

## シンチレーション検出器におけるパルスハイトの変化

## Pulse Height Variation in Scintillation Detectors

松下 甫\*  
Hajime Matsushita西脇 耕治\*  
Kôji Nishiwaki菅 沢 荘 一\*  
Sôichi Sugasawa

## 内 容 梗 概

シンチレーション検出器を用いた放射線分析装置，モニタおよびサーベイメータにおいて検出器を構成する光電子増倍管(ホトマル)がパルスハイトやエネルギー分解能に変化を起こさせる大きな要因となっていることを種々の実験結果で示す。使用したホトマルは Du Mont 6292, 6291, RCA 6342-A, 6199, 国内A社およびB社の各2本で，初期ドリフト，高線量照射によるパルスハイトの変化，温度ドリフト，フォーカス電極電圧とエネルギー分解能およびパルスハイトの関係などについて実験を行なったがホトマルの種類によって大きな差が認められた。たとえば，60 mr の  $\gamma$  線量を照射したときのパルスハイトの変化では Du Mont 6292 が5~45%，RCA 6342-A は0.3~0.6%の増加，国内A社は1.6~2.8%の減少を示した。

## 1. 緒 言

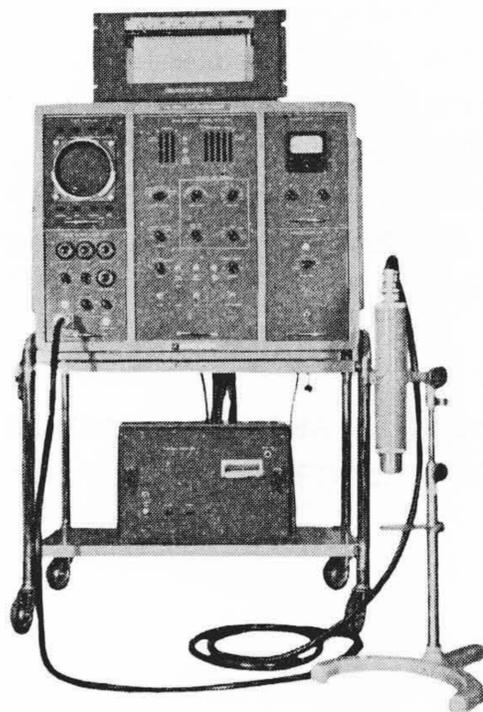
放射線，特に  $\gamma$  線の計数やスペクトル分析の検出器として NaI(Tl) の単結晶とホトマルを結合したシンチレーション検出器が1949年 Hofstadter 氏<sup>(1)</sup>によって紹介されてからすでに14年過ぎたが，シンチレータやホトマルの製作技術の発達と安価ですぐれたトランジスタマルチチャンネルスペクトロメータの出現に伴い，最近原子炉や小形中性子発生器による放射化分析が盛んになってシンチレーション検出器の価値がますます上がってきている。しかし既報告の「シンチレーションカウンタに関する一般的注意」<sup>(2)</sup>にも述べたとおり，シンチレーション検出器による  $\gamma$  線の測定技術はその高感度による高い安定度の必要から他の検出器による方法よりもはるかにむずかしい点がある。

さきの報告では弱い線源による一定線量率での計数効率，エネルギー分解能および計数安定性がそれぞれ NaI(Tl) の大きさ，結晶の透明度とマウンティングの方法および測定回路の安定性に左右されることを述べた。これらの測定回路の安定性に関する問題は設計的な問題ですぐれた回路素子や安定度の高い回路の開発によって，すでにほとんど解決されているが，検出器自体，特にホトマルの温度と線量率の変化による利得の変化は本質的な問題でホトマルの品種の選択のほかにより解決方法がない。ここでは日立 RAH-2 形 40)チャンネル波高分析器，日立 RDA-5 形  $\gamma$  線波高分析器および RDU-2 形ユニバーサルサーベイメータによって測定した  $\gamma$  線スペクトルや積分計数率のデータから種々のホトマルについての特性を報告する。

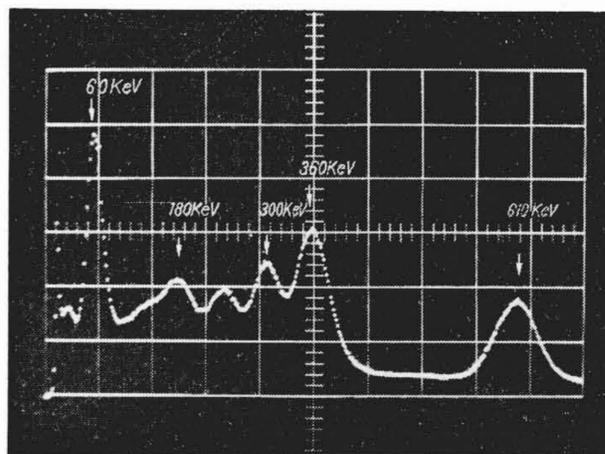
## 2. 測 定 装 置

第1, 2図はそれぞれ日立 RAH-2 形 400チャンネル波高分析器の外観とその代表的なスペクトルを示す。第3, 4図は日立 RDA-4 形  $\gamma$  線スペクトロメータと日立 RDU-2 形ユニバーサルサーベイメータの外観写真でそれぞれのブロックダイアグラムを第4, 5図に示す。NaI(Tl) シンチレータは高粘度のシリコンオイルでホトマルの光電面に直接マウントし，上からスポンジを介して Al キャップで固定してある。この実験で，第5図の  $\gamma$  線スペクトロメータの場合は  $1\frac{1}{2}''\phi \times 1\frac{1}{2}''$  の NaI(Tl) と Du Mont 6292 あるいは RCA 6342-A, 国内A社を用いた。高压電源は800~1,000Vの間で使用しホトマルの S/N 比のよい領域を使用して，プレアンプ・リニアアンプはともに DD-2 形で分解能  $3\mu s$ ，波高分析器はウインドアンプゲイン10倍で高い安定度をもっている。以上の三つの回路はともにパルスハ

