

## 非同時計数型ガンマ線スペクトロメータ用検出器の試作

中 井 順 二\* 青 木 市 太 郎\*\*

An Experiment of Compton Compensation  
Type Scintillation Spectrometer

by

Junji Nakai &amp; Ichitaro Aoki

## Abstract

An experimental model of anticoincidence scintillation spectrometer was constructed by utilizing a plastic scintillator as a compensator. The decrease of scattering components is 35 percent for a point source of  $^{137}\text{Cs}$  and the resolving power for gamma rays from powdered source containing uranium mineral is improved at lower energies. For practical applications, larger compensator may be desirable.

## 1. はじめに

ガンマ線のスペクトルを解析する場合に当面する障害の一つは、コンプトン散乱であり、この影響を除去するため、種々の努力がなされてきている。

従来の NaI (Tl) 結晶を単独に使用したガンマ線スペクトロメータで得ることができるスペクトルは、放射性核種に固有な光電ピークが現われる一方、その低エネルギー側にコンプトン散乱電子による連続スペクトルが相当顕著に現われる。これは結晶が小さくなると特に著しくなる。このため、比較的多くの種類の放射性核種が混在する試料、たとえばウラン鉱石、トリウム鉱石のガンマ線を測定する場合、低エネルギーガンマ線の光電ピークは、高エネルギーガンマ線によるコンプトン成分と重重なって、精密な測定が得られなくなる。したがってエネルギー測定には、このコンプトン成分をできるだけ除去し、理想的には光電ピークだけを取出す方法を考え、エネルギーの分解能を高める必要がある。

この目的のために Miller<sup>1)</sup>, Martin<sup>2)</sup> らは、モンテカルロ法によってコンプトン成分の形を計算し、いわゆるレスポンス行列を求め、出力波高分布から入射ガンマ線スペクトルを求めている。しかし非常に努力を必要とする操作であるので、多数の試料を短時間に分析すること

は困難である。また Hofstadter<sup>3)</sup> は2つの NaI (Tl) 結晶と同時計数回路を使用して、一定の方向に散乱されたコンプトン散乱ガンマ線を検出する方法を提案しているが、筆者の一人が追試した結果によると線源の崩壊率が相当大きくなければならない。このようにすでに種々な方法が試みられているが、鉱石、岩石の放射能分析に適用されている例は見当たらない。

