



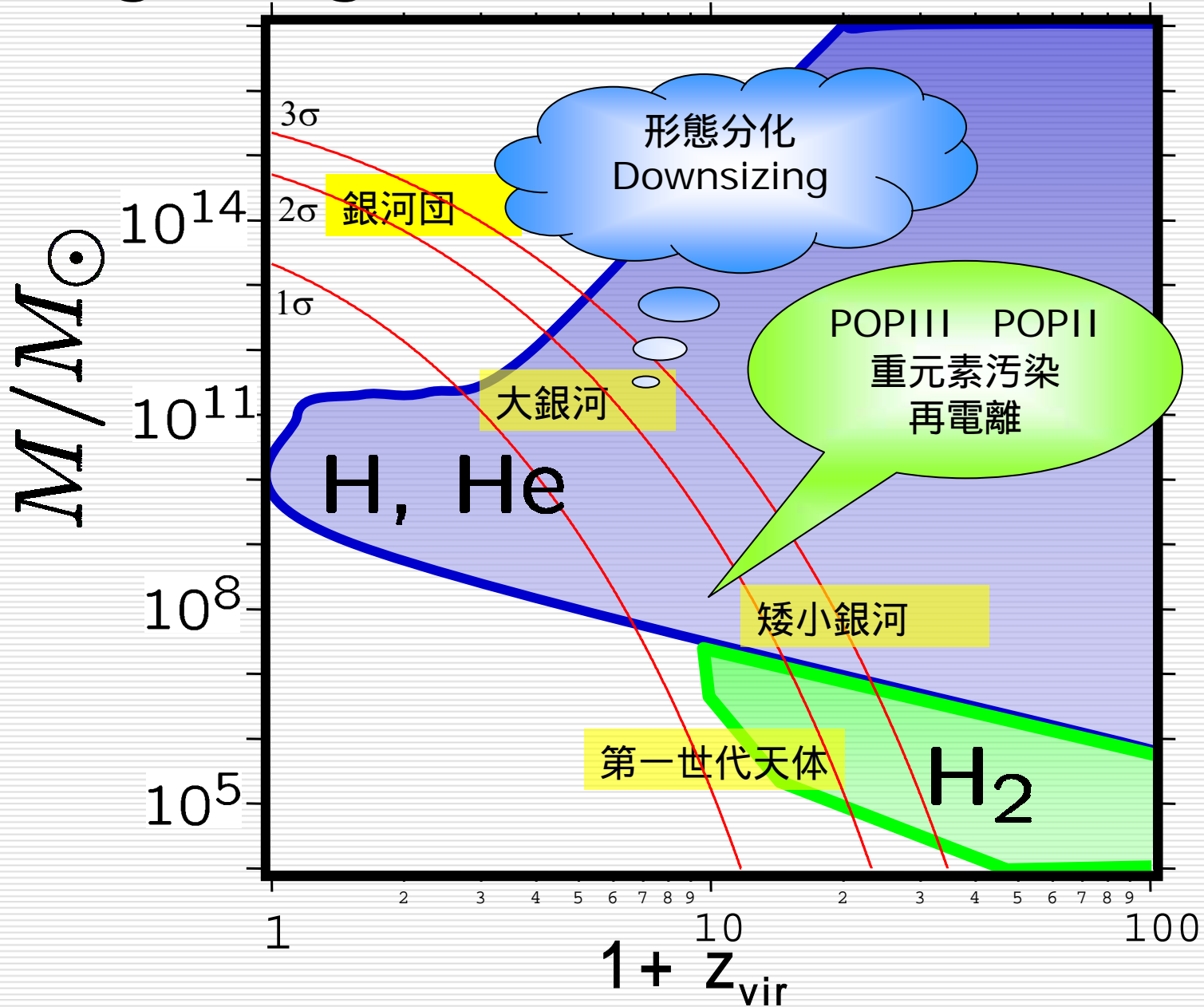
# 理論(銀河班)

---

須佐 元

立教大学理学部

# Cooling Diagram (RO + H2)





質問:

□ 第一世代天体はみえますか？



# Flux of Ly $\alpha$ , H $\alpha$ from Star forming galaxies

$$L_{Ly\alpha} = 2.5 \times 10^{42} \left( \frac{\dot{M}_*}{10 M_{\odot} yr^{-1}} \right) \text{ erg/s}$$

$$F_{\nu}(Ly\alpha) \simeq 3 \mu\text{Jy} \left( \frac{R}{3000} \right) \left( \frac{\dot{M}_*}{10 M_{\odot} yr^{-1}} \right)$$

$$\textcircled{z} = 10$$

$$L_{H\alpha} = 2.1 \times 10^{41} \left( \frac{\dot{M}_*}{10 M_{\odot} yr^{-1}} \right) \text{ erg/s}$$

$$F_{\nu}(H\alpha) \simeq 1.4 \mu\text{Jy} \left( \frac{R}{3000} \right) \left( \frac{\dot{M}_*}{10 M_{\odot} yr^{-1}} \right)$$

$$\textcircled{z} = 10$$

Detectable by next generation facilities such as SPICA & JELT



# Flux of Ly $\alpha$ , H $\alpha$ from Star forming galaxies

$$L_{Ly\alpha} = 2.5 \times 10^{42} \left( \frac{\dot{M}_*}{10 M_{\odot} yr^{-1}} \right) \text{ erg/s}$$

$$F(Ly\alpha) \simeq 10^{-21} W m^{-2} \quad @z = 10$$

$$L_{H\alpha} = 2.1 \times 10^{41} \left( \frac{\dot{M}_*}{10 M_{\odot} yr^{-1}} \right) \text{ erg/s}$$

$$F(H\alpha) \simeq 10^{-22} W m^{-2} \quad @z = 10$$

Detectable by next generation facilities such as SPICA & JELT

# 答

□ (本当の第一世代かどうかはともかく) 見えます。



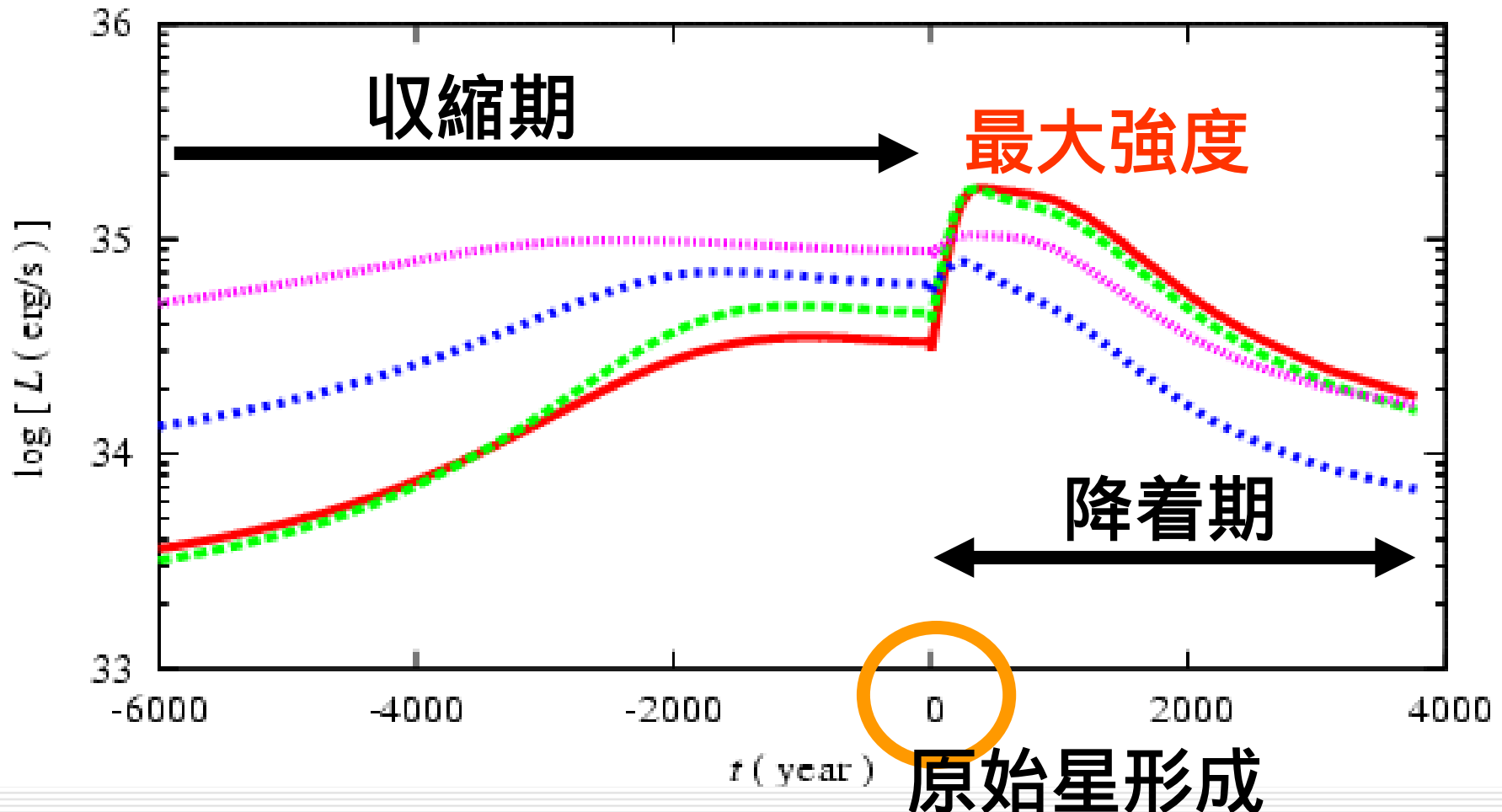
質問: POPIII形成現場は水素分子輝  
線で見えるか?