\* 日立製作所那珂工場

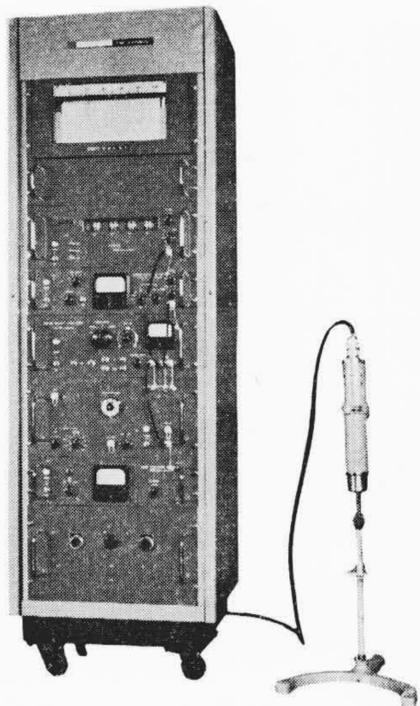


第1図 日立RAH-2形400チャンネル波高分析器の外観

Full Scale : 32,000 counts  
NaI(Tl) : 3"φ×3"第2図 400チャンネル波高分析器による Ra 226 の低エネルギー領域の  $\gamma$  線スペクトル

イトの安定性に影響するので十分に warming up させ安定度をスペクトルの shift から確認して以下の実験を行なった。

第6図に示すユニバーサルサーベイメータの場合は堀場製  $1''\phi \times 1''$  NaI(Tl) と Du Mont 6291, RCA 6199, 国内B社を使用し，この場合は積分計数率の変化を測定するためチェック用線源 ( $Cs^{137}$   $0.1\mu c$ ) と NaI(Tl) および周囲の反射体との幾何学的条件を一定にするよう検出器を固定して行なった。また，ホトマルによる入力感度の相異は1,000~1,250Vの高圧ボリュームで調整した。検出器内はシンチレータとホトマルおよび電圧分割抵抗のみでプレアンプは内蔵していない。本体はすべてトランジスタで作られ，入力感度



第3図 日立 RDA-5 形  $\gamma$ 線スペクトロメータの外観

0.05V の増幅器とリニアレートメータおよび自動設定形高圧電源 (この方式の高圧電源が RDU-2 形ユニバーサルサーベイメータの特長とするところで、検出器と本体とのコネクタの接続だけで種々の検出器に適した電圧が供給される) からなっている。レートメータはフルスケール  $10^2 \sim 10^5$  cpm の4段切り替えでバッテリー電源の変化 30% に対しフルスケールの 10% 以下の安定度をもっている。室温  $20 \sim 25^\circ\text{C}$  のもとで測定が行なわれたが本体による計数率の変化はなかった。

### 3. ホトマルのフォーカス電極電圧とパルスハイトの分布

エネルギー  $E$  の  $\gamma$  線がシンチレータに入射して  $p$  個の photons がホトマルの光電面に達したとき光電面から放出される光電子の数  $n$  は

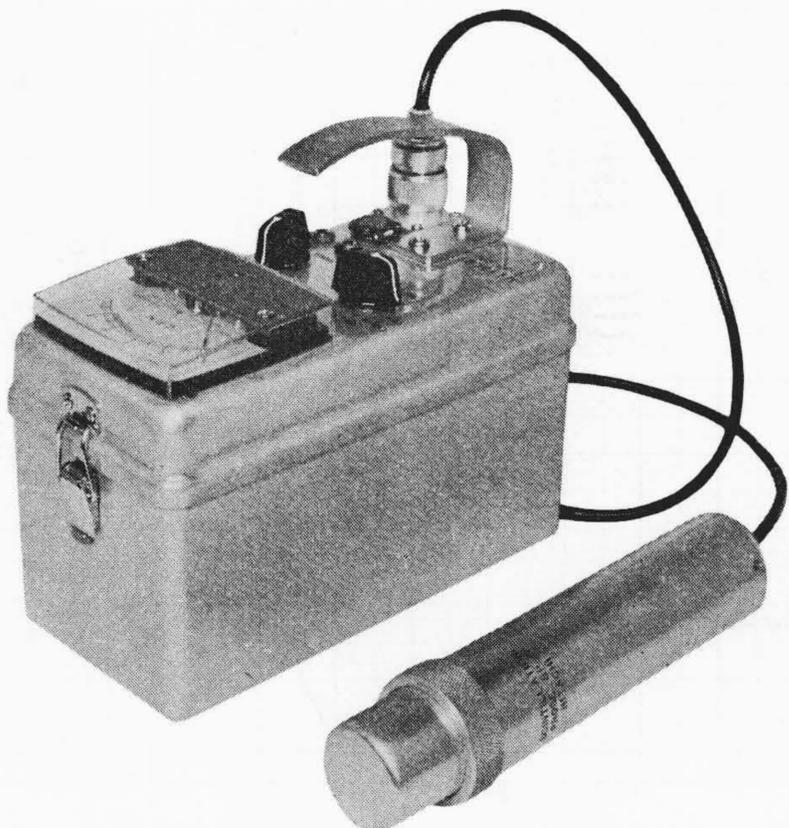
$$n = C_{pE} f(\nu_p) p \dots\dots\dots (1)$$

で表わされる。ここで  $C_{pE}$  は光電子変換定数、 $f(\nu_p)$  は photon の波長に関する関数である。ホトマルによって起こるパルスハイトの統計的なばらつきはこの光電子数  $n$  のゆらぎとダイノードの増倍率  $R$  (一段当たりの平均増幅度) のゆらぎによって生ずる<sup>(3)</sup>。したがってパルスハイトの分解能  $\omega$  は

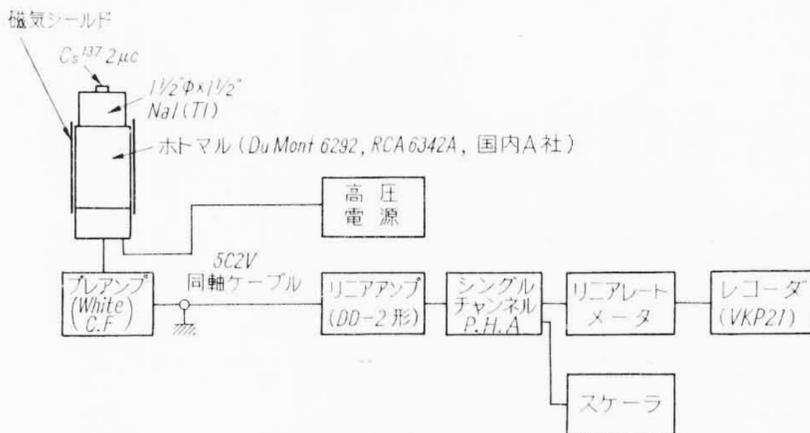
$$\omega = C \left( \frac{R-1}{R} \right) = nC \left( \frac{R-1}{R} \right) \dots\dots\dots (2)$$

