

1.1 坪野研究室

本研究室では重力と相対論に関する実験的研究を進めている。その中でも、重力波検出は一貫して研究室の中心テーマとなっている。現在は、高感度なレーザー干渉計を用いた重力波検出に力を注いでいる。これらの研究に関連して、熱雑音や精密計測に関する研究も同時に進めている。

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。これを観測することによって、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、人類の新たな知の獲得である。[1, 61, 62, 63]

2001年度より科学研究費特定領域研究「重力波研究の新しい展開」(領域代表:坪野公夫)が5カ年の計画で始まっている。この研究では、三鷹に設置されたTAMA300を用いた重力波探査と、次世代レーザー干渉計の開発が2つの主軸となっている。この研究を進展させて、将来計画である3kmレーザー干渉計(LCGT)の建設につなげることが本領域の主目的である。この中で本研究室では、次世代干渉計のための防振機構を中心に研究開発している。[3, 7, 8, 9, 13, 14, 40, 52]

1.1.1 レーザー干渉計を用いた重力波の検出

TAMA プロジェクトの現状

TAMA プロジェクトは、日本国内の関係機関が協力して基線長300mのレーザー干渉計型重力波検出器(TAMA300)を国立天文台三鷹キャンパス内に建設し、重力波観測を行う計画である。同様の計画は、アメリカ合衆国のLIGO、イタリア・フランスのVIRGO、ドイツ・イギリスのGEOなど世界各国でも進められている。現在までにTAMAでは、我々の銀河系内での連星中性子星合体や超新星爆発といった重力波イベントがあれば十分検出可能な感度と安定度を達成している。2003年2月より2ヵ月間にわたるLIGOとの同時観測運転が行われ、1000時間以上のデータが取得された。取得されたデータは現在、連星中性子星の合体からのチャープ重力波、超新星爆発からのバースト重力波、パルサーからの連続重力波等を求めて解析が進められている。[6, 10, 11, 21, 22, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 44, 48, 49, 50, 55, 56, 60]

TAMA300 重力波検出器のデータ解析

TAMAでは、超新星爆発などで発生すると考えられているバースト重力波を観測対象の1つとしており、その信号をターゲットにデータ解析が行なわれている。これらの信号は、数値シミュレーションなどから、10msec以下程度の持続時間しか持たな

い短い波形を持つことが知られている。しかし、その波形は、中性子星のパラメータや爆発のメカニズムに強く依存し、正確には予測しきれない。従って、予想波形を用いたマッチト・フィルタリングの手法を用いて重力波信号を探す事はできない。そこで、バースト重力波解析では、検出器出力に含まれる非定常成分を取り出すという手法が用いられる。

ただ、レーザー干渉計は、非常に高感度であるがゆえに、様々な外乱の影響を受けやすく、その出力には非定常な雑音成分も多く含まれる。その場合、バースト重力波は、これらの非定常雑音に埋もれてしまい、検出する事が困難になる。そこで、非定常成分の時間スケールなどの特徴を用いて、重力波信号と雑音成分を区別する手法や、観測時に記録された検出器のモニタ信号を用いて検出器の不安定動作を調べることによって非定常雑音を除去する手法を用いて、バースト重力波探査を行なっている。また、外国のプロジェクトとの同時観測によって、雑音を除去する解析も進められている。[4, 5, 21, 25, 26, 27, 38, 45, 46, 47, 57, 58, 59]

TAMA300 データを用いた連続重力波解析

SN1987Aの跡に発見されたパルサーから放射されていると思われる連続重力波(935Hz)をターゲットにしたデータ解析に関する研究を進めた。

通常、連続的な重力波の解析ではマッチドフィルタと呼ばれる手法がよく用いられる。この手法では、テンプレートとして正確な波形を用いた場合には高いSNR(信号のパワーと雑音のパワーの比)を実現することが可能である。一方で、テンプレートの波形が実際の波形とずれている場合にはSNRの低下を招くことになる。パルサーからの重力波は、基本的には規則正しい正弦波的な波形をもつが、スピンドアウンやパルサーの回転軸の方向といったパラメータによって観測される波形は異なる上、これらのパラメータは前もって正確に分かっているわけではないため、予想重力波のずれからSNRの低下を招く可能性がある。

そこで、SNRの低下を抑えつつデータ解析時間も増やさないテンプレート群(パラメータの範囲の区切り方)を求めた。さらに、そのテンプレート群を評価するためにモンテカルロシミュレーション(存在しうる様々な状態のパルサーからくる重力波を観測したと仮定してそのときのSNRを求める)を行った。その結果、SNRの低下を2%に抑えつつ解析時間も十分短いテンプレート群を得ることができた。[2, 39]

懸架点干渉計の開発

レーザー干渉計型重力波検出器の感度を低周波で制限するのは地面振動である。懸架点干渉計とは鏡の懸架点に構成される補助レーザー干渉計をセンサーとして用いた能動防振装置の一種である。これは非常に低雑音であることと、振子などの受動防振系で

は難しい低周波で高い防振性能を持つという特徴がある。特に低雑音性は、LCGTのような低温干渉計におけるヒートリンクの防振に応用できると期待されている。[41, 53]

