

令和 4 年 5 月 24 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2017～2021

課題番号：17H06133

研究課題名(和文)重力波観測時代に臨む較正標準化とデータ解析高精度化

研究課題名(英文) Calibration Standard and High-Precision Data Analysis toward the Observational Era of Gravitational Waves

研究代表者

神田 展行 (Kanda, Nobuyuki)

大阪市立大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：50251484

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 140,350,000円

研究成果の概要(和文)：重力波観測において時空の歪みを正確に求める較正は不可欠である。本研究では較正についてハードウェア並びにデータ解析の両面から研究を推進した。日本のKAGRA実験においてレーザー光輻射圧を用いた鏡の変移を励起する「フォトンキャリブレーター」を構築した。米国LIGOと協力して較正用レーザー強度の相対較正を達成した。さらに較正ハードウェアの不定性を1~2%程度まで抑えた。2020年の第3次国際共同観測においてはKAGRAの較正データの生成を行い、米国LIGO、欧州Virgoとリアルタイムで観測データを共有し、国際重力波観測網に貢献した。また、時間-周波数領域での新しい解析手法も開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海外の重力波観測と直接に比較できる較正を達成したこと、リアルタイムでの観測データ共有を達成したことは、国際観測網への参加を具体的にしたことであり重要である。さらに、較正精度を改善して観測で得られる重力波波形の評価を定量的に行なった成果は、今後ブラックホールの時空や中性子星の高密度核物質のサイエンスに貢献する。これらは、重力波による新しい天文学・宇宙の観測にとって大きな学術的意義がある。天体や宇宙についての知見は、社会的にも大きな関心を寄せられる内容であり、そのために必要な重力波観測の基礎技術を達成した。

研究成果の概要(英文)：Calibration to accurately obtain the distortion of space-time is indispensable in gravitational wave observation. In this research, we promoted the research on calibration from both hardware and data analysis.

In the KAGRA experiment in Japan, we constructed a "photon calibrator" that excites the transition of the mirror using laser light radiation pressure. Achieved relative calibration of laser intensity for calibration in collaboration with US LIGO. Furthermore, the indeterminacy of the calibration hardware was suppressed to about 1 to 2%. At the 3rd International Joint Observation in 2020, KAGRA calibration data was generated, and observation data was shared in real time with LIGO in the United States and Virgo in Europe, contributing to the international gravitational wave observation network.

We also developed a new analysis method in the time-frequency domain.

研究分野：素粒子、原子核、宇宙線および宇宙物理に関連する実験、特に重力波観測実験とそのデータ関連

キーワード：重力波観測実験 レーザー光輻射圧による重力波検出器の感度較正 重力波観測データの較正および解析 国際重力波観測網 一般相対性理論 重力波天文学・天体物理学

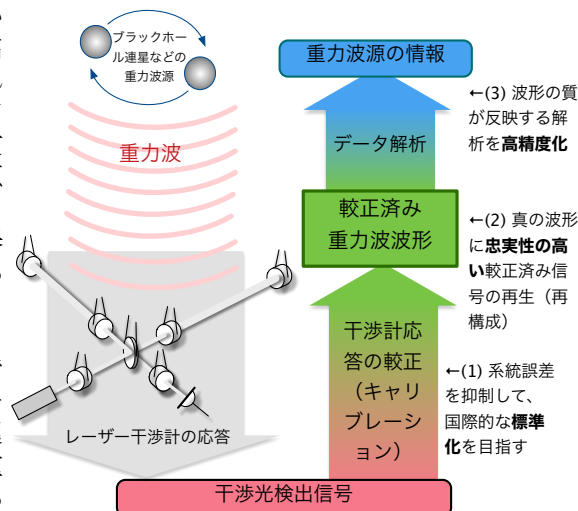
科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

重力波の直接検出・観測は長らく物理学の課題であった。観測を目指して、3~4km の2つの光路をもつ大型レーザー干渉計による、米国の LIGO(レーザー干渉計重力波観測所)、欧州の Virgo、日本の KAGRA といった観測実験が推進されていた。2015 年に人類初の重力波観測が LIGO によって達成され、本研究を立案した当時は、最初の3つの重力波事象が発表された後であった。これらの重力波は太陽質量の 20~30 倍程度のブラックホール連星合体を源とするものであり、連星ブラックホールとしても人類初めての観測であった。一方で、従来から期待されていた重力波源は、電磁波観測により存在が確認されていた中性子星連星や超新星爆発であった。重たいブラックホール連星合体からの重力波観測は、物理学者ならびに天文学者に大きな驚きと関心をもって迎えられ、新たな問題を提起した状況であった。天体物理学的にはこのような重たいブラックホールの起源についての問題、また基礎物理学の立場においてはブラックホールの合体という強重力場での現象における重力理論の検証などが強い関心を呼んでいた。

これらのサイエンスを究明するにはいくつかの鍵がある。多数の観測による解析、より遠方すなわち宇宙物理学にはより過去に遡る観測例といった統計的に評価する内容と、正確な重力波波形を観測して理論予想と比較するという精度を追求すべき内容である。検出器の雑音を低減して感度が良くなれば、観測可能距離も伸び、同じ距離の重力波源に対しては信号対雑音比(S/N)が改善する。しかし単純に雑音を提言するだけでは重力波波形の正確さは達成できない。重力波検出器の重力波に対する応答を正確に評価し、周波数特性も補正して波形を再現する必要がある。これが重力波検出器の較正である。

ところが、重力波検出器の較正は簡単ではない。人工的な較正源がなく、複雑な制御系の応答を戻して時系列信号を再現・再構築しなければならない。本研究の提案時、重力波検出器の較正は数%~10% の誤差を持つと考えられていた。このことは重力波源の物理や天文学を高精度でおこなうのに障壁となると危惧された。例えば、重力波の振幅の絶対値において5%の誤差は、即座に重力波源までの距離推定に5%の誤差となり、体積あたりの重力波源存在率については~16%の誤差になってしまう。重力波源の方向推定には複数台の検出器が必要であるが、検出器に系統的なズレがあった場合は、方向推定にもズレが生じてしまい、電磁波観測による追観測にも影響する。現在の重力波検出器の代表的な較正方法であるフォトンキャリブレーターは、レーザー光の輻射圧を用いて鏡に微小な変移を励起して較正する方法である。絶対値の推定に重要なレーザー光強度の標準が、各国で1~5%もの系統的な差があることが問題となることに本研究の提案では着目した。また、KAGRA 実験がいよいよ干渉計本体をインストールし、感度達成や観測運転へ向けての各部システムの構築を行うところであった。



