

会議のトピックス (IV)

2007 年 CSEWG 及び USNDP 会合報告

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

断面積評価 WG (CSEWG、Cross Section Evaluation Working Group) が 2007 年 11 月 6～8 日、米国核データプログラム (USNDP、US Nuclear Data Program) が同 7～9 日にブルックヘブン国立研究所 (Brookhaven National Laboratory、BNL) で開催された。以下、日程に従って会合の概要を報告するが、詳細 (発表資料の一部) 及び議事録は <http://www.nndc.bnl.gov/proceedings/2007csewgusndp/> からダウンロードできるので、そちらを参考にさせていただきたい。ここでは、筆者の興味があり記憶に残ったもののみを紹介することとしたい。なお、文中の敬称は略させていただく。

2. CSEWG

2.1 ENDF/B-VII.0 以降

「アクチナイドの評価などを含んだ ENDF/B-VII.0 の第 2 論文が来年公開予定である」と P. Oblozinsky (ブルックヘブン国立研究所、BNL) が報告し、ENDF/B-VII.0 以降の活動計画に関する議論を行った。D.L. Smith (アルゴンヌ国立研究所、ANL) は、誤差データ整備の重要性から共分散委員会の設置を提案した。ENDF/B-VII.0 は非常に限られた共分散データしかないので、メールベースの委員会を組織できないか議論され、参加者を募ることとなった。

M.B. Chadwick (ロスアラモス国立研究所、LANL) が、ENDF/B-VII.1 の公開計画について提案した。2010 年に公開予定で、共分散データの改訂を進める。アクチノイドについては、Geel の ^{235}U 核分裂スペクトルデータを採用し、LANL における FIGARO 改良及び Time Projection Chamber (TPC) による測定に期待する。 ^{240}Pu 、Am 及び ^{237}Np の改訂、 ^{235}U 捕獲断面積は WPEC の成果に期待する。14 MeV 近傍の前平衡及び非弾性散乱スペクトルの改訂も行う。D については、1～3 MeV での角度分布実験データを含める。 ^9Be に関しては積分テスト結果を改善するように R 行列評価を行う。Ti、V などについては、JENDL-3.3 から、必要であれば改訂して採用する。核分裂収率に関しては、LANL で評価

を行う。

ENDF データベース管理について M. Herman (BNL) が以下のように報告した。ENDF/B-VII.0 から改訂した ENDF/A の 6 ファイルを格納終了 (web から公開) し、ベンチマークテストのページを作成した。GForge ツールによるファイル公開、文書管理、ニュース、ユーザ検索及び組織管理、バックトラッキングを実施している。

「共分散及びアクチノイドは ENDF/B-VII.0 以降の最大のタスクであるので、工程表を作成する必要がある。Global Nuclear Energy Partnership (GNEP) に関連するアクチノイドデータは高優先度データである」などの意見が出された。また、例えば内挿など、評価済みデータの品質が処理コードで保存されるべきであるという意見も出た。

2.2 評価委員会

ENDF/B-VII.0 の既知の不具合を Herman が報告した。T(n,2n) は 14 MeV で ENDF/B-VI.8 及び JEFF-3.1 よりかなり小さい。いくつかの FP 核種の分離共鳴パラメータ領域とそれ以降にギャップがある。 $^{208}\text{Pb}(n,d)$ 断面積の 8~12 MeV 領域での物理的でない形状がある。 ^{89}Y 、 ^{153}Eu 、 ^{99}Tc 、 ^{233}U 、 ^{239}Pu 、 ^{242}Am はファイルに負の値が入っている可能性がある。 ^{237}Np の捕獲断面積が熱中性子エネルギーで 161.7 ± 5 b で Mughabghab の値 (175.9 ± 2.9 b) と異なる。また、 ^{242}Cm の NJOY での処理結果に遅発中性子データが欠如している。

Santa Fe ワークショップで議論された Am 断面積についての総括を Chadwick が行った。ENDF/B-VII.0 のレビュー特に、 $^{241,242m,242}\text{Am}(n,2n)$ の前平衡過程スペクトル、捕獲及び核分裂断面積について報告した。ENDF/B-VII.0 の (n,2n) 断面積は ENDF/B-VI.8 に比べて、TUNL-LLNL-LANL の積分データをよりよく再現する。今後、 ^{241}Am の熱中性子エネルギーデータ及び共鳴データを DANCE データ、14~17 MeV を Geel のデータを元に評価する。また、 ^{240}Am の γ 線崩壊データ、 $^{243}\text{Am}(n,2n)$ の再測定を DANCE で行う。P.G. Young の行った $^{238,240}\text{Pu}$ の光学模型パラメータ (OMP) 解析のレビューも行った。

TALYS を使用した ^{237}U 、 ^{240}Am 及び構造材の新評価について D. Brown 及び N. Summers (ローレンスリバモア国立研究所、LLNL) が報告した。

LANL で行っている Ti の評価について S.Y. Oh (韓国原子力研究所、KAERI) が報告した。臨界安全計算 (HEU-Metal-Fast-079, 034, HEU-Metal-Medium-001, 015) における中性子吸収体として、また、遮蔽ベンチマークテスト (OKTAVIAN、LLNL) で重要なので、LANSCE などの実験データを用いて再評価を行ったようだ。評価結果は、捕獲断面積が $^{47,48}\text{Ti}$ が ENDF/B-VII.0 より大きく、 ^{46}Ti が小さい。また、 ^{48}Ti 以外の弾性散乱断面積は大きく異なる。ベンチマークテスト結果は C/E が 0.4% 以下で良好に再現している。

遅発中性子スペクトルの評価について河野 (LANL) が報告した。Homeland Security (HS) 及び天体核物理で重要であり、 Q_{β} を FRDM+QRPA で、中性子及び γ 線スペクトルは統計模型 (ENSDF を基にスピン分布を推定) で計算した。遅発 γ 線も同時に計算している。

