

## 日本の精密重力ジオイド・モデルの開発（その1）

### Development of precise gravimetric geoid model over Japan (1)

#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>1</sup>

1: 国土地理院

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

1: Geospatial Information Authority of Japan

#### はじめに

全球平均海面の等ポテンシャル値であるジオイドは、標高の力学的な基準を与える重要な物理測地量である。GNSS 技術が浸透した今、楕円体高と標高を繋ぐジオイド・モデルの果たす役割は益々高まりつつあり、それゆえに、ジオイド・モデルの更なる精密化は、特に重要な研究課題の一つに位置づけられる。国土地理院は、平成 25 年 4 月より、日本のジオイド・モデルとして「日本のジオイド 2011」(Ver.1) [児玉ほか, 2014]を公開している。このモデルは、重力ジオイド・モデル「JGEOID2008」[Kuroishi, 2009]をベースに、GNSS/水準法によるジオイド実測値と最適に結合し構築されたものである。JGEOID2008 の構築には、重力衛星 GRACE(Gravity Recovery And Climate Experiment)による全球重力場モデル、約 26 万点の地上重力データ、約 58 万点の船上重力データ、衛星高度計による海上重力データ(KMS2002)が使用されている。JGEOID2008 は、GNSS 水準法によるジオイド実測値と 10cm 以内で整合するが、標高成果の維持管理や高次の測量業務への適用、といった活用範囲の拡大を目指すには更なる高精度化が望まれる。本研究では、最新の衛星重力場モデルと海上重力モデル、高分解能な数値標高モデル、地上重力データなど、現在利用可能なデータ・リソースを十二分に活用し、ジオイド実測値と 5cm 以内で整合する精密な重力ジオイド・モデルの開発に着手した。本講演では、その初期結果について報告する。

#### 衛星重力場モデルについて

2009 年の重力偏差衛星 GOCE の打ち上げ以来、衛星重力場モデルの精度が劇的に向上している。そこで初めに、衛星重力場モデルの性能評価を行った。本研究では、最新の全球重力場モデルとして、独国 GFZ が提供する EIGEN-6S モデル、独国ミュンヘン大学が提供する GOCO05s モデル、米国 CSR が提供する GGM05G モデル、仏国 CNES が提供する GO\_CONS\_GCF\_2\_DIR5 モデルを使用した。いずれのモデルも、利用可能な全ての期間の GOCE データ(2009 年 11 月から 2013 年 10 月まで)を含んでおり、240 次~300 次までの球面調和関数の係数(ストークス係数)として構成されている。それぞれのストークス係数を Smith & Milbert(1999)に倣い GRS80 に準拠してジオイド高へと変換し、GNSS 水準法で計測した 971 点の実測ジオイドデータと比較し、性能評価を行った。その結果、それぞれの標準偏差は、EIGEN-6S モデルは 47.1cm、GOCO05S モデルは 45.3cm、GGM05G モデルは 50.9cm、GO\_CONS\_GCF\_2\_DIR5 モデルは 45.0cm であった。したがって、本研究では、衛星重力場モデルとして一番標準偏差の低かった GO\_CONS\_GCF\_2\_DIR5 モデルを採用することとした。

## 地上重力データについて

衛星重力場モデルでは、詳細なジオイド形状を復元することができない。それゆえ、ジオイド形状の短波長成分(球面調和関数の 300 次以上)については、主に地上重力データを元に復元する。使用した地上重力データは、国土地理院が保有する 13,375 点の絶対・相対重力データ、産業総合研究所の Galileo データベースが保有する 173,365 点の相対重力データ[Miyagaga *et al.*, 2015]、名古屋大学・中部大学・愛媛大学の西南日本重力データベースが保有する 73,304 点の相対重力データ[Yamamoto *et al.*, 2011]、金沢大学の重力データベースが保有する 21520 点の相対重力データ[本多ほか, 2012]、愛媛大学の山本明彦教授から提供を受けた北海道の 5395 点の相対重力データ、である。合計で、286,959 点のデータである。これらのデータを、宮崎ほか(2015)に倣いクリギング法によって 500m のグリッド間隔で内挿した。

## 海上重力データについて

Kuroishi[2009]は、海上重力データとして約 58 万点の船上重力データを使用しているが、その船上重力データは観測点の位置情報について精度があまり良くなかったため多くの異常値を含んでいることが知られている。近年、衛星高度計の飛躍的な発展に伴って、高精度で高分解能な海上重力場モデルが得られるようになった。本研究では、船上重力データとしては瀬戸内海で観測されたもののみを使用し、それ以外の太平洋・日本海におけるデータは、JASON 衛星と CRYOSAT-2 衛星によって復元された海上重力データを使用した[Sandwell *et al.*, 2014]。

## 数値標高モデルについて

地上重力データからジオイド形状を復元するには、ジオイド面より外側の質量(地形質量)を全て取り払い、後にその質量をジオイド面へと凝縮する(ストークス・ヘルマート凝縮)という手続きを踏む必要がある。これを重力データの化成処理と呼び、精密な重力ジオイド・モデルを構築する上で特に重要な処理の一つである。この地形質量による重力効果の見積りには、高分解能な数値標高モデルが必要不可欠となる。本研究では、国土地理院が 2009 年から公開している日本列島における 10m メッシュの数値標高モデルを使用した。ここでは地形効果の重力化成処理の方法として、Moriz(1980)による平面近似の積分式を採用した。なお、数値積分はガウス求積で行い、地殻密度は  $2670\text{km}/\text{m}^3$  の均一とみなした。

## 重力ジオイド・モデルの構築

以上のデータを除去復元法(Remove-Compute-Restore 法)により結合し、重力ジオイド・モデルを構築した。なお、化成後の重力データ(Faye 重力異常)をジオイド形状に換算する方法として、Meissl-modified spheroidal kernel を 300 次まで適用したストークス積分を採用した。最終的に得られた重力ジオイド・モデルを、GNSS 水準法による実測ジオイド値と比較する。その結果については、講演にて詳しく述べる。