

2015年6月3日(水) 第2回銀河進化研究会@名古屋大学

銀河の化学力学進化から探る rプロセス起源天体

平居 悠 (Hirai, Yutaka)

東京大学大学院理学系研究科天文学専攻博士課程1年

国立天文台理論研究部

日本学術振興会特別研究員 (DC1)

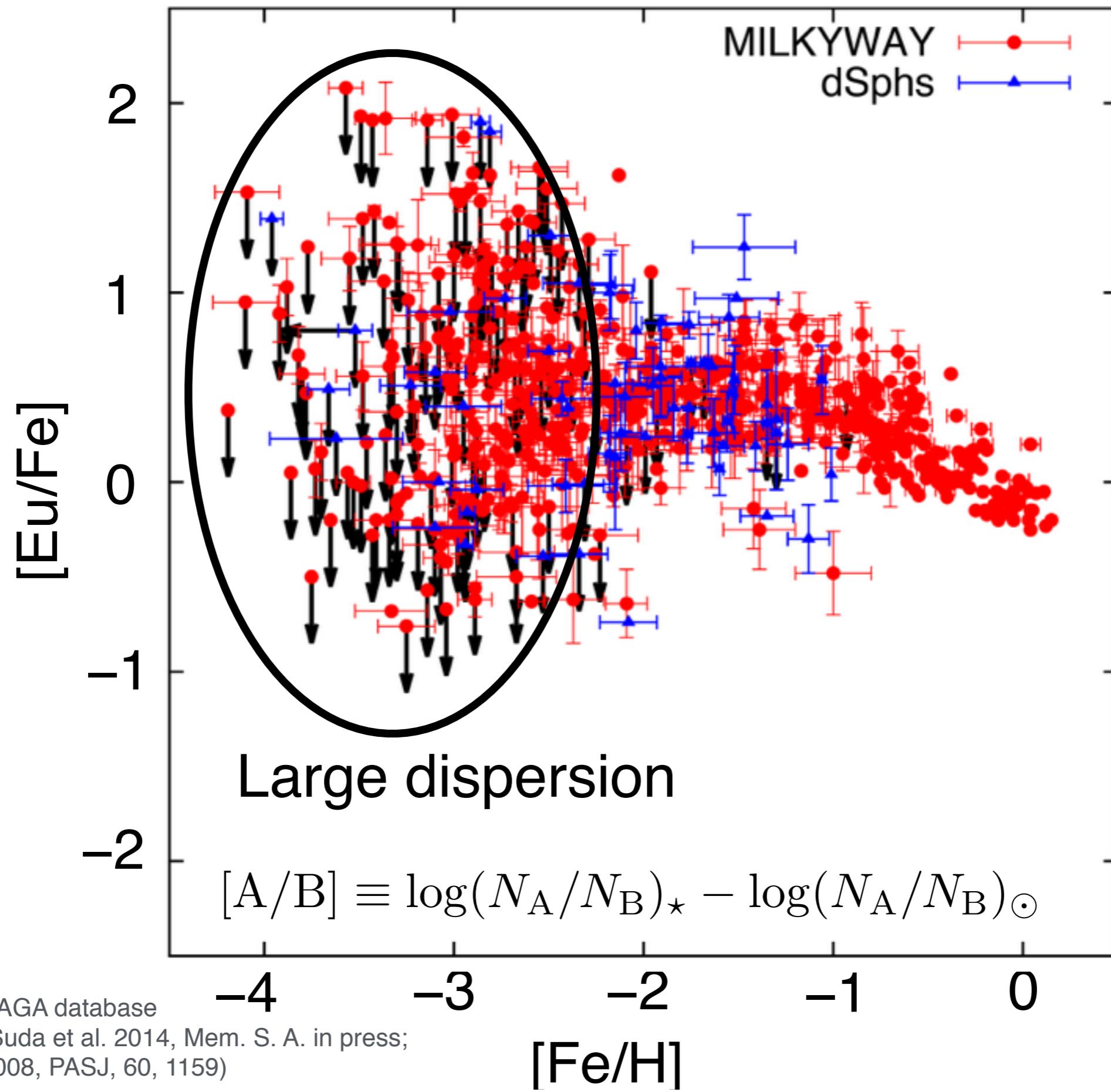
共同研究者：

石丸友里 (国際基督教大), 斎藤貴之 (東工大), 藤井通子 (国立天文台),
日高潤 (明星大, 国立天文台), 梶野敏貴 (国立天文台, 東大)

rプロセス元素はどこで作られたのか？



rプロセス元素の観測値



SAGA database

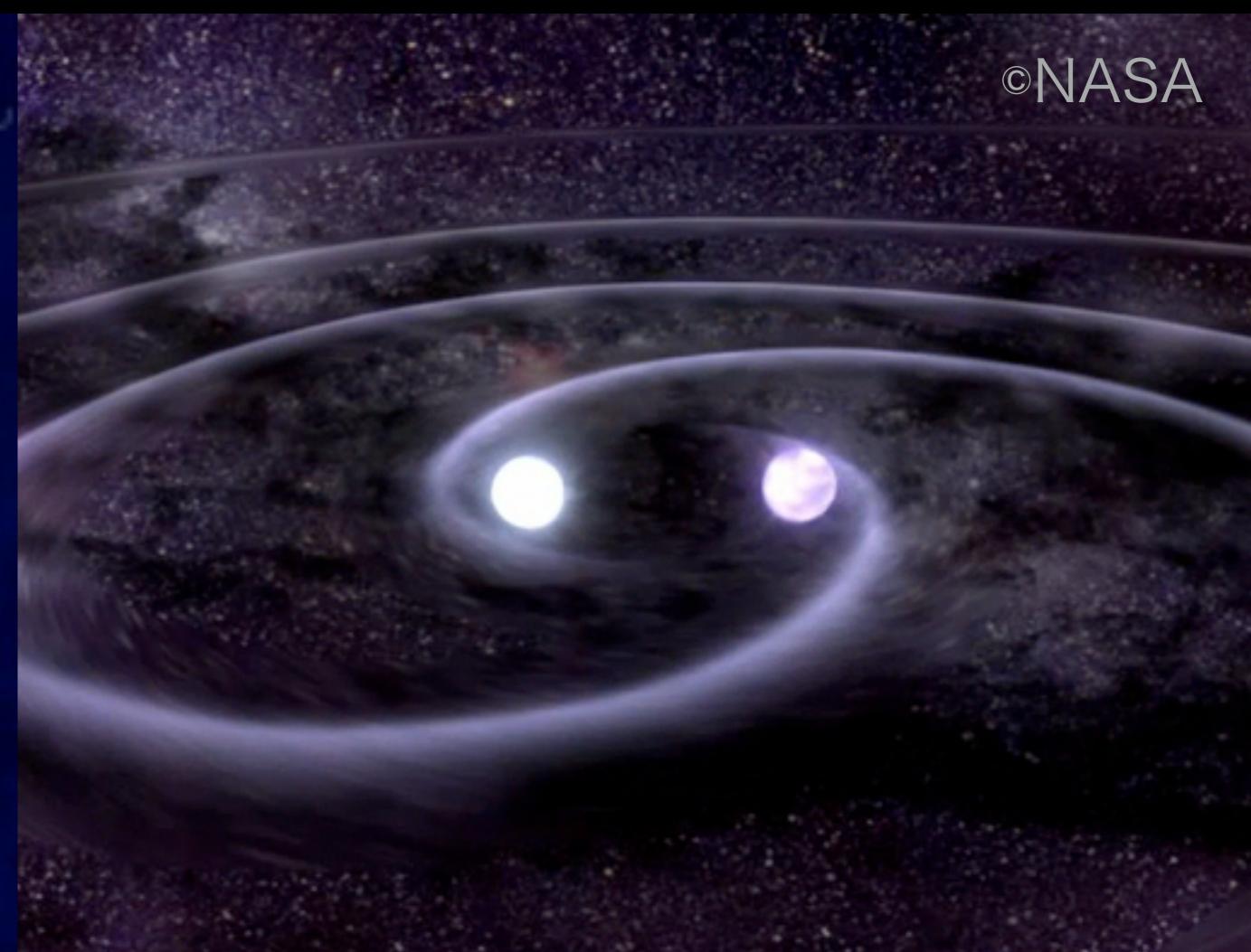
(Suda et al. 2014, Mem. S. A. in press;
2008, PASJ, 60, 1159)

