

令和 5 年 5 月 10 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K14752

研究課題名（和文）ミリ波および可視の広視野観測で明かす遠方クエーサー周囲の銀河密度と再電離への寄与

研究課題名（英文）Galaxy overdensities around distant QSOs and their contribution to the cosmic reionization revealed with millimeter and optical wide-field observations

研究代表者

小野 宜昭 (Ono, Yoshiaki)

東京大学・宇宙線研究所・助教

研究者番号：60631116

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、すばる望遠鏡広視野可視カメラHyper Suprime-Cam (HSC) による多波長撮像データに畳み込みニューラルネットワークを適用し、赤方偏移2.2から7.0にある大規模なLy $\alpha$ 輝線銀河サンプルを効率的に構築した。また、ケック望遠鏡およびジェミニ望遠鏡を用いた国際共同観測により、高赤方偏移にある星形成銀河の高密度領域を分光同定し、サブミリ銀河との天球面分布の比較から有意な相互相関を検出した。さらに、分光同定された赤方偏移6程度にある明るい星形成銀河からのCO分子ガス輝線をミリ波干渉計ALMAで観測し、CO輝線フラックスをもとに分子ガス質量密度を見積もった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で構築した大規模なLy $\alpha$ 輝線銀河サンプルはその後、光度関数や角度相関関数、空間的なLy $\alpha$ 輝線プロファイルなどといった統計的な性質の議論につながった。また、星形成銀河の高密度領域とサブミリ銀河の間の有意な相互相関は、ダストに覆われていない星形成がダストに覆われた星形成と同じような場所で起きていたことを示唆している。さらに、赤方偏移6程度の明るい星形成銀河の分子ガス質量密度について、静止系IR光度とUV光度の和をもとに求めた星形成率密度とともに過去の結果と比較したところ、赤方偏移6程度でも平均的には近傍の結果と矛盾しないことがわかった。

研究成果の概要（英文）：In this study, we have applied a convolutional neural network to multiwavelength imaging data obtained with Subaru Hyper Suprime-Cam (HSC) to efficiently construct a large sample of Ly $\alpha$ -emitting star-forming galaxies at redshifts from 2.2 to 7.0. We have also spectroscopically identified overdense regions of star-forming galaxies at high redshift using Keck and Gemini, and detected significant cross-correlations with submillimeter galaxies by comparing their sky distributions. In addition, we have observed the CO molecular gas emission lines from the spectroscopically confirmed bright star-forming galaxies at redshift around 6 with ALMA and estimated their molecular gas mass densities.

研究分野：天文学

キーワード：銀河進化 銀河形成 高赤方偏移銀河 多波長観測

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

銀河団は、現在の宇宙で最も質量の大きい自己重力系であるが、それらの形成および進化過程はまだよくわかっていない。さまざまな時代で高密度領域を調べることは、銀河団の形成や進化を理解する上で重要であるが (e. g., Overzier 2016), 個数密度がきわめて低いため、遠方で無バイアスに探査することは困難であり、分光同定された高密度領域は最も遠いものでも赤方偏移 6.01 であった (Toshikawa et al. 2014).

そこで高密度領域の良いトレーサーとして期待されるのが明るいクエーサーである。近年の広視野探査により赤方偏移 7.5 クエーサーが発見され、遠方でブラックホール質量が  $1e+9$  太陽質量を超えるものも見つかった (e. g., Banados et al. 2018). 宇宙論的なスケールでの理論計算からは、このような遠方クエーサーのある領域は銀河団の祖先である可能性が示唆されており、特にダストに覆われた銀河を検出できるミリ波での観測が重要であることが示されていた (Yajima et al. 2022). また実際に、ミリ波干渉計 ALMA の観測からクエーサーのごく近傍で銀河の検出が報告され、高密度領域の一端を捉えている可能性が指摘されていた (e. g., Decarli et al. 2017, Champagne et al. 2018).

