



## γ線計測における検出限界の規格化

本郷昭三\*1, 門上和男\*2, 安本 正\*1

(1977年4月27日受理)

### Standardization of Minimum Detectable Amount on Gamma-ray Counting

Syozo HONGO,\*1 Kazuo KADOKAMI\*2 and Masashi SUZUKI YASUMOTO\*1

#### I 序

モニタリング計画を新しく立案する際や緊急に放射能計測を実施する場合、測定器の検出限界は重要なポイントとなる。しかし測定器の検出限界は核種、検出器の種類、測定条件によって異なり、系統的に見ることはなかなか困難である。たとえば検出器については<sup>60</sup>Co、10分計測で15 nCiとあり、ある検出器については<sup>137</sup>Cs、5分計測で30 nCiとあった場合、両検出器の計測時間に対する補正は容易にできよう。しかし、いま<sup>60</sup>Co、<sup>137</sup>Csと異なるエネルギーのγ線を放出する<sup>54</sup>Mnを測定する場合、いったいどちらがどのくらい有利なのか見当をつけることは容易ではなく、最初から実験的に求め直さなければならない場合が多い。本報では、このような不便を少なくするため、検出限界の単位を変換することにより、γ線計測における検出限界の規格化について検討した。

実例として、点状単一核種線源を光電ピークにより検出する場合の3''×3''φ NaI(Tl) 検出器の検出限界を実験的に求めた。

#### II 検出限界の規格化

一般的に検出限界は<sup>1,2)</sup>、バックグラウンド(以下、BGと記す)計数の標準偏差の3倍を用いる場合が多い。本報も、この方法によって検出限界を求める。試料計測時間に比しBG計数時間が十分長い場合、検出限界をnCi

の単位で表わし、これをMとすれば、Mは次式で表わされる\*。

$$M = \frac{3\sqrt{n_b/t}}{2220 \times R \times \epsilon} \quad (1)$$

ここで、 $n_b$  :  $t$  に比し十分長い時間計測されたBG計数率 (cpm)

$t$  : 試料計数時間 (min)

$R$  : γ線放出率 (photons/decay)

$\epsilon$  : 計数効率 (counts/photon)

(1)式より

$$2220 \cdot R \cdot M \sqrt{t} = 3\sqrt{n_b/\epsilon} \quad (2)$$

いま、 $3\sqrt{n_b/\epsilon}$  を規格化された最小検出計数率(以下、(MDA)<sub>p</sub> という)と呼ぶと

$$(MDA)_p = 2220 \cdot M \cdot R \sqrt{t} \quad (3)$$

ここで (MDA)<sub>p</sub> の意味するところは、試料計数時間  $t$  が1分のとき、検出限界量の試料から放出されるγ線が (MDA)<sub>p</sub> photons/min あることを表わす。

γ線放出率  $R$  が核種によって離散的な値をとるので、(1)式で求まる検出限界  $M$  も離散的な値をとる。これに対して(3)式で求まる (MDA)<sub>p</sub> は、γ線エネルギーに対して連続的な値をもつ。

光電ピークから試料を定量する場合、そのBG計数率  $n_b$  はBGの微分スペクトルBG( $E$ )を用いて次式で表わされる。

$$n_b = \int_{E_s - \Delta E'}^{E_s + \Delta E} \text{BG}(E) dE \quad (4)$$

ここで  $E_s$  は、試料から放出されるγ線エネルギー (MeV) であり、 $\Delta E$  および  $\Delta E'$  は試料計測時に設定

\*1 放射線医学総合研究所環境衛生研究部; 千葉市穴川 4-9-1 (〒280)

Div. of Environmental Hygiene, National Institute of Radiological Science.; 9-1, 4-chome, Anagawa, Chiba-shi, Chiba-ken.

\*2 大阪電波(株); 東京都杉並区浜田山 3-20-9 (〒168)  
Osaka Denpa Co., Ltd.; 3-20-9, Hamadayama, Suginami-ku, Tokyo.

