

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)



2023年3月13日
大阪公立大学

原子核構造の違いを「可視化」することに成功 — 元素はどこから来たのか？ 原子核物理の究極の問いに迫る！ —

<ポイント>

- ◇原子核構造の違いを実験で判別する理論を開発。
- ◇炭素・酸素には、殻構造よりも**クラスター構造**の成分が多く含まれていることを証明。

<概要>

大阪公立大学大学院 理学研究科の堀内 渉准教授、板垣 直之教授らの研究グループは、原子核構造の違いを実験で判別する理論を開発しました。これを炭素および酸素原子核に適用したところ、原子核の標準的な見方である殻構造（図1）よりも、**クラスター構造**の成分が多く含まれていることが明らかになりました。

大規模な数値計算を行うことなく原子核構造の「可視化」を行うことができる本研究手法は、今後、より重い原子核への適用も期待でき、私たちの身の回りにはある元素がどこから来たのか、という原子核物理学の究極の問いを解決できる可能性を示唆しています。

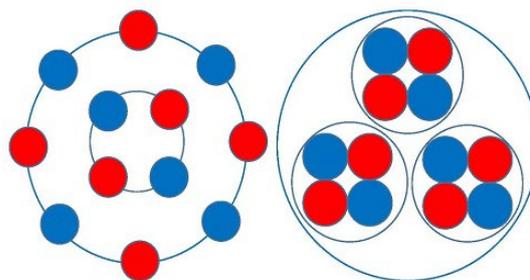


図1：(左) 殻構造 (右) クラスター構造
赤玉と青玉はそれぞれ陽子と中性子を表す。

本研究成果は、2023年2月21日に国際学術誌「Physical Review C (Letter)」にオンライン掲載されました。

生命の誕生に極めて重要な役割を担う炭素や酸素は、恒星の中で生まれたと考えられています。成熟した恒星中の原子核反応は、クラスター構造を持つ原子核がより多く合成されます。今後はさらに重い原子核の構造を調べ、私たちの身の回りにはある元素の起源の謎を解き明かしたいと思っています。



堀内 渉 准教授

<掲載誌情報>

【発表雑誌】 Physical Review C (Letter)

【論文名】 Imprints of α clustering in the density profiles of ^{12}C and ^{16}O

【著者】 W. Horiuchi and N. Itagaki

【掲載 URL】 <https://journals.aps.org/prc/abstract/10.1103/PhysRevC.107.L021304>

<研究の背景>

ヘリウム原子核はそれぞれ2つずつの陽子、中性子（総称して核子）が強く束縛した4核子系であり、しばしば原子核の中で「部分系」を形成します。原子核がこのようないくつかの部分系から構成される構造をクラスター構造と呼びます。このクラスター構造は、原子核の標準的な見方であるいわゆる殻構造では理解することが難しいことが知られており、それぞれの原子核が、実際にはクラスター構造を持つのか、それとも殻構造を持つのか、はっきりと区別する方法がありませんでした。

<研究の内容>

本研究では、クラスター構造と殻構造を一つの枠組みで表現できる「反対称化準クラスター模型^{※1}」を開発し、私たちの周りにある重要な元素である炭素および酸素に適用しました。

その結果、得られた炭素や酸素原子核の密度分布は、クラスター構造を仮定した場合と殻構造を仮定した場合で大きく異なることが明らかになりました。さらにその違いは、それぞれの原子核に対して、高エネルギーに加速された陽子による散乱実験を行うことで、データとして可視化されることを示しました（図2）。

今回の理論計算と、既存の実験データ（G. D. Alkhozov et al., Yad. Fiz. 42, 8 (1985).）との詳細な比較から、炭素および酸素の原子核においては、クラスター構造の成分が多く含まれていることが明らかになりました。

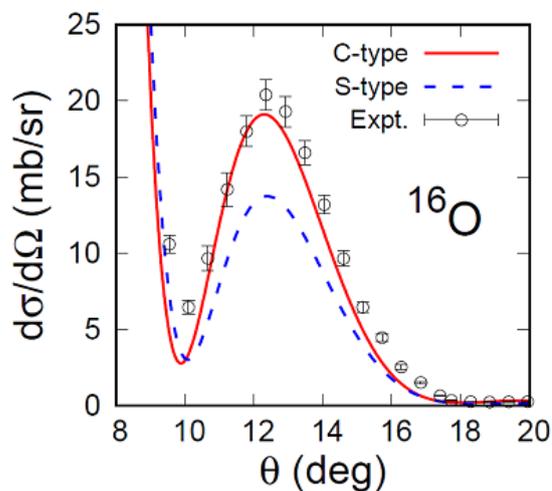


図2：高エネルギー陽子による酸素原子核衝突の弾性散乱微分断面積の角度分布。横軸は陽子の散乱角度、縦軸は陽子の散乱されやすさを表す。C-type、S-type はそれぞれクラスター構造、殻構造を仮定した場合の理論値。Expt.は既存のデータ。

<期待される効果・今後の展開>

本研究手法は簡便かつ強力で、大規模な数値計算を行うことなく原子核構造の「可視化」を行うことができます。今後はネオン、マグネシウム、ケイ素同位体といったより重い原子核への適用を考え、私たちの身の回りにある元素がどこから来たのか、という究極の問いに挑み続けます。

また、恒星内の原子核反応はヘリウム原子核を介した核融合反応が主要であり、クラスター構造をもつ原子核の存在は、恒星内の元素合成過程において極めて重要です。原子核反応率は反応前後の構造が似ているほど増大すると知られており、これらの原子核がクラスター構造を持つことが分かったことで、より多くの元素が合成されたと考えられます。

<資金情報>

本研究はJSPS 科研費 18K03635、22H01214、22K03618 の一部助成を受けたものです。

<用語解説>

※1 反対称化準クラスター模型：模型に含まれるパラメータを調整することにより、クラスター構造と殻構造を同時に表現できる微視的枠組み。

【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

【報道に関する問い合わせ先】

大阪公立大学 広報課
担当：國田（くにだ）
TEL：06-6605-3411
E-mail：koho-list@ml.omu.ac.jp