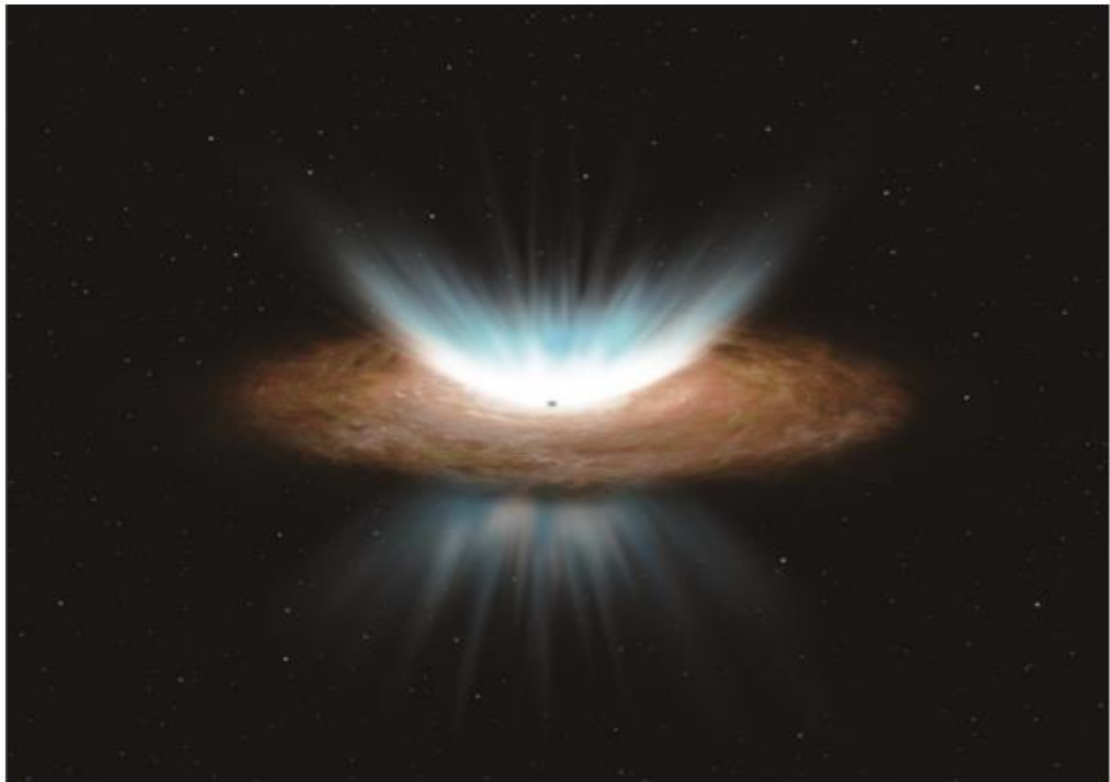


超巨大ブラックホールから吹く「風」の謎を解明

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。



研究のイメージ図

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。

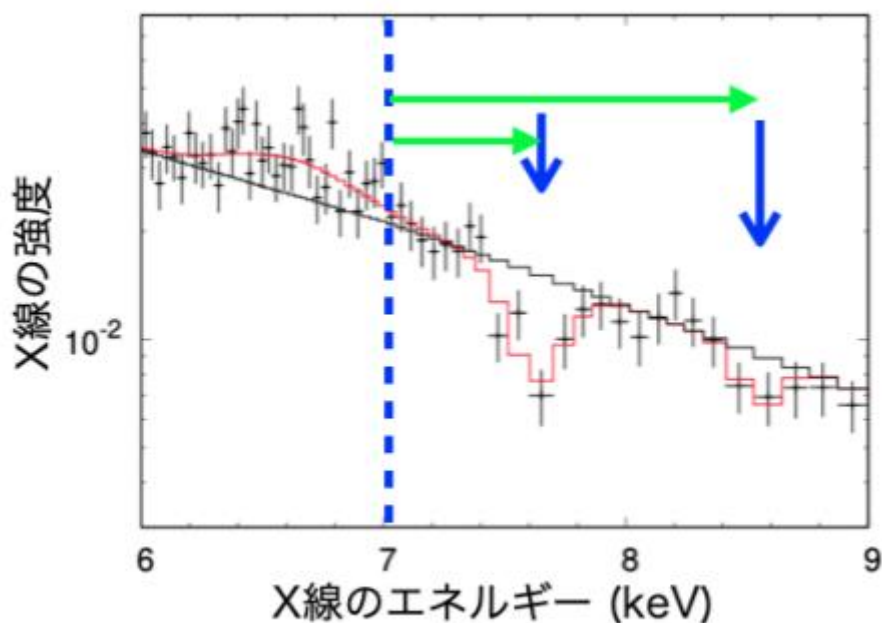


図 1: XMM-ニュートン衛星によって取得された活動銀河核 PG 1211+143 の X線スペクトル。本来であれば青い点線の位置に吸収線が作られるはずであるが、実際にはそれより大きくずれた位置に吸収線 (青矢印) が作られている。このずれは光

