

精密重力ジオイド・モデル整備手法の調査・検討

実施期間	平成 30 年度		
測地部物理測地課	大森 秀一	吉樂絵里香	
	兒玉 篤郎	富山 顕	
	河和 宏	平岡 喜文	
	矢萩 智裕		

1. はじめに

水の流れと密接に関係する標高は、河川やダム、道路等の土木施設や上下水道のようなライフラインに係る公共工事のほか、大規模地震後の港湾工事や堤防建設等の復旧・復興事業においても早急に必要とされる情報である。明治以来、我が国の標高は、国土地理院が全国で水準測量を繰り返し行い決定してきたが、その維持管理には多くのコストと時間を要するという課題がある。

近年、GPS や準天頂衛星等を利用した衛星測位技術が発達し、より簡易に位置情報を決定できる環境が整いつつあるが、衛星測位から標高を得るためには、その地点のジオイドの情報が別途必要となる。国土地理院では、ジオイドを求めるために必要となる全国の重力データを航空重力測量により詳細に取得し、新たに精密重力ジオイド・モデルを整備する取組を始めた。

本稿では、精密重力ジオイド・モデルの整備手法の調査・検討について報告する。

2. 調査内容

2.1 海外での先行事例

航空重力測量は近年海外で実績が蓄積され、GNSS とジオイドによる新たな標高の仕組へ移行する国も存在する。米国では米国国家測地測量局（NGS : National Geodetic Survey）が主体となり、2012 年から 10 年計画で GRAV-D というプロジェクトを実施している（NGS GRAV-D HP: <https://www.ngs.noaa.gov/grav-d/>）。これは、GNSS とジオイドにより 2cm の精度で標高を決定することを最終目標とし、2022 年までに航空重力測量のデータが使用できる地域において 1cm 精度の重力ジオイドを作成することを目的とするものである（Martin, 2018）。また、ニュージーランドでは 2013 年から 2014 年にかけてニュージーランド土地情報庁（LINZ : Land Information New Zealand）が航空重力測量を実施した（Blick, 2015）。2016 年から航空重力測量の結果を用いたジオイドに基づく高さ基準系に移行しており、その標高における公称精度は 3cm となっている。

一方、日本における航空重力測量は国内では初めての試みであり、知見を得るため、2017 年 11 月に LINZ において航空重力測量担当者との打合せを、2018 年 3 月に NGS における GRAV-D の測定に参加するとともに担当者との打合せをそれぞれ行った。これらの事例やデータ、打合せで得た知見を参考に、2019 年度からの日本国内での航空重力測量開始に向け、必要機材の調達、測定マニュアルの作成及び解析環境の構築等の準備を実施した。

2.2 航空重力計の原理・使用方法

国土地理院では、航空重力測量に用いる重力計として Micro-g-LaCoste 社製 TAGS-7 TURN-KEY AIRBORNE GRAVITY SYSTEM（以下「TAGS-7」という。）（図-1）を調達した。TAGS-7 は、ジンバルにセンサーボックス（重力センサ、加速度センサ、ジャイロ스코ープ及び恒温槽を含む。）を設置した重力計本体と、制御 PC、GNSS、UPS 及び電源ユニットからなる制御・記録部で構成される。温度変

化を防ぐためセンサーボックス内を一定温度に保つ通電（保温）が必要であり，衝撃に対しても繊細なため取り扱いには慎重に行う必要がある．また TAGS-7 は，機器の安定及び計測精度を保つため，飛行中に比較的上下変動の少ない機体重心に設置する．

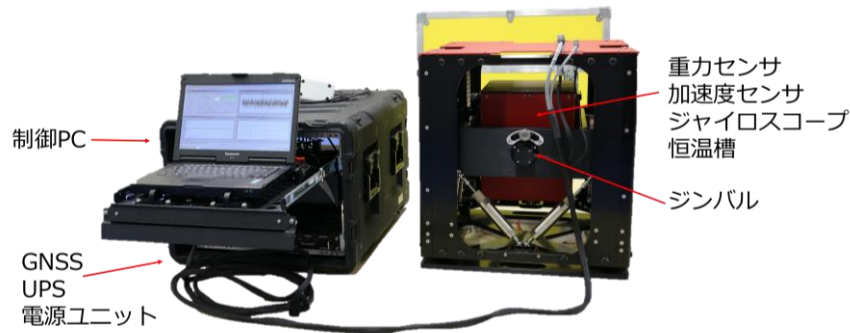


図-1 相対重力計 TAGS-7

3. 作業手法の検討

3.1 航空重力測量の概要

航空重力測量は，航空機に重力計を搭載して，上空で重力を測定するが，測定時の航空機の経路，加速度及び機体の姿勢を正確に把握することがデータ品質の上で重要である．GNSS-IMUによりこれらを測定し，地球の自転に起因するエトベス効果等と合わせて影響を補正することで，重力値を算出することができる．ここで求める重力値は，日本重力基準網 2016 (JGSN2016) に基づく重力点を地上における重力値の基準とした相対的な値である．航空機の位置測定のための基準局には，電子基準点を使用する（図-2）．

