

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 20 日現在

機関番号： 62616
 研究種目： 若手研究 (A)
 研究期間： 2009 ~ 2011
 課題番号： 21684010
 研究課題名 (和文) レーザー干渉計を用いた微小距離での重力法則の検証実験
 研究課題名 (英文) Short-range test of inverse square-law of gravity using a laser interferometer
 研究代表者
 安東 正樹 (ANDO MASAKI)
 国立天文台・重力波プロジェクト推進室・准教授
 研究者番号： 90313197

研究成果の概要 (和文)：本研究では、超伝導磁気浮上ねじれ振り子とレーザー干渉計を用いることで、これまでにない微小な力を測定する装置を構築し、それを用いて重力の逆二乗則の検証実験を行うことを目的とした。結果として、重力逆二乗則に対する上限値として、1mm 程度の距離スケールで $|\alpha| < 8$ という結果を得た。さらに、背景重力波の観測運転を行い、0.1Hz 付近の周波数帯における新しい上限値を与えた。

研究成果の概要 (英文)：We developed a precise torsion pendulum using magnetic levitation by super-conductor and a laser interferometer, and tested the short-range inverse-square-law of gravity. In addition, we set a new upper limit on the energy density of gravitational-wave background at around 0.1Hz band.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
2010 年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
2011 年度	5,900,000	1,770,000	7,670,000
年度			
年度			
総計	18,400,000	5,520,000	23,920,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：重力，逆二乗則，重力波，振れ振り子

1. 研究開始当初の背景

重力の逆二乗則は、物理学における基本原理であることから、古くからさまざまな検証実験が行われてきている。検証結果は、通常、ニュートン重力のポテンシャルに湯川型の補正項を加えた、 $V(r) = -G m_1 m_2 / r \times [1 + \alpha \exp(-r/\lambda)]$ という形で比較される。ここで、 λ は補正項が働く距離スケール、 α は補正項の大きさを表す。長い距離スケールでは、月-地球間距離のレーザー測距や、宇宙飛翔体の軌道解析で上限値が得られている。それより短いスケールでは、人工

湖の水位変化を利用したものや、数百 m の落下塔を利用した実験で検証が行われている。さらに短いスケールでは、振れ振り子や、原子間力顕微鏡などを用いた実験室内での検証が行われている。

近年になって、余剰次元理論に関連して、このような検証実験の中でも特に 0.1mm 以下の微小距離での重力法則が注目され、その検証実験が世界のいくつかの機関で精力的に行われている。現在の物理学においては、重力だけが他の力と比較して極端に弱いという階層性問題

と、宇宙の約 3/4 を占めるダークエネルギーの密度が、量子力学で予測される真空場のエネルギーより少なくとも 60 桁小さいという宇宙項問題が、大きな問題となっている。余剰次元理論は、これらの問題を解決する有望な理論の 1 つとされている。この理論では、宇宙は 4 次元以外にも小さく丸まった余剰次元を持ち、重力のみが他の次元に伝播することができる、とすることで、これらの 2 つの問題を説明している。余剰次元が存在し、重力に関するガウスの法則が成立しているとすると、重力の強さが距離の二乗に反比例する、という逆二乗則からずれることになる。余剰次元は、ダークエネルギーのエネルギースケールから 0.1mm 程度の大きさを持っている可能性があることから、微小距離での検証実験が注目されている。

現在、0.1mm 程度のスケールでの最も良い上限値は、ワシントン大学で行われた振れ振り子を用いた実験で与えられている。この実験の原理は、キャベンディッシュが地球の質量を測定する際に用いた振れ振り子と同様であり、1 本のワイヤー懸架された試験マスの近傍で重力源となるソースマスを運動させることで、振れ振り子の角度変化から微小重力を測定する、というものである。ワシントン大学のグループでは、精密測定を行うために、試験マスを穴の開いた円盤状にすることで対称性を向上させ、外部の重力場変動の影響を抑えるとともに、同様の形状をもったソースマスを回転させた時の重力場変動成分を取り出すことで精度を高めている。その結果、 $\lambda = 56 \mu\text{m}$ のスケールで、 $|\alpha| < 1$ という上限値を与えている。他にも、スタンフォード大学、ウーハン大学などでも、それぞれ独自の工夫を凝らした実験が行われ、それぞれ最高精度に迫る上限値が与えられている。

