

A. 数値相対論ニュートリノ輸送コードの作成

前年度に開発したコードを拡張し、アインシュタイン方程式、一般相対論的流体力学方程式、一般相対論的ニュートリノ輸送方程式をモーメント定式化に基づいて解く数値相対論コードをImplicit-Explicitスキームを用いて半陰的に解くコード、及び完全に陰的に解けるように新たに開発した反復スキームを用いて解くコードを完成させた。前者のコードを大質量星の重力崩壊現象に適用し、過去の球対称の一般相対論的シミュレーション

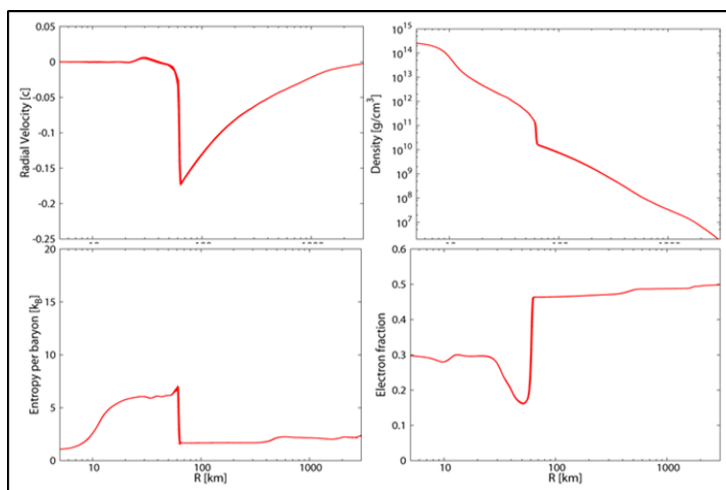


図1：大質量星の重力崩壊のシミュレーション結果。コアバウンス後およそ 5 ms における速度(左上)、密度(右上)、バリオン当たりのエントロピー(左下)、電子フラクション(右下)の動径プロファイル

結果を再現し(図1-3)、Standing Accretion Shock Instability (SASI) などの多次元現象を一般相対論の枠組みで追跡することに成功した。高解像度のシミュレーションを実行し、結果をまとめる予定である。大質量星の重力崩壊計算に加え、多層格子法を組み込み、コンパクト連星合体への適用できるコードも開発した(図4)。