これまでに開発してきた、水平方向 [17] および垂直方向 [30] のプロトタイプ懸架点干渉計の結果を元に、現在この2つを組み合わせた大型プロトタイプ干渉計を開発中である。本年度は、カリフォルニア工科大学において低周波縦防振バネ、MGAS フィルターを開発し、さらにサスペンションシステム、光学系の設計を完了した。現在は実験装置の組み立て作業を行っているところである。この新しい装置によって懸架点干渉計に関する知見をさらに深め、大型干渉計へ応用されることが期待されている。

宇宙空間レーザー干渉計 DECIGO

スペースクラフト間で Fabry-Perot 共振器を構成した、0.1Hz の周波数を観測帯域にする Fabry-Perot 型の宇宙レーザー干渉計 (FP-DECIGO) について考察をおこなった。

NASA、ESA では宇宙干渉計重力波検出器 LISA の開発を行っている。LISA は 500 万 km 離れた3つのスペースクラフト間で Michelson 型レーザー干渉計を構成することで、地上では実現不可能な 1mHz ~ 10mHz の低周波数の重力波を目標としている。日本でも LISA のスペースクラフト間の距離を 100 分の1程度として、0.1Hz の周波数を観測する DECIGO が検討されている。0.1Hz という周波数は、LISA と地上干渉計の観測周波数の間にあり、重力波源として、(1) LISA と地上干渉計の帯域の間の連星、(2) 初期宇宙の重力波などが挙げられる。DECIGO においては、レーザー光の直接反射による干渉計が構成可能である。しかし、そのためには大直径の鏡の作成が欠かせない。また、Fabry-Perot 共振器は、安定に動作するために共振器長を厳密に一定に保たなければならない。よって、干渉計の公転によるスペースクラフト間の距離の変化を知り、制御の要求を求めることは重要である。そこで、0.1Hz を目標とする Fabry-Perot 型の宇宙レーザー干渉計の実現しうる感度を求め、更にそれを実現するのに必要なスペースクラフトの軌道計算をおこなった。[23, 34, 43, 51]

1.1.2 熱雑音の研究

熱雑音の直接測定

干渉計型重力波検出器の観測帯域の感度を制限するのは、鏡や懸架系の熱雑音である。それらの熱雑音は、その振幅の小ささゆえ、これまでに幅広い周波数帯域で直接測定された例はない。このような背景の下、実際の検出器に近い系における熱雑音を直接測定するための、短基線長光共振器を用いた実験を行っている [4, 18, 24]。

基本的な構成は、固定光共振器に対して周波数安定

化されたレーザー光を、二つの短基線長光共振器に入射し、その変位雑音を測定するものである。光共振器におけるレーザーのスポットサイズを非常に小さくするようにデザインし、鏡の熱振動の効果を大きくした。鏡は地面振動の影響を避けるために、サスペンションとスタックによって防振が行われている。装置を構成し、地面振動、散乱雑音、周波数雑音、強度雑音、電気雑音などの各種雑音を抑圧した。それによって、鏡基材による熱雑音、およびコーティングによる熱雑音を、約 100Hz から 100kHz の3桁に渡って測定することができた。ここで測定したのは BK7 基材の Brownian noise, CaF₂ 基材の Thermoelastic noise, 及び SiO₂ 基材に施したコーティングの Brownian noise である。図 1.1.1 に BK7, SiO₂ における測定結果について示す。おのおの、BK7 基材、コーティングの内部損失から計算した理論値に一致していることが確認できる。これらは、機械系の共振周波数以下の幅広い帯域で、熱雑音を測定した最初の実験例となっており、物理学的にも重要である。今後は、LIGO との協力の下、サファイア基材を用いて測定を行う予定である。

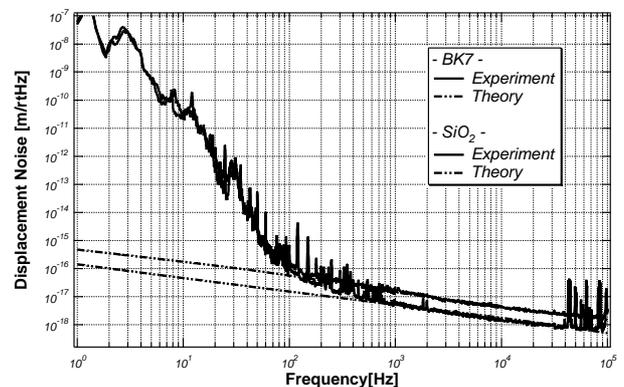


図 1.1.1: BK7 基材、SiO₂ 基材を用いた鏡の熱雑音の測定結果。点線はおのおのの理論値を示す。低周波の変位雑音は地面振動により制限されている。

非一様な散逸による熱雑音の研究

熱雑音の大きさを推定し、低減することは重要な課題である。従来はモード展開という方法を用いて熱雑音の推定が行われてきた。しかしいくつかの理論的研究はこの方法は散逸が非一様に分布しているとき正しくないことを示唆している。にも関わらず非一様な散逸による熱雑音の研究はあまり行われていなかった。我々はこの問題に取り組み、これに関するほぼ全ての問題を解決することができた。その概略を以下に紹介する。

まず新しい熱雑音推定方法を2通り開発した。この2つの方法と他のグループにより開発された別の新しい方法は全て同じ結果を与えることを確認した。そして散逸が非一様な場合、これらの新しい方法はモード展開と異なる結果を与える。

