

研究室名
16-2-2 理論天体物理学研究室
最近の研究課題とその取り組みの概要
重力崩壊型超新星は太陽質量の約 10 倍を超える大質量星がその進化の最終段階に示す大爆発現象である。超新星は一天体現象ではありながら、それ自体が中性子星、ブラックホール、マグネターといった極限的コンパクト天体の形成過程そのものであり、超新星の爆発機構を明らかにすることは、恒星進化論の最重要テーマの一つである。この問題に対して、星が持つ自転、磁場のようなマクロ物理と、ニュートリノ反応を始めとするミクロ物理の効果に着目した上で、主に数値シミュレーションを用いた研究を行なっている。 キーワード：恒星進化論、スーパーコンピュータ、ニュートリノ、重力波、高密度状態方程式
研究室の構成員
固武 慶（教授）・博士（理学） 中村 航（助教）・博士（理学）
2023 年度の大学院生および卒論生の人数と研究テーマ
M2: 1 名（理論天体物理学：アクシオンを考慮した超新星爆発の数値シミュレーション） M1: 1 名（理論天体物理学：超新星ニュートリノ） 4 年次生：4 名（理論天体物理学、超新星重力波、重力レンズ） 3 年次生：4 名（理論天体物理学）
教員の担当科目
固武 慶：（学部）宇宙天体物理学、連続体力学、相対論、力学 A、物理学 A、 物理科学研究、卒業論文、物理学基礎ゼミナール 中村 航：物理学実験、物理科学実験、熱力学・量子力学演習
教員の所属学会
固武 慶：日本物理学会、日本天文学会、理論天文学宇宙物理学懇談会 中村 航：日本天文学会、理論天文学宇宙物理学懇談会
最近 5 年間の学術論文
（査読付き原著論文） 1. Matsumoto, J., Takiwaki, T., Kotake, K., Neutrino-driven massive stellar explosions in 3D fostered by magnetic fields via turbulent α-effect, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters, Volume 528, Issue 1, pp.L96-L101 (2024) 2. Mori, K., Takiwaki, T., Kotake, K., Horiuchi, S., Multimessenger signals of heavy axionlike particles in core-collapse supernovae: Two-dimensional simulations, Physical Review D, Volume 108, Issue 6, article id.063027 (2023) 3. Mori, K., Moriya, T., Takiwaki, T., Kotake, K., Horiuchi, S., Blinnikov, S., Light Curves and Event Rates of Axion Instability Supernovae, The Astrophysical Journal, Volume 943, Issue 1, id.12 (2023) 4. Matsumoto, J., Asahina, Y., Takiwaki, T., Kotake, K., Takahashi, H. R., Magnetic support for neutrino-driven explosion of 3D non-rotating core-collapse supernova models, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 516, Issue 2, pp.1752-1767 (2022) 5. Ekanger, N., Horiuchi, S., Kotake, K., Sumiyoshi, K., Impact of late-time neutrino emission on the diffuse supernova neutrino background, Physical Review D, Volume 106, Issue 4, article id.043026 (2022)

6. Nakamura, K., Takiwaki, T., Kotake, K., Three-dimensional simulation of a core-collapse supernova for a binary star progenitor of SN 1987A, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 514, Issue 3, pp.3941-3952 (2022)
7. Calore, F., Carenza, P., Eckner, C., Fischer, T., Giannotti, M., Jaeckel, J., Kotake, K., Kuroda, T., Mirizzi, A., Sivo, F., 3D template-based Fermi-LAT constraints on the diffuse supernova axion-like particle background, *Physical Review D*, Volume 105, Issue 6, article id.063028 (2022)
8. Mori, K., Takiwaki, T., Kotake, K., Horiuchi, S., Shock revival in core-collapse supernovae assisted by heavy axionlike particles, *Physical Review D*, Volume 105, Issue 6, article id.063009 (2022)
9. Mori, K., Takiwaki, T., Kotake, K., Presupernova ultralight axionlike particles, *Physical Review D*, Volume 105, Issue 2, article id.023020 (2022)
10. Masada, Y., Takiwaki, T., Kotake, K., Convection and Dynamo in Newly Born Neutron Stars, *The Astrophysical Journal*, Volume 924, Issue 2, id.75, 16 pp. (2022)
