

JAERI-M  
7721

放射性同位体製造資料—1221

$\alpha$ 線スペクトル解析プログラムALPS  
—プログラムの解説と使用法—

1978年6月

馬場 宏

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.

$\alpha$ 線スペクトル解析プログラムALPS

— プログラムの解説と使用法 —

日本原子力研究所アイソトープ事業部製造部

馬場 宏

(1978年5月23日 受理)

$\alpha$ 線スペクトル解析用の電子計算機プログラムALPSを作成した。プログラムの構成は、先に開発した $\gamma$ 線スペクトル解析用プログラムBOB73Sと本質的に同じであり、ただ、ピーク・フィッティングの部分だけが異っている。 $\alpha$ 線の波形関数として、高エネルギー側のスローブをガウス関数で、低エネルギー側の緩やかなテーリングの部分を指数関数で近似して、両者をなめらかに接続する方法を採っている。波形関数を与えるためのパラメーターの値は、スペクトル中の個々のピーク群毎に別個に定められる。プログラムの大きさは114K語であり、処理速度は、極端に複雑なスペクトルでなければ、FACOM 230-75で10秒以内である。

プログラムの説明として、その構成、機能ならびに詳細な使用法が与えられている。また、プログラムの信頼性をチェックする目的で行ったプルトニウム同位体混合試料の $\alpha$ 線スペクトルと、 $^{210}\text{Po}$ の単一 $\alpha$ 線スペクトルから合成したスペクトルとを用いた2通りのテストの結果が与えられている。

$\alpha$ -Spectrum Analyzing Program ALPS  
Hiroshi Baba  
Division of Radioisotope Production  
Radioisotope Center, JAERI  
(Received May 23, 1978)

A computer program was developed for the analysis of spectrum. The construction of the program is essentially the same as that of the  $\gamma$ -spectrum analyzing program BOB73S, except for the peak-fitting part. The  $\alpha$  line shape function was approximated with a Gaussian on the high-energy side smoothly connected to an exponential function for the lose tail on the low-energy side. Parameters describing the line shape function was determined separately for individual peak compounds in the spectrum. The program size is 114k words and the speed of analysis is less than 10 sec by FACOM 230-75 for a spectrum with appropriate sharpness.

Structure and functions of the program are described, and instructions are given on program usage. Reliability of the program was examined with  $\alpha$  spectra obtained with plutonium isotopes and those constructed artificially with the sigle-peaked  $^{210}\text{Po}$  spectrum.

Keywords: Data Processing,  $\alpha$  Spectrum Analysis, Computer Program, NBS Pu-Standard Sample, Instruction Manual

## 目 次

1. 序 論 .....	1
2. プログラムALPSの説明 .....	2
2.1 ALPSの機能の説明 .....	2
2.2 プログラムの構成 .....	4
3. 入力データ .....	7
3.1 入力データの基本的構成 .....	7
3.2 入力データの変則的な構成 .....	8
3.3 コントロール・カードM-1およびM-1' .....	9
3.4 スペクトル・データの頭につけるカード(CD-0, CD-1, CD-2 およびCD-2') .....	15
3.5 エネルギー較正ならびに計数効率補正のための入力データ .....	19
4. ALPSの性能試験と考察 .....	21
謝 辞 .....	23
文 献 .....	24
図 .....	25~33

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Description of the program ALPS .....	2
2.1. Function of ALPS .....	2
2.2. Construction of ALPS .....	4
3. Input data .....	7
3.1. Basic constitution of the input data .....	7
3.2. Optional constitution of the input data .....	8
3.3. Control cards, M-1 and M-1' .....	9
3.4. Heading cards, CD-0, CD-1, Cd-2, and CD-2' .....	15
3.5. Input data for energy calibration and efficiency correction .....	19
4. Tests of ALPS and discussion .....	21
Acknowledgement .....	23
References .....	24
Figures .....	25~33

## 1. 序 論

Ge(Li)半導体検出器によって得られる $\gamma$ 線スペクトルと異なり、表面障壁型半導体検出器の与える $\alpha$ 線スペクトルの解析には種々の困難が存在する。まず第一に、測定試料作製上の困難のために、全く同一のline shapeを与えるような試料を二度と得ることはできない。第二に、実用上よく測定される $\alpha$ スペクトルにおいては、エネルギーの接近した2本以上のピークが重なり合って現われるのが普通である。このことは、スペクトル解析上基本となるピーク形を実測スペクトルの中に求めることができないことを意味する。

$\alpha$ スペクトルは通常単一核種の場合でもかなり複雑である。放出される $\alpha$ 線のあるものは互いに極めて近いエネルギーを有しているため、フィッティング操作によりそれぞれの成分に分割することがしばしば不成功に終ることになる。

これらの状態は $\alpha$ 線スペクトルの解析プログラムを開発しようとする試みに対して非常な障害であつたに違いない。しかし乍ら、 $\alpha$ スペクトロメトリを $\gamma$ スペクトロメトリに匹敵し得る手段とするためには、 $\alpha$ 線スペクトルの電算機処理方式を完成させることが不可欠である。

幸いなことに、スペクトル解析のプログラムはフィッティングの部分を除けば、一般的な形に組み上げられることが知られている<sup>1)</sup>。その場合、対象とするスペクトルの特徴はピーク・フィッティングの部分においてのみ考慮すればよいので、問題は著しく簡単化される。

本プログラムは上述の原理に基づいて作成された $\alpha$ 線スペクトル解析プログラムであり、 $\gamma$ 線スペクトル解析プログラムBOB73S<sup>1)</sup>と極めて類似した構成になっている。両者の違いはピーク・フィッティングの部分にのみ存する。 $\alpha$ 線のレスポンス関数は、それぞれのピーク群毎に、フィッティングの過程の中で、ピーク群全体に対するフィットを最適にするように現象論的に定められる。

プログラムの大きさは、114K語であり、ピーク形の良いスペクトルならば、FACOM 230-75で10秒以内で処理される。

第2節でプログラムの説明、第3節でプログラムの使用法の説明、第4節でプログラムの性能をテストした結果と考察を与える。

## 2. プログラムALPSの説明

### 2.1 ALPSの機能の説明

$\alpha$  スペクトルの複雑さのため、充分満足できる結果が自動解析によって得られない頻度が高い。そのため、プログラムには、複合ピークの多重度、ピークの位置、ピークの相対強度、あるいはピークのレスポンス関数などフィッティングの際の解析条件に関して、解析者の介入選定し得る余地が多分に残されている。原則的には、解析は完全に自動的に行われるが、もしその結果が思わしくない場合には、解析者が、フィッティングの初期条件を与えとか種々のパラメーターの値を適正な値に固定するとかの操作を行うことによって、解析過程に介入することができる。

処理プロセスは次の手順で進行する。最初にピーク探索の操作によって、ピーク領域、ピークの多重度ならびにピークの位置を求める。このピーク探索操作には $\gamma$ 線スペクトル解析プログラムBOB73の部分プログラムPKRECをそのまま用いている。ここで、生の測定データはSavitzky-Golayの方法<sup>2)</sup>によって前もって平滑化されている。

ピーク群の中で最右翼に存するピークの高エネルギー側のスローブをガウス曲線にフィットせしめてその巾を決定する。次に当該ピーク群についてPKRECの結果得られた情報を基にして、単純なガウス曲線を基本関数として、ピークの多重度とピークの位置を予備的に定める。その際、基本となるガウス関数の巾は上に求めた値に等しく固定して置く。

この予備的なフィッティングの結果に基づき、ピーク間隔の最も長い部分を選び出し(Fig. 1参照)、その部分を次の関数に近似する：

$$y(x) = \exp \{ a(x-x_0)^3 + b(x-x_0)^2 + c(x-x_0) + d \} \quad (1)$$

ここで、 $x_0$ はピーク位置を表わす。 $a$ 、 $b$ 、 $c$ および $d$ はフィッティング操作により定められるフリーパラメーターであるが、解析者は、これらのパラメーターの値自身を直接与えてもよいし、それらを決定すべきフィッティングを行う部分を指定することもできる。

(1)式で表わされる低エネルギー側のスローブは高エネルギー側のガウス曲線

$$y(x) = p \exp \left\{ - \frac{(x-x_0)^2}{\sigma} \right\} \quad (2)$$

に $x = x_0 + x_c$ の位置でなめらかに接続される。ここで $p$ はピークの高さ、 $\sigma$ はピークの巾を与える。また $x_c$ は

$$ax_c^3 + (b+1/\sigma)x_c^2 + cx_c + d - \ln p = 0 \quad (3)$$

の解である。 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ および $x_c$ の5つのパラメーターのうち $d$ は個々のピークによって異なる値となるが、残り4つのパラメーターは、ピーク群の中のすべてのピークに対して共通の



パラメーターとして扱うことができる。

ところで、(1)式で与えられる関数は単調関数ではない。 $\Delta x = x - x_0$  が減少するにつれて、この関数は極小点または変曲点を通過する場合がある。このような場合には、(1)式の代わりに、下に与える極限值  $y_0$  を基にして

$$\left. \begin{aligned} y(x) &= \exp(\alpha \Delta x + \beta) & y(x) &> y_0 \\ y(x) &= y_0 & y(x) &\leq y_0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

という関数で置き換えることにする。ここで、スロープ  $\alpha$  は(4)をある適当なチャンネルにおいて(1)式になめらかに接続するという条件から定められる。このことは、 $\alpha$  の値が接続点の関数になることを意味するが、接続点はピーク群全体としてのフィッティングを最適ならしめるように定められる。また、上述の極限值  $y_0$  は、ピーク領域の低エネルギー端の高さ  $h_L$  と高エネルギー端における高さ  $h_H$  とから

$$\left. \begin{aligned} y_{0,i} &= (h_L - h_H) p_i / \sum_{j=1}^m p_j & h_L &> h_H \\ y_{0,i} &= 0 & h_L &\leq h_H \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

という関係式で与えられる量である。ここで、 $y_{0,i}$  は  $i$  番目のピークに対する極限值、 $m$  はピーク群の多重度である。ここで、ピーク面積としては、相互に撞着しないように、高さが  $y_0$  より低くなる低エネルギー側の裾をカットした部分を取ることにしている。

ここまでの段階で、Fig. 1 の場合のようにピークを余分に拾っている場合には、フィッティングのこの段階で落される。

最後に、すべてのフリーパラメーターは、関数値最小化法<sup>3)</sup>により最適フィットを与えるように再適合の操作が繰り返される。その際に、最小化される関数として通常の  $\chi^2$  値を用いる代わりに関根らの提唱した新しい尺度<sup>4)</sup>を用い、より良好な結果を得ている。このようにして得られた最終結果の一例を Fig. 2 に示す。

時として、大きなピークにかくされて見落された小さなピークを拾う必要が生じることがある。このような必要を充すために、上述の最終フィットが一通り終了した後、観測されたスペクトルから組立てられたスペクトルを差し引いた残余のスペクトルを平滑化<sup>5)</sup>したあと、もう1度ピーク探索操作を繰り返し、検出されたピークを先に解析されたピーク群に加えた上で最終フィットを行う機能がプログラムに付加されている。しかし乍ら、この機能は概して不必要に多くの群小ピークを拾い勝ちであるので、通常解析操作では作動させない方がよい。

