

会議のトピックス(II)

NRDC(核反応データセンターネットワーク)2018 年会合

国際原子力機関

原子核科学・応用局理化学部核データ課

大塚 直彦

n.otsuka@iaea.org

1. はじめに

NRDC (International Network of Nuclear Reaction Data Centres)は実験核反応データライブラリ(EXFOR)の作成を軸とした、核反応データの配布に関わるデータセンターの集まりである。NRDC 会議は偶数年に開催される「センター長会議」(センター長と技術担当者が参加)と奇数年に開催される「技術会議」(主に技術担当者が参加)から成っている。後者は毎回ウィーンの IAEA 本部で開催するが、前者は希望するセンターがホストをするのがここしばらくの慣例である。INDC レポートとして議事録が残っているのは 1969 年にモスクワで開催された第 5 回目の会議からであり、そこから数えてもほぼ半世紀続いている歴史のある会議である。

今回の会議は 2016 年(北京)以来のセンター長会議であり、2018 年 5 月 1 日~4 日にニューデリーの西方約 40 km のところにあるバハダーガー (Bahadurgarh)で開催された。インドから開催を打診いただいてからその可否を判断するのに大分時間がかかった。ひとつはビザの問題である。インドはネパール、ブータン、モルジブの 3 カ国以外からの一般旅券保持者全てにビザ取得を義務づけており、実際、2014 年にインドで開催したアジア核反応データベースワークショップ(AASPP)ではビザがおりず参加できない人が現れた。同様の問題が NRDC 会議で起きると非常に困る。そこで、今回は会議開催の半年以上前から参加者の旅券情報の収集を開始し、またホストのバーバ原子研究センター (BARC)の方々には現地政府とのやりとりを時間に余裕をもって進めていただいた。その結果、予定していた参加者全員が無事に議場に顔をそろえることができた。もっとも中国の参加者のビザは会議参加当日から有効なものとなってしまう、このために彼らは会議開始日未明デリー着を強いられたのであるが。もう一つは経費の問題。インドがいずれのセンターからも比較的遠距離に位置するため、IAEA が補助すべき旅費の総額が高くなることを心配した。しかし、ウィーンに比べると日当が半額程度で済むこと、3 センターが存在するロシアからの往復航空賃が一人 400 EUR ほどとかなり安かったことから、

ウィーン開催にくらべても安くついたのではないか、という印象すらもっている。前回センター長会議が北京の立派なホテルで開催されたことを意識してか、ホストの Devesh Raj 氏(BARC)は当初「我々はムンバイのプールつきホテルを議場とするつもりだ」と意気込んでいたが、最終的にはバハダーガーにある原子力庁の研修施設(Global Centre for Nuclear Energy Partnership, GCNEP)を開催地とした。



写真1 北大 JCPRG センター長代理として参加された Jagjit Singh 氏（右端）

参加者は筆者のほかには中国(2)、ハンガリー(1)、インド(5)、日本(2)、カザフスタン(1)、韓国(1)、ロシア(4)、ウクライナ(1)、アメリカ(2)、OECD(1)である（括弧内は人数）。日本からの参加者は北大（JCPRG）の Jagjit Singh 氏と原子力機構の岩本修氏の2名である。JCPRG のセンター長は木村真明氏であるが、今回は研究員の Jagjit Singh 氏がセンター長代理として参加された。ちなみに彼は会議が開催されたハリヤナ州に隣接するパンジャブ州（パキスタンと国境を接するインド西端の州）の出身で、ターバンを巻いて会議に参加された彼はどう見ても現地参加者であった。邦人参加者は筆者に加えて岩本氏と4月に NEA Data Bank 長に就任された須山賢也氏の計3人である。多くの読者の関心は議場内よりは議場外での出来事にあるのではないかとと思われる。これに関しては、今回インドの地に初めて足を踏み入れられた須山氏が「読者の広場」にて読者のご期待に添うことになっているので本稿では触れない。議題の多くは EXFOR の技術的問題に関するもの

であるがマニアックな問題も多いので、本稿では読者にも関心をもってもらいたいという2つの議題（会議録などに掲載された実験データの採録可否、測定者が決定した値から第三者が導出した値の採録可否）のみ紹介する。他の議題に関心のある方は議事録 [1] をご覧いただきたい。各センターの年次報告、作業文書、スライドは会議ウェブサイト [2] にて閲覧可能である。