## 2. 研究の目的

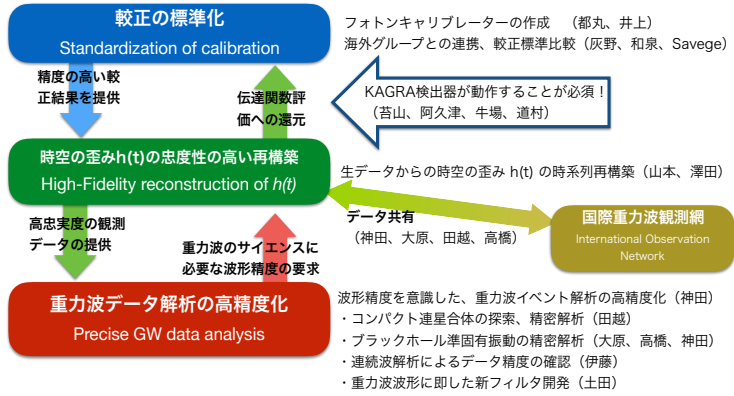
そこで本研究では、KAGRA 実験での重力波検出器の較正を推進し、さらに国際重力波観測網に貢献できる較正データと解析を研究すべく、3つの研究目的を掲げた。

- (1) 重力波検出器の較正標準化  
標準較正されたレーザー光源を変位励起源に用いた“フォトンキャリブレーター”の開発を行う。そして海外実験と協力し、標準光源と測定器を利用して較正の標準化を目指す。絶対値の系統誤差について1%以内での標準化が目標である。
- (2) 重力波信号の時系列波形  $h(t)$  の忠実性の高い再構成  
較正ハードウェアの精度に耐える、真の重力波波形に忠実性の高い時系列信号再構成を行うソフトウェアを開発し、実際の観測について較正済みデータを作成する。
- (3) 正確さを活かしたデータ解析の高精度化  
データ解析を高精度化して、解析結果への較正誤差の正確な反映、一般相対論検証や中性子星状態方程式といった波形精度を要求する解析の定量的評価、精度の解析で可能なサイエンスを研究する。

そして、これらを別々に行うのではなく、観測実験全体を見据えて強く連携して取り組み、来る本格的な重力波観測時代に臨むことが本研究の大きな目的であった。

### 3. 研究の方法

目的に掲げた3つの項目を達成するため、図のようにそれぞれに適した役割分担で組織的に推進した。実際の実験の多くは日本のKAGRAの装置や、較正のために準備したハードウェアが用いられる。またデータ関連ではKAGRAのシステムの一部でもあるネットワークと計算機群、さらに本研究のために構築した計算機クラスタなどを用いている。



研究代表者である神田は、データ解析や国際観測網へのデータ共有を中心に担当した。

重力波のデータ解析にはイベントの性質によっていくつかの手法に大別される。パルサーが源になる連続波 (連携研究者: 伊藤)、コンパクト連星合体 (田越)、ヒルベルト=ハン変換による超新星爆発 (大原、高橋) といった解析が関係するが、それらの中でも特に信号の較正や系統誤差が関与するテーマで連携する。科研費雇用の博士研究員である土田は、ブラックホール準固有振動の解析を中心に新しい信号フィルタの解析を進めた。

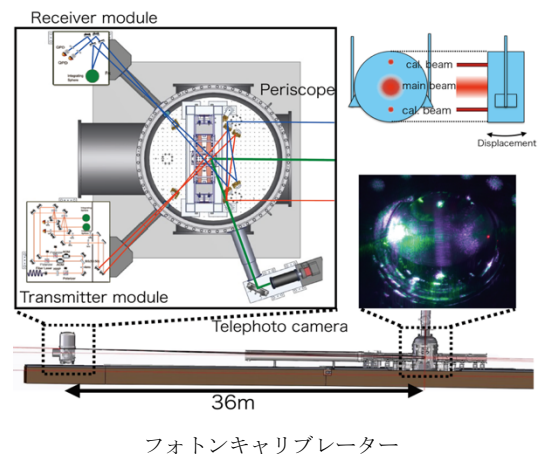
研究分担者である都丸は、較正の中核となるフォトンキャリブレーターの作成、インストールを中心に担当している。同時に、フォトンキャリブレーターの系統誤差を左右するレーザー光の強度測定・較正およびその国際協力を中心に推進した。KAGRAのキャリブレーション担当者である井上や灰野、米国LIGOにおける知見を持つ和泉、Savegeら連携研究者・研究協力者と密に連絡をとって研究を行ってきた。フォトンキャリブレーターは、レーザー干渉計型重力波検出器の較正方法の一つであり、重力波信号を測定している主干渉計のレーザーとは別のレーザー光を用い、その輻射圧で鏡の変位を励起する方法である。レーザー光の絶対量の較正が重要となるが、各国のレーザー強度の標準に系統的に最大5%程度の差がある。このため、米国LIGOサイトに強度を測定する光学積分球を持ち込んで同一実験環境で比較し、相互較正を行った。

重力波波形を再現する較正データ  $h(t)$  は、イベント探索や各種解析のために時系列で生成 (再構築) する。また、重力波天体現象に対する電磁波の追観測のために、数秒程度の短時間の遅れでリアルタイムに、なおかつ高精度で出力する必要がある。検出器の観測量はレーザー干渉計の制御信号であり、重力波相当に再構築する必要がある。較正データ再構築パイプラインは、山本、本科研費雇用の特任講師である澤田、井上らを中心に進めた。さらに生成された較正データの管理、転送と保管、国際観測網との共有を、神田と大原が責任を持って担当した。本研究が進展して、2秒程度で較正データを計算できるパイプラインが稼働したことで、KAGRAは国際的な低遅延での較正データ共有に貢献できた。さらに、観測終了後に十分な情報を用いて補正した高精度な較正データ生成を行い、その誤差を評価した。

