

1.1 坪野研究室

重力と相対論に関する実験的研究を進めている。特にその中でも、重力波検出は一貫して私達の研究室の中心テーマとなっている。また、空間の等方性検証は物理学の根幹に関わる課題である。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。

重力波がもっとも期待されるのは、新しい天文学としての役割である。重力波によって得られる情報は、これまでの電磁波による情報に比べて、全く異質で相補的であると考えられている。これが「重力波天文学」であり、私たちはこれによって新しい宇宙像を手に入れることができると予想している。技術的困難によって、未だ重力波検出には成功していないが、最近、世界的に研究が進み、その実現が近づいている。

日本の TAMA300 は、世界に先駆けて装置の運転が可能となった。現在、本格的な観測に向けて、技術的な調整を進めている。2000 年度には数ヶ月間の連続観測を計画している。欧米の装置が完成するまでの数年の間、TAMA300 は唯一の高感度重力波検出器として貴重な観測データを提供するだろう。既に、数日間レベルの観測運転が行われており、そこで得られたデータの解析も進んでいる [44, 45]。

また、TAMA の次の大型計画についても、東大宇宙線研を中心に検討が進められている [2, 41, 46]。今後数年の間に、世界的なネットワークの中で重力波観測が実現すると予想される。

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、日本国内の各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が、TAMA では他計画より 1~2 年先駆けて、2000 年度より本格的な観測を開始する予定である。現在までに、TAMA では、パワーリサイクリングを除くほぼ全ての要素技術を組み込んだ状態での動作が実現されており、感度や動作の安定度の向上が進められている。

TAMA300 は基線長 300m のファブリー・ペロー共振器を両腕に持つマイケルソン干渉計である。主干渉計を構成する光学素子は、それぞれ防振装置によって独立に懸架されている。また、干渉計は、大気の揺らぎによる光路長変動や音の影響を避けるために真空装置内に収められている。光源としては出力 10 W の Nd:YAG レーザーを用い、基線長 10 m のモードクリーナによって、レーザー光の空間モード整形と周波数安定化を行っている。[1, 4, 5, 12, 19,

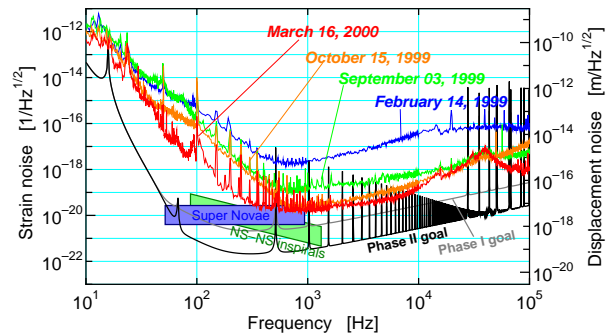


図 1.1.1: Achieved sensitivity curves of TAMA300.

25, 26, 27, 35, 42, 43, 48]

現在までに TAMA では、重力波振幅 $h_c \sim 10^{-19}$ という感度 (感度スペクトル $h \sim 5 \times 10^{-18} 1/\sqrt{\text{Hz}}$) が実現されている (図 1.1.1)。これは、TAMA で目標とする最終感度には 2 桁程度及ばないものの、現在稼働中のレーザー干渉計としては世界最高のものである。また、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検出可能な感度である。感度を制限する雑音源はほぼ特定されており (散乱光による雑音、鏡の姿勢制御による雑音等)、これらを改善していくことによって目標感度に到達できると考えられる。

一方、TAMA では、干渉計の長期安定度の評価・向上、また、データ解析手法の確立のために、数日程度の試験観測も何度か行なわれている。その結果、夜間であれば、干渉計は数時間程度、連続動作するという結果が得られている。動作時の干渉計は非常に安定であり、干渉計の共振器内部光強度の変動は 1% 程度に抑えられている。また、外乱の影響等で動作状態から外れても、10 分以内に観測に復帰できることが確認されており、長期観測に十分な安定度が得られているといえる。ただ、昼間は、外乱が大きいので長時間の安定動作には至っていない。これは、防振・懸架系の改良により本格観測前には改善される見込みである。[6, 7, 13, 22, 24, 33, 34, 49, 50]

