New nuclear reaction flow towards r-process nucleosynthesis in supernovae : a critical role of the light neutron-rich nuclei $1 \leq Z \leq 10$

寺澤真理子 (東大天文)、住吉光介 (沼津高専)、
梶野敏貴 (国立天文台)、 G. Mathews(Notre Dame 大学) 谷畑勇夫 (理研)

r 過程は鉄より重い元素を合成する過程であるため、これまでの r 過程に関する研究では、重い中性子過剰核のみ注目されており、軽い元素については安定線付近の限られた元素のみ扱っていた。特に、Z$\leq$ 10 の核に関しては、^{4}He(αn,γ)^{9}Be、^{4}He(α α,γ)^{12}C と、^{12}C 以上の安定線付近の α 捕獲反応のみ注目されていて、それ以外の反応はほとんど無視されていた。

しかし、BigBang 元素合成でも知られているように、重元素の合成に軽い中性子過剰核の反応は重要な役割を果たす。これまで r 過程元素合成がおこると考えられている現象 (超新星爆発、中性子星の合体など) はいくつかあるが、BigBang 元素合成がおこる環境よりはるかに中性子過剰な環境である。それにも関わらず、軽い中性子過剰核の反応を無視して良いのだろうか？

そこで、Z$\leq$ 10 の軽い核の元素合成ネットワークを中性子ドリップラインまで拡大した。そして、中性子ドリップラインまで拡大したネットワーク (full network) と安定線近傍の核のみ含んだネットワーク (small network) を用いた計算結果を比較することにより、軽い中性子過剰核が r 過程のパスや r 過程元素合成量にどのような影響を与えるかを調べた。その際、超新星爆発のモデルとして、中性子星質量, $M_{NS} = 2.0\ M_\odot$; 半径, $R_{NS} = 10$ km ; ニュートリノルミノシティー, $L_{\nu,\mathrm{total}} = 6 \times 10^{52}$ erg/sec を用いた (Sumiyoshi et al. 1999)。原子核反応ネットワーク計算は、$T_9 = 9.0$ を time = 0 [sec] とし、中性子 n と陽子 p のみある状況からはじめた。n と p の比率は Sumiyoshi et al. 1999 より $T_9 = 9.0$ で $Y_e \sim 0.42$ で与えた。

その結果、爆発初期の温度、密度とも高い状況では、どちらのネットワークを用いた場合にも、これまでいわれていた安定核付近の α 捕獲過程で反応は進むが、温度、密度が下がるにしたがって荷電粒子反応は効かなくなるため、軽い核の領域でさえパスが中性子過剰領域を走るようになる。すなわち、r 過程は、これまで考えられていたように seed 核からはじまるのではなく、はるかに軽い領域からはじまることがわかった。最終的な元素組成比は図 1 のようになる。full network の場合を実線で、small network の場合を点線で示した。データ点は太陽系近傍の元素組成比を第2ピークで規格化して表したものである。これからわかるように、full network を用いた場合には太陽系近傍の組成比と非常によく一致している。さらに、full network を用いた方が small network を用いた場合に比べて第3ピークより重い元素がへっており、A$\sim$ 50 付近の比較的軽い元素が増えていることがわかる。これは、これまで主に α 捕獲過程で seed 核をつくっていたのが、r 過程元素合成が非常に軽い領域からはじまったため、中性子が使い尽くされてしまったことと、十分温度が下がってからも中性子捕獲によって seed 核をつくり続けているためと考えられる。

以上、r 過程は非常に軽い核からはじまっており、これまでほとんど扱われていなかった軽い中性子過剰核反応が、r 過程元素合成に非常に大きな影響を与えることがわかった。

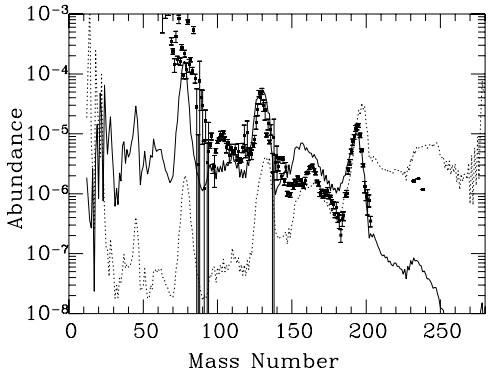

図 1: r 過程元素の組成比