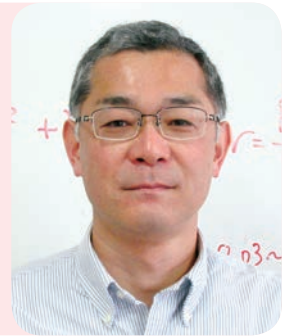


## 数値相対論による重力波源の研究

京都大学 基礎物理学研究所 教授

柴田 大

(お問い合わせ先) E-MAIL : mshibata@yukawa.kyoto-u.ac.jp



### 研究の背景

2015年9月14日に、アメリカの重力波望遠鏡Advanced LIGOが、人類史上初めて重力波の直接検出に成功しました。そして、重力波望遠鏡を利用した天文学である「重力波天文学」の時代が到来しました。重力波の発生源として最も期待されているのは、ブラックホールや中性子星のような強重力天体同士の合体です。これまでは、このような強重力天体現象を直接観測することはできませんでした。今後はそれが可能になり、宇宙についての新たな知見が得られるものと期待されます。

ただし、重力波天文学の成果を最大限に挙げるには、十分な準備が必要です。重力波を検出し、さらに検出した重力波から重力波源の情報を抽出するには、重力波の波形の理論的予想が不可欠です。これがないと検出すら容易ではありません。重力波は一般相対論の基本方程式であるアインシュタイン方程式の解として存在します。したがって、重力波の波形を理論的に予想するには、アインシュタイン方程式を解く必要があります。アインシュタイン方程式は非線形連立偏微分方程式であり、一般的な問題に対して解析解を求めることはまず不可能です。そのため、数値計算で解くことが必要になり、数値相対論という研究分野が生まれました。本研究は、数値相対論を用いて、中性子星同士の合体やブラックホールと中性子星の合体過程を解明し、重力波の理論波形を今後の重力波観測に備えて予想することを目的としています。

### 研究の成果

数値相対論に基づいたシミュレーションを、連星中性子星やブラックホールと中性子星の連星について行い、合体過程を解き明かすとともに、その際に放射される重力波の波形や同時に放射される電磁波の特徴を解明しま

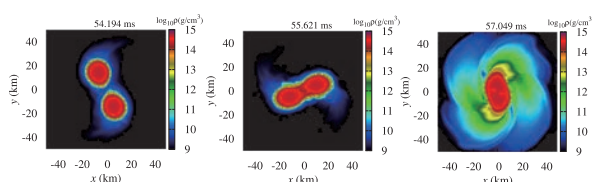


図1 連星中性子星が合体し、新たに大質量の中性子星が誕生する様子。軌道面の密度を表示。色は密度を表し、その大きさを各パネルの右側に表示。濃い赤がおよそ1000兆 $\text{g}/\text{cm}^3$ を表す。各パネルの上部に、合体15周前の時点から測った時間をミリ秒単位で記載している。

した。図1に、連星中性子星の合体の様子を示しました。典型的な中性子星を考えると、合体後に大質量の中性子星が誕生し、それがその後の重力波放射や高エネルギー現象に寄与しうることを示しました。図2は、放射される重力波の典型的な波形です。この波形が、中性子星の情報を運んできます。このような波形を重力波望遠鏡が捉えれば、これまで得ることが難しかった中性子星の情報（例えば、中性子星の半径）を得ることができると期待されます。

### 今後の展望

私たちは、中性子星同士やブラックホールと中性子星の合体現象を解き明かし、重力波の波形や同時に放射される電磁波の性質を予言してきました。これらの予言が、重力波望遠鏡による観測で実証されることが期待されます。さらに、観測結果と理論予想を詳しく比べることによって、これまでよく分かっていなかった中性子星の性質が解明されることも期待できます。重力波望遠鏡による観測計画と歩調を合わせて、強重力天体の謎の解明に貢献したいと考えています。

### 関連する科研費

2012-2015年度 基盤研究 (A) 「数値相対論による重力波源の研究」

2016-2019年度 基盤研究 (A) 「合体する中性子星連星からの重力波と電磁波放射に対する研究」

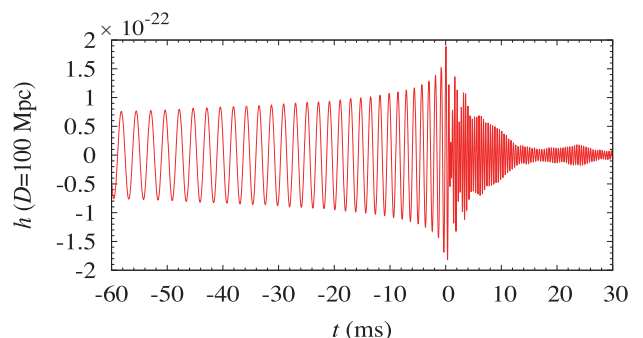


図2 連星中性子星が合体するときに放射される重力波の典型例。重力波源までの距離を100Mpc(3.26億光年、約 $3.09 \times 10^{21}$  km)と仮定している。横軸は合体時刻を0とした時間をミリ秒単位で表示。縦軸は重力波の振幅(無次元の量)を表し、単位は $10^{-22}$ 。