

2017年度日本天文学会林忠四郎賞

柴田 大 (しばた まさる)

現職：京都大学基礎物理学研究所 教授

受賞対象となる研究：「数値相対論による連星中性子星合体の研究」

Exploring binary neutron star mergers by numerical relativity

連星中性子星（中性子星同士の連星系）の合体现象の解明は、現代天文学や一般相対論の研究における最重要課題の1つである。それは、未だに謎に包まれている中性子星の質量-半径関係や状態方程式の決定、重元素の起源を解明する上で、貴重な実験場を与える。また、連星中性子星の合体時には強い重力波の発生が予想される。2015年に、米国の重力波望遠鏡 advanced LIGO が連星ブラックホールからの重力波を初観測したことはよく知られているが、そのずっと前から、連星中性子星からの重力波観測を見越して、観測される重力波の波形を重力波源の性質と結びつけること、重元素合成の証拠を光学観測からつかむために重力波源から放射される電磁波を正確に予言することが、最重要課題として認識されていた。連星中性子星の合体過程の理論的理解には、アインシュタイン方程式に相対論的流体方程式を組み合わせる必要がある。しかし、それらを解析的に解くことは不可能なことから、それらを数値的に解く「数値相対論」の開拓が喫緊の課題となった。

柴田氏は、このような重力波天文学の始動を見据えて、1990年代から世界のグループとの激しい競争の中、数値相対論の研究を進めてきた。まず時間発展を追ってアインシュタイン方程式を数値的に解く新しい定式化を中村卓史氏と共同で発展させ、それを用いて長時間安定に実行可能な数値コードを世界に先駆けて作成した(1995年)。

現実的な天体现象を扱うには、アインシュタイン方程式に加えて流体方程式も同時に解かないといけない。柴田氏は、現実的な問題への適用に際して必要となる信頼性の高い数値流体コードの開発、ブラックホール地平面を決定する数値的方法、重力波シグナルを抽出する計算手法の開発などをほぼ独力で進めた。これらを統合して、連星中性子星の合体過程を調べる一般相対論的シミュレーションコードを完成し、計算を実行することに世界で初めて成功した(2000年)。それ以降、柴田氏は学生や若い研究者を指導して世界の中心的グループに育て上げ、共同研究を推進して以下の理論予言を行った。

- 合体後に即時にブラックホールが誕生するのではなく、大質量中性子星がまず誕生す

ること。

- ・合体直前の連星中性子星から放射される重力波には、合体前の中性子星の状態方程式の情報が反映されること。

- ・誕生した大質量中性子星からは、周波数 2.0-3.5 kHz 程度の特徴的な重力が放射されること。またその周波数は、合体後の中性子星の状態方程式に強く依存すること。

- ・誕生した大質量中性子星は、最終的に恒星質量ブラックホールと高温高密度の降着円盤からなる系に進化すること。この系はニュートリノ放射天体であり、ガンマ線バーストの中心天体の条件を満たすこと。

- ・合体時に最大で太陽質量の数パーセントの中性子過剰物質が放出され、重力波の対応天体として観測可能な、可視光・赤外線領域の高光度突発天体になりうること。

- ・中性子過剰物質の放出量及びその化学的性質は、中性子星の状態方程式に強く依存するため、光学観測の結果からも、状態方程式に関する情報を読み取れる可能性があること。

- ・合体において放出される物質は中性子捕獲により r-process 元素の起源となりうること。

柴田氏らが見出したこれらの合体描像、放射される重力波の波形、および質量放出現象の詳細は、現在では連星中性子星合体の標準モデルとして定着しており、進行中の重力波観測および重力波源からの光学観測の計画作成に重要な情報を提供している。事実、最近発表されて大きな注目を浴びた重力波イベント (GW170817) およびその電磁波対応天体の観測結果は、上記の描像と整合的であり、柴田氏らによって得られた結果を強ちに裏付ける観測的証拠となった。

以上述べてきたように、柴田氏は、数値相対論の研究において、現実の問題に適用可能な標準的手法を構築・確立するとともに、それを特に連星中性子星の合体過程に適用し、重力波波形の系統的導出や、電磁波対応天体に関する予言を行って合体現象の理論的解明に大きく貢献した。今後ますます国際的な活躍が期待される柴田大氏に 2017 年度の日本天文学会林忠四郎賞を授与する。