

【基盤研究(S)】

理工系(数物系科学)



研究課題名 重力波観測時代に臨む較正標準化とデータ解析高精度化

大阪市立大学・大学院理学研究科・教授

かんだ のぶゆき
神田 展行

研究課題番号: 17H06133 研究者番号: 50251484

研究分野: 数物系科学

キーワード: 重力波観測、相対性理論、データ解析、レーザー干渉計、宇宙物理学

【研究の背景・目的】

2015年に米国の観測実験であるLIGOによってついに人類初の重力波検出が達成された。その源は太陽質量の30倍程度のブラックホール連星の合体と推定され、物理学、天体物理学、天文学の上で大きな関心を集めている。LIGOと欧州Virgoの感度更新計画や日本のKAGRA検出器を想定すると、今後はさらに高い頻度で事象が観測される"重力波観測時代"が始まる。

しかし現在の重力波観測では重力波の大きさに数~10%程度の系統誤差がある。較正に用いるレーザー標準が国際的に2~5%の違いがあることや、ダイナミックレンジの大きな重力波信号の計算の難しさ等に起因する。また、より高精度な解析が強く望まれる。

そこで本研究は、重力波観測のハードウェアとデータ解析を連携させ、(1)較正(キャリブレーション)の世界標準化、(2)時系列の重力波信号 $h(t)$ の忠実性の高い再現、(3)データ解析の高精度化および高精度な解析で可能な物理の研究を行う。そして、精密科学としての重力波研究の礎を作る。

【研究の方法】

重力波検出器の較正標準化、重力波信号 $h(t)$ の再現、観測データ解析の高精度化が本研究の柱となる。

フォトンキャリブレーターは、レーザー光の輻射圧で鏡の変位を励起する較正方法である。すでにLIGOでは導入されており、KAGRAでも製作中であるが、本研究では励起源となるレーザー強度を正確に測定するための積分球を導入、LIGO、KAGRAそれぞれで測定し、相互参照を可能とする。それによって国際観測網の較正標準化を行い、系統誤差1%以下を目指す。

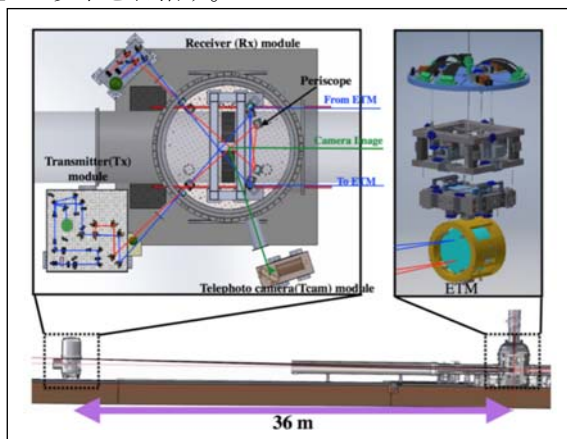


図1 KAGRAのフォトンキャリブレーター

複雑な演算をダイナミックレンジの広い干渉計信号に適用し、元の重力波信号を忠実に再現できるよう、 $h(t)$ 再構成のソフトウェアを追求する。

観測データにおける重力波事象の解析において、波形精度(絶対値、位相)の向上を利して、より高精度な解析(例:距離推定、方向推定)を評価する。また逆に、較正精度の向上により新しいサイエンスが見込めるか、たとえば大質量ブラックホールの準固有振動の解析における波形精度の要求値などを、精度の高い解析手法の開発とともに明らかにする。

【期待される成果と意義】

例えば、ブラックホール連星合体や中性子星連星合体の存在率推定には、重力波による距離の決定が重要である。現状の振幅5%程度の誤差は存在率にして15%程度の誤差を生じるが、本研究で振幅誤差1%に抑えれば存在率の誤差は3%程度に抑えられる。これはブラックホール連星の起源や中性子星連星の形成過程の議論に役立つ。また、観測時代には多数のブラックホール連星合体を用いた解析ができるが、波形と解析の誤差を1%程度に抑えることで、観測装置の系統誤差の影響を数100事象程度での統計誤差以下に抑えられるし、ブラックホールの物理や重力理論の検証が高精度で可能となる。

本研究の後半には、KAGRAも低温鏡での観測運転が予定されており、KAGRAの較正やデータ解析高精度化に本研究を反映する。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・「初観測された重力波が開いた宇宙への新しい窓」、神田展行、雑誌パリティ、Vol. 31, No. 10, 14-18, (2016)
- ・"The detection rate of inspiral and quasi-normal modes of Population III binary black holes which can confirm or refute the general relativity in the strong gravity region", Tomoya Kinugawa, Akinobu Miyamoto, Nobuyuki Kanda, Takashi Nakamura, Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 456 (2016) no.1, 1093-1114

【研究期間と研究経費】

平成29年度-33年度 139,600千円

【ホームページ等】

<http://www.gw.hep.osaka-cu.ac.jp/>
kanda@sci.osaka-cu.ac.jp