場合によっては、先行するピーク探索の結果が不完全であったために、フィッティングのための初期条件の設定が不適当に行われ、それが原因で不満足な結果に終ることがある。そのような場合には状況に応じて、多重度、ピーク位置、波形を与えるパラメーター等に対する初期条件を解析者自身が与えた上で再処理を行うことができる。

Fig. 3 は  $^{239}\text{Pu}$  と  $^{240}\text{Pu}$  の放出する  $\alpha$  線から成る複合ピークと、種々の手順による解析結果の例を示す。そのうち、a は全処理を自動的に行わせた場合の結果、b は多重度とピーク位置についての初期値を与えた上で解析を行わせた場合の結果、c は多重度、ピーク位置の外にそ

それぞれの核種の $\alpha$ 線の相対強度を指定した上でレスポンス関数と $^{239}\text{Pu}$ と $^{240}\text{Pu}$ の相対比のみをフィットせしめた場合の結果を与える。

aの場合には、両者合わせて5本ある筈の $\alpha$ 線が4本しか検出されていない。bの場合には、予め与えた初期条件に対応して正しく5本のピークに分割され、且それぞれのピーク位置も正しく与えられているが、各ピークの相対強度は正しくない。このように極めて複雑な複合ピークの解析には、結局cのような手順の解析を行わないと満足すべき結果が得られないことが結論される。このことは、予めフィッティングの基本関数であるピークの波形関数を固定して置けないという難点に大きく制約されることを示している。なおFig. 3cの中に点線で示された6本目の小さなピークは、前述した残余スペクトルについてのピーク探索機能を作動させることによって追加された成分である。

フィッティング操作が完了した後、エネルギー較正や計数効率補正等の機能その他が付加される。前述したように、フィッティング操作の部分以外はBOB73Sに類似している。プログラムのフローチャートをFig. 4に示す。

## 2.2 プログラムの構成

プログラム"ALPS"は以下に説明するエレメントから成っている。

FTMAIN: 必要なすべてのサブプログラムを結合して操作を完成させる機能のみを有する主プログラム。

CALAF: 作成したエネルギー較正曲線ないし計数効率曲線と入力した標準データとの関係を図示する部分プログラム。

CDREAD: カード形式の入力データを読み込むサブプログラム。ISFG $\geq$ 2の場合にCALLされる。スペクトル・データ・サイズ(チャンネル数)は無制限である。

CLEAR: 変数の初期値をゼロに設定するためのサブプログラム。

DKREAD: ディスク又は磁気テープを媒体とする入力データを読み込むサブプログラム。ただし、データのFORMATは(10F7.0)かバイナリ形式のいずれかであることが要求される。データ・サイズの上限は4100チャンネルである。ISFG=0の時にCALLされる。

ECHO: 正規の解析手順を施して得られた結果を用いてさらにその先のデータ処理(たとえば核種の同定等)を行う必要が生じた場合に、使用者自身の作成した部分プログラムを一時的に置換するためのダミープログラム<sup>注1)</sup>。

ENGEF: エネルギー較正および計数効率補正のためのサブプログラム。較正曲線ないし計数効率曲線の作成には、内部または外部標準ピークを用いて作成するかないしは曲線を表わす多項式の係数を与えるかの2通りの方法がある。エネルギー較正曲線ではエネルギーがチャンネル数の多項式で表わされ、計数効率曲線では、ピーク検出効率の対数値がエネルギー値の対数の多項式で表わされる。

FNXDQ: フィッティング操作の中で通常の $\chi^2$ 値と新しい尺度を計算するためのサブプログラム<sup>4)</sup>。

- GRAFIC: フィッティングの結果を図示するための部分プログラム。
- LINEAR: PKRECによるピーク探索とPKFITに於ける単純ガウス関数を用いての予備的なフィッティングの結果を利用して各ピーク成分のレスポンス関数を定め、最終的なフィッティングを行うためのサブプログラム。
- LINEQ: 最小自乗フィットの過程において逆行列を求めるためのサブプログラム。
- LIVET: 波高分析器でのデータ・アクセスがクロック・タイム・モードで行われた場合に、ライブ・タイムを計算するためのサブプログラム。CD-1のなかのITR=0且ITC, T0およびTSのすべてに数値が与えられた場合にCALLされる(第3節参照)。
- MTREAD: Fig. 5に例示したFORMATで磁気テープに書き込まれたデータを読み込むためのサブプログラム。データ・サイズ(チャンネル数)は無制限である。ISFG=1の時にCALLされる。
- NLALPおよびNLIEQ: フィッティングの際の基本レスポンス関数の値と、フリーパラメータについての微係数を計算するサブプログラム。
- NONLIN: ガウス関数を用いる非線型最小自乗フィットのためのサブプログラム。
- OUTPUT: データ出力のためのサブプログラム。
- PKFIT: ピーク・フィットを行うサブプログラム。
- PKREC: ピーク探索のためのサブプログラム。
- POLIN: 較正曲線の係数とその誤差を計算するサブプログラム。
- POLIX: 任意のピークについてエネルギーおよび計数効率を計算するサブプログラム。
- POLSH: 選出されたスペクトルの一部をもとにして低エネルギー側のスローブを計算するためのサブプログラム。
- PRETRT: 入力データの前処理のため、必要に応じて使用者が作成したサブプログラムと一時的に置換するためのダミープログラム。<sup>注2)</sup>
- PSHAPE: 選出されたスペクトルの一部へのフィッティング操作により、低エネルギー側のスローブを与えるパラメータを抽出するためのサブプログラム。
- RESID: 全体としてのフィッティングが一応終了した後実測スペクトルから組立てられたスペクトルを差引いた残余のスペクトルについてのピーク探索を行うサブプログラム。  
IRES≠0でCALLされる。
- SELECT: PKRECにおけるピーク探索の結果得られたピークのうち偽と思われるピークまたは群小ピークを除くためのサブプログラム。ISEL=1の時は群小ピークのみを除去し、ISEL=2の時は大きなピークのみを拾い出す。
- SLAF: フィッティングによって作られたスローブを実測のスローブと比較図示するサブプログラム。
- SMART: Savitzky-Golay法<sup>2)</sup>によるデータの平滑化と1次微係数を計算するサブプログラム。
- SPECTR: 入力スペクトル・データと解析結果をCALCOMP 900でプロットするためのサブプログラム。IPLT≠0でCALLされる。

注1) サブルーチンECHOで用いられるCOMMON変数は次に示す通りである。

```

SUBROUTINE ECHO(K)
COMMON SDATA(4300), XA(4100)/SPT/DATA(4100),
1 COM(6), IDN(2)/PKF/XB(260), AREA(50), APK(50),
2 SIGAR(50), XC(70)/ENG/XD(40), ENGY(50),
3 EENGYQ(50), XE(60), ACTY(50), SIGAC(50), XF(20),
4 UNIT
COMMON/OUT/XG(3), INIT, IFIN, XH(8), TR, PDT,
1 IDATE, ITIME, XI(12)

```

ここで

K : 検出されたピークの数  
SDATA : 平滑化データ  
DATA : 生データ  
COM : スペクトル・データについてのコメント  
IDN : データIDナンバー  
AREA : ピーク面積  
APK : ピーク位置  
SIGAR : AREAに含まれる標準偏差  
ENGY : ピークのエネルギー値  
EENGYQ : ENGYに含まれる誤差  
ACTY : ピークの絶対強度  
SIGAC : ACTYに含まれる誤差  
UNIT : ACTYの単位

である。なお、INIT, IFINその他の変数については第3節を参照されたい。

注2) サブルーチンPRETRTで用いられるCOMMON変数は次の通りである。

```

SUBROUTINE PRETRT(INIT, IFIN, INPT, N)
COMMON/SPT/DATA(4100), COM(6), IDN(2)

```

ただしNはダミー引数である。その他の引数については第3節を参照されたい。

Fig. 6に、すべてのサブプログラム間の関係を図示したフローチャートを与える。

### 3. 入力データ

#### 3.1 入力データの基本的構成

入力データ・セットは、解析条件を指定するコントロール・カード( # 1 ), 個々のスペクトル・データに関するデータ( # 2 ), およびキャリブレーション用のデータ( # 3 )の3種類のデータから構成される。データ# 1 が先頭に置かれ、解析条件を指定する。次に、単数または複数の標準スペクトル(データ# 2)が読み込まれ(IE=1の場合), その後比較用のデータ(データ# 3)が付される。このあとさらに、上の結果を利用して未知のスペクトルの解析を行う時には、内部校正から外部校正に条件を変えるために、再びデータ# 1 が与えられたあと、1ヶ以上の未知スペクトル・データ(データ# 2)が読み込まれる。この様子をTable 1 に示す。

Table 1 Basic structure of input data for (IE=1)

データ名	コメント
M-1	データ# 1
CD-0, CD-1, CD-2 スペクトル・データ	データ# 2 (ISTDケの標準スペクトルデータのセット)
CD-0, CD-1, CD-2 スペクトル・データ	
.....	
E-1, E-2, E-3, E-4	データ# 3
M-1	データ# 1
CD-0, CD-1, CD-2 スペクトル・データ	データ# 2 (任意箇の未知スペクトル・データ)
CD-0, CD-1, CD-2 スペクトル・データ	
.....	

もし、キャリブレーションを行う必要がなければ、入力データ・セットはさらに簡単になり、Table 1 の破線より下の部分だけでよい。

Table 1 は内部較正を行う場合であるが、較正曲線が既に求められている場合には、標準スペクトルの代りに較正曲線の係数を与えるだけでよい (IE=2)。この時の入力データ・セットの構成を Table 2 に示す。

Table 2 Basic structure of input data (for IE=2)

データ名	コメント
M-1	データ # 1
CD-0, CD-1, CD-2 スペクトル・データ	データ # 2
E-5, E-6, E-7, E-9	
M-1	データ # 1
CD-0, CD-1, CD-2 スペクトル・データ	データ # 2 任意箇の未知スペクトル・データ
CD-0, CD-1, CD-2 スペクトル・データ ..... .....	

個々の入力データの詳細な説明は 3.3 以降に与える。

### 3.2 入力データの変則的な構成

データ # 1 (M-1 カード) の変形データ M-1' は、M-1 カードの中の ISFG < 0 の場合に M-1 カードの後に付される。M-1' カードは解析条件を数字の代りに英字で指定する時に使用される (3.3 参照)。

データ # 2 の部分のバリエーションは Table 3 に示した通りである。

Table 3 Variations in the data #2

データ名	コメント
CD-0	ディスク又は磁気テープに記録されたデータを呼び出す時に要求される
CD-1 } CD-2 }	カード形式のデータに対しては常に必要。ディスク又は磁気テープ・データに対してはIHD $\neq 0$ の場合のみ必要
CD-3	カード形式のデータに対し、IFMT $\geq 2$ の場合に必要 (任意FORMAT)
スペクトル・データ	
CX-1 } CX-2 }	ディスク又は磁気テープ・データについて、IXCN $\neq 0$ の場合に必要
CD-3'	カード形式のデータについてISFG $> 2$ の場合に必要

Table 3 には 2 つのダミーサブルーチン PRETRT および ECHO で要求される入力データは含まれていない。もし利用者が PRETRT の中で入力を必要とする場合には、そのデータは P-2 と P-3 の間に挿入せねばならないし、ECHO で要求される入力データは、較正用のデータのあとに付されることになる。

### 3.3 コントロール・カード M-1 および M-1'

Table 4 Formats of M-1 card

変数	コラム位置	FORMAT	コメント
ISFG	1 - 2	I 2	<p>&lt; 0 解析条件<sup>a)</sup>を英字で与える。</p> <p>= 0 CDREAD経由で入力</p> <p>= 1 MTREAD経由で入力</p> <p>≧ 2 カード式の入力<sup>b)</sup></p>
ISTD	3 - 4	I 2	標準スペクトルの筒数
IE	7 - 8	I 2	<p>= 0 外部較正</p> <p>= 1 内部較正</p> <p>= 2 既知の較正曲線を与えて較正</p> <p>= 9 較正を行わず</p>
IENG	9 - 10	I 2	<p>= 0 エネルギー較正と計数効率補正の両方を行う</p> <p>≠ 0 エネルギー較正のみ</p>
IFMT <sup>c)</sup>	13-14	I 2	<p>= 0 (10F7.0)</p> <p>= 1 (F6.0, 9F7.0)</p> <p>= 2 バイナリィ・データ (ISFG=0の場合)</p> <p>≧ 2 任意FORMAT (カード形式の入力のみ)</p>
IPLT	15-16	I 2	<p>= 0 プロットせず</p> <p>= 1 2.5チャンネル/mm</p> <p>= 2 5チャンネル/mm</p> <p>= 3 1チャンネル/mm</p> <p>= 10 10チャンネル/mm</p> <p>= 20 COMプロット</p> <p>= 30 COMプロット (スライド原図作成用)</p>



I W (1)	17-18	I 2	= 0	解析条件の一覧表をプリント・アウト
			≠ 0	解析条件プリントせず
I W (2)	19-20	I 2	= 0	生データ・プリント
			≠ 0	平滑化データ・プリント
			= 2	生データ, 平滑化データ共にプリント
			= 3	SMARTの結果を生データと共にプリント
			= 4	プリントせず
I W (3)	21-22	I 2	= 0	PKRECの結果をプリント
			≠ 0	プリントせず
I W (4)	23-24	I 2	= 0	最終結果をプリント
			≠ 0	プリントせず
I R E S	25-26	I 2	= 0	残余スペクトルについてのピーク探索せず
			≠ 0	残余スペクトルについてピーク探索
I F T G <sup>d)</sup>	27-28	I 2	= 0	フィッティングせず
			= 1	複合ピークのみフィッティング
			= 2	すべてのピークについてフィッティング
			= 3	フィッティングの初期値を与える
			= 4	多重度とピーク位置を指定した値に固定してフィッティング。最終的な微調整は適用される。
			= 5	関係する核種の数, 放出 $\alpha$ 線の数, エネルギー, 分岐比を与えて核種同志の相対強度を求める。
NONPR	31-32	I 2	= 0	NONLIN, LINEAR 関係の出力せず
			= 1	NONLIN, LINEAR への入力のみプリント
			= 2	NONLIN, LINEAR からの出力のみプリント

			= 3	NONLN, LINEAR の入出力をプリント
I G F T	3 3-3 4	I 2	= 0	ピーク・フィットの結果を図示せず
			≠ 0	ピーク・フィットの結果を図示
I P K W	3 5-3 6	I 2	= 0	PKFITの結果出力せず
			≠ 0	PKFITの結果を出力
I W T	3 7-3 8	I 2	= 0	重み付きフィット
			≠ 0	重みなしフィット
I S E L	3 9-4 0	I 2	= 0	ピークのフィルトレーションせず
			= 1	小ピーク(ごみ)を除去
			= 2	大きいピークのみ選択

a) M-1'を用いて英字名で解析条件を指定する方法についてはTable 7を参照されたい。この場合、M-1カードで既に定義したインデックスについては、M-1'で定義し直さない限り、活きている。

b) 2より大きいISFGの値はスペクトル・データのカード枚数の不確かさを与える。即ち、この方法を用いればデータ・サイズを正確に知らなくても入力できる。この場合には、スペクトル・データ・カードの末尾に1から7カラム迄9999999とパンチしたカード(CD-3')を付けておく必要がある。プログラムはIFIN-10×ISFGチャンネルからこのエンド・マークを探し始め、このマークに出会うと同時に読み込みをストップする。ただし、この場合のFORMATは(10F7.0)又は(10I7)でなければならない。

c) IFMTの機能は、DKREAD, MTREAD, CDREADの間でIFMT ≥ 2に対して少しずつ異っている。DKREAD(ISFG=0)に対しては、2以上のIFMTはバイナリ形式のデータを意味しているが、CDREAD(ISFG=2)に対しては、可変FORMATを意味し、したがってFORMATを指定する余分なカード(CD-3)が必要である。MTREADでは、IFMT ≥ 2はIFMT=1と同等の機能しかない。

d) IFTG ≥ 2の窓口は、自動解析の結果が思わしくない場合に、スペクトルの複雑さに応じて、3通りの方法で利用者がフィッティング操作に介入できるように用意されたものである。IFTG=3の場合には、予め指定したピーク群について多重度とピーク位置(チャンネル数)の初期値を与える。その際には下のTable 5に示すようなデータがスペクトル・データのあとに付け加わる。

Table 5 Additional input data when IFTG=3 or 4

カード名	変数名	コラム位置	FORMAT	コメント
F-1	NAPK	1 - 2	I 2	指定したいピーク群の数
F-2	NJPK(I), I=1, NAPK	1 - 2 5 - 6 9 -10 .....	40 I 2	指定したい各ピーク群の順番
	JFIX(I), I=1, NAPK	3 - 4 7 - 8 11-12 .....	40 I 2	NJPK(I) 番目のピーク群 の多重度-1
F-3 <sup>a)</sup>	COEF(J), J=1, 4	1 -40	4 E 1 0.4	Shape parameters, ブランク ならば自動的に探す
	IS1, IS2	41-48	2 I 4	Shape parameterを決める領 域界, ブランクの時は自動的 に決める
F-4 <sup>a)</sup>	PK(J), J=1, IPK	1 -80	8 F 1 0.3	指定するピーク・チャンネル, IPK=JFIX(I)+1

a) F-3とF-4の組み合わせを1対とするデータをNAPK対重ねる。

次に IFTG=4 の場合は、予め指定したピーク群について、その多重度とピーク位置（チャンネル数）を固定してフィッティングを行う。この場合は、M-1 カードの IFTG が 3 から 4 に変わる以外は IFTG=3 の場合と全く変わらず、入力データは Table 5 で与えられる。ただし、この操作過程では最後の関数値最小化法による総点検は適用されるため、予め与えた初期条件とは異った結果になる。

最後に、IFTG=5 の場合は、予め指定したピーク群について、多重度、ピーク位置を固定した上で、ピークをいくつかのグループに分け、同じグループ内のピークの相対強度をも指定する値に固定する方法である。この方法は、たとえば  $^{239}\text{Pu}$  と  $^{240}\text{Pu}$  の混在する  $\alpha$  線スペクトルを解析して両核種の相対強度を求めるといった場合に有用である。IFTG=5 の場合の入力様式を Table 6 に示す。

Table 6 Additional input data when IFTG=5

カード名	変数名	カラム位置	FORMAT	コメント
F-1	NAPK	1 - 2	I 2	指定したいピーク群の数
F-2	NJPK(I), I=1, NAPK	1 - 2 5 - 6 9 - 10 .....	4 0 I 2	指定したいピーク群の順番
	JFIX(I), I=1, NAPK	3 - 4 7 - 8 11-12 .....	4 0 I 2	指定したいピーク群の多重度 - 1
F-3	COEF(J), J=1, 4	1 - 40	4E10.4	Shape parameters, ブランク ならば自動的に探す
	IS1, IS2	41-48	2 I 4	Shape parameterを決める領 域界, ブランクの時は自動的 に決める
F-4'	EST(J), J=1, IPK	1 - 80	8F10.3	含まれる全ピークのエネルギー (MeV); IPK=JFIX(I)+1
F-5	EINT	1 - 10	E10.4	IA チャンネルに対応するエネ ルギー
	EFIN	11-20	E10.4	IZ チャンネルに対応するエネ ルギー
	IA, IZ	21-28	2 I 4	
F-6	INUC	1 - 4	I 4	サブ・グループの数
F-7	IPN(J), J=1, INUC	1 - 80	2 0 I 4	各サブ・グループに属するピ ークの数
F-8	IPKT(J,K), K=1, IPN(J)	1 - 80	2 0 I 4	J 番目のサブ・グループに属 する IPN(J) 箇のピークが各 々何番目のピーク (エネルギー の低い方から順に数えて) かを指定する
F-9	PI(J,K), K=1, IPN(J)	1 - 80	8F10.3	サブ・グループ内のピーク同 志の相対強度を与える (分岐 比のままでも良い)

注) F-3~F-9までのカードを1組とするデータをピーク・グループの数NAPKセット重ねて与える。

英字名で解析条件を指定するM-1'の方式は、インデックスを数字で定義する場合に往々にして起るカラム位置の間違いを防ぐ目的で用意された。たとえば、通常固定されている解析条件に対応するインデックスをM-1カードで与えて置き、頻繁に変更する必要がある解析条件をM-1'カードで指定するという方式をとれば、入力時のエラーを大幅に抑えることができ便利である。M-1'に与える英字名は、 $(4n+1)$ から始まる4カラムに与えさえすれば相互間の順序は任意でよく、又途中でブランクがあっても差しつかえない。

Table 7 Alphabetic assignment of indexes

記号	コメント	記号	コメント
DISK	ISFG=0	LIST	IW(1)=1
TAPE	ISFG=1	DATA	IW(2)=2
CARD	ISFG=2	RSUL	IW(3)=1
INTL	IE=1	FINL	IW(4)=1
COEF	IE=2	PFIT	IFTG=2
NCAL	IE=9	FOUT	NONPR=2
ENGY	IENG=1	GRAF	IGFT=1
BNRY	IFMT=2	RITE	IPKW=1
FMAT	IFMT=3	WEIT	IWT=1
PLOT	IPLT=2	FILT	ISEL=1
COM	IPLT=20	SUTX	IRES=1

### 3.4 スペクトル・データの頭につけるカード (CD-0, CD-1, CD-2 および CD-2')

ディスク又は磁気テープに記録されたスペクトル・データを呼び出すには Table 8 に示す CD-0 カードを必要とする。

Table 8 Format of CD-0

変数	コラム位置	FORMAT	コメント
IDNM	1 - 4	A4	スペクトル・データの標識名 <sup>a)</sup>
IDISK	5 - 6	I2	≠0 再編集したデータをディスクに書き込む <sup>b)</sup> (バイナリー形式)
IHD <sup>c)</sup>	7 - 8	I2	=0 CD-1, CD-2のいずれも変更せず =1 CD-1の内容を訂正 =2 CD-2の内容を訂正 =3 CD-1, CD-2共に訂正
IRW	9 - 10	I2	≠0 ディスク又は磁気テープの巻き戻し
IXCN	11-12	I2	差し代えすべきデータ・カードの枚数 (20枚以内) <sup>d)</sup>

a) 各スペクトル・データのID名には、8文字で表わされるデータ名の最初の4文字が用いられる (Fig. 5参照)。

b) ディスク (又は磁気テープ) からの読み取りの機番はF01, 書き込みの機番はF02である。最初にID名とデータ・サイズ (チャンネル数) が1データ・ブロックとして書き込まれ、次いでCD-1, CD-2, 最後にスペクトル・データの順に書き込まれる。最大データ・サイズは4100であるが、CDREAD又はMTREADを利用すればデータ・サイズを無制限に大きくできる。

c) ヘッディング・データ CD-1, CD-2 の内容は、CD-0カードの後に、指定されたFORMAT (Table 10 または 11参照) でパンチしたカードを挿入することにより修正することができる。

d) CD-1およびCD-2は、交換データのカード枚数IXCNの中に含まれない。これらのカードは、CD-0 (CD-1, CD-2) の後に挿入される (Table 9参照)。

