

# 論文審査の結果の要旨

氏名 桂川 美穂

本学位論文は全 8 章で構成されている。第 1 章は短い序論に相当する。過電離状態にある超新星残骸がこの論文の主要な研究対象であることが述べられている。第 2 章において、超新星残骸のこれまでの観測と理論をレビューしている。分子雲と相互作用している超新星残骸では、そのプラズマが過電離状態にある傾向を紹介している。第 3 章では、論文提出者が解析する観測データを取得した、X 線望遠鏡「すざく」の構成と性能をレビューしている。第 4 章では、分子雲ほどではないが、星間空間の平均よりも密度が高い、原始雲と相互作用している超新星残骸 CTB 1 の「すざく」によるスペクトルデータを解析している。その結果、原始雲と相互作用している部分のプラズマのスペクトルは、高階電離しているネオンに再結合する電子からの特徴的な放射と解釈できた。この結果から、電子の熱運動で定義される電子温度よりも、電離状態で定義される電離温度が高くなっている、過電離状態であることが示唆された。これは、分子雲以外のガスと相互作用している超新星残骸において、初めての過電離状態の報告となる。そこで論文提出者は、過電離状態は、高密度ガスと相互作用する超新星残骸の普遍的な性質ではないかとの予想を立て、その物理解釈を以下の章で試みた。第 5 章では、超新星残骸の一次元時間発展を追う数値計算コードの開発について説明している。星間空間と放出物中を伝播する衝撃波を追うことができる流体シミュレーションを行い、各流体要素での電子や様々なイオンの加熱、冷却、電離度の進化を追う計算コードを開発している。このコードを用いた計算結果が第 6 章で紹介され、その進化の後期に電子の放射冷却が進み、過電離状態へと遷移することが示された。高密度環境で起きる超新星爆発ほど、その進化の時間スケールが短くなり、早い段階で過電離状態になり、これは分子雲や原始雲と相互作用している超新星残骸の観測と定性的に合致する。第 7 章では過電離状態にあるとされる超新星残骸と数

値シミュレーション結果を比較し、そのスペクトルや表面輝度分布の定性的傾向が合致していると述べている。第8章は短いまとめに充てられている。

本論文では、原始雲と相互作用する超新星残骸での過電離状態の徴候を初めて報告し、その物理解釈として濃い環境での早いプラズマの進化を提案し、数値シミュレーションを用いた議論をしている。後半の数値シミュレーションには、限られた種類の元素しか取り入れられておらず、その冷却の見積りも簡略化されたものに基づいているため、スペクトルや温度比など、定量的に観測と比較するレベルにまでは到達していない。これらは今後の課題だが、乱流による流体の攪拌や、熱伝導などの効果を取り入れずとも、過電離状態に移行する傾向を示しており、過電離プラズマ形成に関する重要な結果であると認められる。

なお、第4章は、中島真也氏、松村英晃氏、田中孝明氏、高橋忠幸氏らとの共同研究の成果であるが、論文提出者が主著者として主体的にデータを解析し、論文を執筆しているので、論文提出者の寄与が十分であると判断できる。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。