

新規研究課題事前評価書

1. 研究課題名：

災害に強い位置情報の基盤（国家座標）構築のための宇宙測地技術の高度化に関する研究

2. 研究制度名：

特別研究

3. 研究期間：令和2年4月 ～ 令和7年3月 （5年間）

4. 研究開発の方向の妥当性

「国土地理院研究開発基本計画」では、重点課題（1）①高精度測位環境の構築に向けた研究開発として、「4次元測地基準座標系の構築」が示されており、「地殻変動補正の実用化に向けた技術開発や、その更なる高度化に向けた研究を実施するとともに、新たな測地基準座標系の構築に向けた検討にあたり必要となる研究についても本計画期間内に進める。」とされている。同じく重点課題（1）④地球と国土を科学的に把握するための研究では、「地球形状とその変化の詳細な把握に関する研究」において、「衛星測位、干渉 SAR、ジオイドなど高度化が進む測地技術を活用した時空間分解能の高い地球形状の把握に関する研究開発能力の向上を目指す。」とされており、本研究はこれらの達成に不可欠である。

5. 国内・国際的研究状況を踏まえての実施の妥当性

国家の測地基準座標系において、緯度・経度・高さの3次元に時間の概念を加えた4次元の仕組みを導入し、地殻変動による位置の変化に対応する取組は、米国や豪国、ニュージーランドなどの海外でも進められており、2019年4月にベトナムのハノイで開催された国際測量者連盟（International Federation of Surveyors :FIG）の国際会合「FIG Congress 2019」においても、米国などが取組状況を報告している。本研究の方向性は、このような測地基準座標系をとりまく国際的な潮流に整合するものである。

本研究では、精密な測地基準座標系を実現するために不可欠な開発要素として、複数の衛星測位システムに対応したPPP解析手法の開発、次世代のSAR衛星を想定したSAR技術による地殻変動計測・監視技術の高度化、重力衛星データを活用したジオイドのモニタリング手法の開発、SAR技術及びGNSS観測点を活用した地殻変動モデルの構築、の4つを扱う。

GNSSでは、GPS（米）、GLONASS（露）、準天頂衛星システム（日）に続いて、Galileo（欧）が2020年中の完全運用開始を目指しており、これを背景として、国内外において複数のGNSSを組み合わせた測位の研究が進められている。2018年10月の国際GNSS事業（IGS）ワークショップ、2018年12月の米国地球物理学連合秋季大会など、近年、GNSS関連の複数の会合において、マルチGNSSを用いた精密単独測位（マルチGNSS-PPP）により測定再現性の向上や収束時間の短縮が期待できるという発表が数多く行われている。国土地理院ではこれまで特別研究「精密単独測位型RTK（PPP-RTK）を用いたリアルタイム地殻変動把握技術の開発」（平成27年度～29年度）及び「迅速・高精度なGNSS定常解析システムの構築に関する研究」（平成29年度～31年度）を実施し、PPPの定常解析に関する知見を蓄積してきているため、今後、これらの成果をより多くのGNSSに対応させていく準備が整っている。

SARについては、2020年度に打ち上げ予定の日本の次世代SAR衛星「ALOS-4」により、現在運用中のALOS-2よりも格段に高頻度な観測が実施される見込みであり、日本全国を対象として定常的に干渉SAR時系列解析を適用し、地震時には3次元の変動量を詳細に計測できる環境が整いつつある。国土を網羅した干渉SAR時系列解析の基盤となる解析技術については、特別研究「干渉SAR時系列解析による国土の地盤変動の時間的推移の面的検出に関する研究」（地殻変動研究室、平成26年度～30年度）や日本学術振興会海外特別研究（主任研究官、平成30年度～32年度予定）など、3次元解析については、2015年桜島火山活動及び2016年鳥取県中部の地震に対する対応、一般研究「SARデータを用いた測地系保持手法に関する研究」（平成29年度～30年度）などを通じて知見を蓄積してきている。