\* (1) 式は試料計数率をその相対偏差の3倍とし、  
BG計数時間 ≧ 試料計数時間  $t$   
試料計数時間 ≧  $9/(4 \cdot n_b)$   
の条件で導かれる。

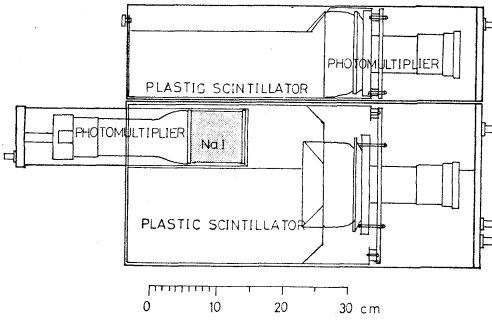


Fig. 1 Schematic diagram of the detectors.

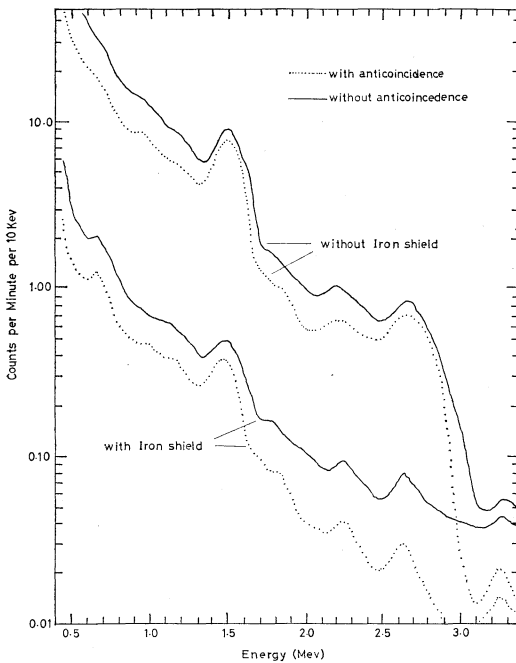


Fig. 2 Background gamma-ray energy spectra.

されるその光電ピークの下限, 上限値である。

このように, 光電ピークから試料の放射能を計測する場合, 計数効率  $\epsilon$ , BG 微分スペクトル  $BG(E)$ , 光電ピーク幅  $\Delta E$ ,  $\Delta E'$  を実験的あるいは理論的に求めることにより, 「 $\gamma$ 線計測における, 規格化された最小検出計数率 (MDA)<sub>p</sub>」を求めることができる。

### III NaI (Tl) (3''×3''φ) 検出器の (MDA)<sub>p</sub>

NaI(Tl) (3''×3''φ) 検出器を用い, その BG および各  $\gamma$ 線エネルギーに対する計数効率を求めるため, 次の4条件で測定を行なった。

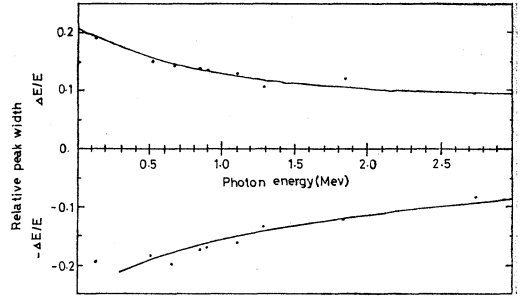


Fig. 3 Relative full energy peak width of 3''×3''φ NaI(Tl) detector.

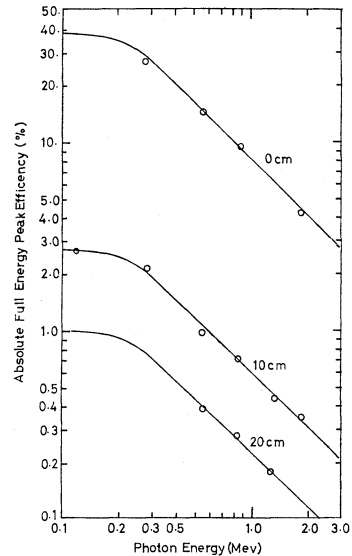


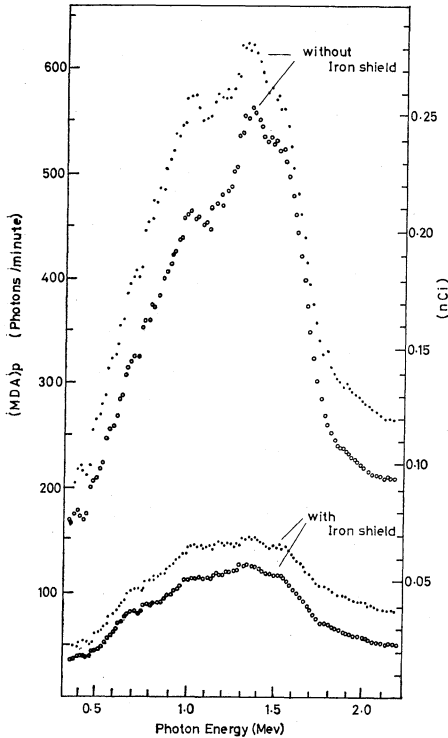
Fig. 4 Absolute full energy peak efficiency of 3''×3''φ NaI(Tl) detector.

