

AQG を基本重力測量へ導入するための調査検討

実施期間	令和 5 年度～令和 6 年度
測地部物理測地課	山本 康生 小柳 拓真 菅原 安宏 平岡 喜文 小川 拓真

1. はじめに

当院は、2020 年にフランス Exail 社製の量子型絶対重力計 AQG (Absolute Quantum Gravimeter. 以下「AQG」という.) を導入した。AQG は、アメリカ Micro-g LaCoste 社製の絶対重力計 FG5 (以下「FG5」という.) と同様に、落体を自由落下させることで重力加速度を観測する装置である。ただし、FG5 では落体としてコーナークューブプリズムを使用し、光干渉技術を利用しているのに対し、AQG では落体として $2 \mu\text{K}$ 以下まで冷却したルビジウム原子を使用し、原子干渉技術を利用しているという違いがある。そのため、AQG は、FG5 と異なり機械的に駆動する構造をほとんど持たず、摩耗する金属部品等が少ないことから長期間の連続観測を可能としている。また、メーカーによる定期的なメンテナンスは不要とされている。さらに、AQG は観測前の調整をソフトウェアでほぼ自動で行うため、機器の操作という観点では観測者の熟練を必要としない。

これらの利点を持つ AQG を基本重力測量へ導入するため、FG5 との器差の確認、連続観測の安定性、重力値の再現性等の検証を行っている。本稿では、これらの検証のうち、AQG の設置方向によって観測される重力値が変わる問題について検証したので報告する。

2. 研究内容

AQG のセンサーヘッドの設置方向については、Exail 社から写真-1 に示すように、三脚の一つの脚が南を向くよう指定されており、本稿ではこれを「南向き」と呼ぶこととする。AQG がコリオリの力の影響を受けることで、センサーヘッドの設置方向によって観測される重力値が異なることが確認されている (Cooke et al., 2021)。

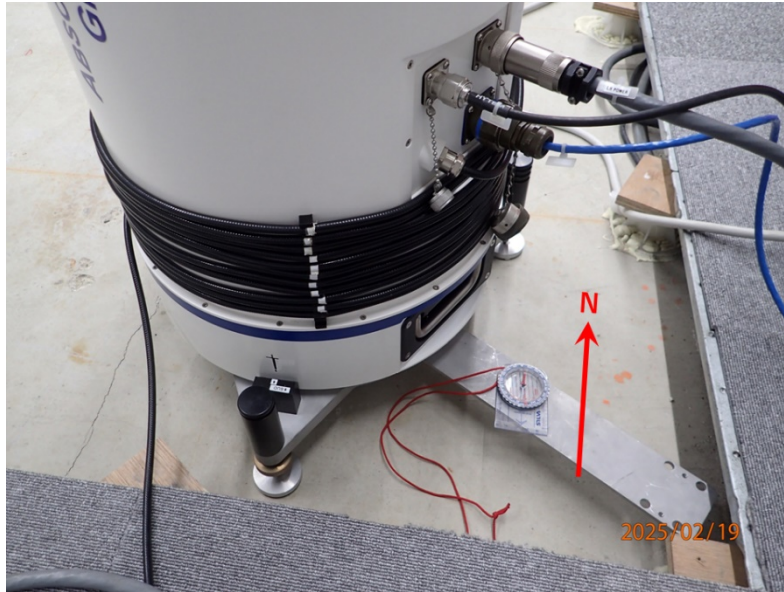


写真-1 AQG のセンサーヘッドの設置方向

そこで、石岡測地観測局重力測定室（以下「石岡」という。）において、2024年7月から8月にかけて東西南北4方位で設置方向を変えて観測を実施した。使用したAQGのシリアル番号は#B05である。上記の方法で観測した重力値と、7月に石岡にて実施したFG5による観測の結果（以下「FG5の結果」という。）を比較した。

3. 観測結果

3.1 解析方法

AQGで観測した重力値に対し、補正計算及び平均処理を行った。基本重力測量作業規程運用基準の通り、潮汐補正のうち、固体地球潮汐の補正ではETGTAB (Wenzel, 1996)、海洋潮汐の補正ではGOTIC2 (Matsumoto et al., 2001)、極運動の補正では国際地球回転・基準系事業 (IERS) が提供する地球回転パラメータ (EOP) の最確値 (Bulletin-B) を使用した。補正計算後の10分平均値を観測期間で単純平均した後、平均値から標準偏差の3倍以上外れたデータを除去して、再度平均値を計算した。

