

プレアデス星団に属する恒星の 中性子捕獲過程元素の存在度

兵庫県立大学 光学赤外線天文学研究室

M1 杉村風暁

元素が生成される方法

- ① **H、He、Li** : 今から138億年前に起きた**ビッグバン**で生成された
(H、He、Liの質量比は $H:He:Li = \text{約} 1 : 0.25 : 10^{-8}$)
- ② 原子番号が**鉄まで**の元素 : 恒星内部で**核融合反応**によって生成される
- ③ 原子番号が**鉄より先**の元素 : **中性子捕獲過程**によって生成される

銀河の化学進化

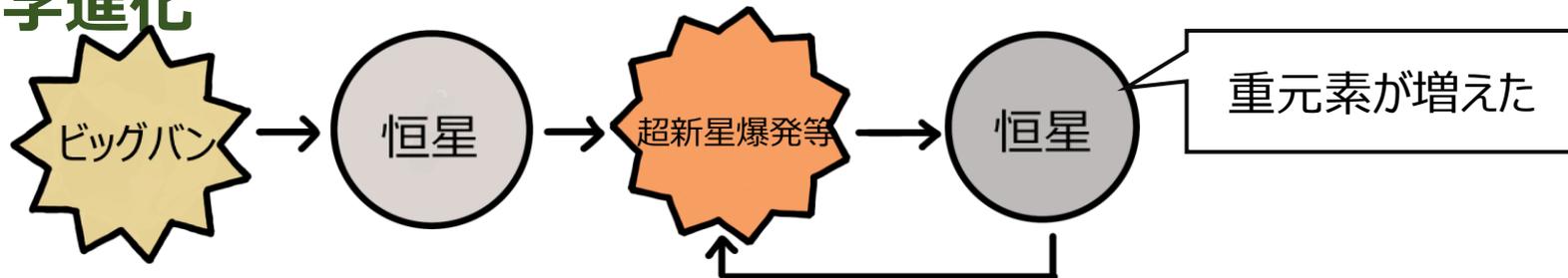


図1 銀河の化学進化の概略図

- ビッグバン直後にできた恒星は**主にHとHeで構成**される
- その後、恒星内部で生成された重元素は超新星爆発等で星間空間に放出され、星間空間に含まれる**重元素が増加**する
- 新しい恒星は重元素の増えた星間空間から誕生する

※ 重元素・・・本研究ではHとHe以外の元素のことを指す

中性子捕獲過程

中性子捕獲過程

① **r過程**：原子が中性子を捕獲する時間がβ崩壊よりも**短い**過程のこと

起源は中性子星合体と考えられている

元素の例：Th(トリウム)、Eu(ユーロピウム)

② **s過程**：原子が中性子を捕獲する時間がβ崩壊よりも**長い**過程のこと

太陽の1-8倍の質量をもつ恒星が進化したAGB星(漸近巨星分枝星)で起きていると考えられている

元素の例：Y(イットリウム)、Ba(バリウム)

元素の存在度の表し方

吸収線から求まる

$$\log \epsilon(X) = \log \left(\frac{n_X}{n_H} \right) + 12 \quad (1)$$

$$[X/H] = \log \left(\frac{n_X}{n_H} \right)_{\text{star}} - \log \left(\frac{n_X}{n_H} \right)_{\odot} \quad (2)$$