次に実験で新しい推定方法を検証した。非一様な散逸を持つ振動子(板バネと drum (鏡と同じく円柱であるが、中空 [6]) の 2 種類) を用意し、実験によりこの熱雑音を求め、推定結果と比較した。測定結果は新しい推定方法を支持した。これらはモード展開の破綻を示した初めての実験例である。

次に干渉計の鏡が非一様な散逸を持つ場合の熱雑音について新しい方法で計算した。その結果モード展開と大きく異なる結果が得られた。今まで鏡の反射膜の機械的散逸の熱雑音への寄与は小さいと考えられてきたが、予想以上に大きいことがわかった。逆に鏡の位置を制御するためのアクチュエータや鏡を懸架するワイヤーを鏡に接続する部分の散逸は熱雑音を大幅に増加させると懸念されていたが、深刻な問題にならないことが明らかになった。

反射膜の散逸が問題になりうるということがわかったので、その測定を行った [6, 16, 19, 28, 29]。特に日本の将来計画、LCGT 計画、では鏡を冷却することになっているので、散逸の温度依存性を調べた。その結果常温からヘリウム温度にわたって散逸の大きさはほぼ一定であることがわかった。これは反射膜による熱雑音は絶対温度の平方根に比例することを意味している。測定結果を新しい推定方法に適用すると、常温では熱雑音は LCGT 計画の目標感度より大きい、冷却することによって目標感度以下に低減できることがわかった。

1.1.3 精密計測の研究

低周波防振装置 SAS の開発

本研究室では次世代の重力波検出器のために、低周波防振装置 SAS (Seismic Attenuation System) の研究開発を行ってきた。この研究は 1999 年から米国の LIGO をはじめ、海外のグループと共同で行っているものである。次世代検出器では、観測可能帯域の拡大と検出器の安定性向上が最重要課題であるが、これらとともに低周波での機械的外乱(地面振動)を抑制することで達成できる。SAS で用いられている技術は、低周波(数 100mHz 以下)に共振をもつ受動防振機構と、受動防振特性を損なわずに、機械系の共振による検出器の振動増幅のみを抑制する能動ダンピングである。特に、鉛直方向の低周波防振用に、非常に単純な機構である MGAS (Monolithic Geometric Anti-Spring) を開発、採用している。3m の Fabry-Perot 光共振器(図 1.1.2)を実際に動作させる実験を行い、SAS に吊られた鏡に制御を加えることによって光共振器を安定に動作させることが可能であることを実証した。

低周波帯域では従来の TAMA300 の感度を少なくとも 100 倍から 1000 倍程度改善することが可能であることを実証することに成功した。干渉計の動作安定性に関しては、Fabry-Perot 共振器を共振させた状態で、TAMA SAS の能動ダンピング機構を動作させ、0.1Hz 以上での鏡の変動量の積分値が $0.2\mu\text{m}$ (レーザー波長の $1/5$ 程度)まで抑制されることを示すことができた。これらの結果から、SAS を用いること

によって干渉計の安定性、制御性を改善することが可能であることが実証された。

本研究の成果をうけて、TAMA SAS を TAMA300 に組み込む計画が進展している。今年度は、機械系の改良など、来年度の組み込みに向けた準備を行っている。



図 1.1.2: SAS を組み込んだ、3m Fabry-Perot 干渉計。干渉計の 2 枚の鏡は SAS によって防振される。

磁気浮上を利用した防振システム

磁気浮上を利用した高感度加速度計の開発を行っている。重力波検出などの精密計測においては、地面振動が計測の妨げとなる。よりよい防振性能を得るためには制御を用いた能動防振の併用が必要となる。しかし、現在採用されている能動防振装置は補助的なものでしかない。これは、能動防振に必要な高感度加速度計の開発が困難だからである。

ここで開発した加速度計 (maglev) の原理は、慣性系に静止した試験質量と測定対象物との相対変位の変動から加速度の情報を得るものである。実際には試験質量を機械的なバネで懸架し、防振することで擬似的に実現している。しかし、このように機械的に懸架するとその構成要素でのクリープ現象や静摩擦が問題となりうる。そこで、このような欠点を克服するために、試験質量を磁気浮上で非接触懸架する方式の加速度計を提案した。この方式では、試験質量に固定した磁石と加速度計本体に固定した磁石との間の位置と試験質量の荷重を調整することによって、支持系の固有周波数をゼロにすることが原理的に可能である。これは、加速度計として理想的な状態である。また、試験質量の剛体 6 自由度にサーボ型フィードバック制御を施すことにより、1 つの試験質量から、6 自由度すべての加速度情報を得ることができる。

現在までに、試作品の開発を行い、鉛直方向地面変位スペクトルの測定で市販加速度計 (Rion) との比較を行った。その結果、およそ 0.2Hz から 100Hz の範

困で Rion と一致した結果（それ以外の帯域は Rion の測定保証範囲外）を得ている。また、低周波帯域（1Hz 以下）での感度に関しては、世界最高感度を持つ STS-2 にあと 1 桁というところまで迫っている。そして、maglev を能動防振装置に組み込み、能動防振の実験を始めている。これは、アクチュエータ付の台に maglev を乗せ、その加速度信号を除去するようにアクチュエータにフィードバックし、台を防振するものである。台の実際の振動レベルを測るために Rion も乗せている。現在までのところ、防振された台の鉛直方向変位の RMS 値として、地面振動のそれのおよそ 1/10 に低減化することに成功している。[42, 54]

