

核データ部会・「シグマ」特別専門委員会合同企画セッション

「我が国の核データ活動を展望する」
(3) 核データ活性化ワーキンググループ活動報告

日本原子力研究開発機構

千葉 敏

chiba.satoshi@jaea.go.jp

WG 開催の経緯

本ワーキンググループ (WG) は、最近の核データを取り巻く状況を規制側担当者、産業界の担当者、核データ開発に携わる者で共有化し核データ分野の活性化につながる方策を模索する目的で組織された。特に許認可の現場で JENDL が使われるようにするための道筋の模索を最大の目的とした。メンバーは私が主査を拝命し、規制側から原子力安全基盤機構 (JNES) の中田哲夫氏、産業界から三菱重工の中野誠氏、日立 GE の丸山博見氏、原子燃料工業の伊藤卓也氏、GNF-J の土石川章子氏、核データ開発側から東工大の山野直樹教授、九大の渡辺幸信准教授、魚住勇介准教授、原子力機構の深堀智生氏、奥村啓介氏、須山賢也氏の全部で 12 名からなる。今年の 2 月の会合では原子力機構の石川眞氏にも参加いただいて高速炉の許認可関係の状況について議論した。なお、ここで言うシグマ委員会は日本原子力学会のシグマ特別専門委員会 (主査: 井頭政之東工大准教授) のことである。

元々この WG が組織されるきっかけとなったのは、サンタフェで開催された ND2004、ニースで開催された ND2007 の各国際会議において欧米における核データ活動が原子力カルネッサンスの風を受けて非常に活発になっている現状を目の当たりにして大いなる危機感を持ったことである。欧米における活況は正に核データカルネッサンスと言っても良いほどであった。それに対して国内における活動が、どうも私には同様な状況にあるようにはとても見えなかったのである。実際、JENDL が一向に国内での許認可、特に申請を行う側で使われていない状況で、JJ 統合 (サイクル機構と原研の統合) 後、極論をすると核データという分野に対する不必要論が台頭するのではないか (既にしているかもしれない) という雰囲気さえ私には感じられていた。そしてこのような印象を九大の渡辺氏と連名で NDD Newsletter に投稿した結果、JNES の中田氏から、主として許認可の場における規制側担当者としての反応があった。それを受けて原子力機構の千葉豪氏から JENDL の活用に関する意見交換の提案があり、原子力機構内で炉物理と核データ研究者

間の意見交換会を行った。これが昨年 6 月 14 日のことである。その際、某炉物理研究者から核データ研究者に対して十項目にわたる苦言が呈され、個人的には大きな衝撃を受けた。忘れてはいけない内容なのでここにそれを記すことにする。

某炉物理研究者から核データ研究者への十項目の苦言（十戒）

1. JENDL に戦略はありますか？
2. 自分の評価データが積分実験解析でどのように発現するか実感できますか？
3. 利用者の心理を考えたことがありますか？
4. JENDL はどこでどのように利用されているか知っていますか？
5. JENDL を積極的に利用している（利用しようとしている）人たちの名前と顔をご存知ですか？
6. 「一層の高精度化」等は今や死語。誰も納得しない。説得して研究費を稼いでくる時代。そんな努力をしたことがありますか？
7. 御用聞きをするぐらいの覚悟がありますか？
8. 核データ評価の後継者はいますか？
9. シグマの活動を今後どう展開していったら良いと思いますか？
10. JENDL-4 の後の戦略を考えたことはありますか？

要は、核データ開発に最も近い炉物理業界から半ばだめ出しをされたと言っても過言ではない内容である。これによると、核データ研究者は本来の使命（核データは使われてこそ意味がある）を忘れて、自己満足的な活動を営々と続けていたことになる。全部が真実かどうかはさておいて、いつの間にこんな状況になってしまっていたのだろうか？ 私の印象ではほんの少し前のつくばでの国際会議（ND2001）までは、国内の核データ活動は世界の先端を切っていたと思っていたが、その間にも核データの利用側との断絶が静かに進んでいたということなのだろう。そうではないと言う人もいると思うが、それならそういう意見をどこかで言っていただきたい。そうすれば我々も安心である。尚、この十戒は、正確には JAEA の核データ研究者に向けた言葉だそうである。

このような状況を受けて、昨年 7 月に東工大で有志の議論、9 月の北九州における原子力学会で拡大シグマ特別専門委員会を開催し、その後シグマ委員会の井頭主査より、私に本 WG を組織して議論するよにとの勅命が下ったわけである。それを受けて冒頭に記した委員の方々に声をおかけして、昨年 12 月と今年の 2 月に東京で会合を行い、適宜メールにて議論を重ね、今回、大阪の学会でこの活動報告を行うに至ったのが経緯である。