3.2 石岡測地観測局における観測

AQGの設置方向による重力値の較差の違いを表-1及び図-1に示す。石岡には、基準重力点「石岡」（以下「石岡FGS」という。）のほかに点A～Eの五つの基台が設置されている。FG5の観測は2024年7月8日から7月10日の間に、シリアル番号#201, #203, #213, #217の4台を異なる点に設置して観測を実施しており、過去の観測により得られた石岡FGSと各点間の重力差と重力鉛直勾配から、観測値を石岡FGS上1.3mの高さ（FG5で観測した高さ）の重力値に化成して、その平均値をFG5の結果とした。また、AQGは全ての観測をE点で実施しており、FG5の結果と同様に、点間の重力差と重力鉛直勾配から石岡FGS上1.3mの高さの重力値に化成した。

表1に、重力値をFGS上1.3mに化成した重力値及びAQG-FG5の重力値の較差を観測期間ごとに示す。また、図1に、AQGから出力された10分平均データを基に作成したAQG-FG5の重力値の較差を示す。表-1及び図-1から、AQGは南向き及び西向きで観測した重力値よりも北向き及び東向きで観測した重力値の方が、15 μGal 程度大きい結果となった。また、北向き及び東向き、南向き及び西向きのそれぞれで観測した重力値は2~3 μGal 程度の差で一致していた。FG5の結果と比較すると、南

向きで観測した重力値は FG5 の結果よりも 7.5 μGal 小さく、北向きで観測した重力値は FG5 の結果よりも 1.8 μGal 又は 4.6 μGal (単純平均では 3.2 μGal) 大きく、FG5 の結果に最も近い重力値が得られたのは北向きに設置したときであった。なお、過年度の AQG と FG5 の比較観測では、AQG を南向きに設置して観測を実施しており、AQG と FG5 の較差は、2022 年度で 6.5 μGal 、2023 年度で 5.6 μGal と FG5 よりも大きい結果となった (市村ほか, 2024)。本年度の結果とは符号が異なっており、AQG で得られる重力値の再現性についても検証が必要である。

表-1 AQG の設置方向による重力値の較差の違い

AQG の結果				FG5 の結果	較差
観測期間	設置方向	重力値[μGal] + 979,951,000	標準偏差 [μGal]	重力値[μGal] + 979,951,000	AQG-FG5 [μGal]
2024-07-22/29	北	265.5	4.4	263.7	+ 1.8
2024-07-30/08-05	北	268.3	5.3		+ 4.6
2024-08-05/14	西	253.4	5.6		- 10.3
2024-08-14/20	南	256.2	7.0		- 7.5
2024-08-21/28	東	267.3	4.6		+ 3.6

