

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：62616

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23340050

研究課題名(和文) 初代クエーサー探査による超巨大ブラックホールの形成と宇宙再電離の研究

研究課題名(英文) Studies of super massive blackhole formation and cosmic reionization by early quasar survey

研究代表者

柏川 伸成 (Kashikawa, Nobunari)

国立天文台・TMT推進室・准教授

研究者番号：00290883

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、すばる望遠鏡の大集光力と広視野撮像機能、及び特殊なフィルターを組み合わせることによって初期宇宙に存在するクエーサーの探査を主眼においた。これまでの観測によって、暗い赤方偏移6付近の遠方QSOを2つ発見した。これは従来の典型的なQSOよりも100倍暗い種族であり、形成途上のものである可能性が高い。同時に光度関数の暗い側を決定するためのよいサンプルであり、サーベイの有効体積を詳細に計算することで、ブラックホールの形成モデルに制限を与える可能性がある。関連して、初期大規模構造、銀河間物質についての観測研究においても新たな知見を得た。

研究成果の概要(英文)：In this study, we carried out a high-z quasar survey by combining large telescope, wide-field imaging, and special filter, which are unique capabilities of Subaru telescope. We discovered two distant faint quasars at z=6 from the observations over the last four years. These are 100 times fainter than the typical quasars at the same redshifts, implying that they are still in the growth phase. They could determine the faint-end of the quasar luminosity function, constraining the formation model of early blackholes. In addition, we have obtained noteworthy results on the initial large scale structure and intergalactic medium.

研究分野：銀河天文学

キーワード：初期宇宙 ブラックホール 宇宙再電離 銀河形成 銀河共進化

1. 研究開始当初の背景

近年、スローンデジタルスカイサーベイ (Sloan Digital Sky Survey: 以下 SDSS) 計画によって赤方偏移 6 (127 億年前) 付近の遠方 QSO が数多く発見された。これら遠方 QSO は初期宇宙における超巨大ブラックホール (Super Massive Black Hole: 以下 SMBH) の形成過程を理解するための重要な観測対象である。宇宙が誕生して 10 億年という短い間にどうやってこれだけの大質量天体が生まれたのかは大きな謎となっている。このメカニズムを説明するための QSO および SMBH 形成モデルがいくつか提唱されているが、残念ながらそれらの妥当性を観測的に制限するためには暗い遠方 QSO の数がまだまだ少なく、同時にさらに遠方の QSO の存在が重要な決め手となる。

一方、遠方 QSO は手前の宇宙を照らし出す明るい「灯台」としての役割も果たしている。宇宙再電離は間違いなく宇宙の歴史上の一大イベントであるが、それがいつどのように始まり、どのように進行したかは未だに解明されていない。宇宙初期の QSO の手前に未だ電離していない中性水素が充満していると、その光は連続的に吸収を受け、宇宙空間の「電離度」を知ることができる。SDSS の観測結果によると、赤方偏移 6 の時期を境にしてこの宇宙の電離度が飛躍的に変化することがわかり、この時期に急激に宇宙再電離が終焉を迎えたことがわかってきた。さらに、この電離度の測定値が QSO によってかなりまちまちであることからこの再電離という過程が空間的に非一様に進行したことが示唆されている。宇宙再電離を理解するためには、さらに遠方の QSO を使った電離度の進化や、多数の遠方 QSO を用いた電離度の空間的非一様性の定量化が急務となっている。

遠方 QSO に関する初期宇宙の研究は、確かに SDSS によって飛躍的に進歩をとげたが、2m 望遠鏡を使ったこの計画で見つかった QSO は非常に明るいものに限定されていたため、赤方偏移 6.44 以上の QSO は未だ発見されていない。QSO の個数密度は赤方偏移 2 (100 億年前) をピークとし、過去に遡るにつれて急激に減少する。したがって赤方偏移 6.5 を超える超遠方 QSO を見つけるためには、より大きな望遠鏡による広視野観測が不可欠となっている。

2. 研究の目的

本研究では、A) 赤方偏移 6.5 を超える超遠方 QSO を発見し、また B) 赤方偏移 6 付近の遠方 QSO の特に暗い種族を多数検出することを目的とする。これらによって、現代天文学の大問題となっている、1) 超巨大ブラックホールの形成過程、及び、2) 宇宙再電離の過程、という初期宇宙に関する 2 つの未解決過程について初めて実効的な観測のメスを入れ、飛躍的な理解を得ることが、本研究の 2 本の大きな柱である。