$$[X/Fe] = [X/H] - [Fe/H] \quad (3)$$

n_X ：元素Xの数密度

元素の存在度の比較や、化学組成を表すときに使う

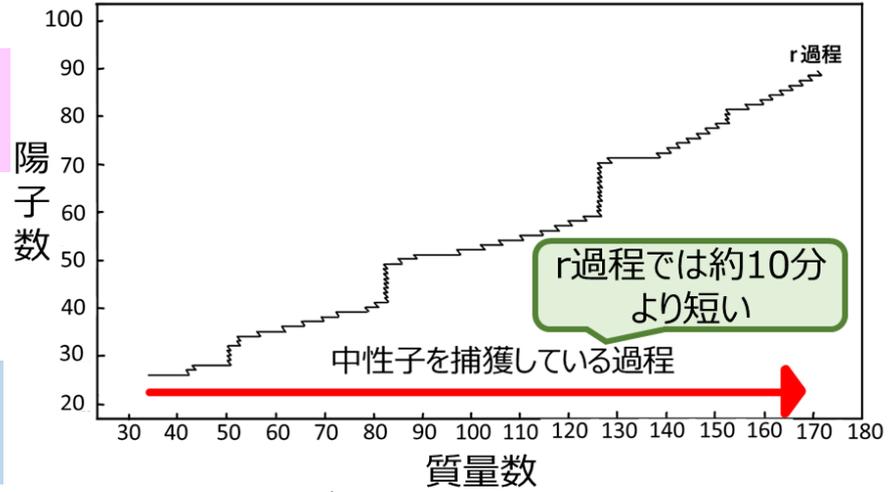


図2 r過程の進み方

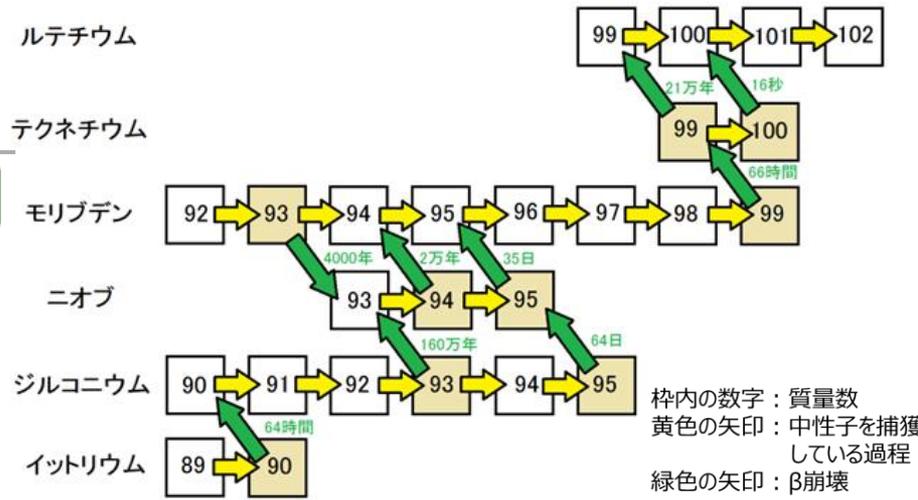


図3 s過程の進み方

中性子捕獲過程元素

s過程とr過程の割合は元素によって異なる

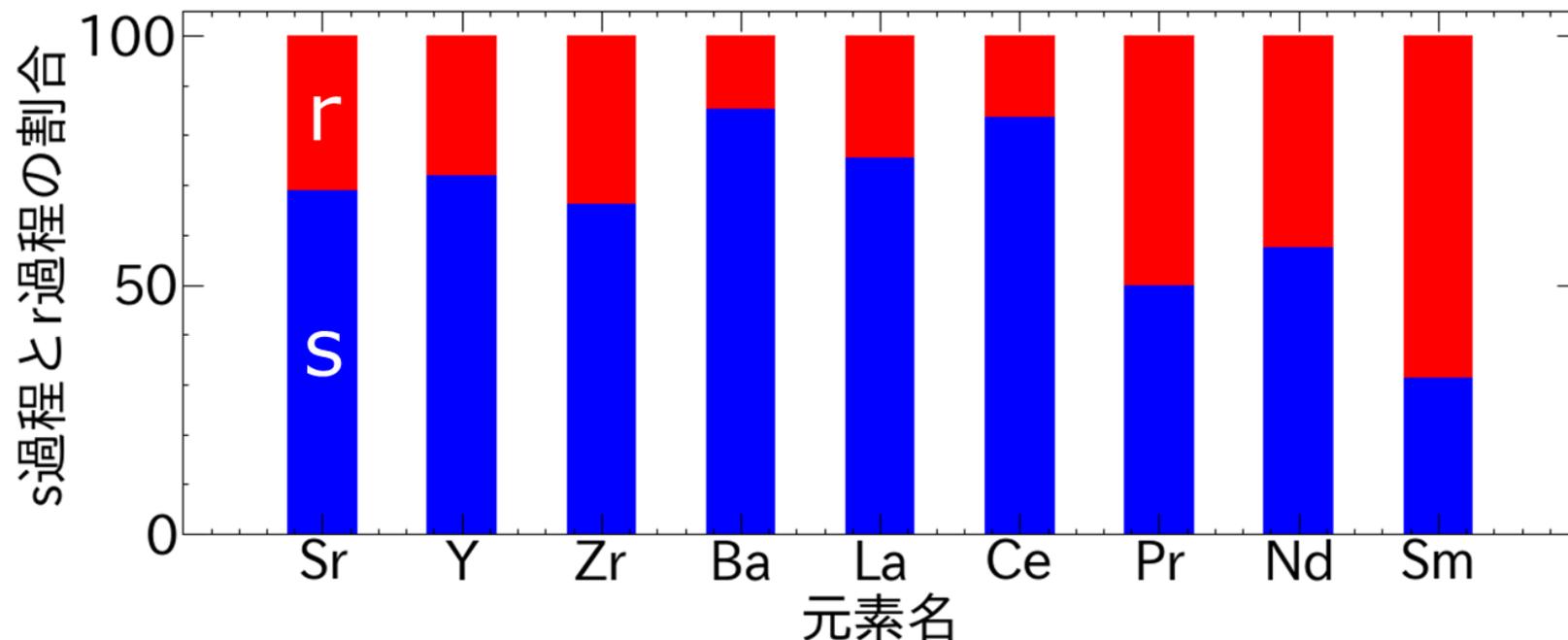


図4 各元素のs過程とr過程の割合 (Spina et al. 2018)

表1 各元素のs過程の割合 (Spina et al. 2018)

元素名	Sr	Y	Zr	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm
$\frac{s}{s+r}$ (%)	68.9	71.9	66.3	85.2	75.5	83.5	49.9	57.5	31.4

先行研究

De Silva et al. (2006)は年齢が約8億歳のヒアデス星団に属する恒星のZr、Ba、La、Ce、Ndの存在度を調べた

ヒアデス星団に属する恒星の元素の存在度はほぼ同じであることが分かった(図5)

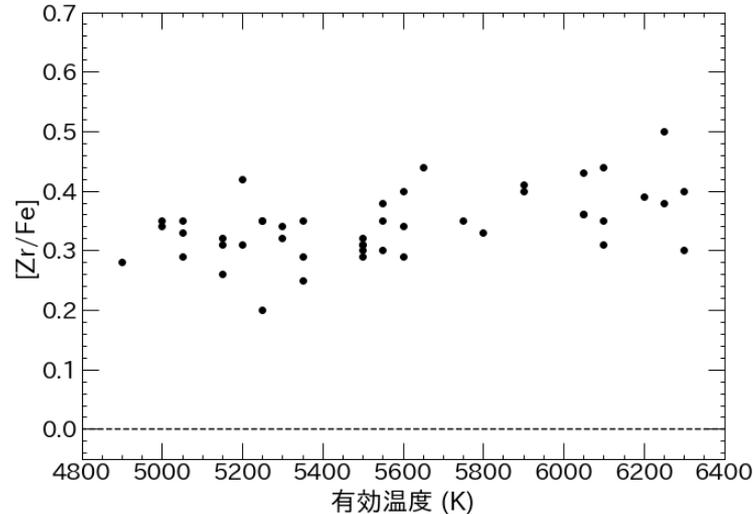


図5 ヒアデス星団の各天体のZrの存在度

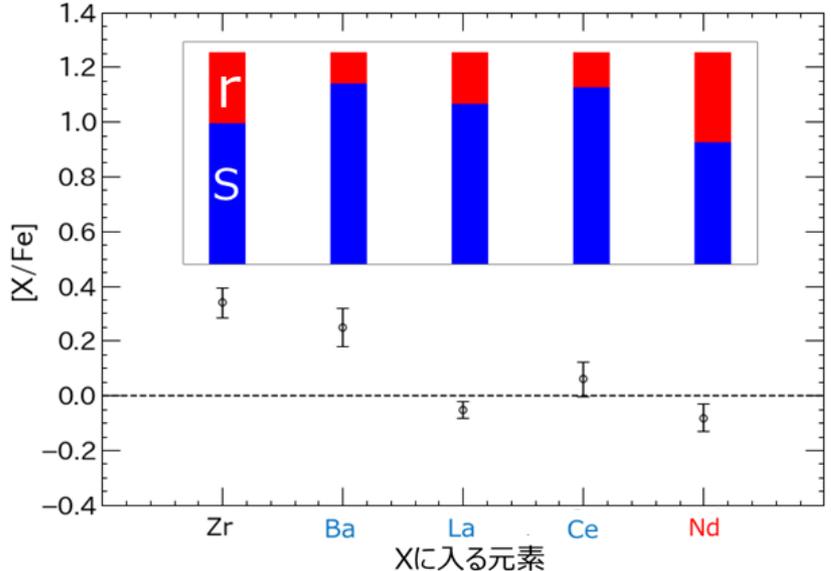


図6 ヒアデス星団の化学組成

散開星団にはおおよそ同じ時代に同じ場所で生まれた恒星が集まっている

散開星団に属する恒星で化学組成を調べる意味

- ① 同じ時代に同じ場所で生まれた恒星が**ほぼ同じ化学組成をしているか**を知ることができる
- ② 星団間の比較で、**生まれた時代と場所が違くと化学組成が異なるか**を知ることができる

