

平成 22 年 5 月 20 日現在

研究種目：基盤研究 (A)

研究期間：2006 ~ 2009

課題番号：18204013

研究課題名 (和文) すばるの主焦点全面分光による宇宙大規模構造進化の研究

研究課題名 (英文) Study of the evolution of large-scale structure of the universe based on slitless spectroscopy at the Subaru prime focus

研究代表者

岡村 定矩 (OKAMURA SADANORI)

東京大学大学院理学系研究科・教授

研究者番号：20114423

研究成果の概要 (和文)：他の 8m 級望遠鏡では例を見ない広視野を有するすばる望遠鏡の主焦点全面を覆って、可視光のほぼ全波長域の低分散スペクトルを撮影する二つのグリズムを開発製作した。得られたデータをほぼ自動的に解析するソフトウェアも開発した。これにより、すばる望遠鏡に新たな観測モードを実現した。遠方銀河の観測のフロンティアをこれまでの赤方偏移 $z=6$ から $z=7$ に広げて、 $z=7$ における宇宙の星生成率密度を初めて推定し、宇宙再電離に果たす $z=7$ 銀河の役割を論じた。

研究成果の概要 (英文)：We successfully manufactured two grism filters which enable us to obtain low-resolution spectra of all the objects in the unique wide field of Subaru prime focus. We also developed a new set of pipeline software to reduce the grism data. This introduced to Subaru telescope a new observing mode. We extended the frontier of the research of the distant universe from redshift $z=6$ to $z=7$ by estimating the star formation rate density of the universe at $z=7$ and discussing the role of $z=7$ galaxies on the cosmic reionization.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	14,300,000	4,290,000	18,590,000
2007 年度	12,200,000	3,660,000	15,860,000
2008 年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2009 年度	2,600,000	780,000	3,380,000
年度			
総計	32,800,000	9,840,000	42,640,000

研究分野：銀河天文学

科研費の分科・細目：天文学

キーワード：光赤外線天文学、銀河、初期宇宙、すばる望遠鏡

1. 研究開始当初の背景

すばる望遠鏡は他の 8m 級望遠鏡では例を見ないほどの広視野を有する。この視野全面を撮像できる主焦点カメラ (Suprime-Cam)

によって数々の成果が挙げられている。そこで低分散でも良いので、このすばる望遠鏡の主焦点全面に写る天体のスペクトルを一挙に得ることが出来れば、すばる望遠鏡の新たな観測モードとして、いろいろな可能性が広が

ると考えた。そこで、我々がこれまで進めてきた遠方銀河の研究をベースに、可視光のほぼ全波長域をカバーしてスペクトルがとれるグリズム分光装置を開発する計画を立案した。

2. 研究の目的

本研究は、8m 級望遠鏡では他に例を見ない 24'x34' という広視野を有する、すばる望遠鏡の主焦点全面を、可視光のほぼ全波長域 (4000-7000 Å) において、分解能 $\lambda/\Delta\lambda = 30-50$ で観測できるグリズム分光装置を開発し、これまで広帯域及び狭帯域フィルターを用いて深い撮像観測が行われている天域を中心にスリットレス分光観測を行い、各天域数万個と予想される輝線銀河を検出し、遠方輝線銀河のクラスタリングを定量化し、バイアスパラメータを空間スケールと時間 (赤方偏移) の関数として導き出すことを目的とした。

口径比 F/1.8 という明るい広視野焦点を覆うグリズムの開発は世界に例を見ないので、その設計と製作自体が研究目的の一つでもあった。また、本研究で製作するグリズム分光装置は極めて多様な目的に利用することが出来る。たとえば、多数の銀河の分光診断 (SED による大まかな分類)、Photometric Redshift の較正、星生成領域における輝線星 (T Tau 型星など) 探査などなどがあげられる。本研究に支障のない限りは、希望があれば他の研究にもグリズム分光装置を使えるようにする予定で、研究期間終了後は、すばる望遠鏡の共同利用装置の一つとして一般に公開することを計画していた。新しい観測装置の開発によって、すばる望遠鏡の新たな能力を引き出したいという思いも込めた研究であった。

