

平成 30 年 5 月 25 日現在

機関番号：62616

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2014～2017

課題番号：26707006

研究課題名(和文) すばる望遠鏡の超広視野カメラで明かす遠方銀河の三次元大規模構造と星形成史

研究課題名(英文) The 3D large-scale structure and star formation history of high-z galaxies revealed by Subaru Hyper Suprime-Cam

研究代表者

林 将央 (Hayashi, Masao)

国立天文台・ハワイ観測所・特任助教

研究者番号：30583554

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,100,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、すばる望遠鏡の超広視野主焦点カメラ用の狭帯域フィルター(NB926)を製作した。既存の狭帯域フィルター(NB921)と僅かに中心波長が異なり、この対を成すフィルターのデータが輝線銀河の三次元分布を描くために必須である。すばる戦略枠サーベイデータを用いて、輝線銀河の大規模構造、光度関数を描き出した。そして、平成29年9月に実施された共同利用観測で取得したNB926データで、その研究を発展させている。また、NB926フィルターを観測に使用したいという要望が複数あり、本課題の目的を超えて狭帯域フィルターの需要がある。NB926狭帯域フィルターは今後も様々な研究での利用が期待される。

研究成果の概要(英文)：The narrowband filter, NB926, for Hyper Suprime-Cam (HSC) on Subaru Telescope was made to reveal the 3D large-scale structure of emission-line galaxies in conjunction with the existing narrowband filter, NB921. The pair of the narrowband filters has a slight difference in the central wavelength of the transmission curve, which is critical for the objective. The data from the Subaru Strategic Program with HSC enabled to reveal the large-scale structures and luminosity functions of emission-line galaxies. Then, the studies are in progress since the observations with NB926 were performed in the Subaru open-use program in September 2017. Also, there are several requests that other researchers want to use the NB926 filter in their own studies, which suggests that there are demands for the NB926 filter in our study as well as other studies unexpected at the start of this program.

研究分野：銀河天文学

キーワード：銀河形成 銀河進化 大規模構造

1. 研究開始当初の背景

銀河は約 110 億年前から 77 億年前の時代(赤方偏移 $z=1-3$)の成長期を経て、現在に向かって($z=1$ から 0 に向かって)成熟期に移行してきている。 $z=1-3$ の時代に銀河の星形成活動はピークを持ち、その後、 $z<1$ の時代になり、現在の宇宙に見られる銀河の形態や性質が形成されていく。また、星形成活動を止めた大質量の早期型銀河と活発に星形成を行う比較的低質量な晚期型銀河は、周囲の環境によって棲み分けていることが知られている。従って、銀河の成り立ちの解明で重要なことは、銀河が過渡期を迎え成長を止め、現在の宇宙で見られる姿になったと考えられる $z=1$ 前後の時代を調査すること、銀河の今日の姿と関係が深い銀河の大規模構造に沿って銀河の性質の進化を調べ、その性質を決める重要な要素を明らかにすることである。各環境で銀河の性質がどのように変わっていくかを調べ、それに関わる物理過程を明らかにすることが重要である。そのためには、銀河の成長期から成熟期の時代において様々な環境に存在する銀河を徹底的に調査する必要がある。

2. 研究の目的

2014 年から、すばる望遠鏡の新しい可視光撮像装置である超広視野主焦点カメラ(Hyper Suprime-Cam (HSC))の運用が開始された。それまで主流であったカメラと比べて視野の広さが 7 倍になり、宇宙の大規模構造の全体像を描き出すのに最適な装置である。さらに、すばる望遠鏡の戦略枠サーベイ観測が 2014 年から 5 年間かけて実施される。これまでに類を見ないほど広い領域(ディープ領域:27 平方度、ウルトラディープ領域:3.5 平方度)と限界等級の深さを兼ね備えたデータが手に入ることが保証されている。

この最適なタイミングで、既存の狭帯域フィルターとペアになる狭帯域フィルターを新しく製作し、この戦略枠サーベイデータと独自の狭帯域フィルター撮像観測を組み合わせた極めてユニークなデータを用いる。現在から約 97 億年前までの時代、つまり銀河の成長期から成熟期において、銀河の真の 3 次元大規模構造を描き出す計画である。そして、銀河の大規模構造の進化、また星形成活動の時間変遷と、大規模構造に沿った環境依存性を明らかにすることが本研究の目的である。

