

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 $z > 6$.

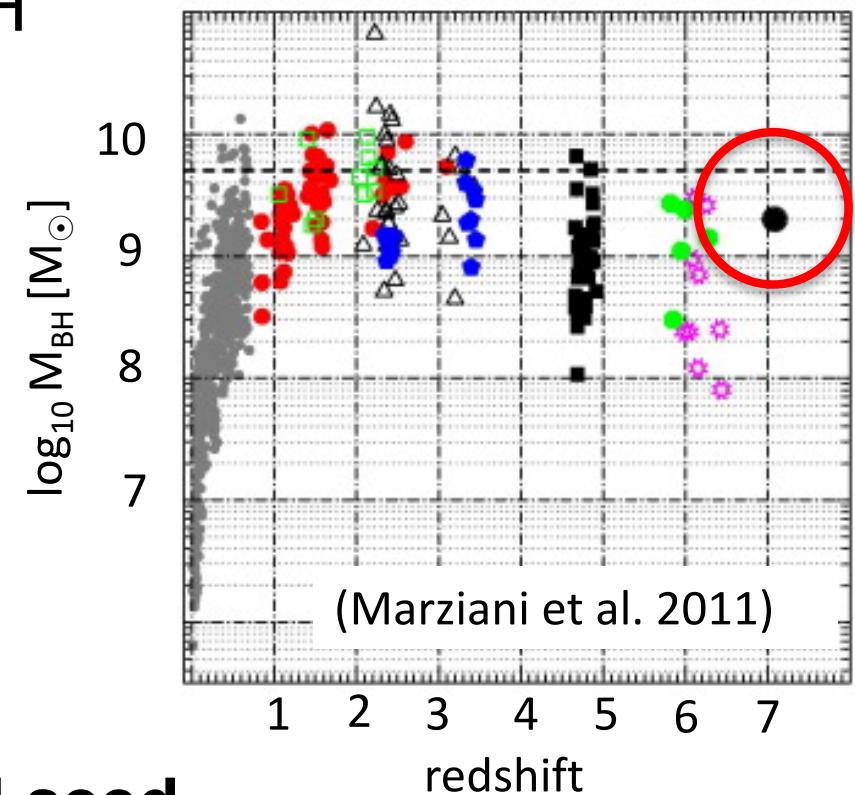
(high-z QSO survey)

- 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 $z > 6$.

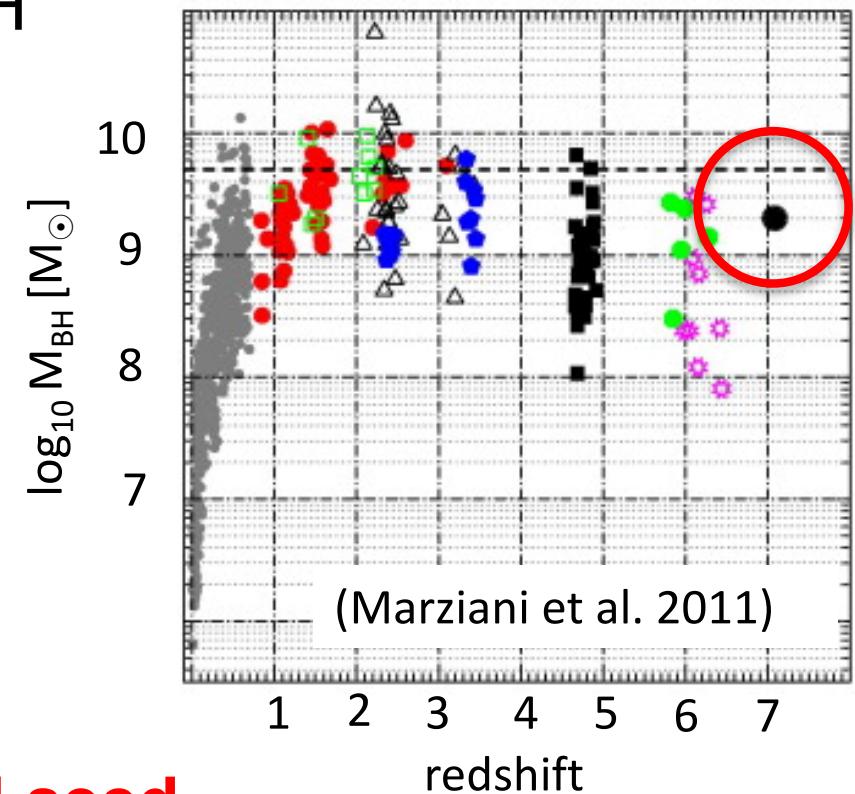
(high-z QSO survey)

- Eddington Accretion onto seed BH

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

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

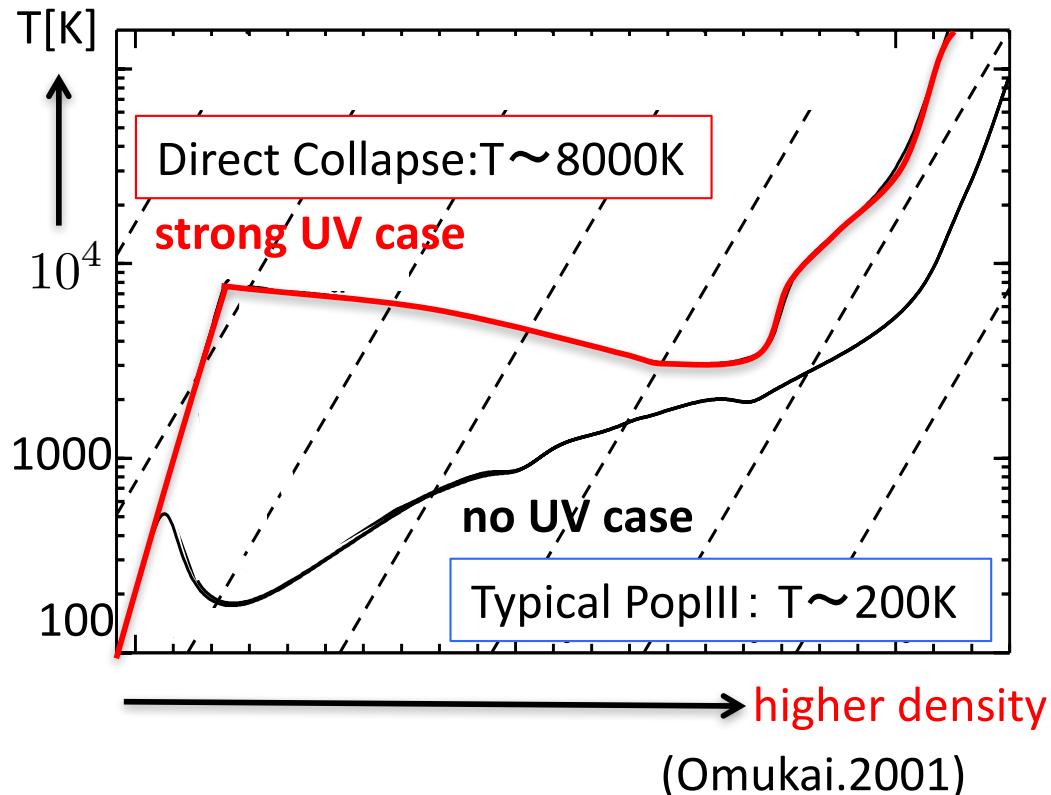
PopII $\Rightarrow M_{\text{ini}} = 1 \sim 10 M_\odot$
 \Rightarrow not enough time



