

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2022

課題番号：17K05382

研究課題名（和文）超高輝度超新星の爆発機構を解明し、宇宙の初代星の超新星爆発との関係を探る

研究課題名（英文）Studies on Superluminous Supernovae: Explosion Mechanisms and Connection to First Supernovae in the Universe

研究代表者

野本 憲一（Nomoto, Ken'ichi）

東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・客員上級科学研究員

研究者番号：90110676

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：宇宙の初代星がどのような質量関数を持ち、どのような進化・爆発・元素合成をしたかを解明することは、現在の天文学の焦点の一つである。本研究では、超高輝度超新星の爆発機構、親星の質量範囲を特定し、初代星との関係があるかを解明することを目的とした。3つの有力モデルである、星周物質との衝突モデル、マグネターモデル、 ^{56}Ni 崩壊モデルそれぞれに対して、光度曲線を計算し、観測との詳細な比較を行った。その結果、星周物質との衝突モデルが、観測を最もよく説明できるという結論が得られ、初代星が太陽質量の100倍近い星であり、大質量のブラックホールを形成しうることを示唆することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我々の宇宙がどのように誕生し進化してきたかを明らかにすることは、我々自身の起源、将来を解明する上で、学術的にも社会的にも最も重要な課題の一つである。多くの証拠が宇宙がビッグバンとして始まったことを示しているが、ビッグバン後にどのような初代星が形成されたかは明らかになっていない。本研究では最近発見された超高輝度超新星が太陽質量の100倍近い星の爆発であることを明らかにし、初代星の有力候補であることを示した。

研究成果の概要（英文）：It is one of the most important topics of current astrophysics to clarify the nature of the First Stars in the Universe, i.e., their masses, evolution, explosion and nucleosynthesis. In the present study, we have focused on the nature of superluminous supernovae, i.e., their progenitors, explosion mechanisms, and a possible connection to First Stars. In particular, we have calculated the light curves of three promising models: circumstellar interaction models, magnetar models, and ^{56}Ni decay models. By comparing with the observed light curves of superluminous supernovae, we conclude that circumstellar interaction models are best compatible with observations. We then suggest First Stars would be as massive as 100 solar mass and may form relatively massive black holes.

研究分野：天文学

キーワード：初代星 超新星 ブラックホール 重力波 元素の起源

1. 研究開始当初の背景

ビッグバン宇宙論においては、大規模構造形成がコールド・ダークマター・シナリオにより、よく再現されている。しかしながら、初期宇宙の暗黒時代に終わりを告げる初代星の形成に始まる宇宙の黎明期の進化は、明らかになっていなかった。この進化の解明が、観測的にも理論的にも現在の天体物理学の主要な課題となっている。初代星の性質を明らかにすることが、宇宙の再電離の源が何であったか、巨大質量および中間質量ブラックホールがどのような種から形成されてきたか、そして、初代銀河がどのように形成されたか、宇宙の元素がどのように生成されていったか、などの現在の天文学の大きな課題を解決する重要なカギとなっていた。その中で、初代星がいかなる星であるかを観測的に判定する研究も進んでいた。重元素の極端に少ない星の元素組成パターンに特異なものが多数観測されたり、重元素の少ない遠方銀河の元素組成パターンが観測され始めたりした。さらには、重力波の観測が開始され、ブラックホールの質量が精度よく求められ始め、初代のブラックホールの理論的質量との比較検討も可能になりつつあるという進展も背景にあった。

2. 研究の目的

我々の宇宙がどのように誕生し進化してきたかを明らかにすることは、我々自身の起源、将来を解明する上で、最も重要な課題の一つである。本研究では、宇宙の初代星がどのような質量関数を持ち、どのような進化・爆発・元素合成をしたかを解明することを目的とした。3次元流体力学的シミュレーションによると、初代星は次のような過程で形成されてくる。重元素を含まないガスは水素分子によって冷却し、太陽質量の1000倍を越す非常に大きなジーンズ質量の段階で原始星へと分裂する。その後の初代星は大質量の原始ガスを降着して巨大質量星となる。巨大質量星の観測的な兆候ではないかとして最近注目されているのが、通常の重力崩壊型超新星の10倍から500倍もの明るさに達する「超高輝度超新星」である。この超高輝度超新星は、超新星探査が矮小銀河に対しても行われるようになって、10年ほど前から初めて発見され始めた。すなわち、金属量の少ない環境で発生しているのである。この超高輝度超新星に着目し、その爆発機構、親星の質量範囲などを、光度曲線などのモデルから特定し、その起源の解明により、初代星との関連性を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

