

1.1 坪野研究室

本研究室では重力および相対論に関する実験を行っているが、その中でも重力波検出実験は一貫して最大の研究テーマとなっている。今年度はそれまで助教を務めていた安東正樹氏が京大准教授に転出し、かわりに麻生洋一氏が助教に着任した。

重力波は光速で伝搬する時空のひずみであり、超新星爆発や連星中性子星の合体などの非常に激しい天体現象にともなって発生する。また宇宙のごく初期に起源をもつ重力波も予想されており、将来的には重力波によって、電磁波では決して見ることができない宇宙の姿をとらえるようになると期待される。これらの重力波観測によって、新しい分野「重力波天文学」を確立することが現在の重力波研究の目的である。重力波を使って宇宙を見ることは、人類の新たな知の開拓につながる。

これまでの研究では、TAMA300 による重力波探査と、次世代レーザー干渉計 LCGT の開発が 2 つの主軸となっていた。最近これにくわえて、宇宙空間を利用した重力波検出計画が構想されるようになった。地上に干渉計を作る限り、基線長の制限や地面振動といった障害は避けることができない。しかし自由な宇宙空間ではこれらの制限が取り払われ、理想的な環境が期待できる。特に、地上では不可能な低周波の重力波検出が可能となることが大きな魅力である。われわれは、日本独自のスペース重力波検出器 DECIGO を提唱している。これを実現するための基礎研究として、小型衛星を用いた予備実験などの準備を進めている。これらの基礎研究をもとにして、DECIGO によって巨大ブラックホールや宇宙初期のインフレーションに起源をもつ重力波をとらえようとする計画を推進中である。[42, 52, 55, 57, 58]

1.1.1 地上レーザー干渉計重力波検出器

次期大型レーザー干渉計計画 LCGT

日本のグループが中心となって進めている LCGT 計画は、基線長 3 km のレーザー干渉計型重力波検出器を神岡地下のサイトに建設するものである。この重力波検出器では、干渉計を構成する鏡を 20 K の低温に冷却するとともに、高出力レーザー光源を用い、干渉計方式を RSE と呼ばれる方式を採用する事で、TAMA より 2 桁以上高い感度が実現される。それによって、連星合体からの重力波については約 200 Mpc 遠方のイベントまで観測する事ができる見込みである。その範囲にある銀河数を考慮すると、1 年に 10 回程度の頻度で重力波イベントを観測できることが期待できる。また、もし我々の銀河系内で超新星爆発が発生すれば、そこからの重力波も、LCGT によって十分観測可能である。[7, 13, 32, 49]

LCGT の設計

坪野研究室では麻生が LCGT 干渉計制御グループ及び SPI 特別作業部会のリーダーとして、LCGT の設計をさらに深める作業を進めた。干渉計制御グループでは、複雑な光学構成を持つ LCGT の制御系設計を最新のシミュレーション手法で見直し、単純に制御可能であるというのとどまらず、制御雑音が目標感度を損なわないような変調方法、信号ポート、フィードバックポロジを開発した。また、SPI 作業部会では、干渉計のロック手法、動作時の安定化方法について、最新の R&D 成果を取り入れて、大幅な改訂を行った。[2, 3, 4, 16, 17]

1.1.2 宇宙空間レーザー干渉計 DECIGO

DECIGO

DECIGO (DECi-hertz Interferometer Gravitational Wave Observatory) は、日本のグループが中心となり、2027 年ごろの打ち上げを目指して検討が進められている宇宙空間重力波望遠鏡計画である。DECIGO は、互いに 1000 km 離れた 3 台のスペースクラフト内に収められた鏡の間の距離をレーザー干渉計を用いて精密に測定することで重力波を観測する装置である。DECIGO は、連星中性子星や連星ブラックホールの合体現象に関してはほぼ宇宙全体を観測範囲に持ち、また、初期宇宙で発生した重力波を直接捕らえることができるだけの感度を持つ、非常に強力な観測装置になるはずである。

DECIGO は、2025 年ごろの観測を目指して、検討が進められている。[1, 9, 12, 24, 25, 22, 23, 27, 45, 56]

DECIGO パスファインダー

DECIGO 計画では、その前に 2 つの前哨衛星を打ち上げ、技術成熟度を段階的に向上させていくロードマップが立てられている。DECIGO パスファインダー (DPF) はその最初の前哨衛星であり、高度 500 km の地球周回軌道に投入される 350 kg 級の小型衛星として設計が進められている。衛星内にはミッション機器として、ドラッグフリー制御によって衛星内に非接触保持された 2 つの試験質量 (鏡) と安定化レーザー光源、小型・低雑音スラスタを搭載する。これらの鏡で構成された基線長 30 cm のファブリ・ペロー干渉計の基線長変化を、安定化 Nd:YAG レーザー光源を用いて測定することで、0.1-1 Hz 付近での重力波観測を行う。DPF では、中間質量ブラックホール合体からの重力波をターゲットとしており、我々の銀河内のイベントを観測できるだけの感度を持っている。また、地球重力場観測や、宇宙空間での精密計測のための先進科学技術の実現など幅広い成果が期待できる。