[Fe/H]

rプロセス元素の起源候補天体

重力崩壊型超新星爆発

連星中性子星合体



©NASA

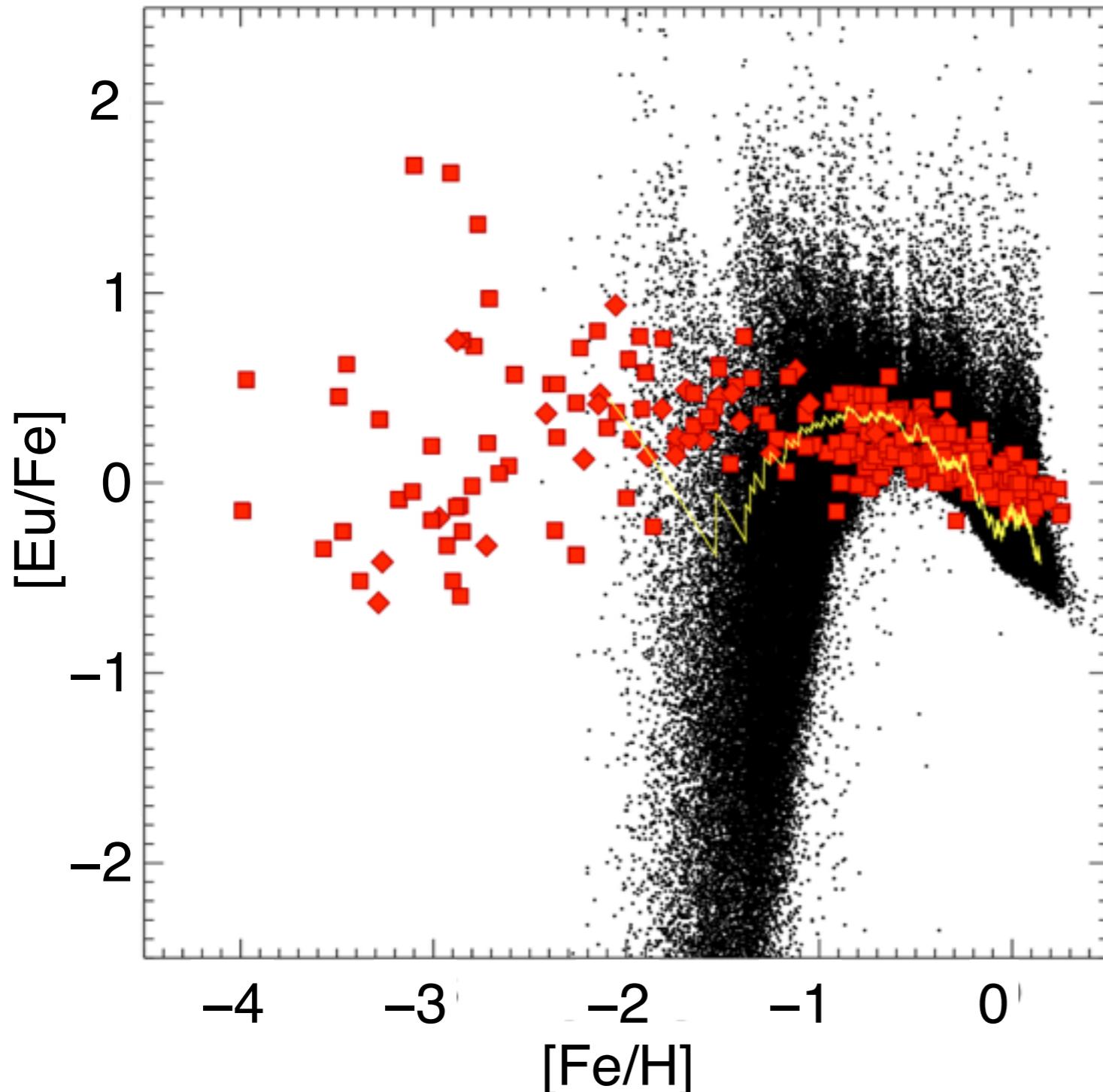
rプロセス元素の起源天体

	重力崩壊型 超新星爆発	中性子星合体
元素合成	△	○
化学進化	○	?

本研究

連星中性子星合体説の問題点

3次元非一様化学進化計算



Argast et al. 2004, A&A, 416, 997

連星中性子星

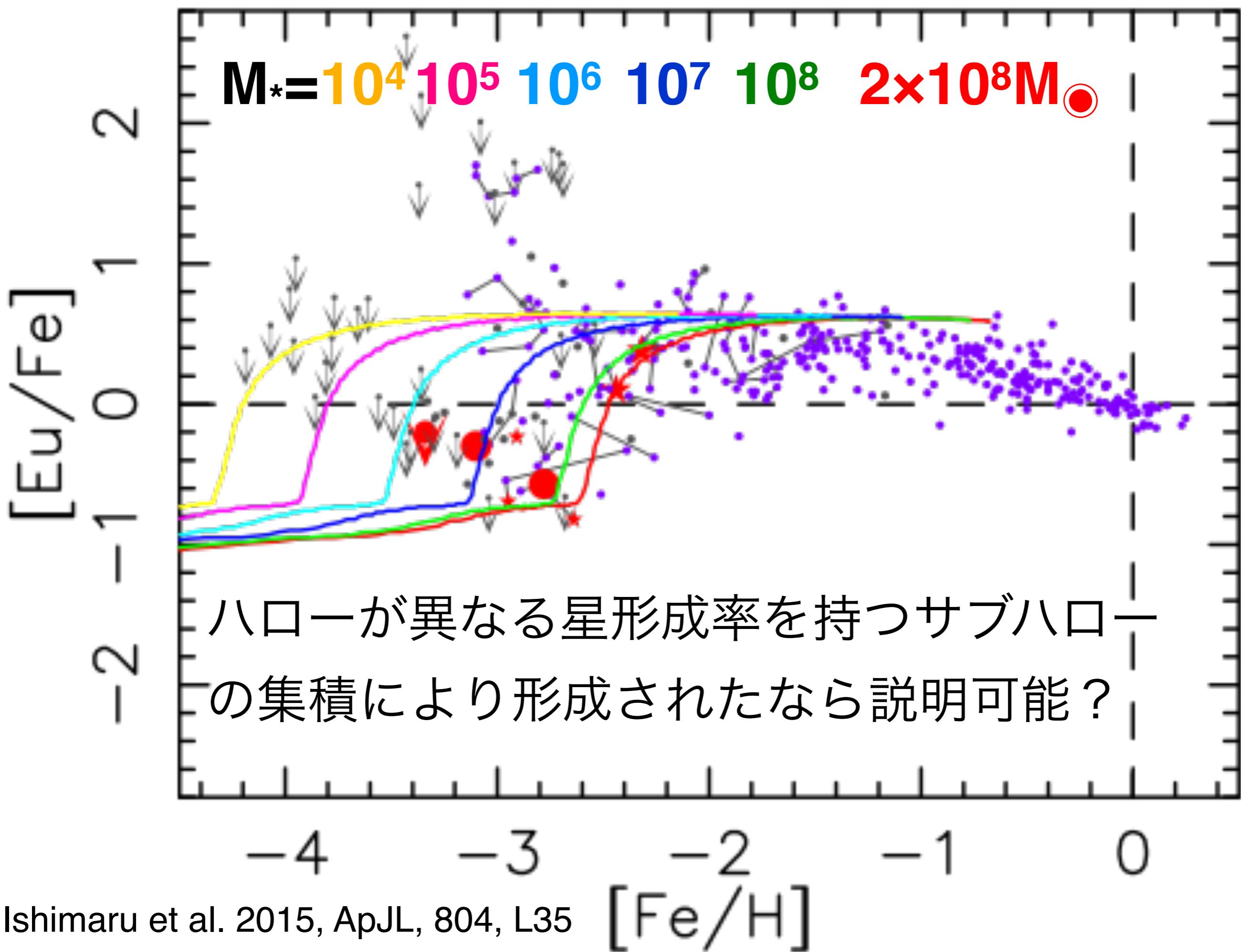
合体時間：

1億年

観測値を

説明できない

e.g., Matteucci et al. 2014, MNRAS, 438, 2177; Komiya et al. 2014, ApJ, 783, 132,
Tsujimoto & Shigeyama, A&A, 565, L5