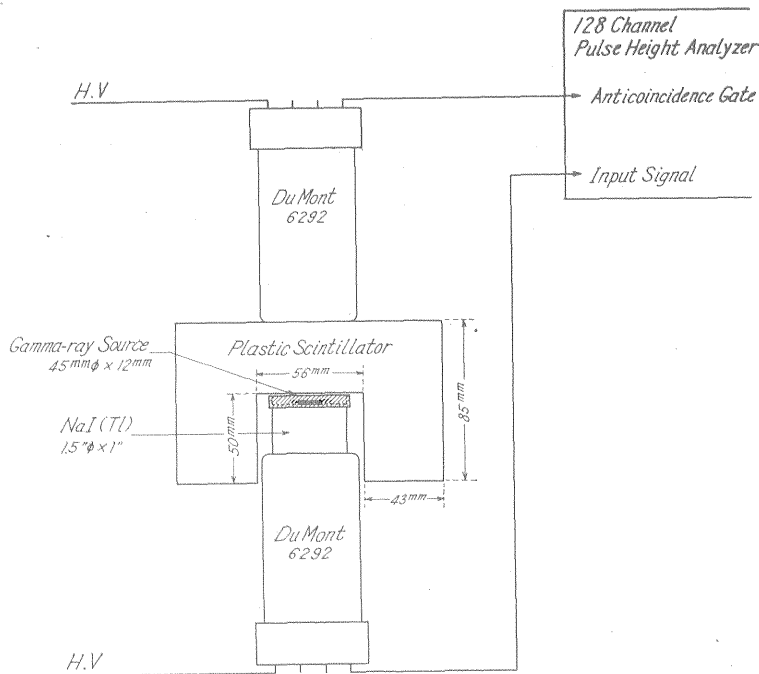
## 2. 原理および装置

ここに述べる方法は、Roulston<sup>4)</sup> らの試みたものと原理的にはほぼ同じのものであって、NaI (Tl) 結晶の周囲を井戸型シンチレータで包み、この NaI (Tl) 結晶より脱出したコンプトン散乱ガンマ線（二次ガンマ線）を捕える。そしてそれによって生じたパルスをこれに対応するパルスすなわち NaI (Tl) 結晶中のコンプトン散乱電子によるパルスとともに非同時計数回路に導いて消去し、ガンマ線のコンプトン部を減少するようにしたものである。非同時計数回路を使用しているため、宇宙線などによる自然計数の低減も当然なされているはずである。

装置の構造の概要を第1図に示す。検出器のうち、シンチレータにはごく一般的に使用されている Harshaw 製 NaI (Tl) 1.5"φ×1" 結晶を、また井戸型シンチレータには比較的安価なプラスチックシンチレータ（ナショナルシンチライト：比重1.04、分解時間 2~5×10<sup>-9</sup> Sec Maximum emission 4200Å<sup>5)</sup>）を適用した。プラスチック

\* 物理探査部

\*\* 技術部



第1図 実験装置  
Experimental Arrangement

クシンチレータの加工については、切削中に生じるクラックや切削熱60°C以上において起こる表面溶解現象などの障害が生じたが、工作油に燈油を混ぜた切削油を用い、回転数 750 RPM, 1 ストローク 0.5 mm 程度で整形を行ない、また表面研磨についても、やはり摩擦熱のための表面溶解が作業を困難にしたが、有機性ラウリル硫酸マグネシウム乳化剤を使用することにより、これを防ぎ一応所望の透明度を得た。光電子増倍管は DuMont 6292 を使用し、シンチレータとは 東芝シリコンオイル (T. S. 951: 粘度 10<sup>6</sup>CS 屈折率 1.4030) を使用して光学的に接着させてある。検出器はこれらを入蔵し、アルミニウム製の容器に入れ外部からの光は完全に遮蔽されている。検出器全体としての大きさは、直径 15 cm, 長さ 40 cm 程度の円柱状のものである。なおプラスチックシンチレータを掩うアルミニウムの内側は蛍光が散逸されずに光電面に集められるように白色ペンキを塗布したうえ、シンチレータとの間隙に反射剤として酸化マグネシウムを充填した。

パルス波高分析器は非同時計数回路を入蔵する東芝製 128 チャンネル波高分析器 EDS 34203 を使用した。

### 3. 測定結果

本装置によって得られた <sup>137</sup>Cs 点線源のスペクトルを

第2図に示す。このようにコンプトン部の消去効率

$$\text{光電ピーク比} \left( \frac{\text{光電ピーク面積}}{\text{全スペクトル面積}} \times 100 \right) \text{ は } 35.4\% \text{ が}$$

40.7% に、また、コンプトン各部分についての

$$\text{効果比} \left( \frac{\text{逆同時計数スペクトル各部分面積}}{\text{通常計数スペクトル各部分面積}} \times 100 \right) \text{ は}$$

