

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、人類の新たな知につながる。[9, 43]

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。また、日本でも最近、宇宙空間を利用したレーザー干渉計によって重力波を検出する研究が活発になってきた。将来は日本独自のDECIGOという衛星重力波検出器を打ち上げて、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検討中である。

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のような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。これまで取得された 3000 時間以上におよぶデータは現在、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。また現在は、散乱光の対策をするなどによって干渉計の感度を向上するための作業が続けられている。TAMA SAS とよばれる次世代の防振装置を TAMA に組み込むための準備も進んでいる。[3, 12, 14, 17, 18, 20, 22, 24, 31, 32]

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的な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、10 msec 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、バースト的な重力波は、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。

TAMA300 で 2003 年末から 2004 年初めにかけて得られた観測データの解析を行なった結果、明らかな重力波イベントの証拠は見つからなかった。そこで、その結果を、銀河系内のイベントシミュレーション結果と比較することで、我々の銀河系内のイベントレートに対して $2 \times 10^3 \text{ event/sec}$ という上限値を与えた。この値は、理論的な予測値より大きな値であり、検出器の非定常雑音に起因する偽イベントの影響を除去する事が今後の課題として明らかとなった。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。[1, 2, 6, 8, 15, 21, 28, 29, 36, 37, 38, 39, 42]

TAMA300 データを用いた連続重力波解析

TAMA DT9 のうち 11 日間分のデータを使い、SN1987A 残骸にあると考えられているパルサーから放出されている連続重力波をターゲットにして解析を行った。その結果、有意な重力波信号は見つからなかった。そこで、放出されている重力波振幅に対する上限値 (upper limit) を求めた。

今までの解析方法には、大きな SN ロス (信号対雑音比のロス)、雑音の仮定など、問題点があった。今回の解析では、これらの問題点を改善し、より高い信頼度でよりよい上限値を求めることができた。また、今までより多くのデータが集まったことによる計算時間の増大に対処するために効率よく計算を行った。さらに、干渉計の雑音により作られた重力波信号と似たイベント (偽イベント) を取り除くために、相関 (coincidence) 解析を行った。[13, 26, 30]

非定常雑音の除去

TAMA300 は非常に高い感度をもつために、様々な外乱によって不安定になりやすい。結果として干渉計出力にしばしば干渉計の不安定性に起因する非

定常雑音が含まれる。そのために、TAMA300のメイン信号が大きく動いた場合に、本当に重力波の影響か非定常雑音の影響かを区別できない。そこで、非定常雑音除去のためにメイン信号とモニター信号に異常なカップリングがないかを全てのモニター信号に対して系統的に評価した。モニター信号とは、メイン信号と同時に干渉計の状態を調べるために記録されている補助信号である。本物の重力波はモニター信号には影響を与えないために、もし異常なカップリングがあれば、干渉計の不安定による非定常雑音の影響と考えることができる。我々はこの方法でバースト重力波候補に紛れ込んだ非定常雑音の除去を行っている。[21]

次期大型レーザー干渉計計画 LCGT

現在、TAMA300を含めて世界各国で稼働中の重力波検出器は、我々の銀河系内で発生した連星中性子星合体からの重力波イベントを検出するのに十分な感度を持っている。ただ、このようなイベントが発生する確率は 10^5 年に1回程度という非常に稀なものである。そこで、重力波を用いた本格的な天文学の創生を目指して次世代検出器の建設計画が、世界各国で進められている。

その中で、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 2 台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 桁以上高い感度を実現する。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。

現在、LCGT の具体的な設計と、その実現のための要素技術の研究開発が日本の各機関で精力的に進められている。その中で、当研究室では、高性能防振装置の開発、干渉計方式の最適化の研究、干渉計制御方式の研究などが行なわれている。[10, 11, 19, 27, 35]

1.1.2 宇宙空間レーザー干渉計

宇宙空間レーザー干渉計 DECIGO

宇宙空間を利用したレーザー干渉計によって重力波を検出する計画を本格的に検討している。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 1 mHz ~ 10 mHz 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、

0.1 Hz の周波数を観測する DECIGO が検討されている。0.1 Hz 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 と地上干渉計の周波数帯域の間にある連星 (MBH など) の合体、(2) 初期宇宙起源の重力波などが挙げられる。[40]