DPF は、JAXA が進めている小型科学衛星シリーズの候補の 1 つになっており、衛星システム検討と

基本サブシステムの試作と性能評価が進められている．[6, 11, 26, 28, 40, 47, 53]

DPF レーザーセンサー

DPF のミッションには重力波の測定だけではなく、地球の微細な重力場構造を示すジオイド高を測定するという計画もある．このジオイド高は主に、地球の水分量が変化する事に伴う地球の質量密度分布の変化に影響されるため、重力場を長期間にわたり観測すれば地球上の水の貯蓄量、流れ、質などを見積もることができる．これにより、近年増加する人口の増加に伴い増え続ける水の需要への対策などといった社会的貢献が期待されている．

マスを加速度計として用いる方法では、衛星中に非接触に置いたマスを衛星に追従するように制御を行う．この時、衛星にかかる力は重力場と太陽風などによる外乱となり、マスにかかる力は重力場と制御信号となるため、制御信号から外乱を見積もる事ができ、GPS による衛星の位置情報と合わせれば重力場が測定できるという仕組みになっている．

制御の際には、レーザーセンサーによってマスの位置を感知して行う．レーザーセンサーは、波長 1550nm の光を用いた差動マイケルソン干渉計型のものである．まず制御を行うための地上実験として、懸架したマス (アルミ製、約 700g) をレーザーセンサーのフリンジが飛ばない範囲にまで振動を抑える制御実験を行った．この際、xPC target という MATLAB 上で起動できるデジタル信号処理システムを用いてデジタル制御フィルターを用いた．これにより、マスの振動をおよそ $1\mu\text{m}$ 程度にまで抑えることに成功し、レーザーセンサーでの制御が可能である事を実証した．また、重力場の観測精度がレーザーセンサーだけで決定されると仮定すれば、ジオイド高を $0.1\mu\text{m}$ の精度で決定できる事が明らかになったが、実際は GPS などの他の機器の精度で制限されてしまう可能性が高く、現在検討中である．[29, 46]

DPF 向け Fabry-Perot 干渉計実験

DPF には鏡をとりつけた 2 つの試験質量からなる Fabry-Perot 共振器、ガラス板の上に光学素子をシリケートボンディングして作られるモノリシックな入射光学系、そして全体を囲う熱シールドからなる干渉計モジュールが搭載される．DPF では Fabry-Perot 共振器の共振器長を Pound-Drever-Hall(PDH) 法を用いて、試験質量の周りに取り付けられた静電アクチュエータによって制御することで重力波の観測を行う．ここで PDH 法とは共振器に入射するレーザー光に位相変調をかけることで、反射光から共振器長変動に比例した信号を取り出す手法である．

坪野研究室ではこの干渉計モジュールの Bread Board Model(BBM) を開発し、地上における動作確認や性能評価を行っている．

2009 年度はこの BBM に向けた準備として、試験質量の懸架系を製作し、光学定盤上にバラック組み

した入射光学系を用いて Fabry-Perot 共振器の共振器長制御実験を行った．アクチュエータとしてはコイルマグネット型のものを用いており、現在までに SWIM _{μv} の気球実験で用いられた FPGA を使ったデジタル制御を成功させている．

今後は入射光学系としてモノリシック光学系を導入し、共振器長制御に加えて Wave Front Sensing を用いた鏡のアライメント制御を行うなど、引き続き干渉計モジュールの BBM 開発を進めていく予定である．[31]

DPF を利用した地球重力場観測

DPF では、2 つのテストマスに取り付けられたミラーが Fabry - Perot 共振器をつくる．この 2 つのテストマスは潮汐力によって距離が伸縮するので、これを利用すると高感度な重力勾配計として機能させることが可能である．計算によると短波長の重力変動に対しては、これまでの GRACE や GOCE などの重力探査衛星を凌ぐような高感度を実現可能である．このような超高感度な重力勾配計は、海洋探査、気候変動、地殻変動などの研究分野で求められているものであり、DPF が達成するサイエンスのひとつとして重要である．[30, 41]

SWIM _{μv}

SWIM (SpaceWire Interface demonstration Module) は、次世代の宇宙用通信規格 SpaceWire を持った汎用小型演算処理・制御システムである．JAXA(宇宙航空研究開発機構)が開発した小型実証衛星 (SDS-1) に搭載され、2009 年 1 月 23 日に打ち上げ・軌道投入が成功裏に行われた．

この SWIM の超小型宇宙実験プラットフォーム開発の一環として、我々は超小型重力波検出器 (SWIM _{μv}) を開発し、その運用を現在まで順調に行っている．この超小型重力波検出器は、小型であるために、地上の大型重力波検出器に匹敵する感度は実現できないが、試験質量変動の検出や非接触制御など、将来の本格的な宇宙空間重力波検出器のための実証試験をする最初のステップとなる．また、DECIGO Pathfinder で適用されるものとはほぼ同等の機能部品を用いているため、それらによって構築されたシステムの宇宙実証を行う、という重要な役目も担っている．

