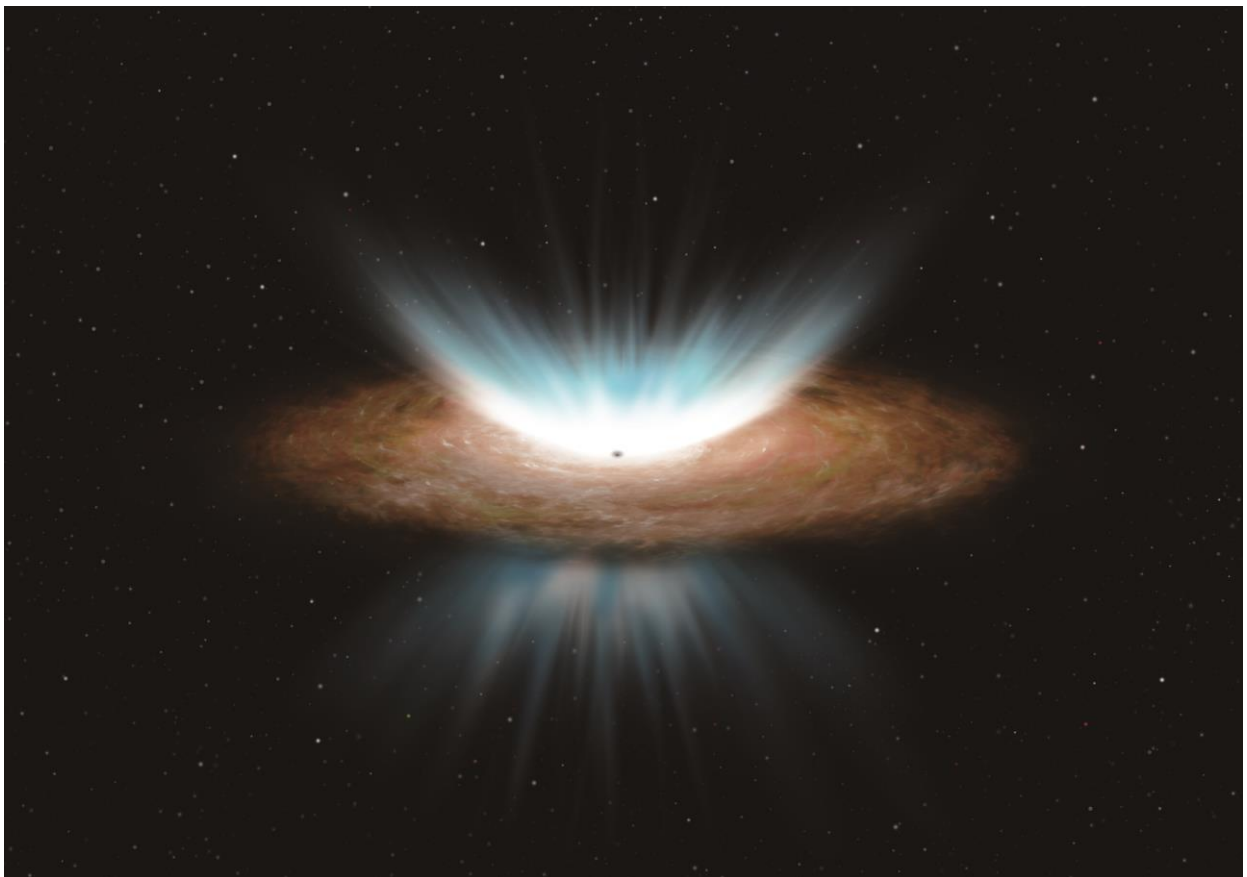


超巨大ブラックホールから吹く「風」の謎を解明

概要

宇宙には数多くの銀河があり、その中心には超巨大ブラックホールが存在しています。ブラックホールは周りにあるガスを次々に吸い込んでいきますが、なかにはブラックホールに吸い込まれずに、外に向かって高速で吹き出すガスも存在します。強い重力源であるはずのブラックホールから重力に逆らって「風」が吹き出すのは、一見不思議な現象です。このような「風」の存在はこれまでのX線観測から知られていましたが、どうやって吹いているのかについてはまだ分かっていませんでした。京都大学白眉センター/理学研究科の水本岬希 特定助教を中心とする国際研究グループは、X線の擬似観測によって実際に観測されている「風」の様子を定量的に再現し、ブラックホールの周りで生み出される紫外線の力によって「風」が生まれるということを世界で初めて実証しました。今後は、2022年度に日本で打ち上げが予定されているXRISM衛星を使うことで、風の様子をこれまでにないほどはっきりと捉えることができると期待されます。

