

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：宇宙物理学

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) 2021年度成果と今後の研究計画(中長期計画2025年度まで)

2021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の爆発機構の痕跡を、若い超新星残骸Cassiopeia Aの中に発見したことです（項目(4)論文[1]にてNature誌に成果を発表）。まず我々はX線による詳細な観測結果から、Cassiopeia Aの外周部に存在する鉄の塊には少量のチタン・クロムが含まれていることを突き止めました。更に超新星爆発時に於ける元素合成計算との比較から、その鉄の塊は超新星爆発時には殆ど爆発の中心部に対応する、中性子星表面からニュートリノ風によって吹き飛ばされて形成されたものであることを明らかにしたのです。この成果はプレスリリースされ新聞等で広く報道されました。また我々はガンマ線バースト形成に深く関連するブラックホール降着円盤に関する理論的研究（項目(4)論文[2]）、光球モデルに基づくショートガンマ線バーストの放射機構理論（同論文[3]）、ガンマ線バースト残光モデルに関する理論的研究（同論文[4]）、中性子星に於けるX線バーストに関する理論的研究（同論文[5]）等を推進しました。

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。研究室後発足9年目となる長瀧天体ビッグバン研究室は、2021年度末までに計22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獲得した者が7名おります。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（2021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、関野 裕太、Donald Warren（兼務）

