

解 説(IV)

原子力の発展と核データ

日本原子力研究所核データセンター

菊池 康之

e-mail: kikuchi@cracker.tokai.jaeri.go.jp

本稿は、1995 年 7 月 13 日に日本原子力学会九州支部で行った講演の内容である。

1. 核データとは

核データとは広義には、原子核に関する全てのデータであるが、原子力においては狭義に中性子核データを指す。

中性子核データとは、中性子と原子核の反応を定量的に表す量である。具体的には、

断面積 (σ)、

二次放出粒子の角度分布 ($d\sigma/d\Omega$)、

“ エネルギー分布 ($d\sigma/dE$)、

“ 角度・エネルギー二重微分断面積 (DDX: $d^2\sigma/d\Omega\cdot dE$)、

共鳴パラメータ、

核分裂中性子数とスペクトル、

核分裂生成物 (FP) 収率。

考慮すべき反応としては、弾性散乱、非弾性散乱、捕獲、核分裂、 $(n,2n)$ 、 $(n,3n)$ 、 (n,p) 、 (n,α) 、 (n,t) 等があり、また全断面積も重要である。

原子炉の安全評価に重要な崩壊熱を計算するためには、核構造・崩壊データが重要となるが、ここでは触れない。

2. 核データ知識不足に起因する失敗例

核データの重要性を示すために不適切な核データを仮定していたため、プロジェクトそのものが破綻した例を示す。

2.1 彦坂高速炉

新潟大学名誉教授の故彦坂忠義氏は、戦時中の 1945 年に学位論文として天然ウラン

による高速臨界体系を提唱している。当時の日本の技術レベルでは濃縮ウランや重水の製造が不可能であることを考慮しての提唱であった。

現在では天然ウラン高速体系では臨界にならないことは常識であるが、当時の核データの知識では自明ではなかった。第1図、第2図に彦坂氏の仮定した ^{238}U の核分裂断面積と非弾性散乱断面積を現在の値と比較する。閾値以下の核分裂断面積を大幅に過大評価、非弾性散乱断面積を大幅に過小評価していたことが分かる。 ^{238}U の共鳴吸収を避けるために高速体系を考えた彦坂氏の着眼も、仮定した核データの誤りにより実を結ばなかったわけである。

なお、これに関しては、日本原子力学会誌 34[11]の後付けに原論文の復刻と桂木氏による詳細な解説がある。

2.2 水蒸気冷却高速炉

1960年代にドイツでは、水蒸気冷却高速炉の検討が行われていた。これはNa冷却による種々の技術的問題を避けるためである。水蒸気冷却にすれば当然スペクトルは軟化するが、当時 ^{239}Pu の α 値(σ_c/σ_t)は第3図に見るように10 keV以下でも0.6～0.7で、中性子経済に与える悪影響は克服できると考えられていた。

ところが1967年頃、AERE HarwellとORNLでの測定により、10 keV以下の α 値が1を超えることが判明した。この値では中性子経済の悪化により増殖がほとんど不可能になることが分かり、水蒸気冷却高速炉の概念は放棄された。

2.3 天然リチウム核融合炉ブランケット

核融合炉では、消費される以上のトリチウムをブランケット内で生成(増殖)しなくてはならない。このためにはLiが用いられる。Liのトリチウム生成反応は以下の2つが考えられる。



天然Liは、92.44%が ${}^7\text{Li}$ であるので、(1)の反応をうまく利用するのが望ましい。そこで考えられたのが、高速中性子により(1)の反応を起こさせ、続いて非弾性散乱で出て来る低速中性子により(2)の反応を起こさせるという中性子の2重利用のアイデアであった。このシナリオが成立するためには、(1)の反応断面積が十分大きい必要がある。

1973年に公開されたENDF/B-IVでは、第4図に見られるように1960年代の実験値に基づき6～8 MeVで4.5 bの値が与えられていた。ところが1980年代になり、Geel等でこれより20%低い値が測定され、その後の多くの実験もこの低い値を支持してい

る。

この低い値では上記のシナリオはトリチウム増殖比が1を下廻ることになり成立しなくなる。現在はこのシナリオをあきらめ、もっぱら(2)によるトリチウム増殖を考えているが、このためには⁶Liの濃縮が必要になる。

以上の3例は、臨界や増殖のようなデリケートな問題に対して、核データの不確さは、概念の成立性に致命的影響を与えることを示している。

3. 欧米における核データ活動の歴史

3.1 原子力の黎明期

第2次世界大戦中、日本では前述の彦坂氏が天然ウラン高速炉を考えていた頃、米国ではFermi等を中心にマンハッタン計画が進められ、1942年12月2日にはシカゴ大学のフットボール場地下で、世界最初の臨界体系CP-1の初臨界が達成された。この頃には核データ活動等の概念すらなく、必用な核データはFermi等の大家が過去の実験値とそのシステムティクスから靈感に基づき推定したとのことである。

そのため臨界量の推定誤差も大きく、臨界近接には燃料ブロックを少しずつ積みながら様子を見ていったし、最後の臨界達成はGerge Neilが手で制御棒を引き抜いていた。安全に関しては、その近傍ではNormal Hilberyが斧を持って非常安全棒をいつでも切り落とせるようにしていたし、奥の高いところではカドミウム溶液の入った瓶を持った決死隊が待機し、炉心部で青い光が見えたら液をぶちまけて逃げろと命令されていたそうである。

