

## 学位論文の審査結果の要旨

本論文は、キューサー（遠方宇宙に存在する活動銀河中心核）から噴き出すガス流（アウトフロー）にみられる時間変動の起源に対し、現在もっとも有力視されている「電離状態変動（Variable Ionization State; VIS）シナリオ」を、測光・分光同時モニター観測を通して検証したものである。また本研究では、mini-BAL/NAL キューサーと呼ばれる特殊なカテゴリーに属するキューサーを研究対象としており、新しい視点からアウトフローの変動性を探ることを目的とした斬新な研究であるといえる。

銀河中心に存在する大質量ブラックホールの近傍には、強力な重力によって引き込まれた周囲のガスが角運動量を保持したまま円盤状の構造（降着円盤）を形成する。摩擦で加熱された降着円盤表面からは、輻射圧によってガスがアウトフローとして放出される。このアウトフローは、降着円盤から角運動量を抜き去り、新たなガス降着を促進する（すなわち中心ブラックホールの成長に不可欠な効果をもたらす）だけでなく、周囲の星間・銀河間空間のガスを攪拌することによって星形成活動を抑制したり、豊富な重元素のばら撒きを通して宇宙の化学進化にも影響を与えるため、銀河進化や宇宙進化を考える上で極めて重要な要素であるといえる。従来アウトフローの研究は、キューサーのスペクトル上で検出される線幅の大きい吸収線（Broad Absorption Line; BAL）の検出を通して行われてきたが、BAL はアウトフローの本流を貫いているときに検出されるという長所を持つ一方で、あまりにも吸収構造が強いために詳細な内部構造を探ることができないという課題が指摘されていた。そこで本研究では、アウトフローの「支流」に対応する mini-BAL, あるいは Narrow Absorption Line (NAL) をもつキューサーをあえてターゲットとして選択し、その物理的諸性質を3年以上にわたる長期測光・分光観測を通して探り、VIS シナリオの検証を行っている。

第1章では、キューサーやアウトフローの諸性質を豊富な先行研究を引用しつつ、バランスよくまとめている。その中で、アウトフローのうち、BAL と mini-BAL のみが明確な時間変動を示し NAL については非常に安定していること、及び時間変動の原因についてはいまだに解明されていないことに触れ、本研究の動機づけを行っている。第2章では、サンプル選択の基準、および実際に行った観測の詳細を扱っている。本研究では、東京大学木曾観測所での測光観測を42晩、国立天文台岡山天体物理観測所での分光観測を4晩行っており、その膨大な観測とデータ解析に対する労力がうかがえる。結果については第3章にまとめられている。まず、観測した mini-BAL キューサー4天体、NAL キューサー5天体に対する測光モニター観測の結果を、Structure Function (SF) 解析とよばれる手法を用いて評価している。また、SF 解析の結果を先行研究に倣って power-law 関数、漸近関数による2つの関数でフィットして、それぞれのカテゴリーに属する光度変動パターンを比較している。その結果、mini-BAL と NAL を有するキューサー間に有意な差が見られないことが分かった。また、光度変動の傾向として、明るいキューサーほど変動が小さいこと、長波長側ほど変動が小さいことを確認しているが、いずれも先行研究の結果と一致するものである。第4章では、唯一分光観測が行えた mini-BAL キューサー

HS1603+3820 に対する、測光・分光モニター観測の結果を考察している。両者はおよそ 9 か月の時間差を以て同期している傾向がみられた。これは VIS シナリオを支持するものであるが、本人も述べている通り、分光観測の精度が不十分であるために強い主張をすることは困難である。高性能の観測装置による追観測が不可欠であると思われる。第 5 章の結論につづき、第 6 章では将来的な展望が触れられている。X 線観測による warm absorber の観測が提案されており、今後の研究に対する具体的な方向性が示されている。

本研究では mini-BAL クェーサーに対するアウトフローの時間変動の起源の解明に重要な知見を与えることに成功しており、またその結果は、学術誌に筆頭著者として報告されている。このため、論文内容、体裁共に学位論文に充分相当するものと判断した。

#### 公表主要論文名

- Takashi Horiuchi, Toru Misawa, Tomoki Morokuma, Suzuka Koyamada, Kazuma Takahashi, Hisashi Wada, “Optical variability properties of mini-BAL and NAL quasars”, 2016, Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 68, Issue 4, id.48, 19 pp.
- Tomoki Morokuma, et al. (59 名中 28 番目), “Kiso Supernova Survey (KISS): Survey strategy”, 2014, Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 66, Issue 6, id.114, 16 pp.
- Toru Misawa, Naohisa Inada, Masamune Oguri, Poshak Gandhi, Takashi Horiuchi, Suzuka Koyamada, Rina Okamoto, “Resolving the Clumpy Structure of the Outflow Winds in the Gravitationally Lensed Quasar SDSS J1029+2623”, 2014, The Astrophysical Journal Letters, Volume 794, Issue 2, article id. L20, 5 pp.