

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13575

研究課題名（和文）すばる望遠鏡の超広視野観測を用いた宇宙の大規模構造と銀河進化の関連性の解明

研究課題名（英文）Relation between the large-scale structure of the universe and galaxy evolution revealed by the extremely wide-field imaging of Subaru

研究代表者

利川 潤 (Toshikawa, Jun)

東京大学・宇宙線研究所・特別研究員

研究者番号：90760778

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、銀河進化と宇宙の大規模構造の形成の関連性を理解するために、銀河団の祖先と考えられる原始銀河団の探査を行った。そして原始銀河団の構造とそこに含まれる銀河の性質がどのような関係になっているかを調べることで、周囲の環境が銀河進化に対してどのような影響を与えているかを解明することを目的としている。すばる望遠鏡の広視野撮像装置を用いることで、これまでの発見個数の10倍以上の原始銀河団候補を同定することができた。その大規模サンプルに基づき統計的な手法で原始銀河団の様々な性質を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在の宇宙には様々な銀河が存在している。星形成を終えたような年老いた重い楕円銀河は銀河団のような高密度領域でよく発見され、一方で星形成が活発な若い渦巻銀河は周囲の銀河数が少ない低密度領域に存在している場合が多い。このように銀河の性質と周囲の密度環境には密接な関連があることが知られている。この関係性がどのように作られたのかを理解するためには、現在の宇宙だけではなく遠方宇宙を観測することで形成途中の銀河団である原始銀河団を直接調べることも重要である。しかし原始銀河団は稀な天体であるため発見数が少なかったが、本研究により大規模な原始銀河団サンプルを構築することができ、系統的な研究が可能になった。

研究成果の概要（英文）：In this research, we have carried out the search for protoclusters, which are considered to be the progenitors of galaxy clusters as seen in the local universe, because protoclusters are important targets to understand the relation between galaxy evolution and the formation of the large-scale structure of the universe. We have made use of the wide-field imaging instrument of the Subaru telescope in order to make a systematic sample of protoclusters. We have investigated the various properties of protoclusters.

研究分野：天文学

キーワード：原始銀河団 遠方宇宙 銀河進化 銀河団形成 宇宙の大規模構造

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

近傍宇宙の観測から銀河団に属する銀河は一般領域に存在する銀河と比べて重く年老いた銀河が多いことが知られている。また銀河の形状も渦巻銀河ではなく、楕円銀河がより多く存在している。このことから銀河進化と銀河周囲の環境には密接な関連があると考えられている。銀河が環境からどのような影響を受けながら進化してきたかを解明するためには、近傍宇宙の観測のみならず遠方宇宙を観測することによって、形成途中の銀河・銀河団の直接観測も不可欠である。

2. 研究の目的

遠方宇宙に存在する形成途中の銀河団「原始銀河団」を探索し、原始銀河団に含まれる銀河の性質を調べる。また同時代の一般領域に含まれる銀河と比較することにより、高密度環境における銀河進化を理解する。

3. 研究の方法

銀河団は個数密度の低い天体であるために、遠方宇宙において銀河団の祖先である原始銀河団を発見することは容易ではない。効率的に原始銀河団を発見するために様々な手法が用いられているが、本研究ではすばる望遠鏡の超広視野観測を活用することで無バイアスな探索を行う。発見された原始銀河団に対して分光観測や多波長での撮像観測を行うことで、原始銀河団の3次元構造や原始銀河団銀河の物理的な性質を調べる。

4. 研究成果

(1) 無バイアスな原始銀河団の大規模探索

これまでの研究ではクエーサーや電波銀河のような大質量銀河をプローブとして、その周囲において原始銀河団を探索する手法が用いられる場合が多かった。しかしこの方法ですべての原始銀河団を発見できるとは限らず、発見される原始銀河団はある特定の性質を持つ原始銀河団にバイアスされてしまう可能性がある。そのため本研究ではプローブを用いることなく原始銀河団探索を行った。原始銀河団ではまだ星形成銀河が多く存在していると予想されているため、遠方宇宙における一般的な星形成銀河であるライマンブレイク銀河（LBG）を選択した。そしてその LBG の空間分布を定量化し、有意に高密度な領域を原始銀河団候補領域として同定した。理論モデルとの比較により約 75% の候補領域は確かに原始銀河団であると推定される。このようなプローブを用いない原始銀河団探索を、すばる望遠鏡の超広視野観測によって得られるデータに適用することで特に赤方偏移 4 の原始銀河団の大規模なサンプルを構築することができた。これまでに発見された原始銀河団の個数よりも 10 倍以上大きいサンプルである。この大規模サンプルを用いることで赤方偏移 4 において初めて原始銀河団のクラスタリング解析を行うことができ、原始銀河団のハロー質量を推定することができた。また無バイアスな探索を行ったことで原始銀河団の数密度もより正確に決定することができた。クラスタリング解析によって得られた相関長と数密度を比較することで原始銀河団の空間分布を定量的に調べることがで

