

陽子/クラスターノックアウト反応による原子核構造の研究  
Nuclear Structure Studies using Proton/Cluster-Knockout Reactions  
(12P051)

小林俊雄<sup>a</sup>, 大津秀暁<sup>a</sup>, 岩佐直仁<sup>a</sup>, 奥田貴志<sup>a</sup>, 大関和貴<sup>a</sup>, 田澤信也<sup>a</sup>, 渡辺極之<sup>a</sup>,  
吉田敦<sup>b</sup>, 松山芳孝<sup>c</sup>, 沖花彰<sup>d</sup>, 高田栄一<sup>e</sup>

T. Kobayashi<sup>a</sup>, H. Otsu<sup>a</sup>, N. Iwasa<sup>a</sup>, T. Okuda<sup>a</sup>, K. Ozeki<sup>a</sup>, S. Tazawa<sup>a</sup>, K. Watanabe<sup>a</sup>,  
A. Yoshida<sup>b</sup>, Y. Matsuyama<sup>c</sup>, A. Okihana<sup>d</sup>, E. Takada<sup>e</sup>

## Abstract

For studying single-particle properties of neutron-rich nuclei near the neutron drip line, and exotic resonances beyond the neutron drip line, proton knockout reactions have been measured:  $p(^8\text{He}, 2p)^7\text{H}$ ,  $p(^{11}\text{Be}, 2p)^{10}\text{Li}$ , and  $p(^{12}\text{Be}, 2p)^{11}\text{Li}$  reactions using secondary nuclear beams at about 250 A MeV incident energies.

## 1. 研究目的と概要

ドリップライン付近の原子核の単一粒子軌道に関する情報やドリップライン外側のエキゾチック共鳴状態の探索の為に、HIMAC施設で得られる高エネルギー二次原子核ビームと陽子標的を用い、逆運動学での陽子ノックアウト反応の実験を行っている。今年度は、前方磁気分析器を完成させ、 $p(^8\text{He}, 2p)^7\text{H}$ ,  $p(^{11}\text{Be}, 2p)^{10}\text{Li}$ ,  $p(^{12}\text{Be}, 2p)^{11}\text{Li}$  の測定を行った。

## 2. 研究経過と結果

### (2-1) $p(^8\text{He}, 2p)^7\text{H}$ 反応による超重水素<sup>7</sup>Hの探索

中性子ドリップライン上のHe同位体からの陽子ノックアウト反応を用いると重い水素同位体を生成できる。昨年度行った $p(^8\text{He}, 2p)^5\text{H}$ 反応に引き続き、<sup>8</sup>Heビームを用いた $p(^8\text{He}, 2p)$ 反応による超重水素同位体<sup>7</sup>Hの探索を行った。

<sup>13</sup>C 1次ビームから作った<sup>8</sup>Heビームを用いて実験を行った。<sup>8</sup>Heのエネルギー190 MeV/Aは2次ビームラインSB1の最大運動量で制限され、ビーム強度は約2000個/スピル(3.5秒)だった。正味1.5日の測定で得られた陽子分離エネルギー分布を図1に示す。陽子(CH<sub>2</sub>)標的からの事象数は250 event、CH<sub>2</sub>中の炭素からのbackground評価の為にを行ったC標的からの事象数は140 eventだった。差引後の統計は約100 eventと非常に悪いが、陽子標的からの分布には、炭素標的には無い構造が見えている。この実験時には前方磁気分析器が完成していなかった為、<sup>7</sup>Hの主な崩壊様式である<sup>3</sup>H+4nからの<sup>3</sup>Hを前方で識別できな

