

長瀧天体ビッグバン研究室

主任研究員 長瀧 重博 (Ph.D.)



(0) 研究分野

分科会：物理

キーワード：

超新星、ガンマ線バースト、ブラックホール、中性子星、宇宙線

(1) 研究背景と研究目標

我々の研究室は、超新星・ガンマ線バーストに関する様々な謎の解明に向け、理論的研究を行います。超新星・ガンマ線バーストは宇宙最大規模の爆発現象であり、その爆発メカニズムは良く分かっていません。我々はこの究極的な現象を、究極的な物理を駆使して解き明かしたいと考えています。場合によっては急速に進化している大型計算機を用いた大規模数値シミュレーションを駆使してこの究極的現象の解明にあたります。また超新星・ガンマ線バーストは物理と謎の宝庫であり（重力波、ニュートリノ、r-process元素合成、粒子加速現象、最高エネルギー宇宙線、高エネルギーニュートリノ、高エネルギーガンマ線等）、極限宇宙物理学の最高峰とも言うべき現象です。我々はこれら様々な謎の解明に向けて最先端の理論研究を行い、この宇宙最大爆発現象の全貌を明らかにします。我々の理論研究は、超新星・ガンマ線バーストに関する最先端の観測に物理的解釈を与え、次世代観測に対する予言・提言を発信します。我々は興味を共有する理研・全国・全世界の研究者皆様と協力・連携し、研究者の理想郷を理化学研究所に実現します。

(2) 2020年度成果と今後の研究計画(中長期計画2025年度まで)

2020年度の長瀧天体ビッグバン研究室の主要な成果の一つは超新星爆発から超新星残骸に至る一連の過程を数値シミュレーションで実現したことです（項目(4) 論文[1]、[2]にて正式に成果を発表）。これは現在世界でも我々のグループのみが実行出来る画期的な理論研究です。我々は永い時間をかけてドイツやイタリア等の国々と国際共同研究グループを構築し、この成果を導きました。この我々の理論的研究により、X線等で詳細観測される超新星残骸から、超新星爆発の爆発機構の痕跡を探ることが出来るようになりました（この成果については2021年4月にNature誌への掲載決定済）。この研究に大きな寄与を果たしてきた小野勝臣研究員は、一連の研究成果が評価され、「理研梅峰賞」の受賞(2021年3月18日)に至っています。

長瀧天体ビッグバン研究室は2013年度に発足し、超新星・ガンマ線バーストの研究を中心に、世界最先端の研究を行って来ました。今ではこの分野に於いて長瀧天体ビッグバン研究室は世界的に知られる研究室となっており、我々が発表する論文はいずれも高い注目を持って世界で読まれています。研究室発足8年目となる長瀧天体ビッグバン研究室は、2020年度末までに計21名の研究員・特別研究員・SPDR/FPRを雇用し、14名が転出しました。この14名のうちパーマネントポジションを既に獲得した者が7名おり、ほぼ毎年1名の割合でパーマネントポジションを外部に獲得しています。長瀧天体ビッグバン研究室は今後も高い研究のクオリティを保ち、更に発展させていきます。最終的には長瀧天体ビッグバン研究室メンバー全員が世界各地でパーマネントポジションを獲得し、各自の研究グループを立ち上げ、理研長瀧天体ビッグバン研究室と引き続き連携を促進・深化させていくことを目指しています。

2025年度までの中長期計画では、重力波天体がひとつのキーワードとなります。これまで長瀧天体ビッグバン研究室では既に超新星・ガンマ線バーストなど、重力波天体を扱って来ましたが、今後更に中性子星・ブラックホールなどのコンパクト天体を強く意識した研究を推進します。

(3) 研究室メンバー

(2019年度)

