

JAERI-M

5 5 3 6

$^{235}\text{U}(n, f)$, $^{239}\text{Pu}(n, f)$, $^{238}\text{U}(n, \gamma)$ 測定
断面積の持つ不確定性について

(断面積の統計解析)

1974年1月

長谷川 明, 桂木 学

日 本 原 子 力 研 究 所
Japan Atomic Energy Research Institute

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

$^{235}\text{U}(n, f)$, $^{239}\text{Pu}(n, f)$, $^{238}\text{U}(n, \gamma)$ 測定断面積
の持つ不確定性について(断面積の統計解析)

日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部

長谷川 明, 桂 木 学

(1973年12月27日受理)

積分実験結果を正しく理解するために、精度のよい断面積セットを必要とする。それ故、最近断面積評価の方策が広く研究されている。これと関連して評価者にとって測定断面積の誤差を知ることがより重要となってきている。今回我々は高速炉において重要となるエネルギー領域における最重要核種 $^{235}\text{U}(n, f)$, $^{239}\text{Pu}(n, f)$, $^{238}\text{U}(n, \gamma)$ について現状の核データの不確定さを検討するために、実験データについての測定点の分布を調べた。データはCCDNのNEUDADAに求めた。その結果、断面積 Adjustment 等において断面積の動かし得る範囲の目安として次のような結果を得た。

- $^{235}\text{U}(n, f)$ 50KeV~ 1MeV \pm 7% (但し, 100KeV~200KeV \pm 4%)
 1KeV~ 50KeV \pm 30~10%
- $^{239}\text{Pu}(n, f)$ 100KeV~ 1MeV \pm 4~ 5%
 1KeV~100KeV \pm 30~10%
- $^{238}\text{U}(n, \gamma)$ 10KeV~ 1MeV \pm 13~17%
 1KeV~ 10KeV \pm 30~16%

An Estimate of Uncertainties in the Experimental Data
of $^{235}\text{U}(n, f)$, $^{239}\text{Pu}(n, f)$ and $^{238}\text{U}(n, \gamma)$ Cross Sections

Akira HASEGAWA and Satoru KATSURAGI
Division of Reactor Engineering, Tokai, JAERI

(Received December 27, 1973)

In order to obtain better interpretation of integral experiments, we need an accurate group cross section set. Therefore, recently, strategies for evaluating cross sections have been widely studied. In this connection, it becomes more important for evaluators to know errors in measured cross sections.

In this study, we examined the distribution of experimental cross section data of $^{235}\text{U}(n, f)$, $^{239}\text{Pu}(n, f)$ and $^{238}\text{U}(n, \gamma)$ in the important energy range for fast reactors, in order to see the current uncertainties of these data. In this analysis we used the experimental data in NEUDADA file at CEA Saclay. And the following results are obtained for the guide value of cross section deviations in order to use them in cross section adjustment work.

$^{235}\text{U}(n, f)$

50 KeV ~ 1 MeV	$\pm 7\%$ (100 KeV ~ 200 KeV $\pm 4\%$)
1 KeV ~ 50 KeV	$\pm 30 \sim 10\%$

$^{239}\text{Pu}(n, f)$

100 KeV ~ 1 MeV	$\pm 4 \sim 5\%$
1 KeV ~ 100 KeV	$\pm 30 \sim 10\%$

$^{238}\text{U}(n, \gamma)$

10 KeV ~ 1 MeV	$\pm 13 \sim 17\%$
1 KeV ~ 10 KeV	$\pm 30 \sim 16\%$

目 次

1. 序 論	1
2. 測定断面積データ及び解析方法	1
3. 解析条件についての考察 ($^{235}\text{U}(n, f)$ データをサンプルにして)	2
4. 統計解析による結果	7
4.1 $^{235}\text{U}(n, f)$ 断面積データについて	7
4.1.1 $^{235}\text{U}(n, f)$ データ全般について	7
4.1.2 測定装置別にみた $^{235}\text{U}(n, f)$ data の統計解析	7
4.1.3 測定年代別にみた $^{235}\text{U}(n, f)$ data の統計解析	8
4.2 $^{239}\text{Pu}(n, f)$ 断面積実験データについて	8
4.3 $^{238}\text{U}(n, \gamma)$ 断面積実験データについて	8
5. 結果および議論	29
謝 辞	30
文 献	30
付録 1. 実際の統計解析作業手続について	32
A 1.1 ライブラリー入手及びそのTape 変換作業	32
A 1.2 データー・スクリーニング作業 (RETDATAH, NSTPLT, CORECT コードについて)	33
付録 2. 統計解析プログラムについて (CROSSAG コードについて)	39

1 序 論

最近、高速炉用の炉定数もかなり整備されてきている。^{1), 2), 3), 4)} これは微分断面積の測定値が年代とともにかなり蓄積されて来ていること、及び測定方法の改良等により精度のよい測定値が得られるようになってきたということに負っている。しかし、測定値が増え又測定精度があがっているとはいえ、それら測定値間の不一致は信じられない程大きいものもかなりある⁵⁾。そして、それらの値はかなりばらついているのが常である。

一方、臨界集合体による積分測定もかなりいろいろな系について行なわれており、それらからの微分断面積へのフィードバック情報も増加して来ている。しかしながら、これらの積分測定値から逆に断面積評価にどのような情報をフィードバックできるかがむしろ問題であり、そのための研究が行なわれつつある。⁷⁾ そのひとつとして、断面積の方をフィッティングパラメータとして各種積分量の実験値と計算値との差を最小二乗法等により最小にする形での炉定数を修正する方法も行なわれている。^{6), 7), 11)} この方法は解析対象アセンブリーの増減によりかなり解がかわるといふ収束性に対する問題、および少数の積分実験データから炉定数にフィードバックできる情報量は限られているということに注意する必要がある。又同時に炉定数の動かし得る範囲の設定に対しても問題点が残されている。炉定数を全く自由に動かすことは物理的にも無理があり、動かし得る範囲は微分測定値からもたらされる測定値の分布の形から統計的に決められるべきものであろう。こうした微分断面積のデータの分布から決定される断面積の期待値を含めた形での最小二乗法等による炉定数のフィッティングがなされるべきであると考える。現在までの炉定数の Adjustment においては、こうした断面積データの分布を実験データから詳細に求めた値を使用していないのが現状である。又測定断面積データに対する統計解析による誤差評価は今まで余りやられていなかったが、最近評価値に対する信頼区間設定等の目的のためにだんだんやりだされて来ている。¹²⁾ しかしながら本報のように、NEUDADA File から一貫して統計解析がなされるようなシステム化はなされていない現状にある。又 ENDF/B-V が信頼区間の表示をするとも伝えられている。

ここでは現時点で得られる測定された断面積データにどの程度の不確かさが含まれるかという事を調べるために、高速炉において重要となってくるエネルギー領域における $^{235}\text{U}(n, f)$, $^{239}\text{Pu}(n, f)$, $^{238}\text{U}(n, f)$ 反応について断面積の実験データについての統計解析を行った。

2 測定断面積データ及び解析手法

測定された実験データは全面的に CCDN の NEUDADA⁸⁾ に求めた。データの入手は、原研、核データ研を通し、CEA SACLAY の CCDN に 1973 年 1 月要求し、3 月に入手した。要求した実験データは、高速炉領域で重要となる 1.0 keV ~ 21.0 MeV までの核分裂性核種 ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu の分裂、捕獲断面積である。入手年月日から、1973 年 2 月末現在の NEUDADA LIBRARY にもとづくものであり、測定年月日で最も新しいものは、

1 序 論

最近、高速炉用の炉定数もかなり整備されてきている。^{1), 2), 3), 4)} これは微分断面積の測定値が年代とともにかなり蓄積されて来ていること、及び測定方法の改良等により精度のよい測定値が得られるようになってきたということに負っている。しかし、測定値が増え又測定精度があがっているとはいえ、それら測定値間の不一致は信じられない程大きいものもかなりある⁵⁾。そして、それらの値はかなりばらついているのが常である。

一方、臨界集合体による積分測定もかなりいろいろな系について行なわれており、それらからの微分断面積へのフィードバック情報も増加して来ている。しかしながら、これらの積分測定値から逆に断面積評価にどのような情報をフィードバックできるかがむしろ問題であり、そのための研究が行なわれつつある。⁷⁾ そのひとつとして、断面積の方をフィッティングパラメータとして各種積分量の実験値と計算値との差を最小二乗法等により最小にする形での炉定数を修正する方法も行なわれている。^{6), 7), 11)} この方法は解析対象アセンブリーの増減によりかなり解がかわるといふ収束性に対する問題、および少数の積分実験データから炉定数にフィードバックできる情報量は限られているということに注意する必要がある。又同時に炉定数の動かし得る範囲の設定に対しても問題点が残されている。炉定数を全く自由に動かすことは物理的にも無理があり、動かし得る範囲は微分測定値からもたらされる測定値の分布の形から統計的に決められるべきものであろう。こうした微分断面積のデータの分布から決定される断面積の期待値を含めた形での最小二乗法等による炉定数のフィッティングがなされるべきであると考える。現在までの炉定数の Adjustment においては、こうした断面積データの分布を実験データから詳細に求めた値を使用していないのが現状である。又測定断面積データに対する統計解析による誤差評価は今まで余りやられていなかったが、最近評価値に対する信頼区間設定等の目的のためにだんだんやりだされて来ている。¹²⁾ しかしながら本報のように、NEUDADA File から一貫して統計解析がなされるようなシステム化はなされていない現状にある。又 ENDF/B-IV が信頼区間の表示をすとも伝えられている。

ここでは現時点で得られる測定された断面積データにどの程度の不確実さが含まれるかというのを調べるために、高速炉において重要となってくるエネルギー領域における $^{235}\text{U}(n, f)$, $^{239}\text{Pu}(n, f)$, $^{238}\text{U}(n, \gamma)$ 反応について断面積の実験データについての統計解析を行った。

2 測定断面積データ及び解析手法

測定された実験データは全般的に CCDN の NEUDADA⁸⁾ に求めた。データの入手は、原研、核データ研を通し、CEA SACLAY の CCDN に 1973 年 1 月要求し、3 月に入手した。要求した実験データは、高速炉領域で重要となる 1.0 keV ~ 21.0 MeV までの核分裂性核種 ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu の分裂、捕獲断面積である。入手年月日から、1973 年 2 月末現在の NEUDADA LIBRARY にもとづくものであり、測定年月日で最も新しいものは、

1972年のデータとなっている。入手したデータは、IBM-360仕様のBinary Tapeであったため、それをFACOM230/60システム用に変換し、原研の核データ検索システムであるNESTOR⁹⁾で使用できるようにして、我々の解析に用いた。(この部分の作業は原研核データ研中川庸雄氏によってなされた。)

CCDNのNEUDADAからの入手データをプロットしてみると、かなりのデータエラーが見い出された。そのため、エラーデータをとり除いたり、適当な修正措置をとるデータ・スクリーニング用のコードCORECTを作成した。こうした点についての詳しい手続きは付録1を参照されたい。

このようにして得られた実験データをもとに、任意のエネルギー区間についての断面積の測定値の分布を調べるための統計解析用コードCROSSAGを作成して解析を行った。

断面積実験データの分布解析に際して、エネルギー区間を小さくしていくと、 $\Delta E (E_0 \leq E \leq E_0 + \Delta E)$ の幅内に落ちるデータの数は、炉定数のAdjustmentとの関連において重要な10KeV~1MeVのエネルギー域においては少くなり分布の型の決定は難しくなってくる。一方、エネルギー区間の幅を大きくしていくと、断面積のエネルギー依存性 $\sigma(E)$ がもろに入ってくることになり、実験値の統計分布の解析の観点からは問題がある。そこで我々は、断面積測定データの分布の統計解析にあたって、統計がとれる程度のデータポイントが得られるようなエネルギー区間について、エネルギー依存性を差し引くために、その区間に落ちるデータを断面積に対してはlinear、エネルギー(E)に対しては $\log E$ のn次の多項式で最小二乗フィットさせ、これだけのエネルギー依存性を差し引いた断面積に対する統計解析を行った。この点についての詳しい手続きは付録2を参照されたい。

3 解析条件についての考察 ($^{235}\text{U}(n, f)$ データをSampleにして)

前章までに述べた方法により、断面積実験データの統計解析を行うわけであるが、その際統計をとるエネルギー区間のとり方に問題がかなりでてくる。すなわち、(i)断面積のある種の構造が区間内に入ってはならない。(ii)エネルギー区間の切り方により最終的に得られる断面積の標準偏差値等の統計パラメータに大きな変動が表われてはならない。これら2つの条件が区間幅決定にさいして満足されなければならない。

又、エネルギー区間幅が決った場合、エネルギー依存性を差し引くために、n次の多項式で最小二乗フィットするわけであるが、この次数はいくつ位とる必要があるのか。又各データポイントに対するウエイトはどのようにつけるべきか。まずこれらのことが決定されなければならない。そのため、我々は、入手核種の中で最もデータ数の多い $^{235}\text{U}(n, f)$ 断面積データについて以上の問題点について考察した。

1. エネルギー区間の切り方

まず、断面積の持っているある特別な構造を含んではならないわけであるが、 $^{235}\text{U}(n, f)$

1972年のデータとなっている。入手したデータは、IBM-360仕様のBinary Tapeであったため、それをFACOM230/60システム用に変換し、原研の核データ検索システムであるNESTOR⁹⁾で使用できるようにして、我々の解析に用いた。(この部分の作業は原研核データ研中川庸雄氏によってなされた。)

CCDNのNEUDADAからの入手データをプロットしてみると、かなりのデータエラーが見い出された。そのため、エラーデータをとり除いたり、適当な修正措置をとるデータ・スクリーニング用のコードCORECTを作成した。こうした点についての詳しい手続きは付録1を参照されたい。

このようにして得られた実験データをもとに、任意のエネルギー区間についての断面積の測定値の分布を調べるための統計解析用コードCROSSAGを作成して解析を行った。

断面積実験データの分布解析に際して、エネルギー区間を小さくしていくと、 $\Delta E (E_0 \leq E \leq E_0 + \Delta E)$ の幅内に落ちるデータの数は、炉定数のAdjustmentとの関連において重要な10KeV~1MeVのエネルギー域においては少くなり分布の型の決定は難しくなってくる。一方、エネルギー区間の幅を大きくしていくと、断面積のエネルギー依存性 $\sigma(E)$ がもろに入ってくることになり、実験値の統計分布の解析の観点からは問題がある。そこで我々は、断面積測定データの分布の統計解析にあたって、統計がとれる程度のデータポイントが得られるようなエネルギー区間について、エネルギー依存性を差し引くために、その区間に落ちるデータを断面積に対してはlinear、エネルギー(E)に対しては $\log E$ のn次の多項式で最小二乗フィットさせ、これだけのエネルギー依存性を差し引いた断面積に対する統計解析を行った。この点についての詳しい手続きは付録2を参照されたい。

3 解析条件についての考察 ($^{235}\text{U}(n, f)$ データをSampleにして)

前章までに述べた方法により、断面積実験データの統計解析を行うわけであるが、その際統計をとるエネルギー区間のとり方に問題がかなりでてくる。すなわち、(i)断面積のある種の構造が区間内に入ってはならない。(ii)エネルギー区間の切り方により最終的に得られる断面積の標準偏差値等の統計パラメータに大きな変動が表われてはならない。これら2つの条件が区間幅決定にさいして満足されなければならない。

又、エネルギー区間幅が決った場合、エネルギー依存性を差し引くために、n次の多項式で最小二乗フィットするわけであるが、この次数はいくつ位とる必要があるのか。又各データポイントに対するウエイトはどのようにつけるべきか。まずこれらのことが決定されなければならない。そのために、我々は、入手核種の中で最もデータ数の多い $^{235}\text{U}(n, f)$ 断面積データについて以上の問題点について考察した。

1. エネルギー区間の切り方

まず、断面積の持っているある特別な構造を含んではならないわけであるが、 $^{235}\text{U}(n, f)$

データは検索されたデータ全てについてのグラフから ($1 \text{ KeV} \leq E \leq 20 \text{ MeV}$), JAERI-Fast set 25群構造^{1),2)}の切り方をした場合, 非分離共鳴領域においてある種のデータに若干の構造が見い出せるが, 他種のデータと一諾になってしまった場合, それ程明確にはでてこない。(図4-1参照)

次いで, エネルギー区間の切り方をJAERI-Fast 25群構造にした場合 ($\Delta u^* = 0.77$, $\text{Step}^+ = 0.77$), 及びエネルギー区間幅 $\Delta u = 0.1$, $\text{step} = 0.05$, 又エネルギー区間 $\Delta u = 0.2$ $\text{step} = 0.1$ の3ケースについてフィッティング式は1次で移動平均法に似た区間幅のずらしかたにて統計解析をして, 断面積のフィッティング式からのずれの平均値〈標準偏差値〉を出して比較した。即ち, あるエネルギー点 E_i において測定された断面積を $\sigma_i(E_i)$ とする。又 E_i を含むある区間においてフィッティングした断面積を $\sigma_N^*(E)$ と表わす。上記の断面積のフィッティング式からのずれの平均値〈標準偏差値〉を $\langle \Delta \sigma^2 \rangle^{\frac{1}{2}}$ と表わすと,

$$\Delta \sigma \equiv \langle (\sigma_i(E_i) - \sigma_N^*(E_i))^2 \rangle^{\frac{1}{2}}$$

と表示される。但し〈〉はその統計解析を行うエネルギー区間についての平均を意味する。

その結果 $\Delta u = 0.1$ $\text{step} = 0.05$ の case 2 と case 1 (JAERI-Fast 25群定数) との差は, 図3-1にみられる通りそれ程なく, CASE 1はCASE 2の平均的な値となっている。よって, ここでの作業の後で断面積Adjustmentにこの解析値をフィードバックする上からもJAERI-Fast 25群構造による切り方の方が都合がよいため, 我々は, JAERI-Fast 25群構造の切り方で統計解析を行っていくことにした。

2. フィッティングに対してとる必要のある多項式次数の決定

JAERI-Fast 25群構造の切り方でフィッティング多項式の打ち切り次数を1次, 3次, 4次に採った場合の各caseについてチェック計算を行った(但し, 前述の通り, 断面積の値に対してはlinear, エネルギー値Eに対してはlog E変換した値に対して1次, 3次, 4次ということである)。結果を表3-1に示す。次数が高くなるに従って値は一定値に近くなるように見えるが, その差は統計をとっているデータ数がかなり多い場合 (≥ 100), 高々2%でありそれ程大きな値ではない。即ち, 最終結果(統計パラメータ)に対する効果が大きくないことから一次直線でフィットしてさしつかえないという結論が得られた。

3. 各測定値に対するウェイトのつけ方

NEUDADAから得られた実験データには, 各個々のデータポイントについて誤差表示がつくような形式になっている。しかしながら, その中のデータをみていると誤差の全く与えられていないもの, 統計誤差(カウントエラー等)のみ与えられているもの(従って精度は極めてよくなっている), 系統誤差を含めて与えられているもの(精度は統計誤差に較べて悪い)

+ stepとは, 移動平均をとる幅を意味する。より詳しくは付録2参照。

* Δu : レサジー幅(統計をとる幅)。

等がある。従って、それらデータに対して、与えられている誤差をそのままウエイトすることはできないため、一応ウエイトは全てのデータポイントに対して1.0を与えることにした。

以上まとめると、エネルギー区間はJAERI-Fast 25群構造の切り方を採用し、その各エネルギー区間内に入るデータポイントについて、断面積はlinear, エネルギーに対しては対数変換した値に対して一次式で最小二乗法によりフィッティングを行い、エネルギー依存性を差し引く。その際各データポイントに対するウエイトは全て1.0の等ウエイトとする。

解析対象として、 $^{235}\text{U}(n, f)$ に対しては得られるデータ数がかなりあるため、全データについての統計解析の他に、測定装置別の解析、測定年代別の解析を行った。各個々の結果については次章で述べる。

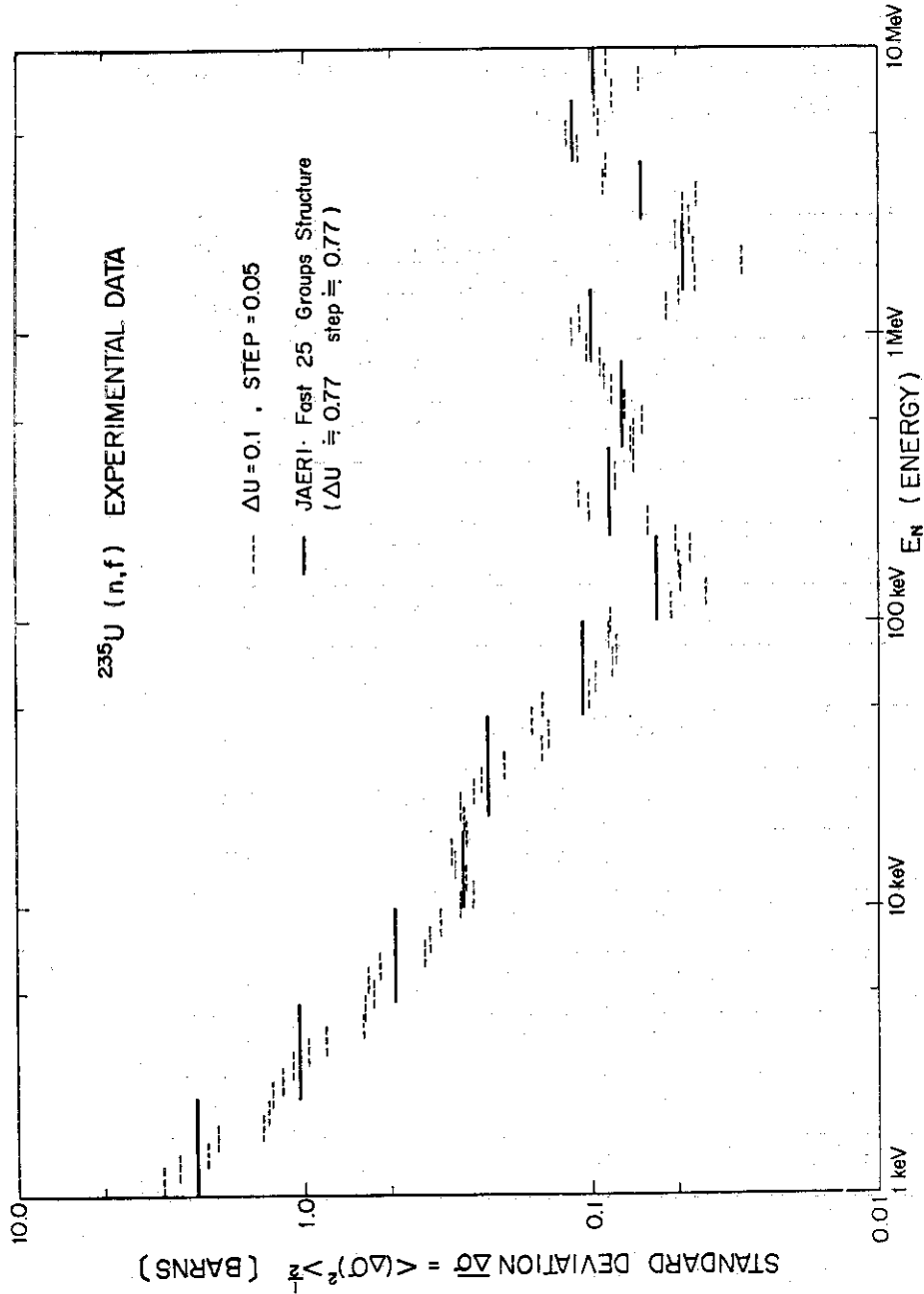


Fig. 3-1. Effect of fitting intervals on standard deviations of $^{235}\text{U}(n, f)$ experimental data.

Table 3-1. Effect of fitting polynomial degree on standard deviations of ^{235}U (n, f) experimental data

GROUP*	Standard Deviations (barns)			Number of Data Points
	Degree of fitting Polynomials			
	1	3	4	
1	0.0963	0.0826	0.0794	21
2	0.113	0.0903	0.0896	17
3	0.0660	0.0630	0.0621	29
4	0.0470	0.0433	0.0436	70
5	0.0991	0.0946	0.0933	84
6	0.0773	0.0761	0.0757	119
7	0.0859	0.0858	0.0856	160
8	0.0586	0.0573	0.0571	164
9	0.104	0.103	0.103	273
10	0.230	0.230	0.228	457
11	0.281	0.280	0.280	876
12	0.481	0.471	0.470	965
13	1.038	1.034	1.026	1515
14	2.404	2.367	2.323	2335

* Group structure is the same as JAERI-FAST 25 group set.
See Table 4-1.

4 統計解析による結果

4.1 $^{235}\text{U}(n, f)$ 断面積データについて

4.1.1 $^{235}\text{U}(n, f)$ データ全般について

NEUDADAにて検索された $^{235}\text{U}(n, f)$ の1KeV~21MeVの実験データとしては、文献数61件、データポイント数は9201点であった。これをプロットした結果かなりのデータ・エラーが見い出された。

見い出されたエラーは次のようなものである。

- 1 データの重複(二重登録)
- 2 原論文にdataが与えられていないにもかかわらず数値があるもの。
- 3 他の断面積との比で与えられているもの。
- 4 データのスケールリングが一桁ずれているもの。
- 5 $\text{FNE}(\sigma_f \sqrt{E})$ で与えられているべきデータが $\text{FN}(\sigma_f)$ で入っているもの。

以上のデータポイントをCORECTコードにて適当な措置をとった後、統計解析を行った。図4-1に統計解析にあたって使用したデータのplot図を示す。

その結果を表4-2, 図4-2, 4-3に示す。(表4-1に解析に使用したエネルギー群分けの表を与える)。これらの図表から明らかに100KeV前後でのデータの一致が極めてよくなっており $\frac{\langle \Delta \sigma^2 \rangle^{\frac{1}{2}}}{\langle \sigma \rangle}$ が大体3~4%という結果になっていることがわかる。このエネルギー範囲における測定データと最小二乗法でフィットした断面積の関係($\sigma_i(E_i)$ 及び $\sigma_N^*(E)$)を図4-4に示す。この図において、測定データ($\sigma_i(E_i)$)は+印にて、最小二乗法でフィットした断面積($\sigma_N^*(E)$)を実線にて表わしている。次いで、測定データ($\sigma_i(E_i)$)とフィットした断面積($\sigma_N^*(E)$)の差($\Delta \sigma_i = \sigma_i(E_i) - \sigma_N^*(E_i)$)を図4-5に示す。この図において二本の直線が示されているが、これは $\pm \langle \Delta \sigma^2 \rangle^{\frac{1}{2}}$ を表わしている。即ち測定された断面積の標準偏差値を示したものである。又、その $\Delta \sigma$ の度数分布のヒストグラム表示を図4-6に示す。この図では、横軸に度数をとり、縦軸に $\Delta \sigma$ のとり範囲をとっている。その範囲と度数分布の間に、P, S, Mの印が表われているが、Mは $\Delta \sigma$ の分布の平均値、Sは標準偏差値($\pm \langle \Delta \sigma^2 \rangle^{\frac{1}{2}}$)、Pは標準偏差値の倍($\pm 2 * \langle \Delta \sigma^2 \rangle^{\frac{1}{2}}$)を表わしている。又分布のヒストグラムと同じ図上にNである分布を表わしているが、これは、この分布がNormal distributionとして扱った場合のフィッティングした分布を表わしている。又かなり標準偏差値の大きい4.6KeV~10KeVの間での実験データの上記に準じた図を、図4-7, 4-8, 4-9に示す。これらから、 $\Delta \sigma$ の分布はNormal distributionでかなりうまく表わせることがわかる。

4.1.2 測定装置別にみた $^{235}\text{U}(n, f)$ dataの統計解析

測定装置別にみた文献数は表4-3のようになっている。明らかにTF(Time of Flight)によるものが最も多く、次いでIC(Ion Chamber)によるものとなっている。その他の装置によるものはかなり少なくなってしまっている。

TFのデータは1 MeV 以下に集中し、特に10 keV以下のデータのほとんどがTFによるものとなっている。又ICのデータは主に2 MeV 付近を中心にして200 KeV~10 MeVまでの範囲をカバーしている。又その他の装置による断面積データもICと同様の100 KeV~2 MeV のエネルギー範囲にわたっている。以上のデータによる装置別の断面積誤差の標準偏差値の平均値に対する割合 $\langle \Delta\sigma^2 \rangle^{1/2} / \langle \sigma \rangle$ (パーセント表示)を図4-10 に示す。全体的にTFによる値が小さくなっており精度がよいことがわかる。ICによる測定データにおいては、1 MeV 付近での測定値間の一致がかなりよいのがわかる。

4.1.3 測定年代別にみた $^{235}\text{U}(n, f)$ data の統計解析

測定年代と測定件数との関係は表4-4 に示すようになっている。件数と年代との関連は国際会議の年に増えている程度であるがデータのポイント数は年代が新しくなる程ふえてきている。

1950年代、1960年代、1970年代のデータについての統計解析の結果を図4-11 に示す。全般的に年代が新しくなるに従って $\frac{\langle \Delta\sigma^2 \rangle^{1/2}}{\langle \sigma \rangle}$ は小さくなっており、年代による測定精度の向上が顕著に表われている。又100 KeV及び1 MeV のエネルギー付近でやはり $\Delta\sigma$ (標準偏差値)が低くなっているのが目立つ。

4.2 $^{239}\text{Pu}(n, f)$ 断面積実験データについて

$^{239}\text{Pu}(n, f)$ として検索されたデータは文献数68件、データポイント数10500ポイントにもなった。しかし、これらのうちから、二重登録データ、エラーデータを除くと、文献数52件、データポイント数5208点になった。

以上得られたデータのプロットを図4-12 に示す。これらデータの解析結果を表4-5、図4-13 に示す。これからわかるように、 $\sigma(E)$ のエネルギー依存性はかなり小さい。他方標準偏差値はエネルギーと伴にかなり小さくなっていき、1 MeV 付近での値が最も小さくなっている。この領域での測定データ数はかなり多い。従って100 KeV~1 MeVのエネルギー範囲では $\frac{\langle \Delta\sigma^2 \rangle^{1/2}}{\langle \sigma \rangle}$ は5%前後になっている。しかし、10 KeV 前後では、断面積に対してかなりの構造がまだ残っており、 $\frac{\langle \Delta\sigma \rangle}{\langle \sigma \rangle}$ は20%前後となり、このエネルギー範囲における統計解析値には問題が残る。

4.3 $^{238}\text{U}(n, \gamma)$ 断面積実験データについて

$^{238}\text{U}(n, \gamma)$ として検索されたデータは、文献数49件、データポイント数867点あったが、データの誤り等のために、最終的には、文献数37件、データポイント数585点について解析を行った。

解析したデータポイントのプロットを図4-14 に、統計解析結果を表4-6 図4-15 に示す。これらの図表からわかることは $\frac{\langle \Delta\sigma^2 \rangle^{1/2}}{\langle \sigma \rangle}$ の値は300 KeV前後で最小の12%となっている。又、10 KeV 前後でのデータ間の一致が極めて悪く30%ととびぬけている。全体的に $\frac{\langle \Delta\sigma^2 \rangle^{1/2}}{\langle \sigma \rangle}$ は15%前後であり、 $\langle \sigma \rangle$ を中心に±15%の幅があることになる。

Table 4-1. Group structure for statistical analysis

Group	Upper Energy	Lower Energy
1	10.5 MeV	6.5 MeV
2	6.5 "	4.0 "
3	4.0 "	2.5 "
4	2.5 "	1.4 MeV
5	1.4 MeV	800 KeV
6	800 KeV	400 "
7	400 "	200 "
8	200 "	100 "
9	100 "	46.5 "
10	46.5 "	21.5 "
11	21.5 "	10.0 "
12	10.0 "	4.65 "
13	4.65 "	2.15 "
14	2.15 "	1.00 "

Table 4-2. The results of statistical analysis for $^{235}\text{U}(n, f)$ experimental data

Group	$\Delta\bar{\sigma}$ (b)	$\bar{\sigma}$ (b)	$\frac{\Delta\bar{\sigma}}{\bar{\sigma}}$ (%)	N
1	0.09629	1.71	5.63	21
2	0.11126	1.19	9.46	17
3	0.06601	1.20	5.50	29
4	0.04697	1.29	3.64	70
5	0.09911	1.24	7.99	84
6	0.07725	1.15	6.72	119
7	0.08589	1.28	6.71	160
8	0.05857	1.51	3.88	164
9	0.10361	1.72	6.02	273
10	0.2297	2.04	11.26	457
11	0.2811	2.38	11.81	876
12	0.4810	3.29	14.62	965
13	1.0384	4.85	21.41	1515
14	2.4038	6.94	34.64	2335

The group structure is the same as JAERI-Fast 25-group set.

$\Delta\bar{\sigma}$: Cross section deviation (Standard deviation) (in Barns) $\equiv \langle \Delta\sigma^2 \rangle^{\frac{1}{2}}$

$\bar{\sigma}$: Cross section mean value (in Barns) $\equiv \langle \sigma \rangle$

$\frac{\Delta\bar{\sigma}}{\bar{\sigma}}$: Percent cross section deviation (in %)

N: Number of data points

Table 4-3. Number of references of ^{235}U (n, f) experimental data for several experimental methods

	Method	Number of References
TF	Time - of - Flight	22
IC	Ion Chamber	10
RA	Radio Activation	1
SS	Spherical Shell (Transmission)	5
BB	Back to Back fission Counter	3
LC	Long Counter	3
PC	Proportional Counter	1
RC	Recoil Chamber	2
AC	Accelerator Source	2
SF	Spiral Fission Chamber	1
FD	Fission Detection	1
	Not Identified	2

Table 4-4. Number of references of ^{235}U (n, f) experimental data for the measured (published) year

Year	Number of References
1954	2
1955	2
1956	3
1957	13
1958	4
1959	1
1960	2
1961	3
1962	1
1963	1
1964	0
1965	3
1966	4
1967	2
1968	4
1969	1
1970	8
1971	4

Table 4-5. The results of statistical analysis for ^{239}Pu (n, f) experimental data

GROUP	$\overline{\Delta\sigma}$ (b)	$\overline{\sigma}$ (b)	$\overline{\Delta\sigma}/\overline{\sigma}$ (%)	N
1 ⁺	0.0466	2.46	1.89	6
2 ⁺	0.0798	1.98	4.03	8
3	0.149	1.90	7.84	16
4	0.116	2.00	5.80	37
5	0.0660	1.76	3.75	47
6	0.0646	1.61	4.01	39
7	0.0909	1.60	5.68	25
8	0.0846	1.54	5.49	30
9	0.148	1.63	9.08	19
10	0.280	1.75	16.00	211
11	0.474	1.89	25.08	595
12	0.674	2.21	30.50	861
13	1.359	2.97	45.76	1354
14	3.20	3.92	81.63	1960

The group structure is the same as JAERI-Fast 25 group set.

$\Delta\sigma$: Cross section deviation
(Standard deviation) (in Barns) $\equiv \langle \Delta\sigma^2 \rangle^{\frac{1}{2}}$

σ : Cross section mean value (in Barns) $\equiv \langle \sigma \rangle$

$\Delta\sigma/\sigma$: Percent cross section deviation (in %)

N : Number of data points

+ : These values are very doubtful due to scarcity of sample data.

Table 4-6. $^{238}\text{U}(n, \gamma)$ Experimental data statistical analysis

GROUP	$\overline{\Delta\sigma}$ (b)	$\overline{\sigma}$ (b)	$\overline{\Delta\sigma}/\overline{\sigma}$ (%)	N
1	—	—	—	—
2 ⁺	0.001	0.0131	7.6	3
3 ⁺	0.00641	0.0245	26.2	6
4 ⁺	0.00231	0.0510	4.53	3
5 ⁺	0.0457	0.138	33.1	14
6	0.0241	0.140	17.2	23
7	0.0152	0.135	11.3	31
8	0.0228	0.177	12.9	27
9	0.0387	0.257	15.1	81
10	0.0719	0.446	16.1	121
11	0.194	0.665	29.2	151
12	0.120	0.748	16.0	87
13	0.186	(1.10)	16.9	20
14	0.522	(1.72)	30.3	18

The group structure is the same as JAERI-Fast 25 group set.

$\overline{\Delta\sigma}$: Cross section deviation
(Standard deviation) (in Barns) $\equiv \langle \Delta\sigma^2 \rangle^{\frac{1}{2}}$

$\overline{\sigma}$: Cross section mean value (in Barns) $\equiv \langle \sigma \rangle$

$\frac{\overline{\Delta\sigma}}{\overline{\sigma}}$: Percent cross section deviation (in %)

N : Number of data points

+ : The values are very doubtful due to scarcity of sample data.

092235NF EXPERIMENTAL DATA FROM NESTOR

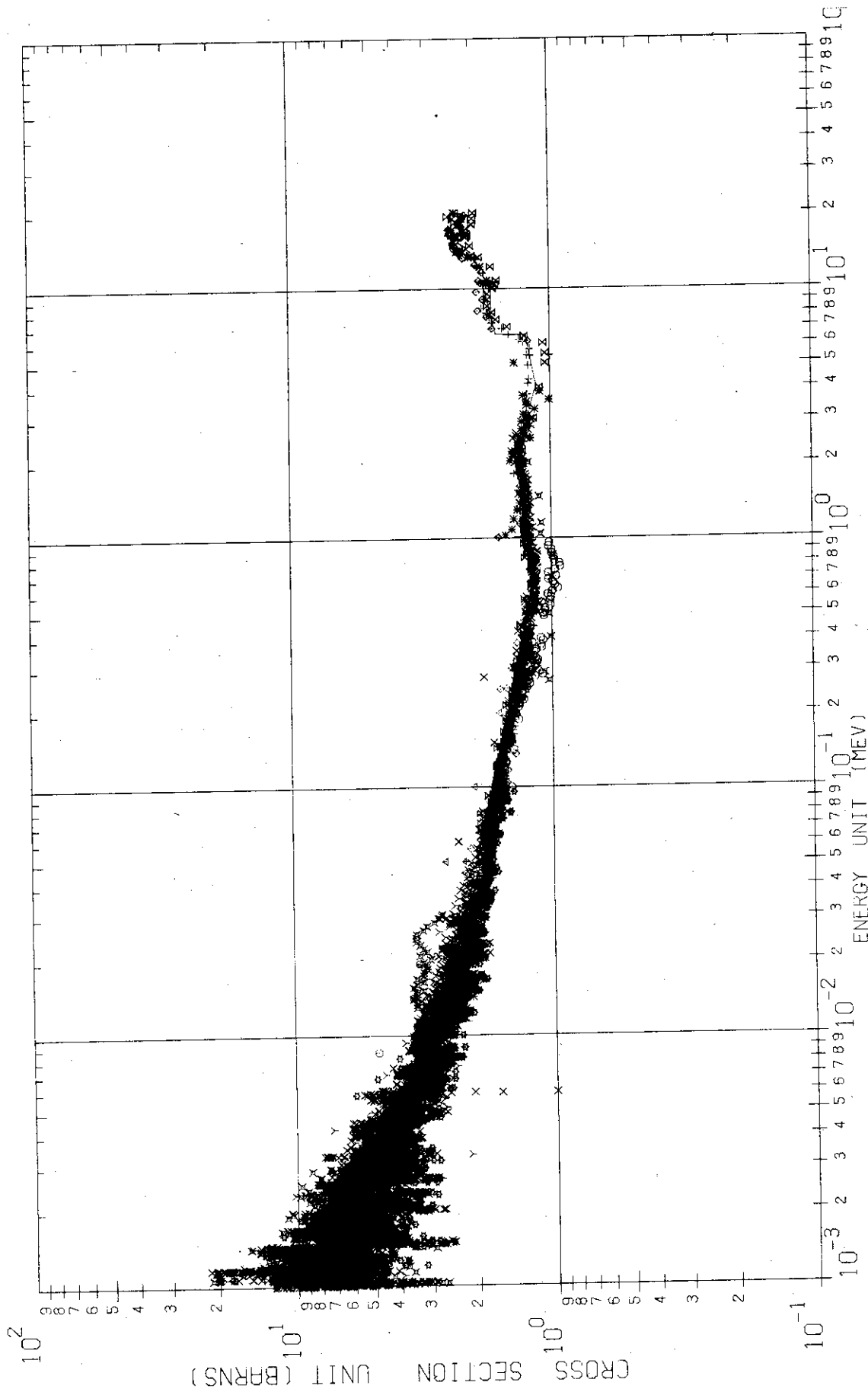


Fig. 4-1. ^{235}U (n, f) experimental data for statistical analysis.

ICU58 CCPJAE 5 659	SS-57 CCPJAE 2 E10	LCU61 ALDJUNE 14-85	GSJ70K KFKRKF1 313	YCB66B ORLKPR 16 249	TF-71C CADB71KN OX5 6
IC-59 CCPJAE 6 453	BBU56F HARRAERE NP/R1996	GS-67H KFKJUNE 21 643	AC 57E LASRLA-2 114	TF 65C DUBCSAL SM60786	LEAST SQUARE FITTED
TF-60 CCPJAE 9+399	GS-60K KFKREAN- E74 S	GS-67H KFKJUNE 21-643	SF-57F LASRLA-2 122	HG1B LASWSMIT H 61	
ICU62J CCPJAE 13 366	GS866K KFKREAN- E74*S	TF-68D GELKJUNE 22 211	TF 69L LASRLA-4 285	ICH68I LASWSMIT H 68	
TF 63B CCPJAE 14 177	TF071F HARYGAYT HER 71F	TF070I HARJUNE 24 269	TF 70F LASRLA-4 420 45	1FDI68C MOLB68WA SH2 1263	
RA065I CCPJAE 19+292	LCU55H SACCGENI 4 245	TF070I HARJUNE 24-269	IC-57 HARJPPS A70/573	TF-70J CADB70AN L 257	
SS-57 CCPJAE 2 A10	ZIC 58 CCPBGEN2 16 136	RC165E ALDJUNE1 9 325	TF-56J KAPKPR 104 479	TF-70C CADB70HE LS1 229	
SS-57 CCPJAE 2 B10	ZIC 58 CCPBGEN2 16 136	TF 60E SACKJPR 21 429	LASJPR 105 1350	TF 70F SACB70HE LS1+469	
SS-57 CCPJAE 2 C10	PC-57E HARJUNE 4 133	TF-54F KAPRKAPL -1109	BB-57B LASJPR 105 1350	TF 70F SACB70HE LS1+469	
SS-57 CCPJAE 2 D10	LCU61 ALDJUNE 14 85	IC-54F KAPRKAPL 1109	BBH57B LASJPR 105 1350	TFB71C SACCC71KN OX 829	

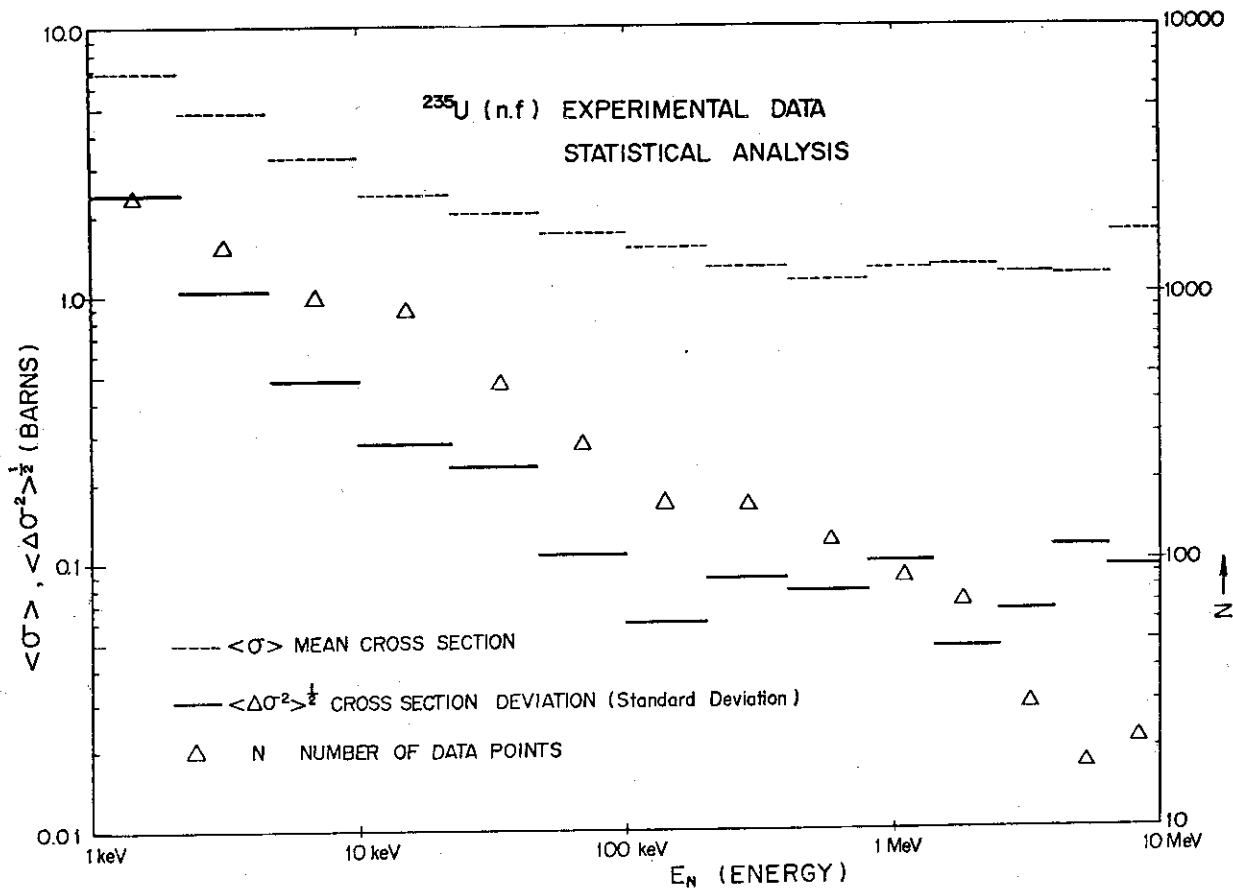


Fig. 4-2. The results of statistical analysis for ^{235}U (n, f) experimental data.

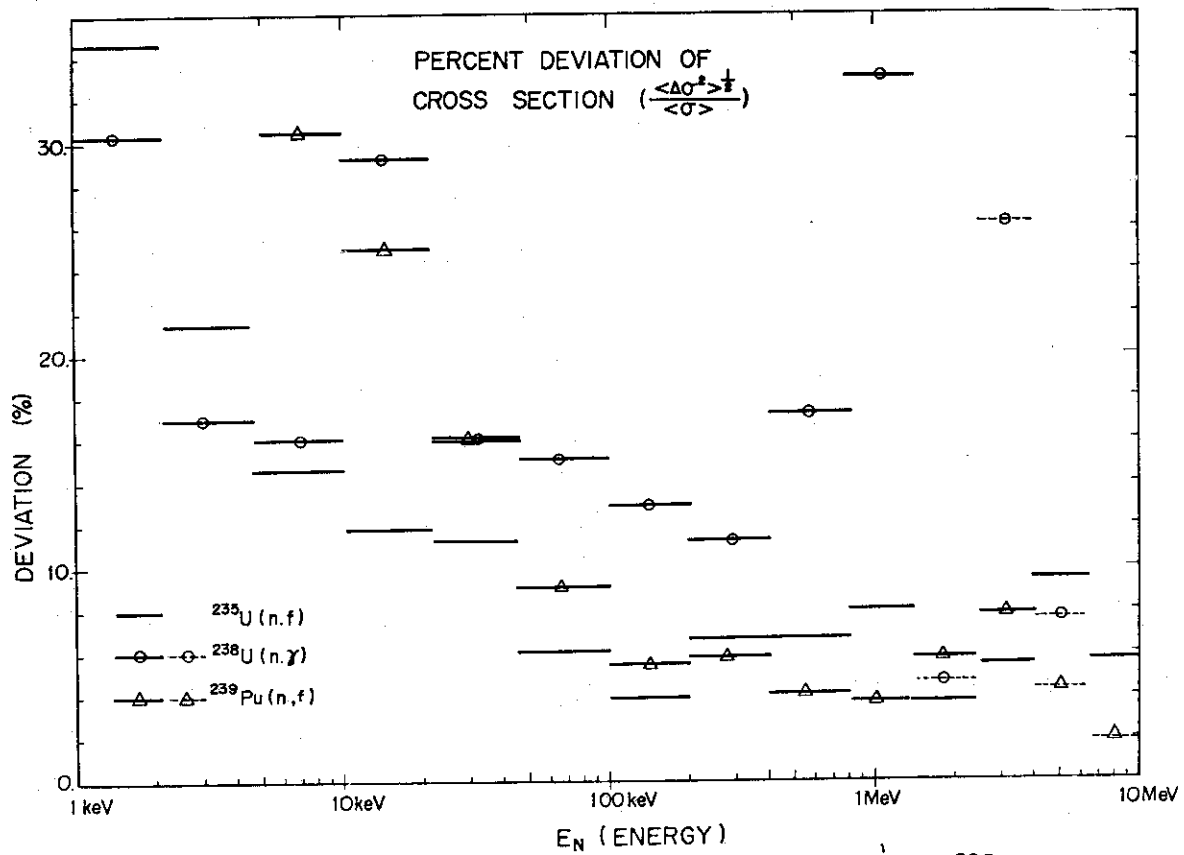


Fig. 4-3. Percent deviations of cross section ($\frac{\langle \Delta \sigma^2 \rangle^{\frac{1}{2}}}{\langle \sigma \rangle}$) for ^{235}U (n, f), ^{239}Pu (n, f), ^{238}U (n, γ) experimental data.

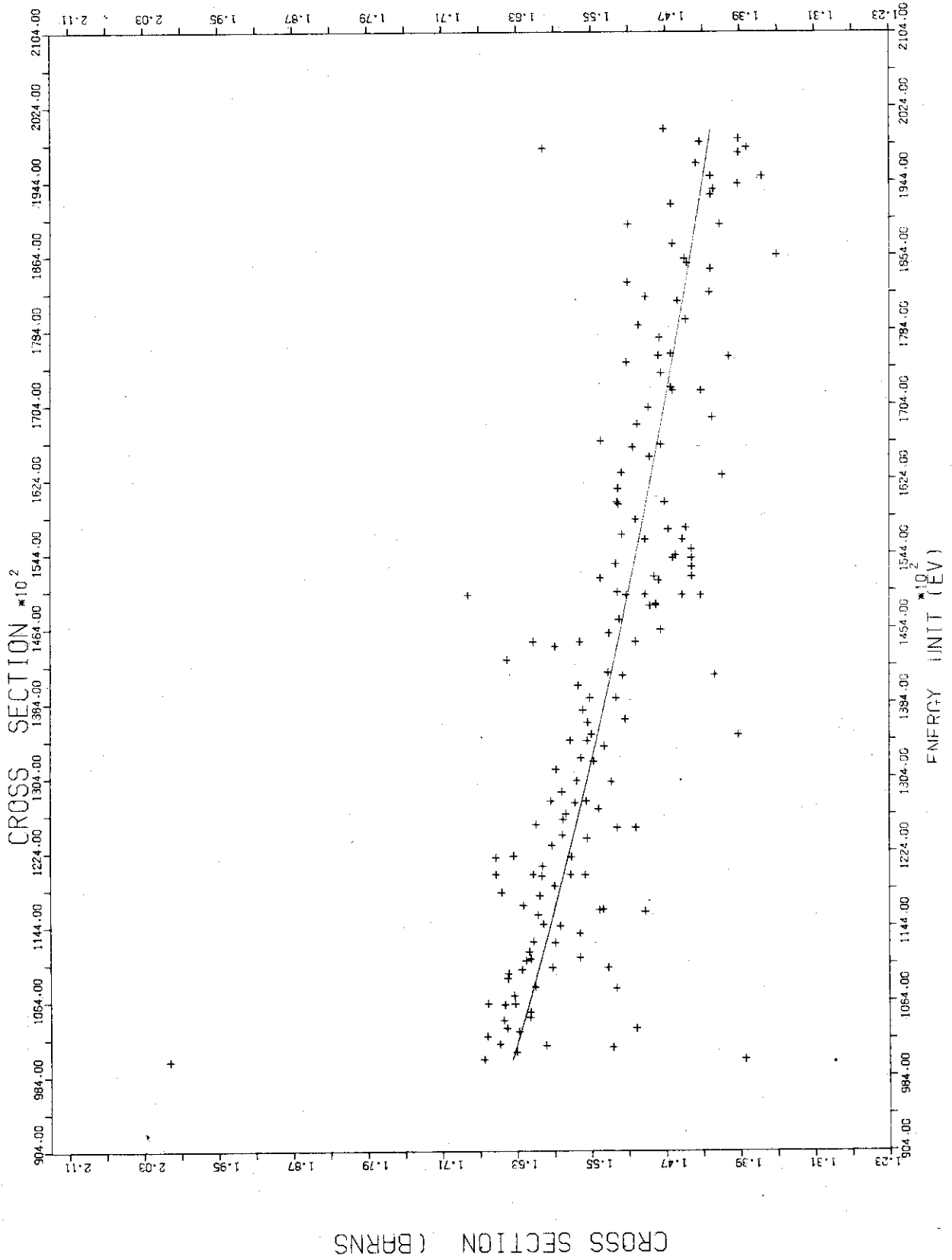


Fig. 4-4. $^{235}\text{U}(n, f)$ experimental data for energy range $100 \text{ KeV} \leq E_n \leq 200 \text{ KeV}$
 (The straight line shows least square fitted cross section.)

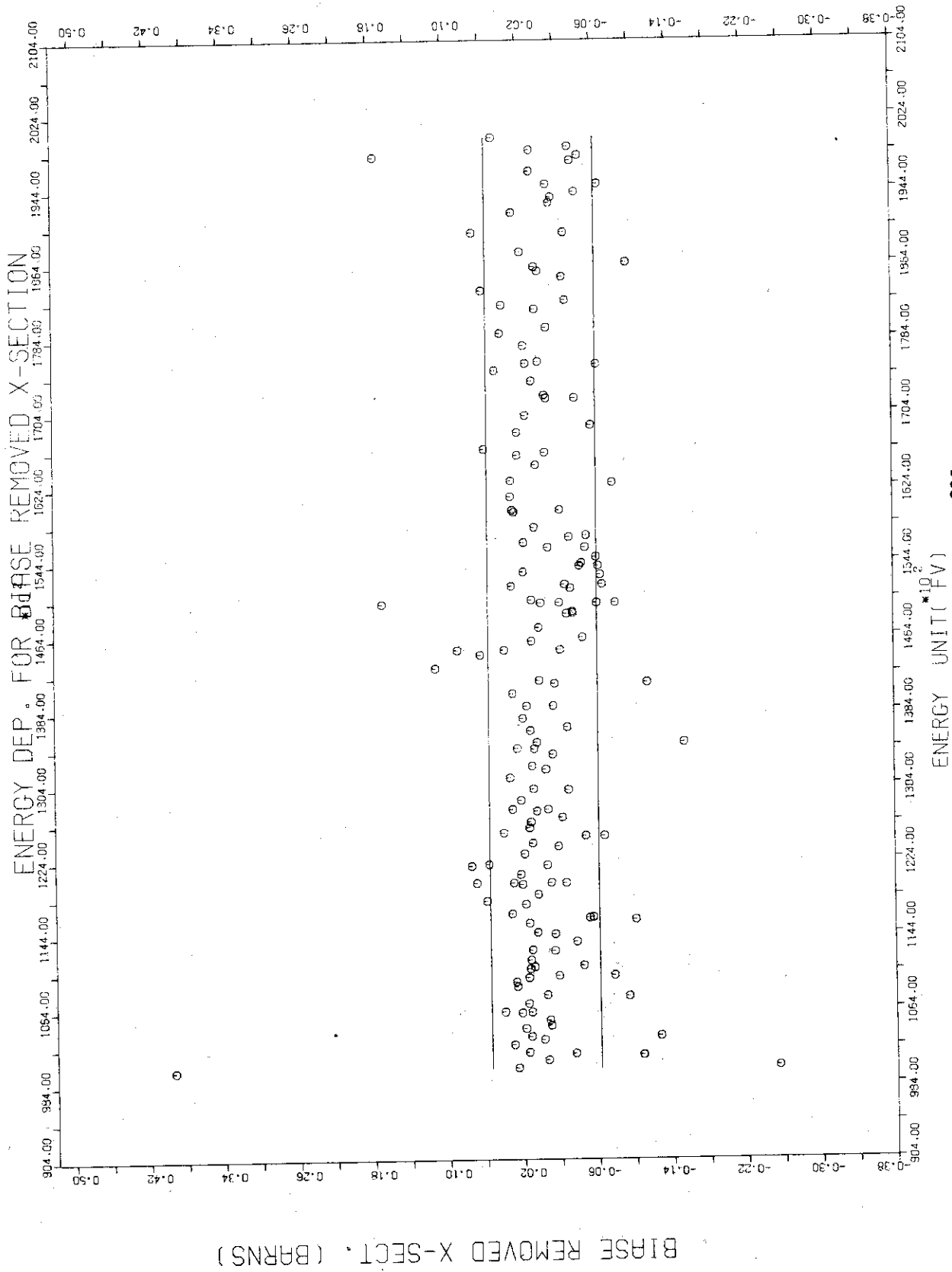


Fig. 4-5. Deviations of cross sections for ^{235}U (n, f) experimental data at energies $100 \text{ KeV} \leq E_n \leq 200 \text{ KeV}$
 (The cross section differences between experimental value and fitted value are shown. Two straight lines in the figure show the value of \pm standard deviations.)

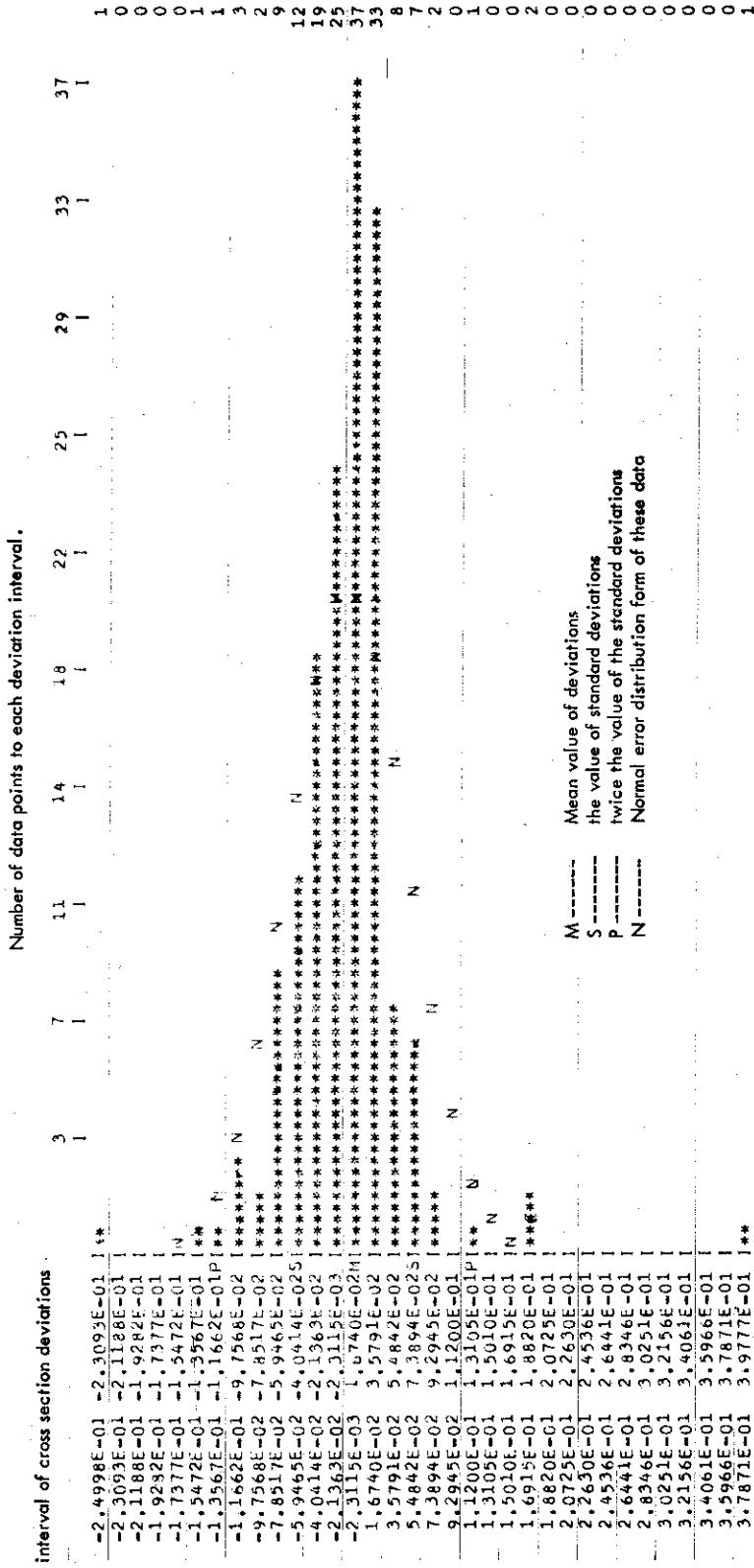


Fig. 4-6. Distribution of cross section deviations for ²³⁵U (n, f) experimental data at energies 100 KeV ≤ EN ≤ 200 KeV.

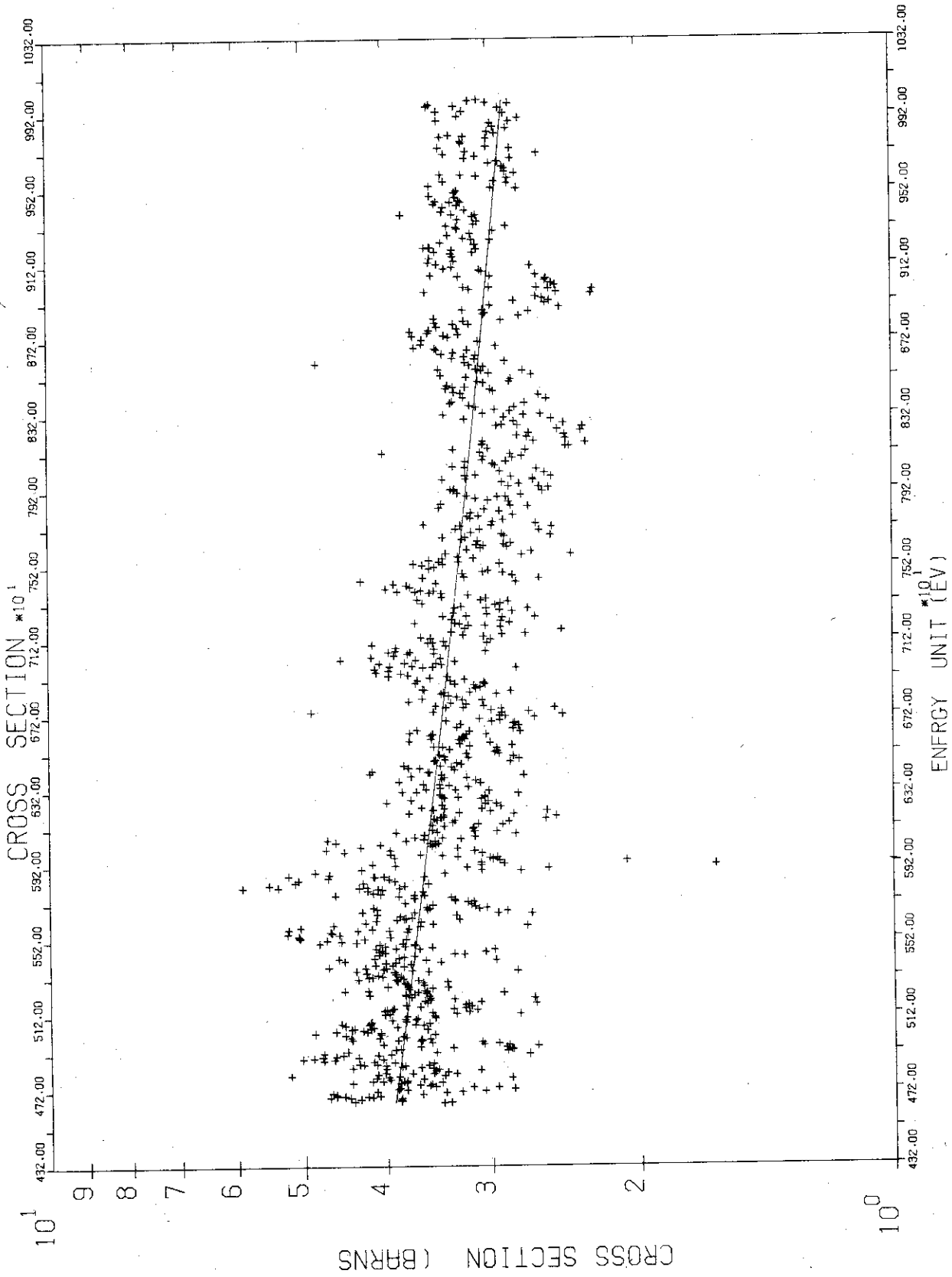


Fig. 4-7. ^{235}U (n, f) experimental data for energy range of $4.65 \text{ KeV} \leq E_N \leq 10 \text{ KeV}$

Interval of cross section deviations	9	19	28	38	47	57	66	76	85	95
-2.5878E 00 -2.5037E 00 I*										
-2.5037E 00 -2.4196E 00 I										
-2.4196E 00 -2.3355E 00 I										
-2.3355E 00 -2.2513E 00 I										
-2.2513E 00 -2.1672E 00 I										
-2.1672E 00 -2.0831E 00 I										
-2.0831E 00 -1.9990E 00 I										
-1.9990E 00 -1.9148E 00 I*										
-1.9148E 00 -1.8307E 00 I										
-1.8307E 00 -1.7466E 00 I										
-1.7466E 00 -1.6625E 00 I										
-1.6625E 00 -1.5784E 00 I										
-1.5784E 00 -1.4942E 00 I*										
-1.4942E 00 -1.4101E 00 I										
-1.4101E 00 -1.3260E 00 IN										
-1.3260E 00 -1.2419E 00 I N										
-1.2419E 00 -1.1577E 00 I* N										
-1.1577E 00 -1.0736E 00 I**N										
-1.0736E 00 -9.8949E-01 I*****N										
-9.8949E-01 -9.0537E-01P I*****M										
-9.0537E-01 -8.2125E-01 I*****N										
-8.2125E-01 -7.3713E-01 I*****N										
-7.3713E-01 -6.5301E-01 I*****N										
-6.5301E-01 -5.6888E-01 I*****M										
-5.6888E-01 -4.8476E-01 I*****M										
-4.8476E-01 -4.0064E-01S I*****M										
-4.0064E-01 -3.1652E-01 I*****M										
-3.1652E-01 -2.3239E-01 I*****M										
-2.3239E-01 -1.4827E-01 I*****M										
-1.4827E-01 -6.4149E-02 I*****M										
-6.4149E-02 1.9973E-02M I*****M										
1.9973E-02 1.0410E-01 I*****M										
1.0410E-01 1.8822E-01 I*****M										
1.8822E-01 2.7234E-01 I*****M										
2.7234E-01 3.5646E-01 I*****M										
3.5646E-01 4.4058E-01 I*****M										
4.4058E-01 5.2474E-01S I*****M										
5.2474E-01 6.0883E-01 I*****M										
6.0883E-01 6.9295E-01 I*****M										
6.9295E-01 7.7707E-01 I*****M										
7.7707E-01 8.6120E-01 I*****M										
8.6120E-01 9.4532E-01 I*****M										
9.4532E-01 1.0294E 00P I*****M										
1.0294E 00 1.1136E 00 I*****M										
1.1136E 00 1.1977E 00 I*****M										
1.1977E 00 1.2818E 00 IN										
1.2818E 00 1.3659E 00 IM										
1.3659E 00 1.4501E 00 I*****M										
1.4501E 00 1.5342E 00 I*****M										
1.5342E 00 1.6183E 00 I*****M										
1.6183E 00 1.7024E 00 I										
1.7024E 00 1.7865E 00 I**										
1.7865E 00 1.8707E 00 I										
1.8707E 00 1.9548E 00 I*										
1.9548E 00 2.0389E 00 I										
2.0389E 00 2.1230E 00 I										
2.1230E 00 2.2072E 00 I										
2.2072E 00 2.2913E 00 I*										

M----- mean value of deviations
 S----- the value of standard deviations
 P----- twice the value of the standard deviations
 N----- Normal error distribution form of these data

Fig. 4-9. Distribution of cross section deviations for ²³⁵U (n, f) experimental data at energies 4.65 KeV ≤ E_n ≤ 10 KeV

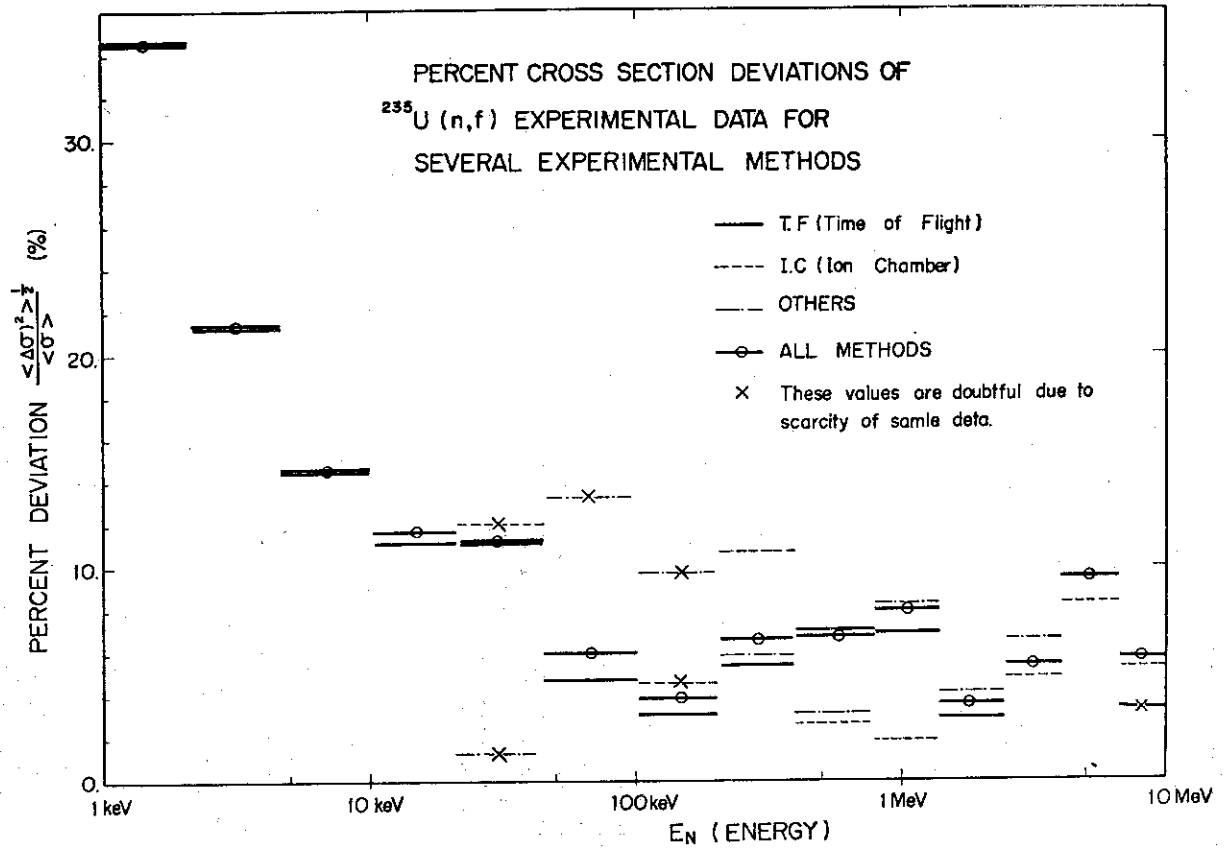


Fig. 4-10. Statistical analysis of ²³⁵U (n, f) experimental data for several experimental methods.

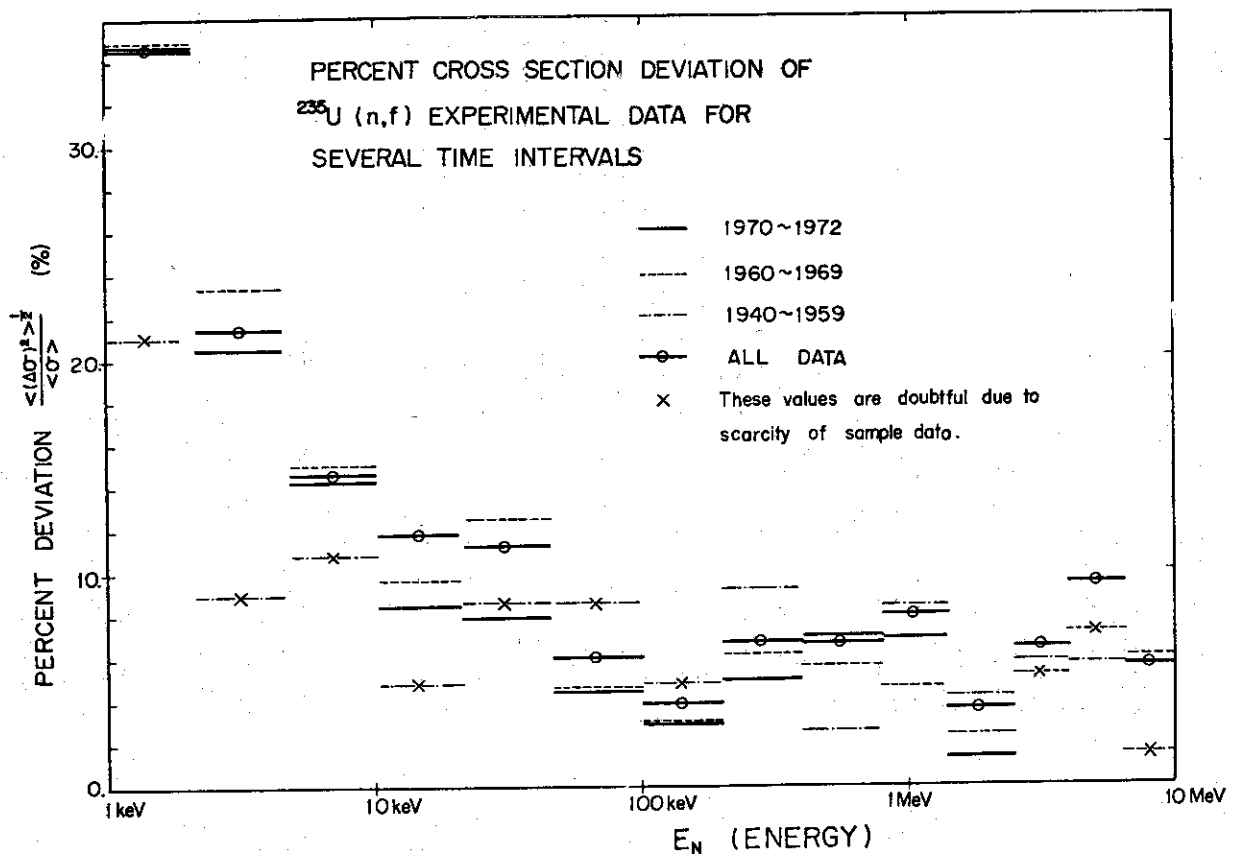


Fig. 4-11. Statistical analysis of ²³⁵U (n, f) experimental data for each ten years interval.

094239NF EXPERIMENTAL DATA

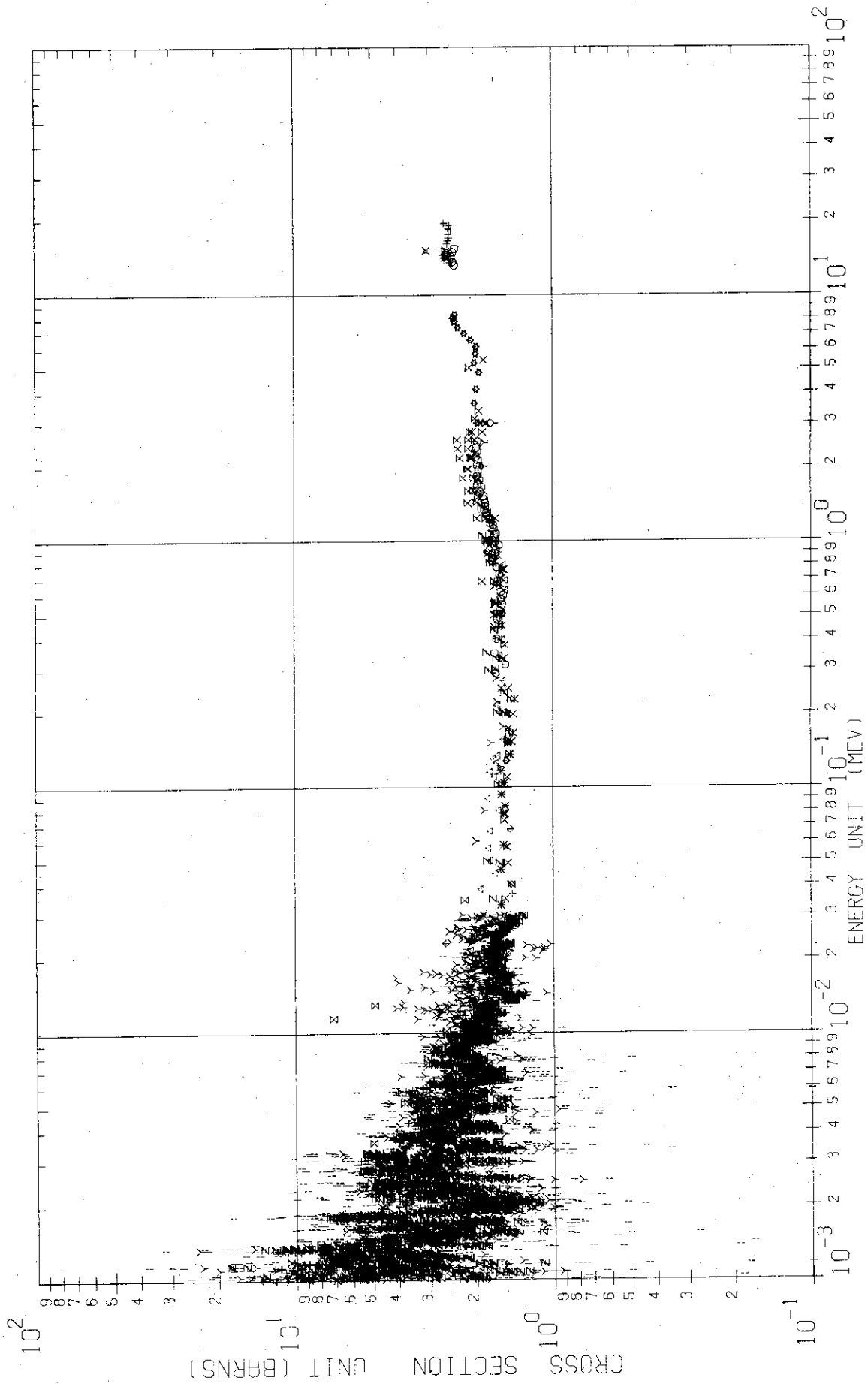


Fig. 4-12. ^{239}Pu (n, f) experimental data for statistical analysis.