高調波復調を用いたパワーリサイクリング干渉計の信号取得

Fabry-Peort-Michelson (FPM) 干渉計のパワーリサイクリングに関して、昨年に引き続き、高調波復調法を用いた制御信号取得法の研究を行った。[14, 28]

干渉計型重力波検出器を安定に動作させるには、反射鏡の間の光路長の変化をフィードバックによって制御する必要がある。この光路長変動の情報を取得する手法として、変調の高調波による復調を用いる方法 (高調波復調法) を考案し、これまでに、3m プロトタイプ干渉計型重力波検出器のこの手法による安定動作や手法の原理的な検証を行ってきた。

今年度は、3m 干渉計を利用した実験により、この高調波復調法の詳細な検証を行った。透過率が可変

の光学素子により干渉計内部の損失を変化させたところ、従来の手法で取得された信号が符号反転を起したり、振幅が大きく変化することがあったのに対し、高調波復調法の信号ではそのようなことが起こらないことを確認した。

また、高調波復調法を使えば干渉計内部から光を取り出すためのピックアップ鏡を使用しなくとも干渉計を動作させることが可能になるため、リサイクリングによる光量の利得(リサイクリングゲイン)の向上が期待できる。3m 干渉計では、実際にピックアップ鏡を取りのぞいた状態での干渉計制御に成功した。このときには、リサイクリング鏡の反射率を最適値に近いものに交換したことにより、リサイクリングゲインとして 3m 干渉計の光学構成でのほぼ限界値である 5.4 を達成した。

多段懸架干渉計の開発

当研究室では、多段懸架された干渉計の開発を進めている。これは、制御によって安定化された上段干渉計によって下段干渉計を懸架したものであり、地面振動による外乱を除去するとともに、より安定かつ低雑音な制御系を構成できる可能性を持っている。

地面振動は、干渉計の安定度を損ねる最大の外乱であり、地球上に建設されたレーザー干渉計重力波検出器の感度を低周波数で制限する雑音源でもある。従って、干渉計を地面振動の影響から守るための防振・懸架装置の開発は重力波検出器開発の要となる部分である。現在世界で建設中の干渉計では、振り子やスタックなどを用いた防振装置が用いられており、その共振周波数付近の大きな変動は、近くに置かれた変位センサー(または加速度センサー)を用いた制御や、強力磁石による渦電流によってローカルに抑圧されている。しかし、これらの手法では、変位センサーの雑音やセンサー等の局所的な振動によって防振比が制限されてしまう。

多段懸架干渉計では、干渉計において最も感度の良いセンサーである干渉計自身の信号を用いてグローバルに制御を行うため、センサーの雑音やローカルな変動による振動の混入の問題を避けることが可能となる。また、下段干渉計は上段干渉計からさらに防振されるため、上段干渉計制御に課せられる制約が緩和され、より安定な動作を実現することが期待できる。現在、基線長数 10cm 程度の多段懸架干渉計を試作し、その動作原理の確認実験を行っている。

GEO600

ドイツの重力波検出器プロジェクトである GEO プロジェクトとの研究協力の一環として、Max-Planck-Institut für Quantenoptik において、30m プロトタイプ干渉計を使った狭帯域干渉計の研究を行っている。パワーリサイクリングとシグナルリサイクリングを同時に行った場合の干渉計の振舞い、アライメントの安定化等をテーマに実験を行っている。

1.1.2 宇宙空間重力波検出実験

宇宙空間レーザー干渉計の研究

21 世紀の重力波天文学を考えた場合、宇宙空間が実験観測の重要な舞台になることは必然である。NASA/ESA による LISA 計画では、2010 年前後に、宇宙空間に巨大なレーザー干渉計を作り、低周波での重力波観測を開始する。低周波において、もっとも興味深いのは、宇宙論的な起源をもつ背景重力波放射である。ビッグバンがマイクロ波の背景放射を残したように、重力波の背景放射も残っているはずである。ビッグバン後 10^{-25} s に生じた重力波が、ストカスティックな背景放射として、今でも残っている可能性がある。このほかに、インフレーションに起因するものや、宇宙紐などのトポロジ的欠陥から生じる背景放射が考えられている。

スペース実験は長期的視野にたつ必要があるが、より豊かな重力波天文学の実現には宇宙空間実験は不可欠である。しかし残念ながら、これまで日本には、宇宙空間での重力波実験の基盤はまったくなかった。そこで昨年度より、スペース実験の手がかりを得るため、研究会などを開き議論を始めている。また、宇宙研などに働きかけて、スペース実験具体化の方策を練っている。[23]

