

初代星の影響を考慮した高精度 初代銀河形成シミュレーション

安部牧人 (筑波大学)

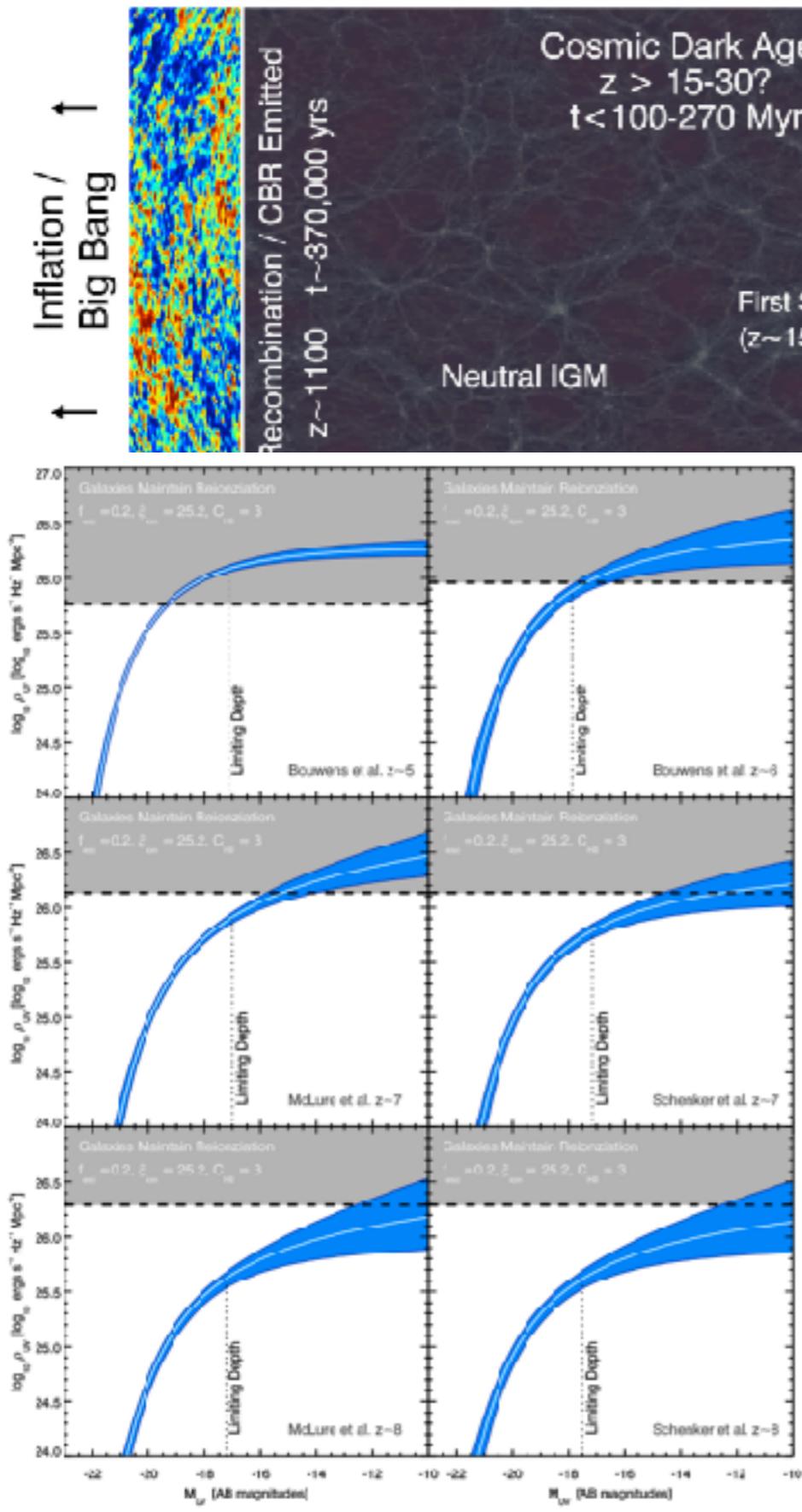
共同研究者：

矢島秀伸 (筑波大学)、Sadegh Khochfar (Edinburgh),
Claudio Dalla Vecchia (Kanaria), 大向一行(東北大学)

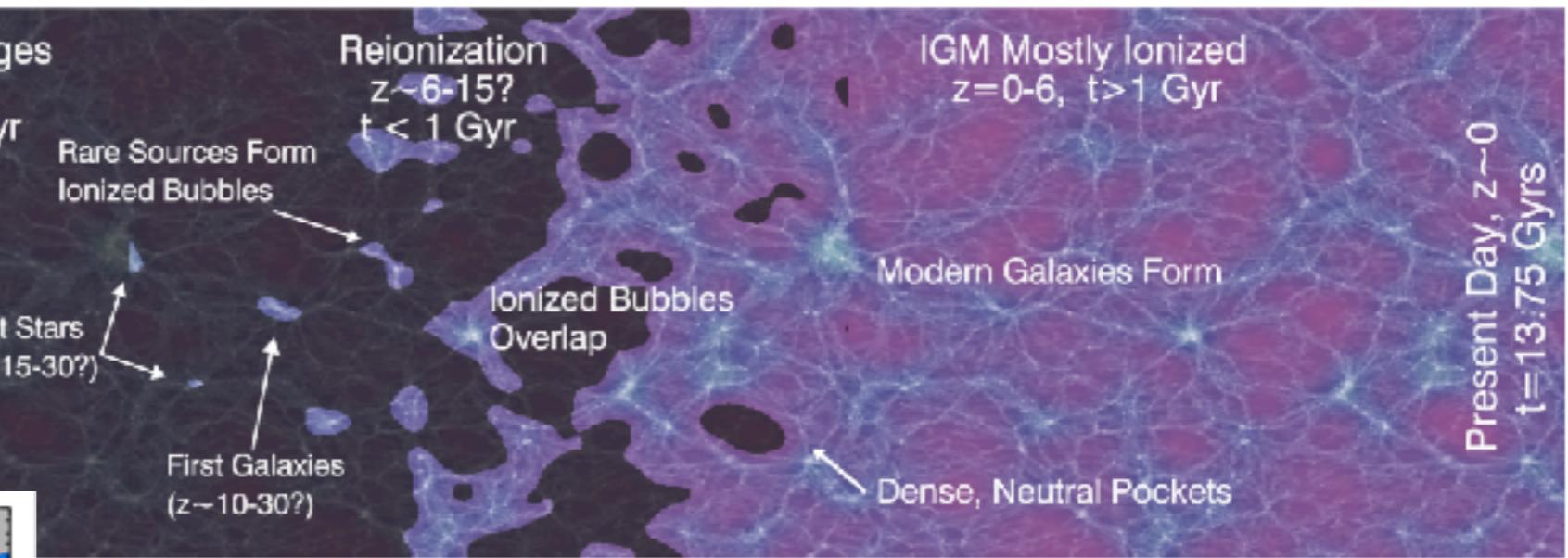
銀河進化と遠方宇宙@神奈川大学 2019/03/12

Introduction

(Robertson+10)

