

解析手法の異なる GNSS 測位解の整合性に関する研究（第 2 年次）

実施期間

令和元年度～令和 4 年度

地理地殻活動研究センター

宇宙測地研究室 中川 弘之

1. はじめに

現在、国土地理院では、いわゆる GEONET 定常解析システムのほか、業務及び研究において REGARD (RTK, PPP) (Kawamoto, 2018), 宗包 (2017) による後処理 PPP 解析システム及び RTK-PPP 解析システム等、複数の GEONET データの解析システムが運用されている。これらのシステムはそれぞれ異なる解析戦略に基づいて電子基準点の座標解を算出している。

これらの座標解はそれぞれの精度の範囲内で整合すべきものであるが、その整合性についてはこれまで調査されてこなかった。そこで本研究は、将来の新たな測位基盤の構築を念頭に現在、国土地理院が運用している異なるシステムの座標解間や、これらと海外の機関が提供する PPP サービスによる解との整合性を調査することを目的とする。本研究によりこれらの解同士の整合性が保証されれば、これらの解を組み合わせて測地基準系の構築や地殻変動の算出を行うことの妥当性が保証される。逆にある解にだけ有意な系統差が生じていれば、その解の解析に何らかの問題があることが示唆され、それを調査し修正することによって解のさらなる品質向上に寄与することとなる。

2. 研究内容

宇宙測地研究室では本年度より、任意の時点の国家座標と地殻変動量を迅速に外部へ提供するシステムの開発を目標とした特別研究「災害に強い位置情報の基盤（国家座標）構築のための宇宙測地技術の高度化に関する研究」（2020～2024 年度）を開始した（宮原, 2021）。この研究のサブテーマの一つとして、マルチ GNSS-PPP による電子基準点の迅速な位置座標算出技術がある。このサブテーマでは、本年度は現在測地観測センターにおいて試験的に作成を行っている GPS, GLONASS および準天頂衛星システム（以下「QZSS」という。）の後処理暦（以下「マルチ GNSS 後処理暦」という。）の利用可能性を調査した。

そのために、まず、GPS, GLONASS について、2019 年 1 月 1 日から 2020 年 12 月 31 日の 2 年間、IGS 最終暦を基準としたマルチ GNSS 後処理暦のずれの RMS を日々計算した。その結果、GPS については、この期間の 3 次元 RMS の平均値は約 2.8cm で、IGS の各解析センターが公表している最終暦と同程度となった。一方、GLONASS については約 8.4cm で、IGS の各解析センターの 4～6cm 程度よりも若干大きめであったが、JAXA が公表している暦とは同程度であった。そこで GLONASS について、IGS 最終暦と各期間の軌道のずれの日平均値の時系列を調査すると、マルチ GNSS 後処理暦と JAXA の暦はほとんど一致して推移していること、軌道面に垂直方向成分に振幅 4cm ほどの数箇月周期の変動が見られることが明らかになった。これがマルチ GNSS 後処理暦と JAXA の暦の RMS が大きめになった原因と考えられる。マルチ GNSS 後処理暦と JAXA の暦は解析ソフトウェアに MADOCA を用いていることから、MADOCA と IGS の各解析センターが使用しているソフトウェアの GLONASS の取り扱いにおける差異が、この変動の原因と思われる。今後、調査を進める予定である。

次に国内の IGS 点 6 点について、マルチ GNSS 後処理暦を使用した PPP-AR 解を IGS daily solution と比較することにより、ITRF2014 との整合性評価を行った。その結果、2 年間の試験期間の平均値で

両者は東西・南北成分は±5mm, 上下成分は±1cmの範囲で整合しており, 差のばらつき(標準偏差が東西・南北数 mm~30mm程度, 上下成分10mm~30mm程度)を考慮すると, マルチ GNSS 後処理暦をもちいることで ITRF2014 にセンチメートルオーダーで整合した PPP-AR 解が求められると認められた. 今後は測地観測センターで稼働している後処理暦生成システムを地理地殻活動研究センターに移植し, その暦を用いてマルチ GNSS-PPP による電子基準点の迅速な位置座標を算出するとしたところである.