積分実験を用いた W 評価の改良について L. Leal (オークリッジ国立研究所、ORNL) が報告した。 ^{182}W は SAMMY を用いて、分離共鳴パラメータ (ENDF/B-VII.0 では MLBW で 4.5 keV 以下で与えている) を Reich-Moore で 12 keV 以下まで拡張した。共鳴積分値 (I_γ) は 597.16→628.33 b と変化したが、 σ_0 はほぼ同じ。 ^{183}W の分離共鳴パラメータを 0.765→2.2 keV へ拡張した結果、 $I_\gamma = 356.32 \rightarrow 334.73$ b と変化した。 ^{184}W は 2.65→15 keV へ、 ^{186}W は 3.2→15 keV へ拡張した。また、 ^{48}Ti 、 ^{19}F 、 $^{35,37}\text{Cl}$ 、 ^{55}Mn の分離共鳴パラメータも解析した。共鳴領域の誤差は熱中性子エネルギー領域よりもよくなっている。

Pu 及び U の即発中性子スペクトル及び核分裂断面積に関する LANL 及び LLNL の将来計画における改良の可能性について Chadwick が報告した。TPC により ^{239}Pu の 200 keV ~ 20 MeV 領域での核分裂断面積測定が 2~3% の精度で可能となる。さらに、核分裂スペクトル測定の精度向上も期待できる。

FIDGET (核分裂中性子スペクトル及び核分裂収率シミュレーションのためのウィジェット (widget)) について R. Vogt (LLNL) が報告した。モンテカルロを用いた、個々の核分裂片から放出される平均値ではない遅発中性子及び γ 線の計算であるが、核分裂収率は与えなければならない。

KAERI での評価活動について、Y.O. Lee (KAERI) が報告した。 ^{89}Y 、 ^{93}Nb 、 ^{127}I 、 133 断面積、 ^{141}Pr 、 ^{197}Au 、Tl、 ^{209}Bi の捕獲 γ 線スペクトルを統計モデルにより計算した。ピグミー共鳴などの簡単な修正により実験データをよく再現できた。今後、巨大共鳴 (GDR) パラメータの系統性を検討する。 $^{182,183,184,186}\text{W}$ の中性子核データも EMPIRE を用いて評価した。また、Proton Engineering Frontier Project (PEFP) のために ^{27}Al に対する陽子入射データを TALYS により計算した。

FENDL に対する ENDF/B-VII.0 公開のインパクトに関して、M. Sawan (University of Wisconsin-Madison) が報告した。ITER 建設が 2008 年に開始されるのに対応して、FENDL-2.0 (2003 年公開) の改訂が必要である。FENDL-2.1 に含まれる ENDF からの核種の内、ENDF/B-VII.0 は ENDF/B-VI.8 から 19 核種 (2 核種は JEFF-3.1 から、7 核種は JENDL-3.3 から) が大きく変更されている。

IAEA における中性子断面積評価の改訂について D. Abriola (国際原子力機関、IAEA) が報告した。RIPL-3 の完成が近く、革新的原子力施設のための核データとして $^{234,236}\text{U}$ 、 ^{237}Np 、 $^{238,240,241,242}\text{Pu}$ 、 $^{241,242,243}\text{Am}$ 、 $^{242,244}\text{Cm}$ の評価を行っている。また、IFMIF にデータ提供するために 150 MeV まで入射エネルギーを拡張した FENDL-3.0 の整備を予定している。

2.3 CSEWG 運営委員会昼食会合

筆者は参加していないが、ENDF/B-VII.0 以降の断面積 EWG 活動 (組織及び VII.1 の公開)、共分散ワークショップ (Port Jefferson、2008 年 6 月末)、WPEC 関連 (CSEWG チー

ム、新サブグループ) などについて議論されたようである。

2.4 信頼性検証委員会

ENDF/B-VII.0 信頼性検証に関するレビューを R. McKnight (ANL) が行った。U、Pu システムについては、LEU の多くのケースで改善が著しい。HEU についても C/E の相違が ENDF/B-VI.8 の 0.7% から 0.3% 以下と改善されている。Pb、Be 反射体システムに関しても改善されている。一方、ZEUS の ^{235}U 散乱及び Cu データは改良の余地があるかもしれない。遅発中性子の改訂の結果、 ^{238}U の熱炉心で 5%、Pu/U 高速炉心で 2% の変化があった。 $^{235,238}\text{U}$ 、Pb、Li、Be 系の遮蔽データは改善されている。 ^{239}Pu の熱炉心、Cr の共鳴領域、Pu システム中の Mn、W のよくない傾向、 ^{233}U はまだ迷走中、 ^9Be 付加システム、 ^{238}U 捕獲断面積などの問題点が見つかった。

AECL における最近の ENDF/B-VII.0 検証作業を K. Kozier が報告した。Zero Energy Deuterium (ZED-2) は D_2O 減速材を用いた天然ウラン集合体実験である。 D_2O 及び D_2 の $S(\alpha,\beta)$ の追加が、実験結果の再現に必要である。MAPLE (RI 製造用原子炉、10 MW) の低濃縮化に伴う臨界性計算の改善が著しい。

最近の ENDF/B-VII.0 検証作業 (M. Zerkle、Bettis Atomic Power Laboratory) では、 ^{235}U 系の熱外中性子漏洩割合、熱外中性子核分裂割合、水素の中性子吸収について HEU-Sol-Therm (HST) 及び LEU-Sol-Therm (LST) 系は実験誤差以下でほぼ完璧であることがわかった。

VNIIEF による ENDF/B-VII.0 信頼性検証 (Skip Kahler、LANL) の報告があった。多くの公開ベンチマークテストの中性子工学シミュレーションを VNIIEF のコード (C-95 (モンテカルロ) 及び Sn コード) で行い、ENDF/B-VII.0 の精度検証を行った。他の評価済み中性子データライブラリ (ENDF/B-VI.8、JENDL-3.3、JEFF-3、CENDL-2) と比較することにより、品質検証を行った。ICSBEP に加えて 45 ケースのベンチマークテスト (LANL の “big paper” 及び公開されている VNIIEF の 6 ケース) を行った。結果は、 $\sigma(\text{U-238f})/\sigma(\text{U-235f})$ に対する計算結果は実験誤差 (4~5%) 以内で一致。 $\sigma(\text{U-233f})/\sigma(\text{U-235f})$ は実験に一致。 $\sigma(\text{U-234f})/\sigma(\text{U-235f})$ の結果は ^{234}U の断面積の改善の必要性を示唆している。 $\sigma(\text{U-236f})/\sigma(\text{U-235f})$ は十分に実験と一致している。 $\sigma(\text{Pu-240f})/\sigma(\text{U-235f})$ の平均的な振る舞いは実験データを十分に説明できているが、個々の結果は実験の 2~3 σ に分散している。 $\sigma(\text{Pu-239f})/\sigma(\text{U-235f})$ は実験 1~2 σ 以内で実験と一致している。 $\sigma(\text{Np-237f})/\sigma(\text{U-235f})$ の計算値は大きく分散している (最大 3~5 σ) が、ENDF/B-VII.0 による結果は他のライブラリよりも悪くない。

