

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：16301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23740152

研究課題名(和文) 銀河進化の激動期における銀河の星質量成長過程の解明

研究課題名(英文) Stellar mass growth of galaxies at $z=1-3$

研究代表者

鍛冶澤 賢 (KAJISAWA, Masaru)

愛媛大学・理工学研究科・助教

研究者番号：60535334

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：すばる望遠鏡を用いて、宇宙の中で星の総質量が急速に増加した赤方偏移 1 - 3 の時代において、銀河の星質量分布の進化と、各星質量を持つ銀河の星形成率を調べることで、銀河の星質量成長がどのように進化したのか、またそれは銀河の環境とどのような関係にあるかを研究した。

その結果、この時代では星質量が大きい星形成銀河ほどすぐに星形成活動が抑制されたことが示唆された。また、赤方偏移 1 の時代では、環境は大質量銀河における星形成銀河の割合に主に影響を与えていること、赤方偏移 2.4 の原始銀河団においてすでに星形成を終えている大質量銀河が存在する可能性があることなどがわかった。

研究成果の概要(英文)：Using the Subaru telescope, we investigated the evolution of the stellar mass function and the star formation rate as a function of stellar mass at $1 < z < 3$, when the stellar mass density in the universe rapidly increased, in order to study how the stellar mass growth of galaxies proceeded and how it depends on environment.

Our results suggest that more massive star-forming galaxies at that time should halt their star formation more immediately and they evolve into passive galaxies. We also found that the environment mainly affects the fraction of star-forming galaxies in massive galaxy population at $z \sim 1$ and does not affect the star formation rate of star-forming galaxies, and that massive passive galaxies already exist in a protocluster selected by the overdensity of Lyman alpha emitters at $z \sim 2.4$.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：光赤外線天文学 銀河天文学 銀河形成 銀河進化

1. 研究開始当初の背景

過去10年以上に渡るハッブル宇宙望遠鏡や口径8m級の地上望遠鏡による可視・近赤外線波長域における銀河サーベイ観測により、宇宙における星の総質量は赤方偏移が3から1までの約40億年の間に現在の10%程度から70%程度まで急速に増加したことが分かってきていた。赤方偏移1から現在までの約80億年間の宇宙の星質量密度の増加は比較的ゆるやかであり、また赤方偏移1における銀河の形態等の物理的性質は現在とそれほど大きく異なっていないため、現在の銀河の大枠が形成されたのは急速な星質量の増加が起こった赤方偏移1-3の時代であると考えられる。したがって、この時代に銀河がどのように星を形成し、成長したのかを明らかにすることが、どのようにして現在の宇宙で見られる多様な銀河が作られたのかを理解する上で非常に重要になっていった。

2. 研究の目的

本研究の目的は赤方偏移1-3の時代に、銀河の星質量成長がどのようにして起きたのかを解明することにある。そのために、各星質量を持つ銀河がどれくらいの数存在するかを表す銀河の星質量関数の進化を幅広い星質量に渡って調べる。また同時に各星質量の銀河がどれだけ活発に星形成を起こしているかを測定することで、星形成活動による星質量成長を見積もり、そこから期待される星質量分布の進化を推定する。それを実際の星質量関数の進化と比較することで、銀河の合体・降着の効果についての手がかりをつかむことを目指す。また、銀河の物理的性質は環境に強く依存することが知られているので、銀河の星質量成長が環境によってどのように異なるかを調べることも重要である。そのために、非常に広いサーベイデータを用いて、銀河の星質量分布、各星質量を持つ銀河の星形成活動を銀河の環境別に調査する。また、高赤方偏移宇宙において最も高密度な環境である原始銀河団を探索し、その環境に属する銀河の性質を調べる。

3. 研究の方法

赤方偏移1-3の時代に銀河の星質量分布がどのように進化したのかを明らかにするために、すばる望遠鏡および近赤外線カメラ MOIRCS を用いて行った超長時間観測 MOIRCS Deep Survey のデータを用いて、 10^9 太陽質量の銀河までを網羅した星質量選択サンプルについて、各銀河の星形成率を静止系紫外線光度および赤外線光度から求める。次にその星形成率から期待される星質量成長を計算し、銀河の星質量分布が星形成によってどのように進化するかを推定し、実際に観測された星質量関数の進化と比較を行う。

銀河の成長の環境依存性を調べるために、

2平方度という非常に広い視野に渡る COSMOS サーベイの観測データを用いて、銀河の星質量および星形成率を環境別に調べる。星形成活動の指標としては、すばる望遠鏡主焦点カメラおよび狭帯域フィルターによる観測データを用いた [OIII] 輝線探索に加えて、すばる望遠鏡およびファイバー多天体近赤外線分光装置 FMOS を用いて、赤方偏移1-2の銀河の H 輝線の測定を行う。また、低質量の星形成銀河であるライマン輝線銀河の密度超過が見られる高赤方偏移の原始銀河団領域において、すばる望遠鏡および MOIRCS を用いた近赤外線撮像観測を行い、より星質量の大きい銀河を探索し、それらの星形成活動を調べることで、高密度環境における銀河の星質量成長について調べる。

4. 研究成果

MOIRCS Deep Survey の星質量選択サンプルを使って、まず星形成銀河と星形成がすでに止まった passive 銀河のサンプルに分けて星質量関数の進化を調べたところ、星形成銀河が時間とともにわずかに数密度が増加する程度のゆるやかな進化なのに対して、passive 銀河の数は赤方偏移1-3の時代に急速に増加したことがわかった。また、星質量関数の形が星形成銀河と passive 銀河で異なり、星質量が大きいほど passive 銀河の割合が高い傾向があった。各星形成銀河の星形成率を静止系紫外線光度と赤外線光度から見積もり、星形成による星質量成長を予測してみると、明らかに 10^{11} 太陽質量を超える大質量銀河が過剰にできてしまうということがわかった。このことから、実際には星質量が大きくなった星形成銀河ほどすぐに星形成が止まり、それ以上星質量が成長しなくなっていることが示唆される。これは星質量が比較的大きい passive 銀河の数が急速に増加している結果とも合致している。星質量が大きくなった銀河では星形成の抑制機構が非常に重要な役割を果たしていると考えられる。この結果を国際研究会で発表した。

銀河の星質量成長の環境依存性を見るために、COSMOS サーベイのデータを用いて、赤方偏移が1の時代の銀河サンプルの中で、星形成銀河である [OIII] 輝線銀河の割合が星質量と環境にどのように依存しているかを調べた。その結果、どの環境においても星質量が大きくなるにつれ、星形成銀河の割合が減少する傾向が見られたが、特に大質量銀河における星形成銀河の割合が高密度環境ほど高くなる環境依存性が見られた。低質量銀河では特に環境依存性は見られなかった。一方、星形成銀河の星形成率を見ると、同じ星質量を持つ星形成銀河同士では星形成率に環境依存性は見られなかった。つまり、環境は大質量銀河における星形成銀河の割合に強く影響を与えているが、星形成銀河の星形成率の値自体は環境に依存しないという興味深

い結果が得られた。また、これらの環境の影響をより詳細に調べてみると、80kpc 以内の近傍に他の銀河が存在している大質量銀河において、星形成銀河の割合が高くなる効果が働いていることがわかった。このことは、銀河同士の相互作用によって、大質量銀河の星形成が引き起こされるが、その星形成の規模自体は銀河の星質量ごとにおおよそ決まっていることを示唆している。この結果を研究論文として出版した。また、同じ COSMOS 領域において、すばる望遠鏡および FMOS を用いたサーベイ観測を共同研究の枠組みで行い、赤方偏移 1 - 2 の星形成銀河の静止系可視域の輝線の測定からこれらの銀河の星形成率の高精度測定を行った。また、H 輝線がどの程度ダスト吸収の効果を受けているかを輝線比を使って調べた。この結果も研究論文として出版した。

ライマン 輝線銀河が 5 Mpc にわたる高密度構造を示している赤方偏移 2.4 の 53W002 原始銀河団において、すばる望遠鏡および MOIRCS を用いた近赤外線撮像観測を行い、大質量銀河を探索した。JHKs カラーを用いて赤方偏移 2.4 の銀河候補を選び出したところ、これらの大質量銀河候補はライマン 輝線銀河の高密度構造に沿って分布しており、さらに一般領域と比べて有意な数密度超過を示した。また、これらの銀河のスペクトルエネルギー分布を調べてみると、大質量銀河のうちのかなりの割合がすでに星形成活動が止まった passive 銀河である可能性が高いことがわかった。これらの結果は、高赤方偏移の高密度環境においては、銀河団としての構造がまだ完成していない段階で、活発に星形成を行い成長中である銀河に加えて、すでに星形成を終えた大質量銀河が存在していることが示唆された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 14 件)

以下査読有り

“Evolution of the Fraction of Clumpy Galaxies at $0.2 < z < 1.0$ in the COSMOS field”, Murata, K., Kajisawa, M., et al. (他 8 名), 2014, The Astrophysical Journal, 786, 15

“The Evolution of Galaxy Size and Morphology at $z=0.5-3.0$ in the GOODS-N Region with Hubble Space Telescope/WFC3 Data”, Morishita, T., Ichikawa, T., Kajisawa, M., 2014, The Astrophysical Journal, 785, 18

“Subaru Weak-lensing Survey of Dark Matter Subhalos in the Coma Cluster: Subhalo Mass Function and Statistical Properties”, Okabe, N., Futamase, T., Kajisawa, M., Kuroshima, R., 2014, The

Astrophysical Journal, 784, 90

“The Formation of the Massive Galaxies in the SSA22 $z=3.1$ Protocluster”, Kumo, M., Uchimoto, Y. K., Yamada, T., Kajisawa, M., et al. (他 14 名), 2013, The Astrophysical Journal, 778, 170

“The FMOS-COSMOS survey of star-forming galaxies at $z=1.6$. I. H α -based star formation rates and dust extinction”, Kashino, D., et al. (他 28 名, 18 番目), 2013, The Astrophysical Journal Letters, 777, L8

“Evolution of Galaxies and Their Environments at $z=0.1-3$ in COSMOS”, Scoville, N., et al. (他 45 名, 20 番目), 2013, The Astrophysical Journal Supplement, 206, 3

“Environmental Effects on the Star Formation Activity at $z=0.9$ in the COSMOS Field”, Kajisawa, M., et al. (他 8 名), 2013, The Astrophysical Journal, 768, 51

“Ionization Source of a Minor-axis Cloud in the Outer Halo of M82”, Matsubayashi, K., et al. (他 10 名, 9 番目), 2012, The Astrophysical Journal, 761, 55

“Constraints on the faint end of the quasar luminosity function at $z\sim 5$ in the COSMOS field”, Ikeda, H., Nagao, T., Matsuoka, K., Taniguchi, Y., Shioya, Y., Kajisawa, M., et al. (他 9 名), 2012, The Astrophysical Journal, 756, 180

“Post-starburst Tidal Tails in the Archetypical Ultra Luminous Infrared Galaxy Arp 220”, Taniguchi, Y., Matsubayashi, K., Kajisawa, M., et al. (他 6 名), 2012, The Astrophysical Journal, 753, 78

“A universal stellar mass and size relation of galaxies in GOODS-N region”, Ichikawa, T., Kajisawa, M., Akhlaghi, M., 2012, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 422, 1014-1027

“Assembly of Massive Galaxies in a High- z Protocluster”, Uchimoto, Y. K., Yamada, T., Kajisawa, M., et al. (他 12 名), 2012, The Astrophysical Journal, 750, 116

“The Role of Galaxy Interaction in Environmental Dependence of the Star Formation Activity at $z\sim 1.2$ ”, Ideue, Y., Taniguchi, Y., Nagao, T., Shioya, Y., Kajisawa, M., et al. (他 7 名), 2012, The Astrophysical Journal, 747, 42

“Intrinsic Shape of Star-Forming BzK Galaxies at $z\sim 2$ in GOODS-N”, Yuma, S.,

Ohta, K., Yabe, K., Kajisawa, M.,
Ichikawa, T., 2011, The Astrophysical
Journal, 736, 92

[学会発表](計7件)

Masaru Kajisawa, “Evolution of
galaxies with episodic star formation at
 $0.2 < z < 0.8$ in COSMOS”, in 2013
COSMOS Team Meeting, 2013/5/20-24
京都大学

鍛冶澤 賢, “銀河の SED の進化・分化と
円盤銀河形成”, 円盤銀河の形成と進化
研究会, 2013/9/26-28 国立天文台三鷹

Masaru Kajisawa, “Stellar Mass
Growth of Galaxies since $z \sim 3$ in
MOIRCS Deep Survey”, in IAP-Subaru
Joint International Conference “Stellar
Populations across Cosmic Times”,
2012/6/25-29 Paris, France

Yu Aida, “Searching for NIR-selected
massive galaxies in a protocluster
selected by LAEs at $z=2.39$ ”, in
Supermassive Black Holes in the
Universe: The Era of the HSC Surveys,
2012/12/18-20 愛媛大学

相田優, “53W002 領域の $z=2.4$ 原始銀河
団における大質量銀河探査”, 日本天文
学会 2013 年春季年会, 2013/3/20-23 埼
玉大学

Masaru Kajisawa, “Evolution of Galaxy
Stellar Mass Function since $z \sim 3$ ”, in
International Conference “Galaxy
Formation”, 2011/7/20 Durham
University, UK

落合未奈美, “赤方偏移 $z < 1$ におけるバ
ースト的な星生成銀河の進化”, 日本天文
学会 2012 年春季年会, 2012/3/21, 龍谷
大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鍛冶澤 賢 (KAJISAWA Masaru)

愛媛大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：6 0 5 3 5 3 3 4