

RIKEN-JCPRG 共同研究報告

Report on the RIKEN-JCPRG research collaboration

北海道大学大学院理学研究院

合川 正幸、加藤 幾芳、古立 直也、牧永 あや乃

AIKAWA Masayuki, KATŌ Kiyoshi, FURUTACHI Naoya, MAKINAGA Ayano
Faculty of Science, Hokkaido University

Abstract

Under the collaborative research between Hokkaido University Nuclear Reaction Data Centre (JCPRG) and RIKEN Nishina Center, we performed compilation of RIBF data and theoretical evaluation of astrophysical nuclear data. The research was carried on from January 2010 to March 2014 and successfully finished.

1 はじめに

理化学研究所 RI ビームファクトリー (RIBF) では不安定核ビーム実験が進められており、これまで測定できなかった核反応データが順調に得られている。それらのデータは、世界中の利用者に効率的に提供する必要がある。そこで、理化学研究所仁科センターと北海道大学原子核反応データベース研究開発センター (JCPRG) では、共同研究「RIBF 核データの高度利用」のもと、得られた核データを国際核反応データベース (EXchange FORmat: EXFOR) に入力し、同時に利便性の向上に関する研究開発を行った [1]。また、EXFOR データベースに収録されたデータを用いて、リチウム標的中性子入射反応など、天体核反応データの評価研究を行った。

ここでは、2010 年 1 月～2014 年 3 月に実施した本共同研究の概要を報告する。

2 データベースの研究開発

RIBF では、2006 年 12 月の初ビーム取り出し以来、世界初となる本格的な不安定核ビーム実験が順調に進められている。これにより、RIBF 完成以前には測定が難しかった不安定核に関する様々なデータが得られることになった。それらのデータをインターネットやその他の方法で利用可能にすることが、核データや原子核物理学など、様々な分野で必要になると考えられる。そこで本共同研究により、RIBF で観測・測定された新たな核反応データを、国際原子力機関 (International Atomic Energy Agency: IAEA) 及び国際核データネットワーク (International Network of Nuclear Reaction Data Centres: NRDC) が構築している EXFOR に入力し、高度利用するための研究開発を行ってきた [2–10]。

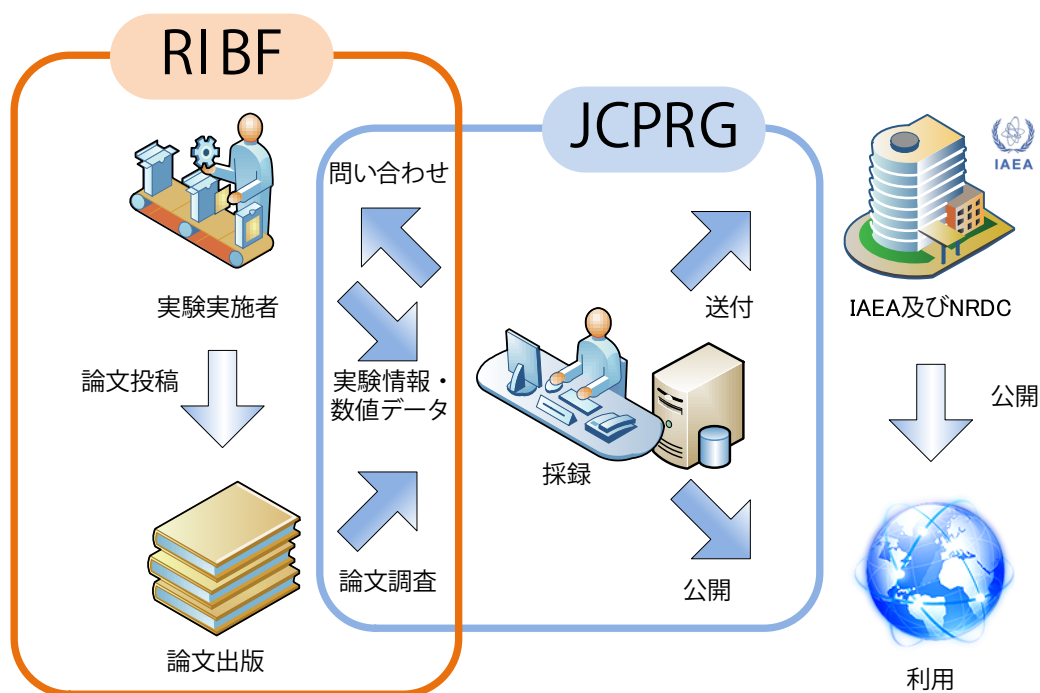


図 1: プロセス

RIBF で行われる実験には、複雑で精密な、これまでとは大きく異なる反応が含まれており、反応式の記述や物理量などを適切な形式でデータベース化することが重要になる。そのような課題のもとで研究を推進し、これまでに毎年 1-2 回の頻度でワークショップを開催してきた [11–15]。その結果、RIBF で実施され、論文として学術雑誌に発表された実験データについては、論文発行後速やかに著者と連絡を取り、数値データを得て、データベース化することが可能になった (図 1)。また、場合によっては EXFOR 形式のデータを著者に直接確認をいただいている。このようにして入力したデータについては、理研仁科センターニュースに掲載するとともに、JCPRG ホームページ上で公開した [1]。

さらに、データ利用者の視点にたって、より一層利便性の向上に努める必要がある。そこで、効率的な入力及び利用の促進を目的として、世界標準となっている XML 技術を用いた新形式への移行を検討した [16,17]。この新形式と、北海道大学知識メディア・ラボラトリーで開発されたソフトウェア開発環境 WebbleWorld を用いた各種ユーザインターフェース等により、利便性が向上することが期待できる [18,19]。このように、核データの収集・整備を継続しつつ、利便性の向上を追求していくことが、引き続き重要になると考えられる。

3 評価研究

宇宙核反応データの収集、原子核物理学の視点による評価研究を実施している。天体核反応で重要な ${}^6,7\text{Li}+n$ 反応について、離散化連続チャネル結合法 (Continuum-Discretized Coupled-Channels: CDCC) 法を用いた解析を行った [20–25]。

また、宇宙での元素合成過程や原子炉の中性子反射材として重要な ${}^9\text{Be}$ について、複素座標スケールリング法と直交条件模型を用いた研究解析を行っている。 ${}^9\text{Be}$ 原子核は、宇宙での元素合成過程や原子炉の中性子反射材として重要である。しかし、核子数が 9 と少ないこともあり、統計模型で記述するのは難しい。そこで、 ${}^9\text{Be}$ を $\alpha+\alpha+n$ という 3 体クラスター模型で記述し、原子核の性質を調べることは重要である。これまでに、 $\alpha+\alpha+n$ (${}^9\text{Be}$) の前段階として、まずは $\alpha+\alpha$ (${}^8\text{Be}$) 及び $\alpha+n$ (${}^5\text{He}$) の 2 体系について研究を行った [26–29]。

4 まとめ

理化学研究所仁科センターと北海道大学原子核反応データベース研究開発センター (JCPRG) では、共同研究「RIBF 核データの高度利用」を 2010 年 1 月～2014 年 3 月に実施した。この共同研究のもと、RIBF で観測・測定された新たな核反応データを、IAEA 及び NRDC が維持・管理している EXFOR データベースに入力した。また、より利便性を向上させるための研究開発を行った。さらに、EXFOR データベースに収録されたデータを用いて、天体核反応データの評価研究を行った。

本共同研究の発展として、放射性廃棄物の核変換処理について調査、議論を行った [30]。その結果、RIBF グループが申請した原子力システム研究開発事業「長寿命核分裂核廃棄物の核変換データとその戦略」が採択されている。

このように、本共同研究は多岐に渡る研究開発を実施し、成功裏に終了した。

謝辞

本成果の一部は北海道大学大学院理学研究院と独立行政法人理化学研究所の共同研究「RIBF 核反応データの高度利用研究」の助成によるものです。

参考文献

- [1] RIKEN-JCPRG collaboration: <http://jcprg.org/riken/>
- [2] 古立直也、合川正幸、加藤幾芳、「理研-JCPRG 共同研究」、北海道大学原子核反応データベース研究開発センター年次報告 No.1, 47 (2012)
- [3] 牧永あや乃、古立直也、合川正幸、加藤幾芳、「RIKEN-JCPRG 共同研究」、北海道大学原子核反応データベース研究開発センター年次報告 No.2, 40 (2013)
- [4] K. Kato, M. Kimura, N. Otuka, T. Asano, N. Furutachi, A. Makinaga, T. Matsumoto, T. Togashi, K. Tsubakihara, “Contribution of Nuclear Reaction Data Centre to RIKEN Nishina Center”, RIKEN Accel. Prog. Rep. 43, 62 (2010)
- [5] K. Tsubakihara, M. Kimura, N. Otuka, N. Furutachi, A. Makinaga, T. Matsumoto, K. Kato, “EXFOR Compilation of New RIKEN Data in 2011”, RIKEN Accel. Prog. Rep. 44, 58 (2011)
- [6] N. Furutachi, M. Aikawa, V. Devi, D. Ichinkhorloo, M. Kimura, A. Makinaga, T. Matsumoto, M. Odsuren, N. Otuka, K. Tsubakihara, K. Yamamoto, K. Kato, “Compilation of experimental nuclear reaction data from RIKEN”, RIKEN Accel. Prog. Rep. 45, 48 (2012)

- [7] N. Furutachi, A. Makinaga, V. Devi, D. Ichinkhorloo, K. Katō, M. Odsuren, N. Otuka, K. Tsubakihara, M. Aikawa, “Compilation of the nuclear reaction data produced at RIBF”, RIKEN Accel. Prog. Rep. 46, 56 (2013)
- [8] A. Makinaga, V. Devi, M. Aikawa, S. Ebata, N. Furutachi, D. Ichinkhorloo, K. Katō, M. Odsuren, N. Otuka, K. Tsubakihara, “Compilation of nuclear reaction data from RIBF”, RIKEN Accel. Prog. Rep. 47, (2014) in press
- [9] A. Makinaga, M. Aikawa, K. Katō, A. Kohama, H. Otsu, H. Sakurai, “JCPRG-RIKEN Nuclear Data Project”, INDC(KAS)-001, 16, (2014)
- [10] M. Aikawa, S. Ebata, N. Furutachi, D. Ichinkhorloo, K. Katō, A. Makinaga, V. Devi, M. Odsuren, N. Otsuka, M. Takibayeva, K. Tsubakihara, “International and Asian Collaboration on Nuclear Data”, INDC(KAS)-001, 54, (2014)
- [11] 椿原康介、加藤幾芳, 「理研 RIBF ミニワークショップ「世界に発信する不安定核実験のデータベース作成」の報告」, 荷電粒子核反応データファイル年次報告 No.24, 39 (2011)
- [12] VIDYA Devi, ODSUREN Myagmarjav, FURUTACHI Naoya, “Summary Report of the mini-Workshop on the Problems and Future Development of the Experimental Data Compilation of Unstable Nuclei Beam Experiments”, 北海道大学原子核反応データベース研究開発センター年次報告 No.1, 81 (2012)
- [13] ODSUREN Myagmarjav, AIKAWA Masayuki, “Report of the RIBF ULIC mini-Workshop: Nuclear reaction database of unstable nuclei beam experiments and its application”, 北海道大学原子核反応データベース研究開発センター年次報告 No.2, 72 (2013)
- [14] 牧永あや乃、合川正幸、加藤幾芳、江幡修一郎, 「会議報告「The JCPRG-RNC Joint Workshop on Nuclear Data」」, 北海道大学原子核反応データベース研究開発センター年次報告 No.3, 50 (2014)
- [15] M. Aikawa, A. Makinaga, S. Ebata, K. Katō, A. Kohama, H. Otsu, H. Sakurai, “JCPRG-RNC joint workshop on nuclear data”, RIKEN Accel. Prog. Rep. 47, (2014) in press
- [16] 椿原康介、松本琢磨、合川正幸、加藤幾芳, 「XML ベースの新フォーマットの提案」, 北海道大学原子核反応データベース研究開発センター年次報告 No.1, 23 (2012)
- [17] M. Aikawa, M. Chiba, S. Ebata, T. Katayama, K. Katō, A. Makinaga, H. Noto, K. Tsubakihara, “Nuclear data format suitable simultaneously for databases, experimentalists and users”, RIKEN Accel. Prog. Rep. 47, (2014) in press
- [18] 大木平、椿原康介、合川正幸、加藤幾芳, 「Webble World を用いた新たな核データベース利用システムに向けて」, 北海道大学原子核反応データベース研究開発センター年次報告 No.2, 23 (2013)
- [19] 江幡修一郎, 「2013 年度 JCPRG の Web サービス環境の更新と核データベース利用システムの開発」, 北海道大学原子核反応データベース研究開発センター年次報告 No.3, 31 (2014)

- [20] T. Matsumoto, D. Ichinkhorloo, Y. Hirabayashi, K. Katō and S. Chiba, “Systematic description of the ${}^6\text{Li}(n,n){}^6\text{Li} \rightarrow d + \alpha$ reactions with the microscopic coupled-channels method”, Phys. Rev. C 83, 064611 (2011)
- [21] T. Matsumoto, K. Katō and M. Yahiro, “New description of four-body break-up reaction”, AIP Conference Proceeding 1342, 49 (2011)
- [22] D. Ichinkhorloo, Y. Hirabayashi, K. Katō, M. Aikawa, T. Matsumoto, S. Chiba, “Analysis of ${}^7\text{Li}(n,n'){}^7\text{Li}$ reactions using the continuum-discretized coupled-channels method”, Phys. Rev. C 86, 064604 (2012).
- [23] D. Ichinkhorloo, T. Matsumoto, Y. Hirabayashi, K. Katō and S. Chiba, “Analysis of $n + {}^6\text{Li}$ Reactions Using the Continuum-Discretized Coupled-Channels Method”, Jour. Nucl. Sci. Tech. 48, 1357 (2011)
- [24] D. Ichinkhorloo, T. Matsumoto, Y. Hirabayashi, K. Katō and S. Chiba, “ ${}^6\text{Li}+n$ Reactions in the Continuum Discretized Coupled Channels method”, AIP Conference Proceeding 1342, 102 (2011)
- [25] Masayuki Aikawa, Yoshiharu Hirabayashi, Kiyoshi Kato, “Low-Energy Nuclear Reactions of Light Nuclei”, Proceedings of the 2011 Symposium on Nuclear Data, JAEA-Conf 2012-001, 107 (2012).
- [26] M. Odsuren, K. Katō, M. Aikawa, T. Myo, “Decomposition of scattering phase shifts and reaction cross sections using the complex scaling method”, Phys. Rev. C 89, 034322 (2014)
- [27] M. Odsuren, K. Katō, M. Aikawa, T. Myo, “Resonance and Continuum Contributions for the Scattering Phase Shift”, JPS Conf. Proc. 1, 013061 (2014)
- [28] M. Odsuren, K. Katō, M. Aikawa, T. Myo, “SCATTERING PHASE SHIFTS OF TWO-BODY SYSTEMS USING THE COMPLEX SCALING METHOD”, INDC(KAS)-001, 24, (2014)
- [29] ODSUREN Myagmarjav, EBATA Shuichiro, ICHINKHORLOO Dagvadorj, MAKINAGA Ayano, KATŌ Kiyoshi, AIKAWA Masayuki, “Evaluation Activities at JCPRG”, 北海道大学原子核反応データベース研究開発センター年次報告 No.3, 19 (2014)
- [30] A. Makinaga, M. Aikawa, K. Katō, A. Kohama, H. Otsu, H. Sakurai, “Systematic study of nuclear data for nuclear transmutation”, RIKEN Accel. Prog. Rep. 47, (2014) in press