

平成23年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：LCGTにおける量子雑音と量子非破壊計測に関する研究
英文：Study of quantum noise and quantum non-demolition scheme for LCGT

研究代表者

宗宮健太郎

参加研究者

黒田和明(宇宙線研)、大橋正健(宇宙線研)、三代木伸二(宇宙線研)、
Wei-Tou Ni(上海師範大)、Xiang-Hua Zhai(上海師範大)、Yanbei Chen(カルテク)、
藤本眞克(国立天文台)、中村康二(国立天文台)、我妻一博(国立天文台)、
細谷暁夫(東工大)、須佐友紀(東工大)、森匠(東大新領域)、西澤篤志(京大)

研究成果概要

LCGT(KAGRA)は、鏡の低温化と、検出器全体の地下設置により、熱雑音や地面振動雑音といった古典雑音が軽減され、感度はほぼ全ての観測帯域で量子雑音によって制限されている。本研究では、量子雑音を軽減する新しい技術の開発を目的とし、量子非破壊計測などの理論研究を進めている。

平成23年度の成果としては、以下の3つが挙げられる。第一に、**Filter cavity** と呼ばれる技術の KAGRA での有効性を示したことである。**Filter cavity** は検出器の出力ポートにおいて周波数ごとに異なる量子雑音の応答(スキューズアングル)を白色化するデバイスであるが、これまで 3km スケールの干渉計が必要とされ、実用化が敬遠されてきていた。今回、我々が計算した結果は、100m クラスの光共振器で十分に **Filter cavity** の役割を担えることを示しており、実用化という観点から大きな前進があったと言える。今回の計算はシグナルリサイクリングの部分で近似を用いているので、光学損失をより精確に見積もるためには、近似をせずに **Filter cavity** の効果をシミュレートする必要がある、来年度以降の課題である。

第二の成果は、弱測定理論を重力波検出器に応用し、信号増幅の可能性を発見したことである。重力波検出器は鏡の運動について量子破壊をしていないという点で弱測定であり、プレセクションとポストセクションを正しく選び、初期波動関数を最適化すると出力信号の増幅が可能となる。今回、我々が計算した結果は、信号増幅のみならず信号雑音比が改善する可能性を示唆している。今後の研究で実際にどのように重力波検出器に適用していくのが効果的かを検討していくこととなる。なお、本研究は東工大の須佐友紀氏の修士論文テーマとなっており、氏はこの研究成果で基礎物理学の卒業式総代に選ばれている。

第三の成果は、輻射圧を利用した信号増幅装置の開発において、増幅機構の理解に大きな前進があったこと、および、同様の干渉計構成でスクイーミングの高効率化を実現できるのを発見したことである。本研究はカリフォルニア工科大の Chen 准教授らと共に理論計算を進めてきたものである。重力波検出器の出力をスクイザーに入射してポンプ光で増幅してから検出器に再入射することで、これまで受動的に行なわれていた信号リサイクリングをアクティブに行なうことができる。それによって広帯域な信号増幅を実現させようというものである。研究代表者の計算により、上記のアイデアは信号と雑音を同時に増幅させるため、信号雑音比は向上しないことが判明したが、Chen 准教授の指摘で、信号増幅には検出器のデチューニングが不可欠であることが分かった。来年度はこの点を考慮し、開発を進めていく予定である。また、信号増幅でなく、スクイーミングという観点から、同じシステムを見直すと、10%程度の弱いスクイーミングが20dB以上のスクイーミングと同じ効果を実現することを発見した。これについても、来年度以降、さらに研究を進めていく予定である。

いずれの研究も、本年度に大きな成果をあげただけでなく、さらなる進展が見えており、来年度の研究に大きな期待を抱かせるものとなった。

整理番号
