

令和 6 年 9 月 6 日現在

機関番号：25504

研究種目：若手研究

研究期間：2022～2023

課題番号：22K14073

研究課題名（和文）センチ波ミリ波帯電波連続波探査で解明する超巨大ブラックホール周辺物理

研究課題名（英文）Understanding physics in the vicinity of super massive black holes by centimeter and millimeter observations of nearby active galactic nuclei

研究代表者

道山 知成（Michiyama, Tomonari）

周南公立大学・情報科学部・助教

研究者番号：40910823

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）：本研究では、ALMA望遠鏡を用いて近傍活動銀河核の中心核部分のミリ波放射を観測し、超巨大ブラックホール周辺の高温プラズマの磁場測定を行った。近傍銀河NGC 1068とGRS 1734-292のALMA望遠鏡観測と磁場測定に関する論文を発表した。特に、GRS 1734-292ではミリ波の時間変化を捉えることに成功し、インパクトの高い論文となった。また、研究途中にjetや超新星に関する興味深い研究成果が得られたため、予想外の結果であったが優先して論文発表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

あらゆる銀河の中心には、太陽の数百万倍から数十億倍の質量を持つ超巨大ブラックホールが存在する。宇宙史解明において、その基本構成要素である超巨大ブラックホール周辺の物理を解明することは重要である。本研究では、超巨大ブラックホール周辺の磁場を測定することに成功した。今後は、測定された磁場強度から超巨大ブラックホールにおける粒子加速メカニズムの解明が進むだろう。さらに、X線、γ線、ニュートリノ観測と組み合わせて、マルチメッセンジャー天文学を開拓し、銀河と超巨大ブラックホールの共進化に重要な示唆を与えるだろう。

研究成果の概要（英文）：We used the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) to observe the millimeter emission from nearby active galactic nuclei and measure the magnetic field of the hot plasma surrounding supermassive black holes. We published papers on ALMA observations and magnetic field measurements of the nearby galaxies NGC 1068 and GRS 1734-292. Notably, for GRS 1734-292, we successfully captured time variability in millimeter emissions, resulting in a highly impactful paper. Additionally, during our research, we obtained intriguing findings related to jets and supernovae in NGC 1068. Although these results were unexpected, we prioritized publishing them.

研究分野：天文学

キーワード：電波天文学 宇宙線 電波天文学 宇宙物理 データ天文学 マルチメッセンジャー天文学

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

あらゆる銀河の中心には、太陽の数百万倍から数十億倍の質量を持つ巨大ブラックホールが存在する。宇宙史を解明する上で、これらの超巨大ブラックホールの周辺の物理現象を理解することは重要である。そのためには、基本的な物理量を把握する必要がある。例えば、巨大ブラックホールの質量を測定することによって、巨大ブラックホールと母銀河の共進化の関係が明らかになってきた。しかし、母銀河の進化に影響を与えると考えられる相対論的ジェットの駆動メカニズムや降着円盤コロナの生成メカニズムは、まだ完全には解明されていない。これらの解明の鍵となるのは、巨大ブラックホール近傍の降着領域における磁場であるが、その測定は容易ではない。

2. 研究の目的

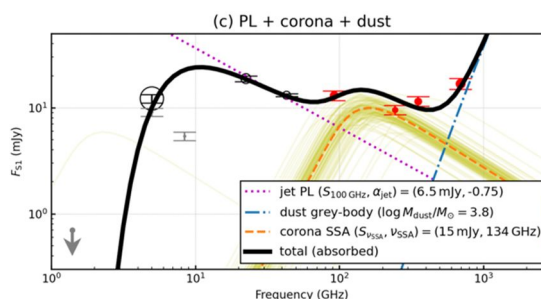
本研究の目的は、さまざまな活動銀河核周辺のセンチ波からミリ波の電波スペクトルを決定し、超巨大ブラックホール周辺の磁場を測定することである。

