

# GNSS・水準測量による精密重力ジオイドの精度評価

実施期間	令和4年度
測地部物理測地課	中島 正寛 市村 和輝 豊福 隆史 酒井 和紀 塩谷 俊治 加藤 知瑛 畔柳 将人 小川 拓真
地理地殻活動研究センター宇宙測地研究室	松尾 功二

## 1. はじめに

近年、衛星測位技術の発展はめざましく、衛星測位による標高決定で必要不可欠なジオイド・モデルの需要がより一層高まりつつある。精密なジオイド・モデルを構築するには、全国を網羅する高品質な重力データが必要である。このような背景から、国土地理院は標高の新たな基盤となる精密重力ジオイドを構築するため、2019年から航空重力測量を実施している（栗原ほか、2022）。現時点の計画としては、2023年7月までに全国の航空重力データを取得し、2024年度に精密重力ジオイドを整備する予定である。構築する精密重力ジオイドの精度は約3cmを目標としており、その精度評価はGNSS測量及び水準測量から得られる実測ジオイド高との比較により行う。

本研究では、2021～2022年度に東北地方及び道東地方で取得した実測ジオイド高を用いて、2022年度に試作した精密重力ジオイド（JGEOID2022b）の精度評価を行う。

## 2. 使用データと手法

JGEOID2022bの構築に使用した重力データは、地上重力データ、船上重力データ及び衛星アルティメトリ海面重力場モデル等の既存の重力データと、2022年度までに取得した航空重力データである（図-1）。重力データの結合には、最小二乗コロケーション法とForsberg (1987)による共分散関数を用いた。JGEOID2022bの構築手法には、除去復元法とストークス・ヘルメルト法(e.g. Huang and Véronneau, 2013)を採用した。

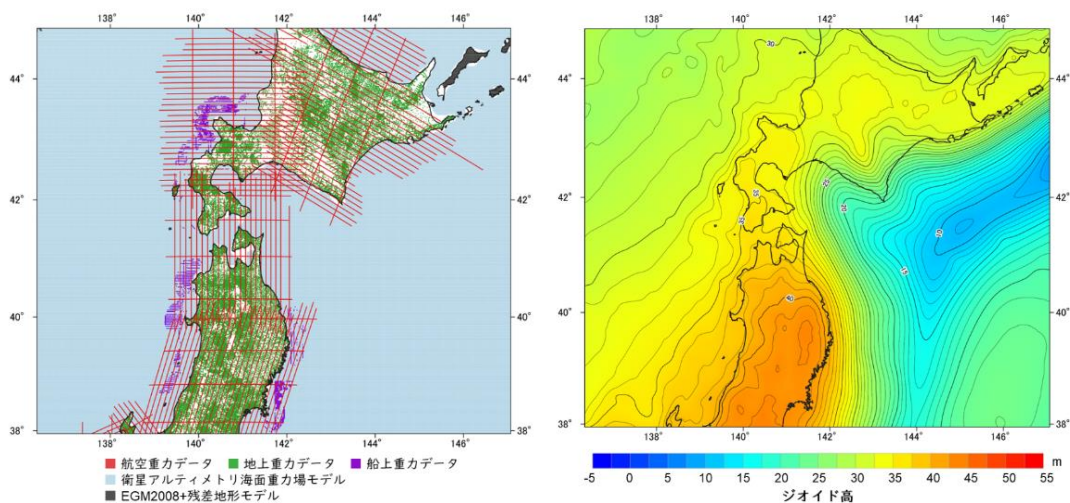


図-1 JGEOID2022b 構築に使用した重力データ（左），JGEOID2022b のジオイド高分布（右）



精度評価は、実測ジオイド高と精密重力ジオイドにおいて、異なる2点間のジオイド高の差分（ジオイドスロープ）を比較することで行う（e.g. Smith et al., 2013）。まず、実測ジオイド高のある解析点のペアを作成し、ペアごとの点間距離に応じてグループ分けをする。次に、各ペアにおける実測ジオイド高のジオイドスロープと、精密重力ジオイド高のジオイドスロープとの較差を求める。最後に、グループ毎にジオイドスロープ較差のRMSを算出して精度評価を行う。各グループにおけるRMSは、解析点*i*における精密重力ジオイド高を $N_i^M$ 、実測ジオイド高を $N_i^{GL}$ 、各グループのペア数を*n*とすると、次式で求まる。

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{ij=1}^n \{(N_i^M - N_j^M) - (N_i^{GL} - N_j^{GL})\}^2}$$

なお、ジオイドスロープは2点のジオイド高を使用することから、ジオイド高の誤差が2重に乗ることとなる。よって誤差伝播の法則から、ジオイドスロープ較差のRMSを $\sqrt{2}$ で割った値が、精密重力ジオイドの精度となる。

