

立教大学学術推進特別重点資金 (立教 S F R)

個人研究費

2008年度研究成果報告書

研究代表者	所属・職名	氏名
	理学部・助教	村上 弘志 印
研究課題	多波長観測の統合理解による我々の銀河系中心部の高エネルギー活動の解明	
研究期間	2008年度	
研究経費	500,000円	

研究の概要 (200~300字で記入、図・グラフは使用しないこと)

本研究は、X線や γ 線、電波などの観測結果を総合して、我々の住む銀河系の中心部の活動性を明らかにするものである。

銀河系の中心部は多くの高エネルギー現象が集中する特異な領域であるが、特に銀河系の重力中心である中心核には太陽の数百万倍もの質量をもつ大質量ブラックホールの存在がほぼ確実視されている。しかし、その質量から予想されるよりもX線の強度が10桁以上も低いという問題がある。この問題に対し私のこれまでの研究により、銀河系中心領域の低温ガスから放射される蛍光X線は、大質量ブラックホールが過去に明るかった証拠であるという示唆が得られた。この仮説を証明することにより、中心核ブラックホールが引き起こす高エネルギー現象の解明を目指す。この際、蛍光X線の観測はもちろん、それ以外に低温ガスから放射される電波や、高エネルギー粒子のプローブとなるTeV γ 線の観測結果を組み合わせることにより、放射の物理機構を検証する。

キーワード (研究内容をよく表しているものを3項目以内で記入。)

[X線天文学] [銀河系中心部] [ブラックホール]

研究成果の概要 (図・グラフ等は使用しないこと。)

日本の X 線天文衛星「あすか」は、銀河系中心の巨大分子雲いて座 B 2 から強い蛍光 X 線を検出した。およそ摂氏-200 度という低温のガスから高エネルギーの X 線が放射されているため、この分子雲自体が X 線を出しているとは考えにくい。私は、この天体を詳細に観測しシミュレーションと比較することで、外部から強い X 線で照射されて散乱・蛍光 X 線を放射する“X 線反射星雲”という新種の天体であることをこれまでに明らかにしてきた。現在観測される X 線天体では反射 X 線の強度を説明できないため、もしこの仮説が正しければ銀河系中心核のブラックホールが数百年前の過去に非常に明るかったということを示唆し、中心核の活動性を探る上で重要な天体である。

「あすか」に続いて打ち上げられた日本の X 線天文衛星「すざく」は、大有効面積と安定した低バックグラウンドにより、広がった X 線放射を検出する感度に優れている。私は「すざく」が観測した銀河系中心部のデータを用い、蛍光 X 線と考えられる中性鉄からの特性 X 線を抽出した。その結果、「あすか」で発見されていた 3 天体に加え、新たに 4 つの領域が中性鉄輝線を放出していることを明らかにした。サンプルを倍増したことになる。

次いで、これら 7 天体全てについて放射機構を検証するため、まず分子雲の密度分布との比較を行った。用いたデータは、Tsuboi et al. (1999) の CS 分子の輝線である。この輝線は、密度が濃い領域から放射されるため、銀河中心領域のように全体的に低温ガスが充満している領域でも特に濃い分子雲のみを選び出すことが可能である。比較の結果、7 天体全てが濃い分子雲と相関していることがわかった。つまり、蛍光 X 線を放射するための、X 線を受ける物質の存在は確認できたことになる。

そこでさらに、蛍光 X 線の強度と CS 分子輝線の強度を比較した。蛍光 X 線の強度は照らす X 線の強度と照らされる物質の量に比例する。したがって、もし“X 線反射星雲”が正しければ、両者に相関が見られると期待される。この際、照射源の強度を考慮に入れなくてはいけないため、(1) 各分子雲が同じ強度で照射されている(2) 中心核ブラックホールが全ての分子雲を照射する(照射強度は中心核からの距離の 2 乗に反比例する)、の二つの場合について考慮した。

一つ目のケースでは、電波強度に対する中性鉄輝線の比を単純にとると、 $4.1 \times 10^{-4} \sim 1.7 \times 10^{-3}$ と 4 倍程度の範囲に分布する。二つ目のケースでは、強度比も距離に応じて変化するという結果が得られた。約 300 光年離れた分子雲から 60 光年程度の分子雲まで、次第に減少していく様子が明らかになった。この場合、同程度の距離にある分子雲では強度比は 2 倍程度の範囲におさまる。すなわち、距離に応じて照射強度が変化すると考えると観測結果をよく説明できるという結果になった。蛍光 X 線以外の放射機構として高エネルギー電子の衝突なども考えられているが、この場合は一つ目のケースと同様の強度比を示す。したがって、この結果は“X 線反射星雲”を支持する。