実際のbuilding block galaxiesでは合体時間
1億年程度の連星中性子星合体により [Eu/Fe]
はどのように進化するのか？

→化学力学進化シミュレーションが必要！

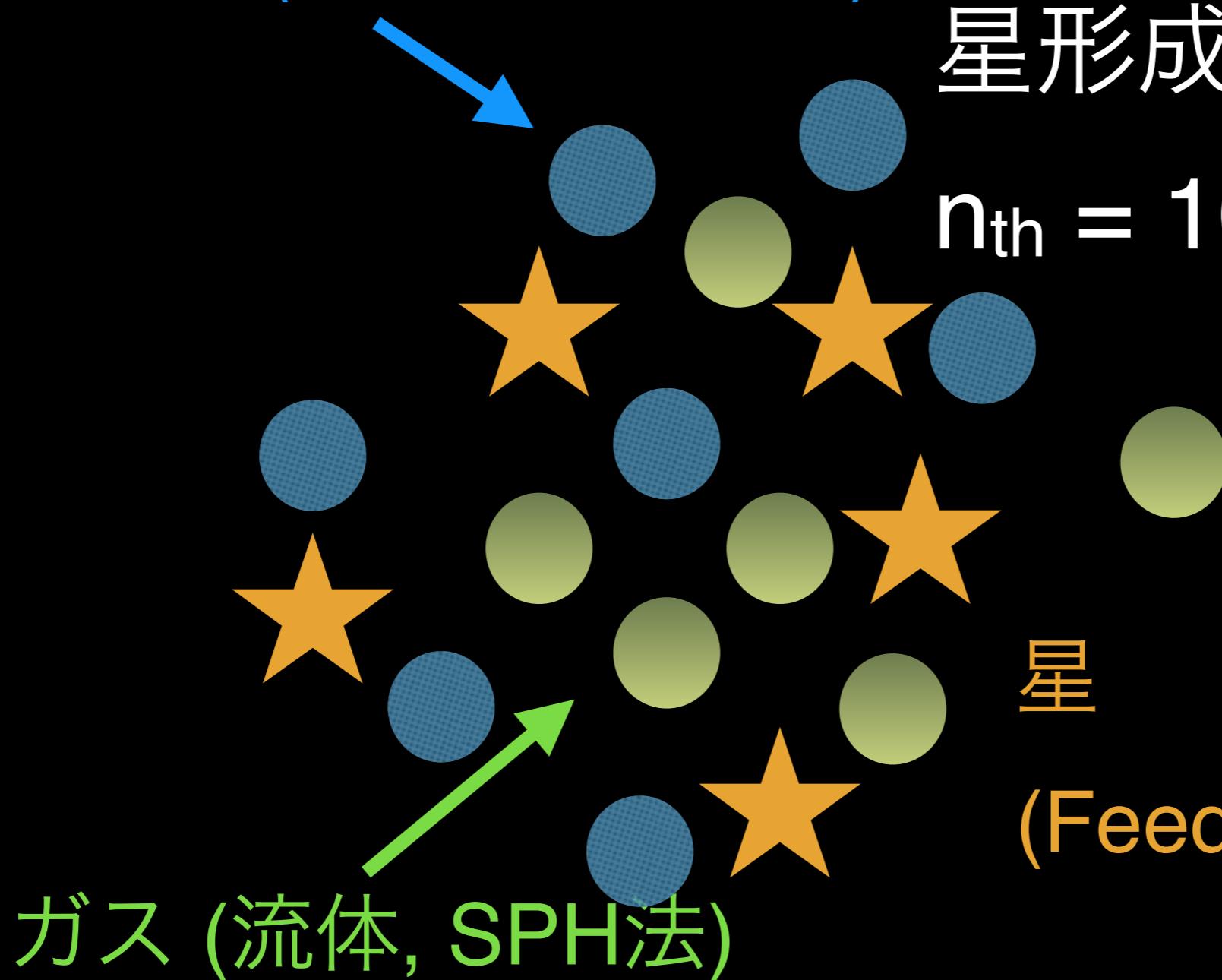
Method & Models

N体/Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) code,
ASURA (Saitoh et al. 2008, PASJ, 60, 667; 2009, PASJ, 61, 481)

暗黒物質(重力, ツリー法)

星形成密度閾値 :

$$n_{\text{th}} = 100 \text{ cm}^{-3}$$



+Chemical enrichment process
(iron-peak, α -, r -process elements)

Chemical enrichment process

rプロセス元素 (Eu)

Site: 連星中性子星合体

- 合体時間: 0.1億年 – **1億年** – 5億年
- 合体頻度 : **10^{-4} yr^{-1}**

Fe: 重力崩壊型超新星爆発

(Nomoto et al. 2006, Nucl. Phys. A, 777, 424)

銀河モデルと初期条件

ガスと暗黒物質の初期の密度プロファイル：

pseudo-isothermal profile

(e.g., Revaz & Jablonka 2012, A&A, 538, A82)

$$\rho_i(r) = \frac{\rho_{c,i}}{1 + \left(\frac{r}{r_c}\right)^2}$$

全質量 : **$7.0 \times 10^8 M_\odot$**

粒子数 : **5×10^5**

1粒子あたりの質量: **$400 M_\odot$**

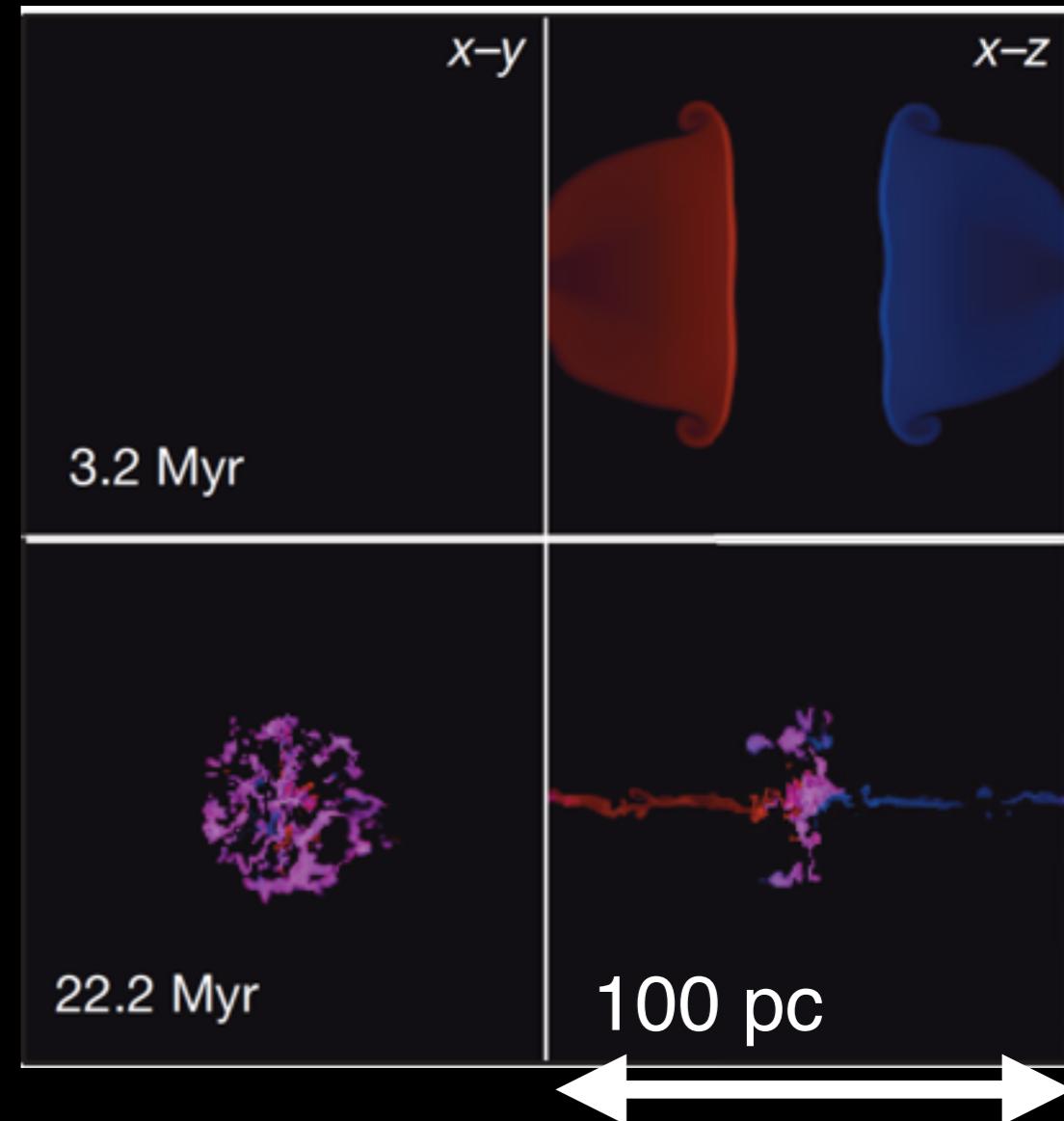
重力ソフトニング長 : **5 pc**

星形成領域における重元素の混合

重元素混合領域：

SPHのスムージング長内

($\sim 10^4 M_{\odot}$)