- Solution
 1. super-Eddington accretion
 2. start from **more massive BH seed**
→ star formation in the early universe

Direct Collapse (DC)

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



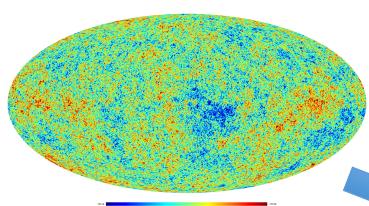
⇒ accretion rate : $0.1 \sim 1 M_\odot/\text{yr}$

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

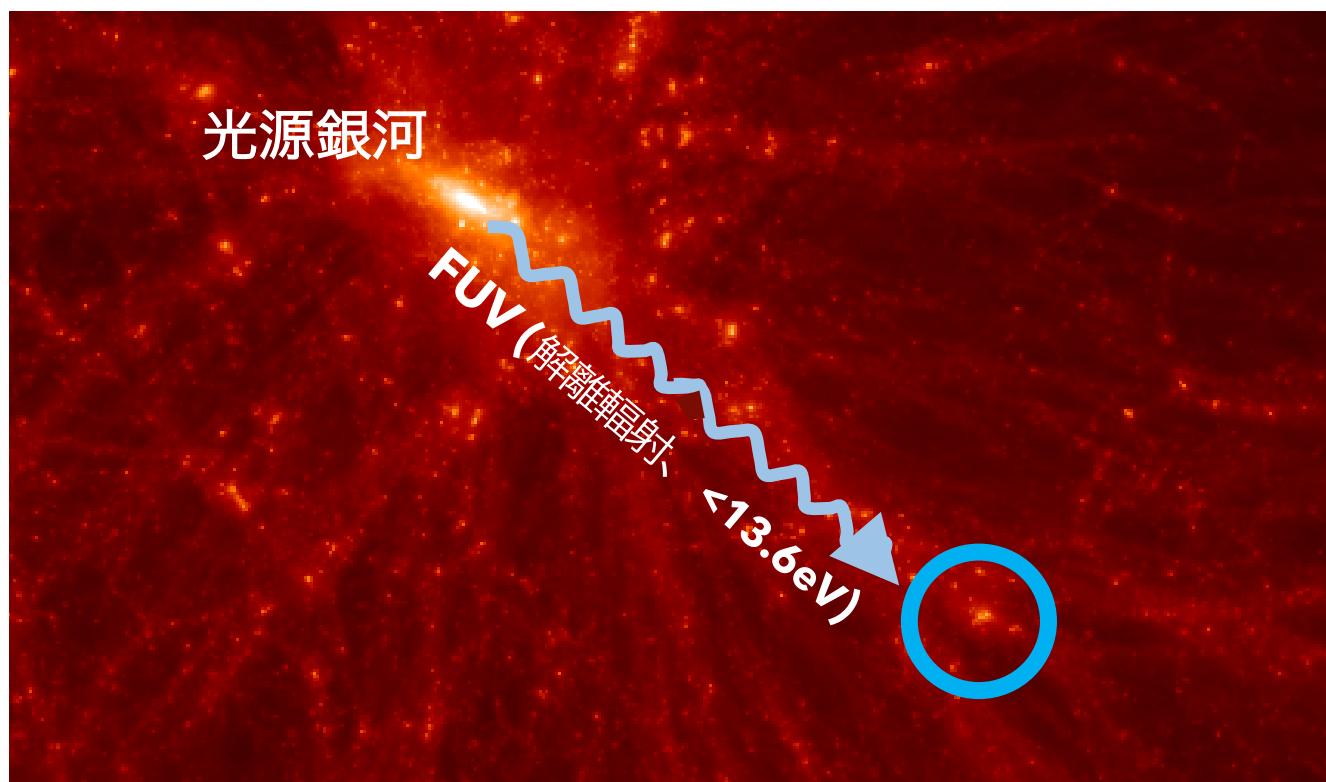
- higher accretion rate
 $\dot{M} \sim M_J/t_{\text{ff}} \sim c_s^3/G \propto T^{\frac{3}{2}}$

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

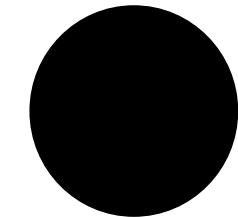
DC Scenario



宇宙論的
初期条件



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



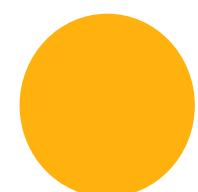
SMBH ($\sim 10^9 M_\odot$)

質量降着



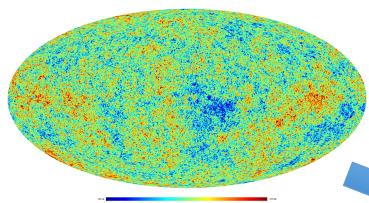
BH ($\sim 10^5 M_\odot$)

重力崩壞

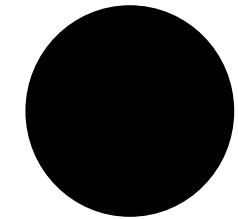
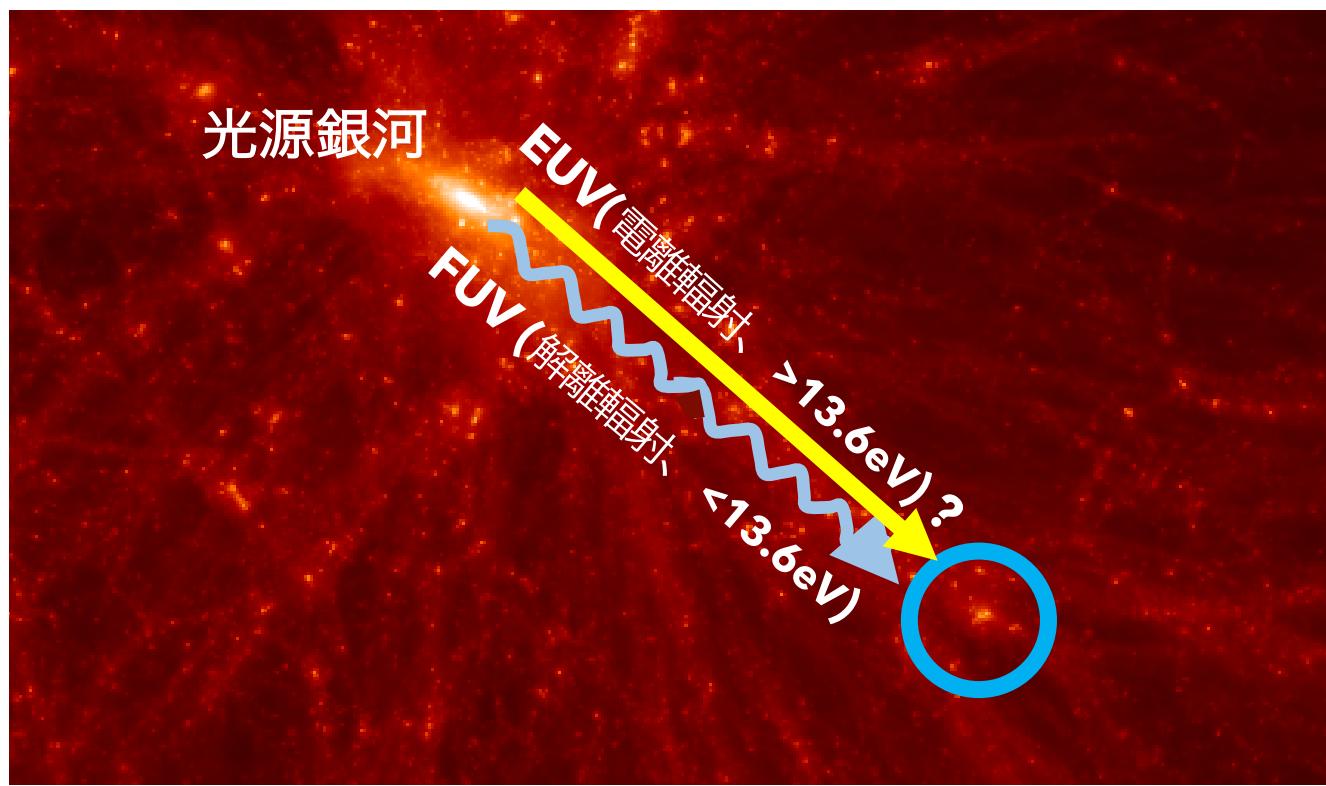


