

矮小銀河の化学力学進化における 重元素の役割

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3年

国立天文台理論研究部

- [1] Hirai et al. (2015) ApJ, 814, 41; [2] Hirai et al. (2017a) MNRAS, 466, 2474;
[3] Hirai & Saitoh (2017) ApJL, 838, L23; [4] Hirai et al. (2018a) ApJ submitted;
[5] Hirai et al. (2018b) in prep

宇宙初期

現在

元素量 H, He, Liのみ

90種以上

初代銀河

星形成

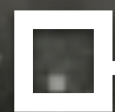
超新星爆発など



©NAOJ



元素はどこで合成されたのか？



銀河進化との関係は？



局所銀河群の矮小銀河

Fornax



Sculptor



Reticulum II



Carina



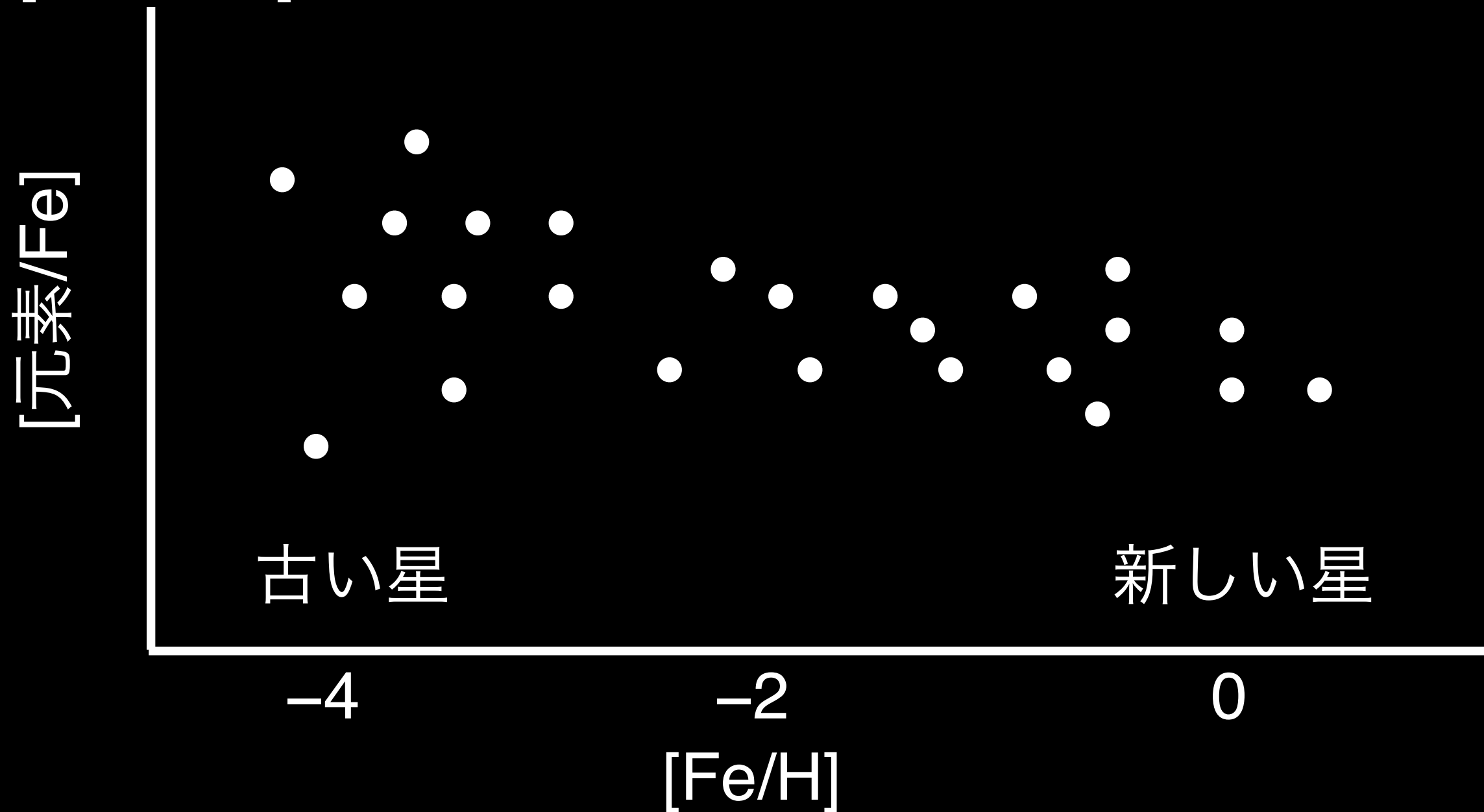
Leo I



銀河の化学進化