光ファイバー干渉計を用いた精密計測

レーザー干渉計重力波検出器などの光干渉計を用いた精密計測技術や高安定化技術では、主に空間光が用いられており、細かい光学素子の扱いが困難な場合もあった。そこで、新しい試みとして、光ファイバー光学系を用いた干渉計を製作し、高感度センサーとして利用する研究を行なっている。これによって、レーザー光の引き回しや光学素子の調節などの取り扱いが容易でありながら、 $10^{-14}\text{m}/\sqrt{\text{Hz}}$ 程度の高い感度を持つセンサーが実現される事が期待できる。当研究室では、これまでに、このような干渉計を動作させ、センサーとして使用に耐える性能が実現されている。また、さらに高感度化するため、光共振器を用いたレーザー周波数安定化等の改良も行なわれている。

< 報文 >

(原著論文)

- [1] K. Tsubono: Search for Gravitational Waves Prog. Theor. Phys. Suppl. **151** (2003) 115.
- [2] K. Tsubono: Application of material damping for gravitational wave detectors, Journal of Alloys and Compounds, **355** (2003) 224.
- [3] K. Numata, M. Ando, K. Yamamoto, S. Otsuka, and Kimio Tsubono: Wide-band direct measurement of thermal fluctuations in an interferometer, Phys. Rev. Lett. **91** (2003) 260602.
- [4] M. Ando, K. Arai, R. takahashi, D. Tasumi, P. Beyersdorf, S. Kawamura, S. Miyoki, N. Mio, S. Moriwaki, K. Numata, Y. Aso, M. Fujimoto, K. Tsubono, K. Kuroda and the TAMA collaboration: Methods to characterize non- Gaussian noise in TAMA, Class. Quantum Grav. **20** (2003) 697.
- [5] K. Soida, M. Ando, N. Kanda, H. Tagoshi, D. Tatsumi, K. Tsubono and the TAMA collaboration: Search for continuous gravitational Waves from the SN1987A remnant using TAMA300 data, Class. Quantum Grav. **20** (2003) 645.
- [6] R. Takahashi and the TAMA collaboration: Operational status of TAMA300, Class. Quantum Grav. **20** (2003) 593.
- [7] M. Ohashi, K. Kuroda, S. Miyoki, T. Uchiyama, K. Yamamoto, K. Kasahara, T. Shintomi, A. Yamamoto, T. Haruyama, Y. Saito, Y. Higashi, T. Suzuki, N. Sato, T. Tomaru, D. Tatsumi, S. Telada, M. Ando, A. Araya, S. Takemoto, T. Higashi, H. Momose, J. Akamatsu, W. Morii: Design and construction status of CLIO, Class. Quantum Grav. **20** (2003) S599.
- [8] K. Kuroda, M. Ohashi, T. Uchiyama, K. Yamamoto, K. Kasahara, T. Shintomi, A. Yamamoto, T. Haruyama, Y. Saito, Y. Higashi, T. Suzuki, N. Sato, T. Tomaru, A. Araya, M. Ando, S. Miyoki, D. Tatsumi, N. Kanda, S. Telada, H. Ishitsuka, S. Kawamura, R. Takahashi, T. Yamazaki, K. Arai, A. Ueda, M. Fukushima, S. Sato, S. Nagano, Y. Tsunesada, Z.-H. Zhu, T. Suzuki, K. Tsubono, A. Takamori, K. Numata, Y. Aso, K.-I. Ueda, H. Yoneda, K. Nakagawa, M. Musha, N. Mio, S. Moriwaki, K. Somiya, N. Kanda, H. Tagoshi, T. Nakamura, M. Sasaki, T. Tanaka, K. Oohara, H. Takahashi, O. Miyakawa and M. E. Tobar: Current status of large-scale cryogenic gravitational wave telescope, Class. Quantum Grav. **20** (2003) 871.
- [9] N. Kanda (the TAMA collaboration): Advantages of simultaneous observation for TAMA300 with recently operating interferometric gravitational wave detectors, Class. Quantum Grav. **20** (2003) 761.
- [10] S. Nagano, S. Kawamura, M. Ando, R. Takahashi, K. Arai, M. Musha, S. Telada, M.-K. Fujimoto, M. Fukushima, Y. Kozai, S. Miyama, A. Ueda, K. Waseda, and T. Yamazaki H. Ishizuka, K. Kuroda, S. Matsumura, O. Miyakawa, S. Miyoki, M. Ohashi, S. Sato, D. Tatsumi, T. Tomaru, T. Uchiyama, K. Kawabe, N. Ohishi, S. Otsuka, A. Sekiya, A. Takamori, S. Taniguchi, K. Tochikubo, K. Tsubono, K. Ueda, K. Yamamoto, N. Mio, S. Moriwaki, G. Horikoshi, N. Kamikubota, Y. Ogawa, Y. Saito, T. Suzuki, K. Nakagawa, K. Ueda, A. Araya, N. Kanda, N. Kawashima, E. Mizuno, M. Barton, N. Tsuda, N. Matsuda, and T. Nakamura: Development of a multistage laser frequency stabilization for an interferometric gravitational-wave detector, Rev. Sci. Instrum. **74** (2003) 4176.
- [11] T. Tomaru, S. Miyoki, M. Ohashi, K. Kuroda, T. Uchiyama, T. Suzuki, A. Yamamoto, T. Shintomi, A. Ueda, D. Tatsumi, S. Sato, K. Arai, M. Ando, K. Watanabe, K. Nakamura, M. Watanabe, K. Ito, I. Kataoka, H. Yamamoto, B. Bochner, Y. Hefetz: Evaluation of the performance of polished mirror surfaces for the TAMA gravitational wave detector by use of a wave-front tracing simulation Appl. Optics. **42** (2003) 1306.
- [12] M. Ando, K. Arai, R. Takahashi, D. Tatsuui, P. Beyersdorf, S. Kawamura, S. Miyoki, N. Mio, S. Moriwaki, K. Numata, N. Kanda, Y. Aso, M.-K. Fujimoto, K. Tsubono, K. Kuroda: Analysis for