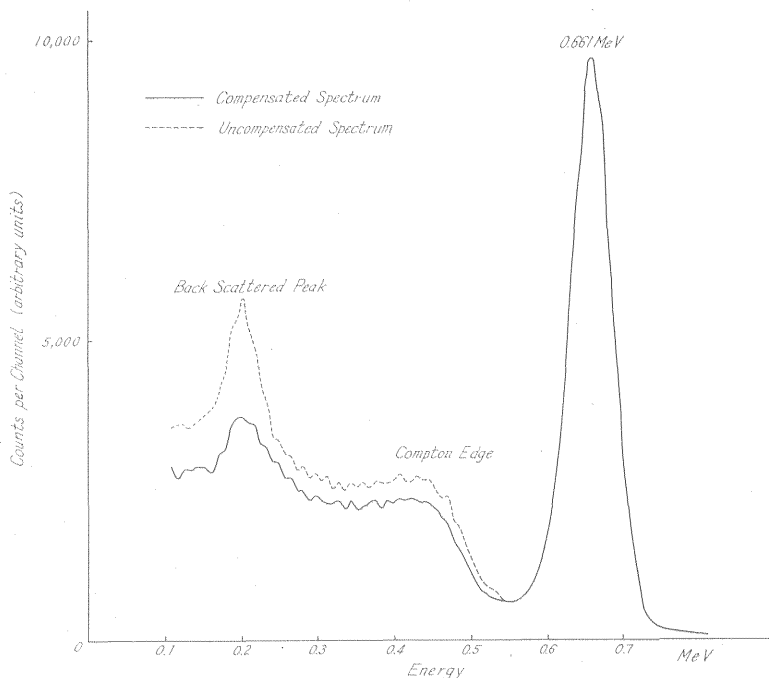
低エネルギー部の効果最大の部分で約65%であった。

複合核種試料として <sup>238</sup>U 系列を含む粉状試料 (U. S. A. E. C. New Brunswick Laboratory 製のウラン標準試料 <sup>238</sup>U 含有率 4.0%) 約 20 g を内径 45 mm, 深さ 12 mm, 肉厚 1.5 mm のアルミニウム容器に入れて使用した。そのスペクトル測定結果を第3図に示す。低エネルギー部では、通常計数スペクトルに対して、非同時計数スペクトルでは、計数は当然減少するが、光電ピーク比の向上は充分推定し得る。たとえば 0.188 MeV (<sup>226</sup>Ra), 0.184 MeV (<sup>235</sup>U) による光電ピークは非同時計数回路を使用することによって顕著になり、分解能の向上がうかがえる。

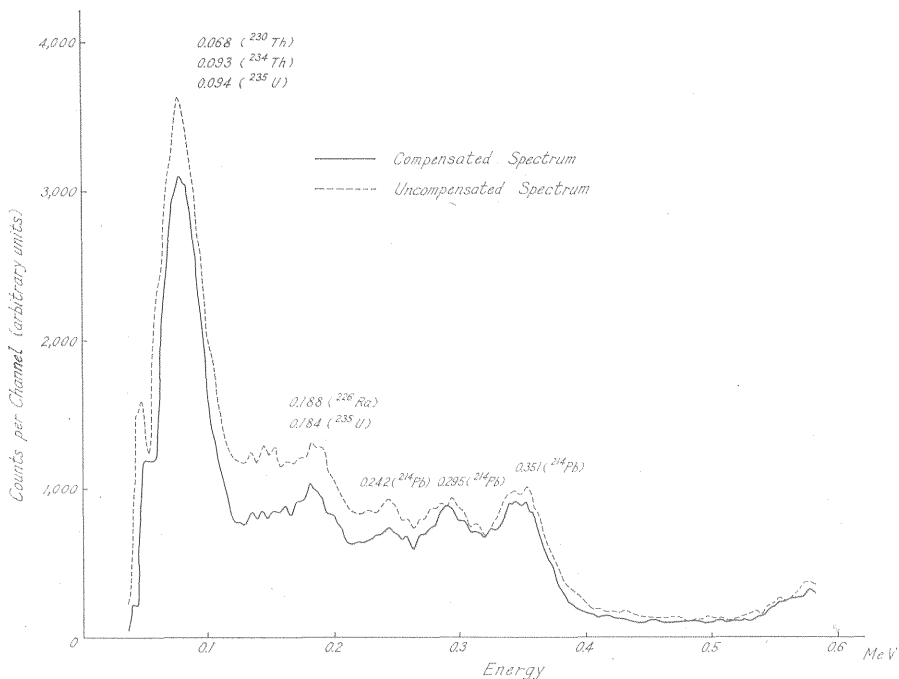
### 4. 今後検討を要する問題

#### 4.1 偶発同時計数誤差

これは本質的に同時に起こらなくて、両者がそれぞれ独立に偶発的に起きて、偶然同時に起きたように近接



第2図 通常計数スペクトロメータと比較した<sup>187</sup>Csのガンマ線の非同時計数スペクトロメータの応答  
Response of the anticoincidence spectrometer to Gamma ray from <sup>187</sup>Cs compared with the response of the usual spectrometer



