

2015年6月5日 第二回銀河進化研究会@名古屋大学

極度に青い銀河の研究

後藤亮介

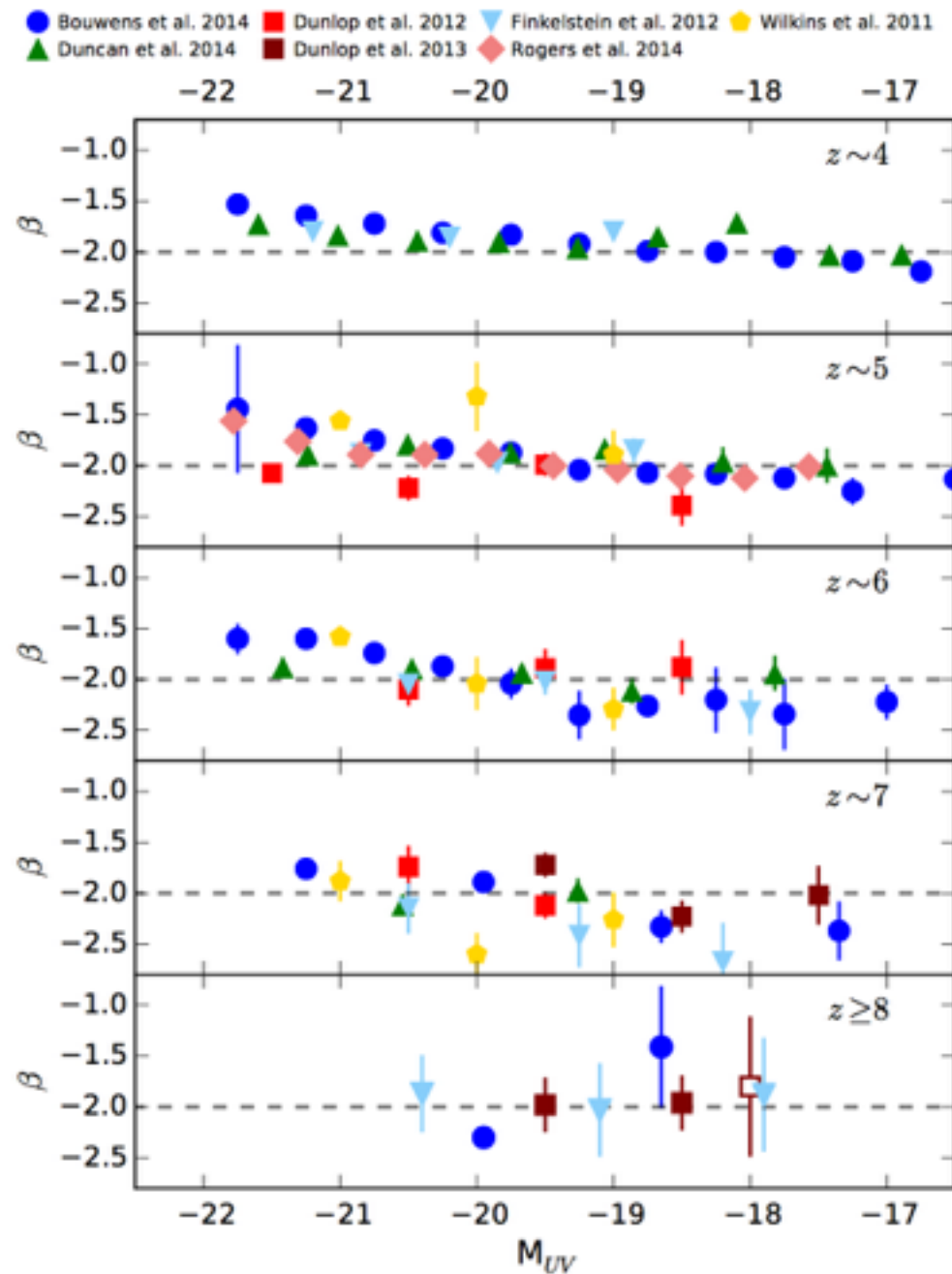
共同研究者：嶋作一大，大内正己，日下部晴香（東京大学）

中島王彦（ジュネーブ天文台）

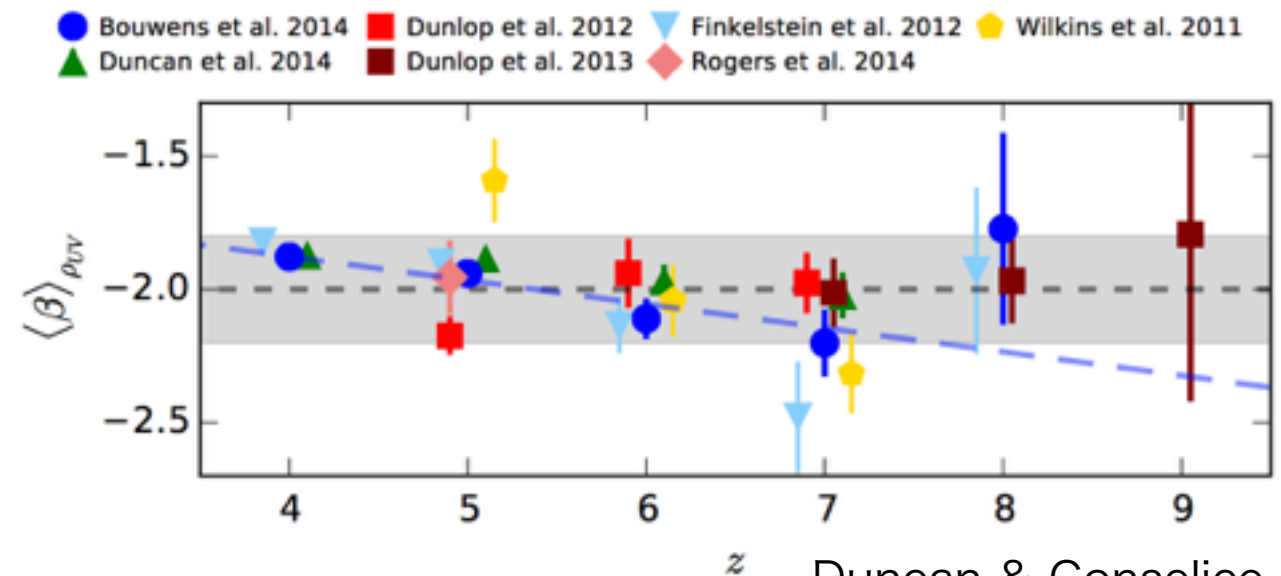
概要

- ・ 赤方偏移2.2のライマンアルファ輝線銀河（LAE）の色に注目し、
極端に青いLAEを発見した
- ・ 典型的な紫外線スペクトルスロープは $\beta = -3.4$ 程度
- ・ 年齢や星種族、星間物質の物理状態に極端な状況を必要とする

遠方LBGの紫外線スペクトルスロープ



Duncan & Conselice 2015



Duncan & Conselice 2015

Figure 3. Luminosity-weighted average β , $\langle\beta\rangle_{\rho_{UV}}$, as a function of redshift for the $M_{UV} - \beta$ observations shown in Fig. 2. The grey shaded region covers the range $-2.2 < \beta < -1.8$ and the blue long-dashed line shows our parametrisation of $\langle\beta\rangle_{\rho_{UV}}$ vs z based on the observations of Bouwens et al. (2014b) (see Equation 7).

- ・ 紫外で暗いほど, **青い**
- ・ 遠方ほど, **青い**

暗くて青い銀河ほど宇宙再電離に貢献

ただし、暗くて青い銀河は

- ・どれくらい電離光子を放出するか？
- ・どのような星種族か？PopIII的星種族はあるか？

は分かっていない.

→ 再電離期の銀河を直接調べることは難しい

→ 情報を得やすい赤方偏移で、暗くて青い銀河を調べたい

暗くて青い銀河候補としてのLAE

各赤方偏移で見つかるLAEの多くは、若くて暗い(軽い)銀河.

本発表では,
どれくらい青い銀河があるのかを調べ, その意味を議論する.

