

## 博士論文の内容の要旨

氏名	伊東 大輔
学位名	博士 (理学)
学位授与年月日	2021年3月20日
論文題目	クェーサーアウトフローに対する幾何学的分布の調査

(博士論文の内容の要旨)

銀河の中には、太陽質量の数億倍にも匹敵する大質量ブラックホールが引き起こす活動現象によって、太陽の数千億倍という莫大な光度で輝く活動銀河核(Active galactic nuclei; AGN)を持つものが存在する。AGNからの強烈な光の輻射は、大質量ブラックホールへ降着する物質が形成する降着円盤を起源とし、同時に大量の物質とエネルギーを含んだガス流であるアウトフローを伴う。アウトフローは降着円盤周辺からスケールにして6桁以上も異なる母銀河および周辺環境へ拡散され、その過程で(1). 初期宇宙における元素組成の影響や(2). 大質量ブラックホールと母銀河の共進化、などに大きな影響を与えていると考えられている。したがってアウトフローの理解は大質量ブラックホールと母銀河の相補的な進化の解明には欠かせないものとなっている。本研究の目的はアウトフローの幾何学的構造の解明である。

遠方宇宙に存在するAGNの中心核を空間的に分解して観測することは不可能なため、アウトフローの主要な観測手法は、クェーサーと呼ばれる非常に明るいクラスのAGNを分光観測した際に検出される吸収線を利用したものが主要である。アウトフローの典型的な観測例は幅の広い吸収線であるBroad absorption line (BAL; 半値全幅  $> 2000\text{km/s}$ )およびmini-BAL ( $500\text{km/s} < \text{半値全幅} \leq 2000\text{km/s}$ )である。BAL/mini-BALはその顕著な吸収幅から観測視線上に存在するクェーサーとは無関係な吸収体を作る吸収線 (intervening な吸収線)との区別が容易なため、早期からアウトフロー研究に用いられてきた。これまでのBALに対する統計探査および理論研究の結果等から、BALとして観測されるアウトフローは角度に依存していることが示されている。一方で通常の吸収幅を持つ吸収線であるNarrow absorption line (NAL; 半値全幅  $\leq 500\text{km/s}$ )についても、近年の観測装置および解析技術の進展によりアウトフローを起源に持つもの (intrinsic NAL) が存在することが分かってきた。BAL/mini-BAL/intrinsic NALそれぞれの種類の吸収線の関連性は未だ明らかにされていないものの、3種類のアウトフロー吸収線の存在はそれぞれの立体角分布の違いによるものとしたモデルすなわち角度依存モデルによって統一的に理解されている。角度依存モデルに基づく解釈では同一観測視線上におけるBAL/mini-BALとintrinsic NALの重複は期待されない。だが一方で、過去の研究で実際にBAL/mini-BALと同一の観測視線上でintrinsic NALを統計的に調査したという例はなく、角度依存モデルは観測から実証されたモデルとはいえない。そこで本研究では角度依存モデルおよびintrinsic NALの分布傾向を調査することを目的にBAL/mini-BALの観測視線上でintrinsic NALの探査を実施した。明確なアウトフロー吸収線であるBAL/mini-BALと異なり、intrinsic NALはinterveningな吸収線との識別が困難である。したがって本研究では両者を区別するために部分掩蔽解析という特殊な解析手法を利用した。部分掩蔽解析は分光データの波長分解能に非常に敏感であるため、本研究で扱うBAL/mini-BALクェーサーの観測データは、集光力/分解能ともに優れた超大型望遠鏡(VLT)の高分散分光装置(UVES)およびKeck望遠鏡の高分散分光装置(HIRES)で取得され、アーカイブで公開されているものを利用した。少数派のクェーサーであるBALクェーサー(10-20%)について高分散分光データをサンプリングするために、SDSSのBALクェーサーカタログ(Gibson et al. 2009)中の全5039天体と照合を行い、最終的に合計20天体を解析対象BAL/mini-BALクェーサーとして選出した。これらのクェーサーに対しintrinsic NALの探査を実施したところ全9天体 ( $45 \pm 21\%$ )でintrinsic NALの同定に成功した。この結果は角度依存モデルによる解釈を否定するものであり、intrinsic NALが広い立体角方向に分布することを示唆する。

さらに、本研究ではintrinsic NALの分布傾向を追求するために、吸収体が背景光源に対してどれだけ離れているか(光源距離)に着目した。光源距離は光電離モデルと呼ばれる、吸収体の電離状態と背景光源から照射される電離光子数の関係によって推定できる。だが、光電離モデ

ルから吸収体の距離を概算するためには吸収体の電子密度の情報が欠かせない。通常、吸収線を用いた解析では吸収体の一次元情報しか得られないため、電子の体積密度を見積もるのは困難である。そこで、吸収体中の SiII1260/SiII\*1265 と CII1335/CII\*1336 などの微細構造に分裂したイオンが作る吸収線（微細構造線）強度比が、電子密度の値の推定に利用できることに着目し、光電離モデルによる解析を実行した。この手法による解析から 1 つの intrinsic NAL の光源距離が、典型的なアウトフローの距離 ( $\sim 0.1\text{pc} - 10\text{pc}$ ) を大きく上回る  $> 100\text{kpc}$  であることが分かり、intrinsic NAL がさらに遠方領域にまで拡張されていることを確認した。

本研究では一部の低速度な intrinsic NAL の起源については、近年の  $\text{kpc} - 10\text{kpc}$  スケールに位置する遠方 BAL の検出例および理論モデルによる示唆に基づき、アウトフローが中心核領域から流出する過程で母銀河内部の物質との相互作用によって減速され、遠方へ拡張されたものである可能性を考察した。

本研究で導いた結果は intrinsic NAL が立体角方向、動径方向いずれにも広い分布範囲を持っていることを示唆する。intrinsic NAL については角度依存モデルが適用できないという事実を示したのは本研究が初であり、BAL と intrinsic NAL が幾何学的に複雑な関係性にあることを示唆するものである。以上の結果を踏まえ intrinsic NAL を広い範囲で検出可能なアウトフローの幾何学的構造をまとめた。