

銀河からの電離輻射が超大質量 星形成に与える影響

Sunmyon Chon (University of Tokyo)、
Muhammad Latif (Institut d'Astrophysique de Paris)

Super Massive Black Hole at high-z

- SMBHs with $10^9 M_{\odot}$ already exist at $z > 6$.
(high-z QSO survey)

- Eddington Accretion onto seed BH

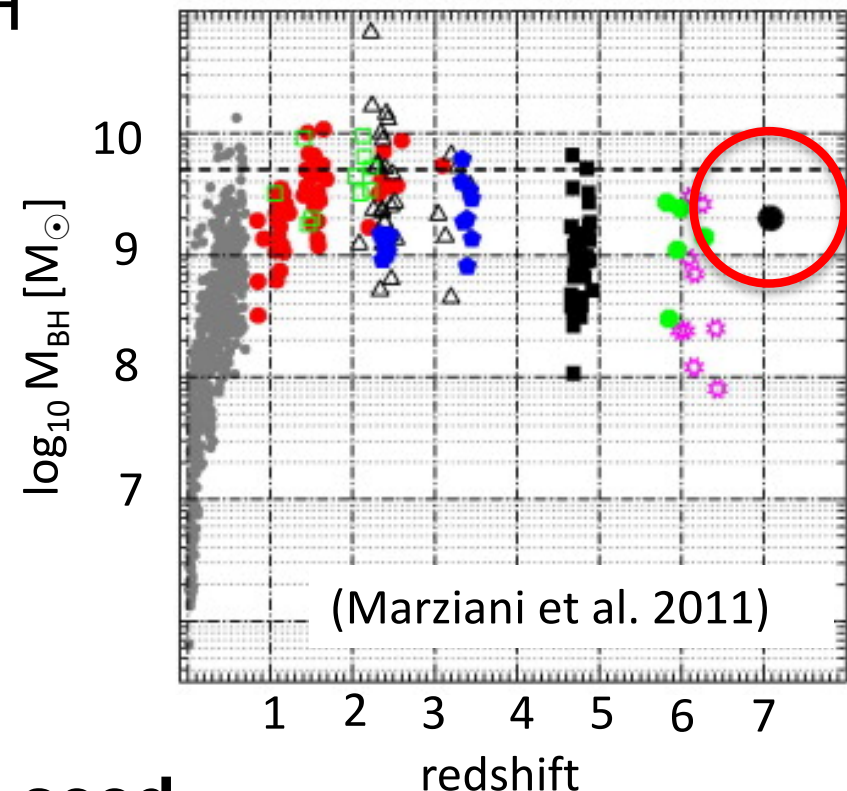
$$\dot{M} \propto M \rightarrow M = M_{\text{ini}} \exp(t / t_E)$$

where $t_E \sim 40 \text{ Myr}$

PopII $\Rightarrow M_{\text{ini}} = 1 \sim 10 M_{\odot}$
 \Rightarrow not enough time

- Solution

1. super-Eddington accretion
2. start from **more massive BH seed**



Super Massive Black Hole at high-z

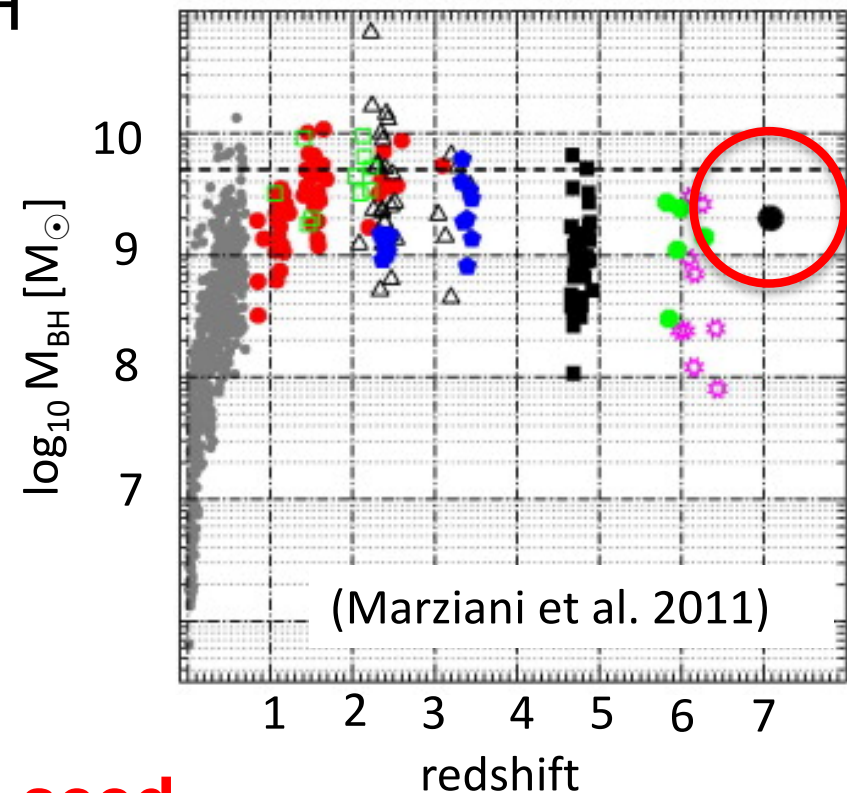
- SMBHs with $10^9 M_{\odot}$ already exist at $z > 6$.
(high-z QSO survey)

- Eddington Accretion onto seed BH

$$\dot{M} \propto M \rightarrow M = M_{\text{ini}} \exp(t / t_E)$$

where $t_E \sim 40 \text{ Myr}$

PopII $\Rightarrow M_{\text{ini}} = 1 \sim 10 M_{\odot}$
 \Rightarrow not enough time



- Solution

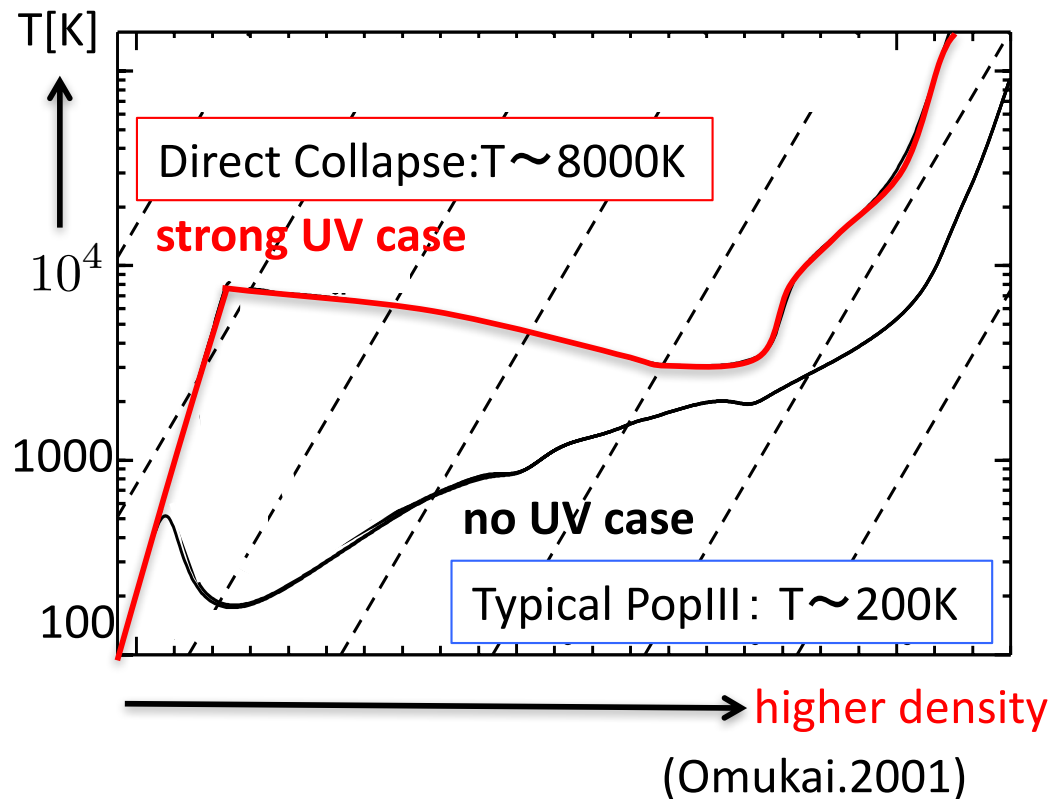
1. super-Eddington accretion

2. start from **more massive BH seed**

\rightarrow star formation in the early universe

Direct Collapse (DC)

