

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 5 月 27 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2023

課題番号：19K14772

研究課題名（和文）電波・X線観測による巨大ブラックホール近傍の磁場測定

研究課題名（英文）Measuring magnetic fields in the vicinity of supermassive black holes through radio and X-ray observations

研究代表者

井上 芳幸（Inoue, Yoshiyuki）

大阪大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：70733989

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、理論と観測の連携により、巨大ブラックホール周辺の磁場を決定することを目的としている。そこで、降着円盤理論、電波観測、X線観測を統合し、巨大ブラックホールに付随するコロナからのシンクロトロン放射を捉えることで、コロナ磁気活動の検出を目指した。本研究の支援のもと、我々はALMA望遠鏡を用いて近傍活動銀河核のコロナシンクロトロン放射の存在をスペクトル、時間変動、さまざまな天体から確認することに成功した。また、コロナ磁場が数十ガウスであることを世界で初めて明らかにし、ニュートリノやガンマ線といった高エネルギー放射との関連を解明することにも成功している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、巨大ブラックホール周辺の磁気活動を明らかにしてきました。ブラックホールから噴き出す相対論的ジェットやブラックホールへのガス降着といった極限物理現象の背後には磁気活動があります。本研究の成果は今後、これらブラックホールにおける極限物理の解明において重要な役割を果たすと期待されます。また、宇宙線活動との関連も示し、ブラックホール近傍の極限物理状態の理解の一助となる研究となりました。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to determine the magnetic fields surrounding supermassive black holes through the integration of theoretical and observational approaches. By synthesizing accretion disk theories with radio and X-ray observations, we endeavored to capture coronal synchrotron radiation. With the support of this research project, we successfully confirm the presence of corona synchrotron radiation in nearby active galactic nuclei through spectral analysis, temporal variations, and observations across various objects. We also achieved breakthroughs in clarifying the connections between these magnetic fields and high-energy emissions such as neutrinos and gamma rays. These findings not only enhance our understanding of the fundamental physical processes governing black holes but also contribute significantly to the fields of astrophysics and cosmology. This research paves the way for future explorations into the enigmatic behaviors of black holes and their influential role in the universe.

研究分野：宇宙物理学

キーワード：天文学 理論天文学 活動銀河核 電波天文学 ブラックホール 高エネルギー天文学 X線天文学

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

巨大ブラックホールと銀河の共進化というテーマは、宇宙の歴史を解明する上で中心的課題であり続けている。この解明のためには、ブラックホール近傍の極限物理の理解が必要不可欠である。近年、観測技術の進歩により、巨大ブラックホールの質量やスピンの観測が可能となってきた。しかし、相対論的ジェットや円盤風の駆動機構、X線放射の起源となる降着円盤コロナの生成機構は依然として不明な点が多い。これらの現象に共通する鍵となる要素が、巨大ブラックホール周辺の磁場であるが、これまでその詳細な測定はほとんど行われていなかった。

2. 研究の目的

本研究は、活動銀河核の中心に位置する巨大ブラックホール周辺の磁場を、理論、X線観測、電波観測を統合することで決定することを目指した。具体的には、降着円盤理論、電波観測、X線観測を連携し、巨大ブラックホールに付随するコロナからのシンクロトロン放射を捉えることで、数十シュバルツシルト半径の範囲における磁場を世界で初めて測定することを目指した。

3. 研究の方法

X線観測から巨大ブラックホールに付随する降着円盤上空には数十シュバルツシルト半径程度のサイズをもつ $\sim 10^9\text{K}$ の高温電子プラズマ雲(コロナ)が存在することが知られている。コロナからの電波シンクロトロン放射を捉えれば、巨大ブラックホール近傍磁場を計測できることを、すでに我々は理論的に示してきた(Inoue & Doi 2014, PASJ, 66 L8)。加えて、我々は理論だけでなく近傍活動銀河核のmm波電波データ解析に基づきコロナシンクロトロン放射の存在を示す兆候も捉えていた(Doi & Inoue 2016, PASJ, 68, 56)。そこで、X線による熱的コロナの性質に加えて Inoue & Doi 2014で提唱したコロナシンクロトロン放射を実際に電波観測で検出することで、本研究はコロナ磁場を決定する。コロナ電波放射が期待されるミリ波帯域の世界最高感度かつ世界最高空間分解能をもつ電波干渉計ALMAを用いて活動銀河核のミリ波観測を展開した。