しかしこのような状況でありながら、ほぼ予想どおりで臨界を達成したことは、核データに関してもかなり良い推定をしていたものと思われる。

3.2 データブックの刊行

1953年の国連総会におけるアイゼンハワー大統領の"Atom for Peace"演説により、原子力の平和利用の幕が開いた。その前提として客観的な核データの重要性が認識され、データブックの刊行がなされた。

もっとも有名なものはBNLから刊行されたBNL-325とBNL-400である。BNL-325は断面積の2200m/s値、共鳴パラメータ及びグラフを与えたもので、実験値と推奨値が与えられており、核データ評価の草分けである。第1表に示すように、その第1版は1955年に刊行され、その改訂は現在まで続けられ利用されている。一方BNL-400は2次中性子の角度分布のデータを与えたもので、実験値を中心としたデー

タブックである。

一方ドイツにおいても、1966年に高速炉のための核データ評価値がJ.J.SchmidtによりKFK-120 (Neutron Cross Sections for Fast Reactor Materials)として刊行され、日本でも広く利用された。筆者も学位論文作成時(1967～69年)には、当時の核データ先進国のこれらのレポートを活用したものである。

3.3 群定数概念の確立

原子炉内の中性子輸送計算のためには、エネルギー群で平均した核データが必用になる。これらを群定数と言うが、この概念も1950年代後半から確立していった。

その代表的なものがANLのYiftah、Okrent、Moldauerによって1960年に作成されたYOM setである。これは高速炉計算用の16群の群定数で、作成者が核データを評価しその詳細がレポートになっている。その意味でこのセットは、初の客観的な群定数セットであると言われている。また1961年にはLASLで高速及び中間エネルギー炉のための6群、16群の定数Hansen-Roach setが作成され、これも広く利用された。一方ソ連においては、Abagyan、Bazazyants、Bondarenko、NikolaevによるABBN-setが1964年に作成された。このセットは等レサージ間隔(1桁を3群)の25群構造を採用し、共鳴の自己遮蔽因子を持つなど、それ以後の群定数の基本概念を確立したものである。またこのセットは使用された核データの素性は不明なものにもかかわらず、予測特性はきわめて良好で米国でも広く利用された。USAECはこれを屈辱と考え、次節で述べるENDF/B-IVの開発を急がせたと言われている。

3.4 評価済み核データライブラリー

上述したように米国においては、BNL-325等での評価や、YOM set作成時の評価は活発に行われたが、評価済み核データを汎用のライブラリーとして整備する事は、欧州の方が先行していた。

第2表に見られるように、英国ではすでに1963年にUKNDL-63が公開されている。またドイツでは1965年にKEDAK-1が作られている。これらは独自のフォーマットで作られており互換性は乏しかった。

一方米国では、先行するこれらを受け入れられる柔軟なフォーマットを持つENDF/Aファイルが1965年頃開発された。そして米国の評価済み核データファイルとして、ENDF/B-Iが1968年に公開された。ENDF/Bは短期間に改訂を重ね、1974年にENDF/B-IVが公開された。この急ピッチな改訂の裏には、前述したABBN-setを凌駕しなくてはならないと言うUSAECの意地があり、当時の米国の核データ活動の全精力を傾けて作られたものである。こうして公開されたENDF/B-IVは、当時としては世

界最高のもので、たちまち西側世界で広く利用されるようになり、ENDF/B フォーマットも世界の標準フォーマットとして定着した。

この状況に対して、欧州諸国では ENDF/B に頼ることにより独自の評価活動を縮小していった。第 2 表中の UKNDL-81、KEDAK-3、-4 等是一部核種の追加や修正に留まっており、独自ライブラリーの改訂とは言い難い。このように ENDF/B-IV が世界の標準ライブラリーとなっていたところで、米国 DOE は 1979 年に完成した ENDF/B-V を米国カナダ以外には非公開とする方針を打ち出した。この決定の裏には：

- 1) 当時米国の原子力予算は苦しくなっており、ENDF/B-V の開発費を回収したかったこと、
- 2) クリンチリバーの計画中止に伴い、フランスからバーターで Phoenix 炉のデータを入手することを狙ったこと、

等が取り沙汰された。これに対して欧州諸国は猛反発し、NEA Data Bank を中心に米国を排除した形で JEF (Joint Evaluated File) の開発を 1981 年から開始して 1984 年には JEF-1 を完成させ、現在は JEF-2 に至っている。

かくしてバーター情報を得ようと言う米国の思惑は外れたのであるが、ENDF/B-V の非公開は米国に対しても予想外のマイナスの影響をもたらした。それまで ENDF/B-IV は世界の標準として利用されていたので、米国としては労することなく膨大なフィードバック情報を入手することができていたのであるが、ENDF/B-V に関しては当然そのような情報は入ってこない。またこの非公開措置は米国の研究者に対しても思わぬ負担となった。米国の研究者が ENDF/B-V を利用して解析を行っても、その素性が国外の研究者には不明のため国際的には相手にされない。そのため米国の研究者もわざわざ ENDF/B-IV で解析し、その差を示さなくてはならない羽目になった。すなわち ENDF/B-V は利用価値の極めて乏しいものとなってしまった。米国もこの点を反省して、1991 年に完成した ENDF/B-VI は再び公開となった。これを受け欧州側も JEF を公開した。