Ir、Y、及び Tm (ドシメトリーファイル) に対する検証 (M.B. Chadwick、LANL) を行った。LiH からのトリチウム生成、Bethe 球中の反応率 (1970 年代の LANL での 14 MeV 中性子実験) などを利用して ^6LiD 、 $^{235}\text{U}+^6\text{LiD}$ からの 14 MeV+低エネルギー中性子スペク

トルを MCNP で計算し、改善がみられた。また、 $^{191}\text{Ir}(n,2n)^{190}\text{Ir}$ 反応の 14 MeV 及び、 $^{193}\text{Ir}(n,n')^{193\text{m}}\text{Ir}$ の熱中性子エネルギーにおけるレスポンスを用いて検証した。LiD 体系での $^{193\text{m}}\text{Ir}/^{190}\text{Ir}$ 比測定などは 3 桁まで一致しているが、U を付加した場合、20~40%の過大評価が見られた。これは、 ^{235}U の 9~12 MeV 領域の問題かもしれない。

keV 領域のデータは宇宙核物理分野で重要である中性子捕獲反応率に関するライブラリ間の比較を B. Pritychenko (BNL) が行った。中川らの JENDL-3.3 による計算値は必ずしも Bao らのデータと一致しない。KADONIS のために、NNDC で主要中性子ライブラリの処理を行った (総数 400 核種、 ^{240}Cm 及び ^{247}Bk は ENDF/B-VII.0 には格納されていない)。(n, γ)、(n,tot)、(n,el)、(n,n'), (n,f)、(n,2n)、(n,p)、(n, α)に対する評価済みデータを Sigma web インターフェースを用いて実験結果 (総数 3200 のスペクトル) と比較した。核データの問題点は重要度で、(1) ENDF/B-VII.1 公開時に改訂されるべきもの、(2) 将来公開されるものに反映されるもしくは将来検討されるべきもの、(3) 上記以外に分け、評価済みファイル (JENDL-3.3、ENDF/B-VII.0.0、JEFF-3.1、ENDF/B-VI.8) の暫定的な格付けを行った。197 の潜在的に問題のある結果が CSEWG に提出できる。ENDF の品質保証 (QA) 委員会のようなものを発足すべきである。

新 JEFF 及び ENDF データのパフォーマンスについて Y. Rugama (OECD/NEA) が報告した。JEFF Report 22 (JEFF-3.1 の信頼性検証) では、熱中性子エネルギー、高速中性子エネルギー (Na 冷却反応度に関して Fe 反射対中の ^{56}Fe に問題があるかもしれない) についての検証を行っている。JEFF-3.1 に関するフィードバックやコメントを歓迎する。JEFF-3.1 崩壊データライブラリに 59 核種 UKPADD-6.7 から採用し、以前よりよい結果を与えている。JEFF-3.2 (2009 年公開予定) の計画として、 $^{235,238}\text{U}$ 改訂 (高エネルギー領域)、W、Hf、Ta、 ^{239}Pu の新評価、Geel 実験を用いた Pb、Bi、 $^{241,242}\text{Am}$ の新評価、より多い共分散データ、EAF-2007 放射化ファイルの取り込み、光核反応データの追加を予定している。JANIS-3 (NEA データ表示ソフト改訂版) を 2007 年 6 月に公開した。

^{113}Cd 捕獲断面積のテストに関して S. Mughabghab (BNL) が報告した。Cd 溶液系ベンチマークテスト (Pacific Northwest Laboratory で 1978~79 年に行われた Cd を含有した高濃縮ウラン硝酸溶液系の 21 の実験シリーズ (Cd を溶液中及び反射体中に含有) で 2 種類の円筒形ステンレスベッセル (実効的に無限の水反射体) の溶液高さにより臨界性データを取得するものである (HEU-SOL-Therm-049 (ICSBEP))。ENDF/B-VI は良くないが、ENDF/B-V はそこそこの結果であった。ENDF/B-VII.0 の Cd 断面積は ENDF/B-VI と同様であったが、ENDF/B-VII.0 を用いた MCNP5 計算は 16 のベンチマーク中 14 で ENDF/B-VI よりやや良い結果を与えた。この改善の理由は U (特に ^{235}U) の改訂によるところが大きい。そうであるが、ENDF/B-VII.0 は主要な 20 のベンチマークテストに良い結果を与えていない。ENDF/B-V、ENDF/B-VI 及び ENDF/B-VII.0 の詳細な比較の結果、熱中性子エネルギー領域の Cd による吸収を増加させると良いことがわかった。熱中性子エネルギー

での Cd による吸収は ^{113}Cd (0.178 eV の共鳴のみ重要) が主である。 ^{113}Cd の断面積評価を改訂し、MCNP ライブラリを作成した。 ^{113}Cd の熱中性子捕獲断面積は 20615 b (ENDF/B-VII.0)、20726 b (ENDF/B-VI)、19800 b (0.178 eV の共鳴の γ 幅を 0.65333 meV から 0.62200 meV に改訂した今回の評価)。今回の評価による共鳴積分は 376.6 b と減った。この改訂版 ^{113}Cd 捕獲断面積によりベンチマークテスト結果を大きく改善したため、ENDF/B-VII.1 に格納予定である。