データ

領域：SXDS

データ：

CFHT/MegaCam

Subaru/Suprime-Cam

UKIRT/WFCAM

Spitzer/IRAC

u

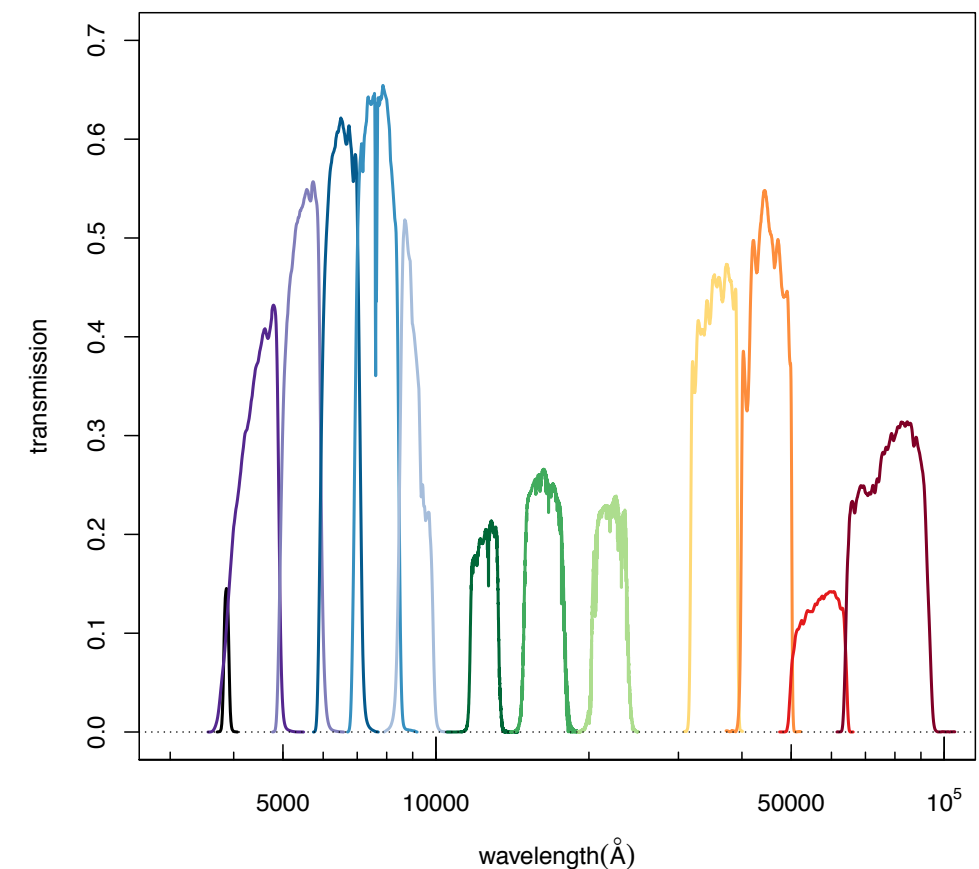
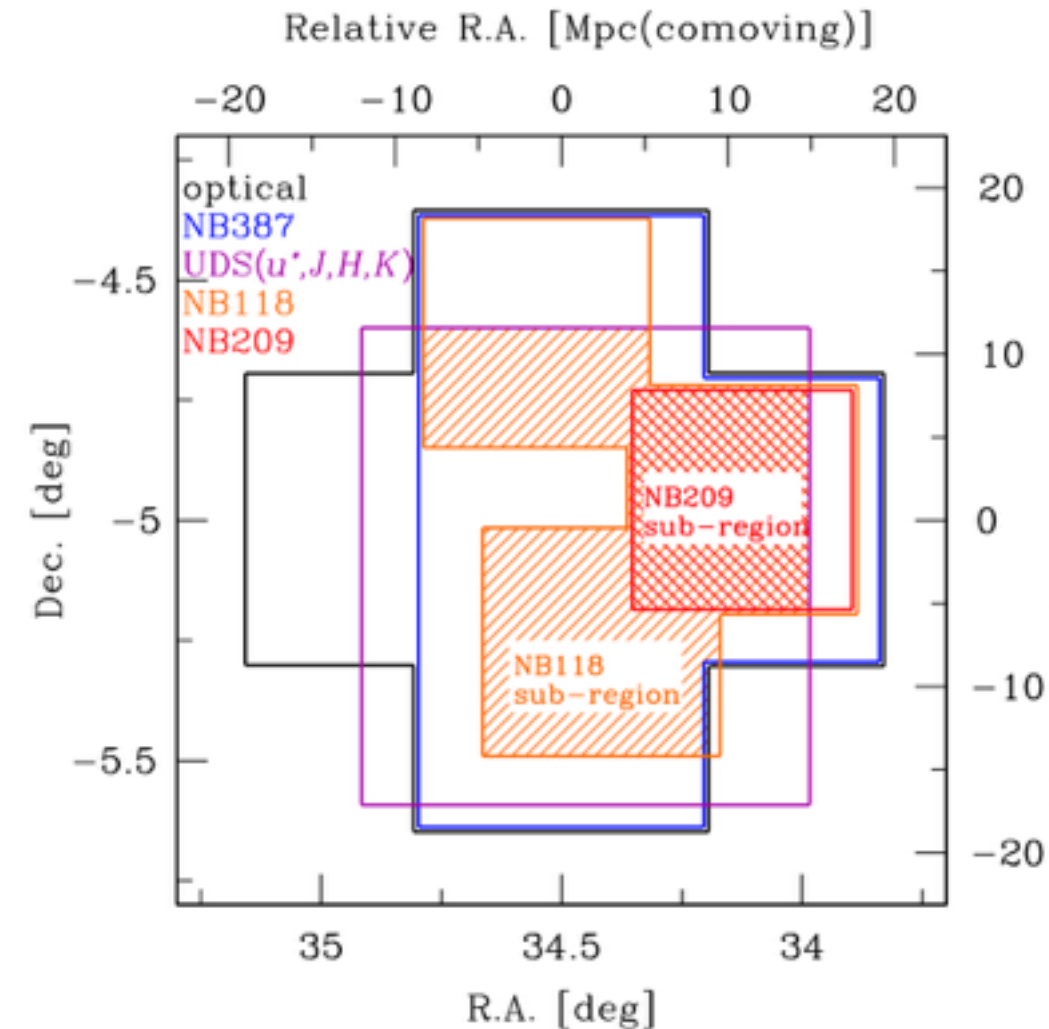
NB387,B,V,R,i,z

J,H,K

ch[1234]