主任研究員（研究室代表者）：長瀧 重博

研究員：水田 晃（定年制）、伊藤 裕貴、Gilles Ferrand、小野 勝臣、木戸 英治、祖谷 元、西村 信哉

JRA: 武井 勇樹

秘書：柴崎 環

(4) 主要発表論文等

1. “The fully developed remnant of a neutrino-driven supernova: Evolution of ejecta structure and asymmetries in SNR Cassiopeia A”, Orlando, S.; Wongwathanarat, A.; Janka, H.-T.; Miceli, M.; Ono, M.; Nagataki, S.; Bocchino, F.; Peres, G., **Astronomy & Astrophysics** Vol. 645, A66 (32 pp.) (2021).
2. “From Supernova to Supernova Remnant: comparison of thermonuclear explosion models” Ferrand, Gilles; Warren, Donald C.; Ono, Masaomi; Nagataki, Shigehiro; Röpke, Friedrich K.; Seitzzahl, Ivo R.; Lach, Florian; Iwasaki, Hiroyoshi; Sato, Toshiki, **The Astrophysical Journal**, 906, id.93, 26 pp. (2021).
3. “The Maximum Energy of Shock-accelerated Electrons in a Microturbulent Magnetic Field”, Warren, Donald C.; Beauchemin, Catherine A. A.; Barkov, Maxim V.; Nagataki, Shigehiro, **The Astrophysical Journal** Volume 906, Issue 1, id.33, 10 pp. (2021).
4. “Monte Carlo simulations of fast Newtonian and mildly relativistic shock breakout from a stellar wind”, Hirotaka Ito; Amir Levinson; Ehud Nakar, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society** Volume 499, Issue 4, p.4961-4971, (2020).
5. “The X-Ray Fundamental Plane of the Platinum Sample, the Kilonovae, and the SNe Ib/c Associated with GRBs” Dainotti, M. G; Lenart, A. Ł.; Sarracino, G.; Nagataki, S.; Capozziello, S.; Fraija, N. **The Astrophysical Journal** Volume 904, Issue 2, id.97, 13 pp. (2020).

Supplementary



2020年度長瀧研メンバー（客員研究員（Maxim Barkov, 川面洋平, Oliver Just, Haoning He, 井上進, Noemie Globus）を含む）

Laboratory Homepage

https://www.riken.jp/research/labs/chief/astro_big_bang/index.html

http://nagataki-lab.riken.jp/index_jp.html

(5) 業績データ

(A) プレスリリース等

RIKEN & KIPAC Press Release on “The longest “rulers” in the universe -- Gamma-Ray Bursts associated with Kilonovae are the new standard candles” by Maria Dainotti, Shigehiro Nagataki, et al. 19 Nov. 2020.

https://www.riken.jp/press/2020/20201119_3/index.html

[Delving Back Deeper: Towards GRBs as Standard Candles | Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology \(KIPAC\) \(stanford.edu\)](https://www.kavli-institute-for-particle-astrophysics-and-cosmology.stanford.edu/)

NASA & INAF Press Release on “Indication of a Pulsar Wind Nebula in the hard X-ray emission from SN 1987A” by Emanuele Greco et al. (including Shigehiro Nagataki, Masaomi Ono), 23 Feb. 2021.

https://www.nasa.gov/mission_pages/chandra/images/reclusive-neutron-star-may-have-been-found-in-famous-supernova.html

小野勝臣、「超新星 1987A における非対称爆発がもたらす元素合成と物質混合の研究」、2020 年度理研梅峰賞、2020 年 3 月 18 日

Gilles Ferrand “Supernova simulations reveal how stellar explosions shape debris clouds”RIKEN Research Highlight, 26th Mar. 2021.

(B) 授業・本

長瀧重博「巨大星の爆発と中性子星・ブラックホール」奈良女子大学 理学部共通科目 連続講義 「現代科学の最前線 — 数学・宇宙・物質・生命・情報のフロンティア —」 (Zoom)、奈良女子大学、奈良、日本、23 & 30 October 2020.

(C) 論文 (査読あり)

Orlando, S.; Ono, M.; Nagataki, S.; Miceli, M.; Umeda, H.; Ferrand, G.; Bocchino, F.; Petruk, O.; Peres, G.; Takahashi, K.; Yoshida, T. “Hydrodynamic simulations unravel the progenitor-supernova-remnant connection in SN1987A” *Astronomy & Astrophysics* Vol. 636, A22 (19 pp.) 2020/4/8.

Sato, Toshiki; Yoshida, Takashi; Umeda, Hideyuki; Nagataki, Shigehiro; Ono, Masaomi; Maeda, Keiichi; Hirai, Ryosuke; Hughes, John P.; Williams, Brian J.; Maeda, Yoshitomo “A Subsolar Metallicity Progenitor for Cassiopeia A, the Remnant of a Type IIb Supernova” *The*

Astrophysical Journal Vol. 893, 49 (9 pp.) 2020/4/10.

Sotani, H.; Takiwaki, T. “Dimension dependence of numerical simulations on gravitational waves from protoneutron stars” *Physical Review D* Vol.102, No.2, P.023028, 2020/7/22.

