

大阪科学・大学記者クラブ 御中

(同時提供先：文部科学記者会、科学記者会)

2024年5月29日

大阪公立大学

## チタン原子核の構造が中心からの距離で変化することを発見 —人類の原子核に対する新しい見方を提示—

### <ポイント>

- ◇チタン 48 原子核がどのような構造を持つか、理論計算と実験データから検証。
- ◇原子核の中心からの距離により、原子核構造が遷移することを明らかに。
- ◇人類の原子核に対する新たな見方を提示。

### <概要>

大阪公立大学大学院理学研究科の岡田 磨弦大学院生(博士前期課程2年)、堀内 渉准教授、板垣 直之教授の研究グループは、チタンの原子核であるチタン 48 が、殻構造<sup>\*1</sup>または $\alpha$ クラスター構造<sup>\*2</sup>のどちらの原子核構造を持つか、理論模型を用いた計算結果と既存の実験データを比較。チタン 48 は、原子核の中心からの距離によって、殻構造から $\alpha$ クラスター構造に変化していることを明らかにしました(図)。本成果は、これまでの原子核構造の理解を覆すもので、約 100 年間解決されていない重い原子核で起こる $\alpha$ 崩壊<sup>\*3</sup>機構の、解明の糸口を与えることが期待されます。

本研究成果は、2024年5月24日に国際学術誌「Physical Review C」のオンライン速報版に掲載されました。

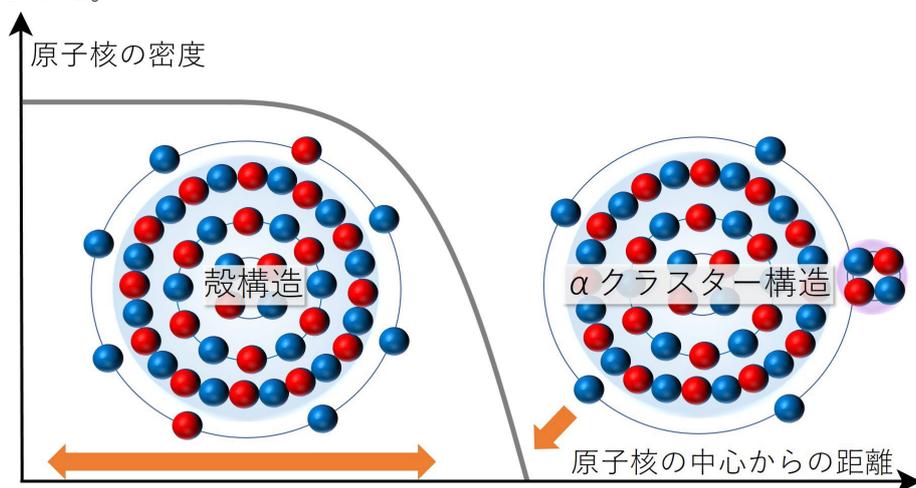


図 チタン 48 における原子核構造の変化

私たちの開発した解析方法により、チタン 48 のような中重原子核の中心部分では殻構造、ごく表面では $\alpha$ クラスター構造を持つことが実証されました。このような構造転移が示されたのは初めてで、新しい原子核の見方を与えるものです。今後は、本研究によって得られた成果を拡張し、より重い原子核の未解決問題に挑戦したいと思っています。



堀内准教授

## <研究の背景>

ヘリウム原子核 ( $\alpha$  粒子) は、陽子と中性子 (総称して核子) が 2 つずつ強く束縛した系で、原子核の中で  $\alpha$  クラスターと呼ばれる「かたまり」を形成します。この  $\alpha$  クラスター構造は、特に軽い原子核において重要と考えられており、私たちの身の回りの元素の起源と深く関係しています。一方、原子核が重くなるにつれ、原子核の標準的な見方である殻構造が良く成り立つことが知られています。しかし殻構造では、それぞれの核子は独立して運動するため、多くの重い原子核で観測されている  $\alpha$  崩壊を説明することはできません。

