

令和 4 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01224

研究課題名(和文) 光リング共振器を用いた光速異方性の全成分探査

研究課題名(英文) Comprehensive search for anisotropy in the speed of light using an optical ring cavity

研究代表者

道村 唯太 (Michimura, Yuta)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・助教

研究者番号：80747006

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：高感度なローレンツ不変性の破れの探査が可能となる装置を開発し、その雑音評価と低減を行った。これにより、将来の探索に向けた基礎開発を進めることができた。我々の装置はシリコンを入れることで光路の一部の屈折率を変えた非対称光リング共振器の両回りの共振周波数差を測定することで光速の行き帰りの差を測定し、ローレンツ不変性の破れを探査する。本研究ではこれまでに開発を進めてきた低振動感度なモノリシック光学系と、安定な連続回転が可能となる回転台を統合させ、装置を完成させた。回転時に回転周波数に雑音ピークが出てしまい、その低減を引き続き進める必要があるが、フロアレベルとしては、2桁近い感度向上に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光速の等方性は光子のローレンツ不変性と結びついており、光速の異方性探査はローレンツ不変性の破れを探査していることになる。特殊相対性理論の発表から100年以上の間、様々な方法による実験的検証が世界中で行われてきたことで、ローレンツ不変性は全て物理学の基礎原理となっている。しかし、統一理論に向けた理論研究などにより、あるエネルギースケールではローレンツ不変性が破れている可能性が示唆されており、ローレンツ不変性の破れ探査実験はこれまでになく重要となっている。我々が開発した実験装置により、このローレンツ不変性を高精度に検証、またはその綻びを探索することが可能になる。

研究成果の概要(英文)：We have developed an experimental setup for improved search for Lorentz violation, and performed various noise analysis and reductions. The search is done by measuring the resonant frequency difference between two counterpropagating directions of an optical ring cavity. Our cavity contains a silicon piece to make the cavity asymmetric, and to make it sensitive to the difference between the speed of light propagating in opposite directions. We have integrated a monolithic optical bench to reduce vibration noise on a rotation table with an improved stability and continuous rotation, which were previously developed by our group. With this complete setup, a number of noises were investigated and reduced. Although there is still a noise peak at the rotational frequency, we have successfully improved the floor noise level by two orders of magnitude.

研究分野：重力・相対論実験

キーワード：ローレンツ不変性 異方性 光共振器 標準理論 相対性理論 干渉計 レーザー 対称性

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

特殊相対性理論は、物理法則は全ての慣性系で不変であるというローレンツ不変性を基礎としている。発表から 100 年以上が経ち、世界中で様々な方法で実験的検証が行われてきたが、その破れは未だ見つかっていない。その結果、ローレンツ不変性は素粒子の標準模型や一般相対性理論といった、基本相互作用に関する全ての理論の基礎原理となっている。

では、ローレンツ不変性はどこまで正しいのであろうか？ 基本相互作用の統一に向けた超弦理論などの研究により、あるエネルギースケールではローレンツ不変性が破れている可能性が示唆されている。また、宇宙マイクロ波背景輻射揺らぎのスペクトルや GZK 限界を超える超高エネルギー宇宙線の観測、ダークマターやダークエネルギーの存在を説明するために、ローレンツ不変性の破れが盛んに議論されている。このような大きな謎に包まれた状況で、より高精度なローレンツ不変性の破れの探査実験の重要性はこれまでに増している。

ローレンツ不変性の破れの探査実験の中で、古くから行われているのは光速度不変の原理の破れ、特に光の速さの方向依存性を測定する実験である。この光速の異方性探査実験は 2 種類に分けることができる。直交する方向で往復する光速の差を測定する偶パリティ実験と、光速の行き帰りの差を測定する奇パリティ実験である(図 2)。偶パリティ実験は、マイケルソン・モーラーの実験に始まり、近年では直交させた 2 つの光共振器やマイクロ波共振器を用いて、光速の相対的なずれ $\delta c/c$ で 10^{-18} という高い精度で行われてきた[1]。一方で奇パリティ実験は、通常の光干渉計や光共振器では行うことができないため、あまり行われてこなかった。しかし近年、光リング共振器の中に媒質を入れることで非対称性を与え、光速の行き帰りの差に感度を持たせる実験が提案され、 $\delta c/c$ で 10^{-13} レベルの上限値がつけられた[3]。