11. Kuroda, T., Fischer, T., Takiwaki, T., Kotake, K., Core-collapse Supernova Simulations and the Formation of Neutron Stars, Hybrid Stars, and Black Holes, *The Astrophysical Journal*, Volume 924, Issue 1, id.38, 20 pp. (2022)
12. Takiwaki, T., Kotake, K., Foglizzo, T., Insights into non-axisymmetric instabilities in three-dimensional rotating supernova models with neutrino and gravitational-wave signatures, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 508, Issue 1, pp.966-985 (2021)
13. Caputo, A., Carenza, P., Lucente, G., Vitagliano, E., Giannotti, M., Kotake, K., Kuroda, T., Mirizzi, A., Axionlike Particles from Hypernovae, *Physical Review Letters*, Volume 127, Issue 18, article id.181102 (2021)
14. Takeda, M., Hiranuma, Y., Kanda, N., Kotake, K., et al., Application of the Hilbert-Huang transform for analyzing standing-accretion-shock-instability induced gravitational waves in a core-collapse supernova, *Physical Review D*, Volume 104, Issue 8, article id.084063 (2021)
15. Yoshida, T., Takiwaki, T., Aguilera-Dena, D. R., Kotake, K., et al., A three-dimensional hydrodynamics simulation of oxygen-shell burning in the final evolution of a fast-rotating massive star, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, Volume 506, Issue 1, pp.L20-L25 (2021)
16. Shibagaki, S., Kuroda, T., Kotake, K., Takiwaki, T., Characteristic time variability of gravitational-wave and neutrino signals from three-dimensional simulations of non-rotating and rapidly rotating stellar core collapse, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 502, Issue 2, pp.3066-3084 (2021)
17. Cherry, J. F., Fuller, G. M., Horiuchi, S., Kotake, K., et al., Time of flight and supernova progenitor effects on the neutrino halo, *Physical Review D*, Volume 102, Issue 2, article id.023022 (2020)
18. Shibagaki, S., Kuroda, T., Kotake, K., Takiwaki, T., A new gravitational-wave signature of low- T/W instability in rapidly rotating stellar core collapse, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, Volume 493, Issue 1, p.L138-L142 (2020)
19. Kuroda, T., Arcones, A., Takiwaki, T., Kotake, K., Magnetorotational Explosion of a Massive Star Supported by Neutrino Heating in General Relativistic Three-dimensional Simulations, *The Astrophysical Journal*, Volume 896, Issue 2, id.102, 18 pp. (2020)
20. Yoshida, T., Takiwaki, T., Kotake, K., Takahashi, K., Nakamura, K., Umeda, H. Three-dimensional Hydrodynamics Simulations of Precollapse Shell Burning in the Si- and O-rich Layers, *The Astrophysical Journal*, Volume 908, Issue 1, id.44, 18 pp. (2021)
21. Zaizen, M., Cherry, J.-F., Takiwaki, T., Kotake, K. et al. Neutrino halo effect on collective neutrino oscillation in iron core-collapse supernova model of a 9.6 Msolar star, *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, Issue 06, article id. 011 (2020).
