

令和 6 年 5 月 8 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H01939

研究課題名（和文）大規模多波長サーベイから明らかにする巨大ブラックホールの爆発的成長

研究課題名（英文）Rapid supermassive black hole growth revealed by multi-wavelength surveys

研究代表者

市川 幸平（Ichikawa, Kohei）

早稲田大学・理工学術院・准教授（任期付）

研究者番号：40756293

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では大規模多波長サーベイを構築するすばるHSC SSPサーベイ、VLASS電波サーベイ、eROSITA X線サーベイおよびWISE赤外線サーベイを組み合わせることで、今まで見過ごされてきた埋もれた活動銀河核やmassive BH候補天体の探査およびその性質の理解を目指した。その結果、DOGsと呼ばれる埋もれた活動銀河核のX線大規模サンプルを通して周辺のカス分布の理解や、可視光で非常に暗い電波天体の発見、遠方で電波とX線の両方で明るい埋もれた活動銀河核のサンプル構築など、超巨大ブラックホール成長の鍵となる性質を持つ天体を探査することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究を通して、現在利用可能な広域多波長データには多くの見過ごされてきた活動銀河核種族が存在することがわかった。本多波長データのレガシーバリューは非常に高く、今後も本サンプルを通じて超巨大ブラックホール成長の理解に迫ることができる。また、今後サーベイがスタートするEuclid赤外線衛星やLSST可視光望遠鏡との親和性も高く、本研究のノウハウを活かすことで将来的にもサンプル構築を進めることができる。

研究成果の概要（英文）：This goal of this project is to explore and understand the properties of previously missing obscured active galactic nuclei and massive black hole candidate objects by combining the large area multi-wavelength surveys, such as Subaru HSC SSP survey, VLASS radio survey, eROSITA X-ray survey, and WISE infrared survey.

We succeed constructing the samples with key properties for the growth of supermassive black holes, such as understanding the gas distribution around buried active galactic nuclei through the first statistical X-ray sample of DOGs, discovering radio sources those are extremely faint in the optical, and constructing a sample of buried active galactic nuclei that are bright in both radio and X-ray in high redshift Universe.

研究分野：天文学

キーワード：超巨大ブラックホール 活動銀河核 X線 赤外線 eROSITA すばる望遠鏡

## 1. 研究開始当初の背景

膨大な質量を持つ超巨大ブラックホールと恒星質量ブラックホールとの間には、質量スケールで 5 桁にも及ぶギャップが存在し、超巨大ブラックホールの質量獲得の起源を知るためにはその中間質量である massive ブラックホール (mBH) の探査と、激しく質量降着を起こして成長を遂げている活動銀河核 (active galactic nuclei; AGN) の探査が必要不可欠である。その一方で、明るい活動銀河核と呼ばれるクエーサーはそもそもその数密度が非常に小さく (例えば、遠方宇宙の  $z \sim 6$  では  $10^{-9} \text{ Mpc}^{-3}$ )、可視光域以外でそのようなレアな天体の探査は非常に困難な状況にあった。

## 2. 研究の目的

本研究は、そのような状況の中で、いままで主流でありほぼ唯一の手段であった可視光サーベイ「以外」の波長域の広域観測サーベイを利用することで、今まで見過ごされてきた活動銀河核種族や、mBH 種族の探査を行うことをゴールとした。このような探査手法により、今まで知られていなかったブラックホールへの質量降着・成長の軌跡を明らかにしようとした研究課題である。研究課題申請時はそのような広域サーベイが可視光域以外でスタートした黎明期であり、例えば X 線サーベイである eROSITA X 線衛星が 2019 年度に観測をスタートし、VLA/FIRST 1.5 GHz 電波サーベイの後継サーベイであるより高空間分解能かつ高感度を目指した VLASS 3GHz 電波サーベイも動き出したところであった。つまり、本研究の目的を果たすための手段がちょうど揃った時期であった。