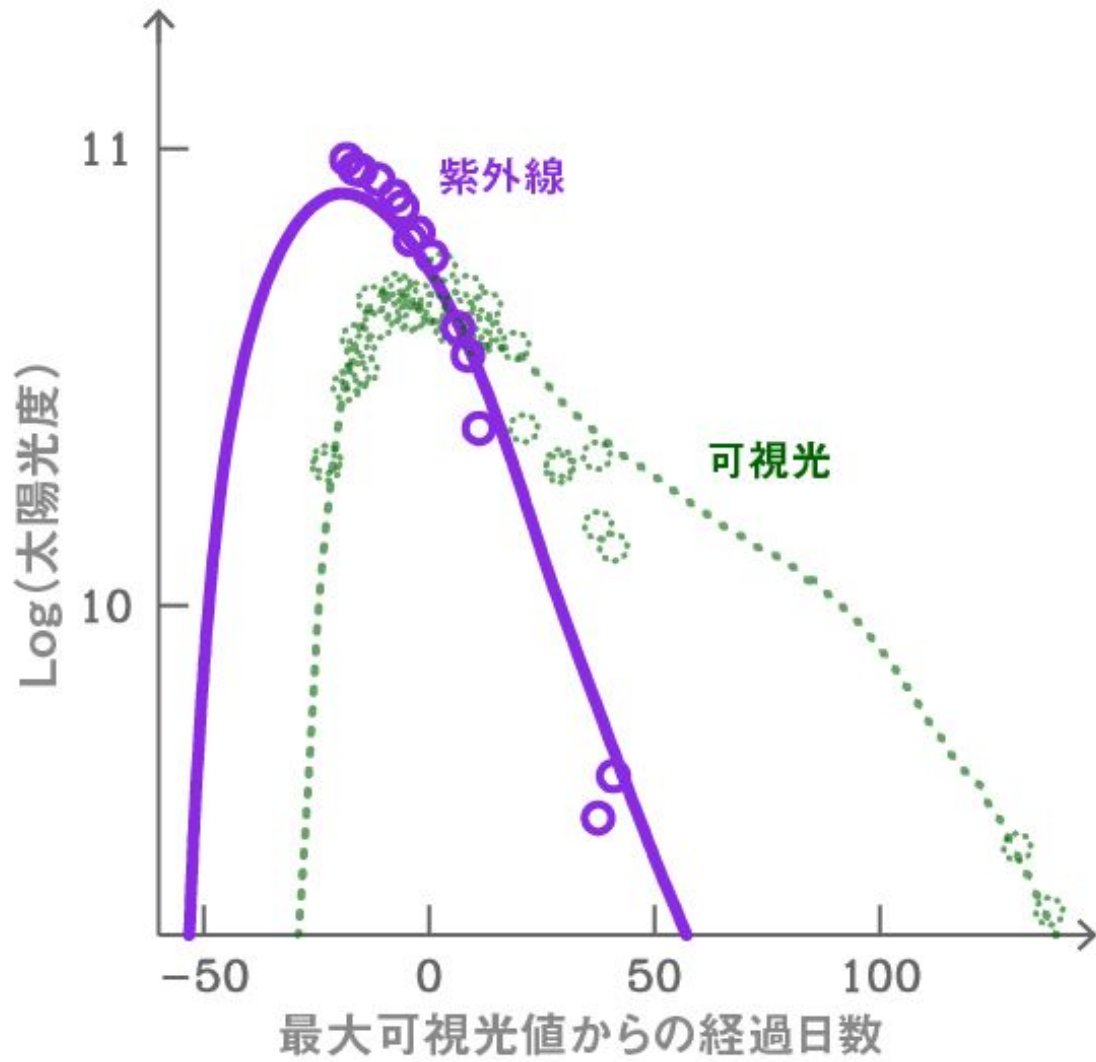
これまで推測による議論が多かった超高輝度超新星の起源の定量的な研究を遂行した。すなわち、超高輝度超新星の爆発機構、親星の質量範囲を特定し、初代星との関係があるかを解明するために、3つの有力モデルである、星周物質との衝突モデル、超強磁場を持つ中性子星であるマグネターが光度源となるモデル、大量の放射性元素 ^{56}Ni が崩壊して光度源となるモデル、それぞれに対して、爆発の流体力学モデルを構築して光度曲線を計算し、観測との詳細な比較を行った。特に、星周物質の起源を明らかにするために、重元素を含まない、種族IIIの大質量星の進化をその主系列から超新星爆発直前まで計算した。太陽質量の80-130倍の星は、電子陽電子対の生成による不安定を起こし、質量放出を起こす。この質量範囲の上限に近い星の場合、太陽質量の10-30倍という大量の星周物質が形成されるという結果が得られた。その上で、有力モデルの爆発モデルの構築を行った。

