

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：62616

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14531

研究課題名（和文）多相星間物質観測で検証する活動銀河中心核トーラスの動的描像

研究課題名（英文）Dynamic nature of active galactic nucleus torus revealed by multi-phase gas observations

研究代表者

泉 拓磨（Izumi, Takuma）

国立天文台・アルマプロジェクト・助教

研究者番号：40792932

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：ALMA望遠鏡を用いた高/中密度分子、低密度原子、低密度プラズマの全物質相にわたる高解像度観測から、近傍宇宙の代表的な活動銀河中心核天体であるCircinus銀河の中心数パーセク以内の領域で、ブラックホールへの降着流と、ブラックホール近傍からの噴出流の双方を捉えることに成功した。また、この降着流は銀河中心部の高密度ガス円盤が重力不安定になることで駆動していることも解明した。噴出流の一部は速度が低く、ガス円盤に再び舞い降り降着流を再充填するとともに、幾何学的に分厚いトーラス構造も形成する。こうした多相物質構造の直接検出は前例がなく、超巨大ブラックホール進化研究における記念碑的な成果となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

多くの大質量銀河の中心には、質量が太陽の数百万倍から数十億倍にも達する超巨大ブラックホールが存在するが、いったいどうやってその巨大質量を獲得するに至ったのかは未解明である。理論的に考えられる重要な成長機構はブラックホールへのガス降着であるが、その具体的な物理は銀河中心部の数十光年以内の小スケールでは不明であった。本研究は、ALMAの超高解像度観測から、その銀河中心領域でのブラックホールへの降着流を特定し、さらにそれを駆動する機構がガス円盤の重力不安定にあることを突き止めた。また、多相ガスの噴出流も詳細に観測しており、ブラックホール周辺の物質循環を網羅的に解明した記念碑的成果となった。

研究成果の概要（英文）：We used ALMA to investigate multiphase gas distributions and dynamics around the supermassive black hole of the nearby Circinus galaxy. We observed all phase gases, i.e., dense/medium-density molecular gas, low-density atomic gas, and low-density ionized gas, all at parsec-resolution. We found a parsec-scale dense molecular inflow toward the central supermassive black hole for the first time. We also discovered multiphase (but atomic-dominant) outflows from the active nucleus. Some fraction of the outflows are low velocity, hence will fall back to the dense molecular disk to refill the accretion flow as well as to induce turbulence to maintain the geometrical thickness of the torus. These multiphase, multidynamic structures are revealed for the first time ever, making this program a milestone achievement of the research field of the supermassive black hole growth.

研究分野：電波天文学

キーワード：活動銀河中心核 AGN 星間物質 超巨大ブラックホール ALMA

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

超巨大ブラックホールへの降着物質から解放された重力エネルギーで輝く活動銀河核 (Active Galactic Nucleus = AGN) には、輝線幅が数千から 1 万 km/s にも及ぶ中心部の広輝線領域が観測されるもの (1 型) と、それが見えずに線幅 < 1 千 km/s 程度の狭輝線領域しか観測されないもの (2 型) の 2 種類が存在する。これらを統一的に理解するために、AGN を取り囲む大きさ数 pc から数十 pc 程度のガスやダストで構成されたドーナツ状の構造体 = AGN トーラスが提唱された [1]。すなわち、AGN の型の違いをドーナツの穴を見込む角度の違いで説明するアイデアである。この説は様々な AGN の性質を見事に説明する一方で、あくまで現象論的なものであり、トーラスの物理的起源は提唱以来 30 年以上にわたって不明なままであった。