3. 研究の方法

計画全体としては、波長 4000 Å-5800 Å 用 (青玉) と波長 5500 Å-7000 Å 用 (赤玉) の二つのグリズムを製作することにしてきた。技術的検討の結果、製作順序を当初計画と入れ替えることになった。2006 年度はまず赤玉を製作した。赤玉は成功裏に製作され、2007 年度にすばる望遠鏡につけて性能試験観測を行った。性能試験観測が悪天候のため予定より遅れ、青玉の設計・製作もそれに伴って若干遅れたが、2007 年度には青玉も成功裏に製作され、実験室での性能確認は完了した。2008 年 6 月に望遠鏡につけて試験観測を行い、所期の性能を実現していることを確認した。以上により、本研究の大きな目的の一つであった二つのグリズムの製作は成功裏に完了した。

赤玉については 2007 年度に最初の本観測データを取得した。2008 年度の観測は悪天候のため予定の 1/3 程度しかデータが得られなかった。

データ解析用のソフトウェアは、2006 年度から独自開発の方針の下で開発をスタートした。骨格部分については 2006 年度にほぼ作り終えたが、実際のデータに適用すると、予期しなかった課題や、複雑な微調整が多く、それらを一つずつつぶしてゆくのにだいぶ時間がかかった。2009 年にデータ解析ソフトウェアを完成させた。これによって、2007-8 年度に取得した、赤玉を用いた観測データの処理が可能となった。観測は上述のように天候に恵まれず、露出時間は予定の半分以下であった。約 10 時間露出のデータから、1 視野で 53 個の輝線銀河を検出できた。最遠方のものは赤方偏移 $z=4.1$ であった。十分な露出を行えばほぼ予定通り、遠方の輝線銀河を検出できることが確認できた。

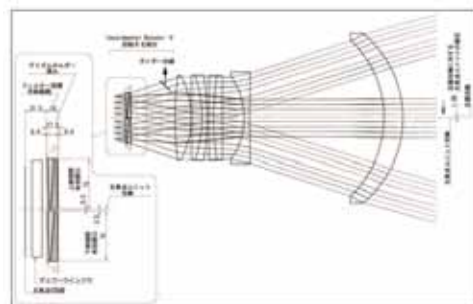
また 2009 年度は、当初予想もしなかった、太陽系の小惑星の起源の研究にこのグリズムが大変効果的であることがわかり、新たな観測プロポーザルがすばる望遠鏡で採択され、その試験観測も成功裏に行われた。

遠方銀河の検出とその性質を解明する研究は、期間中継続して行い成果を挙げた。

4. 研究成果

(1) 赤色波長域用 (赤玉) と青色波長域用 (青玉) の二つのグリズムの製作

グリズムは、主焦点カメラ Suprime-Cam の前に置くフィルターと同じ規格で製作しなければならないため、厚みを 1.7cm 以下にすることが必要であった。光学素子の強度を保つため、視野を 2 分割して独立のグリズム二つで Suprime-Cam の全視野を覆うというアイデアによってこの要請をクリアした。光線追跡シミュレーションを行い、仕様を定めて、2006 年度にまず赤玉を製作し、性能試験観測を行った。その性能がほぼ仕様通りであることを確認し、2007 年度に青玉を製作した。青玉もほぼ仕様通りの性能を有することを確認した。



