

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 25 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25800125

研究課題名(和文)「クラスター・RI宇宙核物理」の創設

研究課題名(英文) Establishment of cluster-RI nuclear astrophysics

研究代表者

山口 英斉 (Yamaguchi, Hidetoshi)

東京大学・理学系研究科・講師

研究者番号：30376529

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、宇宙核物理・原子核クラスター両方の分野にまたがるテーマを不安定核(RI)ビームを用いて研究するという、世界でも例が皆無な先駆的な実験的研究を行った。具体的には、宇宙における天体核反応と粒子クラスターの両面の興味から、 $150+\alpha$ (^{19}Ne 原子核)と $10\text{Be}+\alpha$ (^{14}C 原子核)の2つの系に関する共鳴状態の測定を行った。両実験において多数の共鳴を観測し、特に後者において興味深い直鎖状態の兆しを発見した。実験の成功によって、「RI・クラスター宇宙核物理」という新分野研究の一步を踏み出すことができた。

研究成果の概要(英文)：I have performed a pioneering study ranging on the topics of both nuclear astrophysics and nuclear clusters, using radioactive-isotope (RI) beam. Such study has scarcely been conducted in the world so far. The resonances in two nuclear systems, $150+\alpha(^{19}\text{Ne})$ and $10\text{Be}+\alpha(^{14}\text{C})$ were the targets of the present study. Many resonances were observed in each of the systems, and there was an indication of a special linear-chain state in the latter system. The success of the experiment will lead us to an establishment of the new field of study, the "RI-cluster nuclear astrophysics".

研究分野：実験核物理

キーワード：宇宙核物理 原子核クラスター RIビーム

1. 研究開始当初の背景

近年の核物理研究のうちで、RI、クラスター、宇宙核物理は、それぞれ重要な分野として確立されている。しかし、これら3分野を統一した視点からの実験研究は行われていなかった。

2. 研究の目的

これまで統一的に研究されることのなかった、不安定核(RI)、クラスター、宇宙核物理を総合する分野「クラスター・RI宇宙核物理」を創設し、推進する。その第一歩として、 ^{15}O (酸素-15) $^{+}$ 粒子から成る ^{19}Ne (ネオン-19)の系を取り上げ、実験研究を行う。

3. 研究の方法

東大 CNS の CRIB 施設にて、 ^{15}O RI ビームを生成する。それを利用した 共鳴散乱の測定を行い、不安定核 ^{19}Ne の クラスター構造に関する情報を得る。測定の結果から、宇宙の元素合成における重要反応の $^{15}\text{O}(\alpha, n)^{19}\text{Ne}$, $^{18}\text{F}(p, n)^{18}\text{O}$ の起こりやすさを評価する。また、 ^{19}Ne の クラスター構造を ^{20}Ne との比較を行い議論する。

4. 研究成果

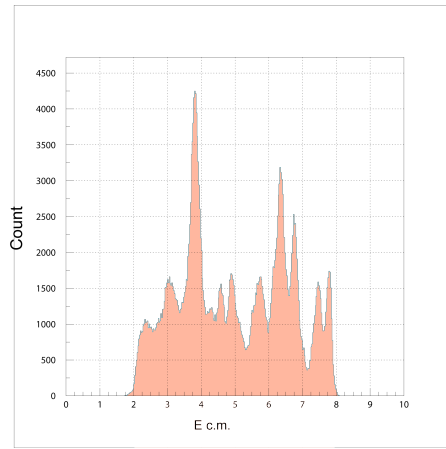
(1) CRIB 施設において初めて ^{15}O 不安定核ビームの生成に成功した。1秒間に 10^6 個という高強度のビームが 100%に近い高純度で得られることを実証することができた。

(2) 研究を進めていくうちに、 $^{10}\text{Be}^{+}$ 系もクラスター・宇宙核物理における大きな重要性があることが明らかとなり、本研究対象に加えることとした。CRIB 施設において ^{10}Be 不安定核ビームの開発を行い、1秒間に 2×10^4 個の強度のビームを得ることができた。

