

GNSS リアルタイム解析による地殻変動の即時把握（第2年次）

実施期間	令和元年度～令和2年度
測地観測センター電子基準点課	阿部 聡 大野 圭太郎 高松 直史 村松 弘規
測地観測センター	古屋 智秋

1. はじめに

測地観測センターでは、2011年から東北大学大学院理学研究科との共同研究の下、電子基準点リアルタイム解析システム（以下「REGARD」という。）の開発を行い、2016年4月に運用を開始した。REGARDは、電子基準点のリアルタイムデータを用いた相対測位（RTK 測位）により各観測点の1秒毎の変位を常時計算し、おおよそM7を超える規模の地震が発生した際に、各電子基準点の変位量から断層モデルを推定し、地震規模を推定するシステムである。REGARDでは固定点1点に対し、日本全国の電子基準点との相対測位を実施している。しかし、固定点の観測が停止するとその影響は全点に波及するほか、固定点近傍で発生した地震に対しては、固定点座標が変位するため、相対的に日本全国で地殻変動が発生したように見えてしまう課題もある。これらの課題を克服するため、PPP（精密単独測位）の導入に向けた検証を開始した。PPPは単独で測位を行うことができるため、先に記述した相対測位のような課題は持たないが、精度の高いPPPにはGNSS衛星の精密な軌道情報（以下「軌道暦」という。）や衛星時計誤差（以下「時計誤差」という。）等の情報が必要となる。

今回、日本の衛星測位システムである準天頂衛星システム「みちびき」（以下「QZSS」という。）を含めてリアルタイムでの軌道暦及び時計誤差を推定し、それらを用いてREGARDでリアルタイムPPPを実施することを最終目的とし、その初段として軌道暦等を後処理にて推定したGPS、GLONASS、QZSSの軌道暦及び時計誤差を評価した。

2. 研究内容

地球を周回している衛星の軌道暦及び時計誤差を推定するためには、全球的なGNSS観測点のデータが必要であるため、30秒サンプリングの観測データをNASAが運用しているIGSのデータセンター（CDDIS）から取得した。使用する観測点の選定にはCDDIS上にある2019年の全ての観測ファイルを対象とし、①欠測率が低いこと、②観測品質が良いこと、③少なくともGPS+GLONASSを観測していることを条件とし、さらに、観測点配置を考慮するために地球をほぼ等分割した42エリア毎に観測点のランク付けを行って決定した。結果として、観測ファイルが存在した全634観測点の中から164点を選定した。このようにして選定した観測点のデータを用いて、2018年から2019年までの2年分の軌道暦（5分サンプリング）及び時計誤差（30秒サンプリング）の推定を実施した。解析ソフトウェアにはマルチGNSSに対応した軌道暦及び時計誤差の推定が可能なMADCOCA（Multi-GNSS Advanced Demonstration tool for Orbit and Clock Analysis）を用いた。

3. 得られた成果

3.1 推定した軌道暦及び時計誤差の評価

推定した軌道暦及び時計誤差を評価するために、IGS最終プロダクト（軌道暦はGPS及びGLONASS、時計誤差はGPSのみ）と比較した。軌道暦の比較については、2019年の1年間においてエポック毎に

各衛星の軌道暦の差を計算し、その差の平均値と標準偏差を計算した。さらに、複数の IGS 解析センター（AC）及び JAXA が推定した軌道暦に対しても同様の計算を行った（図-1）。なお、この統計値の計算においては 2σ 以上の異常値は除外した。この結果、GPS の軌道暦については IGS 解析センターと同等の標準偏差が得られており、年間を通じて IGS 解析センターと同じレベルの精度で推定が行われていることを確認できた。一方で GLONASS の軌道暦については、特に標準偏差が IGS 解析センターよりも大きな値を示した。

