

z~1における比星形成率の環境依存性

井手上祐子、谷口義明、長尾透、塩谷泰広、斎藤智樹 (愛媛大学)、COSMOSチーム

Abstract

A number of observational studies brought us a global evolutionary picture of the star formation rate density (SFRD): the SFRD steeply increases in the first 900 Myr, peaks at $z \sim 3-1$, and then decreases rapidly toward the present day. In order to understand the galaxy evolution, we focus on $z \sim 1$ indicating rapid change of the star formation history. We have already carried out the Subaru imaging observations of the COSMOS field. Around 3000 [OII] emitters at $z=1.2$ were obtained by using a narrowband filter NB816. We investigated the environmental effects on the star-formation activity in galaxies at $z=1.2$ and found that the star-formation is active in the high-density region at $z=1.2$, suggesting a different trend from the tendency observed in the local universe where the star formation activity is weaker in higher density regions. In this study, we investigate the relation between the specific star-formation rate (sSFR) and the environment to understand what triggered that difference of the tendency. In order to avoid selection effects, we use both i' -selected ($i' < 24$) and rest-frame K-selected ($K < -22$) samples. These samples are basically regarded as a star formation rate-selected and a mass-selected sample, respectively. We find that the sSFR is almost constant at any galaxy density. This trend is different from that seen in the local universe where the sSFR decreases with increasing galaxy density. We discuss the implication of the obtained results, by focusing on the environmental effects on the galaxy evolution.

1. Introduction

Cosmic Evolution Survey (COSMOS)

2平方度の天域(赤経10時、赤緯-2度)における、HSTなどの宇宙望遠鏡やすばる望遠鏡などの地上望遠鏡による多波長撮像・分光観測プロジェクトで、銀河、銀河団、大規模構造の形成と進化の解明を目的とする。

Motivation

銀河の形成・進化の理解

⇒ いつ、どのような場所で星が生成されてきたのかと深く関連する

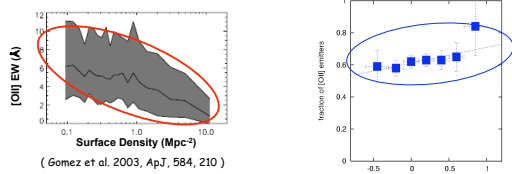
現在分かっていること...

- 星形成率密度(SFRD)は最初の900Myrsで急激に増加し、 $z = 3-1$ でピークをとり、現在に向けて急に減少している (e.g., Madau et al. 1996)
- ⇒ これは宇宙を平均化した場合、少なくとも近傍宇宙における銀河の性質(星形成も含めた)は環境に依存している (e.g., Davis & Geller 1976, Kauffmann et al. 2004)
- ⇒ 宇宙の各時代で星形成が環境にどのように関連しているのかを調べる必要がある

急激な変化が起こっていると考えられる $z \sim 1$ に着目し、2平方度の広い領域を持つCOSMOS field天域において銀河の星形成活動 ([OII] emitter fraction) と環境の依存性を調べた
⇒ $z \sim 1.2$ では $z \sim 0$ とは異なり、高密度領域でも星形成活動が活発であるという結果を得た (詳細は青破線のBOXを参照)
⇒ この違いはどのような原因によって起こっているのか?

⇒ 詳細を探るため、銀河の星質量に対する星形成率の比(sSFR)と環境の関係を調べる
これを調べることによって、環境ごとにどのような進化のフェイズの銀河が存在するのかが分かる

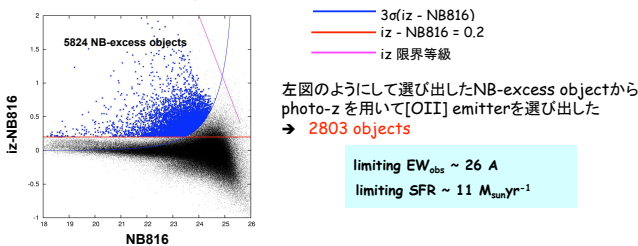
Environmental effect on star formation activity - $z \sim 0$ vs. $z \sim 1$ -



左図は@ $z \sim 0$ 、右図は@ $z \sim 1.2$ のstar formation activityと銀河環境の関係
近傍宇宙では、より低密度領域で星形成が活発になっている一方、遠方宇宙では高密度領域でも星形成が活発である。近傍銀河と遠方銀河では、星形成と環境との関係が異なっている (Ideue et al. 2009, ApJ, 971, 976)

2. Sample

[OII] emitter sample (@ $z=1.17-1.20$)



左図のようにして選り出したNB-excess objectから photo-z を用いて [OII] emitter を選り出した
⇒ 2803 objects

limiting $EW_{obs} \sim 26 \text{ \AA}$
limiting $SFR \sim 11 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$

i' -selected & K_{rest} -selected Photo-z sample (@ $z=1.17-1.20$)

- ⇒ selection effect を避けるために、二つの方法でselectionしたサンプルを用いる
- ⇒ COSMOSのphoto-zカタログ (Ilbert et al. 2009) を用いて $i' < 24$ (\sim SFR limited) の銀河と $K_{rest} < -22$ (\sim Mass limited) の銀河をサンプルとして選り出した (等級はphoto-zの精度を考慮し決定している)

	i' -selected sample	K_{rest} -selected sample
Total	1555	1579
[OII] emitter	966	340
Non-[OII] emitter	589	1239
	UV _{rest} (\sim SFR) selected	K_{rest} (\sim Mass) selected

3. Local galaxy density

それぞれのサンプルにおいて、target天体から3番目に近い天体の距離(r_{3rd})を測定することで、local density (Σ)を求めた。

$$\Sigma = \frac{4}{\pi r_{3rd}^2} [\text{Mpc}^{-2}]$$

4. Specific star formation rate estimate

Stellar Mass (M_*)

SED template fitting を用いて星質量を見積もった

(photometric data は GALEX (FUV) - Spitzer/IRAC (8 μ m) までの30バンドを含んでいる)

Template: Bruzual & Charlot (2003)

- Chabrier (2003) の IMF
- $SFR \propto e^{-t/\tau}$
- Calzetti et al. (2000) の Dust extinction law

を採用している (See Ilbert et al. 2009, arXiv:0903.0102)

Star formation rate (SFR)

Kennicutt 1998のSFRと[OII]光度の間の関係式

$$SFR [M_{\odot} \text{ yr}^{-1}] = 1.4 \times 10^{-41} L([\text{OII}]) [\text{ergs s}^{-1}]$$

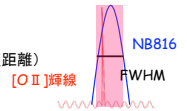
を用いてSFRを見積もった

各天体の[O II] 光度は、下記の補正を行って見積もった

- ・ダストによる吸収の補正 $\rightarrow A_{\text{dust}}=1.0$ & Cardelli et al. 1989のgalactic obscuration curve を採用 (これは $A_V=1.22$, $A_{[\text{OII}]} = 1.87$ に相当)
- ・NB816フィルターの形状によるフラックスの減衰の補正 $\rightarrow 21\%$

$$\Rightarrow [\text{O II}] \text{ フラックスは } f_{\text{cor}}([\text{OII}]) = f([\text{OII}]) \times 10^{0.4A_{\text{dust}}} \times 1.21$$

$$[\text{O II}] \text{ 光度は } L([\text{OII}]) = 4\pi d_l^2 f_{\text{cor}}([\text{OII}]) \quad (d_l \text{ は光度距離})$$



Specific star formation rate (sSFR)

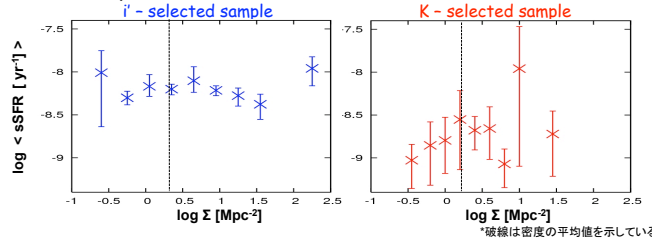
上記で求めた銀河の星質量 (M_*) と SFR を用いて各天体について銀河の進化フェイズの指標となる sSFR を下記の式から見積もった。

$$sSFR = SFR / M_* [\text{yr}^{-1}]$$



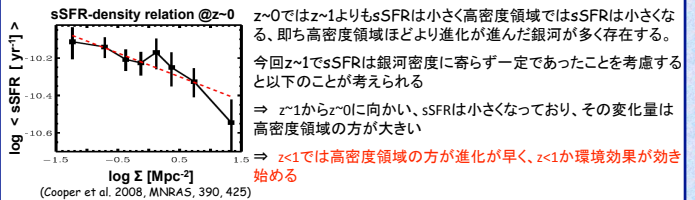
5. Results and Discussion

sSFR-density relation @ $z \sim 1.2$



誤差の大きなピンを除外すれば、両サンプルにおいて低密度側から平均の密度まではsSFRは密度と共に高くなっているように見える。しかし、誤差を考慮すると両サンプルにおけるsSFRは密度に寄らずほぼ一定である。 $z \sim 1$ では銀河の進化のフェイズは環境に依存していないようである。

Comparison with sSFR-density relation @ $z \sim 0$



$z \sim 0$ では $z \sim 1$ よりも sSFR は小さく高密度領域では sSFR は小さくなる、即ち高密度領域ほどより進化が進んだ銀河が多く存在する。今回 $z \sim 1$ で sSFR は銀河密度に寄らず一定であったことを考慮すると以下のことが考えられる

- ⇒ $z \sim 1$ から $z \sim 0$ に向かい、sSFR は小さくなっており、その変化量は高密度領域の方が大きい
- ⇒ $z < 1$ では高密度領域の方が進化が早く、 $z < 1$ が環境効果が効き始める

より詳細に銀河の性質の環境依存性を調べるには、より広い領域でさんぶるを構築し統計精度を上げることが必要。また今回はNB816でサンプルした $z \sim 1.2$ の銀河を用いて議論を行ったが、複数のNBを用いて様々な時代の銀河をサンプルし、銀河の性質の環境依存性の時間進化を見ることが重要 \rightarrow HSC計画 !!

6. Summary

1. COSMOS天域で、 $z \sim 1.2$ においてspecific SFRと銀河環境の関係を調べた
2. $z \sim 1.2$ におけるsSFRは銀河の環境に依存しておらず、高密度領域でsSFRは小さくなるという近傍宇宙とは異なる傾向を示した
3. $z \sim 1$ から $z \sim 0$ に向かい、sSFRは小さくなっており、その変化量は高密度領域の方が大きいことから、 $z < 1$ では高密度領域の方が進化が早く、 $z < 1$ が環境効果が効き始めると考えられる