

累計 200 種を突破した理研の新同位元素発見:新たに 7 種

[1] 要旨

世界最高レベルの大強度ウラン 238 ビームを用いた実験により、セリウム 159 近傍の超中性子過剰領域で 7 種の新同位元素が発見された。これにより、理化学研究所における飛行分離方式による新同位元素発見数は累計 203 種に達し、2020 年代における世界全体の新しい同位元素発見数の 52% を占めるに至った。これらの新しい同位元素は、宇宙における元素合成過程の解明や、原子核の変形といった核構造研究への重要な知見をもたらすと期待される。

[2] 本文

私たちの生活に欠かせないレアアース（希土類元素）や金、白金といった鉄より重い元素は、宇宙のどこで作られたのだろうか。この疑問などに答えるべく原子核の研究は進んでいる。原子核内の陽子数が同じで中性子数が異なる原子を同位元素という。自然界には約 270 種の安定な同位元素が存在するが、理論的には約 7,000 種もの不安定な同位元素（放射性同位元素、RI）が存在すると予言されている。これらの不安定核の探索は、宇宙における元素の起源や原子核の構造を理解する上で極めて重要である。

特に、中性子数が陽子数より圧倒的に多い「超中性子過剰領域」の原子核は、中性子星合体などの宇宙での爆発的現象において重要な役割を果たす。このような極限環境では、r 過程と呼ばれる元素合成過程が進行し、原子核が急速に中性子を捕獲し、その後ベータ崩壊を繰り返しながら、鉄より重い元素の約半分を生成する。よって、超中性子過剰な原子核を発見し、その性質を研究することが、宇宙における物質創成の謎を解く重要な手がかりとなる。

最近、理化学研究所仁科加速器科学研究センターのメンバーを中心とする国際共同研究グループは、RI ビームファクトリー（RIBF）において、光速の約 70% まで加速したウラン 238 ビームをベリリウム標的に照射し、飛行核分裂反応（飛行中に起こる核分裂反応）によって超中性子過剰な新しい同位元素の探索実験を行った。その結果、希土類元素のセリウム 159 近傍の超中性子過剰領域において、セシウム 152（陽子数 55、中性子数 97、以下同じ）、バリウム 155（56、99）、ランタン 158（57、101）、セリウム 159（58、101）、セリウム 160（58、102）、ガドリニウム 173（64、109）、テルビウム 175（65、110）の 7 種の新同位元素を発見した（図 1）。この成果は JPSJ の 2026 年 2 月号に掲載された。

この発見を可能にしたのが「飛行分離方式」である（図 2）。重イオンビームの核反応で生成される RI は、入射ビームとほぼ同じ速度で前方に放出される。実験では、生成された RI ビームを、超伝導 RI ビーム分離生成装置 BigRIPS の双極電磁石などを用いて飛行中に収集・分離し、飛行時間、磁気剛性、エネルギー損失の精密測定により、事象ごとに粒子識別を行った。RI ビームの生成と測定が数百ナノ秒という極めて短時間で完了するため、寿命の短い RI でも測定可能であり、元素の化学的性質による制限もないため、汎用性の高い方式といえる。

今回の発見により、質量・半減期・変形などを測定できる不安定核の範囲が拡大した。中性子数 100 近辺の希土類領域は、原子核が大きく変形する領域であり、三軸非対称変形などの興味深い核構造の研究対象となる。また、これらの新しい同位元素は超中性子過剰領域に位置しており、宇宙における元素合成過程の解明に貢献すると考えられる。

本成果により、理研における飛行分離方式による新同位元素発見数は、累計 203 種に達した。このうちウランの飛行核分裂反応によるものは 154 種である。これは、理研が 1989 年に飛行分離方式を開始して以来、35 年以上をかけて達成した世界最高水準の記録である。2020 年以降の 6 年間では 56 種を発見し、世界全体の 52% を占めている。この高い発見率は、RIBF の世界最高レベルの大強度ウランビーム、BigRIPS の卓越した RI ビーム収集・同定能力、そして飛行分離方式の優れた特性によって実現されている。現在、RIBF ではさらなる性能向上を目指した RIBF Upgrade Project が計画されており、今後、さらに中性子過剰な領域へ向かって核図表の拡張が進み、安定線から遠く離れた領域の核構造や、 r 過程などの宇宙における元素合成の謎の解明がより大きく進展することが期待される。

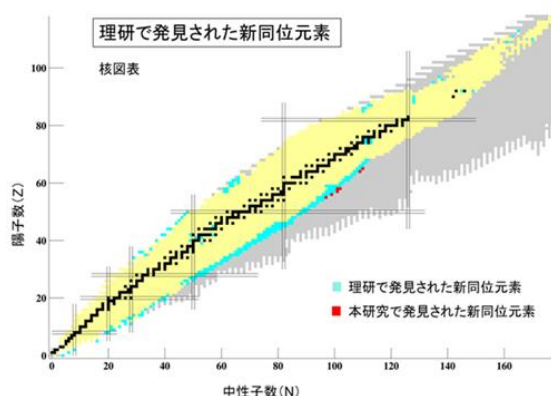


図 1. 発見されたセリウム 159 近辺の新同位元素を含む核図表。

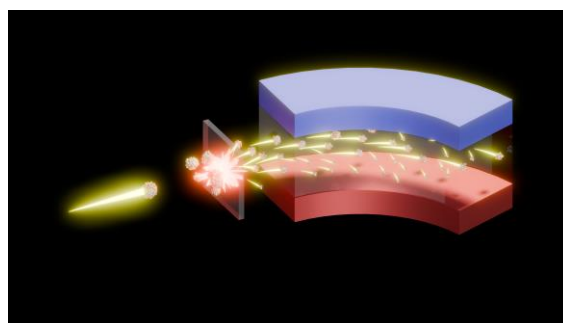


図 2. 飛行分離方式。RI ビームは BigRIPS (双極電磁石はその一部) によって収集・分離・粒子識別される。

原論文 (2026 年 1 月 27 日公開済)

Expanding the Isotopic Frontier: Seven New Neutron-Rich Rare-Earth Isotopes Observed at RIKEN RI Beam Factory

T. Sumikama, N. Fukuda, T. Kubo, H. Suzuki, H. Takeda, N. Inabe, D. Kameda, D. S. Ahn, D. Murai, K. Yoshida, K. Kusaka, Y. Yanagisawa, M. Ohtake, Y. Shimizu, Y. Sato, H. Sato, H. Otsu, H. Baba, G. Lorusso, P. Söderström, T. Isobe, N. Imai, M. Mukai, S. Kimura, H. Miyatake, N. Iwasa, A. Yagi, R. Yokoyama, O. B. Tarasov, and H. Geissel, *J. Phys. Soc. Jpn.* **95**, 024202 (2026).

<情報提供：炭竈 聡之（理化学研究所 仁科加速器科学研究センター 核変換データ研究開発室 重元素 RI データチーム）
久保 敏幸（理化学研究所 仁科加速器科学研究センター RI ビーム基盤開発部）>