先行研究の課題

1つ1つの散開星団に着目して、中性子捕獲過程元素の存在度を5種類以上調べた研究が少ない

中性子捕獲過程元素について、星団での存在度がほぼ同じ値であるかどうかの調査や星団間での比較も不十分である

本研究の目的

- ①散開星団に属する恒星の中性子捕獲過程元素の存在度から、星団内の恒星では化学組成がほぼ同じ値になるかどうかを確かめる
- ②星団ごとに化学組成が異なるかどうかを調べる

本研究では、**プレアデス星団**に属する恒星を対象に**9種類**の**中性子捕獲過程元素**(Sr、Y、Zr、Ba、La、Ce、Pr、Nd、Sm)の存在度を調べた

データの取得

望遠鏡 : Keck望遠鏡
装置 : エシエル分光器HIRES
アーカイブデータ取得場所 :
Keck Observatory Archive(KOA)

表2 HIRESの性能

HIRES

波長分解能 約25,000 – 85,000
波長域 3,000 – 10,000 Å

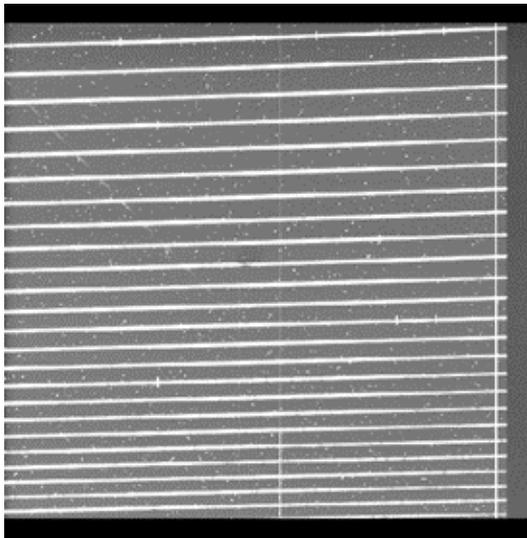


図7 HIRESで撮られた天体の生画像

表3 プレアデス星団の概要

プレアデス星団

位置	赤経 03時46分24.2秒 赤緯 +24時06分05秒
距離	128 pc (約420 光年)
年齢	約7800万歳

(Cantat-Gaudin et al.(2020))

表4 解析した天体(8天体)

天体名	露出時間 (s)	観測 波長域 (Å)	S/N比
HII129	1200	4350-6860	171
HII293	900	4350-6860	189
HII298	900	4900-7300	101
HII522	900	4900-7300	121
HII1039	1800	4350-6860	107
HII1298	1800	4350-6860	146
HII2341	900	4350-6860	168
HII2462	900	4350-6860	162