FP-DECIGO

宇宙空間でレーザー干渉計型重力波検出器は、スペースクラフト間の距離を、レーザー光によって精密に計測する事で実現される。当研究室では DECIGO における精密測距方式として、ファブリー・ペロー共振器を用いたデザイン (FP-DECIGO) を提案し、そのための基礎研究を行なっている。

FP-DECIGO では、30 km (もしくは 500 km) 離れた 3 台のスペースクラフトでファブリー・ペロー共振器を構成し、共振器内にレーザー光を蓄える事で、これまでに提案されているものより 1-2 桁高い感度が実現できることが期待できる。

ただ、その実現のためには、鏡間の距離を光の波長 (約 $1 \mu\text{m}$) よりも十分小さい変動に抑える必要がある。そこで、当研究室では、スペースクラフトの軌道計算や、制御用のアクチュエータの開発、また、宇宙環境で利用できる安定化レーザー光源システムの開発等に取り組んでいる。[41]

1.1.3 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、幅広い周波数帯域で直接測定することは通常非常に難しい。それゆえ、熱雑音の振幅は推定により考慮されることが多かった。本研究室では、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システムを開発し、実験を行っている [16]。

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。地面振動、散射雑音、周波数雑音、強度雑音、電気雑音などの各種雑音は効率的に抑えられるように、かつ、熱雑音の効果が大きくなるようにシステムはデザインされている。これまで、BK7 の鏡基材による熱雑音、および熔融石英上のコーティングによる熱雑音を測定した。今年度は、LIGO との協力の下、次世代干渉計の基材の候補の一つであった、サファイア基材における熱雑音を測定した。

この実験のためのサファイア鏡基材は、LIGO により準備され、本実験室のシステムに導入された後、変位雑音が測定された。図 1.1.1 に測定された変位雑音を示す。太い実線は理論的に予言される熱雑音レベルである。この理論レベルには、サファイア基材

における thermoelastic noise の効果が一番の寄与を持っており、特有の周波数依存性がある。ほぼ3桁の周波数に渡り実験値が理論値とよく一致していることが分かる。この測定は、熱統計力学により理論的に予言されていた thermoelastic noise の広帯域での最初の直接測定の一つとなった。この結果は理論の検証という意味で物理的にも重要であり、次世代重力波検出器にとっても大きな意味を持つ。

また、これまで行われてきた、低損失熔融石英に関する結果をまとめ、発表を行った [5]。これらの結果を受け、次世代 LIGO ではサファイアを採用せず、熔融石英を採用することが決定されている。[16]

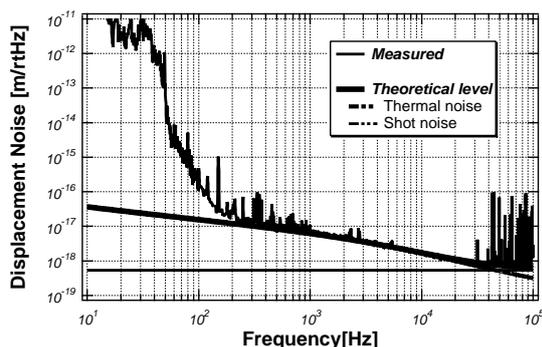


図 1.1.1: サファイア基材を用いた鏡の熱雑音の測定結果。点線はおのこの理論値を示す。低周波の方位雑音は地面振動により制限されている。

非一様な散逸による熱雑音の研究

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。しかし様々な実験（当グループで行われたものも含む）によるとモード展開は系内部の散逸が非一様に分布しているときは正しい答えを与えない。そこでモード展開を散逸が非一様な場合にも適用できるように改良した。

従来のモード展開においては、まず散逸がない系の運動方程式を振動モードの運動方程式に分解する。そして各々のモードの運動方程式に散逸項を導入し、揺動散逸定理を運動方程式に適用して熱雑音を計算する。結果として系の熱雑音は振動モードの熱雑音の和（但し各モードの熱雑音は相関を持たない）となる。我々は最初から散逸のある系の運動方程式を分解した。分解された運動方程式から非一様な散逸が振動モードの間に coupling を生成させることがわかった。揺動散逸定理を適用するとこの coupling によって、各振動モードの熱雑音の間に相関が生じることがわかった。この相関を無視していたことが、非一様な散逸を持つ系でモード展開が破綻する理由で