(3) 不安定核ビームとヘリウム標的の散乱実験を行うための実験装置を、今回の研究目的に合わせた設計に基づき、作成した。過去の共鳴散乱実験装置と比較し、より広い散乱角度に対する解析ができるよう、大型チェンバー内にヘリウム気体を満たし、その中に位置感度のあるシリコン検出器系を2セット配置するという装置を構築した。

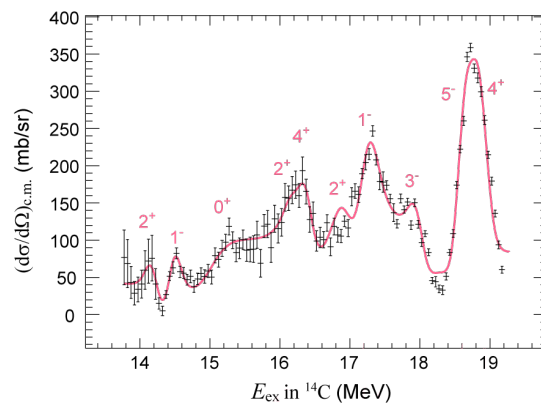
(4) $^{15}\text{O} +$ 系に対して共鳴散乱実験を遂行した。9日間の実験を行い、散乱イベント数をエネルギーに対してプロットすると(下図)、多数の共鳴と思われるピークを明瞭に観測することができた。

現在詳細な解析を進めている段階であるが、これまで知られていなかったクラスターの共鳴のパラメータが多数決定できる見込みである。これにより、 ^{19}Ne 原子核のクラスター性についての検証ができる。また、宇宙核物理で重要なエネルギー近傍にも共鳴構造が見られ、新星爆発のメカニズムに関する議論が進むことが期待される。



した。

(5) $^{10}\text{Be}^{+}$ 系に対して共鳴散乱実験を遂行した。7.5日間の測定を行い、多数の共鳴と思われるピークを観測した(下図)。R-matrixの手法を用いた解析を進めることで、観測された共鳴のスピン・パリティを決定した。その結果、理論で予言されていた ^{14}C 原子核の興味深いクラスター直鎖状態に実験で観測された共鳴が対応する可能性が出てきており、長年の問題であった核クラスター直鎖状態の現出に関して画期的な議論ができる見込みがある。



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12件)

全て査読有。

(1) A. Kim, N.H. Lee, M. H. Han, J.S. Yoo, K.I. Hahn, H. Yamaguchi, D. Binh, T. Hashimoto, S. Hayakawa, D. Kahl, T. Kawabata, Y. Kurihara, Y. Wakabayashi, S. Kubono, S. Choi, Y. K. Kwon, J. Y. Moon, H. S. Jung, C.S. Lee, T. Teranishi, S. Kato, T. Komatsubara, B. Guo, W. P. Liu, B. Wang, and Y. Wang, "Measurement of the $^{14}\text{O}(\alpha, p)^{17}\text{F}$ cross section at $E_{c.m.} = 2.1\sim 5.3$ MeV", Phys. Rev. C **92**, 035801

- (2015). (7 pages.)
DOI: 10.1103/PhysRevC.92.035801
- (2) S. Cherubini, M. Gulino, C. Spitaleri, G.G. Rapisarda, M. La Cognata, L. Lamia, R.G. Pizzone, S. Romano, S. Kubono, H. Yamaguchi, S. Hayakawa, Y. Wakabayashi, N. Iwasa, S. Kato, T. Komatsubara, T. Teranishi, A. Coc, N. de Sereville, F. Hammache, G. Kiss, S. Bishop, D. N. Binh,
“First application of the trojan horse method with a radioactive ion beam: Study of the $^{18}\text{F}(p,\alpha)^{15}\text{O}$ reaction at astrophysical energies”, *Phys. Rev. C* **92** 015805 (2015). (7 pages.)
DOI: 10.1103/PhysRevC.92.015805
- (3) H. Utsunomiya, S. Katayama, I. Gheorghe, S. Imai, H. Yamaguchi, D. Kahl, Y. Sakaguchi, T. Shima, K. Takahisa, and S. Miyamoto,
“Photodisintegration of ^9Be through the $1/2^+$ state and cluster dipole resonance”, *Phys. Rev. C* **92**, 064323 (2015). (6 pages.)
DOI: 10.1103/PhysRevC.92.064323
- (4) H. Yamaguchi, D. Kahl, S. Hayakawa, Y. Sakaguchi, T. Nakao, Y. Wakabayashi, T. Hashimoto, T. Teranishi, S. Kubono, S. Cherubini, M. Mazzocco, C. Signorini, M. Gulino, A. Di Pietro, P. Figuera, M. La Cognata, M. Lattuada, C. Spitaleri, D. Torresi, P.S. Lee, C.S. Lee, T. Komatsubara, N. Iwasa, Y. Okoda, D. Pierroutsakou, C. Parascandolo, M. La Commara, E. Strano, C. Boiano, A. Boiano, C. Manea, A.M. Sanchez-Benitez, H. Miyatake, Y.X. Watanabe, H. Ishiyama, S.C. Jeong, N. Imai, Y. Hirayama, S. Kimura, M. Mukai, Y.H. Kim, C.J. Lin, H.M. Jia, L. Yan, Y.Y. Yang, T. Kawabata, Y.K. Kwon, D.N. Binh, L.H. Khiem, and N.N. Duy,
“Studies on Nuclear Astrophysics and Exotic Structure at the Low-Energy RI Beam Facility CRIB”, *The Physical Society of Japan Conference Proceedings* **6** 010011 (2015). (8 pages.)
DOI: 10.7566/JPSCP.6.010011
- (5) H. Yamaguchi, D. Kahl, T. Nakao, Y. Wakabayashi, T. Hashimoto, S. Hayakawa, T. Kawabata, T. Teranishi, Y.K. Kwon, D.N. Binh, L.H. Khiem, N.N. Duy, S. Kubono, T. Suhara, Y. Kanada-En'yo, J.Y. Moon, A. Kim, N. Iwasa, P.S. Lee, K.Y. Chae, S.M. Cha, M.S. Gwak, D.H. Kim and E. Milman,
“Nuclear clusters studied with alpha resonant scatterings using RI beams at CRIB”, *Journal of Physics: Conference Series* **569** 012019 (2014). (6 pages.)
DOI: 10.1088/1742-6596/569/1/012019
- (6) H.S. Jung, C.S. Lee, Y.K. Kwon, J.Y. Moon, J.H. Lee, C.C. Yun, M.J. Kim, T. Hashimoto, H. Yamaguchi, D. Kahl, S. Kubono, Y. Wakabayashi, Y. Togano, S. Choi, Y. H. Kim, Y. K. Kim, J.S. Park, E. J. Kim, C.-B. Moon, T. Teranishi, N. Iwasa, T. Yamada, S. Kato, S. Cherubini, S. Hayakawa, G.G. Rapisarda,
“Elastic scattering of $^{25}\text{Al}+p$ to explore the resonance structure in ^{26}Si ”, *Phys. Rev. C* **90** (2014) 035805. (8 pages.)
DOI: 10.1103/PhysRevC.90.035805
- (7) J. Hu, J. J. He, A. Parikh, S. W. Xu, H. Yamaguchi, D. Kahl, P. Ma, J. Su, H.W. Wang, T. Nakao, Y. Wakabayashi, T. Teranishi, K. I. Hahn, J. Y. Moon, H. S. Jung, T. Hashimoto, A. A. Chen, D. Irvine, C. S. Lee, and S. Kubono,
“Examination of the role of the $^{14}\text{O}(\alpha, p)^{17}\text{F}$ reaction rate in type-I x-ray bursts”, *Phys. Rev. C* **90**, 025803 (2014). (7 pages.)
DOI: 10.1103/PhysRevC.90.025803
- (8) H. Yamaguchi, D. Kahl, T. Nakao, Y. Wakabayashi, S. Kubono, T. Hashimoto, S. Hayakawa, T. Kawabata, N. Iwasa, T. Teranishi, Y. K. Kwon, D. N. Binh, L. H. Khiem, N. G. Duy,
“Alpha resonant scattering for astrophysical reaction studies”, *AIP Conference Proceedings* **1594** 220-225 (2014).
DOI: 10.1063/1.4874072
- (9) L.Y. Zhang, J. J. He, A. Parikh, S. W. Xu, H. Yamaguchi, D. Kahl, S. Kubono, P. Mohr, J. Hu, P. Ma, S. Z. Chen, Y. Wakabayashi, H. W. Wang, W. D. Tian, R. F. Chen, B. Guo, T. Hashimoto, Y. Togano, S. Hayakawa, T. Teranishi, N. Iwasa, T. Yamada, T. Komatsubara, Y. H. Zhang, X. H. Zhou,
“Investigation of the thermonuclear $^{18}\text{Ne}(\alpha, p)^{21}\text{Na}$ reaction rate via resonant elastic scattering of $^{21}\text{Na}+p$ ”, *Phys. Rev. C* **89**, 015804 (2014). (13 pages)
DOI: 10.1103/PhysRevC.89.015804
- (10) H. Yamaguchi, D. Kahl, T. Nakao, Y. Wakabayashi, S. Kubono, T. Hashimoto, S. Hayakawa, T. Kawabata, N. Iwasa, T. Teranishi, Y.K. Kwon, P.S. Lee, D.N. Binh, L.H. Khiem, and N.N. Duy,
“Studies on alpha-induced astrophysical reactions using the low-energy RI beam separator CRIB”, *EPJ Web of Conferences* **66**, 07027 (2014). (4 pages)
DOI: 10.1051/epjconf/20146607027
- (11) H. Yamaguchi, D. Kahl, T. Nakao, Y. Wakabayashi, S. Kubono, T. Hashimoto, S. Hayakawa, T. Kawabata, N. Iwasa, T. Teranishi, Y.K. Kwon, D.N. Binh, L.H. Khiem and N.N. Duy,
“Recent developments and research projects at the low-energy RI beam facility CRIB”, *Nucl. Instr. and Meth. B*, **317** 664-667 (2013).
DOI: 10.1016/j.nimb.2013.05.090
- (12) S. J. Jin, Y. B. Wang, J. Su, S. Q. Yan, Y. J. Li, B. Guo, Z. H. Li, S. Zeng, G. Lian, X. X. Bai, W. P. Liu, H. Yamaguchi, S. Kubono, J. Hu, D. Kahl, H. S. Jung, J. Y. Moon, C. S. Lee, T. Teranishi, H. W. Wang, H. Ishiyama, N. Iwasa, T. Komatsubara, and B. A. Brown,
“Resonant scattering of $^{22}\text{Na}+p$ studied by the

thick-target inverse-kinematic method”, Phys. Rev. C **88**, 035801 (2013). (8 pages.)
DOI: 10.1103/PhysRevC.88.035801

〔学会発表〕(計 19 件)

全て口頭発表。

(1) H. Yamaguchi:

“Experimental study on astrophysical reactions with low-energy RI beams”, The 13th Russbach School on Nuclear Astrophysics, Mar. 6-11, 2016, Russbach am Pass Gschutt, Austria.

(2) H. Yamaguchi:

“Recent activities at the low-energy RI beam separator CRIB”, RIBF Users Meeting 2015, Sep. 10-11, 2015, RIKEN Nishina Center, Wako, Saitama, Japan.

(3) H. Yamaguchi (招待):

“Studying astrophysical reactions with low-energy RI beams at CRIB”, The 12th International Conference on Nucleus-Nucleus Collisions (NN2015), Jun. 21-26 2015, Department of Physics and Astronomy, Catania University, Italy.

(4) H. Yamaguchi (招待):

“Nuclear astrophysics projects with low-energy RI beams at CRIB”, Pioneering Symposium: “Nuclear physics at the RIB facilities”, in Korean Physical Society Meeting, Apr. 22-24, 2015, Daejeon Convention Center, Daejeon, Korea.

(5) H. Yamaguchi (招待):

“Nuclear astrophysics, reaction, and structure studies at the low-energy RI beam separator CRIB”, The International Symposium on Physics of Unstable Nuclei 2014 (ISPUN14), Nov. 3-8, 2014, Hotel New World Saigon, Ho Chi Minh City, Vietnam.

(6) 山口英斉:

「 α 共鳴散乱測定によるクラスター状態探索」, 第 10 回 RIBF 討論会「反応実験で探るクラスター状態」, 2014 年 9 月 25 日, 京都大学基礎物理学研究所(京都府京都市).

(7) H. Yamaguchi (招待):

“Studies on Nuclear Astrophysics and Exotic Structure at the Low-Energy RI beam Facility CRIB”, The 2nd Conference on Advances in Radioactive Isotope Science (ARIS2014), Ito International Center, Jun. 2-6, 2014, Tokyo, Japan.

(8) H. Yamaguchi:

“Proton resonance elastic scattering of ^7Be at CRIB”, RIBF-ULIC mini workshop: “The way to

evaluate the inelastic channel in the proton resonance elastic scattering”, May 31, 2014, RIKEN Nishina Center, Wako, Saitama, Japan.

(9) H. Yamaguchi (招待):

“Studying alpha-cluster structure using low-energy RI beam”, 3rd International Workshop on State of the Art in Nuclear Cluster Physics (SOTANCP3), May 26-30, 2014, KGU Kannai Media Center, Kanto Gakuin University, Yokohama, Japan.

(10) H. Yamaguchi:

“Recent status and technical aspects of RI Beam separator CRIB”, Nuclear physics seminar at RISP, Feb. 28, 2014, IBS, Daejeon, Korea.

(11) H. Yamaguchi:

“The low-energy RI beam facility CRIB for astrophysics and nuclear structure studies”, JUSTIPEN-JUSEIPEN Workshop, Dec. 9-12, 2013, RIKEN, Wako, Saitama, Japan.

(12) H. Yamaguchi:

“Alpha resonant scattering for astrophysical reaction studies”, The 12th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of the Galaxies (OMEG12), Nov. 18-22, 2013, Epochal Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki, Japan.

(13) H. Yamaguchi:

“Recent status of the low-energy RI beam separator CRIB”, 1st RIKEN-RISP Joint Workshop, Nov. 7-8, 2013, IBS, Daejeon, Korea.

(14) H. Yamaguchi:

“Studies on astrophysical reactions using low-energy RI beam at CRIB”, SKKU Symposium on Astrophysics and Cosmology: from Particle to Universe, Oct. 4 and Dec. 2-4, 2013, SKKU Natural Sciences Campus, Suwon, Korea.

(15) H. Yamaguchi:

“Studying alpha-cluster structure using low-energy RI beam”, RCNP 研究会「核子・ハイペロン多体系におけるクラスター現象」, 2013 年 7 月 26 - 27 日, 横浜メディア・ビジネスセンター8F KGU 関内メディアセンター(神奈川県横浜市).

(16) H. Yamaguchi:

“Recent activities at CRIB - nuclear astrophysics, reaction, and structure studies with low-energy RI beam”, RIBF Users Meeting 2013, Jun. 26-27, 2013, RIKEN Nishina Center, Wako, Saitama, Japan.

(17) H. Yamaguchi:

“Studies on alpha-induced astrophysical reactions using the low-energy RI beam separator CRIB”, The 25th International Nuclear Physics Conference (INPC 2013), Jun. 2-7 2013, Firenze, Italy.

(18) Hidetoshi Yamaguchi:

“Studies on nuclear reaction and structure using low-energy RI beams at CRIB”, Workshop on the INFN-RIKEN collaboration on nuclear physics activities, May 17, 2013, Istituto Italiano di Cultura di Tokyo, Tokyo.

(19) H. Yamaguchi (招待):

“Nuclear astrophysics and structure studies using low-energy RI beams”, Pioneering Symposium: “The Third Generation of RIB Facilities”, Korean Physical Society Meeting, Apr 24-26, 2013, Daejeon, Korea.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口 英斉 (YAMAGUCHI, Hidetoshi)
東京大学・理学系研究科・講師
研究者番号：30376529