---

# 水素分子輝線放射強度の時間発展 (水澤)



第一世代星形成過程において放射強度の最も強い水素分子輝線  
振動輝線: 赤(1,1) (0,1), 緑(1,1) (0,3), 回転輝線: 青(0,6) (0,4), 紫(0,5) (0,3)  
2.34  $\mu\text{m}$ , 2.69  $\mu\text{m}$  8.27  $\mu\text{m}$ , 10.03  $\mu\text{m}$





# 放射強度の強い水素分子輝線 (水澤)

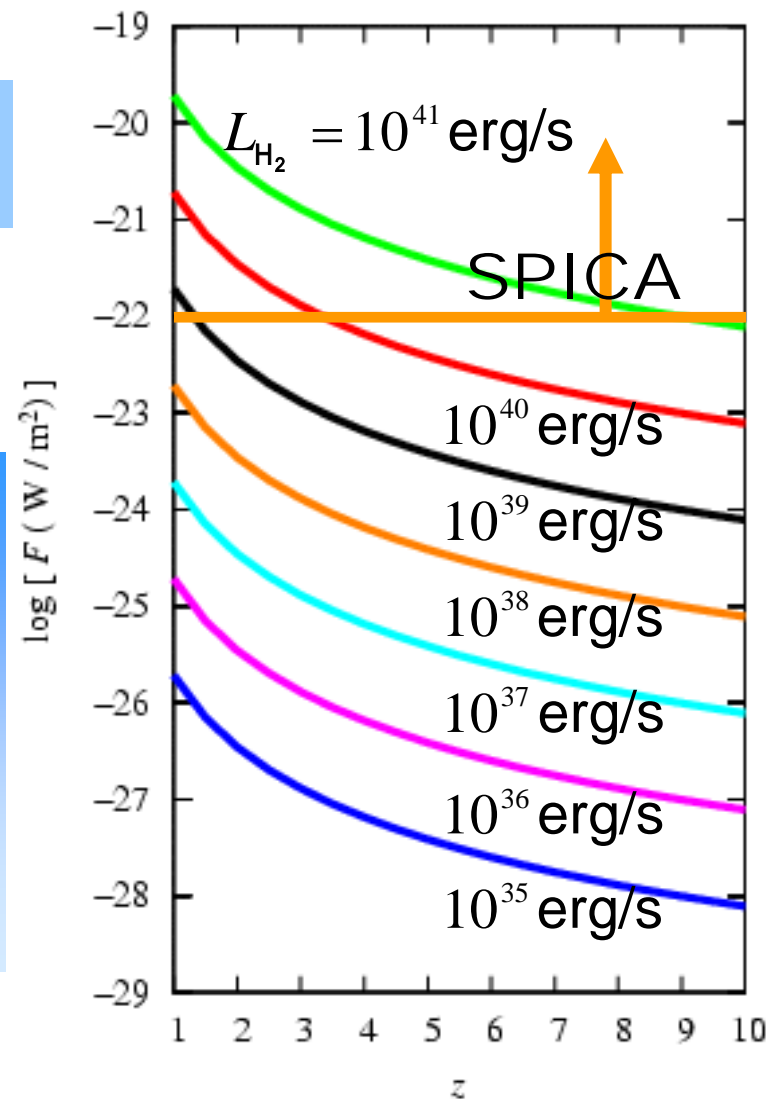
(1,1) (0,1), (1,1) (0,3), (0,6) (0,4), (0,5) (0,3)  
2.34  $\mu\text{m}$  , 2.69  $\mu\text{m}$  , 8.27  $\mu\text{m}$  , 10.03  $\mu\text{m}$

$$L \approx 10^{35} \text{ erg/s}, \quad \tau_{lum} \approx 10^3 \text{ yr}$$

$$M_{star} = 10M_{\odot}, \quad SFR = 10M_{\odot} / \text{yr}$$

$$L_{tot} = L_{star} \frac{SFR}{M_{star}} \tau_{lum}$$

$$= 10^{35} \text{ erg/s} \frac{10M_{\odot} / \text{yr}}{10M_{\odot}} 10^3 \text{ yr} = 10^{38} \text{ erg/s}$$



# 放射強度の強い水素分子輝線 (水澤)

(1,1) (0,1), (1,1) (0,3), (0,6) (0,4), (0,5) (0,3)  
 2.34  $\mu\text{m}$  , 2.69  $\mu\text{m}$  , 8.27  $\mu\text{m}$  , 10.03  $\mu\text{m}$

$$L \approx 10^{35} \text{ erg/s}, \quad \tau_{lum} \approx 10^3 \text{ yr}$$

$$M_{star} = 10M_{\odot}, \quad SFR = 10^3 M_{\odot} / \text{yr}$$

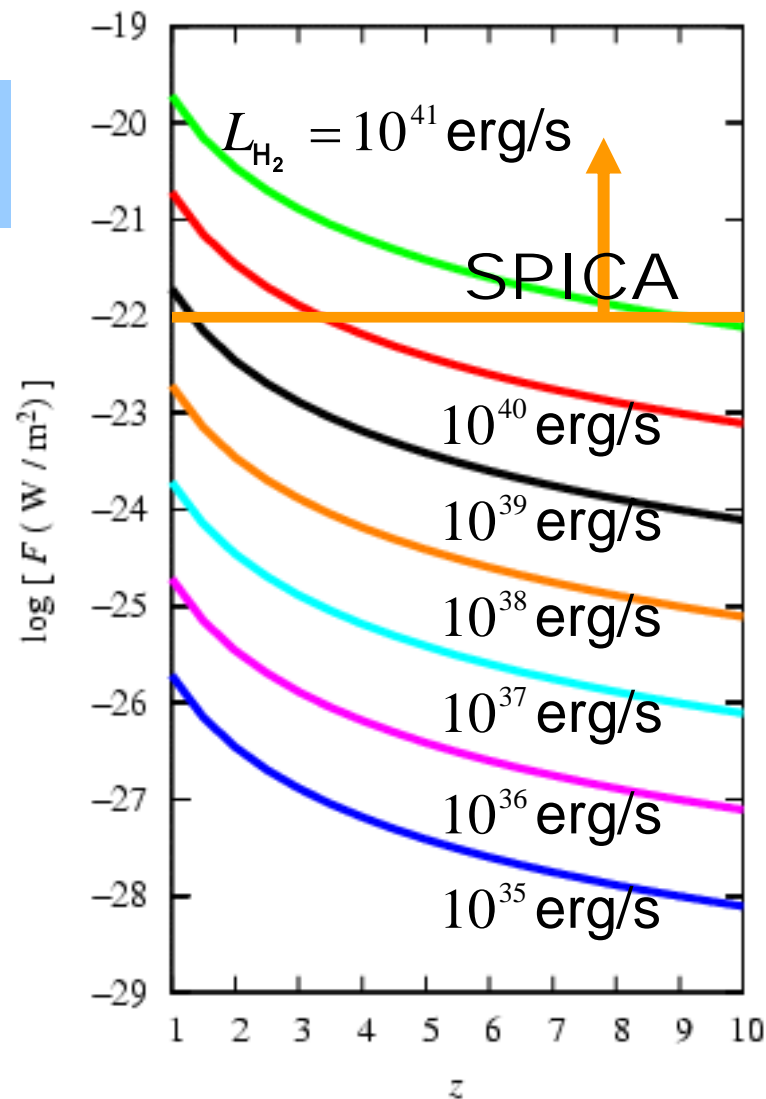
$$L_{tot} = L_{star} \frac{SFR}{M_{star}} \tau_{lum}$$

$$= 10^{35} \text{ erg/s} \frac{10^3 M_{\odot} / \text{yr}}{10M_{\odot}} 10^3 \text{ yr} = 10^{40} \text{ erg/s}$$



SPICAによる星形成領域@  $z \sim 3$  の観測可能性が有る、、、、。

(Ly blobs@  $z \sim 3$  は巨大原始銀河雲? Matsuda et al. 2004)



# 答

- A1. POPIII形成@ $z=10$ は黄道光で見えない。  
ソーラーセール?
- A2. POPIII形成@ $z=3$ はSPICAであるいは見えるかも知れない。



# 質問:電離の歴史はどうやって調べますか？

---

**GRB Radio Aftergrow**  
**近赤外ー中間赤外での観測**

CMB

GRB吸収線

etc...

