

2005 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

米国の断面積評価 WG (CSEWG、Cross Section Evaluation Working Group) が 2005 年 11 月 8~10 日、米国核データプログラム (USNDP、US Nuclear Data Program) が同 9~11 日にブルックヘブン国立研究所 (Brookhaven National Laboratory、BNL) で開催された。CSEWG の開会にあたり、国立核データセンター (NNDC) の Oblozinsky 氏より、「今年で CSWEG は 40 周年である。ENDF/B-VI (1990 年公開) から ENDF/B-VII (2006 年公開予定) までに実に 16 年の時間が経過している。これらを考慮して、ご議論願いたい」との挨拶があった。

以下、日程に従って会合の概要を紹介する。尚、文中の敬称は略させていただく。

2. フォーマットと処理

2.1 フォーマット関連

フォーマット関連では、まず、N. Larson (Oak Ridge National Laboratory、ORNL) から分離共鳴パラメータの R-行列共分散 ($MF=32/LRF=7$) についての提案があった。これに関しては、ERRORJ で処理できるので、採用しても問題ないということに成った。

D.A. Brown (ローレンスリバモア国立研究所、LLNL) から核分裂後の β 崩壊遅発 γ 線フォーマットの採用についての提案があった。ENDF マニュアルの明確化の必要があるので、Brown が文書をまとめる。

離散 γ 線角度分布について R.E. MacFarlane (Los Alamos National Laboratory、LANL) がフォーマットを提案した。H、D のような軽核の捕獲 γ 線は前方分布となり、ENDF/B-VII での非等方性を考慮すると新たなフォーマットが必要となる。励起状態からは複数の γ 線が放出するので、どの γ 線データか混乱するなどの意見があったが、2 次 γ 線に対する $MF=6$ の修正を行う方向で検討することとした。

WPEC からのフォーマット提案に関し A. Trkov (国際原子力機関核データセクション、

IAEA/NDS) が次のように報告した。マニュアル (BNL-NCS-44945) の Appendix H の Table 2 中の T の質量が違い、 ^3He と ^4He は最終桁が違うのではないかと指摘した。非分離共鳴パラメータにおいて PREPRO で NRO=1 (エネルギー依存散乱半径) を取り扱えるが、NJOY (ENDF/B-VII) でも利用できるようにして欲しい。 ^{252}Cf の自発核分裂スペクトル関連データは、MF=5/MT=18 と MF=35 (ENDF/B-VI 崩壊データライブラリ) と MF=3/MT=261 と MF=33 (IRDF-2002) で与えられている。これは、汎用ファイルと矛盾し、MF=35 では処理できない (ERRORJ の特殊な問題なので、議論が必要)。これには入射粒子がないので最小エネルギーをどう定義 (0、-1?) するのか検討が必要である。

2.2 処理コード

NJOY の状況について、MacFarlane が報告した。日本及びヨーロッパからの patch を当て、遅発中性子の取り扱いを変更して従来からの問題の 99% を解消し NJOY99.115 に更新した。FORTRAN90 版の作成も行っている。MacFarlane 自身が引退したので、今後ゆっくり進めるそうである。

AMPX の現状 M.E. Dunn (ORNL) が報告した。2005 年夏に公開された SCALE-5 用の AMPX 輸送計算パッケージを作成している。bound scattering kernel を含む熱中性子散乱断面積等を格納した連続及び多群断面積ライブラリ (SCALE-5.1 用) を作成した。共分散データの処理に関する改訂 (MF=32 の処理、PUFF-IV) については SAMRML パッケージの追加により行った。現状では分離共鳴パラメータに対するものだけ取り扱うことができる。PUFF-IV の将来開発計画として、ENDF/B-VII を用いた更なるテスト、マニュアルの整備、非分離共鳴領域の取り扱いの追加等が報告された。

LLNL のコードの現状について Brown が報告した。フォーマットに関する作業 (XENDL の状況)、コードシステム (fete、endep、mcfgen/ndfgen、mcapm/libndf) の整備、ENDL2 から ENDF への逆翻訳等の作業を行っている。

VIM の現状について D. McKnight (アルゴンヌ国立研究所、ANL) から報告された。C.R. Lubitz (KAPL inc.) よりフォーマット変更に関する提案がなされた。 $S(\alpha,\beta)$ は当てにならないので、束縛原子断面積 ($\text{H-H}_2\text{O}$) に関する明確な記述を MF=7 に「7.5 total scattering cross section」を追加する提案であった。また、例えば、水素に関する $\sigma_{\text{tot}} = \sigma_{\text{ela}} + \sigma_{\text{cap}}$ の log-log 内挿による足し算は整合性の無い場合があるので、非常に重要な物質に対する Linier 内挿に関して、内挿誤差を 0.01% 以下にするよう提案された。非分離共鳴領域における希釈平均 (MF=2/LSSF=1 の場合は希釈平均は MF=3 にあるが、LSSF=0 の場合は無い) の明確化や共鳴積分値及び 2200 m/s 値の格納 (MF=1 の中) について提案された。これらに関しては、e-mail での検討を次回会合まで継続し、フォーマット改定案として提出することとした。

2.2 ENDF-102 (マニュアル) の現状とフォーマットチェックコード

M. Herman (BNL) が報告した。マニュアルの pdf 及び Word ファイルが www からダウンロードできる。フォーマットチェックコードの最新版は 7.02 であり、Windows 上の executable もダウンロードできる。

