

解析手法の異なる GNSS 測位解の整合性に関する研究（第 6 年次）

実施期間 令和元年度～令和 6 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（電子基準点リアルタイム解析システム）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。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る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更なる品質向上に寄与することとなる。

中川（2024）では、2023 年 12 月の 1 か月間の解析期間について、国土地理院と宇宙航空研究開発機構（JAXA）による JGX 暦を用いた電子基準点の PPP 解と IGS 最終暦による PPP 解を日々計算してその差を平均した。その結果、両者の間には南北成分と上下成分に 1 cm 程度の、暦の差に起因する系統差が見られることを明らかにした。

しかし、他の暦についても一般的にその程度の系統差が生じるものなのか、また、この系統差が時間的に一定なのか変化するのかは不明であった。そこで本稿では GEONET 全点について、JGX 暦の他に IGS 最終暦や各 IGS 解析センター（以下「AC」という。）による暦についてそれぞれ日々 PPP 解を求め、これらの暦が異なる PPP 解の間の整合性やその時間変化について調査を行う。

2. 研究の概要

2023 年 12 月 1 日から 2024 年 11 月 2 日の約 11 か月について、様々な暦を使用した電子基準点全点の PPP スタティック解を日々計算した。解析に使用した暦は、JGX 暦、IGS 最終暦、Center for Orbit Determination in Europe による CODE 暦（略称 COD.）、European Space Agency による ESA 暦（略称 ESA.）、German Research Centre for Geosciences による GFZ 暦（略称 GFZ.）、GRGS-CNES/CLS による GRG 暦（略称 GRG.）及び Jet Propulsion Laboratory による JPL 暦（略称 JPL.）の 6 種類である。衛星系は GPS のみ、解析には RTKLIB ver. 2.4.3 を使用した。

こうして求めた PPP 解について、以下の 2 種類の比較を行った。

(1) 電子基準点全体に対しての異なる暦による PPP 解間の整合性：

電子基準点全体について異なる暦による PPP 解間の整合性及びその時間変化を把握するために、IGS 最終暦による PPP 解を基準にして JGX 暦を含む各 AC の暦による PPP 解との差を算出し、それぞれを日々全電子基準点について平均して、時間的な変化やばらつきを比較する。

(2) IGS 点における異なる暦による PPP 解と ITRF 系との整合性：

特定の観測点において異なる暦による PPP 解間の整合性及び各 PPP 解の ITRF 系に対する整合性を評価するために、国内の六つの IGS 点、「新十津川 A」、「石岡」、「つくば」、「つくば 2A」、

「始良」及び「父島」について、IGS 解（IGS daily solution）を基準にして JGX 暦を含む各 AC の暦及び IGS 最終暦による PPP 解との差を算出し、その時間変化やばらつきを比較する。

3. 結果

3.1 電子基準点全体に対しての異なる暦による PPP 解間の整合性

図-1 に IGS 最終暦による PPP 解を基準に、JGX 暦を含む各 AC の暦による PPP 解との差の全電子基準点についての日々の平均のグラフを示す。赤が JGX 暦、そのほかの色が他の AC の暦による PPP 解である。JGX 暦による PPP 解の南北成分には最大で±2 cm 程度の大きな揺らぎが生じていることが分かる。また、東西成分、上下成分もばらつきが他の AC の暦を用いた場合に比べて大きい。一方、他の AC の暦の PPP 解はいずれの成分も IGS 最終暦による PPP 解に対して、南北成分と東西成分は±0.5 cm 程度、上下成分は±1 cm 程度の範囲内にほぼ収まっている。すなわち、JGX 暦を除く各 AC の暦による PPP 解は IGS 最終暦による PPP 解とおおよそ数 mm から 1 cm の範囲で整合しており、その整合性は時間的にほとんど変化しない。一方、JGX 暦による PPP 解は IGS 最終暦による PPP 解との整合性が他の AC の暦を用いた場合に比べて有意に悪く、さらにその整合性も時間的に大きく変化するといえる。

