

2020 (令和二) 年度 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：大型低温重力波望遠鏡（KAGRA）の低温懸架系の研究
英文：Research on cryogenic payload for KAGRA

研究代表者 山元 一広

参加研究者 森脇 喜紀、開発 輝一、森有紀乃、中山 遥太、鈴木 敏一、木村 誠宏、
牛場 崇文、道村 唯太、山田 智宏、都丸 隆行

研究成果概要

重力波は一般相対論から予言される光速で伝搬する時空のさざ波である。重力波の直接検出は物理学、天文学において大きな意味を持つ。2016年2月のアメリカのLIGOの初の直接検出の発表で検出器の開発は新たなphaseに入った；次の目標は国際的な重力波観測ネットワークの構築である。このネットワークは重力波自体の研究（重力波の偏極は一般相対論通りなのか、それとも他の重力理論に従うのか）、到来方向の精度の高い決定（天文学にとって必須）に貢献する。日本ではKAGRA干渉計の建設が進められており国際ネットワークへの参加が急務となっている。

KAGRAが従来のkmスケールの干渉計と大きく異なる特徴の一つとして熱雑音を低減するためにサファイア鏡とその懸架系を20K程度まで冷却することがあげられる。歴史的な経緯から現在の稼働もしくは建設中の干渉計は第2世代と呼ばれているがさらに感度を10倍向上させた第3世代検出器計画の議論がヨーロッパで進められており（Einstein Telescope）、ここでも低温技術が採用される。つまり低温鏡はさらなる感度向上でも重要な位置を占める。本研究の目的はKAGRAの低温懸架系の技術を進展させることである。

今年度はサファイア鏡のパラメトリック不安定性の研究を行った。これはレーザー光の輻射圧が鏡の弾性振動モードを励起し、この弾性振動が光を励起し、そしてこの光が鏡をさらに励起する...という現象である。これにより干渉計の鏡が大きく振動し、干渉計の安定な運転そして観測が困難となる。LIGOではすでにこの不安定を観測しており (Physical Review Letters 114 (2015) 161102)、抑制のためにダンパーを入れて対処している。これによってLIGOは重力波の初検出を成し遂げることができた。KAGRAの場合のパラメトリック不安定性は申請者がすでに10年程前に検討している（Journal of Physics: Conferenc

e Series 122(2008)012015) 。KAGRAは低温技術を導入したことにより、不安定な鏡の弾性振動モードの数はLIGOの1/10程度である。しかしながら数が少ないとはいえ不安定モードは存在するのでその対策が必要である。また最近10年の間にサファイア鏡や干渉計の設計仕様に変更がなされた。

2020(令和2)年度の主なトピックは、KAGRAのパラメトリック不安定性をシミュレーションとその実験的検証である。KAGRAに既に設置されたサファイア鏡と現在の干渉計の仕様をもとに、鏡のどの弾性振動モードが不安定であるか、有限要素法により同定した(図1)。

このモードの形の実験的検証を試みた。富山大学にはKAGRAのサファイア鏡のダミーとしてサファイアでできた同サイズのバルクがある。その共鳴モードの形をマイケルソン干渉計で測定する。装置自体の検証として形が簡単な軸対称モードの測定を行った。ほぼ期待通りの結果が出たが現在微調整などを進めている。それが終わり次第、上記のモードの測定を始める。

来年度(2021)は具体的なパラメトリック不安定性の抑制方法の検討、検証し、その手段を確立することを目指す。

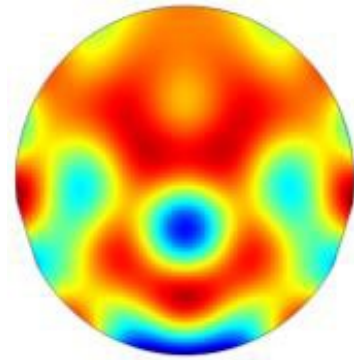


図1：一番不安定な鏡の弾性モード(84.746kHz)

学会発表など

1. 開発 輝一, "大型低温重力波望遠鏡 KAGRA におけるパラメトリック不安定性の評価" 富山大学理工学教育部 修士論文 (2021年2月)
2. Kiichi Kaihotsu, K.Yamamoto, Y.Michimura, "Parametric Instability in KAGRA large scale cryogenic gravitational wave telescope" 7th KAGRA International Workshop (2020 Dec. 18) oral presentation
3. Kiichi Kaihotsu, K.Yamamoto, Y.Michimura, "Parametric Instability in KAGRA" The 26th KAGRA Face-to-Face meeting in remote style (Dec 17-18AM, 2020) poster
4. 開発 輝一, 森脇 喜紀, 山元 一広, 道村 唯太, "大型重力波望遠鏡 KAGRA におけるパラメトリック不安定性", 2020 年度 日本物理学会北陸支部定例学術講演会 (2020年12月5日) 口頭発表
5. Kiichi Kaihotsu, K.Yamamoto, Y.Michimura, "Parametric Instability in KAGRA" The 25th KAGRA Face-to-Face meeting in remote style (August 20-22, 2020) poster