3. Measurements and Basic Physics

パラレルセッションなので、参加できなかった。agenda によるとセッションの内容は以下の通りである。ANL、LANL、National Institute of Standards and Technology (NIST)、RPI、Idaho 大、ORNL の各研究所の測定活動の報告が、それぞれ、F.G. Kondev、R.C. Haight、A.D. Carlson、Y. Danon、J.D. Cole、L. Leal からあった。各種会合に関して、「12th International Conference on Emerging Nuclear Energy Systems」について E. Cheng (TSI) から、「IAEA TC Meeting on Nuclear Data for IFMIF」について、D.L. Smith (ANL)、E. Cheng、R.C. Haight から報告があった。また、「LANL のアクチニド核データ測定」(R. Reifarh、LANL)、「ベラルーシの Yalina 未臨界集合体の実験」(Kondev)、「CSISRS ファイル化の現状」(D. Rochman、BNL) の報告もあった。

4. ENDF/B-VII 評価と検証

4.1 ENDF/B-VII の現状

ENDF/B-VII の現状として $\beta 1$ の既知の問題点について Herman から報告があった。 $\beta 1$ (2005 年 10 月 19 日版) に格納されているのは、中性子入射データ 387 核種、熱中性子散乱則データ 20 核種、光子入射データ 163 核種、陽子入射データ 45 核種、重陽子入射データ 5 核種、三重陽子入射データ 3 核種、 ^3He 入射データ 2 であり、今のところサブライブラリは主に ENDF/B-VI.8 から採った。新しい特徴として、不完全ファイル、暫定版ファイル、標準ファイル評価 (LLNL の評価や、 ^{14}N の光核反応データ改訂等) のために ENDF/A を再設定した。「テープ」概念は削除し、系統的なフォーマットチェック (STANEF、CHECKR、FIZCON、PSYCHE、MRGMAT (新)) を行った。ENDF/B に格納されていない核種のデータは JENDL-3.3 (例えば FP、MA の一部) や JEFF-3.1 (MA の一部) から採用する。改訂された核種は ^1H (LANL)、V (BNL)、 $^{74,75}\text{As}$ (LLNL)、 $^{241,242,242\text{m}}\text{Am}$ 、 ^{235}U (LANL)、 ^{232}Th (IAEA) である。CHECKR、FIZCON からのエラーがそれぞれ、195 個、287 個ある。ENDF ファイルのための www インターフェースを作成した。 $\beta 2$ のための作業として、フォーマットの不具合の解消、未完了の評価の終了、共分散の追加、relaxation 及び電子サブライブラリの補完等があげられた。

$\beta 1$ 中性子ライブラリのテストに関して R. Zajac (BNL) から報告があった。NJOY99.90 に 2 つの小さな patch を施し、GODIVA に対する計算を MCNP5 により行った。NJOY において ^1H 及び ^{232}Th についてライブラリ作成エラーがあったが、MCNP5 はこの 2 核種を

除いてエラーなしに通った。

ENDF/B-VII 検証の現状を MacFarlane が報告した。 ^1H の MF=6/MT=102 が処理できなかったが、他は問題なかった。検証結果は、例えば、GODIVA に関しては非常に改善された ($k_{\text{eff}}=0.996 \rightarrow 0.998$)。 ^{238}U に関して、ENDF/B-VI.8 から ENDF/B-VII. β 1 において、LCT-6 シリーズは $k_{\text{eff}}=0.99367 \rightarrow 0.99913$ 、HST42-3 では $1.001 \rightarrow 1.00032$ (低漏れ中性子)、HST9-2 では $1.00055 \rightarrow 0.99951$ (高漏れ中性子) となった。温度効果についても検討した。D、Th、Cu、Fe、Pb、Be、Zr 等に関しては考察が必要である。

ENDF/B-VII. β 1 のベンチマークテストに関して S.C. van der Marck (NRG) の報告があった。NJOY99.90+MCNP-4C3 におけるチェック及び処理に関して、 $^{242\text{g},242\text{m}}\text{Am}$ 、 ^{243}Cm のライブラリを用いた計算では、核分裂中性子が生成されず、 ^{249}Cf に関しては $\langle v \rangle = 19$ n/fission となった。Th にも問題がありそうである。臨界安全計算 (ICSBEP) 中の 600 ケースに関して、LEU-COMP-THERM は非常に改善され (平均 $\Delta k = 182$ pcm)、HEU-* -FAST も非常に改善された。PU-* -FAST についても改善されている。遮蔽 (IAEA、Sinbad) に関しては、OKTAVIAN、FNS、LLNL、NIST の実験に関して、問題なさそうである。 β_{eff} に関してはさほど変化は無い。

4.2 β 1 ライブラリの主な改善点

ENDF/B-VII のための LANL の評価について M.B. Chadwick (LANL) が報告した。 ^{235}U については、1 keV 以下の即発中性子を改訂し、分離共鳴パラメータを新しい ORNL の評価で置き換えた。 ^{234}U に関して、DANCE の捕獲断面積の測定は、ENDF/B-VII. β 1 よりかなり小さい。 $^{235,238}\text{U}$ 、 $^{239,240}\text{Pu}$ 、 ^{237}Np 、 ^{241}Am の光核反応データは、基本的に GNASH により評価し、即発中性子スペクトルは中性子入射反応から推定した。遅発中性子データについては実験データを用いて追加した。軽核については中性子及び荷電粒子入射反応に関して評価を改訂した。標準データについて、熱中性子エネルギーにおける標準データは採用していないが、実験誤差の範囲である。また、Be の全断面積を改訂した。

