

2000年5月29日  
独立行政法人 理化学研究所

## 新しい魔法数（マジックナンバー）の発見

理化学研究所（小林俊一理事長）は、原子核が安定に存在する新しい魔法数「16」を世界で初めて発見しました。当研究所のRIビーム科学研究室の小沢顕研究員、谷畑勇夫主任研究員らが中心となり、RIビームを用いて窒素や酸素、フッ素などの不安定同位体の核半径を測定した結果、核半径が中性子数「15」、「16」の原子核で異常に大きくなることが判明。また、同時にこれらの原子核の安定度の指標となる中性子分離エネルギーを解析したところ、陽子に比べて中性子が非常に多い、いわゆる中性子過剰な場合（陽子数はフッ素では「9」、酸素は「8」、窒素は「7」であり、陽子数と中性子数がほぼ同じの通常核よりは中性子の比率が大きい）にのみ、中性子数「16」で特に安定であることが確認されました。一般的に中性子過剰になるにつれて、不安定核の寿命は短くなりますが、魔法数では、その寿命が長く（安定）になります。

これは、1949年のマイヤーとイェンセンによる「シェルモデル（核構造）」（1963年・ノーベル物理学賞）以来、固定されたものと考えられてきた魔法数について、まったく新しい考え方を示すものです。すなわち、陽子と中性子の数が同数でない原子核に対しては新しい魔法数の存在を示唆しています。この発見は、中性子過剰核の性質を理解するうえで大きな一歩を踏み出すものです。

本研究結果は、「Physical Review Letters（6月12日号）」に掲載されます。

### 1. 研究の背景

原子核は、陽子と中性子からできており、陽子数と中性子数がある決められた数を満たすと原子核は特に安定となります。この数を“魔法数（マジックナンバー）”と呼び、今までに「2」、「8」、「20」、「28」、「50」、「82」、「126」が知られています。この数字は、陽子、中性子ともに同じです。世の中のすべての元素は、“宇宙の進化”とともに生成されており、そのため元素の存在比は、魔法数のところで多くなっています。「2」はヘリウム、「8」は酸素、「20」はカルシウム、「28」はニッケル、「50」はスズ、「82」は鉛など魔法数に対応した元素は、人間の存在に大切なものです（図1）。

魔法数はまた、原子核が“殻構造”を持っていることの反映でもあります。同じような粒子が集団で結合状態を作ったとき、ある秩序が現れること示しており、それが原子核の性質を決定づけます。魔法数は、原子や金属のクラスターにもあり、それを見つけ、理解することは物理学上の研究の中でも基本的なものの一つです。

### 2. 研究の成果

原子核の魔法数は、ドイツの核物理学者、マイヤーとイェンセンにより、新しい相互作用（軌道・スピン相互作用）を導入することで理解されてきました。それ以後、魔法数は、陽子と中性子の混合比が変わっても動かないものと考えられています。

ところが、天然には存在しない不安定核（RI：Radioactive Isotope）ビームの発

明により、不安定核の構造研究が可能となり、想像もしていなかった原子核の構造や現象が発見されました。谷畑主任研究員は1985年、米国・カリフォルニア大学ローレンスバークレー研究所でRIビームを効率的に分離し、実験に活用する装置を開発しています。谷畑主任研究員らは、この装置を用いて軽い元素（リチウム、ベリリウム、炭素）の原子核半径を測定する実験を世界に先がけて1985年から実施しました。そして、核半径は質量数ではなく、“中性子数や陽子数とともに変化する”ことを発見し、その成果は今も定説となっています。さらに、中性子過剰な同位体の場合、原子核の表面付近では中性子のみで層を作っていることを発見しました。この層は、「中性子スキン」「中性子ハロー」と呼ばれ、今日、中性子過剰の核では一般的に存在するものと考えられています。この発見は、今まで信じられてきた陽子と中性子は一様に混合しているという法則を覆すものです。

その後、谷畑主任研究員、小沢研究員らは1986年から、理研のリングサイクロトロンを用い、窒素、酸素、フッ素などの不安定同位体の核半径の精密な測定を行いました。この結果、核半径が中性子数「15」「16」の原子核で異常に大きくなることを発見しています（図2）。また同時に、これらの原子核の安定度の指標となる中性子の分離エネルギーを解析したところ、中性子過剰な場合にのみ、中性子数が「16」のところで特に安定であることが確認されました（図3）。

### 3. まとめと今後

本研究成果では、これまで変化しないと考えられていた魔法数が、中性子過剰核では違う数に変わってしまうことを見出しています。寿命の短い中性子過剰核では、これまで安定な原子核の研究で作られてきた理論が当てはまらない構造が次々と見つかっていますが、このように今までのルールが壊れるだけではなく、新しい秩序として現れる事例が初めて観測されたこととなります（図4）。

