

論文審査の結果の要旨

氏名 滝脇 知也

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論文提出者が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およ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、重力エネルギーの多くは熱エネルギーに変換され、電磁波、ニュートリノ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、本研究の新しさは磁気流体効果と現実的状態方程式の両方を考慮して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。

本論文は 6 章から構成されている。第 1 章では、超新星爆発の観測の歴史およびその爆発機構の理論的研究について概観し、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、これまでに理解されている超新星爆発の機構に関してまとめている。本論文の主目的は超新星爆発において磁気流体効果が果たす役割を明らかにすることであるが、第 3 章では重要となりうる磁気流体過程について述べている。第 4 章では、シミュレーションを行うにあたって用いる基礎方程式および数値的手法についてまとめている。本研究で新しい点の 1 つは、特殊相対論の効果の一部取り入れて、高速のアウトフローを正確に追えるようにしたことであるが、それに関する詳述もなされている。第 5 章では、数値シミュレーションの結果をまとめている。シミュレーションの初期条件としては、高速回転する大質量星を考え、さらに重力崩壊前に強い極方向磁場が存在することを理想的に仮定している。このような場合、重力崩壊に伴って磁場形状は変形を受け、まず動径方向磁場が生まれる。動径方向磁場が生まれると、やがて回転による磁場の引きずりの効果のため、回転方向磁場が増大することが知られている。また重力崩壊後に原始中性子星が誕生したのち、衝撃波が発生し、それは半径 100km 程度まで伝播したのちに停滞することも超新星爆発研究で普遍的に見られる特徴である。今回のシミュレーションではこれらと無矛盾な結果を示し、その正当性を示している。本研究の新しい点は、原始中性子星誕生後その高速差動回転のため引き続き回転方向磁場の強度が増し、ある一定値に達した後に、磁気圧の効果で回転軸方向に光速の 30% にもおよぶ高速アウトフローが、初期に与えた磁場強度に関わらず発生することを明らかにしたことである。このようなアウトフローは、回転軸方向に密度の低い領域を誕生させるが、このような低密度領域の形成は、その後発生するかも知れないガンマ線バーストや X 線フラッシュといった現象の促進に重要な役割を果たす可能性がある。このような事例を示したのは本研究が初めてであり、博士論文として高く評価できる。なお本論文の研究は、佐藤勝彦氏と固武慶氏との共同研究によるものであるが、論文提出者が主体となって数値シミュレーションを実行しており、その寄与は十分であると判断する。

以上述べたように、本論文では、大質量星の重力崩壊における磁気流体効果を調べた世界的にも最先端の研究が発表されており、この分野における学術的貢献が認められる。したがって本審査委員会は、博士 (理学) の学位を授与できると認める。