私は光リング共振器を用いた奇パリティ実験を独自の手法で高感度化させることで、先行研究より 1 桁高い世界最高精度での異方性探査を行った[5]。これまでに得られた上限値は $\delta c/c$ で 10^{-15} レベルである。また、拡張標準理論[6]と呼ばれる検証理論の枠組みの中で解析を行い、光子の高次のローレンツ不変性の破れの奇パリティ成分に対し、初の上限値をつけた(表 1)。

光速の異方性は、より一般的には光速の方向依存性 $c(\theta, \phi)$ を球面調和関数 $Y_{lm}(\theta, \phi)$ によって展開することで、各成分に分解することができる。奇パリティ実験は双極子成分($l=1$)や六重極成分($l=3$)のような、 l が奇数の成分を探査することができ、偶パリティ実験は四重極成分($l=2$)や八重極成分($l=4$)のような、 l が偶数の成分を探査することができる。高次のローレンツ不変性の破れは l が 3 以上の異方性を生む、くりこみ不可能な破れのことである。

- [1] M. Nagel et al, Nature Communications 6, 8174 (2015)
- [2] S. R. Parker et al, Phys. Rev. Lett. 106, 180401 (2011)
- [3] F. N. Baynes et al, Phys. Rev. Lett. 108, 260801 (2012)
- [4] J.-P. Bocquet et al, Phys. Rev. Lett. 104, 241601 (2010)
- [5] Y. Michimura et al, Phys. Rev. Lett. 110, 200401 (2013); Phys. Rev. D 88, 111101(R) (2013)
- [6] D. Colladay and V. A. Kostelecky, Phys. Rev. D 58, 116002 (1998)

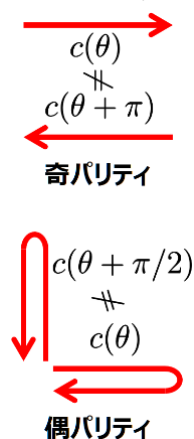


図 1 異方性の奇パリティ成分と偶パリティ成分

表 1 各異方性成分への上限值の現状(コンプトン散乱による上限値は 95% C.L. で双極子 3 成分のうち 2 成分のみの上限値。他は 1σ の上限値。 $l \geq 3$ が高次の破れから来る異方性。)

$l =$	1 (双極子)	2 (四重極)	3 (六重極)	4 (八重極)
直交マイクロ波共振器 [1]	測定不可	9×10^{-19}	測定不可	解析なし
直交マイクロ波共振器 [2]	測定不可	$\sim 10^{-16}$	測定不可	$\sim 10^{-16}$
非対称光リング共振器 [3]	2×10^{-13}	測定不可	解析なし	測定不可
コンプトン散乱 [4]	2×10^{-14} (*)	測定不可	解析なし	測定不可
非対称光リング共振器(これまで) [5]	$\sim 6 \times 10^{-15}$	測定不可	$\sim 2 \times 10^{-15}$	測定不可

2. 研究の目的

本研究では、これまでに我々が開発してきた装置を改良することにより、かつてない精度でのローレンツ不変性の破れ探査を行うことを目指した。特に我々はこれまで実験があまり行われてこなかった光速の行き帰りの差の探査に着目し、シリコンを入れた非対称光リング共振器を用いてこれを測定することで奇パリティ成分の破れを探査してきた。本研究では、この非対称光リング共振器を 2 台製作し、直交させることで全成分探査を行う。有意な破れが見つからなかった場合は破れが生じるエネルギースケールや非可換幾何学の長さスケールに制限をつける。破れが見つかった場合は、空間は対称であるという我々の基本的宇宙観を覆す極めて重大な発見となる。