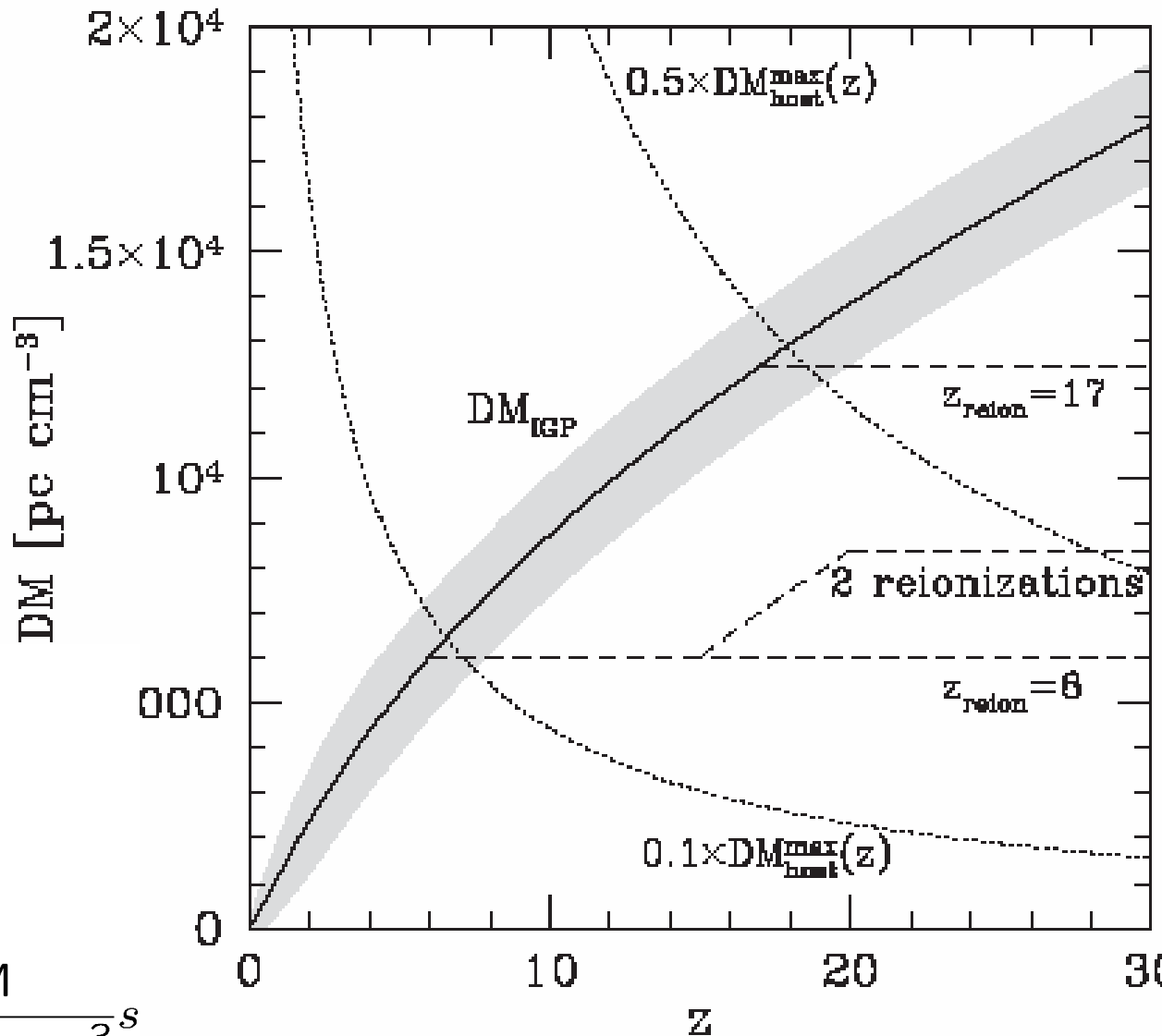
# Cosmic Dispersion measure of GRB

Ioka 2003

Inoue 2003

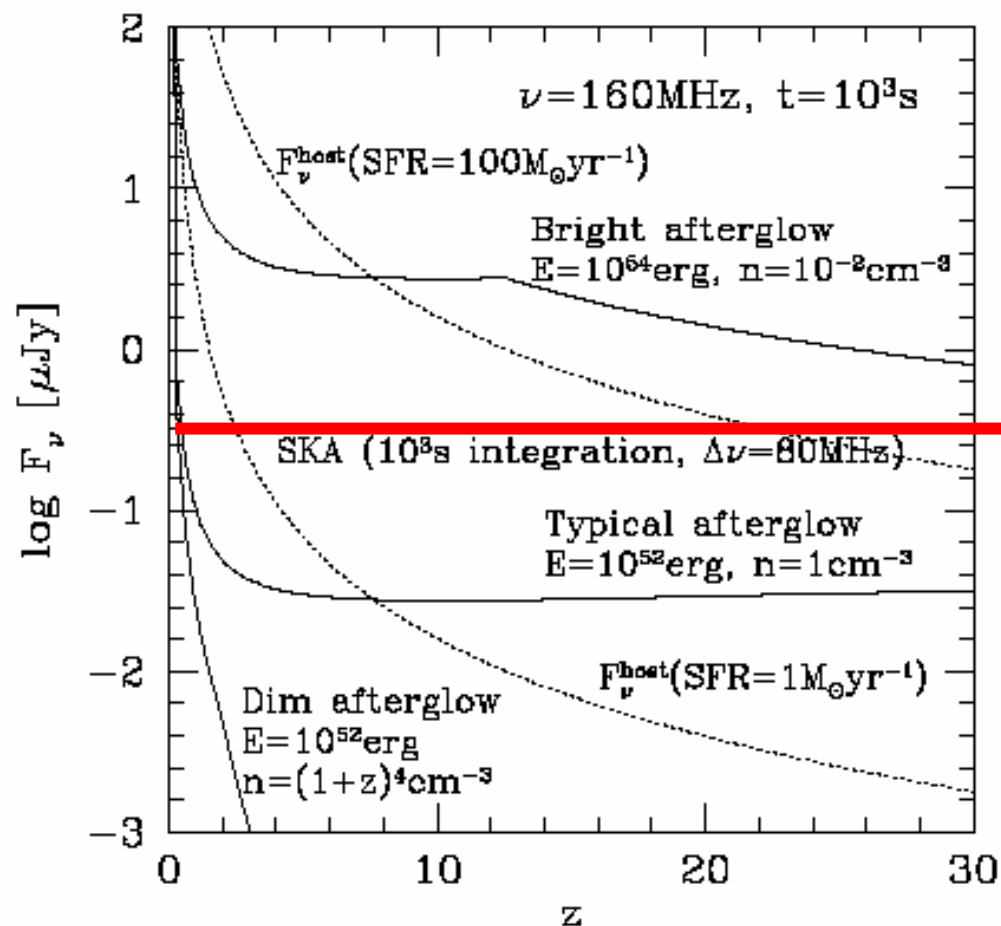
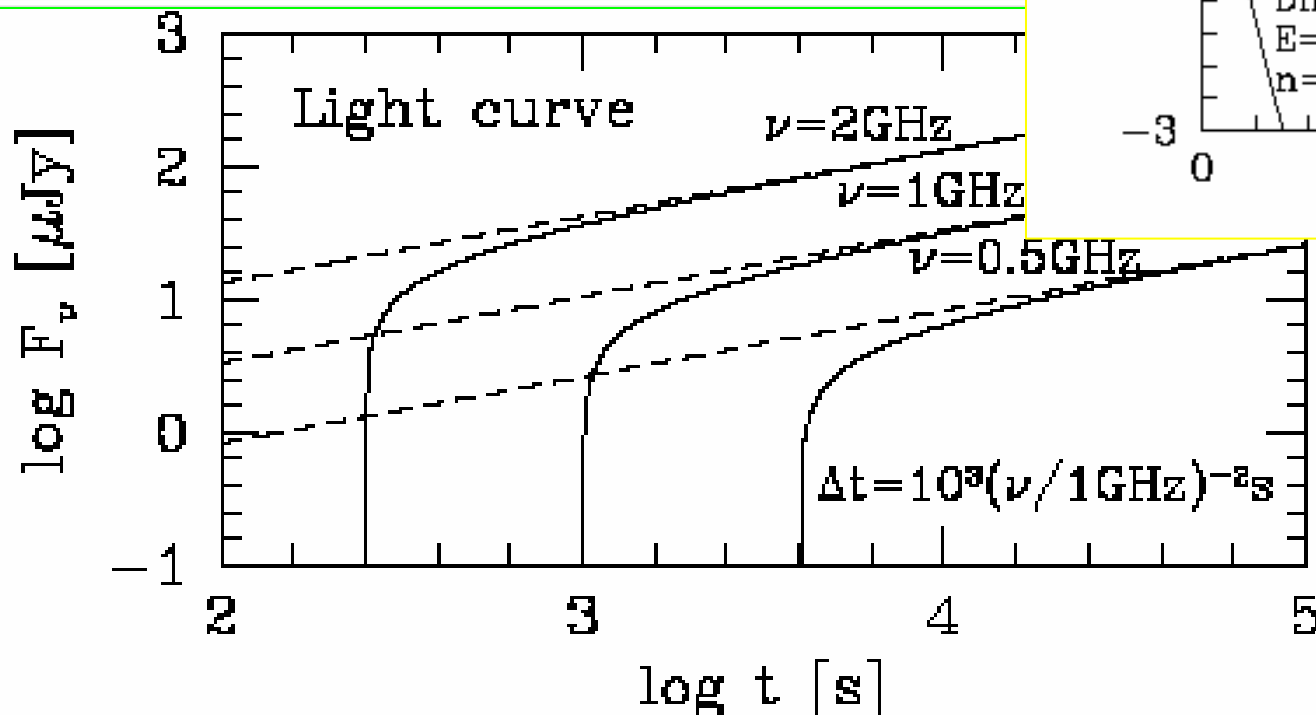
GRBのAftergrowの光(電波)が電離物質中を通るときに振動数によって異なった屈折率になるために到着時刻に違いが生じる。時間のずれはDM(電子の柱密度)に比例。

