

論文審査の結果の要旨

氏名 諏訪 雄大

本論文は5章からなる。第1章はイントロダクションとして、ガンマ線バーストと呼ばれる天体现象と超新星爆発について本論文の目的に照らし合わせながら解説している。ガンマ線バーストとは、星などのコンパクトな天体から何らかの爆発機構によって大量のガンマ線がきわめて短い時間の間に放出される現象である。これまでに、ガンマ線から可視光、電波にいたるまでの広い波長域で観測が行われてきたが、その爆発機構の詳細は不明であり、宇宙物理学の大きな謎の一つとなっている。本論文の目的は、ガンマ線バーストおよび超新星爆発についての理論的研究を行い、将来の重力波検出実験およびニュートリノ観測によって爆発機構の謎を解明する方法を提案することである。

第2章ではガンマ線バーストの爆発機構に関する理論モデルが紹介される。また、最近の観測によって明らかになった超新星爆発および中心ブラックホール形成との関連について議論されている。特にガンマ線バーストの中心近傍での相対論的ジェット生成機構や、重力崩壊型超新星内部の衝撃波伝播に関する不明な点がまとめられており、本研究の目的につながっている。ここでは数値シミュレーションの最近の発展についても紹介され、シミュレーションの多次元化や必要な物理過程など、残された課題が明らかにされている。

第3章ではガンマ線バースト発生時に形成されるブラックホール周りの降着円盤に着目し、ニュートリノ放出の非等方性により発生する重力波を検出することを提案している。ガンマ線バーストの駆動機構として、ニュートリノの圧力を利用する考えと、ねじられた磁場の電磁圧を利用する考えがあり、前者のモデルでは重力波の発生が期待される。降着円盤の形状やバースト発生パターンを変えた複数のモデルについて、発生する重力波の波形と振幅を計算し、日本や米国が計画する次世代重力波検出装置によって検出が可能であると結論している。さらに観測者が降着円盤を見込む角を変えた場合の計算を行い、重力波検出とニュートリノ観測と組み合わせることで理論モデルの検証が可能であると結論している。2つの観測を組み合わせるというアイデアは新しく、将来の観測への適用が期待される。

第4章では、論文提出者が最近行った、重力崩壊型超新星爆発の大規模数値

シミュレーションの成果がまとめられている。はじめに、新たに考案されたニュートリノ輸送の解法を解説し、いかにして多次元シミュレーションに取り入れたかが記述されている。補遺に示されたテスト計算では、ボルツマン方程式を直接に解いた場合との詳細な比較を行い、直接法に比べて遜色のない精度の解を短時間で得ることができると示している。この新たな手法でニュートリノ輸送を取り入れた2次元の数値シミュレーションを行い、従来の数値計算にみられるような内部衝撃波の著しい減衰がおこらないことを示した。特に、ニュートリノ加熱と衝撃波の力学的不安定性の効果が相乗的に働くことで正味の爆発エネルギーを増加させることを明らかにした。さらに、星の回転がある場合にはこの爆発エネルギーがさらに増加し、双極的な爆発を引き起こすことを示した。

なお、本論文第3章は村瀬孔大氏との共同研究をもとにしているが、重力波の検出という着想は論文提出者本人が提案したものであり、重力波スペクトルなど主要な結果は全て論文提出者が計算し、考察を与えたものである。

また、第4章は M. Liebendorfer 氏、固武慶氏、滝脇知也氏、S. C. Whitehouse 氏、佐藤勝彦氏との共同研究をもとにしている。ここでニュートリノ輸送に用いられた解法は、最近 Liebendorfer 氏らが空間1次元の計算のために開発した手法を採用しているものの、その多次元化や精度のテスト、数値計算コードの並列化、また実際の計算遂行から結果の解析まで論文提出者がおこなったものであり、論文提出者の寄与が十分であり、オリジナルな成果と判断する。

宇宙最大の爆発現象であるガンマ線バーストの爆発機構解明は宇宙物理学に残る大きな謎の一つである。本論文はその中心問題に重力波とニュートリノの観測によって迫る方法を提案した。また、重力崩壊型超新星爆発については、数値シミュレーションによって爆発を再現できないという問題が数十年にわたって残っている。論文提出者は、空間2次元の設定でニュートリノ輸送を取り入れた大規模数値シミュレーションを遂行し、双極流を伴う爆発を引き起こす可能性を提示した。3次元シミュレーションへ向けた重要な第一歩であり、世界最先端の研究であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。