

平成 21 年 5 月 31 日現在

研究種目：若手研究 (B)  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19740133  
 研究課題名 (和文) 新しい魔法数  $N=16$  の発見

研究課題名 (英文) A new magic number  $N=16$

## 研究代表者

佐藤 義輝 (SATO YOSHITERU)  
 東京工業大学・大学院理工学研究科・助教  
 研究者番号：00359689

## 研究成果の概要：

逆運動学条件下における中性子過剰核の核構造研究法を核子散乱に焦点をあてて開発した。不変質量法に基づく陽子非弾性散乱を $^{19}\text{C}$ ,  $^{17}\text{C}$  核に適用し新準位を発見するとともに、中性子過剰酸素同位体に対する同様の測定の準備を行った。また、陽子荷電交換反応を $^{14}\text{Be}$  核に適用し、 $^{14}\text{B}$  核の $1^+$ 準位へのガモフ・テラー遷移の (p, n) 前方散乱断面積が  $\beta$  崩壊の転移確率  $B(\text{GT})$  と関連付けて説明できることを確認した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,900,000	0	2,900,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	150,000	3,550,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学、素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：核物理、 $\beta$  不安定核、殻構造、元素合成

## 1. 研究開始当初の背景

$\beta$  安定線領域の原子核は、中性子並びに陽子数が  $N(\text{or } Z)=2, 8, 20, 28, 40, 50, 82$ , 及び  $126$  のものが、第一励起準位のエネルギー、及び、核子分離エネルギーが近傍核にくらべ高いという特徴を持つ。これら“魔法数”は

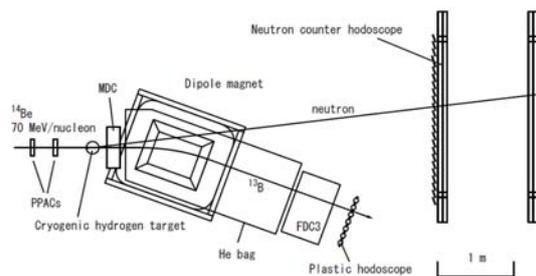
その存在を解明する過程において原子核の殻構造模型の発展を促した。魔法数を  $\beta$  不安定領域においても特定することは、同領域での殻構造とその変容の機構を解明する上で重要である。さらに、中性子過剰核の核構造情報は、 $r$ -プロセス等の元素合成過程の解明にも役立つ。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、陽子数が  $Z=8$  で中性子数が  $N=16$  であるドリップライン上の  $^{24}\text{O}$  核と、それよりも中性子数が一つ少ない  $^{23}\text{O}$  核の励起準位を、不変質量法を用いて探索・発見し、酸素同位体における中性子数  $N=16$  のシェルギャップに関する知見を得、中性子ドリップライン近傍領域における新しい魔法数  $N=16$  の存在を明らかにすることである。また、関連する実験手法の整備、高精度化を目指す。

## 3. 研究の方法

実験は理化学研究所 RIBF 加速器施設の入射核破碎分離装置と付属の設備を用いて実施する。二次標的を中心とした実験セットアップを下記に示す。



RIPS により生成・分離された二次ビームは陽子標的に照射され、非弾性散乱や荷電交換反応を経て標的後方に放出される中性子と荷電粒子が、それぞれ中性子ホドスコープと荷電粒子ホドスコープにより検出される。単位エネルギー損失あたりの反応率を高めるため標的には液体水素が用いられる。測定は粒子崩壊閾値より高いエネルギー領域に感度を持つ不変質量法に基づく。標的下流には荷電粒子と中性子の軌道を分離するための双極電磁石が配置され、それぞれの粒子に対する検出器系は互いに離して設置される。これに加えて、運動学的収束効果により崩壊生成物が前方方向に集中して放出される為、比較的小さな

