

「GNSS 観測を用いた世界測地系の精度向上と 我が国の解析能力強化に向けた調査」

(一財) 日本宇宙フォーラム 主任調査分析員 白石 剛

1. 調査研究のバックグラウンドと目的

測位・測量は地図作成、都市計画、道路・交通、地上インフラ整備などに活用されている基盤技術であり、極めて正確な測位・測量のためには正確な測地系が必要となる。我が国でも古くから三角測量による成果に基づく基準点網による日本測地系が用いられ、広く使われてきた。しかし、近年、航空機や船舶のグローバルな往来が頻繁になり、GPS 等による高精度な測位法が世界的に一般化され、人工衛星や VLBI による地球規模の観測が可能になったため、世界的に、ローカルな測地系から世界測地系に移行しつつある。日本でも 2002 年に世界測地系が導入され、実際の測量等で運用されている。

測地系の精度は観測手法高度化と共に向上しつつあるが、その精度や品質は位置情報の基盤情報であり、高精度測位ビジネス等のサービス向上に直結するものである。我が国では国土交通省国土地理院や宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 等が GNSS 観測を含む観測データの提供を行っているが、まだ統合解析や統合プロダクトの提供を行う組織が確立しておらず、今後のスマートシティ計画や高精度測位ビジネスの発展のためにも研究コミュニティの拡充、及び観測データの解析強化体制の構築が不可欠である。

このような背景の下、本調査研究において、測地に資する GNSS 観測の国際協カスキームである International GNSS Service (IGS) による解析体制と、精密衛星軌道クロック推定技術、GNSS 解析技術の先端モデル、解析手法等について整理した。また、それらの調査結果を参考に、我が国において、世界測地系の高精度化に資する統合プロダクトの提供・統合解析を行うための運用体制の在り方について考察した。

2. 調査内容と方法

GNSS 観測に関する測地観測技術の最新動向や国際協カスキーム、GNSS 観測への我が国からの貢献のアップデート、GNSS 観測以外の宇宙を用いた観測スキームについて、公開情報等をウェブサイトや文献等の公開情報から収集した他、JAXA へのヒアリングにより、現状について確認した。その上で、我が国における世界測地系の高精度化に資する統合プロダクトの提供・統合解析を行うための運用体制の在り方について考察した。

3. 調査結果

(1) 国際 GNSS 事業の組織と業務

国際 GNSS 事業 (International GNSS Service : IGS) は、国際測地学協会 (IAG) のサービスとして、測地学・地球物理学等の研究活動を支援するために、各国関係機関の協力のもとでボランティアに運営されている国際組織で 118 カ国の 350 以上の組織が参加している (2021 年 11 月現在)。IGS は、世界各地の研究者に GNSS 観測局網による観測データを用いた解析結果 (衛星軌道クロック、電離層、対流圏遅延、局位置など) を複数の解析センターの解析結果を統合したプロダクトとして公開している。衛星測位システムを構築するために必須の精密軌道クロック推定の最先端のモデル・理論

が解析センター間の連携・協力、そして競争によって醸成、年々プロダクトの品質向上が図られている。IGS は、主に GPS と GLONASS を中心に他の衛星データも近年取り込みつつ、GNSS 衛星軌道情報（米 GPS とロ GLONASS 衛星）、地球回転パラメータ、全球 GNSS 観測局位置情報、衛星及び追跡局のクロック情報、対流圏遅延推定情報、全球電離層マップといったプロダクトを提供している。

IGS の統合プロダクトは、解析センター機関（AC）と呼ばれる各国の機関から提供されるプロダクトを基に生成されており、AC は現在、以下の機関で構成されている。

- ・ Geoscience Australia（GA）（豪）（ACC）
- ・ Massachusetts Institute of Technology（MIT）（米）（ACC&AC）
- ・ Natural Resources Canada（EMR）（加）（AC）
- ・ Wuhan University（WHU）（中）（AC）
- ・ Geodetic Observatory Pecny（GOP-RIGTC）（チェコ）（AC）
- ・ Space geodesy team of the CNES（GRG）（仏）（AC）
- ・ European Space Agency/ESOC（ESA/ESOC）（独）（AC）
- ・ GeoForschungsZentrum（GFZ）（独）（AC）
- ・ Center for Orbit Determination in Europe（CODE）（スイス）（AC）
- ・ Jet Propulsion Laboratory（JPL）（米）（AC）
- ・ NOAA/National Geodetic Survey（NGS）（米）（AC）
- ・ Scripps Institution of Oceanography（SIO）（米）（AC）
- ・ U.S. Naval Observatory（USNO）（米）（AC）

（2）GNSS 観測への我が国からの貢献

以下、ここ 1 年以内に IGS に観測データを提供した局を以下に示す（他にも IGS に観測データを提供している局がある可能性がある）。

機関	観測局
国土交通省 国土地理院	北海道：GNSS 観測 茨城県 石岡：VLBI 観測、GNSS 観測、重力計測 茨城県 筑波：GNSS 観測 東京都 父島、南鳥島：GNSS 観測 鹿児島県 始良：GNSS 観測
宇宙航空研究開発機構（JAXA）	長野県 臼田：GNSS 観測 鹿児島県 種子島：SLR 観測、GNSS 観測
海上保安庁	和歌山県 下里：SLR 観測、GNSS 観測
自然科学研究法人国立天文台	岩手県 水沢：VLBI 観測、GNSS 観測、重力計測 東京都 三鷹：GNSS 観測
国立研究開発法人 情報通信研究機構	東京都 小金井：VLBI 観測、SLR 観測、GNSS 観測
国立極地研究所	南極 昭和基地：VLBI 観測、DORIS 観測、GNSS 観測、重力計測 潮位計