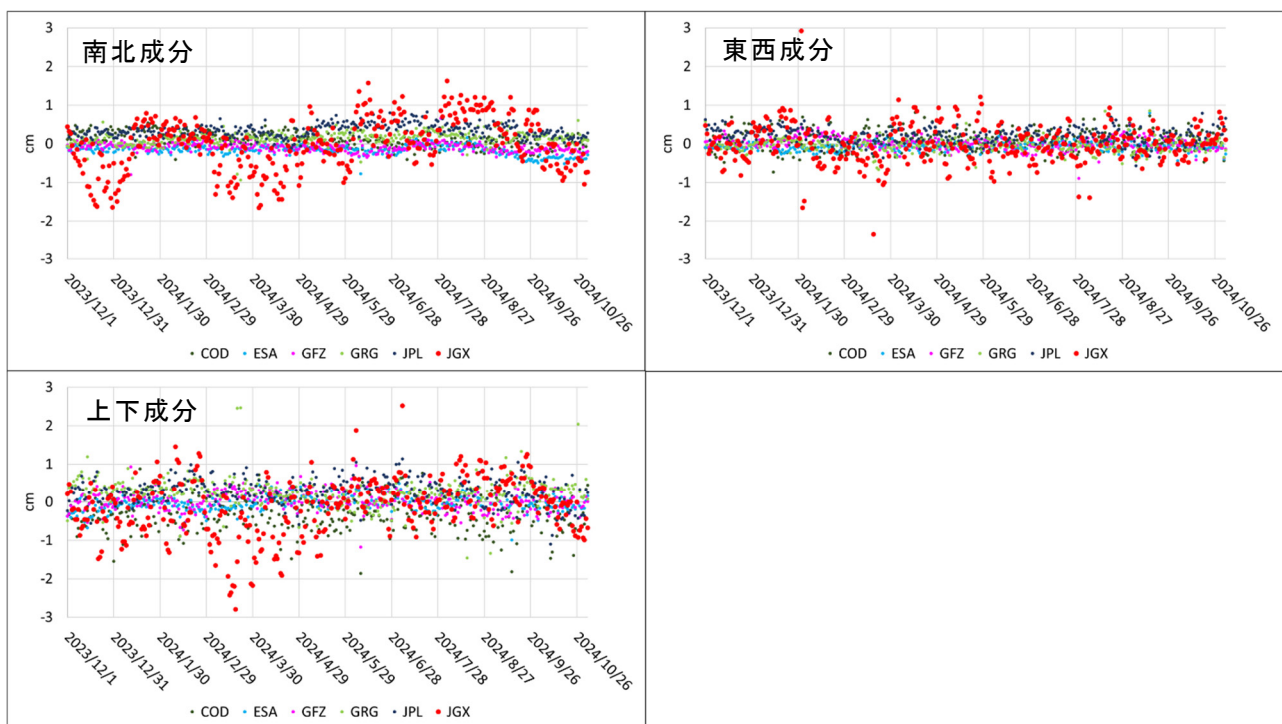


図-1 IGS 最終暦による PPP 解を基準にした、各 AC の暦による PPP 解との差の全電子基準点についての日々の平均。赤丸が JGX 暦による PPP 解、深緑が CODE 暦、青が ESA 暦、紫が GFZ 暦、薄緑が GRG 暦、濃青が JPL 暦。

3.2 IGS 点における異なる暦による PPP 解と ITRF 系との整合性

図-2 に、対象とした各 IGS 点について、JGX 暦、各 AC の暦及び IGS 最終暦による PPP 解の IGS 解（IGS daily solution）からの差の箱ひげ図を示す。これを見ると、いずれの暦による PPP 解も平均値には大きな差が見られないものの、JGX 暦の日々のばらつきは他の AC の暦に比べて有意に大きいことが見て取れる。すなわち、IGS 最終暦及び各 AC の暦を用いた PPP 解は ITRF 系によく整合してい

