平成 20 年度国立天文台天文シミュレーションプロジェクト成果報告書

研究課題名

重力崩壊型超新星の３次元磁気流体シミュレーション

利用者氏名 (所属機関)

黒田　仰生（東京大学大学院理学系研究科天文学専攻）

利用カテゴリ　XT4C

重力崩壊型超新星爆発の爆発機構としていくつかのモデルが提唱されているが、それらのうちの一つとして親星の持つ磁場と回転の効果に着目したシナリオがある。このシナリオは通常の重力崩壊型超新星爆発よりも規模が一桁大きい Hypernova や、相対論的なジェットを伴う Gamma Ray Burst の有力な機構と考えられており、過去様々な数値計算がなされてきた。現在までの磁気回転爆発の数値計算は主に２次元軸対称を仮定して行われていたが、超新星爆発の観測からはライン偏光が観測されるなど、実際の爆発は３次元非軸対称で起こっている事が分かっている。その為、本研究では重力崩壊型超新星爆発の爆発機構解明を目的とした、３次元磁気流体計算コードの開発を行い、以前に作成した２次元軸対称コードの３次元直交座標系への拡張、及び並列化計算の効率を上げる事を目標とした。

結果報告

図 1,2 に回転と磁場を伴う $25M_{\odot}$ の重力崩壊の計算例を示す。図 1 下段には、内部、運動、全エネルギー（内部＋運動＋磁場＋重力）、重力エネルギーを表示し、上段には全エネルギーの初期値からの相対誤差、及び計算領域中の総ブロック数を表示している。相対誤差には全エネルギーの初期時刻からの変化を重力エネルギーで規格化した値を採用している（i.e. $(E_{tot} - E^0_{tot})/(-E_{grv})$）。本コードには Adaptive Mesh Refinement を取り入れており、物理状態により全メッシュ数が変化する。図 1 上段からは全ブロック数（１つのブロックは $8 \times 8 \times 8$ 個の cell で構成）が変化する事による保存エネルギーの誤差等は見られず、また常時 0.5%以下の精度を保っている。典型的な重力崩壊爆発の運動エネルギーは $\sim 10^{51}$ergs であり、一方重力収縮により解放されるエネルギーは $\sim 10^{53}$ergs の order である。そのことから重力崩壊計算には誤差を 1%いかに保つ事が要求されるが、今回の計算結果から本コードは重力崩壊の計算に十分使用できるコードと考えられる。

図２にはコアバウンス後約 30ms の、中心 800km が表示されている。リボンは磁力線を表し、色で表示された箇所は密度を表す。３つの殻は外側からそれぞれ $\rho = 10^9, 10^{11}, 10^{13}$g/cc の密度等値面に相当する。

まとめ

２次元から３次元へのコードの拡張を行い、大規模計算を効率よく行う為に MPI 並列化を行った。テスト計算からは重力崩壊の計算に適用しうる精度を保っている事が確認された。

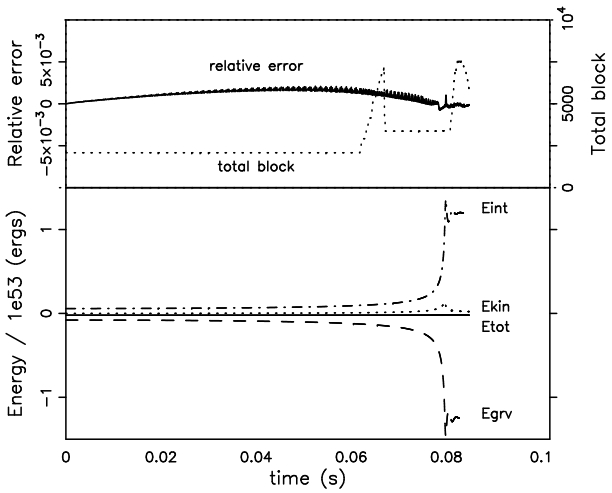

図 1: lower panel : $25M_\odot$ の重力崩壊時の各エネルギーの時間変化。磁場エネルギーは小さい（$\sim 10^{50}$ ergs）ので、表示していない。上からそれぞれ内部、運動、全エネルギー、重力エネルギーを表示。upper panel : 全エネルギーの初期値からの相対誤差、及び計算領域中の総ブロック数。

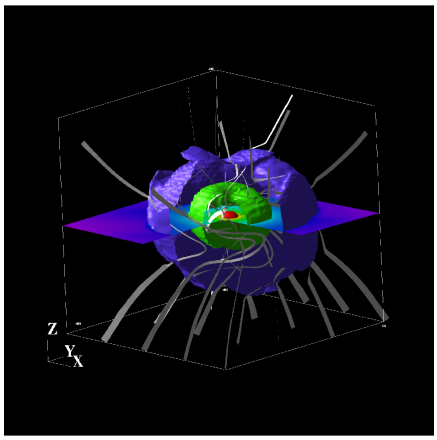

図 2: 3 次元磁気流体シミュレーションによる $25M_\odot$ の重力崩壊の計算例。コアバウンス後約 30ms の、中心 800km を表示している。リボンは磁力線を表し、色で表示された箇所は密度を表す。