

No. _____

国立天文台 天文シミュレーションプロジェクト
成果報告書 (平成 18 年度)

提出期限：平成 19 年 4 月 6 日 (金)17:00 必着

応募カテゴリ (いずれかを選択) A

システム (いずれかを選択) VPP

プロジェクト ID: ims03a

研究代表者 (現在のユーザ ID : sibatams)

氏名	柴田 大
所属機関名	東京大学大学院総合文化研究科
連絡先住所	〒 153-8902 目黒区駒場 3-8-1
電話番号	03-5454-6609
E-mail	shibata@ea.c.u-tokyo.ac.jp
職または学年	准教授
研究代表者が学生の場合には指導教官の氏名	

研究課題名

(和文)	連星中性子星の合体に対する一般相対論的磁気流体シミュレーション
(英文)	GRMHD simulation for binary neutron star merger

成果に関連して出版、もしくは印刷、投稿中の論文リスト

(1) このプロジェクト（同様の過去のプロジェクトも含む）での成果

論文

- M. Shibata and K. Uryu,
“Merger of black hole-neutron star binaries: Nonspinning black hole case”
Phys. Rev. D. **74** (2006), 121503(R).

(2) これまでのプロジェクトの今年度中の成果

1. 論文

- M. Shibata, Y.-T. Liu, S. L. Shapiro, and B. C. Stephens,
“Magnetorotational collapse of massive stellar cores to neutron stars:
Simulation in full general relativity”
Phys. Rev. D **74** (2006), 104026.
- M. D. Duez, Y.-T. Liu, S. L. Shapiro, M. Shibata, and B. C. Stephens,
“Evolution of magnetized, differentially rotating neutron stars: Simula-
tions in full general relativity”
Phys. Rev. D **73** (2006), 104015-1-25.
- M. Shibata and K. Taniguchi
“Merger of binary neutron stars to a black hole: Disk mass, short
gamma-ray bursts, and quasinormal mode ringing”
Phys. Rev. D **73** (2006), 064027-1-27.

2. 口頭発表

- M. Shibata
“Merger of binary neutron stars in full general relativity”,
7th Mexican School on Gravitation and Mathematical Physics (Invited
talk at Playa del Carmen, Mexico), November 26–December 1, 2006

3. 出版物

- 柴田 大
「一般相対論の世界を探る: 重力波と数値相対論」
東京大学出版会、平成 19 年 1 月 26 日

成果の概要

最近筆者らは、完全に一般相対論的な磁気流体コードを開発した。本プロジェクトでは、それを用いて強磁場中性子星連星の合体について調べることを目的とした。特に、合体後に大質量の中性子星が誕生する場合に着目した。これは連星の合計質量がある閾値(状態方程式によるが典型的な状態方程式に対して $2.6\text{--}2.8M_{\odot}$ 程度)よりも小さい場合に実現する。

数値シミュレーションでは、初期に平衡形状にある連星中性子星を与えた(ただし平衡形状を構成する時には磁場は無視する)。各々の質量は $1.3M_{\odot}$ とおいた。次に各中性子星の静止系で見てポロイダルな形状を持つ磁場を与えた。磁場強度は約 10^{17} G である。強磁場だが、磁気エネルギーは回転エネルギーや内部エネルギーの 1% 以下なので、このままなら中性子星の構造にほとんど影響を与えない。

まずテストとして 400^3 程度の一様グリッドを張り、各々の中性子星の半径を 22、23 メッシュで覆いながら計算を実行し、以下のような結果を得た。(1) 合体後誕生する大質量中性子星は差動回転しているため、磁場の巻き込みの効果でその強度は増幅される。(2) 巻き込みによって磁場の強度は大ざっぱには時間と角速度に比例して増大するが、初期に与える磁場強度が 10^{17} G 程度だと、合体後 10ms 程度で磁場の強度が 10^{18} G 程度になって磁気エネルギーが回転エネルギーの 10% 程度になり、磁場強度の成長が止まる。その後磁気ブレーキの効果で角運動量輸送が起り中心付近の遠心力が弱るため重力崩壊しブラックホールになると期待したが、そのような結果は見られなかった。これは基本的に分解能が低くて磁場の効果を十分に考慮できていないからだと思われる。(低分解能のため磁気散逸が大きいためと推測される)。

磁気ブレーキ効果以外にも、磁気回転不安定性や合体時に起るシェア運動に付随したケルビン・ヘルムホルツ不安定性が大質量中性子星内部の角運動量輸送、運動エネルギーの散逸、磁場の増幅に影響をおよぼすと予想されるが、これらも分解能不足のためその効果を確認できなかった。

結論として、この問題ではこれまでよりもはるかに高分解能の計算が必要である。分解能を最低倍程度に上げて結果の変化を見ないと、どの程度の分解能が必要か分からないが、磁場なしの場合の計算と同程度の分解能で計算を行っても物理的に正しい結果が得られないのは明らかである。軸対称で差動回転中性子星の進化を扱う問題では、上で述べたような磁場の効果を調べることは可能になったが、それからの類推で予想すると最低 3、4 倍は分解能を上げる必要があるであろう。しかし一様グリッドを用いてこれを行うのは、非軸対称の問題に対しては不可能である。今後 AMR や非一様グリッド法等を用いて計算精度を向上させる工夫が必要である。このことが明確になったのが強いて挙げれば今年度の成果である。

なお分解能を向上させるため、2006年度後半は、非一様なグリッドを張ってアインシュタイン方程式や一般相対論的流体方程式を解くためのコードを開発した。今後はこれを用いて継続的に強磁場中性子星連星の合体の問題にチャレンジしていきたい。なお開発した非一様グリッドのコードを用いて、ブラックホールと中性子星の合体に対する一般相対論的シミュレーションを世界で初めて行った。(ただし磁場なしである。)