

CSEWG & USNDP 参加報告

日本原子力研究開発機構

国枝 賢

kunieda.satoshi@jaea.go.jp

2009年11月3～6日に米国ブルックヘブン国立研究所(BNL)で開催されたCSEWG (Cross Section Evaluation Working Group) 及びUSNDP (US Nuclear Data Program) の会合に参加した。これらは日本のシグマ委員会に相当する会合である。毎年開かれているが筆者が参加したのは今回が初めてであった。CSEWGでは核データ評価、ベンチマーク計算、断面積測定、フォーマット&データ処理及び共分散に関する発表と議論が行われた。またUSNDPでは核反応理論及び核構造に関する研究発表と議論が行われた。これらの会合は同期間中に開催されていたため、部分的に両方の会合に参加することができた(筆者の参加は5日の午前まで)。参加者は殆どが米国の研究機関に席を置く研究者であり、総勢約80名の参加があった。その中で欧州、カナダ、アジア諸国から筆者を含め合計5名程度の参加があった。なお5日の午後からAFCI (Advanced Fuel Cycle Initiative) という会合が開かれていたがプロジェクト関係者のみのクローズドセッションとのことで筆者は参加できなかった。正直、内容が広すぎて全ての内容を理解することができなかったため、筆者の興味を惹いた幾つかのトピック(米国における核データ評価や測定、理論に関する話題)を紹介したい。参加者の発表資料の大部分は<http://www.nndc.bnl.gov/meetings/csewg2009/>にて閲覧可能である。

● 核データ評価関連

米国ではENDF/B-VII.1の公開(2010年末)に向けてBNL核データセンター(NNDC)を中心に評価データの改訂作業が進行中である。まずM. Herman氏より、BNL-NNDCにおける核データ評価の進捗現状が報告された。ENDF/B-VII.0のベンチマーク解析やレビュー結果を受けて、既に59核種を再評価し、暫定ファイルをENDF/Aに収納したそうである。現在F-19、Na-23、Mn-55、Gd-157、Cd同位体、Zr-90、W同位体の再評価(マイ

ナーチェンジや他のライブラリーの部分的採用を含む)を行っており、ENDF/B-VII.0 公開以降さらに改訂が進んでいる様子が伺えた。Na-23 に関しては最新版 Atlas (Mughabghab, 2006) 共鳴データの採用、分離共鳴エネルギー上限の拡張、Fast エネルギー領域における EMPIRE を用いた再計算を行って全面的に改訂したそうである。Mn-55 に関しては Capote らの光学ポテンシャルを用いた光学モデル計算の結果が紹介された。日本と同様に Gd-157 の熱中性子断面積の評価については NNDC においても悩んでいる様子であった。

「BWR ベンチマークで良好な結果を得るために近年の RPI の測定データを採るべきか? しかしそうすればその他多くの実験データを捨ててしまうことになる・・・」。まだ結論は出ていない模様であった。

河野氏より LANL における核データ評価の現状と今後の予定が報告された。軽核 (H-3、Li-6、Be-9、O-16)、中重核及びアクチノイド核種という幅広い核種を担当・再評価中であり、ENDF 開発における LANL の貢献度の高さがうかがえた。軽核評価 (Be-9) では近年の RPI の測定データを考慮した R-Matrix 解析の結果が報告され、ENDF/B-VII.0 との違いが示された。全断面積の結果は ENDF/B-VII.0 の値を数%以上も上回る結果となり、これは ENDF/B-VI の値と非常に近い値となるそうである。中重核の評価では構造材 Ti、V、Ni-58、Fe-56、Cu-63、65、Y-89 に対する部分改訂の話があった。Ni-58、Fe-56 については近年 LANSCE で測定されたデータを再現するようにアルファ粒子生成断面積を再評価していた。Y-89 に関しては、中性子捕獲断面積の平均値が 100 keV 前後 (分離共鳴領域) で測定値を大幅に過小評価する問題を考察していた。最終的には共鳴エネルギー上限を下げる方向で対処する模様である。Cu-63、65 に関しては海外の評価済みデータを採用する方向で検討中である。CENDL-3 をレビュー、ベンチマーク計算を行ったが、それほど良い結果は得られなかった様子であった。アクチノイド核種の評価には特に力を入れており、ベンチマーク解析結果を睨みながらの部分改訂、あるいは Pu-240、U-237 に関しては全面改定を行ったそうである。また、彼らは JENDL/AC-2008 に注目しており、幾つかの核種に対して全面的あるいは部分的に採用しようという話が出ていた。