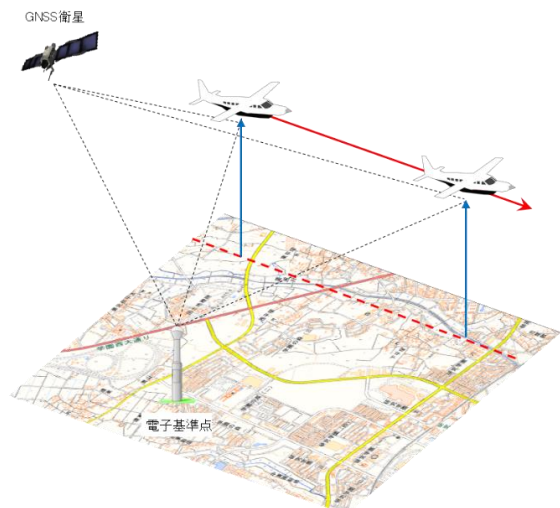


図-2 航空重力測量のイメージ

3.2 測線の設計

航空重力測量は，各地の空港を拠点とし全国をいくつかの区域に分割したブロック毎に実施する（図-3）．航空機が飛行し重力を測定する経路を「測線」と呼ぶ．2種類の測線があり，「主測線」は重力データを取得することを目的とした測線，「副測線」は主測線の測定データの整合性を確認するための測線である．主測線ひとつひとつは独立しているため，副測線との交差部分でデータのチェックを行い妥当性の確認を行う．

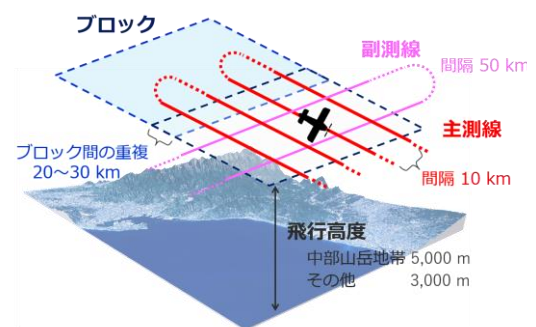


図-3 ブロックのイメージ

海外での先行事例（表-1）を参考に，日本の地理的特徴等を勘案しつつ，測定方法の検討及び測線設計を行った（図-4）．精密重力ジオイド・モデルの構築には，航空重力データのほかに衛星，海上，地上の重力データも用いるが，衛星，海上，地上の重力データには山岳部や沿岸海域に空白域が存在する．航空重力測量ではこの空白域を補完するため，沿岸海域は沖合約 40km まで測定する．測線のコース間隔は主測線 10km，副測線 50km とし，測定高度は標準で 3,000m，中部山岳地帯を 5,000m として設計し

海外での先行事例（表-1）を参考に，日本の地理的特徴等を勘案しつつ，測定方法の検討及び測線設計を行った（図-4）．精密重力ジオイド・モデルの構築には，航空重力データのほかに衛星，海上，地上の重力データも用いるが，衛星，海上，地上の重力データには山岳部や沿岸海域に空白域が存在する．航空重力測量ではこの空白域を補完するため，沿岸海域は沖合約 40km まで測定する．測線のコース間隔は主測線 10km，副測線 50km とし，測定高度は標準で 3,000m，中部山岳地帯を 5,000m として設計し

ている。また、北日本と南日本では降雪や季節風の影響を考慮し、適切な時期を検討した上で測定を実施する（図-5）。

表-1 米国及びニュージーランドにおける航空重力測量の測定設定

	米国	ニュージーランド
実施年	2012 ～	2013 ～ 2014
飛行高度	6,000 m を標準	約 1,000 ～ 4,100 m
飛行速度	約 410～460 km/h	約 240 km/h
主測線間隔	10 km	10 km
副測線間隔	60～80 km	150 km

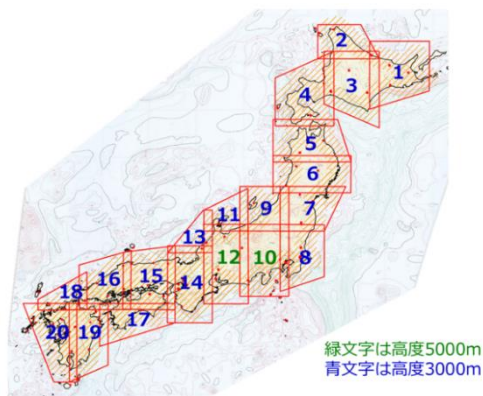


図-4 ブロック区分案

2018年度	航空重力計 調達
2019年度	関東・中部
2020年度	東北・近畿
2021年度	北海道西部 中国・四国
2022年度	北海道東部 九州
2023年度	精密重力ジオイド 計算
2024年度	新たな 標高体系



