

# 平成 12 年度 大規模シミュレーションプロジェクト成果報告書

2001 年 3 月 27 日

申請者 大原謙一

所属・職 新潟大学理学部・助教授

研究課題名

連星中性子星の合体の 3 次元一般相対論的シミュレーション

プロジェクト ID nko03

## 本年度の研究開発状況と成果

連星中性子星の合体の数値シミュレーションを行なった。計算法は、有限差分法を用い、アインシュタイン方程式の (3+1) 次元形式で計量テンソルの時間発展方程式と一般相対論的流体力学方程式を解く。計量テンソルの時間発展方程式の解法として CIP(Cubic-Interporated Pseudoparticle/Propagation) 法を、また、流体力学方程式の解法として、van Leer 法 + TVD を用いていた。アインシュタイン方程式の (3+1) 次元形式における座標条件は、時間座標に関しては maximal slicing 条件を空間座標に関しては psued-minimal distortion 条件を適用した。この条件は、いくつかの楕円型微分方程式を導くので、これらは、前処理付の CG(Conjugate Gradient) 法を用いて解いた。以上の計算法は、ほぼ完全にベクトル化、並列化が可能で、非常に効率よく計算を行うことができた。

具体的な計算は、衝突直前の 2 つの星を初期条件として与えて、その後の時間発展とその際に放射される重力波を計算した。時間座標に関して、昨年度までは conformal slicing を用いて不安定性が発生していたが、maximal slicing を用いることにより非常に安定になった。一方、重力波を求めるには、conformal slicing では単純に計量テンソルの摂動として取り扱えるが、maximal slicing では一般にはゲージ不変量を用いて計算する必要がある。しかし、conformal slicing と maximal slicing で、同じ初期条件から計算した結果を比較したところ、計量テンソルの摂動は、どちらの計算でも誤差の範囲内で一致することが明らかになり、maximal slcing でも、これによって重力波の、少なくとも定性的な見積りが可能であることが明らかになった。

VPP300 では、計算機スピードの制限のため、デカルト座標で  $200 \times 200 \times 100$  程度のグリッド数しか取れなかったため、かなり荒いグリッドでの計算となり、2 つの星が合体した後の計算精度は十分出なかった。しかし、放射される重力波については、上記のようにしてそれなりの精度で見積ることができた。求めた重力波のフーリエ分解による解析も行っ

たが、合体後にどのような時空が形成されたか(ブラックホールができたかどうか)を重力波の特徴的な波形から議論するには、さらに高精度での計算が必要であることがわかった。これらについては、来年度に、VPP5000を用いた高精度の計算を行うことにより研究を継続していく予定である。

なお、これまでの成果は、2000年7月にイタリア・ローマで開催された Ninth Marcel Grossmann Meeting on General Relativity で報告し

- General Relativistic Simulation on Coalescing Binary Neutron Stars and Gravitational Radiation  
K. Oohara and T. Nakamura  
Proceedings of the Ninth Marcel Grossmann Meeting on General Relativity (2001),  
in press.

に掲載予定である。また、シミュレーション結果から作成した動画を含めて

<http://astro1.sc.niigata-u.ac.jp/~oohara/MG9/>

でも公表している。