ここで  $C$  はダイノードの光電子集電効率で特にフォーカス電極、第1～第3ダイノードの電極構造や電圧が大きく影響している<sup>(4)</sup>ことが報告されている。

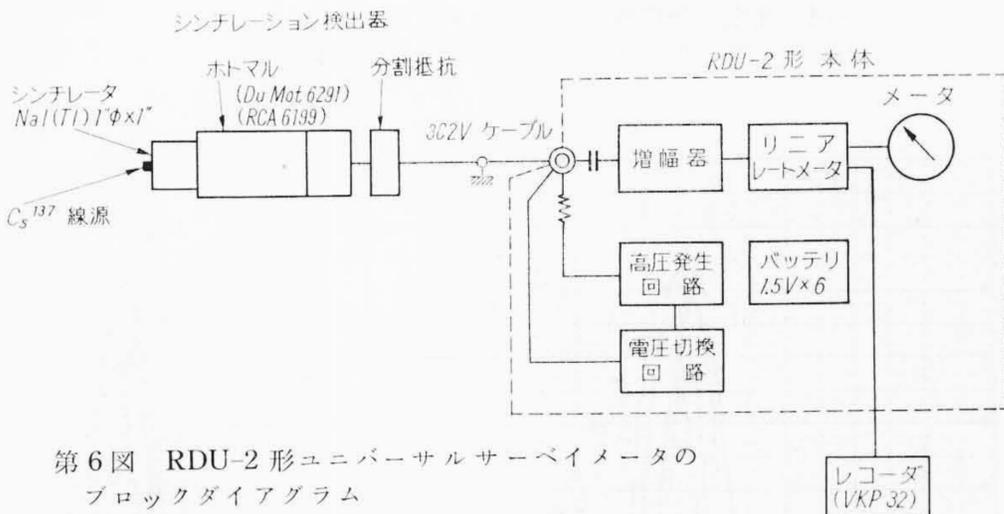
この実験では RCA 6342-A のホトマルについてカソードに対しフォーカス電極電圧を変化させたときのパルスハイトと分解能の変化を  $\text{Cs}^{137}$   $\gamma$  線スペクトルで測定した。第7図は同一条件の下でフォーカス電圧  $V_f$  を第1ダイノード電圧  $V_{d1}$  に対する比で 0~70% で変化させたときのスペクトルの shift を示している。第8図はエネルギー分解能とパルスハイトの変化を  $V_f/V_{d1}$  に対してあらわしたもので、いずれも 0~15% 付近までは変化が大きく 20% 以上ではほとんど変わらないことがわかる。この結果からみてフォーカス電極電圧は第1ダイノード電圧の 30% 付近に置くのが最もよいように思われる。



第4図 日立 RDU-2 形ユニバーサルサーベイメータにシンチレーション検出器を組み合わせたもの



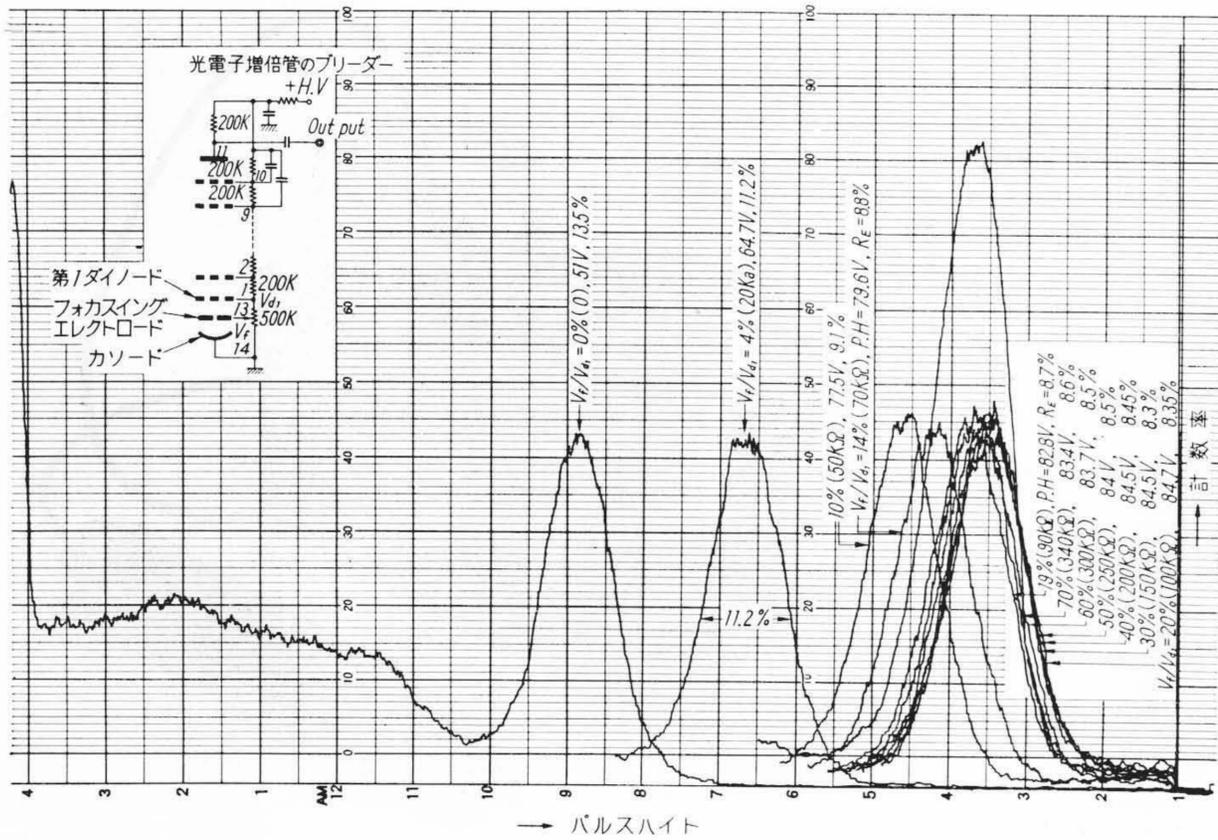
第5図 RDA-5 形  $\gamma$ 線スペクトロメータのブロックダイアグラム