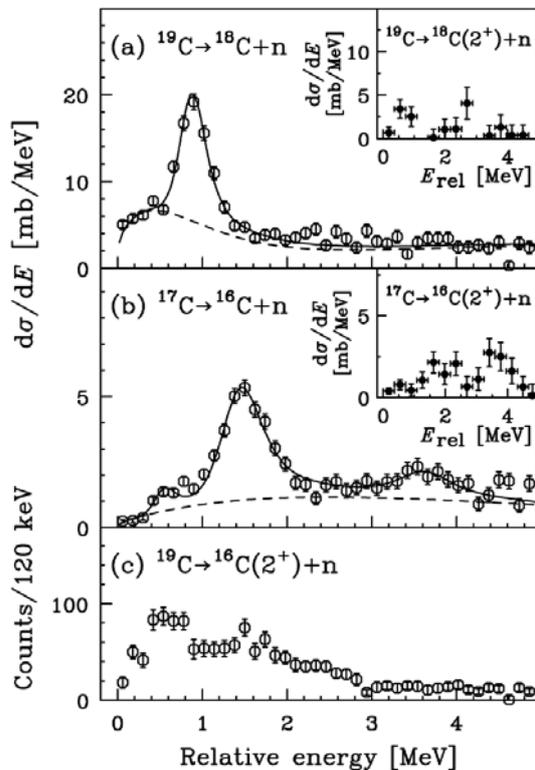
立体角の検出器系でも終状態崩壊系の位相空間体積を、とりわけ粒子崩壊閾値近傍の強度について効率良く覆うことが可能となっている。

本課題では測定装置の高度化の一環として、二次ビーム飛跡検出器（多線式比例計数管：セルサイズ  $6\text{ mm}$ 、有感領域  $96 \times 96\text{ mm}^2$ ）と荷電粒子ホドスコープを製作、整備した。これらはそれぞれ液体水素二次標的の上流と下流に配置され、入射ビームの飛跡決定と出射破砕片の粒子識別用途に用いられる。飛跡検出器について、宇宙線を用いた基礎データを取得し、飛跡再構築方法の改良を行った。その結果、約  $70\text{ }\mu\text{m}$  の位置決定精度が得られることが分かった。

## 4. 研究成果

核子あたり  $70\text{ MeV}$  の  $^{19,17}\text{C}$  核ビームに対して実施した逆運動学陽子非弾性散乱データを解析し、以下の知見を得た。（1） $^{19}\text{C}$  核の  $1.46(10)\text{ MeV}$ 、 $^{17}\text{C}$  核の  $2.20(3)$ 、 $3.05(3)$ 、及び  $6.13(9)\text{ MeV}$  の励起エネルギーの位置に新しい共鳴準位を見出した。（2）これらの準位の励起断面積を、現代的な核子-核間光学ポテンシャルと殻模型波動関数に基づく微視的歪曲波ボルン近似計算値と比較し、これらの準位、並びに  $^{19}\text{C}$ 、 $^{17}\text{C}$  核の基底状態のスピン・パリティ ( $J^\pi$ ) を特定した。（3） $^{19}\text{C}$  核の基底状態の  $J^\pi$  が  $1/2^+$  であるとの知見と、変形核ポテンシャル中の一粒子軌道ダイアグラム（ニルソソンドダイアグラム）に基づく考察より、 $^{19}\text{C}$  核の基底状態がプロレート型に変形しているとの推測がなされた。中性子過剰炭素同位体における中性子数  $N=16$  のシェルギャップに関する知見は、今回の解析結果からは得ることが

できなかった。 ${}^1\text{H}({}^{19}\text{C}, {}^{19}\text{C}^* \rightarrow {}^{18}\text{C}+n)$  反応と  ${}^1\text{H}({}^{17}\text{C}, {}^{17}\text{C}^* \rightarrow {}^{16}\text{C}+n)$  反応について得た不変質量スペクトルを下記に示す。図中のピーク構造が今回見出された共鳴準位である。