^{240}Am 及び $^{74,75}\text{As}$ の評価について Brown の報告があった。 ^{240}Am について、弾性散乱外反応に関して、TALYS 及び RIPL のパラメータを用いて評価した。非弾性散乱反応は Sukhovistkij の光学ポテンシャルパラメータ (OMP) と RIPL を用いて EMPIRE で計算した。核分裂中性子数は ^{242}Am のデータを採用した。MF=2 には散乱半径のみを格納している。熱中性子エネルギー領域に問題が残っている。 $^{74,75}\text{As}$ について、MF=2 は JEFF-3.1 及び JENDL-3.3 から採った。他は Koning-Delaroche の OMP を用いた EMPIRE 計算を基本的に採用した。

IAEA 核データライブラリ (INDL) のための ^{232}Th の評価について Trkov が報告した。60 MeV までの核データ評価を行った。Sukhovistkij OMP を光学模型に使用し、その他は RIPL を使った。核分裂中性子数は BROND のデータを採用し、共鳴パラメータに関して

は、分離領域は ORNL の評価、非分離領域は Geel 及び n-TOF の実験を SAMMY で解析したものを使用した。核分裂計算は 3 障壁モデルを用いて計算した。また、評価及びベンチマーク計算結果の例が示された。

熱中性子散乱則 ($S(\alpha,\beta)$) の変更について MacFarlane が報告した。H (H_2O) に関しては IAEA (IAEA の協力研究) で熱エネルギー群を修正した。ZrH₂、Al、Fe、BeO+Be (BeO) +O (BeO)、UO₂+U (UO₂) +O (UO₂) の原子に関しては、温度依存性が重要である。また、処理のテストを行った。

核分裂生成物核種 (FP) の評価に関し、Oblozinsky の報告があった。FP 領域核種 (219 核種) すべてを置き換えた。SG21 のレビュー (BNL、BNL-KAERI、BNL-JAERI、LLNL) 及び Mughabghab の「atlas of neutron resonances」を採用した。共鳴領域以外は改良された EMPIRE を用いた。SG23 では、164 核種のテスト用ライブラリを作成し、EMPIRE による 61 核種の評価を新たに行った結果、FP 全体で 219 核種となった。テスト結果の例として、JENDL-3.3 の ⁹⁴Zr の捕獲断面積は大きすぎる。また、共鳴積分の Mughabghab の新編集値との比は、^{110m}Ag 及び ^{166m}Ho で 2.0 以上となったと報告した。

Gd 同位体及び速中性子領域の共分散に関する D. Rochman (BNL) の報告があった。共鳴領域データには、Mughabghab の新編集値を採用した。KALMAN+EMPIRE による共分散生成をテストケースとして行った。

共鳴領域の共分散データに関して、L. Leal (ORNL) が報告した。SAMMY による計算値を採用し、NJOY、PUFF、ERRORJ によって処理のテストを行った。ベンチマーク計算では、NJOY/AMPX+ERRORJ による処理を行い、TSUNAMI で計算した。U233-SOL-THERM-015 の計算結果は、ENDF/B-VI は $k_{\text{eff}}=0.994$ (U-233 の寄与 0.5112%) に対し、ENDF/B-VII.β1 は 0.996 (同 0.5007%) であった。U233-SOL-THERM-006 では ENDF/B-VII.β1 は 0.99186 (同 0.5953%)、U233-SOL-THERM-014 では ENDF/B-VII.β1 は 1.007697 (同 0.6898%) であった。全体として k_{eff} の予測精度は 2%以内であった。

中性子標準ライブラリについて A.D. Carlson の報告があった。R-行列コード (EDA、RAC、SAMMY) 間の比較作業を終了した。⁶Li(n,t)、(n,ela)、(n,tot) に関しては良い一致を示したが、RAC に PPP 効果が見られるようだ。¹⁰B(n,α)、(n,α₁γ) の評価、R-行列及び一般化最小二乗法コードの最終結合が終了した。水素を除く最終的な断面積及び共分散データを NNDC へ送付した。主な結果は次の通り。¹H(n,ela) の 1 keV~20 MeV 領域は終了し、20 MeV~200 MeV は 2 ヶ月以内に終了する予定である。³He(n,p) (thermal~50 keV)、C(n,ela) (thermal~1.8 MeV) には、ENDF/B-VI を採用した。⁶Li(n,t) (thermal~1 MeV)、¹⁰B(n,α)、(n,α₁γ) (thermal~1 MeV)、Au(n,γ) (thermal、0.2~2.5 MeV)、²³⁵U(n,f) (0.15~200 MeV)、²³⁸U(n,f) (2~200 MeV) は終了。標準ではないが、²³⁸U(n,γ) 及び ²³⁹Pu(n,f) (<200 MeV) が終了した。

4.3 積分テスト

ENDF/B-VII.β0 のテストについて C.R. Lubitz (KAPL Inc.) が報告した。HEU-SOL-THERM-1, 9, 10, 11, 12, 13, 32, 42, 43 に関しては、ENDF/B-VII.β0 と ENDF/B-VI.5 の間に大きな違いは認められなかった。Joint HEU-SOL-THERM/LEU-SOL-THERM もあまり違わない。LEU-COMP-THERM に関しては、ENDF/B-VI.5 で 0.6%以内に対し、ENDF/B-VII.β0 で 0.2%以内であった。HEU-MET-FAST に関しては、ENDF/B-VII.β0 は以前のものよりよい。Zr (SG23 と Mughabghab 1981 の評価値) のテスト結果は、^{90,91}Zr の熱中性子捕獲断面積及び ^{nat}Zr の共鳴積分値 (15%増加) が異なる。Wu (JAERI) の ²³⁵U バイアスの過小評価に関する評価について考察した。ENDF/B-VI.2 の ²³⁵U 熱中性子捕獲断面積は 133 b であり、検討されたバイアスは ²³⁵U の濃縮度 2~3%までに限られている。TRX のベンチマークは「？」印付で検討されなければならない。hot benchmark に対するベンチマークは非常に少ない。報告書に記載されていないが、ENDF/B-VI.5 は SG18 (15 積分データ) の結果に一致している。²³⁸U に関する SG22 の結果は、¹⁶O(n,α)が LEU ベンチマークの 50~80 pcm の差の原因候補である。ENDF/B-VI と JENDL-3.3 データ間の差は、反応度の差に寄与しているように見える。¹⁶O(n,α)断面積の詳細測定が必要である。

