

令和 4 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2021

課題番号：17K05380

研究課題名（和文）回転の影響を考慮した宇宙初期の超巨大質量星の研究

研究課題名（英文）Research on supermassive stars in the early universe considering the effects of rotation

研究代表者

梅田 秀之（Umeda, Hideyuki）

東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・准教授

研究者番号：60447357

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：まず自転する超巨大星の進化を計算する星のコードを開発することに成功し、その結果を2020-2021年に査読誌に掲載した。また一般相対論的な流体力学計算コードも開発した。それは1次元のものであるので、極めて低速回転しており、球対称近似でも問題のないケースの計算を行い、Nagele他(2021)として査読誌に掲載した。この研究では重力崩壊、ブラックホール形成、そして崩壊に伴うニュートリノ放出の光度曲線を計算した。特に超巨大星の星の崩壊に伴うニュートリノ放出時には比較的低密度であるにも関わらず、ニュートリノのトラップ現象が発生することを初めて示した点は新しい結果であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

宇宙初期に形成される可能性のある超巨大質量星は、現在、天文学、宇宙物理学の分野で極めて多くの研究者が興味を持っている。銀河中心にある超巨大ブラックホール形成の謎を解く鍵となると考えられている。本研究はそのような超巨大質量星の進化や重力崩壊を詳しく計算した研究であり、そのような計算を詳しく行っている研究は世界にもほとんどない。本研究結果は超巨大ブラックホールの種となり得る、ブラックホールの初期条件を与える意義のある研究である。

研究成果の概要（英文）：First, we succeeded in developing a stellar evolution code that calculates the evolution of a supermassive star that rotates, and published the results in a peer-reviewed journal from 2020 to 2021. We also developed a general relativistic hydro-dynamical calculation code. Since it is one-dimensional, we used it for the collapse of slowly rotating stars, and published the results in a peer-reviewed journal as Nagele et al. (2021). In this study, we calculated the gravitational collapse, black hole formation, and neutrino emissions associated with collapse. In particular, it was a new result to show for the first time that a neutrino trap phenomenon occurs even though the density is relatively low in the collapse of a supermassive star.

研究分野：天体物理学

キーワード：超巨大質量星 超巨大ブラックホール 初代星 初代星形成 回転星

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

宇宙の第一世代星は現在の星と異なり 1 万 ~ 100 万太陽質量の超巨大質量星となる可能性がある。そのような星は (1)高赤方偏移に存在するクェーサーの中心にある巨大ブラックホール形成の種となり得るのかや、(2)ちょうど 5.5 万太陽質量くらいの狭い質量範囲にある星が通常の超新星の千倍ものエネルギーの巨大爆発を起こす可能性が指摘されていて、その研究の検証が求められていた。

2. 研究の目的

本研究では上記 2 つの問題に取り組むため、これまでの我々の計算技法を集積するとともに新たな計算コードを開発して、宇宙初期の急速な質量降着に伴い形成された、巨大質量星の進化のより詳細な計算を行った。今回は、より現実的な状況に対応するため星の回転の影響を扱える星の進化コードの開発を行い計算を進めて超大質量星の進化計算を行うという、世界で初めての試みにも挑戦した。

3. 研究の方法

自転の効果も扱える回転星の進化コード及び、ブラックホール形成やその後の進化も計算できる、ニュートリノ輸送を扱える一般相対論的(ニュートリノ)輻射流体力学コードの開発を進めた。

一般相対論的流体コードの開発においては、まずはニュートリノ輸送なしの比較的計算時間のかからないコードを元にして、核反応ネットワークを組み込むことにより、核反応エネルギーにより爆発する電子陽電子対生成型超新星の爆発計算に応用した。

次に超大質量星の計算に取り組んだ。超大質量星では通常の恒星と異なり一般相対論の効果が重要となって来るが、それは恒星進化の段階から無視できない。しかし先行研究から、恒星進化の段階ではまだ一般相対論効果は比較的小さく、ポストニュートニアン近似で十分であることが知られているため、我々が普段使っている計算コードを大幅に改造することなく、方程式に補正項を加えるのみで対応することができる。

