

研究種目：基盤研究(S)
 研究期間：2006 年～2010 年
 課題番号：18104003
 研究課題名（和文）宇宙黎明期の恒星の研究と宇宙開闢史の解明

研究課題名（英文）
 A Study of the Stars and the Structure Formation History in the Early Universe

研究代表者 藤本 正行 (Fujimoto Masayuki)
 北海道大学・大学院理学研究院・教授
 研究者番号：00111708

研究分野：数物系科学
 科研費の分科・細目：天文学・天文学
 キーワード：恒星進化、超新星爆発、核種合成、星形成、銀河形成

1. 研究計画の概要

宇宙の進化における第一世代の星、すなわち、重元素を含まない種族 III とよばれる星がどのような星であったかを明らかにすることは、観測的にも理論的にも、現在の天文学の焦点の一つである。これらの恒星は、我々の宇宙で最初に輝いた天体であり、そのうちの低質量星は、現在まで生き残り、銀河形成に先行する宇宙黎明期の唯一の情報源と考えられている。種族 III 星を含む金属欠乏星の研究は、2002 年の $[Fe/H] = -5.3$ (鉄の組成が太陽の 20 万分の 1) の恒星 HE0107-5240 とそれに続くに 2005 年の $[Fe/H] = -5.6$ の恒星 HE1327-2326 (Frebel, Aoki et al. Nature 2005) の発見によって新段階を画するものであり、これを出発点に、初期宇宙からの生き残りである低質量超金属欠乏星を探索手段として構造形成史を解明することが現実的な課題となった。

これらの発展を受けて恒星物理の解明を重点に研究体制を整備し、理論と観測を結合して、種族 III 星と恒星が宇宙の曙光に果たした役割の全体像を明らかにし、それを基礎として銀河系の形成、初期進化の過程の解明に迫ることである。具体的には、主として次の 3 課題に沿って研究を遂行する。

- (1) 現在まで生き残っている低質量星から元素生成に寄与した大質量星までの、全質量の種族 III 星、金属欠乏星について、物質混合と元素合成の物理過程を解明し、その進化の統一的な描像を完成する。
- (2) すばる等の大型望遠鏡を用いた種族 III 星の探索と超金属欠乏星の表面組成の精密観測を強化し、本研究で求めた理論と

これらの観測の照合から、宇宙黎明期の恒星の特性を明らかにする。

- (3) 上記の研究で求めた銀河系ハローの超金属欠乏星の特性を踏まえ、銀河系ハローの形成過程を跡付け、その歴史を解読する。宇宙初期の星形成過程について、WMAP 等で検証された階層的な銀河形成理論に基づき、星形成、物質循環過程などの考察を通して新しい描像を導く。

2. 研究の進捗状況

(1) 本研究の基礎となる、種族 III 星および宇宙黎明期の恒星の超新星爆発等による化学進化への寄与と誕生後の表面組成の变成過程の両面に関して、基本的な研究を完了し、観測される超金属欠乏星の組成分布の解釈とその起源の解明に必要な理論的な枠組みを完成したことである。

(2) これまでの大型望遠鏡による高分散分光観測の結果を網羅した銀河系ハローの超金属欠乏星のデータベースを構築した。これによって、種族 III 星の探索と宇宙黎明期の恒星の特性を解明する基本的な手段が整った。このデータベースは、すでに Web 上に公開し、国内外から多数利用されている。

(3) 観測的研究では、すばる望遠鏡による炭素過多金属欠乏星の組成測定を総括し、連星での AGB 主星からの炭素過剰な物質の降着について観測的な制限を導いた。また、SDSS で選別された候補天体の中から超金属欠乏星を同定する follow-up 観測が 2 年間のすばる望遠鏡の集約プログラムが採択され、これによって、超金属欠乏星の標本的大幅な

増加が見込まれる。

(4) 原始星雲の物質循環、星形成に関連して、種族 III 星を含む超新星爆発時に形成されたダストの進化過程および星間空間に放出されるダスト量を見積もる手法を確立、ダストが重元素の化学進化に果たす役割の解明にむけて前進した。