沖縄および離島部は2023年以降順次実施

図-5 年度毎の測定計画

3.3 地上検定線

航空重力測量で取得されたデータが実際の地上での重力変化と整合するかを確認し、必要な精度が得られていることを確認する必要がある。そこで、航空重力データとの比較を行うための地上検定線を設置した。

地上検定線は、できるだけ平地であること、検定線上の重力の変化(勾配)が大きいこと、また航空機の飛行経路と平行な方向かつ可能な限り直線となることを条件に、茨城県つくば市から埼玉県熊谷市までの約50kmに設置した(図-6)。この検定線上で、GNSS測量及び相対重力測量を約500m間隔で実施し、位置座標と重力値を決定している。検定線上での重力値は、EGM2008で算出した値と整合する結果となった(図-7)。

航空重力計の検定方法については、航空機で検定線上において数回飛行し、測定した重力値から地上に化成したフリーエア異常を求め、地上検定線のフリーエア異常と比較することを検討している。また、飛行方向を反転させて複数回飛行し、再現性の確認を行うことで、重力計の動作確認もあわせて実施する。



図-6 地上検定線

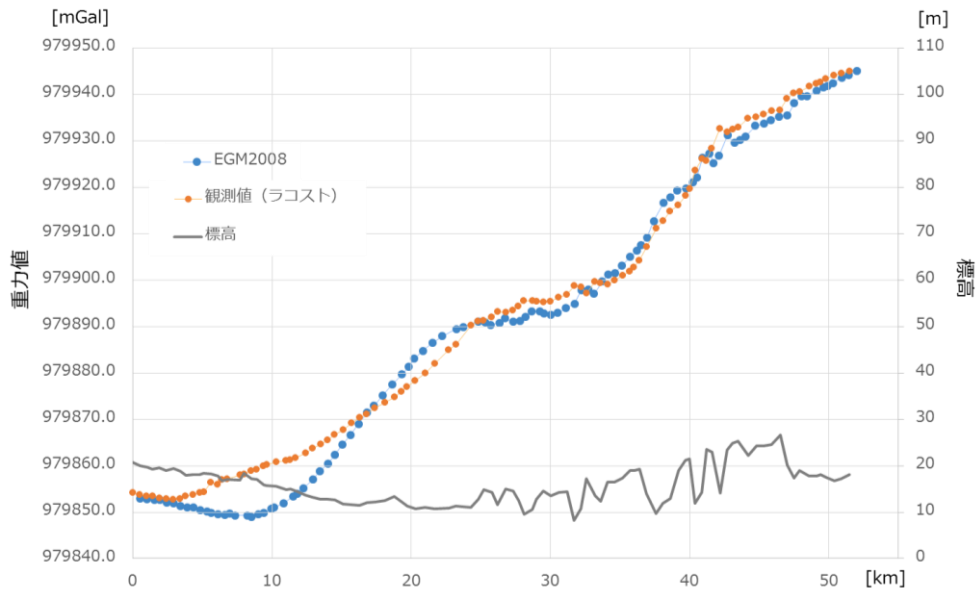


図-7 地上検定線上での重力値

4. 結論

2019年度からの航空重力測量の開始に向けて、航空重力計やGNSS等の必要機材の調達、検定・精度検証のための地上検定線の設置、海外事例を参考とした測線の設計、航空機の運用方法、作業方法の検討及びサンプルデータを用いた解析環境の構築を行った。航空機の運行业者が決定次第、運用方法の調整や作業方法を詳細に決定していく。

また、情報発信のため学会や講演会で航空重力測量や新たな標高の仕組みの実現に向けた取組に関する講演を引き続き行い、国土地理院のホームページでも、航空重力測量に関する情報を集約したホームページを新規に作成し、実施状況を随時公開していく予定である。

参考文献

- Blick, G. (2015): An Improved Vertical Datum: a New Zealand Case Study, paper presented at Technical Seminar on Vertical References Frame in Practice, Singapore.
- Martin, D. (2018): Update on GRAV-D and Progress toward a new vertical Datum, paper presented at NJSPLS SurvCon in Atlantic City, New Jersey.
- NGS GRAV-D HP: <https://www.ngs.noaa.gov/grav-d/> (accessed 26 Feb. 2019).