る一方で、JGX 暦を用いた PPP 暦の整合性は長期の平均ではこれらの暦を用いた場合と同程度に整合しているものの、短期的には ITRF 系との整合性の程度は大きくばらついているといえる。

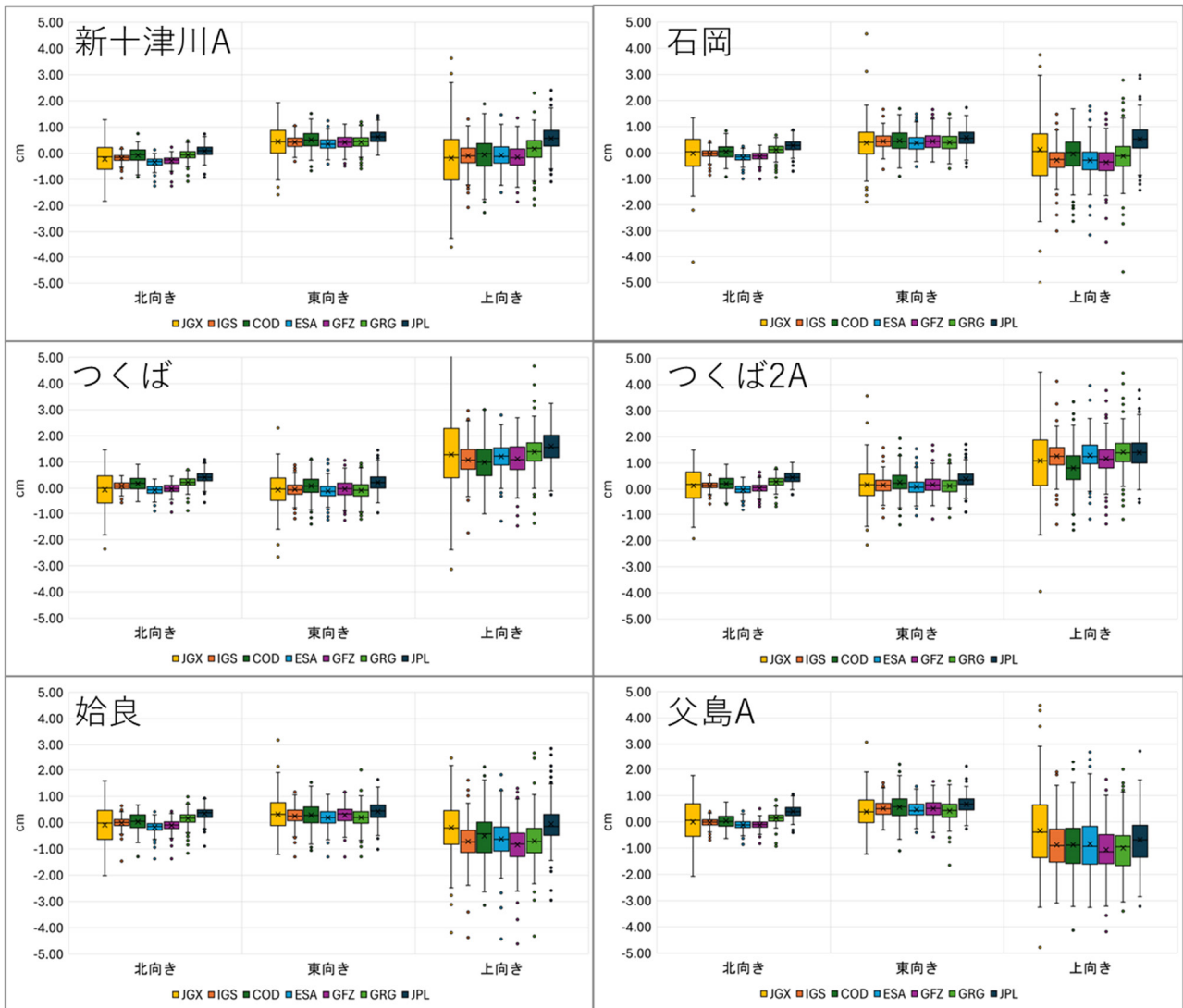


図-2 IGS 解に対する、JGX 暦、IGS 最終暦及び各 AC の暦による PPP 解の差のばらつき。黄色が JGX 暦による PPP 解、橙が IGS 最終暦、深緑が CODE 暦、青が ESA 暦、紫が GFZ 暦、薄緑が GRG 暦、濃青が JPL 暦。

4. 考察

このような現象は PPP 解析特有のものであり、これまでの相対測位による検証においては、暦による大きな差は認められていなかった。JGX 暦を用いた PPP 解の日々のばらつきが大きいことの一つの原因として、暦を推定する際の観測点網の拘束のかけ方が、JGX 暦と他の AC の暦とでは異なっていることが考えられる。現在の JGX 暦は No-Net-Rotation (NNR) の拘束、すなわち観測点全体で回転がゼロになるような拘束のみをかけて暦を算出している。しかし、NNR の拘束のみだと地球重心に対して基準座標系を拘束していないため、軌道推定の結果地球の見かけの重心が変動すると、推定された軌道や局位置の重心がその分だけ基準座標系からずれる。一方、他の AC の暦推定においては、地球の見かけの重心変動分を補正している。その差が JGX 暦を用いた日々の PPP 解と他の AC の PPP 解の差として現れていると考えられる。そこで、JGX 暦の推定において NNR に加えて No-Net-Translation

(NNT) の拘束（すなわち、観測点全体の平行移動がゼロになるような拘束）も加えれば、PPP 解のばらつきを軽減でき、他の AC の暦による PPP 解や ITRF 系との整合性も改善されると期待される。

そこで、国土地理院で試作した NNR に加えて No-Net-Translation (NNT) の拘束を行った JGX 暦（以下「JGX(NNR+NNT)暦」という）を用いて、前述の 6 点の IGS 点について 2. (2) と同様な解析を実施し、そのばらつきを JGX 暦及び ESA 暦を用いた場合と比較した（なお、解析期間については試作した JGX(NNR+NNT)暦に合わせて 2023 年 11 月 26 日から 2024 年 10 月 26 日までとした）。

その結果を図-3 及び図-4 に示す。図-3 を見ると、IGS 点「新十津川 A」においては、南北成分と東西成分について、JGX(NNR+NNT)暦を用いた PPP 解では JGX 暦の場合に比べてばらつきが小さく、より ESA 暦に近い値になっている。図-4 を見ると、他の IGS 点においても JGX(NNR+NNT)暦を用いた PPP 解では JGX 暦の場合に比べてばらつきが小さく、ばらつきの範囲も JGX 暦を用いた場合よりも ESA 暦に近いことが分かる。

