

精密単独測位の地殻変動解析への活用に関する研究

実施期間 令和 7 年度
地理地殻活動研究センター 宗包 浩志
地殻変動研究室

1. はじめに

精密単独測位 (Precise Point Positioning; PPP)は、国際 GNSS 事業(International GNSS Service; IGS)などの外部機関が提供する GNSS 衛星の精密軌道及び時刻情報を用い、各観測局で単独測位を行うものである (Zumberge et al., 1997). GEONET の定常解析(Takamatsu et al., 2023)のように基線網を構築して解析を行う相対測位法に比較すると、PPP には以下の利点がある.

- ・観測点数が増加しても計算リソースの増加が抑えられる
- ・観測点追加が容易である
- ・精度が基線長に依存せず、一定の水準を維持できる
- ・座標解が基線網の構成に影響されない
- ・キネマティック解析への拡張が容易である

従来は、整数不確定性の決定(Ambiguity Resolution; AR)が困難であったことから、PPP により得られる座標解は相対測位に比べて精度面でやや劣るとされてきた. しかし近年では、精密軌道・時刻情報に加えて衛星ごとに異なる位相端数バイアス(Fractional Cycle Bias; FCB)などの補正情報が提供されるようになり、AR を適用した PPP が可能となった. それにより、PPP による座標解の精度は相対測位と遜色ない水準に達している. 実際、国内外で、電子基準点も含めた多数の観測点について、PPP による座標解が整備され、地殻変動解析などに広く利用されている (Blewitt et al., 2018; Ohta and Ohtate, 2026).

このような背景を踏まえ、国土地理院においても PPP による座標解の整備を進めるとともに、公開されているものを含めて複数の座標解を比較・検証し、PPP による座標解の地殻変動解析への適用可能性を評価する必要がある.

2. 研究内容

電子基準点に加え、臨時観測点や外部機関が設置している観測点を対象として、PPP による座標解 (スタティック解及びキネマティック解) の整備を行う. また、整備された座標解を用いて様々な地殻変動現象を解析し、必要に応じて公開されている座標解や電子基準点の定常解析解と比較・評価を行うことで、地殻変動解析への適用可能性を評価する.

本年度は、PPP による座標解の整備を実施するとともに、得られたキネマティック解を用いて、2024 年に房総半島沖で発生したゆっくりすべりの解析を行った.

3. 得られた成果

3.1 精密単独測位法による座標解の整備

1994 年から現在までの電子基準点データ、外部機関 (気象庁、防災科研など) の GNSS データ、地理地殻活動研究センターが設置した臨時観測点の GNSS データについて、PPP 解析を行い、座標解を整備した. 解析エンジンには、武漢大学で開発された PRIDE-PPPAR(Geng et al., 2019)を用いた.

使用した暦・時計情報は以下のとおりである。

1) 1994～1999：IGS 3rd reprocess project の Graz 工科大学解(Strasser and Mayer-Gurr, 2021)

2) 2000～2019：IGS 3rd reprocess project の combination 解(Zajdel et al., 2023)

3) 2020～：武漢大学のマルチ GNSS 解(Geng and Mao, 2021)

使用した衛星システムは 1994～2010 年は GPS のみ, 2011～2015 年は GPS と GLONASS, 2016 年以降は GPS・GLONASS・Galileo である。解析リソースの制約により, スタティック解は全期間について整備した一方で, キネマティック解は 2020 年以降のみを対象とした。

例として, 図-1 につくば 1—八郷基線における電子基準点の定常解析解 (F5 解)との比較を示す。全期間を通じて, PPP による座標解は定常解析解と概ね同等のばらつきで推定できていることが確認できる。ただし, 2010 年以前にはいくつかの外れ値が認められる。この原因は, PPP の解析過程において, 残差が大きい衛星を除去する処理が適切に収束していないことによるものであり, 今後解析条件のチューニングが必要である。ただし, 外れ値の発生は散発的であり, 地殻変動解析全体への影響は限定的であると考えられる。