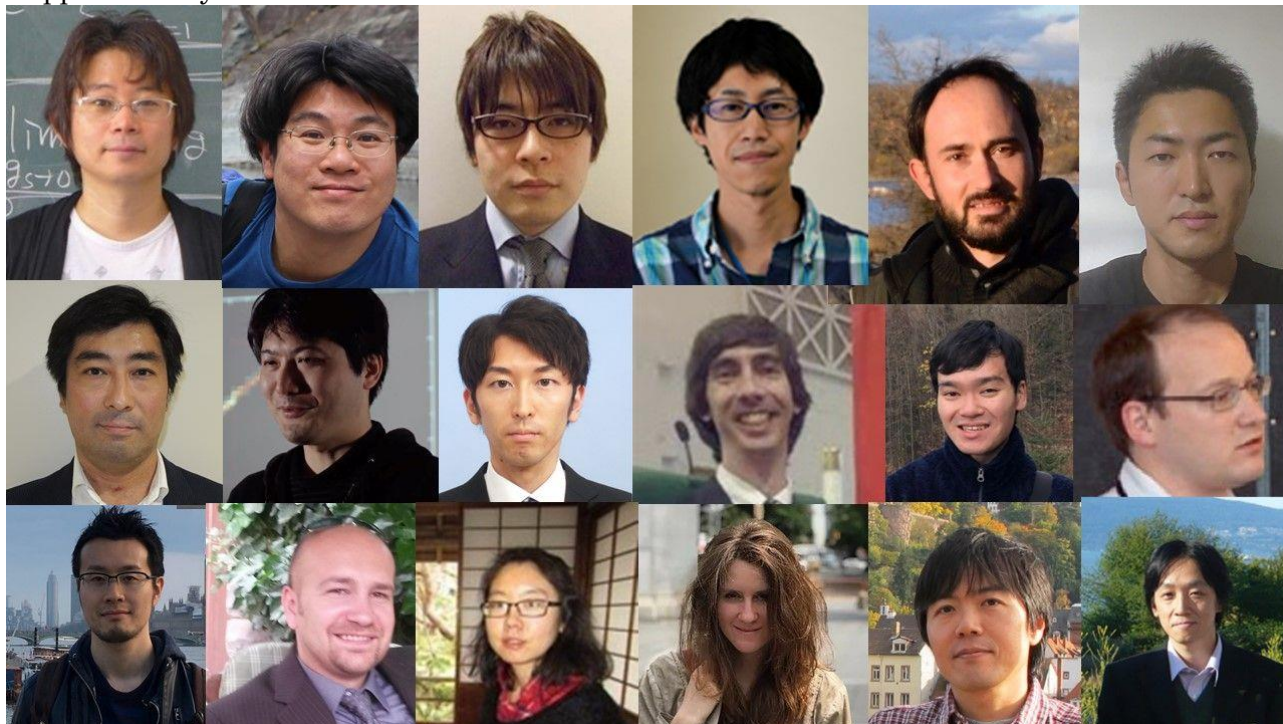
研修生：武井 勇樹

秘書：柴崎 環

(4) 主要発表論文等

1. “High-entropy ejecta plumes in Cassiopeia A from neutrino-driven convection”, Sato, T.; Maeda, K.; Nagataki, S.; Yoshida, T.; Grefenstette, B.; Williams, B. J.; Umeda, H.; Ono, M.; Hughes, J. P., Nature, Volume 592, Issue 7855, p.537-540 (2021).
2. “Neutrino absorption and other physics dependencies in neutrino-cooled black hole accretion discs”, Just, O.; Goriely, S.; Janka, H. -Th; Nagataki, S.; Bauswein, A., Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 509, Issue 1, pp.1377-1412 (2022).
3. “A Global Numerical Model of the Prompt Emission in Short Gamma-ray Bursts”, Ito, H.; Just, O.; Takei, Y.; Nagataki, S., The Astrophysical Journal, Volume 918, Issue 2, id.59, 12 pp. (2021).
4. “A Semianalytic Afterglow with Thermal Electrons and Synchrotron Self-Compton Emission”, Warren, D. C.; Dainotti, M.; Barkov, M. V.; Ahlgren, B.; Ito, H.; Nagataki, S., The Astrophysical Journal, Volume 924, Issue 1, id.40, 16 pp. (2022).
5. “Effects of the Nuclear Equation of State on Type I X-Ray Bursts: Interpretation of the X-Ray Bursts from GS 1826-24”, Dohi, A.; Nishimura, N.; Hashimoto, M.; Matsuo, Y.; Noda, T.; Nagataki, S., The Astrophysical Journal, Volume 923, Issue 1, id.64, 16 pp. (2021).

Supplementary



2021年度長瀧研メンバー（客員研究員 (Maxim Barkov, 川面洋平, Oliver Just, Haoning He, Noemie Globus, 井上進、民井淳) 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) 受賞・プレスリリース等

長瀧重博、小野勝臣等、「大質量星の超新星エンジンを X 線観測で解明」。責任著者は佐藤寿紀（立教大学）。2021 年 4 月 22 日。

プレスリリース（理研、立教大学、東京大学）

https://www.riken.jp/press/2021/20210422_1/index.html

産経新聞、時事ドットコム、マイナビニュース、Yahoo、日刊工業新聞等で紹介。

[https://www.sankei.com/article/20210422-](https://www.sankei.com/article/20210422-5JJJHALNJBW7PDWEXKRDTFAIM/)

[5JJJHALNJBW7PDWEXKRDTFAIM/](https://www.sankei.com/article/20210422-5JJJHALNJBW7PDWEXKRDTFAIM/)

<https://www.jiji.com/jc/article?k=2021042200023&g=soc>

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20210422-1876731/>

NASA Press Release

<https://chandra.harvard.edu/photo/2021/casa/>

https://www.nasa.gov/mission_pages/chandra/images/bubbles-with-titanium-trigger-titanic-explosions.html

Gilles Ferrand, “RIKEN Research: Supernova simulations reveal how stellar explosions shape debris clouds”

<https://ithemes.riken.jp/ja/news/riken-research-supernova-simulations-reveal-how-stellar-explosions-shape-debris-clouds>

Oliver Just, Shigehiro Nagataki “Where does gold come from? — New insights into element synthesis in the universe” GSI Press Release, 15th Nov. 2021.

<https://www.gsi.de/en/start/news/details/2021/11/15/elementsynthese-schwarze-loecher>

Hirota Ito “A Global Numerical Model of the Prompt Emission in Short Gamma-ray Bursts”, AAS Journal Author Series: Hirota Ito on 2021ApJ...918...59I, 20th Nov. 2021.