[Fe/H] : 時間と共に増加

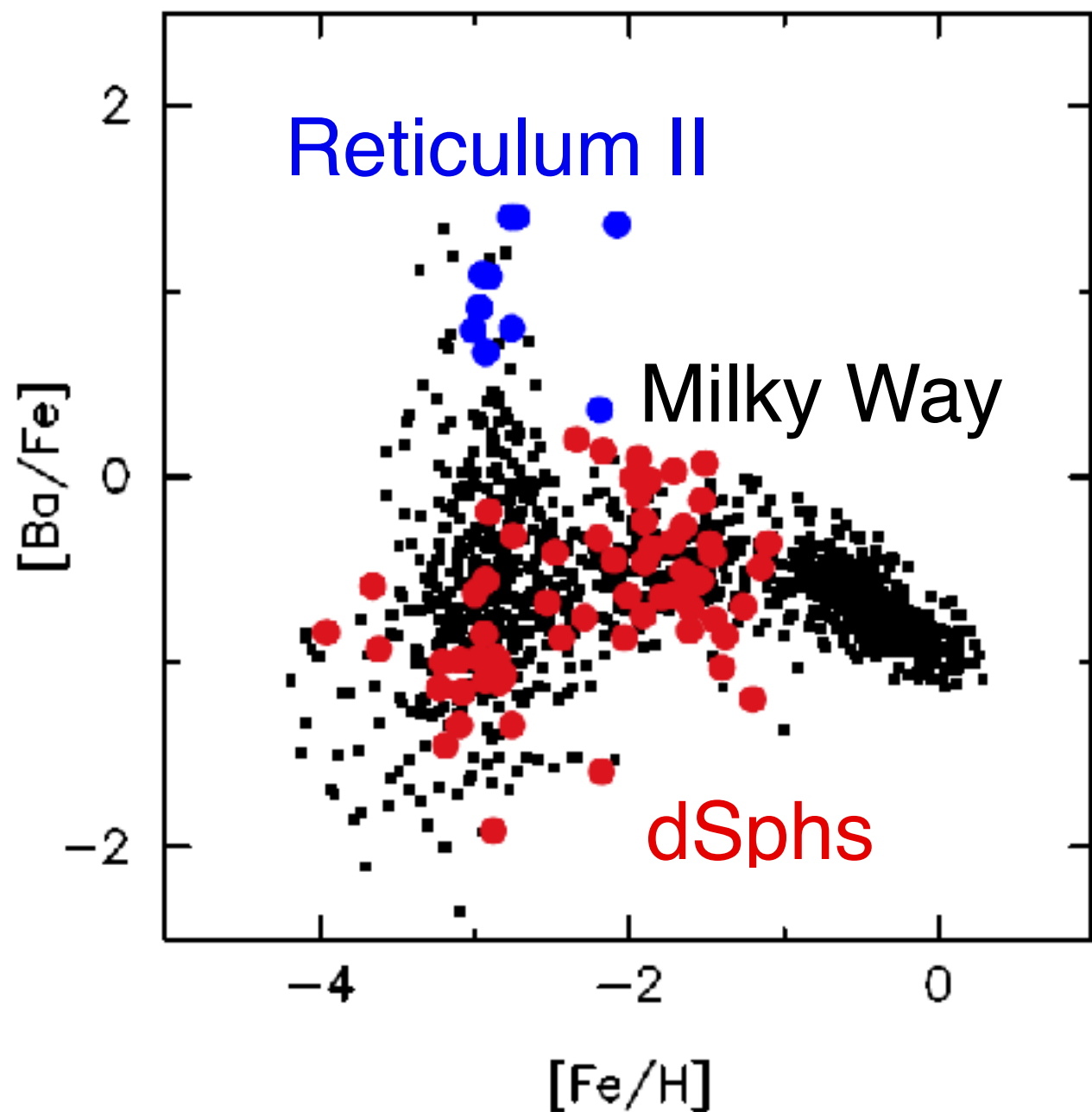
[元素/Fe] : 元素の起源・ISMへの混合過程を反映



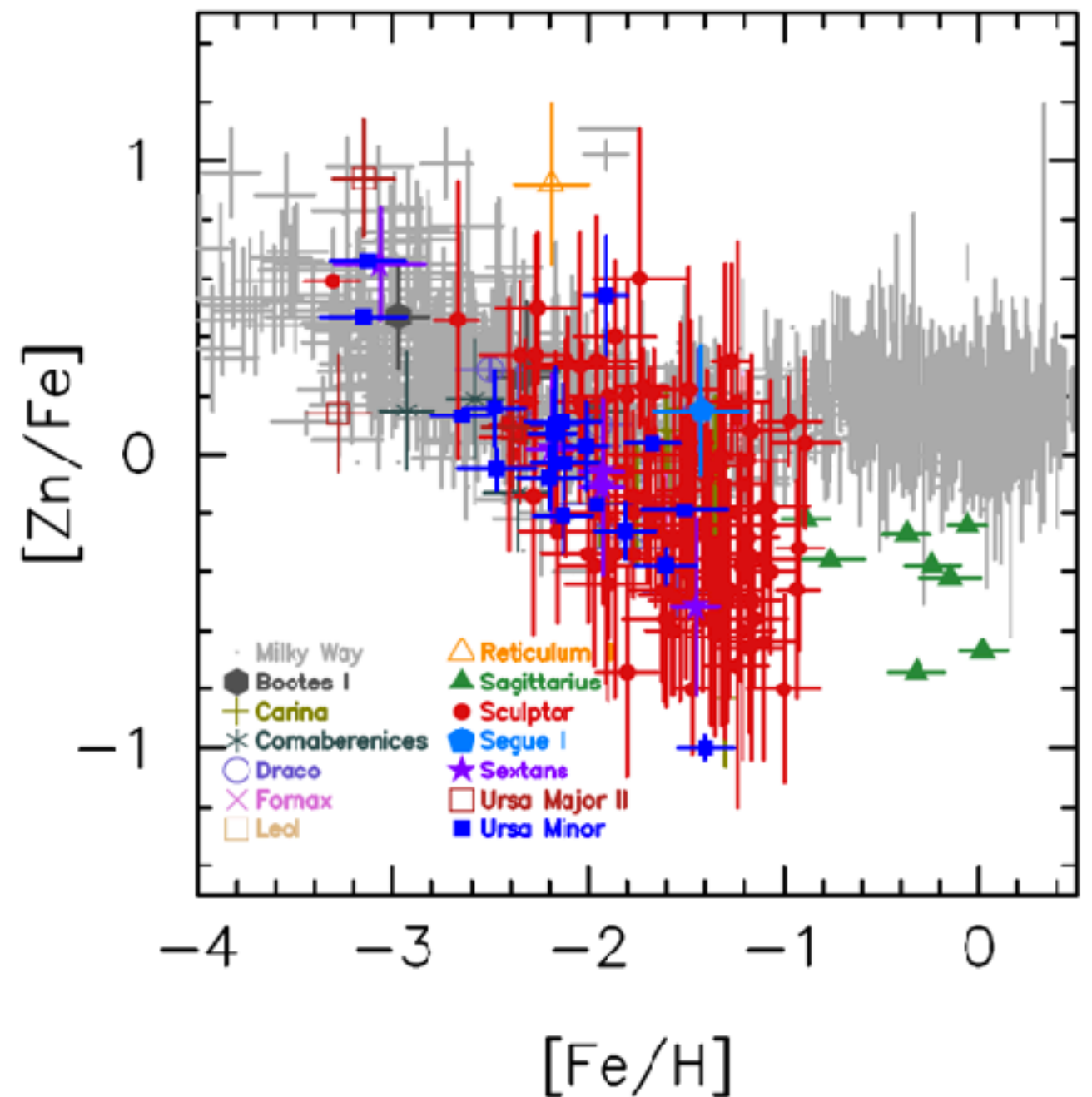
局所銀河群矮小銀河には多くの金属欠乏星が存在

Abundances of r-process elements and Zn

rプロセス元素



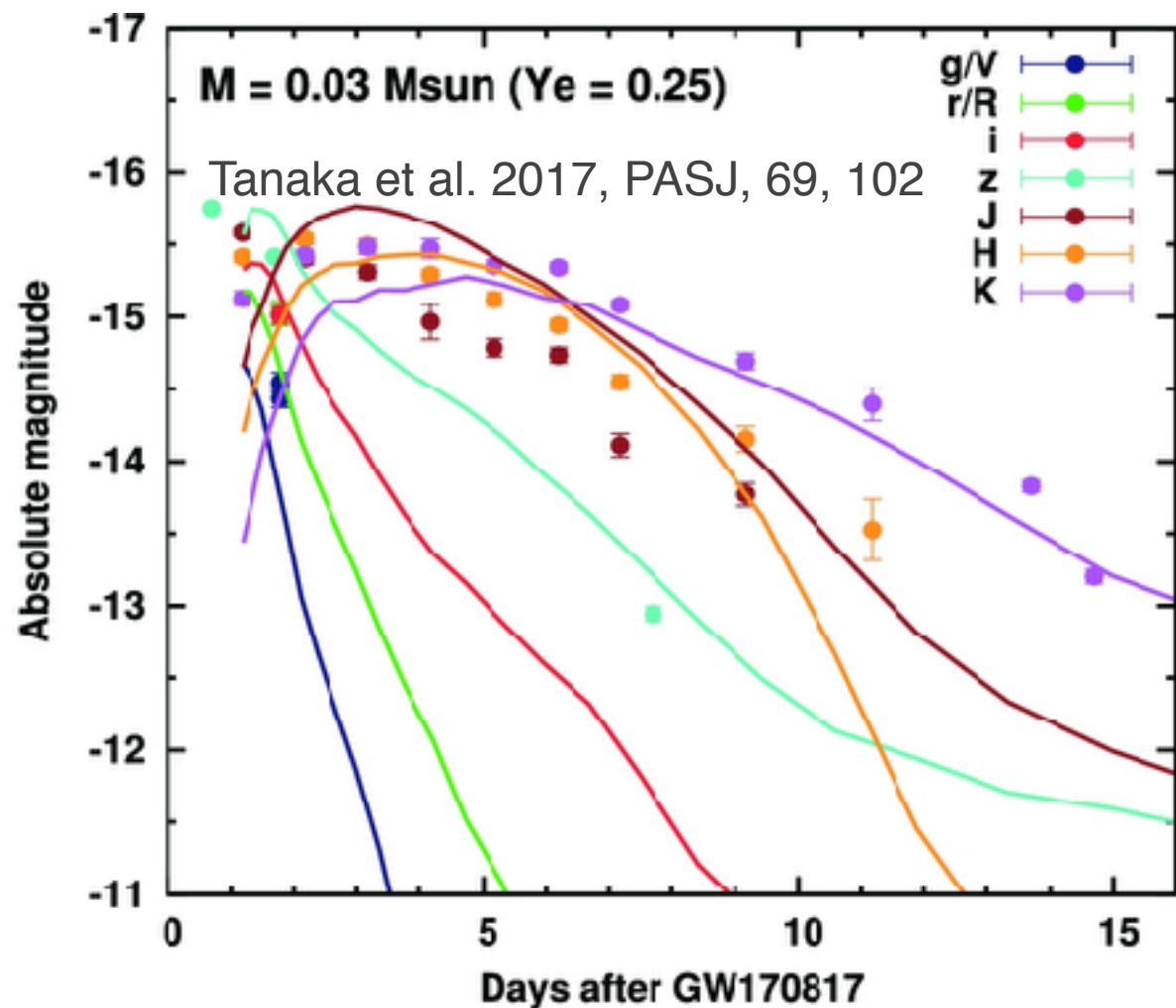
亜鉛