これまでの我々の実験では $\delta c/c$ で 10^{-15} レベルの上限値をつけてきたが、 10^{-17} のレベルで異方性があってもおかしくないという試算があり、精度向上によりローレンツ不変性の破れが世界で初めて発見される可能性を秘めている。また、非可換幾何学によれば、 10^{-15} m が特徴的な非可換長さスケールだとすれば、 10^{-20} のレベルで異方性が存在する。ローレンツ不変性を破る統一理論の可能性に対し、実験的な知見を与えることが本研究の目的である。

3. 研究の方法

通常の光共振器では光を往復させたときに生じる位相差が相殺されてしまうため、光速の行き帰りの差を測定することはできない。そこで私は、光路の一部にシリコンを入れて非対称にした光リング共振器を、光が右回りする際に生じる位相と左回りする際に生じる位相の差を共振周波数差として測定することで光速の行き帰りの差を測定する。屈折率の大きなシリコンを用いることにより、融解石英を用いた先行研究[3]に比べて感度を 4 倍程度向上させる。また、同一共振器の左回りと右回りの共振周波数を差動測定することで環境雑音に対して高い同相雑音除去を期待することができる。

光学系の全体像を図 2 に示す。レーザー光源からの光はまず光リング共振器(周回長 14 cm、フィネス 120)に左回りに入射する。この反射光を用いて、レーザー周波数を左回りの共振周波数と一致させる(周波数制御 1)。光リング共振器の透過光を全反射鏡によって打ち返し、今度は右回りに入射する。この独自のダブルパス構成により、反射光から左回りと右回りの共振周波数差をシンプルな構成でヌル測定することができ、奇パリティ成分の破れ探査ができる。また、光源からの光は BS で 2 分割して、直交させたもう一つ光リング共振器にも入射し、レーザー周波数

を音響光学素子(AOM)によりシフトさせて直交光リング共振器の共振周波数に一致させる(周波数制御 2)。この時の周波数シフト量は直交させた 2 つの光リング共振器の周波数差と一致するため、この信号から偶パリティ成分の破れ探査を行う。これにより、コンパクトな構成で奇パリティ成分と偶パリティ成分の同時探査が可能となる。

全ての光学素子は同一の低膨張ガラスに接着し、モノリシック光学系を組むことで振動感度を低減させる。また、光学系を真空槽内に導入することにより音響振動や温度ドリフトを低減する。これらの工夫により、精度向上を目指す。

光リング共振器は、ローレンツ不変性の破れ信号を変調させるために回転させる。地球自転による変調のみを利用する場合に比べて、破れ信号を高い周波数に変調させると、雑音を下げることができる。また、地球自転のみでは自転軸に対称な異方性成分を探索することはできないが、能動的に回転させることにより、異方性の全ての奇パリティ成分を探索することができる。回転台の回転周波数は 0.1 Hz 程度である。

取得したデータは、まずは回転周波数の整数倍 $m_{rot}\omega_{rot}$ で復調する。次に、復調により得られた直交位相振データを地球自転周波数の整数倍 $m_E\omega_E$ で復調する。本研究では異方性の双極子成分から八重極成分の全 26 成分探査するため、 $m_{rot}=1, 2, 3, 4$ 、 $m_E=0, 1, 2, 3, 4$ とする。こうして得られた観測日数分の復調振幅の平均をそれぞれ取ることにより、72 個の復調振幅を得る。この復調振幅は異方性の各成分の大きさと結びついているので、その関係から各成分の大きさを導く。統計的不確かさや系統的な不確かさより有意にゼロからずれていた場合、ローレンツ不変性の破れの発見となる。有意な破れが見つからなかった場合は、拡張標準理論の枠組みで解析し、破れが生じるエネルギースケールや非可換幾何学の長さスケールに制限をつける。

