

ガンマ線バーストとその起源

1 ガンマ線バーストとは？

宇宙では地球上では実現しないような現象が多く起きており、星が死ぬ際の超新星爆発がよく知られていますが、ほかの高エネルギー現象としてガンマ線バースト (GRB) というものがあります。これは宇宙のある一点から非常に高強度な光子、すなわち γ 線が降り注いでくる現象のことです。典型的には数秒から数百秒程度の時間で起きるもので、この短い時間での放射を prompt emission と呼びます。1997年の観測で、prompt emission が観測されてから数時間後に精密にその方向への観測を続けたところ様々な波長で電磁波が観測され、prompt emission に比べて長い、数時間から数ヶ月にわたって減光していく、afterglow という現象が観測されました。図1に示すように prompt emission と afterglow では 10000 倍以上の明るさの違いがあるのが特徴です。観測時間の長い afterglow の発見で GRB の位置特定、明るさの精密測定が可能になりました。

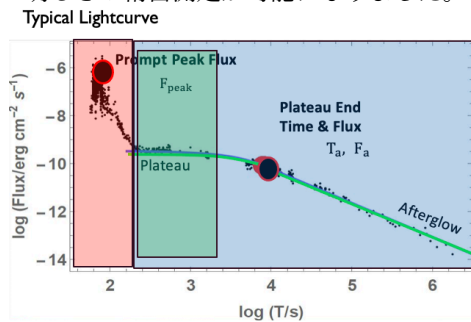


図 1: 典型的な GRB の光度曲線。赤で示した領域が prompt emission に、青で示した領域が afterglow に対応しています。

2 GRB のモデル

ガンマ線バーストのモデルは完全に確立されたわけではないですが、現在での標準的なモデルは図2のようになっています。

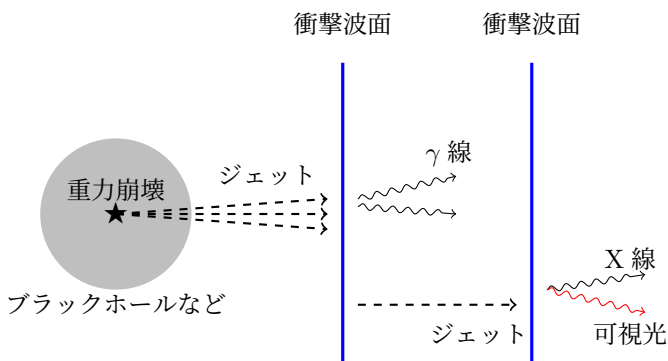


図 2: ガンマ線バーストの衝撃波によるモデリング

まず太陽と同様の恒星が死ぬ際に自らの重力で崩壊します。この際に元の星の質量が大きいと、磁場の強い中性子星であるマグネターあるいはブラックホールが残ります。この重力の強い中心天体は周囲の物質を引き寄せて降着円盤を形成しジェットと呼ばれる、光速の 99.99 % 程に速く、細く絞られたプラズマを射出します。このジェットが星の表面を突き破る際に内部衝撃波によって失ったエネルギーが電子を介し、 γ 線として放出されると考えられています。このようにジェットは内部衝撃波によってエネルギーを散逸しますが、全エネルギーを失うわけではなく運動を続けます。このジェットは再び加速され、先端に物質を集めて再び星間ガスの間に衝撃波が生まれます。この際に散逸するエネルギーは prompt emission よりも小さいため、放たれる電磁波は γ 線領域ではなく、可視光あるいは X 線で電磁波が観測されることになります。

3 現状のモデルの問題点と展望

GRB の中心天体や相対論ジェットがあることは観測によって確立されていますが、ジェット自体の加速機構や磁場の問題なども理論的には解決されていません。また、ジェットの存在を現象論的に認めてしまっても prompt emission と afterglow でエネルギーが全く異なること、ほとんど全ての GRB で同程度のピークエネルギーを持っていることなどを説明できません。このため、電子が光子を放出するプロセスを変更したり、磁場の効果を考えたりと様々なアプローチが取られていますが、全ての問題を解決できたとはいえ、シミュレーションなども活用して改良が求められます。さらに GRB が中性子星の衝突合体でも発生することを利用して重力波、あるいはニュートリノによる観測など、電磁波だけでなくマルチメッセンジャー観測も行われています。こうして様々な側面から GRB の起源やメカニズムを解明しようと盛んに研究が進められています。

参考文献

- [1] 河合誠之、浅野勝見. "ガンマ線バースト" 日本評論社 (2019)
- [2] Sironi, L. & Spitkovsky, A., "Acceleration of particles at the termination shock of a relativistic striped wind" ApJ 741(2011): 39.