4. 研究成果

我々はALMA望遠鏡を用いて、近傍の活動銀河核IC 4329AおよびNGC 985からコロナ由来のシンクロトロン放射成分を捉え、コロナが約40シュバルツシルト半径程度に広がり、磁場強度が約10ガウスであることを明らかにした(図1参照、Inoue & Doi 2018, ApJ, 869, 114)。本研究は、巨大ブラックホール周辺の磁気活動を初めて明らかにし、ブラックホールから噴き出す相対論的ジェットやブラックホールへのガス降着といった極限物理現象の解明において重要な役割を果たすと期待される。本研究成果はプレスリリースをし、日経新聞などに掲載されている。

また、国立天文台のALMA共同科学研究事業により派遣していただいたALMA博士研究員とともにNGC 1068のALMA観測データ解析に取り組み、NGC 1068におけるコロナシンクロトロン放射成分の検出に成功し、他のセイファート銀河における我々の成果と同様の結果を得ている(Michiyama et al. 2023 ApJ)。現在、我々のこれらの成果は海外の他のグループによっても追認されている(Ricci et al. 2023 など)

加えて、GRS 1734-292 からは数日スケールの変動を ALMA で捉えることに成功し、我々のコロナ仮説をより強固にしている (Michiyama et. al. 2024 ApJ in press)。また、電波放射の理解のため、円盤風の理論モデル化も進めることに成功した (Yamada et al. 2024 ApJ in press)。

さらに、電波観測・放射理論にとどまらず、我々は Inoue & Doi 2014 で考慮されていた高エネルギー電子からのシンクロトン放射の理論モデルを拡張することで、活動銀河核コロナからの高エネルギー放射とニュートリノの起源について新たな理解を深め、高エネルギーニュートリノの起源として活動銀河核のコロナが重要な役割を果たしている可能性を示した (Inoue, Khangulyan, Inoue, & Doi 2019, ApJ, 880, 40; Inoue, Khangulyan, & Doi 2020, ApJL, 891, 33)。本成果は 2022 年度に出版された IceCube の Science 論文においても近傍活動銀河核 NGC 1068 の起源としても有力視されている旨が記されている。コロナからの高エネルギー放射については、Galaxies 誌からレビュー論文を出版している (Inoue, Khangulyan, & Doi 2021, Galaxies, vol. 9, issue 2, p. 36)。一方で、IceCube により 2023 年に新たに報告されたニュートリノ源 NGC 4151 由来のガンマ線・ニュートリノがコロナだけでは説明できないことも示し、新たな物理の可能性を示唆した (Inoue & Khangulyan 2023 PASJ)。

本研究により、ブラックホール近傍の「磁場」という基本物理量が測定できるようになった。これにより、物理学における長年の謎であった相対論的ジェットの形成機構や降着円盤上空に存在する高温コロナの生成機構に迫ることができる。ジェットは銀河の進化や宇宙の構造形成にも影響を与えていると考えられ、宇宙史における巨大ブラックホールの役割を解明する重要なステップとなることが期待される。また、本研究はニュートリノ放射とコロナの関連を世界に先駆けて示した研究でもあり、高エネルギー天文学と電波天文学の重要な橋渡しとなっている。