Parameter: distance from source to the detector surface.

- 1) 鉄室外で逆同時遮蔽<sup>3)</sup>を行なわない場合
- 2) 鉄室外で逆同時遮蔽を行なった場合
- 3) 鉄室(20 cm 厚)内で逆同時遮蔽を行なわない場合
- 4) 鉄室内で逆同時遮蔽を行なった場合

Fig. 1 に検出器系の概要を示す。3''×3''φ NaI (Tl) 検出器は, #型に組まれたプラスチックシンチレーターの中央に位置している。各測定条件の BG  $\gamma$ 線エネルギースペクトル  $BG(E)$  を Fig. 2 に示した。また, 光電ピーク幅  $\Delta E$ ,  $\Delta E'$ \* および光電ピークの計数効率  $\epsilon$  を標準線源を用いて測定し, おおのの結果を Fig. 3, Fig. 4 に示した。これらの結果と (3), (4) 式を用い

\* ここでは, ピークの 10% の高さまでの幅を用いた。



**Fig. 5** Minimum detectable amount on gamma-ray counting in terms of  $(MDA)_p$  unit. The calculation of  $(MDA)_p$  values was made on assumption that a point source was placed on the top of the crystal,  $3'' \times 3'' \phi$ NaI(Tl) detector. The mark of  $\bullet\bullet\bullet$  or  $\circ\circ\circ$  shows  $(MDA)_p$  value with or without anticoincidence shielding.

て  $(MDA)_p$  を計算し、Fig. 5 に示した。なお計数効率  $\epsilon$  は、点状線源を検出器に密着した場合の値を用いた。

$(MDA)_p$  から検出限界  $M$  (nCi) は(3)式より、容易に求められる。Fig. 5 の右縦軸に  $(MAD)_p/2220$  の値を示した。この値は、 $\gamma$ 線放出率  $R=1$  で、試料計数時間  $t=1$  分のときの検出限界  $M$  (nCi) を表わす。

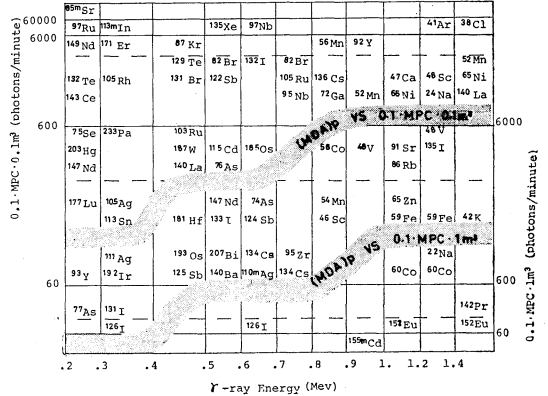
**IV 考 察**

いま試料を点状線源と考え、計数効率  $\epsilon$  が試料と検出器の実行中心までの距離  $L$  の2乗に逆比例すると仮定すると、任意の位置における点状試料の検出限界  $M'$  は、すでに求められている点の  $M$  を用いて次のように近似することができる。

$$M' \approx ML^2/L^2 \tag{5}$$

$$L^2 = (x + \Delta x)^2 + y^2 \tag{6}$$

ここで



**Fig. 6** Relation between MPC and  $(MDA)_p$  for various radionuclide.

Ordinate axis show the number of photons per minute of each nuclide calculated from the activity of 0.1 MPC in air volume of 0.1 m<sup>3</sup> and 1 m<sup>3</sup>. Shaded area show the  $(MDA)_p$  value of  $3'' \times 3'' \phi$ NaI(Tl) detector obtained under the condition of without iron and anticoincidence shielding, as shown by the curve (closed symbol) located in the top of Fig. 5.