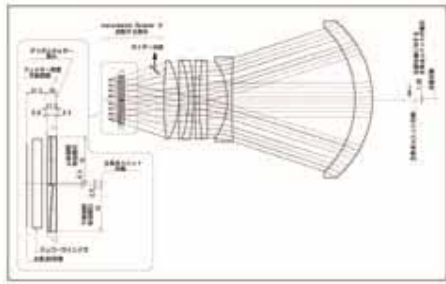


図1 赤玉（上）と青玉（下）の取り扱い説明図。グリズムを構成するグレーティングとプリズムの形状が4つのグリズムで微妙に異なることがわかる。

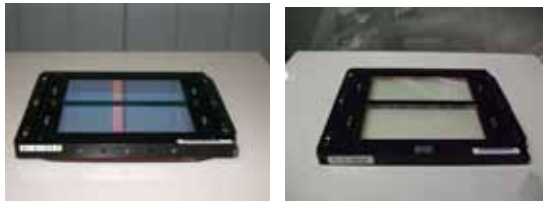


図2 完成した赤玉（左）と青玉（右）

(2) グリズムデータ解析用の専用パイプラインソフトウェアの開発

グリズムデータの解析は、通常の画像処理に加えて、グリズムデータ特有の処理が必要

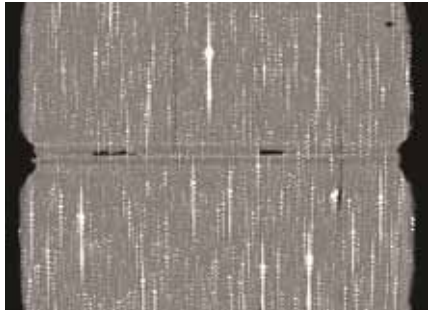


図3 長時間露光のグリズム画像の例。分散方向を直交させた同じ視野の画像。上は6時間露光、下は4時間露光に相当する。

なため、専用の処理ソフトが必要である。実

際の観測においては、5分程度の露出を多数回繰り返して、得られた多数の画像を加算して長時間露光に相当する画像を作る。長時間露光の画像では多数の天体のスペクトルが重なる(図3)。重なりの影響をできるだけ少なくするために、分散方向を直交させて同じ視野を撮影する。短時間露出の画像に通常の前処理を施し、位置を合わせて加算し、波長校正と分光放射強度校正を行い、分散方向を直交させた二種類の長時間露光の画像から、重なりの影響をできるだけ除いた1次元スペクトルを抽出するまでが専用パイプラインソフトの機能である。



図4 開発した専用パイプラインの構成図

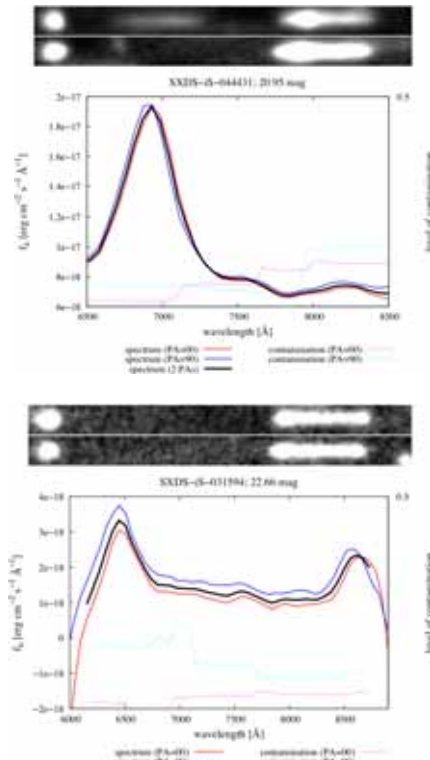


図5 新たに開発した専用ソフトによるスペクトルの抽出例。上の天体は輝線が1本($z=0.54$ の[OIII])、下は輝線が2本($z=0.73$ の[OII]と[OIII])検出された例。上にある2枚の画像は、分散方向の直交する二つの長時間画像からスペクトルを切り出した画像。左端の点状の像は0次光、右の細長い部分が1次光スペクトル。下の1次元スペクトルの黒

い実線が最終的な加算スペクトル。下に見える2本の薄い線は、他の天体のスペクトルの重なりによる「汚染度」を表示したもの。

(3) 遠方銀河の研究

性能試験観測が悪天候の影響で予定より遅れたこと、また、平成 2008 年度に採択されたすばる望遠鏡の観測が、これも悪天候の影響で予定の1/3のデータしか取得できなかった。このため、予定していた深さまで露出時間が届かず、研究目的に掲げた「各領域数万個と予想される輝線銀河を検出」することはできなかった。しかし、専用ソフトを開発して検出限界を調査した結果、十分な露出時間をかければ、遠方の輝線銀河の検出が可能なが示された。