近年、軽い原子核と重い原子核の間である中重領域の原子核が、殻構造と  $\alpha$  クラスター構造のどちらを持つのかという論争があります。例えば、チタン 48 原子核がカルシウム 44 と  $\alpha$  粒子からなる  $\alpha$  クラスター構造を持つと仮定すると、この原子核から  $\alpha$  粒子をたたき出すようなある種の実験結果 ( $\alpha$  ノックアウト反応) を説明できますが、原子核の半径など、その他の基本的な性質は再現できません。一方で、殻構造であると仮定すると、基本的な性質は説明できますが、 $\alpha$  ノックアウト反応の実験結果は説明できません。

## <研究の内容>

本研究では、チタン 48 原子核が実際にどちらの構造を持つのかを調べるために、殻構造とクラスター構造を同一の枠組みで表すことができる理論モデルを構築。原子核に陽子を衝突させた場合は標的原子核の表面付近の構造を、 $\alpha$  粒子を衝突させた場合はより外側の領域の構造を反映する、原子核反応の一般的な性質を利用し、チタン 48 に対して、高エネルギーに加速された陽子および  $\alpha$  粒子を衝突させる過程を計算しました。チタン 48 の構造として殻構造であると仮定した場合と、クラスター構造であると仮定した場合の、それぞれの理論計算を実験データと比較することにより、チタン 48 は標準的な見方である殻構造が支配的であるものの、表面より外側には  $\alpha$  クラスターの成分を持つと判定しました。

## <期待される効果・今後の展開>

本成果は、中重領域の原子核構造が、殻構造から  $\alpha$  クラスター構造へと、原子核の中心からの距離によって移り変わる可能性を初めて提示したもので、従来の原子核構造の理解を覆すものです。重い原子核が  $\alpha$  崩壊を起こす現象は古くから知られてきましたが、その根本的理解 (原子核表面に  $\alpha$  粒子が存在するかどうか) はおよそ 100 年前のガモフの理論 (1928 年発表) から未解決のままです。本研究は、中重領域以降の原子核において、通常 of 殻モデルによる理解を越え、表面に  $\alpha$  粒子が析出している可能性を示すものです。なぜ重い原子核が  $\alpha$  崩壊を起こすのかという大きな問題の解決の糸口を与え、原子核構造研究の新たな地平を拓くものであると期待されます。

## <資金情報>

本研究は、JSPS 科研費 (18K03635、22H01214、22K03618) の支援を受けて行われました。

## <掲載誌情報>

【発表雑誌】 Physical Review C

【論文名】 Shell-cluster transition in  $^{48}\text{Ti}$

【著者】 M. Okada, W. Horiuchi, and N. Itagaki

【掲載 URL】 <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.109.054324>

## <用語解説>

### ※1 殻構造

原子核構造の標準的な見方。原子核の周りを運動する電子の運動との類推で、原子核を構成する陽子や中性子（核子）も、原子核中心の周りをある軌道に従い独立に運動する、と考える模型。ある特定の核子数で原子核が安定化する「魔法数」を説明することができ、この模型を提案したマイヤーとイェンゼンは1963年にノーベル物理学賞を受賞している。

### ※2 $\alpha$ クラスター構造

原子核内に $\alpha$ 粒子（ヘリウム原子核）の塊が存在する原子核構造。核子間に作用する核力の性質により、陽子2つ、中性子2つが極めて固く結合するためこのような構造が生じ得る。主に軽い原子核において現れ、星の中で炭素が3つの $\alpha$ 粒子から合成される過程などにおいて、重要な役割を果たす。

### ※3 $\alpha$ 崩壊

原子核が高速の $\alpha$ 粒子を放出し、より安定な原子核へと遷移する過程。多くの重い原子核の典型的な崩壊過程であり、歴史的にはこの発見が放射能の概念を生み出した。

#### 【研究内容に関する問い合わせ先】

大阪公立大学大学院理学研究科  
准教授 堀内 渉（ほりうち わたる）

TEL : 06-6605-2639

E-mail : [whoriuchi@omu.ac.jp](mailto:whoriuchi@omu.ac.jp)

教授 板垣 直之（いたがき なおゆき）

TEL : 06-6605-2537

E-mail : [itagaki@omu.ac.jp](mailto:itagaki@omu.ac.jp)

#### 【報道に関する問い合わせ先】

大阪公立大学 広報課

担当：竹内

TEL : 06-6605-3411

E-mail : [koho-list@ml.omu.ac.jp](mailto:koho-list@ml.omu.ac.jp)