

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03721

研究課題名(和文) 直接撮像で探る巨大ブラックホール最近傍におけるガス噴出機構

研究課題名(英文) Study of launching mechanism of cosmic jet in the vicinity of super massive black-hole by direct imaging

研究代表者

新沼 浩太郎 (Niinuma, Kotaro)

山口大学・大学院創成科学研究科 教授

研究者番号：30434260

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の最終目的は、系外銀河の中心にあり光をも吸い込む巨大ブラックホール(巨大BH)から噴き出しているガス噴出流の噴出機構を明らかにすることである。そのためには日韓合同短ミリ波VLBI観測網を立ち上げガス噴流の速度場の精密計測が重要になる。本計画では研究の要となる日韓合同短ミリ波VLBI観測網による科学観測の実現に向け、国立天文台野辺山宇宙電波観測所の45m電波望遠鏡に新しいVLBI観測システムを立ち上げることに成功した。また、同システムが今後の研究推進に向け十分な性能を有していることも示すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の開始後、国際研究チームが本計画においても最重要観測対象である電波銀河M87の超巨大ブラックホールの直接撮像に初めて成功したというニュースが世界を駆け巡った。この快挙により、同巨大ブラックホールから噴出しているガスの噴出機構を明らかにすることを目指している本研究の重要性もますます高まった。本研究の最終目標が達成され、巨大ブラックホールそのものの電波画像およびそこからわかる物理情報を組み合わせることにより、未だ謎が多いブラックホールという天体物理学的に最重要かつ特異な天体の性質が明らかになると期待できる。

研究成果の概要(英文)：The ultimate goal of this research is to reveal the launching mechanism of the cosmic jet ejected from the vicinity of the super massive black hole (SMBH) at the center of an extragalactic galaxy. For this purpose, it is essential to establish a Japan-Korea joint short millimeter-wave VLBI network to precisely measure the velocity field of the cosmic jet from the vicinity of the SMBH.

To realize scientific observations with this new short-millimeter VLBI, a new VLBI observation system was successfully installed on the 45-m radio telescope at the Nobeyama Radio Observatory of the National Astronomical Observatory of Japan. We were also able to demonstrate that the system has sufficient performance for the promotion of future research.

研究分野：電波天文学、宇宙物理学

キーワード：電波天文学 短ミリ波VLBI 活動銀河核ジェット加速機構 一般相対論的磁気流体力学

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 巨大 BH ガス噴出流における駆動機構の謎

巨大 BH におけるガス噴出流は宇宙における最もダイナミックかつ高エネルギーな天体現象の一つである。相対論的な速度( $v < c$ )での運動や、巨大 BH のごく近傍から銀河を遥かに超える巨大なスケールに渡って広がっている様子が観測されるなど、極限物理を探求するための非常に重要な研究対象として注目され続けている。しかしながら、そのようなガス噴出流がどのようにして作り出されるのか、という最も根源的なことが未だ明らかになっておらず、巨大 BH におけるガス噴出機構の解明は現代天文学における長年のテーマとなっている。

そのような状況の中、先駆的な理論研究 (Blandford & Znajek, MNRAS 179, 433, 1977) により巨大 BH の基本パラメータである「スピン」がガス噴出の駆動源を担うという噴出流の駆動モデルが提唱された。以来 40 年に渡りこの噴出流の駆動源となるスピンの大きさを明らかにすることがガス噴出機構解明に向けた課題となっている。

### (2) 課題解決に向けた有効な手段と難しさ

この長年の課題を解決する最も直接的な方法は、数値実験と直接比較可能な空間スケール(巨大 BH から 100Rs 以内 (Rs はブラックホール半径))のガス噴出現場を空間分解し、そこから下流にわたる速度場を精密計測することである。そしてこれを可能にするのは、宇宙最大級の BH 視直径を持つ電波銀河 M87 を、あらゆる観測装置の中で最も高い角分解能を誇る超長基線電波干渉計 (VLBI) を用いて観測することである。しかしながら噴出流は根元に近づくほど光学的厚みが増し低い周波数に対して不透明になっていく (Hada et al., Nature 477, 185, 2011) ため、確実に 100Rs 以内から速度場を計測するためには、感度や観測条件の要求が厳しい高透過率の短ミリ波帯 (> 86 GHz) において、研究開始時点で存在しない(イ)高分解能、(ロ)高感度、(ハ)高頻度モニターの全てを実行可能な VLBI 観測網の構築が必須となる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、1-(2)の(イ)~(ハ)の3つ全て実行可能なモニター特化型短ミリ波 VLBI 観測網を世界に先駆けて構築し、巨大 BH ガス噴出機構の謎に迫ることである。これを実現するために、VLBI 専用に特化された望遠鏡群から成り連続的な VLBI 観測を実施している韓国 VLBI 観測網 (KVN)/日韓同 VLBI 観測網 (KaVA) に、短ミリ波帯世界最高レベルの感度を有し、KVN 単体よりも角分解能を3倍向上させることが可能な国立天文台野辺山宇宙電波観測所の 45m 電波望遠鏡 (NRO45) を加え、定常的に VLBI 観測ができるシステムを確立する。