2. 研究の目的

私は、2006 年度から 3 年間の計画で、超伝導バルク体を用いた低周波重力波検出器の開発を進めてきている。これは、これまでの干渉計型重力波検出器では、鏡が懸架された振り子の共振周波数(1Hz 程度)以下の重力波に対する感度が原理的にほとんど無いのに対して、棒状の試験マスを振れ振り子で懸架することで、試験マスの回転に対する共振周波数を下げ、0.1Hz 程度の低周波数の重力波に対する感度を持たせるという独自の装置である。さらに、この振れ振り子として、超伝導による磁気浮上を用い、回転方向には復元力や摩擦がほとんど働かない設計になっている。これまでに、超伝導磁気浮上部、棒状試験マスを収める真空装置、その回転変動を測定するレーザー干渉計など、装置全体が完成しており、感度向上のための実験を進

めている。

この装置は、微小な重力場変動に対する感度を高めるような工夫が施されたものであり、重力波の観測以外にも、重力の逆二乗則の検証実験にも用いることができる、というのが本研究の着想である。他の研究では、微小な力に対する感度は、数 mHz 程度以下の低周波数帯ではワイヤーなどの熱雑音、それより高い周波数では、角度変動検出のためのセンサの雑音で制限されている。ワシントン大学の実験では、振り子をワイヤーで懸架し、その角度変動を光でこ(レーザーの光を当て、その反射光のスポット位置から角度変動を読み取る装置)で測定しているのに対して、本研究では、超伝導浮上で懸架し、レーザー干渉計で角度変動を読み取るという違いがある。これによって、低周波数での振り子の熱雑音、高周波数でのセンサの雑音レベルの双方において、本研究では他の既存の装置の感度を上回ることが期待できる。そこで、本研究では、微小力に対する感度をさらに高め、重力源となるソースマスの駆動部を追加することで、先行研究を超える精度での重力の逆二乗則検証実験を行うことを目的とした。

また、本装置では、センサとしてレーザー干渉計を用いていることから、これまでより高い周波数での測定が可能という特徴もある。従来の研究では、数 mHz の周波数帯で測定を行っていたため、統計誤差を低減するために数ヶ月にも及ぶ測定が必要になっていた。そのため、長期的なドリフトなどで精度が制限されやすい状況であった。本測定では、その 1/10-1/100 の時間で測定を行うことが可能であり、ドリフトによる誤差の影響を抑えやすくなると共に、測定とその結果を解析しての開発・性能向上のサイクルを短縮することが期待できる。

本研究では、これまでの上限値を上回る精度での重力の逆二乗則検証実験を行い、余剰次元理論の検証を行うことを目標としていた。本研究は、重力波検出器の開発のために培われた、レーザー干渉計による先端的な精密計測技術を、基礎物理実験に適用したものである。また、逆二乗則検証実験で、超伝導浮上による振れ振り子を用いたものは他には無く、精度を高めるための独創的な手法になっている。

3. 研究の方法

本研究では、微小距離での重力の逆二乗則の検証を行い、余剰次元に対する実験的な知見を得ることを目的とする。そのため、これまで開発してきた装置を改良した振れ振り子装置を新規に製作する。超伝導バルク体を用いた振れ振り子の近傍でソースマスを駆動させ、その重力変動に起因する試験マスの回転変動をレー

ザー干渉計を用いて精密に測定する。外乱の影響を低減するために、振れ振り子とレーザー干渉計は真空槽の中に収められ、超伝導体を冷却するための冷凍機には低振動化を施したものをを用いる。また、装置全体は、防音と温度安定化のため気密容器内に収められる。