2.5 測定委員会

LANSCE における今後の研究の方向を R. Haight (LANL) が報告した。GEANIE では、 $\text{Tl}(n,2n\gamma)$ 反応の 1~300 MeV における γ 線分岐比の測定を行う予定である。荷電粒子測定施設 (N,Z) では、中性子入射荷電粒子放出反応の測定を行う。2008 年には 0.5~10 MeV での $^6\text{Li}(n,t)$ を測定する。断面積の目標精度 5% で角度分布も測定予定である。Mo、Zr の α 生成断面積の測定も予定している。FIGARO では、核分裂核種 (^{239}Pu 、 ^{235}U 、 ^{237}Np)、非核分裂核種 (^{56}Fe 、Mo) の非弾性散乱などを測定する予定である。DANCE では、 $^{94,95}\text{Mo}$ 、 ^{142}Nd 、 ^{149}Sm 、Gd、Eu、Tl、 ^{235}U 、 $^{240,242}\text{Pu}$ 、 $^{241,243}\text{Am}$ の捕獲断面積及び $^{240,242}\text{Pu}$ の核分裂断面積データの解析中である。TPC での測定も予定している。

ORELA での新しい中性子断面積測定について、M. Dunn (ORNL) が報告した。 ^{41}KCl (99.17%濃縮資料) の捕獲断面積の詳細測定により、 ^{41}K 共鳴パラメータの差し引きによる Cl の共鳴パラメータの新評価を行った。Mn の厚い資料を用いた捕獲断面積の測定を行い、天然 Cr の透過係数測定 (100 eV~50 keV) 及び ^{58}Ni の捕獲断面積測定を開始した。天体核物利用実験について、Cr、 ^{95}Mo の捕獲断面積測定、 $^{\text{nat},53}\text{Cr}$ 、 $^{58,60}\text{Ni}$ 、 $^{63,65}\text{Cu}$ に対する全断面積及び捕獲断面積測定、 $^{64}\text{Zn}(n,\alpha)$ 測定について実施または終了した。将来的に $^{86,87}\text{Sr}(n,\gamma)$ 、全断面積及び $^{149}\text{Sm}(n,\alpha)$ 断面積の測定を計画している。

NIST における測定及び標準断面積評価活動について A.D. Carlson が報告した。 $^1\text{H}(n,\text{ela})$ に関しては、14.9 MeV (0、12、24、36、48、60 deg.) 及び 194 MeV (93~176 deg.) の角度分布を改訂した。また、TPC を利用することを検討している。 $^6\text{Li}(n,t)$ の 1~4.4 MeV における角度分布、 $^{235,238}\text{U}(n,f)$ の 32~200 MeV 及び $^{239}\text{Pu}(n,f)$ の MeV 領域における断面積を評価した。

LBLN における中性子断面積測定に関する報告を R.B. Firestone が行い、Z=1~83、92 (He、Pm を除く) の核種に対する熱中性子エネルギーにおける中性子及び γ 線生成断面積の測定を行った。Budapest の即発 γ 線施設も利用している。IAEA の評価済み γ 線放射化ファイル (EGAF) や IAEA 即発 γ 線放射化分析ビューア (<http://www-nds.iaea.org/pgaa/pgaa7/index.html>) に対する協力も行っている。結果をまとめて、LBLN 捕獲 γ 線データ (<http://ie.lbl.gov/ng.html>) を公開し、 σ_0 の表も web から閲覧可能である。また、Low-lying 準位構造を γ 線強度関数及び統計モデル計算 (DICEBOX) で

導出した。LBNL では、LIBERACE&STARS 検出器を用いて代理反応による $^{237}\text{Np}(n,f)$ の 10~20 MeV 領域の断面積を $^{238}\text{U}(^3\text{He,t})^{238}\text{Np}$ により決定している。これに関して、S. Basunia が報告した。この他、 $^{236}\text{U}(n,f)$ を $^{238}\text{U}(^3\text{He},\alpha)^{237}\text{U}$ により（角運動量効果が重要）、s 過程の分岐点として重要な $^{153}\text{Gd}(n,\gamma)^{154}\text{Gd}$ 断面積を $^{154}\text{Gd}(p,p)^{154}\text{Gd}$ によりもとめている。

Rensselaer Polytechnic Institute における中性子断面積測定及び解析について Y. Danon が報告した。2007 年中に、Mo の 0.4~20 MeV 領域の透過係数及びフィルタービームによる透過係数の高精度測定（0.024~0.9 MeV）、Be の 0.4~20 MeV 領域の透過係数、C の 0.4~20 MeV 領域の中性子散乱データ、Cd 天然同位体金属資料による 0.01~20 eV 領域の透過係数測定を行った。今後、 ^{153}Eu 及び ^{nat}Eu の透過係数及び捕獲断面積測定、Zr の 0.4~20 MeV 領域の透過係数の測定、Be 及び Mo の 0.4~20 MeV 領域での中性子散乱データの測定、Mo の共鳴領域（1 eV~400 keV）における透過係数測定を予定している。データ解析については、Mo の論文を ND2007 で発表し、最終解析を行っている。その他、 ^{236}U の解析、Dy の SAMMY 解析、Re のデータ解析が進行中である。測定系の新機能として、以下が挙げられた。100 m の flight path を用いた透過係数測定では、高エネルギー領域で（0.2~20 MeV）の透過係数及びスペクトル測定を行う予定であり、共鳴領域用新検出器を作成中である。30 m の flight path における散乱検出器（0.2~20 MeV）は、デジタルデータ収集システムにより検出器反応時間（100 ns）のオーダーでのパルス波形解析を不感時間とともに可能とする。これに関して、黒鉛での中性子束測定テストが終了した。高精度フィルタービームによる透過係数測定により、0.2~0.9 MeV での単一のエネルギー点での測定が可能となる。黒鉛、Be 及び Mo に対するデモ測定での断面積の精度は 1%以下である。鉄フィルタービームを用いた測定から、JENDL-3.3 の Be 全断面積は 700~800 keV で過小評価、ENDF/B-VII.0 の Cd 全断面積は 0.2 eV 共鳴のピークを過小評価などが指摘された。