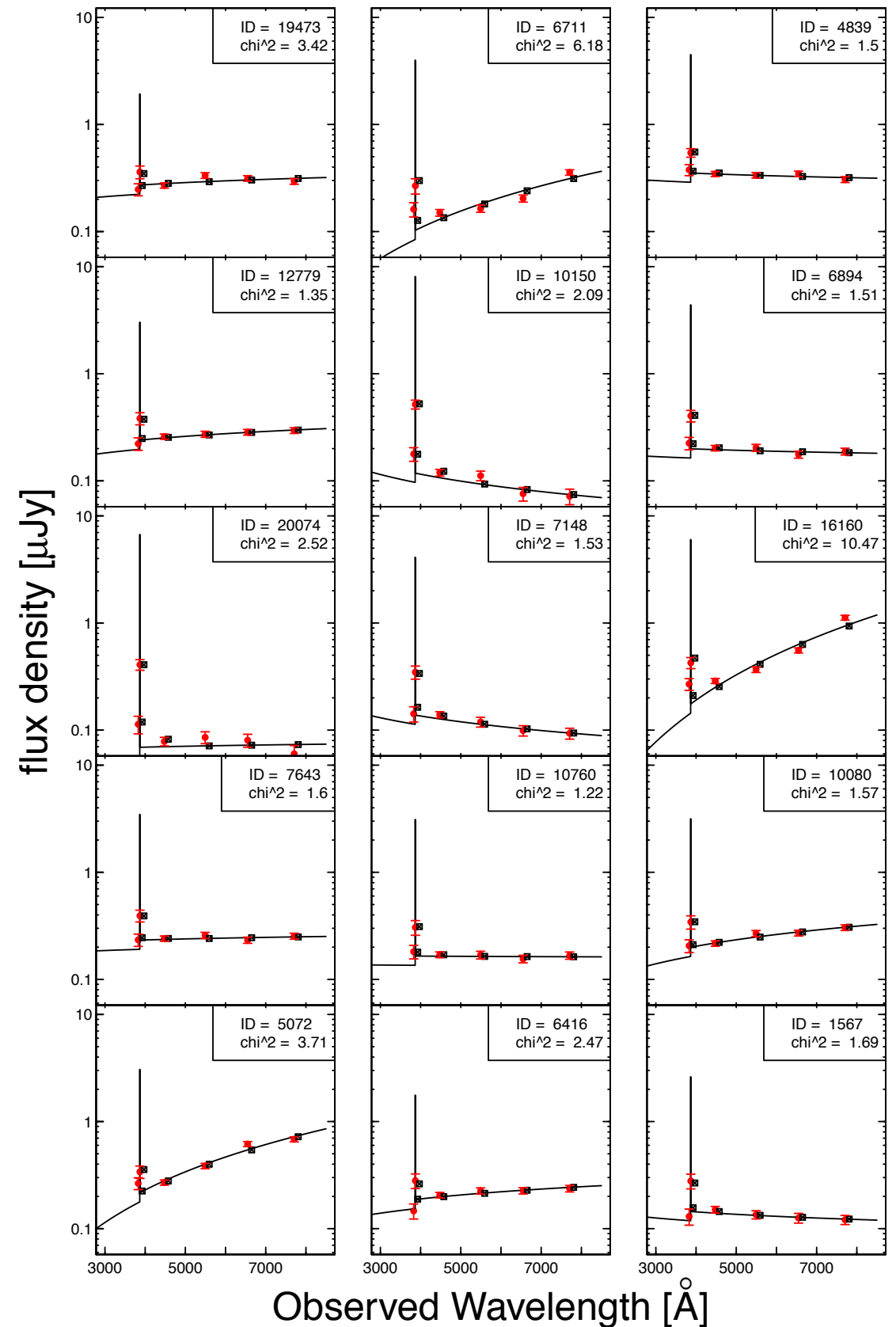
X-ray, UV, radioで検出されたものを除く,
計864個の赤方偏移2.2のLAEを用いる

