

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 関口 雄一郎

本論文は、太陽の約 10 倍を超える質量を持つ恒星(以下、大質量星)が進化の最終段階で起こす重力崩壊と超新星爆発に関して申請者の行った最新のシミュレーション研究について報告している。

大質量星の重力崩壊、及びそれに付随する超新星爆発は、正確に理解されていない高エネルギー宇宙現象の一つである。重力崩壊の結果、重力エネルギーは熱エネルギーに変換され、電磁波、ニュートリノ、重力波といった形で放射される。これらは重力崩壊現象を解明する上での情報を運んでくるので、これらを観測することによって現象の解明が試みられている。しかし観測事実は限られるため、あらかじめ現象を理論的に詳細に理解しておく必要がある。そのためには理論シミュレーションが不可欠なので、シミュレーション研究はこの分野において重要な位置を占めている。これまでも様々なシミュレーション研究がなされてきたが、本研究の新しさは近似のない完全に一般相対論的な枠組みの中でシミュレーションを行うことで課題の解決を目指している点にある。一番の貢献は定量的な結果を導出することが可能な、信頼性の高い最新の計算コードを構築したことであるが、論文ではそのコードの詳細を述べることを主目的としている。

本論文は 7 章から構成されている。第 1 章では、大質量星の重力崩壊が内含する様々な物理現象について概観し、既存の研究のレビューを踏まえて研究の方向性を導き出すとともに、本研究の問題意識と目的を明らかにしている。第 2 章では、基礎方程式であるアインシュタイン方程式および一般相対論的流体力学方程式を発展方程式として数値的に解くための最新の定式化についてまとめている。第 3 章では、重力崩壊現象を理論的に正確に解明するために考慮すべき高密度核物質の状態方程式、電子捕獲反応、ニュートリノ放射などの微視的物理過程について詳述している。第 4 章では、シミュレーションを行うにあたって必要となる数値的手法についてまとめている。特に、一般相対論的流体力学方程式を解くことで時間発展させた諸保存量から、密度や温度といった基本的な熱力学量を安定に再構築する手法は、本研究で開発されたものでその独創性が評価できる。第 5 章で数値シミュレーションの初期条件として用いる、大質量星中心核のモデルについて述べたあと、第 6 章においてシミュレーションによって得られた結果をまとめている。計算の精度を示すとともに、得られた結果が半定量的な解析結果と合致しており、また過去の研究結果と無矛盾であることを示している。つまり、構築された計算コードは正確な計算結果が導出可能であることを示している。重力波の波形の計算もなされているが、回転の効果による非球対称のニュートリノ放射が重力波に与える影響は、本研究によって初めて明らかにされたもので、博士論文として高く評価できる。

以上述べたように、本論文では大質量星の重力崩壊で重要となる微視的物理要素全てが組み込まれた、完全に一般相対論的計算コードが世界で初めて報告されている。そして、構築されたコ

ードは精度、妥当性ともに十分信頼のおけるものであることが示されている。今後はこのコードによって、重力崩壊現象の理論的解明が飛躍的に進むと期待され、この分野における大きな学術的貢献が認められる。よって本審査委員会は、博士(学術)の学位を授与するにふさわしいものと認定する。