星の進化計算の後、重力崩壊と核反応による爆発の有無を調べるために一般相対論的流体力学計算を行う必要がある。この場合には最終的にはブラックホール形成が起きるほど重力が強くなるため近似ではない完全な一般相対論的コードを開発し使用する。この計算ではニュートリノ輸送も解く必要があるため、核反応ネットワークを組み込んだ一般相対論的輻射輸送コードを開発し、計算を行う。流体計算に星の自転の効果を取り入れるには本来多次元の計算が必要となるが、多次元計算は将来への課題として、本研究では比較的遅い自転を仮定して 1 次元の流体シミュレーションのみを行った。

4. 研究成果

研究成果として、まずは自転の効果も扱える回転星の進化コード及び、一般相対論的流体力学コードの開発を行った。これらのコードを用いて初代の電子陽電子対生成型超新星等の計算を行い論文を出版した(高橋他 2018 や梅田他 2020)。特に梅田他 2020 の論文では、電子陽電子対生成型超新星の質量範囲より軽い領域において従来考えられていたよりも重いブラックホールが形成され得ることを示し、連星ブラックホールの合体に伴う重力波観測への影響を議論した。

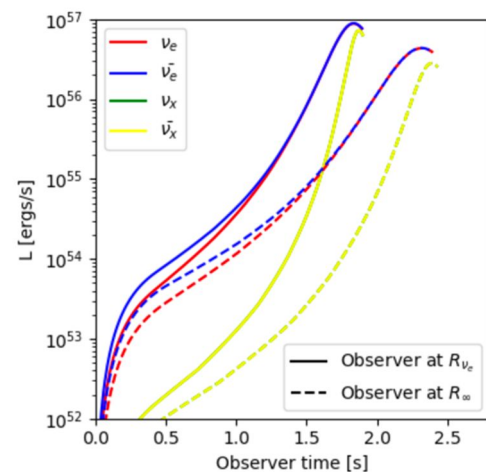
本研究課題の題目にある超大質量星の進化に関する研究は Nagel 他 (2020, 2021) で出版した。2020

年の論文では、49,000 ~ 57,000 太陽質量の初代星の進化を計算して、Chen et al. (2014)で主張された 55,000 太陽質量の初代星の爆発が再現できるのかどうか調べた。結果として、確かに 55,000 太陽質量前後で星は爆発しやすい傾向があることが分かったが、実際爆発するかどうかは一般相対論的不安定を原因とする動力学的な崩壊がいつ起きるかという条件に敏感であることが示された。本研究で採用した条件では、ほぼ全てのケースでは爆発には至らなかったが、非常にゆっくりと回転した 5 万太陽質量のモデルに対し、実際に巨大エネルギーで爆発した例を一つ発見した。

爆発例は一つ見つけたものの、不安定性の開始の判定に曖昧さが残ったのが課題であったが、その問題を解決するために厳密な判定条件法の開発も目指した。その結果は現在査読誌に論文投稿中である。

Nagel 他 (2021) の論文では 1 万 ~ 6 万太陽質量の巨大質量星の重力崩壊からブラックホール形成時にかけてのニュートリノ放射を詳しく計算した。

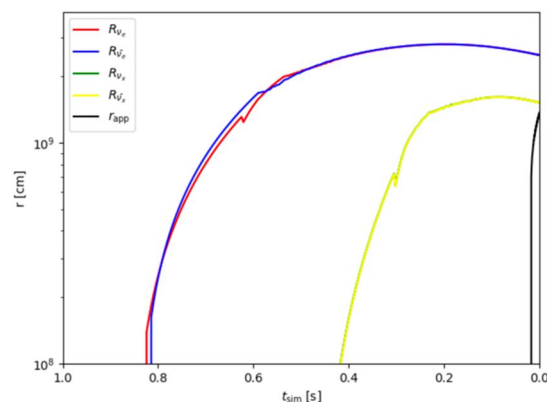
(右図): 4 万太陽質量の初代星の重力崩壊及びブラックホール形成時のニュートリノ放射光度。線の色の違いはニュートリノの種類を表し、実線は星内部での、ダッシュの線は無限遠で観測される値を表す。



この計算がこれまでの計算と大きく異なるのは星の進化の初期から計算している点であり、これまでのニュートリノ光度計算の多くは単純な解析解などを用いており、内部の組成も考慮されていなかった。