Nakajima et al. 2012

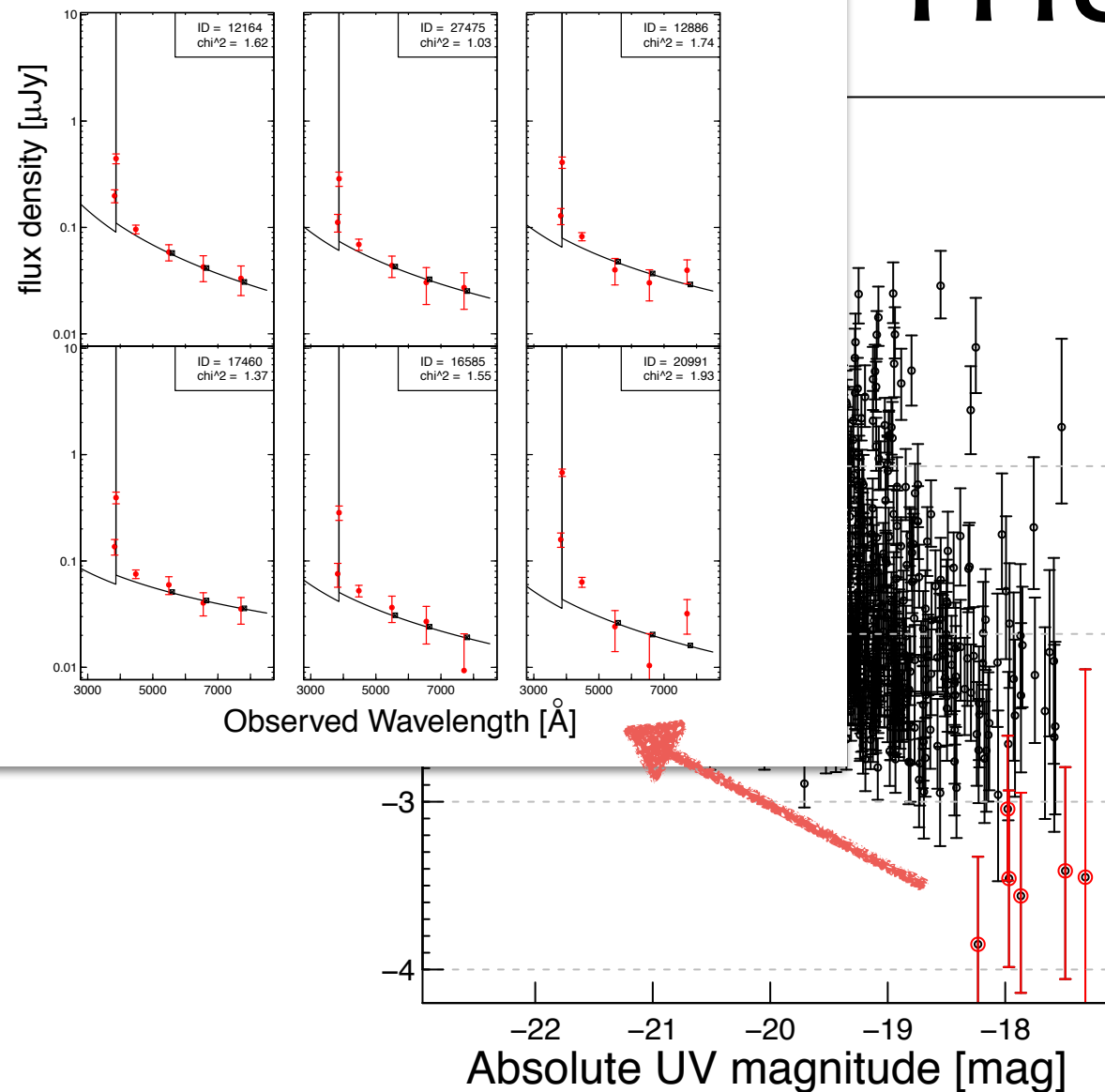


多色測光データに
power law の紫外連続光
+
Ly α 輝線
をモデルフィット

UV 等級
power-law slope beta
Ly α 光度
を推定



mag vs β