3. 研究の方法

一般に、超巨大ブラックホール周辺の電波スペクトルは単純な冪乗則で理解できるとされる。しかし、近年、冪乗則に従わない「ミリ波超過」を示す天体が報告されている。ミリ波超過は母銀河成分の混入が原因であると考えられていたが、ミリ波で圧倒的な感度と空間分解能を持つ ALMA 観測により、母銀河成分では説明できないミリ波超過を示す天体が発見されている。このようなミリ波超過は、近年提唱されているコロナモデルで説明でき、観測により超巨大ブラックホール周辺の磁場を決定できる。本研究では、アーカイブデータを有効活用し、超巨大ブラックホール周辺の電波スペクトルを網羅的に調査し、コロナモデルで説明可能な天体を抽出し、磁場強度を決定する。さらに、ミリ波強度の時間変動を確認することで、ミリ波超過が母銀河成分の混入ではなく、コロナが原因であることの決定的証拠を示す。

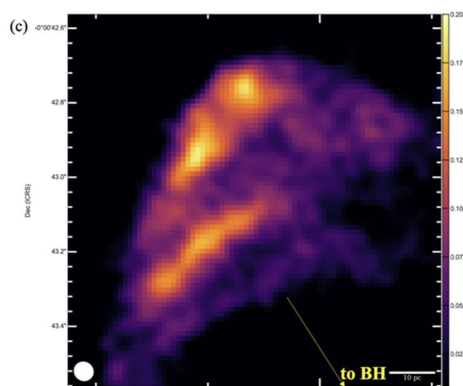
4. 研究成果

(1) 「磁場測定方法の改良・母銀河成分除去」に関する論文にまずは注力した。先行研究ですでに同様の手法で磁場強度が測定されていた近傍活動銀河核 NGC 1068 の ALMA データを再解析した。そこで、100GHz 帯の新しい観測点が先行研究で予測されていたものよりも明るいことに気がついた(図1)。そのため、再解析の内容の報告が優先度が高いと判断し、優先して論文を執筆した (Michiyama et al. 2023, PASJ, 75, 874)。先行研究では、磁場強度は約 100 Gauss と推定されていたが、新たな推定では、約 20 Gauss であった。



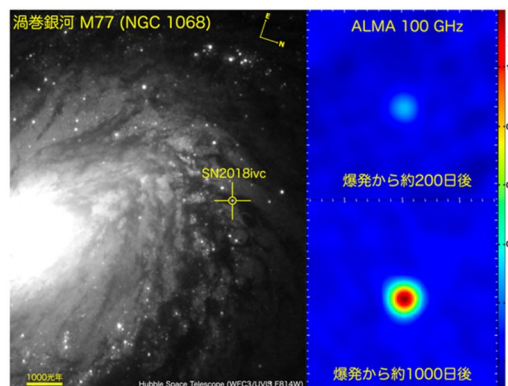
(図1) NGC1068 のセンチ波からサブミリ波における電波連続成分。Michiyama et al. (2023, PASJ, 75, 87) から転載。

(2) NGC 1068 の中心核の解析を行っている最中に、ジェットからの 100 GHz 放射を確認した。kpc スケールのジェット先端部分に、pc スケールの塊状の構造を同定した(図2)。その光度とミリ波スペクトルを確認し、ジェット先端部分において粒子加速(高エネルギー粒子生成)が可能であると論じた。この研究は、研究開始当時は計画していなかったが、報告の即時性が重要であると考え、最優先で報告した (Michiyama et al. 2022, ApJL, 936, 1)。



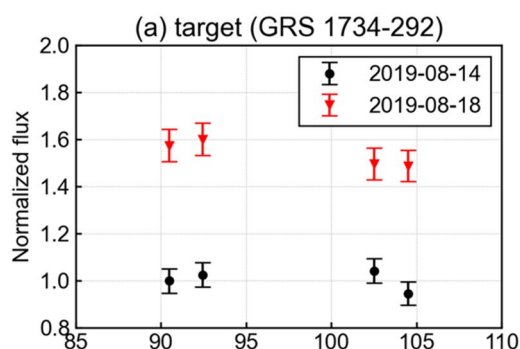
(図2) NGC 1068 の kpc スケールジェット先端部の pc スケールの塊状の構造。Michiyama et al. (2022, ApJL, 936, 1) から転載。