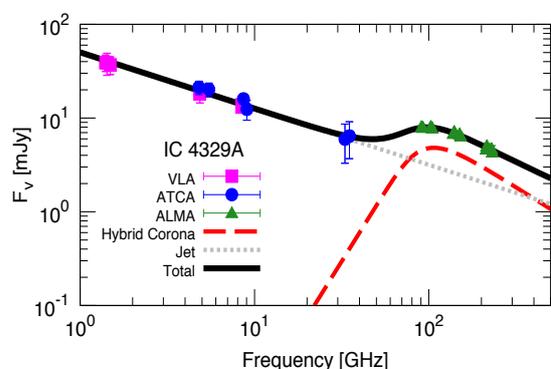


図 1. 近傍活動銀河核 IC 4329A の電波スペクトル。三角がALMA。ミリ波に超過成分(コロナ)が存在。Inoue & Doi 2018 より。

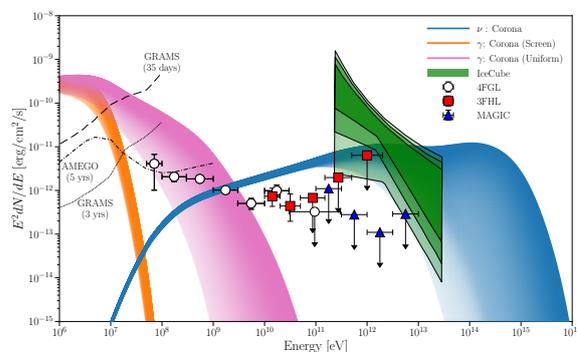


図 2. 活動銀河核NGC 1068 のガンマ線・ニュートリノスペクトル。緑がIceCubeの結果。青・ピンク・橙が我々のコロナモデル。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計29件（うち査読付論文 28件 / うち国際共著 17件 / うちオープンアクセス 26件）

1. 著者名 Inoue Yoshiyuki、Khangulyan Dmitry	4. 巻 75
2. 論文標題 Gamma-ray emission in the Seyfert galaxy NGC 4151: Investigating the role of jet and coronal activities	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 L33 ~ L39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psad072	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 Michiyama Tomonari、Inoue Yoshiyuki、Doi Akihiro	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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Owen Ellis R.、Wu Kinwah、Inoue Yoshiyuki、Yang H.-Y. Karen、Mitchell Alison M. W.	4. 巻 11
2. 論文標題 Cosmic Ray Processes in Galactic Ecosystems	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Galaxies	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) 10.3390/galaxies11040086	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 Inoue Yoshiyuki	4. 巻 75
2. 論文標題 On the Zeeman effect in magnetically arrested disks	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 L7 ~ L11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psad017	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 Michiyama Tomonari, Inoue Yoshiyuki, Doi Akihiro, Yamada Tomoya, Fukazawa Yasushi, Kubo Hidetoshi, Barnier Samuel	4. 巻 -
2. 論文標題 ALMA Confirmation of Millimeter Time Variability in the Gamma-Ray Detected Seyfert Galaxy GRS 1734-292	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal (in press)	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) なし	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 Yamada Tomoya, Sakai Nobuyuki, Inoue Yoshiyuki, Michiyama Tomonari	4. 巻 -
2. 論文標題 Deciphering Radio Emissions from Accretion Disk Winds in Radio-Quiet Active Galactic Nuclei	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal (in press)	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) なし	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 Taak Yoon Chan, Treu Tommaso, Inoue Yoshiyuki, Kusenko Alexander	4. 巻 107
2. 論文標題 Strong lensing of high-energy neutrinos	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.107.023011	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 Tsuji Naomi, Inoue Yoshiyuki, Yoneda Hiroki, Mukherjee Reshmi, Odaka Hirokazu	4. 巻 943
2. 論文標題 MeV Gamma-Ray Source Contribution to the Inner Galactic Diffuse Emission	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 48 ~ 48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/acab69	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 Yoneda Hiroki, Odaka Hirokazu, Ichinohe Yuto, Takashima Satoshi, Aramaki Tsuguo, Aoyama Kazutaka, Asaadi Jonathan, Fabris Lorenzo, Inoue Yoshiyuki, Karagiorgi Georgia, Khangulyan Dmitry, Kimura Masato, Leyva Jonathan, Mukherjee Reshmi, Nakasone Taichi, Perez Kerstin, Sakurai Mayu, et al.	4. 巻 144
2. 論文標題 Reconstruction of multiple Compton scattering events in MeV gamma-ray Compton telescopes towards GRAMS: The physics-based probabilistic model	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 102765 ~ 102765
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.astropartphys.2022.102765	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 Takhistov Volodymyr, Lu Philip, Murase Kohta, Inoue Yoshiyuki, Gelmini Graciela B	4. 巻 517
2. 論文標題 Impacts of Jets and winds from primordial black holes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters	6. 最初と最後の頁 L1 ~ L4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnrasl/slac097	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 Kayama Kazuho, Tanaka Takaaki, Uchida Hiroyuki, Tsuru Takeshi Go, Sudoh Takahiro, Inoue Yoshiyuki, Khangulyan Dmitry, Tsuji Naomi, Yamamoto Hiroaki	4. 巻 74
2. 論文標題 Spatially resolved study of the SS 433/W 50 west region with Chandra: X-ray structure and spectral variation of non-thermal emission	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 1143 ~ 1156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psac060	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 Takashima Satoshi, Odaka Hirokazu, Yoneda Hiroki, Ichinohe Yuto, Bamba Aya, Aramaki Tsuguo, Inoue Yoshiyuki	4. 巻 1038
2. 論文標題 Event reconstruction of Compton telescopes using a multi-task neural network	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 166897 ~ 166897
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2022.166897	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 Michiyama 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 L1 ~ L1
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 該当する