以上のことは、核データのような基礎的データを財産視して非公開にすることの愚を物語っている。

3.5 国際協力体制

核データの評価等の活動は、膨大な量の実験データが必用であり、これらを自足することは大国と言えども不可能であるし無駄でもある。そこで早くから国際協力体制が採られてきた。

特に中性子核データに関しては、四センター体制が 1960 年代から採られている。これは世界を四つのゾーンに分けその責任機関を決め、その地域で発生したデータを責任

機関が収集し共通のデータベースに入れることにより、全世界での発生データを共有するとともに、その地域からのデータリクエストに対してサービスの責任も負うものである。具体的には、米国 BNL の NNDC (National Nuclear Data Center) が米国とカナダ、パリの NEA Data Bank が西欧と日本、Obninsk の CJD (Nuclear Data Center) がソ連、IAEA の NDS (Nuclear Data Section) がその他の国（東欧、発展途上国等）を分担している。取り扱っているデータとしては、文献データベース CINDA、実験データベース EXFOR、各種評価済みデータである。

最近では IAEA/NDS を中心とした、荷電粒子データ、核構造・崩壊データも含んだ世界的なネットワークに、中性子データも四センター体制を維持したまま組み込まれている。

3.6 現状

米国の核データ活動は、1980 年代から急速に衰退してきている。これは米国の原子力開発そのものの停滞に関係するものである。特に金のかかる実験活動の落ち込みがひどく、数多くのデータを生産した ANL の FNG、NBS の linac はすでに閉鎖されているし、ORNL の ORELA は宇宙物理用として年に数週間運転されているのみである。現在稼働中の LANL の LAMPF もその将来は不透明である。評価グループも予算削減で人が減っており、ENDF/B-VI の検証もままならないとのことである。シグマ委員会で ENDF/B-VI のテストを一部行ってみたが、かなりひどいものであった。

欧州でも、高速炉開発を続けているフランスは元気で JEF の牽引車的役割を果たしているが、英独は凋落が著しい。Harwell の linac、KfK の Cyclotron は閉鎖され、KfK の VdG は宇宙物理専用になっている。ゲールの IRMM では VdG、linac 共に健在であるが、研究員の高齢化が進み将来が心配されている。

4. 日本の核データ活動の歩み

4.1 初期の活動

日本の核データ活動は 1963 年に日本原子力学会にシグマ特別専門委員会が発足した時から本格化したと言える。この委員会は原研に設置されたシグマ研究委員会とメンバーを共通させ、車の両輪のような関係で現在までの核データ活動を支えてきた。発足当時はまだ演習的な面が強く、データシートによる実験データの収集(1964～1969年)や熱中性子散乱断面積の評価(1965～1968年)等が当初のタスクであった。

1967 年には、高速炉の設計グループからの要請を受け、日本独自の評価済み核データライブラリーである JENDF (Japanese Evaluated Nuclear Data File) の構想が検討され

た。これには核データセンターの前室長であった五十嵐氏も参加したと聞いている。ところが翌 1968 年になると英国から UKNDL-67 が入手できることになり、当時の高速炉関係者は掌を返すように“JENDF はもう結構です”と言うことになり、この構想は挫折した。この UKNDL-67 は Aldemaston と Winfrith で評価されたデータからなっていて、当時 A/W データと呼ばれていて、核データ関係者はこの経緯を A/W 効果と呼んでおおいに憤慨したものである。

一方同じ 1968 年には原研に“核データ研究室”が発足し、これが 1976 年には認可組織の“原子核データ室”となり、1977 年には“核データセンター”と改称され現在に至っている。

また炉物理サイドの原研“核設計研究室”では、上述の UKNDL-67 を利用しつつ、ABBN-set 型の群定数の開発が進められ、1969 年には JAERI-Fast set として公開された。

4.2 MOZART 実験解析

MOZART 計画は高速原型炉“もんじゅ”のモックアップのため、1971 年から 1973 年の期間に英国 Winfrith の高速臨界実験装置 ZEBRA を用いて行われた動燃事業団と英国原子力公社との共同実験計画である。実験体系はもんじゅの外側炉心を模擬した MZA、実際の炉心を模擬した MZB、制御棒効果を見る MZC の 3 炉心である。

実験解析は、動燃事業団の下に国内原子力プラントメーカーと原研が行った。当初は各機関が各々手持ちの群定数ライブラリーを用い、手持ちのコードで解析を行った。その結果は非常にばらついて、予測精度の議論をできるような状態ではなかった。例えば、MZA の実効増倍率に関しての C/E 値は、0.994 から 1.014 と約 2% のばらつきで、許容誤差とされる 0.5% を遥かに越えていた。

これでは計算手法の問題などの議論ができないので、統一群定数の必要性が認識され、JAERI-Fast set が用いられることになった。しかし JAERI-Fast set にしてもその基となる核データは、UKNDL-67 を中心にするものの必ずしも明確ではなかった。そこで高速炉の関係者から、独自の評価済み核データを持つ必要性が認識されるようになり、これが JENDL への期待になっていった。

4.3 JENDL (Japanese Evaluated Nuclear Data Library)

前述のように高速炉関係者からのサポートを受けて、日本独自の核データライブラリー JENDL 作成の検討が 1973 年に行われた。独自のライブラリーを持つ意義について以下の三点が認識された。

- 1) データの素性が明らかである。

データの生産者と利用者の間の対話が可能である。

2) 基礎データを外国に依存する危険性

このことは3.4で述べた ENDF/B-V の非公開決定で実証された。1979 年当時ひどく動揺した欧州諸国と対照的に、JENDL を進めていた日本は落ち着いて先見の明を誇っていることができた。

