

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2006～2008

課題番号：18684004

研究課題名(和文) すばる望遠鏡による近赤外線狭帯域撮像で探る遠方宇宙の銀河形成史

研究課題名(英文) Formation of galaxies in the distant Universe probed by near-infrared narrow-band imaging with Subaru Telescope

研究代表者

児玉 忠恭 (KODAMA TADAYUKI)

国立天文台・光赤外研究部・准教授

研究者番号：80343101

研究成果の概要：すばる望遠鏡のMOIRCS装置に、専用狭帯域フィルターを2枚作成して搭載した。これらを用い、 $z=2.2$  (100億年前) と  $z=0.81$  (70億年前) の二つの時代において、星形成活動の指標である  $H\alpha$  輝線を出す銀河をそれぞれ探査した。その結果、 $z=2.2$  の一般領域における高い星形成活動性と、 $z=0.81$  における中間密度領域での高い星形成活動性が明らかになった。また、 $z=0.81$  では、あかり衛星の観測と組み合わせることによって、 $H\alpha$  輝線も抜け出て来れないほどの強い吸収を受けた星形成銀河が多数存在する可能性を示唆した。これは、従来のような紫外線や可視光だけの観測では、銀河の星形成活動をすべて捕えられていないこと意味し、赤外線での観測の重要性を物語るものである。

交付額

(金額単位：円)

|        | 直接経費      | 間接経費      | 合計        |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2006年度 | 4,600,000 | 1,380,000 | 5,980,000 |
| 2007年度 | 1,700,000 | 510,000   | 2,210,000 |
| 2008年度 | 800,000   | 240,000   | 1,040,000 |
| 年度     |           |           |           |
| 年度     |           |           |           |
| 総計     | 7,100,000 | 2,130,000 | 9,230,000 |

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：光学赤外線天文学

## 1. 研究開始当初の背景

現在我々が手にしている遠方銀河サンプルは、たとえ同じ宇宙年齢の時代の銀河であっても、同定された波長も手法も異なる雑多なサンプルの集合体であり、その各々はそれぞれの波長・手法によって強くバイアスされたものとなっている。したがって、これら様々な種族の天体がそれぞれ銀河のいかなる進化段階に対応し、またそれらの相互関係がどのようになっているのかは非常に混沌とし

ており、遠方銀河の実態の全体像の把握からはまだほど遠いというのが実状である。実際、導出される銀河の星形成率や星質量などの物理量はサンプルに強く依存し、相互に矛盾するような結果も多かった。また、星形成率はこれまで紫外光を使って測定されることが多かったが、ダスト吸収の影響を強く受けてしまうため、性格に見積もることが困難であった。

## 2. 研究の目的

本研究では、近赤外線の大視野観測によって星質量選択の遠方銀河大サンプルを構築し、 $H\alpha$ 輝線強度によって星形成率を測定する。 $H\alpha$ 輝線は、近傍宇宙でよく校正された優良な星形成活動性の指標である。星質量と星形成率を用いて、 $z\sim 0.8$ と $z\sim 2$ の宇宙において各銀河の進化段階を定量化し、宇宙年齢が5分の1という銀河形成期から今日の宇宙へと銀河の進化経路を明らかにする。また、銀河の形態や星形成率といった特性は、銀河の環境や銀河の質量に非常に強く依存することが知られているため、それらの起源の解明のために、銀河の進化段階を環境と質量の軸に沿っても比較し、これらの関係がいつ樹立し、時間経過とともにどう変化したかを分析する。

### 3. 研究の方法

すばる望遠鏡のMOIRCS装置に専用の近赤外狭帯域フィルターを作成し、 $z=2.2$ と $z=0.81$ からやってくる $H\alpha$ 輝線を高感度で捕える。 $z=2.2$ では多波長データの揃った一般フィールドであるGOODS-Nを、 $z=0.81$ ではちょうどその赤方偏移にある銀河団領域(すばるによる可視光データも揃っている)をターゲットとする。そして $H\alpha$ から得られる星形成活動性を時間と環境の関数として定量化する。

