

令和 3 年 6 月 16 日現在

機関番号：11301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2020

課題番号：19K23452

研究課題名（和文）多波長高空間分解観測で迫るAGNフィードバックの物理機構

研究課題名（英文）Physical processes of AGN feedback studied by multiwavelength and high spatial-resolution IFU observations

研究代表者

寺尾 航暉（Terao, Koki）

東北大学・理学研究科・学術研究員

研究者番号：60849967

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,400,000円

研究成果の概要（和文）：活動銀河核（AGN）によるアウトフロー現象が母銀河の星形成活動を止めるのか否かを明らかにするため、せいめい望遠鏡可視光面分光装置KOOLS-IFUを用いた観測計画に参加し、面分光観測の手法や銀河合体の進行度合いに伴うAGNの発現、母銀河の星形成活動との関係などに関して議論を進めた。SDSS MaNGAサーベイによるAGNの可視光面分光観測データから、AGNでは一般的な星形成銀河と比較してガス密度が高く、激しい運動を示すことが分かった。これは銀河中心核のアウトフロー現象によって銀河中心領域に存在するガスが母銀河スケールまで運ばれている可能性を示唆している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

面分光観測を活用することで空間分解した銀河の力学・物理状態に迫ることができるため、様々な理論モデルで提唱されているAGNフィードバック現象の物理機構にこれまでよりも強い制限、示唆を得ることができるようになった。より詳細な物理機構に迫るためには、大気による星像の劣化を補正する補償光学を活用した地上大口径望遠鏡による面分光観測が必須である。現在所属している補償光学装置の開発グループの一員としての活動を通して、補償光学を大口径望遠鏡で実現させるとともに、補償光学を観測的研究に用いるための最適な手法について知見を得ることができた。

研究成果の概要（英文）：In order to clarify whether the outflow phenomenon of active galactic nuclei (AGN) stops the star formation activity of the host galaxy, we have performed optical IFU observations using the KOOLS-IFU boarded on the Seimei telescope. We can discuss the observational method of the IFU spectroscopy, the expression of AGN with the progress stages of galaxy mergers, and the relationship with the star formation activity of the host galaxy and AGN-driven outflow properties. Optical IFU data obtained from the SDSS MaNGA survey show that AGNs have higher gas densities and more disturbed kinematics compared to star-forming galaxies. These results suggest that gas in the nuclear region of the galaxy is probably transferred to the scale of the host galaxy by AGN outflows.

研究分野：銀河天文学

キーワード：活動銀河核 銀河進化 多波長天文学

### 1. 研究開始当初の背景

銀河中心の超巨大ブラックホール (SMBH: Super Massive Black Hole) へのガス降着によって激しい活動性を示す活動銀河核 (AGN: Active Galactic Nucleus) は、その強い放射やアウトフロー (放射圧による質量放出) によって母銀河に様々な影響を与えることが知られている。とりわけ、母銀河での星形成が抑制される現象 (AGN フィードバック) は、大質量銀河の成長を制限してきたと考えられている。近年の観測から、銀河中心に存在する SMBH の質量と母銀河のバルジ成分の星質量の間に強い相関があることが明らかになった。この関係は、宇宙の歴史の中で SMBH と銀河が互いの質量増加に対して影響を及ぼし合いながら進化してきたことを示唆している。これを SMBH と銀河の共進化と呼び、その物理的起源をめぐって現在でも未だ盛んに議論されている。

SMBH ( $\sim 10^5$  pc の空間スケール) は質量 (ガス) 降着によってその質量を、また母銀河 ( $\sim 10^4$  pc の空間スケール) は銀河内に存在するガスからの星形成によって星質量を増加させる。このように異なるメカニズムの質量増加が全く異なる空間スケール (約 9 桁の差) で行われているにもかかわらず、なぜ両者の間に比例関係が存在するのかという謎は解明されていない。この共進化の物理を理解する上で、AGN によるフィードバック現象が重要な鍵として注目されている。ここで AGN フィードバックとは、AGN からの放射やガスアウトフローによって星間ガスを加熱する、あるいは銀河外へ吹き飛ばしてしまうなど、母銀河の星間ガスに影響を与える現象のことである。これにより、母銀河での星形成が抑制され、さらには星形成に伴う SMBH へのガス供給も阻害されるため、AGN フィードバックは銀河進化および SMBH 進化に対して大きな影響を与えていると考えられている。しかし、AGN フィードバックがどのような物理機構で星間物質へ影響を及ぼすのか、その具体的な観測的証拠は未だ得られておらず、SMBH と銀河の共進化に対する我々の理解を阻んでいる。

