

戦略プログラム分野5 一般枠・重点枠課題の進捗状況

2012年10月31日
統括責任者 青木慎也

<一般配分枠>

研究開発課題1 「格子QCDによる物理点でのバリオン間相互作用の決定」

領域分割ハイブリッドモンテカルロ(DDHMC)法により 2+1 フレーバーQCD のゲージ配位(モンテカルロサンプル)生成を開始した。格子サイズは 96^4 であり、試験利用期間で実施した小さな格子サイズを用いたパラメータサーチの結果に基づけば、物理サイズはおよそ $(10\text{fm})^4$ であると予測される。共用開始以後 thermalization を行いながらクォーク質量の物理点へのチューニングを実行しているが、10月25日時点で両者はほぼ終了しつつあり、5分子動力学時間ごとに物理量測定用のゲージ配位保存を開始している。11月より基本物理量の測定を本格的に開始する予定である。なお、1分子動力学時間に要する計算時間は既に目標値までの削減に成功しており、計算資源の追加配分があれば更に研究を加速することが可能である。

研究開発課題2 「大規模量子多体計算による核物性解明とその応用」

原子核構造計算用プログラムであるモンテカルロ殻模型 (MCSM) 法の京計算機へのチューニングをすすめ、第一原理的殻模型計算を遂行している。図1はMCSM法計算が従来の直接対角化法 (FCI) の限界を超えて適用可能であることを示している。また、MCSM法を用いて、原子核の固有座標系での密度分布を計算する方法を開発した。図2はベリリウム8の密度分布であり、2つのアルファ粒子が発現したクラスター構造をとることを示している。

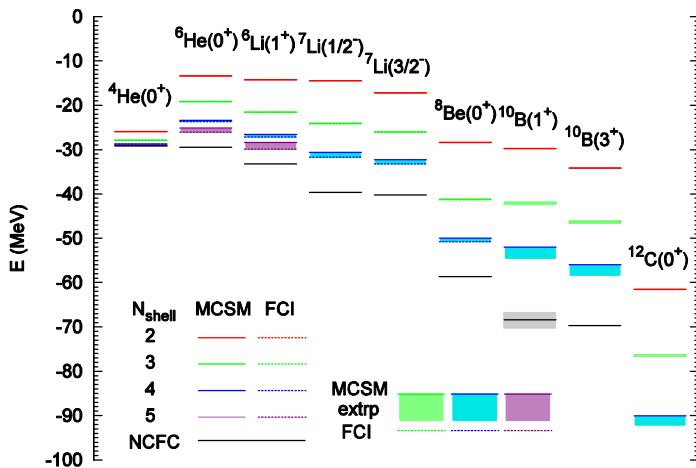


図1

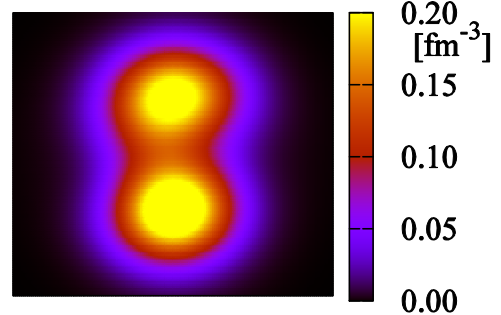


図2

研究開発課題3 「超新星爆発およびブラックホール誕生過程の解明」

本年度は、一般相対論的輻射輸送のモーメント法による定式化 (Shibata, Kiuchi, Sekiguchi & Suwa, Prog. Theor. Phys. 125, 1255 (2011)) に基づき、大質量星の重力崩壊シミュレーションに向けた、多次元の一般相対論的ニュートリノ輸送計算コードの開発を行った。テスト計算の結果 (図1参照) は、過去に行われた球対称計算の結果をよく再現しており、数値コードの骨格部分は完成したものと考えている。今後、「京」でのシミュレーションに向けたチューニングを行う。さらに、ニュートリノの吸収・散乱項を簡略化した輸送コードも開発している。これは、連星中性子星合体シミュレーション (図2: テスト計算例) や長時間の重力崩壊計算など、計

算コストの大きい問題に適用することを考えている。

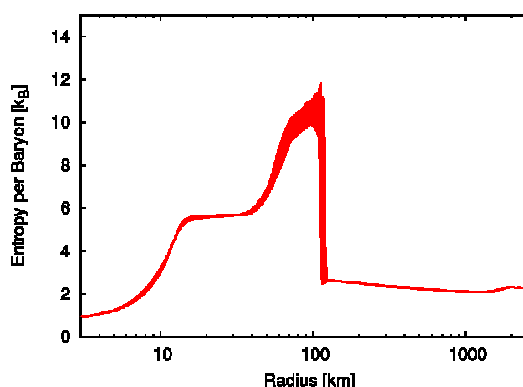


図 1: 大質量星の重力崩壊における、ニューノ加熱によるエントロピーの増加。新しく開いた計算コードでは、従来のシミュレーションでは取り入れられていなかったニュートリノ加熱の効果を計算することができる。