きな柱である。

(1) SMBH 形成モデルへの観測的制限

宇宙で最初にできた SMBH は、質量の小さな「ブラックホールの種」が合体してできたと考えられている。この種としてどんな天体を想定するかによって、赤方偏移 6 における暗い遠方 QSO の数、あるいは赤方偏移 6.5 を超える超遠方 QSO の個数が大きく異なることが予言されている。つまり SMBH 形成の理解のためには A と B の目的達成が本質的に重要であることがわかる。本研究の観測によってこれらを初めて観測的に明らかにしたい。

(2) 宇宙再電離過程への観測的制限

多数の暗い遠方 QSO が見つければ、その GP 効果の測定によって、空間的に宇宙の電離度がどのような相関を持っており、それが電離源としての QSO や銀河の分布とどのように関係しているのかを知ることができる。これは B のサンプルを用いて宇宙再電離の空間的非一様性を定量化する初めての試みである。また A のサンプルによって時代を遡り、電離度の進化を追うことによって、宇宙再電離化の歴史を明らかにしたい。

海外の同様な観測計画に比べて、既に先んじている本研究をさらにリードさせ、周辺分野に波及する効果を狙うための観測研究の第一歩とする。

3. 研究の方法

上記の 2 つの目的を達成するために、すばる望遠鏡の 1) 大集光力と 2) 広視野撮像機能、及び 3) 特殊なフィルターを用いる。この 3 つの有効な手段を組み合わせる手段を持っているのは研究代表者らのグループだけである。研究代表者らは、本研究のための予備観測として、これまでにすばる望遠鏡/ケック望遠鏡/VLT の観測時間を獲得し、その実効性の検証を行ってきた。平成 23 年度はすばる望遠鏡の事故のために観測を遂行することができず、計画の見直しを余儀なくされたが、平成 24 年度に外国の望遠鏡を用いることで克服した。これにより研究計画に若干の遅れが生じたが、その後の観測はほぼ順調に進行した。

4. 研究成果

(1) これまでの観測によって、暗い赤方偏移 6 付近の遠方 QSO を 2 つ発見し、平成 25 年度はこの発見の統計的信頼度、サンプルの完全性の検証、独立な選択法による検証、初期宇宙における個数密度の評価などを行った。平成 26 年度は、この成果についていくつかの学会で成果発表を行うとともにこれまでの成果をまとめ学会誌に発表した。これは従来の典型的な QSO よりも 100 倍暗い種族であり、形成途上のものである可能性が高い。

同時に光度関数の暗い側を決定するためのよいサンプルであり、サーベイの有効体積を詳細に計算することで、ブラックホールの形成モデルに制限を与える可能性がある。

(2) この2個のQS0について近赤外追観測を行い、MgII輝線の線幅からブラックホール質量の決定を試みたが、残念ながら天候に恵まれず、この観測の成果は得られなかった。引き続きこの方向性を追求してゆく。

(3) また、遠方QS0の形成に大きく関与する初期大規模構造の観測について一定の成果が挙げられた。理論モデルとの定量的な比較方法を提案し、われわれの発見した初期銀河団が現在どれくらいの質量をもつ銀河団に成長しているか、どれくらいの宇宙空間範囲にある初期銀河が将来銀河団銀河に成長するかについての知見を得た。この成果について現在論文執筆中である。

(4) 平成25年度には、遠方QS0を用いた吸収線系の研究について論文を発表した。

(5) 平成26年3月からはいよいよ本観測が開始された。研究期間中、内外の研究者と詳細なサーベイ計画の立案、画像処理の問題点の洗い出し、有効な選択方法の開発と確立、追観測の方針決定などについて議論を重ねた。これらの検討では本観測におけるわれわれの行ってきた予備観測での経験が活かされた。特に有効な選択方法については、新しい手法の開発にほぼ成功し、この手法によってより完全なサンプルの獲得できることを立証し、赤方偏移3-5にかけてのQS0にも十分適用できることを示した。

(6) 初期データについて、最初の候補天体の選出を行った。これらは追観測による結果の確定を待っている状況である。

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 26件)