ENDF/B-VII.β1 に関する簡易テストと温度効果について MacFarlane が報告した。反応度については、GODIVA (bare HEU) では 0.99665 (ENDF/B-VI.8) → 1.00009 (ENDF/B-VII.β1)、Bigten (HEU 10%) では 1.01355 → 1.00227、IMF007h では 1.01251 → 1.00059、IMF007s では 1.01167 → 1.00068 となった。これらのケースは非常に改善された。全体に平均 0.3%以内の予測精度があると考えられる。温度効果については、 k_{inf} に関して、従来より低温反応度は増加し、高温反応度は低下している。ENDF/B-VII.β1 はまだこの効果を引きずっている。²³⁸U は Kritz2 (19 MOX assembly、13 U assembly) では寄与しない。

ENDF/B-VII.β1 の熱中性子積分テストについて A.C. (Skip) Kahler (LANL) が報告した。ICSBEP の HEU-SOL-THERM、LEU-COMP-THERM-002, 006, 010、HEU-MET-FAST-007 について、MCNP5 を用いて計算した。HEU-SOL-THERM では、ENDF/B-VI.8 で Δk_{eff} は 0.5%以内であったものが、ENDF/B-VII.β1 で 0.3%以内 (多くは 0.1%以内で、2~100 pcm 減少) となった。LEU-COMP-THERM では、0.7%から 0.6% (多くは 0.3%以内で、100~600 pcm の増加) であった。HEU-MET-FAST では 0.2% (0.999) 以内から 0.3% (1.002) 以内 (200~400 pcm の増加) であった。

ANL におけるテストに関する報告を R. McKnight (ANL) が行った。ZPR-3, 6, 9, 21 における k_{eff} の C/E 値は ENDF/B-VI.8 からやや改善 (0.997~1.020、平均 1.01) されているものの、あまり変化していない。

遅発中性子データ変更に伴う 2 つの ZPR assembly に対する効果について R. Schaefer、(INL) は報告した。ZPR-6/7 については、ENDF/B-VII.β1 の β_{eff} は ENDF/B-VI から 0.1%しか変わっていない。ENDF/B-VI における同位体の寄与は、²³⁵U が 2%、²³⁸U が 50%、²³⁹Pu

が43%である。ZPR-9/36, 6/9については、0.06%の変化が認められた。5, 6群の崩壊定数が増加したことの影響に関して、 $B/(1+3600*\lambda)$ が30→6 ($\beta_0 \rightarrow \beta_1$)だけ ENDF/B-VI から違う。A と λ は変わったが、 β_{eff} は変わっていない。これは、断面積改訂が影響している。

LLNL における検証・テスト作業についての報告を Brown が行った。PhpBugTracker によるフォーマットチェックは、MySQL データベースとして格納し、帳票ソフトにエクスポートできる。ENDF/B-VII の主なバグとして、共通のバグはエネルギーバランス、Q-値が古い、MF=6 の規格化、MF=4 の実験室系と重心系の使い分け、MF=12 の離散準位 γ 線の不整合等があげられた。ENDF/B-VI.8 のバグがまだ修正されていないものについて、 ^{237}Np の MF=12 の離散準位 γ 線の不整合、 $^{242,242\text{m}}\text{Am}$ の(n,2n)及び(n,3n)スペクトルの規格化が指摘された。今後、JEZEBEL、GODIVA 等のベンチマークテスト、基本物理のチェック機能追加を行う予定である。

^{233}U 臨界ベンチマークテストについて D. Heinrichs (LLNL) が報告した。COG コードのためのデータ処理を行い、193 ケースの ^{233}U の ICSBEP ベンチマーク計算を行った。ENDF/B-VI.7, ORNL (β_0)、ENDF/B-VII. β_1 の平均の順で、MET-FAST に関して 0.9959、0.9984、0.9972、SOL-THERM/INT に関して -2.2%、-3.0%、-1.2%となった。

ENDF/B-VI と ENDF/B-VII. β_0 の MCNP 臨界計算結果の比較を R.D. Mosteller、(LANL) が行った。 ^{233}U の HEU、IEU、LEU、Pu 炉心に関して、ENDF/B-VII. β_0 、ENDF/B-VI、JENDL-3.3 の順で、 1σ 以下のものがそれぞれ 21、13、13 ケース、 $1\sim 2\sigma$ のものが 5、9、9 ケースであった。 ^{237}Np 球体系に関しては、同様の順番で 0.9924、0.9889、0.9967 であった。ENDF/B-VI 及び JENDL-3.3 に対して ENDF/B-VII. β_0 は主要な反応度計算結果は改善されている。改訂が必要な核種として、中間スペクトルのケース、Th 及び Np のケース、Cu と速中性子スペクトル、Pu と熱中性子スペクトルの組み合わせのケース、D のケースが指摘された。

D-U 体系の核データの問題点を K. Koziar (AECL) が指摘した。「何が臨界体系にインパクトを及ぼすのか?」、「D に関して ENDF/B-VI.4 または ENDF/B-VI.5 のどちらがよりよいのか?」について検討した。計算は AECL システムの ZED-2 コードで行った。ICSBEP の HEUD2O-SOL-THERM に関して、-004 及び-020 の k_{eff} の C/E 値は D/U 比に依存する。D の散乱角度分布の実験が必要である。CANDU 超臨界体系の計算も行った。