(3) GNSS 観測以外の宇宙を用いた観測スキームの調査

VLBI 観測、SLR 観測、DORIS 観測に関する測地観測技術の最新動向や国際協カスキーム等の公開情報等をウェブサイトや文献等の公開情報から収集し、GNSS 観測との関連性を整理した。測地においては、地上局から何らかの物体に到達するまでの距離を計測することにより、複合的な計測が行われている。人工衛星や天体を異なる手法によって距離や位置を計測し、それらを統合することにより、より正確な測地データが提供されている。

4. 考察とまとめ

IGS の AC になるための一般的なプロセスを概観し、JAXA 等へのヒアリングの結果、我が国が AC として IGS に貢献することについての可能性について考察した。

① AC になるためのプロセス

いったん AC となった場合は、継続的に生成プロダクトの配信やソリューションの品質の保持に関してコミットメントが必要となり、財政的もしくはマンパワーの問題等で AC から脱退することは基本的には難しい。さらに、毎年、どのような活動や貢献を行ったか、どのような品質改善活動を行っているかを技術レポートという形で提出する必要があり、実際の改善活動が実効上義務づけられている。また、AC になるためには ACC による評価や IGS Governing Board による承認プロセスが必要となるため、AC になるためにはある程度の助走期間が必要になることは明白である。

AC になるためのプロセスは公開されているものの、もう少し詳細な AC になるためのガイドラインのようなものは現時点では存在せず、これらのプロセスに沿って、具体的にどのような資料を提出すればよいのか、どのようなアクションを起こせばよいのかは AAC や IGS Governing Board と調整しながら手探りで進めていく必要があると思われる。既に記載の通り、オーストリアの Graz University of Technology (TUG) が 2020 年に初めて、第 3 回再処理キャンペーン (repro3) に参加し、IGS に貢献している。AC になるために、上記のプロセスを踏んでいるという情報があり、現状では Final、Rapid、Ultra-Rapid プロダクト生成はまだ行っていないが、今後、プロダクト生成にも加わる可能性がある。そのため、AC になるために、実質的にどのような資料を提出すればよいのか、どのようなアクションを起こせばよいのかを既に先行して AC になろうとしている Graz University of Technology

(TUG) から情報収集またはヒアリングを行うことにより、上記プロセスでは見えない、詳細な手続きや必要資料などの情報が得られると思われる。

② 我が国の組織が AC として貢献する可能性

人工衛星から高度に計測された地球全体の正確な大きさや形状を基に、国際的に定められた基準となる測地系が世界測地系であり、①GNSS (GPS を含む、衛星利用測位システム)、②VLBI (超長基線電波干渉法)、③SLR (衛星レーザー測距)、④DORIS (衛星利用測位システムの 1 つ) 等の宇宙からの観測手法を用いて世界測地系の精度の向上が図られている。我が国として、様々な研究機関が GNSS 観測、VLBI 観測、SLR 観測、DORIS 観測データを提供しており、全地球統合測地観測システム (GGOS) に貢献している。社会経済活動がグローバルなものとなっている現状、最も正確な地球基準座標系として世界標準である国際地球基準座

標系（ITRF）を維持し、アップデートし続けることは人類の社会経済活動にとって必須のものとなっており、ITRF 維持への追加の貢献は更なる国際貢献につながるものである。

現在、我が国においては、内閣府、JAXA、国土交通省国土地理院が我が国の組織が AC として貢献する可能性について協議を行っている。IGS Governing Board にも既にコンタクトし、AC 立ち上げに向けた動きを始めたことを共有している。他方、AC として認定され、IGS の統合プロダクト生成活動を定常的に行うためには、プロダクト品質の維持と継続的な人的リソースが必要となってくる。JAXA と国土地理院においては、そのような国際的に貢献してきている既存の AC レベルの品質確保ができるのかを内部で検討評価するところから始めてきていると聞いており、GNSS 軌道やクロックに関して、JAXA と国土地理院でプロダクトの精度をトライアルとして評価する活動から行っている模様である。現在、ACC として AC を束ねて調整役を行っている Geoscience Australia (GA) においてプロダクト統合や局位置の統合に携わっている職員からフィードバックを得ながら品質改善活動を行ってきており、水面下では我が国で AC 機能を持つための技術的な検討が行われてきていると言える。

もう一つの大きなハードルは継続的なマンパワー確保である。JAXA は高精度測位補正技術（MADCOA）の推定技術の改修を進めており、品質改善のための技術的な更新については JAXA として進めてきている。JAXA の組織的な性質上、国立研究開発法人として、MADCOA 等の技術的な進歩に関する研究開発は担うことが可能だが、プロダクト提供の国際貢献活動を JAXA が担うことは難しいと思われる。他方、国土地理院は座標系の維持のための国際貢献をこれまでもミッションとして位置付けてきており、JAXA の技術支援の下、国土地理院が AC 機能を運用・維持することが最適であると考えられる。AC 機能を保有することに関しては、まだ国土地理院として決定しておらず、内部で今後の方針含めて検討が必要となってくるが、記載の通り、準備としての活動は少しずつ進められてきており、今後、我が国においても AC 設置・維持の機運の高まりとともに具体的な AC となるプロセスを開始できるようになることを期待する。

その際、JAXA は MADCOA の改修・機能改善といったモデルや手法に関する技術的改善活動を担い、国土地理院が座標系管理やコンピューティングリソースといった実際の運用や AC 機能の維持を行うという役割分担が最適と考えられる。

以上