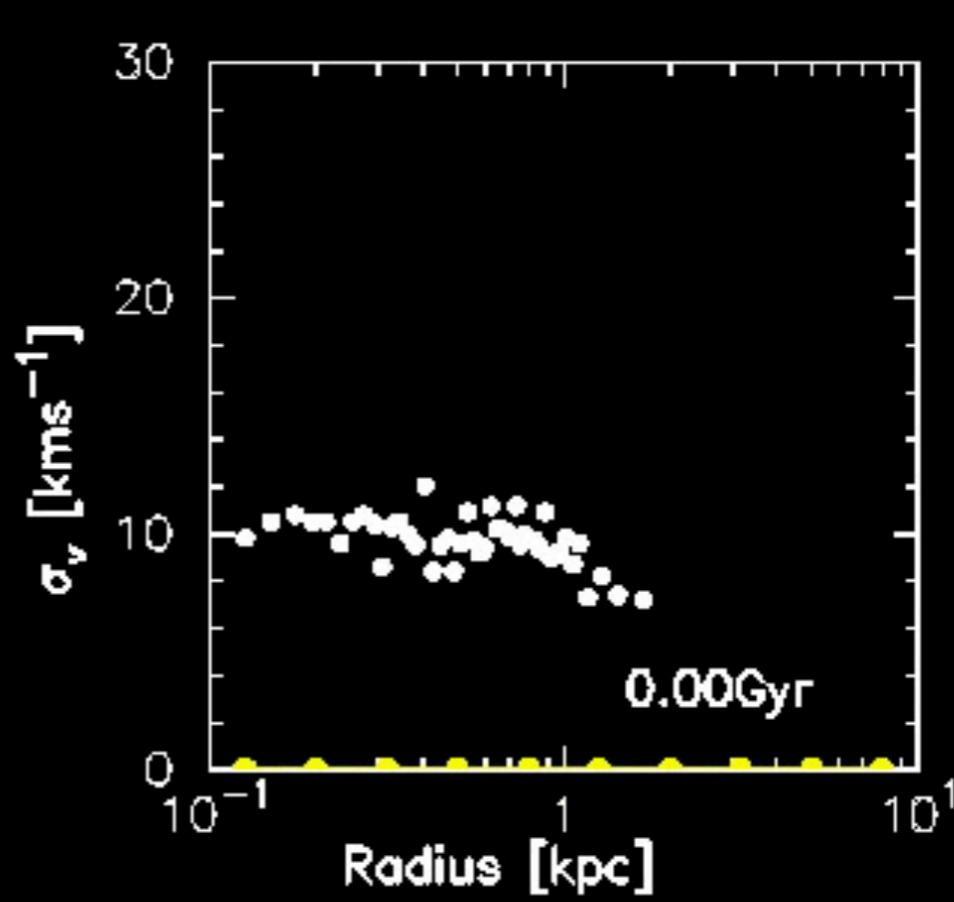
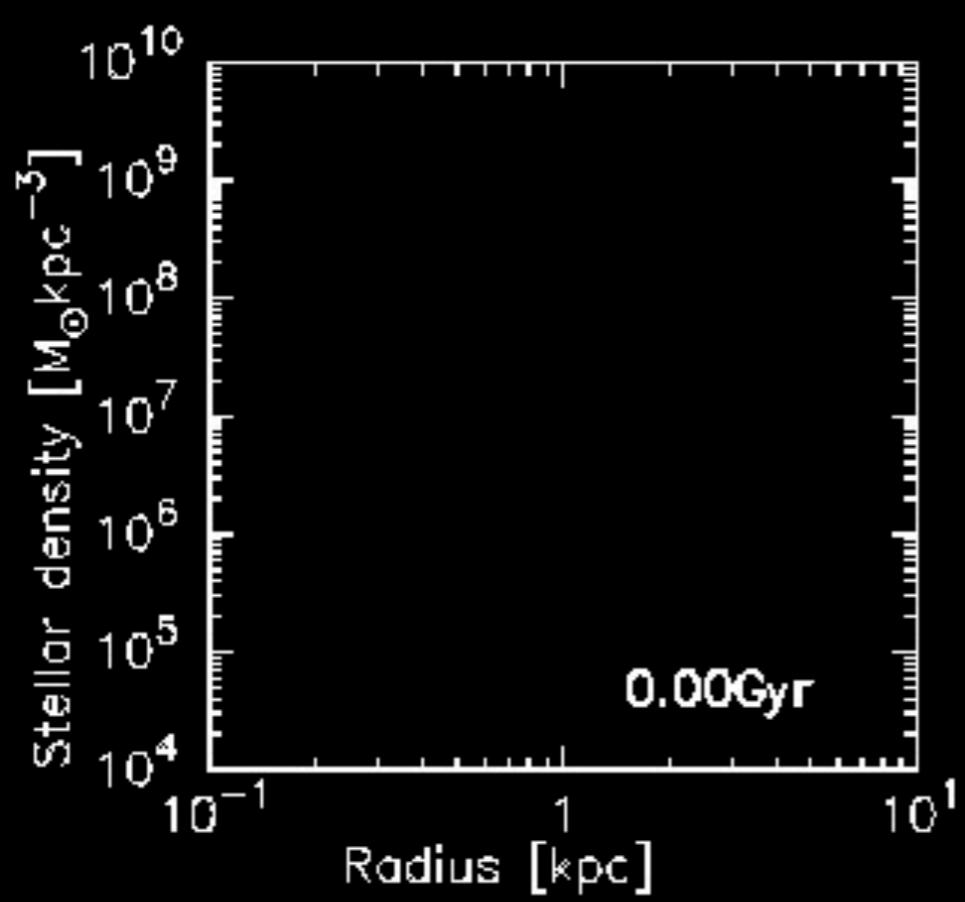
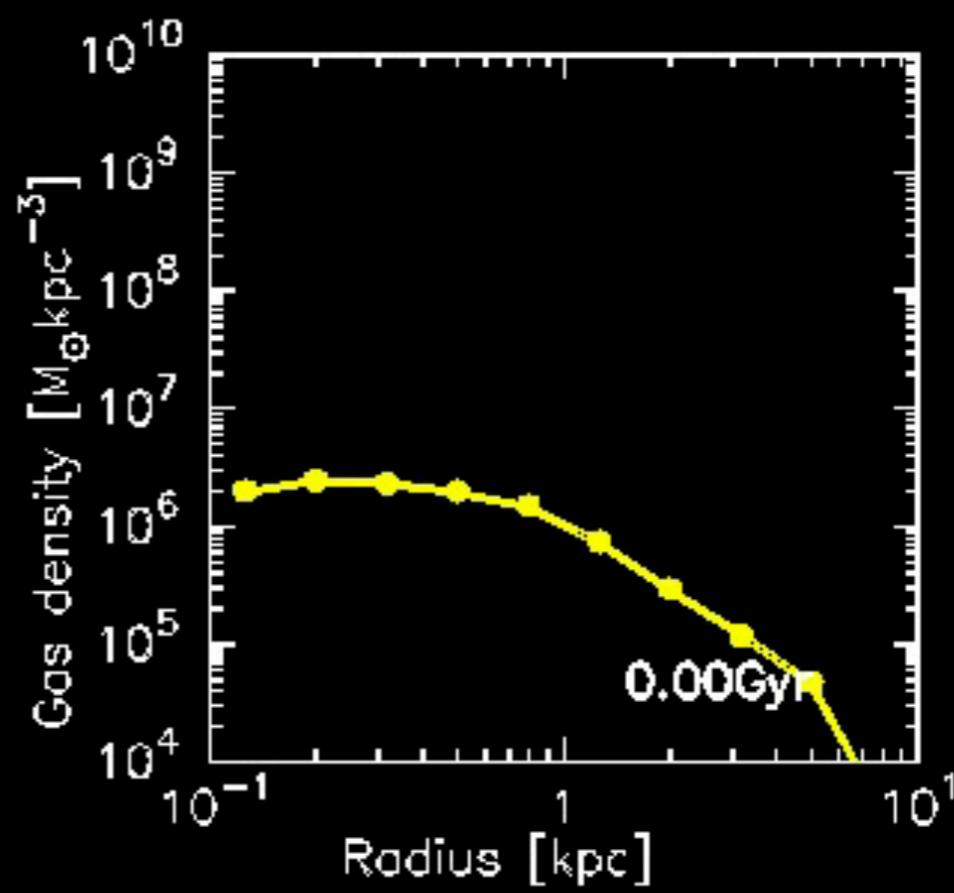
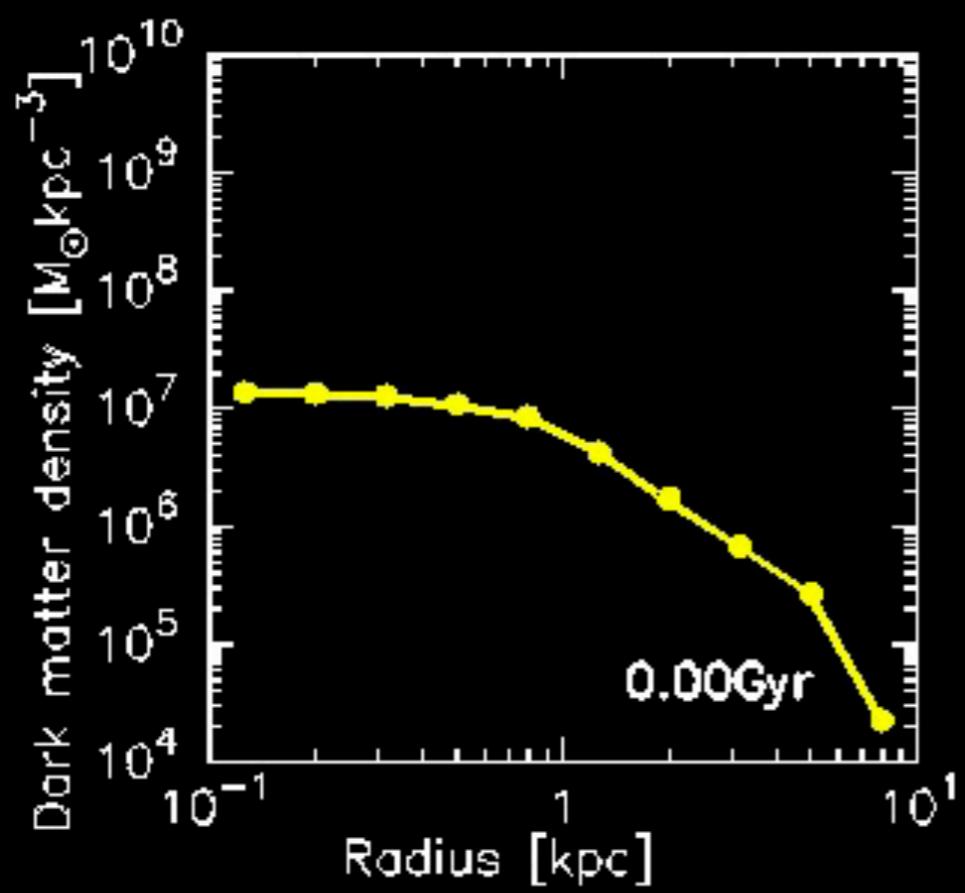