- Massive star formation($\sim 10^5 M_{\odot}$) path at high-z



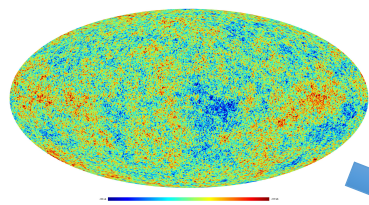
\Rightarrow accretion rate : $0.1 \sim 1 M_{\odot}/\text{yr}$

- strong Far-UV radiation
 \Rightarrow H_2 dissociation
 \Rightarrow high temperature
(Red line)

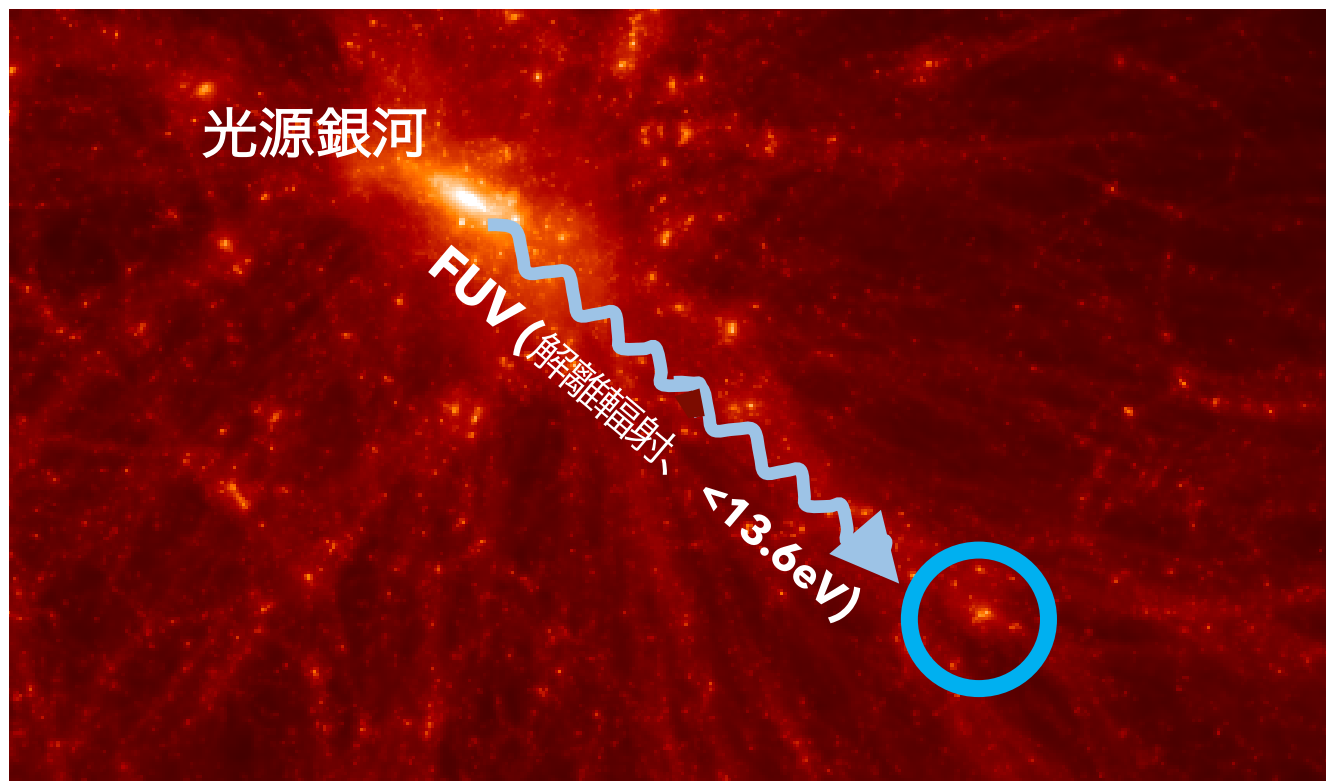
- higher accretion rate
 $\dot{M} \sim M_{\text{J}}/t_{\text{ff}} \sim c_{\text{s}}^3/G \propto T^{\frac{3}{2}}$

Final mass :
 $\sim 10^5 M_{\odot}$

DC Scenario



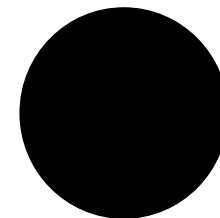
宇宙論的
初期条件



光源銀河

FUV (解離性輻射、
<13.6eV)

small halo($\sim 10^7 M_{\odot}$)
(DC halo)



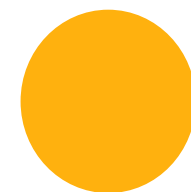
SMBH ($\sim 10^9 M_{\odot}$)

質量降着



BH ($\sim 10^5 M_{\odot}$)

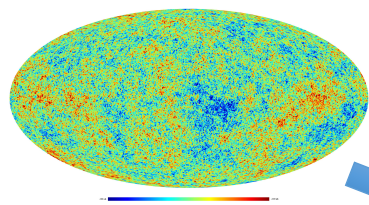
重力崩壊



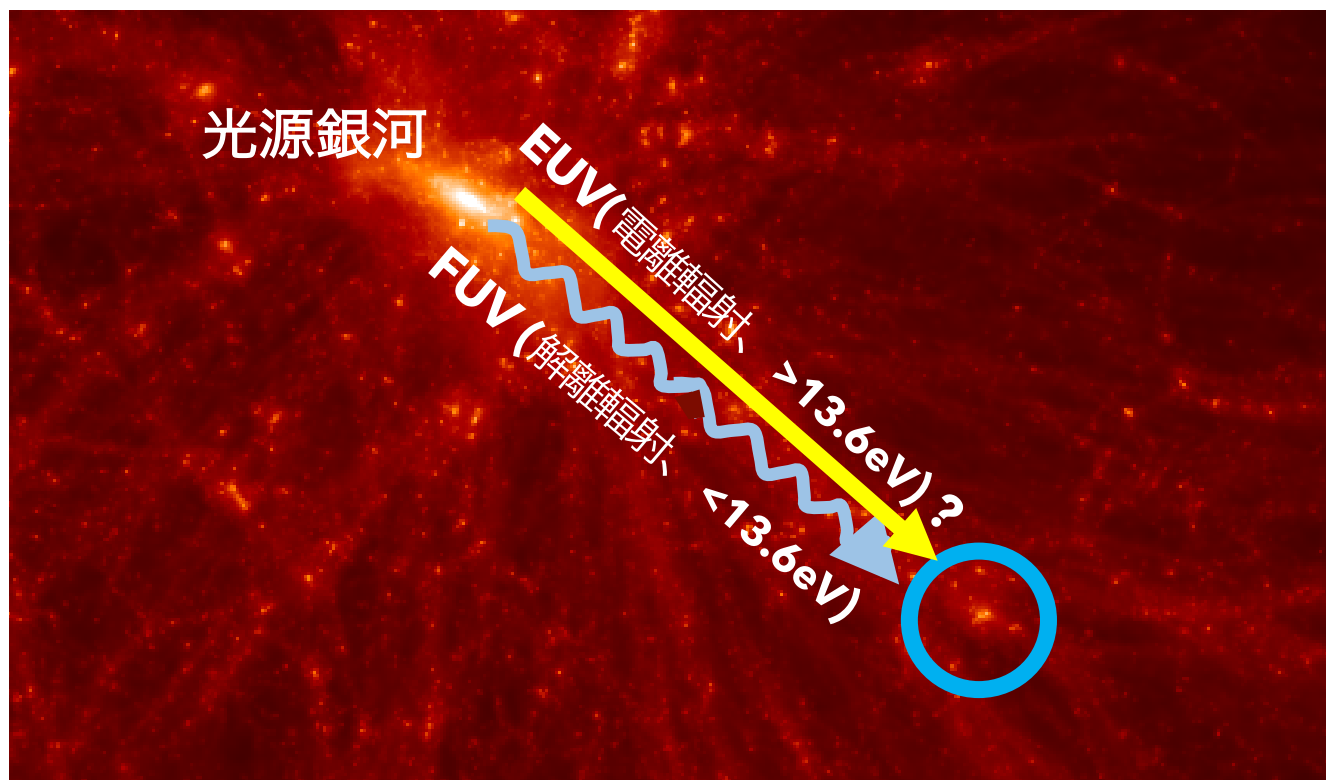
超大質量星
($\sim 10^5 M_{\odot}$)



