

|  |
|--|
| 研究室名   |
| <b>18-2-2 理論天体物理学研究室</b>   |
| 最近の研究課題とその取り組みの概要  |
| <p>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マイ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。</p> <p>キーワード：恒星進化論、スーパーコンピューター、ニュートリノ、重力波、高密度状態方程式</p>  |
| 研究室の構成員  |
| <p>固武 慶（教授）・博士（理学）</p> <p>中村 航（助教）・博士（理学）</p>  |
| 2020 年度の大学院生および卒論生の人数と研究テーマ  |
| <p>M2: 1 名（理論天体物理：超新星爆発の数値シミュレーション）</p> <p>M1: 2 名（理論天体物理：数値流体コードの作成・改良）</p> <p>4 年次生：4 名（理論天体物理学、数値計算コード作成）</p> <p>3 年次生：5 名（理論天体物理学）</p>   |
| 教員の担当科目  |
| <p>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、<br/>物理科学研究、卒業論文、物理学基礎ゼミナール</p> <p>中村 航：物理学実験、物理科学実験、物理学基礎ゼミナール</p>  |
| 教員の所属学会  |
| <p>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</p> <p>中村 航：日本天文学会、理論天文学宇宙物理学懇談会</p>   |
| 最近 5 年間の学術論文   |
| <p><b>(査読付き原著論文)</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 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)</li> <li>2. 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)</li> <li>3. 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).</li> <li>4. 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)</li> </ol> |

5. KAGRA collaboration, Overview of KAGRA, Progress of Theoretical and Experimental Physics, Issue 5, (2021)
6. 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)
7. 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)
8. 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)
9. 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)
10. 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)
11. 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)
12. Kotake Kei, Takiwaki Tomoya, Fischer Tobias, Nakamura Ko, Martinez-Pinedo Gabriel, "Impact of Neutrino Opacities on Core-collapse Supernova Simulations", The Astrophysical Journal, 853, 1~24, (2018)
13. Kuroda Takami, Kotake Kei, Takiwaki Tomoya, Thielemann Friedrich-Karl, "A full general relativistic neutrino radiation-hydrodynamics simulation of a collapsing very massive star and the formation of a black hole" Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters, 477, L80~L84, (2018)
14. Hayama Kazuhiro, Kuroda Takami, Kotake Kei, Takiwaki Tomoya, "Circular polarization of gravitational waves from non-rotating supernova cores: a new probe into the pre-explosion hydrodynamics", 477, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters, 477, L96~L100, (2018)
15. O' Connor Evan, Bollig Robert, Burrows Adam, Couch Sean, Fischer Tobias, Janka Hans-Thomas, Kotake Kei, Lentz Eric J, Liebendoerfer Matthias, Messer O E Bronson, Mezzacappa Anthony, Takiwaki Tomoya, Vartanyan David, "Global comparison of core-collapse supernova simulations in spherical symmetry", Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics, 45, 104001(21pp), (2018)
16. Masada Youhei, Kotake Kei, Takiwaki Tomoya, Yamamoto Naoki, "Chiral magnetohydrodynamic turbulence in core-collapse supernovae", Physical Review D, 98, 083018(17pp), (2018), <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.98.083018>
17. Kawahara Hajime, Kuroda Takami, Takiwaki Tomoya, Hayama Kazuhiro, Kotake Kei, "A Linear and Quadratic Time-Frequency Analysis of Gravitational Waves from Core-collapse Supernovae", The Astrophysical Journal, 867, 126(13pp), (2018)
18. Sotani Hajime, Kuroda Takami, Takiwaki Tomoya, Kotake Kei, "Probing mass-radius relation of protoneutron stars from gravitational-wave asteroseismology", Physical Review D, 96, 6, id.063005, (10pp), (2017)
19. Kuroda Takami, Kotake Kei, Hayama Kazuhiro, Takiwaki Tomoya, "Correlated Signatures of Gravitational-wave and Neutrino Emission in Three-dimensional General-relativistic Core-collapse Supernova Simulations", The Astrophysical Journal, Volume 851, Issue 1, article id. 62, (12 pp), (2017)
20. Horiuchi Shunsaku, Nakamura Ko, Takiwaki Tomoya, Kotake Kei, "Estimating the core compactness of massive stars with Galactic supernova neutrinos", Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics, 44, 11, 114001, (12pp), (2017)
21. Kuroda Takami, Kotake Kei, and Takiwaki Tomoya, "A New Gravitational-wave Signature of Standing Accretion Shock Instability from Supernovae", The