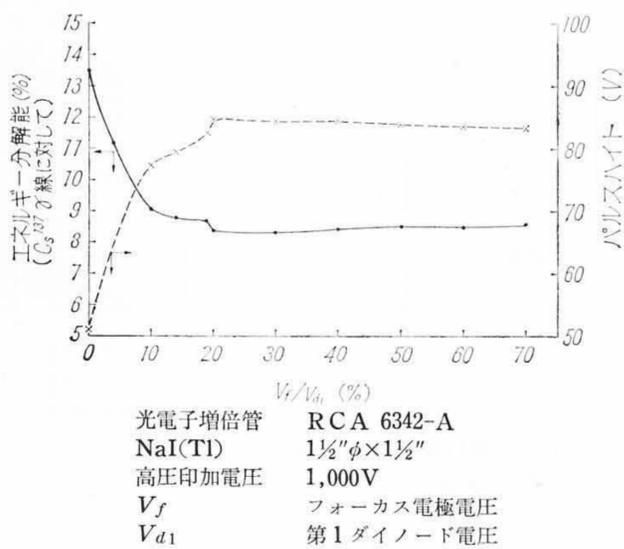
第6図 RDU-2 形ユニバーサルサーベイメータのブロックダイアグラム

### 4. 高線量照射によるパルスハイトの変化

ホトマルに強い光を当てたり、シンチレータに高い線量の  $\gamma$  線を照射したとき、ホトマルの増幅度が変化することはすでに R. L. Caldwell 氏<sup>(5)</sup>や P. R. Bell 氏<sup>(6)</sup>などによって報告されている。これらの原因は光電面の感度変化によるものか、ダイノードの材料的なものによる感度変化のためか、いまだ明確にされていない。これまでの報告や、われわれの実験結果からわかったことは、ホトマルの種類により差があり、線量が大きくなるに従ってパルスハイトが増加する場合と減少する場合があった。R. L. Caldwell 氏によると



光電子増倍管 RCA 6342-A NaI(Tl) 1½"φ×1½" 高圧電圧 1,000V  
 第 7 図 ホトマルのフォーカス電極電圧の変化による Cs<sup>137</sup> スペクトルの shift



光電子増倍管 RCA 6342-A NaI(Tl) 1½"φ×1½" 高圧印加電圧 1,000V  
 Vf フォーカス電極電圧 Va1 第 1 ダイノード電圧  
 第 8 図 光電子増倍管のフォーカス電極電圧とパルスハイトおよびエネルギー分解能の関係

Du Mont 6292 に 48 mr/h の Ra  $\gamma$  線を連続に照射したとき約 11% のパルスハイトの増加が報告されている。また、P. R. Bell 氏によれば、同じく Du Mont 6292 で計数率が  $5 \times 10 \sim 1 \times 10^3$  cps の変化に対し約 20% の増加があらわれ、計数する  $\gamma$  線のエネルギーが高くなるほど変化も大きくなることが報告されている。

われわれは 1½"φ×1½" NaI(Tl) の上に約 2  $\mu$ c の Cs<sup>137</sup> を固定しながら 5 mc の Ra 線源の近傍 200 mr/h のところで 60 mr まで照射したとき、その前後での Cs<sup>137</sup> ホトピークの shift をスペクトロメータで測定した。第 9, 10, 11 図はそのスペクトルの shift の状況を示し、第 12 図は変化量を照射線量に対しプロットしたものである。ホトマルは Du Mont 6292, RCA 6342-A, 国内 A 社各 2 本ずつでそれぞれ変化の傾向が似ている。これからみて、RCA

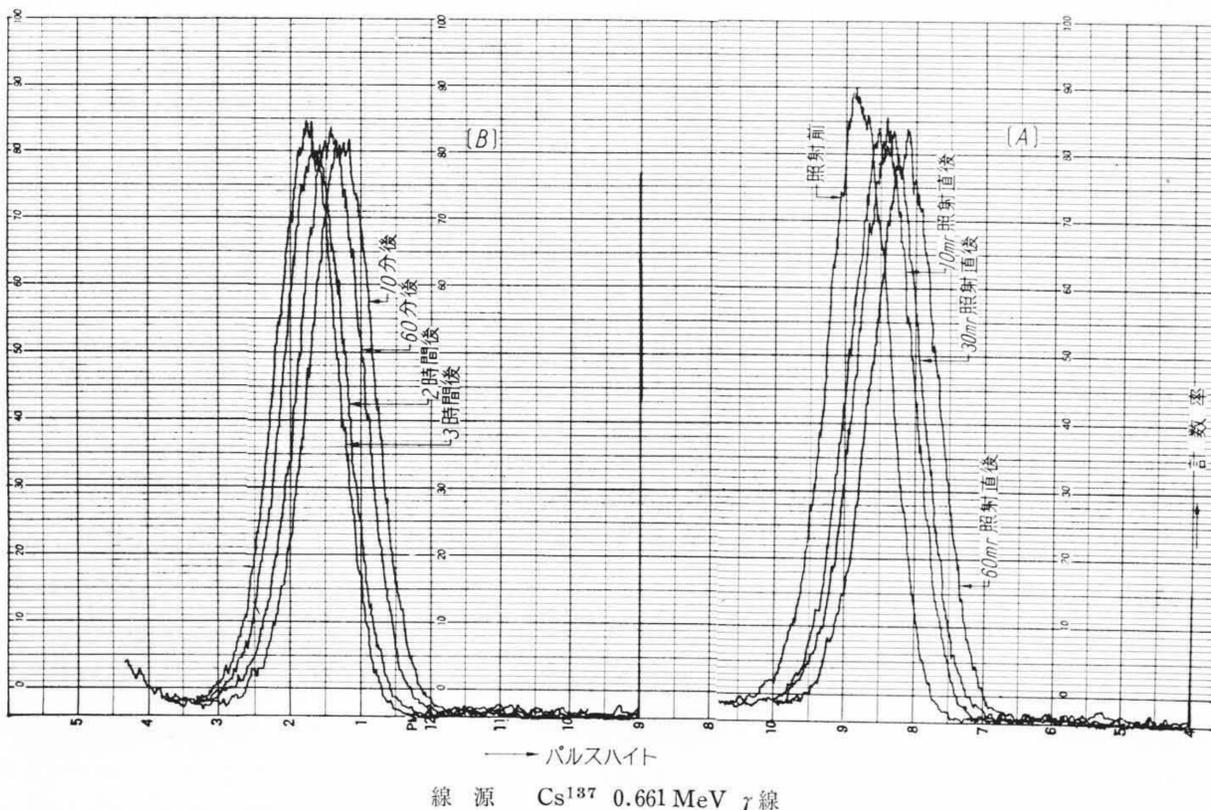
6342-A は最も変化が小さく 0.3~0.5%/60 mr であった。国内 A 社は減少する傾向を示し -1.5~2.7%/60 mr であった。照射線量の増加に対する shift の大きさは第 9 図および第 12 図のデータから次第に飽和の傾向をもつことがわかる。また、照射後の回復時間は 2.5~3 時間であった。

