

量子型絶対重力計 AQG の性能評価

実施期間	令和 4 年度		
測地部物理測地課	小川 拓真	畔柳 将人	加藤 知瑛
	豊福 隆史	酒井 和紀	吉田 賢司
測地部宇宙測地課	高木 悠		

1. はじめに

国土地理院は、フランス Muquans 社製(現在は、Exail 社が製造)の量子型絶対重力計 Absolute Quantum Gravimeter (以下「AQG」という.) を 2020 年に導入した。AQG は原子干渉技術を利用した絶対重力計であり、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、落体を自由落下させることで重力加速度を測定する。AQG の主な特徴は、落体に $2 \mu\text{K}$ 以下まで冷却したルビジウム原子を使用していることである。そのため、AQG は、FG5 と異なり機械的構造をほとんど持たず、長期間の連続測定を得意としている。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 は測定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測定者の熟練を必要としない。

現在、国土地理院では基本重力測量における AQG の運用法の確立に向け、FG5 との器差や安定性、再現性等の検証を行っており、石岡測地観測局における FG5 との並行観測をはじめとした試験観測を繰り返し実施している。本稿では石岡測地観測局、山梨県富士山科学研究所及び南極昭和基地における FG5 との比較観測に基づく FG5 と AQG の器差及びその重力値依存性について報告する。

2. 研究内容

石岡測地観測局で 2022 年 4 月から 12 月にかけて 8 回、FG5 (#104 または#201) と AQG#B05 の並行観測を行った。

山梨県の富士山科学研究所で 2022 年 12 月に FG5#201 と AQG#B05 の並行観測を行った。山梨県富士山観測所には基準重力点「富士吉田」(以下「富士吉田 FGS」という.) が設置されており、石岡測地観測局に比べて重力値が約 400 mGal 小さい。

第 63 次南極観測隊では昭和基地において、FG5#203 および AQG#B05 の観測を行った。昭和基地には国際重力基準網(以下「IAGBN」という.) に登録されている重力点のほかに補助点が置かれており、石岡測地観測局に比べて重力値が約 $2,500 \text{ mGal}$ 大きい。本観測では FG5 と AQG の並行観測ではないが、IAGBN 点及び補助点上でそれぞれ観測を行った。

3. 観測結果

3.1 石岡測地観測局

石岡測地観測局の結果を図-1 に示す。石岡測地観測局の重力観測室には、基準重力点「石岡」(以下「石岡 FGS」という.) のほかに点 A~E の 5 つの基台が設置されており、過去の観測により石岡 FGS と各点間の重力差が求められている。並行観測では石岡 FGS と点 A に機器を設置し観測を行ったが、本稿では比較を容易にするため、点 A での観測値には石岡 FGS との重力差 $2.70 \mu\text{Gal}$ を加えることで全ての観測値を石岡 FGS 上での値に補正した。また、2022 年 4 月に行った絶対重力計の国内比較観測では、#201 と#104 の観測値に $5.98 \mu\text{Gal}$ の差があったことから、FG5 と AQG の比較を容易にする

