

論文審査の結果の要旨

氏名 鈴木 昭宏

本論文は、大質量星が重力崩壊を起こした際に放射される高エネルギーX線および γ 線放射の理論モデルを構築し、最近観測されたX線バーストやガンマ線バーストの非熱的放射が示す光度曲線とエネルギースペクトルの特徴から、重力崩壊型超新星によって物質が星間空間に放出されるダイナミクスを解明した研究をまとめたものである。本論文は4章と付録からなる。

第1章は導入部である。この章では、まず恒星のうち太陽質量の約8倍以上の質量を持つ大質量星の構造進化と、進化の最終段階で迎える重力崩壊について概観している。特にIc型超新星の一部には、ガンマ線バーストが付随している観測的な証拠を紹介している。近年の観測技術の向上およびX・ γ 線天文学の発展によって、これまで観測が不可能であった爆発の初期段階のスペクトル中に非熱的成分が検出できるようになったことを指摘している。非熱的成分が衝撃波の伝搬に起源を持つと考えられることに着目し、本論文で、衝撃波が星内部を突き抜けて大気に達した瞬間に起こるX線放射（超新星ショックブレイクアウト）、および超相対論的ジェットからのガンマ線放射（ロングガンマ線バースト）の解析的および数値的な流体モデルを独自に構築し、高エネルギー光子の非熱的放射機構の数値シミュレーションを実行することによって、重力崩壊型超新星から物質が星間空間に放出されるダイナミクスを解明するという目的が述べられている。

第2章では、超新星ショックブレイクアウトからの非熱的放射についての研究がまとめられている。この章の前半では、まず、モンテカルロ法に基づいた輻射輸送計算コードを独自に開発し、星の大気中を伝搬する衝撃波の流体モデルを自己相似解から構成したことが詳細に説明されている。熱的光子が衝撃波面上流と下流をまたいで電子散乱を繰り返すbulk Comptonizationと呼ばれる過程を数値シミュレーションによって分析した結果、電子散乱によってべき的なX線スペクトルが作りだされることを見出し、これが超新星2008Dのショックブレイクアウトを捉えたものと考えられるX線バーストXRF080109のX線スペクトルの観測から明らかにされた非熱的成分のべき指数に一致することを見出した。さらに、衝撃波速度をパラメータとして変化させた数値計算を行い、X線の放射スペクトルに非熱的成分が卓越する条件として、衝撃波速度が光速の30%程度以上になる必要があ

ることを明らかにした。後半では、超新星の球対称爆発からのずれがショックブレイクアウトの光度曲線に及ぼす影響を議論している。星の中を伝搬する衝撃波が星表面に到達するまでを流体シミュレーションによって数値的に再現し、星コアにおけるエネルギー解放の非球対称性の度合いによって衝撃波の到達時刻がどのように変わるかを計算した。到達時刻の角度分布をもとに、幾何学的な放射モデルを用いて様々な視線方向から観測した場合の光度曲線を計算し、光度曲線が爆発の非球対称性を強く反映することを見いだした。

第3章では、ガンマ線バーストからの高エネルギー光子の放射についての研究がまとめられている。論文提出者は2次元球座標相対論的流体コードを独自に開発し、これを用いて、大質量星コアに注入されたローレンツ因子が100を超える相対論的なジェットが、 10^8 秒以上の長時間にわたって徐々に減速しながら星間物質中を伝搬し、約 10^{19} cmの距離に至って消失するまでの過程を数値シミュレーションによって追跡した。相対論的ジェットが自己相似的に膨張し伝搬していく過程での光球放射のスペクトル計算から、ガンマ線バーストGRB990123およびGRB080916Cの観測で発見されたプロンプト放射に見られる低エネルギー成分を説明出来ることを見いだした。また、相対論的ジェットの減速過程は星周物質の有無に強く影響され、その過程が残光に対応していることを定量的な数値シミュレーションで明らかにした。このように初期段階から長時間にわたって一貫して理論計算を行ってガンマ線バースト放射機構を解明したのはこれが世界で初めてである。

第4章では、本研究で得られた結果が要約され、今後の研究の展望が述べられている。

付録A～Dでは、それぞれ流体力学の方程式系の導出、電子散乱が優勢な媒質中での放射輸送方程式の導出、高エネルギー放射に関する基礎的な事項と相対論的な速度で運動している物体からの光子放射を計算する際に用いる諸公式、論文提出者が独自に開発し本研究で用いた数値シミュレーション計算コードの詳細がまとめられている。

以上、本論文は重力崩壊型超新星の爆発の初期段階における高エネルギー光子の非熱的成分の生成・放射機構を理論的に研究し、大質量星の大気を伝播する衝撃波およびジェット状爆発によって物質が放出されるダイナミクスを、X・ γ 線天文学の観点から解明できることを明らかにした先駆的な研究である。上記の独創的な研究成果は高く評価でき、今後の当該研究分野の発展に大きく寄与することが期待される。

なお、本論文の2章の内容の一部は茂山俊和との共同研究であるが、論文提出者が主体となって行っており論文提出者の寄与は十分であると判断できる。3章の内容は論文提出者の単著論文として現在投稿中である。したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。