

論文審査の結果の要旨

氏名 高橋一輝

本論文は明るい活動的銀河 NGC 4151 の X 線観測データを用い、特に蛍光鉄輝線の詳細な解析を行い、巨大ブラックホールと考えられているその活動銀河中心核とこれを取り囲む周辺物質の物理的特性を明らかにしようとするものである。論文は6章からなり、第1章序論、第2章これまでの研究経過のレビューに続いて第3章では解析の用いたデータを観測した「あすか」衛星、RXTE衛星及びこれらに搭載検出器の諸元について述べられている。第4章は本論文の中心なすもので、観測データの処理、その時系列解析、エネルギースペクトル解析について詳細に述べられ、一連の解析で得られた結果がまとめられている。続いて第5章では得られた結果の考察・物理的解釈が議論され、最後に第6章で新たに得られた結果とその物理的意義がまとめられている。

一般的に活動的中心核を持つセイファート銀河からの X 線放射は冪型 (Power Law type) のエネルギースペクトルを持つ事が知られている。活動的中心核周辺に降着円盤等相当量の物質が存在する時には、放射された X 線の一部がこの物質に吸収され、重元素からの特性 X 線輝線を再放出する。特に、宇宙に於ける鉄元素の組成比は大きく、鉄の蛍光輝線 (6.4 keV $K\alpha$ 線) がしばしば観測される。日本の X 線天文衛星「あすか」による初期の観測で、I 型セイファート銀河である MCG-6-30-15 から広がって長波長側に歪んだ鉄輝線を観測した。これは降着円盤の極内縁部から放射された鉄輝線が、降着円盤の相対論的回転によるドップラー効果で広げられ、それが中心ブラックホールの重力場により重力赤方偏移を受けて歪んだものと解釈され、活動銀河核に巨大ブラックホールが存在する事を検証する重要な成果と考えられた (Tanaka et al. 1995; Nature 375, 659)。その後、他のセイファート銀河でも同様の鉄輝線構造が「あすか」の観測で見られる事が、多くの研究者によって報告された。

本論文は明るく、吸収の大きな近傍のセイファート銀河、NGC 4151 の観測データを用い、これからどのような鉄輝線構造が見られるか、そしてその起源は MCG-6-30-15 同様に降着円盤内縁起源説で説明できるかを研究する事を目指

した。そのための本論文提出者は指導教官共々 NGC 4151 の「あすか」による長時間観測を提案し、異例に長時間である 2 週間連続観測を行い、そのデータを解析した。さらにより長時間に渡る変動を調べるためには、米国の RXTE 衛星によって半年間に渡って間欠的の観測が続けられた NGC 4151 キャンペーン観測のデータも合わせて解析した。

この「あすか」による長時間観測データを用いて本論文提出者は 6.4 keV 周辺の鉄輝線構造をかつてない良い統計精度で求める事に成功した。そしてその構造は 6.4 keV の強く鋭い鉄の $K\alpha$ 輝線成分と 4.5 – 7.5 keV に渡り広がって歪んだ輝線成分の混合として解釈できる事を明らかにした。モデルフィットを用いた考究の結果この構造は上で述べた (1) 相対論的ドップラー効果と重力赤方偏移を受けた降着円盤内縁からの輝線放射のモデルでも解釈できる。しかし本論文提出者はさらにこの鉄輝線構造は、(2) 活動銀河中心核から遠く離れてその中心核を取り囲むダストを多く含むトーラス状の高密度ガスで吸収・反射される X 線連続成分と、同時にここで再放出される 6.4 keV 蛍光鉄輝線の和とするモデルでも解釈できる事を明らかにした。

今回の研究で得られた特に重要な知見は、「あすか」による 2 週間の連続的な観測の間に X 線連続成分の強度は 1 日程度の時間尺度で大幅に (3 倍程度) 変動しているにも関わらず、鉄輝線構造はその強度も形状も 2 週間に渡って一定である事を明らかにした点である。論文提出者はさらに RXTE 衛星による半年間に跨がる観測データを解析して、鉄輝線の強度はこの間には変動しており、その鉄輝線の強度変動の時間尺度は約 1 ヶ月である事、しかし形状は半年の観測期間中一定であった事を明らかにした。

この結果は広がって歪んだ鉄輝線の起源を考える上で非常に強い制約を与える事になる。上記 (1) のモデルでこの鉄輝線の長期安定性を説明するには、そのセイファート銀河の中心にあるブラックホールの質量は太陽質量の千億倍程度が必要となる。これは従来知られている活動的銀河核の質量に比べ千倍以上も大きく、このモデルはこのセイファート銀河 NGC 4151 の鉄輝線構造の時間変動特性を説明する事が困難である。一方、上記 (2) のモデルでは蛍光鉄輝線は元来 X 線連続成分の吸収・反射に伴って発生するものであり、また、そ

の反射体が銀河中心核から数百万光年離れたダストトーラスであるとすれば鉄輝線強度の平滑化の時間尺度も説明できる。以上の考察から論文提出者は、少なくともこのセイファート銀河 NGC 4151 の鉄輝線構造とその時間変動特性は上記モデル（2）の銀河中心核から遠く離れた物質による反射と蛍光輝線放射に基づくものと考えられるとの結論に達した。これは今後のこの分野の研究に大きな影響を与える重要な成果である。

なお、本論文は指導教官である井上一・堂谷忠靖との共同研究であるが、観測から解析および考察の全般に渡って論文提出者が主体となって行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。