### 4. 研究成果

H20年度の前半にはすばる望遠鏡の共同利用観測計7晩を獲得して、実際に観測を行なった。 **$z\sim 2.2$ 宇宙探査**:多波長データが充実しているGOODSの100平方分角の領域をMOIRCS4視野でカバーし、星形成率で10太陽質量/年の深さで観測を行った。現在解析を進めており、すでに $z=2.2$ の $H\alpha$ 輝線銀河候補が多く見つかっており、現在この結果を定量化し、論文にまとめるよう努力中である。 $H\alpha$ をプローブとしてこのような遠方宇宙でこの深さかつ広さで解析を行ったのは初めてであり、遠方宇宙での銀河の活動性を精度良く定量化することができる。 **$z\sim 0.8$ 宇宙探査**: $z=0.813$ にある銀河団(RXJ1716)において、狭帯域 $H\alpha$ 輝線サーベイを行なった。この銀河団については、既にすばるによる可視光多色データを取得し、またあかり衛星によって中間～遠赤外線で大視野(160平方分角)かつ深い観測を行なっている。データ解析は最終段階に差し掛かっており、既に多くの有意義な結果が出ており、国内外の研究集会で発表しており、現在論文の執筆中である。ハイライトは銀河団の中心部で星形成が欠落しているがそのすぐ周辺部で星形成活動が活発であること、強いダスト吸収を受けた

銀河が多数あり、 $H\alpha$ 輝線も吸収されて見られず中間赤外線のだスト放射で初めて見えてくる種族が相当数あること、などである。これは従来の可視光～近赤外線だけの観測では星形成活動を十分捕えきれていないことを示唆し、そのインパクトは大きい。

### 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19件)

- ① Koyama, Y., Kodama, T., et al., “Mapping dusty star formation in and around a cluster at  $z=0.81$  by wide-field imaging with AKARI”, MNRAS, 391, 1758–1770 (2008), 査読有
- ② Tanaka, M., Finoguenov, A., Kodama, T., et al., “The environmental dependence of properties of galaxies around the RDCSJ0910+54 cluster at  $z=1.1$ ”, A&A, 489, 571–581 (2008), 査読有
- ③ Ouchi, M., et al., Kodama, T., et al., “The Subaru/XMM Deep Survey (SXDS). IV. Evolution of  $Ly\alpha$  emitters from  $z=3.1$  to 5.7 in the  $1\text{ deg}^2$  field: Luminosity functions and AGN”, ApJS, 176, 301–330 (2008), 査読有
- ④ Furusawa, H., et al., Kodama, T., et al., “The Subaru/XMM Deep Survey (SXDS). II. Optical imaging and photometric catalogs”, ApJS, 176, 1–18 (2008), 査読有
- ⑤ Kodama, T., “Proto-clusters at  $z\gg 1$  as the site of early-type galaxies formation”, ASPCS, 399, 305–313 (2008), 査読無
- ⑥ Koyama, Y., Kodama, T., et al., “Panoramic and Multi-wavelength study of the distant cluster RXJ1716 at  $z=0.81$ ”, ASPCS, 399, 361–362 (2008), 査読無
- ⑦ Kodama, T., et al., “Galaxy evolution viewed as functions of environment and mass”, ASSP “Mapping the galaxies and nearby galaxies”, 296–301 (2008), 査読無