1.1.3 相対論の基礎実験

空間の等方性検証

特殊相対性理論で仮定されている空間の等方性、すなわち光速の等方性を検証するために、2 台のレーザーと光共振器を用いた光学的手法による、光速の方向依存性測定システムを開発している。実験システムの基本概念は、「Brillet-Hall の実験」のものと同様であるが、1 桁の感度向上を図るため、本実験では以下の雑音抑制措置をとる。

(a) 温度変化抑制: 共振器のスペーサとして、ある温度で線膨張率が 0 になる特殊ガラス ClearCeram 55 を採用する。温度調整器として Peltier 素子を用いて、その温度に共振器温度を PID 制御する。これにより、温度変化に伴う共振器長変化を抑制する。(b) 傾き変化抑制: 水平面に対する共振器の傾きを、油に浮かせた鏡を参照水平面とする光てこを用いた高感度傾斜計を用いて検出し、積層圧電アクチュエータによって制御する。これにより、傾きの変化に伴う共振器の重力による変形を抑制する。(c) 回転に伴う雑音の抑制: 動作をコンピュータプログラムにより制御できる回転台を用いて、共振器を光源などの光学系とともに回転させる。また、その際 $\pm 180^\circ$ の範囲を離散的に回転させ、観測は静止中に行う。これにより、回転速度の変化に伴う共振器長の変化、Doppler 効果などの周波数変動要因を抑制する。

今年度は、以下の開発を行った。

- レーザ周波数の共振ロック機構の安定化
- 真空中での共振ロック
- 真空中での共振器温度制御過渡特性の向上

○ビート周波数取得系の構築

これらにより、ClearCeram Z をスペーサとした試験用共振器を用いてビート周波数観測による実験システムの評価をすることができた。

上述の成果のほか、当研究室の大石によって、傾き検出器の開発実験が行われ、昨年度からの感度向上がなされた。また、同じく高森によって、共振器回転機構の開発が進められた。[10, 32, 37]

1.1.4 熱雑音の研究

機械コンダクタンスの直接測定による熱雑音の推定

干渉計型重力波検出器では、干渉計を構成する鏡の熱振動が、検出器の感度を制限する深刻な問題となることが予想されている。しかし、このような機械系の共振周波数から離れた周波数における熱振動は非常に小さいため、実際に測定することはたいへん困難である。したがって、従来はモード展開を使って熱振動の大きさを推定していた。

しかし、モード展開を使った推定法には、散逸が非一様に分布した系での熱振動を正確に推定できないという欠点がある。一方、干渉計型重力波検出器、TAMA300 に用いられる鏡では、非一様な散逸が無視できないことがわかってきた。そこで、当研究室では、散逸が非一様な場合にも正しい推定をするために、反共振を使って機械コンダクタンスを直接測定し、これに揺動散逸定理を適用して熱振動を推定するという方法を提案し、研究してきた [3, 9]。

これまでに、小さな機械振動子を用いて、実際に反共振周波数で機械コンダクタンスを直接測定できることを確認した。また、測定されたコンダクタンスを使った推定値と、実際に測定された熱振動が一致することを確認し、この方法の有用性を確認した [38]。更に、この方法を干渉計に用いる鏡への応用することも検討している [30, 16]。

非一様な散逸による熱雑音の研究

懸架系や鏡の熱雑音は干渉計型重力波検出器の観測帯域の感度を最終的に制限すると考えられている。このため熱雑音の大きさを推定することは重要なことである。従来はモード展開という方法を用いて推定を行ってきたが、この方法は散逸が非一様に分布しているときは正しい結果を与えないと予想されている。事実昨年度報告した新しい推定方法は異なる結果を与える。そこで非一様な散逸を持つ系の熱雑音についての研究を昨年ひきつづき行った。

まず非一様な散逸を持つ系の熱雑音を実際に測定することによりモード展開が破綻するか否かを調べた。アルミで出来た板バネの一部にのみ強力な永久磁石を利用して eddy current damping をかけて熱振動を Michelson 干渉計で測定した。結果の一例を図 1.1.2 にあげる。明らかにモード展開と実測値がず

