

GEONET の次世代化（第 7 年次）

実施期間	令和元年度～令和 7 年度			
測地観測センター電子基準点課	大野	圭太郎	宮崎	隆幸
	吉永	光樹	橋本	繭未
	山本	理久	阿部	聡
	横川	正憲		
地殻監視課	佐藤	明日花	宮嶋	愛菜
	塩谷	俊治	宮本	純一

1. はじめに

測地観測センターでは、GNSS 衛星からのデータを 24 時間、1 秒間隔で受信する電子基準点を全国に約 1,300 か所設置している。電子基準点で観測したデータは、国土地理院内にある GEONET 中央局に集められ、ホームページから提供される。一連のシステムは GNSS 連続観測システム（GEONET）と呼ばれ、1996 年の運用開始から連続観測を実施し、測量、地殻変動の監視及び各種位置情報サービス等において広く活用されている。一方、近年、GPS の次世代衛星の運用が拡大しているほか、準天頂衛星システム「みちびき」（QZSS）は 7 機体制へ向けた打上げが進んでおり、測位をめぐる環境は急速に変化している。また、GEONET は運用コストが大きく、持続的に運用していくために維持管理の効率化を図っていく必要もある。これらの課題を解決し、高精度測位環境の構築に寄与するため、GEONET の次世代化を進めている。令和 7 年度は IGS 解析センターの運営、及び電子基準点の日々の座標値を最新の国際地球基準座標系に対応するための研究開発を行った。

2. IGS 解析センターの運営

GNSS 衛星の正確な軌道情報である精密暦は、高精度な衛星測位の基盤であり、「電子基準点日々の座標値（F5 解）」（Takamatsu et al., 2023）の算出や、センチメートル級測位補強サービス（CLAS）に代表されるような高精度測位サービスの基盤として利用されている。この GNSS の精密暦に関して中心的な役割を果たしているのが国際 GNSS 事業（IGS）であり、IGS から認定された解析センターが算出する精密暦を IGS が結合することで、世界最高精度のプロダクトを算出している。国土地理院は宇宙航空研究開発機構（JAXA）と共同で、国産の GNSS 軌道計算ソフトウェア「MADOCA」（Kawate et al., 2023）を用いた国内独自の精密暦算出を実施している。IGS による精密暦を含む各種プロダクトの評価を経て、2023 年 12 月には日本初の IGS 解析センター「JGX」として認定され、衛星測位における国土地理院の国際的な役割は重みを増している。

IGS 解析センター JGX は、国土地理院が精密暦を算出し、JAXA がその運用結果に基づき MADOCA を改良する協力体制により、精密暦の安定的な算出を実現している。GPS、GLONASS 及び Galileo を対象とした最終、速報、超速報の各プロダクトを運用（OPS）プロダクトとして算出している。最終プロダクトと速報プロダクトについては 2023 年 7 月以降、超速報プロダクトについては 2024 年 11 月以降、IGS に定常的に提供している（Ohno et al., 2024; 吉永ほか, 2025）。また、IGS 解析センターとしての品質を確保するべく、内部評価として、プロダクトの品質監視を行っている。一例として、精密暦の日ごとのバラツキの指標である 3DRMS を示す（図-1）。期間を通して、GPS、GLONASS、Galileo いずれについても、他解析センターと遜色ない品質が維持されていることが分かる。

JGX プロダクトでは、衛星軌道、時計誤差、地球回転パラメータ及び局位置のプロダクトを提供している。このうち、時計誤差は観測データの欠測などにより実際の値と比較して大きく推定値が跳ぶことがあり、推定の安定性が低いため、IGS の結合解に含まれていない（図-2）。時計誤差の跳びを防ぐ方法として、MADOCA における観測データの品質チェックを行う処理の改修に取り組んでおり、時計誤差の安定性の向上を目指す。

現行の JGX プロダクトは、IGS の基準座標系に対する拘束条件として、回転成分に拘束をかける No-Net-Rotation (NNR) を適用している。この条件に並進成分の拘束である No-Net-Translation (NNT) を加え、NNR+NNT とすることで、JGX プロダクトの基準座標系の原点と座標軸の方向を、IGS の基準座標系に整合させることができる。現在、NNR+NNT を適用したプロダクトを出力する機能の開発に取り組んでおり、この機能が実装されれば、JGX プロダクトを使用して測位解析を行う際の座標値のバラツキが低減されることが期待される。

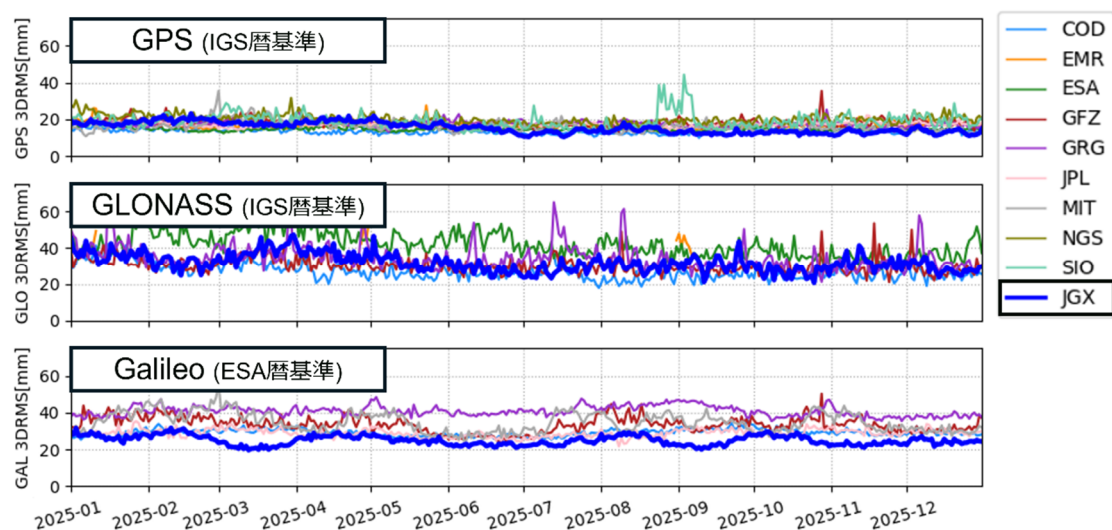


図-1 精密暦の品質評価

2025 年 1 月から 12 月までを対象期間として、基準からの 3DRMS を計算。各解析センターについて 3DRMS を計算し、基準からの乖離度を指標として品質評価。国土地理院・JAXA によるプロダクトは青線の「JGX」である。（上：IGS 最終暦基準の GPS の精密暦評価，中：IGS 最終暦基準の GLONASS の精密暦評価，下：ESA 最終暦基準の Galileo の精密暦評価）

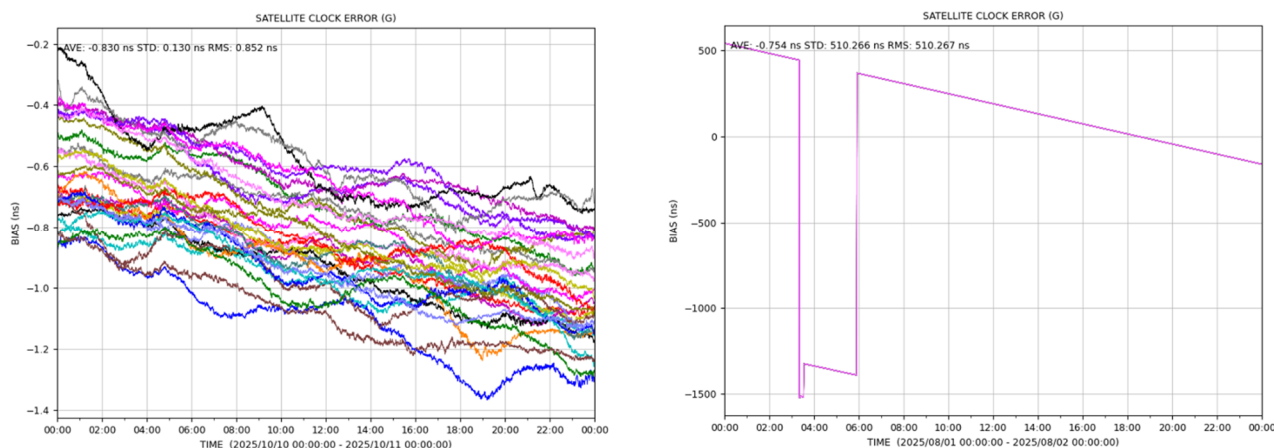


図-2 衛星時計誤差の IGS 速報プロダクトとの差分評価（左：正常時，右：時計誤差が跳ぶとき）

3. 最新の国際地球基準座標系に対応するための研究開発

3.1 電子基準点日々の座標値の更新

全ての電子基準点の観測データは日々解析され、毎日の各点の位置を「電子基準点の日々の座標値」としてホームページで公開している。日々の座標値は、地殻変動監視やセミ・ダイナミック補正に用いるパラメータの作成に活用されているほか、みちびきから配信される補強サービスである CLAS の基準座標系となっている。従来の解析ストラテジは、公開当時の最新の国際地球基準座標系 (ITRF2014) に準拠する第 5 版であるが、2022 年 4 月には最新の ITRF2020 がリリースされた。これを受けて、令和 8 年 4 月 1 日から新しい解析ストラテジに基づく電子基準点日々の座標値の提供を開始するため、この座標値を求める解析ストラテジの改良を実施した。具体には、解析に用いる初期座標等を ITRF2020 に準拠したものに変更したほか、アンテナ位相特性モデルも ITRF2020 に準拠するものを独自に算出して使用しており、それ以外の解析の設定等は第 5 版のままとしている。新たな解析ストラテジは「第 5.1 版」とし、解析に使用する IGS プロダクトの種類に応じ、Q5.1 解、R5.1 解、F5.1 解の 3 種類を計算する。このうち、F5.1 解は 2025 年 3 月 28 日から試験公開を開始し、10 月には 1996 年以降の過去の解析結果を全て試験公開した上、最新の情報についても、現行の F5 解と同様に週に 1 回のペースで試験公開を開始している。加えて、2025 年 10 月には R5.1 解の試験公開も開始した。

精度評価として、①IGS 解（IGS が公開している、観測局位置情報）に対する F5.1 解及び F5 解の差（図-3）、②F5 解及び F5.1 解の、電子基準点「つくば 1」を固定点とした基線ベクトルのバラツキ（図-4）を比較した。

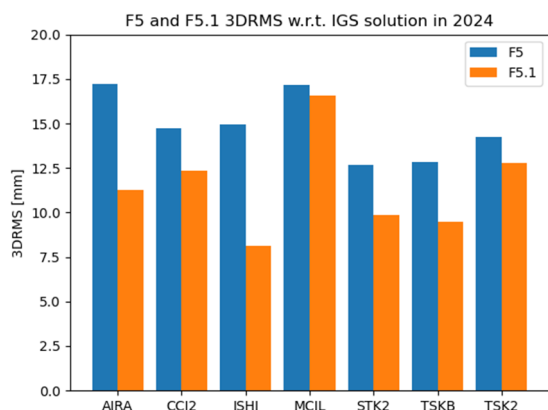


図-3 2024 年の、国内の IGS 局 7 点分の F5 解及び F5.1 解と IGS 日座標値との差の 3DRMS

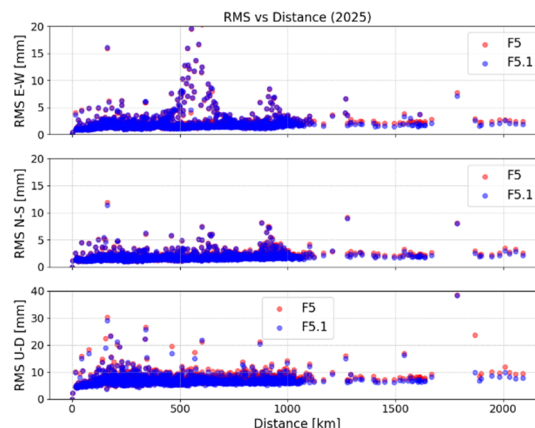


図-4 2025 年の、電子基準点「つくば 1」からの基線ベクトルのバラツキ

図-3 は、F5 解及び F5.1 解と IGS 解の差を局所座標系で計算し、三成分それぞれで得られた RMS から 3DRMS を計算した結果を示している。いずれの点においても F5 解と比べて F5.1 解の 3DRMS が小さい値となっており、これは F5.1 解の方が IGS 解と整合していることを示している。図-4 は、横軸に電子基準点「つくば 1」からの距離をとり、各電子基準点と「つくば 1」の差（基線ベクトル）の時系列のバラツキを局所座標系で計算したものである。なお、東西成分において「つくば 1」からの距離が 500～700 km の範囲に見られる分布は、2025 年 12 月 8 日に発生した青森県東方沖を震源とする地震による地震時変動の影響である。点によっては F5.1 解のバラツキが大きくなっている点も見られるが、総合的には F5.1 解のバラツキの改善が示されており、特に上下成分においては、2,000 km 離れた観測点では値の改善が顕著である。

以上より F5.1 解は、準拠座標系の更新により、世界基準の座標系である ITRF との整合性が担保されることとなったほか、F5 解と比較すると若干の精度改善も見られている。今後、電子基準点の日々の座標値は F5.1 解が日本の今期座標値のスタンダードとなるため、引き続き精度の維持に努めていく。

3.2 オフセット補正の更新

定常解析結果には、地震等の地殻変動による時系列変化のほかに、アンテナ交換等の電子基準点保守作業により生じる人為的な座標値の跳び（本報告では座標値の跳びを「オフセット」と呼ぶ。）が含まれている。地殻変動を的確に把握するためには、人為的要因により発生するオフセットは障害となるため、適切に推定し補正する必要がある。

令和 8 年 4 月 1 日からの新しい解析ストラテジに基づく電子基準点日々の座標値の提供に向けて、オフセットを全て再計算した。さらに、従来の F5 解を用いた地殻変動監視からオフセット補正によりどの程度差が出るかを調査するため、それぞれのオフセット補正を適用させた新解析（F5.1 解）と旧解析（F5 解）で「三隅」から全ての観測点への 1 年間の基線変化の差分を取り、ヒストグラムを作成した。代表して最近 1 年間である 2025 年 1 月から 2026 年 1 月までの解析解を用いたヒストグラム（図-5）と、アンテナ交換作業を年に 1,000 回以上実施している 2012 年 1 年間の解析解を用いたヒストグラム（図-6）を見たところ、1 年間で見たときにオフセット補正済みの F5 解と F5.1 解の全基線の差は水平 2 mm 以内、比高を加えてもおおよそ 7 mm 以内に収まる結果となった。それぞれのオフセ

ット補正を適用させずに描いたヒストグラムと比較すると、特に保守件数の多かった 2012 年ではオフセット補正がよく求まっていることがわかる。これら結果は F3 解から F5 解への更新時と同程度の差であった。以上のことから F5 解への補正と比べても F5.1 解オフセット補正ファイルは同程度の精度で求まっており、地殻変動監視にも問題なく使用できることが確認された。

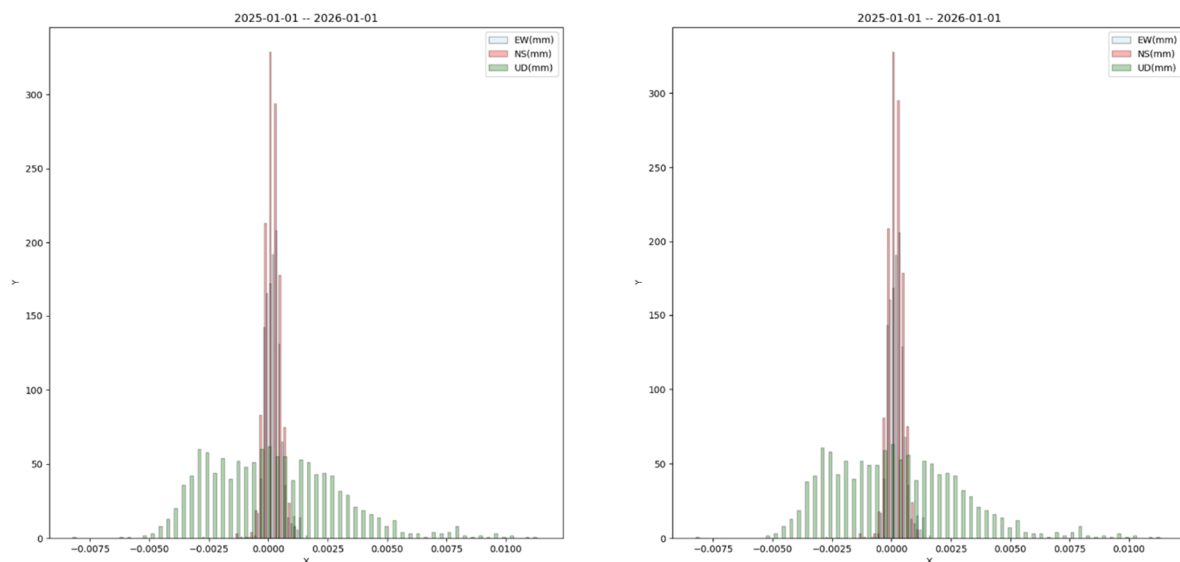


図-5 電子基準点「三隅」から全基線での 2025 年 1 年間の F5 解と F5.1 解の差分

(左：それぞれの解へのオフセット補正済み，右：オフセット補正なし)

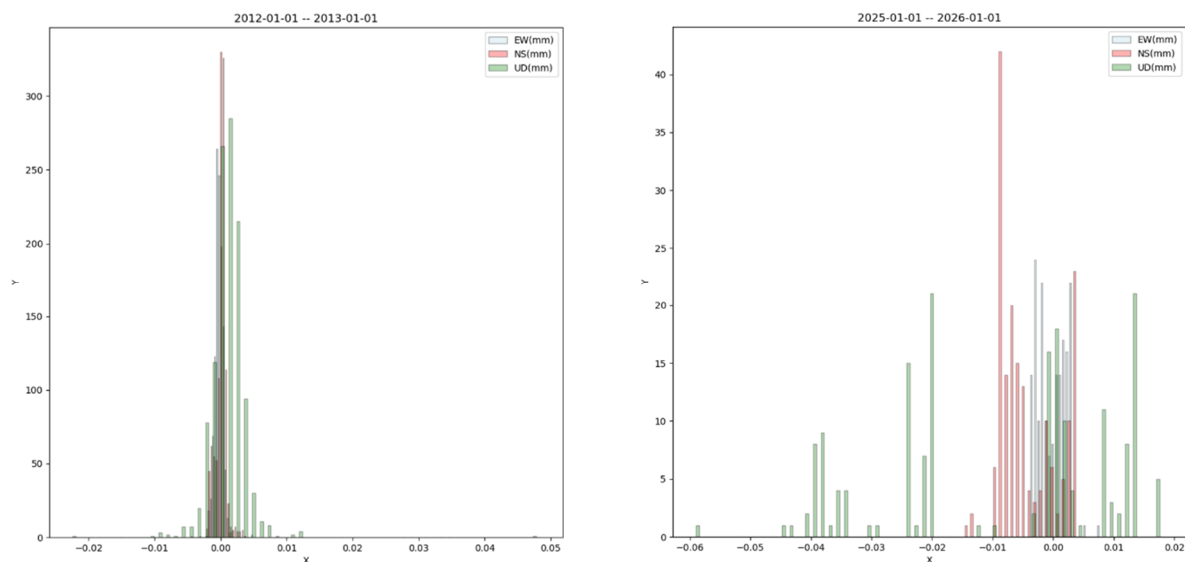


図-6 電子基準点「三隅」から全基線での 2012 年 1 年間の F5 解と F5.1 解の差分

(左：それぞれの解へのオフセット補正済み，右：オフセット補正なし)

4. 結論

令和 7 年度は、IGS 解析センターの運営、及び最新の国際地球基準座標系に対応するための研究開発を行った。今後、GEONET を持続的に運用しつつ高精度測位を発展させるために、GEONET に対するニーズを踏まえて課題を整理しつつ、引き続き調査・研究を進める。

参考文献

- Kawate, K., Igarashi, Y., Yamada H., Akiyama, K., Okeya, M., Takiguchi, H., Murata, M., Sasaki, T., Matsushita, S., Miyoshi, S., Miyoshi, M., and Kogure, S. (2023): MADOCA: Japanese precise orbit and clock determination tool for GNSS. doi:10.1016/j.asr.2023.01.060
- Ohno, K., Takamatsu, N., Akiyama, K., and Kawate, K. (2024): IGS Analysis Center in Japan - JGX Product Operations and Prospects -, IGS Symposium & Workshop 2024.
- 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 1,300 GNSS CORS in Japan throughout the last quarter century, *Earth, Planets and Space*, 75 (49).
doi: 10.1186/s40623-023-01787-7
- 吉永光樹, 宮崎隆幸, 阿部聡, 秋山恭平, 河手香織 (2025)): IGS 解析センター「JGX」によるマルチ GNSS 軌道プロダクトの生成運用, 日本測地学会第 144 回講演会.