

研究概要

「中性子星合体の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、50年以上にわたる物理学・天文学の大問題である。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、重元素合成に伴う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も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]。次に、これまで全く元素同定の試みがなされていなかった赤外線領域のスペクトルの解読にも取り組んだ。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いない。そこで、理論的に計算された原子構造と実験室分光で分かっている遷移波長の情報を組み合わせる新しい手法を考案し、キロノバのスペクトルを計算した結果、赤外線領域で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]。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の結果は、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、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。赤外線領域では、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。特に、赤外線域で同定されたランタンとセリウムは、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り、本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., Tanaka, M., Wanajo, S., Kawaguchi, K. 2021, *The Astrophysical Journal*, 913, 26 (12 pp)
- [2] Domoto, N., Tanaka, M., Kato, D., Kawaguchi, K., Hotokezaka, K., Wanajo, S. 2022, *The Astrophysical Journal*, 939, 8 (18 pp)
- [3] Domoto, N., Lee, J.-J., Tanaka, M., Lee, H.-G., Aoki, W., Ishigaki, N. M., Wanajo, S., Kato, D., Hotokezaka, K. 2023, *The Astrophysical Journal*, 956, 113 (11 pp)