### 2. 研究の目的

AGN フィードバックの物理機構を理解するには、その現象を直接観測することが一番の近道である。そこで、本研究では最先端の観測装置と補償光学装置を用いた過去最高の空間分解能によって、AGN 中心領域が空間分解できる近傍宇宙 (赤方偏移  $z \sim 0.01$  で数 pc から数十 pc スケールまで分解可能) に存在する AGN をターゲットとした観測を行う。これにより、BH 近傍から銀河全体における電離ガスと分子ガスの空間分布と力学状態を直接観測して求める。BH 近傍からの放射による電離ガスのアウトフローが、母銀河に存在する分子ガスの運動と関係しているのか、星形成を止めるのか否かを明らかにする。そして、共進化の物理過程において AGN フィードバックが果たす役割を解明することを目的とする研究を行う。

### 3. 研究の方法

本研究で、AGN によるアウトフローが銀河に存在する原子・分子ガスにどれだけ影響を与えているかを明らかにする。以下にその詳細を述べる。(1) 補償光学を用いた可視光・近赤外線面分光観測から、数十 pc 以下のスケールでの電離ガスの力学状態および物理状態を取得することで、アウトフローの詳細な空間構造を推定する。近赤外線 [Fe II]/[P II] 輝線強度比マップからは、アウトフローと銀河に存在する分子ガスなどの星間物質との相互作用による衝撃波が発生している現場を捉えることができる。(2) ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) による世界最高の空間分解能を活かした観測データから、銀河全体で詳細な分子ガスの力学状態および物理状態を取得する。(3) 得られた分子ガス質量や物理状態から、星形成率面密度を推定する。申請者による観測提案およびアーカイブデータからこれらの観測データを収集し、電離ガスのアウトフローの空間構造、星形成を行う分子ガスの力学状態を取得できる。この多相ガスの空間情報を用いて、電離ガスのアウトフローが分子ガスの運動に何らかの影響を与えるのか議論する。さらに SDSS (Sloan Digital Sky Survey) のスペクトルデータや X 線データから AGN の性質に関わる物理量 (Eddington ratio, AGN 光度, BH mass など) を取得することで、アウトフローが発生する要因や AGN 活動へのフィードバック現象の効果 (BH への降着率の増減) について議論する。また、ガス力学の空間情報から銀河内を伝わるアウトフローの空間構造および力学エネルギーが推定でき、アウトフローが起源の AGN フィードバックに関する理論モデルへ観測的制限を与えることができる。また、アウトフローの空間構造と電波連続光によるジェットの空間構造との比較から、アウトフローの起源がジェットなのか BH 近傍からの放射立体角の大きな輻射圧なのか議論を行うことができる。

#### 4. 研究成果

活動銀河核 (AGN) によるアウトフロー現象が母銀河の星形成活動を止めるのか否かを明らかにするため、岡山天文台せいめい望遠鏡の可視光面分光装置 KOOLS-IFU を用いた観測計画に参加した。面分光観測の手法や面分光データの解析手法、銀河合体の進行度合いに伴う AGN の発現、母銀河の星形成活動と AGN アウトフロー現象との関係など、本研究を推進するにあたって重要な観測技術、AGN の性質などについて知見を得た。これらの観測結果は、現在論文投稿に向けて作業が進んでいる。

SDSS MaNGA サーベイによる AGN の可視光面分光観測データから、AGN では一般的な星形成銀河と比較してガス密度が高く、激しい運動を示すことが分かった。これは AGN のアウトフロー現象によって銀河中心領域に存在するガスが母銀河スケールまで運ばれている可能性を示唆している (Joh, K. et al. accepted by PASJ)。

先行研究およびアーカイブデータの探査から近傍 AGN の近赤外線面分光観測のデータ収集を進めて、ガスの力学情報や物理情報を基に AGN アウトフローと衝撃波の発生現場との関係を議論する論文の投稿準備を進めている。より強い電波ジェットを持つ AGN を対象として、電波ジェットを起源とする衝撃波を調査するために、欧州南天天文台 LaSilla 観測所で取得した近赤外線分光データの解析を進めている。多波長の先行研究およびアーカイブデータを加えて、近傍電波銀河での AGN アウトフローと星間物質との相互作用による衝撃波の有無とその母銀河の性質を議論した論文を準備中である。

