

アウトフローガスとクェーサー光度の時間変動の関係

堀内 貴史 (信州大学大学院 理工学系研究科)

Abstract

クェーサーの降着円盤から吹き出すアウトフローガスに見られる時間変動の原因を探るべく、昨年クェーサーの光度と吸収強度の同時モニター観測を、木曾と岡山で行っている。アウトフローを平行に見込む際に観測される BAL クェーサーに対しては、連続光と吸収強度の変化に相関が見られないことがすでに確認されているが、降着円盤をより深く見込む際に観測されると考えられている NAL/mini-BAL クェーサーについては両者の関係は明らかになっていない。そこで、mini-BAL と NAL をもつクェーサーに対する同様な観測を通し、BAL, mini-BAL, NAL の発生場所に求められる環境の違いを解明する。NAL をもつクェーサー 1 天体については、すでに有意な変光傾向を示すことが確認されており、このことは現在最も有力視されている電離状態変動シナリオを支持する可能性が低いことを示している。

1 Introduction

クェーサーは宇宙で最も明るいクラスに属する活動銀河核 (AGN) の一種である。クェーサーの降着円盤からの輻射圧によって吹き出すアウトフローガス (Murray et al. 1995; Proga et al. 2000) は、降着円盤から角運動量を取り去り、新たなガスの降着を促進するため、AGN の成長に不可欠な要素である。更に、エネルギー・運動量・金属量の豊富なガスを銀河間空間に放出するため、宇宙の化学進化にも影響を及ぼす。また、近傍の星間・銀河間領域における星形成活動を抑制し、銀河進化にも影響を与えるため、この点においても研究対象として重要である。従来、アウトフローガスの研究には、クェーサーのスペクトル上にみられる幅の広い吸収構造 (BAL; Weymann et al. 1991) が使われてきた。この BAL に対しては時間変動を示すことが確認されている。しかし近年では、モデルフィットによる物理量 (柱密度、速度幅等) の評価が可能な幅の狭い吸収線 (NAL) や、両者の中間的な性質を持つ mini-BAL も利用されている。BAL に対してはすでに確認されている時間変動が、NAL, mini-BAL にも見られるのかを確認すべく、Subaru, Keck, VLT などを用いた 12 個のクェーサー (NAL, mini-BAL を含むものがそれぞれ 6 天体) の高分散分光モニター観測 (分解能 $R \geq 30000$) が過去 10 年以上に渡って行われている。その結果 mini-BAL のみが明らかな時間変動を示すことが明らかになった

(図 1,2; Misawa et al. 2013 in prep.)。時間変動の理由として以下の 3 つが考えられる: 1) 連続光領域に対する視線に対する放出ガスの横断; 2) 散乱物質による散乱光の時間変化 (すなわち掩蔽率の変動); 3) 放出ガスの電離状態の変動 (例えば CIV が CV に変化することによる CIV 吸収の減少)。クェーサー HS1603+3820 にターゲットを絞り、mini-BAL の詳細なモニター観測および偏光観測を行った先行研究によれば、1) 吸収線の構造を維持したまま強度が変動している (Misawa et al. 2007)、2) 散乱光にみられる偏光率は最大わずか 0.6% 程度であること (Misawa et al. 2010) が知られている。前者はシナリオ 1 を、後者はシナリオ 2 を否定する結果である。

そこで本研究では、mini-BAL の時間変動の原因として、最も有望な電離状態変動シナリオの検証を行っている。このシナリオはクェーサーからの入射光の強度が変化してアウトフローガスの電離状態に変化を与えるというものである。BAL をもつクェーサーに対しては、連続光と吸収強度の変動に相関関係が見られないことがすでに確認されている (Gibson et al. 2008)。本研究では、観測的に排除されていない NAL, mini-BAL の電離状態変動シナリオを検証して NAL と mini-BAL の発生場所に要求される環境の違いを突き止めることを目的とする。

2 Observations

NAL と mini-BAL を持つクェーサーの変光傾向と吸収線の変動の相関関係を調べるべく、日本での観測が可能なクェーサー 9 天体 (表 1) に対する測光モニター観測を木曾 105cm シュミット望遠鏡+KWFC を用いて月 1 回の頻度で行なっている。また、可視域の分光観測を岡山 188cm 望遠鏡+KOOLS を用いて年 4 回の頻度で行っている。もし mini-BAL クェーサーにのみ変光が見られれば電離状態変動シナリオが mini-BAL に対して適応できる可能性がある。この場合、NAL, mini-BAL は異なるクラス、あるいはフェーズにあるクェーサーを見ていると考えられる。一方、両者の間に有意な差がない場合はクェーサーの光度変化は吸収線の時間変動の主要な原因ではないことになる。