- ① Kashikawa, Nobunari; Ishizaki, Yoshifumi; Willott, Chris J.; Onoue, Masafusa; Im, Myungshin; Furusawa, Hisanori; Toshikawa, Jun; Ishikawa, Shogo; Niino, Yuu; Shimasaku, Kazuhiro; Ouchi, Masami; Hibon, Pascale, The Subaru High-z Quasar Survey: Discovery of Faint $z \sim 6$ Quasars, The Astrophysical Journal, 査読有, 798巻, 2015, 28-37
DOI: 10.1088/0004-637X/798/1/28
- ② Ota, Kazuaki; Walter, Fabian; Ohta, Kouji; Hatsukade, Bunyo; Carilli, Chris L.; da Cunha, Elisabete; Gonzalez-Lopez, Jorge; Decarli, Roberto; Hodge, Jacqueline A.; Nagai, Hiroshi; Egami, Eiichi; Jiang, Linhua; Iye, Masanori; Kashikawa, Nobunari; Riechers, Dominik A.; Bertoldi, Frank; Cox 他3名, ALMA Observation of 158 μm [C II] Line and Dust Continuum of a $z = 7$ Normally Star-forming Galaxy in the Epoch of Reionization, The Astrophysical Journal, 査読有, 792巻, 2014, 34-46
DOI: 10.1088/0004-637X/792/1/34
- ③ Toshikawa, Jun; Kashikawa, Nobunari; Overzier, Roderik; Shibuya, Takatoshi; Ishikawa, Shogo; Ota, Kazuaki; Shimasaku, Kazuhiro; Tanaka, Masayuki; Hayashi, Masao; Niino, Yuu; Onoue, Masafusa, A First Site of Galaxy Cluster Formation: Complete Spectroscopy of a Protocluster at $z = 6.01$, The Astrophysical Journal, 査読有, 792巻, 2014, 15-29
DOI: 10.1088/0004-637X/792/1/15
- ④ Ly, Chun; Malkan, Matthew A.; Nagao, Tohru; Kashikawa, Nobunari; Shimasaku, Kazuhiro; Hayashi, Masao, Direct Gas-phase Metallicities, Stellar Properties, and Local Environments of Emission-line Galaxies at Redshifts below 0.90, The Astrophysical Journal, 査読有, 780巻, 2013, 122-149
DOI: 10.1088/0004-637X/780/2/122
- ⑤ Kashikawa, Nobunari; Misawa, Toru; Minowa, Yosuke; Okoshi, Katsuya; Hattori, Takashi; Toshikawa, Jun; Ishikawa, Shogo; Onoue, Masafusa, Extended Ly α Emission from a Damped Ly α Absorber at $z = 3.115$, The Astrophysical Journal, 査読有, 780巻, 2013, 116-123
DOI: 10.1088/0004-637X/780/2/116
- ⑥ Jiang, Linhua; Egami, Eiichi; Fan, Xiaohui; Windhorst, Rogier A.; Cohen, Seth H.; Dave, Romeel; Finlator, Kristian; Kashikawa, Nobunari; Mechtley, Matthew; Ouchi, Masami; Shimasaku, Kazuhiro, Physical Properties of Spectroscopically Confirmed Galaxies at $z \geq 6$. II. Morphology of the Rest-frame UV Continuum and Ly α Emission, The Astrophysical Journal, 査読有, 773巻, 2013, 153-166
DOI: 10.1088/0004-637X/773/2/153
- ⑦ Jiang, Linhua; Egami, Eiichi; Mechtley, Matthew; Fan, Xiaohui; Cohen, Seth H.; Windhorst, Rogier A.; Dave, Romeel; Finlator, Kristian; Kashikawa, Nobunari; Ouchi, Masami;