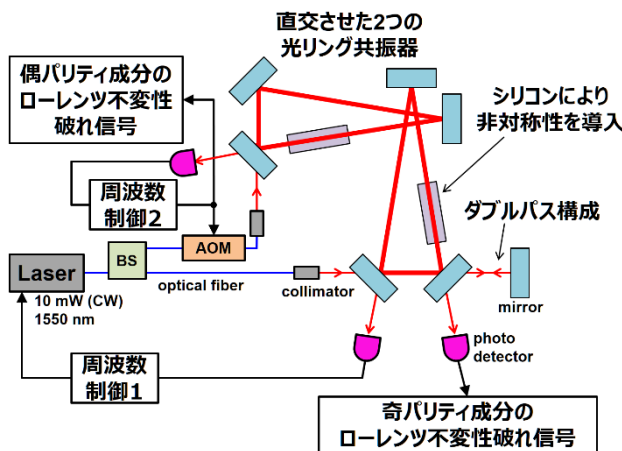


図 2 全成分探査のための光学系構成の概念図

4. 研究成果

$\delta c/c$ で 10^{-15} レベルの上限値をつけた実験では、装置の回転に伴う雑音によって感度が制限されていた。そこでこれまでに、振動感度の小さいモノリシック光学系の開発や、安定な連続回転が可能となる回転台の開発を進めてきた。本研究ではまずは 1 つの非対称光リング共振器から成るモノリシック光学系を回転台に設置し、様々な雑音の評価と低減を行った。フロアレベルとしては、回転周波数である 0.1 Hz で $4 \times 10^{-13} / \sqrt{\text{Hz}}$ 程度の相対周波数感度を得た。これはこれまでの回転時の雑音レベルと比べ、2 桁近く小さく、感度の大幅向上に成功した(図 3)。回転台の静止時と回転時の雑音レベルを比較したところ、ほぼ変わらない感度を得た。しかし、回転に同期した雑音を確認され、0.1 Hz で $5 \times 10^{-12} / \sqrt{\text{Hz}}$ 程度の高さを持つ雑音ピークがあった。雑音ピークの低減を引き続き進める必要があるが、フロアレベルまで低減することができれば、1 年間

の測定で $\delta c/c$ で 10^{-17} レベルの上限値が達成できることになる。

モノリシック光学系とはすべての光学素子を同一の板の上に接着することで、同相雑音除去により振動感度を低減させる手法である。通常のリレーホルダーなどを使う光学系に比べるとアライメント調整ができなくなってしまうが、ホルダーを使わないことによって光軸を低くすることができ、またホルダー固有の共振モードなどの影響を低減することができる。そのため、宇宙重力波望遠鏡 LISA 計画や量子光学実験での光共振器などで用いられている。しかし、これまでのモノリシック光学系はマイケルソン干渉計など比較的アライメント調整が簡単なものや、光共振器のみがモノリシック光学系で光共振器への入射光軸は別途アライメント可能なものであった。

そこで我々は光共振器と入射光学系を一体としたモノリシック光学系を製作することで、これまでになく安定な光学系の開発を行った。開発したモノリシック光学系は低熱膨張合金(スーパーインバー)製の板に紫外線硬化樹脂で光学素子を接着したものである(図4左)。

このモノリシック光学系を回転台の上に設置し、静止時と回転時の雑音評価と様々な雑音の低減を行った。一方向の連続回転を実現するためには、電源や信号取得のためのケーブルのねじれ対策を施す必要がある。ロータリーコネクタでは信号ケーブルに回転に同期した雑音が発生してしまうため、我々は信号を AD 変換し、無線伝送により取得することでこの問題を解決した。一方で、電源供給は無線化することが困難であるため、ロータリーコネクタを用いている。当初は回転台の上から電源を供給していたが、ロータリーコネクタの回転軸と回転台の回転軸が一致していないことなどにより回転台への歪みが生じ、雑音となっていた。そのため回転台を大型で高剛性なものに交換し、回転台のモーター中空部から電源導入をすることで改良を行った(図4右)。これらの工夫により、これまでに比べて2桁近い感度の大幅向上に成功した。