状況認識

WGにおいて議論した状況認識であるが、核データに対する一般的必要性は良く認識されている。特に臨界安全、遮蔽解析の分野においては核データに対する要求は高く、従来炉の解析でさえまだまだ核データの的な問題点は残っている。また長期的傾向としては原子炉の高燃焼度化、高濃縮度化、MOXの利用、燃焼度管理などの観点から高次マイナーアクチノイド、核分裂生成物の断面積と核分裂収率とこれらの共分散データの重要性が広く認識されている。規制側（JNES）では信頼性が確認されれば JENDL を使うのに問題は無く、実際に JNES の規格基準部と解析評価部では JENDL が申請者の計算結果に対する最新の知見を用いる確認計算や臨界試験解析のデータとして使用されてきている。この意味では JENDL は十分に役に立っているのである。その一方で国内メーカーが欧米メーカーと技術的な連携を進めている状況で、仮に JENDL が国内だけで認知されても国外パートナーとの関係ですぐに許認可で使えるというような単純な状況では無いことが分かった。すなわち、許認可に用いる核データを JENDL に変えたければ、国外パートナーにも明確にわかるような形で JENDL の優位性を示し、パートナーの国でも許認可に使用できるようにすることが最低条件なのである。これはかなり難問である。

そもそも、核データは主要な原子力国家、または共同体が独自データとして整備を進め保有するに至った原子力に関する基盤技術である。日本が JENDL を開発し、整備してきたのもまさにこの理由である。しかし、現状では主として歴史的経緯から許認可の現場、特に申請側が米国の ENDF に席捲され、言ってみれば基盤技術を他国に独占されている状況にある。もちろん、それで何も問題が無ければそれで良いのであるが、ちょっと考えただけで以下のようなたくさん問題が挙げられる：1) 核データに問題があったとしても、他国データでは原因追及が人頼みになり、必要な時に対策をしてもらえとは限らない、2) 未だに ENDF/B-III や IV などの最新ではないデータが使われている、3) 必ずしも合理的と言えないバイアスと安全係数を用いる設計を強いられている、4) そのために非経済的な設計となっている可能性がある、5) 民主、自主、公開を謳う原子力立国としてのあり方に反する、等である。

他国に基盤データを握られることによる致命的問題点として、例えば標準断面積の問題がある。水素 (^1H) の中性子散乱断面積は言うまでもなく全ての中性子断面積の標準であるが、その 180 度方向への散乱断面積（すなわち反跳陽子が 0 度方向に発生する）が、ENDF/B-VI から VII に変更される際になんと 2.5% (@10MeV) も変化したのである。また、同様に ^{197}Au の中性子捕獲断面積にもそれ以上の不確定さがあることが最近分かってきた。これは国内（だけでなく世界中）で測定された中性子データが実は全てずれていたという恐ろしい可能性を示唆している。こんな変更が我々の知らない間にひっそりで行われるようでは、原子力技術全体が砂上の楼閣になってしまう。実際にはそれを上回る統計誤差が多くの場合に存在するので、標準断面積の問題が直接に及ぼす影響は緩

和されており少し言い過ぎかもしれないが。

JENDL は誰のもの？

国内の核データ分野における問題として、JJ 統合以前は明らかにナショナルプロジェクトであった JENDL が、現在は原子力機構の一研究グループのテーマとなってしまったことに原因の一端があるように思われる。JENDL は誰のものなのか？ このグループなのか、部門なのか、原子力機構なのか、学会なのか、日本国民全部なのか？ 現状では核データ評価研究グループのように思えるが、それでいいのだろうか？ また、原子力機構のシグマ委員会と評価グループに対する予算が大幅に縮小し、核データ研究会を開催するのさえままならない状況が続いており、分野全体が大変な困難に遭遇している。さらに原子力機構にも中期計画制度が導入され、5年ごとにテーマの改廃が実施されるために、経営者は評価委員会に対して説明しやすい目新しくトレンドリーなテーマや成果を挙げやすいテーマに流れる傾向にある（本当はそれでは困るのであるが）。いったい、こんな状況で、歴史があり（すなわち古い）、縁の下の力持ち（地味）である核データ分野は、どうやって分野の活力を維持し、またその方向性は、誰が、どうやって決めるのか？ この分野にはこの状況を跳ね返す戦略はあるのか？ それとも戦略が無くてもいいのだろうか？ 私にはとてもそうは思えない。例えばであるが、核データ評価研究グループの次期計画が認められなければ、国内から JENDL のアクティビティが無くなるのであろうか？ やはり JENDL を含む核データ分野の活動の方針を決めて、ナショナルプロジェクトとしての集団的な方向性を与える体制が必要であるように思われる。

