

氏 名	乾 達 也
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 3233 号
学位授与の日付	平 成 20 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
学位論文題目	X-ray Study of the Variable Neutral Iron Line Emission of the Sgr B2 Complex in the Galactic Center Region (銀河中心領域 Sgr B2 における中性鉄輝線放射に関する X 線による研究)
論文調査委員	(主 査) 准教授 鶴 剛 教授 小山 勝二 教授 笹尾 登

論 文 内 容 の 要 旨

天の川銀河中心に位置する超巨大ブラックホール Sgr A* は、その百万倍太陽質量という重力エネルギーに対して、その X 線放射光度は 10 桁近くも低いことがわかっている。本論文は、このような Sgr A* の活動性について、銀河中心分子雲における中性鉄輝線放射を用いて明らかにしようとするものである。

Sgr B2 領域は、銀河中心でも特に中性鉄輝線 (6.40keV) で明るい巨大分子雲領域である。先行研究において、その X 線放射スペクトルおよび空間分布から、中性鉄輝線は X 線による蛍光であり、その X 線源が Sgr A* であるという X 線反射星雲説が提唱された。一方で分子雲領域に付随する TeV ガンマ線放射を示すような電子 (陽子) による衝突電離説も完全には否定できなかった。

本論文では X 線天文衛星 (ASCA, Chandra, XMM-Newton, Suzaku) による 1994 から 2005 年に計 6 回の観測データを用いて、Sgr B2 領域全域における中性鉄輝線の強度変化を調べた。輝線強度の不定性に影響する 3 つの要因について考察している。一つが各衛星・検出器がもつ絶対感度の不定性である。この感度不定性を銀河中心拡散放射に起因する 6.67keV 輝線を用いて評価・校正している。銀河中心拡散放射は 2 度 - 1 度に広がった放射であり、その強度は時間的に一定と考えてよい。しかし、実際の観測値は有意なばらつきを見せる。この分散は各衛星が公表する感度不定性 (5 ~ 13%) で説明できることを示し、また 6.67keV 輝線強度を一定値に補正する手法により、6.40keV 輝線強度の絶対感度補正も行っている、スペクトル解析に用いる連続成分モデルによる不定性、バックグラウンドの時間変動性による不定性についてもそれぞれ評価し、どちらも統計誤差 5 % 以下であることを示している。以上の不定性を考慮しても、6.40keV 輝線強度が有意に変動していることを明らかにした。

4 つの長時間観測データを用いて輝線強度の空間的变化を調べ、大きな変動を示す二つの広がった放射源 M 0.66-0.02 (Sgr B2 cloud) 及び G 0.570-0.018 について、詳細な時間変動解析を行っている。M 0.66-0.02 は 2000 年をピークとした 10 年スケールの変動を示し、2005 年観測時はピークの 60% まで減少している。G 0.570-0.018 は発見当時、超新星残骸と考えられていた。しかし、本解析において、6.40keV 輝線強度が M 0.66-0.02 とよく似た変動を検出し、X 線反射星雲である証拠を得た。

これらの 6.40keV 放射源の大きさは 10 光年程度あり、変動の時間スケールに一致する。このように速い変動は最も効率的に鉄と反応する 100keV 程度の電子では不可能である。また陽子起源であれば連続 X 線放射は非常に弱くなるが、連続成分にも変動の徴候を捉え、その可能性を否定した。これら結果から、本論文は Sgr B2 領域の分子雲は X 線反射星雲であると結論づけ、また同時に照射源である Sgr A* における過去 (300 年前) における光度変化を捉えた初めて捉えた結果として報告する。

論文審査の結果の要旨

天の川銀河中心超巨大ブラックホール Sgr A* は最も近傍に位置する活動銀河核である。近年の高空間分解観測により、その X 線放射が明らかになってきたが、その光度は一般的な活動銀河核よりはるかに暗く、その活動性は大きな謎であった。一方で分子雲領域における中性の鉄からの輝線放射の研究から、その起源が Sgr A* からの X 線であり、その光度は、300 年前、現在の 6 桁も明るかったとする X 線反射星雲説が提唱された。申請者はこの分子雲における中性鉄輝線に着目し、Sgr A* の活動性を明らかにしようとした。

対象とした Sgr B2 分子雲は銀河中心最大であり、強い中性鉄輝線放射源である。1994~2005 の間に行われた計 6 回の観測データを用い、中性鉄輝線の変動性を検証した。これらの観測は 4 つの X 線天文衛星を用いて行われており、それに起因する様々な不定性を考慮しなければならない。申請者は絶対感度、バックグラウンド、連続成分モデルの 3 点についてそれぞれ評価した。絶対感度を評価する指標として、銀河中心拡散放射を起源とする電離輝線 (6.67keV) を用いた。銀河中心領域を広く覆うこの成分は時間変動しないと考えてよい。一方で、実定性を考慮することで説明できることを示した。また、このような分散を 6.40keV 輝線強度へ取り込むことで絶対感度の補正を行った。バックグラウンドの時間変動性・連続成分に対するモデル依存性についてそれぞれ評価し、いずれも輝線強度の統計誤差 5% 以下であることを示した。

申請論文の最大の成果はこのような不定性を評価した上で、中性鉄輝線に有意な変動があることを明確にしたことである。中性鉄輝線放射の空間構造の変化から M 0.66-0.02 (Sgr B2 cloud) 及び G 0.570-0.018 の二つの放射源について、いずれも 2000 年をピークとした 10 年スケールの変動を示した。この時間スケールと放射源の大きさ (約 10 光年) から電子起源説を棄却し、X 線起源である強い証拠を得た。また同時に、光源である Sgr A* の過去における光度変動を捉えた初めての成果として高く評価する。

申請者は、以上の研究成果を論文としてまとめ既に公表をしている。審査の結果、この学位申請論文の公表は共著の形をとっているが、申請者の独自の貢献を確認した。また、共著者の承諾が得られていることも確認した。

以上より、本論文は博士 (理学) の学位論文として価値があるものと認めた。また、論文内容とそれに関連した試問の結果、合格と認めた。