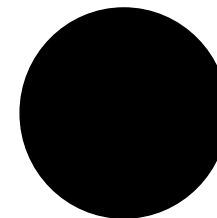
DC Scenario



宇宙論的
初期条件



small halo($\sim 10^7 M_{\odot}$)
(DC halo)



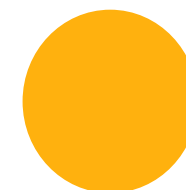
SMBH ($\sim 10^9 M_{\odot}$)

質量降着



BH ($\sim 10^5 M_{\odot}$)

重力崩壊



超大質量星
($\sim 10^5 M_{\odot}$)



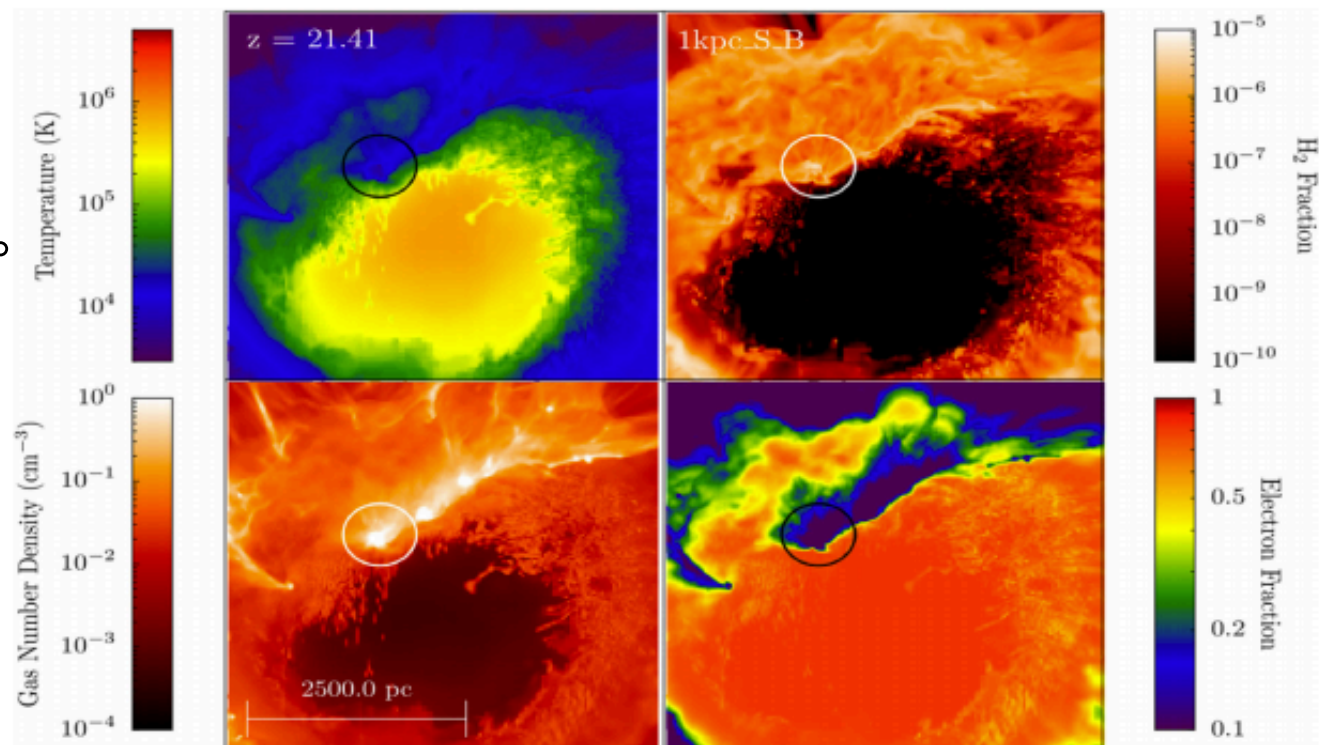
Previous Study

- Regan et al. (2016)

始原的ガス雲の近傍に光源を置いて輻射流体計算。
高いFUV輻射が実現する環境では、EUVも強くなる。
→ 光蒸発によりDC haloはcollapseできない。

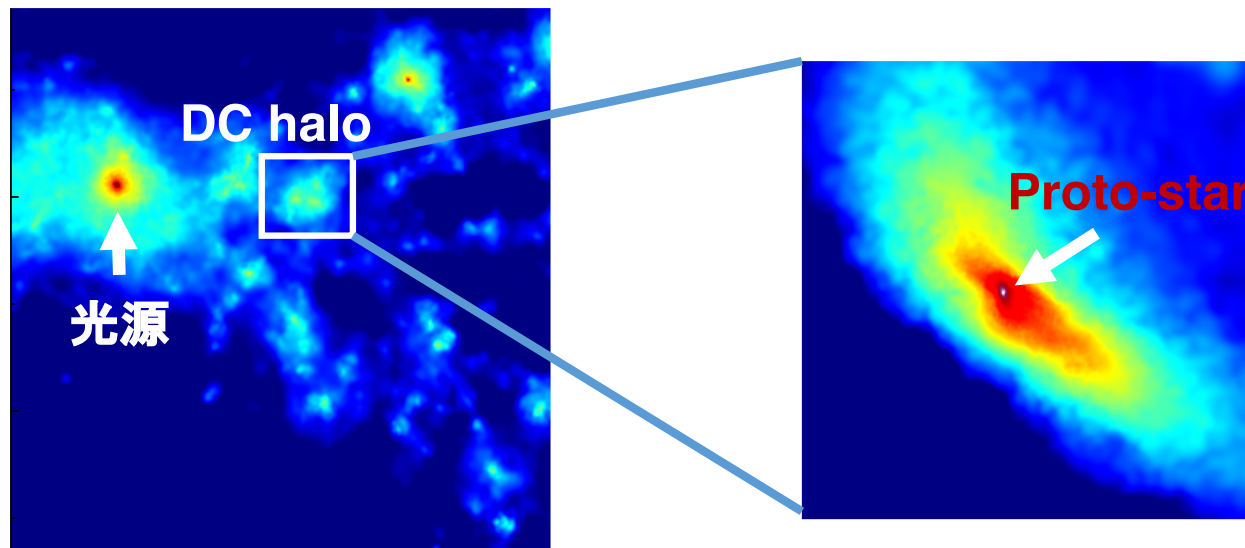
しかし、

- 光源の位置が密度構造と対応していない。
(**Void領域に光源を置いている。**)
- luminosityは時間によらない。
(**いきなり明るい銀河を置いている。**)