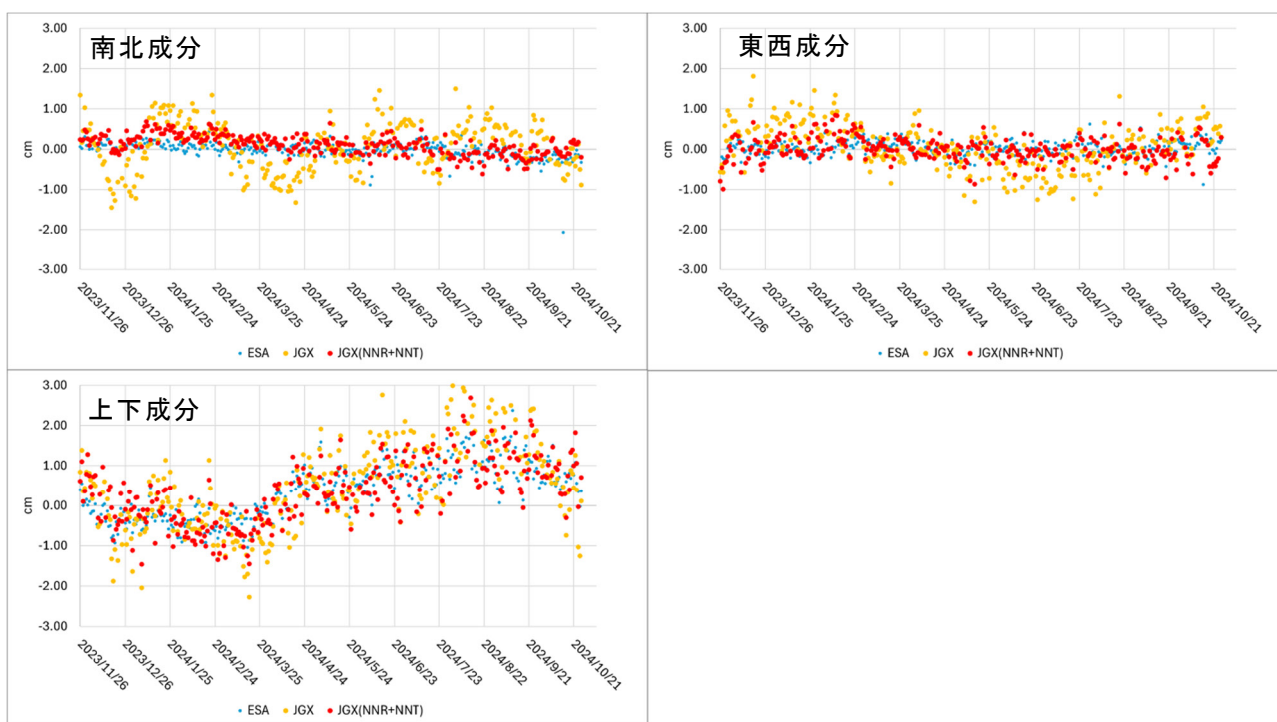


図-3 IGS 解に対する、JGX(NNR+NNT)暦、JGX 暦及び ESA 暦による PPP 解の差の例 (IGS 点「新十津川 A」)。
赤丸が JGX(NNR+NNT)暦による PPP 解，黄が JGX 暦，青が ESA 暦。

5. まとめ

従来の NNR の拘束のみをかけて推定した JGX 暦による PPP 解は、他の AC の暦を用いた場合に比べて、特に南北成分と東西成分においてばらつきが有意に大きいことが明らかになった。このような現象は PPP 解析特有のものであり、これまでの相対測位による検証においては認められていなかった。

これに対して、他の AC の暦と同様に NNR に加えて NNT の拘束も加えた試作版の JGX 暦を用いて PPP 解析を行ったところ、南北成分と東西成分のばらつきは小さくなり、その値も各 AC 暦の中でも品質が良いと言われている ESA 暦による PPP 解に近づいた。以上により、JGX 暦の推定において NNR に加えて NNT の拘束を加えることにより、PPP 解のばらつきが他の AC と同程度まで小さくなることが期待できる。