ジオイドについては、2002年の重力衛星GRACE（米独）の打ち上げ以来、人工衛星による地球規模の継続的な監視技術が飛躍的に進展している。後続機であるGRACE-FO衛星が2018年に運用を開始したことで、現在も継続的な監視が可能であり、本衛星では、レーザ測距干渉計と呼ばれる新センサーの搭載によって、従来よりも高精度なジオイド変化の監視が可能となっている。GRACEを始めとする衛星重力データの解析手法については、特別研究「精密重力ジオイドに基づく高さ基準系の構築に関する研究」（平成28年度～30年度）の中で、基礎的な技術開発が行われており、これを応用・発展させることでジオイドの時間変化監視システムを構築することが可能である。

地表変動モデルの構築については、さらに高い空間分解能を実現するために、上述のGNSS及びSARの研究成果に加え、民間のGNSS観測点の観測データを活用する予定である。近年、従来よりはるかに廉価なGNSS機器が発売され、民間企業や大学などの機関による独自のGNSS観測点も拡充しているため、国土地理院では、これらの民間等のGNSS観測点を活用した電子基準点網の拡充を検討しており、地表変動モデルの構築においても、これらを既存の電子基準点を補完する観測点として使用できる見込みである。電子基準点網の時系列変化をもとにした地表変動モデルの構築手法については、一般研究「将来の測地基準系の保持手法に関する研究」（平成24年度～31年度）の中で、時系列フィッティング手法や空間補間手法に関する知見を蓄積してきており、これにSAR技術の解析結果によるモデル評価や解析結果の統合を図ることで、より高い空間分解能で地表変動モデルを構築することが可能である。

以上のとおり、国土地理院内外において、本研究開発の要素となる技術の検討及び蓄積が進んでいることから、本研究を実施することは妥当である。

6. 背景・必要性の妥当性

近年、準天頂衛星システム「みちびき」によるセンチメートル級測位補強サービスや民間による精密なGNSS測位サービス等が登場しており、ICT施工やスマート農業、自動運転等を始めとし、より高精度な3次元の位置情報（緯度・経度・高さ）を必要とするサービス・産業において、今後もGNSS測位サービスの活用が進むと思われる。しかしながら、これらのGNSS測位サービスは、民間等の様々な主体による独自の仕組みで構築されており、日々の地表変動などの補正手法等、測位結果に影響する計算の仕組みがそれぞれ異なっている。これらの異なる仕組みが世の中に広まると、仕組み間の測位結果のズレに起因する様々なトラブルや混乱が生じ、新たな産業やサービスの創出に支障をきたす可能性がある。

こういった背景を踏まえ、国が公的な立場から適切な4次元の位置情報管理（国家座標¹）の仕組みを早急に構築する必要があるが、現状の計測技術では、算出のリアルタイム性や空間分解能が不足しているため、地球形状（測地基準座標系）の時空間変化をより迅速かつ詳細に計測するた

¹国家座標：測量の基準に準拠した経緯度、標高、平面直角座標等

めの研究開発が早急に必要である。

7. 目標設定の妥当性

本研究では、地球形状の時空間変化をより詳細かつ迅速に計測し、現在を含む任意の時点の国家座標を迅速に利用可能とする基盤構築を目標としている。

現実に即したリアルタイムの位置（国家座標）を提供するためには、既存の電子基準点網だけでは詳細に捉えられない局所的な地殻変動（房総半島のスロースリップや火山変動、内陸型の地震等）を迅速に計測することが必要であるが、本研究は、そのために必要なリアルタイム性と時空間分解の向上に不可欠な技術開発を行うものである。

平成23年（2011年）東北地方太平洋地震や平成28年（2016年）熊本地震では、電子基準点に加え、標石基準点での追加測量を実施し、地震後の正確な国家座標を算出したが、提供までに数箇月の長い期間を要した。また、標石基準点の配点密度（数 km 間隔）では捉えられない地殻変動が生じた地域については、地殻変動を補正するための補正パラメータ（変動モデル）を作成することができなかった。

今後、高精度な3次元位置情報を基に運用される産業やビジネスが展開され、これらを停止することなく安全に運用するには、様々な地殻変動による詳細な地表の変化（地震発生時には1m以上、スロースリップや火山変動の発生時は数日間で10cm以上の変動量）を迅速に計測し、提供することが求められる。本研究の目標設定は、そのために必要なリアルタイム性と時空間分解能を達成するものとなっている。

なお、迅速性については、PPPに関する先行研究により、従来のスタティック法よりも軽い計算負荷でGNSS観測点の位置を高精度に算出できることが示されており、マルチGNSS-PPPによる計測技術を確立することで、観測後数日以内に数cm以内の精度で電子基準点の国家座標を算出できる見込みである。また、時空間分解能については、既存の電子基準点網（約20km間隔）を補完するデータとして、SAR技術の解析結果や民間GNSS観測点での観測データ等を活用することとしており、これにより定常時は数km、地震時には数百mの空間分解能を達成できると見込みである。

8. 国土地理院が実施すべき妥当性

今後、精度及びリアルタイム性が向上したGNSS測位サービスの進展・普及が見込まれるが、現状のまま、GNSS測位サービスの事業者が個別に独自の仕組みを構築してしまうと、地表変動の補正手法等の違いにより、測位結果にズレが発生し、例えば同じ場所でも使用する測位サービスによって異なる位置情報が提供されてしまう。また、既存の地理空間情報との重ね合わせにおいても、ズレが生じ、地理空間情報の利活用が困難となる。これを避けるためには、国が公的な立場から適切な4次元の位置情報（国家座標）を管理し、様々な測位サービスで国家座標と整合した高精度な位置情報を迅速に取得できる仕組みを構築・提供することが必要である。さらに国が主導して技術的な方向付けを行うことで、迅速で効率的な仕組みの整備が図られ、国際的な標準との整合も保たれるという利点もある。

国土地理院は、測量法に基づき日本における位置の基準（測地基準座標系）を定めている行政機関であり、測地基準座標系に関する知見とその実現・維持・管理に関する高い技術力を保有している。国土地理院は、測位の基盤となる重要インフラである電子基準点を20年以上にわたって運用しており、位置決定の基盤を安定運用してきた実績と技術力を有する。さらに、基準点や地図作成といった測量は、国土地理院が定めた測地基準座標系に基づいて実施されているため、こ

れまでに整備された膨大な地理空間情報も測地基準座標系、すなわち国家座標に基づいている。今後、新たな位置情報サービス等の測位分野においても、GNSS測位サービスとともに既存の膨大な地理空間情報の活用は必須であることから、測位による位置情報と既存の位置情報とを統一的に維持管理していくことが自然であり効率的である。そこで、これまで測地基準座標系を管理してきた国土地理院が本研究を実施し、新たな国家座標の管理の仕組みを構築することが妥当である。

9. 内容、方法、実施体制の妥当性

本研究は地球形状（測地基準座標系）の詳細な時空間変化を正確に計測し、現在を含む任意の時点の詳細な位置情報を迅速に利用できる手法・技術の開発を行うことを目的としている。その実現のためには、現在の技術では、「I. 位置情報算出のリアルタイム性が不足」、「II. 地球形状の変動把握の時空間密度が不足」の二つの課題がある。

このうち、I. については、準天頂衛星システムやGalileo等の複数の衛星測位システム（マルチGNSS）による精密単独測位（PPP）により迅速に電子基準点の位置を計測する技術を開発することでリアルタイム性の向上を図ることができる。

また、II. については、空間分解能が高い人工衛星のSAR技術や電子基準点の疎な地域に設置された民間のGNSS観測点のデータを活用して電子基準点間の変動を高密度・高精度に監視・計測する技術を開発すること、重力衛星を用いてジオイドの微細な時間変化を計測・監視する技術を開発することにより、電子基準点の間隔よりも短い空間スケールにおいても標高を含む3次元の位置の変化を高い時間分解能でとらえることによって密度の向上を図るものである。

最後に、上記の研究の成果を統合して、4次元の測地基準座標系のプロトタイプを構築し、そのプロトタイプにおける位置を外部に提供するシステムを開発することで、現在を含む任意の時点の詳細な位置情報を迅速に利用できる手法・技術の開発という研究の目的を達成することができる。

実施体制については、本研究の開発要素それぞれを、その分野を専門とする主任研究官、研究官が担当し、全体を室長が統括して管理することで、各要素の効率的な開発及びスケジュール管理が可能である。また、定型的な作業やシステム開発のGUIの作成などは外注することで、効率的な実施が可能である。

10. 省内他部局等との調整の状況

マルチGNSS-PPPによる全国電子基準点の定常解析技術やプロトタイプシステムの開発及び評価に当たっては、GEONETの運用を行っている測地観測センターと、SAR技術による地殻変動計測・監視技術の高度化やジオイドのモニタリング手法の開発、地殻変動モデルの構築については、干渉SARの定常解析、地殻変動補正パラメータ及びジオイドモデルの構築などの業務を担当している測地部と協力し、測地基準座標系の維持・管理における実運用を想定した研究開発の設計を行うとともに評価項目を設定し、研究を実施する予定である。

11. 他省庁、異分野等との連携方針等

本研究の主な連携機関としては、準天頂衛星システムを所管する内閣府、PPP-AR解析が可能なGNSS解析ソフトウェアRTKLIBを開発している東京海洋大学、GNSS軌道暦・時計情報の作成時に使用する解析ソフトウェアMADOCAを管理し、ALOS-2/ALOS-4の開発・運用・データ提供を行うJAXA、衛星重力データの解析ソフトウェアを独自に開発している一橋大学や情報通信研究機構等であり、

情報交換等による連携を実施し、効率的に研究開発を行う予定である。さらに、国際的な標準との整合性を担保するため、国際測地学協会（IAG）、国際GNSS事業（IGS）、全球統合測地観測システム（GGOS）国際標準化機構（ISO）などの国際機関と情報交換等を実施し、国際的な動向を把握したうえで、各々の基盤技術及び4次元の測地基準座標系のプロトタイプに関する開発を行う予定である。

また、最終的な統合システム及び情報提供システムの構築にあたっては、情報の提供方法や提供フォーマット等について、GNSS測位サービスや位置情報サービスを展開している事業者や関係省庁等とヒアリングを行うとともに、現場での実地検証等を実施し、開発を進める予定である。

12. 成果活用方針の妥当性

本研究により、現在を含む任意の時点の正確な国家座標を提供する基盤を構築することで、4次元の国家座標を齟齬無く維持・管理することが可能となる。この国家座標を迅速に提供することによって、現実の位置と測位・地図情報等を迅速につなぎ処理できる環境整備に貢献し、現実と整合した高精度な3次元の位置情報を必要とする新たな産業・ビジネスの拡大や、地震時の復旧・復興工事の早期実施に寄与することができる。

地震時においては、これまで数箇月以上要していた地震後の正確な位置情報（国家座標）の提供を数日～数週間以内に短縮することが可能となる。これらの正確な位置情報は、地震後の復旧・復興に係る再測量や工事に活用され、被災地の早期復旧・復興に貢献すると考えられる。

定常時においては、GNSS測位サービス事業者が本研究の成果である国家座標及び地表変動量を利用することで、測位結果が国家座標と整合して互いに齟齬無く正確な位置を提供できるようになり、現実に即した高精度な3次元位置情報を必要とするビジネスや産業の拡大に貢献する。

また、機械やロボットの自動運行等の新たな産業・ビジネスでは、今後リアルタイムで収集される位置に結びついた膨大な情報（ビッグデータ）の利活用が想定され、AI等の機械が自動解析する上で情報の収集時期（任意）の違いによるデータ間の位置のズレ（地殻変動の影響）を補正するために活用されることが見込まれる。これにより、適切かつスムーズなデータ分析等が可能となる。また、機械やロボットの自動運行（経路指示や運行状況確認）等において必要となる現実に即した位置情報への変換においても活用され、統一の基準による位置情報の取得が可能となる。これにより、多業種の企業や官公庁による事業・サービス間の衝突等のトラブル防止に貢献できると思われる。

13. その他、課題内容に応じ必要な事項

特になし。

14. 提案課・室名、問合せ先

国土地理院 地理地殻活動研究センター宇宙測地研究室

茨城県つくば市北郷1番

TEL：029-864-1111(内8331)

FAX：029-864-2655

e-mail：miyahara-b96ip@mlit.go.jp

担当者名：宇宙測地研究室 宮原 伐折羅

(参考資料等を適宜添付する)