

# 銀河化学進化と太陽組成

国立天文台  
青木和光

# 銀河化学進化と太陽組成

- 化学進化のなかで太陽はどのような位置にいるか  
→ 定金講演、竹田講演、石垣講演
- 太陽組成にみられる化学進化の問題  
→ 鉄より重い元素について

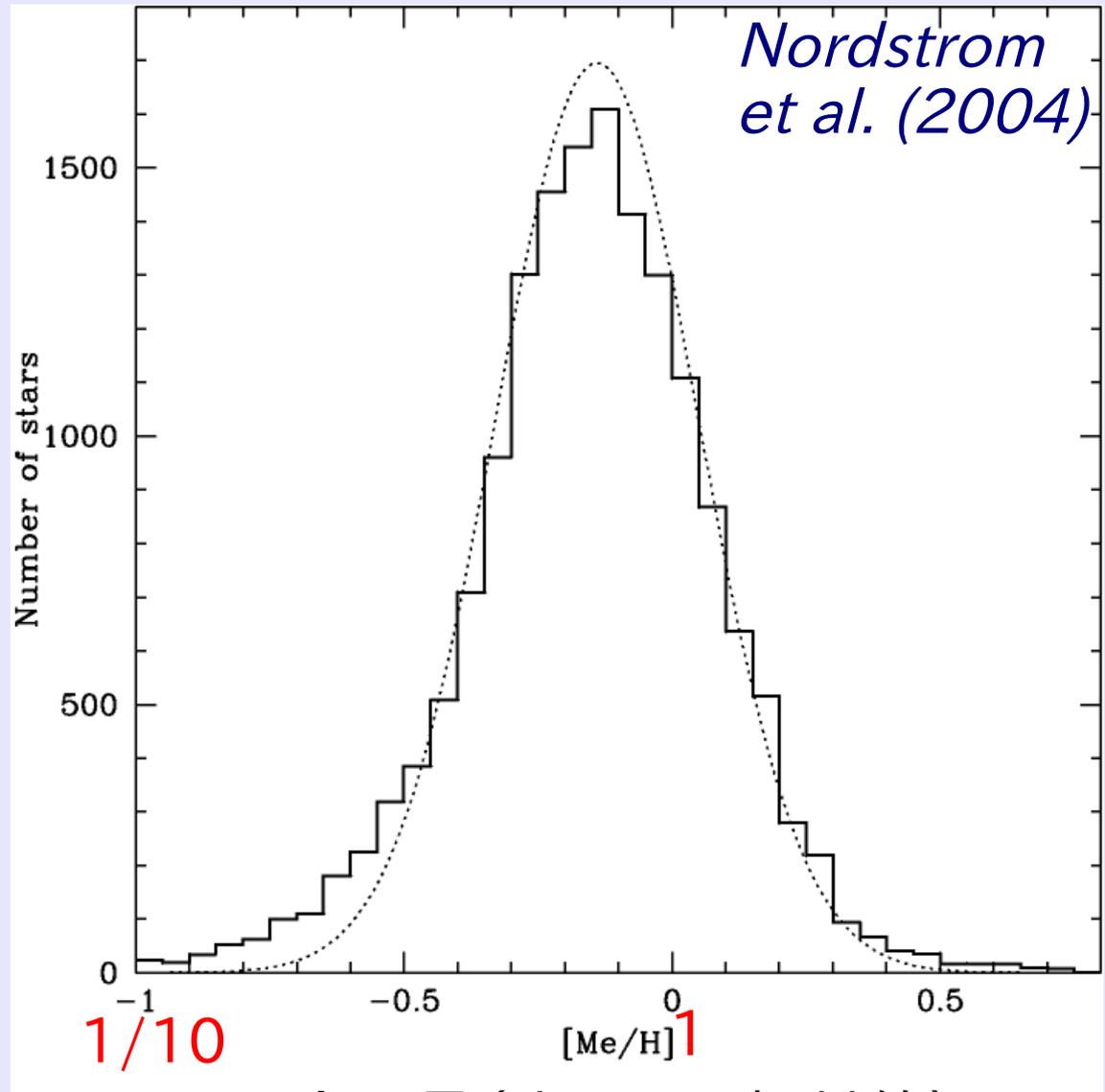
# 太陽の近くの星の金属量分布

金属量：  
水素とヘリウム以外の  
元素の含有量

ほとんどの星は太陽  
と同程度の金属量をもつ  
(ピークは太陽よりやや低いところにある)

金属量の低い星(太陽の1/10以下)が非常に少ない

星の数

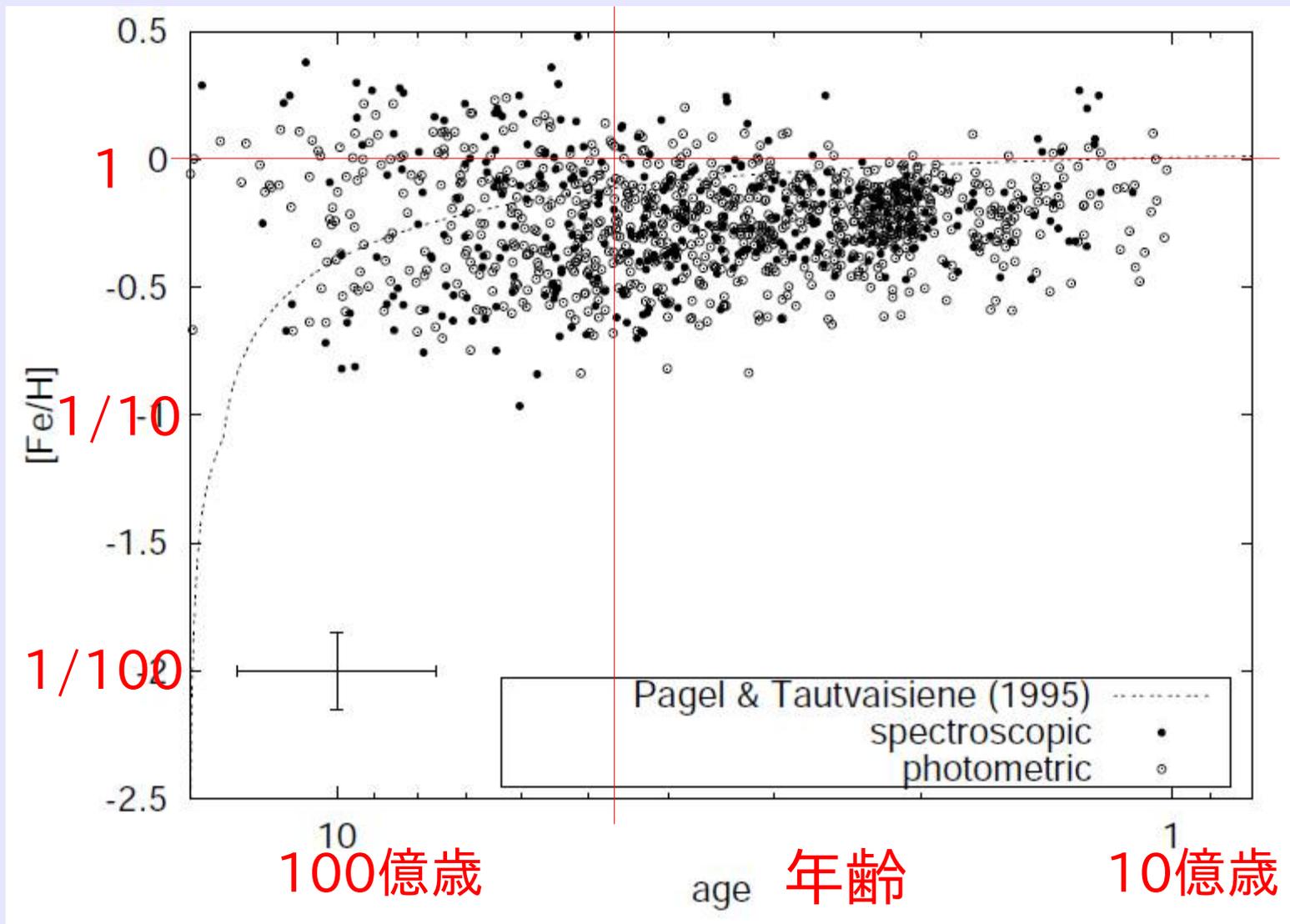


金属量(太陽との相対値)

