

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、その一部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。

光球面放射を正確に評価するためには、内部に捕縛されていた光子が相対論的ジェット中を伝搬し解放されるまでの一連の過程を明らかにする必要があるため、輻射輸送計算が必須となる。これまでの大半の先行研究においては、このような計算を、簡単のためジェットを定常球対称な流れと近似し行っている。しかしその一方で、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や不安定性などによって励起された乱流が普遍的に存在している事が明らかになっており、非定常かつ多次元の構造が本質的に重要である事が示唆されている。このように複雑な振る舞いを示すジェットからの放射は、定常球対称を課した計算からは適切に評価できないため、より現実的な状況設定における輻射輸送計算を行う事が望まれる。

申請者はその点に着目した研究をこれまでにしている。Ito et al. 2015 においては相対論的流体シミュレーションとモンテカルロ法を採用した輻射輸送計算を駆使することによって、世界に先駆けて、非定常で現実的な構造を持った相対論的ジェットからの光球面放射を評価した。その結果、ジェットは星の外層と衝突することによって、複雑な構

造を示し、それが放射に強く反映されることを明らかにした。特筆すべきは衝撃波の存在によって、観測されている非熱的スペクトルが再現できる可能性があることを示した点である。さらに Ito et al. 2019 においては、観測から経験的に知られていたスペクトルのピークエネルギーと放射の最大高度の間に成立する相関関係(米徳関係)が、伝搬の際に形成したジェットの内部構造に起因して説明できることを明らかにした。これらの一連の成果は光球面放射がガンマ線バーストの主な放射機構を担っていることを強く示唆している。

本課題では上述の研究を継続し推し進め、昨年度(課題番号:Q19362)に引き続き Ito et al. 2019 に行ったモンテカルロ輻射輸送計算を、より多数の光子数にて実行することによって、より高精度の計算を実現した。特に今年度はスペクトルの時間変動に着目した研究を行なった。

## 2. 具体的な利用内容、計算方法

本研究では、ガンマ線バーストに伴う相対論的ジェットからの光球面放射を、相対論的流体シミュレーションと輻射輸送計算を組み合わせることによって評価している。具体的な手法としては、最初に中心エンジンから駆動されたジェットが遠方に伝搬し、光学的に薄くなるまでの過程を流体シミュレーションによって計算する。次に、そこで得られた時間発展データを背景流体として採用し、モンテカルロ輻射輸送計算を実行することによって、光球面放射を評価している。本課題では Ito et al. 2019 と同じ流体シミュレーションのデータに基づき、10倍の光子数を採用したモンテカルロ輻射輸送計算に取り組むことによって、スペクトルの時間変動を明らかにしている。

## 3. 結果

図1には本計算から得られた光度とスペクトルのピークエネルギー( $E_p$ )の時間発展の例を示している。図からは  $L$  と  $E_p$  の間の相関があることが確認できる。

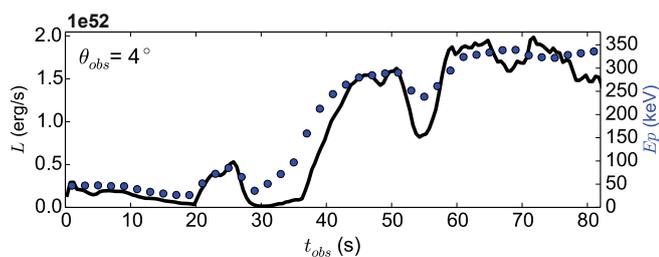


図 1: (上図) スペクトルのピークエネルギー( $E_p$ )と明るさ( $L$ )の時間変動。ここではジェットを中心軸と観測者の視線方向がなす角度( $\theta_{\text{obs}}$ )が $4^\circ$  の場合を図示している。(下図)

また、この相関関係は、ジェットのパワーや観測者の位置によらず成立することが明らかになった(図2)。実際の観測からもこのような相関は確認されているため、本結果は昨年度の結果と同様に光球面放射がガンマ線バーストの放射機構を担っていることを示唆するものとなっている。

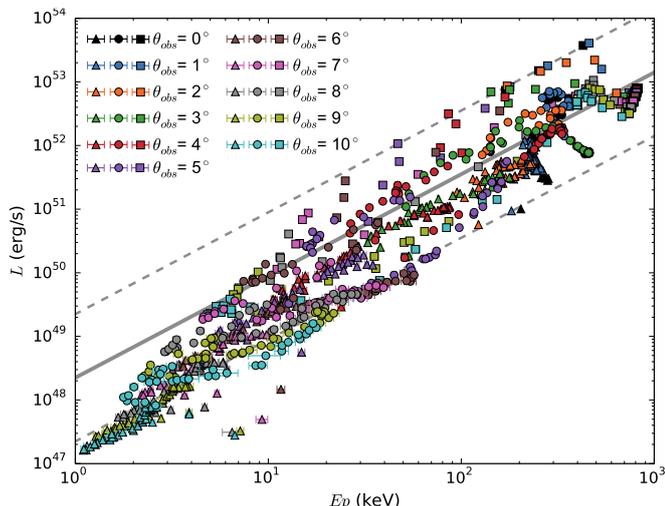


図2: 各時刻におけるスペクトルのピークエネルギー( $E_p$ )と光度( $L$ )。点の色の違いは観測者の位置(ジェットを中心軸と観測者の視線方向がなす角度  $\theta_{\text{obs}}$ )の違いを示している。

#### 4. まとめ

ガンマ線バーストに伴う光球面放射を、相対論的ジェットの流体シミュレーションに基づいたモンテカルロ輻射輸送計算を行うことによって評価した。多量の光子数を採用した輻射輸送計算を実現することによって、先行研究(Ito et al. 2019)では、探求することができていなかったスペクトルの短時間変動を明らかにすることができた。主な成果としては、各時刻におけるスペクトルのピークエネルギーと明るさの間には優位な相関があることを示した。この結果は、観測事実と整合するために先行研究に引き続き、ガンマ線バースト

の主な放射機構を光球面放射が担っていることを示唆するものとなっている。

#### 5. 今後の計画・展望

本研究では、大質量星の崩壊に伴うガンマ線バーストに着目したが、ガンマ線バーストには連星中性子星合体、もしくは中性子星・ブラックホール連星合体に伴う種族(ショートガンマ線バースト)が存在していると考えられている。今後は主に、ショートガンマ線バーストに着目した研究を行っていく。

2020年度 利用研究成果リスト

【雑誌に受理された論文】

Hiroataka Ito, Amir Levinson, Ehud Nakar, “Monte-Carlo simulations of fast Newtonian and mildly relativistic shock breakout from a stellar wind”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 499, Issue 4, p4961-4971, (2020)

【ポスター発表】

Hiroataka Ito, “Numerical simulation of photospheric emission in gamma-ray bursts”, 一般講演, 新学術領域研究「Gravitational wave physics and astronomy: Genesis (重力波物理学・天文学:創世記)」第4回シンポジウム, 2021年2月22,24日, オンライン開催