- Astrophysical Journal Letters, 829, L14, (6 pp), (2016)
22. Kuroda Takami, Takiwaki Tomoya, and Kotake Kei, "A New Multi-energy Neutrino Radiation-Hydrodynamics Code in Full General Relativity and Its Application to the Gravitational Collapse of Massive Stars", The Astrophysical Journal Supplement Series, 2, 20, (27pp), (2016)
  23. Nakamura. K, Horiuchi. S, TanakaM, Hayama. K, Takiwaki. T, Kotake. K, " Multi-messenger signals of long-term core-collapse supernova simulations : synergetic observation strategies" Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 460, 2, (24pp), (2016)
  24. Suwa. Y, Yamada. S, Takiwaki. T, and Kotake. K, "The Criterion of Supernova Explosion Revisited: The Mass Accretion History", The Astrophysical Journal, 816, 43, (16 pp), (2016)
  25. Hayama, Kazuhiro, Kuroda, Takami, Nakamura, Ko Yamada, Shoichi, "Circular Polarizations of Gravitational Waves from Core-Collapse Supernovae: A Clear Indication of Rapid Rotation, Physical Review Letters, 116, 15, 151102, (2016)
  26. Tomoya Takiwaki, Kei Kotake, and Yudai Suwa, "Three-dimensional simulations of rapidly rotating core-collapse supernovae: finding a neutrino-powered explosion aided by non-axisymmetric flows", :MNRAS Letters, 461, 1, (4pp), (2016)
  27. Kuroda, Takami; Takiwaki, Tomoya; Kotake, Kei, "A New Multi-energy Neutrino Radiation-Hydrodynamics Code in Full General Relativity and Its Application to the Gravitational Collapse of Massive Stars", The Astrophysical Journal Supplement Series (ApJS), 222, 20, 27pp, (2016)

<査読付きProceedings>

1. Horiuchi, S., Nakamura, K., Takiwaki, T., and Kotake, K. "Diagnosing the Structure of Massive Stars with Galactic Supernova Neutrinos" Proceedings of NuPhys2017, eConf C171220, p. 169-173 (2018)
2. Nakamura, K., Horiuchi, S., Tanaka, M., Hayama, K., Takiwaki, T., and Kotake, K. "Multi-messenger signals from core-collapse supernovae" Proceedings of the IAU Symposium, The Lives and Death-Throes of Massive Stars, Volume 329, pp. 428 (2017)
3. Nakamura, K., Takiwaki, T., Kuroda, T., and Kotake, K. "Systematic Features and Progenitor Dependence of Core-Collapse Supernovae" Proceedings of the 14th International Symposium on Nuclei in the Cosmos (NIC2016), id.010610 (2017)
4. Ikeda, E., Kotake, K. and Nakamura, K, "Gravitational Wave Emission from Long-Term Self-Consistent Two-dimensional Core-Collapse Supernova Models", Proceedings of NIC2016, id.020109/, 1-3 (2017)
5. Eichler, M., Nakamura, K., Takiwaki, T., Kuroda, T., Kotake, K., Hempel, M., Cabezón, R., Liebendoerfer, M., and Thielemann, F-K., "Nucleosynthesis in 2D Core-Collapse Supernova Long-Term Simulations of 11.2 and 17.0 Solar Mass Progenitors", Proceedings of NIC2016, id.020604/, 1-3 (2017)

最近5年間の学術著書

Kotake Kei and Kuroda Takami, "Gravitational Waves from Core-Collapse Supernovae", Handbook of Supernovae, Springer, (Eds. Alsabti, Athem W., Murdin, Paul), (pp1~27), (2017)

最近5年間の学術国際会議での発表

- 1 Ko Nakamura, "Neutron star kicks predicted from multi-dimensional core-collapse supernova simulations" International workshop 4M-COCOS, Fukuoka, 2019年10月
- 2 Ko Nakamura, "Systematic features of core-collapse supernovae" Workshop on CCSN explosions and related physics, Exeter, 2019年8月
- 3 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
- 4 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