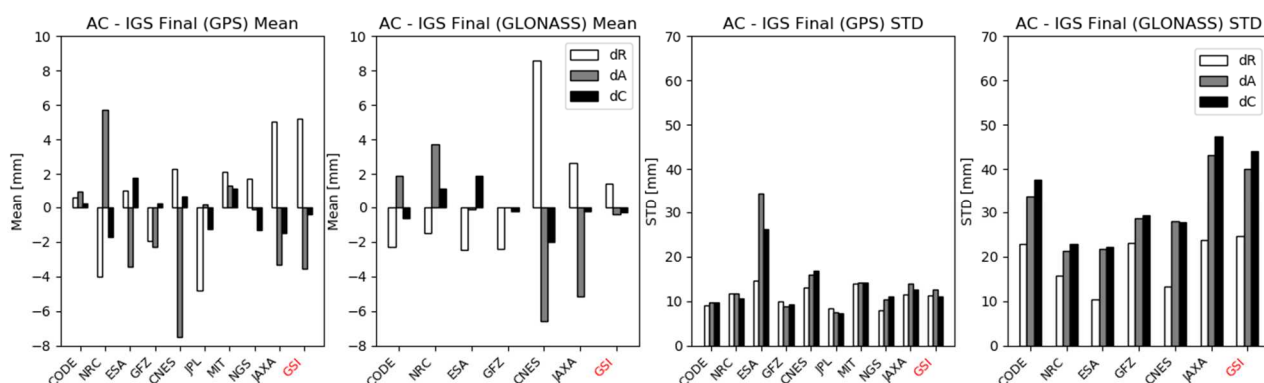


図-1 2019 年の GPS 及び GLONASS 衛星における IGS 最終暦との差の平均値（左）と標準偏差（右）。

国土地理院推定のもの（GSI）に加え、JAXA 及び IGS の各解析センター（CODE, NRC, ESA, GFZ, CNES, JPL, MIT, NDS）が作成したものの評価結果も並記。軌道半径（Radial）方向、軌道進行（Along）方向、軌道直交（Cross）方向の3成分それぞれの差（dR, dA, dC）に対して、平均値及び標準偏差を計算した。

また、時計誤差についても暦と同様にエポック毎の差の平均値と標準偏差を年毎に計算した（図-2）。なお、時計誤差については、時計の参照点の設定によってはプロダクト間に系統差が生じ、また、参照点のデータが欠測している場合に大きな差が発生してしまうため、閾値を設け、外れ値を除外して標準偏差を計算した。推定結果から、標準偏差が IGS 解析センターと同程度であることを確認した。

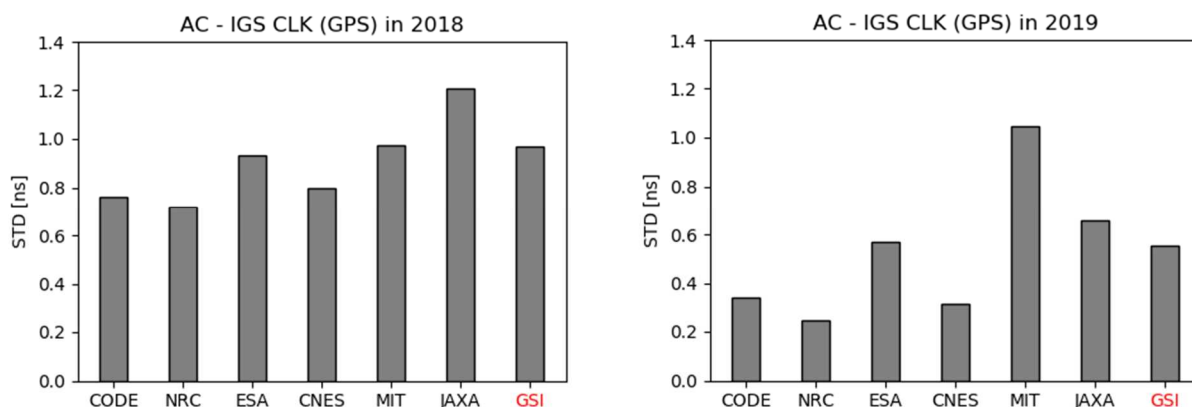


図-2 2018 年（左）と 2019 年（右）における IGS が推定した時計誤差の差の標準偏差。

国土地理院推定のもの（GSI）に加え、JAXA 及び IGS の各解析センター（CODE, NRC, ESA, CNES, MIT）が作成したものの評価結果も並記。

