

Nucleosynthesis in High-Entropy Hot Bubbles of SNe
and
Abundance Patterns of Extremely Metal-Poor Stars
(Izutani & Umeda, ApJL, Submitted)

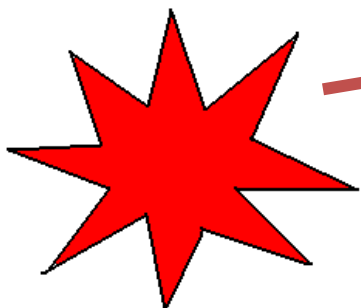
0. Introduction

0. Intro

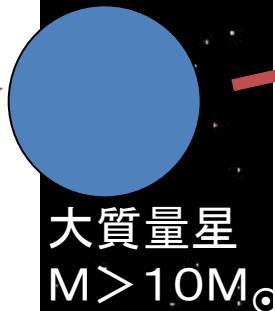
宇宙の元素の作り方

水素、ヘリウムのみ

約2億年後
第一世代星



ビッグバン
137億年前

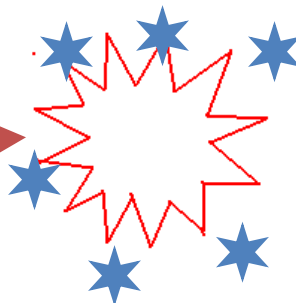


大質量星
 $M > 10 M_{\odot}$

約1千万年後



超新星爆発
(重い元素の合成)



第2世代の
星生成

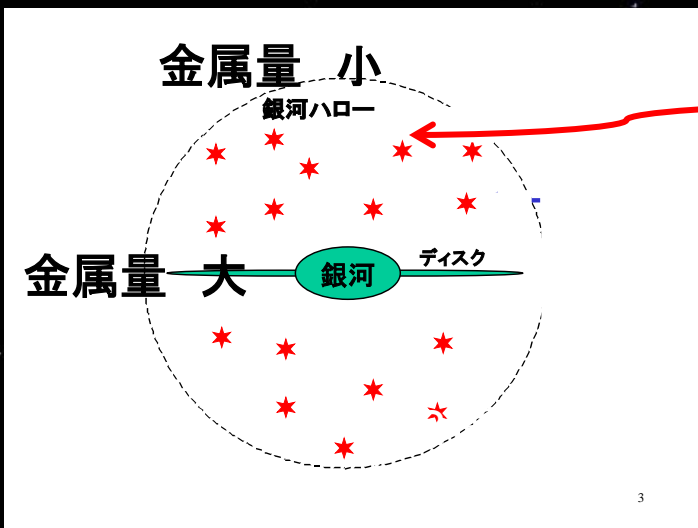
次の世代へ

(超新星による
汚染)

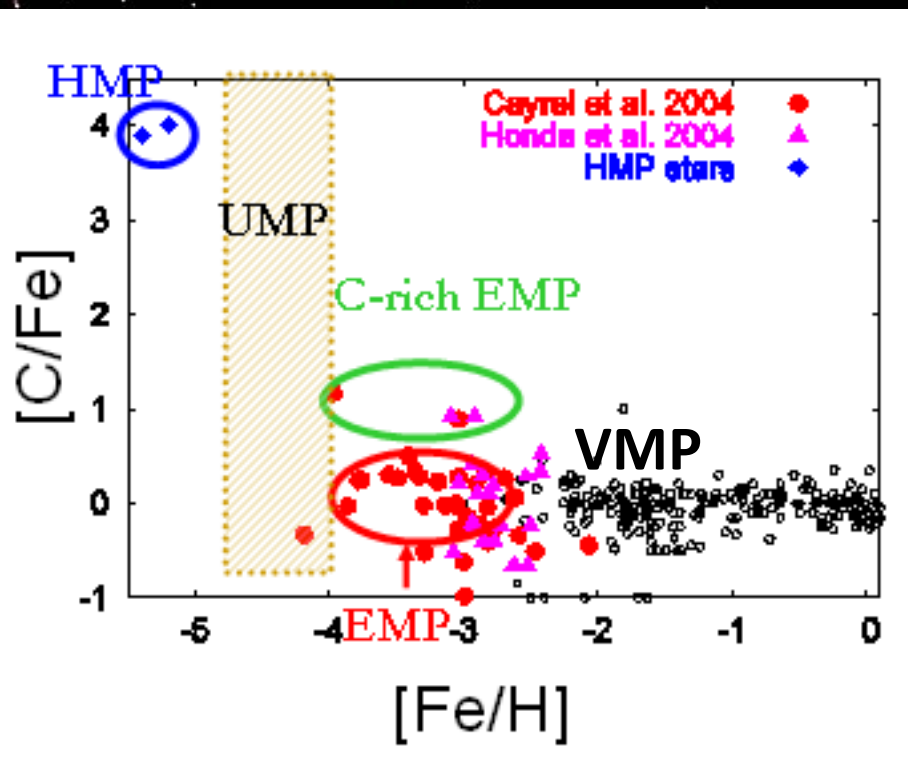


EMP

超新星でできる元素の
痕跡が見えている



低金属星の種類



$[X/Fe] = \log(X/Fe) - \log(X/Fe)_{\odot}$
 太陽組成で規格化した
 組成比の対数

$[Fe/H] < -4$ UMP
 $[Fe/H] < -3$ EMP
 $-3 < [Fe/H]$ VMP

0. Intro

超新星爆発によりできる元素

Post-shock T

$$(E \sim (4\pi/3)R^3 aT^4 \quad T \propto R^{(-3/4)}E^{(1/4)})$$

▪ $T > 5 \times 10^9 \text{ K}$

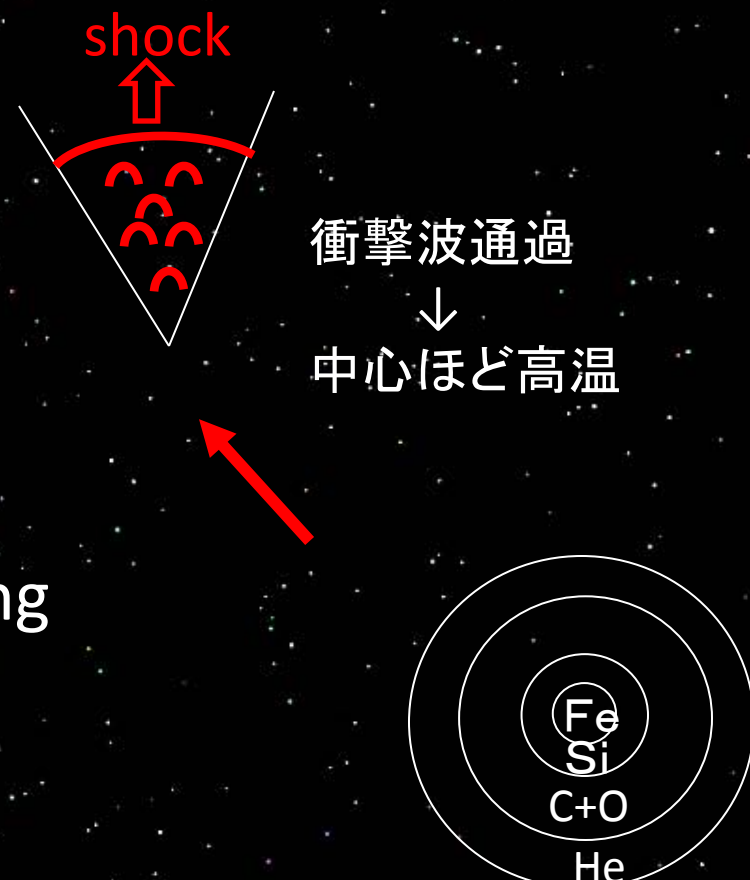
Complete Si burning
 α -rich freezeout
Ni56, α , Ti, Zn, Co, V

▪ $T > 4 \times 10^9 \text{ K}$

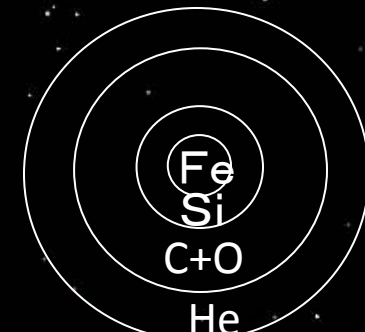
Incomplete Si burning
Ni56, Si28, Cr, Mn

