

迅速・高精度な GNSS 定常解析システムの構築に関する研究（第 2 年次）

実施期間 平成 29 年度～平成 31 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

GEONET の定常解析の結果は、地震活動の評価や噴火時の噴火活動の推移監視等における基礎的な資料として活用されている。

しかし地殻変動の監視においては、現在の定常解析の性能では現象のタイムリーな把握に迅速性や時間分解能が不十分な場合もある。平成 28 年 4 月 14 日夜に発生した熊本地震においては、もっとも迅速な Q3 解でも地殻変動情報が得られたのは翌 15 日の朝になった。地震調査委員会の臨時会は通常、大地震発生の半日後には開催されるため、場合によっては地殻変動情報が提供できず、地震像の把握が遅れる可能性があった。また、時間分解能については、もっとも高い Q3 解でも 6 時間である。例えば火山において噴火直前の山体膨張や噴火後の収縮を監視するような場合、Q3 解では時間分解能が不足して火山活動の評価に支障をきたす可能性がある。また、複数の地震が短時間に連続して生じた場合には、各々に起因する変位を適切に分離できない可能性がある。

そこで、現状の定常解析よりも迅速性・時間分解能を向上させ、かつ精度が劣化しない解析法として、波数の整数不確定性を決定する精密単独測位法 (Precise Point Positioning with Ambiguity Resolution, 以下「PPP-AR」という。) に着目し、これに基づいて現在の定常解析よりも迅速・高時間分解能な GEONET 定常解析手法を開発するための研究を平成 29 年度から開始した。

2. 研究内容

2.1 研究開発の概要

本研究は、GEONET のデータ取得後 2 時間以内を目標に、全電子基準点の 24 時間分の 1 秒間隔の座標時系列を、水平成分の座標再現性の代表的な値として約 1cm で取得するための解析手法及びそれを実装したプロトタイプシステムの開発を目指している。

2.2 平成 30 年度の実施内容

平成 30 年度は、昨年度に構築したプロトタイプシステム (中川, 2018) において測位システムのサーバを 4 台に増設して測位解析処理を複数台に割り振って並行して実施するように改良を加えた。その上で、①使用するサーバの台数と測位解析時間の関係の調査、②試験解析による推定した精密軌道・クロック及び時系列解の品質評価を実施した。

上記②の試験解析については、解析期間は 2018/7/13～9/12 のうち、精密軌道等の推定に使用したグローバル局が 50 点以下だった 2 日間を除いた 60 日間とし、各日について 0 時から 24 時間スパンの時系列を計算した。解析の詳細は中川 (2018) を参照のこと。試験解析において使用したグローバル局数は、50～73 局で平均 64 局であった。

3. 得られた成果

3.1 使用するサーバの台数と測位解析時間の関係

目標である「データ取得後 2 時間以内に測位解析を終了」するためには、測位解析をおよそ 90 分程

度で行わなければならない。そこで、測位解析に使用するサーバの台数を1台～3台に変えて、GEONET全点のPPP-AR解析に要する時間を測定した。結果を表-1に示す。なお、各サーバの性能はほぼ同じであり、1サーバ当たり60プロセスの並列処理を行っている。

表-1 使用サーバ数と処理時間との関係

台数	使用サーバ	点数	解析時間	台数	使用サーバ	点数	解析時間		
1	サーバ1	1295	4時間28分*	3	サーバ2&3&4	1295	1時間40分		
	サーバ2	1294	3時間52分			1293	2時間02分		
	サーバ3	1294	3時間52分			1293	2時間01分		
	サーバ4	1294	3時間46分			1291	1時間58分		
2	サーバ1&3	1294	2時間25分*			1291	2時間04分		
	サーバ2&4	1294	2時間07分			1291	2時間00分		
								1293	2時間04分
								1294	2時間55分
								1295	1時間52分
								1295	2時間00分
								1294	2時間02分
								1293	1時間43分
								1293	1時間44分

* サーバ1においてバックグラウンドでBINEX-RINEX変換を実施

その結果、解析時間はサーバ1台の場合に4時間弱ほどである一方、3台に増やした場合でも1時間40分～2時間強であり、処理時間は台数の増加と単純には比例せず、想定よりも長いことがわかった。測位解析に用いるRINEXファイルや解析結果の時系列ファイル等は全て1台のサーバに格納されており、これをネットワークファイルシステム(NFS)で各サーバにマウントしてファイルを読み書きしていることから、NFS上の多数のファイルへ同時にアクセスすることで生じるIOの負荷によってシステムの速度が低下している可能性がある。解決には、データを格納するサーバの追加による負荷の分散、scp等の負荷の低いプロトコルを用いたファイル転送によるローカルでの処理等が必要と思われる。さらに、将来的には測位解析用サーバの台数をさらに増やすことも検討する必要がある。

