

平成 28 年 7 月 27 日  
日本測量者連盟  
第 5 分科会委員長  
宮原 伐折羅

国際測量者連盟 (FIG) 第 5 分科会  
「実務者のための測地基準座標系に関する技術セミナー」参加報告

本セミナーは、測地基準座標系の構築と維持に関する実務者の人材育成・能力開発を目的に、国際測量者連盟 (FIG)、国連地球規模の地理空間情報管理に関するアジア太平洋地域委員会 (UN-GGIM-AP)、国際測地学協会 (IAG)、衛星航法システムに関する国際委員会 (ICG) が共同開催する技術セミナーである。2012 年から継続して開催されており、報告者は、講師としてフィリピン・シンガポールに続き、3 回目の参加を行った。第 4 回目の今回は、ダイナミックな測地基準座標系に焦点を絞り、測地基準座標系の基礎理論から、地殻変動場をモデル化する手法、変動場を考慮したダイナミック測地基準座標系とその実現に向けた取り組みといった先進国の先端事例まで、幅広く講演が行われた。日本からは、東北地方太平洋沖地震の際の測地基準座標系の再構築、熊本地震での干渉 SAR の活用、日本の新しい重力基準網を紹介することで日本の取り組みへの理解を促進するとともに、日本の高さ基準系のあり方を検討するにあたって有益となる、国際連携の動向、米国、豪州、ニュージーランド等の先進的な取り組みに関する情報収集を行った。

## 1. 開催概要

期 間： 平成 28 年 5 月 1 日 (日) ～ 5 月 2 日 (月)  
開催場所： ニュージーランド国クライストチャーチ Rydges Latimer ホテル  
主催者： FIG、UN-GGIM-AP、IAG、ICG、NZIS  
出席者： 米国、オーストラリア、ニュージーランド、スウェーデン、ドイツ、ポーランド、フィリピン、シンガポール、ネパール、フィジーなど 17 か国 50 名

## 2. 日本の発表

発表名： 日本の測地基準座標系  
発表者： JFS 第 5 分科会委員長 宮原伐折羅 (国土地理院測地部宇宙測地課長)  
FIG 第 5 分科会 WG5.3 メンバー 松尾功二 (国土地理院地理地殻活動研究センター宇宙測地研究室 研究官)  
内 容： 宮原 JFS 第 5 分科会委員長から日本の測地基準座標系の現状、東北地方太平洋沖地震の際の測地基準座標系の再構築の取組、熊本地震でのだいち 2 号

(ALOS-2) を用いた干渉 SAR の地殻変動把握への活用に関して報告を行うとともに、松尾研究官から日本の重力基準網の現状と課題を報告し、日本の技術と経験へ理解の促進を行った。

### 3. 他の発表者による主な内容

- 開催にあたって、測地基準座標系において、世界全体、各国共通の課題として、座標系が時間とともに変形するために生じる現実の位置とのずれを適切に扱うことができる測地基準座標系が必要であること、GNSS 測位が広がる中でジオイド・重力ポテンシャルを基準とした高さ基準系が必要であること、「地球規模の測地基準座標系 (GGRF)」に関する国連決議が示すように、連携して地球規模の測地基準座標系を維持することの必要性が確認された。
- ニュージーランド土地情報局 (LINZ : Land Information New Zealand) の Nic Donnelly (FIG 第 5 分科会 WG5.2 座長) から測地基準座標系の基本的な概念、地球規模・地域・国家の現実の基準座標系の状況、GGOS、IGS など座標系を実現するための国際的な取組について発表があった。
- オーストラリア New South Wales 大学の Bill Kearsley から水準測量からジオイド・モデルまで高さ基準座標系の基本的な概念、現実の高さ基準座標系とその課題について発表があった。
- ニュージーランド Otago 大学の Chris Pearson から測地基準座標系の構築で用いているニュージーランドの地殻変動モデルについて発表があった。テクトニックな変動と地震時の変動について各々モデルを作成している。テクトニックな変動は、GNSS の連続観測、キャンペーン観測から速度場を推定して線形で空間補間することで作成する。地震時の変動は、GNSS と干渉 SAR の観測から震源断層モデルを作成して推定する。
- ニュージーランド LINZ の Chris Crook から地殻変動モデルを用いてどのようにニュージーランドの測地基準座標系 NZGD2000 を実現しているかに関する発表があった。NZGD2000 では、ITRF2008 に準拠した座標を ITRF94 (元期 1996.0) に変換した後、二つのモデル、定常地殻変動モデル、地震時地殻変動モデルを適用して座標値を実現する。地震時の地殻変動モデルは、地震ごとにモデル化され、グリッドで変動量を与える Patch が作成されている。これを適用することで元期の座標値が地震後の相対位置と整合するようになり、利用者の需要に応えることができる。
- 米国 NGS の Daniel Roman から米国の測地基準座標系の現状と展望について発表があった。2022 年に CORS、ジオイド・モデルを基盤とした測地基準座標系へと移行するため、座標系の構築を進めている。
- ニュージーランド LINZ の Greame Blick からニュージーランドの測地基準座標系の現状と展望について発表があった。

