

令和 6 年 6 月 23 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18H03698

研究課題名(和文) Gravitational-wave astrophysics with Advanced LIGO and Virgo's O3 and O4 experiments.

研究課題名(英文) Gravitational-wave astrophysics with Advanced LIGO and Virgo's O3 and O4 experiments.

研究代表者

カンノン キップ (Cannon, Kipp)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・教授

研究者番号：50777886

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,930,000円

研究成果の概要(和文)：GstLAL 重力波検出システムのアップグレードと効率改善を行い、O3 と O4 において LIGO 検出器と Virgo 検出器のデータ解析に応用した。この研究は、重力波観測天文学の分野における90以上の査読付き論文に貢献した。また、基礎物理学や原子核物理学の実験に関して、将来の重力波検出器の能力を調査した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

This research project trained students who, together, received 9 Master's degrees and 7 doctoral degrees in physics, and who have gone on to careers as professors, and industrial and research scientists. We have created tools that enable new research into fundamental physics.

研究成果の概要(英文)：We upgraded and improved the efficiency of the GstLAL gravitational-wave detection system and applied it to the analysis of data from LIGO and Virgo detectors in O3 and O4. This work contributed to over 90 peer reviewed publications in the field of observational gravitational-wave astronomy. We also investigated the capabilities of future gravitational-wave detectors with respect to experiments in fundamental and nuclear physics.

研究分野：Gravitational-wave Astronomy

キーワード：gravitational wave black hole neutron star time series analysis statistical inference

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

Just as the movement of electric charges and currents can create electromagnetic waves (including radio, light, *etc.*), the movement of masses and momenta can create gravitational-waves (GWs). This phenomenon was a prediction of general relativity (GR), and was first observed using kilometre-scale laser interferometer detectors in 2015. GWs are exceptionally difficult to detect, and we lack the ability to generate such waves artificially with sufficient amplitude to allow our current detectors to observe them, therefore the only way to study them at this time is to rely on extremely energetic natural phenomena to provide them for us. The most frequent sources of detectable GWs are the collisions of pairs of black holes.

As an illustration of what can be learned by observing GWs, on August 17, 2017, the GstLAL detection system discovered the first GW signal from a neutron star collision in coincidence with a gamma-ray burst (GRB), and was able to alert the astronomical community rapidly enough for the collision to be observed by a broad range of electromagnetic telescopes, creating the new era of multi-messenger GW astronomy (Abbot, B. P., *et al.*, doi:10.3847/2041-8213/aa91c9). From the GstLAL detection of the neutron star collision, and the subsequent electromagnetic observations:

- We measured the speed of propagation of gravity, improving previous constraints by 10 orders of magnitude.
- We confirmed that (at least some) gamma-ray bursts are neutron star collisions.
- We determined the time delay between GW emission and photon emission from a neutron star collision to be 2 s, ruling out several models of possible post-merger environments.
- We made an independent determination of the Hubble parameter describing the expansion of the Universe, finding it to be consistent with previous measurements.
- We confirmed that neutron star collisions are the source of much of the heavy elements in the Universe.
- We ruled out one non-GR polarization state for gravity.

Laser interferometer GW observatories collect data in “observing runs”, numbered sequentially, with detector upgrades occurring between. At the time of the submission of this proposal, the “O3” LIGO-Virgo observing run was expected between late 2018 or early 2019 and early 2020, during the period covered by this proposal. O4 was anticipated from early 2021 onward, the remaining period covered by this proposal. See Figure 1. Japan’s KAGRA detector was under construction, and expected to become operational for the first time in 2020 with low but useful sensitivity.

# 2 研究の目的

Our objective was to use observations of GWs detected with LIGO and Virgo during O3 and O4 to investigate the following key questions:

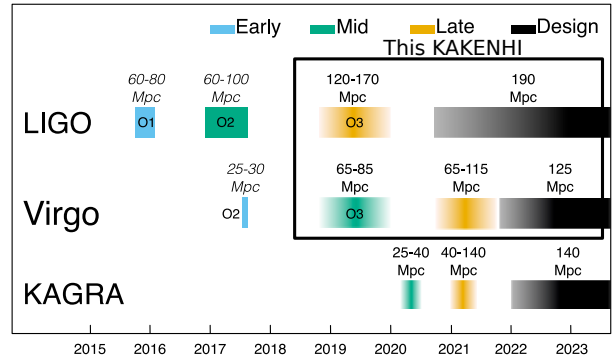


Figure 1: The planned observing runs of the aLIGO, Adv and KAGRA detectors, adapted from Abbot, B. P., *et al.*, doi:10.1007/s41114-020-00026-9. Distances are binary neutron star “ranges”. The box indicates the period of time and detector network whose data is to be used for the research proposed here.

- What is the origin of the black holes detected by GW antennas?
- Are there light stellar-mass black holes, or is there a gap between neutron stars and the masses of the lightest black holes? What does this tell us about stellar evolution?
- Do sub-solar mass black holes exist? If so in what abundance? What does their existence imply about the history of the Universe?
- Do cosmic strings exist? If so in what abundance?
- Is there a population of compact object mergers in the early universe detectable today as an astrophysical GW background?
- What are neutron stars composed of?
- In there a previously undiscovered population of weak gamma-ray bursts close to Earth?
- Can we see evidence that GR needs modification, or do our observations continue to support the correctness of the theory?

### 3 研究の方法

The specific actions we undertook to investigate the questions above were as follows.

#### 3.1 GstLAL Detection System Operation and Upgrades

- Ensured 24/7 operation of the GstLAL low-latency search for black hole and neutron star collisions during LIGO and Virgo observing runs.
- Ensured transmission of alerts of compact object collisions including to the J-GEM and MAXI Collaborations in Japan, and others internationally enabling electromagnetic follow-up.
- Incorporated a high-speed approximate parameter estimation system into the GstLAL system to decrease the latency for source location estimates required for electromagnetic follow-up.
- Developed the ability to measure the sensitivity of the detection system without the need for computationally costly software simulations.

#### 3.2 Tests of Fundamental Physics

- Investigated the influence of axions in our galaxy's halo on GWs arriving from distant sources, for the purpose of determining the detectability of this phenomenon with GW observations.
- Tested the theory of GR by checking for evidence of non-GR polarization states; checking for evidence of scalar perturbation modes in neutron star collisions.
- Investigated the influence of the interior structure of neutron stars on the GWs emitted during their collisions, and determined whether or not the presence of a quark-hadron phase transition in the interior can be detected with today's detectors or with future, planned, detectors.

#### 3.3 Searches for Exotic Gravitational-Wave Sources

- Searched LIGO and Virgo data for cosmic strings.
- Searched LIGO data for Cherenkov burst-like GWs generated by super-luminal sources.

### 3.4 Multi-Messenger Astrophysics

- Developed a technique for identifying after-glows of neutron star collisions in the daily intensity maps generated by the CHIME survey telescope.

## 4 研究成果

The work conducted for this research project contributed to a large number of LSC-Virgo-KAGRA search result publications. While many results were produced during this research project, a few highlights of our group’s work in particular are selected here.

### 4.1 High Speed Source Localization

We successfully developed an ultra high-speed source location estimation algorithm for GWs from compact object mergers. The algorithm has been added to the GstLAL detection system, and produces sky location posterior PDFs in milliseconds in the spherical harmonic basis, and in an angular pixel basis in under 100 ms with a single CPU core, compared to  $O(100\text{s})$  with  $O(100)$  CPU cores for the traditional algorithm. The additional speed is critical in early-warning applications, where the objective is to identify potential GW signals from the first portions of the waveform and alert electromagnetic astronomical facilities about the potential signal and its location on the sky before the compact objects collide.

### 4.2 $V \times t$ Estimation

One of the most computationally challenging problems in GW astronomy is determining the sensitivity of a detection system to the GWs from an astrophysical population of compact object collisions. We quote this as the equivalent volume of space and duration of time for which the class of source has been observed, *i.e.*  $V \times t$ . This sensitivity must be quantified for the purpose of correcting for selection bias effects when interpreting the signals that have been observed. The traditional technique for measuring  $V \times t$  involves reanalyzing archival data while adding large numbers of randomly generated simulated signals and checking to see which of the simulations are recovered. Up to 1/3 of the computing resources used for GW astrophysics are devoted to this task, which is substantially more than is used to perform the actual astrophysical searches, or perform the parameter estimation analyses used to infer the properties of each detected signal.

As reported in the doctoral dissertation of Mr. Hiroaki Ohta, we successfully developed an algorithm using semi-analytic Monte Carlo techniques to estimate the detection system sensitivity without the need for the traditional simulation analyses, nearly completely eliminating the cost of  $V \times t$  estimation. This will reduce the future cost of computing equipment, and enable a wider range of phenomena to be studied.

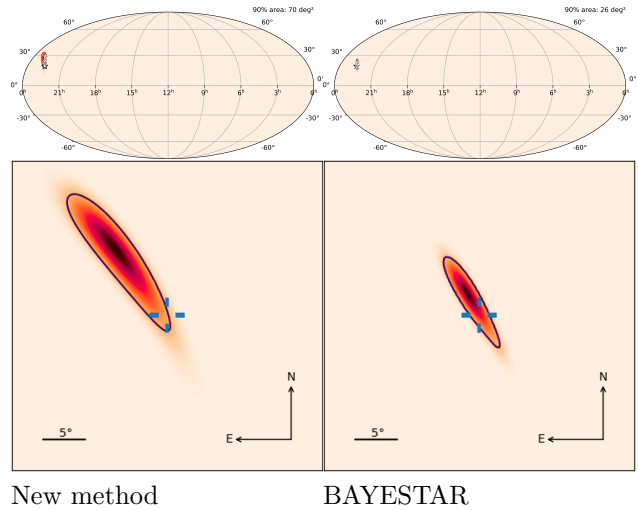


Figure 2: Comparison of performance of new high-speed method to the BAYESTAR algorithm for a typical (simulated) signal. From Tsutsui, T., *et al.*, doi:10.1103/PhysRevD.103.043011.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計59件（うち査読付論文 59件 / うち国際共著 59件 / うちオープンアクセス 31件）

1. 著者名 Abbott R., et al.	4. 巻 913
2. 論文標題 Diving below the Spin-down Limit: Constraints on Gravitational Waves from the Energetic Young Pulsar PSR J0537-6910	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L27 ~ L27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/abffcd	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 Abbott R., et al.	4. 巻 126
2. 論文標題 Constraints on Cosmic Strings Using Data from the Third Advanced LIGO?Virgo Observing Run	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 241102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.126.241102	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 Abbott R., et al.	4. 巻 11
2. 論文標題 GWTC-2: Compact Binary Coalescences Observed by LIGO and Virgo during the First Half of the Third Observing Run	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review X	6. 最初と最後の頁 21053
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevX.11.021053	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 Abbott R., et al.	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 Abbott R., et al.	4. 巻 103
2. 論文標題 Tests of general relativity with binary black holes from the second LIGO-Virgo gravitational-wave transient catalog	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 122002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.103.122002	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 Cannon Kipp, et al.	4. 巻 14
2. 論文標題 GstLAL: A software framework for gravitational wave discovery	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 SoftwareX	6. 最初と最後の頁 100680 ~ 100680
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.softx.2021.100680	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 Abbott R., et al.	4. 巻 104
2. 論文標題 Upper limits on the isotropic gravitational-wave background from Advanced LIGO and Advanced Virgo's third observing run	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 22004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.104.022004	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 Abbott R., et al.	4. 巻 104
2. 論文標題 Search for anisotropic gravitational-wave backgrounds using data from Advanced LIGO and Advanced Virgo's first three observing runs	5. 発行年 2021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.104.022005	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 Abbott R., et al.	4. 巻 915
2. 論文標題 Search for Gravitational Waves Associated with Gamma-Ray Bursts Detected by Fermi and Swift during the LIGO/Virgo Run O3a	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 86 ~ 86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abee15	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 Abbott R., et al.	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 Abbott R., et al.	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 Abbott R., et al.	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 Abbott R., et al.	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 Abbott R., et al.	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 Abbott R., et al.	4. 巻 923
2. 論文標題 Search for Lensing Signatures in the Gravitational-Wave Observations from the First Half of LIGO?Virgo 's Third Observing Run	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 14~14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac23db	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 Abbott R., et al.	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 Abbott R., et al.	4. 巻 659
2. 論文標題 Search for intermediate-mass black hole binaries in the third observing run of Advanced LIGO and Advanced Virgo	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A84 ~ A84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202141452	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 Abbott R., et al.	4. 巻 902
2. 論文標題 Gravitational-wave Constraints on the Equatorial Ellipticity of Millisecond Pulsars	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L21 ~ L21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/abb655	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 Abbott R., et al.	4. 巻 102
2. 論文標題 GW190412: Observation of a binary-black-hole coalescence with asymmetric masses	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 43015
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.102.043015	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 Abbott R., et al.	4. 巻 125
2. 論文標題 GW190521: A Binary Black Hole Merger with a Total Mass of 150 Msun	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 101102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.125.101102	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 Abbott R., et al.	4. 巻 896
2. 論文標題 GW190814: Gravitational Waves from the Coalescence of a 23 Solar Mass Black Hole with a 2.6 Solar Mass Compact Object	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L44 ~ L44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ab960f	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 Abbott R., et al.	4. 巻 900
2. 論文標題 Properties and Astrophysical Implications of the 150 Msun Binary Black Hole Merger GW190521	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L13 ~ L13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/aba493	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 Hanna Chad, Caudill Sarah, Messick Cody, Reza Amit, Sachdev Surabhi, Tsukada Leo, Cannon Kipp, Blackburn Kent, Creighton Jolien D. E., Fong Heather, Godwin Patrick, Kapadia Shasvath, Li Tjonnie G. F., Magee Ryan, Meacher Duncan, Mukherjee Debnandini, Pace Alex, Privitera Stephen, Lo Rico K. L., Wade Leslie	4. 巻 101
2. 論文標題 Fast evaluation of multidetector consistency for real-time gravitational wave searches	5. 発行年 2020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.101.022003	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 Abbott R., et al.	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 Abbott R., et al.	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 Abbott R., et al.	4. 巻 103
2. 論文標題 All-sky search in early O3 LIGO data for continuous gravitational-wave signals from unknown neutron stars in binary systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 64017
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.103.064017	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 Abbott R., et al.	4. 巻 126
2. 論文標題 Constraints on Cosmic Strings Using Data from the Third Advanced LIGO-Virgo Observing Run	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 241102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.126.241102	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 Abbott R., et al.	4. 巻 913
2. 論文標題 Diving below the Spin-down Limit: Constraints on Gravitational Waves from the Energetic Young Pulsar PSR J0537-6910	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L27 ~ L27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/abffcd	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 Abbott R., et al.	4. 巻 11
2. 論文標題 GWTC-2: Compact Binary Coalescences Observed by LIGO and Virgo during the First Half of the Third Observing Run	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review X	6. 最初と最後の頁 21053
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevX.11.021053	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 Abbott R., et al.	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 Abbott R., et al.	4. 巻 913
2. 論文標題 Population Properties of Compact Objects from the Second LIGO-Virgo Gravitational-Wave Transient Catalog	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L7 ~ L7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/abe949	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 Abbott R., et al.	4. 巻 104
2. 論文標題 Search for anisotropic gravitational-wave backgrounds using data from Advanced LIGO and Advanced Virgo's first three observing runs	5. 発行年 2021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.104.022005	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 Abbott R., et al.	4. 巻 915
2. 論文標題 Search for Gravitational Waves Associated with Gamma-Ray Bursts Detected by Fermi and Swift during the LIGO-Virgo Run O3a	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 86 ~ 86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abee15	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 Abbott R., et al.	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 Abbott R., et al.	4. 巻 103
2. 論文標題 Tests of general relativity with binary black holes from the second LIGO-Virgo gravitational-wave transient catalog	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 122002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.103.122002	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 Abbott R., et al.	4. 巻 104
2. 論文標題 Upper limits on the isotropic gravitational-wave background from Advanced LIGO and Advanced Virgo's third observing run	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 22004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.104.022004	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 Cannon K., et al.	4. 巻 14
2. 論文標題 GstLAL: A software framework for gravitational wave discovery	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 SoftwareX	6. 最初と最後の頁 100680 ~ 100680
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.softx.2021.100680	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 Abbott B. P., et al.	4. 巻 123
2. 論文標題 Search for Substellar Mass Ultracompact Binaries in Advanced LIGO 's Second Observing Run	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 161102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.123.161102	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 Abbott B. P., et al.	4. 巻 100
2. 論文標題 All-sky search for short gravitational-wave bursts in the second Advanced LIGO and Advanced Virgo run	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 24017
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.100.024017	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 Abbott B. P., et al.	4. 巻 100
2. 論文標題 Search for intermediate mass black hole binaries in the first and second observing runs of the Advanced LIGO and Virgo network	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 64064
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.100.064064	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 Abbott B. P., et al.	4. 巻 100
2. 論文標題 Search for gravitational waves from Scorpius X-1 in the second Advanced LIGO observing run with an improved hidden Markov model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 122002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.100.122002	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 Abbott B. P., et al.	4. 巻 886
2. 論文標題 Search for Gravitational-wave Signals Associated with Gamma-Ray Bursts during the Second Observing Run of Advanced LIGO and Advanced Virgo	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 75 ~ 75
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab4b48	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 Abbott B. P., et al.	4. 巻 883
2. 論文標題 Search for Eccentric Binary Black Hole Mergers with Advanced LIGO and Advanced Virgo during Their First and Second Observing Runs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 149 ~ 149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab3c2d	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 Abbott B. P., et al.	4. 巻 37
2. 論文標題 Model comparison from LIGO/Virgo data on GW170817's binary components and consequences for the merger remnant	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Classical and Quantum Gravity	6. 最初と最後の頁 045006 ~ 045006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6382/ab5f7c	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 Abbott B. P., et al.	4. 巻 101
2. 論文標題 Optically targeted search for gravitational waves emitted by core-collapse supernovae during the first and second observing runs of advanced LIGO and advanced Virgo	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 84002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.084002	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 Abbott B. P., et al.	4. 巻 909
2. 論文標題 A Gravitational-wave Measurement of the Hubble Constant Following the Second 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 218 ~ 218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abdc7	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 Abbott B. P., et al.	4. 巻 37
2. 論文標題 A guide to LIGO/Virgo detector noise and extraction of transient gravitational-wave signals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Classical and Quantum Gravity	6. 最初と最後の頁 55002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6382/ab685e	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 Abbott B. P., et al.	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 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 Abbott R., et al.	4. 巻 13
2. 論文標題 Open data from the first and second observing runs of Advanced LIGO and Advanced Virgo	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 SoftwareX	6. 最初と最後の頁 100658 ~ 100658
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.softx.2021.100658	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 Hamburg R., et al.	4. 巻 893
2. 論文標題 A Joint Fermi-GBM and LIGO/Virgo Analysis of Compact Binary Mergers from the First and Second Gravitational-wave Observing Runs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 100 ~ 100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab7d3e	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 Abbott B. P., et al.	4. 巻 892
2. 論文標題 GW190425: Observation of a Compact Binary Coalescence with Total Mass $\approx 3.4 M_{\odot}$	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L3 ~ L3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ab75f5	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 Magee Ryan, Fong Heather, Caudill Sarah, Messick Cody, Cannon Kipp, Godwin Patrick, Hanna Chad, Kapadia Shasvath, Meacher Duncan, Mohite Siddharth R., Mukherjee Debnandini, Pace Alexander, Sachdev Surabhi, Shikachi Minoru, Singer Leo	4. 巻 878
2. 論文標題 Sub-threshold Binary Neutron Star Search in Advanced LIGO's First Observing Run	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L17 ~ L17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ab20cf	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 Albert A., et al.	4. 巻 870
2. 論文標題 Search for Multimessenger Sources of Gravitational Waves and High-energy Neutrinos with Advanced LIGO during Its First Observing Run, ANTARES, and IceCube	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 134 ~ 134
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aaf21d	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 Abbott B. P., et al.	4. 巻 9
2. 論文標題 Properties of the Binary Neutron Star Merger GW170817	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review X	6. 最初と最後の頁 011001-011001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevX.9.011001	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 Abbott B. P., et al.	4. 巻 122
2. 論文標題 Constraining the p-Mode/g-Mode Tidal Instability with GW170817	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 061104-061104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.122.061104	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 Abbott B. P., et al.	4. 巻 120
2. 論文標題 Search for Tensor, Vector, and Scalar Polarizations in the Stochastic Gravitational-Wave Background	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 201102-201102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.120.201102	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 Abbott B. P., et al.	4. 巻 121
2. 論文標題 GW170817: Measurements of Neutron Star Radii and Equation of State	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 161101~161101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.121.161101	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 Abbott B. P., et al.	4. 巻 97
2. 論文標題 Full band all-sky search for periodic gravitational waves in the O1 LIGO data	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 102003~102003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.97.102003	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 Abbott B. P., et al.	4. 巻 97
2. 論文標題 Constraints on cosmic strings using data from the first Advanced LIGO observing run	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 102002~102002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.97.102002	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

〔学会発表〕 計24件 (うち招待講演 11件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 Kipp Cannon
2. 発表標題 Status of the Third Advanced-Detector Observation Run
3. 学会等名 GW Genesis Workshop (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kipp Cannon
2. 発表標題 Data Analysis in COVID Days
3. 学会等名 Research Center for the Early Universe Summer School (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kipp Cannon
2. 発表標題 Summary of Cannon Laboratory Activities at RESCEU
3. 学会等名 GW Genesis Workshop (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kipp Cannon
2. 発表標題 The Unlikely Dawn of Joint Gravitational-Wave and Electromagnetic Astronomy
3. 学会等名 Korean Physical Society Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kipp Cannon
2. 発表標題 Identification and Significance Assessment of Compact Object Merger Candidates
3. 学会等名 Korean Physical Society Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kipp Cannon
2. 発表標題 The Unlikely Dawn of Joint Gravitational-Wave and Electromagnetic Astronomy
3. 学会等名 Korean Physical Society Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kipp Cannon, Heather Fong, Soichiro Morisaki, Hiroaki Ohta, Minoru Shikachi, Leo Tsukada, Daichi Tsuna, Takuya Tsutsui, Koh Ueno
2. 発表標題 Gravitational-Wave Astrophysics at The University of Tokyo's Research Center for the Early Universe
3. 学会等名 Canadian Astronomical Society Annual General Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kipp Cannon
2. 発表標題 Gravitational Waves From Neutron Star Collisions
3. 学会等名 IGC@25 Meeting (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kipp Cannon
2. 発表標題 HPC Challenges in Astrophysics: Large Scale Scientific Computing for Gravitational-wave Detection
3. 学会等名 International High Performance Computing Summer School 2019 (IHPCSS19) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kipp Cannon
2. 発表標題 Gravitational Waves From Neutron Star Collisions
3. 学会等名 Riken Center for Nuclear Study Summer School 2019 (CNSS19) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kipp Cannon
2. 発表標題 The Unlikely Dawn of Joint Gravitational-Wave and Electromagnetic Astronomy
3. 学会等名 Canadian Astronomical Society (CASCA) Annual Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kipp Cannon
2. 発表標題 Compact Object Search(es) in O3
3. 学会等名 KAGRA Face-to-face Meeting (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kipp Cannon
2. 発表標題 Identification and Significance Assessment of Compact Object Merger Candidates
3. 学会等名 2018 TGWG Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kipp Cannon
2. 発表標題 GstLAL Project Activities and Management
3. 学会等名 KAGRA Face-to-face Meeting (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daichi Tsuna
2. 発表標題 Multi-wavelength Detectability of Mass Ejection in Failed Supernovae from Blue Supergiants and Wolf-Rayet Stars
3. 学会等名 Jet and Shock Breakouts in Cosmic Transients
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daichi Tsuna
2. 発表標題 Detectability of Mass Ejection from Failed Supernovae
3. 学会等名 RESCEU Summer School
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daichi Tsuna
2. 発表標題 衝撃波領域の構造を考慮したIIIn型超新星の光度曲線モデル (A Light Curve Model for Type IIIn Supernovae)
3. 学会等名 日本天文学会年会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Leo Tsukada
2. 発表標題 A first search for stochastic gravitational waves from ultralight bosons
3. 学会等名 Gravitational Waves Physics and Astronomy Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takuya Tsutsui
2. 発表標題 Roughly rapid localization with SNR correlation
3. 学会等名 LIGO-Virgo Collaboration Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koh Ueno
2. 発表標題 bKAGRA phase-3 に向けた連星合体重力波探索パイプラインの改良
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koh Ueno
2. 発表標題 KAGRA data analysis with CBC search pipeline gstLAL
3. 学会等名 Area Workshop 2018 Early Summer "Gravitational wave physics and astronomy: Genesis"
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Koh Ueno
2. 発表標題 Gravitational wave data analysis activities at RESCEU
3. 学会等名 The Second annual symposium of the innovative area "Gravitational Wave Physics and Astronomy: Genesis"
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroaki Ohta
2. 発表標題 Modeling Selection biases in Searches for Gravitational Waves from Compact Object Collisions
3. 学会等名 22nd KAGRA F2F
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroaki Ohta
2. 発表標題 代数的手法を取り入れた重力波のデータ解析
3. 学会等名 JPS (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

GstLAL detection software <https://git.ligo.org/lscsoft/gstlal>  
 LALSuite <https://git.ligo.org/lscsoft/lalsuite>  
 sphradiator <https://git.ligo.org/kipp.cannon/sphradiator>  
 python-ligo-lw <https://git.ligo.org/kipp.cannon/python-ligo-lw>

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
研究協力者	田越 秀行  (Hideyuki Tagoshi)  (30311765)	東京大学・宇宙線研究所・准教授    (12601)	
研究協力者	横山 順一  (Yokoyama Jun'ichi)  (50212303)	東京大学・理学(系)研究科(研究院)・教授    (12601)	
研究協力者	茂山 俊和  (Shigeyama Toshikazu)  (70211951)	東京大学・理学(系)研究科(研究院)・教授    (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