

初代星・初代銀河研究会2023 @ 北海道大学

星団形成における星風の影響

福島 肇

(筑波大学 計算科学研究センター)

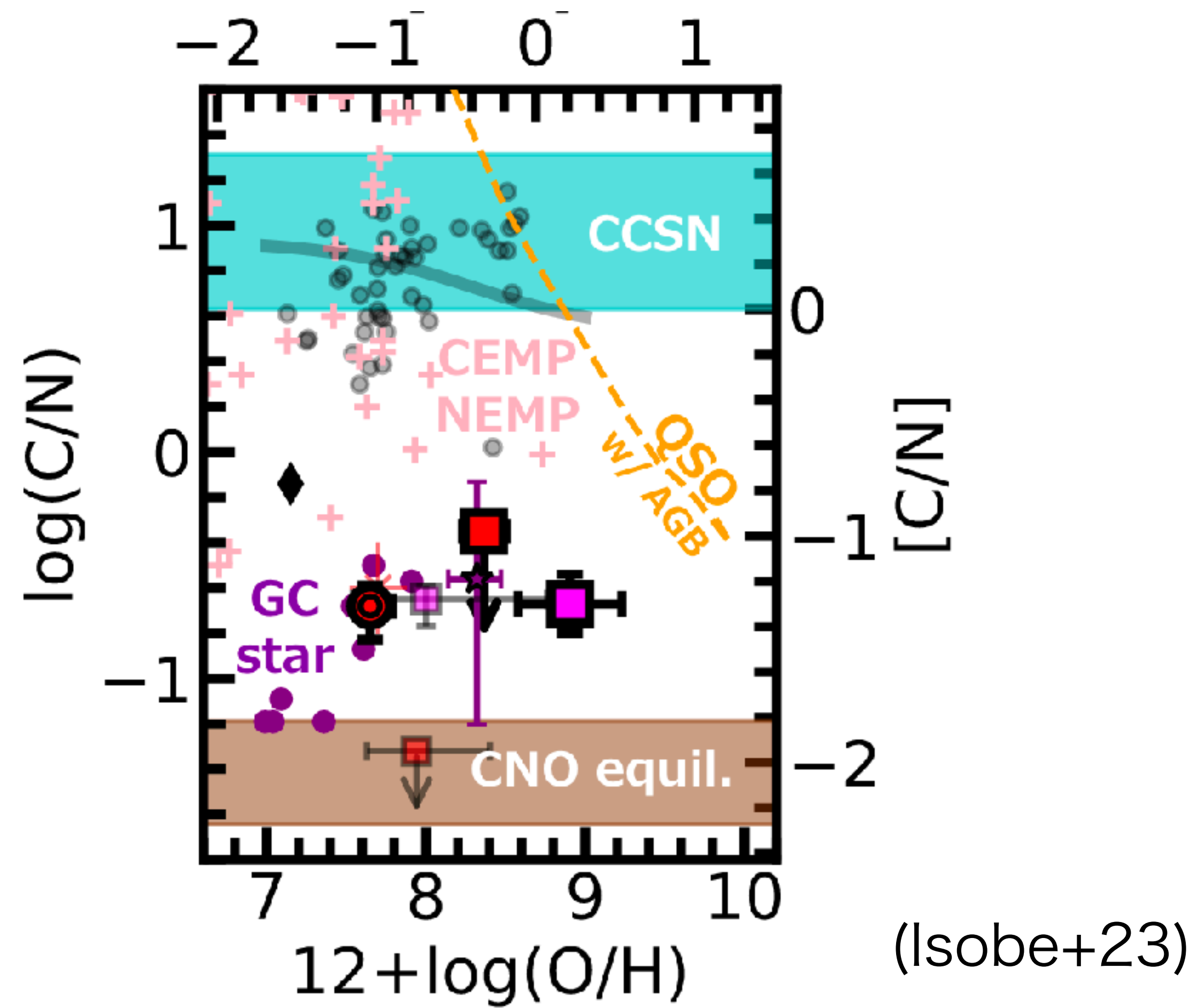
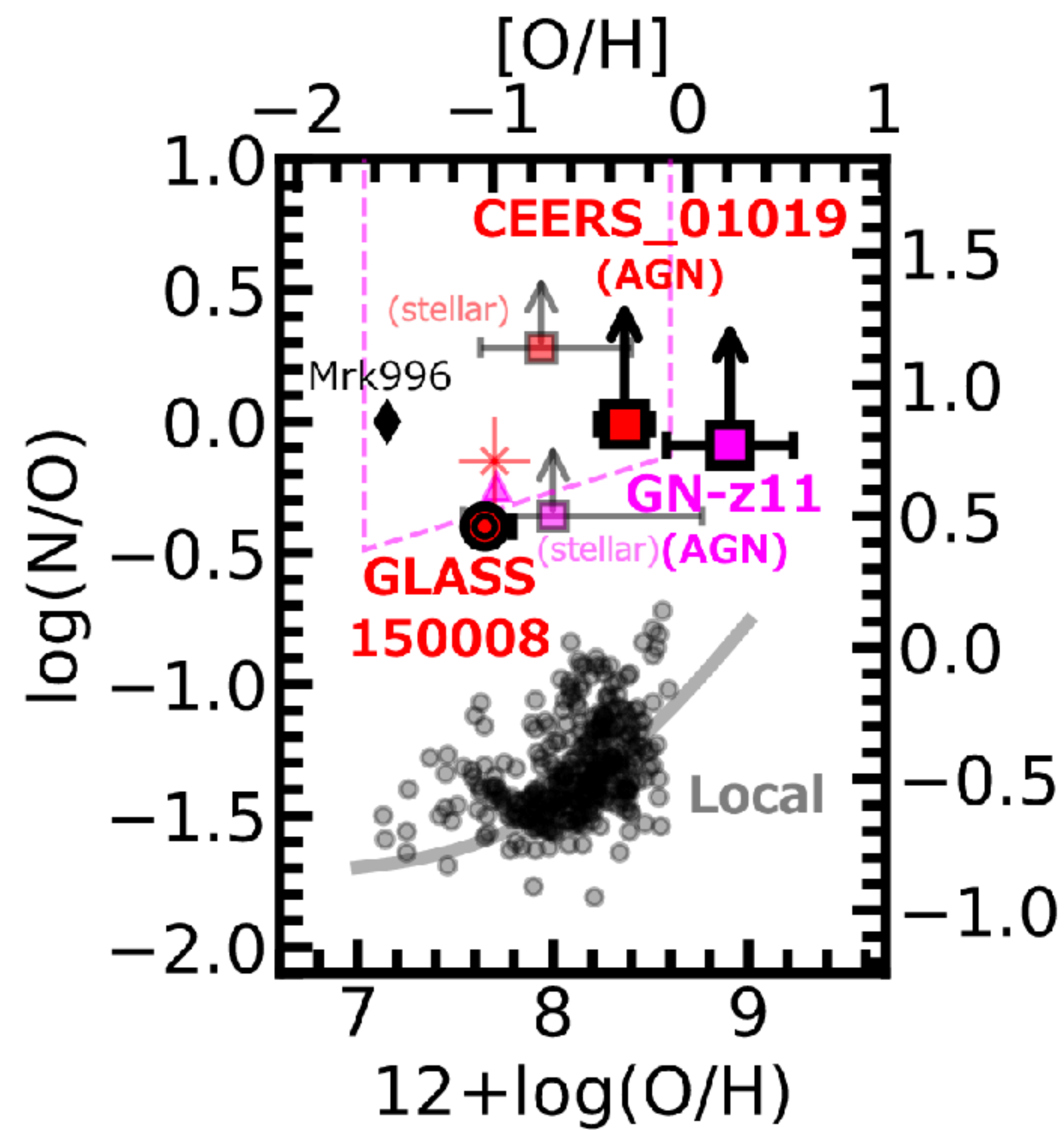
共同研究者: 矢島秀伸 (筑波大学)



筑波大学
計算科学研究センター
Center for Computational Sciences



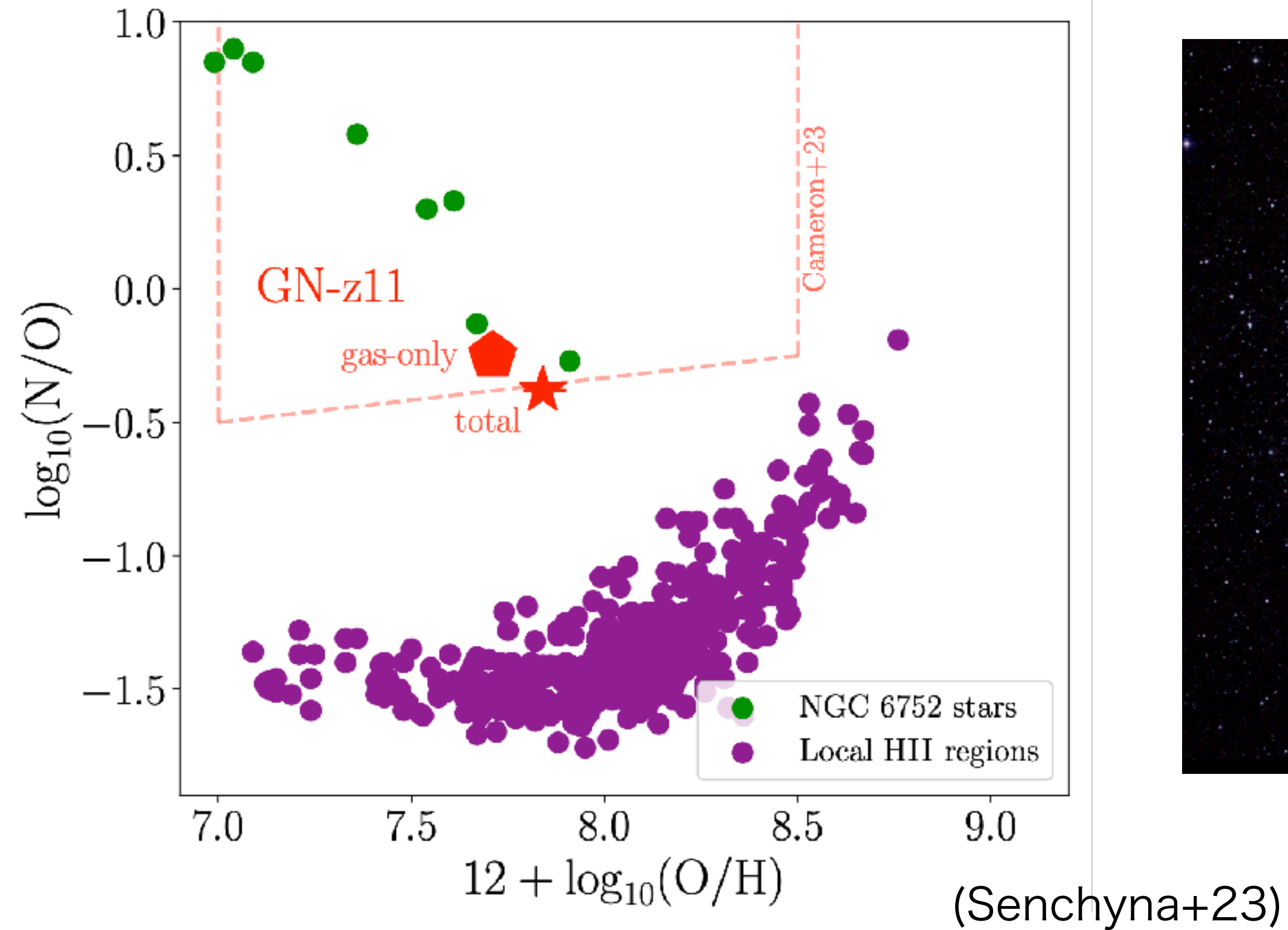
窒素が豊富な銀河の発見 (Harikaneさんのレビュー)



窒素が豊富なhigh-z 銀河が見つかりつつある

(e.g., Bunker+23, Cameron+23, Senchyna+23)

球状星団との関連

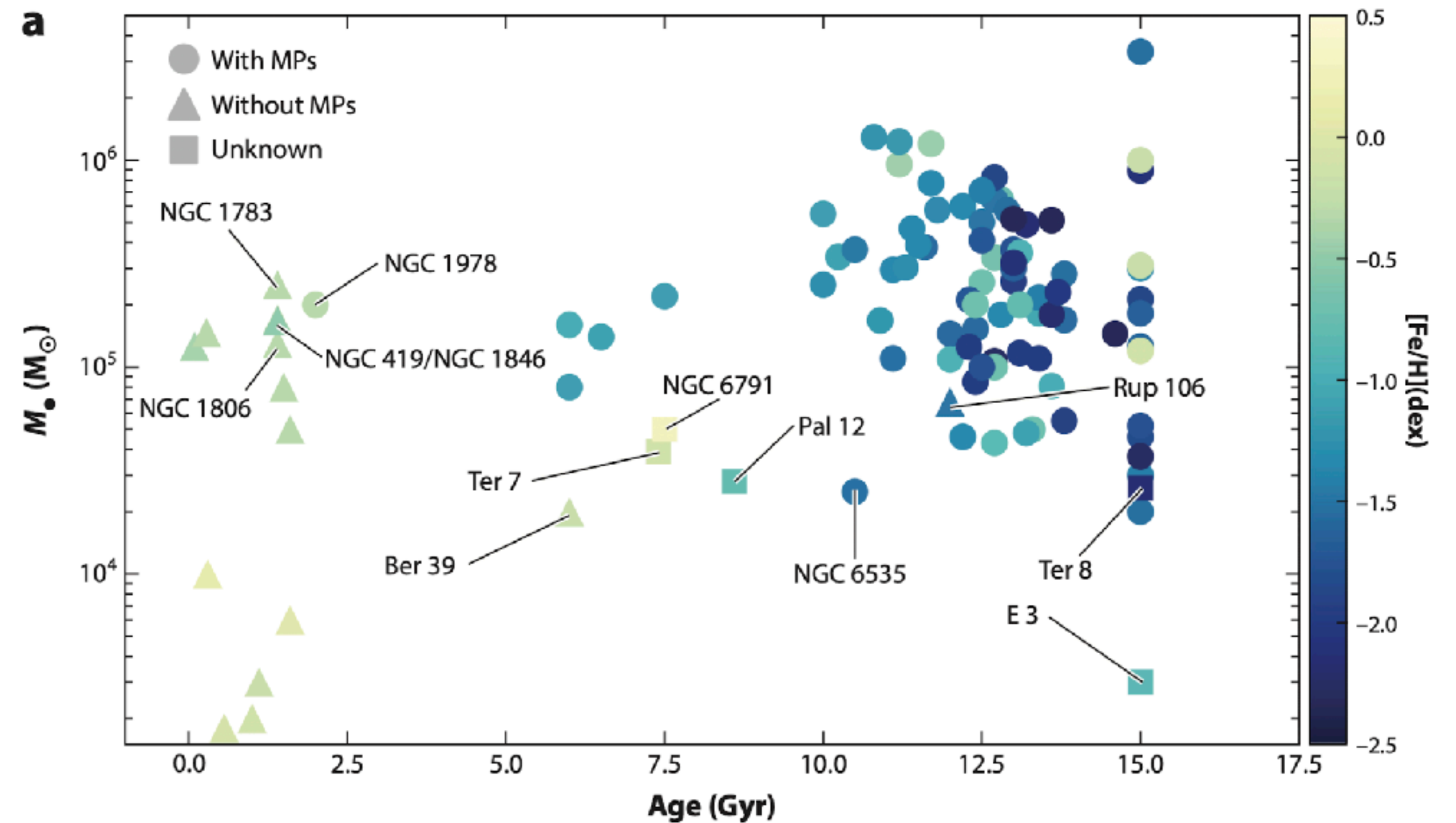
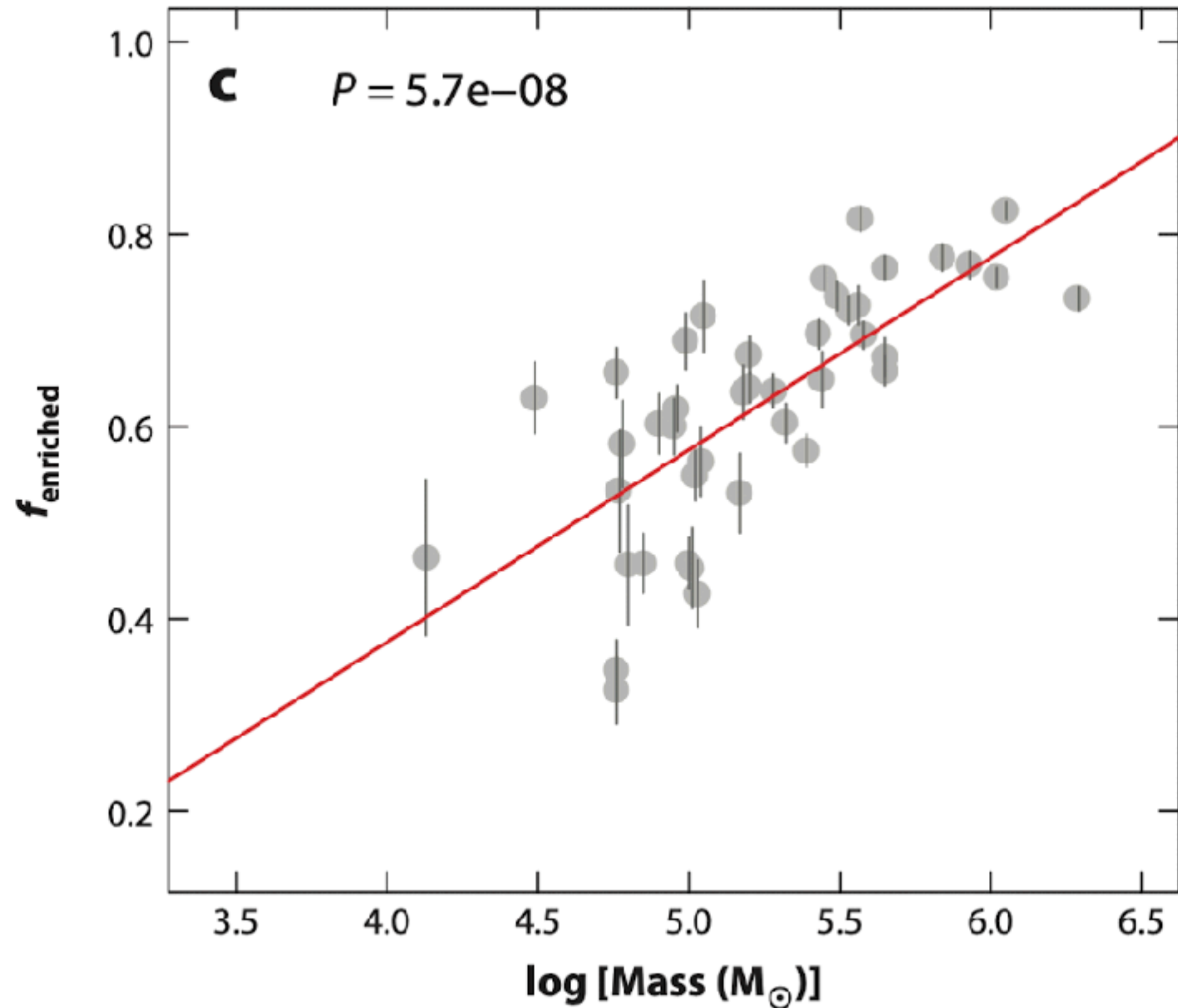