## 3. 研究の方法

本研究のユニークな点は、今まで可視光域サーベイで行われていた非常に数密度の小さい、希少な活動銀河核の探査を可視光広域サーベイで行うのではなく、まずは他の波長である X 線や電波広域サーベイで行い、その後に見つかった活動銀河核種族の距離 (redshift,  $z$ ) や母銀河等の性質を得るために高感度可視光サーベイであるすばる/HSC SSP サーベイを利用したことである。このように活動銀河核の探査を可視光域以外の波長で行い、そして距離や性質の理解を可視光高感度サーベイから取得するようにして、探査と距離の調査を二段階に分けた。このようにすることで、可視光域サーベイ単体では本質的に選択できない埋もれた活動銀河核や激しく成長している活動銀河核種族を発見できるというメリットを生かすことができる (研究成果 4.1., 4.2.)。

また、多波長広域サーベイが利用できることになったことで、今までフォローアップ観測でしか得ることのできなかった、可視光+赤外線広域サーベイで見つかった活動銀河核種族の X 線や電波の性質を調査することもできる。前者は活動銀河核の吸収の影響を極力除いた真の光度や、ブラックホール周辺のガス吸収量を探査することができ、後者では電波ジェットの有無から降着円盤の物理モデルの制限や、衝撃波由来の有無からこれも周辺ガスの影響を調べることができる (研究成果 4.3., 4.4. 参照)。

## 4. 研究成果

### 4.1. VLA-HSC の組み合わせで検出された電波で明るい活動銀河核

電波サーベイはガスの吸収による影響を受けないため、活動銀河核を探査するのに非常によいトレーサーであることが知られている。その一方で、宇宙の電波源のその殆どは可視光対応天体が発見されておらず、ましてや X 線の性質は未だ理解されていない。本研究ではまずすばる HSC ワイド領域においてその高感度観測を活かして VLA/FIRST 電波源の可視光対応天体を探査し、その多波長の性質を可能な限り組み合わせることで、非常に降着率が高く、さらに母銀河の星質量が非常に小さい mBH 候補天体が多数存在することを明らかにした (Ichikawa et al., 2021, *Astrophysical Journal*, 921, 51)。本天体についてはすばる望遠鏡において可視光分光フォローアップ観測が採択され、その分光結果についても論文を執筆中である (He, Ichikawa, et al. in prep.)。また、このような降着率の激しい電波銀河がなぜ  $z < 1$  という宇宙の比較的後期に存在するのかも我々は調査した。上記は、母銀河が比較的小さい天体であることを考えると、言い換えると  $z < 1$  程度まで中心にあるブラックホールもあまり成長していなかったということを示唆している。そこで、我々はクラスタリング解析を利用して、これらの電波銀河が宇宙の中のどの程度高密度領域に存在するのかを調査した。その結果、これらの天体は、他の活動銀河核種族と異なり、あまり高密度領域に存在していないことがわかった。このことから、これらの天体は初期宇宙ではガス降着を得る機会があまり得られず、宇宙の長い時間をかけてガスを獲得し、 $z < 1$  という比較的最近になってブラックホールの急激な成長をする機会を得ることができた「大器晩成側」なブラックホールであることがわかってきた (Uchiyama, Yamashita, Nagao, Ichikawa, et al., 2022, *Astrophysical Journal*, 934, 68)。

さらに、すばる HSC/SSP サーベイはワイド領域よりも更に深い観測が行われた Ultra/Deep 領域が存在する。この U/Deep 領域において、その可視光対応天体カタログも作成した。この領域

のユニークなところは、紫外線や近赤外線・中間赤外線を含む多波長データがある程度均質に揃っており、検出天体の物理的性質、例えば母銀河や活動銀河核の光度などが調査しやすい点である。

我々のカタログ作成の結果、電波源の90%以上の可視光対応天体を発見することができ、今まで見えてこなかった遠方宇宙 ( $z>3$ )の電波候補天体も数十天体の規模で発見することができた。さらに、可視光領域ではまったくその対応天体が見えない可視光ダークな天体も見えてきており、これらの天体についてはその対応天体を探索するべく各種望遠鏡にフォローアップを提案中である。これらの情報がまとまり次第、本カタログ天体のサンプルについて論文を執筆予定である (Fitriana, Ichikawa, et al. in prep.)。

