

科学研究費助成事業（特別推進研究）公表用資料  
〔平成29年度研究進捗評価用〕

平成26年度採択分

平成29年 5月31日現在

研究課題名（和文） **極低温干渉計で挑む重力波の初観測**

研究課題名（英文） **Detection of gravitational waves  
with a cryogenic interferometer**

課題番号：26000005

研究代表者

**梶田 隆章** (KAJITA TAKAAKI)

東京大学・宇宙線研究所・教授



研究の概要：本研究では岐阜県飛騨市神岡町の地下に最先端研究基盤事業によって整備された3 kmのレーザー干渉計の基盤設備をベースに、新たなアイデアに基づいた極低温鏡の冷却時間短縮や、独自の高度な干渉計制御技術による干渉計の迅速な観測開始と安定運転を実現し、更には極低温鏡というKAGRAのみが持つ特徴を最大限に生かして標準量子限界を打破する世界に類の無い超高感度の干渉計を実現する。これにより重力波観測を行い、重力波天文学の創成に貢献する。

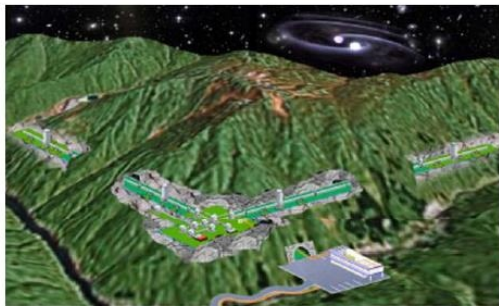
研究分野：宇宙線物理学

キーワード：重力波、連星中性子星、レーザー干渉計、一般相対性理論

### 1. 研究開始当初の背景

重力波の直接観測に向け、国内外で準備が進められていた。国外ではアメリカ及びヨーロッパで本計画と同規模の研究計画が進行中であり、国内においては、本計画の実現に向けて開発研究が進められていた。本研究を含め、世界中の計画が平成29年頃の重力波の初観測を目指して計画を進めていた。

（平成27年にLIGOにより初観測された。）



**KAGRAの想像図**

### 2. 研究の目的

(1) アインシュタインの一般相対論によると、重力は時空の歪みとしてあらわされる。巨大な質量の星が激しく運動すると、時空の歪みも時間的に変化し、その影響は重力波となって光速で全方向に広がっていく。宇宙には、膨大なエネルギーを放出する中性子星連星やブラックホール連星の合体、また超新星爆発など、時空の歪みを引き起こして重力波を発生させる現象が存在する。このような天体現象からの重力波を検出する。

(2) 本研究では重力波検出器KAGRAの研究基盤をベースに、新たなアイデアに基づいた極低温鏡の冷却時間短縮や、独自の高度な干渉計制御技術による干渉計の迅速な観測開始と安定運転を実現し、更には極低温鏡というKAGRAのみが持つ特徴を最大限に生かして標準量子限界を打破する世界に類の無い超高感度の干渉計を実現する。これにより本研究期間内に重力波観測を行い、重力波天文学の創成に貢献する。

### 3. 研究の方法

(1) KAGRAの迅速な運転開始及び標準量子限界をも超える高度化のための先進的技術を開発する。それらの技術を備え付けた最先端装置のコミッショニングとその安定動作を迅速に行い、できるだけ早い時期に重力波の観測を開始する。

(2) 上記の目標を本研究期間内に達成するため、以下のようなマイル・ストーンを設定する。まず、常温の鏡を用いて比較的シンプルな基線長3 kmのレーザー干渉計を動作させる。これを研究開始から2年（平成27年度）を目処に達成する。その後、鏡を極低温化し、この干渉計にパワーリサイクリングおよびシグナルリサイクリングを加え、コミッショニングと改良を繰り返すことで干渉信号中のノイズ除去を行う。最終的には標準量子限界を超えることを目標にした感度の達成を目指す。この干渉計の動作と重力波の観測を平成30年度中に行う計画である。