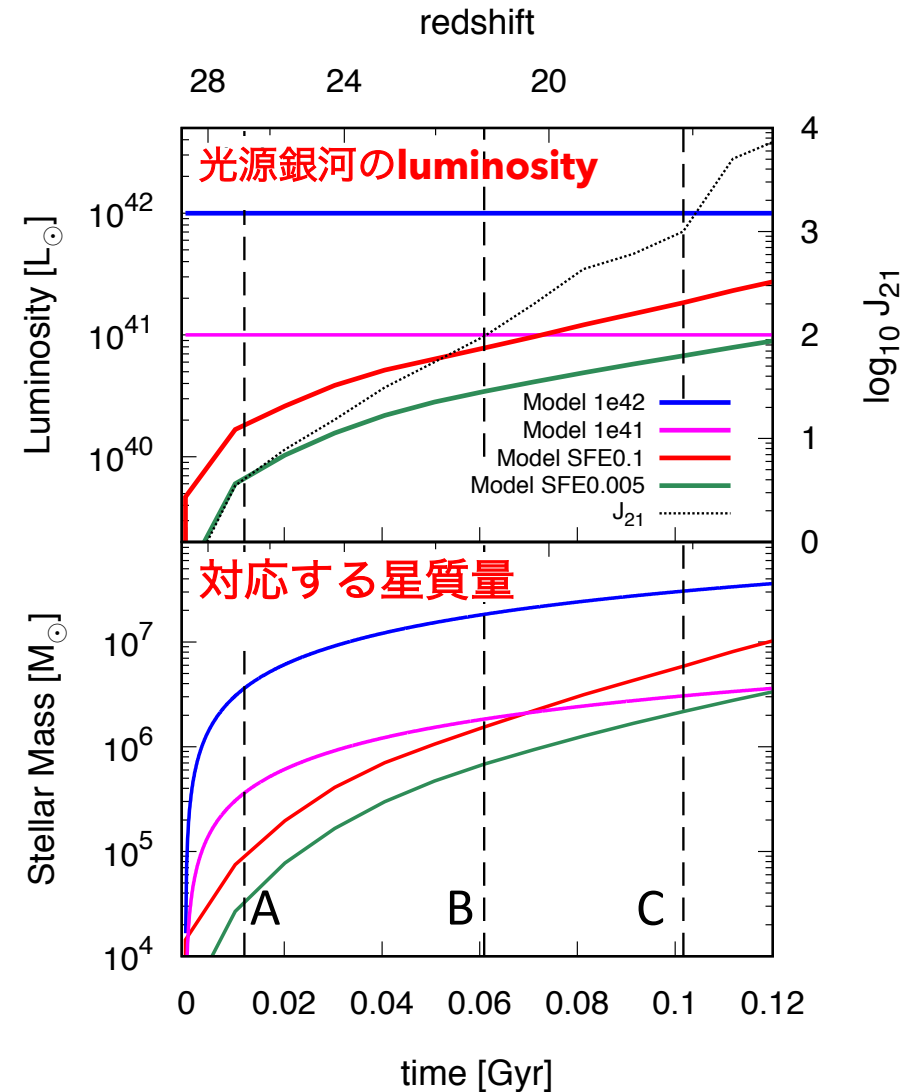
Previous Study (Chon et al. 2016)

- ・ **超大質量星(SMS)形成**の起こるガス雲を20 Mpcの領域で探索
 - No metal
 - Strong FUV
 - Massive ($T_{\text{vir}} > 8000$ K)
- ・ 宇宙論的初期条件より出発、流体計算
- ・ 金属汚染・光源銀河の形成過程を考慮 (準解析モデル)



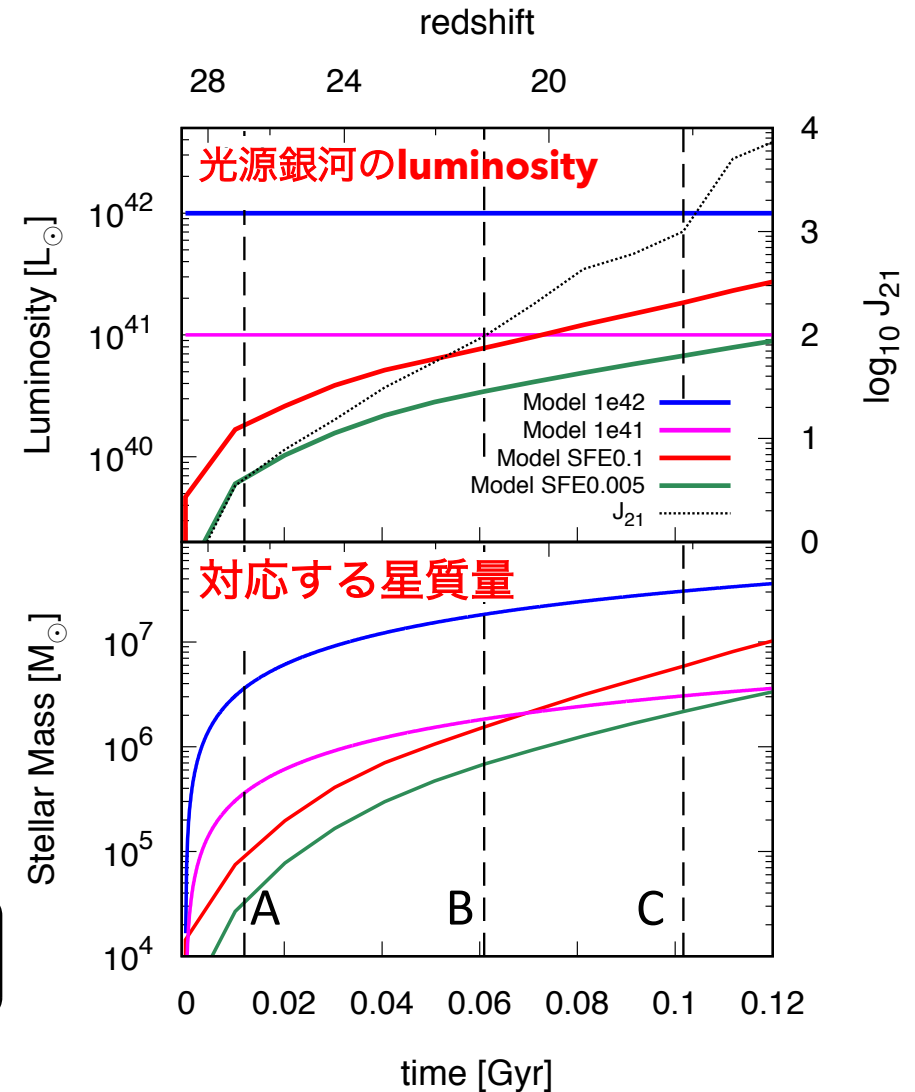
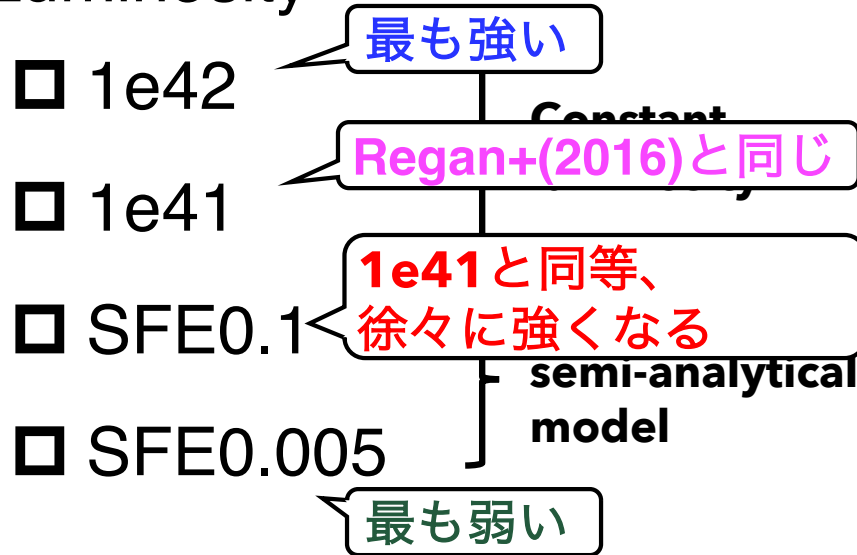
Numerical Setup

- Gadget3 (SPH + N-body)
 - Primordial chemistry
 - Sink particle
 - created at $n > 10^3 \text{ cm}^{-3}$
 - $R_{\text{sink}} = 1$ comoving kpc
 - UV radiation from sink (Susa, 2006)
 - Luminosity
 - 1e42
 - 1e41
 - SFE0.1
 - SFE0.005
- Constant luminosity**
- Given by semi-analytical model**

