

光周波数標準の測地的利活用技術に関する共同研究

実施期間	令和 4 年度
測地部計画課	宮原 伐折羅
測地部物理測地課	畔柳 将人 加藤 知瑛 小川 拓真 豊福 隆史 酒井 和紀 中島 正寛 市村 和輝
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

光格子時計は、安定度が非常に高い時刻周波数標準を与えるだけでなく、リンクした時計 2 台の歩度差から 2 地点間の重力ポテンシャル値の差を与えることができる。光格子時計の性能の向上はめざましく、センチメートルの高さの差に相当する重力ポテンシャル差の計測が可能となっている。これにより、国際測地学協会が 2015 年に行った決議である「ジオイド面上の重力ポテンシャル値との重力ポテンシャル差を用いて高さを記述する高さ基準座標系」に、光格子時計を活用することが可能となりつつある（宮原ほか，2018）。このような背景から、国土地理院と情報通信研究機構（NICT）は、光格子時計を用いた測地的利活用及び光格子時計間での高精度比較技術の発展に貢献することを目的とした共同研究を行っている。

光格子時計の安定的な運用には、潮汐や質量分布の時間変化に伴う重力変化が時刻周波数変動へ与える影響を把握することが必要不可欠である。NICT は、光格子時計の設置位置における重力の時間変化を把握するために連続観測用相対重力計（Micro-g LaCoste 社製 gPhoneX No.174）を導入しており、その長期運用には絶対重力計との比較観測による器械ドリフト量の校正及び感度検定を行う必要がある。本稿では、2022 年に石岡測地観測局において実施した、gPhoneX と国土地理院が所有する絶対重力計との比較観測の結果について報告する。

2. 比較観測

2.1 比較観測の概要

石岡測地観測局において、国土地理院が所有する絶対重力計 FG5-104 と NICT が所有する gPhoneX を用い、2022 年 11 月 21 日から 25 日にかけて観測を同時に行った。観測結果から、FG5 で検出された重力変化量を基準とし、器械ドリフトが時間に対し線形に生じると仮定した gPhoneX のドリフト係数を求める。また、新たに求めたドリフト係数からドリフト補正を行い、FG5 と gPhoneX の重力変化量の比から感度検定を行う。

2.2 観測

gPhoneX は 1Hz で連続測定を行った。測定値は FG5 の測定間隔にあわせて 20 秒間の測定データを平均している。

FG5 は 1 セットを 180 drop とし、20 sec/drop で連続測定を行った。FG5 はセット内において $\pm 3\sigma$ (σ はセット内の drop の標準偏差) の範囲内に入らない測定は不採用とした。

固体潮汐及び海洋潮汐補正は ETGTAB 及び Gotic2 のソフトウェアを使用した予測値で補正し、気

圧補正はそれぞれの機器に内蔵された計器のデータを使用した。gPhoneX のドリフト補正は行っていない。

観測の結果を図-1 に示す。観測期間中に発生した地震による測定値の飛びや、低気圧によりノイズが大きくなったためと推察される測定値のばらつきが見られる。

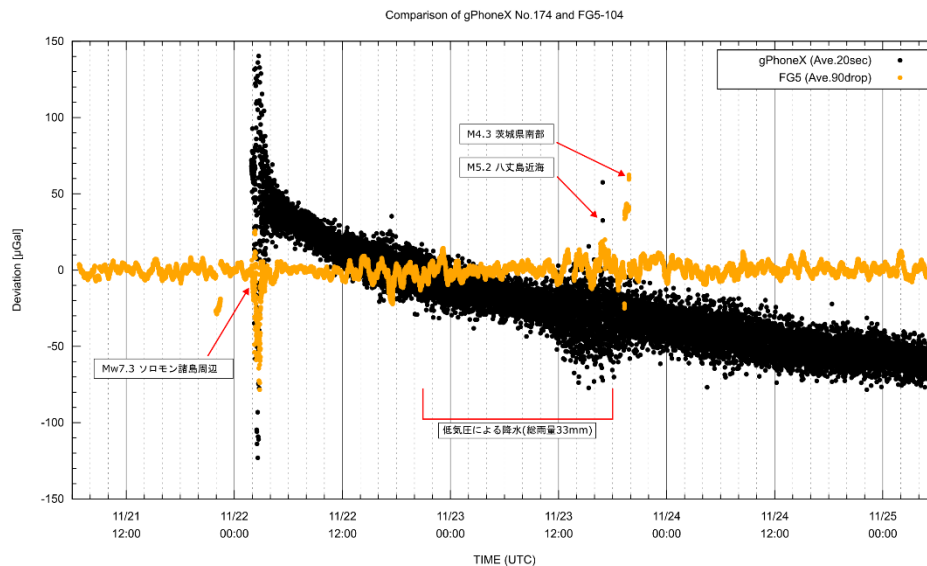


図-1 観測の結果

横軸は観測時刻(UTC)、縦軸は測定値から観測全体の平均値を引いた偏差で表している。

FG5 は測定データから 90drop(30 分間)の移動平均を行った結果を示す。(橙丸)