- Shimasaku, Kazuhiro, Physical Properties of Spectroscopically Confirmed Galaxies at $z \geq 6$. I. Basic Characteristics of the Rest-frame UV Continuum and Ly α Emission, The Astrophysical Journal, 査読有, 772 卷, 2013, 99-118
DOI: 10.1088/0004-637X/772/2/99
- ⑧ Kashikawa, Nobunari; Shimasaku, Kazuhiro; Matsuda, Yuichi; Egami, Eiichi; Jiang, Linhua; Nagao, Tohru; Ouchi, Masami; Malkan, Matthew A.; Hattori, Takashi; Ota, Kazuaki; 他 9 名, A Ly α Emitter with an Extremely Large Rest-frame Equivalent Width of $\sim 900\text{\AA}$; at $z = 6.5$: A Candidate Population III-dominated Galaxy?, The Astrophysical Journal, 査読有, 761 卷, 2012, 85-95
DOI: 10.1088/0004-637X/761/2/85
- ⑨ Urata, Yuji; Tsai, Patrick P.; Huang, Kuiyun; Morokuma, Tomoki; Yasuda, Naoki; Tanaka, Masaomi; Motohara, Kentaro; Hayashi, Masao; Kashikawa, Nobunari; Ly, Chun; Malkan, Matthew A., Unusual Long and Luminous Optical Transient in the Subaru Deep Field, The Astrophysical Journal Letters, 査読有, 760 卷, 2012, 11-17
DOI: 10.1088/2041-8205/760/1/L11
- ⑩ Ly, Chun; Malkan, Matthew A.; Kashikawa, Nobunari; Hayashi, Masao; Nagao, Tohru; Shimasaku, Kazuhiro; Ota, Kazuaki; Ross, Nathaniel R., The Stellar Population and Star Formation Rates of $z \sim 1.5-1.6$ [O II]-emitting Galaxies Selected from Narrowband Emission-line Surveys, The Astrophysical Journal, 査読有, 757 卷, 2012, 63-77
DOI: 10.1088/0004-637X/757/1/63
- ⑪ Yamanoi, Hitomi; Komiyama, Yutaka; Yagi, Masafumi; Okamura, Sadanori; Iye, Masanori; Kashikawa, Nobunari; Takata, Tadafumi; Furusawa, Hisanori; Yoshida, Michitoshi, The Galaxy Luminosity Functions down to $M_R = -10$ in the Coma Cluster, The Astronomical Journal, 査読有, 144 卷, 2012, 40-53
DOI: 10.1088/0004-6256/144/2/40
- ⑫ Ota, Kazuaki; Richard, Johan; Iye, Masanori; Shibuya, Takatoshi; Egami, Eiichi; Kashikawa, Nobunari, A search for $z = 7.3$ Ly α emitters behind gravitationally lensing clusters, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 査読有, 423 卷, 2012, 2829-2839
DOI: 10.1111/j.1365-2966.2012.21091.x
- ⑬ Shibuya, Takatoshi; Kashikawa, Nobunari; Ota, Kazuaki; Iye, Masanori; Ouchi, Masami; Furusawa, Hisanori; Shimasaku, Kazuhiro; Hattori, Takashi, The First Systematic Survey for Ly α Emitters at $z = 7.3$ with Red-sensitive Subaru/Suprime-Cam, The Astrophysical Journal, 査読有, 752 卷, 2012, 114-125
DOI: 10.1088/0004-637X/752/2/114
- ⑭ Prescott, Moire K. M.; Dey, Arjun; Brodwin, Mark; Chaffee, Frederic H.; Desai, Vandana; Eisenhardt, Peter; Le Floch, Emeric; Jannuzi, Buell T.; Kashikawa, Nobunari; Matsuda, Yuichi; Soifer, B. T., Resolving the Galaxies within a Giant Ly α Nebula: Witnessing the Formation of a Galaxy Group?, The Astrophysical Journal, 査読有, 752 卷, 2012, 86-111
DOI: 10.1088/0004-637X/752/2/86
- ⑮ Toshikawa, Jun; Kashikawa, Nobunari; Ota, Kazuaki; Morokuma, Tomoki; Shibuya, Takatoshi; Hayashi, Masao; Nagao, Tohru; Jiang, Linhua; Malkan, Matthew A.; Egami, Eiichi; 他 3 名, Discovery of a Protocluster at $z \sim 6$, The Astrophysical Journal, 査読有, 750 卷, 2012, 137-149
DOI: 10.1088/0004-637X/750/2/137
- ⑯ Yoshida, Michitoshi; Yagi, Masafumi; Komiyama, Yutaka; Furusawa, Hisanori; Kashikawa, Nobunari; Hattori, Takashi; Okamura, Sadanori, Kinematics and Excitation of the Ram Pressure Stripped Ionized Gas Filaments in the Coma Cluster of Galaxies, The Astrophysical Journal, 査読有, 749 卷, 2012, 43-60
DOI: 10.1088/0004-637X/749/1/43
- ⑰ Ly, Chun; Malkan, Matthew A.; Kashikawa, Nobunari; Ota, Kazuaki; Shimasaku, Kazuhiro; Iye, Masanori; Currie, Thayne, Dust Attenuation and H α Star Formation Rates of $z \sim 0.5$ Galaxies, The Astrophysical Journal Letters, 査読有, 747 卷, 2012, 16-23
DOI: 10.1088/2041-8205/747/1/L16
- ⑱ Hibon, P.; Kashikawa, N.; Willott, C.; Iye, M.; Shibuya, T., Search for $z \sim 7$ Ly α Emitters with the Suprime-Cam at the Subaru Telescope, The Astrophysical Journal, 査読有, 744 卷, 2012, 89-98
DOI: 10.1088/0004-637X/744/2/89
- ⑲ Ono, Yoshiaki; Ouchi, Masami; Mobasher, Bahram; Dickinson, Mark; Penner, Kyle; Shimasaku, Kazuhiro;

