

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：82645

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04020

研究課題名（和文）コロナ電波放射から探る銀河中心ブラックホールの系統的研究

研究課題名（英文）Systematic studies of the coronal radio emission from supermassive black holes

研究代表者

土居 明広 (Doi, Akihiro)

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・助教

研究者番号：90403641

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）：本研究は、近年我々によって初めて電波帯にて検出された、活動銀河核（AGN）ブラックホールの極近傍に付随するコロナからの放射について、観測対象を他のAGNに拡大してサンプル数を増やし、コロナの普遍性/多様性を調査するものである。コロナ放射を示唆するミリ波超過スペクトルが発見されていたAGNはIC 4329AとNGC 985のみであったが、本研究によってNGC 1068とGRS 1734-292においても発見された。これらによって、ガンマ線やニュートリノの発生源としてAGNのブラックホールコロナが候補になりうる可能性を提示した。また、副産物となる研究成果も複数産出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近傍のAGNの放射エネルギー・スペクトルにおいて、約100 keVにカットオフを示すX線放射が知られており、ブラックホール周辺の高温プラズマ（ 10^9 Kelvin）からの放射と解釈されてきた。しかし、X線以外の波長帯では観測されず、その物理モデルには不定性が多かった。本研究により、電波帯においてもコロナ放射を観測する手段が得られ、X線/電波の両方の観測データからコロナの磁場強度を計測できるようになった。また、近年のブラックホールシャドウ直接撮像の成功には、コロナ放射現場を電波帯で直接撮像により迫る発展性があり、将来の衛星計画・気球実験の開発の我々の取り組みの重要性が拡大した。

研究成果の概要（英文）：This proposed research aimed to expand the observations of coronal radiation associated with the vicinity of active galactic nuclei (AGNs) black holes, which was first detected in the radio bands in recent years by our team, to other nearby AGNs to increase the number of samples and investigate the universality/diversity of the corona. Millimeter excess spectra suggesting coronal radiation were found only in IC 4329A and NGC 985, previously. In this research, however, we have found them in NGC 1068 and GRS 1734-292 as well. These studies have suggested that the black hole corona of AGNs could be a candidate for the sources of high-energy gamma-rays and neutrinos. In addition, several by-product research results have been produced from the analyzed data.

研究分野：宇宙物理学

キーワード：ブラックホール 活動銀河核 電波 ALMA 宇宙工学

1. 研究開始当初の背景

近傍宇宙の Active Galactic Nuclei (AGN) の放射エネルギー Spektrum において、約 100 keV にカットオフをもつ X 線放射が古くから知られている。ブラックホール周辺 (シュバルツシルト半径のおよそ 10 倍以内) の高温プラズマ (温度 $\sim 10^9$ Kelvin) からの放射と思われ、太陽コロナに類似した「磁気加熱によるコロナ現象」によるものと解釈されてきた。しかし、X 線以外の波長帯では観測されず、その物理モデルには不定性が多かった。

2018 年、我々は ALMA を用いて 2 つの近傍 Seyfert 銀河を観測し、コロナからの連続波電波 Spektrum "ミリ波超過" を検出 (図 1)、世界で初めてコロナの磁場強度を測定した (Inoue & Doi 2018, Doi=本申請の研究代表者、Inoue=研究協力者)。これは、コロナ放射を X 線以外で初めて検出した例である。X 線/電波の両方の観測データが揃ったことが、コロナの磁場強度を計測できた鍵である。これまでの準備研究 (Doi et al. 2005, 2011; Inoue & Doi 2014) を基にした成果である。

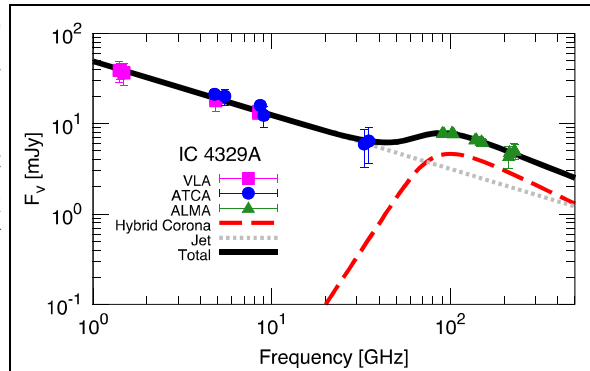


図 1: 観測された連続波電波 Spektrum。コロナ放射は ~ 100 GHz 付近の "ミリ波超過" (破線) として現れる (Inoue & Doi 2018)。

