

論文審査の結果の要旨

氏名 川崎 正寛

本学位論文は、宇宙X線衛星「あすか」を用いて超新星残骸を観測し、X線スペクトルからプラズマ診断を行い、「過電離プラズマ」という新しい状態を発見した結果を述べている。

超新星残骸 (SNR) は、超新星爆発で生じる超高温 (1~2千万度) のプラズマ塊で、おもに高温プラズマからの熱的なX線と、加速された粒子の出すシンクロトロン電波を放射する。既知の約230個のSNRのうち約2/3は、この2つの波長で似通ったシェル (球殻) 形状を示し、形状とその進化はSedovの相似則など、単純な流体力学モデルでよく説明される。ところが約20個のSNRは、電波ではシェル状に見えるが、X線では中味の詰まった形を示す。これらは「混合形態型SNR」(MMSNR) と呼ばれ、その説明はこれまで十分になされていなかった。この謎を解くことが本学位論文の主題であり、第2章ではSNRの基本的な性質がレビューされる。

申請者は、日本で4機目の宇宙X線衛星「あすか」(1993~2001)の豊富な観測データを用いて研究を進めた。第3章では「あすか」の記述がなされ、本研究に必要な、エネルギー分解能の良いX線撮像検出器として、CCDカメラ(SIS装置)が詳述される。また「あすか」の観測データの中から、一定の基準にもとづき、6個のMMSNRが選び出された。それらは、IC443、W49B、W28、W44、3C391、および Kes 27である。これらはいずれもさまざまな傍証から、年齢が数万年ていどの割に古いSNRと考えられる。

第5章~7章では、これら6個のSNRの「あすか」データが解析された。X線の撮像能力を活かし、位置分解してX線分光を行ったところ、3C391を除く5個で、X線で暗い周辺部ではX線で明るい中心部に比べ、プラズマ温度が有意に低いことが発見された。6個の代表格であるIC443では、X線の「スペクトルの柔らかさ」の画像を作ると、電波で見られるのと同様なシェル構造が再現した。また中心部では周辺部よりプラズマ密度が低い、密度勾配はSedovの相似解で予想されるより弱いことも見出された。よってMMSNRの周辺部では温度が低すぎ、X線が星間ガスや検出器の吸収を強く受けるとともに、中心付近では単純な予想よりプラズマ密度が高くてX線の放射率が上がり、結果として中心がX線で明るくなることがわかった。

ついでプラズマの電離状態に注目してX線スペクトルを詳細に解析した。シリコンやイオウなどの元素で、水素様イオンとヘリウム様イオンの出す $K\alpha$ 線の等価幅を比較し、それぞれのイオンの電離温度を求め、元素のラインが少ない3 keV以上の連続成分の形から決めたプラズマの電子温度と比べた。その結果、IC443とW49Bではその中心部でも周辺部でも、元素の電離温度が電子温度より4割ほど高い「過電離状態」が発見された。これはSNRでは初めてのことである。近傍に強い電離光源が無いので、この過電離状態は光電離によるものではなく、プラズマがいったん電離平衡に達したのち電子温度が速く低下し、電離状態がそれに追従できない結果と考えられる。残る4つのSNRでは、電離温度は電子温度と一致していた。

以上の結果を踏まえて第7章では、電子温度を下げる過程として、放射冷却、断熱膨張、および熱伝導が考察され、それらの時間スケールがイオン再結合の時間スケールと比較された。その結果、SNRのプラズマがいったん電離平衡に達したのち、熱伝導が効くことにより電子温度が下がり、一時的に過電離状態が出現しうるということが推論された。したがってSNRは、Sedov相似則の成り立つ段階から、放射損失の効いた状態に移行する途中で、一般にMMSNRの状態を通過すると考えられるに至った。これはMMSNRに初めて統一的な解釈を与えた研究成果であり、十分な科学的意義をもつものと評価できる。

なお本研究は、長瀬文昭、尾崎正伸らとの共同研究であるが、研究の多くの面で申請者は中心的な役割を果たしており、その寄与は十分であると判断される。

以上により、博士（理学）の学位を授与に値すると認定される。