

氏 名	はやし 林	いち 一	ぞう 蔵
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)		
学 位 記 番 号	理 博 第 1800 号		
学位授与の日付	平 成 9 年 3 月 24 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 第 二 専 攻		
学 位 論 文 題 目	Systematic X-ray Spectroscopy of Supernova Remnants in the Magellanic Clouds (マゼラン雲中の超新星残骸の系統的 X 線分光)		
論文調査委員	(主 査) 教 授 小 山 勝 二	教 授 佐 藤 文 隆	教 授 堀 内 昶

論 文 内 容 の 要 旨

星の進化の最終段階である超新星爆発 (SN) は宇宙における最も主要な重元素供給源かつ加熱源である。したがって、爆発時に飛散した物質 (ejecta) 中の重元素組成比および超新星爆発の総エネルギー量は天文学上最も基本的な物理量に挙げられる。

超新星残骸 (SNR) は超新星爆発によって形成される天体である。この進化を系統的に調べることは、超新星爆発で放出された重元素の星間物質 (ISM) への拡散を定量的に解明することにつながり、銀河、さらに宇宙のより大きな階層、銀河団の構造と進化、とりわけその熱的、化学的進化の研究に基礎的な情報を与える。

超新星爆発により放出された ejecta は周囲の ISM と衝突し、ejecta 中には reverse shock, ISM 中に forward shock と呼ばれる衝撃波を形成する。この衝撃波によって 1 千万度程度の高温に熱せられたプラズマは、連続 X 線輻射や各種重元素からの特性 X 線放射を行なう。この X 線スペクトルを解析することによってプラズマの温度、密度、質量、電離度、元素組成比といった重要な物理量が決定できる。X 線放射は比較的シンプルな原子過程により生じているので、X 線スペクトル解析は、他の波長 (光や紫外) のそれに比べて容易にかつ正確にプラズマの物理量が測定可能である。しかしながら、これまでの X 線データは、このような定量的解析に耐え得る十分なエネルギー分解能がなく、この種の研究はなかなか進まなかった。

申請者は、マゼラン雲内の SNR が、1) 距離の決定精度が高い、2) 軟 X 線領域 (0.5-2keV) で星間物質による吸収が少ない、という利点を持つことに着目し、X 線天文衛星「あすか」を用いて 11 個のマゼラン雲内 SNR に対しこれまでで最も質の高い (高いエネルギー分解能、高い SN 比) データを取得した。さらにこのデータに対して独自に開発した SNR モデルを適用し、これまでで最も正確と思われる物理量の導出に成功した。

申請者はまず、全ての SNR が従来適用されてきた 1 成分の電離非平衡プラズマモデルは不正確である

ことを見出した。さらに現象論的電離非平衡プラズマモデルは O, Ne, Mg, Si, S, Fe の各元素について、みかけの電離度がそれぞれ異なるが一定の法則性を発見した。申請者は元素組成比は一様であるが、温度、密度が SNR 内部で大きく変化するプラズマを考えると説明可能であると推定した。

そこで、申請者は SNR の構造・進化のモデルとしてよく使用されている Sedov の自己相似解を用いてプラズマの電離の時間発展をたどる self-consistent な SNR モデルを作成し、これを全ての SNR に対して適用した。その結果、爆発後3000年-10000年程度が経過した進化の進んだ SNR では forward shock によって加熱された ISM がプラズマの主成分であることを示し、その元素組成比を精度よく決定した。この結果は、X 線を用いて初めて大マゼラン雲の平均元素組成比を求めることに成功したことを意味し、大マゼラン雲の化学進化に対し新たな制限を与えたことになる。また、各 SNR について爆発エネルギー、年齢、周囲の ISM 密度、プラズマの総質量など、精度高い物理量を決定した。爆発後2000年以下の若い SNR については、reverse shock (ejecta) 成分を考慮した self-consistent なモデルを作成し、これを適用することによって、超新星爆発のタイプによって X 線スペクトルが顕著に異なり、I 型では Si, S, Fe, II 型では O, Ne, Mg の存在量が相対的に大きなことを初めて定量的に示した。このようにして求められた元素組成比は、SNR の内部構造の詳細にはよらないことも同時に明らかにした。

