

話 題 I

J E N D L - 2 の 完 成

原 研 中 川 庸 雄

1. はじめに

この度、「評価済み核データライブラリーJENDL-2 の完成」というテーマで第17回日本原子力学会賞・特賞を受賞した。JENDL (Japanese Evaluated Nuclear Data Library) を作る作業は1972年ごろから始められており、1977年には高速炉で重要な72核種の評価済み核データを収録したJENDL-1 を公開した。その後、汎用核データライブラリーを旨とし、収録核種の数を増し、データの質を高めたJENDL-2 の作成を始めた。この間、シグマ委員会を中心として、原研、大学および原子力メーカーの方々が多数JENDL作成に携ってきた。その努力が181核種の評価済み核データを収録したJENDL-2 として実を結び、さらに今回の大きな賞により報いられたことは大変喜ばしいことである。

この稿は、核データニュースの読者の方々の中で、JENDLにあまりなじみのない方に、これを機会に、評価済み核データライブラリーJENDLについて理解していただいて、今後大いにJENDLを利用していただくという主旨で書くものである。

2. 評価済み核データライブラリーとその必要性

ここで言う「核データ」とは「原子核に中性子が入射した場合に起こる種々の核反応に関する情報」を指し、しばしば「中性子核データ」とも呼ばれている。

原子核の中性子入射反応断面積などの核データは、原子炉を設計する際の重要な基礎データである。しかし、断面積の測定値を集めてグラフを書くと測定値間にはバラツキがあって、とても原子炉設計計算などの実用に役立つ形にはなっていない。さらに、断面積の種類や中性子エネルギーの範囲によっては、測定値が全くない場合もある。

従って核データを使って、何等かの実用計算をしようという場合には、測定データとは全く別に、中性子エネルギーの一価関数として信頼性の高いデータを予め求めておく必要がある。この際、測定データがある場合はそれらを基にして、また全く測定データが無ければ、原子核理論や性質の似通っている原子核のデータを基にして核データを決めるのが一般的である。このような作業が「核データの評価」であり、核データの評価の結果求めた核データが「評価済み核データ」である。さらに、評価済み核データを一定の書式で、磁気テープや磁気ディスク上にまとめ上げ、計算コードの入力データとして使える形にしたものがJENDLのような「評価済み核データライブラリー

(あるいはファイル)」である。

評価済み核データライブラリーには、核データを利用する広い分野の方々からの要望に答えられるように、種々の原子核のデータを収録する必要がある。核データの種類は、上記の断面積データの他に、反応後に放出される中性子の角分布やエネルギー分布、あるいはガンマ線放出に関するデータなどが必要である。入射中性子のエネルギー範囲は 10^{-5} eV から 20 MeV 付近までの広い範囲をカバーしていなければならない。

外国では評価済み核データライブラリー作成は大部前から始められていた。日本では、当初、イギリスや米国の評価済み核データライブラリーを使っていた。日本でも独自の評価済み核データライブラリーを作ろうという気運が高まって来たのは 1970 年代に入ってからである。当時、JENDL の意義についてシグマ委員会を中心に何度も議論がなされている。その中から JENDL の意義を明確に表わしているものを挙げてみよう。

- (1) 外国製のライブラリーは素性がよくわからない。どのように核データを評価したかが明確な独自の評価済み核データライブラリーを使えば、問題がおこっても原因をつかみ易いし、使用経験をもとにして核データを修正することも可能である。
- (2) 日本独自の評価済み核データを発表することによって、「give and take」が原則である核データの国際協力を外国と対等に行うことができる。また、外国製のデータは情勢によっては使えなくなることがあるかもしれない。
- (3) JENDL を作ることによって、日本国内の標準核データライブラリーを確立することができる。

この他にも、いくつかの必要性が指摘された。このような JENDL の必要性は、10 年後の今日でも全く変わっていない。

3. JENDL-1

JENDL の第 1 版である JENDL-1 は 1977 年に公開された。これは、それまでにシグマ委員会を中心にして行ってきた核データ評価作業の結果をまとめたもので、高速炉で重要な 72 核種の核データが米国の ENDF/B-IV と同じ書式で格納されている。中性子エネルギーの範囲は 10^{-5} eV から 15 MeV まで考慮された。

評価済み核データライブラリーを作るには、3つの大きな仕事がある。まず集録すべき核データを評価し求めることであり、第 2 は評価結果を正しくファイル化（編集）することである。さらに、第 3 の仕事として評価済み核データの信頼性を調べる仕事（ベンチマークテスト）がある。第 1 の“評価”については、JENDL-1 を編集する時点までにシグマ委員会を中心にして行った多くの

蓄積があった。しかし、1核種の全反応のデータを全エネルギー領域にわたって評価していない場合もあり、JENDL-1 に収録する時点で、不足しているデータをENDF/B-IV などから採用し、補う必要があった。第2のファイルについては、経験不足であった為、試行錯誤的な面があったが、どうにか、完成させることができた。このJENDL-1 作成で得た貴重な経験はJENDL-2 の作成作業で多いに役立った。

