

# RIKEN-JCPRG 共同研究

## Current status of RIKEN-JCPRG research collaboration.

北海道大学大学院理学研究院  
古立 直也、合川 正幸、加藤 幾芳

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

### Abstract

This report summarizes the current status of RIKEN-JCPRG research collaboration. The registration of RIBF data in the nuclear reaction database, problems in the compilation of RIBF data, and some other activities are reported.

## 1 はじめに

核反応データは、学術研究のみならず、原子力工学や核医学などにおいても不可欠であり、基礎科学から工学・応用に至るまで重要な役割を果たしている。現在 RI ビームファクトリー (RIBF) が世界初の次世代不安定核加速器として稼働を開始し、これまでにない核反応データが得られつつあるため、それらのデータを国際的データベースに入力し、データベースの充実を図り、その利用を促進することは重要な課題である。

RIBF で得られる核反応データ (以下 RIBF データ) の収集・公開・利用の促進のため、我々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) と理化学研究所仁科センターは共同研究協定を締結し、2010 年 1 月より共同研究「RIBF 核反応データの高度利用研究」を進めている [1-3]。

JCPRG では、共同研究の具体的な取り組みとして RIBF データの核反応データベースへの登録、現状のデータベース登録における問題点の分析と新たなデータベースフォーマットの研究、データ収集範囲の拡大の検討などを行ってきた。以下に、それぞれの取り組みについての内容を報告する。

## 2 RIKEN-JCPRG 共同研究の取り組み

### 2.1 RIBF 実験データの収集・公開

理研 RIBF を用いて得られた核反応データを速やかかつ正確に採録し、国際核反応データベース EXFOR を通して世界中に配信することは最も基本的な課題である。図 1 に 2007 年以降に公刊された査読付き論文の EXFOR への登録状況と、どの施設の実験データに基づいた論文であるかの内訳を示す。毎年公刊される論文の内、年平均 10 編程度で最大の割合となっているのが理研 RIBF を用

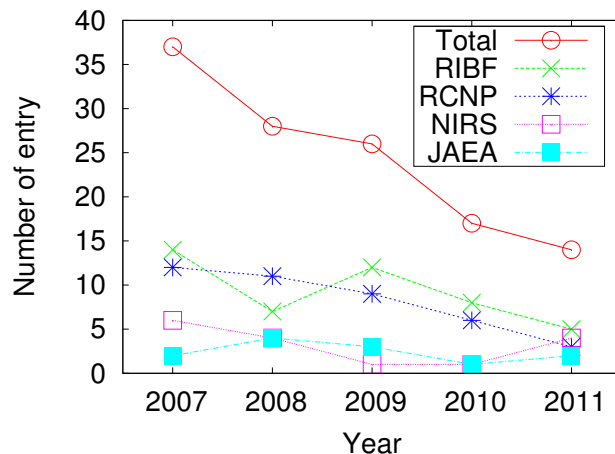


図 1: 2007~2011 年公刊論文の登録状況と、どの施設の実験データに基づいた論文であるかの内訳。2011 年公刊論文に関しては、2011 年度末時点で数編が EXFOR に未登録。

いた実験の論文であり、その重要性がわかる。今年度は2010, 2011 年公刊の論文から、RIBF データを含む 12 論文 [4-16] を新たに EXFOR に登録した。各論文に対応したエントリーの登録日時を表 1 に示す。今年度は 3 回に分けて 4 編ずつの登録を行い、TRNS.E067 の送信により 2011 年公刊論文の大部分の登録が完了した。

また、RIBF データが EXFOR を通して公開されたことを速報するため、RIBF データの公開・採録状況を 2012 年 3 月の「仁科センターニュース」に寄稿し、JCPRG による 2010 年 7 月以降の EXFOR へのデータ登録状況を報告した。今後はデータ登録・採録状況を毎月仁科センターニュースにて報告する。

表 1: 今年度 EXFOR に新たに登録された RIBF データ

TRANS	送信日	エントリー			
E065	2011.05.18	E2200	E2284	E2286	E2287
E066	2011.10.08	E2290	E2324	E2325	E2327
E067	2012.01.31	E2298	E2345	E2346	E2350

## 2.2 RIBF データ採録における課題の分析

近年の実験技術の進歩に伴い、より複雑な核反応実験のデータが増えつつあるが、その一部には、現在の EXFOR フォーマットでは採録の難しいものが存在する。特に RIBF で行われる不安定核実験では、採録の難しい反応の存在が予想される。そのため、今後 RIBF データを採録にするにあたり、現状の EXFOR フォーマットでの採録の問題点を分析することが必要である。我々は、2008 年以降に公刊された論文から採録された RIBF データに関する EXFOR エントリーを分析し、反応の記述に問題があるものを探した。これらの EXFOR エントリーの反応部分の記述と、問題点を次に記す。

- E2173 [16]  
REACTION: 1-H-1(4-BE-14,N+X)4-BE-12,,DE,,MSC

Contribution of  $1\text{H}+^{14}\text{Be}$  (0.28 MeV) inelastic scattering subtracted

STATUS: (TABLE) Plotted in Fig. 2 of Phys. Lett. B690 (2010) 245 (Data received by e-mail from Y.Kondo)

EXFOR のフォーマットでは正確な反応・物理量の記述ができないため、REACTION フィールド SF8 に MSC (Miscellaneous Information) を用いた例。この実験では  $^{14}\text{Be}$  の分解反応が行われているが、 $^{14}\text{Be}$  の分解反応では 2 つの反応過程が考えられる。一つは  $^{14}\text{Be}$  が非弾性散乱の後  $^{12}\text{Be}+n+n$  に崩壊する過程、もう一つは  $^{14}\text{Be}$  が  $^{13}\text{Be}$  に分解した後  $^{13}\text{Be}$  が  $^{12}\text{Be}+n$  に崩壊する過程。この実験ではこの二つの反応過程を区別し、後者の反応過程を抜き出すことで非束縛の  $^{13}\text{Be}$  基底状態を測定している。EXFOR では、これらの反応過程の区別ができないため、反応、物理量の正確な記述ができない。

- E2096 [17]

REACTION: 1-H-1(6-C-19,3N+P)6-C-16,PAR,IPA/DE,N+RSD,REL)

STATUS: (TABLE) Data (Fig. 1(c), p322 of reference) sent by e-mail from Y.Satou (2008.05.27)

この実験では、 $^{19}\text{C}$  の分解反応が行われている。データの採録を行った Fig. 1(c) には  $^{16}\text{C}+n$  の相対エネルギーに関する Count が与えられており、 $^{17}\text{C}$  の共鳴状態を経由して  $^{16}\text{C}+n$  に崩壊する過程を想定しているものと思われる。E2173 と同様に何らかの方法で反応過程を区別している可能性があり、正確な反応・物理量の記述ができていない可能性がある。

- E2139 [18]

REACTION: 82-PB-0(6-C-15,INL)82-PB-0,,IPA/DE)

STATUS: (TABLE) Plotted in Fig. 1 of J,PR/C,79,035805

この実験では  $^{15}\text{C}$  のクーロン分解反応が行われている。クーロン分解反応は入射粒子が仮想光子を吸収する反応として理解される反応であり、どのような反応の記述が利用者にとって良いのかが難しい反応である。この反応では次のような反応の記述もあり得る。

REACTION: 82-PB-0(6-C-15,N+X)6-C-14,IPA/DE,N+RSD

不安定核ビームを用いた実験では、今後も E2173, E2096 と同種の問題が存在する可能性が高い。現在 EXFOR に未登録の  $^8\text{He}$  分解反応 [19] 実験 (E2270) にも同じ問題が存在する。

E2173, E2096 の例は、反応の記述として“著者が想定している反応過程”を用いるのであれば、連続反応の記述により解決する問題であると考えられる。例えば、

- E2173: 1-H-1(4-BE-14,N)4-BE-13(N)4-BE-12

- E2096: 1-H-1(6-C-19,2N+P)6-C-17(N)6-C-16

などの記述が考えられる。このような記述が可能であれば、著者が想定している反応を記述することができる。

著者の想定している反応過程と、それを判別するために実際に行っている測定が妥当なものであるとは限らないことは、検討すべき問題である。しかし、E2173 の例の場合、著者が想定している反応過程を区別するために実際に行った測定を正確に記述することは非常に難しい。実際の複雑な測定をそのままデータベース化することは検索、利用の面から考えて必ずしも有意義であるとは限らない。

これらの分析により、RIBF データ採録における問題点の解決方の一つとして EXFOR における連続反応の記述をなんらかの形でコード情報として含める提案をすることを検討している。

また、JCPRG では NRDF をベースとした新たなデータベースフォーマットの開発を行っている [22]。新データベースフォーマットでは、上記のような連続反応の記述を可能とすることを検討している。

今後も RIBF データの分析を継続し、EXFOR フォーマット改善の提案や、新データベースフォーマットの策定に活かす予定である。

### 2.3 RIBF データ採録範囲拡張の検討

これまで JCPRG では、理研 RIBF で得られたデータの内、査読付き論文に掲載されたものだけを採録対象としてきた。これは、データベースに登録するデータの妥当性を考慮するにあたり、査読付き論文に掲載されることを基準として設けていたためである。しかし、査読付き論文に掲載されていないデータの中にも多くの有用なデータが存在することが考えられる。また、プロシーディングス等に掲載されるデータの採録は、速報性の面において大きな意義がある。このため、査読付き論文以外から RIBF データを採録する可能性を検討した。

今年度は、プロシーディングスから RIBF データを採録する可能性を検討するため、RIBF データが掲載された conference proceedings がどの程度あるかを調査した。RIBF データが掲載されたプロシーディングスは、RIKEN Accelerator progress report 42-44 (2008-2010) 巻末 publication list の “Heavy ion Nuclear physics laboratory”、“Radioactive isotope physics laboratory”、Super heavy element laboratory”のリストから調査した。理論論文を除く 90 稿の内、23 稿が理研 RIBF 施設を用いた実験のプロシーディングスであった。このうち、2つのプロシーディングス [20,21] に EXFOR に採録可能なデータが掲載されており、かつそれらのデータが本論文になっていないことがわかった。これらのプロシーディングスは、既に 4 年前の 2008 年に公刊されており、ここからデータ採録を行うことは速報性の面で重要である。今回は調査範囲を限定したため該当するプロシーディングスの数は少なかったが、未採録の RIBF データを含むプロシーディングスがまだ数多く存在する可能性がある。

### 2.4 理研 RIBF ミニワークショップと今後の取り組み

理研仁科センターで行われる原子核反応実験の状況と、JCPRG の RIBF データ採録における課題を相互に理解し、RIKEN-JCPRG の共同研究の今後について議論するため、理研 RIBF ミニワークショップ「不安定核ビーム反応実験データ採録の課題と将来」を 2011 年 12 月に開催した。前年度 2010 年 8 月に開催した理研 RIBF ミニワークショップ「世界に発信する不安定核反応実験のデータベース作成」に引き続いての開催となる [23]。ここでは、本会議を通じて行われた、今後の RIBF データ採録範囲の拡張や、採録活動における RIKEN-JCPRG の協力についての具体的な議論、決定事項について報告する。

- RIBF データの把握

今後理研 RIBF で行われる実験を JCPRG の側でもできる限り把握する。これにより、本論文、プロシーディングスとして発表されたデータの採録漏れを防ぐ。また未発表データの存在を把握し、それらのデータを採録する可能性を検討するのに活かす。具体的には、a) 採択済み実験課題の成果一覧を共用促進担当者から受領する。b) RIKEN Accel. Prog. Rep. を確認する。c) 可能であれば、JCPRG のメンバーが PAC を受講する。などの取り組みを行う。

