

## 会議のトピックス(I)

# 核構造・崩壊データ評価者ネットワーク会議

日本原子力研究開発機構

核データ研究グループ

飯村 秀紀

[iimura.hideki@jaea.go.jp](mailto:iimura.hideki@jaea.go.jp)

## 1. はじめに

標記会議 (Technical meeting for the nuclear structure and decay data network) が、2017年5月22日～26日に米国のローレンス・バークレー国立研究所 (LBNL) で開催された。この会議は IAEA の主催で隔年に開催されており、今回で 22 回目である。12 カ国と IAEA から 38 人が出席した。米国開催ということで米国からの出席者が多かった。日本からの参加者は筆者一人であった。

会議の目的は、Evaluated Nuclear Structure Data File (ENSDF) を更新するための評価作業を、より正確で迅速なものにすることである。この目的のために、会議では、評価の方法や評価者ネットワークの運営などについて多くの項目が協議された。そのうち幾つかについて以下にまとめる。会議の詳細な内容は、IAEA から INDC(NDS)-0733 として刊行予定である。

会議の議長は IAEA の Dimitriou と米国立核データセンター (NNDC) の McCutchan の女性二人が共同で務めた。現地での会議の運営は Bernstein (LBNL) がしてくれた。彼は中性子捕獲  $\gamma$  線の測定が専門で、LBNL のサイクロトロンで実験しているほか、Los Alamos Neutron Science Center (LANSCE) でも実験しているそうである。

## 2. 会議の内容

### (1) 評価者ネットワーク

各国の評価センターから評価の進捗状況が報告された。その中で、日本の ENSDF グループの進捗状況を報告した。日本は、質量数 120 から 129 を分担しているが、このうち前回の改訂から年数が経っている質量数 120、123、126 の評価を現在進めている。他に、前回の改訂が特に古い質量数 118 の評価も行なっていたが、早期に評価を終わらせることが困難な状況になったので、ルーマニアに担当を替わってもらうことを提案し了承された。

各評価センターの報告を踏まえて、ネットワーク全体について議論を行った。NNDC の Sonzogni が、ENSDF の更新に貢献しない国からの ENSDF へのアクセスを遮断する可能性に言及した。実際にそんなことをするとは思えないが、米国ばかり負担しているという不満があるのだろう。また、McCutchan から、各評価センターが最低果たすべき条件（例えば5年間のうちに更新する mass chain の個数）を議事録に明記してはどうかという提案があったが、これは各国の反対で取り下げられた。

さらに Sonzogni が特に日本をとりあげて、「日本が ENSDF の更新について生産的でなくなっている。日本は JENDL を作っていて中性子断面積の評価では活発なのだから、核構造・崩壊データの評価でももっと大きな貢献をしてもらいたい」と発言した。これに対して筆者は、新しい評価者を探す努力をしているがなかなか難しいことを説明した。また、日本では米国と違い、ENSDF のために人を雇う予算がないことも説明した。NNDC と IAEA から、日本の評価活動を支援できることあれば言ってもらいたいと申し出を受けた。また、IAEA から、理化学研究所にもっと ENSDF に関わってもらってはどうかと提案された。

## (2) 崩壊データ

ENSDF は、mass chain のそれぞれの元素について、1 個の adopted dataset と、それ以外の  $\beta$  崩壊、インビーム  $\gamma$  線分光、中性子捕獲  $\gamma$  線分光、荷電粒子直接反応などの実験の種類ごとのデータセットにより構成されている。adopted dataset は、実験の種類ごとのデータセットを比較検討して、最終的に採用されたエネルギー準位、 $\gamma$  線、スピン・パリティなどをまとめたものなので、最も重要である。一方、実験の種類ごとのデータセットの中では、 $\beta$  崩壊のデータセットがよく利用されている。特に、 $\beta$  崩壊に伴う  $\gamma$  線の強度は応用分野で利用価値が高い。しかるに、adopted dataset の  $\gamma$  線強度は、 $\beta$  崩壊以外の実験結果も含めて評価されたものなので、 $\beta$  崩壊のデータセットの  $\gamma$  線強度と異なる。この問題について会議で議論した結果、これまでの崩壊データセットに加えて、新たに adopted decay dataset を作ることになった。これまでの崩壊データセットの  $\gamma$  線強度が  $\beta$  崩壊の実験で測定された  $\gamma$  線強度であるのに対して、adopted decay dataset の  $\gamma$  線強度は adopted dataset で採用された値と同じ値とする。また、 $\gamma$  線エネルギーなども同じ値とする。一般の崩壊データの利用者は adopted decay dataset の数値を利用すれば良いと思う。adopted decay dataset を作る形式への変更は、すぐに全ての質量数で行うのではなく、当面は NNDC が担当する質量数で行うことになった。