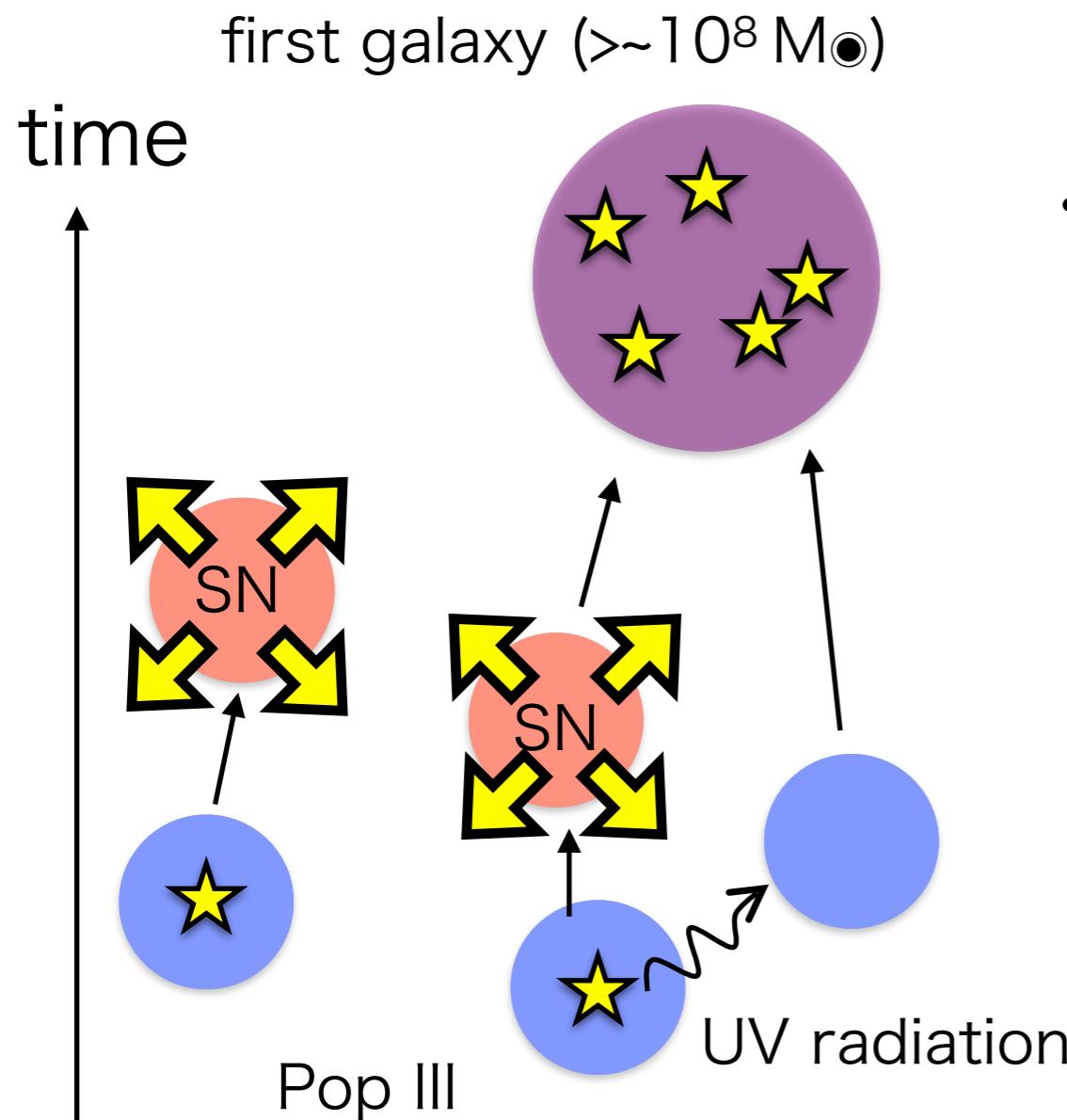


(UV luminosity density, Robertson+13)



- 初代銀河 ($z > 10, M > \sim 10^8 M_{\odot}$)
 - 銀河の最も基本的なbuilding block
 - 再電離光源の候補天体
 - 初代銀河のような低質量銀河の個数が重要
 - 次世代観測機器のターゲット
 - 天体形成/宇宙論とともに重要な天体

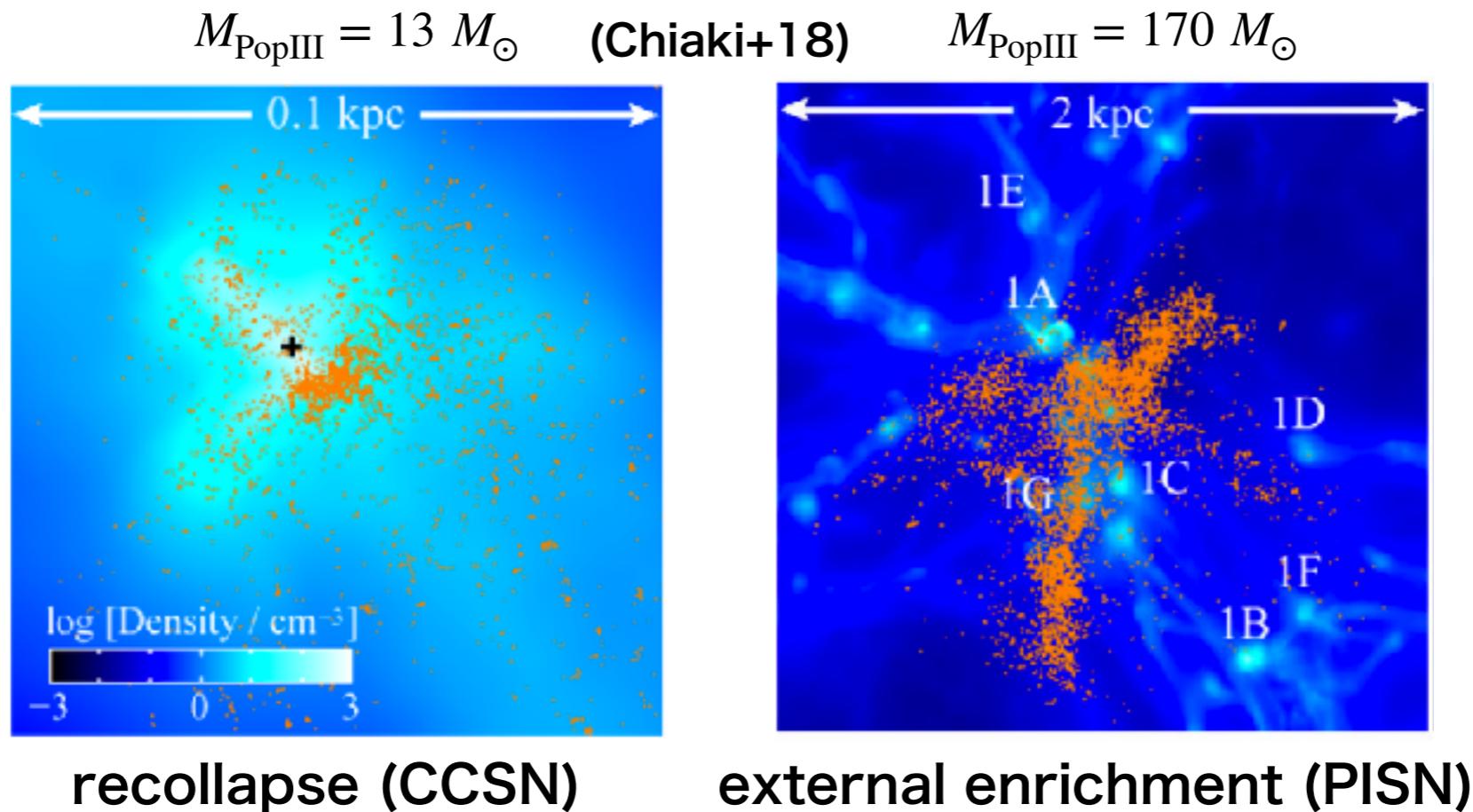
初代星形成から初代銀河へ



- Pop III を形成したガスが集積、初代銀河へ
 - どれくらい metal enrichされたガスがどのように集積してくる？
 - Pop III 形成はいつまで続く？
 - Pop III IMFがどれくらい影響する？
-
- Pop III 形成 (minihalo ~ $10^6 M_\odot$)
 - 光電離/光解離フィードバック、超新星爆発、重元素汚染

