

宇宙での重力実験は重力波だけではない

宇宙物理学研究系准教授 和泉 究

2023年の冬だった。初めて論文中に示されたグラフを見たとき「なんだこれは」と声が出た。論文とは、NASAの地球重力場観測衛星 GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) が学術誌に発表した東日本大震災前後の福島沖近辺における重力変動データに関するものである (Nature Geoscience 11, 367 (2018))。論文を読みながら2つの気持ちが湧いた。1つは、私が日々宇宙物理学のために開発している技術が社会貢献できうる場所を発見できた高揚感。2つ目に日本の研究者が本論文の分析作業や開発研究に直接携われなかつた悔しさである。この時から、いずれ地球重力場の研究に携わるべき、という予感のような責任感を思うようになった。

GRACE計画は現在、後続である GRACE-FO (2018年打上げ; NASA) に引き継がれ、GRACE-FO は今日も地球の重力場の時間変動を測定している。GRACEシリーズはいずれの計画でも、2機の人工衛星を同じ軌道で地球周回させ、その衛星間距離の変動を精密に測定することで、通過する地域の重力を観測する。GRACE-FOにおいては、私が専門とする重力波観測に近しいレーザー干渉計が、衛星間距離の測定装置として搭載されている。重力波は、ブラックホールといったコンパクト星が連星系を経て衝突合体する際に放出される波動現象である。重力波観測の場合、遠い外宇宙から到來した重力波が、僅かに衛星間レーザー干渉計の光路を変動させるわけだが、GRACEシリーズでは、衛星間の光路距離を変動させるのは地球重力のうち、球状成分からのずれとなる。

現在、私たちのグループでは GRACE-FO の次世代計画である GRACE-C に対して、その衛星間レーザー干渉計に必要となる受光素子を提供しようと活動している。GRACE-C のレーザー干渉計開発を担当する DLR (ドイツ宇宙局) のメンバーから、提供可能性を検討するよう、2023年に打診を受けたのがきっかけである。本受光素子は、InGaAs (インジウム・ガリウム・ヒ素) という化合物半導体から成っており、波長1ミクロン帯のレーザー光に対して、低雑音・高効率での受光を可能にする。実は、浜松ホトニクス社協力のもと、私たちはこれまで本 InGaAs 受光素子を重力波観測のために開発してきた ([ISASニュース 2022年4月号](#) 参照)。今回は、その InGaAs 受光素

子を重力波ではなく地球重力場の観測のため、GRACE-C に搭載させ、レーザー光読み出し雑音の改善を狙うというものである。

ところで、GRACE のような 2 衛星による観測では、重力場の変動を精度よく推定するためには概ね 1 ヶ月分の飛行データが必要となる。これは、衛星 2 機が地球全体を満遍なく飛行走査するのに 1 ヶ月かかるためである。このような中、GRACE シリーズとは異なる軌道傾斜角で飛行走査する姉妹計画 NGGM (New Generation Gravity Mission) の構想が ESA で進められている。NGGM と GRACE のデータを組み合わせることで、地球全体を走査する時間を 1 週間程度まで短縮することができるという。したがって本 2 計画の同時実行により地表上の質量移動と地震の関係がより詳細に研究されると期待できる。

NGGM においても、同様の 1 ミクロン波長帯のレーザーによる衛星間レーザー干渉計の採用が検討されている。したがって、私たちは NGGM に対しても私たちが開発した InGaAs 受光素子が搭載検討されるように活動する目論みである。一見すると、重力波から外れた研究活動のように思えるかもしれないが、地震をはじめとする防災に関する研究を進めながら、将来の重力波研究に必要な開発を進める好機と見ている。

本音を言えば、GRACE-C、NGGM に加えて同時に飛行走査する重力場観測衛星を日本主導ミッションとして打ち上げるのがベストと思う。しかしながら、この実行のためには、高感度加速度計（別名慣性基準センサー）というもう 1 つの技術ピースを埋める必要がある。慣性基準センサーもまた重力波観測との技術的なオーバーラップが大きい。慣性基準センサーについても現在、JAXA 第一宇宙技術部門測位技術ユニットのメンバーらと開発を進めているが、これについてはまた別の機会に進捗を報告する。

以上が、私が重力波を含む宇宙での重力実験に参画している背景と活動の現状である。重力実験は微少量を計測するため、本稿で説明した地球重力場や重力波のほか、宇宙空間量子実験へと技術展開していく可能性が高い。したがって、宇宙での重力実験は潜在価値がまだ多く残されていると見るべきである。今回の GRACE-C 等への機器提供活動をきっかけに国内の宇宙重力実験の活動を加速させたい。