Table 9 Format of the exchanging data cards

カード名	変数名	コラム位置	FORMAT	コメント
CX-1	IXC(I)	1 - 80	20I4	I番目の差し代えカードの最初のチャンネル数 I=1, IXCN
CX-2	A(J)	1 - 70	10F7.0	訂正データ, J=IXC(I), IXC(I)+9 (I=1, IXCN)

カード形式の入力の場合にはCD-0は必要でない。そのため、コントロール・カードM-1のすぐ後にCD-1カードが来る。ただしM-1カードで $100 > ISFG \geq 2$ と与えておくことが要求される。特に $ISFG > 2$ の場合にはデータ・サイズを正確に知っていても構わない。ただし、IFINに相当と思われる値を与え、データの最後に9999999(1~7カラム)とパンチしたカードを付けなければならない。こうしておく、INPTチャンネルから $(IFIN - ISFG \times 10)$ チャンネル迄機械的にデータを読み込んだ後、入力カード1枚毎に9999999という数を改めながら読み進み、この数字に出会うと同時にデータ終了と判断する。

ディスク又は磁気テープを媒体とする入力データの際に説明したデータ修正機能はカード入力では必要ないので用意されていないが、その代り読み込んだデータをディスクに書き込む機能が要求される。そのため、カード入力( $ISFG \geq 2$ )の場合に限り、CD-2カードの21-22カラムにIDISKが定義され、この値が0でない場合にはディスク書き込みの窓口(機番はF02)が開く。

ヘディング・カードCD-1の説明をTable 10に与える。

Table 10 Format of CD-1

変数	カラム位置	FORMAT	コメント
IDN	1 - 8	2A4	スペクトル・データ標識名
COM	9 - 32	6A4	スペクトル・データについてのコメント
ITR	33-38	I6	計数時間(ライヴ・タイム・モード)
IUNT	39	I1	= 0 時間単位 k sec = 1 時間単位 100 sec = 2 時間単位 sec = 3 時間単位 min
ITC	40-45	I6	計数時間(クロック・タイム・モード)
IDATE	46-51	I6	測定日時(西暦年の下2桁, 月(2桁)及び日(2桁))
ITIME	52-55	I4	測定開始時間
PDT	56-60	F5.2	不感時間(%)
T0	61-66	F6.2	不感時間補正式の定数項
TS	67-72	F6.3	不感時間補正式のチャンネル数比例項の係数

利用者は必ずしも Table 10 に掲げられた変数のすべてを定義する必要はない。常に要求されるデータは IDN と COM だけである。もし、絶対強度を求めたい場合には、この他に ITR と IUNT が要求される。ただし、測定がライブ・タイムでなくクロック・タイム・モードで行われているならば、ITC、T0 および TS を与えて ITR を計算させなければならない。もし、これらのいずれの値も与えられていない場合には ITR=1 として計算が行われる。ヘッディング・カード CD-2 の説明は Table 11 に与えられている。

Table 11 Format of CD-2

変数	カラム位置	FORMAT	コメント
INPT	1 - 4	I4	入力データの最初のチャンネル
IFIN	5 - 8	I4	入力データの最後のチャンネル
INIT	9 - 12	I4	解析を始める最初のチャンネル
ISM	13-14	I2	≤10 (2×ISM-5)ポイント平滑化 =11 3ポイント平滑化 =12 平滑化せず
ISTP	15-16	I2	=0 同じ条件下で解析を反復 =1 解析終了 =2 解析条件を変更(M-1読み込み)後に解析を継続
IFCG	17-20	I4	解析を行う最後のチャンネル
IDISK	21-22	I2	≠0 読み込んだデータをディスクに書き込む(ISFG≥2の場合のみ)

IFCG が特に与えられていない場合には、IFIN が解析の最後のチャンネルになる。利用者は、M-1 カードで IFMT=2, ISFG=2 (又は M-1' カードで "CARD", "FMAT") と定義することにより、任意の FORMAT のカード形式のデータを入力することができる。この時の FORMAT の指定は次の CD-3 カードを CD-2 カードの後に挿入する。

Table 12 Format of CD-3

変数	カラム位置	FORMAT	コメント
FORM	1 - 80	20A4	(指定する FORMAT)



## 3.5 エネルギー較正ならびに計数効率補正のための入力データ

較正操作のための入力には2通りの方式が用意されている。そのうちの1つの方式(M-1でIE=1又はM-1'で"INTL")では、較正曲線はISTD管の標準スペクトルの中に見出された複数管の標準ピークを用いて作成される。この場合の入力データは、以下に述べるE-1からE-4迄のカードより成る。

Table 13 Format of E-1

変数	コラム位置	FORMAT	コメント
NP	1 — 5	I 5	較正に用いられる標準ピーク
M	6 — 10	I 5	較正曲線の次数 <sup>a)</sup>
EINT	11—20	E 1 0.3	IAチャンネルに対応するエネルギー (MeV)
EFIN	21—30	E 1 0.3	IZチャンネルに対応するエネルギー (MeV)
IPCH	31—32	I 2	≠0 ENGEFの結果 <sup>b)</sup> をパンチ出力
UNIT	35—44	E 1 0.3	放射能の単位(指定しない場合10 <sup>4</sup> cps)
WCH	45—54	E 1 0.3	観測されたピーク的位置に含まれる誤差の許容幅(指定しない場合は10keV)
IA	55—58	I 4	指定しない場合はINITで置き換えられる。
IZ	59—62	I 4	指定しない場合はIFINで置き換えられる

a) 較正曲線の次数は、与えた標準ピークの数以下でなくてはならない。時として、較正曲線を作成するに必要なだけの数の標準ピークを拾い損う場合がある。このような事態は、指定された許容誤差WCHに比較してEINT, EFINが充分正確に与えられていなかったことに起因する。しかしそうかと言って、WCHにあまり大きい値を与えるのは、間違ったピークを拾い出す危険が増大するので望ましくない。経験的に言って較正曲線の次数は6以下に抑えるのが適当である。計算誤差の累積により6以上の次数の場合にとんでもない結果になることがある。

b) ここで言うENGEFの結果とは、E-5からE-9迄の入力データ・セットに対応し、その内容は多項式の係数の値と含まれる誤差である。即ち、そっくりそのままIE=2とした時のデータとして用いることができる。

Table 14 Formats of E-2, E-3, and E-4

カード名	変数名	カラム位置	FORMAT	コメント
E-2	EST(I)	1-80	8E10.3	標準ピークのエネルギー (MeV), I=1, NP
E-3	SACTY(I)	1-80	8E10.3	標準ピークの絶対強度, I=1, NP
E-4	GRATIO(I)	1-80	8E10.3	標準ピークの分岐比, I=1, NP

ここでE-3とE-4はエネルギー較正しか行わない場合(M-1でIENG=1)には必要でない。SACTYとGRATIOの値は、両者の積が対応するピークの $\alpha$ 線放出率になるように適当に組み合わせる。

較正操作の残る1つの方式(M-1でIE=2又はM-1'で"COEF")では、較正操作を既知の曲線を用いて行う。その際の入力データはE-5からE-9迄のカードより成る。

Table 15 Formats of E-5 to E-9

カード名	変数名	カラム位置	FORMAT	コメント
E-5	ICEE	1-5	I5	エネルギー較正曲線の次数
	ES	11-21	E11.5	チャンネル対エネルギー換算多項式フィットにおける分散
	FS	22-32	E11.5	エネルギー対計数効率曲線の多項式フィットにおける分散
	UNIT	33-43	E11.5	放射能の単位(指定しない場合は $10^4$ cps)
E-6	C(I)	1-75	5E15.8	エネルギー較正曲線の係数, I=1, ICEE
E-7	XI(I, J)	1-69	3D23.16	エネルギー決定のための逆マトリックスの要素, I=1, ICEE, J=1, ICEE
E-8	CF(I)	1-75	5E15.8	計数効率曲線の係数, I=1, ICEE
E-9	XFI(I, J)	1-69	3D23.16	絶対強度決定のための逆マトリックスの要素, I=1, ICEE, J=1, ICEE

ここでE-7とE-9は、それぞれESとFSが0である場合には除外する。

#### 4. ALPS の性能試験と考察

Fig. 7に $\alpha$ 線スペクトルの解析例を示す。このスペクトルはプルトニウム同位体の混合試料について得られたものである。図では、それぞれ $^{242}\text{Pu}$ 、( $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$ )および $^{238}\text{Pu}$ の $\alpha$ 線から成る3つのピーク群が検出されている。点は実測のスペクトルを表わし、実線と破線はそれぞれ計算されたスペクトルとベースラインを与える。図中には、エネルギーの内部較正の結果も与えてある。

プログラムALPSの性能を調べる目的で、同一の試料溶液から異なる条件下で調製された幾つもの測定試料の与える $\alpha$ 線スペクトルを解析してその結果を比較した。測定試料の良否を表わす目安として、Table 16に示すように、 $^{238}\text{Pu}$ の主ピークとピーク間の谷の高さとの比を用いた。

23箇の測定試料について得られた $^{238}\text{Pu}$ の複合ピークを自動的に解析した。複合ピークの低エネルギー側の裾引きの微妙な違いは群小ピークについての結果を大きく変化させる。たとえば、 $^{238}\text{Pu}$ の5.358 MeVのピークは必ずしも常に検出されるとは限らず、逆に、場合によっては他の余分なピーク迄拾うケースも見られた。

2本の主ピークのみに関して言うならば、ピークのエネルギー値は $\pm 1$  keVの精度で決定できたと言える。一方、ピーク強度の精度は、上記2本の主ピークの面積の比を比較することによって検討した。結果をFig. 8に棒グラフの形で示す。比較のために、文献値<sup>6)</sup>を基にして計算した値を図中に加えてある。ただし、この参照値には報告されている $\alpha$ 分岐比に $\pm 0.5\%$ の誤差があるものと仮定した時の誤差が付されている。Fig. 8によると、ALPSは文献値に比較して、 $I_{5.456}/I_{5.499}$ の値が全体にやや低めになっているが、実測値同志の間では比較的良いまとまりを示していると言えよう。図中、1例だけ0.32という低い値を示すデータがあるが、この試料については、自己吸収が非常に大きく、その結果スペクトルの歪みが大きくなっている。そのためにフィッティングがあまり良好でない結果になっているので、一応考慮の対象から外すのが適当であると思われる。

Table 16はNBSのプルトニウム標準試料から調整した5箇の測定試料の与えるスペクトルを用いてALPSの定量性試験を行った結果を示す。ここでは、 $^{239}\text{Pu}$ と $^{240}\text{Pu}$ の放出する $\alpha$ 線から成る複合ピークを解析して、異なったスペクトル形のデータの間で、どの程度一致する結果が得られるかを検討した。スペクトルの良否を表わす尺度としては、前述したように、共存する $^{238}\text{Pu}$ のスペクトル中のピークと谷の高さの比を用いている。解析に当っては、プルトニウム同位体毎にその主たるピークのエネルギーと相対分岐比を指定した値に固定し、 $^{239}\text{Pu}$ と $^{240}\text{Pu}$ の存在比を求める方式を採った。この同位体存在比は $^{239}\text{Pu}$ の5.156 MeVのピークと $^{240}\text{Pu}$ の5.168 MeVのピークの間から計算した。

Table 16の結果から見て、測定試料の状態が良好な場合即ち、ピークと谷の比が大きい場合には、データ相互にかなり良い一致が認められると結論できよう。これに反して、状態の悪い試料については良くない結果に終っている。ところで、NBSの標準試料に付された原子数

Table 16 Results of a quantitative test of ALPS performed with five different sources prepared from the same sample solution.

Source Number	Peak-to-trough Ratio	$I_{238}/(I_{239}+I_{240})$	$I_{239}/I_{240}$
1	8.59	0.555±.002	1.002±.013
2	9.51	0.555±.003	1.000±.014
3	7.72	0.559±.006	0.775±.013
4	9.06	0.555±.004	1.064±.014
5	5.81	0.552±.003	0.930±.013
Reference	—	0.568±.012	1.126±.002

百分率の値から計算した  $^{239}\text{Pu}$  と  $^{240}\text{Pu}$  の  $\alpha$  放射能比は  $1.12 \pm 0.02$  である。この値と  $\alpha$  線スペクトル・データから求めた値との間には 10% 程度の隔りがある。その原因については、ALPS の能力の限界を示すものと考えらるべきであるか、それとも核データの誤差に起因するものであるのかは、現段階では判断できない。後者については、 $\alpha$  分岐比以外にももし半減期の値に誤差があれば原子数百分率からの換算値を変える要因となる。

上記のテストの結果、今回開発した  $\alpha$  線スペクトル解析プログラム ALPS は、定性的には、少なくとも良好なスペクトルに対しては満足すべき結果を与えると言っていることができる。定量的結果に関しては、スペクトル中の大きなピークの位置、したがってそのエネルギー値、は充分正確に決定することができる。しかし乍ら、大きなピークの裾に隠された群小ピークの位置を充分な信頼性を以って求めることは期待できない。

一方、ピーク強度の決定に関する信頼度については、現テストでは明確な結論を得るに到らなかった。この点を更に検討する目的の下に、単一  $\alpha$  線放出核種を選んでその  $\alpha$  線スペクトルを測定した。次に、得られた  $\alpha$  線スペクトルを基本スペクトルとして、種々の強度比の  $\alpha$  線ピークを種々の間隔で重ね合わせた試験スペクトルを人工的に作成し、ALPS で解析した。

Fig. 9 に基本スペクトルとして用いた  $^{210}\text{Po}$  の  $\alpha$  線スペクトルを示す。半値幅は 10.0 チャネル、エネルギー値に換算して 32 keV であった。解析結果を Fig. 10 から Fig. 13 迄に示す。Ge(Li) $\gamma$ 線スペクトルの場合<sup>1)</sup>と異なり、緩やかなテール部分の微妙な変化に基本波形関数が影響されるため、系統的な傾向を見ることはできない。これは 1 つには、Fig. 9 に示した基本スペクトルそのものが裾の部分にかなりの微細構造を示していることが原因していると思われる。ただ、或る程度ピーク間隔がある場合には、2 乃至 3% 程度の誤差でピーク面積の定量が可能であると言えるようである。例外として、大きなピークの低エネルギー側のスローブに乗った小さなピークについては、定量が極めて困難である。

結論として、今回開発した  $\alpha$  線プログラム ALPS は、その定量性において今一步の改良が望まれる。しかし乍ら、 $\alpha$  線スペクトロメトリ自体が直面している種々の制約のため、プログラムの改良には大きな困難が伴うことが予見される。

## 謝 辞

プログラムの開発ならびにテストに必要な  $\alpha$  線スペクトル・データの収集には原子炉化学部燃焼率測定研究室鈴木敏夫、岡崎修二の両氏に御基力頂いた。また、 $\alpha$  線のシングル・スペクトルを得るための  $^{210}\text{Po}$  の線源の製造には製造部製造技術課の加藤岑生氏を煩わした。以上の方々に対して謝意を表します。

百分率の値から計算した  $^{239}\text{Pu}$  と  $^{240}\text{Pu}$  の  $\alpha$  放射能比は  $1.12 \pm 0.02$  である。この値と  $\alpha$  線スペクトル・データから求めた値との間には 10% 程度の隔りがある。その原因については、ALPS の能力の限界を示すものと考えらるべきであるか、それとも核データの誤差に起因するものであるのかは、現段階では判断できない。後者については、 $\alpha$  分岐比以外にももし半減期の値に誤差があれば原子数百分率からの換算値を変える要因となる。

上記のテストの結果、今回開発した  $\alpha$  線スペクトル解析プログラム ALPS は、定性的には、少なくとも良好なスペクトルに対しては満足すべき結果を与えると言っていることができる。定量的結果に関しては、スペクトル中の大きなピークの位置、したがってそのエネルギー値、は充分正確に決定することができる。しかし乍ら、大きなピークの裾に隠された群小ピークの位置を充分な信頼性を以って求めることは期待できない。

一方、ピーク強度の決定に関する信頼度については、現テストでは明確な結論を得るに到らなかった。この点を更に検討する目的の下に、単一  $\alpha$  線放出核種を選んでその  $\alpha$  線スペクトルを測定した。次に、得られた  $\alpha$  線スペクトルを基本スペクトルとして、種々の強度比の  $\alpha$  線ピークを種々の間隔で重ね合わせた試験スペクトルを人工的に作成し、ALPS で解析した。

Fig. 9 に基本スペクトルとして用いた  $^{210}\text{Po}$  の  $\alpha$  線スペクトルを示す。半値幅は 10.0 チャネル、エネルギー値に換算して 32 keV であった。解析結果を Fig. 10 から Fig. 13 迄に示す。Ge(Li) $\gamma$  線スペクトルの場合<sup>1)</sup> と異なり、緩やかなテール部分の微妙な変化に基本波形関数が影響されるため、系統的な傾向を見ることはできない。これは 1 つには、Fig. 9 に示した基本スペクトルそのものが裾の部分にかなりの微細構造を示していることが原因していると思われる。ただ、或る程度ピーク間隔がある場合には、2 乃至 3% 程度の誤差でピーク面積の定量が可能であると言えるようである。例外として、大きなピークの低エネルギー側のスローブに乗った小さなピークについては、定量が極めて困難である。

結論として、今回開発した  $\alpha$  線プログラム ALPS は、その定量性において今一步の改良が望まれる。しかし乍ら、 $\alpha$  線スペクトロメトリ自体が直面している種々の制約のため、プログラムの改良には大きな困難が伴うことが予見される。

## 謝 辞

プログラムの開発ならびにテストに必要な  $\alpha$  線スペクトル・データの収集には原子炉化学部燃焼率測定研究室鈴木敏夫、岡崎修二の両氏に御基力頂いた。また、 $\alpha$  線のシングル・スペクトルを得るための  $^{210}\text{Po}$  の線源の製造には製造部製造技術課の加藤岑生氏を煩わした。以上の方々に対して謝意を表します。

## 文 献

1. H. Baba, T. Sekine, S. Baba and H. Okashita, JAERI report JAERI 1227 (1973).
2. A. Savitzky and M. J. E. Golay, Anal. Chem. 36, 1627(1964).
3. T. Shimanouchi and I. Suzuki, J. Chem. Phys. 42, 296(1965).
4. T. Sekine and H. Baba, Nucl. Instr. Methods 133, 171(1976).
5. H. Baba, *ibid.* 148, 173(1978).
6. C. M. Lederer, J. M. Hollander and I. Perlman, Table of isotopes, 6th ed. (Wiley, New York · London · Sydney, 1968).

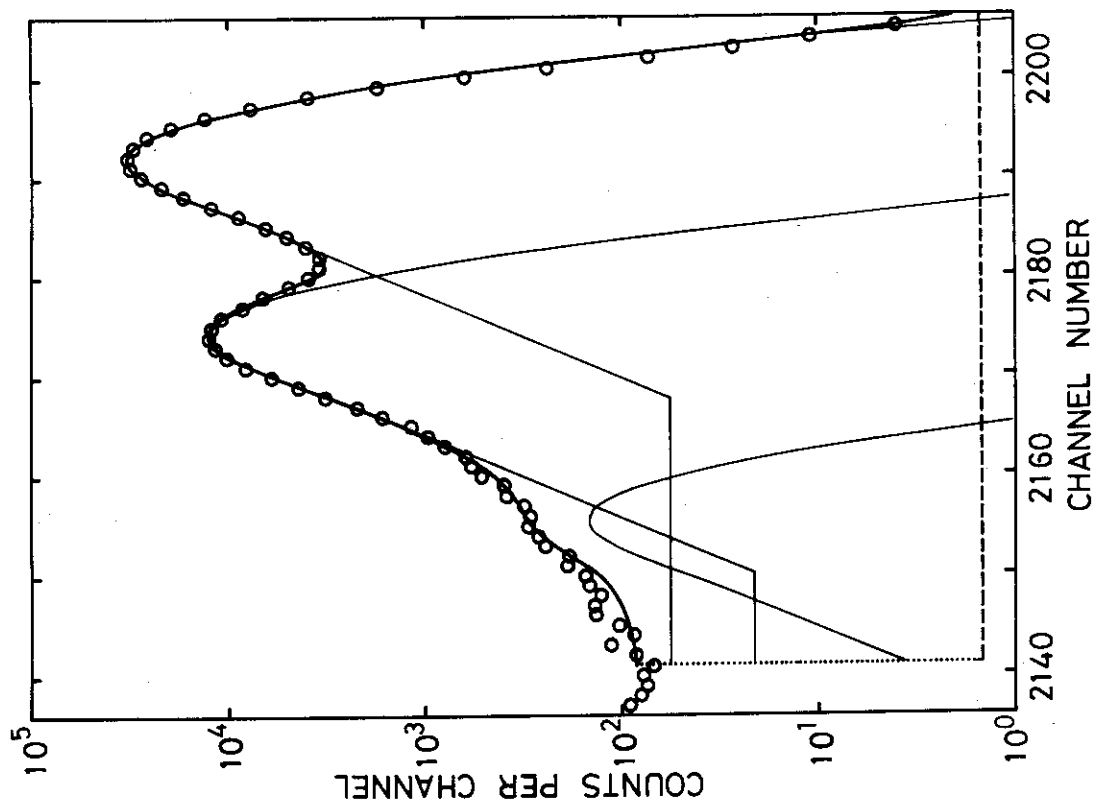


Fig. 2 Final fitting results for the same  $\alpha$  spectrum as given in Fig. 1. The number of  $\alpha$  components was reduced from 4 to 3 in the course of the fitting procedure.