光核分裂に関するテスト結果を M. White (LANL) が報告した。 $^{235,238}\text{U}$ に関して、LANL のデータは Barber-George の実験値に一致する。MCNP の光核反応データ利用に関する作業 (LA-13744-T、NSE 144、p157 & p174 (2003)) を行った。

BNL におけるテストについて R. Zajac (BNL) が報告した。ICSBEP の下記のケースについて計算を行った。ENDF/B-VI と ENDF/B-VII. β_0 を用いた計算の結果、HEU-MET-FAST-001 では 0.99827→0.9994、HEU-SOL-THERM-004 は非常に改善、HEU-SOL-THERM-013 及び-042 では 0.1%以下の予測精度であった。

WPEC/SG23 ライブラリによる熱中性子断面積及び共鳴積分値の検証に関する報告を

Trkov が行った。k0 放射化データベースにおける積分パラメータ k0 及び Q0 (共鳴積分値/熱中性子断面積の比) を用いた。比較結果として、Mughabghab 2003 との比較では 49 核種で一致 (30 核種は全断面積を含む) したが、熱中性子断面積に関して 2 核種でデータベースと非常に異なるケースがあった。Q0 に関しては多くの核種で大きな差が見られた。

反射体付体系での異常を J.B. Briggs (INL) が指摘した。HEU-MET-FAST-051, 071, 076 は大きな反射体付の体系の詳細実験であるが、ENDF/B-V による MCNP 計算では-076 のケースの平均-0.6%を除き-0.3%であった。特に、-076 の 5~9 のケースでは-5%以上となった。また、2005 年版 ICSBEP ハンドブック (3649 ケースの臨界及び未臨界積分実験を格納、416 の実験シリーズについて評価) についても報告した。<http://icsbep.inl.gov/>から申し込みを受け付ける。

4.4 その他

ENDF/B-VII の新崩壊データライブラリ (3000 核種を格納) について A. Sonzogni (BNL) が報告し、Evaluated Gamma Ray Activation Library (EGAF) 中性子捕獲反応データを用いた ENDF/B-VI の検証について B. Sleaford (LLNL) が下記のように報告した。EGAF は ENSDF 等から作成されており、35000 本の γ 線データが「非常に良く崩壊形式が記述された標的核にのみ詳細な断面積絶対測定が許される」というコンセプトの元に格納されている。MF=12 または 14/MT=102 を修正したが、MF=15 は残っている。準位密度公式 (DiceBox/CASINO コード) をある励起エネルギー以上で適用した。

MA の評価について R.Q. Wright (ORNL) が報告した。 ^{247}Cm では、JENDL-3.3 を初期値とし、全断面積を保存するように核分裂及び弾性散乱断面積を変更した。0.5-5 MeV の核分裂断面積は ENDF/B-VI より 15.3%小さく、これは ^{248}Cm の生成率を増加させる。 $\langle v \rangle$ は 5.6%増加した。 ^{238}Np は JENDL-3.3 を採用。 ^{232}Pa については、JENDL-3.2 を初期値として利用し、共鳴パラメータは-5 eV を修正し、-1 eV を追加した。熱中性子断面積は、 $\sigma_{\text{tot}}=1672.4 \text{ b}$ 、 $\sigma_{\text{ela}}=43.9 \text{ b}$ 、 $\sigma_{\text{fis}}=977.3 \text{ b}$ 、 $\sigma_{\text{cap}}=651.2 \text{ b}$ となった。これは、 ^{232}U の生成率に影響を与える。その他、 $^{223,224,225,226}\text{Ra}$ 、 $^{225,226,227}\text{Ac}$ 、 $^{227,228,229,233,234}\text{Th}$ 、 ^{235}Np 、 ^{246}Pu 、 $^{244,244\text{m}}\text{Am}$ 、 $^{249,250}\text{Cm}$ 、 ^{250}Bk 、 ^{254}Cf 、 $^{254,255}\text{Es}$ 、 ^{255}Fm の 21 核種を JENDL-3.3 から採用した。

4.5 議論

共分散データに関する議論が行われた。ENDF/B-VI.8 には 8 核種の共分散データが格納されている。ENDF/B-VII に対しては、Gd、 ^{232}Th 、 ^{233}U 及び ORNL の共鳴パラメータにしか新しい共分散は評価されていない。もし、断面積の値が変更されていなければ、共分散も持ち越すか、JENDL-3.3 のものを使用する。D.L. Smith がレビューを行うことになった。ENDF/B-VII の公開後、共分散は例えば 2 年を目処に再評価する。

ENDF/B-VII の公開に関して、NNDC によるすべてのファイル改訂は 2006 年 2 月まで

に終了する。ENDF/B-VII.β2 (殆ど ENDF/B-VII) は 2006 年 3 月 15 日を目処に公開する。2006 年 6 月末に 1 日の小会議を持ち、公開のためのレビュー及び確認作業を行う。最終的に ENDF/B-VII.0 は 2006 年 7 月に公開する予定である。ENDF/B-VII の論文については、Chadwick がドラフトを 2006 年 3 月 15 日までに準備する。