中心核に分子雲が照射されていると考えると、中心核から直接来る X 線と比較して、反射・散乱 X 線は分子雲までの距離の分だけ遠回りして地球に届くことになる。これが“X 線反射星雲”が過去の活動性を示す理由である。反射 X 線は、分子雲までの距離に応じた過去の時点の中心核ブラックホールの強度を反映するのである。今回得られた結果は、300 年前から 60 年前にかけて中心核のブラックホールは次第に暗くなっていったことを示している。すなわち、今回得られた結果は、“X 線反射星雲”の仮説を検証すると同時に大質量ブラックホールの過去の活動を明らかにすることとなった。

X 線天文学の歴史はまだ 50 年に満たない。今回の数百年にわたる時間変動は、当然これまでで最長の観測成果となる。大質量ブラックホールは、多くの銀河の中心で発見されているが、QSO など非常に明るく輝いているものから現在の我々の銀河系中心のように中性子星にも満たない明るさのものなど活動性は様々であり、その放射機構は現在も重要な研究対象となっている。現在は静穏と考えられている銀河系中心核が過去には非常に明るく輝いていた、とする“X 線反射星雲”仮説はその解明のために重要なものであり、今回時間変動をさらに詳しく明らかにできたことで理論研究などが活性化することを期待する。

この研究成果は、名古屋で行われた銀河系の国際研究会で発表し、海外の研究者とも議論を行った。その際、さらに過去の時間変動についてはどうか、などいくつかのアドバイスを頂いた。それを参考として、今後もこの研究を発展させていく予定である。

研究成果の概要 (つづき)

“X線反射星雲”については、まずいて座 B2 など個々の天体について順次論文にまとめているが、今年度はいて座 C という一天体に注目した成果が雑誌論文に発行された。今回の研究成果を含めた全天体をまとめた成果については、今後発表予定である。

以上の中心となる研究成果に加え、別の面から中心核の活動性を探る研究も行った。

第一に、中心核のジェットの痕跡を探った。中心核のブラックホール周辺では、細長く伸びた構造が長軸方向に並んで数例見つかり、整列方向を延長するとブラックホール付近に到達する。ブラックホールから何か高温の物体が飛び出たと解釈できる構造であり、過去にジェットが吹き出した痕跡ではないかと考えられている。この構造は中心核から数十光年程度の狭い範囲に集中している。私は、これに加えてさらに遠方でのジェットの痕跡を探った。過去の衛星の観測結果から、1000 光年程度離れた場所にも高温プラズマの集中している可能性がある。ここを広げた構造の検出感度に優れた「すぎく」で観測し、高温プラズマの有無を調べた。この観測は 2008 年度中の観測として採択されていたが、残念ながらその終わり近い 2009 年 3 月に観測された。詳細な解析は今後の課題である。

また、今のところ直接銀河系中心とは関連しないが、TeV 放射天体の研究も行った。TeV すなわち 10^{12} eV という大きなエネルギーの電磁波が観測されている天体である。この中で TeV J2032+4130 の観測を行った。この天体は、TeV 以外の波長では未検出の TeV 未同定天体と呼ばれるものである。「すぎく」の観測により、この場所から二つの広がった放射が発見された。一般的に、X 線は高エネルギー電子からのシンクロトロン放射と考えられる。したがって、X 線の観測結果はその領域の高エネルギー電子の分布を反映する。また、高エネルギー電子は逆コンプトン散乱により TeV の放射を生み出す。したがって、TeV 領域の放射機構が逆コンプトン散乱であれば、X 線と TeV の放射には相関が見られることになる。

しかし、今回の観測結果からは、X 線を放射している高エネルギー電子では、TeV の放射を説明することはできないことが示唆された。このことは、TeV 放射が電子以外の高エネルギー粒子から放射されていることを示す。陽子などハドロン起源であると考えられる。

TeV 放射は、銀河系中心からも観測されている。銀河系中心では、高エネルギー粒子が分子雲に衝突して TeV を放射していると考えられる。したがって、TeV 放射も“X線反射星雲”と同様に分子雲と相関する。今年度の研究ではその相関を明らかにできなかったが、今後研究を進めていく予定である。