2009 年 2 月から 1 年以上にわたって行われている SWIM 運用により、SpaceCube2 の宇宙における動作実証、SpaceWire/RMAP を用いた信号処理システムの実証を達成した．SpaceWire/RMAP 通信はすでに累積 100 万回以上のアクセスをエラーなく実施できている．さらに、SWIM _{μv} を運用しデータを回収することで、その正常動作を確認し、重力波検出器としての性能評価を進めてきた．具体的には、2009 年 5 月に SWIM _{μv} が内部で保持する「試験マス」の完全非接触な支持に成功したことを確認した．さらに 2009 年後半に SWIM _{μv} 試験マス制御の伝達関数の測定を、少ないデータ量の制限を克服しつつ完了

した。2010年1月以降は、SDS-1衛星が3軸姿勢制御に移行した状態においてSWIM $_{\mu\nu}$ のノイズレベルを測定し、定常時のスピン安定状態のそれに比べて悪化しないことを確認した。これは、観測時にセンサを天球上の一定の方向に向けることができるという良好な結果を意味するものである。[10, 21, 39, 48, 54]

1.1.3 磁気浮上型重力波検出器の開発

超伝導磁気浮上型重力波検出器による観測

低周波重力波にはブラックホール合体や初期宇宙に天文学的・宇宙論的に非常に興味深い重力波源がある。しかし、現在の地上レーザー干渉計型重力波検出器は懸架系の共振周波数とその観測帯域の下限を制限する。そこで、我々は0.1-1Hz帯域の低周波で重力波を探索するために、磁気浮上を利用した新しい検出器を提案している。

本年度は、観測とデータ解析まで含むプロトタイプ実験を行った。プロトタイプ検出器は、超伝導磁気浮上で非接触支持された棒状の試験質量(質量133g、長さ20cm)と重力波による試験質量の回転変動を読み取るためのMichelson干渉計からなっている。超伝導磁気浮上は、試験質量上部に取り付けたネオジウム磁石(22mm, t10mm)とその上部に置かれた第2種超伝導体とのピン止め効果で実現されている。我々は、各種雑音対策の結果、地面振動と磁場雑音で決まるデザイン雑音レベルでプロトタイプ検出器を動作させることに成功した。

また、2009年夏に一晩の簡易観測を行い、0.1-1Hz帯域ではじめて、宇宙論的な背景重力波に対する制限と最長の電波パルサー(PSR J2144-3933)に対する上限値を求めた。0.2Hzの帯域10mHzで宇宙の臨界密度で規格化された背景重力波の上限値は、 8.1×10^{-17} であった。また、パルサー起源の重力波振幅に対してはベイズ的な上限値 8.4×10^{-10} を得た。それぞれ95%の信頼度である。

これにより、我々の提案する新しい検出器の原理的な動作と将来の可能性に対する指針を得た。[5, 8, 14, 18, 19, 20, 35, 43]

超伝導磁気浮上重力波検出器における磁場雑音の研究

超伝導磁気浮上型重力波検出器においては外部磁場が重力波に対する検出器の雑音となる。これは重力波の潮汐力を受けるねじれ振り子に浮上磁石が取り付けられており、これが外部磁場により外力を受けるためである。大型のコイルと磁場センサーを用いてこの外部磁場による雑音の推定を行ったところ、およそ0.1 Hz以下において検出器の雑音と一致しており、重力波に対する感度を制限していることがわかった。また、磁場センサーにより外部磁場の測定を行ったところ夜の1時半から4時半の時間帯に低減しているということが観測され、検出器の雑音もこの時間帯に下がっている。現在、この磁場の発生源は特定できていないが、磁気シールドによる対策

を考えている。外部磁場を十分に遮蔽するには装置全体を覆う大掛かりな磁気シールドを構築する必要があり、その前段階として有限要素法による磁場シミュレーションを行う予定である。[15, 33, 44]

1.1.4 非古典光を用いたレーザー干渉計の高感度化

スクイーズド光を用いたレーザー干渉計の高感度化

現在、レーザー干渉計型重力波検出器の高周波帯における感度はレーザーパワーの量子論的揺らぎ(散射雑音)によって制限されている。散射雑音は、準古典的にはレーザー光源から発せられる光子数の統計的な揺らぎとも解釈できるため、レーザーの強度を大きくし、光子数を増やすことで低減することができる。従来、散射雑音はこのようなレーザーの大出力化によって低減してきたのであるが、近年の量子光学の発達により、量子揺らぎそのものを低減することが可能になった。大出力のレーザー開発やそれに耐えうる光学素子の研究が成熟しつつある中で、この新しい手法による散射雑音の低減は大きな注目を集めている。

具体的な手法としては、非線形光学結晶を用いる。これによって相関を持った2つの光子による対を作成し、量子雑音を低減することができる。この際、低減した雑音の共役な物理量は反対に増大してしまうので、増大した物理量の影響が干渉計に現れないよう適切なコントロールを行う必要がある。

坪野研究室ではこのようなスクイーズド光(実際には、強度を持たないスクイーズド真空場)を用いた干渉計の散射雑音低減実験を行っている。2009年度はスクイーズド光生成に必要な非線形光学結晶を購入し、その特性評価やスクイーズド光生成光学系(スクイーズ)の設計を行った。また、干渉計部分の構成や、スクイーズド光導入の実装などの計画を行っている。[37, 38, 50]

