

アクシオン様粒子が重力崩壊型超新星における元素合成に及ぼす影響

○高田 剣¹ 森 寛治² 中村 航³ 固武 慶¹ (1.Department of Applied Physics, Fukuoka University, 8-19-1 Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, Japan 2.Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Keio University, 3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, Kanagawa 223-8522 Japan 3.College of Arts and Sciences, J. F. Oberlin University, 3758 Tokiwamachi, Machida, Tokyo 194-0213, Japan)

重力崩壊型超新星は大質量星が進化の最終段階で起こす爆発現象であり、銀河化学進化における主要な元素供給源である。コアバウンス後に形成される衝撃波によって物質が加熱され、爆発的元素合成が進行する。特に中心領域では、50億度を超える超高温環境が実現されるため、爆発的Si燃焼や α -rich freeze-outが生じ、 ^{56}Ni をはじめとする重い鉄族元素が合成される。これらの組成比は、超新星物質の熱力学的履歴(Y_e 、エントロピー、膨張時間スケールなど)に強く依存することが知られている(e.g., Wanajo, S. 2023, Handbook of Nuclear Physics, Springer)。

この熱力学的履歴を変化させる例として、状態方程式や親星構造などに加え、標準模型を超える未発見の粒子であるアクシオン様粒子(ALPs)の存在が挙げられる。近年の研究では、ALPsが超新星内部で新たなエネルギー輸送チャネルとなる可能性が示唆されている。Mori et al. 2023, PRD 108, 063027では、軸対称二次元超新星シミュレーションにMeVスケールのALPsによる加熱・冷却の効果を組み込むことで、ALPsが衝撃波復活を促進し爆発エネルギーを増大させることが示された。ALPsによる物質加熱は、超新星の内部構造や放出物質が経験する Y_e 分布および熱履歴を変化させ、元素合成に影響を及ぼすと予想される。しかしながら、超新星数値計算においてALPsが元素合成に及ぼす影響を定量的に評価した研究はこれまで十分に行われていない。

本研究では、Mori et al. (2023)に基づく数値コードを用いて、ALPsを考慮した軸対称二次元超新星シミュレーションを実行し、元素合成に関連する熱力学的履歴への影響を調査した。親星には18太陽質量モデルを採用し、ALPパラメータとして質量 $m_a=100$ MeV、結合定数 $g_{ag}=1.0\times 10^{-9} \text{ GeV}^{-1}$ を用いた。その結果、ALPsによるエネルギー輸送は爆発エネルギー、 Y_e 分布、およびエントロピー分布を変化させることが示された。特にバウンス後1秒時点での爆発エネルギーは、ALPsを考慮しないモデルでは 2×10^{50} ergであったのに対して、ALPsを考慮したモデルでは 5×10^{50} ergに増加した。これらの変化は、ALPsが鉄族元素およびその近傍核種の生成量に影響を及ぼすことを示唆する。本講演では、簡易的な核反応ネットワーク計算の結果も併せて報告する。