この計算で初めて明らかになったのは、今回の質量範囲の星の崩壊時にはニュートリノ光球が生じるということで、この事実は過去の類似の研究では考えられていなかった。今回の結果から 3 万太陽質量以下の場合には一般相対論の効果により重力崩壊を起こす時の星の中心部の組成は O, Mg, Si が主成分であるが、4~6 万太陽質量では He, O, Mg が主成分の核が重力崩壊に至る。そのいずれの場合でも重力崩壊時の密度は鉄核が崩壊する比較的低質量の星よりもはるかに低いが、はるかに高温であるためにニュートリノがトラップされることがわかった。

(右図): 上記のモデルにおけるニュートリノ光球の大きさの時間進化。横軸はこの計算の終了時までの時間を表す。黒以外の線は異なる種類のニュートリノに対する光球の半径であり、黒線は形成されたブラックホール半径 (apparent horizon) の時間進化を表す。この図からわかるように、この計算の終了時には ν_x の光球はブラックホールに飲み込まれようとしている。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計29件（うち査読付論文 25件 / うち国際共著 11件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Sato Toshiki, Maeda Keiichi, Nagataki Shigehiro, Yoshida Takashi, Grefenstette Brian, Williams Brian J., Umeda Hideyuki, Ono Masaomi, Hughes John P.	4. 巻 592
2. 論文標題 High-entropy ejecta plumes in Cassiopeia A from neutrino-driven convection	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 537 ~ 540
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-021-03391-9	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 Hijikawa Kotaro, Tanikawa Ataru, Kinugawa Tomoya, Yoshida Takashi, Umeda Hideyuki	4. 巻 505
2. 論文標題 On the population III binary black hole mergers beyond the pair-instability mass gap	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters	6. 最初と最後の頁 L69 ~ L73
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnrasl/slab052	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 Tanikawa Ataru, Kinugawa Tomoya, Yoshida Takashi, Hijikawa Kotaro, Umeda Hideyuki	4. 巻 505
2. 論文標題 Population III binary black holes: effects of convective overshooting on formation of GW190521	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 2170 ~ 2176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stab1421	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 Yoshida Takashi, Takiwaki Tomoya, Aguilera-Dena David R, Kotake Kei, Takahashi Koh, Nakamura Ko, Umeda Hideyuki, Langer Norbert	4. 巻 506
2. 論文標題 A three-dimensional hydrodynamics simulation of oxygen-shell burning in the final evolution of a fast-rotating massive star	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters	6. 最初と最後の頁 L20 ~ L25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnrasl/slab067	査読の有無 無
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 Nagele Chris, Umeda Hideyuki, Takahashi Koh, Yoshida Takashi, Sumiyoshi Kohsuke	4. 巻 508
2. 論文標題 Neutrino emission from the collapse of $10^4 M$ Population III supermassive stars	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 828 ~ 841
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stab2592	査読の有無 無
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 Luo Tianyin, Umeda Hideyuki, Yoshida Takashi, Takahashi Koh	4. 巻 927
2. 論文標題 Stellar Models of Betelgeuse Constrained Using Observed Surface Conditions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 115 ~ 115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac4f5f	査読の有無 無
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 Orlando S., Ono M., Nagataki S., Miceli M., Umeda H., Ferrand G., Bocchino F., Petruk O., Peres G., Takahashi K., Yoshida T.	4. 巻 636
2. 論文標題 Hydrodynamic simulations unravel the progenitor-supernova-remnant connection in SN 1987A	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A22 ~ A22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201936718	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 Sato Toshiki, Yoshida Takashi, Umeda Hideyuki, Nagataki Shigehiro, Ono Masaomi, Maeda Keiichi, Hirai Ryosuke, Hughes John P., Williams Brian J., Maeda Yoshitomo	4. 巻 893
2. 論文標題 A Substellar Metallicity Progenitor for Cassiopeia A, the Remnant of a Type IIb Supernova	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 49 ~ 49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab822a	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 Chiba Yuki, Katsuda Satoru, Yoshida Takashi, Takahashi Koh, Umeda Hideyuki	4. 巻 72
2. 論文標題 First detection of X-ray line emission from Type II supernova 1978K with XMM-Newton's RGS	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz148	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 Zaizen Masamichi, Cherry John F., Takiwaki Tomoya, Horiuchi Shunsaku, Kotake Kei, Umeda Hideyuki, Yoshida Takashi	4. 巻 2020
2. 論文標題 Neutrino halo effect on collective neutrino oscillation in iron core-collapse supernova model of a 9.6 Msun star	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 011 ~ 011
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2020/06/011	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 Tanikawa Ataru, Yoshida Takashi, Kinugawa Tomoya, Takahashi Koh, Umeda Hideyuki	4. 巻 495
2. 論文標題 Fitting formulae for evolution tracks of massive stars under extreme metal-poor environments for population synthesis calculations and star cluster simulations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4170 ~ 4191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa1417	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 Nagele Chris, Umeda Hideyuki, Takahashi Koh, Yoshida Takashi, Sumiyoshi Kohsuke	4. 巻 496
2. 論文標題 The final fate of supermassive $M \sim 5 \times 10^4 M_{\text{sun}}$ Pop III stars: explosion or collapse?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1224 ~ 1231
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa1636	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 Umeda Hideyuki, Yoshida Takashi, Nagele Chris, Takahashi Koh	4. 巻 905
2. 論文標題 Pulsational Pair-instability and the Mass Gap of Population III Black Holes: Effects of Overshooting	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L21 ~ L21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/abcb96	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 Yoshida Takashi, Takiwaki Tomoya, Kotake Kei, Takahashi Koh, Nakamura Ko, Umeda Hideyuki	4. 巻 908
