

0.5 測位の基盤となる測地インフラ – 全球統合 測地観測システム (GGOS) と GEONET –

宮原伐折羅 (国土地理院)

miyahara-b96ip@mlit.go.jp

5.1.1 はじめに

地球上において精密な位置を測るためには、計測の基準となる地球の形状とその時間変化を精密に把握することが必須である。地球の中心を基準とした三次元位置で記述される GNSS 衛星の軌道に基づいて、地球上の位置を測位する GNSS では、地球全体で整合した位置に基づいて計測を行うことが必要となる。そのため、国際的に整合した、科学的に妥当な地球の形状とその時間変化、すなわち、「地球規模の測地基準座標系 (Global Geodetic Reference Frame: GGRF)」を精密に構築、維持し、世界各国で共有して用いることが欠かせない。こうした社会、科学の要請を認識して、国連総会では、世界各国が協力してこの GGRF を維持することを推奨する国連総会決議を行っている。地球の形状とその変化を把握するためには、地球上に測地観測局を数多く均等に配置し、その位置を継続して測ることが必要となる。こうした測地観測は、例えば、GNSS では、国際 GNSS 事業 (International GNSS Service: IGS) が行うように、国際測地学協会 (International Association of Geodesy) が実施する国際共同観測の枠組みによって実現されている。これらの国際共同観測の間の連携を行い、実質の GGRF として国際的に用いている ITRF (International Terrestrial Reference Frame: 国際地球基準座標系) の活用を促進する国際的な枠組みが、全球統合測地観測システム (Global Geodetic Observing System: GGOS) である。国際的に構築された ITRF を、国内においてどこでも利用できるようにするためには、ITRF に整合した位置を国内に展開するインフラが必要となるが、日本では、国土地理院の GNSS 連続観測システム (GNSS Earth Observation Network System: GEONET) が日々の連続した観測とその結果得られる ITRF に整合した測位座標の提供を通じ

て、その役割を担っている。本稿では、地球の精密な形状とその変化を把握するための国際連携の仕組みを GGOS を中心に解説し、国内にその位置を展開する GEONET について解説する。

5.1.2 地球規模の測地基準座標系 (GGRF)

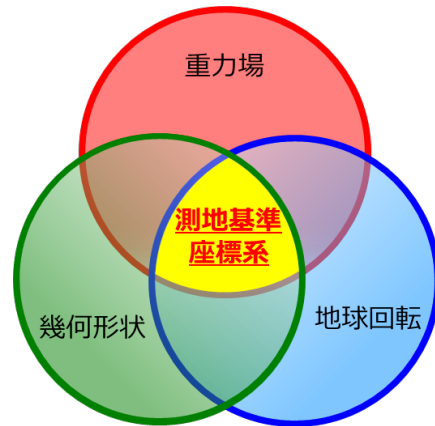
地球の精密な形状とその時間変化は、地球上における計測において、基準となる必須情報である。地球の中心を基準として、地球上での位置を測る衛星測位においては、その軌道の決定においても、地上での観測点の位置の決定においても、正確な地球の形状と変化、すなわち、GGRF が欠かせない。社会、科学活動における GGRF の重要性を認めて、国連総会は、2015 年に加盟国が協力して GGRF を維持することを推奨する決議を行った¹⁾。地球の形状は複雑で、その表面は、地球回転、太陽や月による潮汐変形、プレート運動、地球内部質量の変化など、様々な要因によって、常に一樣でない変化を続けている。そのため、GGRF の構築と維持には、位置を計測する測地技術の観測点を地球上にできるだけ多く、かつ均等に配置し、位置の変化の計測を継続することが欠かせない。さらに、測地観測によるデータは、地球全体で解析処理することによって、はじめて地球全体で齟齬のない整合した位置を得ることができる。これらの国際共同観測や解析処理は、IAG や GGOS の行う国際連携によって実現され、測位でも実質の GGRF として基準に用いられる ITRF が構築、維持、提供されている。

