

氏 名	伊 藤 裕 い とう ひろし
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	理 博 第 603 号
学位授与の日付	昭 和 55 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理 学 研 究 科 宇 宙 物 理 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Theoretical X-Ray Spectra of Supernova Remnants in the Adiabatic Phase (断熱的超新星残骸の理論X線スペクトル)

論文調査委員 (主 査) 教 授 小 暮 智 一 教 授 川 口 市 郎 教 授 加 藤 正 二

論 文 内 容 の 要 旨

超新星残骸からのX線源はカニ星雲を除くと、観測されている10数例のすべては高温プラズマからの熱放射によるものであることが知られている。これはX線スペクトルの形と輝線スペクトルの存在によるものであるが、X線観測の精度の向上に伴って精密な理論スペクトルの計算が重要となっている。

一般に、超新星残骸の進化段階は次のように考えられている。第1は星から放出されたガスが主体となる初期の段階、第2は放出ガスに比較して加熱された星間ガスが主体となる点源爆発風の段階で、この時期は放射冷却が殆ど効かないため断熱膨張期とも呼ばれている。第3は電子とイオンとの緩和が十分にすすんで、放射冷却が有効になる段階である。

主論文はこの断熱膨張期における残骸の気体力学的進化とX線スペクトルを詳細に計算したものである。

申請者はこの段階における進化モデルとして点源爆発風の二流体相似解を数値的に解いている。その特徴は衝撃波後方の非平衡状態にあり、電子温度とイオン温度の分離が著しい。平均規模の超新星では爆発後2500年程度の初期には電子温度は平均温度(約 $3 \times 10^7 \text{K}$)の1/10程度にすぎず、15000年後にようやく緩和される。

申請者はこの進化モデルに基づいて残骸から放射されるX線スペクトルを0.1~10 KeV エネルギー領域にわたって計算し、連続放射とともに、H, He, C, N, O, Mg, Feなどの輝線強度を導いた。超新星残骸のX線スペクトルは従来、電離平衡の仮定の下に計算されているが、それらに比較すると非平衡に基づく申請者の計算結果は次のような特徴を示している。

第1に、0.1~2 KeV の低エネルギー領域では輝線スペクトルおよび2光子放射(2γ)による連続放射の寄与が大きい。第2に、2 KeV 以上の高エネルギー領域では完全電離したH, Heからの制動放射が主体となるため、電離平衡スペクトルとの差は小さい。これらの影響でX線スペクトルの形は全体として軟かい形になる。また、その形は残骸の進化と共に電離平衡スペクトルに近ずいていく。申請者はその様子を年令2500年、5000年、10000年及び15000年の各段階における理論スペクトルの計算によって示してい

る。

従来の電離平衡スペクトルによると、X線源のプラズマは低エネルギー領域を近似する低温プラズマと、高エネルギー領域を近似する高温プラズマの二成分を必要としたが、申請者の非平衡理論ではその必要はなく、単一進化モデルで合理的に解釈される。さらに、白鳥座網状星雲、帆座X線源などではX線輝線によるプラズマの元素組成の研究もすすんでおり、Burginyon ら (1975) は電離平衡理論によって、Si は10倍、Fe は10分の1 という宇宙組成からの異常性を導いている。これについても申請者の非平衡理論ではこれらの異常性は解決し、いずれのX線源も正常な宇宙組成で解釈できることを示している。

論文審査の結果の要旨

超新星残骸にたいするX線観測の精度は近年急速に向上し、高温プラズマの熱放射によると思われる10数個について、輝線スペクトルの分解能の向上、および、1 KeV 以上の高エネルギー領域の観測が進展しつつある。このような観測結果からプラズマ内の物理状態および元素組成を導くにはX線理論スペクトルについて、より精密な取扱いが要求されている。

従来は、X線源は電離平衡にあるとの仮定に基いてスペクトルが解析され、プラズマ温度と元素組成について便宜的な解釈が行われてきた。これにたいし、申請論文は超新星残骸の比較的初期（爆発後 15000 年以前）における非平衡性に着目し、観測結果を統一的、合理的に解釈しうる理論スペクトルの計算に成功したのである。

超新星残骸中のプラズマの特徴は、電子温度とイオン温度の分離とその緩和過程、および、各種イオンの電離非平衡である。これらの効果が爆発直後の若い超新星において重要であることは参考論文1で明らかにされ、ついで、それにつづく断熱的進化段階においても重要であることが参考論文2において指摘された。申請論文はこれらの研究成果を発展させ、断熱的段階における各種イオンの電離度および理論X線スペクトルを計算して観測との比較を試みたものである。

申請論文によって解明された重要な点は 1 KeV 以下の低エネルギー領域における輝線の相対強度と、輝線のスペクトル全域への影響である。これは第1に、0.1~10 KeV にわたる広いX線スペクトルの形を全体として軟かい形にさせ、第2に、Si, Fe の元素組成に対する10倍ないし0.1倍といった異常性を解除するものである。このうち、第2の点はとも座超新星 (Pup A) のX線源の解析において得られた結論であるが、参考論文3においては、この超新星残骸から観測されるコロナ輝線 $[\text{Fe XIV}] \lambda 5303 \text{ \AA}$ の強度がX線スペクトルから予測される値より小さいことを、非平衡理論の応用として合理的に解釈している。

以上のように、申請者は主論文および3編の参考論文を通じ、一貫して超新星残骸からのX線スペクトルの理論的研究を行っている。特に、非平衡解にもとづく気体力学的進化とX線スペクトルの時間変化の統一的解釈は、従来の電離平衡理論が直面していた諸問題を合理的に解決するものであり、この方面の理論的研究にたいする寄与は極めて大きい。

また、これらの研究は申請者が豊富な学識経験を有することを示している。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。