2. 論文標題 Three-dimensional Hydrodynamics Simulations of Precollapse Shell Burning in the Si- and O-rich Layers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 44 ~ 44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abd3a3	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 Zaizen Masamichi, Horiuchi Shunsaku, Takiwaki Tomoya, Kotake Kei, Yoshida Takashi, Umeda Hideyuki, Cherry John F.	4. 巻 103
2. 論文標題 Three-flavor collective neutrino conversions with multi-azimuthal-angle instability in an electron-capture supernova model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.103.063008	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 Hijikawa Kotaro, Kinugawa Tomoya, Yoshida Takashi, Umeda Hideyuki	4. 巻 882
2. 論文標題 The Rate of iPTF 14gqr like Ultra-stripped Supernovae and Binary Evolution Leading to Double Neutron Star Formation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 93 ~ 93
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab321c	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 Ono Masaomi, Nagataki Shigehiro, Ferrand Gilles, Takahashi Koh, Umeda Hideyuki, Yoshida Takashi, Orlando Salvatore, Miceli Marco	4. 巻 888
2. 論文標題 Matter Mixing in Aspherical Core-collapse Supernovae: Three-dimensional Simulations with Single-star and Binary Merger Progenitor Models for SN 1987A	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 111 ~ 111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab5dba	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 Yoshida Takashi, Takiwaki Tomoya, Kotake Kei, Takahashi Koh, Nakamura Ko, Umeda Hideyuki	4. 巻 881
2. 論文標題 One-, Two-, and Three-dimensional Simulations of Oxygen-shell Burning Just before the Core Collapse of Massive Stars	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 16 ~ 16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab2b9d	査読の有無 無
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 Takahashi Koh, Yoshida Takashi, Umeda Hideyuki	4. 巻 857
2. 論文標題 Stellar Yields of Rotating First Stars. II. Pair-instability Supernovae and Comparison with Observations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 111 ~ 111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aab95f	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 Suzuki Toshio, Chiba Satoshi, Yoshida Takashi, Takahashi Koh, Umeda Hideyuki	4. 巻 98
2. 論文標題 Neutrino-nucleus reactions on O16 based on new shell-model Hamiltonians	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 id.034613
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.98.034613	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 Zaizen Masamichi、Yoshida Takashi、Sumiyoshi Kohsuke、Umeda Hideyuki	4. 巻 98
2. 論文標題 Collective neutrino oscillations and detectabilities in failed supernovae	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 id.103020
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.98.103020	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 Suwa Yudai、Yoshida Takashi、Shibata Masaru、Umeda Hideyuki、Takahashi Koh	4. 巻 481
2. 論文標題 On the minimum mass of neutron stars	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 3305 ~ 3312
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty2460	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 Takahashi Koh、Sumiyoshi Kohsuke、Yamada Shoichi、Umeda Hideyuki、Yoshida Takashi	4. 巻 871
2. 論文標題 The Evolution toward Electron Capture Supernovae: The Flame Propagation and the Pre-bounce Electron?Neutrino Radiation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 153 ~ 153
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aaf8a8	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 Urushibata Takaki、Takahashi Koh、Umeda Hideyuki、Yoshida Takashi	4. 巻 473
2. 論文標題 A progenitor model of SN 1987A based on the slow-merger scenario	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 L101 ~ L105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnrasl/slx166	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 Yoshida Takashi, Suwa Yudai, Umeda Hideyuki, Shibata Masaru, Takahashi Koh	4. 巻 471
2. 論文標題 Explosive nucleosynthesis of ultra-stripped Type Ic supernovae: application to light trans-iron elements	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4275 ~ 4285
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stx1738	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 Haruki, Shibata Masaru, Yoshida Takashi, Sekiguchi Yuichiro, Umeda Hideyuki	4. 巻 96
2. 論文標題 Gravitational collapse of rotating supermassive stars including nuclear burning effects	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 id.083016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.96.083016	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 Kato Chinami, Nagakura Hiroki, Furusawa Shun, Takahashi Koh, Umeda Hideyuki, Yoshida Takashi, Ishidoshiro Koji, Yamada Shoichi	4. 巻 848
2. 論文標題 Neutrino Emissions in All Flavors up to the Pre-bounce of Massive Stars and the Possibility of Their Detections	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 48 ~ 48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aa8b72	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 Hamidani Hamid, Takahashi Koh, Umeda Hideyuki, Okita Shinpei	4. 巻 469
2. 論文標題 Ideal engine durations for gamma-ray-burst-jet launch	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 2361 ~ 2379
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stx987	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 Umeda Hideyuki, Yoshida Takashi	4. 巻 -
2. 論文標題 Nucleosynthesis in Spherical Explosion Models of Core-Collapse Supernovae	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Handbook of Supernovae	6. 最初と最後の頁 1753 ~ 1770
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-21846-5_76	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

