

# ハイペロンを含む超新星物質の状態方程式<sup>1)</sup>

岩手大・人社 西崎 滋

岩手大グループでは、1989年夏より、熱い中性子星の状態方程式とその熱力学的性質を研究課題に設定し、当初は中性子と陽子の混在度が異なる非対称核物質を対象として研究を進めてきた [1]。我々のアプローチの特徴は、現実的核力を出発点として物質中の核子間 (NN) 有効相互作用を構成し、それを用いて有限温度のハートリー・フォック方程式系を解くことにより、状態方程式の導出と熱力学的性質の分析を行うという点にある。1997年秋からは、ハイパー核物理の進展を視野に入れて、非対称核物質からハイペロンの混じった核物質へと研究対象を広げてきた。この時、高密度核物質中でのハイペロン-核子間 (YN) およびハイペロン間 (YY) 有効相互作用が必要となるが、NN 有効相互作用の場合と同様、中性子と少数成分粒子の混じった物質系での G 行列計算結果を再現するように有効相互作用を構成した。Nijmegen hard-core potential model D に一部修正を加えたものから構成した有効相互作用を用いると、温度零の冷えた中性子星物質では、標準核物質密度 ( $\rho_0$ ) の 4 倍程度の高密度になると  $\Lambda$  や  $\Sigma^-$  といったハイペロンが混じってくるという結果を得た [2]。

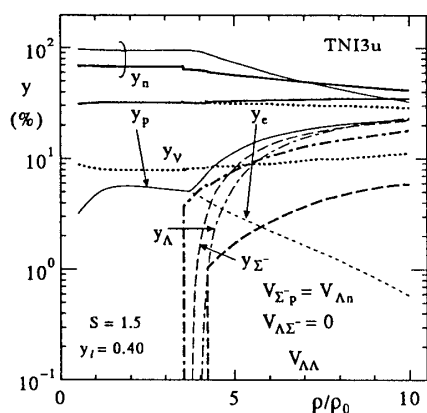


図 1: 各粒子の混在度

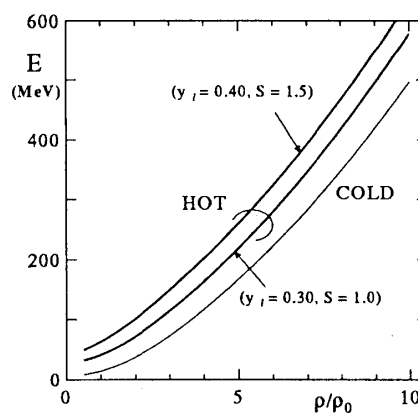


図 2: 内部エネルギー

誕生時の熱い中性子星の内部では、ニュートリノ ( $\nu$ ) のトラッピング現象のため、エントロピーがほぼ一定  $S = 1.0 - 1.5$  (ボルツマン定数  $k_B = 1$ ) で、高温  $T = 10 - 50$  MeV の超新星物質が形成される。この超新星物質にも、核子、電子、電子  $\nu$  の他、 $\Lambda$ 、 $\Sigma^-$  などのハイペロンが混在すると予想される。その混在度は化学平衡・バリオン数保存・電荷保存・レプトン数保存から決まる。通常の冷えた中性子星内部の物質と比べて、レプトン数保存と電荷保存のために、電子や陽子の混在度が大きく変わってくると考えられる。1例を図 1 に示す。太い線が超新星物質中での各粒子の混在度で、比較のために中性子物質中での混在度を細い線で示している。電子や陽子の混在度が大幅に増加していることが判

<sup>1)</sup>この報告は山本安夫 (都留文科大)、高塚龍之 (岩手大・人社) 両氏との共同研究に基づくものである。

る。密度の変化に伴って、レプトンの混在度はほとんど変化しない。電子 $\nu$ の混在度は電子の混在度に比べてずっと小さい。また、高密度領域で $\Sigma^-$ の混在はレプトン数保存のために大きく抑制されるが、 $\Lambda$ については $\Sigma^-$ の場合のような大きな変化はみられない。

高密度領域では、内部エネルギー  $E$  やエントロピー  $S$  へのハイペロンの寄与が大きくなるが、特に後者における寄与が著しい。一方、レプトンの  $E$  や  $S$  への寄与はそれほど密度に依存しない。こうした広い密度領域にわたるレプトンの寄与と高密度領域におけるハイペロンの寄与のため、図2の内部エネルギーにみられるように、有限温度での状態方程式は硬化する。このようなハイペロンの混じった超新星物質の状態方程式を用いて計算した中性子星の質量とバリオン数との関係を図3に示す。超新星物質 ( $y_\ell = 0.40, S = 1.5$ ) の場合に、中性子星の最大質量が太陽質量  $M_\odot$  の1.84倍となっている。この熱い中性子星がバリオン数を保存しながら冷えていくと、質量が太陽質量の1.75倍の中性子星にしかなり得ない。これは、冷えた中性子物質の状態方程式を用いて計算した最大質量  $1.82M_\odot$  に比べて4%程度小さい値である。図4には密度分布を示すが、熱い中性子星が冷えていくと、密度分布は中心付近で平坦になり、表面付近で急激に減少するようになることが判る。

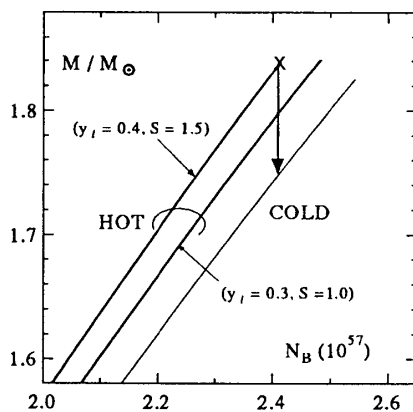


図3：中性子星の質量とバリオン数

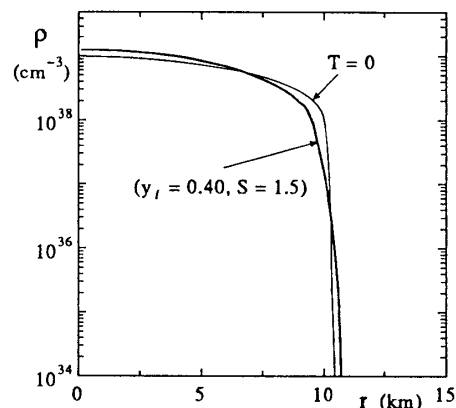


図4：中性子星の密度分布

この研究は平成16年度文部科学省科学研究費より助成 (No.15540244) を受けている。

## 参考文献

- [1] S. Nishizaki, T. Takatsuka, N. Yahagi and J. Hiura, Prog. Theor. Phys. 86 (1991), 853.  
S. Nishizaki, T. Takatsuka and J. Hiura, Prog. Theor. Phys. 92 (1994), 93.  
T. Takatsuka, S. Nishizaki and J. Hiura, Prog. Theor. Phys. 92 (1994), 779.
- [2] S. Nishizaki, Y. Yamamoto and T. Takatsuka, Prog. Theor. Phys. 105 (2001), 607.  
S. Nishizaki, Y. Yamamoto and T. Takatsuka, Prog. Theor. Phys. 108 (2002), 703.