

# 論文審査の結果の要旨

氏名 佐藤 有

本論文は 8 章からなる。第 1 章はイントロダクションであり、本研究の目的として、超新星残骸の進化や低エネルギー宇宙線加速源の解明があげられている。その背景となるのは、近年、電波から X 線ガンマ線にいたる広帯域の観測に基づき、超新星残骸中の高温プラズマや宇宙線の加速現場の研究が大きく進んでいるが、未だその進化などが解明されないまま残されていることである。また、本研究の観測方法として、低いバックグラウンド性能を有し、広がった天体に対して高い X 線観測感度をもつ「すざく」衛星を用いており、観測対象としては、銀河系の楕座腕上で隣接する 4 つの超新星残骸 SNR 3C391、Kes79、Kes78 および W44 を選んでいる。その理由は、これらが GeV ガンマ線で明るく、分子雲と相互作用している超新星残骸であることと、銀河中心から 3kpc 以上距離があり、銀河面リッジ放射 (GRXE) の影響が比較的低い領域の超新星残骸だからである。広がった X 線天体の解析では、銀河面に分布する GRXE が観測バックグラウンドとして混入するため、それを正確にモデル化することが重要である。本研究ではそれを系統的に解析して、バックグラウンドをうまく差し引くことで、いくつかの重要な結果を得ている。

第 2 章は、超新星や超新星残骸の分類とその進化、宇宙線の加速機構と鉄輝線などのレビューである。第 3 章では「すざく」衛星の X 線観測機器について解説されている。

第 4 章では SNR 3C391 の観測結果が解説されている。この解析では 3C391 全体の X 線放射が低温と高温のプラズマで説明できることを示し、それが電離過剰の状態にあることを初めて発見している。また、プラズマの輝線強度から得られた過電離プラズマの金属組成比とプラズマ密度の考察から、3C391 は 15~20 太陽質量の重力崩壊型超新星爆発により形成され、その爆発初期に電離平衡状態に対して電子温度だけが急激に減少する現象を経たか、あるいは低エネルギー宇宙線による電離作用が効果的に働いたことで、過電離の状態になったとしている。

第 5 章では SNR Kes79 の観測結果が解説されている。まず、スペクトル解析により、この X 線放射が低温 (0.2keV) の電離平衡プラズマと高温 (0.8keV) の未電離プラズマの 2 成分からなっていることを確認している。この 2 温度プラズマの空間分布と Kes79 でこれまで確認されていた特徴的な電波二重殻構

造は、外へと進行して星間物質をプラズマ化する衝撃波と、中心へと逆行し、爆発放出物をプラズマ化する衝撃波との境界を見ていると解釈している。次に、イオンごとに温度と電離パラメータの異なる複合型のプラズマモデルを作成し、Al、Ca、Ar の金属組成比を明らかにしている。その後の考察で、この SNR が 30-40 太陽質量の重力崩壊型超新星爆発によって形成されたと推定している。さらにスペクトルの詳細な解析を行うことで Kes79 からの 6.4keV の鉄輝線の放射を  $3.5\sigma$  の有意度で初めて検出することに成功している。

第 6 章では、SNR Kes78 と W44 についての観測結果がまとめられている。Kes78 は本研究におけるバックグラウンドの詳細なモデル化という意味で極めて重要な役割を担っている。W44 はこれまでに多くの観測が行われているため、先行研究との比較が容易に行えるという意味で重要である。

第 7 章では、SNR Kes79 の 6.4keV の鉄輝線について考察している。Kes79 は、重い星の重力崩壊型超新星爆発で形成されたと推定しているが、この場合、鉄輝線は 6.7keV 付近の放射となるはずである。一方、X 線により励起された分子雲中の中性の鉄から 6.4keV が放射される可能性があるが、Kes79 の近傍の点状光源からの放射で説明するには強度が 2 桁足りない。そこで本研究では、分子雲中に注入された低エネルギー宇宙線陽子によって 6.4keV の鉄輝線が放射される可能性を論じている。これを精密に観測することで、ガンマ線による直接観測が難しい低エネルギー宇宙線の解明が期待できるとしている。

最終の第 8 章では、本研究のまとめと将来の展望が示されている。今後ますます精密さを増してゆく X 線天文学による低エネルギー宇宙線観測の可能性が本研究により高まったと評価でき、宇宙物理学に貢献したと認められる。なお、本論文は小山勝二、高橋忠幸、小高裕和、中島真也、Lee, Shiu-Hang との共同研究であるが、論文提出者が主体となって観測および解析を行ったもので、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。