

論文審査の結果の要旨

氏名 神谷 保 臣

本論文は、恒星が進化の最期で迎える大爆発のうちIa型超新星と分類される超新星のなかで、従来の理論では説明できないほど例外的に極めて明るい一群の超新星が、超チャンドラセカール質量 (>約1.4倍太陽質量) を持つ白色矮星の熱核爆発で説明できることを、具体的にSN 2009dcの理論モデルを構築し、各波長帯の光度曲線やスペクトルに関する理論予測と観測との詳細な比較を行なって示したものである。本論文は4章と付録からなる。

第1章は導入部である。この章では、まず、さまざまな質量を持つ恒星の構造進化と、進化の最終段階で迎える超新星爆発について概観し、超新星の分類を説明している。特に本論文で取り扱うIa型超新星は、近接連星系をなす炭素と酸素からなる白色矮星の表面に伴星から物質が降着し、質量がチャンドラセカール質量 (約1.4倍太陽質量) に近くなると中心部付近で炭素の核燃焼が暴走する。その結果星全体が爆発に至る熱核爆発であることを説明している。このような爆発機構から、標準的なIa型超新星が示す最大光度や光度曲線は、幾つかの経験的な補正を行った上でほぼ同じであると推定され、宇宙論における距離指標として加速的宇宙膨張の発見に用いられてきたことは記憶に新しい。しかし、近年、極めて明るいIa型超新星の観測例が報告されている。超新星の光度は、主に爆発時に合成されたニッケル56とその娘核コバルト56が崩壊し、周囲の物質を加熱することで説明できる。従って、極めて明るいIa型超新星では、チャンドラセカール質量を越えるような白色矮星の爆発によって多量のニッケル56が合成されたのではないかとする仮説が提唱されている。具体的に理論モデルを構築することによって、このように極めて明るい一群の超新星を説明するという本論文の目的が述べられている。

第2章では、超チャンドラセカール質量を持つ白色矮星のモデル構築を行っている。標準モデルより重い白色矮星は高速回転しており、遠心力のためにチャンドラセカール質量を超える質量を支えることができる。典型的なIa型超新星モデルの流体力学的な構造をスケールすることで、爆発後に一様膨張する超チャンドラセカール質量のモデルを考えた。モデルパラメータは、安定な鉄族元素 (鉄・コバルト・ニッケル) とニッケル56、中間質量元素 (ケイ素・硫黄・カルシウム)、炭素・酸素、および爆発した白色矮星の質量であ

る。導入したパラメータの範囲と、これらのパラメータと観測量の関係を詳述している。さらに本論文で、各波長帯の光度曲線の計算に用いたSTELLAコードの特徴を説明している。

第3章では、構築した精緻なる爆発モデルを用いて各波長帯の光度曲線やエネルギースペクトルを輻射流体計算から求め、具体的にSN 2009dcの観測量と比較して先駆天体の性質を推定した。即ち、観測から示唆されるニッケル56の質量やケイ素の吸収線速度などを考慮し、約16万本のスペクトル線を考慮して現実的な吸収係数を求め、1次元の多波長輻射流体計算コードを用いて光度曲線を計算した。これらの理論計算が示す光度曲線やその立ち上がり時間、光球速度、等とSN2009dcの観測量との緻密なる比較の結果、母銀河による減光が無視できるならば、爆発した白色矮星の質量は2.2~2.4倍太陽質量であり、爆発時に合成されたニッケル56の質量は1.2~1.4倍太陽質量のモデルが観測を良く再現することが判った。母銀河による減光が大きい場合、本論文で構築したモデルでは観測をある程度までしか説明できないものの、爆発した白色矮星とニッケル56の質量はそれぞれ2.8倍太陽質量と約1.8倍太陽質量であることが示唆された。また、母銀河による減光の程度によらず、全体の質量の20~30%に相当する炭素と酸素が爆発的元素合成後に最外層に燃え残ることも判った。このことは、SN 2009dcの初期スペクトルに遅い速度を持った炭素の吸収線が見られた観測事実と一致しており、放出物質中に炭素が存在することを意味する。

第4章では、本研究で得られた結果が要約され、今後の研究の展望が述べられている。

付録では、第3章の考察に用いられた理論計算結果と観測値との詳細な比較が、図として示されている。

以上、本論文は標準的なIa型超新星の理論モデルで説明することが難しい極めて明るいIa型超新星SN 2009dcを詳細に研究し、先駆天体が非縮退の伴星から質量降着を受けて形成されたチャンドラセカール質量を超えるような白色矮星であれば観測を説明できることを示した。このようなIa型超新星モデルで輻射光度、波長帯ごとの光度曲線の理論計算を行ったのは、本研究が世界で初めてである。その結果、白色矮星の質量が約2.4倍太陽質量になると爆発を起こし、極めて明るいIa型超新星として輝くとする描像に基づいて世界で初めて具体的に計算し、観測と比較したものである。上記の独創的な研究成果は高く評価でき、今後の当該研究分野の発展に大きく寄与することが期待される。

なお、本論文の内容は複数の共著者との共同研究であるが、論文提出者が主体となって行っており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。