3. 得られた成果

3.1 ドリフト係数の推定

gPhoneX の重力変化が比較的線形に近い 11/23 20:00-11/25 05:00 (UTC)を解析期間とし、最小二乗法でドリフト係数を推定した。解析期間中に実際に観測された重力変化は器械ドリフトによる変化ではないため、同期間の FG5 の観測結果から同様の方法で重力変化係数を推定し、ドリフト係数から重力変化係数を差し引いた。

図-1 に、解析に使用した測定 (青丸)、近似直線 (赤線)、推定したドリフト係数を使用しドリフト補正を行った結果 (灰丸) を示した結果が図-2 である。

得られたドリフト係数は-19.441 $\mu\text{Gal}/\text{day}$ となった。

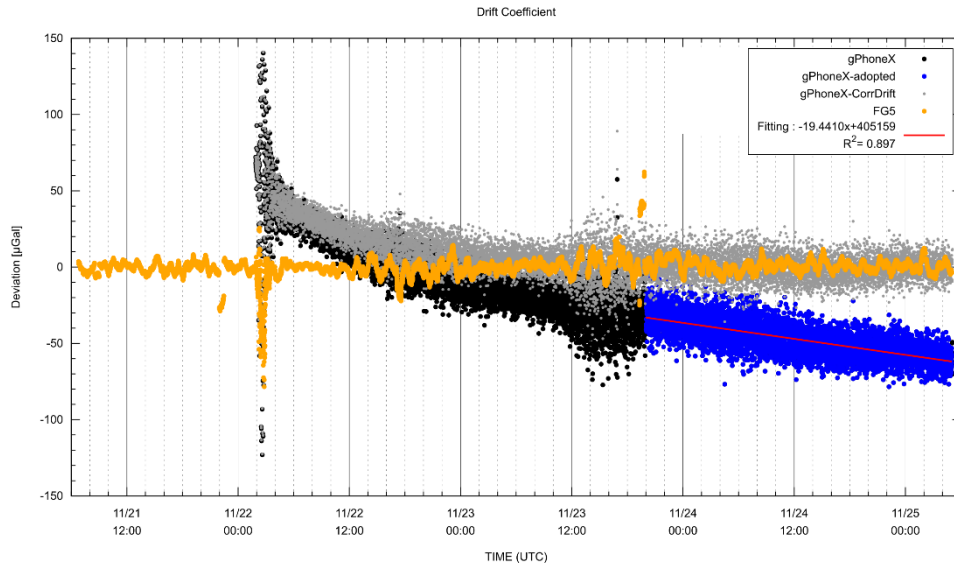


図-2 ドリフト推定

3.2 感度検定

固体潮汐及び海洋潮汐補正を行っていない測定データに対して、3.1 で推定したドリフト係数を使用してドリフト補正を行い、FG5 と gPhoneX の測定値の偏差から gPhoneX の感度を確認した。(図-3) 直線の傾きは gPhoneX で検出した重力変化量と FG5 で検出した重力変化量の比である感度を示し、傾きが 1 に近いほど重力変化を再現できていることを示している。結果は 0.985 であった。

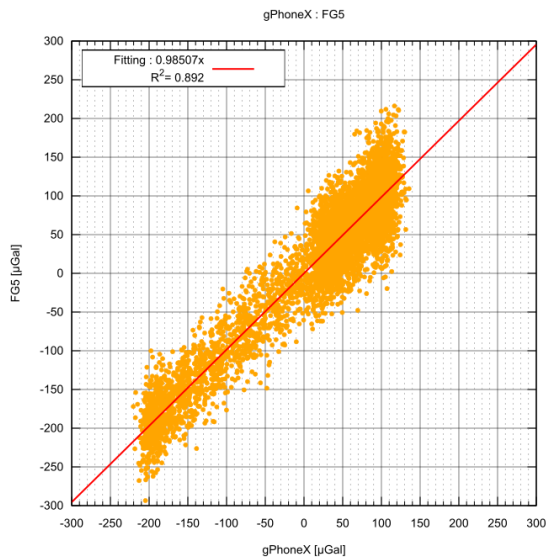


図-3 感度検定

4. 結論

gPhoneX の器械ドリフトの校正のため、FG5 を基準としてドリフト係数を決定し、感度検定を行うための観測を行った。観測期間中の地震や環境要因によってデータが通常時よりも大きく荒れており、

十分な量のデータを使用することはできなかったが、ひとまずはドリフト係数を決定することができ、感度も問題ないものと思われる。

5. 今後に向けて

引き続き、NICTと協力し石岡測地観測局において国土地理院が所有する絶対重力計と gPhoneX との比較観測を行う予定である。また、FG5に加え、国土地理院が2020年度に導入した量子型絶対重力計（フランス Muquans 社（現在は、Exail 社）製 Absolute Quantum Gravimeter (AQG)）を比較観測に用いる。これにより、gPhoneX のドリフト係数の決定と感度検定だけでなく、ジオイド監視を目的とした重力の時間変化の調査への gPhoneX の有用性を確認する基礎研究や、AQG の基本重力測量導入に向け、連続観測時の安定性の特性把握等に資する。

参考文献

宮原伐折羅，吉田賢司，山本宏章，松尾功二，宮崎隆幸，宗包浩志（2018）：国土地理院の重力測量の展望-測定技術と重力基準の将来像-，国土地理院時報 131，95-108.