

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19540246

研究課題名（和文） 初代銀河による宇宙再電離の解明

研究課題名（英文） Probe the reionization process with first galaxies

研究代表者

柏川 伸成 (KASHIKAWA NOBUNARI)

国立天文台・光赤外研究部・准教授

研究者番号：290883

研究成果の概要（和文）：すばる望遠鏡とケック望遠鏡を用いて世界最大の $z=5.7$ 及び $z=6.5$ の Ly α 輝線銀河分光サンプルを構築した。これらを用いてより正確な銀河の光度関数を導き、両者を比較したところ、再電離以前以降で銀河の明るさ分布に有意な差があるという確固とした結論を得ることができた。

研究成果の概要（英文）：We have obtained the largest spectroscopic sample of Lyman alpha emitting galaxies at $z=5.7$ and 6.5 by using Subaru and Keck telescopes. We have derived a more accurate Ly α luminosity function of LAEs at $z=6.5$, which reveals an apparent deficit at the bright end that observed at $z=5.7$. This result may imply that the reionization of the universe has not been completed at $z=6.5$.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：銀河天文学、観測的宇宙論

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：再電離、初期宇宙、ライマン α 輝線銀河、ライマンブレイク銀河、銀河形成、銀河進化、宇宙の大規模構造、遠方宇宙

1. 研究開始当初の背景

まだ宇宙が誕生して間もないころ、宇宙空間の中性水素ガスがすべて電離され現在の宇宙となった。この宇宙全体の物理状態を大きく変えたプロセスは「宇宙再電離」と呼ばれているが、いつ、何が、どのように、この再電離を引き起こしたかは未だ全くわかっていない。この時期の物理プロセスについて理論的な予測は数多くなされている反面、これほど宇宙初期を対象とした観測はこれまで極めて困難であった。この時代の物理プロセスを解明することは現代天文学の大きな課題の1つであり、次世代宇宙望遠鏡・地上大型望遠鏡の主たる研究目的の1つに必ず挙げられている。われわれは、3年間にわた

ていない。この時期の物理プロセスについて理論的な予測は数多くなされている反面、これほど宇宙初期を対象とした観測はこれまで極めて困難であった。この時代の物理プロセスを解明することは現代天文学の大きな課題の1つであり、次世代宇宙望遠鏡・地上大型望遠鏡の主たる研究目的の1つに必ず挙げられている。われわれは、3年間にわた

るすばる望遠鏡の誇る広視野 (34'×27') を利用した系統的な遠方銀河探査観測、すばる深宇宙探査計画 (SDF; Kashikawa et al. 2004) において、この再電離期に存在すると思われる赤方偏移 (以後 z と記す) が 6 (約 127 億光年) を超える超遠方銀河を多数発見した。「ライマン α 輝線銀河」と呼ばれるこれらの超遠方銀河 = 初代銀河はその発見自体が銀河形成・進化モデルに強い制限を与えるだけでなく、宇宙再電離化の時期とその様子についても多大な情報を持ち合わせ、この分野の研究に大きなインパクトを与える可能性を秘めている。実際にわれわれのこれまでの研究では、 $z=6.5$ の時代には銀河の個数密度が統計的有意性を持って減少していることから、この時代がすでに宇宙再電離期である可能性があること、そして銀河サンプルを基に宇宙の水素中性化比率 (宇宙空間の水素がどれだけ電離されずに残っているか) に制限を加えることが可能であることを初めて示した (Kashikawa et al. 2006)。われわれのサンプルは現在国内外で最遠方かつ最大のサンプルであり、再電離を理解するための唯一の統計的銀河サンプルとなっている。またこの中には人類が目にした「最も遠い銀河」($z=6.96$) も含まれている。これまでのわれわれの研究によって比較的光度の明るい銀河についての知見が得られたが、暗い銀河についてはまだ観測が及んでいない。また観測データも可視光観測によるものに限られている。この研究をさらに発展させ宇宙再電離をよりよく理解するためには、A) 分光追観測、近赤外追撮像観測を行うことでこの時代の銀河が宇宙再電離にどれだけ貢献したのかを正確に評価すること、B) もう 1 つの「ライマンブレイク銀河」と併せて、再電離前後の宇宙におけるこれら銀河の特性と比較することで宇宙初期における銀河形成・進化と宇宙再電離を区別して理解すること、が急務である。