また、本研究で目指した遠方銀河の研究では、グリズム以外のデータを用いて様々な成果が挙げた。特に 2009 年には、再電離期に近い宇宙にある巨大なライマン α 輝線銀河を発見したこと(図6)に加え、遠方銀河の観測のフロンティアをこれまでの赤方偏移 $z=6$ から $z=7$ に広げて信頼性の高い光度関数を求め、 $z=7$ における宇宙の星生成率密度を初めて推定し、宇宙再電離に果たす $z=7$ 銀河の役割を論じた(図7)。この二つの研究成果はプレスリリースで公表された。

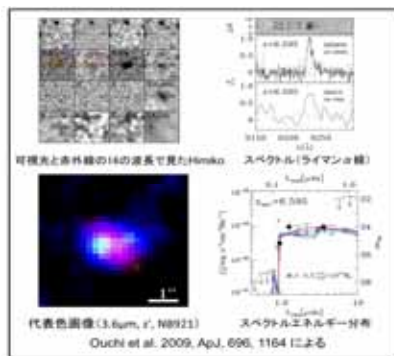


図6 再電離期に近い宇宙で発見された巨大なライマン α 輝線銀河。

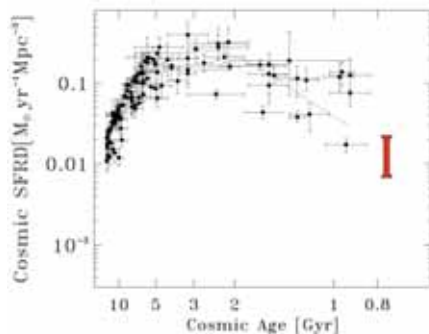


図7 宇宙の星形成率密度。横軸は赤方偏移(下)及び宇宙年齢(上)。赤の記号が今回求めた値。

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は下線)

[雑誌論文] (計 11 件)

(1) Morokuma, T., Doi, M. et al. 2010, “Subaru FOCAS Spectroscopic Observations of High-Redshift Supernovae”, PASJ, 62, 19-37 (査読有)

(2) Ono, Y., Ouchi, M., Shimasaku, K., Akiyama, M., Dunlop, J., Farrah, D., Lee, J. C., McLure, R., Okamura, S., Yoshida, M. 2010, “Stellar populations of Ly α emitters at $z = 3-4$ based on deep large area surveys in the Subaru-SXDS/UKIDSS-UDS Field”, MNRAS, 402, 1580-1591. (査読有)

(3) Taniguchi, Y. et al. (31 名; 1 番目) 2009, “Hubble Space Telescope/Advanced Camera for Surveys Morphology of Ly α Emitters at Redshift 5.7 in the COSMOS Field”, ApJ, 701, 915-944. (査読有)

(4) Ouchi, M., Mobasher, B., Shimasaku, K., Ferguson, H., Fall, S. M., Ono, Y., Kashikawa, N., Morokuma, T., Nakajima, K., Okamura, S., Dickinson, M., Giavalisco, M., Ohta, K. 2009, “Large Area Survey for $z = 7$ Galaxies in SDF and GOODS-N: Implications for Galaxy Formation and Cosmic Reionization”, ApJ, 706, 1136-1151. (査読有)

(5) Ouchi, M., Ono, Y., Egami, Ei., Saito, T., Oguri, M., McCarthy, Patrick J., Farrah, D., Kashikawa, N., Momcheva, I., Shimasaku, K., Okamura, S. et al. (28 名; 10,16 番目) 2009, “Discovery of a Giant Ly α Emitter Near the Reionization Epoch”, ApJ, 696, 1164-1175. (査読有)

(6) Yoshida, M., Shimasaku, K., Furusawa, H., Okamura, S. 2008, “The Subaru/XMM-Newton Deep Survey (SXDS). VII. Clustering Segregation with Ultraviolet and Optical Luminosities of Lyman Break Galaxies at $z \sim 3$ ”, ApJ, 679, 269-278. (査読有)

(7) Ouchi, M., Shimasaku, K., Okamura, S., Furusawa, H. et al. (16 名; 2, 7,12 番目) 2008, “The Subaru/XMM-Newton Deep Survey (SXDS). IV. Evolution of Ly α Emitters from $z = 3.1$ to 5.7 in the 1 deg 2 Field: Luminosity Functions and AGN”, ApJS., 176, 301-330. (査読有)