- フィリピン、ポーランド、ネパール、フィジー、太平洋測地連合から測地基準座標系の現状と課題について報告があった。
  - ▶ フィリピン国家地図資源局 (NAMRIA) の Charisma Cayapan からフィリピンの測地基準座標系 PRS92 の現状と新しい測地基準座標系、PGD2016・PGVD2020 に向けた展望について報告があった。PGD2016 では、変動モデルを用いてセミダイナミック測地系とするため、162 点の CORS 設置を目標として、34 点が整備済みである。CORS の観測網 PageNET は、Bernese で解析を行う。PGVD2020 では、デンマークの DTU と米国の NGA の資金によって航空重力を行って作成したジオイド・モデル PGM2014 を用いて構築する。
  - ▶ ポーランドの Joanna Kucynska-Siehnien から測地基準座標系の現状と展望について報告があった。
  - ▶ 太平洋連合の Andrick Lal から大洋州での測地基準座標系に関する連携の現状について報告があった。測地観測は、「開発のための地球科学」プログラムのもとで行っている。地域連携プロジェクトとして、太平洋海水準監視プロジェクトが進められている。
  - ▶ ネパール測量局の Niraj Manandhar からネパール地震後の測地基準座標系の再構築の展望について報告があった。1m を超える地殻変動が生じたこと、ITRF と整合しないエベレスト座標系を用いていることから、現在 2 点の GNSS 観測点を拡充して CORS を用いて ITRF を導入したいこと、新しい座標系への変換パラメータを作成すること、セミダイナミック測地系を導入すること、ジオイド・モデルを作成すること、を将来の目標としている。
  - ▶ フィジー測量局の Asakaia Tabuabisataki から測地基準座標系の構築に向けた展望の報告があった。フィジーでは、国連総会の決議を受けて CORS の整備を含む座標系の構築事業に予算が配分される予定であったが、台風被害の復旧が必要となったため、予算配分が遅れており、8 月ごろに配分を期待している。
- Geoscience Australia の John Dawson からオーストラリアの測地基準座標系の現状と今後の展望について発表があった。オーストラリアの根幹網は、8 点の固定点 AFN (Australia Fiducial Network) で、現在の測地基準座標系 GDA94 は、準拠する ITRF96 の元期 1994.0 に変換すると AFN で cm の精度がある。そのため測地系を達成する地上観測点では、ITRF との整合はさらに低く、ITRF を基準とした測位サービスに不整合が生じる可能性がある。GDA2020 は、10 年間のプロジェクトで構築するオーストラリアの新しい測地基準座標系で、スタティック座標系では 2020.0 を元期とする。AuScope は、測地インフラを高密度化する GNSS CORS 網で、AFN に AuScope を加えて APREF の網を構築し、日々の座標値を解析する。APREF はすべての測位の基準となる。これらの CORS に GNSS キャンペーン観測を加えた 15,000 点で調整計算を行う。
- 2012 年のセミナーの設立時から本セミナーの開催に資金援助を行っている Leica、