この発見は軽い元素によるものでありますが、より重い元素で魔法数がどのように変化しているかは今後の問題です。RIビーム科学研究室では、現在、当研究所で建設している「RIビームファクトリー」施設によって、より重い元素まで魔法数の変化を解明することを計画しています。例えば「50」や、「82」やその付近での魔法数の変化は、核構造の見地からだけでなく、世界の原子核物理学者が今後進めて行く“宇宙における元素合成の過程についての研究”に大きな影響を与える可能性を秘めています。

(問い合わせ先)

独立行政法人理化学研究所 RIビーム科学研究室

主任研究員

谷畑 勇夫

Tel : 048-467-9471 / Fax : 048-462-4689

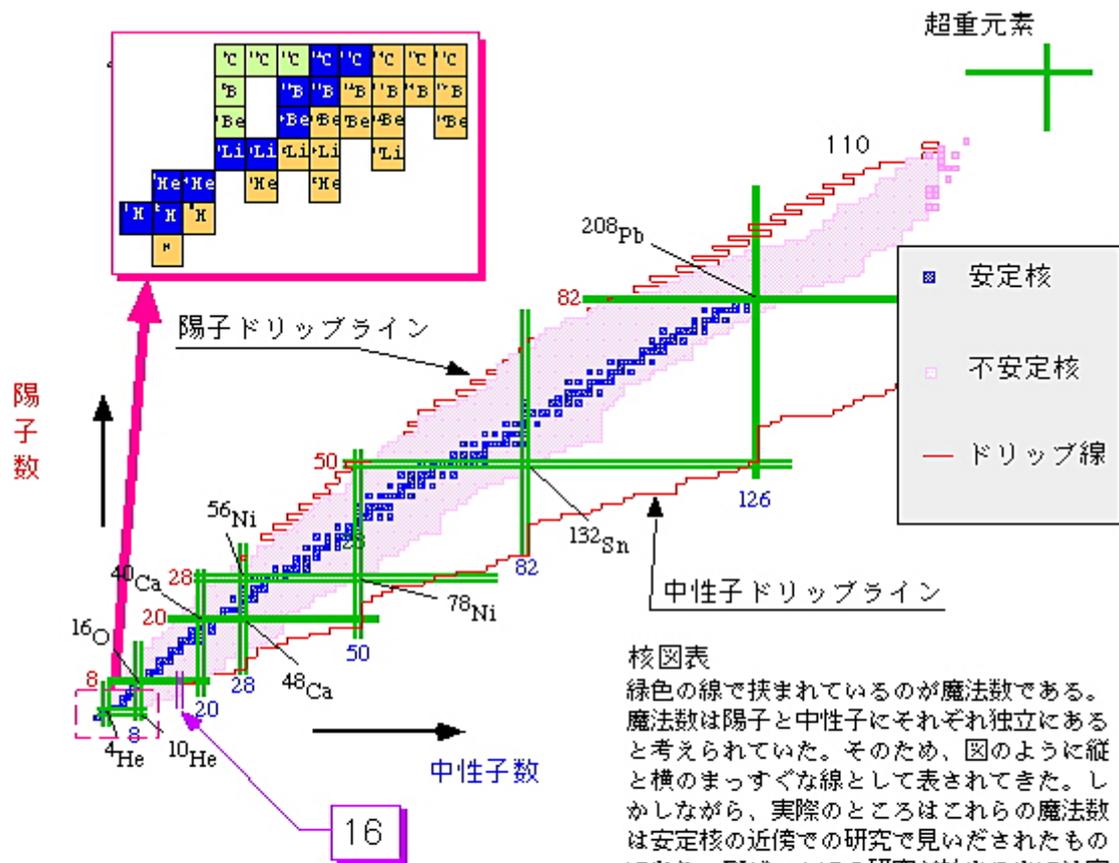
(報道担当)

