

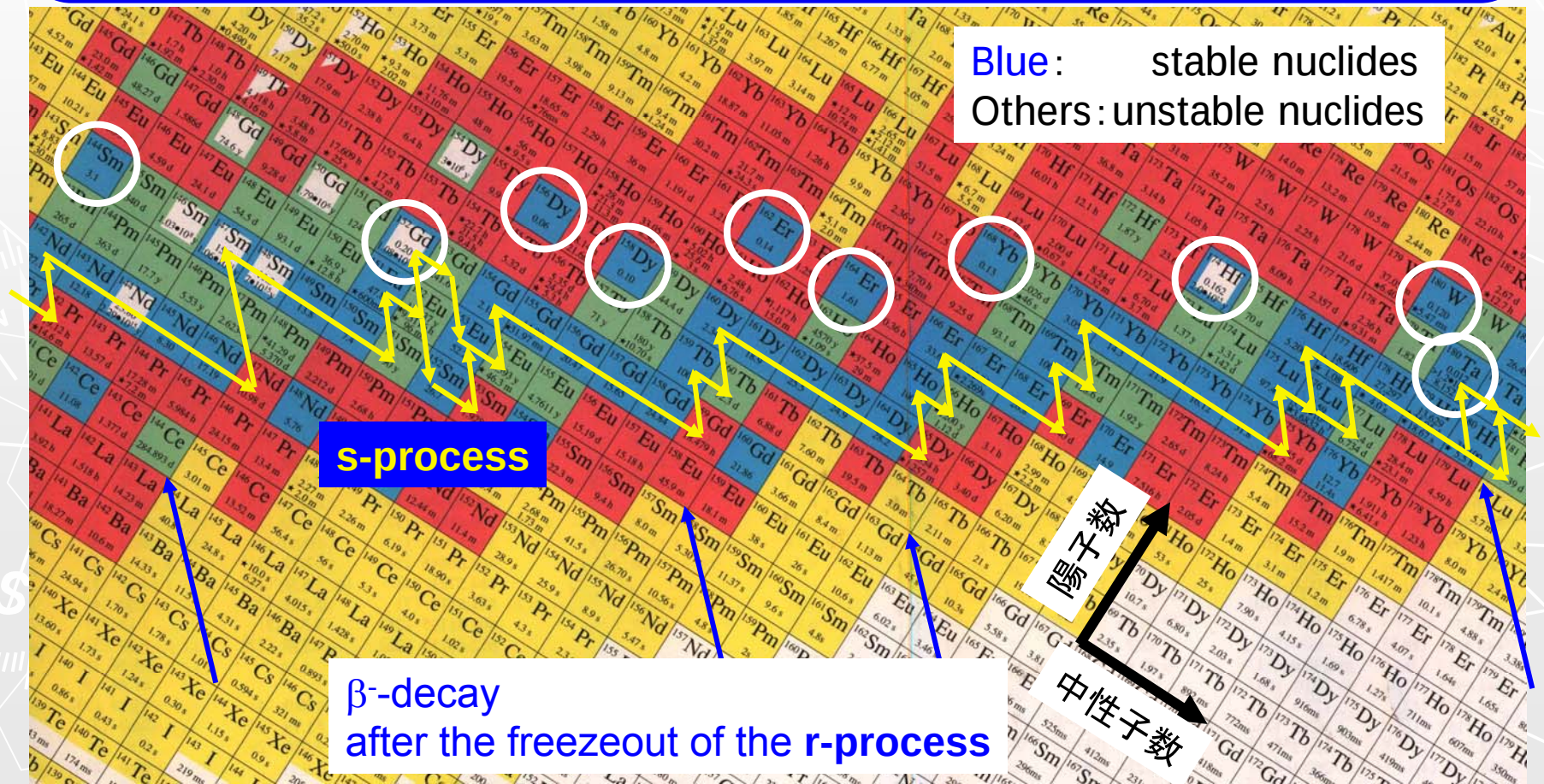
超新星爆発におけるp核の合成 ～重力崩壊型超新星の場合～

岩本 信之

(日本原子力研究開発機構・
核データ評価研究Gr.)

p-Nuclei

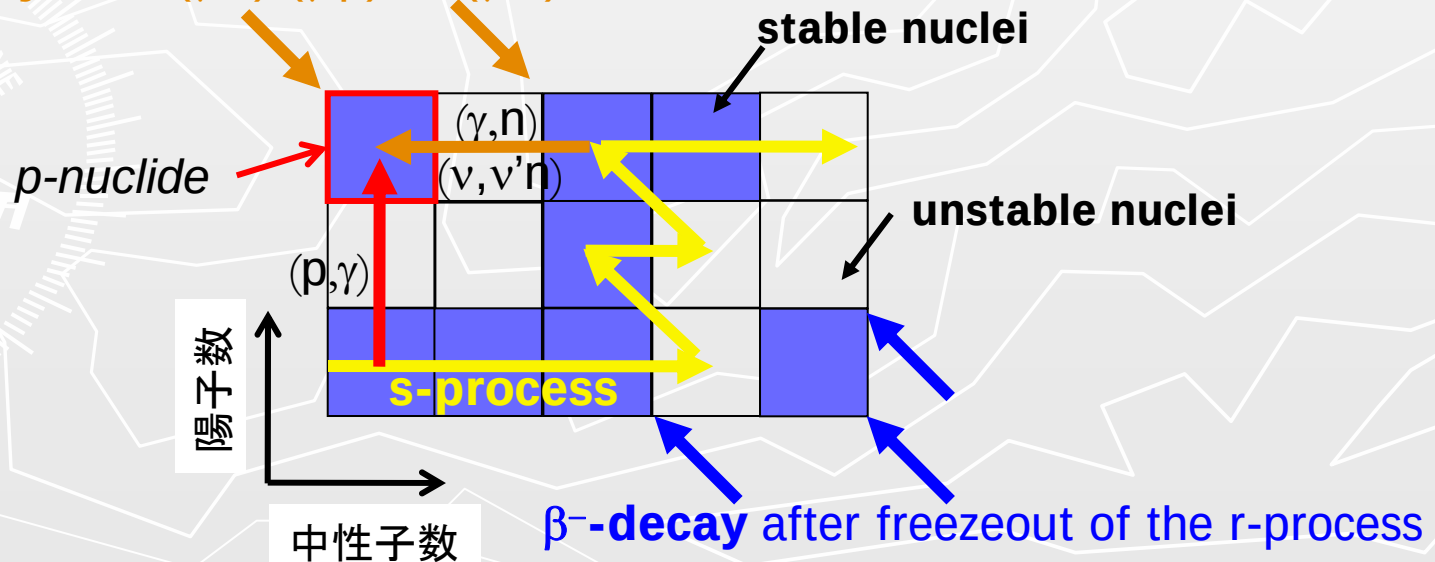
- ▶ Stable, proton-rich, **rare** isotopes of elements
- ▶ 1-0.1% (with increasing Z) of the bulk elemental abundances
- ▶ 35 p-nuclei (atomic number $Z \geq 34$)
- ▶ Difficult to produce p-nuclei by **neutron capture reactions** (bypassed by s- and r-processes.)
- ▶ **Only identified in the solar system** (incl. presolar grain)