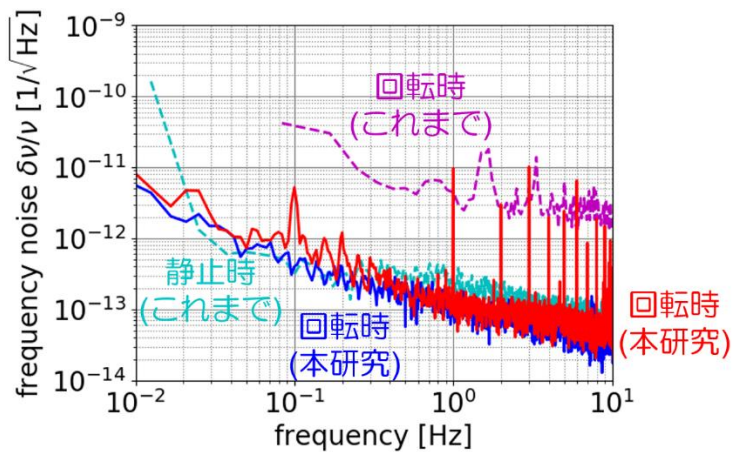


図3 本研究の到達感度

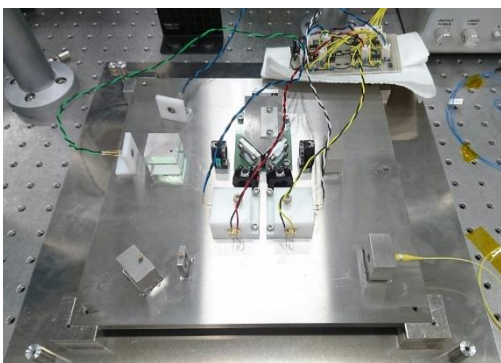


図4 開発したモノリシック光学系(左図)と連続回転が可能な改良型回転台(右図)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計39件（うち査読付論文 39件 / うち国際共著 15件 / うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 Koji Nagano, Hiroki Takeda, Yuta Michimura, Takashi Uchiyama, Masaki Ando	4. 巻 38
2. 論文標題 Demonstration of a dual-pass differential Fabry-Perot interferometer for future interferometric space gravitational wave antennas	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Classical and Quantum Gravity	6. 最初と最後の頁 85018
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6382/abed60	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Soichiro Morisaki, Tomohiro Fujita, Yuta Michimura, Hiromasa Nakatsuka, Ippei Obata	4. 巻 103
2. 論文標題 Improved sensitivity of interferometric gravitational-wave detectors to ultralight vector dark matter from the finite light-traveling time	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 L051702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/physrevd.103.1051702	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Takuya Kawasaki, Naoki Kita, Koji Nagano, Shotaro Wada, Yuya Kuwahara, Masaki Ando, Yuta Michimura	4. 巻 102
2. 論文標題 Optical trapping of the transversal motion for an optically levitated mirror	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 53520
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/physreva.102.053520	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yuta Michimura, Tomohiro Fujita, Soichiro Morisaki, Hiromasa Nakatsuka, Ippei Obata	4. 巻 102
2. 論文標題 Ultralight vector dark matter search with auxiliary length channels of gravitational wave detectors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 102001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/physrevd.102.102001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yuta Michimura et al.	4. 巻 102
2. 論文標題 Prospects for improving the sensitivity of the cryogenic gravitational wave detector KAGRA	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 22008
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/physrevd.102.022008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yuta Michimura, Kentaro Komori	4. 巻 74
2. 論文標題 Quantum sensing with milligram scale optomechanical systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The European Physical Journal D	6. 最初と最後の頁 126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjd/e2020-10185-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takeda Hiroki, Nishizawa Atsushi, Nagano Koji, Michimura Yuta, Komori Kentaro, Ando Masaki, Hayama Kazuhiro	4. 巻 100
2. 論文標題 Prospects for gravitational-wave polarization tests from compact binary mergers with future ground-based detectors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 42001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.100.042001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nagano Koji, Fujita Tomohiro, Michimura Yuta, Obata Ippei	4. 巻 123
2. 論文標題 Axion Dark Matter Search with Interferometric Gravitational Wave Detectors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 111301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.123.111301	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Somiya K., Hirose E., Michimura Y.	4. 巻 100
2. 論文標題 Influence of nonuniformity in sapphire substrates for a gravitational wave telescope	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 82005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.100.082005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Komori Kentaro, Enomoto Yutaro, Ooi Ching Pin, Miyazaki Yuki, Matsumoto Nobuyuki, Sudhir Vivishek, Michimura Yuta, Ando Masaki	4. 巻 101
2. 論文標題 Attoneutron-meter torque sensing with a macroscopic optomechanical torsion pendulum	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 11802
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.101.011802	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Michimura Yuta, Oshima Yuka, Watanabe Taihei, Kawasaki Takuya, Takeda Hiroki, Ando Masaki, Nagano Koji, Obata Ippei, Fujita Tomohiro	4. 巻 1468
2. 論文標題 DANCE: Dark matter Axion search with riNg Cavity Experiment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012032 ~ 012032
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1468/1/012032	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nagano Koji, Obata Ippei, Fujita Tomohiro, Michimura Yuta	4. 巻 1468
2. 論文標題 Axion Dark Matter Search with Interferometric Gravitational Wave Detectors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012027 ~ 012027
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1468/1/012027	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kentaro Komori, Yutaro Enomoto, Hiroki Takeda, Yuta Michimura, Kentaro Somiya, Masaki Ando, Stefan W. Ballmer	4. 巻 97
2. 論文標題 Direct approach for the fluctuation-dissipation theorem under nonequilibrium steady-state conditions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. D	6. 最初と最後の頁 102001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.97.102001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tomofumi Shimoda, Naoki Aritomi, Ayaka Shoda, Yuta Michimura, Masaki Ando	4. 巻 97
2. 論文標題 Seismic cross-coupling noise in torsion pendulums	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. D	6. 最初と最後の頁 104003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.97.104003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuta Michimura, Kentaro Komori, Atsushi Nishizawa, Hiroki Takeda, Koji Nagano, Yutaro Enomoto, Kazuhiro Hayama, Kentaro Somiya, Masaki Ando	4. 巻 97
2. 論文標題 Particle swarm optimization of the sensitivity of a cryogenic gravitational wave detector	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. D	6. 最初と最後の頁 122003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.97.122003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiroki Takeda, Atsushi Nishizawa, Yuta Michimura, Koji Nagano, Kentaro Komori, Masaki Ando, and Kazuhiro Hayama	4. 巻 98
2. 論文標題 Polarization test of gravitational waves from compact binary coalescences	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. D	6. 最初と最後の頁 "022008"
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.98.022008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ippei Obata, Tomohiro Fujita, Yuta Michimura	4. 巻 121
2. 論文標題 Optical Ring Cavity Search for Axion Dark Matter	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Lett.	6. 最初と最後の頁 161301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.121.161301	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nobuyuki Matsumoto, Seth B. Coda-Fornari, Masakazu Sugawara, Seiya Suzuki, Naofumi Abe, Kentaro Komori, Yuta Michimura, Yoichi Aso, Keiichi Edamatsu	4. 巻 122
2. 論文標題 Demonstration of Displacement Sensing of a mg-Scale Pendulum for mm- and mg-Scale Gravity Measurements	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Lett.	6. 最初と最後の頁 "071101"
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.122.071101	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計56件 (うち招待講演 10件 / うち国際学会 26件)

1. 発表者名 Yuta Michimura
2. 発表標題 Laser interferometric searches for ultralight dark matter
3. 学会等名 Transformative Research Area "Dark Matter" Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 道村唯太, 川崎拓也, 長野晃士, 松本伸之, 小幡一平, 藤田智弘, 森崎宗一郎, 中塚洋佑
2. 発表標題 レーザー干渉計型重力波検出器による超軽量ダークマター探索
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ching Pin Ooi, Takano Satoru, Yuta Michimura, Masaki Ando
2. 発表標題 Towards suspension noise measurements of crystalline fibres at cryogenic temperatures for torsion pendulums
3. 学会等名 The 3rd International Forum on Quantum Metrology and Sensing (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuya Kawasaki
2. 発表標題 Quantum radiation pressure fluctuation in a linear optical cavity
3. 学会等名 The 3rd International Forum on Quantum Metrology and Sensing (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤本拓希, 大島由佳, 道村唯太, 長野晃士, 小幡一平, 藤田智弘, 安東正樹
2. 発表標題 光リング共振器を用いたアクシオン暗黒物質の探索実験 DANCE (4) : 長時間測定に向けた制御法の開発
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大島由佳, 藤本拓希, 渡邊泰平, 道村唯太, 長野晃士, 小幡一平, 藤田智弘, 安東正樹
2. 発表標題 光リング共振器を用いたアクシオン暗黒物質の探索実験 DANCE (5) : 信号の較正と感度の評価
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuka Oshima, Hiroki Fujimoto, Taihei Watanabe, Yuta Michimura, Koji Nagano, Ippei Obata, Tomohiro Fujita, Masaki Ando
2. 発表標題 Dark matter Axion search with riNg Cavity Experiment DANCE: Current sensitivity
3. 学会等名 Rencontres de Moriond on Gravitation 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroki Fujimoto, Yuka Oshima, Yuta Michimura, Koji Nagano, Ippei Obata, Tomohiro Fujita, Masaki Ando
2. 発表標題 Dark matter Axion search with riNg Cavity Experiment DANCE: Development of control system for long-term measurement
3. 学会等名 Rencontres de Moriond on Gravitation 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroki Fujimoto, Yuka Oshima, Yuta Michimura, Koji Nagano, Ippei Obata, Tomohiro Fujita, Masaki Ando
2. 発表標題 Dark matter Axion search with riNg Cavity Experiment DANCE: Development of automated cavity locking system
3. 学会等名 7th KAGRA International Workshop (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuka Oshima, Taihei Watanabe, Hiroki Fujimoto, Yuta Michimura, Koji Nagano, Ippei Obata, Tomohiro Fujita, Masaki Ando
2. 発表標題 Dark matter Axion search with riNg Cavity Experiment DANCE: Signal calibration and sensitivity evaluation
3. 学会等名 7th KAGRA International Workshop (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuka Oshima, Taihei Watanabe, Hiroki Fujimoto, Yuta Michimura, Koji Nagano, Ippei Obata, Tomohiro Fujita, Masaki Ando
2. 発表標題 The current status of DANCE: Dark matter Axion search with riNg Cavity Experiment
3. 学会等名 Kashiwa Dark Matter Symposium 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大島由佳, 渡邊泰平, 道村唯太, 長野晃士, 小幡一平, 藤田智弘, 安東正樹
2. 発表標題 アクシオン暗黒物質探索のための光リング共振器の製作と制御
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川崎拓也, 小森健太郎, 榎本雄太郎, Ooi Ching Pin, 松本伸之, 道村唯太, 安東正樹
2. 発表標題 光共振器における古典強度雑音を用いた反作用雑音低減の実証II
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuta Michimura
2. 発表標題 Laser Interferometry for Gravitational Wave Observations
3. 学会等名 TianQin Summer School on Gravitational Waves 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuta Michimura, Yuka Oshima, Taihei Watanabe, Takuya Kawasaki, Hiroki Takeda, Koji Nagano, Masaki Ando, Ippei Obata, Tomohiro Fujita