ユニバーサルサーベイメータでは 1"φ×1" NaI(Tl) と Du Mont 6291, RCA 6199 および国内 B 社の各 2 本ずつについて測定した。この場合は積分計数率を  $5 \sim 8 \times 10^2$  cpm から  $10^5$  cpm に 10 min 間増加したときと  $5 \times 10^3$  cpm の状態から 150~200 mr/h の高線量率の  $\gamma$  線を照射した場合について実験した。前者の場合は第 13~15 図で示すように Du Mont 6291 と国内 B 社の各 1 本が照射後約 30 分の間 10% 程度の shift を示したがその他は変化がみられない。後者の場合では、第 16~18 図で示すようにすべてのホトマルに大きな変化がみられている。この場合も RCA 6199 は 150mr/h で 30 分

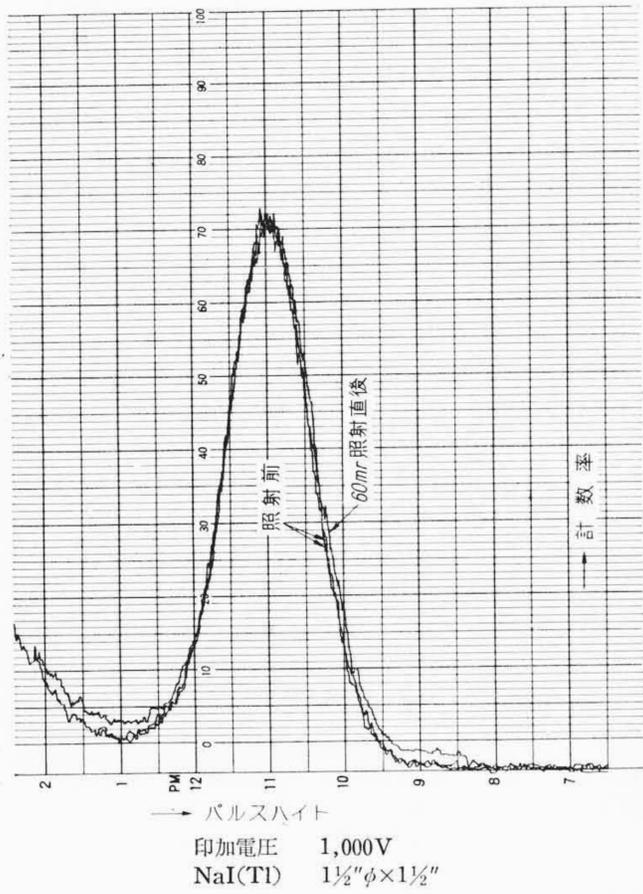
照射後でもわずか 8% の減少がみられたただけであるが、他のものは -13.5~+42% と増減している。特に後の二つのホトマルでは回復がみられず他の level に落ち着く傾向がある。この点についてはさらにスペクトルの shift により比較検討の必要がある。

### 5. 初期ドリフト

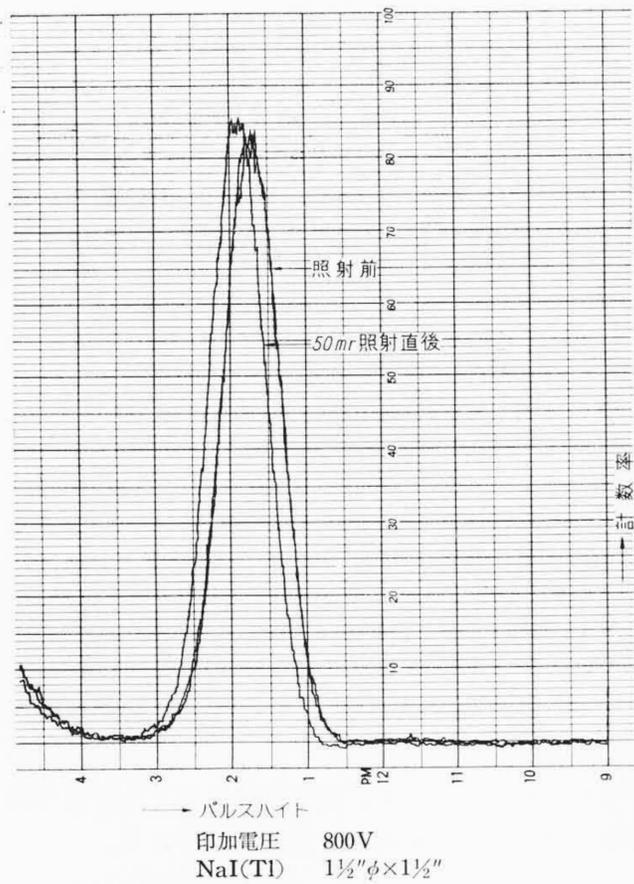
ほとんどすべてのホトマルは高圧印加後 30 分から 2 時間の間、パルスハイトの変化がみられ、Du Mont 6292, 国内 A 社はともに約 1~3%, RCA 6342-A は 0.1~0.5% の減少があらわれた。積分計数率では第 13~18 図に示すとおり Du Mont 6291 の 1 本にはほとんどみられないが他の 1 本は約 17% の増加を、国内 B 社は 2 本とも 28~30% の減少を示している。一方 RCA 6199 はほとんど変化がない。初期ドリフトはいずれも 1~2 時間で安定す



