

# 解析手法の異なる GNSS 測位解の整合性に関する研究（第 4 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) や宗包 (2017) による後処理 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。

また、国土地理院では昨年度から、JAXA が開発したソフトウェア MADOCA を用いて、GPS、GLONASS に準天頂衛星システム (QZSS) を加えた後処理暦の生成を試験的に実施している (阿部ほか, 2021)。宇宙測地研究室では、この後処理暦を用いて全国の電子基準点の座標値を PPP-AR で算出し、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」(令和 2 年度～6 年度) において、任意の観測エポックにおける電子基準点の座標値を固定点に依存しない形で取得するために使用できないかを検討している。

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。そこで本研究は、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、そ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。

本稿では、阿部ほか (2021) の後処理暦による PPP 解のうち、GPS と GLONASS のデータを使用した解析の PPP スタティック解 (以下「本研究の解」という。) と、宗包 (2017) による後処理 PPP 解析システムの PPP スタティック解 (以下「後処理 PPP 解析システムの解」という。) との整合性の調査を行った結果について報告する。

## 2. 研究内容

### 2.1 解析の概要

本研究の解と後処理 PPP 解析システムの解の解析方法の比較を表-1 に示す。いずれも解析手法は GPS と GLONASS を使用した PPP-AR のスタティック解析であり、解析には RTKLIB を用いている。解析に使用したパラメータは同じであるが、使用している受信機のアンテナ位相特性モデルが異なっている。本研究において用いているアンテナ位相特性モデルは F5 解析と全く同じモデルである (村松ほか, 2021)。一方、後処理 PPP 解析システムでは、一世代前の定常解析である F3 解析で用いられていた位相特性モデル (豊福ほか, 2009) の PCO (Phase Center Offset) を ITRF2014 系に変換したモデルを用いている。なお、暦はどちらの解析も MADOCA により推定しているが、使用しているグローバル GNSS 観測局が異なっているため、両者の暦は同じではない。

### 2.2 評価方法

表-1 解析方法の比較. オレンジのハッチは異なる要素を示す.

	本研究の解	後処理 PPP 解析システムの解
解析手法	PPP-AR, スタティック	PPP-AR, スタティック
使用衛星系	GPS, GLONASS	GPS, GLONASS
座標系	ITRF2014	ITRF2014
測位解析ソフトウェア	RTKLIB	RTKLIB
使用した位相特性モデル	現在の GEONET 定常解析と同じ	一世代前の GEONET 定常解析 (F3 解析) で使用していたモデルを ITRF2014 に変換
暦	国土地理院が生成した後処理暦 (GPS, GLONASS, 準天頂衛星)	システム内で推定 (GPS, GLONASS)
暦推定ソフトウェア	MADCOA	MADCOA

GEONET 定常解析の最終解 (F5 解) においては, アンテナや受信機の保守・交換等の前後に, 解の時系列にオフセットが生じることが知られている. このような人為的な原因による解のオフセットは地殻変動監視の上ではノイズであるため, 保守等の後のデータに対して時系列が連続になるように補正を施して監視を行っている. この補正を「オフセット補正」といい, 全ての電子基準点について, オフセット補正を施した日付とその量がリスト化されている.

このオフセット補正の値は, 解析手法が異なる F5 解と PPP 解とで異なる可能性がある. そこで本研究では, 評価期間は F5 解においてオフセット補正が行われていない 2021 年 8 月 1 日から 31 日の 1 ヶ月間をとることとした. この期間について, 電子基準点全点について後処理 PPP 解析システムの解に対する本研究の解の座標差を日々計算し, それを評価期間について平均して両者の間の整合性を調査した.

### 3. 結果

結果を図-1 に示す. グラフは上段から東西成分, 南北成分, 上下成分の差である. 「アンテナタイプ, 架台タイプ」の組み合わせごとに色を変えており, 横軸は観測点番号で, 同じ組み合わせの中では北から南に並んでいる.