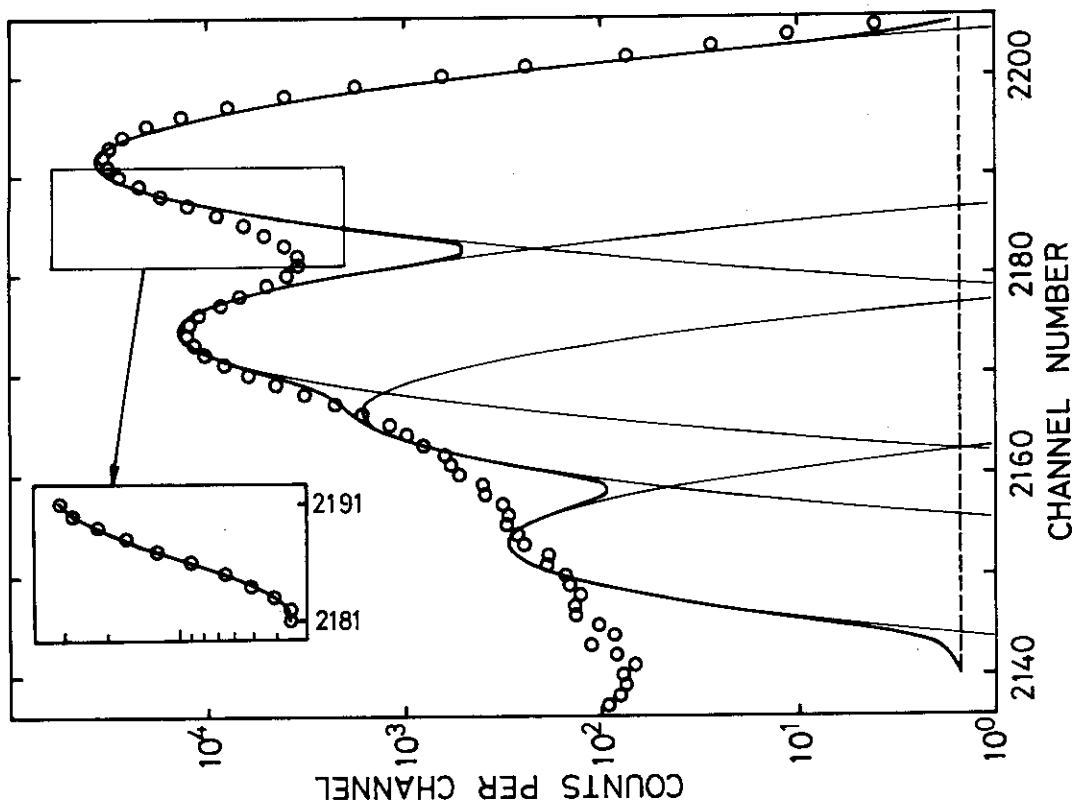


Fig. 1 The  $^{238}\text{Pu}$   $\alpha$  spectrum and a preliminary fit with simple Gaussians (thin curves). The thick full curve represents the envelope of the Gaussian curves. The portion in a rectangle indicates the slope used for determination of the shape parameters.



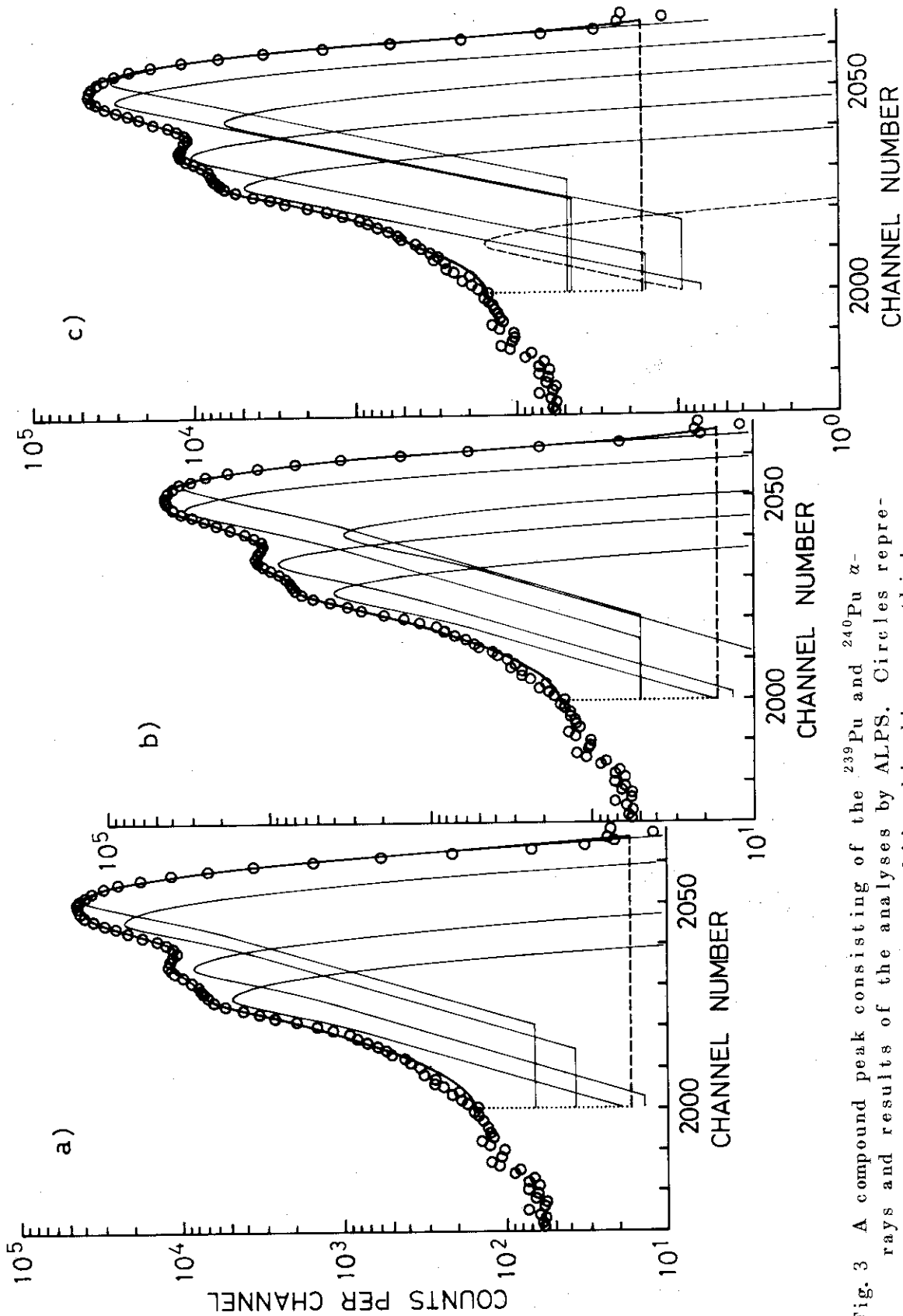


Fig. 3 A compound peak consisting of the  $^{239}\text{Pu}$  and  $^{240}\text{Pu}$   $\alpha$ -rays and results of the analyses by ALPS. Circles represent the observed spectrum, while thin lines, a thick dashed line, and a thick full line give individual  $\alpha$  components, the base line, and the sum of them, respectively. More details are given in the text.

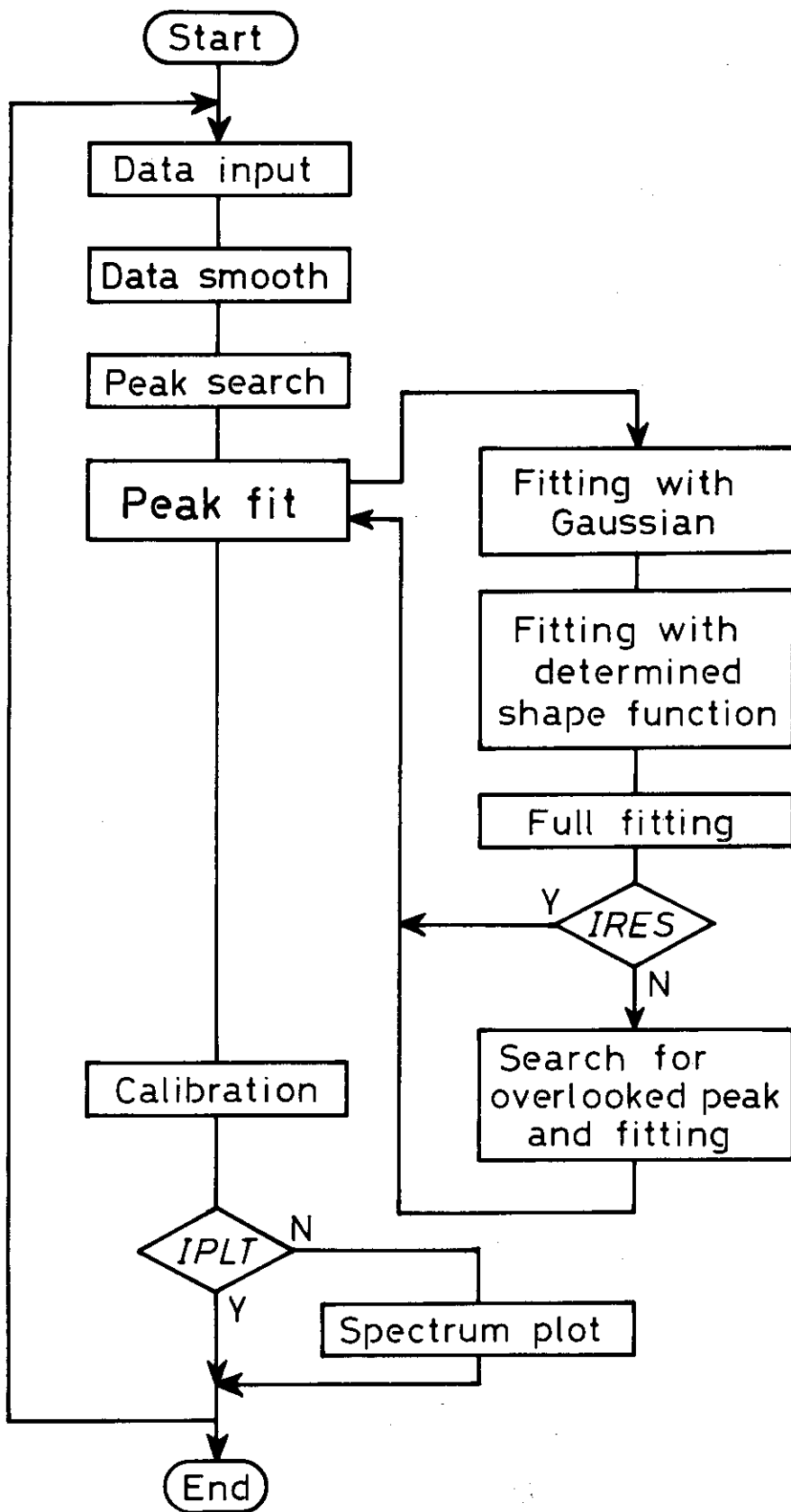


Fig.4 General flow chart of ALPS.



