

GSPAN: ガンマ線スペクトル解析プログラム

鈴木 達郎*

(2000年10月13日 受理)

GSPAN: A Computer Programme for Gamma-ray Spectrum Analysis

SUZUKI Tatsuo

1. 緒 言

放射化分析や環境放射線分析などにおいては、ガンマ線スペクトロメトリーが重要な手段である。ガンマ線スペクトルの解析にはコンピュータ処理が適しているので、従来も多くの解析プログラムが提案されており、市販のソフトもいくつか既にだされている。しかしその多くは大型コンピュータ時代のものが基礎となっていたり、パソコン時代のものでも初期のものはメモリーを節約するプログラミングがなされているものが多い。従ってコードが公表されているものでも、必ずしも読みやすいものではない。現在のパーソナルコンピュータでも使いやすく、しかもネットカウンタ計算の後の放射能計算などでの処理のためのファイルの作成も、フィッティングさせるピーク形状関数の変更も自由にできるというためには自前で新たに計算ソフトを開発することが必要と感じていた。そこで実際のデータ解析の経験的要素を多分に取り込みながら、公開されているアルゴリズムを用いて実用に耐える計算プログラムの開発を試みてきた。その結果ある程度満足すべきデータを得られるようになったので、ここに GSPAN と名づけるプログラムを紹介し、その計算結果の一部を検討する

2. ガンマ線スペクトルの測定

現在ガンマ線はゲルマニウム半導体検出器とマルチチャンネル波高分析器を組み合わせ測定するのが普通である。ゲルマニウム半導体検出器は液体窒素 (77K) で冷却しなければならないため、一般にはデューワー瓶に接続して使用する。また検出器には鉛を主体とした遮蔽体も必要である。ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線測定はエネルギー分解能が高く4000あるいは8000

* 鹿児島大学教育学部地学教室 Department of Geology, Faculty of Education, Kagoshima University
Kagoshima, Japan

チャンネルといったスペクトルデータが容易にえられ、多数のガンマ線の解析が要求される。ガンマ線スペクトロメトリーについては多くの良い解説(野口, 1980; 科学技術庁, 1992; Gilmore and Hemingway, 1995)があるので、詳細はそれらを参照されたい。

ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトルでは、ピーク領域とバックランド領域とが明瞭なのでその解析には手計算も多く用いられてきたが、多数のデータを処理することと、複合ピークの処理には何と言ってもコンピュータ処理が適している。また従来も多く解析プログラムが提案されてきている(野口, 1980)。それらのプログラムではピークの形状関数の設定で、大別してピーク位置の異なる2つのガウス関数を合成したもの(Robinson, 1970)、ピーク位置で異なる半値幅のガウス関数を組み合わせたもの(Rutti and Prussin, 1969)とがある。ピークの形状を1つのガウス関数では十分に表すことができないためである。最近 Kishikawa et al. (1996) は装置関数なる概念を導入しガンマ線のスペクトルには検出装置に起因する様々なノイズが含まれるとして新たな解析法が必要であると述べている。しかしまだそれらの関数形の詳細や初期値の設定などが明らかにされていない。

ここでは、ピーク形状関数を、野口(1980)に従いピーク位置の異なる2つのガウス関数を合成したものとし、バックグラウンドの形状関数を、科学技術庁(1992)を一部改変した指数関数を合成したものとした。1ピークあたりのパラメータは主ガウス関数のピーク中心位置・ピークの高さ・半値幅と副ガウス関数の半値幅の4つである。バックグラウンドとしては、ピーク両側の一定チャンネルの平均値としてそれぞれあらかじめ定めて、複合ピークの場合はそれぞれのネットカウントに比例した差をつけたステップ状のバックグラウンドをガウス関数の半値幅を形状に取り入れた指数関数で接合したものを採用した。

3. GSPAN: ガンマ線スペクトル解析プログラムの構成

GSPANは現在次の4つのプログラムをMS-DOSのバッチファイルで順次実行するようになっている。

1. GSPNA205 (ソースファイル1398行, 実行可能ファイル57.4 k byte)

プログラム実行にあたってのオプション選択と、ガンマ線のスペクトルデータファイルの読み込みおよびRAMディスクへの一時的な書きこみを行う。現在10種類の異なるフォーマットのスペクトルデータに対応している。