### 2. 研究の目的

本研究では、多波長での高感度な広視野観測により、明るい遠方クエーサー周囲でそれらに付随する銀河を系統的に探査し、密度超過の有無を調べる。

### 3. 研究の方法

過去の研究により分光同定された遠方クエーサー周囲の十分に広い領域をサブミリ波のジェームズ・クラーク・マクスウェル望遠鏡 JCMT やミリ波干渉計 ALMA で観測し、それらの周囲でダストに覆われた星形成銀河を検出しようとした。ただ、本課題実施中に世界中で蔓延した新型コロナウイルス感染症の影響で一部の観測が完全にストップする等あり、当初の予定ほど順調にはサブミリ波・ミリ波の観測データを取得することはできなかった。一方で、当初予定していなかったミリ波観測が採択され、そちらの観測プログラムは運良く実行された。観測ターゲットはすばる望遠鏡の広視野可視カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) で発見した、活動銀河核を持つ可能性のある高赤方偏移にある明るい星形成銀河であった。そこでそのデータを解析し、星形成銀河自体からのミリ波連続光および一酸化炭素 (CO) 輝線フラックスを調べた。残念ながらその周囲でミリ波天体を検出することはできなかったが、この観測結果をもとに高赤方偏移にある星形成銀河の分子ガス質量およびダスト連続光 SED への制限を得ることができた。また、これと並行して、以下に述べるようにすばる望遠鏡やケック望遠鏡、ジェミニ望遠鏡などを組み合わせた高赤方偏移銀河についての国際共同研究も遂行した。

### 4. 研究成果

主な研究成果を以下に列挙する。

(1) ケック望遠鏡およびジェミニ望遠鏡を組み合わせた国際共同観測により、静止系紫外で明るい星形成銀河の高密度領域を高赤方偏移で分光同定した (Harikane et al. 2019). それらの天球面分布を、同程度の赤方偏移にあると期待されるサブミリ波で明るい銀河のものと比較したところ、有意な相互相関があることがわかった。このことは、当時ダストに覆われていた星形成とダストに覆われていない星形成が、同じような場所で生じていたことを示唆している。

(2) すばる望遠鏡の HSC の広帯域フィルターと狭帯域フィルターによる多波長撮像データに対して機械学習技術のひとつである畳み込みニューラルネットワークを適用することで、赤方偏移 2.2 から 7.0 にある大規模な Ly $\alpha$  輝線銀河サンプルを効率よく構築した (Ono et al. 2021). その後、Ly $\alpha$  光度関数や角度相関関数、空間的な Ly $\alpha$  輝線プロファイルなどといった統計的な性質の議論につながった (e. g., Kikuchihara et al. 2022).

(3) 分光同定された赤方偏移 6 程度にある明るい星形成銀河からの CO 分子ガス輝線をミリ波干渉計 ALMA で観測した (Ono et al. 2022). 3 天体観測したところ, そのうち 1 天体で, 信号対雑音比はそれほど高くないが, 過去に検出されていた [OIII]88um や [CII]158um をもとにした CO の観測周波数および天球面上の位置で, CO 輝線と考えられるシグナルを発見した. 他の 2 天体については非検出であったため CO 輝線の上限值を計算した. これらの IR 光度と CO 光度を過去の低赤方偏移にある天体に対する結果と比較したところ, 赤方偏移 6 での結果は低赤方偏移での結果と無矛盾であることがわかった. また, IR 光度と CO 光度および [CII] 光度の間の比は, 水素ガス密度や紫外放射の強さに依存するが, これらの値を過去の結果と比較したところ, 今回 CO 輝線の検出された赤方偏移 6 の天体は水素ガス密度が高く, 低赤方偏移の高光度赤外線銀河やキューサーなどと同程度の可能性があることがわかった. さらに, CO 輝線フラックスをもとに分子ガス質量密度を計算し, IR 光度と UV 光度の和をもとに求めた星形成率密度とともに過去の結果と比較したところ, 赤方偏移 6 程度でも平均的には近傍の結果と矛盾しないことがわかった (図 1).