4. 研究成果

超高輝度超新星の3つの有力モデルの光度曲線を計算し、観測との比較を行った結果、星周物質との衝突モデルが、観測を最もよく説明できるという結論が得られた。特に、紫外線が大きく増光するという観測データを説明するには、衝突のインパクトが重要であり、この比較が鍵となった。下図に示したのは観測された紫外線と可視光の光度曲線(丸印)と衝突モデル(実線と破線)の光度曲線である。このような詳細な比較による結論を得たのは、本研究が世界的にも最初の研究である。

今後、超高輝度超新星が初代星とどのように関連するかを明らかにするには、このタイプの超新星の親星を特定する研究が必要となる。超新星爆発直前に大量の水素を含まない星周物質を形成するのは、電子陽電子対の生成による脈動不安定を起こす太陽質量の80-130倍という大質量の星である。この質量範囲の星は、進化の最後に重力崩壊を起こし、質量の大きなブラックホールを形成する。その質量は最近の重力波によって観測されたブラックホールの質量の上限値に近く、今後の重力波観測結果によって質量分布や発生頻度が得られることにより、脈動不安定を起こす大質量星や超高輝度超新星との関連を明かにしていくことが可能である。さらに、ブラックホール形成に伴う超新星爆発はジェット状の爆発と想定され、その爆発による重元素

合成の特徴を明らかにしていくことにより、重元素量の少ない古い星や銀河の元素組成パターンとの比較が可能となり、初代星との関連を明確にできると想定される。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 22件 / うち国際共著 20件 / うちオープンアクセス 21件）

