

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03913

研究課題名(和文) Studying Massive Star Evolution from Progenitor to Supernova Remnant using Long-term Hydrodynamical Simulations and Machine Learning

研究課題名(英文) Studying Massive Star Evolution from Progenitor to Supernova Remnant using Long-term Hydrodynamical Simulations and Machine Learning

研究代表者

李 兆衡 (Lee, Shiu Hang)

京都大学・理学研究科・講師

研究者番号：50611844

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究プログラムは5年間の間に数々の研究成果を生み出し、多くの査読付き国際雑誌に出版され、加えて京大の大学院生2名の博士号取得(2021年度と2023年度)に大きく貢献した。本研究室直属の院生以外にも複数の国内および海外の大学院生の研究にも寄与し、その博士号取得にも貢献した。研究内容としては、超新星残骸の天体物理を中心に、流体シミュレーション、星周物質の環境、多波長輻射モデリング、宇宙線・ニュートリノと宇宙プラズマ物理、および将来X線観測装置の開発と科学利用に幅広く網羅した。本科研費は科学面でも人材育成面でも両方とも大変有意義に寄与し、素晴らしい成果を生み出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

The research realized by this generous grant has shed light on multiple aspects of the theory of stellar evolution of massive stars, supernova explosion mechanisms, particle acceleration and so on as well as providing constraints on the development of future X-ray space telescopes.

研究成果の概要(英文)：The research program supported by this KAKENHI (C) grant was carried out successfully and has bore fruit in the form of a series of papers in refereed journals as well as two graduate students at Kyoto University being granted their Ph.D degrees in the year of 2022 and 2024 respectively. The grant has also been used to help supervise research projects by several domestic and overseas graduate students who have succeeded to obtain their Ph.D degrees during the KAKENHI (C) period as well. One could say this funding has contributed to both science of supernovae and supernova remnants (SNRs) as well as graduate school education for budding astrophysicists and researchers in tech companies. In terms of research, we have produced a consistent series of published results on topics such as hydro evolution of SNRs in various circumstellar environments, broadband emission modeling, cosmic ray and neutrino physics, astrophysical plasma and also development of next generation X-ray telescopes.

研究分野：Supernova remnants

キーワード：Supernova remnants Cosmic rays Hydrodynamics X-ray astronomy Gamma-ray astronomy Massive stars Shock waves Plasma

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

With multiple space and ground-based telescopes being pointed to various kinds of supernova remnants in the Universe for multi-wavelength observations, unveiling before us the multi-faceted physics of these fascinating objects, the theoretical and numerical modeling side of their studies have been hindered by a major shortcoming. While good models had been developed for supernova remnant evolution, emission interpretation and so on, these models were mostly based on ad hoc assumptions on simplistic initial conditions to mimic the outcomes of the original core-collapse supernova explosion. While the physics can be captured accurately during the supernova remnant phase to a large extent, these insufficient models for the initial conditions were slowing down the progress by putting a bottleneck on their affinity to reality. The same situation was prevailing in the supernova modeling community where the inadequacy was coming from the stellar evolution part before the explosion happens. So to improve the situation, it comes down to joining these individual efforts together in the three last stages of massive star evolution into one and coherent computation platform, with each of the component basing on more realistic outcomes from each other.

2. 研究の目的

The research program was initiated on the purpose of trying to link the state-of-the-art numerical models of stellar evolution, supernova explosion and supernova remnant evolution for massive stars into a coherent framework, so as to compute the last stages of the lives of these massive progenitor stars of core-collapse supernovae in a self-consistent fashion. From this platform, we develop a pipeline which can be given specific types of explosion and circumstellar environments and produce results which are directly comparable to observation data. So it not only form a self-feedback mechanism which allow us to fine-tune the physical and astrophysical parameters and to minimize their degeneracy to search for the best-fit model, it also allows us to do systematic quantitative studies to compare theoretical models against each other in terms of their observational outcome, so as to understand better what observables we should be measuring to contrast and constrain these models, either from data of the currently available observational facilities, but also from the next-generation instruments like future X-ray space telescopes.

3. 研究の方法

Our method includes using numerical simulation codes such as MESA for the stellar evolution part, SNeC for the supernova explosion part, and our own development of a SNR evolution code in which physics including hydrodynamics, particle acceleration (nonlinear diffusive shock acceleration), plasma physics, non-equilibrium ionization and multi-species temperature equilibrations, radiative cooling and so on are included in a self-consistently and fully time-dependent fashion. We have developed a pipeline which can effectively link these codes together seamlessly, i.e., what comes out from the code for the previous evolutionary stage goes into the simulation of the next following stage. We can then use such a pipeline to predict the progenitor nature of any observed supernova remnant, how different explosion mechanism and circumstellar environment would impact on the remnants hundreds and thousands of years after the supernova explosions, etc.