$$\begin{aligned} \Delta t &= \int \frac{dl}{c} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{\nu_p^2}{\nu^2}} \right) \\ &\approx \int \frac{dl}{c} \frac{\nu_p^2}{2\nu^2} \\ &= 415 \left( \frac{\nu}{1\text{GHz}} \right)^{-2} \frac{\text{DM}}{10^5 \text{pc cm}^{-3}} \text{s} \end{aligned}$$



# ライトカーブ

GHzくらいで1000秒くらいの遅れ



# フラックス

# GP trough of High-z QSOs

$$f_{21} = 0.67 \Gamma_{-12} d 0.013 \Rightarrow y_{HI} t 10^{-2}$$

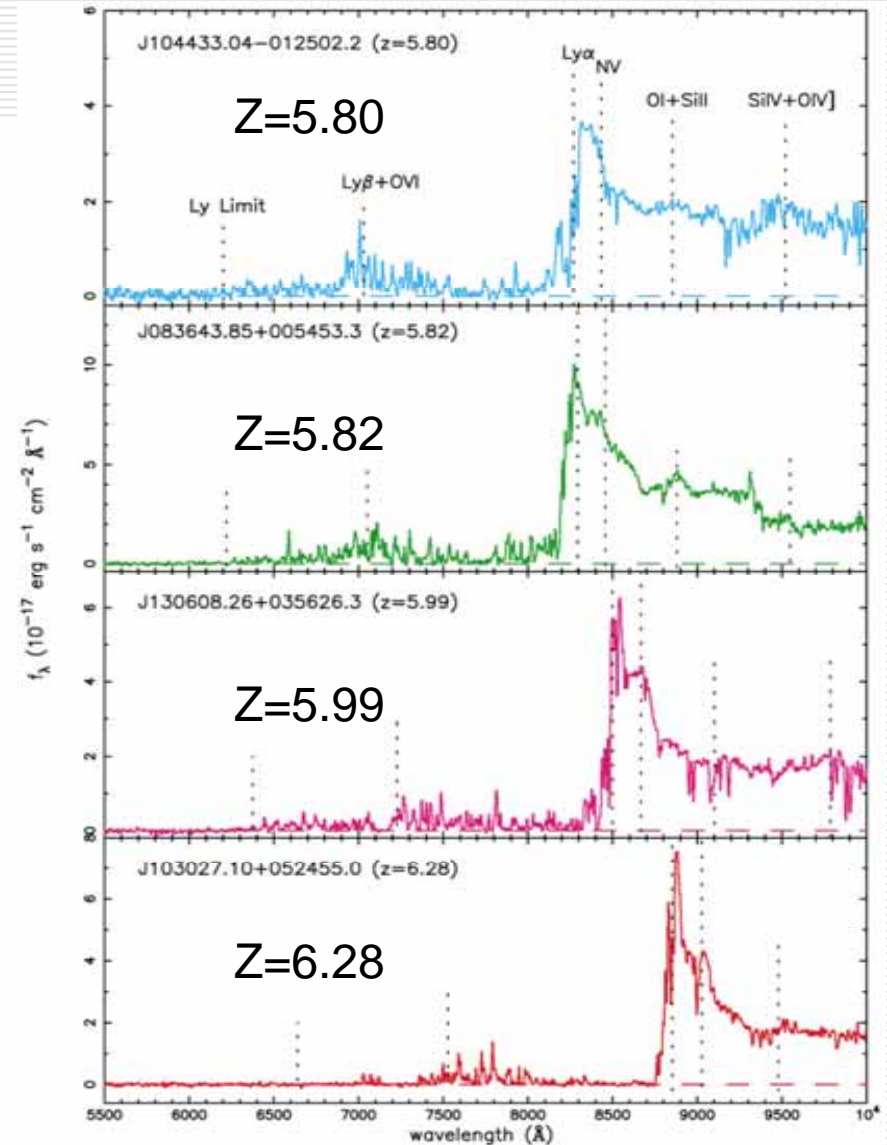
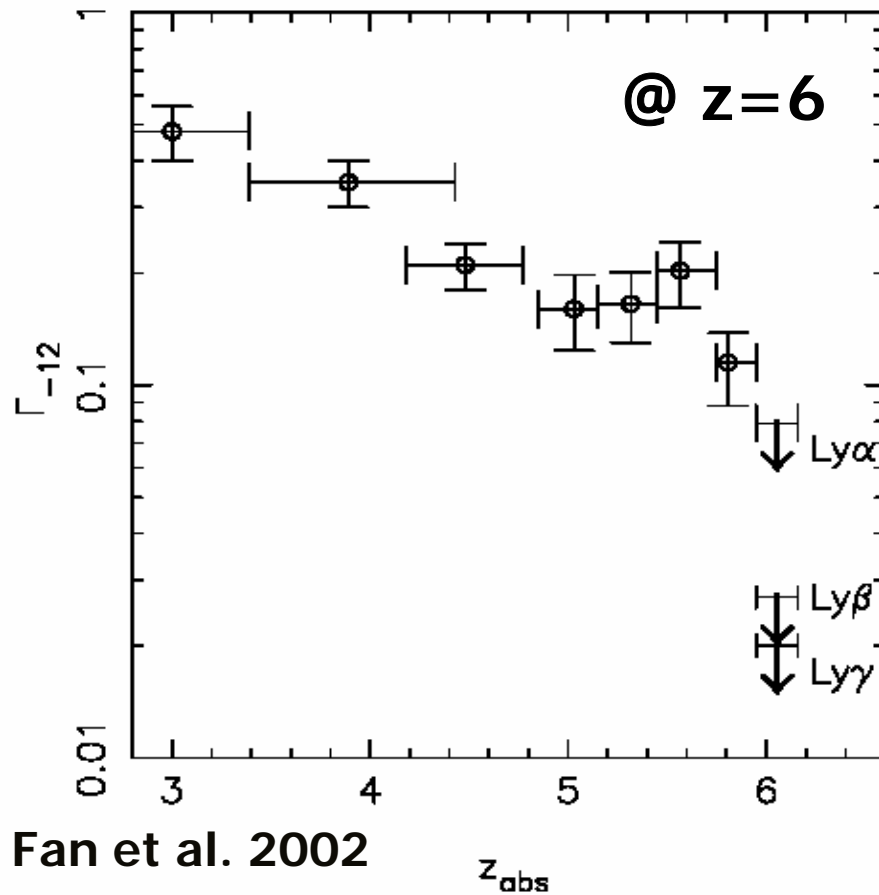
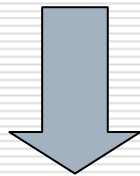