この図を見ると, 後処理 PPP 解析システムの解に対して本研究の解は, 水平成分には西向きに 0mm から 6mm 程度, 南向きに 1mm から 4mm 程度のバイアスがあり, そのバイアスには若干の緯度依存性があることがわかる. また, バイアスの大きさは「アンテナタイプ, 架台タイプ」の組み合わせごとに異なっている.

一方, 上下成分は後処理 PPP 解析システムの解に対して本研究の解は北向きにバイアスが見られる. 特に「TPSCR.G5, GSI4 (95 番型)」の組み合わせでは 2cm 程度と非常に大きい. このほか, 「TPSCR.G5, GSI3 (94 番型)」 「TPSCR.G5, GSI5 (02 番型)」では 8mm 程度, 「TRM59800.80, GSI3 (94 番型)」 「TRM59800.80, GSI4 (95 番型)」 「TRM59800.80, GSI5 (02 番型)」では 5mm から 7mm 程度と大きなバイアスが見られる. これらの組み合わせはいずれも, 使用した位相特性モデルが後処理 PPP 解析システムで用いたものと本研究で用いたものと異なっているという共通点をもつ. さらに, 最も解の差が大きな「TPSCR.G5, GSI4 (95 番型)」の組み合わせについてみると, 後処理 PPP 解析システムに対する本研究の解析の PCO の差は, 上下成分で, L1 帯が-1mm, L2 帯が+0.3mm と非常に小さい