き、宇宙の大規模構造の形成モデルと一致する結果を得ることができた。

撮像観測を用いた原始銀河団探査に加えて、分光観測による原始銀河団の確定を行った。赤方偏移 3.721, 3.834, 4.898 の3つの原始銀河団を新たに分光同定した。特に赤方偏移 3.721 の原始銀河団は以前に発見されている赤方偏移 3.675 の原始銀河団と同じ領域に存在しており、2つの原始銀河団は近傍宇宙で見られる超銀河団のような大規模構造を構成していると考えられる。大規模構造におけるこのような特異的な領域の発見例はまだ数例しか確認されていない。

(2) 原始銀河団の内部構造

発見された原始銀河団に対してより詳細な分光追観測を行うことで、原始銀河団銀河の赤方偏移を正確に決定し、原始銀河団の内部構造を調べた。特に赤方偏移 3.675 と 3.721 の隣接する2つの原始銀河団は1つの超銀河団のような構造を構成しているにも関わらず、全く異なる内部構造であった。1つは中心ほど銀河の数密度が高くコア構造を持っていた。しかしもう1つは複数のサブグループに分けることができた。コア構造を持つ原始銀河団は銀河団形成がより進んでいると考えられ、大質量銀河団の祖先であると予想できる。サブグループ構造を持つ原始銀河団は銀河団を形成するためにダークマターハローの集積・合体を繰り返している途中であると考えられる。また AGN の存在も確認されたので、ANG の発現には銀河衝突が寄与していると考えられる。

また赤方偏移 4.898 の原始銀河団では、この原始銀河団に付随する小さな銀河グループを2つ発見することができた。この小さなグループは原始銀河団と合体しより大きな構造へと進化していくと期待できる。合体しない場合でも銀河団に隣接しており、一つの大規模構造を形成すると考えられる。

