

超新星起源プレソーラーグレインの Si 同位体比の再現

吉田 敬

東北大学大学院理学研究科天文学専攻

プレソーラーグレインは始原的隕石に含まれる μm サイズのグレインで始原的隕石の全岩組成とは大きく異なる同位体組成を持つ。そのため、プレソーラーグレインは太陽系形成以前の星の元素合成の痕跡を持つと考えられている。そして、プレソーラーグレインはグレインの同位体比とさまざまな元素合成過程から得られる元素の同位体比を比べることで起源を推定されている。

^{28}Si の過剰を示すグレインの種類は ^{28}Si が超新星だけで多く作られることから超新星起源と推定されている。超新星起源グレインの Si 同位体比を定量的調べると約 80% の超新星起源グレインで太陽系元素組成を基準にした $^{29}\text{Si}/^{28}\text{Si}$ 比の値が $^{30}\text{Si}/^{28}\text{Si}$ 比の値よりも大きいことが得られている。しかし、これまでの超新星元素合成モデルからはこの傾向とは逆の傾向しか見られていない。そこで我々は星の質量や超新星爆発の種類を考慮してどのような超新星で超新星起源グレインに見られる Si 同位体比を再現できるかを調べた。

我々は恒星進化モデルとして 3.3, 4, 6, 8 太陽質量の He 星モデルを用いた。これは 13, 15, 20, 25 太陽質量の主系列星の水素層を考慮しないモデルに対応している。超新星爆発には標準的な超新星モデルと 8 太陽質量 He 星の極超新星モデルを用意した。このモデルを用いて星の進化と超新星爆発を数値的に追い、詳細な元素合成計算を行って超新星 ejecta の元素組成分布を求めた。さらに超新星 ejecta を元素組成の特徴を基に Ni, Si/S, O/Si, O/Ne, C/O or O/C, He/C, He/N 層の 7 層に分割し, Ni, Si/S, He/C, He/N の 4 層をさまざまな混合比で混合させ、個々のグレインが持つ Si 同位体比と超新星 ejecta 混合物の Si 同位体比の範囲を比較した。

その結果、大部分の超新星起源グレインが持つ $^{29}\text{Si}/^{28}\text{Si}$ 比が $^{30}\text{Si}/^{28}\text{Si}$ よりも大きな値を示すという特徴は 3.3, 4 太陽質量 He 星の超新星モデルと 8 太陽質量 He 星極超新星モデルで再現された。 ^{28}Si の過剰は星の質量にかかわらず Si/S 層で得られた。一方、大きな $^{29}\text{Si}/^{30}\text{Si}$ 比という特徴は軽い超新星の Ni 層で得られた。これは軽い星の超新星の方が超新星爆発時の温度減少のタイムスケールが短く、爆発時の $^{28}\text{Si}(p,\gamma)^{29}\text{P}(\beta^+)^{29}\text{Si}(p,\gamma)^{30}\text{P}(\beta^+)^{30}\text{Si}$ という反応が ^{30}Si が十分作られる前に凍結されるからである。また、極超新星で得られる高エントロピー状態も ^{29}Si 生成に適していることもわかった。以上のことから超新星起源グレインに見られる Si 同位体比の特徴は主に軽い星の超新星 ejecta における Si/S 層と Ni 層の混合で説明することができた。なお、本研究では超新星ニュートリノによるニュートリノ破砕反応を考慮しているが、ニュートリノ破砕反応を考慮しない場合には Ni 層における ^{29}Si 生成は見られなかった。そのため、超新星起源グレインの Si 同位体比の特徴は超新星からニュートリノが放出される間接的な証拠であると考えられることもできる。