ENDF/B-VII 標準ライブラリについて、17 反応の新しい標準サブライブラリを作成する。できるだけ共分散を付加する。

発表資料は www 上で公開する。議事録は、Oblozinsky が 2005 年末までに作成する。

5. USNDP Structure WG

パラレルセッションなので、参加できなかった。Agenda によると、セッションの内容は以下の通りである。まず、ENSDF (J. Tuli, BNL)、NSR (D.F. Winchell, BNL)、XUNDL (B. Singh, McMaster) 等各種データベース及び ENSDF 解析・ユーティリティーコード (T. Burrows, BNL) の現状報告が行われた。最近公開された Band-Raman 内部転換係数計算 (Band/Raman Internal Conversion-coefficient Calculation, BRICC) ユーティリティーコード (T.W. Burrows, BNL) についても報告された。また、2005 年 4 月及び 2006 年 2 月に ICTP (Trieste) で開催された評価者研修ワークショップをはじめとする指導・協力及び最近の評価者の傾向に関する報告が行われた (J. Tuli, BNL)。「アクチノイドの崩壊ライブラリ更新」に関する IAEA/CRP 及び ENSDF 編集ソフトウェアに関して、それぞれ F.G. Kondev (ANL) 及び A. Sonzogni (BNL) から報告された。この他、ENSDF への B (σ_L) 格納に関する記載の改訂、反応ガンマ線データの $J\pi$ 値、回転及び強結合バンド命名法と $J\pi$ 規則 (F. Kondev)、Nuclear Data Sheets 及び ENSDF 検索における準位・バンド構造記述の品質及び明確性、ENSDF 評価者、レビュー者及び編集者間の相互連絡 (新手順は機能しているか?) 等に関する議論・検討が行われた。

USNDP ユーザーコミュニティとの検討会合では、USNDP の成果とサービスの概要 (D. Winchell, A. Sonzogni, B. Pritychenko (BNL))、 γ 線飛跡検出器の物理的可能性 (I.Y. Lee, Lawrence Barkley National Laboratory (LBNL))、Pb 領域の陽子過剰核種の研究 (M.P. Carpenter, ANL)、NNDC 及び核データに関する種々の提案 (P. Cottle, フロリダ州立大)、ハイパー核の γ 線分光 (J. Millener, BNL) 等について議論・検討された。また、評価済み B (E2) データに対する新 www インターフェース (B. Pritychenko, BNL)、Nuclear Data Sheets の概要及びインパクト・ファクター等 (A. Sonzogni, BNL)、Table of Isotopes 型の電子出版物の開発可能性 (J. Tuli, BNL) 等について報告された。

6. CSEWG-USNDP 共通セッション

6.1 Homeland Security

$^{13}\text{C}(p, \gamma)^{14}\text{N}$ 及び $^{10}\text{B}(p, \alpha)^7\text{Be}$ 反応について P. Page (LANL) が報告した。積荷の検査に

1.76 MeV の共鳴陽子エネルギーを用いた $^{13}\text{C}(p, \gamma)^{14}\text{N}$ を利用するために、逆反応である $^{14}\text{N}(\gamma, p)$ 反応を検討している。0.01~2 MeV の ENDF 断面積及び角度分布を用いて R-行列でフィットした。 $^{10}\text{B}(p, \alpha)^7\text{Be}$ (ENDF は 3 MeV 以下では(n,p)及び(n, α)のみしか格納されていない) に対する R-行列フィットも行った。 $^{16}\text{O}(n, \alpha_0)^{13}\text{C}$ 反応は、新しいデータは従来のものより 30%小さいので、再評価が必要である。これらは ENDF/B-VII に 20 MeV までではないが、格納予定である。

核分裂片蒸発過程のモンテカルロシミュレーションに関して P. Talou (LANL) の報告があった。RI 検出による核不拡散データとして利用のため、核分裂片の脱励起を用いる。2 温度 Madland-Nix モデルによる即発中性子スペクトルの精度向上にも寄与する。モンテカルロ方による温度を仮定した Weisskopf 蒸発過程を P(v) (放出中性子数依存確率)、FPY 計算には Moeller モデル (新しいシステムティクスを検討中) を利用した計算を行っている。

Homeland Security のための Nuclear Wallet Cards 用データの改訂について J.K. Tuli (BNL) が報告した。homeland security 要員が RI 源を特定する目的で、2005 年版 Nuclear Wallet Cards 7000 冊を配布終了した。携帯データ機器にも対応している。10000 冊の内 5000 冊を新規に印刷して、50 州の警官、消防士、公務員に配布した。

(γ, γ')共鳴を光核反応サブライブラリに追加することの意義を D. McNabb (LLNL) が解説した。放射線イメージング検査システムのため、Nuclear Resonance Fluorescence (NRF) を定義し、危険物質の同位体検出を行う。Thompson 散乱を用いたイメージングは危険同位体検出の新しい概念である (T-REX 光子源)。これには $^{235,238}\text{U}$ 及び $^{239}\text{Pu}(\gamma, \gamma')$ 共鳴データが必要であり、光核反応サブライブラリの MF=2 に格納できる。データニーズに関する議論に関して、「Nuclear data needs for national homeland security programs」と題する論文を投稿 (LLNL の www にある) した。

6.2 モデル開発及び宇宙物理

PRECO コードについて C. Kalbach Walker (TUNL) が報告した。前平衡過程の現象論的コードであり、複合粒子チャンネルの計算が可能となった (Phys. Rev. C (March 2005))。アイソスピン保存 (Phys. Rev. C (August 2005))、複合粒子スペクトル中の最高エネルギーに対応する残留核準位 (粒子放出過程で Fermi レベルが下がり、空孔状態が粒子状態になる) の追加 (Phys. Rev. C に投稿) を行っている。

McGNASH コードについて P. Talou (LANL) の報告があった。中性子、陽子、光子入射反応に関して、 $A > 10$ に対し keV~200 MeV のエネルギー領域で計算可能である。FORTRAN95 で記述され、使用及び改訂が容易となっている。最近の改訂として、J. Raynal (CEA, Saclay) による ECIS03 の組み込み、RIPL-2 インターフェースの追加、GNU PLOT を用いたプロット機能、ENDF フォーマットへの書き出しの改良、Width fluctuation 補正

