

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01114

研究課題名（和文）すばるHSC狭帯域深宇宙探査で暴く宇宙再電離：CHORUSプロジェクト

研究課題名（英文）Cosmic HydrOgen Reionization Unveiled with Subaru (CHORUS)

研究代表者

井上 昭雄 (Inoue, Akio)

早稲田大学・理工学術院・教授（任期付）

研究者番号：30411424

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 34,100,000円

研究成果の概要（和文）：観測的宇宙論の大問題の一つである宇宙再電離の解明を目指したCHORUS (Cosmic HydrOgen Reionization Unveiled with Subaru)は、すばる望遠鏡Hyper Suprime Cam (HSC)に5枚の特製狭帯域フィルターを搭載し、深宇宙撮像観測を行なうプロジェクトである。CHORUSで取得した画像データおよび多バンド測光天体カタログは全世界に公開した。CHORUSデータを直接使い再電離期である赤方偏移 $z=7$ のライマン輝線光度関数を構築し、再電離史を議論した。HSCの他のデータおよびアルマ望遠鏡を用いて、再電離期の銀河の研究を行ない多数の成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

すばる望遠鏡HSCに搭載された特製の狭帯域フィルターによる深宇宙撮像データは人類共通の科学資産として今後も活用される価値あるものである。世界の研究者に活用してもらうために画像と天体カタログを公開した。また、宇宙再電離は研究者コミュニティでは重要問題として共通認識があるが、一般社会への浸透は未だ進んでいなかった。本研究課題を通じて得られた多数の科学的成果をプレスリリースすることで、一般社会へと成果を還元することに少しは貢献できたと考えている。

研究成果の概要（英文）：CHORUS (Cosmic HydrOgen Reionization Unveiled with Subaru) is a deep imaging observation project with five custom-made narrowband filters on board Hyper Suprime-Cam (HSC) on Subaru Telescope to resolve Cosmic Reionization, one of the biggest problem in observational cosmology. The imaging data and multi-band photometric object catalog obtained in the CHORUS project has been made public to all over the world. CHORUS data was directly used to construct Lyman alpha emission luminosity function at the redshift, $z=7$, in the Reionization epoch and to discuss the reionization history. We have also performed studies on galaxies in the Reionization epoch by using other data obtained with HSC and ALMA observatory and successfully published many scientific results.

研究分野：観測宇宙物理学

キーワード：光赤外線天文学 宇宙再電離 銀河形成 銀河進化

1. 研究開始当初の背景

観測的宇宙論の大きな課題の一つとして、宇宙年齢 10 億年ごろの初期宇宙で起こった宇宙再電離という現象がある。ビッグバンで始まった宇宙は、当初、主に水素で構成される物質すべてが電離状態にあった。宇宙膨張で温度が下がり、宇宙年齢 38 万年の時期にいったん中性化した。その証拠として宇宙マイクロ波背景放射が生じた。一方、現在の宇宙から過去にさかのぼるようにして遠方の銀河を観測していくと、銀河間空間の水素が電離状態にあることが明らかとなった(Gunn & Peterson 1965)。つまり、宇宙の歴史上どこかのタイミングで再び電離したのである。これが宇宙再電離である。今世紀に入り、再電離が完了した時期が宇宙年齢 10 億年ごろ(およそ赤方偏移 $z=6$)であることが分かってきた(Fan et al. 2006)。しかし、宇宙再電離の解明には次の三つの課題が残されていた。すなわち、(1) 再電離史、(2) 再電離光源、(3) 再電離トポロジーの解決である。

2. 研究の目的

宇宙再電離解明の三つの課題に取り組むために、超広視野を持つすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC)を用いた研究を実施した。まず、HSC を用いたすばる戦略枠プロジェクト(HSC-SSP)により、再電離史への制限はこれまで以上に得られると期待された。しかし、HSC-SSP では再電離光源の議論は抜け落ちており、トポロジーへの制限も弱い。そこで我々は、絶妙な組み合わせを実現した HSC 狭帯域フィルターセット(図 1)による深宇宙撮像データを HSC-SSP に加えることで、再電離の三つの課題全てへ複合的にアプローチする CHORUS (Cosmic HyDRoGen Reionization Unveiled with Subaru)を提案し、すばるインテンシブプログラムとして採択された。本研究課題は、CHORUS を遂行し、宇宙再電離の三つの課題の解決を目指すものである。

