

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26400222

研究課題名(和文) 矮小銀河と銀河系内の金属欠乏星の特異な化学組成の多様性と宇宙初代星の質量関数

研究課題名(英文) Peculiar abundance patterns of extremely metal-poor stars in dwarf galaxies and our Galaxy and the mass function of first stars

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・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) 3,500,000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手がかりとして、矮小銀河や銀河系ハローで観測された極端に金属量の少ない星の特異な元素組成の起源を研究した。これらの星の多くは、鉄に対する炭素の組成比や鉄に対する亜鉛の組成比が極端に大きい特徴を示し、それらは、太陽の10-40倍の質量の星が極超新星として爆発的に生成する元素の組成でよく説明できるという結論を得た。これは、初代星の質量関数もその範囲にピークを持つことを示唆する。

研究成果の概要(英文)：In order to clarify the nature first stars in the Universe, i.e., their mass function, properties of explosion, and nucleosynthesis, we have studied the origin of peculiar abundance patterns of extremely metal-poor stars in dwarf galaxies and our Galaxy. Many of these stars show very large ratios of C/Fe and Zn/Fe. We have found that these patterns are well-reproduced by nucleosynthesis yields of hypernova explosions of stars with masses of 10 - 40 solar-mass. This suggests that the mass function of first stars would have a peak in this mass range.

研究分野：天文学

キーワード：矮小銀河 初代星 金属欠乏星 超新星 元素合成

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。そして、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の解明が、観測的にも理論的にも現在の宇宙論の主要な課題となっている。

初代星がどのような質量の星として形成され、どのような進化をしたか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る。

2. 研究の目的

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。

その重要な手がかりが、矮小銀河や銀河系ハローで観測された極端に金属量の少ない星の元素組成から得られる。最近の大規模探査によって、金属超欠乏星の平均的な組成比と比較して、いくつかの組成比が大きく異なる星の存在が明らかになった。

本研究では、そのような特異な組成比の多様性がどのようにして生じるかを解明し、初代星の性質や質量関数の解明に迫ることを目的とする。それと同時に、矮小銀河や極度に暗い小銀河が銀河系ハローを形成する種となったかどうかという銀河形成過程の解明に適用することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 超新星の爆発の過程で mixing-fallback が、多くの炭素過剰星で共通に起こっているかどうかを確かめる。そのために、観測されている炭素過剰星の元素組成の分布が再現できる爆発モデルのパラメータ(爆発エネルギー、放出される鉄の質量、爆発後に残されるブラックホールの質量)を求める。

(2) 鉄が発見されない $[Fe/H] < -7$ という極端な鉄欠乏星の起源を、超新星爆発モデルと比較して明らかにする。発見されたカルシウムが、爆発前の Hot-CNO cycle で生成されたものか、超新星爆発で生成されたものかに焦点をあてる。

(3) 矮小銀河でのみ観測されている超高輝度超新星の光度形成の機構をシミュレーションによって研究する。

4. 研究成果

(1) 鉄に対する炭素の組成比や鉄に対する亜鉛の組成比が極端に大きい特徴を示す金属超欠乏星の元素組成の多くは、太陽の 10-40 倍の質量の星が極超新星として爆発的に生成する元素の組成でよく説明できるという結果を得た。これにより、初代星の質量関数も太陽の 10-40 倍の質量範囲にピークを持つという結論を得た。

(2) 鉄が発見されない代わりにカルシウムが発見されたという極端な鉄欠乏星の起源が、従来の鉄欠乏星の起源に類似した超新星爆発であることを明らかにした。従って、銀河系ハローの初代星の質量関数としては、25-50 太陽質量の星が重要であることを確認することができた。

(3) 超高輝度超新星の初期の明るさが、星周物質との衝突モデルによって説明できることを理論計算によって明らかにできたことにより、これまで推測による議論の多かった超高輝度超新星の起源の定量的な議論を、大きく前進させることができ、親星が太陽質量の 100 倍近い大質量星であることを示唆することができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 12 件)

(1) Ishigaki Miho N., Tominaga Nozomu, Kobayashi Chiaki, Nomoto Ken'ichi, The Initial Mass Function of the First Stars Inferred from Extremely Metal-poor Stars, *The Astrophysical Journal*, 査読有, 857, 2018, 46, 10.3847/1538-4357/aab3de

(2) Tolstov Alexey, Zhiglo Andrey, Nomoto Ken'ichi, Sorokina Elena, Kozyreva Alexandra, Blinnikov Sergei, Ultraviolet Light Curves of Gaia16apd in Superluminous Supernova Models, *The Astrophysical Journal*, 査読有, 845, 2017, L2, 10.3847/2041-8213/aa808e

(3) Tanikawa Ataru, Sato Yushi, Nomoto Ken'ichi, Maeda Keiichi, Nakasato Naohito, Hachisu Izumi, Does Explosive Nuclear