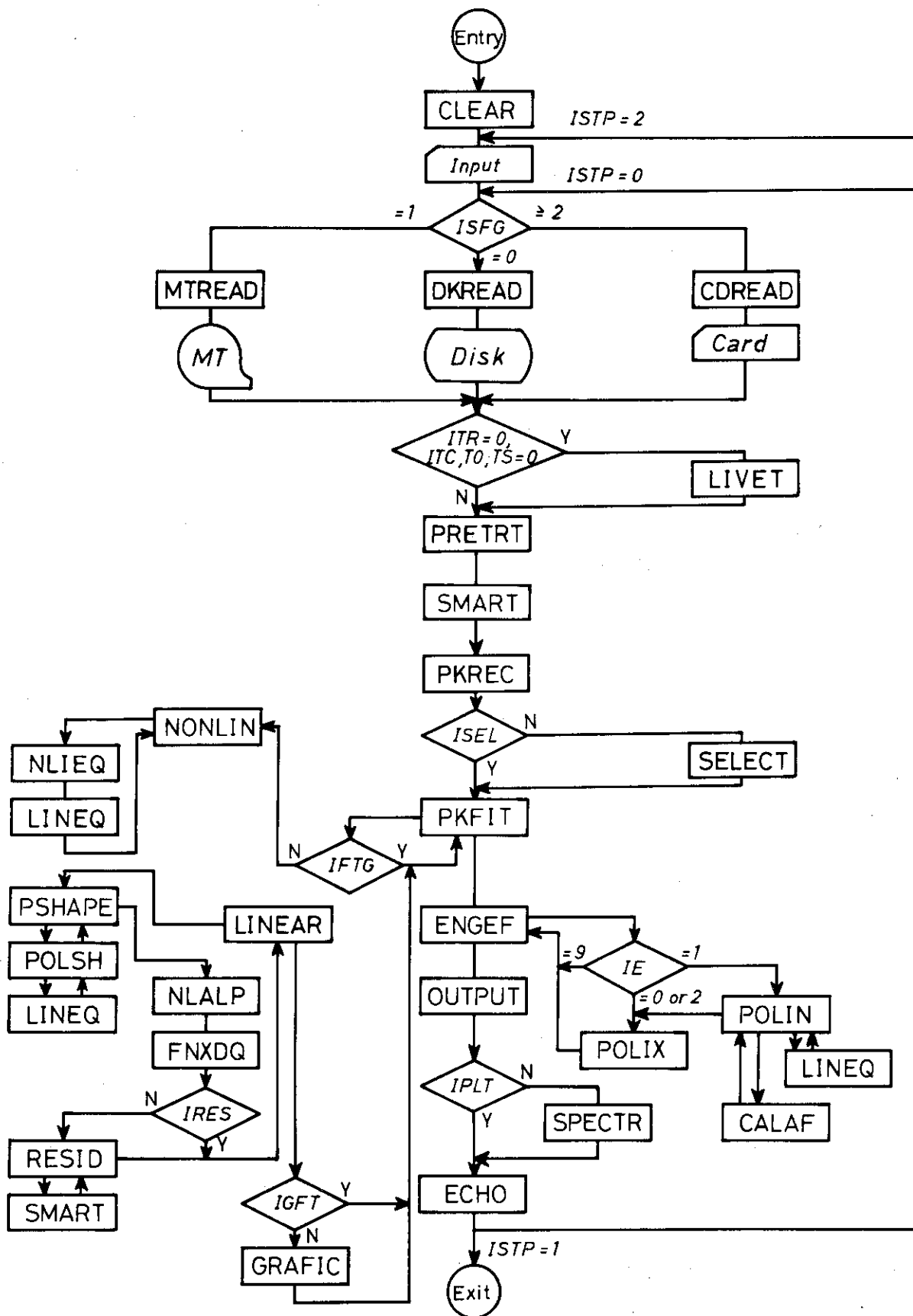


Fig.6 Structure of ALPS and the constitutive subprograms.

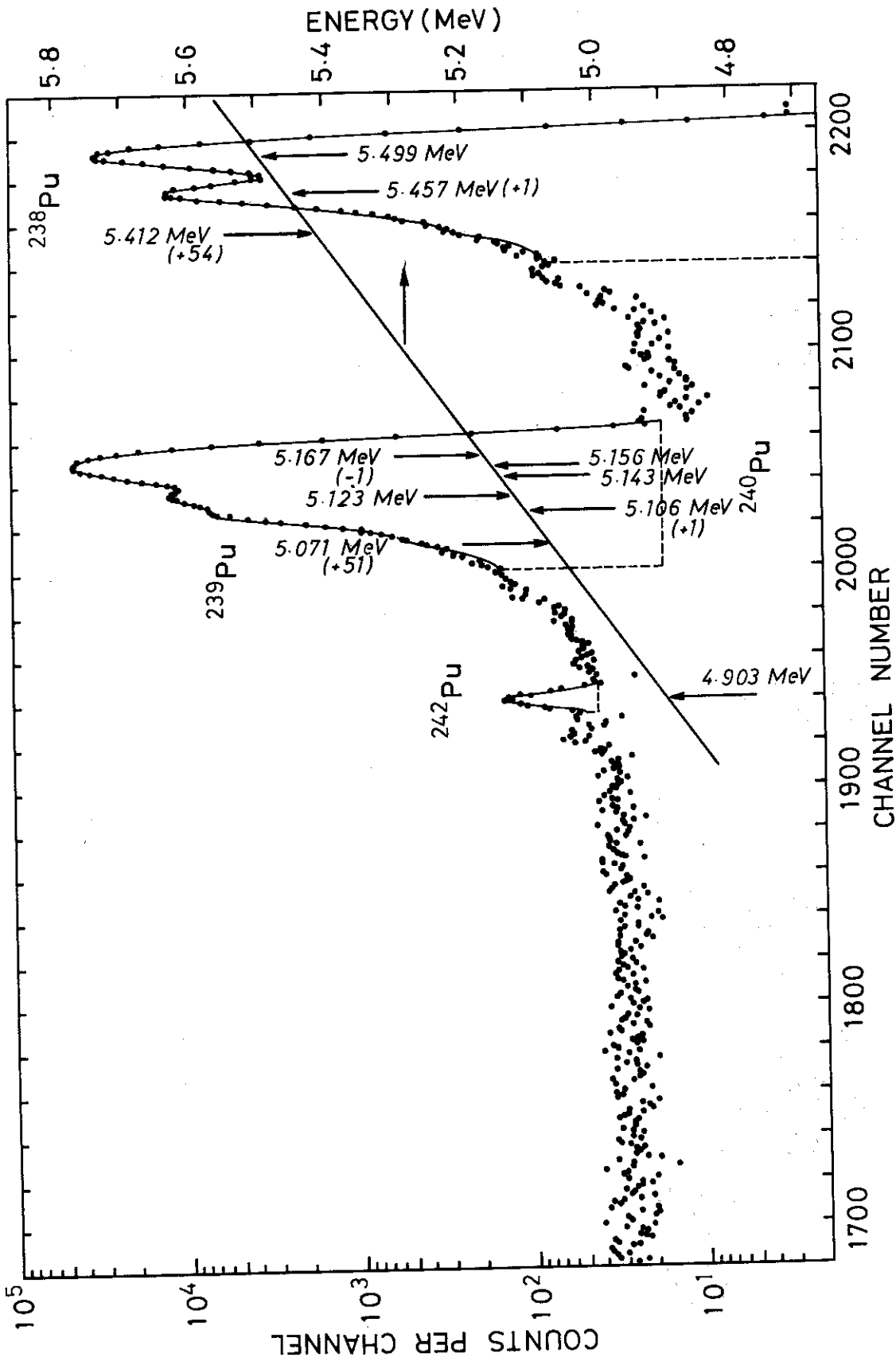


Fig. 7 An  $\alpha$  spectrum measured with a source prepared from the NBS plutonium standard. Results of the analysis by ALPS are also shown in the figure. Thick full curves indicate fitted portions of the spectrum and vertical arrows point to the determined peak positions. Numbers attached to each arrow give the peak energy obtained as a result of internal calibration and deviation from the nominal value in keV.

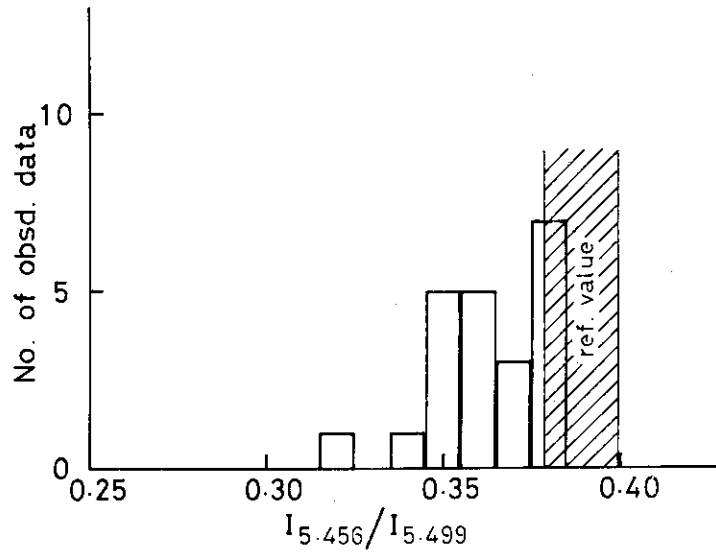


Fig.8 Peak intensity ratios obtained for 23 <sup>238</sup>Pu spectra. The hatched band gives the reference value<sup>6)</sup> for which an inaccuracy of ±0.5% with respect to the reported branching ratios is assumed.

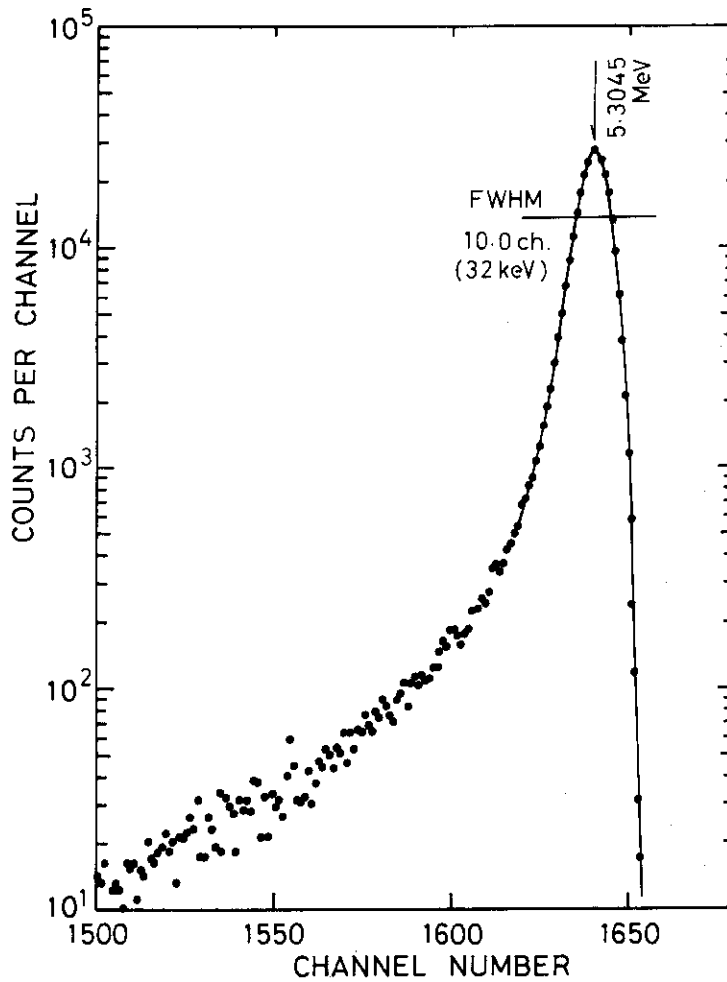


Fig.9 An  $\alpha$  spectrum of <sup>210</sup>Po.