- 大質量 ($\geq 10^5 M_{\odot}$)
- 古い星団 (≥ 10 Gyr)
- 高密度 ($\geq 10^3 M_{\odot} \text{pc}^{-3}$)
- 形成シナリオはまだ確立していない

[N/O]は球状星団に類似している？

球状星団との関連

星質量と化学分布の異なる星質量の割合



(Bastian & Lardo 18)

星団質量増で、第二世代の星質量割合も増

2Gyr以下の若いものでは第二世代は発見されていない

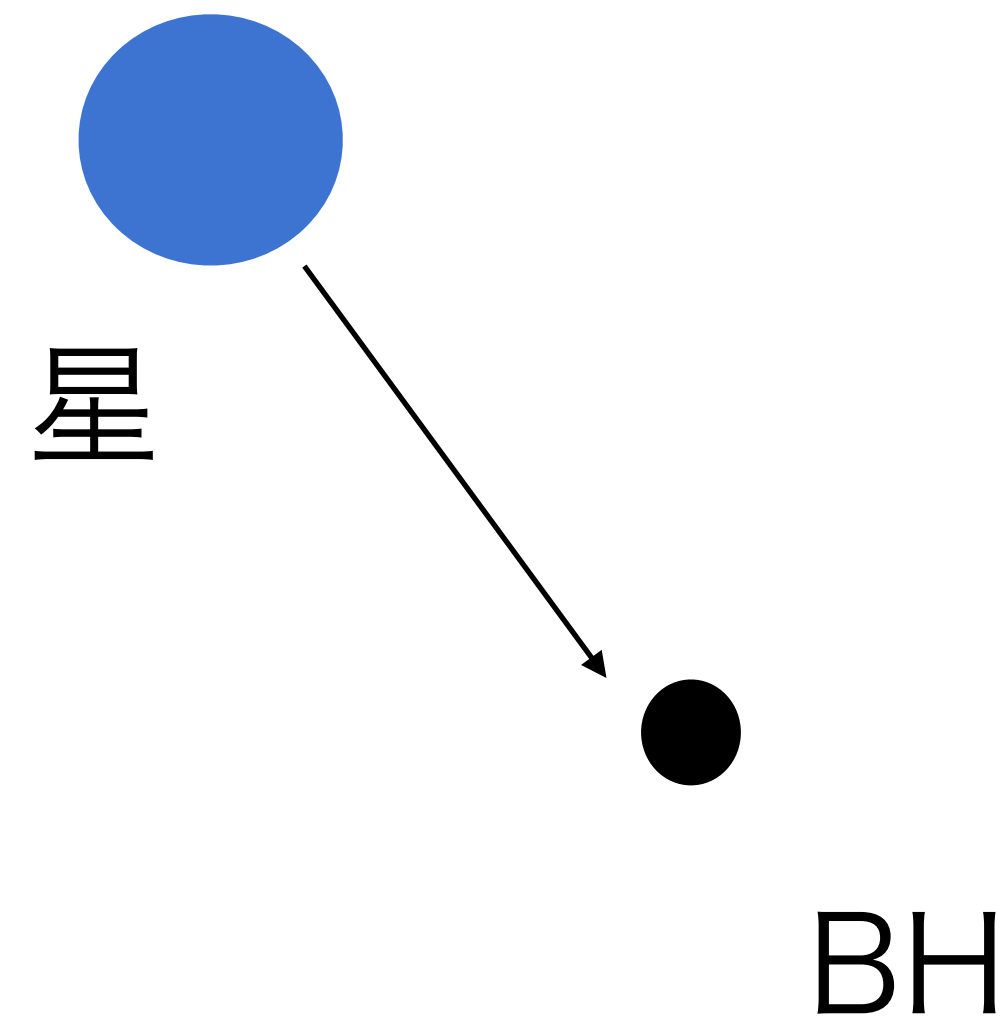
窒素の起源 (Isobe+23)

3つのシナリオ

① Wolf-Rayet星

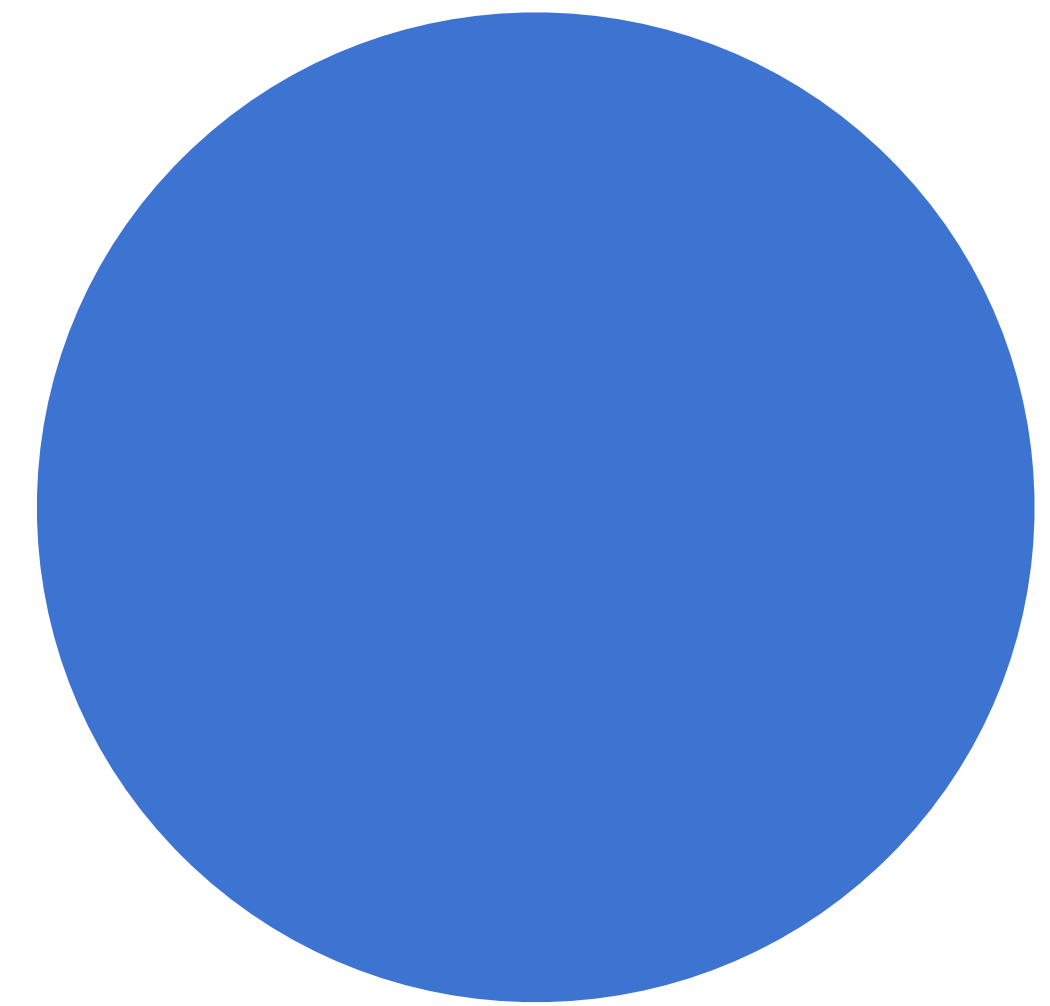


② Tidal disruption event



(Cameron+23, Watanabe+23)

③ 超大質量星



$$M_* > 1000 M_{\odot}$$

(Charbonnel+23)

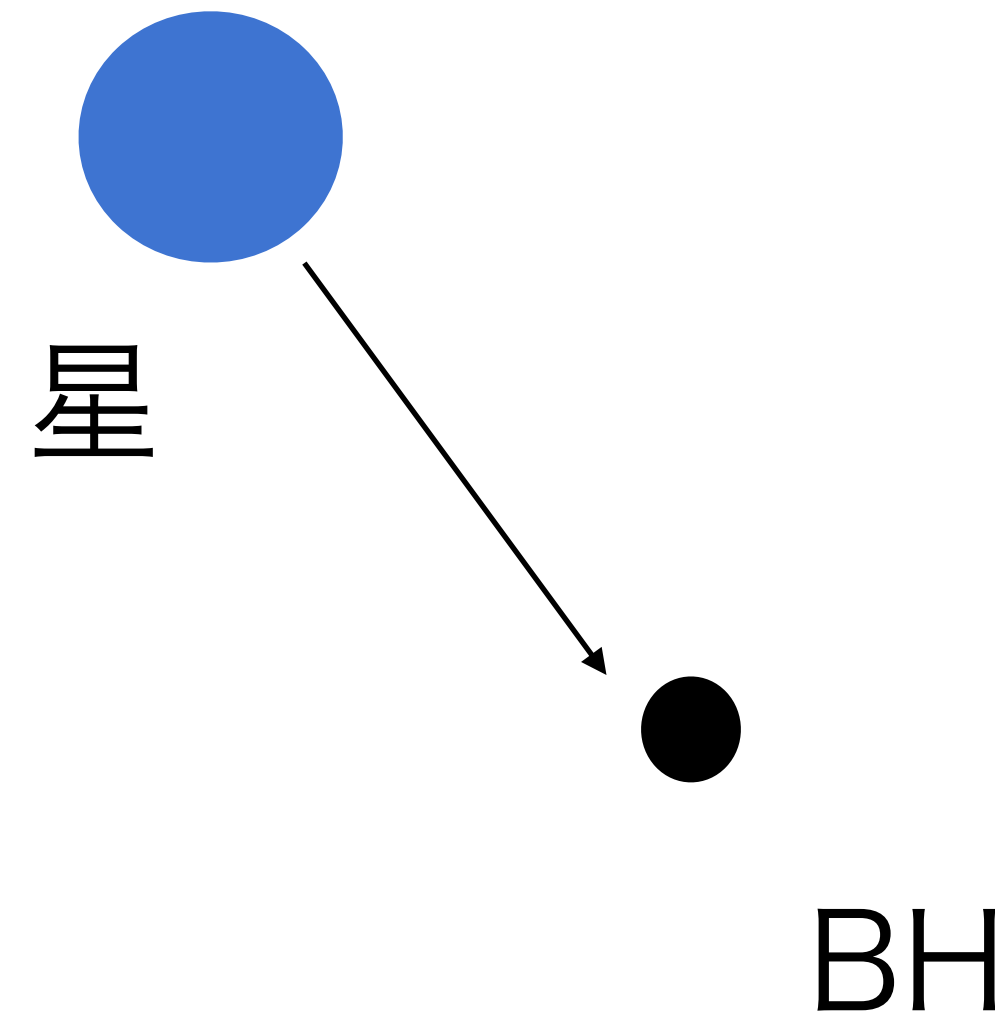
窒素の起源 (Isobe+23)

3つのシナリオ

① Wolf-Rayet星

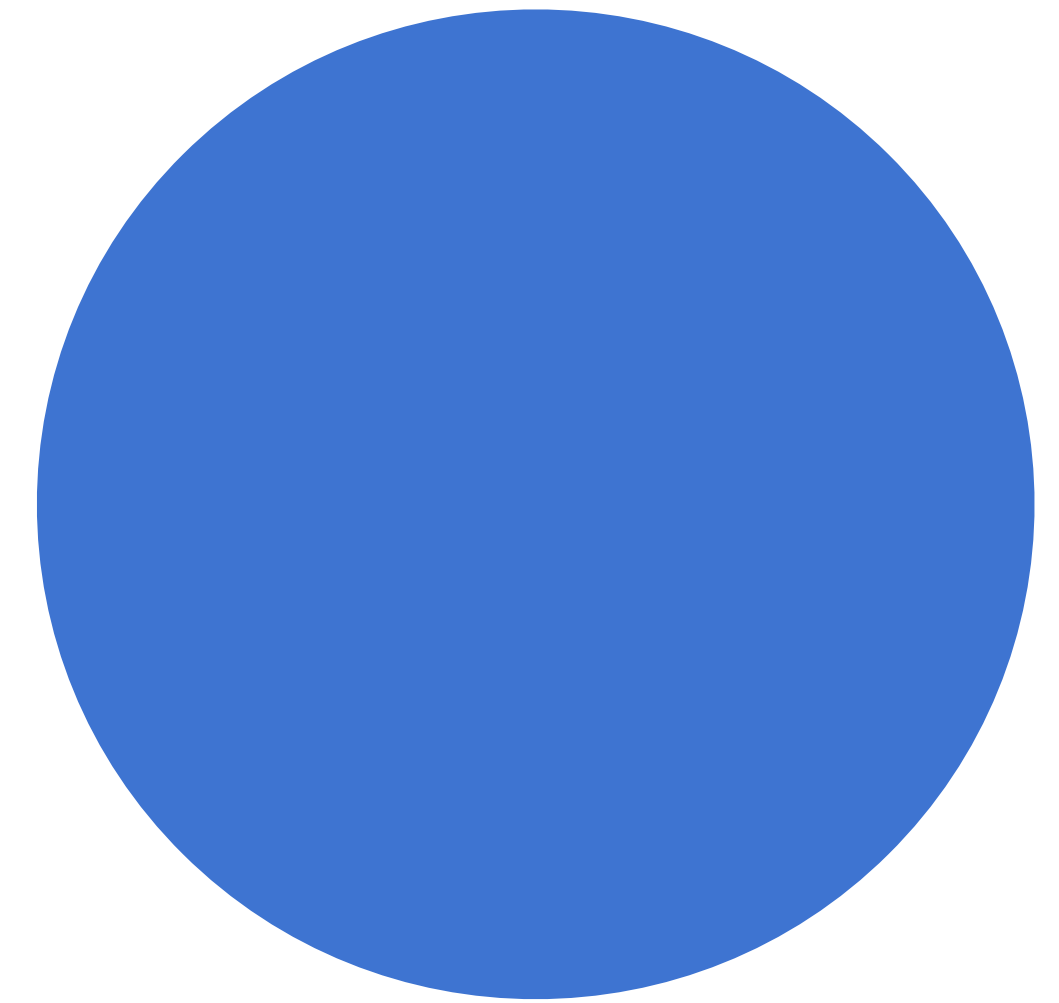


② Tidal disruption event



(Cameron+23, Watanabe+23)

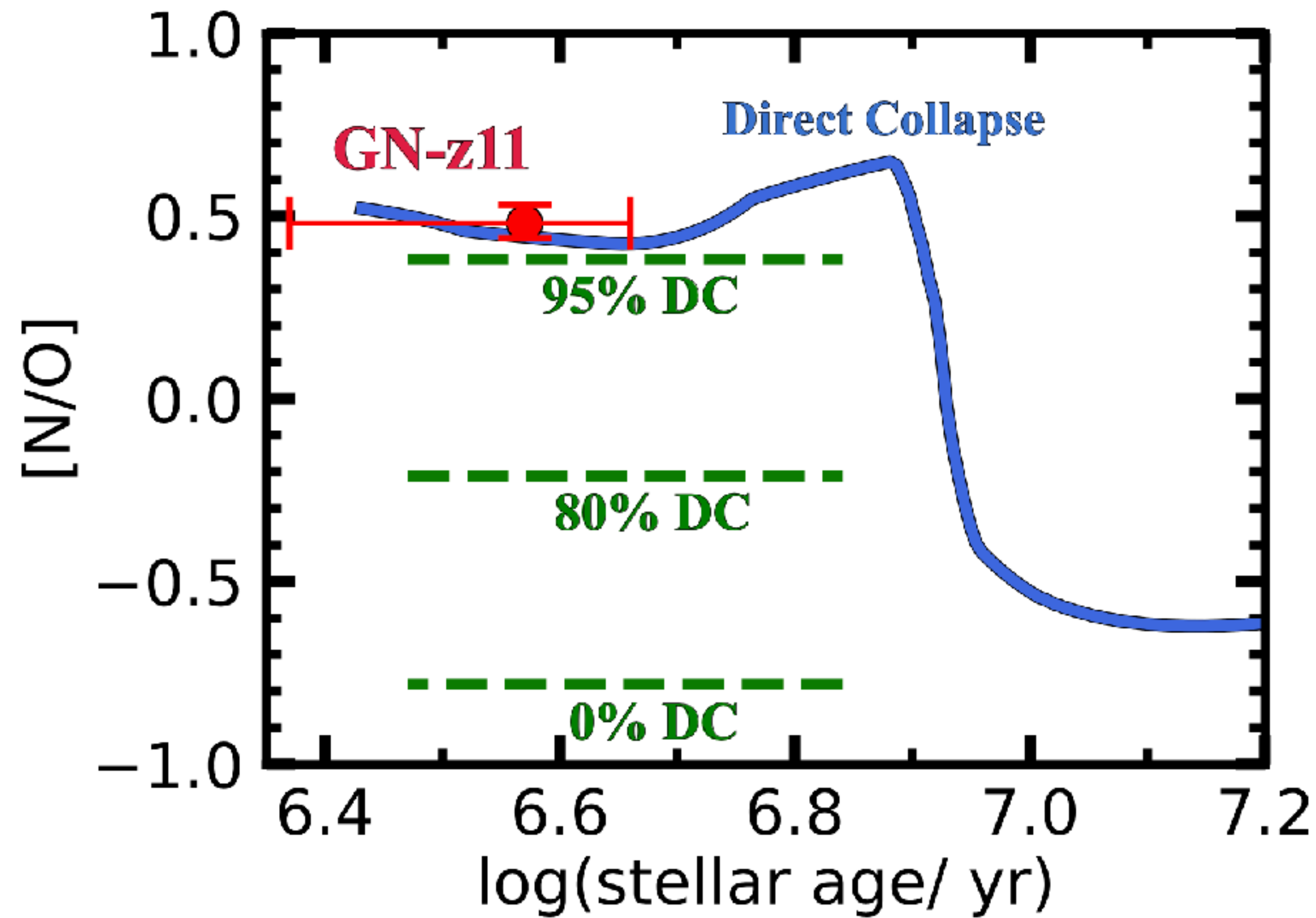
③ 超大質量星



$M_* > 1000 M_{\odot}$
(Charbonnel+23)