(3) 上記の NGC 1068 の解析を行なっている最中、超新星 SN2018ivc のミリ波再増光(図3)を発見した。本研究の主目的とは異なるが、非常に珍しい現象であり報告の必要性が高いと判断し、関連研究として解析を優先した。理論モデルから、爆発直前の大規模な質量放出で再増光が説明できた。超新星爆発の研究の専門家らと協力して論文を執筆した(Maeda, Michiyama et al., ApJL, 942, 17)。また、本研究成果は、国立天文台、京都大学、大阪大学からプレスリリースとして発表している(<https://alma-telescope.jp/news/press/supernova-202303>)



(図3)超新星 SN2018ivc の ALMA 観測。図はプレスリリースより転載。

(4) NGC 1068 以外の ALMA 観測データを網羅的に調査し、100GHz 帯の明るさが時間変化している天体を発見した(GRS 1734-292)。電波強度の時間変化は、放射起源が「コンパクト」であることを示しており、ブラックホール周辺の高温プラズマが起源であると考えたと辻褄が合う。また、GRS 1734-292 では、フェルミ宇宙望遠鏡によりガンマ線の検出が報告されている。マルチメッセンジャー天文学との相性もよく、重要であるため、サーベイ観測よりも優先度を高く論文にて報告した(Michiyama et al. 2024, ApJ, 965)



(図4) GRS 1734-292 のミリ波時間変化の観測結果。図は Michiyama et al. (2024, ApJ, 965)より転載。

(5) 超巨大ブラックホールと母銀河の今日進化を探るため、ブラックホールの活動性が高い銀河の一酸化炭素分子を野辺山 45m 宇宙電波望遠鏡を用いて観測した。分子ガスの検出には至らなかったものの、観測サンプル選択に関して重要な示唆があるため、論文として発表した(Michiyama et al. 2023, PASJ, 75, 825)

参考文献:

Michiyama et al., The Astrophysical Journal Letters, Volume 936, Issue 1, id.L1, 7 pp, September 2022, ALMA Detection of Parsec-scale Blobs at the Head of a Kiloparsec-scale Jet in the Nearby Seyfert Galaxy NGC 1068

Maeda, Michiyama et al. The Astrophysical Journal Letters, Volume 945, Issue 1, id.L3, 8 pp., March 2023, Resurrection of Type IIL Supernova 2018ivc: Implications for a Binary Evolution Sequence Connecting Hydrogen-rich and Hydrogen-poor Progenitors

Michiyama et al., Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 75, Issue 4, pp.825-832, August 2023, Nobeyama 45 m CO J = 1-0 observations of luminous type 1 AGNs at $z \approx 0.3$,

Michiyama et al., Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 75, Issue 5, pp.874-882, October 2023, The centimeter-to-submillimeter broad-band radio spectrum of the central compact component in a nearby type-II Seyfert galaxy NGC 1068

Michiyama et al., The Astrophysical Journal, Volume 965, Issue 1, id.68, 8 pp., April 2024, ALMA Confirmation of Millimeter Time Variability in the Gamma-Ray Detected Seyfert Galaxy GRS 1734-292

