

ガンマ線バーストの相対論的磁気流体力学数値シミュレーション (yym17b)

水野 陽介 (京都大学)

1. イントロダクション

ガンマ線バースト (以下 GRB) は数秒から数分の間で 100keV 程度のガンマ線を放出する突発現象である。GRB はその最初の発見から現在に至るまで数多くの観測があるにもかかわらず、何が GRB を引き起こしているか (central engine は何か) 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 GRB は非常に高速 ($\gamma \sim 100$) 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、GRB と超新星爆発との関連性を示す証拠がいくつか見つかっており、少なくとも GRB の一部は超新星爆発起源で起こっていると考えられている。

我々は磁場を考慮した collapsar モデルによる相対論的ジェットの形成を一般相対論的 MHD コードを用いてシミュレーションしてきた。その結果、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、中心付近で衝撃波を発生し、それが外向きに伝播するときに内側でジェット状の噴出が形成されることは分かった。今年度はさらにブラックホールの回転を考慮したシミュレーションを行った。

2. シミュレーションモデル

星の重力崩壊によって中心にカーブラックホールが形成され、さらにガスが中心に向かって落ち込める状況を仮定する。初期の密度、圧力、radial 速度のプロファイルは 1 次元の超新星爆発の計算データを使用する。さらに剛体回転に近い回転分布と一様垂直磁場を加える。

3. シミュレーション結果

シミュレーションはブラックホールの回転に対してプラズマガスが共回転 ($a = 0.999$) と反回転 ($a = -0.999$) している 2 つのケースで行った。ここで a は回転ブラックホールの回転パラメータである。時間発展の様子は両ケースともほぼ同じような発展を見せる。シミュレーション開始とともにプラズマガスは中心のブラックホールに引かれて落ち込んで行く。プラズマガスは赤道面に積みあがり、円盤状の構造を形成する。その後、中心付近から衝撃波とジェット状の噴出が形成され、上方に伝播していく。ジェットの速度は光速の 30% 程度である。磁場は落ち込んでくるプラズマガスの微分回転と回転ブラックホールの時空の引きずり効果によって中心ブラックホールの周辺で強く捻られる。捻られた磁場はジェット状に噴出と共に上方に伝播し、ジェットをコリ

メートする。回転ブラックホールのジェットは回転のないブラックホールのときのジェットに比べてよりパワフルで、より中心近傍から形成されている。また、共回転、反回転の両方の場合でプラズマベータはジェットの内側で低く、形成されたジェットが磁場によって形成、加速されていることが分かる。

ブラックホールと共回転の場合、運動エネルギー流束とポインティングフラックスはほぼ同じであるが、ブラックホールと反回転の場合、運動エネルギー流束はポインティングフラックスより 2 倍大きい。これらの結果は回転のないブラックホールの場合とは異なる。これは回転ブラックホールでのジェットが回転のないブラックホールの場合に比べて垂直方向で早く、密度の高いためである。また回転ブラックホールの場合にポインティングフラックスも回転のないブラックホールの場合に比べて大きい。これは回転ブラックホールの時空の引きずり効果によって磁場がより強く捻られたためである。

また、計算データからジェットの運動エネルギーを見積もる。シミュレーションの密度スケールを $\rho_0 = 10^{13} \text{g/cm}^3$ と仮定すると、ジェットの運動エネルギーは $E_{jet} \simeq 10^{54} \text{ergs}$ となる。いくぶん大雑把な見積もりであるが、このエネルギーはガンマ線バーストの標準エネルギー ($\sim 10^{51} \text{ergs}$) を十分説明できる。

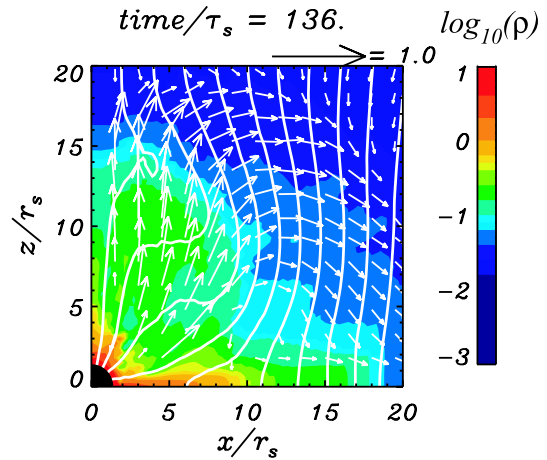


Fig. 1. $t/\tau_s = 136$ での共回転の場合の密度のスナップショット。コントアは密度、白線は磁力線、ベクトルはポロイダル速度を表す。中心付近よりジェット状の噴出が形成されていることが分かる。