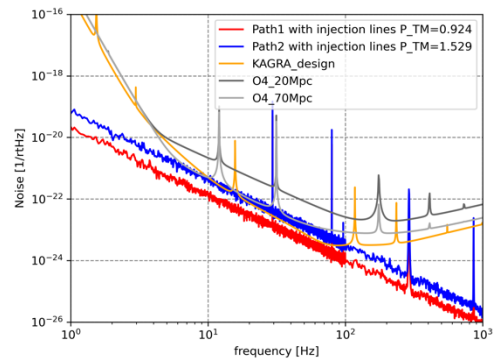
また本研究の性格上、KAGRA検出器本体が動作することが必須であり、干渉計本体の情報が必要不可欠である。そのために連携研究者(苔山、阿久津、牛馬、道村)として加わってもらった。

### 4. 研究成果

フォトンキャリブレーターをKAGRA検出器にインストールした。右図はその図面およびファイヤ鏡の写真である。この鏡は、主干渉レーザーを反射するものである。鏡の表面に、上下に2つの緑色の輝点が確認できるが、これがフォトンキャリブレーターの照射するレーザーである。このレーザーの輻射圧によって鏡に較正用の変位を励起する。フォトンキャリブレーターの光学系は、主干渉計とは別のものである。またKAGRAにおいては入射光学系が鏡から遠方(36m)であり、LIGOのものに比べて浅い角度で入射するために変位励起の効率において優れている。一方で、光路が長くなるためにアラインメントの難しさや、入射位置を確認するための望遠カメラの調整なども精度良く必要であった。2018年度中にハードウェアインストールがなされ、2019年度中のKAGRAのコミッショニング中の運転においてフォトンキャリブレーターによる較正用の励起を主干渉信号にて確認した。その測定結果を重力波信号の再構成における伝達関数の補正に用いることができた。



フォトンキャリブレーターハードウェアの不安定性は、励起用レーザーの入射光学系の効率が大きく寄与している。O3GK後に改良され、フォトンキャリブレーターの雑音は第4次観測の目標感度を満たす雑音レベルを達成し、KAGRAの両腕に対するハードウェア不安定性はそれぞれ2%、1%と見積もられた。以上により本研究の目標の一つである、重力波検出器の精度の高い較正、系統誤差の低減と見積りを達成した。

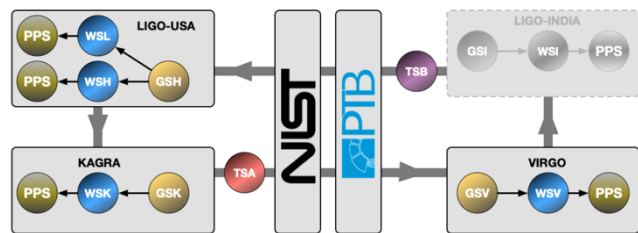


フォトンキャリブレーター雑音スペクトル

レーザー光強度の較正については、積分球を準備してカロリメトリックに強度測定し、較正できるシステムを作成した。KAGRAの積分球はいったん米国LIGOに送られ、LIGOの積分球と同じレーザー光を測定して、相対誤差を打ち消すように修正値を決定した。その後日本に持ち帰り、この積分球をKAGRAの“ゴールデンマスター”とし、KAGRAのフォトンキャリブレーター現場で使用する“ワーキングマスター”を作成して運用した。これらによってLIGOとKAGRAの相対補正が可能となった。また、前述のように、LIGO, Virgo, NIST, PDTとの較正の仕組みに加わっており、LIGOのマスターを通じて、KAGRAフォトンキャリブレーターのレーザー強度はNIST(アメリカ国立標準技術研究所)の標準値に較正されたことになる。

もともと、本研究の主要な着目点の一つとして、フォトンキャリブレーターが用いるレーザー光強度の絶対値が、各国の強度標準の違いから実験間で系統的な差(-4%)を生じている可能性があった。そのために、積分球で相対較正を図ることと、絶対値の強度標準を見直すことの2点を考えていた。このうち、積分球を用いた方法は実際にKAGRA-LIGOで行うことができ、国際的な相対較正を達成できた。レーザー光絶対強度の系統誤差問題は、海外のグループも関心を持っていた。研究協力関係にあるLIGO, Virgo実験と検討し、図に示すように、NIST(アメリカ国立標準技術研究所), OTB(ドイツ国立物理工学研究所)を含む実験間で積分球の相互参照により、国際的な較正感度比較を行う枠組みが進展した。

また、新しい方式の質量をもった回転体を用いるアイデアにより、本来の重力相互作用に基づく絶対値較正の見込みが出てきた。この方法での絶対値の不安定性は0.17%程度と見積もっており(PR D98, O22005)、当初目標の1~2%以下を目指すことが可能である。

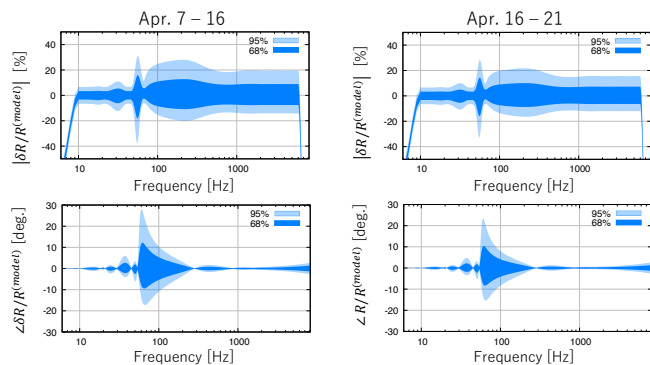


フォトンキャリブレーターによる較正用の変位を鏡に励起し、KAGRAの主干渉信号でそれを確認する。干渉計の稼働中に較正用励起をおこなうことで、逐次変化してゆく干渉計のゲイン状態を常に追いかけることが可能となった。2020年のO3GK観測でのKAGRAの感度は、数100Hz付近において時空の歪みにして $10^{-22}$ [ $\sqrt{\text{Hz}}$ ]台であり、まだ感度改善を続けているが、この状態でもフォトンキャリブレーターによる較正信号の注入と測定を達成している。この励起した較正信号に対応する出力を調べることで、ゲイン補正をリアルタイムで行うことが可能である。実際の運転中は、複数の周波数の異なる正弦波波形を較正信号に用いる。