この発見のケースでは予想に反し、コロナを「(i) 磁気加熱」によって維持するには十分ではない磁場強度であることがわかった。そのため、別の加熱機構「(ii) 移流加熱」が寄与している可能性がある。移流優勢降着流モデルは、X 線バイナリーや低光度 AGN の放射 Spektrum を説明するために用いられてきた。加熱機構は異なるが、どちらも 100 keV (10^9 K) の高温プラズマを実現できる。また、我々の電波観測の結果は、同時に、非熱的なプラズマが数%程度コロナに共存していることも示していた。MeV ガンマ線背景放射およびニュートリノ生成源としても期待され (Inoue, Dmitry, Inoue, Doi 2019)、マルチメッセンジャー天文学の新たなターゲットになりうるということが考えられた。

続いて 2019 年、Event Horizon Telescope (EHT) は M87 のブラックホールシャドウの撮像に成功した。リング形状のミリ波電波放射は、シュバルツシルト半径の 10 倍程度の 10^9 K の高温プラズマの存在を意味する。X 線で観測されてきた 100 keV の放射成分が、電波帯で撮像され得る時代に入った。かつて X 線観測により発見されたコロナ現象は、電波帯での直接撮像により決定的な解明が進むと期待できる。将来へのステップとして、電波天文の国際コミュニティはミリ波サブミリ波スペース VLBI の検討を始めている。本申請の研究代表者は、日本から代表してこのスペース VLBI の検討に参加している。我々が行ってきた気球 VLBI 実験 (Doi et al. 2019) はその衛星計画の Precursor としてなっている。

このように、ブラックホール周辺のコロナ現象の研究は、広い周波数範囲にわたる連続波電波放射 Spektrum の取得というアプローチを獲得した段階であり、さらに将来は直接撮像によるアプローチを獲得しようとする時代に入った。

2. 研究の目的

申請時点では、コロナ電波放射を検出したのは 2 天体からであった。本研究により、調査範囲を多数の近傍 AGN 群に拡大することを目的とする。これまで X 線観測による研究に限定されてきた BH コロナ現象に対し、初めて電波観測から、しかも系統的にアプローチする。これは本申請研究において、観測的研究の側面からのアプローチである。また、コロナ電波放射の直接撮像による研究の発展性について見通しを得ることもおこなう。これは本申請研究において、装置開発の側面からのアプローチである。

3. 研究の方法

近傍 AGN 群を、ALMA の Band 3~7 (80–350 GHz) の周波数帯で観測する。X 線コロナフラックスと距離で優先順位を設け、3 年間の研究期間でできる限りの観測例を確保する。各天

体の観測データから、以下の情報を抽出する。

- [1] ミリ波超過の有無 (1 ~ 100 mJy)
 - ・ コロナ電波放射の普遍性
- [2] 連続波スペクトルの折れ曲がり周波数 (3 バンド準同時)
 - ・ X 線スペクトルと併せ、コロナ磁場強度および領域サイズの推定
 - ・ 放射領域の光学的厚みを推定し、将来の直接撮像の可能性を評価
- [3] 強度変動の時間スケール (10 ~ 1000 sec)
 - ・ 領域サイズの確認、および、加熱機構の物理状態に制限

我々の取得済みの ALMA データ、公開アーカイブデータを活用すれば、代表的な近傍 AGN について多くのデータを確保できる。ただし、感度/準同時観測バンド数/期間が十分にカバーできていないケースも多いと考えられるため、新たな ALMA 観測も提案する。ミリ波超過成分の同定のために、ベースラインとなるセンチ波帯スペクトル (8 ~ 43 GHz) を Very Large Array (VLA) のアーカイブデータ等を用いて取得する。これは、AGN ジェットおよび星形成由来のシンクロトロン放射/自由-自由放射の寄与の推定に相当する。

