

No.

国立天文台 天文学データ解析計算センター  
成果報告書 (平成 17 年度)

**提出期限：**平成18年3月20日(月)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: wms01a

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<br>目黒区駒場 3-8-1         |  |
| 電話番号                 | 03-5454-6609                     |  |
| E-mail               | shibata@provence.c.u-tokyo.ac.jp |  |
| 職または学年               | 助教授                              |  |
| 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) | 現実的状態方程式を用いた連星中性子星の合体                                            |
| (英文) | Merger of binary neutron stars with realistic equations of state |

### 研究分担者

[illegible]

## 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

今年度中に出版された論文、国際会議集録、国際会議、学会、研究会発表、その他出版物（印刷中、投稿中の場合はその旨を記載すること）

- 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 submitted.
- M. Shibata, M. D. Duez, Y.-T. Liu, S. L. Shapiro, and B. C. Stephens, “Magnetized hypermassive neutron star collapse: a central engine for short gamma-ray bursts” Phys. Rev. Lett. **96** (2006), 031102-1-4.
- M. D. Duez, Y.-T. Liu, S. L. Shapiro, M. Shibata, and B. C. Stephens, “Collapse of magnetized hypermassive neutron stars in general relativity” Phys. Rev. Lett. **96** (2006), 031101-1-4.
- M. Shibata and Y. Sekiguchi, “Magnetohydrodynamics in full general relativity: Formulation and tests” Phys. Rev. D **72** (2005), 044014-1-24.
- M. Shibata and J. A. Font, “Robustness of a high-resolution central scheme for hydrodynamic simulations in general relativity” Phys. Rev. D **72** (2005), 047501-1-4.
- M. Shibata, “Constraining nuclear equations of state using gravitational waves from hypermassive neutron stars” Phys. Rev. Lett. **94** (2005), 201101-1-4.
- M. Shibata, K. Taniguchi, and K. Uryu, “Merger of binary neutron stars with realistic equations of state in full general relativity” Phys. Rev. D **71** (2005), 084021-1-26.

### (2) これまでのプロジェクトの今年度中の成果

今年度中に出版された論文、国際会議集録、国際会議、学会、研究会発表、その他出版物（印刷中、投稿中の場合はその旨を記載すること）

※ 評価資料として利用いたしますので、様式・順序は任意ですが、学術論文については題名、著者、発行年月、雑誌名、巻、ページが記載されていること。

- Y. Sekiguchi and M. Shibata, “Axisymmetric collapse simulations of rotating massive iron cores in full general relativity: Numerical study for prompt black hole formation” Phys. Rev. D **71** (2005), 084013-1-30.

## 成果の概要

連星中性子星の合体は、レーザー干渉計型重力波検出器 (例えば LIGO や TAMA) によって検出可能な重力波を放出する有望な重力波源である。また、継続時間の短い  $\gamma$  線バースト (ショート  $\gamma$  線バースト) の発生源としても有力視されている。検出可能な重力波が発生し得ること、また観測結果に合致する程度のエネルギーを持つ  $\gamma$  線バーストが起き得ることを示すには、一般相対論的シミュレーションが必要不可欠である。我々は過去数年間、この研究を続けてきたが、今年度は特に、高密度核物質に対する硬い現実的状態方程式を用いてシミュレーションを実行した。最近、質量が  $2M_{\odot}$  を超えることが示唆される電波パルサーが発見されたからである。これが事実なら硬い状態方程式しか許されない。

昨年度からの技術的進歩としては、ブラックホール形成後もシミュレーションを継続可能にしたことがある。ブラックホールが存在する場合、その近傍の計量の空間的勾配が大きくなるので、一般的にシミュレーションの継続は困難になる。これを克服するには、ブラックホールの地平線の内部を計算領域から切り取ってしまう方法が最も確実だが、これを今年度から実装した。その結果、ブラックホール誕生後に降着円盤が形成される様子、およびブラックホール近傍から放射される特徴的 gravitational wave の波形を明らかに出来るようになった。

具体的に得られた科学的成果は以下のようにまとめられる。なおこれに関する論文は現在 Physical Review D (M. Shibata and K. Taniguchi) に投稿中である:

- 1) 合体後にブラックホールか中性子星かが形成されるが、どちらが誕生するかは系の合計質量に依存する。その閾値は、与えられた状態方程式で得られる球対称中性子星の最大質量の約 1.3–1.35 倍である。硬い状態方程式の場合、球対称中性子星の最大質量は  $2\text{--}2.2M_{\odot}$  なので、閾値は  $2.6\text{--}2.9M_{\odot}$  となる。(高速回転の効果で遠心力が大きいため、大質量中性子星の形成が許される。)
- 2) 中性子星が形成される場合は、一般には楕円体の形状を持つ。また高速自転のため、高周波数 (3–3.5 kHz) の準周期的重力波が大量に放射される。これは次期 LIGO のような大型検出器で検出可能かもしれない。
- 3) ブラックホール誕生の場合には、その形成後、準固有振動に付随した重力波が放射される。その特徴的周波数は 6.5–7 kHz である。ただし振幅は小さいので、局所銀河群内で合体が起こらない限り、次期 LIGO でも検出は難しいと予想される。
- 4) 連星の質量がほぼ等質量の場合にブラックホールが形成されると、その周りに形成される降着円盤の質量は小さい ( $0.01M_{\odot}$  以下)。よって  $\gamma$  線バーストの発生源としてはあまり有望ではない。一方質量比が 1 からずれるにつれ降着円盤の質量は増える。質量比がおおよそ 0.8 以下になると降着円盤の質量が  $0.01M_{\odot}$  を超えるので、こういった場合は  $\gamma$  線バーストの発生源として有望かもしれない。ただし、電波観測で発見された連星中性子星の質量比はいずれも 1 に近いので、そういった合体イベントが豊富なのか明らかではない。
- 5) 楕円体型中性子星の運命は多様である。もしも重力波放射が効率良く続けば、重力波放射によって角運動量が失われ、やがてブラックホールへと重力崩壊すると考えられる。しかし、その前に重力波放射効率が落ちれば、別の効果がその後の進化を決める。中性子星は差動回転しているので、仮に強磁場が存在すればその効果が角運動量輸送が起き、重力崩壊を引き起こすかもしれない。そこでこれに関する磁気流体モデル計算を数例実行し、予想が正しいことを示した。合体における磁場の効果をより詳細に調べるのは、今後の課題である。