

1999年2月25日
独立行政法人 理化学研究所

新同位元素 ^{31}F の発見と酸素同位体の存在限界の決定

理化学研究所（小林俊一理事長）は、フッ素元素の中性子超過剰な新しい放射性同位元素 ^{31}F （陽子数 9、中性子数 22）を発見した。従来、フッ素同位体の中性子過剰側存在限界は、 ^{29}F までと考えられていたが、今回の発見はこれを覆した。さらに、陽子数、中性子数ともに「魔法数」をもつ ^{28}O （陽子数 8、中性子数 20）が酸素同位体の存在限界の候補と考えられていたが、この核が原子核として安定に存在しない明白な証拠を得ることができ、酸素同位体の存在限界は ^{24}O （中性子数 16）であることを決定した。この他 ^{24}N 、 ^{25}N 、 ^{27}O 、 ^{30}F も原子核として安定に存在しないことがわかった。今回の成果で原子核の存在限界に関する新たな知見を得ることが出来た。

この結果は「Physics Letters B」誌（オランダ）の2月25日号に掲載される。

- 1) 理化学研究所（放射線研究室、サイクロトロン研究室、リニアック研究室）では、リングサイクロトロンを用いた不安定核（RI）に関する最先端研究を進めている。とりわけ不安定核をビームとして生成する方法（RI ビーム）ならびに装置（不安定核分離装置「RIPS」）を開発し、そのビーム強度は世界最大である。
- 2) 本研究において不安定核は、天然に存在する安定な原子核をビームとして、標的とする原子核に衝突させ、ビームとした原子核から陽子・中性子を剥ぎ取ることによってつくられる。この標的との衝突によって作られた多種多様な不安定核を不安定核分離装置により分析することによって、その中から新同位元素を発見することができる。これまで、世界の他の研究所では達成できなかった、中性子超過剰な新同位元素 ^{31}Ne 、 ^{37}Mg 、 ^{38}Mg 、 ^{40}Al 、 ^{41}Al の発見を ^{50}Ti 、 ^{48}Ca ビームで実現してきた。
- 3) 今回の成果はリングサイクロトロンにより核子当たり 9 千 4 百万電子ボルト（94 MeV）まで加速された ^{40}Ar ビームを用いることにより達成された。この際のビーム強度は前回の ^{50}Ti 、 ^{48}Ca ビームと比べ約 20 倍強く、生成率の小さな同位元素を効率的に生成することが可能となった。この研究はロシア・連合原子核研究所フレロフ核反応研究室との国際共同研究により行なわれた。
- 4) ^{40}Ar ビームをタンタル標的に 4 日間照射することにより、新放射性同位元素 ^{31}F を 8 個検出した。ちなみに ^{31}F は弱い相互作用でベータ崩壊する不安定核であるが、中性子を束縛して原子核として安定に存在する核である。一般に、中性子過剰核が原子核として安定に存在する場合、その寿命として約 1000 分の 1 秒以上は期待できる。この寿命に対し、 ^{40}Ar ビームで生成された核の標的から検出器（約 30m 下流）までの飛行時間（約 250 ナノ（ 10^{-9} ）秒）は十分短い。従って、 ^{31}F を検出することができたことはこの核が原子核として安定に存在していることを示唆する。

- 5) 同時に、 ^{28}O は原子核として安定に存在しないことを確認した。この核の予想収量は 40 個程度であったにもかかわらず、1 個も検出することができなかった。この予想収量については、 ^{31}F の発見によって ^{22}C と ^{31}F の収量から内挿により得ることができたため、予想収量値の信頼度は高い。収量の予想値と測定値の大きな違いは、寿命が飛行時間に対して非常に短いからだと考えられる。実際、中性子過剰核が原子核として安定に存在しない場合は強い相互作用で崩壊するため、寿命は 10^{-22} 秒程度ときわめて短く、本研究手法では検出することができない。同様に、 ^{24}N 、 ^{25}N 、 ^{27}O 、 ^{30}F も原子核として安定に存在しないことがわかった。
- 6) 興味深い点は、酸素同位体中性子過剰側存在限界は ^{24}O で中性子数が 16 なのに対し、フッ素同位体では少なくとも中性子数 22 をもつ ^{31}F が原子核として安定に存在していることである。すなわち、酸素からフッ素へと陽子を 1 個増やすと、原子核内に束縛される中性子の数が一挙に 6 個も増えることになる。現在この結果を統一的かつ定量的に説明できる理論はなく、今後多くの議論を生むものと期待される。
- 7) 理論的には未発見の同位元素が 4000 種以上存在すると予想されており、これらの同位元素を発見し、その性質を明らかにする研究は、原子核の構造研究にとって重要であるばかりか、宇宙の元素合成の謎を解く鍵を与える。理化学研究所は RI ビームファクトリー計画を推進しており、これが実現すると約 1000 種の新たな同位元素の発見とその研究が可能となる。また、この計画では国際共同研究を推進しており、今回共同研究を行なったロシア・連合原子核研究所フレロフ核反応研究室も協力姿勢を表明している。

