

第 31 国際核データ委員会 (International Nuclear Data Committee) 会合報告

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
原子力基礎工学研究センター研究推進室
深堀 智生
fukahori.tokio@jaea.go.jp

1. はじめに

表記会合が、2016年7月27～30日にウィーンの国際原子力機関（IAEA）本部で行われた。本会合は2年に1回開催されるもので、過去2年間の核データセクション（NDS）の活動をレビューするとともに、将来計画に関する提案を行うのがその目的である。参加者は、筆者及びアルゼンチン、豪、中国、仏、独、ハンガリー、印、韓国、スペイン、南アフリカ、ベトナム、露、英国、米国から各1名の代表委員及び2名のオブザーバ（OECD/NEA、ECから各1名）であった。本会合は、所謂、評価委員会のようなものであるが、委員は多くの場合、旧知の間柄であるし、冗談も頻発する非常に家庭的な雰囲気で行われる。以下、基本的にアジェンダに従って、概要を記載する。

2. 開会

A. Malavasi 原子核科学および利用担当事務局次長の挨拶で会議が始まった。この際、まず自分より先に、委員の自己紹介をしてほしいとの提案があり、核データセクション（NDS）のスタッフも含めて自己紹介を行った。ご自身はブラジル人で、農学が専門である Malavasi 氏は以下のような挨拶を行った：「IAEAには2つの大きな腕がある。1つは保障措置、非常に重要な機能だが、核データはこれにも大きく貢献している。もう1つは、基礎研究。核データもそうであるが、これは人類に大きく貢献している。あまり特化することなく、連携することが重要。核データは国際協力が非常によく機能している分野で、IAEAとして誇りに思う。核医学、加速器、核融合エネルギー（もちろん核分裂も）、RI製造などへの貢献が大きい。IAEAは今年60周年を迎えるが、核データも50年を超えるIAEAのもっとも古い活動の一つである。物理は私にとって重要である。論文も重要だが、情報を提供していく活動も重要である。核データの国際会議（ND2016）にも参加す

る予定である。本会合が、実りの大きい会議であるように期待している。」

M. Venkatesh 同局物理・化学部長からも挨拶があった：「私は化学者であり、RI を扱う。核データは多くの研究に必要な基礎知識である。今回も多くの分野から専門家が集まってくれてうれしい。IAEA は常時人数不足で活動しているので、すべての分野に精通することは難しい。協力が非常に重要である。核データ活動は、中性子入射反応から荷電粒子入射反応にシフトしつつあるが、いずれにしても核データは必要である。将来展望を提供してほしい。IAEA のユニークなところは、予算がなくなることはないこと（筆者注：必要なうちはということか？）。核データは重要とっていて、活動が消えることはない（と信じる）。若手を励まして、核データの分野へ入ってくるように奨励してほしい。」

3. 前回のアクション・リストの活動確認

下記の 8 件のアクション・リストについて、作業確認を行った。

- ① データセンターの冗長性を強化するため、より詳細にデータを示すことのできるツールを NDS の Web サイト上に表示する
- ② ITER に参照データとしての FENDL-2.1 を FENDL-3 に置き換えるよう要求する手紙を送る
- ③ NJOY の代替として PREPRO のように自由に利用できる核データ処理コードを開発する
- ④ 荷電粒子反応の測定をカバーするハンドブックの整備を検討する
- ⑤ EMPIRE ベースの医療用ライブラリーの整備を模索する
- ⑥ 処理済みライブラリーの範囲拡張についての方法を模索する
- ⑦ NDS が CIELO 活動の適切なフォローアップを奨励する方法を検討する
- ⑧ 熱中性子散乱則にもっと関与するようになる方法を模索する

①継続中、②終了、③終了（本会合で報告する）、④継続中（IAEA としては重要だが、さらに検討が必要）、⑤コードに特化したものはできていないが、方向性は確認した、⑥継続中（定義があいまいであるが一部は公開、処理コード（今回報告）との関連の検討が必要、FENDL については終了）、⑦今回の報告中で議論、⑧継続中（ある程度データベースに入ってきている）である。

4. 2014～2015 年の NDS 活動報告

A. Koning 核データセクション長から、核データセクションの活動概要、人事及び予算について報告があった。主な活動として、ネットワーク構築、データベース提供及び普及活動、研究協力プロジェクト（CRP）及び専門的な報告書の発行、各種訓練及びワークショップ、CINDA 及び EXFOR の活動が挙げられた。これらについての各担当者からの個別報告については後述する。人事及び予算については、2015 年から Koning セクション長、

Capote-Noy セクション次長の体制がスタートした。人員は 16 名のスタッフとなった。予算は Zero Real Growth で 2017 年は約€2.7M（この内、約€0.7M が技術開発）である。

原子核反応データセンターネットワーク（NRDC）について、大塚氏から報告された。本活動の主たる成果物である EXFOR には、現在、2 万超の実験が入っているが、荷電粒子入射データの割合がこの半分近くまで伸びてきている。これは、荷電粒子放射化をはじめとするニーズに対応した結果である。EXFOR に熱中性子散乱則を格納するための検討が開始されたこと、共鳴解析の性能向上のため TOF スペクトルを入れること（OECD/NEA/WPEC/SG-36, n_TOF）の検討がなされたことは特筆すべきことである。CEA の Dupont 氏（元 NEA Data Bank）が n_TOF のデータ配布責任者になってから、n_TOF データの格納割合が 2% から 38% に向上したそうであり歓迎すべきことである。

核構造及び崩壊データ（NSDD）ネットワークにおける ENSDF 整備についての報告では、評価者の不足に関する危機的状況に対応するためのトレーニングコースに、講師として櫻井博儀氏（理研）が参加しており、我が国の貢献が見られた。

NDS の活動のうち原子・分子データに関する部分は、本委員会の対象外であるが核融合炉のプラズマ診断等に必要で、原子版 ENSDF 用データの活動を検討しているとの報告が簡単になされた。また、核データと原子・分子データのインターフェースとなる会合を 2017 年に開催したいと予告があった。具体的にどのような会合になるかは、現状では提示されなかったが、注目しておきたい。

研究協力プロジェクト（CRP）の現状が紹介された。このうち終了したものについて以下の報告がなされた：

- 核分裂即発中性子スペクトル（PFNS, 2009～2015）については、共分散も含む ^{232}Th 、 $^{233-240}\text{U}$ 、 $^{238-244}\text{Pu}$ 、 ^{237}Np 、 ^{241}Am 、 ^{245}Cm の核データ評価（後述する CIELO にも関連）が完了し、報告書を上梓した。
- モニタと医療用 RI 製造のための荷電粒子入射反応核データ（20xx～2016）については、報告書を準備中であり、そこでは崩壊データと反応データの融合を図っている。
- 荷電粒子入射 γ 線放出（PIGE）標準データベース（2011～2015）については、現在報告書を準備中である。イオンビーム分析のための核データライブラリー（Ion Beam Analysis Nuclear Data Library、IBANDL）への格納を予定している。

これらに加えて IRDFF のテスト及び改良（2013～2017）、一次照射損傷断面積 DPA（2013～2017）、遅発中性子放出標準データベース（2013～2018）に関する CRP が進行中である。また、新規の CRP として、光核反応ファイルの改良と γ 線強度関数（2016～2020）及び TALYS、EMPIRE、CoH、CCONE の開発者等が参加する核分裂のための参照入力パラメータライブラリ（2016～2021）が予定されている。

核データ開発プロジェクト（DDP）としては、国際中性子入射反応標準ファイル及びその評価技術（2016 年 11 月に新ファイルを公開予定）、CIELO を OECD/NEA/WPEC から

引き継ぐことに関する検討（特に PFNS）、IRDF 信頼性、IBANDL 等が紹介された。標準ファイルの今後の展開として $^{235,238}\text{U}$ (n,f)、 ^{238}U (n, γ) の更新、 $^{235,238}\text{U}$ の高速領域、ベンチマーク、新たな分離共鳴パラメータ (ORNL、IRMM)、 ^{56}Fe の評価 (NNDC)、 ^{55}Mn の 150 MeV 以下のデータ等が紹介された。また、評価手法と核反応モデルの開発に関連して、

- 評価コード (EMPIRE、TALYS、GANDR、OPTMAN)
- 処理コード (ACE 形式) についての検討 (トレーニング、GRUCON に続く処理コードの公開)
- 分離共鳴パラメータにおける荷電粒子入射反応の扱い (国枝氏が対応中と紹介された)
- 核構造・崩壊データの解析コード
- 阻止能に係るデータベース
- TAGS
- 保障措置のためのデータ (IAEA 内部ニーズ)
- FENDL-3
- 中性子散乱則データ (アルゼンチンのグループが積極的)