JENDL-1 公開後いろいろなベンチマークテストが行われたが、その結果、いくつかの問題点が指摘された。それを踏えてJENDL-2 の作成が、JENDL-1 公開後ただちに開始された。

4. JENDL-2

JENDL-2 の目標は、「高速炉ばかりでなく、熱中性子炉、核融合炉、遮蔽などの問題にも使える汎用の核データライブラリーを作る」ことだった。このため、最初にも述べたように、最終的には181核種のデータをJENDL-2 に収録した。収録核種名を表に示す。

すべての核種に対して、 10^{-5} eV から20 MeVの入射中性子エネルギー範囲のデータを評価して収録した。評価した核データの種類は核種によって異なるが大体次の通りである。

(1) 中性子入射反応断面積

20 MeV 以下で起る反応の断面積データが考慮されている。ただし、測定データが皆無で理論計算でも大きさが推測できない反応の断面積は除かれている。また核分裂生成物 (FP) 核種のデータは非弾性散乱以外のしきい反応は全て無視されている。

(2) 共鳴パラメータ

低エネルギー中性子領域の断面積が共鳴パラメータを用いて計算できる場合は、共鳴パラメータを評価して収録した。このエネルギー領域を分離共鳴領域と呼ぶ。さらにJENDL-2 ではFP 核種やそれより重い核種のいくつかに対して数10 keVから100 keV 付近まで平均の共鳴パラメータを評価し、それから断面積を求めるようにしている。この領域は非分離共鳴領域と呼ばれる。

(3) 放出中性子の角分布データ

中性子の弾性散乱、非弾性散乱、 $(n, 2n)$ 、 $(n, 3n)$ 反応等で放出される中性子の角分布データが与えられている。

(4) 放出中性子のエネルギー分布データ

連続スペクトルになる放出中性子に対して主に蒸発模型から推定されるエネルギー分布データを与えた。

(5) 核分裂に関する物理量

核分裂当りの放出中性子数、核分裂生成物の生成量などが収録されている。

これらのデータは、JENDL-1 と同じく ENDF/B-IV のフォーマットを用いてファイル化されている。ENDF/B-IV フォーマットでは 1 核種のデータを MAT 番号という 4 桁以内の正の整数を用いて他と区別している。表には JENDL-2 に収録した核種名と一しょにその MAT 番号も示した。現在までに、JENDL-2 に対していくつかのベンチマークテストが行われた。その結果、若干の問題はあるものの、高速炉、熱中性子炉および核分裂炉体系の遮蔽に対しては十分に使える事が証明された。しかし、核融合炉で重要な高エネルギー中性子のデータは、まだ不十分であることが指摘されている。この欠点は現在作成が進められている JENDL-3 で改良される予定である。すでに、核融合で重要な軽核と構造材核種のデータを修正した JENDL-3 の予備版が作られテスト的に使われている。

4. むすび

JENDL-1 を作る時に議論した JENDL の意義をもう一度思い出してみよう。素性のわかった独自の評価済み核データライブラリーを持つことは JENDL を作ることで満たされている。

第 2 の国際協力および国際情勢に関しては、米国が ENDF/B-V の主要核種のデータを非公開にしてしまったことを挙げる必要があるだろう。外国製のデータが情勢によっては自由に使えなくなることがあるかもしれないという不安は現実となって現われた。しかし、この決定が発表されたとき、日本ではすでに JENDL-2 の作成が進んでいたので大きな混乱を起さずにすんだ。

第 3 の標準核データライブラリーとしての JENDL は JENDL-2 の完成でかなり確立されたように見える。今後ともより多くの方々に使っていただけるよう、JENDL の質の向上に努めることが大事であると考えている。この点に関しては前節にも述べた通り、現在、JENDL-2 をさらに拡張した JENDL-3 の作成が進められている。JENDL-3 には、これまでにはなかったガンマ線生成のデータや評価済みデータの誤差情報などが新たに評価される事になっており、シグマ委員会の核データ専門部会を中心にして核データ評価作業が行われている。

JENDL について、非常に表面的な事を書いてみた。少しでも興味を持たれた方の為に次の文献を示す。

1) JENDL-1

- S. Igarasi, et al. : "Japanese Evaluated Nuclear Data Library, version 1"; JAERI 1261 (1979).
- Y. Kikuchi, et al. : "Neutron Cross Sections of 28 Fission Product

Nuclides adopted in JENDL-1 ”, JAERI 1268 (1981).

- Y. Kikuchi, et al. : “ Benchmark tests of JENDL-1 ”, JAERI 1275 (1981).

2) JENDL-2

- (Ed.) T. Nakagawa : “ Summary of JENDL-2 General Purpose File ”, JAERI -M 84-103 (1984).
- 五十嵐 信 一, 他 : 日本原子力学会誌, 26, 191 (1984) .
- Y. Kikuchi, et al. : “ Present status and Benchmark Tests of JENDL-2 ”, Proc. Int. Conf. on Nuclear Data for Science and Technology, Antwerp 1982, p. 615 (1983).