# 太陽の近くの星の年齢・金属量関係

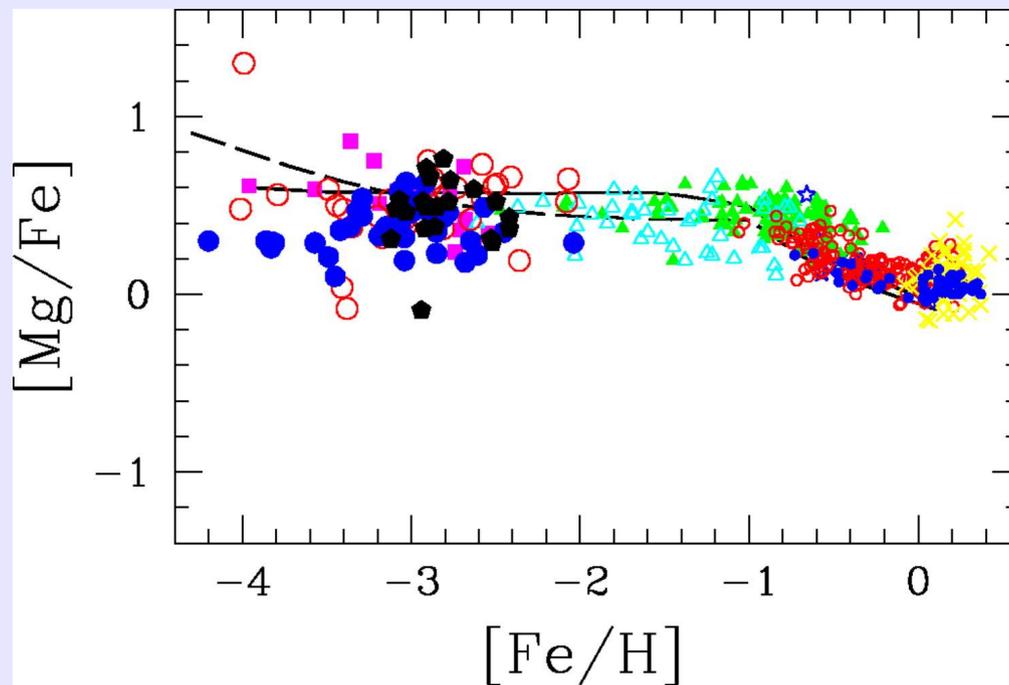
平均的には若い星ほど金属量が高いが、  
古い星にはばらつきが大きい

金属量(鉄組成)  
太陽との相対値

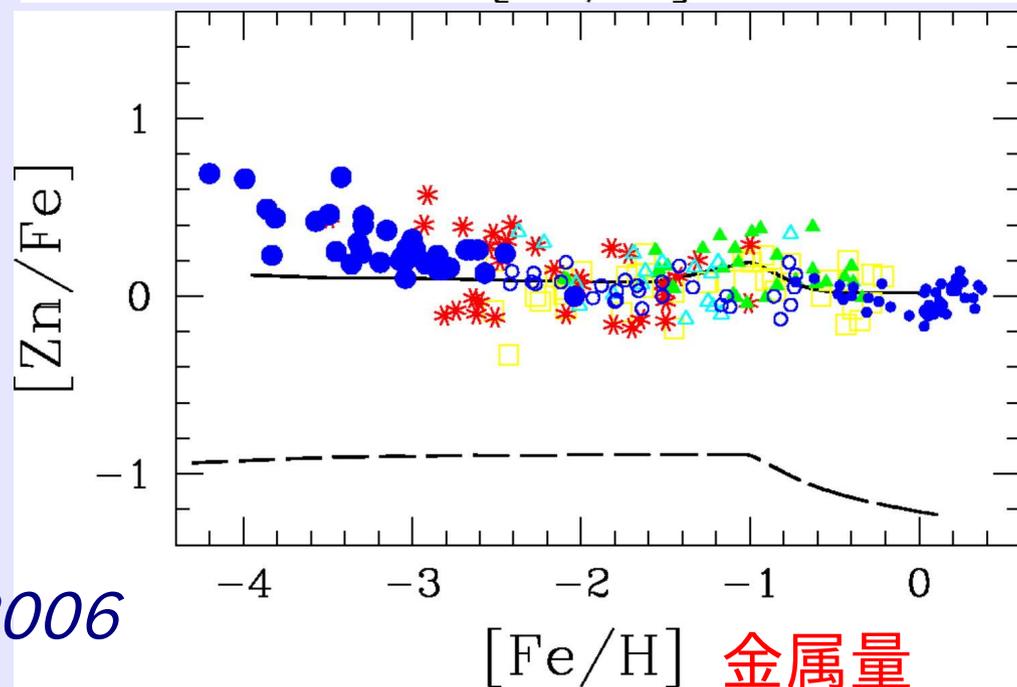


# 化学組成比の「進化」

マグネシウム/鉄比



亜鉛/鉄比



横軸の金属量は太陽との相対値 (対数スケール)