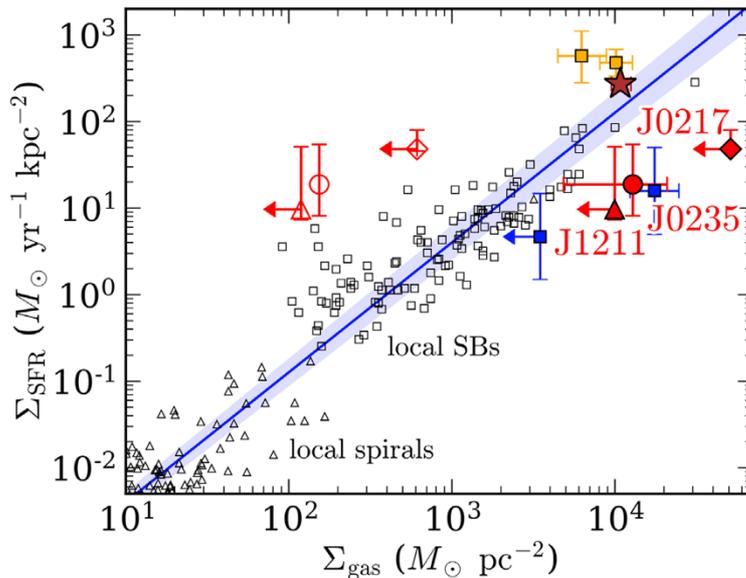


図 1 星形成率面密度 vs. 分子ガス質量面密度. 赤く塗りつぶしたデータ点が今回の結果であり, 青いデータ点およびオレンジのデータ点は同程度の赤方偏移にある星形成銀河に対する過去の結果である. 茶色の星印はそれらの平均を示している. 黒い三角と四角は近傍銀河の結果であり, 青い直線は近傍銀河の結果に対して最もよく合うべき乗則を表す. Ono et al. (2022) Figure 9 より転載.

#### <引用文献>

- Banados et al. 2018, Nature, 553, 473
- Champagne et al. 2018, ApJ, 867, 153
- Decarli et al. 2017, Nature, 545, 457
- Harikane et al. 2019, ApJ, 883, 142
- Kikuchihara et al. 2022, ApJ, 931, 97
- Ono et al. 2021, ApJ, 911, 78
- Ono et al. 2022, ApJ, 941, 74
- Overzier 2016, A&A Rev., 24, 14
- Toshikawa et al. 2014, ApJ, 792, 15
- Yajima et al. 2022, MNRAS, 509, 4037-4057