また、医療分野などでの必要性に応えるために、崩壊データに X 線と Auger 電子の放出率を加えることになった。これらの原子過程については、原子核に比べて理論計算の精度が高いので、理論値を採用する。そのための計算コードは、内部転換電子の放出割合の計算に用いている Band-Raman の計算コードを基に Kibedi (オーストラリア国立大) が整備することになった。これとは別に、Kellett (CEA サクレー) が、ENSDF から  $\beta$  線

スペクトルを計算するコードを紹介した[1]。この計算コードは、 $\beta$ 崩壊の許容遷移については計算できるが、non-unique の禁止遷移などについては未だ開発中ということであった。

### (3) Horizontal evaluation

ENSDF を更新する評価作業は質量数ごとに行われるので、別名 mass chain evaluation と呼ばれる。それに対して、特定の物理量を全ての核種について評価するのは horizontal evaluation と呼ばれる。horizontal evaluation のうち、ENSDF にとって特に重要なのは原子核質量である。質量の評価は、Audi 達が昔から継続的に行っており、ENSDF では Audi 達の評価値を採用することになっている。Audi 達は今年、質量評価の最新版 (AME2016) を発表した[2]。この発表はやや唐突であったので、AME2016 をどう扱うか会議で議論になった。質量値が変わると  $\beta$ 崩壊の  $\log ft$  が変わり、それによってスピン・パリティの評価を見直さなくてはならない。したがって、新しい質量値を取り入れるのは時間のかかる作業となる。議論の結果、既に改訂済みの質量数については、以前の質量値 (AME2012) を次の改訂まで変更しないことになった。その間は、新しい質量値はコメントとして付け加える。一方、評価作業中の質量数については、AME2016 に変更することになった。今後、評価者ネットワークが Audi 達と連絡をもっと密にして、次の質量評価が発表される時期を事前に評価者に知らせてもらうことになった。

質量以外の horizontal evaluation としては、B(E2) [3]、遅発中性子の放出率、電磁気モーメントなどが報告された。また、Singh (マックマスター大) が、 $\alpha$ 崩壊の部分半減期の再評価を行い、それを基に  $\alpha$ 崩壊の抑制因子を計算するコードを改良したことを報告した。

### (4) XUNDL

核構造・崩壊の実験データを編集 (compile) したファイルである XUNDL と、ENSDF との関係を議論した。XUNDL では ENSDF と異なり評価 (evaluation) は行わないので、実験の論文が発表されてからデータファイルが作成されるまでの時間が ENSDF に比べてはるかに短く、早いものでは1ヶ月程度である。XUNDL は、米国の各評価センターが、博士研究員などを雇って作成している。論文にある実験データを ENSDF の書式でファイルにまとめる作業なので比較的容易に思えるが、米国の評価センターによると、実際は難しいことが多く、経験豊富な評価者が見直す必要があるということであった。会議では、XUNDL の編集から ENSDF の新しい評価者が育つ可能性が強調された。

また、ENSDF の評価作業で XUNDL の一部を取り入れるときは、XUNDL の利用者がほぼ核物理の専門家に限られるのに対して、ENSDF の利用者が応用も含む広い分野であることを考慮すべきであると指摘された。したがって、XUNDL では詳細な実験条件や実験データが記述されるが、ENSDF ではそれらは必要が無いことを確認した。

