

宇宙重力波望遠鏡におけるバックリンク干渉計の開発

重力波は一般相対性理論から予言された、時空の歪みが波として伝搬する現象である。現在の重力波観測は主に地上重力波望遠鏡である LIGO、Virgo、KAGRA によって行われている。これらは 10 Hz–1 kHz 帯に感度を持ち 1~100 M_{\odot} のブラックホール連星や中性子星連星による重力波を主に観測することができる。現在、重力波天文学の発展を目指してさらなる高感度化と観測周波数帯域の拡大が目指されている。宇宙重力波望遠鏡を用いた低周波の観測では 0.1 Hz 帯の重力波に感度を持つ望遠鏡として DECIGO、B-DECIGO や BBO が提案されている。0.1 Hz 帯の重力波を観測することで宇宙誕生時に放出されたと考えられている原始重力波の直接観測を実現することが期待されている。原始重力波の直接観測により宇宙の始まりを記述するインフレーション理論の検証や誕生直後の宇宙の調査を行うことができる。

宇宙重力波望遠鏡の方式の一つにファブリペロ共振器を用いた方式がある。これは地上重力波望遠鏡で用いられている手法であり、DECIGO や B-DECIGO でもこの方式が計画されている。ファブリペロ共振器の共振を維持する手法の一つにバックリンク干渉計がある。この手法では一台の宇宙機に二基のレーザーを搭載し、六基のレーザーの周波数を制御することで六つの共振条件を満たすことができる。これにより共振器長の精密な制御は必要なくなる。バックリンク干渉計は一台の宇宙機に搭載された独立な二基のレーザーの干渉をとることで重力波信号を取得する。そのためレーザーの干渉信号にはレーザー周波数雑音が混入する。このレーザー周波数雑音を低減するためにバックリンク干渉計では各共振器のエラー信号を用いたデータの事後処理を行う。この事後処理には大きく分けて二つの機能がある。レーザー周波数雑音を除去する機能と重力波信号を復元する機能である。このうちレーザー周波数雑音を除去する機能は実験室にバックリンク干渉計を構成し実証されている。一方で重力波信号を復元する機能についてはこれまでに実証が行われておらず、バックリンク干渉計の実現のためには実験的に実証する必要がある。

本研究では実験室にバックリンク干渉計のセットアップを構築し、事後処理によって重力波を復元する機能を実証するための実験を行った。そのためにバックリンク干渉計の実験セットアップに補助レーザーを用いて疑似的に重力波信号を注入する手法を用い実際に実験系に注入した。その後事後処理を適用し、注入した疑似重力波信号が復元されるか試験した。その結果疑似的な重力波信号の注入に成功した。これにより固定共振器のように鏡を物理的に振動させると安定性が損なわれやすい系でも重力波信号を模擬できる手法を実証することができた。また引き算を用いて復元した信号はゲインが 90-200 Hz において誤算範囲で注入信号と一致し、70-90 Hz で有意なずれを持っていた。また位相は誤差の範囲で注入信号と一致した。このずれの原因としては制御系の非線形効果や共振が考えられる。以上より、本研究によってバックリンク干渉計の重力波信号を復元する機能の実証試験に世界で初めて成功し、ファブリペロ干渉計を用いた宇宙重力波望遠鏡の実現に近付いた。