2. GSPNC205 (ソースファイルで2022行, 実行可能ファイル68.7 k byte)

スペクトルの平滑化とピーク領域の設定、ピークの検出、バックグラウンド関数の初期設定、関数フィッティングの場合には初期値の計算を行う。

3. GSPNP101 (ソースファイルで1176行, 実行可能ファイル43.0 k byte)

ピーク-トータル比の計算などに備えて、MCAのディスクリミネータでカットしてある部分

の低エネルギー部分のスペクトルを補完して、真の全カウント数を推定する。

4. GSPNB134 (ソースファイルで910行, 実行可能ファイル31.8 k byte)

[2]のGSPNC205で設定したピーク領域について関数フィッティングを行う場合は、領域毎に初期値のファイルを作成し、アナログデータとして扱う場合はGFT83A22を、デジタルデータとして扱う場合はGFT91A22をそれぞれ起動して最適値を求め、ネットカウントデータのファイルを作成し、印刷が設定されている場合にはそのデータを印刷する。さらに全ての一時的なファイルを消去して、終了する。GFT83A22およびGFT91A22は次のようなものである。

1) GFT83A22 (ソースファイルで1001行, 実行可能ファイル286.5 k byte)

粟屋 (1983, p.134~135) のCRVFITAを基本部分として、フィッティング関数およびバックグラウンド関数を書き換えてファイルの入出力の部分を追加したものである。CRVFITAは粟屋 (1983) による非線型最小二乗法を用いたフィッティング方法である。

2) GFT91A22 (ソースファイルで1436行, 実行可能ファイル323.0 k byte)

粟屋 (1991, p.218~226) のCRDQR2を基本部分として、フィッティング関数およびバックグラウンド関数を書き換えてファイルの入出力の部分を追加したものである。CRDQR2は粟屋 (1983, 1991) による最小二乗法を用いないデジタルデータに適したフィッティング方法である。

なおGFT83A22およびGFT91A22のソースコードはMS-FORTRAN (Ver.4.0) により、その他はQuickBASIC (Ver.4.5) (いずれもMicrosoft製) によって書かれている。またその実行にはPC9821Ap2 (NEC製: CPUは486DX) にメモリーボードを追加して使用している。

4. GSPAN: ガンマ線スペクトル解析プログラムの使用手順

このプログラムは前述の通りバッチファイルになっているので、そのバッチファイルを呼び出すためプロンプト表示からGSPANと打ち込むと全体が起動する。

ヘッダー部分が表示されたら、リターンキーを押すと、1) 入出力のためのドライブ、2) 分析の種類 (短寿命放射化分析, 自然放射能分析, 中性子モニターとしての放射化法, 標準線源を用いた検出器の検出効率測定, 等々)、3) データフォーマットの種類 (どの測定系を使用したか)、4) データファイルの大きさ (4000チャンネルか8000チャンネルか)、5) 解析範囲、6) スムージングのためのガウス関数フィルターの種類、7) ピーク検出係数 (通常2か3を指定する)、8) 1次微係数 (1から3の範囲で選ぶ)、9) 2次微分フィルター係数 (7か9を指定)、10) ネットカウントの計算法を、[1]単純積算法、[2]単純積算法 (単一ピークの場合) と関数フィッティング (複合ピークの場合) の組み合わせ、[3]関数フィッティング、から選択、11) [1][2]を選ぶときはピーク領域とバックグラウンド領域との間に空きチャンネルを設定するかどうか

か、12) [2][3]を選んだときは、アナログデータとして扱うのか、デジタルデータとして扱うのか、13) フィッティングするのはスムージング後のデータか、オリジナルのデータかの選択、14) フィッティングデータの一部あるいは全領域を印刷するかどうか、15) 検出器の名称、16) 使用したMCAでは1チャンネルはほぼ何keVに設定されているか、17) ディスクリミネータでカットしてある部分の推定に1次式を使うか、2次式を使うか、18) ディスクリミネータでカットした部分の上限チャンネル(自動的に検出できるが、安全のため入力したほうが良い)、19) 計算データを印刷するかどうか、といった項目についてそれぞれ選択して入力する。

次にファイルの入力方法を選択する。1)一つずつ、2)いくつかまとめて、3)ディスクに記録されているファイルのすべて、のいずれかを選択する。ディスクに記録されているファイルのすべてが一覧が表示されるので、(1)(2)の場合は矢印キーで選択し、(3)の場合は、「すべて選択します」とのメッセージに応答する。

その後は全く自動的に処理が進む。ピーク数にもよるが、標準線源のように比較的単純なスペクトルの場合では、全てのパラメータ入力後、1ファイルあたりおおよそ20秒で結果が表示される。従って多くのファイルを処理し結果を印刷するときには、その処理速度はほとんどプリンターの印刷処理能力に依存する。