- プロシーディングスの採録に関して  
今後 JCPRG では、プロシーディングス、博士論文からのデータ採録も検討する。プロシーディングスの採録に関しては、preliminary な実験データをデータベースに登録することが問題になる可能性があるため、採録の可否を著者と慎重に議論する。
- 論文にならないデータの採録の可能性  
論文へ未発表のデータの採録には実験研究者との十分な協議が必要であり、JCPRG では当面採録を行わない。しかし、未発表でも有用なデータはあるはずであり、JCPRG では今後未発表データの把握を行い、採録の可能性についての検討を継続する。EXFOR への登録を行うには書誌情報が必須となるが、書誌情報として RIKEN Accel. prog. rep. などを使用し、付加データとして重要なデータを採録することは可能である。
- RIBF データの速やかな採録・公開  
RIBF データの速やかな採録・公開のため、理研側の協力によりデータ提供を投稿プロセスの一環とすることが可能かどうか検討する。具体的には、PTEP への投稿時に数値データの提供を求めることなどを検討する。

### 3 まとめ

今年度も査読付き論文からの RIBF データの採録、EXFOR を通したデータ公開は滞りなく行われ、年度中に大部分の 2011 年公刊論文のデータ登録を完了するなど採録ペースも改善している。来年度はさらなる速報性の向上を目指し、1~2ヶ月間隔での RIBF データの EXFOR への登録を予定している。

理研 RIBF データ採録における現状のデータベースフォーマットの問題点については、継続した議論が必要である。今年度は一つの大きな問題として連続反応の記述について改善を検討したが、現状の EXFOR フォーマットでは今後も正確な記述のできない反応、物理量が現れることが予想される。ただしこの問題は、複雑な反応をそのまま正確にデータベースに登録することがユーザーにとってどのような意義を持つか、利用や検索の問題と一体となって議論すべき難しい問題である。今後も新たに現れる採録の難しい反応、物理量を EXFOR にどのように採録するかを随時慎重に議論しつつ、問題の分析に努める。

RIKEN-JCPRG 共同研究について議論する理研 RIBF ミニワークショップの開催は本年度で 2 回目の開催となり、上に報告したような具体面について、より深い議論がなされるようになってきた。今後は理研側とより頻繁に議論の機会を設け、具体的な取り組みについてより一層議論を深める予定である。

### 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] 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の作成」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)
- [2] K. Katō *et al.*, RIKEN Accel. Prog. Rep. **43**, 62 (2010)
- [3] K. Tsubakihara *et al.*, RIKEN Accel. Prog. Rep. **44**, 58 (2011)
- [4] T. Ohnishi *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **79**, 073201 (2010) (E2200)
- [5] M. Notani *et al.*, Nucl. Phys. A **738**, 411 (2004) (E2284)
- [6] Jamil-Qureshi Faisal *et al.*, Chin. Phys. Lett., **27**, 092501 (2010) (E2286)
- [7] T. Uesaka *et al.*, Phys. Rev. C **82**, 021602 (2010) (E2287)
- [8] K. Tanaka *et al.*, Phys. Rev. C **82**, 044309 (2010) (E2290)
- [9] N. Nakao *et al.*, Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. A **420**, 218 (1999) (E2298)
- [10] H. Haba *et al.*, Phys. Rev. C **83**, 034602 (2011) (E2324)
- [11] Y. Satoh *et al.*, Phys. Lett. B **697**, 459 (2011) (E2325)
- [12] J. L. Lou *et al.*, Phys. Rev. C **83**, 034612 (2011) (E2327)
- [13] Z. Elekes *et al.*, Phys. Rev. C **82**, 027305 (2010) (E2345)
- [14] K. Sekiguchi *et al.*, Phys. Rev. C **83**, 061001(R) (2011) (E2346)
- [15] T. Yamaguchi *et al.*, Nucl. Phys. A **864**, 1 (2011) (E2350)
- [16] Y. Kondo *et al.*, Phys. Lett. B **690**, 245 (2010) (E2173)
- [17] Y. Satoh *et al.*, Phys. Lett. B **660**, 320 (2008) (E2096)
- [18] T. Nakamura *et al.*, Phys. Rev. C **79**, 035805 (2009) (E2139)
- [19] Z. X. Cao *et al.*, Phys. Lett. B **707**, 46 (2012) (E2370)
- [20] K. Sekiguchi *et al.*, Nucl. Phys. A **805**, 250c (2008)
- [21] N. Aoi *et al.*, Nucl. Phys. A **805**, 400c (2008)
- [22] 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)
- [23] 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’ ”, 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, 79 (2012)