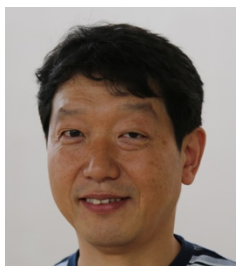


【基盤研究(S)】
大区分B



研究課題名 中性子過剰核の変形から探る爆発的重元素合成

理化学研究所・仁科加速器科学研究センター・前任研究員

にしむら しゅんじ
西村 俊二

研究課題番号： 20H05648 研究者番号：90272137

キーワード： 中性子過剰核、重元素合成、 β 崩壊、質量、機械学習、連星中性子星衝突、超新星爆発

【研究の背景・目的】

鉄より重い元素の約半分は高速中性子捕獲と β 崩壊が競合するr-プロセス元素合成が起源とされ、超新星爆発と連星中性子星衝突が有力候補に挙げられている。重力波と電磁波の同時観測により連星中性子星衝突(GW170817)からの電磁波放射現象・キロノバが観測され、ランタノイド元素合成の証拠とされる近赤外光が確認された。一方、金・白金、ウランが合成された証拠は得られていない。r-プロセスで合成されるランタノイドは、質量数 $A=165$ 近傍に特徴的なピーク構造を持つ(図1-a)。しかし、このピーク形成のメカニズムは謎に包まれている。

ランタノイド元素合成には、「原子核変形起因説」^[1]と「アクチノイドの非対称核分裂起因説」^[2]の2つの仮説が存在する。本研究は、**実験**：「原子核変形起因説」に着目し、鍵を握る中性子過剰なランタノイド原子核の質量と β 崩壊のデータ収集を行う。得られた実験データは、**理論**：ニューラルネットワーク・深層学習法を組み合わせた理論に投入し、 β 崩壊、質量の系統性と変形に起因した異常性の探索を行う。実験と理論の協力により構築した大規模な原子核データは、**計算**：現実的なr-プロセス環境を考慮にいたれた重元素合成計算に投入する。以上の研究体制の連携をとることにより原子核変形効果に着目したランタノイド元素合成の検証、さらに中性子魔法数と金・白金を含めた総合的な重元素合成の理解を目指す。

【研究の方法】

r-プロセスの定量的な見積もりを行う際に、中性子過剰核の中性子分離エネルギー(質量)、半減期、遅発中性子放出に関する不確定性が大きな障壁となっている。

①原子核実験：大強度重イオン加速器施設RIBFにおいてウラン・白金の核破砕反応を利用し、ランタノイド元素合成に重要な役割を果たす中性子過剰核を生成する(図1-b)。生成した希少原子核の質

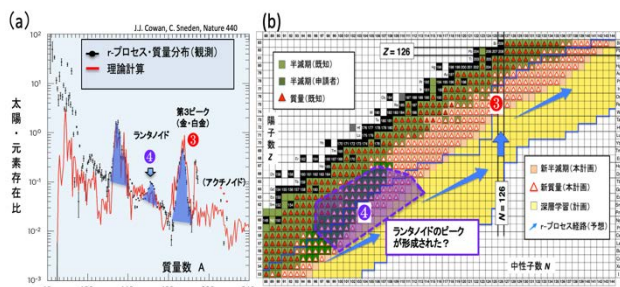


図1 (a) 太陽系の元素存在比, (b) 鍵を握る原子核情報

量、 β 崩壊の情報を効率的に収集するために大型ガスセル装置、 β 崩壊測定装置の導入を行う。

②原子核理論：原子核の振る舞いを考慮に入れた原子核理論に深層学習法を組み込み、新たに得られた実験データの検証、質量、半減期、遅発中性子放出、励起エネルギーの情報から原子核の変形魔法数に関する知見を得る。さらに原子核情報の推定とその不確定性を見積もることにより、未知の原子核領域に拡大した大規模な原子核データの構築を行う。「原子核変形起因説」において想定している変形原子核の異常について調べる。

③計算：ランタノイド、金・白金などの重元素合成量はr-プロセスの強度(電子比 Y_e)に大きく依存する。連星中性子星や超新星爆発の環境を考慮し、構築した大規模原子核データを取り込んだランタノイド元素合成の検証を行う(図2)。

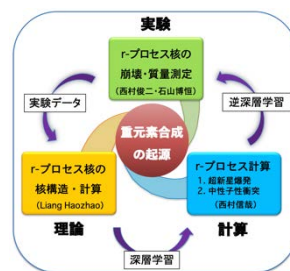


図2 研究体制

【期待される成果と意義】

提案しているランタノイド元素合成の検証は従来の中性子魔法数とは違う切り口となっており、原子核の変形に起因する β 崩壊や中性子分離エネルギーの異常な振る舞いが鍵となる。変形起因説に着目した研究戦略となっているが、かりに変形に起因する原子核の異常性が確認できず、変形起因説を否定する可能性もある。その場合には、「アクチノイド非対称核分裂説」を示唆する結果となり、GW170817における金・白金、ウラン元素合成の間接的な証拠となりえる。ランタノイド元素に加え、金・白金を含めた総合的・定量的な重元素合成研究が期待できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ [1] R. Surman et al., Phys. Rev. Lett. **79** (1997) 1809.
- ・ [2] S. Goriely et al., Phys. Rev. Lett. **111**, 242502 (2013).

【研究期間と研究経費】

令和2年度-6年度 146,400千円

【ホームページ等】

<https://ribf.riken.jp/~nishimu/>
nishimu@ribf.riken.jp