2. 研究の目的

AGN トーラスの物理的起源として、「輻射駆動噴水モデル」 [2] が有力視されている。このモデルでは、AGN 周囲のガスは AGN からの強力な輻射 (X 線や紫外線) を受けて、その物理化学状態が大きく影響される。また、輻射圧を受けることでガスのアウトフローも駆動される。端的には、高密度分子ガスは AGN 周囲に存在するガス円盤の中心面に、原子ガスはガス円盤の上空やアウトフロー中に、電離ガスは AGN 直近やアウトフロー中に存在する。AGN 活動を維持するガス供給は、円盤中心面を通過して行なわれる。一方、アウトフロー成分の一部は、円盤と中心ブラックホールの重力により再び円盤に落下してくる。つまり、AGN 周囲では、(i) ガスの流入 (インフロー)、(ii) アウトフロー、(iii) アウトフローの一部の落下 (バックフロー) の 3 種類のガスの流れがあり、これらは自然と幾何学的に厚い構造を作る。これが、AGN トーラスの実体であるというのが輻射駆動噴水モデルの重要な点である。このモデルはドーナツ状のトーラスをアприオリに仮定することなく、物理的に自然にトーラス的な幾何学的に厚い構造が出来上がる点が特徴的かつ重要である。本研究では、このモデルの検証、ならびに各素過程の詳細観測を目的とした。

3. 研究の方法

輻射駆動噴水モデルでは、異なる相 (電離ガス、原子ガス、分子ガス) のガスはそれぞれ異なる運動状態を示す。そこで、最新の電波干渉計である Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) を用いた多相星間物質の高解像度観測を行なった。観測対象は最近傍の AGN を持つ Circinus 銀河である (距離の近さゆえに物理スケールで高い解像度を得ることができる)。この天体は AGN に駆動された電離ガスアウトフローが存在することが、過去の観測から判明している。観測した輝線は、中密度分子ガスのトレーサーとして一酸化炭素分子 CO の回転遷移 $J = 3-2$ 輝線、高密度分子ガスのトレーサーとしてシアン化水素 HCN $J = 3-2$ 輝線、原子ガスのトレーサーとして炭素原子輝線 [C I] (1-0) 輝線、電離ガスのトレーサーとして水素再結合線 H36 線である。これらをすべて、数 pc という非常に高い解像度で観測することに成功した。[C I] (1-0) 輝線については静止周波数が高く地上観測が困難なこともあり、まだまだ高解像度観測例が少ない貴重な観測データを提供できる。また、サブミリ波水素再結合線は銀河系外での観測例が少なく、こちらも非常に貴重で、AGN においては一つの指標となるようなデータになっている。

得られた輝線データを元に、各相のガスの空間分布や、運動状態を計測して違いの有無を調べる解析を行なった。また、結果は輻射駆動トーラスモデルの予測と比較する。この際、モデルは Circinus 銀河用に AGN の基本パラメータ (ブラックホール質量や AGN 光度) を設定した流体計算モデルを作成する。観測と直接比較できるように、流体計算モデルにポストプロセスで輻射輸送計算を施したのも本研究の特徴である。観測データから力学状態を計測する際には、観測領域を多数の同心円に区切り、ガスの銀河回転や速度分散といった各種力学パラメータをフィッティングから得る tilted-ring モデルを採用した。

4. 研究成果

研究代表者が PI として、ALMA Cycle 7 において Circinus 銀河を観測した。CO (3-2) と [C I] (1-0) の両輝線データ共に、 ~ 2 pc という高い空間分解能を達成できたのみならず、データの品質も極めて高く様々なモデル化に有用であった。また、アーカイブデータである HCN (3-2) と H36 は 1 pc を切る高解像度を達成しており、非常に多くの情報を得ることができた。これらのデータから、以下の点が明らかになった。

- (1) 空間分布：銀河中心部の < 100 pc 領域に CO 放射の多くが集中していることが分かった。これは核周円盤 (circumnuclear disk = CND) と呼ばれる構造で、他の AGN 天体でも見られる [3]。輻射駆動トーラスモデルは AGN へのガス供給源として CND の存在を必要とするので、この結果はモデル予測と整合する。高密度ガス (HCN) はそのさらに中心部の