## 3. 研究の方法

研究目的の達成に向け、以下の3つの課題に対して研究を進めた。

### (1) 短ミリ波 VLBI 観測用受信機の改修・立ち上げ

86GHz 帯の受信機については、従来 NRO45 単体で同周波数帯の観測に使われていたものが運用停止となったため、それを改修し搭載する方針である。従って、受信機の正常動作確認に加え、3周波同時観測システムとして設置する際の光学系の調整・制御系プログラムの開発・高い位相安定度を要求する VLBI に耐えられる性能を有するかどうかの評価が必要になる。さらには他の観測 KVN が円偏波受信であるのに対し、同受信機は水平・垂直の直交 2 偏波受信であるため、信号処理の段階での偏波変換プログラムの開発も必要になる。

### (2) VLBI 観測用広帯域記録システム整備および韓国 KVN との試験観測の実施

日韓で互換性のある広帯域記録システム(他局の導入・運用実績あり)を新たに購入し整備する。同システムは 8Gbps x 4ch の入出力が可能な超高速 AD 変換器および 10GbE x 4 のデータ書き込みが可能な記録装置で構成される。これにより日韓で定常的な運用が始まっている 1ch あたり 512MHz 入力での広帯域記録が可能となる。共同研究を進める鹿児島大学によって NRO45 に導入された三周波同時受信光学系と合わせることで 22GHz/43GHz/86GHz 帯の 3 周波同時記録が可能になる。広帯域データ記録を実現するため、観測所内への高速データ伝送ネットワークの構築が必要になる。

立ち上げたシステムを用いた VLBI 試験観測を重ねることにより科学観測可能なシステムの構築を目指す。

### (3) 数値実験コード開発/最適化

独自に開発した基礎コード (Takahashi et al., ApJ 826, 23, 2016) を元に、一般相対性理論を組み込んだ磁気流体力学 (GRMHD) 数値実験コード及び観測的可視化のための一般相対論的輻射輸送計算コードの開発・最適化を進めていく。この際、KaVA 大型観測プログラムによって得られる観測データをフィードバックさせつつ進める。

#### 4. 研究成果

本研究で得られた成果について「3. 研究方法」に示した各課題の番号に対応させながら説明する。

##### (1) 短ミリ波 VLBI 観測用受信機の改修・立ち上げ

###### (1)-1

86GHz 帯受信機の改修、搭載および開発したコントロールシステムを用いた動作試験を行うことができた。受信機の搭載完了後、開発したコントロールシステムを用いた動作試験を行うとともに、86GHz 帯受信システムの光軸調整、アンテナ能率測定、受信機雑音温度やイメージリジエクション比 (IRR) の再現性の確認を行い、以下の通り、受信機単体としては期待通りの性能を有することを確認することができた。

- ・ NRO45 における光学系の基準となるシステムに対してビームスクイントが 3 秒角以内
- ・ 86GHz 帯ビームの FWHM が  $19.5 \pm 0.7''$
- ・ 3 周波同時観測モードにおける開口能率が 35% - 40%
- ・ IRR が  $> 10\text{dB}$
- ・ システム雑音温度が  $\sim 250\text{K}$

2019 年 11 月には NRO45 単体による 3 周波同時観測システムを用いて H<sub>2</sub>O メーザーおよび SiO メーザーを放射する天体の観測に成功した。詳細については野辺山宇宙電波観測所の研究者向け速報ページ (<https://www.nro.nao.ac.jp/astrophysicist/NRO-sokuhou/sokuhou131~150/137.pdf>) にて報告されている。