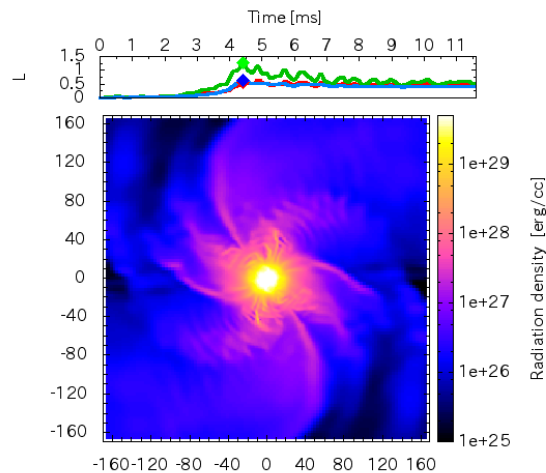
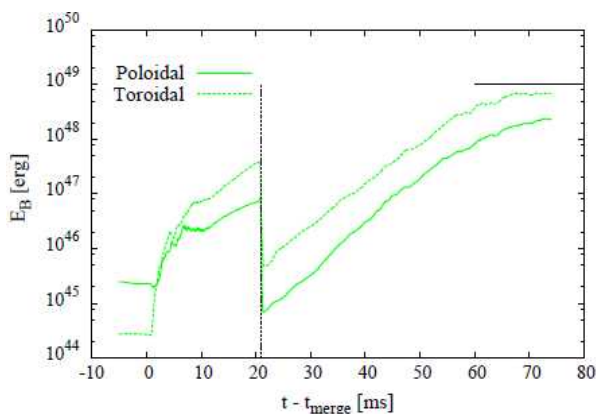


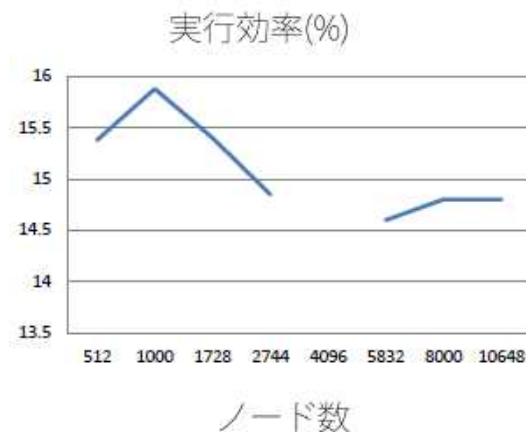
図 2: 連星中性子星合体におけるニュートリノ放射の様子。計算量の軽い近似的な手法においても、ニュートリノ加熱を考慮した半定量的な計算が可能である。

磁場連星中性子星合体の数値相対論シミュレーション及び京でのチューニング



左図: 磁気エネルギーの時間発展

回転軸に垂直な面に沿った成分(トロイダル)と平行な面に沿った成分(ポロイダル)。黒縦点線はブラックホール形成を表す。連星中性子星が合体後 ($t-t_{\text{merge}}=0\text{ms}$)、磁場が増幅し、 $t-t_{\text{merge}}\sim 20\text{ms}$ でブラックホールが形成する。その後、ブラックホールの周囲に出来た降着円盤内で磁場が磁気流体不安定性により増幅し飽和する様子がわかる。

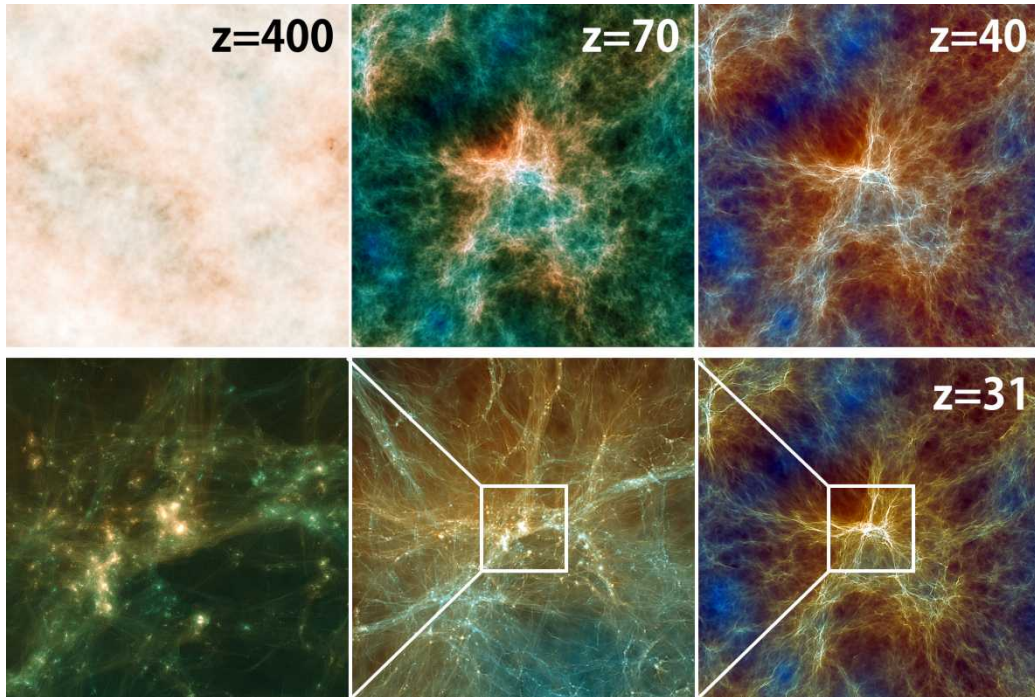


右図: 数値相対論—磁気流体コードの京でのチューニング結果。Weak scaleでの実行性能を表す。但し 4096 ノードはプロファイルが未収集。

研究開発課題4「ダークマターの密度ゆらぎから生まれる第1世代天体形成」

今年度の主な目標は、ダークマター構造形成シミュレーションコード GreeM の「京」にむけた最適化・チューニングを進めることと、「京」を使ってダークハローの形成の世界最高の分解能のシミュレーションを実施することである。最適化については、「京」のフルノード実行で実行効率 47%、5Pflops を上回る性能を実現した。これは今年度のゴードンベル賞のファイナリストに採択されている。実際のシミュレーションは、実行予定のおよそ 1/10 規模のものは既に終了し、より大規模

なものの実行のための準備を進めている段階である。

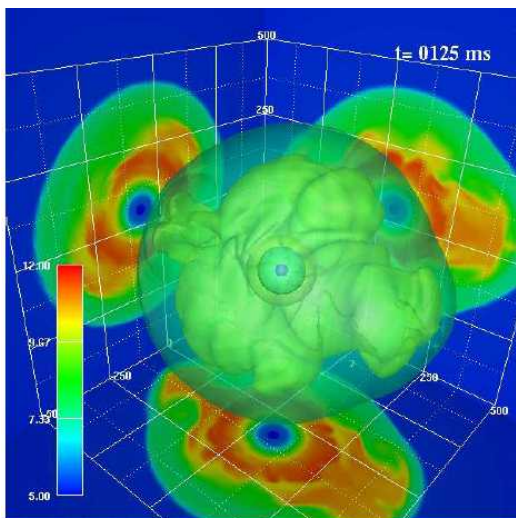


<重点配分枠>

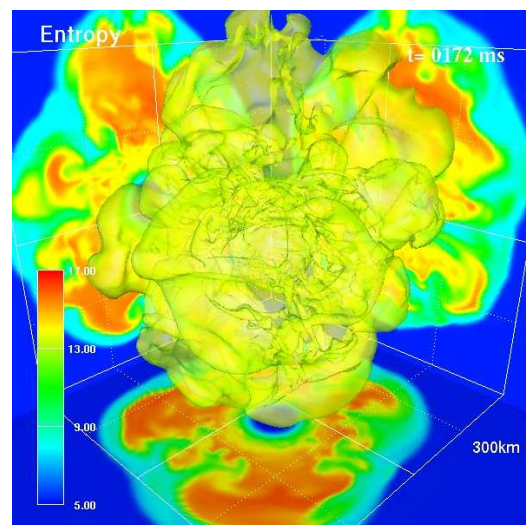
優先課題「ニュートリノ加熱による超新星爆発シミュレーション」

超新星爆発の機構の有力候補は星の中心から放出されるニュートリノで物質を加熱し、星の外側を吹き飛ばすシナリオ。対流によって上がる加熱効率を無視したシミュレーションでは、星を爆発させることは不可能だったものを、3次元的な自然な対流をきちんと考慮した3D高解像度計算によって、超新星爆発が成功するかどうかを確かめる。

デバッグ、チューニングなどは終了しプロダクトランを開始。ただし3月までに確実な成果を出さねばならないため、申請書の解像度より低い解像度の計算から順に行う。現状、申請書の解像度に対して、1/8の解像度の計算は終了、1/4の解像度の計算は50%終了、1/2の解像度の計算は10%終了。



Takiwaki et al. 2012
The Astrophysical Journal で出版済



申請の1/4の解像度の計算
左のものに比べて8倍解像度が高い
より複雑な対流運動が確認できている