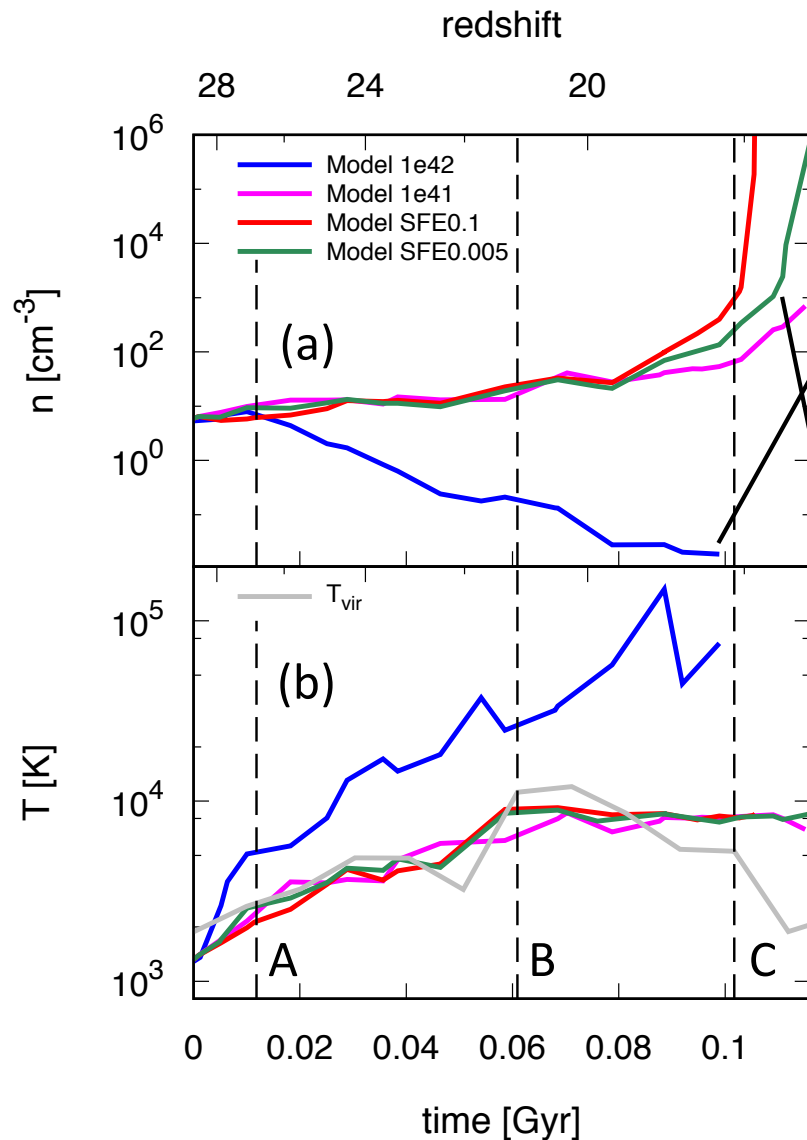


Numerical Setup

- Gadget3 (SPH + N-body)
- Primordial chemistry
- Sink particle
 - created at $n > 10^3 \text{ cm}^{-3}$
 - $R_{\text{sink}} = 1$ comoving kpc
 - UV radiation from sink (Susa, 2006)
 - Luminosity