*Kobayashi et al. 2006*

# 炭素・酸素の化学進化

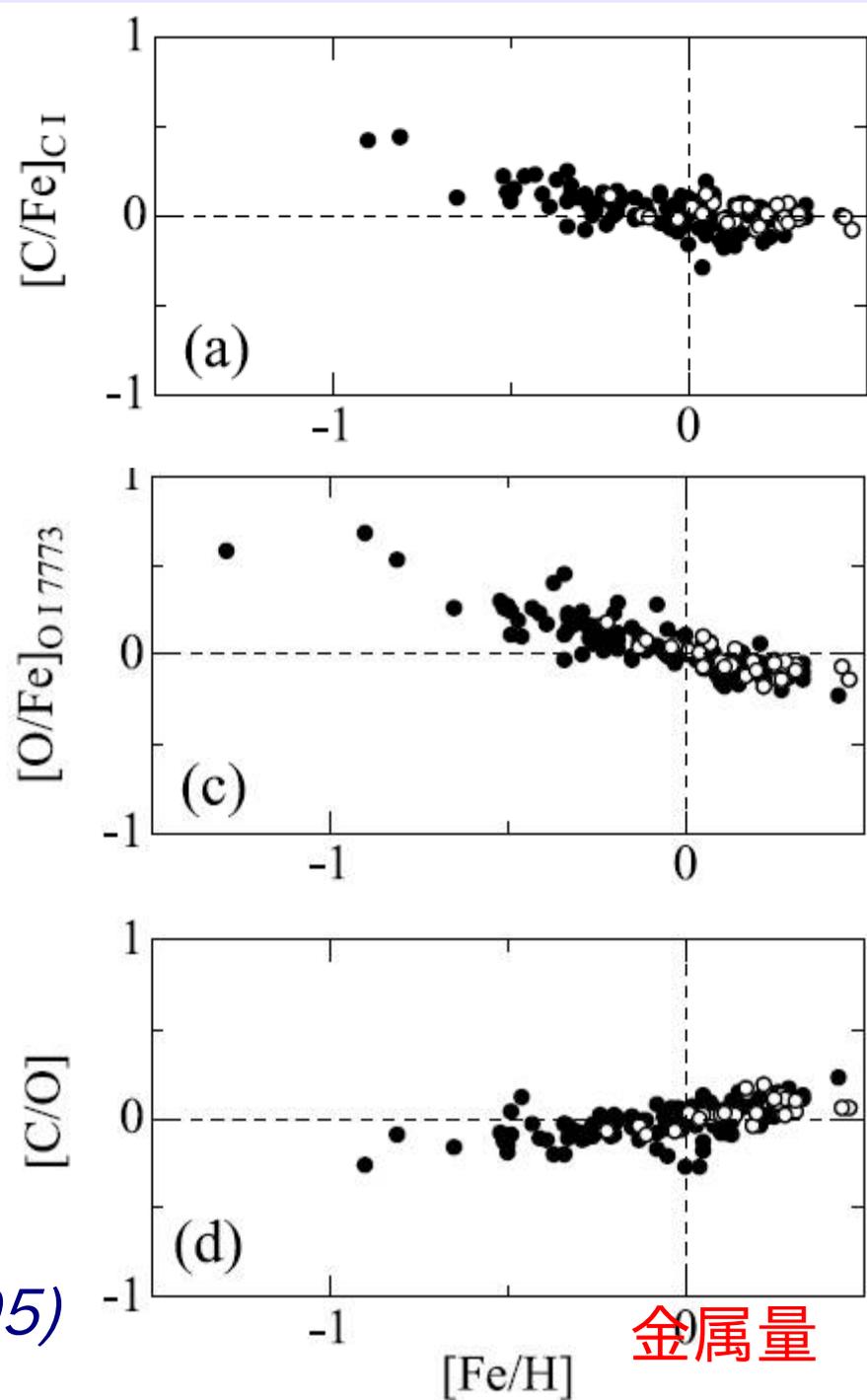
炭素/鉄比

酸素/鉄比

炭素は酸素に比べて  
最近の増加が速い

炭素/酸素比

*Takeda & Honda (2005)*



# 太陽の酸素組成の測定

*Allende-Prieto, Lambert, Asplund (2001)*

$\log \varepsilon (\text{O})=8.69 :$

3D効果  $\nabla 0.08\text{dex}$

Ni I の混入を考慮  $\nabla 0.13\text{dex}$

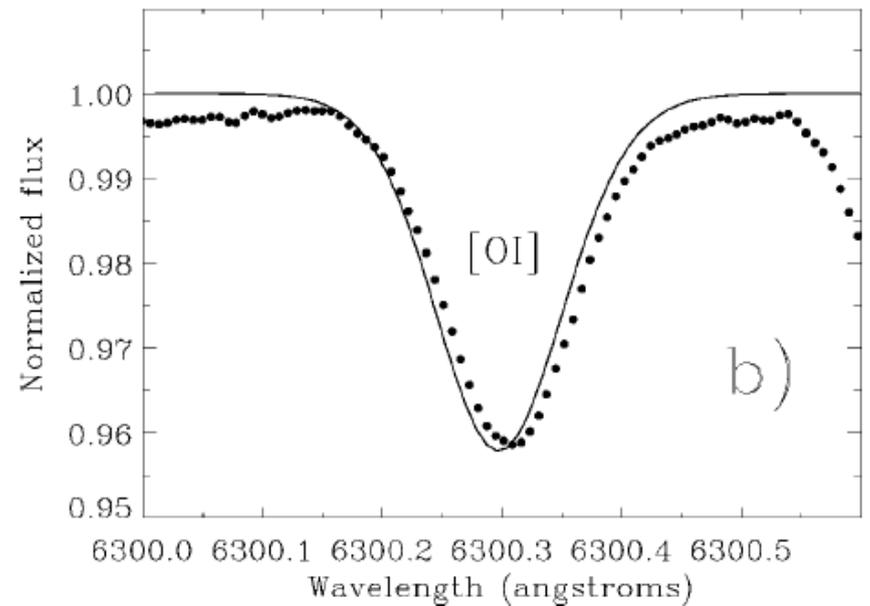
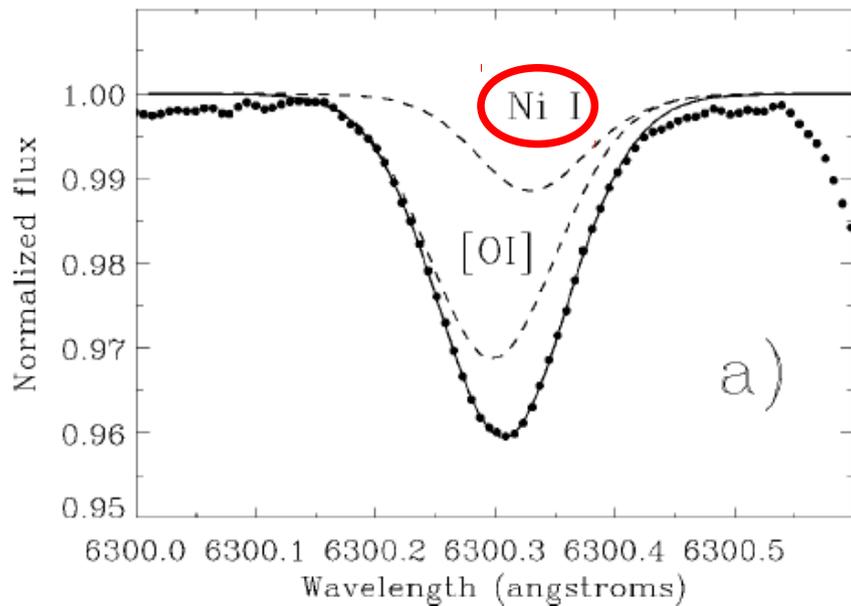


FIG. 1.—(a) Comparison between the observed (*filled circles*) and synthetic (*solid line*) profiles after the  $\chi^2$  minimization. The individual calculations of the oxygen and nickel lines are also shown as dashed lines. (b) Best fit, assuming the observed feature is entirely produced by the oxygen forbidden line.