(5) 炭素星の統計から $-4 < [Fe/H] < -2$ の銀河系ハローの恒星について初期質量関数が太陽質量の 5-10 倍を頂点とする大質量星であったこと、現在観測される銀河系ハローの星は、連星系の低質量星の伴星として生まれたことを導いた。これは、これまでの通説を覆す新しい視点であり、銀河系ハローの恒星の特性、形成過程の研究に新たな地平を切り開く可能性があると考えている。

3. 現在までの達成度

当初の計画以上に進展している。

【理由】研究は当初の予想以上の成果があげられている。

超金属欠乏下での恒星の進化と核種合成について、低、中質量星の漸近巨星分枝段階、大質量星の超星爆発について統一的な全体像をまとめることができ、また、重元素の循環、星間ガスの冷却で重要な役割を果たすダストについても新たな描像を提起できた。これらの理論的な成果では、世界の当該分野の研究をリードできたと考えている。

とりわけ、宇宙黎明期の恒星の初期質量関数の導出、ガンマ線バースト現象も含めた超新星爆発の統一的な描像の提起は特筆すべき点である。

観測面では、SDSSを受け継いだSEGUEのグループとの協力、連携が順調に発展、特に、共同提案したすばる望遠鏡の探査計画の採用は、超金属欠乏星のサンプルの充実をもたらすと期待される。

また、金属欠乏星データベースは、理論的研究と観測的研究の両分野の発展に資するように設計したので、学術的な価値が高いと考える。公開後、国内、海外からも多くの利用があることも、このことは実証している。

4. 今後の研究の推進方策

これまで本研究では超金属欠乏星の特性の理解、理論および観測の両面から基礎な研究を進めてきたが、これらの研究の各グループの理論的、観測的な研究を継続・推進するとともに、これまでの各グループの成果を踏まえて、目的である宇宙黎明期における恒星の探査と形成、銀河系ハローの形成、化学進化の宇宙開闢史の研究への展開をはかる。

宇宙の初代星の探査・同定には、これまでに発見されている最も鉄の組成が小さい3つの星の起源の解明が鍵となる。本研究では、連星系でAGB主星からの表面汚染を受けた種族III星、特殊な超新星爆発で放出物から誕生した第2世代星の2つの立場から、炭素過多などの特異な表面組成の共通点と相違点を含めてともに矛盾なく説明できることが示した。今後、この2つのシナリオの識別を、宇宙初期における構造形成、星形成の文脈の中で追求していく。

5. 代表的な研究成果

(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69件)

Y. Komiya, T. Suda, and **M. Y. Fujimoto**, Early-Age Evolution of the Milky Way Related by Extremely Metal-Poor Stars, *Astrophys. J.*, 査読有, 694, 2009, 157

T. Suda, Y. Katsuta, S. Yamada, T. Suwa, C. Ishizuka, Y. Komiya, K., Sorai, M. Aikawa, and **M. Y. Fujimoto**, Stellar Abundances for the Galactic Archeology (SAGA) Database: Compilation of the Characteristics of Known Extremely Metal-Poor Stars, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 査読有, 60, 2008, 1159

J. Rho, T. Kozasa, et al. (他7名), Freshly Formed Dust in the Cassiopeia A Supernova Remnant as Revealed by the Spitzer Space Telescope, *Astrophys. J.* 査読有, 673, 2008, 271

N. Tominaga, H. Umeda, K. Nomoto, Supernova Nucleosynthesis in Population III 13-50 M_{\odot} Stars and Abundance Patterns of Extremely Metal-poor Stars, *Astrophys. J.*, 査読有, 660, 2007, 516

W. Aoki, et al. (他7名), Carbon-enhanced Metal-poor Stars. I. Chemical Compositions of 26 Stars, *Astrophys. J.* 査読有, 655, 2007, 492

[学会発表](計82件)

Y. Komiya, T. Suda, A. Habe, and **M. Y. Fujimoto**, Galactic Archeology with Extremely Metal-Poor Stars, IA U Symposium, Vol 255, "Low-Metallicity Star Formation: From the First Stars to Dwarf Galaxies", 16-20 June, 2008, Liguria, Italy