- 10 pc 以内の領域に集中しており、半径方向の密度構造が見て取れる。
- (2) X 線による分子ガスの解離：炭素原子輝線 [C I] (1-0) は銀河中心数十 pc で非常に明るいことがわかった。その領域での [C I] / CO 強度比は星形成銀河の 10 倍以上の高い値で、AGN の強力な X 線放射で分子が解離されて原子になっていると解釈された。これは X-ray dominated region = XDR と呼ばれる現象で、輻射駆動噴水モデルでも重要な機構の一つである。
 - (3) 電離コーンの根本の検出：空間分解した H36 線は、AGN のごく近傍にコーン状の分布を示した。これは kpc スケールで観測されている電離コーンと、方角も開口角も一致している。したがって、電離コーンの最内縁部（根本）を初めて捉えたことに相当する。
 - (4) 力学構造のモデル化：tilted-ring 法を使った観測データ（速度場）のモデル化から、CO(3-2) よりも [C I] (1-0) の方が、速度分散成分が大きいことが分かった。速度分散（ランダム運動 = 乱流成分）が大きいことは、円盤構造下ではそのガス成分がより幾何学的に厚い状態になっていることを意味する。つまり、分子ガスよりも原子ガスの方が、円盤上空にまでより広がった構造をとっている。これもモデル予測と整合する。なお、HCN(3-2) の速度分散は CO(3-2) よりさらに小さく、高密度なガスほど円盤中心面に沈んでいることも分かった。
 - (5) 各種アウトフローの検出：[C I] (1-0) 輝線の速度構造には回転運動から逸脱する成分が見られた。詳細な解析の結果、これはアウトフローであることが判明した。CO(3-2) にも同様の構造が見られるが、その強度ははるかに弱い。よってこれは原子ガスが主たる構成要素となっているアウトフローである。また、H36 は非常に幅の広い輝線となっており、原子・分子を圧倒する高速アウトフローの存在を裏付けている。こうした多相ガスのアウトフローを銀河中心部の pc スケールで検出したのは本研究が初めてである。
 - (6) ブラックホール降着機構の解明：HCN(3-2) で見られた非常にコンパクトな高密度ガス円盤の運動の解析から、この円盤は「重力不安定」と呼ばれる状態にあることが分かった。つまり、自重を支えきれずに円盤が崩壊する状態にあり、その結果、ガスは安定軌道をとることができなくなって中心のブラックホールに落下する。これは本研究分野の長年の目標であった、ブラックホール成長を担う物理機構の解明に相当する非常に重要な成果である。

以上のことから、少なくとも Circinus 銀河においては、輻射駆動噴水モデルが予測するガス分布と運動が実際に存在することが判明した。これは、30 年以上にわたり謎であった「AGN トーラスの物理的起源」に対し、「トーラスはかつて想像されていたような静的なドーナツ構造ではなく、多相星間物質が織りなす多層的ダイナミック構造である」という裏付けを与えた形であり、本分野のパラダイムシフトにつながる重要な成果だと認識している。また、本研究ではブラックホールへの質量降着を担う物理機構の解明をも達成することができた。以上の内容は現在論文として投稿中である。

<引用文献>

- [1] Antonucci, R. 1993, ARA&A, 31, 473 [2] Wada, K. 2012, ApJ, 758, 66 [3] Izumi, T., et al. 2016, ApJ, 827, 81 [4] Izumi, T., et al. 2018, ApJ, 867, 48