線源 Cs<sup>137</sup> 0.661 MeV  $\gamma$  線  
 第 9 図 [A] ホトマル Du Mont 6292 の照射線量とスペクトルの shift  
 [B] 60 mr 照射後のスペクトルの shift



第10図 RCA 6342-A ホトマルの 60 mr 照射前後における Cs<sup>137</sup> スペクトルの shift

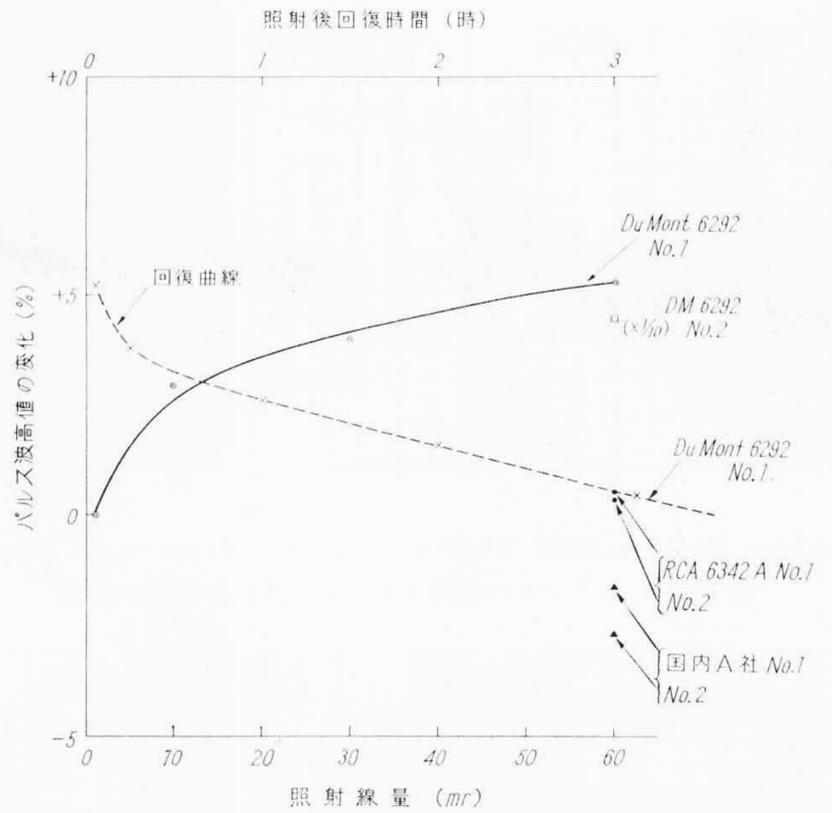


第11図 国内A社 ホトマルの 60 mr 照射後における Cs<sup>137</sup> スペクトルの shift

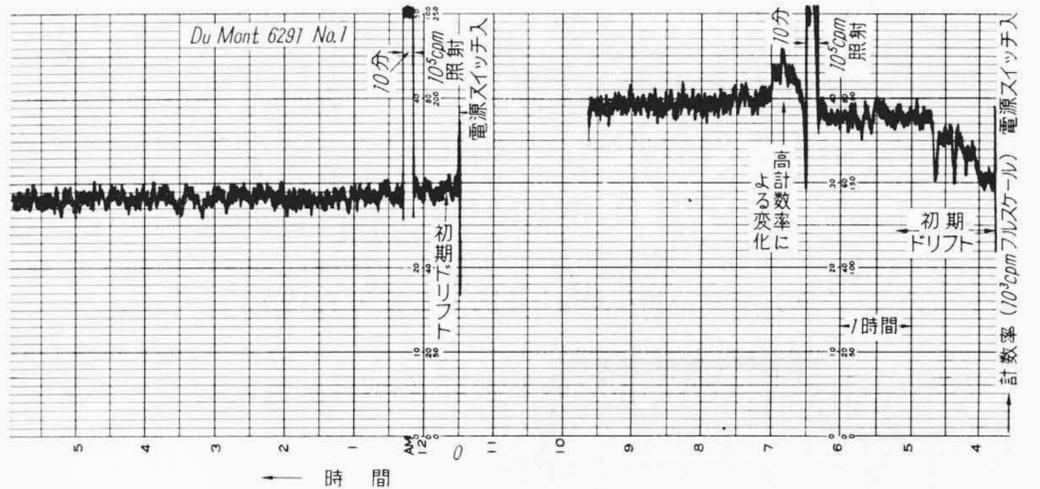
るが同一ホトマルでも使用時間とともに次第にドリフトが小さくなっている。

### 6. 温度影響

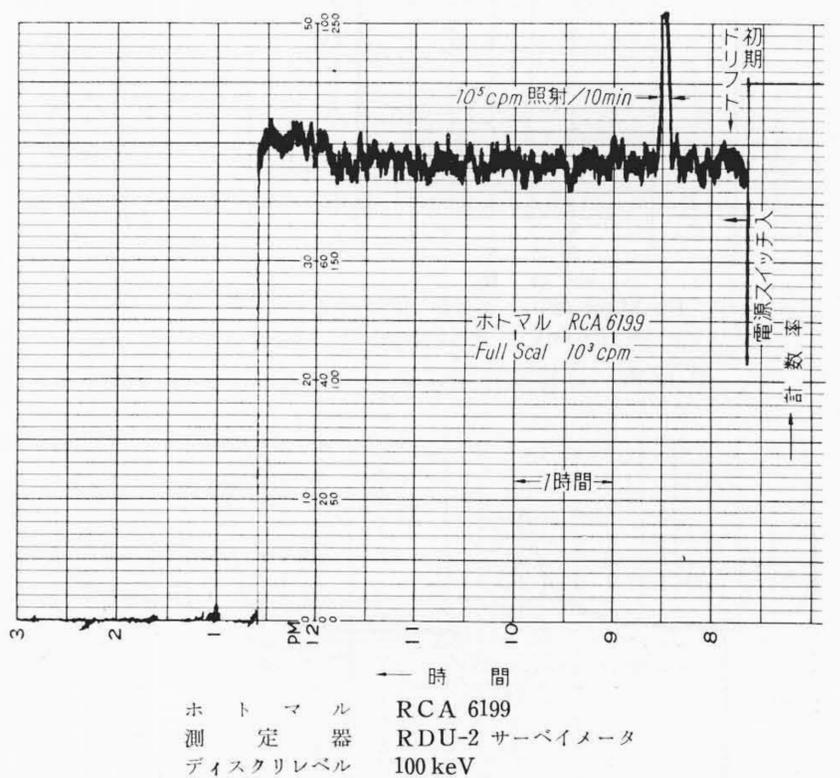
ホトマルの増幅度の温度変化についてはすでに H. H. Seliger 氏と C. A. Ziegler 氏<sup>(7)</sup>や Frank E. Kinard 氏<sup>(8)</sup>らにより詳しく報告されている。報告によればホトマルの種類により変化の大きさや方向が異なり、たとえば前者によると RCA 5819 で  $-0.13\%/^{\circ}\text{C}$ 、Du Mont 6292 で  $+0.2\%/^{\circ}\text{C}$  となっている。E. Kinard 氏によれば温度変化の原因はカソードよりむしろダイノードの構造にあると述べている。実際にはシンチレーション検出器全体の温度変化が問題で、