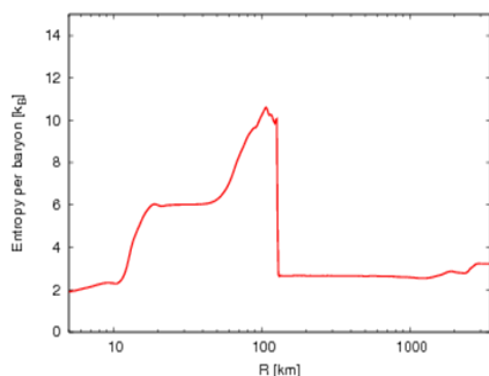


図2：バウンス後およそ 80 ms におけるバリオン当たりのエントロピーの動径プロファイル。ニュートリノ加熱に伴うエントロピー上昇がみられる。

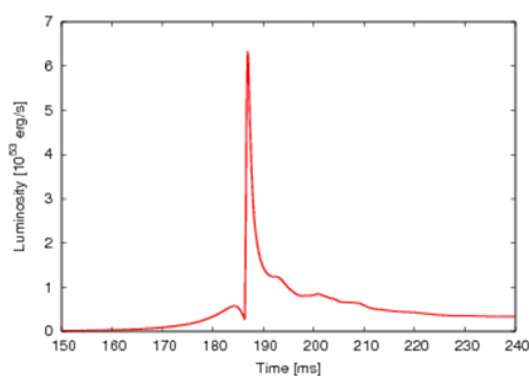


図3：電子ニュートリノ光度の時間発展。約 188ms のところにニュートリノバーストが見られる。

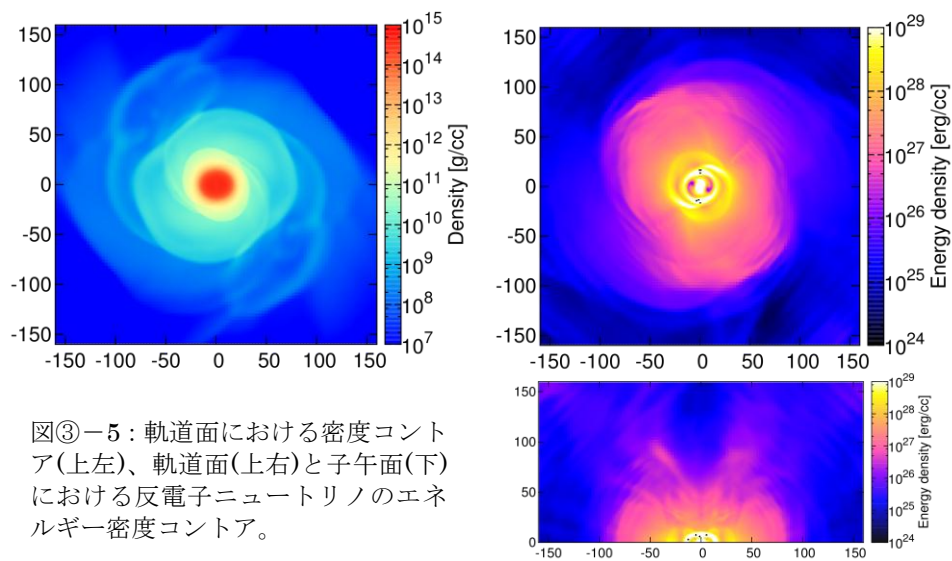
B. 大質量星の重力崩壊によるブラックホール・ディスク形成シミュレーション

前年度の研究課題で作成したニュートリノ漏れ出し法を組み込んだ数値コードを用いて、(B-2) 太陽の100倍の質量を持つ恒星進化計算に基づく球対称モデル(Umeda & Nomoto 2008)の重力崩壊によってブラックホールとそれを取り巻く降着円盤が形成される過程の数値相対論シミュレーションを行った。その結果、ブラックホール周りの降着円盤で衝撃波が発生し、降着円盤内で激しい対流運動や不安定性が励起されることを初めて明らかにした。その結果、質量降着率及びニュートリノ光度は激しい時間変動を示す。また、これらの動的現象が起こるか否か及びその度合いが、初期の恒星中心核の回転プロファイルに強く依存することを明らかにした。本研究結果は、既に査読論文誌に掲載済みである。

D. 連星中性子星合体及びブラックホール中性子星連星合体シミュレーションと重力波及びニュートリノ光度の計算

連星中性子星及びブラックホール中性子星連星の合体は、有望な重力波源であるとともに、ショートガンマ線バーストの有力な中心動力源候補である。ショートガンマ線バースト動力源における火の玉生成モデルとして、ニュートリノ対消滅による電子陽電子対生成がある。微視的物理過程、特にニュートリノの放射を考慮した連合体の数値相対論シミュレーションを行い、合体の際に放射されるニュートリノの光度、及び重力波波形を明らかにした。

連星中性子星合体シミュレーションでは、前年度に行ったシミュレーションを拡張し、非等質量の連星モデルに対してシミュレーションを行いその、質量放出、ニュートリノ・重力波放射、形成される大質量中性子星の構造への依存性を明らかにした。ブラックホール中性子星連星合体シミュレーションに関しては、ダイナミクス及びニュートリノ光度のブラックホールスピンへの依存性を明らかにした。尚、シミュレーションは連星中性子星合体のコードに moving puncture 法を組み入れたものを用いて行い、結果は現在論文にまとめている最中である。



図③-5: 軌道面における密度コントラスト(上左)、軌道面(上右)と子午面(下)における反電子ニュートリノのエネルギー密度コントラスト。