LLNL における測定について C. Wu が報告した。 $^{241}\text{Am}(n,2n)$ 断面積の放射化法による測定（7~15 MeV）は ENDF/B-VII.0 と一致し、JENDL-3.3 とは異なる。 ^{239}Pu の即発 γ 線測定は 2008 年に終了予定であり、 (n,γ) 断面積は DANCE で測定する。代理反応に関して、 $^{238}\text{U}(\alpha,\alpha')$ による $^{237}\text{U}(n,\gamma)$ 、 $(n,2n)$ 、 (n,f) の測定を行っている。核分裂断面積について、100 keV における ^{242m}Am に対して DANCE で、14 MeV については LEPS (TUNL) で測定している。 ^{239}Pu は TPC を利用することで 1%以下の精度で測定可能となる。これについて、LLNL の大強度中性子源 (ALEXIS) が利用可能である。

EXFOR の改訂 (WPEC/SG30) について、Oblozinsky が報告した。この SG は、EXFOR の問題点を特定し、取り除く目的で組織された。処理はすでに開始されており、IAEA が EXFOR の問題点及び改善点の web ページを作成する予定である。NEA は JANIS を用いて EXFOR を評価済み核データファイルと比較し、問題点祖系統的に洗い出す。NNDC は Sigma を用いて問題点を抽出する予定である。EXFOR の C4 への変換に関して、現状で

は約 51%が変換可能であるが、93%程度までは拡大できることが期待できるので、IAEA は X4toC4 を可能な限り拡張する。NEA は JANIS の EXFOR の読み取り及び C4 への変換能力を拡張する。大塚 (IAEA) は、C4 への変換における統計及び系統誤差の表現に関する最も良い方法を提案する。EXFOR の完全性に関して、現状では中性子については 85%、陽子 25%程度が格納されていると推定されている。IAEA はすべての入射粒子について完全性のより確かな推定を行う。

2.6 フォーマット及び 処理委員会

2.6.1 フォーマット提案

JEFF プロジェクトからの提案をまとめて A. Trkov が行った。共分散フォーマット (LB=8) 修正の提案として、データ群より非常に大きなユーザ定義の群幅の場合、誤差に対する寄与は少ないことがすぐにわかるが、群幅が狭くなったとき誤差は大きくなる可能性がある。これが非現実的であることは明白である。なぜなら、誤差に対する大きな寄与は、共分散データ群幅とほぼ等しいユーザ定義群の幅の境界での現実的な場合にも生じるからである。これは数値的な丸めに起因すると思われる。別の問題の例は、あるエネルギー点でのユーザ定義群幅が無限に狭い状況での断面積誤差である。フォーマットを変更しないで、誤差の定義をする別の方法を提案した。これに関しては、説明が不十分ではっきりしないので、更なる説明を求めることとした。

cumulative yield に対する安定核の定義について、非常に半減期の長い核種を安定核と定義するか、不安定書くとするかは核データファイルに大きく依存している。これは、統一するように定義すべきである。この提案に関しては、評価者が定義すべきであるので、却下することとした。

MF=34 への LCT フラグ (重心系・実験室系の指定) の導入について、公式 NJOY の配布に関連するが、MF=4 の Legendre 係数が重心系で与えられていたとしても、MF=34 中の共分散行列を実験室系で与えることを許して欲しいと要求された。これは採択された。

MF=35 のデータ表現に対する不確定性について、Mannhart による ^{252}Cf の自発核分裂スペクトルの共分散が ENDF/B-VII.0 に採用されている (ENDF/B-VI そのまま)。これは ENDF-6 フォーマットマニュアルの Section 35.3 に従っている。一方、JENDL-3.3 のアクチノイド共分散評価は Section 35.2 の最初の式に従っている。MF=35 データを処理できる ERRORJ コードは JENDL-3.3 の方法に従っており、ERRORJ の現状は公式 NJOY の配布上重要である。この解決法は、ERRORJ を改訂し、Section 35.2 及び JENDL-3.3 の $^{233,235,238}\text{U}$ 及び $^{239,240}\text{Pu}$ の共分散データの記述方法を変えるように推奨するか、ENDF/B-VII.0 の ^{252}Cf 評価及び Section 35.3 を改訂するかしかなない。この問題に関しては共分散委員会で、更なる情報を得た上で検討する。

JEFF-3.1 の $^9\text{Be}(n,2n)$ (MT=16) の MF=5 に関する要求を R. Dean (FZK) が行った。(n,n')

(MT=4) に続く ${}^9\text{Be}(n,2n)$ の記述のことを言っていたかもしれないが、よく意味を取れなかった。「データは MF=5/MT=91 に入れるべきである」と ENDF マニュアルに書いてあるが、MF=6 に書くことを承認して欲しい。このため、JEFF-3.1 の Be が NJOY で処理できない。これは NJOY に patch を当てることで対応する。

核分裂における全即発エネルギー付与について (A.C. (Skip) Kahler, LANL)、核分裂の開放エネルギーは 18 元素について“LIST”レコードでもともと記述されているが、多項式展開での表現 (HEAD、LIST、SEND レコード) を許して欲しいという提案だった。NJOY では処理できる (改造している本人であるので当たり前) というので、採択された。

JENDL PKA/KERMA ファイルのための MF 番号拡張について筆者が要求した。MF=63, 66 を JENDL PKA/KERMA ファイルでのデータ格納のために許可して欲しいという要求であった。これに対し、LATEX 版のマニュアル記述案を提出するように言われた。固定するのではなく、単に、使用を許可して欲しかっただけであり、フォーマットの内容は MF=3, 6 とまったく同じであるが、なんとなく五月蠅がられているような印象を受けた。