- burst gravitational waves with TAMA300 data, *Class. Quantum Grav.* **21** (2004) S735.
- [13] T. Uchiyama, K. Kuroda, M. Ohashi, S. Miyoki, H. Ishitsuka, K. Yamamoto, H. Hayakawa, K. Kasahara, M-K. Fujimoto, S. Kawamura, R. Takahashi, T. Yamazaki, K. Arai, D. Tatsumi, A. Ueda, M. Fukushima, S. Sato, Y. Tsunesada, Zhu ZH, T. Shintomi, A. Yamamoto, T. Suzuki, Y. Saito, T. Haruyama, N. Sato, Y. Higashi, T. Tomaru, K. Tsubono, M. Ando, K. Numata, Y. Aso, KI. Ueda, H. Yoneda, K. Nakagawa, M. Musha, N. Mio, S. Moriwaki, K. Somiya, A. Araya, A. Takamori, N. Kanda, S. Telada, H. Tagoshi, T. Nakamura, M. Sasaki, T. Tanaka, KI. Ohara, H. Takahashi, S. Nagano, O. Miyakawa, ME. Tobar: Present status of large-scale cryogenic gravitational wave telescope, *Class. Quantum Grav.* **21** (2004) S1161.
- [14] S. Miyoki, T. Uchiyama, K. Yamamoto, H. Hayakawa, K. Kasahara, H. Ishitsuka, M. Ohashi, K. Kuroda, D. Tatsumi, S. Telada, M. Ando, T. Tomaru, T. Suzuki, N. Sato, T. Haruyama, Y. Higashi, Y. Saito, A. Yamamoto, T. Shintomi, A. Araya, S. Takemoto, T. Higashi, H. Momose, J. Akamatsu, W. Morii: Status of the CLIO project, *Class. Quantum Grav.* **21** (2004) S1173.
- [15] K. Yamamoto, S. Otsuka, Y. Nanjo, M. Ando, and K. Tsubono: Experimental study of the thermal noise of mirrors with an inhomogeneous loss used in gravitational wave detectors, *Phys. Lett. A* **321** (2004) 79.
- [16] K. Yamamoto, S. Miyoki, T. Uchiyama, H. Ishitsuka, M. Ohashi, K. Kuroda, T. Tomaru, N. Sato, T. Suzuki, T. Haruyama, A. Yamamoto, T. Shintomi, K. Numata, K. Waseda, K. Ito, K. Watanabe: Mechanical loss of the reflective coating and fluorite at low temperature, *Class. Quantum Grav.* **21** (2004) S1075.
- [17] Y. Aso, M. Ando, K. Kawabe, S. Otsuka, K. Tsubono: Stabilization of a Fabry-Perot interferometer using a suspension-point interferometer, *Phy. Lett. A* (2004)(in press).
- [18] K. Numata, K. Yamamoto, H. Ishimoto, S. Otsuka, K. Kawabe, M. Ando, and K. Tsubono: Systematic measurement of the intrinsic losses in various kinds of bulk fused silica, *Phy. Lett. A* (2004)(in press).
- (会議抄録)
- [19] K. Yamamoto, S. Miyoki, T. Uchiyama, H. Ishitsuka, M. Ohashi, K. Kuroda, T. Tomaru, N. Sato, T. Suzuki, T. Haruyama, A. Yamamoto, T. Shintomi, K. Numata, K. Waseda, K. Ito, and K. Watanabe: Mechanical loss of reflective coating at low temperature, *The 28th International Cosmic Ray Conference*, (Universal Academy Press, 2003) p3111-p3114.
- [20] M. Ando: Recent Results from Gravitational Wave Detectors, in: *Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology* pp.279-286, eds.: K.Sato and S.Nagataki (2004 Universal Academy Press Inc. Tokyo).
- [21] M. Ando, K. Arai, R. Takahashi, D. Tatsumi, P. Beyersdorf, S. Kawamura, S. Miyoki, N. Mio, S. Moriwaki, K. Numata, N. Kanda, Y. Aso, M-K. Fujimoto, K. Tsubono, K. Kuroda, and the TAMA collaboration: Search for Burst Gravitational Waves Using TAMA300 Data, *Proceedings in: 28th International Cosmic Ray Conference* pp.3067-3070, eds.: T. Kajita, Y. Asaoka, A. Kawachi, Y. Matsubara, M. Sasaki (2003 Universal Academy Press Inc. Tokyo).
- (国内雑誌)
- [22] 坪野公夫: TAMA300 重力波検出器の現状と今後、*応用物理学学会誌* **72-11** (2003) 1408-1412.
- (学位論文)
- [23] 高城毅: 宇宙空間レーザー干渉計重力波検出器の可能性、*修士論文*、2004年1月。
- < 学術講演 >
- (国際会議)
- 一般講演
- [24] K. Numata: Direct Measurement of Mirror Thermal Noise 5th Edoardo Amaldi Conference (July 09, 2003, Pisa, Italy).
- [25] M. Ando, K. Arai, R. Takahashi, D. Tatsumi, P. Beyersdorf, S. Kawamura, S. Miyoki, N. Mio, S. Moriwaki, K. Numata, N. Kanda, Y. Aso, M-K. Fujimoto, K. Tsubono, K. Kuroda, and the TAMA collaboration: Analysis for burst gravitational waves with TAMA300 data, 5th Edoardo Amaldi Conference (July 2003, Pisa, Italy).
- [26] M. Ando and the TAMA Collaboration: Search for burst gravitational waves with TAMA data, *The 8th Gravitational Wave Data Analysis Workshop* (December 2003, Milwaukee, Wisconsin, USA).
- [27] M. Ando, K. Arai, R. Takahashi, D. Tatsumi, P. Beyersdorf, S. Kawamura, S. Miyoki, N. Mio, S. Moriwaki, K. Numata, N. Kanda, Y. Aso, M-K. Fujimoto, K. Tsubono, K. Kuroda, and the TAMA collaboration: Analysis for burst gravitational waves with TAMA300 data, *the 28th International Cosmic Ray Conference* (August 2003, Tsukuba, Japan).
- [28] K. Yamamoto, S. Miyoki, T. Uchiyama, H. Ishitsuka, M. Ohashi, K. Kuroda, T. Tomaru, N. Sato, T. Suzuki, T. Haruyama, A. Yamamoto, T. Shintomi, K. Numata, K. Waseda, K. Ito, and K. Watanabe: Mechanical loss of reflective coating at low temperature, *The fifth Edoardo Amaldi conference on gravitational waves* (July 2003, Tirrenia, Italy).