Feng & Krumholz 2014, Nature, 513, 523

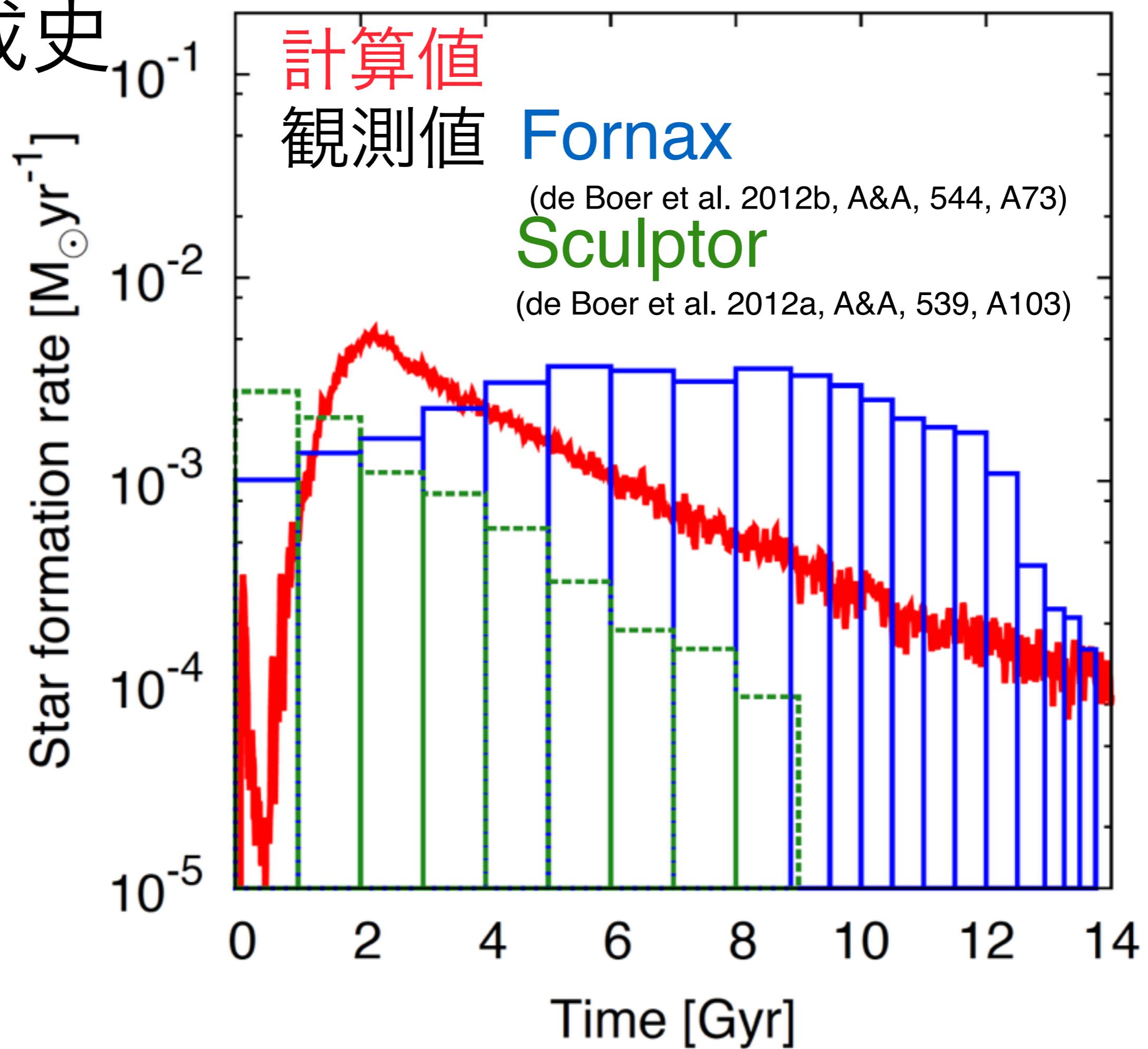
Stellar surface density

0.00Gyr

1 kpc



星形成史



金属量分布

計算値

計算値

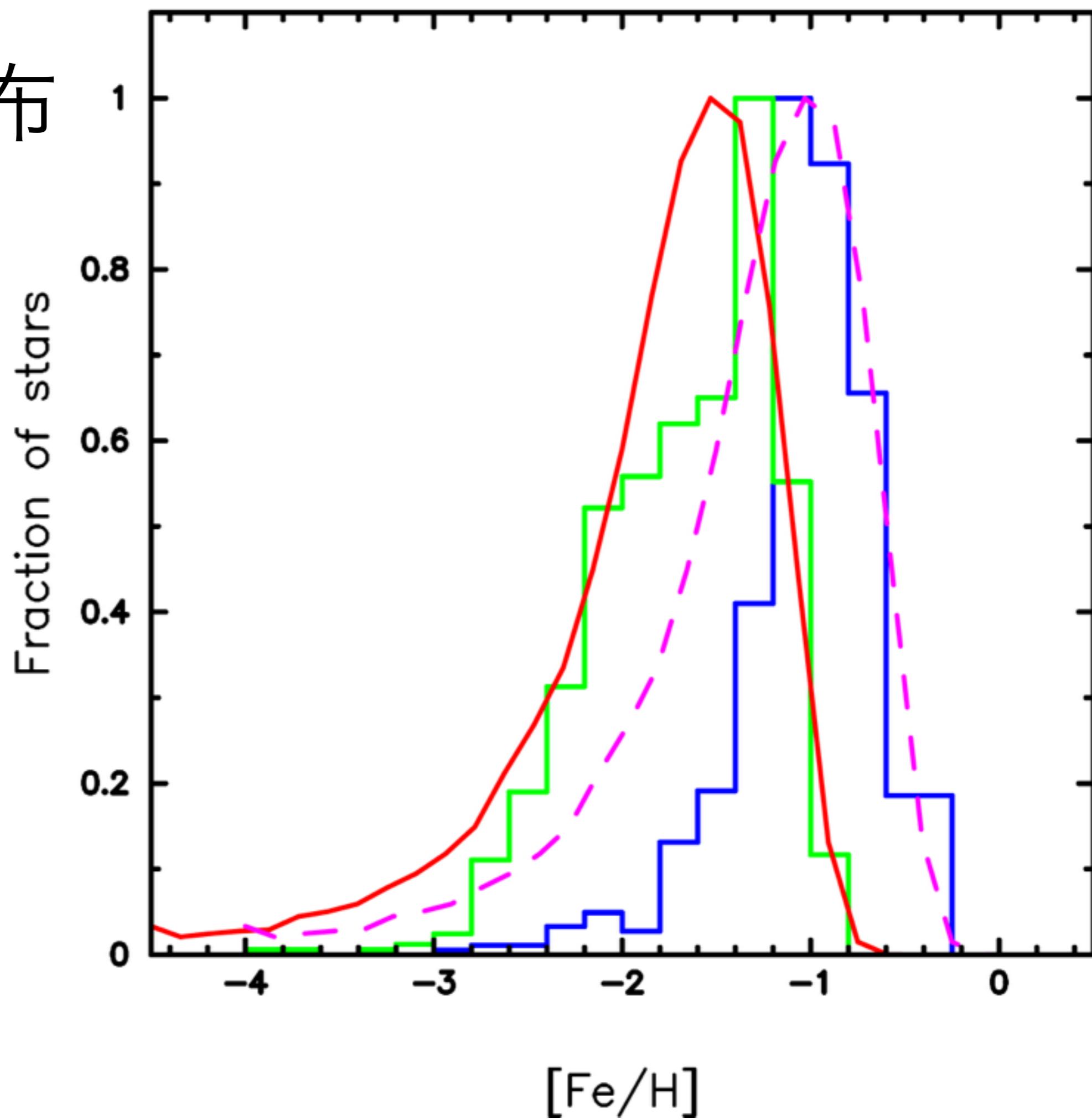
(0.5 dex シフト)

