

数値シミュレーションによるガンマ線バースト中心エンジンに関する理論的研究

長滝重博 (京都大学基礎物理学研究所)

利用カテゴリ XT4A ・ SX9A

近年の観測によりガンマ線バーストの一部は超新星起源であることが報告されており、しかもその超新星は通常の超新星爆発理論では到底説明できない、爆発エネルギーが 10^{52} erg にも達する特異な超新星（極超新星）である場合が多いことが明らかになっている。そこで新しいエンジンが必要となる訳だが、MacFadyen and Woosley (1999) はコラプサーモデルを提唱し、回転しながらブラックホールに落ち込む降着円盤から放射されるニュートリノが回転軸付近で効率良く対消滅することによってガンマ線バースト並びに極超新星が実現されると指摘した。しかしながら、彼らは Weak Interactions を数値計算の中に取りこんでいる訳ではなく、実際には内部エネルギーを計算領域の中心部分に注入してジェットを形成させている。また、それとは独立に、回転する親星が磁場を持っていたとすると、磁場の効果によりジェットが形成されるという指摘もある。

そこで私は Weak Interactions の microphysics を取り込んだ一般相対論的磁気流体コードの開発を開始し、より現実的なコラプサーモデルの数値シミュレーションを目指している。

2008 年度には、一般相対論的磁気流体コードの開発をほぼ終了した。そのコードを用いて、マイクロ物理を殆んど入れない形ではあるものの、現実的な親星モデルを初期条件としたコラプサーダイナミクスを数値シミュレートした。その結果、親星の中心部分でジェットが形成され、しかもジェット中の磁気エネルギーは静止質量エネルギーを十分に超えていることが確認された。この結果は、このジェットが伝搬していくと、ガンマ線バーストで要求されているところの、バルクローレンツ因子の非常に大きなジェットとなる可能性があることを意味している。又、ジェットの動力として、ブラックホールの回転エネルギーを引き抜く Blandford-Znajek 効果が一助となっていることを確認することが出来た。この計算は CfCA 2008 年度後期に於いて、XT4, SX-9 を用いて行われた。現在、その成果は論文としてまとめられ、ApJ に受理された (Nagataki ApJ 704 (2009) 937-950)。

以下に Nagataki ApJ 704 (2009) 937-950 に於いて紹介されている図のうち、代表的なものを紹介する。また現在計算中の 3 次元一般相対論的磁気流体計算例も示す。