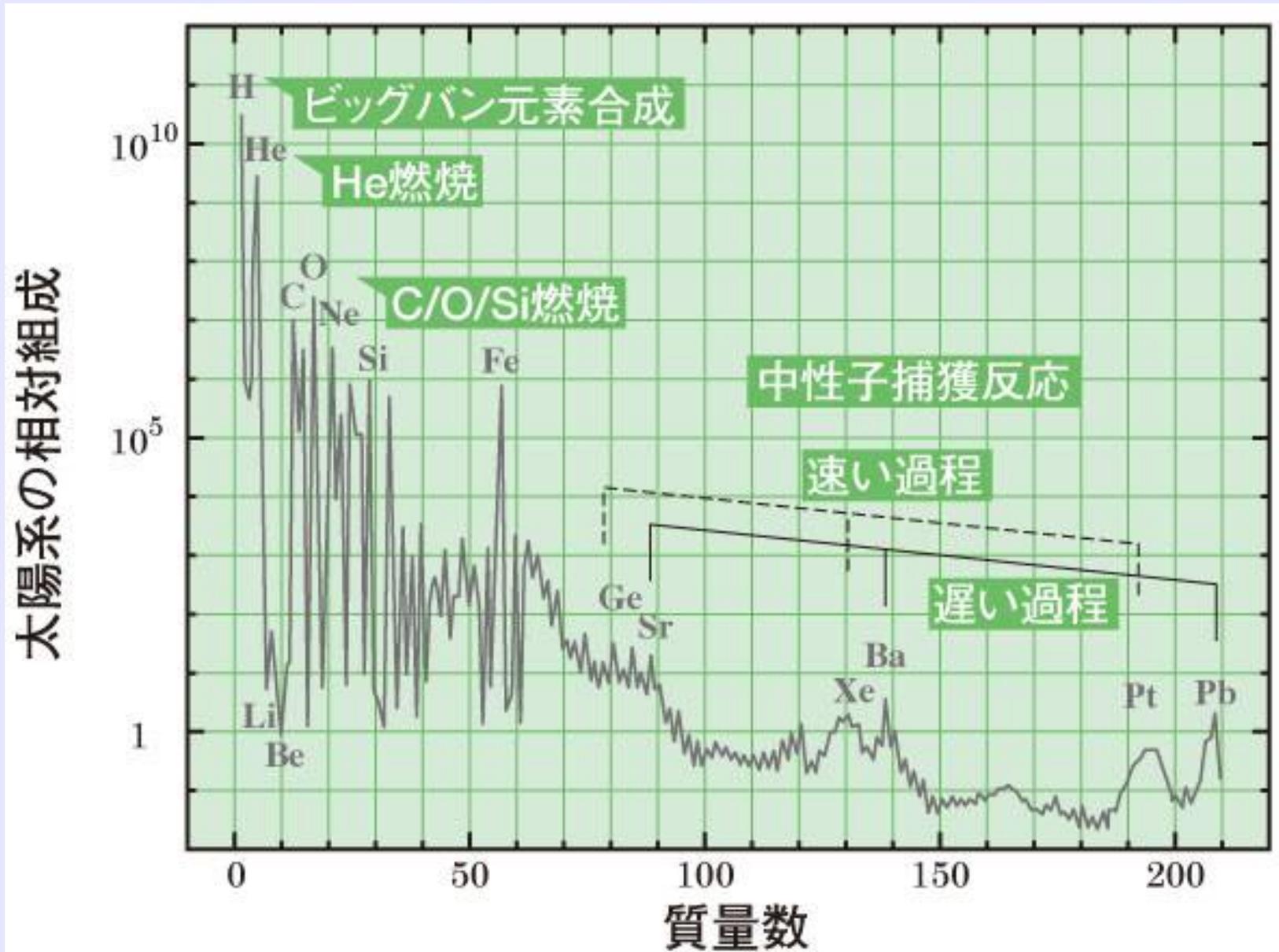
# 化学進化のなかで太陽はどのような位置にいるか

- 金属量は近傍の星の平均に比べるとやや高い
- 同年齢の星の中でも金属量は高め
- 主な元素の化学組成比は、同様の金属量の星とはよく一致

# 太陽組成にみられる化学進化の問題 ～鉄より重い元素について

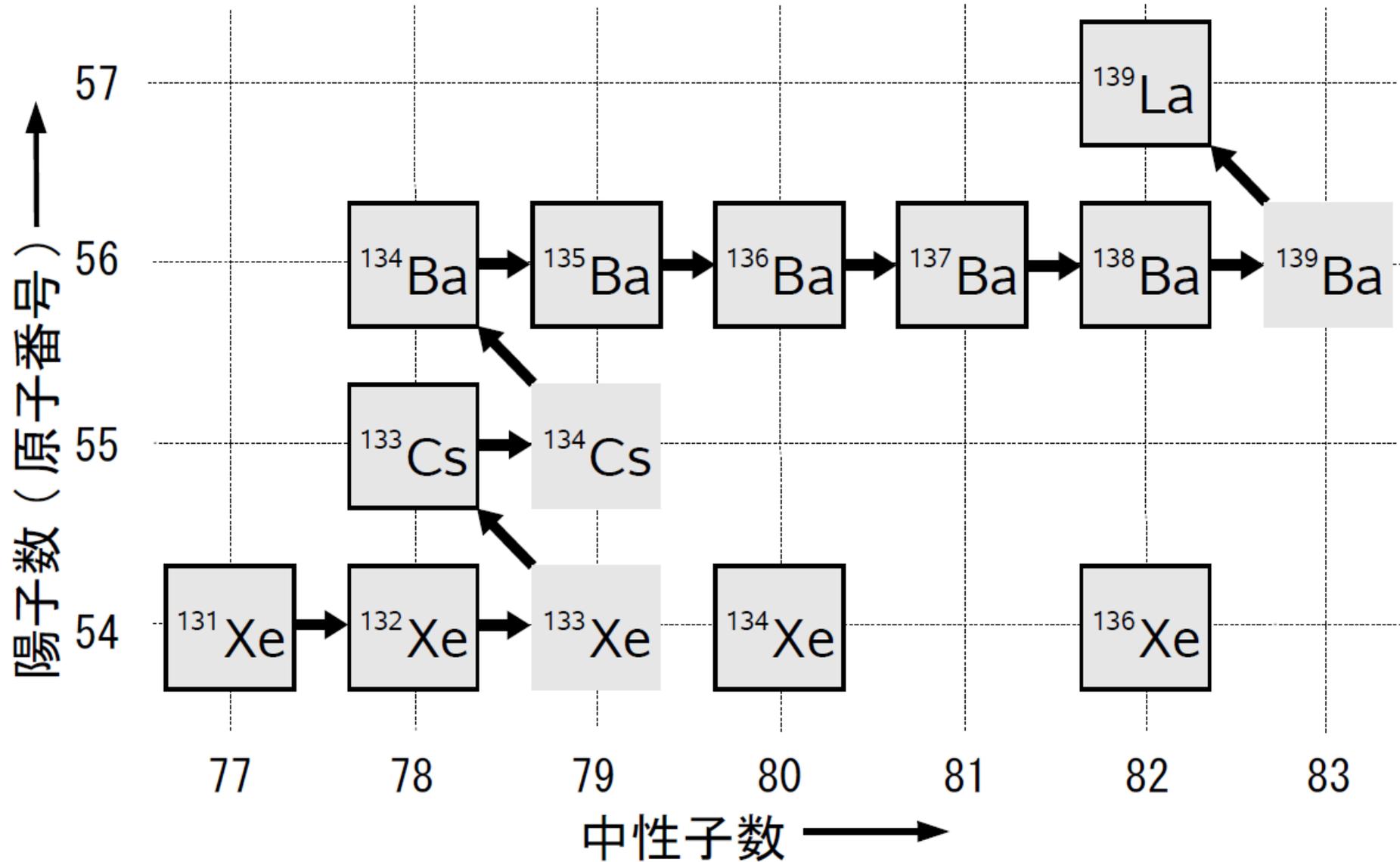
- 太陽組成のs-過程・r-過程の分離
- s-過程で説明できない新たな成分
- r-過程でつくられる組成パターンは普遍的か

# 鉄より重い元素の太陽(系)組成



『理科年表オフィシャルサイト』

# 鉄より重い元素の合成 ～ほとんどが中性子捕獲反応



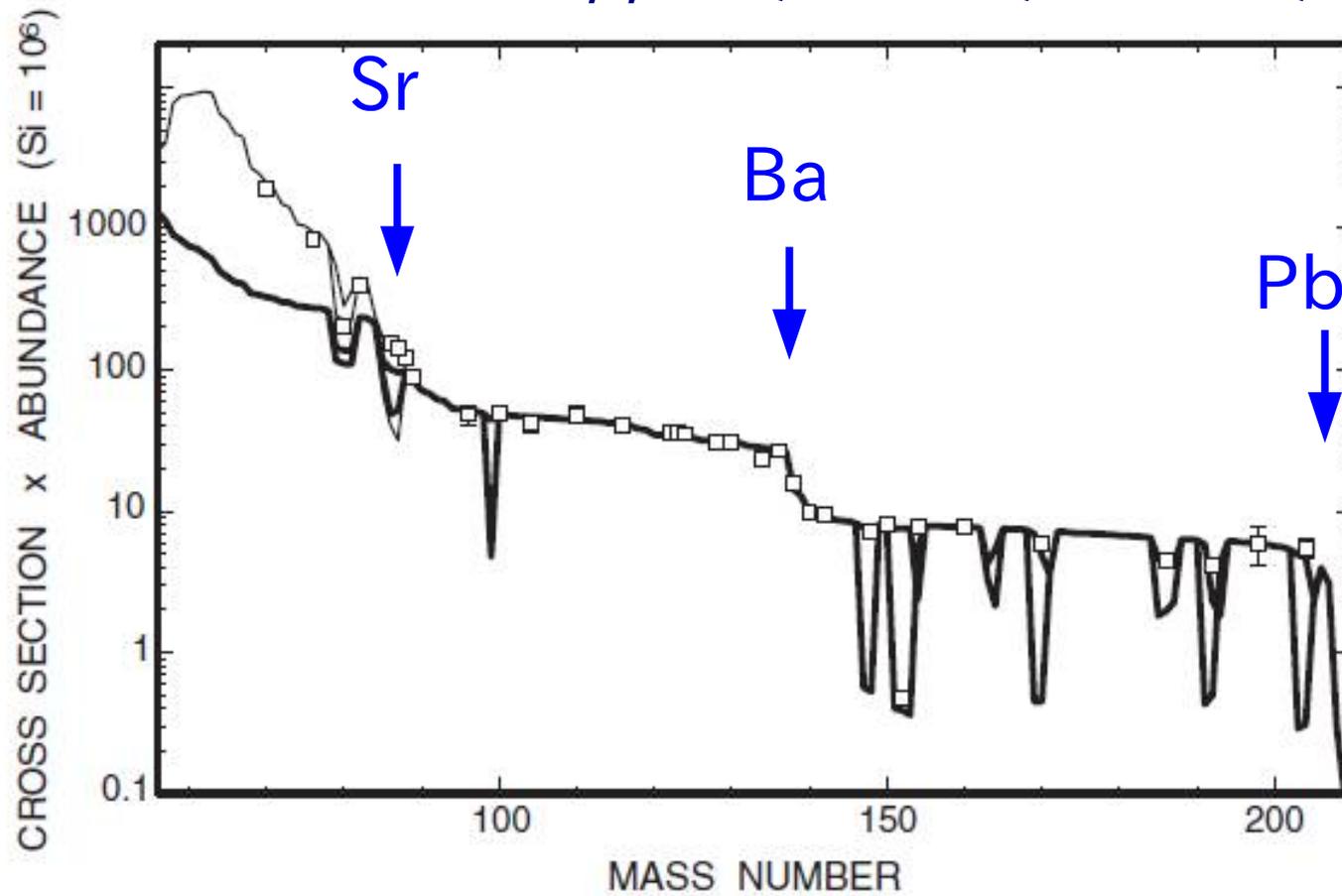
# 鉄より重い元素の起源(s/r-過程)の推定

- r-過程ではできない核を取り出す→「s-過程核」
- s-過程 モデルでフィットする
  - 定常状態に近ければ、組成 $\times$ 反応断面積はほぼ一定になる
  - “古典モデル”～neutron exposure の分布をパラメータ化
  - 最近は”stellar model” (AGB星の進化モデルのなかでs-過程)によるフィットも行われている。
- このs-過程 モデルを使ってすべての原子核について s-過程で合成される成分を推定し、それを差し引いた残りを r-過程成分とする。