等の紹介があった。

トレーニング及びワークショップに関しては、トリエステの ICTP において ENSDF、原子力のための核反応データ、研究炉を利用した中性子ドシメトリーと放射化分析法、及び核反応データ測定に関するコースを、またウィーンの IAEA 本部において ENSDF 評価及び EXFOR 採録についてのコースをそれぞれ実施した。コンピュータ関連サービスでは、すでにあった Android 版に加えて “Isotope Browser” の iOS 版を公開し、33,000 件のダウンロードがあったこと、ミラーサイトからの統計情報の一元化を行う Monitis、世界に複数設置されている NDS のウェブサイト (www-nds.iaea.org) のクラウドサーバへのサーバ混雑状況に応じたアクセス先割り振りを行う LoadBalancer の開発を実施したことが報告された。ミラーサーバに関しては既に設置されたブラジル (諸事情のためいつの間にか閉鎖)、中国、インドに続いて、2017 年にはロシアにも設置するそうである。データ普及に関しては、EXFOR、CINDA、NSR、ENDF、ENSDF、Standard、IBNDLE、RIPLE-3、IRDF 等のデータベースに加え、IPPE で開発された核データ処理コードパッケージ (GRUCON-D) のサービスを行っている。以上のような意欲的なデータ普及活動のためか、IAEA ウェブサイトからのダウンロードの 80% が NDS からのものである (Google 分析) という統計結果があるようだ。さらに、ユーザーサービスの一環として、EXFOR について、逆反応データの表示、逆運動学データの検索、利用者のデータをアップロードして利用するツールを提供している。また、核構造・崩壊データのアプリとして、表示だけでなく、比較、統合、編集等ができる利用分野に特化したツールや医療用 RI (メディカ

ル・ポータル)も提供されている。詳細は、IAEA/NDS のホームページ (<https://www-nds.iaea.org/>) へアクセスしてみてください。

5. 2016～2017 年の NDS 活動予定

Koning 核データセクション長から概要の説明があった。原子・分子及び核データについては、Web サイト、CRP でのデータベース作成、訓練を引き続き実施する。核データ開発ユニットでは、ENSDF 及び EXFOR の充実とともに、PFNS、PIGE、荷電粒子モニタ反応、IRDF、遅発中性子、DPA 計算手法、光核反応、RIPL-4 等の各種データベース整備を CRP を通じて実施する。また、CIELO、IBANDL、TAGS、モデルコード、FENDL-3、熱中性子散乱則、阻止能データベース、保障措置用データベース、オープンソース処理コードについての独自開発を続ける。2016-2017 年に予定している会合として、R 行列、FENDL、CIELO、処理コードに関する諮問家会合 (CM)、標準核データファイル、核分裂収率 (FPY)、CIELO、DPA 計算に係る不確かさ等についての技術会合 (TM)、医療用 RI、RIPL、DPA に関する CRP 協力研究会議、EXFOR 編集に係るワークショップ等を考えている。「使用済み核燃料等の輸送に係る (α, n) 断面積データベースの改訂はやらないのか」との質問に対しては、EXFOR のチェック、軽核の評価、評価済みファイルのチェック程度しか検討していないとの回答であった。

国際共同評価 CIELO に関して、WPEC における活動の終了があれば、それをフォローする (核種ごとの) CRP または (NRDC のような) ネットワークを検討しているようである。評価手法の集積、継承、FENDL のインプット (IAEA の予算が付く) として提案していきたい。当面の候補核種は ^{232}Th としているが、「別の会議を持って、詳細は議論すべき」との意見が多かったように感じた。

6. 参加各国からの核データニーズ紹介

INDC 委員からの核データニーズについて紹介があった。詳細を記載すると長くなるので、概要を以下に記載する。

- 仏：中性子散乱則、反ニュートリノ (β 崩壊)、核分裂、不確かさの信頼性検証、FPY、保障措置用核データ、熱中性子を含む低エネルギー核反応
- 英：廃止措置用放射化断面積、(以下、UK 核データネットワーク (英政府からの直接予算) として) EPR、原子炉構造材の健全性検証のための材料科学 (PKA、DPA) 用データ、廃止措置 (ドライ貯蔵)、TAGS
- ドイツ：廃止措置、放射性廃棄物処理、加速器駆動炉 (ADS)、 γ 線スペクトル
- スペイン：医療用 RI、アクチナイドの捕獲断面積、不確かさの信頼性、阻止能
- ロシア： $^{16}\text{O}(n, \alpha)$ 、 ^{235}U 、 ^{56}Fe 、鉛ビスマス冷却高速炉 (LFR)、遅発中性子スペクトル、オージェ電子の崩壊データ、処理コード、平均化コード

- ハンガリー：放射化断面積ファイル (<100 MeV)、DPA
- 中国：ベンチマーク結果が非常に違うケースに対する核データの感度、荷電粒子反応データファイル、ナトリウム冷却高速炉 (SFR)、Th 溶融塩炉 (Pa)、DPA/KERMA、遅発γ線、光核反応
- 韓国：ITER、照射炉、SFR、高温ガス炉 (HTGR)、荷電粒子反応データ、小型モジュール炉 (SMR)
- インド： ^{232}Th 炉及び ^9Be に関する核データ (保障措置用か?)、中性子散乱則、分離共鳴パラメータ、鉛ビスマス合金 (LBE) の核データ
- ベトナム：崩壊データ、FP 崩壊、ドシメトリー、医療用 RI、材料分析用データ (光子エネルギー > 40 MeV)
- アルゼンチン：中性子散乱則の比較をしたい