れている。これは実験的にモード展開の破綻が確認された初めてのケースである。また新しい方法で計算したスペクトルは実験と一致した [8, 18, 31]。

モード展開の破綻と新しい方法の妥当性が実験的に確認されたので、従来のモード展開に頼った検出器の熱雑音の推定は見直さなければならない。そこで非一様な散逸を持つ鏡の熱雑音を、新しい方法を有限要素法で実行することにより推定した。その結果以下のようなことが判明した。干渉計を安定に動作させるために鏡に磁石を接着する必要があるが、モード展開によるとこの接着により熱雑音が著しく大きくなることが知られており、大きな問題となっていた。しかし新しい方法で推定しなおしたところ、磁石の接着による熱雑音の増加はほとんど問題にならないことがわかった。これにより重力波検出器に関する要求の1つが大幅に緩和されることになった [40]。

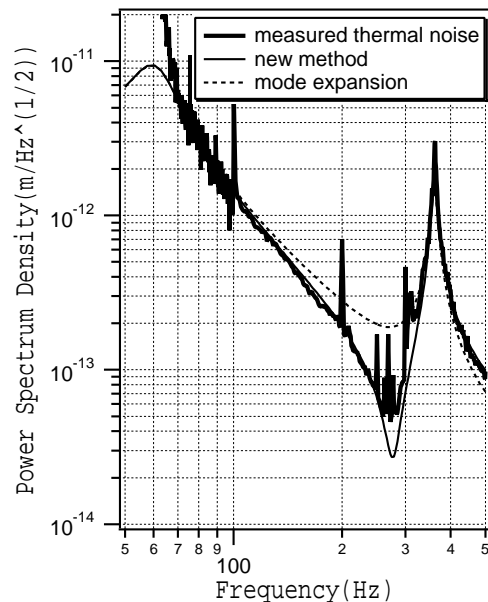


図 1.1.2: The measured spectrum of thermal noise and the estimation of the new method and mode expansion. It is obvious that the measured noise is consistent with the new method.

鏡材料の機械損失に関する研究

TAMA300 の最終感度を決定する鏡の熱雑音の下限の推定のため、低損失鏡材料の機械損失を測定する実験を行った。試料の支持系により導入される損失によって、測定される損失の大きさが制限を受けないようにするため、材料の振動モードの不動点を点接触で支える装置を開発し、測定を行った。[11, 47]

TAMA300 で用いられる熔融石英鏡の測定では、全てのモードで周波数に依らない一定の Q 値 3×10^6

を得た。この Q 値は TAMA300 の目標感度を達成するには不足していた。[36] サファイア単結晶の測定では、円柱側面部での損失により鏡の Q 値が制限されていることが確認された。Q 値の最高値は 6×10^7 であった。シリコン単結晶の測定では、Q 値の最高値は 1×10^8 に達した。これは室温でのシリコン単結晶での Q 値の測定値としては最高のものである。サファイアやシリコンを用いれば、TAMA300 の目標感度の達成見込みがあることが示された。これら、結晶による異方性を含む材料の振動モードは、有限要素法によって詳細に解析された。[15, 29]

低損失の鏡材料の機械損失を直接測定する手法は、これらによって確立されたといえる。今後はこの手法を応用して、鏡に加わる付加的な損失の定量的な評価、内部摩擦の研究に応用する予定である。

1.1.5 精密計測の研究

低周波防振装置 SAS の開発

次世代レーザー干渉計型重力波重力波検出器のための R&D として、当研究室ではカリフォルニア工科大学と共同で低周波防振装置 SAS (Seismic Attenuation System) の開発を行っている [39, 17]。

SAS は次世代重力波検出器の低周波での感度と動作の安定性を向上させることを目的とした機械フィルターである。

SAS は受動的な機械系と能動制御の 2 つの要素から成り立っている。受動的な機械系では系の共振周波数よりも十分高い帯域で有意な防振効果が得られるため、SAS では全自由度にわたって超低周波 (10 mHz ~ 100 mHz) の共振周波数を実現する。