表-1 本研究の PPP-AR 解と F5 解との比較

	PPP-AR 解	F5 解
解析手法	PPP-AR	相対測位
	キネマティック	スタティック
ソフトウェア	RTKLIB	BERNESE
暦(衛星軌道情報・時刻情報)	MADCOCAによる 独自推定	IGS 最終暦
使用した衛星系	GPS, GLONASS, QZSS	GPS
固定点	なし	電子基準点 「つくば1」
基準系	ITRF2014	

そこで本研究においては本年度, 国内の電子基準点について, マルチ GNSS 後処理暦により求めた PPP-AR 解と, 2021年2月25日現在試験公開中の次世代の GEONET 定常解析解(F5 解)とを比較し, 両者の整合性を評価した(F5 解については村松ほか(2021)を参照.). PPP-AR 解析は GPS, GLONASS 及び QZSS を使用したマルチ GNSS 解析とし, 解析ソフトウェアは RTKLIB を使用した. 表-1 に, 本研究の PPP-AR 解と F5 解との比較を示す. 解析期間は 2019年1月1日から 2020年12月31日の2年間とし, PPP-AR で 30秒間隔の座標時系列を算出する. 次に座標時系列の日平均値の F5 解に対する日々のずれを計算し, これを試験期間全体で平均した.

3. 得られた成果と考察

マルチ GNSS 後処理暦による PPP 解と F5 解との比較の結果を図-1 に示す. 東西成分, 南北成分については, 若干の緯度依存性が見られるがずれの平均値は東西成分が西向き 1.4mm, 南北成分が南向き 3.1mm で, 二つの解はほとんどの観測点において 5mm 以内で一致している. 一方上下成分については, 大多数の点で F5 解に対して PPP 解が下向きにずれしており, その平均値は 13.5mm 程度となっている. 系統的なずれは見られるものの, 前述の通り, PPP 解と IGS daily solution の差には上下成分で 10mm~30mm 程度のばらつきがあるため, 電子基準点においても PPP 解の上下成分はばらつきの範囲内で ITRF2014 (と整合している F5 解) と整合しているといえる.

このずれの原因としてまず考えられるのは, アンテナ相特性モデルの違いである. しかし, PPP-AR 解析で使用しているアンテナ特性モデルは F5 解析と同じものを使用している.

また, 解析の際の仰角マスクが PPP-AR 解析では 7度 に設定しているのに対して F5 解析では 15度 に設定しており, その影響の可能性もある. そこで, 2019年1月1日から同年12月31日までの1年間について, 仰角マスクを 15度 に設定して全電子基準点についてマルチ GNSS 後処理暦を用いた PPP-AR 解析を行い, これを F5 解と比較した. その結果, 上下方向の差の平均値は F5 解に対して PPP-AR 解は下向きに 13.1mm 程度となり, 仰角マスク 7度 の場合との差は小さかった.