一次処理

天体の生画像は**一次処理**するコマンドのMAKEEを用いて解析した

※MAKEEはKeck望遠鏡で撮られた天体画像を処理するために用意されたコマンド

【必要なデータ】天体画像・トレース用画像・フラット画像・コンパリソン画像・バイアス画像

規格化・波長較正

一次処理を行ったスペクトルは天体画像処理ソフトIRAFを用いて**規格化**した

モデル大気を使ったスペクトルを表示するsptool上で、観測スペクトルとモデルスペクトルを比較して**波長較正**をした

※モデル大気の大気パラメータは先行研究の値を使った

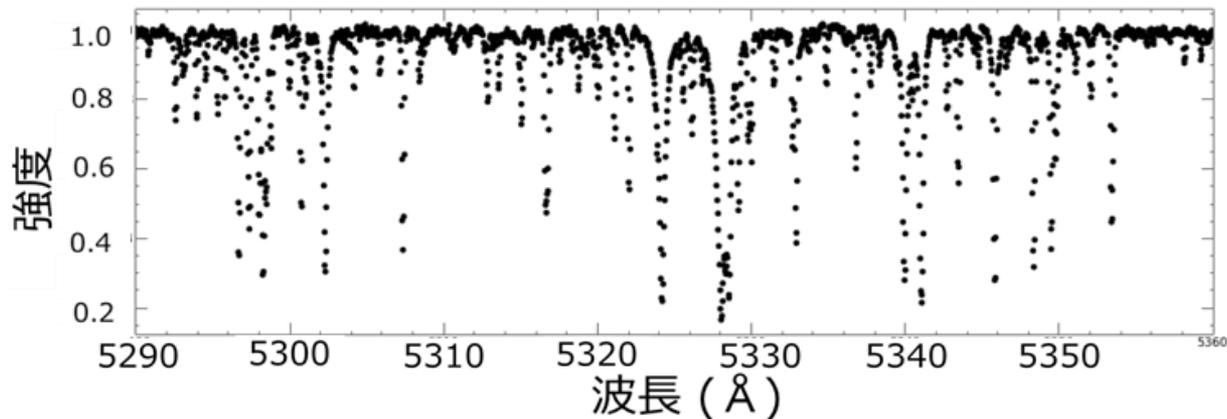


図8 波長較正まで行ったスペクトル

大気パラメータと元素の存在度の導出

大気パラメータの導出

Fe I の吸収線が100本程度、Fe II の吸収線が10本程度を目安に等価幅を測り、モデル大気計算プログラムのTGVITを用いて大気パラメータを求めた

※TGVITは鉄の吸収線の等価幅から大気パラメータを計算するプログラム

【大気パラメータ】

有効温度	~5000 - 6000 K
表面重力	~4.4 - 4.9 dex
微小乱流速度	~1.0 - 2.0 km/s
鉄の存在度	~-0.1 - 0.1 dex