第12図 ホトマルの照射線量に対する Gain 変化および回復の関係

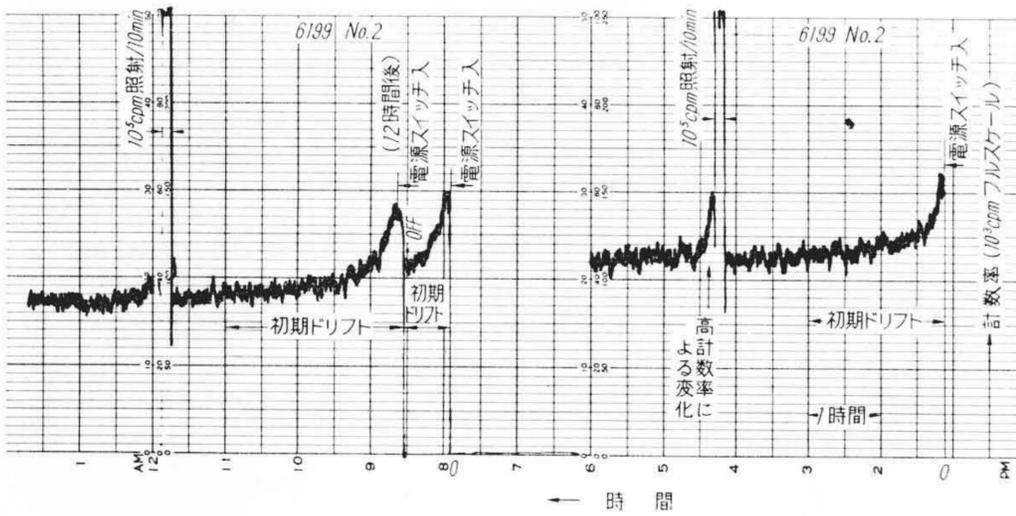


第13図 ホトマルの初期ドリフトと高計数率後の変化

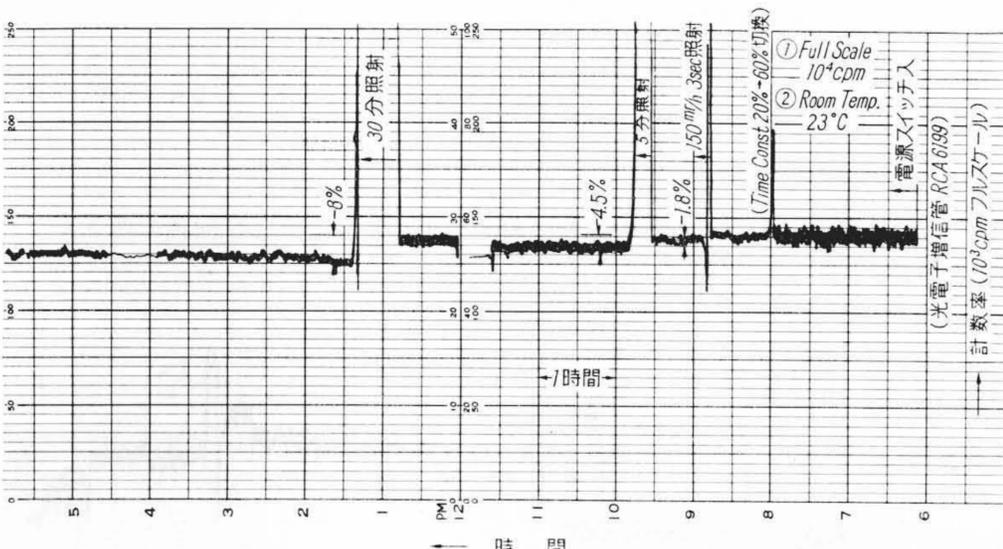


第14図 ホトマルの初期ドリフトと高計数率後の変化

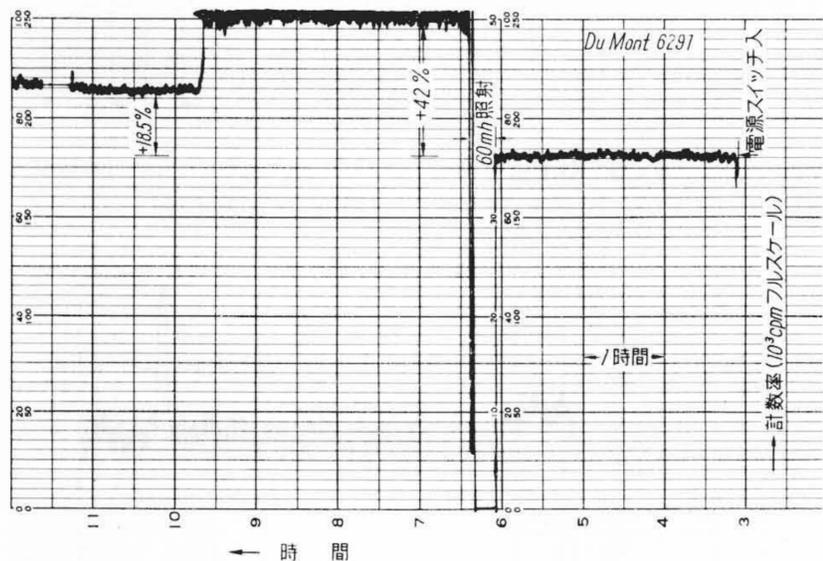
E. Kinard 氏の報告では  $-16\sim+16^{\circ}\text{C}$  付近まではシンチレータによる温度変化が大きくきいていることを示している。この場合パル



