

輝線と吸収線を相補的に用いたブラックホールガス噴出流の高空間分解測定

High-Resolution Measurements of the Black Hole Gas Ejection through Emission and Absorption Lines

所属機関： 尾道市立大学 代表研究者氏名： 川口 俊宏
研究期間： 2023年7月30日～2023年9月21日
区分： 個人 A
滞在研究機関： Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan
650 North A'ohoku Place, Hilo, HI 96720, USA
共同研究者等： Dr. Kentato Aoki, Dr. Takashi Hattori

During the ~7.5-week stay in Hawaii island in 2023 Summer, big progress towards publication in a scientific journal were made. Firstly, a couple of issues in the numerical code to fit the radiation spectra of the gas outflow from the supermassive black hole at the center of a nearby galaxy were fixed. Secondly, the draft for the paper was mostly completed. Therefore, after several additional analyses, the article will be submitted soon.

海外研究活動概要

校務が大きく減少する時期である夏休み期間(8月上旬-9月下旬)に約7.5週にわたり、北半球における宇宙物理学・天文学の最大拠点の一つであるハワイ島観測所群へ滞在し、地上装置での最高性能の機能を活用して得たデータの解析と論文執筆を進めました。

138億年の宇宙の歴史の中で、巨大ブラックホールがいかに誕生し、銀河と共に成長し、どのような役割を担ってきたか、いまだ解明されていません。現在もっとも有力なシナリオは、ブラックホールへ落ち込む大量のガスが放つ輻射による球対称状のガス噴出流が銀河内の星形成活動を制御する過程です(フィードバック現象)。実際、電波からX線にわたる多くの波長帯で、輝線や吸収線としてガス噴出現象が観測されています。

しかし実は、十分な空間分解能でのガス噴出量の観測的測定は行われておらず、理論的にもフィードバック現象を肯定・否定する研究がどちらも多数発表されており混沌としています。つまり、銀河中心からのガス噴出が、母銀河の星形成活動を抑制するだけ十分パワフルなのか、宇宙の歴史にブラックホールはどの程度影響を及ぼしたのかは依然として不明でした。

そこで本研究の目的は、補償光学機能で角度分解能を向上させた可視光面分光観測と高分散分光観測により得たデータを用いて、銀河中心から噴出するガス流の3次元構造と動力学を測定することです。

成果

滞在先の研究者達と頻繁かつ随時、議論と相談を行いながら集中して時間を投入できたおかげで、以下の2点で大きな進展を得ました。

(1) ガス噴出領域の放射スペクトルの多成分フィットをする際、プログラムが時折実行されないトラブルが昨冬から顕在化していました。本滞在中に、様々な状況設定での問題の再現と原因箇所の切り出しを行い、解析プログラムの修正を経て無事に作動させることに成功しました。高 Signal/Noise 比のデータを想定して作成されていたプログラムを、一部ノイズが強くても動作するよう改変したことで本研究の範疇の全データに適用できるようになりました。

(2) 研究ノートや観測提案書から論文原稿へ文章を起こし、ほぼ文章作成は完了し、論文共著者へ回覧しました。詰めの追加解析と図の清書が済めば論文投稿へ進むことができる段階まで進み、査読論文雑誌への投稿へ向けて大きな前進を達成しました。

Very Large Telescope(欧州)とすばる望遠鏡(日本)を

用いて0.09-0.21秒角の高い角度分解能で得た観測データを解析することで、銀河中心の巨大ブラックホールから40-150パーセク(銀河全体の大きさの約0.3%)程度に拡がり、ブラックホールから観て一方向のみに、約1200km/sの視線速度の高速ガス噴出流が存在する兆候を得ました。他の輝線も用いた追加解析などを進め、高速ガス噴出流の解析結果を速やかにまとめ出版します。

今後の展望

(1) 初期すばる観測結果との統合: 高速ガス噴出流を示す活動銀河核の最近傍の天体についてすばる望遠鏡の補償光学+面分光観測を行った初期成果(Kawaguchi et al. 2018)と、本研究課題で進めている2番目に近傍の天体に対する観測の成果を合わせて、共通項目を抜き出すことで高速ガス噴出の特性が導き出します。

例えば、どちらの天体も中心から100パーセクスケールにわたり、約1000km/sの速度で、球状や球殻状ではなく限られた方向にのみガス噴出流が出ている結果を得ています。共通項目を精査し、「巨大ブラックホールによる銀河進化の支配」仮説の検証を進めます。

また、噴出ガス流を3次元でグリッドに細かく切って流速ベクトルや速度分散を各位置に割り振りコンピューター内で疑似観測し、観測結果を再現するにはどのような動力学が必要とされるかを求めます。モデル計算と観測結果の比較を通して、高速噴出流の3次元構造と動力学を特定します。

(2) 新手法の他分野への転用: 銀河中心の巨大ブ

ラックホール近傍での明るい光がすぐ近くの周辺領域へ漏れ出ていくため、中心ピクセル以外の位置での放射スペクトルを調べるのが困難であることが面分光データ解析において避けられない問題でした。本研究では中心光の漏れ込みの影響を高精度で取り除いて、周辺領域での局所的な輝線放射を探索する新手法を開発しました。この手法は、明るい光源の周りにある比較的暗い天体や構造を探す他分野(原始惑星円盤や系外惑星など)や、面分光装置のように各位置でスペクトルが得られる他波長帯(電波やX線)にも転用できる手法であるため、論文発表後速やかに成果発表を各所で行い、波及効果を最大化させます。

(3) 装置開発へのフィードバック: 本研究で用いている面分光装置は視野内の各位置で放射スペクトルを計測する、比較的歴史の浅い装置です。例えば日本にある望遠鏡群で現在稼働しているのは、せいめい望遠鏡(京都大学 岡山天文台)のみです。本研究課題のように拡がった天体の観測の他に、急に、かつ短期間だけ明るくなった天体现象(突発天体)のまだ位置特定が不十分でおおよその位置しかわかっていないタイミングにおいて、暗くなってしまう前に急いで放射スペクトルを得るための観測などでも使用されています。

本課題の面分光観測のデータ解析経験の共有を通して、面分光装置の開発や改造へ向けて、必要性能の洗い出しや、各性能の向上についての優先順位付けの面などで、今後の装置開発への情報提供として寄与していきます。