- 5 Ko Nakamura “Multi-D long-term simulations of core-collapse supernovae” XIXth Workshop on Nuclear Astrophysics, Germany, 2019年3月
- 6 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)
- 7 Kei Kotake “Gravitational-wave Astronomy of Compact Objects 55th Karpacz Winter school of theoretical physics “Nuclear Astrophysics in the multi-messenger era”, Polandake: Neutrinos and multi-messenger signatures for a galactic supernova, 2019年2月
- 8 Ko Nakamura “Core-collapse simulations for a binary evolution model of SN 1987A progenitor” 10th DTA Symposium, NAOJ, 2019年1月
- 9 Kei Kotake, “Neutrinos and multi-messenger signatures for a galactic supernova”,  
The 19th International Workshop on Next generation Nucleon Decay and Neutrino (NNN18) (招待講演) Vancouver, Canada, 2018年11月
- 10 Kei Kotake, “Gravitational-wave and Neutrino Signatures from core-collapse supernovae”, GW-genesis workshop on “Deciphering multi-dimensional nature of core-collapse supernovae via gravitational-wave and neutrino signatures” (SNeGWv2018)、富山国際会議場 (国内学会の国際学会), 2018年10月
- 11 Ko Nakamura “Multi-messenger Signal Predictions from Multi-dimensional Core-collapse Supernova Simulations” GW-genesis workshop on “Deciphering multi-dimensional nature of core-collapse supernovae via gravitational-wave and neutrino signatures” (SNeGWv2018)、富山国際会議場 (国内学会の国際学会), 2018年10月
- 12 Kei Kotake, “Gravitational-wave and neutrino signatures from core-collapse supernovae: review and perspectives”, Gamma-ray bursts and supernovae: from the central engines to the observers, Institute Astrophysics, France, 2018年7月
- 13 Kei Kotake, “Neutrino and Gravitational-wave Signatures from Core-Collapse Supernovae”, Gravitational-waves, ElectroMagnetic and Dark-Matter, Physics (GEMMA2018) (招待講演), Lecce, Italy 2018年6月
- 14 Kei Kotake, “Exploding and Non-Exploding Core-Collapse Supernova Models in 3D and the Multi-messenger Analysis”, TDLI Workshop on the Exploding Universe (招待講演), 上海、China 2018年5月
- 15 Ko Nakamura “Neutron Star Kick induced by Aspherical Core-collapse Supernova Explosions” Physics of Core-Collapse Supernovae and Compact Star Formations, Waseda Univ., 2018年3月
- 16 Ko Nakamura “Diagnosing the Structure of Massive Stars with Galactic Supernova Neutrinos” NuPhys2017: Prospects in Neutrino Physics, London, 2017年12月
- 17 Kotake Kei “Multi-Messenger Probes into the Multi-D Supernova Neutrino Mechanism” (招待講演), CoCoNuT meeting 2017, Garching, ドイツ 2017年10/20-10/25
- 18 Kotake Kei “Gravitational-waves Signals from Core-collapse Supernovae; what can we learn for sure?”, Wuhan GW workshop, (招待講演), 武漢大学、中国, (2017年10/6-8)
- 19 Ko Nakamura “Systematic features of core-collapse supernova based on multi-D simulations” Workshop on the Progenitor-Supernova-Remnant Connection, Germany, 2017年7月
- 20 Kotake Kei “Gravitational wave signatures from multi-dimensional core-collapse supernova models” (招待講演), GWPAW 2017, Annecy, フランス (2017年5/30-6/2)
- 21 Kotake Kei “Multi-messenger signatures from 3D core-collapse supernovae” (招待講演), IAU Symposium 331, SN1987A, 30 years later, Village Corail, La Reunion, フランス (2017年2/19-24)
- 22 Kotake Kei “Gravitational Wave Signatures from 3D Core-Collapse Supernova Models” (招待講演), Workshop on Numerical Relativity in matter spacetimes for GW astronomy, The University-Enterprise Foundation of Valencia, バレンシア、(2016年12/13)

|    |   |
|----|---|
| 23 | Nakamura Ko, “Multi-messenger signals from core-collapse supernovae”, RESCEU Symposium “GW Astrophysics in the High Event Rate Regime”, 東京大学 (2016年12月) 国内開催の国際会議   |
| 24 | Ko Nakamura “Multi-messenger signals from core-collapse supernovae” IAU Symposium 329 “The lives and death-throes of massive stars”, Auckland, 2016年11月   |
| 25 | Kotake Kei, “SASI-modulation in Neutrino and Gravitational-wave Signatures” (招待講演), Workshop on compact objects, University of Basel, Basel, スイス, (2016年9/29-10/1)  |
| 26 | Ko Nakamura “Multi-messenger signals from core-collapse supernovae” 2nd NAOJ-ECT* Workshop, NAOJ, 2016年6月   |
| 27 | Nakamura Ko, “Systematic features and progenitor dependence of core-collapse supernovae”, 14th international symposium on Nuclei in the Cosmos, 朱鷺メッセ新潟、(2016年6月) 国内開催の国際会議                                 |
| 28 | Nakamura Ko, “Supernova as sources of multi-messenger signals”, International symposium on “Revealing the history of the universe with underground particle and nuclear research”, 東京大学、(2016年5月) 国内開催の国際会議 |
| 29 | Kotake Kei, “Neutrino Signatures of 3D Supernova Cores”, Flavor Observations with Supernova Neutrinos (招待講演), INT, アメリカ, (2016年8/15-19)   |

#### 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・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、金額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、金額24,700千円)

科研費・国際共同加速基金「マルチメッセンジャーから迫る高密度爆発天体現象の理論的解明(国際強化)」(期間2016年度、金額6,700千円)

科研費・若手研究A「マルチメッセンジャー天文学で迫る高密度爆発的天体現象の理論的解明」(期間2014~2016年度、金額6,890千円)

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、金額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、金額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、金額2,340千円)

科研費・若手研究B「超新星元素合成の系統的研究」(期間2016~2018年度、金額:1,430千円)

科研費・新学術領域(研究領域提案型)「超新星ニュートリノで探る大質量星コア構造」(期間2017~2018年度、金額:2,600千円)

#### 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年度予定)

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、4,850千円)

総合科学研究(若手):「スパコン重力波」(期間2017~2018、3,000千円)

総合科学研究(若手):「Core-Collapse Supernova Astronomy」(期間2015~2016、3,000千円)

#### 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)<br>中村 航：<br>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<br>該当なし                 |
| 最近5年間の一般（非学術）集会での発表論文<br>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<br>該当なし     |
| その他特筆事項<br>該当なし                                 |