

平成21年 5月28日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19740098

研究課題名（和文） 宇宙開闢史解読のための金属欠乏星データベースの構築

研究課題名（英文） Construction of the Database of Observed Metal-Poor Stars for the Understanding of the Early Epoch of the Universe

研究代表者

須田 拓馬 (SUDA TAKUMA)

北海道大学・大学院理学研究院・特任助教

研究者番号：90374735

研究成果の概要：金属欠乏星とは、宇宙初期に誕生したと考えられる銀河系形成初期の情報を内包する基本的な天体である。本研究は、元素の起源や銀河系の星形成史を探る基盤を構築するために、観測された金属欠乏星の観測データをデータベース化し、公開することを目標としてきた。本データベースは Web 上で公開され (SAGA database: <http://saga.sci.hokudai.ac.jp/>)、理論モデルと観測との比較が容易にできる環境が整った。また、本データベースを利用し、恒星進化の理論モデルと観測データを比較することによって、恒星内部における元素合成や混合機構に制限を与えるための手がかりを得た。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,200,000	0	1,200,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,500,000	390,000	2,890,000

研究分野：天文学

科研費の分科・細目：天文学

キーワード：金属欠乏星・データベース・第一世代星・恒星進化・化学進化・銀河形成

1. 研究開始当初の背景

我々の住む宇宙は、恒星の誕生と恒星内部での元素の生成、恒星の終末期における物質の星間空間への放出を通じた化学進化を経てきた。銀河系内のハロー成分には、恒星に含まれる元素量（特に鉄組成）が少ない星（金属欠乏星と呼ばれる）が存在し、銀河形成初期の情報が含まれていると考えられる。

その一方で、金属欠乏星の観測から得られる元素組成などのデータは学術論文中に分散

されており、宇宙物理学における理論との直接比較を行うには、個別の論文へあたる必要があり、困難を伴う。

2. 研究の目的

本研究の主要目的は、金属欠乏星の起源と、宇宙初期における銀河系形成、星形成を理解するために恒星の進化モデルを土台としたシナリオを構築することである。そのための足がかりとして、本研究では理論と観測の比較を容易にするための基盤を構築する。

3. 研究の方法

観測データを効率よく収集し、公開するための手段として、本研究では Web を利用したデータベースを構築する。学術論文中に様々な形式でテーブル化されている金属欠乏星の元素組成データなどを極力少ない労力で採録するために、オンラインフォームを利用した入力支援システムを開発する。

また、データの利用のために、汎用のデータベースソフトを用いて、検索するシステムを構築するとともに、グラフソフトによる可視化も行う。

4. 研究成果

本研究は、データベースの作成と、それを用いた研究の両方において、十分な成果を挙げたと言える。

Web 上で利用可能なデータベースの構築に関しては、学術研究に利用可能なシステムを公開し、多くの利用者を獲得している (Stellar Abundances for Galactic Archaeology (SAGA) database : <http://saga.sci.hokudai.ac.jp/>)。現在、このデータベースを利用した、金属欠乏星に関する派生研究がスタートしている。

また、本データベースをもとに金属欠乏星の観測的特徴を調べ、これまでに知られていなかった元素組成間の相関を発見し、今後の理論的研究の足がかりとなったことは、本研究の重要な成果である。現在、これまでの金属欠乏星の性質を概観し、採録した観測データをまとめる作業を進めており、論文を投稿準備中である。

以下では、データベースの作成経過、それによって得られた知見、今後の展望について報告する。

(1) 観測データの収集、利用

本データベースはデータの採録から利用までの段階で 4 つのサブシステムから構成されている。以下では、本研究で開発された各システムについての概要を報告する。

① 学術論文管理システム

まず、本データベースは銀河系ハロー中の恒星をターゲットとし、鉄組成が太陽の 700 分の一程度以下のものをすべて採録するという方針を立てた。この鉄組成は恒星進化理論において特徴的な閾値であり、理論と観測の比較において重要となる。

観測データは発行済みの査読付き学術論文に限定し、学術論文のデータベースを利用して上記の条件を満たす天体を観測した論文を抽出する。

本研究では、まず学術論文のリストを Web 上で管理するシステムを構築し、採録対象候補として登録した。

② データ入力システム

採録対象となる学術論文は、Web フォームから入力できるように設計してある。観測データは学術論文の電子データを取得し、データの書式に拠らず、CSV 形式へと変換するシステムを構築した。