- [29] K. Yamamoto, S. Miyoki, T. Uchiyama, H. Ishitsuka, M. Ohashi, K. Kuroda, T. Tomaru, N. Sato, T. Suzuki, T. Haruyama, A. Yamamoto, T. Shintomi, K. Numata, K. Waseda, K. Ito, and K. Watanabe: Mechanical loss of reflective coating at low temperature, The 28th International Cosmic Ray Conference (August 2003, Tsukuba, Japan).
- [30] Y. Aso: Active vibration isolation using a Suspension Point Interferometer, 2004 ASPEN Winter Conference on Gravitational Waves (Feb. 2004, Aspen Center for Physics, Aspen, Colorado, USA).
- 招待講演**
- [31] K. Tsubono: TAMA project, Thinking, Observing and Mining the Universe (Sep. 2003, Grand Hotel Vesuvio, Sorrent, Italy).
- [32] M. Ando and the TAMA collaboration: Observation Runs of TAMA300 Gravitational Wave Detector, XII-th International School on Particles and Cosmology (April 2003, Baksan Valley, Russia).
- [33] M. Ando: Recent results from gravitational wave detectors, The 6th RESCEU International Symposium (November 2003, University of Tokyo, Tokyo).
- (国内会議)**
- 一般講演**
- [34] 安東正樹, km スペース重力波アンテナの可能性, 第2回 スペース重力波アンテナワーキンググループミーティング (2003年5月, 国立天文台 三鷹キャンパス).
- [35] 新井宏二, 佐藤修一, 阿久津智忠, 高橋竜太郎, 長野重夫, 神田展行, 辰巳大輔, 常定芳基, 安東正樹, 三尾典克, 森脇成典, 武者満, 川村静児, 福嶋美津広, 山崎利孝, 藤本眞克, 坪野公夫, 大橋正健, 黒田和明, TAMA Collaboration, レーザー干渉計型重力波検出器 TAMA300 のパワーリサイクリング VIII (観測), 日本物理学会 2003 年秋季大会 (2003 年 9 月, 宮崎ワールドコンベンションセンター).
- [36] 佐藤修一, 新井宏二, 阿久津智忠, 高橋竜太郎, 長野重夫, 神田展行, 辰巳大輔, 常定芳基, 安東正樹, 三尾典克, 森脇成典, 武者満, 川村静児, 福嶋美津広, 山崎利孝, 藤本眞克, 坪野公夫, 大橋正健, 黒田和明, 他 The TAMA Collaboration, レーザー干渉計型重力波検出器 TAMA300 のパワーリサイクリング IX (検出器改良), 日本物理学会 2003 年秋季大会 (2003 年 9 月, 宮崎ワールドコンベンションセンター).
- [37] 阿久津智忠, 新井宏二, 佐藤修一, 高橋竜太郎, 長野重夫, 神田展行, 辰巳大輔, 常定芳基, 安東正樹, 三尾典克, 森脇成典, 武者満, 川村静児, 福嶋美津広, 山崎利孝, 藤本眞克, 坪野公夫, 大橋正健, 黒田和明, 他 The TAMA Collaboration, レーザー干渉計型重力波検出器 TAMA300 のパワーリサイクリング X (雑音解析), 日本物理学会 2003 年秋季大会 (2003 年 9 月, 宮崎ワールドコンベンションセンター).
