

# 学 位 審 査 報 告 書

|                                                                                                                                            |                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| ( ふ り が な )<br>氏 名                                                                                                                         | のぶかわ まさよし<br><br>信川 正順                       |
| 学位 (専攻分野)                                                                                                                                  | 博 士 ( 理 学 )                                  |
| 学 位 記 番 号                                                                                                                                  | 理 博 第 号                                      |
| 学 位 授 与 の 日 付                                                                                                                              | 平成 年 月 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)<br><br>Study of X-ray Emission from the Giant Molecular Clouds<br>in the Galactic Center Region<br><br>(銀河中心領域の巨大分子雲からの X 線放射の研究) |                                              |
| 論 文 調 査 委 員                                                                                                                                | (主査) 鶴 剛 准教授<br><br>中家 剛 教授<br><br>長瀧 重博 准教授 |

理 学 研 究 科

( 続紙 1 )

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                     |    |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-------|
| 京都大学                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 博士（ 理学 ）                                                                                                            | 氏名 | 信川 正順 |
| 論文題目                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Study of X-ray Emission from the Giant Molecular Clouds in the Galactic Center Region<br>（銀河中心領域の巨大分子雲からの X 線放射の研究） |    |       |
| （論文内容の要旨）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                     |    |       |
| <p>天の川銀河中心には点状天体（X 線星）だけでは説明できない X 線放射が広がっている（銀河中心拡散 X 線： GCDX）。この GCDX の最大の特徴は鉄の K 輝線（L 殻から K 殻遷移の特性 X 線）を持つことである。この鉄輝線はヘリウム状（電子が 2 個残った状態）や水素状（同様に電子が 1 個）に高階電離した鉄イオンからのもの（エネルギー 6.7 keV, 7.0 keV）と、電離していない中性原子からのもの（エネルギー 6.4 keV）の 3 輝線から構成される。高階電離鉄輝線は数千万度の高温プラズマガスの存在を示唆する。一方で中性鉄輝線放射は巨大分子雲と関連した強度分布をしており、外部からの高エネルギー粒子が分子雲内の鉄原子と電離し、蛍光放射していると考えられていた。このような分子雲を 6.4 keV 分子雲と呼ぶ。その起源として硬 X 線による光電離（X 線起源）、あるいは低エネルギー宇宙線電子の衝突電離（電子起源）が提案されたが、観測的な決定打は得られていなかった。本研究では、X 線天文衛星すざくを用いて中性鉄輝線を放射する分子雲の観測を行い、起源に対して新しい制限を与えた。</p> <p>X 線放射強度が最も強い分子雲から鉄とニッケルに加えて、新たにアルゴン、カルシウム、クロム、マンガンからの K 輝線を発見した。X 線、電子両起源では X 線放射機構が異なるため、そこから期待される X 線スペクトルも異なる。特に輝線の等価幅（連続 X 線との相対強度比）に違いが表れる。電子起源で観測された等価幅を説明するためには、分子雲中の元素組成量が太陽に比べて 4 倍である必要があった。また、X 線起源では 1.6 倍程度で全てを説明できた。同時に周囲の高温プラズマガスの組成量を測定したところ、太陽に比べて 1—2 倍であることが求められた。分子雲は周囲のガスが凝縮してできる。すなわち、観測結果は X 線起源であることを示唆する。</p> <p>射手座 B1、C 領域の分子雲から良質な X 線スペクトルを取得した。その結果、いずれも等価幅 1—2 keV の鉄輝線を持つことが分かった。大きな等価幅から、これらの分子雲からの X 線も外部 X 線照射起源を示唆する。</p> <p>射手座 B2 領域を 2005 年と 2009 年に観測し、2 つの分子雲からの時間変動を検証した。両分子雲ともに 4 年間に鉄輝線と連続 X 線が関連して強度が減少していることが分かった。観測結果から、両分子雲の起源が同一天体からの X 線照射であることを示した。また照射に必要な光度が <math>\sim 10^{38} \text{ erg s}^{-1}</math> 以上であることを求め、巨大ブラックホール射手座 A* の過去のフレアが唯一の候補であることを示した。</p> <p>観測で得られた 6.4 keV 分子雲の起源が射手座 A* からの単一フレアで説明可能であることを示した。X 線放射が観測されていない分子雲は、この X 線フレアが届いていない、あるいは既に通過したという可能性を指摘した。</p> |                                                                                                                     |    |       |

( 続紙 2 )

( 論文審査の結果の要旨 )

X線天文衛星すざくは論文審査時点で最も優れたエネルギー分解能・有効面積と安定し低いバックグラウンドを備える。特に本論文の主要研究課題である鉄のK輝線を含む6 keV以上のエネルギー帯域の感度は他の観測装置に比べて高い性能を誇る。本論文ではこの優れた特徴を最大限に活用して、天の川銀河中心の巨大分子雲からのX線放射について観測研究を行い、以下の成果を挙げた。

分子雲中には鉄以外の重元素も多数含まれているにもかかわらず、これまで鉄とニッケルの中性元素からのK輝線(中性輝線)しか発見されていなかった。本論文では、すざくの観測データから、中性鉄輝線で最も明るい分子雲からアルゴン、カルシウム、クロム、マンガンの中性輝線を初めて検出することに成功した。詳細なスペクトル解析の結果、各輝線の等価幅(連続X線との強度比)を定量的に測定した。周囲の高温プラズマの元素組成量や計算結果と比較を行い、分子雲からのX線放射の起源は電子衝突ではなく、外部からのX線照射であることを決定的なものにした。また、射手座B1、射手座C領域の分子雲からのX線放射についても、鉄輝線の等価幅などからX線照射起源であることを明らかにした。

射手座B2領域の分子雲からX線放射の時間変動を検証した。鉄輝線と連続成分が相関して4年間に半減していることを明らかにした。分子雲を照らすために必要な光度を見積もった結果、恒星質量の天体では不可能であり、巨大ブラックホールが現在考えられる唯一の候補であることを示した。その場合、巨大ブラックホールは300年前に現在見えているよりも100万倍以上明るかったことを求めた。さらに、巨大ブラックホールの過去のフレアが全ての分子雲を照らしていると考えても矛盾しないことを初めて明らかにした。

上記の研究成果は申請者が初めて明らかにしたことである。これらは物理学と観測装置の特性に対する深い知識と理解、天体现象に対する洞察力によってなされたものであり、銀河の高エネルギー活動の観測的分岐点となることが確実な重要な結果である。得た結果の信頼性も高いと判断できる。

従って、本論文は博士(理学)の学位論文として十分な価値があると認める。また、平成23年1月19日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った。その結果合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降