

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

牧永 あや乃、古立 直也、合川 正幸、加藤 幾芳

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

Abstract

This report summarizes the current status of the RIKEN-JCPRG research collaboration. The registration of RIBF data in 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、応用にいた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) が次世代不安定核実験用加速器として稼働し、これまでにない核反応データが得られ始めている。それらの実験データを国際的データベースに inputs 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、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。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を行ってきた。また、原子炉等から排出される長寿命核分裂生成物の消滅処理問題に関わる核データや医療用核データのニーズに取り組む為の検討を行った。

2 RIBF 実験データの収集・公開

2.1 RIBF 実験データ採録報告

RIBF で得られた核反応データの公開、利用を促進するにあたり、査読付き論文に掲載された RIBF 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。今年度は 2011~2013 年公刊の論文から、理研データを含む 15 論文 [3-17] 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を表 1 に示す。また、2012

～2013年公刊論文の内、現在登録中の4論文[18-21]を表2に示す。今年度は計4回の送信により、2012年出版の12論文の内、E2401を除く11論文の登録が完了しており、登録中のエントリーに関しても採録は完了している。

また、昨年度に引き続き、RIBFデータのEXFORへの登録・採録状況を約一か月間隔で「仁科センターニュース」に寄稿した。さらに、今年度途中からは「RIBF核反応データの高度利用研究」を紹介するwebページを立ち上げ[22]、その中でRIBFデータの登録・採録状況を仁科センターニュースへの寄稿と連動して公開した。

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						
E069	2012.06.15	E2326	E2360	E2364	E2368	E2369	E2370	E2371
E070	2012.08.25	E2375						
E072	2013.01.10	E2376	E2378	E2382				
E073	2013.03.01	E2388	E2391	E2404				

表 2: 2012年～2013年公刊論文から登録中の RIBF データ

登録中のエントリー			
E2401	E2405	E2406	E2407

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り、その一部は現在のEXFORフォーマットでは採録が難しい。去年度の報告[1]では、現状のEXFORでは正確な反応、物理量の記述が難しいRIBFデータが存在することを示し、RIBFで行われる不安定核ビームを用いた核反応データの採録では、今後も同様な問題が起こる可能性を指摘した。

今年度も採録の難しい反応、物理量を継続して分析した。2012年度に公刊されたRIBFデータを含む12論文の内、EXFORでは正確な反応・物理量の記述ができず、REACTIONフィールドSF8にMSC (Miscellaneous Information) を用いた例は2編[8, 11]存在した。

- E2370, subentry 002 [8]
REACTION: 1-H-1(2-HE-8,2N+P)2-HE-6,,DA,,MSC
Correspond to ${}^6\text{He}+p$ free scattering
 ${}^6\text{He}$ 破砕片と、反跳陽子の運動学から ${}^8\text{He}$ 中の ${}^6\text{He}$ と陽子の準自由散乱に対応すると思われる部分を抜き出し、微分断面積を導出している。
- E2370, subentry 004 [8]
REACTION: 1-H-1(2-HE-8,2N+P)2-HE-6,,DE,N+RSD,MSC
Results with recoil proton tagging. In Fig. 5, normalized to no tag data at maximum
中間状態である非結合の ${}^7\text{He}$ 共鳴状態を示すエネルギースペクトル。

- E2376, subentry 002 [11]

REACTION: 6-C-12(2-HE-6,N+P+X)2-HE-4,,DE,N+A,MSC

Events with very small 4He polar angles, which correspond to the valence neutron knockout mechanism. Selected from polar angle correlations between the recoil protons and the forward moving 4He fragments.

E2370 同様、⁴He 破砕片と、反跳陽子の運動学から価中性子ノックアウト反応に対応すると思われる部分を抜き出し、微分断面積を導出している。

E2370, subentry 004 では、去年度に議論した反応と同様、中間状態の非結合原子核の共鳴を調べる反応において問題が生じた。また他の 2 つの反応に関しては、詳細な運動学から著者が想定した反応メカニズムを記述する方法がなかった。

現状では、EXFOR の大きな変更・拡張を行わないというのが NRDC の方針であるが [23]、将来的な EXFOR の書式変更について提言を行えるように、今後も上記のような問題の起こった EXFOR エントリーをリストアップし、問題の分析に努める。また、NRDF フォーマットは EXFOR よりも柔軟な書式を有しているため、EXFOR で問題のあったエントリーを NRDF においてより正確に記述する方法を模索する。

3 理研ミニワークショップと今後の取り組み

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) による「RIKEN 核データの高度利用プロジェクト」は 3 年目を迎え、その目的である「RIBF で観測・測定した、不安定核ビームを中心とする実験データのデータベース化」が順調に進んでいる。昨年度実施したワークショップ (WS) では、不安定核実験のデータベース化の課題への取り組み、理論評価活動を始めとし、利用者側からの意見を踏まえ議論を行った。また、本年度 8 月に開催した WS では、核物理研究者、原子力工学研究者、医療物理研究者等の多分野の講演者と共に、核データの測定・理論評価及び利用について現状認識の共有化を行った。今回の WS では、当該プロジェクトの今後の展開の検討を軸に、国内外の核データ活動の進捗状況を確認し、宇宙核物理、核変換、医療への核データの利用の現状と展開について議論を行う。また、最新の IT 技術に関する「知見を共有し」、核データの活用形態拡充の可能性について議論を行った。以下に、採録、評価、実験、IT についての議論をまとめる。

- 採録

現在 RIKEN-JCPRG プロジェクトによる良好な共同研究体制の元、RIBF 実験論文の採録は軌道に乗り順調に進んでいる。電子散乱、ハイパー核等の理学目的で行われるような実験データの採録は、EXFOR では必ずしも優先度が低い。したがって、データファイルは未整備状態である。現在、RIBF では電子散乱実験が推進中であり、これらデータの採録の必要性が出てくる事が見込まれる。まずは既に出版されている論文 1, 2 本を試験的に採録を試みる事は出来ると思われる。この経験を元に、RIKEN-JCPRG 共同で IAEA への提案書 (CP-Memo)(電子入射実験データ採録の重要性について) を提出する事は出来る。寿命等のデータ採録について、NRDF では採録は可能なので採録を試みる。著者が論文に掲載しなかったが採録可能な実験データがある場合について、データの管理やデータベース化の可能性はあるのかについて検討を進める。データベース化が可能な場合、データの質の保証方法を検討する必要がある。ま

た、中高エネルギー陽子線入射データの採録状況はどのようになっているかについて調査を行う必要がある。

- 評価

AMD を利用した評価計算の可能性について、AMD と QMD と実験値の比較の結果の差について報告があった。炭素、酸素や水素等の核反応データは、人体構成物質重要なデータであるので引き続き調査を行う必要がある。場合によっては実験も必要となる。また、両モデルをシミュレーションコードへ取り込む事について、AMD を用いた計算は QMD より計算時間を必要とするために現状では困難であるが、核データファイル化して利用する可能性について議論が行われた。また、JCPRG からは、CDCC を用いたリチウム 6, 7 の中性子入射断面積の評価、酸素 17、ベリリウム 9 の評価について議論が行われた。

- 実験

これまでに理研で行われた RIBF 実験と出版情報や今後行われる予定となっている RIBF 実験データを基に、今後の実験データの採録計画や採録範囲の拡張計画についての議論を行った。また、RIBF での、ウランビームを使った実験が、天体核物理学における r-process や原子力分野における長寿命核分裂生成物等の放射性廃棄物の処理問題に対して貢献が可能であるか議論を行った。

- IT

北海道大学情報科学研究科で開発されている Webble World を導入する事によって、新しい採録エディタや検索システムを構築できる可能性がある。また、実験者が直接採録出来るようなシステムも構築可能。作図パッド等便利機能の追加の可能性がある事が示唆された。また、JCPRG 側と理研側に採録状況ウェブページを開設した旨が報告された。

4 まとめ

今年度中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順調に進んでいる。今年度は採録ペースのさらなる向上、さらに web ページを通じて最新の登録・採録状況を公開するなどの進捗があった。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、継続した議論を行った。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をしつつ、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 3 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、採録データの中身、つまり、医療用核データや放射性廃棄物核データ等の実験や評価活動においても、共同研究が進む事が期待される。

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] 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)
- [2] 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)
- [3] H. Yamaguchi *et al.*, Phys. Rev. C **83** (2011) 034306 (E2326)
- [4] N. Sato *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn **80** (2011) 094201 (E2360)
- [5] A. Ozawa *et al.*, Phys. Rev. C **84** (2011) 064315 (E2364)
- [6] M. Takechi *et al.*, Phys. Lett. B **707** (2012) 357 (E2368)
- [7] J. Chen *et al.*, Phys. Rev. C **85** (2012) 015805 (E2369)
- [8] Z. X. Cao *et al.*, Phys. Lett. B **707** (2012) 46 (E2370)
- [9] H. Haba *et al.*, Phys. Rev. C **85** (2012) 024611 (E2371)
- [10] N. Imai *et al.*, Phys. Rev. C **85** (2012) 034313 (E2375)
- [11] L. H. Lv *et al.*, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. **39** (2012) 065102 (E2376)
- [12] Y. Togano *et al.*, Phys. Rev. Lett. **108** (2012) 222501 (E2378)
- [13] K. Miki *et al.*, Phys. Rev. Lett. **108** (2012) 262503 (E2382)
- [14] K. Tshoo *et al.*, Phys. Rev. Lett. **109** (2012) 022501 (E2384)
- [15] K. Morita *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **81** (2012) 103201 (E2388)
- [16] S. Takeuchi *et al.*, Phys. Rev. Lett. **109** (2012) 182501 (E2391)
- [17] M. U. Khandaker *et al.*, Nucl. Instrum. Methods. Phys. Res. B **296** (2013) 14 (E2404)
- [18] N. Kobayashi *et al.*, Phys. Rev. C **86** (2012) 054604 (E2401)
- [19] B. Guo *et al.*, Phys. Rev. C **87** (2013) 015803 (E2405)
- [20] T. Sumita *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **82** (2013) 024202 (E2406)
- [21] S. Sakaguchi *et al.*, Phys. Rev. **87** (2013) 021601(R) (E2407)
- [22] RIKEN-JCPRG collaboration: <http://jcprg.org/riken/>
- [23] 加藤幾芳、合川正幸, 「IAEA コンサルタントミーティング “Further Development of EXFOR” 参加報告」, 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, 91 (2012)