一方、酸素同位体における  $N=16$  のシェルギャップに関する知見は、例えば  ${}^{24}\text{O}$  核の第一 $2^+$ 準位の励起エネルギーを近傍核の同励起エネルギーと比較することで得られる。 ${}^{24}\text{O}$  核の $2^+$ 準位を特定する実験を考案し、そのための装置の最適化を図った。

核子あたり 70 MeV の  ${}^{14}\text{Be}$  核ビームを用いて取得した逆運動学陽子荷電交換反応データを解析し、以下の知見を得た。(1)  ${}^{14}\text{B}$  核の、励起エネルギーがそれぞれ 1.27 MeV と 2.08 MeV の位置に共鳴準位を見出した。(2) これらの準位の微分散乱断面積を殻模型波動関数に基づく歪曲波ボルン近似計算結果と比較し、これらがそれぞれ第一 $1^+$ 、及び第一 $4^-$ 準位として矛盾しないことを確認した。(3)  $1^+$  準位の断面積を運動量移行

が  $q=0$  の極限に外挿して、ガモフ・テラー換算転移確率  $B(\text{GT})_{(p,n)}$  を求めた。この値が  $\beta$  遅延中性子放出測定で得られた値  $B(\text{GT})_{\beta\text{-decay}}$  と矛盾しないことを確認した。一連の解析を通じ、崩壊中性子の検出を伴う逆運動学  $(p, n)$  反応測定が  $\beta$  遅延中性子放出測定と等価な情報をもたらす得ること、従って、これが新しい分光手段として有用なことを確認した。こうした方法を  $r$ -プロセス元素合成過程に関与する重い中性子過剰核に適用することで、同プロセスの解明に必要なこれらの原子核の  $\beta$  崩壊強度、とりわけ中性子放出を伴う強度に関する情報を系統的に取得することが可能であると期待される。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Y. Kondo, T. Nakamura, Y. Satou et al., One-neutron removal reactions of  ${}^{18}\text{C}$  and  ${}^{19}\text{C}$  on a proton target, *Physical Review C* 79, 014602-1-7, 2009, 査読有.
- ② Y. Satou et al., Unbound excited states in  ${}^{19,17}\text{C}$ , *Physics Letters B* 660, 320-325, 2008, 査読有.
- ③ Y. Satou et al., Unbound excited states in  ${}^{19,17}\text{C}$ , *Proc. International Nuclear Physics Conference (INPC2007)*, 248-250, 2008, 査読無.

[学会発表] (計 6 件)

- ① 佐藤義輝, Search for giant Gamow-Teller resonances in light neutron rich nuclei, 中性子過剰核のガモフ・テラー遷移強度測定に向けて、2009年3月18-19日、理化学研究所、埼玉。
- ② 佐藤義輝, 非弾性散乱を利用した不安定核核構造研究、広い意味での核反応研究のこれから、2009年2月21日、青島サンクマールホテル、宮崎。
- ③ Y. Satou, Structure study of unstable nuclei using proton inelastic

scattering, SNU-HEP WCU Kick-off workshop, February 18-19, 2009, Seoul National University, Seoul, Korea.

- ④ Y. Satou, A comparative study of the  $(p, p')$  and  $(d, d')$  reactions, Workshop on Giant Resonances with Inverse Kinematics and Missing Mass Techniques, November 25, 2008, RIKEN, Saitama.
- ⑤ 佐藤義輝, 70 MeV における  $^{14}\text{Be}(p, n)^{14}\text{B}(1^+)$  反応の測定、日本物理学会 2008 年秋季大会、2008 年 9 月 20-23 日、山形大学、山形。
- ⑥ Y. Satou et al., Unbound excited states in  $^{19,17}\text{C}$ , International Nuclear Physics Conference (INPC2007), June 3-8, 2007, Tokyo.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐藤 義輝

東京工業大学・大学院理工学研究科、助教

研究者番号：00359689

### (2) 研究分担者

—

### (3) 連携研究者

—