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計28件（うち査読付論文 28件 / うち国際共著 26件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ono Yoshiaki, Itoh Ryohei, Shibuya Takatoshi, et al.	4. 巻 911
2. 論文標題 SILVERRUSH X: Machine Learning-aided Selection of 9318 LAEs at $z = 2.2, 3.3, 4.9, 5.7, 6.6,$ and $7.0$ from the HSC SSP and CHORUS Survey Data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 id.78, 20pp
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abea15	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Fujimoto Seiji, Oguri Masamune, Brammer Gabriel, et al.	4. 巻 911
2. 論文標題 ALMA Lensing Cluster Survey: Bright [C ii] 158 $\mu\text{m}$ Lines from a Multiply Imaged Sub- $L^*$ Galaxy at $z = 6.0719$	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 id.99, 20pp
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abd7ec	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Kojima Takashi, Ouchi Masami, Rauch Michael, et al.	4. 巻 913
2. 論文標題 EMPRESS. II. Highly Fe-enriched Metal-poor Galaxies with $\sim 1.0$ (Fe/O) $_{\text{sun}}$ and $0.02$ (O/H) $_{\text{sun}}$ : Possible Traces of Supermassive ( $>300$ Msun) Stars in Early Galaxies	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 id.22, 20pp
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abec3d	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Kakuma Ryota, Ouchi Masami, Harikane Yuichi, Ono Yoshiaki, Inoue Akio K., Komiyama Yutaka, Kusakabe Haruka, Lee Chien-Hsiu, Matsuda Yuichi, Matsuoka Yoshiki, Mawatari Ken, Momose Rieko, Shibuya Takatoshi, Taniguchi Yoshiaki	4. 巻 916
2. 論文標題 SILVERRUSH. IX. Ly Intensity Mapping with Star-forming Galaxies at $z = 5.7$ and $6.6$ : A Possible Detection of Extended Ly Emission at $>100$ Comoving Kiloparsecs around and beyond the Virial-radius Scale of Galaxy Dark Matter Halos	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 id.22, 9pp
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac0725	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Isobe Yuki, Ouchi Masami, Kojima Takashi, Shibuya Takatoshi, Hayashi Kohei, Rauch Michael, Kikuchihara Shotaro, Zhang Haibin, Ono Yoshiaki, Fujimoto Seiji, Harikane Yuichi, Kim Ji Hoon, Koniya Yutaka, Kusakabe Haruka, Lee Chien-Hsiu, Mawatari Ken, Onodera Masato, Sugahara Yuma, Yabe Kiyoto	4. 巻 918
2. 論文標題 EMPRESS. III. Morphology, Stellar Population, and Dynamics of Extremely Metal-poor Galaxies (EMPGs): Are EMPGs Local Analogs of High-z Young Galaxies?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 id.54, 14pp
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac05bf	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tang Shenli, Silverman John D., Ding Xuheng, et al.	4. 巻 922
2. 論文標題 Optical Spectroscopy of Dual Quasar Candidates from the Subaru HSC-SSP program	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 id.83, 30pp
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac1ff0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Zhang Yechi, Ouchi Masami, Gebhardt Karl, et al.	4. 巻 922
2. 論文標題 First HETDEX Spectroscopic Determinations of Ly and UV Luminosity Functions at $z = 2-3$ : Bridging a Gap between Faint AGNs and Bright Galaxies	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 id.167, 19pp
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac1e97	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kashiwagi Yuri, Inoue Akio K, Isobe Yuki, Nakajima Kimihiko, Ouchi Masami, Ozaki Shinobu, Fujimoto Seiji, Ono Yoshiaki, Kojima Takashi	4. 巻 73
2. 論文標題 Subaru/FOCAS IFU revealed the metallicity gradient of a local extremely metal-poor galaxy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1631 ~ 1637
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psab100	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Gebhardt Karl, Mentuch Cooper Erin, Ciardullo Robin, et al.	4. 巻 923