# 「s-過程核」へのs-過程モデルフィット

*KGBA11: Kappeler, Gallino, Bisterzo, Aoki 2011*

組成x反応断面積

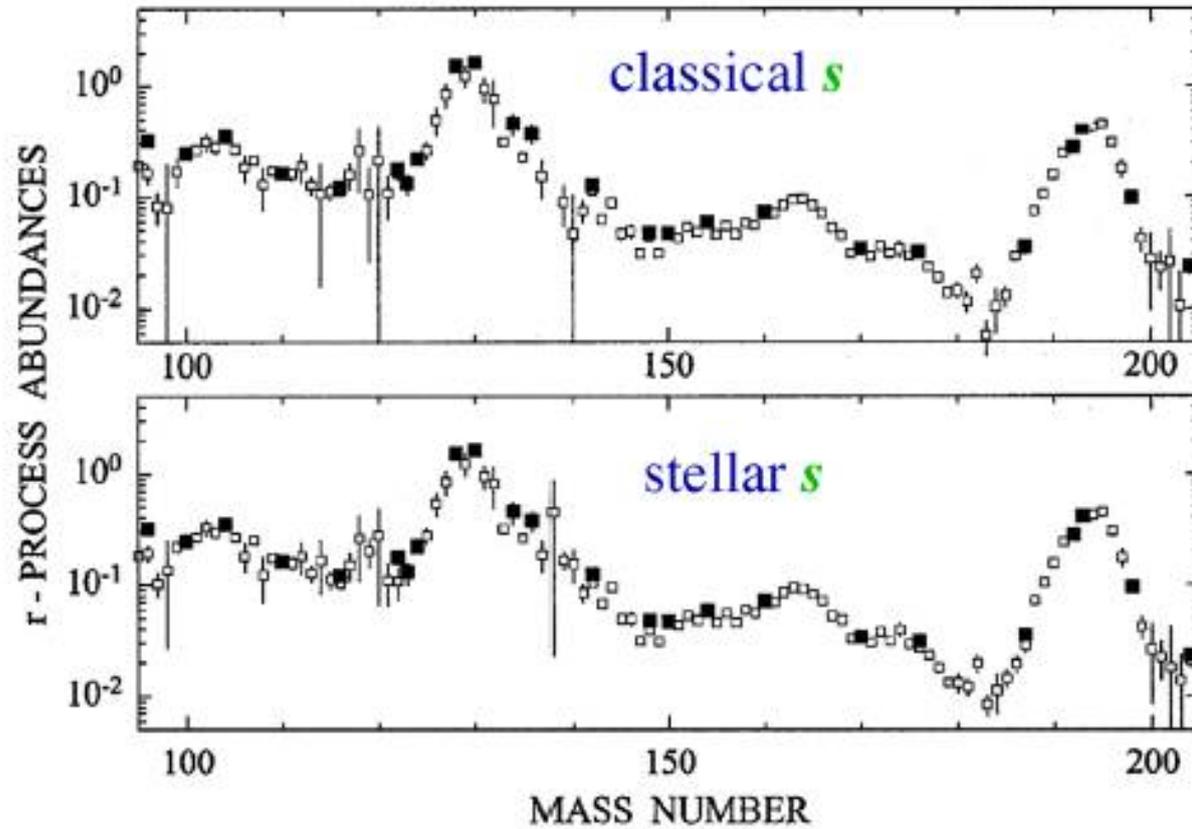


質量数

# 太陽組成のr-過程成分: s-過程成分を差し引いた残り

*KGBA11*

「r-過程成分」の組成



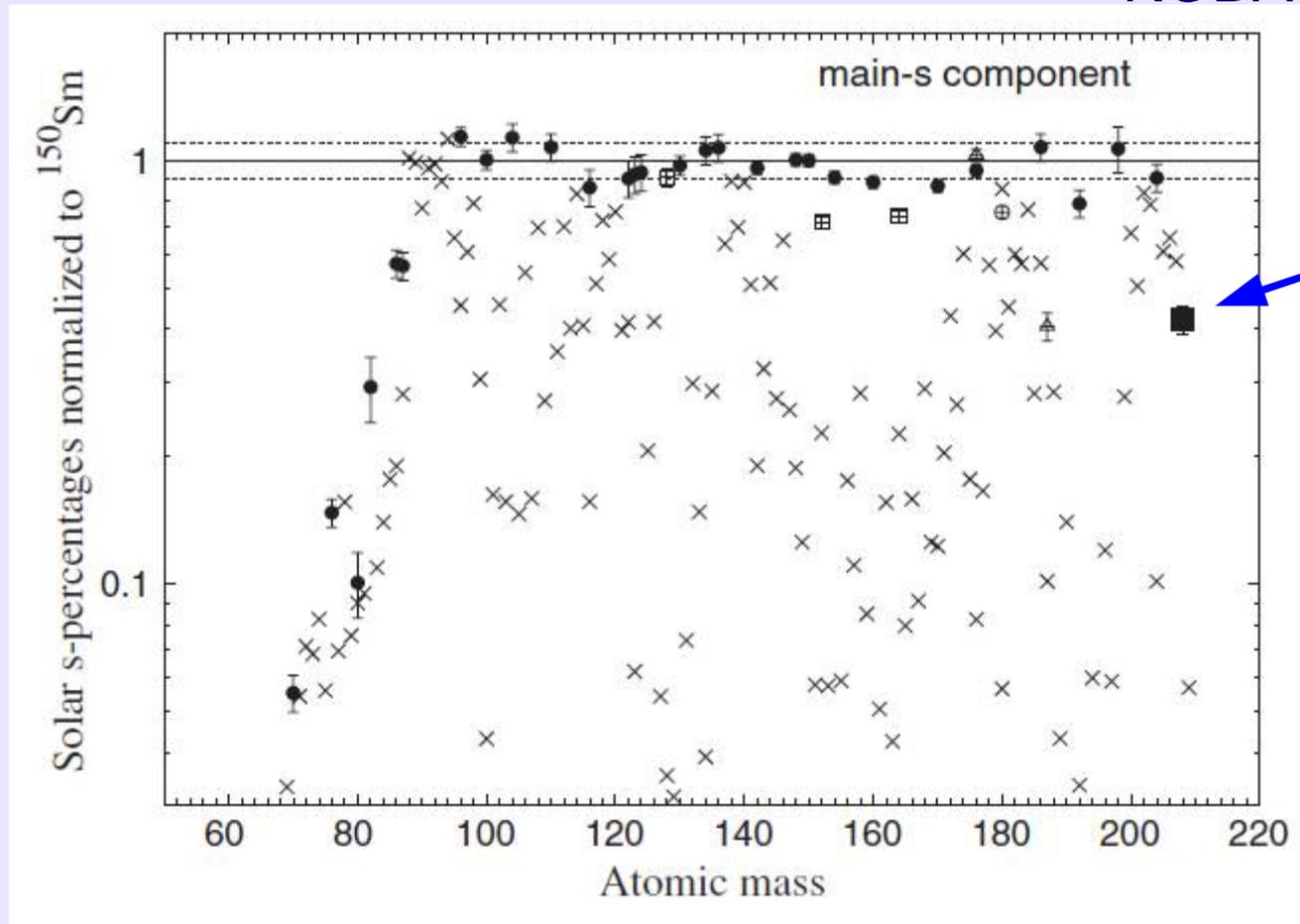
質量数

# AGB星モデルにもとづいた太陽組成のs-過程成分の推定

金属量  $[Fe/H] = -0.3$  のモデルの場合

*KGBA11*

s-過程成分の割合

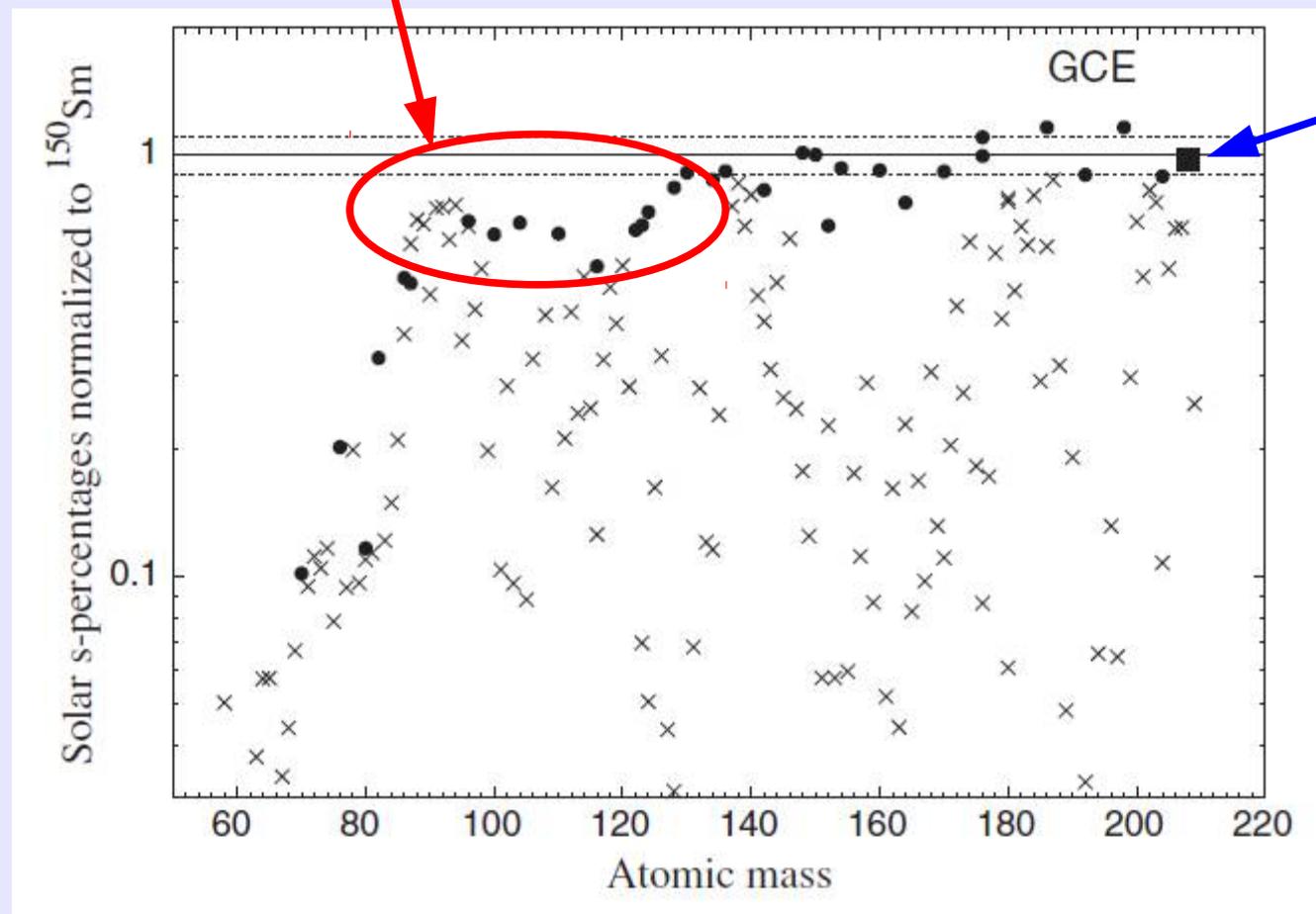


質量数

AGB星モデルにもとづいた太陽組成のs-過程成分の推定  
銀河の化学進化にもとづいて、多数の星からの寄与を積分した結果

「軽いs-過程核」を十分説明できていない

S-過程成分の割合



質量数