観測値

(Kirby et al. 2010,
ApJS, 191, 352)

Fornax

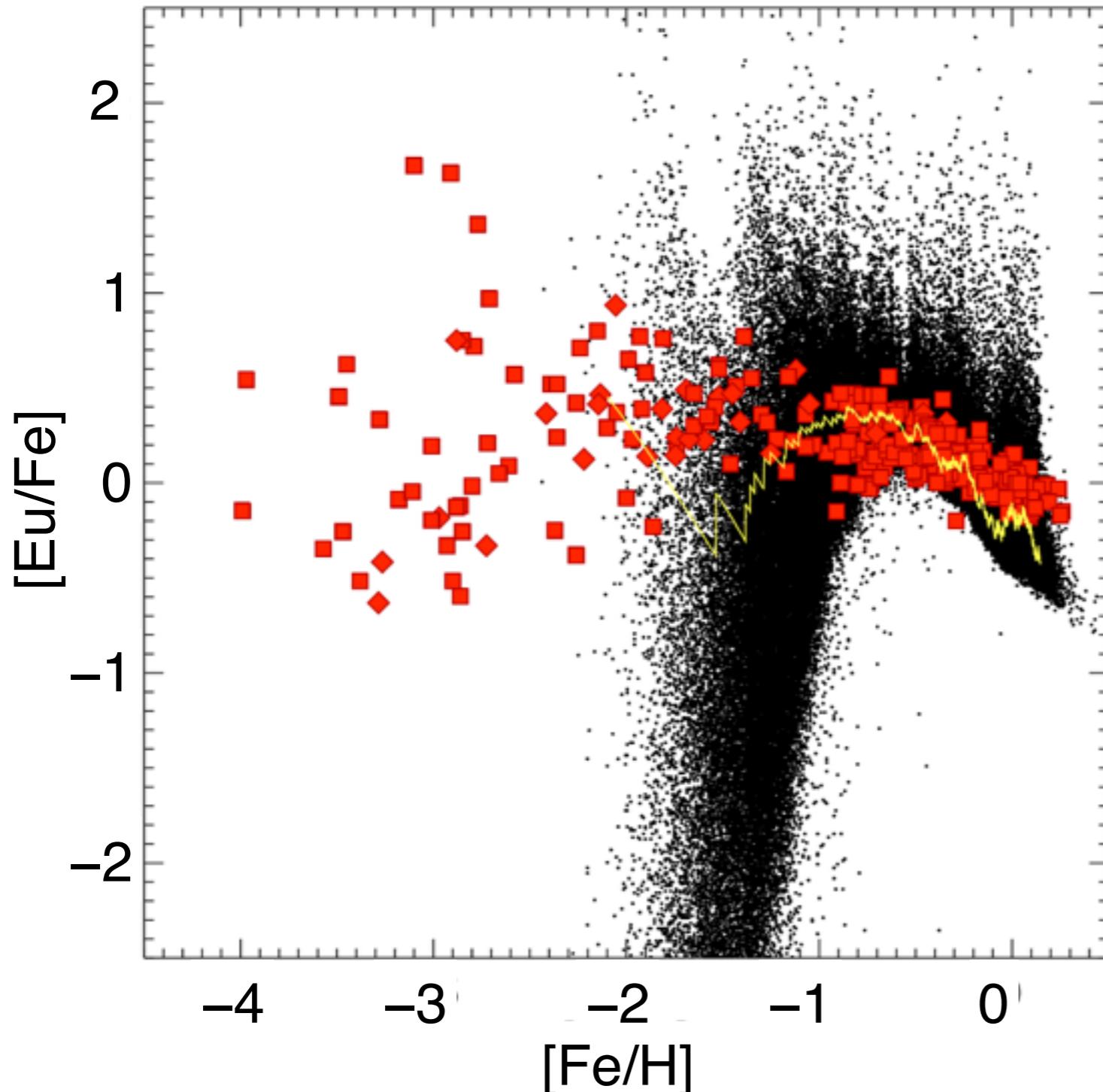
Sculptor



Enrichment of r-process elements in dwarf spheroidal galaxies

連星中性子星合体説の問題点

3次元非一様化学進化計算



Argast et al. 2004, A&A, 416, 997

連星中性子星

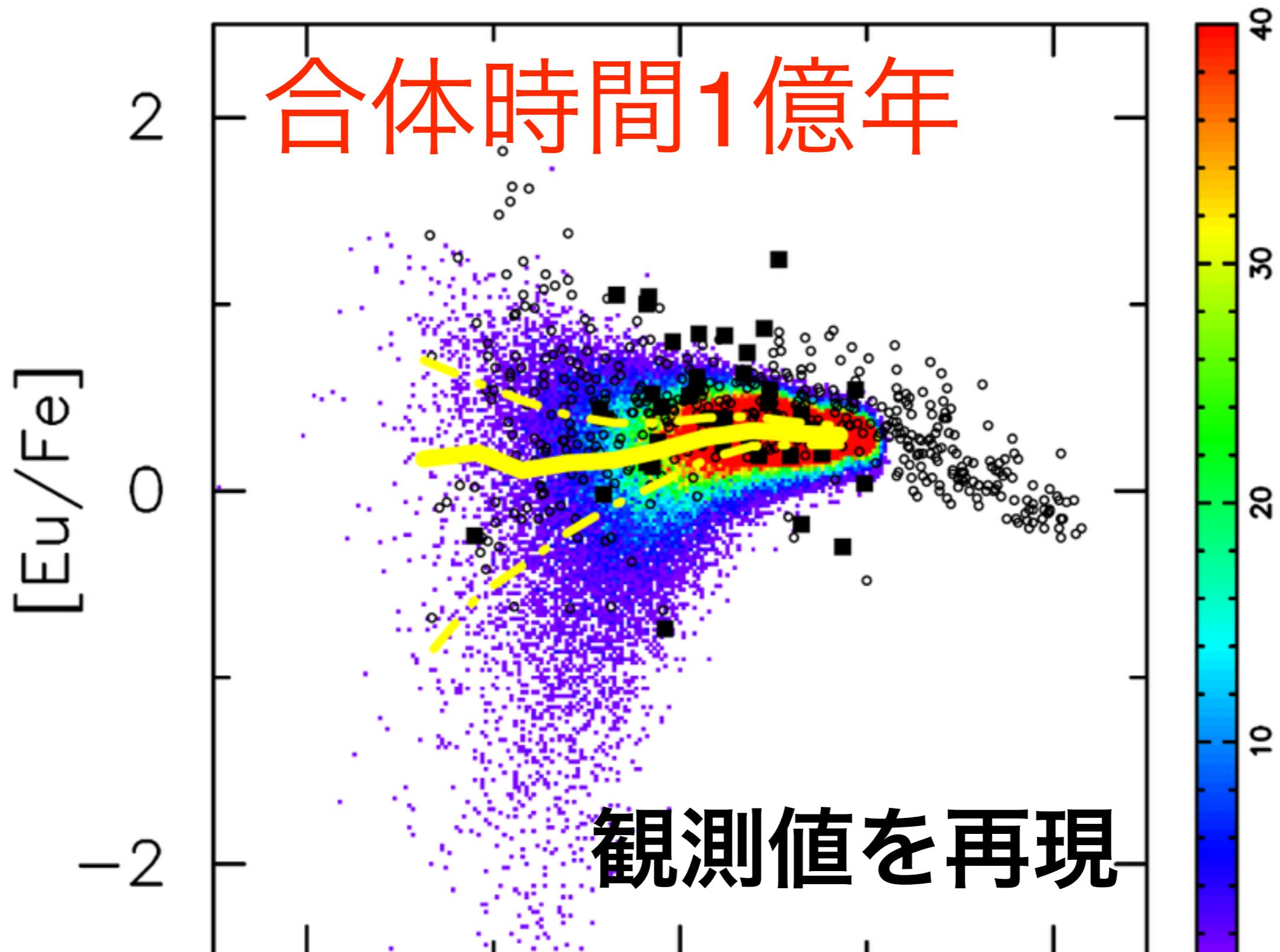
合体時間：

1億年

観測値を

説明できない

e.g., Matteucci et al. 2014, MNRAS, 438, 2177; Komiya et al. 2014, ApJ, 783, 132,
Tsujimoto & Shigeyama, A&A, 565, L5



