ速度分布図の結果はサブテーマ 3.3 と共有する。具体的には、得られた高精細ひずみ速度分布が持つ推定の不確実性を定量評価するために、複数期間でのひずみ速度分布を推定し、それらのばらつきを定量評価する。

(2) 令和 7 年度の成果

(a) 業務の要約

GNSS による測地観測データを用いて、日本列島の詳細なひずみ速度分布を明らかにし、内陸地震の長期発生確率を計算する手法の基盤となる情報を獲得することを目的とする。令和 7 年度は基盤観測網である国土地理院 GEONET（～1,300 点）に加え、ソフトバンクが運用する独自基準点網（3,300 点超）のデータの日座標値解析を実施した。具体的には Gipsy-X による精密単独測位法（PPP-AR）を用いて日々の座標値を得た。さらに、それらから地殻変動場を適切に抽出するための作業を実施した。この時、ソフトバンク独自基準点網において非公開となっている保守作業による座標値のオフセット検知、並びに補正を自動的に実施するためのスキームを構築した。これらオフセットを適切に処理することで、2019 年 11 月～2023 年 12 月末までの期間における平均変位速度場を得た。また、これら得られた座標値の短期的なばらつき等の精度評価を実施し、ソフトバンク独自基準点網のデータが微小な地殻変動を捕捉可能な精度を持つことを確認した。加えて、当初予定よりも前倒しで得られた変位速度場に含まれる外れ値を客観的に評価・除去する手法を開発し、同期間の暫定的な 3 次元地殻変動場の構築を実現した。

(b) 業務の成果

GNSS による測地観測データを用いて、日本列島の詳細なひずみ速度分布を明らかにし、内陸地震の長期発生確率を計算する手法の基盤となる情報の獲得を目的とし、令和 7 年度は基盤観測網である国土地理院 GEONET（～1,300 点）に加え、ソフトバンクが運用する独自基準点網（3,300 点超）のデータ（Ohta and Ohzono, 2022）の日座標値解析 （Ohta and Ohtate, 2026）を実施した。具体的には「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」によって Gipsy-X の精密単独測位法（PPP-AR）を用いてルーチン的に解析が実施されている日座標値を使用した。解析時には JPL が提供する最終精密暦及び時計補正情報を用いた。また、海洋潮汐荷重変形の補正には NAO.99b モデル（Matsumoto et al., 2000）を用いた。次に、ソフトバンク独自基準点網における保守オフセット等の自動検出・除去手法の開発を行った。具体的には、まず日座標時系列に対して短い窓と長い窓の Hampel filter を適用し、外れ値を除去する。次に前後の一定期間の中央値の差を用いて段差的な変化を強調し、その系列に対して Hampel filter と反復 Smirnov–Grubbs 検定を組み合わせて保守候補日を抽出し、信頼度に応じて段階的に分類する。最後に高信頼の候補から順に補正を試し、補正後に水平成分の線形トレンドに対する残差 RMS（二乗平均平方根）が減少する場合のみを採用することで、未知の保守起因ステップを半自動的に除去するスキームを構築した（Ohta and Ohtate, 2026）。これによって、これまで手作業での同オフセットの同定・除去が必要であったソフトバンク独自基準点網のデータの可用性が大幅に向上した。

次に、得られた座標値の精度評価を実施するために、10 日毎の日座標値の標準偏差を重複無しに計算し、それらのヒストグラムを GEONET、ソフトバンク独自基準点それぞれで作成した。その結果、両ネットワークで短期的なばらつきはほぼ同等であることが明らかになった。

また、得られた日座標時系列から定常変動の推定を試みた。定常変動の推定では、各観

測点・各成分の時系列を、定数項と線形トレンドに加えて、年周、半年周、及びそれより高次の周期項の和として表現し、最小二乗法で定常速度を推定した。周期項の数は AIC に基づいて時系列ごとに選択し、過不足のない季節変動補正を行うことで、約 4 年の時系列から長期的な定常変動成分を抽出した。図 1 に推定された定常変動成分の誤差（白色雑音を仮定）のヒストグラムを示す。同図より、両観測網で定常変動成分の推定精度がおおよそ同等であることが明らかになった。