の追加、Exclusive な DDX 出力が報告された。DSD 捕獲反応計算、Kalbach による複合粒子の前平衡過程からの放出モデル組み込み、核分裂チャンネルの改訂（マルチモード核分裂）、KALMAN との連携等について改訂が進行中であり、2006 年 11 月に公開の予定である。

JAEA におけるコードの市原氏の POD、岩本修氏の COCOON（仮の名称）の紹介を深堀が行った。

宇宙核物理オンライン計算機システムについて C. Nesaraja (ORNL) が報告した。コンピュータ基盤技術として、核データ、反応率、元素合成に関する計算、ファイル管理及びデータ検証を行う機能を実装している。昨年追加した新モジュールは、核データには mass model evaluator、反応率には rate commenter、元素合成には simulator/animater である。将来的に、断面積の理論計算機能、誤差データの利用、共鳴パラメータの取り扱い等の追加及び現在の機能の改訂を行う予定である。

s-過程モデルについて R. Reifarth (LANL) の報告があった。宇宙塵の観察結果の検討のため、1次元指数関数拡散近似をテストし、2次元に拡張を行っている。DANCE (Detector for Advanced Neutron Capture Experiments) の ^{151}Sm 捕獲断面積測定結果実験では、非分離共鳴領域 (400 eV~2 keV) で JENDL-3.3 は半分程度に過小評価であるが、ENDF/B-VI.8 は良好との報告があった。 $^{152,154}\text{Eu}$ 、 ^{153}Gd の測定に予算がついたようだ。

6.3 共分散の作成方法

共鳴領域における SAMMY コードによる共分散の生成について L. Leal (ORNL) が報告した。SAMMY のデータ解析の直接的な結果として、存在する共鳴準位から共分散を作成可能であり、MF=2 はそのままに MF=32 を追加できる。共分散処理ツールには、NJOY、PUFF、ERRORJ が使用可能である。コンパクト・フォーマットについての提案も行った。ERRORJ で COVERX フォーマットファイルを作成し、TSUNAMI コードで検証した。

EMPIRE+KALMAN による共分散の生成について M. Herman (BNL) の報告があった。EMPIRE の最近の開発結果は、OMP (球形、CC、DWBA) の自動フィット機能、連続準位中に離散準位を置くことが可能となった、KALMAN を用いた感度計算、KALMAN 及びモンテカルロを用いた共分散計算、実験データへの Γ_γ の規格化、Inclusive 及び exclusive スペクトルの出力 (exclusive は 2 粒子放出反応まで)、パラメータのエネルギー依存性の調整、NJOY をエラーなしに実行するためのファイルチェック機能の追加である。WPEC/SG24 (共分散作成のための方法及びツールの開発) のために、KALMAN との連携及びモンテカルロ法の利用について検討した。

LLNL における共分散研究について D.A. Brown (LLNL) が報告した。XENDL 中の共分散はコンパクトな表現方法が可能である。誤差データ品質保証による移植性の向上のために、核データからそれぞれのライブラリの共分散行列を計算し、重みライブラリを作成

する。これを元にヒストグラム行列（例えば、 ^{239}Pu の核分裂断面積 $\times \langle v \rangle$ と k_{eff} 間の相関係数）を作成する。新しい誤差データ品質保証の手順として、概念・手法の検証結果を示し、コードを統合することが提案された。

7. USNDP データ普及

NNDC の www サービスに関する最近の開発について B. Pritychenko (BNL) が報告した。ENSDF/XUNDL、NSR、NuDat の www インターフェースを改良し、NNDC の www ページのテンプレートを変更した (Macromedia Flash を採用)。また、ユーザからのメッセージを受け付ける guestbook を追加した。ENDF 及び EXFOR/CSISRS (Cross Section Information Storage and Retrieval System) に対する新機能を追加し、新しいアプリケーションソフトとして EMPIRE-2.19、QCalc、Wallet Cards 2005 等を追加した。

USNDP データベースコンピュータシステムの更新について R. Arcilla Jr. (BNL) が報告した。NNDC の www サービスの能力拡張、NNDC における核データ処理能力の増強、NNDC のコンピュータに対する要求 (CPU 速度及びメモリー) を満たし、JAVA 環境の集中的な開発環境を整えるための更新である。

宇宙物理のための核データ普及についての報告を C. Nesaraja (ORNL) が行った。革新的なツールとしての多目的核データ描画ツール (文科省事業で開発している総合核データ利用システム (CONDUCT) に似ている) を開発している。ユーザフレンドリーなインターフェースを構築し、データ共有、データ論評及びデータのカスタマイズを可能とした。核物理研究にも有用である。

8. USNDP 報告

8.1 タスクフォース報告

宇宙核物理のための核データに関するタスクフォースの活動報告を C. Nesaraja、(ORNL) が行った。ANL、LANL、McMaster、ORNL におけるコンパイル及び評価において、 ^{187}Re - ^{187}Os 宇宙時計のための ^{186}Re の準位の評価、R-行列計算 $H(n, \gamma)$ 、 $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ 反応の評価等を行った。ORNL においては、評価、処理、普及ツールの開発を行っている。また、ORNL では、 $^{95}\text{Zr}(n, \gamma)^{96}\text{Zr}$ 断面積の計算、準位密度系統式の検討 (LANL-JAERI 研究協力)、DSD 捕獲断面積計算コード開発、核分裂障壁計算 ($A > 190$ の 3000 核種)、7206 核種の核異性体同定等の原子核モデルを構築している。

