

研究責任者名 Name	木村 真明 KIMURA Masaaki	所属機関 Affiliation	北海道大学
受理番号 Proposal No.	大型 14/15-07	研究課題名 Program title	安定・不安定な硫黄同位体が持つ超変形状態とクラスター構造の研究

研究を終了しましたので、下記の通り報告します。

成果の概要

Abstract

(和文)

微視的原子核模型の 1 つである、反対称化分子動力学による大規模数値計算を行い、安定・不安定核に現われる超変形状態とクラスター構造を明らかにすることを目的として研究を行った。今年度の成果は以下の通りである。

- 1) 不安定核である炭素 16 原子核に現れる、直鎖状クラスター構造の性質を大規模数値計算によって予言した。この研究で予言された直鎖状態の候補が、最近実験で見つかり、研究が大きく進展しつつある。
- 2) 安定核であるマグネシウム 24 原子核の高励起状態に現れる様々なクラスター構造を明らかにした。さらに、それらクラスター構造は大きな単極遷移確率を持つことを示した。
- 3) 不安定核であるベリリウム 11 原子核は、非常に発達したクラスター構造を持つことが知られている。この原子核に Λ 粒子が束縛された場合にどのような構造変化が起こるのかを調べた。

上記 3 件の成果はいずれも査読付論文として掲載済みである。また関連する招待講演は 3 件。

(英文)

We have investigated the cluster structure of stable and unstable nuclei based on large scale computer simulation by using a microscopic nuclear model called “antisymmetrized molecular dynamics”. The achievements in this period are as follows

- 1) We predicted the linear chain of three alpha particles that appears as the excited states of unstable nucleus C-16. The corresponding candidates are found in an experiment very recently.
- 2) We investigated various cluster states that appear at highly excited region of Mg-24. We also showed that those cluster states have large isoscalar monopole transition strengths from the ground state that makes it possible to detect them experimentally.
- 3) An unstable nucleus Be-11 is well known to have a pronounced cluster structure in its ground state. We have investigated how this cluster structure is modified by the addition of Lambda particle as an impurity.

Those results are already published as three peer-reviewed papers. We also had three invited talks.

研究成果を公開しているホームページアドレス

事務局にて使用	論文 査読有	論文 査読無	講義・発表	招待講演	その他
	3	0	0	3	0

研究課題名 「反対称化分子動力学による中性子ハローと α クラスター構造の研究」
実施報告書

2015 年 12 月 28 日

1. 研究組織

	氏名	所属	身分
研究責任者	木村真明	北海道大学 理学院	准教授
研究従事者	谷口億宇	筑波大学計算科学研究センター(3/31 まで) 日本医療科学大学(4/1 より)	助教
研究従事者	千葉陽平	北海道大学 理学院	博士 2 年

2. 実施報告

微視的原子核模型の 1 つである、反対称化分子動力学による大規模数値計算を行い、安定・不安定核に現われる超変形状態とクラスター構造を明らかにすることを目的として研究を行った。KEK システム B を利用し、以下の課題を実施した。

1. 炭素 16 における直鎖クラスター状態の探索。

3 つの α 粒子が直線上に並んだ構造を持つ、「 3α の直鎖状態」は 50 年代に提案されて以降、数多くの実験的探索が行われてきたにも拘わらず未だに発見されていない。理論的には、 ^{12}C 原子核の 3α の直鎖配位は、直鎖配位からのズレ(鎖が折れ曲がる方向の運動)に対し不安定であるため、理想的な直鎖配位は実現しないと予想されている。一方で、 3α の直鎖状態に余剰中性子が付け加わった場合、つまり中性子過剰な炭素同位体では、余剰中性子が、鎖が折れ曲がる運動を妨げため、安定な直鎖構造が実現しうる。

そこで本研究では、直鎖構造の有力候補である炭素 16 の励起状態を調べ、直鎖状態が存在するかどうかを調べた。エネルギー変分計算に拘束条件を適用することで、極端に変形した状態の波動関数を求めたところ、実際に 3α の直鎖状態が実現していることが分かった(図 1)。更にスペクトルを求めることで、直鎖状態が回転バンドを形成し、その励起エネルギーは約 15MeV であることを予言した(図 2)。

