

## 日本の精密重力ジオイド・モデルの開発 (その2) Development of precise gravimetric geoid model over Japan (2)

#松尾功二<sup>1</sup>, 宮崎隆幸<sup>1</sup>, 宮原伐折羅<sup>1</sup>, 黒石裕樹<sup>2</sup>

1: 国土地理院, 東京大学

Koji Matsuo<sup>1</sup>, Takayuki Miyazaki<sup>1</sup>, Basara Miyahara<sup>1</sup>, Yuki Kuroishi<sup>2</sup>

1: Geospatial Information Authority of Japan

2: The University of Tokyo

### はじめに

日本の標高は、従来、水準測量と験潮観測によって計測されてきた。水準測量に基づく標高基準系は、地域的には非常に高い精度を有するが、水準測量の実施には多くの時間と費用を要するため、維持管理が非常に困難であることが課題となっている。近年、GNSS 技術の普及と発展に伴って、地球上の3次元的位置を、迅速かつ効率的に計測できるようになった。GNSS 測量で得られる高さは、地球形状に近似する仮想的な楕円体からの高さ(楕円体高)であるため、GNSS 測量から実用的な標高を得るためには、楕円体高から標高までの高さであるジオイド高を正しく与える必要がある。ゆえに、GNSS 測量で高精度な標高値を得るためには、GNSS 解析の高度化に並行して、ジオイド・モデルの高精度化も必要不可欠となる。国土地理院は、GNSS を用いた日本の標高基準系の効果的かつ効率的な維持管理を目的に、平成28年度より特別研究「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」を実施し、その中で日本のジオイド・モデルの高精度化に取り組んでいる。現在、国土地理院が公開している日本のジオイド・モデルは、重力ジオイド・モデル「JGEOID2008」[Kuroishi, 2009]をベースに構築されている。JGEOID2008の構築には、重力衛星GRACEによる全球重力場モデルと各種地上データが用いられており、GNSS水準法によるジオイド実測値と8.44 cmで一致する。近年、重力衛星GOCEの登場や各種地上データの拡充に伴い、より高精度な重力ジオイド・モデルの構築が可能となってきた。そこで本研究は、最新のデータと新たな解析手法の導入によって、日本の重力ジオイド・モデルの更なる高精度化に臨む。

### 解析手法

重力的アプローチによるジオイド起伏の再現手法として、ストークス・ヘルマート法とモロデンスキー法がある。また、各種重力データの結合手法として、除去復元法と最小二乗結合法がある。JGEOID2008では、ストークス・ヘルマート法と除去復元法が使用されている。本研究は、JGEOID2008と同様の手法を踏襲した。ただし、除去復元法におけるストークス積分の処理に関しては、JGEOID2008では2次元haloウェーブレット関数が使用されているのに対し、本研究ではFeatherstone et al. (1998)による混合マイ

スル・モロデンスキー修正球面ストークス関数を使用した。

### 重力データと数値標高モデル

除去復元法では、ジオイド起伏の長波長成分は衛星データによって、短波長成分は地上重力データおよび海上重力場モデルによって、間接効果成分は数値標高モデルによって再現される。衛星データが、重力衛星 GOCE と全球重力場モデル EGM2008 の結合モデルである GOCE モデル[Gilardoni et al., 2015]を使用した。また、地上重力データとして、国土地理院・産業総合研究所・名古屋大学・中部大学・愛媛大学・金沢大学・国際重力測定局が保有する約 31 万点のデータを使用した。なお、クリギング法に基づく一個抜き交差検証によって、異常重力データの除去を行った。海上重力場モデルには、デンマーク工科大学が Jason 衛星と Cryosat-2 衛星の海面高データから構築した DTU13 モデル[Andersen et al., 2013]を使用した。なお、船上重力データでは瀬戸内海で観測されたもののみを使用した。数値標高モデルは、国土地理院が提供する 10m メッシュ DEM を使用した。

### 結果

構築された重力ジオイド・モデルの精度評価は、GNSS 水準法による 971 点のジオイド実測値と比較することで行った。その結果、新たな重力ジオイド・モデルと GNSS 水準法との間の標準偏差として、6.28 cm を得た。これは、JGEOD2008 と比べると、2.16 cm の精度向上である。特に、長波長成分の精度向上は顕著で、両者のジオイド残差の傾斜成分が、JGEOD2008 では 0.18 ppm であったのに対し、新たな重力ジオイド・モデルでは 0.08 ppm となり、約半分以下にまで減少した。各地域のジオイド残差を見ると、標準偏差として、北海道で 6.61 cm、本州で 5.08 cm、四国で 4.64 cm、九州で 4.85 cm となった。北海道で比較的大きな標準偏差が得られた理由として、他の地域と比べ地上重力データの密度が不十分であったことが挙げられる。ジオイド残差の平均バイアスは、北海道で 8.27 cm、本州で 0.15 cm、四国で 0.82 cm、九州で -1.98 cm となり、北海道で突出して大きな値となった。この原因として、北海道における GNSS 水準データに系統バイアスが含まれている可能性が考えられる。北海道の標高と本州の標高をつなぐために青函トンネル内で水準測量が実施されたが、坑内での測量環境は非常に劣悪であるため、かなりの計測誤差が生じた可能性がある。これについては、今後 GNSS データを用いて検証を行う必要がある。