Wolf-Rayet星からの星風による効果を考慮する。

窒素の起源 Walf-Rayet モデル



(Watanabe+23)

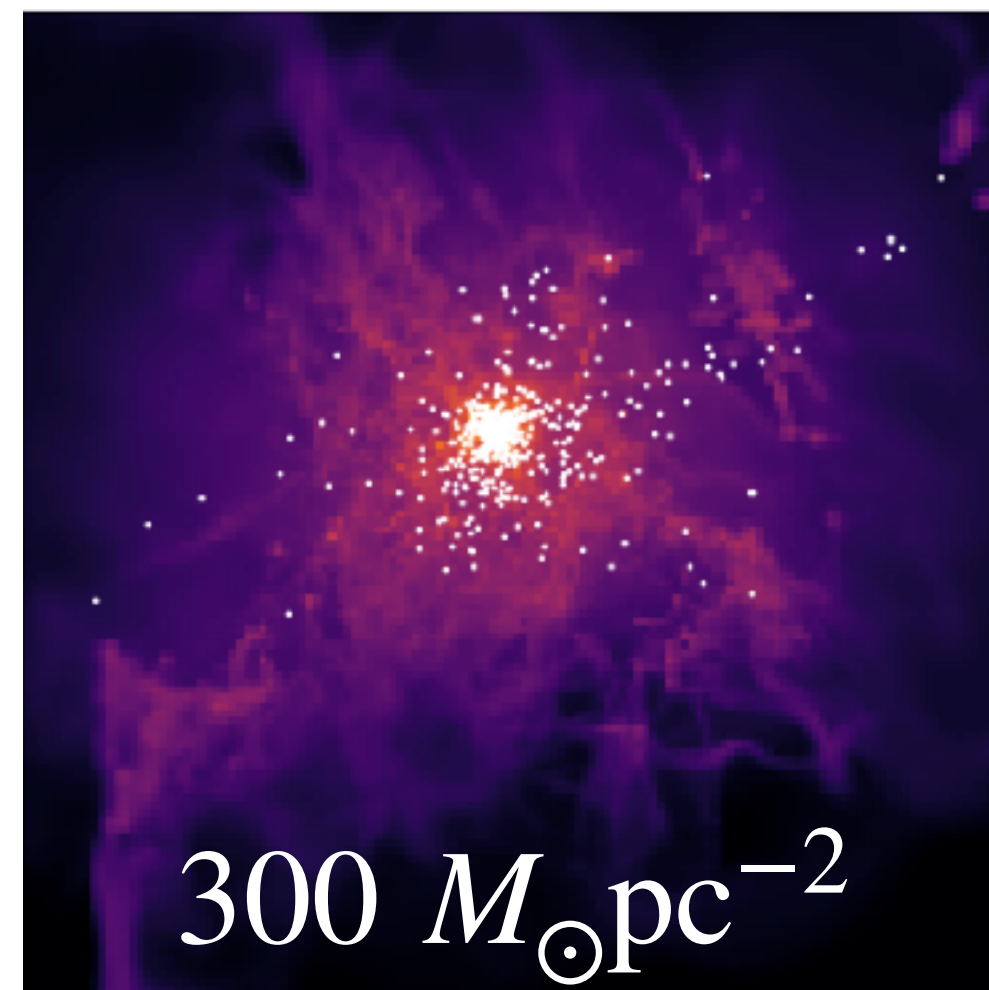
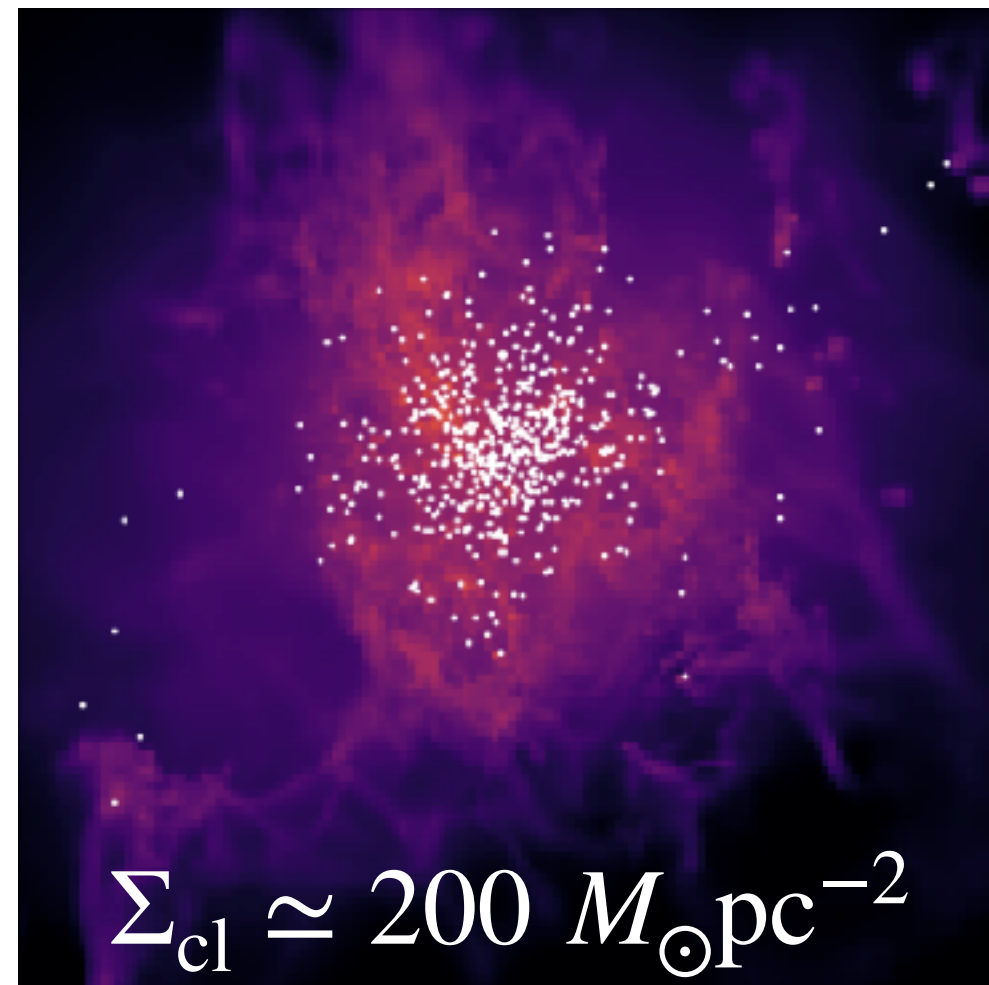
酸素は超新星爆発により主に供給される。

もしある程度大質量な星(図では $> 25 M_{\odot}$)が超新星爆発を起こさない場合、N-richな環境となる可能性がある。

(Limongi & Chieffi 2018)

星団形成における星風による金属供給

条件1: 大質量・高密度星団が誕生する



雲面密度: $\Sigma_{\text{cl}} = (\text{雲質量})/(\pi \text{半径}^2)$

$$\Sigma_{\text{cl}} > \Sigma_{\text{thr}} = 750 M_{\odot} \text{pc}^{-2} \left(\frac{\epsilon_{\text{ff}}}{0.03} \right)^{2/5} \left(\frac{M_{\text{cl}}}{10^6 M_{\odot}} \right)^{-1/5} \\ \times \left(\frac{T_{\text{i}}}{2.5 \times 10^4 \text{ K}} \right)^{28/25} \left(\frac{s_{*}}{1.1 \times 10^{47} M_{\odot}^{-1} \text{s}^{-1}} \right)^{2/5} .$$

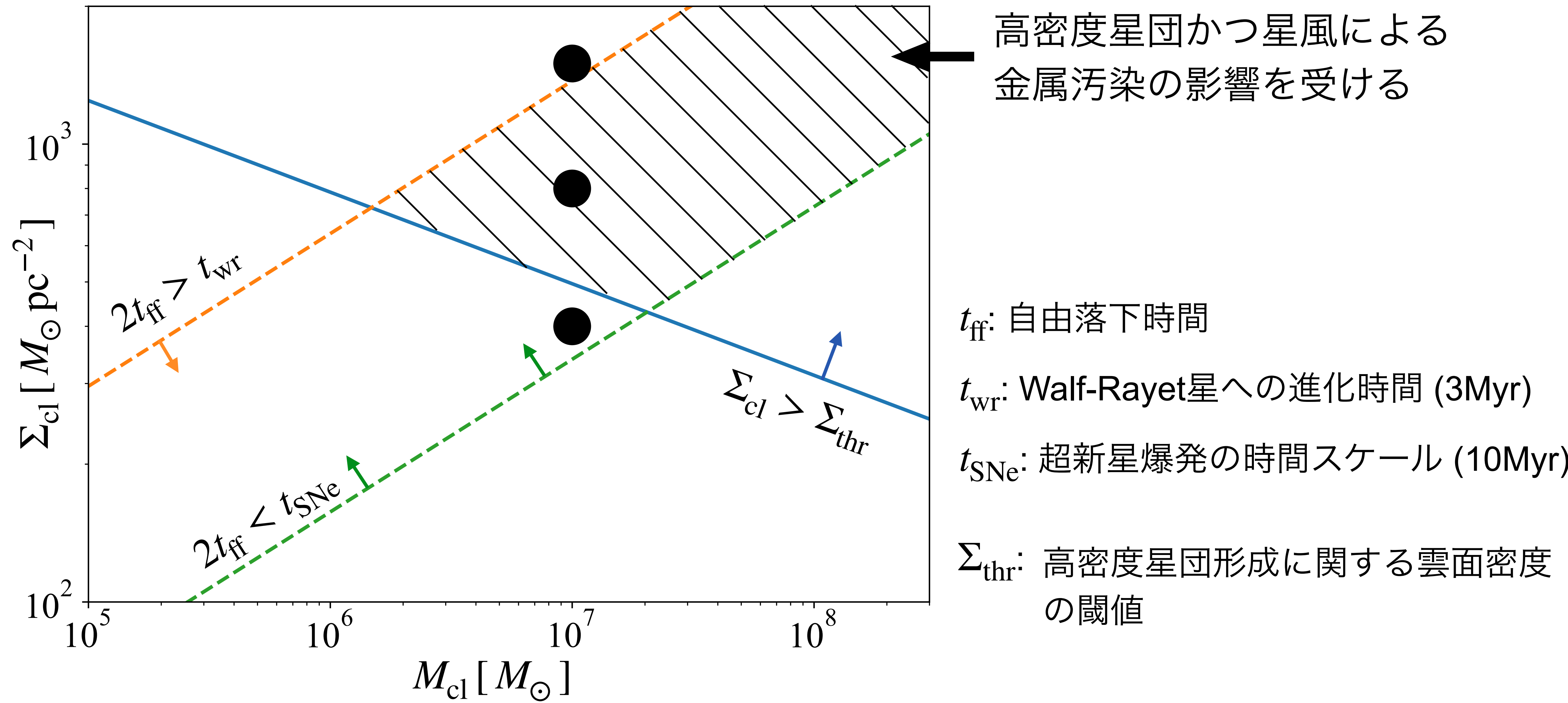
M_{cl} : 雲質量, T_{i} : 電離ガス温度, s_{*} : 電離光子放出率

(HF & Yajima 21, 23)

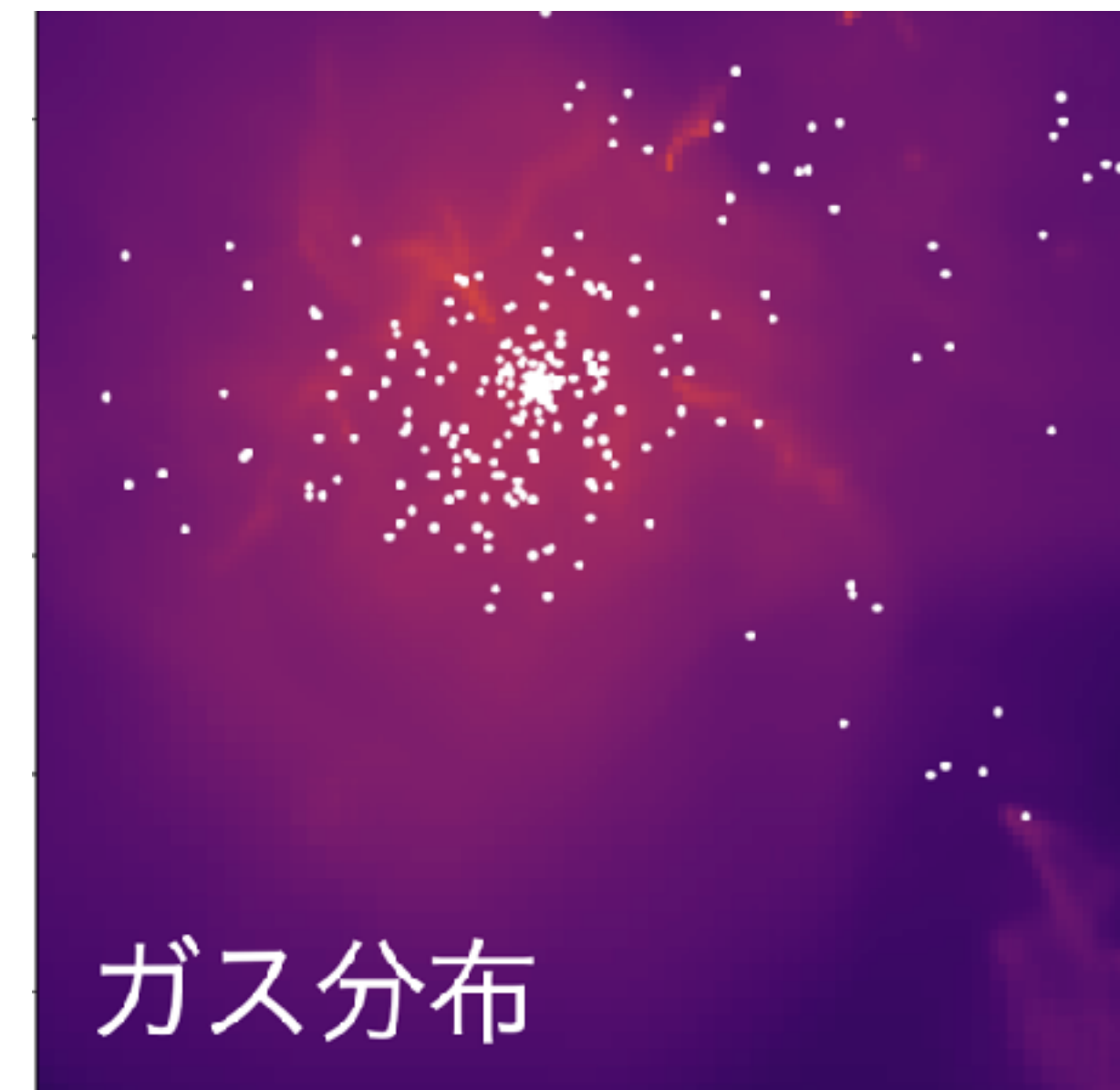
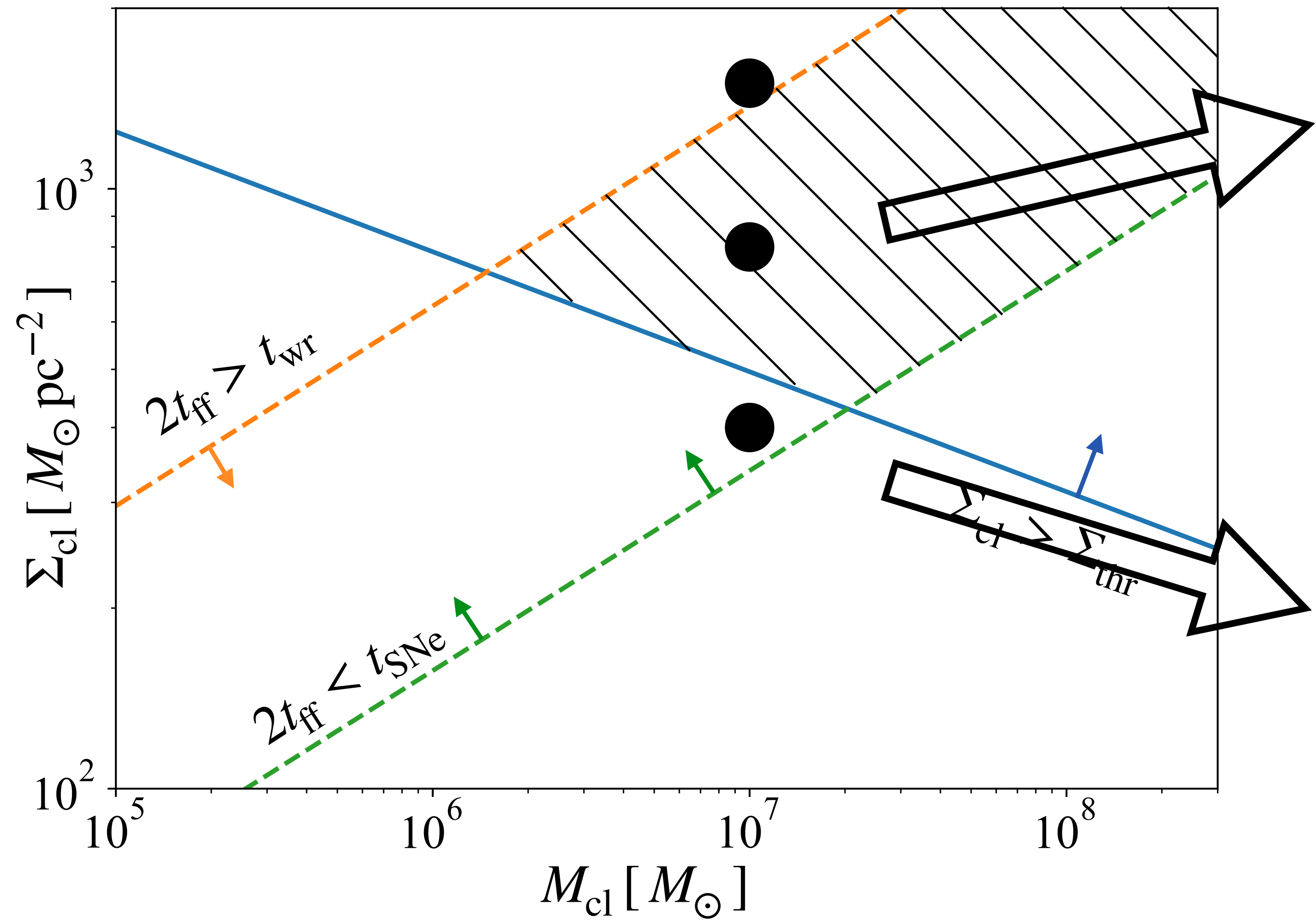
条件2: 星形成継続時間(t_{dur})内にWR星状態となる

条件3: 星形成継続時間(t_{dur})内に超新星爆発が起こらない(?)