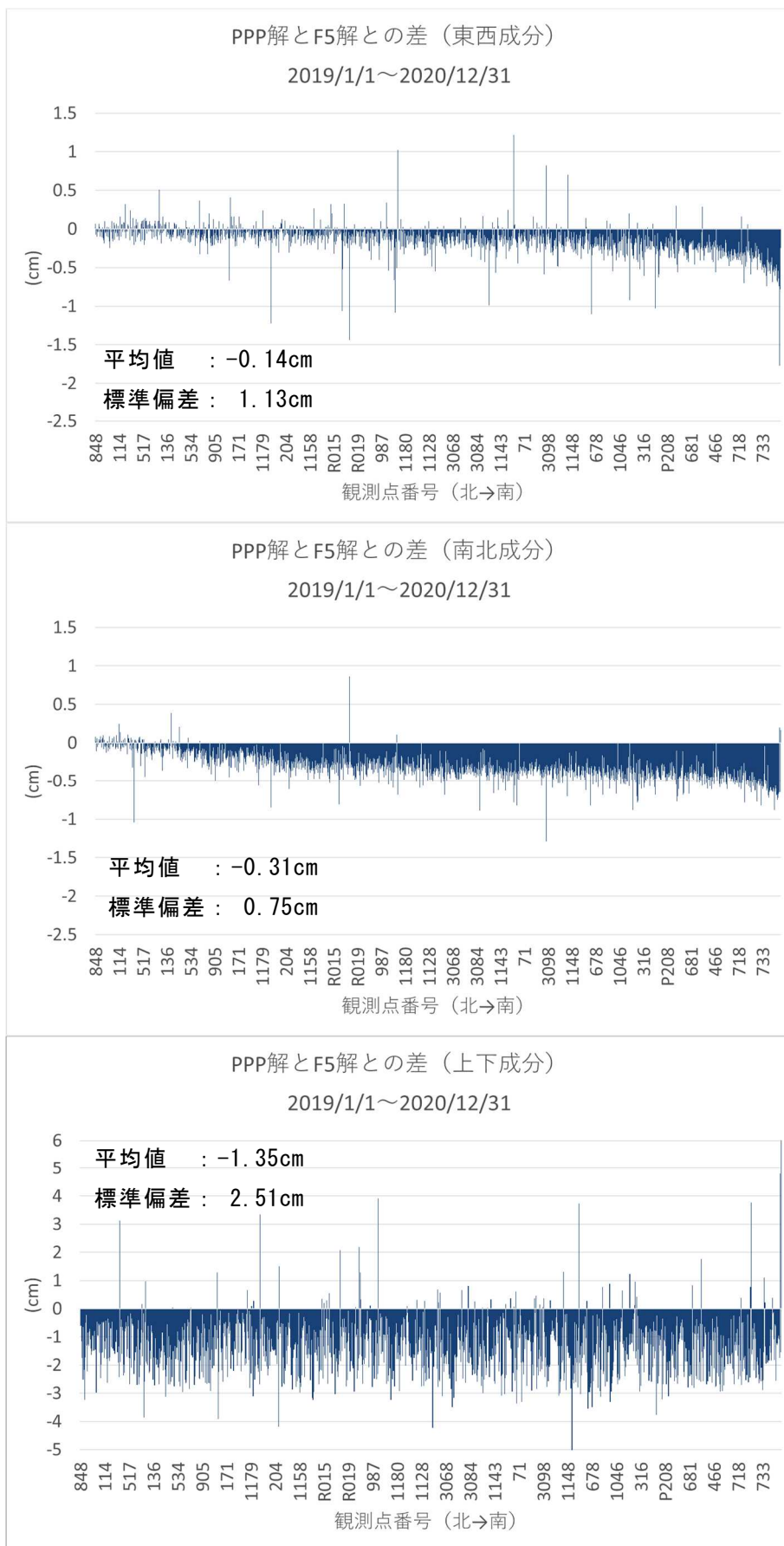


図-1 マルチ GNSS 後処理層による PPP 解と F5 解との比較

このほかの可能性として、F5解は解析にGPSのみを用いているのに対して、PPP解はGPSに加えてGLONASSとQZSSを用いていることで、システム間のバイアスが入っていることが考えられる。さらに2.で述べたとおり、PPP-AR解析に用いたマルチGNSS後処理暦とIGS最終暦との差には周期的な変動が見られていることから、GLONASSのIGS暦の座標系からのずれがF5解とPPP解との差に表れていることも否定できない。今後も上下成分の差の原因の究明を進めていく。

4. 結論と今後の課題

国内の全電子基準点について、令和元年度より開始した特別研究で使用する予定のマルチGNSS後処理暦生成システムを用いて生成した暦を用いたPPP-AR解と、GEONET定常解析のF5解（試験公開版）とを比較した。その結果、東西・南北成分については両者の差は平均して3mm以内だった。一方、上下方向には、F5解に対してPPP-AR解は平均して下方向に1.4cm程度のずれが見られた。

今後は引き続き以下の調査を行う。まず、F5解とPPP解との上下成分の差の原因については、GLONASSとQZSSを解析に含めた影響を調査するために、衛星系をGPSのみ、仰角マスクをF5と同じ値としたPPP-AR解析を実施し、F5解との比較を行う。

また、IGS最終暦に対するマルチGNSS後処理暦のずれの周期変動に関してはMADOCAと各IGS解析センターの解析の差異について調査する。周期変動はGLONASSにしか見られないことから、衛星系や衛星のタイプごとにモデルが異なりうる太陽輻射圧の取り扱いに着目し、IGSの各解析センターで用いられているSRPモデルやモデルの多項式の次数、SRPパラメータの値等を調査しMADOCAとの比較を行う予定である。

参考文献

- Kawamoto, S., Takamatsu, N., Abe, S., Miyagawa, K., Ota, Y., Todoriki, M. and Nishimura, T. (2018) : Real-Time GNSS Analysis System REGARD: An Overview and Recent Result, Journal of Disaster Research, Vol.13, No.3, 440-452.
- 宮原伐折羅 (2021) : 災害に強い位置情報の基盤（国家座標）構築のための宇宙測地技術の高度化に関する研究（第1年次）, 令和2年度調査研究年報, 140-146.
- 宗包浩志 (2017) : 電子基準点精密単独測位キネマティック解析プロトタイプシステムの構築, 国土地理院時報, 129, 1-9.
- 村松弘規, 高松直史, 阿部聡, 古屋智秋, 加藤知瑛, 大野圭太郎, 畑中雄樹, 攪上泰亮, 大橋和幸 (2021) : 新しいGEONET解析ストラテジによる電子基準点日々の座標値（F5解・R5解）の公開, 国土地理院時報, 投稿中.