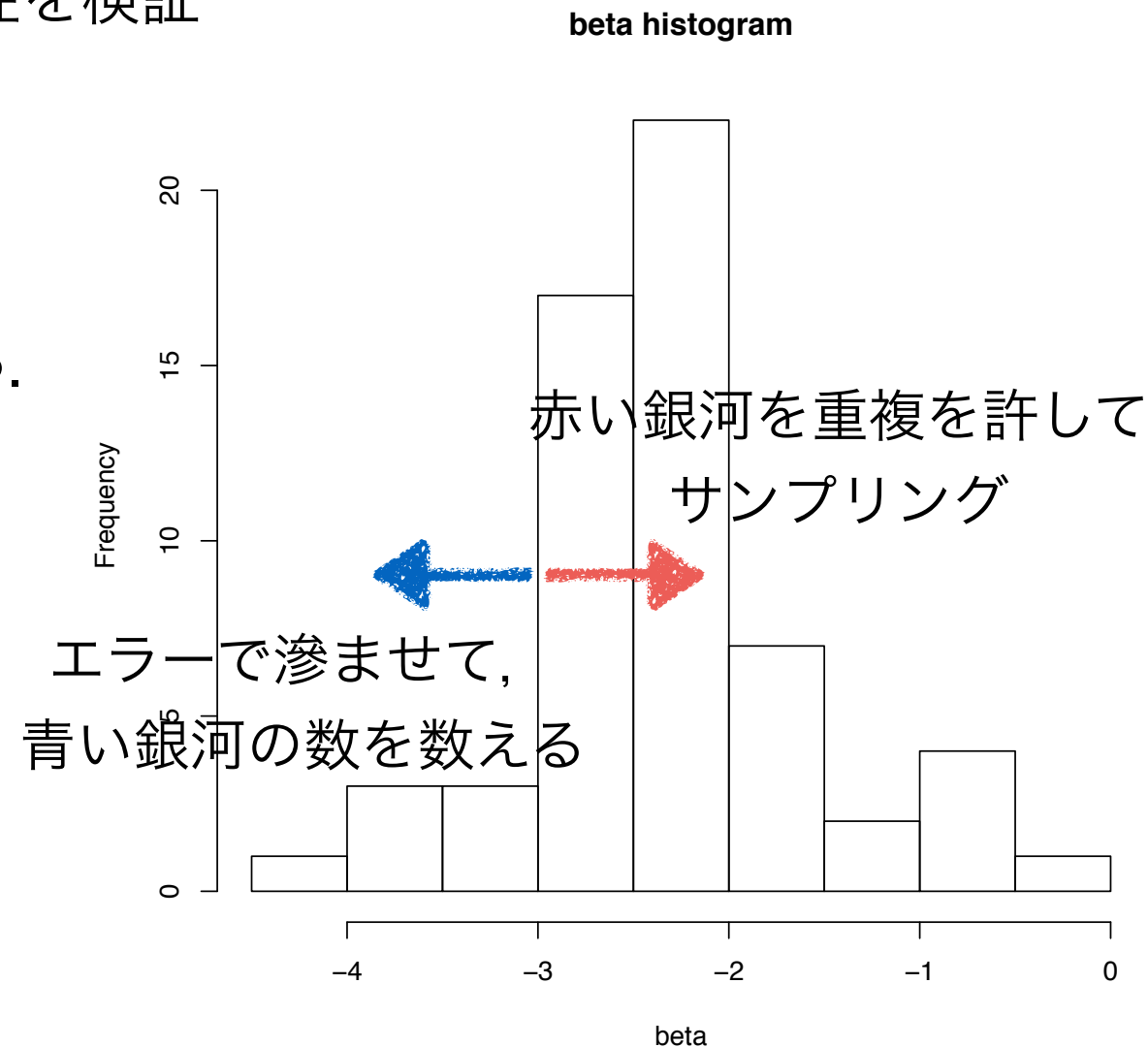
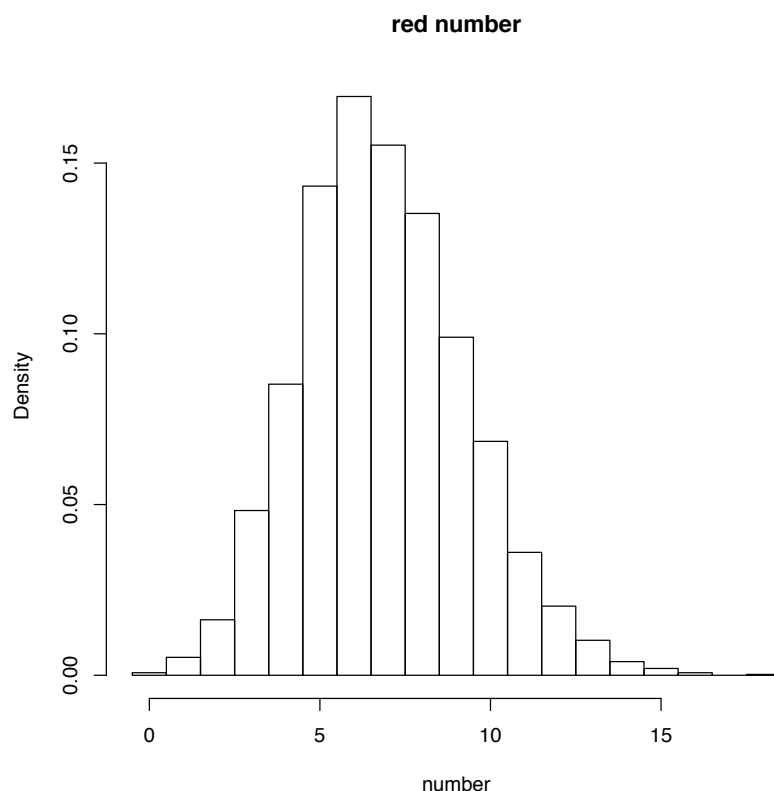
- LAEは $\beta < -2$ の青い銀河を多数含む
- -3以下の極度に青い銀河も存在する？
- -3以下は，ダスト無し，高い電離光子脱出率など，極端な状況が必要とする。