5. GSPAN: ガンマ線スペクトル解析プログラムの使用例

本解析プログラムのテストデータとして混合標準線源(Amersham製)を鹿児島大学共同利用RI実験室のピュアゲルマニウム検出器で測定したガンマ線スペクトルデータを用いる。この線源はCd-109, Co-57, Ce-139, Hg-203, Sn-113, Sr-85, Cs-137, Y-88, Co-60が含まれ、作成時にはそれぞれの主要ガンマ線のピークがほぼ等しくなるようになっている。また測定系としては、EG & G ORTECのピュアゲルマニウム検出器(相対効率30%)、ラボラトリ・イクウィップメント社のカード型MCAのMCA/PC98Bを装着したNECのPC98VMである。データは3.5インチフロッピーディスクに記録するようになっている。さらにまたEG & G ORTECのパーサー480を加えパーサーピークを発生させスペクトルデータに加えている。

そのようなスペクトルの1例を図1に示した。この場合ピーク領域として判定されたものは16であり、そのチャンネル値でのデータの出力例を図2に示した。図2でReg.は領域番号、Peaksは、領域に含まれるピーク数、BG stとBG endは低エネルギー側でのバックグラウンドの始まりと終わりのチャンネル、SROIとEROIとはピーク領域の始まりと終わりのチャンネル、Pk Ch.はピーク位置にあたるチャンネル、BG stとBG endとは高エネルギー側でのバックグラウンドの始まりと終わりのチャンネル、Judgeはピーク領域の終わりを判定した根拠を示している。またそのようなピーク領域判定のパラメータをCs-137のピークについて1例を示したのが図3である。ここでは左からチャンネル数、オリジナルのカウント数、スムージング後のカウントとその 1σ 、

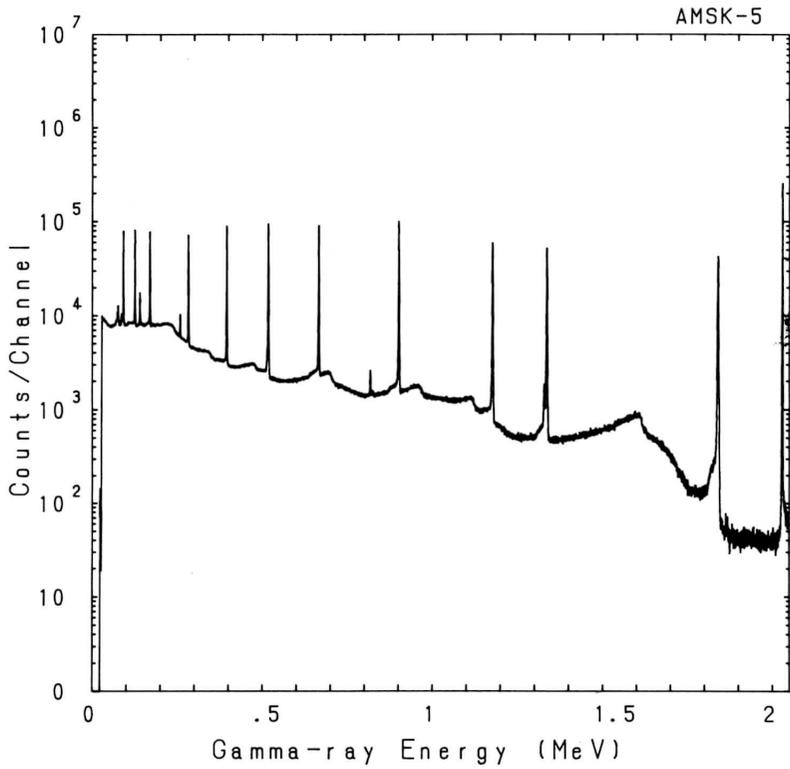


図1 ガンマ線スペクトルの1例

AMSK-5.STN
No of Region = 16

Reg.	Peaks	BG st	BG end	SROI	Pk Ch.	EROI	BG st	BG end	Judge
1	2	131	133	134	145				
					149	157	158	164	27
2	2	158	164	165	169				
					180	186	187	189	27
3	1	241	242	243	248	254	255	265	2
4	1	272	272	273	277	282	283	284	27
5	1	327	330	331	335	342	343	345	27
6	1	506	510	511	514	520	521	528	2
7	1	544	556	557	562	569	570	576	2
8	1	778	781	782	788	796	797	803	2
9	1	1021	1021	1022	1033	1041	1042	1045	27
10	1	1319	1320	1321	1328	1336	1337	1350	2
11	1	1617	1628	1629	1633	1638	1639	1646	2
12	1	1792	1792	1793	1801	1812	1813	1814	27
13	1	2340	2341	2342	2352	2361	2362	2368	2
14	2	2649	2649	2650	2656				
					2671	2680	2681	2684	27
15	1	3665	3665	3666	3678	3690	3691	3692	2
16	1	4047	4047	4048	4056	4066	4067	4073	27

図2 ピーク領域の範囲

Ch.	A (i)	C (i)	1s	d1 (i)	d2 (i)	1s	PA (i)
1311	2626	2609.227	27.368	28.484	-161.048	665.333	0
1312	2638	2630.619	27.472	11.241	-374.271	667.513	0
1313	2647	2631.708	27.502	0.770	-143.972	668.604	0
1314	2594	2632.158	27.527	9.600	81.653	669.440	0
1315	2665	2650.908	27.594	14.749	106.581	671.344	0
1316	2695	2661.656	27.649	5.965	284.123	673.024	0
1317	2608	2662.838	27.699	15.243	657.689	674.600	0
1318	2708	2692.142	27.842	39.287	938.198	678.603	0
1319	2720	2741.413	28.077	51.300	1682.588	685.406	0
1320	2824	2794.741	28.369	62.181	4985.852	697.446	0
1321	2813	2865.774	28.864	134.915	16064.570	724.878	1
1322	2918	3064.572	30.122	373.772	48050.078	798.945	2
1323	3355	3613.319	33.476	1086.635	121618.477	968.410	2
1324	4215	5237.842	42.029	3407.609	235038.344	1265.308	2
1325	6743	10428.537	59.772	9281.456	307141.188	1687.276	2
1326	16812	23800.754	86.630	18262.613	185115.109	2205.140	2
1327	43994	46953.762	115.987	23013.463	-188260.344	2737.698	2
1328	81027	69827.680	137.204	13888.869	-595966.063	3124.933	4
1329	91449	74731.500	141.122	-6459.625	-685524.313	3197.067	2
1330	58889	56908.430	125.750	-21630.605	-369067.406	2912.421	2
1331	24594	31470.289	97.711	-21656.471	64096.641	2403.146	2
1332	8178	13595.487	67.814	-12892.354	297194.125	1850.359	2
1333	3864	5685.581	45.001	-5192.344	283890.125	1369.429	2
1334	2689	3210.799	32.568	-1555.911	167754.375	1007.390	2
1335	2504	2573.759	27.851	-407.279	71096.383	783.173	2
1336	2342	2396.242	26.426	-115.339	23329.988	678.465	3
1337	2321	2343.081	26.002	-35.660	6570.039	642.453	0
1338	2359	2324.921	25.857	-17.076	2019.221	632.258	0
1339	2279	2308.929	25.798	-1.949	997.211	629.007	0
1340	2279	2321.024	25.854	21.802	521.089	629.612	0
1341	2428	2352.533	25.981	22.352	-1.595	632.097	0
1342	2303	2365.728	26.078	14.843	-375.433	633.325	0
1343	2419	2382.219	26.144	7.625	-533.428	634.850	0
1344	2399	2380.977	26.133	-11.799	-351.525	635.075	0
1345	2344	2358.621	26.055	-15.224	49.298	633.652	0
1346	2321	2350.528	26.015	1.028	184.065	632.899	0

図3 ピーク領域内のパラメータ

1次微係数, 2次微係数とその 1σ が示されている。これらのパラメータからピーク領域を判定しているが, その判定には経験的な要素が加味されている。PA(i)はその結果であり, 0がバックラウンド領域, 1がピーク領域の開始位置, 2がピーク領域, 3がピーク領域の終了位置, 4がピーク中心チャンネルと判定したことを示している。

1) 単純積算法

単純積算法による標準線源におけるガンマ線ピーク領域のネットカウントの出力例を図4に示した。この出力では, 計算方法, 出力年月日, ファイル名, 使用検出器, 測定年月日, Live Time (検出器の不感時間を排除した測定時間), True Time (実際に測定していた時間), 見かけの全カウント数, ディスクリミネータでカットした部分を補完した全カウント数, をヘッダー部分に示し, データ項目として, 左からピーク中心位置, 括弧内にピーク数, ピー

ク領域、半値幅、ピーク領域内の全カウント、バックグラウンドの全カウント、ネットカウント（正味のピーク面積）、ネットカウントの 1σ （ピーク領域内の全カウントと、バックグラウンドの全カウントの和の平方根として求める）を示している。