かった。<sup>3</sup>Hの同時測定によりさらにS/Nが改善されるはずなので、前方磁気分析器を用いて再度測定を行いたい。

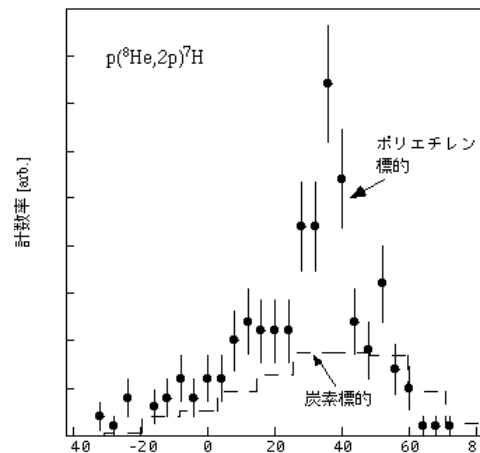


図1 :  $p(^8\text{He}, 2p)^7\text{H}$ 反応の陽子分離エネルギー分布

### (2-2) 前方磁気分析器の整備

2次重イオンビームを逆運動学で用いた陽子ノックアウト反応の最大の長所は、反応で生成される残留核やその崩壊粒子が入射核破砕片として超前方に放出される事である。角度分布の中が狭い為、小さな検出器でその殆どを検出する事ができる。問題は約250 MeV/Aの入射核破砕片の粒子識別(原子番号と質量数)であった。今まではエネルギー損失測定から原子番号を測定したが、質量数の測定は不可能であった。今年度は逆運動学の長所を最大限生かす為の前方磁気分析器を製作した。

この検出器系は、重量約6トンのH型電磁石(磁場積分値は約0.6 Tm)、荷電粒子運動量を測定する2台のDrift Chamber、荷電粒子の電荷と速度を測定するシンチレータホドスコープからなり、概要を図2に示す。運動量分解能はA/Z=2、250 MeV/Aの粒子に対して約1.5%程度であり、例として $p(^{12}\text{Be}, 2p)$ 反応において前方に放出された粒子識別スペクトルを図3に示す。<sup>2,3</sup>H、<sup>4,6,8</sup>He、<sup>7,8,9,11</sup>Liの同位体がきれいに

分離されていることがわかる。

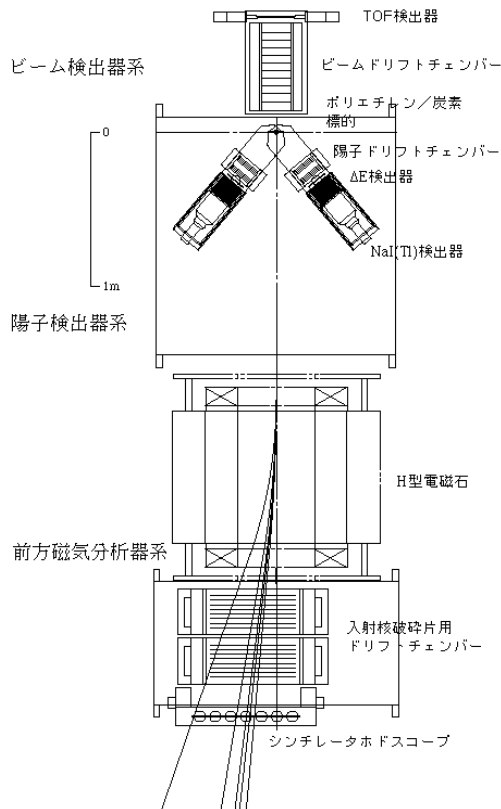


図2：完成した前方磁気分析器と陽子検出器系

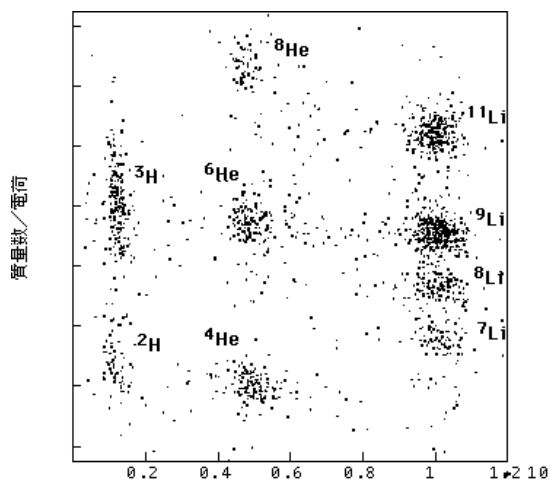


図3：磁気分析器による粒子識別：Z vs. A/Z

(2-3)  $p(^{11,12}\text{Be}, 2p)^{10,11}\text{Li}$  反応による  $^{10,11}\text{Li}$  の構造

完成した前方磁気分析器と、 $^{15}\text{N}$  一次ビームから生成した約 250 MeV/A の  $^{11,12}\text{Be}$  ビームを用いて、 $p(^{11,12}\text{Be}, 2p)^{10,11}\text{Li}$  反応の測定を行った。ビーム強度としては、各々  $45 \times 10^3/\text{spill}$ ,  $12 \times 10^3/\text{spill}$  程度が得られた。測定の目的は、

\* 中性子ハロー核として知られている  $^{11}\text{Li}$  の構造の理解の為に、 $^{10}\text{Li} (^9\text{Li}+n)$  共鳴状態の構造、特

に基底状態付近の p 波 / S 波共鳴、の理解が必要不可欠である。外殻中性子が s 波 ( $2s_{1/2}$  軌道) にあることが知られている  $^{11}\text{Be}$  から (p,2p) 反応で陽子を弾き出し、 $^{10}\text{Li}$  のよく理解されていない s 波共鳴を選択的に生成する。

\*  $^{11}\text{Li}$  の外殻中性子は、 $p_{1/2}$  軌道以外に  $2s_{1/2}$  軌道にも入っていると考えられている。一方  $^{12}\text{Be}$  基底状態には p-shell 成分以外に 50% 程度の sd-shell 成分が混じっている事が知られており、 $^{12}\text{Be}$  から (p,2p) 反応で  $^{11}\text{Li}$  を生成した場合は、遷移確率は二つの原子核の波動関数の重なり に比例する。

測定では図4に示す様に、 $p(^{12}\text{Be}, 2p)$  反応により直接  $^{11}\text{Li}$  基底状態への遷移が観測された。 $^{11}\text{Li}$  の励起状態は全て非束縛状態であり、 $^{6,7,8,9}\text{Li}$  等に崩壊するが、その崩壊モードは前方粒子の測定で知る事ができる。又励起エネルギー 20MeV 付近の構造は s-hole 状態と考えられる。

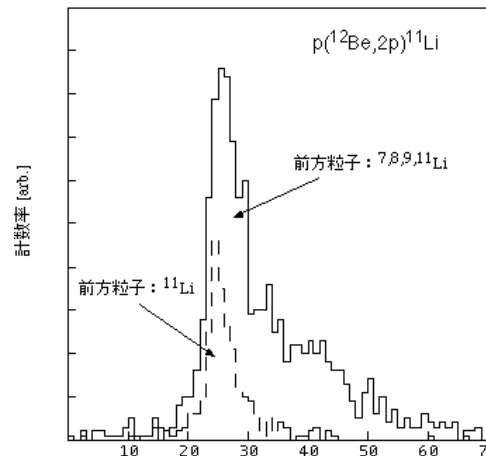


図4： $p(^{12}\text{Be}, 2p)^{11}\text{Li}$  反応の陽子分離エネルギー分布

3. まとめと今後

今年度は、ロックアウト反応で生成される残留核からの崩壊粒子を測定する前方磁気分析器を完成させ、いくつかの測定を行った。以後、250MeV/A という高い入射エネルギーでの陽子 / 中性子過剰核からの陽子 / クラスタロックアウト反応を新しい SB2 ビームラインで継続する予定である。

- a. 東北大学理学部
- b. 理化学研究所 放射線研究室
- c. 高エネルギー物理学研究所
- d. 京都教育大学教育学部
- e. 放医研 医用重粒子物理工学研究部