3.2 試験解析により推定した精密軌道・クロック及び時系列解の品質評価

3.2.1 推定した精密軌道とクロックの品質

推定した精密軌道については、推定した精密軌道とIGS最終暦の三成分の差のRMSを全衛星について平均し、その二乗和の平方根(以下「3DRMS」という。)をもって品質の指標とした。推定したクロックについては、推定したクロックとCODEが公表しているクロックについて、CODEのクロックの全衛星の平均値からの差のRMSを平均したものを、品質の指標とした。

その結果、精密軌道の3DRMSはGPSでは2.43～5.08cmであり平均値は約2.90cm、GLONASSは7.29～9.93cmで平均は約8.55cmであった。またクロックのRMSはGPSでは2.23～5.662nsで平均は3.884ns、GLONASSは3.278～8.416nsで平均は約5.688nsとなった。

図-1に、軌道等の推定に用いたグローバル局数と、衛星系毎の軌道及びクロックの基準となる軌道・クロックからの差の(3D)RMSの関係を示す。軌道については、GPS、GLONASS共に若干ではあるが、使用するグローバル局が多くなると基準となるIGS最終暦に近づく傾向が見られる。

一方、クロックではGPS、GLONASS共にばらつきがおおきいものの、グローバル局が多くなるとむしろ基準となるCODEのクロックから離れる傾向が見られる。ただし、その理由がCODEのクロックに由来する可能性もある。今後、IGS最終暦のクロックで解析を行い、同様な結果が生じるか確かめる必要がある。

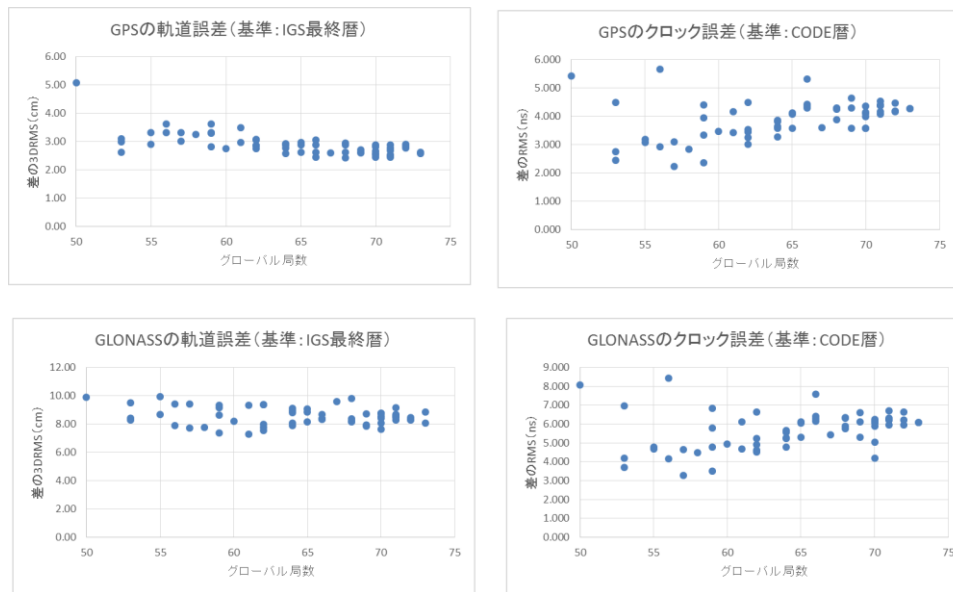


図-1 軌道等の推定に用いたグローバル局数と、衛星系毎の軌道及びクロックの基準となる軌道・クロックからの差の関係

3.2.2 座標時系列解の品質

図-2 に座標時系列の水平成分（東向き，北向き）の標準偏差のヒストグラムを示す．標準偏差の計算にあたっては，極端に大きな変位を示す点を除いた後，平均値から $\pm 3 \times$ 標準偏差の範囲を超える観測値は異常値として除去している．

