

K09b 重力崩壊型超新星爆発における定常計算のための非線形連立方程式を数值的に計算する革新的な手法

藤澤幸太郎 (早稲田大学)、大川博督 (京都大学/早稲田大学)、山本佑 (早稲田大学)、山田章一 (早稲田大学)

重力崩壊型超新星爆発のコアで実現されている停滞衝撃波と降着流の系の定常解を求めるためには、境界条件を与えて非線形楕円型方程式を計算しなければならない。そのために一般的には、非線形偏微分方程式を差分化することで多数の非線形連立代数方程式に変換し、この非線形連立方程式を数值的に求める必要がある。

数值的に非線形連立方程式を計算する最も一般的な手法は、連立方程式のヤコビアンを用いるニュートンラプソン法 (NR 法) などの、初期推量から方程式を反復的に計算して解に収束させていく反復法である。NR 法は解の近傍では非常に良い収束性を示すが、初期推量が解近傍でないと収束しないという欠点があり、適切な初期推量を用意しなければならないという欠点がある。この NR 法の欠点は、例えば停滞衝撃波と降着流の系で定常解が無くなる臨界的な解を求め解析する必要がある時には致命的であり、解を系統的に計算するのは困難であった。

そこで我々は、従来の NR 法とは全く異なる新しい反復法、W4 法を開発した (Okawa et al. 2018)。NR 法などの従来の反復法では、一つ前の反復の値のみを用いる二項間漸化式に基づいているが、W4 法は二つ前の反復の値も用いる三項間漸化式に基づいており、NR 法のような解近傍での局所的な収束性を保持しながらも、NR 法にはない非常に広い初期条件から解に収束する大局的な収束性を持っている。今回はこの W4 法を停滞衝撃波と定常降着流の系に用いて解を系統的に求めることに成功したが、W4 法自体は NR 法のような一般的な手法であるため、多次元の星の定常解や天体からのウインドなど、反復法を用いている様々な系に適応可能である。