

令和 5 年度 (2023) 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：熱雑音をベースにした重力波望遠鏡較正手法と感度改善手法の開発
 英文：Development of a new caliabrlation method and sensitivity improvement for gravitational wave telescope based on thermal nosie

研究代表者 国立天文台 陳たん
 参加研究者 東京大学宇宙線研究所 澤田崇広
 東京大学宇宙線研究所 山本尚弘
 千葉工業大学 酒見悠介

研究成果概要

現在、KAGRA、LIGO、Virgo といったレーザー干渉計型重力波望遠鏡における信号較正には、Photon calibration system (Pcal)を較正用標準信号生成装置として使用している。このレーザー輻射圧を利用した標準信号生成とは独立に、熱雑音を用いた望遠鏡較正(Tcal)を提案している。

今年度は、新手法の Tcal の比較対象である Pcal の新たな較正スキームへの参入準備と、Tcal で利用する violin mode 熱雑音の特性調査およびその発展として低減手法の開発を行なった。

Pcal では、輻射圧算出のために積分球型レーザーパワーメータ(IS)が使用されている。この IS の較正(以下 Pcal 較正)は、時間変化が起きていないことを保証するために、定期的に行われる必要があり、また絶対値較正が必要である。このために現在 LIGO-Virgo-KAGRA (LVK)では、アメリカの NIST、ドイツの PTB を標準較正機関として絶対値較正を担ってもらい、LVK+NIST+PTB というグローバルネットワークを構築して各重力波望遠鏡の Pcal 較正を行う方針である。

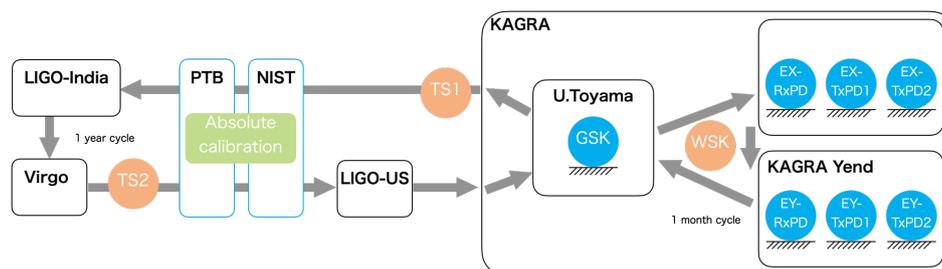


図 1: LVK collaboration で構築中の積分球較正スキーム。PTB, NIST が絶対値較正を担い、較正された IS である TS1, 2 が定期的に各望遠鏡に渡り、望遠鏡内 Pcal で使用されている IS を較正する。

KAGRA が本スキームへ参入するための障壁となっていた富山大学での測定自動化を開始し、設計、システム構築を行なった。実際に構築したシステムの写真は図 2 である。今後、試験を行う予定である。これにより Pcal の精度向上と信頼性が高まることが期待でき、Tcal との比較がより信頼性が高まる。



図2: 構築した control and measurement system(左)と光学系(右)。制御、測定システムは安定性および KAGRA での経験から産業用ラズベリーパイ RevPi を採用。

KAGRA の観測運転 O3GK データの一部を用いた violin mode 熱雑音の調査と低減手法の開発も実施した。まず、フィルタ設計を行い、180Hz 付近に存在する 1st violin mode のみを抜き出した。23 本以上のピーク状のノイズが領域内に確認でき、かつ時間変動していることがわかった。その中でさらに 1 つのみの熱雑音ピークを抜き出して、低減を試みた。(図 3 左)

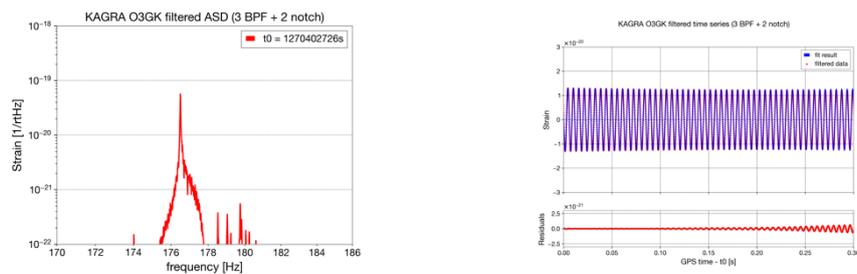


図3: (左)KAGRA の O3GK データから抜き出した Violin mode 熱雑音の 1 つ。(右)その時系列データとモデル予測した結果。下部に示されているグラフがデータとモデルの差分であり、1/10 程度の精度で予測ができた例である。ただし、0-0.1 秒が学習スパンで、0.1-0.3 秒が予測スパンである。

Violin mode 熱雑音低減では、単純な正弦波をモデルにして、学習させて、未来予測をして、実データから減算した。その結果が図 3 右で、この時間程度(0.2 秒)であれば、よく予測ができているように見える。

前年度の研究により、Tcal 信号は Pcal 信号と良い相関を持っていることが確認できていた。その上で、今年度の研究により Pcal の精度向上指針が立てられ、さらに Tcal 信号(violin mode ピーク)の安定性評価を進めることができた。また、望遠鏡の最も良い感度領域を制限するこの violin mode 熱雑音の低減のための初期試験も実施できた。

今後は、KAGRA の O4 での観測データが得られた後、Pcal と Tcal の比較を行い、Tcal を評価する。また長時間の violin mode 熱雑音の正確な低減ができる手法を探る。