

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 22 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010 ～ 2012

課題番号：22540255

研究課題名（和文） 化学組成解析による惑星を持つ恒星の性質と惑星の形成条件の研究

研究課題名（英文） Studies on properties of planet-host stars and on formation conditions of planets based on analyses of chemical compositions.

研究代表者 比田井 昌英 (Hidai Masahide)

東海大学・総合教育センター・教授

研究者番号：90173179

研究成果の概要（和文）：

惑星を持つ恒星 73 星と、比較星 18 星の鉄および炭素から亜鉛までの 13 元素（C, O, Na, Mg, Al, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Ni, Zn）について、組成解析を行った。鉄の金属度 $[Fe/H]$ と 13 元素と鉄の総計による総金属度 $[M/H]$ の比較から、 $[M/H]$ は $[Fe/H]$ の 0.75 位に対応する値になり、金属欠乏領域における惑星形成条件の金属度としては総金属度を用いるべきことが示唆された。

惑星探査によりホットジュピターが 1 つの中質量星巨星で検出され、中質量星まわりで形成される惑星質量の新たな下限となった。他に 10 星ほどに惑星の存在が示唆された、これらの探査標本の巨星の鉄組成については、太陽値を中心とした分布を示し、矮星の場合と異なることが判明した。

また、関連研究として、金属欠乏矮星と巨星について、 α 元素の硫黄と珪素の振る舞いと、彩層の存在について調べた。硫黄は、低金属度領域では $[Fe/H]$ に対して +0.4 dex 程度の値で平坦な傾向を示す。また、珪素は硫黄と似た振る舞いを示すが、近赤外吸収線による組成解析では NLTE 解析を行う必要性が確認された。さらに彩層については、金属度によらずに矮星と巨星双方に彩層が普遍的に存在することが観測的に確認された。

研究成果の概要（英文）：

Abundance analyses of 13 elements (C to Zn) were carried out for 73 planet-host stars and 18 comparison stars. Comparison of $[Fe/H]$ with a total metallicity $[M/H]$ which includes abundances of Fe and 13 elements yielded the result that $[M/H]$ corresponds to about 0.75 of $[Fe/H]$ value, and suggested that $[M/H]$ should be used as a metallicity concerning a condition for planet formation in the metal-deficient region.

One hot Jupiter was detected around one intermediate-mass giant by planet survey, and its mass was turned out to be a new lower limit of planets being formed around intermediate-mass stars. It is found that about 10 stars of the giant sample may have planet around them, and that Fe abundances distribute around the solar value, which is different from dwarfs case.

As for the related studies, behaviors of sulfur and silicon of alpha elements and existence of chromosphere were investigated in the sample of metal-poor dwarfs and giants. Sulfur shows a flat trend with +0.4 dex against $[Fe/H]$ in a lower metallicity region. Silicon shows a behavior similar to sulfur, but it is confirmed that NLTE analyses are necessary for abundance analyses based on near infrared absorption lines. As for chromosphere, it is confirmed observationally that chromosphere exists in dwarfs and giants commonly independent of metallicity.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成22年度	900,000	270,000	1,170,000
平成23年度	500,000	150,000	650,000
平成24年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,200,000	660,000	2,860,000

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： 光学赤外線天文学

1. 研究開始当初の背景

本研究課題を創案した当初、惑星を持つ恒星の金属度としては鉄組成が用いられており、惑星形成論においても鉄組成が用いられ、重要な形成条件の1つであった。当時、惑星を持つ矮星の鉄組成は系統的に太陽値より超過している傾向が判明していた。特に鉄が太陽より欠乏している金属欠乏星において、惑星が検出されてきたことにより、金属度が惑星形成論の変数として、鉄組成でよいかという疑問が生じてきた。また、中質量巨星についても惑星が検出されてきており、それらの鉄組成は太陽的な分布を示し、矮星における傾向とは異なることが判明してきた。

2. 研究の目的

上記の背景から、①惑星を持つ星と持たない星の金属度として、鉄組成の代わりに亜鉛までの解析可能な元素組成を求めて、鉄も含めたすべての元素組成を合計したときの「総金属度」を求めて、鉄組成の場合と比較し、双方の差異性を明らかにし、惑星形成条件の変数としてどちらを用いるべきかを調べる。②中質量巨星の惑星検出を試みて、惑星形成への制限を得る。また、鉄組成解析を行い、どのような分布か調べて、矮星の場合と比較して差異性を調べる。

3. 研究の方法

惑星を持つ星と比較星の組成解析に関する観測データとしては、国立天文台岡山天体物理観測所の HIDES とすばる望遠鏡の HDS による高分散分光観測から得られた CCD 分光データを用いる。生データを IRAF というアメリカ国立光学天文学天文台により開発された解析ソフトで整約し、1次元スペクトルを作り、等価幅測定をおこなう。組成解析は、LTE 解析で行い、Kurucz 作成の ATLAS9 で作成した大気モデルを基に、WIDTH9 で組成を求める。13 元素について求めた組成をすべて足