$\beta < -3$ は天体は本物か？

- 大きなエラーが原因で、 $\beta < -3$ に見えている可能性を検証

- 紫外等級26.6等以上の、暗いLAE64個のうち、赤い銀河を重複を許してランダムにサンプル。エラーで滲ませていくつ青い側に染み出すか数える。
- 青い銀河の個数に超過があるか？を調べる。

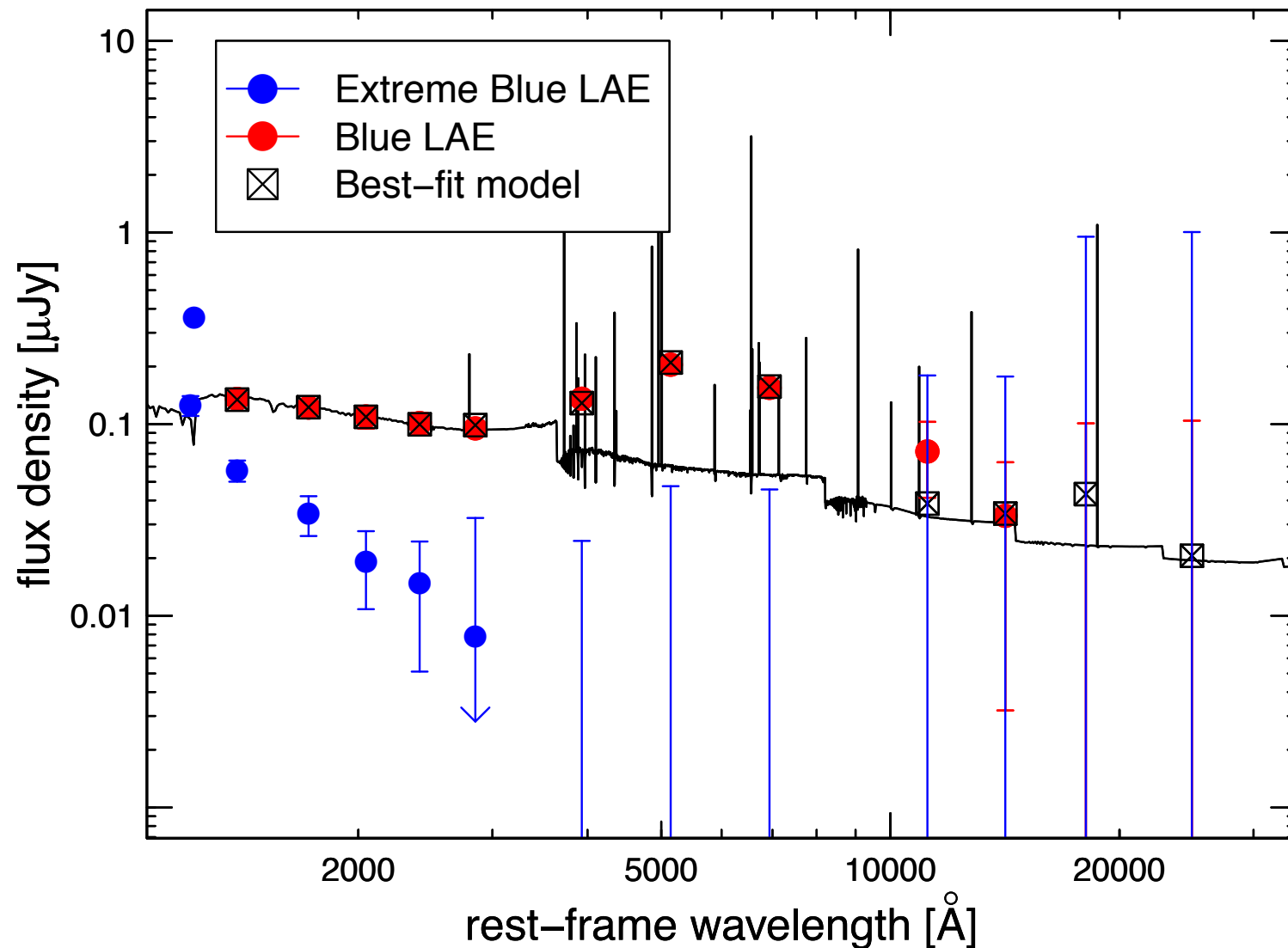
64個中青い側に染み出す期待値



- エラーで染み出す個数は6個にピーク
- 64個中、青い β に分類されるのは7個、検出限界以下の天体(潜在的に青い)が4個
- 尤もらしい内訳は、11天体中のうち、6個が赤い銀河、5個が青い銀河

スタックSED

- S/Nをあげるために7天体の画像をスタック



$$M_{UV} = -17.3^{+0.2}_{-0.2}$$

$$\beta = -3.4^{+0.6}_{-0.7}$$

$$EW = 202^{+81}_{-52} \text{ \AA}$$

$$L_{Ly\alpha} = 1.9^{+0.3}_{-0.2} \times 10^{42} \text{ [erg/s]}$$