3.2. GPS+GLONASS+QZSS 暦を使用した PPP 解と F5 解との比較

QZSS の軌道暦及び時計誤差（以下「QZSS 暦」という。）は、IGS 最終プロダクトに含まれないため、GPS や GLONASS と同様の評価が行えない。そこで、QZSS 暦を用いて PPP を実施し、他の手法により得られた測位解（GEONET の解析ストラテジ第 5 版のうち IGS 最終暦を用いて解析した結果（以下「F5 解」という。））と比較することとした。

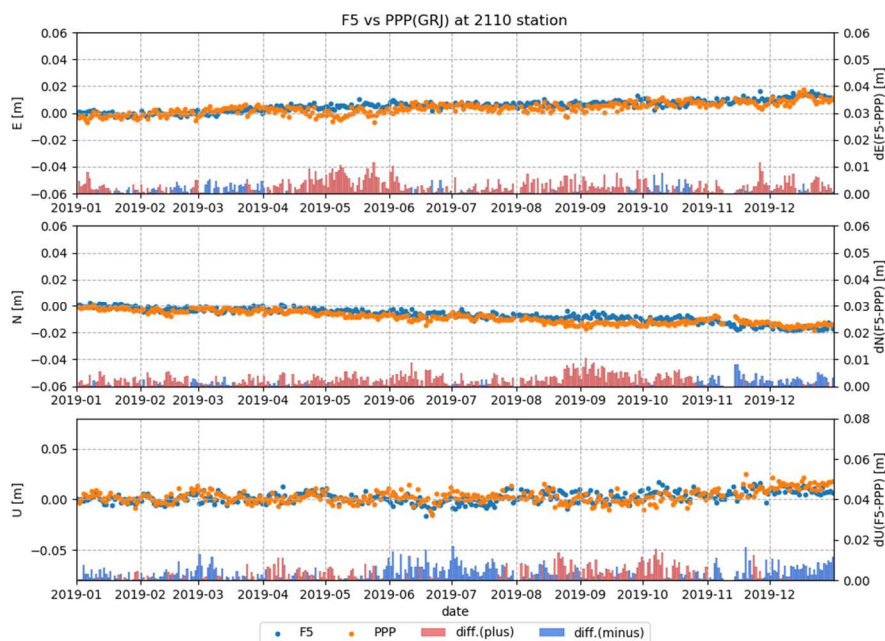


図-3 電子基準点「つくば1」の2019年1年分のF5解とPPP解の比較。上から東西、南北、上下成分。F5解とPPP解の差を赤色（差が正）及び青色（差が負）の棒グラフで示している。

図-3は、電子基準点「つくば1」におけるPPP解及びF5解で、それぞれ2019年1月1日のF5解の座標値を0として、変動分を描画したものである。また、F5解とPPP解の差を第2軸として棒グラフで描画している。図-3によると、年間を通じてF5解とPPP解の差には正又は負方向への偏りは見られず、差も小さいため、両解析は同程度の精度で座標値を推定していることがわかる。

4. 結論

REGARDにQZSSを含めたリアルタイムPPPを導入する初段として、MADOCAを用いて後処理の暦推定を実施し、推定した軌道暦及び時計誤差を評価した。GPSの軌道暦及び衛星時計並びにGLONASSの軌道暦は、IGSに登録された複数のIGS解析センターと同等の精度で推定されていることが示された。また、QZSSを含めたPPPを実施し、推定した座標値をF5解と比較し、同程度の精度であることを確認した。

今後、MADOCAを用いてリアルタイムで軌道暦等の生成を行い、QZSSを含めたリアルタイムPPPをREGARDに実装していく予定である。