超大質量星
($\sim 10^5 M_\odot$)

DC Scenario



宇宙論的
初期条件



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

質量降着



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

重力崩壞



超大質量星
($\sim 10^5 M_\odot$)

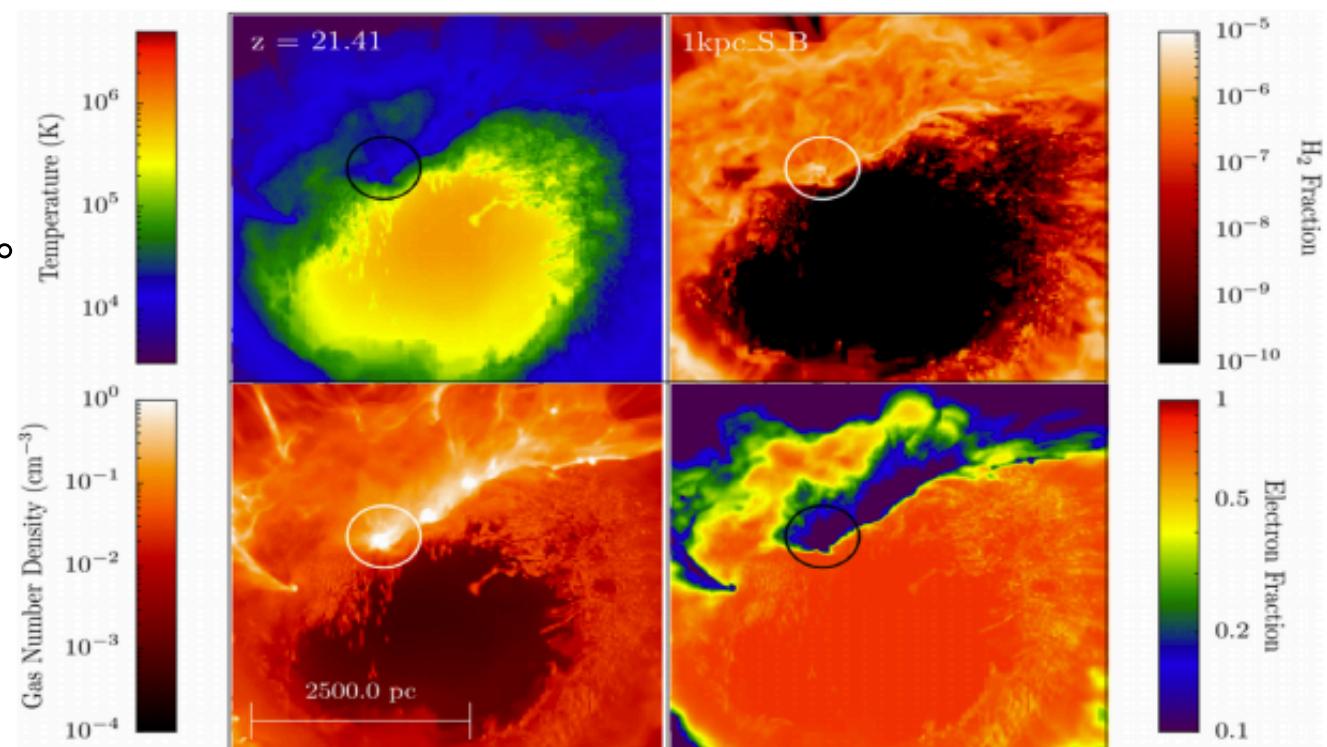
Previous Study

- 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。

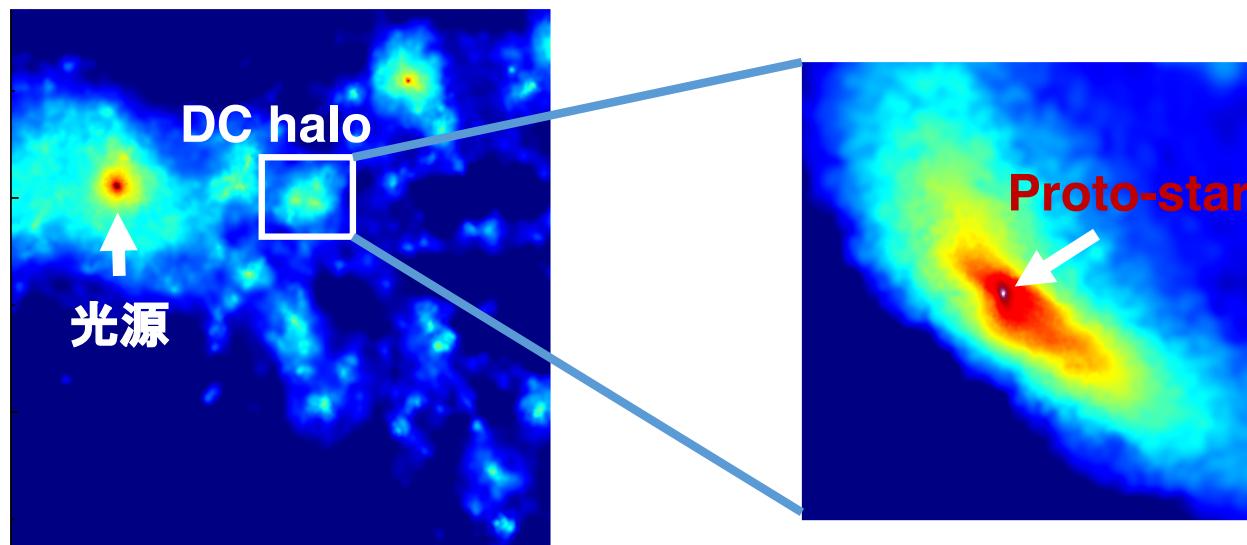
しかし、

- 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。)



