

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14529

研究課題名（和文）活動銀河核からの X 線放射の星形成史への影響の研究

研究課題名（英文）Study of an impact of X-ray emission from the active galactic nucleus on star-formation history

研究代表者

川室 太希（Kawamuro, Taiki）

国立研究開発法人理化学研究所・開拓研究本部・基礎科学特別研究員

研究者番号：60867935

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000 円

研究成果の概要（和文）：銀河中心にある超巨大ブラックホールのなかで、特に質量降着しつつ周辺にその重力エネルギーを開放している活動銀河核は、母銀河の性質に影響を及ぼすと考えられている。そこで我々は X 線とサブミリ・ミリ波の観測によってその影響について研究を行った。X 線を用いることで、活動銀河核からの放射がどのような空間領域に影響を及ぼしているか推測できる。一方、サブミリ・ミリ波帯域にある分子輝線の観測からその領域での星間物質、または星形成の源がどのような影響を受けているのか調査できる。近傍の活動銀河核について調査した結果、X 線放射によって星間物質の性質が変化し星形成を抑制する可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

宇宙に数多ある銀河の中心には、超巨大ブラックホールが存在する。そしてそれらの中には、周囲からガスが勢いよく降り注いでいるものがある。また同時に、それらは太陽の100億倍の光度にもなる光を放ち、宿主の銀河の性質に影響を及ぼすと考えられている。そこで我々は X 線とサブミリ・ミリ波観測を用いて、その影響について研究を行った。X 線を用いることで、放射がどのような空間領域に影響を及ぼしているか推測できる。一方、サブミリ・ミリ波帯域の観測からその領域で、星形成の源がどのような影響を受けているのか調査できる。近傍のブラックホールについて調査した結果、X 線放射が星形成を抑制しているかもしれない可能性がわかった。

研究成果の概要（英文）：Among supermassive black holes at the centers of galaxies, active galactic nuclei (AGN), where mass accretion is taking place by releasing its gravitational energy to the surrounding region, are expected to affect the properties of their host galaxies. We studied the effects of AGN by X-ray and submm/mm observations. The X-ray observation can probe regions that are affected by the X-ray radiation from AGN. On the other hand, observations of molecular emission lines in the submm/mm bands allow us to investigate how the interstellar medium or the sources of star formation are affected in these regions. Our study of nearby AGN finds a possibility that AGN X-ray emission could change the properties of the interstellar medium and suppress star formation.

研究分野：天文学

キーワード：超巨大ブラックホール 活動銀河核

## 1. 研究開始当初の背景

巨大銀河の中心には、普遍的に超巨大ブラックホールが存在すると考えられている。それらブラックホールのうち、特に質量降着している系は太陽 100 個分にもなるほど光り輝いており、活動銀河核 (AGN: active galactic nucleus) と呼ばれる。そしてこれまでの研究から、AGN は母銀河の星形成現象に影響を及ぼすことが示唆されている。本研究では特に、分子ガス量と星形成率には正の相関が示されていること、また AGN の X 線によって分子ガスの解離が進むという理論的な予測をもとに、AGN は X 線によって星形成を抑制するかもしれない可能性に着目した。

## 2. 研究の目的

本申請課題の目的は、宇宙の歴史のなかで星形成に重要であると考えられている分子ガスが AGN によってどれだけ解離されてきたかを評価することである。より具体的には、近傍 AGN について X 線光度と分子ガスの解離量の関係を明らかにし、AGN X 線光度関数 (単位光度、単位体積あたりの AGN の数) をもとに、宇宙年齢 10% から今に至るまでの星形成への宇宙論的な影響を明らかにすることである。

## 3. 研究の方法

研究対象となるサンプル選択には、硬 X 線サーベイ装置 Swift/BAT による AGN カタログを用いた。透過力の高い硬 X 線選択により、可視光観測などでは周辺ガスに隠されて見落とされてしまうような AGN であっても選択が可能である。この無バイアスな AGN サンプルの中で特に、X 線望遠鏡 Chandra で観測されているかつ、ALMA で一酸化炭素の回転遷移輝線 CO(J=2-1) が 1 秒角以下で観測されている 26 天体に着目した。Chandra は X 線で一番高い空間分解能を達成し、それを活かすことでまず、Chandra で分離できるほど広がった (>~ 600 光年) 6.4 keV の鉄輝線を探索した。これにより AGN からの X 線に照射されている領域がわかる。次に ALMA を用いて、Chandra と同等の分解能で CO の空間分布を明らかにした。

