

赤方偏移 $z \sim 0.7 - 0.8$ のバースト的な星形成をする銀河の スペクトル解析

工野 瑞季 (愛媛大学大学院 理工学研究科)

Abstract

我々の研究室では、COSMOS サーベイの中帯域フィルターを用いて、 $0.2 < z < 1.0$ の銀河の中から、急に星形成が止まった銀河 (post-starburst) や、古い星ばかりだったところに急に星形成が起きた銀河 (old+burst) の探査を行ってきた。これまでの研究から、これらのバースト的な星形成をする銀河の割合は、 $z \sim 1$ へ時間を遡るにつれて次第に高くなることが分かってきた。

本研究では、このようなバースト的に星形成をする銀河の星形成の詳細やガスの金属量を調べるために、 z COSMOS サーベイ (観測波長: 約 5500 – 9700Å) による分光データを使用しスペクトル解析を行い、輝線や吸収線の等価幅や異なる輝線のフラックス比を、赤くて古い星からなる銀河 (passive) や、連続的に星形成を行っている銀河 (continuous Star Formation) と比較した。これらのスペクトルの解析から、old+burst 銀河の [O II] $\lambda 3727$ や [O III] $\lambda 5007$ の輝線の等価幅が continuous SF 銀河よりも大きいこと、また post-starburst 銀河は passive 銀河と比べ、パルマー吸収線が顕著に強いことが分かった。これらの結果は、old+burst 銀河において活発な星形成が起きていること、post-starburst 銀河はスペクトルにおける A 型星の寄与が大きく、星形成が止まってから間もないことを示唆しており、中帯域フィルターを用いることによって、確かにバースト的な星形成をする銀河を選び出せていることを確認できた。

1 Introduction

個々の銀河で、いつ、どのくらい、どのような星が生まれたかといった星形成史は、その銀河の進化を理解するための重要な情報である。一般的に、個々の銀河の星形成史は τ モデルで近似されるが、階層的構造形成モデルにおいて、バースト的な星形成を短い時間スケールで引き起こしながら現在に至った可能性が十分に考えられる。銀河の SED から、観測された時点での星形成については比較的详细に分かるが、それよりずっと昔の詳細を知ることは難しい。しかし、遠方の銀河を直接観測することで、広い時代に渡って星形成の詳細を調べることができる。

そこで我々の研究室では、COSMOS サーベイの中帯域フィルターのデータ (Scoville et al. 2007) を用いて、 $0.2 < z < 1.0$ の銀河の中から急に星形成が止まった銀河 (post-starburst) や、古い星ばかりだったところに急に星形成が起きた銀河 (old+burst) の測光解析を行った (落合, 2013)。静止波長 $\sim 3400\text{\AA}$ と $\sim 4200\text{\AA}$ に相当する測光値の色 (短波長側のカラー)

を縦軸にとり、静止系波長 $\sim 4200\text{\AA}$ と $\sim 5200\text{\AA}$ に相当する測光値の色 (長波長側のカラー) を横軸にとった 2 色図を解析に用いた。それぞれの星形成史をもつモデルが 2 色図上でどのように振る舞うかを調べた。図 1(左) は、 $z = 0.37$ 、金属量 $Z = Z_{\odot}$ の場合の、さまざまな星形成史をもつモデルの 2 色図上での振る舞いを示す。

これを見ると、 $0 \lesssim m_{4200} - m_{5200} \lesssim 0.7$ で、3 Gyr 星形成を続けた後、星形成が急に止まったものは、 $\tau = 1$ Gyr モデルよりも $m_{3400} - m_{4200}$ のカラーが赤い方にずれる。同様に、 $\tau = 1$ Gyr のモデルが 5 Gyr でバーストを起こしたものは、 $\tau = 1$ Gyr モデルよりも $m_{3400} - m_{4200}$ のカラーが青い方にずれる。

このことを利用して、バースト的な星形成をする銀河を 2 色図上で切り分けを行った (図 1(右))。old+burst 銀河を切り分ける境界としては、2 色図上における、 $SFR = \text{一定}$ のモデルの $t = 1 - 15$ Gyr のプロットを近似した直線を用いた。一方、post-starburst 銀河の境界は、3 Gyr の single burst モデルにおいて、バーストが止まってから 50 Myr と 500

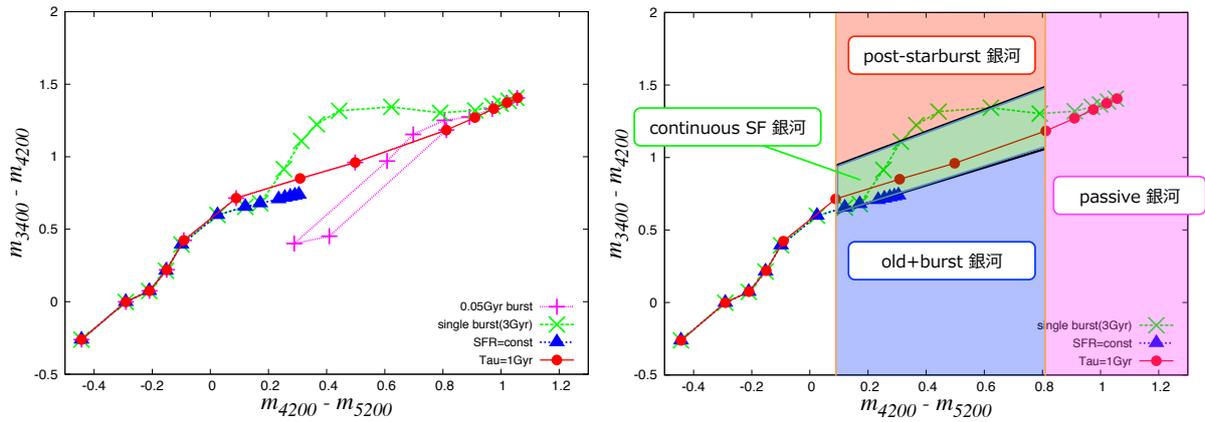


図 1: (左) $z = 0.37$ 、金属量 $Z = Z_{\odot}$ の場合のさまざまな星形成史をもつモデルの 2 色図上での振る舞い。モデルトラックは、 $t = 0.001, 0.01, 0.03, 0.1, 0.3, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9$ Gyr の点をプロットし、各点の間を直線で結んだ。single burst モデルと 0.05 Gyr burst モデルに関しては、それぞれバーストを起こした時期から、0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1 Gyr 経過した年齢のものも加えた。(右) 各銀河種族の 2 色図上での切り分け。左の図と同じ条件で点をプロットしている。

Myr 経った時点でのモデル点を通る直線を採用した。また、2 色図上で右端に位置する天体を passive 銀河とした。そして、赤方偏移ごとにバースト的な星形成をする銀河の割合を調べた結果、 $z \sim 1$ に近づくにつれ、これらの銀河の割合が高くなることが分かった。(図 2)

そこで、今回はこのようなバースト的な星形成をする銀河の星形成の詳細やガスの金属量を調べるために、zCOSMOS サーベイ (観測波長: 約 5500 – 9700 Å) による分光データ (Lilly et al. 2007; Lilly et al. 2009) を用いて、スペクトル解析を行った。

2 Data and Methods

研究対象は、COSMOS の photo-z カタログ (Ilbert et al. 2009) から選び出した、赤方偏移 $0.2 < z < 1.0$ 、絶対等級 $M_V < -20$ の銀河サンプルである。そこから、すばる望遠鏡の Suprim-Cam の中帯域フィルターのデータを使い、バースト的な星形成をする銀河を選び出した。選出の際は、 $0.2 < z < 1.0$ のなかで特定の赤方偏移範囲の天体を使っており、その中でも、調べたい輝線や吸収線がある静止系波長 3500 – 5100 Å をカバーする、 $0.66 < z < 0.71$, $0.80 < z < 0.85$ の天体を解析に用いている。

分光データは、zCOSMOS サーベイ (観測波長: 約 5500 – 9700 Å) を用いた。まず、 $z \sim 0.66 - 0.85$ の各種族の銀河の中から、赤経・赤緯が zCOSMOS の分光カタログの天体と 1 秒角以内で一致するものを選んだ。次に、分光赤方偏移が測光赤方偏移と大きく異なる天体を除いた。最終的な各銀河種族の天体数は、passive 銀河 303 個、continuousSF 銀河 692 個、post-starburst 銀河 22 個、old+burst 銀河 90 個となった。ただ、個々の銀河のスペクトルは誤差が大きく、輝線や吸収線が分かりづらい。そのため、S/N 比を上げるために、スペクトルの平均をとった。その結果、それぞれの銀河種族のスペクトルは図 3 のようになった。