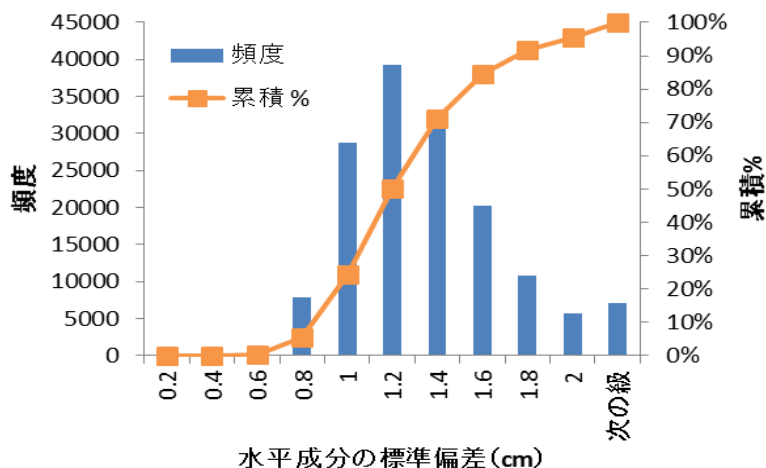


図-2 座標時系列水平成分（北向き，東向き）の標準偏差

最も頻度が多いのは標準偏差が 1cm～1.2cm の区間で，全体の約 26%を占めている．標準偏差 1cm 以下の時系列は全体の約 24%であり，一方で全体の 85%程度が標準偏差 1.6cm 以下となっている．目標とする標準偏差 1cm を達成するためには，さらに誤差要因の分析を進める必要がある．

次に，ばらつきの安定性を見るために，各観測日について全観測点の標準偏差の平均値を成分毎に計算し，その時間変化を調査した．図-3 にその結果を示す．これを見ると，各日とも水平成分の標準偏差の平均値は，この試験解析期間においてはおおむね 1～1.5cm の間で安定している．なお，特にば

らつきの大きな9月4日から5日にかけては日本列島を台風が通過しており、その影響が現れていると考えられる。今後、異なる季節についても試験解析を行い、評価を進める必要がある。

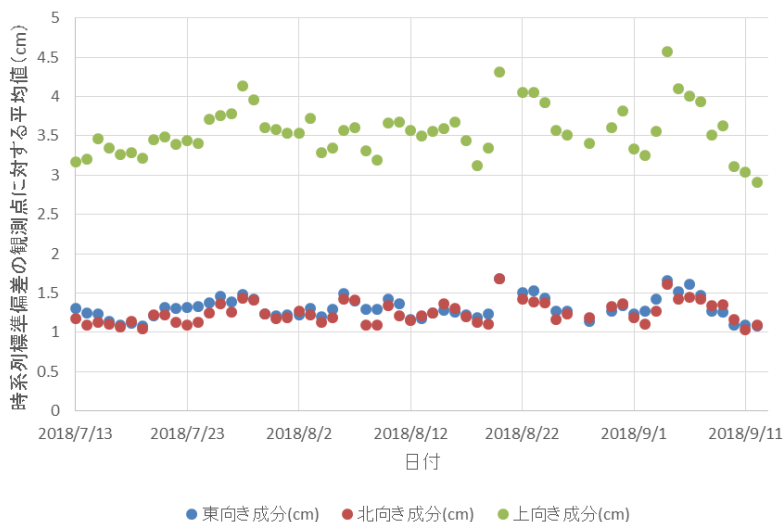


図-3 各観測日について全観測点の標準偏差の平均値

4. 結論

測位解析時間に関する考察と、推定した軌道・クロックの品質及び時系列解のばらつきの評価を行った。目標とする解析時間を達成するためには、システムのハードウェアの強化が必要であることが示された。また、時系列解のばらつきについては日ごとの平均値は安定しているものの、その大きさはまだ目標とする水平成分の標準偏差 1cm には達していない。

今後は、衛星軌道・クロックの品質と座標時系列の品質の関係を詳細に調査し、座標再現性の原因が衛星軌道やクロックに起因するのか他の要因によるのかを判断した上で、再現性を向上させる方策を検討する。また、時系列解の座標の絶対値についても、既存の後処理 PPP システム（宗包，2017）や GEONET 定常解と比較し、系統差の有無やその評価を実施する。さらに、プロトタイプシステムについても定常運用試験を行い、解の品質を評価する。

謝辞

IGS 及び UNAVCO からはリアルタイム GNSS データストリームを提供いただいた。MADOCA 及び MGM-net のデータは、(国研) 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) と国土地理院の包括的協力の協定書に基づき JAXA 貸与を受けた。測位計算には、東京海洋大学の高須知二研究員によって開発されたオープンソースのソフトウェア RTKLIB に国土地理院の宗包浩志氏が改良を加えたものを使用した。ここに謝意を表す。

参考文献

- 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, 1-10.
- 中川弘之 (2018) : 迅速・高精度な GNSS 定常解析システムの構築に関する研究 (第 1 年次), 平成 29 年度調査研究年報, 148-151.