3. 研究の方法

CHORUS は、すばる望遠鏡 HSC による狭帯域深宇宙撮像データを取得し、それを HSC-SSP データと組み合わせ、(a) 銀河・AGN 電離光子放射率、(b) 低光度 AGN 光度関数、(c) 種族 III 星団存在量、(d) 水素中性度空間分布の 4 つの測定を行なう。それにより、再電離史、再電離光源、再電離トポロジーの解明へ複合的に挑む。HSC 観測とデータ処理、天体カタログ作成は、専従の博士研究員が担当した。4 つの測定(a-d)は代表者と分担者から 2 名ずつの担当チームを作り、博士研究員、大学院生を動員して遂行した。CHORUS データから見つけ出した興味深い銀河を分光観測フォローアップすることで、サイエンスをさらに深めることを狙った。宇宙再電離やライマン輝線銀河モデルを構築する理論研究も行ない、観測結果と比較して宇宙再電離の理解を究める。また、40 名超の CHORUS メンバーによる広範なサイエンスも展開される。

4. 研究成果

(1) CHORUS 観測データの取得と公開

すばるインテンシブプログラム CHORUS として、特製狭帯域フィルター 5 枚(図 1)の深宇宙撮像観測を遂行し、整約済み画像データを生成した。CHORUS 狭帯域画像と HSC-SSP の広帯域画像を組み合わせ、多バンド測光天体カタログを構築した。狭帯域画像検出天体の個数密度を等級の関数として調査し、過去の広帯域画像データや波長の似た狭帯域画像データと比較し、良く一致していることを確かめた。その他、画像データの品質も詳しく調査し、画像およびカタログの信頼性が高いことを示した。CHORUS 狭帯域フィルターの 1 枚である NB527 の限界等級の空間分布を図 2 に示す。この波長の狭帯域画像としてはもっとも深い部類のデータとなっている。CHORUS プロジェクトの概要、データ取得および整約、基本的な品質調査結果をまとめた論文を出版した(Inoue et al. 2020)。構築した多バンド測光天体カタログは、CHORUS Public Data Release (PDR) 1 として世界に公開した。

(2) CHORUS 観測データを直接利用した成果

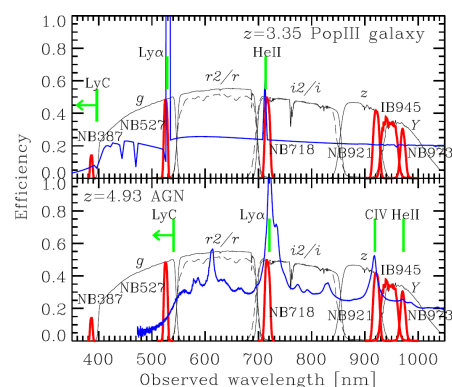


図 1 CHORUS(赤)とHSC-SSP(黒)のフィルターセット。青線のスペクトルは赤方偏移 $z=3.35$ の銀河(上)と $z=4.93$ の活動銀河核(下)。Inoue et al. (2020)より。

