

研究課題終了時評価書

1. 研究課題名：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
2. 研究期間：平成28年 4月 ～ 平成31年 3月 （ 3年間）
3. 予算：特別研究経費24,737 千円
4. 成果の概要

(1) 重力ジオイド・モデルの高精度化に関する研究

重力データとその解析手法に改良を施すことで、日本列島の重力ジオイド・モデルの高精度化に取り組んだ。重力データは、既存の地上重力データに重力観測衛星GOCEや海面高度衛星JASONなどの最新の衛星データを最適に結合することで長波長成分の補強を図るとともに、高分解能数値標高モデルから構築される重力地形モデル（残差地形モデルとも言う）を取込むことで短波長成分の補強を図った。重力データの解析に関しては、まず地上重力データと衛星重力データの結合手法について、それぞれのデータに含まれる長波長な誤差を低減させるためのハイパスフィルターと両データの重力帯域を最小の打ち切り誤差で滑らかに結合させるためのスケールファクター（モロデンスキー次数）を、ストークス積分核の修正を通じて新たに導入した。次に、各観測点上の重力データをジオイド面上に接続するための重力化成処理について、従来と同じ平面近似の式を用いるが、高分解能数値標高モデルを直接積分で処理することで、よりロバストな重力化成を行った。重力データの空白域を補間するための内挿処理についても、既存の地上重力データを衛星重力データと残差地形モデルで除去復元処理することで高度化を図った。なお、処理した重力データをジオイド高に変換するためのストークス積分については、先行研究では計算時間の短縮のため高速フーリエ変換（FFT）を介した積分処理が行われたが、その手法では位相ずれや振幅減衰の影響により計算精度に劣化が生じるため、本研究では直接積分で行った。直接積分はFFTよりも100倍以上の時間を要するが、複数コアの高性能計算サーバを用いた並列計算処理を導入することで、その問題を解決した。以上の改良により、GNSS水準法による実測ジオイド高と比較して、5.88cmの標準偏差で一致する重力ジオイド・モデルを開発した。これは現行のモデル（JGE0ID2008）を比べて2.35cmの精度向上と言える。

重力ジオイド・モデルは、膨大でかつ各々書式が異なる様々なデータを、様々な処理を施すことで計算されるが、その煩雑さゆえ、正確な計算には深い専門知識と経験を要する。そこで、誰もが容易に重力ジオイド計算を行えるよう、計算プログラムをパッケージ化しGUI操作型のソフトウェアとして整備した。ソフトウェアは、プログラム構造の簡潔化を図りつつ高速化を維持するため、pythonスクリプトとfortranモジュールを併用して開発した。これにより、新たな重力データが公開・拡充された際、重力ジオイド・モデルが迅速に再計算することが可能な環境が整った。

(2) 精密重力ジオイドに基づく新たな標高体系の試作

本研究で新たに開発した重力ジオイド・モデルと、電子基準点の楕円体高データを用いて、ジオイドに基づく標高体系の試作を行った。使用した楕円体高データは、水準原点（東京都千代田区）と富士山とを含む103点である。標高体系の試作は、測地部・物理測地課との協議のもの、以下のような手順で行った。

- 1) 2018年3月1日～31日の楕円体高データ（F3解）の平均値を計算

2) 楕円体高データと重力ジオイド・モデルのジオイド高との差分を取る

3) 永年潮汐系をtide-free系からmean-tide系に変換

新たに算出した標高値と既存の水準測量による標高成果を比較したところ、両者は標準偏差で約7.3cm、最大で約20cmの較差で一致し、おおむね統計的に重力ジオイド・モデルの精度から予想される範囲内（ 3σ 内）に収まることが分かり、新たな標高体系の構築手法の妥当性が確認された。なお、既存の標高成果の基準は東京湾平均海面であるが、本試作では実験的に、国際標準である全球平均海面（W0面）を基準に取った。この基準面の違いによる標高差は約6cmである。本試作の結果は、今後の新たな標高体系の基準と標準を取り決めるための検討材料に活用される。

5. 当初目標の達成度

- (1) 最新データの導入及び解析手法の改良により、現行の重力ジオイド・モデルと比べて約2.3cm高い精度が達成された。ただし、北海道及び山岳域をはじめとした地上重力データの不足している地域では、本研究で開発したモデルと実測データの間には未だ大きなジオイド較差が見られ、さらなる高精度化には航空重力測定による重力データの拡充と更新の必要性が明らかになった。GUI操作型の重力ジオイド算出ソフトウェアを開発した。これにより、今後、航空重力測量等によって重力データが拡充された際、迅速に重力ジオイド・モデルの再計算が可能となった。
- (2) 本研究の重力ジオイド・モデルと電子基準点の楕円体高データを用いて新たな標高体系の試作を行った。新たな標高は国際標準に従って算出し、現在の標高成果と比較すると標準偏差で約7cmの際、最大で約20cmの差が見られた。重力ジオイド・モデルの精度を考慮すると、統計的に妥当な範囲内であることから、本研究の標高体系の構築手法の妥当性が確認された。

6. 成果公表状況

研究報告書	3件
発表論文	2件
学会発表	13件
特許等	0件

7. 成果活用の見込み

- ① 本研究で開発した重力ジオイドの計算手法及び標高体系の構築手法は、2024年に計画されている新たな標高体系への移行の際に活用することが可能である。
- ② 本研究で開発した、重力ジオイド算出ソフトウェアにより、重力データの拡充の際、容易にモデルの再計算が可能になった。本成果は、新たな標高体系の実現に向けて、2019年度より実施する航空重力測量によって高品質な重力データを新たに整備した際に、測地部および研究センターが重力ジオイド・モデルの改良に活用する。
- ③ 本研究で開発した重力ジオイド・モデルの精度評価の結果からモデルの精度が不十分な地域と重力データ分布の相関が明らかになり、これらの情報に基づいて航空重力測量の適切な計画策定が可能となる。
- ④ 本研究で行った新たな標高値の算出を全GEONET点及び水準点まで拡張することで、既存の楕円体高データ及び水準データの品質評価を行うことが可能であり、その情報に基づいて測量データの再測の必要性を検討することが可能となる。また、既存の東京湾平均

海面を基準とする測量データが、世界の基準 (W0) と比べて、どの程度の差を持つのか評価・監視することも可能である。

8. 達成度の分析

(1) 有効性の観点からの分析

- ・重力衛星 GOCE、海面高度衛星 JASON による海洋重力場モデル、高分解能数値標高モデルなど、現在利用可能な最新鋭のデータを導入するとともに、それぞれのデータ特性を活かした解析処理を採用することで、重力ジオイド・モデルの精度を大きく向上させることができた。
- ・重力化成や重力ジオイド変換の際の積分処理を、計算精度を重視した直接積分によって行ったことにより、重力ジオイド・モデルの精度を向上させることができた。

(2) 効率性の観点からの分析

- ・本研究で開発した重力ジオイド算出ソフトウェアは、GUI 化の作業を専門の業者に依頼することで、効率的な開発が可能となった。
- ・モデルの計算では、大量の積分計算を要するが、計算プログラムに並列化を施し、最新の計算機サーバを活用することで、効率的に計算を行うことができた。
- ・新しい標高体系の試作では、測地部物理測地課と連携することで、必要なデータの提供や実際の事業を想定した最適な試作方法について助言を受けることができ、効率的に進めることができた。

9. 残された課題と新たな研究開発の方向

- ・本研究では重力ジオイドの計算手法としてヘルマート第二凝縮化成を用いたが、他の有望な手法にモロデンスキー化成 (解析接続) が存在する。モロデンスキー化成では、高品質かつ高密度の重力データが必要となるが、ヘルマート第二凝縮化成と比べて地殻密度の不均一の影響が小さいため、航空重力測定により良質な重力データが得られれば、有効な手法と考えられる。
- ・衛星・航空・地上重力データは、それぞれ感度が高い波長域が異なるため、これらのデータを十二分に活かすためには、各重力データの観測特性を考慮し、最適にデータ結合する手法について、引き続き開発を行う必要がある。

10. その他、課題内容に応じ必要な事項

特になし

11. 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

TEL : 029-864-1111 (内8333)

FAX : 029-864-2655

e-mail : matsuo-k96s4@mlit.go.jp

代表担当者 : 宇宙測地研究室 松尾功二