注)

「中性子過剰側存在限界」:原子核の陽子数を一定にし、中性子数を増やしていくと、中性子を束縛して原子核を形成することが可能な限界に達する。この原子核として存在できる極限限界を中性子過剰側存在限界、または「中性子ドリップライン」という。
「魔法数」:原子核の陽子数、中性子数が 2、8、20、28 といった特定の数になると極めて安定した原子核となることが安定核およびその近傍でわかっている。この特定の数を魔法数という。

(問い合わせ先)

独立行政法人理化学研究所 放射線研究室
主任研究員

石原 正泰

Tel : 048-467-9444

(報道担当)

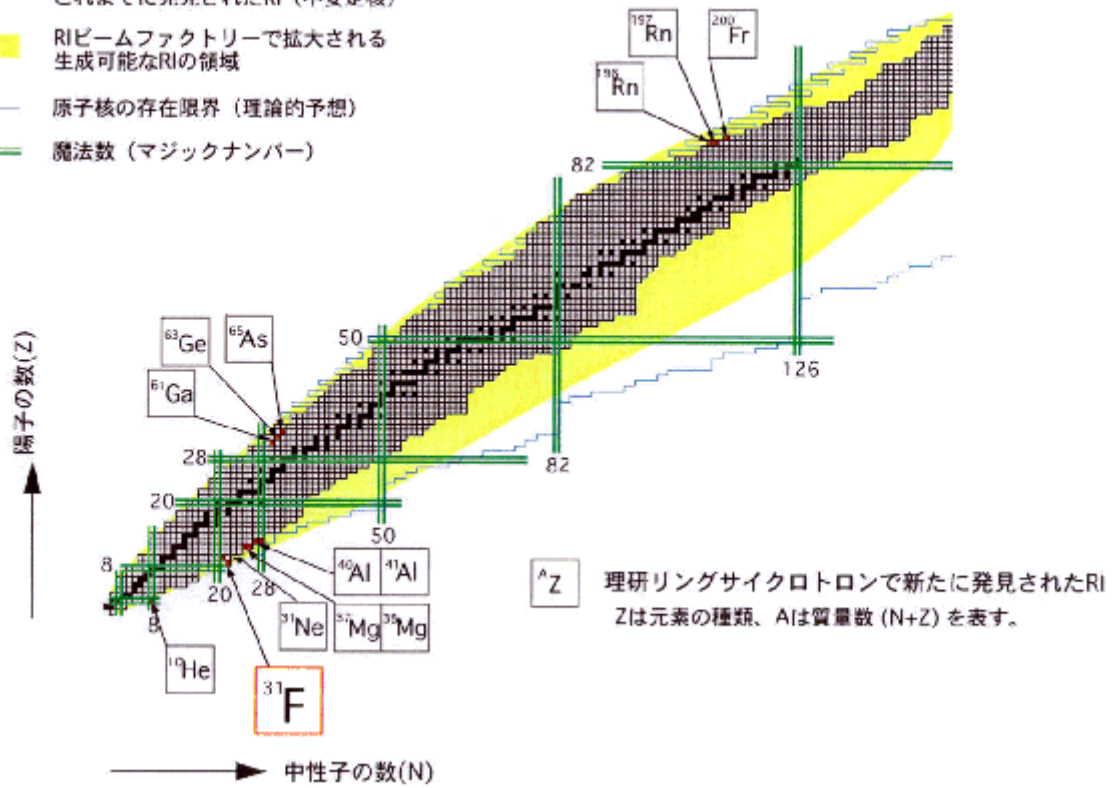
独立行政法人理化学研究所 広報室

佃、吉垣

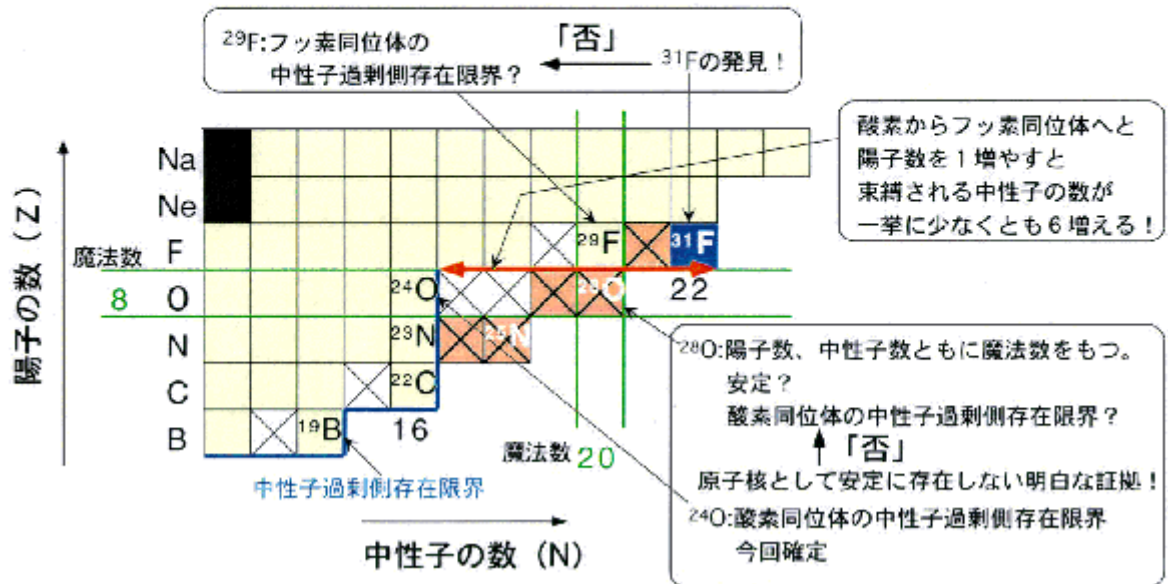