4. 研究成果

The pipeline we developed during the research period supported by this KAKENHI C has led to a collection of peer-reviewed publications in international journals, which we believe has helped pave a pioneer path towards a better understanding of massive star evolution, supernova physics and the rich diversity we have found in the supernova remnants. In particular, unlike the works of many others in the field, our calculations are not only realistic but also immediately usable for confronting observations now and in the future.

In addition to papers directly related to this line of research, we have also embarked on other projects related to astrophysical neutrinos, cosmic ray origins, neutron star mergers, gamma-ray astronomy and so on which have also led to multiple refereed publications.

出版論文

査読付き：21

査読なし：16

出版論文リスト（査読付き）

- 1) The Astrophysical Journal Letters, 961, L9 (2024)
- 2) The Astrophysical Journal, 962, 63 (2024)
- 3) The Astrophysical Journal, 961, 32 (2024)
- 4) The Astrophysical Journal, 962, 159 (2024)
- 5) Publications of the Astronomical Society of Japan, psae025 (2024)
- 6) The Astrophysical Journal, 958, 191 (2023)
- 7) The Astrophysical Journal, 951, 57 (2023)
- 8) The Astrophysical Journal, 942, 17 (2022)
- 9) The Astrophysical Journal, 938, 23 (2022)
- 10) The Astrophysical Journal, 936, 26 (2022)
- 11) The Astrophysical Journal, 930, 143 (2022)
- 12) The Astrophysical Journal, 925, 193 (2022)
- 13) The Astrophysical Journal Letters, L16 (2021)
- 14) The Astrophysical Journal, 918, 34 (2021)
- 15) The Astrophysical Journal, 917, 61 (2021)
- 16) The Astrophysical Journal, 914, 41 (2021)
- 17) The Astrophysical Journal Letters, 906, L3 (2021)
- 18) The Astrophysical Journal, 891, 179 (2020)
- 19) Astronomy and Astrophysics, 622, A73 (2019)
- 20) The Astrophysical Journal, 885, 41 (2019)
- 21) The Astrophysical Journal, 876, 27 (2019)

大学院院生指導

（主査）

- 1) Haruo Yasuda, Ph.D 2021 (Kyoto University)
- 2) Ryosuke Kobashi, Ph.D 2023 (Kyoto University)

（Co-supervision and collaborator）

- 1) Tomoki Matsuoka, Ph.D 2022 (Kyoto University)
- 2) Taylor Jacovich, Ph.D 2021 (George Washington University)

主催した国際会議

- 1) Scientific organizing committee, Chandra Science Workshop - Supernova Remnants and their Progenitors, Harvard- Smithsonian Center for Astrophysics, Aug 2022
- 2) Chairperson, Collaborative Meeting on Supernova Remnants between Japan and USA, RIKEN and Kyoto University, Nov 2019
- 3) Scientific organizing committee, Supernova Remnants II - An Odyssey in Space after Stellar Death, Chania, Crete, Greece, June 2019

