

大規模シミュレーションプロジェクト (No. hms07a) に関する報告

柴田 大 (東京大学大学院総合文化研究科)

本プロジェクトの目的は、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。我々はこれら全てを 2000 年度までに完成させ、またベクトル・パラレル化し、シミュレーションを継続的に実行してきた。

精度の良いシミュレーションを行なうには、数値コードに加えて、以下のような設定を可能にするコンピュータも必要である: (A) 中性子星、あるいは合体後に形成するブラックホールを精度良く計算するために、グリッドのサイズを系の重力半径 ($2GM/c^2$; M, G, c は系の質量、重力定数、光速) の 10 分の 1 程度以下にすること、および (B) 波動帯まで計算領域を確保すること。昨年度まで用いていた VPP300 では、このようなシミュレーションを実行するためにはメモリーが十分ではなく、精度の良い計算結果を得ることは困難であった。しかしながら、今年度より VPP5000 が導入されたおかげで、この難点がだいたいのところ克服できた。

シミュレーションは、デカルト座標 (x, y, z) を用い、かつ赤道面対称性を仮定して実行する。今年度は、典型的には、 (x, y, z) に対し $505 \times 505 \times 253$ 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 $x, y, z = \lambda$ 程度まで確保することができる。つまり、精度良い計算を実行するための最低限の設定が可能になった。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 モデル当たり約 1 万タイムステップ程度必要となり、その結果約 100CPU 時間程度費やす必要がある。つまり合計約 1000CPU 時間程度消費した。) 今年度は、連星中性子星の個々の質量は等しいと仮定し、また状態方程式は $P = (\Gamma - 1)\rho\epsilon$ ($\Gamma = 2$ か 2.25; $P, \rho\epsilon$ は圧力、質量密度、および単位質量当たりの内部エネルギー) とした。これらの仮定のもとで、中性子星の質量を変化させて、ブラックホール形成の閾値や重力波の波形の特徴について明らかにした。結果は、論文にまとめすでに掲載されている [1]。

なおこの仕事が国際的にも評価され、2001 年 7 月に南アフリカで開かれた “第 16 回一般相対論と重力に関する国際会議” に招待され、プレナリートークを行なった [2]。

参考文献

- [1] M. Shibata and K. Uryu, Prog. Theor. Phys. **107**, 265 (2002).
- [2] M. Shibata and K. Uryu, in proceedings of 16th international conference on general relativity and gravitation, to be published.