

インドの核データ収集 EXFOR ワークショップに参加して

国際原子力機関原子核科学応用局

大塚 直彦

n.otsuka@iaea.org

ご承知のように、EXFOR は断面積などの実験核データを格納したデータライブラリである。各国のデータセンターがデータを収集してファイルを作成し、それを IAEA がチェックし取り纏めた上で、再び各センターを通じて研究者に配布している。この中で、IAEA は“The rest of the world”と定義された、いわば他センターが面倒を見ない地域の測定データの収集を担当することになっていて、日本を除くアジア・東欧・南米・オセアニア・アフリカがここに含まれる。そのうち、中国・韓国・インドは IAEA の助言を得ながら自国のデータを収集することになっており、ムンバイのバーバ原子力研究センター (Bhabha Atomic Research Centre: BARC) を中心に組織化されたインドの活動は、NRDC (International Network of Nuclear Reaction Data Centres) への加盟が 2008 年とその歴史は浅いものの、その収集活動の熱心さでは NRDC の中でも群を抜いている。

インドは、その高速炉の研究開発の進展ぶりなど今年の国際会議で話題になったところだが、核データ研究者の皆さんが持つ印象はどのようなものだろう。20 年前に関本先生が核データニュース (No.39) に投稿された「ヘッドライトに乞食の群れが照らし出される」という強烈な書き出しで始まるインドの報告が印象に残っている方も多だろう。最近、職場の OB の Hans Lemmel 氏に、「EXFOR の仕事でインドに行ってきましたよ」と話したら、「そこまでの測定活動がインドにあるのか」という反応が返ってきた。JENDL など低エネルギー中性子断面積の評価に役立つような測定活動は目立たないが、BARC の 14 MV ペレトロン (BARC-TIFR) による低エネルギー重イオン入射反応測定、同じく BARC の 2 つの研究炉 (APSARA、CIRUS) を用いた熱中性子核分裂片測定、カルカッタの可変サイクロトロンセンター (VEC) を用いた各種の荷電粒子入射反応の測定などの活動があり、BARC-TIFR と VEC の測定結果については、Phys. Rev. C などのような国際誌における存在感も小さくない。国策を反映してか、入手のしやすさか、トリ

ウム 232 を標的にした（しかし余りトリウムサイクルには関係のない重イオン入射反応の）測定がやたらと目立つ。数年前に報告された $^{232}\text{Th}(^6\text{Li},\alpha+f)$ 代理反応を使った $^{233}\text{Pa}(n,f)$ の BARC での測定は、その結果は JENDL の評価には採用されなかったが、インドらしい面白い取り組みと言えそうだ（図 1）。これを書いていて、2010 年秋の Th-U 関連の数人の会議で、「自分の計算がこのインドの代理反応の結果を非常に良く再現する」と誇らしげに語る Maslov 氏に、代理反応で持ち込まれる角運動量の問題を Ignatyuk 氏が投げかけたものの、Maslov 氏がコメントらしいコメントをしなかったのを思い出した。

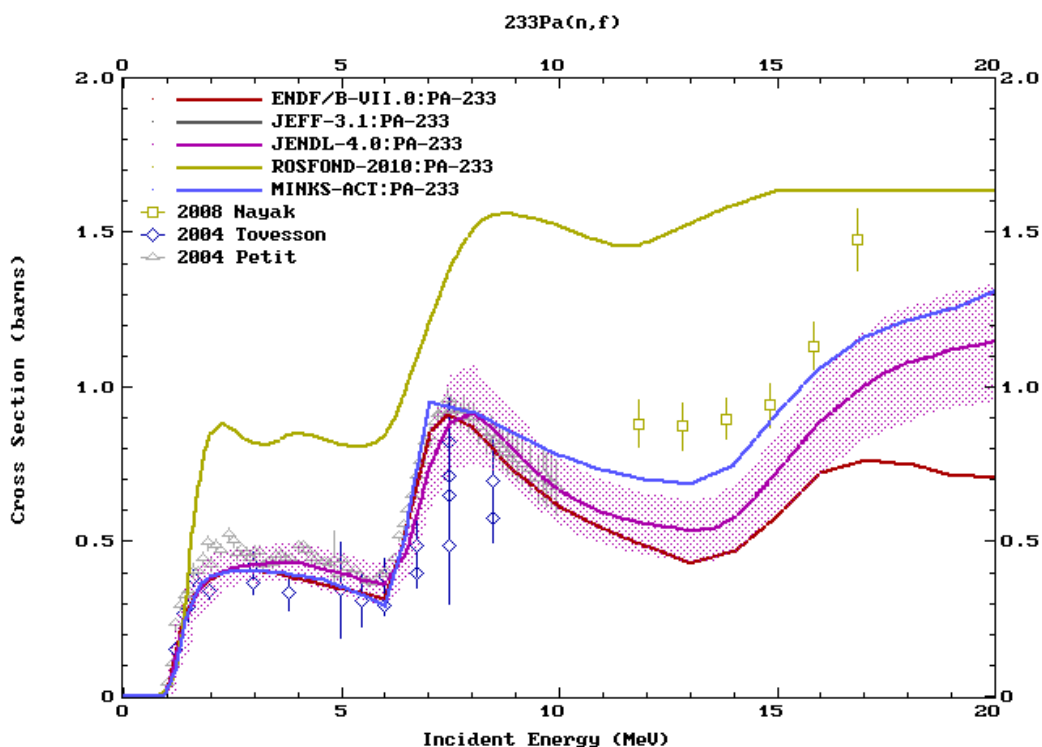


図 1. $^{233}\text{Pa}(n,f)$ 断面積（2008 Nayak: BARC のデータ、MINSK-ACT: Maslov のデータ）

そんなインドでの EXFOR 活動を 1970 年代から夢見ていたのが、元 IAEA 職員で現在 BARC の炉物理・核設計部門の重鎮である Ganesan 氏（図 2）である。その彼がインドの原子力庁 (DAE) の支援を取り付けて最初の EXFOR ワークショップを開催したのが 2006 年、以来開催を重ねて、今回が 4 度目のワークショップであった。これまでの経緯を Ganesan 氏は最近以下のように振り返っている：「インドでは EXFOR の仕事は研究者の仕事として見なされておらず、またそのキャリアアップの役にも立たないと思われていて、心理的抵抗感が大きい。それに他人の研究成果を採録するのは二流の (inferior) 仕事だという印象を持たれている。またデータ採録法なぞ 15 分もあれば身に付く、いう間違った理解がなされてきた。自分はこのような EXFOR 活動にはだかる障壁を取り除くのに成功したが、それは多くの痛みと時間が伴う仕事だった」。



図 2 : Chandigarh 市内の小バラ園にて (右から Saxena 氏、Ganesan 氏、Dunaeva さん)

この Ganesan 氏のお誘いを何度も受けながら、今まではお腹を壊して入院するのが心配で丁重に招待をお断りしたのだが、IAEA が継続的に支援してきたという経緯もあり、ついに人生初の渡印を決心するに至った。今回 2011 年の開催地はチャンディガール (Chandigarh) というインド北部の街にあるパンジャブ (Panjab、或いは Punjab) 大学での開催であった。ウィーンからこの街に行くにはニューデリーで飛行機の乗り継ぎをせねばならない。ニューデリーは国際線・国内線のターミナルが離れており、そのターミナルはぼったくりタクシーの巣である、と聞いて心配であった。ところが、2010 年秋に立派な国際線国内線統合ターミナルができ徒歩での乗り継ぎが可能、と現地委員から教わり、大いに勇気づけられた。

インドには神聖なる牛が通りに寝そべっている、と社会科で習った私は野良牛との出会いを期待していたのだが、その意に反してチャンディガールの市内では一頭の牛にも出会わなかった。ここはパンジャブ州のかつての中心地がパキスタン側に移ってから新たに建設された計画都市で、インドでも例外的に良く整備された街ということであった。気候は暑くも寒くもなく快晴続きで、幾つかのバラ園には綺麗にバラが咲いている。大学のキャンパスも立派で、その雰囲気は戦後の成長期に立てられた古い校舎が並ぶ日本の国立大学のキャンパスに瓜二つ。物理教室は日本の旧帝大の物理教室と同規模の校舎 (図 3) となっており、また (今は PIXE など応用研究にしか使われていないが) サイクロトロン施設もあるなど充実している。



図 3 : パンジャブ大学の物理学教室の本館 (EXFOR Workshop の垂れ幕が見える)



図 4 : サイクロトン棟の計算機室における実習の一コマ

ワークショップの日程は4月4日(月)～8日(金)の5日間で、最初の日は午前に関会式に続き Ganesan 氏によるイントロダクション、午後に僕が講義と簡単な実習、翌日からは各人論文を渡されての本格的な実習となった。計算機室の方は全員を収容する部

屋が手配できず、3つの互いに離れた部屋に分かれての実施となった。僕と Svetlana Dunaeva さん（元 IAEA NDS 職員）でこの3カ所を回って質問に答えなければならない。ある人の対応を終えるやいなやあちこちの机から“Sir!”と声がかかり忙しい。立派な液晶モニターが目立ち、また Windows XP は既に少数であるなど計算機のインフラは悪くない（図4）。ただ時々起きる停電に対しては、そんな立派な計算機室も無力である。

EXFOR のファイル作成の実習に一番適しているのは放射化断面積であると思っている。実験の流れと必要なパラメータを理解してしまえば、大枠は半ばルーチンワークのようにファイル化することができる。断面積の値とともにその導出で考慮された γ 線分岐比などの値を保存する重要性も学ぶことができる。IAEA への赴任半年後にシンガポールのインターンの学部学生の面倒を見た時には（彼女の優秀さにも助けられて）、中国語の放射化断面積を一ヶ月で30編程もファイル化してもらうことができた。ところが、インドにはそういう手軽にファイル化できるようなデータの測定が少ない。多いのは低エネルギー重イオン入射による核分裂片や蒸発残留核の測定である。この種の測定では複合核形成断面積を意味する「核融合断面積（fusion cross section）」が頻繁に報告されるが、複合核形成自身は直接測定できるわけではないので、よく検討しないと、実験で実際に見たものを正確に EXFOR の反応式や物理量表現に焼き直せない。これはベテランでも難しい。

会期中、物理教室の中庭には即席厨房が設置された。ここから運ばれるできたてを中庭に張られたテントで朝・昼・夕と食べる。次々と運ばれてくる焼きたてのチャパティ（パンのようなもの）をカレーに浸して食べると旨い。インドはベジタリアンが多いらしく肉は一度も出なかったが、インド人は料理が上手なのか、毎日野菜カレーでも全く飽きない。「同じ釜の飯を食う」おかげで、基礎から応用の広い範囲の理論・実験のインドの若手研究者たちと、チャパティを指でちぎってはカレーに浸し口に運びつつ過ごした時間は極めて有意義であった（図5）。Ganesan 氏は2010年秋にインド南部の Chennai で共分散のワークショップも開いており、これに参加した人たちとは共分散話も楽しめた。Empire、Talys という二つの核反応模型計算コードがここの若手の間では大変にポピュラーで、お互いが使っている Version No. なども話題になっていた。ENDF、JEFF と並ぶ3大ライブラリ JENDL の評価に使われている同じアジア産の CCONE や POD が話題にならず、寂しい思いをした。アジアの核データ協力の一環として日本のコードをもう少し積極的に売り込めないものだろうか。他には、日本のポスドクに応募するつもりだったが、震災後の日本の状況が読めずどうしたものかと悩んでいる、という話も聞き、これも日本人として気がかりな点であった。



図 5 : 物理教室の中庭でチャパティをヨーグルトとカレーに指で絡める Ganesan 氏

実験データのファイル化の実習に加え、夕食前には“evening seminar”なるものが企画され、BARC の核物理部門の偉い先生方が講演をされた。Ganesan 氏は夕食が出来上がる前にみなが宿に戻ってしまわぬよう、これを企画したらしい。ある夕方は Choudhury 氏という BARC の核物理部門長がわざわざ Mumbai から出てきて講演された。この人の名前は BARC の低エネルギー重イオン入射反応の論文で時折目にしていたが、彼の講演が「CERN の LHC を使った相対論的重イオン衝突の実験の紹介」というのには驚き、僕には懐かしい話題であったので最近のレビューが聞けてありがたかった。その一方で、限られた研究予算をそのような国際共同実験に使うということに対する興味深い批判も聞かれた。ちなみに参加者の中には、もともとは高エネルギー核物理をやっていたものの、現在の本務は低エネルギー実験、という人が複数いた。

ワークショップの性格上、会期中に何件の論文をファイル化したか、ということが成功の目安になりがちで、主催者側はその数を意識しがちであった。しかし、初心者から受け取った数十のデータファイルがそのままデータベースに入れられるわけがなく、これまでもワークショップの都度、ウィーンに持ち帰られた大量のファイルを直す仕事を手伝ってきた。この修正の段階で論文を読み直さなければならず、実は（数値データの入手の部分は別として）自分で新しくファイルを起こした方がてっとり早い。こういう（本当に EXFOR の採録者となるかどうかも疑わしい）大人数のワークショップの定期的な開催を支援することが、果たしてインドの実験データの収集に最も効果的な方法か、

というのは当然な疑問で、実際 IAEA の同僚にはこのワークショップへの協力に疑問を呈する向きもある。それでもなお Ganesan 氏の 40 年来の夢の実現をサポートしたい、という思わせる理由が 2 つある：

1 つには、自国の実験データをファイル化して世界の研究者の利用に供するという「文化」を定着させる上で、ファイル作成の舞台裏を幅広い研究者に体験してもらうことの効用である。論文になった実験データを、そのデータを説明するのに十分な情報と併せてファイル化することの大変さを参加者は知るであろうし、それを通じて、Ganesan 氏が述懐したような EXFOR 活動を研究者の事業として維持することへの疑問が少しずつ薄らいでいくのではないかと、いう期待である。Ganesan 氏はゆくゆく各測定施設に EXFOR のデータ収集担当者があるような体制を目指しているが、そうなると本当に素晴らしい。

もう 1 つは、EXFOR のワークショップを通じて、実験データ収集に留まらず、かの国での核データ研究の重要性の認識が高まるのではないかと、いう期待である。応用研究という点を強調すると、核データの対象はある入射エネルギーまでの中性子入射や軽イオン入射反応の基本的な物理量（断面積など）に限られてしまうが、それでは新しい物理を必要とする核物理の広い範囲の研究者にまでは関心が行き難い。この点、EXFOR は（柔軟すぎて計算機処理しがたいという欠点はあるが）より広範な核反応データを対象としているので、幅広い核物理の研究者の関心を集めやすい。数十年後には人口世界一になると予想されているこの国で EXFOR 活動を通じて核データ研究者を増やすことができれば、これは世界の核データ研究の活性化にも寄与するのではないだろうか。

さて、会期中にインド人が二人も入院して会場から消えたようだが、僕は幸いにもお腹を壊さなかった。この理由については様々な意見があって、私はカレーの横に置かれた魅力的な生野菜が明暗を分けたのではないかと、思っている。

以上、本ワークショップを企画された S. Ganesan 氏 (BARC Reactor Physics Design Division)、A. Saxena 氏 (BARC Nuclear Physics Division)、B. Behera 氏 (Panjab Univ. Physics Department) の 3 氏に感謝の意を表して、報告を終えたいと思います。