2. 研究の目的

本研究ではわれわれが現在持つ世界最大の再電離期 ($z=6.5$) の銀河サンプルを軸に、A) このサンプルについての発展研究として、分光観測と近赤外観測の追観測を行うこと、B) このサンプルについての比較研究として、再電離および銀河進化のプロセスを追うために $z=6.5$ 前後の銀河サンプルの構築を行うことを 2 つの大きな目的に掲げる。

A) 分光・近赤外追観測

宇宙再電離の銀河を観測的に研究する上で最も気をつけなければならないのは、銀河進化の効果といかにして分離して観測量を引き出すか、ということである。そのために、銀河間ガスとして存在する中性水素に吸

収・散乱されやすい「ライマン α 輝線」と、中性水素ガスに影響されにくい「静止系 UV 光」の両方を同時に測定することが重要となる。前者からは宇宙再電離の様子が、後者からは銀河進化の様子が伺える。このために前者を測定するための分光観測、後者を測定するための近赤外観測が要求される。現在われわれの所有するデータにおいては明るいサンプルについては分光されているものの暗いサンプルについてはまだ十分な数のデータがあるとは言えない。また近赤外データのない現在は静止系 UV 光強度を可視撮像データから推量している。これらの不定性をなくし、数多くのデータについてライマン α 輝線強度、静止系 UV 光強度を直接測定することができれば、この時代の銀河の光度分布関数が確定でき、1) 再電離以前の銀河の明るさ分布と有意な差があるか否か、またそれを理論モデルと比較することによって宇宙の中性化比率を制限できる、2) 光度分布関数からこの時代の銀河から放たれた総光子数が評価でき、宇宙全体を完全に再電離できうる量か否か、この時代の銀河が宇宙再電離にどれだけ貢献したのかを定量的に結論できる、3) 背景輻射による光解離効果の弱いと考えられている宇宙再電離期において暗い銀河がどれだけ形成されたかを評価し、宇宙初期の銀河形成の様子を知ることができる、と以上のような成果が期待される。

B) 再電離前後の銀河サンプルの構築

上記 A) によって $z=6.5$ における銀河形成と宇宙再電離の様子を理解した上で、この時代を挟む 2 つの時代において同様に銀河サンプルを構築することによって、これら銀河形成と宇宙再電離の様子を時間的に連続してとらえたい。小さな銀河が集合・合体を繰り返し現在見られるような大きな銀河に育ったという階層的銀河形成シナリオは、現在多くの観測結果と合致しているが、この時代にまさにそのようなアセンブリが行われていたと結論する観測事実も見つかっている。急激な銀河進化と急激な宇宙イオン化状態の変化が同時に起きていたとすれば両者を区別するのは難しい。われわれはこれを克服するために A) で掲げたような研究計画を立てているのであるが、より確かな確証を得るためにはより長い時間スケールで両者の変化を捉えることが重要であると考えている。具体的には、 $z=5.7$ と $z=7.0$ の時代について A) と同じような手法で評価を与え、それらの時間発展を区別したい。 $z=7.0$ の時代は、われわれがたった 1 個の銀河をやっと見つけることのできばかりの人類が到達した最高赤方偏移の時代であり、観測は非常にチャレンジングなものになるが、赤方偏移が 6.5 と 7.0 の間で宇宙再電離による中性化比率がどのように連続的に変化した

のか時変化を迫る観測量は現在のところライマン α 輝線銀河において他にはない。また、ライマン α 輝線銀河についてその光度分布関数が $z=3$ から $z=6$ まで変化しないというこれまでの観測事実を前提としているが、本当にこの前提が正しいのかを再確認する必要があるだろう。よって、 $z=3-5$ に位置するライマン α 輝線銀河についてより広い視野に基づいた銀河特性の調査も行いたい。またライマン α 輝線銀河と並んで高赤方偏移における星形成銀河である「ライマンブレイク銀河」(Kashikawa et al. 2005)も同時にサンプルし、この両種族の進化上あるいは物理的なつながりについて解明するとともに、現在の銀河形成モデルの本質となっているアセンブリの歴史を明らかにしたい。

