

Physical properties of $z > 3$ [OIII] emitters in SXDF-CANDELS field

鈴木 智子 (総合研究大学院大学 天文科学専攻)

Abstract

宇宙の大局的な星形成活動がピークを迎えた赤方偏移 2 から 3 にかけての時代は銀河形成・進化の最盛期にあたり、現在までに数多くの研究がなされている。そしてその最盛期の前夜とも言える $z \sim 3 - 3.6$ の時代は、そもそも何故 $z \sim 2 - 3$ で銀河形成が最盛期を迎えたのかということを理解する上で鍵を握る、非常に重要な時代であると言える。すばる望遠鏡の近赤外線撮像装置 MOIRCS と多数の挟帯域フィルターを用いて行われた遠方の星形成銀河探査プロジェクト (Mahalo-Subaru; Kodama et al. 2013) では、 $z \sim 2.5$ までの様々な環境下に存在する $H\alpha$ 輝線銀河の大規模な探査が行われた。これらの一連の観測では、ターゲットとなる $H\alpha$ 輝線銀河だけではなく、異なる赤方偏移に存在するその他の輝線銀河も同時に観測されており、SXDF-CANDELS フィールドにおいては $z \sim 3.2$ および $z \sim 3.6$ にある [OIII] 輝線銀河が 40 天体ほど観測されている (Tadaki et al. 2013)。本研究では、 $z > 3$ の時代の星形成銀河がどのような物理的特性を持っているのかを明らかにするために、これらの [OIII] 輝線銀河に着目し、それらの星質量や星形成率といった基本的な物理量を調べた。また、HST による観測から得られた画像から個々の銀河の形態を調べ、それらのサイズの見積もりを行った。その結果、[OIII] 輝線銀河が示す星質量 - 星形成率関係は $z \sim 2$ の $H\alpha$ 輝線銀河よりも高い比星形成率を示す傾向にあること、形態に関しては比較的コンパクトなものが多く、クランピーな構造を持つものはあまり見られないことなどが分かった。

1 Introduction

今からおよそ 100 - 110 億年前にあたる赤方偏移 2-3 の時代は宇宙の大局的な星形成活動とクエーサーの光度関数がピークを迎えた時代であり、銀河形成・進化の最盛期と言われている。そのため $z \sim 2 - 3$ の時代の銀河については活発に研究が行われてきており、銀河進化最盛期において銀河がどのような物理的特性を持っていたのか、そしてそれが近傍銀河と比較してどう違うのかということが明らかになってきている。

その中で Mahalo-Subaru というプロジェクトでは、すばる望遠鏡に搭載された可視光および近赤外線撮像装置と多数の挟帯域フィルターを用いて、 $z \sim 1 - 2.5$ の時代において星形成活動の良い指標である $H\alpha$ 輝線を捉えることで、銀河団や原始銀河団のような高密度領域からそのような構造が見られないフィールドと呼ばれる領域まで、様々な環境下に存在している星形成銀河の探査を行ってきた (Kodama et al. 2013)。

このプロジェクトにより $z \sim 2 - 2.5$ の様々な環境下におかれた $H\alpha$ 輝線銀河が観測され、それらの星質量や星形成率といった物理量とそれらの環境依存性が調べられている。

本研究では、時代をさらに遡った、最盛期を迎える前夜とも言える $z \sim 3 - 3.6$ の時代に注目をしている。赤方偏移 3 を超える時代を調べ $z \sim 2 - 3$ の時代の銀河と比較をすることは、そもそも何故 $z \sim 2 - 3$ で銀河形成が最盛期を迎えたのか、銀河形成が促進されていった背景にはどのような物理過程が関わっているのかということを理解する上で非常に重要であるといえる。 $z > 3$ の銀河形成を探るために、我々は $H\alpha$ 輝線ではなく $3 < z < 3.7$ まで近赤外域の K バンドで観測可能な [OIII] 輝線銀河に着目をした。[OIII] 輝線は星形成活動が活発で重元素量が低い遠方の若い銀河で特に強くなっていることがこれまでの研究から明らかになっており、赤方偏移 3 を超える時代を調べるには非常に良い星形成銀河の指標であると言える。