Pop III stars: high-resolution simulation

- Cosmological hydrodynamic simulation

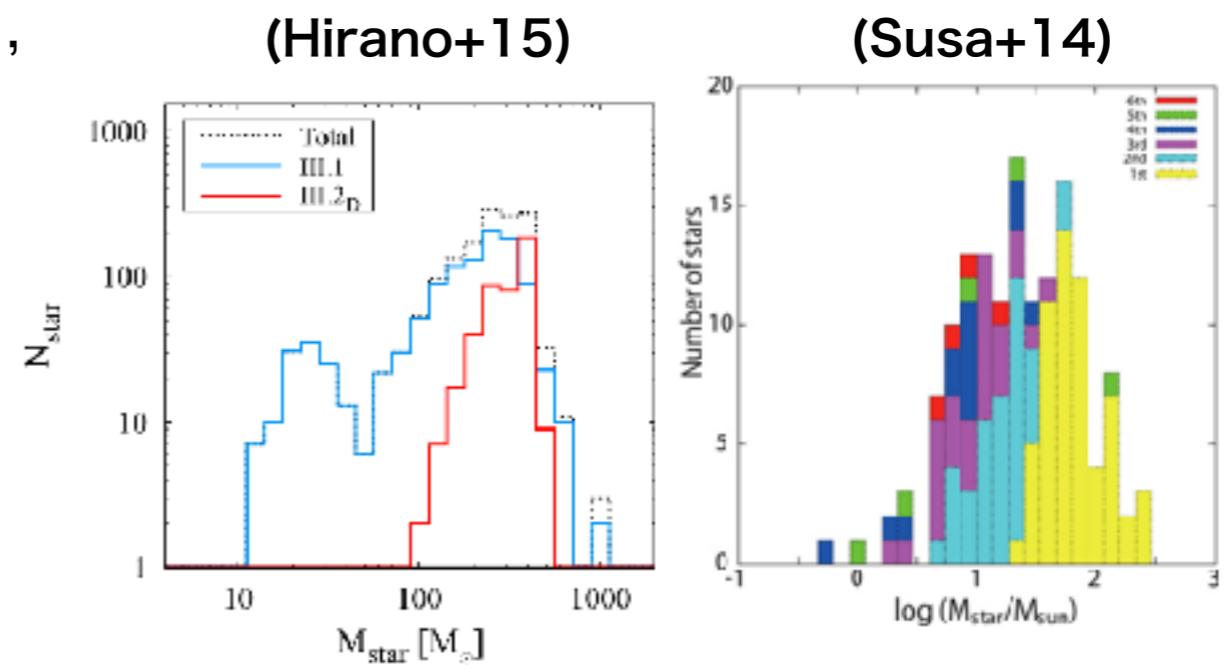


Metal enrichment of minihaloes by nearby Pop II SNe

- 初代星单体を分解した高解像度計算 (small scale simulation)
- 高解像度を保ったまま、初代銀河が形成される過程を追う計算を実行

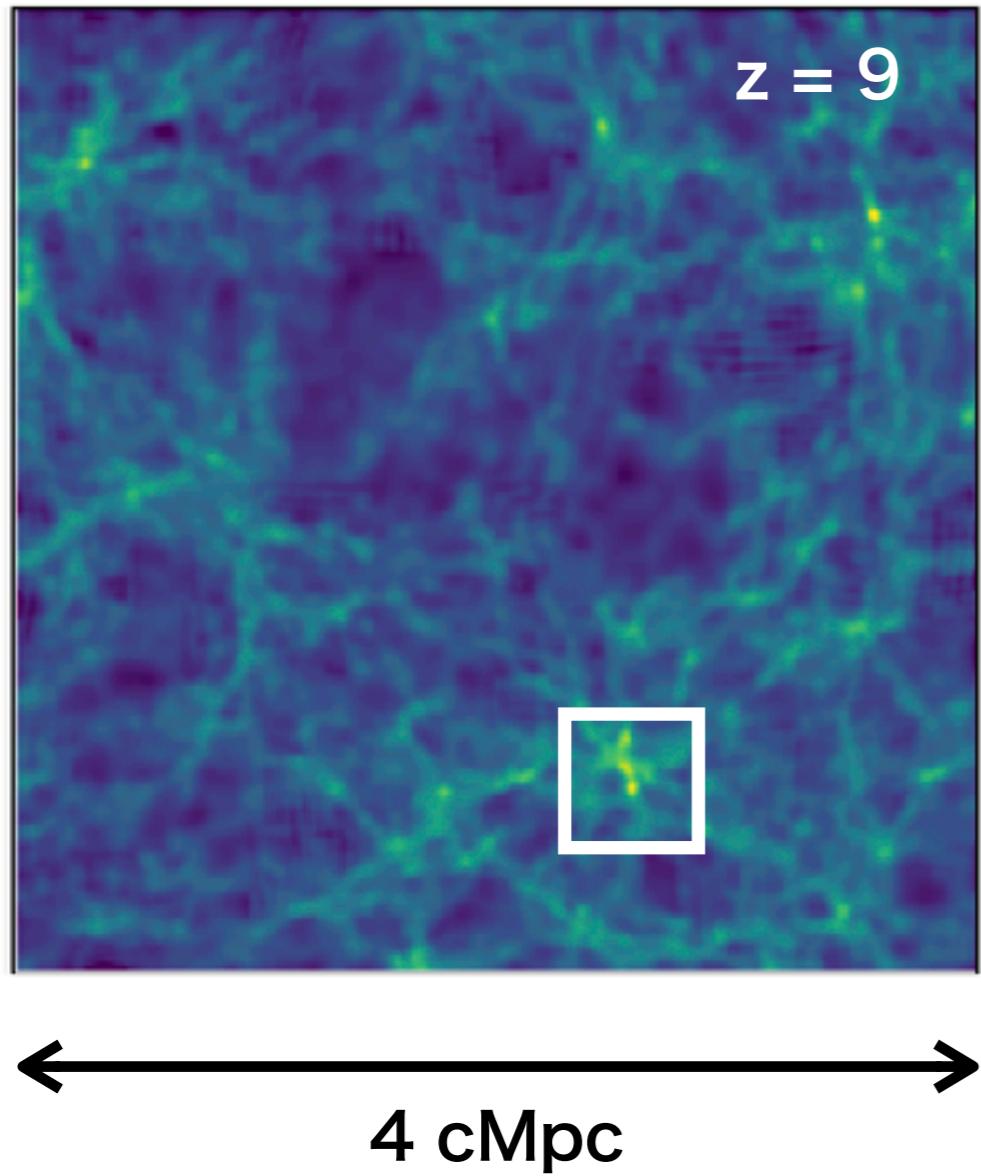
初代銀河形成シミュレーション

- 宇宙論的流体力学計算 (Gadget-3, Springel+01, Springel 2005)
 - primordialガスの非平衡化学反応 + metal-cooling
 - SN フィードバック (thermal, Dalla Vecchia & Schaye 12)
 - 光電離/光解離 (Lyman-Werner) フィードバック
- 星形成
 - Pop III - Pop II critical metallicity : $Z = 10^{-4} Z_{\odot}$ (Johnson+13)
 - Pop III : Salpeter-like IMF ($10-500 M_{\odot}$), random sampling
 - core-collapse SN ($10-40 M_{\odot}$)
 - pair-instability SN ($140-260 M_{\odot}$)
 - Pop II : Chabrier IMF ($0.1 - 100 M_{\odot}$)



Model

- Zoom-in initial simulation
- MUSIC code (Hahn & Abel 2011)



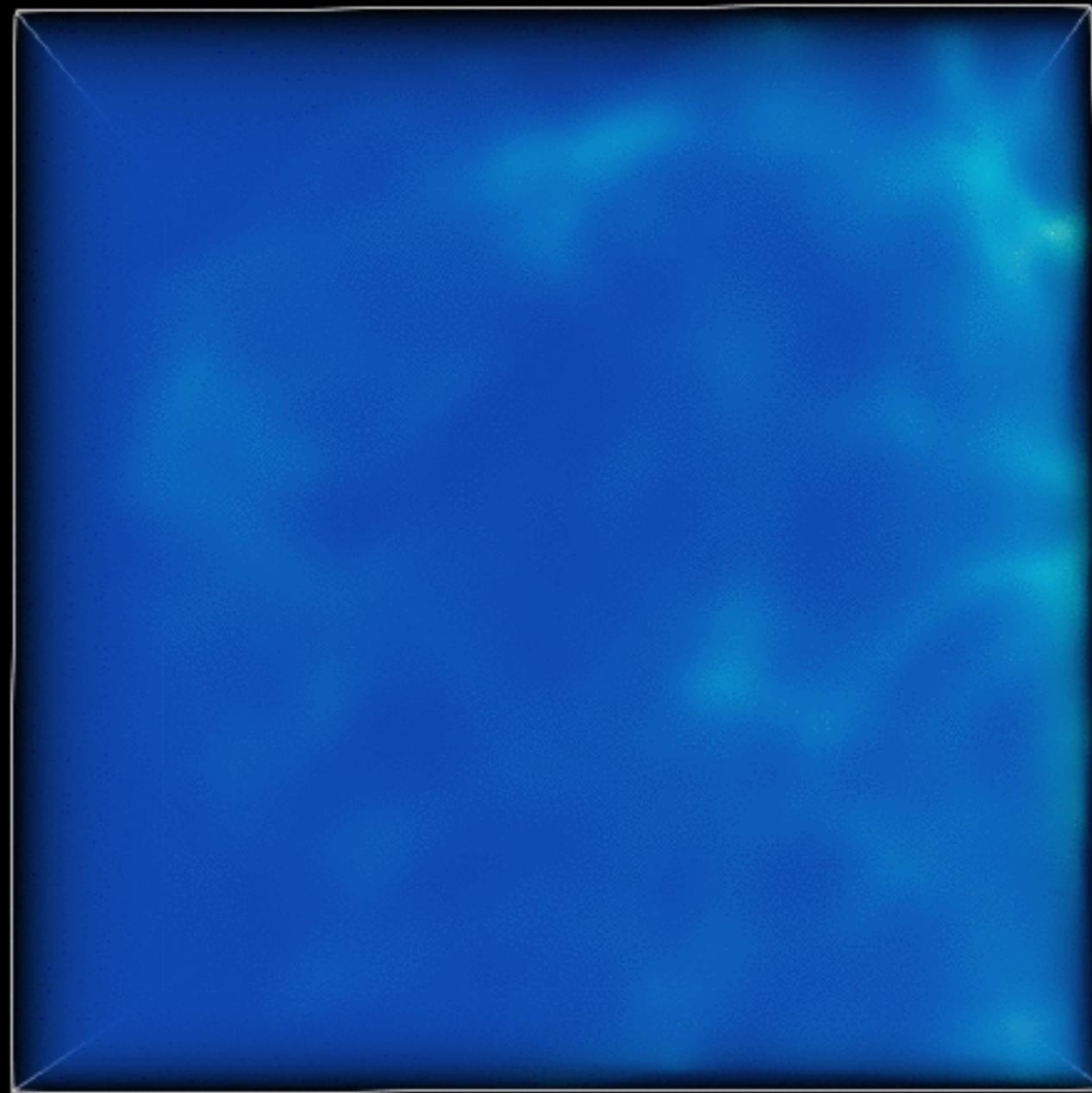
- M8run (fiducial)
 - $10^8 h^{-1} M_\odot$ at $z = 9$
- M8run_woLW
 - Lyman-Werner feedbackなし
- M8run_flat
 - flat Pop III IMF
- M9run
 - $10^9 h^{-1} M_\odot$ at $z = 9$