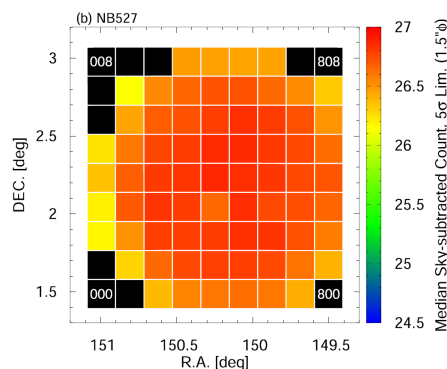


図 2 CHORUS NB527 画像の 5 限界等級の空間分布。27 等級程度まで達している。Inoue et al. (2020)より。

CHORUS 狭帯域フィルターの NB973 を利用して、赤方偏移 $z=7.0$ のライマン 輝線銀河の探査を行ない、光度関数を構築した。その結果をもとに宇宙再電離史を議論した論文を発表した (Itoh et al. 2018)。また、CHORUS 狭帯域フィルターの NB718 の画像から、赤方偏移 $z=4.9$ の空間的に大きく広がったライマン 輝線銀河を発見した。ライマン 輝線の空間分布を詳しく調べ、他の赤方偏移で見つかった同様に広がったライマン 輝線銀河と比較検討した論文を発表した (Zhang et al. 2020)。さらに、CHORUS プロジェクトで取得したデータを直接用いた成果として、赤方偏移 2 から 7 の広い範囲にわたるライマン 輝線銀河カタログ論文 (Ono et al. 2021)、赤方偏移 1.6 未満の宇宙での輝線銀河のカタログ論文 (Hayashi et al. 2020) を出版した。3. 研究方法で述べた (a-d) 4 つのテーマについての研究は現在も進行中である。特に、候補銀河の分光確認が今後の課題となっている。その中でも、(a) の初期成果は 2019 年 9 月の天文学会で発表した (山中郷史ら)。また、(d) についても 2021 年 9 月の天文学会で 2 件発表予定である (井上昭雄ら、吉岡岳洋ら)。

(3) HSC 戦略枠観測データを利用した関連する成果

HSC-SSP でも CHORUS とは異なる狭帯域フィルターの観測を行ない、Systematic Identification of LAEs for Visible Exploration and Reionization Research Using Subaru HSC (SILVERRUSH) というプロジェクトとして一連の成果を発表している。本研究課題の代表者および分担者もその成果創出に貢献した。例えば、狭帯域フィルター設計と SILVERRUSH プロジェクト概要についての論文 (Ouchi et al. 2018)、宇宙再電離の完了期である赤方偏移 $z=5.7$ と $z=6.6$ のライマン 輝線銀河の光度関数を報告した論文 (Konno et al. 2018)、赤方偏移 $z=5-7$ の宇宙でライマン 輝線と他の多様な星雲輝線の関係を論じた論文 (Harikane et al. 2018)、宇宙再電離の大規模数値シミュレーションにもとづくライマン 輝線銀河モデルを構築した論文 (Inoue et al. 2018)、赤方偏移 $z=6-7$ のライマン 輝線銀河の空間分布と原始銀河団の発見を報告した論文 (Higuchi et al. 2019; Harikane et al. 2019) を出版した。

(4) 遠方銀河の電離光子脱出に関する成果

宇宙再電離の光源として有力視されている星形成銀河について、その電離光子脱出率を測定する一連の研究も並行して行なった。例えば、すばる望遠鏡主焦点カメラ Suprime-Cam に搭載した狭帯域フィルター NB359 による観測結果により赤方偏移 $z=3$ 付近の銀河の電離光子脱出率を直接測定した論文 (Iwata et al. 2019) や、 $z=3$ の電離光子放射銀河を Keck 望遠鏡で近赤外線分光した論文 (Yamanaka et al. 2020) などを出版した。

(5) 宇宙再電離期の銀河観測に関する成果

赤方偏移 $z>6$ の宇宙再電離期の銀河の観測研究を特にアルマ望遠鏡を用いて推し進め、多数の成果を得た。例えば、当時の最高赤方偏移を更新する $z=9.1096$ の酸素輝線を検出することに成功した論文 (Hashimoto et al. 2018)、赤方偏移 $z=8.3$ の銀河からダスト連続光と酸素輝線の検出を報告した論文 (Tamura et al. 2019)、赤方偏移 $z=6$ 付近の星形成を止めた銀河候補を発見し、それらが星形成をしていた $z>14$ という最初期の宇宙での星形成率密度を初めて議論した論文 (Mawatari et al. 2020) などを出版した。これらの成果はいずれもプレスリリースを行ない、多数のメディアに取り上げられた。

引用文献

- Gunn & Peterson 1965, *The Astrophysical Journal*, 142 巻, p.1633-1636
Fan et al. 2006, *Annual Review of Astronomy & Astrophysics*, 44 巻, p.415-462
Inoue et al. 2020, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 72 巻, id.101
Itoh et al. 2018, *The Astrophysical Journal*, 867 巻, article id.46
Zhang et al. 2020, *The Astrophysical Journal*, 891 巻, article id.177
Hayashi et al. 2020, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 72 巻, id.86
Ono et al. 2021, *The Astrophysical Journal*, 911 巻, article id.78
Ouchi et al. 2018, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 70 巻, id.S13
Konno et al. 2018, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 70 巻, id.S16
Harikane et al. 2018, *The Astrophysical Journal*, 859 巻, article id.84
Inoue et al. 2018, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 70 巻, id.55
Higuchi et al. 2019, *The Astrophysical Journal*, 879 巻, article id.28
Harikane et al. 2019, *The Astrophysical Journal*, 883 巻, article id.142
Iwata et al. 2019, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 488 巻, p.5671
Yamanaka et al. 2020, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 498 巻, p.3095
Hashimoto et al. 2018, *Nature*, 557 巻, p.392-395
Tamura et al. 2019, *The Astrophysical Journal*, 874 巻, article id.27
Mawatari et al. 2020, *The Astrophysical Journal*, 889 巻, article id.137