③ データ登録システム

CSV 形式で保管されたデータは検索に使えるよう MySQL サーバーに登録される。登録の際には、論文に記載された情報の他に、他のデータベースから得られる位置情報や測光情報を取得したり、データの単位を統一させるなどの補正を行っている。これにより、様々なデータを結合して利用することができる。

④ データ検索システム

登録されたデータは、元素組成や恒星の温度や光度などの情報とともに、様々な条件を組み合わせて検索し、図示することができる。これにより、これまでの研究で知られている相関や傾向はすべてこのシステムで再現可能であり、より多くのデータを使って検証が可能となる。本システムで得られた検索結果、グラフ、グラフを再現するためのスクリプトはすべてダウンロード可能であり、利用者が自由に加工できるように設計している。また、データのソースへも容易にアクセスできるようにしてあり、データの質も保証されるよう留意してある。

図 1: 検索システムトップページのキャプチャー画面

本データベースに登録されたデータは現時点で、論文数は 147 編、総天体数は 1336 (のべ 2978)、元素組成のデータ数は 2 万件以上である。

検索作図システムは 2008 年 6 月 24 日に公開され、世界各国の多くの研究者からのアクセスを獲得している (総利用件数は公開

以来 20000 件以上、そのうち約半数が日本国内ドメインからのアクセス、それ以外の約 3 割が世界 35 カ国の外国ドメインからのアクセス。)。本計画に関して、データベースの概要やデータサンプルの特性についてまとめた論文が 2008 年 10 月に掲載され、本データベースを用いて議論を行った論文も数編掲載されている(論文の被引用回数は 2009 年 4 月現在 5 件)。

(2) 金属欠乏星の性質

金属欠乏星は宇宙初期に誕生し、現在まで生き残った天体であり、恒星表面の元素組成から宇宙初期における環境を推測することが期待できる。そのためには、恒星表面の元素組成の変遷を明らかにし、恒星内部における物質混合の影響や、外部からの物質降着、特に連星系における質量輸送の影響を考慮する必要がある。本研究では、恒星進化の理論モデルと観測データを比較することによって、恒星内部における元素合成や混合機構に制限を与えることを試みた。

本研究から得られた重要な示唆の一つは、観測された金属欠乏星には恒星進化の標準理論では説明できない特殊な混合機構が複数働いていた可能性があるという点である。金属欠乏星中のリチウムや炭素、窒素の組成から、通常の恒星進化学理論で予期される表面对流層の働きのみでは説明できない傾向が確認され、現在、それらの起源を追跡中である。

銀河の化学進化の観点からは、鉄属元素や α 元素と呼ばれる、主に超新星爆発起源と考えられる元素の組成傾向も調べた。これらの元素は観測から同定されやすく、各元素あたり 500 個以上の天体について情報が得られることも多く、統計的に有意な議論が可能となる。これらのデータを調べると、元素ごとに星間空間での蓄積の仕方が異なることが判り、星形成や質量関数を制限する重要な手がかりとなることをつきとめた。

(3) 今後の展望

観測データを詳細に調査した結果、上記に述べたような興味深い特徴が発見された。これらをもとに、恒星進化、恒星内部の元素合成過程、銀河系の化学進化、などの立場から銀河系の進化についてより詳細な議論を行う予定である。

また、本研究における観測データの対象は銀河系ハロー内の金属欠乏星に限定してきたが、近年活発に観測されている太陽系外惑星のデータについても採録を開始した。今後は、様々な恒星に関する情報を収集し、恒星研究の重要な基盤となるよう採録体制やデータ

ベースの維持、管理を行う予定である。

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

2. Y. Komiya, A. Habe, T. Suda, M. Y. Fujimoto, Hierarchical formation of the Galactic halo and the origin of the most metal-deficient stars, *The Astrophysical Journal Letters*, 696, L79-L83, 2009, 有

3. T. Suda, Y. Komiya, T. Nishimura, N. Iwamoto, M. Aikawa, M. Y. Fujimoto, The Nucleosynthetic Signatures of the First Star Survivors Among Hyper Metal-Poor Stars with $[Fe/H] < -4.5$, *American Institute of Physics Conference Series*, 1016, 421-423, 2008, 有

4. T. Suda, M. Y. Fujimoto, Understanding the Characteristics of EMP stars as Probes for the Early Universe - Stellar Evolution of Low- and Intermediate-Mass EMP Stars, *American Institute of Physics Conference Series*, 990, 276-280, 2008, 無

5. Y. Komiya, T. Suda, A. Habe, M. Y. Fujimoto, The IMF of Extremely Metal-Poor Stars as Constrained by Data from the Milky Way, *AIP Conference Series*, 990, 462-466, 2008, 無

6. Y. Komiya, T. Suda, A. Habe, M. Y. Fujimoto, Galactic archeology with extremely metal-poor stars, *IAU Symposium*, 255, 330-335, 2008, 無

7. T. Suda, T. Nishimura, N. Iwamoto, M. Aikawa, M. Y. Fujimoto, I. Iben Jr., The Nucleosynthetic Signatures of the First Star Survivors Among Hyper Metal-Poor Stars with $[Fe/H] < -4.5$, *AIP Conference Series*, 1016, 43-48, 2008, 有

8. T. Nishimura, M. Aikawa, N. Iwamoto, T. Suda, M. Y. Fujimoto, I. Iben Jr., Interpretation of Extremely Metal-Poor Stars as Candidates of First Generation Stars, *AIP Conference Series*, 1016, 421-423, 2008, 有

9. Y. Komiya, T. Suda, A. Habe, M. Y. Fujimoto, Near-Field Cosmology with Binary, *AIP*

Conference Series, 1016, 77-82, 2008, 有

10. T. Suda, Y. Katsuta, S. Yamada, T. Suwa, C. Ishizuka, Y. Komiya, K. Sorai, M. Aikawa, M. Y. Fujimoto, Stellar Abundances for the Galactic Archeology (SAGA) Database - Compilation of the Characteristics of Known Extremely Metal-Poor Stars, Publication of the Astronomical Society of Japan, 60, 1159-1171, 2008, 有

11. T. Suda, T. Tsujimoto, T. Shigeyama, M. Y. Fujimoto, Highly He-Rich Matter Dredged-up by Extra Mixing Through Stellar Encounters in Globular Clusters, The Astrophysical Journal Letters, 671, L129-L132, 2007, 有

12. T. Suda, M. Y. Fujimoto, N. Itoh, Evolution of Low-Mass Population III Stars, The Astrophysical Journal, 667, 1206-1219, 2007, 有

[学会発表] (計 21 件)

1. 藤本 正行、須田拓馬、山田 志真子、勝田 豊、小宮 悠、青木 和光, A Holistic Approach to the Origin of Extremely Metal-Poor Stars with Use of SAGA Database, 天体観測、隕石分析、天体核物理学による同位体組成と元素の起源の研究, 国立天文台, 2009年2月24日
2. 須田拓馬、勝田 豊、山田 志真子、小宮 悠、西村 高德、石塚 知香子、青木 和光、藤本 正行, The Stellar Abundances for Galactic Archeology (嵯峨) Database, 惑星を持つ恒星の化学組成データベース構築のミニワークショップ, 国立天文台, 2009年3月2日
3. 山田 志真子、須田 拓馬、小宮 悠、藤本 正行, EMP星r-process元素の特徴を説明するType II supernova連星と化学進化モデル, 日本天文学会2009年春季年会, 大阪府立大学, 2009年3月25日
4. 西村 高德、合川 正幸、須田 拓馬、藤本 正行, 超金属欠乏星でのフッ素組成過多の起源について, 日本天文学会2009年春季年会, 大阪府立大学, 2009年3月25日
5. 須田 拓馬、西村 高德、藤本 正行, 種族III連星の進化と超金属欠乏星の起源, 日本天文学会2008年春季年会, 国立オリンピック記念青少年総合センター、東京, 2008年3月24日
6. T. Suda, T. Nishimura, Y. Katsuta, S. Yamada, Y. Komiya, M. Y. Fujimoto, The Star Formation History of the Milky Way Halo Explored with Stellar Evolution and Nucleosynthesis of EMP Stars, and with Their Stellar Abundances Database, IAU symposium 255, Rapallo, Liguria, Italy, 200