3. 研究の方法

すばるなど地上大型望遠鏡研究を用いて、目的AのすべてとBの一部についての観測データを取得する。具体的には、われわれの $z=6.5$ のライマン α 輝線銀河の光度の暗いサンプルについて、すばる微分光天体撮像分光装置を用いた分光観測と近赤外多天体撮像分光装置を用いた近赤外撮像観測、及び $z=3$ 付近の2平方度にわたるライマン α 輝線銀河広視野撮像探査である。前者は主目的の $z=6.5$ のライマン α 輝線銀河に加え、研究目的Bのために $z=5.7$ のライマン α 輝線銀河及び $z=6$ 付近のライマンブレイク銀河も観測対象とする。これらすべてのデータ解析には慎重を期すために約1-1.5年間の時間がかかる。これらのすばる望遠鏡で取得されたデータの観測・解析には研究代表者および連携研究者・本原頭太郎が責任を持って遂行にあたる。また広視野観測撮像観測のデータ解析については研究協力者のMoire Prescott (アリゾナ大学)が夏季に三鷹の国立天文台を訪れ滞在期間中に担当する予定である。一方で研究協力者のMatt Malkan・Chun Ly (カルフォルニア大学)が中心となって平成19年度にアメリカ・ケック望遠鏡/ウィーン望遠鏡/キットピーク望遠鏡において観測を行う。この観測の主目的は低赤方偏移($z < 1.5$)の輝線銀河なのであるが、われわれの主目的であるライマン α 輝線銀河とは手法が全く同じであることから補完的に両観測を遂行することが約束されている。必要であればこれらの観測にも同行・解析にも参加する。平成20年度にも新たな観測を行う。具体的には、1) 研究協力者・江上英一(アリゾナ大学)が中心となって遂行するハッブル望遠鏡による近赤外観測及びスピッツァー宇宙望遠鏡によるサブミリ波による観測、2) 研究協力者・大内正己(アメリカ宇宙望遠鏡センター)が中心となるすばる望遠鏡を用いた

広視野撮像観測、3) 連携研究者・嶋作一大による長波長感度に特化した広視野カメラによってさらに高赤方偏移にある $z=7.2$ のライマン α 輝線銀河を検出する観測、及び4) レーザーガイド星を用いてこれらの超遠方銀河の空間的構造・形態を探るための観測を行う。

取得されたデータについて、まずはこれまでの研究で仮定していたモデル・サンプルの完全性などについて、新しいデータに基づきもう一度その妥当性を確認する。次にライマン α 輝線光度、及び静止系UV光度についての光度分布関数を求め、再電離以前のものと詳細な比較を行う。これらの違いからこの時期の宇宙の中性化比率を求め、数々の不定性・バイアスを考慮しながら誤差範囲を決定する。また静止系UV光度で見た場合に再電離期の低光度銀河の数は多いというモデル予測と比較することによって、この時期の背景放射による銀河形成の阻害の程度の観測的に評価する。

観測時間申請が受理されない場合、またやむをえない理由(悪天候、望遠鏡トラブル、など)によって観測が不履行は次年度に繰り越す。

成果発表については、1) 多波長観測によってライマン α 輝線銀河の星質量を求める。これを $z=3-5$ のそれと比較することによりこの銀河種族のアセンブリ史を明らかにすることができる。2) 広視野観測によってライマン α 輝線銀河の空間分布に非一様性があることがわかれば、そこから宇宙再電離の進行の空間一様性を定量化する。また、平成19年度に行う $z=3$ の広視野サーベイの結果と比較することでこの非一様性が銀河分布本来のものによるのか宇宙再電離による銀河間ガスの非一様性によるものなのかを区別する。さらに、現在開発中の次期広視野カメラおよびレーザーガイド星を用いたアダプティブオプティクス(AO)がこの頃に運用を始めているとすれば、3) $z=7.2$ のライマン α 輝線銀河を検出しさらに初期の時代における宇宙中性化比率を求め、これまでの研究で導かれた $z=6.5$ 、 $z=7.0$ のそれと比較し、再電離の進行の様子を探る、4) レーザーガイド星を用いてこれら遠方銀河の高空間分解能近赤外撮像観測を行い、これら初代銀河の形態及び静止系UV強度に制限を与える。これらわれわれの観測結果と、この次期に得られるであろう電波観測による初期宇宙の中性水素の観測結果を統合させ、宇宙再電離についての理解を深める。

また最終年度には、これら研究期間3年間を振り返って宇宙再電離について新たに得られた知見について総括する。われわれの取得したデータの中に当分野・他分野の研究に有用だと思われるものがあれば他の研究者に