超伝導浮上を用いた振れ振り子は、第二種超伝導体のピン留め効果を利用している。超伝導バルク体の近傍に永久磁石を設置し、超伝導転移温度以下に冷却すると、永久磁石の磁場がバルク体にトラップ(着磁)される。これによって、永久磁石には着磁位置に保とうとする復元力として働くため、非接触浮上保持させることができる。ここで、永久磁石として円柱形など軸対称な形状のものをを用いると、対称軸周りの回転によって磁場は変動しないため、その自由度に対しては復元力が働かない。本研究では、永久磁石として直径2cmの円柱形Nd磁石をもちい、そこから逆T字型をした試験マスを吊り下げることで、振れ振り子を構成する。超伝導体としては、直径6cm、転移温度92KのGd系超伝導バルク体を用い、パルスチューブ冷凍機で40K程度まで冷却する。冷凍機の振動の影響を避けるために、振動源となり得るバルブユニットを分離した低振動型の冷凍機を使用し、コールドヘッドとバルク体を柔軟なヒートリンクで結びつけることで、防振を施す。

振れ振り子として支持された棒状の試験マスの端近傍には、タングステン製のソースマスが配置される。重力場変動を引き起こすように、このソースマスは精密ステージ上載せられ、試験マスとの距離が約0.1Hzの周波数で数 μm だけ変動するように駆動される。試験マスの角度変動を後述のレーザー干渉計で測定する。試験マスとソースマスの間隔を変えながら測定を繰り返すことで、重力の逆二乗則の検証を行うことが出来



図：開発した振れ振り子装置

る。発生するニュートン重力の大きさは、例えば1cm角、厚さ1mmのタングステン板2枚を0.5mm離れたときに、 3×10^{-10} N程度、ソースマス駆動による0.1Hzでの変動成分は、 10^{-12} N程度

になる。従って、重力ポテンシャル補正項の大きさ $|\alpha| < 10^{-4}$ の検証を行うためには、 10^{-16} N程度の精度で力を測定することが要請される。ソースマス位置の精度は、検証実験結果の精度に大きな影響を与えるため、位置あわせには静電容量センサを内蔵したピエゾステージを使用する。ソースマスと試験マスは、静電気力などの影響を避けるために表面に金コーティングを施すと共に、その間に薄膜導電体シールドを配置する。

ソースマス駆動による重力場変動で励起された振れ振り子の角度変動は、レーザー干渉計で測定する。棒状試験マスの端には、鏡が取り付けられており、両端の差動変動をマイケルソン干渉計で読み取る方式をとる。他の研究でこれまで用いられてきた光てこが 10^{-10} rad/Hz^{1/2}程度の感度を持つのに対して、本研究で用いるレーザー干渉計では、 10^{-14} rad/Hz^{1/2}程度の感度が実現できる。角度変動信号は、干渉計への入射光に変調を掛け、干渉光信号を復調することで得られる。この信号は試験マスにフィードバックされ、その位置を保つと共に、制御帯域内で外力に比例する信号として記録される。レーザー光源としては、低周波数で安定な固体レーザー(Nd:YAG、波長1064nm)を用い、強度安定化を施す。本装置で得られる角度測定の精度は、力に対する感度に換算すると、0.1Hz付近の周波数帯で、 10^{-14} N/Hz^{1/2}程度に相当する。従って、 10^4 秒の連続観測を行うことで、 10^{-16} N程度の精度での力を測定することができる。

大気の揺らぎなどの外乱の影響を押さえるために、振れ振り子とレーザー干渉計の主要部分は真空槽内に収める。残留大気の衝突による振れ振り子変動(ブラウン運動)の影響を避けるために真空度は、 10^{-5} Pa以下に保たれる。

また、真空槽外に置かれたレーザー光源などの光学系も含めて安定に動作させるために、装置全体を防音・断熱材で構成された容器の中に収める。装置全体は、200x150x150cm程度の大きさになる。測定データの記録は、市販のデータロガーを用いる。

4. 研究成果

本研究の結果、当初計画した実損装置を完成させ、基本性能評価試験を経て、長時間測定を行なった。その結果、重力逆二乗則に対する上限値を与えた。また、本装置を活用し、東京に設置された同等の装置との2台同時での低周波数重力波観測運転も行った。その結果、0.2Hzの周波数帯の重力波に対する世界最高感度を実現し、背景重力波に対してこれまでで最も良い上限値を与えた。

