

重力観測によるジオイド監視に関する調査・研究

実施期間	令和 6 年度
測地部物理測地課	小柳 拓真 平岡 喜文 菅原 安宏 山本 康生 小川 拓真
地理地殻活動研究センター	松尾 功二
宇宙測地研究室	

1. はじめに

国土地理院では、水準測量を基盤としたこれまでの標高体系から、衛星測位を基盤とした新しい標高体系に移行するための取組を進めてきた。新しい標高体系では、衛星測位により得られる楕円体高から、ジオイド・モデルにより得られるジオイド高を差し引いて求めた標高を基盤とするため、ジオイド・モデルは標高体系の基盤として重要である。新しい標高体系への移行に併せて、国土地理院では、地殻変動の蓄積や水準測量による累積誤差を含まない、新たなジオイド・モデル「ジオイド 2024 日本とその周辺」を令和 7 年 4 月 1 日に公開する予定である。

ジオイド・モデルは地殻変動の影響を受けにくいとされているが、標高の基盤である以上、現況との乖離が生じていないか、継続的に監視する必要がある。現在、国土地理院では、令和 6 年 1 月 1 日に石川県能登地方で発生したマグニチュード 7.6 の地震（以下「令和 6 年能登半島地震」という。）によるジオイド高の変化量を明らかにするため、航空重力測量を行っている。これに先立ち、地球物理モデルによる計算を組み合わせることで、地上重力測量によりジオイド高の変化量を簡便に見積もったので報告する。

2. 地球物理モデルによる計算

令和 6 年能登半島地震のすべり分布モデル（国土地理院，2024）を入力値として、同地震による上下変動量、ジオイド高の変化量及び地上重力値の変化量を計算した。なお、すべり分布モデルは、電子基準点 GNSS 解析及び SAR 解析（ピクセルオフセット法）で得られた地殻変動を基に作成されたものである。

上下変動量、ジオイド高の変化量及び地上重力値の変化量の計算には、PSGRN/PSCMP（Wang et al., 2006）（以下「モデル」という。）を使用した。このモデルでは、あらかじめ作成した応答関数を介して、上記の各変化量をそれぞれフォワード計算により求めることができる。今回は北緯 36.5 度～38.5 度、東経 136 度～139 度を計算領域とし、弾性層及び粘性層の 2 層からなるマクスウェルモデルを地下構造として仮定した（表-1）。計算結果は図-1 のとおりである。能登半島西部で最大 4 m の隆起、1.4 mm のジオイド高変化、1.2 mGal の地上重力値減少と見積もられている。1.4 mm のジオイド高変化は、「ジオイド 2024 日本とその周辺」の精度である 3 cm（中島ほか，2023）に比べ無視できるほど小さい。

計算結果の信頼性を確かめるためには、実測値との比較が必要である。各変化量同士の物理的關係は応答関数に内包されているため、上下変動量及び地上重力値の変化量を実測値と比較することで計算結果の信頼性を確認することとした。

表-1 計算で仮定した地下構造の詳細.

	深さ (km)	p 波速度 (km/s)	s 波速度 (km/s)	密度 (kg/m ³)	粘性率 (Pa・s)
弾性層	0 - 40	6.755	3.730	2908.0	0
粘性層	40 - 500	9.646	5.224	3849.8	2×10^{18}