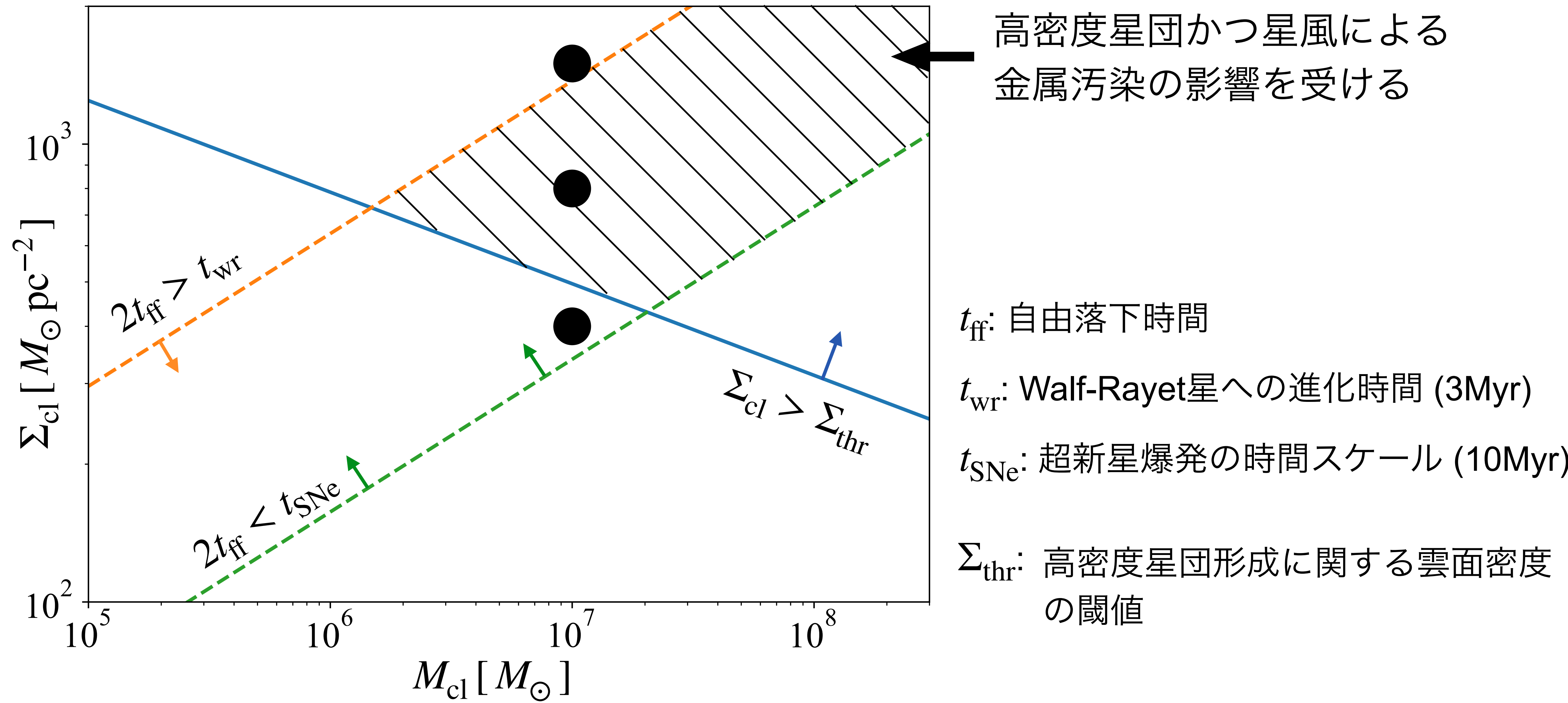
星風による金属汚染と高密度星団形成



星風による金属汚染と高密度星団形成



星風による金属汚染と高密度星団形成



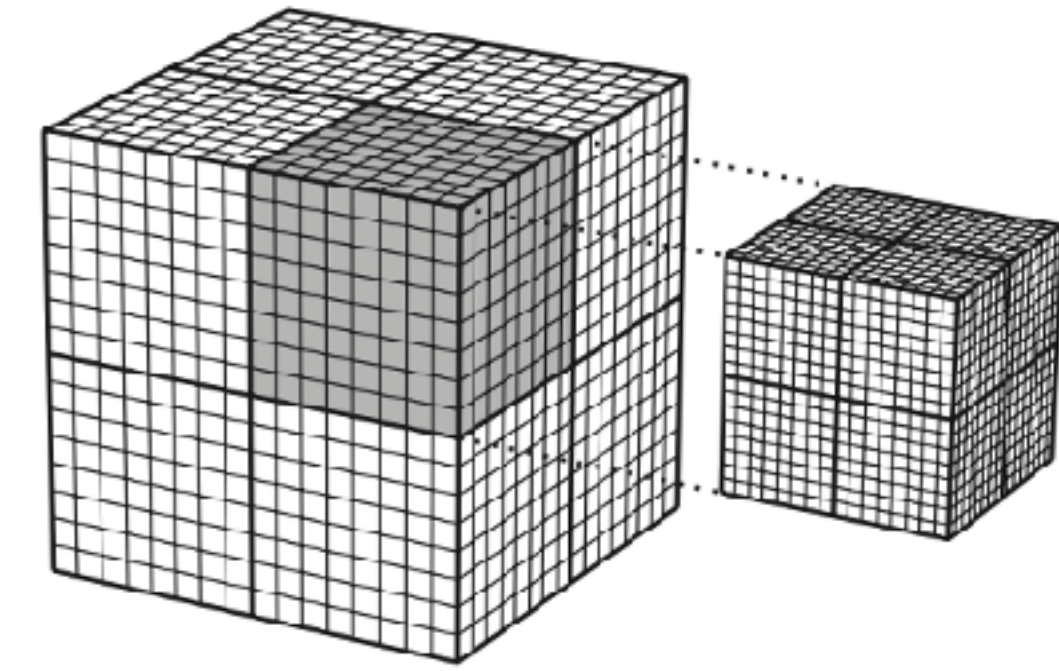
実際にシミュレーションで調べる。

数値計算 (星風+超新星爆発入り)

Self-gravitational AMR (M)HD + Sink particles



(Matsumoto 2007, 2015)



格子構造

Non-Equilibrium chemistry

H, H₂, H⁺, H⁻, H₂⁺, e, CII, OI, OII, OIII, CO

Heating & Cooling

Photoionization & photodissociation heating

Line cooling (CII, CO, OI, OII, OIII), dust cooling

Chemical heating & cooling

(Sugimura et al. 2020, CO network: Nelson & Langer 1997)

Stellar evolution

Metal yield from SNe & stellar wind (He, N, C, O)

Stellar wind & SNe feedback

Direct collapse ($> 25 M_{\odot}$) (Limongi & Chieffi 2018)

星団粒子を使用

Radiation transfer with moment method (M1-closure, reduced speed of light)

EUV photons

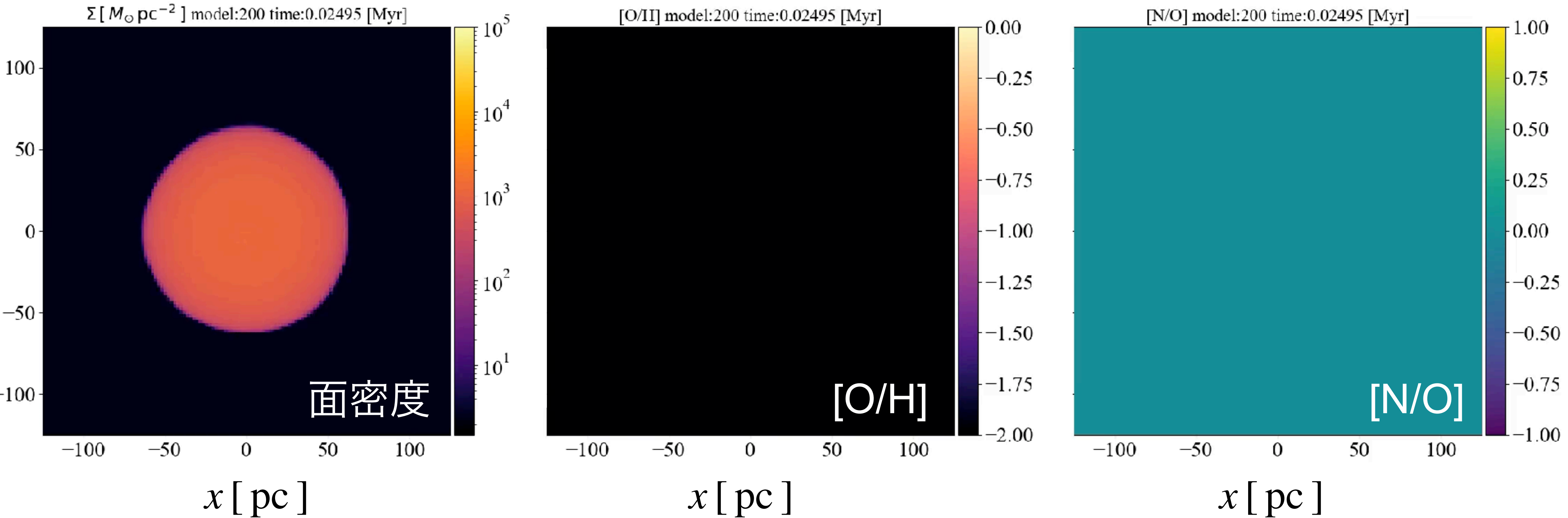
FUV photons (H₂, CO photodissociation)

Dust thermal emission

(Rosdahl+13, HF&Yajima 21)

星団モデル(雲質量 $10^7 M_{\odot}$, 金属量 $10^{-2} Z_{\odot}$):

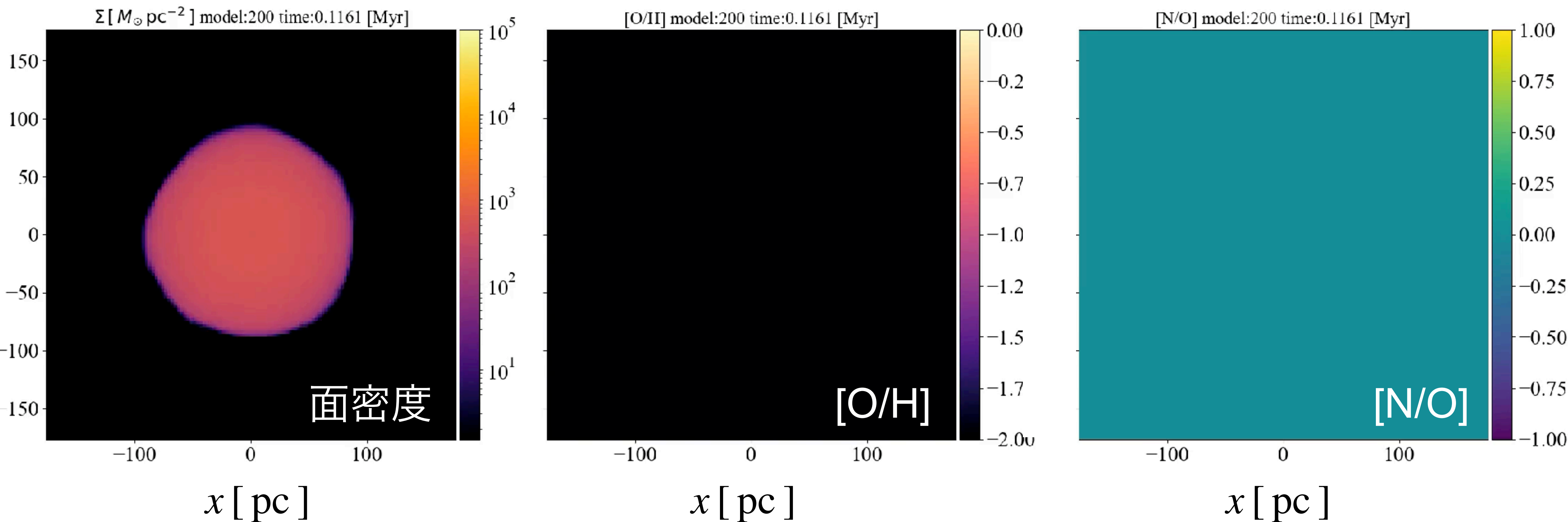
(2) 半径: 63 pc ($800 M_{\odot} \text{pc}^{-2}$)



星質量: $2 \times 10^6 M_{\odot}$

星団モデル(雲質量 $10^7 M_\odot$, 金属量 $10^{-2} Z_\odot$):

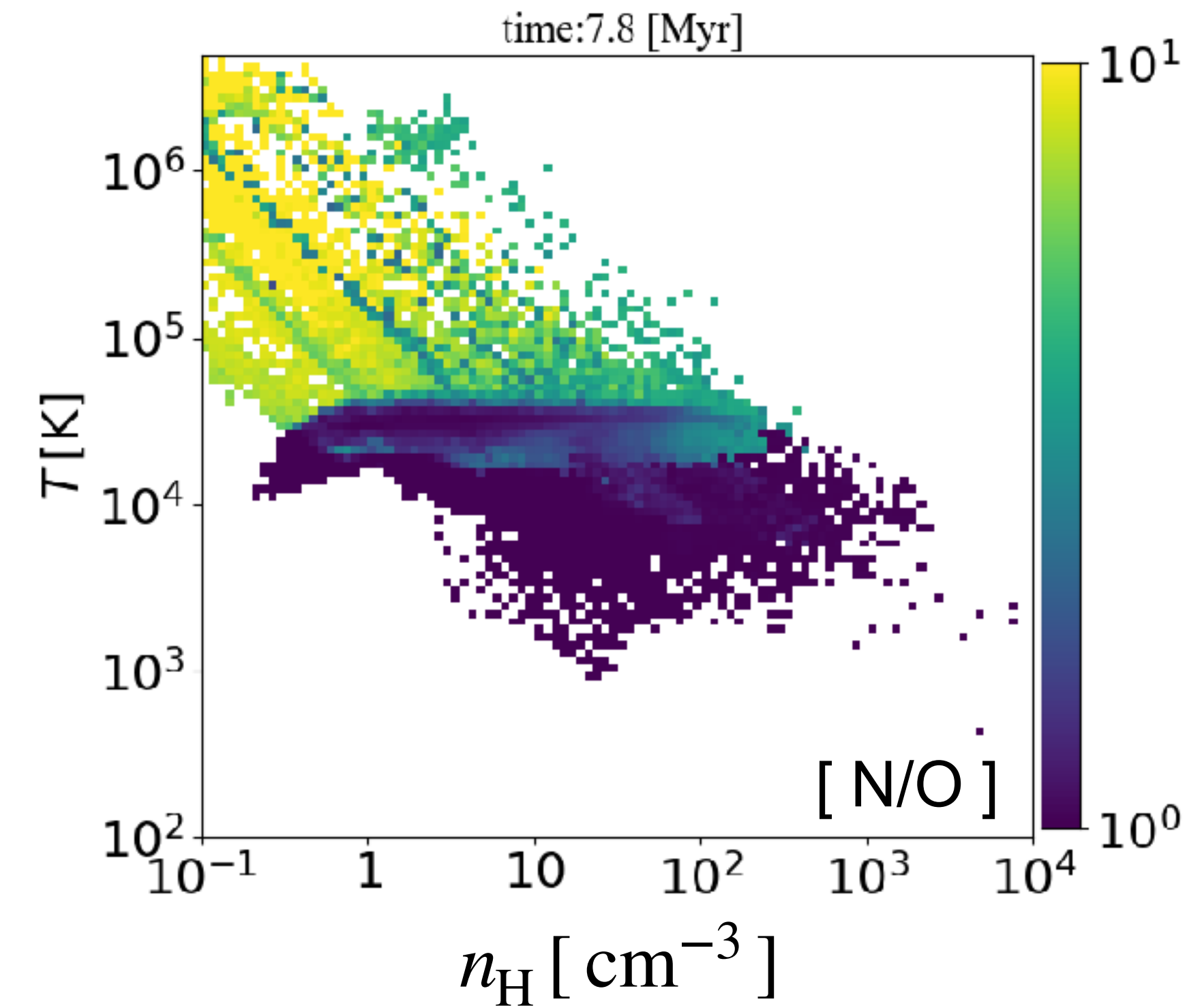
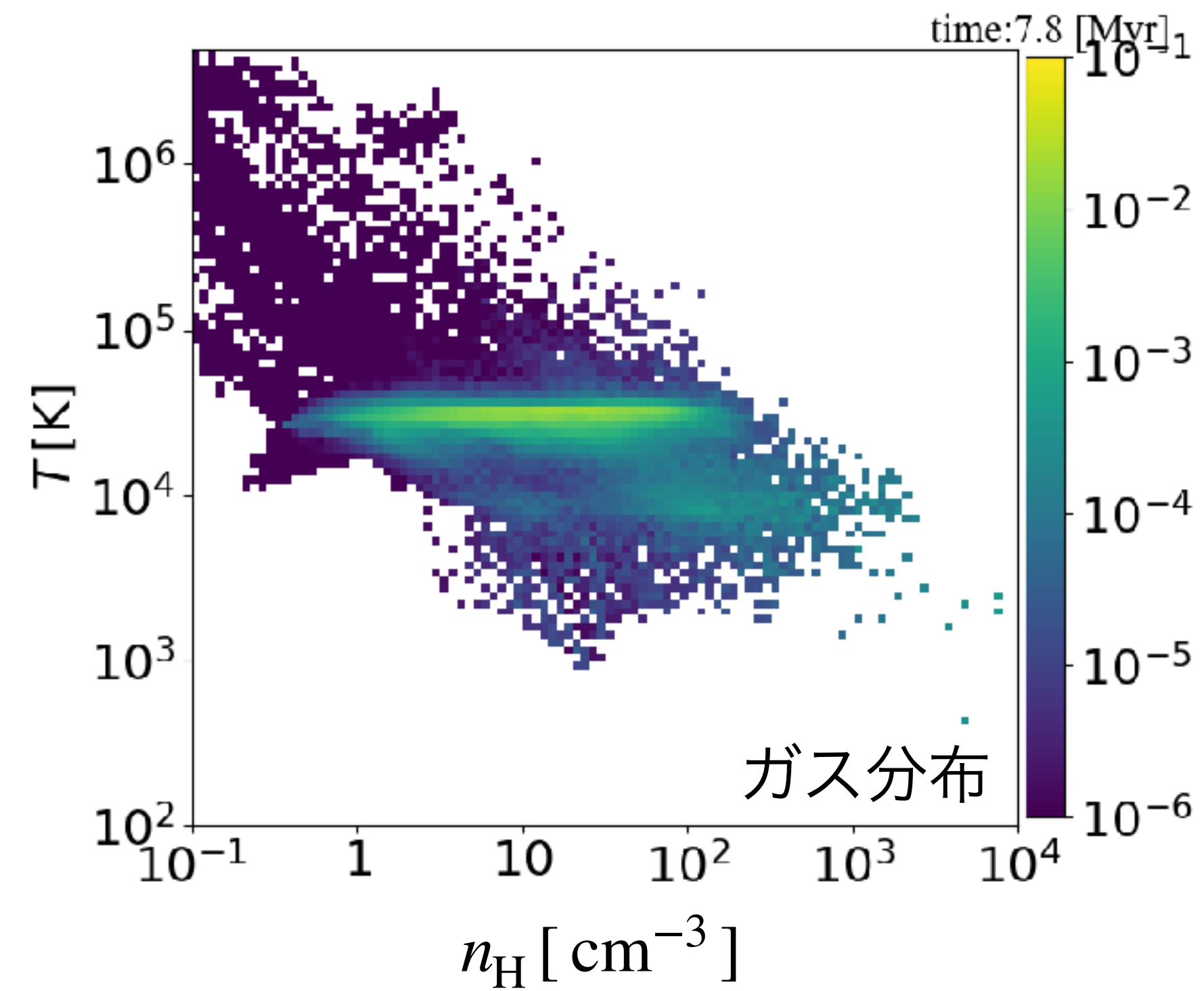
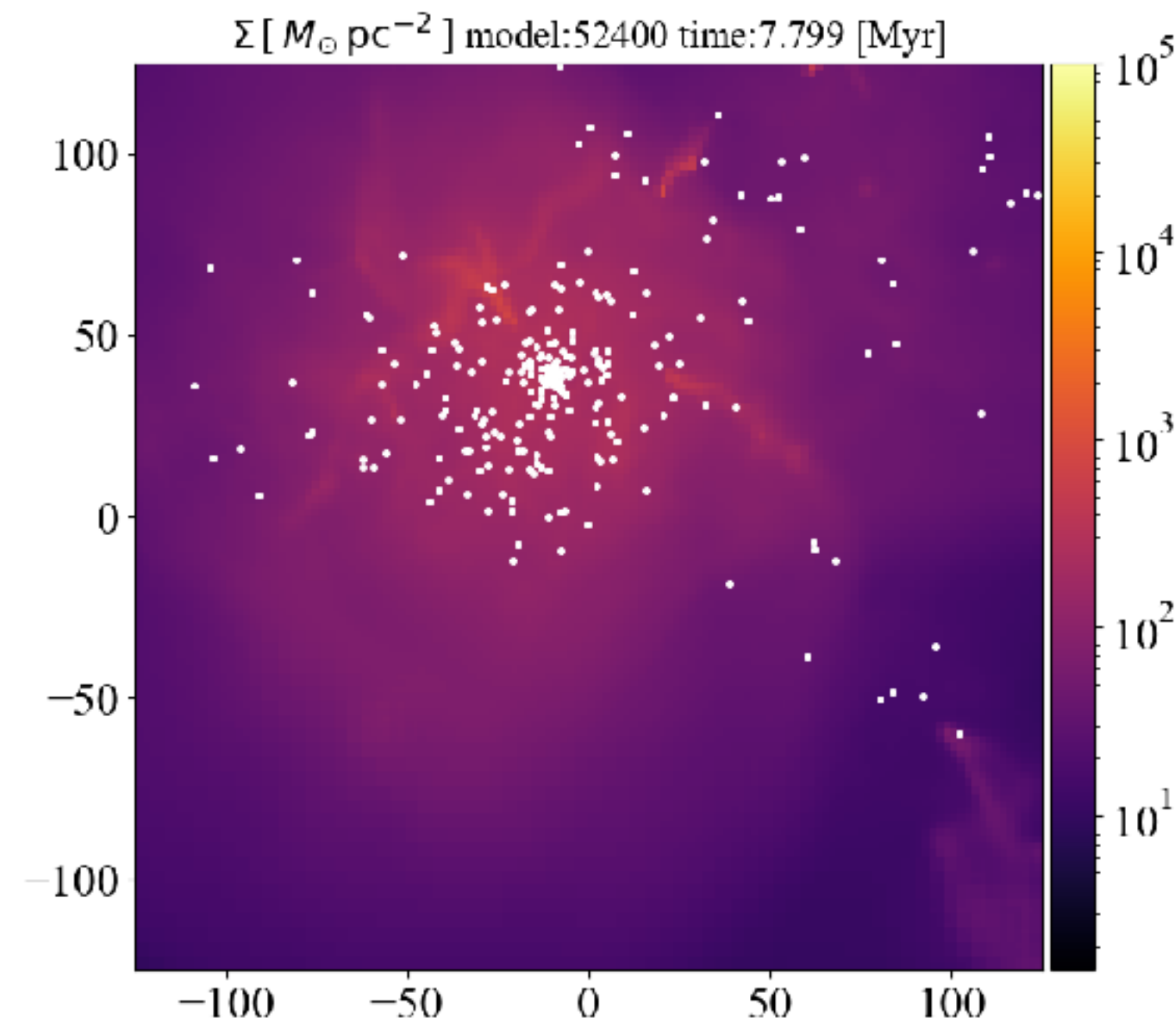
(3) 半径: 89 pc ($400 M_\odot \text{pc}^{-2}$)



星質量: $7 \times 10^5 M_\odot$

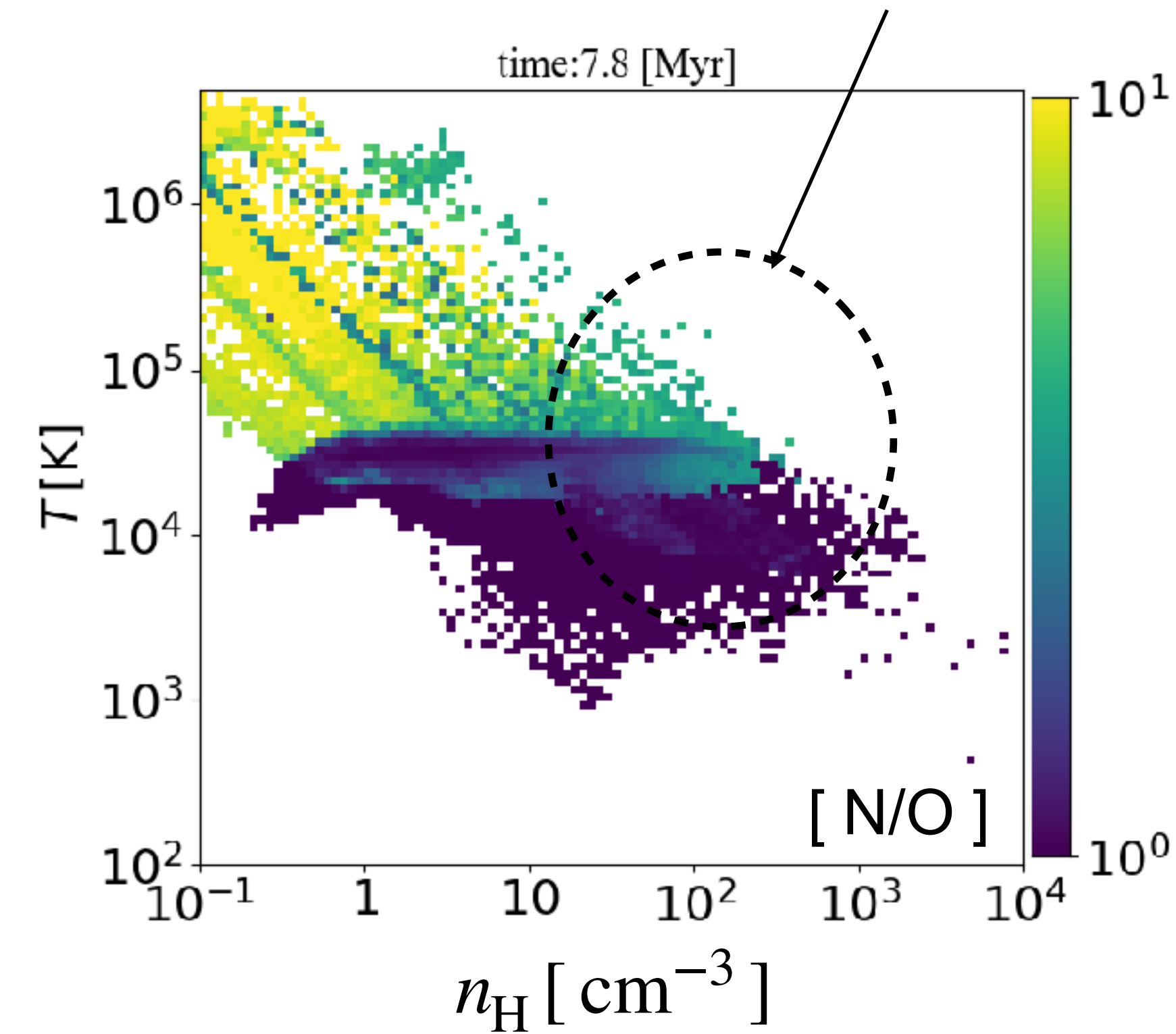
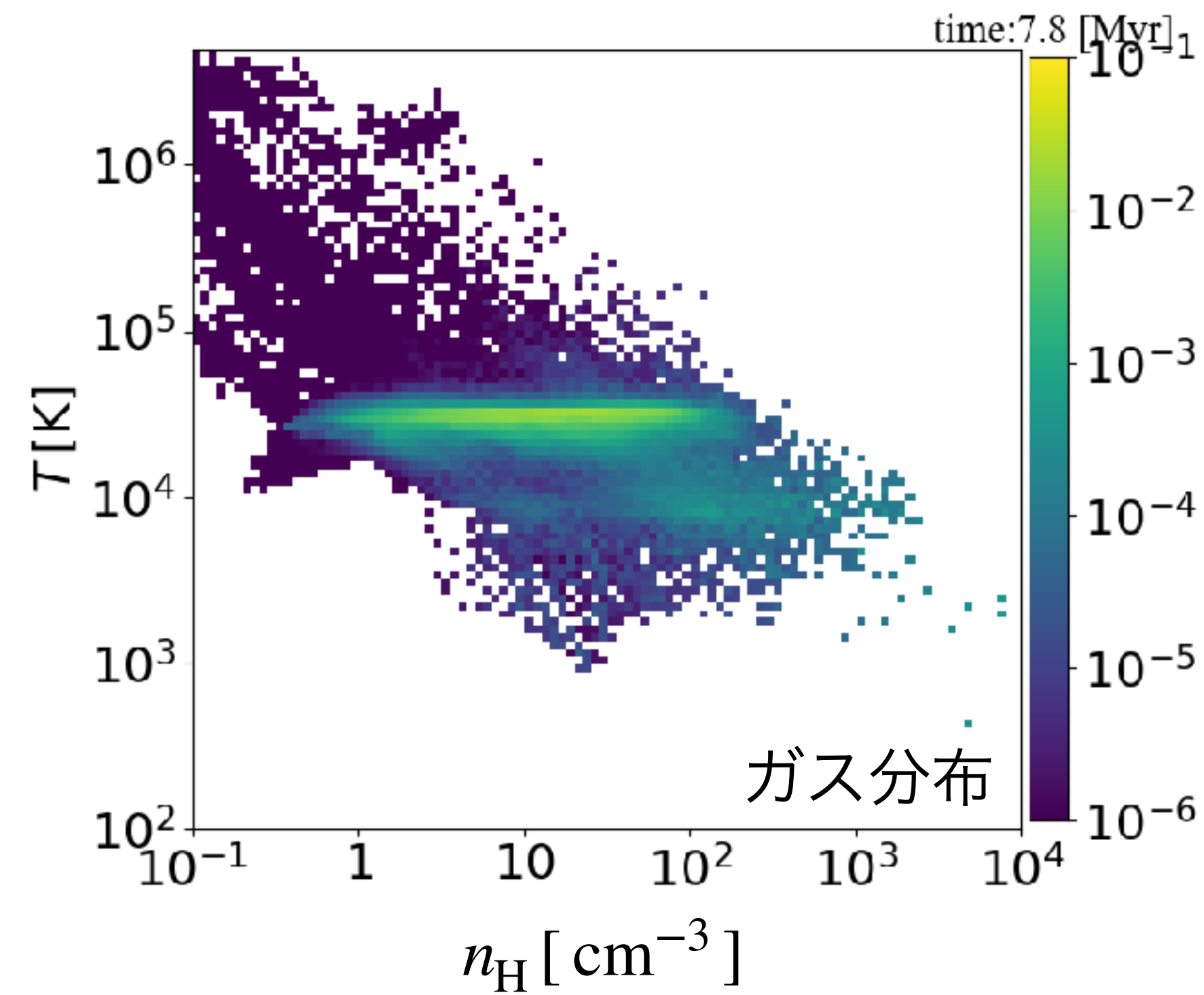
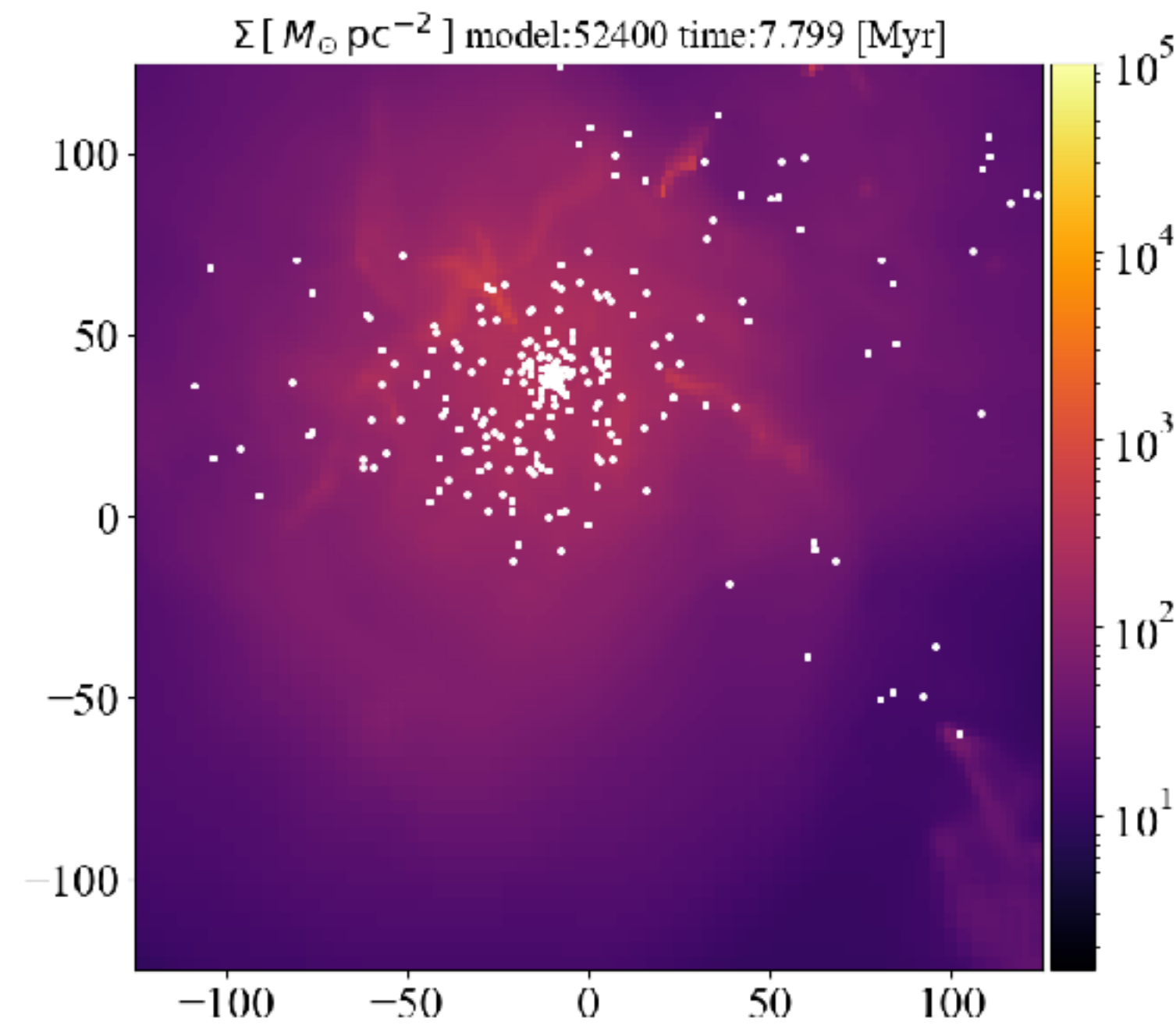
[N/O] 分布など

(2) $\Sigma_{\text{cl}} = 800 \text{ } M_{\odot} \text{pc}^{-2}$ (半径: 63 pc)



[N/O] 分布など

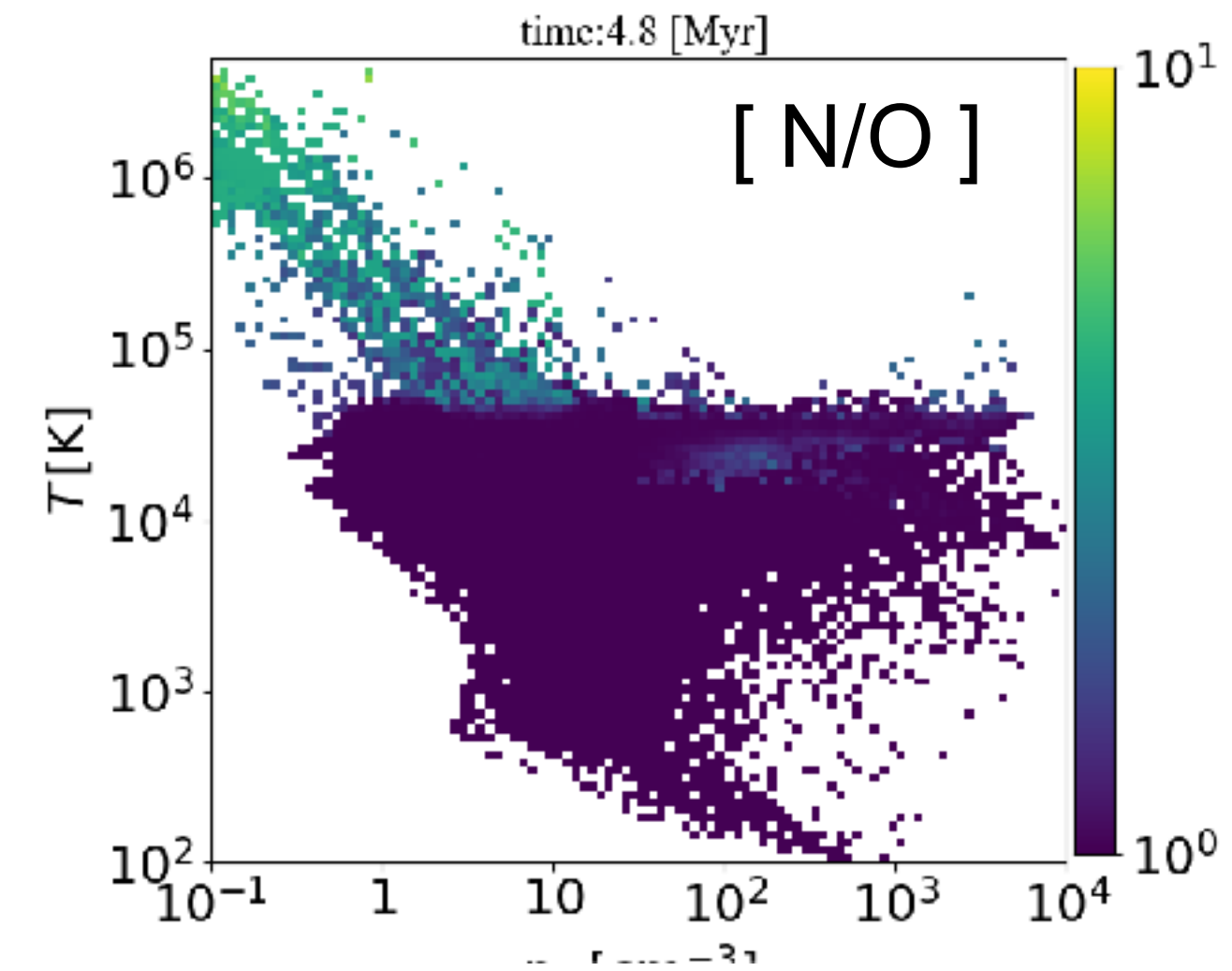
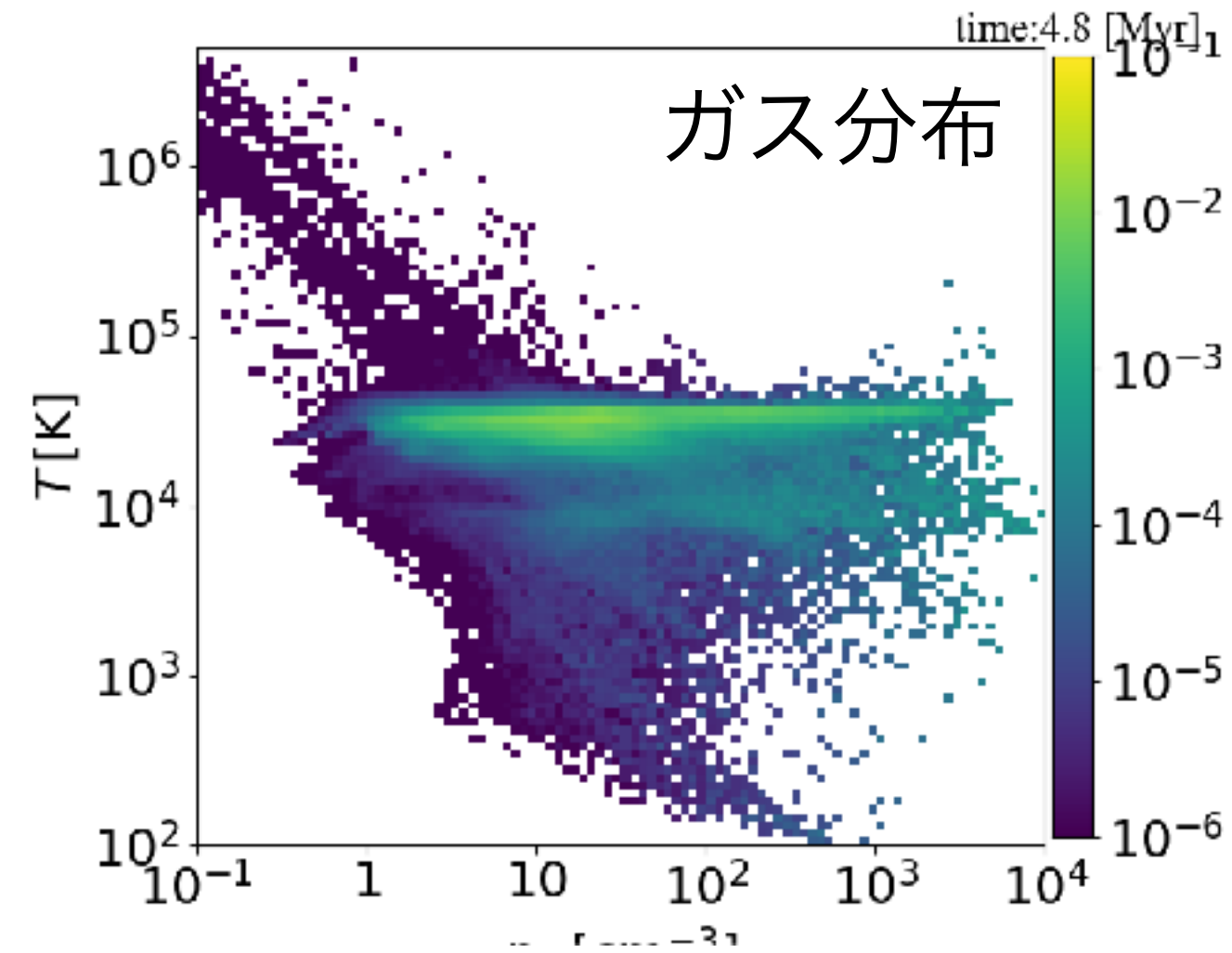
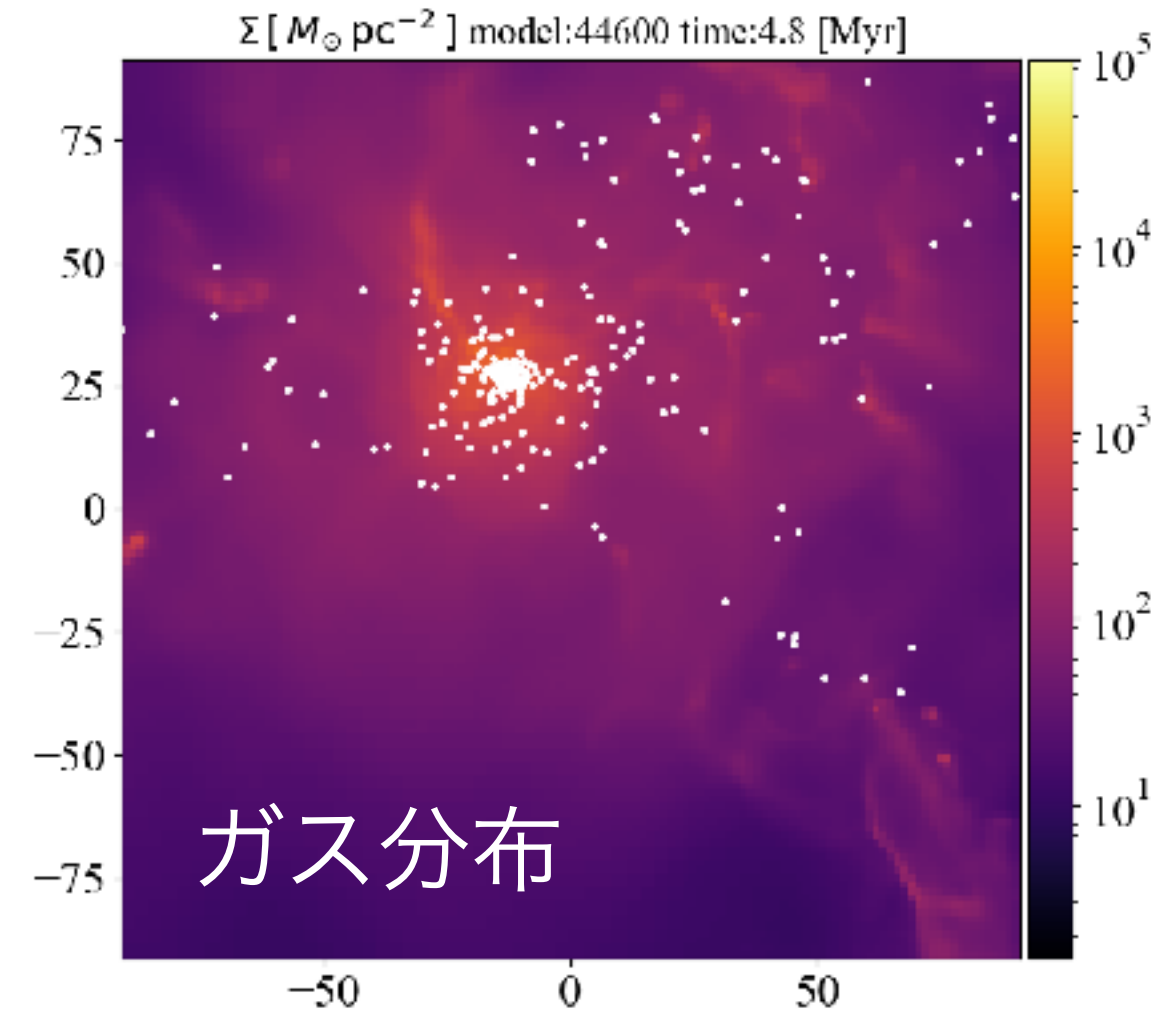
(2) $\Sigma_{\text{cl}} = 800 \text{ } M_{\odot} \text{pc}^{-2}$ (半径: 63 pc)



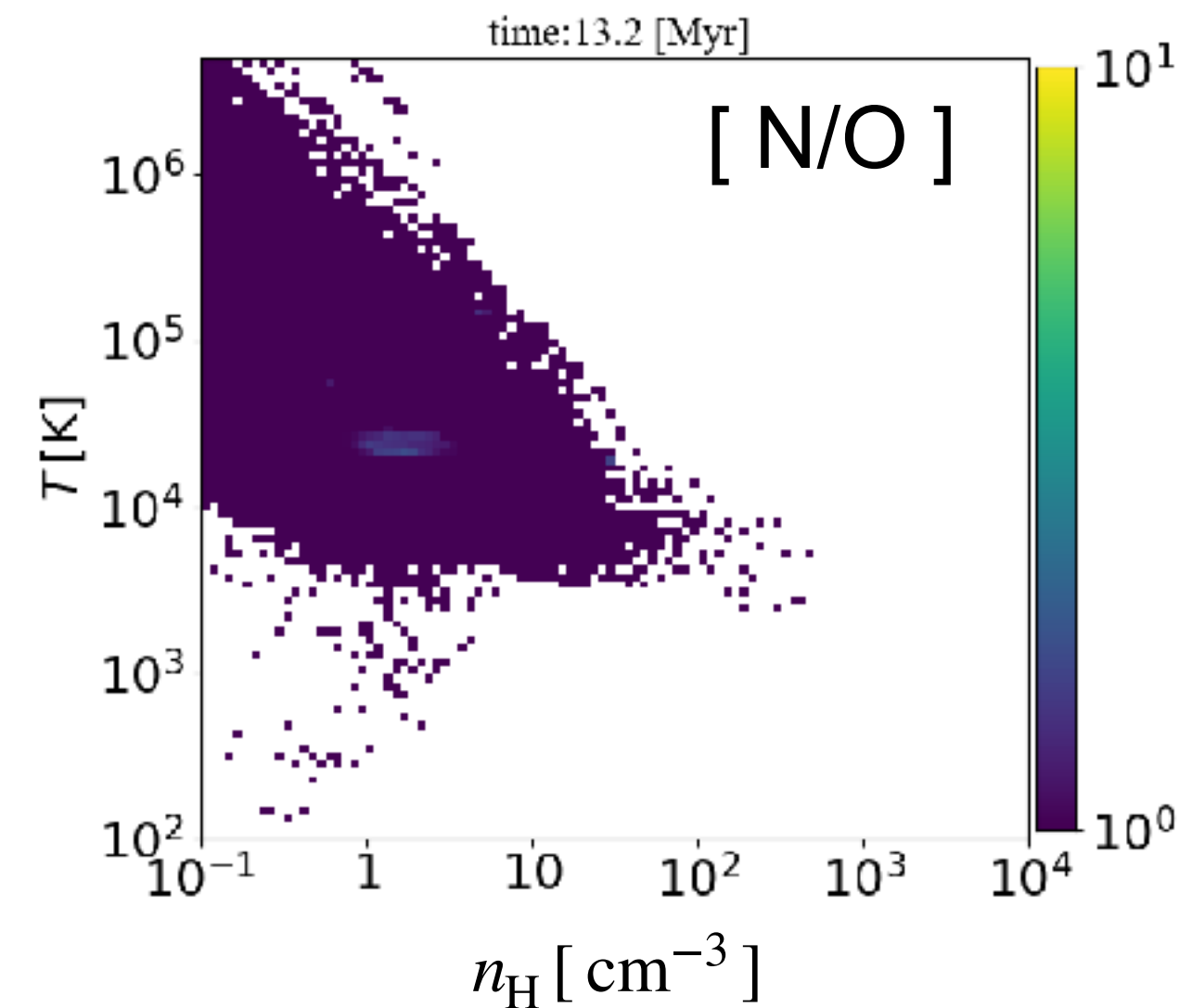
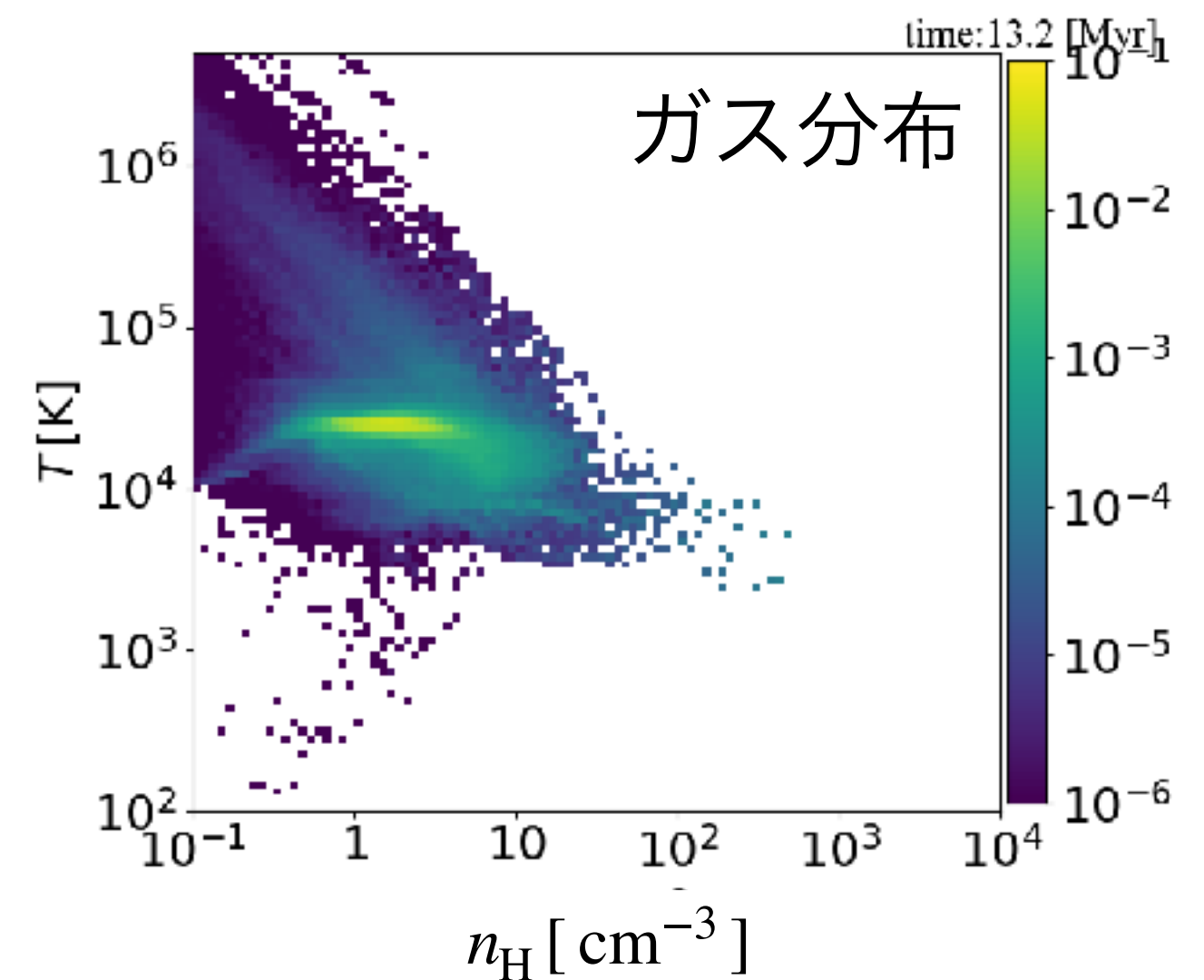
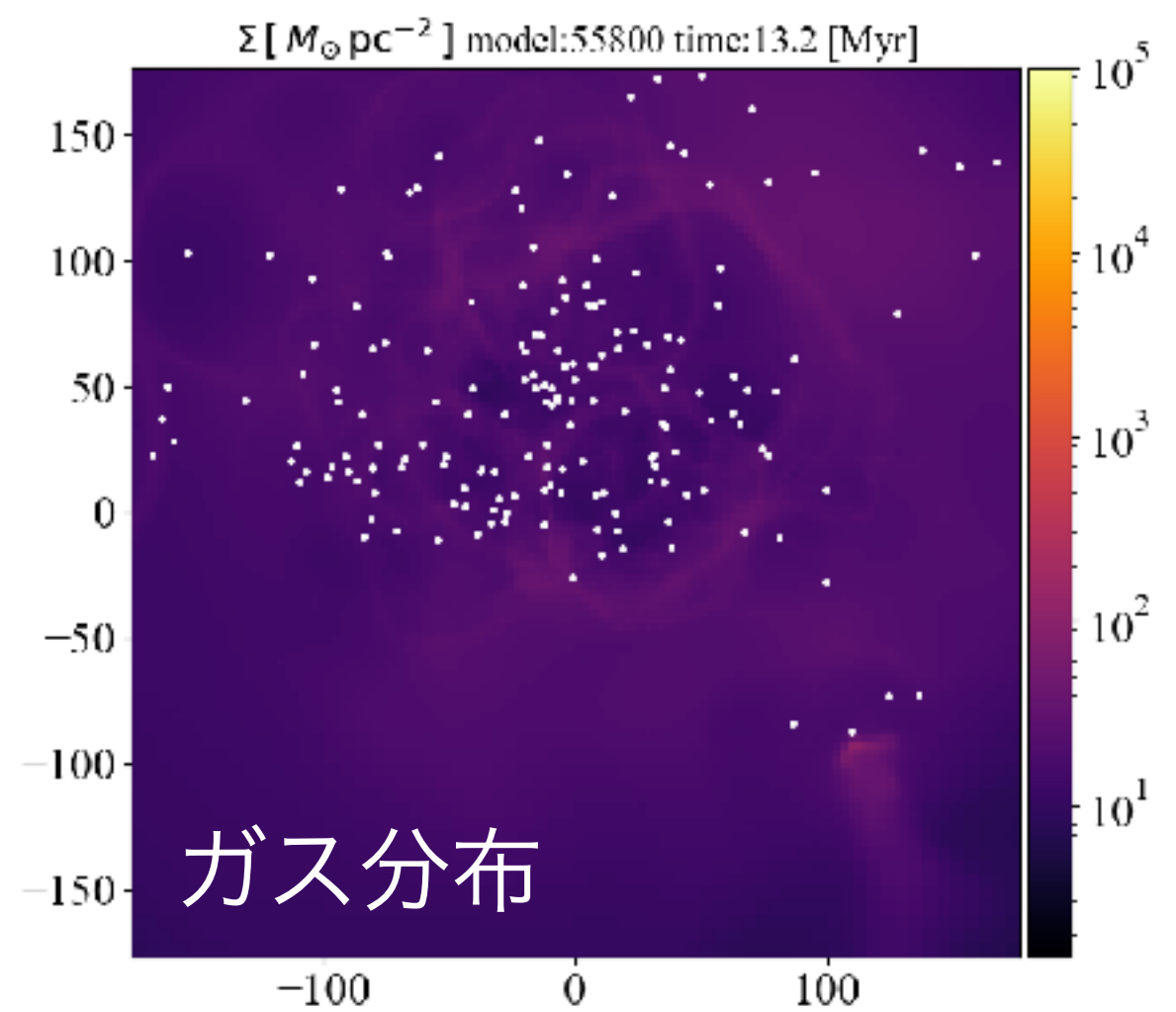
[N/O] ~ 0.5程度の
Nが豊富なガス

[N/O] 分布

(1) $\Sigma_{\text{cl}} = 1500 M_{\odot} \text{pc}^{-2}$ (半径: 46 pc)

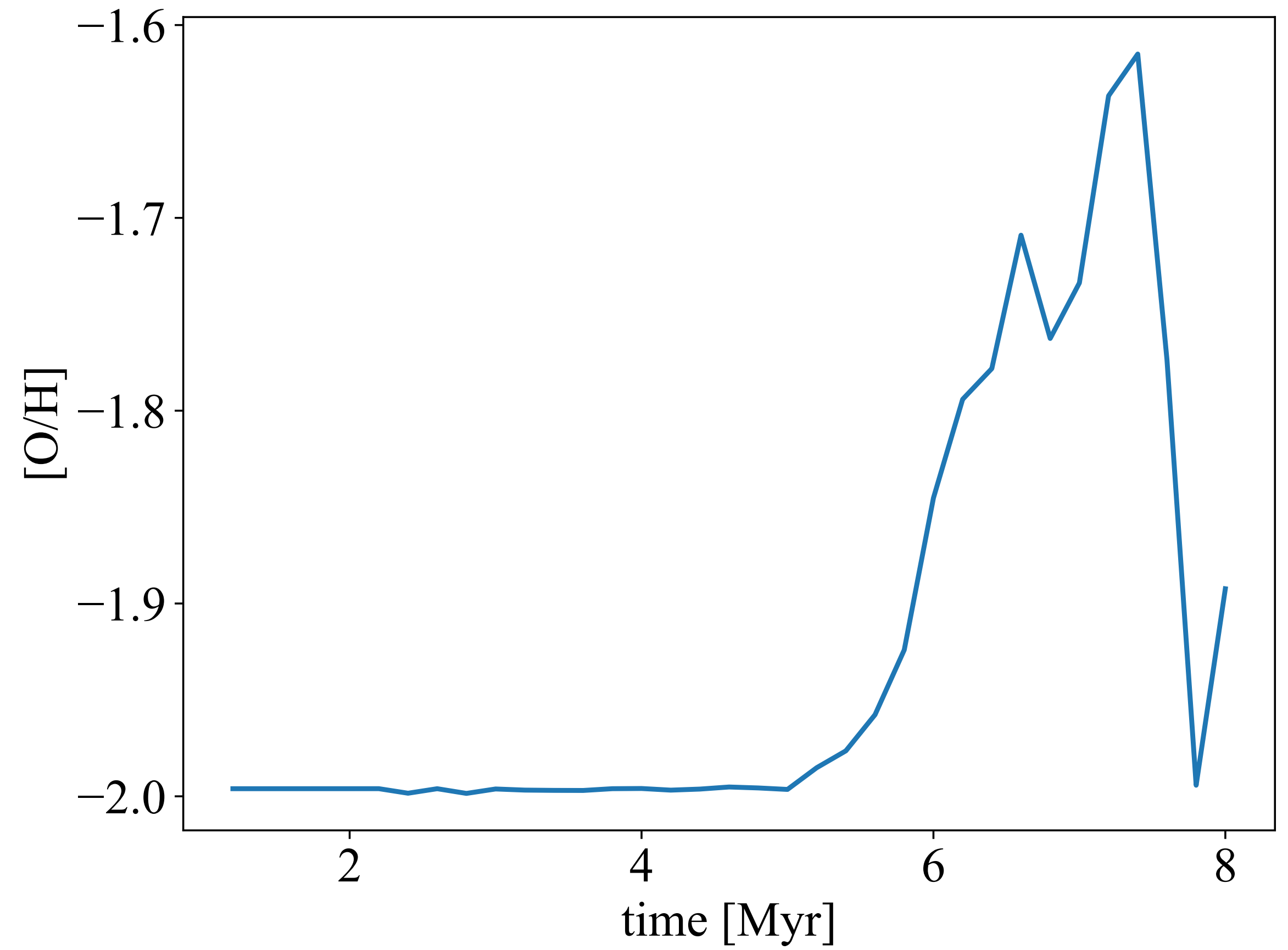
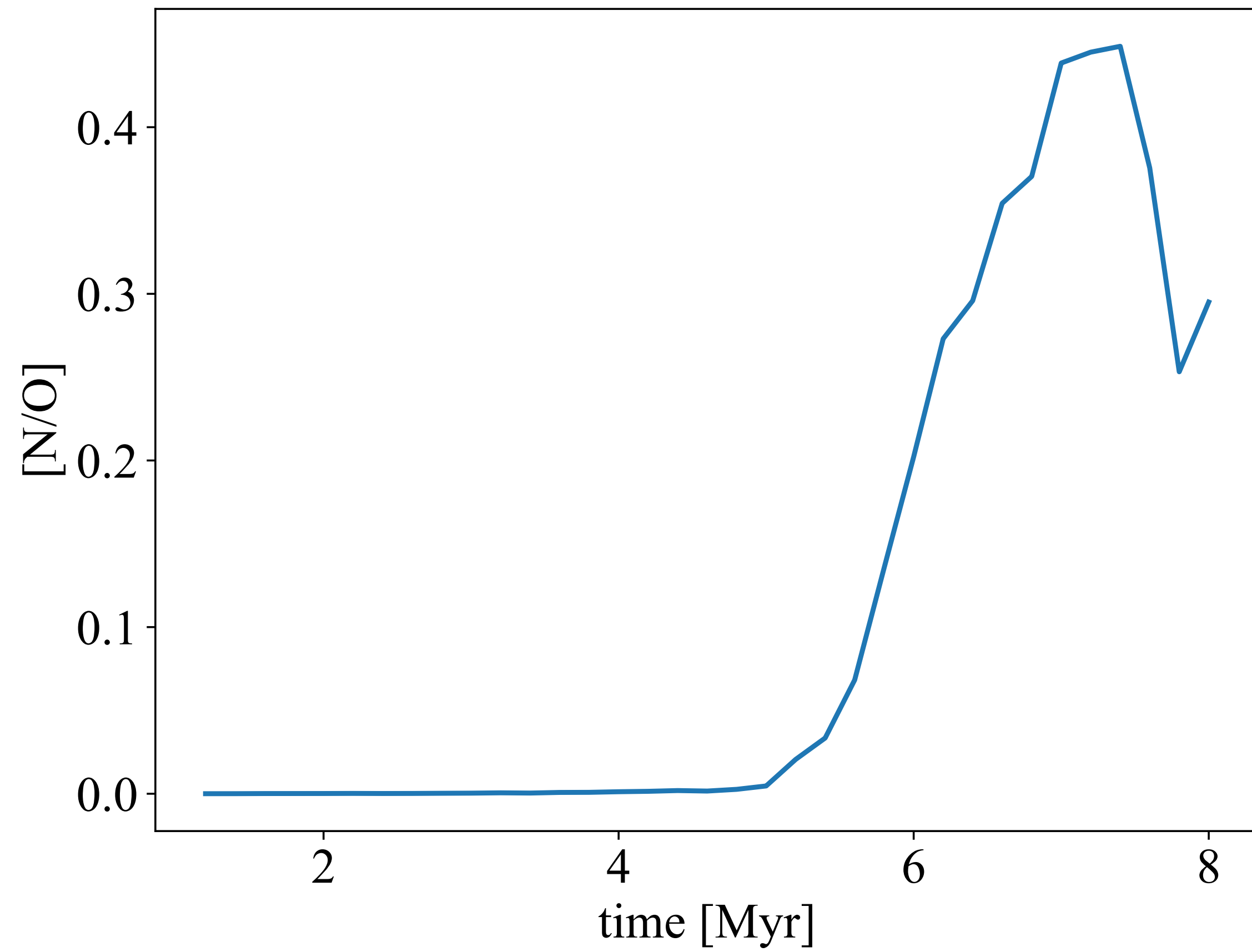


(3) $\Sigma_{\text{cl}} = 400 M_{\odot} \text{pc}^{-2}$ (半径: 89 pc)



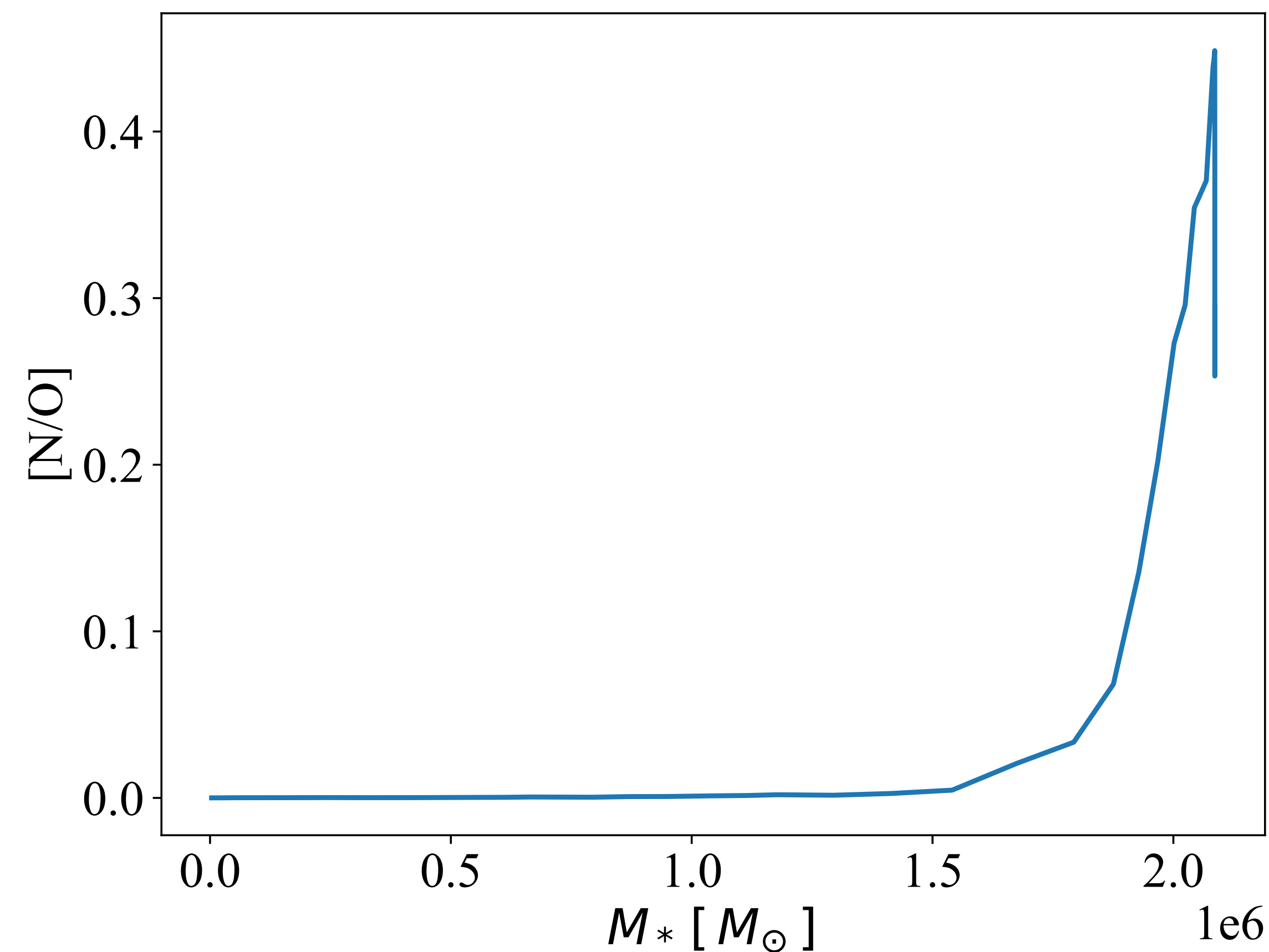
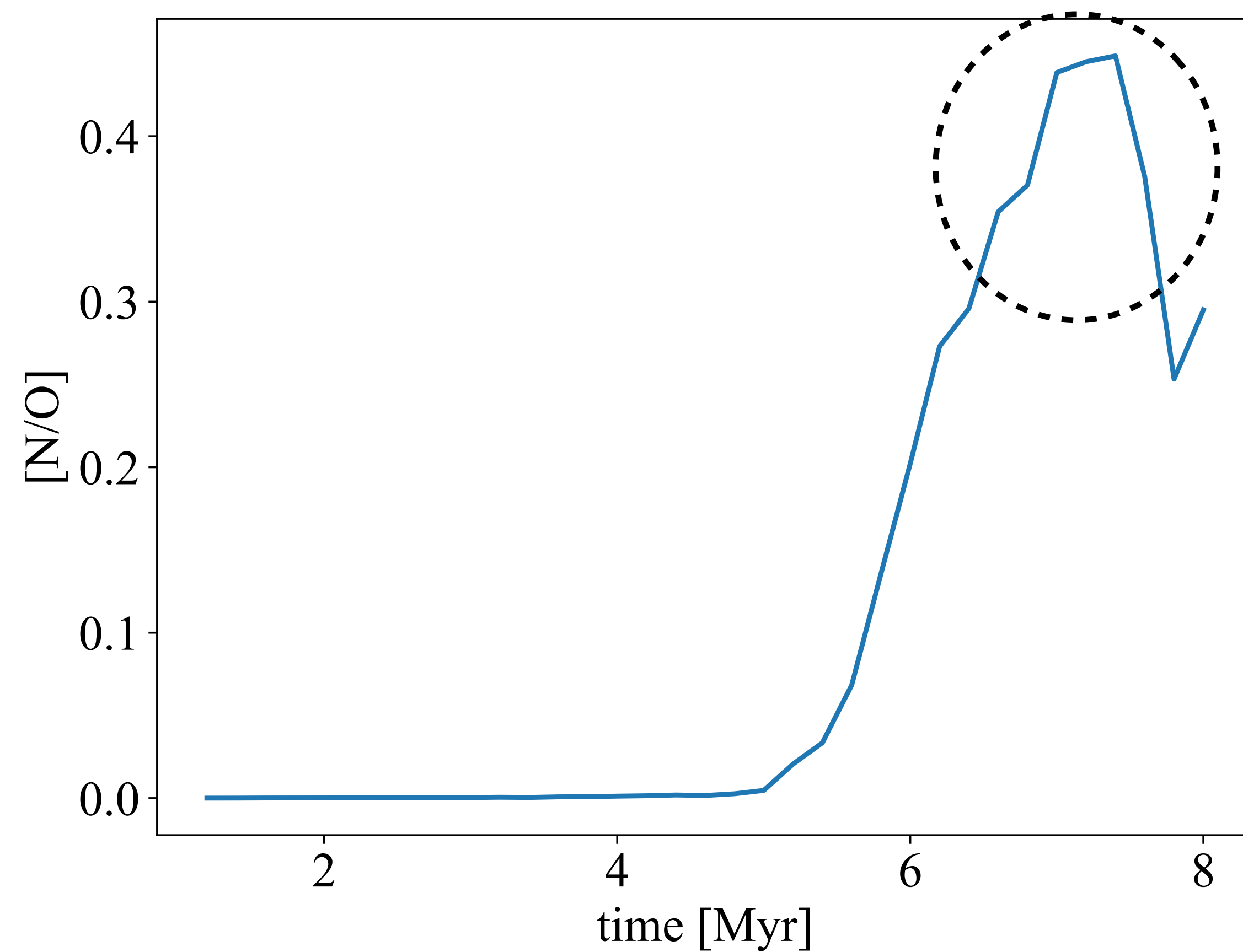
星の化学分布について

(2) $\Sigma_{c1} = 800 \text{ } M_{\odot}\text{pc}^{-2}$ (半径: 63 pc)の場合



星の化学分布について

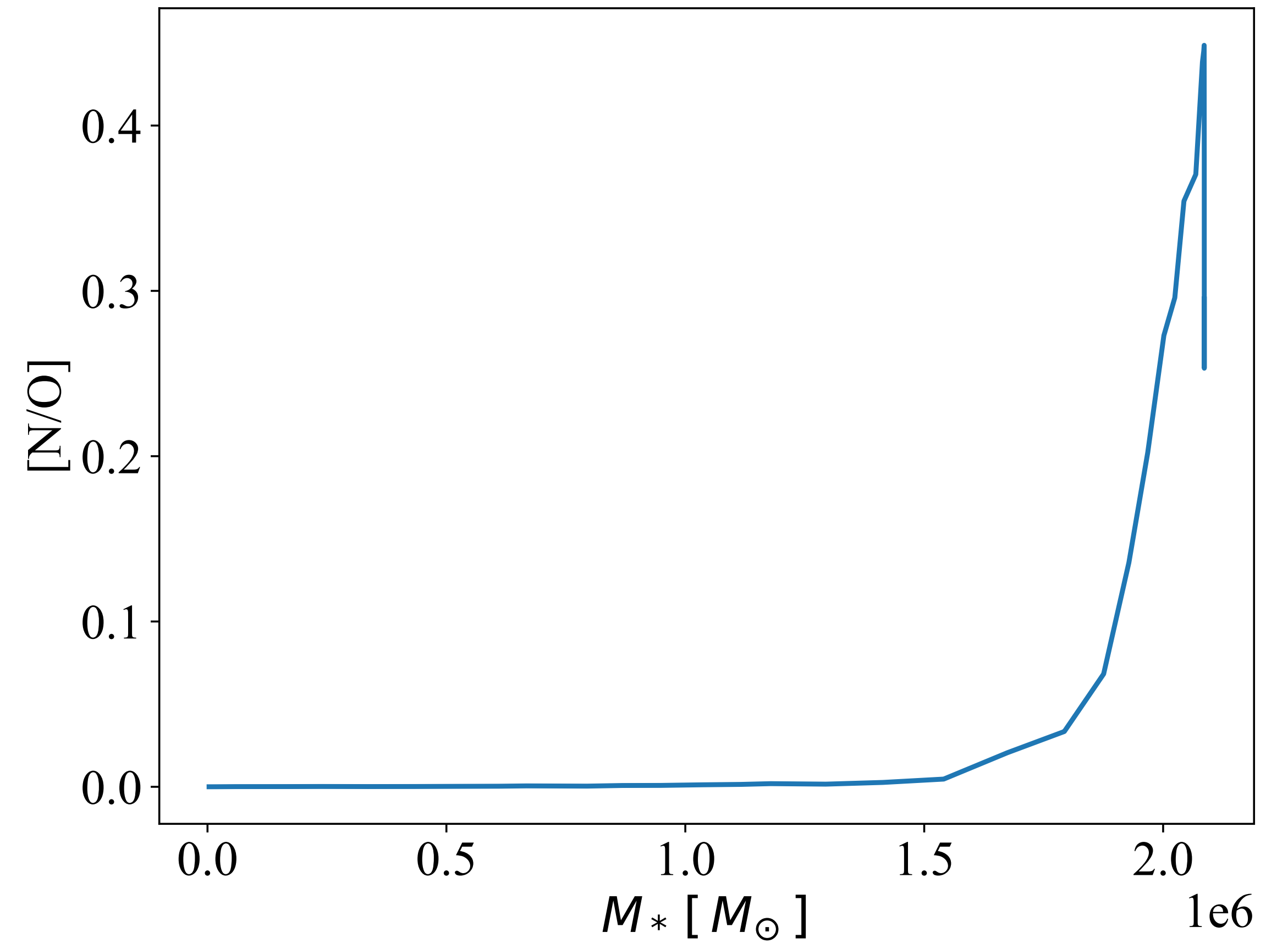
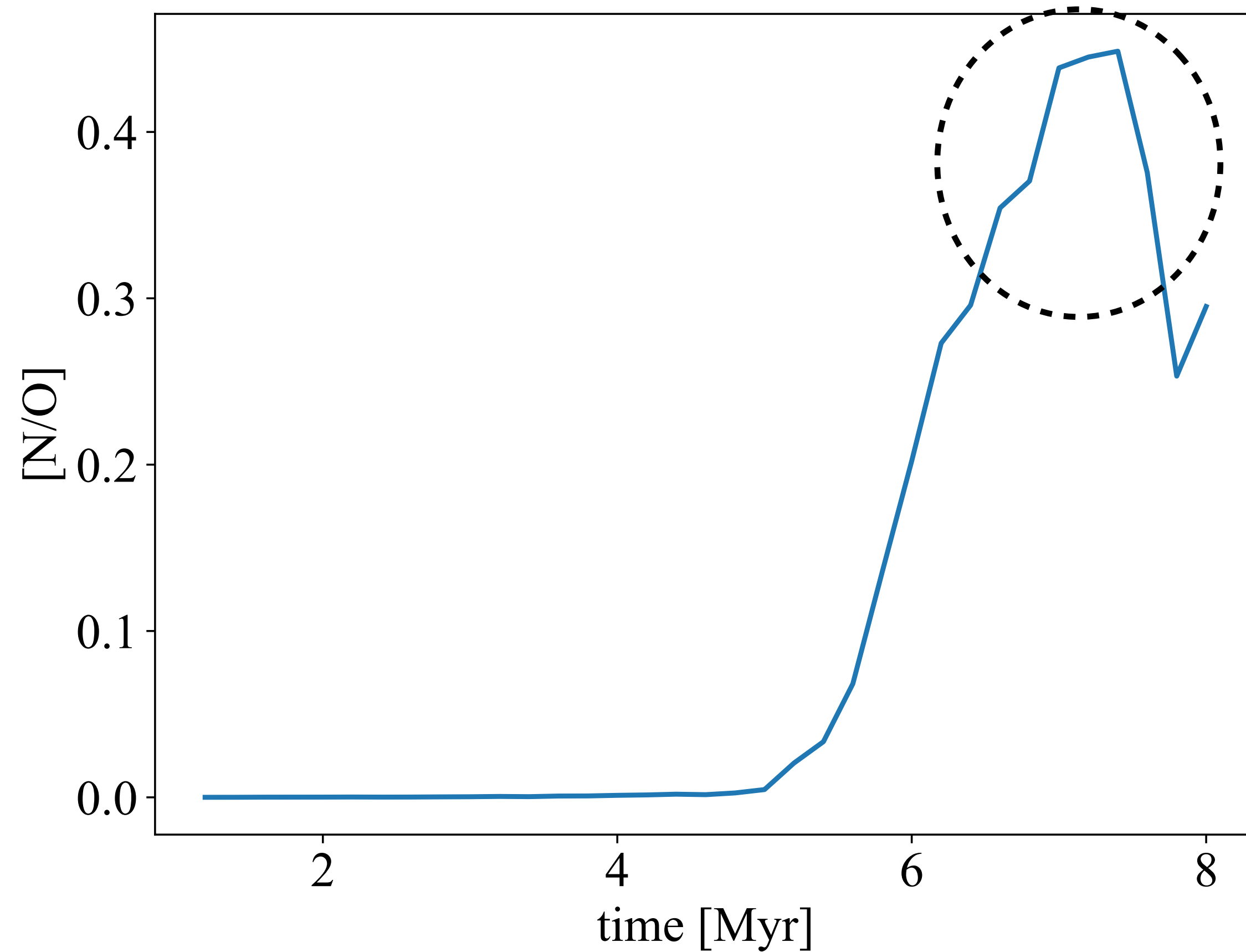
(2) $\Sigma_{\text{cl}} = 800 \text{ } M_{\odot} \text{pc}^{-2}$ (半径: 63 pc) の場合



$[N/O]$ が高い星も誕生

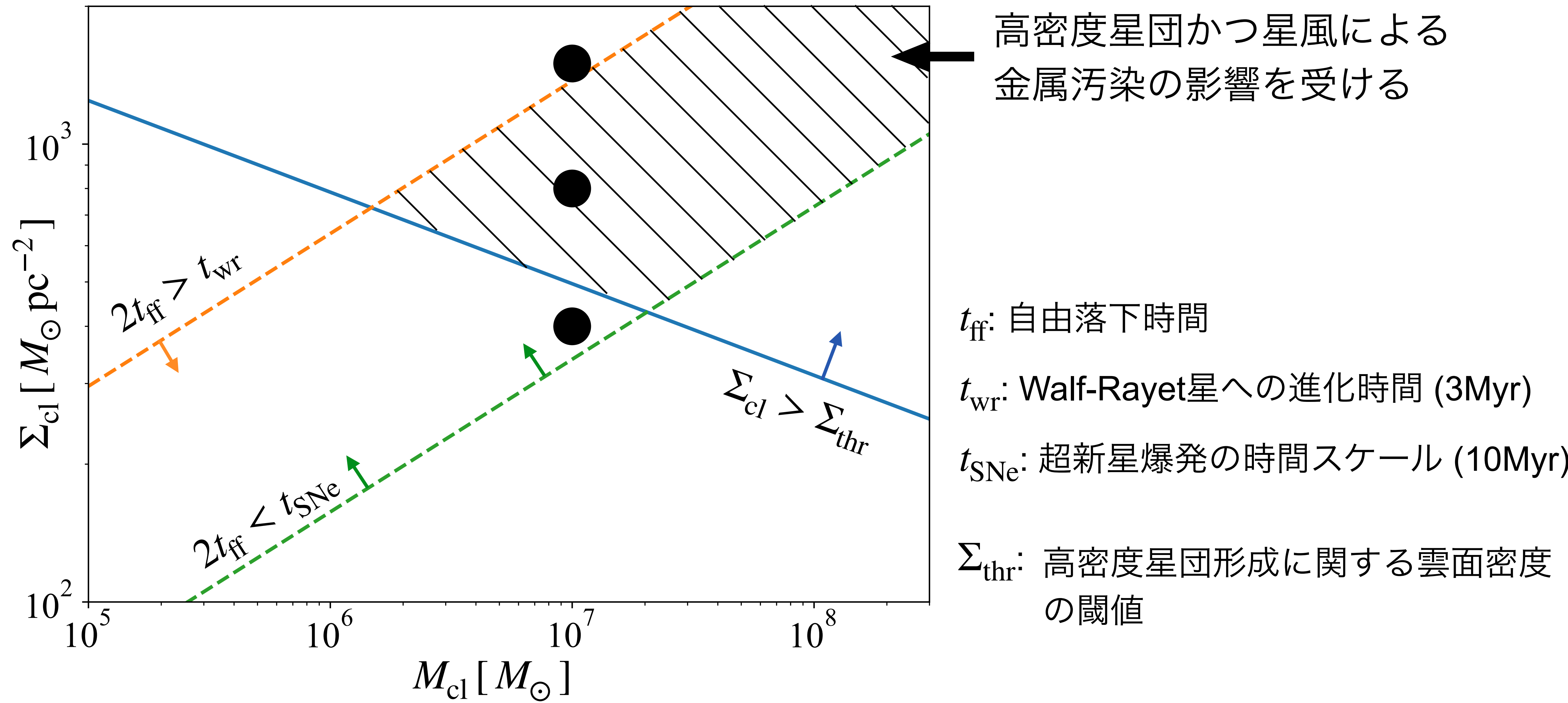
星の化学分布について

(2) $\Sigma_{\text{cl}} = 800 M_{\odot} \text{pc}^{-2}$ (半径: 63 pc) の場合



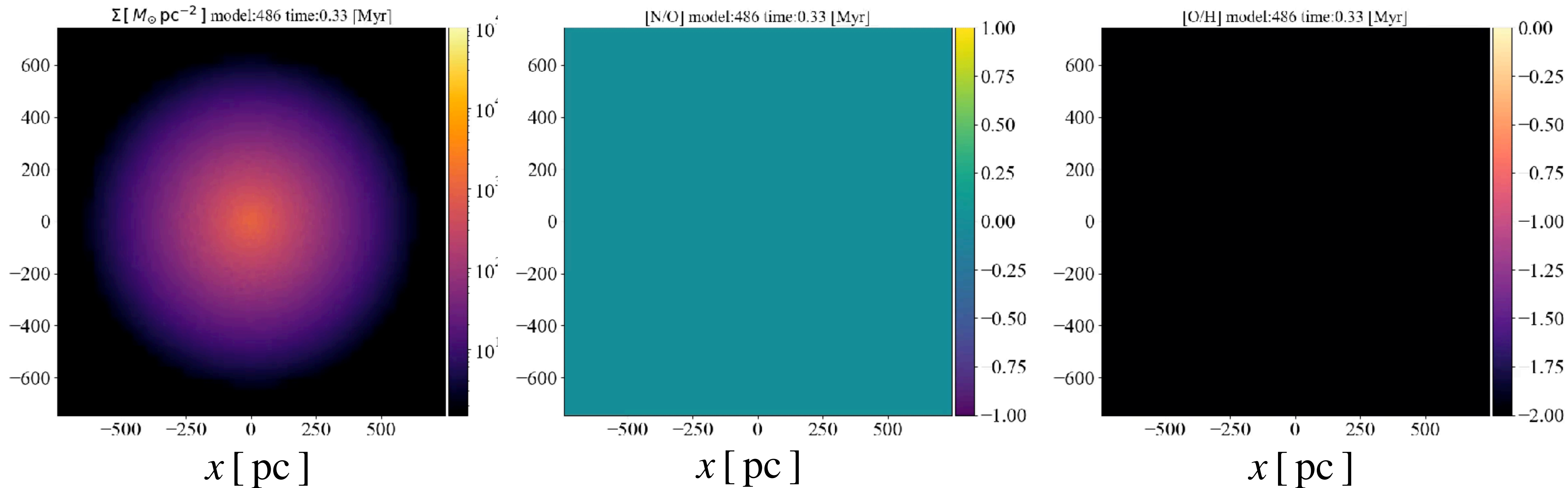
[N/O]が高い星も誕生, ただし質量割合は小さい...

星風による金属汚染と高密度星団形成



銀河円盤シミュレーションも実施中

ハロー質量: $10^9 M_\odot$, 赤方偏移:10, ディスク質量: $7.6 \times 10^7 M_\odot$, 金属量: $10^{-2} Z_\odot$, NFW profileを仮定



まとめ

星風の影響を受ける星団は、 $10^6 M_{\odot}$ 以上の大質量である必要があるそう

ただし、球状星団の第2世代の星と直結するかは不明

今後はよりパラメータを広げた探査と、星団形成以外の外的な要因についても考慮したい