1. 著者名 Fukazawa Yasushi、Matake Hiroto、Kayanoki Taishu、Inoue Yoshiyuki、Finke Justin	4. 巻 931
2. 論文標題 High-energy Emission Component, Population, and Contribution to the Extragalactic Gamma-Ray Background of Gamma-Ray-emitting Radio Galaxies	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 138 ~ 138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac6acb	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 Takhistov Volodymyr、Lu Philip、Gelmini Graciela B.、Hayashi Kohei、Inoue Yoshiyuki、Kusenko Alexander	4. 巻 2022
2. 論文標題 Interstellar gas heating by primordial black holes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 017 ~ 017
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2022/03/017	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 Inoue Yoshiyuki、Yabe Kiyoto、Ueda Yoshihiro	4. 巻 73
2. 論文標題 A fundamental plane in X-ray binary activity of external galaxies	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 1315 ~ 1332
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psab077	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 Ito S., Inoue Y., Kataoka J.	4. 巻 916
2. 論文標題 Spatial Variations of Magnetic Field along Active Galactic Nuclei Jets on Sub-parsec to Megaparsec Scales	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 95 ~ 95
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac0827	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 Tsuji Naomi, Yoneda Hiroki, Inoue Yoshiyuki, Aramaki Tsuguo, Karagiorgi Georgia, Mukherjee Reshmi, Odaka Hirokazu	4. 巻 916
2. 論文標題 Cross-match between the Latest Swift-BAT and Fermi-LAT Catalogs	5. 発行年 2021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/ac0341	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 Inoue Yoshiyuki, Khangulyan Dmitry, Doi Akihiro	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 ~ 36
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 Morokuma Tomoki, Inoue Yoshiyuki, et. al.,	4. 巻 73
2. 論文標題 Follow-up observations for IceCube-170922A: Detection of rapid near-infrared variability and intensive monitoring of TXS 0506+056	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 25 ~ 43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psaa110	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 Lu Philip, Takhistov Volodymyr, Gelmini Graciela B., Hayashi Kohei, Inoue Yoshiyuki, Kusenko Alexander	4. 巻 908
2. 論文標題 Constraining Primordial Black Holes with Dwarf Galaxy Heating	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L23 ~ L23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/abdc6	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 Kataoka Jun, Yamamoto Marino, Nakamura Yuki, Ito Soichiro, Sofue Yoshiaki, Inoue Yoshiyuki, Nakamori Takeshi, Totani Tomonori	4. 巻 908
2. 論文標題 Origin of Galactic Spurs: New Insight from Radio/X-Ray All-sky Maps	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 14 ~ 14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abdb31	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 Sudoh Takahiro, Khangulyan Dmitry, Inoue Yoshiyuki	4. 巻 901
2. 論文標題 Physical Conditions and Particle Acceleration in the Kiloparsec Jet of Centaurus A	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L27 ~ L27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/abb3fa	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 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 3 ~ 3
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Toda Koyo, Fukazawa Yasushi, Inoue Yoshiyuki	4. 巻 896
2. 論文標題 Cosmological Evolution of Flat-spectrum Radio Quasars Based on the Swift/BAT 105 Month Catalog and Their Contribution to the Cosmic MeV Gamma-Ray Background Radiation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 172 ~ 172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab9113	査読の有無 無
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 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	6. 最初と最後の頁 L33 ~ L33
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Inoue Yoshiyuki, Khangulyan Dmitry, Inoue Susumu, Doi Akihiro	4. 巻 880
2. 論文標題 On High-energy Particles in Accretion Disk Coronae of Supermassive Black Holes: Implications for MeV Gamma-rays and High-energy Neutrinos from AGN Cores	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 40 ~ 40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab2715	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 Tanada K., Kataoka J., Inoue Y.	4. 巻 878
2. 論文標題 Inverse Compton Scattering of Starlight in the Kiloparsec-scale Jet in Centaurus A: The Origin of Excess TeV γ -Ray Emission	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 139 ~ 139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab2233	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 Sudoh Takahiro, Inoue Yoshiyuki, Khangulyan Dmitry	4. 巻 889
2. 論文標題 Multiwavelength Emission from Galactic Jets: The Case of the Microquasar SS433	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 146 ~ 146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab6442	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12件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 井上芳幸
2. 発表標題 Non-thermal Coronal Activity in Nearby AGNs
3. 学会等名 Topical Workshop: NGC 1068 as cosmic laboratory (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上芳幸
2. 発表標題 Prospects for Observations of Jetted and Unjetted Active Galactic Nuclei with CTA
3. 学会等名 The extreme Universe viewed in very-high-energy gamma rays 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上芳幸
2. 発表標題 Unjetted AGNs as Neutrino Sources
3. 学会等名 KM3NeT Town Hall Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上芳幸
2. 発表標題 Coronal magnetic activity in nearby active supermassive black holes
3. 学会等名 15th Asia Pacific Physics Conference (APPC15) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上芳幸
2. 発表標題 宇宙とブラックホール
3. 学会等名 SSI Workshop (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上芳幸
2. 発表標題 Unveiling the Coronal Activity in Active Galactic Nuclei with ALMA
3. 学会等名 East Asia ALMA Science Workshop 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上芳幸
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 井上芳幸
2. 発表標題 Status & Prospect of Gamma-ray Astronomy
3. 学会等名 CRC タウンミーティング (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上芳幸
2. 発表標題 Future Prospects of MeV Gamma-ray Astronomy
3. 学会等名 Connecting high-energy astroparticle physics for origins of cosmic rays and future perspectives (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上芳幸
2. 発表標題 Unveiling the coronal magnetic activity of supermassive black holes with ALMA
3. 学会等名 ALMA/45m/ASTE Users Meeting 2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上芳幸
2. 発表標題 Coronal Magnetic Activity in nearby Active Supermassive Black Holes
3. 学会等名 日本天文学会2020年春季年会, 筑波大学
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上芳幸
2. 発表標題 Gamma-ray Astrophysics: Phenomenology
3. 学会等名 Gordon Research Conference "New Tools for the Next Generation of Particle Physics and Cosmology" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019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
研究協力者	土居 明広 (Doi Akihiro) (90403641)	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 (82645)	
研究協力者	道山 知成 (Michiyama Tomonari) (40910823)	周南公立大学・情報科学部・助教 (25504)	
研究協力者	カングリヤン ドミトリー (Khangulyan Dmitry)		

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