許認可問題と JENDL の普及

許認可については、幸い、原子力安全・保安院が同一形式原子炉の安全審査を効率化するためトピカルレポート制度を導入する旨がアナウンスされた。残念ながら当面は3年後に先送りされることにはなったが、この制度は同一形式の原子炉に共有する安全審査事項（トピック）をあらかじめ評価し、個別の設置変更許認可審査に活用する仕組みである。この中には設計や解析モデルも含まれるため、これまでは常に困難であった、メーカーが自社作成した設計コードと核データを許認可に使用するための審査の枠組みがやっとできあがりつつあるのである。従って我々核データ開発者は炉物理や臨界安全、メーカーなどのコミュニティーと協調して、国産コード+JENDL として審査を受けるための戦略的体制に移行することが必要である。この点、ヨーロッパで開発された APOLLO2 は核データとして JEFF と組んで米国 NRC から設計コードとしての認可を既に受けているのである。我々も、JENDL と MVP、GMVP や SRAC を基礎として、汎用及び特殊目的（燃料設計、臨界安全、遮蔽...）に特化したユーザーオリエンテッドなシステムを開発し、国内、NRC を含めて設計手法としての認定の獲得を目指すべきである。

これ無しに核データ分野の将来は無いのではないだろうか？ それと同時に、JENDL を普及させるために、1) JENDL の優位性を示した上で、MVP、PHITS、SRAC 等の国産コードに処理済み核データをバンドルしていただいて、ユーザーがこれらのコードを導入して気がついたら JENDL を使っていた、という状況に持って行く、2) MCNP、MVP、SRAC、DLC-23、ORIGEN、SCALE、高速炉用等の代表的解析コードに対応する炉定数を作成して公開する、3) 許認可での JENDL 使用を容易にするために、積分実験に対するレスポンスも核データの属性であることを認識し、ユーザーが自由に炉定数を作成できるようなツールの整備、ICSBEP、IRPhE、SFCOMP 等の代表的ベンチマーク問題に対する入出力データを公開する、4) ENDF/B-VII に負けないドキュメンテーション作成を行う、などの努力を行うべきである。

統括組織の必要性

これらを実現するためには、この分野を統括する組織が必要である。例えば JENDL 委員会（仮称）を設けて、JEFF レポートに相当する出版物を作成し、CSWEG 相当の権威付けを行う。後者には 1) JENDL 開発の基本方針の策定、2) JENDL 開発の体制、担当の明確化、3) 評価データに対する微分的検討、4) 処理済みデータの提供、5) ベンチマークの包括的实施と評価、微分データへのフィードバックを行う、等の活動が含まれる。WG ではこのような組織はどこに設けるのが適切かという問題についても議論が行われた。核データ部会？ 学会のシグマ委員会？ 核データ評価研究グループ？ 結論は出していない。

JENDL-4 に望まれること

WG で議論された JENDL-4 に望まれている仕様を挙げておく。

1. 完備性： $S(\alpha, \beta)$, photo-atomic, electro-atomic データの補完。同位体の網羅性、天然元素のデータ、FP Yield、共分散の必要性
2. 信頼性：作成経緯の透明性、品質管理
3. 説明性：実績とアピール、優位性の立証（微分的、積分的）、ベンチマーク入出力データの公開
4. 継続性：長期にわたる品質保持体制、サポート体制、主要分野の主要コードに対する処理済み定数の提供
5. 2., 3. についてのドキュメンテーション（ENDF/B-VII に負けないこと！）

人材育成の問題

大学における人材育成は分野の興亡にとって重要問題である。そのために、核データが学生にとって面白い研究テーマかどうかを考えてみよう。もちろん、面白い面はたく

さんある。しかし私には、どうも核データにはなかなか取っつきにくい面もあるのではないかと思われる。どうしてかと言うと、1) 核データ研究の全ての成果は、直接、間接的に核データライブラリー（国内で言えば JENDL）という形に集約される、2) しかし、例えば学生が核データを測定したとして、それが国際的な実験データベースに取り込まれ、（数年に一度の）メジャー核データライブラリーの更新の際にそれが参照されるまで数年かかる、3) そのようにして出来たライブラリー（JENDL）が実際に使われるようになるには、数々の検証、ベンチマーク、フィードバックを経るためにさらに数年かかる、4) このため、学生が行った測定なり理論計算なりの原子力におけるインパクトが学生の在学中に示されないことが大半である。この状況は、ある意味で学生の達成感を大きく阻害するのではないだろうか。