[学会発表] 計11件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Chris Nagele, Hideyuki Umeda, Koh Takahashi, Takashi Yoshida, Kohsuke Sumiyoshi
2. 発表標題 Evidence for GR Induced Explosions in Supermassive Population III Stars
3. 学会等名 初代星・初代銀河研究会 2019 @名古屋
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideyuki Umeda
2. 発表標題 Massive star evolution: Our recent works
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

1. 発表者名 H. Umeda
2. 発表標題 A Progenitor model of SN1987A
3. 学会等名 STARS Birth & Death (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Zaizen, T. Yoshida, K. Sumiyoshi, H. Umeda
2 . 発表標題 Collective neutrino oscillations and matter effects in failed supernova
3 . 学会等名 Revealing the history of the universe with underground particle and nuclear research 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Yoshida, K. Nakamura, K. Kotake, H. Umeda, K. Takahashi,
2 . 発表標題 Multidimensional simulations for the last minutes of massive star evolution
3 . 学会等名 Deciphering multi-Dimensional Nature of core-collapse Supernovae via Gravitational-wave and neutrino signatures (SNeGWv2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Neutrinos from Presupernova Stars
2 . 発表標題 T. Yoshida, K. Takahashi, H. Umeda, K. Ishidoshiro
3 . 学会等名 15 the International Symposium on Nuclei in the Cosmos XV (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Kanaoka, S. Hirano, Y. Shen, H. Umeda
2 . 発表標題 超音速ガス流による初代星の集団形成の長時間進化シミュレーション
3 . 学会等名 初代星・初代銀河研究会2018 @ 茨城
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Shen, K. Kanaoka, S. Hirano, H. Umeda
2. 発表標題 ダークマター・バリオン相対速度による初代星形成と星質量分布
3. 学会等名 日本天文学会2019年春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshida Takashi
2. 発表標題 Explosive nucleosynthesis of Type Ic ultra-stripped supernovae
3. 学会等名 Physics of Core-Collapse Supernova and Compact Star Formations (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 財前真理
2. 発表標題 Failed Supernovaにおけるニュートリノ振動
3. 学会等名 日本天文学会2017年秋季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤本空
2. 発表標題 Pair-instability supernova"から放出されるニュートリノの観測可能性
3. 学会等名 日本天文学会2017年秋季年会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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