最後に、得られた定常変動から変位速度場を求めた。ここで、周囲と明らかに異なる変位速度場を示す観測点を除去するために、外れ値の除去を行った。具体的には観測点を空間的に近い観測点同士で階層的にクラスタリングし、局所的に比較可能な小集団に分ける。ついで、各クラスタ内で東西・南北・上下成分ごとの速度分布に対して四分位範囲に基づく外れ値判定を行い、周囲の点群から有意に外れた観測点を除外した。これにより、広域的な実シグナルをできるだけ保ったまま、解析異常や局所的ノイズに起因する不自然な速度ベクトルを取り除いた。図 2 に最終的に得られた水平変位速度場を示す。最終的に GEONET 1,224 点、ソフトバンク独自基準点網 2,742 点の変位速度が得られた。

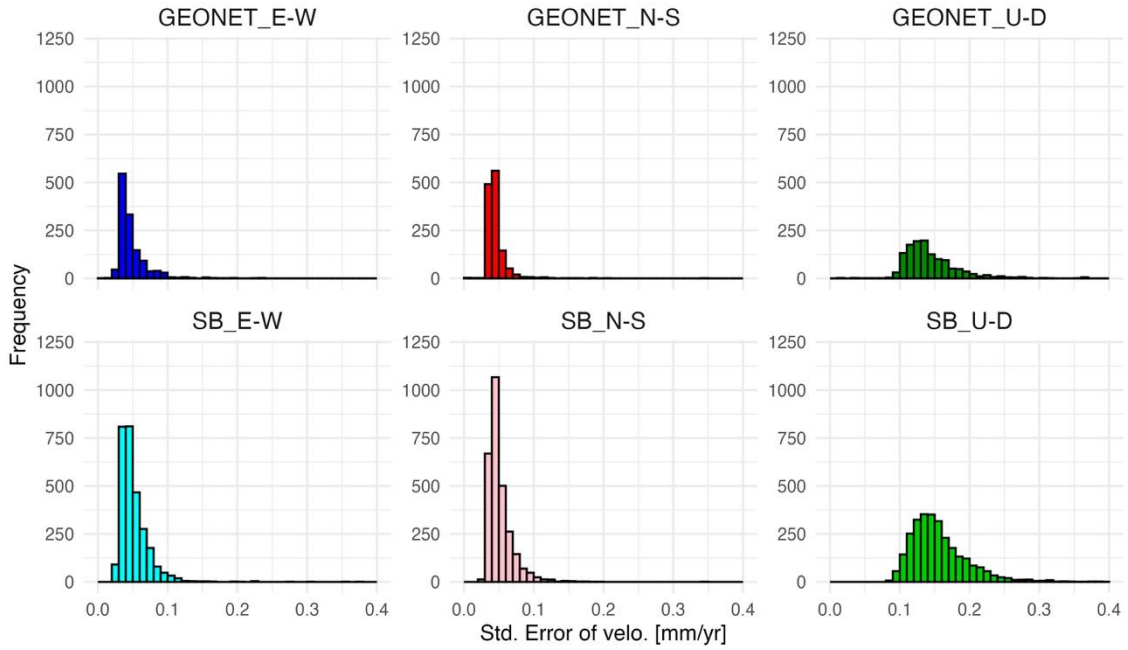


図 1 定常成分の推定誤差（1σ）のヒストグラム。上段は GEONET、下段はソフトバンク独自基準点網を示す。列は左から順に、東西成分、南北成分、上下成分に対応する。

