

宇宙黎明期の恒星の研究と宇宙開闢史の解明

A Study of the Stars and the Structure Formation History in the Early Universe

藤本正行 (Fujimoto, Masayuki)
北海道大学・大学院理学研究科・教授



研究の概要

最近の銀河系の恒星の探査で、鉄の組成が太陽の10万分の1にも満たない星が発見された。これらは最も金属量の少ない星で、ビッグ・バン直後の宇宙初期に形成された星の生き残りと考えられている。本研究は、恒星の進化と核種合成の理論と銀河系の超金属欠乏星の観測の両面から、これらの恒星の素性を明らかにし、我々の宇宙最初の星とそれに続く世代の星がどのようなものであったかを探り、初期宇宙の進化、天の川銀河の形成過程を解明する。

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. 研究開始当初の背景

我々の宇宙の天体は、ビッグ・バン後、膨張とともに冷えた暗黒の中から星が誕生し、その輝きとともに始まった。このとき生まれた宇宙最初の星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、現在の天文学の中心的な課題の一つである。

ビッグ・バン直後の原始ガスは水素、ヘリウムと僅かのリチウムからなり、炭素以上の重元素は星で創られる。宇宙最初の星のうち、大質量星は生まれてすぐ超新星爆発を起すが、このとき宇宙最初の重元素を星間空間に撒き散らし、それらの重元素は次世代の星に取り込まれる。一方太陽の0.8倍以下の星は、生まれると長寿命のため今でも輝いているはずである。

1990年代の大規模な探査で、銀河系ハローに重元素の組成が太陽に比して小さな星が多く発見され、下限値は太陽の40万分の1に達した。これらの超金属欠乏星に残された誕生当時の宇宙の状態の痕跡を手がかりとして、宇宙黎明期の星形成の歴史を探る near-field cosmology が可能となった。

2. 研究の目的

銀河系ハローで観測された超金属欠乏星の中には特異な組成分布を示すものも多い。本研究では、表面組成の解析を通してこれ

らの宇宙黎明期の星の起源を解明し、宇宙最初の恒星との関係を調べ、その探査の可能性を探る。それとともに、これらの星が宇宙の曙光に果たした役割を明らかにし、それに基づいて、宇宙初期の構造形成、銀河系の形成、初期進化の過程に迫る。

3. 研究の方法

超金属欠乏星の組成は先行する超新星爆発で放出された重元素の特性を反映する。しかし、誕生後、後続の超新星爆発の放出した重元素で汚染された星間物質の降着、あるいは、連星系で主星から放出された物質の流入によって表面組成の変成を蒙っている可能性がある。したがって、第一の課題は、金属を全く含まない種族 III 星や超金属欠乏星の進化の核種合成の物理過程を解明し、超新星爆発での放出される元素組成と誕生後の変成過程を理解することである。

加えて、すばる等の大型望遠鏡等を用いて超金属欠乏星の表面組成の精密観測をし、超金属欠乏星の探査をするとともに、これまでの高分散分光観測で得られている組成分析のデータを収集する。これらの観測と理論との照合を通して、宇宙黎明期に誕生した星の特性を明らかにする。

さらに、これらの解析結果を踏まえて、進化過程を研究銀河系ハローの形成過程を跡付け、その歴史を解読する。これには、初期宇

宙の原始星雲での物質循環と星形成に影響するダストの生成、破壊と放出の過程を調べる必要があり、また、現在の階層的な構造形成の枠組みの中で考察する。

これらの課題について、分担者と共同して研究を進める。

4. これまでの成果

宇宙黎明期の恒星の進化と漸近巨星分枝星の質量放出、超新星爆発等による化学進化と誕生後の表面組成の変成を気體的に解明し、炭素過剰などの特異な組成分布の起源の解釈に必要な理論的な枠組みを完成した。

平行して、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 星の探査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。

観測では、すばる望遠鏡での観測をもとに、炭素過剰金属欠乏星の組成測定の一括を行い、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くことが出来た。2008 年 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の大幅な増加が見込まれる。

また、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が確立し、宇宙におけるダストの形成進化の新しい描像を提起した。また、密接に関連した星形成史の解明にむけて前進した。

5. 今後の計画

今後、これらの成果を統合することによって、現在まで生き残っている超金属欠乏星の成り立ちを明らかにし、それを基に、恒星の誕生と化学進化の過程の側面から銀河系ハローの形成過程を系統的に調べ、宇宙開闢歴史の解明を進めていく。太陽の 10 万分の 1 以下の星の起源についても、この中で、決着をつけることができると考える。これまでの予備的な解析で、炭素星の統計から $-4 \leq [\text{Fe}/\text{H}] \leq -2$ 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との結論を得ている。この場合、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になる。これは、これまでの予想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り、この方向での帰結を追及する意義があると考えている。

6. これまでの発表論文等

Oxygen and Light Element Synthesis by Neutron-Capture Reactions in Metal-Free and Extremely Metal-Poor AGB Stars
Takanori, Nishimura, Masayuki Aikawa, Takuma Suda, **Masayuki Y. Fujimoto**
Publication of the Astronomical Society of Japan, 査読有, in press 2009

Hierarchical Formation of the Galactic Halo and the Origin of Hyper Metal-Poor Stars,
Yutaka Komiya, Asao Habe, T. Suda, **M.Y. Fujimoto**
Astrophysical Journal Letters, 査読有, 696, 1, pp. L79-L83, 2009

Early-Age Evolution of the Milky Way Related by Extremely Metal-Poor Stars,
Y. Komiya, T. Suda, and **M. Y. Fujimoto**
Astrophysical Journal, 査読有, 694, 1577-1594, 2009

Stellar Abundances for the Galactic Archeology (SAGA) Database — Compilation of the Characteristics of Known Extremely Metal-Poor Stars,
T. Suda, Yutaka. Katsuta, Shimako. Yamada, Tamon. Suwa, Chieko. Ishizuka, Y. Komiya, Kazuo., Sorai, M. Aikawa, and **M.Y. Fujimoto**,
Publication of the Astronomical Society of Japan, 査読有, 60, pp1159-1171, 2008

The Origin of Carbon-Enhancement and Initial Mass Function of Extremely Metal-Poor Stars in the Galactic Halo,
Y. Komiya, T. Suda, Hiroki Minaguchi, Toshikazu Shigeyama, Wako Aoki, and **M. Y. Fujimoto**,
Astrophysical Journal, 査読有, 658, pp367-390, 2007

超金属欠乏星のデータベース (The Stellar Abundances for Galactic Archaeology)
URL: <http://saga.sci.hokudai.ac.jp/>