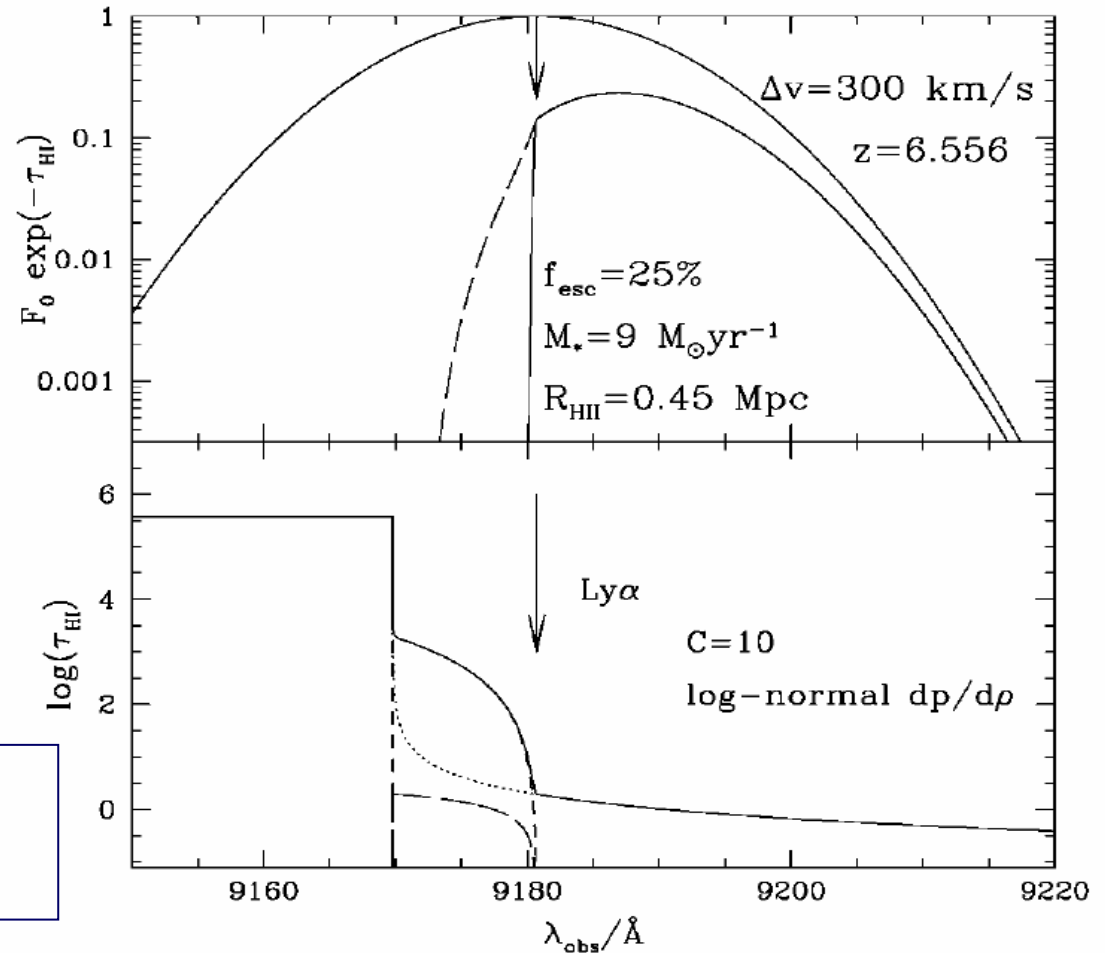
FIG. 2.—Evolution of the photoionization rate (in units of  $10^{-12} \text{ s}^{-1}$ ) with redshift. The points at  $z_{\text{abs}} < 4.5$  are taken from McDonald & Miralda-Escudé (2001). For the highest redshift measurement (at  $z = 6.05$ ), the upper limits based on  $\text{Ly}\alpha$ ,  $\text{Ly}\beta$ , and  $\text{Ly}\gamma$  GP troughs are shown separately.

# High- $z$ Ly $\alpha$ emitter 2

Haiman 2002  
 Broad line emission + high SFR  
 large self HII region  
 Still detectable even at neutral universe.



How they look like in double reionization universe ?







# たとえば、 A double reionization history

$z < 6$	$y_{\text{H I}} = 0.0001$
$6 < z < 9$	$y_{\text{H I}} = 0.3$
$9 < z < 19$	$y_{\text{H I}} = 0.0001$
$z > 19$	$y_{\text{H I}} = 1$

Cen like

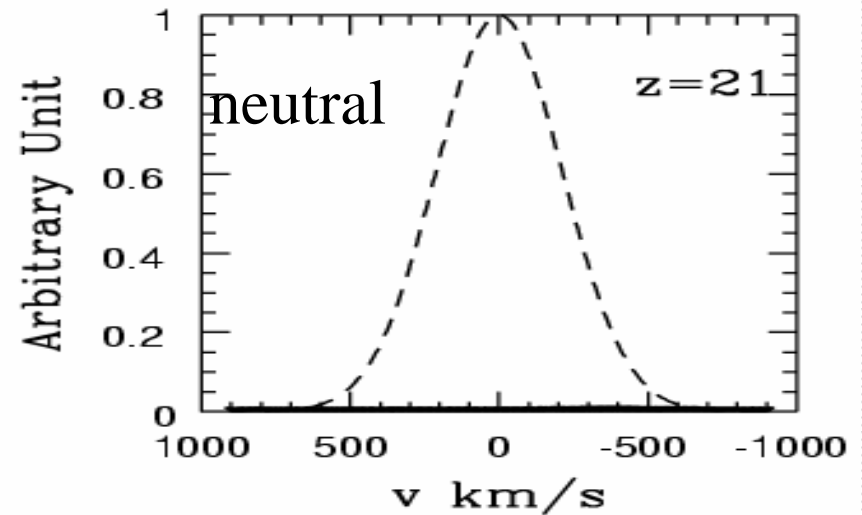
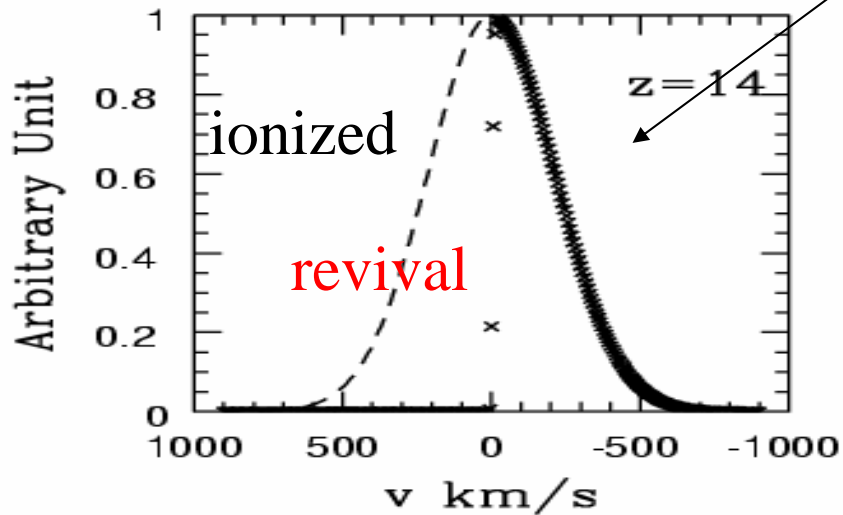
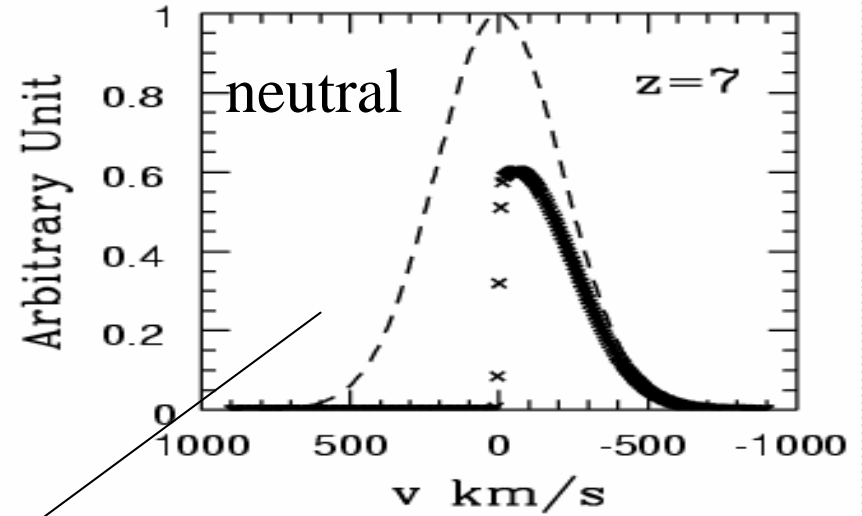
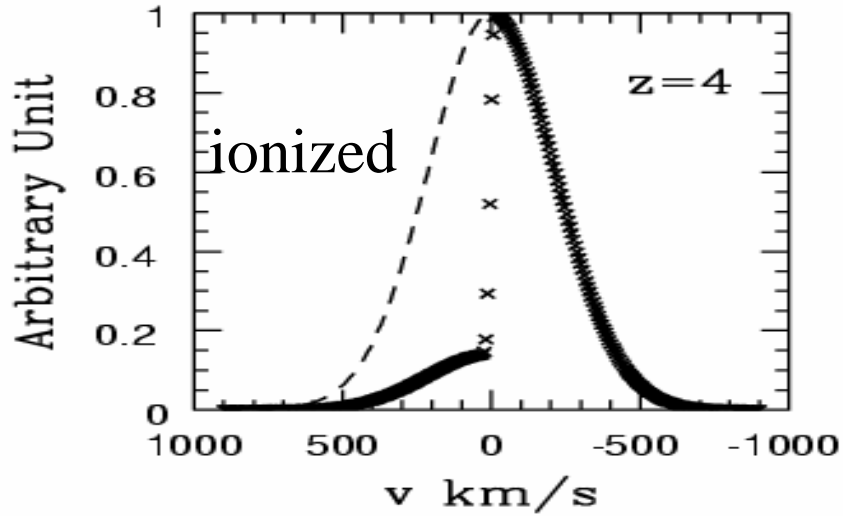
Effects of self-HII region is also taken into account.