本成果は2020年11月19日に英国の国際学術誌「*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*（王立天文学会月報）」にオンライン掲載されました。



1. 背景

宇宙には数多くの銀河があり、その中心にはブラックホールが存在します。このようなブラックホールは太陽の数百万から数十億倍と非常に重く、「超巨大ブラックホール」と呼ばれます。ブラックホールの強い重力によって周りのガスは基本的にブラックホールに落ちていき、その過程で降着円盤と呼ばれる構造が作られます。降着円盤内のガスの位置エネルギーが光のエネルギーに転換されることで、超巨大ブラックホールの周りは明るく輝きます。このような領域のことを、銀河の中心にある活動的な場所ということで活動銀河核と呼びます。

さて、ブラックホールの周りのガスは基本的にブラックホールに落ちていくと述べましたが、中にはブラックホールへと落ちていかず、逆にブラックホールから逃げ出す方向に吹きとばされるガスが存在することが知られています。まるでブラックホールから「風」が吹いているかのようです。強い重力源であるはずのブラックホールから外向きに「風」が吹いていることは一見非常に不思議な現象です。この「風」は活動銀河核をX線で観測した際のスペクトル（X線のエネルギーに応じた強度分布）に吸収線が現れることで観測されます。吸収線が現れる位置が本来現れる位置より大きくずればずれるほど、「風」の速度が速いことがわかります（図1）。一方で、この「風」がどのようにして吹いているのか、という加速機構については不明な点が多く残っていました。主なモデルとして、降着円盤からの光の力を使って加速するという説と、降着円盤の磁場の力を使って加速するという説が提唱されていましたが、これらが観測をどこまでよく再現できるかはまだわかっていませんでした。

2. 研究手法・成果

今回、京都大学白眉センター/理学研究科の水本岬希特定助教を中心とする国際研究グループは、降着円盤からの光の力、とくに紫外線の力を使ってガスが加速されることで「風」になる、という理論モデルに基づいてX線の擬似観測を行い、その結果を実際の観測結果と比較しました。その結果、観測される「風」のさまざまな特徴を同時にかつ定量的に再現することに世界で初めて成功しました。

図2は、今回の研究に用いた理論モデルによる「風」の様子を表しています。強い紫外線の光が降着円盤から放射されているのですが、その光がガスを外側に押していくことで「風」が作られています。今回の研究では、このモデルをもとに、中心にあるブラックホールの周りからX線が放射される時にX線と「風」がぶつかることでどのようなスペクトルが作られるのかについて、コンピュータシミュレーションを用いて計算しました。すなわち、図2に示したような紫外線で押された「風」が本当に存在したとして、それをX線で観測した際にどのように見えるかという擬似観測を行いました。結果が図3です。吸収線の深さまでは完全に再現できていませんが、2本の吸収線がそれぞれ観測と合致した位置に出てくることがわかります。また、「風」に当たって散乱されたX線によって輝線が作られることも再現できました。これまで理論モデルから観測を再現しようという試みはなされてきましたが、「風」の速度が遅すぎるなどの問題がありました。今回、理論モデルの進展や擬似観測の方法の改良などによって、「風」の様々な観測的特徴を初めて定量的に再現することに成功しました。

3. 波及効果、今後の予定

2022年度に日本が打ち上げる予定のXRISM衛星は、これまでの衛星と比べてエネルギー分解能（異なるエネルギーを持ったX線をどれだけ区別して観測できるか）が1桁以上高くなります。そのため、「風」によって作られる吸収線の様子をより詳細に捉えることができるようになることが予想されます。そこで、今回の研究結

果を用いて、XRISM 衛星で模擬観測を行った際のスペクトルを作成しました。図 3（これまでの衛星）と図 4（XRISM 衛星）を見比べてみると違いは明らかで、XRISM 衛星を使うことでひとつひとつの細かな構造を分離して観測することが可能となります。今後、実際にこのようなスペクトルが取得されることで、ブラックホールの「風」の素性がより明らかになると期待されます。

4. 研究プロジェクトについて

本研究は京都大学、呉高専、筑波大学、東京大学、ダラム大学（University of Durham、英国）の研究者によって、科学研究費助成事業（16K05309、17H01102、18K03710、18H04592）、カブリ数物連携宇宙研究機構（NSF PHY17-48958）、ポスト「京」重点課題 9、計算基礎科学連携拠点、日本学術振興会海外特別研究員制度、京都大学白眉センター、英国科学技術施設研究会議（ST/P000541/1）の支援を受けて行われました。

<用語解説>

XRISM 衛星：X 線分光撮像衛星（X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission; 発音はクリズム）。日米欧協力により開発されており、2022 年度に JAXA から打ち上げが予定されている。マイクロカロリメータという検出器が搭載され、これを用いることで従来の CCD 検出器による観測と比べて 1 桁以上のエネルギー分解能の向上が期待される。

<研究者のコメント>

ブラックホールはこの宇宙で最もエキセントリックで最も派手な天体の一つです。ブラックホールから「風」が吹く、という現象はとても不思議で、それゆえ私を含め多くの研究者を魅了しています。今回の研究を通じて、ブラックホールの不思議の一端を解き明かすことができたことにとても興奮しています。（水本）

<論文タイトルと著者>

タイトル：UV line driven disc wind as the origin of ultrafast outflows in AGN（活動銀河核における超高速アウトフローの起源としての紫外線ライン駆動型円盤風）

著者：Misaki Mizumoto, Mariko Nomura, Chris Done, Ken Ohsuga, Hirokazu Odaka

掲載誌：Monthly Notices of the Royal Astronomical Society

DOI：10.1093/mnras/staa3282

<参考図表>

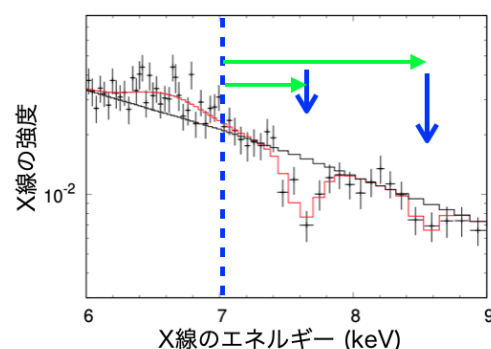


図 1：XMM-ニュートン衛星によって取得された活動銀河核 PG 1211+143 の X 線スペクトル。本来であれば青い点線の位置に吸収線が作られるはずであるが、実際にはそれより大きくずれた位置に吸収線（青矢印）が作られている。このずれは光のドップラー効果に起因するものであり、吸収線を作るガスが高速で吹き出していることを意味している。

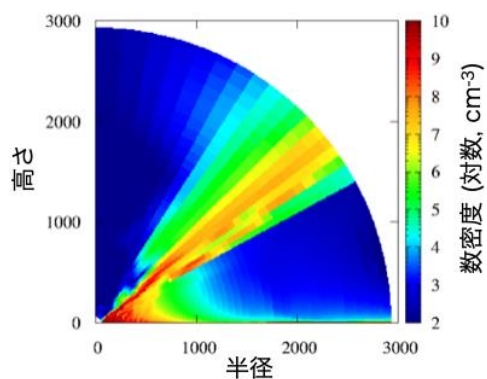


図2：今回の研究の基となった「風」の理論モデル。今回の研究ではこの図の原点の位置から四方にX線を飛ばし、X線が「風」に当たった時にどのような相互作用を起こすかをシミュレーションした。

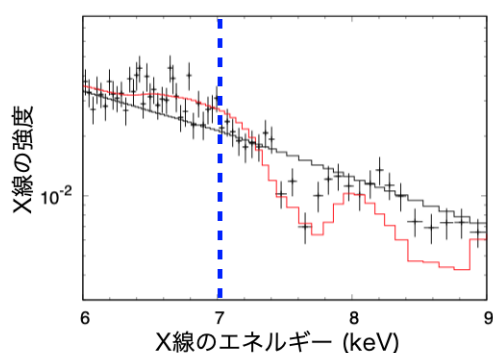


図3：図1で示したX線スペクトルに今回の研究の結果を重ねて描いたもの。吸収線の深さを完全に再現できているわけではないが、二つの吸収線の位置がよくあっていることがわかる。

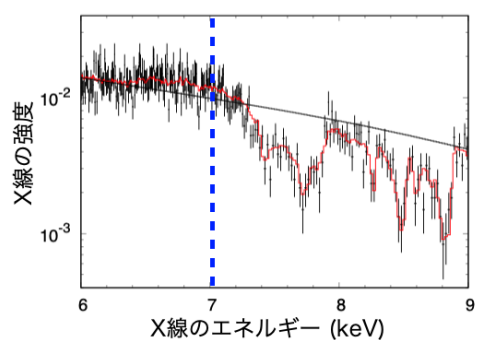


図4：図1、3と同じ天体をXRISM衛星で観測した場合の模擬観測結果。これまでの衛星では見えなかった細かい吸収線の様子をはっきりと見ることができている。(露光時間30万秒のシミュレーション)