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 25件 / うち国際共著 22件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Izumi Takuma, Matsuoka Yoshiki, Fujimoto Seiji, Onoue Masafusa, Strauss Michael A., Umehata Hideki, Imanishi Masatoshi, Kohno Kotaro, Kawaguchi Toshihiro, Kawamuro Taiki, Baba Shunsuke, Nagao Tohru, Toba Yoshiki, Inayoshi Kohei, Silverman John D., Inoue Akio K., Ikarashi Soh, Iwasawa Kazushi, Kashikawa Nobunari, 他6名	4. 巻 914
2. 論文標題 Subaru High-z Exploration of Low-luminosity Quasars (SHELLQs). XIII. Large-scale Feedback and Star Formation in a Low-luminosity Quasar at $z = 7.07$ on the Local Black Hole to Host Mass Relation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	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) 10.3847/1538-4357/abf6dc	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 Falstad N., Aalto S., Konig S., Onishi K., Muller S., Gorski M., Sato M., Stanley F., Combes F., Gonzalez-Alfonso E., Mangum J. G., Evans A. S., Barcos-Munoz L., Privon G. C., Linden S. T., Diaz-Santos T., Martin S., Sakamoto K., Harada N., Fuller G. A., Gallagher J. S., van der Werf P. P., Viti S., Izumi T., 他7名	4. 巻 649
2. 論文標題 CON-quest	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A105 ~ A105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202039291	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 Uzuo Taisei, Wada Keiichi, Izumi Takuma, Baba Shunsuke, Matsumoto Kosei, Kudoh Yuki	4. 巻 915
2. 論文標題 Circumnuclear Multi-phase Gas in Circinus Galaxy IV: Absorption Owing to High-J CO Rotational Transitions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 89 ~ 89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac013d	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 Nguyen Dieu D, Izumi Takuma, Thater Sabine, Imanishi Masatoshi, Kawamuro Taiki, Baba Shunsuke, Nakano Suzuka, Turner Jean L, Kohno Kotaro, Matsushita Satoki, Martin Sergio, Meier David S, Nguyen Phuong M, Nguyen Lam T	4. 巻 504
2. 論文標題 Black hole mass measurement using ALMA observations of [C I] and CO emissions in the Seyfert 1 galaxy NGC 7469	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 4123 ~ 4142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stab1002	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., Honig 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., Izumi T., 他14名	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., Honig 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., Imanishi M., Izumi T., 他13名	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 Onoue Masafusa, Matsuoka Yoshiki, Kashikawa Nobunari, Strauss Michael A., Iwasawa Kazushi, Izumi Takuma, Nagao Tohru, Asami Naoko, Fujimoto Seiji, Harikane Yuichi, Hashimoto Takuya, Imanishi Masatoshi, Lee Chien-Hsiu, Shibuya Takatoshi, Toba Yoshiki	4. 巻 919
2. 論文標題 Subaru High-z Exploration of Low-luminosity Quasars (SHELLQs). XIV. A Candidate Type II Quasar at $z = 6.1292$	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 61 ~ 61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac0f07	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 Martin S., Mangum J. G., Harada N., Costagliola F., Sakamoto K., Muller S., Aladro R., Tanaka K., Yoshimura Y., Nakanishi K., Herrero-Illana R., Muhle S., Aalto S., Behrens E., Colzi L., Emig K. L., Fuller G. A., Garcia-Burillo S., Greve T. R., Henkel C., Holdship J., Humire P., Hunt L., Izumi T., Kohno K., 他10名	4. 巻 656
2. 論文標題 ALCHEMI, an ALMA Comprehensive High-resolution Extragalactic Molecular Inventory	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A46 ~ A46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202141567	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 Michiyama Tomonari, Saito Toshiaki, Tadaki Ken-ichi, Ueda Junko, Zhuang Ming-Yang, Molina Juan, Lee Bumhyun, Wang Ran, Bolatto Alberto D., Iono Daisuke, Nakanishi Kouichiro, Izumi Takuma, Yamashita Takuji, Ho Luis C.	4. 巻 257