ORNL の M. Dunn 氏より Cr、Ni、Ti 同位体に対する共鳴領域 (共鳴パラメータ・共分散) の評価報告がなされた。Cr、Ni 同位体については近年 ORELA で測定されたデータを考慮して SAMMY コードで解析し、暫定の結果を得ていた。多くの原子核について分離エネルギーの上限が拡張されており、熱中性子断面積については Atlas のデータとほぼ一致する値となっていた。Ti 同位体についてはこれまでのデータをベースとしており、共分散については所謂 “retroactive” な方法で導出していた。LANL で評価された fast 領域のデータと結合し、現在は ENDF/A に格納されている。

NNDC の Oblozinsky 氏が ENDF/B-VII.1 に向けた共分散の評価現状を総括した。百数十核種に共分散データを付加する予定らしい。米国 AFCI プロジェクトにおいて整備・評価された共分散ライブラリー AFCI-1.2 (110 核種に対する共分散。ただし 7 割程度は “Low-fidelity covariance”) のレビュー結果等の報告があり、中性子捕獲断面積に関して非現実的に大きい (又は小さい) 誤差が与えられている問題等の報告があった。しかしこれらをどう解決するのか定かではなかった。現在 ENDF/A には U-233、235、238、Pu-239、240、W 同位体、F-19、Cl-35、37、K-39、41、Mn-55 に対するデータが格納されているそうである。AFCI-1.2 共分散ライブラリーについては BNL-NNDC の Mattoon 氏から後日のセッションで詳細な報告があった。内容としては Atlas+EMPIRE/GNASH-KALMAN による評価、ユーザーコミュニティからのフィードバック等の話であった。

● 核データ測定関連

LLNL の J.T. Burke 氏より代理反応を利用した短寿命不安定核の核分裂断面積及び捕獲断面積の測定に関して報告があった。陽子やアルファ粒子の非弾性散乱、He-3 や O-18 の核子移行反応を利用した測定及び解析結果が示され、評価値や過去の実験データとの比較も行っていた。ただしこの測定で最終結果を得るためにはモデル計算と連携しなければならないため幾つかの仮定が入る。代理反応で生成する複合核のスピンの分布が最終結果に特に影響するようで、そちらの研究も精力的に進めているようであった。ガンマ線遷移確率の測定データを幾つかのバージョンのスピンの分布を仮定した計算値と比較し、もっともらしい分布を採用していた。

R.C. Haight 氏より LANSCE における核データ測定の現状に関して報告があった。ご存知の方も多いと思うがこの施設は核破砕反応で生成される連続エネルギー中性子を使ってビームライン毎に様々な断面積の測定が行われている。その中でまず FIGARO における核分裂中性子スペクトル測定の測定状況が報告された。U-235、Pu-239 の測定及び解析が一通り終了し、過去の Staples らの測定データ及び ENDF/B-VII.0 との比較が示された。ENDF/B-VII.0 と大きな矛盾は無いがスペクトルの両端で少なからず違いが見えていた。現在 Th-232 の測定及び解析を行っている最中だそう。測定手法に関しても改良を重ねているようであった (1 MeV 以下の低エネルギー中性子を測定するための Li-6 グラス検出器の導入等)。また、核分裂断面積の測定及び解析状況に関して報告があった。測定エネルギー範囲は熱領域から数百 MeV をカバーしているとのことでそのスケールには驚きである。Pu-239、241 の測定及び解析が終了し過去に測定された Lisowski や Shcherbakov らのデータとの比較が示され、若干の違いがあることが述べられた。Pu-241 に関しては半減期が短いために絶対量の測定が難しいようであった。しかし断面積の形状が ENDF/B-VII.0 と違っており、再評価を行う必要があると述べていた。その他 “Pulse