(3) 原始銀河団銀河の性質

これまでに発見されている赤方偏移 3.13 と 3.24 の2つの原始銀河団については多波長のデータを使うことで、原始銀河団に含まれる銀河の性質を調べた。1つの原始銀河団では星質量が高く星形成を終えつつある銀河が既に存在しているのに対して、もう1つの原始銀河団では一般領域に存在する銀河と比べてより大質量で星形成活動もより活発な銀河が多く存在していた。また銀河の性質によって空間分布が少し異なっており、原始銀河団の中心付近では大質量銀河が存在する傾向が見られた。原始銀河団の内部構造に加えて銀河の性質についても、たとえ同じ赤方偏移であっても原始銀河団によって大きく異なることが確かめられた。無バイアスで大規模な原始銀河団探査を行うことで様々な性質を持つ原始銀河団を発見することができた。しかし原始銀河団の一般的な性質や多様性を理解するためには、今後より大規模な系統的な研究が必要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 11件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Toshikawa Jun, Malkan Matthew A., Kashikawa Nobunari, Overzier Roderik, Uchiyama Hisakazu, Ota Kazuaki, Ishikawa Shogo, Ito Kei	4. 巻 888
2. 論文標題 Discovery of Protoclusters at z=3.7 and 4.9: Embedded in Primordial Superclusters	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 89 ~ 89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab5e85	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 Liang Yongming, Kashikawa Nobunari, Cai Zheng, Fan Xiaohui, Prochaska J. Xavier, Shimasaku Kazuhiro, Tanaka Masayuki, Uchiyama Hisakazu, Ito Kei, Shimakawa Rhythm, Nagamine Kentaro, Shimizu Ikkoh, Onoue Masafusa, Toshikawa Jun	4. 巻 907
2. 論文標題 Statistical Correlation between the Distribution of Ly Emitters and Intergalactic Medium H I at z=2.2 Mapped by the Subaru/Hyper Suprime-Cam	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 3 ~ 3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abcd93	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 Uchiyama Hisakazu, Akiyama Masayuki, Toshikawa Jun, Kashikawa Nobunari, Overzier Roderik, Nagao Tohru, Ichikawa Kohei, Marinello Murilo, Imanishi Masatoshi, Tanaka Masayuki, Matsuoka Yoshiki, Komiyama Yutaka, Ishikawa Shogo, Onoue Masafusa, Kubo Mariko, Harikane Yuichi, Ito Kei, Namiki Shigeru, Liang Yongming	4. 巻 905
2. 論文標題 Faint Quasars Live in the Same Number Density Environments as Lyman Break Galaxies at z~4	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 125 ~ 125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abc47b	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 Ishikawa Shogo, Kashikawa Nobunari, Tanaka Masayuki, Coupon Jean, Leauthaud Alexie, Toshikawa Jun, Ichikawa Kohei, Oogi Taira, Uchiyama Hisakazu, Niino Yuu, Nishizawa Atsushi J.	4. 巻 904
2. 論文標題 The Subaru HSC Galaxy Clustering with Photometric Redshift. I. Dark Halo Masses versus Baryonic Properties of Galaxies at 0.3<z<1.4	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 128 ~ 128
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abbd95	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 Shi Ke, Toshikawa Jun, Cai Zheng, Lee Kyoung-Soo, Fang Taotao	4. 巻 899
2. 論文標題 A Detailed Study of Massive Galaxies in a Protocluster at $z = 3.13$	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 79 ~ 79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aba626	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 Ito Kei, Kashikawa Nobunari, Toshikawa Jun, Overzier Roderik, Kubo Mariko, Uchiyama Hisakazu, Liang Yongming, Onoue Masafusa, Tanaka Masayuki, Komiyama Yutaka, Lee Chien-Hsiu, Lin Yen-Ting, Marinello Murilo, Martin Crystal L., Shibuya Takatoshi	4. 巻 899
2. 論文標題 The UV Luminosity Function of Protocluster Galaxies at $z=4$: The Bright-end Excess and the Enhanced Star Formation Rate Density	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 5 ~ 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aba269	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 Kubo Mariko, Toshikawa Jun, Kashikawa Nobunari, Chiang Yi-Kuan, Overzier Roderik, Uchiyama Hisakazu, Clements David L., Alexander David M., Matsuda Yuichi, Kodama Tadayuki, Ono Yoshiaki, Goto Tomotsugu, Cheng Tai-An, Ito Kei	4. 巻 887
2. 論文標題 Planck Far-infrared Detection of Hyper Suprime-Cam Protoclusters at $z=4$: Hidden AGN and Star Formation Activity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 214 ~ 214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab5a80	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 Harikane Yuichi, Ouchi Masami, Ono Yoshiaki, 他32名	4. 巻 883
2. 論文標題 SILVERRUSH. VIII. Spectroscopic Identifications of Early Large-scale Structures with Protoclusters over 200 Mpc at $z=6-7$: Strong Associations of Dusty Star-forming Galaxies	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 142 ~ 142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab2cd5	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 Higuchi Ryo, Ouchi Masami, Ono Yoshiaki, Shibuya Takatoshi, Toshikawa Jun, Harikane Yuichi, Kojima Takashi, Chiang Yi-Kuan, Egami Eiichi, Kashikawa Nobunari, Overzier Roderik, Konno Akira, Inoue Akio K., Hasegawa Kenji, Fujimoto Seiji, Goto Tomotsugu, Ishikawa Shogo, Ito Kei, Komiyama Yutaka, Tanaka Masayuki	4. 巻 879
2. 論文標題 SILVERRUSH. VII. Subaru/HSC Identifications of Protocluster Candidates at z=6-7: Implications for Cosmic Reionization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 28 ~ 28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab2192	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 Shi Ke, Huang Yun, Lee Kyoung-Soo, Toshikawa Jun, Bowen Kathryn N., Malavasi Nicola, Lemaux B. C., Cucciati Olga, Fevre Olivier Le, Dey Arjun	4. 巻 879
2. 論文標題 How Do Galaxies Trace a Large-scale Structure? A Case Study around a Massive Protocluster at $Z = 3.13$	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 9 ~ 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab2118	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 Ito Kei, Kashikawa Nobunari, Toshikawa Jun, Overzier Roderik, Tanaka Masayuki, Kubo Mariko, Shibuya Takatoshi, Ishikawa Shogo, Onoue Masafusa, Uchiyama Hisakazu, Liang Yongming, Higuchi Ryo, Martin Crystal L., Lee Chien-Hsiu, Komiyama Yutaka, Huang Song	4. 巻 878
2. 論文標題 The Brightest UV-selected Galaxies in Protoclusters at z=4: Ancestors of Brightest Cluster Galaxies?	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 68 ~ 68
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab1f0c	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 2件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 利川潤
2. 発表標題 Discovery of Protoclusters at z=3.7 and 4.9: Embedded in Primordial Superclusters
3. 学会等名 FIRST GALAXIES, FIRST STRUCTURES (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 利川潤
2. 発表標題 A systematic search for protoclusters at $z \sim 4$ based on the $>100\text{deg}^2$ area
3. 学会等名 XXXth General Assembly of the International Astronomical Union (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 利川潤
2. 発表標題 Systematic Study of Protoclusters Based on Wide-field Survey
3. 学会等名 FAPESP-JSPS Workshop Dark Energy, Dark Matter and Galaxies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 利川潤
2. 発表標題 赤方偏移 4 から 5 における原始銀河団とその周囲の大規模構造
3. 学会等名 日本天文学会2019年春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 利川潤
2. 発表標題 A systematic search for protoclusters based on Subaru/HSC survey
3. 学会等名 Panchromatic Panoramic Studies of Galaxy Clusters: from HSC to PFS and ULTIMATE (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 利川潤
2. 発表標題 Protocluster Candidates at z~4 in the Subaru/HSC survey
3. 学会等名 Protoclusters: galaxies in confinement (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 利川潤
2. 発表標題 Search for protoclusters at z~4-5: plausible sites of the formation of massive galaxies
3. 学会等名 SWIMS-on-Subaru Workshop
4. 発表年 2020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			
ブラジル	ブラジル国立観測所			
米国	UCLA			
その他の国・地域	ASIAA			