#### (5) JAVA-NDS

ENSDF は、ファイル自体は何が書いてあるのか利用者には分かりづらく、翻訳する計算コードを通すことで、図や表を含んだ Nuclear Data Sheets (NDS) の形式に変換され利用しやすい形になる。ENSDF の一部を変換する計算コードはこれまでもあったが、全体を変換する作業は複雑で、これまで NNDC でしかできなかった。会議で、Chen (ミシガン州立大) が、最近開発された JAVA-NDS と呼ばれる、はるかに使いやすい計算コードを紹介した。この計算コードは JAVA で書かれており、各自が手持ちの計算機で ENSDF を NDS (pdf ファイル) に変換できる。これにともない、NNDC のページで検索される NDS も Web フォーマットから pdf に変わり、素早く閲覧できるようになった。Chen によると、NDS の形式の細かな変更にも即座に対応できるということであった。

#### (6) 測定する側への働きかけ

$\beta$  崩壊などで基本的な実験データで欠けているものの一覧を示す website を作ることが提案された。測定する側が website を見て、すでに実験データを持っていれば解析が促進されることが期待される。実験データがない場合は、新たな実験を提案したり実行したりするのに website が役立つと思われる。IAEA に website を置けないか検討することになった。

#### (7) NNDC の担当者の交代

NNDC で長く ENSDF を担当してきた Tuli が定年になり McCutchan に交代した。また、NNDC のリーダーも Sonzogni に変わり、世代交代が感じられた。とはいえ、Tuli は、評価作業は続けるということで、今回の会議にも出席していた。彼以外にも、Singh、Martin (オークリッジ国立研究所)、Firestone (LBNL) といったすでに退職された古い人たちも会議に出席しており、変わらず活発に活動しているようであった。米国では、DOE が ENSDF のための予算を国立研究所や大学につけて、各研究機関はそれによって退職者や博士研究員を雇用できるということであった。

#### (8) 次回会議

次回会議は、2年後に IAEA で開かれる予定である。IAEA は、次回会議の後に1週間程度、ENSDF の評価者を再教育するワークショップを開きたいと言っていた。前回の IAEA での会議の後にも、主として新しい評価者を対象として評価手法を教育するワークショップが開かれたが、次回はすでに経験を積んだ評価者を対象として、例えば誤差の付け方などを深く議論する場にしたいということであった。また、NNDC から本会議を毎年開きたいという提案があったが、結論は持ち越しになった。

### 3. バークレー

筆者にとってバークレーは約 20 年ぶりであった。電車 (BART) がサンフランシスコ空港まで延伸されてバークレーまで直通になったのでずいぶん便利になった。宿泊は、

LBLN 内のゲストハウスにする選択もあったが、一般のホテルに比べて安いということもなかったので、学生向けのレストランなどが多いバークレーのダウンタウンのホテルにした。ダウンタウンから LBNL までは歩けない距離ではないが、かなりの登りになるので研究所のシャトルバスを利用した。

20 年前に LBNL を訪問したときは、88inch サイクロトロンでは様々な実験が行われていたが、重イオン線形加速器 (HILAC) は閉鎖される直前だった。当時、研究所の人が、LBNL では原子核実験の研究はあと数年で終わりだろうと話していたのを覚えている。20 年ぶりに訪ねてみると、88inch サイクロトロンはまだ運転されてはいたが、かつてのような活気は感じられなかった。以下は LBNL と大学のキャンパスで撮った写真である。

(以上)



写真1 手前のビルで会議が行われた。バークレーの市街の向こうにサンフランシスコ湾が見える。対岸の左側がサンフランシスコ市街である。左側と右側の陸地が切れているところ（正面）がゴールデンゲイト。



写真2 LBNL のロゴマークにもなっている、かつて 184inch シンクロサイクロトロンが設置されていた建物。184inch シンクロサイクロトロンは、パイ中間子を初めて人工的に作りだした。現在は、放射光の施設として使われている。



写真3 LBNL からカリフォルニア大学バークレーのキャンパスを望む。



写真4 大学のキャンパス内で見かけた、ノーベル賞授賞者専用と書かれた駐車場所の標識。6個ほど並んで立っていた。さすがバークレーというべきか・・・。

#### 参考文献

- [1] <http://www.nucleide.org/logiciels.htm>
- [2] M.Wang et al., Chinese Physics C41, 030003 (2017).
- [3] B.Pritychenko et al., Atomic Data and Nuclear Data Tables 107, 1 (2016).