

大規模シミュレーションプロジェクト
「非等質量の連星中性子星の合体の一般相対論的シミュレーション」
(No. yms02a) に関する報告

代表者: 柴田 大 (東京大学大学院総合文化研究科)

分担者: 瓜生康史 (SISSA)

本プロジェクトの目的は、非等質量の連星中性子星の合体の一般相対論的シミュレーションを実行し、合体後に形成する天体や重力波の波形の特徴を明らかにすることである。このシミュレーションを行なうために必要となる数値コードは、(1) アインシュタイン方程式を解くための数値コード、(2) 相対論的流体力学方程式を解くための数値コード、(3) 現実的初期値を設定するための数値コード、(4) ブラックホールが形成したことを確かめる数値コード (いわゆる Apparent horizon finder) および (5) 重力波を抽出するための数値コード、などである。我々はこれらを2000年までに完成し継続的にシミュレーションを実行してきたが、本年度はいくつかのコードを改良した最新版を用いてシミュレーションを実行した。具体的には改良した部分は、(あ) 計量の発展方程式を解くためのコードおよび(い) 相対論的流体コード、である。(あ)の結果、質量エネルギーや角運動量が、シミュレーション全体を通して1%程度の精度で保存するようになった。また重力波放射で失われた量との一致も見られた。つまり、現コードでは、1%程度の精度で重力波放射の反作用が計算できる。(い)の結果、強い衝撃波も精度良く取り扱うことが出来るようになった。今後は数値コードを星の重力崩壊にも適用する予定であるが、そのときに特に有効となる。

シミュレーションは、デカルト座標 (x, y, z) を使い、かつ赤道面対称性を仮定して実行した。今年度は、典型的には (x, y, z) に対し $633 \times 633 \times 317$ のグリッド数を用いてシミュレーションを実行した。この場合、グリッドサイズをおよそ $0.1GM/c^2$ 程度に、また計算中に現れる重力波の最大波長を λ とすると、計算領域はおおよそ $x, y, z \approx \lambda$ 程度まで確保することができる。つまり、重力波を精度良く計算するための最低限の設定となっている。この設定のもとで、シミュレーションを合計10例程度実行した。このサイズのシミュレーションを実行するには、32プロセッサを用いて、1モデル約2万タイムステップ当たり、約100CPU時間必要である。科学的結果としては、(i) 質量比が1からずれるほど、合体後の形成天体(ブラックホール、または中性子星)の回りに形成されるディスクの質量が大きいこと、(ii) しかしながら質量比が0.85以上1以下の場合には重力波の波形には大きな変化は見られないこと、が得られた。結果は、論文にまとめすでに掲載されている [1]。

その他にも、軸対称化したコードを用いて、中性子星の重力崩壊や振動に関するシミュレーションも実行し、結果をまとめた論文を発表した [2, 3]。

参考文献

- [1] M. Shibata, K. Taniguchi, and K. Uryu, Phys. Rev. D **68**, 084020 (2003).
- [2] M. Shibata, Astrophys. J. **595**, 992 (2003).
- [3] M. Shibata and Y. Sekiguchi, Phys. Rev. D **68**, 104020 (2003).