<https://www.youtube.com/watch?v=TaZQJubfu9o>

西村信哉（翻訳者として貢献）「2022 年カレンダー「宇宙核物理を築いた女性研究者たち」出版について」、2022 年 1 月 27 日。

https://www.cns.s.u-tokyo.ac.jp/ukakuren/whatsnew/release_v6.pdf

(B) 授業・本

長瀧重博、「一般相対性理論で宇宙はどこまで分かるのか」2021 年度 S セメスター 学術フロンティア講義、東大駒場（オンライン）、2021 年 4 月 14 日、21 日

祖谷元 立教大学（春学期）“天体物理学”

西村信哉, “Stellar Alchemy: in the era of astronomical observations and nuclear measurements”, Nobuya

Nishimura, GPPU Seminar（国際大学院教育プログラムの授業の一環）, 24 Mar. 2022, 東北大学

(C) 論文（査読あり）

Sato, T.; Maeda, K.; Nagataki, S.; Yoshida, T.; Grefenstette, B.; Williams, B. J.; Umeda, H.; Ono, M.; Hughes, J. P., “High-entropy ejecta plumes in Cassiopeia A from neutrino-driven convection”, *Nature*, Volume 592, Issue 7855, p.537-540 (2021).

Jacovich, Taylor; Patnaude, Daniel; Slane, Patrick; Badenes, Carles; Lee, Shiu-Hang; Nagataki, Shigehiro; Milisavljevic, Dan, “A Grid of Core-collapse Supernova Remnant Models. I. The Effect of Wind-driven Mass Loss”, *The Astrophysical Journal*, Volume 914, Issue 1, id.41, 14 pp., June 2021.

Hajime Sotani, “Neutron star asteroseismology and nuclear saturation parameter”, *Phys. Rev. D* 103(12), 123015 (6/2021) (16 pages).

Dainotti, M. G.; Omodei, N.; Srinivasaragavan, G. P.; Vianello, G.; Willingale, R.; O'Brien, P.; Nagataki, S.; Petrosian, V.; Nuygen, Z.; Hernandez, X.; Axelsson, M.; Bissaldi, E.; Longo, F., “On the Existence of the Plateau Emission in High-energy Gamma-Ray Burst Light Curves Observed by Fermi-LAT”, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, Volume 255, Issue 1, id.13, 14 pp., July 2021.

Dainotti, Maria Giovanna; Lenart, Aleksander Ł.; Fraija, Nissim; Nagataki, Shigehiro; Warren, Donald C.; De Simone, Biagio; Srinivasaragavan, Gokul; Mata, Aurora, “Closure relations during the plateau emission of Swift GRBs and the fundamental plane”, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Volume 73, Issue 4, pp.970-1000, August 2021.

Ito, Hirota; Just, Oliver; Takei, Yuki; Nagataki, Shigehiro, “A Global Numerical Model of the Prompt Emission in Short Gamma-ray Bursts”, *The Astrophysical Journal*, Volume 918, Issue 2, id.59, 12 pp. September 2021

Lotay, G. et al. “First Direct Measurement of an Astrophysical p -Process Reaction Cross Section Using a Radioactive Ion Beam”, *Physical Review Letters*, Volume 127, Issue 11, article id.112701, September 2021

Hajime Sotani and Kohsuke Sumiyoshi, “Stability of the protoneutron stars toward black hole formation”, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 507(2), 2766–2776 (10/2021).

Dohi, A.; Nishimura, N.; Hashimoto, M.; Matsuo, Y.; Noda, T.; Nagataki, S., “Effects of the Nuclear Equation of State on Type I X-Ray Bursts:

Interpretation of the X-Ray Bursts from GS 1826-24”, The Astrophysical Journal, Volume 923, Issue 1, id.64, 16 pp. December 2021

Hajime Sotani, Tomoya Takiwaki, and Hajime Togashi, "Universal relation for supernova gravitational waves", Phys. Rev. D 104(12), 123009 (12/2021) (10 pages).

Hajime Sotani and Bharat Kumar, "Universal relations between the quasinormal modes of neutron star and tidal deformability", Phys. Rev. D 104(12), 123002 (12/2021) (7 pages).