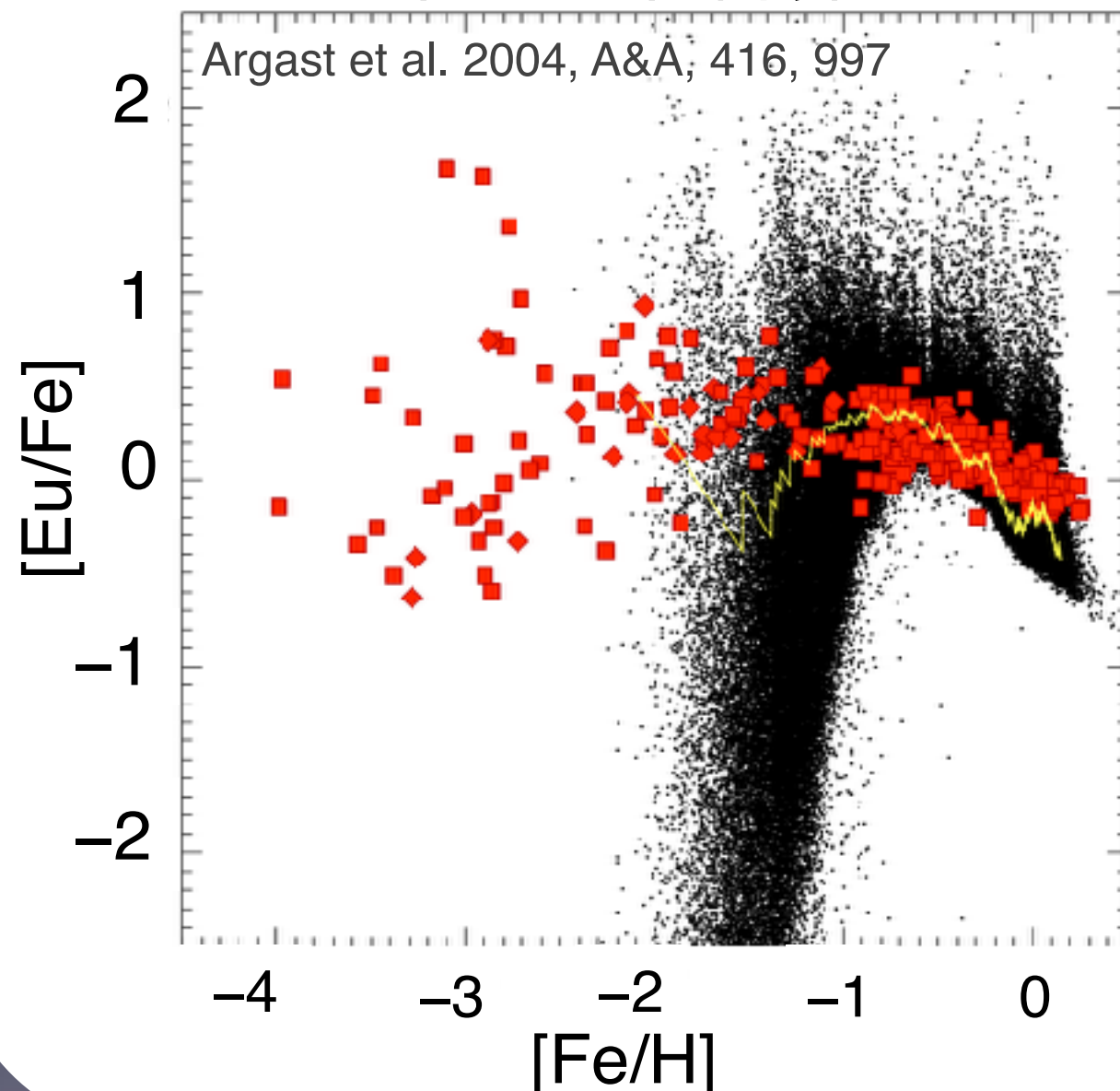
連星中性子星合体

rプロセス元素 (金, 銀, ユーロピウムなど)の起源天体として有力

中性子星合体の光度曲線



銀河の化学進化計算

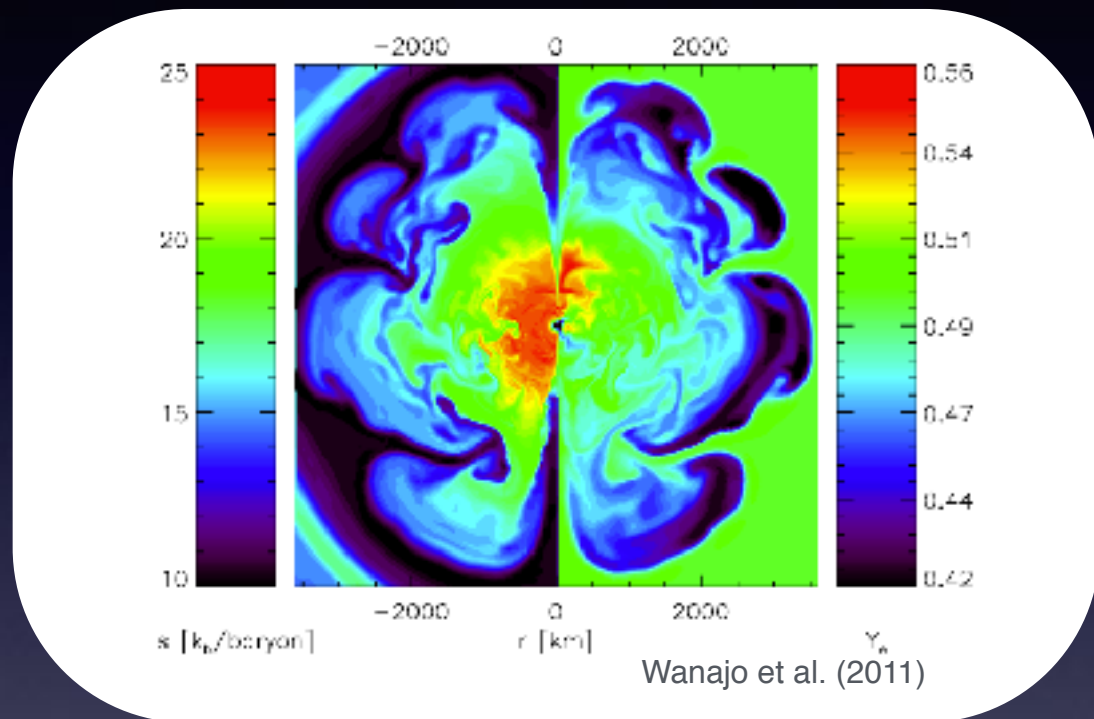


銀河の化学進化から金属欠乏星のrプロセス元素組成を説明するのは困難だった

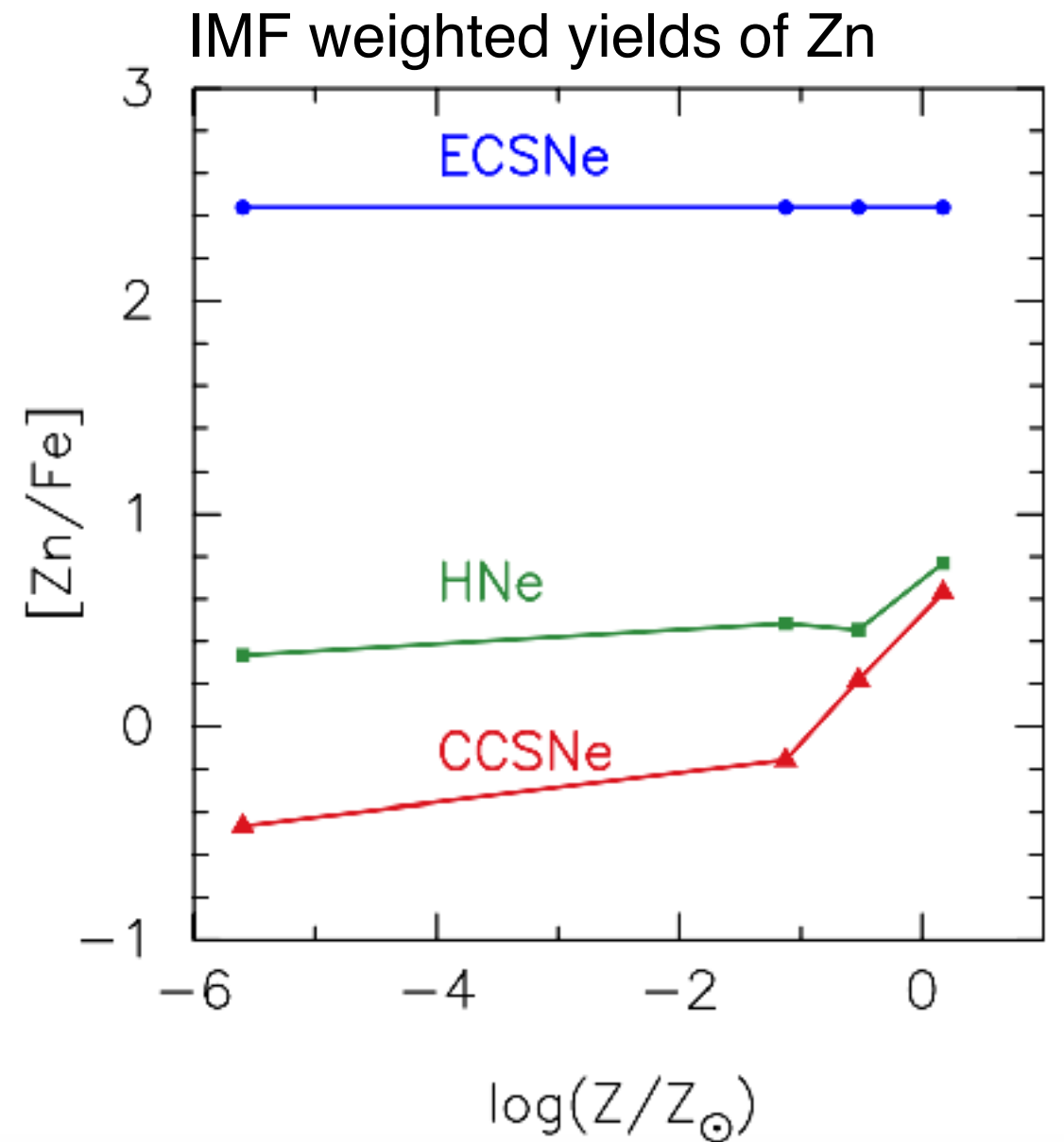
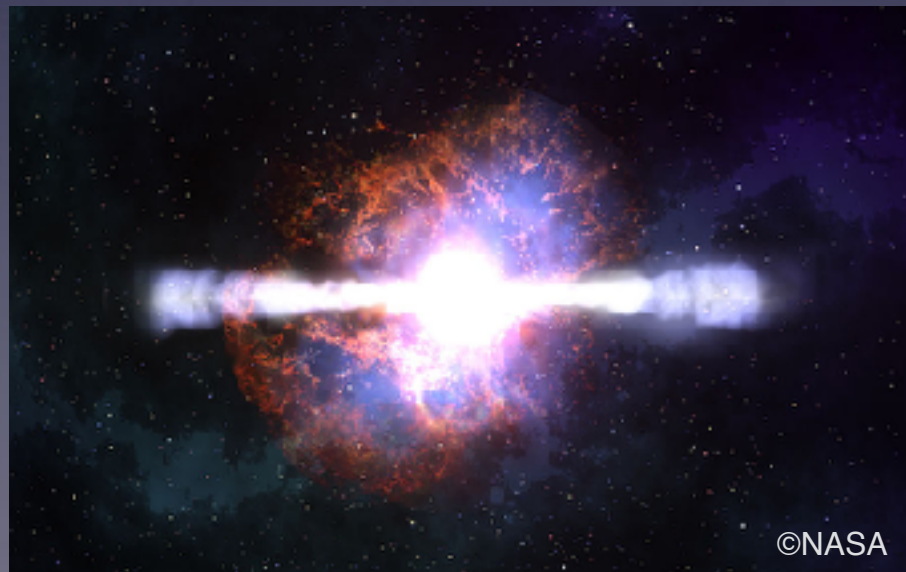
電子捕獲型超新星爆発とハイパーノバ