2. 発表標題 DANCE: Dark matter Axion search with riNg Cavity Experiment
3. 学会等名 16th International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuta Michimura for the KAGRA Collaboration
2. 発表標題 Improving the sensitivity of KAGRA gravitational wave detector
3. 学会等名 Gravitational Wave Physics and Astronomy Workshop 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuta Michimura for the KAGRA Collaboration
2. 発表標題 Present status and future prospects of KAGRA gravitational wave telescope
3. 学会等名 Multi-dimensional Modeling and Multi-Messenger observation from Core-Collapse Supernovae (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuta Michimura
2. 発表標題 Laser Interferometric Search for Non-Standard Physics
3. 学会等名 The First School on Quantum Sensors for Fundamental Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuta Michimura
2. 発表標題 Recent news from the optical levitation experiment
3. 学会等名 The 2nd QFilter Workshop (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 道村唯太、大島由佳、渡邊泰平、長野晃士、川崎拓也、安東正樹、小幡一平、藤田智弘
2. 発表標題 レーザー干渉計によるアクシオン暗黒物質の探索
3. 学会等名 ダークマターの懇談会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 道村唯太、長野晃士、伊藤琢博、和泉究、五十里哲、安東正樹
2. 発表標題 km級宇宙レーザー干渉計による重力波望遠鏡の可能性
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 道村唯太
2. 発表標題 重力波観測と量子技術
3. 学会等名 応用物理学会・量子エレクトロニクス研究会「宇宙量子エレクトロニクス」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 道村唯太、長野晃士、伊藤琢博、和泉究、五十里哲、安東正樹
2. 発表標題 小型宇宙重力波望遠鏡の提案
3. 学会等名 第18回DECIGOワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 道村唯太
2. 発表標題 レーザー干渉計による重力波観測の現状と将来展望
3. 学会等名 第32回 理論懇シンポジウム「天文学・宇宙物理学の変遷と新時代の幕開」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武田紘樹、千代田大樹、道村唯太、安東正樹
2. 発表標題 光リング共振器を用いたLorentz不変性検証(5)
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuta Michimura, Kentaro Komori, Atsushi Nishizawa, Hiroki Takeda, Koji Nagano, Yutaro Enomoto, Kazuhiro Hayama, Kentaro Somiya, Masaki Ando
2. 発表標題 Sensitivity Optimization of Cryogenic Gravitational Wave Detectors
3. 学会等名 Gravitational Wave Advanced Detector Workshop 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 道村唯太
2. 発表標題 レーザー干渉計による精密距離計測
3. 学会等名 第三回 若手による重力・宇宙論研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 道村唯太
2. 発表標題 重力波観測の現状と展望
3. 学会等名 第三回 若手による重力・宇宙論研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小幡一平, 藤田智弘, 道村唯太
2. 発表標題 Optical Ring Cavity Search for Axion Dark Matter
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小幡一平, 長野晃士, 道村唯太, 藤田智弘
2. 発表標題 宇宙重力波望遠鏡を用いたアクシオン暗黒物質の探索
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 道村唯太, 小幡一平, 藤田智弘, 長野晃士, 川崎拓也, 安東正樹
2. 発表標題 光共振器を用いたアキシオン暗黒物質の探索
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 道村唯太 (安東正樹, 白水徹也 (編集幹事), 浅田秀樹, 石橋明浩, 小林努, 真貝寿明, 早田次郎, 谷口敬介 (編))	4. 発行年 2020年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 432
3. 書名 1.10節「光速不変の原理の検証」、6.12節「さまざまな観測方式」 『相対論と宇宙の事典』	

1. 著者名 道村唯太 (パリティ編集委員会、大槻義彦)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 166
3. 書名 「低温レーザー干渉計で地下から重力波をとらえる - 大型低温重力波望遠鏡KAGRAの挑戦 - 」 『物理科学, この1年 2020』	

〔産業財産権〕

〔その他〕

Yuta Michimura https://granite.phys.s.u-tokyo.ac.jp/michimura/

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------