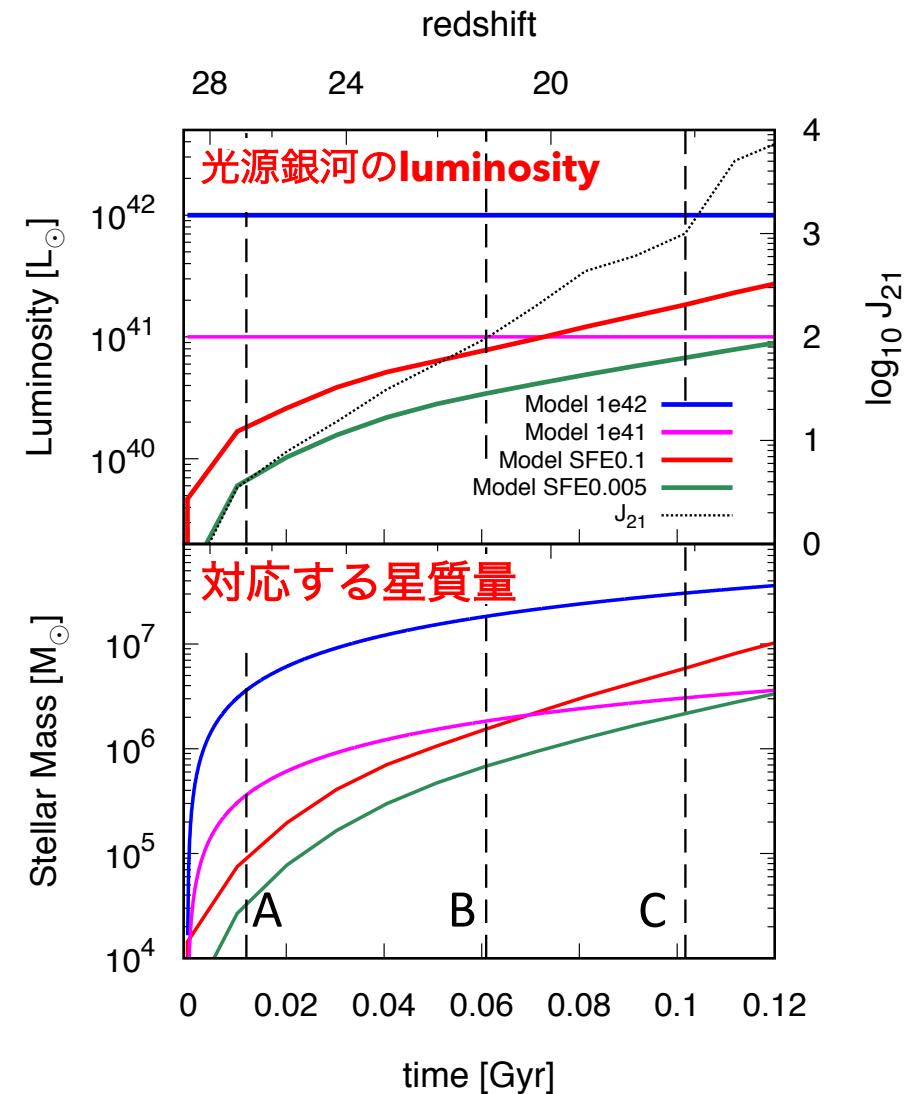
Previous Study (Chon et al. 2016)

- ・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 ($T_{\text{vir}} > 8000 \text{ K}$)
- ・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)