Haiman like



# Emission profile

$v = 300 \text{ km/s}$ ,  $\text{SFR} = 10 \text{ Msun/yr}$



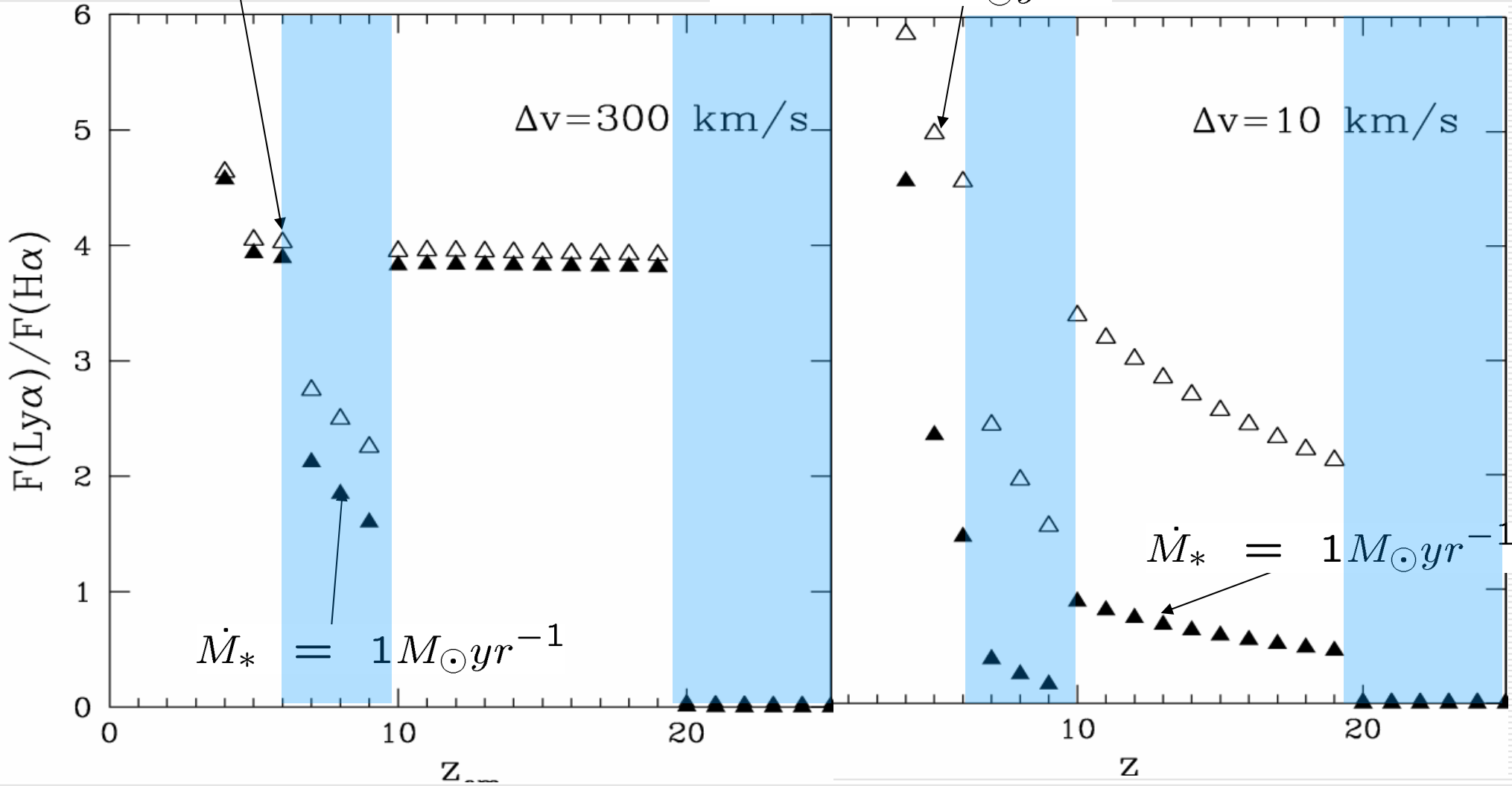


$$F(\text{Ly}\alpha)/F(\text{H}\alpha)$$

$$\left[ \frac{F(\text{Ly}\alpha)}{F(\text{H}\alpha)} \right]_0 \approx 8$$

$$\dot{M}_* = 10 M_\odot \text{yr}^{-1}$$

$$\dot{M}_* = 10 M_\odot \text{yr}^{-1}$$



答:

- A1. SPICA, JELTで(たぶん)わかります。ついでにH<sub>2</sub>の観測からSFRもわかります。
- A2. SKAくらいの感度を持つ電波望遠鏡を速く動かせれば(10分くらいで)わかります。
- A3. 多分他にもわかる方法があります。



# 質問: 銀河形成時の多重超新星爆発 (残骸)を観測できますか?

---

重元素汚染の歴史、銀河形成の歴史に関して多くの情報

# Model: Stars (SN positions)

Dwarf Galaxies:

$$M_{t,DG} = 1.4 \times 10^9 M_{\odot}$$

$$M_{b,DG} = 5.0 \times 10^8 M_{\odot}$$

$$dM_s/dt = M_g(t) / \tau_{sf}$$

$$\tau_{sf} = 4.2 \text{ Gyrs}$$

$$R_{vir,DG} = 8.6 \text{ kpc}$$

$$N_{OB} = 100$$

$$\rho_{OB} \propto [r(1+r/r_{s,DG})^2]^{-1}$$

OB associations:

$$M_{OB} = 5.3 \times 10^4 M_{\odot}$$

$$N_{SN} = 396$$

$$E_{SN} = 3.96 \times 10^{53} \text{ erg}$$

$$dM_{SN}/dt = 1.4 \times 10^{22} \text{ g/s}$$

$$dZ_{SN}/dt = 3.2 \times 10^{21} \text{ g/s}$$

Total System:

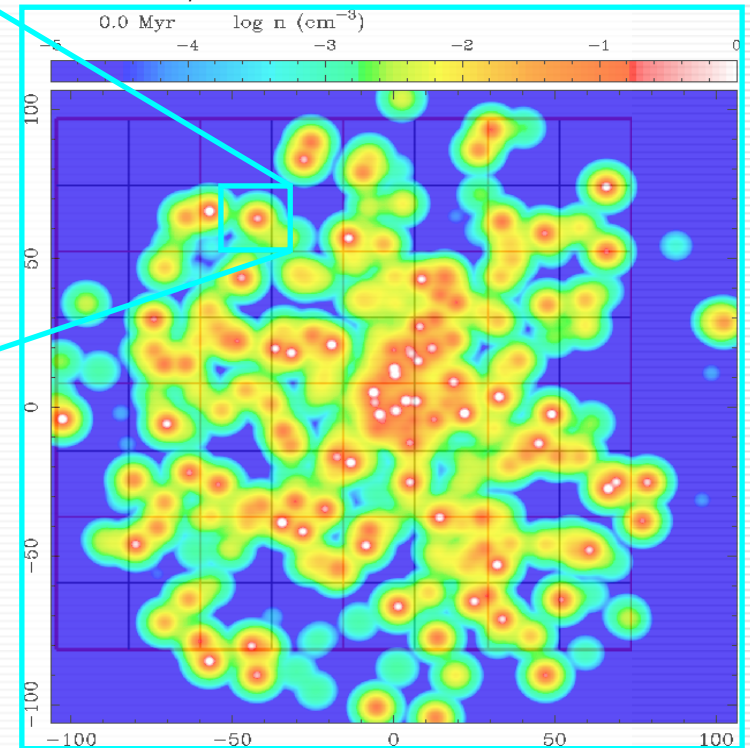
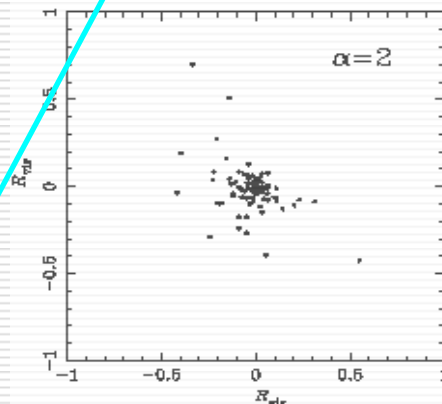
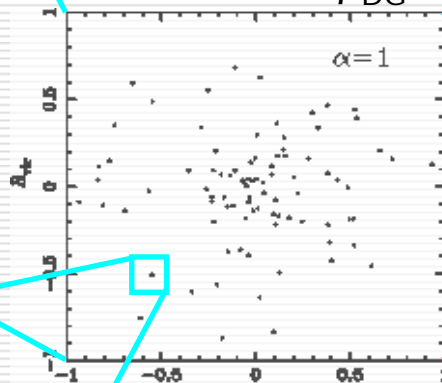
$$M_{t,TS} = 3.7 \times 10^{12} M_{\odot}$$

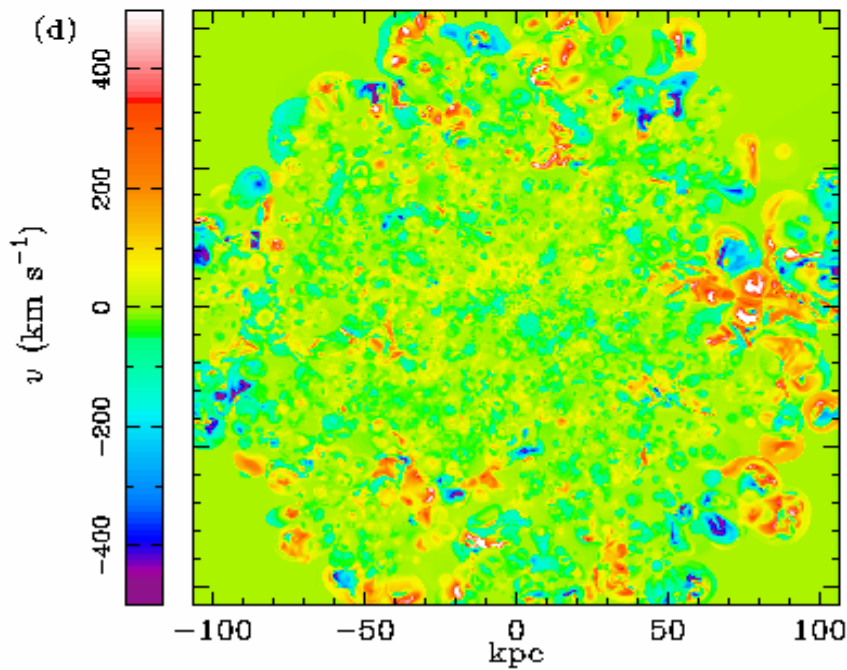
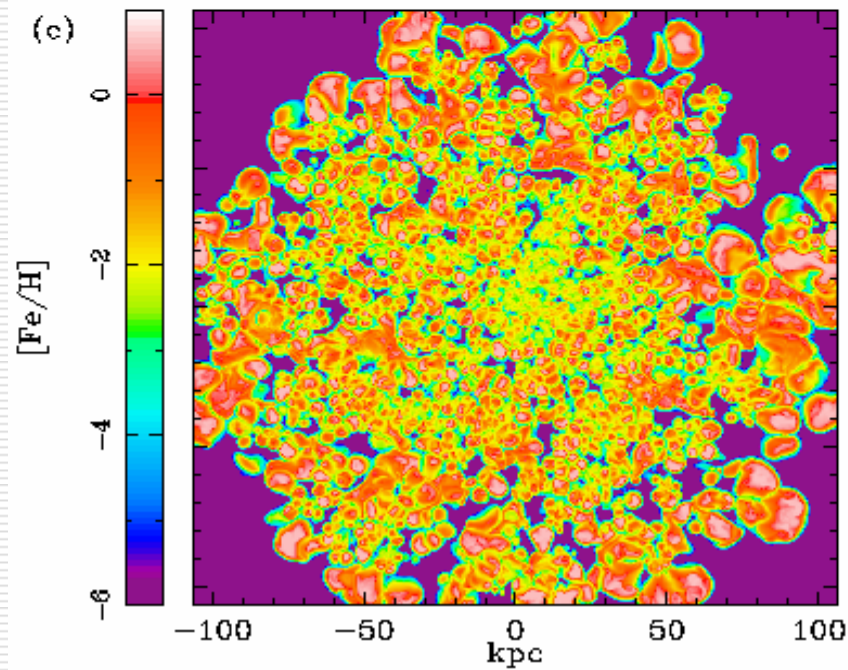
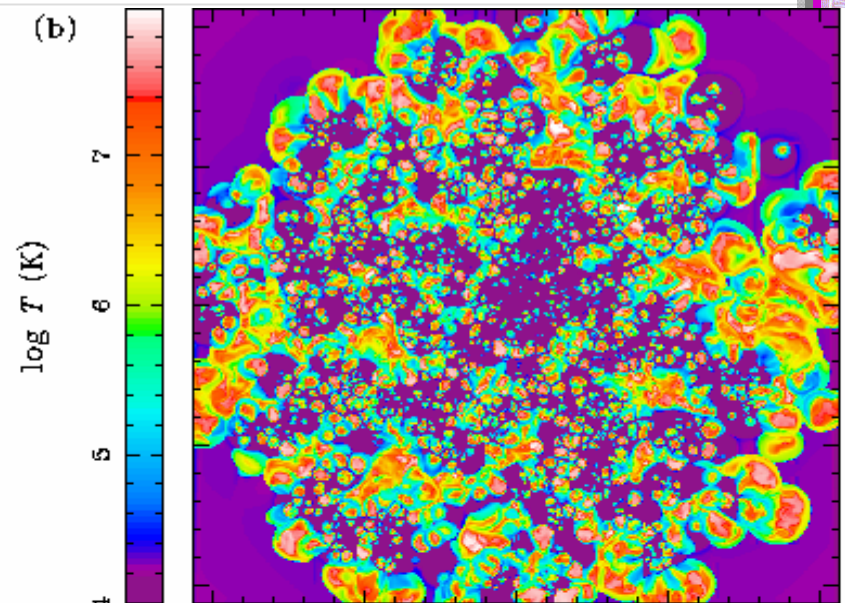
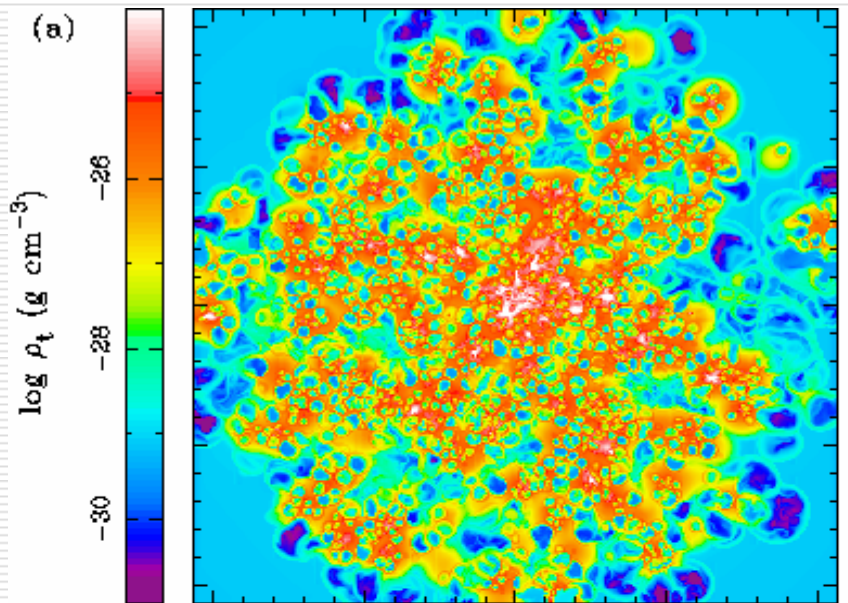
$$M_{b,TS} = 9.5 \times 10^{11} M_{\odot}$$