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 19件 / うち国際共著 10件 / うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Matsuoka Tomoki, Lee Shiu-Hang, Maeda Keiichi, Takiwaki Tomoya, Moriya Takashi J.	4. 巻 930
2. 論文標題 Long-term Evolution of a Supernova Remnant Hosting a Double Neutron Star Binary	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 143 ~ 143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac67a4	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 Kobashi Ryosuke, Yasuda Haruo, Lee Shiu-Hang	4. 巻 936
2. 論文標題 Long-term Evolution of Nonthermal Emission from Type Ia and Core-collapse Supernova Remnants in a Diversified Circumstellar Medium	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 26 ~ 26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac80f9	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 Katsuragawa Miho, Lee Shiu-Hang, Odaka Hirokazu, Bamba Aya, Matsumura Hideaki, Takahashi Tadayuki	4. 巻 938
2. 論文標題 On the Formation of Over-ionized Plasma in Evolved Supernova Remnants	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 23 ~ 23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac8cf9	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 Maeda Keiichi, Chandra Poonam, Moriya Takashi J., Reguitti Andrea, Ryder Stuart, Matsuoka Tomoki, Michiyama Tomonari, Pignata Giuliano, Hiramatsu Daichi, Bostroem K. Azalee, Kundu Esha, Kuncarayakti Hanindyo, Bersten Melina C., Pooley David, Lee Shiu-Hang, Patnaude Daniel, Rodriguez Osmar, Folatelli Gaston	4. 巻 942
2. 論文標題 A Multiwavelength View of the Rapidly Evolving SN 2018ivc: An Analog of SN IIfb 1993J but Powered Primarily by Circumstellar Interaction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 17 ~ 17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aca1b7	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 R. Kraft, M. Markevitch, C. Kilbourne et al. (with S.-H. Lee)	4. 巻 1
2. 論文標題 Line Emission Mapper (LEM): Probing the physics of cosmic ecosystems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ArXiv	6. 最初と最後の頁 18 ~ 18
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 Yasuda Haruo, Lee Shiu-Hang, Maeda Keiichi	4. 巻 925
2. 論文標題 Resurrection of Nonthermal Emissions from Type Ib/c Supernova Remnants	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 193 ~ 193
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac3b49	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 Yasuda Haruo, Lee Shiu-Hang, Maeda Keiichi	4. 巻 919
2. 論文標題 Dark Age of Type II Supernova Remnants	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L16 ~ L16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ac24ac	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 Maeda Keiichi, Chandra Poonam, Matsuoka Tomoki, Ryder Stuart, Moriya Takashi J., Kuncarayakti Hanindy, Lee Shiu-Hang, Kundu Esha, Patnaude Daniel, Saito Tomoki, Folatelli Gaston	4. 巻 918
2. 論文標題 The Final Months of Massive Star Evolution from the Circumstellar Environment around SN Ic 2020oi	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 34 ~ 34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac0dbc	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 Jacovich Taylor, Patnaude Daniel, Slane Patrick, Badenes Carles, Lee Shiu-Hang, Nagataki Shigehiro, Milisavljevic Dan	4. 巻 914
2. 論文標題 A Grid of Core-collapse Supernova Remnant Models. I. The Effect of Wind-driven Mass Loss	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 41 ~ 41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abf935	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 Tanaka Takaaki, Okuno Tomoyuki, Uchida Hiroyuki, Yamaguchi Hiroya, Lee Shiu-Hang, Maeda Keiichi, Williams Brian J.	4. 巻 906
2. 論文標題 Rapid Deceleration of Blast Waves Witnessed in Tycho 's Supernova Remnant	5. 発行年 2021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/abd6cf	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 Yasuda Haruo, Lee Shiu-Hang	4. 巻 876
2. 論文標題 Time Evolution of Broadband Nonthermal Emission from Supernova Remnants in Different Circumstellar Environments	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 27 ~ 27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab13ab	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 Matsuoka Tomoki, Maeda Keiichi, Lee Shiu-Hang, Yasuda Haruo	4. 巻 885
2. 論文標題 Radio Emission from Supernovae in the Very Early Phase: Implications for the Dynamical Mass Loss of Massive Stars	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 41 ~ 41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab4421	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 He Hao-Ning, Lee Shiu-Hang, Nagataki Shigehiro, Kusenko Alexander	4. 巻 891
2. 論文標題 Neutrinos from the Galactic Center Hosting a Hypernova Remnant	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 179 ~ 179
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab7749	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 Yeung Paul K H, Lee Shiu-Hang, Mizuno Tsunefumi, Bamba Aya	4. 巻 76
2. 論文標題 Examining a hadronic γ -ray scenario for the radiative shell and molecular clouds of the old GeV supernova remnant G298.6+0.0	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1 ~ 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psae025	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 Uchida Hiroyuki, Kasuga Tomoaki, Maeda Keiichi, Lee Shiu-Hang, Tanaka Takaaki, Bamba Aya	4. 巻 962
2. 論文標題 Three-dimensional Velocity Diagnostics to Constrain the Type Ia Origin of Tycho's Supernova Remnant	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 159 ~ 159
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ad1ff3	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 Court Travis, Badenes Carles, Lee Shiu-Hang, Patnaude Daniel, Garc?a-Segura Guillermo, Bravo Eduardo	4. 巻 962
2. 論文標題 Do Type Ia Supernovae Explode inside Planetary Nebulae?	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 63 ~ 63
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ad165f	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 Kobashi Ryosuke, Lee Shiu-Hang, Tanaka Takaaki, Maeda Keiichi	4. 巻 961
2. 論文標題 Exploring the Circumstellar Environment of Tycho 's Supernova Remnant. I. The Hydrodynamic Evolution of the Shock	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 32 ~ 32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ad05c2	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 Sapienza Vincenzo, Miceli Marco, Bamba Aya, Orlando Salvatore, Lee Shiu-Hang, Nagataki Shigehiro, Ono Masaomi, Katsuda Satoru, Mori Koji, Sawada Makoto, Terada Yukikatsu, Giuffrida Roberta, Bocchino Fabrizio	4. 巻 961
2. 論文標題 Probing Shocked Ejecta in SN 1987A: A Novel Diagnostic Approach Using XRISM-Resolve	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L9 ~ L9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ad16e3	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 Smith D. A., Abdollahi S., Ajello M., Bailes M., Baldini L. et al. (83rd author: Lee Shiu-Hang) on behalf of the Fermi LAT Collaboration	4. 巻 958
2. 論文標題 The Third Fermi Large Area Telescope Catalog of Gamma-Ray Pulsars	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 191 ~ 191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/acee67	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 Jacovich Taylor, Patnaude Daniel, Slane Patrick, Badenes Carles, Lee Shiu-Hang, Nagataki Shigehiro, Milisavljevic Dan	4. 巻 951
2. 論文標題 Doppler Broadening and Line-of-sight Effects in Core-collapse Supernovae and Young Remnants	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 57 ~ 57
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/acd0ad	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