Trimble から事業と製品の紹介があった。

- Geoscience Australia の John Dawson から UN-GGIM-AP の測地作業部会 WG1 が地域の測地基準座標系構築のために行う活動と、GGRF に関する国連総会決議の意義と現状について発表があった。多様な文化、活動的なテクトニクスのアジア太平洋で地域の測地基準座標系を構築することは大変な課題であるが、UN-GGIM-AP の WG1 は以下の 5 つの主要な活動を行っている。1. GGRF ロードマップへの貢献、2. GNSS の CORS 観測、解析を通じたアジア太平洋測地基準座標系 (APREF) の構築、3. 主に途上国での ITRF へのアクセスを改善するための GNSS キャンペーン観測であるアジア太平洋地域測地プロジェクト (APRGP)、4. 同地域の高さ基準系の統一を検討するためのアジア太平洋地域統一高さ系 (APRHSU)、5. 同地域の測地基準座標系に関する能力開発、人材育成を推進するアジア太平洋測地能力開発 (APGCB)。APREF は、IAG、FIG との共同プロジェクトで 28 か国、16 の国家測量機関の参加がある。420 点を日々解析しており、4 つの解析センター (オーストラリア 3、中国 1) がある。解析は、例えば、サモアで地震による地殻変動の把握、海水準変動の監視に用いられるなど活用されている。APGCB では、2013 年から本セミナーを継続している。2015 年 2 月に国連総会で行われた GGRF に関する決議では、測地基準座標系をインフラの基盤となるインフラとして認め、維持を推奨した。先進国で取組を継続する後押しとなるとともに、途上国への支援の根拠となることが期待される。2016 年 5 月 16 日には、世界銀行の本部で行われた会合で、気候変動や海水準変動の監視の基盤など、GGRF の持続可能な開発への必要性から、GGRF に関して途上国への投資の必要性が議論された。
- ISO/TC211 の測地レジストリ Control Body の副座長 Larry Hothem (米国地質調査所 (USGS)) から、ISO/TC211 における測地基準座標系に関する標準とそれに関する議論の状況について発表があった。TC211 は地理情報に関する標準で、TC211 のもとには、ISO 測地レジストリの Control Body が設定されている。国連の GGRF に関する決議には、測地データ、基準、取り決めのオープンな共有が謳われているため、TC211 はこの決議を支援している。GGRF に関係する標準は、19111 (座標値による空間参照)、19127 (測地レジストリ (以前は、測地コード・パラメータ)) である。19111-2007 は、ダイナミック測地系、ジオイドを基準とする高さ系を含んでいないため、改定プロジェクトチームが設置され、改定作業が進んでいる。次の会合は、2016 年 6 月のノルウェーの予定。19127 の改定作業は、最終段階で、必要なデータ要素の判別と測地レジストリの管理・運用の定義を行っている。19161-1 は、IAG、IAU、IUGG とともに国際測地基準系 (ITRS) の定義、実現、アクセスを扱っている。測地レジストリは、データベースで、14 か国が毎月のテレビ会議を行って進めている。
- ニュージーランド LINZ の Nic Donnelly から既知の測地基準座標系に準拠して観測点の座標値の調整計算と測地基準座標系間の変換計算を行うソフトウェア SNAP について、

機能と使用方法をニュージーランドの実際の測量データを用いて実演を交えた発表があった。

- オーストラリアの New South Wales 大学の Richard Stanaway から、国家の測地基準座標系の構築における標準的な課題と解決方法についてオーストラリア、ニュージーランド、途上国の事例に基づいて発表があった。標石などの従来型の基準点の維持に必要なとなる観点、観測点の材質や設置条件など国家基準点の根幹網とする CORS に必要な要件、多衛星間での二重位相差やアンテナのキャリブレーションなど解析の際の課題、Web で使用可能な測位サービスを含む GNSS 解析ソフトウェアの紹介と分析、基準エポックを固定した測地基準座標系の課題、地図に投影する際の留意点、座標系（成果）公開の際の課題、測地基準座標系を GIS で扱う際の可読フォーマット（OGC、ESRI、OR0J4）と課題について推奨が述べられた。GIS では、時間に依存して変化する測地基準座標系に対して標準がないことが課題である。
- 国際 GNSS 事業（IGS）中央局の Ruth Neilan（米国 NASA/JPL）から IGS の活動について発表があった。IGS が注力する活動は、多くのリアルタイムデータを含むマルチ GNSS 実験である MGEX で、およそ 150 点のデータを用いてリアルタイム軌道暦の作成など、リアルタイムプロダクツの実験を行っている。測位衛星システムの提供国で構成される ICG では、測地基準座標系と時刻を扱う 4 番目の作業部会、WG-D において IAG、IGS、FIG が共同座長をしている。また、タスクフォースで、国際 GNSS 監視評価（IGMA）を行っている。IGS が重要な役割を果たしている全球統合測地観測システム（GGOS : Global Geodetic Observing System）では、1. 地球災害（GNSS による津波早期警報の強化（GATEW））、2. 統一高さ系、3. 海面変動を三つの重点としている。IGS 観測点の課題は、アフリカにおける観測点の数が極端に少ないことである。IGS では 14 の作業部会が活動しているため、積極的な参加を期待する。IGS は、NASA のファイアウォールの外側に Web サイトをリニューアルした。ここでサイトログの自動処理を行う Site log manager を公開したため、利用してほしい。2016 年 2 月には、シドニーで IGS ワークショップを開催したが、この結果は発表など全て IGS が WEB サイトにある。特に三つのキーノートが素晴らしいのでご覧いただきたい。
- オーストラリアのメルボルン大学の Suelynn Choy からマルチ GNSS の現状について発表があった。GPS は、31 基（Block IIR が 12、IIR-M が 7、IIF が 12）が運用され、2017 年に L1C を送信する Block III が開始される予定である。2014 年 4～6 月の 3 か月に 28 点で行った検証では、測位誤差は、 $2\sigma$  で 3.351m である。Glonass は、28 基が軌道にいるが、測位に運用中なのは 23 基である。CDMA の信号を送信する Glonass-K は 2 基打ち上げられている。測位誤差は、近年改善しており、2006 年には  $1\sigma$  で 35m、2012 年には 2.8m と評価されている。Galileo は、12 基が打ち上げられているが、2 基は計画した軌道からずれており、10 基が運用中である。Beidou は、2000 年代に初めの 2 基が打ち上