p-Process

- ▶ Process to synthesize the p-nuclei
- ▶ Proton captures, photodisintegrations $[(\gamma,n), (\gamma,p) \text{ and } (\gamma,\alpha)]$, and ν induced reactions on pre-existing seed nuclei (s- and r-isotopes)
 - photodisintegration-dominated process:
 - ➡ **γ -process** (Woosley & Howard 1978)
 - neutrino spallation reaction-dominated process:
 - ➡ **ν -process** (Woosley et al. 1990)
- ▶ Neutrino-driven wind with proton excess:
 - ➡ **νp -process** (Fröhlich et al. 2006, Pruet et al. 2006)

β^+ -decay after $(\gamma,n), (\gamma,p)$, & (γ,α) reactions



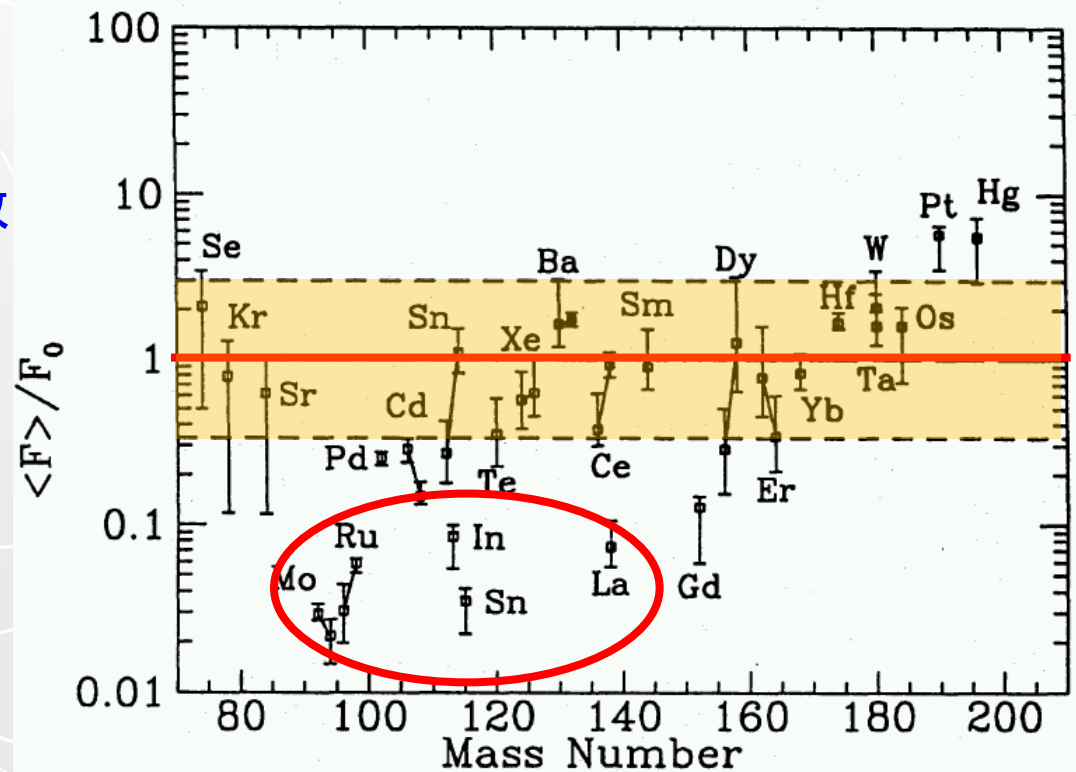
Motivation

▶ p-nuclei の起源?

- 重力崩壊型超新星爆発におけるp-processでは、Mo, Ru, In, La が **underproduction** である (Rayet et al. 1990,1995; Prantzos et al. 1990)。
- 総量の比較では(p-nuclei-yield/oxygen-yield)の太陽組成との比は**1/4**になり、p-nucleiは酸素に比べて少なすぎる (Rayet et al. 1995)。

太陽系組成分布を再現できるか？

- すべてのp核で、 $\langle F \rangle / F_0 = 1$ になれば、太陽系組成分布と一致



(Rayet et al. 1995)

Initial Models and Assumptions

▶ 初期モデル

■ 質量

- ▶ 15, 25 & 40 $M_{\odot}$

■ 金属量

- ▶ $Z=Z_{\odot}$ ($[\text{Fe}/\text{H}]=0$)
- ▶ $Z=0.05Z_{\odot}$ ($[\text{Fe}/\text{H}]=-1.3$)