スクイーズド光の発生

スクイーズド光とは、共役な物理量の揺らぎが等しくない状態であり、かつその一方は対称的な量子限界よりも小さくなっている。我々の実験では、直交位相振幅の揺らぎの一方を小さくした直交位相振幅スクイーズド光を生成する。このような光を発生させるには光子間に相関をもたせる必要があり、そのために非線形光学効果を用いる。具体的には、2次の非線形光学効果である縮退パラメトリック増幅を共振器の中で行うOPO(Optical Parametric Oscillator)を作成し、スクイーズド光を生成する。また、この際必要になる第二次高調波を生成するために、SHG(Second-Harmonic Generator)も作成する。

重力波検出への応用では、その検出帯域である10 Hz ~ 10 kHzにおいて、量子限界を基準として-10 dB程度揺らぎを小さくしたスクイーズド光の生成が目指

している。2009年度には、そのための目標値として実験系のロスや、サーボ系の安定度などの上限値を見積り、そして実験環境の整備を行った。[34, 53]

1.1.5 超高安定レーザー光源の開発

低温サファイア光共振器を用いた超高安定光源

現在、光格子時計に代表される原子分光型周波数標準の性能は、分光に用いるプローブレーザーの周波数安定度によって制限されている。そこで坪野研では今年度から光格子時計への応用を念頭に置いた超高安定レーザーの開発に着手した。

周波数安定化には、長さを安定化した光共振器にレーザー光をロックするのが標準的な手法であるが、この場合の安定度は光共振器の熱雑音で制限されていることが知られている。そこで我々は、サファイア製の共振器を低温にすることで熱雑音の低減を図る。低温サファイアは高いヤング率や高熱伝導率、低熱膨張率等、共振器材料として良好な性質を示す。また、この実験では、低温における高反射率コーティングの熱雑音を直接測定することも可能であると見積もられている。これは、LCGTのような低温重力波検出器にとって非常に有用な情報である。

本年度は低温サファイア共振器製作の可能性について、その概念設計と理論計算によるノイズ見積り等を行った。その結果、原理的には従来の安定度を二桁ほど向上可能であることが示された。[36]

光共振器の支持法の研究

周波数基準として用いる光共振器に地面からの振動が伝わると、弾性変形を通じて共振器の長さが変動してしまう。この変動量は共振器の形状及び支持方法の対称性によって大きく変わる。この変動を最小化するような方法が既にいくつか提案されているが、そのどれもが等方材料を用いたものである。サファイアのような異方性結晶の場合については、有限要素解析によって最適形状、支持方法を決定する必要がある。我々は、有限要素解析パッケージCOMSOLを用いて共振器の変形をシミュレーションを行っている。今年度は基礎的な形状についてシミュレーションを行える所まで進んだ。

< 報文 >

(原著論文)

- [1] Masaki Ando, Seiji Kawamura, Naoki Seto, Shuichi Sato, Takashi Nakamura, Kimio Tsubono *et al.*, *DECIGO and DECIGO Pathfinder*, *Class. Quantum Grav.* **27** (2010) 084010.
- [2] Y. Aso, E. Goetz, P. Kalmus, L. Matone, S. Márka, B. O'Reilly, J. Myers, R. Savage, P. Schwinberg, X. Siemens, D. Sigg, N. Smith, Accurate measurement of the time delay in the response of the

LIGO gravitational wave detectors, *Class. Quantum Grav.* **26** 055010, 2009.

- [3] B. Abbott, et al., Search for gravitational-wave bursts in the first year of the fifth LIGO science run, *Phys. Rev. D*, **80** 102001, 2009.
- [4] B. Abbott, et al., Search for high frequency gravitational-wave bursts in the first calendar year of LIGO's fifth science run, *Phys. Rev. D*, **80** 102002, 2009.
- [5] Akiteru Takamori, Akito Araya, Yuji Otake, Koji Ishidoshiro, Masaki Ando: R&D Status of a New Rotational Seismometer Utilizing the Flux Pinning Effect of a Superconductor *Bull. Seism. Soc. America*, **99** (2009) 1174.
- [6] Masaki Ando, Seiji Kawamura, Shuichi Sato, Takashi Nakamura, Kimio Tsubono *et al.*, *DECIGO Pathfinder*, *Class. Quantum Grav.* **26** (2009) 094019.
- [7] K Arai, R Takahashi, D Tatsumi, K Izumi, Y Wakabayashi, H Ishizaki, M Fukushima, T Yamazaki, M-K Fujimoto, A Takamori, K Tsubono, R DeSalvo, A Bertolini, S Marka, V Sannibale (for the TAMA Collaboration), T Uchiyama, O Miyakawa, S Miyoki, K Agatsuma, T Saito, M Ohashi, K Kuroda, I Nakatani, S Telada, K Yamamoto, T Tomaru, T Suzuki, T Haruyama, N Sato, A Yamamoto and T Shintomi (for the CLIO Collaboration) and (The LCGT Collaboration), Status of Japanese gravitational wave detectors, *Class. Quantum Grav.* **26-20** (2009) 204020.
- [8] Koji Ishidoshiro, Masaki Ando, Akiteru Takamori, Kenshi Okada, Kimio Tsubono: Gravitational wave detector realized a superconductor, *Physica C*, (in press).