Evolution of DC halo



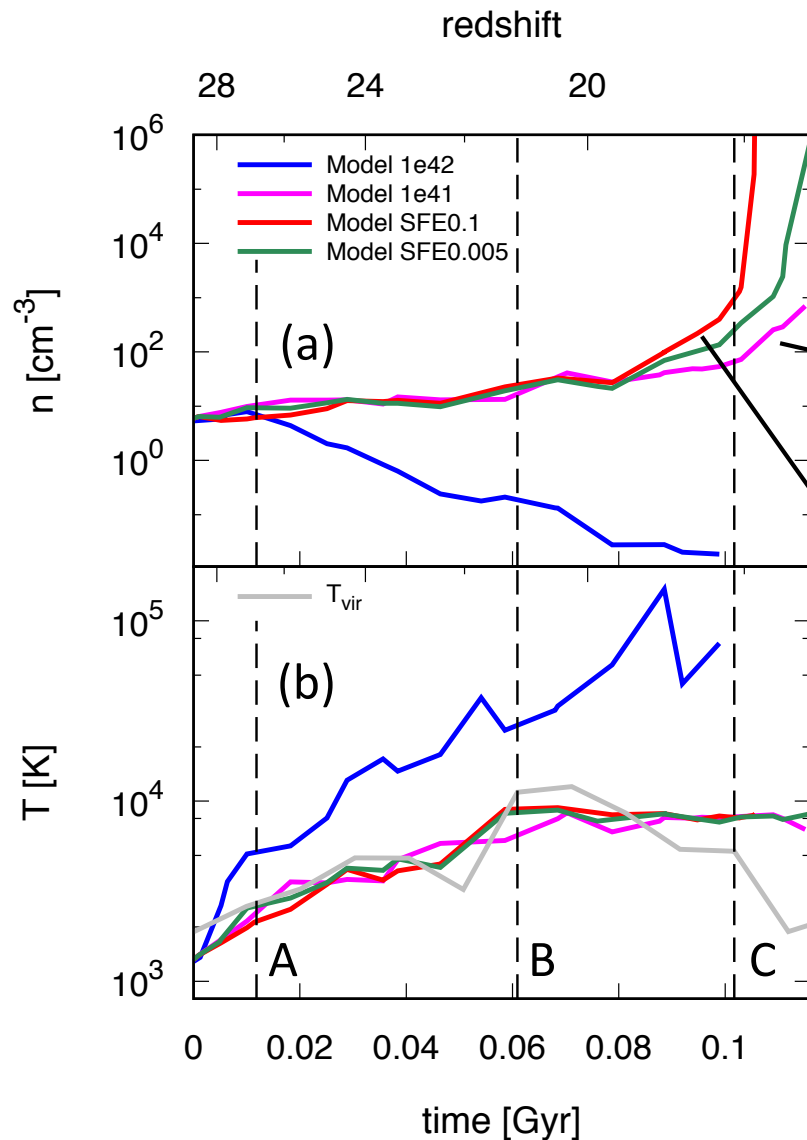
1e42 : 完全に蒸発

1e41 : DC haloは部分的に電離
→ ガス雲はcollapseせず

SFE0.1 : DC haloは部分的に電離
→ ガス雲はcollapse
電離領域が広がらない場合に比べて
より早くcollapse

SFE0.005 : ほぼ中性、
電離領域は広がらず
→ DC halo中のガス雲はcollapse

Evolution of DC halo



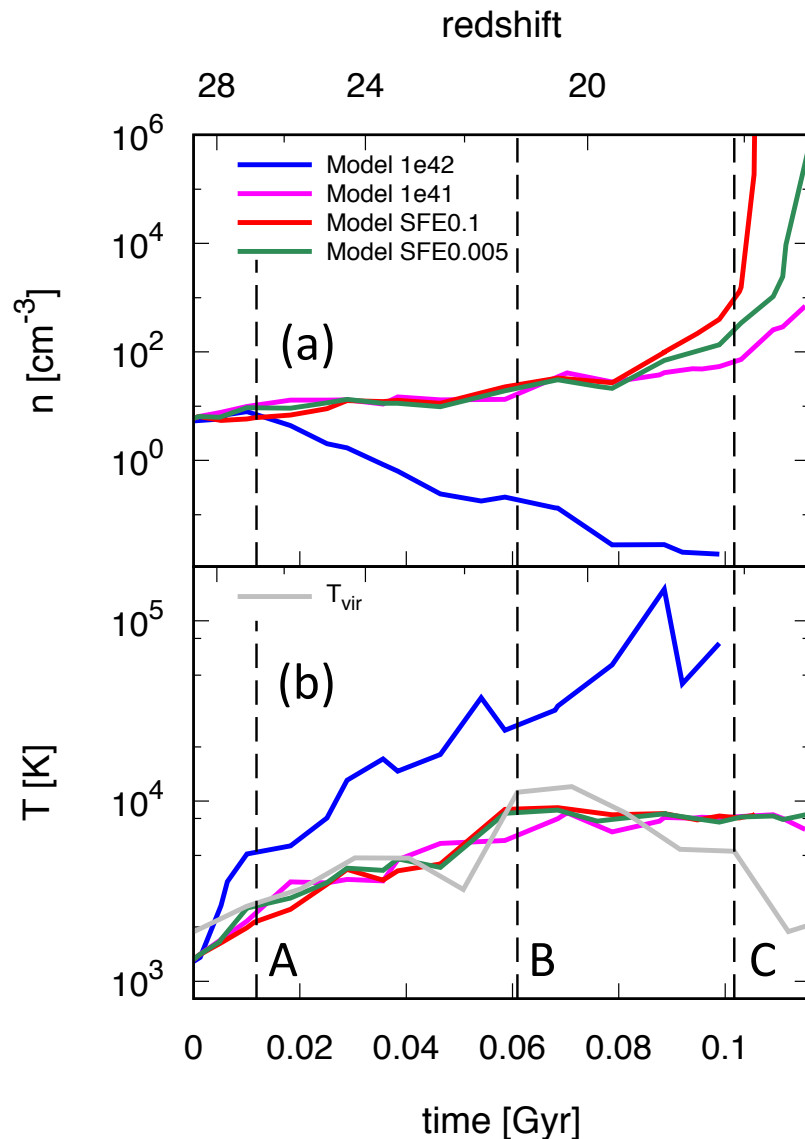
1e42 : 完全に蒸発

1e41 : DC haloは部分的に蒸発
→ ガス雲はcollapseせず

SFE0.1 : DC halos周辺は電離
→ ガス雲はcollapse
電離領域が広がらない場合に比べて
より早くcollapse

SFE0.005 : ほぼ中性、
電離領域は広がらず
→ DC halo中のガス雲はcollapse

Evolution of DC halo



1e42 : 完全に蒸発

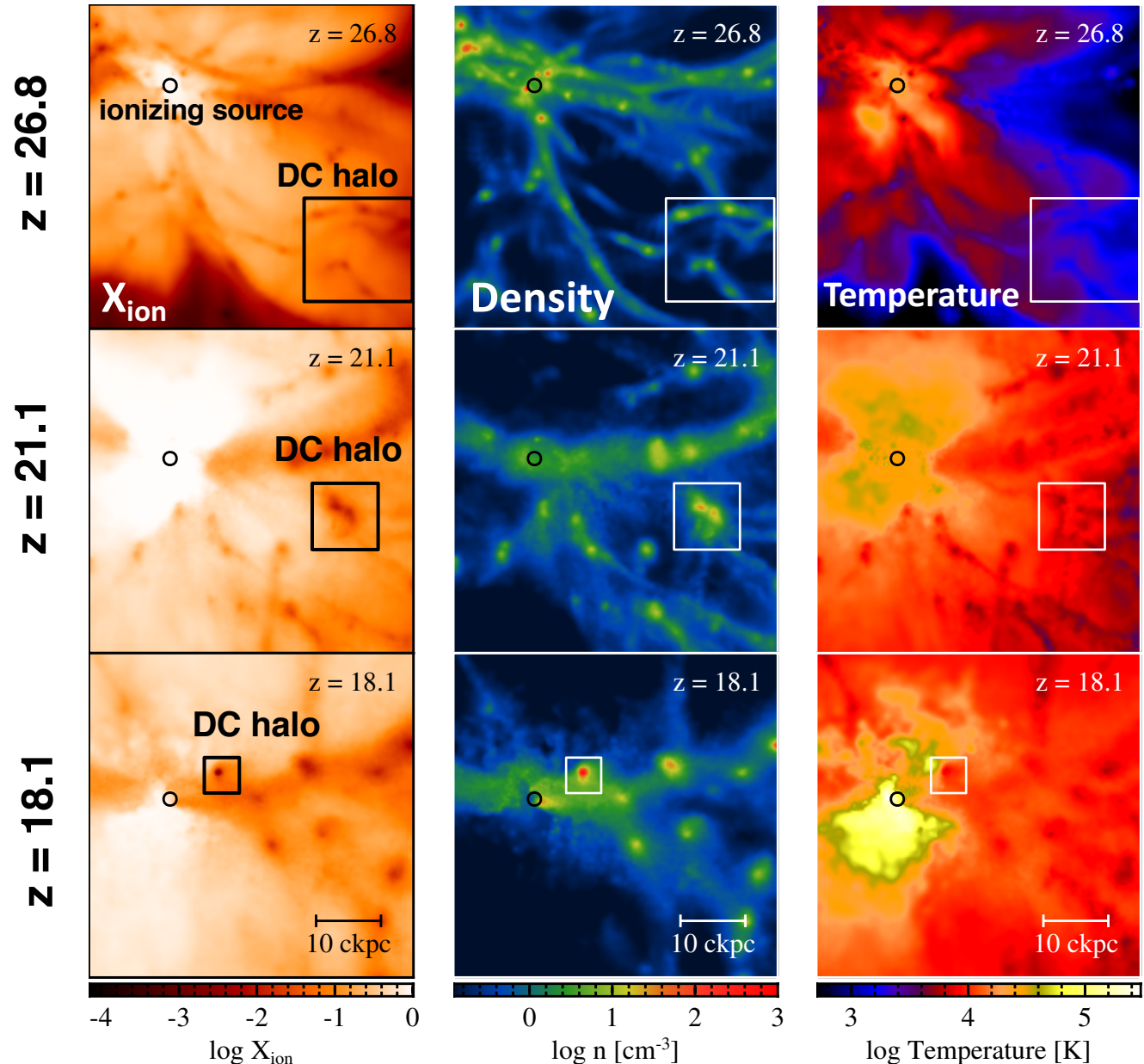
1e41 : DC haloは部分的に電離
→ ガス雲はcollapseせず

UV輻射が非常に強い場合、ガス雲は蒸発してcollapseしない。
しかし、輻射の強度によってはガス雲の **collapseが加速**する。

(1e41とSFE0.1の比較より、)
輻射強度の時間進化は重要。特に、初期の輻射強度が強いほどcollapseしにくい。

Evolution of DC halo (SFE0.1)

- 銀河が光り始めると、
周囲に電離領域が形成
(DC halo周辺において
 $X_{\text{ion}} \sim 0.01$)
- DC haloが光源銀河に
近づくにつれて、
filamentに取り込まれる。
→ **UV輻射は遮蔽される。**
→ 蒸発することなく、
無事にcollapse
- DC halo周辺のガスは
電離・高温
→ ガス雲のcollapseを
加速？



Summary

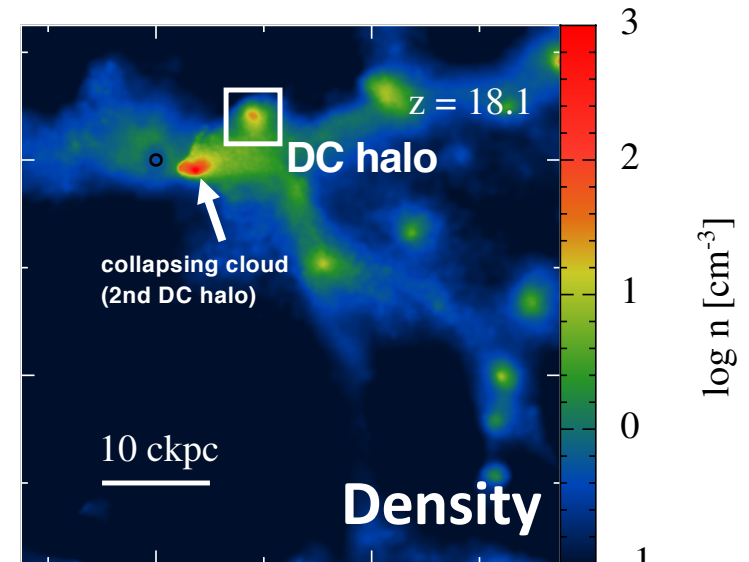
- DC haloの崩壊過程にEUV輻射が影響を与えるか調べた。
 - 銀河形成モデルより得られるluminosityの下では
 - ガス雲はcollapse
 - EUV輻射は光源周辺のfilament構造により遮蔽
 - halo周辺のガスが電離されることで、ガス雲の崩壊が促進された。
 - Luminosity一定モデルとの比較より、
 - 構造形成初期の輻射強度が強いとcollapseが抑制される。
- SC16で得られた60個のDCハローについて、光源からの距離 R と R_{st} の時間進化を比較。
 - 多くの場合、 $R > R_{st}$ であり電離の影響は小さい。

Evolution of DC halo (1e41)

