

論文審査の結果の要旨

氏名 田中雅臣

本論文は、非球対称な重力崩壊型超新星爆発モデルに基づいた輻射輸送計算と分光観測及び分光偏光観測を論文提出者自らがを行い、大質量星が超新星爆発を起こす際に合成・放出された重元素の分布が非球対称であることのみならず、その分布が実現されるジェット状爆発の幾何学的形状に関する情報を引き出した最初の研究である。特に、分光偏光観測によって超新星爆発の非球対称性を理論的な超新星モデルと比較しながら考察するために必要な方法を具体的に提案した重要な研究である。

本論文は5章からなる。第1章では、まず超新星爆発機構について概説し、超新星の一般的な観測結果とそれに基づく分類法や物理量の推定方法が解説された後、本研究の動機づけを行っている。重力崩壊型超新星では、非球対称性が重要であることを裏付けるために、過去の観測例を列挙している。その上で、点源にしか見えない多くの銀河系外の超新星に対しても有効な方法として可視光の分光と偏光観測を行い、非球対称超新星爆発モデルの検証を行うことを本研究の目標とすることが述べられている。

第2章では、論文提出者が開発した、明るさの極大期付近の光学的に厚い超新星に適用可能な輻射輸送計算コードについて述べ、それを極超新星 SN 1998bw に適用した結果をまとめている。非球対称な超新星爆発において光学的に厚い時期の輻射輸送計算は本研究が最初である。その結果この時期の超新星スペクトルは視線方向による違いが小さいことが示された。そして、超新星爆発の幾何学的特徴を引き出すには超新星が光学的に薄くなる爆発後数百日以上経過した時期の輝線スペクトルを観測することが肝要なことを指摘した。本研究で開発された輻射輸送計算コードについては付録 A に、熱力学的な量の計算については付録 B に、それぞれ詳しく説明されている。

第3章では、X線が爆発直後に観測され、その起源が相対論的ジェットか否か議論の分かれていた超新星 SN 2008D をすばる望遠鏡の FOCAS を使って観測した結果の解析がまとめられている。爆発後数百日経過した様々な超新星の分光観測の結果が双極ジェット状の爆発を違う角度から観測したものと解釈できることを過去の研究に基づき指摘している。この方法を超新星 SN 2008D に適用するため、測光及び分光観測を相次いで行ったことが述べられ、観測の詳細と解析手法が説明されている。その結果、この超新星はジェット状に爆発しており、推測される視線方向がジェット軸から 60-70 °離れていることから、爆発直後の X線の起源は相対論的ジェットではないことが判明した。

第4章では、偏光の基本的概念と超新星のスペクトルに検出される偏光の形成過程を解説した後、本研究で行われた2つの超新星に対する分光偏光観測の結果とその解釈が述べられている。観測手法やデータ解析方法は付録 C で詳述されている。次いで、過去の観測例では、超新星が球対称か否かの判定しかされていない現状を概説している。その上で本研究で観測した超新星 SN 2007gr の分光偏光観測結果が示されている。特に超新星 SN

2005bf については異なる 2 つの時期に分光偏光観測を行ったことで、超新星から発せられた光が星間物質を通る時に付け加わる偏光度を評価でき、超新星由来の連続光の偏光度を精度良く見積もることができた。後期の分光観測結果も考え合わせると、重元素の分布の対称軸はひとつではない、つまり軸対称からもずれていると結論づけている。これらの観測結果は他には類を見ないもので非常に高く評価できる。

付録 D では Ia 型超新星に対して行われた分光偏光観測とその結果が議論されている。

第 5 章では本研究で得た結果が要約されており、結論と今後の研究の展望が述べられている。

以上、本論文は、非球対称超新星爆発の研究を、ジェット状爆発の 2 次元モデル計算と分光偏光観測によって推し進めた画期的なものである。輻射輸送計算の手法は 3 次元に拡張でき、偏光も含めることが可能で発展性が高い。また、大変信頼性の高い観測・データ解析に基づき、分光偏光観測から予想される元素分布としては、これまでで最も具体的な分布を示すことに成功している。超新星爆発の非球対称性について理論・観測両面から迫った先駆的研究であり、当該分野の今後の発展に大きく寄与するものとして、高く評価できる。

なお、本論文の一部は野本憲一、峰崎岳夫、前田啓一、服部堯、青木賢太郎、山中雅之、家正則、川端弘治、富永望、Elena Pian、Paolo A. Mazzali、D. K. Sahu、Stefano Valenti、G. C. Anupama、及び Massimo Della Valle との共同研究であるが、論文提出者が主体となって観測及びデータ解析、数値計算及び解析、検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。よって、審査員全員一致で博士(理学)の学位を授与できると認める。