Telescope Array Collaboration (including Hirotaka Ito, Eiji Kido, Shigehiro Nagataki, Masaomi Ono) “Search for Large-scale Anisotropy on Arrival Directions of Ultra-high-energy Cosmic Rays Observed with the Telescope Array Experiment” *Astrophysical Journal Letters*, Vol 898, L28, 2020/07/27.

Yuki Takei, Toshikazu Shigeyama “A numerical light curve model for interaction-powered supernovae” *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Vol. 72, No. 4, pp. 67-76, 2021/8.

Sotani, H.; Takiwaki, T. “Avoided crossing in gravitational wave spectra from protoneutron star” *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol.498, No.3, P.3503, 2020/8/27.

Sarira Sahu; López Fortín, Carlos E.; Nagataki, Shigehiro “Photohadronic Model for the Neutrino and Gamma-Ray Emission from TXS 0506+056” *The Astrophysical Journal* Volume 898, Issue 2, id.103, August 2020

Telescope Array Collaboration (including Hirotaka Ito, Eiji Kido, Shigehiro Nagataki, Masaomi Ono) “Evidence for a Supergalactic Structure of Magnetic Deflection Multiplets of Ultra-high-energy Cosmic Rays” *Astrophysical Journal*, Vol 899, 86, 2020/08/14.

Telescope Array Collaboration (including Hirotaka Ito, Eiji Kido, Shigehiro Nagataki, Masaomi Ono) “Measurement of the proton-air cross section with Telescope Array’s Black Rock Mesa and Long Ridge fluorescence detectors, and surface array in hybrid mode” *Physical Review D*, Vol 102, 062004, 2020/09/15.

Telescope Array Collaboration (including Hirotaka Ito, Eiji Kido, Shigehiro Nagataki, Masaomi Ono) “Search for Ultra-High-Energy Neutrinos with the Telescope Array Surface Detector” *Journal of Experimental and Theoretical Physics* Vol 131, Page 255-264, 2020/09/22.

- Sotani, H. “Gravitational wave asteroseismology for low-mass neutron stars” *Physical Review D* Vol.102, No.6, P.063023, 2020/9/24.
- Sotani, H.; Takiwaki, T. “Accuracy of the relativistic Cowling approximation in protoneutron star asteroseismology” *Physical Review D*, Vol.102, No.6, P.063025, 2020/9/25.
- Tutone, Antonio; Orlando, Salvatore; Miceli, Marco; Ustamujic, Sabina; Ono, Masaomi; Nagataki, Shigehiro; Ferrand, Gilles; Greco, Emanuele; Peres, Giovanni; Warren, Donald C.; Bocchino, Fabrizio “3D modeling from the onset of the SN to the full-fledged SNR. Role of an initial ejecta anisotropy on matter mixing”, *Astronomy & Astrophysics* 642, id.A67, 15 pp. October 2020.
- Sarira Sahu; López Fortín, Carlos E.; Castañeda Hernández, Luis H.; Nagataki, Shigehiro; Rajpoot, Subhash “A Two-zone Photohadronic Scenario for EABL-like Behavior of Mrk 501” *The Astrophysical Journal* Volume 901, Issue 2, id.132, 7 pp. October 2020.
- Srinivasaragavan, G. P.; Dainotti, M. G.; Fraija, N.; Hernandez, X.; Nagataki, S.; Lenart, A.; Bowden, L.; Wagner, R. “On the Investigation of the Closure Relations for Gamma-Ray Bursts Observed by Swift in the Post-plateau Phase and the GRB Fundamental Plane” *The Astrophysical Journal* Volume 903, Issue 1, id.18, 15 pp. November 2020.
- Sotani, H. “Estimating the nuclear saturation parameter via low-mass neutron star asteroseismology” *Physical Review D*, Vol.102, No.10, P.103021, 2020/11/18.
- Hirota Ito; Amir Levinson; Ehud Nakar “Monte Carlo simulations of fast Newtonian and mildly relativistic shock breakout from a stellar wind” *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* Volume 499, Issue 4, p.4961-4971, December 2020.
- Dainotti, M. G.; Lenart, A. Ł.; Sarracino, G.; Nagataki, S.; Capozziello, S.; Fraija, N. “The X-Ray Fundamental Plane of the Platinum Sample, the Kilonovae, and the SNe Ib/c Associated with GRBs” *The Astrophysical Journal* Volume 904, Issue 2, id.97, 13 pp. December 2020.
- Orlando, S.; Wongwathanarat, A.; Janka, H.-T.; Miceli, M.; Ono, M.; Nagataki, S.; Bocchino, F.; Peres, G. “The fully developed remnant of a neutrino-driven supernova: Evolution of ejecta structure and asymmetries in SNR Cassiopeia A” *Astronomy & Astrophysics* Vol. 645, A66 (32 pp.) 2021/1/14.
- Ferrand, Gilles; Warren, Donald C.; Ono, Masaomi; Nagataki, Shigehiro; Röpke, Friedrich K.; Seitzzahl, Ivo R.; Lach, Florian; Iwasaki, Hiroyoshi; Sato, Toshiki “From Supernova to Supernova Remnant: comparison of thermonuclear explosion models” *The Astrophysical Journal*, 906, id.93, 26 pp. January 2021.
- Warren, Donald C.; Beauchemin, Catherine A. A.; Barkov, Maxim V.; Nagataki, Shigehiro “The Maximum Energy of Shock-accelerated Electrons in a Microturbulent Magnetic Field” *The Astrophysical Journal* Volume 906, Issue 1, id.33, 10 pp. January 2021.
- The Cherenkov Telescope Array (CTA) Consortium (including Gilles Ferrand, Shigehiro Nagataki) “Sensitivity of the Cherenkov Telescope Array to a dark matter signal from the Galactic centre” *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, 2021, id. 057, 68 pp. January 2021.
- Gereco, Emanuele; Miceli, Marco; Orlando, Salvatore; Olmi, Barbara; Bocchino, Fabrizio; Nagataki, Shigehiro; Ono, Masaomi; Dohi, Akira; Peres, Giovanni “Indication of a Pulsar Wind Nebula in the Hard X-Ray Emission from SN 1987A” *The Astrophysical Journal Letters* Vol. 908, L45 (7 pp.) 2021/2/24.
- Morokuma, Tomoki (37 authors including Shigehiro Nagataki) “Follow-up observations for IceCube-170922A: Detection of rapid near-infrared variability and intensive monitoring of TXS 0506+056” *Publications of the Astronomical Society of Japan* Volume 73, Issue 1, pp.25-43, February 2021.
- The Cherenkov Telescope Array (CTA) Consortium (including Gilles Ferrand, Shigehiro Nagataki) “Sensitivity of the Cherenkov Telescope Array for probing cosmology and fundamental physics with gamma-ray propagation” *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, Issue 02, article id. 048 February 2021.