げられ、2007～2015年のBeidou-2では15基（GE06基、IGS06基、ME04）が運用中で、2015～2020年のBeidou-3では35基（GE05基、ME027基、IGS03基）を運用する予定である。2016年4月5日に22基目のIGS0が打ち上げられた。2018年までにさらに18基を打ち上げる予定である。2014年には測位誤差は1.5mと評価されている。インドのIRNSSは、7基（IGS04基、GE03基）が運用中で、L5帯と電離層遅延が少ないS帯を送信している。7基目は2016年4月28日に打ち上げられた。インド政府は、名称をNavIC（Navigation with Indian Constellation）と変更すると発表している。QZSSは、GPSとほぼ同等の性能を持ち、GPSの追加衛星として用いることができる。2010年9月11日に打ち上げられ、測位誤差は2.6mと見積もられている。QZSSを追加することで東京都内の実験では、特に高さの精度が3.2mから1.5mに改善すると報告されている。マルチGNSSの利用者に対する影響としては、利用可能な衛星数、信号の増加が挙げられる。Galileo、Beidou、QZSSのL6帯では、補強信号が使用可能で、JAXAと共同でQZSの補強信号も用いたリアルタイムPPPの実験を行っている。また、衛星システムによって座標系が異なることも重要である。いずれの座標系もITRFに整合させることで、相互運用性を向上でき、cm級の測位を行うには、ITRFへの整合は必須である。

- Geoscience AustraliaのJohn Dawsonから測地解の交換を行う際の国際的な標準フォーマットであるSINEXの操作を行うソフトウェアrdsinexとオープンソースのGNSS解析ソフトウェアRTKLIBについて、機能と使用方法について発表があった。
- Geoscience AustraliaのRyan Ruddickからオープンソースで実務者の使用に推奨できる、日本の高須氏が開発したRTKLIBの性能と使用方法について、実際のソフトウェアの動作を示しながら発表があった。

#### 4. その他

次回の実務者向けセミナーについて、2017年6月に神戸で開催されるIAG/IASPEI総会に講演を行うことができる有識者が多く集まることが想定されるため、この会合に合わせて日本でFIG/UN-GGIM-AP/IAG/ICGが共同で開催することが効果的と考えられることから、日本測量者連盟、国土地理院にローカルホストとして開催の支援が可能か、検討を依頼された。

#### 5. 所感

セミナーでの発表、その間の議論から、さらに精度のよい測位を行うためには、プレート運動、プレート内部変形といった測地基準座標系を時間変化させる地殻変動に関しても適切な精度で基準座標系に反映していくことが必要となっていることが専門家、利用者の共通認識として広まってきていることが伺えた。特にニュージーランドでは、活動的なプレート境界に位置して地震・火山活動による地殻変動が大きいことから、測地観測から定常時、地震時の地殻変動をモデル化し、そのモデルを用いてダイナミックな測地基準座標系を構築する試みが積極的

に行われている。日本はニュージーランドと同様にプレート境界に位置し、類似した状況にあるため、ニュージーランドの経験と知見は日本におけるダイナミック測地基準座標系のあり方を検討するにあたって非常に有益である。近年ではネパールなど、大規模な地震に伴う地殻変動を経験した国々では、測地基準座標系を維持・管理する仕組みを模索しており、フィリピン、インドネシアなど、プレート境界に位置し、絶え間なく地殻変動にさらされる国々とともに、測地基準座標系に地殻変動をどのように組み入れるのがよいか、共通の課題を抱えている。測地基準座標系の時間変化をどのように扱うべきか、FIG 第5分科会では IAG、UN-GGIM と連携して議論を継続することが想定されるため、引き続き議論に参加していきたい。

(参考) FIG 第5分科会によるセミナー報告

[http://www.fig.net/news/news\\_2016/2016\\_05\\_rfip\\_comm5.asp](http://www.fig.net/news/news_2016/2016_05_rfip_comm5.asp)



報告者（宮原第5分科会委員長）の発表



John Dowson UN-GGIM-AP WG1 座長の発表



集合写真