# 論文審査の結果の要旨

氏名　財前　真理

本論文は、ニュートリノ振動、特にニュートリノ同士の相互作用が起こすニュートリノ集団振動が重力崩壊型超新星にどのような影響をもたらすかを重力崩壊型超新星の数値モデルに基づいて調べたものである。

本論文は５章からなる。第１章は序章であり、本論文の背景や研究動機などがまとめられている。超新星 **SN 1987A** からのニュートリノ検出から始まり、重力崩壊型超新星でのニュートリノの重要性が述べられている。続いて大質量星の進化の中での重力崩壊型超新星の位置付けが解説されている。次にニュートリノ振動についてまとめられていて、ニュートリノ集団振動が実験では確かめられていないことを指摘するとともに、超新星や中性子星合体のような実験では得られない豊富なニュートリノがある状況でのニュートリノ集団振動の重要性がまとめられている。

第２章は、ニュートリノ振動を記述する輸送方程式を導入し、真空中での振動、背景の物質との相互作用による振動、およびニュートリノ同士の相互作用による集団振動がどのように記述されるかが、数値的に解く際の近似法とともにまとめられている。特にニュートリノ集団振動には二つの要因があることが述べられている。集団振動は反ニュートリノとニュートリノの位相空間でのそれぞれの分布関数の大きさが入れ替わるときに起きる。エネルギー空間でこの入れ替わりが起きる振動を遅い集団振動と呼び、角度方向に関する分布関数の大きさが入れ替わるときに起きる振動を速い集団振動と呼んでいる。

第３章では、遅いニュートリノ集団振動の効果が精査されている。まず、超新星爆発に失敗した初期質量が太陽質量の **40** 倍(**40** 太陽質量)の星と、爆発に成功した初期質量が **8.8** 太陽質量の星の中心核が重力崩壊した際に起きるニュートリノ集団振動の計算を行った。超新星爆発にいたらない **40** 太陽質量の星の重力崩壊はニュートリノを特に多く生成するので、ニュートリノ集団振動が起こりやすいと考えられていた。しかし、本論文の計算により、重力崩壊中の物質密度が高いために集団振動が抑えられてしまうことが示された。一方､電子捕獲によって重力崩壊が起きるとされている初期質量が **8.8** 太陽質量の星では、ニュートリノ集団振動が起きる時間帯が二つ存在することが示された。この計算は、ニュートリノ **3** 世代を全て含め、位相空間 **3** 次元を考慮して行ったニュートリノの振動計算としては世界で初めてのものである。ただし、角度について等方分布を仮定しているので、速い集団振動は抑えられている。以上の数値計算の結果については、線形安定性解析も行い、数値計算の整合性を確認している。次に、超新星爆発を起こす衝撃波上流の領域で原子核と(反)ニュートリノとの弾性散乱が起きることで生じるニュートリノ・ハローのニュートリノ集団振動に及ぼす効果を初期質量が **9.6** 太陽質量の星について調べた。**8.8** 太陽質量の星の場合も含め、いずれの場合も集団振動が起きる場所が衝撃波の外側に限定されるので、遅い集団振動の超新星爆発への影響は期待できないという結論に至った。

第 **4** 章では、重力崩壊型超新星での速いニュートリノ集団振動に着目した。先行研究に

よって超新星爆発を起こす衝撃波周辺のどの領域で速いニュートリノ集団振動が起きると期待されるかが示された。申請者はこの集団振動を計算するために開発した新しい方法を用いて、局所的な領域を取り出し一様な物理状況を仮定した上で、速い集団振動の数値計算をおこなった。速い集団振動が起きる状況は電子ニュートリノと反電子ニュートリノの密度の大小関係と角度に関して分布関数の大小関係が逆転する状況とを考えると 4 通りある。先行研究で扱われたのはそのうちの一つの状況で、申請者は先行研究が示した集団振動の様子を再現しただけでなく、考えられる他の 3 つの状況のうち２つの状況について計算し、どのような条件で集団振動が起きるのかを初めて示した。その結果をもとに残りの状況でも集団振動が起きる条件を予想した。この結果、速いニュートリノ集団振動は超新星爆発に影響を及ぼす可能性があることを示した。

第５章は論文のまとめである。

本論文で議論されているニュートリノ集団振動は、重力崩壊型超新星の爆発機構を理解する上で大変重要な研究対象である。本研究で行なった数値計算は、大質量星中心核の重力崩壊の数値計算結果で得られた物理量分布をもとにニュートリノ集団振動が起きる可能性を定量的に評価したもので、特に遅いニュートリノ集団振動が爆発に影響を及ぼさないことを示した点と、速いニュートリノ集団振動が超新星爆発に影響を及ぼす可能性を持っていることを示したことの学術的価値は高い。

なお、本研究は吉田敬・住吉光介・梅田秀之・John F. Cherry・滝脇知也・堀内俊作・固武慶・森長大貴との共同研究であるが、論文提出者が主体となって行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。