

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

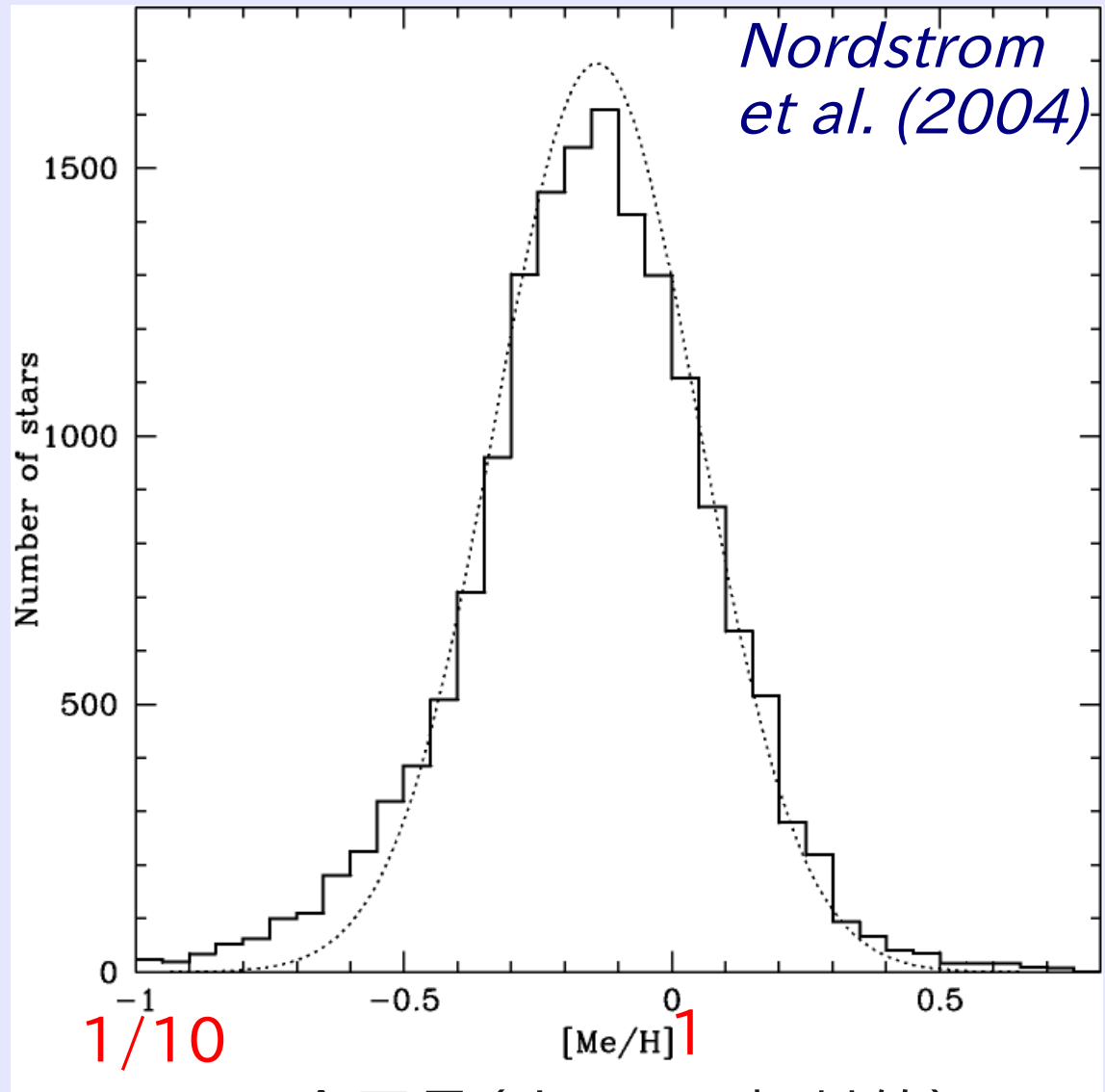
太陽の近くの星の金属量分布

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

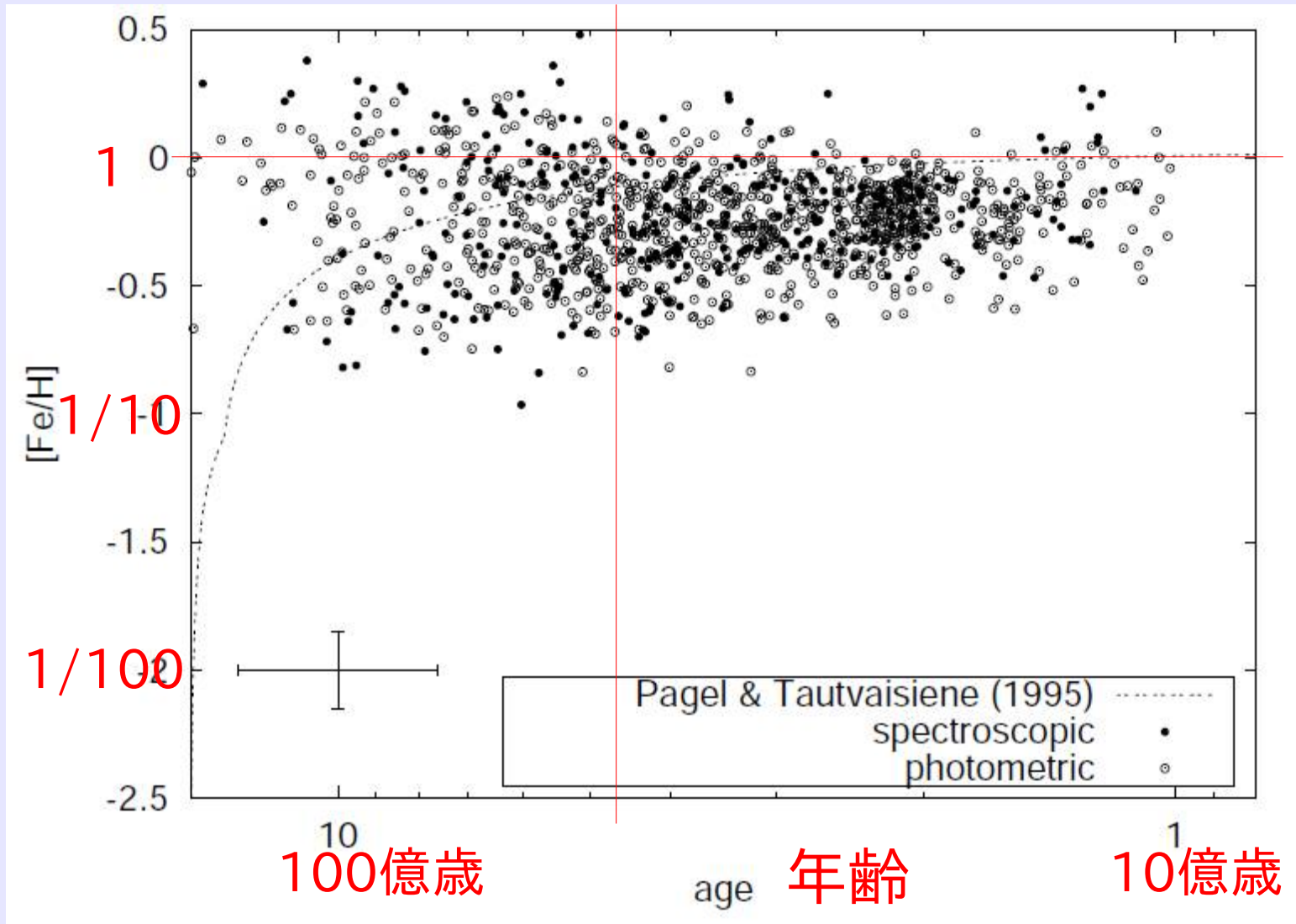


金属量(太陽との相対値)

太陽の近くの星の年齢・金属量関係

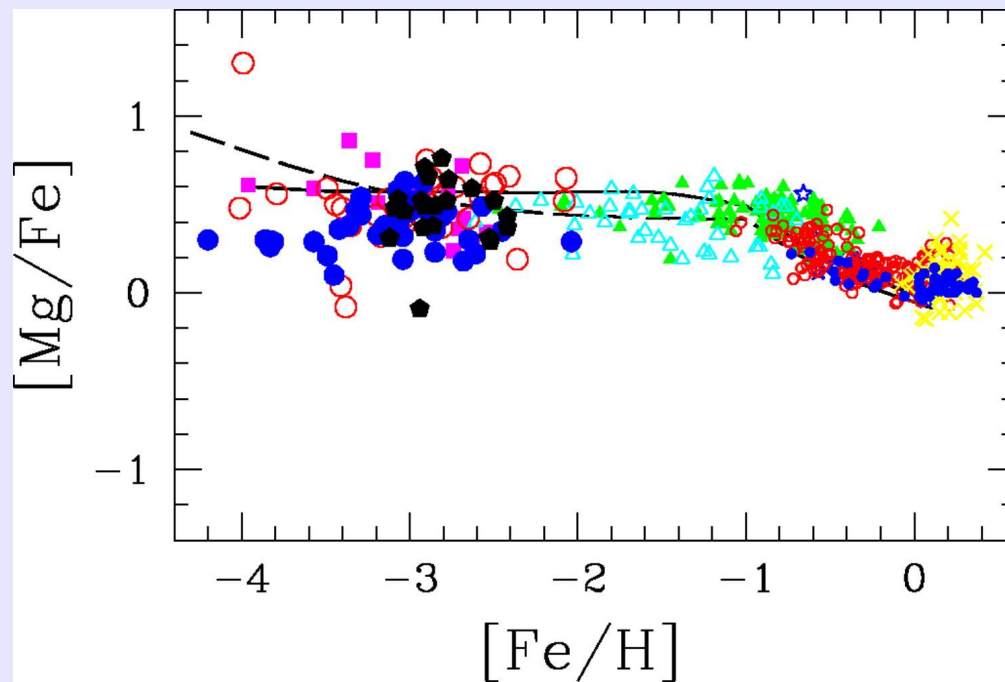
平均的には若い星ほど金属量が高いが、
古い星にはばらつきが大きい

金属量(鉄組成)
太陽との相対値

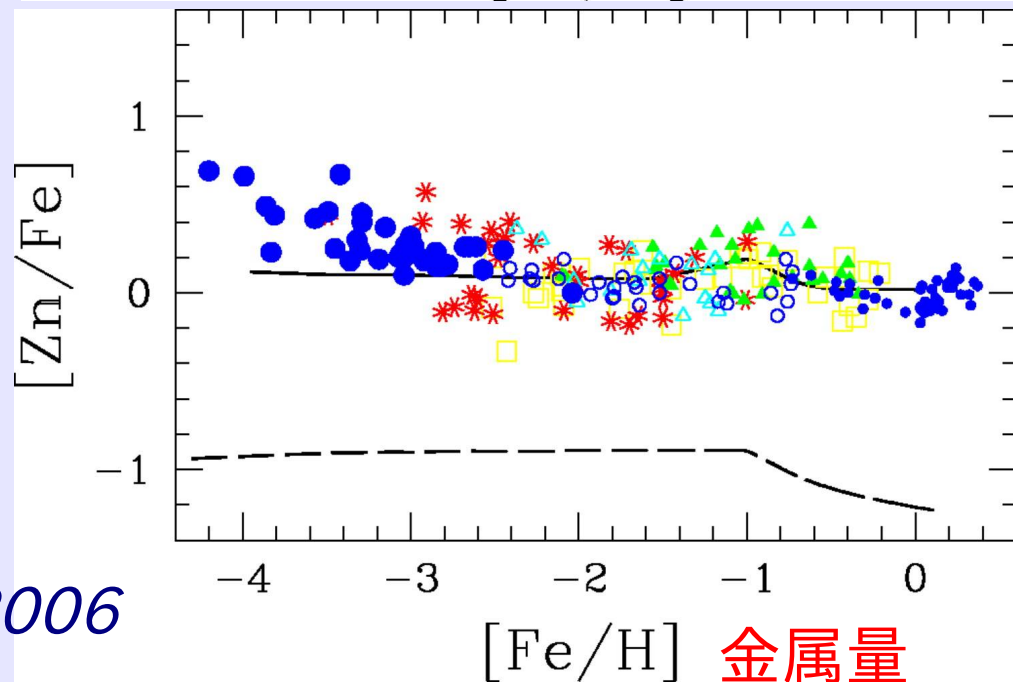


化学組成比の「進化」

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

$[Fe/H]$ 金属量

炭素・酸素の化学進化

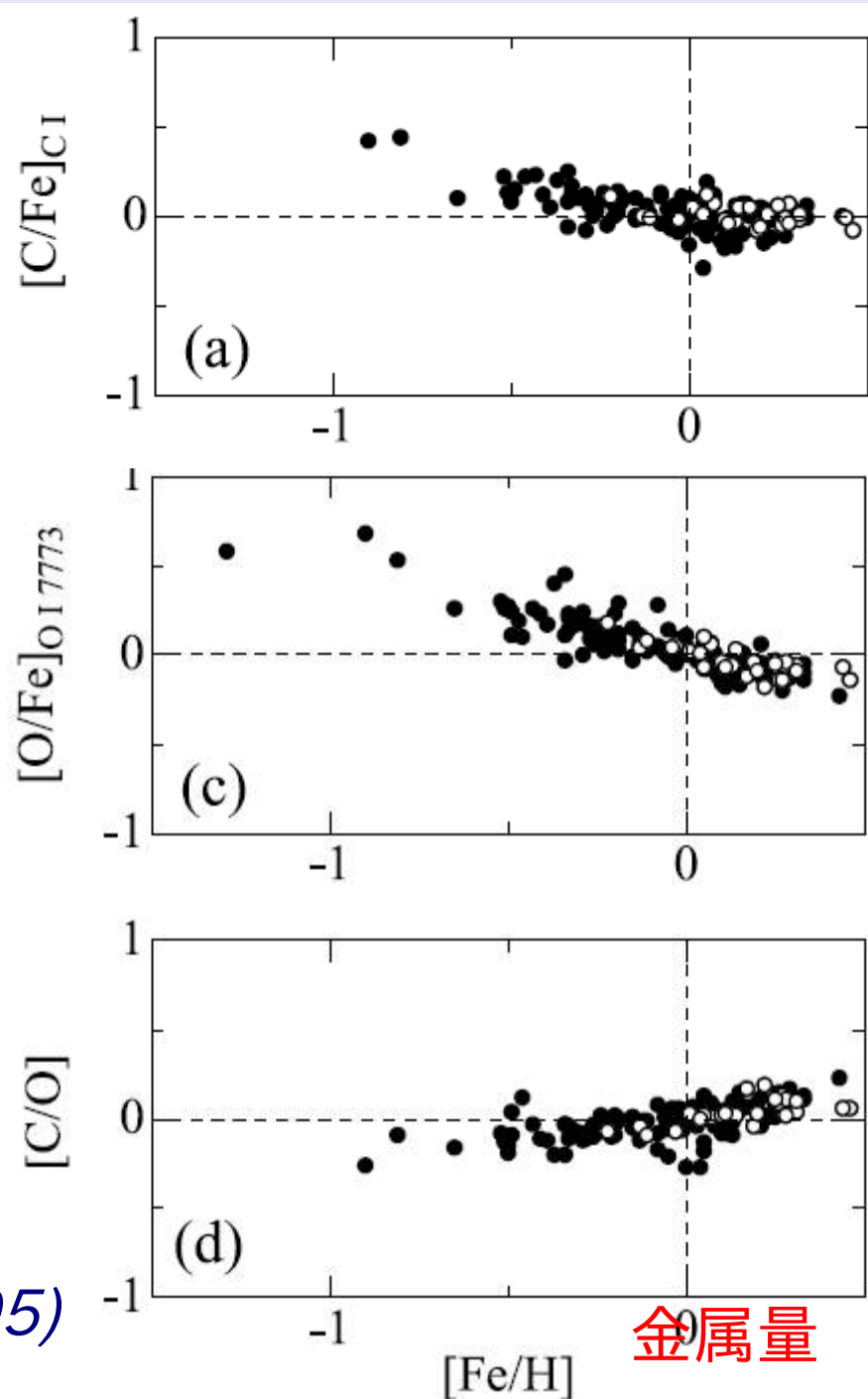
炭素/鉄比

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 $\nabla 0.13\text{dex}$

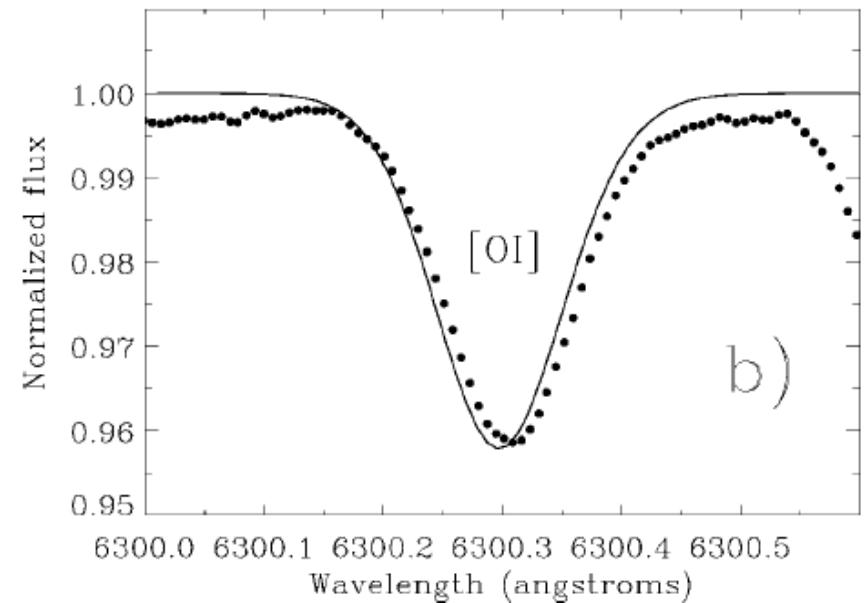
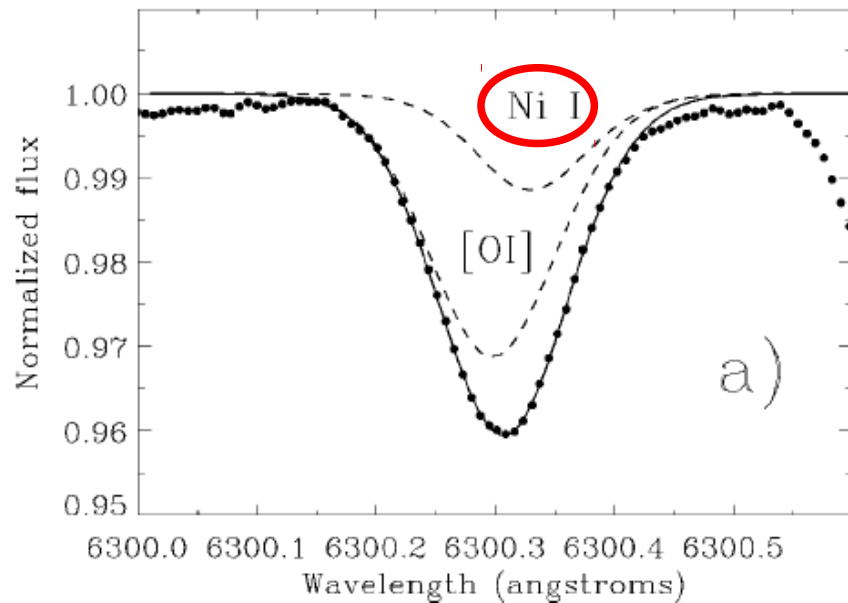


FIG. 1.—(a) Comparison between the observed (*filled circles*) and synthetic (*solid line*) profiles after the χ^2 minimization. The individual calculations of the oxygen and nickel lines are also shown as dashed lines. (b) Best fit, assuming the observed feature is entirely produced by the oxygen forbidden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

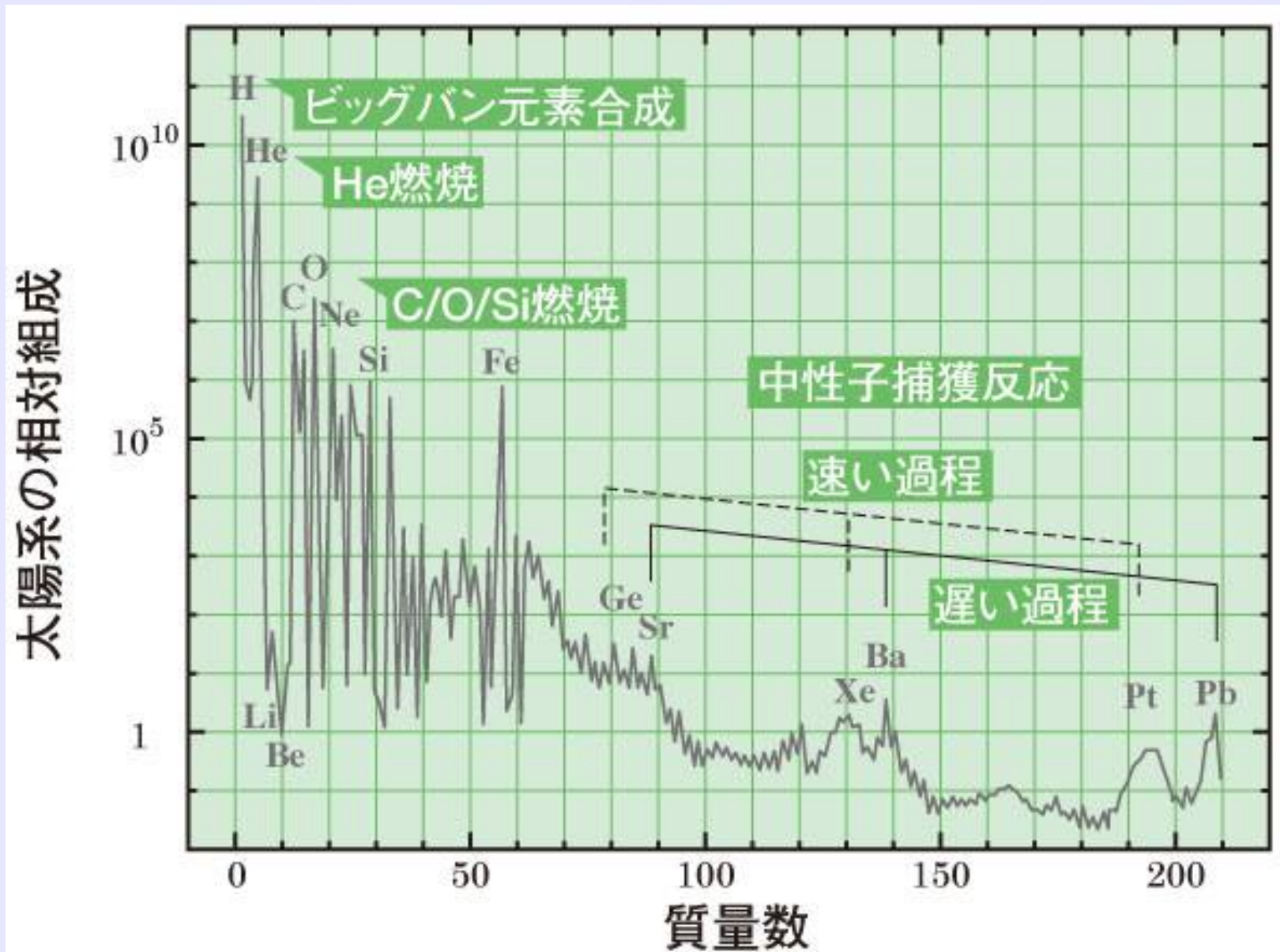
化学進化のなかで太陽はどのような位置にいるか

- 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

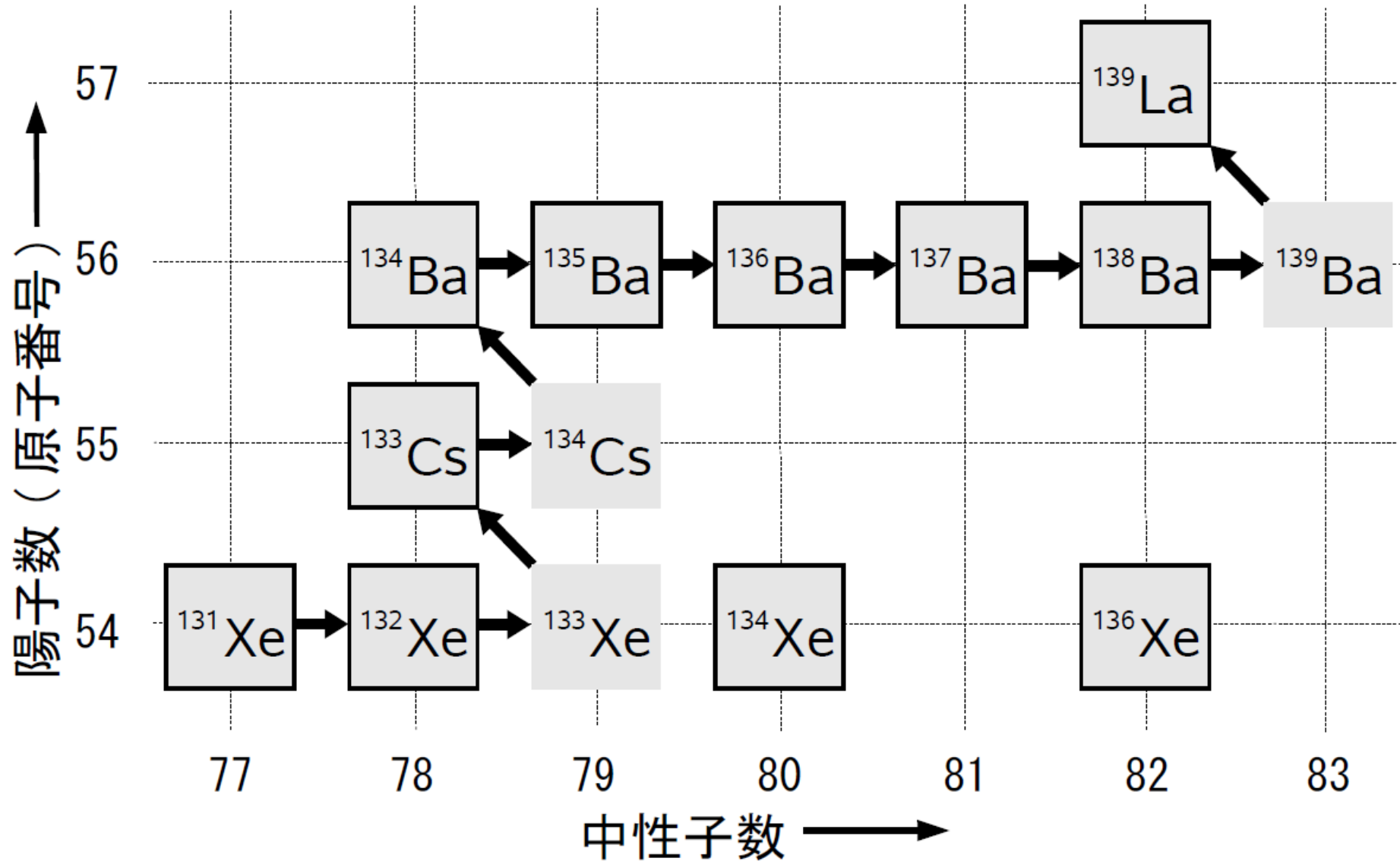
- 太陽組成のs-過程・r-過程の分離
- s-過程で説明できない新たな成分
- r-過程でつくられる組成パターンは普遍的か

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



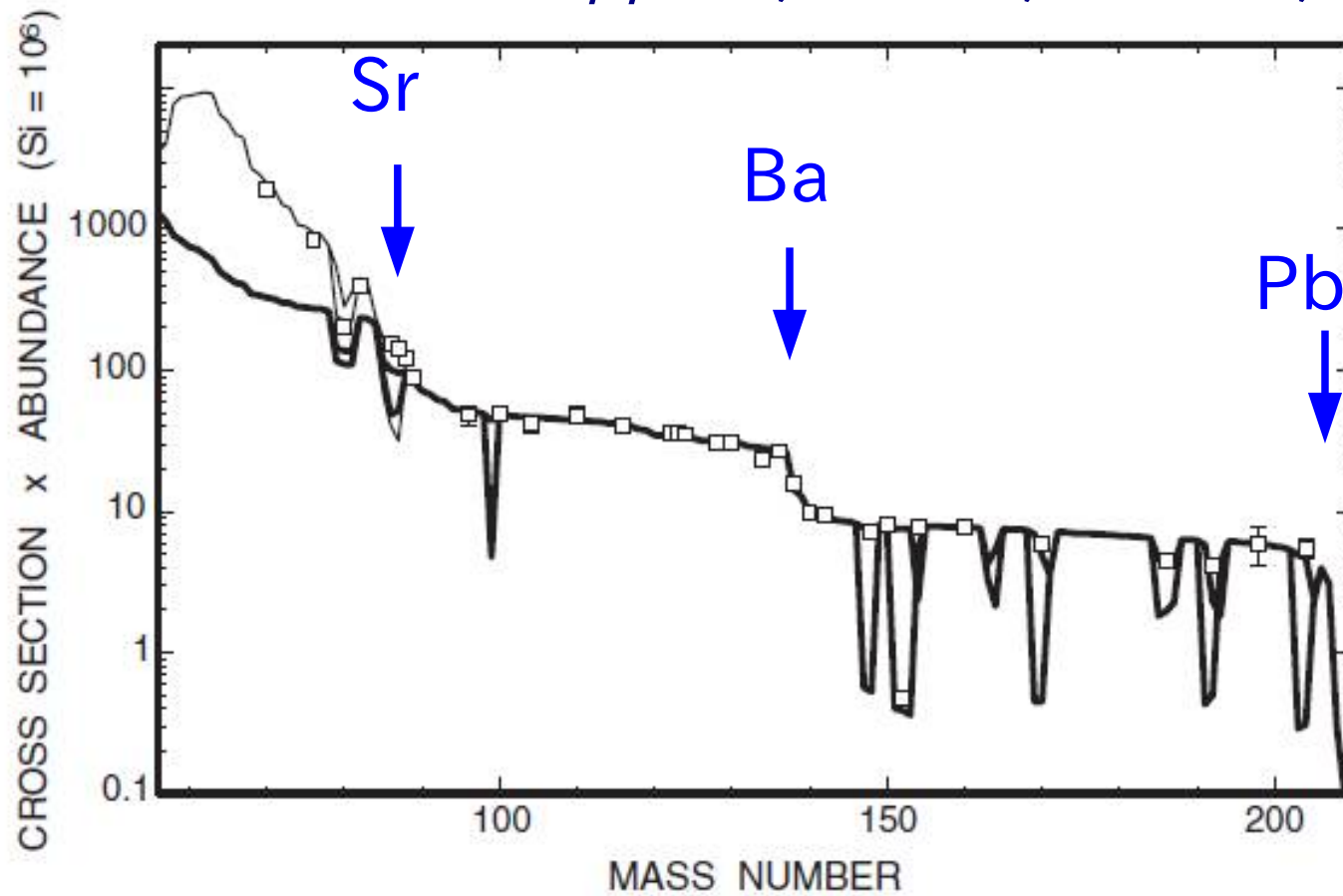
鉄より重い元素の起源(s/r-過程)の推定

- 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×反応断面積

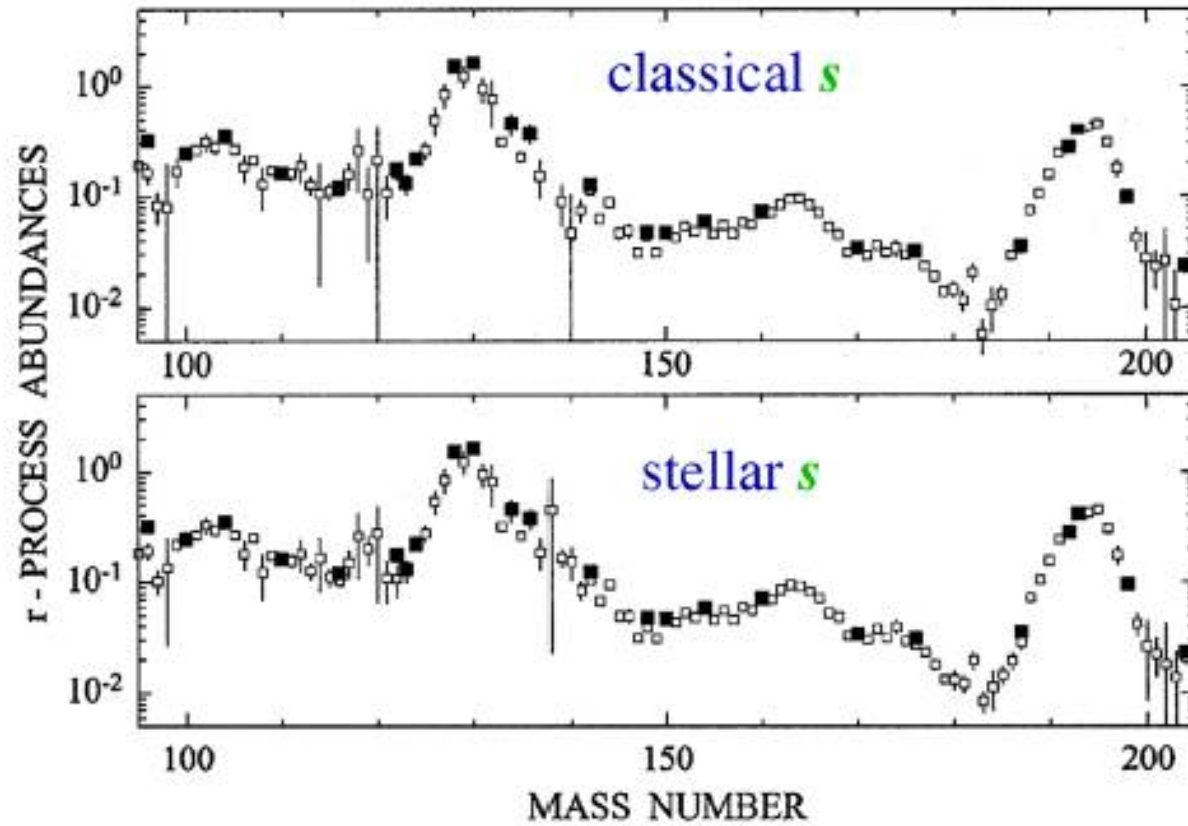


質量数

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



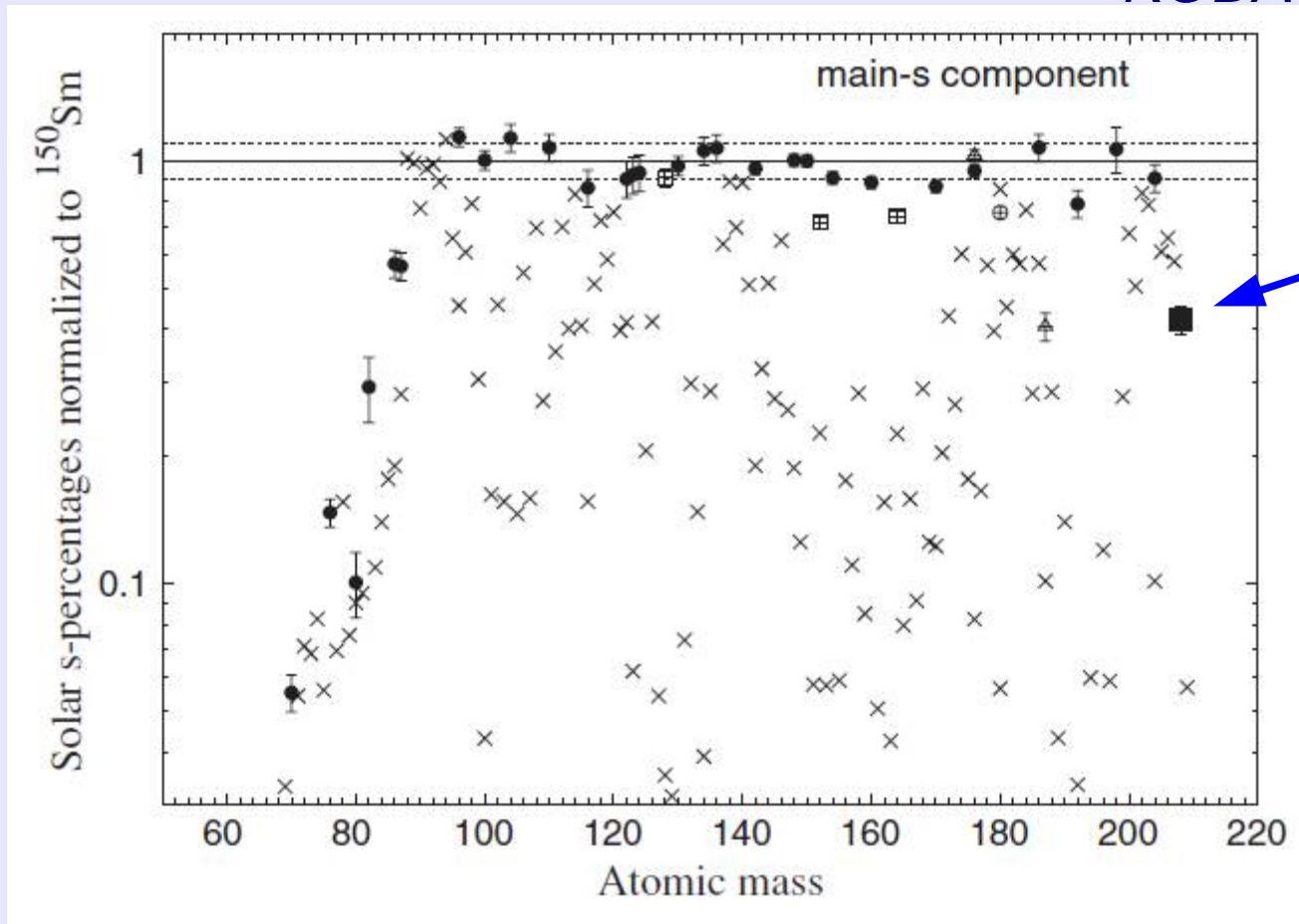
質量数

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

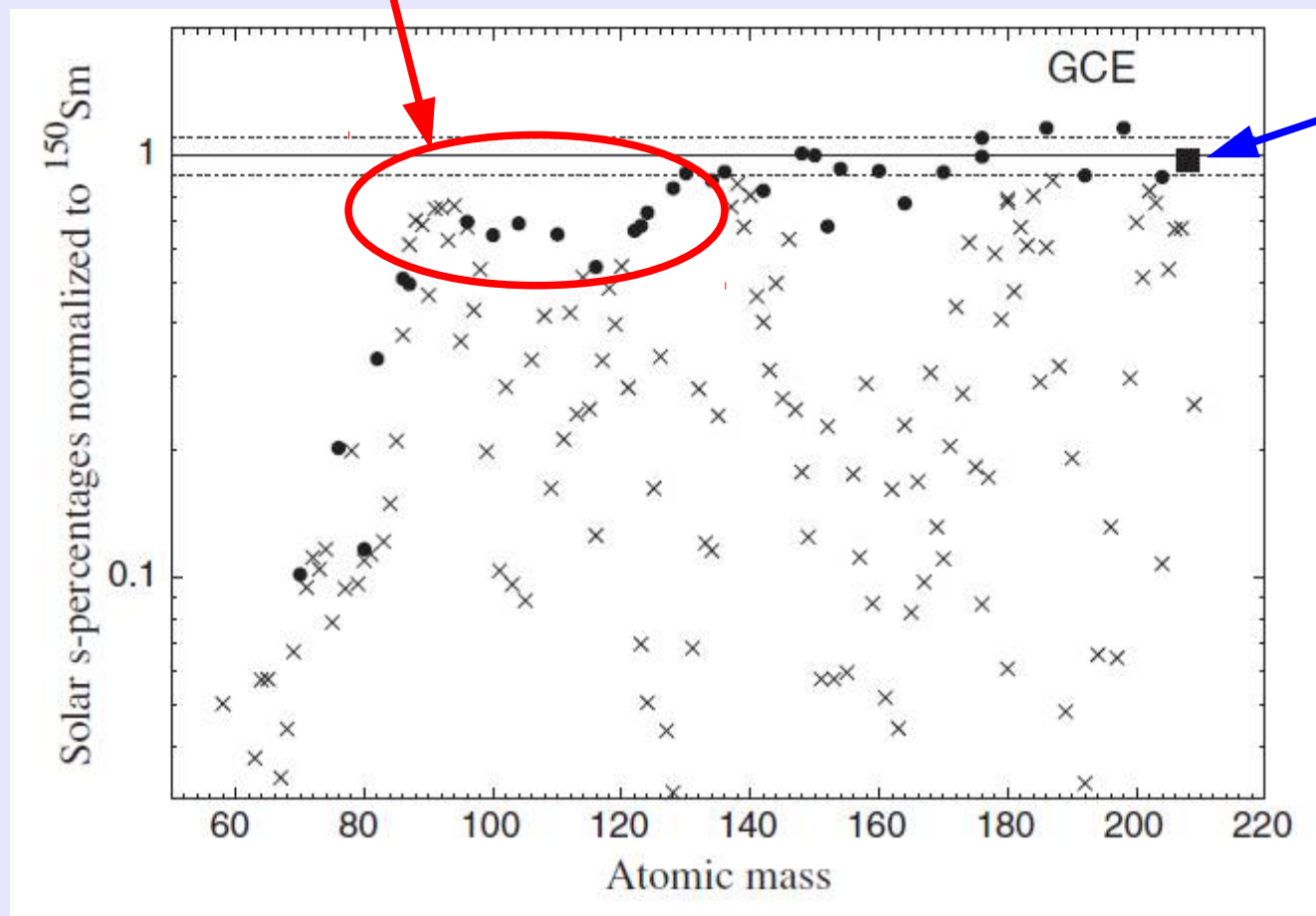


質量数

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

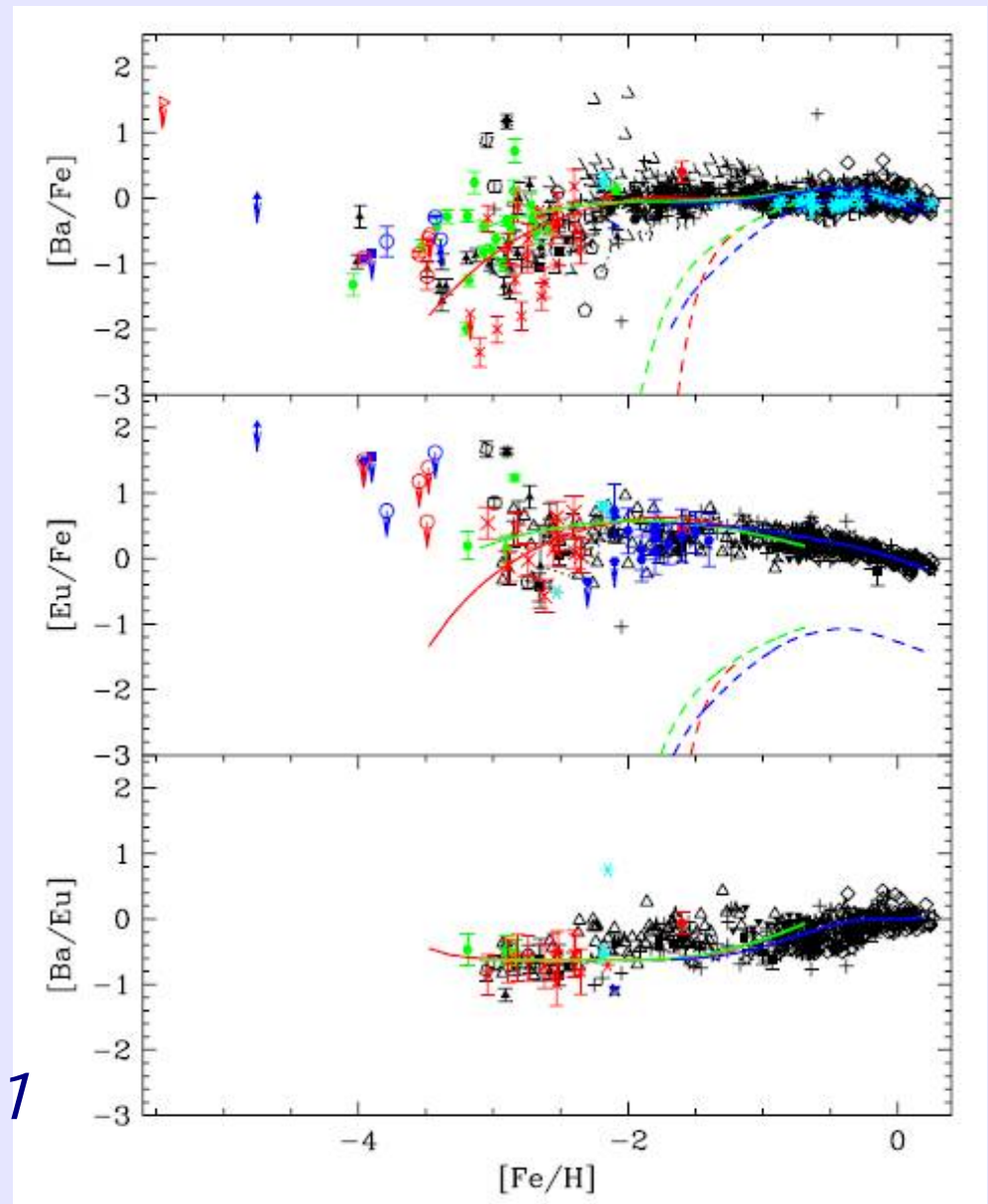
銀河の化学進化における(main) s-process

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

[Eu/Fe]
...主としてr-process

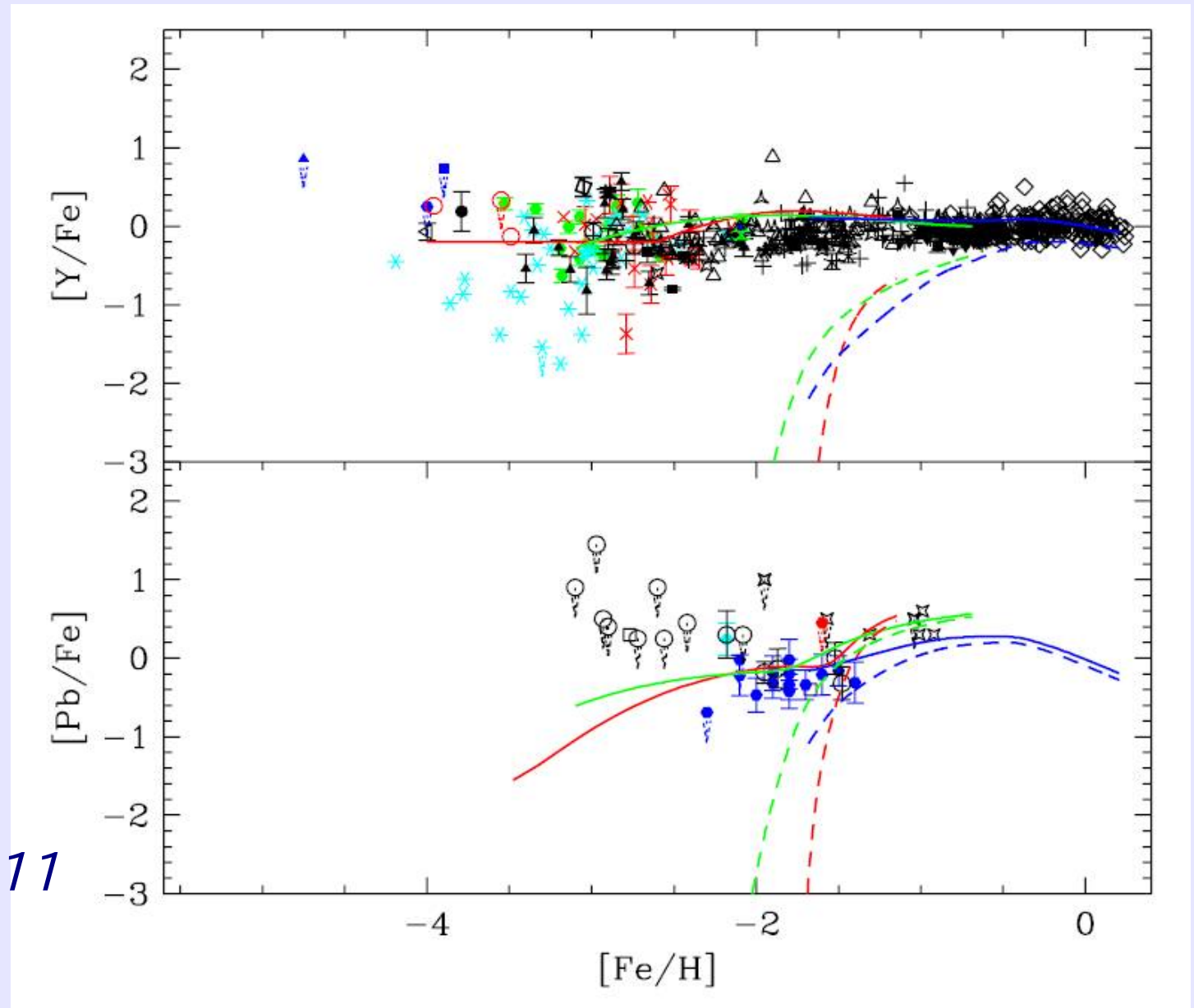
[Ba/Eu]
...r-process/s-process
の寄与の指標

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 → $[Fe/H] < -1.5$ 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)。