観測値

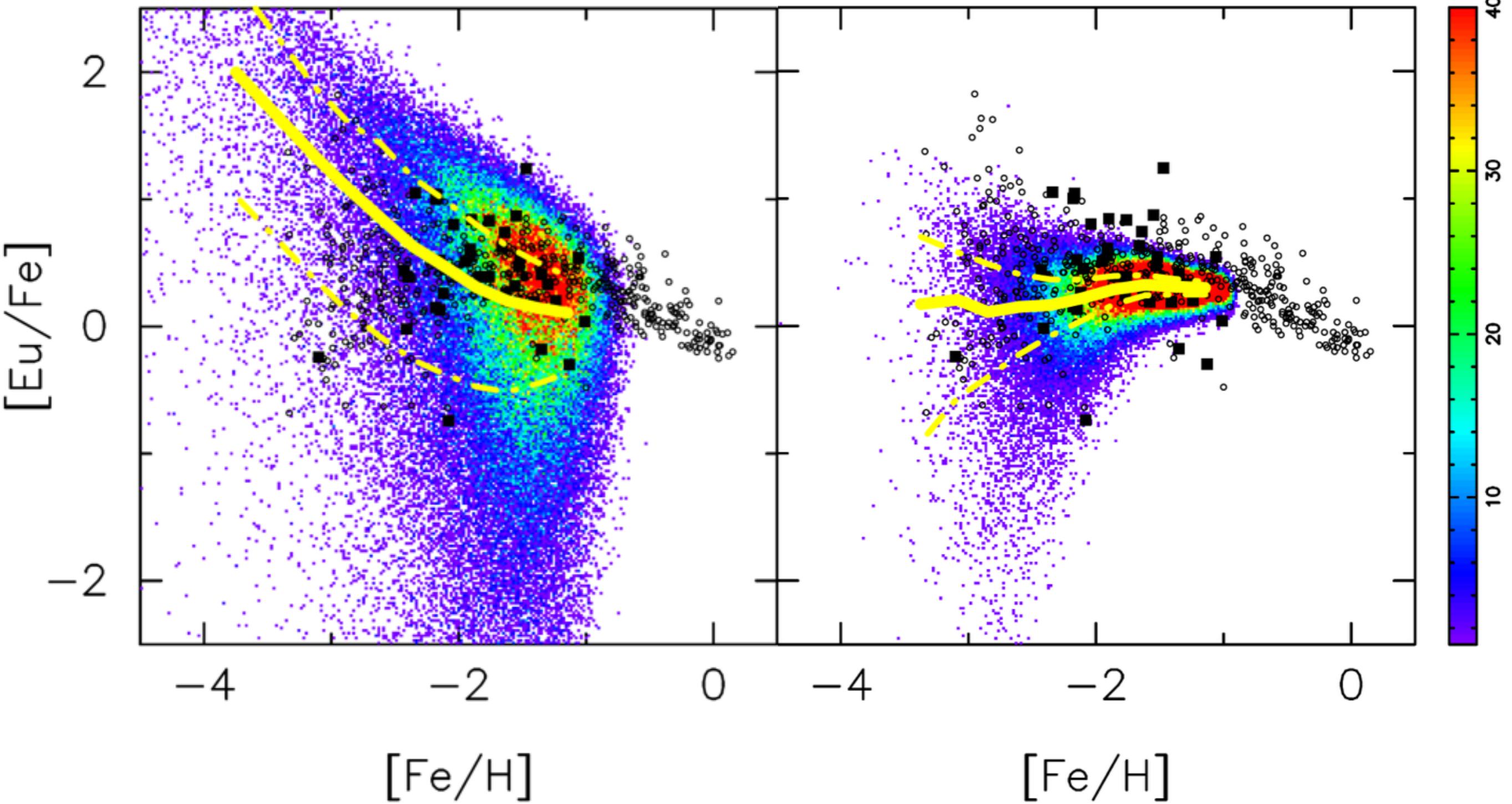
(SAGA database, Suda et al.
2014, Mem. S. A. in press; 2008,
PASJ, 60, 1159)

■ dSphs
○ MW

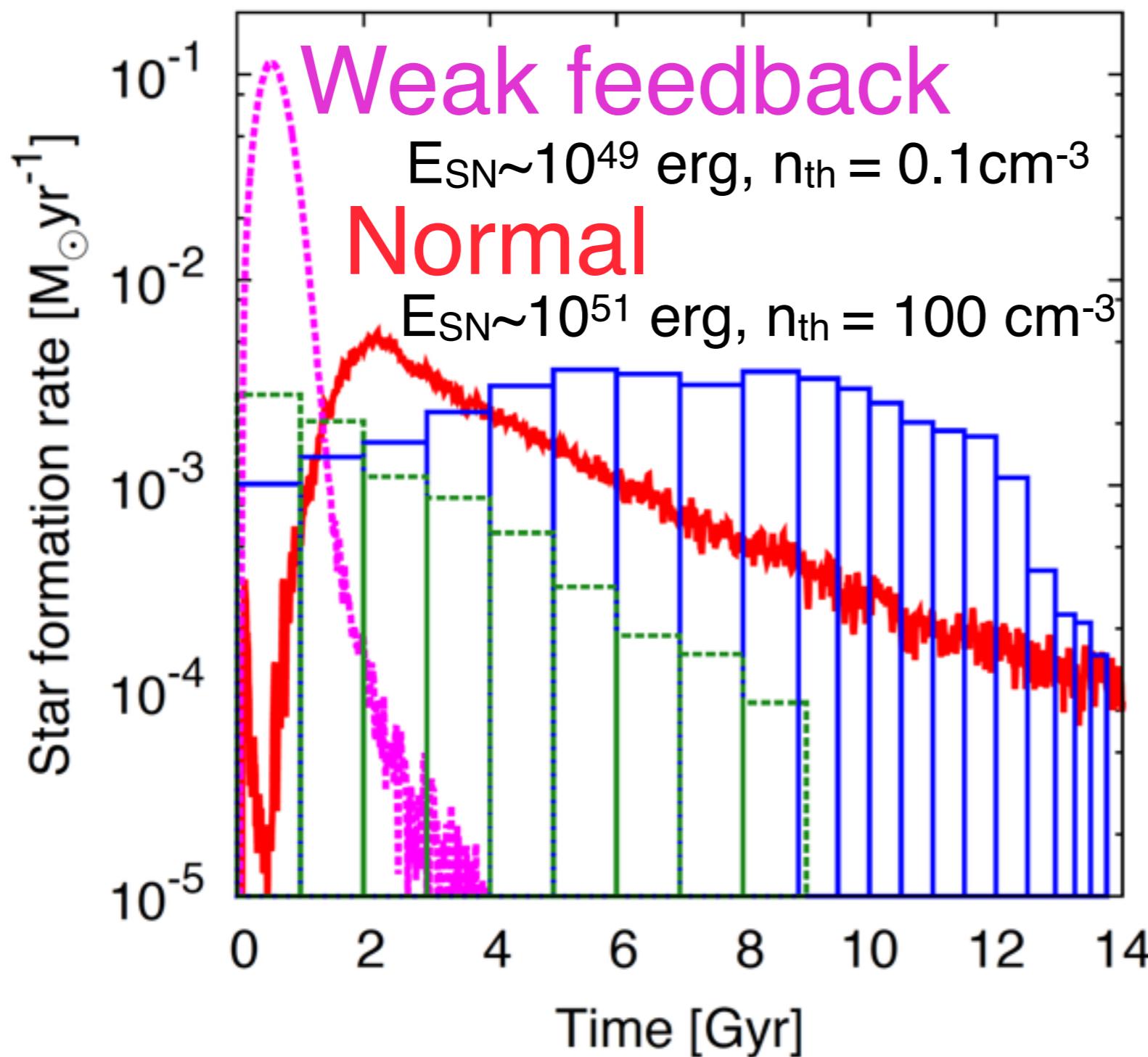
[Fe/H]