ICU62J	BBU56F	ICU61	IC.57	BB065C
CCPJAE 13 366	HARRAERE NP/R1996	ALDJJNE 14+85	HARJPPS A70+573	ALDBSAL SM60/14
RA0651	TF 560	BB067H	PN067J	LS 67E
CCPJAE 19+292	ANLSBAP 1 187	ALDJJNE 21.671	LASJPR 162 1070	DUBKYF 5 925
SS-57	TFB71K	TF(68	TF 69F	TF-70J
CCPJAE 2 A10	SACWBLOK S. 71K	HARREANI(UK)+96	CCPTRJAB OV /	CAOB70AN L 257
SS-57	TF(68	TF(68	BB065C	TF-70C
CCPJAE 2 B10	HARREANI(UK)+96	HARREANI(UK)+96	ALDBSAL 14 A	CADB70HE LSI 229
SS-57	TF(68	TF(68	BB065C	TFB70F
CCPJAE 2 C10	HARREANI(UK)+96	HARREANI(UK)+96	ALDBSAL 14 B	HARB70HE LSI 315
SS-57	IC 64	IC057E	BB065C	TF 70F
CCPJAE 2 D10	CCPJ00K 157 561	LASRLA-2 114+	ALDBSAL 14 C	SACC70HE LSI 513
SS-57	TF 631	TF 66C	BB065C	TF-71C
CCPJAE 2 E10	HARCEAN 33U 14	LASCNCS FF12	ALDBSAL 14 D	CAOB71KN OX5 6
GS 64D	TF 631	IC 58	BB065C	
HAR\$AERE /NP6 3	HARCEAN 33U 14	CCPBGEN2 16 136	ALDBSAL 14 E	
	TF.68	ACU66B	GS-65C	
	HARREAN UK 96	JADRINRG 88/1/PH	SACCSAL SM60/13	
BBU56F	PC-57F	HARJJNE 4 133	GS-65C	
HARRAERE NP-R1996	HARJJNE 4 133		SACCSAL SM60/13	

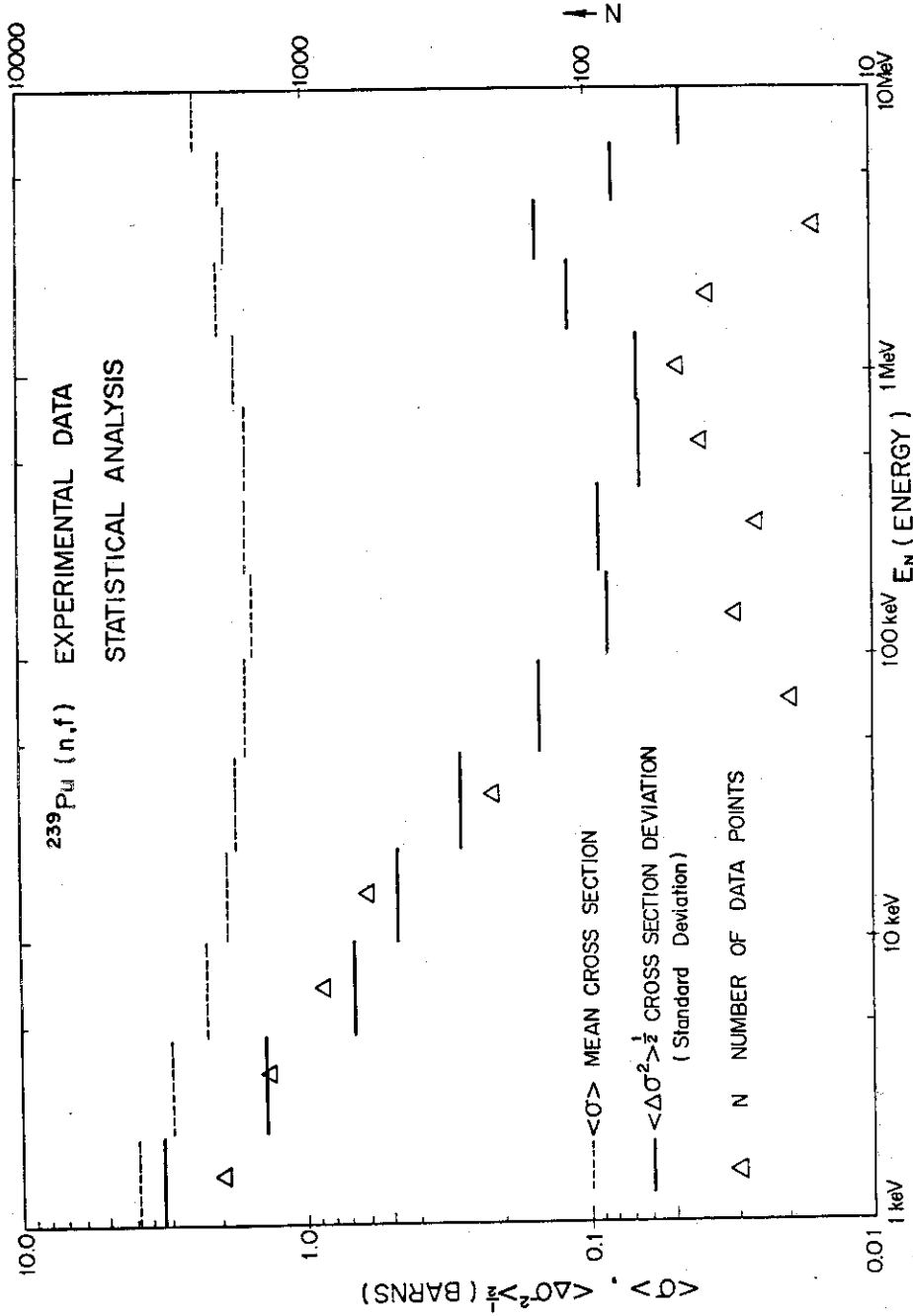


Fig. 4-13. The results of statistical analysis for $^{239}\text{Pu} (n, f)$ experimental data.

092238NG EXPERIMENTAL DATA FROM NESTOR

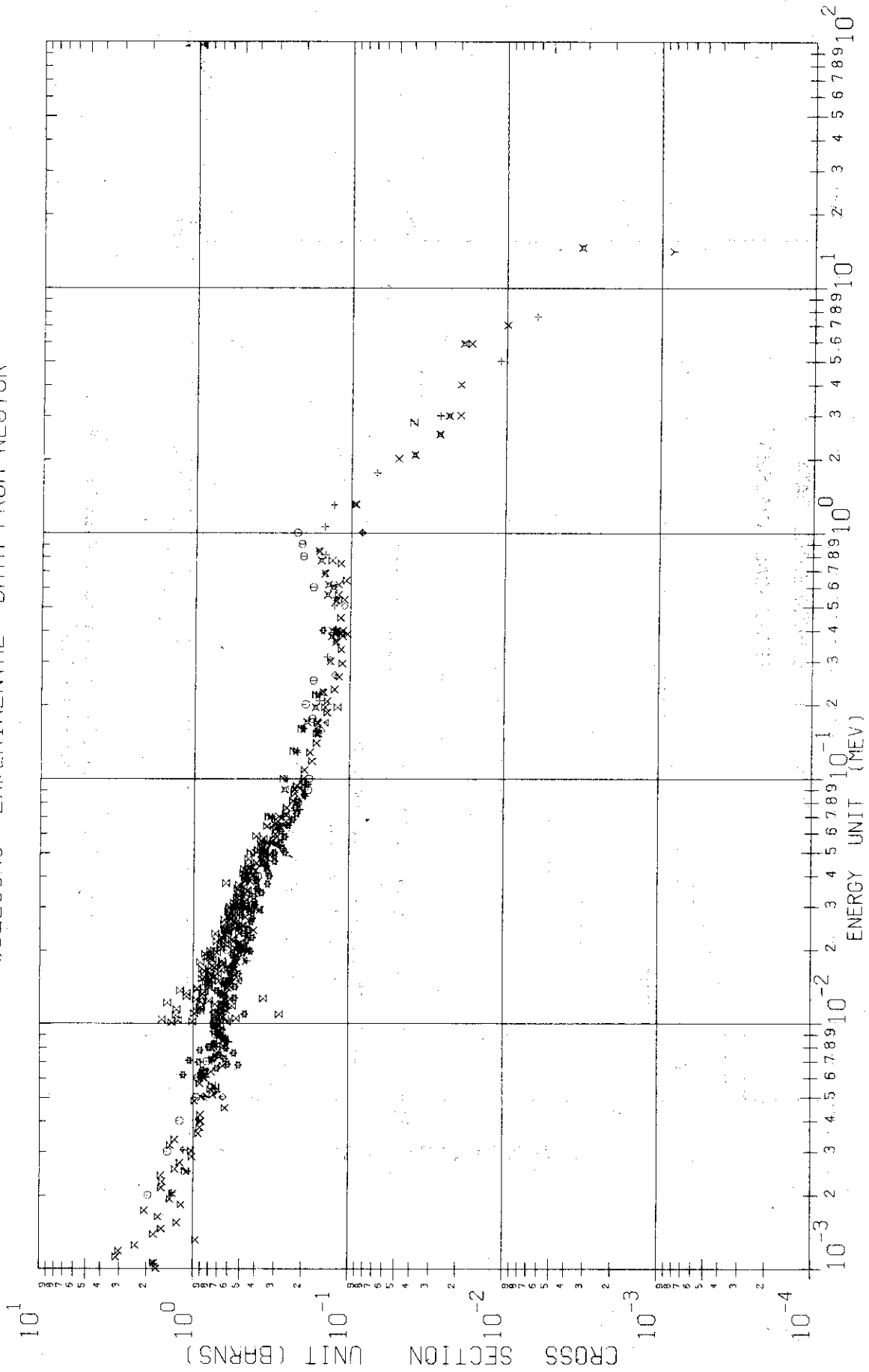


Fig. 4-14. $^{238}\text{U}(n, \gamma)$ experimental data for statistical analysis.

RA-63	STI63I	RA046A	LS060J
CCPJAE	ORLBEAN	LASRLA-4	LASJPR
15+414	33U 64	67.	120 556
RA-59A	ST063I	RA046A	LS060J
DKEJAP	ORLBEAN	LASRLA-4	LASJPR
10+455	33U 64	67.	120 556
RA-59A	4RA046A	RA-58G	ST060J
DKEJAP	LASRLA-4	KFKUNSE	LASJPR
10+455	67	33 24	120 556
RA-60	SS-65G	4RA046A	ST060J
DKEJAP	OBNJAE	LASRLA-4	LASJPR
10+455	19+3	67	120 556
RA-59A	RAQ65I	MR564C	STI61D
DKEJAP	CCPBGEN2	ORLWMAK	ORLJPR
10+455	15-50	LTN 64	122-182
RA-59A	RAH64I	MR 63	I68C
DKEJAP	ALDJUNE	HARWMOXO	MOLB68WA
10+455	18 481	N	SH/1263
RA-60	RA-59A	2MR 63	RAI68C
DKEJAP	HARJUNE8	HARWMOXO	MOLB68WA
10+455	197	N	SH2 1263
RA-60	RA046A	MRB71L	TF 70F
DKEJAP	LASRLA-4	HARWMOXO	GA C70HE
10+455	67	N	LS2 265
RA-59F	RA046A	RAI59F	
CAVRBR-5	LASRLA-4	ORLJPR	
74+	67.	114-1619	

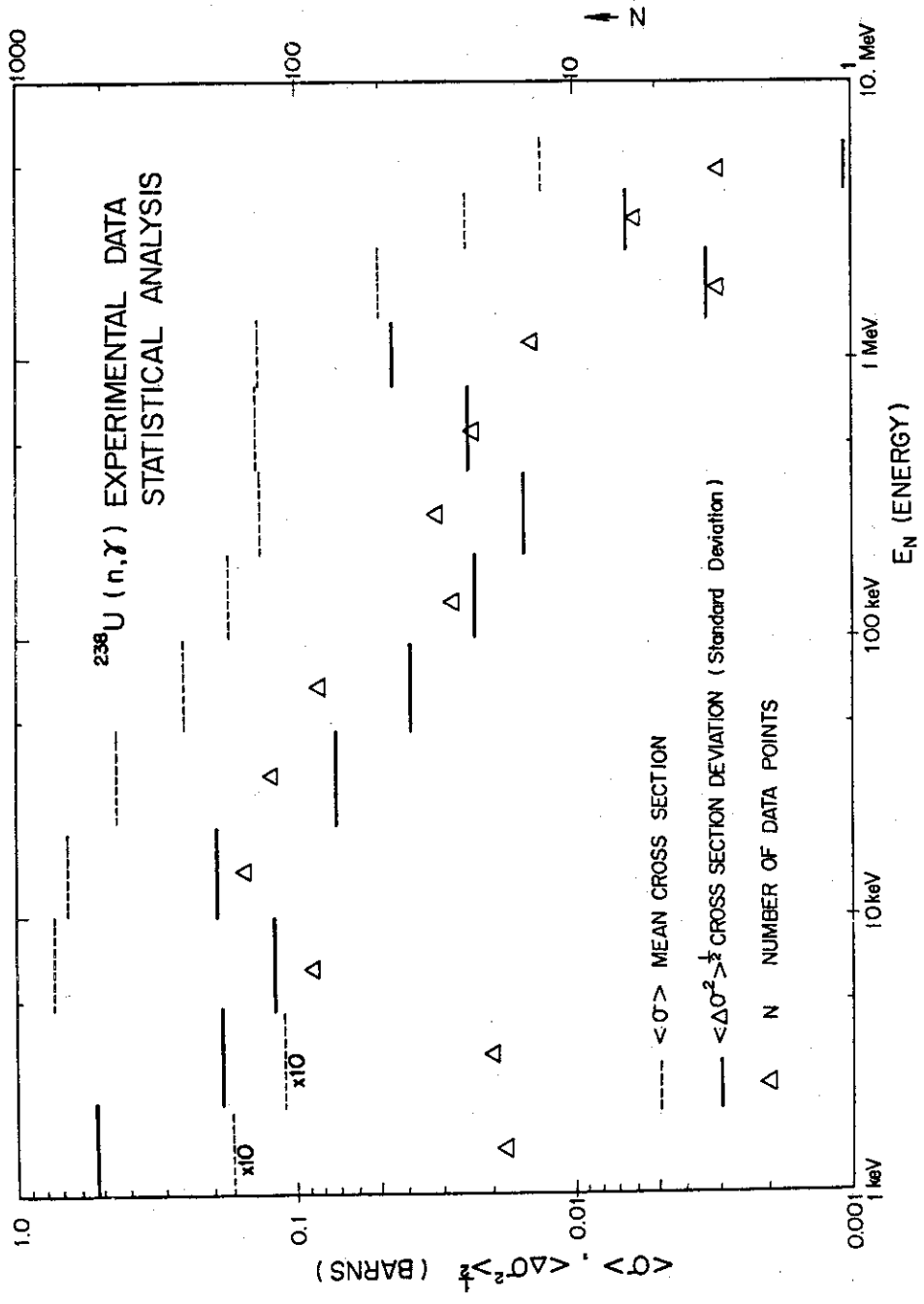


Fig. 4-15. The results of statistical analysis for $^{238}\text{U} (n, \gamma)$ experimental data.

5. 結果および議論

高速炉において重要となるエネルギー範囲(1KeV以上)における、炉心組成核種の ^{235}U (n, f), ^{239}Pu (n, f), ^{238}U (n, γ) の測定データについての統計解析から、各エネルギーグループ別の測定値のばらつきの推定を行い次のような結論を得た。

積分測定量により、断面積をフィッティングパラメータとして最小二乗法等により決定しようとするような扱いにおいて、上記反応についての断面積を動かす目安としての値は(誤差の標準偏差値)ほぼ次のようになった。

- ^{235}U (n, f) 50KeV以下 $\pm 10\% \sim 30\%$
50KeV \sim 1MeV $\pm 7\%$ 前後
100KeV \sim 200KeV $\pm 4\%$ 前後
- ^{239}Pu (n, f) 100KeV以下 $\pm 10\% \sim 30\%$
100KeV \sim 1MeV $\pm 5 \sim 4\%$ 前後
- ^{238}U (n, γ) 10KeV以下 $\pm 16 \sim 30\%$
10KeV \sim 1MeV $\pm 17 \sim 13\%$

又各測定データの分布はNormal Distribution にてかなりよく表わせることがわかった。即ち、平均値のまわりに上記の%値だけ断面積を動かしえる確率が68%あるということであり、上記の2倍の量以上動かしえる確率は4%位しかないということである。

上記の結論はデータポイントが少ない場合には統計解析上確定的ではない。又この解析は断面積がエネルギーに対してゆるやかに変化していく領域でのみ応用できるため、threshold reaction である ^{238}U (n, f) に対してこうした解析は応用されなかつた。この解析を通して次のような点にまだ問題が残されている。

1.) 実験データのnormalizationの問題

今回の統計解析では一応断面積データのnormalization を無視した。現実の実験データでは絶対測定を除いてかなりのデータがあるエネルギー点において規格化を行つている。従つてデータの不確かさに対する規格化の影響を考慮する必要があるわけであるが、今回の解析では規格化のエネルギーポイントがランダムにとられているという仮定の上になつて解析した。

2.) 測定データの誤差表示について(ウェイトのとり方)

今回の断面積の統計解析においては、各個々の断面積についている誤差表示(エラーバー)を無視して全てのデータについてのウェイトを1.0にして行った。これは、収容されているデータについてのエラー表示が、Statistical error きり与えていないdata, systematic error を与えているdata, 全くerror 表示のないdata 等様々なため、これをそのエラー表示のまま扱つるとstatistical error のみのもののウェイトが極めて高いものになってしまうというかたよりをさけるためでもあった。現実の測定では誤差はさけられないはずのものであるから、最終結果(測定値)に対する誤差表示はつけるべきものであると考える。その際余り意味のないstatistical error のみの表示では、使用者側は困るわけで、systematic error 等を含めた、最終段階でつかう誤差表示でのNEUDADA 登録を