元素の存在度の導出

モデル大気を使ったスペクトルを表示するSPTOOL上で**合成スペクトルを観測スペクトルに合わせる**ことで求めた

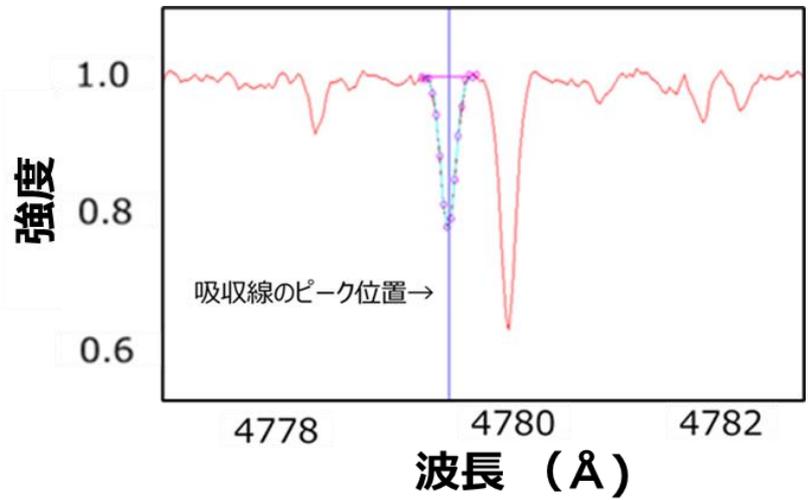


図9 Feの等価幅を測っている様子

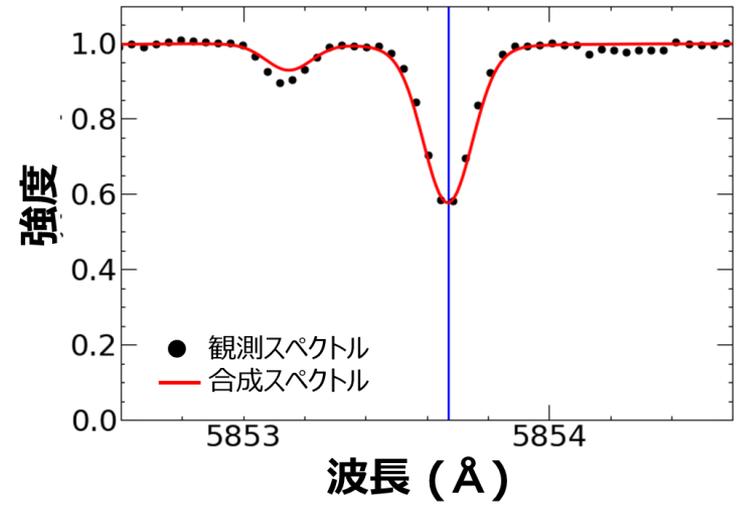
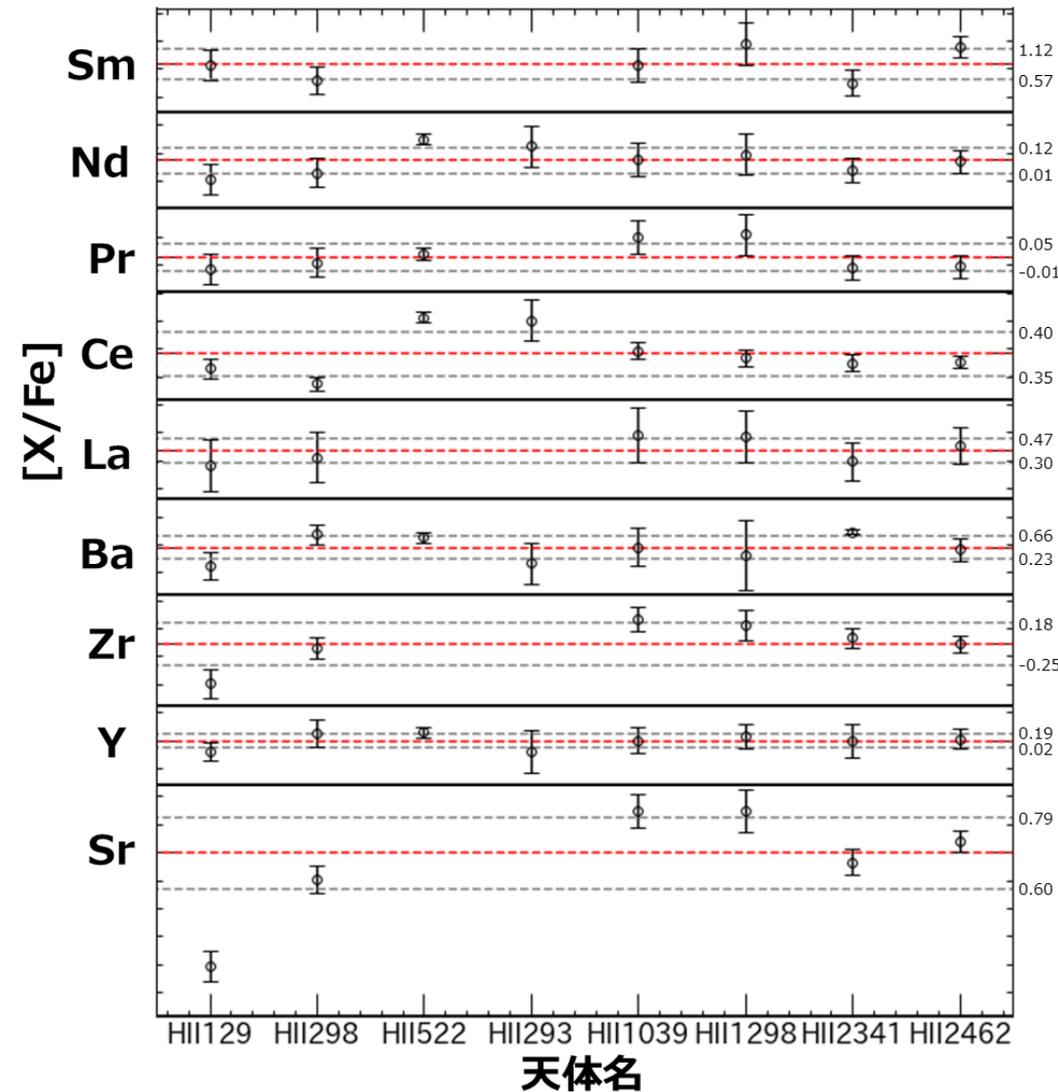