第3図 通常計数スペクトロメータと比較した<sup>288</sup>U系列のガンマ線の非同時計数スペクトロメータの応答  
Response of the anticoincidence spectrometer to various gamma rays from powdered sample containing Uranium mineral compared with the response of the usual spectrometer

して起こるために、同時計数され、したがって逆同時計数から除かれたために起こる誤差である。

プラスチックシンチレータの自然計数率と NaI(Tl) 結晶の計数率をそれぞれ  $N_p$ ,  $N_n$ , 計数回路の分解時間を  $\tau$  として偶発同時計数を  $N_{ch}$  とすると、

$$N_{ch} = 2\tau N_p N_n$$

となるので、 $N_p$ ,  $N_n$  のいずれかが大きい場合には非同時計数の場合の光電ピークにこの誤差がどのように影響するかを検討する必要がある。今回の  $^{137}\text{Cs}$  の通常計数における光電ピークの面積は、 $8.9 \times 10^4$  cpm, プラスチックシンチレータの自然計数は、 $2.6 \times 10^3$  cpm,  $\tau$  は  $3 \times 10^{-8}$  sec である。 $N_{ch}$  は  $1.4 \times 10^3$  cpm となって理論的には 1.5% ぐらいしか減少しないのであまり問題にならない。実際今回の測定では、この数よりやや多く減少し、非同時計数の光電ピーク的面積は  $8.7 \times 10^4$  cpm ぐらいである。

#### 4.2 プラスチックシンチレータの形状, 大きさ

プラスチックシンチレータの形状, 大きさについては、NaI (Tl) 結晶で  $^{238}\text{U}$  系列中の  $^{214}\text{Pb}$  (0.351 MeV) のガンマ線の一回散乱による二次ガンマ線についての検出効率と、材料の大きさを考慮して決めたものであるが、将来さらに効率をあげるためには、モンテカルロ法などによる詳細な検討を試み、最も適当な形, 大きさを決めるべきである。NaI (Tl) 結晶の軸に平行に入射しその散乱角が小さい場合、二次ガンマ線は今回の実験では、プラスチックシンチレータによって捕えられずに逃げてしまう。そのため低エネルギー部でのコンプトン消去率がわるくなる。今後はこの点について考えねばならない。

#### 4.3 非同時計数回路のゲートレベル

ある散乱角では散乱二次ガンマ線のエネルギーが小さくなるので、プラスチックシンチレータで捕えるために、非同時計数回路のゲートレベルを適当に決めることが重要である。しかし 4.1 にもふれたように、ノイズあ

るいは自然計数による偶発同時計数誤差も考慮せねばならない。今回行なった実験では、50 KeV 付近で調節した。

#### 5. おわりに

以上が今回試作した非同時計数型ガンマ線スペクトロメータ検出器の概略とその性能試験結果の大略である。将来二次ガンマ線を有効に捕えて、ガンマ線のより精密なエネルギー分析の可能性が期待されるので、粉状試料のスペクトル測定による放射性元素の定量, 放射化分析における核種の決定や定量, その他トレーサー実験などに役立て得るものと思われる。

最後にプラスチックシンチレータの整形, 研磨などに関して放射線医学総合研究所物理研究部田中栄一氏から懇切な御指導を賜わった。ここに感謝の意を表したい。

#### 文献

- 1) Miller W. F. & W. J. Snow: Energy loss spectra for gamma-ray in NaI, Rev. Sci. Instrum., Vol. 31, p. 39~45, 1960
- 2) Martin J. Berger & J. Doggett: Response function of NaI (Tl) scintillation counters, Rev. Sci. Instrum., Vol. 27, p. 269~270, 1956
- 3) Robert Hofstadter & John A. McIntyre: Measurement of gamma-ray energies with two crystals in coincidence, Phys. Rev., Vol. 78, p. 619~621, 1950
- 4) Roulston K. I. & S. I. H. Naqvi: Reduced compton effect scintillation spectrometer, Rev. Sci. Instrum., Vol. 27, p. 830~833, 1956
- 5) 松下電工: ナショナルシンチライト・カタログ