

超巨大質量星の超新星爆発における元素合成

NO. 354 横山 智広 (理論)

ビッグバンで始まった宇宙には H や He などの軽い元素しか存在しなかった。それらをもとに、最初に輝きだす星、初代星が形成された。質量が太陽の 10 倍を超える星は寿命を迎えると崩壊と爆発を引き起こす。この現象は超新星爆発 (super nova, SN) と呼ばれている。SN により放出された重元素を含む物質を材料にし、大小さまざまな次世代の星が形成される。質量の小さい星は寿命が長いいため当時形成されたものが生き残っており、その元素組成が観測されている。Fe の H に対する組成比が太陽の 1/1000 以下の星 ($[\text{Fe}/\text{H}] < -3$, $[\text{Fe}/\text{H}] = \text{Log}_{10}(\text{N}_{\text{Fe}}/\text{N}_{\text{H}}) - \text{Log}_{10}(\text{N}_{\text{Fe}}/\text{N}_{\text{H}})_{\odot}$)。ここで N_{Fe} と N_{H} はそれぞれの元素の存在量) は超金属欠乏 (Extremely Metal-Poor, EMP) 星と呼ばれている。EMP 星は初代星の SN の元素組成比を反映している。SN を起こし、その元素組成比を EMP 星の元素組成比と比較することで、初代星たりえる星を知ることができる。

初代星として、太陽の 300 倍を超える質量を持つ超巨大質量星 (Very Massive Star, VMS) が提案されている。VMS は重力崩壊し、この際の長時間の質量降着によってガンマ線バーストを起こすと提案されている。VMS の非相対論的な二次元球座標コードでの SN の計算が行われたが、 $[\text{C}/\text{Fe}]$ が小さく、EMP 星の組成比に一致しなかった。一方で、太陽の 40 倍の質量を持つ星を用いた超相対論的二次元球座標コードでの SN 計算が行われ、 $[\text{C}/\text{Fe}]$ 不足の問題を解決し EMP 星の組成比を再現するに至った。

本修士論文では、宇宙の重元素汚染への超巨大質量星の寄与を検証する。

まず、非球対称の効果を取り入れた一次元球対称での SN の計算を行った。 $[\text{C}/\text{Fe}]$ と $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ 、 $[\text{Zn}/\text{Fe}]$ に着目したところ、 $[\text{C}/\text{Fe}]$ と $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ が EMP 星と一致する爆発は多くの質量降着を起こし、Si 完全燃焼領域の物質を放出せず、EMP 星の $[\text{Zn}/\text{Fe}]$ と一致しない。 $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ と $[\text{Zn}/\text{Fe}]$ が EMP 星と一致する爆発は、Si 完全燃焼領域の Fe を多く放出するため、EMP 星の $[\text{C}/\text{Fe}]$ と一致しない。

次に、超相対論的二次元球座標の流体計算コードを用いた SN の計算を行った。エネルギー注入率の低い爆発では Si 完全燃焼層の Fe が降着し、 $[\text{C}/\text{Fe}]$ が高くなる傾向がある。注入率が降着率に依存する場合、定常な場合よりも $[\text{C}/\text{Zn}]$ と $[\text{C}/\text{Fe}]$ が小さくなる。jet が弱く保たれることで、多く Fe 層付近の Zn や Fe を放出しながら大きな降着が実現されるためと解釈できる。jet をさらに弱くすることで、 $[\text{C}/\text{Fe}]$ を下げ、EMP 星の組成比を再現することができる可能性がある。