3) 大国の責務

特に近隣諸国との関係を考慮した。

この検討の結果を踏まえ、JENDL-1 の評価が 1974 年から開始された。JENDL-1 はその対象を高速炉に限定し、収納核種も 72 核種（FP28 核種を含む）であり、共鳴領域以下は ENDF/B-IV を借用することにした。JENDL-1 はベンチマークテストでその信頼性を確認した後、1977 年に公開された。JENDL-1 は日本での初の評価済みデータであったが、その結果は十分満足できるものであった。

JENDL-1 の成功に気をよくして、直ちに JENDL-2 の作成が開始された。JENDL-2 は高速炉のみならず熱中性子炉、遮蔽、核融合中性子工学等へも適用できる汎用ライブラリーを目指した。そこで核種数も 181 に増やし、上限エネルギーも 20 MeV まで拡張された。JENDL-2 は 1982 年に公開されたが、丁度その時期には動燃事業団は高速実証炉の設計のために、米国 DOE と ZPPR-9 を用いての臨界実験プロジェクト JUPITER 計画を進めており、この実験解析には JENDL-2 が全面的に採用された。

ところで JENDL-2 はそのベンチマークテストの結果から、核分裂炉用には優れているが、核融合中性子工学に重要な 14 MeV 付近の高エネルギー中性子データは不十分である事が指摘された。そこでこの欠点を是正し、真の汎用ライブラリーを目指して JENDL-3 の作成が 1982 年からスタートした。丁度そのころ原研の FNS を用いて日米核融合ブランケット共同実験が開始された。そこでこの解析に是非 JENDL を使いたいという声が起きてきた。JENDL-3 の一般的な整備スケジュールではとてもこの要求に間に合わないので、主要な 8 核種のみ改訂した JENDL-3PR1 を 1983 年に作成し急をしのいだ。JENDL-3 はそれ以後慎重な評価とテストを経て、1989 年に公開された。

JENDL-3 は JENDL-2 で指摘された問題点の多くを解決しており、汎用ライブラリーとして広く利用された。第 5 図に 14 MeV 入射中性子に対する鉄からの 2 次中性子のエネルギー分布を JENDL-2 と JENDL-3 で比較する。単純な統計模型のみで評価された JENDL-2 は 5 ～ 13 MeV のスペクトルを大幅に過小評価しているのに対し、直接過程や前平衡過程を考慮した JENDL-3 は実験値を良く再現している。

しかし JENDL-3 も使われるに従って、いくつかの問題点が指摘されるようになった。そこで 1993 年に 1 年かけて集中的に見直し作業が行われ、その改訂結果を JENDL-3.2 として 1994 年 6 月に公開した。この JENDL-3.2 は、現時点における問題点をほぼ解

決していると思われる。そこで version の混乱を避け、ユーザーが安心して使えるように、ここ数年は凍結して普及をはかりたいと考えている。

第3表に JENDL の各 version の内容を示す。

4.4 JENDL 特殊目的ファイル

上述した JENDL-1 ～ 3 は汎用ファイルと呼ばれるもので、核種毎にすべての情報を含んでいる。しかしユーザーの中にはある特殊な目的でのみ核データを必用としている人もいる。例えばドシメトリーのためにある特定の反応のみのデータが必用な場合、すべての反応データを持つ汎用ファイルは重すぎて無駄である。そのようなユーザーのために、JENDL 特殊目的ファイルを準備している。特殊目的ファイルのもう一つの利点は、汎用ファイルに比べて柔軟な改訂が可能なことである。

第4表に JENDL 特殊目的ファイルの一覧を示す。個々についての説明は省略するが、現在重点的に進められているものは、アクチニドファイルと高エネルギーファイルである。

4.5 崩壊熱計算ライブラリー

シグマ委員会を中心に行われた日本の核データ活動の内、JENDL と並んで誇りうる成果が崩壊熱計算用の "JNDC FP Decay Data File" である。この評価は 1974 年から開始された。FP 崩壊熱に関しては、 β エネルギーの過大評価、 γ エネルギーの過小評価の問題で世界中が悩んでいた。シグマ委員会では、半減期の短い核種の崩壊スキームに関して、実験値を取って捨て理論値を採用することにより、世界に先駆けてこの問題を解決した。この方法はその後 ENDF/B-VI、JEF 等でも採用されている。

JNDC FP Decay Data File はその第1版が 1981 年に完成し、第2版が 1988 年に完成し現在まで利用されている。このデータは原子炉の安全審査における ECCS の評価の基準データとして公認されている。

4.6 核構造・崩壊データ評価

核データとして反応データと並んで重要な核構造・崩壊データに関しては、IAEA の下で行われている国際マスチェーン評価協力に 1977 年から参加し、A=118 ～ 129 を分担している。この成果は ENSDF (Evaluated Nuclear Structure Data File) として世界中で利用されている。

また核図表を 1976 年度から 4 年毎に刊行してきている。現在の最新版は 1992 年版である。ちなみにこの発行年はオリンピックの開催年であり、来年改訂の予定である。

4.7 実験活動

今まで主として評価活動について述べてきたが、ここで日本の実験活動について簡単に触れたい。公平に見て日本の実験活動は、評価活動に比べて弱体であったことは否めない。特に核分裂やアクチニドの測定は少なかった。この理由の一つに日本で濃縮同位体の生産が無いこと、規制が不必要にうるさい（特に α 崩壊核種に対して）ことが挙げられている。

