

# Light and Heavy Element Synthesis in Baryon-Rich Outflows Associated with GRB: Proton-Rich Case

岩本信之、折戸学、寺澤真理子 (国立天文台)、井上進 (MPA)

## 1 Introduction

ガンマ線バースト (GRB) は超相対論的なフロー (ローレンツ因子  $\Gamma > 100$ ) と密接に関連していると考えられている。このようなフロー中に存在するバリオンの量は非常に少なく、また合成される元素に関しても D や  ${}^4\text{He}$  のような軽元素だけが大量に合成されるということが示されている。しかしながら、そのフローの周りのもっと  $\Gamma$  の低い環境や failed GRB など考えた場合には、フロー中のバリオンの量が多く、温度・密度の減少がゆっくりになるという点から元素合成に関しては有利に働くと期待される。この研究では、このような環境として球対称的に断熱自由膨張している熱駆動型定常流を仮定することにより、フローに伴って起こる元素合成を計算した (Inoue et al. 2003)。主なパラメータは baryon load  $\eta$  と初期の electron fraction  $Y_e$  である。baryon load はフローが加速している (温度・密度が指数関数的に減少する) 時間を与えており、 $\eta = 2$  を採用した。初期の electron fraction の値は、GRB の progenitor に大きく依存すると考えられており、その環境はまだ分かっていないので、この研究では  $Y_e = 0.6$  と  $0.502$  という陽子過剰な状態を仮定している。

## 2 Synthesis of Light Elements

図 1 は  $Y_e = 0.6$  と  $0.502$  の元素合成の結果を示している。 $Y_e = 0.6$  の場合では、D、T、 ${}^7\text{Li}$ 、 ${}^{11}\text{B}$  は中性子量に依存しており、これらの合成には中性子が密接に関わっていることを表している。時間が  $\sim 4$  msec になると、中性子が使い尽くされてしまうが、それまでに合成された  ${}^3\text{He}$  の  ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma)$  反応によって、 ${}^7\text{Be}$  が大量に合成される。さらに  ${}^7\text{Be}$  の  $\alpha$  捕獲反応により  ${}^{11}\text{C}$  が合成される。 ${}^7\text{Be}$  と  ${}^{11}\text{C}$  は不安定元素であるために崩壊して、それぞれ  ${}^7\text{Li}$  と  ${}^{11}\text{B}$  になる。 $0.6 < Y_e \leq 1$  のときには定性的な傾向は  $Y_e = 0.6$  の場合に似ているが、重い核の合成量は  $Y_e$  が大きくなるにつれて減少していく。反対に  $Y_e$  が  $0.5$  に近づくにつれて性質が異なってくる。それは中性子と陽子の反応タイムスケールがどんどん長くなるために、中性子量が減少するのに時間がかかるようになるからである。その結果、中性子捕獲反応が続きながら密度が下がるために、D や T が枯渇せずに残り、さらに T( $\alpha, \gamma$ ) 反応により  ${}^7\text{Li}$  が大量に合成されることになる。 ${}^{11}\text{B}$  は、主に二つの反応  ${}^7\text{Li}(\alpha, \gamma){}^{11}\text{B}$  と  ${}^7\text{Li}(n, \gamma){}^8\text{Li}(\alpha, n){}^{11}\text{B}$  により合成されており、これと上記の合成過程から来る  ${}^{11}\text{C}$  からのベータ崩壊とによって合成される。連星系において主星がこのような組成をもった物質

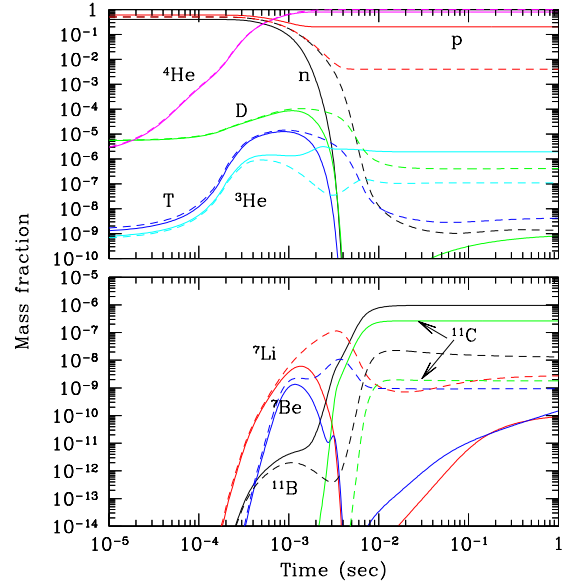


図 1:  $\eta = 2$  のアウトフローにおける  $Y_e = 0.6$  (実線) と  $0.502$  (破線) の場合の元素合成結果。進化は 1msec 程度まではほぼ同じであるが、それ以降は  $Y_e$  の違いにより大きく異なる。

を放出し、伴星に降り積もったと仮定すると、 ${}^7\text{Li}$  と  ${}^{11}\text{B}$  は種族 II 星に比べて、非常に高い組成を持つことが分かった。

## 3 Synthesis of Heavy Elements

重元素合成は主に  $\alpha$  捕獲をしながら、陽子数  $Z = 20$  近くまでのほぼ安定核に沿って進むが、これ以降の元素はむしろ、中性子及び陽子捕獲により進む。陽子過剰な環境では、不安定核はベータ崩壊する前に陽子を捕獲するために、より早い段階 ( $\lesssim 1$  msec) で第 2 ピーク元素 (中性子数  $N = 82$ ) まで合成されることが分かった。その合成経路は少ない中性子数と陽子捕獲反応を反映して、安定核と中性子ドリップ線の間を通過していた。 $Y_e = 0.6$  の場合には、質量数  $A = 70-130$  までの核が合成されるが、中性子が使い尽くされるために、 $A = 40-70$  の核は合成されなかった。しかしながら、 $Y_e = 0.502$  の場合には、定性的には同じであるが、密度が十分低くなって反応がきれるまで、中性子供給が続くために、 $A = 40-70$  の核も合成されることが分かった。合成量は  $Y_e = 0.502$  の場合で  $Y \sim 10^{-9}$  であり、中性子過剰な環境に比べて  $1/100$  程度しかなかった。

## References

Inoue, S., Iwamoto, N., Orito, M., and Terasawa, M. 2003, ApJ, submitted (astro-ph/0301392)