希望する。こうした措置がとられた後では、ウエイトは、その data point に対する誤差表示 (error bar) によってとられるべきであろう。

3.) 統計解析における文献とデータポイントの関係

現在の解析では、各データポイント毎に別個のデータとして扱っているために、多数決原理に従うことになっている。そのため、TF (Time of Flight) data のように多数のデータ、ポイントが与えられているものに解析結果が引きずられてしまう傾向を持っている。こうした解析では、ある極めて正確な測定値が一点のみ与えられているような場合、その寄与 (解析結果に対する) は、ほとんどなくなってしまふという欠点を持つ。この場合、データのポイント毎のウエイトのしかたとは別に文献毎のウエイトのしかたが考えられる。例えば、あるエネルギー区間に入ってくるデータポイントのウエイトを文献毎に加えたものが等しくなるように、文献毎に等ウエイトとする考えもあるであろうし、更にその文献に対してもウエイトをつけてもよいであろう。以上のような点にまだ問題が残っていることをつけ加えておく。しかしながら、今回の解析で現状核データの持っているデータの不確実さがどの程度のものであるかということ、及びこのことから、最小二乗法等による断面積の Adjustment に対してどの程度の核データの変更が実験データの方から許されるのかということが定量的に出せたものとする。

謝辞

CCDN の核データ File NEUDADA からの request data の入手及び FACOM への data 変換、さらに検索プログラム RETDATA の使用等についてお願い致しました核データ研中川庸雄氏に感謝致します。又本稿をまとめるにあたりまして、御討論をお願いし有益なるコメントをいただきました石黒幸雄氏に感謝致します。

文献

- 1) S. Katsuragi, et al : JAERI-1195 (1970)
- 2) S. Katsuragi, et al : JAERI-1199 (1970)
- 3) S. Katsuragi, et al : JAERI-1199, supplement 2 (1971)
- 4) H. Kuroi, et al : AGLI, International Symposium on physics of Fast Reactors IAEA Tokyo (1973) Paper A 33
- 5) For example : G. de Saussure, et al : NSE 51 385 (1973)
H. H. Hummel : ANL-7851 (1971)
- 6) H. Mitani, et al : J Nucl Sci Tec Vol9 383
- 7) H. Takano, et al : AESJ topical meeting on Fast Reactor physics, paper A. 9 (1973)

希望する。こうした措置がとられた後では、ウエイトは、その data point に対する誤差表示 (error bar) によってとられるべきであろう。

3.) 統計解析における文献とデータポイントの関係

現在の解析では、各データポイント毎に別個のデータとして扱っているために、多数決原理に従うことになっている。そのため、TF (Time of Flight) data のように多数のデータ、ポイントが与えられているものに解析結果が引きずられてしまう傾向を持っている。こうした解析では、ある極めて正確な測定値が一点のみ与えられているような場合、その寄与 (解析結果に対する) は、ほとんどなくなってしまふという欠点を持つ。この場合、データのポイント毎のウエイトのしかたとは別に文献毎のウエイトのしかたが考えられる。例えば、あるエネルギー区間に入ってくるデータポイントのウエイトを文献毎に加えたものが等しくなるように、文献毎に等ウエイトとする考えもあるであろうし、更にその文献に対してもウエイトをつけてもよいであろう。以上のような点にまだ問題が残っていることをつけ加えておく。しかしながら、今回の解析で現状核データの持っているデータの不確かさがどの程度のものであるかということ、及びこのことから、最小二乗法等による断面積の Adjustment に対してどの程度の核データの変更が実験データの方から許されるのかということが定量的に出せたものとする。

謝辞

CCDN の核データ File NEUDADA からの request data の入手及び FACOM への data 変換、さらに検索プログラム RETDATA の使用等についてお願い致しました核データ研中川庸雄氏に感謝致します。又本稿をまとめるにあたりまして、御討論をお願いし有益なるコメントをいただきました石黒幸雄氏に感謝致します。

文献

- 1) S. Katsuragi, et al : JAERI-1195 (1970)
- 2) S. Katsuragi, et al : JAERI-1199 (1970)
- 3) S. Katsuragi, et al : JAERI-1199, supplement 2 (1971)
- 4) H. Kuroi, et al : AGLI, International Symposium on physics of Fast Reactors IAEA Tokyo (1973) Paper A 33
- 5) For example : G. de Saussure, et al : NSE 51 385 (1973)
H. H. Hummel : ANL-7851 (1971)
- 6) H. Mitani, et al : J Nucl Sci Tec Vol9 383
- 7) H. Takano, et al : AESJ topical meeting on Fast Reactor physics, paper A. 9 (1973)

希望する。こうした措置がとられた後では、ウエイトは、その data point に対する誤差表示 (error bar) によってとられるべきであろう。

3.) 統計解析における文献とデータポイントの関係

現在の解析では、各データポイント毎に別個のデータとして扱っているために、多数決原理に従うことになっている。そのため、TF (Time of Flight) data のように多数のデータ、ポイントが与えられているものに解析結果が引きずられてしまう傾向を持っている。こうした解析では、ある極めて正確な測定値が一点のみ与えられているような場合、その寄与 (解析結果に対する) は、ほとんどなくなってしまふという欠点を持つ。この場合、データ毎のポイント毎のウエイトのしかたとは別に文献毎のウエイトのしかたが考えられる。例えば、あるエネルギー区間に入ってくるデータポイントのウエイトを文献毎に加えたものが等しくなるように、文献毎に等ウエイトとする考えもあるであろうし、更にその文献に対してもウエイトをつけてもよいであろう。以上のような点にまだ問題が残っていることをつけ加えておく。しかしながら、今回の解析で現状核データの持っているデータの不確かさがどの程度のものであるかということ、及びこのことから、最小二乗法等による断面積の Adjustment に対してどの程度の核データの変更が実験データの方から許されるのかということが定量的に出せたものとする。

謝辞

CCDN の核データ File NEUDADA からの request data の入手及び FACOM への data 変換、さらに検索プログラム RETDATA の使用等についてお願い致しました核データ研中川庸雄氏に感謝致します。又本稿をまとめるにあたりまして、御討論をお願いし有益なるコメントをいただきました石黒幸雄氏に感謝致します。

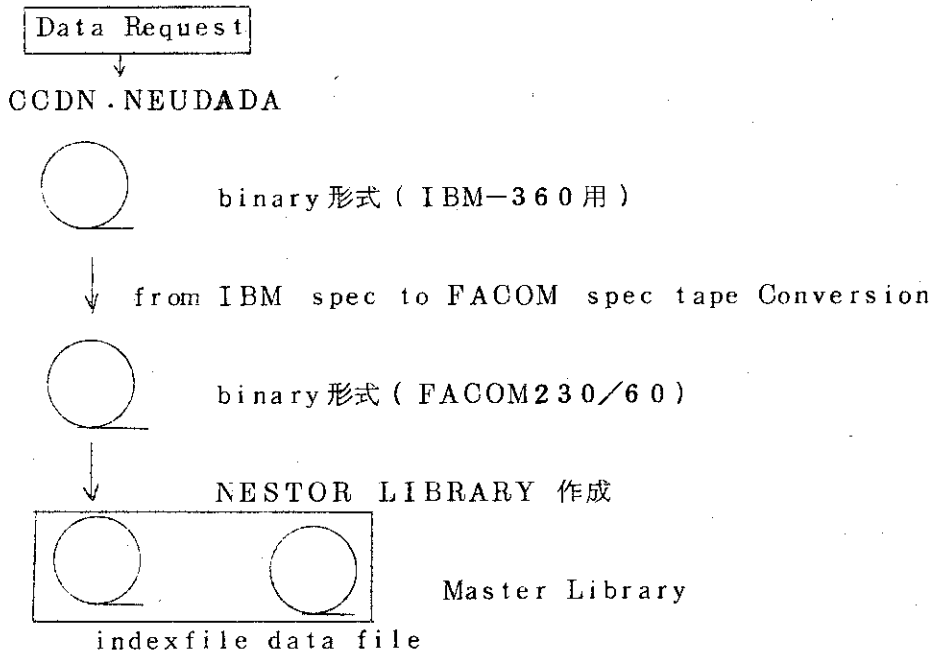
文献

- 1) S. Katsuragi, et al : JAERI-1195 (1970)
- 2) S. Katsuragi, et al : JAERI-1199 (1970)
- 3) S. Katsuragi, et al : JAERI-1199, supplement 2 (1971)
- 4) H. Kuroi, et al : AGLI, International Symposium on physics of Fast Reactors IAEA Tokyo (1973) Paper A 33
- 5) For example : G. de Saussure, et al : NSE 51 385 (1973)
H. H. Hummel : ANL-7851 (1971)
- 6) H. Mitani, et al : J Nucl Sci Tec Vol9 383
- 7) H. Takano, et al : AESJ topical meeting on Fast Reactor physics, paper A. 9 (1973)

- 8) CCDN : NEUDADA system description, CCDN/SYS-2 (1969)
- 9) T. Nakagawa : Private Communication
- 10) T. Nakagawa : Private Communication
- 11) J. L. Rowlands, et al : FGL-5, International Symposium on Physics of
Fast Reactors IAEA Tokyo (1973) Paper A 30
- 12) 例えは ◦ 神田幸則 : 昭和48年度炉物理炉工学分科会C24 (1973)
◦ ENDF/B-IV: Evaluated Nuclear Data File-B Version IV

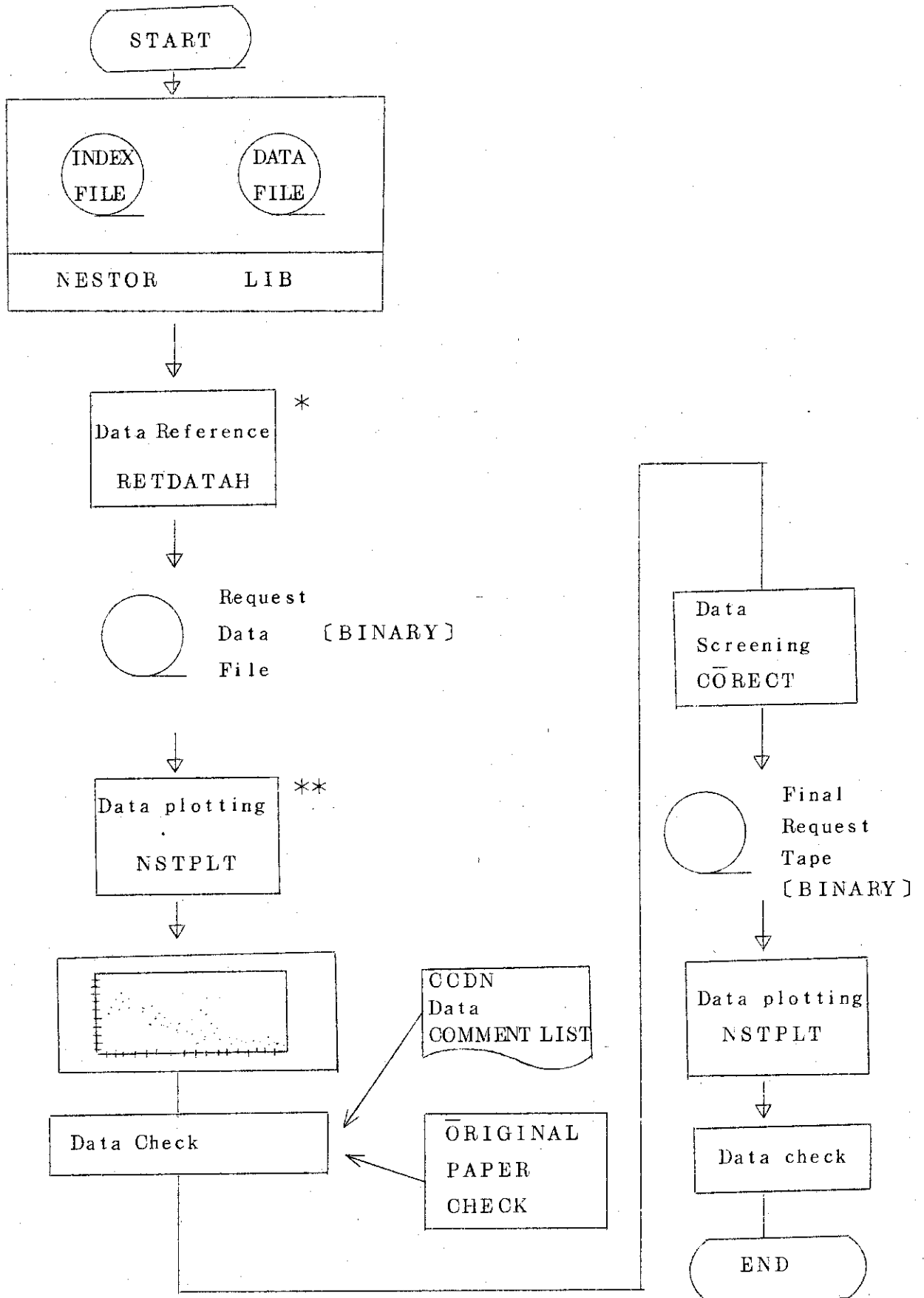
Appendix -1. 実際の統計解析作業手続について

A 1.1 ライブラリー入手及びそのTape 変換作業*



* この作業は、全て原研核データ研にて行なわれた。

A.1.2 データスクリーニング作業 (RETDATAH, NSTPLT, CORECTコードについて)



データスクリーニング作業

NESTOR LIBRARY から Data 検索コード RETDATAH にて必要核データを核種、反応毎に Binary 形式で tape か disk に書き出す。その data について NSTPLT にて plotting を行う。その際エネルギー範囲を分けて数枚の chart に出す。この図と CCDN からの Data Comment list 及び original paper とのつきあわせから data error 等を見つける。data error 等のため処置する必要があるデータについては次に Data Screening 用コード CORECT にて適当な修正措置をとった後、Final Request Tape の内容を確認する意味から再度 NSTPLT にかけて Plot して修正状況を Check して終了となる。

RETDATAH

NESTOR File の data 検索ルーチンである核データ研中川庸雄氏作成になる。RETDATA¹⁰⁾を改造して我々の目的に合った形式で検索 Data をとり出せるようにしたコードである。RETDATA の本来の目的は、NESTOR tape 内のデータの検索及び選定であり、分類項目は、核種（原子番号、質量数）、反応、エネルギー範囲、機関名、文献、測定年月、であり、以上を組み合わせることにより、希望するもののみとり出せる形式になっている。中川氏作成のオリジナルコードはエネルギー範囲の選定のコントロールが充分でないためその部分変更した。又必要な data のみ binary 形式で out put するように BPACK (IQQ) サブルーチンを作成して組みこんだ。

追加された、logical unit F20 の data の書き出し形式について、

```
WRITE(20) NINDEX
```

```
D0 10 I=1, NINDEX
```

```
WRITE(20) ISQ, LJ, (REC(J), J=1,49)
```

```
D0 20 J=1,7
```

```
WRITE(20) (EXPD(J, L), L=1, LJ)
```

```
20 CONTINUE
```

```
10 CONTINUE
```

各文献についての pair

という形で書き出されている。

NINDEX: 出力される文献数

ISQ : これ以後出力される文献の sequential number で、NESTOR INDEX の sequence number と対応している。

LJ : 出力される data point 数

現在のところ、1文献について5000 pointsまで許されている。これを越える data については使用不能となる。

REC(1~49): REC(1)~REC(42) は A1 でコメント(データの ID, 文献 ID 等)
REC(43)~REC(49) は Floating point data より詳しくは以下参照。

REC の内容

- 1 ~ 3 Atomic Number
 4 ~ 6 Mass Number
 7 ~ 9 Reaction
 10 ~ 12 測定法
 13
 14 ~ 16 測定機関名
 17 ~ 28 文献名
 29 ~ 31 年月日
 32 ~ 42 データについてのコメント
 43 ~ 49 は現在のところ不要。

EXPD(J, L)

- J = 1 NE エネルギー (単位 MeV)
 = 2 NEE エネルギー分解能
 = 3 SE 二次粒子エネルギー
 = 4 COSINE μ
 = 5 COSINE μ 分解能
 = 6 断面積
 = 7 断面積誤差

入力形式

(RETDATA と全く同じ)

1 (6 I 5)

