

## 学位申請論文公開講演会

日時：2026 年 1 月 29 日(木) 17:00~

申請者：石川 智浩 (Uxg 研)

場所：物理会議室 (C207) およびハイブリッド

接続先の問い合わせ先：[nakazawa@u.phys.nagoya-u.ac.jp](mailto:nakazawa@u.phys.nagoya-u.ac.jp)

題目：Proof-of-principle experiment for sensitivity improvement of space gravitational-wave antenna DECIGO: Radiation-pressure-noise reduction using a detuned suspended Fabry-Perot cavity with simulated quantum fluctuations

(スペース重力波アンテナ DECIGO の感度向上のための原理検証実験: 模擬量子揺らぎを使った懸架型離調ファブリペロー共振器における輻射圧雑音低減)

### 主論文の要旨

宇宙における平坦性問題や地平線問題を説明できる理論として、インフレーション理論がある。この理論では、インフレーション中の量子揺らぎを起源とする、原始重力波の発生が予言されている。原始重力波を直接観測することで、インフレーションがどう進んだのかを観測から明らかにすることができる。

宇宙重力波検出器 DECIGO は、原始重力波の直接観測を主目的とした宇宙計画である。DECIGO の目標感度は、他の電磁波観測から予想される原始重力波の上限強度を指標に設定される。しかし近年の電磁波観測の結果から、原始重力波の上限強度が引き下げられており、目標感度をより一層向上するための技術開発が必要とされている。

DECIGO の目標感度はレーザー光の量子雑音で制限される。量子雑音はレーザー光の振幅と位相が不確定性原理で揺らぐことから発生し、振幅の量子揺らぎが鏡を揺らすことで発生する輻射圧雑音、位相の量子揺らぎが重力波信号を妨げるショットノイズがある。DECIGO は地上の重力波検出器に比べてアーム長が長いので、光が回折することに伴うロスが無視できない。回折ロスの影響を考慮して目標感度を向上するための理論として、光ばね量子ロッキングが提案された。主論文ではその理論に含まれる 1 要素である、共振器を共振点からずらす(離調)と、輻射圧雑音を誘起する振幅揺らぎが位相に射影されることで、特定の周波数で輻射圧雑音が相殺される効果を実験で原理検証した。

原理検証を行う上で、離調した共振器内でレーザー光の振幅揺らぎが鏡を揺らす過程を再現することが必要である。そこで懸架された鏡で構成された共振器を作成した。また懸架鏡を制御し、離調するためのデジタル制御システムを構築した。輻射圧雑音は非常に小さく実験室環境で扱うのは困難なため、古典的にレーザー光のパワーを変調し、光の輻射圧で鏡を揺らすことで輻射圧雑音を模擬した。変調されたレーザー光を離調された共振器に入射し、共振器の長さ信号の周波数応答を測定することで原理検証した。その結果、共振器長を離調した状態で、位相に射影された振幅雑音が位相雑音と一部相殺し、位相雑音が低減されることを確認した。しかし、期待される輻射圧雑音のもつ周波数応答とは一部異なる結果が得られた。

振幅揺らぎに誘起した位相雑音を低減しうることを原理検証することで、DECIGO の量子雑音に対する感度が局所的に改善できると期待される。原理検証する光学技術を DECIGO に適用し運用することで、インフレーション由来の原始重力波がより良い感度で検出される可能性が高まる。改善した感度をもつ DECIGO で原始重力波を観測できれば、宇宙の誕生を重力波観測の観点から明らかにできる。