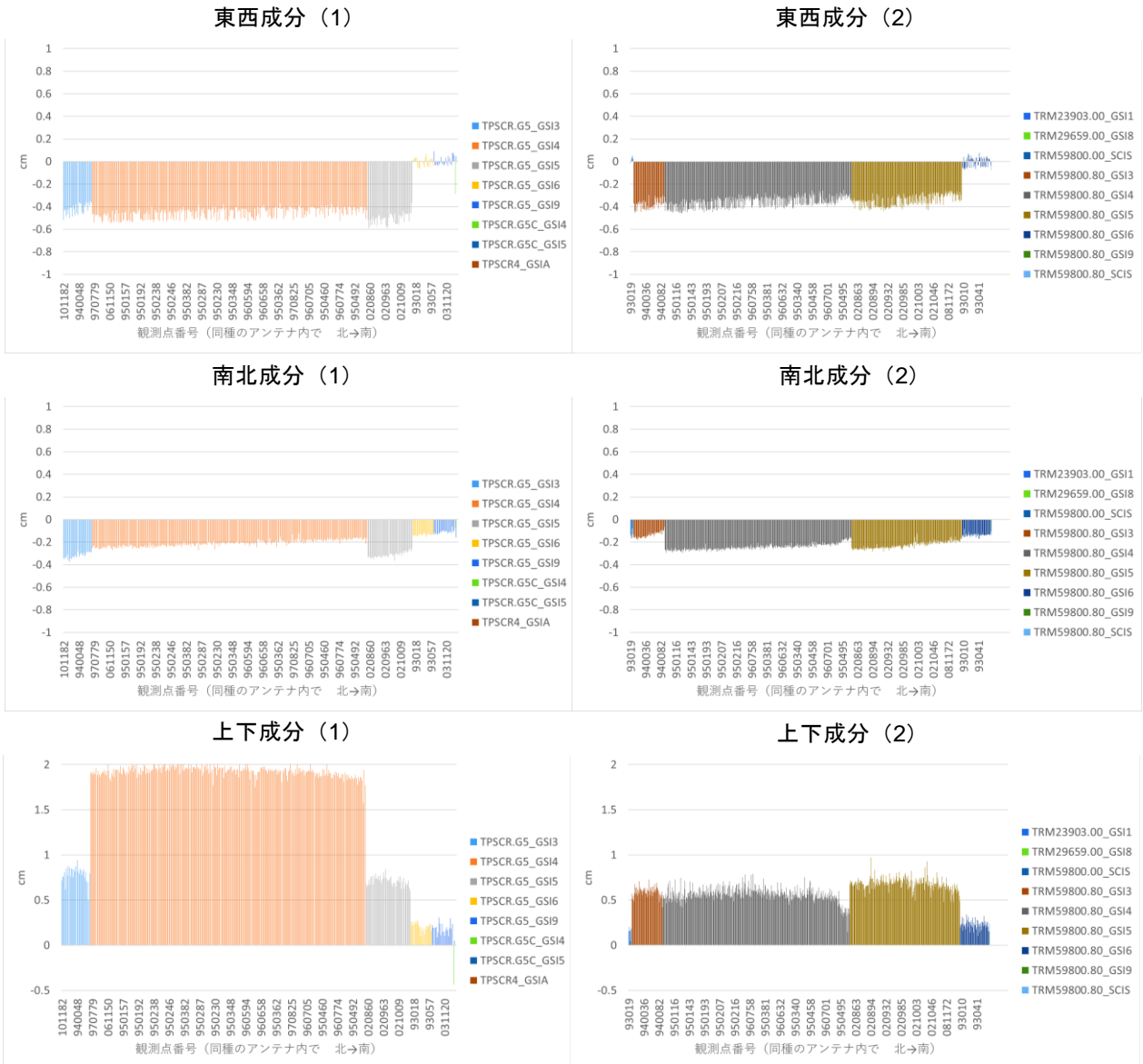


図-1 後処理 PPP 解析システムの解に対する本研究の解の差 (2021 年 8 月 1 日から 31 日)。  
 電子基準点架台タイプの符号は以下のとおり。GSI1: 93 番型 (レドームなし), GSI3: 94 番型, GSI4: 95 番型, GSI5: 02 番型, GSI6: 93 番型, GSI8: 02P 型, GSI9: 03 番型, GSIA: 03P 屋上型, SCIS: SCIGN レドーム型。全電子基準点を左段と右段に分割して図示している。

(表-2)。一方, PCV(Phase Center Variation)の差は特に L1 帯で大きく, 仰角  $25^\circ$  以下では概ね+3mm 程度, 仰角が高くなるにつれてその差は小さくなり仰角  $30^\circ$  くらいで逆転して, 仰角  $80^\circ$  以上ではその差は-2mm となる (図-2)。すなわち, このケースでは PCO の違いよりも PCV の違いが上下方向のバイアスに大きく影響していると思われる。

さらに, 同じ評価期間において, F5 解に対するこれら二つの解の差を調査した。上下成分についての結果を図-3 に示す。本研究の解の方が後処理 PPP 解析システムの解よりも F5 解との差が小さい。これは, 本研究で使用しているアンテナ位相特性モデルが F5 解で使用しているものと同じであるという事実と整合的である。しかし, 本研究の解においても依然として F5 解に対して上下成分で, 大きいもので下向きに 2cm から 3cm 程度のバイアスが見られている。また, そのバイアスは「アンテナタイプ, 架台タイプ」の組み合わせに依存しているようにも見えており, 現在 GEONET 定常解析に使用している位相特性モデルに未だ改善の余地があることを示唆している。

表-2 本研究の解析および後処理 PPP 解析システムで使用している「TPSCR.G5, GSI4 (95 番型)」の組み合わせのアンテナ位相特性モデル (PCO). 単位は mm.

	L1			L2		
	東西	南北	上下	東西	南北	上下
後処理PPP解析システム	-1.77	-0.54	95.30	0.00	-0.79	119.40
本研究の解析	0.60	-0.10	94.30	0.80	-0.60	119.70