2. 論文標題 An ACA Survey of [C I](3P1-3P0) CO J=4-3, and Dust Continuum in Nearby U/LIRGs	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	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) 10.3847/1538-4365/ac16df	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, Izumi Takuma, Imanishi Masatoshi, Baba Shunsuke, Nguyen Dieu D., Onishi Kyoko	4. 巻 257
2. 論文標題 Hard X-Ray Irradiation Potentially Drives Negative AGN Feedback by Altering Molecular Gas Properties	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 64 ~ 64
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/ac2891	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 Imanishi Masatoshi, Nakanishi Kouichiro, Izumi Takuma, Baba Shunsuke	4. 巻 926
2. 論文標題 ALMA Sub-arcsecond-resolution 183 GHz H ₂ O and Dense Molecular Line Observations of Nearby Ultraluminous Infrared Galaxies	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 159 ~ 159
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac3a68	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 Saito Toshiki, Takano Shuro, Harada Nanase, Nakajima Taku, Schinnerer Eva, Liu Daizhong, Taniguchi Akio, Izumi Takuma, Watanabe Yumi, Bamba Kazuharu, Herbst Eric, Kohno Kotaro, Nishimura Yuri, Stuber Sophia, Tamura Yoichi, Tosaki Tomoka	4. 巻 927
2. 論文標題 The Kiloparsec-scale Neutral Atomic Carbon Outflow in the Nearby Type 2 Seyfert Galaxy NGC 1068: Evidence for Negative AGN Feedback	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L32 ~ L32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ac59ae	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 Matsuoka Yoshiki, Iwasawa Kazushi, Onoue Masafusa, Izumi Takuma, Kashikawa Nobunari, Strauss Michael A., Imanishi Masatoshi, Nagao Tohru, Akiyama Masayuki, Silverman John D., Asami Naoko, Bosch James, Furusawa Hisanori, Goto Tomotsugu, 他30名	4. 巻 259
2. 論文標題 Subaru High-z Exploration of Low-luminosity Quasars (SHELLQs). XVI. 69 New Quasars at $5.8 < z < 7.0$	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 18 ~ 18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/ac3d31	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 Izumi Takuma, Silverman John D., Jahnke Knud, Schulze Andreas, Cen Renyue, Schramm Malte, Nagao Tohru, Wisotzki Lutz, Rujopakarn Wiphu	4. 巻 898
2. 論文標題 Circumnuclear Molecular Gas in Low-redshift Quasars and Matched Star-forming Galaxies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 61 ~ 77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab99a8	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 Izumi Takuma, Nguyen Dieu D., Imanishi Masatoshi, Kawamuro Taiki, Baba Shunsuke, Nakano Suzuka, Kohno Kotaro, Matsushita Satoki, Meier David S., Turner Jean L., Michiyama Tomonari, Harada Nanase, Martin Sergio, Nakanishi Kouichiro, Takano Shuro, Wiklind Tommy, Nakai Naomasa, Hsieh Pei-Ying	4. 巻 898
2. 論文標題 ALMA Observations of Multiple CO and C Lines toward the Active Galactic Nucleus of NGC 7469: An X-Ray-dominated Region Caught in the Act	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 75 ~ 99
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab9cb1	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, Izumi Takuma, Onishi Kyoko, Imanishi Masatoshi, Nguyen Dieu D., Baba Shunsuke	4. 巻 895
2. 論文標題 AGN X-Ray Irradiation of CO Gas in NGC 2110 Revealed by Chandra and ALMA	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 135 ~ 149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab8b62	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 Akahori Takuya, Kitayama Tetsu, Ueda Shutaro, Izumi Takuma, Lee Kianhong, Kawabe Ryohei, Kohno Kotaro, Oguri Masamune, Takizawa Motokazu	4. 巻 72
2. 論文標題 Discovery of radio jets in the Phoenix galaxy cluster center	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 62-71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psaa039	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 Imanishi Masatoshi, Nguyen Dieu D., Wada Keiichi, Hagiwara Yoshiaki, Iguchi Satoru, Izumi Takuma, Kawakatu Nozomu, Nakanishi Kouichiro, Onishi Kyoko	4. 巻 902