KAGRAの制御系から得られる誤差信号とフィードバック信号をもとに、インパルス応答を計算して時系列での時空の歪み=重力波の時系列信号 $h(t)$ を生成する計算パイプラインを構築した。このパイプラインはリアルタイムで稼働し、時系列信号 $h(t)$ を途切れなく連続的に生成する。時系列信号は1秒毎に区切られ、時刻情報や検出器稼働状態を示す状態ベクトルデータとともに、重力波の共通データフォーマットである“frame形式”に納められる。

さらに観測終了後にオフラインでの解析によって最終較正データを生成した。その誤差はグラフに示すように、絶対値および位相の周波数特性として評価した。較正は30-1500Hzを対象としている。低周波では5%、高周波では10%程度(1 $\sigma$ )の誤差に収まっている。(干渉計の制御ゲインが1になる周波数前後では大きな誤差の領域もある。)この値は本研究の当初目標(~1%)には届かないが、周波数特性として実験的に定量的評価したのは日本の重力波検出器では初めてであり、重要なマイルストーンを達成した。

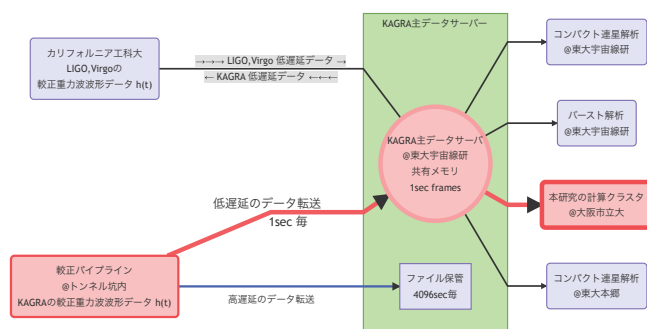
### C20 Calibration Uncertainty for O3GK



KAGRA 較正データの誤差

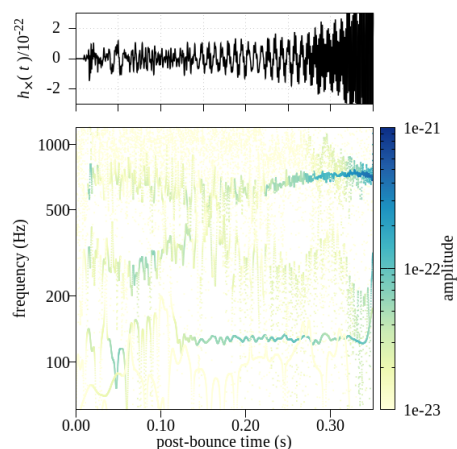
精度自体は干渉計が安定せねば追い詰めることができず、今後の KAGRA 全体の高感度化と安定稼働が必要である。それ故、本研究の中核となる重力波信号の較正時系列データ  $h(t)$  の再構成は、絶対的な精度では課題は残るが、誤差の系統的な把握に成功したことは重要な成果であり、今後の改良を期待できる。

時系列波形  $h(t)$  データを国際重力波観測網と共有した。計算パイプラインがサーバ上の共有メモリに書きこんだデータは、重力波用に作成された通信プロトコル **framelink** を用いて、直ちに送信される。このデータが重力波観測実験の“低遅延観測データ”であり、マルチメッセンジャー観測に観測が資するためにどうしても必要なものである。本研究では、この低遅延データ共有に接続し、KAGRA のデータを連続的に送信するとともに、LIGO, Virgo の低遅延データを受け取るシステムを構築した。LIGO については 7 秒程度、最も遅延の大きい Virgo で 15 秒程度、KAGRA については 3.5 秒の遅延である。本研究で構築した大阪市立大学の計算機クラスターにも実装して常時稼働させ、**国際重力波観測網の低遅延・リアルタイムでのデータ利用が可能になった。**



KAGRA 較正データの送信・保管と国際重力波観測

較正データを利用して重力波のイベント解析を行うための研究を進めた。KAGRA 稼働時の重力波方向決定精度についての研究や、連星合体重力波イベントの質量決定を利用して種族 III 星起源かどうかを尤度比検定で解析 (宮本, 博士論文 2019 年) といった成果があった。特に、時間-周波数平面に着目したアイデアでも成果があった。ヒルベルト=ファン変換を用いた超新星爆発時の重力波に定在降着衝撃波不安定性の形跡を評価 (武田)、ラプラス変換を用いた新しい時間-周波数領域解析の開発などである。いまだ KAGRA で重力波が検出されていないという問題はありますが、**較正データを基点として重力波データ解析が進展し、本研究の目的にかなう成果が得られた。**



Phys. Rev. D 104, 084063 : ヒルベルト=ファン変換による超新星シミュレーションによる重力波波形の解析例。

研究の途中で優れたアイデアに成果として公開できたものがある。一つは、回転体を用いた重力ポテンシャル変化による較正である。これは電磁気というヘルツのポテンシャルに相当し、近接場のポテンシャルで較正するアイデアは重力波検出器の黎明期からあったが、重力ポテンシャルの正確な設定が難しかった。我々の研究 (Y. Inoue et al., Phys. Rev. D 98, 022005 (2018)) では多重極場を用いて距離依存性の違いからこの問題の解決を提案した。回転体を用いた較正は、次の世代の較正方法として注目され、KAGRA, LIGO, Virgo それぞれで開発が進んでいる。

