

平成 29 年 7 月 3 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) ワーキングウィーク 2017 参加報告

国際測量者連盟 (FIG) の年次会合である、FIG ワーキングウィーク 2017 が平成 29 年 5 月 29 日～6 月 2 日にフィンランド国ヘルシンキで開催された。本会合は、「明日の世界を測量するーデジタル化から拡張現実 (AR) へー」をテーマとして、国連の持続可能な開発目標をはじめ、様々なグローバルな課題に対して測量者がどのように持続可能な貢献を行っていくべきか、活発に議論が行われた。報告者は、5 月 30 日～6 月 1 日のプレナリーセッション、技術セッションに参加し、技術セッションでは、地球観測衛星だいち 2 号を用いた干渉 SAR による地震時の 3 次元地殻変動の把握に関して発表を行ったため、技術セッションで得られた知見を中心に報告する。

1. 開催概要

期間： 平成 29 年 5 月 29 日 (月) ～6 月 2 日 (金)
開催場所： フィンランド国ヘルシンキ Helsinki Exhibition & Convention Centre
主催者： 国際測量者連盟 (FIG: International Federation of Surveyors)
出席者： 90 か国から産官学あわせて 1347 名が参加
日本の出席者： 日本測量者連盟 中堀総幹事
宮原第 5 分科会委員長 (国土地理院) (発表 1 件)
海津第 7 分科会委員長 ((株) パスコ)
山谷土地家屋調査士会連合会理事
山田土地家屋調査士会連合会研究員
(株) リプロ 岡田社長
(株) パスコ 三島技師長他 2 名 (発表 1 件)
国土地理院 測地観測センター 酒井調査員 (発表 1 件)

2. 会合 (技術セッション) の内容

- 技術セッション「地殻変動」 5 月 30 日 (火) 14:00～15:30
 - 宮原第 5 分科会委員長から複数の SAR 干渉画像を用いた 3 次元 SAR 解析について、鳥取地震に伴う地殻変動場の把握を事例として発表を行った。東西・上下で約 1cm、南北で 4cm を達成したと報告したところ、高い精度を達成できた理由が問われたため、GNSS を

同化してノイズを軽減することで精度が向上できることを説明した。

- ▶ トルコ Selcuk 大学から、2009～2011 年に GPS キャンペーン観測を実施して、Karaburun 帯の水平変動場を把握したことが報告された。変動場から 3 つの変動ブロックを推定し、既知の地震活動のデータと比較することで、地震活動と推定したブロックが空間的に整合することが確認された。
- ▶ ニュージーランド Otago 大学の Paul Denys から、ニュージーランドの験潮データと験潮場の GNSS 時系列の比較を行い、GNSS の時系列から見積もった地殻の上下変動を験潮データの時系列から取り除くことで、ニュージーランドの験潮場における相対的海面変動速度を推定したことが報告された。推定された海面変動の速度は、地球規模の海面変動の傾向と整合的である。GNSS の時系列では、地震時の変動、SSE、定常変動を検出し分離することができた。験潮場は、湾内にあることが多いため、GNSS データ品質が悪いことが課題である。
- ▶ トルコから GNSS の CORS156 点 (80km 間隔) とキャンペーン観測を用いて変動場モデルを作成し、国土全域の変動速度場を求めたことが報告された。GNSS 観測のネットワークが複数に分かれているため、個別に速度場を求め、結合して全体の速度場を作成した。トルコでは、2013 年にトルコの活断層図を 11 年ぶりに更新したが、構築した変動速度場は、地震活動、活断層構造と整合的である。