mass-resolution:

$$m_{\text{SPH}} \sim 10 h^{-1} M_\odot, m_{\text{DM}} \sim 60 h^{-1} M_\odot$$

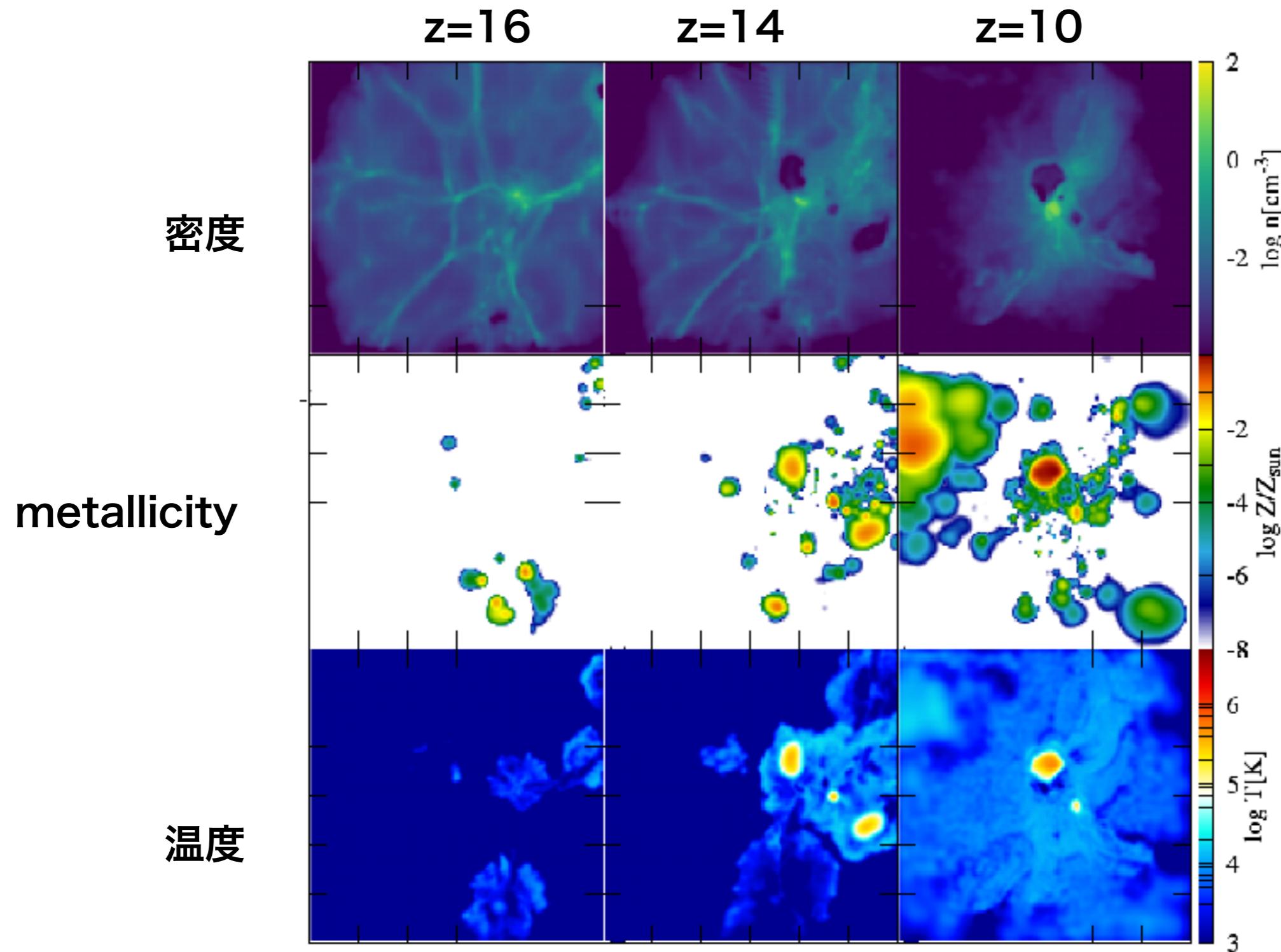
softening : $\epsilon \sim 90 \text{ cpc}$