###### (1)-2

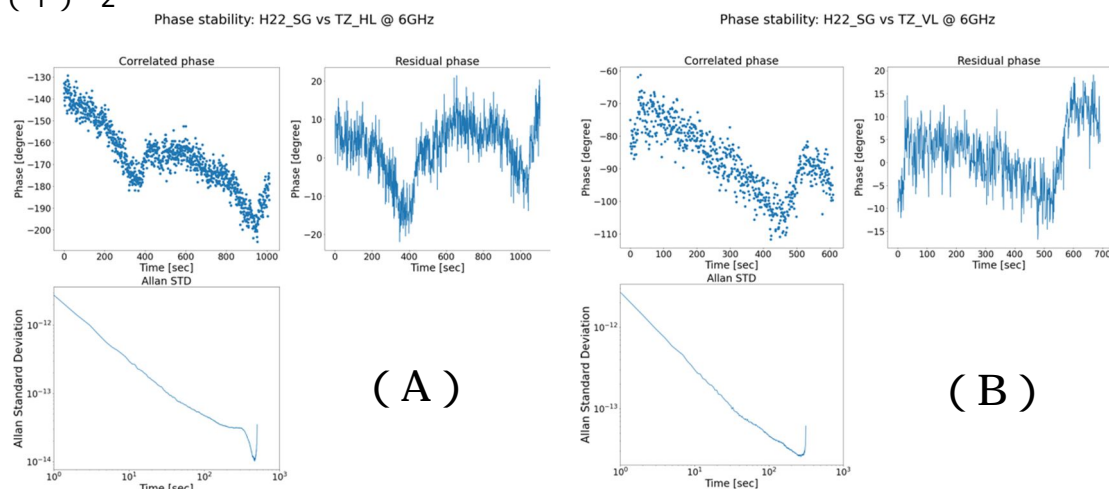


図2 .86GHz 受信機における中間周波数帯出力信号の位相安定度。(A)と(B)は水平偏波および垂直偏波の出力を示している。各偏波における3つのグラフは受信機出力信号と高精度信号発生器 (ヒューレットパッカード 83731B) の出力 (ともに 6GHz) の相対位相の時間変化をベクトルポルトメーター (Keysight 社製) で計測した結果 (左上) およびその一次の時間変化を取り除いた位相残差 (右上) そしてアラン偏差の時間変化 (左下) を示している。

86GHz 受信システムにおける周波数変換後 (6GHz 帯) の位相安定度の測定を行った。その結果、図2に示すように装置としては VLBI 観測に十分耐えうる位相の安定度があることを確認した。特にアラン偏差の時間変化 (図2における(A)および(B)の左下に示したグラフ) によると、同受信システムの出力信号における位相安定度は数百秒に達していることがわかる。これは同周波数帯の大気による位相変化よりも長いことが明らかであり、VLBI 観測のシステムとしては十分な位相安定度を有していることがわかった。

###### (1)-3

86GHz 帯の他の望遠鏡 (主に韓国 KVN) の出力信号は円偏波である一方、NRO45 の出力信号は直線 2 偏波である。したがって、これらの電波望遠鏡による 86GHz VLBI 観測および関連処理を行う場合、a) 相関処理の前段階で偏波変換を行う、もしくは b) 相関処理後、データ解析全段で偏波変換を行うためのプログラム開発が必要不可欠である。本研究では、b) に対応することにし、そのためのプログラムを開発することにも成功した。同プログラムによる変換データは、世界中で VLBI 解析のために用いられているソフトによって扱うことが可能な汎用的な仕様となっている。

### ( 2 ) VLBI 観測用広帯域記録システム整備および韓国 KVN との試験観測の実施

32Gbps でデータを記録することが可能なシステムを導入し、22GHz/43GHz の 2 周波同時記録試験には成功した。同システムを用いて日韓 VLBI 観測網 (KaVA) との VLBI 性能評価試験を行い、天体信号の検出に成功した。86GHz 帯の VLBI 試験については成功に至っていないが、引き続き韓国との間で試験観測を継続しているところである。

### ( 3 ) 数値実験コード開発/最適化

一般相対論的磁気流体 (GRMHD) 数値実験の実施については、粗めの分解能という条件付きではあるものの観測と比較可能な空間スケールに渡る噴出流の時間発展を追うことに成功した。本研究の目標である速度場計測に向けた科学観測の実行に向け土台を固めることができたと言える。