公開する。

4. 研究成果

本研究ではわれわれが現在持つ世界最大の再電離期 ($z=6.5$) の銀河サンプルを軸に、分光観測と近赤外観測の追観測を行い、初期宇宙における再電離および銀河進化のプロセスを追うことが目的である。平成19年-20年にすばる望遠鏡及びケック望遠鏡共同利用観測として分光観測を行ったがいずれも天候に恵まれず、観測データの一部が取得されたにとどまった。しかしながら、この一部のデータだけからでも世界最大の $z=6.5$ の銀河分光サンプルを構築し、再電離以前以降で銀河の明るさ分布と有意な差があるか否かについての途中経過的な報告を、いくつかの学会において発表した。平成21年にはケック望遠鏡共同利用観測として分光観測を行い、まずまず良質の観測データが取得された。このデータから世界最大の $z=6.5$ の銀河分光サンプルを構築し、再電離以前以降で銀河の明るさ分布と有意な差があるという確固とした結論を得ることができた。途中経過的な報告を、いくつかの学会において発表し、この成果については現在論文執筆中である。

平成20年度に天候不順で未達成のまま終わった近赤外撮像データについても平成21年度には部分的に所得に成功し、現在データ解析中である。

同時に $z=6$ のライマンブレイク銀河についてもサンプルし、非常に稀な初期銀河団候補を発見し、その特性についてまもなく成果をまとめる予定である。

一方で研究協力者のMatt Malkan・Chun Ly (カルフォルニア大学) が中心となってキットピーク望遠鏡の観測を行った。本研究の主目的であるライマン α 輝線銀河と並んで高赤方偏移における星形成銀河である $z=3$ におけるライマンブレイク銀河も同時にサンプルすることができ、その光度関数、空間分布、星質量などについて新たな知見が得られ、この両種族の進化上あるいは物理的なつながり、現在の銀河形成モデルの本質となっているアセンブリの歴史について考察した。

$z=3$ 付近の2平方度にわたるライマン α 輝線銀河広視野撮像探査については観測・解析も順調に完了し、初期成果をまとめた。この研究においてはライマン α プロブという天体が銀河の高密度領域に選択的に存在することを示した。

また当初の研究計画にはなかったが、本研究の展開として新たに初期宇宙におけるクエーサー探査を開始した。これは未だかつて誰も目にしたことのない宇宙で最初の大質量ブラックホールを発見する計画である。す

ばる望遠鏡を用いて良質のデータを取得することに成功し、初期成果はいくつかの学会で発表した。これについては平成22年度以降大きな展開が期待される。

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 33 件)

1. A search for galaxies in and around an HI overdense region at $z = 5$, Y.Matsuda, N.Kashikawa, K.Shimasaku et al., MNRAS, 403, 2010, L54-58, 査読有
2. Subaru FOCAS Spectroscopic Observations of High-Redshift Supernovae, T.Morokuma, N.Kashikawa et al., PASJ, 62, 2010, 19-37, 査読有
3. Large Area Survey for $z = 7$ Galaxies in SDF and GOODS-N: Implications for Galaxy Formation and Cosmic Reionization, M.Ouchi, K.Shimasaku, N.Kashikawa et al., APJ, 706, 2009, 1136-1151, 査読有
4. An Intensive Hubble Space Telescope Survey for $z > 1$ Type Ia Supernovae by Targeting Galaxy Clusters, K.S.Dawson, N.Kashikawa et al., AJ, 138, 2009, 1271-1283, 査読有
5. Subaru Weak-Lensing Survey II: Multi-Object Spectroscopy and Cluster Masses, T.Hamana, N.Kashikawa et al., PASJ, 61, 2009, 833-872, 査読有
6. Lyman Break Galaxies at $z \approx 1.8-2.8$: GALEX/NUV Imaging of the Subaru Deep Field, C.Ly, N.Kashikawa, K.Shimasaku et al., APJ, 697, 2009, 1410-1432, 査読有
7. Subaru Mid-Infrared Imaging of the Quadruple Lenses. II. Unveiling Lens Structure of MG0414+0534 and Q2237+030, T.Minezaki, N.Kashikawa et al., APJ, 697, 2009, 610-618, 査読有
8. Discovery of a Giant Ly α Emitter Near the Reionization Epoch, M.Ouchi, K.Shimasaku, N.Kashikawa et al., APJ, 696, 2009, 1164-1175, 査読有
9. Star Formation Rates and Metallicities of K-Selected Star-Forming Galaxies at $z \sim 2$, M.Hayashi, K.Shimasaku, K.Motohara, N.Kashikawa et al., APJ, 691, 2009, 140-151, 査読有
10. Strange Filamentary Structures ("Fireballs") around a Merger Galaxy in the Coma Cluster of Galaxies, M.Yoshida, N.Kashikawa et al., APJ, 688, 2008, 918-930, 査読有