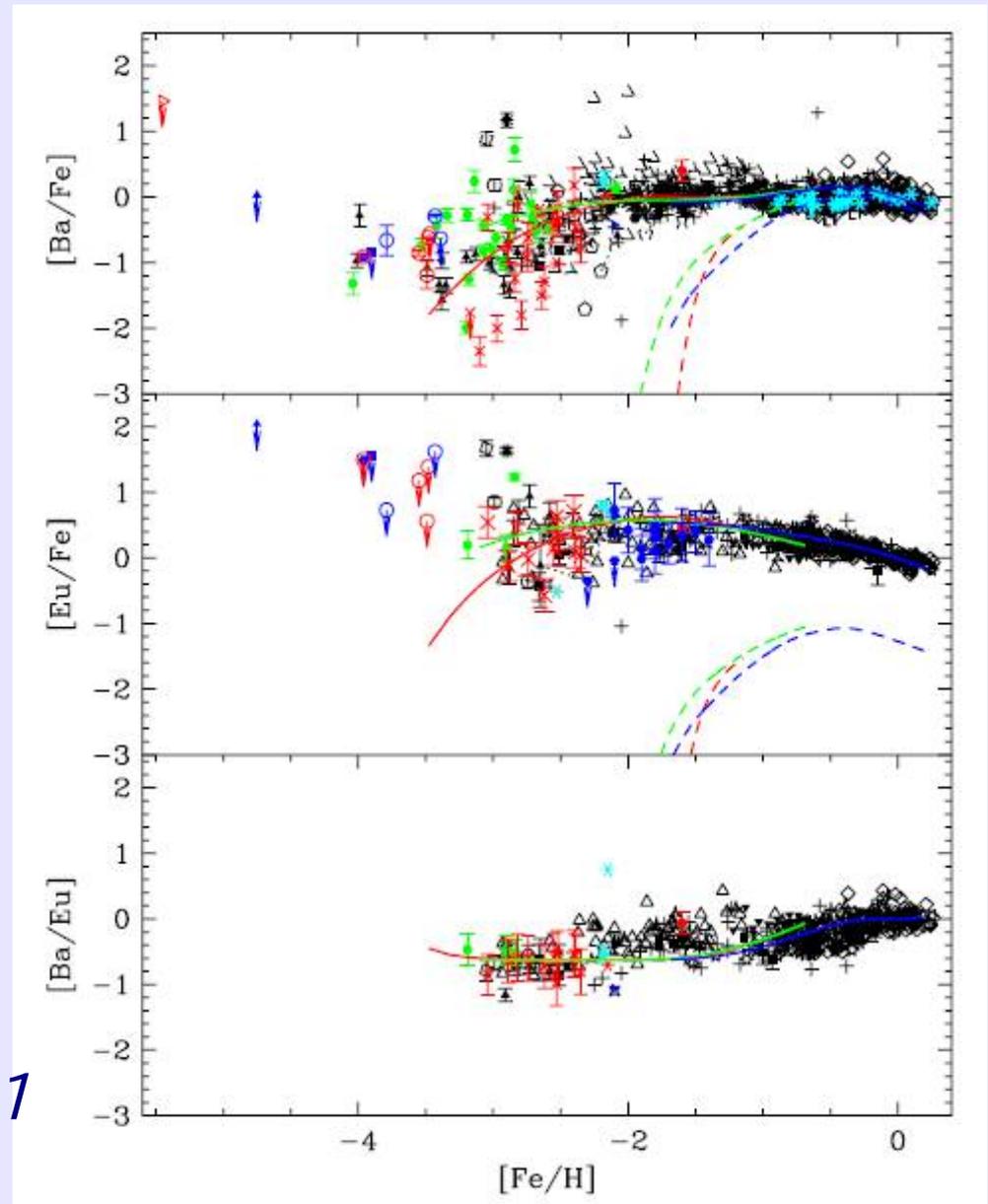
# 銀河の化学進化における(main) s-process

[Ba/Fe] ([La/Fe])  
...Metal-poor では主としてr-process

[Eu/Fe]  
...主としてr-process

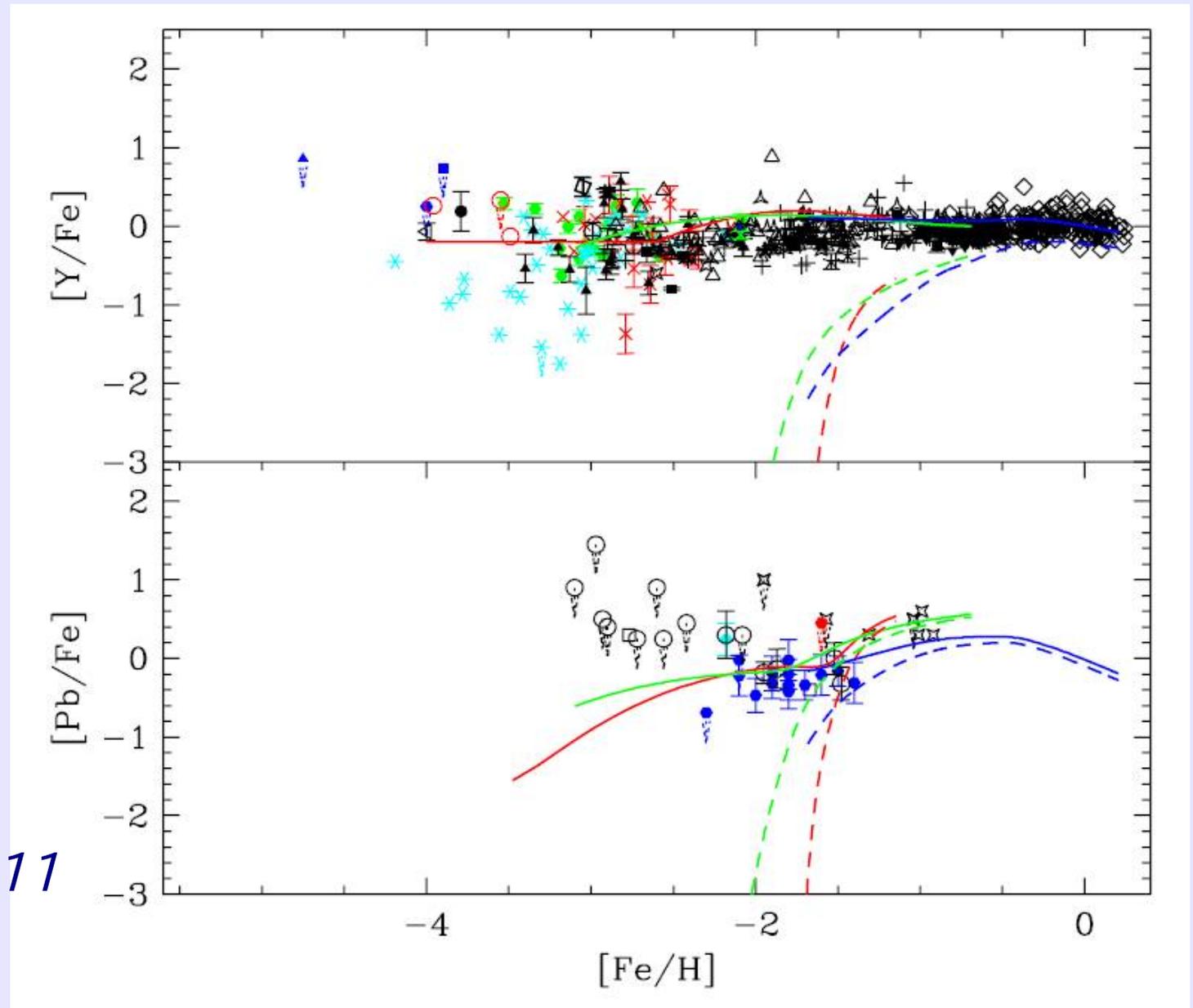
[Ba/Eu]  
...r-process/s-process  
の寄与の指標

*KGBA11*



# 銀河の化学進化における(main) s-process

低金属でのs-processの指標 Pb →  $[\text{Fe}/\text{H}] < -1.5$  では低い



*KGBA11*

# 太陽系組成の「s-過程成分」の解析の進展

- s-過程の”古典モデル”で説明できていなかった(strong componentとされていた)鉛 (Pb)は、化学進化を考慮すると、「金属量の低いAGB星起源」として説明できるようになった(か?)。