● 地球規模の測地基準座標系 (GGRF) 5 月 31 日 (水) 11:00～12:30

- ▶ フィンランド測量局の Markku Poutanenng から GGRF 決議の概要と欧州地域の測地基準座標系 EUREF の現況について報告があった。GGRF 決議は、測地・地理空間情報で始めての国連総会決議で、ロードマップを作成して決議の推進を行っている。EUREF は地域の測地基準座標系で、EUREF の枠組では、基準座標系の構築・維持・管理だけではなく、専門家と意思決定者をつなぐ役割として、GGRF のアウトリーチ、GGRF に関する能力開発も実施している。欧州諸国にさらなる参加を呼び掛ける招待状を発出して活動の拡大を図っている。
- ▶ 国連 GGRF 作業部会の共同議長、ノルウェーの Laila Loevhoeiden から GGRF 決議を受けた作業部会の活動と今後の展望について報告があった。作業部会では、GGRF 決議をうけてロードマップを策定し、昨年 8 月に UN-GGIM で承認を受けた。現在は、5 つの重点分野に関してロードマップの実施計画の作成を進めている。また、作業部会を準委員会 (SCoG) に昇格することも承認されたため、SCoG の活動開始に向けて準備を行っている。実施計画の作成は、5 つのフォーカスグループを設けて活動を開始し、グループには、それぞれ IAG、NASA から参加している。新しい統治機構 (ガバナンスボディ) の仕組みに関して素案を示すポジションペーパーについて、ガバナンスのフォーカスグループが作成を進めており、2018 年 6 月に国連統計部に提出を予定している。ガバナンスボデ

ィに必要な資金を獲得する仕組みを実現することは、非常に困難な挑戦で加盟国からの協力が不可欠である。

- ▶ ドイツ測量局 (BKG) の局長で、全球統合測地観測システム (GGOS) の議長である Hansjörg Kutterer から、GGOS の仕組みと役割について報告があった。GGOS は、変動を続ける地球を把握し、解明するための観測システムで、様々な測地観測技術を統合することで、地球システムの解明に良い相乗効果をもたらす。複数の観測技術を併設した根幹観測局を通じて、5つの観測レベルで観測成果の結合を実施する。結合の鍵は、根幹観測局の地球規模での適切かつ均等な配置である。それぞれ目標精度を設定して観測、統合を実施している。組織は、Coordinating Officeのもとに2つのBureau (ネットワーク・観測、成果・標準) を設置して実質の運営を行い、4つの重点分野 (情報・知識、測地インフラ、サービス・標準、アウトリーチ) に関して活動を実施している。
- ▶ 国際GNSS事業 (IGS) の中央局局長である Ruth Neilan から IGS の活動について報告があった。IGS は、GNSS に関して地球規模のネットワークと製品を提供する組織。IGS では、1988年に全球の追跡ネットワークを開始し、1991年にIUGGのパイロットプロジェクトとしてGPS観測網の地球ダイナミクス解明と測地基準座標系構築への活用を開始した。現在の活動は、一定期間ごとに戦略的計画を策定して方針を決定し、実施している。意思決定は、運営委員会 (Governing Board) において、様々な機関、国からの代表が議論を行って実施する。新たな活動を進めるのは作業部会 (WG) で、現在、14のWGが設置されている。近年の重点的な活動は、GNSSのリアルタイムサービスとマルチGNSSである。他の国際機関とも連携しており、最近では、国連の衛星航法システムに関する国際委員会 (ICG) において、基準座標系WG (WG-D) がITRFを衛星の共通の基準系として承認する中で、IGSがIGMA (国際GNSS監視・評価プロジェクト) を通じてマルチGNSSのリアルタイム監視と評価を行うことで、GNSSの性能を基準に沿って評価する取り組みを進めている。IGSの活動は、Webページを通じてほぼ全て公開されている。毎年実施するIGSワークショップでは、毎回発表の動画を撮影してWeb公開しており、これが広報においても教育・能力開発においても非常に効果的である (動画公開に伴ってプロシーディングスの作成はすでに終了)。また、IGSの活動によってこれまでに蓄積された知識、ノウハウは、IGS Knowledge baseを通じて全てWeb公開されており、これも能力開発に活用が可能である。
- ▶ フィジー測量局のAsakaia Tabuabisataki から、大洋州でのGGRFの現状とフィジーでの基準座標系構築の取り組みについて報告があった。大洋州諸国では、測地基準座標系の更新が長く行われておらず、近年の要求に応えられないため、GNSSなど新しい技術を取り入れてGGRFと整合した基準座標系の構築を進めていく必要がある。地域横断的な地理空間情報に関する連携の枠組であるPGSC (Pacific Geospatial Surveying Council) を設置して、基準系の構築に向けた連携を実施している。近年では、測地基準座標系の構築