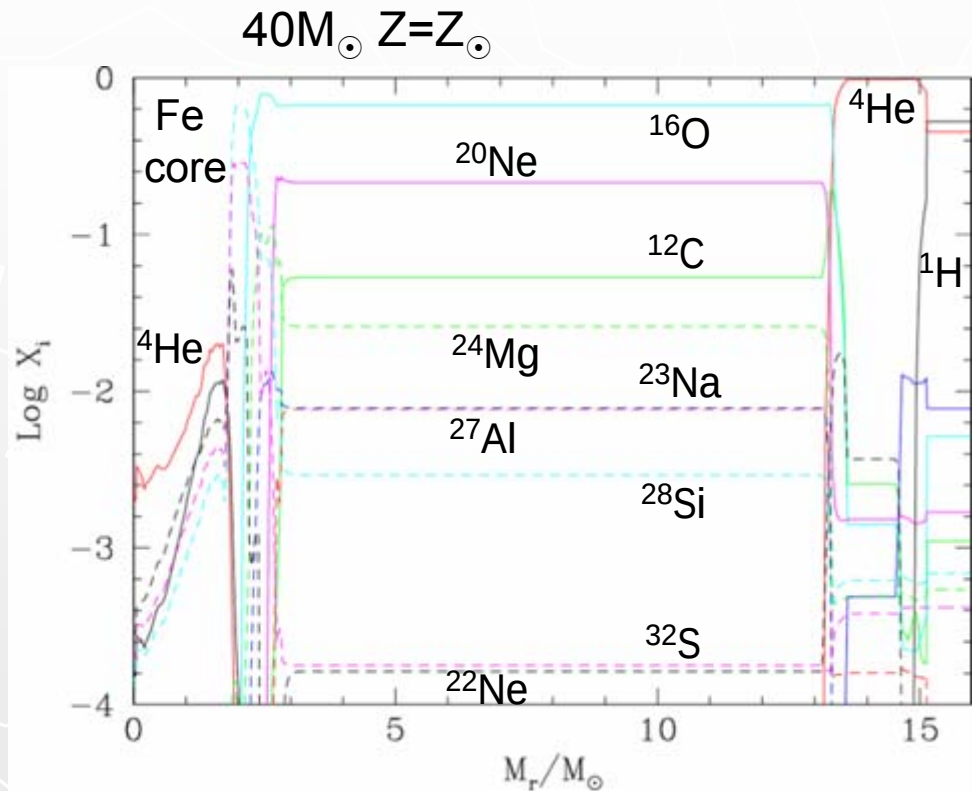
■ ZAMS $\rightarrow$ presupernova

▶ p-processを計算するための初期組成

- $Z \leq 30$ presupernovaモデル
- $Z > 30$ s-process distribution

▶ 爆発エネルギー

- 10^{51} ergs (1 foe)
 - ▶ for 15, 25 & 40 $M_{\odot}$ models
- 20×10^{51} ergs (20 foe)
 - ▶ for 25 & 40 $M_{\odot}$ models



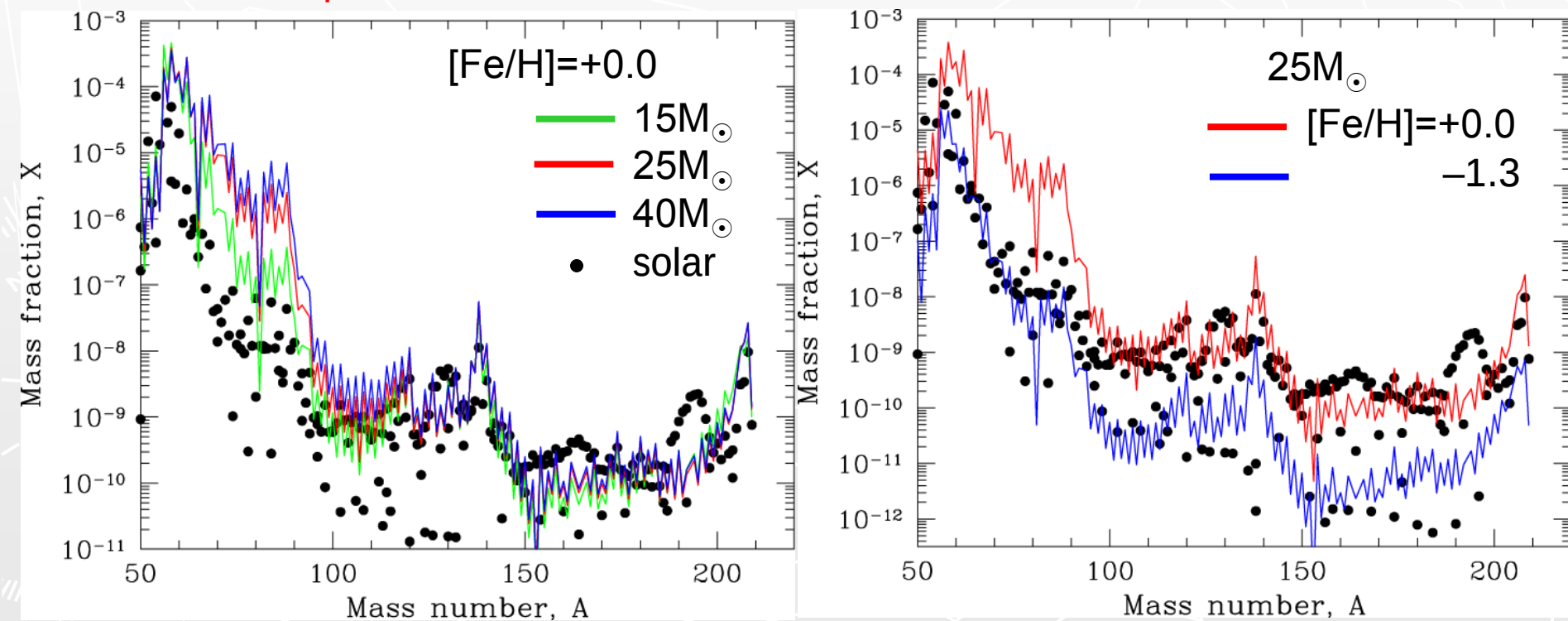
▶ 衝撃波伝播による温度・密度の進化に
基いて元素合成を計算した

Distributions of Initial p-Process Seed Abundance

▶ 中心ヘリウム燃焼段階でのs過程による元素合成

- 炭素殻燃焼段階以降でのs過程による変化は無視
 - ▶ 中性子数密度は高い($10^{11-12}/\text{cc}$)が、中性子照射時間は短い($\sim 1\text{yr}$)

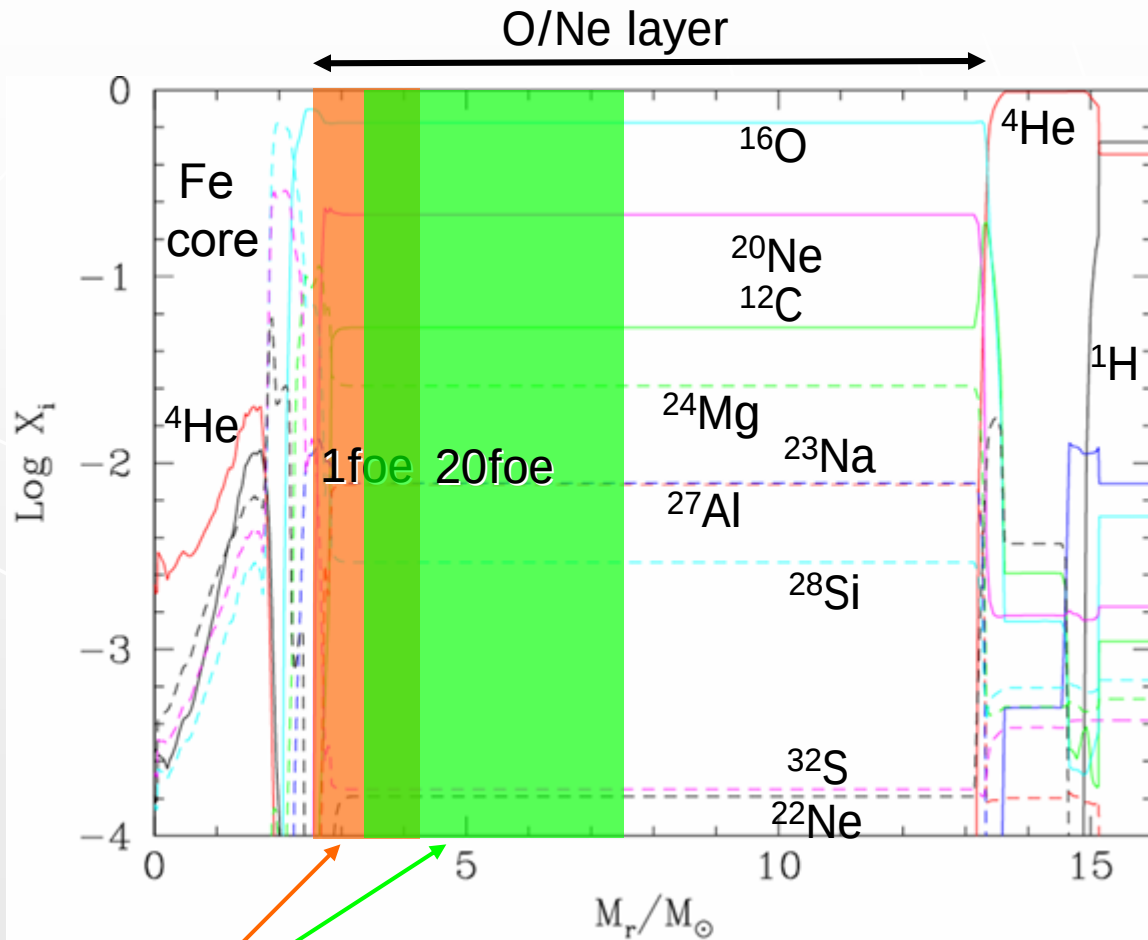
Weak s-process



40M_☉ Z=Z_☉ PreSN モデル

- ▶ 鉄コアが収縮し始め、密度が核密度に達すると収縮が止まる。
- ▶ 落ちてきた物質がコアで跳ね返されて、ショックが形成される。
- ▶ 外層を通過するとき、運動エネルギーが熱エネルギーに変化されて、温度が上昇する。
- ▶ 爆発的な元素合成が起きる。

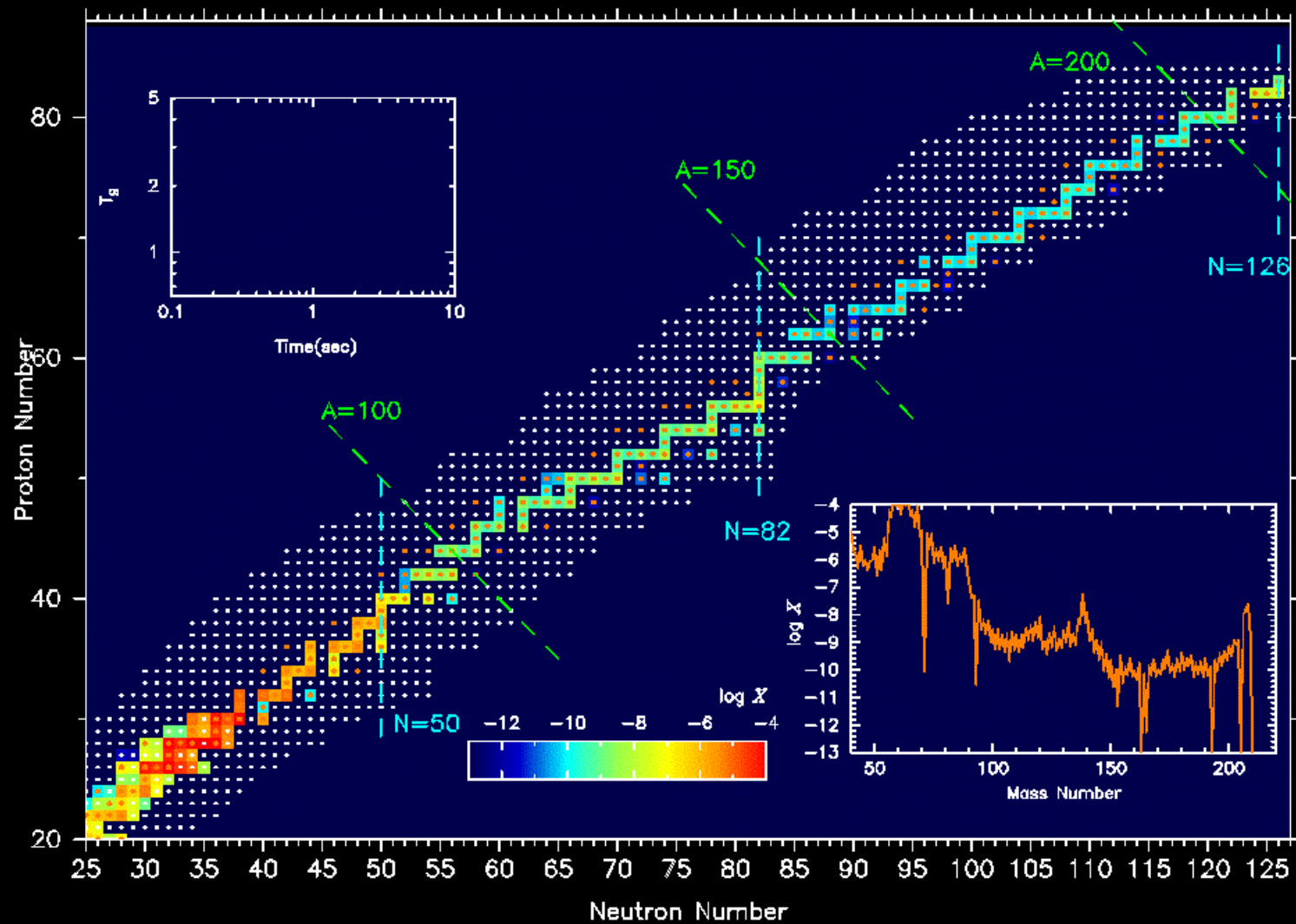
爆発エネルギーが大きいほど、p過程が起きる質量範囲が広くなり、外側へ移動する(密度が低くなる)



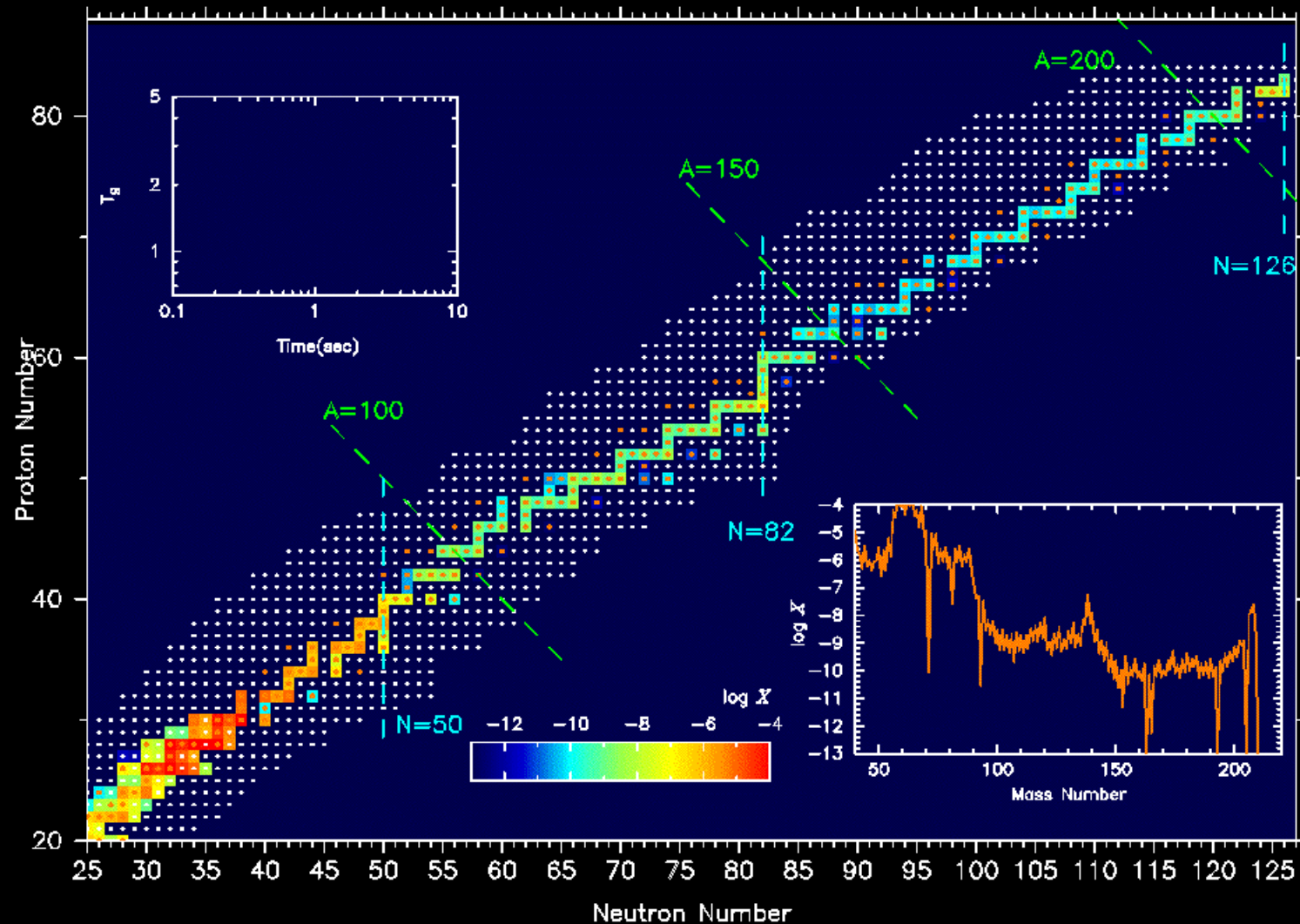
p-process layer (PPL)

衝撃波通過後の温度上昇によりピーク温度が $1.7 < T_9 < 3.3$ になる層

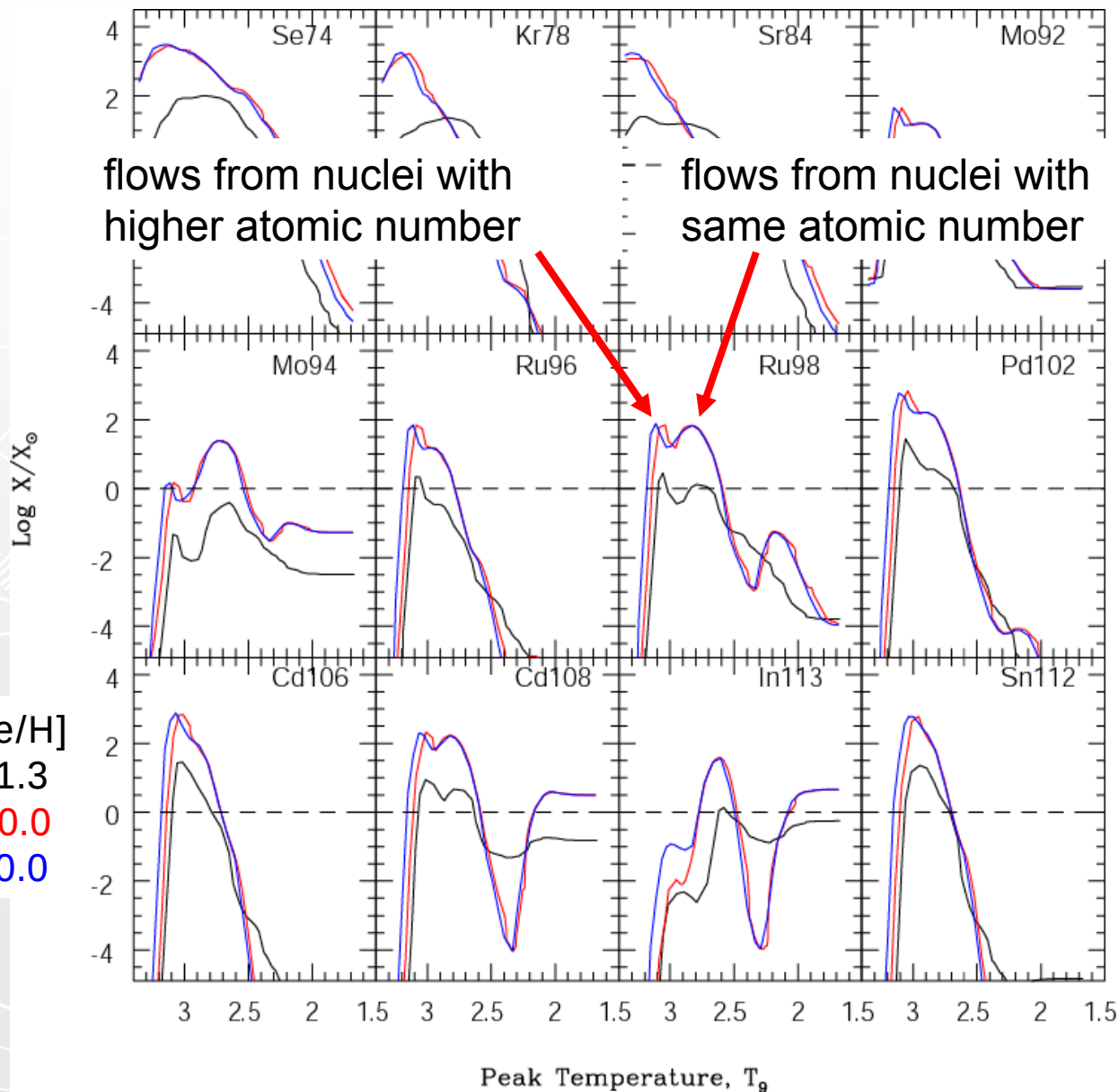
Reaction Flow ($T_{9,p}=3.1$ in the $25M_{\odot}$, 1foe, $Z=Z_{\odot}$ model)



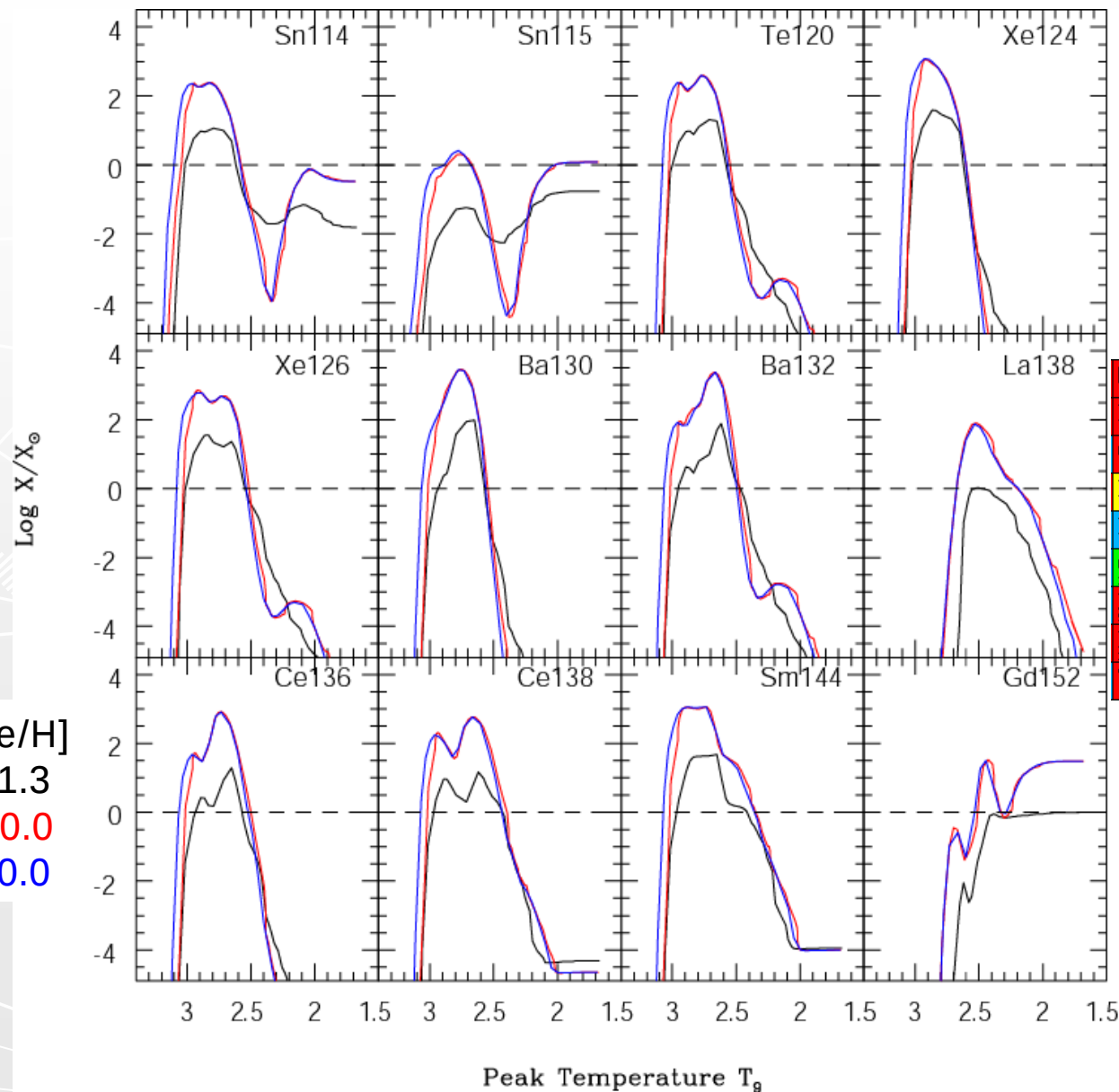
Reaction Flow ($T_{9,p}=2.5$ in the $25M_{\odot}$, 1foe, $Z=Z_{\odot}$ model)



