

# 論文審査の結果の要旨

氏名 園田 英貴

初期質量が太陽の8倍以上の比較的重い恒星は、その進化の最後に重力崩壊型超新星爆発を起こす。これは恒星の中で作られた重元素を星間空間に解放するメカニズムとして、宇宙の進化を司る鍵となる現象であるだけでなく、ひいては我々自身の起源を与える存在として重要な研究対象である。この超新星爆発には、ニュートリノが本質的な役割を果たし、超新星 1987A からのニュートリノがカミオカンデによって観測され、ニュートリノ天文学が開かれたことは記憶に新しい。また最近ではガンマ線バーストのような高エネルギー天体現象との関係が示唆されている。

超新星爆発及びそれに付随した天体現象を理解するにあたり、それらの内部に存在する物質に関する知見を得ることは極めて重要であるが、その中の一つに、密度が核密度付近まで上がっていく際、原子核がいかにして一様核物質に融解していくのか、という問題がある。この問題について、Ravenhall や橋本らの先行研究において、原子核の表面エネルギーとクーロンエネルギーの競合によって、原子核の形状が球から棒（スパゲティ）、板（ラザニア）に変わり、さらには一様核物質中に棒状のバブル（アンチスパゲティ）、球状のバブル（チーズ）を持つような構造を経て、最終的に一様な核物質に至ることを指摘された。これらの構造はその形状から「原子核パスタ」もしくは「パスタ相」などと呼ばれている。その後パスタ相に関してさまざまな研究が行われてきたが、それらの研究は液滴模型や Thomas-Fermi のような静的かつ原子核の形状を仮定した計算であり、パスタ相の動的な振る舞い、熱ゆらぎの取り扱い等、看過されてきた問題も多くあった。

これらの問題点を解決するために、本論文では上記のような静的な手法ではなく、有限温度における量子分子動力学法(QMD)と呼ばれる動的な手法を用いてパスタ相の研究を行っている。QMD は核子多体系を核子自由度から取り扱う動力学手法の一つであり、近似の妥当性や計算量の問題からパスタ相の研究に最適であると考えられるからである。

本論文は7章と付録4項からなり、各章の構成は以下の通りである。

第1章はイントロダクションであり、論文の構成がまとめられている。第2章は上述のような本研究の背景、特に原子核パスタについてその概要が論じられている。第3章は QMD の一般的な紹介であり、その要点が簡潔にまとめられている。第4章以降は本学位論文の主たる結果の記述に当てられている。

第4章ではまず、QMDを pasta相の形成という具体的問題に適用するための定式化が行われている。その際、核力のモデルによる結果の相違を明らかにするため、2つの核力モデルに基づいた定式化を行っている。そして、2つのモデルに基づいて有限温度におけるQMD計算を行った結果、pasta相が存在する領域は、非対称核物質の飽和密度、低密度における中性子物質のエネルギー、そして標準核密度以下における対称エネルギーの大きさによって決まることを示した。さらに、これらの三つの量が、飽和密度における中性子物質のエネルギーの密度微分として知られる対称エネルギーの密度依存性パラメータの不定性ただ一つによって統一的に記述されることを発見した。

第5章では、実際の超新星爆発において起こるように、収縮によって密度が上昇していく際に、体心立方格子(BCC)からいかにして非常に長い棒状原子核の六方格子になるかを、QMDを用いて球状原子核のBCCを圧縮していくことによって解析した。従来、この変化を引き起こすのは球状原子核のクーロン力が大きくなることによる原子核変形であると考えられていたが、本研究の結果、相転移をトリガーするものは、原子核どうしの核力によるBCCの対称性の破れであることが明らかになった。

第6章は、前章の結果を超新星爆発におけるニュートリノの透過率に適用した際、いかなる結論が得られるかをまとめたものである。結果として、pasta相が存在することによって基本的には低エネルギー側のニュートリノの散乱断面積が大幅に減少し、逆に高エネルギー側のニュートリノの散乱断面積は上昇することを見出した。この結果は残念ながら超新星爆発をより起こりにくくするものである。

第7章は本論文全体のまとめである。

本論文の主要な内容は既に共著論文として学術雑誌に掲載されているが、本委員会は、各研究において学位申請者が主要な役割を果たしていることを確認した。さらに、本学博士に相応しい学識を持っているかを口頭にて試問したが、その結果審査員全員一致にて合格と認定した。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。