ため、#201 の観測値に 5.98 μGal を加え、見かけ上#104 の値になるよう補正した。

補正を加えた結果が図-1 である。並行観測での FG5 と AQG の差の平均は 6.47 μGal であった。

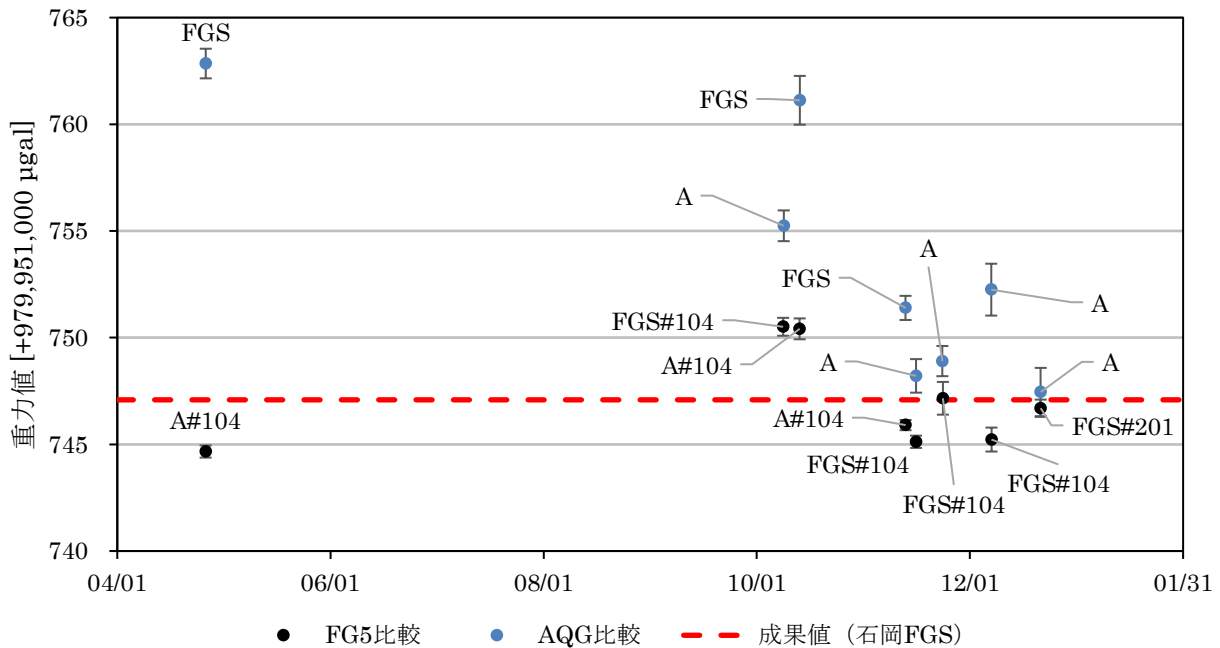


図-1 FG5 と AQG の並行観測結果 (エラーバーは標準誤差の 3 倍)

3.2 山梨県富士山科学研究所

本観測では FG5#201 と AQG#B05 を富士吉田 FGS と、隣接する基台 (East 点) に設置した。セッション 1 では FG5 を富士吉田 FGS, AQG を East 点に設置し、セッション 2 ではそれぞれ設置する基台を交換した。結果は表-1 の通りである。

表-1 富士山科学研究所での絶対重力測定結果

セッション	FG5#201 [+979,566,000 μGal]	AQG#B05 [+979,566,000 μGal]
1	233.53	249.84
2	236.04	239.80

絶対重力観測にはいくつかの誤差が含まれるが、機器による系統差と基準日からの時間変化量の 2 つは重力計の測定精度を超える範囲で重力値に影響を与えると考えられる。そこで、基台 i , 機器 j , セッション k における測定値 g は以下のように表現する。

$$g_{i,j,k} = G_i + \varepsilon_j + \delta_k \quad (1)$$

G はある基準日での基台 i の絶対重力値, ε は機器による系統誤差, δ はセッションにおける基準日からの時間変化量である。

(1) 式より

$$\begin{cases} g_{FGS,FG5,1} = G_{FGS} + \varepsilon_{FG5} + \delta_1 \\ g_{East,FG5,2} = G_{East} + \varepsilon_{FG5} + \delta_2 \\ g_{East,AQG,1} = G_{East} + \varepsilon_{AQG} + \delta_1 \\ g_{FGS,AQG,2} = G_{FGS} + \varepsilon_{AQG} + \delta_2 \end{cases} \quad (2)$$

となり、基台間重力差 $\Delta G = G_{East} - G_{FGS}$ と FG5#201 と AQG#B05 の器差 $\Delta \varepsilon = \varepsilon_{AQG} - \varepsilon_{FG5}$ は、それぞれ 6.28 μGal と 10.04 μGal であった。

3.3 南極昭和基地

第 63 次南極観測隊での昭和基地での観測のうち、36 時間以上観測を行ったものを表したのが図-2 である。12/28~12/30 の AQG#B05 の IAGBN 点における観測を除き、2015 年（第 56 次）の観測値 982,524,326.6 μGal （菅原ほか，2018）よりも小さい値となった。他の観測と比べて約 6 μGal ほど異なる 12/28~12/30 の観測について、原因については検討中である。並行観測ではないため富士山科学研究所での観測のように評価はできないが、外れ値と思われる 12/28~30 の観測を除いて観測値のみを比較すると、IAGBN 点での FG5#203 と AQG#B05 の差は 0.73 μGal 、補助点での差は 0.22 μGal であった。