1. 著者名 Isobe Yuki, Ouchi Masami, Suzuki Akihiro, Moriya Takashi J., Nakajima Kimihiko, Nomoto Ken'ichi, Rauch Michael, Harikane Yuichi, Kojima Takashi, Ono Yoshiaki, Fujimoto Seiji, Inoue Akio K., Kim Ji Hoon, Komiyama Yutaka, Kusakabe Haruka	4. 巻 925
2. 論文標題 EMPRESS. IV. Extremely Metal-poor Galaxies Including Very Low-mass Primordial Systems with $M = 10^4\text{-}10^5 M_{\text{sun}}$ and 2%-3% (O/H): High (Fe/O) Suggestive of Metal Enrichment by Hypernovae/Pair-instability Supernovae	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 111 ~ 121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac3509	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Ishigaki Miho N, Hartwig Tilman, Tarumi Yuta, Leung Shing-Chi, Tominaga Nozomu, Kobayashi Chiaki, Magg Mattis, Simionescu Aurora, Nomoto Ken'ichi	4. 巻 506
2. 論文標題 Origin of metals in old Milky Way halo stars based on GALAH and Gaia	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 5410 ~ 5429
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stab1982	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Leung Shing-Chi, Fuller Jim, Nomoto Ken'ichi	4. 巻 915
2. 論文標題 Fast Blue Optical Transients Due to Circumstellar Interaction and the Mysterious Supernova SN 2018gep	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 80 ~ 89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abfcbe	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Hiramatsu Daichi, Howell D. Andrew, Van Dyk Schuyler D., Goldberg Jared A., Maeda Keiichi, Moriya Takashi J., Tominaga Nozomu, Nomoto Ken'ichi, Filippenko Alexei V., Bersten Melina C., Noguchi Toshihide, Itagaki Koichi	4. 巻 5
2. 論文標題 The electron-capture origin of supernova 2018zd	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Astronomy	6. 最初と最後の頁 903 ~ 910
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41550-021-01384-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ohshiro Yuken, Yamaguchi Hiroya, Leung Shing-Chi, Nomoto Ken'ichi, Sato Toshiki, Tanaka Takaaki, Okon Hiromichi, Fisher Robert, Petre Robert, Williams Brian J.	4. 巻 913
2. 論文標題 Discovery of a Highly Neutronized Ejecta Clump in the Type Ia Supernova Remnant 3C 397	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L34 ~ L38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/abff5b	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kobayashi Chiaki, Leung Shing-Chi, Nomoto Ken'ichi	4. 巻 895
2. 論文標題 New Type Ia Supernova Yields and the Manganese and Nickel Problems in the Milky Way and Dwarf Spheroidal Galaxies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 138 ~ 138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab8e44	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Stockinger G, Janka H-T, Kresse D, Melson T, Ertl T, Gabler M, Gessner A, Wongwathanarat A, Tolstov A, Leung S-C, Nomoto K, Heger A	4. 巻 496
2. 論文標題 Three-dimensional models of core-collapse supernovae from low-mass progenitors with implications for Crab	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 2039 ~ 2084
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa1691	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Leung Shing-Chi, Blinnikov Sergei, Nomoto Ken'ichi, Baklanov Petr, Sorokina Elena, Tolstov Alexey	4. 巻 903
2. 論文標題 A Model for the Fast Blue Optical Transient AT2018cow: Circumstellar Interaction of a Pulsational Pair-instability Supernova	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 66 ~ 80
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abba33	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Zhou Ping, Leung Shing-Chi, Li Zhiyuan, Nomoto Ken'ichi, Vink Jacco, Chen Yang	4. 巻 908
2. 論文標題 Chemical Abundances in Sgr A East: Evidence for a Type Ia Supernova Remnant	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 31 ~ 31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abbd45	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Tolstov Alexey, Nomoto Ken'ichi, Sorokina Elena, Blinnikov Sergei, Tominaga Nozomu, Taniguchi Yoshiaki	4. 巻 881
2. 論文標題 Light-curve Modeling of Fast-evolving Supernova KSN 2015K: Explosion in Circumstellar Matter of a Super-AGB Progenitor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 35 ~ 40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab2876	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Suzuki Toshio, Zha Shuai, Leung Shing-Chi, Nomoto Ken'ichi	4. 巻 881
2. 論文標題 Electron-capture Rates in ^{20}Ne for a Forbidden Transition to the Ground State of ^{20}F Relevant to the Final Evolution of High-density O-Ne-Mg Cores	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 64 ~ 64
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab2b93	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Zha Shuai, Leung Shing-Chi, Suzuki Toshio, Nomoto Ken'ichi	4. 巻 886
2. 論文標題 Evolution of ONeMg Core in Super-AGB Stars toward Electron-capture Supernovae: Effects of Updated Electron-capture Rate	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 22 ~ 22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab4b4b	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Leung Shing-Chi, Nomoto Ken'ichi, Blinnikov Sergei	4. 巻 887
2. 論文標題 Pulsational Pair-instability Supernovae. I. Pre-collapse Evolution and Pulsational Mass Ejection	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 72~72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab4fe5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Leung Shing-Chi, Nomoto Ken'ichi, Suzuki Tomoharu	4. 巻 889
2. 論文標題 Electron-capture Supernovae of Super-AGB Stars: Sensitivity on Input Physics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 34~34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab5d2f	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Simionescu A, Nakashima S, Yamaguchi H, Nomoto K, Ishigaki M N	4. 巻 483