2. 論文標題 The Hobby Eberly Telescope Dark Energy Experiment (HETDEX) Survey Design, Reductions, and Detections	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 id.217, 39pp
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac2e03	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Isobe Yuki, Ouchi Masami, Suzuki Akihiro, et al.	4. 巻 925
2. 論文標題 EMPRESS. IV. Extremely Metal-poor Galaxies Including Very Low-mass Primordial Systems with $M_{\text{star}} = 1e+4-1e+5 M_{\text{sun}}$ and 2-3% (O/H) $_{\text{sun}}$ : High (Fe/O) Suggestive of Metal Enrichment by Hypernovae/Pair-instability Supernovae	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 id.111, 18pp
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac3509	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Harikane Yuichi, Ono Yoshiaki, Ouchi Masami, Liu Chengze, Sawicki Marcin, Shibuya Takatoshi, Behroozi Peter S., He Wanqiu, Shimasaku Kazuhiro, Arnouts Stephane, Coupon Jean, Fujimoto Seiji, Gwyn Stephen, Huang Jiasheng, Inoue Akio K., Kashikawa Nobunari, Komiyama Yutaka, Matsuoka Yoshiki, Willott Chris J.	4. 巻 259
2. 論文標題 GOLDRUSH. IV. Luminosity Functions and Clustering Revealed with ~4,000,000 Galaxies at z~2-7: Galaxy-AGN Transition, Star Formation Efficiency, and Implication for Evolution at z>10	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 id.20, 37pp
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/ac3dfc	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kikuchihara Shotaro, Ouchi Masami, Ono Yoshiaki, Mawatari Ken, Chevallard Jacopo, Harikane Yuichi, Kojima Takashi, Oguri Masamune, Bruzual Gustavo, Charlot St?phane	4. 巻 893
2. 論文標題 Early Low-mass Galaxies and Star-cluster Candidates at z~6-9 Identified by the Gravitational-lensing Technique and Deep Optical/Near-infrared Imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 id.60, 12pp
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab7dbe	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Mukae Shiro, Ouchi Masami, Cai Zheng, Lee Khee-Gan, Prochaska J. Xavier, Cantalupo Sebastiano, Ono Yoshiaki, Zheng Zheng, Nagamine Kentaro, Suzuki Nao, Silverman John D., Misawa Toru, Inoue Akio K., Hennawi Joseph F., Matsuda Yuichi, Mawatari Ken, Sugahara Yuma, Kojima Takashi, Shibuya Takatoshi, et al.	4. 巻 896
2. 論文標題 Three-dimensional Distribution Map of H i Gas and Galaxies around an Enormous Ly Nebula and Three QSOs at $z = 2.3$ Revealed by the H i Tomographic Mapping Technique	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 id.45, 11pp
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab8db7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Harikane Yuichi, Ouchi Masami, Inoue Akio K., Matsuoka Yoshiki, Tamura Yoichi, Bakx Tom, Fujimoto Seiji, Moriwaki Kana, Ono Yoshiaki, Nagao Tohru, Tadaki Ken-ichi, Kojima Takashi, Shibuya Takatoshi, Egami Eiichi, Ferrara Andrea, Gallerani Simona, Hashimoto Takuya, Kohno Kotaro, Matsuda Yuichi, Matsuo Hiroshi, et al.	4. 巻 896
2. 論文標題 Large Population of ALMA Galaxies at $z > 6$ with Very High [O iii] $88 \mu\text{m}$ to [C ii] $158 \mu\text{m}$ Flux Ratios: Evidence of Extremely High Ionization Parameter or PDR Deficit?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 id.93, 19pp
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab94bd	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yamashita Takuji, Nagao Tohru, Ikeda Hiroyuki, Toba Yoshiki, Kajisawa Masaru, Ono Yoshiaki, Tanaka Masayuki, Akiyama Masayuki, Harikane Yuichi, Ichikawa Kohei, Kawaguchi Toshihiro, Kawamuro Taiki, Kohno Kotaro, Lee Chien-Hsiu, Lee Kianhong, Matsuoka Yoshiki, Niida Mana, Ogura Kazuyuki, Onoue Masafusa, Uchiyama Hisakazu	4. 巻 160
2. 論文標題 A Wide and Deep Exploration of Radio Galaxies with Subaru HSC (WERGS). III. Discovery of a $z = 4.72$ Radio Galaxy with the Lyman Break Technique	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 id.60, 8pp
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/ab98fe	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kojima Takashi, Ouchi Masami, Rauch Michael, Ono Yoshiaki, Nakajima Kimihiko, Isobe Yuki, Fujimoto Seiji, Harikane Yuichi, Hashimoto Takuya, Hayashi Masao, Komiyama Yutaka, Kusakabe Haruka, Kim Ji Hoon, Lee Chien-Hsiu, Mukae Shiro, Nagao Tohru, Onodera Masato, Shibuya Takatoshi, Sugahara Yuma, et al.	4. 巻 898
2. 論文標題 Extremely Metal-poor Representatives Explored by the Subaru Survey (EMPRESS). I. A Successful Machine-learning Selection of Metal-poor Galaxies and the Discovery of a Galaxy with $M^* < 10^6 M_{\text{sun}}$ and $0.016 Z_{\text{sun}}$	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 id.142, 30pp
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aba047	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Silverman John D., Tang Shenli, Lee Khee-Gan, Hartwig Tilman, Goulding Andy, Strauss Michael A., Schramm Malte, Ding Xuheng, Riffel Rogemar A., Fujimoto Seiji, Hikage Chiaki, Imanishi Masatoshi, Iwasawa Kazushi, Jahnke Knud, Kayo Issha, Kashikawa Nobunari, Kawaguchi Toshihiro, Kohno Kotaro, Luo Wentao, et al.	4. 巻 899
2. 論文標題 Dual Supermassive Black Holes at Close Separation Revealed by the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 id.154, 12pp
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aba4a3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ouchi Masami, Ono Yoshiaki, Shibuya Takatoshi	4. 巻 58
2. 論文標題 Observations of the Lyman- Universe	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Annual Review of Astronomy and Astrophysics	6. 最初と最後の頁 617 ~ 659
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1146/annurev-astro-032620-021859	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Inoue Akio K., Yamanaka Satoshi, Ouchi Masami, Iwata Ikuru, Shimasaku Kazuhiro, Taniguchi Yoshiaki, Nagao Tohru, Kashikawa Nobunari, Ono Yoshiaki, Mawatari Ken, Shibuya Takatoshi, Hayashi Masao, Ikeda Hiroyuki, Zhang Haibin, Liang Yongming, Lee Chien-Hsiu, Hilmi Miftahul, Kikuta Satoshi, Kusakabe Haruka, et al.	4. 巻 72
2. 論文標題 CHORUS. I. Cosmic HydrOgen Reionization Unveiled with Subaru: Overview	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 id.101, 17pp
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psaa100	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Zhang Haibin, Ouchi Masami, Itoh Ryohei, Shibuya Takatoshi, Ono Yoshiaki, Harikane Yuichi, Inoue Akio K., Rauch Michael, Kikuchihara Shotaro, Nakajima Kimihiko, Yajima Hidenobu, Arata Shohei, Abe Makito, Iwata Ikuru, Kashikawa Nobunari, Kawanomoto Satoshi, Kikuta Satoshi, Kobayashi Masakazu A. R., et al.	4. 巻 891
2. 論文標題 CHORUS. III. Photometric and Spectroscopic Properties of Ly Blobs at $z = 4.9-7.0$	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 177
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab7917	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Mawatari Ken, Inoue Akio K., Hashimoto Takuya, Silverman John, Kajisawa Masaru, Yamanaka Satoshi, Yamada Toru, Davidzon Iary, Capak Peter, Lin Lihwai, Hsieh Bau-Ching, Taniguchi Yoshiaki, Tanaka Masayuki, Ono Yoshiaki, Harikane Yuichi, Sugahara Yuma, Fujimoto Seiji, Nagao Tohru	4. 巻 889
2. 論文標題 Balmer Break Galaxy Candidates at $z \sim 6$ : A Potential View on the Star Formation Activity at $z > 14$	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab6596	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Aihara Hiroaki, AlSayyad Yusra, Ando Makoto, Armstrong Robert, Bosch James, Egami Eiichi, Furusawa Hisanori, Furusawa Junko, Goulding Andy, Harikane Yuichi, Hikage Chiaki, Ho Paul T P, Hsieh Bau-Ching, Huang Song, Ikeda Hiroyuki, Imanishi Masatoshi, Ito Kei, Iwata Ikuru, Jaelani Anton T, Kakuma Ryota, et al.	4. 巻 71
2. 論文標題 Second data release of the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz103	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kubo Mariko, Toshikawa Jun, Kashikawa Nobunari, Chiang Yi-Kuan, Overzier Roderik, Uchiyama Hisakazu, Clements David L., Alexander David M., Matsuda Yuichi, Kodama Tadayuki, Ono Yoshiaki, Goto Tomotsugu, Cheng Tai-An, Ito Kei	4. 巻 887
2. 論文標題 Planck Far-infrared Detection of Hyper Suprime-Cam Protoclusters at $z \sim 4$ : Hidden AGN and Star Formation Activity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab5a80	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Sawicki Marcin, Arnouts Stephane, Huang Jiasheng, Coupon Jean, Golob Anneya, Gwyn Stephen, Foucaud Sebastien, Moutard Thibaud, Iwata Ikuru, Liu Chengze, Chen Lingjian, Desprez Guillaume, Harikane Yuichi, Ono Yoshiaki, Strauss Michael A, Tanaka Masayuki, Thibert Nathalie, Balogh Michael, Bundy Kevin, et al.	4. 巻 489
2. 論文標題 The CFHT Large Area U-band Deep Survey (CLAUDS)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 5202-5217
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz2522	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Matsuoka Yoshiki, Iwasawa Kazushi, Onoue Masafusa, Kashikawa Nobunari, Strauss Michael A., Lee Chien-Hsiu, Imanishi Masatoshi, Nagao Tohru, Akiyama Masayuki, Asami Naoko, Bosch James, Furusawa Hisanori, Goto Tomotsugu, Gunn James E., Harikane Yuichi, Ikeda Hiroyuki, Izumi Takuma, Kawaguchi Toshihiro, et al.	4. 巻 883
2. 論文標題 Subaru High-z Exploration of Low-luminosity Quasars (SHELLQs). X. Discovery of 35 Quasars and Luminous Galaxies at $5.7 < z < 7.0$	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 183
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab3c60	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Harikane Yuichi, Ouchi Masami, Ono Yoshiaki, Fujimoto Seiji, Donevski Darko, Shibuya Takatoshi, Faisst Andreas L., Goto Tomotsugu, Hatsukade Bunyo, Kashikawa Nobunari, Kohno Kotaro, Hashimoto Takuya, Higuchi Ryo, Inoue Akio K., Lin Yen-Ting, Martin Crystal L., Overzier Roderik, Smail Ian, Toshikawa Jun, et al.	4. 巻 883
2. 論文標題 SILVERRUSH. VIII. Spectroscopic Identifications of Early Large-scale Structures with Protoclusters over 200 Mpc at $z \sim 6-7$ : Strong Associations of Dusty Star-forming Galaxies	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab2cd5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hashimoto Takuya, Inoue Akio K, Mawatari Ken, Tamura Yoichi, Matsuo Hiroshi, Furusawa Hisanori, Harikane Yuichi, Shibuya Takatoshi, Knudsen Kirsten K, Kohno Kotaro, Ono Yoshiaki, Zackrisson Erik, Okamoto Takashi, Kashikawa Nobunari, Oesch Pascal A, Ouchi Masami, Ota Kazuaki, Shimizu Ikkoh, Taniguchi Yoshiaki, et al.	4. 巻 71
2. 論文標題 Big Three Dragons: A $z = 7.15$ Lyman-break galaxy detected in [OIII] 88 $\mu\text{m}$ , [CII] 158 $\mu\text{m}$ , and dust continuum with ALMA	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz049	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Higuchi Ryo, Ouchi Masami, Ono Yoshiaki, Shibuya Takatoshi, Toshikawa Jun, Harikane Yuichi, Kojima Takashi, Chiang Yi-Kuan, Egami Eiichi, Kashikawa Nobunari, Overzier Roderik, Konno Akira, Inoue Akio K., Hasegawa Kenji, Fujimoto Seiji, Goto Tomotsugu, Ishikawa Shogo, Ito Kei, Komiyama Yutaka, Tanaka Masayuki	4. 巻 879
2. 論文標題 SILVERRUSH. VII. Subaru/HSC Identifications of Protocluster Candidates at $z \sim 6-7$ : Implications for Cosmic Reionization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab2192	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小野宜昭
2. 発表標題 Deep CO Observations for Luminous Lyman-break Galaxies at z=6.0923-6.2037
3. 学会等名 日本天文学会2022年春季年会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------