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計36件（うち査読付論文 36件 / うち国際共著 26件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ono Yoshiaki, Itoh Ryohei, Shibuya Takatoshi, Ouchi Masami, Harikane Yuichi, Yamanaka Satoshi, Inoue Akio K., 他	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 78 ~ 78
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 Binggeli C., Inoue A. K., Hashimoto T., Toribio M. C., Zackrisson E., Ramstedt S., Mawatari K., Harikane Y., Matsuo H., Okamoto T., Ota K., Shimizu I., Tamura Y., Taniguchi Y., Umehata H.	4. 巻 646
2. 論文標題 A puzzling non-detection of [OIII] and [CII] from a $z = 7.7$ galaxy observed with ALMA	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A26 ~ A26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202038180	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 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, 他	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 101~101
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Yamanaka Satoshi, Inoue Akio K, Yamada Toru, Zackrisson Erik, Iwata Ikuru, Micheva Genoveva, Mawatari Ken, Hashimoto Takuya, Kubo Mariko	4. 巻 498
2. 論文標題 Testing an indirect method for identifying galaxies with high levels of Lyman continuum leakage	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 3095 ~ 3114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa2507	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 Micheva Genoveva, Ostlin Goran, Melinder Jens, Hayes Matthew, Oey M. S., Inoue Akio K., Iwata Ikuru, Adamo Angela, Wisotzki Lutz, Nakajima Kimihiko	4. 巻 903
2. 論文標題 Spatially Resolved C iii] 1909 Emission in Haro 11	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 123 ~ 123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abdbff	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 Hayashi Masao, Shimakawa Rhythm, Tanaka Masayuki, Onodera Masato, Koyama Yusei, Inoue Akio K, Komiyama Yutaka, Lee Chien-Hsiu, Lin Yen-Ting, Yabe Kiyoto	4. 巻 72
2. 論文標題 A 16 deg ² survey of emission-line galaxies at $z < 1.6$ from HSC-SSP PDR2 and CHORUS	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 86-86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psaa076	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 Inoue Akio K, Hashimoto Takuya, Chihara Hiroki, Koike Chiyo	4. 巻 495
2. 論文標題 Radiative equilibrium estimates of dust temperature and mass in high-redshift galaxies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1577 ~ 1592
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa1203	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 Mestric U, Ryan-Weber E V, Cooke J, Bassett R, Sawicki M, Faisst A L, Kakiichi K, Inoue A K, Rafelski M, Prichard L J, Arnouts S, Moutard T, Coupon J, Golob A, Gwyn S	4. 巻 494
2. 論文標題 Outside the Lyman-break box: detecting Lyman continuum emitters at $3.5 < z < 5.1$ with CLAUDS	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4986 ~ 5007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa920	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, 他	4. 巻 896
2. 論文標題 Large Population of ALMA Galaxies at $z > 6$ with Very High [O iii] 88 μm to [C ii] 158 μm 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 93 ~ 93
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 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., 他	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 45 ~ 45
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 Kubota Kenji, Inoue Akio K, Hasegawa Kenji, Takahashi Keitaro	4. 巻 494
2. 論文標題 Detectability of 21-cm signal during the epoch of reionization with 21-cm-Lyman- emitter cross-correlation - III. Model dependence	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 3131 ~ 3140
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa979	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 Hayashino T, Inoue A K, Kousai K, Kashikawa N, Mawatari K, Matsuda Y, Tejos N, Prochaska J X, Iwata I, Noll S, Burgarella D, Yamada T, Akiyama M	4. 巻 484
2. 論文標題 Enhancement of HI absorption associated with the $z = 3.1$ large-scale proto-cluster and characteristic structures with AGNs sculptured over Gpc scale in the SSA22 field	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 5868 ~ 5887
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz388	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 Kashino Daichi, Inoue Akio K	4. 巻 486
2. 論文標題 Disentangling the physical parameters of gaseous nebulae and galaxies	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 1053 ~ 1069
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz881	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 ~ 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