22. Zaizen, M., S., Horiuchi, Takiwaki, T. Kotake, K et al. Three-flavor collective neutrino conversions with multi-azimuthal-angle instability in an electron-capture supernova model, *Physical Review D*, Volume 103, Issue 6, article id.063008, (2021)
23. KAGRA collaboration, Overview of KAGRA, *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, Issue 5, (2021)
24. Matsumoto, J., Takiwaki, T., Kotake, K., et al. 2D numerical study for magnetic field dependence of neutrino-driven core-collapse supernova models, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, (MNRAS)* Volume 499, Issue 3,

pp.4174-4194, (2020)	
25.	Horiuchi, S., Kinugawa, T., Takiwaki, T., Kotake, K. et al. Impact of binary interactions on the diffuse supernova neutrino background, Physical Review D, Volume 103, Issue 4, article id.043003, (2021)
26.	Lin, Z., Lunardini, C., Zanolin, M., Kotake, K. et al. Detectability of standing accretion shock instabilities activity in supernova neutrino signals, Physical Review D, Volume 101, Issue 12, article id.123028, (2020)
27.	Sotani Hajime, Kuroda Takami, Takiwaki Takiwaki, Kotake Kei, "Dependence of outer boundary condition on protoneutron star asteroseismology with gravitational-wave signatures", Phys. Rev. D 99, 123024 (2019)
28.	Nakamura Ko, Takiwaki Tomoya, Kotake Kei, "Long-term Simulations of Multi-Dimensional Core-collapse Supernovae: Implications for Neutron Star Kicks", PASJ, 71, 5, 98, (2019)
29.	Yoshida Takashi, Takiwaki Tomoya, Kotake Kei, Takahashi Koh, Nakamura Ko, Umeda Hideyuki, "One-, Two-, and Three-dimensional Simulations of Oxygen Shell Burning Just Before the Core-Collapse of Massive Stars", ApJ, Volume 881, Issue 1, article id. 16, 20 pp. (2019)
<査読付きProceedings>	
1.	Nakamura, K., Takiwaki, T, and Kotake, K. "Three-dimensional supernova simulation of SN 1987A progenitor with implications for multi-messenger signals" EPJ Web of Conferences, Volume 260, article id. 11020 (2022)
2.	Nakamura, K., Takiwaki, T, and Kotake, K. "Core-collapse simulation of SN 1987A binary progenitor and its multimessenger signals" Journal of Physics: Conference Series, Volume 2156, article id. 012232 (2022)
最近 5 年間の学術著書	
該当なし	
最近 5 年間の学術国際会議での発表	
1	Ko Nakamura, "Neutrino signal predictions from multi-dimensional core-collapse supernova models"UGAP2024, Tohoku University, Sendai, 2024 年 3 月
2	Ko Nakamura, "Systematic 3D MHD simulations of core-collapse supernova and multi-messenger signals"Transients Down Under, Melbourne, Australia, 2024 年 1 月
3	Kei Kotake, "3D MHD Core-collapse Supernova Modeling and the MM Predictions" Forging a New Synthesis Between Supernova Theory and Observation, Princeton University, USA, 2023 年 12 月 (招待講演)
4	Ko Nakamura, "Systematic 3D MHD simulations of core-collapse supernova and implications for multi-messenger signals"Symposium on anisotropies in CCSN explosions2, Palermo, Italy, 2023 年 10 月
5	Kei Kotake, "3D MHD Core-Collapse Supernova Modeling and the Multi-messenger Observables" Institute Lecture, University of Wroclaw, Poland, 2023 年 9 月 (招待講演)
6	Ko Nakamura, "Systematic 3D simulations of core-collapse supernova and implications for explosive nucleosynthesis"The 17 th International symposium on Nuclei in the Cosmos (NIC XVII), Daejeon, Korea, 2023 年 9 月