## 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 30件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Hada Kazuhiro, Niinuma Kotaro, Sitarek Julian, Spingola Cristiana, Hirano Ayumi	4. 巻 901
2. 論文標題 Millimeter-VLBI Detection and Imaging of the Gravitationally Lensed $\gamma$ -Ray Blazar JVAS B0218+357	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	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) 10.3847/1538-4357/abaab1	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 Hatsukade Bunyo, Morokuma-Matsui Kana, Hayashi Masao, Tominaga Nozomu, Tamura Yoichi, Niinuma Kotaro, Motogi Kazuhiro, Morokuma Tomoki, Matsuda Yuichi	4. 巻 72
2. 論文標題 Spatially resolved molecular gas properties of host galaxy of Type I superluminous supernova SN 2017egm	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 L6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psaa052	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 Asuma Kuniyuki, Niinuma Kotaro, Takefuji Kazuhiro, Aoki Takahiro, Kida Sumiko, Nakajima Hirochika, Tsubono Kimio, Daishido Tsuneaki	4. 巻 72
2. 論文標題 Observations of V404 Cygni during the 2015 outburst by the Nasu telescope array at 1.4 GHz	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 77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psaa066	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 Roelofs, F., Janssen, M., Natarajan, I., Deane, R., Davelaar, J., Olivares, H., Porth, O., Paine, S. N., Bouman, K. L., Tilanus, R. P. J., van Bemmell, I. M., Falcke, H., Akiyama, K., Alberdi, A., Alef, W., Asada, K., Azulay, R., Baczkko, A., Kino M., Hada K.ほか	4. 巻 636
2. 論文標題 SYMBA: An end-to-end VLBI synthetic data generation pipeline	5. 発行年 2020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) 10.1051/0004-6361/201936622	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 Broderick, Avery E., Gold, Roman, Karami, Mansour, Alef, Walter, Asada, Keiichi, Azulay, Rebecca, Baczko, Anne-Kathrin, Balokovi, Mislav, Barrett, John, Bintley, Dan, Blackburn, Lindy, Boland, Wilfred, Bouman, Katherine L., Kino M., Hada K.ほか	4. 巻 897
2. 論文標題 THEMIS: A Parameter Estimation Framework for the Event Horizon Telescope	5. 発行年 2020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/ab91a4	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 Gold, Roman, Broderick, Avery E., Younsi, Ziri, Fromm, Christian M., Gammie, Charles F., Pu, Hung-Yi, Bronzwaer, Thomas, Davelaar, Jordy, Dexter, Jason, Ball, David, Chan, Chikwan, Kawashima, Tomohisa, Kino Motoki, Hada Kazuhiroほか	4. 巻 897
2. 論文標題 Verification of Radiative Transfer Schemes for the EHT	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 148 ~ 148
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab96c6	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 Kim, Jae-Young, Krichbaum, Thomas P., Broderick, Avery E., Wielgus, Maciek, Blackburn, Lindy, Johnson, Michael D., Bouman, Katherine L., Chael, Andrew, Akiyama, Kazunori, Jorstad, Svetlana, Marscher, Alan P., Issaoun, Sara, Janssen, Michael, Kino Motoki, Hada Kazuhiroほか	4. 巻 640
2. 論文標題 Event Horizon Telescope imaging of the archetypal blazar 3C 279 at an extreme 20 microarcsecond resolution	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A69 ~ A69
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202037493	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 Isobe Naoki, Sunada Yuji, Kino Motoki, Koyama Shoko, Tashiro Makoto, Nagai Hiroshi, Pearson Chris	4. 巻 899
2. 論文標題 Herschel SPIRE Discovery of Far-infrared Excess Synchrotron Emission from the West Hot Spot of the Radio Galaxy Pictor A	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 17 ~ 17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab9d1c	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 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 Wielgus, Maciek, Akiyama, Kazunori, Blackburn, Lindy, Chan, Chi-kwan, Dexter, Jason, Doeleman, Sheperd S., Fish, Vincent L., Issaoun, Sara, Johnson, Michael D., Krichbaum, Thomas P., Lu, Ru-Sen, Pesce, Dominic W., Wong, George N., Bower, Geoffrey C., Kino Motoki., Hada Kazuhiro.ほか	4. 巻 901
2. 論文標題 Monitoring the Morphology of M87* in 2009-2017 with the Event Horizon Telescope	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 67 ~ 67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abac0d	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 Lee Jee Won, Lee Sang-Sung, Algaba Juan-Carlos, Hodgson Jeffrey, Kim Jae-Young, Park Jongho, Kino Motoki, Kim Dae-Won, Kang Sincheol, Yoo Sungmin, Kim Sang Hyun, Gurwell Mark	4. 巻 902
2. 論文標題 Interferometric Monitoring of Gamma-Ray Bright AGNs: OJ 287	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 104 ~ 104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abb4e5	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 Psaltis, Dimitrios, Medeiros, Lia, Christian, Pierre, Akiyama, Kazunori, Alberdi, Antxon, Alef, Walter, Asada, Keiichi, Azulay, Rebecca, Ball, David, Barrett, John, Bintley, Dan, Blackburn, Lindy, Boland, Wilfred, Kino, Motoki, Hada, Kazuhiroほか	4. 巻 125
2. 論文標題 Gravitational Test beyond the First Post-Newtonian Order with the Shadow of the M87 Black Hole	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 141104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.125.141104	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 Park Jongho, Hada Kazuhiro, Nakamura Masanori, Asada Keiichi, Zhao Guangyao, Kino Motoki	4. 巻 909
2. 論文標題 Jet Collimation and Acceleration in the Giant Radio Galaxy NGC 315	5. 発行年 2021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/abd6ee	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 Kawashima Tomohisa, Toma Kenji, Kino Motoki, Akiyama Kazunori, Nakamura Masanori, Moriyama Kotaro	4. 巻 909
2. 論文標題 A Jet-bases Emission Model of the EHT2017 Image of M87*	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 168 ~ 168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abd5bb	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 Event Horizon Telescope Collaboration, Akiyama, Kazunori, Algaba, Juan Carlos, Alberdi, Antxon, Alef, Walter, Anantua, Richard, Asada, Keiichi, Azulay, Rebecca, Baczko, Anne-Kathrin, Ball, David, Barrett, John, Kino, Motoki, Hada, Kazuhiroほか	4. 巻 910
2. 論文標題 First M87 Event Horizon Telescope Results. VII. Polarization of the Ring	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L12 ~ L12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/abe71d	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 Event Horizon Telescope Collaboration, Akiyama, Kazunori, Algaba, Juan Carlos, Alberdi, Antxon, Alef, Walter, Anantua, Richard, Asada, Keiichi, Azulay, Rebecca, Baczko, Anne-Kathrin, Ball, David, Barrett, John, Benson, Bradford A., Bintley, Dan, Kino, Motoki, Hada, Kazuhiroほか	4. 巻 910
2. 論文標題 First M87 Event Horizon Telescope Results. VIII. Magnetic Field Structure near The Event Horizon	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L13 ~ L13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/abe4de	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 Goddi, Ciriaco, Messias, Hugo, Bower, Geoffrey C., Broderick, Avery E., Dexter, Jason, Marrone, Daniel P., Moscibrodzka, Monika, Nagai, Hiroshi, Algaba, Juan Carlos, Asada, Keiichi, Crew, Geoffrey B., Impellizzeri, C. M. Violette, Kino, Motoki, Hada, Kazuhiroほか	4. 巻 910
2. 論文標題 Polarimetric Properties of Event Horizon Telescope Targets from ALMA	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L14 ~ L14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/abee6a	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 Lee, Taeseok, Trippe, Sascha, Kino, Motoki, Sohn, Bong Won, Park, Jongho, Oh, Junghwan, Hada, Kazuhiro, Niinuma, Kotaro, Ro, Hyunwook, Jung, Taehyun, Zhao, Guang-Yao, Lee, Sang-Sung, Algaba, Juan-Carlos, Akiyama, Kazunori, Wajima, Kiyooki, Sawada-Satoh, Satoko, Tazaki, Fumie, Cho, Iljeほか	4. 巻 486
2. 論文標題 Jet kinematics of the quasar 4C+21.35 from observations with the KaVA very long baseline interferometry array	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 2412 ~ 2421
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz970	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 Morokuma-Matsui Kana, Morokuma Tomoki, Tominaga Nozomu, Hatsukade Bunyo, Hayashi Masao, Tamura Yoichi, Matsuda Yuichi, Motogi Kazuhito, Niinuma Kotaro, Konishi Masahiro	4. 巻 879
