

## 核反応模型パラメータ推定法に於ける実験値共分散 の効果

河野, 俊彦  
九州大学大学院総合理工学研究科エネルギー変換工学専攻

木原, 満  
九州大学大学院総合理工学研究科エネルギー変換工学専攻

植之原, 雄二  
九州大学大学院総合理工学研究科エネルギー変換工学専攻 : 東芝

神田, 幸則  
九州大学大学院総合理工学研究科エネルギー変換工学専攻

<https://doi.org/10.15017/17179>

---

出版情報 : 九州大学大学院総合理工学報告. 12 (1), pp.39-453, 1990-06-01. 九州大学大学院総合理工学研究科  
バージョン :  
権利関係 :

## 核反応モデルパラメータ推定法に於ける実験値共分散の効果

河野俊彦\*\*・木原満\*\*\*

植之原雄二\*\*\*\*・神田幸則\*

(平成2年2月28日 受理)

### Effect of covariances of experimental data on reaction model parameters estimation

Toshihiko KAWANO\*\*, Mitsuru KIHARA\*\*\*  
Yuji UENOHARA\*\*\*\* and Yukinori KANDA\*

Evaluation of nuclear reaction cross sections needs model parameters when it is performed by means of model calculations. As concerns the calculation of optical model and Hauser-Feshbach model, they call for optical model parameters and level density parameters. Bayesian method is applied to determine model parameters that yield the consistent cross sections with experimental data.

The experimental data that are usable in this estimation, are neutron induced reactions {total, (n, p), (n,  $\alpha$ ), and (n, 2n)}. Here, some of data are presented with incomplete error information, and no correlation are found in them. Estimation of model parameters must be done with both reasonable error and covariance of experimental data. Therefore it is necessary to re-evaluate the experimental errors and make covariance matrices.

The model parameters are estimated by both the original experimental errors and the re-evaluated errors.

#### 1. 緒 言

原子炉、核融合炉の核設計等の原子核物理学の応用技術に供せられる中性子反応断面積データは、核種、反応、中性子エネルギー毎に構築され一つのファイルとなって一般に利用されている。これは評価済み核データライブラリーと呼ばれ、代表的なものに、JENDL, ENDF, JEF 等がある。これらのライブラリーを作成するための中性子反応断面積の評価は、多くの測定者による実験値が、広範囲のエネルギー領域にわたり存在する様な反応については、これに基づいて行なわれるが、中性子源、測定技術上の問題で測定困難な場合があるので、その様な場合は、核反応モデル計算の支援を得て行なわれるのが一般的である。

核データ評価を行なう為には、評価の根拠となる実

験データがどの程度信頼できるものかを表わす基準が必要である。これは実験データの重みを表わし、通常実験者により報告されている分散の逆数 ( $\sigma^{-2}$ ) を用いる。しかし、誤差の絶対値を確実に評価するのは不可能であり、又、全ての実験者が統一的な基準を持ってその実験値に誤差を与える事も困難である。一般に報告論文中に誤差の情報を詳細に記述しているものは少なく、又、記載された誤差も過小評価されているものが少なくない。その様なデータを全て平等に取り扱い、断面積を評価するのは、特定のデータに過大な重みを与え、危険である。更に、測定された断面積には種々の系統誤差を含んでいる為、他の実験と相関が付く場合がある。これらの系統誤差や相関は、実験者が報告論文中に記載しなければ、後に評価者が与えるのは困難であるが、実験方法、実験年代、研究所、引用値等を調査する事である程度類推できる。核反応断面積実験データベース; EXFOR (EXchange FORmat) は、実験上の諸条件を詳細に記述しており、第三者が種々の実験データの誤差を一定の基準で統一的に再評価す

\*エネルギー変換工学専攻

\*\*同上博士課程

\*\*\*同上修士課程

\*\*\*\*同上(現在 東芝)

