

## 論文の内容の要旨

論文題目        X-ray study of circum-nuclear matter in the Seyfert galaxy, NGC4151  
(X線観測によるセイファート銀河 NGC4151 の中心核周辺物質の研究)

氏名 高橋一輝

活動銀河核は、太陽の1億倍ものエネルギー放出率で明るく輝く天体で、太陽質量の1億倍にも達する大質量ブラックホールへの物質降着がエネルギー放出の起源と考えられている。活動銀河核は電波から $\gamma$ 線に至る広い波長域で大量の光子を放出しており、時には相対論的なジェットを放射する。活動銀河核からの放射の起源を解明することは、近年の天体物理学の重要な研究目標の一つである。

X線の領域で活動銀河核を理解するために鍵となる役割を果たすのは鉄輝線である。ASCAによる活動銀河核 MCG -6-30-15 の観測で初めて5-7 keVの領域に非常に幅広で歪曲した鉄輝線が検出されて以来、ASCAは幾つかのセイファート銀河からその様な鉄輝線を検出してきた。その鉄輝線は6.4 keV付近に明るいコアを持ち、さらに4.5 keV程度まで裾を引いた様な形状をしている。幅広で歪曲した鉄輝線はブラックホール近傍の降着円盤の極内側から放射された蛍光鉄輝線であると解釈されている。その様な鉄輝線は、いわゆる「disk line モデル」とよばれるモデルで再現できる。このモデルでは、幅広で歪曲した鉄輝線は、輝線を放射している物体が相対論的な速度で運動していることによって生じるドップラー効果とブラックホールの重力場による赤方偏移とによって説明される。非常に幅広で歪曲した鉄輝線を検出したことは、ブラックホールが存在することを観測的に証明するものと考えられている。これはASCAによってもたらされた最も重要な結果の一つである。

もしエネルギースペクトルに現れる非常に幅広で歪曲した輝線構造が実際に disk line ならば、その様な構造を解析することはブラックホールの性質や降着物質の物理的な条件を研究するための有力な手段となりうる。例えば、鉄輝線の形状を解析することでブラックホールの時空構造を知る手懸が得られるであろう。実際、観測された鉄輝線を説明するためには Kerr metric を導入することが必要であると主張する論文もある。また、広がった鉄輝線の形状を解析することで、降着円盤の我々の視線方向に対する傾斜角度を推測することもできる。傾斜角度というのは、活動銀河核を統一的に理解しようとする考え方 (unified scheme) においては鍵となる物理量の一つで、その重要性はきわめて

大きい。

確かに、disk line を解析することは活動銀河核を研究するための有力な手段であるが、disk line モデルから求められる傾斜角度が他の観測から得られた結果と一致しない場合が時として見受けられる。近年の ASCA による観測から、幅広で歪曲した輝線構造が、傾斜角度が  $40^\circ$  程度以上と、いわゆる edge-on 型と言われる 2 型セイファート銀河からも検出されている。disk line モデルから得られる傾斜角度は  $30^\circ$  程度である。これは 2 型セイファート銀河では、降着円盤の傾斜角度が大きいとする unified scheme の仮説と一致しない。この問題は、幅広で歪曲した輝線構造を 6.4 keV に中心を持つ細い輝線と、ある程度の傾斜角度を持つ disk line を重ね合わせることで部分的には解決されている。しかし、幅広で歪曲した輝線構造が実際に複数の輝線の重ね合わせであることを示す観測的な証拠はむしろ少ない。

NGC4151 は我々の近傍にある非常に明るいほぼ 2 型のセイファート銀河で、ASCA の初期の観測から非常に幅広で歪曲した輝線構造が 4.5-7.5 keV にあることが知られている。したがって、NGC4151 は、輝線構造を研究するためには、もっとも良い天体の一つである。disk line モデルによる解析では、得られた傾斜角度は  $20^\circ$  以下と face-on を支持する結果である。他方、可視光による観測で得られた傾斜角度は  $65^\circ$  程度とむしろ edge-on を支持するものである。両者の不一致は、2 つの disk line と 6.4 keV に中心を持つ細い輝線の重ね合わせを仮定することで部分的には解決される。その結果得られる傾斜角度の一つは  $58^{+32}_{-12}^\circ$  であり、これは可視光による観測結果と一致する。しかしながら、異なる傾斜角度をもつ disk line が同時に放射される理由は明確でない。

これまでのところ、NGC4151 の鉄輝線の解析は disk line モデルに依った解析が行なわれてきた。しかし、鉄輝線付近のスペクトル構造を作る他の可能性として、例えば中心のブラックホールを取り巻くように存在すると考えられているダストトラスによる部分的な吸収の効果であるとか反射による効果なども考えられる。これらの可能性については ASCA の観測結果の解析では十分に検討されてきたとは言い難い。

NGC4151 の鉄輝線の特性を disk line モデルに依存した方法ではない方法で解析し、その起源を探ることがこの研究の目的である。この目的の為に、2000 年 5 月に約 2 週間程度行なわれた ASCA の観測のデータと 1999 年の 1 月から 6 月に掛けて行なわれた RXTE の長期観測のデータを解析した。特に注目したのは異なる時間尺度でのエネルギースペクトルの変化である。これらのデータは現在のところ NGC4151 の観測で得られたデータのなかで最良のものと思われ、鉄輝線を解析するのに必要なものであると考えられる。