当初予期していなかった成果として、本研究を推進するために必須の観測技術である補償光学に関する成果がある。現在所属している開発チームの一員としてすばる望遠鏡でレーザートモグラフィ補償光学を実現するための開発研究を実施することで、補償光学を科学観測に用いるための最適な手法に関して知見を得ることができた (Akiyama, M. et al. 2020, SPIE, 11448, 18)。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Terao Koki, Akiyama Masayuki, Oya Shin	4. 巻 Volume 11448
2. 論文標題 Measurements of image quality and surface shape of microlens arrays for Shack-Hartmann wavefront sensors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE	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） 10.1117/12.2562199	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 Akiyama Masayuki, Minowa Yosuke, Ono Yoshito H., Terao Koki, Ogane Hajime, Oomoto Kaoru, Iizuka Yuta, Oya Shin, Mieda Etsuko, Yamamuro Tomoyasu	4. 巻 Volume 11448
2. 論文標題 ULTIMATE-START: Subaru tomography adaptive optics research experiment project overview	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE	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） 10.1117/12.2560872	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 0件/うち国際学会 6件）

1. 発表者名 秋山正幸、寺尾航暉、大金原
2. 発表標題 レーザートモグラフィーによる高精度補償光学
3. 学会等名 第15回「補償光学研究開発のための情報交換会(オンライン)」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masayuki Akiyama, Yosuke Minowa, Yoshito Ono, Koki Terao, Hajime Ogane, Kaoru Oomoto, Yuta Iizuka, Shin Oya, Etsuko Mieda, Tomoyasu Yamamuro
2. 発表標題 ULTIMATE-START : project status
3. 学会等名 Subaru Users Meeting FY2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koki Terao, Masayuki Akiyama, Shin Oya
2. 発表標題 Measurements of image quality and surface shape of microlens arrays for Shack-Hartmann wavefront sensors
3. 学会等名 SPIE ASTRONOMICAL TELESCOPES + INSTRUMENTATION, Adaptive Optics Systems VII (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masayuki Akiyama, Yosuke Minowa, Yoshito Ono, Koki Terao, Hajime Ogane, Kaoru Oomoto, Yuta Iizuka, Shin Oya, Etsuko Mieda, Tomoyasu Yamamuro
2. 発表標題 ULTIMATE-START: Subaru tomography adaptive optics research experiment project overview
3. 学会等名 SPIE ASTRONOMICAL TELESCOPES + INSTRUMENTATION, Adaptive Optics Systems VII (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 寺尾航暉、秋山正幸、大金原、飯塚悠太、美濃和陽典、大屋真、大野良人、山室智康
2. 発表標題 ULTIMATE-START: すばる望遠鏡レーザートモグラフィー補償光学の開発
3. 学会等名 第9回 可視赤外線観測装置ワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 城和磨、長尾透、和田桂一、寺尾航暉、山下拓時
2. 発表標題 MaNGA surveyデータで探るNLR形成に与えるAGN活動の影響
3. 学会等名 日本天文学会2020年春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鳥羽儀樹、山田智史、上田佳宏、松林和也、Kyuseok Oh、太田耕司、寺尾航暉、樋本一晴、登口暁、加藤奈々子、城和磨、玉田望、米倉直紀、長尾透、鍛冶澤賢
2. 発表標題 KOOLS IFUを用いた近傍超/高光度赤外線銀河の観測
3. 学会等名 面分光研究会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tohru Nagao、Koki Terao、Yusuke Nitta、Kenta Matsuoka、Takuji Yamashita、Yoshiki Toba、Roberto Maiolino、Alessandro Marconi
2. 発表標題 High-z narrow-line regions in AGNs
3. 学会等名 Subaru telescope 20th anniversary (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koki Terao、Masayuki Akiyama、Hajime Ogane、Kaoru Oomoto、Yuta Iizuka、Yosuke Minowa、Shin Oya、Yoshito Ono、Etsuko Mieda、Tomoyasu Yamamuro
2. 発表標題 ULTIMATE-START I: Subaru Tomography Adaptive optics Research experiment overview
3. 学会等名 Subaru telescope 20th anniversary (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshito Ono、Masayuki Akiyama、Yosuke Minowa、Etsuko Mieda、Koki Terao、Hajime Ogane、Kaoru Oomoto、Yuta Iizuka、Shin Oya、Tomoyasu Yamamuro
2. 発表標題 ULTIMATE-START II : Performance evaluation with AO simulations
3. 学会等名 Subaru telescope 20th anniversary (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
--	---------------------------	-----------------------	----

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