(D) 国内会議口頭発表 (招待・基調講演)

木戸英治「TA 実験の最新結果」CRC タウンミーティング (オンライン会議)、2020/9/18.

長瀧重博「UHECRs from Nuclear & Astro Physical Points of Views」JEM-EUSO-Japan 会合 (Zoom), Tokyo, Japan, 06 October 2020.

小野勝臣「重力崩壊型超新星爆発と超新星爆発-超新星残骸進化における元素合成から分子形成まで」第3回 理研-九大ワークショップ ~数理で繋ぐミクロとマクロ: 素粒子・原子核・宇宙~ (オンライン開催) 2020/12/21.

(E) 国際会議口頭発表

Akira Mizuta “Astrophysical plasma jet” Workshop on Laboratory Astrophysics: Novel Development in Nonlinear Plasma Physics with Lasers, Osaka Univ. (online), Osaka, Japan, 2020/Sep/02.

Hajime Sotani “Gravitational waves from supernova and protoneutron star asteroseismology” 7th KAGRA International Workshop, National Central University, Taiwan (online), 2020 年 12 月 19 日

(F) 国内会議口頭発表

武井勇樹「A two-temperature radiative transfer simulation for interaction-powered supernovae」Planet2/RESCEU Summer School, 東京大学 (オンライン開催) 2020/8/18.

西村信哉「重力崩壊型超新星における νp プロセス元素合成と p 核の起源」日本天文学会 2020 年秋季年会 (オンライン開催) 2020/9/8.

木戸英治「TA 実験 340: TA_{x4} 実験全体報告 7」日本物理学会 2020 年秋季大会 (オンライン開催) 2020/9/14.

祖谷元「原始中性子星からの重力波振動数における擬交差と固有振動の振る舞い」日本物理学会 2020 年秋季大会 (オンライン開催) 2020/9/14.

木戸英治「超高エネルギー宇宙線の伝搬と光核反応」日本物理学会 2020 年秋季大会 (オンライン開催) 2020/9/17

西村信哉「超新星 r プロセス残骸？」初代星初代銀河研究会 2020 (オンライン開催)、東北大学、日本、2020/11/16.