ALMA プレスリリース: <https://alma-telescope.jp/news/press/supernova-202303>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Maeda Keiichi, Michiyama Tomonari, Chandra Poonam, Ryder Stuart, Kuncarayakti Hanindyo, Hiramatsu Daichi, Imanishi Masatoshi	4. 巻 945
2. 論文標題 Resurrection of Type IIL Supernova 2018ivc: Implications for a Binary Evolution Sequence Connecting Hydrogen-rich and Hydrogen-poor Progenitors	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	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/acb25e	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 Maeda Keiichi, Chandra Poonam, Moriya Takashi J., Reguitti Andrea, Ryder Stuart, Matsuoka Tomoki, Michiyama Tomonari, Pignata Giuliano, Hiramatsu Daichi, Bostroem K. Azalee, Kundu Esha, Kuncarayakti Hanindyo, Bersten Melina C., Pooley David, Lee Shiu-Hang, Patnaude Daniel, Rodr?quez ?smar, Folatelli Gaston	4. 巻 942
2. 論文標題 A Multiwavelength View of the Rapidly Evolving SN 2018ivc: An Analog of SN IIf 1993J but Powered Primarily by Circumstellar Interaction	5. 発行年 2022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/aca1b7	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 Bumhyun, Wang Jing, Chung Aeree, Ho Luis C., Wang Ran, Michiyama Tomonari, et al.	4. 巻 262
2. 論文標題 ALMA/ACA CO Survey of the IC 1459 and NGC 4636 Groups: Environmental Effects on the Molecular Gas of Group Galaxies	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	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) 10.3847/1538-4365/ac7eba	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 Michiyama Tomonari, Inoue Yoshiyuki, Doi Akihiro, Yamada Tomoya, Fukazawa Yasushi, Kubo Hidetoshi, Barnier Samuel	4. 巻 965
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	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/ad2fae	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 -

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 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 -

1. 著者名 Michiyama Tomonari, Zhuang Ming-Yang, Shangguan Jinyi, Yesuf Hassen M, Kaneko Hiroyuki, Ho Luis C	4. 巻 75
2. 論文標題 Nobeyama 45 m COJ=1-0 observations of luminous type 1 AGNs at $z \sim 0.3$	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 825 ~ 832
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psad039	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 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 道山知成
2. 発表標題 Nobeyama 45-m CO J =1-0 Observations of Luminous Type 1 AGNs at $z \sim 0.3$
3. 学会等名 日本天文学会2023年春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 道山知成
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2022年秋季年会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Tomonari Michiyama
2. 発表標題 ALMA Detection of Parsec-scale Blobs at the Head of a Kiloparsec-scale Jet in the Nearby Seyfert Galaxy NGC 1068
3. 学会等名 A half century of millimeter and submillimeter astronomy: Impact on astronomy/astrophysics and the future (国際学会)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Tomonari Michiyama
2. 発表標題 Submillimeter Atomic Carbon and Mid-J CO Observations in Nearby Luminous Infrared Galaxies
3. 学会等名 Molecular Gas in Nearby Galaxies Mini-Workshop (on invitation only) (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomonari Michiyama
2. 発表標題 The ALMA and Fermi view of the Seyfert 1 AGN GRS 1734-292
3. 学会等名 2023 Asia-Pacific Regional IAU Meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 道山知成、他
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
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 道山知成
2. 発表標題 An ACA Survey of [CII](1-0), CO(4-3), and Dust Continuum in Nearby U/LIRGs
3. 学会等名 アタカマコンパクトアレイで探る星間ガス: 星・惑星形成から銀河まで (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomonari Michiyama et al.
2. 発表標題 ALMA Confirmation of Millimeter Time Variability in the Gamma-Ray Detected Seyfert Galaxy GRS 1734-292
3. 学会等名 ALMA at 10 years: Past, Present, and Future (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomonari Michiyama
2. 発表標題 The centimeter-to-submillimeter broad-band radio spectrum of the central compact component in a nearby type-II Seyfert galaxy NGC 1068
3. 学会等名 Black hole astrophysics with VLBI 2024 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Tomonari Michiyama
2. 発表標題 ALMA DenseGAS Survey
3. 学会等名 Dense GAS in Nearby Galaxies; ALMA Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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1件

国際研究集会	開催年
Dense GAS in Nearby Galaxies; ALMA Workshop	2024年 ~ 2024年

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