- [38] 安東正樹, 新井宏二, 高橋竜太郎, 辰巳大輔, Peter Beyersdorf, 川村静児, 三代木伸二, 三尾典克, 森脇成典, 沼田健司, 神田展行, 藤本眞克, 坪野公夫, 黒田和明, 他 TAMA Collaboration, TAMA300 データを用いたバースト重力波解析, 日本物理学会 2003 年秋季大会 (2003 年 9 月, 宮崎ワールドコンベンションセンター).
- [39] 榎村幸, 副田憲志, 安東正樹, 坪野公夫, TAMA300 データを用いた連続重力波解析, 日本物理学会 2003 年秋季大会 (2003 年 9 月, 宮崎ワールドコンベンションセンター).
- [40] 黒田和明, 大橋正健, 三代木伸二, 内山 隆, 石塚秀喜, 山元一広, 早河秀章, 近藤寿浩, 奥富 聡, 笠原邦彦, 徳成正雄, 藤本眞克, 川村静児, 高橋竜太郎, 山崎利孝, 新井宏二, 辰巳大輔, 上田暁俊, 福嶋美津広, 佐藤修一, 長野重夫, 常定芳基, 朱宗宏, 新富孝和, 山本 明, 鈴木敏一, 斎藤芳男, 春山富義, 佐藤伸明, 東保男, 都丸隆行, 坪野公夫, 安東正樹, 高森昭光, 沼田健司, 麻生洋一, 植田憲一, 米田仁紀, 中川賢一, 武者満, 三尾典克, 森脇成典, 宗宮健太郎, 新谷昌人, 神田展行, 寺田聡一, 田越秀行, 中村卓史, 佐々木節, 田中貴浩, 大原謙一, 高橋弘毅, 前田恵一, 関戸 文, 阪田紫帆里, 川添史子, 宮川 治, M.E. Tobar, 大型低温重力波望遠鏡 (LCGT) 計画 VI, 日本物理学会 2003 年秋季大会 (2003 年 9 月, 宮崎ワールドコンベンションセンター).
- [41] 麻生洋一, 安東正樹, Riccardo DeSalvo, 坪野公夫, Suspension Point Interferometer による低周波防振 II, 日本物理学会 2003 年秋季大会 (2003 年 9 月, 宮崎ワールドコンベンションセンター).
- [42] 飯田幸美, 高森昭光, 安東正樹, 坪野公夫, 磁気浮上を利用した加速度計, 日本物理学会 2003 年秋季大会 (2003 年 9 月, 宮崎ワールドコンベンションセンター).
- [43] 坪野公夫, 川村静児, 中村卓史, 瀬戸直樹, 高野忠, 安東正樹, 井岡邦仁, 植田憲一, 神田展行, 阪上雅昭, 佐々木節, 佐藤孝, 柴田大, 田中貴浩, 千葉剛, 中尾憲一, 長野重夫, 沼田健司, 細川瑞彦, 横山順一, 吉野泰造, 端山和夫, 井上太郎, 真貝寿明, 田代寛之, 西條統之, 山元一広, 藤本眞克, 他 DECIGO ワーキンググループ, スペース重力波アンテナ DECIGO 計画 III, 日本物理学会 2003 年秋季大会 (2003 年 9 月, 宮崎ワールドコンベンションセンター).
- [44] 辰巳大輔, 常定芳基, 他 TAMA Collaboration, TAMA300 オンライン雑音解析, 日本物理学会 2003 年秋季大会 (2003 年 9 月, 宮崎ワールドコンベンションセンター).
- [45] 中野寛之, 高橋弘毅 A, 田越秀行, 佐々木節, 常定芳基, 神田展行, 辰巳大輔, The TAMA Collaboration, ブラックホール準固有振動重力波の探索テンプレートの設計, 日本物理学会 2003 年秋季大会 (2003 年 9 月, 宮崎ワールドコンベンションセンター).
- [46] 常定芳基, 神田展行, 中野寛之, 辰巳大輔, 田越秀行, 高橋弘毅 他 TAMA Collaboration, ブラックホール準固有振動にともなう重力波探査, 日本物理学会 2003 年秋季大会 (2003 年 9 月, 宮崎ワールドコンベンションセンター).