Burning Occur in Tidal Disruption Events of White Dwarfs by

Intermediate-mass Black Holes?, The Astrophysical Journal, 査読有, 839, 2017, 81, 10.3847/1538-4357/aa697d

(4) Tolstov, A., Nomoto, K., Blinnikov, S., Sorokina, E., Quimby, R., Baklanov, P, Pulsational Pair Instability Model for Superluminous Supernova PTF12dam: Interaction and Radioactive Decay, The Astrophysical Journal, 査読有, 835, 2017, 266
10.3847/1538-4357/835/2/266

(5) Sorokina, E., Blinnikov, S., Nomoto, K., Quimby, R., Tolstov, A, Type I Superluminous Supernovae as Explosions inside Non-hydrogen Circumstellar Envelopes, The Astrophysical Journal, 査読有, 829, 2016, 17,
10.3847/0004-637X/829/1/17

(6) Tolstov, A., Nomoto, K., Tominaga, N., Ishigaki, M. N., Blinnikov, S., Suzuki, T., The Astrophysical Journal, 査読有, 821, 2016, 124,
10.3847/0004-637X/821/2/124

(7) Kobayashi, C., Nomoto, K., Hachisu, I, Subclasses of Type Ia Supernovae as the Origin of $[\alpha/\text{Fe}]$ Ratios in Dwarf Spheroidal Galaxies, The Astrophysical Journal Letters, 査読有, 804, 2015, 1. L24-L29, 10.1088/2041-8205/804/1/L24

(8) Tanikawa, A., Nakasato, N., Sato, Y., Nomoto, K., Hydrodynamical Evolution of

Merging Carbon-Oxygen White Dwarfs: Their Pre-supernova

Structure and Observational Counterparts, The Astrophysical Journal, 査読有, 807, 2015, 40-61, 10.1088/0004-637X/807/1/40

(9) Benvenuto, O. G., Panei, J. A., Nomoto, K., Final Evolution and Delayed Explosions of Spinning White Dwarfs in Single Degenerate Models for Type Ia Supernova, The Astrophysical Journal, 査読有, 809.2015.L6-L10, 10.1088/2041-8205/809/1/L6

(10) Nozawa, T., Yoon, S.-C., Maeda, K., Kozasa, T., Nomoto, K., Dust Production Factories in the Early Universe: Formation of Carbon Grains in Red-supergiant Winds of Very Massive Population III Stars, The Astrophysical Journal Letters, 査読有, 787, 2014, L17, 10.1088/2041-8205/787/2/L17

(11) Ishigaki, M. N., Tominaga, N., Kobayashi, C., Nomoto, K., Faint Population III Supernovae as the Origin of the Most Iron-poor Stars, The Astrophysical Journal Letters, 査読有, 792, 2014, L32, 10.1088/2041-8205/792/2/L32

(12) Jones, S., Hirschi, R., and Nomoto, K., The Final Fate of Stars that Ignite Neon and Oxygen Off-center: Electron Capture or Iron Core-collapse Supernova? The Astrophysical Journal, 査読有, 797, 2014, 83, 10.1088/0004-637X/797/2/83

〔学会発表〕(計 9 件)

(1)Ken'ichi Nomoto, First Stars and First Supernovae, Transient Universe conference (招待講演)(国際学会), 2018

(2)Ken'ichi Nomoto, Yields of Faint Pop III Supernovae and the Abundance Pattern of Most Iron-Poor Stars, A Celebration of CEMP and Gala of GALAH (招待講演)(国際学会), 2017

(3)Ken'ichi Nomoto, Nucleosynthesis in First Stars and Chemical Enrichment in the Early Universe, Lifecycle of Metals Throughout the Universe: Celebrating 50 Years of UV Astronomy (招待講演)(国際学会), 2017

(4)Ken'ichi Nomoto, Superluminous Supernovae: Constraints on Progenitors and Explosion Mechanisms, IAU Symposium No. 329 "The Lives and Death-Throes of Massive Stars"(招待講演)(国際学会), 2016

(5)Ken'ichi Nomoto, Superluminous Supernovae and First Stars, First Stars V (招待講演)(国際学会), 2016

(6)Ken'ichi Nomoto, First stars, hypernovae, and faint supernovae in early universe, 14th Marcel Grossmann meeting (招待講演)(国際学会), 2015

(7)Ken'ichi Nomoto, Transition from Electron Capture to Iron Core-Collapse Supernovae, Workshop on "Electron Capture Supernovae and Super-AGB Stars" (招待講演)(国際学会), 2016

(8)Ken'ichi Nomoto, Hypernovae, Workshop on "Particle Physics & Cosmology Symposium 2014" (招待講演) 2014

(9)Ken'ichi Nomoto, Hypernova Nucleosynthesis, INT Conference 14-56w: "The r-process: status and challenges" (招待講演) 2014

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)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・
上級科学研究員
研究者番号: 90110676

(2)研究分担者

鈴木 知治(SUZUKI, Tomoharu)
中部大学・工学部・准教授
研究者番号: 20280935