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。

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。

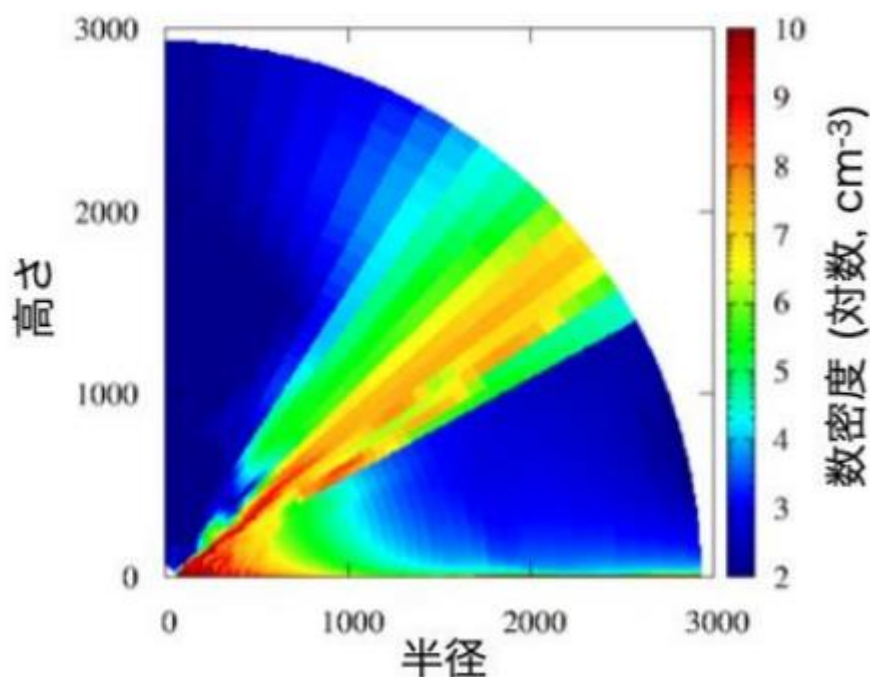


図2: 今回の研究の基となった「風」の理論モデル。今回の研究ではこの図の原点の位置から四方に X 線を飛ばし、X 線が「風」に当たった時にどのような相互作用を起こすかをシミュレーションした。

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。これまでも理論モデルから観測を再現しようと言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。

