

論文審査の結果の要旨

氏名 中村敬喜

通常の鉄光分解型超新星の爆発エネルギー 1×10^{51} erg をはるかに超える爆発エネルギーを持つ超新星が最近発見され、“極超新星”と呼ばれるようになった。論文提出者は、この極超新星の光度曲線、核反応生成物、および爆発時における衝撃波を理論的に計算し、それらを観測値と比較することによって、極超新星の物理的性質を明らかにした。

提出された論文は、6章からなっている。第1章では、超新星の観測的な性質を概観し、観測面からの分類について現状をまとめて紹介している。第2章においては、球対称1次元の構造という制限付きではあるが、輻射輸送と流体運動をともに考慮した数値計算コードについて詳しく解説している。これは、以降の各章で述べられる問題を解くのに使われる。

第3章においては、はじめて極超新星と認識された Ic 型超新星 SN 1998bw の爆発モデルを再構築し、理論的な光度曲線とスペクトルを計算し、観測との直接比較を行うことで、極超新星の諸物理量の推定をおこなった。この極超新星については、いくつかの先行研究があるが、最近になって、爆発末期の全輻射光度曲線が発表されたため、爆発初期と合わせ、より正確なモデル化が可能となった。その結果、14 倍の太陽質量の炭素酸素星が 5×10^{52} erg で超新星爆発をおこし、かつ、極超新星の明るさの源である放射性同位元素ニッケル 56 の量が 0.4 倍の太陽質量であるとする、初期の 30 日間にわたる光度曲線、および初期のスペクトル分布をうまく再現できること、しかし、爆発末期の光度曲線を再現するには、爆発エネルギーがより小さいモデル (7×10^{51} erg) が必要となることを示した。これら爆発初期と末期の結果がともに球対称の仮定の基での結論であることを考慮し、論文提出者は、極超新星の爆発が初期の光度曲線を説明する、速く膨張する部分と、末期の光度曲線を説明する、ゆっくり膨張する部分が混在していること、すなわち、球対称から大きくずれた、双極的爆発の必要性に触れている。

第4章においては、極超新星のように、通常の超新星にくらべて1桁以上爆発エネルギーが大きい場合の元素合成について詳しく調べた。その結果、極超新星では、爆発的元素合成が星のより外側まですすみ、より多くの核反応物質が生成されることが判明した。温度が 10^9 K を超える領域では、Si を含むほとんどの物質が燃えて ^{56}Ni になるが、極超新星においては、温度が高い領域が広がるので、 ^{56}Ni などの鉄族元素が多く放出される。また、 10^9 K より温度が低い Si が完全に燃える領域では、トリプルアルファ反応があまり進まず、He がより多く残されること、また Ti などのアルファエレメントも多く生成されることなども

明らかにし、その結果、通常の超新星爆発のみでは説明できなかった Ti の量を、極超新星を考慮すると解決できる可能性を示した。同時に、酸素燃焼や炭素燃焼がより広い領域まで進行するために、O や C、Al などの元素が消費され、これらの核反応でできる、Si や S、Ar、Ca などが多く生成され放出される。最近、Si/C の元素組成比が通常の超新星爆発では説明できないほど大きい銀河が発見されたが、多くの極超新星によって汚染されたとすれば、この組成比を説明できることを示した。さらに、重元素の量が非常に少ない星、いわゆる金属欠乏星の鉄族元素組成比においてみられる特徴のなかで、通常の超新星爆発のみでは説明のつかない傾向も、極超新星爆発の効果を考慮すれば、説明できることを示した。今まで宇宙の中における元素組成で、通常の超新星爆発のみからでは解決のつかなかった多くの問題点を、極超新星爆発を考慮することで解決できることを世界ではじめて示したことは、高く評価できる。

第 5 章においては、超新星爆発時に発生する強い衝撃波が、星の表面から抜け出ていく現象 (ショック・ブレイクアウト) を数値的にしらべ、それらが観測的にどう見えるかを予測している。極超新星のモデルにおいては、バースト時の明るさはほぼ爆発エネルギーの 2 乗に比例し、大量の軟 X 線が放出されること。SN 1987A など、通常の超新星では、ブレイクアウト時に高密度のシェルが形成されるが、極超新星においては、放射冷却が効いて高密度シェルができる前に、放出物が高速で膨張してしまい、高密度シェルができないことなどを示した。第 6 章は、以上の結果のまとめである。

最近発見された極超新星は、宇宙の中において最も高エネルギーな爆発現象であると同時に、宇宙の元素組成を解明する上で非常に重要な役割をになっている。論文提出者は、先行研究の土台のうえに、さらに詳細な光度曲線解析を行い、極超新星の爆発エネルギーが通常の超新星爆発より 1 桁以上大きいこと、その爆発によって合成される元素組成が通常の超新星爆発によるものとは異なり、いままでの宇宙元素組成の問題点の多くを解決できること、を明瞭に示した。これらは、極超新星の理解を大きく進めると同時にその意義を明確にした点で、天文学において重要な貢献をしたものと判断できる。なお、3 章は、野本憲一、岩本弘一、Paolo A. Mazzali との、また 4 章は、野本憲一、岩本弘一、梅田秀之、橋本正章、W. Raphael Hix、Friedrich-Karl Thielemann との共同研究であるが、論文提出者が主体となっておこなったものであり、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、論文提出者は博士 (理学) の学位を授与される資格を有するものと認められる。