

課題名(タイトル): 輻射輸送計算から探るガンマ線バーストの放射機構

利用者氏名: ○伊藤 裕貴(1)

理研における所属研究室名:

(1)長瀧天体ビッグバン研究室

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

“ガンマ線バースト”は突発的に大量のガンマ線が地上に降り注ぐ、宇宙で最も明るい天体現象である。ガンマ線バーストの発生機構は未解明の部分が多いが、現在では太陽の数十倍の質量を持った大質量星の爆発現象と密接に関連している事が分かっている。理論的な描像としては、大質量星が重力崩壊を起こす際に、星の中心領域からほぼ光の速度で細く絞られたプラズマ流(相対論的ジェット)が噴出され、このジェットから大量のガンマ線が放出されていると考えられている。しかしながら、ジェットからどのようにしてガンマ線が放射されているか(放射機構)は、発見から40年が経過した現在においても解明されておらず、宇宙物理学の主要な研究課題の一つとなっている。

そのような中で近年脚光を浴びている理論モデルとして、ジェットが光学的に厚い状態から、膨張により光学的に薄い状態に遷移する際に開放する光子をガンマ線の起源とする“光球面放射モデル”がある。しかしながら、このモデルにはまだ精査が必要な部分が多い。光球面放射を正確に評価するためには、光子のジェット中の伝搬過程を追う必要があるため、輻射輸送計算が必要である。しかし、このような計算はこれまで背景流体として定常状態を仮定した簡単なものについてのみ行われている。一方で、相対論的ジェットの流体シミュレーションに基づいた研究からは、ジェットの内部には、衝撃波が普遍的に存在しており、ガンマ線バーストの放射に大きな影響を与える事が強く示されている。したがって、ガンマ線バーストの放射過程を理解するためには衝撃波の輻射への影響を明らかにする事が求められる。

ジェット内に生じる衝撃波は一般に相対論的な伝搬速度を持っており、ジェット内のエネルギーの大部分は光子が保持しているため、散逸過程は輻射(光子)と物質(プラズマ)の衝突によって生じている(相対論的輻射媒介衝撃波)。したがって、衝撃波のガンマ線放射への影響を解明するためには、相対論的輻射媒介衝撃波の微視的な散逸過程を明らかにする必要がある。そこで本研究において、申請者は相対論的輻射媒介衝撃波の微視的な散逸過程の研究を行った。

2. 具体的な利用内容、計算方法

本研究では、独自に開発した数値計算コードを用いて、相対論的輻射媒介衝撃波の上流から下流に至るまでのプラズマ及び光子のエネルギー分布を記述する定常解を構築した。特に、光子が衝撃波から解放(エスケープ)される場合についての計算を行い、実際に衝撃波が光球面を通過した際に放射にどのような影響を与えるかについて調べた。

使用する数値計算コードは、申請者が先行研究(Ito et al. 2018)にて開発したものをベースに改良したものである。改良した点は、先行研究では考慮していなかった光子のエスケープの効果を取り入れた点である。本コードにて定常解を構築する手順は以下である。まず最初に、衝撃波の上流から下流に至るまでのプラズマ流の構造(密度 n 、温度 T 、速度 v)を、粒子数保存を満たすように、衝撃波静止系にて人為的に仮定する。次に、(i)仮定したプラズマ流中の輻射輸送を、モンテカルロ法を用いて計算し、衝突の際に生じる光子・プラズマ間のエネルギー、運動量の交換を評価する。(ii)そこで得られた定常状態(光子・プラズマの全エネルギー・運動量流速が一定)からのズレの情報を元に、定常状態に近づくように再度プラズマ流の構造を更新する。後はこの(i),(ii)の行程を、ズレが小さくなり定常解に収束するまで反復して行う。

