

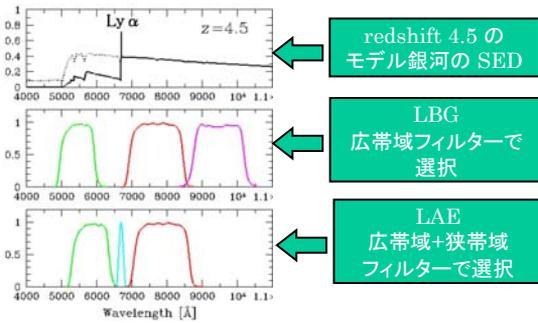
Lyman Alpha Emitters とは何か? : 階層的構造形成における理論モデルの構築

小林 正和、戸谷 友則(京大理)、長島 雅裕(長崎大教育)

I. イントロダクション

Ly α Emitters (LAE) の観測的な定義

- ★ 広帯域+狭帯域フィルターで選択される high- z の星形成銀河
- high- z ($z > 3$) の銀河は rest-frame で H I の Ly α λ 1216 より短波長側の光に対して IGM が非常に optically thick のため、Ly α の波長を境に continuum に大きな break が見られる
- その continuum break を広帯域フィルターでの撮像で捉え、ある redshift range にある continuum の明るい星形成銀河を選択的に探す手法を Lyman break 法といい、そのような方法で見つけられた銀河を Lyman break galaxy (LBG) という
- 一方、星形成銀河からの Ly α 輝線を狭帯域フィルターを用いて捉える手法で見つけられた continuum の暗い銀河が LAE である



じゃあ一体 LAE はどんな銀河?

- ★ Ly α は resonance line: H I による吸収・散乱断面積が非常に大きい ($\sigma_{\text{Ly}\alpha} = 5.90 \times 10^{-14} T_4^{-1/2} \text{ cm}^2$)
 - Ly α は recombination line として銀河内で生成された後、離脱するまでに銀河内の H I によって多数回散乱を受ける
 - その間に進む距離は銀河のサイズよりも非常に長くなるため、銀河内に十分な量の dust が存在すれば、その間に dust によって吸収されきってしまい、Ly α は見えないはず
 - その Ly α が輝線として観測されるということは、LAE は (1) dust をほとんど含まない形成初期の星形成銀河 and/or (2) サイズが非常に小さい星形成銀河であると予想される
- ★ LAE の理論モデルは未だ発展途上の段階
 - 解析的取り扱い: 各 z での dark matter (DM) halo の質量関数と銀河の質量関数を比例関係で結び、SFR は gas mass に比例を仮定 (Haiman & Spaans 1999; Thommes & Meisenheimer 2005)
 - gas-dynamical simulation: $z > 7$ の銀河のみ (Barton et al. 2004)
 - 準解析的銀河形成 (SA) モデル: 階層的構造形成の枠組みにおける初の LAE 理論モデル (Le Delliou et al. 2005, 2006) だが、Ly α escape fraction $f_{\text{esc}}^{\text{Ly}\alpha}$ は全銀河で一定値という単純なモデルのみ

本研究では、Ly α の性質を考慮した escape fraction を現象論的に与えるとともに、新たな観測データとの比較に Le Delliou et al. の極めて単純なモデルが耐えるかどうかを検証する

II. 計算モデル

- 基本的な計算手法は Le Delliou et al. に基づき、SA モデル “Mitaka model” (Nagashima & Yoshii 2004) を用いた
 - SA モデルとは、DM halo の形成史は正確に解き、DM halo 中の baryon の物理 (星形成、フィードバック etc.) に関してはパラメータを用いた簡単なモデルで表すことで、宇宙論的な計算をスパコンを使わずに行える強力な計算ツール
 - 代表的なものとして Le Delliou et al. で使われた “GALFORM” (Baugh et al. 2005) や、我々の用いた “Mitaka model” がある
 - GALFORM と Mitaka model の相違点
 - minor merger の取り扱い: GALFORM では starburst、Mitaka model では quiescent star formation
 - burst 際の initial mass function (IMF) の取り扱い: Mitaka model では quiescent と変わらず Salpeter ($x = -1.35$)、GALFORM では top-heavy ($x = 0$)