- 7天体のmedianは $\beta = -3.51$ で、スタックの結果と一致
 - J,H,K,IRAC bandでは no detection
- 星質量は $2.5 \times 10^7 M_{\odot}$ 以下であることを示唆

$\beta = -3.4$ の意味

stellar + nebular stellar のみ

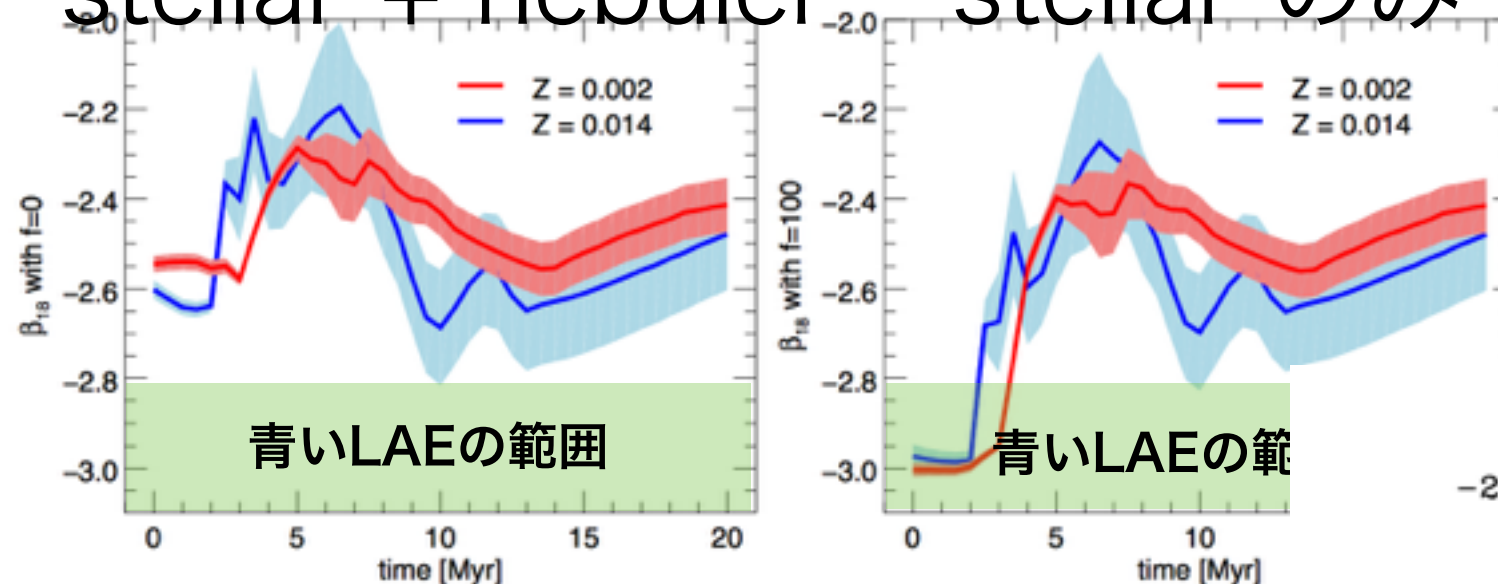


Fig. 6.— β_{18} measured from the SB99 models, simulating an instantaneous formation history with ROT evolutionary tracks and a Kroupa IMF. Metallicities 0.002 (red) and $Z = 0.014$ (blue). The two extreme cases of $f_{\text{esc}} = 0$ (left) and $f_{\text{esc}} = 100$ (right) are illustrated.

Zetterlund et al.