- Weiner, Benjamin J.; Kartaltepe, Jeyhan S.; Nakajima, Kimihiko; Nayyeri, Hooshang; Stern, Daniel; Kashikawa, Nobunari; Spinrad, Hyron, Spectroscopic Confirmation of Three z-dropout Galaxies at $z = 6.844-7.213$: Demographics of Ly α Emission in $z \sim 7$ Galaxies, The Astrophysical Journal, 査読有, 744 巻, 2012, 83-96
DOI: 10.1088/0004-637X/744/2/83
- ②① Jiang, Linhua; Egami, Eiichi; Kashikawa, Nobunari; Walth, Gregory; Matsuda, Yuichi; Shimasaku, Kazuhiro; Nagao, Tohru; Ota, Kazuaki; Ouchi, Masami, Keck Spectroscopy of Lyman-break Galaxies and Its Implications for the UV-continuum and Ly α Luminosity Functions at $z > 6$, The Astrophysical Journal, 査読有, 743 巻, 2011, 65-75
DOI: 10.1088/0004-637X/743/1/65
- ②① Ly, Chun; Malkan, Matthew A.; Hayashi, Masao; Motohara, Kentaro; Kashikawa, Nobunari; Shimasaku, Kazuhiro; Nagao, Tohru; Grady, Celestine, A Census of Star-forming Galaxies at $z = 1-3$ in the Subaru Deep Field, The Astrophysical Journal, 査読有, 735 巻, 2011, 91-116
DOI: 10.1088/0004-637X/735/2/91
- ②② Kashikawa, Nobunari; Shimasaku, Kazuhiro; Matsuda, Yuichi; Egami, Eiichi; Jiang, Linhua; Nagao, Tohru; Ouchi, Masami; Malkan, Matthew A.; Hattori, Takashi; Ota, Kazuaki; 他 9 名, Completing the Census of Ly α Emitters at the Reionization Epoch, The Astrophysical Journal, 査読有, 734 巻, 2011, 119-138
DOI: 10.1088/0004-637X/734/2/119

[学会発表] (計 23 件)

- ① Nobunari Kashikawa, TMT science cases, 3rd Annual Symposium of the Innovative Area on Multi-messenger Study of Gravitational Wave Sources, 2015 年 02 月 19 日～2015 年 02 月 21 日, 広島大学 (広島県・東広島市)
- ② Nobunari Kashikawa, High-z science summary, Evolution of SMBHs with HSC: First results from initial dataset, 2014 年 12 月 18 日～2014 年 12 月 20 日, 台北(台湾)
- ③ 柏川伸成, First quasar 検出への展望, 超巨大ブラックホール研究 推進連絡会 第 2 回ワークショップ, 2014 年 11 月 03 日～2014 年 11 月 04 日, 筑波大学(茨城県・つくば市)
- ④ 柏川伸成, TMT の進捗状況, 光天連シンポジウム, 2014 年 09 月 08 日～2014 年