## 4. 研究成果

Chandra のデータ解析の結果、6 天体で空間的に広がった鉄輝線を検出し、それらの等価幅が AGN からの X 線放射が鉄を電離することで出る蛍光 X 線の予測と一致することがわかった。さらに、高い有意度で検出された 2 天体で (図1)、鉄と CO 輝線の分布が分離していることがわかった。つまり、AGN からの X 線が星間物質の状態を変化させている可能性があることがわかった。

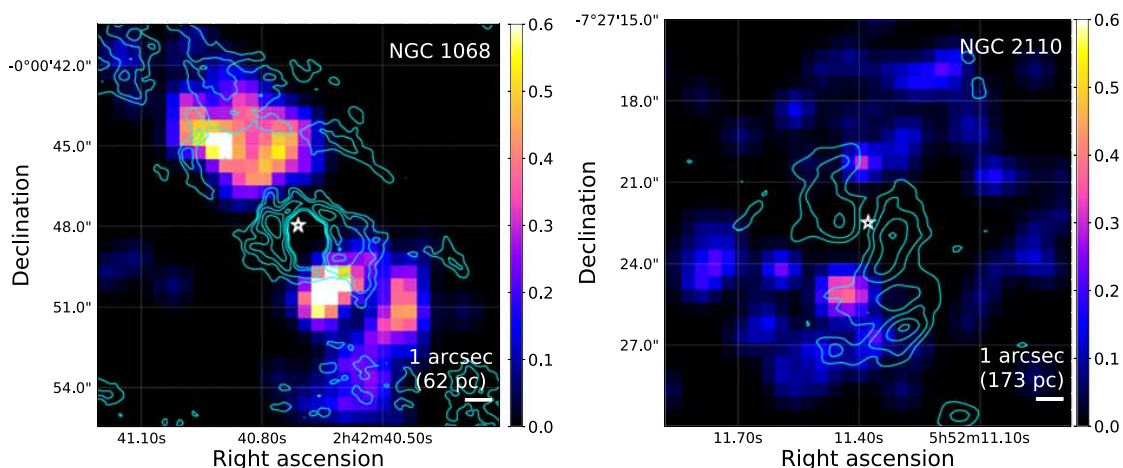


図1: 2 天体 (NGC 1068 と NGC 2110) について、CO (コントア) と鉄輝線 (カラーイメージ) の空間分布。

加えて、Chandra では分離できないような領域 ( $\sim 600$  光年) でも、興味深い示唆を得た。(1) SMBH 近傍からの X 線光度と CO 輝線の強度には正の相関がある (図2左)。(2) HCN(J=1-0)/CO(J=2-1) の比が、X 線光度が高いほど小さくなる (図2左)。ここで、HCN(J=1-0) は、密度の濃いガスから出る。(3) 鉄輝線と連続 X 線放射の光度の比が、X 線光度が明るくなるほど小さくなる (図2右)。これらは、AGN への質量降着によって X 線光度が上がる一方で、その放射によって周りのガス密度が放出流によって小さくなっていくことで説明できることがわかった。以上は、欧文雑誌にて 2 編の論文として出版受理された。当初予定していた光度関数を用いた議論は、X 線と CO 分子の解離の相関が見られるほどサンプルが集まらなかったのを断念した。