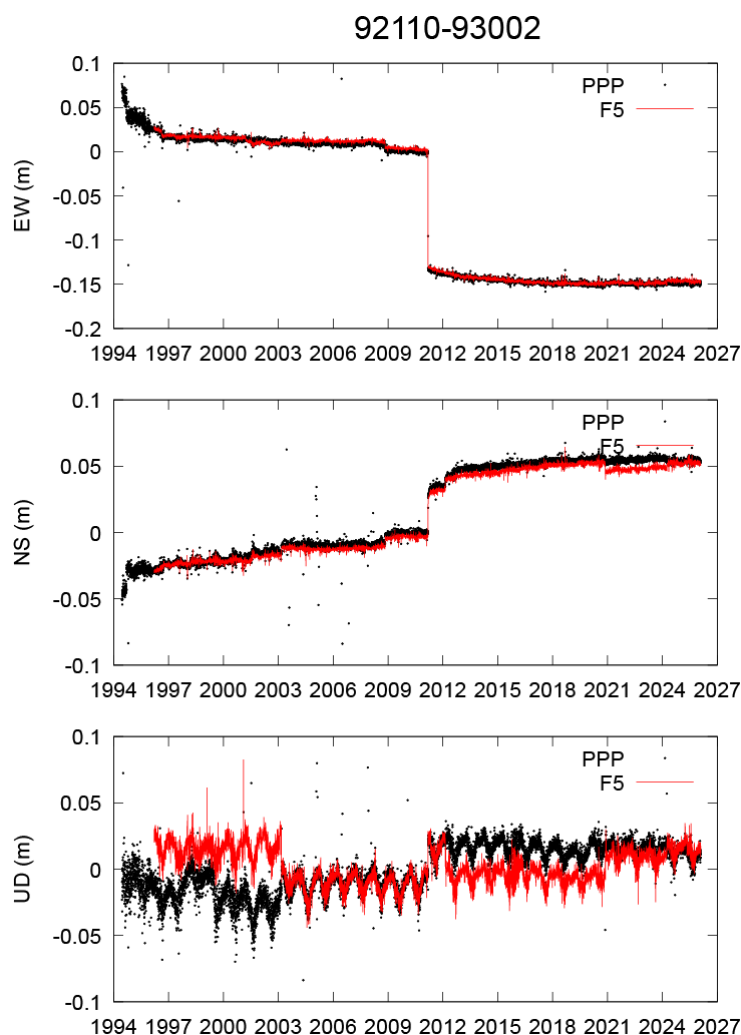


図-1 つくば 1—八郷基線における, PPP 解析解と電子基準点定常解析解 (F5 解) の比較。

3.2 2024 年房総半島沖ゆっくりすべりの解析

房総半島沖では、国土地理院が GNSS 連続観測を開始して以降、1996 年 5 月、2002 年 10 月、2007 年 8 月、2011 年 10 月、2014 年 1 月、2018 年 6 月、2024 年 2 月～3 月の計 7 回、同様の場所で約 10 日程度続く非定常的な地殻変動が観測されてきた（国土地理院，2024a）。本研究では、PPP によるキネマティック解析解を用いて、2024 年のゆっくりすべりイベントについて解析を行い、すべり分布を推定した。

解析には、関東地方に設置された電子基準点計 85 点に加え、地理地殻活動研究センター宇宙測地研究室が房総半島に設置した臨時観測点 30 点を用いた。解析の効率化及びノイズ低減のため、各観測点のキネマティック GNSS 時系列（30 秒間隔）を 300 秒間隔にリサンプリングして使用した。

すべり分布推定の対象であるフィリピン海プレートのプレート面は、Hirose et al. (2008) の等深線に基づき、一辺の長さが約 10 km の小矩形領域に分割した。すべりの時間発展の推定には、アンサンブルカルマンフィルタを用いた時間依存すべり推定法（宗包，2023）を用いた。

図-2 左に、2024 年 2 月 21 日から 2024 年 3 月 16 日までの推定すべり分布を示す。房総半島沖（赤枠）に顕著なすべりが認められる。図-2 右に、当該期間に観測された地殻変動ベクトルと、推定されたすべりから計算された地殻変動ベクトルを示す。両者はよく整合し、推定の妥当性が確認できる。図-2 下に、図-2 左の赤枠領域における地震モーメントの時間変化を示す。地震モーメントは 2 月 25 日頃から増加を開始し、3 月 4 日頃にはほぼ収束している。これらの結果は、国土地理院（2024b）による推定結果と整合的である。