7	Kei Kotake, "Multi-messenger Signal Predictions from 3D MHD Core-collapse Supernova Models" Astrophysical neutrinos and the origin of the elements (INT 23-2), The University of Washington, Seattle, USA, 2023 年 8 月 (招待講演)
8	Ko Nakamura, "Three-dimensional magnetohydrodynamic simulations of core-collapse supernovae and multi-messenger signals"APRIM2023, Fukushima, 2023 年 8 月
9	Kei Kotake, "3D Core-collapse Supernova Models on the Verge of Success" IReNA Workshop on Weak Interactions in Nuclear Astrophysics, Michigan State University, USA, 2023 年 7 月 (招待講演)
10	Kei Kotake, "Neutrino and Gravitation-wave signatures from pre-collapse to explosion phases of core-collapse supernovae" the International Conference on Supernova Neutrino Detection SNvD 2023, Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS), Italy, 2023 年 5 月 (招待講演)
11	Kei Kotake, "3D MHD Core-collapse Supernova Models on the Verge of Success?" ESTAS

- seminar, Max-Planck Institute fuer Astrophysik, Germany, 2023 年 3 月 (招待講演)
- 12 Ko Nakamura, "A systematic study of core-collapse supernovae based on 3D MHD simulations" SuperVirtual 2022 - From Common to Exotic Transients, Zoom, 2022 年 11 月
 - 13 Kei Kotake, "Gravitational-wave and Neutrino signal predictions:3D MHD CCSN modeling" SN2022, Swinburne University of Technology, Australia, 2022 年 11 月 (招待講演)
 - 14 Ko Nakamura, "A systematic study of CCSNe based on 3D MHD simulations" OMEG16, Ha Noi/Zoom, 2022 年 10 月
 - 15 Ko Nakamura, "SN 1987A: three-dimensional core-collapse simulation and multi-messenger signals" EANAM9, Okinawa, 2022 年 9 月
 - 16 Kei Kotake, "Neutrino and gravitational-wave signal predictions from SN modeling" Neutrino Oscillation Workshop (NOW2022), Italy, 2022 年 9 月 (招待講演)
 - 17 Ko Nakamura, "Systematic 3D MHD simulations of core-collapse supernovae" Brainstorming Workshop 2022 to revolutionize the Core-collapse Supernova Theory, University of Wroclaw, 2022 年 8 月
 - 18 Ko Nakamura, "Neutrino signals from 3D core-collapse supernova models" UGAP2022, Tokyo University of Science, 2022 年 6 月
 - 19 Ko Nakamura, "Gravitational-wave signals from three-dimensional core-collapse supernova models" The 5th Annual Area Symposium "Gravitational wave physics and astronomy: Genesis", Kyoto Univ., 2022 年 4 月
 - 20 Ko Nakamura, "Gravitational wave analysis for long-term 3D CCSN simulations" International workshop "Probe into core-collapse SuperNovae via Gravitational Wave and neutrino signals (SNeGWv2021)", zoom, 2021 年 12 月 (招待講演)
 - 21 Kei Kotake, "Exploding massive stars in supercomputers and multi-messenger probe into the central engine" the Belgian Gravitational-wave meeting, Universit catholique de Louvain, Belgium, 2021 年 10 月 (招待講演)
 - 22 Kei Kotake, "Core-collapse supernova modeling in the Multi-messenger era" IPAM Workshop: Computational Challenges in Multi-Messenger Astrophysics (GWAWS1), UCLA, 2021 年 10 月 (招待講演)
 - 23 Ko Nakamura, "Three-dimensional supernova simulation of SN 1987A progenitor with implications for multi-messenger signals" The 16th International Symposium on Nuclei in the Cosmos (NIC-XVI), zoom, 2021 年 9 月
 - 24 Kei Kotake, "Core-collapse supernovae: neutrinos and gravitational waves" 17th International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (TAUP2021), Valencia, 2021 年 8 月 (招待講演)
 - 25 Ko Nakamura, "Core-collapse simulation of SN 1987A binary progenitor and its multimessenger signals" 17th International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (TAUP 2021), Valencia, 2021 年 8 月
