

論文審査の結果の要旨

氏名 佐藤 裕史

二つの白色矮星が近接連星系をなしていると、重力波を放射して徐々に近づき合体し、その一部は内部で核融合反応に点火・暴走し超新星爆発に至る可能性が指摘されている。本論文は、その合体の結末が超新星爆発に至るか否かを大規模数値計算を行って系統的に調べたものである。

本論文は、5 章と補遺からなる。第 1 章は序論である。この章では、そのスペクトルに水素の線が見られないこととケイ素の強い線が見られるという特徴から Ia 型に分類される超新星の基本的な性質や、Ia 型超新星の起源天体が炭素・酸素でできた白色矮星(以下、単に白色矮星と記す)と恒星の連星系か二つの白色矮星の連星系かという問題に関する観測的・理論的な研究の概観をまとめており、この問題にまだ決着がついていないという本論文の研究の背景を述べている。そして、本論文では後者を想定して白色矮星同士の合体のシミュレーションを行い、Ia 型超新星が起きる白色矮星の質量の組み合わせを網羅的に検証するという本論文の目的を明確にしている。さらに、白色矮星合体シミュレーションの先行研究について結果がまとめられ、本論文の目的とする Ia 型超新星が起きる白色矮星の質量の組み合わせを求めるほどの系統的な研究がなされていなかった点を指摘している。また、先行研究の問題点として、数値計算結果が初期条件や空間解像度に依存性することを挙げ、本論文での計算に際して注意を払って考察する必要性を指摘している。

第 2 章では、本論文で用いた、白色矮星連星合体のシミュレーションのための数値計算手法である Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH)法について重力の計算法を状態方程式とともに解説した後、合体直前に対応する初期条件の設定方法を先行研究と比較して妥当性を検証しつつ、まとめている。

第 3 章では、前章で説明したシミュレーションの計算結果を提示している。はじめにシミュレーション結果を概観し、白色矮星連星の合体の様相について、簡潔に説明している。特に、合計質量が白色矮星の限界質量である Chandrasekhar 限界に届かない時には合体後に爆発は起きず、白色矮星になることが示されている。次に、合計質量が Chandrasekhar 限界を超えている組み合わせについて、計算した白色矮星連星の合体が Ia 型超新星に至る

かどうかを、合体の時間進化に沿って調べている。まず、合体中に Ia 型超新星として爆発する可能性について場所ごとに力学的時間尺度と炭素の核融合反応による加熱時間を比較して調べている。同様に、合体した後に爆発に至る可能性についてもニュートリノによる冷却時間と核融合反応による加熱時間を場所ごとに比較することで白色矮星が外縁部から燃焼し重力崩壊してしまうか、白色矮星がその限界質量に達した後に中心で炭素の核融合反応が暴走して Ia 型超新星となるか調べている。その結果、合体後に Ia 型超新星として爆発する白色矮星連星の質量範囲を求めた。このようにして、いくつかの経路を通して爆発する白色矮星の質量範囲が求まる。そのような質量範囲にある白色矮星連星系の数は全体の 5% から 7% であるという結論が得られた。

第 4 章は第 3 章で得た結果についての議論を行っている。計算結果の空間解像度に対する収束性の確認や、初期条件や空間解像度の違う先行研究との比較についてまとめ、空間解像度では先行研究より良い解像度で行っていて、初期条件についてもその違いがどのように結果に現れるか適切に解析している。さらに、計算結果を用いて、最近惑星状星雲中に発見された白色矮星連星の合体の結末を予測し、合体中に爆発するタイプの Ia 型超新星に至るという結論を得ている。

第 5 章で本論文の結論が述べられている。かつてない系統的な白色矮星の質量の組み合わせについて計算を行った結果、合計質量が太陽質量の 2 倍かそれ以上のときには合体直後数秒で超新星爆発に至り、それ以下のときにも合計質量が Chandrasekhar 限界以上ならば合体で壊れた軽い方の白色矮星が冷えて徐々に主星に降り積もることで限界質量に達し超新星爆発することを示した。

補遺では、本論文で行ったシミュレーションの全ての結果での最高到達温度とその時の密度が表としてまとめられている。

以上のように、本論文において、白色矮星連星の様々な質量の組み合わせについて先行研究より優れたシミュレーションを注意深く系統的に行い、超新星爆発に至る組み合わせを判定し全体像を明らかにしたことは高く評価できる。

なお、本論文の内容は蜂巢泉、中里直人、谷川衝、野本憲一、前田啓一、各氏との共同研究であるが、論文提出者が主体的に行っており、すでに出版されている 2 編の論文でも主著者となっていて、論文提出者の寄与は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。