- SB99 model
- ダストなし
- Kroupa IMF
- SSP
- 電離光子脱出率 (0 or 1)

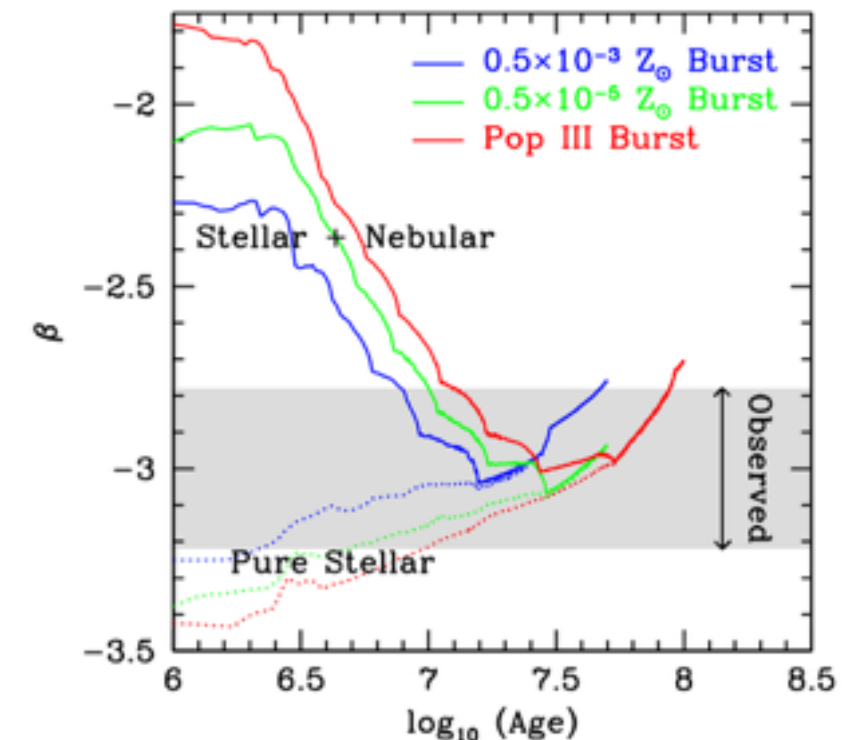


Figure 4. UV-continuum slope β Schaefer (2003) calculated as a function of age for instantaneous burst models for different metallicities. Both the slopes β derived from the stellar light (dotted lines) and the stellar + nebular light (solid lines) are shown. The pure stellar light (dotted lines) has very blue UV-continuum slopes β s ($\beta \lesssim -3$) for all the low metallicity cases considered here. Changing the IMF does not appear to change the conclusion here in any significant way. Of course, these same hot low metallicity stars also ionize the gas around them, thus producing a substantial amount of redder nebular continuum light. This makes the total SED of a galaxy much redder in general, and in the calculations by Schaefer (2003) shown here, β never becomes bluer than -3.0 .

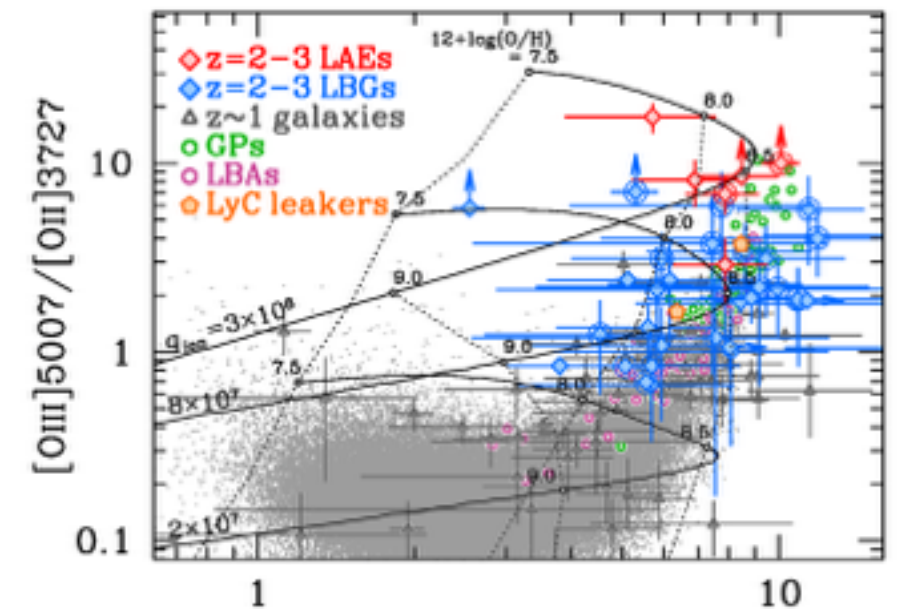
Bouwens et al. 2010

- ダスト無し かつ
- 極端に若い(3Myr) かつ
- 電離光子を銀河の外に逃がす必要
→現実的な状況では説明が難しい

将来欲しいデータ

今回発見した青い銀河は、
年齢、星種族、星間物質の電離状態
などの点で興味深い天体。

- [OIII],[OII]などの輝線をとらえて
ISMの物理状態に迫りたい
- 特にHeII 輝線をとらえて、
HeII電離光子数の議論をしたい



Nakajima ^{R23} & Ouchi 2014

TMTが完成した暁には、
このような天体を是非、分光観測したい。

Summary

- ・ 赤方偏移2.2のLAEのうち, 極端に青い銀河を発見(7/864)
- ・ スタックSEDのスロープは $\beta \sim -3.4$
- ・ 極端に若い, ダスト無し, 電離光子を脱出させる必要
- ・ 500太陽質量の非常に重い星を考える必要も
- ・ 分光観測には, Keck/LRIS, Keck/MOSFIREが有力装置
- ・ 弱い輝線を得るには, 高い集光力をもつ観測装置が必要.
- ・ TMTで分光観測をしたい.