(会議抄録)

- [9] Masaki Ando, Seiji Kawamura, Shuichi Sato, Takashi Nakamura, Kimio Tsubono, Akito Araya, Ikkoh Funaki, Kunihito Ioka, Nobuyuki Kanda, Shigenori Moriwaki, Mitsuru Musha, Kazuhiro Nakazawa, Kenji Numata, Shin-ichiro Sakai, Naoki Seto, Takeshi Takashima, Takahiro Tanaka, and the DECIGO working group, *DECIGO: the Japanese Space Gravitational Wave Antenna*, The ISTS Special Issue of Transactions of JSASS, Space Technology Japan, 2009-o-4-11v.

(会議抄録)

- [10] 安東正樹, 穀山渉, 石徹白晃治, 森脇成典, 新谷昌人, 高橋走, 麻生洋一, 湯浅孝行, 中澤知洋, 高島健, 高橋忠幸: SWIM に搭載した大学発の宇宙実験モジュール (SWIM_{μν}) 電子情報通信学会技術研究報告. SANE, 宇宙・航行エレクトロニクス 109(101), 59-64, 20090618.
- [11] 安東正樹, 川村静児, 佐藤修一, 中村卓史, 坪野公夫, 田中貴浩, 他, 小型重力波観測衛星 DPF, 宇宙科学シンポジウム 集録 (2008年1月9日, 宇宙科学研本).

- [12] 安東正樹, 川村静児, 佐藤修一, 中村卓史, 坪野公夫, 田中貴浩, 他, 宇宙重力波望遠鏡 DECIGO, 第 52 回宇宙科学技術連合講演会 集録 (2008 年 11 月 07 日淡路夢舞台国際会議場, 兵庫).

(国内雑誌)

- [13] 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 第 37 巻 (2009) pp.101-106.

(学位論文)

- [14] 石徹白晃治: Search for low-frequency gravitational waves using a superconducting magnetically-levitated torsion antenna, 博士論文, 2010 年.

- [15] 岡田健志: 低周波重力波探査のための超伝導磁気浮上型ねじれ振り子の研究, 修士論文, 2010 年.

< 学術講演 >

(国際会議)

一般講演

- [16] Y. Aso, Remedies for low frequency vibration problems: SPI and other alternatives, 2009 Fujihara Seminar, Shonan Village Center, May 2009.

- [17] Y. Aso, R. Adhikari, S. Ballmer, A. Brooks, J. Betzwieser, J. Driggers, P. Kalmus, J. Miller, A. Stochino, R. Taylor, S. Vass, R. Ward, A. Weinstein, D. Yeaton-Massey, Testing Advanced LIGO length sensing and control scheme at the Caltech 40m interferometer, 8th Amaldi Conference on Gravitational Waves, Columbia University, NY, June 2009.

- [18] Koji Ishidoshiro, Masaki Ando, Hirotaka Takahashi, Akiteru Takamori, Kenshi Okada, Yoichi Aso, Nobuyuki Kanda, Kimio Tsubono, Search for continuous gravitational waves from PSR J2144-3933 using a magnetically-levitated torsion antenna, 14th Gravitational Wave Data Analysis Workshop (Jan. 26-29, 2010, Rome, Italy).

- [19] Koji Ishidoshiro, Masaki Ando, Akiteru Takamori, Kenshi Okada, Kimio Tsubono, Gravitational wave detector realized by a superconductor magnet, 22nd International Symposium on Superconductivity (Nov. 02 - 04, 2009, Epochal Tsukuba, Japan).

- [20] Koji Ishidoshiro, Masaki Ando, Akiteru Takamori, Kenshi Okada, Kimio Tsubono, Development of a low-frequency gravitational-wave detector using magnetically-levitated torsion antenn, 8th Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Waves (June 21 - 06, 2009, Columbia University, New York, USA).

- [21] Wataru Kokuyama, Masaki Ando, Shigenori Moriwaki, Koji Ishidoshiro, Kakeru Takahashi, Akito Araya, Yoichi Aso, Takeshi Takashima, Kazuhiro Nakazawa, Tadayuki Takahashi, Motohide Kokubun, Tetsuo Yoshimitsu, Hirokazu

Odaka, Takayuki Yuasa, Takehiko Ishikawa, Teruaki Enoto, Keiko Kokeyama, Shin-ichiro Sakai, Shuichi Sato, Akiteru Takamori, Kimio Tsubono, Tomoaki Toda, Tatusaki Hashimoto, Ayako Matsuoaka: In-Orbit Operation of a Compact Gravitational Wave Detector on a Small Satellite, 8th Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Waves (June 24, 2009, Columbia University).

- [22] Masaki Ando, Seiji Kawamura, Shuichi Sato, Takashi Nakamura, Kimio Tsubono *et al.*, and the DECIGO working group, *DECIGO: the Japanese Space Gravitational Wave Antenna*, 27th International Symposium on Space Technology and Science (July 9, 2009, Tsukuba, Ibaraki).

- [23] Masaki Ando, Seiji Kawamura, Takashi Nakamura, Kimio Tsubono, Takahiro Tanaka *et al.*, DECIGO and Pathfinder Missions, KEK Theory Center Cosmophysics Group Workshop (November 11, 2009, Tskuba, Ibaraki).

