

● 水本 岬希 特定助教

Misaki MIZUMOTO (Assistant Professor)

専門領域：天文学（Astronomy）
受入部局：理学研究科（Graduate School of Science）
直前所属：ダラム大学 銀河系外天文学センター
（Centre for Extragalactic Astronomy, University of Durham）



活動銀河核アウトフローのエネルギー輸送、およびそれが銀河進化に与える影響

銀河の中心には超巨大ブラックホールがあると考えられています。ブラックホール周辺領域のうち特に明るく輝いているものを活動銀河核と呼びます。ブラックホールの周りには物質は基本的に強い重力に引かれてブラックホールへと落ちていきますが、そのうちの一部は重力とは逆らう方向（外向き）に高速で吹き出していることが知られています。この一見不思議な現象は「活動銀河核アウトフロー」とよばれています。活動銀河核アウトフローは莫大な運動エネルギーを持っているため、それが銀河へと届くと銀河の物理的・化学的進化に決定的な影響を与えるのでは考えられています。私は、活動銀河核アウトフローがどのように生成・加速されるか、それが銀河へと到達するまでにどのような道筋を辿るか、それが実際に銀河進化にどのように影響しているか、といったテーマに理論と観測の両面から迫ります。

銀河の中心にある超巨大ブラックホール

2019 年 4 月に、世界で初めて銀河中心にあるブラックホールの影の画像が公開され、世界的な大ニュースとなりました。ほとんど全ての銀河はその中心にブラックホールを持つと考えられています。ブラックホールの周りにはガスは基本的に強い重力に引かれて中心へと落ちていきます。この時に失われる位置エネルギーが熱エネルギーへと転化され、それが輻射を生むことでブラックホールの周りは明るく輝きます。特に明るく輝いているブラックホール近傍領域のことを「活動銀河核」とよびます。その明るさはブラックホールを除いた銀河全体の明るさを上回ることもあるほどです。

Energy transfer of active galactic nuclei outflow and its contribution to galaxy evolution

Galaxies host supermassive black holes at their centre. The central region of the galaxy which show strong activity is called Active Galactic Nuclei (AGN). Whereas most of the gases around the black hole fall into it with strong gravity, some gases are known to be blown away and escape from the black hole, against the gravity. This is called “AGN outflow”. It carries large kinetic energy from the black hole to the host galaxy, and is considered to control the physical/chemical evolution of the galaxy. My research topics are as follows: How the AGN outflow is launched and accelerated, how it travels across the galaxy, and how it affects to the galaxy evolution. I will answer these questions using both of the theoretical and observational methods.

活動銀河核アウトフロー：ブラックホールから吹く「風」

さて、上の段落でブラックホールの周りにはガスは「基本的に」重力に従って中心へと落ちていくと書きました。しかしながら、それとは逆に、ブラックホール周辺から重力とは逆らう方向に高速で吹き出すガスも存在していることが観測から明らかになりました。図 1 に示したのは、PG1211+143 と呼ばれる活動銀河核の X 線スペクトルです。横軸に観測される X 線のエネルギー、縦軸にフラックス（明るさ）をプロットしています。視線上になんらかのガスがあると、スペクトルの中に吸収線が作られます。このガスが動いている

と、光のドップラー効果によって吸収線の位置が変わります。この位置のずれから、ブラックホール周りのガスが外向きに光速に吹き出していることがわかります。このような「風」のことを「活動銀河核アウトフロー」と呼びます。以下、単純にアウトフローと表記します。