Overproduction factor ^{74}Se - ^{112}Sn

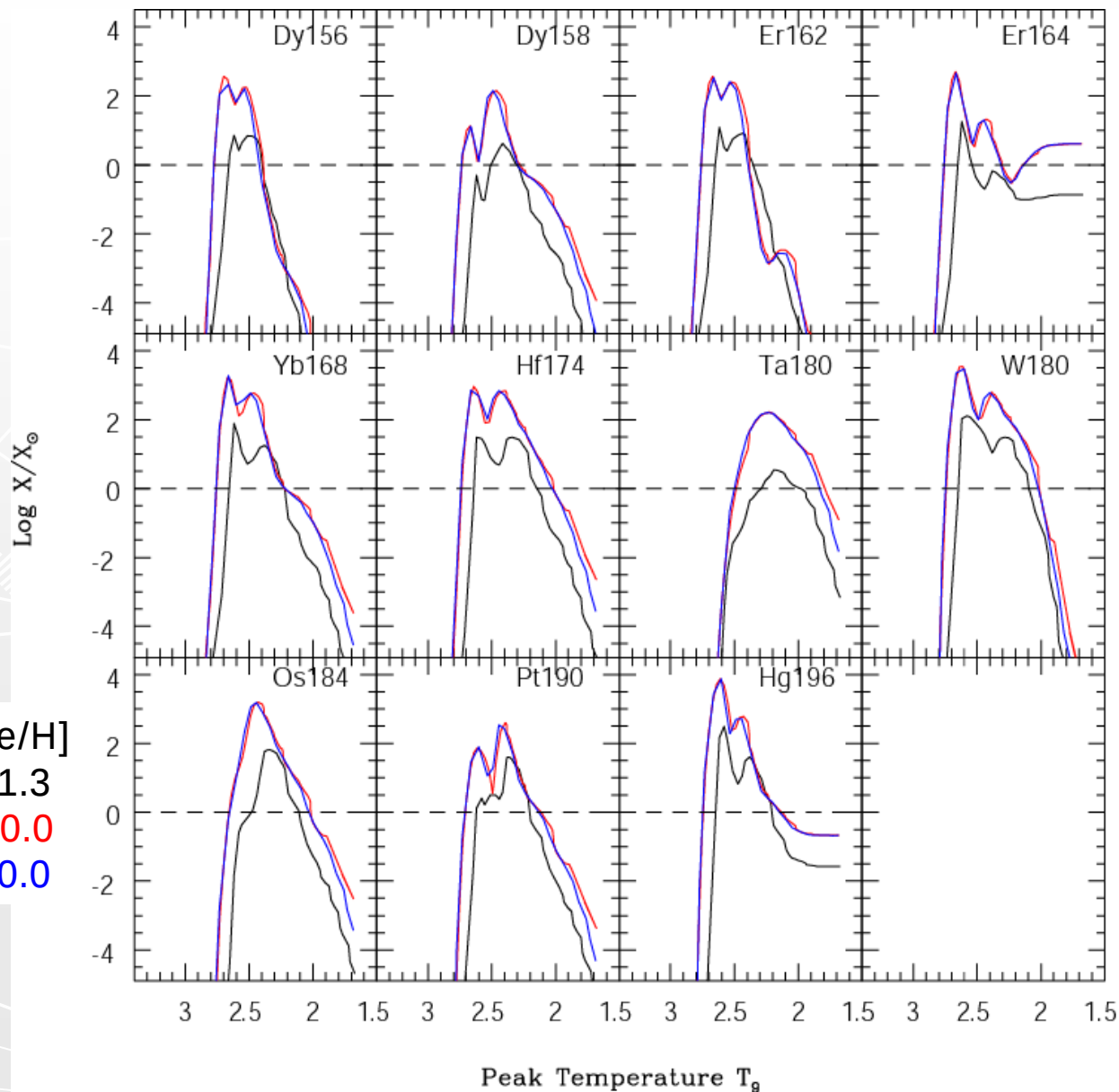


Overproduction factor ^{114}Sn - ^{152}Gd



M/M _⊙	E/10 ⁵¹	[Fe/H]
25	1	-1.3
25	1	0.0
25	20	0.0

Overproduction factor ^{156}Dy - ^{196}Hg



Mean Overproduction Factor

$$\langle F_i \rangle = \frac{1}{M_{PPL}} \int_{PPL} \frac{X_i}{X_{i,\odot}} dM_r$$

X_i mass fraction at each mass shell

$X_i/X_{i,\odot}$... overproduction factor for each nucleus

M_{PPL} total mass of the p-process layer (PPL; $1.7 < T_9 < 3.3$)

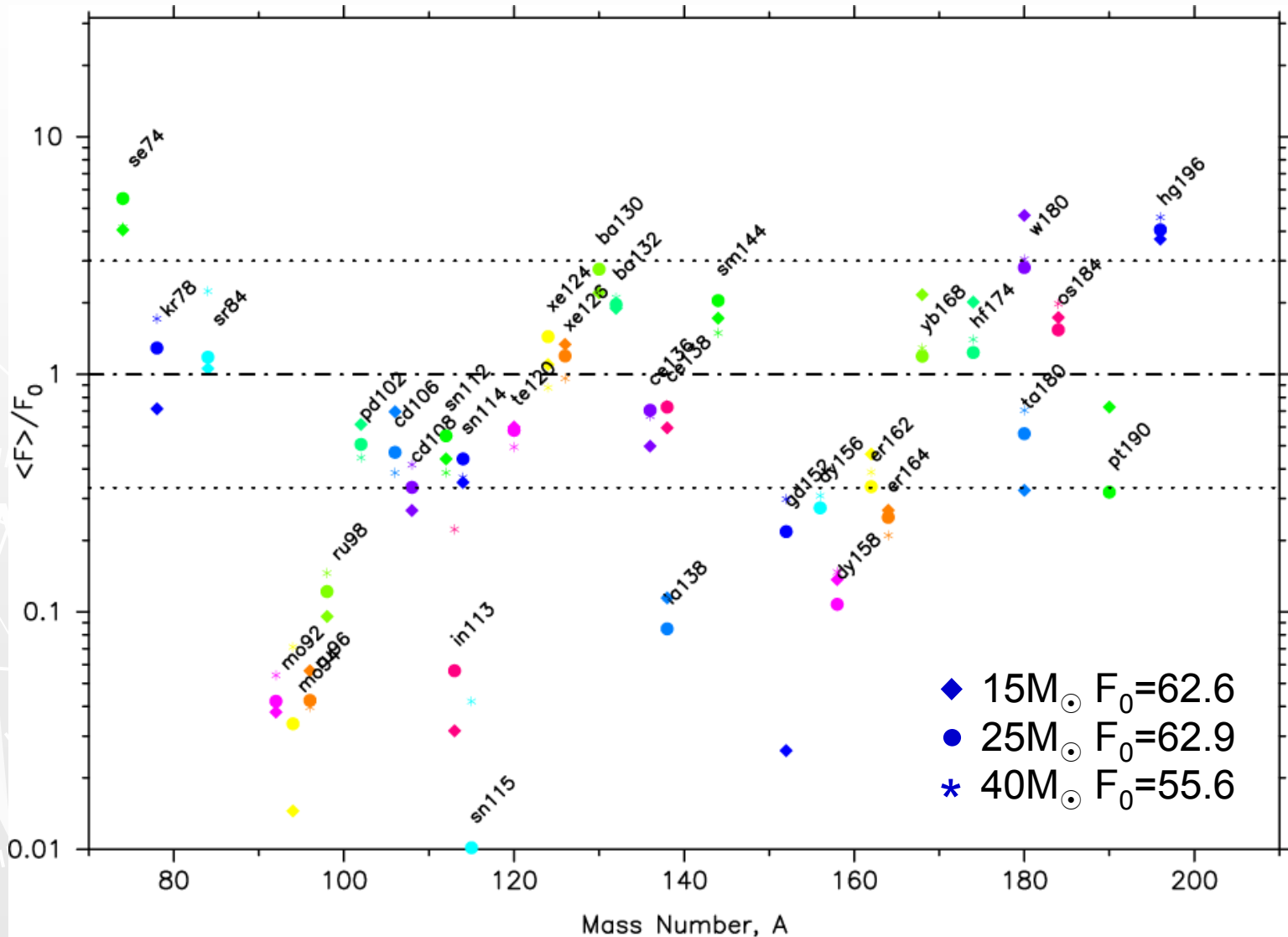
$\langle F_i \rangle$ stands for a degree of enhancements in PPL