Tadaki et al. (2013) では、Mahalo-Subaru プロジェクトの一環としてすばる望遠鏡 MOIRCS の挟帯域フィルターを用いて Subaru/XMM-Newton Deep survey Field(SXDF) の撮像観測を行った。本研究では、この観測から得られた輝線銀河のサンプルの中から色によって選ばれた $z > 3$ の $[\text{OIII}]$ 輝線銀河約 40 天体について、解析を行った。このフィールドは、紫外線から中間赤外線にまでわたる多くのフィルターで測光観測が行われている領域であるとともに、今回 MOIRCS で観測した領域はハッブル望遠鏡 (HST) の CANDELS で観測された領域となっており、HST による高解像度の撮像データも併せて用いることが可能となっている。

2 Samples

Tadaki et al. (2013) では、MOIRCS の 2 つの挟帯域フィルター NB209(中心波長:2.09 μm , FWHM:0.025 μm) と NB2315(中心波長:2.315 μm , FWHM:0.027 μm) を用いて SXDF の観測を行った。この 2 つの挟帯域フィルターを用いることにより、それぞれ $z = 3.17$ と $z = 3.62$ の $[\text{OIII}]$ 輝線を捉えることができるが、この観測では NB209 で 30 天体、NB2315 で 9 天体の $[\text{OIII}]$ 輝線銀河の候補天体が観測された。CANDELS のカタログで確認したところ、分光同定されている天体は無かった。また XMM-Newton による X 線観測で受かっている天体も無く、明らかに AGN と考えられる天体は無いと言える。Spitzer の MIPS/24 μm により観測されている天体は NB209 に 3 天体存在しており、それらは dusty なスターバースト銀河であるか、AGN であると考えることが出来る。

本研究では、この $[\text{OIII}]$ 輝線銀河のサンプルについて、星質量、星形成率、サイズといった基本的な物理量を見積もり、各物理量がお互いにどのような関係にあるのかを調べた。以下では、その主な結果とそこから示唆されることについて簡単に議論を行う。

3 Results and Discussion

サンプルの星質量は Ks バンド (VLT/HAWK-I) の明るさと Ks バンドと J バンド (UKIRT/WFCAM) の等級差から求めた。また、星形成率に関しては先行研究である Maschietto et al. (2008) と同様にして、紫外線域の連続光および $[\text{OIII}]$ 輝線をそれぞれ指標として見積もりを行った。図 1 では、その 2 つの指標から求めた星形成率をプロットしている (ダスト減光は補正している)。両者の良い一致が見られる天体がある一方で、 $[\text{OIII}]$ 輝線から見積もった星形成率が明らかに大きな値を示す天体も見られる。UV 放射は主に大質量星からの寄与であると考えられる一方で、AGN では $[\text{OIII}]$ 輝線が強いことも知られている。そのため、 $[\text{OIII}]$ 輝線から見積もった星形成率が卓越しているような天体は、星形成とは別に AGN からの寄与が大きいという可能性が考えられる。

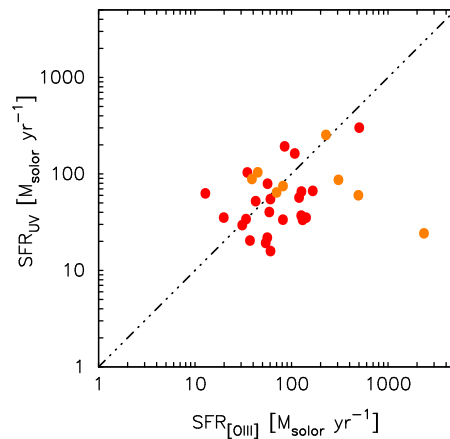


図 1: UV 連続光と $[\text{OIII}]$ 輝線を指標として求められた星形成率の比較。赤色で $z \sim 3.17$ 、オレンジで $z \sim 3.62$ の $[\text{OIII}]$ 輝線銀河をそれぞれ表している。

3.1 Mass-SFR relation

図 2 は、サンプルの星質量と UV 連続光から見積もった星形成率との関係を示したものである。比較対象として CANDELS のカタログ中の $3 < z < 3.5$ の銀河について同様の方法で星質量と星形成率を求め、同じ図上にプロットした。CANDELS のサン

ルの分布と比較をすると、星質量が $10^9 M_{\odot}$ 以下の低質量側、および $10^{11} M_{\odot}$ 以上の大質量側の銀河は、この挟帯域フィルターを用いた観測では受かっていないということが分かる。これは、低質量の銀河は星形成率が低く輝線も弱いため、また大質量の銀河はよりダストによる減光を受けて輝線が弱くなっているためだと考えられる。

$z > 3$ の $[O_{III}]$ 輝線銀河サンプルについてフィッティングを行うと、そのベストフィットの直線は Whitaker et al. (2012) で得られた $2.0 < z < 2.5$ の星形成銀河の示す星形成主系列と良く一致した。このことから、 $z \sim 3 - 3.6$ の時代の星質量と星形成率の関係は、 $z \sim 2 - 2.5$ の時代と大きな違いは見られず、この時代においても星形成を非常に活発に行っていたということが示唆される。

また、同程度の質量を持つ $z \sim 2$ の $H\alpha$ 輝線銀河と比較すると、 $[O_{III}]$ 輝線銀河は高い比星形成率を示す傾向が見られたが、これは detection limit が大きく影響している可能性が高く、解釈には注意が必要である。

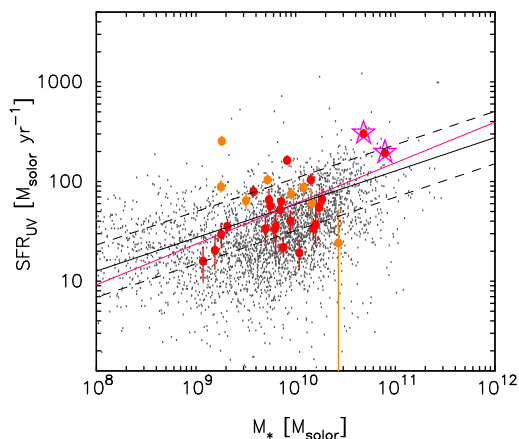


図 2: $[O_{III}]$ 輝線銀河の星質量と UV 連続光から見積もった星形成率との関係。星印のつけられた天体は MIPS/ $24\mu\text{m}$ で観測されている天体を表している。灰色の点は $3 < z < 3.5$ の CANDELS のサンプルを表している。黒色の直線は $[O_{III}]$ 輝線銀河について星形成主系列をフィッティングしたもの、点線はその 1σ 、マゼンタの直線は Whitaker et al. (2012) による $2.0 < z < 2.5$ の星形成銀河について得られた星形成主系列をそれぞれ表している。

3.2 Mass-Size relation

図 3 は、サンプルの星質量とサイズの関係を示している。銀河のサイズは、van der Wel et al. (2012) によって CANDELS のサンプルについて GALFIT を用いて求められたパラメータから見積もっており、最も星の分布を良く反映していると考えられる HST の近赤外線カメラ WFC3 の H バンド (中心波長 $1.6\mu\text{m}$) の結果を用いた。なお、銀河が暗い場合 GALFIT によるフィッティングの不定性が大きくなるため (van der Wel et al. 2012)、25 等よりも暗いサンプルは除くこととした。また、図中には同様に $z \sim 2.2, 2.5$ の $H\alpha$ 輝線銀河の星質量 - サイズ関係も示しているが、これらのサイズは静止系の波長が同じになるように HST/WFC3 の J バンド (中心波長 $1.25\mu\text{m}$) のフィッティング結果を用いてサイズを見積もった。図中の直線および点線は、3D-HST のカタログの、色によって早期型・晩期型に分けられた各時代の銀河サンプルについて求められた星質量 - サイズ関係を示している (直線: $z = 2.75$ 、点線: $z = 2.25$, van der Wel et al. (2014))。図 3 より、 $[O_{III}]$ 輝線銀河の多くはサイズが $1 - 3\text{kpc}$ 程度と全体としてコンパクトであること、 $z \sim 2$ の $H\alpha$ 輝線銀河の分布、もしくは 3D-HST のサンプルから求められた $z = 2.75$ の晩期型銀河の示す関係と同じような分布を示すということが分かった。このことから、星形成銀河の星質量 - サイズ関係は、 $z \sim 3.2 - 3.6$ という $z > 3$ の時代から $z \sim 2$ へとかけて大きく進化はしていないと考えることができる。また、MIPS で観測されている天体で、早期型銀河と同程度の非常にコンパクトな輝線銀河がいることが分かるが、この天体は中心部で非常にコンパクトで dusty なスターバーストを起こしている銀河であるか、もしくは AGN であると考えられる。