3 Results

相対測光による光度曲線を描いた結果、すでに観測に着手している mini-BAL クェーサー 4 つは有意な変光傾向を示さなかった (図 3)。一方、NAL クェーサー 5 つのうち Q1700+6416 については、有意な変光傾向が確認された (図 4)。この結果から、mini-BAL の時間変動に対しては、電離状態変動シナリオが主要な原因でないことが示唆される。

4 Discussion

電離状態の変動をクェーサーの光度のみで説明するには CIII, CIV と CV の電離パラメーター $\log U = \log n_{\gamma}/n_e$ (n_{γ} : 電離光子密度, n_e : 電子密度) の典型的な差 $\Delta \log U \sim 0.6$ をクェーサーの変光のみで再現しなければならない (Hamann et al. 1997)。この値に対応する変光は $\Delta m \sim 1.5$ であるが、クェーサーの典型的な変光 ($\Delta m \sim 0.1$, 最大で 0.5) と比べると大きい (Webb & Malkan 2000)。また、クェーサー光度の変動とアウトフローガスに見られる変動の関係をより明確にするためには、同時期に取得した測光データと分光データを用いて、クェーサーの光度の変動と吸収線の変動に相関関係があるかどうかをリアルタ

イムに比較する必要がある。今後も木曾と岡山での、測光/分光モニター観測を継続する予定である。変光が見られてもその大きさが十分でない場合は、電離状態変動シナリオをサポートする補助的な機構を考慮することにより、このシナリオを維持できる可能性がある。補助的な機構の 1 つとして挙げられているのが、降着円盤内縁付近にある、光学的厚さの変動する遮蔽ガス (Murray et al. 1995 ; Proga et al. 2000) の存在である。遮蔽ガスが変動することにより、クェーサーの連続光が調節され、下流にあるアウトフローガスの電離状態に変化が及ぶというシナリオである。遮蔽ガスの候補には X 線観測で検出される warm absorber が挙げられる。Warm absorber は、多くのセイファート銀河で観測され、その存在はすでに確認されている (Crenshaw et al. 1999)。

5 Conclusion & Future Work

相対測光による光度曲線を描いた結果から、クェーサーに対する可視域の観測においては、クェーサーの変光のみを起源とする、電離状態変動シナリオを支持する可能性が低いことが分かった。しかし、将来的に X 線観測を行うことで NAL, mini-BAL クェーサーに対する warm absorber の変動が確認されれば、アウトフローガスに見られる時間変動を再現できる可能性がある。

Reference

- Crenshaw, D.M., Kraemer, S.B., Boggess, A., Maran, S.P., Mushotzky, R.F., & Wu, C.-C., 1999, ApJ, 516, 750
- Gibson, R. R., Brandt, W. N., Schneider, D. P., & Galagher, S. C. 2008, ApJ, 675, 985
- Hamann, F. 1997, ApJS, 109, 279
- Misawa, T., Eracleous, M., Charlton, J. C., & Kashikawa, N. 2007b, ApJ, 660, 152
- Misawa, T., Charlton, J. C., & Eracleous, M. 2013, in prep.
- Misawa, T., Kawabata, K. S., Eracleous, M., Charlton, J. C., & Kashikawa, N. 2010, ApJ, 719, 1890

Murray, N., Chiang, J., Grossman, S. A., & Voit, G. M. 1995, ApJ, 451, 498

Proga, D., Stone, J. M., & Kallman, T. R. 2000, ApJ, 543, 686

Weymann, R. J., Morris, S. L., Foltz, C. B., & Hewett, P. C. 1991, ApJ, 373, 23

Webb W., Malkan M., 2000, ApJ, 540, 652

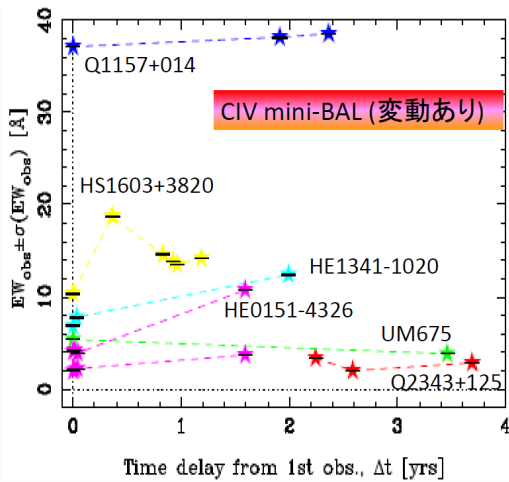


図 1: 過去 10 年に渡る高分散分光観測による 6 つの mini-BAL ケーサーの吸収線の等価幅の変動。横軸はケーサーの静止系での初回観測からの経過時間を表し、縦軸は観測者系での等価幅を表す (Misawa et al. 2013)。