従って JENDL の評価でも欧米での測定データによることが多く、この点が外国人から“JENDL は欧米原産データを日本で細工して輸出する典型的メイドインジャパンである”と皮肉を言われる原因にもなっていた。

最近はこの状態はかなり改善された。特に大学のアクティビティーが向上したことが目に付く。一方 3.6 で述べたように、欧米の測定活動が凋落してきたので、縮小均衡ながら日本の測定活動の比重は高まってきている。

5. 今後の展望

5.1 世界の現状

3.6 で述べたように、米国の活動は凋落が著しく、欧州もフランスのみ頑張っているが英独は凋落している。ロシアは豊富なサンプル、優秀な人材を抱えているが、現在の経済状態では外国の支援なしでは何もできないのが現状である。このような状況で、IAEA や NEA 等の国際機関の活動も加盟国の支持を失い低下しつつある。

一方アジア地域は原子力への期待を高めており、最近の計算機の進歩（安価で高性能なワークステーションの普及等）により、中国、韓国、インドネシアなどでは核データへの関心が高まってきている。

公平に見て日本の活動レベルが世界で一番高いと言える。今後は 1960 年代から 1970 年代の前半に米国が果たしていたような世界の核データ活動の牽引的な役割を日本が果たす必要がある。その際にはアジア地域との連携、ロシアとの協力がポイントとなるだろう。

5.2 JENDL-3.2 の普及

JENDL-3.2 は従来の核分裂炉、核融合炉からの要求をほぼ満たしており、現時点での世界最高のデータライブラリーであると自負している。しかしこれに胡座をかいていくわけにはいかず、さらに改良のための努力が必用である。ただし小刻みな改訂は version の混乱を招き、ユーザーにも迷惑なので、改良されたデータは特殊目的ファイルの一つ JENDL Update File（仮称）に格納し限定利用を図っていき、数年後には

JENDL-3.3 または JENDL-4 として公開したい。

さらに JENDL-3.2 を国内はもとより、国外にも普及させていきたい。そのためには、標準炉定数の作成、データブックの刊行、オンラインネットワークサービス等の付加価値を高める努力が必用である。さらに実績を積んだ後に規制当局に働きかけ、安全審査の基準データとしての採用を図りたい。

また JENDL-3.2 までに至る 30 年間に営々として蓄積されたデータと知識の保存・活用を図るために、これらをデータベース、知識ベース化すると共に、AI を利用してこれらを活用する統合核データ評価システムを構築している。

5.3 新しいニーズへの対応

今後の新たな展開のためには、従来の核分裂、核融合以外の新しいニーズにも対応していかなければならない。

現在以下の新しいニーズがあり、そのための核データの整備が必要である。

*オメガ計画

長寿命放射性廃棄物を核種変換で処理する計画である。生成されるアクチニド核種の量の推定、核種変換率の計算、専焼炉の設計などのため、高精度のアクチニド核種のデータが必用となる。

*加速器開発

現在原研では、核融合材料照射用加速器 IFMIF（IEA による国際協力）と大強度陽子加速器の二つの開発計画がある。これらのターゲットの設計、遮蔽、放射化などの安全解析のために、数 GeV までのエネルギー領域の中性子、荷電粒子、光子反応の核データが必用となる。

*材料研究

PKA (Primary Knock-on Atom) スペクトルデータなどが要求されている。

*医療用

中高エネルギーデータが必用である。

核データセンターでは、これらの新しいニーズに対応して、その研究の重点をすでにシフトしている。アクチニドデータに関しては、現在特殊目的ファイル JENDL Actinide File として整備中である。また中高エネルギーデータは全く新しい理論・手法も必要で、やり甲斐のあるテーマとして今後の柱の一つである。

5.4 国際協力の推進

JENDL-3.2 以後の核データに対する要求は、いっそう高度化するものと考えられる。一方国内外を見ても、核データ関係のマンパワーが増えることは期待できない。そこで

人的資源を有効に活用し、高度な要求に対処するために、国際協力の推進が必用となる。

OECD/NEA の原子力科学委員会 (NEA Nuclear Science Committee: NEANSC) においては、評価国際協力ワーキングパーティ (WPEC) が設置され、国際的に問題となっているトピックスをサブグループで検討している。現在までに 17 のサブグループが設置され大きな成果を上げている。

ロシアに関しては、旧軍事研究者の国外拡散を防止する目的で、モスクワに ISTC (International Science and Technology Center) が設置され、ここを通じて日米欧三極の資金により、種々のプロジェクトが行われている。核データに関しては日本では得られないアクチニド関係のデータの測定が可能であり、現在これを活用して測定委託を行っている。

近年発展の著しいアジア諸国は、核データにも興味を持ち始めており、日本との協力を期待する声も高い。これらの諸国に JENDL を普及するために、アジア地域研究センター構想が検討されてきた。この構想は、JENDL やその利用のソフトウェアを、近隣諸国と共有し共同で開発を進めるというものである。この構想は現在核データのみならず、原子力総合研修センター、安全研究などを含んだ大きな構想として実現に向けて動いている。

核データ関係の従来の国際協力は OECD/NEA を中心としていたが、上述のロシア、アジア等との協力の比重が高まるにつれ、全世界規模の国際機関としての IAEA の重要性が増してくると思われる。