初代銀河形成シミュレーション



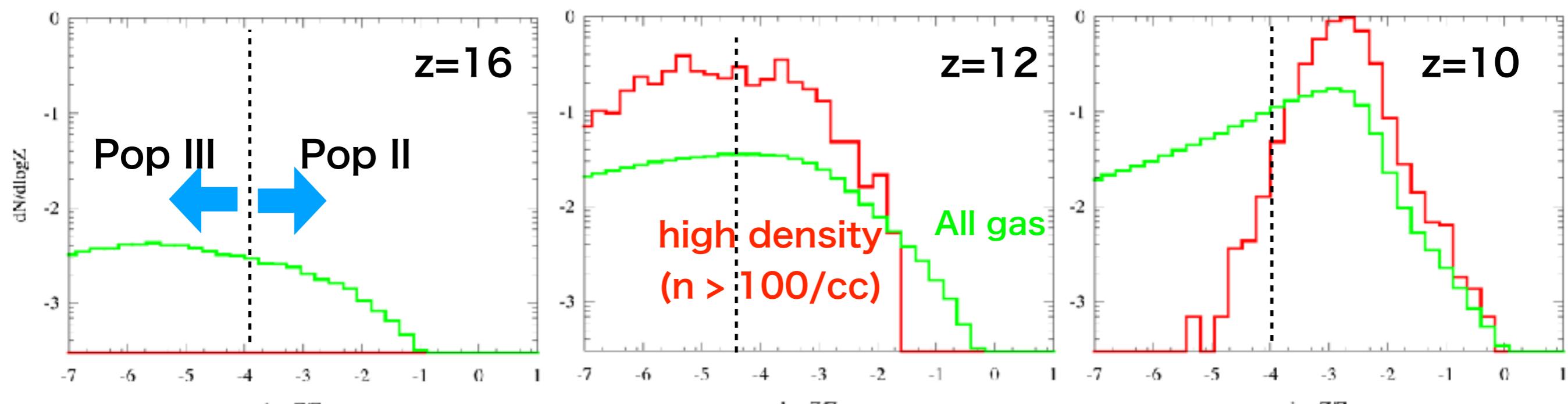
~60 ckpc

Metal enrichment



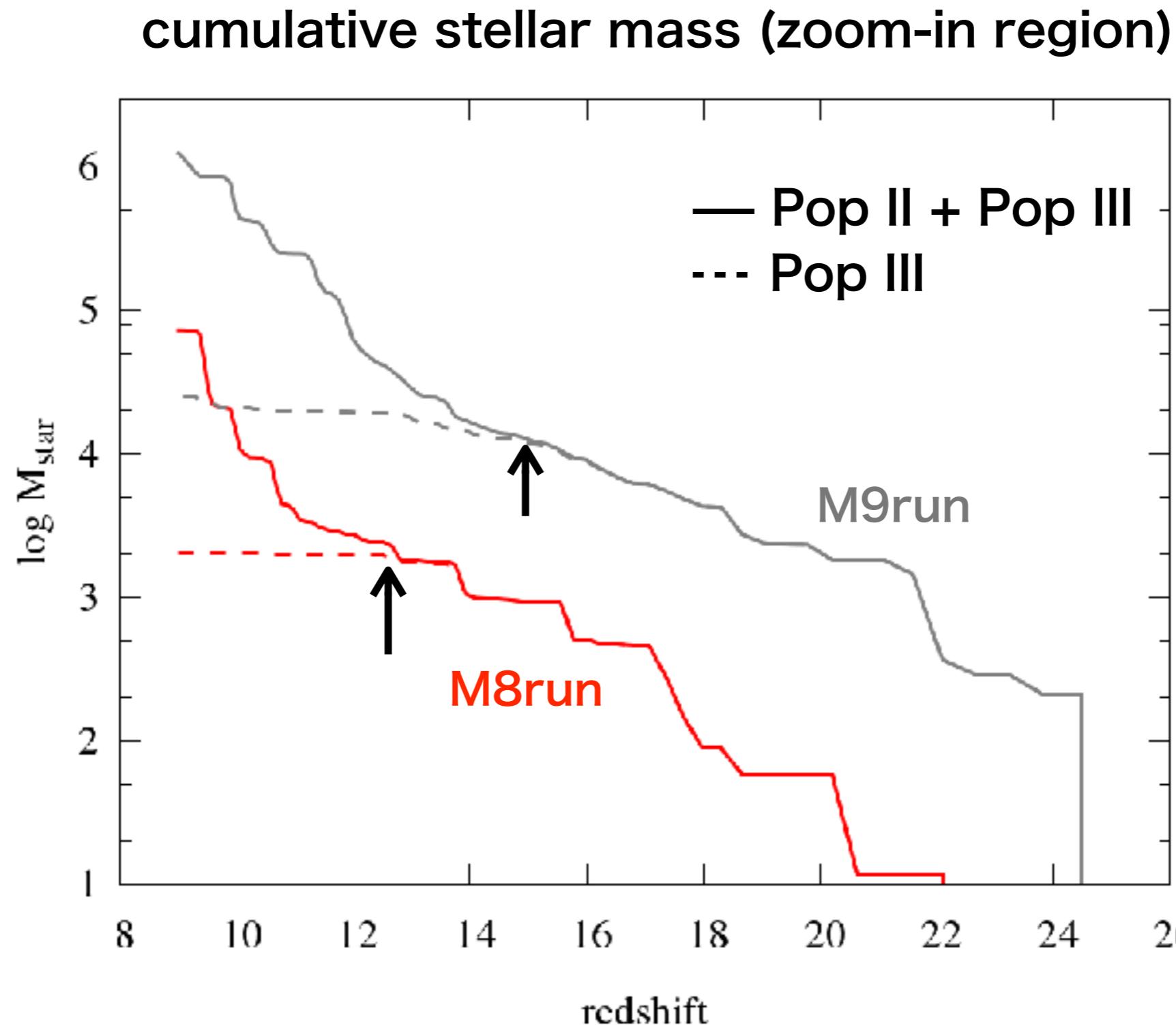
Pop III - Pop II transition

- Metallicity PDF in zoom-in region



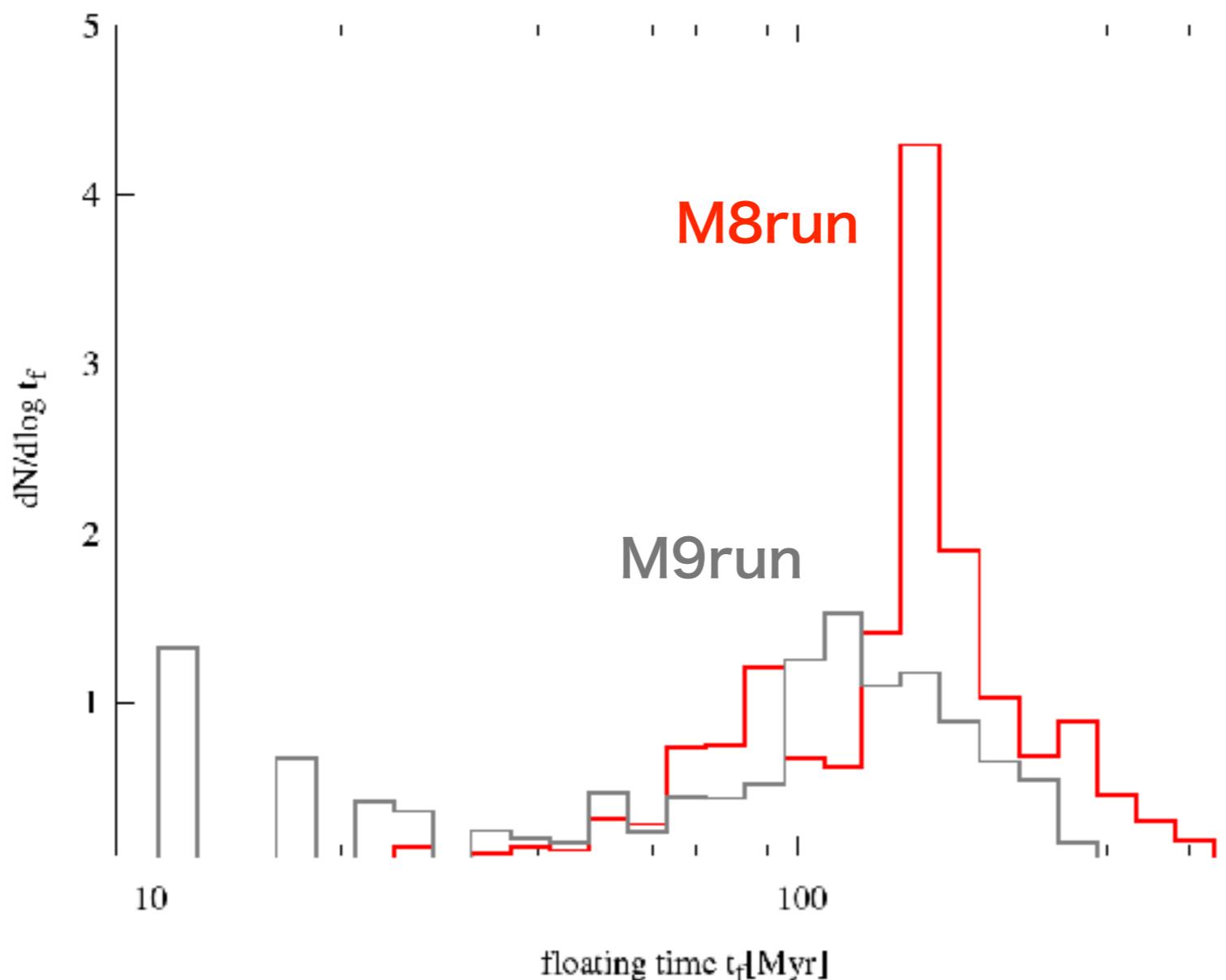