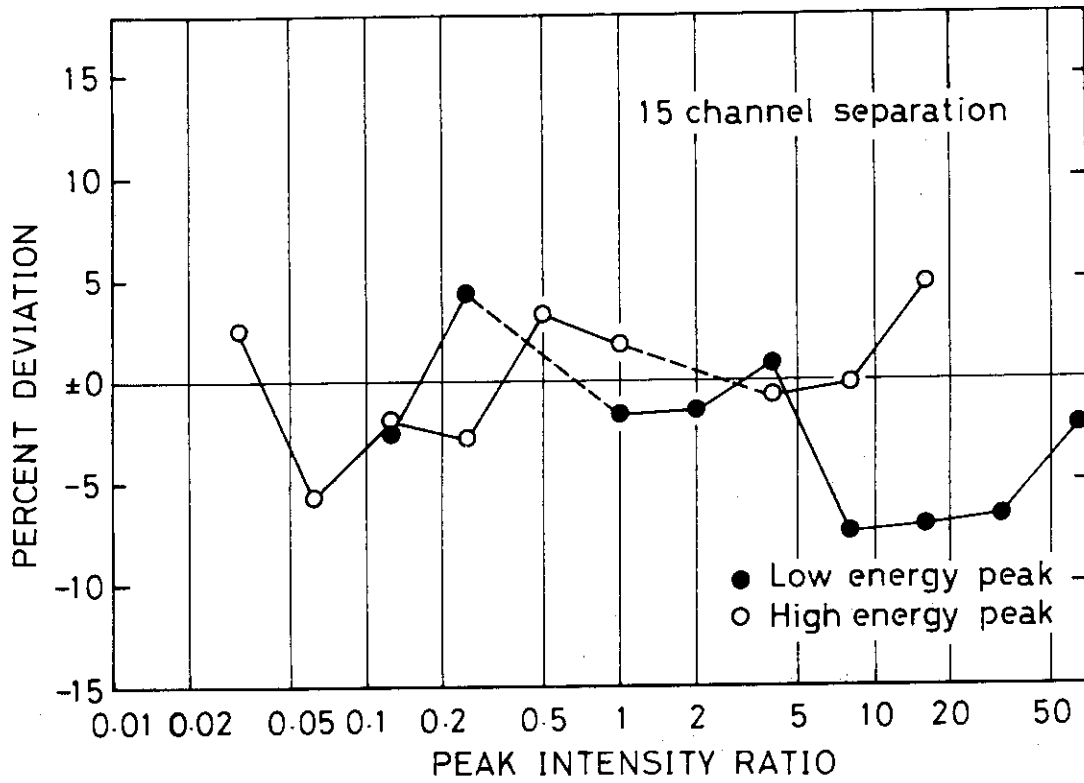


Fig.10 Results of an quantitative test of ALPS with artificially constructed  $\alpha$  spectra in which the two peaks were separated by 15 channels.

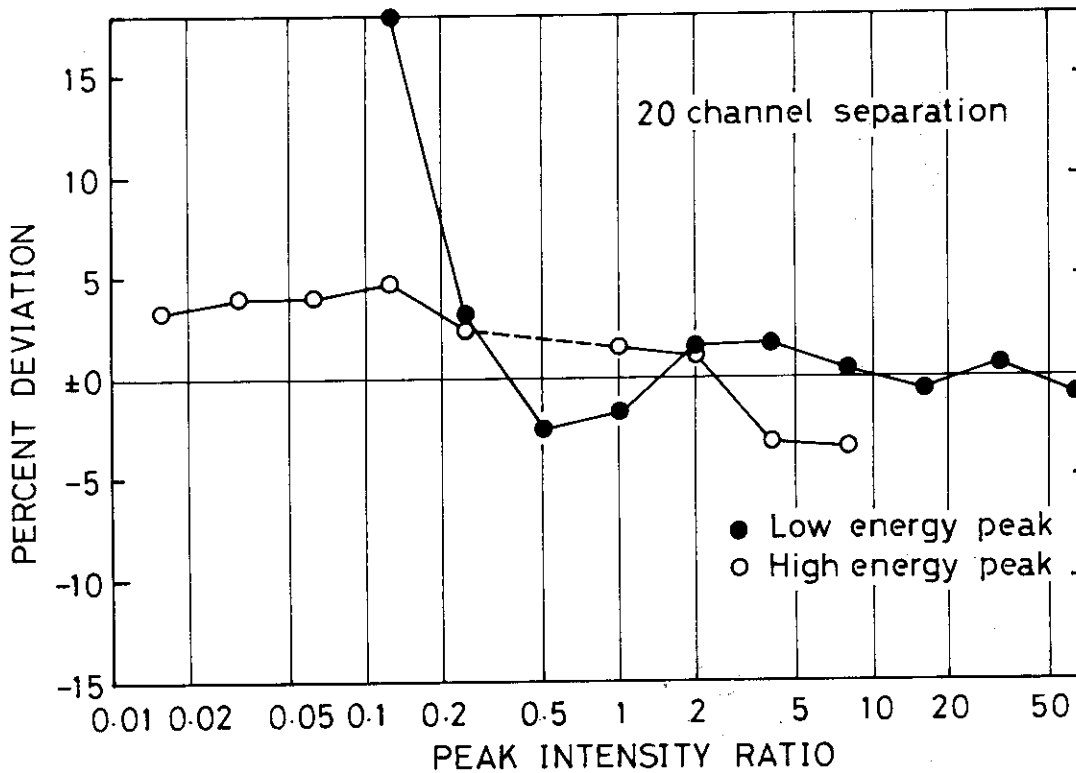


Fig.11 Results of an quantitative test of ALPS with artificially constructed  $\alpha$  spectra in which the two peaks were separated by 20 channels.

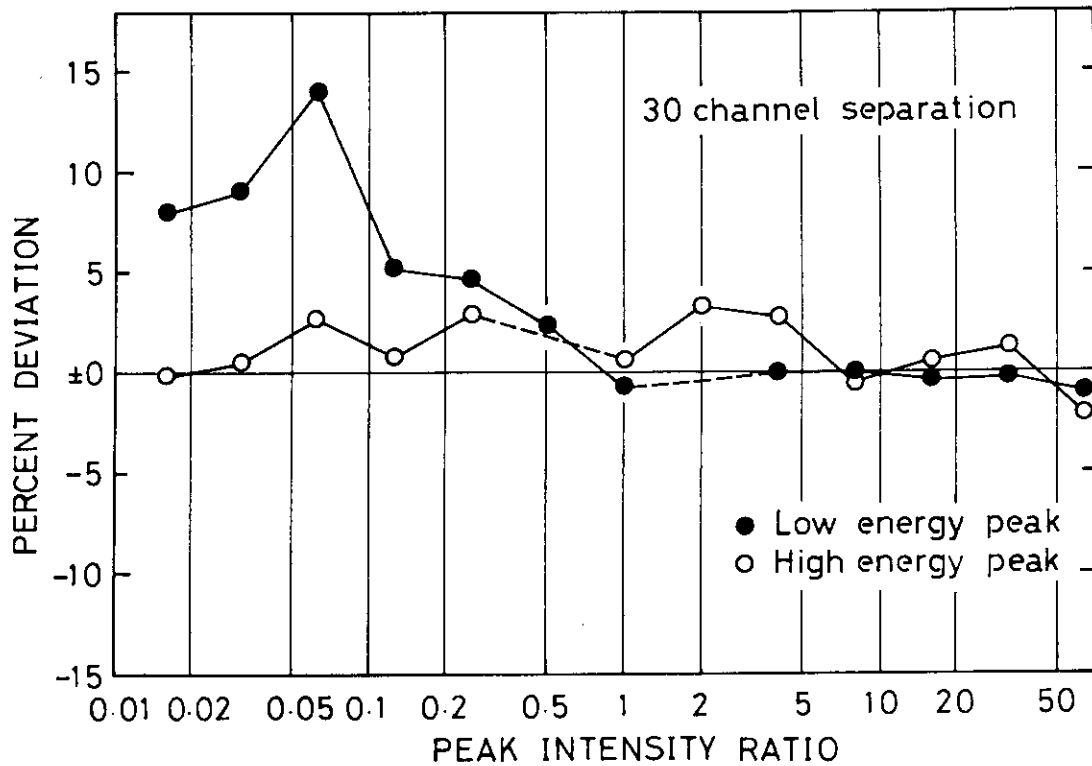


Fig.12 Results of an quantitative test of ALPS with artificially constructed  $\alpha$  spectra in which the two peaks were separated by 30 channels.

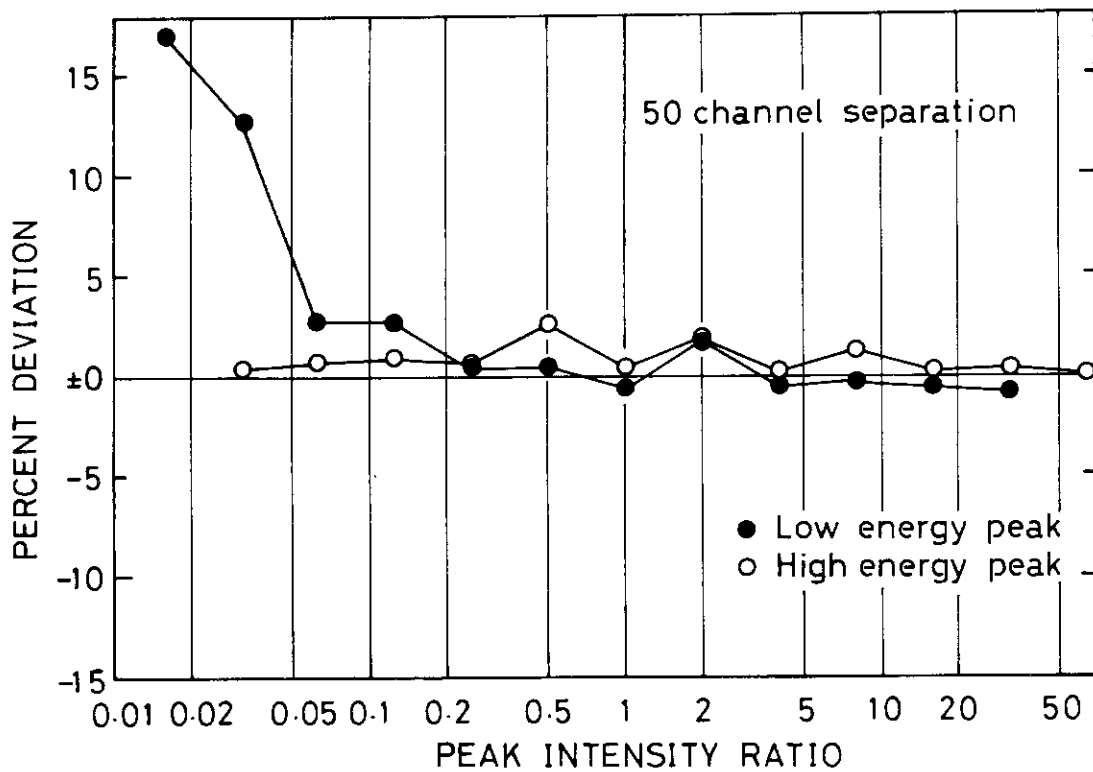


Fig.13 Results of an quantitative test of ALPS with artificially constructed  $\alpha$  spectra in which the two peaks were separated by 50 channels.