5.5 中性子科学研究センター

現在原研において、大強度陽子加速器から得られる世界最強力中性子源を中心に、中性子科学研究センターを設置することが検討されている。これが実現すれば、Center of Excellence として東海研究所の将来の柱の一つとなる。

ここで行われる予定の研究としては、熱・冷中性子による物性研究、中性子重照射による材料研究、消滅処理研究、スポレーション RI 研究、中間子・ミューオン研究、医療利用等と共に、核データ測定を含む中性子核物理が謳われている。

これが実現すれば、世界で今までなかった高エネルギーや高分解能の核データ測定が可能になる。今後この実現に向けて努力をしていきたい。

6. 結語

欧米より 10 年遅れてスタートした日本の核データ活動は、シグマ委員会の努力により、30 年間で世界最高の水準に達した。その最大の成果である JENDL-3.2 は、核分

裂炉、核融合炉等の従来のニーズを満足し、世界最高水準の核データである。

今後は、この JENDL-3.2 の保守・改良・普及に努めると共に、その蓄積を有効活用すべく統合核データ評価システムを開発していく。またアクチノイドデータや高エネルギーデータ等の新しいニーズに対応する必要がある。さらには中性子研究センターの実現に向けての努力を続ける。

さらにこれらは国際協力を視野において進めなくてはならない。

7. 菊池の格言

過去 30 年にわたる核データの歴史を振り返ってみると、核データのニーズと原子力プロジェクトの進捗とに共通の関係が見いだせる。

高速炉開発の例では、その概念設計段階においては核データは“何かあればよい”であった。それが UKNDL-67 入手時の JENDF の挫折に現れている。しかし MOZART 実験の段階になり、実験値との比較となると精度の良い核データが必用となり、JENDL への期待となっていった。

核融合においても、ブランケットの概念設計時には、“ENDF/B-IV があれば十分です”と担当者から言われたものである。しかし FNS を用いた日米共同実験の解析になると、“やはり素性の分かった日本のデータが欲しい”ということになり、JENDL-3PR1 を急がされた。

ここでは触れなかったが、遮蔽においても、ストリーミングの解析法の開発段階では核データへの要求はなかったが、実験解析になるととたんに核データへの厳しい精度要求が出てきた。

これらに共通するのは、概念検討や概念設計の段階では核データに対する精度要求は無いのに対し、実験との比較などの定量的検討になると、核データの精度要求が出てくることである。

過去 30 年弱を核データに携わってきた筆者は、上記の関係に対して以下の格言を与える。

菊池の格言 (Dr. Kikuchi's Dictum)

およそ核データへの精度要求のない原子力計画は、まだお遊び段階である。

第1表 データブック刊行

BNL-325	実験データと評価値 (2200m/s 値、共鳴パラメータ、断面積図)	
第1版		1955
第2版		1958
	Supplement No.1	1960
	Supplement No.2	1964
第3版	共鳴パラメータ	1973
	断面積図	1976
(第4版 Academic Press)		
	共鳴パラメータ	1981
	断面積図	1988
BNL-400	角度分布の実験値	
第1版		1956
第2版		1962
KFK-120	J.J. Schmidt の評価値 Neutron Cross Sections for Fast Reactor Materials	1966

第2表 評価済核データライブラリー

英 国	UKNDL-63 UKNDL-67 UKNDL-73 UKNDL-81	
ドイツ	KEDAK-1 KEDAK-2 KEDAK-3 KEDAK-4	1965 1969 1975 1984
米 国	ENDF/A ENDF/B-I ENDF/B-II ENDF/B-III ENDF/B-IV ENDF/B-V ENDF/B-VI	1965 頃 1968 1970 1971 1974 1979 1990

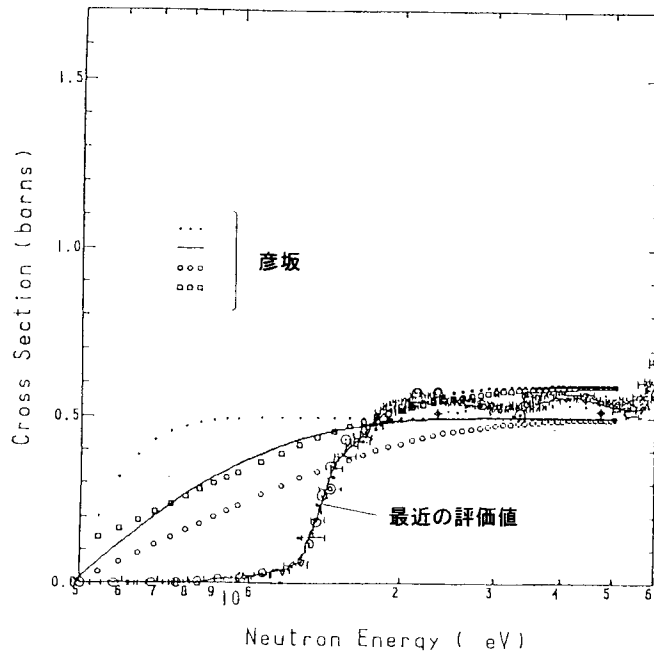
第3表 JENDLの歴史

	JENDL-1	JENDL-2	JENDL-3	JENDL-3.2
目的	高速炉	核分裂炉	汎用	汎用
完成時期	1997年	1982年	1989年	1994年
上限エネルギー	15 MeV	20 MeV	20 MeV	20 MeV
核種数	72	181	324 (59)	340 (66)
軽核 (Z=1~9)	4	8	14 (10)	14 (12)
軽中重核 (Z=10~30)	23	33	56 (23)	60 (28)
核分裂生成物領域 (Z=31~69)	34	101	178 (8)	187 (8)
重中重核(Z=70~87)	1	12	19 (15)	19 (15)
重核(Z=88~94)	9	19	31 (3)	34 (3)
超Pu核種(Z=94~100)	1	8	26 (0)	26 (0)