Tel : 048-467-9271 / Fax : 048-462-4715

Mail : koho@postman.riken.go.jp

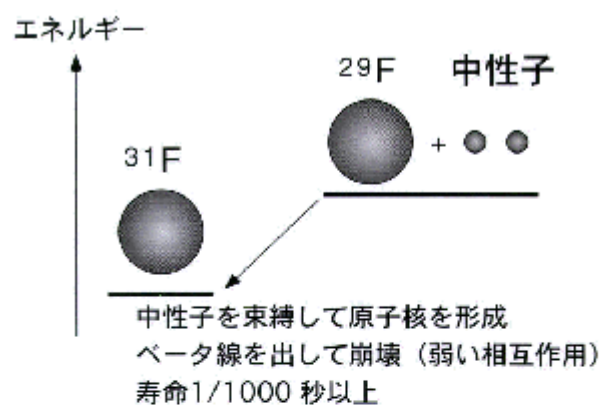
- 天然に存在する原子核 (安定核)
- これまでに発見されたRI (不安定核)
- RIビームファクトリーで拡大される生成可能なRIの領域
- 原子核の存在限界 (理論的予想)
- 魔法数 (マジックナンバー)



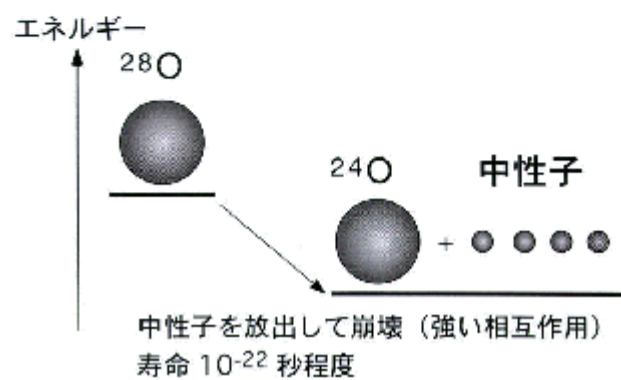
- 天然に存在する原子核 (安定核)
- これまでに発見されたRI (不安定核)
- × これまで原子核として安定に存在しないことがわかってきた核
- 今回新しく発見したRI (不安定核)
- ⊗ 今回原子核として安定に存在しない明白な証拠が得られた核