- 各銀河の intrinsic Ly α 輝線光度 $L_{\text{Ly}\alpha}^{\text{int}}$ の求め方

$$L_{\text{Ly}\alpha}^{\text{int}} [\text{ergs s}^{-1}] = \text{SFR} [\text{M}_{\odot} \text{ yr}^{-1}] \times \left(\frac{\dot{N}_{\gamma} [\text{s}^{-1}]}{\text{SFR} [\text{M}_{\odot} \text{ yr}^{-1}]} \right) \times \left(\frac{\dot{N}_{\text{Ly}\alpha} [\text{s}^{-1}]}{\dot{N}_{\gamma} [\text{s}^{-1}]} \right) \times h\nu_{\text{Ly}\alpha} [\text{erg}]$$

$$\dot{N}_{\gamma} [\text{s}^{-1}] / \text{SFR} [\text{M}_{\odot} \text{ yr}^{-1}] = 9.259 \times 10^{52} [\text{s}^{-1} / (\text{M}_{\odot} \text{ yr}^{-1})] \quad \text{Kennicutt (1998)}$$

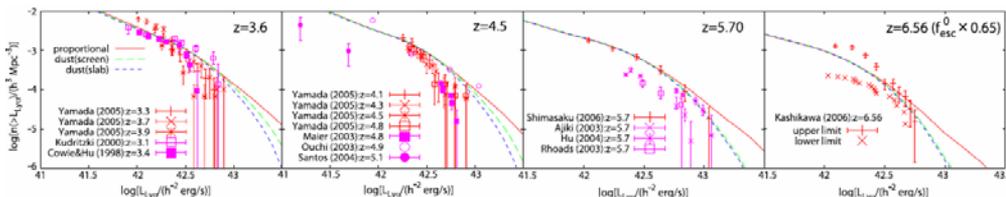
$$\dot{N}_{\text{Ly}\alpha} [\text{s}^{-1}] / \dot{N}_{\gamma} [\text{s}^{-1}] = 0.677 \quad \text{Osterbrock (1989)}$$
- 各銀河からの escape fraction $f_{\text{esc}}^{\text{Ly}\alpha}$ のモデル: $L_{\text{Ly}\alpha}^{\text{obs}} = L_{\text{Ly}\alpha}^{\text{int}} f_{\text{esc}}^{\text{Ly}\alpha}$
 - Le Delliou et al. では、全ての銀河、redshift に対しても一定の値 ($f_{\text{esc}}^{\text{Ly}\alpha} = 0.02$) をとると単純に仮定
 - 我々は、Le Delliou et al. 同様単純に全銀河で一定値としたモデルの他、上記の Ly α の性質を考慮した右の計3つのモデルを考えた

$$f_{\text{esc}}^{\text{Ly}\alpha} = f_{\text{esc}}^{\text{Ly}\alpha} : \text{simply proportional}$$

$$f_{\text{esc}}^{\text{Ly}\alpha} \exp[-f_{\text{dust}}^{\text{scr}} \tau_{\text{dust}}] : \text{dust (screen)}$$

$$f_{\text{esc}}^{\text{Ly}\alpha} \frac{1 - e^{-x}}{x}, \quad x \equiv f_{\text{dust}}^{\text{slab}} \tau_{\text{dust}} : \text{dust (slab)}$$
 - 各モデルのパラメータは $z=5.7$ の光度関数に合うように決め、redshift evolution はないと仮定

III. 計算結果 & 議論



- 横軸: Ly α line luminosity [$\text{h}^{-2} \text{ ergs s}^{-1}$]
- 縦軸: cumulative number density [$\text{h}^3 \text{ Mpc}^{-3}$]
- 左から順に、 $z \sim 3, 4, 5.7, 6.56$ の結果
- 各色の違いは $f_{\text{esc}}^{\text{Ly}\alpha}$ のモデルの違い
 - 赤: simply proportional、
 - 緑: dust (screen)、青: dust (slab)
- データ点 with error bars は observed LAE 光度関数

- ◆ 定性的には、Ly α で明るい銀河は starburst を始めた直後の gas rich な銀河であり、dust の効果を考慮した $f_{\text{esc}}^{\text{Ly}\alpha}$ のモデルではこれらの LAE の数が抑えられ、Le Delliou et al. のモデルよりも新しい観測データを再現できた
- ◆ $z=6.56$ に関しては、 $z=5.7$ で fix したパラメータでは観測の光度関数を再現できず、 $f_{\text{esc}}^{\text{Ly}\alpha}$ を 0.65 倍しなければならなかった
 - この factor は $z=5.7$ から 6.56 の間に Ly α に対する IGM の transmission が変化したことを表しており、Santos (2004) のモデルを用いて neutral fraction x_{HI} を評価すると、 $x_{\text{HI}} \lesssim 0.32$ となった
- ◆ 今後、LAE の clustering のデータや、同じ SAM で LBG の光度関数や他の high- z の星形成銀河である sub-mm galaxies の number count との比較を行っていく予定である

Model	f_{esc}^0	$(N_{\text{cold}} Z_{\text{cold}})^0 [10^{22} \text{ cm}^{-2}]$
simply proportional	0.18	-
dust (screen)	0.19	2.0
dust (slab)	0.19	0.8