1. 著者名 Hirashita Hiroyuki, Inoue Akio K	4. 巻 487
2. 論文標題 Radiation-pressure-driven dust transport to galaxy haloes at $z \sim 10$	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 961 ~ 974
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz1348	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 Laporte N, Katz H, Ellis R S, Lagache G, Bauer F E, Boone F, Inoue A K, Hashimoto T, Matsuo H, Mawatari K, Tamura Y	4. 巻 487
2. 論文標題 The absence of [C II] 158um emission in spectroscopically confirmed galaxies at $z > 8$	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters	6. 最初と最後の頁 L81 ~ L85
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnrasl/slz094	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, 他	4. 巻 71
2. 論文標題 Big Three Dragons: A $z = 7.15$ Lyman-break galaxy detected in [O III] $88 \mu\text{m}$, [C II] $158 \mu\text{m}$, 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 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., 他	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 ~ 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 Iwata Ikuru, Inoue Akio K, Micheva Genoveva, Matsuda Yuichi, Yamada Toru	4. 巻 488
2. 論文標題 Subaru narrow-band imaging search for Lyman continuum from galaxies at $z > 3$ in the GOODS-N field	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 5671 ~ 5689
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz2081	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 Binggeli Christian, Zackrisson Erik, Ma Xiangcheng, Inoue Akio K, Vikaeus Anton, Hashimoto Takuya, Mawatari Ken, Shimizu Ikkoh, Ceverino Daniel	4. 巻 489
2. 論文標題 Balmer breaks in simulated galaxies at $z > 6$	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 3827 ~ 3835
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz2387	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, Tamura Yoichi, Matsuo Hiroshi, Mawatari Ken, Yamaguchi Yuki	4. 巻 71
2. 論文標題 Detections of [O III] 88 μm in two quasars in the reionization epoch	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 109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz094	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 ~ 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 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, 他	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 ~ 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 Hashimoto T., Laporte N., Mawatari K., Ellis R. S., Inoue A. K., Zackrisson E., Roberts-Borsani G., Zheng W., Tamura Y., Bauer F. E., Fletcher T., Harikane Y., Hatsukade B., Hayatsu N. H., Matsuda Y., Matsuo H., Okamoto T., Ouchi M., Pello R., Rydberg C.-E., Shimizu I., Taniguchi Y., Umehata H., Yoshida N.	4. 巻 557
2. 論文標題 The onset of star formation 250 million years after the Big Bang	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 392 ~ 395
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-018-0117-z	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 Y., Ouchi M., Shibuya T., Kojima K., Zhang H., Itoh R., Ono Y., Higuchi R., Inoue A. K., Chevallard J., Capak P. L., Nagao T., Onodera M., Faisst A. L., Martin C. L., Rauch M., Bruzual G. A., Charlot C., Davidzon I., Fujimoto S., Hilmi M., Ilbert O., Lee C.-H., Matsuoka Y., Silverman J. D., Toft S.	4. 巻 859
2. 論文標題 SILVERRUSH. V. Census of Ly α [O iii] 5007, H α , and [C ii] 158 μ m Line Emission with ?1000 LAEs at $z = 4.977.0$ Revealed with Subaru/HSC	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aabd80	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 Inoue Akio K., Hasegawa Kenji, Ishiyama Tomoaki, Yajima Hidenobu, Shimizu Ikkoh, Umemura Masayuki, Konno Akira, Harikane Yuichi, Shibuya Takatoshi, Ouchi Masami, Shimasaku Kazuhiro, Ono Yoshiaki, Kusakabe Haruka, Higuchi Ryo, Lee Chien-Hsiu	4. 巻 70
2. 論文標題 SILVERRUSH. VI. A simulation of Ly α emitters in the reionization epoch and a comparison with Subaru Hyper Suprime-Cam survey early data	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psy048	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 Itoh Ryohei, Ouchi Masami, Zhang Haibin, Inoue Akio K., Mawatari Ken, Shibuya Takatoshi, Harikane Yuichi, Ono Yoshiaki, Kusakabe Haruka, Shimasaku Kazuhiro, Fujimoto Seiji, Iwata Ikuru, Kajisawa Masaru, Kashikawa Nobunari, Kawanomoto Satoshi, Komiyama Yutaka, Lee Chien-Hsiu, Nagao Tohru, Taniguchi Yoshiaki	4. 巻 867
2. 論文標題 CHORUS. II. Subaru/HSC Determination of the Ly α Luminosity Function at $z = 7.0$: Constraints on Cosmic Reionization Model Parameter	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aadfe4	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 Moriwaki Kana, Yoshida Naoki, Shimizu Ikkoh, Harikane Yuichi, Matsuda Yuichi, Matsuo Hiroshi, Hashimoto Takuya, Inoue Akio K., Tamura Yoichi, Nagao Tohru	4. 巻 481
2. 論文標題 The distribution and physical properties of high-redshift [O?iii] emitters in a cosmological hydrodynamics simulation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters	6. 最初と最後の頁 L84 ~ L88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnrasl/sly167	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 Boquien M., Burgarella D., Roehlly Y., Buat V., Ciesla L., Corre D., Inoue A. K., Salas H.	4. 巻 622
2. 論文標題 CIGALE: a python Code Investigating GALaxy Emission	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201834156	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 Tamura Yoichi, Mawatari K., Hashimoto T., Inoue A. K., Zackrisson E., Christensen Li., Binggeli C., Matsuda Y., Matsuo H., Takeuchi T. T., Asano R. S., Sunaga K., Shimizu I., Okamoto T., Yoshida N., Lee M. M., Shibuya T., Taniguchi Y., Umehata H., Hatsukade B., Kohno Ko., Ota K.	4. 巻 874
2. 論文標題 Detection of the Far-infrared [O iii] and Dust Emission in a Galaxy at Redshift 8.312: Early Metal Enrichment in the Heart of the Reionization Era	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab0374	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 Hayashino T, Inoue A K, Kousai K, Kashikawa N, Mawatari K, Matsuda Y, Tejos N, Prochaska J X, Iwata I, Noll S, Burgarella D, Yamada T, Akiyama M	4. 巻 484
2. 論文標題 Enhancement of HI absorption associated with the z = 3.1 large-scale proto-cluster and characteristic structures with AGNs sculptured over Gpc scale in the SSA22 field	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 5868-5887
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz388	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 Inoue Akio K., Hasegawa Kenji, Ishiyama Tomoaki, Yajima Hidenobu, Shimizu Ikkoh, Umemura Masayuki, Konno Akira, Harikane Yuichi, Shibuya Takatoshi, Ouchi Masami, Shimasaku Kazuhiro, Ono Yoshiaki, Kusakabe Haruka, Higuchi Ryo, Lee Chien-Hsiu	4. 巻 70
2. 論文標題 SILVERRUSH. VI. A simulation of Ly α emitters in the reionization epoch and a comparison with Subaru Hyper Suprime-Cam survey early data	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Konno Akira, Ouchi Masami, Shibuya Takatoshi, Ono Yoshiaki, Shimasaku Kazuhiro, Taniguchi Yoshiaki, Nagao Tohru, Kobayashi Masakazu A R, Kajisawa Masaru, Kashikawa Nobunari, Inoue Akio K, Oguri Masamune, Furusawa Hisanori, Goto Tomotsugu, Harikane Yuichi, Higuchi Ryo, Komiyama Yutaka, et al.	4. 巻 70
2. 論文標題 SILVERRUSH. IV. Ly luminosity functions at z=5.7 and 6.6 studied with ~1300 Ly emitters on the 14-21 deg ² sky	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 S16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psx131	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 Ouchi Masami, Harikane Yuichi, Shibuya Takatoshi, Shimasaku Kazuhiro, Taniguchi Yoshiaki, Konno Akira, Kobayashi Masakazu, Kajisawa Masaru, Nagao Tohru, Ono Yoshiaki, Inoue Akio K, Umemura Masayuki, Mori Masao, Hasegawa Kenji, Higuchi Ryo, Komiyama Yutaka, Matsuda Yuichi, Nakajima Kimihiko, Saito Tomoki, Wang Shiang-Yu	4. 巻 70
2. 論文標題 Systematic Identification of LAEs for Visible Exploration and Reionization Research Using Subaru HSC (SILVERRUSH). I. Program strategy and clustering properties of ~2000 Ly emitters at z=6-7 over the 0.3-0.5 Gpc ² survey area	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 S13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psx074	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 Aihara Hiroaki, Arimoto Nobuo, Armstrong Robert, Arnouts Stphane, Bahcall Neta A, Bickerton Steven, Bosch James, Bundy Kevin, Capak Peter L, Chan James H H, Chiba Masashi, Coupon Jean, Egami Eiichi, et al.	4. 巻 70
2. 論文標題 The Hyper Suprime-Cam SSP Survey: Overview and survey design	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 S4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psx066	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 Mawatari Ken, Inoue Akio K., Yamada Toru, Hayashino Tomoki, Otsuka Takuya, Matsuda Yuichi, Umehata Hideki, Ouchi Masami, Mukae Shiro	4. 巻 467
2. 論文標題 Imaging of diffuse HI absorption structure in the SSA22 proto-cluster region at z=3.1	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 3951 ~ 3962
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stx038	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 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 山中郷史、井上昭雄、他
2. 発表標題 CHORUS Data Release 1 のデータ検証および天体個数密度の測定
3. 学会等名 日本天文学会2020年春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山中郷史、井上昭雄、岩田生、他
2. 発表標題 CHORUS による赤方偏移 3.3 および 4.9 の電離光子放射銀河の探査
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 馬渡健、井上昭雄、他
2. 発表標題 再電離期のバルマーブレイク銀河候補と赤方偏移 1.4 以上の星形成率密度への制限
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryohei Itoh, Masami Ouchi, Haibin Zhang, Akio K. Inoue, et al.
2. 発表標題 Exploration of High Redshift Galaxies with Subaru/HSC CHORUS Survey
3. 学会等名 日本天文学会2019年春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山中郷史、井上昭雄、山田亨、岩田生、他
2. 発表標題 紫外線スペクトルスロープ と H 輝線等価幅を用いた星形成銀河の電離光子脱出率への制限
3. 学会等名 日本天文学会2019年春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Haibin Zhang, Masami Ouchi, Ryohei Itoh, Takatoshi Shibuya, et al.
2. 発表標題 Photometric and Spectroscopic Properties of Ly Blobs at $z = 5 - 7$ Identified with Subaru HSC
3. 学会等名 日本天文学会2019年春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山中郷史、山田亨
2. 発表標題 赤方偏移 4 における非常に活発な星形成銀河の紫外線スペクトルスロープ
3. 学会等名 日本天文学会2018年秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤凌平、大内正己、Zhang Haibin、他
2. 発表標題 [CHORUS] $z = 7.0$ の Ly 光度関数で探る宇宙再電離
3. 学会等名 日本天文学会2018年春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Itoh Ryohei, Ouchi Masami, Zhang Haibin, Inoue Akio K., 他
2. 発表標題 Subaru/HSC Determination of Lya LF at z=7.0
3. 学会等名 Tokyo Spring Cosmic Lyman-Alpha Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Inoue Akio K.
2. 発表標題 Progress report of CHORUS
3. 学会等名 Subaru Users' Meeting in FY2017 (国際学会)
4. 発表年 2018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
研究分担者	嶋作 一大 (Shimasaku Kazuhiro) (00251405)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・准教授 (12601)	
研究分担者	柏川 伸成 (Kashikawa Nobunari) (00290883)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・教授 (12601)	
研究分担者	長尾 透 (Nagao Tohru) (00508450)	愛媛大学・宇宙進化研究センター・教授 (16301)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	矢島 秀伸 (Yajima Hidenobu) (10756357)	筑波大学・計算科学研究センター・准教授 (12102)	
研究分担者	岩田 生 (Iwata Ikuru) (40399275)	国立天文台・TMTプロジェクト・准教授 (62616)	
研究分担者	大内 正己 (Ouchi Masami) (40595716)	東京大学・宇宙線研究所・教授 (12601)	
研究分担者	小野 宜昭 (Ono Yoshiaki) (60631116)	東京大学・宇宙線研究所・助教 (12601)	

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			
米国	カリフォルニア大学	カリフォルニア工科大学		
英国	ロンドン大学			
スウェーデン	ウプサラ大学			
その他の国・地域	台湾中央研究院			
フランス	マルセイユ天体物理学研究所			