2. 論文標題 Constraints on the chemical enrichment history of the Perseus Cluster of galaxies from high-resolution X-ray spectroscopy	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 1701~1721
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty3220	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Nomoto Ken'ichi, Leung Shing-Chi	4. 巻 214
2. 論文標題 Single Degenerate Models for Type Ia Supernovae: Progenitor's Evolution and Nucleosynthesis Yields	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Space Science Reviews	6. 最初と最後の頁 67~92
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11214-018-0499-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Tanikawa Ataru, Nomoto Ken'ichi, Nakasato Naohito	4. 巻 868
2. 論文標題 Three-dimensional Simulation of Double Detonations in the Double-degenerate Model for Type Ia Supernovae and Interaction of Ejecta with a Surviving White Dwarf Companion	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 90 ~ 90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aae9ee	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hashimoto Tetsuya, Chaudhary Ravi, Ohta Kouji, Goto Tomotsugu, Hammer Francois, Kong Albert K. H., Nomoto Ken'ichi, Mao Jirong	4. 巻 863
2. 論文標題 Why Are Some Gamma-Ray Bursts Hosted by Oxygen-rich Galaxies?	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 95 ~ 95
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aad2d1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Leung Shing-Chi, Nomoto Ken'ichi	4. 巻 36
2. 論文標題 Final evolution of super-AGB stars and supernovae triggered by electron capture	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Australia	6. 最初と最後の頁 6 ~ 36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/pasa.2018.49	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Tanikawa Ataru, Sato Yushi, Nomoto Ken'ichi, Maeda Keiichi, Nakasato Naohito, Hachisu Izumi	4. 巻 839
2. 論文標題 Does Explosive Nuclear Burning Occur in Tidal Disruption Events of White Dwarfs by Intermediate-mass Black Holes?	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 81 ~ 81
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aa697d	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Mazzali P. A., Sauer D. N., Pian E., Deng J., Prentice S., Ben Ami S., Taubenberger S., Nomoto K.	4. 巻 469
2. 論文標題 Modelling the Type Ic SN 2004aw: a moderately energetic explosion of a massive C+O star without a GRB	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 2498 ~ 2508
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stx992	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 Tolstov Alexey, Zhiglo Andrey, Nomoto Ken'ichi, Sorokina Elena, Kozyreva Alexandra, Blinnikov Sergei	4. 巻 845
2. 論文標題 Ultraviolet Light Curves of Gaia16apd in Superluminous Supernova Models	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L2 ~ L2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/aa808e	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計12件 (うち招待講演 12件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Shing-Chi Leung and Ken'ichi Nomoto
2. 発表標題 White Dwarf Explosions
3. 学会等名 Sixteenth Marcel Grossmann meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ken'ichi Nomoto
2. 発表標題 Bethe Prize talk: First Stars: Their Supernova Explosions and Connections to Extremely Iron-Poor Stars
3. 学会等名 American Physical Society Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ken'ichi Nomoto
2. 発表標題 Electron capture supernovae from super-AGB stars and a possible model for Fast Blue Optical Transients
3. 学会等名 Lorentz Center workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ken'ichi Nomoto
2. 発表標題 Circumstellar Interaction in Unusual Supernovae
3. 学会等名 Supernova Remnants II: An Odyssey in Space after Stellar death (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ken'ichi Nomoto
2. 発表標題 Progenitor of Type Ia Supernovae
3. 学会等名 Lijiang meeting on Type Ia Supernovae (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ken'ichi Nomoto
2. 発表標題 Supernova Explosions of First Stars and their Nucleosynthesis
3. 学会等名 Mendeleev Congress: Periodic table through space and time (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ken'ichi Nomoto
2. 発表標題 Pulsational Pair-Instability Supernovae
3. 学会等名 Conference on "Shocking Supernovae" in Stockholm (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ken'ichi Nomoto
2. 発表標題 Yields of Pop III supernovae and abundance patterns of iron-poor stars
3. 学会等名 Ringberg Workshop on "Metal-poor galaxies" near Munich (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ken'ichi Nomoto
2. 発表標題 Models for Unusual Supernovae and Possible Connections to Extremely Metal-Poor Stars
3. 学会等名 IPMU Conference on "Stellar Archaeology as a Time Machine to the First Stars" in Kashiwa (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ken'ichi Nomoto
2. 発表標題 Supernova explosions of first stars
3. 学会等名 Workshop on "Supernovae" in Hong Kong (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ken'ichi Nomoto
2. 発表標題 Nucleosynthesis in First Stars and Chemical Enrichment in the Early Universe
3. 学会等名 STScI Spring Symposium on "Lifecycle of Metals Throughout the Universe: Celebrating 50 Years of UV Astronomy" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ken'ichi Nomoto
2. 発表標題 Pulsational pair-instability models for UV bright superluminous supernovae
3. 学会等名 MIAPP Workshop on "Superluminous supernovae in the next decade" (招待講演) (国際学会)
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
研究分担者	鈴木 知治 (Suzuki Tomoharu) (20280935)	中部大学・人間力創成教育院・教授 (33910)	

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