$x$  : 検出器表面から試料までの検出器軸方向距離 (cm)

$\Delta x$  : 検出器表面から検出器の実行中心までの距離 (cm)

$y$  : 検出器中心軸から試料までの距離 (cm)

$L^2$  は  $M'$  に対応する地点の(6)式で求められる距離である。

(3)式を(5)式に代入すれば

$$M' \approx \frac{(MDA)_p}{2220 \cdot R \cdot \sqrt{t}} \cdot \frac{L^2}{L^2} \tag{7}$$

このように、ある地点の  $(MDA)_p$  が求めてあれば、任意の点の検出限界も近似的に求められる。

前述の  $3'' \times 3'' \phi$ NaI の実例では  $L=4$ cm であるから、(7)式は

$$M' = \frac{(MDA)_p \cdot L^2}{35,520 \times R \times \sqrt{t}} \tag{8}$$

となる。

$(MDA)_p$  を用いる利点は、検出限界の求められていない核種に対して検出限界を推定する場合や、検出器間の検出限界を比較する場合に有効であるばかりでなく、種々の核種の検出すべき値と検出限界を総合的に比較する場合にも有効である。各核種の最大許容空気中濃度や最大身体負荷量等をあらかじめ  $(MDA)_p$  に合せ、photons/min の単位を用いて表わしておけば、

(MDA)<sub>p</sub> と直接比較できる。空气中放射性物質を集塵し測定する場合を想定し, Fig. 6 に最大許容空气中濃度 (MPC)\* の 1/10 の濃度の空気 0.1 m<sup>3</sup> および 1 m<sup>3</sup> に含まれる放射能を photons/min に変換し, (MDA)<sub>p</sub> と直接比較した例を示した。

もし, このような単位変換を行わないなら, 最大許容濃度も検出限界も離散的な値をとるので, 総合的な比較は非常に煩雑になる。

## V 結 論

安全管理や環境調査を実施する場合, 検出器の検出限界をあらかじめ知っておく必要があるが, 検出限界は検出器や測定条件によって異なり, さらに核種によって異なる。従って, 主対象核種に対して検出限界が求められていても, 対象核種以外の核種が混入した場合, その核

種に対する検出限界がどの程度であるか, 見当をつけることは困難である。本報で報告した「規格化された最小検出計数率—(MDA)<sub>p</sub>」を用いれば, 検出限界の求められていない核種に対する検出限界を推定する場合に有効である。(MDA)<sub>p</sub> および考えられる対象核種に対する検出すべき限界を photons/min の単位に変換し, あらかじめ求めておけば, 総合的な比較, 判断が容易に行なえるであろう。また, このような手法はγ線計測以外の計測法にも応用可能である。

## 参 考 文 献

- 1) D.E. WATT and D. RAMSDEN; "High Sensitivity Counting Techniques," p. 3 (1964), Pergamon Press.
- 2) 越島得三郎, 河島宗治; 保健物理, 7, 79 (1972).
- 3) N.A. WOGMAN, D.E. ROBERTSON and R.W. PERKINS; *Nucl. Instr. and Meth.*, 50, 1 (1967).
- 4) 本郷昭三; 保健物理, 12, 105 (1977).

\* ここでは, 科学技術庁告示第22号「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件」の値を用いた。

## 日本保健物理学会 Back Number 一覧表

- |                                 |  |
|---------------------------------|--|
| 1. 保健物理のための生物学                  | B 5 判 9 裁, 396 頁, 定価 1500 円, 送料 350 円            |
| 2. 放射線管理計測法                     | B 5 判, 127 頁, 定価 非会員 2000 円, 会員 1500 円, 送料 200 円 |
| 3. 第 11 回研究発表会予稿集               | B 5 判, 84 頁, 定価 1000 円, 送料 200 円                 |
| 4. 現状における放射線管理測定技術              | B 5 判, 212 頁, 定価 2000 円 (送料込)                    |
| 5. 内部被曝線量評価の実際——勉強会—— 1977年 9 月 | B 5 判, 79 頁, 定価 1000 円, 送料 200 円                 |
| 6. 1977年度版 会員名簿 1977年 5 月       | B 5 判, 71 頁, 定価 1300 円 (送料込)                     |

申込方法: ハガキまたは現金書留で

申 込 先: (財)日本学会事務センター 日本保健物理学会係

113 文京区弥生 2-4-16 03-815-1903