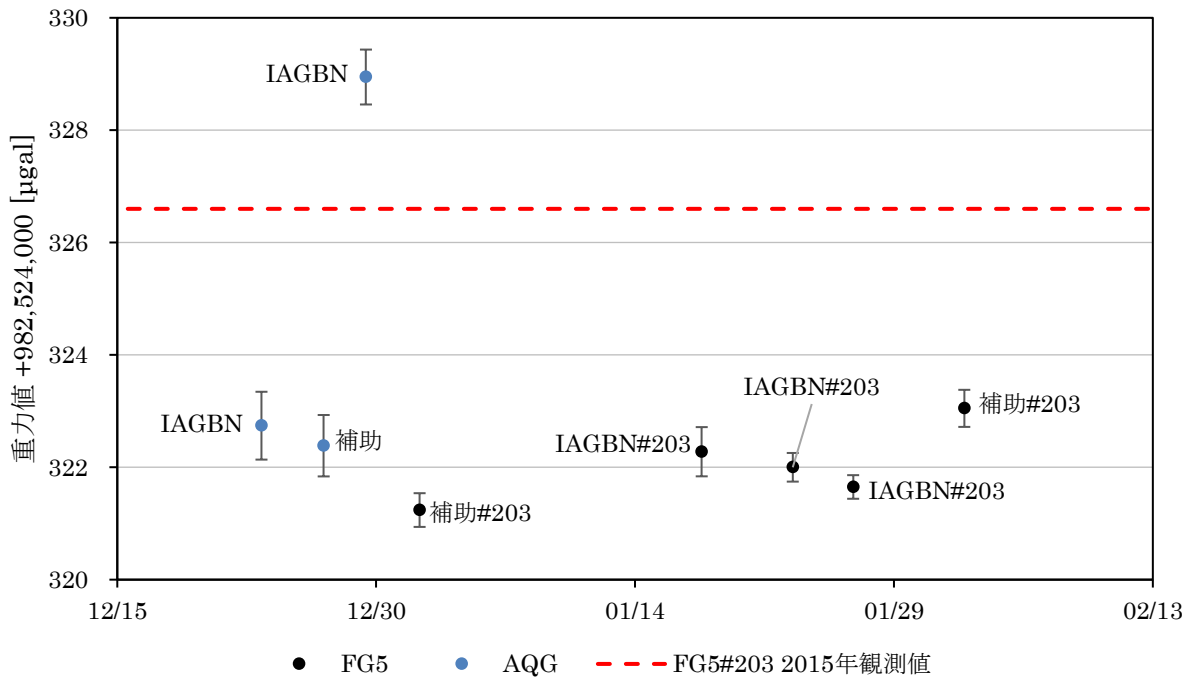


図-2 第 63 次南極観測隊での昭和基地における観測（エラーバーは標準誤差の 3 倍）

4. まとめ

比較を容易にするため、富士山科学研究所での FG5#201 の観測値を見かけ上、FG5#104 の値になるよう石岡測地観測局と同様に補正すると、FG5#104 と AQGS#B05 との器差は 4.06 μGal となる。昭和基地での観測においても同様に比較を容易にするため、2022 年の国内比較観測による FG5#203 と #104 との観測値の差（#104 基準で -1.25 μGal ）で、FG5#203 の観測値を見かけ上 #104 の観測値になるよう補正すると、IAGBN 点及び補助点での FG5#104 と AQG#B05 の器差は -0.52 μGal と -1.03 μGal となる。各観測地点での FG5#104 と AQG#B05 の器差を表-2 に示す。いずれの観測地点においても、FG5 と AQG の器差は数 μGal で概ね整合しており、また重力値依存性は見られない。

表-2 各観測地点での FG5#104 と AQG#B05 の器差

観測地点	器差 (AQG#B05 – FG5#104) [μGal]
石岡測地観測局	6.47
富士山科学研究所	4.06
南極昭和基地 (IAGBN)	-0.52
南極昭和基地 (補助)	-1.03

また、石岡測地観測局と昭和基地での観測値から、AQG が FG5 に比べてばらつきが大きいことがわかる。

今後は本稿と同様に、石岡測地観測局と重力差がある場所で FG5 と AQG の並行観測を継続し、FG5 と AQG の器差及びその重力値依存性について検証するとともに、AQG の基本重力測量への適用に向けて、AQG の安定性・再現性の評価をしていく。また、AQG は FG5 と観測方法が異なることから解析手法の検討も併せて進めていく。

なお、本稿での解析結果は暫定的なものなので、今後解析手法の改善等により、特に AQG の結果が数 μGal 変わる可能性があるので注意されたい。

参考文献

- 菅原安宏，宮原伐折羅，吉田賢司，山本宏章，福田洋一（2018）：南極地域における国土地理院の重力測量－地球規模の重力場測定への貢献－，国土地理院時報，131，109-121.
- 吉田賢司，矢萩智裕，平岡喜文，宮原伐折羅，山本宏章，宮崎隆幸（2018）：日本重力基準網 2016 (JGSN2016) の構築，国土地理院時報，131，53-93.