原子核として安定に存在する中性子過剰核

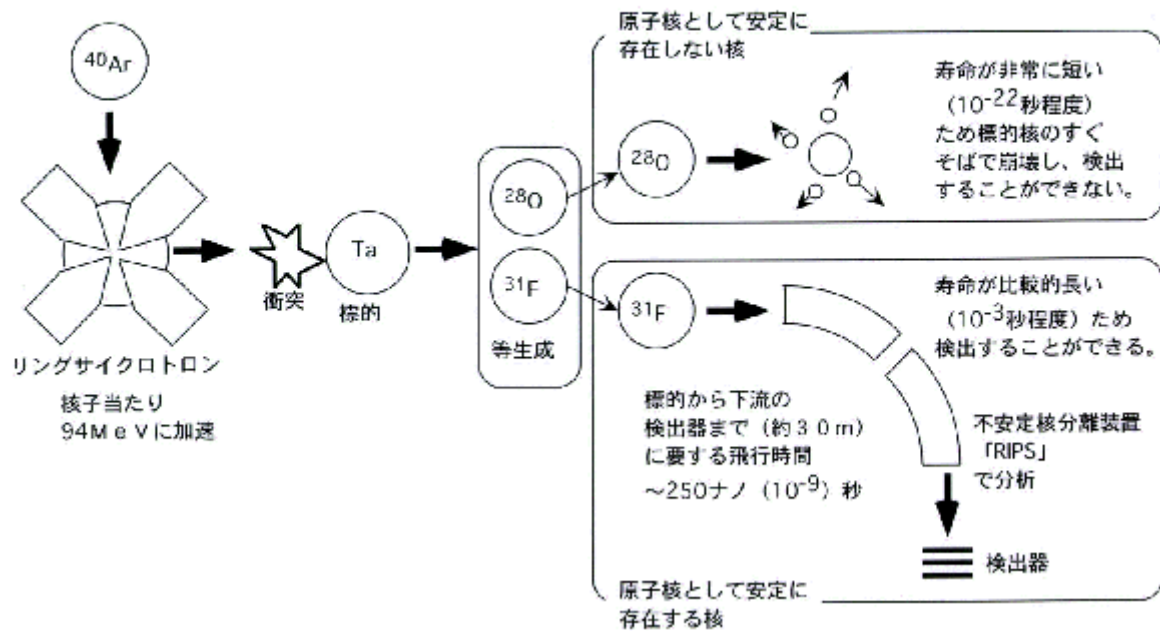


原子核として安定に存在しない中性子過剰核



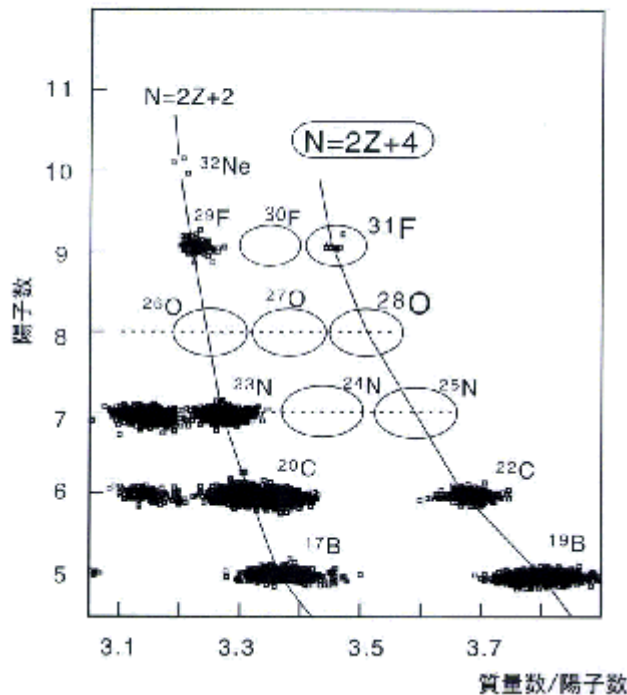
実験手法

ロシア・連合原子核研究所フレロフ核反応研究室と国際共同研究

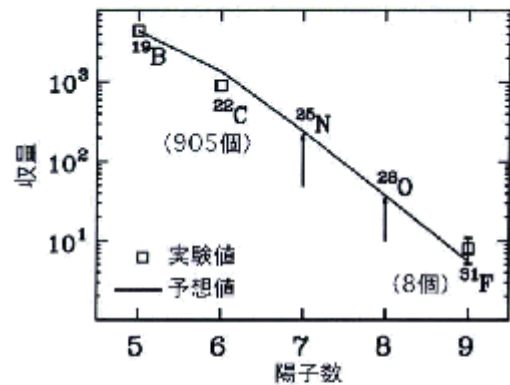


実験結果

原子核の同定



$N=2Z+4$ を満たす原子核の収量



28Oの収量予想 ~40個

22Cと31Fの収量から内挿により28Oの収量予想値が得られるためその信頼度は高い

実験値 0個

→ 28Oは原子核として安定に存在しない