4 Conclusion

本研究では、SXDF-CANDELS フィールドにおけるすばる望遠鏡 MOIRCS による挟帯域フィルターを用いた輝線銀河探索によって見つかった $z \sim 3.17, 3.62$ の $[O_{III}]$ 輝線銀河について、公開されている多色測光データおよび挟帯域フィルターの測光データを用

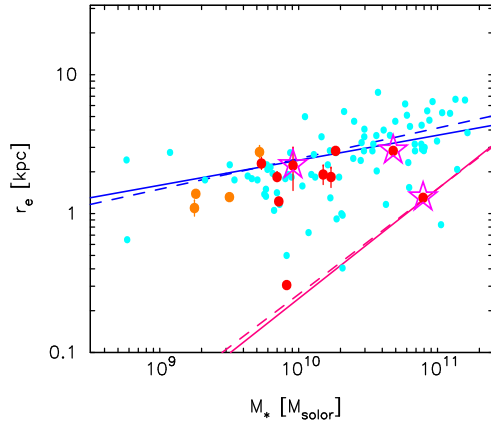


図 3: [O III] 輝線銀河の星質量とサイズの関係。水色の点は Tadaki et al. (2013) の $z \sim 2.2, 2.5$ の H α 輝線銀河を表している。図中に引かれた直線および点線はそれぞれ van der Wel et al. (2014) により求められた $z = 2.75$, $z = 2.25$ における晩期型銀河 (青) と早期型銀河 (マゼンタ) の 2 つのサンプルが示す星質量 - サイズ関係を表している。

いて、それらの銀河サンプルの星質量、星形成率、サイズなどを求め、それらの物理量がどのような関係になっているのかを調べた。現時点で得られている星質量 - 星形成率関係および星質量 - サイズ関係についてはともに $z \sim 2 - 3$ の時代の銀河が示す関係と同じような傾向を示すという結果が得られた。今後は、さらなる撮像観測を行うことで $z > 3$ の [O III] 輝線銀河のより大きなサンプルを構築し、諸物理量の関係について統計的な議論を行うことでより正確な理解を目指すとともに、分光追観測により銀河の電離状態や金属量といった量を調べることで銀河の物理状態を明らかにしていくことを目指している。

Acknowledgement

This work has made use of the Rainbow Cosmological Surveys Database, which is operated by the Universidad Complutense de Madrid (UCM), partnered with the University of California Observatories at Santa Cruz (UCO/Lick, UCSC).

Reference

- Daddi, E., et al. 2007, ApJ, 670, 156
 Galametz, A., et al. 2013, ApJS, 206, 10
 Kodama, T., et al. 2013, IAUS, 295, 74
 Maschietto, F., et al. 2008, MNRAS, 389, 1223
 Skelton, R. E., et al. 2014, arXiv1403.3689
 Tadaki, K., et al. 2013, ApJ, 778, 114
 Tadaki, K., et al. 2014, ApJ, 780, 77
 van der Wel, A., et al. 2012, ApJS, 203, 24
 van der Wel, A., et al. 2014, ApJ, 78, 28
 Whitaker, K., et al. 2012, ApJL, 754, L29