IDSLT, IDGRT, MAXTAP, MAXLIS, MAXCAR, NTMAX

- IDSLT: サーチする範囲の設定で, サーチする必要がある SEQUENTIAL の MINIMUM Number 0 を assign すると全ての sequence について探す。
- IDGRT: サーチする範囲の設定で, サーチする必要がある SEQUENTIAL の MAXIMUM Number 0 を assign すると, IDSLT で設定された値から以降を探す。
- MAXTAP: Tape 1 巻にかける RECORD 数 ≤ 35000 (通常 35000)
- MAXLIS: list up する RECORD 数 0 を assign すると内で大きな数に set される。
- MAXCAR: Card out put の RECORD 数 0 を assign すると内で大きな数に set される。
- NTMAX: Maximum Tape unit number
 0 \rightarrow 0 本
 1 \rightarrow 1 本 FO1
 2 \rightarrow 2 本 FO1, FO2
 n \rightarrow n 本 FO1, ..., Fon の Out put 用 tape が必要。

```

#2  FORMAT(80A1, T10, 2E7.2, 22X, 2I5)
      (REQREC(I), I=1, 80), REQIN, REQEX, REQIN, REQQAX
col  1~3  :  ATOMIC NUMBER A3  ex. 092, 001 .
      4~6  :  MASS NUMBER A3   ex. 012, 235 .
      7~9  :  REACTION A3     ex. FN, NG .
      10~16:  MINIMUM ENERGY E7.2
      17~23:  MAXIMUM ENERGY E7.2 .
      24~26:  LABORATORY A3 .
      27~38:  REFERENCE
      39~41:  DATE MIN A3
              最初の2 Fieldsは1973等年号の下2桁, 最後の1 Field は月を表
              わし, 1~12月までA~Lでそれぞれ表わす。
      42~44:  DATE MAX A3
      46~50:  blank
      51~55:  blank
      56    :  Tape (F01 ..... ) への出力の option
              0 → EXPANDED INTERNAL FMT
              1 → TRANSMISSION FMT
              2 → CALCULATION FMT
      57    :  LIST 出力
              = 1 ⇔ ON
              =  blank ⇔ OFF
      58    :  CARD 出力
              = 1   ON
              =  blank OFF

```

#2 CARDS を必要なだけ用意する。但し必ず100枚以下にすること。
 (以上の input について詳しくは、核データ研中川氏に問い合わせして下さい。)

```

JOBCON及び使用FILE について
$EXEC.D RETDATAH
$TAPE F11, J2608.NDTAPE, OLD, VOL
$TAPE F12, J2608, NDTAPE, OLD, VOL
$DISK F13, , 50
$DISK F01, , 500
$DISKTN F20, J2585.DATAF
$DATA
$JEND

```

F11: NESTOR Index File

F12: NESTOR packed Data File

以上のF11, F12のFileは, かなりひんばんに核データ研にてRetrieve されているため, 使用に先だって核データ研中川氏まで問い合わせしてから使用すること。

F13: Scratch File でよい。

F01: BCD typeのリクエストしたdataの出力unitで, 我々は使用しない(F20を代わりにつかう)ためScratch Disk でよいがTRACKS数の確保は忘れずにすること。

F20: Binary typeのrequest recordのout put unit で必ずkeep指定のものを使うこと。

NSTPLT

RETDATAH を使用して検索した断面積データのグラフ表示プログラム。

入力仕様及びJOBCON

1. XTITLE (10A4) ; X軸タイトル

2. YTITLE (10A4) ; Y軸タイトル

3. TITLE (10A4) ; グラフ・タイトル

4. IOPT, IREF (216)

IOPT = 0 → NOOPTION

= 1 → YEAR OPTION (年代別に色をかえる。)

= 2 → INSTRUMENTAL OPTION (測定器別に色をかえる。)

[通常 = 0]

IREF = 0 → 標準仕様 (全てplotはpoint単位で行い, line plotはない。)

= 1 → 最後のデータのみについては直線で結ばれる。

(CROSSAGのout put tapeをplotする場合このoptionを使うべきで, その他のときは0をassignする。)

5. NNN (I3)

X軸方向に展開する各chartの区間の数。そのdataについて何枚のgraphをかかかということ。

6. (A(I), B(I), I=1, NNN) (6E12.5)

各i-th chartのグラフに展開するX軸方向の区間。この範囲に入るdataをCODEが探して展開する。dataが与えられていない領域を指示してもよいが, この場合, 出力のgraphはskipする。

JOBCON及びFileの使用

\$EXEC.D NSTPLT

\$TAPE F20, J9876.NSTORX, OLD, 000999

\$PLOT

\$DATA

F20 番は, RETDATAH の out put tape or CRÖSSAG の out put tape /

CÖRECT

Data screening 用の routine である。NESTÖR data は file に入っている data を plot してみると明らかに miss となっている data がある。たとえば, NFE とし て登録されていなければならない data が NF として入っていたり, エネルギー単位が MeV でなく eV で入っていたり, 一桁ずれた値が入っていたりする。これらの修正のための routine が CÖRECT である。

入力形式

#1 JMAX (I5)

修正の必要のある data Reference 数。

#2 DÖ I=1, JMAX

ICSEQ(I), IDCÖR(I) (2I5)

ICSEQ(I); 修正の必要のあるデータ・リファレンスの sequential number.

必ず NESTÖR INDEX によって得られる list からの値を用いること。

IDCÖR(I); ICSEQ(I) で識別されるデータについての修正 option

=1: 原データ(断面積)を MeV 単位のエネルギー値で割る。

=2: 原データ(断面積)を eV 単位のエネルギー値で割る。

=3: 原データを全て 10.0 で割る。

=4: エネルギー値を $1.0E+10$ 倍する。解析対象データ群から外す。

=5: 断面積が $1.0E-8$ 以下の値をもつもの及び, 負の値をもつものを 0. とセットする。

JÖBCÖN 及び File 使用

\$EXEC.D CÖRECT

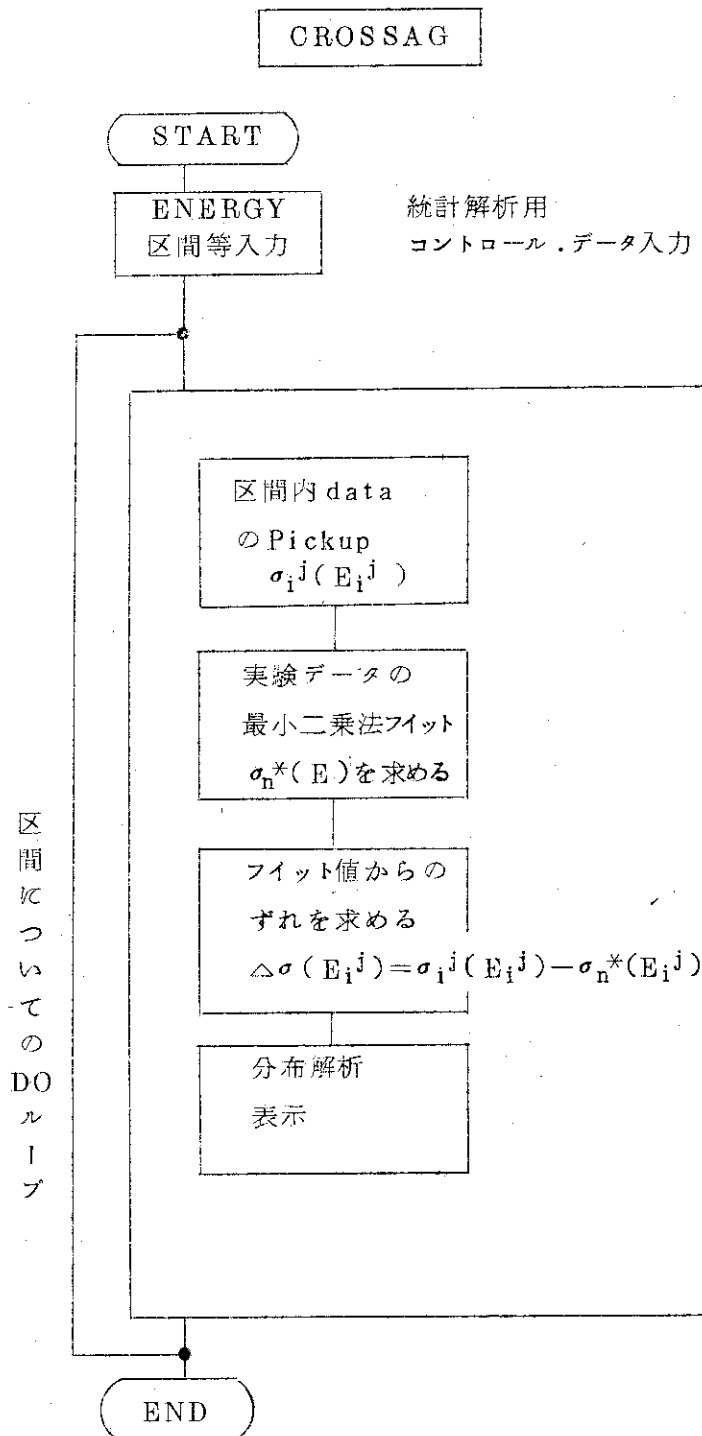
\$TAPE F20, J9876.XXXX, ÖLD, ÖÖÖYYY {Original tape.修正する tape.}

\$TAPE F22, J9876.ZZZZ, NEW, ÖÖÖXYY {新しく修正した tape.}

\$DATA

A. 2 . 統計解析プログラムについて
(CCROSSAGコードについて)

ブロックダイアグラム



コードの概要

$\sigma_i^j (Z, A, \text{Reac}, \text{Ref}_j, E_i^j)$ で測定データを表示する。

但し, Z……Atomic number, A……Mass number, Reac……Reaction

Ref_j → Lab_j, Date_j が決定;

(Ref : Reference Date : Date
 Lab : Laboratory

以下, Z, A, Reac の suffix については落とす。

Z, A, Reac については固定されていると考えてよい。

$\sigma_i^j (\text{Ref}_j, E_i^j)$: 文献 j の Energy i における Z, A, Reac で指定される cross section. (測定値)

次に, エネルギー区間 $\bar{E}_N < E \leq \bar{E}_{N+1}$, におちる測定データ $\sigma_i^j (\text{Ref}_j, E_i^j)$ について, energy については linear or log で n 次の多項式でフィットする。

$\sigma_N^*(E)$ …… fitting した断面積 ($\bar{E}_N < E < \bar{E}_{N+1}$)

N…… energy 区間 N (suffix)

$$\sigma_N^*(E) = \begin{cases} \sum_{n=0}^{\text{NMAX}} a_n (l_n E)^n \\ \sum a_n E^n \end{cases}$$

a_N の決定に際しては

$$\chi^2 \equiv \sum \left(\frac{\Delta \sigma_i^j}{s_i} \right)^2 = \sum \frac{1}{s_i^2} (\sigma_i^j (E_i^j) - \sigma_N^* (E_i^j))^2$$

但し, s_i 各 data point の standard deviation. (error bar)

$$\left(\frac{\partial \chi^2}{\partial a_n} = 0 \quad n = 0, 1, \dots, \text{NMAX} \right)$$

の最小二乗法を使用。

以上の操作を N エネルギー区間について終了後, 任意のエネルギー区間についての統計解析を行う。

$$E_n < E < E_{n+1}$$

$$\Delta \sigma_i^j (E_i^j) = \sigma_i^j (E_i^j) - \sigma_N^* (E_i^j)$$

・ 度数分布

・ 標準偏差値 $\Delta \sigma \equiv \langle (\Delta \sigma)^2 \rangle^{\frac{1}{2}}$ 等の計算を上記 $\Delta \sigma_i^j$ について行う。

CROSSAG (input data form)

#0 (616)

ICHECK, ICHEC1, ICHEC2, IPLT

◦ ICHECK:

=0 : Check printは skip

=1 : 1~ICHECK1までの data についての check print が出力

≒0, 1: 1~全データ点にわたる check print が出力される。

計算中のチェック・プリントの出力オプションであり、各入力データについての変換等の check 用プリントであり、通常は0にて行う。

◦ ICHEC1: Check print の打ち切り数

全データの check print を出すと、コード上では10000点まで許されているため、かなり多大な量になり、その難をさけるために、入力データの頭から、ICHEC1までの入力データポイントについての check print を出す場合。必ず ICHECK=1 と共に用いること。

◦ ICHEC2 → 現在 DUMMY

◦ IPLT

=0 Plot は skip

=1 Plot は on

Plot on の場合次のグラフが出力される。

- 各指定エネルギー区間内のデータ及び、それに対する least square fitted cross section の curve.
- 上記内のデータについてバイアスを差し引いた断面積及び統計解析により求めた標準偏差値の graph.

#1 (1216)

IBOPT, MODE, NPOLY, MAXB

◦ IBOPT

=0 : #2のCARD に従ったデータの選別を行い、その範囲内のデータについて最小二乗フィッティング(次数, linear or log については後で定義)を行い、そのデータについて統計解析を行う。#11のCARD の入力は不要, 又MAXB の入力も不用

≒0 : #11 CARD によるデータの選定を行い、その範囲のデータについて最小二乗フィッティングを行う。あくまでも、バイアスをとり除くための最小二

乗フィッティングのみであり、統計解析のためのコントロールは#2で指定する。

- $\overline{\text{MODE}}$ 現在のところ0のみ許されている。(0と中で再setされている。)将来 weight (データの)指定が入る。
- $\overline{\text{NPOLY}}$ フィッティングの polynomial の次数 ≤ 9
- $\overline{\text{MAXB}}$ フィッティングの範囲の指定。区切りを入力。これを入力するには、必ず2以上30以下。従って区間は1~29まで許される。

#11 (6E125)

(EB(I), I=1, MAXB)

$\overline{\text{IBOPT}}=0$ のときのみ必要。フィッティングを行う範囲の指定。必ず linear の値を入れること。

EB(I); i-1番目の区切り { EB(1) が最小 EB(MAXB) が最大となるように
入力する。 }

#2 (E125, I12, 3E125, I3)

STARTP, $\overline{\text{ILOG}}$, STEP, WIDTH, $\overline{\text{STOPP}}$, IDIV

◦ STARTP: 統計解析を始める energy point. linear の値を入力すること。

◦ $\overline{\text{ILOG}}$

=1: 以下入力する STEP, WIDTH は $\log_{10} X$ 変換した値を入力のこと。

(例. STEP が10, WIDTH=10 のときは1, 1を入力)

(但, $\overline{\text{STOPP}}$ は linear 値を入力)

=0: STEP, WIDTH, $\overline{\text{STOPP}}$ は linear 値を入力すること。

以上のように、0, 1のいずれかの場合には移動平均法が統計解析にあたってとられる。

即ち、統計解析の区間は $\overline{\text{ILOG}}=1$: i-th 統計解析区間 E_i は

$$\text{STARTP} + \text{EXP}10(\text{STEP} * (i-1)) \equiv X_1$$

$$X_1 + \text{EXP}10(\text{WIDTH}) \equiv X_2$$

$$X_1 \leq E_i \leq X_2$$

$\overline{\text{ILOG}}=0$:

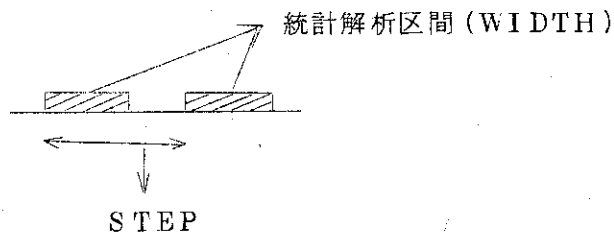
$$\text{STARTP} + \text{STEP} * (i-1) \equiv X_1$$

$$X_1 + \text{WIDTH} \equiv X_2$$

$$X_1 \leq E_i \leq X_2.$$

=3 統計解析する区間は input により決定される。#21, #22 CARDSが必要。

- STEP : 移動平均をとっていく幅。



- WIDTH : 統計解析を行う区間幅。

STARTP 及び STEP によって決まる点から始って, WIDTH だけの区間についての統計解析を行う。

- STOPP : 統計解析を行う終了点の指定。(linear 値を入力のこと。)

- IDIV : ヒストグラム表示の区間数

現在では, DUMMY :

2 1 (1 2 1 6)

IEN

- IEN : 統計解析するエネルギー区分の数 + 1 (1 区間なら 2 , 1 0 区間なら 1 1)

2 2 (6 E 1 2 5)

(EN (K) , K = 1 , IEN)

- EN (K) 統計解析のためのエネルギー boundary の入力。必ず低いエネルギー方向から高いエネルギー方向へ入力。

JOBCON 及び File 使用について

\$EXEC.D CROSSAG

\$PLOT

\$TAPE F20, { RETDATAH, CORECT を通して作成された FINAL REQUEST TAPE }

\$DISK F22, , 500 → { この out put を NSTPLT にて plot すると, least square fit された cross section も plot される。

\$DATA

\$JEND

- ◎ Core 128K wards
- ◎ Time ≃ 5 分
- ◎ Page ≃ 100 page.