7. 2018~2019 年における NDS 活動に関する提案

ワーキンググループ (核データ開発 (WG1) 及び核データ普及・訓練 (WG2)) に分かれて、議論を行った。筆者は WG2 に参加した。WG の議論は多方面にわたるが、大きな関心事として、評価済核データの検索方式の改良、データベースに間違いを見つけたら責任機関に知らせる体制・方法を検討する Consistent Feedback Framework、各種コード用処理済みライブラリーの配布の検討 (処理コードの提供か、処理済みライブラリーの提供か)、スマホアプリの拡張とメンテナンス等が提案され、全体会で承認された。以下、個別の WG について、概要を報告する。

核データ開発 (WG1) については参加していないので、全体会合の際行われたデータ開発について下記に関する NDS の活動が推奨されたサマリーの概要を列記するに留める。

- 荷電粒子入射放射化反応
- 医療用 RI 製造
- 照射損傷にかかわるデータ
- IBANDL
- 軽核の評価
- 共分散
- 中性子散乱則
- 核データ評価の品質保証
- 核分裂収率
- TAGS データの遅発中性子データ評価への利用
- PIGE のための IBANDL の整備
- PFNS
- 中性子標準ファイル (従来のものに加えて Li、Ti の反応、Pb、Bi、U の高エネルギー)

一核分裂断面積（中性子および陽子）も検討）

- IRDFF
- 核分裂反応のための RIPL
- 光核反応と γ 線強度関数のデータベース
- FENDL-3
- 評価手法、核反応モデル、処理コードに関する教育・訓練

核データ普及・訓練（WG2）については、提案に先立ち IAEA/NDS へのリクエストだけでなく優先順位も検討すべきであるとの共通認識を持って検討を開始した。以下の記載は、これに沿ったものであるが、筆者の思い込みも入っているかもしれない。

- ENDF 形式から検索した崩壊データ等を表示可能にする
- ENDF 形式（ENSDF ではない）の離散順位を検索し比較する
- 異なるデータベースに格納されている同種の物理量を検索できるようにする
- データベースに間違いを見つけたら、責任機関に知らせるようにする体制・方法を検討する（Consistent Feedback Framework）
- スマホアプリの拡張とメンテナンス
- 処理済みライブラリーのニーズに対応すべく、ライブラリー自身の配布や処理コードの提供を検討する
- 光核反応の実験データについて EXFOR をより充実させる
- 中性子入射共鳴の TOF データ（GELINA、RPI、n_TOF、LANSCE、ORELA、J-PARC）について EXFOR をより充実させる
- 中性子散乱則の実験データについて EXFOR をより充実させる（ただし格納に同意するかどうかは著者による）
- NSDD 評価者の訓練を継続的に行うこと

CIELO に関する検討では、その重要性から WG1 と WG2 の共通セッションとして実施された。NDS からは「WPEC/SG40（が終了したとしてその）フォローアップを IAEA/NDS で検討しているが、何かが決まっているわけではないので、コメントが欲しい」との提案で議論が開始された。CIELO のような形式のアプローチを他のデータベース整備に拡張するのか？欧米は核データ評価者がいなくなりつつあるので、CIELO のような協力計画がなければ進まない可能性がある。IAEA/NDS は WPEC のようなボランティアベースではなく、ある程度（旅費等の）予算があるのは良いが、それをどうネットワークに寄与させるか？IAEA/NDS には評価者がいるが、他はどうか？NEA データバンクの改組があったタイミングなので、将来について検討するのは良いが、CIELO のような枠組みをどうするかの将来展望を検討する機会をどこが持つのか（IAEA？NEA？）。機会を作ること自体は重要であるので、2017 年 3 月または 9 月を中心に検討してみる、といった議論が行われたが、明確な結論は、今後の会合での検討にゆだねられたと思う。

8. おわりに

INDCの委員に関し、ベトナムと日本が委員交代の申し出を行った。すなわち、筆者は委員を交代する。ご支援、ご協力ありがとうございました。最終決定は関連部署の承認等を経なければならないが、岩本修原子力機構核データ評価研究グループリーダーに引き継ぎたいと思っている。変わらずご指導、ご鞭撻をお願いしたい。次回第32回会合は2018年6月18～22日の予定である。



写真1 会議後のリラックスした食事風景・アジアナイト
(左からGe氏(中国)、Nguyen Van Do氏(ベトナム)、Saxena氏(インド)、大塚氏(IAEA)、筆者、Lee氏(韓国))