2. 論文標題 ALMA 0.02 Resolution Observations Reveal HCN-abundance-enhanced Counter-rotating and Outflowing Dense Molecular Gas at the NGC 1068 Nucleus	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 99 ~ 143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abaf50	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 Imanishi Masatoshi, Hagiwara Yoshiaki, Horiuchi Shinji, Izumi Takuma, Nakanishi Kouichiro	4. 巻 502
2. 論文標題 ALMA detection of millimetre 183 GHz H ₂ O maser emission in the Superantennae galaxy at $z \sim 0.06$	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters	6. 最初と最後の頁 L79 ~ L84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnrasl/slab006	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 Sato M. T., Aalto S., Kohno K., Konig S., Harada N., Viti S., Izumi T., Nishimura Y., Gorski M.	4. 巻 660
2. 論文標題 APEX and NOEMA observations of H2S in nearby luminous galaxies and the ULIRG Mrk 231	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A82 ~ A97
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202141260	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 Baba Shunsuke, Imanishi Masatoshi, Izumi Takuma, Kawamuro Taiki, Nguyen Dieu D., Nakagawa Takao, Isoke Naoki, Onishi Shusuke, Matsumoto Kosei	4. 巻 928
2. 論文標題 The Extremely Buried Nucleus of IRAS 17208-0014 Observed at Submillimeter and Near-infrared Wavelengths	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 184 ~ 203
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac57c2	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 Saito Toshiki, Takano Shuro, Harada Nanase, Nakajima Taku, Schinnerer Eva, Liu Daizhong, Taniguchi Akio, Izumi Takuma, Watanabe Yumi, Bamba Kazuharu, Kohno Kotaro, Nishimura Yuri, Stuber Sophia, Tosaki Tomoka	4. 巻 935
2. 論文標題 AGN-driven Cold Gas Outflow of NGC 1068 Characterized by Dissociation-sensitive Molecules	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 155 ~ 164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac80ff	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 Garcia-Bernete I., Rigopoulou D., Alonso-Herrero A., Donnan F. R., Roche P. F., Pereira-Santaelia M., Labiano A., Peralta de Arriba L., Izumi T., Ramos Almeida C., Shimizu T., Honig S., Garcia-Burillo S., Rosario D. J., Ward M. J., Bellocchi E., Hicks E. K. S., Fuller L., Packham C.	4. 巻 666
2. 論文標題 A high angular resolution view of the PAH emission in Seyfert galaxies using JWST/MRS data	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 L5 ~ L16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202244806	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, Mushotzky Richard F., Izumi Takuma, Ricci Federica, Bauer Franz E., Koss Michael J., Trakhtenbrot Benny, Ichikawa Kohei, Rojas Alejandra F., Smith Krista Lynne, Shimizu Taro, Oh Kyuseok, den Brok Jakob S., Baba Shunsuke, Balokovic Mislav, and 11 others	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 ~ 118
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 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 ~ 21
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22件 (うち招待講演 15件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 Takuma Izumi
2. 発表標題 Star formation, feedback, and co-evolution in distant quasar host galaxies at $z > 6$
3. 学会等名 East Asia AGN Workshop 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuma Izumi
2. 発表標題 Less-biased view of the early co-evolution of supermassive black holes and galaxies
3. 学会等名 ALMA/45m/ASTE users meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuma Izumi
2. 発表標題 Parsec-scale view on the multiphase dynamical nature of AGN torus
3. 学会等名 CONquest workshop 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takuma Izumi
2. 発表標題 Challenge of Subaru and ALMA: early co-evolution of supermassive black holes and host galaxies
3. 学会等名 Quasars and Galaxies through Cosmic Time (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takuma Izumi
2. 発表標題 Massive cold outflows in distant quasars: do they really exist and play a key role?
3. 学会等名 Cold outflows near and far: cross roads of our current understandings (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 泉拓磨
2. 発表標題 ALMAが調べた近傍の隠されたAGN: 現状のまとめとFORCEへの期待
3. 学会等名 第5回FORCE研究会「埋もれたAGNの宇宙論的進化」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 泉拓磨
2. 発表標題 AGNアウトフローがもたらす銀河へのフィードバック：現状のまとめと課題
3. 学会等名 超巨大ブラックホール研究会：その実態・影響・起源の全貌解明に向けて（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuma Izumi
2. 発表標題 In search of obscured AGNs at pre-reionization era: expectations for wide-area submm surveys
3. 学会等名 Synergies between ALMA and wide-field high-cadence multi-wavelength surveys（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 泉拓磨
2. 発表標題 z = 7クエーサーにおける大規模アウトフロー と始原的共進化関係
3. 学会等名 日本天文学会2021年秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 泉拓磨、今西昌俊、馬場俊介、中西康一郎、松岡良樹、長尾透、藤本征史、尾上匡房、Michael A. Strauss、梅畑豪紀、河野孝太郎、John D. Silverman、柏川伸成、川口俊弘、SHELLQs コラボレーション
2. 発表標題 初期宇宙でのクエーサー前駆体探査における電波単一鏡の有用性
3. 学会等名 日本天文学会2021年秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 泉拓磨、今西昌俊、中西康一郎、和田桂一、工藤祐己、馬場俊介、川室 太希、松本尚輝、河野孝太郎、宇野慎介、中野すずか
2. 発表標題 パーセク解像度の分子・原子ガス観測で調べるAGNトールスの動的構造
3. 学会等名 日本天文学会2022年春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takuma Izumi
2. 発表標題 ALMA view of HSC low-luminosity quasars at $z > 6$
3. 学会等名 HSC Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuma Izumi
2. 発表標題 ALMA Observations of Multiple CO and C Lines toward the Active Galactic Nucleus of NGC 7469: An X-ray Dominated Region Caught in the Act
3. 学会等名 ALMA-J Seminar (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuma Izumi
2. 発表標題 Circumnuclear Molecular and Atomic Gas Structures in Nearby AGNs Revealed by ALMA
3. 学会等名 Astro Colloquium of Chalmers University of Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuma Izumi
2. 発表標題 ALMA observations of $z > 6$ low-luminosity quasars : unbiased view on the early co-evolution and feedback
3. 学会等名 DAO Astronomy Colloquium at Hertzberg Astronomy and Astrophysics Research Center (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuma Izumi
2. 発表標題 ALMA Observations of the Highest- z Red Quasar and Low-luminosity Quasar
3. 学会等名 East Asian ALMA Science Workshop 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuma Izumi
2. 発表標題 Multiphase dynamical gas fountain that replaces the classical black hole obscuration
3. 学会等名 What Drives the Growth of Black Holes (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takuma Izumi
2. 発表標題 Multiphase dynamical gas fountain that replaces the classical black hole obscuration
3. 学会等名 Behind the Curtain of Dust IV (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takuma Izumi
2. 発表標題 Resolving supermassive black hole feeding and feedback: multiphase flows down to sub-parsec
3. 学会等名 Pekin University KIAA-DoA Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takuma Izumi
2. 発表標題 Resolving supermassive black hole feeding, feedback, and obscuration: multiphase gas flows down to sub-parsec
3. 学会等名 TORUS 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 泉拓磨
2. 発表標題 パーセク級解像度で調べるAGNへのガス供給と多相ガスの動的構造
3. 学会等名 AGNワークショップ in 鹿児島 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takuma Izumi
2. 発表標題 Resolving supermassive black hole feeding and feedback down to sub-parsec scales
3. 学会等名 East-Asian ALMA Science Workshop 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

激変する超巨大ブラックホール周辺環境 アルマ望遠鏡がとらえた星間分子破壊の現場
https://alma-telescope.jp/news/xdr-202103?doing_wp_cron=1619446507.9501240253448486328125

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

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