3. 研究の方法

本課題は、すばる望遠鏡の超広視野主焦点カメラ(HSC)と狭帯域フィルターを用いて、特定の赤方偏移に存在し輝線を出す星形成銀河を隈なく捕らえ、且つ 3 次元的に銀河の大規模構造を描き出す研究である。ユニークな点は、平成 26 年 3 月から開始された HSC すばる戦略枠サーベイで取得される深くて非常に広視野の狭帯域フィルターのデータ

だけでなく、本課題で新たに製作される狭帯域フィルターを組み合わせた隣接する狭帯域フィルターのペアのデータを用いることである。銀河から放射された輝線が赤方偏移して狭帯域フィルターに入ってきた時、銀河の赤方偏移によって輝線が観測される波長が異なる。波長を固定した場合、既存フィルターと今回製作予定の狭帯域フィルターでは透過率が異なるため、同じ輝線を観測したとしても測定された輝線フラックスが異なる。その輝線フラックスの比率は各波長における透過率の比率になることから、フラックス比を測定することで輝線が観測された波長、つまり、銀河の赤方偏移が決まる。

HSC のすばる戦略枠サーベイには、4 つの狭帯域フィルターが使用される(NB387, NB816, NB921, NB101)。このデータから、各赤方偏移の H 輝線銀河($z=0.24, 0.40, 0.54$)、[OIII]輝線銀河($z=0.63, 0.84, 1.02$)、[OII]輝線銀河($z=0.04, 1.19, 1.47, 1.71$)を選び出すことが可能である。

まず、各時代の銀河の大規模構造を描き、その分布から高密度領域から低密度領域まで様々な環境に存在する銀河を選び出す。本課題の独創的な点は、対を成す狭帯域フィルターを用いた撮像データを使用することにある。それにより、重要な時代を幅広く網羅した各時代で、輝線銀河の 3 次元分布を描き出せる。

注目している輝線は星形成活動の指標となる。光度関数を描くことで、ある星形成率をもつ銀河がどのくらい存在するのかを定量的に示すことができる。また、光度関数を積分することにより、各時代の星形成率密度を得ることができ、銀河の星形成活動が時代とともにどのように変化してきたかを調べる。さらに、大規模構造に沿って光度関数を描くことで、環境ごとに星形成率密度と赤方偏移の関係を調べ、銀河の星形成史の環境依存性を定量的に明らかにすることを目指す。

4. 研究成果

(1) すばる望遠鏡の超広視野主焦点カメラ(HSC)用の狭帯域フィルターの仕様の決定を行った。当初から、既存の狭帯域フィルター NB921, NB973, 及び NB101 のいずれかの透過率曲線と隣接した狭帯域フィルターを製作することを計画していた。製作するフィルターで行う研究内容や夜光の明るさ、フィルター製作費用を踏まえて検討した結果、NB926 フィルターを製作することに決定した。この狭帯域フィルターは、NB921 フィルターの透過率曲線から中心波長が僅かに長波長側にずれた透過率曲線を持つ。平成 26 年 10 月に、製作を担当する業者を決定し、本格的な製作に移った。そして、平成 26 年度内に NB926 狭帯域フィルターは納品され、フィルターの製作は完了した。平成 27 年度の始めに、NB926 フィルターの透過率曲線の測定を国立天文台の装置を用いて行った。そして、測定した

透過率曲線が本課題で計画しているサイエンスを行うための仕様を満たしているかを注意深く検証した。その結果、製作した狭帯域フィルターがサイエンス面から要求される仕様を満たしていることを確認した。