2.6.2 処理コード

NJOY について A.D. (Skip) Kahler 及び R. MacFarlane が報告した。最新版 (NJOY99.259、2007 年 10 月 16 日公開) については <http://t2.lanl.gov/codes/njoy99/> を参照して欲しい。これには、最新版の ERRORJ を含んでいる。これを用いて、JENDL-3.3 の 337 核種の内、335 核種が処理できた。この結果、 ${}^{93}\text{Nb}$ 及び ${}^{207}\text{Pb}$ の HEATR 処理がうまくいかない、 ${}^{16}\text{O}$ に関する ACER の吸収断面積プロットの問題などが見つかった。NJOY99.161 からの変更点は、ERRORJ を ERRORR の代わりにインストールしたこと、同時にブロードニングでできる反応数の増加 (ΔT ステップを広げるために配列を増やした)、 $f(E)=0$ の場合の TAB1 データに対するユニットベース内挿を改良、断面積に依存する光子収率の処理の改良、MT=600~849 があって MT=103~107 がない場合の断面積処理の改良 (フォーマット違反?)、MF=6 の離散光子の処理の許可 (${}^1\text{H}$)、RECONR から ACER にわたる光核反応データの処理 (ただしマニュアルにはない)、ACER における LAW=4 のときの荷電粒子断面積の二重数え上げの問題を修正、CCCCR 及び VIEWR で JEFF-3.1 の 8 群遅発中性子データ処理を追加、LEAPR 及び THERM の MF=7 フォーマットオプションの追加、RECONR 及び BROADR で断面積のメッシュの再生成をするときの非常に小さい断面積の無視などである。

AMPX について M.E. Dunn が報告した。共分散データ処理の追加、断面積処理の改訂を行った。これにより、CE-KENO V 等のライブラリ作成及び信頼性検証を行った。

LLNL の処理コードについて Brown が報告した。legacy コードの mcfgen モジュールを Python で書かれた xmcgen に変更することにより GEANT 用の XML データを生成する。XML→ENDL→XENDL 変換ツールとして、xndf、xmct などを作成した。

ENDF/B-VII.0 による MCNP ライブラリについて R. Little (LANL) が報告した。NJOY99.248 により 293.6、600、900、1200、2500K で 392 核種の中性子ライブラリを作成した。 ^1H の捕獲反応、 ^{45}Sc の MF=13/MT=3 しきいエネルギー、 ^{242}gAm の MT=18 に対する角度分布が与えられていない問題、 ^{16}O の MT=801 のギャップなどは処理できていない。MCNP5-1.50 は陽子及び光子入射データ及び S(α,β)を 2008 年中に追加する予定である。

2.6.3 BNL のフォーマット及び処理に関する活動

ENDF/B-VII.0 の ACE ライブラリ配布に関しては、RSICC から検証者に対しては登録の上、公開している。

ENDF-102 マニュアルは、Word から LaTeX へ変換したが、最近のフォーマット改訂は反映されていない。今後、図を移行し、2003~2005 年の改訂を反映した後、例及び図を追加する。

フォーマットチェックコード群について、CHECKR は 7.04、PSYCHE は 7.03、FIZCON は 7.05、STANEF は 7.02 にアップデートしたが、CSEWG で改訂されたものは含まれていない。

2.7 共分散委員会

速中性子領域での共分散の暫定的なテスト作成について M. Pigni (BNL) が報告した。KALMAN+EMPIRE による計算で、219 の FP 核種に対する 30 群 (5 keV~20 MeV) の共分散を作成した。パラメータの誤差は RIPL-3 から取ることができる。

熱中性子エネルギー及び分離共鳴領域での共分散の暫定的なテスト作成について M. Williams (ORNL) が報告した。3 つの相関のない共分散行列 (熱中性子エネルギー、熱外、高速中性子エネルギー領域) に分け、熱中性子エネルギーデータについて、全相関の $1/v$ 断面積、形状全相関の非 $1/v$ 断面積 (g 因子は無視) の 2 ケースについて、熱中性子エネルギー及び共鳴領域での 300 核種に対する共分散を作成した。

WPEC/SG-26 (共分散) 作業の現状の報告 (P. Oblozinsky, BNL, M. Dunn, ORNL) があった。要求されている共分散データは、15 エネルギー群の 19 アクチノイド核種、26 構造材核種、8 軽核の全部で 53 核種の (n,el)、(n,n')、(n,2n)、(n, γ)、(n,f)、v に対するものである。BOLNA 研究所グループによる共分散データは、**BNL** が 36 核種 (Atlas-Empire-Kalman による推定)、**ORNL/LANL** が $^{235,238}\text{U}$ 及び ^{239}Pu (ENDF/B-VII.1 のための評価)、**NRG Petten** が Pb 同位体 (モンテカルロ法による推定) 及び **ANL** が軽核 (専門家による推定) を担当する。低エネルギー領域では、熱中性子エネルギーでの捕獲及び核分裂反応の断面積及び共鳴積分について、Atlas (Mughabghab の最新の本) の断面積誤差との比較を行っているが、大きく異なるのはわずかなケースだけである。高

速中性子領域では、(n,el)、(n,2n)及び(n, γ)に関しては適切であるように見えるが、(n,n')については ^{56}Fe 、 ^{28}Si 、 ^{23}Na の誤差は大きすぎ、(n,f)についてはCmの誤差は大きすぎるようである。 v のエネルギー依存性は直線であると近似し、熱中性子エネルギー及び高エネルギーデータについてKALMANにより検討した。ORNLでのSAMMYコードによる共鳴解析からの $^{235,238}\text{U}$ 及び ^{239}Pu の共分散については、 $^{235,238}\text{U}$ の共鳴パラメータ自身についてはENDF/B-VII.0の値から変化なし、 ^{239}Pu については新評価である。

KALMANについて河野が報告し、共分散は評価の誤差及び方法の不確定性としての情報を与えるに過ぎないと報告した。これに続き、ORNLのN. Larsonが、共鳴領域の共分散形式の変更について提案した。MF=32は取り扱いが難しく、サイズがたいへんの場合大きく、完全な情報を伝えていない。また、共鳴パラメータの共分散それ自身だけでは不十分で、断面積の誤差も関連するため、何か他の方式が必要であるという主張を行った。これに対し、ユーザから拍手が起こった。これは、従来の彼女の考え方から大きく変化したもので、河野の発表と合わせて、今後再度検討する必要があると思った。