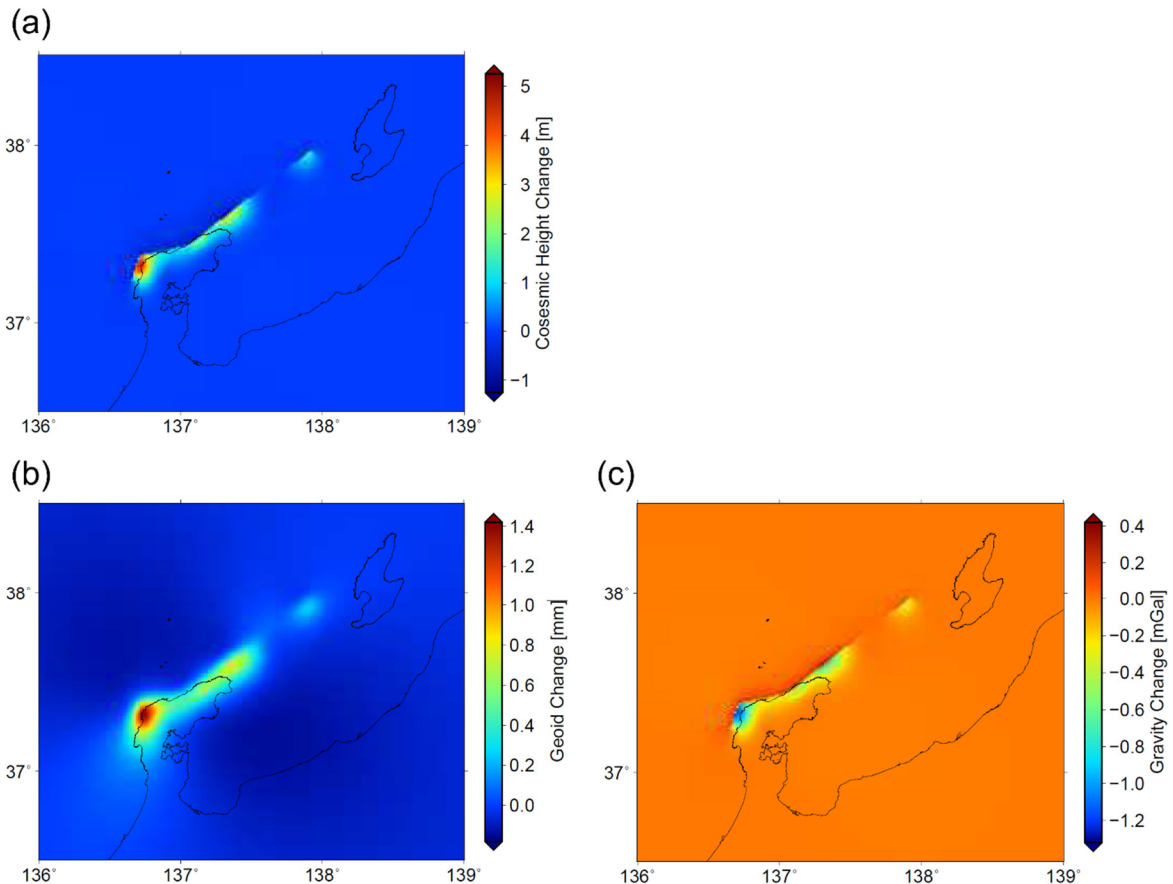


図-1 モデルによる計算結果。(a)が上下変動量，(b)がジオイド高の変化量，(c)が地上重力値の変化量である。

3. 上下変動の実測（水準測量）

令和 6 年能登半島地震の発生後，能登半島では水準測量により水準点の標高成果が改定された。平成 19 年（2007 年）能登半島地震の発生後にも同様に水準点の標高成果が改定されている。これら 2 回の水準測量で得られた標高成果の差を，実測による上下変動量とした。

4. 重力変化の実測（地上重力測量）

大きな重力変化が推定された地域とその周辺で地上重力測量を行い，地震前の実測重力値との差を実測による重力変化量とした。

この作業に当たっては，重力値の基準を整備するため，基準重力点「金沢」及び一等重力点「富山」を既知点とする一等重力測量を行った。一等重力測量では，ラコスト重力計 3 台による往復観測を行い，一等重力点「基 1 7」（輪島市）を改測するとともに，電子基準点「志賀 A」，「穴水」，「能都」及び「珠洲」の各付属標に重力値を取り付けて一等重力点とした（図-2 (a)）。

これらの一等重力点を既知点として、ラコスト重力計 2 台による往復観測を行い、図-2 (b) に示す三角点又は水準点で地震後の重力値を取得した。いずれも、地震前の実測重力値があり、かつ移転及び改埋の履歴がない点である。