この成果は Physical Review C 誌で発表済みである。またごく最近この理論予測に対応する候補が実際の実験で観測され、研究が大きく進展しつつある。

図 1: 炭素 16 に現れる直鎖クラスター状態の密度分布

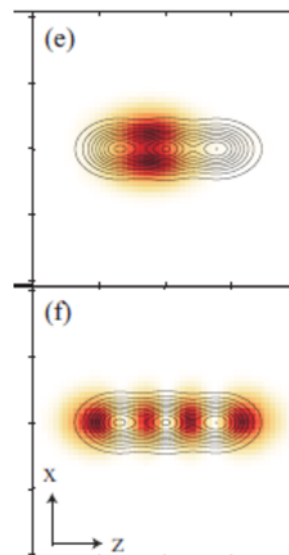
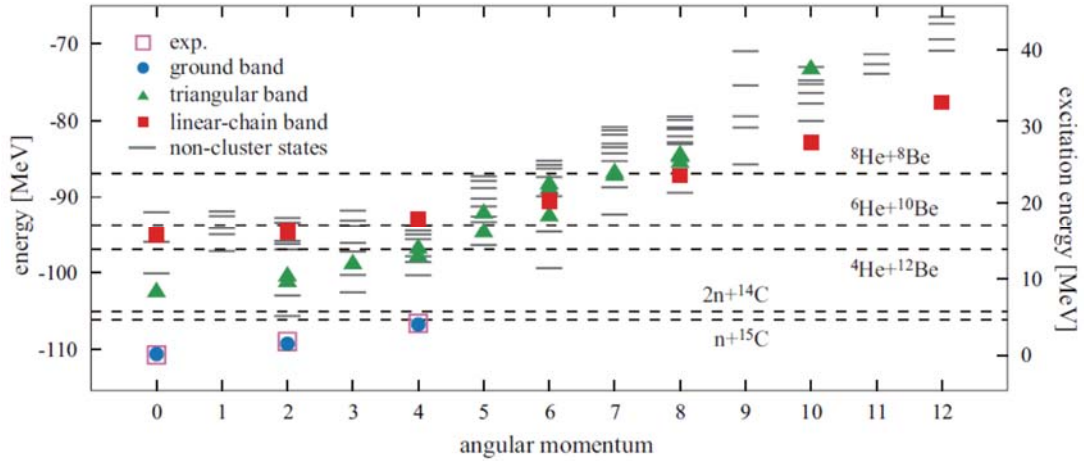


図 2: 数値シミュレーションによって求めた炭素 16 の励起スペクトル。横軸は角運動量、縦軸はエネルギー。赤四角が直鎖状態に対応し、約 15MeV の励起エネルギーを持つ



2. マグネシウム 24 の高励起状態に現れるクラスター状態の研究

安定核であるマグネシウム 24

原子核の励起状態には、炭素 12 原子核 2 つから成る状態を始めとして、多種多様なクラスター構造が現れると予想されている。その多くは、恒星中で起こるヘリウム燃焼過程、炭素燃焼過程の核反応率に大きな影響を及ぼすため、その性質を明らかにすることが重要な課題となっている。しかし、これらのクラスター状態が持つエネルギーが非常に高いため、実験的探索が困難であり、理論的記述も難しかった。

そこで、我々は反対称化分子動力学に「基底関数展開法」を組み合わせる新しい計算手法を開発し、高励起状態に現れる様々なクラスター状態の記述を可能にした(図 3)。さらに、マグネシウム 24 の基底状態から、これら種々のクラスター状態に遷移する単極遷移強度を求め、これ

図 3: 基底関数展開法によって求めたマグネシウム 24 に現れる種々のクラスター状態の密度分布。

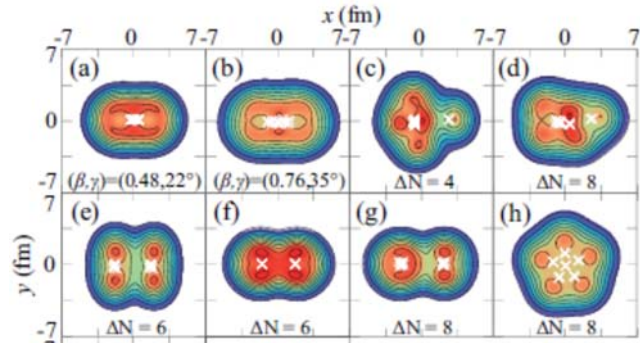
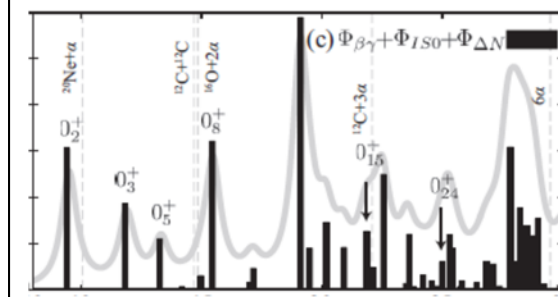


図 4: マグネシウム 24 の単極遷移強度。黒線で示した強いピークがクラスター状態に対応する



らのクラスター状態は、単極遷移によって選択的に、かつ強く生成されることを初めて示した (図 4). この成果は *Physical Review C* 誌で発表済みである.

3. ベリリウム 11 に対する Λ 粒子の不純物効果

不安定核である, ベリリウム 11 原子核は非常に発達したクラスター構造を持ち、そのために基底状態のパリティが通常予想されるものとは反対の正パリティとなっている. この原子核に Λ 粒子が束縛されると、構成粒子間に余分な引力が働くため、クラスター構造に変化が起こり、結果として基底状態のパリティが変わる可能性がある. また、その変化を見ることで Λ 粒子と核子間の相互作用について深い理解が得られる可能性がある.

このことを定量的に予言するために、反対称化分子動力学を用いてベリリウム 11, ベリリウム 11 Λ の励起スペクトルを求めた(図 5). その結果、 ΛN 有効相互作用の種類によらず、常に基底状態のパリティの変化が起こることを予言した. 結果は *Physical Review C* 誌で発表済みである.

図 5: 反対称化分子動力学によるベリリウム 11 およびそれに Λ 粒子が付着したベリリウム 11 Λ 原子核の励起スペクトル. 赤で示した正パリティ状態がベリリウム 11 では基底状態となっているが、 Λ 粒子がつくと、励起状態になる