←金属量の低い環境では、s-過程 は容易に重い元素に進むことができる

- 軽い中性子捕獲元素 (Srなど) が化学進化を考慮しても(考慮すると)不足している。

→従来考えられてきた s-過程、r-過程とは別のプロセスが存在する。低金属領域ではその効果が大きいらしい(Honda et al. 2006, 2007)。

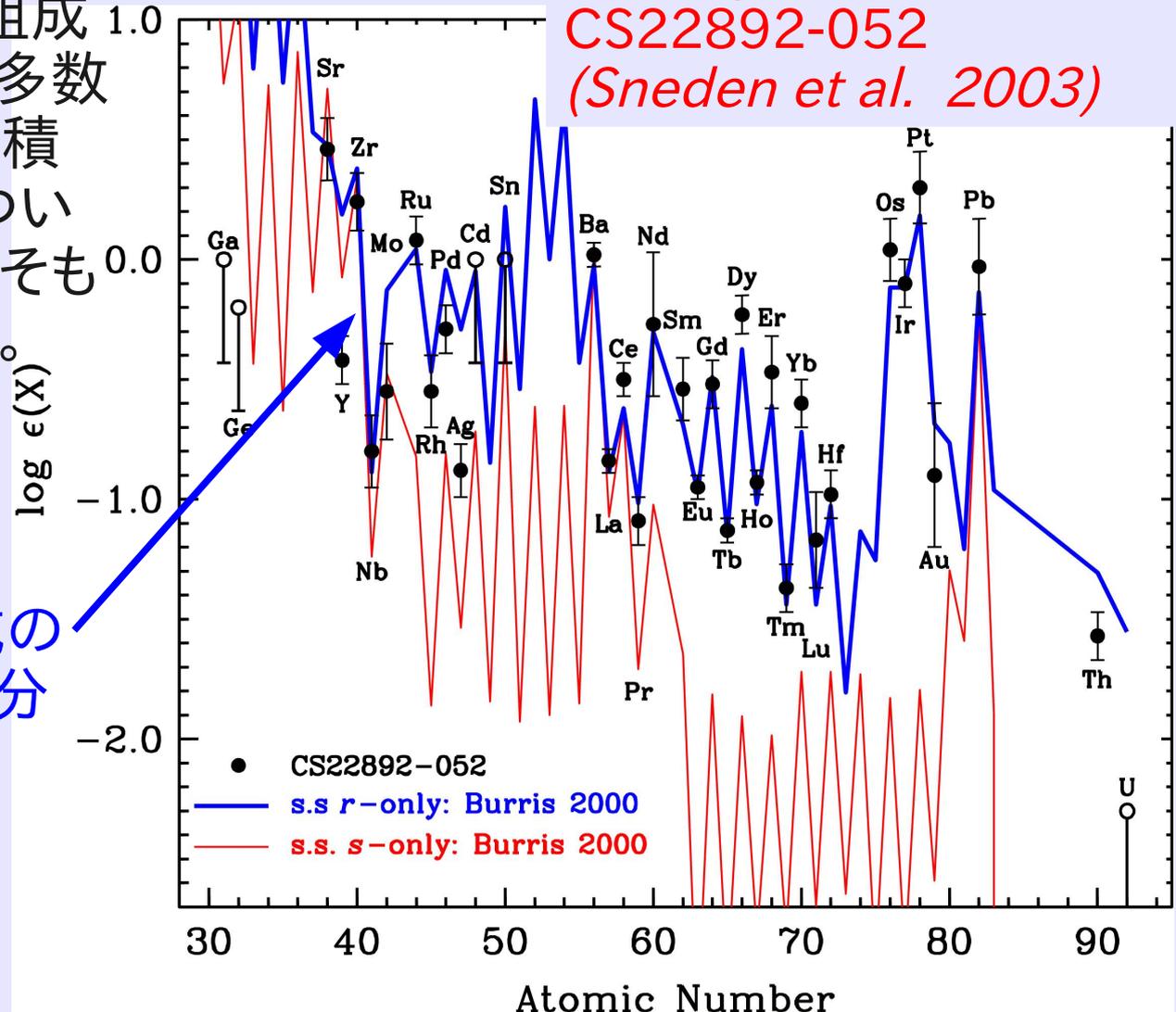
# 「r-process の普遍性」

金属欠乏星に観測された重元素組成が、太陽系のr-過程成分に酷似(1996年～)→「r-process の普遍性」

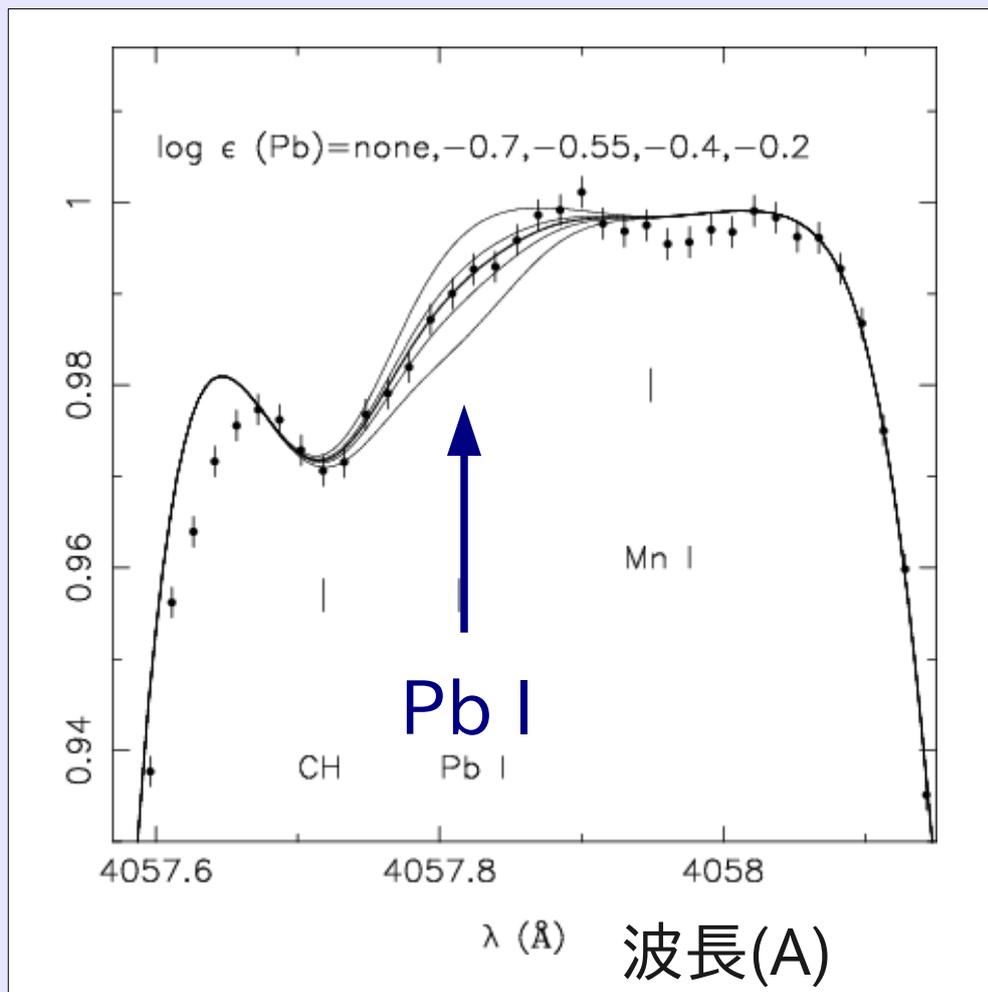
太陽系組成は、様々な組成パターンをつくりだした多数の天体からの放出物の積分だが、r-過程成分については、個々のパターンがそもそも一致しているらしい。

太陽組成の  
r-過程成分

The “r-process star”  
CS22892-052  
(Snedden et al. 2003)



# 鉛組成の不一致～低金属でのr-processと太陽組成をつくったr-processは似て非なるものか？



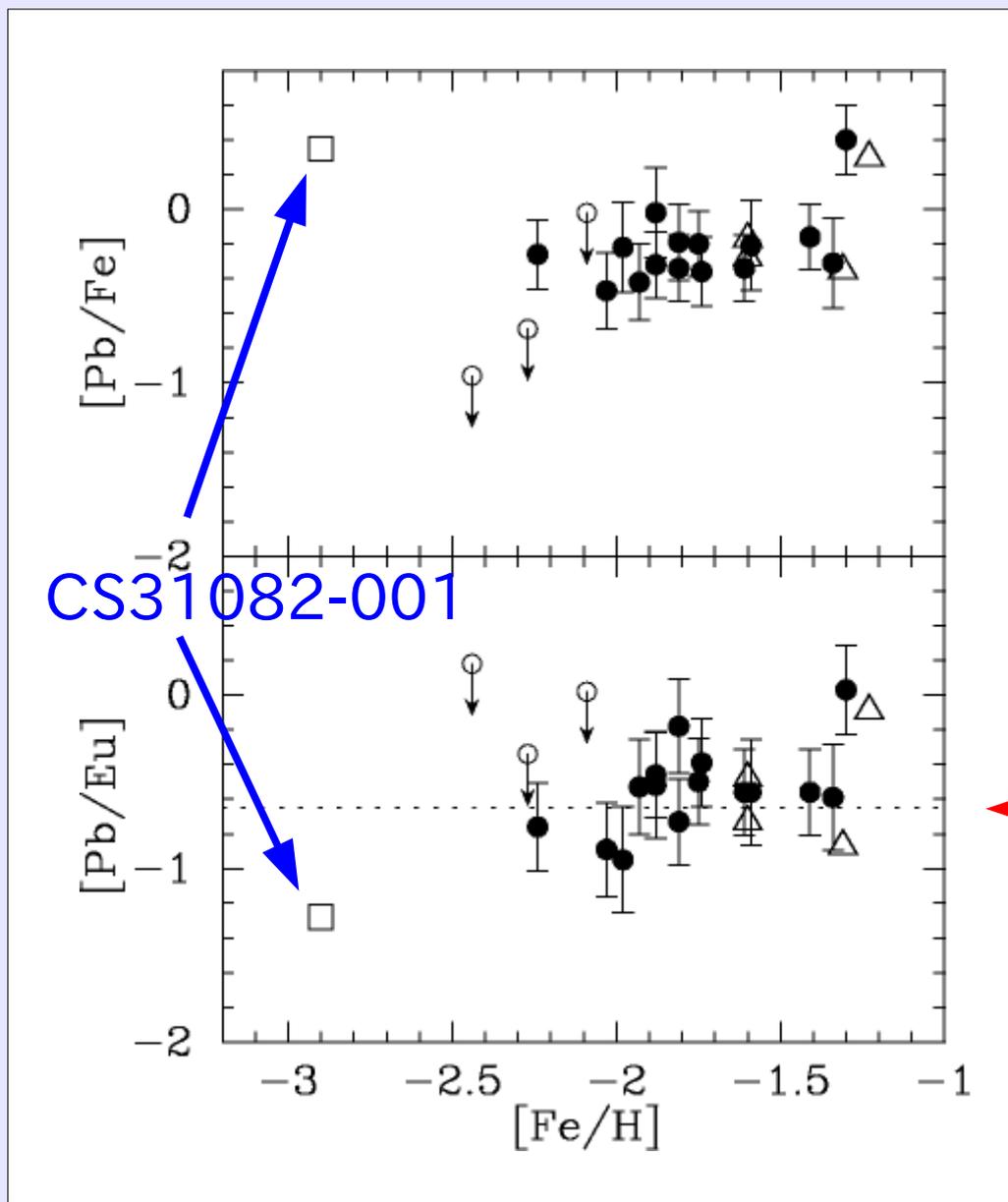
*Plez et al. (2004)*

r-過程元素の卓越  
している星CS31082-001  
の鉛組成

→従来のモデルからの予  
測よりかなり低い

'cold r-process'  
(Wanajo et al. 2007)  
で説明可能か??

# 銀河系ハロー／球状星団における鉛の蓄積(2)



●○Aoki & Honda (2008)  
△Yong et al. (2006, 2008)

[Pb/Eu] は、太陽系組成から見積もったr-過程による[Pb/Eu]によく合うが、r-過程元素過剰星CS31082-001には合わない。  
→超低金属量でのr-過程の特異性？

← 太陽系組成から見積もったr-過程による[Pb/Eu] (不確定性大)

# 太陽系組成のr-過程成分の起源

- r-過程を起こす天体は依然、未同定
- r-過程は天体によらず作られる組成パターンは同じと考えられてきた(「r-過程の普遍性」)が、鉛組成はそれに対して疑問をなげかけている。
  - r-過程には複数のサイトがある?
    - 例:超低金属では超新星のみ
    - 金属量が増えるところには中性子星の合体も?