[学会発表] 計13件(うち招待講演 3件/うち国際学会 12件)

1. 発表者名 C. Badenes, D. Patnaude and S.-H. Lee
2. 発表標題 Models for the X-Ray Emission of Type Ia Supernova Remnants in Different Circumstellar Environments
3. 学会等名 19th AAS HEAD Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年~2023年

1. 発表者名 S.-H. Lee, H. Yasuda and K. Maeda
2. 発表標題 Probing the progenitor origins of core-collapse supernova remnants using their broadband non-thermal emission and hydrodynamic models
3. 学会等名 20th AAS HEAD Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年~2023年

1. 発表者名 D. Patnaude, S. Orlando, S.-H. Lee et al.
2. 発表標題 Dissecting the Energetics of Supernovae at High Spectral Resolution: LEM Studies of Supernovae and Supernova Remnants
3. 学会等名 20th AAS HEAD Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年~2023年

1. 発表者名 D. Castro, D. Patnaude, J. Vink (with S.-H. Lee)
2. 発表標題 20 Years of SNR Cas A with Chandra
3. 学会等名 20th AAS HEAD Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年~2023年

1. 発表者名 S.-H. Lee
2. 発表標題 Long-term Three-dimensional Hydrodynamic Simulations of Supernova Remnants for LEM Science
3. 学会等名 Science with the Line Emission Mapper: From Planets to Galaxies and Beyond (国際学会)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Kawanaka Norita, Lee Shiu-Hang
2. 発表標題 Origin of Spectral Hardening of Secondary Cosmic-Ray Nuclei
3. 学会等名 Connecting high-energy astroparticle physics for origins of cosmic rays and future perspectives (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Lee Shiu-Hang
2. 発表標題 Recent SNR-related Activities at Kyoto
3. 学会等名 Invited seminar at Astrophysical Big Bang Laboratory, RIKEN (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Jacovich, D. Patnaude, C. Badenes, S.-H. Lee, P. Slane, S. Nagasaki, D. Milisavjevic, D. Ellison
2. 発表標題 A Grid of Core Collapse Supernova Remnant Models Evolved from Massive Progenitors
3. 学会等名 Supernova Remnants II - An Odyssey in Space after Stellar death (国際学会)
4. 発表年 2019年～2020年

1 . 発表者名 D. Patnaude, S.-H. Lee
2 . 発表標題 Inferring the Properties of Core Collapse Supernova Progenitors with Machine Learning
3 . 学会等名 American Astronomical Society, High Energy Astrophysics Division 17 (国際学会)
4 . 発表年 2019年 ~ 2020年

1 . 発表者名 S.-H. Lee
2 . 発表標題 Now and the Future of Broadband Models for Supernova Remnants
3 . 学会等名 The 10th DTA symposium "Stellar deaths and their diversity" (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年 ~ 2020年

1 . 発表者名 S.-H. Lee, D. Patnaude, C. Badenes, K. Maeda
2 . 発表標題 A Novel Method for Probing Ia SN Progenitor Properties using Optical Nebular Line Emission and End-to-end Simulations of SNR evolution
3 . 学会等名 Collaborative Meeting on Supernova Remnants between Japan and USA (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年 ~ 2020年

1 . 発表者名 H. Yasuda, S.-H. Lee
2 . 発表標題 Time evolution of broadband non-thermal emission from SNRs in different circumstellar environments
3 . 学会等名 Supernova Remnants II - An Odyssey in Space after Stellar death (国際学会)
4 . 発表年 2019年 ~ 2020年

1. 発表者名 T. Matsuoka, K. Maeda, S.-H. Lee, H. Yasuda
2. 発表標題 Millimeter Emission from SNe in the Very Early Phase: Implications for Dynamical Mass Loss of Massive Stars
3. 学会等名 Supernova Remnants II - An Odyssey in Space after Stellar death (国際学会)
4. 発表年 2019年～2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Homepage http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/~herman

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

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
---------	---------