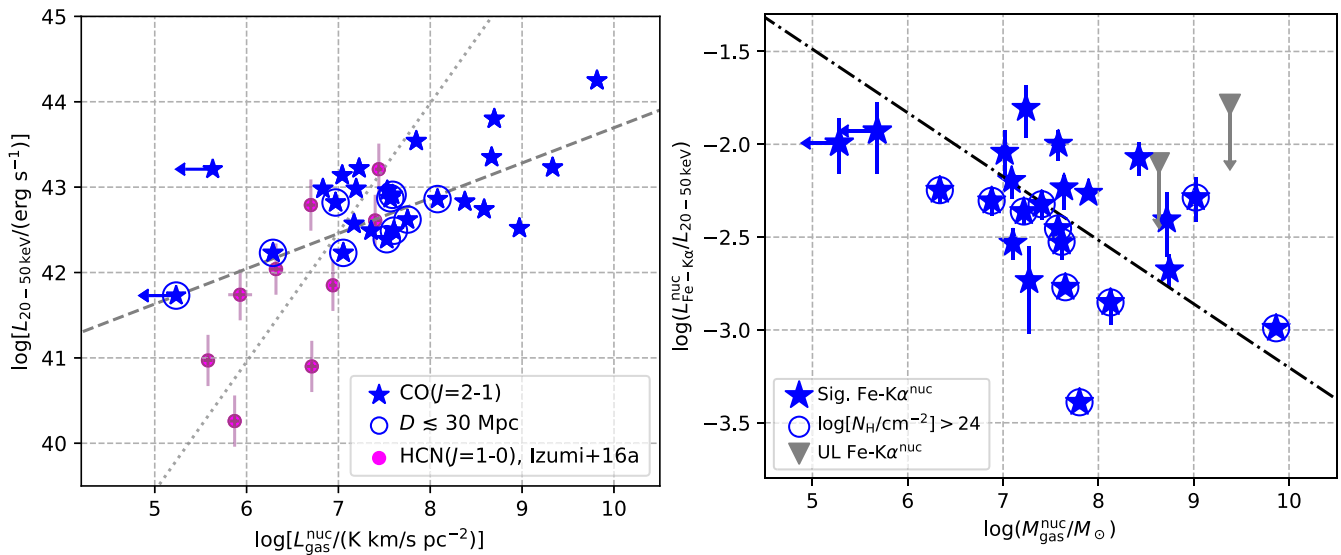


図2左：分子ガス (青 = CO ガス、紫 = HCN ガス) の光度とX線光度との間の正の相関。図2右：分子ガス質量に対する鉄輝線とX線光度の比率。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件／うち国際共著 10件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Uematsu Ryosuke, Ueda Yoshihiro, Tanimoto Atsushi, Kawamuro Taiki, Setoguchi Kenta, Ogawa Shoji, Yamada Satoshi, Odaka Hirokazu	4. 巻 913
2. 論文標題 X-Ray Constraint on the Location of the AGN Torus in the Circinus Galaxy	5. 発行年 2021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/abf0a2	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 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, et al.	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 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 [CI] 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 Ichikawa Kohei, Yamashita Takuji, Toba Yoshiki, Nagao Tohru, Inayoshi Kohei, Charisi Maria, He Wanqiu, Wagner Alexander Y., Akiyama Masayuki, Vijarnwannaluk Bovornpratch, Chen Xiaoyang, Kajisawa Masaru, Kawamuro Taiki, Lee Chien-Hsiu, Matsuoka Yoshiki, Schramm Malte, Suh Hyewon, Tanaka Masayuki, et al.	4. 巻 921
2. 論文標題 A Wide and Deep Exploration of Radio Galaxies with Subaru HSC (WERGS). IV. Rapidly Growing (Super)Massive Black Holes in Extremely Radio-loud Galaxies	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 51 ~ 51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac1b26	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 Nguyen Dieu D, Bureau Martin, Thater Sabine, Nyland Kristina, den Brok Mark, Cappellari Michele, Davis Timothy A, Greene Jenny E, Neumayer Nadine, Imanishi Masatoshi, Izumi Takuma, Kawamuro Taiki, Baba Shunsuke, Nguyen Phuong M, Iguchi Satoru, Tsukui Takafumi, Lam T N, Ho Than	4. 巻 509
2. 論文標題 The MBHBM Project-II. Molecular gas kinematics in the lenticular galaxy NGC 3593 reveal a supermassive black hole	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 2920 ~ 2939
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stab3016	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, Isobe 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 ~ 184
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 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 ~ 135
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 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 ~ 75
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 Noda Hirofumi, Kawamuro Taiki, Kokubo Mitsuru, Minezaki Takeo	4. 巻 495
2. 論文標題 Dust reverberation mapping of type 2 AGN NGC 2110 realized with X-ray and 3-5 $\mu$ m IR monitoring	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 2921 ~ 2929
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa1376	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 Yamashita Takuji, Nagao Tohru, Ikeda Hiroyuki, Toba Yoshiki, Kajisawa Masaru, Ono Yoshiaki, Tanaka Masayuki, Akiyama Masayuki, Harikane Yuichi, Ichikawa Kohei, Kawaguchi Toshihiro, Kawamuro Taiki, Kohno Kotaro, Lee Chien-Hsiu, Lee Kianhong, Matsuoka Yoshiki, Niida Mana, Ogura Kazuyuki, Onoue Masafusa, Uchiyama Hisakazu	4. 巻 160