(8) Hayashi, M., Shimasaku, K., Motohara, K., Yoshida, M., Okamura, S., Kashikawa, N. 2007, “Luminosity-Dependent Clustering of Star-forming BzK Galaxies at Redshift 2”, ApJ, 660, 72-80. (査読有)

(9) Kashikawa, N., Yoshida, M., Shimasaku, K., Nagashima, M., Yahagi, H., Ouchi, M., Matsuda, Y., Malkan, M. A., Doi, M., Iye, M., Komiyama, Y., Okamura, S., Taniguchi, Y. et al. (40名; 3, 9, 22, 31, 37番目) 2006, “Clustering of Lyman Break Galaxies at $z=4$ and 5 in the Subaru Deep Field: Luminosity Dependence of the Correlation Function Slope”, ApJ, 637, 631-647. (査読有)

(10) Yoshida, M., Shimasaku, K., Kashikawa, N., Ouchi, M., Okamura, S., Doi, M., Furusawa, H., Komiyama, Y., Taniguchi, Y. et al. (38名; 2, 5, 10, 11, 19, 35番目) 2006, “Luminosity Functions of Lyman Break Galaxies at $z=4$ and $z=5$ in the Subaru Deep Field”, ApJ, 653, 988-1003. (査読有)

(11) 大野貴博「すばるの主焦点全面分光による輝線銀河の探査」修士論文 東京大学 (2010年3月)

[学会発表] (計4件)

Yoshida, F., Yagi, M., Komiyama, Y., Nakata, F., Furusawa, H., Ohno, T., Okamura, S., Nakamura, T. 2010, “Slitless Spectroscopy of Small Solar System Bodies on a Dark Cloud Curtain”, 41st Lunar and Planetary Science Conference, held March 1-5, 2010 in The Woodlands, Texas. LPI Contribution No. 1533, p.1290

「 $z=3.1, 3.7$ の Lyman α 輝線銀河の近赤外測光」小野宜昭、嶋作一大、吉田真希子、岡村定矩、日本天文学会 2007 年秋季年会 (岐阜大学、講演番号 X23b)

「すばるの主焦点カメラ Suprime-Cam 用長波長用グリズムの性能評価」大野貴博、岡村定矩、嶋作一大、小山佑世、小野宜昭、土居守、小宮山裕、古澤久徳、谷口義明、塩谷泰広、山室智康、日本天文学会 2008 年秋季年会 (岡山理科大学、講演番号 V30a)

「すばるの主焦点全面分光のデータ解析ソフトウェアの開発」大野貴博、岡村定矩、嶋作一大、小山佑世、小野宜昭、土居守、八木雅

文、小宮山裕、古澤久徳、谷口義明、塩谷泰広、山室智康、日本天文学会 2010 年春季年会 (広島大学、講演番号 V81a)

[その他]
プレスリリース

古代宇宙で巨大天体を発見 — 謎のガス雲ヒミコ —

http://www.subarutelescope.org/Pressrelease/2009/04/22/j_index.html

すばる望遠鏡、多数の超遠方銀河を発見

http://subarutelescope.org/Pressrelease/2009/11/06/j_index.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡村 定矩 (OKAMURA SADANORI)
東京大学大学院理学系研究科・教授
研究者番号：20114423

(2) 研究分担者 (2008 年度からは全員連携研究者に移行)

土居 守 (DOI MAMORU)
東京大学大学院理学系研究科・教授
研究者番号：00242090
嶋作一大 (SHIMASAKU KAZUHIRO)
東京大学・大学院理学系研究科・准教授
研究者番号：00251405
谷口義明 (TANIGUCHI YOSHIAKI)
愛媛大学・宇宙進化研究センター・教授
研究者番号：40192637
小宮山裕 (KOMIYAMA YUTAKA)
国立天文台・光赤外研究部・助教
研究者番号：20370108
古澤久徳 (FURUSAWA HISANORI)
国立天文台・天文データセンター・特任助教
研究者番号：10425407

(3) 研究協力者

山室智康 (YAMAMURO TOMOYASU)
(オプトクラフト)