overproduction factor averaged over 35 p-nuclei

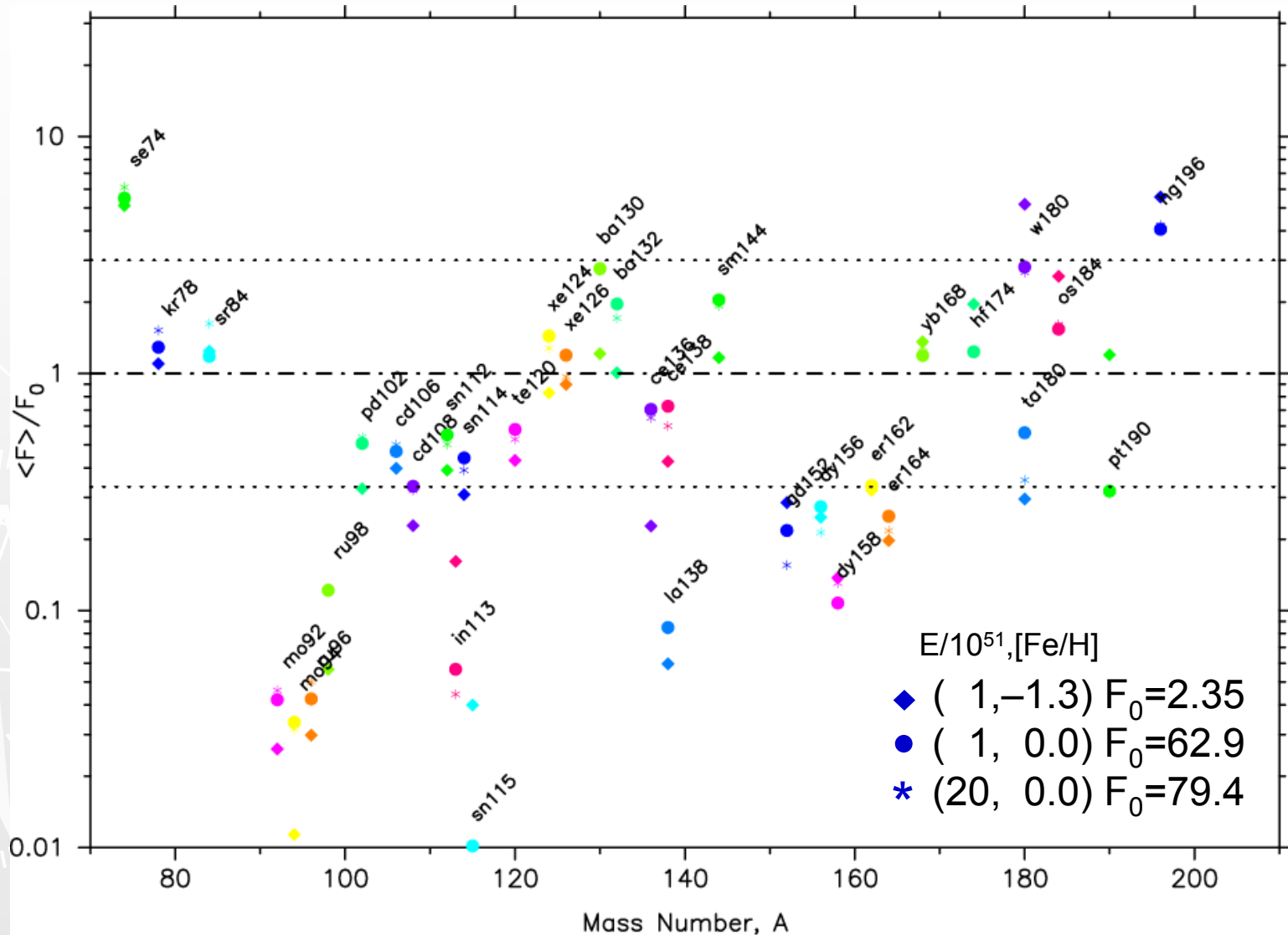
$$F_0 = \sum_i \langle F_i \rangle / 35$$

F_0 stands for an averaged enhancement of p-nuclei in PPL

Mean Overproduction Factor; Influence of Different Mass in the Solar Metallicity Models



Mean Overproduction Factor; Different Metallicity and Explosion Energy in the $25M_{\odot}$ Models



Conclusion (1)

- ▶ p-nucleiのoverproduction factor $X/X_{\odot}$ はピーク温度に強い依存性をもつ。
- ▶ mean overproduction factor $\langle F \rangle / F_0$ のp-nucleiに対する分布は、質量・爆発エネルギー・金属量に対してあまり依存性がない。
- ▶ 金属量が小さくなるとaveraged overproduction factor F_0 も小さくなるために、銀河系におけるp核の化学進化への影響は小さくなる。
- ▶ 爆発エネルギーが大きくなるとPPLが広がり、averaged overproduction factor F_0 が大きくなる。
- ▶ p-nuclei の起源?
 - 超新星爆発におけるp-processでは、Mo,Ru,In,La が **underproduction** であった (Rayet et al. 1990,1995; Prantzos et al. 1990)。
 - ➡ 質量・爆発エネルギー・金属量を変えても他のp-nucleiに比べてMo,Ru,In,La の underproductionは回避できない。他のサイト(またはメカニズム)が必要。
 - 総量の比較では(p-nuclei-yield/oxygen-yield)の太陽組成との比は**1/4**になり、p-nucleiは酸素に比べて少なすぎる (Rayet et al. 1995)。
 - ➡ より大きな爆発エネルギーでは、PPLが広がり、averaged overproduction factorも大きくなることにより、1foeの場合と比べて3倍ほど多くなる。
 - ▶ $20\text{foe}/1\text{foe} = (79.4 \times 1.72M_{\odot}) / (62.9 \times 0.91M_{\odot}) = 2.4$ in $25M_{\odot}$, $Z=Z_{\odot}$ models
 - ▶ Oxygen yieldは爆発エネルギーが大きくなると小さくなる(1foeと比較して30foeでは0.82倍, Nakamura et al. 2001)