(2)HSC すばる戦略枠サーベイで得られたデータを用いてデータ解析を行った。本課題の鍵となる狭帯域フィルターデータは平成 27 年 9 月に初めて共同研究者向けに内部公開されたため、HSC パイプラインソフトウェアで整約された狭帯域フィルターデータが計画しているサイエンス研究にとって問題がないかどうかを調べることを目的に、まずはデータ評価を行った。HSC フィルターは直径 60cm もあるため、その視野内でフィルター透過率曲線が非一様になることが確認されている。この非一様性はフィルターの仕様をみたしているものの、実際の HSC データやすばる主焦点カメラの既存データとの比較を通して、データの質を検証する必要がある。検証の結果、輝線銀河を統計的に議論する上では今得られている狭帯域フィルターデータに問題はないことを確認した。

(3)HSC すばる戦略枠サーベイ(HSC-SSP)の第一回公開データ(DR1)を用いて輝線銀河探査を行い、その成果を論文にまとめた。HSC-SSP データとして現在のところ利用できる NB816 と NB921 の 2 つの狭帯域フィルターデータの解析を行った。NB816 データは 5.7 平方度、NB921 データは 16.2 平方度の非常に広視野のデータがあることが特徴である。8054 天体の H 輝線銀河、8656 天体の [OIII] 輝線銀河、16877 天体の [OII] 輝線銀河のサンプルが得られた。各輝線銀河の空間分布では、10Mpc を超える星形成銀河の大規模構造が見られた。赤く星形成をしていない銀河をもとに探査した銀河団の分布と比較してみると、興味深いことに、星形成銀河の大規模構造に沿うように複数の銀河団が存在し、幾つかの銀河団では星形成銀河の高密度領域の位置と一致することが分かった。赤い銀河と輝線を出す星形成銀河の両方の銀河種族に着目することで、銀河団のメンバー銀河をバイアスなく選び出せていると言える。HSC-SSP データから得られた輝線銀河サンプルから、光度関数を描いてみると、光度の小さい側では先行研究の結果と一致し、光度の大きい側で探査領域ごとのばらつきが大きい。特に光度の大きい側の光度関数を精度よく決めるためには広い視野が必要であり、HSC-SSP データは光度の大きい側から小さい側まで、信頼度の高い光度関数を示すことができている。

(4)輝線が特に強く、星の連続光が弱い銀河を探することで、若く低質量で低金属量の銀河の候補を選び出した。そして、これらの候補天体の分光同定、さらに、分光スペクトルを使ったさらなる精密調査を行うために、すば

る望遠鏡の共同利用観測時間を 2 晩獲得した(観測課題番号:S17A-083)。観測装置 FOCAS を使って、平成 29 年 3 月に分光追観測を実施し、分光スペクトルを取得した。期待通りの赤方偏移の天体であることが確認され、候補天体の選定方法の有効性を確認することができた。

(5)平成 26 年度に本課題で製作した狭帯域フィルターNB926 を使って、HSC で観測を行うためのすばる望遠鏡共同利用観測時間を 7 時間獲得した(観測課題番号:S17B-017)。その観測が平成 29 年 9 月に実施され、NB926 狭帯域フィルターデータを取得することができた。HSC 用のデータ解析パイプラインソフトウェアを用いて、データリダクションを行い、NB926 データの処理済み最終画像を作成した。NB926 を用いた観測を実施した領域は、HSC すばる戦略枠サーベイでデータが取得されている領域である。そこで、他の広帯域フィルターと NB926 と対をなす NB921 狭帯域フィルターデータを HSC 戦略枠サーベイのデータベースから取得し、すべてのデータを合わせて、多バンド測光カタログの作成を進めた。しかし、データが膨大で HSC 解析パイプラインを用いた測光に時間がかかること、NB926 データは初めて取得されたデータであるのでデータの評価に時間が必要なことから、本課題期間内に測光カタログの完成には至らなかった。来年度以降、取得した NB926 データの解析を進め、できるだけ早急にこのデータを使った研究成果を出すことを目指す。

(6)NB926 フィルターと他の装置の狭帯域フィルターを組み合わせることで、それぞれの狭帯域フィルターデータで同じ天体からの異なる輝線をとらえることが可能であることが分かり、今後の観測提案の計画を進めた。また、他の研究グループからも本研究課題以外の目的で NB926 フィルターを使った観測をすばる望遠鏡共同利用観測に提案したいとの要望があり、様々な用途で NB926 フィルターを有効活用する取り組みを進めた。