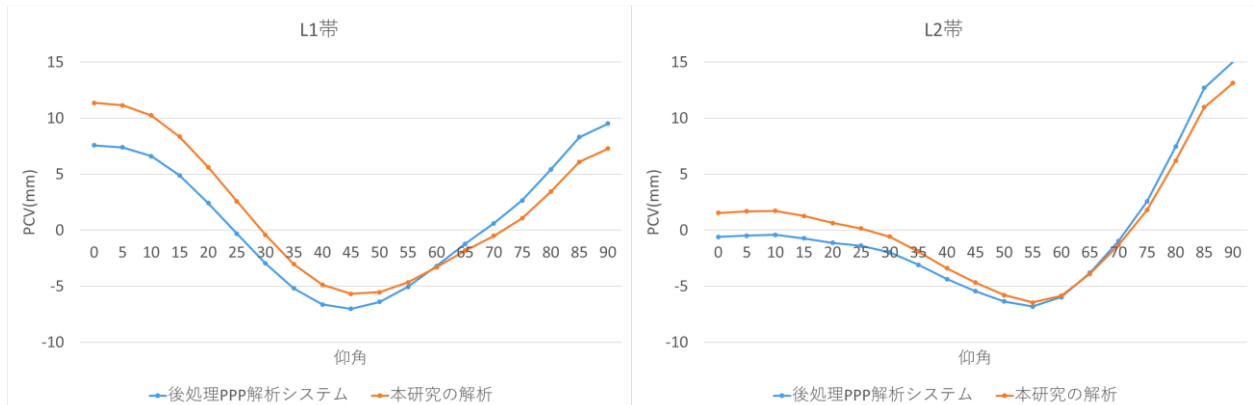


図-2 本研究の解析および後処理 PPP 解析システムで使用している「TPSCR.G5, GSI4 (95 番型)」の組み合わせのアンテナ位相特性モデル (PCV). 横軸は仰角. 左図は L1 帯, 右図は L2 帯.

#### 4. 結論

人為的な原因による解のオフセットが生じていない期間である 2021 年 8 月の 1 ヶ月間, 電子基準点全点について, 国土地理院が推定している後処理暦を用いた PPP 解と, 後処理 PPP 解析システムの解との整合性を調査した. その結果, 特に上下方向で「アンテナタイプ, 架台タイプ」の組み合わせごとに大きなバイアスに差が見られ, 特に解析に用いている位相特性モデルが異なっている組み合わせでは, 約 5mm から約 2cm にも達することがわかった. このことから, このバイアスは使用した位相特性モデルの違いの影響が大きいと思われる. さらに, 上下成分のバイアスが約 2cm もある「TPSCR.G5, GSI4 (95 番型)」については, 両解析の PCO の上下成分の差は L1 帯が-1mm, L2 帯が+0.3mm とバイアスの差に比べて非常に小さい一方, PCV の差は最大で 3mm 程度で PCO の差よりも大きい. このことから, このバイアスについては PCV の違いが大きく影響していることが示唆される.

F5 解との整合性については, 同じ位相特性モデルを用いている本研究の解の方が後処理 PPP 解析システムの解よりも整合性が高いという結果になった. しかし, 本研究の解においても F5 解に対して上下成分で cm レベル, 大きいもので下向きに 2cm から 3cm 程度のバイアスが見られ, それは「アンテナタイプ, 架台タイプ」の組み合わせに依存しているようにも見える. これは, 現在使用している位相特性モデルに改善の余地があることを示唆している. 例えば GEONET 定常解析は GPS のみで行っているため, 本研究の解, 後処理 PPP 解析システムの解とも, 解析に使用する GLONASS の PCO, PCV は GPS と同じものを使用している. GLONASS 独自のアンテナ位相特性モデルを用いれば, 本研究の解と F5 解の間のバイアスは改善する可能性がある.

異なる解析手法の GNSS 解の整合性を評価する上で, 位相特性モデルの影響を考慮することが重要であることが明らかになった. 今後は, 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」とも連携しながら, GLONASS や, さらに QZSS の受信機アンテナ位相特性モデルの構築に向けた取組を進めていく予定である.