8年7月16日

7. T. Suda, T. Tsujimoto, T. Shigeyama, S. Yamada, M. Y. Fujimoto, Origin of He-Rich Matter in Globular Clusters in the Framework of Extra Mixing through Stellar Encounters, Chemical Evolution of Dwarf Galaxies and Stellar Clusters, Garching bei, Munchen, Germany, 2008年7月23日
8. 須田 拓馬, 恒星で探る銀河系考古学, 2008年度 第38回 天文天体物理若手夏の学校, つくばグランドホテル, 2008年7月30日
9. 須田拓馬、山田 志真子、勝田 豊、石塚 知香子、藤本 正行、西村 高德, データベースで探る銀河系の化学進化, 初代星・銀河形成研究会, 甲南大学, 2008年9月8日
10. 小宮悠、須田拓馬、羽部朝男、藤本正行, 銀河系金属欠乏星の形成史と初期質量関数, 日本天文学会2008年秋季年会, 岡山理科大学, 2008年9月12日
11. 西村 高德、合川 正幸、須田 拓馬、藤本 正行, 超金属欠乏星での酸素および軽元素の組成過多の起源について, 日本天文学会2008年秋季年会, 岡山理科大学, 2008年9月12日
12. 山田 志真子、須田 拓馬、小宮 悠、藤本正行, Type II supernova連星とEMP星r-process元素の組成変動の起源, 日本天文学会2008年秋季年会, 岡山理科大学, 2008年9月12日
13. 須田 拓馬、山田 志真子、勝田 豊、石塚 知香子、藤本 正行, データベースを用いた金属欠乏星の性質(3), 日本天文学会2008年秋季年会, 岡山理科大学, 2008年9月12日
14. 須田 拓馬、藤本 正行, Stellar Evolution at Low-Metallicity, 理論天文学懇談会シンポジウム2008, 国立天文台, 2008年12月16日
15. T. Suda, M. Y. Fujimoto, Understanding the Characteristics of EMP stars as Probes for the Early Universe - Stellar Evolution of Low- and Intermediate-Mass EMP Stars, First Stars III, Santa Fe, New Mexico, USA, 2007年7月18日
16. 須田 拓馬、勝田 豊、山田 志真子、小宮 悠、徂徠 和夫、藤本 正行, Database for Near Field Cosmology, 第二回宇宙黎明期研究会, 国民休暇村支笏湖、北海道, 2007年9月2日
17. 須田 拓馬、藤本 正行, Understanding the Characteristics of EMP stars as Probes for the Early Universe - Stellar Evolution of Low- and Intermediate-Mass EMP Stars, 第二回宇宙黎明期研究会, 国民休暇村支笏湖、北海道, 2007年9月2日
18. 須田 拓馬、勝田 豊、山田 志真子、藤本 正行, データベースを用いた金属欠乏星の性質(2), 日本天文学会2007年秋季年会, 岐阜大学、岐阜, 2007年9月27日
19. T. Suda, Y. Katsuta, S. Yamada, M. Y. F

ujimoto, Database for Galactic Archaeology, Mini workshop on the origin of hyper metal-poor stars, University of Tokyo, Tokyo, 2007年10月12日

20. T. Suda, Y. Komiya, T. Nishimura, N. Iwamoto, M. Aikawa, M. Y. Fujimoto, The Nucleosynthetic Signatures of the First Star Survivors Among Hyper Metal-Poor Stars with $[Fe/H] < -4.5$, Origin of Matter and Evolution of Galaxies – From the Dawn of Universe to the Formation of Solar System –, Hokkaido University, Sapporo, Japan, Hokkaido University, Sapporo, Japan, 2007年12月4日
21. 須田 拓馬、小宮 悠、西村 高德、岩本 信之、合川 正幸、羽部 朝男、藤本 正行, 第一世代星の生き残りの理論的同定, 理論天文学懇談会シンポジウム2007, 京都大学、京都, 2007年12月27日

[図書] (計1件)

1. T. Suda, T. Nozawa, A. Ohnishi, K. Kato, M. Y. Fujimoto, T. Kajino, S. Kubono, American Institute of Physics, Origin of Matters and Evolution of Galaxies 2007, 2008, 500 ページ (研究会集録編集者)

[その他]

ホームページ等

Stellar Abundances for Galactic Archaeology (SAGA) Database:
<http://saga.sci.hokudai.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

須田 拓馬 (SUDA TAKUMA)

北海道大学・大学院理学研究科・特任助教
研究者番号：90374735

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし