

NEAの核データ評価国際協力 サブグループ会合に出席して

(東芝) 川合 將義

1. はじめに

表記の会合が1990年12月3-6日NEA Data Bankにおいて開催された。出席は、日本から核データセンター室長の菊地氏、NEA Data Bank 滞在中の柴田氏、それに筆者の3名であり、米国から2名、そしてヨーロッパ勢の仏(6)、蘭(5)、英(2)、独(2)、伊(2)、スイス(1)、オーストリー(1)、EURATOM(1)の参加者を合わせて25名、それにオブザーバーとして同時に開催されたJEF会議参加者である。ヨーロッパ勢については、中性子核データの測定から需要に至るまでの主要なメンバーが皆集まった感じである。この会議の経緯は、菊池氏が原子力学会誌32巻p.167の談話室と核データニュース35,36号で報告されているので、ここでは以下に簡単にまとめる。最近、JENDL-3、ENDF/B-VI、JEF-2の3大プロジェクトが完成あるいは完成見込みであり、評価方法などかなり共通の土台ができあがった。そして、今後多様化する核データニーズに限られたマンパワーで対応するため国際協力の必要性が認識され、1988年9月に日米欧3者協力のタスクフォースが提案され、同年10月NEACRPの会合で承認された。その後、1989年5月に第1回タスクフォース会合で協力の大枠が決定され、ついで10月の第2回会合で6つの先発サブグループが決定された。そして翌年4月マルセユでの炉物理国際会議の後にワーキンググループ会合が持たれ、各サブグループの作業計画が討議され、各々のサブグループの課題がメンバーに与えられた。今回のサブグループ会合は、その宿題の結果を持ち寄って討議をするものである。表1に先行サブグループ名とそれへの日本の参加者を示す。今回は、そのうち第1、3-5のサブグループについて討議されたものである。なお、第5グループの遅発中性子データについては、殆ど同時期にキャグラシェで会合が持たれ、実験計画とともに討議されている。会議は、まずサブグループに分かれ、各々のデータファイルのデータの相互比較や測定値との比較を通じてデータの現状が検討され、問題点を抽出し、今後の課題が討議された。そして、最後の日の全体討議の場で各々のサブグループでの結論が改めて審議された。この全体討議は、JEF会議に出席していたFroehnerやSalvatoresように核データ評価や積分テストのベテランが加わったものであり、評価者が主体であるためにややバランスの欠ける結論に対しては、彼らから容赦の無い質問が浴びせられ、ある場合には、サブグループでの結論の修正が行われ、最終的にそれらが会議の勧告 (recommendation) として承認された。

2. 会議の詳細

2.1 第1グループ: Cr, Fe, Niの断面積の総合比較

先ず、個々の元素のアイソトープ別の反応断面積について、上記3ライブラリーとEFFラ

イブラリー（欧州核融合用ライブラリー）も交えて相互比較した結果を見ながら議論を進めた。その結果、主要な反応断面積データについて、これらのファイルの間的一致は比較的良いことは分かった。しかし、Cr-52やNi-58の (n, α) 反応断面積やHeガス生成断面積、Ni-58の2次中性子のスペクトル、また、ガンマ線生成断面積については、各ライブラリーの間で違いが目立った。たとえば、図1には、Cr-52の (n, α) 反応断面積を示すが、評価値は測定値のある14 MeVでどうにか測定誤差内で合っているが、それ以外のエネルギーでは、2倍程度のずれがあったりして、あまり良く一致していると言いく。特にENDF/B-VIは他とかなり異なった励起関数を示している。Ni-58についても、測定データのないエネルギー域(8-11 MeV)での食い違いがかなり目だつ。その食い違いの理由として、 α 粒子の光学モデルパラメータ、競争過程の断面積、レベル密度パラメータ、それと前平衡過程モデルなどの違いの指摘があった。その中で評価者の興味もあって、前平衡モデルの差が議論され、より進んだ原田モデルが取り上げられ、今後、ユーリッヒでの核データ国際会議でのレビューなども参考にして検討してみることになった。また、JENDL-3では、Heガス生成断面積も考慮して (n, α) 反応断面積を評価しているが、今回Heガス生成断面積の比較を行って大きくずれているのに欧米勢は驚いていた。

ガンマ線生成断面積については、構造材として最もポピュラーな鉄について図2に示すように10 MeV以上でJENDL-3とENDF/B-VIが大きくずれてきている。そして、EFFライブラリーは、JENDL-3に近い。尤も、図には示していないが、測定データの間でも相当の食い違いがあるため、必ずしもどれが正しいとはいえない。このガンマ線生成断面積の評価に対しては、エネルギー保存則を満たすため、核モデル計算に頼らざるをえないので、その際、弾性散乱外断面積の測定値の再現性が重要であることが指摘された。

以上の議論を通じて、 (n, α) 反応断面積とHeガス生成断面積については、評価者はパラメータと同時に前平衡モデルの検討を行っていくこと、また、8-11 MeVでの測定を要求していくことが、また、Ni-58の2次中性子スペクトルについてレベル密度の詳細分布の比較とDDXデータの新規測定要求、さらにガンマ線生成断面積については、弾性散乱外断面積の検討が今後の課題として提案承認された。特に、実験について日本への期待の大きいことが感じられた。

ついで、天然元素のデータの比較が当初から企画されてなく、片手落ちだなと感じていた訳だが、会議に参加してその理由がファイルのデータの与え方の基本思想の違いからきていることがわかった。すなわち、ENDF/B-VIもJEF-2も天然元素のデータは持っていない、それは、アイソトープ別のデータから組み立てることになっている。一方、JENDL-3では、アイソトープ別のデータとともに輸送計算用のデータを与えている。こうした違いは、図3に示すように天然元素の全断面積の数100 keV以上のいわゆる非分離共鳴領域のエネルギー依存性の違いに現れて来ている。すなわち、JENDL-3では、実験値を忠実に再現している。

しかし、核モデル計算に基づいて評価したJEF-2は、当然のこととして実験データの示す共鳴構造を再現できていない。そこで、彼らは、共鳴自己遮蔽効果を与えるために非分離共鳴パラメータを与えることを提案している。ENDF/B-VIは、天然元素のデータを作らない代わりに濃縮サンプルでの測定を行い、その結果に基づいて評価しているといった非常に着実な方法を採用している。従って、天然元素のデータについても測定との良い一致が見られる。なお、ENDF/B-VIの与える共鳴構造は、JENDL-3よりも強く、共鳴の山谷ともより険しいといえる。この構造の差は、単に測定データの質の違いによるのか、エネルギー分解能について何等かの補正を行った結果によるのかわからないが、鉄体系透過実験解析での経験からは、ENDFの深い谷は中性子スペクトルの過小評価の改善につながるといえる。いずれにしても、測定データの豊富な天然元素でのデータの比較のないのは、実用上も思わしくないもので、今後天然元素での比較を進めることになった。

なお、主要構造材データは、どのライブラリーにおいてもセールスポイントであるため、どこも評価を他に委ねる気はなく、今後、こうした比較結果とパラメータなどの推奨を考慮して個々の評価を更改していくことによって、それぞれの評価値は収斂していくだろうというのがこのサブグループでの共通の見解である。

2.2 第3グループ： アクチノイド核種の熱中性子データ

これは、1988年の米国ジャクソンホールにおける炉物理の国際会議でフランスから発表に端を発している。即ち、彼らは、熱中性子炉ベンチマークに対して断面積調整を行ったところ、例えば、Pu-239の熱中性子データやU-235系の格子での巨視的な η 値 ($= \nu \Sigma_f / \Sigma_a$)のエネルギー依存性が従来評価値と合わないことを見いだした。この原因として、結晶の結合効果も考えられるが、核データの問題として取り上げられることになったものである。そして、関係するデータについて測定が複数の機関で実施された。今回、それらの測定値をレビューして、今後の課題が話し合われた。以下、データ別に要約する。

U-238の中性子捕獲断面積は最近Geelで行われ、それが $1/\nu$ 分法則に従うことが確認された。U-235の核分裂断面積についても、20 meV以下Geelでの測定しかないが、それ以上での他の測定値との一致はよいので問題はないといえる。一方、 η 値 ($= \nu \sigma_f / \sigma_a$)の測定値について、GeelとGrenobleのデータは、図4に示すように左下がりのエネルギー依存性を示しているのに対して、ORNLとHarwellの測定は、そうした依存性を見せていない。なお、別途Geelで行われた α 値 ($= \sigma_a / \sigma_f$)の測定結果と、これまで受け入れられている一定値の ν を使うと η 値のエネルギー依存性が説明できることが示され、一応問題の決着がつきそうである。Pu-239の ν の0.3 eVで谷を作るといったエネルギー依存性もJENDL-3はじめ最近の核データファイルは、全てとりこんでいる。なお、Pu-239の0.3 eVの核分裂断面積とPu-240の中性子捕獲断面積のピーク値が実験によって相当違っており、実験条件やデータの

見直しが今後の課題として合意された。

2.3 第4グループ： U-238の50 keV以上の中性子捕獲と非弾性散乱断面積

今回、このグループの会合は開催されなかったが、リーダーである九大の神田氏が、勢力的に連絡をとったりしてまとめられた結果を全体会合の時に菊池氏が報告し、承認された。

まず、U-238の50 keV以上の中性子捕獲断面積については、JENDL-2をはじめ従来評価値は、積分テストの結果によると高すぎると炉物理サイドの人から指摘されてきた訳で、核データの最大の問題の一つとして取り上げられたものであり、このサブグループが出る前でもNEANDCの中でかなり議論が行われてきた。評価の方では、JENDL-3の神田氏の評価、JEF-2に対するFroehnerの評価、ENDF/B-VIに対するPoenitzの評価のどれもが、エネルギー範囲のより広い断面積の測定データとともに非分離共鳴パラメータとの整合性などを考慮すると従来評価値より低い値の方が合理的であるといった結論を出している。そして、最近、ソ連のKazakovが低い測定データを報告しており、これが、上記の結論を支持した格好になっていて、問題点はほぼ解消したと認識された。今後の課題は、評価の詳細について情報交換し、結果を確認するとともに、新しい共分散データと感度解析によって妥当性を確認することである。

一方、非弾性散乱断面積については、全非弾性散乱断面積を比較してもそれぞれのファイルでだいぶ違いがある。レベル励起関数においてはかなり違っているし、例えば、最近の東北大での測定値とも合わないことがわかっている。当然、積分テストからも修正要求が出ており、引き続き検討が必要である。従って、今後の課題として、実験を主体とするメンバーにはDDXデータを含むデータのレビューを推奨すること、評価者には評価法の詳細情報を整理し、それを交換・検討することを、炉物理の人にはU-238の非弾性散乱断面積と核分裂中性子スペクトルの相関を解明することを課すことを勧告することになった。

2.4 第5サブグループ： Pu-239の1 - 100 keVの核分裂断面積

Pu-239の核分裂断面積の最近の測定値は、かなり収束してきており、100 keV以上は、1985年のSanta Fe会議でもレビューされたように、絶対測定値、U-235の核分裂断面積に対する相対測定値とも殆ど問題がない。しかし、それ以下になるとU-235とPu-239各々の核分裂断面積のエネルギー依存性の不確かさが影響して、評価上相対測定値よりも絶対測定値が重視されている。例えば、JENDL-3では図5に示すように、それぞれの一致が良いHarwell(Gayther)とGeel(Wagemansら)の絶対測定値に基づいて評価を行った。ところで、1984年に報告されたORNL(Westonら)の測定は、上記の測定値より2-4%低い値を与えている。これは、時間分解能、バックグラウンドのどれを採っても上記の測定よりも良く、測定データ

のばらつきも少ない。しかし、ENDF/B-VやJENDL-3の多くの積分テストは、現在のライブラリーでさえ低すぎるかも知れないという結果を示しており、Westonらの測定をun-believableとも評していた。そこで、この会合には測定の当事者も参加して議論された。その結果、両者の差は、データの規格化の条件の違いから来ているものと考えられ、その条件の見直しを行うことと、将来的には再測定を行って確認することになった。