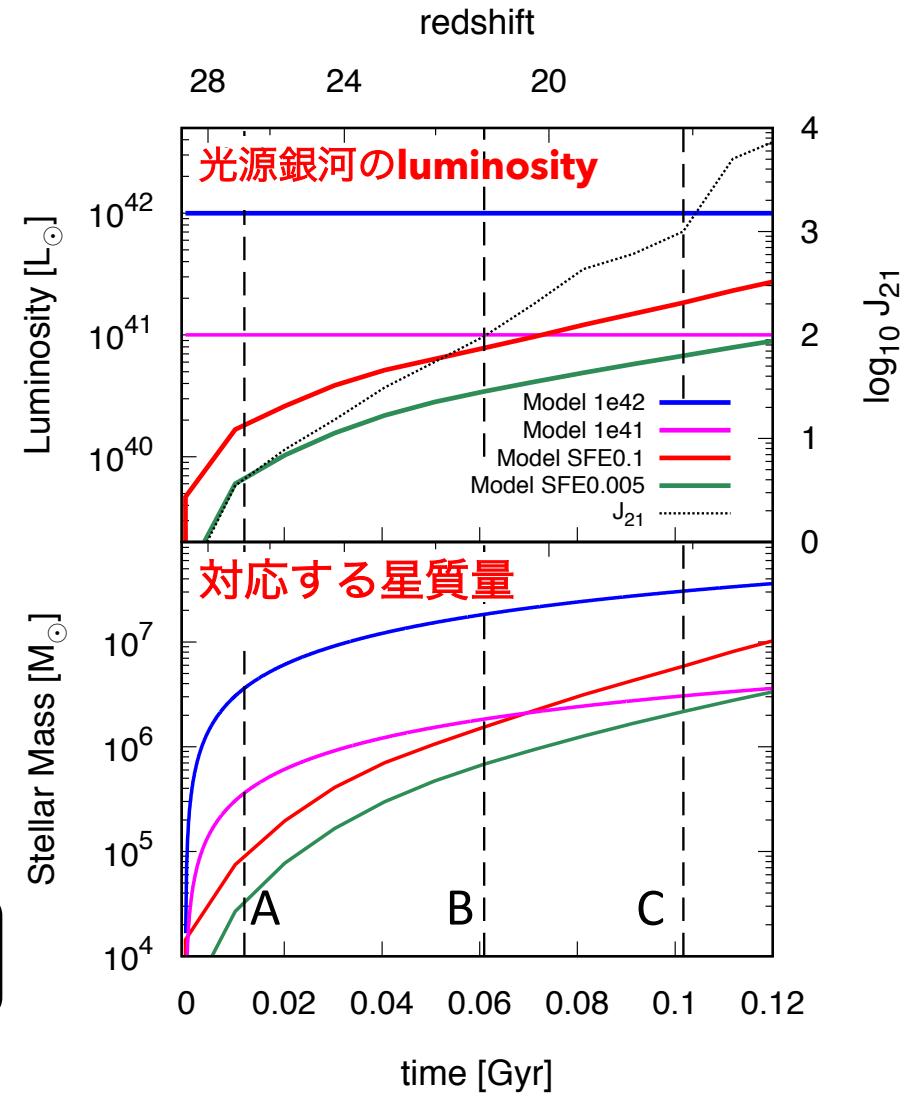
Numerical Setup

- 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**

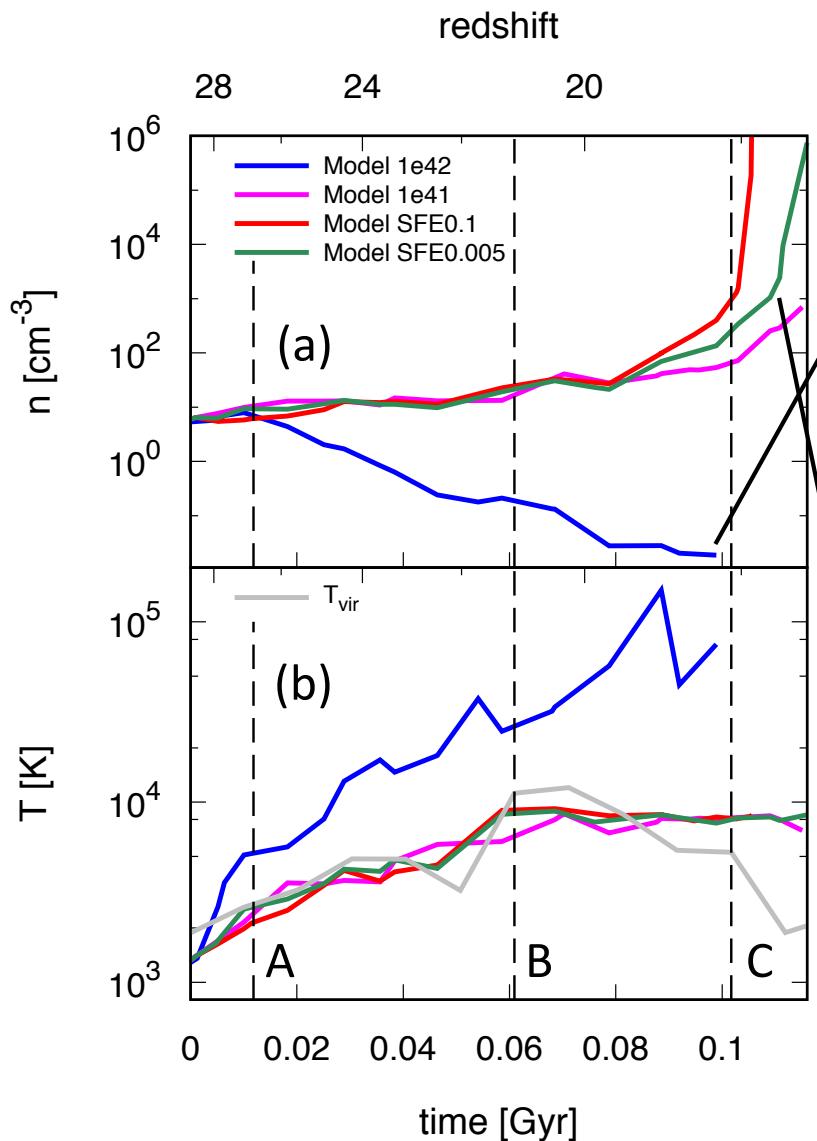


Numerical Setup

- 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
 - 1e42 最も強い
 - 1e41 Constant
Regan+(2016)と同じ
 - SFE0.1 1e41と同等、
徐々に強くなる
semi-analytical
model
 - SFE0.005 最も弱い



