

氏 名	みずのようすけ 水 野 陽 介
学 位 の 種 類	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2756 号
学位授与の日付	平成 16 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
学位論文題目	General Relativistic Magnetohydrodynamic Simulations of Collapsars as a Model for Gamma-Ray Bursts (ガンマ線バーストのモデルとしてのコラプサーの一般相対論的磁気流体力学 シミュレーション)
論文調査委員	(主 査) 教 授 柴 田 一 成 助教授 戸 谷 友 則 教 授 舞 原 俊 憲

論 文 内 容 の 要 旨

ガンマ線バーストは数秒から数分の間で大量のガンマ線を放出する突発現象であり、明るさという点では宇宙最大の爆発現象である。今までに多くの観測があるにもかかわらず、何がガンマ線バーストを引き起こしているのかといった基本的な問題が解決されていない。近年の観測からガンマ線バーストは非常に高速（ローレンツ因子 ~ 100 ）で細く絞られたジェット状の噴出をしていると考えられている。また、ガンマ線バーストと超新星爆発との関連性を示す証拠がいくつか見つかり、少なくともガンマ線バーストの一部は超新星爆発起源であると考えられている。

現在、ガンマ線バーストを起こす超新星爆発のモデルとして最も有力なのがコラプサーモデルである。このモデルでは大質量を持つ回転星が重力崩壊を起こしたとき、その角運動量によって中心にブラックホールとその周りに降着円盤が形成され、ニュートリノまたは磁気プロセスによって相対論的ジェットが形成されると考えられている。今までに非相対論、相対論的流体力学コードを用いてコラプサーモデルのシミュレーションが行われている。しかし、それらのシミュレーションはジェットの形成、加速に関しては完全に解いておらず、コラプサーモデルでジェットが形成されるのか分かっていなかった。

申請者は磁場を考慮したコラプサーモデルによる相対論的ジェットの形成及び加速を、一般相対論的磁気流体力学コードを用いてシミュレーションした。初期状態として、数太陽質量のブラックホールが鉄コアの重力崩壊で形成され、吹き飛ばされたガスがブラックホールに向かって落ち込んでくる状況を仮定した。計算モデルとして中心ブラックホールが回転している場合と回転していない場合の2つのケースを考えた。その結果、両方の場合において、星の外層が中心ブラックホールの重力に引かれて落ちていく際、磁場と回転の効果によって赤道面上に円板状の構造が形成され、中心付近よりジェット状の噴出が形成されることが分かった。形成されたジェットは磁気圧と遠心力で加速され、ガスの回転によって増幅された磁場のピンチ力によってコリメーションされている。ジェットは最大、光速の30%の速度まで加速されている。またブラックホールの回転が速くなると、ガスの回転よりもむしろ時空の引きずり効果による磁場の増幅が強くなり、ジェットがより中心付近から形成されることが分かった。

申請者はコラプサーモデルにおいて磁場と相対論の効果によって相対論的ジェットが形成されることを世界で初めて示した。これらの結果はガンマ線バーストのジェットとしては速度が遅いため直接的には応用はできないが、“failed-GRB”（ガンマ線バーストになれなかった超新星爆発）から噴出するジェット（baryon-rich outflow）を説明することは可能である。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

ガンマ線バーストは宇宙最大の爆発現象である。近年の観測の著しい発展によって、距離、超新星との関連、アフターグロー（減光過程）、ジェット状噴出など、多くのことが判明しつつあるが、何がガンマ線バーストを起こしているのか、その中心エンジンについては全く分かっていない。ガンマ線バーストの中心エンジンを明らかにすることは現代天文学の最重要課題であると言える。申請者は観測的に示唆されている超新星爆発をガンマ線バーストの中心エンジンとして考え、そこ

からガンマ線バーストを起こす上で必要となる相対論的ジェット形成のシミュレーションするという、まさに核心を突く研究を試み、見事にジェットの形成に成功している。

本論文では超新星爆発にともなう相対論的ジェットの形成メカニズムとして、近年重要であると考えられ始めた磁場を用いている。磁場は宇宙ジェットの形成をはじめ、他の高エネルギー天体プラズマ現象において非常に重要であると考えられ、多くの研究がなされている。超新星爆発のメカニズムとしても大勢を占めていたニュートリノによる爆発が未だ成功せず、磁場の可能性が指摘され始めている。回転星の重力崩壊による相対論的ジェット形成のシミュレーションにおいては今まで、磁場はほとんど無視されてきた。それゆえ、申請者の研究であるガンマ線バーストのモデルとしての磁場を伴う回転星の重力崩壊による相対論的ジェット形成のシミュレーションは新しい観点からの研究であると言える。

具体的には、申請者は初期条件として中心にブラックホールをおき、いったん吹き飛ばされたガスが回転しながら中心に向かって落ち込んでいる状況を考え、その結果、回転と磁場の効果によって円盤状の構造とジェットの形成を示した。今までのクラブサーのシミュレーションでは、中心よりエネルギーを注入していたためジェットの形成に関しては不完全であった。本研究こそは、回転星の重力崩壊モデルから相対論的ジェットを形成した初めてのシミュレーション結果であり、世界的にも誇れる優れた結果といえることができる。また、形成されたジェットの初期磁場やブラックホールの回転への依存性を調べ、形成されるジェットの性質の定性的な理解を与えた。特にブラックホールの回転への依存性の研究は、ジェット形成のシミュレーションの観点から一般相対論的効果を明確に示した初めての研究である。初期磁場分布、状態方程式、ニュートリノの効果などの細かい点のつめや、きわめて高速（ローレンツ因子が100以上）のジェットの加速メカニズムは未だに残されているものの、画期的な成果と高く評価できる。

以上、磁場と一般相対論的効果をもとに、回転星の重力崩壊モデルを構築し、相対論的ジェットの形成を世界で初めて示した意義は大きく、当該分野における極めて重要な成果と位置づけられる。よって本申請論文は、博士（理学）の学位論文として価値のあるものと認めた。なお、主論文に報告されている研究業績を中心に関連する分野について口頭試問した結果、合格と認めた。