し合わせて、太陽に対する総金属度を求める。

中質量の巨星周りの惑星探査では、岡山天体物理観測所の HIDES を用いて、精密視線速度測定を行い、惑星による周期的速度変動を検出する。また、鉄組成解析用の高分散分光データも得る。

関連研究では、すばる望遠鏡の近赤外線分光撮像装置 (IRCS) により、硫黄、ヘリウム、炭素、珪素などの吸収線の高分散分光観測を行った。硫黄、炭素、珪素の組成は NLTE 解析で求める。また、ヘリウム吸収線については等価幅測定を行い、その強度と大気変数との相関などを調べる。

4. 研究成果

(1) 惑星を持つ星の総金属度については、図1のように鉄組成 [Fe/H] に対して 1 : 0.75 程度の比率になることが判明した。

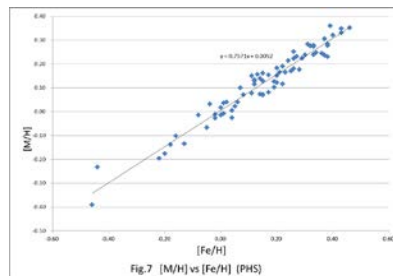


図1

また図2は鉄組成と総金属度のヒストグラムを示す。

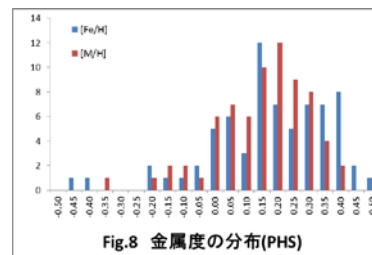


図2

この結果から、総金属度は鉄組成より狭い範囲に分布するので、惑星形成理論における金

金属度として総金属度を用いると、鉄組成の場合より制限が厳しくなる。特に、金属欠乏領域で惑星形成を考える場合に、鉄よりも総金属度は高い金属度になるので、影響が大きくなることが示唆される。

(2) 中質量巨星周りの惑星探索の成果として、HD 100655 の恒星周りに 1.7 木星質量の惑星を検出した。この恒星の化学組成として鉄組成は太陽値に対して +0.15 dex 超過していることが判明し、惑星を持つ恒星の大きな特徴に当てはまる。また恒星質量は 2.4 太陽質量であり、このような恒星の惑星としては最も小さい質量をもつ惑星となり、G型巨星周りの惑星形成に対して新たな知見を与えた。

(3) 関連研究として、太陽と太陽的組成を持つ恒星から金属欠乏星まで含んだ矮星と巨星の標本について、近赤外吸収線に基づく硫黄、珪素、炭素の組成を解析し、振る舞いを明らかにした。硫黄については、惑星を持つ恒星ではないが、同じような金属度を持つ恒星における振る舞いは太陽的であることが判明した。また、論争されていた低金属度領域では +0.3-0.4 dex 程度の超過で、平坦傾向となることも判明した。珪素については、可視域吸収線と比して、近赤外吸収線の組成解析では NLTE 補正が非常に大きいことが判明し、NLTE 解析は必須であることが示された(図3)。

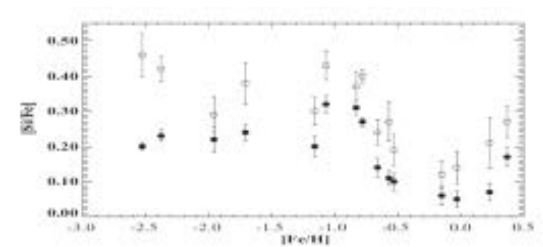


図3. 珪素の振る舞い。○は LTE 解析、●は NLTE 解析結果。

炭素については、分子などからの組成値よりも近赤外吸収線の組成が、低金属度領域で系統的に大きくなることが判明した。NLTE 効果も低金属度で重要になることが判明した。

(4) 関連研究として、He I の近赤外吸収線 1.08 μm の等価幅解析を行い、金属度に依存せずに彩層の存在が明らかになった(図4)。

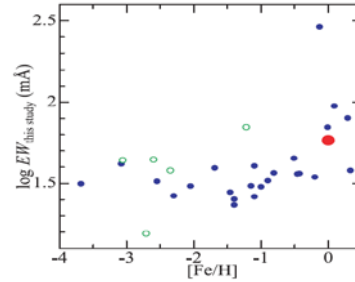


図4. ○: 巨星、●: 矮星、赤丸: 太陽を示す。

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 8 件)

①. Takeda, Y. & Takada-Hidai, M.
Carbon Abundances of Metal-Poor Star Determined from the C I 1.068-1.069 micron Lines

Pub. Astron. Soc. Japan, 65, No. 4 (2013)
In press.