Warren, Donald C.; Dainotti, Maria; Barkov, Maxim V.; Ahlgren, Björn; Ito, Hirotaka; Nagataki, Shigehiro, "A Semianalytic Afterglow with Thermal Electrons and Synchrotron Self-Compton Emission”, The Astrophysical Journal, Volume 924, Issue 1, id.40, 16 pp. January 2022.

Just, O.; Goriely, S.; Janka, H. -Th; Nagataki, S.; Bauswein, A., "Neutrino absorption and other physics dependencies in neutrino-cooled black hole accretion discs”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 509, Issue 1, pp.1377-1412 (2022).

Hiroyuki Tajima, Yuta Sekino, and Shun Uchino, "Optical spin transport theory of spin-1/2 topological Fermi superfluids”, Phys. Rev. B 105, 064508 (2022).

Hajime Sotani and Akira Dohi, "Gravitational wave asteroseismology on cooling neutron stars", Phys. Rev. D 105(2), 023007 (1/2022) (10 pages).

Ferrand, Tanikawa, Warren, Nagataki, Safi-Harb, Decourchelle "The double detonation of a double degenerate system, from Type Ia supernova explosion to its supernova remnant” The Astrophysical Journal, accepted 5 Feb 2022.

Hajime Sotani and Hajime Togashi, "Neutron star mass formula with nuclear saturation parameters", Phys. Rev. D 105(6), 063010 (3/2022) (12 pages).

Li, Wei-Jian; Xue, Rui; Long, Guang-Bo; Wang, Ze-Rui; Nagataki, Shigehiro; Yan, Da-Hai; Wang, Jian-Cheng, "Can the one-zone hadronuclear model explain the hard-TeV spectrum of BL Lac objects?”, Astronomy & Astrophysics, Volume 659, id.A184, 6 pp. , March 2022

Abbasi et al. (Telescope Array Collaboration), "Observation of variations in cosmic ray single count rates during thunderstorms and implications for large-scale electric field changes ”, Physical Review D, Volume 105, Issue 6, article id.062002 (2022).

(D) 国際会議口頭発表 (招待・基調講演)

Masaomi Ono, "Three-dimensional hydrodynamical simulations unravel the evolution of SN 1987A from the explosion to the supernova remnant”, IReNA Seminar, Online, April 9 (JST)/April 8 (ET), 2021.

E. Kido, "Status and results of the TA experiment and TAx4 experiment", GCOS workshop, Online, May 2021.

Hirotaka Ito, "Numerical Simulations of Photospheric Emission in GRBs”, The Sixteenth Marcel Grossmann Meeting, オンライン国際会議, 2021年7月6日

Hirotaka Ito, "The photospheric origin of Ep-Lp and Ep-Eiso correlations in GRBs”, The Sixteenth Marcel Grossmann Meeting, オンライン国際会議, 2021年7月9日

Hajime Sotani, "Gravitational wave asteroseismology and universal relations", (invited) Workshop on "Probe into core-collapse SuperNovae via Gravitational-Wave and neutrino signals (SNeGWv2021)", online, 2021年12月1日-2日.

Nobuya Nishimura, "Future perspectives of r-process studies from observations and measurements”, Nobuya Nishimura, JSPS/NRF/NSFC A3 Foresight Program "Nuclear Physics in the 21st Century" Joint Annual Meeting, 17-18 Feb. 2022, Online

(E) 国内会議口頭発表 (招待・基調講演)

Masaomi Ono, "Three-dimensional hydrodynamical simulations unravel the progenitor, supernova, and supernova remnant connection in SN 1987A”, 研究活性化ワークショップ ~中性子星の観測と理論~, オンライン開催, 2021年8月10日.

西村信哉, 「宇宙における元素の起源と進化 : r プロセスを中心に」, 研究会「高エネルギー現象で探る宇宙の多様性 I」, 東大宇宙線研, 2021年10月.

長瀧重博, " Overview of the Nucleus Subgroup”, r-EMU Workshop 2021 (Online), Presentation Date: 2021/10/18.

(F) 国際会議口頭発表

Gilles Ferrand, "From the (thermonuclear) supernova to the supernova remnant”, Annual general meeting of the Canadian astronomical society – CASCA (online), 10 May 2021.