stacking”の問題を改善し、WNRにおいて低エネルギーの入射中性子測定もある程度可能になったことを報告していた。DANCEにおける中性子捕獲断面積の測定、GEANIEにおける(n,n γ)等の測定の話は少し触れる程度であった。個人的に興味のあった軽イオン生成断面積の測定(N,Z)に関しては特に進展は無いようであったが、構造材を中心に今後も測定を続けるとのことであった。

● 核反応理論関連

NNDCのM. Herman氏より核データ評価計算コードシステムEMPIREの開発・整備状況が報告された。核反応で生成される粒子種の拡大、combinatorial level density (RIPL-3)の導入、共鳴領域の評価の際に散乱半径の誤差を考慮するオプション等の話があった。またGUIに関する話も比較的多く、利用者を意識したユーザーフレンドリーなシステムを目指していることがうかがえた。

河野氏がLANLにおける近年の理論計算及びコード開発に関するアクティビティを総括した。モンテカルロ法を使った核分裂遅発中性子放出、カスケードガンマ線スペクトルの計算及びその結果について報告があり、また最新のCoHコードを用いたモンテカルロHauser-Feshbach計算例が紹介された。さらに微視的模型(HF-BCS)と連携して得られた陽子捕獲断面積の計算例が多数紹介され、測定データと非常によく一致していた。

LLNLのSummers氏よりモンテカルロ法を使ったcapture gamma-ray cascade計算の話があった。連続状態から基底状態への遷移確率をモデル計算で求め、離散準位から基底状態に落ちるガンマ線の断面積は実験データを用いる。それらの情報を基に熱中性子捕獲断面積の推定を行うことができる。しかし仮定する準位密度モデルに結果が左右されるような気がした。ただ熱中性子捕獲断面積が既知の場合は逆にモデルパラメータを決定できるという利点がある。

以上の様な“つまみ食い”的で大雑把な報告となってしまう大変恐縮である。筆者はこの会合に参加するのは初めてであった。まず驚いたのが米国の核データコミュニティーの規模の大きさである。BNL、LANL、LLNL、ORNL、ANLといった代表的な研究機関や大学がその得意とするところを持ち寄り、そして協力する体制が十分に整っていることを肌で感じた。しかし一方、意外だったことは国内に強力なコミュニティーがあるにもかかわらず国産のデータに特別こだわっていないことであった。実際、次のバージョン(ENDF/B-VII.1)ではIAEAで評価されたタングステンの評価データやKAERIのキュリウムのデータが候補に挙げられていた。さらに彼らはJENDL/ACを“Beautiful Library”と言って高く評価しており、MAの多く?の核種に対してJENDL/ACを採用し

ようという空気があった。良いものは積極的に受け入れようとするアメリカ的考え方からすれば当然なのかもしれない（確かにこれまでの ENDF/B シリーズでも JENDL から採用したデータが結構あるような）。

さて会議には LANL の河野氏、学生時代に LANSCE の実験でお世話になった R.C. Haight 氏も参加されていた。正直、会合に参加する前は専門委員会初参加、しかも米国ということで非常に不安であった。しかしこの二人に会ってホッとした。夜は右も左もわからない私を食事に連れて行って頂いた。また初めて NNDC の Oblozinsky 氏、Herman 氏とお話しすることができた。今後の研究のアドバイスも頂き大変光栄であった。



(左から LANL のイケ面 P. Talou 氏、私、AECL の Wilkin 氏)



(左から P. Oblozinsk 氏、A. Trkov 氏、河野さん、P. Talou 氏、M. Herman 氏)

BNL のカフェにて