ある。逆にいうと散逸分布を考慮して、モード間の相関まできちんと見積もれば、モード展開でも正しい結果を得ることができるはずである。以上の考察の妥当性と調べるため、我々の行った非一様な散逸を持つ系の熱雑音の計測結果と改良したモード展開の見積もりの結果を比較した。両者は一致した。

改良したモード展開は非一様な散逸による熱雑音の物理に関して、明快な見通しを与えてくれる。一例として、どのような場合に熱雑音が従来のモード展開と大きくずれるかを考えてみる。もちろん散逸が狭い領域に集中していることが必要条件となる。しかし十分条件ではない。実際の熱雑音とモード展開との不一致はモード間の相関であるため、系の熱雑音がある一つのモードからの寄与で占められている場合には、散逸が集中していて相関が強くても、モード展開との差は小さい。熱雑音が多数のモードからの寄与からなり、散逸が狭い領域に集中しているときに、差は大きくなる。

1.1.4 精密計測の研究

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。

現在懸架点干渉計の実証研究を行うためのプロトタイプ干渉計を構築している。本年度は、干渉計全体の組み立てが終わり、3Hz 以下の周波数帯において懸架点干渉計の防振効果を確認した。現在、さらに高い防振効果を得るために、ノイズハンティングを行っている。[4, 23, 34]

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 TAMA 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、これらは、SAS を用いて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（数百 mHz 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、従来困難とされてきた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、採用しているのが特徴である。前年

度までに、2台のプロトタイプ TAMA SAS を完成させ、それらによって構成される 3m の Fabry-Perot 光共振器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。

上記の結果を受けて、本年度から、三鷹の国立天文台構内にある重力波検出器 TAMA300 に TAMA SAS を組み込み、アップグレードするための準備を行っている。TAMA SAS を導入することによって、数十 Hz 以下の地面振動ノイズを大幅に改善し、検出器の動作安定度を高めることなどが目標である。TAMA300 に組み込む TAMA SAS 実機では、鏡の回転の DC 成分を制御するためのアクチュエータの追加など、3m Fabry-Perot 共振器を用いた実験で明らかとなった細かな問題点を解決している。その他、大きな変更点としては、能動ダンピングに用いる信号処理を、3m Fabry-Perot 実験で用いたカスタムメイドのシステムから、市販の組み込み型コントローラに置き換えた点である。これによって、システムの保守が容易になると同時に、TAMA300 で用いられている他の制御系との親和性を高めることができると期待される。2005 年中ごろから、4台の TAMA SAS を順次組み込む計画である。[7, 33]

磁気浮上を利用した防振システム

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 の範囲で 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。[25]

光ファイバーを用いたレーザー安定化

LCGT のような大型干渉計の光学素子の変動を抑えるための制御や、DECIGO のような宇宙干渉計では、アラインメントのずれの影響を受けにくく、かつ高い安定度を持つレーザー光源が不可欠となる。そこで、当研究室では、光ファイバ光学系を用いたレーザーの安定化実験を行なっている。レーザー光源や、安定化のためのレファレンス共振器等を全て光ファイバを用いて構成することで、環境の変化や外乱に対する耐性の強い安定化光源が実現できる事が期待できるのである。

当研究室では、光ファイバで構成された光共振器を基準として光ファイバ結合のレーザー光源の周波数を安定化する実験、また、光ファイバ結合された音響光学変調器 (AOM) を用いた光強度安定化実験を行なっている。その結果、このような方式でも安定化が実現できる事が示された。さらに、現在、より高い安定度を実現するための実験が進行中である。

極小距離における重力法則の検証

もし余剰次元があるならば、その距離スケールで重力の逆二乗則に破れが見られるはずである。そこで、当研究室では、レーザー干渉計による精密計測技術を利用して、 $100\mu\text{m}$ スケールでの重力の逆二乗則の検証実験が進められている。

掀れ型の板バネの形状と、その支持法を工夫する事で、高い機械的 Q 値を実現し、重力変動の影響を効果的に増幅することが期待できる。それによって、これまでに得られた逆二乗則検証実験の上限値を更新する事を目標に実験が進められている。

< 報文 >

(原著論文)

- [1] M. Ando, K. Arai, S. Nagano, R. Takahashi, S. Sato, D. Tatsumi, Y. Tsunesada, N. Kanda, S. Kawamura, P. Beyersdorf, Z. Zhu, K. Numata, Y. Iida, Y. Aso, N. Mio, S. Moriwaki, K. Somiya, S. Miyoki, K. Kondo, H. Takahashi, K. Hayama, H. Tagoshi, M.-K. Fujimoto, K. Tsubono, K. Kuroda and the TAMA Collaboration : Analysis methods for burst gravitational waves with TAMA data, *Class. Quantum Grav.* **21** (2004) S1679.
- [2] P.J. Sutton, M. Ando, P. Brady, L. Cadonati, A. Di Credico, S. Fairhurst, L.S. Finn, N. Kanda, E. Katsavounidis, S. Klimentko, A. Lazzarini, S. Marka, J.W. VMcNabb, S.R. Majumder, P.R. Saulson, H. Tagoshi, H. Takabashi, R. Takahashi, D. Tatsumi, Y. Tsunesada, and S.E. Whitcomb, Plans for the LIGO-TAMA joint search for gravitational wave bursts, *Class. Quantum Grav.* **21** (2004) S1801.

- [3] R. Takahashi and the TAMA Collaboration: Status of TAMA300, *Class. Quantum Grav.* **21** (2004) S403.
- [4] Y. Aso, M. Ando, K. Kawabe, S. Otsuka and K. Tsubono: Stabilization of a Fabry Perot interferometer using a suspension-point interferometer, *Phys. Lett. A* **327** (2004) 1.
- [5] 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, *Phys. Lett. A* **327** (2004) 263.
- [6] H. Takahashi, H. Tagoshi, M. Ando, K. Arai, P. Beyersdorf, N. Kanda, S. Kawamura, N. Mio, S. Miyoki, S. Moriwaki, K. Numata, M. Ohashi, M. Sasaki, S. Sato, R. Takahashi, D. Tatsumi, Y. Tsunesada, A. Araya, H. Asada, Y. Aso, M. A. Barton, M.-K. Fujimoto, M. Fukushima, T. Futamase, T. Haruyama, K. Hayama, G. Heinzl, G. Horikoshi, Y. Iida, K. Ioka, H. Ishitsuka, N. Kamikubota, K. Kasahara, K. Kawabe, N. Kawashima, Y. Kojima, K. Kondo, Y. Kozai, K. Kuroda, N. Matsuda, K. Miura, O. Miyakawa, S. Miyama, M. Musha, S. Nagano, K. Nakagawa, T. Nakamura, H. Nakano, K. Nakao, Y. Nishi, Y. Ogawa, N. Ohishi, A. Okutomi, K. Oohara, S. Otsuka, Y. Saito, N. Sato, H. Seki, N. Seto, M. Shibata, T. Shintomi, K. Soida, K. Somiya, T. Suzuki, A. Takamori, S. Takemoto, K. Takeno, T. Tanaka, T. Tanji, S. T., C. T. Taylor, S. Telada, K. Tochikubo, T. Tomaru, Y. Totsuka, K. Tsubono, N. Tsuda, T. Uchiyama, A. Ueda, K. Ueda, F. Usui, K. Waseda, Y. Watanabe, H. Yakura, K. Yamamoto, A. Yamamoto, T. Yamazaki, T. Yoda, and Z. Zhu: Coincidence analysis to search for inspiraling compact binaries using TAMA300 and LISM data, *Phys. Rev. D* (2004) **70** 042003.
- [7] R. Desalvo, Sz. Mårka, K. Numata, V. Sannibale, A. Takamori, H. Tariq, E.J. Ugas, T. Yoda, Y. Aso and A. Bertolini, Study of quality factor and hysteresis associated with the state-of-the-art passive seismic isolation system for Gravitational Wave Interferometric Detectors interferometer, *Nucl. Instr. and Meth. A*, **538** (2005) 526.
- [8] M. Ando, K. Arai, Y. Aso, P. Beyersdorf, K. Hayama, Y. Iida, N. Kanda, S. Kawamura, K. Kondo, N. Mio, S. Miyoki, S. Moriwaki, S. Nagano, K. Numata, S. Sato, K. Somiya, H. Tagoshi, H. Takahashi, R. Takahashi, D. Tatsumi, Y. Tsunesada, Z. Zhu, T. Akutsu, T. Akutsu, A. Araya, H. Asada, M. A. Barton, Y. Fujiki, M.-K. Fujimoto, R. Fujita, M. Fukushima, T. Futamase, Y. Hamuro, T. Haruyama, H. Hayakawa, G. Heinzl, G. Horikoshi, H. Iguchi, K. Ioka, H. Ishitsuka, N. Kamikubota, T. Kaneyama, Y. Karasawa, K. Kasahara, T. Kasai, M. Katsuki, K. Kawabe, M. Kawamura, N. Kawashima, F. Kawazoe, Y. Kojima, K. Kokeyama, Y. Kozai, H. Kudoh, K. Kuroda, T. Kuwabara, N. Matsuda, K. Miura, O. Miyakawa, S. Miyama, H. Mizusawa, M. Musha, Y. Nagayama, K. Nakagawa, T. Nakamura, H. Nakano, K. Nakao, Y. Nishi, Y. Ogawa, M. Ohashi, N. Ohishi, A. Okutomi, K. Oohara, S. Otsuka, Y. Saito, S. Sakata, M. Sasaki, K. Sato, N. Sato, Y. Sato, H. Seki, A. Sekido, N. Seto, M. Shibata, H. Shinkai, T. Shintomi, K. Soida, T. Suzuki, A. Takamori, S. Takemoto, K. Takeno, T. Tanaka, K. Taniguchi, S. Taniguchi, T. Tanji, C. T. Taylor, S. Telada, K. Tochikubo, M. Tokunari, T. Tomaru, K. Tsubono, N. Tsuda, T. Uchiyama, A. Ueda, K. Ueda, F. Usui, K. Waseda, Y. Watanabe, H. Yakura, A. Yamamoto, K. Yamamoto, T. Yamazaki, Y. Yanagi, T. Yoda, J. Yokoyama, and T. Yoshida: Observation results by the TAMA300 detector on gravitational wave bursts from stellar-core collapses, *Phys. Rev. D* **71** (2005) 082002.
- (会議抄録)
- [9] M. Ando, Recent Results from Gravitational Wave Detectors, in: *Frontier in Astroparticle Physics and Cosmology* pp.279-286, eds.: K.Sato and S.Nagasaki (2004 Universal Academy Press Inc. Tokyo).
- [10] M. Ando and the LCGT collaboration, Large-scale Cryogenic Gravitational-wave Telescope: LCGT, *Proceedings in: the 14th General Relativity and Gravitation* (2004).
- [11] K. Kuroda, M. Ohashi, S. Miyoki, T. Uchiyama, 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, S. Nagano, Y. Tsunesada, Zong-Hong Zhu, T. Shintomi, A. Yamamoto, T. Suzuki, Y. Saito, T. Haruyama, N. Sato, Y. Higashi, T. Tomaru, K. Tsubono, M. Ando, A. Takamori, K. Numata, Y. Aso, K.-I. Ueda, H. Yoneda, K. Nakagawa, M. Musha, N. Mio, S. Moriwaki, K. Somiya, A. Araya, N. Kanda, S. Telada, H. Tagoshi, T. Nakamura, M. Sasaki, T. Tanaka, K. Ohara, H. Takahashi, O. Miyakawa, and M.E.Tobar: LCGT Project Observing Gravitational Wave Events at 240 Mpc, *Proceedings of 28th International Cosmic Ray Conference*, (Universal Academy Press, 2003) p.3103-p.3106.
- [12] K. Tsubono: Current Status of TAMA300 interferometer, *Proceedings of CLEO/QELS Joint Symposium: Gravitational Wave Detection* (in press).
- (学位論文)
- [13] 榎村幸: TAMA300 データを用いた連続重力波解析、修士論文、2005年1月。
- < 学術講演 >
- (国際会議)
- 一般講演

- [14] K. Tsubono: TAMA Project, GWIC meeting, (July 2004, Dublin, Ireland).
- [15] M. Ando and the TAMA collaboration, Results of the search for burst gravitational waves with the TAMA300 detector, The 9th Gravitational Wave Data Analysis Workshop (December 15-18, 2004, Annecy, France)
- [16] K. Numata: *Thermal noise in sapphire mirrors* (Aspen center for physics — 2005 winter conference on gravitational waves, Aspen, Jan. 21, 2005)

招待講演

- [17] K. Tsubono: Current Status of TAMA300 interferometer, CLEO/QELS Joint Symposium: Gravitational Wave Detection (May 2005, Baltimore Convention Center, Baltimore, USA).
- [18] M. Ando and the TAMA collaboration, Status of TAMA, The 9th Gravitational Wave Data Analysis Workshop (December 15-18, 2004, Annecy, France)
- [19] M. Ando and the LCGT collaboration, Large-scale Cryogenic Gravitational-wave Telescope: LCGT, the 14th workshop on General Relativity and Gravitation (JGRG14, November 30, 2004, YITP, Kyoto)
- [20] M. Ando and the TAMA collaboration, Status of TAMA300, an interferometric gravitational wave detector in Japan, Vth Rencontres du Vietnam, Particle physics and astrophysics (August 5 - 11, 2004, Hanoi, Vietnam)

(国内会議)

一般講演

- [21] 石徹白晃治, 安東正樹, 坪野公夫, 2 台の干渉計によるバースト重力波の相関解析, 日本物理学会 2004 年秋季大会 (2004 年 9 月、高知大学朝倉キャンパス).
- [22] 新井宏二, 佐藤修一, 高橋竜太郎, 阿久津智忠, 中川憲保, 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, 藤本真克, 坪野公夫, 大橋正健, 黒田和明, 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 XIV (散乱光雑音), 日本物理学会 2004 年秋季大会 (2004 年 9 月、高知大学朝倉キャンパス).
- [23] 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 IV, 日本物理学会 2004 年秋季大会 (2004 年 9 月、高知大学朝倉キャンパス).
- [24] 佐藤修一, 新井宏二, 高橋竜太郎, 阿久津智忠, 中川憲保, 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, 藤本真克, 坪野公夫, 大橋正健, 黒田和明, 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 XV (変調・復調系雑音), 日本物理学会 2004 年秋季大会 (2004 年 9 月、高知大学朝倉キャンパス).
- [25] 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 II, 日本物理学会 2004 年秋季大会 (2004 年 9 月、高知大学朝倉キャンパス).
- [26] 榎村宰, 安東正樹, 副田憲志, 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 2004 年秋季大会 (2004 年 9 月、高知大学朝倉キャンパス).
- [27] 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, 中川憲保, 鎌ヶ迫将悟, 藤本真克, 川村静児, 高橋竜太郎, 山崎利孝, 辰巳大輔, 新井宏二, 上田暁俊, 福嶋美津広, 佐藤修一, 常定芳基, 新富孝和, 斉藤芳男, 春山富義, 鈴木敏一, 佐藤伸明, 都丸隆行, 坪野公夫, 安東正樹, 沼田健司, 飯田幸美, 麻生洋一, 高城毅, 榎村, 石徹白晃治, 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, 尾関孝文, 新谷昌人, 高森昭光, 神田展行, 中野寛之, 寺田聡一, 長野重夫, 田越秀行, 左合紀親, 中村卓史, 高橋弘毅, 関戸文, 阪田紫帆里, 川添史子, 苔山圭以子, 柳由里子, 宮川治, M. E. Tobar, 大型低温重力波望遠鏡 (LCGT) 計画 VIII, 日本物理学会 2004 年秋季大会 (2004 年 9 月、高知大学朝倉キャンパス).
- [28] 安東正樹, 高橋竜太郎, 新井宏二, 佐藤修一, 辰巳大輔, 神田展行, 常定芳基, 山崎利孝, 福嶋美津広, 三尾典克, 森脇成典, 三代木伸二, 近藤寿浩, 麻生洋一, 長野重夫, 阿久津智忠, 他 TAMA Collaboration, TAMA300 データを用いたバースト重力波解析 III, 日本物理学会 2004 年秋季大会 (2004 年 9 月、高知大学朝倉キャンパス).
- [29] 阿久津朋美, 岡田淳, 早河秀章, 山元一広, 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 データのバースト重力波解析 II, 日本物理学会 2004 年秋季大会 (2004 年 9 月、高知大学朝倉キャンパス).
- [30] 榎村宰, 安東正樹, 副田憲志, 坪野公夫, TAMA300 データを用いた連続重力波解析 III, 日本物理学会 2004 年第 60 回年次大会 (2005 年 3 月、東京理科大野田キャンパス).
- [31] 新井宏二, 佐藤修一, 高橋竜太郎, 阿久津智忠, 中川憲保, 辰巳大輔, 常定芳基, 福嶋美津広, 山崎利孝, 三代木伸二, 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, 藤本真克, 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 XVIII (変調・復調系雑音), 日本物理学会 2004 年第 60 回年次大会 (2005 年 3 月、東京理科大野田キャンパス).
- [32] 中川憲保, 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, 三代木伸二, 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, 藤本真克, 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 XIX (信号取得・制御系), 日本物理学会 2004 年第 60 回年次大会 (2005 年 3 月、東京理科大野田キャンパス).

- [33] 高橋竜太郎, 高森昭光, 福嶋美津広, 川村静児, 藤本眞克, 新井宏二, 坪野公夫, 安東正樹, 飯田幸美, A. Bertolini, R. DeSalvo, TAMA300 用低周波防振装置 (SAS) の開発 I, 日本物理学会 2004 年第 60 回年次大会 (2005 年 3 月、東京理科大野田キャンパス).
- [34] 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, 日本物理学会 2004 年第 60 回年次大会 (2005 年 3 月、東京理科大野田キャンパス).
- [35] 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, 中川憲保, 鎌ヶ迫将悟, 藤本眞克, 川村静児, 高橋竜太郎, 山崎利孝, 辰巳大輔, 新井宏二, 上田暁俊, 福嶋美津広, 佐藤修一, 常定芳基, 新富孝和, 斉藤芳男, 春山富義, 鈴木敏一, 佐藤伸明, 都丸隆行, 坪野公夫, 安東正樹, 沼田健司, 飯田幸美, 麻生洋一, 高城毅, 榊村, 石徹白晃治, 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, 尾関孝文, 新谷昌人, 高森昭光, 神田展行, 中野寛之, 寺田聡一, 長野重夫, 田越秀行, 左合紀親, 中村卓史, 高橋弘毅, 関戸文, 阪田紫帆里, 川添史子, 苔山圭以子, 柳由里子, 宮川治, M. E. Tobar, 大型低温重力波望遠鏡 (LCGT) 計画 IX, 日本物理学会 2004 年第 60 回年次大会 (2005 年 3 月、東京理科大野田キャンパス).
- [36] 阿久津朋美, 岡田淳, 早河秀章, 山元一広, 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 データのバースト重力波解析 III, 日本物理学会 2004 年第 60 回年次大会 (2005 年 3 月、東京理科大野田キャンパス).
- [37] 安東正樹, 高橋竜太郎, 新井宏二, 佐藤修一, 辰巳大輔, 神田展行, 常定芳基, 山崎利孝, 福嶋美津広, 三尾典克, 森脇成典, 三代木伸二, 近藤寿浩, 麻生洋一, 長野重夫, 阿久津智忠, 他 TAMA Collaboration, TAMA300 データを用いたバースト重力波解析 IV, 日本物理学会 2004 年第 60 回年次大会 (2005 年 3 月、東京理科大野田キャンパス).
- [38] 常定芳基, 神田展行, 中野寛之, 辰巳大輔, 安東正樹, 田越秀行, 高橋弘毅, 佐々木節, 他 The TAMA Collaboration, TAMA300 でのブラックホール準固有振動重力波探査結果, 日本物理学会 2004 年第 60 回年次大会 (2005 年 3 月、東京理科大野田キャンパス).
- [39] 神田展行, 高橋弘毅, 田越秀行, 左合紀親, 辰巳大輔, 常定芳基, 安東正樹, 他 LCGT Collaboration, 2 台の LCGT 干渉計信号のクロストークと相関解析, 日本物理学会 2004 年第 60 回年次大会 (2005 年 3 月、東京理科大野田キャンパス).
- [40] 坪野公夫, 測距技術の開発, 第 3 回 DECIGO ミーティング (2005 年 5 月、国立天文台).
- [41] 安東正樹, 光共振型 DECIGO, 第 3 回 DECIGO ミーティング (2005 年 5 月、国立天文台).
- 招待講演
- [42] 安東 正樹, TAMA300 データを用いた重力崩壊型超新星爆発からの重力波探査, 「重力崩壊型超新星を舞台とする様々な高エネルギー物理現象」研究会 (2005 年 2 月 3 日 東京大学 本郷キャンパス, 東京)
- (セミナー)
- [43] 安東 正樹, 干渉計型重力波検出器の現状と将来計画, 東京大学宇宙理論グループセミナー (2004 年 6 月 10 日 東京大学 本郷, 東京)