- ⑧ Koyama, Y., Kodama, T., et al., “Dependence of the build-up of the colour-magnitude relation on cluster richness at  $z \sim 0.8$ ”, MNRAS, 382, 1719-1728 (2007), 査読有
- ⑨ Tanaka, M., Hoshi, T., Kodama, T., et al., “A huge filamentary structure at  $z=0.55$  and star formation histories of galaxies at  $z < 1$ ”, MNRAS, 379, 1546-1556 (2007), 査読有
- ⑩ Kodama, T., et al., MNRAS, 377, 1717-1725 (2007), 査読有
- ⑪ Tanaka, M., Kodama, T., et al., “A deficit of faint red galaxies in the possible large-scale structures around the RDCSJ1252.9-2927 cluster at  $z=1.24$ ”, MNRAS, 377, 1206-1214 (2007), 査読有
- ⑫ Kodama, T., “Proto-clusters with evolved populations around radio galaxies at  $2 < z < 3$ ”, ASPCS, 379, 202-205 (2007), 査読無
- ⑬ Kodama, T., “Stellar populations at higher redshifts”, Proceedings of IAU Symposium #241, 537-545 (2007), 査読無
- ⑭ Kodama, T., “Panoramic views of cluster evolution since  $z=3$ ”, Proceedings of IAU Symposium #235, 170-171 (2007), 査読無
- ⑮ Kajisawa, M., Kodama, T., et al., “Protoclusters with evolved populations around radio galaxies at  $z \sim 2.5$ ”, MNRAS, 371, 577-582 (2006), 査読有
- ⑯ Intema, H., et al., Kodama, T., “Large-scale structure of Lyman break galaxies around a radio galaxy protocluster at  $z \sim 4$ ”, A&A, 456, 433-437 (2006), 査読有
- ⑰ Hamana, T., et al., Kodama, T., “Masses of high- $z$  galaxy hosting haloes from angular clustering and their evolution in the cold dark matter model”, MNRAS, 369, 1929-1938 (2006), 査読有
- ⑱ Geach, J., et al., Kodama, T., “A panoramic mid-infrared survey of two distant clusters”, ApJ, 649, 661-671 (2006), 査読有
- ⑲ Ly, C., et al., Kodama, T., et al., “The luminosity function and star formation rate between redshifts of 0.07 and 1.47 for narrowband emitters in the Subaru Deep Field”, ApJ, 657, 738-759 (2006), 査読有
- [学会発表] (計 8 件)
- ① 小山佑世, 児玉忠恭, 他, 『近赤外線狭帯域撮像による RXJ1716 銀河団 ( $z=0.81$ ) の  $H\alpha$  輝線サーベイ』, 日本天文学会春季年会, 2009 年 3 月 27 日, 大阪府立大学
- ② 林将央, 児玉忠恭, 他, 『[OII] 狭帯域撮像で探る最遠 X 線銀河団 ( $z=1.45$ ) の高い星形成活動性』, 日本天文学会春季年会, 2009 年 3 月 27 日, 大阪府立大学
- ③ Kodama, T., “Panoramic views of cluster formation and evolution”, The 1<sup>st</sup> Korea-Japan workshop on galaxy evolution, Yonsei Univ., Korea, 2008 年 2 月 21 日
- ④ Kodama, T., “Ultimate Studies of Environmental Effects in Cosmic Webs in the Distant Universe”, Gemini-Subaru Workshop “Cosmology Near and Far”, Kona, Hawaii, 2008 年 5 月 20 日
- ⑤ Kodama, T., “When and Where Did Early-Type Galaxies Form?”, International Lorenz Center Workshop “Galaxies in Real Life and Simulations”, Leiden, Netherlands, 2008 年 9 月 17 日
- ⑥ Kodama, T., “First appearance of the red sequence of galaxies in proto-clusters at  $2 < z < 3$ ”, International conference “Galaxy growth in a dark universe”, Heidelberg, Germany, 2007 年 7 月 16 日
- ⑦ Kodama, T., “Proto-clusters as the formation site of early-type galaxies formation”, Subaru 1<sup>st</sup> International conference “Panoramic views of galaxy formation and evolution”,

Hayama, Japan, 2007年12月14日

- ⑧ Kodama, T., “Stellar populations at higher redshifts”, International conference “Stellar Populations as Building Blocks of Galaxies”, La Palma, Spain, 2006年12月15日

〔図書〕(計1件)

- ① Kodama, T., Yamada, T., Aoki, K., 編集, “Panoramic Views of Galaxy Formation and Evolution”, Astronomical Society of the Pacific, Conference Series, Vol. 399 (2008)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

児玉 忠恭 (KODAMA TADAYUKI)

国立天文台・光赤外研究部・准教授

研究者番号：80343101

### (2) 研究分担者

該当なし

### (3) 連携研究者

該当なし