3) ENDF/B-IV フォーマット

- D. Garber, et al. : “ Data Formats and Procedures for the Evaluated Nuclear Data File, ENDF ”, BNL-NCS-50496 (ENDF-102) (1975).

また当核データニュース誌では当号より原研核データセンターで利用できる種々の核データファイルについて連載記事を載せるが、JENDLについての記事も次号あるいは次々号に載せる予定であるので、その方も参考にさせていただきたい。そこではJENDL-2 についてももう少し具体的な説明がなされるはずである。

表 J E N D L - 2 に収録したデータの核種とその M A T 番号

Nuclide(MAT)	Nuclide(MAT)	Nuclide(MAT)	Nuclide(MAT)
H - 1 2011	Rb- 87 2372	Sb-123 2512	Gd-157 2643
H - 2 2012	Sr- 86 2381	Sb-124 2513	Gd-158 2644
Li- 6 2031	Sr- 87 2382	Tb-128 2521	Gd-160 2645
Li- 7 2032	Sr- 88 2383	I -127 2531	Tb-159 2651
Be- 9 2041	Sr- 90 2384	I -129 2532	Hf-174 2721
B - 10 2051	Y - 89 2391	Xe-131 2541	Hf-176 2722
C - 12 2061	Zr- 90 2401	Xe-132 2542	Hf-177 2723
F - 19 2091	Zr- 91 2402	Xe-133 2543	Hf-178 2724
Na- 23 2111	Zr- 92 2403	Xe-134 2544	Hf-179 2725
Al- 27 2131	Zr- 93 2404	Xe-135 2545	Hf-180 2726
Si-nat 2140	Zr- 94 2405	Xe-136 2546	Ta-181 2731
Ca-nat 2200	Zr- 95 2406	Cs-133 2551	Pb-nat 2820
Ca- 40 2201	Zr- 96 2407	Cs-135 2552	Pb-204 2821
Ca- 42 2202	Nb- 93 2411	Cs-137 2553	Pb-206 2822
Ca- 43 2203	Mo-nat 2420	Ba-134 2561	Pb-207 2823
Ca- 44 2204	Mo- 92 2421	Ba-135 2562	Pb-208 2824
Ca- 46 2205	Mo- 94 2422	Ba-136 2563	Th-228 2901
Ca- 48 2206	Mo- 95 2423	Ba-137 2564	Th-230 2902
Sc- 45 2211	Mo- 96 2424	Ba-138 2565	Th-232 2903
V - 51 2231	Mo- 97 2425	La-139 2571	Th-233 2904
Cr-nat 2240	Mo- 98 2426	Ce-140 2581	Th-234 2905
Cr- 50 2241	Mo-100 2427	Ce-142 2582	Pa-233 2911
Cr- 52 2242	Tc- 99 2431	Ce-144 2583	U -233 2921
Cr- 53 2243	Ru-100 2441	Pr-141 2591	U -234 2922
Cr- 54 2244	Ru-101 2442	Nd-142 2601	U -235 2923
Mn- 55 2251	Ru-102 2443	Nd-143 2602	U -236 2924
Fe-nat 2260	Ru-103 2444	Nd-144 2603	U -238 2925
Fe- 54 2261	Ru-104 2445	Nd-145 2604	Np-237 2931
Fe- 56 2262	Ru-106 2446	Nd-146 2605	Np-239 2932
Fe- 57 2263	Rh-103 2451	Nd-148 2606	Pu-236 2941
Fe- 58 2264	Pd-104 2461	Nd-150 2607	Pu-238 2942
Co- 59 2271	Pd-105 2462	Pm-147 2611	Pu-239 2943
Ni-nat 2280	Pd-106 2463	Sm-147 2621	Pu-240 2944
Ni- 58 2281	Pd-107 2464	Sm-148 2622	Pu-241 2945
Ni- 60 2282	Pd-108 2465	Sm-149 2623	Pu-242 2946
Ni- 61 2283	Pd-110 2466	Sm-150 2624	Am-241 2951
Ni- 62 2284	Ag-107 2471	Sm-151 2625	Am-242g 2952
Ni- 64 2285	Ag-109 2472	Sm-152 2626	Am-242m 2953
Cu-nat 2290	Cd-110 2481	Sm-154 2627	Am-243 2954
Cu- 63 2291	Cd-111 2482	Eu-151 2631	Cm-242 2961
Cu- 65 2292	Cd-112 2483	Eu-152 2632	Cm-243 2962
Kr- 83 2361	Cd-113 2484	Eu-153 2633	Cm-244 2963
Kr- 84 2362	Cd-114 2485	Eu-154 2634	Cm-245 2964
Kr- 85 2363	Cd-116 2486	Eu-155 2635	
Kr- 86 2364	In-115 2491	Gd-155 2641	
Rb- 85 2371	Sb-121 2511	Gd-156 2642	