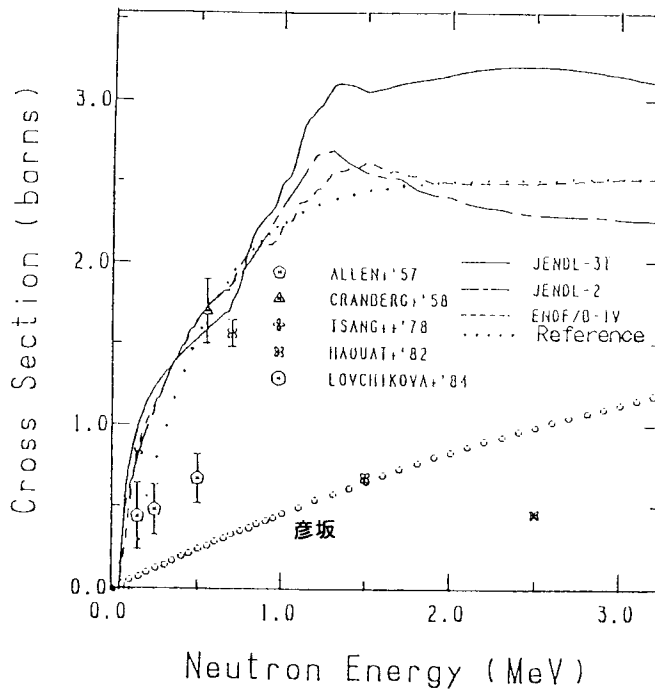
下の段は核種数の内訳。()の数字はガンマ生成データを与えた核種の数。

第4表 JENDL 特殊目的ファイル

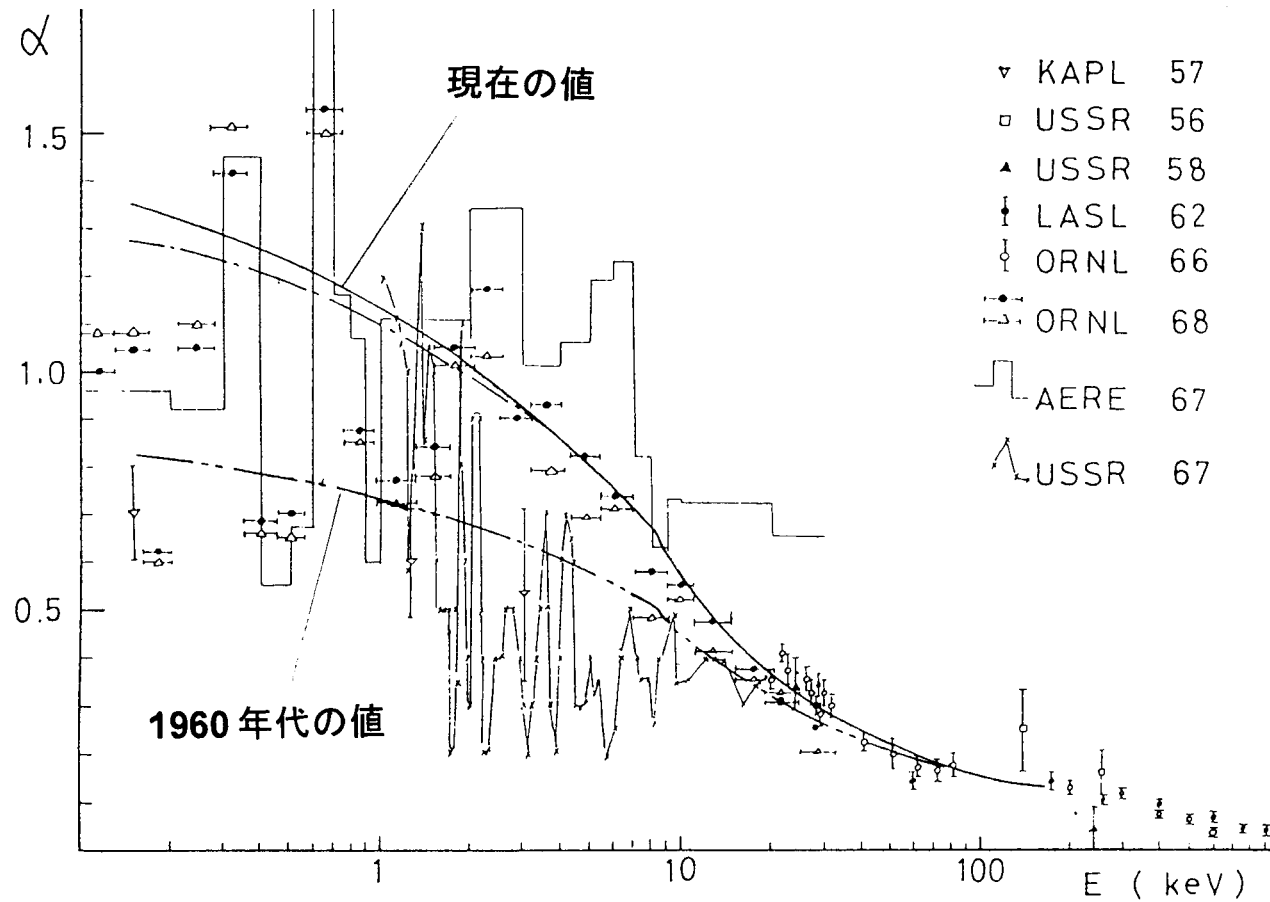
ファイル名	内容	完成年	コメント
20 MeV 以下			
Dosimetry	61 反応	1991	再評価作業中
Gas production	23 元素	1991	完成
Fusion	85 核種	1995	
Activation cross section	約1160 反応	1995	
Actinide	89 核種	1996	約60核種はJENDL-3.2 にある
(α , n) reaction	11 元素	1996	15 MeV まで
高エネルギーデータ			
Photo-nuclear reactions	48 核種	1995	140 MeV まで
50 MeV までのファイル	約 50 核種	1997	中性子および陽子入射
1.5 GeV までのファイル	約 90 核種	1999	中性子および陽子入射
PKA/KERMA	69 元素	1998	50 MeVまでの中性子入射