独立行政法人理化学研究所 広報室

嶋田 庸嗣

Tel : 048-467-9272 / Fax : 048-462-4715

Mail : koho@riken.go.jp

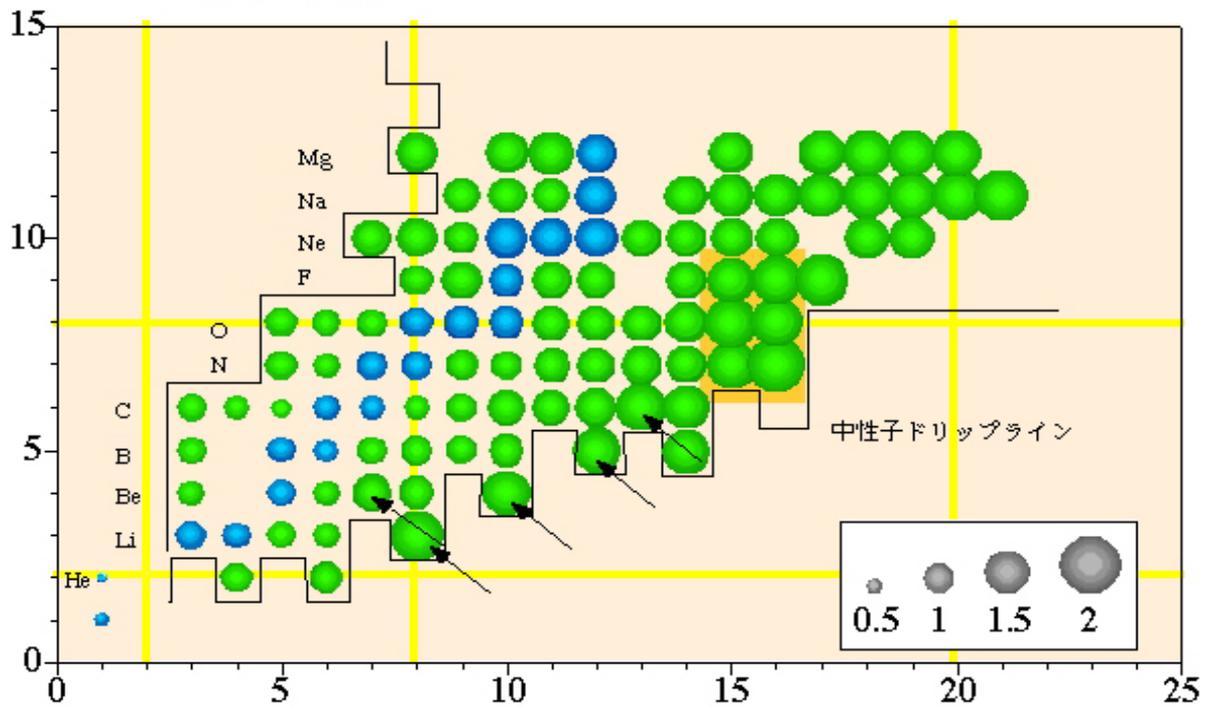


### 核図表

緑色の線で挟まれているのが魔法数である。魔法数は陽子と中性子にそれぞれ独立にあると考えられていた。そのため、図のように縦と横のまっすぐな線として表されてきた。しかしながら、実際のところはこれらの魔法数は安定核の近傍での研究で見いだされたものであり、RIビームでの研究が始まるまでは安定核から離れたところでの魔法数は想像以上のものではなかった。このたびの研究で安定核から離れたところに新しい魔法数があることが発見された。