11. The Subaru/XMM-Newton Deep Survey (SXDS). IV. Evolution of Ly α Emitters from $z=3.1$ to 5.7 in the 1 deg² Field: Luminosity Functions and AGN, M.Ouchi, [K.Shimasaku](#), [N.Kashikawa](#) et al., APJS, 176, 2008, 301-330, 查読有
12. A Photometric Survey for Ly α -He II Dual Emitters: Searching for Population III Stars in High-Redshift Galaxies, T.Nagao, [N.Kashikawa](#) et al., APJ, 680, 2008, 100-109, 查読有
13. The Overdense Environment of a Large Ly α Nebula at $z \sim 2.7$, M.Prescott, [N.Kashikawa](#) et al., APJ, 678, 2008, L77-80, 查読有
14. Reionization and Galaxy Evolution Probed by $z = 7$ Ly α Emitters, K.Ota, [N.Kashikawa](#), [K.Shimasaku](#), [K.Motohara](#) et al., APJ, 677, 2008, 12-26, 查読有
15. The Subaru/XMM-Newton Deep Survey (SXDS). V. Optically Faint Variable Object Survey, [T.Morokuma](#), [N.Kashikawa](#) et al., APJ, 676, 2008, 163-183, 查読有
16. The Subaru/XMM-Newton Deep Survey (SXDS). VI. Properties of Active Galactic Nuclei Selected by Optical Variability, [T.Morokuma](#), [N.Kashikawa](#) et al., APJ, 676, 2008, 121-130, 查読有
17. The Aspherical Properties of the Energetic Type Ic SN 2002ap as Inferred from Its Nebular Spectra, P.Mazalli, [N.Kashikawa](#), APJ, 670, 592-599, 查読有
18. A Subaru Weak-Lensing Survey. I. Cluster Candidates and Spectroscopic Verification, S.Miyazaki, [N.Kashikawa](#) et al., APJ, 669, 2007, 714-728, 查読有
19. Spectroscopic Analysis of H I Absorption-Line Systems in 40 HIRES Quasars, T.Misawa, [N.Kashikawa](#) et al., AJ, 134, 2007, 1634, 查読有
20. Searching for a Companion Star of Tycho's Type Ia Supernova with Optical Spectroscopic Observations, Y.Ihara, [N.Kashikawa](#) et al., PASJ, 59, 2007, 811-826, 查読有
21. A huge filamentary structure at $z = 0.55$ and star formation histories of galaxies at $z < 1$, M.Tanaka, [N.Kashikawa](#) et al., MNRAS, 379, 2007, 1546-1556, 查読有
22. Quantitative comparison between type Ia supernova spectra at low and high redshifts: a case study, G. Garavini, [N.Kashikawa](#) et al., A&A, 470, 2007, 411-424, 查読有
23. Rest-Frame R-band Light Curve of a $z \sim 1.3$ Supernova Obtained with Keck Laser Adaptive Optics, J.Melbourne, [N.Kashikawa](#) et al., AJ, 133, 2007, 2709-2715, 查読有
24. The kinematics of intracluster planetary nebulae and the on-going subcluster merger in the Coma cluster core, O.Gerhard, [N.Kashikawa](#) et al., A&A, 468, 2007, 815-822, 查読有
25. The Remarkable 60 \times 2 kpc Optical Filament Associated with a Poststarburst Galaxy in the Coma Cluster, M.Yagi, [N.Kashikawa](#) et al., APJ, 660, 2007, 1209-1214, 查読有
26. Integral Field Spectroscopy of the Quadruply Lensed Quasar 1RXS J1131-1231: New Light on Lens Substructures, H.Sugai, [N.Kashikawa](#) et al., APJ, 660, 2007, 1016-1022, 查読有
27. Results of Monitoring the Dramatically Variable C IV Mini-Broad Absorption Line System in the Quasar HS 1603+3820, T.Misawa, [N.Kashikawa](#) et al., APJ, 660, 2007, 152-166, 查読有
28. Luminosity-Dependent Clustering of Star-forming BzK Galaxies at Redshift 2, M.Hayashi, [K.Shimasaku](#), [K.Motohara](#), [N.Kashikawa](#) et al., APJ, 660, 2007, 72-80, 查読有
29. Multi-Slit Imaging Spectroscopy Technique: Catalog of Intracluster Planetary Nebulae in the Coma Cluster, M.Arnaboldi, [N.Kashikawa](#) et al., PASJ, 59, 2007, 419-425, 查読有
30. The Luminosity Function and Star Formation Rate between Redshifts of 0.07 and 1.47 for Narrowband Emitters in the Subaru Deep Field, C.Ly, [N.Kashikawa](#), [K.Shimasaku](#), [K.Motohara](#) et al., APJ, 657, 2007, 738-759, 查読有
31. The End of the Reionization Epoch Probed by Ly α Emitters at $z=6.5$, [N.Kashikawa](#), Highlights of Astronomy, 14, 2007, 256-256, 查読有
32. High-redshift Ly α emitters with a large equivalent width. Properties of i'-dropout galaxies with an NB921-band depression in the Subaru deep field, T.Nagao, [N.Kashikawa](#) et al., A&AP, 468, 2007, 877-883, 查読有
33. The Habitat Segregation between Lyman Break Galaxies and Ly α Emitters around a QSO at $z \sim 5$,