従来、このような受動的な低周波防振装置においては、鉛直方向に働く機械系の開発が困難とされていた。鉛直方向の防振装置は、干渉計の鏡懸架装置などを支持しつつ、低周波で共振するようなものでなくてはならない。例えば線形バネを利用すると 100 mHz の共振周波数はバネの伸び 25 m に対応し、非現実的なスケールになってしまう。この問題を解決するために、SAS 開発グループでは非線形バネを用いた防振装置 (GASF: Geometric Anti-Spring Filter) を開発した。GASF は非常にコンパクトな装置でありながら、100 kg 以上の荷重を支え、300 mHz 以下の共振周波数を実現した [20]。現在、改良を重ねより単純で優れた防振特性を持つ装置の開発を行っている [47]。GASF によって、鉛直面内での 3 自由度の低周波防振が実現可能である。

光軸を含む水平面内での 3 自由度については、重力による Anti-Spring 効果を用いた倒立振り子により、10 mHz 前後の共振周波数を達成した。

SAS は、倒立振り子と超低周波に設定された GASF を土台とし、そこから目標とする防振性能に応じて複数の GASF を懸架する。鏡懸架装置は最終段の GASF に取り付けられる。

SAS における能動防振は、低周波に存在する機械系の共振をダンピングすることを目的としたものであり

(Inertial Damping)、重力波の観測帯域 (10 Hz 以上) では制御ゲインをもたない。また、Inertial Damping のための振動検出、フィードバックはすべてもつとも鏡から遠い初段 GASF および倒立振り子で行われるため、制御系からの雑音の混入を防ぐことが可能である [17, 21]。

また、当研究室では、LIGO のシミュレーショングループと共同で SAS をはじめとする機械系のシミュレーションプログラムの開発も行っている [21]。

現在、その有効性を実際の干渉計で評価するために、SAS を当研究室の 3m プロトタイプ干渉計に組み込むための実験を進めている [39]。

< 報文 >

(原著論文)

- [1] A. Araya, S. Telada, K. Tochikubo, S. Taniguchi, R. Takahashi, K. Kawabe, D. Tatsumi, T. Yamazaki, S. Kawamura, S. Miyoki, S. Moriwaki, M. Musha, S. Nagno, M.-K. Fujimoto, K. Horikoshi, N. Mio, Y. Naito, A. Takamori, and K. Yamamoto, Absolute-length Determination of a Long-baseline Fabry-Perot Cavity by Means of Resonating Modulation Sidebands, *Appl. Opt.* **38** (1999) 2848.
- [2] K. Kuroda, M. Ohashi, S. Miyoki, D. Tatsumi, S. Sato, H. Ishizuka, M.-K. Fujimoto, S. Kawamura, R. Takahashi, T. Yamazaki, K. Arai, M. Fukushima, K. Waseda, S. Telada, A. Ueda, T. Shintomi, A. Yamamoto, T. Suzuki, Y. Saito, T. Haruyama, N. Sato, K. Tsubono, K. Kawabe, M. Ando, K. Ueda, H. Yoneda, M. Musha, N. Mio, S. Moriwaki, A. Araya, N. Kanda, M. Tobar, Large-scale Cryogenic Gravitational Wave Telescope, *Int. J. Mod. Phys. D* **8** (1999) 557.
- [3] N. Ohishi, S. Otsuka, K. Kawabe, and K. Tsubono, Estimation of Thermal Noise by a Direct Measurement of the Mechanical Conductance, *Phys. Lett. A* **266** (2000) 228.
- [4] Masaki Ando, Koji Arai, Keita Kawabe, and Kimio Tsubono, Signal-separation experiments for a power-recycled Fabry-Perot-Michelson interferometer by sideband elimination, *Physics Letters A* **268** (2000) 268.

(会議抄録)

- [5] K. Tsubono: TAMA300 laser interferometer for gravitational wave detection, *Proc. Interferometry '99 Techniques and Technologies*, Pultusk, Poland 1999 (SPIE Vol. 3744) Eds. M. Kujawińska and M. Takeda, p.11-p.17.
- [6] Masaki Ando, Kimio Tsubono, and the TAMA collaboration: TAMA Project: Design and Current Status, *Proceedings of the 3rd Amaldi Meeting* (in press).
- [7] Masaki Ando and the TAMA collaboration: Current Status of the TAMA300 Interferometer, *Gravitational Wave Detection II, Proceedings of the 2nd TAMA Workshop* (in press).

- [8] K. Yamamoto, S. Otsuka, K. Kawabe, and K. Tsubono: Thermal noise of inhomogeneous loss, *Gravitational Wave Detection II*, (Universal Academy Press, 2000) (in press).