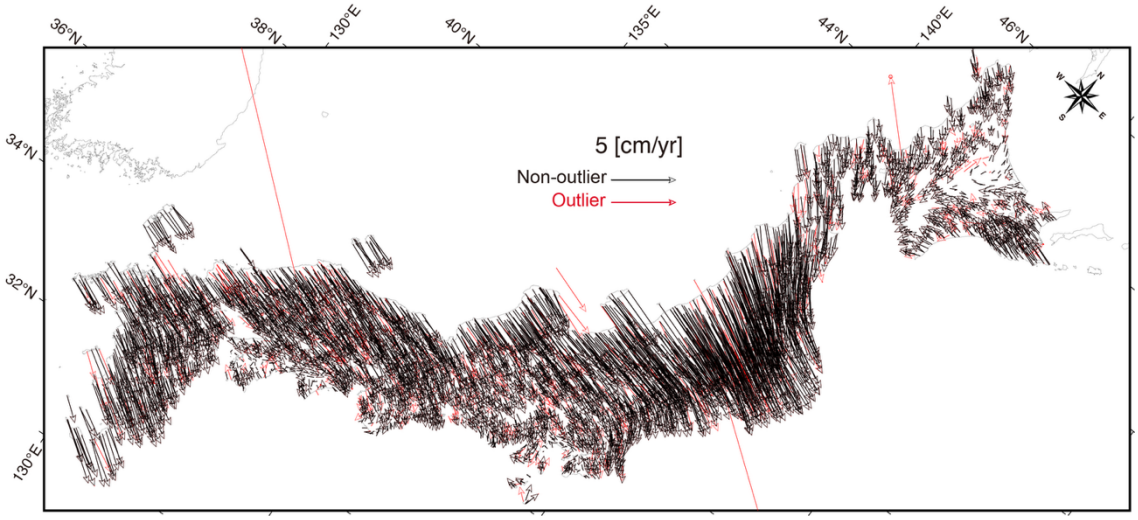


図 2 最終的に得られた 2019 年 11 月から 2023 年 12 月末までの平均変位速度場。赤色ベクトルが階層クラスタリングで除去された外れ値を示し、黒色ベクトルが残存した観測点を示す。

（c）結論並びに今後の課題

令和 7 年度は、GEONET とソフトバンク独自基準点網の日座標値を統一的に解析し、ソフトバンク独自基準点網についても GEONET と同程度の短期的・長期的精度で定常変動成分及び変位速度を推定できることを示した。特に、保守オフセットの半自動検出・除去スキームを構築したことにより、これまで手作業に大きく依存していたソフトバンク独自基準点網データの可用性が大幅に向上し、超高密度 GNSS 観測網を用いた日本列島の詳細な変位速度場推定の基盤が整備された。最終的に、GEONET 1,224 点、ソフトバンク独自基準点網 2,742 点の変位速度を得て、より高密度な地殻変動場の把握が可能であることを確認した。今後は、これら得られた地殻変動場から、地殻ひずみ速度場を抽出することが課題となる。具体的には、観測点の空間分布の不均一性を考慮できる手法や変位場の基底関数展開法等の複数のひずみ速度推定手法を比較検討し、適切なひずみ速度分布を得ることが結果の妥当性を議論する上で重要になる。

（d）引用文献

Matsumoto, K., T. Takanezawa, and M. Ooe,Ocean Tide Models Developed by Assimilating TOPEX/POSEIDON Altimeter Data into Hydrodynamical Model: A Global Model and a Regional Model Around Japan, *Journal of Oceanography*, 56, 567-581, 2000.

Ohta Y. and M. Ohtate, Quality assessment of daily GNSS coordinate time series from the SoftBank proprietary reference network, *Earth Planets Space* 78 (19), https://doi.org/10.1186/s40623-025-02354-y, 2026.

Ohta Y. and M. Ohzono, Potential for crustal deformation monitoring using a dense cell phone carrier global navigation satellite system network, *Earth, Planets Space*, 74:25, 1-9, https://10.1186/s40623-022-01585-7, 2022.