$$R_{vir,TS} = 106.4 \text{ kpc}$$

$$N_{DG} = 1900$$

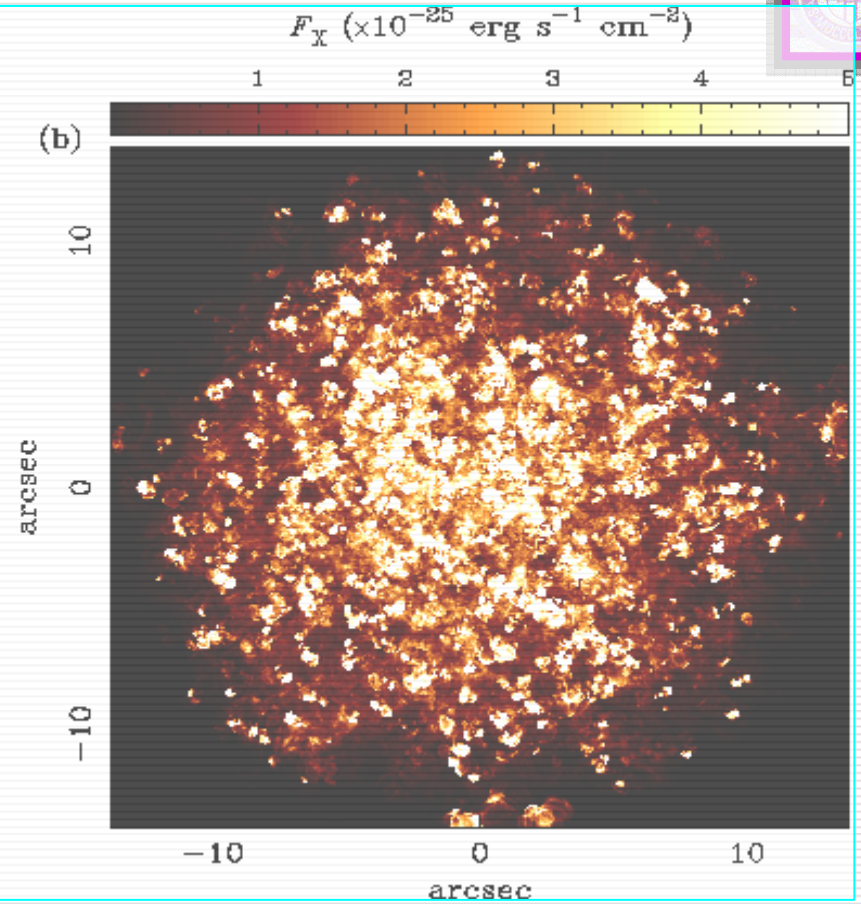
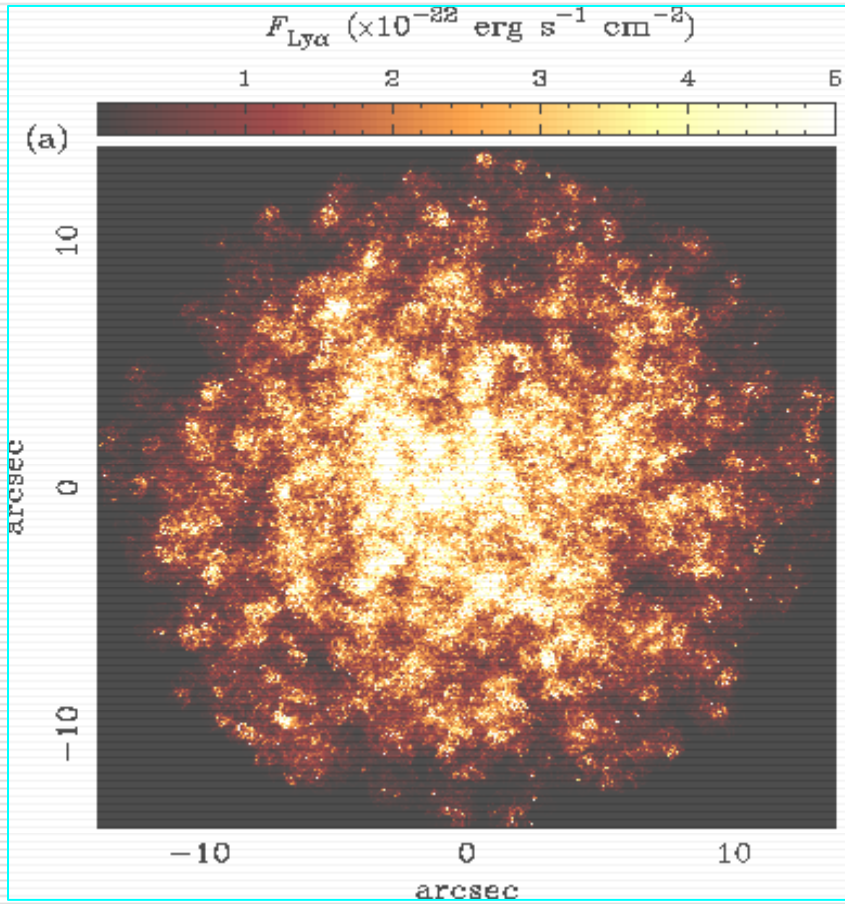
$$\rho_{DG} \propto [r(1+r/r_{s,TS})^2]^2$$





T=50 Myr

Mori, Umemura & Ferrara 2004



Ly :

$$L = 9.70 \times 10^{42} \text{ erg s}^{-1}$$

$$F = 1.25 \times 10^{-16} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$$

X-ray (0.2-2 keV):

$$L = 1.15 \times 10^{40} \text{ erg s}^{-1}$$

$$F = 1.49 \times 10^{-19} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$$

$$M = 0.3, \quad z = 0.7 \text{ and } H_0 = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$$



答:

- LABは $z=3$ におけるそのような候補天体にみえるが、次世代地上大型では(すばるよりも一桁よくなれば) $z=7-8$ ?くらいまでいけるだろう。
- X線は残念ながらZeusでも見えない。

# サマリ

- $z=10$ の星形成銀河はLy $\alpha$ 、H $\alpha$ で見える
- POPIIIの星形成時のH $\alpha$ 放射は $z=10$ では見えない。 $z=3$ だとあるいは見えるかも知れない
- 再電離の歴史はわかる
- 多重超新星爆発の現場(LAB?)は $z=7-8$ くらいまで、あれば見える

# High-z Ly emitter