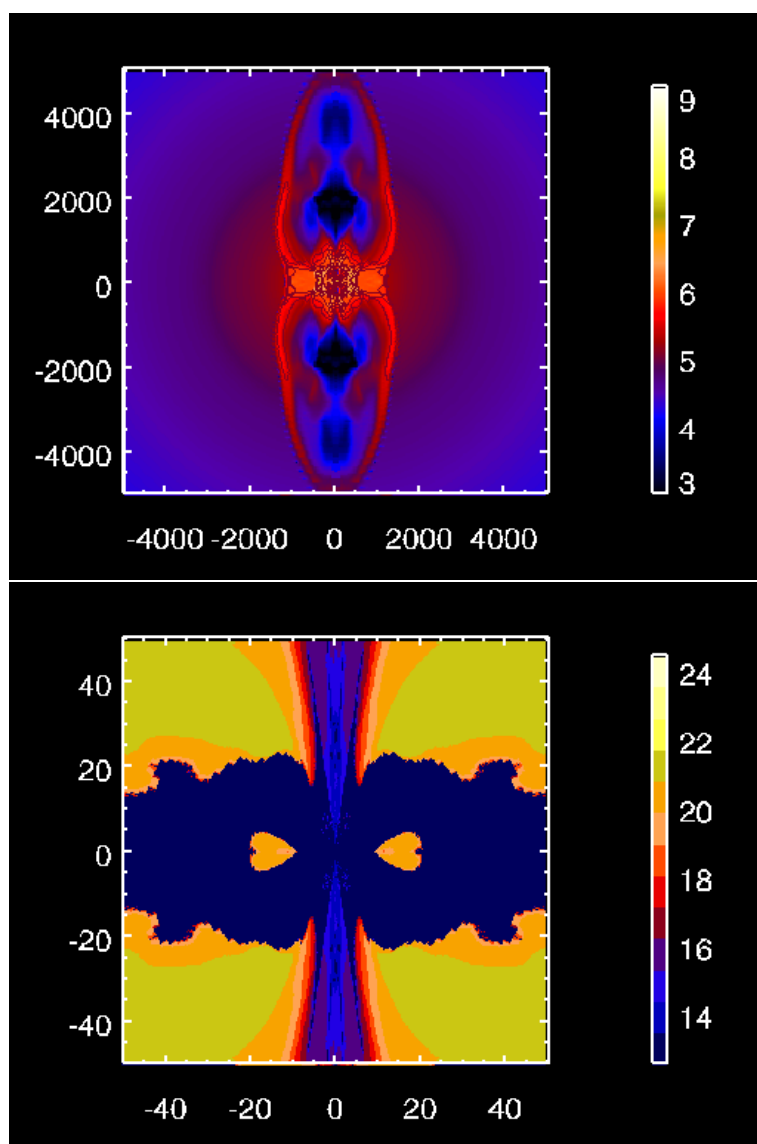


図 1: 上図: 大質量星に於ける相対論的ジェット形成シミュレーション例。下図: Outgoing momentum flux。ジェット領域では磁気優勢となっている。それを密度の高い、'汚い' バリオン優勢のアウトフローが取り囲んでいる。降着円盤領域はブラックホールに吸い込まれる (2次元計算: S.Nagataki ApJ 704 (2009) 937-950)。

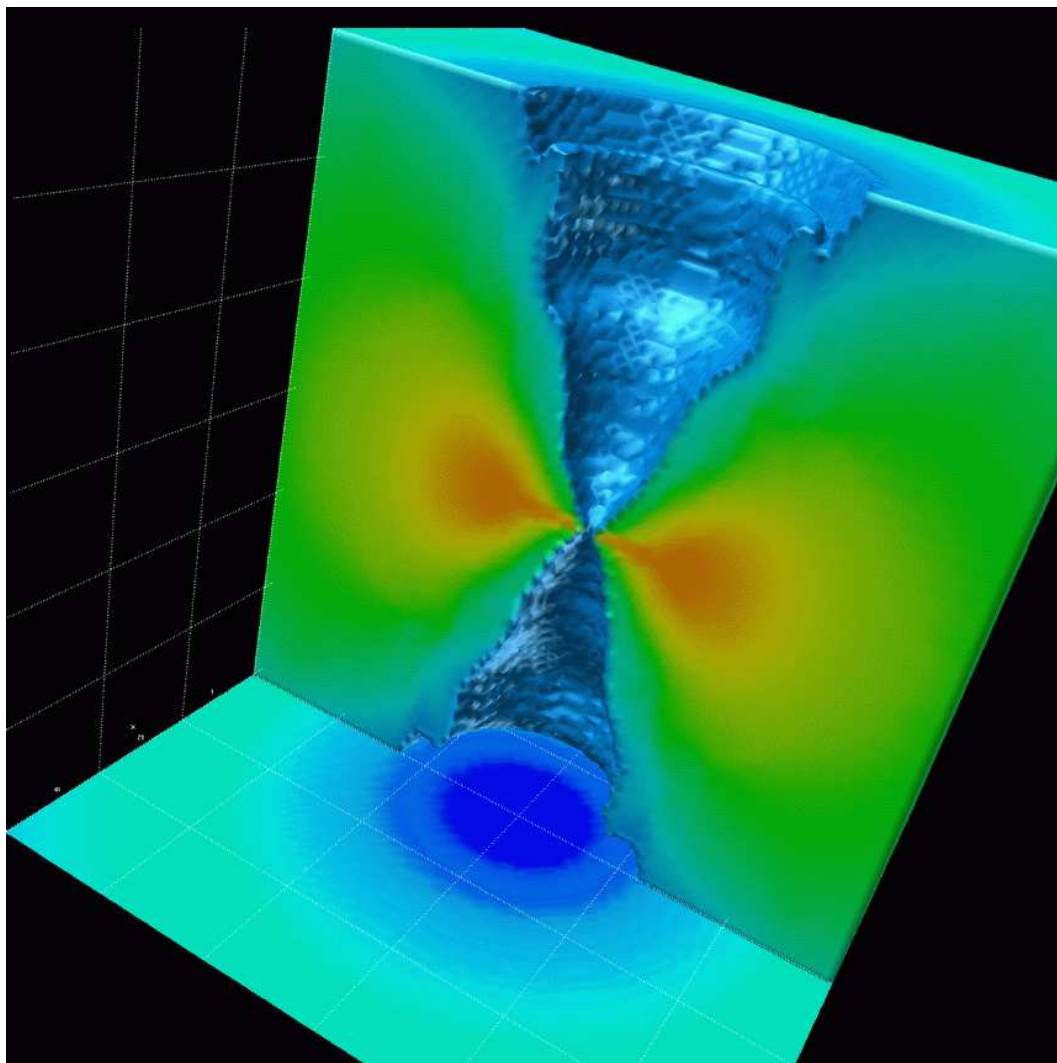


図 2: 磁場入り Fishbone-Moncref 解の時間発展によるジェット形成シミュレーション例 (3次元計算)。S. Nagataki ApJ 2010 投稿予定。