

論文審査の結果の要旨

氏名 大谷 友香理

本論文は、重力崩壊型超新星の相対論的なショックブレイクアウトの際に放射される X 線やガンマ線の性質を理論的に調べ、ガンマ線バースト (GRB) で観測されるスペクトルなどと比較をしたものである。

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。大質量星は進化の最終段階において中心核が重力崩壊を起こし、中心部で発生した衝撃波が星の表面に到達する瞬間、衝撃波の前方が光学的に透明になることにより熱放射が生じる。この現象はショックブレイクアウトと呼ばれる。ショックブレイクアウトの継続時間やエネルギー、スペクトルなどの性質は親星の大きさや衝撃波の運動に依存するので、親星の爆発初期に関する情報を含む。本論文ではショックブレイクアウトに伴う光子の散乱過程を初めて詳細に理論計算し、観測から有用な情報を引き出すための研究を行った。

第 2 章では、星表面のショックブレイクアウトと GRB の関連性について調べた。超新星の中でも特に重い極超新星では、星表面を相対論的ジェットが貫き、そのジェットから GRB とよばれる数秒から数十秒間のガンマ線放射が発生する。従来の標準モデル (シンクロトロンモデル) は観測と矛盾する点があり、そのため近年はジェット内部の光球からの熱放射を起源と考える光球モデルが注目されている。仮に光球モデルが正しいならば、GRB とショックブレイクアウトは共通の発生原理をもつことになる。本研究では超相対論的衝撃波に付随するはずのショックブレイクアウトからのガンマ線放射と観測された GRB とを比較するため、衝撃波からの放射を散乱のモンテカルロシミュレーションまで行って計算した。計算の結果、熱放射成分の高エネルギー側が一般的な GRB スペクトル (Band 関数) と似た勾配を持つことがわかった。しかしながら、低エネルギーにおけるスペクトル形状は GRB と全く合わなかった。また、計算された放射の継続時間および全エネルギーは GRB の観測と比べて 1 桁以上小さいスケールであった。以上の結果から、少なくとも星表面の相対論的ショックブレイクアウトだけでは、GRB の放射全てを説明することはできないとの結論に至った。上に述べた問題点を解決するためには、星周物質のような、星自体のサイズよりも大きな領域からの放射を考慮しなければならない。

そこで第 3 章では、星周物質におけるショックブレイクアウトと中心エンジンの稼働性の関係について調べた。超新星の中心エンジンの正体は重要な問題の一つである。本研究ではショックブレイクアウト放射の特徴と衝撃波の運動を調べ、衝撃波が加速するときと減速するときで放射にどのような違いが現れるかを調べた。これにより、超新星の中心エンジンの稼働性に依存してショックブレイクアウトの観測的な特徴が変化することが分かった。しかし GRB スペクトルとの比較では、依然として、1 MeV 以下の低エネルギー領域のスペクトルを再現することは難しいこともわかった。

第 4 章では、衝撃波の非球対称性と放射の特徴の関連性について調べた。XRO

080109/SN 2008D は詳細なショックブレイクアウトの観測例の一つであり、この観測データの理論解釈にはすでに先行研究がいくつかあるが、一つのモデルだけを矛盾無く用いてスペクトルと光度曲線の両方を説明したものはなかった。本研究では、ショックブレイクアウトの瞬間において衝撃波の速度が軸対称性をもつモデルを考え、スペクトルと光度曲線を計算した。観測データと比較した結果、XRO 080109 の衝撃波は非球対称であり、視線方向における衝撃波の速度は光速の 50 %以上であるとの制限がつけられた。さらに対称軸と視線方向のなす角度は 30 度以上であることが示唆される。

第5章は論文のまとめと議論である。

本論文で議論されているショックブレイクアウト現象は、超新星や GRB に必ず付随すると考えられている現象であり、その観測データが出始めた今日、それと比較しうる理論モデルを構築することは学術的に極めて重要であり、本論文の研究はその端緒となる。特に、ショックブレイクアウト現象に伴う高エネルギー光子の散乱プロセスまで考慮した詳しい計算を初めて行った学術的価値は評価できる。

なお、本研究は鈴木昭宏・茂山俊和との共同研究であるが、散乱光子のモンテカルロシミュレーションコードの開発や論文執筆など、主要な部分は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。