星形成領域における重元素の混合の効果

混合なし



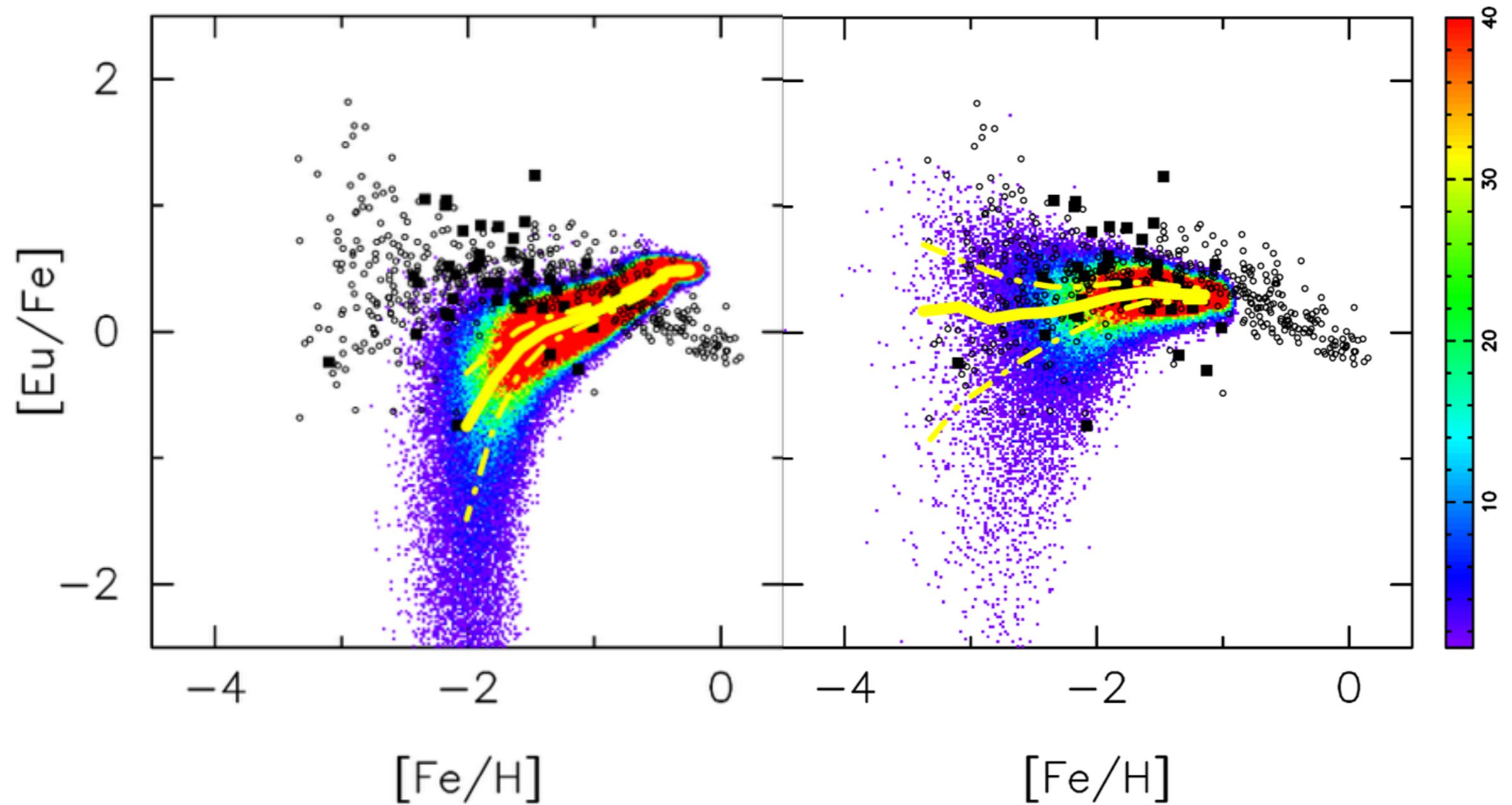
Feedbackの影響



星形成史が
大きく変化

Weak feedback

Normal feedback



Weak feedback model → 化学進化が早すぎる

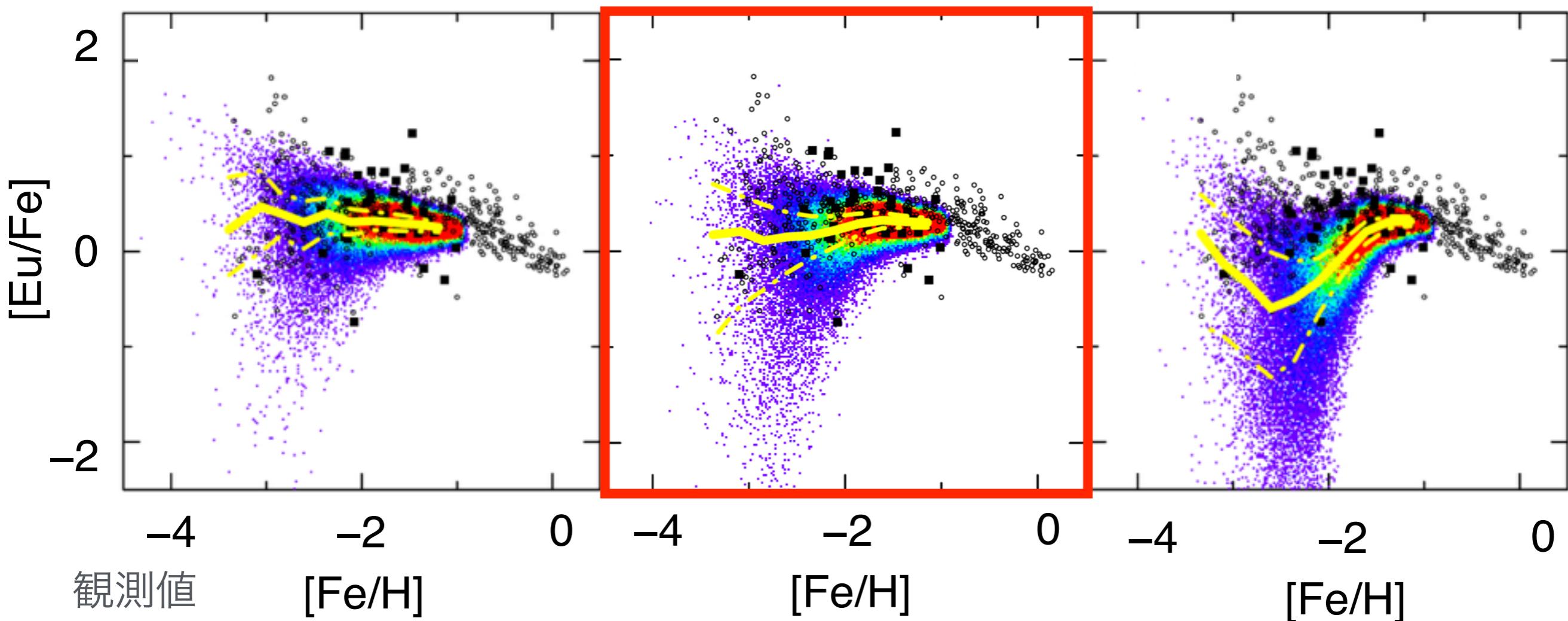
連星中性子星合体時間

最小合体時間: < 5 億年

0.1 億年

1 億年

5 億年



(SAGA database, Suda et al.
2014, Mem. S. A. in press; 2008,
PASJ, 60, 1159)

まとめ

rプロセスの起源天体：

連星中性子星合体説を強く支持

重要な物理過程：

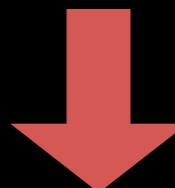
重元素の混合

Feedback

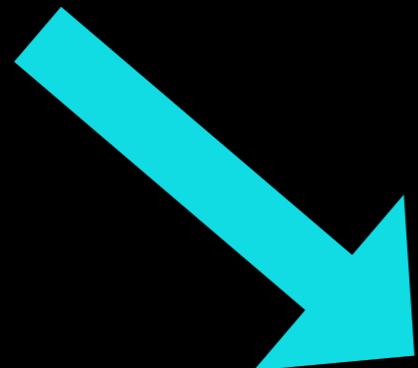
最小合体時間: < 5 億年

Future prospects

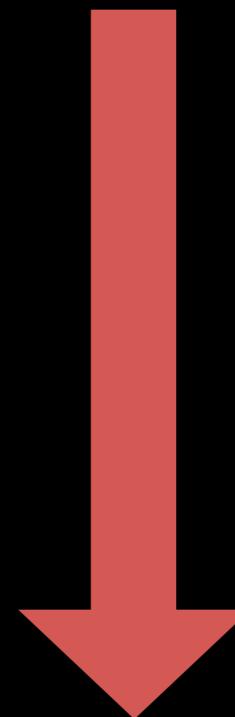
孤立した矮小銀河の化学力学進化シミュレーション



銀河形成シミュレーション



(Subaru→TMT)
金属欠乏星の観測



rプロセスの起源天体の解明
銀河の形成進化過程の解明

まとめ

rプロセスの起源天体：

連星中性子星合体説を強く支持

重要な物理過程：

重元素の混合

Feedback

最小合体時間: < 5 億年