

# すばる望遠鏡 FMOS による COSMOS 領域の近赤外線分光サーベイ： $z \sim 1.6$ 星形成銀河の $H\alpha$ 輝線に基づく星形成率とダスト減光

柏野 大地 (名古屋大学大学院 理学研究科)

## Abstract

すばる望遠鏡 FMOS を用いて行った、 $z \sim 1.6$  における星形成銀河の近赤外線分光サーベイの成果を発表する。我々の目的は、 $H\alpha$  輝線に基づいた星形成率 (SFR) と星質量 ( $M_*$ ) の関係を定量化することである。星形成銀河については、この 2 つの物理量の間にはタイトな関係があることが多くの先行研究により確認されており、星形成主系列と呼ばれている。星形成率を導くためにはダスト減光を補正する必要がある。これは、同じく FMOS で観測した  $H\beta$  と  $H\alpha$  の比 (Balmer decrement) を使って精度よく求めることができる。しかし、 $H\beta$  は弱く、個々のオブジェクトに対しては有意な検出がほとんど得られないため、星質量でビン分けしてスペクトルをスタックすることで、平均的な  $A_{H\alpha}-M_*$  関係を求め、これが低赤方偏移の SDSS 星形成銀河と非常によく似ていることを明らかにした。我々は、この関係を用いてダスト補正を行い、約 200 のスペクトルから先行研究とコンシステントな  $SFR-M_*$  関係を求めた。この研究はこれまで難しかった近赤外線分光観測を行い、ダスト減光の補正から星形成の導出までを FMOS で求めた  $H\alpha$  輝線フラックスに基づいて行った初めての研究である。

## 1 Introduction

観測技術の発展により、我々は膨大な銀河のデータを構築し、また宇宙誕生後数億年後といった非常に遠方の銀河を観測することも可能になり、宇宙の歴史の全貌が徐々に明らかになってきた。例えば、星形成活動は  $z \sim 1-3$  でピークを迎え、現在に至るまで徐々に衰退してきていることが観測により明らかになっている (Hopkins & Beacon 2006)。銀河進化研究のこれからのステップとして、星形成活動と銀河との性質の関係を紐解くことが重要な課題となっている。特に、星質量 ( $M_*$ ) と星形成率 (SFR) をあらゆる赤方偏移で定量化することは、銀河の進化と形成にとって重要である。多くの先行研究により、星形成銀河に対しては、この 2 つの物理量の間にはタイトな関係があり (星形成主系列と呼ばれる)、赤方偏移とともに進化していることが明らかになっている (例えば、Elbaz et al. 2007; Daddi et al. 2007; Noeske et al. 2007; Pannella et al. 2009; Karim et al. 2011; Rodighiero et al. 2011; Zahid et al. 2012 など)。しかし、現段階では用いる星形成指標やサンプルにより結果が微妙に異なる。そのため、本質的

な星形成主系列を明らかにするためにも、指標の影響や互いの関係を明らかにするためにも、異なる指標やサンプルで  $SFR-M_*$  関係を求めし、それらを比較することが重要である。

$H\alpha$  輝線の光度は星形成率の指標として良く理解されており、もっとも精度の良い指標の一つである。しかし上記の  $z \sim 1-3$  という、星形成史のなかで非常に興味深い時代に対しては、近赤外領域に赤方偏移してしまう。近赤外線分光観測は技術的に難しいため、これまでは、精度の低い星形成指標を使わざるを得なかった。しかし、すばる望遠鏡 FMOS (Fiber Multi Object Spectrograph; Kimura et al. 2010) の本格稼働により、近赤外線分光観測が可能になり、 $1.4 \lesssim z \lesssim 1.7$  の銀河に対して  $H\alpha$  輝線を観測することが可能になった。

## 2 Observations

我々は COSMOS 領域内の星形成銀河 (BzK-selected) で  $1.4 \lesssim z_{\text{phot}} \lesssim 1.7$ ,  $M_* \geq 10^{10} M_\odot$ ,  $K_s < 23$  のものをサンプルとして抽出した。サンプル銀河は静止系紫外線光度にもとづく星形成率が

わかっている。これらの条件を満たす銀河を FMOS の高分散モード ( $R \sim 2600$ ) で観測した。観測期間は 2012 年 3 月, 12 月および 2013 年 1 月である。まず  $H\alpha$  が観測できる  $H$  バンドでの観測を行い、 $H\alpha$  が検出されたものに対して優先的に  $J$  バンド ( $H\beta$ ,  $[OIII]$  が受かる) で観測を行った。全てのデータリダクションは FIBRE-pac (FMOS Image Based Reducing package; Iwamuro et al. 2012) を用いて行った。

### 3 Spectral analysis

個々のスペクトルに対し spec- $z$ , 輝線のフラックス、輝線幅を測定するために輝線フィッティングを行った。地上からの近赤外分光観測の最大の障害として、大気から放射される OH 夜光輝線の存在がある。フィッティングに際しては、まず夜光により影響を受ける波長領域を取り除かなければならない。さらに、連続成分を線形フィットにより取り除き、輝線のフィッティングを行う。 $H$  バンドのフィッティング関数は、 $H\alpha$  と  $[NII]\lambda\lambda 6583, 6548$  に対する 3 つのガウス関数から構成される。フィッティングはノイズにより重みを付けて行った。

またファイバー観測特有の問題として、ファイバーの開口面積に入りきらない光を補正する必要がある。FMOS のファイバーの直径は 1.2 秒角に相当する。ファイバーロス観測時のシーイングにも強く依存する。我々はハッブル宇宙望遠鏡 ACS  $I$ -バンド (F814W) の撮像イメージを用いて、これを観測時のシーイングでばかして、ファイバーロスの見積もりを行った。我々の観測に対する補正係数は 1.2 から 5 程度と広がりをもち、平均的には 2 程度であることがわかった。

また、我々は  $H$  バンドと  $J$  バンドの両方で観測したオブジェクトについて、それらのスペクトルを星質量で 3 つのビンに分けて、それぞれのビンで、スペクトルを静止波長系になおし、スタックした。これにより、 $z \sim 1.6$  の星形成銀河の平均的な  $H\alpha$  と  $H\beta$  輝線の比を求めて、そこから  $H\alpha$  輝線に影響するダスト減光を星質量の関数として見積もった。

## 4 Results

**すべての結果は集録提出時には preliminary であるため、具体的な数値や図などは公開できません。**

スタッキングにより、星質量 ( $M_*$ ) と  $H\alpha$  輝線に効くダスト減光 ( $A_{H\alpha}$ ) の関係を求めた。我々は、この関係が、低赤方偏移 ( $z \sim 0.1$ ) の SDSS 星形成銀河の関係と非常によく似ていることを発見した。すなわち、これは  $A_{H\alpha}-M_*$  関係があまり進化をしていないということを示している。我々は、スタッキングにより求めた  $A_{H\alpha}-M_*$  関係を用いて、FMOS で測定した  $H\alpha$  フラックスを減光補正して、SFR と星質量の関係を求めた。我々が  $H\alpha$  輝線光度に基づいて求めた  $z \sim 1.6$  の星形成主系列は、その絶対値や傾きなどのファクターが、同時代の他の星形成指標に基づくものとコンシステントであることがわかった。また、他の赤方偏移と比べても、自然な進化を示している。

さらに、測光観測により求められている、紫外線光度に基づく星形成率と、本観測で求めた  $H\alpha$  に基づく星形成率を比較したところ、両者は良い一致を示した。これは、我々の測定値が妥当であるということだけでなく、 $H\alpha$  と紫外線光度が共に、信頼できる星形成率の指標であることを示している。また、測光観測による色超過  $E(B-V)$  と我々の求めた  $A_{H\alpha}-M_*$  関係の比較も行った。これにより、近傍銀河の観測によりよく知られた、星からの連続光放射に対する減光と、輝線放射に対する減光の関係 ( $E_{\text{line}}(B-V) = E_{\text{star}}(B-V)/0.44$ ; Calzetti et al. 2000) は、 $z \sim 1.6$  の星形成銀河に対しては修正をしなくてはならないことを示す一つの証拠が得られた (具体的には、0.44 よりも  $\sim 0.7-0.8$  程度の係数が良いことが示された)。

## 5 Summary

現時点では、信頼度の高い  $H\alpha$  の検出数が不十分であり、スタッキングもわずかに 3 つの星質量ビンのみで行っているため、 $A_{H\alpha}-M_*$  関係には大きな不定性がある。ダスト減光はこの関係を用いて行うため、この不定性は星形成主系列や、Section 3 で主張している色超過の変換関係にも影響する。今後の観測に

より、より精密な議論ができることが期待できる。この結果はこれまで困難であった近赤外での H $\alpha$  輝線観測に基づくものであり、Balmer decrement を直接測定してダスト減光を行った重要な成果である。

## Acknowledgement

我々は FMOS 観測の技術的な問題について多大なサポートして下さった、青木賢太郎さん（国立天文台ハワイ観測所）、岩室史英さん（京都大学）はじめ、現地スタッフやすばる望遠鏡関係者の方々に深く感謝します。また、私は本研究の遂行に当たって竹内努さん（名古屋大学）、矢部清人さん、松岡健太さん、中島王彦さんはじめ多くの方々から大変有益な意見やアドバイスを頂きました。

## Reference

- Calzetti, D., et al. 2000, ApJ, 533, 682  
Daddi, E., et al. 2007, ApJ, 670, 156  
Elbaz, D., et al. 2007, A&A, 468, 33  
Hopkins, A. M. and Beacom, J. F. 2006, ApJ, 651, 142  
Iwamuro, F., et al. 2012, PASJ, 64, 59  
Karim, A., et al. 2011, ApJ, 730, 61  
Kimura, M., et al. 2010, PASJ, 62, 1135  
Noeske, K. G., et al. 2007, ApJ, 660, L43  
Pannella, M., et al. 2009, ApJ, 698, L116  
Rodighiero, G., et al. 2011, ApJ, 739, L40  
Zahid, H. J., et al., 2012, ApJ, 757, 54