

学 位 審 査 報 告 書

(ふ り が な) 氏 名	おざわ みどり 小澤 碧
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) Study of Recombination X-rays from Supernova Remnants with Suzaku (すざくによる超新星残骸からの再結合 X 線の研究)	
論 文 調 査 委 員	(主査) 鶴 剛 准教授 永江 知文 教授 長滝 重博 准教授 川畑 貴裕 准教授 窪 秀利 助教

理 学 研 究 科

(続紙 1)

京都大学	博士 (理 学)	氏名	小澤 碧
論文題目	Study of Recombination X-rays from Supernova Remnants with Suzaku (すざくによる超新星残骸からの再結合 X 線の研究)		
(論文内容の要旨)			
星の爆発の名残である超新星残骸(SNR)中の高温プラズマは、従来の描像ではほぼすべてが電離途上にあるとされていた。すなわち衝撃波の通過後、～100 年で電子が加熱され(電子温度)、数万年かかって加熱された電子によりイオンが電離される(電離温度)途中を見ているというものである。この描像は日本の X 線天文衛星『あすか』により検証され、確立された。観測により若くて明るい SNR のみならず、数万歳の古い SNR ですら電離が優勢な状態にあることを明らかになったのである。この描像はほぼ全ての研究者に受け入れられてきた。 申請者はこの常識に反する可能性のある SNR に注目した。上述の描像にそぐわない過電離状態(電子温度<電離温度)にあることが『あすか』の結果で示唆されている W49B と IC443 である。しかしながらこれらの結果は、その温度の決定方法に不定性が残っていた。2005 年に打ち上げられた日本の X 線天文衛星『すざく』は優れた分光能力と高い感度を持つ。このため電離した重元素からの輝線スペクトルの検出に威力を発揮する。申請者はこの性能を最大限に活かして上述の 2 つの SNR に加え、珪素と硫黄の高階電離輝線の存在が明らかになっている G359.1-0.5 の観測を行いこれらのプラズマ状態を詳細に調査した。 まず W49B で強い輝線を示す鉄のエネルギー帯(5-12keV)に注目した結果、スペクトルは従来の描像では全く再現できないことを明らかにした。代わりに過電離状態時に予想される強い再結合放射連続線(RRC)及びカスケード輝線を考慮すると、スペクトルは非常に良く再現できた。制動放射と RRC の形状から求めた電子温度は矛盾なく一致し、また両成分の Volume emission measure も一致する。これにより、単一の過電離状態にあるプラズマが X 線放射全てを担っていることを確定的にした。このような強い再結合構造が SNR プラズマから検出されたのは初めてのことである。更に起源に対する示唆を得るために再結合強度の空間分布を求めたところ、東西の非対称性を明らかにした。 続いて IC 443 および G359.1-0.5 から珪素と硫黄の RRC の強い再結合構造の検出に成功し、単一の過電離状態にあるプラズマから放射が来ていることを裏付けた。IC 443 については再結合強度の空間分布を調べた結果、逆行衝撃波に沿う爆発噴出物由来の輝線の強い領域で卓越することを明らかにした。 3 つの SNR はいずれも X 線の中心集中したいびつな形状をしていて、星形成領域あるいは分子雲との相関を示しており重力崩壊型の超新星爆発を起こした可能性が強い。強い再結合状態にあるプラズマを形成するには、電子の温度を下げるかイオンの電離状態を上げるかの何れかのプロセスが現在、或いは過去において行われたはずである。素過程としては熱伝導、断熱膨張、光電離などが考えられる。現在の SNR の周辺環境、高階電離イオンの生存時間、及び再結合強度の空間分布からこれらを検証した結果、親星の出した濃い星周物質中で爆発が起こり、衝撃波により一気に星周物質が電離され、続いて希薄な星間物質への急激な断熱膨張が起こって電子が一気に冷えたという説を一つの可能性としてあげた。			

(論文審査の結果の要旨)

すざく衛星は優れたエネルギー分解能と大きい有効面積、非常に低く安定したバックグラウンドレベルを誇る。そのため、特に鉄の 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機器の追従を許さない。申請者はこの特長を最大限に活用して SNR の観測的研究を行い、以下の通りの成果をあげた。

(1) 観測機器の性能を最高レベルに高めるため、すざくに搭載された X 線 CCD の校正作業を積極的に推し進めた。特に電荷注入機能をもちいて CCD の列ごとに電荷損傷を精密に測ることにより、大幅にエネルギー分解能を改善させることに成功した。

(2) W49B からは、SNR としてはじめて強い鉄の RRC を検出した。従来知られたプラズマ状態にはないために、スペクトルのフィットに用いるためのプラズマコードが存在しないことが懸念事項であるが、電離平衡状態に足りない成分を適宜加算していくという独自のフィットモデル構築を行うことにより、大局的なスペクトルの再現に成功した。これらのモデルの各成分の物理パラメータを詳細に検討した結果、プラズマが単一の過電離成分から放射されているということを確定的にした。IC443 および G359.1-0.5 からは珪素と硫黄の RRC の検出に成功した。W49B 同様の独自の解析法を行い、これらも単一の過電離かつ強い再結合状態にあることを明らかにした。

(3) 従来のプラズマコードに頼らない現象論的モデルを構築することにより、一般的に知られている電離優勢プラズマと再結合優勢プラズマの違いを明確にあらわした。更にプラズマコードを用いた(2)との結果の整合性を検証した。

(4) 銀河系内で知られた 300 個弱の SNR のうち少なくとも 3 個がこのような強い再結合状態を示したということは、再結合優勢プラズマは非常に特殊なものではなくある程度普遍的な存在であることを暗示している。この点に着目し、再結合状態にあることが確定的になった 3 つの SNR について共通項を検証した。その起源についても多角的な検討をして多くの制限をつけた。

上記全ては申請者が初めて明らかにしたことである。これらは SNR やプラズマ物理に関する知識、観測機器の特性に対する深い理解によってなされたものであり、超新星の爆発機構および SNR の進化に対して観測的分岐点となることが確実な重要な結果である。さらに解析過程も独創的かつ論理的であり、結果の信頼性も高いと判断できる。

以上を鑑み、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また平成 22 年 1 月 20 日に論文内容とそれに関連した口頭試問を行った。この結果合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降