3. 結果

本研究から得られた結果は、衝撃波から光子のエスケープがある場合はプラズマ間の相互作用によって生じるサブショックが現れ、その強度はエスケープするエネルギーが大きくなるほど強くなる事が明らかになった。また解放される光子のスペクトルは非熱的であり、エスケープを考慮しない相対論的輻射媒介衝撃波の遷移領域におけるスペクトルから大きく変化しないことが分かった(図1参照)。このことより、ガンマ線バーストにおける衝撃波の影響を考慮する際には、光子のエスケープを考慮しない計算が良い近似であることが明らかになり、そのスペクトルは先行研究(Ito et al. 2018)で示したように観測を再現できることが示唆された。

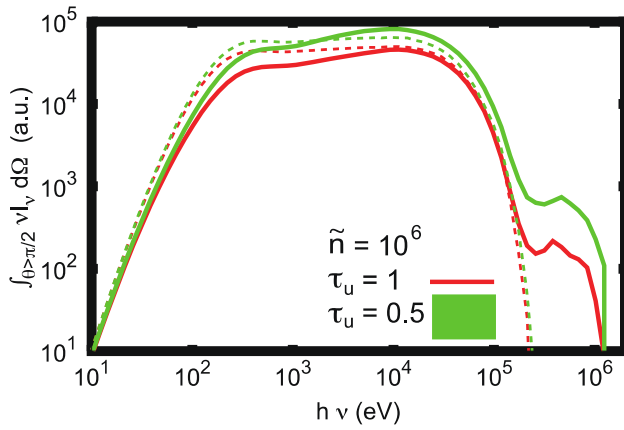


図1: 衝撃波から光子のエスケープがある場合(実線)とない場合(破線)の比較。

4. まとめ

ガンマ線バーストの放射において、相対論的輻射媒介衝撃波は多大な影響を与えるため、その放射機構を探るためにはその構造を高精度に解く必要がある。本研究では、独自に開発した数値計算コードを用いて、本研究課題に取り組んだ。その結果、衝撃波の存在によって放射スペクトルは非熱的なものとなり、観測が再現できることが明らかになった。

5. 今後の計画・展望

本研究では、ガンマ線バーストのジェットに伴う相対論的輻射媒介衝撃波に着目したが、このような衝撃波はガンマ線バーストのみならず、その他の高エネルギー天体現象(超新星爆発に伴う衝撃波ブレイクアウトなど)においても重要な役割を果たしていると考えられている。そのため、今後はより改良を加えた数値計算コードを用いて、より多様な現象に応用できる相対論的輻射媒介衝撃波の計算に取り組む。現在そのためのコード開発はほぼ完了しており、来年度から本格的な計算を一般利用の区分で行う予定である。

平成 30 年度 利用研究成果リスト

【口頭発表】

1. (招待講演) Hiroataka Ito, “Numerical Simulations of Photospheric Emission from Collapsar Jets”, Fifteenth Marcel Grossmann Meeting, ローマ・ラ・サピエンツァ大学 (ローマ、イタリア), 2018 年 7 月 2 日
2. (招待講演) Hiroataka Ito, “Prompt Emission of Gamma-ray Bursts”, Windows on the Universe, International Center for Interdisciplinary Science and Education (クイニョン、ベトナム), 2018 年 8 月 7 日
3. (招待講演) Hiroataka Ito, “Relativistic Radiation Mediated Shocks”, Jet and Shock Breakouts in Cosmic Transients, 京都大学基礎物理学研究所 (京都市、日本), 2018 年 5 月 16 日
4. (招待講演) Hiroataka Ito, “Prompt Emission of Gamma-ray Bursts”, Stellar deaths and their diversity, 国立天文台 (三鷹市、日本), 2019 年 1 月 22 日

【ポスター発表】

5. Hiroataka Ito, “Physics of relativistic radiation mediated shocks in photon starved regime”, 高エネルギー宇宙物理学研究会, 東京大学 (文京区、日本), 2018 年 9 月 5 日 ~9 月 7 日