実験装置の開発においては、超伝導磁気浮上による振れ振り子装置と試験マス、レーザー

干渉計による角度変動精密測定装置、重力場を変動させるソースマスとその駆動装置、それらを取り囲む真空槽装置などを新規に構築した。超伝導磁気浮上装置では、低振動型冷凍機によって超伝導体を 40K の低温に一週間以上連続に保持し、また、防振構成によって、その振動の影響が振り子に与える影響を低減することができた。浮上保持される試験マスは 300g 程度であり、その形状や材質を複数試み、最終的な測定に用いる構成を選び出した。レーザー干渉計に関しては、光源の周波数雑音・強度雑音や、散乱光雑音、地面振動の影響などをそれぞれ評価し、測定に対して問題にならないレベルにまで抑圧した。ソースマスとその駆動装置は、電場・磁場変動の影響を抑えるためのシールドを製作して封入するとともに、接地方法をいくつか試み、最も効果的な構成を選んだ。真空槽は、ロータリーポンプとターボポンプを組み合わせた構成とし、それらの振動の影響を抑えるために、真空槽との接続配管に防振機構を組み込んだ。

測定は、振動環境が安定している夜間を中心に行った。ソースマスを 0.1Hz 程度の周波数で駆動し、同時にテストマスの角度変動の時系列データを、1 晩連続的に記録する。データ取得後のデータ解析により、ソースマスを駆動した周波数成分の変動を積分し、信号-雑音比を向上させる。これにより、ソースマスに起因する重力成分を取り出す。一方、ソースマスとテストマスの形状から、数値積分によって重力の大きさの理論値を求める。これらの測定結果と理論値を突き合わせることによって、ニュートン重力に対する補正項の大きさを見積もり、上限値を設定した。得られた結果は 1mm の距離スケールで $|\alpha| < 8$ という値であった。これは、当初の目標に約 2 桁及ばない値である。良い上限値が得られなかった原因を探索した結果、テストマス懸架に用いている永久磁石とソースマスの微小な磁氣的カップリングが問題であることが分かった。磁気シールドなどの方策を講じた結果、改善は見られたが、研究期間内では上記の値が最良の結果であった。

一方、本研究で開発した装置を用いた重力波観測運転も同時に行った。本装置は 0.1Hz 付近の低周波数帯では、世界最高感度をもつ重力波検出器となる。東京大学に設置された同等の装置と同時観測を行い、この周波数帯の背景重力波に対する上限値として、 $\Omega_{gw} < 10^{-17}$ 程度の値を与えた。この上限値は、それまでの世界記録を破る結果であった。

以上、本研究では、当初計画していた装置を開発し、長時間測定を行える状態として完成させた。残念ながら重力逆二乗則の検証という面では初期の目標を達成できなかったが、超伝導磁気浮上ねじれ振り子の安定動作、レーザー干渉計による微小角度変動計測などの面において、十分な経験と実績を得ることができた。また、

重力波観測においては、世界最高感度の実現と、複数装置による同時観測運転を行い、背景重力波に対する新しい上限値を与える、という成果を得た。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 14 件)