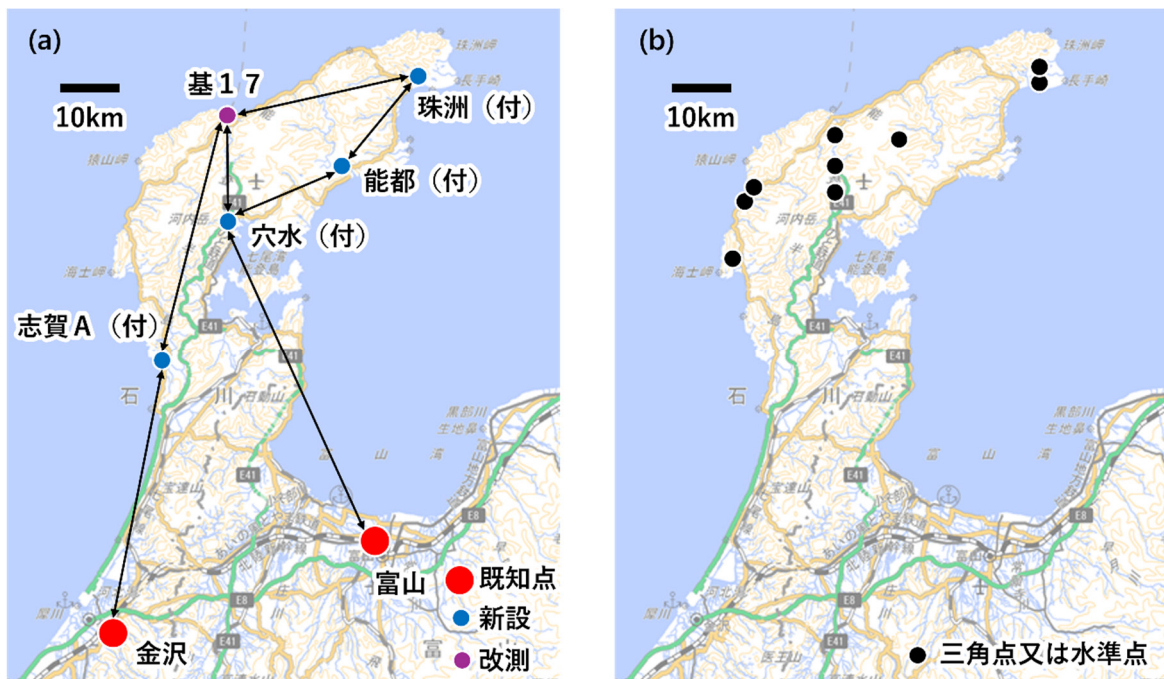


図-2 地上重力測量の詳細。(a)は一等重力測量の路線図、(b)は重力変化を実測した三角点又は水準点を示す。

5. 計算と実測の比較

水準測量で得られた上下変動量を、モデルによる計算値と比較した結果を図-3 に示す。最大で 35 cm の較差があるものの、全体的な変化傾向はよく一致している。

続いて、地上重力値の変化量を同様に比較した結果を図-4 に示す。最大で 0.15 mGal 程度の較差があるものの、全体的な変化傾向はよく一致している。なお、地震前の実測重力値のうち日本重力基準網 1975 (以下「JGSN75」という。) 準拠の値については、日本重力基準網 2016 と整合する値に変換した上で使用した。

地震前の実測重力値は、1960～1980 年代にかけて重力分布の把握のために国土地理院が取得したもので、当時の一等重力測量よりも簡易的な測定方法が採用されていた (山本ほか, 2018)。よって、その精度は、当時使われていた JGSN75 と同等の 0.1 mGal (国土地理院, 1976) 又はそれ以下と推定される。また、観測年度を考えると、実測による重力変化量には、令和 6 年能登半島地震以前の地震や長年の地殻変動による影響が少なからず含まれる。したがって、今回の結果だけでジオイド高の変化量を評価することは難しい。

6. まとめ

令和 6 年能登半島地震を対象として、モデルによる計算結果を、水準測量及び地上重力測量の結果と比較した。計算値と実測値は誤差の範囲内で十分に一致しており、モデルによる計算結果は概ね妥当と思われる。これにより、同地震によるジオイド高の変化量は「ジオイド 2024 日本とその周辺」の精度に比べ無視できるほど小さいと推測される。

ただし、重力値の精度等の問題から、今回の結果だけでジオイド高の変化量を評価することは難し

い. 今後、航空重力測量の結果を待って、令和6年能登半島地震によるジオイド高の変化量を最終的に評価する予定である.

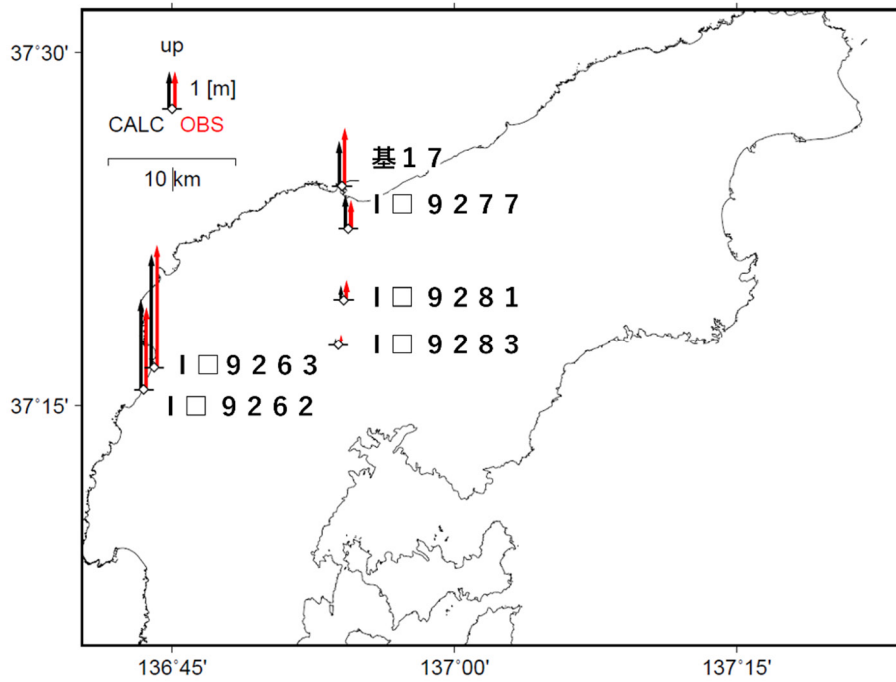


図-3 重力変化を実測した点における上下変動の比較. 黒矢印がモデルによる計算値, 赤矢印が実測値で, いずれも上向きが隆起を表す.

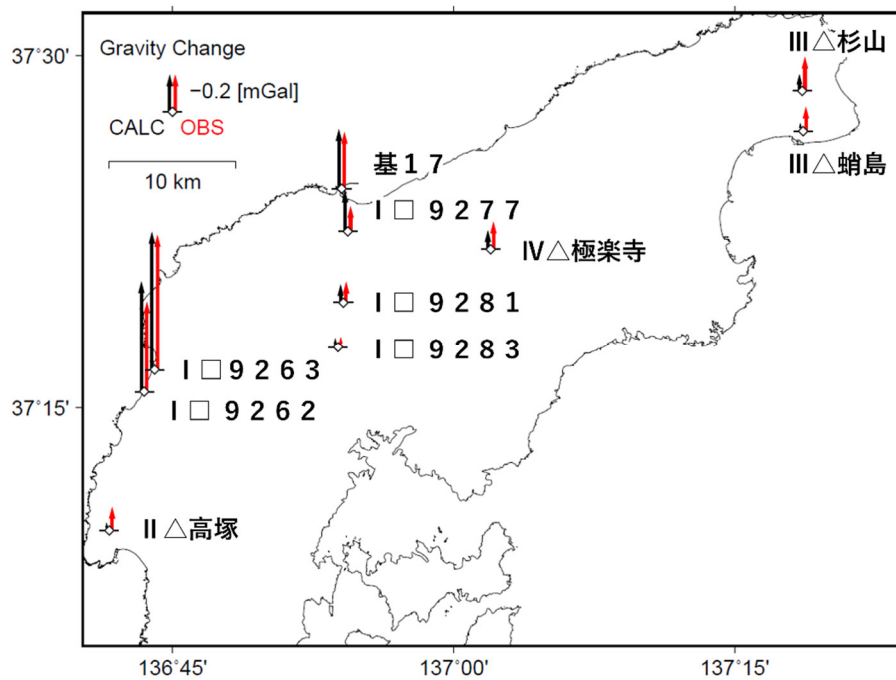


図-4 地上重力値の変化の比較. 黒矢印がモデルによる計算値, 赤矢印が実測値で, いずれも上向きが負を表す.

参考文献

国土地理院（1976）：日本重力基準網 1975 の設定，測地学会誌，22（2），65–76.

doi: 10.11366/sokuchi1954.22.65

国土地理院（2024）：地震予知連絡会会報，112.

https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou112/11_05.pdf (accessed 31 January 2024)

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，松尾功二（2023）：
GNSS・水準測量による精密重力ジオイドの精度評価，令和4年度調査研究年報，26–30.

Wang, R., Lorenzo-Martín, F. and Roth, F. (2006): PSGRN/PSCMP—a new code for calculating co- and post-seismic deformation, geoid and gravity changes based on the viscoelastic-gravitational dislocation theory. *Computers & Geosciences*, 32, 4, 527–541. doi: 10.1016/j.cageo.2005.08.006

山本宏章，宮原伐折羅，吉田賢司，菅原安宏（2018）：国土地理院の重力測量，国土地理院時報，131，
21–52. doi: 10.57499/JOURNAL_131_02

吉田賢司，矢萩智裕，平岡喜文，宮原伐折羅，山本宏章（2018）：日本重力基準網 2016（JGSN2016）
の構築，国土地理院時報，131，53–93. doi: 10.57499/JOURNAL_131_03