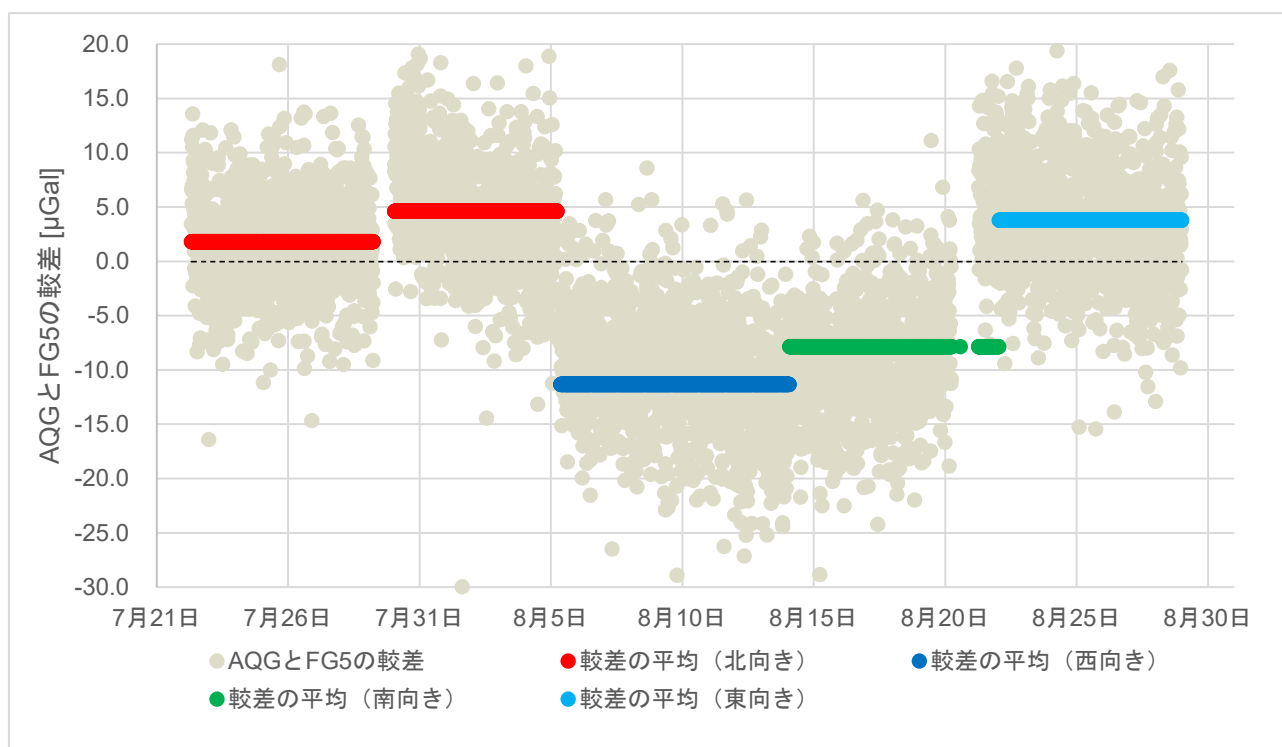


図-1 AQG の設置方向による重力値の較差の違い

4. まとめ

2024 年に取得した FG5 の結果を基準として、設置方向が異なる AQG の重力値と比較した結果、AQG は設置方向によって重力値が変化することを確認した。Exail 社が指定している南向きに設置した際に得られる AQG の重力値は FG5 の結果と比べて -7.5 μGal 程度であった。一方で、AQG を北向

きに設置した場合，FG5 の結果との較差は単純平均で 3.2 μGal 程度であり，北向きの観測の方が FG5 の結果に近づいた。

AQG を所有するドイツ国の連邦地図測量庁（BKG）へヒアリング調査を実施したところ，AQG の設置方向によって重力値が変わることを把握されており，また，その変化量や変化傾向は器械間で違いが見られるとのことであった。このため，同庁では北向きと南向きで観測を実施して平均値を採用する又は一方向の観測となった場合は補正する等の対策をしているとのことであった。

今後は当院で所有する 2 台の AQG について，設置方向による重力値の違いを更に把握し，適切な設置方法や観測方法，補正方法等を検討するとともに，AQG の重力値の再現性についても併せて評価していく。また，過年度の試験観測において，AQG では振動等の観測点周辺の環境が重力値にバイアスを与える可能性が示されたことから，その関係性についても調査し，適切な観測条件や解析手法等について検討を進め，AQG の基本重力測量への導入に向けた評価も進めていく。

参考文献

- Anne-Karin Cooke, Cédric Champollion, and Nicolas Le Moigne. (2021): First evaluation of an absolute quantum gravimeter (AQG#B01) for future field experiments, 10, 65–79. doi:10.5194/gi-10-65-2021
- 市村和輝，加藤知瑛，菅原安宏，酒井和紀，小川拓真（2024）：AQG 等による新たな基本重力測量及び重力基準に関する調査・検討，令和 5 年度調査研究年報，23–25.
- Matsumoto Koji, Sato Tadahiro, Takanezawa Takashi and Ooe Masatsugu . (2001) :GOTIC2: A Program for Computation of Oceanic Tidal Loading Effect, J. Geod. Soc., Japan, 47, 243–248.
- 小川拓真，畔柳将人，加藤知瑛，豊福隆史，酒井和紀，吉田賢司，高木悠（2023）：量子型絶対重力計 AQG の性能評価，令和 4 年度調査研究年報，20–23.
- Wenzel, H.-G (1996): The nanogal software: Earth tide data processing package ETERNA 3.30, Bulletin d'Informations Mareés Terrestres, 124, 9425–9439.