測光には、常にビームサイズ依存性の問題がつきまとう。これには Inoue & Doi 2018 で開発した手法を適用し、推定・補正して対処する。この手法は、複数のビームサイズで取得したフラックス密度のデータをインプットデータに加えることで、広がった放射の寄与割合 (の上限值) を推定することで、コンパクトな領域からの放射を抽出 (少なくとも下限値) する方法である。周波数と空間の両方のパラメータを同時に推定するため、広い周波数と広いビームサイズの多数のデータが必要とされる。

4. 研究成果

4.1 セイファート銀河 NGC 1068 のミリ波超過スペクトルとニュートリノ放射との関連

ALMA 観測のデータを詳細に分析し、コロナ放射を示唆するミリ波超過スペクトルを NGC 1068 の中心核に見出した。この天体は、一方で、IceCube の蓄積データにてニュートリノの発生源として示唆されており、論争中となっている高エネルギーニュートリノの発生源の研究に対し、重要な役割を果たすと期待されている。我々は、発見したコロナ放射の物理パラメータを考察した結果、ブラックホールの極近傍のみで発生しうる GeV 放射とニュートリノ放射が関連づけられることを示した。

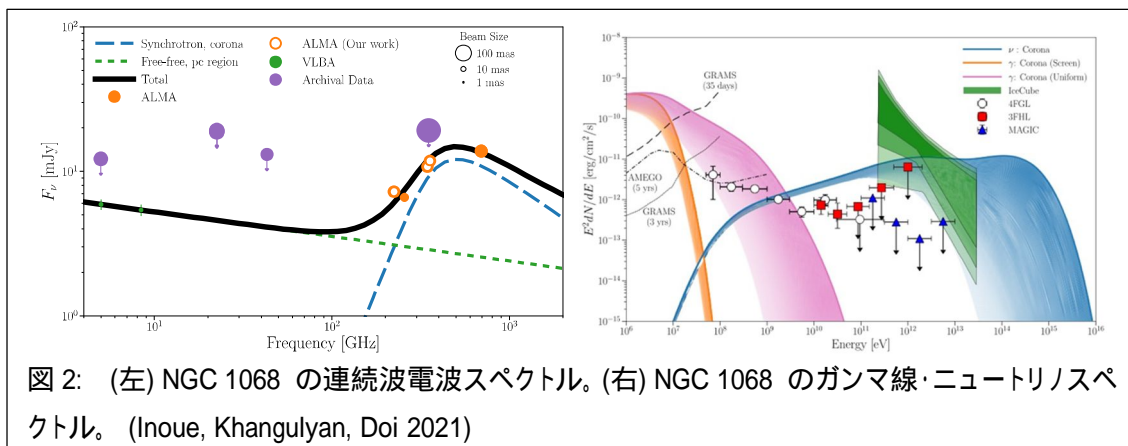
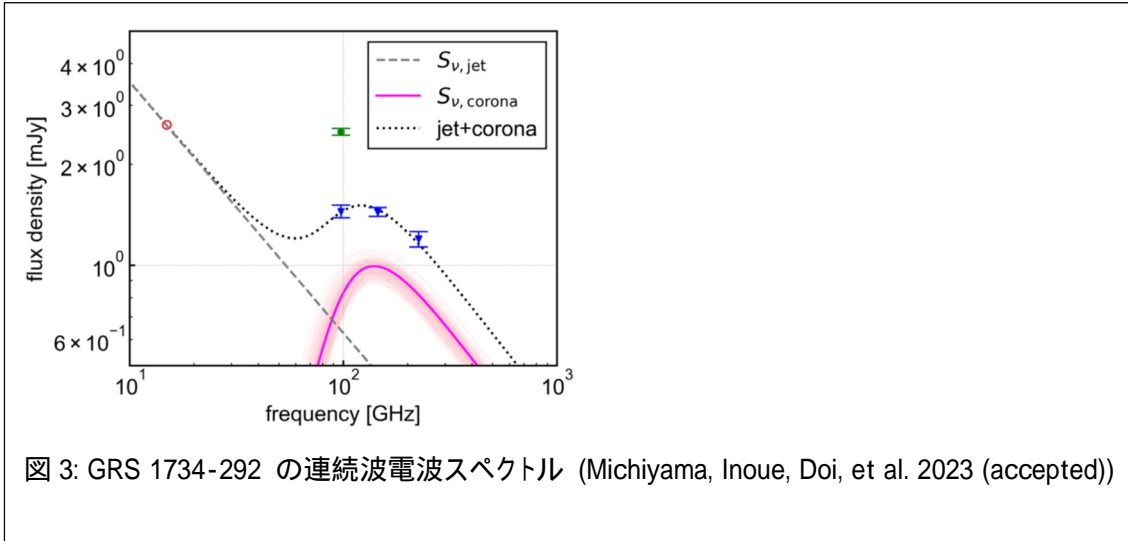