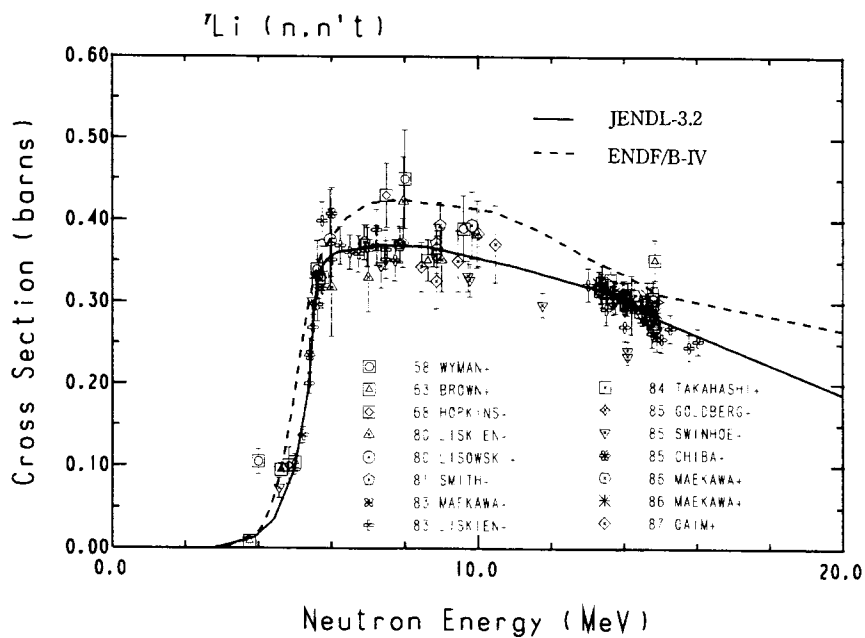
第1図 ^{238}U 核分裂断面積
(彦坂氏の仮定した値と最近の評価値)



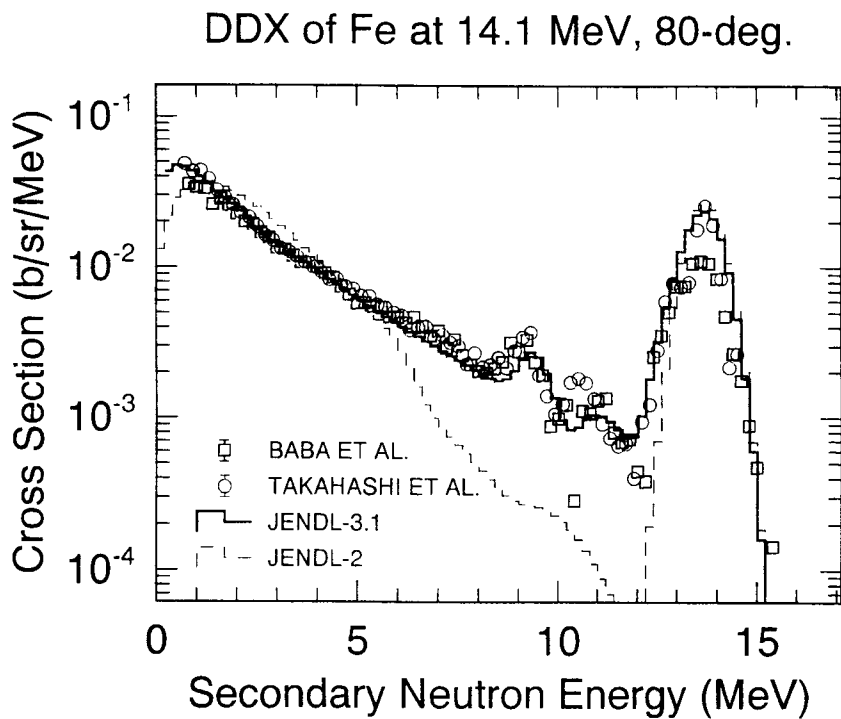
第2図 ^{238}U 非弾性散乱
(彦坂氏の仮定した値と最近の評価値)



第3図 ^{239}Pu の α 値



第4図 ${}^7\text{Li}(n, n't)$ α 断面積



第5図 Fe の 14 MeV 中性子入射の2次中性子エネルギー分布