また、評価側からは、他の反応断面積との首尾一貫性からその問題をつめるための材料が出され議論された。特にフランスのDerrien（現在、原研に滞在中）は、ORNLの transmissionの測定データを解析・評価した全断面積がENDF/B-VIデータよりも2-3%低くなることを示した。図6にその結果をJENDL-3などの評価値と比較して示すが、JENDL-3がDerrienの値と非常に良く一致していて、良好であることも併せて分かる。これは、従来値（Derrienの言葉ではENDF/B-VIでの値）に比べてより小さい中性子強度関数を保証する。そこで、Lagrangeが結合チャンネル理論に基づいてこの新しい全断面積データと非弾性散乱断面積の両方にフィットする光学モデルパラメータを出し、中性子強度関数が期待通り小さくなることを示した。さらに、この新しいパラメータを用いて核分裂断面積を統計モデルで計算して、図7に示すようにWestonらのデータを記述できることがFortによって述べられた。かくして微分データの立場からは、Westonらのデータはnot unbelievableの表現で容認された。積分テストでも問題なしとする発表もあったが、解析対象が裸のPu炉心でスペクトルが硬すぎて評価になっていないと一蹴された。今後の課題としては、評価者は、新しい光学モデルパラメータでの確認計算を行うことと核分裂断面積計算のモデル依存性を検討すること、また、炉物理サイドでは、Westonらのデータによる積分テストがあげられた。特に、積分テストは、キャダラシェが頑張ると申し出た。ただ、彼らの解析体系は、フランスの装置による実験なのでその細目が不明なため、JENDLで行っている国際ベンチマーク実験でも実施してほしい旨提案し、了承された。

3. むすび

以上、会議の内容をサブグループ別に記したが、全体会合では炉物理屋、核データの大御所的な人、そしてこれが一番重圧を感じたであろうサブグループのボスとも言うべき人も参加しており、各リーダーも冷や汗をだいぶ掻いていたようであり、そうした人間模様がながめられた。また、サブグループでの議論では、炉物理サイドの意見は少数派に属して思い通りに通らないこともあるが、この場で復活したものもあり、最終的な結論に正直ほっとした。

今回の多くは、データの現状調査が主体で、やっと問題解決の糸口をつかんだといった段階であった。それでも、U-235の η 値、U-238の中性子捕獲断面積は、解決の目処があったといえ、また、Pu-239についても早晚解決する見込みである。そして、次の優先度のデ

ータがそ上に上がることになろう。次回は、ユーリッヒでの核データ国際会議の翌週5月21、22日オランダのベッテンでワーキンググループ会合の形で行うことを決めて散会した。

まえがきでも記したようにJEF-2の会合も開催されていたので、空き時間にはそちらの会合も傍聴した。特に、EFFの放射化断面積ライブラリーの作成を目的としたEAF会合(Low Activation Material Task Meeting)では、ライブラリーのスコープや現状を知ることができた。現在、667核種を含むEAF-2が完成したところで、中性子捕獲データについては、現存する評価値を利用してほぼ網羅的に編集されている。今後、EAF-3に発展するが、共鳴パラメータや共分散データ、逐次反応による荷電粒子放射化反応データ、ガス生成断面積やKERMAサブファイルなども追加されるとのことである。また、JEF-2の積分テストでは、欧州の臨界実験値を中心にした解析が報告されていた。その中で、対象が透過実験で感度解析には、東大で作られたSUSDコードが使用されていた。日本での遮蔽研究では、感度解析がすっかり廃れてしまったようであるが、断面積の精度も上がってきた今日、感度解析法も遮蔽計算に取り込み易くなっているのに残念なことである。

最後に今回のように多数のヨーロッパの核データの専門家に会う機会を作って頂き、また、会合のためにデータを提供いただいた関係各位に紙面にて感謝の意を述べます。また、飯島さんの件については、面識のある人はとても残念がっていたことも伝えておきます。

表1 先行サブグループと国内参加者

サブグループ	参加者
1. Cr, Fe, Niの断面積の相互比較	(飯島)、山室、柴田
2. Fe-56とFe-natの共分散ファイル作成	神田、杉本、長谷川
3. アクチノイド(U, Pu)の熱中性子データ	土橋、松延
4. U-238の中性子捕獲と非弾性散乱断面積	神田、中島、高野
5. Pu-239の1 - 100 keVの核分裂断面積	中川、川合
6. 遅発中性子データとベンチマークテスト	吉田、中野
7. ベンチマークテストの仕様決定	長谷川

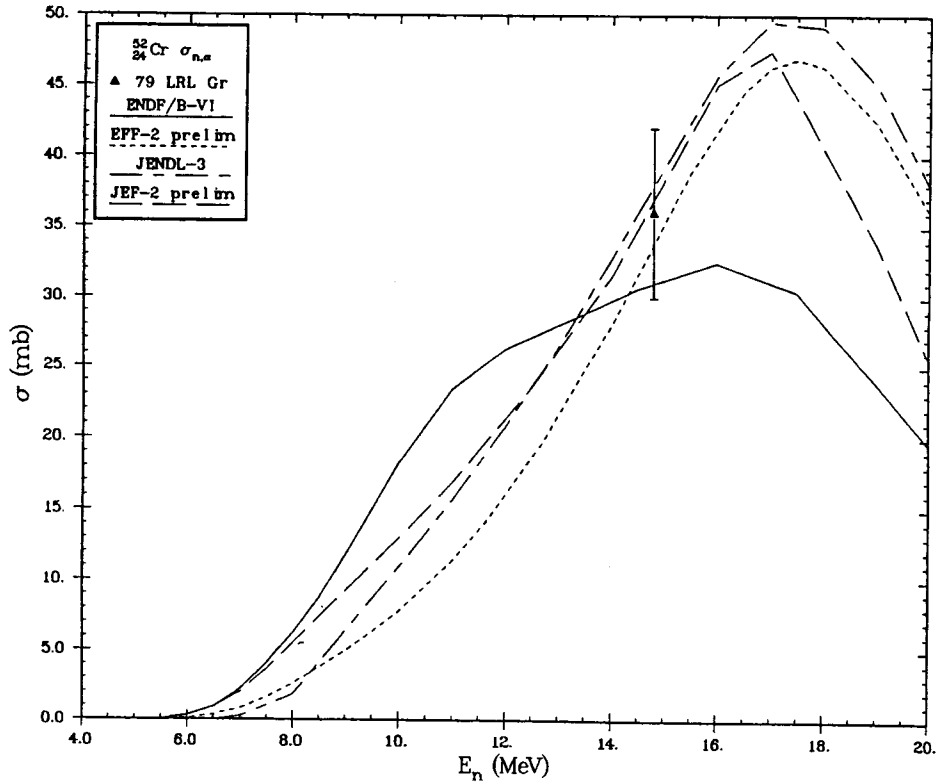


図1 Cr-52の(n, α)断面積の比較

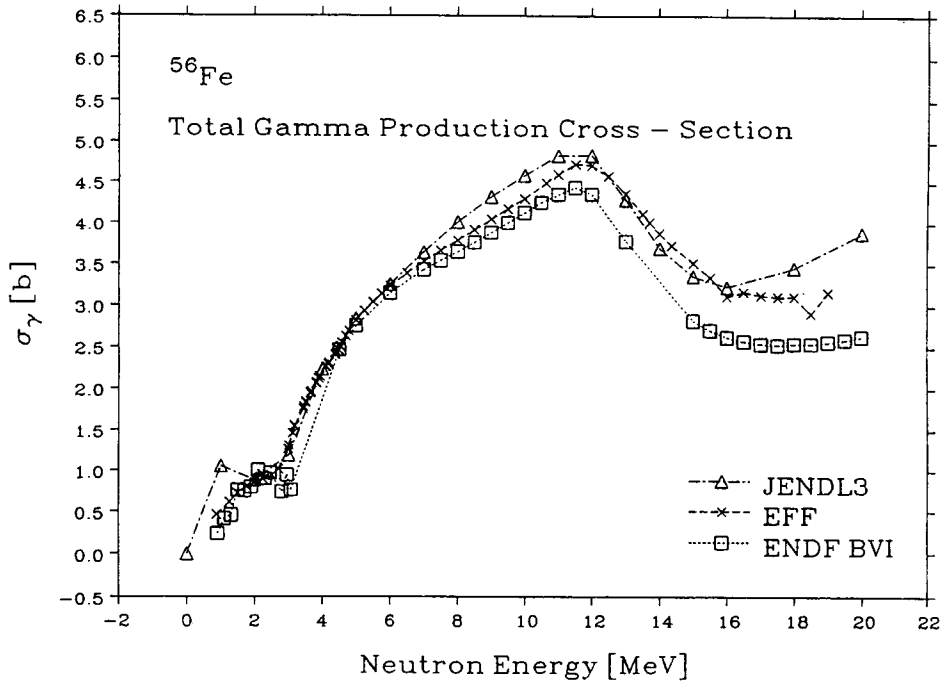


図2 鉄のガンマ線生成断面積のエネルギー依存性