図10 5853 ÅのBaの吸収線

測れる吸収線が複数ある場合、**複数本の吸収線**で元素の存在度を求めた

結果①星団内での比較



方法

・恒星の元素の存在度：

各吸収線から求めた元素の存在度の平均値として求めた

結果1

プレアデス星団に属する恒星の化学組成は、**恒星によらずほぼ同じ値**を取った

※1本の吸収線のみから存在度を求めたSr, Zr, Smは結果かから省いた

考察1

生まれた時代と場所が同じ恒星は、同じ化学組成を持つと考えられる

図11 各天体での元素の存在度の比較
赤色の破線：平均値 灰色の破線：誤差範囲

結果② プレアデス星団の元素の存在度と比較

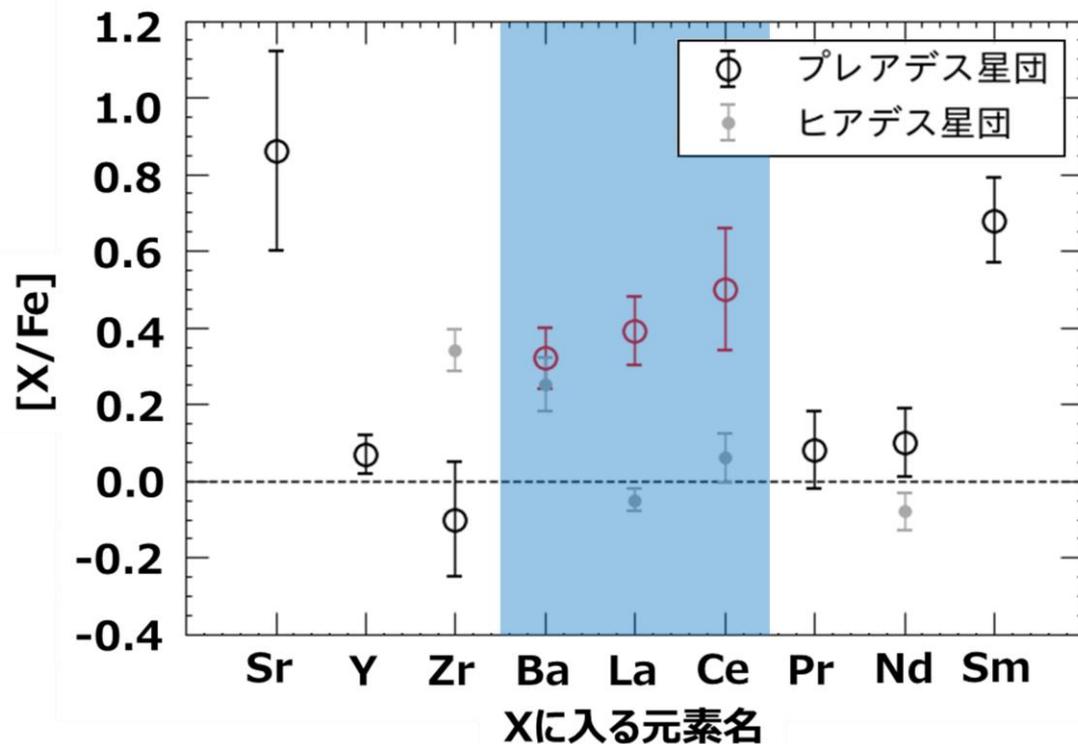


図12 プレアデス星団の各元素の存在度

(ヒアデス星団の結果はDe Silva et al. 2006の結果を用いた)

方法

- ・プレアデス星団の元素の存在度：
各恒星の元素の存在度の平均値として求めた

結果 2

プレアデス星団の化学組成はs過程の割合が大きい**Ba, La, Ce**の存在度が大きいことが分かった

考察 2

中小質量のAGB星からs過程元素が放出された環境で恒星が生まれたと考えられる

結果 3

プレアデス星団の化学組成はヒアデス星団(De Silva et al. 2006)の化学組成と異なることが分かった

考察 3

生まれた時期と場所が異なると、化学組成も異なると考えられる

まとめ・今後の予定

・Keck望遠鏡のHIRESで観測された高分散可視光スペクトルのアーカイブデータを用いて、プレアデス星団に属する恒星の9種類の中性子捕獲過程元素(Sr、Y、Zr、Ba、Ce、La、Pr、Nd、Sm)の存在度を求めた

結果

- ・プレアデス星団に属する恒星の各元素の存在度は恒星によらず**ほぼ同じ値**を取った
- ・s過程の割合が大きい**Ba・La・Ceの存在度が大きい**ことがわかった
- ・本研究で調べた8天体から得られたプレアデス星団の化学組成は、De Silva et al. (2006)で調べられたヒアデス星団の化学組成と**異なる**ことがわかった

今後の予定

- ①プレアデス星団に属する恒星で化学組成を求めた天体数を増やす
- ②プレアデス星団以外の星団でも化学組成を調べる