招待講演

- [24] Masaki Ando, Seiji Kawamura, Takashi Nakamura, Kimio Tsubono, Takahiro Tanaka *et al.*, DECIGO and Pathfinder Missions, 8th Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Waves (June 24, 2009, New York, USA).

- [25] Masaki Ando, Seiji Kawamura, Takashi Nakamura, Kimio Tsubono, Takahiro Tanaka *et al.*, DECIGO, the 58th Fujihara Seminar (May 29, 2009, Shonan Village Center, Kanagawa).

(国内会議)

一般講演

- [26] 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 (2010 年 3 月 27 日, 広島大学).

- [27] 川村静児, 安東正樹, 瀬戸直樹, 佐藤修一, 中村卓史, 坪野公夫, 高島健, 船木一幸, 沼田健司, 神田展行, 田中貴浩, 井岡邦仁, 青柳巧介, 我妻一博, 浅田秀樹, 麻生洋一, 新井宏二, 新谷昌人, 池上健, 石川毅彦, 石崎秀晴, 石徹白晃治, 石原秀樹, 和泉究, 市来淨與, 伊東宏之, 伊藤洋介, 井上開輝, 上田暁俊, 植田憲一, 歌島昌由, 江尻悠美子, 榎基宏, 戎崎俊一, 江里口良治, 大石奈緒子, 大河正志, 大橋正健, 大原謙一, 大淵喜之, 岡田健志, 岡田則夫, 河島信樹, 川添史子, 河野功, 木内建太, 岸本直子, 國中均, 國森裕生, 黒田和明, 小泉宏之, 洪鋒雷, 郡和範, 穀山涉, 苔山圭以子, 古在由秀, 小島康史, 固武慶, 小林史歩, 西條統之, 齊藤遼, 坂井真一郎, 阪上雅昭, 阪田紫帆里, 佐合紀親, 佐々木節, 佐藤孝, 柴田大, 真貝寿明, 杉山直, 鈴木理恵子, 諏訪雄大, 宗宮健太郎, 祖谷元, 高野忠, 高橋走, 高橋慶太郎, 高橋忠幸, 高橋弘毅, 高橋史宜, 高橋龍一, 高橋竜太郎, 高森昭光, 田越秀行, 田代寛之, 谷口敬介, 樽家篤史, 千葉剛, 辻川信二, 常定芳基, 豊嶋守生, 鳥居泰男, 内藤勲夫, 中尾憲一, 中澤知洋, 中須賀真一, 中野寛