るのに好都合である。このファイルから各々の実験データに対して誤差に関する実験条件の項目を検索し、仮にそれらの情報が欠落していれば、断面積測定に於ける常識を用いて推論し、誤差と共分散を推定する事ができる<sup>1)</sup>。この様にして得られた誤差と共分散は、全実験データに対して統一基準を適用しているの、核データ評価に直接使用することが可能である。

核融合炉設計に必要なとなるのは、主に構造材の構成元素である中重核の MeV 領域での核反応断面積である。この場合、評価に用いる核反応断面積として、前平衡過程を考慮した Hauser-Feshbach 統計模型を用いることができる。この模型を用いて断面積を計算するには、予め光学模型計算によって得られる透過係数と、単位密度パラメータ、前平衡パラメータが必要である。又、光学模型計算の為には、光学模型パラメータが必要となる。これらのパラメータの最適な値が見つければ、現在入手可能な断面積測定値を良く再現し、更に、実験値のないエネルギー領域、反応、について外挿が可能となるであろう。従って、ここでの核データ評価とは、最適なパラメータを求める事と同義である。

単位密度パラメータは、各々の原子核に固有の値であり、従って、異なる反応でもその残留核に同じ核を共有する場合はあれば一例えば、 $^{58}\text{Ni}(n, \alpha)^{56}\text{Fe}$ 、 $^{56}\text{Fe}(n, 2n)^{56}\text{Fe}$  等—それら全ての反応に対して矛盾の無い値が必要である。又、光学模型パラメータは質量数、原子番号に対する違いの外は、広域的な値を用いるので広範囲にわたって利用可能な値が必要となる。Bayes 推定法<sup>2)</sup>は、この様な相互に関連のある多数の未知数を同時に推定する場合に有効である。本研究は、 $^{58}\text{Ni}$ 、 $^{60}\text{Ni}$  及び  $^{59}\text{Co}$  の放射化断面積を例として、Bayes 推定法により核反応模型パラメータを実験データから推定する場合に、実験値の誤差及び共分散がどのような効果を有するかを検討することを目的としている。この為に2種類の実験誤差を使用する。第一は、測定者が与えた誤差をそのまま使用する場合であり、第二は、上述の視点から統一的に算出した実験誤差・共分散を使用する場合である。

## 2. 実験誤差・共分散の算出

実験誤差と共分散の算出は、EXFOR を基にし、独自に開発したエキスパートシステム<sup>1)</sup>を使用して行う。対象とするのは、放射化法による断面積測定の実験のみである。

放射化法での断面積測定誤差に寄与するのは、計数率、中性子束、標的核の原子数、分岐比、 $\gamma$ 線検出効率、崩壊定数、照射時間、冷却時間、測定時間である。このうち、原子数と、照射、冷却、測定時間の誤差は他のものに比べて小さいと考え、ここでは考慮しない。以下に誤差の各項目の取り扱いについて述べる。

### 2. 1. 検出効率

検出器の効率の誤差は、用いた検出器と測定年代によってある程度決定できる。放射化法の測定では主に  $\gamma$ 線を測定しているが、古い実験データには、 $\beta$ 線を検出しているものがある。 $\beta$ 線測定実験は、精度が悪く信頼性が低いのでここでは省いている。

一般に  $\gamma$ 線検出器には Ge (Li) と NaI (Tl) が使われる。Ge (Li) 検出器が実用化され一般的に広く使われるようになったのは1970年以降であり、それ以前の測定ではほとんどが NaI (Tl) を用いている。この傾向により、実験報告の論文中に検出器の記述がないものは、測定年代によって用いた検出器を推定する。検出効率の誤差は、検出器と測定年代より推定する。又、複数のエネルギー点のある測定では、その各々の測定値に完全に相関があると考えられる。

### 2. 2. 中性子束

中性子束の誤差は、加速器によるものと、標準断面積の誤差が考えられる。

#### (1) 加速器

加速器は Cockcroft 型か Van de Graaff 型が主に用いられる。加速器による発生中性子強度の変動は、加速器によってある程度見積ることができ、且つ、測定年代によって改善がみられると仮定する。

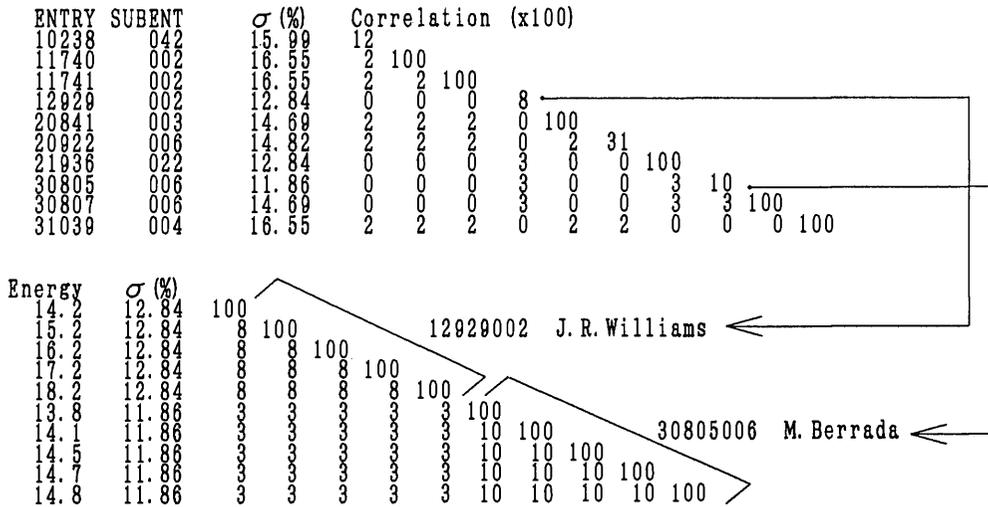
論文中に加速器の記述がない場合には、測定のエネルギー領域とデータ点数から用いた加速器を推定する。さらに、研究所によって保有している加速器は明らかなので、加速器を限定する事ができる。中性子束の誤差が記載されて無ければ、加速器と測定年代により推定する。

#### (2) 標準断面積

標準断面積に関しては、測定年代、反応による明白な系統的な使い分けを見いだす事はできないが、ある程度の傾向がみられるので、測定年代、反応、測定のエネルギー領域、データ数を根拠に標準断面積を特定し、誤差を与える。

### 2. 3. 分岐比

分岐比は、Table of Isotopes<sup>3)</sup> から参照している測



**Fig. 1** Auto and Cross Correlations of  $^{59}\text{Co}(n, p)$  Cross Sections. The first column is ENTRY number and the second is SUBENT number of EXFOR file. The third column is standard deviations with correlation matrix estimated by the EXPERT SYSTEM.

定が多く、Table of Isotopes が1978年に第6版から第7版に改訂されているので、1978年付近を境に、参照された分岐比が2群に分かれている。これより、1978年以前と以降の測定の間には、分岐比の誤差についての相関はなく、その前後の測定グループ内部で完全に相関があると考える。誤差の値は、過去30年間の測定で用いられた分岐比の値を調査し、その値のばらつきから推定する。

2.4. 半減期

短寿命の残留核の放射能を測定する場合には、半減期の誤差は重要である。

半減期が一日以内の場合、半減期の誤差が断面積の誤差へ影響すると考え、それ以上の場合は、無視できるとする。半減期の誤差は実験者によって与えられた値を調査し、そのばらつきから推定する。

2.5. 統計誤差

測定する放射能のカウント数の誤差は推定が困難であり、年代による傾向も見られない。この事により統計誤差については、DEFAULT 値として全データに一律10%を与える。

2.6. 共分散

一つの反応断面積の測定報告に複数のエネルギー点がある場合は、その測定値間に相関が付く。ここで相

関が付く原因となる誤差の項目は、検出効率、分岐比、半減期である。検出効率の誤差と相関係数はエネルギーの依存性を考慮していないので、エネルギー点間の相関は均一化されている。又、分岐比は、異なる実験者が同じ値を参照しており、異なった報告間の相関を生む。作成した共分散行列を Fig. 1 に示す。

3. 計算方法

3.1. 核反応模型

本報告で反応断面積の計算に使用する核反応模型は、前平衡過程で補正された Hauser-Feshbach 統計模型であり、Young と Arthur によって作成された計算コード GNASH<sup>9)</sup> を用いる。これは、複合核の形成、一次粒子の放出と残留核の形成、更に高次粒子の放出と反応を連鎖的に取扱い、多段階粒子放出の計算を行うものである。

残留核のエネルギー準位密度は、低励起エネルギーを定温度領域とし、準位が密集してくる高い励起状態では、連続領域としてフェルミ・ガス模型を採用する、Gilbert-Cameron<sup>5)</sup> の式を用いる。この準位密度の式を以下に示す。ここで、E: 励起エネルギー、J: 角運動量、II: パリティ、である。

高励起エネルギー

$$\rho(E; J\Pi) = \frac{\sqrt{\pi}}{24} \cdot \frac{\exp\{2(aU)^{1/2}\}}{a^{1/4} U^{5/4} (2\pi)^{1/2} \sigma} \cdot \frac{(2J+1) \exp\{-(J+1/2)^2/2\sigma^2\}}{2\sigma^2} \quad (1)$$

低励起エネルギー

$$\rho(E; J\Pi) = \frac{1}{2T} \exp\{(E-E_0)/T\} \cdot \frac{(2J+1) \exp\{-(J+1/2)^2/2\sigma^2\}}{2\sigma^2} \quad (2)$$

$$U = E - P(Z) - P(N) \quad (3)$$

$$\sigma^2 = 0.146 (aU)^{1/2} A^{2/3} \quad (4)$$

$a$  は単位密度パラメータと呼ばれ、低エネルギー中性子による S 波共鳴レベルの平均間隔の測定により求まる。これは、Gilbert-Cameron によって、陽子、中性子に対する系統性が論じられ、Cook<sup>6)</sup> のパラメータを用いて計算する事ができる。しかし、近年、測定の分解能が向上し共鳴の間隔が狭まる傾向にあるので、単位密度パラメータは Gilbert-Cameron のものより大きくなる傾向がある。

$E_0$  と  $T$  は、 $E = E_x$  で (1) 式、(2) 式の単位密度が滑らかにつながる様に定められる値である。

$P(Z)$ 、 $P(N)$  は各々、陽子と中性子のベアリングエネルギーであり、Cook et al.<sup>6)</sup> の値を用いる。 $\sigma$  はスピン・カットオフ・パラメータと呼ばれ、(4) 式で与えられる。ここで  $A$  は質量数である。

前平衡過程の計算には、Kalbach<sup>7)8)</sup> らによるモデルを用いている。必要なパラメータは、Kalbach 定数； $F_2$  と、複合核・一粒子放出後の残留核の単一粒子状態密度定数； $g_c$ 、 $g_i$  ( $i = n, p, \alpha$ ) である。この状態密度定数と単位密度パラメータ； $a$  には

$$g = 6a/\pi^2, \quad (5)$$

の関係があり、統計模型計算とは独立でないが、本報告では、前平衡パラメータを固定し、単位密度パラメータを統計模型計算から推定するという立場をとる。 $F_2$  として 1.2 を採用し、(5) 式の  $a$  に Gilbert-Cameron の値を用いる。

光学模型計算は、光学模型計算コード ELIESE-3<sup>9)</sup>

を用い、次式の複素一体型ポテンシャルに対して波動方程式を解く。これにより、透過係数、全断面積、反応断面積、弾性散乱断面積が得られる。

$$U(r) = -V_C F(x_C) - iW_S F(x_S) + 4iW_I \frac{dF(x_I)}{dx_I} \cdot \frac{2}{r} \cdot \frac{V_{SO}}{a_{SO}} \cdot \frac{dF(x_{SO})}{dx_{SO}} \cdot \mathbf{s} \cdot \mathbf{I} + V_{Coul}(r) \quad (6)$$

$$F(x) = [1 + \exp(x)]^{-1} \quad (\text{Woods-Saxon}) \quad (7)$$

$$x_i = (r - R_i)/a_i \quad (8)$$

$$R_i = r_i A^{1/3} \quad (9)$$

ここで、中心場のポテンシャル； $V_C$  はシンメトリーの項； $V_{Sym}$  を含んでいるものとする。ELIESE-3 では、 $V_C$ 、 $W_S$ 、 $W_I$  は、エネルギーに対してゆるやかに変化するように、エネルギーの多項式として与える。

上記の光学模型パラメータは、中性子、陽子、 $\alpha$  粒子の散乱実験により得られるものであり、広範囲の核種、質量数、エネルギー領域にわたって使用可能なグローバル光学模型パラメータが存在する。しかし、中性子のパラメータに関して言えば、そのようなパラメータによって計算された全断面積が実験値と十分な精度で一致するとは限らない。全断面積は、各々の反応断面積に大きく影響するため、重要である。本報告では、中性子、陽子、 $\alpha$  粒子に対して各々、Becchetti-Greenlees<sup>10)</sup>、Menet et al.<sup>11)</sup>、Lemos<sup>12)</sup> の値を用いる。

### 3. 2. Bayes 法<sup>2)</sup>

前節に述べた単位密度パラメータ、光学模型パラメータを用いた統計模型計算が実験値に合うようにパラメータを推定する場合、パラメータの数が多い事と模型計算が非線形である事から、一般的な多変数反復計算による最小自乗フィッティングは困難である。本報告では、Bayes の定理を応用したパラメータ推定法によって、パラメータを推定する。これは、パラメータに関して予め得ている知識を事前分布という形で与えてパラメータの事前値； $\mathbf{p}_0$  とし、実験データ； $\mathbf{y}$  を得たときの事後値を次式で計算するものである。

$$\mathbf{P} = \mathbf{p}_0 + X_0 A_0' (A_0 X_0 A_0' + V)^{-1} \{\mathbf{y} - f(\mathbf{p}_0)\} \quad (10)$$

$$X = X_0 - X_0 A_0' (A_0 X_0 A_0' + V)^{-1} A_0 X_0 \quad (11)$$

ここで、 $X_0$ 、 $X$ ；パラメータの事前共分散と事後共

**Table 1** Optical Model Parameters for Neutron, Proton, and  $\alpha$ -Particle.  
The upper row of posterior parameter: experimental data without covariance and the lower row: experimental data with covariance.

Parameter	Neutron		Proton		$\alpha$ -Particle	
	Prior	Posterior	Prior	Posterior	Prior	Posterior
Real Potential $V_0$	56.3 [MeV]	53.94	49.9	43.25	193.0	191.8
		47.80				46.19
Imaginary Potential $W_s^{*})$	13.0 [MeV]	10.32	4.20	4.062	21.0	21.11
		12.34				4.187
Real Radius $r_0$	1.17 [fm]	1.165	1.16	1.175	1.37	1.369
		1.275				1.215
Imaginary Radius $r_s^{*})$	1.26 [fm]	1.179	1.37	1.239	1.37	1.448
		1.018				1.362

\*) Volume absorption type for  $\alpha$ -Potential.

分散行列,  $V$ ; 実験値の共分散行列である.  $f(\mathbf{p}_0)$  は事前パラメータを用いて模型計算を行なう事に相当する.