②. Aoki, W., Beers, T. C., Lee, Y. S., Honda, S., Ito, H., Takada-Hidai, M., et al.

High-resolution Spectroscopy of Extremely Metal-poor Stars from SDSS/SEGUE. I. Atmospheric Parameters and Chemical Compositions.

Astron. J., 145, 13 (2013)

③. Omiya, M. ..., Takada-Hidai, M.
A Planetary Companion to the Intermediate-Mass Giant HD 100655

Pub. Astron. Soc. Japan, 64, 340 (2012)

④. Shi, J.R., Takada-Hidai, M. et al
SILICON ABUNDANCES IN NEARBY STARS FROM THE Si I INFRARED LINES

Astrophys. J., 755, 36 (2012)

⑤. Takeda, Y. & Takada-Hidai, M.
Behavior of [S/Fe] in Very Metal-Poor Stars from the Si I 1.046 μm Lines Revisited.

Pub. Astron. Soc. Japan, 64, 42 (2012)

⑥. Honda, S., Aoki, W., Beers, T. C., & Takada-Hidai, M.

Spectroscopic Studies of Extremely Metal-poor Stars with the Subaru High Dispersion Spectrograph. V. The Zn-enhanced Metal-poor Star BS 16920-017.

Astrophys. J., 730, 77 (2011)

⑦. Takeda, Y. & Takada-Hidai, M.

Chromospheres in Metal-Poor Stars Evidenced from the He I 10830Å Line.
Pub. Astron. Soc. Japan, 63, S547~S554 (2011)

⑧. Takeda, Y, & Takada-Hidai, M.
Exploring the [S/Fe] Behavior of Metal-Poor Stars with the S I 1.046 μm Lines.
Pub. Astron. Soc. Japan, 63, S537~S546 (2011)

[学会発表] (計 13 件)

①. 竹田洋一、比田井昌英
近赤外域 CI 1.068-1.069 μm 線に基づく金属欠乏星の炭素組成決定
日本天文学会 2013 年春季年会, 2013 年 3 月

②. 小谷隆行、...、比田井昌英、他
地球型惑星検出のためのすばる赤外線ドップラー分光器 IRD の開発: 4
日本天文学会 2012 年秋季年会, 2012 年 9 月

③. 大宮正士、比田井昌英、佐藤文衛、泉浦秀行
ドップラー法による 3-4 M \odot の中質量巨星における惑星探索
日本天文学会 2012 年秋季年会, 2012 年 9 月

④. 比田井昌英、竹田洋一
金属欠乏星の He I 10830 Å 線に基づく彩層
日本天文学会 2012 年秋季年会, 2012 年 9 月

⑤. 田村元秀、...、比田井昌英、他
地球型惑星検出のためのすばる赤外線ドップラー分光器 IRD の開発: 3
日本天文学会 2012 年春季年会, 2012 年 3 月

⑥. 大宮正士、...、比田井昌英、他
G 型巨星における惑星系の日韓共同探査. VIII: 中質量巨星 HD100655 を周回する惑星の発見
日本天文学会 2012 年春季年会, 2012 年 3 月

⑦. Shi, J.R., 比田井昌英、竹田洋一、他
中性珪素の近赤外吸収線に基づく近傍星の NLTE 組成解析
日本天文学会 2012 年春季年会, 2012 年 3 月

⑧. 田村元秀、...、比田井昌英、他
地球型惑星検出のためのすばる赤外線ドップラー分光器 IRD の開発: 2
日本天文学会 2011 年秋季年会, 2011 年 9 月

⑨. 青木和光、西山正吾、森野潤一、大宮正士、比田井昌英、末永拓也、IRD チーム

すばる IRD によるサイエンス:M型矮星の観測
日本天文学会 2011 年秋季年会、2011 年 9 月

⑩. 比田井昌英、竹田洋一
中性珪素の近赤外吸収線に基づくハローと円盤星における珪素組成の振る舞い
日本天文学会 2011 年秋季年会、2011 年 9 月

⑪. 大宮正士、...、比田井昌英、他
G 型巨星における惑星系の日韓共同探査. VII
日本天文学会 2011 年春季年会, 2011 年 3 月

⑫. 比田井昌英、竹田洋一
中性硫黄の近赤外 3 重線に基づく金属欠乏星の硫黄組成の振る舞い
日本天文学会 2011 年春季年会, 2011 年 3 月

⑬. 比田井昌英、山本章裕
金属欠乏星における銅の振る舞い
日本天文学会 2010 年秋季年会、2010 年 9 月

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

比田井 昌英 (Hidai Masahide)
東海大学・総合教育センター・教授
研究者番号: 90173179

(2) 研究分担者 ()

研究者番号:

(3) 連携研究者 ()

研究者番号: