

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03924

研究課題名(和文) 原始銀河団の系統的探査に基づく銀河団銀河の進化の研究

研究課題名(英文) The evolution of cluster member galaxies based on a systematic search of proto-clusters

研究代表者

嶋作 一大 (Shimasaku, Kazuhiro)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・准教授

研究者番号：00251405

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：現在の宇宙では、宇宙の平均的な領域にある銀河(銀河系など)は星形成を行なっているが、銀河の大きな集団である銀河団に属している銀河は星形成をしていない。銀河団の銀河がいつどんな原因で星形成をやめたのかは、銀河の進化を理解する上で大きな問題である。本研究は、約20-60億歳という若い宇宙において銀河団(原始銀河団)を多数発見し、中の銀河の性質を調べたものである。その結果、星形成をやめた銀河は約20-40億歳という若い原始銀河団に既に出現していること、重い銀河ほど星形成をやめた比率が高いことなどを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義を2点挙げる。1. これまでの原始銀河団の研究の多くは曖昧な定義に基づいて探査された原始銀河団を用いていたため、得られた結果の普遍性に問題があった。またそもそも原始銀河団の数も十分ではなかった。それに対して本研究は、定量的かつ客観的な探査法を開発して、それを広天域の銀河データに適用し、約20億歳という若い宇宙までカバーした、均質かつ大規模な原始銀河団サンプルを作成した。2. 星形成をやめた銀河が約20-40億歳という若い時代に既に存在することを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In the present-day universe, galaxies in clusters are quenched while those in the general field are still forming stars. When and how clusters galaxies are quenched is a key issue to understanding the evolution of galaxies. We apply novel cluster-finding method to wide-field galaxy data to find many proto-clusters and investigate the properties of member galaxies. We find that quenched members are already in place in the universe of 2-4 giga years old and that more massive galaxies are more likely to be quenched.

研究分野：銀河天文学

キーワード：銀河 銀河団

## 1. 研究開始当初の背景

銀河は宇宙空間にばらばらに分布しているのではなく、一部は銀河団と呼ばれる集団に属している。興味深いことに、現在の宇宙では、一般的な領域にある銀河は多くがまだ星形成を行なっているのに対し、銀河団の銀河の大部分は既に星形成を終えてしまっている。星形成という銀河の重要な性質が、銀河団に属しているかどうかで大きく異なっているのである。銀河団の中で銀河がいつどんな原因で星形成をやめたのかを明らかにするには、過去の銀河団、すなわち原始銀河団の観測が必要であるが、本研究を開始した時点では統計的研究に耐えるような均質かつ大規模な原始銀河団のサンプルは存在しなかった。ここでいう均質とは、ある一定の質量より重い銀河団を漏らさず含むようなサンプルを意味する。

## 2. 研究の目的

本研究は、原始銀河団の系統的な探査法を開発して広領域の銀河データに適用し、均質かつ大規模な原始銀河団サンプルを作成し、それを用いて銀河団の形成期（宇宙年齢が約 20-60 億歳の時代）における銀河の性質を調べることである。

## 3. 研究の方法

本研究ではまず原始銀河団の探査法を開発した。原始銀河団の探査法は過去にいくつも提案されているが、それぞれ問題があり、物理的定義が明確で統計的議論に耐え得る原始銀河団サンプルを作ることはできていなかった。本研究では、銀河団の進化の一番単純な側面は自己重力系としての質量増加であることに注目し、ある質量より重い自己重力系を原始銀河団と見なし、それを探査する方法を開発した。詳細は「研究成果」の (1) に述べた。

続いて、開発した方法をさまざまな広視野多波長銀河データに適用して原始銀河団を探査し、メンバー銀河の性質を明らかにした。具体的には、メンバー銀河の質量関数（銀河の質量別の頻度分布）や星形成をやめてしまったメンバー銀河の割合等を調べた。

## 4. 研究成果

(1) 重い銀河の質量や数と原始銀河団の質量に正の相関があることを利用して、重い銀河を指標に原始銀河団を探す方法を開発した。そしてそれをまず COSMOS という約 1.5 平方度の深探査領域に適用して、赤方偏移  $z \sim 1.5-3$  (約 20-40 億歳) の宇宙で 75 個の原始銀河団候補を発見した。属する銀河の性質を調べた結果、星形成をやめた銀河の割合は同じ時代の一般領域に比べて既に原始銀河団内のほうが高いことがわかった (図 1)。星形成活動の環境依存性は遅くともこの頃までには現れていたといえる。

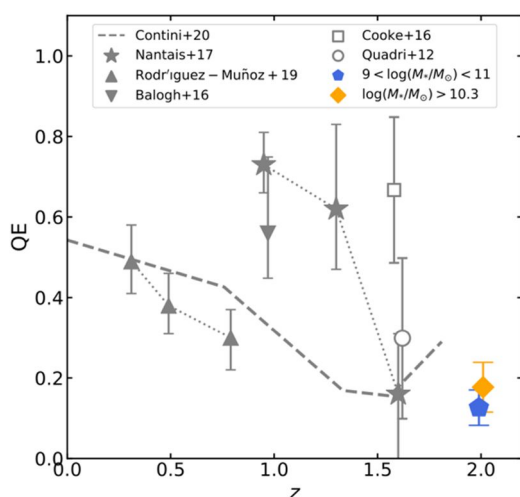


図 1. 星形成をやめた銀河の割合。一般領域からの差分がプロットされている。横軸は赤方偏移。本研究の結果は色付きの記号。差分の値が 0 より大きいことから、原始銀河団では、星形成をやめた銀河の割合が同じ時代の一般領域よりも高いことがわかる (Ando et al. 2020 より)。

(2) 続いて同様の方法を  $1 < z < 1.5$  の時代 (宇宙年齢約 40-60 億歳) の銀河データに適用して原始銀河団の探査と銀河の性質の研究を行なった。使用したデータはすばる望遠鏡の大規模サーベイで得られた広さと深さを両立した撮像データである。約 22 平方度の領域で約 5 千個の原始銀河団を発見できた。メンバー銀河の性質を調べた結果、星形成をやめた銀河の比率は当時の一般的領域よりも高いこと (図 2)、重い銀河ほど星形成をやめた比率が高いこと (図 3)、銀河団の質量が同じでも、中心銀河が星形成をやめているとメンバー銀河も星形成をやめている可能性が高いこと (図 3) などを見出した。銀河の星形成活動は銀河団の性質や銀河自身の性質に複雑に依存していることが見てとれる。これらの結果を銀河進化の最新のシミュレーションと比較すれば、銀河団で星形成をやめるメカニズムが制限できるだろう。

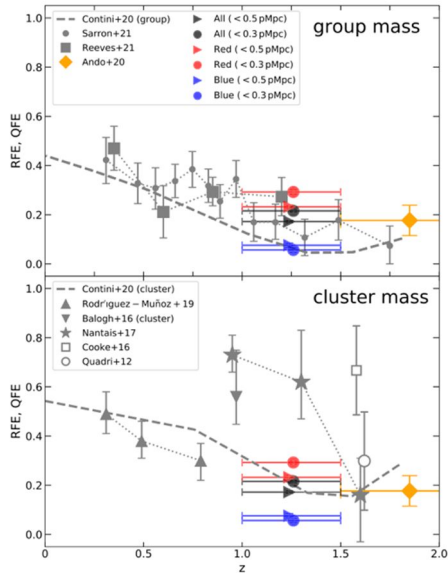


図 2. 図 1 と同じ量を  $z=1-1.5$  で調べた結果 (色付きの記号) (Ando et al. 2022 より)。

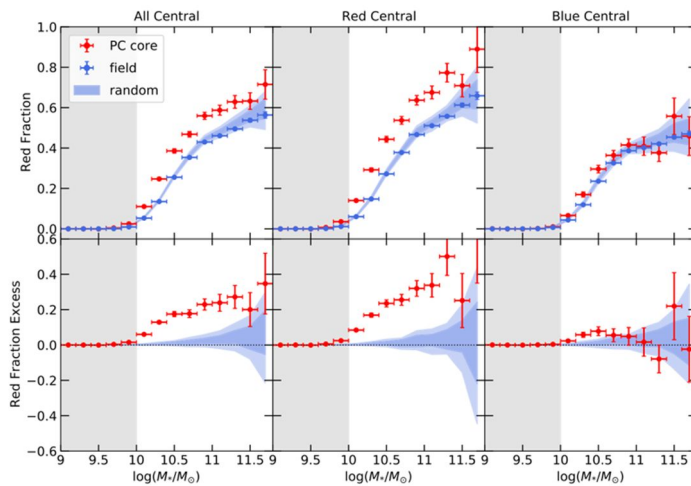


図 3. 星形成をやめた銀河の割合を、銀河の質量の関数として示したもの。左はすべての原始銀河団、中心銀河が星形成をやめた原始銀河団に限定したもの、右は中心銀河が星形成をしている原始銀河団に限定したもの (Ando et al. 2022 より)。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Matsui, S., Shimasaku, K., Ito, K., Ando, M., Tanaka, T. S.	4. 巻 529
2. 論文標題 X-ray stacking reveals average SMBH accretion properties of star-forming galaxies and their cosmic evolution over $4 < z < 7$	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 926-940
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stad3955	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ando, M. Shimasaku, K., Momose, R., Ito, K., Sawicki, M., Shimakawa, R.	4. 巻 513
2. 論文標題 A systematic search for galaxy protocluster cores at the transition epoch of their star formation activity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 3252-3272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stac1049	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Ando, M., Shimasaku, K., Ito, K.	4. 巻 519
2. 論文標題 Detection of anisotropic satellite quenching in galaxy clusters up to $z \sim 1$	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 13-25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stac3251	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ando, M., Shimasaku, K., Momose, R.	4. 巻 496
2. 論文標題 A systematic search for galaxy proto-cluster cores at $z \sim 2$	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 3169-3181
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa1757	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Matsui, S., Shimasaku, K., Ito, K., Ando, M., Tanaka, T. S.
2. 発表標題 The average SMBH accretion properties of star-forming galaxies and their cosmic evolution over $4 < z < 7$
3. 学会等名 HSC-AGN collaboration meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ando, M., Shimasaku, K., Ito, K., Tanaka, T. S., Silverman, J. D., Matsui, S. et al.
2. 発表標題 Detection of the anisotropic satellite galaxy quenching in clusters up to $z \sim 1$
3. 学会等名 日本天文学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ando, M., Shimasaku, K. et al.
2. 発表標題 A systematic search for proto-cluster cores at a transition epoch of star formation activity
3. 学会等名 Galaxy Cluster Formation II (GCF 2021) - Virtual Workshop (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ando, M., Shimasaku, K. et al.
2. 発表標題 A systematic search for galaxy protocluster cores at the transition epoch of star formation activity
3. 学会等名 日本天文学会2021年秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ando, M., Shimasaku, K., Momose, R.
2. 発表標題 A systematic search for galaxy protocluster cores at z~2
3. 学会等名 Protoclusters: Galaxies in Confinement (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安藤誠、嶋作一大
2. 発表標題 多波長データに基づく z ~ 2 の原始銀河団コアに属する銀河の性質
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------