$A_0$  は感度行列であり, 次式で与えられる.

$$A_0 = (\nabla_p f(\mathbf{p}))' P = P_0 \tag{12}$$

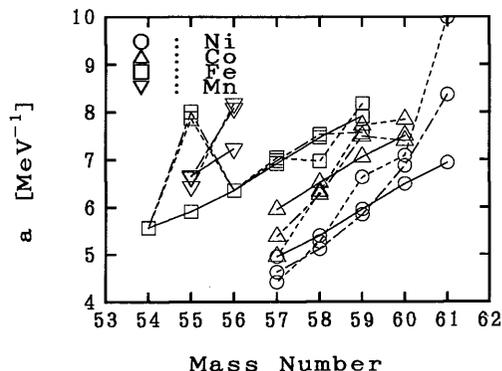
パラメータ事前共分散行列  $X_0$  は, パラメータ間の相関は無いとし, 単位密度パラメータに対して 30%, 光学模型パラメータに対して 5%の相対標準偏差を仮定して作成する. 感度行列は各パラメータに各々 5%の摂動を加え, 断面積の変動を求めて作成する. 計算を行うエネルギー点は, 各実験値のある点すべてについて計算を行うことは計算資源の面から不可能であるので 5~20MeV の間の10点で代表し, その間は直線補間を行う.

本報告で計算する断面積は  $^{59}\text{Co}$ ,  $^{58,60}\text{Ni}$  をターゲットとする反応で,  $(n, \text{total})$ ,  $(n, 2n)$ ,  $(n, p)$ ,  $(n, \alpha)$  反応である. これらの反応に影響する核種の単位密度パラメータを推定する. 推定を行なう光学模型パラメータは, (6) 式の実部, 虚部ポテンシャル深さ;  $V_0, W_s$  と, 実部, 虚部半径パラメータ;  $r_0, r_s$  である.

#### 4. 結果と考察

##### 4. 1. 事後パラメータ

推定された光学模型パラメータ, 単位密度パラメータの事後値を, 各々 **Table 1**, **Fig. 2** に示す. **Fig. 2**



**Fig. 2** Comparison of Level Density Parameters for Ni, Co, Fe, and Mn. Solid line indicates prior parameters. Dashed line is posterior parameters estimated by original errors, and dot-dashed line is estimated by re-evaluated errors and covariances.

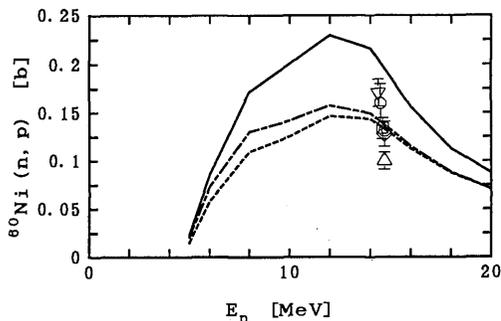
で, 実線は Gilbert-Cameron による値, 点線は実験者によって報告されているオリジナルの誤差を使用して推定された単位密度パラメータ, 一点鎖線が著者によって算出され, 共分散を伴った誤差によって推定された単位密度パラメータである.

全断面積の測定されているエネルギー点は広範囲におよび, 各々の点の間で相関が有ることが考えられるが, これを (10) 式の  $V$  に使ってパラメータ推定するのは計算手法上, 困難である. その為, 全断面積に関しては, 共分散の有無の比較は行なわない.

中性子の光学模型計算に Becchetti-Greenlees のパラメータを用いた場合、Ni, Co の全断面積の計算値は測定値より大きくなる。(10) 式で計算された事後値は、ポテンシャルと虚部半径を小さくし、実部半径を大きく推定することで実験値の再現性を良くしている。以後、種々の反応断面積を推定に加える場合に、実験データの共分散の有無でパラメータの推定値が異なってくる。上述のように全断面積の実験値は多く、中性子の光学模型パラメータはかなり確定的に推定され、パラメータ間に強い相関がつく。

準位密度パラメータの事前値からの変動は、算出した誤差・共分散を用いて推定したパラメータの方が小さい。これは、算出した誤差は一般に実験者の報告値より大きくなり、又、実験者によって与えられていなかった、異なるエネルギー点間の相関を与える事により、各点の実験データとしての重みが減少する為、相対的に事前値の重みが増加する為である。