これに対しては、分野で協力して、学生の生産した特定の核データを用いた場合のインパクトをすぐに示せるような、標準体系に対する標準的な計算手法と入力データを分野として用意して、特定の核データの変更を容易にしてその効果をすぐに見られるようにしておく、などの措置はどうであろうか？ 熱中性子体系、高速体系、ADS、核融合、医療照射、加速器遮蔽などいくつかの分野でこのような問題をそろえておくのである。その気になればすぐできるはずである。このため、教員は自分の専門外かもしれないが、標準問題に対する計算もできるようにしておく必要がある（全く余計なお世話だが）。PHITS はこれに対応する方向で修正が行われる予定である。このような体制を築いておけば、実は余り重要でない核データ取得に余計な時間を使ったり、重要なデータが見逃される危険性が減り、また社会に対して、いつ何時でも核データの重要性を明確に示し易くなるメリットもある。我々のブレイクストーミングにもなるのである。

核物理分野との協力

冒頭で欧米と日本における状況の違いを述べたが、その一因として、欧米では核物理のコミュニティーが深く核データに関与していることが挙げられる。軽イオンを用いる代理反応や核分裂関係、核構造関係の理論など、正真正銘の物理屋が核データの研究を行い、核データの研究会に参加し、論文に核データの重要性を書く状況にあるのである（例えば Goutte et al., Phys. Rev. C 71, 024316(2005)の Introduction の最初の文章）。どうも物理と原子力の垣根が日本よりもずいぶん低いようで、それが欧米と日本における活力の違いの一端として現れているように思われる。日本では私もよく知らない歴史的経緯により物理と原子力が袂を分かった時期があって、それが固定化しているのであろうか。しかし、今となってはこのままである必然性があるとは思えない。例えば日本の軽核（クラスター、少数多体系）の構造と反応の理論コミュニティーは世界でも群を抜いて強力であり、彼らはその気になれば核データに対して大きな貢献をできるのである。その他の理論分野や、実験では理研 RIBF、阪大 RCNP、東北大 CYRIC、原子力機構東海のタン

デム施設などでも工夫次第でいくらかでも核データの研究に寄与することが可能である。もちろん、核データのセンスを持つことが必要であるし、おそらくは核データの研究をすることが彼らにとってメリットのある状況にならなければ事態は大きく変わらないだろう。しかし、これまでも原研において、先端基礎研究センターと核データセンターなどの協力で作成された JQMD と JAM が最終的に PHITS として結晶した大きな成功例があるし、この例からだけでも核物理分野との協力がいかに大きな成果をもたらすかを知ることができる。

最近、核物理分野も応用に興味を持ち始めた傾向があるように思えるため、彼らとの協力を今後はもっと積極的に考えていくべきである。ただし、かなり異文化であることは覚悟しておいた方がよい。

まとめ

原子力立国を目指す我が国にとって、核データの必要性、重要性は何ら揺らぐものではない。特にトピカルレポートの導入は核データを含む新規設計手法が承認を受ける絶好のチャンスである。そのため、まずは JENDL-4 を完成させ、十分なテストとフィードバックを行って精度を検証した上で、ENDF/B-VII に負けないドキュメントを作ることが必要である。その上で核データ評価研究グループを中心にして継続的サポート体制をアピールし、主要分野の主要コードに対する処理済みデータの提供を行うことが重要である。究極的には JENDL+国産コードという組み合わせで、炉物理、臨界安全等の分野と協力してユーザーを意識しつつトータルな核設計手法を構築する方向に意識転換し、戦略的に進むことが望まれる。そのために統括組織を立ち上げて、ナショナルプロジェクトとしての性格を継承し、CSWEG ライクな議論と品質保証の場を確保するべきである。

なお、この文章は、WG での議論内容を参考に私がまとめたもので、委員の皆様にも確認していただいて必要な修正はしましたが、文責は私にあります。委員の皆様におかれましてはボランティアで（すなわち、旅費自分持ちで）東京に 2 度も集まって活発な議論をしていただきました。ここに深くお礼申し上げます。