

回転星の崩壊によるガンマ線バーストの一般相対論的 MHD シミュレーション

○水野 陽介 (京大理), 山田 章一 (早大理工), 柴田 一成 (京大理), 小出 真路 (富山大理)

1. イントロダクション

ガンマ線バースト (GRB) は宇宙でもっと激しい爆発現象の一つである。GRB は相対論的な速度を持つジェット状の爆発であると考えられている [1], [2]。近年の観測から GRB と超新星爆発との関連を示す証拠がいくつか見つかってきている [3],[4]。また一方で磁場を持つ回転星の重量崩壊のシミュレーションからジェット状の爆発が発生することが分かっている [5],[6]。

そこで本研究では GRB のモデルとして磁場を持つ回転星の重力崩壊の 2.5 次元一般相対論的 MHD シミュレーションを行った。

2. シミュレーションモデル

シミュレーションの初期条件として以下のような状況を考える。重たい星が超新星爆発を起こしたときに星の外層は吹き飛ばされ、中心には中性子星ができる。中心付近にあるガスは中性子星に落ち込み、ブラックホールとなる。さらに吹き飛ばされた星の外層が中心の強い重力によって再び落ち込んでいく。この状況は type2 collapsar と呼ばれている。

中心のブラックホールはシュバルツシルトブラックホールとする。初期の密度、圧力、radial 速度は 1 次元の超新星爆発の計算データ [8] を使用している。星の回転は剛体回転に近い回転分布を入れている [6]。磁場は簡単のため一様磁場を仮定している。

3. シミュレーション結果

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。重力と回転の効果のため崩壊は非等方である。その結果、ブラックホール周辺には円盤状の構造が形成された。磁場はプラズマガスに凍結しているため引きずられていく。そのため中心付近は radial な形状になっていく。その後、中心付近から衝撃波が発生し、外側に伝播していく。その衝撃波の後面からは絞られたジェット状の噴出が形成された。ジェットの速度は $0.3c(v_p \sim 0.1c)$ である。

4. 議論

- ジェット発生メカニズム

ジェットは中心付近から発生した衝撃波の後面で発生した。この衝撃波は中心付近のガス圧によって発生したものである。衝撃波は中心付近で蓄えられた磁場の振りの解放と一緒に伝播していく。磁場の捻じれはアルフヴェン波として伝播していく。これは衝撃波面の位置と磁場の捻じれの位置が一致している点からも確認できる。落ち込んでくるプラズマガスは衝撃波によって外向きに押しされ、ジェットを形成する。衝撃波が発生した直後では衝撃波後面のプラズマベータは 1 よりも大きくガス圧が優勢であるため、ジェットはガス圧によって加速していると考えられる。ジェットが上方に伝播するにつれてプラズマベータは 1 よりも小さくなり、磁気圧優勢となる。即ちジェットのコリメーションは磁気圧によってなされていると考えられる。

- 初期磁場の強さの違いによるジェットの物理量の依存性

初期磁場の強さを変えてシミュレーションを行った。その結果、初期の磁場が強くなる時ジェットの速度 (特に v_z) は遅くなった。また磁場のもっとも強くしたケースではジェットの発生が見られなかった。また同じように初期の磁場が強くなると磁場の振れも弱くなった (磁気トルクが弱くなった)。これは初期磁場が強くなるとアルフヴェン波がすぐに伝播してしまうためである。即ち、初期磁場が強いケースでは磁場を十分に振って中心近くでエネルギーを貯めることができず、強い衝撃波を作ることができないためである。このような結果は初期に磁場の形状を一様磁場に仮定したためであると考えられる。

参考文献

- [1] T. Piran, Phys.Rep.(1999) 314, 575.
- [2] D.A. Frail et. al., ApJ (2001) 562, L55.
- [3] T.J. Galama et. al., Nature (1998) 395, 670
- [4] J.S. Bloom et al., ApJ (2002) 572, L45
- [5] J.M. LeBlanc & J.R. Wilson, ApJ (1970) 161, 541.
- [6] E.M.D. Symbalisty, ApJ (1984) 285, 729.
- [7] S.Koide et. al., ApJ (1999) 522, 727.
- [8] A. Mezzacappa & S.W. Bruenn, ApL (1993) 410, 740.

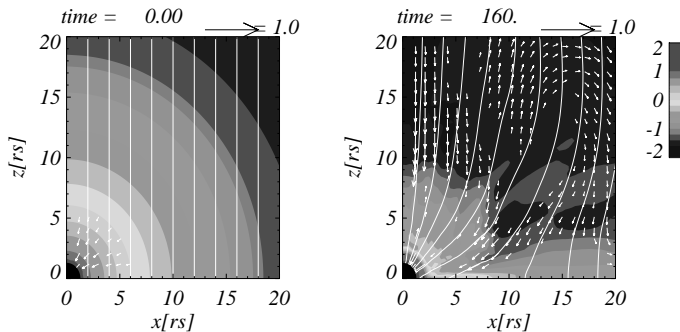


図 1: overview of initial and final situation