図 2: (左) NGC 1068 の連続波電波スペクトル。(右) NGC 1068 のガンマ線・ニュートリノスペクトル。(Inoue, Khangulyan, Doi 2021)

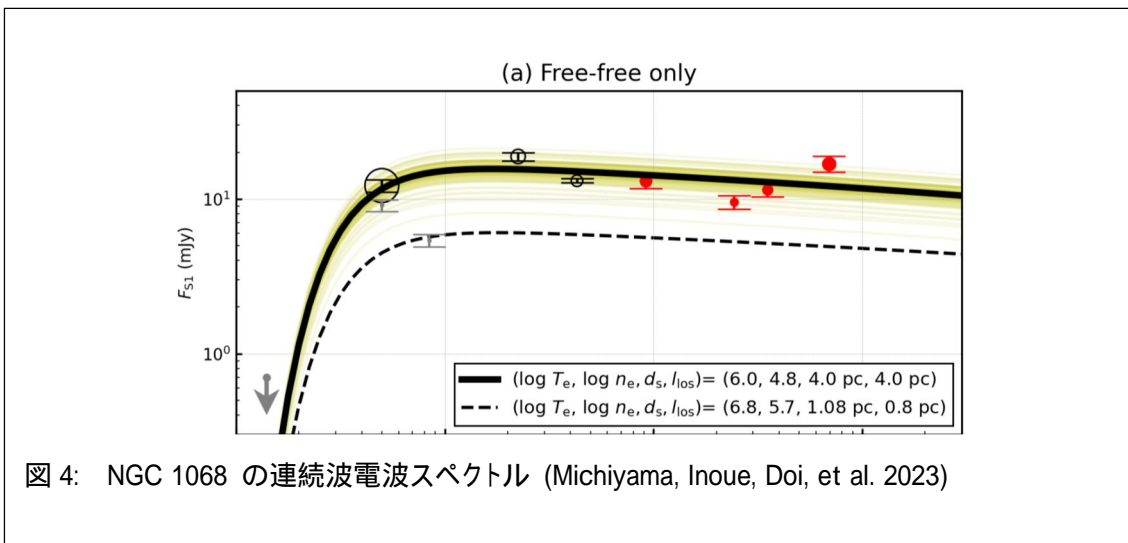
4.2 ガンマ線が検出されているセイファート銀河 GRS 1734-292 の変動するミリ波超過スペクトル成分

この天体はガンマ線放射が検出されている天体であるが、強い星形成も強いジェットの活動もしていないため、その発生源が議論となっている。我々の ALMA 観測は、4 日間の間を空けて複数回にわたり実施され、しかもそれは多周波準同時観測を含んでいた。分析の結果、10G の磁場強度、10 シュバルツシルト半径のスケールのコロナ電波放射である可能性が示された。本研究により、ガンマ線放射現象とコロナ現象の関連を提示した。



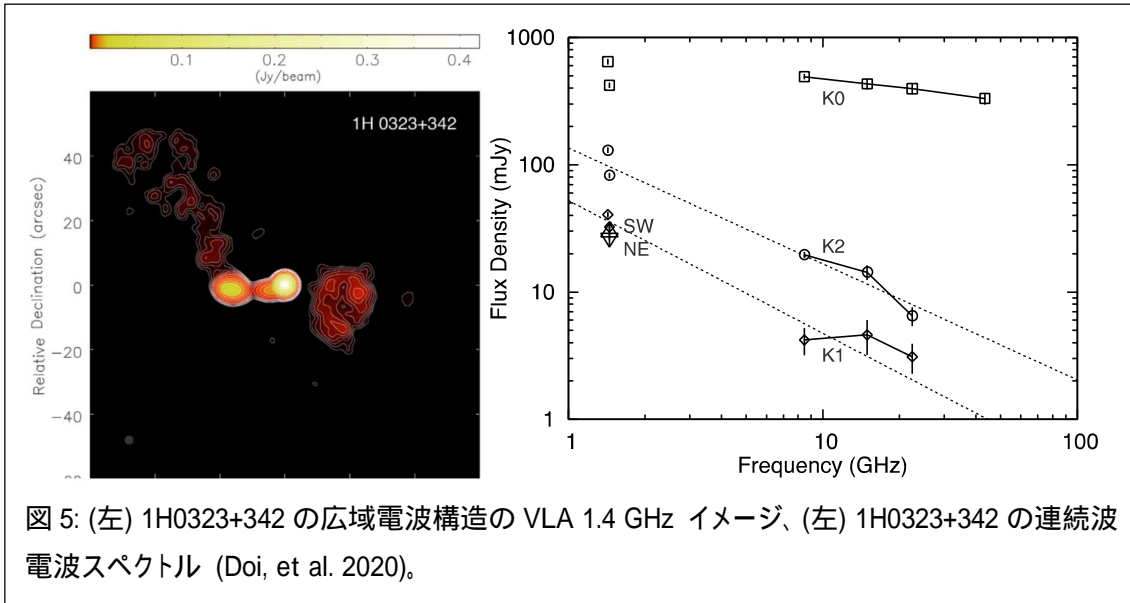
4.3 セイファート銀河 NGC 1068 のミリ波超過スペクトルの研究の発展

4.1 節で述べた NGC 1068 のミリ波超過スペクトルの研究データに、その後入手した 100 GHz の高空間分解能のデータを加えることで発展したのがこの研究である。コロナ放射以外の混じった放射成分の分離をより考察し、ブラックホールコロナに推定される物理パラメータのアップデートを提示した。



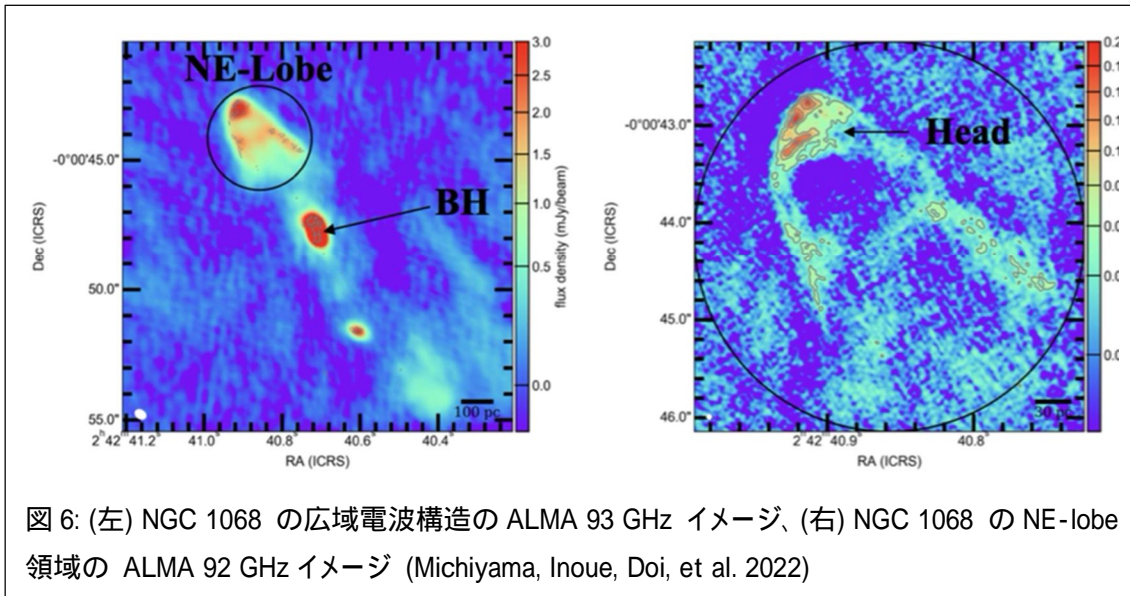
4.4 狭輝線セイファート 1 型銀河 (NLS1) ブラックホールの銀河衝突による成長の証拠