- 09 月 10 日, 国立天文台 (東京都・三鷹市)
- ⑤ 柏川伸成, 次世代大型光赤観測装置と AGN 研究, 活動銀河核ワークショップ ～2020 年代への展望～, 2014 年 04 月 23 日～2014 年 04 月 24 日, 国立天文台 (東京都・三鷹市)
- ⑥ Nobunari Kashikawa, High-z quasar sciences, Quasar science with HSC: Toward the first results, 2014 年 01 月 14 日～2014 年 01 月 16 日, 台北(台湾)
- ⑦ 柏川伸成, 大型光学赤外線望遠鏡 TMT, 第 26 回理論懇シンポジウム, 2013 年 12 月 25 日～2013 年 12 月 27 日, IPMU(千葉県・柏市)
- ⑧ 柏川伸成, TMT が拓く天文学, 第 2 回観測的宇宙論ワークショップ, 2013 年 12 月 04 日～2013 年 12 月 06 日, 国立天文台(東京都・三鷹市)
- ⑨ Nobunari Kashikawa, When I wish upon WISH, WISH Science workshop, 2013 年 12 月 02 日～2013 年 12 月 03 日, 国立天文台 (東京都・三鷹市)
- ⑩ 柏川伸成, DLA は円盤銀河の祖先か?, 円盤銀河の形成と進化, 2013 年 09 月 26 日～2013 年 09 月 28 日, 国立天文台 (東京都・三鷹市)
- ⑪ Nobunari Kashikawa, A Ly α Emitter with an Extremely Large Rest-frame Equivalent Width of 900 \AA at $z=6.5$, Galaxy evolution over five decades, 2013 年 09 月 03 日～2013 年 09 月 06 日, ケンブリッジ (イギリス)
- ⑫ 柏川伸成, TMT 観測装置計画, 光天連シンポジウム「2020 年代の光赤外天文学 - 将来計画の再構成」, 2013 年 08 月 06 日～2013 年 08 月 07 日, 国立天文台(東京都・三鷹市)
- ⑬ 柏川伸成, Observational constraints on reionization and popIII, ALMA 時代の宇宙構造形成理論: 第 1 世代から第 n 世代へ, 2013 年 01 月 26 日～2013 年 01 月 28 日, 北海道大学 (北海道・札幌市)
- ⑭ Nobunari Kashikawa, First galaxies and cosmic reionization, TMT Science and Instrumentation Workshop, 2012 年 12 月 10 日～2012 年 12 月 12 日, プネ(インド)
- ⑮ Nobunari Kashikawa, HSC high-z qso survey, Supermassive Black Holes in the Universe: The Era of the HSC Surveys, 2012 年 12 月 18 日～2012 年 12 月 20 日, 愛媛大学(愛媛県・松山市)
- ⑯ Nobunari Kashikawa, High-z universe probed by Subaru, Korea-Japan Collaboration Workshop, 2012 年 11 月 14 日～2012 年 11 月 16 日, ソウル(韓国)
- ⑰ 柏川伸成, TMT と HSC の共進化, すばる HSC サーベイによるサイエンス, 2012 年 09 月 26 日～2012 年 09 月 28 日, 国立天

- 文台（東京都・三鷹市）
- ⑱ Nobunari Kashikawa, High-z Universe Probed by Wide-Field Observations, 39th COSPAR Scientific Assembly, 2012年07月14日～2012年07月22日, マイソール（インド）
- ⑲ 柏川伸成, High-z QSO survey, HSC活動銀河核探査によるサイエンス, 2011年11月16日～2011年11月18日, 京都大学（京都府・京都市）
- ⑳ 柏川伸成, TMT と SPICA のシナジー, SPICA が目指す宇宙星形成史とブラックホール進化, 2011年10月18日～2011年10月19日, 名古屋大学（愛知県・名古屋市）

〔図書〕（計 1 件）
新天文学事典, 谷口義明, 講談社, 2013, 768 ページ

〔産業財産権〕
○出願状況（計 件）
名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：
○取得状況（計 件）
名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等
すばる望遠鏡が見つけた宇宙最遠方の銀河団
http://subarutelescope.org/Pressrelease/2012/04/23/j_index.html

最遠方銀河で見る夜明け前の宇宙の姿
http://subarutelescope.org/Pressrelease/2012/06/03/j_index.html

129.1 億光年の彼方、宇宙の「夜明け」にきらめく銀河を発見
http://subarutelescope.org/Pressrelease/2011/12/15/j_index.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柏川 伸成 (KASHIKAWA Nobunari) 国立天文台・TMT 推進室・准教授
研究者番号：00290883

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

嶋作 一大 (SHIMASAKU Kazuhiro) 東京大学・理学系研究科・准教授

研究者番号：00251405

大内 正己 (OUCHI Masami) 東京大学・宇宙線研究所・准教授

研究者番号：40595716

古澤 久徳 (FURUSAWA Hisanori) 国立天文台・天文データセンター・助教

研究者番号：10425407