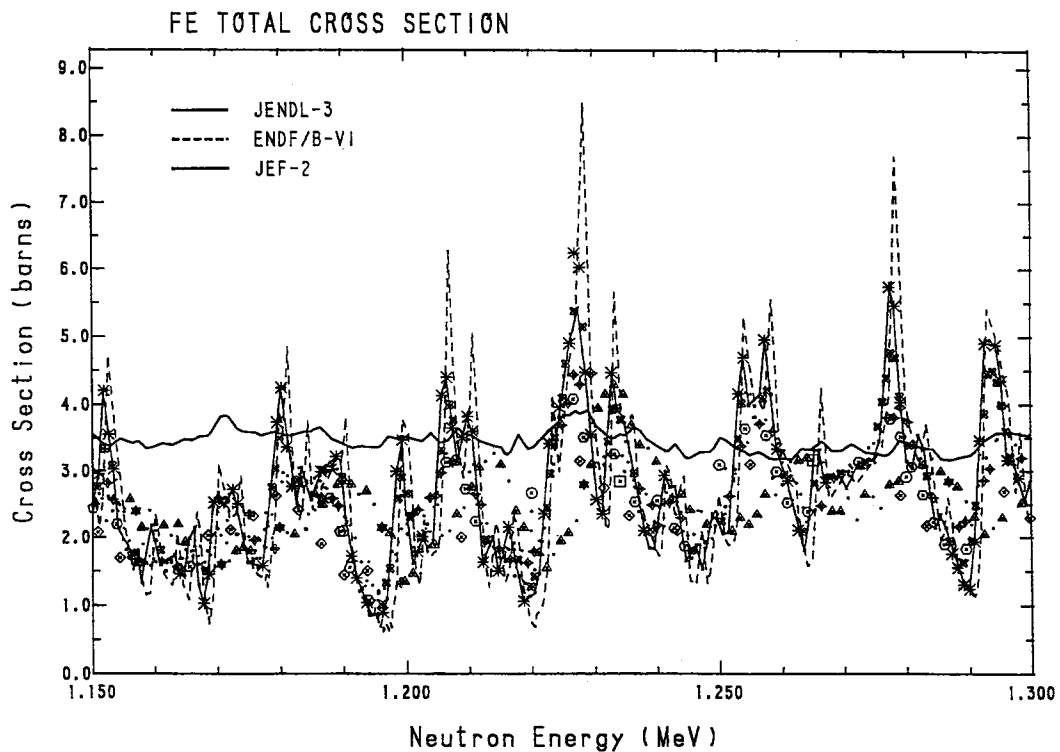


図3 鉄の全断面積の比較

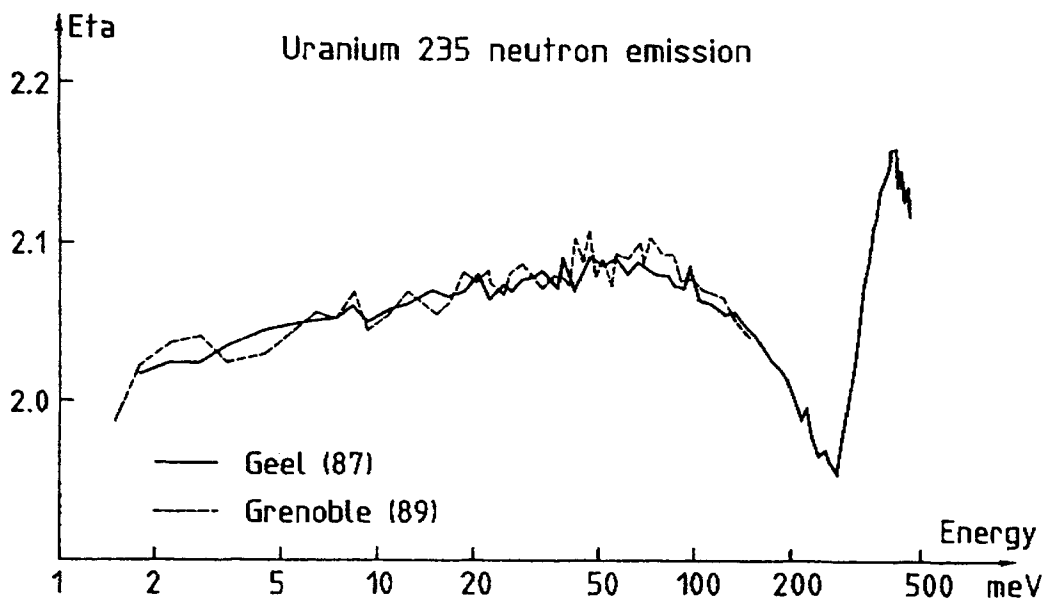


図4 U-235の熱中性子エネルギー域における η 値($=\nu\sigma_f/\sigma_a$)