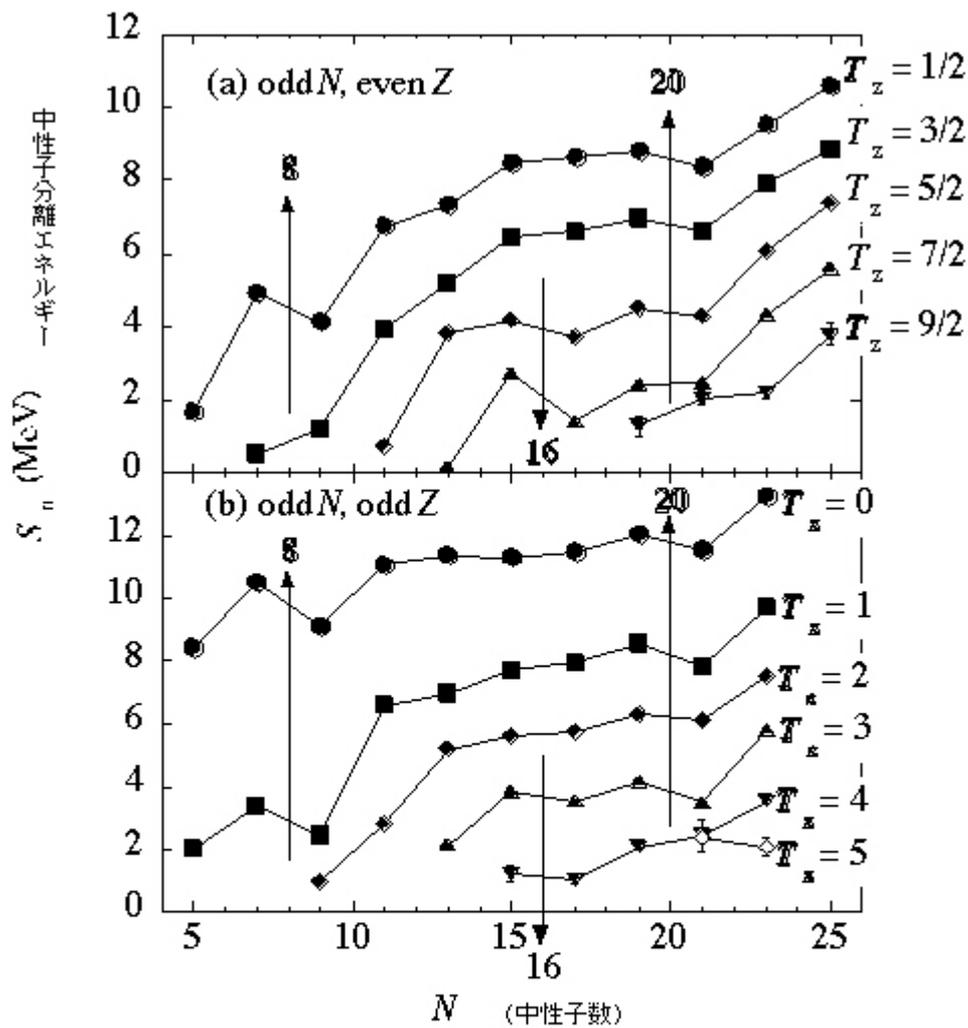
# 核半径

(半径 -  ${}^4\text{He}$ の半径)



RIビームで測定された原子核の半径  
 柿色で囲まれた部分の半径が異常に大きいことが発見された。  
 矢印で示したものは中性子ハローを持った原子核である。柿色の  
 部分は中性子ハローでは説明できない。