それぞれの銀河種族のスペクトルを、IRAF の SPECIFIT を用いて fitting を行い、輝線や吸収線の等価幅を求めた。

3 Results and Discussion

表 1 に、old+burst 銀河と continuous SF 銀河に対する、[Ne III], [O II], $H\beta$, [O III] の輝線の等価幅を示した。これより、old+burst 銀河は continuous SF に比べ、[Ne III] が 4 倍、[O II] と $H\beta$ が 2.5 倍、[O III] が 5.5 倍、等価幅が大きいことがわかる。こ

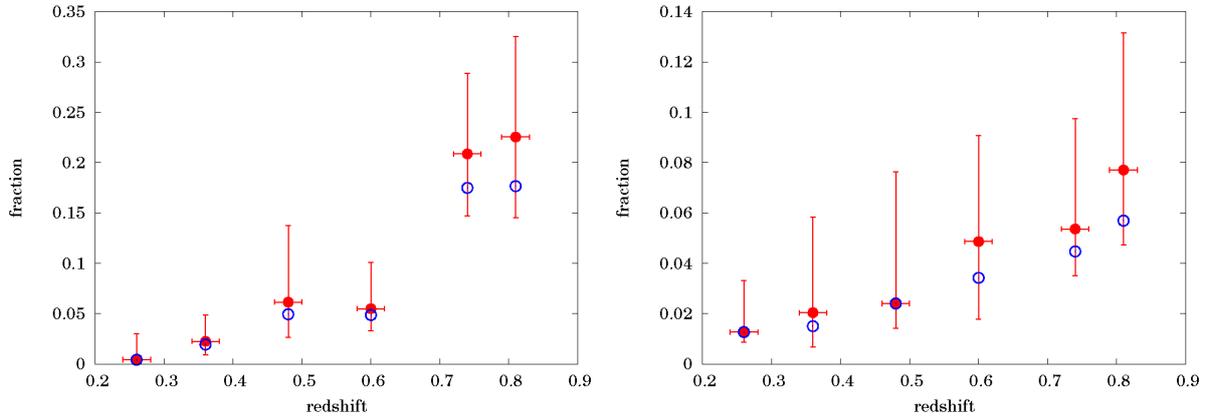


図 2: $z \lesssim 1$ における、old+burst 銀河の割合の進化 (左) と、post-starburst 銀河の割合の進化 (右)。それぞれの図で、赤のシンボルは、選出した銀河の割合で、青のシンボルは、各赤方偏移での測光誤差の 1σ だけ条件を厳しくした結果。

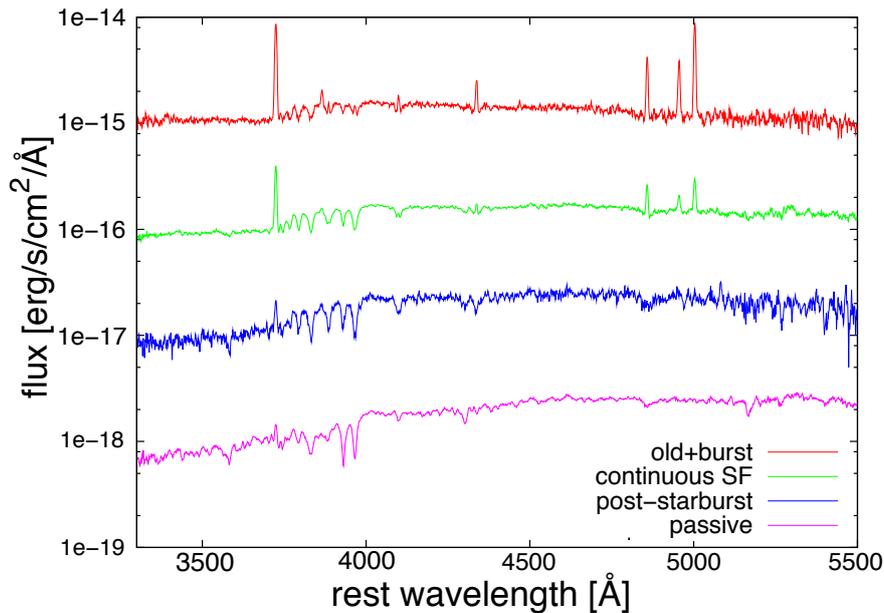


図 3: それぞれの銀河種族のスペクトルを足し合わせたもの。縦軸を passive 銀河を基準にして 1 桁ずつずらして表示した。

のことから、old+burst 銀河では活発な星形成が起きていることが示唆される。また、 $H\beta$ の等価幅に対して、 $[O II]$ と $[O III]\lambda 5007$ の値が大きいことが分かる。このことから、old+burst 銀河は、ガスの金属量が低いことが示唆される。

表 2 に、すべての銀河種族に対する、 $Ca II$ 線、 $H\epsilon$ 、 $H\delta$ の吸収線の等価幅を示した。post-starburst 銀河

と passive 銀河について議論する。post-starburst 銀河は passive 銀河に比べ、 $H\epsilon$ と $Ca II H$ 線の吸収線の等価幅が、 $Ca II K$ 線よりも大きく、 $H\delta$ の吸収線の等価幅が 3 倍大きくなっている。このことから、post-starburst 銀河は、寿命の短い O,B 型星が死に、次に寿命の長い A 型星が支配的であることが確認できた。

表 1: old+burst 銀河と continuous SF 銀河の輝線の等価幅

輝線	old+burst [\AA]	continuous SF [\AA]
[Ne III] λ 3869	2.86 ± 0.09	0.73 ± 0.06
[O II] λ 3727	49.14 ± 0.37	20.54 ± 0.28
H β (4861 \AA)	14.49 ± 0.25	5.87 ± 0.24
[O III] λ 4959	14.50 ± 0.06	2.61 ± 0.01
[O III] λ 5007	44.53 ± 0.39	7.93 ± 0.14

表 2: 全銀河種族の吸収線の等価幅

吸収線	post-starburst [\AA]	passive [\AA]	old+burst [\AA]	continuous SF [\AA]
CaII K 線 (3933 \AA)	5.47 ± 0.25	11.36 ± 0.19	1.52 ± 0.05	3.62 ± 0.11
He+CaII H 線 (3970 \AA)	10.59 ± 0.28	11.21 ± 0.76	5.45 ± 1.22	7.50 ± 0.10
H δ (4102 \AA)	5.65 ± 0.29	1.84 ± 0.18	4.86 ± 0.36	5.48 ± 0.30

4 Conclusion

バースト的な星形成をする銀河の星形成の詳細やガスの金属量を調べるために、zCOSMOS サーベイ (観測波長: 約 5500 – 9700 \AA) による分光データを用いて、スペクトル解析を行い、輝線や吸収線の等価幅を求めた。old+burst 銀河は continuous SF に比べ、全ての輝線において等価幅が大きくなっていくことから、old+burst 銀河では活発な星形成が起こっていることが分かった。また、H β に対し、[O II] と [O III] λ 5007 の値が大きいことから、old+burst 銀河は、ガスの金属量が低いことが示唆される。また、post-starburst 銀河は passive 銀河に比べ、He と CaII H 線の吸収線の等価幅が、CaII K 線よりも大きく、H δ の等価幅が 3 倍大きくなっていることから、post-starburst 銀河は、星形成が止まってから間もないことが示唆される。

以上のことから、中帯域フィルターを用いて測光解析を行うことによって、確かにバースト的な星形成をする銀河を選び出せていることを確認できた。

Acknowledgement

基礎物理学研究所 (研究会番号: YITP-W-15-04) 及び国立天文台からのご支援に感謝いたします。

Reference

- Ilbert, O., Capak, P., Salvato, M., et al. 2009, ApJ, 690, 1236
- Lilly, S. J., Le Fèvre, O., Renzini, A., et al. 2007, ApJS, 172, 70
- Lilly, S. J., Le Brun, V., Maier, C., et al. 2009, ApJS, 184, 218
- Scoville, N., Aussel, H., Brusa, M., et al. 2007, ApJS, 172, 1
- 落合未奈美 2013, 赤方偏移 $z < 1$ におけるバースト的な星形成史をもつ銀河についての研究 愛媛大学大学院理工学研究科修士論文 (未公開)