5.1.3 全球統合測地観測システム (GGOS)

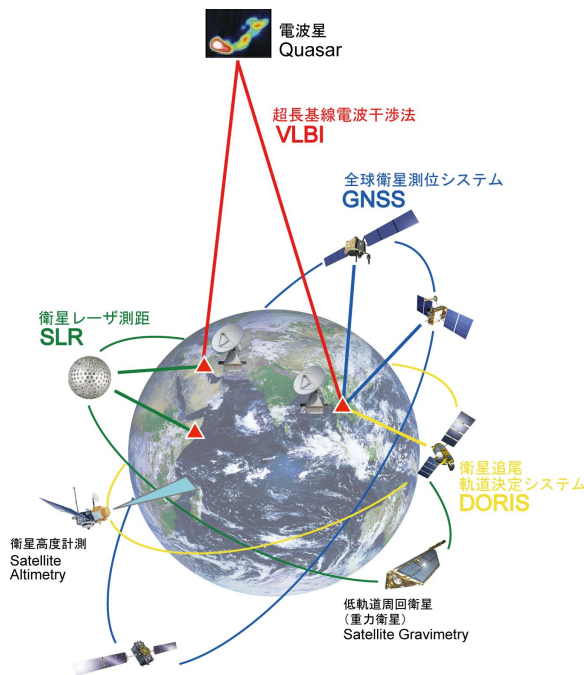
IAG は、地球の形状とその変化を把握し、社会、科学活動の基盤として提供するために、国際連携の枠組を立ち上げ、様々な測地技術の観測や解析を実施している。GNSS、VLBI (Very Long Baseline Interferometry: 超長基線電波干渉法)、

SLR (Satellite Laser Ranging: 衛星レーザ測距)、DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite)、重力観測などは、その代表的な技術である。GGOS は、IAG のもとに設立された組織で、こうした測地技術間の相互連携を強化するための枠組みである¹²⁾。測地観測の国際連携が円滑に実施され、精密な地球の形状と変化を継続的に把握することで、これらが社会、科学の基盤として提供される体制が維持されるように、観測局や観測データの仕様やルールの検討、調整を行っている。さらには、観測データから生成される ITRF をはじめとした測地プロダクト、例えば、地球姿勢・回転パラメータや衛星軌道情報、地球重力場の時空間分布などの諸情報についても、IAG と連携して、仕様やルールの検討、調整を行っている。2020 年現在、GGOS 議長は、筆者（日本、国土地理院）が務めている。

て精密な計測を実施する基盤を与えるには、その幾何的な形状だけでなく、動き（地球回転）と重力の分布に関しても精密に把握する必要がある。測位においても、精密な測位を実現するために必要となる、測位衛星の精密な軌道の制御、軌道情報の把握と提供等において測地学が構築するこれらの情報が欠かせない。



測地学の目的（三本柱）



GGOS の概念図

5.1.4 ITRF の基盤となる測地観測

GGOS の目的は、地球の形状と変化を把握し、社会、科学活動の基盤として提供するための連携を強化し、体制を構築、維持することである。ここでいう地球形状と変化とは、地球の幾何的な形状と変化にとどまらず、測地学がその目的に掲げる、三本柱、すなわち、地球の幾何形状、地球回転、重力場とその変化である。地球におい

一方、自身の位置を求める測位ユーザにとっては、得られた位置が、他の位置情報と整合した三次元位置であることが最も重要であり、そのためには、三次元の幾何位置の国際的な標準となっている ITRF と整合していることが必要となる。ここでは、ITRF を構築するための流れとそのために用いられる測地技術を解説する。