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

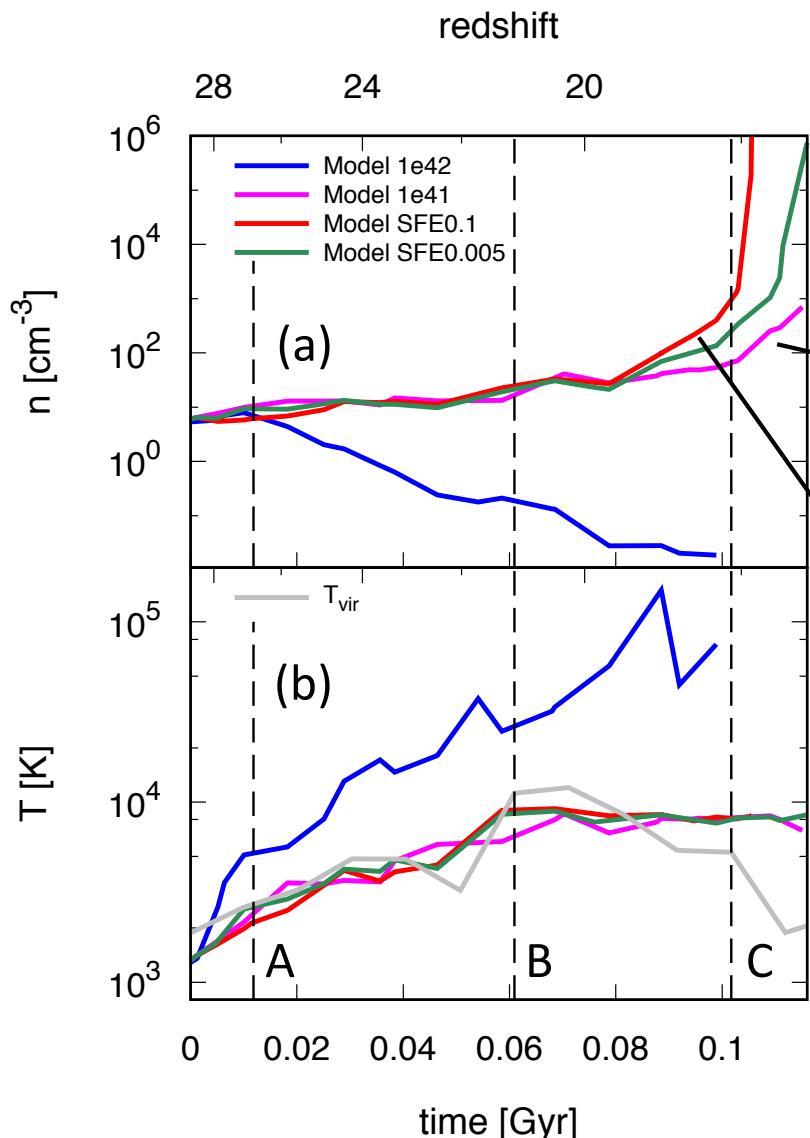
SFE0.1

: 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



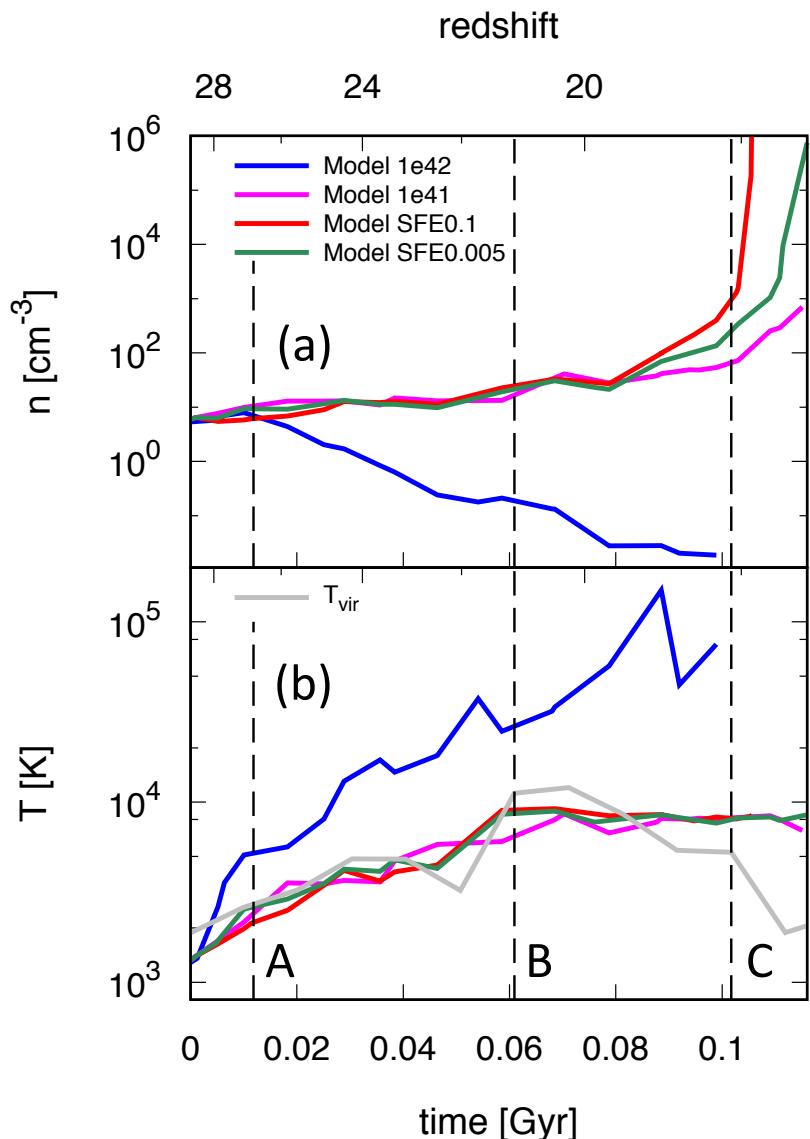
1e42 : 完全に蒸発

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

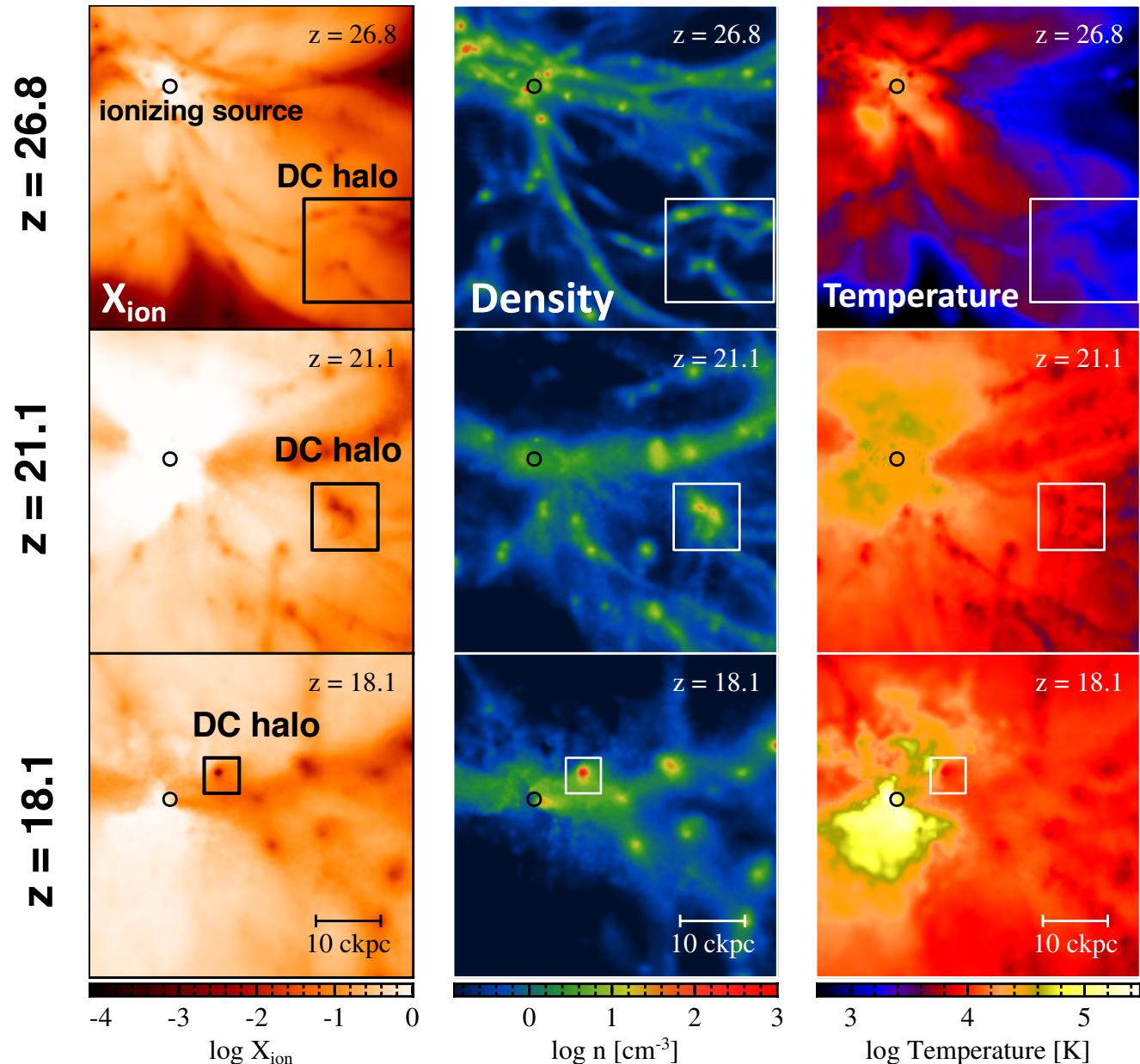
1e41 : DC haloは部分的に電離
→ ガス雲はcollapseせず

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

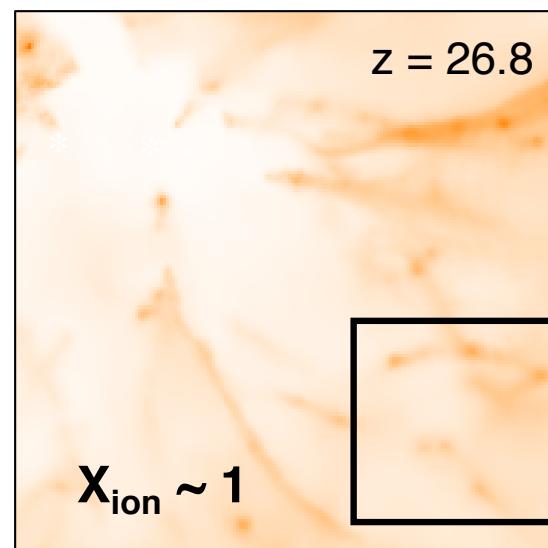
- DC haloの崩壊過程にEUV輻射が影響を与えるか調べた。
 - 銀河形成モデルより得られるluminosityの下では
 - ガス雲はcollapse
 - EUV輻射は光源周辺のfilament構造により遮蔽
 - halo周辺のガスが電離されることで、ガス雲の崩壊が促進された。
 - Luminosity一定モデルとの比較より、
 - 構造形成初期の輻射強度が強いとcollapseが抑制される。
- SC16で得られた60個のDCハローについて、光源からの距離Rと R_{st} の時間進化を比較。
 - 多くの場合、 $R > R_{st}$ であり電離の影響は小さい。

Evolution of DC halo (1e41)