この方法によるネットカウントは単一ピークの場合、手計算法による数値に極めて近い値を示すことになる。環境放射能測定のように全体に低いカウント数で特定の核種のみを検討する場合には有効な方法とされている。

```

** Simple Integration (digital) **                (2000-10-11 15:45:56)

AMSK-5.STN (KD3: 0 cm)          DATE= 1997/ 4/ 10   TIME= 12: 20: 29

LIVE TIME = 10000 sec,    TRUE TIME = 10460 sec
TOTAL COUNT = 1.190474E+07
TOTAL COUNT = 1.263487E+07 [0 - 69 ch : QUADRATIC ]

```

PEAKCH	PEAK	AREA	FWHM	SUMCOUNT	BGCOUNT	NETCOUNT	SIGMA
74.74 (2)	67.0 - 78.5	2.396	225482	191749	33733	646	
90.00 (2)	82.5 - 93.0	1.155	367290	176056	191234	737	
124.09	121.5 - 127.0	1.176	281331	98041	183290	616	
138.52	136.5 - 141.0	1.648	106928	81722	25206	434	
167.99	165.5 - 171.0	1.227	274983	96938	178045	610	
257.42	255.5 - 260.0	1.942	71284	58890	12394	361	
281.49	278.5 - 284.5	1.266	246794	65474	181320	559	
394.13	391.0 - 398.0	1.387	310495	47616	262879	598	
516.55	511.0 - 520.5	1.455	355559	48635	306924	636	
664.36	660.5 - 668.0	1.572	356386	39894	316492	630	
816.99	814.5 - 819.0	2.551	18474	14420	4054	181	
900.92	896.5 - 906.0	1.865	430395	36084	394312	683	
1176.26	1171.0 - 1180.5	1.984	288725	19158	269567	555	
1335.58 (2)	1325.0 - 1340.0	2.020	272815	19712	253103	541	
1839.27	1833.0 - 1845.0	2.324	245082	5709	239373	501	
2028.38	2024.0 - 2033.0	1.034	599151	1617	597534	775	

```

-----
No of Region = 16

```

図4 全ピーク領域のネットカウントデータ（単純積算法）

2) アナログデータ

栗屋（1983）のCRVFITAを基本部分とした非線型最小二乗法を用いたフィッティングによるネットカウントデータを図5に示す。読み方は単純積算法で述べた通りである。1領域に2本以上のガンマ線がある場合もそれぞれのピーク面積として示されているが、74 keV付近のデータは異常な値となっている。これは鉛のエックス線であり、その形状が必ずしもガンマ関数に適合しないことにもよっているであろうが、なお検討を要する。しかしその他単一ピークではおおよ単純積算法と一致しているように見える。

```

** Fitting : GSFIT83A (digital) **                (2000-10-11 16:36:19)

AMSK-5.STN (KD3: 0 cm)          DATE= 1997/ 4/ 10  TIME= 12: 20: 29

LIVE TIME = 10000 sec,  TRUE TIME = 10460 sec
TOTAL COUNT = 1.190474E+07
TOTAL COUNT = 1.263592E+07 [0 - 69 ch : QUADRATIC ]

```

PEAKCH	PEAK	AREA	FWHM	SUMCOUNT	BGCOUNT	NETCOUNT	SIGMA
73.57	67.0	- 78.5	3.652	10505666	2322880	8182786	3241
75.27	67.0	- 78.5	0.941	97253	96118	1135	312
84.13	82.5	- 93.0	1.314	814484	183570	630914	902
90.00	82.5	- 93.0	1.209	290519	111738	178781	539
124.10	121.5	- 127.0	1.305	317928	125088	192840	564
138.53	136.5	- 141.0	1.847	252833	214266	38567	503
168.00	165.5	- 171.0	1.252	299748	116840	182908	547
257.38	255.5	- 260.0	1.613	172731	148876	23855	416
281.49	278.5	- 284.5	1.326	264770	80276	184494	515
394.12	391.0	- 398.0	1.548	333988	67906	266082	578
516.54	511.0	- 520.5	1.597	347752	50336	297416	590
664.32	660.5	- 668.0	1.910	391726	77420	314306	626
816.94	814.5	- 819.0	1.876	51912	46918	4995	228
900.88	896.5	- 906.0	1.949	440703	51000	389703	664
1176.17	1171.0	- 1180.5	2.394	295011	37784	257227	543
1327.65	1325.0	- 1340.0	2.506	261175	69053	192122	511
1335.52	1325.0	- 1340.0	2.298	263358	24041	239318	513
1839.05	1833.0	- 1845.0	2.826	237232	4473	232759	487
2028.36	2024.0	- 2033.0	1.223	589955	1106	588849	768