E. Kido, "Status of the Telescope Array detectors", TIPP2021, Online, May 2021.

Hajime Sotani, "Gravitational wave asteroseismology on protoneutron stars", KAGRA data analysis meeting, zoom, Jun. 16, 2021.

E. Kido on behalf of the Telescope Array Collaboration, "Current status and prospects of surface detector of the TAx4 experiment", ICRC2021, Online, Jul. 2021.

Hajime Sotani, "Stability of collapsing protoneutron stars and gravitational waves", YITP-OzGrav WS "Nuclear burning in massive stars" - towards formation of black-hole binaries-, YITP/Monash Univ./zoom, July. 26-30, 2021.

E. Kido, T. Inakura, M. Kimura, S. Nagataki, N. Shimizu and A. Tamii, "Simulations of propagation of UHECR nuclei using photonuclear reaction models", 2nd PANDORA workshop, Online, Sep. 9-10, 2021.

N. Nishimura, "Jet-induced core-collapse supernovae with the production of r-process elements", XVI symposium on "Nuclei in the Cosmos", 中国+オンライン, 2021年9月

Hajime Sotani, "Gravitational wave asteroseismology in protoneutron stars", NEB-19 Recent Developments in Gravity, Athens (Online), Sep. 20-23, 2021.

N. Nishimura, "Possible observational properties of r-process nucleosynthesis in magneto-rotational core-collapse supernovae", INT Program, シアトル (アメリカ) +オンライン, 2021年10月

(G) 国内会議口頭発表

西村 信哉, 「中性子星を考慮したバーストモデルに基づいた rp プロセスの再検討」, 研究会「中性子星の観測と理論」, オンライン, 2021年8月.

Hajime Sotani, "Asteroseismology on supernova gravitational waves", ~中性子星の観測と理論~研究活性化ワークショップ 2021, online, 2021年8月10日-12日.

西村 信哉, 「ジェット状超新星における r プロセス元素の生成と放出」, 日本天文学会秋季年会, オンライン, 2021年9月.

西村 信哉, 「超ウラン元素の核分裂と r プロセス元素合成」, 日本物理学会秋季大会, オンライン, 2021年9月.

伊藤裕貴, "Relativistic radiation mediated shocks in photon starved regime", 一般講演, 日本天文学会秋季年会, 2021年9月15日, オンライン研究会

木戸英治, 他 Telescope Array Collaboration "TA 実験 364 : TAx4 実験全体報告 9", 日本物理学会, オンライン開催, 2021年9月

木戸英治, 宇都野穰, 木村真明, 清水則孝, 民井淳, 長瀧重博, "光核反応の超高エネルギー宇宙線伝播への影響 II", 日本物理学会, オンライン開催, 2021年9月

祖谷元, "重力波星震学を用いた中性子星質量と半径の推定", 日本物理学会, オンライン, 2021年9月14日-17日.

関野裕太, 西田祐介, 「2体および3対相互作用する1次元スピンレスフェルミ系とボース・フェルミ対応の拡張」, 日本物理学会2021年秋季大会(オンライン), 2021年9月20日

Hirota Ito "First principle calculation of relativistic radiation mediated shocks" r-EMU Workshop 2021、理化学研究所(オンライン開催)、2021/10/18

Masaomi Ono, "Molecule formation in core-collapse supernova ejecta: The case of SN 1987A", r-EMU Workshop 2021, オンライン開催, 2021年10月19日

木戸英治, "Simulations of propagation of ultra-high energy cosmic ray nuclei using photo-nuclear reaction models", r-EMU workshop 2021, オンライン, 2021年10月

西村信哉, 「元素合成計算における核物理の不定性の影響: s プロセス」西村信哉, 日本天文学会2022年春季年会, 2022年3月2-5日, オンライン

Hirota Ito "Monte Carlo simulations of fast Newtonian and mildly relativistic shock breakout from a stellar wind" 日本天文学会春