 - 26 Ko Nakamura, "Core-collapse supernova simulation of a three-dimensional 25 solar-mass progenitor model" YITP-OzGrav Workshop, zoom, 2021 年 7 月
 - 27 Ko Nakamura, "Gravitational wave signal based on a realistic core-collapse supernova model" The 4th Annual Area Symposium "Gravitational wave physics and astronomy: Genesis", zoom, 2021 年 1 月
 - 28 Kei Kotake, "GW and Neutrino signals from core-collapse supernovae" The Evolution of Massive Stars and Formation of Compact Stars: from the Cradle to the Graves, 早稲田大学 (国内開催の国際学会), 2020 年 2 月 (招待講演)
 - 29 Ko Nakamura, "Core-collapse supernova simulations from a 3D progenitor model" The Evolution of Massive Stars and Formation of Compact Stars: from the Cradle to the Grave, 早稲田大学 (国内開催の国際学会), 2020 年 2 月
 - 30 Kei Kotake, "Neutrino and GW signals from core-collapse supernovae Neutrinos from the Lab to the Cosmos" Institute of Nuclear Theory, Univ. Washington, 2020 年 1 月 (招待講演)
 - 31 Ko Nakamura, "Neutron star kicks predicted from multi-dimensional core-collapse supernova simulations" International workshop 4M-COCOS, Fukuoka, 2019 年 10 月
 - 32 Ko Nakamura, "Systematic features of core-collapse supernovae" Workshop on CCSN explosions and related physics, Exeter, 2019 年 8 月
 - 33 Kei Kotake, "SN Gravitational-waves at the crossroads: synergetic analysis with SN neutrinos", ECT* workshop on "SN neutrinos at the crossroads"(招待講演), Trento, Italy, 2019 年 5 月

34	Kei Kotake, “Explosion physics of massive stars and the multi-messenger signals” IAU Symposium 350 on “Laboratory Astrophysics: from Observations to Interpretation”(招待講演), Jesus College, University of Cambridge, 2019 年 4 月
35	Ko Nakamura “Multi-D long-term simulations of core-collapse supernovae” XIXth Workshop on Nuclear Astrophysics, Germany, 2019 年 3 月
36	Ko Nakamura “Systematic features of neutrino from core-collapse supernovae” International symposium on "Revealing the history of the universe with underground particle and nuclear research", Tohoku Univ (国内学会の国際学会), 2019 年 3 月 (招待講演)
37	Kei Kotake, “A new GW signature from low T/ W instability of rapidly rotating core-collapse” Texas Symposium of relativistic astrophysics, Univ. Portsmouth, 2019 年 12 月
最近 5 年間の代表者としての学外資金導入実績	
固武 慶： 科研費・基盤研究 B「超新星マルチメッセンジャー観測に向けた多次元爆発メカニズムの理論的解明」(期間 2022~2025 年度、13,500 千円) 科研費・新学術領域研究(研究領域提案型)(計画研究)「重力波天文学で解き明かす超新星の物理」(期間 2017~2021 年度、108,030 千円) 科研費・基盤研究 A「大質量星の多次元進化から迫る爆発的コンパクト天体形成の統一的解明」(期間 2017~2020 年度、24,700 千円) 中村 航： 科研費・基盤 C「超新星起源マルチメッセンジャー信号の解析に向けた数値モデルの構築」(期間 2020~2022 年度、3,640 千円) 科研費・新学術領域(研究領域提案型)「超新星重力波検出に向けた現実的な超新星重力波テンプレートの作成」(期間 2020~2021 年度、2,600 千円) 科研費・新学術領域(研究領域提案型)「現実的な 3 次元超新星モデルに基づく超新星背景ニュートリノ解析」(期間 2020~2021 年度、2,340 千円)	
最近 5 年間の代表者としての学内資金導入実績	
基盤研究機関研究所(爆発天体研究所)(期間 2019~2023 年予定) 推奨研究プロジェクト(一般)：「重力波天文学時代に備える現実的な空間 3 次元超新星モデリング」(期間 2020~2022 年度、3,000 千円) 推奨研究プロジェクト(若手)：「多次元数値シミュレーションで解き明かす超新星ニュートリノの放射メカニズム」(期間 2017~2019 年度、4,850 千円)	
最近 5 年間の学会等学術団体における役職など	
固武 慶： 国立天文台：すばる望遠鏡 TAC 委員, シミュレーションプロジェクト運営委員会委員 Astroparticle Physics, Publication of Astronomical Society of Japan 編集委員 (editorial board member) 中村 航： 公益社団法人 日本天文学会 学会誌「天文月報」編集委員	
最近 5 年間の一般向け論文と著書、行政報告書など	
該当なし	
最近 5 年間の一般(非学術)集会での発表論文	
該当なし	
最近 5 年間の学術団体以外の団体での啓蒙活動や社会貢献活動とその役職など	
該当なし	
その他特筆事項	
該当なし	