M8run

Pop III - Pop II transition



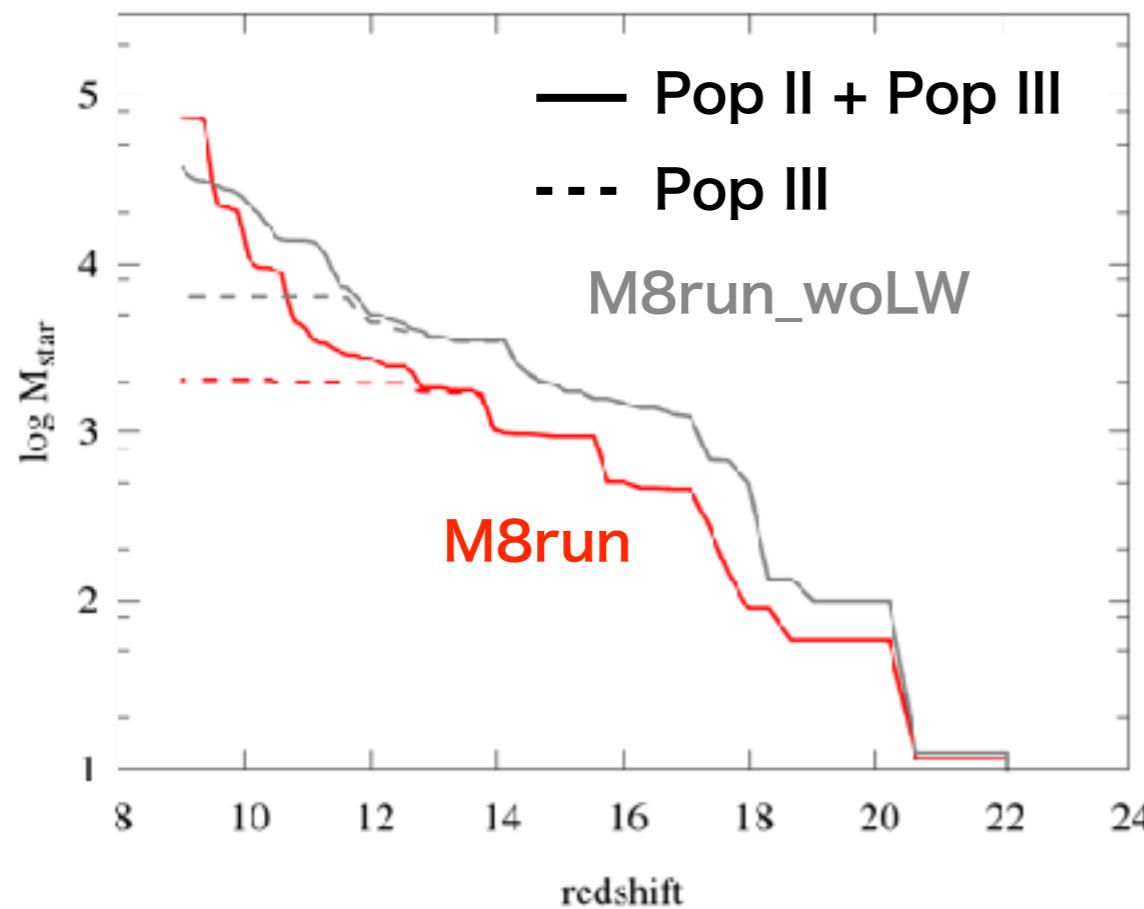
Floating time

- SNによってIGMに放出されたガスが再びハローに取り込まれるまでの時間



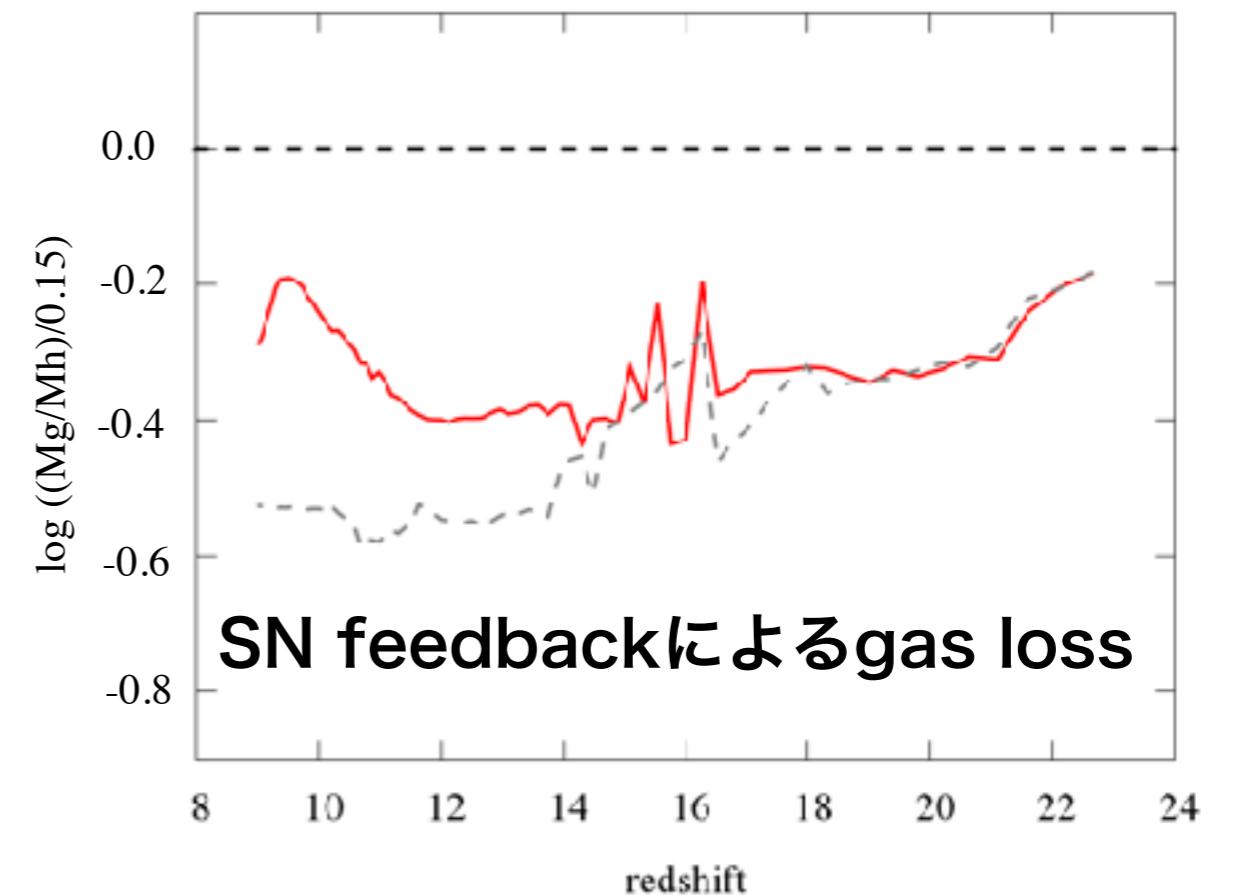
Lyman-Werner feedback

cumulative stellar mass
(zoom-in region)



LWによるPop III形成の抑制

gas fraction in main-progenitor

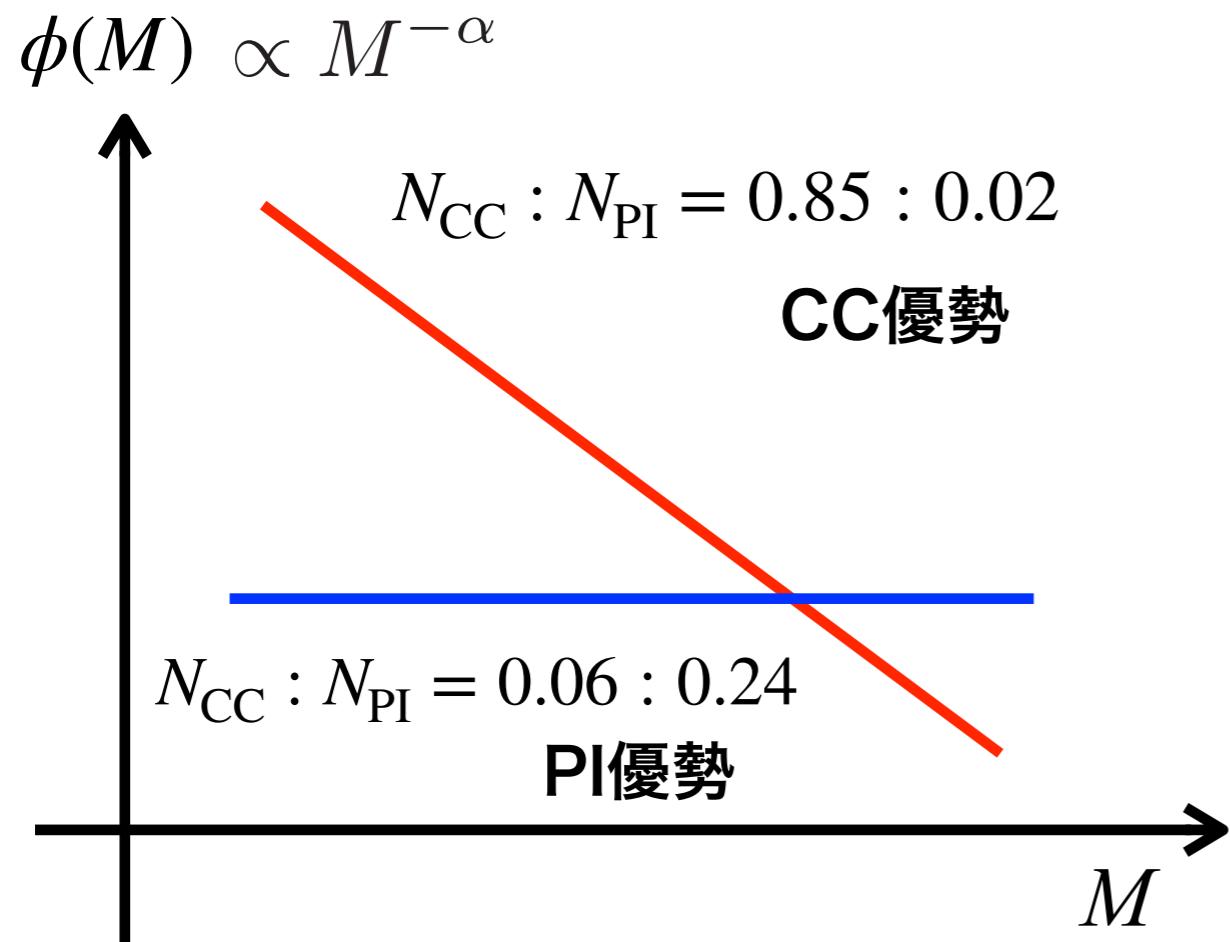


SN feedbackによるgas loss

M8run vs M8run_woLW

Impact of Pop III IMF

- 初代銀河に初代星の痕跡は残るのか/いつ忘れるのか



- SN energy per unit stellar mass

$$E_{\text{SN,CC}} = 10^{51} \text{ erg} \quad (10-40 M_\odot)$$

$$E_{\text{SN,PI}} = 10^{53} \text{ erg} \quad (140-260 M_\odot)$$

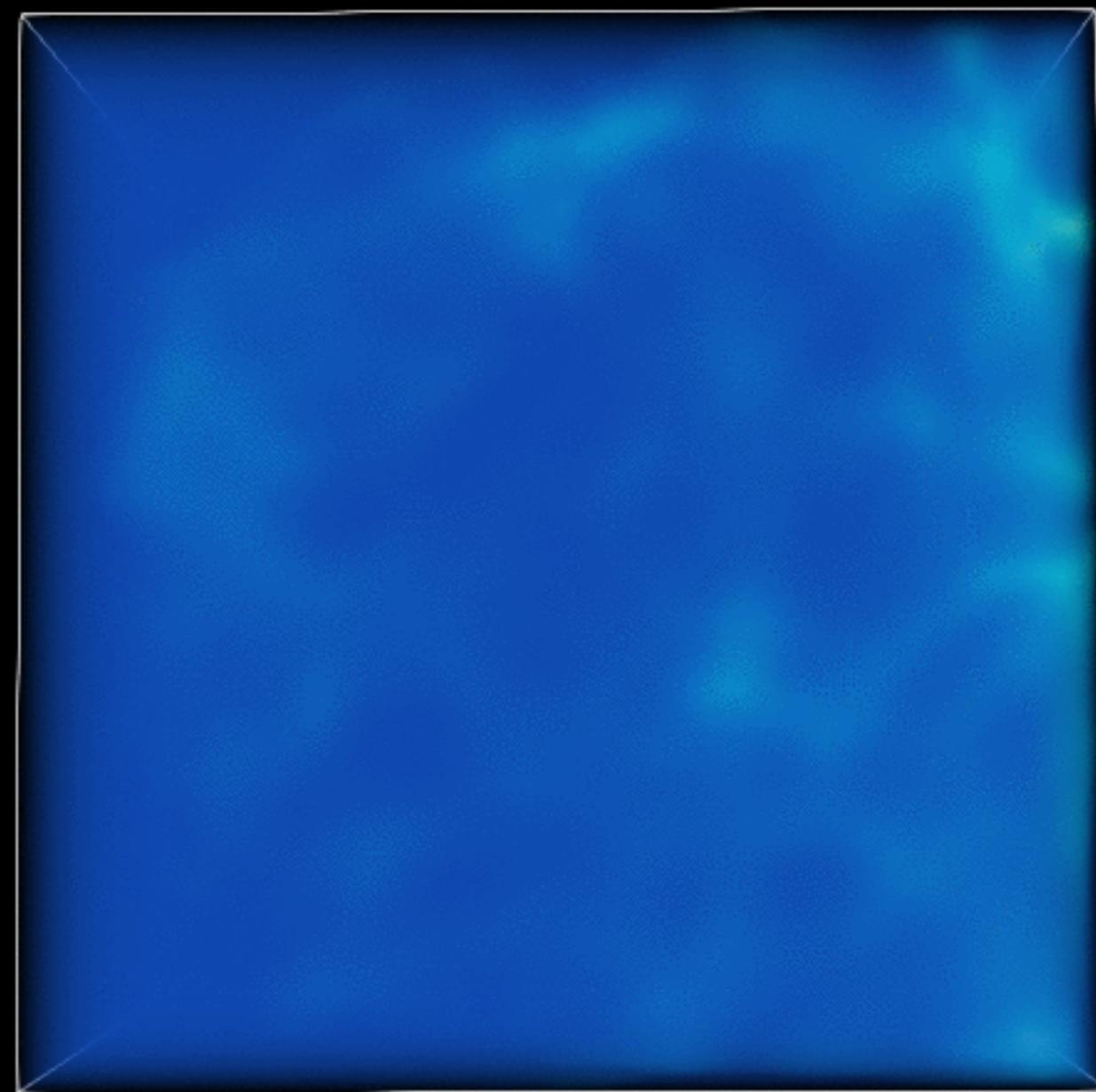
(Heger & Woosley 02)

$$\epsilon_{\text{SN}} = \frac{\int_{M_{\min}}^{M_{\max}} dM E_{\text{SN}} \phi(M)}{\int_{M_{\min}}^{M_{\max}} dM \phi(M)}$$

$$\epsilon_{\text{SN}} = 8.5 \times 10^{49} \text{ erg}/M_\odot \quad (\textbf{Salpeter})$$

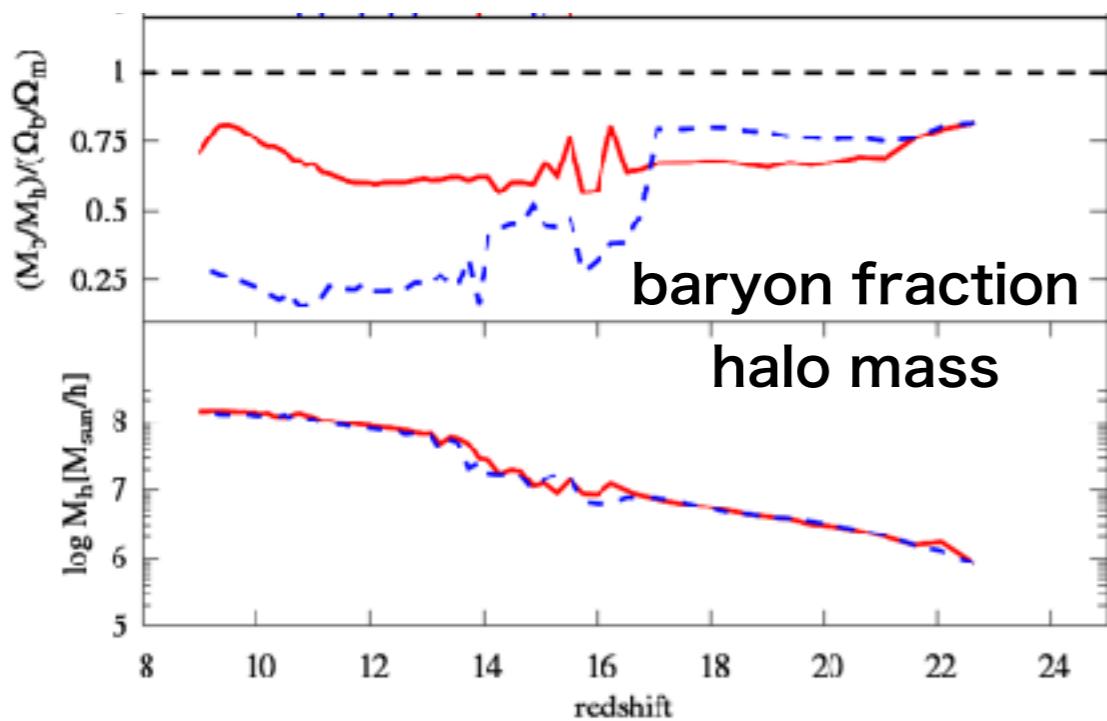
$$\epsilon_{\text{SN}} = 9.6 \times 10^{49} \text{ erg}/M_\odot \quad (\textbf{Flat})$$