- [47] 高橋弘毅、田越秀行、神田展行、中野寛之、辰巳大輔、常定芳基、and The TAMA Collaboration, コンパクト連星合体重力波探査, 日本物理学会 2003 年秋季大会 (2003 年 9 月、宮崎ワールドコンベンションセンター).
- [48] 新井宏二、佐藤修一、高橋竜太郎、阿久津智忠、辰巳大輔、常定芳基、福嶋美津広、山崎利孝、長野重夫、安東正樹、森脇成典、武者満、神田展行、三尾典克、川村静児、藤本眞克、坪野公夫、大橋正健、黒田和明、TAMA Collaboration レーザー干渉計型重力波検出器 TAMA300 のパワーリサイクリング XI (観測), 日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月、九州大学箱崎キャンパス).
- [49] 佐藤修一、新井宏二、高橋竜太郎、阿久津智忠、辰巳大輔、常定芳基、福嶋美津広、山崎利孝、長野重夫、安東正樹、森脇成典、武者満、神田展行、三尾典克、川村静児、藤本眞克、坪野公夫、大橋正健、黒田和明、TAMA Collaboration, レーザー干渉計型重力波検出器 TAMA300 のパワーリサイクリング XII (検出器改良), 日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月、九州大学箱崎キャンパス).
- [50] 高橋竜太郎、新井宏二、佐藤修一、阿久津智忠、辰巳大輔、常定芳基、福嶋美津広、山崎利孝、長野重夫、安東正樹、森脇成典、武者満、神田展行、三尾典克、川村静児、藤本眞克、坪野公夫、大橋正健、黒田和明、TAMA Collaboration, レーザー干渉計型重力波検出器 TAMA300 のパワーリサイクリング XIII (自動運転), 日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月、九州大学箱崎キャンパス).
- [51] 高城毅、安東正樹、坪野公夫, 直接干渉型宇宙重力波検出器の可能性, 日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月、九州大学箱崎キャンパス).
- [52] 黒田和明、大橋正健、三代木伸二、内山隆、石塚秀喜、山元一広、早河秀章、岡田淳、近藤寿浩、奥富聡、笠原邦彦、徳成正雄、阿久津朋美、藤本眞克、川村静児、高橋竜太郎、山崎利孝、新井宏二、辰巳大輔、上田暁俊、福嶋美津広、佐藤修一、常定芳基、朱宗宏、新富孝和、山本明、鈴木敏一、斎藤芳男、春山富義、佐藤伸明、東保男、都丸隆行、坪野公夫、安東正樹、沼田健司、麻生洋一、植田憲一、米田仁紀、中川賢一、武者満、三尾典克、森脇成典、宗宮健太郎、竹野耕平、丹治亮、新谷昌人、高森昭光、神田展行、寺田聡一、長野重夫、田越秀行、中村卓史、佐々木節、田中貴浩、大原謙一、高橋弘毅、前田恵一、関戸文、阪田紫帆里、川添史子、宮川治、M.E. Tobar 大型低温重力波望遠鏡 (LCGT) 計画 VII, 日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月、九州大学箱崎キャンパス).
- [53] 麻生洋一、安東正樹、Riccardo DeSalvo、大塚茂巳、南城良勝、坪野公夫, Suspension Point Interferometer による低周波防振 III, 日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月、九州大学箱崎キャンパス).
- [54] 飯田幸美、高森昭光、安東正樹、坪野公夫, 磁気浮上型加速度計の開発, 日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月、九州大学箱崎キャンパス).
- [55] 阿久津智忠、新井宏二、佐藤修一、高橋竜太郎、辰巳大輔、常定芳基、川村静児、藤本眞克、他 The TAMA Collaboration, 重力波検出器 TAMA300 レーザー雑音による寄与の推定, 日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月、九州大学箱崎キャンパス).
- [56] 辰巳大輔、常定芳基、他 TAMA Collaboration, TAMA300 オンライン雑音解析 (2), 日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月、九州大学箱崎キャンパス).
- [57] 安東正樹、新井宏二、長野重夫、高橋竜太郎、佐藤修一、辰巳大輔、常定芳基、神田展行、川村静児、Peter Beyersdorf、Zonh-Hong Zhu、沼田健司、飯田幸美、麻生洋一、三尾典克、森脇成典、宗宮健太郎、三代木伸二、近藤寿浩、高橋弘毅、端山和大、他 TAMA Collaboration, TAMA300 データを用いたパースト重力波解析 II, 日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月、九州大学箱崎キャンパス).
- [58] 阿久津朋美、岡田淳、早河秀章、内山隆、三代木伸二、大橋正健、黒田和明、安東正樹、神田展行、辰巳大輔、寺田聡一、他 TAMA Collaboration, ALF フィルタを用いた TAMA300 データのパースト重力波解析, 日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月、九州大学箱崎キャンパス).
- [59] 常定芳基、神田展行、中野寛之、辰巳大輔、新井宏二、田越秀行、高橋毅弘 他 TAMA Collaboration, ブラックホール準固有振動に伴う重力波とイベント選別, 日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月、九州大学箱崎キャンパス).
- [60] 寺田聡一、辰巳大輔、阿久津朋美、岡田淳、大橋正健、黒田和明、TAMA Collaboration, レーザー干渉計型重力波検出器における時系列伝達関数補正, 日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月、九州大学箱崎キャンパス).

招待講演

- [61] 安東正樹, 重力波をとらえる, ICEPP Symposium 10 (2004 年 2 月 岳美山荘, 白馬, 長野).
- [62] 安東正樹, 干渉計型重力波検出器入門, 重力波物理学冬の学校 (2004 年 2 月 京都大学 基礎物理研究所, 京都).
- [63] 安東正樹, 重力波をもとめて, TEA03: New Direction of Particle Physics (2003 年 10 月 京都大学基礎物理研究所, 京都).