もう一つは、重力波検出器を用いたダークマター (暗黒物質) 検出の検討である。検出器較正の系統誤差を検討する過程で、撃力に対する鏡の応答や得られる信号について詳しく検討した。ところで、重たい素粒子が鏡に入射した場合、運動量移行によって引き起こされる信号はこれと同じである。暗黒物質が鏡を叩けば信号が得られるというアイデアはやはり 20 年ほど前からあったが、我々はこうした精密な応答の検討と、最新の暗黒物質のフラックス上限を取り入れて、検出可能性について評価した (S. Tsuchida et al., Phys. Rev. D 101, 023005 (2019))。将来の検出器を用いても探索性能はそれほど良くないが、ほかの暗黒物質検出とは異なる探索特性を有することがわかった。重力波検出器の可能性の一つとして注目され、複数の科学情報系 web サイトに取り上げられた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計29件（うち査読付論文 28件／うち国際共著 25件／うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 R. Abbott et al. (The LIGO Scientific Collaboration, the Virgo Collaboration, and the KAGRA Collaboration),	4. 巻 105
2. 論文標題 Constraints on dark photon dark matter using data from LIGO 's and Virgo 's third observing run	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 63030
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.105.063030	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 R. Abbott et al. (The LIGO Scientific Collaboration, the Virgo Collaboration, and the KAGRA Collaboration),	4. 巻 104
2. 論文標題 All-sky search for short gravitational-wave bursts in the third Advanced LIGO and Advanced Virgo run	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 122004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.104.122004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 R. Abbott et al. (The LIGO Scientific Collaboration, the Virgo Collaboration, and the KAGRA Collaboration),	4. 巻 922
2. 論文標題 Constraints from LIGO O3 Data on Gravitational-wave Emission Due to R-modes in the Glitching Pulsar PSR J0537?6910	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 71 ~ 71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac0d52	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 R. Abbott et al. (The LIGO Scientific Collaboration, the Virgo Collaboration, and the KAGRA Collaboration),	4. 巻 921
2. 論文標題 Searches for Continuous Gravitational Waves from Young Supernova Remnants in the Early Third Observing Run of Advanced LIGO and Virgo	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 80 ~ 80
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac17ea	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 R. Abbott et al. (The LIGO Scientific Collaboration, the Virgo Collaboration, and the KAGRA Collaboration),	4. 巻 104
2. 論文標題 All-sky search for long-duration gravitational-wave bursts in the third Advanced LIGO and Advanced Virgo run	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 102001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.104.102001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Takeda M., Hiranuma Y., Kanda N., Kotake K., Kuroda T., Negishi R., Oohara K., Sakai K., Sakai Y., Sawada T., Takahashi H., Tsuchida S., Watanabe Y., Yokozawa T.	4. 巻 104
2. 論文標題 Application of the Hilbert-Huang transform for analyzing standing-accretion-shock-instability induced gravitational waves in a core-collapse supernova	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 84063
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.104.084063	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 R. Abbott et al. (The LIGO Scientific Collaboration, the Virgo Collaboration, and the KAGRA Collaboration),	4. 巻 104
2. 論文標題 All-sky search for continuous gravitational waves from isolated neutron stars in the early O3 LIGO data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 82004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.104.082004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 R. Abbott et al. (The LIGO Scientific Collaboration, the Virgo Collaboration, and the KAGRA Collaboration),	4. 巻 915
2. 論文標題 Observation of Gravitational Waves from Two Neutron Star-Black Hole Coalescences	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L5 ~ L5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ac082e	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 R. Abbott et al. (The LIGO Scientific Collaboration, the Virgo Collaboration, and the KAGRA Collaboration),	4. 巻 1857
2. 論文標題 Radiative Cooling of the Thermally Isolated System in KAGRA Gravitational Wave Telescope	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012002 ~ 012002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1857/1/012002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Akutsu et al. (KAGRA Collaboration)	4. 巻 37
2. 論文標題 An arm length stabilization system for KAGRA and future gravitational-wave detectors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Classical and Quantum Gravity	6. 最初と最後の頁 035004 ~ 035004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6382/ab5c95	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Akutsu et al. (KAGRA Collaboration)	4. 巻 2020
2. 論文標題 Application of independent component analysis to the iKAGRA data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 Issue 5, 053F01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptaa056	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Akutsu et al. (KAGRA Collaboration)	4. 巻 ptaa125
2. 論文標題 Overview of KAGRA: Detector design and construction history	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 ptaa125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptaa125	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する



1. 著者名 T. Akutsu et al.(KAGRA Collaboration)	4. 巻 ptaa120
2. 論文標題 Overview of KAGRA: KAGRA science	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 ptaa120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptaa120	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 B. P. Abbott et al. (KAGRA Collaboration, LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration)	4. 巻 23
2. 論文標題 Prospects for observing and localizing gravitational-wave transients with Advanced LIGO, Advanced Virgo and KAGRA	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Living Reviews in Relativity	6. 最初と最後の頁 article No.3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s41114-020-00026-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Akutsu et al.(KAGRA Collaboration)	4. 巻 1342
2. 論文標題 The status of KAGRA underground cryogenic gravitational wave telescope	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012014 ~ 012014
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1342/1/012014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Takafumi Ushiba et al.	4. 巻 38
2. 論文標題 Cryogenic suspension design for a kilometer-scale gravitational-wave detector	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Classical and Quantum Gravity	6. 最初と最後の頁 085013 ~ 085013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6382/abe9f3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Akutsu Tomotada et al.	4. 巻 91
2. 論文標題 Compact integrated optical sensors and electromagnetic actuators for vibration isolation systems in the gravitational-wave detector KAGRA	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 115001 ~ 115001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0022242	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tsuchida Satoshi, Kanda Nobuyuki, Itoh Yousuke, Mori Masaki	4. 巻 101
2. 論文標題 Dark matter signals on a laser interferometer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 23005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.023005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Akutsu T, et.al, KAGRA collaboration	4. 巻 36
2. 論文標題 First cryogenic test operation of underground km-scale gravitational-wave observatory KAGRA	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Classical and Quantum Gravity	6. 最初と最後の頁 165008 ~ 165008
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6382/ab28a9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Akutsu T, et.al, KAGRA collaboration	4. 巻 36
2. 論文標題 Vibration isolation system with a compact damping system for power recycling mirrors of KAGRA	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Classical and Quantum Gravity	6. 最初と最後の頁 095015 ~ 095015
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6382/ab0fcb	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 KAGRA collaboration	4. 巻 3
2. 論文標題 KAGRA: 2.5 generation interferometric gravitational wave detector	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Astronomy	6. 最初と最後の頁 35 ~ 40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41550-018-0658-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 tt B. P. et al. , KAGRA Collaboration, LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration	4. 巻 21
2. 論文標題 Prospects for observing and localizing gravitational-wave transients with Advanced LIGO, Advanced Virgo and KAGRA	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Living Reviews in Relativity	6. 最初と最後の頁 3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s41114-018-0012-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Akutsu T, et al., KAGRA Collaboration	4. 巻 2018
2. 論文標題 Construction of KAGRA: an underground gravitational-wave observatory	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 013F01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptx180	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 酒井一樹, 神田展行, 大原謙一, 山本尚弘, 宮川治, 佐々木幸次, 植木聡史, 高橋弘毅	4. 巻 J101-B No.9
2. 論文標題 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA におけるデータ自動転送システムの開発と性能評価	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌 B	6. 最初と最後の頁 818-827
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transcomj.2017JBP3064	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Inoue Yuki, Haino Sadakazu, Kanda Nobuyuki, Ogawa Yujiro, Suzuki Toshikazu, Tomaru Takayuki, Yamamoto Takahiro, Yokozawa Takaaki	4. 巻 98
2. 論文標題 Improving the absolute accuracy of the gravitational wave detectors by combining the photon pressure and gravity field calibrators	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 22005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.98.022005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hasegawa Kunihiko, Akutsu Tomotada, Kimura Nobuhiro, Saito Yoshio, Suzuki Toshikazu, Tomaru Takayuki, Ueda Ayako, Miyoki Shinji	4. 巻 99
2. 論文標題 Molecular adsorbed layer formation on cooled mirrors and its impacts on cryogenic gravitational wave telescopes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 22003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.99.022003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yousuke Utsumi, et al., the J-GEM collaboration	4. 巻 Vol. 69, Issue 6
2. 論文標題 J-GEM observations of an electromagnetic counterpart to the neutron star merger GW170817	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psx118	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Akinobu Miyamoto, Tomoya Kinugawa, Takashi Nakamura, and Nobuyuki Kanda	4. 巻 96
2. 論文標題 How to confirm the existence of population III stars by observations of gravitational waves	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Rev. D	6. 最初と最後の頁 64025
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.96.064025	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 神田展行	4. 巻 2018年1月号 Vol.111, No.1
2. 論文標題 重力波観測が明らかにする中性子星連星の姿	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 天文月報	6. 最初と最後の頁 8 _ 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計86件 (うち招待講演 10件 / うち国際学会 28件)