2. 論文標題 ALMA Observations of Molecular Gas in the Host Galaxy of AT2018cow	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L13 ~ L13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ab2915	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 Koyama Shoko, Kino Motoki, Doi Akihiro, Niinuma Kotaro, Giroletti Marcello, Paneque David, Akiyama Kazunori, Giovannini Gabriele, Zhao Guang-Yao, Ros Eduardo, Kataoka Jun, Orienti Monica, Hada Kazuhiro, Nagai Hiroshi, Isobe Naoki, Kobayashi Hideyuki, Honma Mareki, Lico Rocco	4. 巻 884
2. 論文標題 Stable Radio Core of the Blazar Mrk 501 during High-energy Active State in 2012	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 132 ~ 132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab4260	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 Park Jongho, Hada Kazuhiro, Kino Motoki, Niinuma Kotaro, ほか	4. 巻 887
2. 論文標題 Kinematics of the M87 Jet in the Collimation Zone: Gradual Acceleration and Velocity Stratification	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 147 ~ 147
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab5584	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 Wajima Kiyooki, Kino Motoki, Kawakatu Nozomu	4. 巻 895
2. 論文標題 Constraints on the Circumnuclear Disk through Free-Free Absorption in the Nucleus of 3C 84 with KaVA and KVN at 43 and 86 GHz	5. 発行年 2020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/ab88a0	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 Algaba J. C., Rani B., Lee S. S., Kino M., Park Jongho, Kim Jae-Young	4. 巻 886
2. 論文標題 Exploring the Morphology and Origins of the 4C 38.41 Jet	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 85 ~ 85
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab4b45	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 Kino M., Wajima K., Kawakatu N., Nagai H., Orienti M., Giovannini G., Hada K., Niinuma K., Giroletti M.	4. 巻 864
2. 論文標題 Evidence of Jet-Clump Interaction: A Flip of the Radio Jet Head of 3C 84	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 118 ~ 118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aad6e3	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 Nakamura Masanori, Asada Keiichi, Hada Kazuhiro, Pu Hung-Yi, Noble Scott, Tseng Chihyin, Toma Kenji, Kino Motoki, Nagai Hiroshi, Takahashi Kazuya, Algaba Juan-Carlos, Orienti Monica, Akiyama Kazunori, Doi Akihiro, Giovannini Gabriele, Giroletti Marcello, Honma Mareki, Koyama Shoko, Lico Rocco, Niinuma Kotaro, et al.	4. 巻 868
2. 論文標題 Parabolic Jets from the Spinning Black Hole in M87	5. 発行年 2018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/aaeb2d	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 Taeseok, Trippe Sascha, Kino Motoki, Sohn Bong Won, Park Jongho, Oh Junghwan, Hada Kazuhiro, Niinuma Kotaro, Ro Hyunwook, Jung Taehyun, Zhao Guang-Yao, Lee Sang-Sung, Algaba Juan-Carlos, Akiyama Kazunori, Wajima Kiyooki, Sawada-Satoh Satoko, Tazaki Fumie, Cho Ilje, Hodgson Jeffrey, Lee Jeong Ae, et al.	4. 巻 486
2. 論文標題 Jet kinematics of the quasar 4C+21.35 from observations with the KaVA very long baseline interferometry array	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 2412 ~ 2421
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz970	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 Akiyama Kazunori, Alberdi Antxon, Alef Walter, Asada Keiichi, Azulay Rebecca, Baczkko Anne-Kathrin, Ball David, Barrett John, Bintley Dan, Blackburn Lindy, Boland Wilfred, Bouman Katherine L., Bower Geoffrey C., Bremer Michael, Brinkerink Christiaan D., Brissenden Roger, Britzen Silke, Hada Kazuhiro, Kino Motoki, et al.	4. 巻 875
2. 論文標題 First M87 Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	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/ab0ec7	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 Akiyama Kazunori, Alberdi Antxon, Alef Walter, Asada Keiichi, Azulay Rebecca, Baczkko Anne-Kathrin, Ball David, Barrett John, Bintley Dan, Blackburn Lindy, Boland Wilfred, Bouman Katherine L., Bower Geoffrey C., Bremer Michael, Brinkerink Christiaan D., Brissenden Roger, Britzen Silke, Hada Kazuhiro, Kino Motoki, et al.	4. 巻 875
2. 論文標題 First M87 Event Horizon Telescope Results. II. Array and Instrumentation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L2 ~ L2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ab0c96	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 Akiyama Kazunori, Alberdi Antxon, Alef Walter, Asada Keiichi, Azulay Rebecca, Baczko Anne-Kathrin, Ball David, Barrett John, Bintley Dan, Blackburn Lindy, Boland Wilfred, Bouman Katherine L., Bower Geoffrey C., Bremer Michael, Brinkerink Christiaan D., Brissenden Roger, Britzen Silke, Hada Kazuhiro, Kino Motoki, et al.	4. 巻 875
2. 論文標題 First M87 Event Horizon Telescope Results. III. Data Processing and Calibration	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L3~L3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ab0c57	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 Akiyama Kazunori, Alberdi Antxon, Alef Walter, Asada Keiichi, Azulay Rebecca, Baczko Anne-Kathrin, Ball David, Barrett John, Bintley Dan, Blackburn Lindy, Boland Wilfred, Bouman Katherine L., Bower Geoffrey C., Bremer Michael, Brinkerink Christiaan D., Brissenden Roger, Britzen Silke, Hada Kazuhiro, Kino Motoki, et al.	4. 巻 875
2. 論文標題 First M87 Event Horizon Telescope Results. IV. Imaging the Central Supermassive Black Hole	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L4~L4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ab0e85	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 Akiyama Kazunori, Alberdi Antxon, Alef Walter, Asada Keiichi, Azulay Rebecca, Baczko Anne-Kathrin, Ball David, Barrett John, Bintley Dan, Blackburn Lindy, Boland Wilfred, Bouman Katherine L., Bower Geoffrey C., Bremer Michael, Brinkerink Christiaan D., Brissenden Roger, Britzen Silke, Hada Kazuhiro, Kino Motoki, et al.	4. 巻 875
2. 論文標題 First M87 Event Horizon Telescope Results. V. Physical Origin of the Asymmetric Ring	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L5~L5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ab0f43	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 Akiyama Kazunori, Alberdi Antxon, Alef Walter, Asada Keiichi, Azulay Rebecca, Baczko Anne-Kathrin, Ball David, Barrett John, Bintley Dan, Blackburn Lindy, Boland Wilfred, Bouman Katherine L., Bower Geoffrey C., Bremer Michael, Brinkerink Christiaan D., Brissenden Roger, Britzen Silke, Hada Kazuhiro, Kino Motoki, et al.	4. 巻 875
2. 論文標題 First M87 Event Horizon Telescope Results. VI. The Shadow and Mass of the Central Black Hole	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L6~L6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ab1141	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 Park Jongho, Hada Kazuhiro, Kino Motoki, Nakamura Masanori, Ro Hyunwook, Trippe Sascha	4. 巻 871
2. 論文標題 Faraday Rotation in the Jet of M87 inside the Bondi Radius: Indication of Winds from Hot Accretion Flows Confining the Relativistic Jet	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 257 ~ 257
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aaf9a9	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 Issaoun S., Johnson M. D., Blackburn L., Brinkerink C. D., Chael A., Goddi C., Marti-Vidal I., Wagner J., Doeleman S. S., Falcke H., Krichbaum T. P., Akiyama K., Bach U., Bouman K. L., Bower G. C., Broderick A., Cho I., Crew G., Hada K., Kino M., et al.	4. 巻 871
2. 論文標題 The Size, Shape, and Scattering of Sagittarius A* at 86 GHz: First VLBI with ALMA	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 30 ~ 30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aaf732	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 Takahashi Kazuya, Toma Kenji, Kino Motoki, Nakamura Masanori, Hada Kazuhiro	4. 巻 868
2. 論文標題 Fast-spinning Black Holes Inferred from Symmetrically Limb-brightened Radio Jets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 82 ~ 82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aae832	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 Park Jongho, Lee Sang-Sung, Kim Jae-Young, Hodgson Jeffrey A., Trippe Sascha, Kim Dae-Won, Algaba Juan-Carlos, Kino Motoki, Zhao Guang-Yao, Lee Jee Won, Gurwell Mark A.	4. 巻 -
2. 論文標題 Ejection of Double knots from the radio core of PKS 1510--089 during the strong gamma-ray flares in 2015	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	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) 10.3847/1538-4357/ab1b27	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13件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 10件）

1. 発表者名 堤稔喜、清水祐亮、藤澤健太、新沼浩太郎、澤田-佐藤聡子、小川英夫、西村淳、上田翔汰、増 井翔、近藤滉、山崎康正、松本健、今井裕、濱江勇希、金子紘之、高橋茂、高橋敏一、宮澤千栄子、木村公洋、岡田望
2. 発表標題 野辺山 45m 電波望遠鏡における 3 帯域同時 VLBI 観測システム構築と試験観測
3. 学会等名 2021年日本天文学会春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nozomi Okada
2. 発表標題 Introduction of millimeter wave VLBI and proposal of applied technology to space VLBI
3. 学会等名 The 13th East Asian VLBI Workshop 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Motoki Kino
2. 発表標題 Activity report of EAVN AGN Science Working Group
3. 学会等名 The 13th East Asian VLBI Workshop 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Toshihisa Tsutsumi
2. 発表標題 Construction and evaluation tests of simultaneous triple-band VLBI observing system on the Nobeyama 45-m telescope
3. 学会等名 The 13th East Asian VLBI Workshop 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Toshihisa Tsutsumi
2. 発表標題 Construction and test observation of a simultaneous 3-band VLBI observing system on the Nobeyama 45-m telescope
3. 学会等名 ALMA/45m/ASTE Users Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Satoko Sawada-Satoh
2. 発表標題 Conversion of mixed-polarization VLBI visibilities for the NRO 3-mm VLBI obseravtions
3. 学会等名 ALMA/45m/ASTE Users Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kotaro Niinuma
2. 発表標題 Development of NRO 3mm VLBI system: Toward EA 3mm VLBI Network
3. 学会等名 AGN Jet Workshop 2020 "Active Galactic Nucleus Jets in the Event Horizon Telescope Era" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kotaro Niinuma
2. 発表標題 Development of NRO 3mm VLBI system
3. 学会等名 East Asia To Itary Nearly Global (Eating) VLBI Workshop 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新沼浩太郎
2. 発表標題 SKA時代の突発天体研究
3. 学会等名 SKA-Japanシンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川勝望, 紀基樹, 輪島清昭, 新沼浩太郎, 和田桂一, 澤田-佐藤聡子
2. 発表標題 電波銀河 3C84 の中心 1 パーセクの遮蔽構造の非一様性
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 Kotaro Niinuma
2. 発表標題 Measuring velocity field of AGN jet at <100Rs - 10000Rs by NRO45m+KaVA mm-VLBI observation
3. 学会等名 2018 ALMA/45m/ASTE Users Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kotaro Niinuma
2. 発表標題 Development of NRO 3mm VLBI system
3. 学会等名 Eating VLBI workshop 2019, "East Asia To Italy: Nearly Global VLBI" (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Kotaro Niinuma
2. 発表標題 Radio follow-up with Japanese VLBI Network and East Asia VLBI Network
3. 学会等名 The sixth Astrophysical Multimessenger Observatory Network (AMON) Workshop (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
研究分担者	河野 裕介 (Kono Yusuke)  (00370106)	国立天文台・水沢VLBI観測所・助教  (62616)	
研究分担者	秦 和弘 (Hada Kazuhiro)  (60724458)	国立天文台・水沢VLBI観測所・助教  (62616)	
研究分担者	紀 基樹 (Kino Motoki)  (70531234)	工学院大学・工学部・講師  (32613)	

	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	今井 裕 (Imai Hiroshi)		

## 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
研究協力者	川島 朋尚  (Kawashima Tomohisa)		
研究協力者	高橋 博之  (Takahashi Hiroyuki)		
研究協力者	本間 希樹  (Honma Mareki)		
研究協力者	南谷 哲宏  (Minamidani Tetsuhiro)		
研究協力者	小林 秀行  (Kobayashi Hideyuki)		
研究協力者	藤澤 健太  (Fujisawa Kenta)		
研究協力者	萩原 喜昭  (Hagiwara Yoshiaki)		
研究協力者	小川 英夫  (Ogawa Hideo)		

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			
韓国	国立ソウル大学	韓国天文学宇宙科学研究所	延世大学	
その他の国・地域	中央研究院天文及天文物理研究所（台湾）			
イタリア	The Istituto di Radioastronomia/INAF			
ドイツ	Max-Planck Institute for Radio Astronomy			