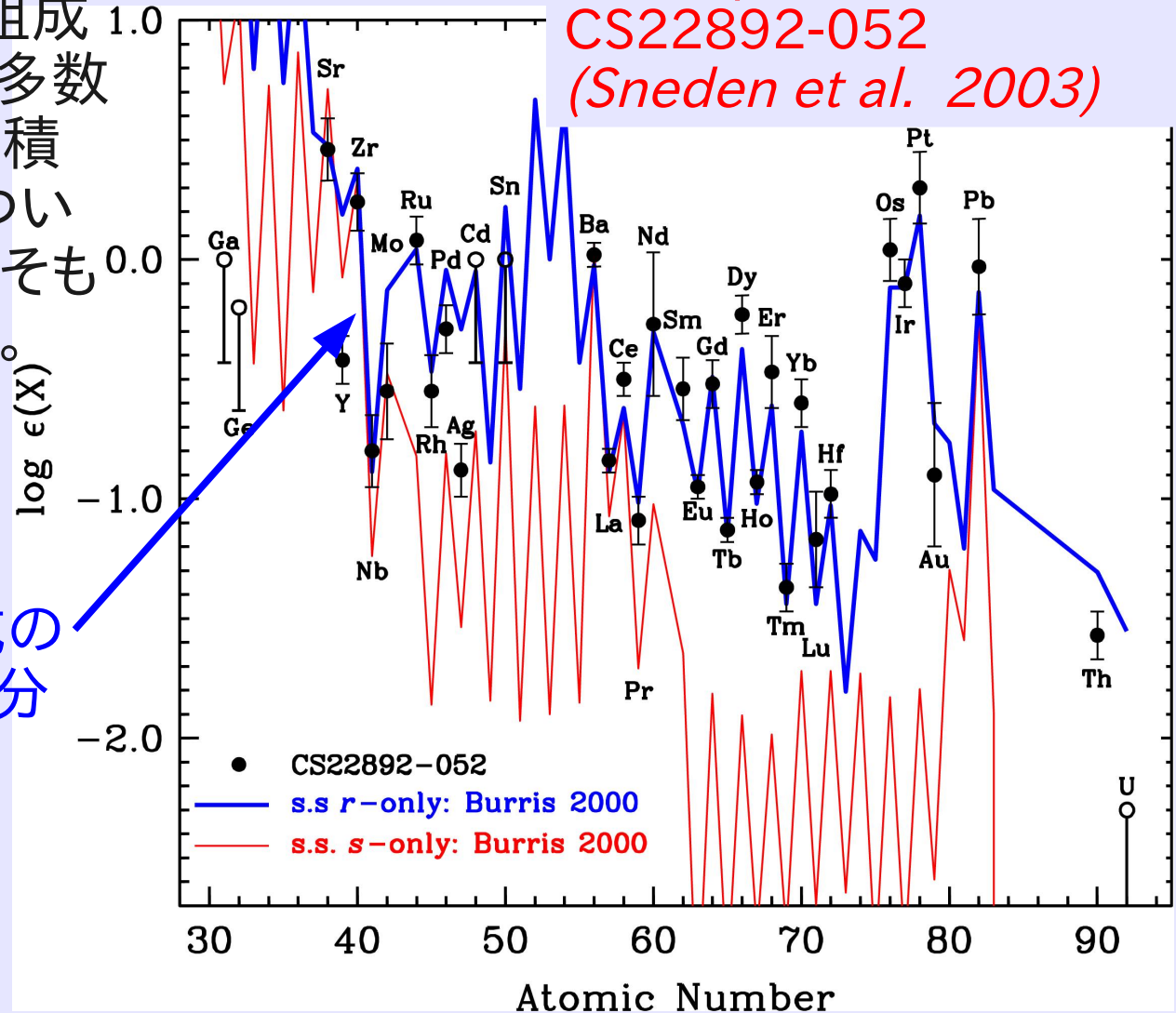
「r-process の普遍性」

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」

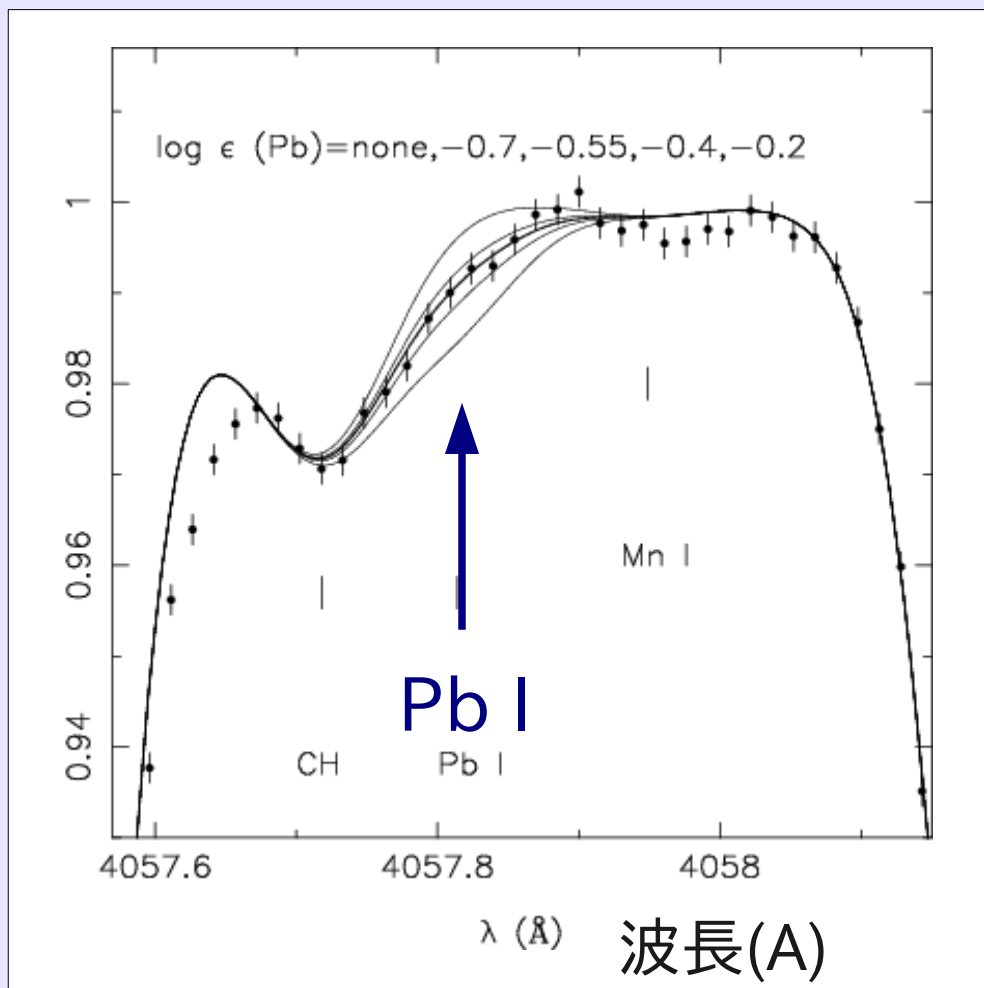
太陽系組成は、様々な組成パターンをつくりだした多数の天体からの放出物の積分だが、r-過程成分については、個々のパターンがそもそも一致しているらしい。

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？

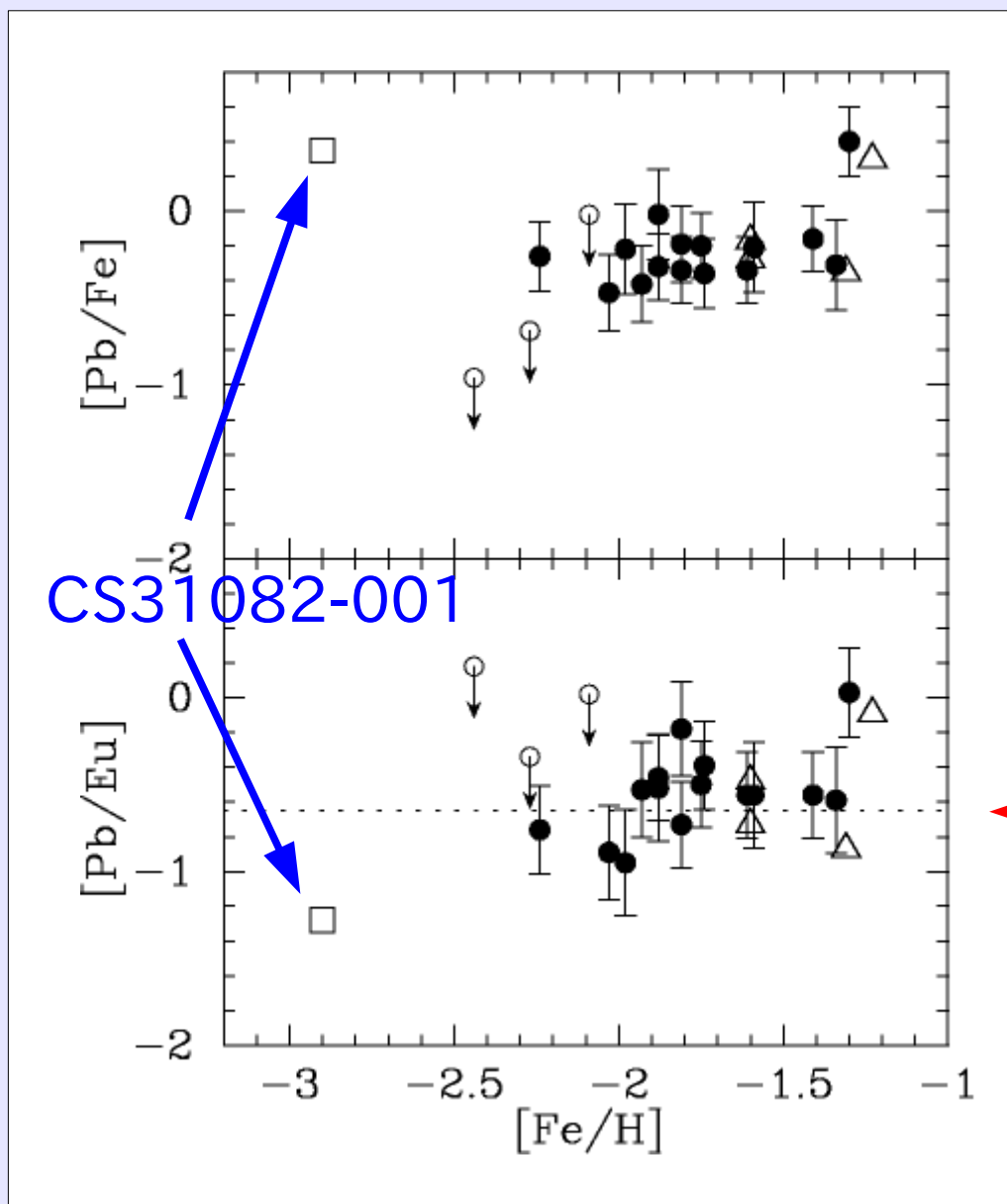


Plez et al. (2004)

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?