- ① 瀬戸直樹, 八木絢外, 安東正樹, 宇宙レーザー干渉計が切り拓く重力波天文学, 日本物理学会誌 68 (2013) 38.
- ② A. Shoda, M. Ando, K. Okada, et al., Search for a stochastic gravitational-wave background with torsion-bar antennas, J. Phys. Conf. Ser. 363 (2012) 012017. DOI:10.1088/1742-6596/363/1/012017
- ③ S. Kawamura, M. Ando, N. Seto, et al., The Japanese space gravitational wave antenna: DECIGO, Class. Quantum Grav. 28 (2011) 094011. DOI:10.1088/0264-9381/28/9/094011
- ④ K. Ishidoshiro, M. Ando, A. Takamori, et al., Upper Limit on Gravitational Wave Backgrounds at 0.2 Hz with Torsion-bar Antenna, Phys. Rev. Lett. 106 (2011) 161101. DOI:10.1088/0264-9381/28/9/094011
- ⑤ M. Ando, K. Ishidoshiro, K. Yamamoto, K. Yagi, W. Kokuyama, K. Tsubono, A. Takamori, Torsion-Bar Antenna for Low-Frequency Gravitational-Wave Observations, Phys. Rev. Lett. 105 (2010) 161101. DOI:10.1103/PhysRevLett.105.161101
- ⑥ M. Ando, S. Kawamura, N. Seto, et al., DECIGO and DECIGO pathfinder, Class. Quantum Grav. 27 (2010) 084010. http://www.amaldi9.org/abstracts/330/amaldi9_110715_ando_pub.pdf
- ⑦ K. Ishidoshiro, M. Ando, A. Takamori, K. Okada, K. Tsubono, Gravitational-wave detector realized by a superconductor, Physica C 470 (2010) 1841. DOI: 10.1016/j.physc.2010.05.219
- ⑧ S. Sato, Y. Torii, Y. Wakabayashi, ..., M. Ando, et al., Test-mass module for DECIGO Pathfinder, J. Phys. Conf. Ser. 228 (2010) 012046. DOI:10.1088/1742-6596/228/1/012046
- ⑨ 安東正樹, 穀山涉, 坪野公夫, はじめての宇宙実験— 超小型重力波検出器 SWIMmn, 日本物理学会誌 65 (2010) 987.
- ⑩ Y. Wakabayashi, Y. Obuchi, N. Okada, ...

- M. Ando, et al., Structural design and analysis of test mass module for DECIGO Pathfinder, J. Phys. Conf. Ser. 228 (2010) 012047.
DOI:10.1088/1742-6596/228/1/012047
- ⑪ M. Ando, S. Kawamura, N. Seto, et al., DECIGO Pathfinder Class. Quantum Grav. 26 (2009) 094019.
- ⑫ A. Takamori, A. Araya, Y. Otake, K. Ishidoshiro, and M. Ando, Research and Development Status of a New Rotational Seismometer Utilizing the Flux Pinning Effect of a Superconductor, Bulletin of the Seismological Society of America 99 (2009) 1174.
DOI: 10.1785/0120080087
- ⑬ M. Ando, S. Kawamura, S. Sato, et al., DECIGO: the Japanese Space Gravitational Wave Antenna, The ISTS Special Issue of Transactions of JSASS, Space Technology Japan, 2009-o-4-11v (2009).
http://dx.doi.org/10.2322/tastj.8.Po_4_1
- ⑭ 安東正樹, レーザー干渉計重力波検出器による精密計測技術, レーザー研究 37 (2009) 79.
- [学会発表] (計 47 件)
- ① 安東正樹, 大型低温重力波望遠鏡 LCGT かぐら (KAGRA), 天文学会 2012 年春季年会 (2012 年 3 月 22 日, 龍谷大学深草キャンパス).
- ② 安東正樹, スペース重力波アンテナ DECIGO 計画 (36) DECIGO/DPF, 日本物理学会 第 67 回年次大会 (2012 年 3 月 24 日, 関西学院大学, 西宮).
- ③ 安東正樹, 小型重力波観測衛星 DECIGO パスファインダー, 第 2 回 小型科学衛星シンポジウム (2012 年 3 月 7 日, 宇宙科学研究所, 相模原).
- ④ Masaki Ando, Gravitational Wave Experiment, Asian Winter School on Strings, Particles, and Cosmology (January 17, 2012, Kusatsu, Gunma) (招待講演).
- ⑤ 安東正樹, 重力波望遠鏡による天文学とその技術, 国立天文台 ATC セミナー (2011 年 11 月 21 日, 国立天文台) (招待講演).
- ⑥ 安東正樹, DECIGO/DPF の概要, 第 10 回 DECIGO ワークショップ (2011 年 11 月 19 日, 京都大学).
- ⑦ 安東正樹, 重力波による新しい天文学, GCOE 特別講義 (2011 年 11 月 15-17 日, 京都大学).
- ⑧ 安東正樹, 重力波観測の現状, 第 24 回理論懇シンポジウム「理論天文学・宇宙物理学の革新」 (2011 年 11 月 7 日, 国立天文台) (招待講演).
- ⑨ Masaki Ando, TOBA: Torsion-Bar Antenna, Low Frequency GW Antennae - Preliminary Meeting (3rd Oct 2011, Hawaii, U.S.A).
- ⑩ 安東正樹, スペース重力波アンテナ DECIGO 計画 (33) DECIGO/DPF, 日本物理学会 2011 年秋季大会 (2011 年 9 月 17 日, 弘前大学, 弘前).
- ⑪ 安東正樹, LCGT 計画の概要, 日本物理学会 2011 年秋季大会 宇宙線・宇宙物理領域シンポジウム (2011 年 9 月 17 日, 弘前大学) (招待講演).
- ⑫ 安東正樹, 穀山 涉, 高島 健, 他 SWIM チーム, SWIMmn/SDS-1 による重力波観測, 小型衛星による実証シンポジウム (2011 年 9 月 7 日, 学術総合センター 一ツ橋記念講堂) (招待講演).
- ⑬ Masaki Ando, Ground based detector : LCGT, APCTP2011 (August 1, 2011, Pohang, Korea) (招待講演).
- ⑭ Masaki Ando, DECIGO and DECIGO Pathfinder, Amaldi9 (July 15, 2011, Cardiff, U.K.) (招待講演).
- ⑮ Masaki Ando, LCGT and CLIO, GWADW2011 (23 May 2011 La Biodola, Isola d'Elba, Italy) (招待講演).
- ⑯ Masaki Ando, TOBA: Torsion-Bar Antenna, GWADW2011 (May 25, 2011, La Biodola, Isola d'Elba, Italy) (招待講演).
- ⑰ 安東正樹, 重力波観測の現状とこれから, 天体核研究室コロキウム (2011 年 4 月 8 日, 京都大学).
- ⑱ 安東正樹, スペース重力波アンテナ DECIGO 計画 (31): パスファインダー, 日本物理学会 (2011 年 03 月 28, 新潟大学).
- ⑲ 安東正樹, LCGT 計画の概要, 日本物理学会 (2011 年 03 月 26 新潟大学) (招待講演).
- ⑳ 安東正樹, スペース重力波アンテナ DECIGO 計画 (19): パスファインダー, 日本天文学会 (2011 年 03 月 18 日, 筑波大学).
- ㉑ Masaki Ando, Current Status of LCGT, LSC-VIRGO March 2011 Meeting (March 14, 2011, Arcadia, USA) (招待講演).
- ㉒ 安東正樹, 小型重力波観測衛星 DPF (DECIGO パスファインダー), 小型科学衛星シンポジウム (2011 年 03 月 01 日, 宇宙科学研究所, 相模原).
- ㉓ Masaki Ando, Gravity and Gravitational-wave Physics, Global COE Symposium (Feb. 21, 2011, Kyoto)

- (招待講演).
- ②④ 安東正樹, 振れ型重力波望遠鏡 TOBA: Torsion-Bar Antenna, 重力波交流会 (2011年1月14日, 京都).
- ②⑤ 安東正樹, 小型重力波観測衛星 DECIGO パスファインダー, 第11回 宇宙科学シンポジウム (2011年01月07日, 宇宙科学研究所, 相模原).
- ②⑥ 安東正樹, DECIGO と DPF, DECIGO ワークショップ (2010年11月25日, 国立天文台, 東京) (招待講演).
- ②⑦ 安東正樹, DECIGO パスファインダーによる地球重力場観測, 第54回 宇宙科学技術連合講演会. (2010年11月17日, 静岡).
- ②⑧ Masaki Ando, DECIGO and DECIGO Pathfinder, GW2010 (Oct. 16, 2010, University of Minnesota, Minneapolis, USA) (招待講演).
- ②⑨ Masaki Ando, Gravitational-wave observatories: LCGT and DECIGO, The 20th workshop on General Relativity and Gravitation (Sep. 23, 2010, Kyoto) (招待講演).
- ③⑩ 安東正樹, スペース重力波アンテナ DECIGO 計画(29) パスファインダー, 日本物理学会 2010年秋季大会 (2010年09月13日, 九州工業大学, 北九州).
- ③⑪ 安東正樹, 重力逆二乗則の検証実験, 宇宙物理重力研究室コロキウム (2010年7月30日, 大阪市立大学) (招待講演).
- ③⑫ Masaki Ando, Satellite Design of DECIGO Pathfinder, 8th LISA symposium (Jul. 1, 2010, SLAC, Stanford, USA).
- ③⑬ 安東正樹, DECIGO パスファインダー, DECIGO ワークショップ (2010年6月14日, 東京大学, 東京).
- ③⑭ 安東正樹, 小型科学衛星 DPF による地球重力場観測, 日本地球惑星科学連合 2010年大会. (2010年05月28日 幕張メッセ国際会議場, 千葉).
- ③⑮ 安東正樹, 川村静児, 佐藤修一, 中村卓史, 坪野公夫, 新谷昌人, 他 スペース重力波アンテナ DECIGO 計画 (15) パスファインダー, 日本天文学会 2010年春季年会 (Mar. 27, 2010, 広島大学).
- ③⑯ 安東正樹, 川村静児, 佐藤修一, 中村卓史, 坪野公夫, 新谷昌人, 他 スペース重力波アンテナ DECIGO 計画 (26) パスファインダー, 日本物理学会 第65回年会 (Mar. 21, 2010, 岡山大学).
- ③⑰ Masaki Ando, Space Gravitational-Wave Antenna DECIGO, GWADW2010 (Mar. 20, 2010, Kyoto, Japan) (招待講演).
- ③⑱ Masaki Ando, Design of the LCGT interferometer observation band, GWADW2010 (Mar. 17, 2010, Kyoto, Japan) (招待講演).
- ④⑰ 安東正樹, 川村静児, 佐藤修一, 中村卓史, 坪野公夫, 新谷昌人, 他 小型重力波観測衛星 DPF と DECIGO, 第10回 宇宙科学シンポジウム (Jan. 8, 2010, JAXA 宇宙科学研究本部, 相模原).
- ④⑱ Masaki Ando, Seiji Kawamura, Shuichi Sato, et al. DECIGO and Pathfinder Missions, KEK Theory Center Cosmophysics Group Workshop (Nov. 11, 2009, Tsukuba, Ibaraki).
- ④⑲ 安東正樹, 川村静児, 佐藤修一, 中村卓史, 坪野公夫, 新谷昌人, 他, スペース重力波アンテナ DECIGO 計画 (23) DECIGO パスファインダー, 日本物理学会 2009年秋季大会 (Sep. 10, 2009, 甲南大学).
- ④⑳ 安東正樹, 宇宙重力波望遠鏡 DECIGO と DPF, UNISEC 講演会 (Jul. 26, 2009, 東京大学).
- ④㉑ Masaki Ando, Seiji Kawamura, Shuichi Sato, et al. DECIGO: the Japanese Space Gravitational Wave Antenna, 27th International Symposium on Space Technology and Science (Jul. 9, 2009, Tsukuba, Ibaraki).
- ④㉒ Masaki Ando, Seiji Kawamura, Shuichi Sato, et al., DECIGO and Pathfinder Missions, 8th Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Waves (Jun. 24, 2009, New York, USA).
- ④㉓ Masaki Ando, Seiji Kawamura, Shuichi Sato, et al., DECIGO, the 58th Fujihara Seminar (May 29, 2009, Shonan Village Center, Kanagawa).
- ④㉔ 安東正樹, 重力逆二乗則の検証実験, KEK 宇宙物理 理論・実験合同セミナー (May 14, 2009, 高エネルギー加速器研究機構) (招待講演).
- ④㉕ 安東正樹, 重力波観測の現状とこれから, 天体核研究室コロキウム (2009年4月24日, 京都大学).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安東 正樹(ANDO MASAKI)

国立天文台・重力波プロジェクト推進室・
准教授

研究者番号:90313197

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし