

ND2010

(2) 評価関連

日本原子力研究開発機構

深堀 智生

fukahori.tokio@jaea.go.jp

1. はじめに

本稿では、科学と技術のための核データ国際会議（ND2010）における核データ評価の手法や評価済み核データファイルに関する部分の発表及び議論について概要を報告する。はじめにお断りしておくが、久しぶりの国際会議のため、脳味噌のリハビリテーションが間に合わず、頓珍漢な内容をお伝えしているのではないかという疑念がまだ付きまわっているが、もしそういう部分を見つけ出していただいたら、そっと筆者までお知らせ願えれば幸いである。また、以下、敬称を略させていただくことをご了承願いたい。

Opening Address では、ND2010 の N.Z. Cho 議長のご挨拶の後、J. Chang（韓国原子力研究所：KAERI）から「KAERI における将来の原子力技術（高温ガス炉水素にも言及）開発に対して核データは不可欠である」こと、C. Nordborg（OECD/NEA）からは「より高精度の核データ整備に関する経済的なインパクト（原子力プラントのコスト改善、核物質防護、核燃料廃棄物処理・処分）を示していくことが工業界のニーズに貢献する」こと等が言及された。いまさら指摘するまでもないが、このように、核データはそれ単独で存在意義を持てる時代ではなくなってきた。さらに言えば、コスト（工業界）やステークホルダーの意識（納税者としての大衆）にどのようにインパクトを与えることができるかが、今後の核データ整備に要求されることであると認識を新たにさせられた。この意味で、核データ評価及びファイルに関するトピックスが、どのような動向にあるか、少しでもお伝えできればと願っている。はてさて...

2. 核データ評価手法について

2.1 Plenary セッション

2~4 日目の朝一番には 2 件ずつ計 6 件の Plenary セッションが開催された。その中で、核データ評価手法に関連すると思われるのは、以下の A. Koning（オランダの原子力総研：NRG Petten、いつもこの訳し方で迷っています。正式に日本語で何というかご存知の方が

おられたらご教示いただくと助かります) と S. Hilaire (フランス原子力庁 : CEA) の 2 件であろう。他の原稿と重複することを恐れずに、核データの評価手法という観点で概要を報告したい。

Koning は、「評価手法を一段進化させては？」という提案を行った。断面積等の核データを評価するのではなく、物理モデル (コード) とそのパラメータを評価することにより、いつでも再現可能なデータベースが構築できるとした。このために TALYS を開発しているが、現状で、400~500 名のユーザによる 160~200 本の論文が公開されているそう。確かにこの方法を実践すれば、モデル及びその物理パラメータを更新しておけば、それを組み込んだコード、これ自体が評価済みファイルとなり、誰でも再現できるものになるかもしれない。しかし、筆者が思うに「その時点で最も確からしい核データを格納したものが評価済み核データファイルである」とした場合、モデルで再現できない核データがあったり、パラメータが系統的な (グローバルな) ものからずれたものでしか表現できない物理量であったりして、ユーザは満足してもらえないのであろうか？この辺、未だに「鼻薬」が必要であることは認めざるを得ないのではないかと少し考えさせられた講演であった。

Hilaire は、多体系ミクロスコピックパラメータを TALYS に応用し、物理モデルからの核データ外挿 (Koning と同様の提案) について講演した。すなわち「核子-核子の二体反応の重ね合わせから核データを計算できるか？」の命題に対し、「可能ではあるが、中間段階のモデルの整備がまだ必要である」との結論であった。核データ評価についていえば、この「中間段階のモデル」が重要で、未だ現象論から脱却できないところが、物理の専門家 (親しみを込めて「物理屋さん」と呼びたい) との協力が必要である所以であると思うのであるが…。物理屋さんがこのように感じて、核データ整備に積極的に関与していただけるようになって来ているということかもしれない。

2.2 核データ評価関連セッションでの発表

M.B. Chadwick (ロスアラモス国立研究所 : LANL) は LANL での核データ評価 (主にアクチノイド核種に対するもの) について、P. Pereslavtsev (カールスルーエ研究所 : FZK) は TALYS を用いた IFMIF のための 150 MeV までの核データ評価について、R. Capote (国際原子力機関 : IAEA) は $^{235, 238}\text{U}$ の Kornilov モデルを用いた核分裂中性子スペクトル計算と共分散について、V. Maslov (JINER) はいつもの通り同じようなグラフを大量に用いた ^{237}Np 、 ^{241}Am の評価計算について報告した。筆者の勉強不足か、はたまたヒアリング能力の欠如によるものかもしれないが、特に目新しいものは、見いだせなかった。

この他評価にかかわる国際協力に関連して、Nordborg (OECD/NEA) が評価国際協力ワーキングパーティ (WPEC) の活動についてまとめた。これに関しては、核データニュ

ース No.87 (P.1)、No.91 (P.1)、No.94 (P.18) 等で詳細に報告されており、次号くらいで最新の会合 (2010 年 6 月) の報告もなされると思うので、ここでは割愛させていただく。

3. 評価済み核データファイルの動向

3.1 JENDL

柴田 (原子力機構 : JAEA) より JENDL-4 についての招待講演があった。これに関しては、詳細な報告が別途なされているので、ここでは割愛する。関連する発表として、岩本修 (JAEA) は招待講演の中で、JENDL-4 ではアクチノイド全核種に対する共分散の評価について報告した。JENDL-4 では、JENDL-3.3 や他の核データライブラリと比較して、共分散データが大幅に充実している。核データの共分散は現在世界で注目されつつあり、本講演でも多くの聴衆が集まりその関心の高さが伺われた。共分散はデータの妥当性の検証が難しく、評価手法の研究が多くなされている。本講演でも評価手法に関心が持たれたようだ。岩本信之 (JAEA) は、核分裂生成物として大きな収率があるネオジウムからディスプロシウムまでの 7 ランタノイド元素の各同位体に対する核データが JENDL-3.3 や他の評価済み核データに比べて質・量ともに向上していることを示した。

渡辺 (九大) より高エネルギー核データファイル (JENDL/HE) に関する報告があった。関連して、国枝 (JAEA) は、「前平衡過程からの複合粒子放出モデルの α 生成断面積評価への適用性」について、計算手法の説明を行うとともに測定値や各国のライブラリーとの比較図を示し、高エネルギー核データ評価における本手法の優位性を示した。参加者からは主にモデルパラメータや手法の適用限界に関して質問があった。

3.2 ENDF

Chadwick は、Special Talk において、核分裂反応に絞った核データに残された課題について講演した。能力の高いコンピュータの出現により、核データに関する微分または積分データを用いた誤差や品質管理の整備がより可能になったが、核設計シミュレーションがより重要となっていく過程で、核分裂スペクトル、遅発中性子及び γ 線データ、MA 核種の核分裂断面積、核分裂収率 (FPY) にまだ問題が残っている。さらに、FP 核種に関しては、燃焼計算、安全性、廃棄物管理、核不拡散政策等によって、その重要性が再活性化してきた。FPY に関しても、従来は熱中性子、高速中性子、14MeV 中性子のエネルギー点でのデータしか与えられていなかったが、わずかのエネルギー差でさえも収率の変化が大きいことが分かってきている。例えば 200 keV から 2 MeV の間で、 ^{99}Mo の収率が LANL での FPY 測定の標準値と各ライブラリー間で 3~7% も異なる。さらに、数百 keV 領域での中性子捕獲断面積や共分散データも必要となる。これらの問題を将来的に解決していくためにも、今からアジア地域を含めた人材育成が必要となってくるとした。