2. 論文標題 A Wide and Deep Exploration of Radio Galaxies with Subaru HSC (WERGS). III. Discovery of a $z = 4.72$ Radio Galaxy with the Lyman Break Technique	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 60 ~ 60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/ab98fe	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 Chen Xiaoyang, Ichikawa Kohei, Noda Hirofumi, Kawamuro Taiki, Kawaguchi Toshihiro, Toba Yoshiaki, Akiyama Masayuki	4. 巻 905
2. 論文標題 NuSTAR Non-detection of a Faint Active Galactic Nucleus in an Ultraluminous Infrared Galaxy with Kpc-scale Fast Wind	5. 発行年 2020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/abca30	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 Izumi Takuma, Onoue Masafusa, Matsuoka Yoshiaki, Strauss Michael A., Fujimoto Seiji, Umehata Hideki, Imanishi Masatoshi, Kawamuro Taiki, et al.	4. 巻 908
2. 論文標題 Subaru High-z Exploration of Low-luminosity Quasars (SHELLQs). XII. Extended [C ii] Structure (Merger or Outflow) in a $z = 6.72$ Red Quasar	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 235 ~ 235
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abd7ef	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 Gupta K K, Ricci C, Tortosa A, Ueda Y, Kawamuro T, Koss M, Trakhtenbrot B, Oh K, Bauer F E, Ricci F, Privon G C, Zappacosta L, Stern D, Kakkad D, Piconcelli E, Veilleux S, Mushotzky R, Caglar T, Ichikawa K, Elagali A, Powell M C, Urry C M, Harrison F	4. 巻 504
2. 論文標題 BAT AGN Spectroscopic Survey XXVII: scattered X-Ray radiation in obscured active galactic nuclei	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 428 ~ 443
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stab839	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6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Kawamuro, T.
2. 発表標題 Circumnuclear Scale Gas around Nearby AGN Studied with Chandra and ALMA CO (J=2-1)
3. 学会等名 European Astronomical Society Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川室太希
2. 発表標題 KOOLS-IFU ToO Observations toward eROSITA-selected Tidal Disruption Event Candidates
3. 学会等名 2021年度せいめいユーズーズミーティング
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川室太希
2. 発表標題 硬 X 線と強い相関関係を示すミリ波放射の発見とその起源について
3. 学会等名 ブラックホールジェット・降着円盤・円盤風研究会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川室太希
2. 発表標題 Chandra と ALMA CO(J=2-1) データを用いた AGN の X 線放射が周辺ガスに与える影響の研究
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 川室太希
2. 発表標題 Chandra と ALMA を用いた NGC 2110 における X 線による分子ガス破壊現象の検証
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 Kawamuro, Taiki
2. 発表標題 Spatially-resolved Chandra and ALMA studies of molecular gas destruction due to AGN X-ray emission
3. 学会等名 Probing the Extragalactic Universe with High Energy and Very High Energy Sources (国際学会)
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
---------------------------	-----------------------	----

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			
チリ	Universidad Diego Portales			
米国	The University of Maryland			
英国	University of Southampton			
ベトナム	International University			
ドイツ	Max Planck Institute for Astrophysics			
チリ	Universidad Diego Portales			
スウェーデン	Chalmers University			
米国	Princeton University			