#### 4.2. eFEDS radio-loud AGN

上記 4.1. でも述べたように、電波サーベイはガスの吸収による影響を受けないため、活動銀河核を探索するのに非常によいトレーサーであることが知られている。

本研究ではすばる HSC/SSP による非常に深い可視光サーベイを利用することで、eFEDS 領域内の電波源の可視光対応天体をもれなく同定し、さらには eROSITA X 線データを掛け合わせることで、今まで知られていなかった遠方の電波で明るい活動銀河核の X 線の性質を調査した。その結果、ダストで周辺は埋もれたものの、視線方向のガス吸収は殆ど無いような電波銀河や、X 線光度が  $10^{46}$  erg/s を超える電波で明るい活動銀河核など、今まで見過ごされてきた活動銀河核種族の発見に至った。それだけではなく、電波の高光度サンプルに限ると、電波光度に対して X 線光度があまり大きくならないという性質がわかってきて、降着円盤の性質が電波の高光度側では異なるという傾向も見えてきた。これらは高降着率が実現している降着円盤では、何かしら X 線が抑制され、相対的に電波放射が比較的出やすい環境が実現していることを示唆していることがわかってきた。本研究成果はいくつかの国際会議で口頭発表を行い、国際天文学誌である *Astronomy & Astrophysics* (以後 A&A) にて論文が掲載された (Ichikawa, K., Yamashita, T., Merloni, A., et al. 2023, A&A, 672, A171)。

#### 4.3. eFEDS DOGs

赤外線で見ると可視光で非常に暗い Dust Obscured Galaxies (DOGs) という銀河種族は、その波長の特徴から中心にダストで埋もれた活動銀河核が存在すると言われているが、数密度が非常に小さいため、他の波長の性質はあまり調査されていなかった。例えば、その X 線の性質は広域かつ感度のよい X 線サーベイが存在しなかったことから、個々の天体の X 線フォローアップに限られ、統計的なサンプルは存在しなかった状態であった。

この状況が eROSITA X 線全天サーベイが開始したことにより激変した。我々は eROSITA X 線サーベイのテスト領域である eFEDS 140 平方度の X 線領域において、すばる望遠鏡 HSC と WISE 赤外線データをかけ合わせることで DOGs 約 5000 天体を選出し、それらの X 線の性質を初めて調査した。その結果、eROSITA の  $E < 2$  keV の領域ではほとんどの天体が非検出であることがわかり、DOGs はそのほとんどの天体が  $N_{\text{H}} > 10^{23}$   $\text{cm}^{-2}$  というガスやダストで深く埋もれた天体であることが統計的に初めて明らかになった。

さらにおもしろいことに、全体サンプルから見ると少数ではあるものの、60 天体程度という統計的に十分なサンプルに対して X 線検出された DOGs を発見することができた。これらの天体のガス吸収量は非常に幅広く、天体によっては  $N_{\text{H}} < 10^{22}$   $\text{cm}^{-2}$  と視線方向ではガス吸収があまり見られない天体も含まれていた。これは従来の DOGs の描像とは異なる結果である。これらの天体は、例えば DOGs 内の活動銀河核からの輻射圧によって周辺のガスを剥ぎ取り晴れ上がっている、いわゆる AGN フィードバックが起きている天体の可能性があるかもしれないことがわかってきた。本研究は現在国際誌に論文を投稿中である (Noboriguchi, Ichikawa, et al. submm to A&A)。

#### 4.4. radio-loud DOGs

4.3. で述べたように、可視光・赤外線波長域で選出された DOGs はその数密度の小ささゆえに他の波長での性質はまだあまりわかっていないのが現状である。我々は VLASS 電波サーベイを利用することで、HSC/SSP 可視光サーベイのうち、ワイド領域おおよそ 1000 平方度において DOGs の電波探査を行った。その結果、10 天体ほどの対応天体を発見することができた。さらに、可視光域の photometric 赤方偏移 (以後 photo- $z$  という) を利用してこれらの天体の降着率などを調べたところ、等方的な降着で実現できる理論値限界の降着を行っていることがわかってきた。従来はこのような天体では電波放射はあまり確認されていないことから、非常に降着率の高い状態における降着円盤の物理情報を調査する格好の天体であることがわかってきた。これらの天体の物理量は赤方偏移に強く依存するため、我々はすばる望遠鏡を利用して分光による赤方偏移同定を進めている。過去に 2 回観測提案は採択されているものの、望遠鏡トラブルと気象状態に恵まれずいまだ観測は実行できていない。2024 年度以降にも観測時間が残っているため、これらの観測から分光赤方偏移を確定させ、上記性質の確認を行う予定である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計38件（うち査読付論文 38件 / うち国際共著 36件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Uchiyama Hisakazu, Yamashita Takuji, Nagao Tohru, Ichikawa Kohei, Toba Yoshiki, Ishikawa Shogo, Kubo Mariko, Kajisawa Masaru, Kawaguchi Toshihiro, Kawakatu Nozomu, Lee Chien-Hsiu, Noboriguchi Akatoki	4. 巻 934
2. 論文標題 A Wide and Deep Exploration of Radio Galaxies with Subaru HSC (WERGS). VII. Redshift Evolution of Radio Galaxy Environments at $z = 0.3?1.4$	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 68 ~ 68
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac77ee	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 Koss M. J., Trakhtenbrot B., Ricci C., Bauer F. E., Treister E., Mushotzky R., Urry C. M., Ananna Tonima T., Balokovic M., den Brok Jakob S., Cenko S. B., Harrison F., Ichikawa K., et al.	4. 巻 261
2. 論文標題 BASS. XXI. The Data Release 2 Overview	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 1 ~ 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/ac6c8f	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 Koss M. J., Ricci C., Trakhtenbrot B., Oh K., den Brok Jakob S., (incl. Ichikawa K.), et al.	4. 巻 261
2. 論文標題 BASS. XXII. The BASS DR2 AGN Catalog and Data	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 2 ~ 2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/ac6c05	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 Pfeifle Ryan W., Ricci Claudio, Boorman Peter G., Stalevski Marko, Asmus Daniel, Trakhtenbrot Benny, Koss Michael J., Stern Daniel, Ricci Federica, Satyapal Shobita, Ichikawa Kohei, Rosario David J., Caglar Turgay, Treister Ezequiel, Powell Meredith, Oh Kyuseok, Urry C. Megan, Harrison Fiona	4. 巻 261
2. 論文標題 BASS. XXIII. A New Mid-infrared Diagnostic for Absorption in Active Galactic Nuclei	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 3 ~ 3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/ac5b65	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 Oh Kyuseok, Koss Michael J., Ueda Yoshihiro (incl. Ichikawa Kohei) et al.	4. 巻 261
2. 論文標題 BASS. XXIV. The BASS DR2 Spectroscopic Line Measurements and AGN Demographics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 4~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/ac5b68	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 Mejia-Restrepo Julian E., Trakhtenbrot Benny, Koss Michael J. (incl. Ichikawa Kohei) et al.	4. 巻 261
2. 論文標題 BASS. XXV. DR2 Broad-line-based Black Hole Mass Estimates and Biases from Obscuration	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 5~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/ac6602	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 den Brok Jakob S., Koss Michael J., Trakhtenbrot Benny (incl. Ichikawa Kohei) et al.	4. 巻 261
2. 論文標題 BASS. XXVIII. Near-infrared Data Release 2: High-ionization and Broad Lines in Active Galactic Nuclei*	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 7~7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/ac5b66	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 Ricci Federica, Treister Ezequiel, Bauer Franz E. (incl. Ichikawa Kohei) et al.	4. 巻 261
2. 論文標題 BASS. XXIX. The Near-infrared View of the Broad-line Region (BLR): The Effects of Obscuration in BLR Characterization*	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 8~8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/ac5b67	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 Ananna Tonima Tasnim, Weigel Anna K., Trakhtenbrot Benny (incl. Ichikawa Kohei) et al.	4. 巻 261
2. 論文標題 BASS. XXX. Distribution Functions of DR2 Eddington Ratios, Black Hole Masses, and X-Ray Luminosities	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 9~9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/ac5b64	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 Uchiyama Mizuho, Ichikawa Kohei, Sugiyama Koichiro, Tanabe Yoshihiro, Yonekura Yoshinori	4. 巻 936