に向けてフィジーで技術セミナーを実施して、同地域から多くの参加があった。フィジーでは、国連決議を受けて、国会で基準座標系の近代化を推進することが承認され、200万ドルの国家予算が配分された。この予算を用いて GGRF の構築を確実に行うためには、GGRF に関して技術支援が必須である。現在、基準の策定、CORS の設置を進めているため、知見を持つ専門家から支援をお願いしたい。

- 技術セッション「基準座標系に対する地球変動の影響」5月31日(水)14:00~15:30
 - ▶ 欧州の固体地球研究プロジェクトである EPOS (European Plate Observing System) の紹介があった。EPOS は、欧州の大学・研究機関の横断的な相互協力による欧州の固体地球に関する統合プロジェクトで、イタリア主導のもと、GNSS、地震計など様々な固体地球観測に関するデータ、成果を統合する仕組みを整備している。GNSS に関しては、GNSS のハード・ソフトを統合するシステム・ソフトウェアである、GLASS を構築、運用している。GLASS は、データセンターから解析センター、座標値などのプロダクト提供、データベース・解析ソフトウェアまで含む統合システムである。GNSS の統合において重要となるメタデータについては、ソフトウェア M3G (Metadata Management Multi-GNSS) を開発して管理している。
 - ▶ スウェーデン測量局の Martin Lidberg から、ITRF 作成者 Zuheir Altamimi (フランス IGN) の代理として、ITRF2014 で採用したプレート運動モデルの作成と評価の報告があった。ITRF2014 のプレート運動モデルでは、829 の観測点に対してプレート運動速度を与えている。モデルの作成では、インバージョンで 11 のプレートのオイラー極の位置(緯度・経度)と回転速度を推定した。モデルの精度は、使用した観測点の組合せに大きく依存するため、まず、変動帯、氷圏、GIA (Glacial Isostatic Adjustment: 氷河性地殻均衡) 地域の観測点を除外した 318 点を用いて、観測点網(観測点の組合せ)による解の評価を実施した後に、残差が大きく解を不安定にする点を除外した 297 点を用いてモデルを作成することで、残差が半分以下まで改善した。ITRF2008 では、解の安定性を向上するために ORB (原点速度バイアス) を採用していたが、F-ratio による評価を実施して、ORB が有意でないことを確認のうえ、ITRF2014 では ORB を考慮しないプレート運動モデルを採用した。ITRF2014 のプレート運動モデルでは、11 のプレートで極と回転速度を推定し、最終的に 0.26 mm/yr の精度を達成した。
 - ▶ スウェーデン測量局の Martin Lidberg から、バルト海周辺地域全体の地殻変動モデルの構築について報告があった。バルト海周辺諸国では、リアルタイムに高精度な位置がほしいというユーザーからの要請を受けて、バルト海地域全体の地殻変動モデル (NKG2016LU) の更新を実施した。この地域では、基準系 ETRS89 に準拠した基準座標系を用いているが、基準座標系の実現においては、国ごとに基準エポック、基準座標系 (ETRF のバージョン) が異なっている。バルト海周辺は、GIA によって特に上下方向に地殻変動

が継続している地域であるため、地殻変動による座標の変化を考慮しないと、各国の基準座標系間で整合が取れなくなり、精度が低下してしまう。プレート内部変形の地殻変動モデルを用いることで、さらに地域の共通の基準座標系と各国の基準座標系をつなぐことができる。これまでのモデルは、2003～2005年に作成されていたが、今回のモデル（NKG2016LU）では、GNSS、水準、GIAモデルを組み合わせて、さらに精度がよく最近の変動を反映したモデルを構築した（ただし、験潮データは未使用）。GNSSとの比較では、標準偏差で0.4mm/yr、最大較差2mmを達成している。モデルは、過去の氷床のヒストリーの復元にも有益で、これまでの気候変動の推定にも活用が期待できる。

- ▶ フィンランド測量局のPasi Häkliから、バルト海周辺諸国共通の測地基準座標系の構築について報告があった。同地域では、地球規模の基準座標系（ITRF系）から地域の座標系（ETRS89）への座標変換を14パラメータのヘルマート変換で実施しているが、GIAによって年間1cmの隆起が20年以上累積していることから、ITRFと地域の基準座標系の整合性、また地域内の国同士の基準座標系間での整合性が年々悪くなってきている。そこで、地域全体の連携したプロジェクトとしてセミ・ダイナミック測地系への移行を進めている。これまでの14パラメータによるヘルマート変換に加えて、GIAによるプレート内部変形をモデル化し、その変動モデルを用いて、ITRF→ETRF2000（地域）→ETRS89（各国、実際にはETRS89準拠の国ごとの座標系）の変換を実施して基準エポックをそろえる変換を実施することによって地域で共通のセミ・ダイナミック測地系を実現する。標高に関しては、同地域のジオイド・モデルの作成を進めているが、実現にはまだ時間を要する。
- ▶ フィンランド運輸局のJyrki Mononenから、バルト海の高さの基準系について報告があった。バルト海では、高さの基準は平均海面（MSL）など様々な基準面が用いられており、統一的な基準がないうえ、陸上と海域で高さの基準が異なっていた。統一した面を用いて安全で効率的な船舶のナビゲーションを行うため、今後は、海域での高さの基準を統一し、陸上の高さ系（EVRS）に整合した高さへ統一する取組みを進めていく。これによって海陸の高さの基準が統一され、将来的には、GNSSで海域の高さ（海図の水深）が容易に扱えることになる。ジオイド・モデルの開発は、現在、バルト海周辺諸国で共同プロジェクトを実施して進めている。

● 技術セッション「測地基準座標系」 5月31日（水）16:00～17:30

- ▶ 米国国家測地局（NGS）のDaniel Romanから、2022年に公開を予定する米国の新しい測地基準系NSRS2011（National Spatial Reference System 2022）について報告があった。現在の測地基準座標系NAD83を改定して、3次元、高さともに2022年に測地基準座標系を更新する取組みを進めている（詳細については、NGS10年戦略計画（NGS2013）を参照）。3次元の新しい測地基準座標系（NSRF2022；National Spatial Reference Frame

2022) は、4つのプレート（北米、カリブ海、太平洋、マリアナ）に分かれた4つの基準座標系（NATRF2022、CATRF2022、PATRF2022、MATRF2022）となる。各々の座標系は各々のプレートに固定され、IGSの座標系（IGS.XY: GNSSのみから構築したITRFでITRFにあわせてXYが更新される）と同じ系となる。IGS.XYと異なるのは、プレート回転のみで、系ごとにオイラー極と回転速度を持つことになる。北米プレートでは、カリフォルニアでプレート内部変形が大きすぎるため、この地域のみCORSを用いて推定した地殻変動速度場のGRIDモデルを採用する。ジオイド・モデル（GEOID2022）を基準とした新しい高さ基準座標系（NAPGD2011: North American Pacific Geopotential Datum of 2022）を含む、これら全てが米国の新しい測地基準系NSRS2011である。新しい高さ基準系NAPGD2011は、重力ポテンシャル（GEOID2022）を基準とした系で、GNSS、水準、測距、重力を統合して作成する。ジオイドの時間変化成分は、GRACE衛星と地上の重力点での超伝導重量計の観測データを用いて監視・更新する。今後、IGS点を基盤CORSとして国内のCORSの再解析を実施する。

- ▶ ニュージーランド土地情報局（LINZ）のNic Donnellyから、2016年に発生したKaikoura地震後の測地基準座標系の再構築について報告があった。Kaikoura地震に伴い、大きな地殻変動が生じたため、変動範囲を特定し、現在の基準座標系（NZGD2000、NGVD2016）の更新を行った。GNSS CORSとInSARを用いて、地震後、可能な限り迅速に変動の規模と範囲を特定した。その後、4時間（もしくは1時間）のGNSSキャンペーン観測を行って変動域の基準点の位置を決定した。Position-PPP オンラインで測位解を計算した後、SNAPソフトウェアで最小二乗的に座標値を推定して新しい値を決定した。余効変動が大きく数10cmを超える累積が継続したため、更新は複数回実施している。測量事業者が改定成果を適切に使用できるように成果改定のためのガイドラインを作成して公開している。
- ▶ ニュージーランド土地情報局（LINZ）のGraeme Blick測地部長から、ニュージーランドの高さ基準系の現状について報告があった。ニュージーランドでは、13の験潮場で高さが各々定義され、互いにオフセットがあるという状況にあったため、GNSSと整合する統一した高さ基準系（NZVD2016）の構築を実施した。これは、重力ポテンシャル（ジオイド）を基準とした世界で初の高さ基準系である。ジオイド・モデルの精度は、Nominalに±2cmを達成した。引き続き、海陸の高さ基準系を統合する2年間のプロジェクト（JLASプロジェクト）を進めていく。海陸を統合した高さ基準系は、津波の浸水モデルの作成など、海岸域での防災に非常に重要である。プロジェクトは、LINZと水路機関、研究機関の3機関共同で実施する。海陸の接合には、海面を基準とした海域の高さ基準系と陸域の幾何的な高さ基準系を結合する共通の面を定めることが不可欠であるため、潮汐記録とGNSS CORSの連続観測が必要となる。両者の関係を明確にするため、差分を空間保管して関係を与えるツールの作成を行っていく。

- ▶ 米国国家測地局 (NGS) の Kevin Ahlgren から、米国の次期の高さ基準系の根幹となるジオイド・モデル GEOID2022 の構築について報告があった。米国の次期の測地基準座標系は、NAPGD2022 と GEOID2022 である。これに加えて、ジオイド作成の際に基盤となる、重力値、重力ポテンシャルに関しても、重力ポテンシャルモデル GM2022、地上 (地表面) 重力場モデル (GRAV2022) を構築して、基準として公開する。米国のジオイドは、これまで地上重力から作成したモデル (USGG2012) とそれを GNSS/水準で校正したモデル (GEOID12A/B) であったが、GEOID2022 では、EGM2008 を基盤とし、衛星重力データ (GRACE + GOCE)、航空重力測定 (GRAV-D) を追加してモデルの更新を行い、国土全てを網羅していく。これまでのところ、航空重力が行われた地域から随時ジオイド・モデルが作成され、2014~2016 年には、試作モデルとして GEOID14A/B-16A/B を作成している。航空重力で国土を網羅する GRAV-D は、2017 年時点で 60% が完了して評価を実施している。プロジェクトは 2008 年に開始され、2022 年までのおよそ 15 年で全ての測定を完了してモデルを公開する予定である。ジオイドの基準面 (W0) は、米国の験潮場の平均海面から推定した基準面の重力ポテンシャル値を用いている。ジオイドの時間に伴って変化する成分については、GRACE を用いて監視し、更新することを考えている。これまで作成したモデルの評価では、テキサスでは、1cm 以下、アイオワでは 2cm の精度が得られている。さらに、最新の衛星海面高度計 (アルティメトリ) データ (DTU13)、地上重力データを追加し、基盤の重力ポテンシャルモデル (GM) についても EGM2008 から最新のモデル (EGM2022?) に更新してモデル作成を継続していく。
- 技術セッション「GNSS I」 6月1日 (木) 14:00~15:30
 - ▶ 国土地理院酒井調査員から都市部など受信環境が悪くマルチパスが生じる環境において、マルチパスを除外して測位精度を改善する手法の開発について報告を行った。都市部では、構造物などによって信号が遮蔽され、本来信号が取得できない方向においても、信号の回折などによるマルチパスによって信号が取得されてしまう場合がある。このような場合、信号は本来の経路より長くなるため、解が FIX しないなど、測位精度の低下を引き起こす。そこで、建造物の 3次元データなど、あらかじめ利用できる情報を用いて、本来取得されえない信号を自動的に除外することによって、精度を改善する手法を開発し、評価した。上空の 7~8割が遮蔽される極端に条件が悪い場合には、ほとんど改善はなかったが、上空の 5割が遮蔽される条件では、明確に改善が認められた。
 - ▶ フィンランド測量局の Hannu Koivula から、フィンランドの CORS 網 FinnRef について報告があった。CORS 網は、測位の基盤であり、測地基準座標系の基盤である。現在、観測点の点数は、40~50 点 (200km 間隔) で、受信信号は、GPS+GLONASS である。2015 年に DGPS データと RINEX データの無償公開を開始した。観測点は、全て安定した基盤岩に設置している。ネットワークは、IGS 点を通じて地球規模のネットワークに接続されてい