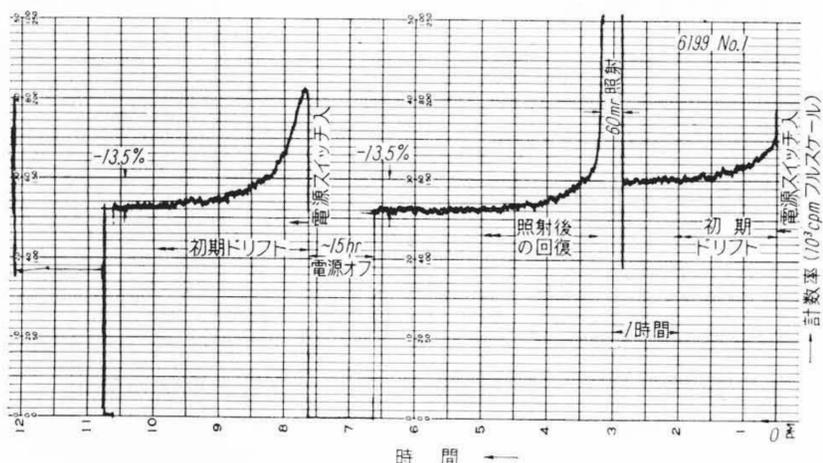
ホトマル 国内B社 測定器 RDU-サーベイメータ ディスクリレベル 100 keV  
 第15図 ホトマルの初期ドリフトと高計数率後の変化



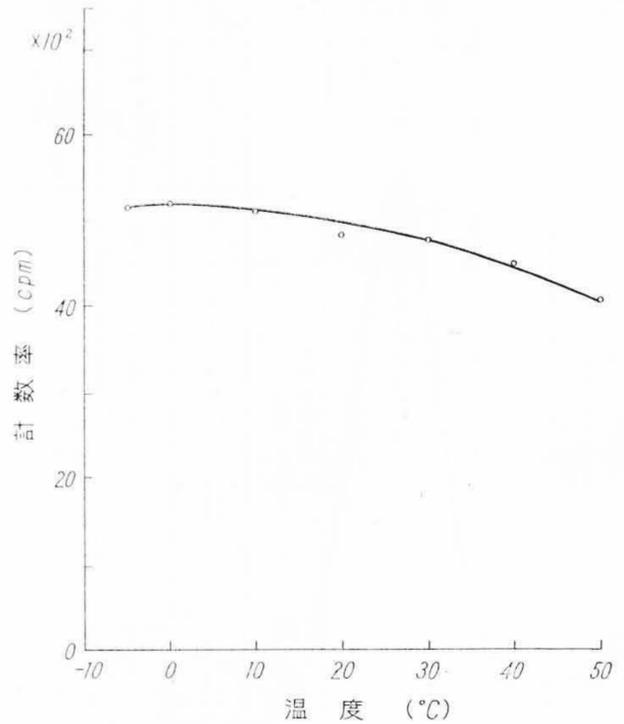
ホトマル RCA 6199 測定器 RDU-2ユニバーサルサーベイメータ  
 ディスクリレベル 100 keV 検出線源 Cs<sup>137</sup> 0.1 μc 照射線源 Ra 5 mc  
 第16図 高線量照射によるホトマルの影響(1)



ホトマル Du Mont 6291 測定器 RDU-2形ユニバーサルサーベイメータ  
 ディスクリレベル 100 keV 検出線源 Cs<sup>137</sup> 0.1 μc 照射線源 Rc 5 mc  
 第17図 高線量照射によるホトマルの影響(2)



ホトマル 国内B社 測定器 RDU-2形ユニバーサルサーベイメータ  
 ディスクリレベル 100 keV 検出線源 Cs<sup>137</sup> 0.1 μc 照射線源 Ra 5 mc  
 第18図 高線量照射によるホトマルの影響(3)



測定器 RDU-2 形ユニバーサルサーベイメータ  
 NaI(Tl) 1"φ×1"  
 ホトマル RCA 6199  
 線源 Cs<sup>137</sup>  
 ディスクリレベル 100 keV

第19図 シンチレーション検出器の温度影響

スハイトにして1~2%/°Cの増加があらわれている。  
 われわれはユニバーサルサーベイメータを用いて検出器のみを恒温槽に入れ、その温度変化を測定した。NaI(Tl)は堀場製1"φ×1"、ホトマルはRCA 6199で第19図にその結果を示す。このデータから10°C以下の温度ではほとんど変化がみられないが16~40°Cでは約0.4%/°Cの減少があらわれている。

7. 結 言

今まで報告した実験結果はいずれも少数のホトマルについて調べたデータに基づいているので、正確な結論を述べることはできないが、大体の傾向がわかるものと思う。長時間の線量変化を測定するモニタや温度変化の激しい場所で使用するサーベイメータでは測定回路もさることながらシンチレーション検出器の特性を十分に考慮することが必要である。また、放射化分析などで種々のエネルギーのγ線で強度の異なった試料を測定するときにもホトマルの疲労や感度変化に注意することが大切である。

今後さらに多くのホトマルについて正確なデータを取り、この報告以外の種々の問題点についても解析して行く予定である。

参 考 文 献

- (1) R. Hofstadter: Phys. Rev., 75, 798 (1949)
- (2) 藤岡健夫, 松下甫: 日立評論 41, 1053 (昭34-9)
- (3), (4) J. B. Birks: "Scintillation Counters" p. 40, London, Pergamon Press Ltd. (1953)
- (5) R. L. Caldwell: Nucleonics, 12, No. 12, 47 (1954)
- (6) P. R. Bell: R. S. I., 26, 726 (1955)
- (7) H. H. Seliger and C. A. Ziegler: I. R. E. Trans. Nuclear Sci N. S 3, No. 1 62 (1956)
- (8) Frank E. Kinard: Nucleonics, 15, No. 4, 92 (1957)