

氏名（本籍・生年月日）	堀内 貴史（新潟県・平成1年3月18日）
学位の種類	博士（理学）
学位記番号	甲 第 118 号
学位授与の日付	平成29年 3月 20日
学位授与の要件	信州大学学位規程 第5条第1項該当
学位論文題目	AGN アウトフローにみられる時間変動の起源の解明
論文審査委員	主査 三澤 透 准教授 諸隈 智貴 助教 宗像 一起 教授 竹下 徹 教授 長谷川 庸司 准教授

論 文 内 容 の 要 旨

本研究では宇宙で最大規模の明るさを誇る活動銀河中心核（クェーサー）から放出されるガス流（アウトフロー）にみられる時間変動の原因の解明を、可視測光・分光同時モニター観測によって試みた。従来のアウトフローの本流を調査した研究と異なり、アウトフローの「支流」を調査したのが本研究の特徴である。

クェーサーの降着円盤からの輻射によって水素イオン、炭素イオンや、窒素イオンなどからなるアウトフローと呼ばれる高速度（ $10,000 \text{ km s}^{-1}$ 程度）のガス流が放出されている。アウトフローはクェーサーのスペクトル上の吸収線を用いて研究されるが、その吸収線は3つのカテゴリー、BAL（Broad Absorption Line, 速度幅 $\geq 2,000 \text{ km s}^{-1}$ ）、mini-BAL（ $500 \text{ km s}^{-1} \leq$ 速度幅 $< 2,000 \text{ km s}^{-1}$ ）及び、NAL（Narrow Absorption Line, 速度幅 $< 500 \text{ km s}^{-1}$ ）に分類される。これらの吸収線は深さや形状が時間変動を示し、BALとmini-BALのみが数ヶ月-数年間で時間変動をしやすいことが知られているが時間変動の原因は詳しく調べられていない。BALはアウトフローの本流を調査できるゆえに、従来のアウトフロー研究で盛んに用いられてきた。しかしながらその吸収構造の広さゆえにモデルフィットによる物理量の評価が不可能という欠点がある。そこで本研究は物理量の評価が可能でなおかつ、アウトフローの支流を調査できるmini-BALとNALを対象とした。

本研究ではmini-BALとNALの時間変動の原因として最も有力なvariable ionization state（VIS）シナリオを検証した。このシナリオはクェーサーの光度変動がアウトフローの電離状態に変化を与えた結果、光電離や再結合によって対応するイオンの存在比が変わり、アウトフローの吸収線が時間変動するというものである。すなわち、クェーサーの光度とmini-BAL（あるいはNAL）の変動が同期していることを観測で検証できれば、VISシナリオを支持する結果となる。また時間変動しにくいNALと、mini-BALを調べることで性質の違いを比較できる。

VIS シナリオを検証するために、クェーサーの可視光（クェーサーの静止系で電離光子に近い紫外線の領域）の光度変動と mini-BAL と NAL の変動を同時期に検証する、可視測光・分光同時モニター観測を試みた。測光、分光観測に用いた望遠鏡はそれぞれ 105cm シュミット望遠鏡 /KWFC（木曾観測所）と、188cm 反射望遠鏡/KOOLS（岡山天体物理観測所）である。観測天体は日本で観測可能な、一般的なクェーサーと比較して非常に明るい mini-BAL クェーサー4 天体と NAL クェーサー5 天体（計 9 天体）である。観測頻度は年に 4 回程度で、2012 年から 3 年間以上にわたり継続して行った。

測光モニター観測のデータに対し光度変動の Structure Function 解析を行った結果、一般のクェーサーにみられる i) 観測の時間間隔が大きいほど光度変動幅の最大値は大きくなる、ii) 短波長側ほど光度変動幅が大きい（明るくなると青くなる）という性質を本研究で用いた mini-BAL、NAL クェーサーでも確認した。mini-BAL と NAL クェーサーの光度変動の最大値はそれぞれ 0.23 等（HS1603+3820）と 0.30 等（Q1700+6416）である。一般的なクェーサーの光度変動幅は数ヶ月で 0.1 等程度、数年で 0.5 等程度であるので、本研究で観測対象とした mini-BAL と NAL クェーサーは比較的小さな光度変動幅を示したことになる。この結果は iii) 高光度クェーサーほど光度変動幅が小さい、という性質によるものである。しかし平均的な光度変動の大きさを mini-BAL と NAL クェーサーの両者で比較したところ、有意な差は確認できず、観測される光度変動の差異がアウトフローの時間変動の差異を生むわけでないことが明らかになった。一方で mini-BAL クェーサー HS1603+3820 に対する測光・分光同時モニター観測の結果、光度と mini-BAL の両者の変動パターンは同期する傾向を確認した。VIS シナリオに基づけば、この振る舞いの原因はクェーサーの光度変動によるイオンの電離や再結合によって、吸収に寄与するイオンが増減したことであると考えられる。この観測結果は、mini-BAL クェーサーに対して VIS シナリオを支持できる可能性を確認できた初の結果である。

しかしながら、イオンの存在比を、光電離モデルを用いて計算すると、VIS シナリオを支持するには 1.0 等程度の変動が必要であることが明らかになっているのに対し、本研究で観測された光度変動幅はこの値をはるかに下回っている。この事実は紫外線の光度変動単独では、VIS シナリオは十分に機能せず、補助的な機構の存在が必要であることを示唆している。

VIS シナリオの補助機構として最も有力な物理過程は、降着円盤内縁に存在すると考えられる遮蔽ガスの変動である。遮蔽ガスは降着円盤の下流に存在するアウトフローの過剰電離を防ぐ役割があると考えられている。つまり遮蔽ガスが変動することによってアウトフローが浴びる連続光の強度が調節され、電離状態が変動する可能性がある。遮蔽ガスの候補としては Warm Absorber（X 線分光観測で捉えられる高温・高階電離イオン）が有力である。今後は、VIS シナリオの原因が Warm Absorber の変動によるものか、あるいは X 線の光度変動によるものかを切り分けるために可視・X 線同時モニター観測を行う予定である。