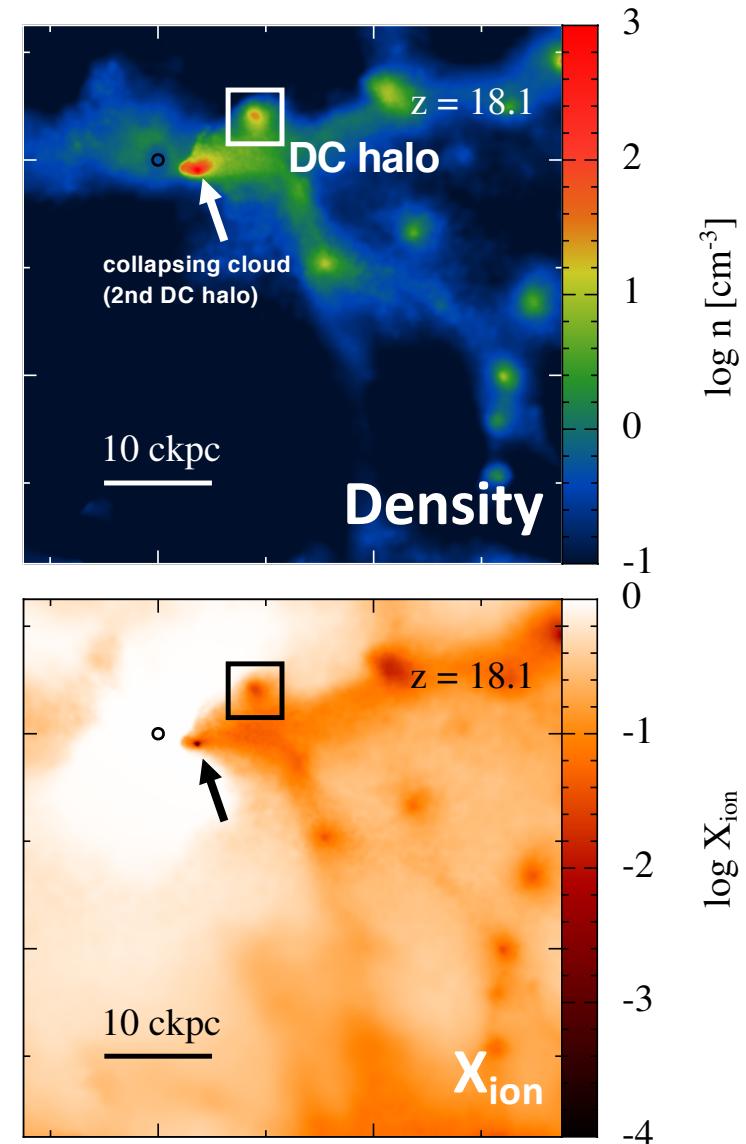
- フィラメントに取り込まれる前に、DC haloが強い輻射にさらされる。
→ 6つのprogenitorガス雲のうち、3つが蒸発
→ ガス雲はcollapseせず

- 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。**

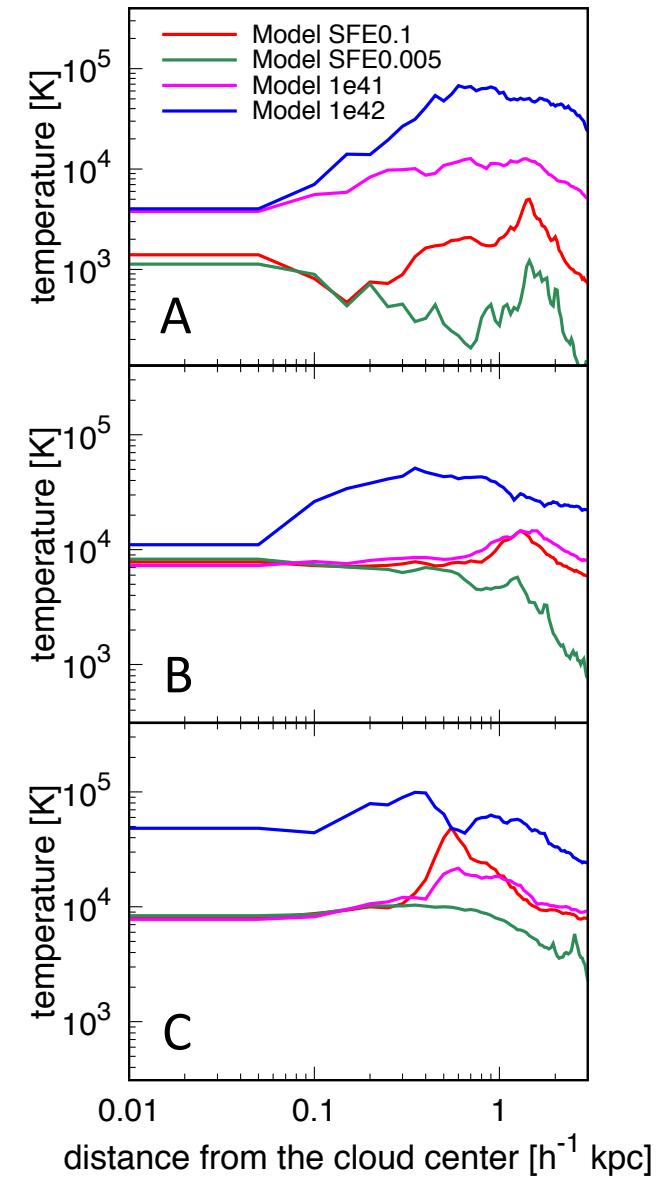
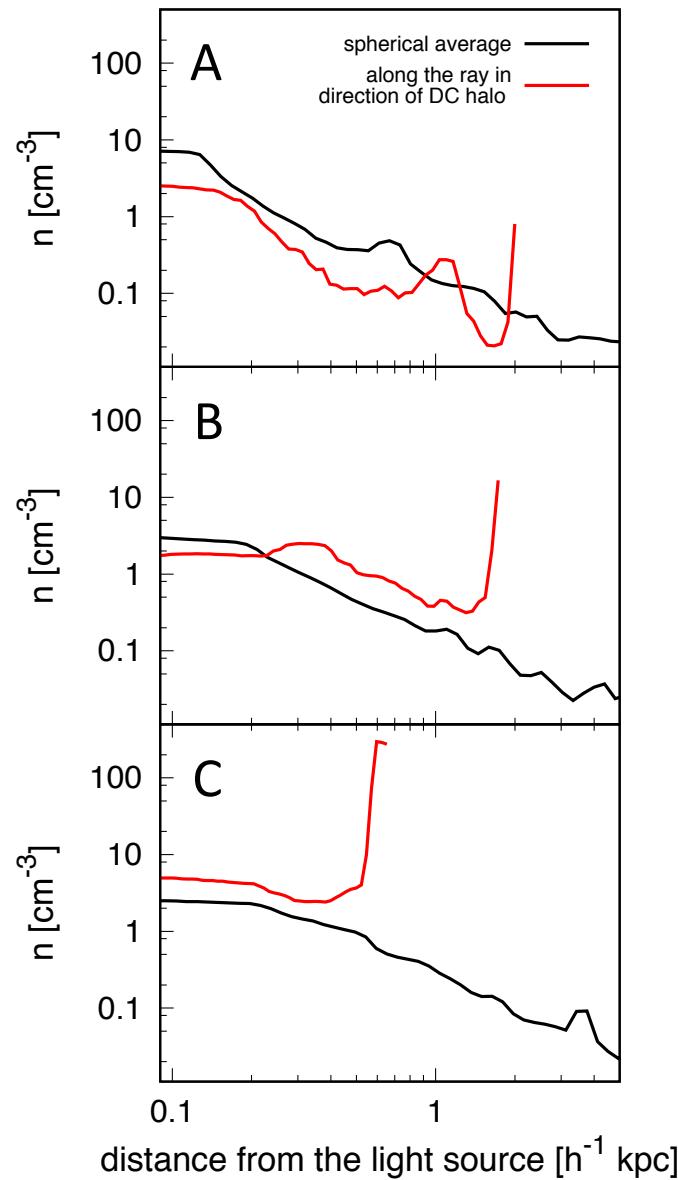
at A



Model: 1e41 at C



Profiles (Temperature, density)