- 之, 長野重夫, 中村康二, 中村真大, 中山宜典, 西澤篤志, 西田恵里奈, 西山和孝, 丹羽佳人, 能見大河, 橋本樹明, 端山和夫, 原田知広, 疋田涉, 姫本宣朗, 平林久, 平松尚志, 福嶋美津広, 藤田龍一, 藤本眞克, 二間瀬敏史, 細川瑞彦, 堀澤秀之, 前田恵一, 松原英雄, 藁泰志, 宮川治, 宮本雲平, 三代木伸二, 向山信治, 武者満, 森澤理之, 森本睦子, 森脇成典, 八木絢外, 山川宏, 山崎利孝, 山元一広, 柳哲文, 横山順一, 吉田至順, 吉野泰造, 若林野花, スペース重力波アンテナ DECIGO 計画 (24): 設計・計画, 日本物理学会 2010 年年次大会 (2010 年 3 月, 岡山大学, 岡山).
- [28] 佐藤修一, 鳥居泰男, 若林野花, 江尻悠美子, 鈴木理恵子, 上田暁俊, 川村静児, 新谷昌人, 安東正樹, 大淵喜之, 岡田則夫, 正田亜八香, 道村唯太, 坪野公夫, 麻生洋一, 穀山涉, DECIGO pathfinder のための試験マスマジュールの開発 (4), 日本物理学会 2010 年年次大会 (2010 年 3 月, 岡山大学, 岡山).
- [29] 正田亜八香, 道村唯太, 穀山涉, 麻生洋一, 坪野公夫, 安東正樹, 新谷昌人, 佐藤修一, DECIGO Pathfinder 用レーザーセンサーの性能評価, 日本物理学会 2010 年年次大会 (2010 年 3 月, 岡山大学, 岡山).
- [30] 坪野公夫, 正田亜八香, 道村唯太, 穀山涉, 麻生洋一, 佐藤修一, 川村静児, 安東正樹, DECIGO pathfinder の FP 共振器を用いた高感度重力勾配計, 日本物理学会 2010 年年次大会 (2010 年 3 月, 岡山大学, 岡山).
- [31] 道村唯太, 正田亜八香, 麻生洋一, 佐藤修一, 安東正樹, 川村静児, 坪野公夫, DECIGO Pathfinder 向けプロトタイプ干渉計実験, 日本物理学会 2010 年年次大会 (2010 年 3 月, 岡山大学, 岡山).
- [32] 梶田隆章, 黒田和明, 中谷一郎, 大橋正健, 藤本眞克, 川村静児, 斎藤芳男, 鈴木敏一, 坪野公夫, 三尾典克, 神田展行, 中村卓史, LCGT Collaboration, 大型低温重力波望遠鏡 (LCGT) 計画 XII, 日本物理学会 2010 年年次大会 (2010 年 3 月, 岡山大学, 岡山).
- [33] 岡田健志, 石徹白晃治, 高橋走, 坪野公夫, 安藤正樹, 麻生洋一, 重力波検出器に用いる超伝導磁気浮上型ねじれ振り子の基礎特性研究 II, 日本物理学会 2010 年年次大会 (2010 年 3 月, 岡山大学, 岡山).
- [34] 松本伸之, 高橋走, 麻生洋一, 坪野公夫, 政田元太, 古澤明, 重力波検出器の感度向上に向けたスウィーズド光の生成実験 II, 日本物理学会 2010 年年次大会 (2010 年 3 月, 岡山大学, 岡山).
- [35] 石徹白晃治, 安東正樹, 高森昭光, 岡田健志, 高橋弘毅, 麻生洋一, 坪野公夫, 超伝導磁気浮上型ねじれアンテナによる PSR J2144-3933 起源の重力波探索, 日本物理学会 2010 年年次大会 (2010 年 3 月, 岡山大学, 岡山).
- [36] 穀山涉, 麻生洋一, 坪野公夫, 高本将男, 香取秀俊, 低温ファイア共振器を用いた超高安定レーザーの開発, 日本物理学会 2010 年年次大会 (2010 年 3 月, 岡山大学, 岡山).
- [37] 高橋走, 松本伸之, 麻生洋一, 坪野公夫, 政田元太, 古澤明, 子光学的手法を用いた重力波検出器の感度向上実験 II, 日本物理学会 2010 年年次大会 (2010 年 3 月, 岡山大学, 岡山).
- [38] 高橋走, squeezed 光を用いた重力波検出器の感度向上実験, GCOE「未来を拓く物理科学結集教育研究拠点」第 3 回 RA キャンプ (2010 年 2 月, ヤマハリゾートつま恋).
- [39] 穀山涉, 安東正樹, 森脇成典, 石徹白晃治, 高橋走, 新谷昌人, 麻生洋一, 高島健, 中澤知洋, 高橋忠幸, 国分紀秀, 吉光徹雄, 小高裕和, 湯浅孝行, 石川毅彦, 檀戸輝揚, 苔山圭以子, 坂井真一郎, 佐藤修一, 高森昭光, 坪野公夫, 戸田知朗, 橋本樹明, 若林野花 SWIM 搭載超小型重力波検出器の開発・運用第 10 回宇宙科学シンポジウム (2010 年 1 月 8 日, JAXA/ISAS).
- [40] 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 (2010 年 1 月, 宇宙科学研究本部).
- [41] 坪野公夫, 衛星搭載型重力勾配計, DPF サイエンス検討会 (2009 年 11 月, 東京大学, 本郷).
- [42] 坪野公夫, 重力波プロジェクト成果報告, RESCUE 夏の学校 (2009 年 9 月, カルチャーリゾート・フェストーネ, 沖縄).
- [43] 石徹白晃治, 安東正樹, 高森昭光, 岡田健志, 松本伸之, 坪野公夫, 磁気浮上を利用した低周波重力波検出器の開発 V, 日本物理学会 2009 年秋季大会 (2009 年 9 月, 甲南大学, 兵庫).
- [44] 岡田健志, 石徹白晃治, 安東正樹, 麻生洋一, 坪野公夫, 重力波検出器に用いる超伝導磁気浮上型ねじれ振り子の基礎特性研究, 日本物理学会 2009 年秋季大会 (2009 年 9 月, 甲南大学, 兵庫).
- [45] 川村静児, 安東正樹, 瀬戸直樹, 佐藤修一, 中村卓史, 坪野公夫, 船木一幸, 沼田健司, 神田展行, 田中貴浩, 井岡邦仁, 高島健, 青柳巧介, 我妻一博, 浅田秀樹, 麻生洋一, 新井宏二, 新谷昌人, 池上健, 石川毅彦, 石崎秀晴, 石徹白晃治, 石原秀樹, 市来浄与, 伊東宏之, 伊藤洋介, 井上開輝, 上田暁俊, 植田憲一, 歌島昌由, 江尻悠美子, 檀基宏, 戎崎俊一, 江里口良治, 大石奈緒子, 大河正志, 大橋正健, 大原謙一, 大淵喜之, 岡田則夫, 小野里光司, 河島信樹, 川添史子, 河野功, 木内建太, 岸本直子, 國中均, 國森裕生, 黒田和明, 小泉宏之, 洪鋒雷, 郡和範, 穀山涉, 苔山圭以子, 古在由秀, 小島康史, 固武慶, 小林史歩, 西條統之, 齊藤 遼, 坂井真一郎, 阪上雅昭, 阪田紫帆里, 佐合紀親, 佐々木節, 佐藤孝, 柴田大, 真貝寿明, 杉山直, 鈴木理恵子, 諏訪雄大, 宗宮健太郎, 祖谷元, 高野忠, 高橋走, 高橋慶太郎, 高橋忠幸, 高橋弘毅, 高橋史宜, 高橋龍一, 高橋竜太郎, 高森昭光, 田越秀行, 田代寛之, 谷口敬介, 樽家篤史, 千葉剛, 辻川信二, 常定芳基, 豊嶋守生, 鳥居泰男, 内藤勲夫, 中尾憲一, 中澤知洋, 中須賀真一, 中野寛之, 長野重夫, 中村康二, 中山宜典, 西澤篤志, 西田恵里奈, 西山和孝, 丹羽佳人, 能見大河, 橋本樹明, 端山和夫, 原田知広, 疋田涉, 姫本宣朗, 平林久, 平松尚志, 福嶋美津広, 藤田龍一, 藤本眞克, 二間瀬敏史, 細川瑞彦, 堀澤秀之, 前田恵一, 松原英雄, 藁泰志, 宮川治, 三代木伸二, 向山信治, 武者満, 森澤理之, 森本睦子, 森脇成典, 八木絢外, 山川宏, 山崎利孝, 山元一広, 柳哲文, 横山順一, 吉田至順, 吉野泰造, 若林野花, スペース重力波アンテナ DECIGO 計画 (20): 設計・