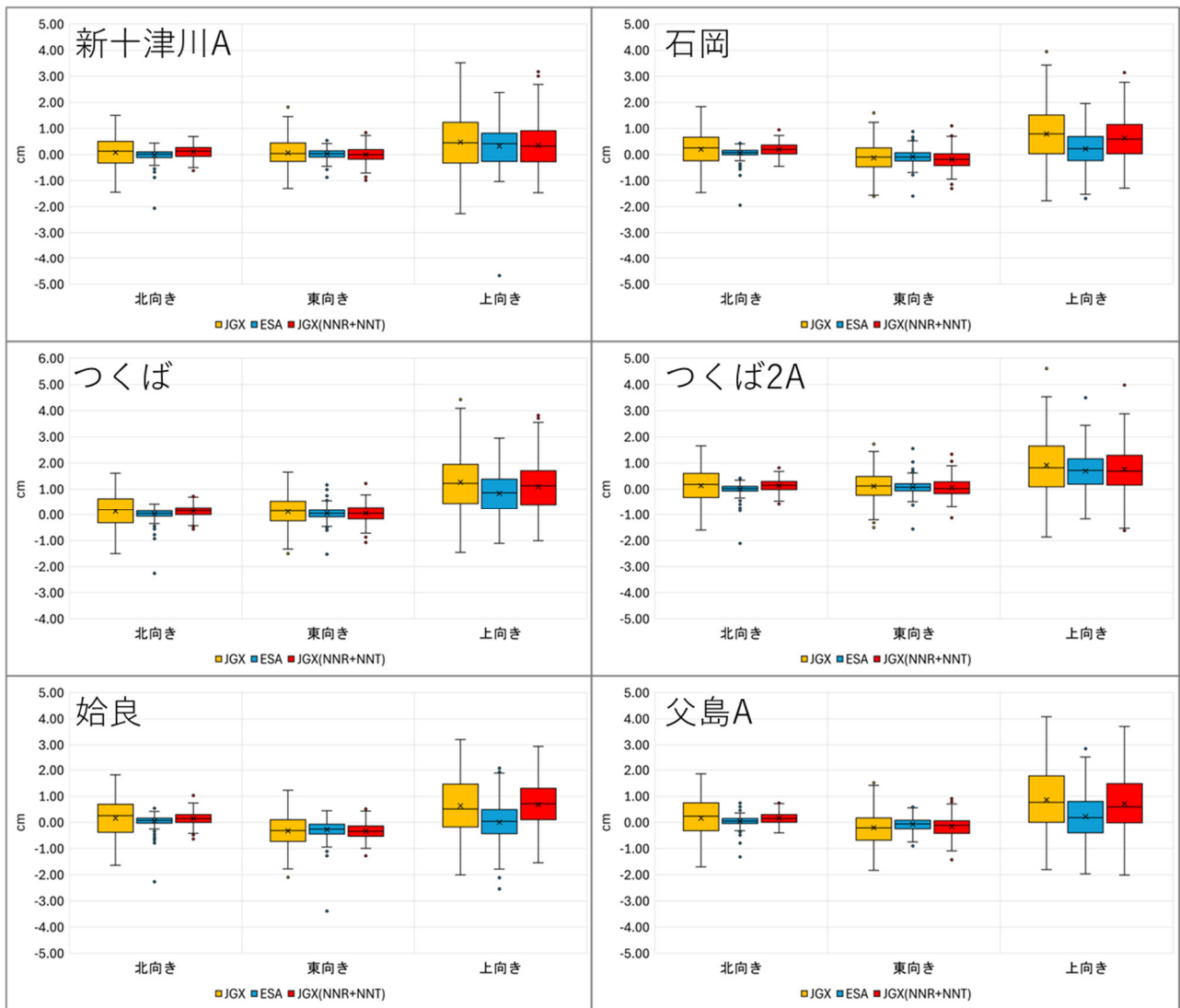


図-4 IGS 解に対する，JGX(NNR+NNT)暦，JGX 暦及び ESA 暦による PPP 解の差のばらつき．赤が JGX(NNR+NNT)暦による PPP 解，黄が JGX 暦，青が ESA 暦．

謝辞

本研究の実施に当たっては，宗包地殻変動研究室長，電子基準点課大野精密暦解析係長，小林宇宙測地研究室長に多くの助言をいただいた．ここに感謝の意を表する．

参考文献

中川弘之 (2024) : 解析手法の異なる GNSS 測位解の整合性に関する研究 (第 5 年次), 令和 5 年度調査研究年報, 116-126.