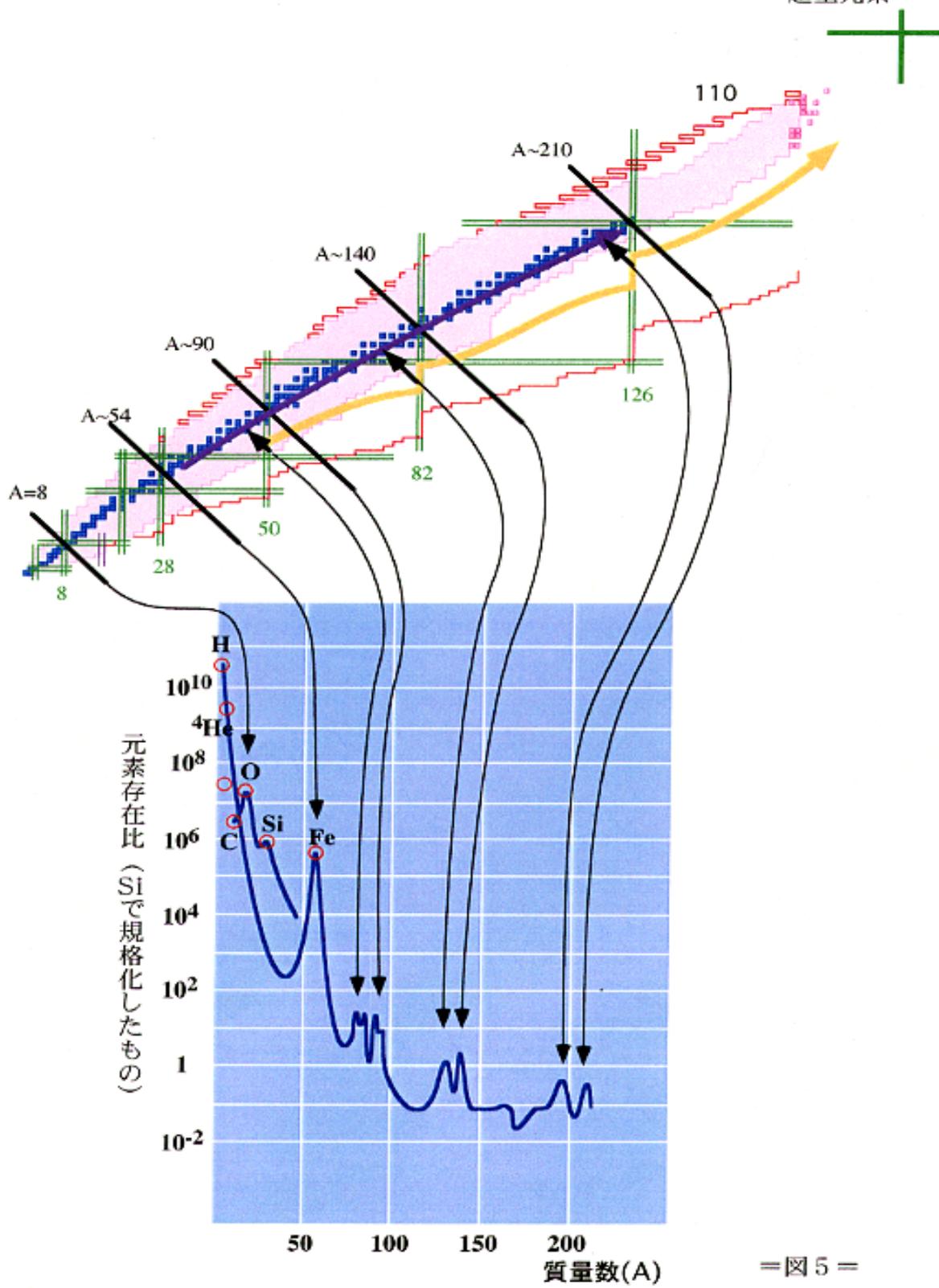
=図 2 =



中性子の束縛エネルギーを中性子の数の関数として表したものの、魔法数はこの図で線の折れ曲がりとして表れる。 $T_z = (N-Z)/2$   $Z$ : は陽子数、 $N$ : は中性子数であり、大きな数字ほど中性子が過剰であることを示している。中性子が過剰でない( $T_z=0, 1/2$ )原子核では中性子数 8 や 20 が魔法数になっており、16 はそうでないことがわかる。しかし中性子過剰核( $T_z>8$ )になると、8 や 20 は消え 16 の魔法数が表れることがわかる。

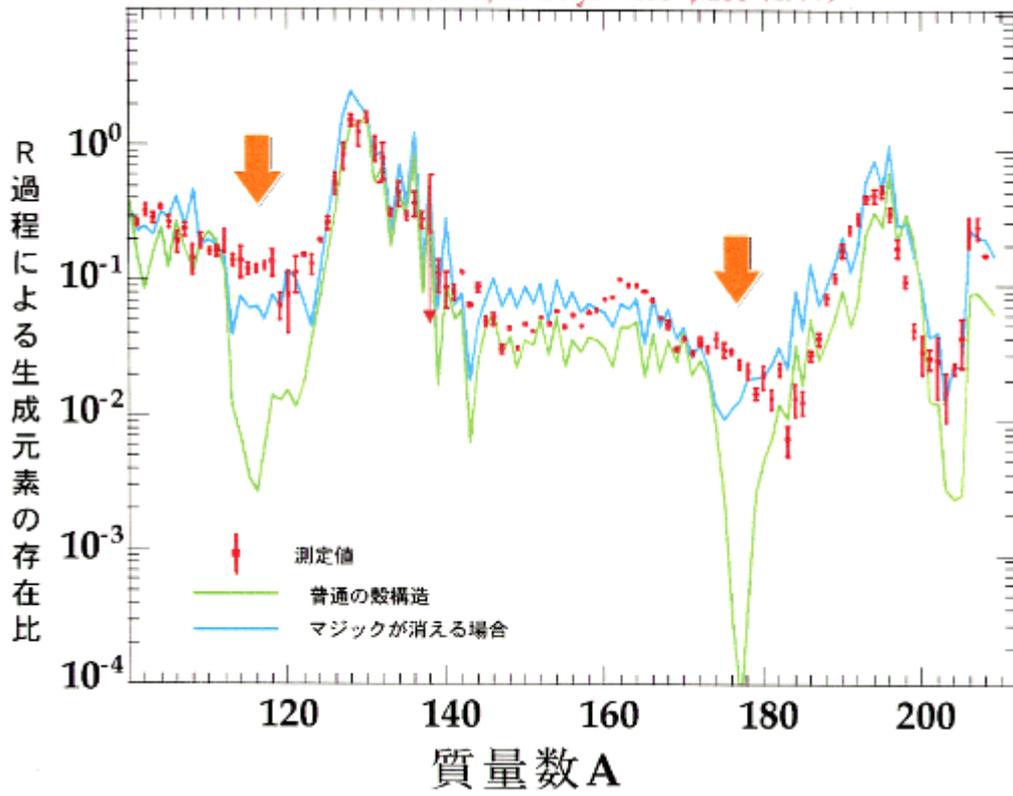


超重元素



= 図 5 =

Pfeiffer et al., Z. Phys. A357, 235 (1997)



=図6 =

Nucl. chart and Binding energy