る。これによって、フィンランドの測地基準座標系を定義し、監視している。観測点の継続性のため、移設の際は観測点を並行して運用する。RTK データについては、研究目的では無償公開している。また、電離層密度の推定や FAMOS プロジェクト（バルト海の重力・ジオイドプロジェクト）にも貢献している。今後の目標は、ネットワーク型 RTK への拡張、高さの基準系への活用である。高さ基準系では、全ての CORS を水準路線に結合して FG5 で測定を行うことを考えている。

- トルコ環境・都市省の Sadat Bakici Turkey から、トルコの CORS 網 CORS-tr について報告があった。CORS-tr は、146 点からなるトルコの CORS 網で、主な目的はネットワーク型 RTK の提供である。受信信号は、GPS+GLONASS。ネットワーク型 RTK のサービスを展開しており、その利用数は、2016 年では 13,412,424 回に達した。これは、一日平均で 2,400 回となる。2016 年の同時接続の最大数は、840 回であった。最も多い利用目的は、建設などプライベートセクターによるもので、次に地籍が続く。年 2 回の品質チェックを行っており、その際の精度評価では、東西、南北成分で 3cm 程度、高さ成分では 5cm 程度の残差であった。サポートダイヤルを設置しており、2016 年には、およそ 15,000 件の問い合わせを受けた。プロジェクトの開始には、250 万 USD を投資した。2011 年のユーザー数は、2,900 で、使用料は年間 2,500USD としていたが、2016 年には、ユーザー数は 9,000 と順調に増加しており、使用料は、それに合わせて 215USD と安くしている。2018 年には受信機の更新を予定しており、その際には、Galileo と BeiDou の導入を検討する。
- Nottingham 大学の Hancock Craig から、TEQC の MP1、MP2 値の検証について報告があった。測位、特に PPP においては、電離層擾乱による信号の遅延は、測位精度の劣化を生じる大きな要因である。電離層推定機能のある受信機の S4 値、 $\sigma\phi$ 値の推定値を TEQC の MP1、MP2 値と比較することで評価を実施した。イギリスの Nottingham、中国の香港に各々試験サイトを設置して信号を取得し、TEQC を用いて MP1、MP2 値を算出し、S4 値、 $\sigma\phi$ 値と比較を行った。観測点の状況、用いる信号 (L1、L2)、衛星系に応じて程度は異なるが、明確な相関がみられた。

※ 発表の資料は、以下を参照のこと

https://www.fig.net/fig2017/technical_program.htm

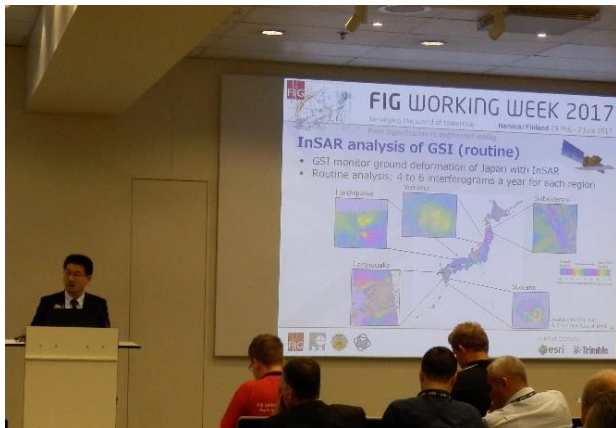
7. 写真



会場 (Helsinki Exhibition & Convention Centre)



開会式の模様



宮原第5分科会委員長の発表



国土地理院酒井調査員の発表



報告者、山田研究員、中堀総幹事、酒井調査員