2. 会議録などに掲載された実験データの EXFOR 採録の可否

私が IAEA に赴任した 2008 年当時、元同僚の Svetlana Dunaeva 女史は EXFOR に入るべき論文のリスト作成とその採録進捗状況の追跡に大変熱心であった。NDS では新刊の学術雑誌や会議録に目を通して EXFOR に関係する論文の一覧を作成し、NRDC で共有している。会議録に掲載されたデータは著者にとっては EXFOR に入ることを意図していない場合も多い。しかし、そのようなデータでも図から数値を読み取って EXFOR に格納する場合がかつては多かった。その結果としていくつかの弊害が現れた。たとえば同一測定に由来する複数の会議録掲載論文から複数の EXFOR エントリーが起こされる例が散見されるようになった。これらを同時に作図するとよく似た二つのデータセットが作図結果に現れるようになり、これが利用者を困惑させる。また別の弊害として、著者が測定の結果報告ではなく測定の進捗報告を意図して図示したデータ（たとえば第一共鳴状態付近のごく限られたエネルギー領域の断面積）などが図から読みとられ EXFOR に入れられるケースがでてきた。外注を受けて EXFOR エントリーを作成する人の中には作成エントリー数が収入に直結する人がおり、彼らは EXFOR エントリーを会議録掲載論文から作ることに積極的であった（この事情については既に本誌にて紹介した [3]）。筆者自身は著者が数値の公開を渋るような会議録のデータを図から読みとり EXFOR に採録することには疑問を感じていたが、それをダメだということもできない状況が続いていた。

転機となったのは 2013 年 4 月にウィーンで開催した NRDC 会議での Sotiris Harissopulos 氏の発言である。宇宙核物理に関係した低エネルギー軽イオン入射反応断面積の測定を専門とする彼は会議前年 11 月に核データ課の隣の物理課(Physics Section)にギリシャのデモクリトス研究所から着任したのであるが、自分のデータが EXFOR に意図した形で入っていない、という趣旨で複数のコメントをされた。そのひとつは、彼の研究所で測定された元素生成に関連した幾つかの α 捕獲反応の断面積が、ある会議録掲載論文 [4] から EXFOR に入っていることに対する抗議であった（ちなみにこの論文の主著者は彼の奥さんで核データ課に在職中の Paraskevi Demitriou）。彼らが最終結果をある雑誌に投稿したところ「既に EXFOR にデータが入っている」という理由で論文が受理されなかった、というのである。Harissopulos 氏の攻撃的口調ゆえに議場は彼への反感で満ち溢れてしまったのであるが、著者からもらえない会議録掲載値を図から読みとって EXFOR に入れることに以前から疑問をもっていた筆者はこの Harissopulos 氏の抗議を奇貨とし、会議の議事

録 [5] に「5年以内に会議録に出版された数値データの提供を著者が躊躇する場合、その実験から EXFOR エントリーを起こさない」という新しい規則（5年ルール）を入れこんだ。その後、この5年ルールに関して、EXFOR 採録者から私のところに否定的な意見がくることはたまにあったが、利用者側からは「(会議録に) 出版されたデータが EXFOR に入っていない」というような類の意見はなかった。



写真2 「5年ルール」に対する意見表明をする Boris Pritychenko 氏（左）

ところが今回の会議で NNDC の Boris Pritychenko 氏から”5 years moratorium on proceedings?”という問題提起がなされた。Anton Wallner 氏（オーストラリア国立大）が質量分析法により決定した鉄の中性子入射閾値反応の断面積 [6] が EXFOR に入っておらず、これが本会議の少し前にリリースされた ENDF/B-VIII.0 の評価にあたり支障となった、というのである。この論文自身は ND2010 の会議録に 2011 年に出版されていたので、NEA Data Bank としては 2016(=2011+5)年以降の早い時期に図から読みとった値を EXFOR に入れば済んだ話であるが、とにかくこの一件を引き合いに「5年ルールは撤廃すべき」とであると Pritychenko 氏は主張した。実は Pritychenko 氏とはこの問題を会議の半年ほど前にも議論していた。彼は鉄の評価を担当していた NNDC の Mike Herman 氏からこのことを指摘され、そのことを私に伝えてきたのである。それで Herman 氏に 5年ルールを説明したところ、「そんなルールがあったとは知らなかった！一旦公開されたものはそれが会

議録に掲載されたものであれ著者の手を離れており、それを EXFOR に入れることとはばかる理由などない」という返信がきた。Wallner 氏が測定結果を確定させるのものすごく時間をかける人であることを私は知っていたので、彼の確定値の出版を静かに待つつもりであったが、他方で評価者側から強い関心が寄せられているという事情もあり、そのことを Wallner 氏に伝えたところ、ENDF 側で必要とされていた断面積の値をあっさり EXFOR に提供してくれたのである。

この問題に関しては議場から様々な発言があった。Olena Gritzay 女史（キエフ原子核研究所）はキエフの研究炉からのフィルター中性子ビームを用いて自ら断面積を測定する人であるが、彼女は次回の会議までに公刊されなかったデータ（例えば ND2010 の会議録に公刊されたデータが ND2013 までに査読済論文として公刊されなかったら）、会議録の図から読み取った数値を EXFOR に採録してもいいのではないかと発言した。荷電粒子入射反応放射化断面積の測定を長年手がけている Sandor Takács 氏(ATOMKI)は会議録のデータから EXFOR エントリーを起こした場合、査読済論文が公刊された時点でそのエントリーを改訂しなければならず二度手間だ、と発言した（これには筆者も同意）。西欧や日本で測定されたデータを出来高払いの外注契約に基づき収集しているロシア人が 5 年ルールに明確に反対したがこれは予想されたことである。

データのように思想・感情に無関係なものには著作権は発生しない。しかし、EXFOR が「よそさま」の測定したデータを集めて公開しているデータライブラリである以上、データを使う人の立場だけでなく、データを決めた人の意向も尊重したい、というのが私の気持ちである。具体的には会議録に図示されたデータの提供を著者が躊躇する場合には、著者がそのデータが確定値であるという確信が持てるようになるまで一定期間は EXFOR への収集を控えたい、ということである。上述の Wallner 氏の一例は、利用者側からの要望があれば測定者が会議録のデータを公開しうることを示している。そのような要望は測定者にとって最終値の確定や公刊を加速する良いきっかけになるのかもしれない。

3. 測定者が決定した値から第三者が導出した値の EXFOR 採録の可否

著者が報告したデータを加工せずにそのまま採録する、というのは EXFOR 採録の大原則である。例えば標準断面積が改訂されても、EXFOR では公刊値を再規格化しないのが原則である。また著者が角度微分断面積を実験室系で報告した場合、それを重心系に変換して格納するようなこともしない。この種の変換は EXFOR を配布する際に行うべきである、というのが我々の考え方で、実際 IAEA の EXFOR ウェブ検索システムには（使いやすいかどうかは別としても）再規格化や座標変換などの処理を施す各種の機能が充実している。



写真3 議場外から参加者に挨拶する IAEA 核データ課長の Arjan Koning 氏

この原則に対して、測定者が報告したデータから直截的に導出できるデータは、それが利用者にとって魅力的なものであれば EXFOR に積極的に入れるべきだという意見が前述の Pritychenko 氏からでてきたのは4年ほど前のことである。アルミニウムからプルトニウムまで幅広い標的核種に対する 14 MeV 中性子入射中性子生成二重断面積の測定結果を報告した Kammerdiener の 1972 年の学位論文 [7] は旧ソ連でも知られていた有名な仕事でありながら、その数値データは長らく EXFOR に格納されていなかった。少し前に Pritychenko 氏はこの論文に掲載された図から大量の二重微分断面積を読み取り EXFOR エントリーを作成する、という有用な仕事をされた。この二重微分断面積を 2013 年頃に河野俊彦氏がルジャンドル関数でのフィットを通じて角度積分したのであるが、得られたエネルギー微分断面積を EXFOR エントリーにくわえるべきかどうか議論の発端である。上述した EXFOR の大原則ゆえに筆者は第三者による角度積分の結果の EXFOR への追加に反対したが、「ENDF/CIELO のリーダーでもある Mark Chadwick 氏がエネルギー微分断面積の EXFOR への追加を望んでおり、また CSWEG/ENDF/CIELO は我々にとって最も重要な EXFOR 利用者でもあるので、このエネルギー微分断面積はなんとしても EXFOR に入れなければならない」と Pritychenko 氏はなかなか強気であった。この問題についてはスロバキアで 2014 年に開催された NRDC 会議にて、「第三者による導出値は原則として EXFOR に入れない。

しかし、利用者から強い要請がある場合には、その導出値が査読済論文に導出過程とともに出版されている場合に限り、例外的にその採録を認める。」と結論した [8]。これにより筆者としては第三者による導出値の採録に対する相当に強い制限を設けたつもりであった。

この問題が再燃する契機となったのは、カリフォルニア大学バークレイ校の Lee Bernstein 氏たちが中性子入射反応における即発 γ 線強度から導出した γ 線生成断面積 [9] の扱いをめぐる議論である。湾岸戦争で破壊されたバグダッドの研究炉ではモスクワのクルチャトフ研究所との協力で中性子非弾性散乱などに付随する即発 γ 線強度が系統的に測定された [10]。このいわゆる「バグダッド・アトラス」では全ての γ 線強度は ^{56}Fe の 847 keV の即発 γ 線強度に対する相対測定となっている。そこで、当該原子炉の中性子スペクトルに対するこの 847 keV 即発 γ 線生成断面積を評価し、それを参照してバグダッドで測定された即発 γ 線強度を γ 線生成断面積に変換することをバークレイの人たちは行った。Bernstein 氏らはこの変換結果を EXFOR 書式に格納して Pritychenko 氏に送付し、彼はそのファイルを EXFOR ライブラリに追加したい、と筆者のところに送ってきた。この導出値は査読済論文には公刊されておらず、したがって 2014 年の結論に基づけば EXFOR の対象とはならない。しかし、Pritychenko 氏は EXFOR に追加すべきであるとの立場を崩していない。このような導出値の EXFOR への追加を一旦認めると、同様の導出値を EXFOR に入れたいのだが、という提案が他からでてこないとも限らず、あるグループの作成した導出値は EXFOR に入れるが、他のグループの作成した導出値は EXFOR に入れない、ということはやりがたい。EXFOR に未収録のオリジナルの測定結果が相当数ある現状で、このような導出値の EXFOR への格納やその要・不要の判断に限られた NRDC の資源を使いたくない、というのが筆者の心情である。

4. おわりに

以上、技術的な話題の多い NRDC 会議の議題の中から本誌の読者にも関心を持っていただけそうな議題 2 点について、筆者の私見も含めて論点を紹介した。EXFOR の採録者の中で EXFOR の利用者でもある人の割合は低く、NRDC 会議は利用者の声を反映させる場としては残念ながら余り機能していない。本記事で話題になったことを含め、EXFOR に関して感じるものがあれば気軽に筆者、あるいは 9 月に東工大から転入され筆者の同僚として EXFOR 業務を開始された奥村森さんにお寄せいただきたい。余談であるが、EXFOR の利用者が引用すべき文献はこれまで正式に決まったものがなかったが、本会議では ND2013 掲載論文[11]を EXFOR 利用者が引用すべき文献とすることを決定した。ここしばらくインドのセンター(NDPCI)を代表されまた International Nuclear Data Committee(INDC)の委員でもあった BARC の核物理部門長の Alok Saxena 氏が 6 月末で定年退職されるということで、氏のこれまでの NRDC 活動

への寄与に対する謝意が参加者から表明された。

次回 2019 年は技術者のみによる NRDC 会合をウィーンにて 4 月 9 日～12 日で開催する。2020 年（センター長会議）は 2020 年 7 月 1 日が EXFOR データ交換開始 50 周年記念日にあたることからウィーン開催とし、EXFOR の歴史に詳しい年配の方々にも講演をしていただく場を設けたい、と考えている。



写真 4 議場にて会議のホストの Devesh Raj 氏(中央)を囲む須山氏(左)と岩本氏(右)

引用文献

- [1] N. Otuka, A. Saxena (eds.), “Summary report of the Technical Meeting on International Network of Nuclear Reaction Data Centres”, Report INDC(NDS)-0762, IAEA (2018).
- [2] http://www-nds.iaea.org/nrdc/nrdc_2018/
- [3] 大塚直彦、河野俊彦、「核データ考古学 Nuclear data archaeology」核データニュース No.106 p.72.
- [4] P. Demetriou et al., “Systematics of alpha-capture reactions and alpha- optical potentials for the p process”, AIP Conf. Ser. **1090** (2009) 293.
- [5] N. Otsuka (ed.), “Summary report of the Technical Meeting on International Network of Nuclear Reaction Data Centres”, Report INDC(NDS)-0633, IAEA (2013).
- [6] A. Wallner et al., “Production of Long-lived Radionuclides ^{10}Be , ^{14}C , ^{53}Mn , ^{55}Fe , ^{59}Ni and

^{202g}Pb in a fusion environment,” J. Korean Phys. Soc., **59** (2011) 1378.

[7] J.L. Kammerdiener, “Neutron spectra emitted by ^{239}Pu , ^{238}U , ^{235}U , Pb, Nb, Ni, Al, and C irradiated by 14 MeV neutrons”, Lawrence Livermore Laboratory, UCRL-51232 (1972).

[8] N. Otuka, E. Dupont (eds.), “Summary report of the Technical Meeting on International Network of Nuclear Reaction Data Centres”, Report INDC(NDS)-0661, IAEA (2014).

[9] A.M. Hurst et al., “Compilation of the “Atlas of gamma-rays from the inelastic scattering of reactor fast neutrons” (1978DE41) by A. M. Demidov, L. I. Govor, Yu. K. Cherepantsev, M. R. Ahmed, S. Al-Najjar, M. A. Al-Amili, N. Al-Assafi, and N. Rammo”, Lawrence Berkley National Laboratory, LBNL-1007259 (2017).

[10] A. M. Demidov et al., “Atlas of gamma-ray spectra from the inelastic scattering of reactor fast neutrons”, Nuclear Research Institute, Baghdad, Iraq (Moscow, Atomizdat 1978).

[11] N. Otuka et al., “Towards a more complete and accurate experimental nuclear reaction data library (EXFOR): International collaboration between Nuclear Reaction Data Centres (NRDC)”, Nucl. Data Sheets **120** (2014) 272.



写真5 宿舎前にて Alok Saxena 氏(バーバ原子研究センター核物理部門長)と筆者