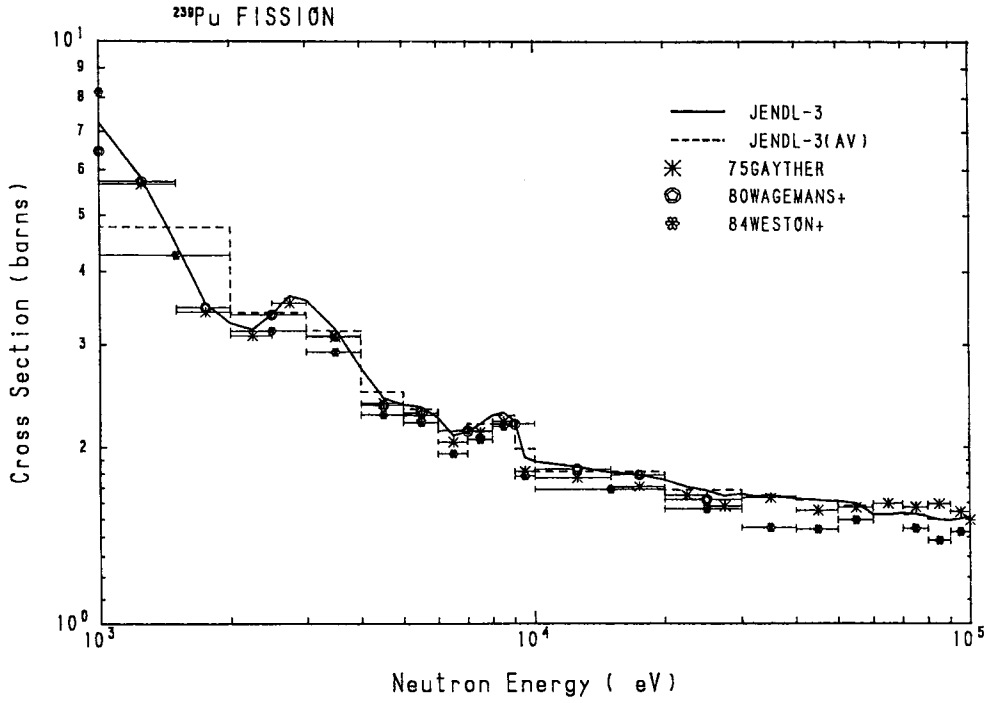


図5 $\text{Pu}-239$ の核分裂断面積の JENDL-3 評価値と測定データ

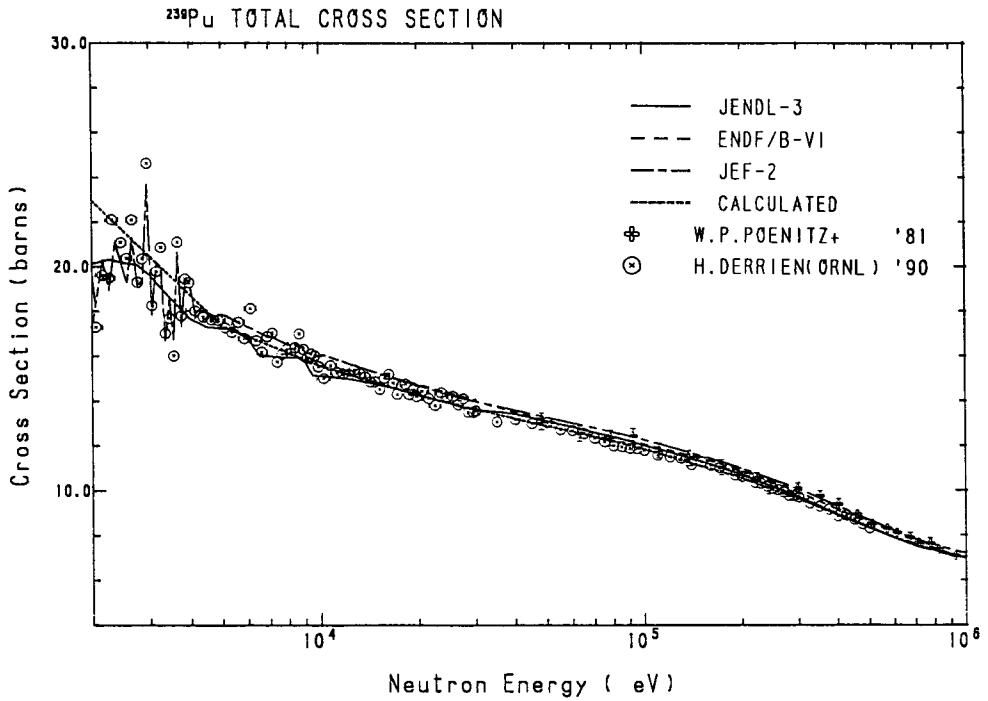