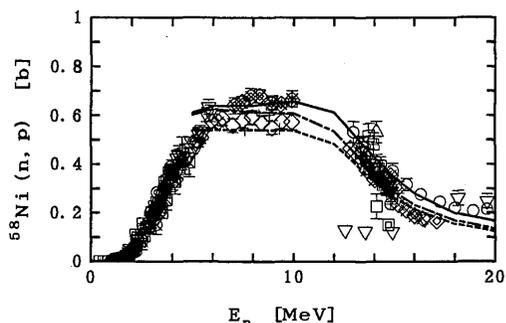
準位密度パラメータは、Ni, Co については、事前値である Gilbert-Cameron の質量に対する系統性を保持しているが、Fe に対してはパラメータに変化の大きなものとそうでないものが存在する。Ni, Co はここで採用した反応のターゲット核であり、何種類かの反応の実験データを考慮して値が推定される。しかし、Fe, Mn と関連のある実験データは使用していないか、使用していても感度が小さい為には有効な推定となっていない。ここでは、使用していない実験データが必要である。



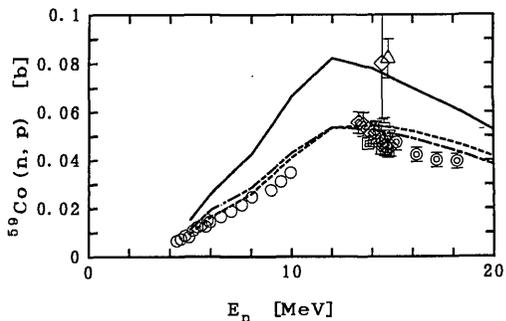
**Fig. 3** Comparison of Calculated and Experimental  $^{60}\text{Ni}$  (n, p) Cross Sections. Solid line indicates calculated cross section by prior parameters. Dashed line is posterior parameters estimated by original errors, and dot-dashed line is estimated by re-evaluated errors and covariances.

#### 4. 2. 断面積の比較

パラメータの事前値と事後値を用いた断面積の計算結果を実験値と比較して Fig. 3~7 に示す。実線は事前値による計算、点線は実験者によって報告されているオリジナルの誤差を使用して推定されたパラメータによる計算、一点鎖線が著者によって算出された誤差・共分散を使用した計算値である。 $^{59}\text{Co}$  (n, p) の 14MeV 以上の部分を除いて、いずれの場合も算出された誤差・共分散による結果がオリジナルの誤差による結果より大きい。これは、再評価された誤差によ



**Fig. 4** Comparison of Calculated and Experimental  $^{58}\text{Ni}$  (n, p) Cross Sections. Solid line indicates calculated cross section by prior parameters. Dashed line is posterior parameters estimated by original errors, and dot-dashed line is estimated by re-evaluated errors and covariances.

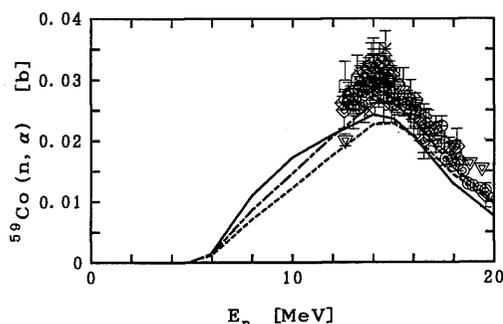


**Fig. 5** Comparison of Calculated and Experimental  $^{59}\text{Co}$  (n, p) Cross Sections. Solid line indicates calculated cross section by prior parameters. Dashed line is posterior parameters estimated by original errors, and dot-dashed line is estimated by re-evaluated errors and covariances.