▪ $T > 3 \times 10^9 \text{ K}$

Oxygen burning
Si28



衝撃波通過
↓
中心ほど高温

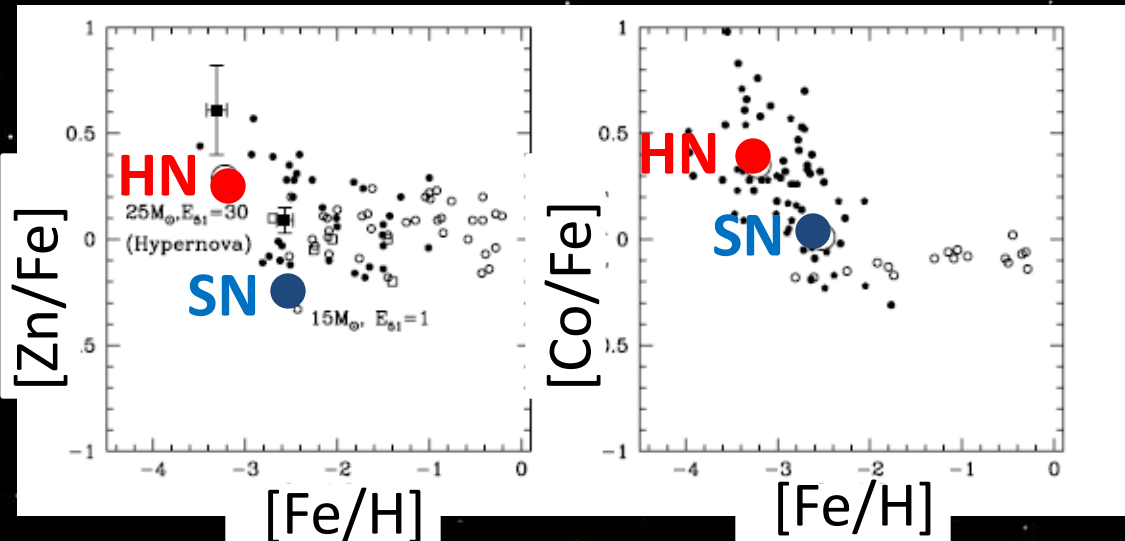


たまねぎ構造

星の中心

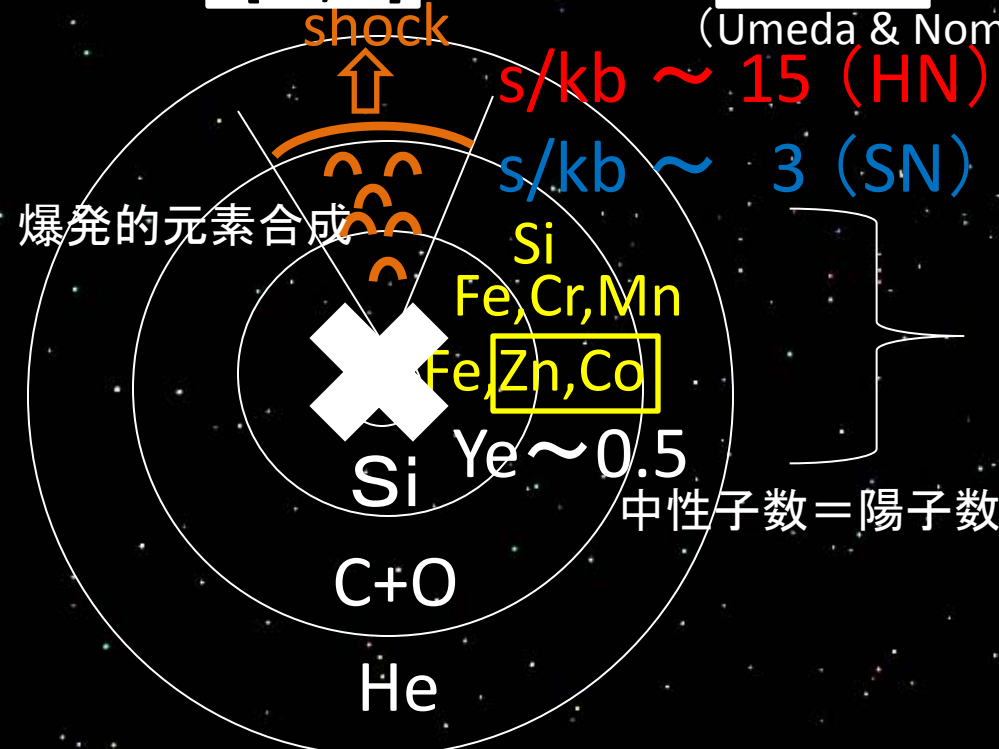
外側

0. Intro EMPの[Zn/Fe], [Co/Fe]トレンド



(Umeda & Nomoto 2005)

EMPに見られる
高いZn, Co値は
HNで再現可能!



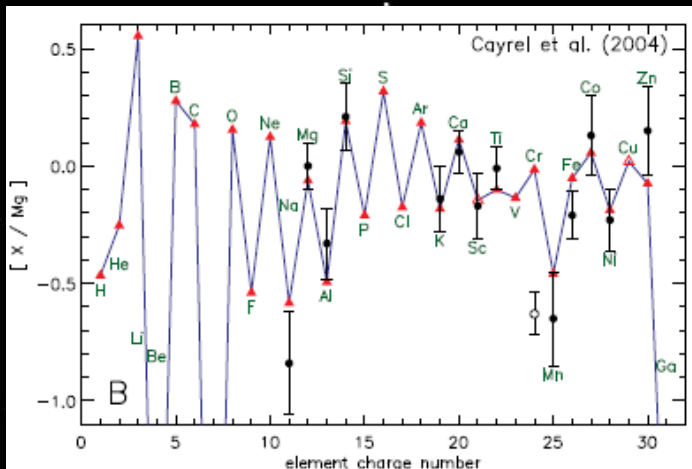
宇宙空間に
放出される

EMPの起源は
HN?

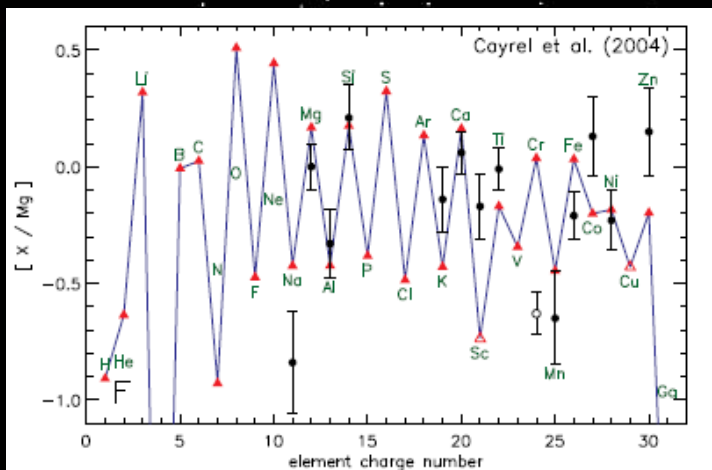
0. Intro

反対意見

11-15太陽質量 $E=0.9 \times 10^{51} \text{erg} \times (M/20M_{\text{solar}})^{-1}$



10-100太陽質量 $E=1.8 \times 10^{51} \text{erg} \times (M/20M_{\text{solar}})$

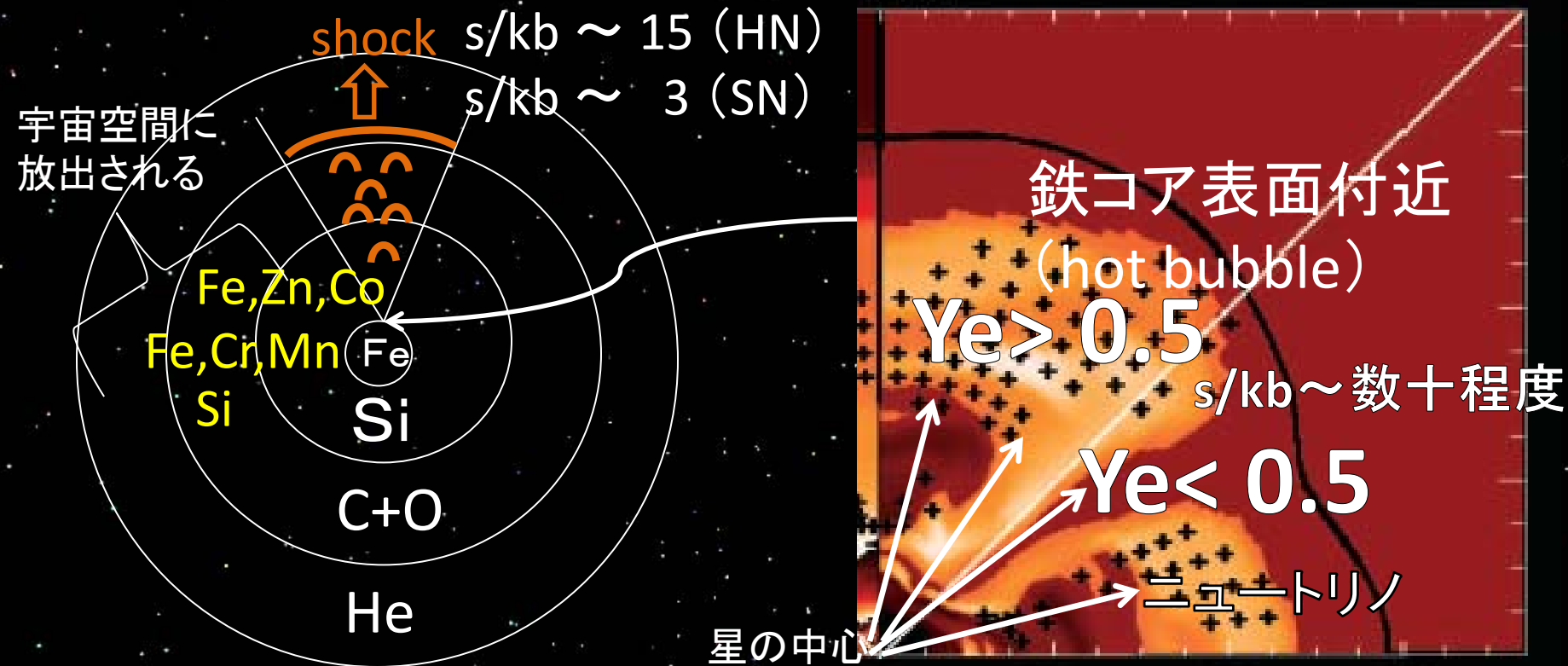


低質量(11-15太陽質量)で通常の爆発エネルギー、大質量でより小さい爆発エネルギーとしたモデルの方が、HNを含めたモデルよりもEMP星にフィットする結果を得た。
→EMP星はHN起源ではない。Normal SN起源である。(Heger & Woosley arxiv 2008)

Fittingの仕方がよくない？
ような気がします。

Znはbest fitting modelでも不足しているが、不足分はhot bubbleで補えるとしている。

0. Intro 超新星爆発の鉄コア表面付近 (hot bubble)



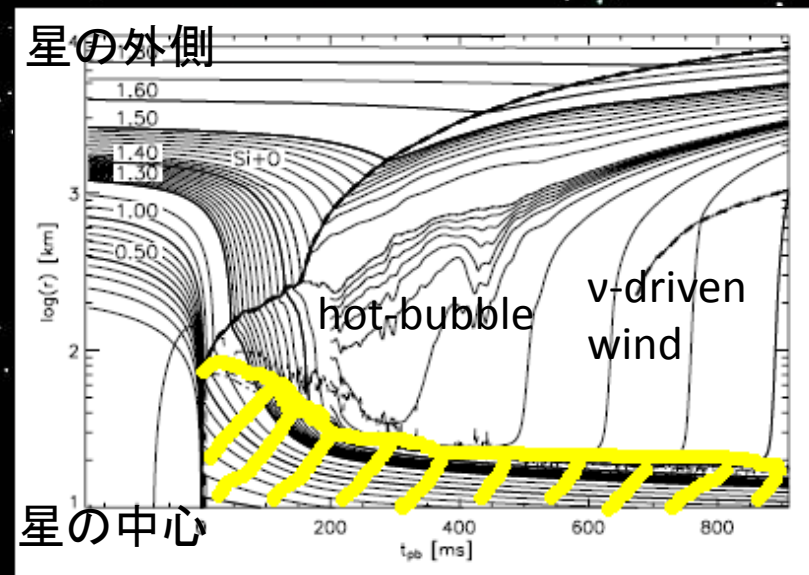
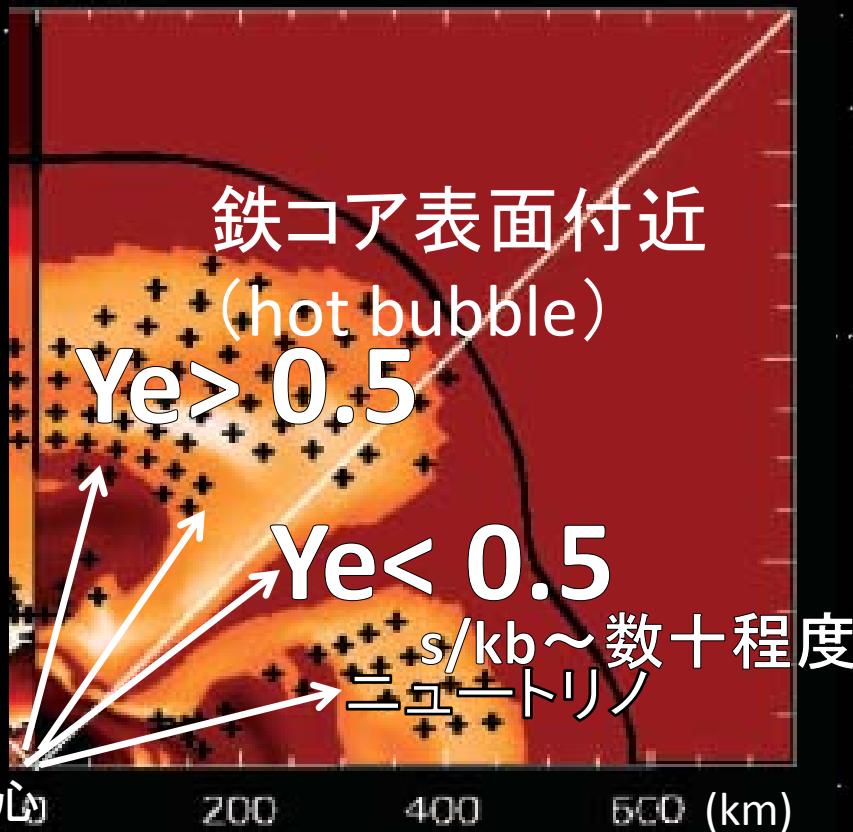
中性子過剰 ($Ye < 0.5$), 陽子過剰 ($Ye > 0.5$), 高エントロピー ($s/kb \sim$ 数十), ニュートリノ反応, 多次元シミュレーション (Janka et al. '03)

→ 多様な元素合成の可能性

→ これらの寄与も考慮し、EMPと比較する必要!

0. Intro

超新星爆発中心部の元素合成



コアバウンス後の時間(ms)

多次元シミュレーション

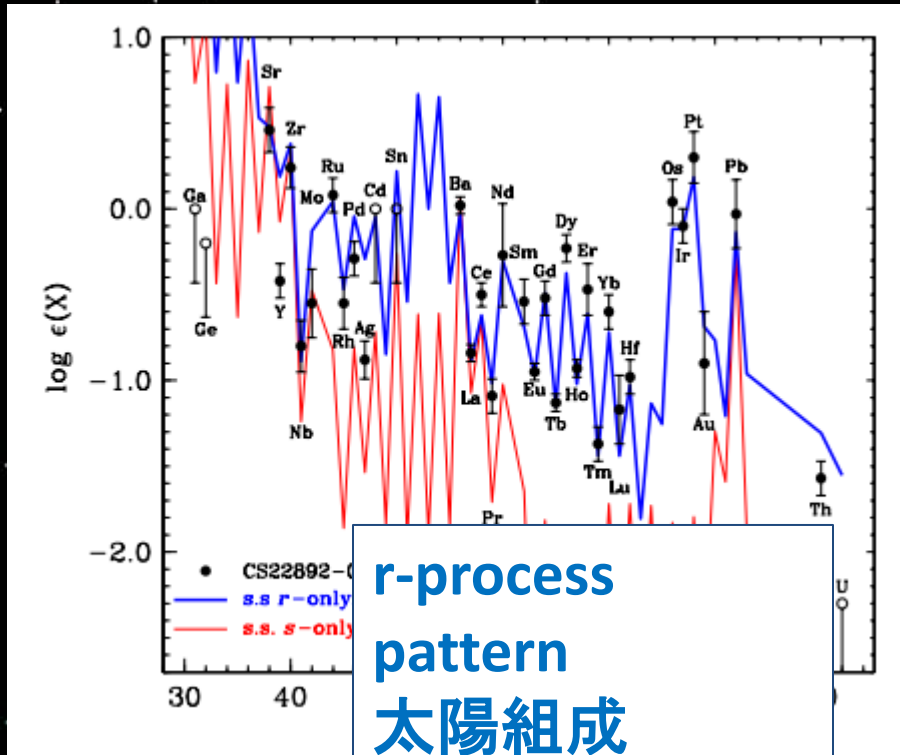
(Janka et al. '03)

Zn以降の重元素合成のサイトと考えられている。

超金属欠乏星の重元素分布 → 超新星中心部解明

0. Intro

重元素合成プロセス(r-process)



- * EMPの重元素パターン
 - s.s.r-process patternと重元素が一致しているもの
 - 軽めの元素が多いもの

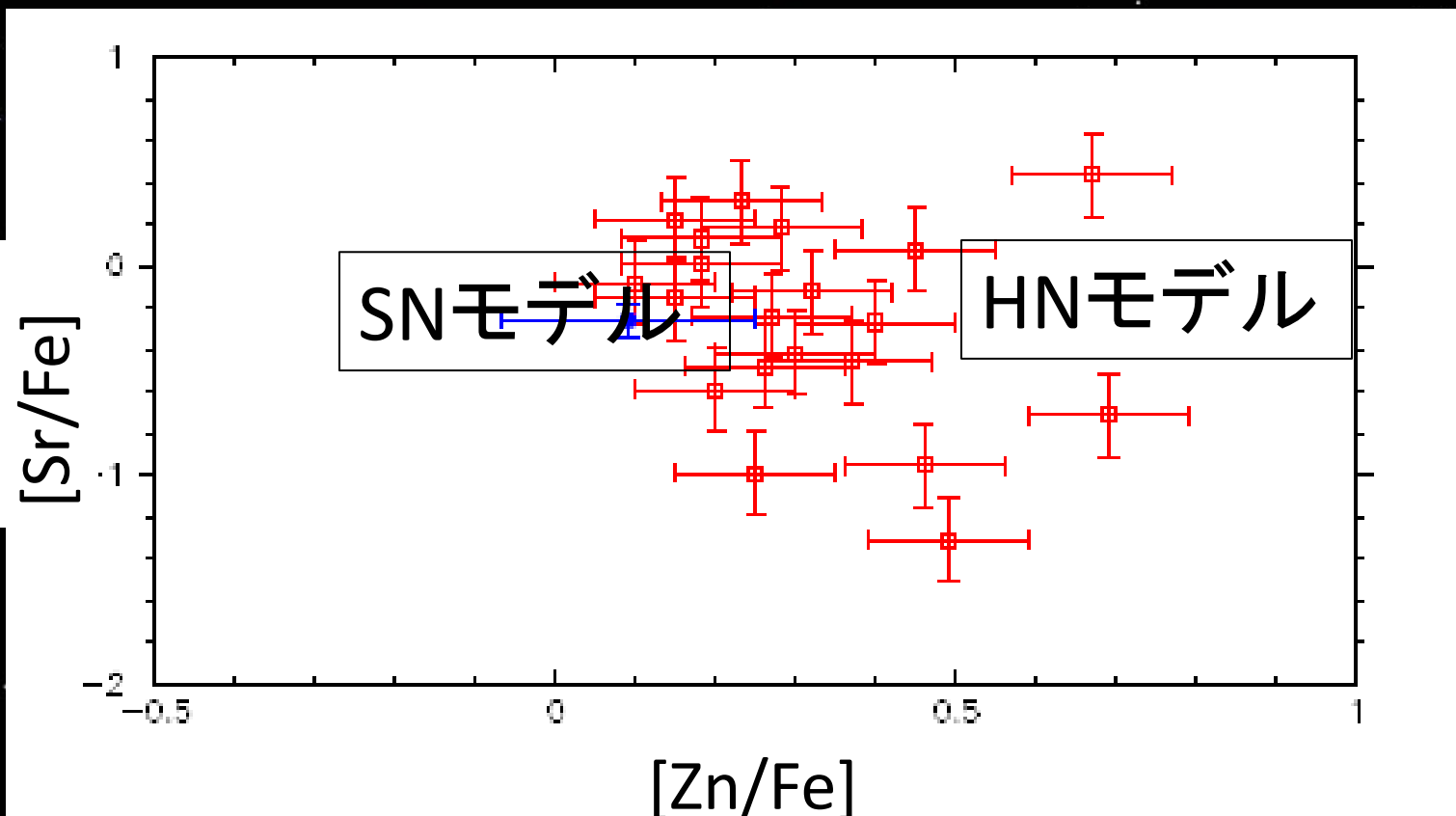
- * 銀河化学進化(Travaglio+'04)
 - Solar Srの8%, solar Y 18%
 - 普通のr-process(main r-process)では不足。

- r-processには少なくとも二つのcomponentがある。
 - main r-process (SN v-driven wind × ?)
 - weak r-process (SN中心部のサイトと予想。生成条件からSNメカニズムを探る。)

0. Intro

weak r-process starの観測値

weak r-process starの $[Sr/Fe]$ vs. $[Zn/Fe]$

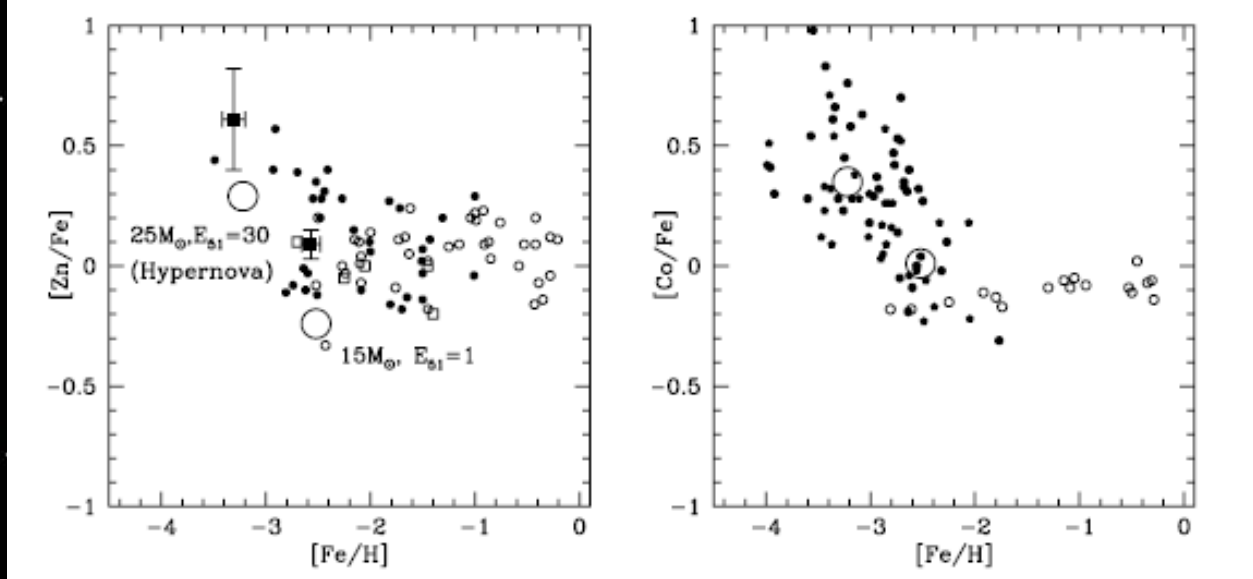


Weak rはnormal SN起源っぽい
normal SNで必要な条件は？

I . Nucleosynthesis in High-Entropy Hot-Bubbles

I . Fe-peak

Remind



EMP の Zn/Fe , Co/Fe 大は本当にHN?

hot bubbleの寄与も考慮するとnormal SNで再現可能。

(Heger & Woosley 2009)

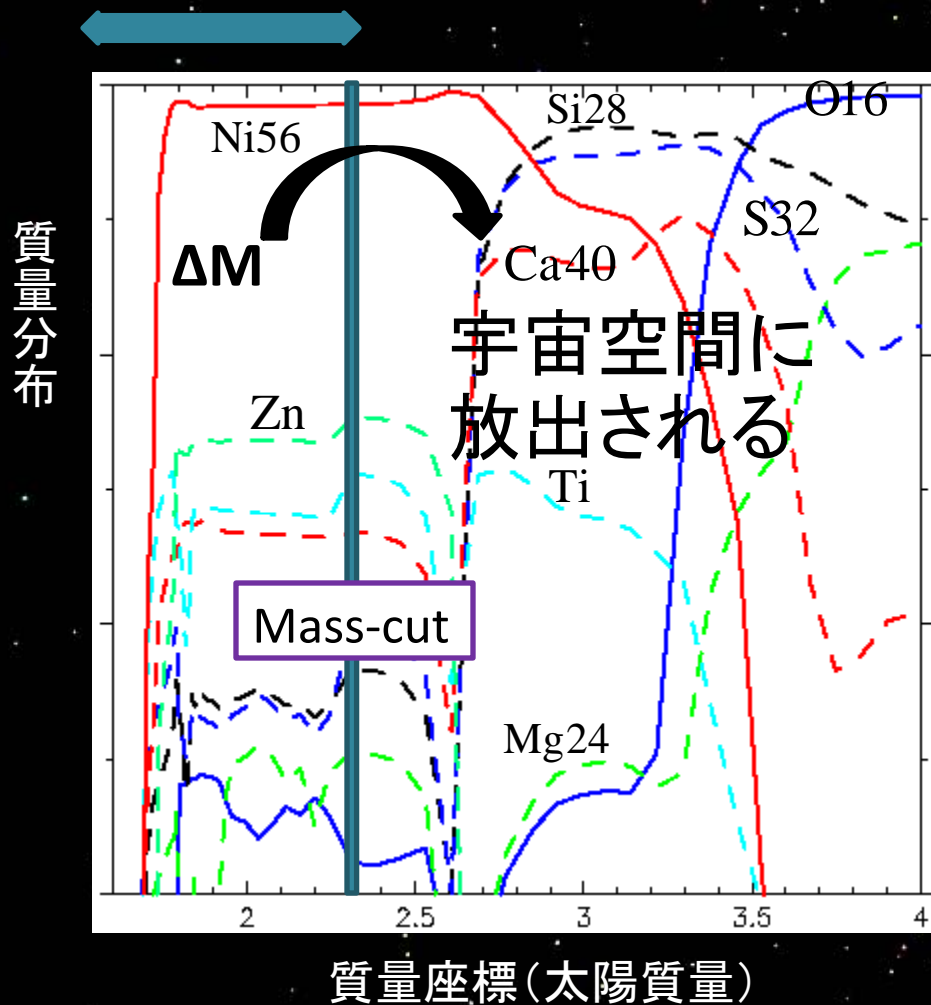
EMPのnormal SNによる再現の可能性を考察する。

I .Fe-peak

計算手法

$Y_e=0.45, 0.46, 0.47, \dots, 0.50,$
 $0.51, 0.52 \dots 0.55$

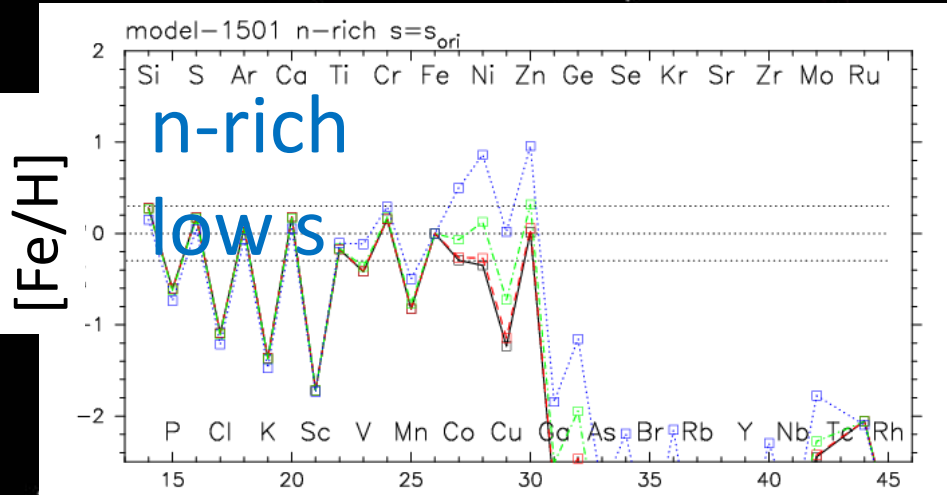
[鉄コア付近のhot bubble成分]
▪ mass-cutの内側→高エントロピー



- 中性子過剰
($Y_e=0.45-0.50$)→組成を平均
 - 陽子過剰
($Y_e=0.51-0.55$)→組成を平均
- (・ニュートリノ反応)

mass-cutの内側より
 ΔM の質量放出
→放出物質の元素分布への
影響

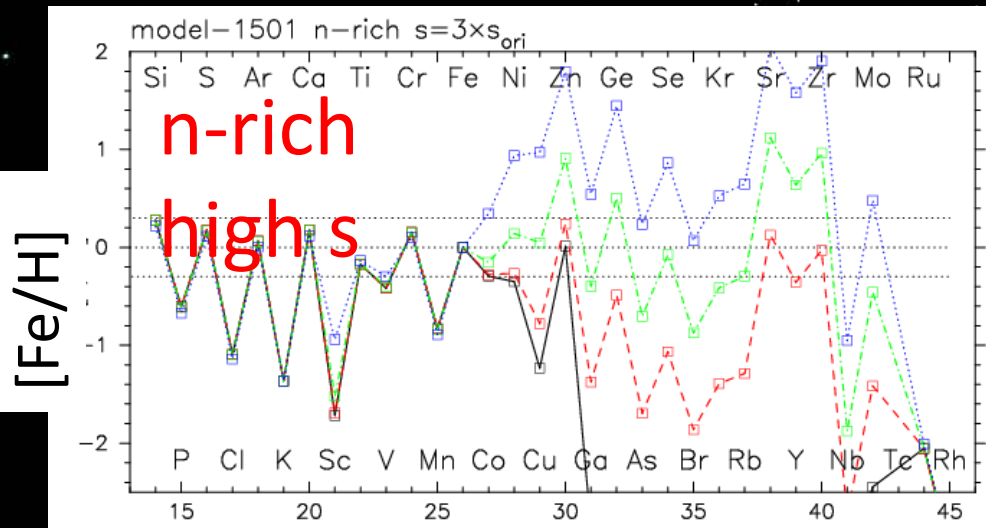
I . Fe-peak total ejecta (SN + neutron-rich hot bubbles)



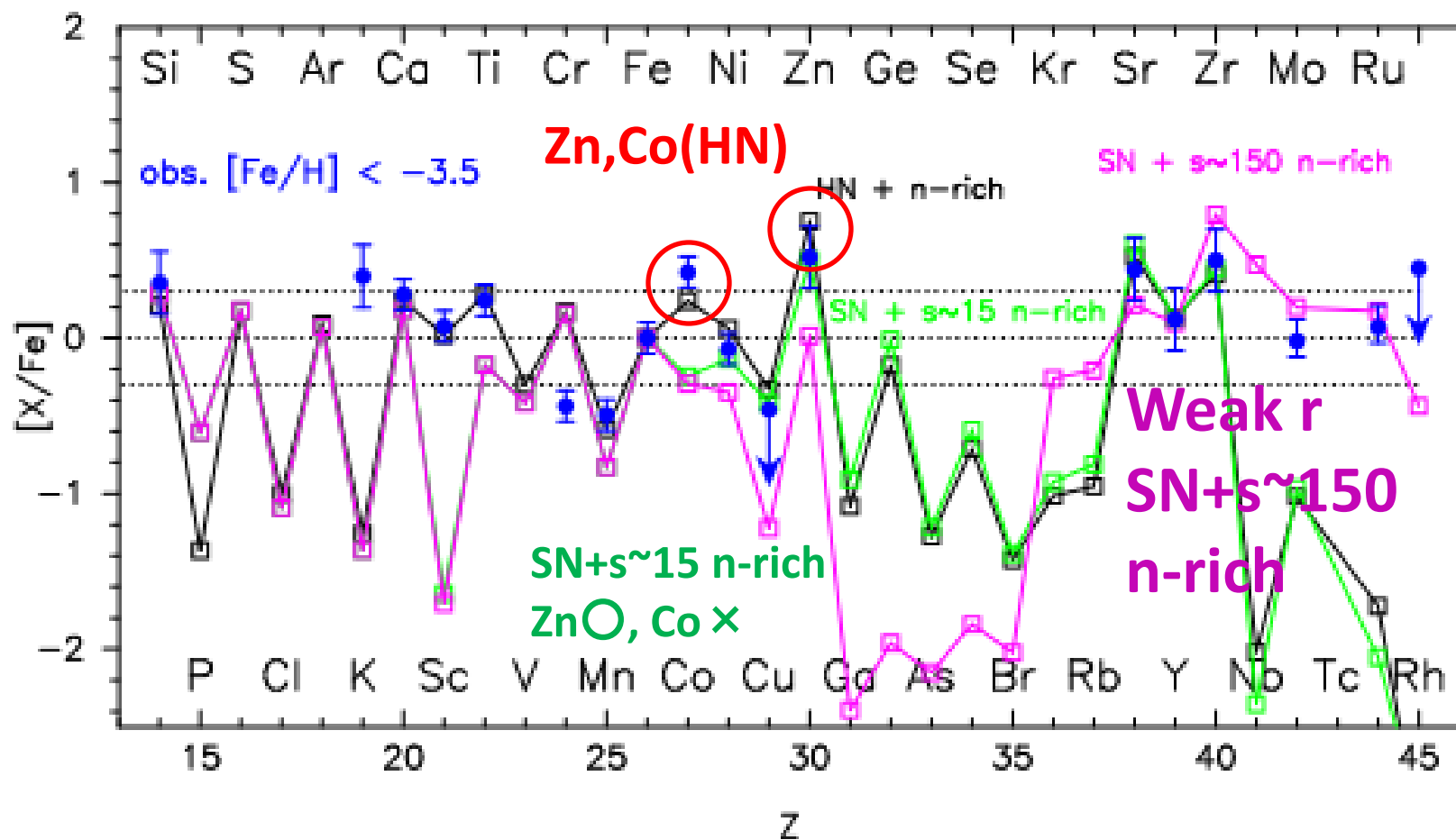
各元素

今回の計算結果より、

▪neutron-rich : Co, Zn
合成される。

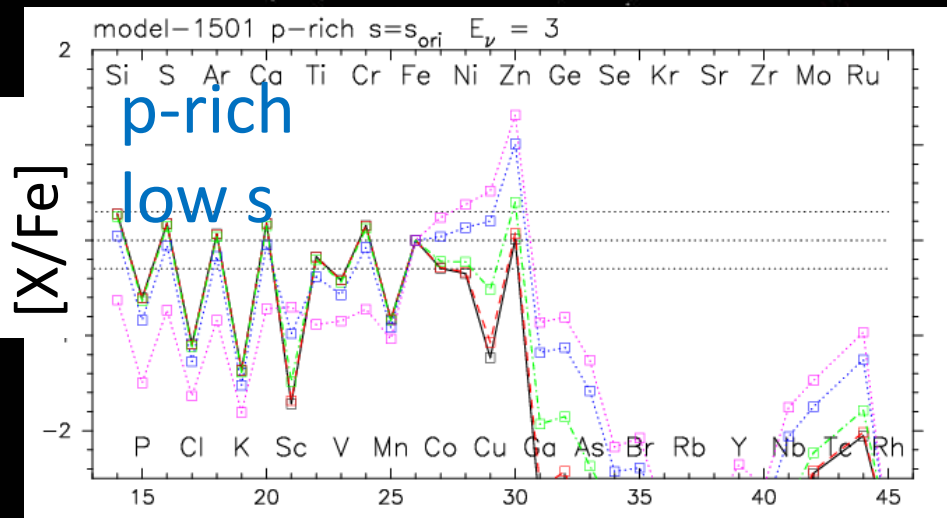


I . Fe-peak total ejecta (SN + neutron-rich hot bubbles)



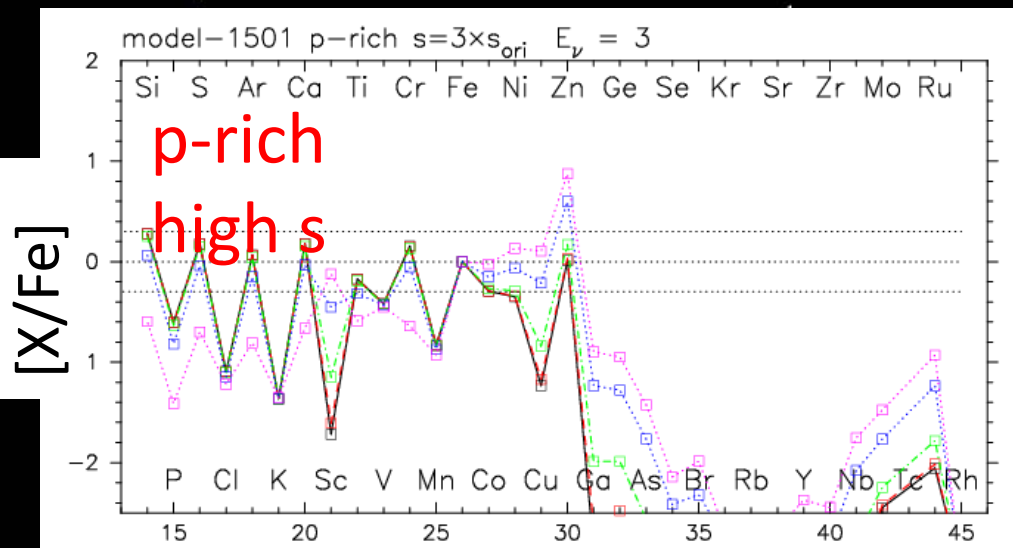
I . Fe-peak

total ejecta (SN +proton-rich hot bubbles)



原子番号

proton-rich :
low sである程度Co, Znが
合成される。
High sでは合成されない。

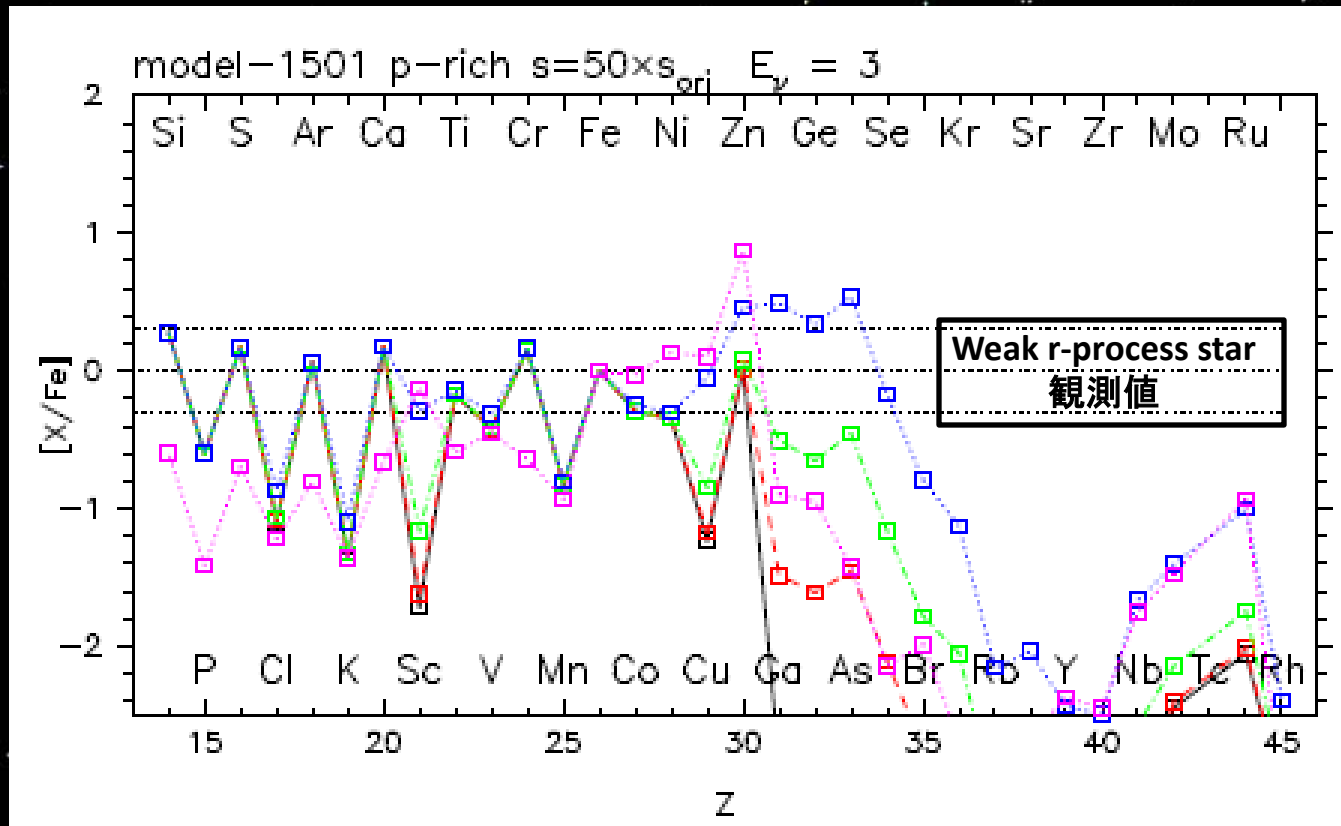


原子番号

III. wr

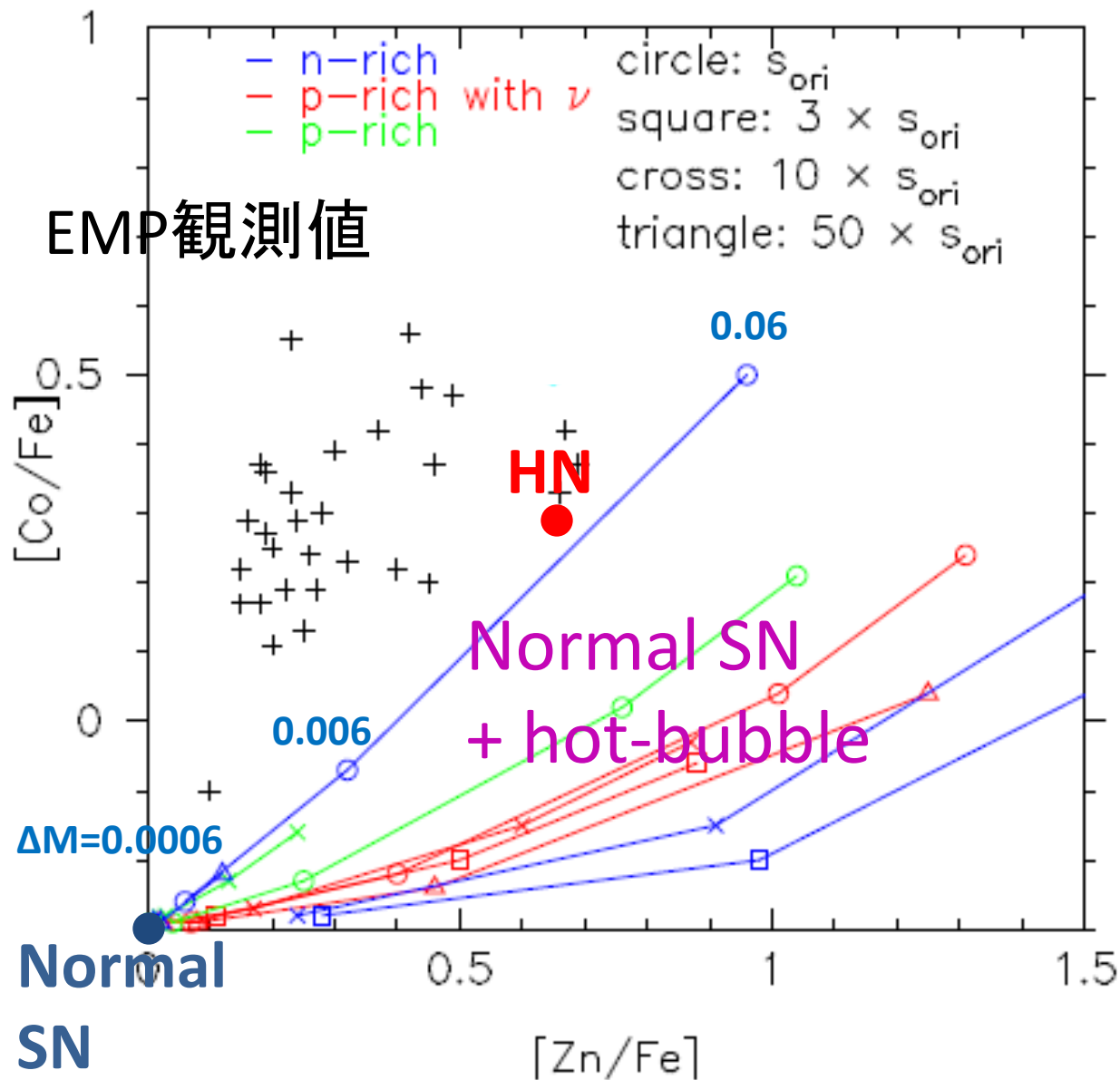
proton-rich (全放出物質)

normal SN + hot bubble $s/kb \sim 150$



陽子過剰環境ではweak r-elementは
できなかった。

[Zn/Fe] vs [Co/Fe] (HN, SN+hot bubbles)

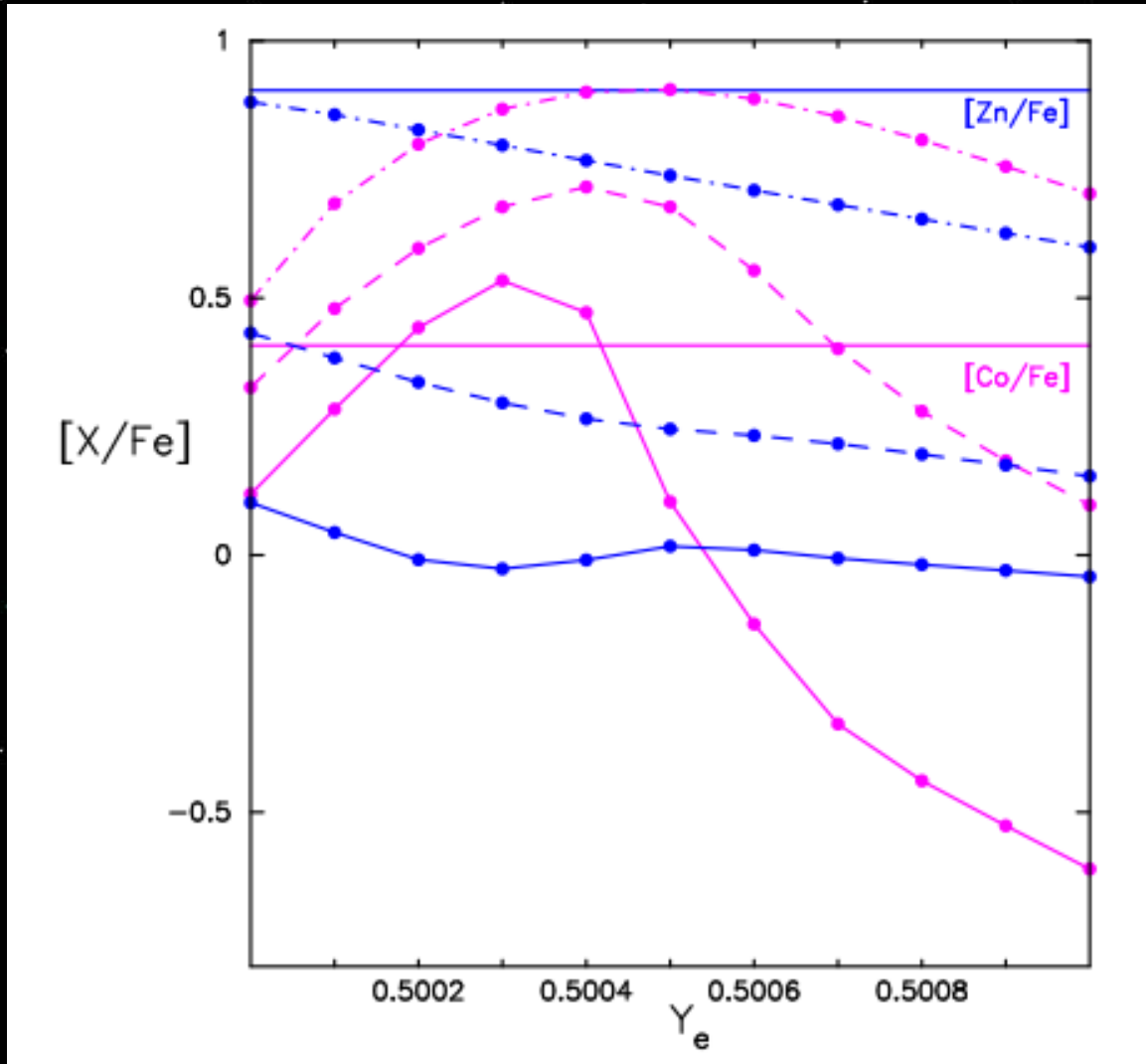


今回計算した中では
normal SN
+n-rich low s が一番
EMPに近いZn/Co
(Coは不足しがち
だが)

(Zn/Fe \sim 0.7程度だと
OKかも)

(HNについてもCoは
少し改善する必要。)

I . Fe-peak “little” proton-rich matter

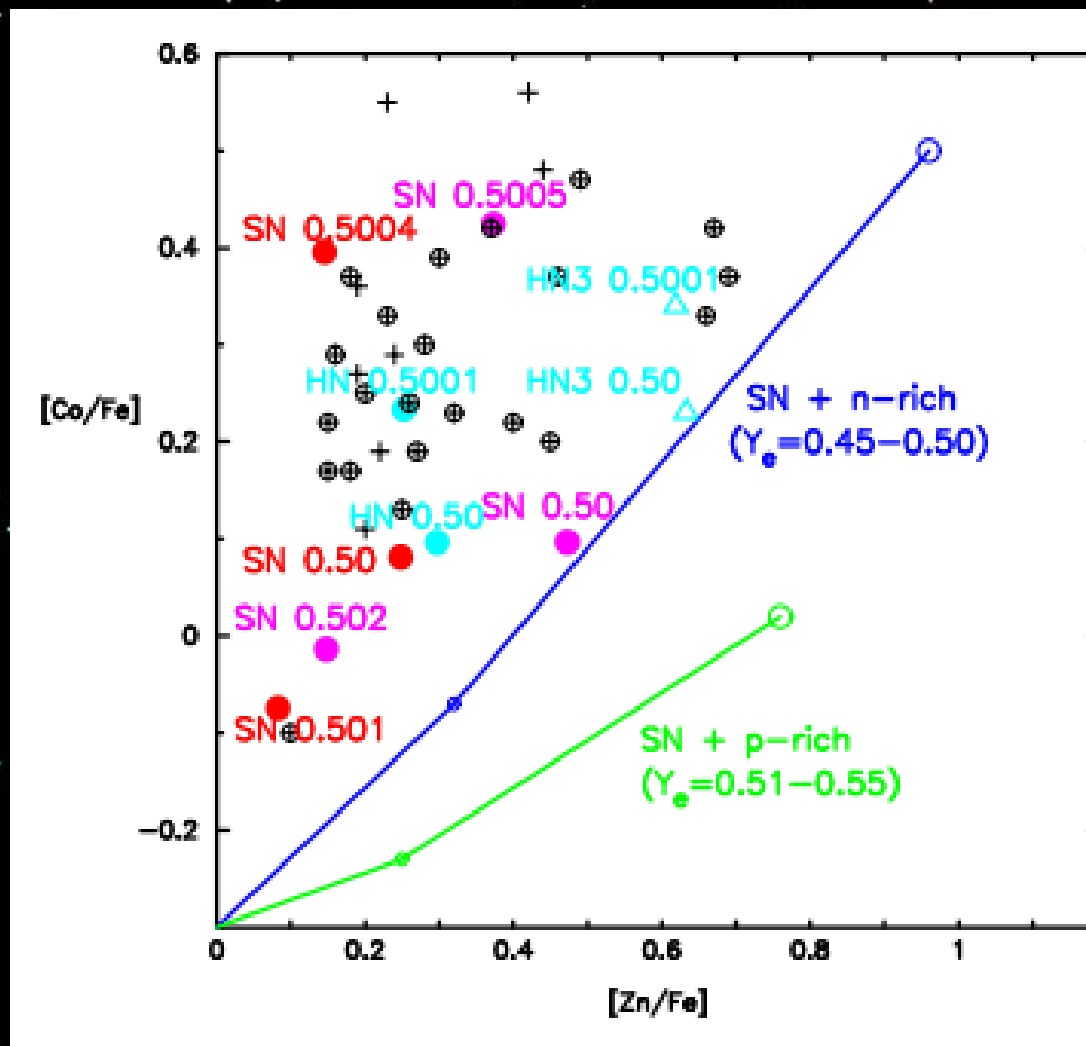


[Co/Fe]が大きくなるパラメータが存在する。

* Zn
・Entropy 依存性
high s で増加
・ Y_e 依存性
 Y_e 高で減少

* Co
・Entropy 依存性
High s で増加
Peak が高い Y_e に
・ Y_e 依存性
増加 → 減少

I . Fe-peak [Zn/Fe] vs [Co/Fe] (HN, SN+hot bubbles)



- $0.50 < Y_e < 0.501$
- S ~ 15-40
- 0.06 Msolar 程度
放出する必要。
(Ye dependence
S dependence)
(Ni overproduce
はなし)
- HN-Ye0.5001
改善

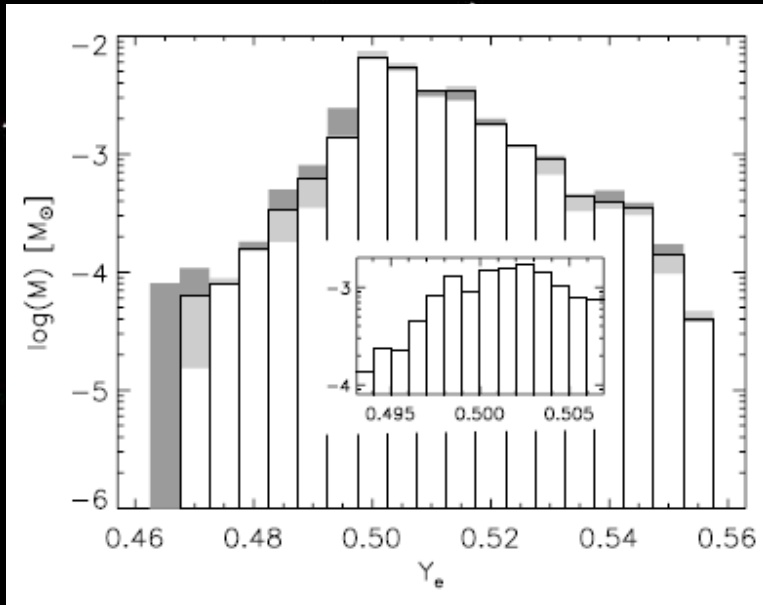
Izutani+
ApJL, Submitted

I . Fe-peak

Discussion

normal SN $0.50 < Y_e < 0.501$ 0.06 Msolarの可能性

① シミュレーションとの整合性



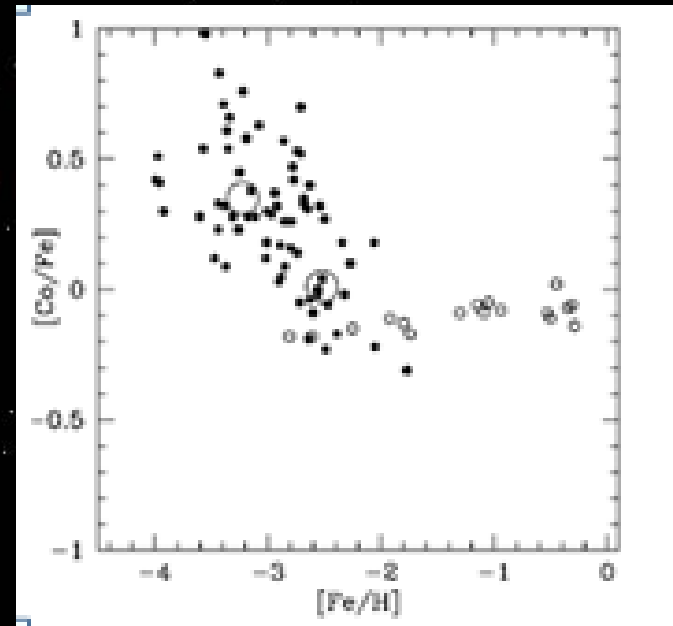
(Janka et al. '03)

$Y_e < 0.47$ $1E-4 < M_{\text{solar}}$

$Y_e \leq 0.50$ $6E-3 M_{\text{solar}}$

$Y_e > 0.50$ $0.03 M_{\text{solar}}$

② VMPの説明ができない



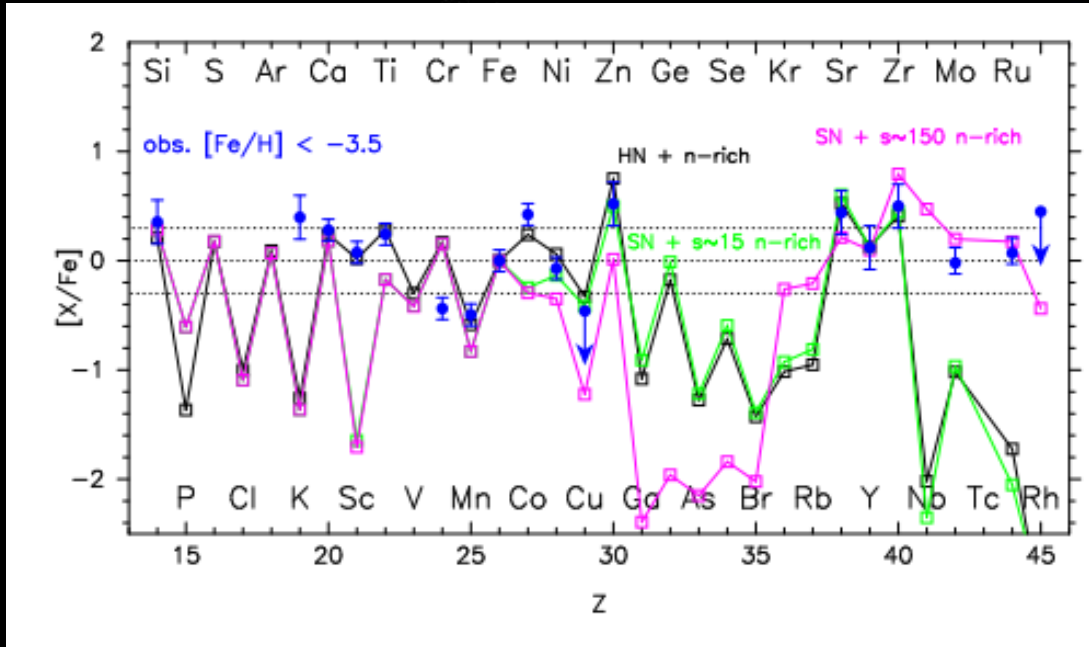
このあたりの $[\text{Fe}/\text{H}]$
II型の影響しか受けていないと考えられる。
($[\alpha/\text{Fe}]$ の観測より)
 $[\text{Co}/\text{Fe}] \sim 0$ at $[\text{Fe}/\text{H}] \sim -2.5$ が説明できない。

I . Fe-peak

Discussion

normal SN $0.50 < Y_e < 0.501$ 0.06Msolarの可能性

③ weak r-process element (Sr-Zr, Mo-Rh)との兼ね合い



Sr-Zr rich weak r-process starが
多数の場合、 $s/kb \sim 15$ n-richで
できる(hot-bubble)。
→ $0.50 < Y_e < 0.501$ $s/kb \sim 15-40$
0.06Msolarは難しい。

Mo-Rh richが多数だと
 $s/kb \sim 150$ n-rich
(v-driven wind?)
あり得ないとも言い切れない
が、