- 計画, 日本物理学会 2009 年秋季大会 (2009 年 9 月、甲南大学、兵庫)。
- [46] 正田亜八香, 道村唯太, 穀山渉, 麻生洋一, 坪野公夫, 安東正樹, 新谷昌人, 佐藤修一, DECIGO pathfinder における試験マスモジュールの制御実験, 日本物理学会 2009 年秋季大会 (2009 年 9 月、甲南大学、兵庫)。
- [47] 佐藤修一, 鳥居泰男, 若林野花, 江尻悠美子, 鈴木理恵子, 上田暁俊, 川村静児, 新谷昌人, 安東正樹, 大淵喜之, 岡田則夫, 正田亜八香, 道村唯太, 坪野公夫, 麻生洋一, 穀山渉, DECIGO pathfinder のための試験マスモジュールの開発 (3), 日本物理学会 2009 年秋季大会 (2009 年 9 月、甲南大学、兵庫)。
- [48] 穀山渉, 安東正樹, 森脇成典, 石徹白晃治, 高橋走, 新谷昌人, 麻生洋一, 高島健, 中澤知洋, 高橋忠幸, 国分紀秀, 吉光徹雄, 小高裕和, 湯浅孝行, 石川毅彦, 榎戸輝揚, 苔山圭以子, 坂井真一郎, 佐藤修一, 高森昭光, 坪野公夫, 戸田知朗, 橋本樹明, 若林野花, 宇宙実験実証プラットフォーム (SWIM) を用いた超小型重力波検出器の開発 VIII(軌道上運用), 日本物理学会 2009 年秋季大会 (2009 年 9 月、甲南大学、兵庫)。
- [49] 黒田和明, 中谷一郎, 大橋正健, 藤本眞克, 川村静児, 斎藤芳男, 鈴木敏一, 坪野公夫, 三尾典克, 神田展行, 中村卓史, LCGT Collaboration, 大型低温重力波望遠鏡 (LCGT) 計画 XI, 日本物理学会 2009 年秋季大会 (2009 年 9 月、甲南大学、兵庫)。
- [50] 高橋走, 松本伸之, 麻生洋一, 坪野公夫, 政田元太, 古澤明, 量子光学的手法を用いた重力波検出器の感度向上実験, 日本物理学会 2009 年秋季大会 (2009 年 9 月、甲南大学、兵庫)。
- [51] 松本伸之, 高橋走, 麻生洋一, 坪野公夫, 政田元太, 古澤明, 重力波検出器の感度向上に向けたスクイーズド光の生成実験, 日本物理学会 2009 年秋季大会 (2009 年 9 月、甲南大学、兵庫)。
- [52] 麻生洋一, Robert Ward, Rana Adhikari, Peter Kalmus, Lock Acquisition of a Dual Recycled Fabry-Perot Michelson Interferometer with DC Readout, 日本物理学会 2009 年秋季大会 (2009 年 9 月、甲南大学、兵庫)。
- [53] 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 (2009 年 9 月、甲南大学、兵庫)。
- [54] 安東正樹, 穀山渉, 石徹白晃治, 森脇成典, 新谷昌人, 高橋走, 麻生洋一, 湯浅孝行, 中澤知洋, 高島健, 高橋忠幸: SWIM に搭載した大学発の宇宙実験モジュール (SWIM _{$\mu\nu$}) 電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会 (2009 年 5 月 29 日, JAXA 筑波宇宙センター)

(セミナー)

- [57] Wataru Kokuyama and Kenji Numata: Iodine Wavemeter for LISA, LISA Frequency Control Working Group Meeting (Dec.8, 2009, California Institute of Technology).
- [58] 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 (2009 年 5 月, 高エネルギー加速器研究機構)。

招待講演

- [55] 坪野公夫, 重力波を求めて, 「天地人 - 三才の世界」第 3 回研究会 (2009 年 8 月, 国際高等研、京都)。
- [56] 安東 正樹 他 DECIGO グループ, 宇宙重力波望遠鏡 DECIGO と DPF, UNISEC 講演会 (2009 年 7 月, 東京大学)。