

論文審査の結果の要旨

氏名 長野 晃士

本博士論文は 7 章から構成され、Fabry-Pérot 型宇宙重力波望遠鏡の制御に関する研究について記述される。第 1 章は、本研究のイントロダクションである。

第 2 章では一般相対性理論から予想される重力波の特徴、期待される重力波の発生源、重力波観測によるサイエンスケースを紹介する。

第 3 章でマイケルソン干渉計と Fabry-Pérot 共振器の 2 つのレーザー干渉計の特徴をまとめる。次に重力波望遠鏡のレビューと地上 (Advanced LIGO) と宇宙 (光トランスポンダ方式の LISA や Fabry-Pérot 方式の DECIGO) の望遠鏡の比較を行い、それぞれ感度がある周波数帯域が $10-1\text{kHz}$ 、 $10^{-4}-0.1\text{Hz}$ 、 $0.1-10\text{Hz}$ であることが紹介された。地上重力波望遠鏡の低周波帯の限界(10Hz)は、主に地面振動に起因する雑音で決まっている。地面振動の影響を避けるために、宇宙重力波望遠鏡が提案されている。

第 4 章では、DECIGO とその先駆けとなる B-DECIGO の科学の目的と全体的な概念が述べられている。 $0.1-10\text{Hz}$ で $10^{-23}/\sqrt{\text{Hz}}$ という感度が達成できれば、いくつかの inflation model、暗黒物質探索、最初の星形成の宇宙でのブラックホール連星崩壊、中型質量のブラックホール連星などに関して新しい知見を得ることができる。

第 5 章で、DECIGO と B-DECIGO の制御機構の研究を記述する。Fabry-Pérot 型宇宙重力波望遠鏡の、機械的および光学機械的応答、センサーとアクチュエータ、外力雑音、センサー雑音を含む新しい数値的なモデルを構築し、制御トポロジーを検討した。このモデル化により、干渉計制御とドラッグ・フリー制御は、制御自由度を分けることにより、共存可能であることを示した。また、試験質量の位置を基準にすることで制御が可能であることも示した。さらに構築されたモデルと制御トポロジーを用いて DECIGO における現実的な外乱や測定雑音を考慮しても、目標感度である $10^{-23}/\sqrt{\text{Hz}}$ という感度と 1 日以上以上の安定性をもつ DECIGO の干渉計制御の成立解を確立した。

第 6 章では、双方向差動 Fabry-Pérot 共振器の実証実験の結果を示す。双方向差動 Fabry-Pérot 干渉計を定式化するとともに、地上の実験室に 55cm の基線長をもつセットアップを構築し、その動作を世界で初めて実証した。そこで主要な雑音源となり得る共振器の共振点からのずれが、共振器長を調整することで低減されることを確認した。

第 7 章は Fabry-Pérot 型の宇宙重力波望遠鏡の制御機構の研究のまとめである。そして DECIGO と B-DECIGO に向けた、さらなる干渉計のシミュレーション、地上でのプロトタイプ建設、宇宙における小規模の実証に関する将来の展望を述べている。

なお本論文第 4 章の科学的目的で引用した付録 A にある干渉計重力波望遠鏡によるアクション暗黒物質探索の提案は、Tomohiro Fujita、Yuta Michimura と Ippei Obata との共同研究であるが、本論文全般において論文提出者が主体となって解析および実証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士 (理学) の学位を授与できると認める。