#### 4. これまでの成果

##### (1) 極低温鏡システム

KAGRA では重力波検出器の原理的雑音の一つである熱雑音を低減するために鏡とその懸架系を 20K 程度まで冷却する。これは量子雑音で制限される感度を実現するために必須の技術である。このための開発研究として、ダイヤモンド・ライク・カーボン(DLC)のコーティングの表面の放射率を 0.6 程度まで向上させ、超高真空中で使用可能な黒化処理であるとの結果を得、初期冷却に要する時間を短縮できるとの試験結果を得た。これにより KAGRA 本体で迅速な運転立ち上げと稼働率向上につながるができるとの結論を得た。懸架系高性能化に関してはまず構成要素に関する試験(サファイア・ファイバ強度、熱伝導率、機械的 Q 値の測定)、低温における制御モデル構築とシミュレーションを行った。これらをもとに懸架装置実証機を作成した。現在は既存のクライオスタット等を用いて、懸架系の冷却試験、機械特性試験と制御試験を進めている。

##### (2) 超精密干渉計制御

本研究では、独自の光学構成を持つ補助レーザーによる腕共振器のプレ・ロックという新しい手法により、動作点引き込み速度の抜本的向上を目指す。このためのデジタル制御系を考案した。また、光学システムのうち、出力モードクリーナーの制御実験が行われ、マイケルソン干渉計の高周波雑音を低減することに成功した。さらに、動作点引き込みを行うための補助レーザーシステムの設計が進んでいる。

##### (3) iKAGRA の運転

平成 27 年度末と平成 28 年度初頭にシンプルな常温干渉計(iKAGRA)の試験運転をそれぞれ約 2 週間にわたり実行した。これは本研究における重要なマイルストーンであり、レーザーやミラー懸架系を含む全長 6km にわたる巨大観測装置をネットワークで結合したシステムが安定に機能することを確認できた。さらに、第 1 回目の試験運転後の見直しにより、レーザー干渉計の運転率(安定性)が 85% から 90%以上へと向上した。

#### 5. 今後の計画

##### (1) マイル・ストーンの追加

平成 27 年度に試験運転したシンプルな干渉計の常温鏡を低温鏡に変更したものを平成 29 年度中を目途に稼働させる。これにより、世界初の低温大型レーザー干渉計が実現する。この段階で、低温鏡に特有の問題があれば、それが明らかになり、それを修正することが可能である。その後、この干渉計に、フアブリーペロー共振器および光のリサイク

リングシステムを組み込んで、平成 30 年度に本格運転を開始する。この 2 つのマイル・ストーンのそれぞれで短期の観測を行う予定である。

##### (2) 重力波観測

上記に加え、コミッションと改良を繰り返して干渉信号中のノイズ除去を行う。十分な感度が得られたときに、最終的な重力波観測を実行する。

#### 6. これまでの発表論文等(受賞等も含む) (研究代表者は二重線、研究分担者は一重下線、連携研究者は点線)

(1) 「Vacuum and cryogenic compatible black surface for large optical baffles in advanced gravitational-wave telescopes」  
T. Akutsu, Y. Saito, Y. Sakakibara, Y. Sato, Y. Niwa, N. Kimura, T. Suzuki, K. Yamamoto, C. Tokoku, S. Koike, D. Chen, S. Zeidler [Optical Materials Express] 査読有  
6 巻 1316-1626 頁 (2016)

(2) 「Characterization of non-Gaussianity in gravitational wave detector noise」  
T. Yamamoto, K. Hayama, S. Mano, Y. Itoh, and N. Kanda [Physical Review D] 査読有  
93 巻 82005 頁 (2016)

(3) 「Standard quantum limit of angular motion of a suspended mirror and homodyne detection of a ponderomotively squeezed vacuum field」  
Y. Enomoto, K. Nagano, and S. Kawamura [Physical Review A] 査読有  
97 巻 12115 頁 (2016)

(4) 「Design study and prototype experiment of the KAGRA output mode-cleaner」  
K. Yano, A. Kumeta, K. Somiya [Journal of Physics: Conference Series] 査読有  
716 巻 12032 頁 (2016)

(5) 「Measurement of Schumann Resonance at Kamioka」  
S. Atsuta, T. Ogawa, S. Yamaguchi, K. Hayama, A. Araya, N. Kanda, O. Miyakawa, S. Miyoki, A. Nishizawa, K. Ono, Y. Saito, K. Somiya, T. Uchiyama, M. Uyeshima and K. Yano [Journal of Physics: Conference Series] 査読有  
716 巻 12020 頁 2016

ホームページ等

<http://www.icrr.tokyo.ac.jp/gr/SPR/index.html>