以上の議論を踏まえて、CSEWGに共分散委員会を組織することとした。共分散データを作ることを目的とするだけでなく、ユーザと連携して共分散データの質を向上させ、信頼性を目に見えるものとする。ただし、何が良い共分散なのかを決める基準が必要であり、だれが共分散データをチェックするか、他のCSEWG委員会との連携（測定委員会には実験に関する誤差情報を要求）など、問題は多いようだ。エネルギー領域ごとに、ユーザは何を望んでいるか、どんな解析コードが共分散情報を利用しているのか？など、ニーズを調査する必要がある。また、共分散フォーマットに関連する取り扱いに関して何が主要な問題となるか、共分散データの可視化の現状の改善には何をすべきか、現状で可能な共分散作成法及びわかりやすさについてwebの役割は、共分散の品質保障とは何かなどが今後議論されるであろう。

関連して、中性子共分散データワークショップについてのアナウンスが、Oblozinskyよりなされた。2008年6月24～27日、Port JeffersonのDanford's Hotelで開催予定であり、30件ずつの口頭及びポスター発表を想定している。Nuclear Data Sheetsで報文集発刊する予定であり、トピックスは、熱中性子エネルギー領域、共鳴領域、高速中性子領域での共分散作成方法論（実験の利用、アクチノイド及び軽核）、共分散評価、ユーザの見通し（要求）などである。

この他、日本におけるアクチノイドに関する共分散作成法の現状について筆者が、ENDF予測値の信頼性評価についてD. Muir (LANL)がNNDCにおける共分散のwebインターフェースについてR. Arcilla (BNL)が報告した。

2.8 モデルコード開発

PRECOについてC. Kalbach-Walker (TUNL)が報告した。入射粒子のブレイクアップ、

特に重陽子のブレイクアップモデルを ${}^3\text{He}$ 及び α 粒子に拡張した。PRECO の励起子モデル計算を始める吸収された複合粒子の中心エネルギー及びピーク幅の作業に注力した。 ${}^3\text{He}$ 及び α 粒子の多重ブレイクアップモデル (${}^3\text{He}\rightarrow\text{pd}$ 及び 2pn 、 $\alpha\rightarrow 2\text{d}$ 、 tp 、 hn 、 dpn 及び $2\text{p}2\text{n}$) の取り扱いを追加した。

GNASH について P. Talou (LANL) の報告があった。McGNASH は、核分裂モデルの改訂 (class-II 状態との coupling)、DSD モジュールの追加 (Spectroscopic factor を統計的単一粒子状態と BCS 占有確率で記述し、不安定核の中性子捕獲断面積計算に利用)、核分裂即発中性子 (モンテカルロシミュレーションで一次の励起核分裂片を特定し、Multi-modal 核分裂モデルを利用する)、直接過程の複合核過程との結合 (Width fractuation の補正)、ミクロスコピックな MSD 過程の導入などを行った。

EMPIRE については Herman が報告した。EMPIRE-3.0 を 2008 年に公開予定であり、ファイル化及び核異性体の作図、MF=2 の取り扱い、Hartree-Fock+Bardeen-Cooper-Schrieffer (HFBCS) の準位密度、核分裂モデルなどの改善及び Cassini ポテンシャルによる変形 MSD の導入などを施す予定である。

2.9 データサービス及び他のトピックス

Sigma web インターフェースについて Pritychenko が報告した。ユーザフレンドリーな ENDF の web サービス、web による ENDF/B-VII.0 データの普及などが目的で、Sigma web インターフェース I は 2007 年 4 月 15 日に公開された。4 大評価済み核データファイル (ENDF/B-VII.0、JEFF-3.1、JENDL-3.3、ENDF/B-VI.8) を収納し、検索及び表示機能、フォーマット変換及び実験データとの比較が可能である。

また、Nuclear Science Reference (NSR) の統計 (10/2006~09/2007) について M. Bhattacharya (BNL) が報告した。4,396 の文献情報を追加し、全体で 190,930 文献が収納されている。

3. USNDP

3.1、3.2、3.3、3.4、3.5、3.6 及び 3.7 は CSEWG とパラレルセッションで行われたので、参加できなかったが、以下の議論がなされたようである。

3.1 核構造 WG

NDS 発刊、新 NDS 作成ソフト、ENSDF の現状、NSR の現状、XUNDL の現状。

3.2 ソフト、web サービス

NuDat の改訂、ENSDF 解析の現状及びユーティリティーコード。

3.3 報告

ENSDF 及び NSR 作業及び IAEA での将来計画、アクチノイド核種の崩壊データライブラリの改訂に関する CRP、N~20 領域の推奨された評価、BRICC について、TAMU における ICC 測定 of 最近の精度、反応データ評価における ENSDF の役割、原子核質量評価作業の現状、ENSDF 評価に対する欧州の援助増加の努力。

3.4 今後の活動

NNDC の今後の活動、APS/DNP 会合時の核データミニシンポ、2008 年国際会議 (NS'08、ENAM'08) への USNDP の視野、視野を広げるための他の方法。

3.5 フォーマット、処理、方針

ENSDF 中への絶対及び相対強度の格納、ENSDF 中の非常に大きな BM3W 値、EGAF 熱中性子エネルギー中性子捕獲データによる評価、どうやって PGAA データを ENSDF に生かすか、最初の 2+ 準位の大きく違う半減期の取り扱いに必要なガイドライン、ENSDF で取り扱われていない質量領域における新しく発見された核種の優先付加、ENSDF におけるクラスター崩壊に関する ENSDF 及び Wallet Card での半減期の整合性、NSDD'2007 会合に従ったフォーマット及び処理の変更点。

3.6 USNDP 調整委員会昼食会合

USNDP 関連研究所の状況、2007 年度の報告及び 2009 年度の作業計画、2010 年度の予算ヒアリング。

3.7 USNDP ユーザフォーラム

NNDC サービス、National Ignition Facility における天体核物理、REACLIB の現状、核構造理論に関する UNEDF 計画、Jyvaskyla での核構造物理研究。