(学位論文)

- [9] 大石奈緒子: 機械コンダクタンスの直接測定による熱雑音の推定、博士論文、1999年12月。
 [10] 関谷淳: 空間の等方性検証実験、修士論文、2000年1月。
 [11] 沼田健司: 鏡材料の機械損失に関する研究、修士論文、2000年1月。

< 学術講演 >

(国際会議)

一般講演

- [12] K. Kawabe and K. Tsubono: TAMA300 laser interferometer for gravitational wave detection, *Interferometry '99* (September, Pultusk, Poland 1999).
 [13] Masaki Ando, S. Nagano, K. Arai, S. Taniguchi, Gerhard Heinzl, R. Takahashi, S. Kawamura, D. Tatsumi, S. Telada, A. Okutomi, S. Moriwaki, T. Kanda, M. Fukushima, T. Yamazaki, M. Ohashi, N. Mio, K. Kawabe, A. Araya, M. Musha, K. Tochikubo, N. Ohishi, K. Yamamoto, A. Takamori, A. Sekiya, K. Numata, S. Ohtsuka, A. Ueda, S. Miyoki, S. Sato, K. Ueda, M.-K. Fujimoto, K. Tsubono, K. Kuroda, and the TAMA collaboration: Current status of the TAMA300 interferometer, *The 2nd TAMA Workshop* (October 20, 1999, Tokyo, Japan).
 [14] K. Arai, M. Ando, K. Kawabe, K. Tsubono, S. Moriwaki, *New Signal Extraction Scheme with Harmonic Demodulation for Power-recycled Fabry-Perot Michelson Interferometers*, 2nd TAMA Workshop, National Olympics Memorial Youth Center (Tokyo, Japan), Oct. 1999.
 [15] K. Numata: Measurement of intrinsic quality factors of low loss materials, *The 2nd TAMA Workshop*, (Tokyo, Japan, Oct. 1999).
 [16] N. Ohishi, S. Otsuka, K. Kawabe, K. Tsubono: Estimation of the thermal noise by direct measurement of the mechanical conductance at an anti-resonant frequency *The 2nd TAMA Workshop on Gravitational Wave Detection*, (Tokyo, Japan, Oct. 1999).
 [17] A. Takamori *et al*, *Development of the Seismic Attenuation System (SAS) for Advanced Gravitational Wave Detectors*, 2nd TAMA Workshop, National Olympics Memorial Youth Center (Tokyo, Japan), Oct. 22, 1999.
 [18] K. Yamamoto, S. Otsuka, K. Kawabe, and K. Tsubono: Thermal noise of inhomogeneous loss, *The second TAMA Workshop on Gravitational Wave Detection* (Tokyo, Japan, Oct. 1999).

- [19] K. Tsubono, *Summary Talk*, 2nd TAMA Workshop, National Olympics Memorial Youth Center (Tokyo, Japan), Oct. 1999.

- [20] A. Takamori, *Status Report on Geometric Anti-Spring Filter (GASF)*, LIGO SEI-SUS Meeting, University of Glasgow (Glasgow, UK), Dec. 17, 1999.

- [21] A. Takamori, *SAS Simulation for LIGO II*, LIGO Scientific Collaboration Council (LSC) Meeting 6, LIGO Livingston Observatory (Louisiana, USA), Mar. 16, 2000.

招待講演

- [22] Masaki Ando, Kimio Tsubono, and the TAMA collaboration: Current Status of the TAMA Interferometer, *The 3rd Amaldi Meeting* (July 13, 1999, California Institute of Technology, U. S. A.).

(国内会議)

一般講演

- [23] 坪野公夫, スペース重力波実験の可能性, 第2回フォーメーションフライト研究会、(宇宙研相模原、1999年12月)
 [24] 安東正樹, 長野重夫, 谷口信介, 新井宏二, Gerhard Heinzl, 高橋竜太郎, 川村静児, 辰巳大輔, 寺田聡一, 奥富聡, 森脇成典, 神田展行, 福嶋美津広, 山崎利孝, 大橋正健, 三尾典克, 河邊径太, 新谷昌人, 武者満, 朽久保邦治, 大石奈緒子, 山元一広, 高森昭光, 関谷淳, 沼田健司, 大塚茂巳, 上田暁俊, 三代木伸二, 佐藤修一, 植田憲一, 藤本真克, 坪野公夫, 黒田和明, 他 TAMA グループ: レーザー干渉計重力波検出器 TAMA300 の開発 IV、日本物理学会 1999 年秋の分科会 (島根大学、1999 年 9 月)
 [25] 長野重夫, 安東正樹, 谷口信介, 寺田聡一, 関谷淳, 森脇成典, 河邊径太, 武者満, 辰巳大輔, 奥富聡, 新井宏二, 山元一広, 高橋竜太郎, 福嶋美津広, 山崎利孝, 神田展行, 大橋正健, 坪野公夫, 黒田和明, 三尾典克, 植田憲一, 川村静児, 藤本真克, 他 TAMA Collaboration レーザー干渉計型重力波検出器 TAMA300 の開発 V、日本物理学会 1999 年秋の分科会 (島根大学、1999 年 9 月)
 [26] 谷口信介, 安東正樹, 長野重夫, Gerhard Heinzl, 寺田聡一, 関谷淳, 川村静児, 高橋竜太郎, 森脇成典, 河邊径太, 新谷昌人, 朽久保邦治, 高森昭光, 山元一広, 新井宏二, 大石奈緒子, 三尾典克, 大橋正健, 山崎利孝, 福嶋美津広, 辰巳大輔, 沼田健司, 大塚茂巳, 神田展行, 三代木伸二, 藤本真克, 坪野公夫, 黒田和明, TAMA collaborations、レーザー干渉計型重力波検出器 TAMA300 の開発 VI、日本物理学会 1999 年秋の分科会 (島根大学、1999 年 9 月)
 [27] 辰巳大輔, 神田展行, 奥富聡, 森脇成典, 安東正樹, 寺田聡一, 川村静児, TAMA collaboration、TAMA 300 における干渉計較正について、日本物理学会 1999 年秋の分科会 (島根大学、1999 年 9 月)

- [28] 新井宏二, 安東正樹, 森脇成典, 河邊径太, 坪野公夫, 3m Fabry-Perot-Michelson 型重力波検出器のパワーリサイクリング IX, 日本物理学会 1999 年秋の分科会 (島根大学, 1999 年 9 月)
- [29] 沼田 健司, 関谷 淳, 大石 奈緒子, 大塚 茂巳, 河邊 径太, 坪野 公夫: 低損失材料の intrinsic Q 値測定 II, 日本物理学会 1999 年秋の分科会 (島根大学, 1999 年 9 月)
- [30] 大石奈緒子, 大塚茂巳, 河邊径太, 坪野公夫: 反共振を利用した熱雑音の推定-干渉計型重力波検出器に用いる鏡への応用-, 日本物理学会 1999 年秋の分科会 (島根大学, 1999 年 9 月)
- [31] 山元一広, 大塚茂巳, 河邊径太, 坪野公夫: 非一様な散逸による熱雑音の研究 III, 日本物理学会 1999 年秋の分科会 (島根大学, 1999 年 9 月)
- [32] 関谷淳, 上田晃三, 高森昭光, 大石奈緒子, 河邊径太, 坪野公夫, 2 台のレーザーによる空間の等方性の検証, 日本物理学会 1999 年秋の分科会 (島根大学, 1999 年 9 月)
- [33] 安東正樹, TAMA グループ: 300m レーザー干渉計重力波検出器 (TAMA300) 開発の現状, 宇宙線シンポジウム: TAMA と重力波研究の最新の成果, 日本物理学会 2000 年春の分科会 (近畿大学, 2000 年 3 月)
- [34] 新井宏二, 安東正樹, 長野重夫, Gerhard Heinzel, 高橋竜太郎, 川村静児, 辰巳大輔, 寺田聡一, 森脇成典, 神田展行, 谷口信介, 河邊径太, 関谷淳, 朽久保邦治, 新谷昌人, 山元一広, 大石奈緒子, 高森昭光, 上田晃三, 三尾典克, 大橋正健, 山崎利孝, 福嶋美津広, 沼田健司, 大塚茂巳, 三代木伸二, 武者満, 植田憲一, 藤本真克, 坪野公夫, 黒田和明, 他 TAMA Collaboration, レーザー干渉計型重力波検出器 TAMA300 の開発 VII, 日本物理学会 2000 年春の分科会 (近畿大学, 2000 年 3 月)
- [35] 長野重夫, 安東正樹, 新井宏二, Gerhard Heinzel, 谷口信介, 寺田聡一, 関谷淳, 森脇成典, 河邊径太, 武者満, 辰巳大輔, 奥富聡, 三代木伸二, 山元一広, 大石奈緒子, 沼田健司, 新谷昌人, 高橋竜太郎, 福嶋美津広, 山崎利孝, 神田展行, 大橋正健, 坪野公夫, 黒田和明, 三尾典克, 植田憲一, 川村静児, 藤本真克, 他 TAMA Collaboration, レーザー干渉計型重力波検出器 TAMA300 の開発 VIII, 日本物理学会 2000 年春の分科会 (近畿大学, 2000 年 3 月)
- [36] 沼田健司, 関谷淳, 大石奈緒子, 大塚茂巳, 河邊径太, 安東正樹, 坪野公夫: 低損失材料の intrinsic Q 値測定 III, 日本物理学会 2000 年春の分科会 (近畿大学, 2000 年 3 月)
- [37] 関谷淳, 上田晃三, 高森昭光, 大石奈緒子, 河邊径太, 坪野公夫: 2 台のレーザーによる空間の等方性の検証 II, 日本物理学会 2000 年春の分科会 (近畿大学, 2000 年 3 月)
- [38] 大石奈緒子, 大塚茂巳, 河邊径太, 安東正樹, 坪野公夫: 反共振を利用した熱雑音推定法の検証-熱雑音の直接測定- 日本物理学会 2000 年春の分科会 (近畿大学, 2000 年 3 月)
- [39] 高森昭光, David Akhavan, Alessandro Bertolini, Giancarlo Cella, Erika D'Ambrosio, Riccardo DeSalvo, Joe Kovalik, Henry Lubatti, Szabolcs Marka, Virginio Sannibale, Hareem Tariq, Nicolas Viboud, Hiroaki Yamamoto, 安東正樹, 坪野公夫: *Seismic Attenuation System (SAS) for gravitational wave detectors*, 日本物理学会 2000 年春の分科会 (近畿大学, 2000 年 3 月)
- [40] 山元一広, 大塚茂巳, 安東正樹, 河邊径太, 坪野公夫: 非一様な散逸による熱雑音の研究 IV, 日本物理学会 2000 年春の分科会 (近畿大学, 2000 年 3 月)
- [41] 黒田和明, LCGT Collaboration: km スケール低温重力波望遠鏡計画の進展, 日本物理学会 2000 年春の分科会 (近畿大学, 2000 年 3 月)
- [42] 宗宮健太郎, 森脇成典, 三尾典克, 山元一広: デジタル制御による干渉計の Beam Centering 実験, 日本物理学会 2000 年春の分科会 (近畿大学, 2000 年 3 月)
- [43] 新井宏二, 他 TAMA グループ: TAMA300 の現状 (6), 日本天文学会 2000 年春季年会 (東京大学, 2000 年 4 月)
- [44] 神田展行, 他 TAMA グループ: TAMA300 重力波検出器のデータ取得と解析, 日本天文学会 2000 年春季年会 (東京大学, 2000 年 4 月)
- [45] 田越秀行, 田中貴浩, 神田展行, 大橋正健, 寺田聡一, 他 TAMA グループ: TAMA300 による合体するコンパクト連星からの重力波探査, 日本天文学会 2000 年春季年会 (東京大学, 2000 年 4 月)
- [46] 黒田和明, 他 LCGT グループ: km スケール低温重力波望遠鏡 (LCGT) 計画, 日本天文学会 2000 年春季年会 (東京大学, 2000 年 4 月)
- (セミナー)
- [47] K. Numata: *Measurement of quality factors of low loss materials*, Special LIGO scientific seminar, (California Institute of Technology, California, Mar. 2000)
- [48] A. Takamori, *Development of the Suspension System for TAMA300*, VIRGO seminar, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (S. Piero a Grado, Italy), Jun 16, 1999.
- [49] 安東正樹, TAMA グループ, 300m レーザー干渉計重力波検出器 (TAMA300) 開発の現状, LCGT 計画に関する研究会 (2000 年 2 月 3 日, 神岡宇宙素粒子研究施設).
- [50] 新井宏二, TAMA グループ, TAMA300 の高感度化, LCGT 計画に関する研究会 (2000 年 2 月 3 日, 神岡宇宙素粒子研究施設).