

Title	The R-process Nucleosynthesis in Neutronino-driven Winds Formed by Supernovae
Author(s)	大槻, かおり
Citation	大阪大学, 1999, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/41926">https://hdl.handle.net/11094/41926</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏 名	おお つか 槻 かおり
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	第 1 4 8 6 6 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 11 年 6 月 30 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 理学研究科 物理学専攻
学 位 論 文 名	The R-process Nucleosynthesis in Neutron-driven Winds Formed by Supernovae (超新星爆発時のニュートリノ駆動風における r 過程元素合成)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 土 岐 博 (副査) 教 授 高 原 文 郎 教 授 岸 本 忠 史 助 教 授 藤 原 守 天文台助教授 梶野 敏貴

## 論 文 内 容 の 要 旨

超新星爆発時のニュートリノ駆動風とは超新星爆発時に原始中性子星表面からニュートリノに熱せられて吹く核子の風のことをいい、r 過程元素の起源のもっとも有力な候補のひとつである。本研究の目的は、このニュートリノ駆動風における r 過程元素合成に適切な環境を求め、またその環境が実現するための原始中性子星の条件を求めることである。

まずニュートリノ駆動風に対する一般相対性理論の効果を詳しく調べるために、これを Schwarzschild 時空における球対称定常流として扱い、Newtonian の場合と比較した。一般相対性理論の効果は、運動方程式の補正、ニュートリノの軌道の補正、ニュートリノの赤方偏移の3つの形で入る。一般相対性理論の効果によってエントロピーは大きくなり、力学的タイムスケールは短くなる。この効果は主に運動方程式の補正によるものであり、相対論的な枠組みでは密度、温度ともより急激に減少するためであることがわかった。

次にこれらの一般相対論の効果を考慮したモデルを用いて、中性子星の質量とニュートリノのルミノシティをそれぞれ適切と思える範囲 ( $1.2 M_{\odot} - 2.0 M_{\odot}$ ,  $10^{50}$  ergs/s -  $10^{52}$  ergs/s) で変えて、それぞれの条件のもとで実現する物理的環境を特徴づける物理量、エントロピーと力学的タイムスケールを求めた。

さらに1997年に Hoffman らが解析的に求めた、質量数200の元素がつくられるために必要な中性子と種核の比が得られるための条件 (第3ピークをつくるための条件に対応) とこれらの結果を比較することにより、r 過程元素合成が十分起こるための条件を探した。その結果、従来要求されていた400程度の高いエントロピーよりも、むしろ10ミリ秒のオーダーの短い力学的タイムスケールが r 過程元素合成にとって望ましいことがわかった。このような短い力学的タイムスケールは、私のモデルでは、高いニュートリノルミノシティと重い中性子星質量の組み合わせ、特に  $2.0 M_{\odot}$ ,  $10^{52}$  ergs/s のモデルの時に実現している。この条件のもとで力学的タイムスケールは6ミリ秒と非常に短い、エントロピーは140程度しかなく、これは従来要求されていた400程度の値よりかなり低い。しかしこの  $2.0 M_{\odot}$ ,  $10^{52}$  ergs/s のモデルに関して、実際に元素合成の計算を行うと、第3ピークやそれより重い元素まで十分に合成された。元素合成の計算に関しては、種核をつくる過程である  $\alpha$  過程と r 過程を別に計算する従来の方法とは異なり、 $\alpha$  過程

と r 過程を一貫して扱えるシングルコードを用いて計算した。また、力学的タイムスケールが短いと r 過程元素合成が起きやすくなるのは、種核をつくる時間が短いので、r 過程元素合成が始まる時点で多くの中性子が種核をつくるために費やされることなく残っているためであることを、それぞれのモデルについて、 $\alpha$  過程の典型的なタイムスケールと力学的タイムスケールの比をもとめることにより示した。

## 論文審査の結果の要旨

我々を取り巻く環境には約100種類の元素が存在している。ビッグバンのように熱い状態から温度が下がってクォークが核子に閉じ込められ、その爆発過程でヘリウムくらいの元素までが生成される。その後星の活動のもとに徐々に鉄までが形成される。それより重い元素は中性子を捕獲する反応で作られる。ゆっくり作るのをS過程、急激に作るのをR過程と呼ぶ。そのR過程がどの環境で作られるのかが、博士論文の課題である。

超新星爆発の際、特に爆発のショックが起こった後にニュートリノが核物質を暖めながら吹き飛ばすニュートリノ風の環境でR過程が起こるという考えは非常に自然である。しかし、多くの研究の結果最近では問題が在る事が数多く指摘されていた。大槻さんはこれまでの考察では一般相対論の効果が十分に考慮されていない事を指摘し、ニュートリノ過程の動力学を一般相対論で定式化し、それを数値計算する事を行った。その結果エントロピーの上昇は充分ではないが、温度を下げる時間がこれまでの研究よりずっと早くおこる事を見出した。その環境でR過程を実際に計算する事により、R過程が起こり重い元素が形成される事を示す事に成功した。

この研究は元素合成の物理に重要なインパクトを与える内容で、天体物理、宇宙物理の発展に大きな貢献をしたと評価できる。この研究内容は学術的内容が高く、博士（理学）の学位論文として充分価値のあるものと認める。