1. 発表者名 小林佑一朗, KAGRA collaboration
2. 発表標題 時間-周波数領域でのブラックホール準固有振動重力波の解析
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大橋朋弥, KAGRA collaboration
2. 発表標題 ガンマ線バースト観測網を外部トリガーとした重力波観測信号モニターの開発
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武田芽依, KAGRA Collaboration
2. 発表標題 Hilbert-Huang変換を用いた過渡的な重力波信号のリアルタイム解析
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 澤田崇広, KAGRA collaboration
2. 発表標題 KAGRA観測運転における低遅延パイプライン
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 神田展行, 土田怜, 伊藤洋介, 澤田崇広
2. 発表標題 ラプラス変換を利用した新しい重力波解析手法
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 土田怜, 神田展行, 伊藤洋介, 澤田崇広
2. 発表標題 重力波波形に対するラプラス変換による解析の適用と性能評価
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mei Takeda, KAGRA Collaboration
2. 発表標題 Application of Hilbert-Huang Transform to real-time analysis of transitional gravitational-waves
3. 学会等名 The 26th KAGRA Face-to-Face meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Takeda, Y. Watanabe, Y. Hiranuma, R. Negishi, K. Oohara, N.Kanda, T.Kuroda, K.Kotake, K.Sakai, Y. Sakai, T. Sawada, H. Takahashi, T. Takiwaki, S. Tsuchida, K. Hayama, T. Yokozawa
2. 発表標題 Data analysis of GWs from core-collapse supernova with Hilbert-Huang Transform
3. 学会等名 The 7 th KAGRA international workshop (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Sawada, KAGRA collaboration
2. 発表標題 Report from Operations
3. 学会等名 The 26th KAGRA Face-to-Face Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Sawada, KAGRA collaboration
2. 発表標題 KAGRA-Calibration at O3GK
3. 学会等名 2020 LIGO-Virgo-KAGRA Collaboration Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nobuyuki Kanda, on behalf of KAGRA collaboration
2. 発表標題 Status of KAGRA
3. 学会等名 The 14th International Conference on Gravitation, Astrophysics and Cosmology (ICGAC14) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 土田 怜, 神田展行, 伊藤洋介, 澤田崇広, KAGRA Collaboration
2. 発表標題 短時間ラプラス変換を用いた重力波波形の解析と信号探索
3. 学会等名 第76回年次大会(2021年)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林佑一朗, KAGRA collaboration
2. 発表標題 時間周波数領域での重力波観測信号解析の比較モニターの開発
3. 学会等名 第76回年次大会(2021年)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森末希, KAGRA collaboration
2. 発表標題 KAGRA O3GKの較正データの安定性・ガウス性評価
3. 学会等名 第76回年次大会(2021年)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武田 芽依
2. 発表標題 Hilbert-Huang 変換を用いた重力崩壊型超新星爆発由来の重力波データ解析
3. 学会等名 日本天文学会2021年春季年会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 山田智宏 他
2. 発表標題 KAGRA極低温懸架システムの低振動伝導冷却
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会(2021年)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 牛場崇史 他
2. 発表標題 AGRA低温系の現状IX
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 チンタン 他
2. 発表標題 重力波望遠鏡KAGRAのための較正手法の開発
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会(2021年)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上優貴 他
2. 発表標題 KAGRA-GE0600共同観測における較正と再構成
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤光希 他
2. 発表標題 重力波望遠鏡 KAGRA におけるレーザーの輻射圧を用いた較正
3. 学会等名 2020年度北陸物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Dan Chen
2. 発表標題 Status of KAGRA calibration toward O4
3. 学会等名 7th KAGRA International Workshop (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Koki Ito
2. 発表標題 Calibration of PCal Laser Power with O3GK
3. 学会等名 7th KAGRA International Workshop (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hsiang-Yu Huang
2. 発表標題 Improvement of calibration error method with higher order harmonics
3. 学会等名 7th KAGRA International Workshop (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Honglin Lin
2. 発表標題 Study of the frequency domain analysis method to estimate calibration errors
3. 学会等名 7th KAGRA International Workshop (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuki Inoue
2. 発表標題 KAGRA detector level systematic error
3. 学会等名 LIGO-Virgo-KAGRA meeting, 2020 September (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuki Inoue
2. 発表標題 KAGRA-GE0600共同観測における較正と再構成
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 神田展行、KAGRA collaboration
2. 発表標題 KAGRAデータ転送・保管系の観測運転に向けた構築と整備
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nobuyuki Kanda, on behalf of the KAGRA collaboration
2. 発表標題 KAGRA Data Tier
3. 学会等名 16th International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 澤田崇広, KAGRA collaboration
2. 発表標題 重力波望遠鏡KAGRAにおける重力波信号再構成と較正
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大原謙一, KAGRA Collaboration
2. 発表標題 AGRA観測運転に向けたデータ解析計算機資源とソフトウェアの整備
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武田芽依, 渡邊幸伸, 平沼悠太, 大原謙一, 神田展行, 黒田仰生, 固武慶, 酒井一樹, 坂井佑輔, 澤田崇広, 高橋弘毅, 滝脇知也, 土田 怜, 端山和大, 横澤孝章
2. 発表標題 Hilbert-Huang変換を用いた, 重力崩壊型超新星爆発のSASIモードからの重力波に対するデータ解析
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桑潤哉, 関口豊和, 森崎宗一郎, 伊藤洋介, 横山順一, KAGRA collaboration
2. 発表標題 独立成分解析によるKAGRAデータの雑音除去
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Tomigami, et al.
2. 発表標題 Toward a verification of existence of primordial black holes using gravitational wave observation
3. 学会等名 Gravitational Wave Physics and Astronomy Workshop 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takayuki Tomaru
2. 発表標題 ADVANCED TECHNOLOGIES IN KAGRA; -LARGE-SCALE CRYOGENIC GRAVITATIONAL WAVE TELESCOPE
3. 学会等名 天文台技術シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 都丸 隆行
2. 発表標題 KAGRAの現在と今後の展望
3. 学会等名 CRCタウンミーティング
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takayuki Tomaru
2. 発表標題 Cooling System of KAGRA
3. 学会等名 Gravitational wave science and technology symposium 2019 (GRASS209)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takayuki Tomaru
2. 発表標題 Cryogenic Mirror System in KAGRA
3. 学会等名 13th Amaldi Conference on Gravitational Wave, Valencia, Spain
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takayuki Tomaru
2. 発表標題 LARGE-SCALE CRYOGENIC GRAVITATIONAL- WAVE TELESCOPE: KAGRA
3. 学会等名 24th Science in Japan Forum, Washington DC, US
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takayuki Tomaru
2. 発表標題 Future Plan in/from KAGRA
3. 学会等名 Vacuum Fluctuation at Nanoscale and Gravitation conference, Sardinia, Italy
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 富上由基
2. 発表標題 KAGRA重力波観測実験とPhoton Calibratorの鏡位置モニター系の開発
3. 学会等名 アインシュタインセミナー（大阪市立大学）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 土田 伶
2. 発表標題 重力波検出器KAGRAにおける伝達関数測定とモデル作成
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Satoshi Tsuchida
2. 発表標題 The estimation for systematic errors of transfer functions on the bKAGRA phase-1 operation
3. 学会等名 GWPAW2018(Gravitational Wave Physics and Astronomy Workshop) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Satoshi Tsuchida
2. 発表標題 The transfer functions and estimation for their systematic errors on the bKAGRA phase-1 operation