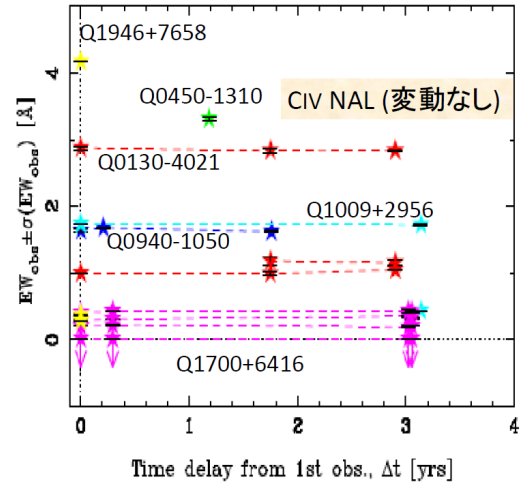


図 2: 過去 10 年に渡る高分散分光観測による 6 つの NAL ケーサーの吸収線の等価幅の変動。横軸はケーサーの静止系での初回観測からの経過時間を表し、縦軸は観測者系での等価幅を表す (Misawa et al. 2013)。

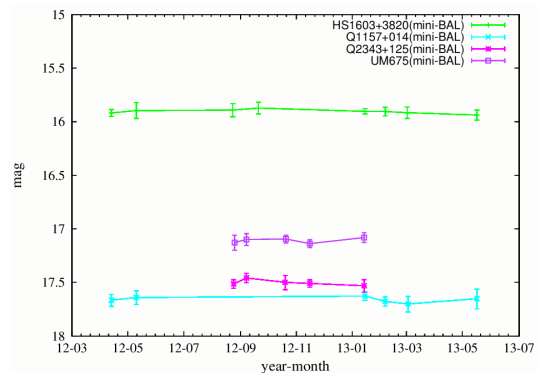


図 3: 木曾/KWFC でモニターした CIV mini-BAL をもつケーサーの見かけの等級。横軸は観測年月、縦軸はケーサーの実視等級 [mag] 及び 3σ エラーを表わす。この期間中はすべてのケーサーにおいて有意な変光傾向は見られなかった。

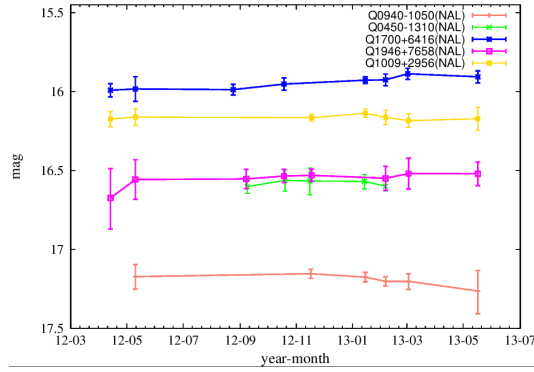


図 4: 木曾/KWFC でモニターした CIV NAL をもつクェーサーの見かけの等級。横軸は観測年月、縦軸はクェーサーの実視等級 [mag] 及び 3σ エラーを表わす。この期間中は Q1700+6416 のみ、2012 年 4 月と 2013 年 3 月のデータを比較した場合に 4σ の変光傾向が見られた。

表 1: モニター観測をしたクェーサーのサンプル

Quasar	z_{em}	z_{abs}	v_{ej} (km/s)	magnitude(V)	variability	mini-BAL/NAL
UM675	2.15	~ 2.13	~ 1900	17.1	Y	mini-BAL
Q0450-1310	2.300	2.2307	6366	16.5	N	NAL
Q0940-1050	3.080	2.8347	18578	16.6	N	NAL
Q1009+2956	2.644	2.2533	33879	16.0	N	NAL
Q1157+014	2.00	~ 1.97	~ 3000	17.7	Y	mini-BAL
Q1700+6414	2.722	2.7125	767	16.1	N	NAL
Q1946+7658	3.051	2.8928	11944	15.8	N	NAL
Q2343+125	2.515	~ 2.24	~ 2.24	17.0	Y	mini-BAL
HS1603+3820	2.542	~ 2.43	~ 2.43	16.2	Y	mini-BAL

z_{em} : CIV の広輝線で求めた赤方偏移, v_{ej} : 放出速度, variability: Y あり, N なし