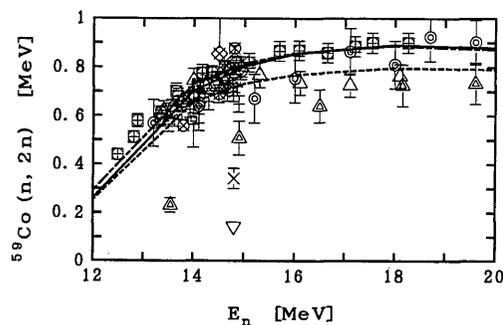
て推定された中性子の光学模型パラメータによる全断面面積の計算値が、他方の場合より全体的に大きい為である。

$^{59}\text{Co}(n, p)$  の断面面積は、低エネルギーで、共分散を含む計算値の実験値への近づき方が悪い様に見える。ここでの実験値は同一実験者によるデータであり、データ点間に相関がある為、個々の点の重みが相対的に減少する事に起因する。

$^{58}\text{Ni}$  の  $(n, p)$  では、共分散の有無の効果は絶対値の違いで現れ、励起関数の形状は相似である。準位密



**Fig. 6** Comparison of Calculated and Experimental  $^{59}\text{Co}(n, \alpha)$  Cross Sections. Solid line indicates calculated cross section by prior parameters. Dashed line is posterior parameters estimated by original errors, and dot-dashed line is estimated by re-evaluated errors and covariances.



**Fig. 7** Comparison of Calculated and Experimental  $^{59}\text{Co}(n, 2n)$  Cross Sections. Solid line indicates calculated cross section by prior parameters. Dashed line is posterior parameters estimated by original errors, and dot-dashed line is estimated by re-evaluated errors and covariances.

度パラメータの事後値の差が小さいことからこれは全断面面積の違いによるものと考えられる。

$^{59}\text{Co}(n, \alpha)$ ,  $(n, 2n)$  は、何れも共分散を含んだ推定値の方が実験値の再現性がよい。 $(n, 2n)$  の実験データは 14MeV 以上でばらつきが大きく、オリジナルの誤差による計算値は一部の外れた実験値の影響を受け、断面面積を低く見積ってしまう様である。

## 5. 結 論

$^{58,60}\text{Ni}$ ,  $^{59}\text{Co}$  の Hauser-Feshbach 統計模型計算に必要な光学模型パラメータ、準位密度パラメータの推定を、実験データの誤差が実験者の報告値であるものと、著者が統一的に算出した誤差・共分散を用いた場合とで行い、パラメータの事後値とそれらによる断面面積の計算値を比較した。

全体的に共分散を使用したパラメータの方が実験値の再現性が良い事が示された。

## References

- 1) Y. Uenohara, M. Kihara, T. Kawano and Y. Kanda: "Expert System for Evaluation of Covariances of Measured Activation Cross Sections", Proc. Int. Conf. on Supercomputing in Nuclear Applications, Mito (1990), to be published.
- 2) Y. Uenohara, M. Tsukamoto and Y. Kanda: J. Nucl. Sci. and Technol., **20**, 787, (1983).
- 3) C. M. Lederer and R. S. Shirley: *Table of Isotopes seventh edition*, John Wiley and Sons, Inc., (1978).
- 4) P. G. Young and E. D. Arthur: "GNASH, A Pre-equilibrium, Statistical Nuclear-Model Code for Calculation of Cross Sections and Emission Spectra", LA69-47, (1977).
- 5) A. Gilbert and A. C. W. Cameron: Can. J. Phys., **43**, 1446 (1965).
- 6) J. L. Cook, H. Ferguson and A. R. del. Musgrove: Aust. J. Phys., **20**, 477 (1967).
- 7) C. Kalbach: Z. Phys., **A283**, 401 (1977).
- 8) C. Kalbach: Z. Phys., **A287**, 319 (1978).
- 9) S. Igarashi: "Program ELIESE-3, Program for Calculation of the Nuclear Cross Sections by Using Local and Non-Local Optical Models and Statistical Model", JAERI-1224, (1972).
- 10) F. D. Becchetti and G. W. Greenlees: Phys. Rev., **182**, 1190 (1969).
- 11) J. J. H. Menet, E. E. Gross, J. J. Malanify and A. Zucker: Phys. Rev., **C4**, 1114 (1971).
- 12) O. F. Lemos: "Diffusion Elastique de Particules Alpha de 21 a 29.6 MeV sur des Noyaux de la Region Ti-Zn", Orsay report, Series A, No. 163.