2. 論文標題 Mid-infrared and Maser Flux Variability Correlation in Massive Young Stellar Object G036.70+00.09	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 31~31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac866e	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 Pflugradt Janek, Ichikawa Kohei, Akiyama Masayuki, Kokubo Mitsuru, Vijarnwannaluk Bovornpractch, Noda Hirofumi, Chen Xiaoyang	4. 巻 938
2. 論文標題 Finding of a Population of Active Galactic Nuclei Showing a Significant Luminosity Decline in the Past $10^{3-4}$ yr	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 75~75
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac8ff3	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 Kawamuro Taiki, Ricci Claudio, Imanishi Masatoshi (incl. Ichikawa Kohei) et al.	4. 巻 938
2. 論文標題 BASS XXXII: Studying the Nuclear Millimeter-wave Continuum Emission of AGNs with ALMA at Scales $100-200$ pc	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 87~87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac8794	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 Fukuchi Hikaru, Ichikawa Kohei, Akiyama Masayuki, Ricci Claudio, Chon Sunmyon, Kokubo Mitsuru, Liu Ang, Hashimoto Takuya, Izumi Takuma	4. 巻 940
2. 論文標題 H1821+643: The Most X-Ray and Infrared Luminous Active Galactic Nucleus (AGN) in the Swift/BAT Survey in the Process of Rapid Stellar and Supermassive Black Hole Mass Assembly	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 7~7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac9304	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 Noboriguchi Akatoki, Nagao Tohru, Toba Yoshiki, Ichikawa Kohei, Kajisawa Masaru, Kato Nanako, Kawaguchi Toshihiro, Matsuhara Hideo, Matsuoka Yoshiki, Onishi Kyoko, Onoue Masafusa, Tamada Nozomu, Terao Koki, Terashima Yuichi, Ueda Yoshihiro, Yamashita Takuji	4. 巻 941
2. 論文標題 Extreme Nature of Four Blue-excess Dust-obscured Galaxies Revealed by Optical Spectroscopy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 195 ~ 195
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aca403	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 Uchiyama Hisakazu, Yamashita Takuji, Nagao Tohru, Ono Yoshiaki, Toshikawa Jun, Ichikawa Kohei, Kawakatu Nozomu, Kajisawa Masaru, Toba Yoshiki, Matsuoka Yoshiki, Kubo Mariko, Imanishi Masatoshi, Ito Kei, Kawaguchi Toshihiro, Lee Chien-Hsiu, Saito Tomoki	4. 巻 74
2. 論文標題 A Wide and Deep Exploration of Radio Galaxies with Subaru HSC (WERGS). IX. The most overdense region at $z > 5$ inhabited by a massive radio galaxy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 L27 ~ L32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psac075	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 Lee Kianhong, Kohno Kotaro, Hatsukade Bunyo, Egusa Fumi, Yamashita Takuji, Schramm Malte, Ichikawa Kohei, Imanishi Masatoshi, Izumi Takuma, Nagao Tohru, Toba Yoshiki, Umehata Hideki	4. 巻 944
2. 論文標題 Massive Molecular Gas Companions Uncovered by Very Large Array CO(1?0) Observations of the $z = 5.2$ Radio Galaxy TN J0924?2201	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 35 ~ 35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/acaf58	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 Ichikawa Kohei, Yamashita Takuji, Merloni Andrea et al.	4. 巻 672
2. 論文標題 eROSITA Final Equatorial-Depth Survey (eFEDS)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Astronomy and Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A171 ~ A171
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202244271	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 Caglar Turgay, Koss Michael J., Burtscher Leonard (incl. Ichikawa Kohei) et al.	4. 巻 956
2. 論文標題 BASS. XXXV. The M BH- Relation of 105 Month Swift-BAT Type 1 AGNs	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 60 ~ 60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/acf11b	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 Kawamuro Taiki, Ricci Claudio, Mushotzky Richard F. (incl. Ichikawa Kohei) et al.	4. 巻 269
2. 論文標題 BASS. XXXIV. A Catalog of the Nuclear Millimeter-wave Continuum Emission Properties of AGNs Constrained on Scales $\lesssim 100\text{--}200$ pc	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 24 ~ 24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/acf467	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 Ricci C., Ichikawa K., Stalevski M. et al.	4. 巻 959
2. 論文標題 BASS. XLII. The Relation between the Covering Factor of Dusty Gas and the Eddington Ratio in Nearby Active Galactic Nuclei	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 27 ~ 27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ad0733	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 Li Junyao, Silverman John D, Merloni Andrea, Salvato Mara, Buchner Johannes, Goulding Andy, Liu Teng, Arcodia Riccardo, Comparat Johan, Ding Xuheng, Ichikawa Kohei, Imanishi Masatoshi, Kawaguchi Toshihiro, Kawinwanichakij Lalitwadee, Toba Yoshiki	4. 巻 527
2. 論文標題 The <i>eROSITA</i> final equatorial-depth survey (eFEDS): host-galaxy demographics of X-ray AGNs with Subaru Hyper Suprime-Cam	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4690 ~ 4704
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stad3438	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 He Wanqiu, Akiyama Masayuki, Enoki Motohiro, Ichikawa Kohei, Inayoshi Kohei, Kashikawa Nobunari, Kawaguchi Toshihiro, Matsuoka Yoshiki, Nagao Tohru, Onoue Masafusa, Oogi Taira, Schulze Andreas, Toba Yoshiki, Ueda Yoshihiro	4. 巻 962
2. 論文標題 Black Hole Mass and Eddington-ratio Distributions of Less-luminous Quasars at $z \sim 4$ in the Subaru Hyper Suprime-Cam Wide Field	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 152 ~ 152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ad1518	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 Leist M. T., Packham C., Rosario D. J. V. (incl. Ichikawa Kohei)	4. 巻 167
2. 論文標題 Deconvolution of JWST/MIRI Images: Applications to an Active Galactic Nucleus Model and GATOS Observations of NGC 5728	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 96 ~ 96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/ad1886	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 Gupta K K, Ricci C, Tortosa A, Ueda Y, Kawamuro T, Koss M, Trakhtenbrot B, Oh K, Bauer F E, Ricci F, Privon G C, Zappacosta L, Stern D, Kakkad D, Piconcelli E, Veilleux S, Mushotzky R, Caglar T, Ichikawa K, Elagali A, Powell M C, Urry C M, Harrison F	4. 巻 504
2. 論文標題 BAT AGN Spectroscopic Survey XXVII: scattered X-Ray radiation in obscured active galactic nuclei	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 428 ~ 443
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stab839	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 Garcia-Burillo S., Alonso-Herrero A., Ramos Almeida C., Gonzalez-Martin O., Combes F., Usero A., Hoenig S., Querejeta M., Hicks E. K. S., Hunt L. K., Rosario D., Davies R., Boorman P. G., Bunker A. J., Burtscher L., Colina L., Diaz-Santos T., Gandhi P., Garcia-Bernete I., Garcia-Lorenzo B., Ichikawa K. et al.	4. 巻 652
2. 論文標題 The Galaxy Activity, Torus, and Outflow Survey (GATOS)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A98 ~ A98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202141075	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 Alonso-Herrero A., Garcia-Burillo S., Hoenig S. F., Garcia-Bernete I., Ramos Almeida C., Gonzalez-Martin O., Lopez-Rodriguez E., Boorman P. G., Bunker A. J., Burtscher L., Combes F., Davies R., Diaz-Santos T., Gandhi P., Garcia-Lorenzo B., Hicks E. K. S., Hunt L. K., Ichikawa K. et al.	4. 巻 652
2. 論文標題 The Galaxy Activity, Torus, and Outflow Survey (GATOS)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A99 ~ A99
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202141219	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 Hayakawa Hisashi, Fujii Yuri I., Murata Koji, Mitsuma Yasuyuki, Cheng Yongchao, Nogami Nagatoshi, Ichikawa Kohei, Sano Hidetoshi, Tsumura Kohji, Kawamoto Yukiko, Nishino Masaki N.	4. 巻 11
2. 論文標題 Three case reports on the cometary plasma tail in the historical documents	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Space Weather and Space Climate	6. 最初と最後の頁 21 ~ 21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/swsc/2020045	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 Nikutta Robert, Lopez-Rodriguez Enrique, Ichikawa Kohei, Levenson N. A., Packham Christopher, Hoenig Sebastian F., Alonso-Herrero Almudena	4. 巻 919
2. 論文標題 Hypercubes of AGN Tori (HYPERCAT). I. Models and Image Morphology	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 136 ~ 136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac06a6	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 Ichikawa Kohei, Yamashita Takuji, Toba Yoshiki, Nagao Tohru, Inayoshi Kohei, Charisi Maria, He Wanqiu, Wagner Alexander Y. et al.	4. 巻 921
2. 論文標題 A Wide and Deep Exploration of Radio Galaxies with Subaru HSC (WERGS). IV. Rapidly Growing (Super)Massive Black Holes in Extremely Radio-loud Galaxies	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 51 ~ 51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac1b26	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 Tang Shenli, Silverman John D., Ding Xuheng et al. (incl. Ichikawa, Kohei)	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 83 ~ 83
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 Nikutta Robert, Lopez-Rodriguez Enrique, Ichikawa Kohei, Levenson N. A., Packham Christopher, Hoenig Sebastian F., Alonso-Herrero Almudena	4. 巻 923
2. 論文標題 Hypercubes of AGN Tori (HYPERCAT). II. Resolving the Torus with Extremely Large Telescopes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 127 ~ 127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac2949	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 Uchiyama Hisakazu, Yamashita Takuji, Toshikawa Jun, Kashikawa Nobunari, Ichikawa Kohei, Kubo Mariko, Ito Kei, Kawakatu Nozomu, Nagao Tohru, Toba Yoshiki, Ono Yoshiaki, Harikane Yuichi, Imanishi Masatoshi, Kajisawa Masaru, Lee Chien-Hsiu, Liang Yongming	4. 巻 926
2. 論文標題 A Wide and Deep Exploration of Radio Galaxies with Subaru HSC (WERGS). VI. Distant Filamentary Structures Pointed Out by High-z Radio Galaxies at $z \approx 4$	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 76 ~ 76
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac441c	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 Salvato M. et al. (including Ichikawa K.)	4. 巻 661
2. 論文標題 The eROSITA Final Equatorial-Depth Survey (eFEDS)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A3 ~ A3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202141631	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 Liu Teng et al. (including Ichikawa, K.)	4. 巻 661
2. 論文標題 The eROSITA Final Equatorial-Depth Survey (eFEDS)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A5 ~ A5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202141643	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 Toba Yoshiki et al. (including Ichikawa, K.)	4. 巻 661
2. 論文標題 The eROSITA Final Equatorial-Depth Survey (eFEDS)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A15 ~ A15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202141547	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 Uchiyama Hisakazu, Yamashita Takuji, Nagao Tohru, Ichikawa Kohei, Toba Yoshiki, Ishikawa Shogo, Kubo Mariko, Kajisawa Masaru, Kawaguchi Toshihiro, Kawakatu Nozomu, Lee Chien-Hsiu, Noboriguchi Akatoki	4. 巻 934
2. 論文標題 A Wide and Deep Exploration of Radio Galaxies with Subaru HSC (WERGS). VII. Redshift Evolution of Radio Galaxy Environments at $z = 0.3\text{?}1.4$	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 68 ~ 68
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac77ee	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 Uchiyama Hisakazu, Yamashita Takuji, Nagao Tohru, Ono Yoshiaki, Toshikawa Jun, Ichikawa Kohei, Kawakatu Nozomu, Kajisawa Masaru, Toba Yoshiki, Matsuoka Yoshiki, Kubo Mariko, Imanishi Masatoshi, Ito Kei, Kawaguchi Toshihiro, Lee Chien-Hsiu, Saito Tomoki	4. 巻 74
2. 論文標題 A Wide and Deep Exploration of Radio Galaxies with Subaru HSC (WERGS). IX. The most overdense region at $z \sim 5$ inhabited by a massive radio galaxy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 L27 ~ L32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psac075	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 Noboriguchi Akatoki, Nagao Tohru, Toba Yoshiki, Ichikawa Kohei, Kajisawa Masaru, Kato Nanako, Kawaguchi Toshihiro, Matsuhara Hideo, Matsuoka Yoshiki, Onishi Kyoko, Onoue Masafusa, Tamada Nozomu, Terao Koki, Terashima Yuichi, Ueda Yoshihiro, Yamashita Takuji	4. 巻 941
2. 論文標題 Extreme Nature of Four Blue-excess Dust-obscured Galaxies Revealed by Optical Spectroscopy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 195 ~ 195
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aca403	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

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Kohei Ichikawa
2. 発表標題 NuSTAR discovery of a dead quasar engine in Arp 187
3. 学会等名 Ten Years of High-Energy Universe in Focus: NuSTAR 2022, Sardinia, Italy (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kohei Ichikawa
2. 発表標題 Rapidly growing supermassive black holes in extremely radio-loud galaxies
3. 学会等名 Signature of Cosmic Black Holes, Athen, Greece (hybrid) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kohei Ichikawa
2. 発表標題 Rapidly growing supermassive black holes in extremely radio-loud galaxies
3. 学会等名 Resolving the Rise and Fall of Star Formation in Galaxies, Busan, South Korea (hybrid) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kohei Ichikawa
2. 発表標題 Rapidly growing supermassive black holes in extremely radio-loud galaxies
3. 学会等名 Physics of relativistic jets on all scales, Busan, South Korea (hybrid) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kohei Ichikawa
2. 発表標題 Radio galaxy catalog in the Subaru/HSC Joint catalog field
3. 学会等名 Tracing the SMBH growth: outlook beyond the HSC-SSP, and future collaborations, Kagoshima U., Japan (hybrid, zoom) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kohei Ichikawa
2. 発表標題 Quasar/AGN search at $z = 3-9$ revealed by Euclid+UNIONS survey
3. 学会等名 Subaru in the era of Euclid, NAOJ, Japan (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kohei Ichikawa
2. 発表標題 ngVLA as first (radio) quasar excavator?
3. 学会等名 ngVLA SWG3+5 workshop, NAOJ (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kohei Ichikawa
2. 発表標題 Recent observational progress on AGN and SMBH science
3. 学会等名 Galaxy-IGM workshop 2022, 釧路 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kohei Ichikawa
2. 発表標題 Serendipitous Discovery of Dying AGN in Arp 187
3. 学会等名 238th American Astronomical Society meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kohei Ichikawa
2. 発表標題 Rapid SMBH growth in the extremely radio-loud galaxies
3. 学会等名 European Astronomical Society meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kohei Ichikawa
2. 発表標題 eFEDS X-ray view of WERGS: Radio Galaxies selected by the Subaru/HSC and VLA/FIRST survey
3. 学会等名 eROSITA Consortium Meeting 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kohei Ichikawa
2. 発表標題 Rapidly growing supermassive black holes in extremely radio-loud galaxies
3. 学会等名 COSPAR general assembly (国際学会)
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
研究 分担者	山下 拓時  (Yamashita Takuji)  (20800759)	国立天文台・ハワイ観測所・特任研究員   (62616)	

	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 協力者	登口 暁  (Noboriguchi Akatoki)		
研究 協力者	フィットリアナ イツナコイルル  (Fitriana Itsna Khoirul)		



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			
中国	KIAA			
米国	Stanford University	NOIRlab	University of Texas at San Antonio	他3機関
チリ	University of Diego Portales			
韓国	KASI			
ドイツ	MPE			
ドイツ	MPE			