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 4 件)

Hayashi Masao, Tadaki Ken-ichi, Kodama Tadayuki, Kohno Kotaro, Yamaguchi Yuki, Hatsukade Bunyo, Koyama Yusei, Shimakawa Rhythm, Tamura Yoichi, Suzuki Tomoko L., Molecular Gas Reservoirs in Cluster Galaxies at $z = 1.46$, The Astrophysical Journal, Volume 856, Issue 2, article id. 118, 13 pp., 2018, 査読有、

10.3847/1538-4357/aab3e7

Koyama Yusei, Hayashi Masao, Tanaka Masayuki, Kodama Tadayuki, Shimakawa Rhythm, Yamamoto Moegi, Nakata Fumiaki, Tanaka Ichi, Suzuki Tomoko L., Tadaki Ken-ichi, Nishizawa Atsushi J., Yabe Kiyoto, Toba Yoshiki, Lin Lihwai, Jian Hung-Yu, Komiyama Yutaka, The nature of H_I-selected galaxies along the large-scale structure at $z = 0.4$ revealed by Subaru Hyper Suprime-Cam survey, Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 70, Issue SP1, id.S21, 2018, 査読有、10.1093/pasj/psx078

Hayashi Masao, Tanaka Masayuki, Shimakawa Rhythm, Furusawa Hisanori, Momose Rieko, Koyama Yusei, Silverman John D., Kodama Tadayuki, Komiyama Yutaka, Leauthaud Alexie, Lin Yen-Ting, Miyazaki Satoshi, Nagao Tooru, Nishizawa Atsushi J., Ouchi Masami, Shibuya Takatoshi, Tadaki Ken-ichi, Yabe Kiyoto, A 16 deg² survey of emission-line galaxies at $z < 1.5$ in HSC-SSP Public Data Release 1, Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 70, Issue SP1, id.S17, 2018, 査読有、10.1093/pasj/psx088

Hayashi Masao, Kodama Tadayuki, Kohno Kotaro, Yamaguchi Yuki, Tadaki Ken-ichi, Hatsukade Bunyo, Koyama Yusei, Shimakawa Rhythm, Tamura Yoichi, Suzuki Tomoko L., Evolutionary Phases of Gas-rich Galaxies in a Galaxy Cluster at $z = 1.46$, The Astrophysical Journal Letters, Volume 841, Issue 2, article id. L21, 6 pp., 2017, 査読有、10.3847/2041-8213/aa71ad

[学会発表](計7件)

林 将央, HSC-SSP の PDR1 データによる赤方偏移 $z < 1.5$ の輝線銀河探査、日本天文学会 2017 年秋季年会、2017 年 9 月 12 日、北海道大学(北海道・札幌市)

Hayashi Masao, Studies of NB emission line galaxies at $z < 1.5$, HSC-SSP collaboration meeting, 2017 年 5 月 16 日、東北大学(宮城県・仙台市)

Hayashi Masao, Probing star forming galaxies at $z < 1.5$ with wide-field HSC-SSP narrowband data, The 6th Subaru International Conference - Panoramas

of the Evolving Cosmos, 2016 年 12 月 2 日、広島国際会議場(広島県・広島市)

林 将央, HSC 狭帯域フィルターデータの評価と輝線銀河カタログ、第 3 回銀河進化研究会、2016 年 6 月 1 日、東北大学(宮城県・仙台市)

Hayashi Masao, Quality of NB921 narrow-band data, HSC-SSP collaboration meeting, 2016 年 1 月 13 日、台北(台湾)

林 将央, HSC 戦略梓サーベイの NB921 データ、CHORUS Workshop, 2015 年 11 月 26 日、大阪産業大学(大阪府・大阪市)

林 将央, 狭帯域フィルター撮像で描く銀河の 3 次元大規模構造、第 1 回銀河進化研究会、2014 年 6 月 5 日、国立天文台(東京都・三鷹市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

林 将央 (Hayashi, Masao)

国立天文台・ハワイ観測所・特任助教

研究者番号: 30583554