Radiation Spectra

- 光源のSpectrumを変えると、電離の影響はどうなるか？

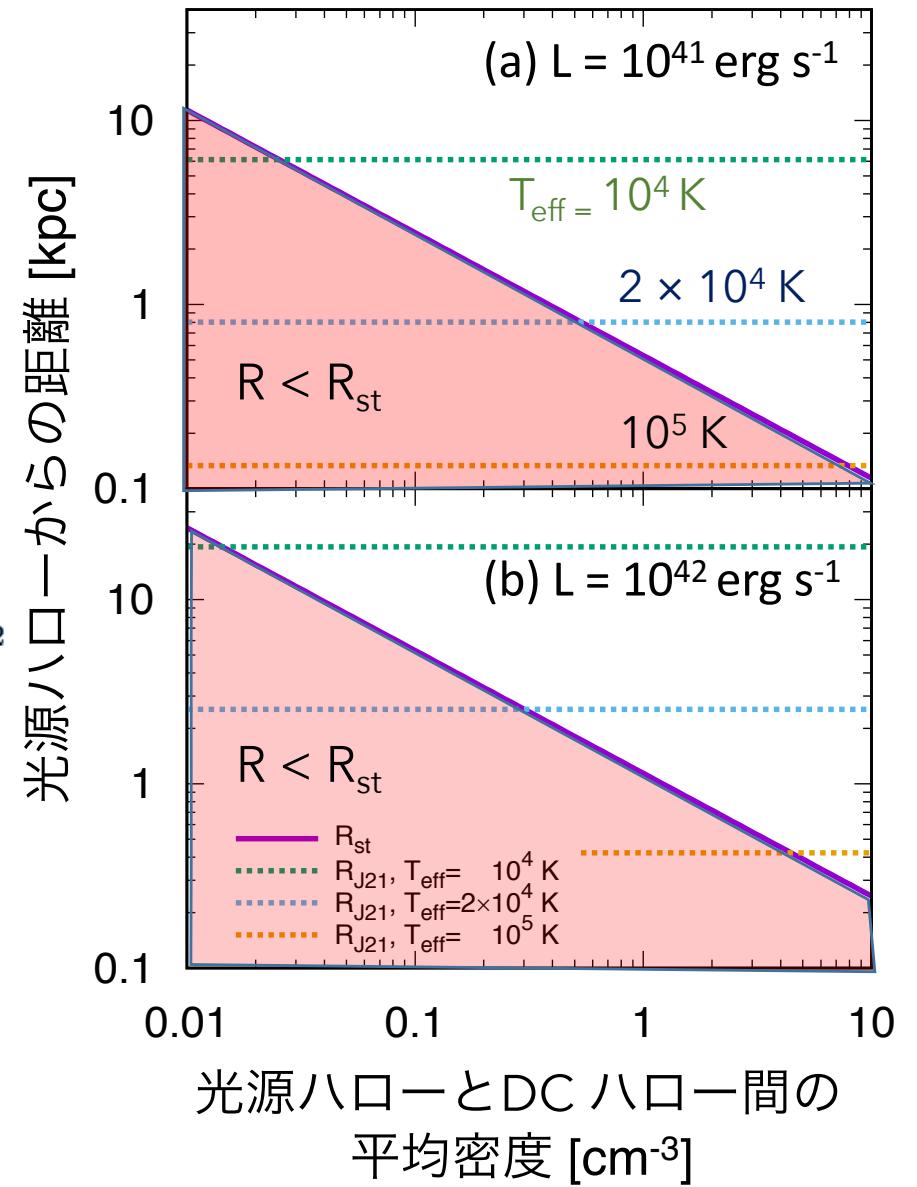
$$R_{\text{st}} = \left(\frac{3L_{\text{UV}}}{4\pi\bar{n}^2\alpha_B E_{\text{UV}}} \right)^{1/3}$$

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

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

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

	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

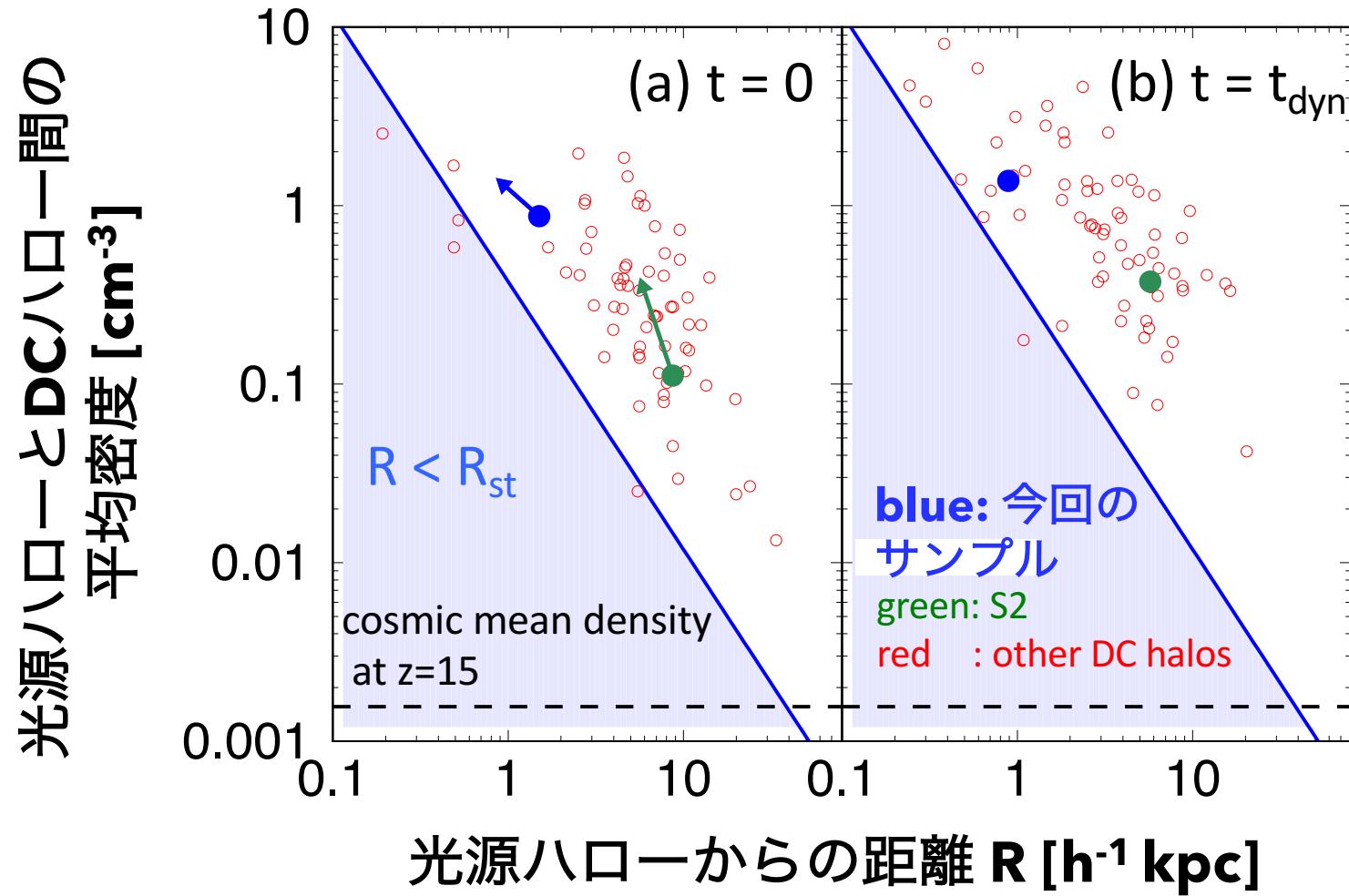
$\begin{cases} 10^4 \text{ K Black Body } (h\nu < 13.6 \text{ eV}) \\ 10^5 \text{ K Black Body } (h\nu > 13.6 \text{ eV}) \end{cases}$

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 $J_{21} \sim 10^3$
- $T_{\text{eff}} = 2 \times 10^4 \text{ K}$ 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。