No of peaks = 19

図5 全ピーク領域のネットカウントデータ (アナログ)

3) デジタルデータ

栗屋 (1991) のCRDQR2を基本部分とした, 最小二乗法を用いないフィッティング方法であるGFT91A22によるネットカウントの出力例を図6に示した。複合ピークの部分もそれらのネットカウントの和も単純積算法の値と調和的であり, 単一ピークの値も極めて良く一致している。データの最後にある2028チャンネルの値はパルサーピークのデータであり, そのネットカウントは検出器にパイルアップなどによる数え落としがなければ供給電源の周波数と測定時間の積であり, ここでも極めて良く調和したデータが得られている。

図7・8はCs-137のガンマ線ピークでのフィッティング例を, GSPNC205で設定した初期値とGFT91A22によるフィッティング結果とを示したものである。図7に示すZRX・ZQXは副ガウス関数に関するパラメータ, A()はバックグラウンドのパラメータ, A1()はピーク形状に関するパラメータの初期値, FWHMは主ガウス関数の半値幅, FWHMqは副ガウス関数の半値幅, XXは相対的チャンネル位置, NYはオリジナルのカウント数, SYはスムージング後のカウント数, FIT(0)はフィッティング後のカウント数, YY-FIT(0)はフィッティング関数とフィッティングすべきカウントデータとの残差, BYはバックグラウンド関数, である。欄外の値はそれぞれのピーク領域内での総和である。図8のAA()はピーク形状に関するパラメータのフィッティング後の値, PK1・PK2はそれぞれ主ガウス関数・副ガウス関数のピーク面積である。これを見ると

** Fitting : GSFIT91A (digital) ** (2000-10-11 15:39:41)

AMSK-5.STN (KD3: 0 cm) DATE= 1997/ 4/ 10 TIME= 12: 20: 29

LIVE TIME = 10000 sec. TRUE TIME = 10460 sec
 TOTAL COUNT = 1.190474E+07
 TOTAL COUNT = 1.263592E+07 [0 - 69 ch : QUADRATIC]

PEAKCH	PEAK	AREA	FWHM	SUMCOUNT	BGCOUNT	NETCOUNT	SIGMA
73.07	67.0 - 78.5	5.251	1948411	1923816	24595	1396	
74.79	67.0 - 78.5	0.822	71521	64082	7439	267	
84.79	82.5 - 93.0	2.110	427314	407045	20269	654	
89.99	82.5 - 93.0	1.087	265544	95775	169768	515	
124.09	121.5 - 127.0	1.121	284356	101634	182722	533	
138.51	136.5 - 141.0	1.185	123136	98892	24244	351	
167.99	165.5 - 171.0	1.158	279404	101261	178143	529	
257.40	255.5 - 260.0	1.202	92388	80164	12224	304	
281.49	278.5 - 284.5	1.266	252261	70832	181429	502	
394.12	391.0 - 398.0	1.382	312405	50191	262213	559	
516.54	511.0 - 520.5	1.546	346213	48147	298066	588	
664.34	660.5 - 668.0	1.655	374749	60998	313751	612	
816.98	814.5 - 819.0	1.682	41093	36966	4128	203	
900.89	896.5 - 906.0	1.876	441213	48000	393213	664	
1176.22	1171.0 - 1180.5	2.115	297304	29634	267669	545	
1327.98	1325.0 - 1340.0	2.674	44272	35805	8467	210	
1335.54	1325.0 - 1340.0	2.236	264445	23018	241427	514	
1839.15	1833.0 - 1845.0	2.679	242204	3969	238235	492	
2028.37	2024.0 - 2033.0	1.099	595813	948	594865	772	

No of peaks = 19

図6 全ピーク領域のネットカウントデータ (デジタル)

** GSFIT91A : Initial Data ** 2000/10/11 16:41:11

Fitting Method = 1 Fitting Data Type = 0
 Fitting Function = 0
 No. of Peaks = 1 No. of Data = 16
 ZRX = 1.0000 ZQX = .5000