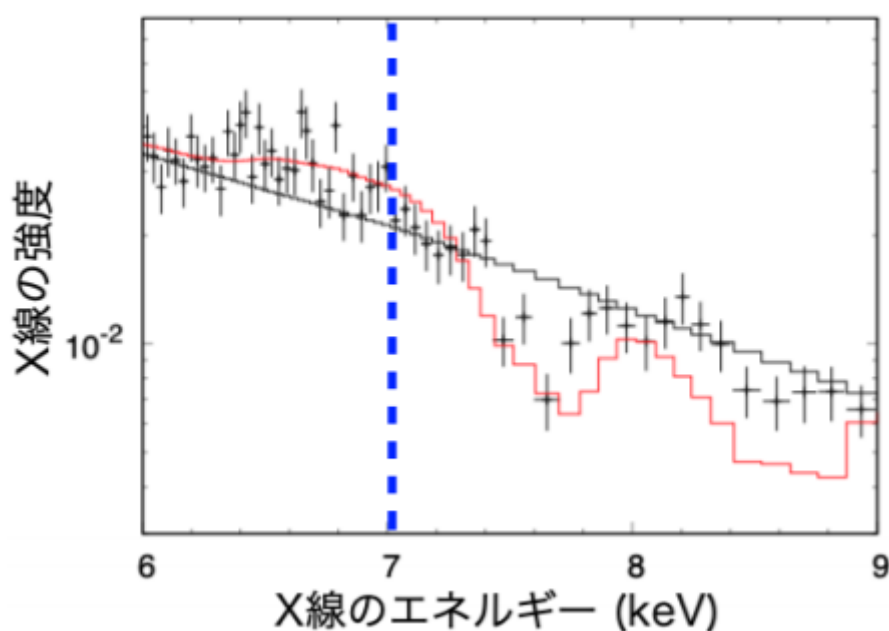


図3: 図 1 で示した X 線スペクトルに今回の研究の結果を重ねて描いたもの。吸収線の深さを完全に再現できているわけではないが、二つの吸収線の位置がよくあっていることがわかる。

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かと予想されます。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ってくると期待されます。

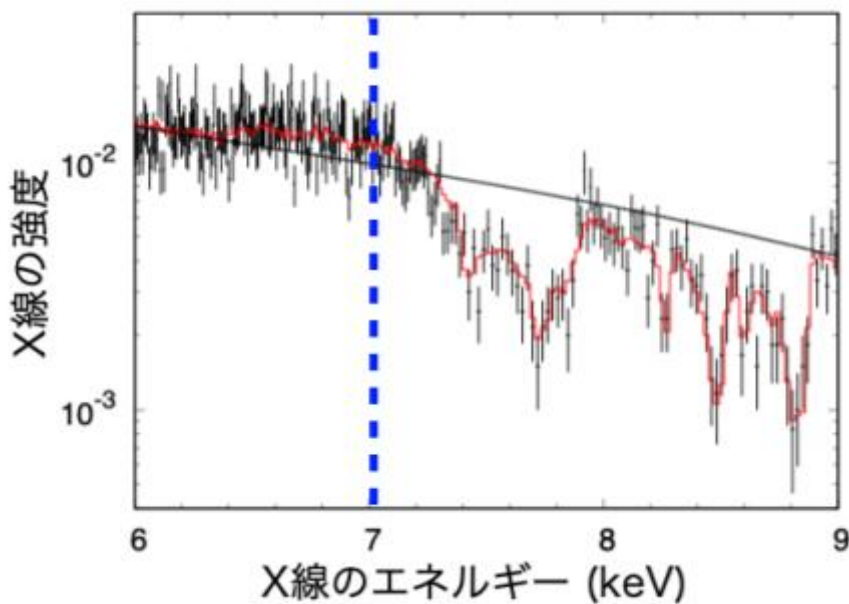


図 4: 図 1、3 と同じ天体を XRISM 衛星で観測した場合の模擬観測結果。これまでの衛星では見えなかった細かい吸収線の様子をはっきりと見ることができている。(露光時間 30 万秒のシミュレーション)

論文情報

タイトル : UV line driven disc wind as the origin of ultrafast outflows in AGN

雑誌 : Monthly Notices of the Royal Astronomical Society

doi: 10.1093/mnras/staa3282

日本語発表資料

https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2020/201119_1.html

編訳 JST 客観日本編集部