

## 閾値近傍のクラスター構造

### Cluster structures near threshold energies

谷口 億宇

香川高等専門学校

#### 1. 研究目的

原子核の励起状態に存在するクラスター構造 (核が複数の部分系に別れた構造) の性質解明を目的とした。特に、元素合成に重要である閾値近傍に現れる分子共鳴状態のエネルギーを定量的に求めることを目指した。

#### 2. 研究成果の内容

##### (1) 元素合成に重要な役割を果たす $^{12}\text{C} + ^{16}\text{O}$ 分子共鳴状態の性質を予言

超新星爆発の際に起こる炭素と酸素の核融合反応が、元素の起源に重要な役割を果たすことは、以前から予想されてきた。しかし、その反応の断面積は小さく、反応率を実験的に決定することは極めて難しいため、理論研究による検証が待たれていた。

そこで、炭素原子核の「回転効果」などを取り入れた数値シミュレーションを行い、炭素と酸素の原子核同士が弱く結合した分子共鳴が、これまでの観測よりもずっと低い極低エネルギーに存在する可能性を指摘した。この分子共鳴が存在することで、超新星爆発の際に炭素と酸素の核融合反応が爆発的に起こり、マグネシウムやケイ素の原子核が大量に作られる可能性がある。

##### (2) $^{35}\text{Cl}$ の $\alpha$ 及び $t$ クラスター状態の研究

クラスター状態は、その分解閾値エネルギー近傍に現れるという閾値則は、クラスター状態を議論する際に長年用いられているが、その正当性や定量性は確認されていなかった。

そこで、最近発見された  $^{35}\text{Cl}$  の負パリティ超変形状態に結合する  $\alpha$  及び  $t$  クラスター構造や、分子共鳴状態について微視的に調べた。超変形状態などの低エネルギー領域では閾値よりも各クラスターの変形効果が重要で、高エネルギー領域の分子共鳴状態では閾値が重要であることが分かった。この結果は、閾値則に代わる新しい指標の必要性を示唆している。

#### 3. 学際共同利用が果たした役割と意義

学際共同利用は上記の研究を遂行する上で主要な役割を果たした。今回報告した研

究では、様々な構造を持つ波動関数の配位混合を扱ったが、そのためには多くの計算資源が必要であった。これは通常の計算機で実行することは現実的には不可能であり、学際共同利用での Oakforest-PACS を用いた大規模並列計算によって、はじめて可能となった。

#### 4. 今後の展望

炭素原子核が関与する分子共鳴の研究は、炭素より重い元素の起源を理解する際に重要である。炭素より重い元素の合成は、 $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  核融合反応が引き金となるが、その反応率を知るためには、 $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  分子共鳴のエネルギーや崩壊幅を知ることが必要である。今回、 $^{12}\text{C} + ^{16}\text{O}$  分子共鳴の研究で用いた手法や計算プログラムは  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  共鳴状態の研究に応用できるため、今後は  $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$  分子共鳴の性質解明を目指す。

#### 5. 成果発表

##### (1) 学術論文

###### ① 原著論文 (査読付き)

1. Yasutaka Taniguchi and Masaaki Kimura, “ $^{12}\text{C} + ^{16}\text{O}$  molecular resonances at deep sub-barrier energy”, *Phys. Lett. B* **800**, 135086 (2020).
2. Yasutaka Taniguchi, “ $\alpha$  and triton clustering in  $^{35}\text{Cl}$ ”, *Phys. Rev. C* **99**, 064309 (2019).

###### ② プロシーディングス

Yasutaka Taniguchi and Masaaki Kimura, “Low-lying  $^{12}\text{C} + ^{16}\text{O}$  Molecular Resonance Band in  $^{28}\text{Si}$ ”, *JPS Conf. Proc.* **31**, 011020 (2020).

##### (2) 学会発表

###### ① 国際会議

1. Y. Taniguchi, “Deformation effects of clusters in coupling of cluster structures to deformed states”, International Nuclear Physics Conference 2019, Glasgow, UK, July 29–August 2, 2019.
2. Y. Taniguchi, “Low-lying  $^{12}\text{C} + ^{16}\text{O}$  Molecular Resonance Band in  $^{28}\text{Si}$ ”, The 15th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies, Kyoto, Japan, July 2–5, 2019.

###### ② 国内学会

1. 谷口億宇, 木村真明, “閾値近傍の  $^{12}\text{C} + ^{16}\text{O}$  分子共鳴状態”, 山形大学, 山形, 2019年9月17–27日, 日本物理学会秋季大会.
2. 木村真明, 谷口億宇, “Shape of Carbon 12”, 山形大学, 山形, 2019年9月17–27日, 日本物理学会秋季大会.秋学会

##### (3) その他

報道発表: “元素の起源となる分子共鳴の存在を予言～宇宙に存在する物質の起源  
解明に期待～”, 2020年1月24日, 北海道大学, 香川高等専門学校, 大阪大学

使用計算機	使用計算機 に○	配分リソース※	
		当初配分	追加配分
Cygnus			
Oakforest-PACS	○	50,000	
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。			