A0(0) = .234607153320D+04
 A0(1) = .325164949877D+03

A1(1) = .298228680702D+03
 A1(2) = .155821662943D+00
 A1(3) = .871557617188D+01
 A1(4) = .210879522468D+02

FWHM(1) = 4.218216 FWHMq(1) = 5.965458

XX	NY	SY	FIT(0)	YY-FIT(0)	BY
1.0	2813	2865.7739	2679.5714	133.4286	2671.2365
2.0	2918	3064.5720	2750.1880	167.8120	2671.2365
3.0	3355	3613.3191	3218.9435	136.0565	2671.2364
4.0	4215	5237.8418	5453.6844	-1238.6844	2671.2359
5.0	6743	10428.5400	13022.2732	-6279.2732	2671.2271
6.0	16812	23800.7500	30869.1717	-14057.1717	2671.0797
7.0	43994	46953.7617	58921.6948	-14927.6948	2668.6459
8.0	81027	69827.6797	84819.3033	-3792.3033	2632.8939
9.0	91449	74731.5000	90406.3251	1042.6749	2446.8920
10.0	58889	56908.4297	71361.1442	-12472.1442	2354.6196
11.0	24594	31470.2891	42119.5191	-17525.5191	2346.5981
12.0	8178	13595.4902	19322.5727	-11144.5727	2346.1032
13.0	3864	5685.5811	7882.5619	-4018.5619	2346.0734
14.0	2689	3210.7991	3899.4785	-1210.4785	2346.0716
15.0	2504	2573.7590	2853.9339	-349.9339	2346.0715
16.0	2342	2396.2419	2582.6588	-240.6588	2346.0715
356386		356364.3284	442163.0243	-85777.0243	40207.2930

図7 ピーク領域のイニシャルデータ

** GSFIT91A : Data Calculated (1) ** 2000/10/11 16:41:11

ZRX = 1.0000 ZQX = .5000

A0(0) = .234607153320D+04 ± .000000000000D+00
A0(1) = .325164949877D+03 ± .000000000000D+00

AA(1) = .297018582156D+03 ± .340081958271D+00
AA(2) = .252859355047D+00 ± .865524911062D-03
AA(3) = .867532488798D+01 ± .305350470099D-02
AA(4) = .237970866682D+02 ± .108057194001D+01

Peak No. (1)

FWHM = 3.311336 FWHMq = 4.682936
PK1 = .310958682010D+06 ± .112236606310D+04
PK2 = .282291647319D+04 ± .128545942610D+03
PK1 + PK2 = .313781598483D+06 ± .143333534052D+05
PK1 - PK2 = .308135765536D+06 ± .140754551751D+05

XX	NY	SY	FIT(0)	YY-FIT(0)	BY
1.0	2813	2865.7739	2671.2665	141.7335	2671.2365
2.0	2918	3064.5720	2672.3660	245.6340	2671.2364
3.0	3355	3613.3191	2696.8708	658.1292	2671.2353
4.0	4215	5237.8418	3022.2761	1192.7239	2671.2258
5.0	6743	10428.5400	5570.8602	1172.1398	2671.1391
6.0	16812	23800.7500	17116.8225	-304.8225	2670.3534
7.0	43994	46953.7617	46073.5150	-2079.5150	2663.3788
8.0	81027	69827.6797	81298.5923	-271.5923	2611.4715
9.0	91449	74731.5000	88535.7092	2913.2908	2452.7619
10.0	58889	56908.4297	59313.0687	-424.0687	2362.6437
11.0	24594	31470.2891	25345.0546	-751.0546	2347.9806
12.0	8178	13595.4902	8304.2791	-126.2791	2346.2826
13.0	3864	5685.5811	3622.7574	241.2426	2346.0948
14.0	2689	3210.7991	2753.2209	-64.2209	2346.0741
15.0	2504	2573.7590	2529.3120	-25.3120	2346.0718
16.0	2342	2396.2419	2420.0866	-78.0866	2346.0716
	356386	356364.3284	353946.0577	2439.9423	40195.2577

図8 ピーク領域のフィッティングデータ

フィッティング後は1%以内でオリジナルカウントに良くフィットしていることがわかる。

このデータから計算される放射能計算と標準線源の保証値を用いて (ACTCALFF 計算プログラムにより) 得られたゲルマニウム半導体検出器の検出効率を図9に示す。その結果は充分満足できるものである。

6. 結 論

ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリーのためのデータ解析として、粟屋 (1983, 1991) のフィッティング・プログラムを取り入れた計算プログラムを作成した。測定データをデジタルデータとして扱うときには極めて良好な結果を得る事ができ、GSPANは充分実用に耐えるものと考えられる。

(2000-10-13 15:09:46)

```

AMSK-5.STF
AMSK (KD3-9704):      KD3 ( 5 cm )
Coolig Time = 6.7639D+01 d   T(w) = 1997/ 4/ 10 12: 20: 29
Live Time: 10000 sec      True Time: 10460 sec
Total Count = 1.1905D+07
Pile Up      = 1.00000 ± 0.00000