季年会、広島大学（オンライン開催）、
2022/3/3

関野裕太、田島裕之、内野瞬「冷却原子気体における光学スピン輸送 II」日本物理学会第 77 回年次大会(2022 年)、2022 年 3 月 15 日、オンライン

木戸英治「TA 実験 374 : TAx4 実験全体報告 10」日本物理学会 2022 年次大会(オンライン開催) 2022/03/16

小野勝臣,"Evolution of SN 1987A based on 3D hydrodynamic simulations: properties of the NS and molecule formation in the ejecta", SNR Workshop 2022, オンライン開催, 2022 年 3 月 28 日

(H) 国際会議ポスター発表

E. Kido et al., "The impact of photonuclear reaction models on propagation of ultrahigh energy cosmic rays", ICRC2021, Online, Jul. 2021.

(I) 国内会議ポスター発表

水田晃、「コラプサーからの相対論的ガンマ線バーストジェット伝搬の 3 次元流体シミュレーション」高エネルギー宇宙物理学研究会 2021、2021.11.24-26 (Online).

水田晃、「コラプサーからの相対論的ガンマ線バーストジェット伝搬の3次元流体シミュレーション」第 3 4 回理論懇シンポジウム、2021.12/22 - 24(Online).

水田晃、「コラプサーからの相対論的ガンマ線バーストジェット伝搬の3次元流体シミュレーション」国立天文台天文シミュレーションプロジェクトユーザーズミーティング、2022.1 (Online).

(J) 国際セミナー発表

Gilles Ferrand, "From the thermonuclear supernova to the supernova remnant", Colloquium of the Dept. of Physics and Astronomy, U. of Manitoba (Canada), 21 April 2021.

Nobuya Nishimura, "The cosmic origin of r-process elements: in the era of gravitational-wave astronomy", N. Nishimura, 2021 年 11 月 4 日、雲南大学 (中国) .

(K) 国内セミナー発表

Hiroataka Ito "Numerical Simulations of Photospheric Emission in Gamma-ray Bursts" 新学術領域「重力波創世記」セミナー、京都大学（オンライン開催）、2021/4/27

Shigehiro Nagasaki "Type Ia Supernovae", iTHEMS-Phys Meeting Presentation Date: 30 May 2021

Masaomi Ono, "Three-dimensional hydrodynamical simulations from supernovae to supernova remnants unravel the dynamical and chemical evolution of SN 1987A", r-EMU (RIKEN Pioneering Project: Evolution of Matter in the Universe) seminar, オンライン開催, 2021 年 6 月 17 日

長瀧重博, "From SNe to SNRs", iTHEMS Internal Meeting, RIKEN Kobe, Presentation Date: 14 Dec. 2021.

Shigehiro Nagasaki "From SNe to SNRs", R-EMU/iTHEMS Internal Meeting, RIKEN Wako (remote) Presentation Date: 16 Dec. 2021.

(L) アウトリーチ・研究会主催

長瀧重博、「超新星爆発からブラックホールまで」鎌倉淡青会 6 月度 Web 三金会 発表日: 2021 年 6 月 18 日 (Zoom)。

西村信哉 (世話人代表)、日豪研究会「Nuclear burning in massive stars」, 京大基研+モナシュ大学 (オーストラリア) +オンライン開催, 2021 年 7 月.

西村信哉、「星の錬金術：重力波、加速器、スーパーコンピュータで解明する宇宙の元素合成」, KagaQ 月夜サイエンス, 2021 年 8 月 16 日, 30 日.

西村信哉 (翻訳者として貢献)「2022 年カレンダー「宇宙核物理を築いた女性研究者たち」出版について」、2022 年 1 月 27 日。
https://www.cns.s.u-tokyo.ac.jp/ukakuren/whatsnew/release_v6.pdf

長瀧重博、「スパコンの中の超新星」朝日カルチャーセンター「宇宙と地球と元素」シリーズ② オンライン講座 発表日: 2022 年 2 月 5 日

西村信哉、(シリーズ「最先端理論で挑む宇宙」)「星の錬金術：天体観測・加速器実験・スパコンで解明する元素の起源」、西村信哉、2022 年 3 月 19 日、朝日カルチャー横浜教室