M. Herman (ブルックヘブン国立研究所 : BNL) は、ENDF/B-VII.1 への改訂に関する報

告を行った。国際原子力エネルギー・パートナーシップ (GNEP) の後継計画である先進的燃料サイクル・イニシアチブ (AFCI) のため 110 核種に共分散を付与し、 ^{157}Gd の共鳴積分値を 9 %程度下げ、 ^{239}Pu の熱中性子断面積、 ^{238}U の捕獲断面積を変更する予定である。この他、 ^9Be 、Cr、Mn、Zr、W、Pb、 ^{233}U を改訂する。これらにより高速炉の Na ボイド係数を改善する。また、 $^{235, 238}\text{U}$ 、 ^{239}Pu の共分散データを新しいものと置き換える。さらに、 $^{63, 65}\text{Cu}$ を CENDL-3.1 もしくは JENDL-4.0 から、Hf 同位体を JENDL-4.0 から、多くの MA 核種を JENDL/AC-2008 (間に合えば JENDL-4.0) から採用する予定である。

3.3 JEFF

Koning は、最新版の JEFF-3.1.1 についてレビューした。また、その中で 2011 年に公開予定の JEFF-3.2 について、より多くの共分散データを格納し、主要なアクチノイド核種の改訂、放射化断面積や崩壊データを充実させていく予定である。また、その基本的な考え方として「可能なすべての評価済みファイルからの選択」を採用し、TENDL (TALYS コードによる計算結果をそのまま格納した核データファイル) を含むライブラリーからより良いものを集めていくことになる。CEA では $^{235-239}\text{U}$ 、 $^{238-240}\text{Pu}$ の評価が現在進行中であるそうだ。

3.4 CENDL

R. Xu (中国原子能科学研究院 : CIAE) から、最近公開された CENDL-3.1 について報告があった。240 核種 (内、206 核種は新評価、20 核種は更新) の核データを主に UNF コードを用いて評価し、格納している。共分散データが与えられている核種も若干ある。

Z. Zhao (CIAE) から関連した核データ評価手法の進捗についての講演も行われた。CENDL の評価は、CNDCN (Chinese Nuclear Data Coordination Network) なる組織で行っている。CENDL-3.1 の評価は、MEND 及び MENDF コードで、共分散は UNF コードをベースとした COVAC システムで、さらにベンチマークテストは SCALE4 コード及び MCNP コードで行っている。FPY に関しては、multi-modal random neck-rapture model に基づく系統性を用いて評価した。

Y. Han (CIAE) は、軽核の評価を反応チャンネル毎の遷移確率から導出する方法を用いて行った旨、報告した。ブレイクアップ反応に関して有効な方法で、検出器の効率計算などの用いられている SCINFUL コードなどと同様の方法である。

3.5 ENDL

D. Brown (ローレンスリバモア国立研究所 : LLNL) は、LLNL の評価済み核データファイルである ENDL2009 に関する報告を行った。526 核種のデータを格納しており、61%

を ENDF/B-VII.0 から採用している。ENDL は、毎年 (ENDF は数年おき) 更新する格納核種数の完全性を目指したファイルである。基本的には、ENDF、JENDL、JEFF 等から選択している。その他は、TALYS コードによる計算値を格納している。

3.6 その他

D. Smith (アルゴンヌ国立研究所: ANL) は、Plenary セッションで「共分散ビジネス」に関する講演を行った。従来は実験を行った後に誤差データの検討を行っていたが、測定の前に参照 (考慮、検証) すべきモデルを決め、その誤差がどれくらいだからこの範囲で測定されるだろうというような考察を行う必要があると指摘した。これは非常に困難であると思われるが、理想的にはこの指摘に沿った実験を行うことができれば、誤差に起因する品質管理は一応の完結を見るだろう。今回の ND2010 では共分散がトピックするとして独立するなど、エポックとなっている感があったが、「まだまだ、やらなければならないことがある」ということであろう。

M. Smith (オークリッジ国立研究所: ORNL) は、同じく Plenary セッション米国核データプロジェクト (USNDP) に関連した、宇宙核物理と核データの関連についての講演を行った。オンラインコンピューティング (いわゆるクラウドコンピューティングの応用) によるパラダイムシフト (今、流行の e-science) に関して力説していた。ただし、コンピュータのプラットフォームは進化してきても、それを使って何をやるかが重要であることに変わりはないと思う。

その他のその他で申し訳ないが、「特殊ライブラリー」というセッションが、どこにも当てはまらないようなデータベースに関する講演を集めて行われた。J.R. Granada (アルゼンチンの CNEA) は、個体のメタン及び重水素を用いたウルトラコールド中性子の散乱カーネルについての報告を行った。S. Jo (IAEA) は、原子力関連材料のオンラインデータベース (THERPRO; Thermo-physics Property Database) について報告した。1300 以上の原子炉材料に関するデータが格納されている。K. Cho (KISTI) は、高エネルギー核物理に関する e-science パラダイムシフトについて講演した。このセッションの座長を仰せつかったのであるが、最後の 2 件は核データに全く関連していないようであったし、関連させるつもりもないようであった。韓国からの参加者を増やすために、分野を問わず、主催者側が動員したのではないかと思いたくなる。

4. 雑感—まとめに代えて

D.-P. Min 韓国基礎科学技術研究委員会 (KRCF) 議長から、Special Talk のセッションで、「将来社会のための知識利得の共有」と題し、アラブ首長国連邦 (UAE) への韓国からの原子炉輸出が決まったという話から講演がおこなわれた。核データ評価に直接関係

ないが、韓国の核データに対する姿勢のようなものが現われていたため、興味をもったので、他の記事と重複するかもしれないが、記載させていただきたい。原子炉の輸出が決まった背景として、①韓国における原子力平和利用技術の進展（1980年代から1990年代にかけてのKAERIの技術開発）、②（①を踏まえての）政府の後援、③地球温暖化対策としての原子力利用が挙げられた。「核データに関しては韓国独自のものはまだ少ないが、BNLを通じた米国ENDF、欧州のJEFF、日本のJENDL/PDへの寄与など着実に成果を上げている」ことが（韓国において核データに関してどのくらい関心があるかはよくわからない）講演者より言及されたことは特筆すべきことであるかもしれない。結論的な発言の部分で、「より高精度の核データが今後の廃棄物管理や原子炉の更新時期に必要である」とし、「こういった地道な努力と韓国独自の加速器プロジェクトの進展等の技術開発により、知識プラットフォームを構築していくことが、今後の原子力技術の発展、特に、発展途上国には必要である」と結んだ。また、このような長期にわたる地道な協力体制の構築が国際的にも重要であろう。本シリーズの国際会議は核データに関するものの中で最も権威のある会議であるが、韓国での開催は初めてである（日本では1988、2001年に開催）。欧米の活動が相対的に低下する中、中韓をはじめとするアジアにおける核データ活動の活性化が良く現れていた。これは、ある意味自明ではあるが、「自国の原子力開発のためには、自前の核データが必要である」という認識を強化した背景からのものであることが伺える。この認識を我が国で維持できるであろうか。努力せねば…。

今回のND2010において38カ国から395名の参加があった（日本からは約70名）。口頭発表248件、ポスター発表209件合計457件の報告があったそうだ。その発表件数の内訳として測定に関連するものが95件あり、このため、全体会議の会場をそのまま測定のセッションに利用するなど、測定を重視した構成になっていた。一方、理論・モデルに関するものが75件、評価・ライブラリー・処理に関するものが23件、共分散に関するものが22件であった。このことから分かるように共分散に関する発表件数が評価・ライブラリーに対するそれと肩を並べており、トピックスとして独立した感があった。やはり、核データの整備に関して、ユーザを意識したものになってきている証であろう。

最後に、このような状況を鑑みると、最初に書いた（ややこしい表現で申し訳ありません）「核データは、その利用者に対して、核データを整備することでどのようなインパクトを与えることができるかを常に考えておくことが必要である」ということが、今後の核データを維持・発展させていくことに繋がると再認識させられた。