亜鉛の起源天体として有力

電子捕獲型超新星爆発 (ECSNe)



Hypernovae (HNe)



銀河の化学力学進化における役割は不明

目的

- 重元素(rプロセス元素、 亜鉛)の起源を明らかにする
- 銀河中での元素の混合効率を明らかにする
- 重元素量の進化と銀河の化学力学進化の関係を明らかにする

方法

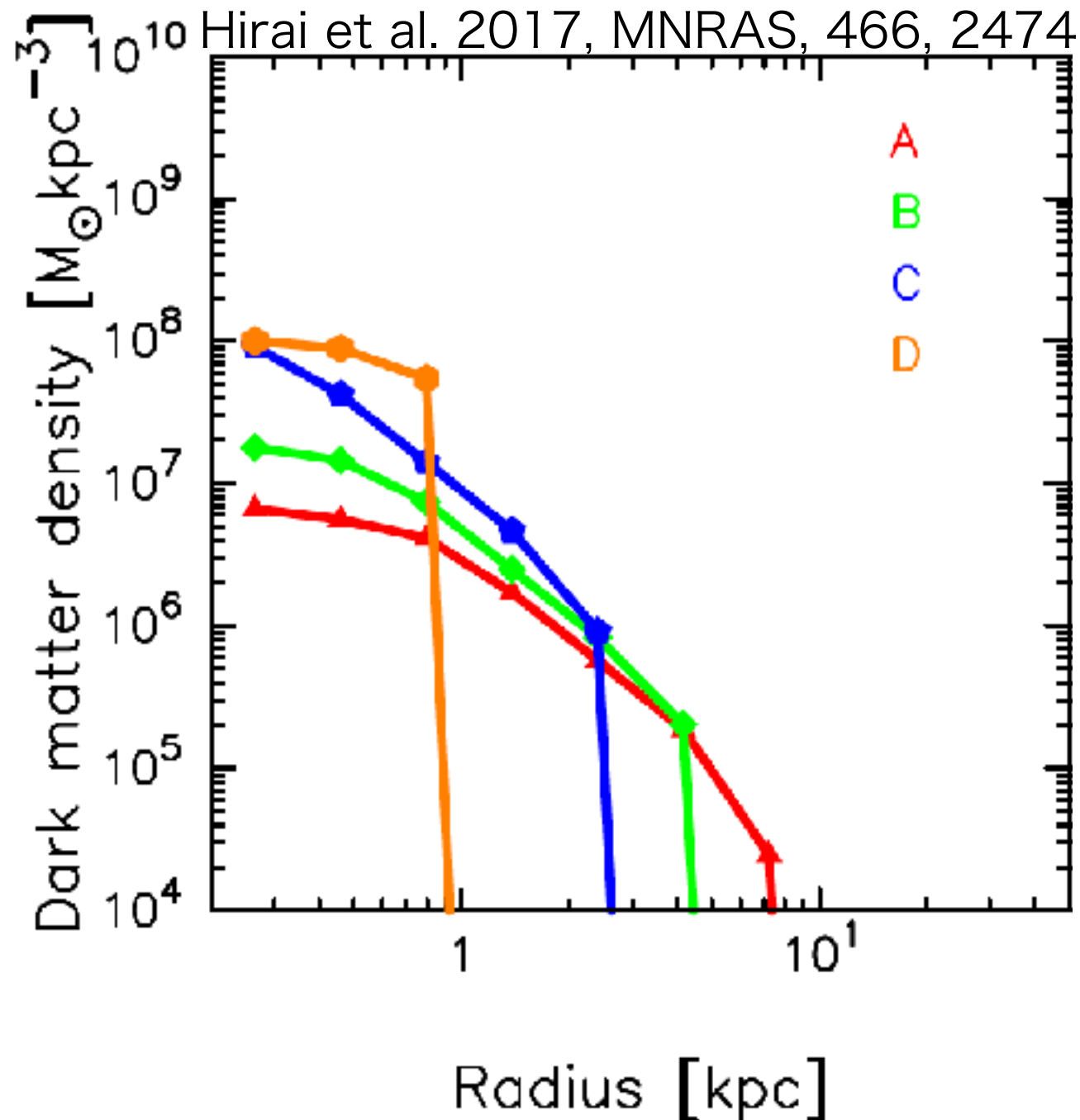
N体/SPHコード ASURA (Saitoh et al. 2008; 2009)

- 星形成
- 冷却加熱関数 (Cloudy)
- 超新星フィードバック
- 化学進化
 - Fe, Mg, Zn : 超新星爆発
 - Eu, Ba : 連星中性子星合体