3.8 タスクフォース (TF) 報告

「天体核物理のための核データ」TF について C. Nesaraja (ORNL) が報告した。原子核宇宙時計 ($^{187}\text{Re}/^{187}\text{Os}$) の ^{187}Re は r 過程でのみ生成され、 ^{187}Os は s 過程及び 435 億年の半減期で ^{187}Re の崩壊から生成される。しかし、 ^{186}Re の準安定準位は s 過程で ^{187}Re を生成する弱い道筋を与えている。 ^{186}Re の準位構造は $^{186}\text{W}(d,2n)$ 、 $^{187}\text{Re}(n,2n)$ 反応測定によって理解されねばならない。この他、r 過程核種の核構造について検討した。

「ENDF、JEFF 及び JENDL による天体核物理反応率計算」TF について B. Pritychenko (BNL) が報告した。ENDF/B-VII.0 天体核物理への利用のため、ENDF/B-VII.0 中の 393 中性子反応データ評価と JENDL-3.3 の 337 核種を比較した。安定同位体 (?) 286 核種中

251 核種が (87.7%) が太陽から作られる。中川らによる JENDL-3.3 による計算 (Maxwellian 断面積) は Bao らの収集したデータにいつも一致するわけではない。JENDL-3.3 による シンプソン数値積分計算値は中川らのものと 1%以内で一致しているので、計算方法の違いによるものではなさそうである。ENDF/B-VII.0 の Bao らの業績との比較において、太陽系の同位体存在比 ($S_i=10^6$ に規格化)、すなわち、 $^{122,123,124}\text{Te}$ の s_N (存在比×中性子断面積) 比は、以下ようになった。

ENDF/B-VII.0: 1.0:1.177:1.061

JEFF-3.1: 1.0:0.568:1.391

JENDL-3.3: 1.0:1.058:1.029

ENDF/B-VI.8: 1.0:0.569:1.423

Bao ら: 1.0:0.973:0.97

上記を含む検討結果は Sigma データベース (<http://www.nndc.bnl.gov/sigma>) から公開されている。

「Homeland Security (HS) のための核データ」TF に関して D. Brown (LLNL) が報告した。HS のデータニーズ (長期的予想に基づくニーズ) を理解すべきである。LLNL の β 遅延 γ 線の研究及び USNDP の評価済み γ 線放射化ファイル (EGAF) について予算がついたが、HS に現実的に役立つためには考え方を変えなければならない。 (γ, γ) 核共鳴蛍光、 (n, f) 、中性子、中性子- γ 線相関、熱中性子エネルギー捕獲反応からの γ 線などについても考慮すべきである。

3.9 各研究所の報告

NNDC の人事、会合及び報告会の運営、データベース及びサービス、核構造データ (ENSDF)、核反応データ (CSISRS、EMPIRE、共分散) について、Oblozinsky が報告した。

C.D. Nesaraja が ORNL の核構造データ評価 (質量数 $A=58, 201, 202, 208$)、核天体核物理データ (^{19}Ne (新星及び X 線星)、 ^{31}S (白色矮星の新星外縁部)、 ^{83}Ge 、 ^{85}Se 、 $^{131,133}\text{Sn}$ 、 ^{135}Te (r 過程)) 評価について報告した。

ANL については、F.G. Kondev が報告した。 $A=180$ 及び 250 近傍、 ^{186m}Re の核構造及び崩壊データ評価、核物理及び天体核物理関連作業を 1.5 人のスタッフで行っている。また、“アクチノイドに対する改訂崩壊データライブラリ”に関する IAEA/CRP に関連して ^{246}Cm 、 ^{250}Cf 、 ^{240}Pu の半減期測定を行い、全吸収 γ 線スペクトロメータの開発を行っている。

河野が、LANL の ^{48}Ti 、 ^{237}Np の評価、軽核と ^{233}U の共分散、量子力学的ミクロスコピック前平衡過程理論、McGNASH に関する Hartree-Fock 理論による DSD 及び核分裂モデルの追加、CoH (CC モデルによる Kawai-Kerman-McVoy 計算 (開かれるチャンネル数の増加) 及び純粹統計理論と Moldauer の違い)、CGM (モンテカルロ法によるカスケード γ

線及び核分裂即発中性子放出の計算)について報告した。DANCE ($^{239,240}\text{Pu}$ 、 ^{241}Am 、PPAC による捕獲/核分裂比)、Fire House ($^{239-242}\text{Pu}$ 、 ^{233}U)、FIGARO (ガス生成断面積)などの測定関連についても報告した。

LBLの活動についてC.M. Baglinが報告した。核構造データ評価(A=23, 24, 81, 169, 187, 213, 216, 232)、中性子捕獲データ評価についてのLLNLとの協力、“中性子放射化分析に対する標準データベース”に関するIAEA/CRPの作業を行っている。核構造データの普及、革新的核燃料サイクルに関する断面積測定($^{237}\text{Np}(n,f)$ の代理反応としての $^{238}\text{U}(^3\text{He},tf)$ 測定)、2.5 MeV 中性子散乱及び捕獲断面積測定、天体核物理のための低エネルギー(α,γ)断面積測定(^{197}Au 、 ^{64}Zn 、 ^{63}Cu)などもあわせて行っている。

LLNLの計算機核物理(理論及びモデル)、代理反応測定($^{235}\text{U}(n,f)$ のための $^{236}\text{U}(\alpha,\alpha'f)$ 、 $^{238}\text{U}(n,f)$ のための $^{238}\text{U}(^3\text{He},af)$ はまだ問題がある)、HSのための高エネルギー核物理(web site)、TPC($^{239}\text{Pu}(n,f)$ 測定用“tie fighter”)、Mn、Cu、 ^{237}U 、 ^{240}Am 評価について、D. Brownが紹介した。

4. おわりに

今後、ENDFでは大規模な共分散データ評価が行われることになる。共分散の大部分は次の改訂版のENDF/B-VII.1で取り扱うことになるが、現状では「とりあえず作ってみている」状況であるように思えてならない。文中の河野やLarsonの発表にもあるように、共分散それ自体がそのデータの信頼性の指標であり、「共分散の信頼性とはなにか？」に関しては、米国でも筆者の中でも、まだまだすっきりしない問題である。

次回のCSEWG及びUSNDP会合は、2008年11月4~7日の予定の予定である。2008年6月の共分散ワークショップ(文中で紹介)とあわせて、次回会合の中で共分散に関する疑問に解答が得られることを期待している。