伊藤裕貴 「相対論的輻射媒介衝撃波の第一原

理計算」高エネルギー宇宙物理学研究会 2020、東京大学宇宙線研究所 (オンライン)、2020 年 12 月 17 日

木戸英治「光核反応の超高エネルギー宇宙線伝播への影響」日本物理学会第 76 回年次大会 (オンライン)、2021/3/12.

祖谷元「低質量中性子星震学を用いた 原子核飽和パラメータの推定」日本物理学会第 76 回年次大会 (オンライン)、2021/3/15.

伊藤裕貴 「ショートガンマ線バーストジェットからの光球面放射の輻射輸送計算」日本天文学会春季年会 (オンライン)、2021 年 3 月 17 日

西村信哉「中性子過剰ウラン同位体の核分裂が r プロセス元素合成に与える影響」日本天文学会春季年会 (オンライン)、2021 年 3 月 18 日

水田晃「ブラックホール降着流シミュレーションのための GRMHD コードの開発」ブラックホール磁気圏研究会 2021、名古屋大学 (オンライン) 2021 年 3 月 26 日

(G) 国内セミナー発表

Shigehiro Nagataki “Why Massive Stars Explode?” OIST seminar (Zoom), OIST, OKINAWA, Japan (zoom), 30 July 2020.

Shigehiro Nagataki “Introduction to The Nobel Prize in Physics 2020” iTHEMS Seminar (Zoom), Saitama, Japan, 09 October 2020.

Masaomi Ono “3D simulations of SN 1987A from the explosion to the supernova remnant: the impact of progenitor models including a binary merger model, the molecule formation in the ejecta” 早稲田大学理論宇宙物理学研究室セミナー、早稲田大学 (オンライン開催)、2020/11/6.

FERRAND Gilles “From the thermonuclear supernova to the supernova remnant” RESCEU, The University of Tokyo, Tokyo (virtually), 2020/11/26.

(H) 国際会議ポスター発表

FERRAND Gilles “From supernova to supernova remnant: the three-dimensional imprint of a thermonuclear explosion”, CASCA 2020 Annual General Meeting, York Univ. Canada (online), 2020/05/25.

Ferrand Gilles, Warren, Donald, Nagataki,

Shigehiro “Engaging the public with supernova and supernova remnant research using virtual reality” CASCA 2020 Annual General Meeting, York Univ. Canada (online), 2020/05/25.

Safi-harb, Samar; Ramsay, Michael; Ferrand, Gilles; West, Jennifer “A New Version of SNRcat:the High Energy Catalogue of Galactic Supernova Remnants” CASCA 2020 Annual General Meeting, York Univ. Canada (online), 2020/05/25.

長瀧重博「ちょっと待て、ブラックホールから光速ジェットが噴き出す？」JSOL seminar (Zoom), JSOL, Tokyo, Japan, 10 September 2020.

長瀧重博「ブラックホールの特異点って何？」iTHEMS×Academist オンラインイベント “君は本当にブラックホールを知っているか？” (Zoom)、Tokyo, Japan、06 December 2020.

(I) 国内会議ポスター発表

小野勝臣「3次元流体計算に基づく超新星1987Aの超新星爆発から超新星残骸までの進化」高エネルギー宇宙物理学研究会 2020、東京都立大学（オンライン開催）2020.12.14-2020.12.17.

水田晃「一般相対論的磁気流体コードの開発と応用」高エネルギー宇宙物理学研究会 2020、東京都立大学（オンライン開催）2020.12.14-2020.12.17.

小野勝臣「3次元流体計算に基づく超新星1987Aの超新星爆発から超新星残骸までの進化と分子形成」第33回理論懇シンポジウム（オンライン研究会）、2020年12月23-25日

伊藤裕貴「相対論的輻射媒介衝撃波の第一原理計算」第33回理論懇シンポジウム（オンライン研究会）、2020年12月23-25日

水田晃「一般相対論的磁気流体コードの開発とブラックホール降着流への応用」第33回理論懇シンポジウム（オンライン研究会）、2020年12月23-25日

西村信哉「rプロセス元素合成のための動力学模型に基づく核分裂分布計算」第33回理論懇シンポジウム（オンライン研究会）、2020年12月23-25日

水田晃「一般相対論的磁気流体コードの開発」令和2年度 国立天文台 CfCA ユーザーズミーティング、国立天文台（オンライン開催）2021.1.19-20

伊藤裕貴「Gamma-ray emission from BNS mergers」Innovative Area (FY2017-2021) “Gravitational Wave Physics and Astronomy” The Fourth Annual Area Symposium、IPMU、東京大学（オンライン研究会）2021年2月22日、24日

(J) アウトリーチ