アウトフローは銀河進化の夢を見るか

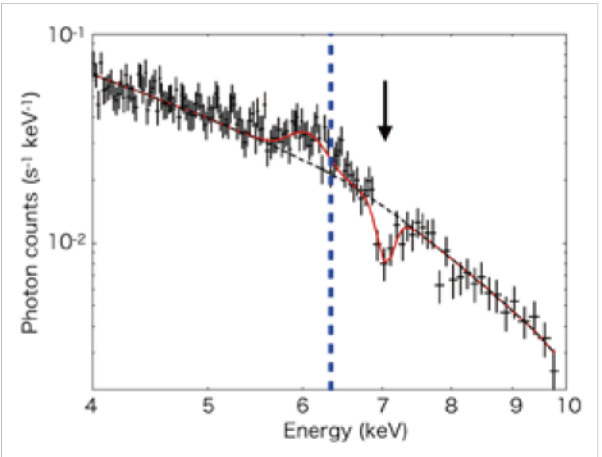


図 1 活動銀河核 PG1211+143 の X 線スペクトル。光のドップラー効果のため、本来の位置（点線）からずれた位置（矢印）に吸収線が現れている。

ブラックホールという強い重力圏から重力とは逆らう向きにガスが高速で吹き出ているアウトフローは、単純に物理として興味深い現象です。のみならず、アウトフローは銀河の進化にも大きな影響を与えていると考えられています。中心ブラックホール（半径 10^{-5} パーセク程度）の質量と銀河の楕円領域（半径 10^3 パーセク程度）の質量には比例関係があることが知られています。これは、ブラックホールと銀河の楕円領域が「共に進化 (coevolution)」していることを意味しています。サイズが 8 桁も異なる両者の進化が連動して行われている（かのように見える）ことは、現在の天文が抱える重要な未解決問題の一つです。アウトフローはこの謎を解明する手がかりとなっていると目されています。ブラックホールの周りにはガスは放っておくと延々とブラックホールに降り積もっていきますが、アウトフローが吹くとガス降着は阻害されます。このときに、どれだけのガスを吹き飛ばさないといけないかが銀河の楕円領域の質量に比例し、アウトフローがどれだけのパワーがあるかがブラックホールの質量に比例するため、両者の間に相関が生まれる、というアイデアです。

このアイデアは定性的にはもっともらしいものですが、（1）アウトフローがブラックホール近傍から銀河の楕円領域へと至るまでにどのような経路を経ているか、（2）アウトフローがどのような物理機構によって生じているか、（3）アウトフローがどの程度の質量と運動エネルギーを有しているか、といった面で定量的な評価はまだ不十分です。私は、X 線、赤外線、電波といったあらゆる波長の観測、およびシミュレーションによる理論計算を通じて、上述の疑問に答えていきます（参考文献 [1,2]）。最終的に、活動銀河核アウトフローがどのように生まれて、どのように銀河内を旅し、今我々が目にしている銀河にどう影響を与えているかを明らかにします。

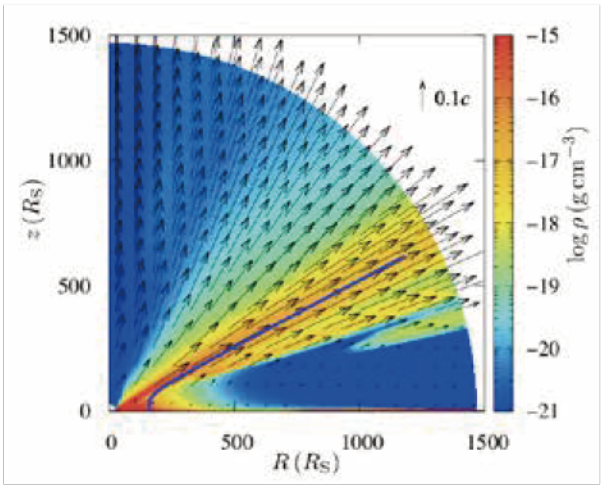


図 2 輻射流体シミュレーションに基づいたアウトフローの密度分布（カラーマップ）と速度構造（矢印）。 R_S はブラックホールのシュバルツシルト半径、 c は光速を意味する。参考文献 [3]

【参考文献】

- Mizumoto et al. 2019, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 482, 5316.
- Mizumoto et al. 2019, *The Astrophysical Journal*, 871, 156.
- Nomura et al. 2020, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, submitted (arXiv: 1811.01966).