3. 学会等名 International Symposium in Honor of Professor Nambu for the 10th Anniversary of his Nobel Prize in Physics
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 澤田崇広
2. 発表標題 Exclusive Drell-Yan experiment at J-PARC for studying proton GPDs
3. 学会等名 The 2nd workshop on Parton Distribution Functions and Lattice QCD (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 澤田崇広
2. 発表標題 bKAGRA phase 1 における較正精度の見積もり
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N.Kanda on behalf of KAGRA collaboration
2. 発表標題 KAGRA data management : Toward Phase-II and O3
3. 学会等名 4th KAGRA International Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuyuki Kanda (Osaka City U.) on behalf of the KAGRA collaboration
2. 発表標題 Status of KAGRA
3. 学会等名 LSC-Virgo Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 神田展行, KAGRA collaboration
2. 発表標題 キャリアレーションの系統誤差効果を考慮したKAGRAシミュレーションデータ
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N.Kanda on behalf of KAGRA collaboration
2. 発表標題 Status of KAGRA toward the observation in 2019-2020
3. 学会等名 SNeGW 2018 (Deciphering multi-Dimensional nature of core-collapse SuperNovae via Gravitational-Wave and neutrino signatures) (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahiro Sawada
2. 発表標題 Gravitational Wave Telescope KAGRA, Signal Reconstruction and Calibration
3. 学会等名 International Symposium in Honor of Professor Nambu for the 10th Anniversary of his Nobel Prize in Physics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akinobu Miyamoto
2. 発表標題 Gravitational wave astronomy using distant binary black hole mergers
3. 学会等名 International Symposium in Honor of Professor Nambu for the 10th Anniversary of his Nobel Prize in Physics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮本晃伸
2. 発表標題 bKAGRA phase1における重力波波形注入試験(2)
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮本晃伸, 衣川智弥, 神田展行
2. 発表標題 第三世代重力波検出器を用いた観測による種族III星の間接的な存在証明について
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神田展行, KAGRA collaboration
2. 発表標題 KAGRAのデータ配送と国際重力波観測ネットワークのデータ共有
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 澤田崇広, KAGRA collaboration
2. 発表標題 KAGRAにおける光輻射圧を用いた重力波波形注入試験
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土田 怜, KAGRA Collaboration
2. 発表標題 KAGRAシミュレーションデータの作成と性能評価
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 富上由基, KAGRA Collaboration
2. 発表標題 KAGRAにおける光輻射圧較正レーザー照射位置測定のための画像解析
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yu-Kuang Chu
2. 発表標題 Development of KAGRA Photon Calibrator
3. 学会等名 KAGRA International Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T.Tomaru
2. 発表標題 Black Coatings in UHV
3. 学会等名 NSF Workshop on Large UHV Systems for Frontier Scientific Research, LIGO Livingston, Louisiana (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Tomaru on behalf of KAGRA
2. 発表標題 STATUS OF KAGRA CRYOGENIC SYSTEM ± 1 YEAR
3. 学会等名 4th KAGRA International Workshop, Seoul, (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 神田展行
2. 発表標題 特別セッション「重力波観測でわかる連星合体の姿」
3. 学会等名 日本天文学会(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 神田展行
2. 発表標題 (シンポジウム講演)「重力波実験の現状と展望」
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nobuyuki Kanda
2. 発表標題 Overview of this workshop GWASNe2018 and (personal) prospect for GW detection/analysis for CCSN
3. 学会等名 GWASNe2018(Gravitational-Wave Astronomy of core-collapse SuperNovae)(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N.Kanda
2. 発表標題 KAGRA data management and analysis
3. 学会等名 The 3rd KAGRA International Workshop (KIW3) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 神田展行
2. 発表標題 重力波検出成功の決定的必要事項と今後の観測
3. 学会等名 神戸大学 第5回 物理学科・物理学専攻 談話会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 神田展行
2. 発表標題 重力波観測で挑むブラックホール連星の起源
3. 学会等名 名古屋大学 素粒子物理学各論・談話会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 土田怜
2. 発表標題 重力波検出器KAGRAにおける信号再構成にむけたデジタルフィルタの実装と系統誤差の評価
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々井穂花
2. 発表標題 KAGRAデータ転送・保管系の拡張とオンラインモニターの開発
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮本晃伸
2. 発表標題 重力波観測による種族III星の存在の間接的証明方法の研究
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Yamamoto
2. 発表標題 Off-line calibration and h-of-t reconstruction of iKAGRA
3. 学会等名 The 3rd KAGRA International Workshop (KIW3) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Inoue
2. 発表標題 Calibration of bKAGRA
3. 学会等名 The 3rd KAGRA International Workshop (KIW3) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Yokozawa
2. 発表標題 Toward the bKAGRA Hardware Injection
3. 学会等名 The 3rd KAGRA International Workshop (KIW3) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Shishido
2. 発表標題 Beam position monitor system of KAGRA Photon Calibrator
3. 学会等名 The 3rd KAGRA International Workshop (KIW3) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Inoue
2. 発表標題 KAGRA calibration and waveform accuracy
3. 学会等名 GWPAW (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 穴戸高治
2. 発表標題 KAGRAにおける輻射圧キャリブレーションのためのレーザー位置評価システムの開発
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 井上優貴
2. 発表標題 重力波干渉計KAGRAのための輻射圧キャリブレーションの開発と評価
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Bin-Hua Hsieh
2. 発表標題 Development and Characterization of Optical Follower Servo for Photon Calibrator
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 横澤孝章
2. 発表標題 重力波検出器KAGRAにおける重力波信号較正と波形注入試験
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本尚弘
2. 発表標題 iKAGRA観測における較正信号の精度評価
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 穴戸高治
2. 発表標題 大型重力波干渉計KAGRAの低温懸架系における冷却時の鏡の位置変動のモニタリングとフィッシングロッドの動作試験との比較
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井上優貴
2. 発表標題 重力波干渉計KAGRAのためのキャリブレーションシステムの構築
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Bin-Hua Hsieh
2. 発表標題 Development and Characterization of Optical Follower Servo for Photon Calibrator for KAGRA Gravitational Wave Observation
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 都丸隆行
2. 発表標題 重力波検出と技術
3. 学会等名 第14回日本加速器学会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yu-Kuang Chu
2. 発表標題 Application of Photon Calibrator in Hardware Injection Test for Kagra Gravitational Wave Detector
3. 学会等名 2018年台湾物理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Bin-Hua Hsieh
2. 発表標題 Development and Characterization_of Optical Follower Servo of Photon Calibrator for KAGRA Gravitational Wave Observation
3. 学会等名 2018年台湾物理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井上優貴
2. 発表標題 Progress of the Large-Scale Cryogenic Gravitational Wave Telescope KAGRA
3. 学会等名 2018年台湾物理学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 高原文郎、家正則、小玉英雄、高橋忠幸	4. 発行年 2020年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 912
3. 書名 宇宙物理学ハンドブック	

〔産業財産権〕

〔その他〕

大阪市立大学重力波物理学・天体物理学研究室  
<https://www.gw.hep.osaka-cu.ac.jp>  
 理学研究科 数物系専攻  
<https://www.osaka-cu.ac.jp/ja/news/2020/210322>  
 NITEPオンライン市民講座：超新星爆発と中性子星—重力波で探る元素の起源—  
<https://www.nitep.osaka-cu.ac.jp/public-lecture.html>  
 大阪市立大学重力波物理学・天体物理学研究室  
<https://www.gw.hep.osaka-cu.ac.jp>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	都丸 隆行  (Tomaru Takayuki)  (80391712)	国立天文台・重力波プロジェクト・教授   (62616)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	苔山 圭以子  (Kokeyama Keiko)		
研究協力者	井上 優貴  (Inoue Yuki)		
研究協力者	道村 唯太  (Michimura Yuta)		
研究協力者	灰野 禎一  (Haino Sadakazu)		

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	和泉 究  (Izumi Kiwamu)		
研究協力者	サベッジ リチャード  (Savege Richard)		
研究協力者	牛場 崇文  (Ushiba Takafumi)		
連携研究者	田越 秀行  (Tegoshi Hideyuki)  (30311765)	東京大学・宇宙線研究所・教授    (12601)	
連携研究者	大原 謙一  (Oohara Ken-ichi)  (00183765)	放送大学・新潟学習センター・特任教授    (32508)	
連携研究者	高橋 弘毅  (Takahashi Hirotaka)  (40419693)	東京都市大学・その他部局等・教授    (32678)	
連携研究者	伊藤 洋介  (Itoh Yousuke)  (60443983)	大阪公立大学・大学院理学研究科・准教授    (24405)	
連携研究者	阿久津 智忠  (Akutsu Tomotada)  (40564274)	国立天文台・重力波プロジェクト・助教    (62616)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	山本 尚弘  (Yamamoto Takahiro)  (00796237)	東京大学・宇宙線研究所・助教    (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	LIGO collaboration	カリフォルニア工科大学	マサチューセッツ工科大学	
イタリア	Virgo collaboration	ローマ大学		
ドイツ	マックス=プランク研究所			
台湾	台湾中央研究院	台湾中央大学		