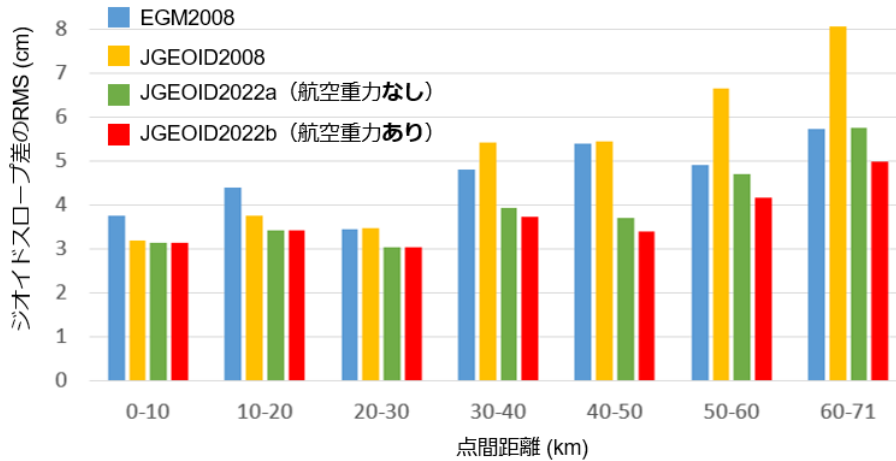
本手法の利点としては、標高の基準面である東京湾平均海面とジオイドの基準面である  $W_0$  とのズレ等に起因した系統的なバイアスを無視できる点や、精密重力ジオイドの精度の距離依存性を評価できる点が挙げられる。

### 3. 結果

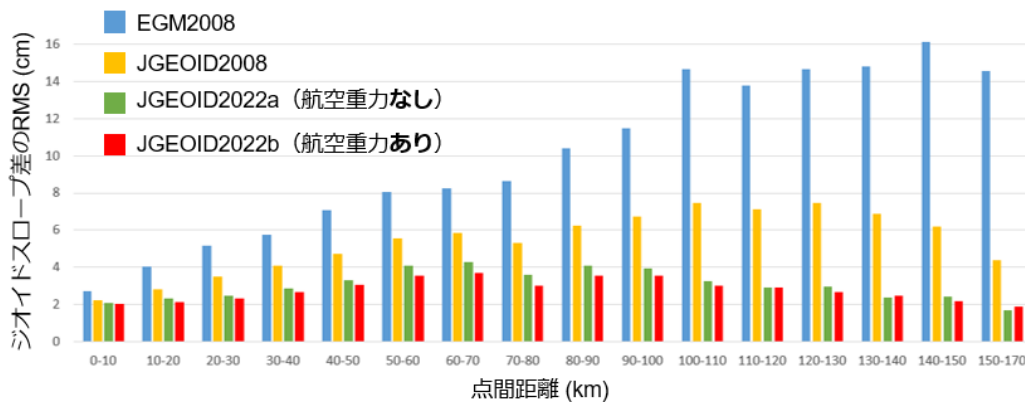
図-3 に東北地方及び道東地方における精度評価結果を示す。評価結果の比較をするために JGEOID2022b だけでなく、全球重力場モデルである EGM2008 (Pavlis et al., 2012)、現在国土地理院が公開しているジオイド・モデル「日本のジオイド 2011」のベースとなる重力ジオイドである JGEOID2008 (Kuroishi, 2009)、航空重力データを使用せずに試作した精密重力ジオイドである JGEOID2022a も評価をした。

東北地方の0~71 km のRMS及び道東地方の0~170 km のRMSを見ると、JGEOID2022b が最もRMSが小さいことがわかる。JGEOID2022b の精度である  $RMS/\sqrt{2}$  は3 cm 以下であり、JGEOID2022b が目標精度である3 cm を達成していることが示された。

また、JGEOID2022a と JGEOID2022b を比較すると、50~100 km の点間距離で両者の差が大きい。これは、航空重力データの追加により、精密重力ジオイドの中波長帯域が改善されたことを示している。



	EGM2008	JGEOID2008	JGEOID2022a (航空重力なし)	JGEOID2022b (航空重力あり)
RMS/ $\sqrt{2}$ (0~71 km)	<b>3.2 cm</b>	<b>3.4 cm</b>	<b>2.6 cm</b>	<b>2.5 cm</b>



	EGM2008	JGEOID2008	JGEOID2022a (航空重力なし)	JGEOID2022b (航空重力あり)
RMS/ $\sqrt{2}$ (0~170 km)	<b>9.1 cm</b>	<b>5.2 cm</b>	<b>3.1 cm</b>	<b>2.8 cm</b>

図-3 各ジオイド・モデルの精度評価結果（上：東北地方，下：道東地方）

参考文献

Ekman, M (1989): Impacts of geodynamic phenomena on systems for height and gravity, Bull. Geodesique 63, 281–296.

Forsberg, R. (1987): A new covariance model for inertial gravimetry and gradiometry, J. Geophys. Res., 92(B2), 1305– 1310.

Huang, J. and Véronneau, M. (2013): Canadian gravimetric geoid model 2010. J Geod 87, 771–790.

栗原忍, 大森秀一, 兒玉篤郎, 畔柳将人, 半田優実, 吉樂絵里香, 飯尾研人, 中島正寛, 飯塚康裕, 松尾功二, 富山頭 (2022): 精密重力ジオイド・モデル構築に向けた航空重力測量 (中間報告) - 信頼性の高い標高を誰もが利用できる社会を目指して -, 国土地理院時報, 135.

Kuroishi, Y. (2009): Improved geoid model determination for Japan from GRACE and a regional gravity field

model. *Earth Planets Sp* 61, 807–813.

Pavlis, N.K., Holmes S.A., Kenyon S.C. and Factor J.K. (2012): The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). *J. Geophys. Res.*, 117, B04406.

Smith, D.A., Holmes, S.A., Li, X., Guillaume, S., Wang, Y.M., Bürki, B., Roman, D.R. and Damiani, T. (2013): Confirming regional 1 cm differential geoid accuracy from airborne gravimetry: the Geoid Slope Validation Survey of 2011. *J Geod* 87:885–907.