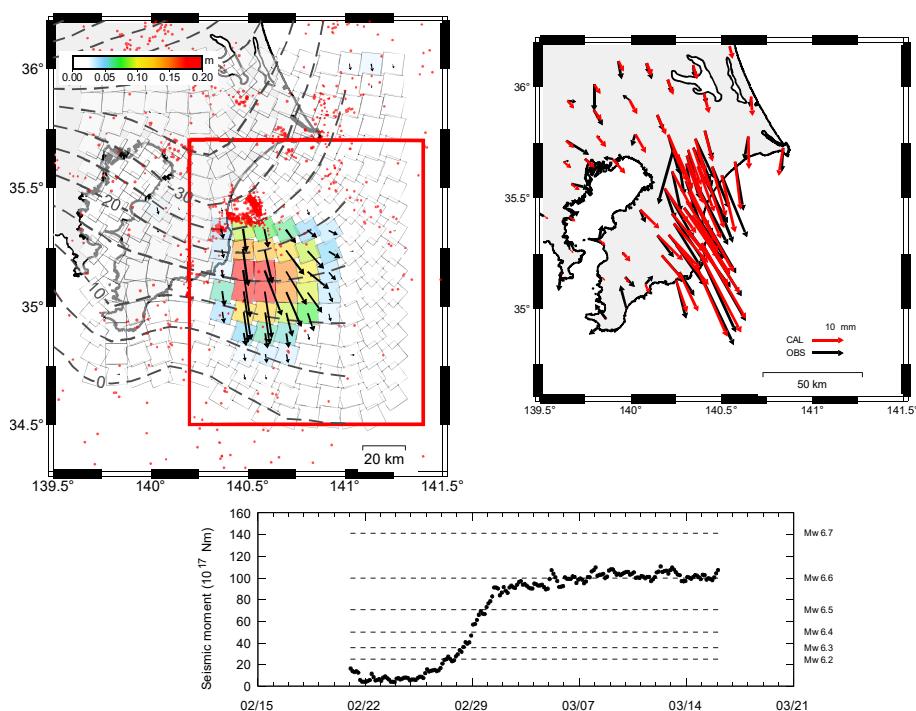


図-2 2024 年房総半島沖ゆっくりすべりの解析結果。

（左）すべりの推定結果。赤点は当該期間で観測された地震（気象庁一元化震源）。

赤枠は地震モーメントの計算範囲

（右）観測された地殻変動ベクトル（黒）及び推定されたすべりから計算された地殻変動ベクトル（赤）

（下）推定された地震モーメント

4. 結論

PPPにより、1994年から現在までの電子基準点の座標時系列を整備した。整備された座標時系列を用い、2024年房総半島沖ゆっくりすべりの解析を行ったところ、既報の解析結果と整合的な結果を得た。

参考文献

- Blewitt, G., Hammond, W.C., and Kreemer, C. (2018): Harnessing the GPS data explosion for interdisciplinary science, *EOS*, 99. doi: 10.1029/2018EO104623
- Geng, J., Chen, X., Pan, Y., Mao, S., Li, C., Zhou, J., and Zhang, K. (2019): PRIDE PPP-AR: an open-source software for GPS PPP ambiguity resolution, *GPS Solutions*, 23, 1–10. doi: 10.1007/s10291-019-0888-1
- Geng, J., and Mao, S. (2021): Massive GNSS network analysis without baselines: undifferenced ambiguity resolution, *J. Geophys. Res.*, 126, e2020JB021558. doi: 10.1029/2020JB021558
- Hirose, F., Nakajima J., and Hasegawa A. (2008): Three-dimensional seismic velocity structure and configuration of the Philippine Sea slab in southwestern Japan estimated by double-difference tomography, *J. Geophys. Res.*, 113, B09315. doi:10.1029/2007JB005274
- 国土地理院 (2024a) : 令和 6 年 (2024 年) 2 月 房総半島の非定常地殻変動,
https://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi_bousou20240301.html (accessed 6 Apr. 2026).
- 国土地理院 (2024b) : 令和 6 年 (2024 年) 2 月 房総半島の非定常地殻変動 (第 2 報),
https://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi_bousou_sse20180615_00002.html (accessed 6 Apr. 2026).
- 宗包浩志 (2023) : アンサンブルカルマンフィルタの地殻変動研究への応用に関する研究 (第 3 年次), 令和 5 年度調査研究年報, 国土地理院, 98–101.
- Ohta, Y., and Ohtate, M. (2026): Quality assessment of daily GNSS coordinate time series from the SoftBank proprietary reference network, *Earth Planet. Space*, 78, 19. doi: 10.1186/s40623-025-02354-y
- Strasser, S., and Mayer-Gurr, T. (2021): IGS repro3 products by Graz University of Technology (TUG), <https://tugraz.elsevierpure.com/en/publications/igs-repro3-products-by-graz-university-of-technology-tug> (accessed 6 Feb. 2026).
- Takamatsu, N., Muramatsu, H., Abe, S., Hatanaka, Y., Furuya, T., Kakiage, Y., Ohashi, K., Kato, C., Ohno, K., and Kawamoto, S. (2023): New GEONET analysis strategy at GSI: daily coordinates of over 1300 GNSS CORS in Japan throughout the last quarter century of GPS data from large networks, *Earth Planet. Space*, 75, 49. doi: 10.1186/s40623-023-01787-7
- Zajdel, R., Masoumi, S., Sosnica, K., Filip Galdyn, F., Strugarek, D., and Bury, G. (2023): Combination and SLR validation of IGS repro3 orbits for ITRF 2020, *J. Geod.*, 97, 87. doi: 10.1007/s00190-023-01777-3
- Zumberge, J.F., Heflin, M.B., Jefferson, D.C., Watkins, M.M., and Webb, F.H. (1997): Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks, *J. Geophys. Res.*, 102, 5005–5017. doi: 10.1029/96JB03860