解析の結果、連続成分に対して有意に超過している X 線成分が 4.5-7.5 keV の範囲にあることを確認した (図 1)。但し連続成分としては、一様でない吸収の影響を受けた巾関数を仮定した。4.5-7.5 keV の範囲の超過成分は、6.4 keV 付近に明るいコアを持ち、さらに 4.5-6.0 keV と 6.8-7.5 keV に裾をを引いた様な形状をしていた。

ASCA のデータを解析した結果、連続成分の強度は  $10^5$ - $10^6$  sec 以下の時間尺度で変化するものの、その時間尺度では輝線の強度に有意な変化は見られなかった。一方 RXTE のデータより、輝線の強度は  $10^6$ - $10^7$  sec の時間尺度で有意に変化していることが判った。しかしどちらの時間尺度でも、超過成分の形状に有意な変化は見られなかった。これは 4.5-7.5 keV の超過成分を説明するために、複数の輝線モデルを導入することは必ずしも必要でないことを支持するものと考えられる。輝線の光度曲線は連続成分の光度曲線を  $3 \times 10^6$  sec の時間尺度で smearing させたものと考えて良いことが判った。このことから、輝線を放射している領域の大きさは  $10^{17}$  cm 程度と考えられる。これは、今回の解析で明かになったことである。一方、視線方向にある吸収体の柱密度は  $10^5$ - $10^6$  sec の時間尺度で有意に変化していたことから、吸収体の大きさはせいぜい  $10^{17}$  cm 程度と考えられる。

仮に超過成分をブラックホール近傍の重力場による赤方偏移の影響を受けた鉄輝線であると解釈する立場に立てば、超過成分を 1 つの disk line モデルで再現することも可能であることが我々の解析

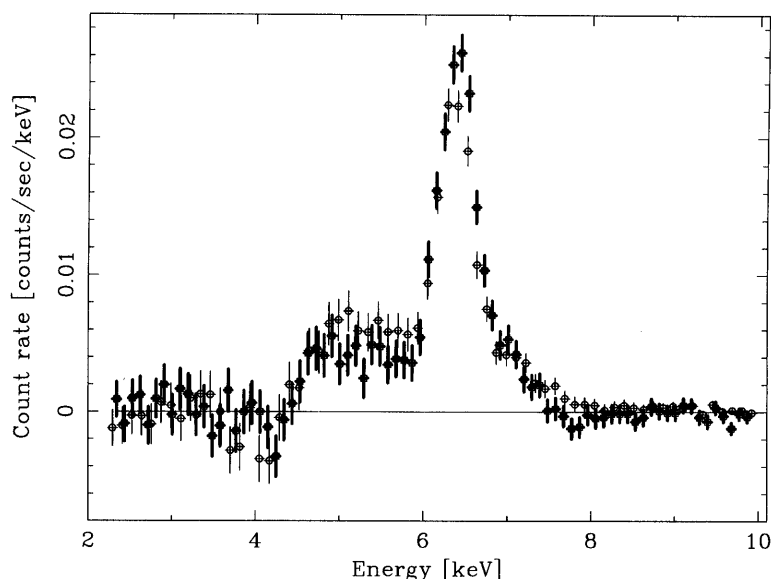


図 1: 連続成分に対して超過している X 線成分。太線は GIS のデータを、細線は SIS のデータをそれぞれ表す。

でも確認された。しかし、過去の観測結果や現在広く受け入れられている活動銀河核についての考え方に沿って解析結果を説明しようとする、次のような困難が生じることが判った。

1.  $10^{17}$  cm 程度と考えられる輝線を放射している領域の大きさが、重力半径の数倍から十数倍に相当するならば、中心核の質量は太陽質量の  $10^{11}$  倍程度となる。これは、銀河全体の質量に相当し、しかも NGC4151 の中心核の質量は太陽質量の  $10^7$  倍程度とされている過去の観測結果と一致しない。
2. 吸収体の大きさは輝線を放射している領域の大きさと同程度であることから、吸収体も重力半径の数倍から十数倍程度の大きさということになる。これは、吸収に寄与する領域は中心核から離れたダストオーラス付近であろうと考える unified scheme と一致しない。
3. 得られる傾斜角度は  $20^\circ$  程度となり、他の観測から求められた傾斜角度  $\sim 60^\circ$  とは一致しない。

一方、超過成分を再現するモデルの一つに反射モデルが挙げられる。この考え方では X 線によって照らされた冷たい物質が、X 線を反射し鉄輝線を放射すると考えるのである。得られたエネルギースペクトルは連続成分と反射モデルの重ね合わせで再現できた。過去の観測結果に沿って解析結果を説明しても disk line モデルの場合に生じた 1-3 の様な困難は生じないことも判った。さらに、輝線の等価幅も 1 keV 程度と反射の仮定で生じる鉄輝線の等価幅にはほぼ等しかった。

以上より、少なくとも NGC4151 における幅広で歪曲した超過成分を説明するモデルとしては disk line モデルを排除することはできないにしても、反射モデルがもっともらしいという結論になった。