放射性同位元素解析 (RIA) のための核データに関するタスクフォースの活動報告を河野 (LANL) が行った。LANL の DANCE で ^{153}Gd を測定した。不安定同位体に対する計算及び核分裂障壁計算 ($A > 190$ の 3000 核種) を行った。

Homeland Security のための核データに関するタスクフォースの ACEL コードシステム開発等の活動報告を D. McNabb (LLNL) が行った。

8.2 各研究所の報告

NNDC の活動報告を Oblozinsky が行った。人事に関して、McLane、Dunford が退職し、D. Rochman (ポスドク) を EXFOR 等の担当として採用した。CSEWG 及び USNDP の開催及び報告書作成を行った。NSR、XUNDL、ENSDF、NuDat、Nuclear Data Sheets、Wallet Cards、CSISRS、ENDF 等のデータベース管理を行い、www サービスを提供している。CINDA は EXFOR に包括できるのでコンパイルしていない。ENSDF の評価及びユーティリティーコード及び EMPIRE-2.19 を開発した。ENDF/B-VII のための核データ評価を行い、S. Mughabghab による「Atlas of Neutron Resonances」を Elsevier から 2006 年 3 月に発行予定である。

ANL の活動報告を F.G. Kondev が行った。A=201, 203 の核構造データ評価、測定活動を継続している。www ページ (<http://www.td.anl.gov/#####/> (##### = reports、nrs、NDP)) の整備も行っている。

LANL に関して河野及び R. Haight が報告した。理論的研究活動については、遅発中性子データをもうすぐ置き換える等の ENDF のための核データ評価、共分散研究、原子核モデル開発 (McGNASH) 等を行っている。LANCE における測定活動については、高スピニング線測定 (GEANIE、Phys. Rev. C、71、064314 (2005) (^{197}Au の 52 の新準位))、中性子 γ 線測定 (FIGARO、 ^{99}Tc 、 ^{208}Pb 、Ba を測定中) について報告された。

LBNL 活動報告を C.M. Baglin が行った。核構造・崩壊データ評価については、A=166、176、181、232、237 を投稿し、A=21、22、212 が公刊された。www の整備とソフトウェアサービスについて、EGAF データベース、DICEBOX 及び COSMO (統計モデル計算) コードによる中性子捕獲データの評価を行った。

LLNL 活動報告を D. McNabb が行った。ENDF/B-VII のための As、 ^{240}Am の核データ評価、遅発 γ 線及び熱中性子捕獲 γ 線の研究を行っている。フォーマット検討 (NIM/B に投稿) を開始した。Homeland security 関連研究及び短寿命アクチニドの核分裂断面積測定のための“surrogate”反応研究を行っている。

MacMaster 大の活動報告を J.A. Cameron が行った。核構造・崩壊データに関しては、ENSDF のための A=1、39、74、80、132、165、194、199、218、233、240 のデータを公刊または投稿した。XUNDL の作業、人材育成も行っている。宇宙核物理研究として、 ^{25}Al 、 ^{13}N 、(^{21}Na 、 ^{18}Ne) の(p, γ)反応率評価を行った。

NIST の活動報告を A.D. Carlson が行った。核構造・崩壊データ及び CSEWG、WPEC、IAEA/CRP と協力して中性子標準データを整備している。標準データに関して、ENDF/B-VI からの変化は最大約 6%である。

ORNL の活動報告を C. Nesaraja が行った。核構造・崩壊データについては、ENSDF のための A=241~249 の評価及び ENSDF 及び XUNDL からのデータ解析ツール RADWARE

の整備を行った。宇宙核物理データとして、 $^{18}\text{F}(p,\alpha)$ 、 (p,γ) 反応の R-行列フィットによる評価を行った。

TUNL の活動報告を J.H Kelly が行った。核構造・崩壊データについて A=8~10 の評価を行い、www ページの整備、PRECO コードの開発を進めている。

8.3 USNDP 活動計画

2005 年度 Annual Report のドラフトを 12 月中旬までに準備する。最終版は 12 月中に作成する。2006 年度予算は、大きく変わらないが DOE 予算が 8.4%減少した影響があるかもしれない。2007 年度活動計画では、やや形式を変更したい。Annual Report の期間を 12 月末までとし、ドラフトを 1 月中旬までに、最終版を 1 月末とする。2008 年度の予算ヒアリングは 2006 年 2 月に予定されており、Oblozinsky (代表)、Nesaraja (核構造・崩壊データ)、河野 (核反応データ) のチームで検討する。ENSDF のマンパワーに関しては、外部評価者の寄与により増加の予定である。核反応データに関しては共分散を中心におく。

9. おわりに

今後、新規の改訂及び評価は ENDF/A (部分的な完全でないファイルとして) に格納することを検討するそうである。この取り扱いは、なかなか難儀しそうに思えた。共分散の大部分は次の改訂版の ENDF/B-VII.1 にて取り扱うことになる。これも積み残しの感がある。発表資料は <http://www.nndc.bnl.gov/proceedings/2005csewgusndp/> からダウンロードできるので、より詳細な内容に興味のある方は、こちらを参照ください。次回会合は、CSEWG は 2006 年 11 月 6~8 日、USNDP は 2006 年 11 月 7~9 日、Nuclear Data Advisory Group (NDAG) 臨界安全会合は 2006 年 11 月 9 日の予定である。雑感であるが、今までは k_{eff} の値を直接書いて一喜一憂していたが、今回の会合では pcm にての記述が多く見られた。精度が上がり、時代が変わったのであろうか? それとも、筆者が単に知らなかっただけなのであろうか?