単位質量あたりの放出エネルギーはほぼ同じ

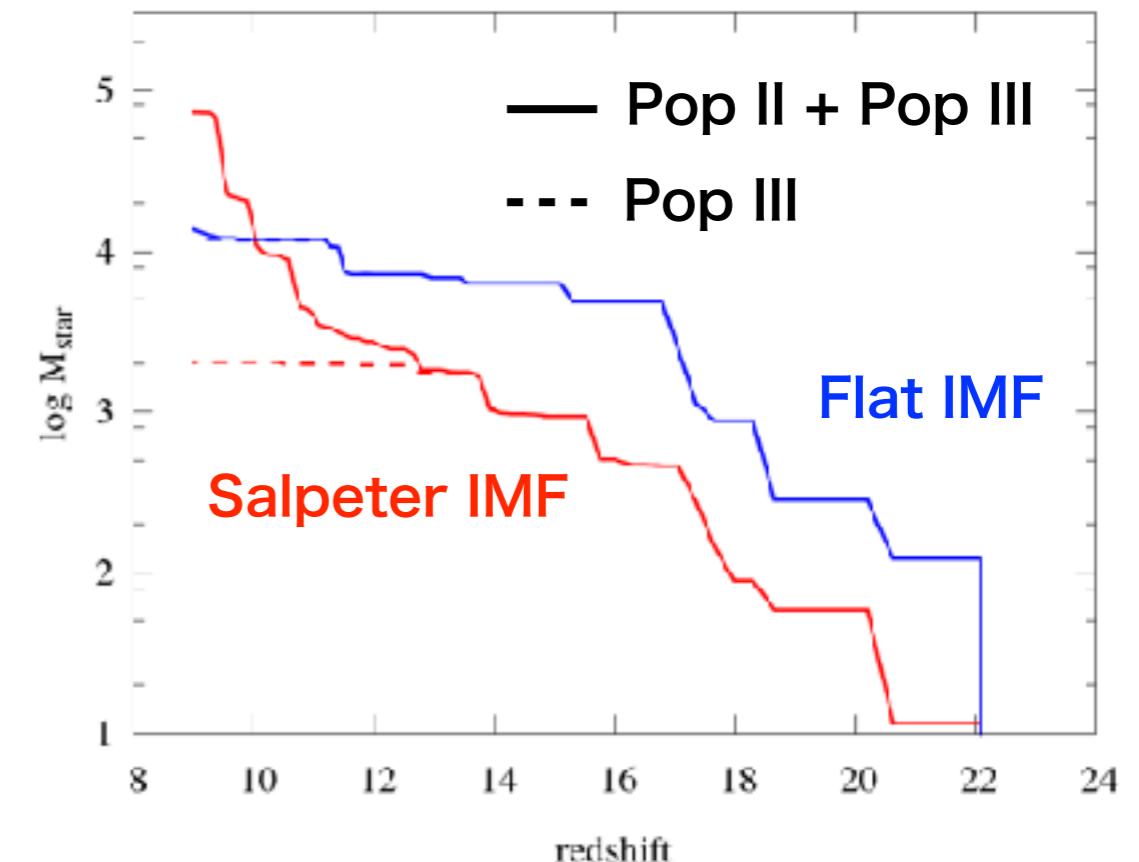


Impact of Pop III IMF

baryon fraction (main-progenitor)

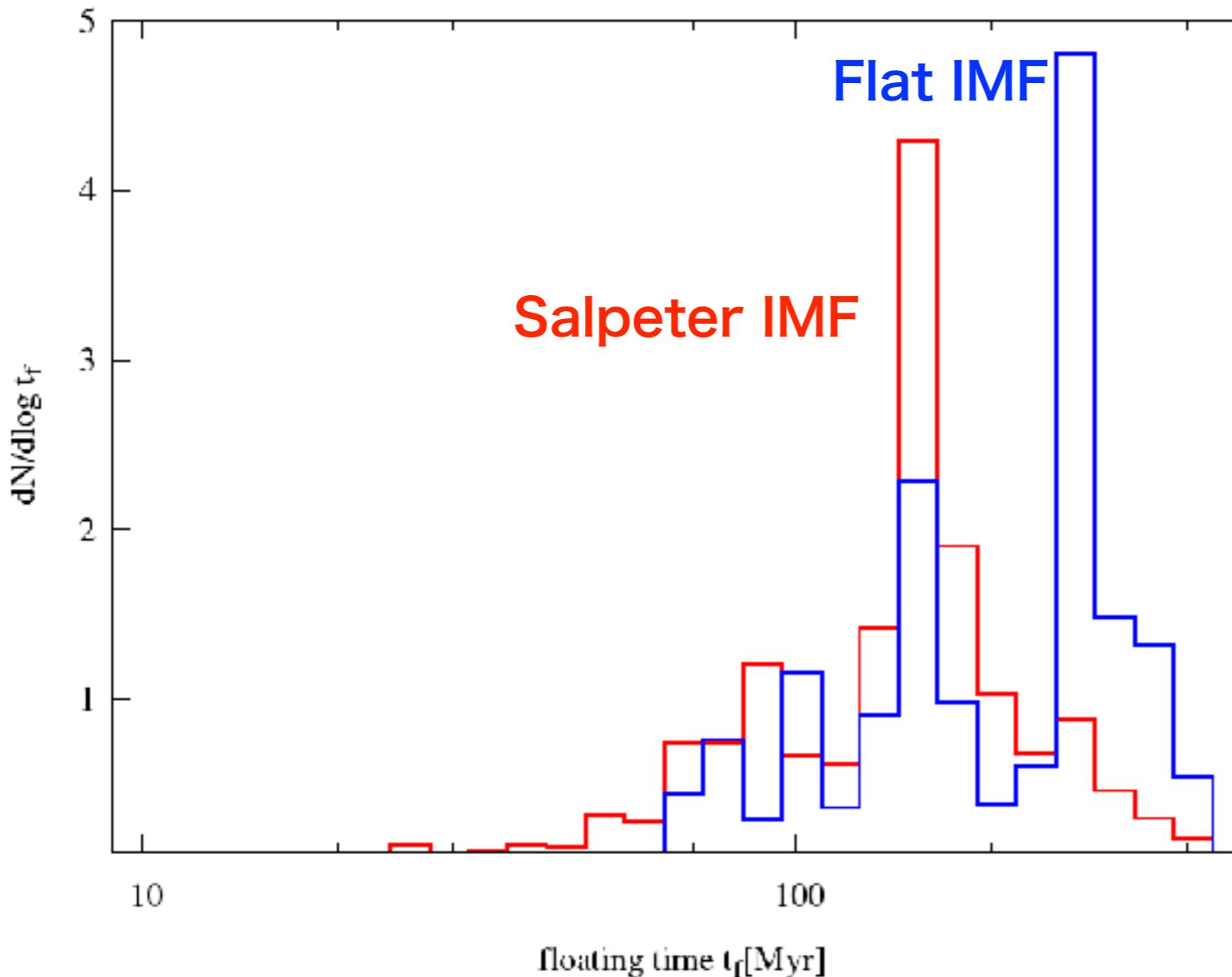


cumulative stellar mass
(zoom-in region)



- Flat IMF : PISNにより銀河中のガス密度が低下、星が形成されない
- Pop III IMFの形によってPop II 形成開始時期が変わる

Floating time



リカバーされた割合:
57% for Salpeter IMF
24% for Flat IMF

まとめ

- 初代星のUVフィードバック、超新星爆発を取り入れた高解像度初代銀河形成シミュレーション
- Pop III - Pop II transition: $z \sim 12-15$ (Salpeter IMF)
- LW feedbackによるPop III形成の抑制
 - SNの頻度が低下、結果的に銀河中のbaryon fractionが上がる
- Impact of Pop III IMF: 初代銀河の星形成史に大きく影響
 - PISNによるgas poorな初代銀河、星形成の抑制
 - $z \sim 9$ でもPop III 形成の痕跡を残す可能性がある