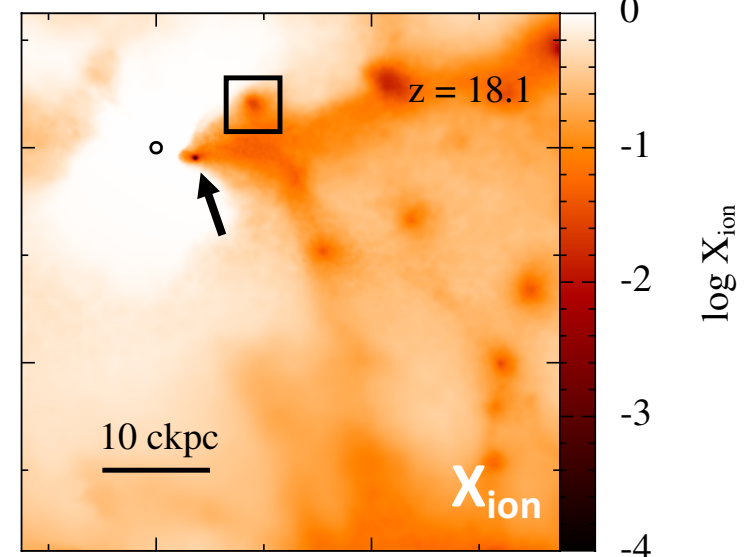
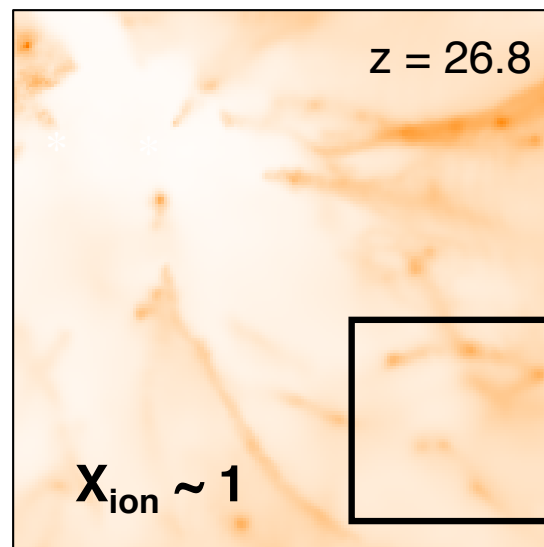
- フィラメントに取り込まれる前に、DC haloが強い輻射にさらされる。
→ 6つのprogenitorガス雲のうち、3つが蒸発
→ ガス雲はcollapseせず

- DC haloの近くに存在する別のガス雲がcollapse
(他のモデルではcollapseせず)
→ このモデルでも、**SMS形成に至る。**

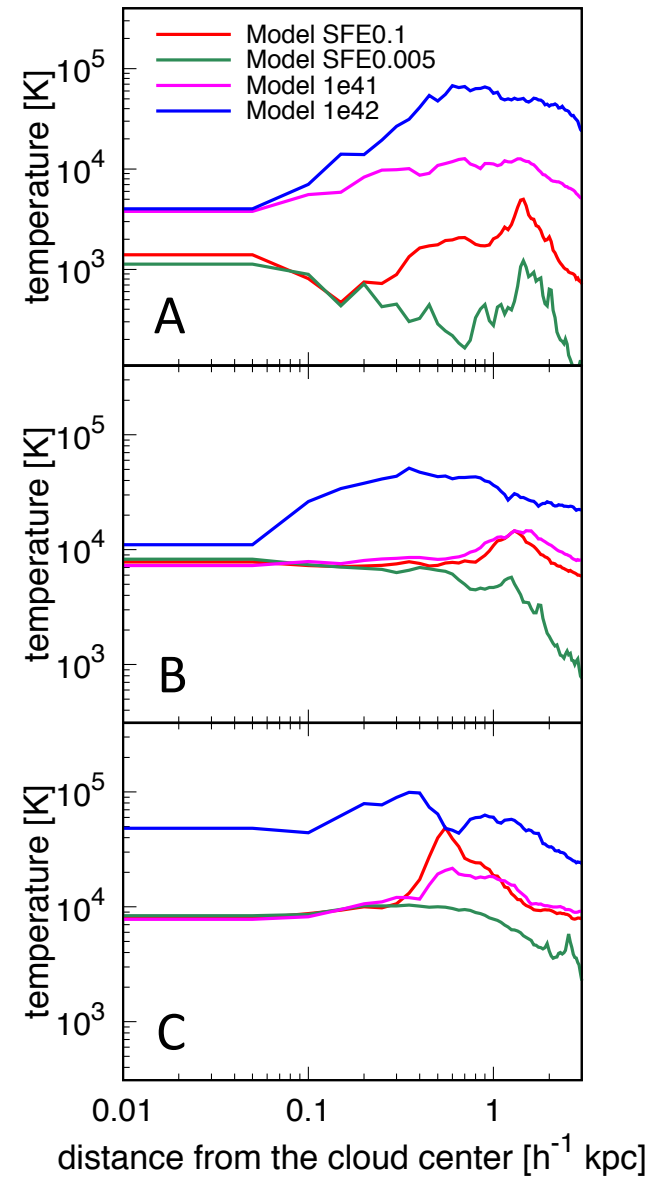
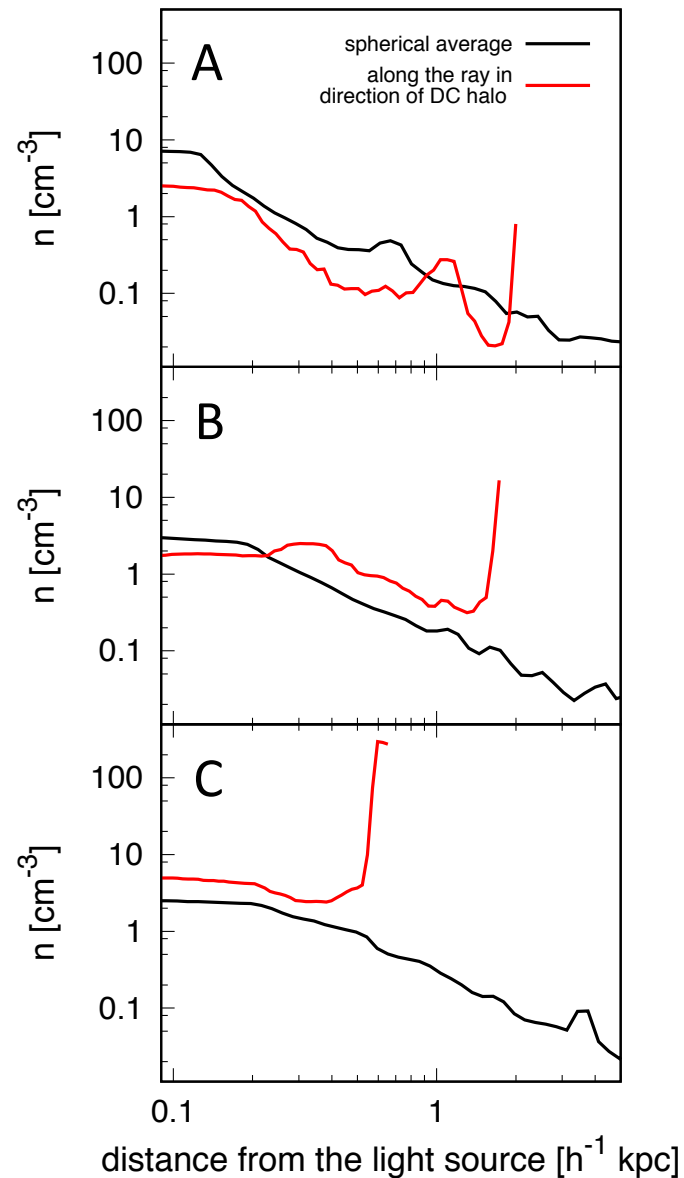
Model: 1e41 at C



at A



Profiles (Temperature, density)