また申請者は self-consistent な Sedov モデルと現象論的なモデルで得られた結果を比較することにより、SNR の X 線スペクトル解析で頻繁に使用されている現象論的モデルが、誤った元素組成比を与える可能性が高いことを示した。

論文審査の結果の要旨

マゼラン雲は距離の決定精度が高いこと並びに視野にそった星間物質が少ないので軟 X 線でも吸収が少ないという利点をもつ対象であることに気づきそれを X 線天文衛星「あすか」観測に生かしたことに申請者のすぐれた着想力が伺われる。

実際、申請者は「あすか」を用いて 11 個のマゼラン雲内超新星残骸 (SNR) の X 線スペクトルを取得し、その解析をした。このスペクトルサンプルはこれまでの最大数であり、かつエネルギー分解能および SN 比においても過去最高品質のデータセットを構成している。これだけでも本論文の価値の高さを証明していると判断できる。

解析方法とその結果における申請者の功績はまず

- (1) 全ての SNR がこれまで言われていたような 1 成分の電離非平衡プラズマモデルでは説明できない。
- (2) 従来の解析方法でみられる O, Ne, Mg, Si, S, Fe のみかけの電離度の元素ごとの違いは、実は元素組成比が一様でむしろ温度、密度の SNR 内部構造を考慮すると説明可能である。

という 2 点を明らかにしたことである。

これを定量化するために申請者は

- (3) Sedov の自己相似解をもとにプラズマの電離の時間発展をたどる self-consistent な SNR モデルを作成し、これを全ての SNR に対して適用した。

この結果として

(4) 爆発後3000-10000年程度が経過した進化の進んだ SNR では forward shock によって加熱された星間ガス (ISM) がプラズマの主成分であることを示し、その元素組成比を精度よく決定した。即ち X 線を用いて初めて大マゼラン雲の平均元素組成比を求めることに成功し、大マゼラン雲の化学進化に対し新たな制限を与えた。

(5) reverse shock を考慮した self-consistent なモデルを作成し、これが若い SNR に適用できることをみいだした。

その結果

(6) 爆発後2000年以下の若い SNR については、超新星爆発のタイプによって X 線スペクトルが顕著に異なり、I 型では Si, S, Fe, II 型では O, Ne, Mg の存在量が相対的に大きいことを初めて定量的に示した。さらにこの元素組成比は、SNR の内部構造の詳細には大きく依存しないことも明らかにした。

加えて

(7) 個々の SNR についてはその爆発エネルギー、年齢、周囲の ISM 密度、プラズマの総質量など、精度高い物理量を決定した。

これらはいずれも本論文の根幹をなす、重要な発見、知見であると判断できる。さらに申請者は従来ひらく使われていた解析方法の問題点を発見し、警告を発している。すなわち、

(8) self-consistent な Sodov モデルと現象論的なモデルで得られた結果を比較することにより、SNR の X 線スペクトル解析で頻繁に使用されている現象論的モデルが、誤った元素組成比を与える可能性が高いことを示した

このように、本申請論文は、「あすか」衛星を用いて取得した質の高いデータと、独自に開発した SNR の内部構造・進化を考慮した物理的モデルを組み合わせることによって、信頼できる SNR 物理量を導くことに成功したものである。特に、大マゼラン雲の元素組成比を光学的手法とは全く独立に、しかもより正確に求めたという成果は、大マゼラン雲のみならず他の銀河の化学進化の研究にも大きく貢献するものであろう。

さらに申請者は、種々の進化段階にある 11 個の SNR を系統的に研究することにより、SNR による重元素合成・拡散の様子を明らかにし、爆発によって放出された重元素は、爆発後3000年程度経過すると X 線ではほとんど見えなくなることを観測的に示した。

一方解析技術として、現象論的な解析が誤った元素組成比を与えうることを示した。これらは SNR 研究のみにとどまらず、SNR をその重要な構成要素とする銀河内高温プラズマの X 線観測にとっても大きな波及効果をもつ重要な知見である。

以上申請論文は X 線天文学に対し種々の新知見を与えている。よって本申請論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。

主論文および参考論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問し合格と認めた。