

2024 年度日本天文学会研究奨励賞

氏 名：藤林 翔（ふじばやし しょう）

現 職：東北大学 学際科学フロンティア研究所 助教

受賞対象題目：連星中性子星合体における質量放出・重元素合成の理論的研究

Theoretical studies of mass ejection and heavy element nucleosynthesis in
binary neutron star mergers

2017 年に重力波望遠鏡 Advanced LIGO と Advanced Virgo によって検出された重力波イベント GW170817 は、人類が観測した史上初の中性子星合体による重力波であった。電磁波による追観測では、電波・可視赤外・X 線・ガンマ線の幅広い帯域で対応天体が発見され、マルチメッセンジャー天文学の潮流が生み出される大きなきっかけの一つとなった。

中性子星合体は、宇宙における重元素合成において重要な意味をもつ。中性子星合体における物質放出と速い中性子捕獲反応（ r 過程）により、重元素が合成されと考えられてきており、実際に、電磁波観測でそのシナリオが検証されつつある。しかしながら、2017 年当時の数値計算では、合体から数 10 ミリ秒（力学的タイムスケールの 100 倍程度）までの計算しか行うことができず、また、電磁波対応天体の明るさを説明できないという問題があった。藤林氏は、こうした問題を解決する数値計算手法を独自に開発し、それにより、中性子星合体における質量放出・重元素合成の一般的な描像を確立することに大きく貢献した。

中性子星合体からの物質放出を調べるには合体後 1 秒程度にわたる長時間の計算を行う必要がある。しかし、連星合体の数値シミュレーションにおいては、1 マイクロ秒程度の時間解像度が要求されるため、1 秒に渡って空間 3 次元で合体のダイナミクスを追うことは計算機資源の観点から非現実的であった。そこで藤林氏は、空間 3 次元の連星合体シミュレーションの結果を初期条件として用い、軸対称とみなせる合体後の進化を 2 次元のシミュレーションに焼き直して実行する独自の手法を開発した (Fujibayashi et al. 2017, ApJ, 846, 114)。これにより、関連する物理過程を余すことなく考慮しつつも、長時間のシミュレーションが可能となった。藤林氏は、世界に先駆けて、中性子星合体後の長時間シミュレーションを行い、粘性加熱によって放出される物質の質量が、重力トルクや衝撃加熱によって動力的時間スケールで放出される物質の質量を凌駕することを明らかにし (Fujibayashi et al. 2018, ApJ, 860, 64)、電磁波対応天体の明るさを自然に説明することにも成功した。中性子星合体からの質量放出について新しい描像を明らかにしたこれらの論文は世界的にも高く評価され、2024 年 12 月現在で被引用数はそれぞれ 100 件、200 件を超えている。

藤林氏は、これらの先駆的な成果に基づいて、さまざまな質量の中性子星合体における質量放出と重元素合成を網羅的に研究してきた。まず、中性子星合体後に大質量中性子星が数秒にわたって長く生き残る場合、放出物質中の中性子過剰度は低く抑えられ、 r 過程が十分に進まないことを明らかにした (Fujibayashi et al. 2020, ApJ, 901, 122)。このような場合、 r 過程元素の組成比は、太陽系組成とはかけ離れたものとなる。したがって、藤林氏の結果は、中性子星合体が r 過程元素の主要な起源であるならば、合体後に大質量中性子星が長時間存続するようなケースはまれでなければならないことを意味する。一方、中性子星合体によって形成された大質量中性子星が、ただちにブラックホールに崩壊するケースについても、藤林氏は重要な研究成果を挙げている。この場合には、粘性加熱によって放出される物質の質量が、力学的時間スケールで放出される物質の質量の数倍にとどまり、放出物質の中性子

過剰度も適度に低く保たれることを明らかにした (Fujibayashi et al. 2023, ApJ, 942, 39)。その結果、このケースでは、太陽系の r 過程元素組成を再現できることを示した。藤林氏のこれらの一連の研究成果は、中性子星合体における質量放出・重元素合成の一般的な描像を確立するものであり、宇宙における重元素の起源解明に向けたマイルストーンとなるものである。

藤林氏の研究は、ニュートリノ相互作用、磁気流体不安定性によって生じる粘性、中性子星内部を記述する物理素過程のすべてを考慮したうえで、重力場の基礎方程式としてアインシュタイン方程式を数値的に解くという極めて複雑な数値計算に基づくものである。藤林氏について特筆すべき点は、そのような複雑な計算を単に実行するだけでなく、その結果を深く吟味し、常に簡潔な物理的解釈を与えてきた点である。例えば、藤林氏は、自らのシミュレーション結果を丁寧に解析することで、粘性加熱による膨張の時間スケールと弱い相互作用時間スケールが等しくなり、弱い相互作用が実効的に効かなくなるタイミングによって、放出物質の中性子過剰度が決まることを示した (Fujibayashi et al. 2020, PRD, 101, 083029)。これは、弱い相互作用によるニュートリノ吸収が放出物質の中性子過剰度を決めるという、従来の定説を覆すものである。この結果は、ニュートリノ吸収の影響が少ない、中性子星合体直後にブラックホールが形成されるような場合にも、放出物質の中性子過剰度が低くなり、幅広い重元素合成が起こることを示唆するものである。このように藤林氏は、今後も分野をリードする研究を推進する人材であると期待される。

以上の理由により、藤林翔氏に 2024 年度日本天文学会研究奨励賞を授与する。