Radiation Spectra

- 光源のSpectrumを変えると、電離の影響はどうか？

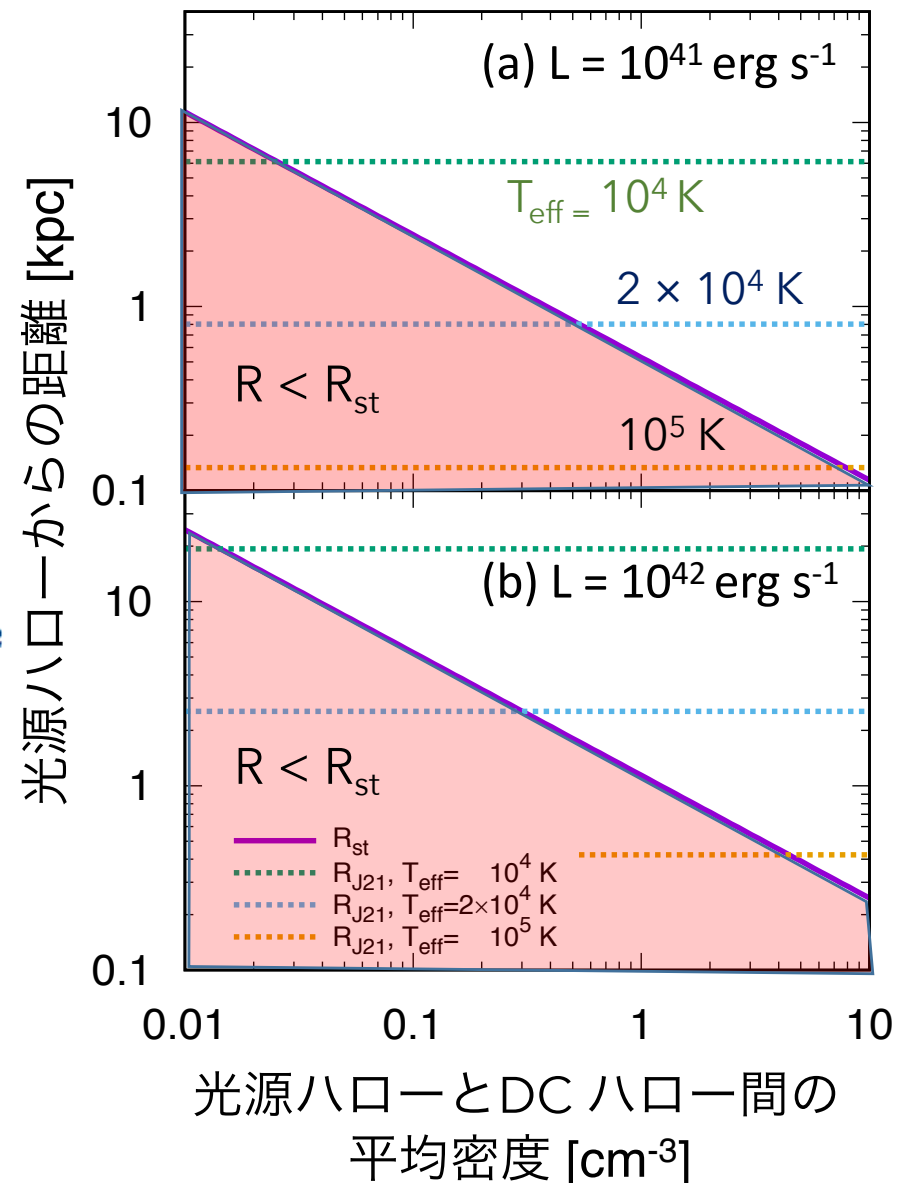
$$R_{\text{st}} = \left(\frac{3L_{\text{UV}}}{4\pi\bar{n}^2\alpha_B E_{\text{UV}}} \right)^{1/3}$$

$$= 1.14 \text{ kpc} \left(\frac{L_{\text{UV}}}{10^{42} \text{ erg s}^{-1}} \right)^{1/3} \left(\frac{\bar{n}}{1 \text{ cm}^{-3}} \right)^{-2/3}$$

$$R_{\text{J21}} = \left(\frac{\beta L_{\text{UV}}}{4\pi^2 \Delta\nu J_{21,\text{crit}}} \right)^{1/2}$$

$$= 6.77 \text{ kpc } \beta^{1/2} \left(\frac{L_{\text{UV}}}{10^{42} \text{ erg s}^{-1}} \right)^{1/2} \left(\frac{100}{J_{21,\text{crit}}} \right)^{1/2}$$

		T1e4	T2e4	T1e5
EUVとFUV luminosityの比	$J_{21,\text{crit}}$	100	1000	1000
	β	8.43	1.45	0.04



Radiation Spectra

- ・ 本計算で用いたSpectrum

- 10^4 K Black Body ($h\nu < 13.6$ eV)
 - 10^5 K Black Body ($h\nu > 13.6$ eV)

SC16と設定を合わせるため

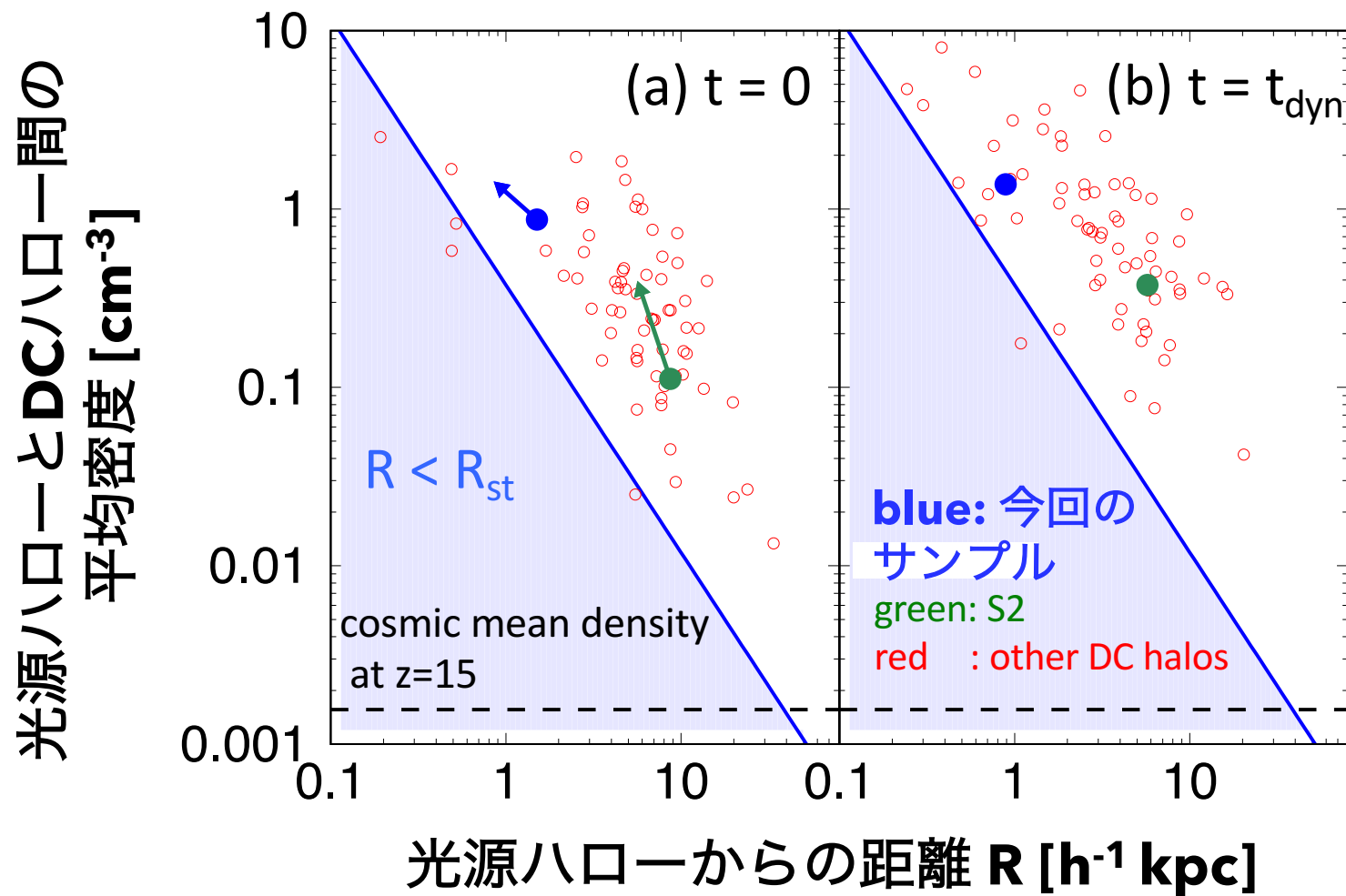
- この時、 β (EUVとFUV luminosityの比)は ~ 1

- また、collapse時の $J_{21} \sim 10^3$

→ $T_{\text{eff}} = 2 \times 10^4$ Kのスペクトルに近い計算になっている。

Discussion

- SC16で見つかった60個のDC haloについて、電離の影響を考える。



Discussion

- SC16で見つかった60個のDC haloについて、電離の影響を考える。