図6 $\text{Pu}-239$ の全断面積の比較

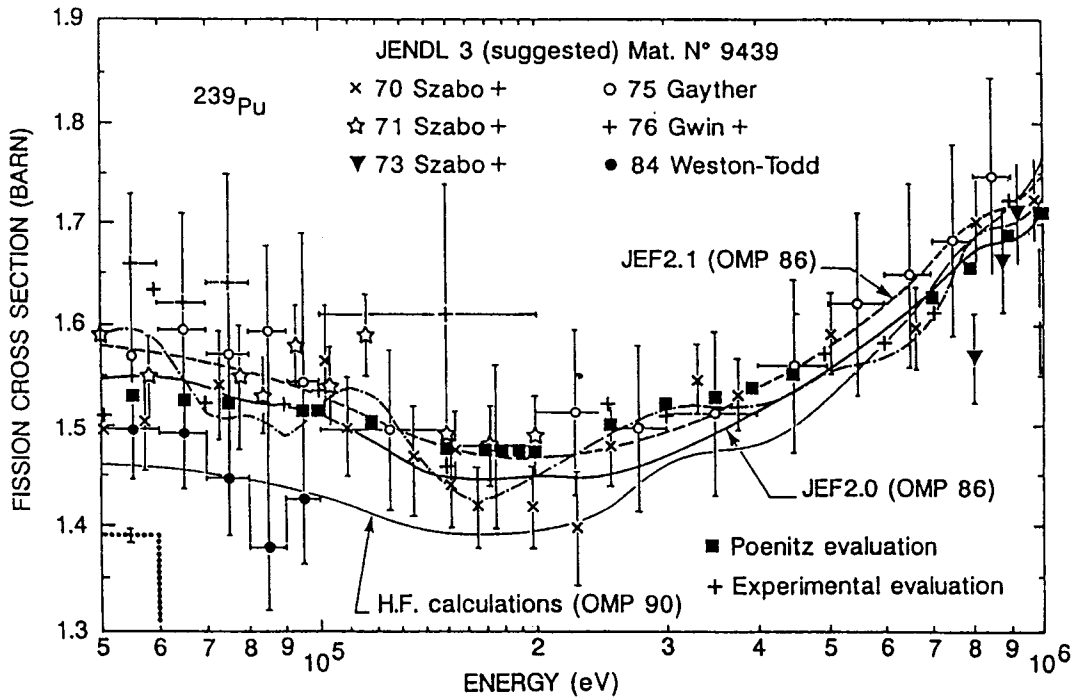


図7 Pu-239の核分裂断面積の計算と測定，評価値との比較