

研究概要

「中性子星合体の可視光・赤外線スペクトルにおける重元素の同定」

理学研究科 天文学専攻 土本菜々恵

宇宙における鉄よりも重い元素の起源は、物理学・天文学の50年以上にわたる未解決問題である。その起源天体として現在最も有力視されているのが「中性子星」と呼ばれる高密度天体の合体現象である。2017年、重力波によって中性子星合体の直接観測が実現し、重元素合成に伴い電磁波が放射される現象「キロノバ」が観測されたことで、中性子星合体で実際に重元素が合成されていることが確認された。しかし、キロノバのスペクトルを解読することは極めて困難で、「どのような元素がどれだけ合成されているか」といった基本的な情報すら得られていない状況が続いていた。

本研究は、キロノバのスペクトルにおいて重元素の特徴を同定することを目指して行われた。まず、これまで天文学で使われてきた重元素の可視光領域の原子データを網羅的に収集し、キロノバの可視光スペクトルにストロンチウムとカルシウムの特徴が現れることを明らかにした[1]。一方、赤外線領域では重元素の正確な原子データがほとんど存在しておらず、これまで全く元素同定の試みがなされていなかった。そこで次に、実験室分光でわかっている遷移波長の情報と理論的に計算された原子構造の情報を組み合わせる新しい手法を考案し、赤外線スペクトルの解読にも取り組んだ。その結果、赤外線領域でレアアースの一種であるランタンとセリウムの特徴を同定することに成功した[2]。これは、これまで中性子星合体で直接同定された元素の中で最も重い元素である。中性子星合体におけるレアアースの合成を初めて直接同定した本研究成果は、東北大学からプレスリリースされている（「中性子星の合体で合成されたレアアースを初めて特定」、2022年10月27日 <http://www.tohoku.ac.jp/japanese/2022/10/press20221027-02-element.html>）。さらに、より原子番号の大きい元素に着目しその特徴を詳しく調べることで、赤外線スペクトルでトリウムを同定できる可能性も明らかにした[4]。2017年に観測されたスペクトルでは同定されていないものの、将来観測されるキロノバでの検証が期待できる。

また、赤外線領域におけるセリウムの同定をより強固なものにするため、赤外線遷移の遷移確率を測定する観測的研究を行った。赤外線領域における分光実験の困難さから、注目している遷移の遷移確率はこれまで測定されていなかった。そこで、宇宙に存在する恒星に着目し、恒星の赤外線スペクトルを取得・解析することで、同赤外線遷移の遷移確率の測定を行った[3]。この測定結果を元に再度キロノバのスペクトルを計算し、確かに赤外線領域にセリウムの特徴が現れることを確認することができた。

これら一連の研究成果によって、キロノバのスペクトルを用いて中性子星合体で合成された重元素を直接同定することが可能となった。これらの研究は中性子星合体による元素合成の理解、さらには宇宙における重元素の起源の理解を大きく進めるものである。

参考文献

- [1] Domoto, N. et al. 2021, *The Astrophysical Journal*, 913, 26 (12 pp)
- [2] Domoto, N. et al. 2022, *The Astrophysical Journal*, 939, 8 (18 pp)
- [3] Domoto, N. et al. 2023, *The Astrophysical Journal*, 956, 113 (11 pp)
- [4] Domoto, N. et al. 2025, *The Astrophysical Journal*, 978, 99 (13pp)