初期条件

孤立した矮小銀河モデル

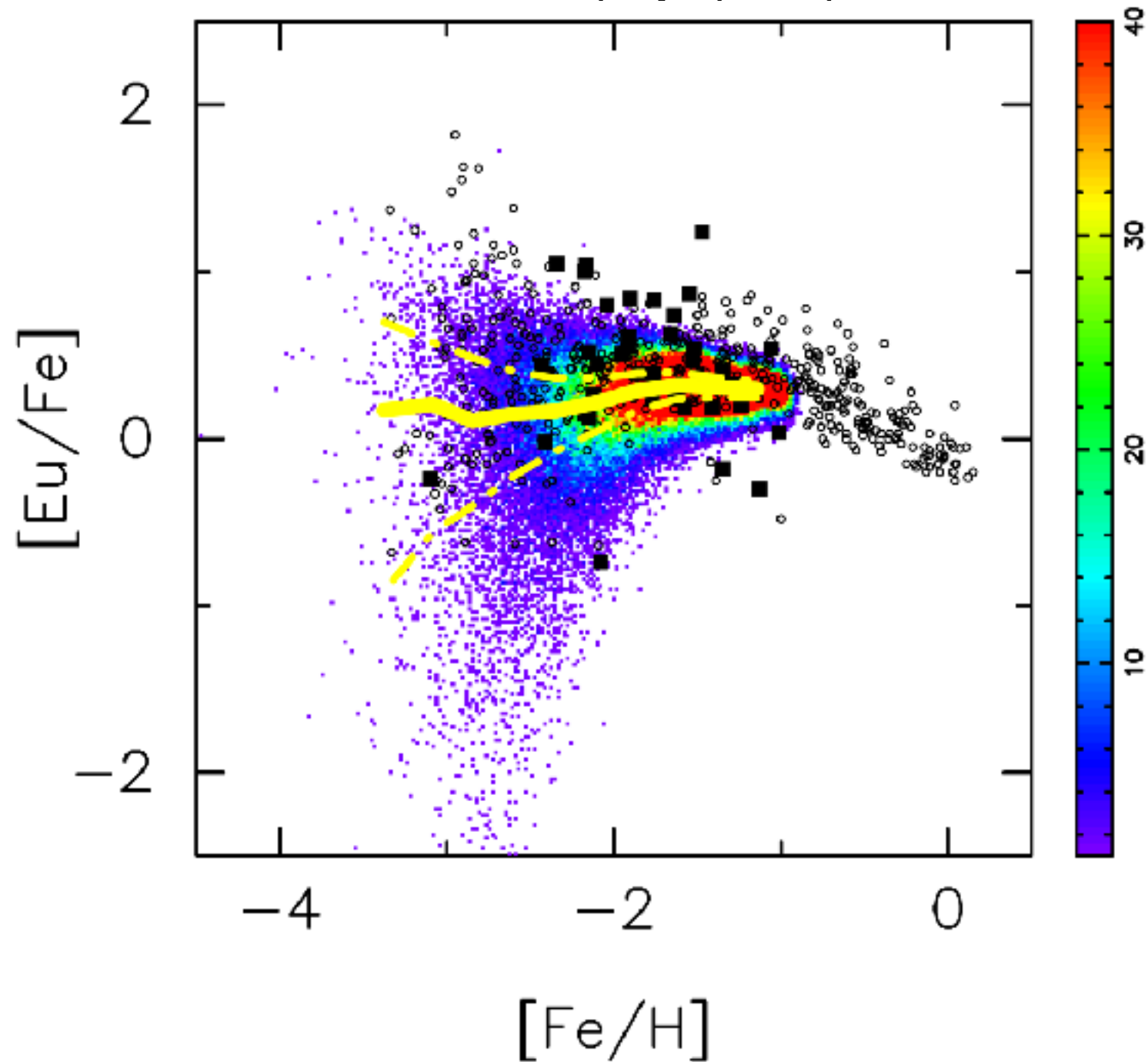
密度プロファイル: pseudo-isothermal profile



八口一質量：
 $3.5-7 \times 10^8 M_{\text{sun}}$

[Eu/Fe] vs. [Fe/H]

Hirai et al. 2015, ApJ, 814, 41



Observation (SAGA database, Suda et al. 2008; 2017)

■ dSphs

○ Milky Way

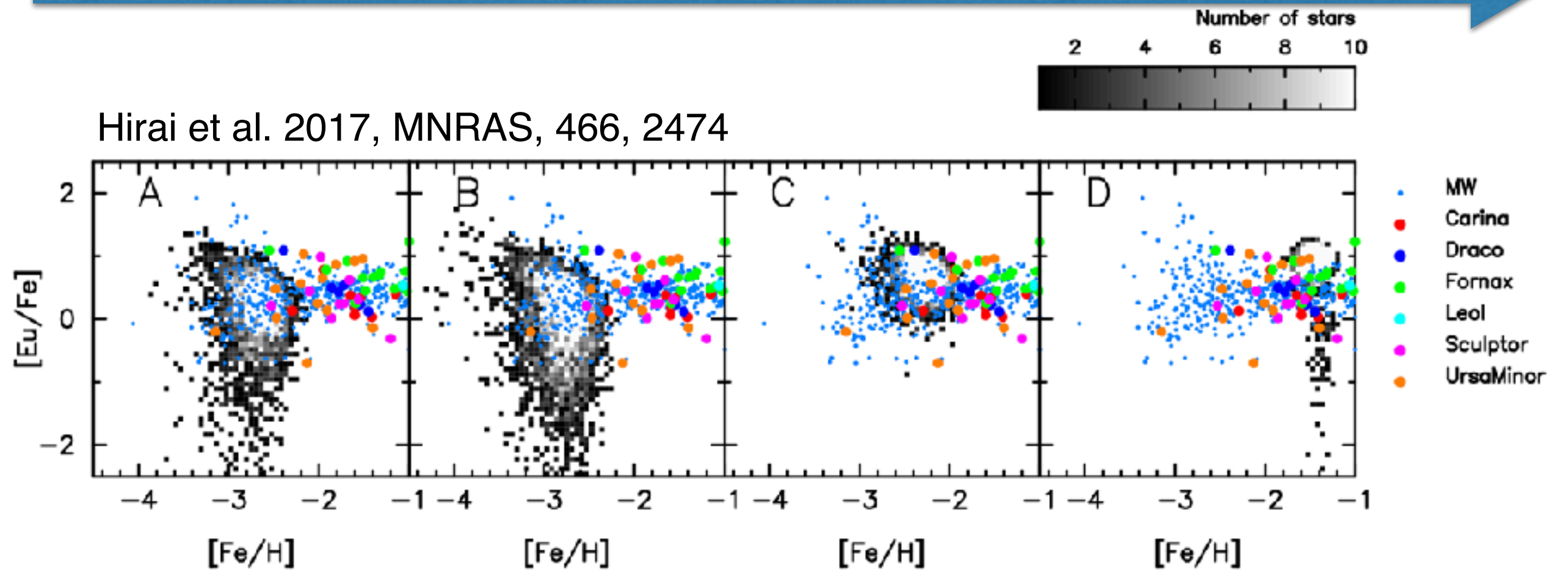
連星中性子星合体で
rプロセス元素量の
観測値を説明可能

星形成率の影響

初期の星形成率

$10^{-4} M_{\text{sun}} \text{ yr}^{-1}$

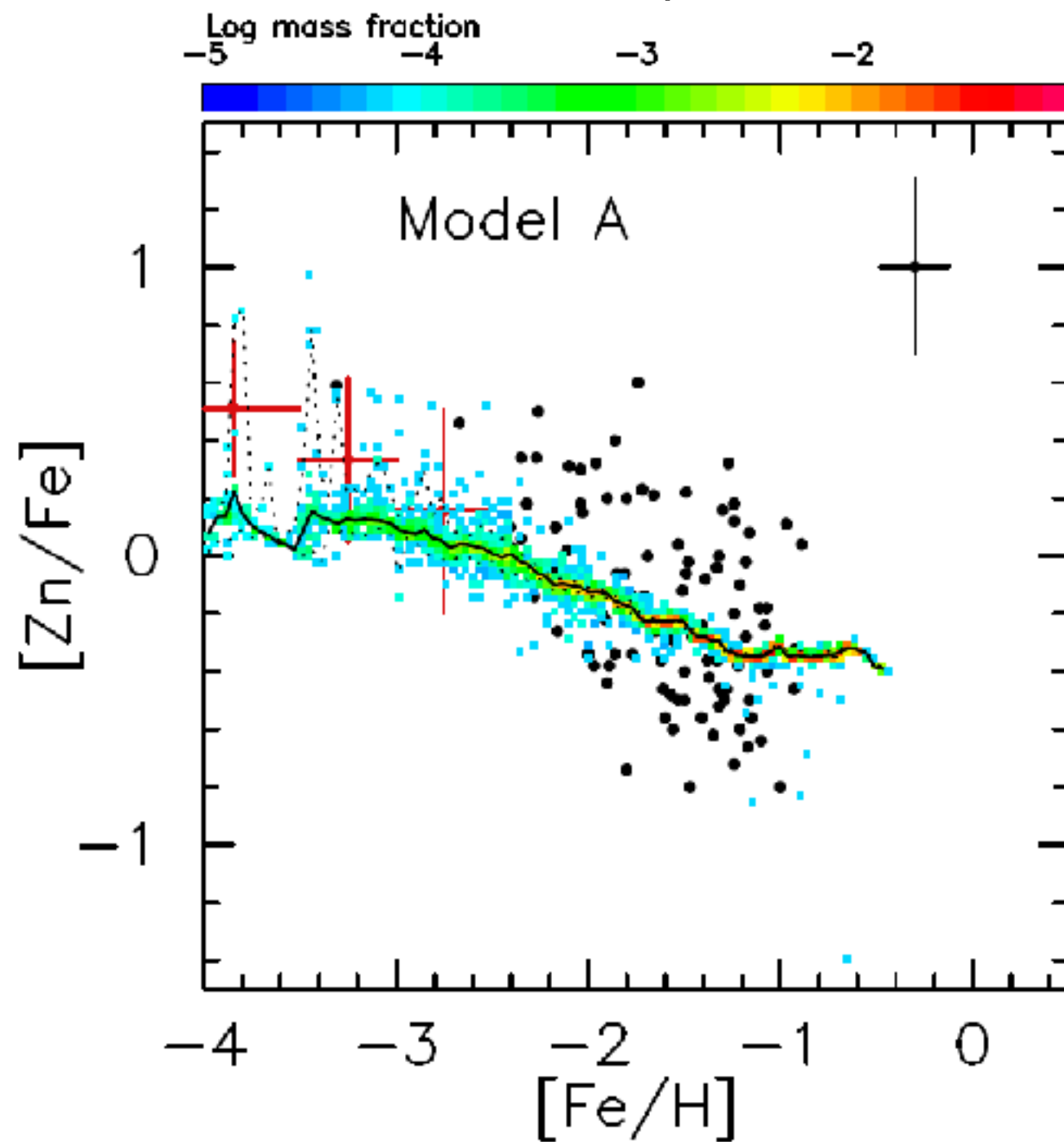
$10^{-1} M_{\text{sun}} \text{ yr}^{-1}$



銀河進化初期の星形成率が高いほど高い金属量でEuが現れる

[Zn/Fe] vs. [Fe/H]

Hirai et al. 2018a, ApJ submitted

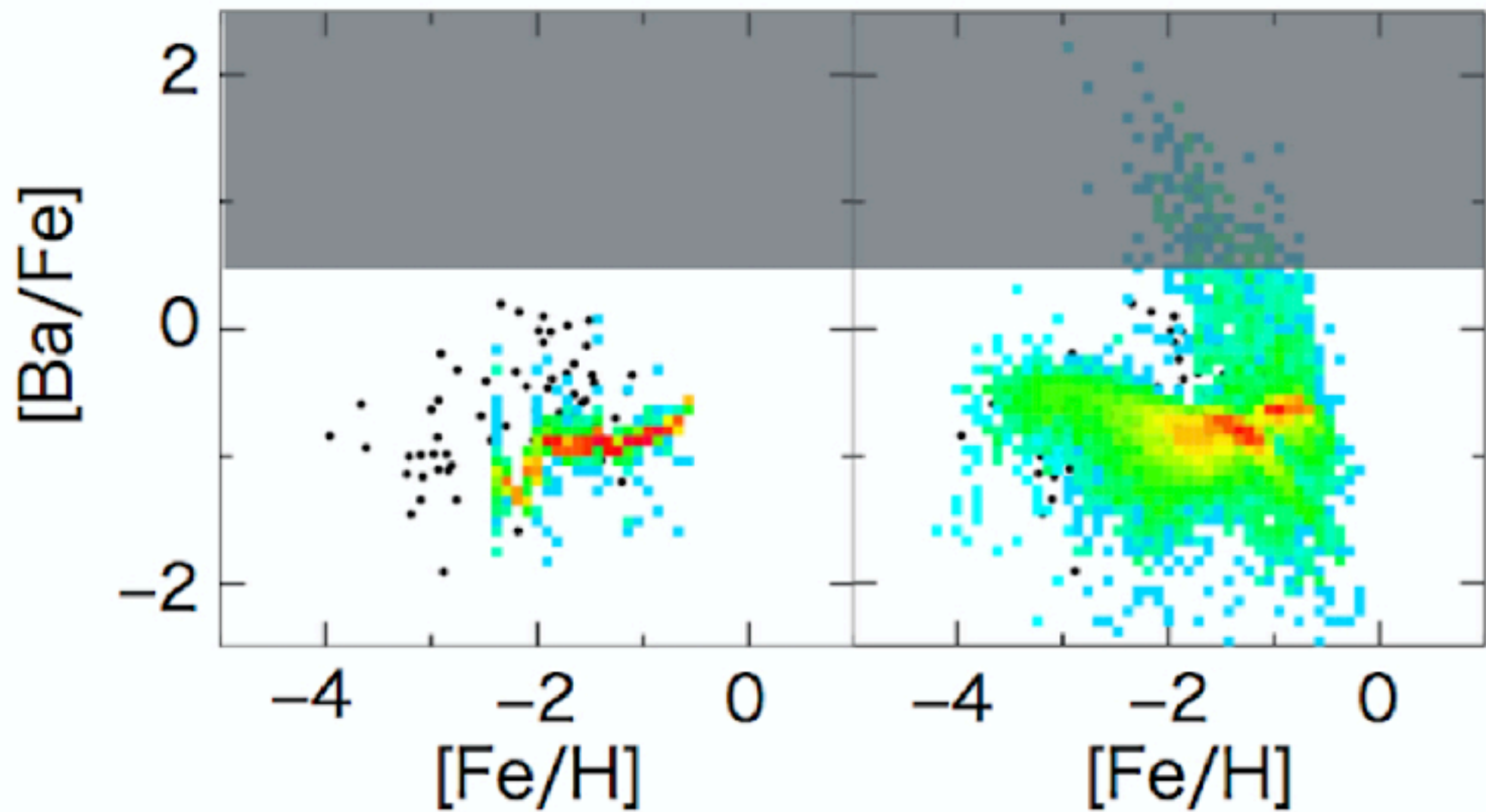


[Zn/Fe] > 0.5の星：
電子捕獲型超新星爆
発の放出物から形成

元素の混合効率

$C_d = 10^{-2}$
Mixing time : 40 Myr

$C_d = 10^{-4}$
1.6 Gyr



Hirai & Saitoh (2017), ApJL, 838, L23

$t_{\text{mix}} \lesssim 40 \text{ Myr}$ であれば観測値を説明できる
力学時間 ($\sim 100 \text{ Myr}$) $> t_{\text{mix}}$

r-process abundances in ultrafaint dwarf galaxy

Assumption :

- Ejected Ba is mixed in whole galaxy
- $M_{\text{Ba}} = 1.8 \times 10^{-4} M_{\text{sun}}$
- $[\text{Fe}/\text{H}] = -3$

Ultrafaint dwarfs (UFD)

ガスの初期質量 $\sim 10^6 M_{\text{sun}}$

$[\text{Ba}/\text{Fe}] = 0.9$

$[\text{Eu}/\text{Fe}] = 1.6$

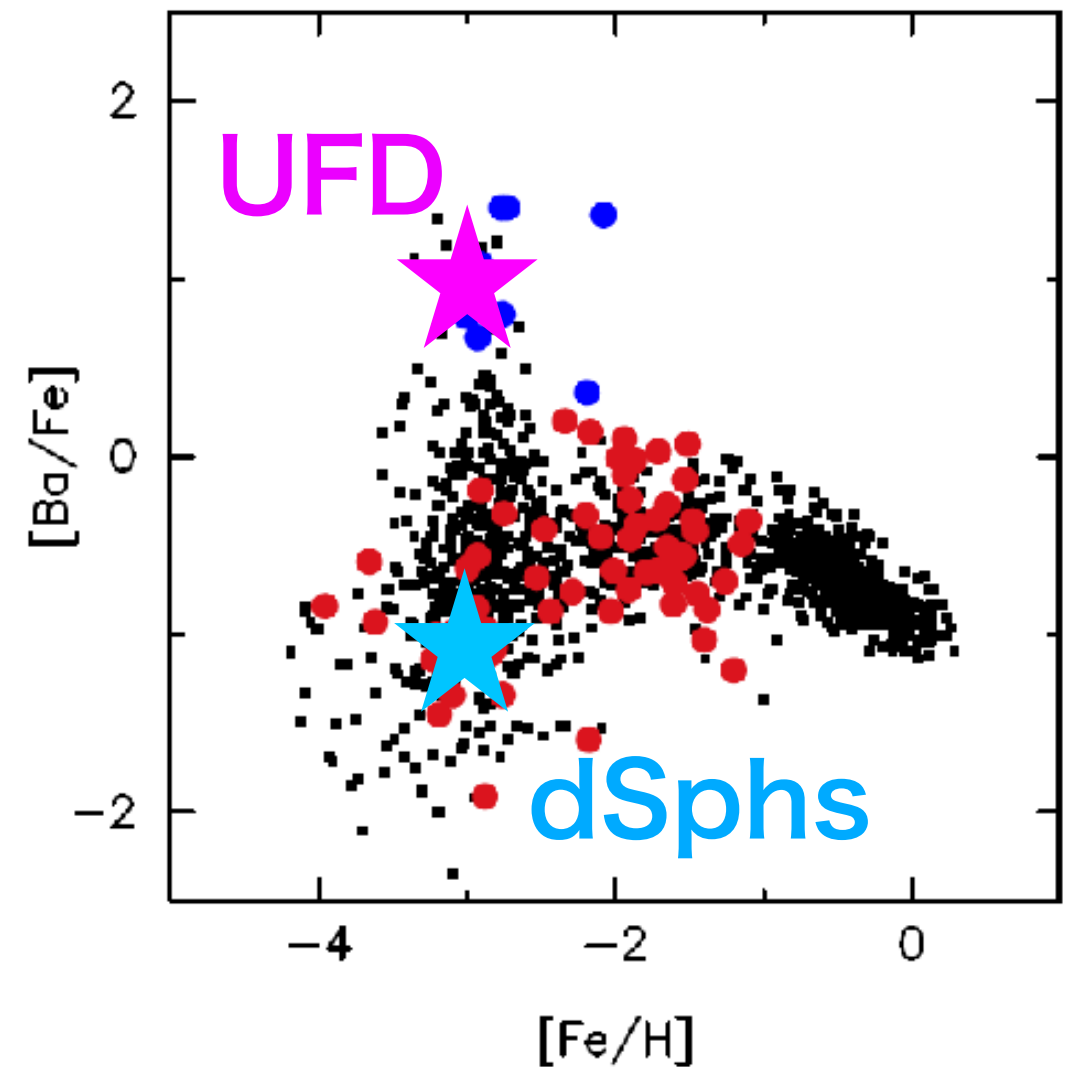
dSphs

ガスの初期質量 $\sim 10^8 M_{\text{sun}}$

$[\text{Ba}/\text{Fe}] = -1.0$

$[\text{Eu}/\text{Fe}] = -0.34$

銀河形成シミュレーションの結果と一致



SAGA database (Suda et al. 2008; 2017),
Ji et al. (2016)

Conclusions

- ・ **連星中性子星合体**は、化学力学進化の観点からも**有力なrプロセス元素の起源天体**
- ・ 金属欠乏星の**rプロセス元素量**には**銀河初期の星形成史**が強く反映されている
- ・ **電子捕獲型超新星爆発**からの放出物が $[Zn/Fe] > 0.5$ の星の形成に**寄与**
- ・ 金属欠乏星の重元素量から見積もった元素の混合時間は**4000万年程度**
- ・ rプロセス元素に富む星は**ガス質量 $10^6 M_{\text{sun}}$ 程度**の**ハロー**で形成された