N.Kashikawa et al., APJ, 663, 2007,
765-773, 査読有

[学会発表] (計 17 件)

1. TMT で探る銀河形成・銀河進化、柏川伸成、日本天文学会、2010/3/24-27、広島大学、広島県
2. HSC と TMT のシナジー、柏川伸成、HSC 研究会、2010/03/15-17、弘前大学、岩手県
3. TMT project、柏川伸成、巨大ブラックホールと銀河の共進化、2010/02/18-20、筑波大学、茨城県
4. TMT project、柏川伸成、大望遠鏡による高分散分光観測の展望、2010/02/12-13、国立天文台、東京都
5. HSC high-z QSO survey、柏川伸成、超広域サーベイによる巨大ブラックホール進化の研究、2009/10/15-17、愛媛大学、愛媛県
6. 遠方銀河観測で探る再電離と初代天体、柏川伸成、ガンマ線バーストで読み解く太古の宇宙、2009/09/24-26、岐阜大学、岐阜県
7. TMT 観測装置検討の現状、柏川伸成、TMT 計画技術検討会、2009/6/16、国立天文台、東京都
8. TMT から SPICA への期待、柏川伸成、SPICA サイエンスワークショップ、2009/06/1-2、東京大学、東京都
9. High-z Galaxies at the epoch of reionization, N.Kashikawa, Focus week of the Epoch of the reionization, 2009/11/30-12/2, IPMU, Chiba, Japan
10. High-z Galaxies at the epoch of reionization, N.Kashikawa, Reionization with Multi-frequency Datasets, 2009/7/17-20, Stockholm U., Stockholm, Sweden
11. Ly α 輝線銀河から探る銀河形成と初代天体、柏川伸成、初代天体研究会、8-10/09/2008、甲南大学、兵庫県
12. 初期宇宙と銀河形成、柏川伸成、銀河形成研究の最前線、13-15/02/2008、国立天文台、東京都
13. Panoramic view of cosmic frontier with Subaru, N.Kashikawa et al., Panoramic Views of Galaxy Formation and Evolution, 11-16/12/2007GUAS, Kanagawa, Japan
14. High-z DLA の直接検出、柏川伸成、QSO 吸収線研究会、9-10/10/2007、強羅静雲荘、神奈川県
15. Reionization probed by high-z galaxies with Subaru, N.Kashikawa, Lyman alpha emitters, 15-17/10/2007, IAP, Paris, France

16. Ly 輝線銀河から探る宇宙再電離、柏川伸成、日本天文学会、27/09/2007、岐阜大学、岐阜県

17. Lyman Alpha Galaxies from $z=5.7$ to 6.96 with Subaru, N.Kashikawa, 2007, American Astronomical Society Meeting 210, 30/05/2007, Honolulu, America

[図書] (計 2 件)

1. N.Kashikawa et al., Panoramic Views of Galaxy Formation and Evolution ASP Conference Series, Vol. 399, 513, Astronomical Society of the Pacific, 2008

2. N.Kashikawa, At the edge of the universe: Latest results from the deepest astronomical surveys, Astronomical Society of the Pacific, 11-16, 2007

[その他]

ホームページ等

<http://optik2.mtk.nao.ac.jp/~kashik/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柏川 伸成 (KASHIKAWA NOBUNARI)
国立天文台・光赤外研究部・准教授
研究者番号：290883

(2) 研究分担者

嶋作 一大 (SHIMASAKU KAZUHIRO)
東京大学・理学研究科・准教授

研究者番号：251405

(H20→H21 連携研究者)

本原 顕太郎 (MOTOHARA KENTARO)
東京大学・理学研究科・助教

研究者番号：90343102

(H20→H21 連携研究者)

(3) 連携研究者

該当なし