GNSS、VLBI、SLR、DORIS といった測地技術は、天体や人工衛星からの信号に基づいて、地球上の精密な位置を計測できる技術である。いずれも、数cm程度の高い再現性で位置を測ることができるが、それぞれの技術には、技術固有の系統的な誤差要因があるため、計測した位置は技術間では完全には一致しない。そこで、ITRF を構築する際には、これらの技術を複数備えた観測局（例えば、VLBI と GNSS を併設する国土地理院の石岡測地観測局など）を通じて、各々の技術から得られた位置を結合することで、各技術の長所を生かしてできるだけ誤差の少ない地球の幾何形状を求めるアプローチをとっている。VLBI は、地球の姿勢を正確に測ることができる唯一の技術である¹³⁾、SLR は、地球の重心を最も正確に測ることができる¹⁴⁾、GNSS は、設置・運用が容易で、観測網を高密度化し、空間的に詳細な変動の把握を可能にする¹⁵⁾、といったように、

それぞれの技術の特性を活かすことで、精密かつ空間的に緻密な地球形状と変化を構築することが可能となる。



石岡測地観測局（国土地理院）の全景 /6/

5.1.5 GEONET (GNSS 連続観測システム)

IAG/GGOS のもとで行われる連携を通じて、地球の形状、回転、重力場とその時間変化が精密に把握され、ユーザに提供されることで、様々な社会、科学活動において精密かつ共通の位置の基盤を与えることが可能となる。しかしながら、日本のようにプレート境界に位置する複雑な地殻変動を経験している国では、国際連携によって提供された情報のみでは、その複雑な変化を反映した位置を提供することは難しく、国土全域において ITRF に整合した位置を与えるためには、ITRF に整合した位置をさらに高密度に把握し、提供するための仕組みが必要となる。そのための仕組みとして、国土地理院は、1990 年代から GEONET を運用している。GEONET は、GNSS 連続観測点である電子基準点によって、平均点間隔 20km で全国を網羅する GNSS 観測網で、約 1,300 点の電子基準点において ITRF に整合した測位解を日々提供している。これらの位置にアクセスすることで、ユーザは、国内においても ITRF に整合した精密な位置を得ることができる。日々の座標値に加えて、電子基準点の観測データを提供しており、これらを用いることで、測位の高精度化に必要な補正情報の生成も可能となっている。GEONET は、国際的に整合した精密な位置へのアクセスを可能とする位置の基盤であるとともに、高精度な測位を実現するための基盤となっている。

5.1.6 おわりに

地球上で国際的に整合した位置を計測するた

めには、地球の形状とその変化を継続的に把握することが不可欠で、地球の中心からの三次元位置を求める衛星測位においても、正確な地球の形状は不可欠である。こうした地球形状は、IAG のもとで GGOS が強化する測地観測の国際連携によって実現されており、今後も安定して精密な測位を実現する基盤を維持するためには、こうした測地インフラが維持され、適切に機能するよう、世界全体で継続した連携を行うことが重要である。国際的に構築された正確な位置の基盤を、日本のような複雑な地殻変動のある場所で展開するためには、さらに高密度な観測を継続する測地インフラが必須となる。国土地理院の GEONET は、国土を網羅する高密度な GNSS 観測を通じて、国際的な基準である ITRF への国内におけるアクセスを可能とする基盤であり、高精度な測位を実現する基盤ともなっている。

参照文献

- /1/ 宮原伐折羅、地球規模の測地基準座標系 (GGRF) と国連総会決議、測地学会誌、63、pp.65~68、2018
- /2/ 松坂茂、GGOS の概要と日本の測地学との関わり、測地学会誌、63、pp.61~64、2018
- /3/ 川畑亮二、VLBI の GGOS への貢献、測地学会誌、63、pp.69~74、2018
- /4/ 大坪俊通・横田裕輔、グローバル測地技術としての衛星レーザ測距：現状と課題、測地学会誌、63、pp.75~80、2018
- /5/ 川元智司、GNSS の GGOS への貢献と今後の展望、測地学会誌、63、pp.81~94、2018
- /6/ 石本正芳・川畑亮二・宮原伐折羅・若杉貴浩・豊田友夫・梅井迪子、GGOS への貢献に向けた石岡測地観測局の建設、測地学会誌、63、pp.103~110、2018