セイファート銀河におけるミリ波超過スペクトルを抽出する研究の過程において、副産物として成果の上がった研究である。NLS1 の 1 つである 1H 0323+342 は、ミリ波帯で明るい電波放射を示す中心核成分を持つ天体である。NLS1 のブラックホールの成長は、他の銀河との衝突ではなく母銀河自身からの静的な質量降着による、と考えられているが、この 1H 0323+342 は NLS1 には数少ない強い電波ジェット活動が見られ、また、その母銀河には銀河衝突の痕跡が不明確ではあるが指摘されていた珍しい天体である。我々の調査の結果、ジェットの広域構造の中に過去のブラックホールスピンの大規模な変化を示す痕跡が見つかった。これは、他の銀河と衝突した強い証拠の 1 つとなる。NLS1 のブラックホール成長には、銀河衝突によって励起されるタイプの急速な質量降着も寄与している、という例の提示となった。



4.5 セイファート銀河 NGC 1068 電波ローブのホットスポットの詳細構造

4.1 節および 4.3 節で示した NGC 1068 の研究における副産物として、成果の上がった研究である。AGN の電波ローブは非常に大規模な構造のため、その先端のホットスポット部分の詳細構造を調査することが非常に難しい。しかし、NGC 1068 のそれは比較的小規模であり近傍に位置する、しかも ALMA によって高空間分解能・高感度の観測がおこなえるようになったことで、我々はそのホットスポットの詳細構造を撮像することができた。その結果、 $240 \mu\text{G}$ という強い磁場を持つことがわかり、宇宙線の加速現場としての有力な候補となる証拠を提示した。



4.6 ブラックホール極近傍領域の直接撮像に向けた観測システムの開発

ブラックホールコロナ現象が存在すると考えられるブラックホール極近傍領域の直接撮像に向けた将来の衛星計画および気球実験計画の装置開発をおこなった。そのうち、フライトが予定されている気球実験用の姿勢制御システムの設計および性能評価に関する成果を論文 (Doi, Kono, et al. 2020) として発表するに至った。

(以上)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Takayuki J Hayashi , Akihiro Doi , Hiroshi Nagai	4. 巻 530
2. 論文標題 A Giant Metrewave Radio Telescope survey of radio-loud broad absorption line quasars	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 2590-2607
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stae1008	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 Tomonari Michiyama , Yoshiyuki Inoue , Akihiro Doi	4. 巻 75
2. 論文標題 The centimeter-to-submillimeter broad-band radio spectrum of the central compact component in a nearby type-II Seyfert galaxy NGC 1068	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 874-882
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psad044	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 Takamura Mieko, Hada Kazuhiro, Honma Mareki, Oyama Tomoaki, Yamauchi Aya, Suzuki Syunsaku, Hagiwara Yoshiaki, Orienti Monica, D' Ammando Filippo, Park Jongho, Kam Minchul, Doi Akihiro	4. 巻 952
2. 論文標題 Probing the Heart of Active Narrow-line Seyfert 1 Galaxies with VERA Wideband Polarimetry	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 47 ~ 47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/acd9a8	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 Lu Ru-Sen, Asada Keiichi, Krichbaum Thomas P., Park Jongho, Tazaki Fumie, Pu Hung-Yi, Nakamura Masanori, Lobanov Andrei, Hada Kazuhiro, Akiyama Kazunori, Kim Jae-Young, Marti-Vidal, Gomez Jose, Kawashima Tomohisa, Yuan Feng, Ros Eduardo, Alef Walter, Britzen Silke, Bremer Michael, Broderick Avery, Doi Akihiro, et al.	4. 巻 616
2. 論文標題 A ring-like accretion structure in M87 connecting its black hole and jet	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 686 ~ 690
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-023-05843-w	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 Miyahara, Tomonari; Inoue, Yoshiyuki; Doi, Akihiro; Khangulyan, Dmitry	4. 巻 936
2. 論文標題 ALMA Detection of Parsec-scale Blobs at the Head of a Kiloparsec-scale Jet in the Nearby Seyfert Galaxy NGC 1068	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ac8935	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 -

1. 著者名 Gabriele Giovannini, Yuzhu Cui, Kazuhiro Hada, Kunwoo Yi, Hyunwook Ro, Bong Won Sohn, Mieko Takamura, Salvatore Buttaccio, Filippo D' Ammando, Marcello Giroletti, Yoshiaki Hagiwara, Motoki Kino, Evgeniya Kravchenko, Giuseppe Maccaferri, Alexey Melnikov, Kotaro Niinuma, Monica Orienti, ..., Akihiro Doi, et al.	4. 巻 11
2. 論文標題 The Past and Future of East Asia to Italy: Nearly Global VLBI	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Galaxies	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/galaxies11020049	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 Akiyama, Kazunori; Algaba, Juan-Carlos; An, Tao; Asada, Keiichi ; Asanok, Kitiyane; Byun, Do-Young ; Chanapote, Thanapol ; Chen, Wen ; Chen, Zhong ; Cheng, Xiaopeng; Chibueze, James O.; Cho, Ilje; Cho, Se-Hyung ; Chung, Hyun-Soo ; Cui, Lang; Cui, Yuzhu; Doi, Akihiro ; et al.	4. 巻 10
2. 論文標題 Overview of the Observing System and Initial Scientific Accomplishments of the East Asian VLBI Network (EAVN)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Galaxies	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/galaxies10060113	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 Tanaka, Hiroaki; Kogiso, Nozomu; Sakano, Fumika ; Katsumata, Nobuhisa ; Yamazaki, Kenji ; Higuchi, Ken ; Ishimura, Kosei; Iwasa, Takashi ; Kishimoto, Naoko ; Fujigaki, Motoharu ; Doi, Akihiro; Nakahara, Satomi ; Hasegawa, Yutaka ; Kono, Yusuke	4. 巻 194
2. 論文標題 Experimental demonstration of deformable reflector antenna system with high accuracy deformation measurement	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Acta Astronautica	6. 最初と最後の頁 p. 93-105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actaastro.2022.02.002	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 -

1. 著者名 横田航一, 小木曾望, 飯田輝澄, 土居明広	4. 巻 70
2. 論文標題 スマートアンテナにおけるアクチュエータ故障後の機能回復を考慮したレジリエント運用に対する信頼性評価	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本航空 宇宙学会論文集	6. 最初と最後の頁 31-39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2322/jjsass.70.31	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 Yoshiyuki Inoue, Dmitry Khangulyan, Akihiro Doi	4. 巻 9
2. 論文標題 Gamma-ray and Neutrino Signals from Accretion Disk Coronae of Active Galactic Nuclei	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 GALAXIES	6. 最初と最後の頁 36,50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/galaxies9020036	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 Akahori, Takuya; Imai, Hiroshi; Eie, Sujin; Oyama, Tomoaki; Kimura, Kimihiro; Kurayama, Tomoharu; Kono, Yusuke; Kobayashi, Hideyuki; Sakai, Daisuke; Sakai, Nobuyuki; Teraya, Takaaki; Jike, Takaaki; Motogi, Kazuhito; Sugiyama, Koichiro; Sudo, Hiroshi; Takefuji, Kazuhiro; Kino, Motoki; Doi, Akihiro; et al.	4. 巻 1
2. 論文標題 VLBI Future Planning Working Group Review Report	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 VLBI Future Planning Working Group Review Report	6. 最初と最後の頁 1
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 無
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 Doi, Akihiro; Kino, Motoki; Kawakatu, Nozomu; Hada, Kazuhiro	4. 巻 496
2. 論文標題 The radio-loud narrow-line Seyfert 1 galaxy 1H 0323+342 in a galaxy merger	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 1757-1765
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa1525	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, Ryosuke; Utsumi, Yousuke; Inoue, Yoshiyuki; Ohta, Kouji; Doi, Akihiro; Morokuma, Tomoki; Kawabata, Koji S.; Tanaka, Yasuyuki T.	4. 巻 901
2. 論文標題 Blazar Radio and Optical Survey (BROS): A Catalog of Blazar Candidates Showing Flat Radio Spectrum and Their Optical Identification in Pan-STARRS1 Surveys	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 id.3, 12 pp.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abab07	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, Yoshiyuki; Khangulyan, Dmitry; Doi, Akihiro	4. 巻 891
2. 論文標題 On the Origin of High-energy Neutrinos from NGC 1068: The Role of Nonthermal Coronal Activity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 id.L33, 5 pp.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ab7661	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 Nakahara, Satomi; Doi, Akihiro; Murata, Yasuhiro; Nakamura, Masanori; Hada, Kazuhiro; Asada, Keiichi; Sawada-Satoh, Satoko; Kamenoi, Seiji	4. 巻 159
2. 論文標題 The Two-sided Jet Structures of NGC 1052 at Scales from 300 to 4×10^7 Schwarzschild Radii	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 id. 14, 8 pp.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/ab465b	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 土居明広, 河野裕介, 山下一芳, 佐藤泰貴	4. 巻 20-009
2. 論文標題 気球実験のための姿勢制御システムの開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 宇宙航空研究開発機構研究開発報告	6. 最初と最後の頁 57-67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20637/00047385	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 -

[学会発表] 計10件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 本間希樹 秦和弘 鶴澤佳徳 廣田朋也 増井翔 秋山和徳 新沼浩太郎 大須賀健 川島朋尚 小山翔子 佐野栄俊 土居明広 萩原喜昭 樋口あや 恒任優 Peter Galison Michael Johnson Hannah Rana Edward Tong
2. 発表標題 Event Horizon Explorer ミッション (II): EHE-Japan の目指すもの
3. 学会等名 日本天文学会春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 道山知成 井上芳幸 土居明広
2. 発表標題 近傍銀河 NGC 1068 の中心核のセンチ波からミリ波の広帯域スペクトルの起源に関する考察
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 河野 裕介 土居 明広 小山 友明 村田 泰宏 岳藤 一宏 米倉 寛則 岡田 望 本間 希樹
2. 発表標題 気球 VLBI 実験: 今後の実験再提案について
3. 学会等名 大気球シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 道山知成、井上芳幸、土居明広、Dmitry Khangulyan
2. 発表標題 近傍セイファート銀河NGC 1068に付随する電波ジェット先端部における宇宙線生成活動
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石村康生, 河野太郎, 宮下朋之, 鳥阪綾子, 田中宏明, 小木首望, 安田優也, 塚野達 樹, 菊谷冬馬, 寺田怜央, 風間隼太郎, 二坂匠, 土居明広, 山谷昌大, 中尾達郎, 福 家英之, 水村好貴, 定村嵐
2. 発表標題 高精度変位計測装置の実証結果と展望
3. 学会等名 大気球シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中宏明, 小木首望, 坂本啓, 岩佐貴史, 勝又暢久, 岸本直子, 樋口健, 池田忠繁, 土居明広, 佐藤泰貴
2. 発表標題 格子貼付1カメラ法を有する形状可変構造実証試験の準備
3. 学会等名 大気球シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 土居明広
2. 発表標題 気球VLBIの状況と今後
3. 学会等名 VLBI懇談会シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 河野 裕介, 土居 明広, 小山 友明, 亀谷 収, 村田 泰宏, 岳藤 一宏, 米倉 覚則, 岡田 望, 本間 希樹
2. 発表標題 気球VLBI実験: 2021年の実験報告と2022年の実験再提案
3. 学会等名 大気球シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上芳幸, 土居明広
2. 発表標題 セイファートのミリ波超過成分の起源
3. 学会等名 日本天文学会2020年秋季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 土居明広, 河野裕介, 佐藤泰貴, 木村公洋, 岳藤一宏, 小山友明, 秦和弘, 沖野大貴
2. 発表標題 スペースVLBI技術調査会の検討状況
3. 学会等名 VLBI懇談会シンポジウム2020
4. 発表年 2020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	河野 裕介 (Kono Yusuke) (00370106)	国立天文台・水沢VLBI観測所・助教 (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	井上 芳幸 (Inoue Yoshiyuki)	大阪大学・大学院理学研究科・准教授 (14401)	

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
---------	---------