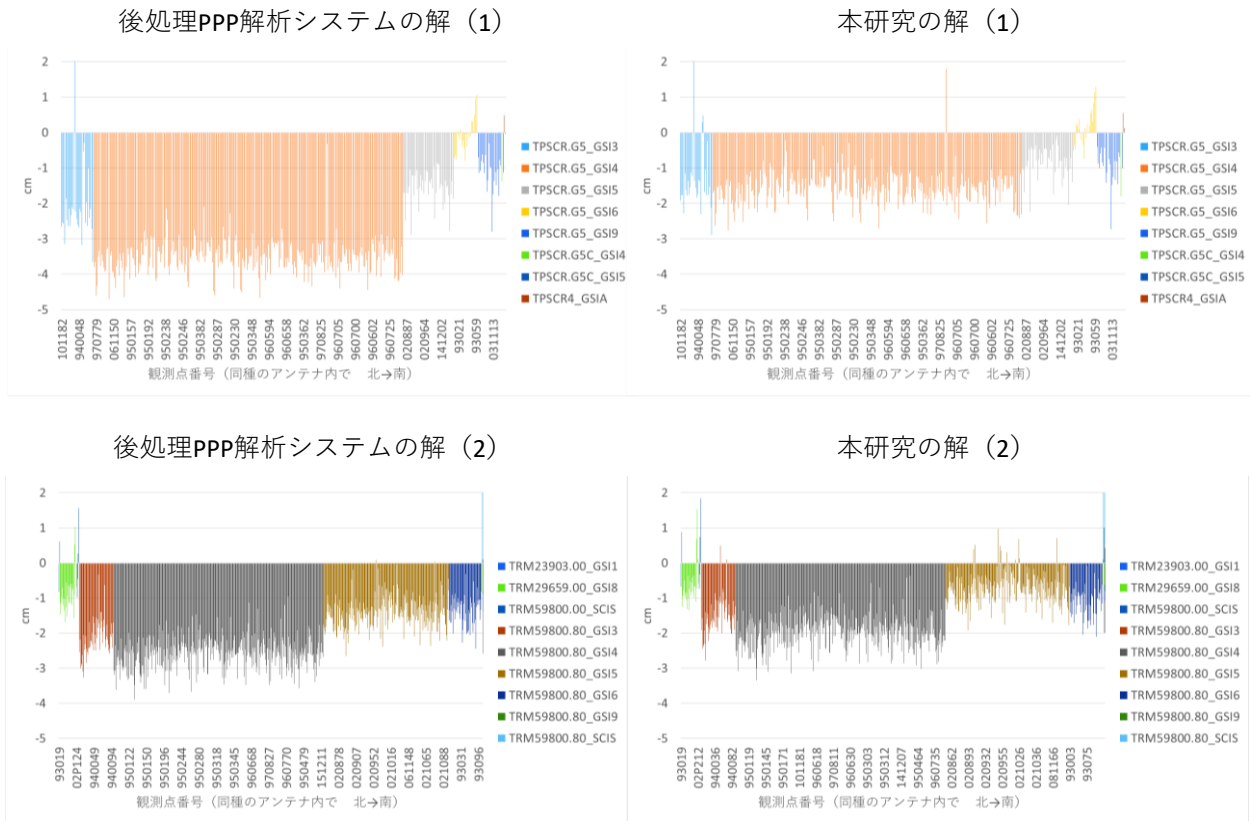


図-3 F5 解に対する本研究の解と後処理 PPP 解析システムの解の上下成分のバイアス（観測局ごとの 2021 年 8 月 1 日から 31 日の日々の平均値）。左図は後処理 PPP 解析システムの解，右図は本研究の解。横軸は観測局番号。スペースの関係で全電子基準点を上段と下段に分割して図示している。

## 謝辞

MADOCA は JAXA と国土地理院の包括的協力の協定書に基づき JAXA から貸与を受けた。

## 参考文献

- 阿部聡, 大野圭太郎, 高松直史, 村松弘規, 古屋智秋 (2021) : 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), 令和 2 年度調査研究年報, 108-110.
- 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.
- 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, 撓上泰亮, 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, 134, 19-32.
- 豊福隆史, 岩下知真子, 畑中雄樹, 湯通堂亨 (2009) : 電子基準点のアンテナ絶対位相特性モデルの構築と評価, 国土地理院時報, 118, 9-15.