```

Nuclide	Energy (keV)	Netcounts	A(w)*cps	Astd(w)*γ/s	η'(E)
Cd-109	88.034	169768 ± 515	1.6978D+01 ± 5.1536D-02	6.9579D+02 ± 2.1120D+00	2.4402D-02 ± 7.4068D-05
Co-57	122.061	182722 ± 533	1.8275D+01 ± 5.3333D-02	5.9161D+02 ± 1.7265D+00	3.0890D-02 ± 9.0150D-05
Ce-139	166.853	178143 ± 529	1.7820D+01 ± 5.2875D-02	6.0181D+02 ± 1.7857D+00	2.9610D-02 ± 8.7860D-05
Hg-203	279.188	181429 ± 502	1.8159D+01 ± 5.0271D-02	8.6109D+02 ± 2.3838D+00	2.1089D-02 ± 5.8380D-05
Sn-113	391.690	262213 ± 559	2.6231D+01 ± 5.5914D-02	1.6542D+03 ± 3.5260D+00	1.5857D-02 ± 3.3801D-05
Sr-85	513.996	298066 ± 588	2.9826D+01 ± 5.8878D-02	2.2938D+03 ± 4.5281D+00	1.3003D-02 ± 2.5668D-05
Cs-137	661.660	313751 ± 612	3.1375D+01 ± 6.1217D-02	2.9543D+03 ± 5.7643D+00	1.0620D-02 ± 2.0721D-05
Y-88	898.065	393213 ± 664	3.9337D+01 ± 6.6450D-02	4.8005D+03 ± 8.1092D+00	8.1944D-03 ± 1.3842D-05
Co-60	1173.237	267669 ± 545	2.6768D+01 ± 5.4527D-02	4.0414D+03 ± 8.2325D+00	6.6234D-03 ± 1.3492D-05
Co-60	1332.501	241427 ± 514	2.4143D+01 ± 5.1425D-02	4.0443D+03 ± 8.6144D+00	5.9697D-03 ± 1.2715D-05
Y-88	1836.077	238235 ± 492	2.3833D+01 ± 4.9234D-02	5.0742D+03 ± 1.0482D+01	4.6968D-03 ± 9.7027D-06

図9 放射能計算値の1例

なおここで用いたPC98型のパソコンもプログラミング用ソフトも既に市場になく、使用しにくくなってきているので、現在 Windows98/95 用対応の F-Basic と Fortran とに移植しつつある。また Linux での使用も検討中である。GSPAN ガンマ線スペクトル解析プログラムは、そのような対応がすみ次第、Web サイトでの公開を予定している。

謝 辞

ガンマ線スペクトル解析の初歩の手ほどきをしていただいた、立教大学原子力研究所・戸村健児名誉教授、一部のデータファイル読み込みについてご教示を得た、立教大学原子力研究所の栗原英

明氏, 元東京大学原子力研究総合センター横須賀分室の加藤康枝氏, 同東海分室の澤幡浩之氏, ガンマ線測定についてお世話になった, 鹿児島大学共同利用 RI 実験室専門職員西山安夫氏, これらの方々に深甚の謝意を表する。

文 献

- 粟屋 隆 (1983) : データ解析 アナログとデジタル . 207pp. 学会出版センター
- 粟屋 隆 (1991) : データ解析 アナログとデジタル [改定版]. 270pp. 学会出版センター
- Gilmore, G. and Hemingway, J. (1995): *Practical Gamma-Ray Spectrometry*. 314 pp. John Wiley & Sons.
- 科学技術庁 (1992) : ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー . 362pp. 日本分析センター
- Kishikawa, T., Yonezawa, C., Matsue, H., Ito, Y., and Sawahata, H. (1996): Effect of bremsstrahlung and Compton-electron induced summing on Ge-detector photopeak shapes. *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res., A*. Vol.369, p.689-692.
- 野口正安 (1980) : 実験と演習 : γ 線スペクトロメトリー . 243pp. 日刊工業新聞社 .
- Robinson, C. (1970): A computer Program for Determination of Accurate Gamma Ray Line Intensities from Germanium Spectra. *Nucl Instr. Methods*, Vol. 78, p.120-124.
- Rutti, L.T. and Prussin, S.G. (1969): Photopeak Method for the Computer Analysis of Gamma-Ray Spectra from Semiconductor Detectors. *Nucl. Instr. Method*, Vol.72, p.125-142.