
研究ノート

NaI(Tl)シンチレーションカウンターによる 低レベル放射能の測定限界

青森職業訓練短期大学校 小関英明・角 和子・佐々木るみ子*

Threshold of Measured Low Level Radioactivity by

NaI(Tl) Scintillation Counter

Hideaki Koseki, Kazuko Kado, Rumiko Sasaki

要 約 シンチレーションカウンターによる低レベル放射能測定では、宇宙線等のバックグラウンドの影響を強く受ける。そのためバックグラウンドの測定およびそのバックグラウンドに対する測定システムの測定限界値を、あらかじめ知ることが必要である。そこで、本テーマでは、バックグラウンドの測定をもとに、シンチレーションカウンターを用いた放射能測定システムの測定限界を求める。

1.0 μ CiのCsを標準試料とし、測定システムの測定効率として $\epsilon=0.733\%$ を得た。3日間のバックグラウンドの測定とシステムの測定効率より、放射能の測定限界は35Bqと求めることができた。このことから、食品に含まれる放射能の基準値は370Bq/Kgであるので、基準値以上の試料についてはこの測定システムで十分測定が可能であると思われる。

I はじめに

チェルノブイリ原子力発電所における事故以来、放射線測定および放射能モニタリングに対する関心が高まっている。そのなかでも特に低レベル放射能の測定は、食品や環境指標等に含まれる放射能の測定などの環境放射能モニタリングにおいて、非常に重要な技術である。低レベル放射能の測定には、液体シンチレーションカウンターや半導体検出器が主に用いられるが取り扱いが困難で、また非常に高価である。そこで比較的取り扱いが容易で安価なシンチレーションカウンターによる放射能測定を試みた。この場合、試料からの放射線よりも宇宙線等のバックグラウンドの影響を強く受ける。そこで、バックグラウンドの測定およびバックグラウンドに対してどのくらいの測定値が得られれば

試料の放射能を測定できるかを知ることは、重要である。⁽¹⁾⁽²⁾

本テーマでは、1.0 μ Ciの¹³⁷Csを標準試料とし、安価なCsダイオードを使った γ 線シンチレーターを用いた測定システムの、相対測定による¹³⁷Csに対する放射能の測定限界を求める。

II NaI(Tl)シンチレーションカウンター

シンチレーションカウンターとは、放射線のエネルギーを受けてシンチレーター光を発生するシンチレーターと、その光を光電子増倍管あるいはフォトダイオードを用いて放射線を観察する測定器である。

特にNaI(Tl)シンチレーターは γ 線のエネルギー測定、放射能測定および微弱放射線量の測定によく使用

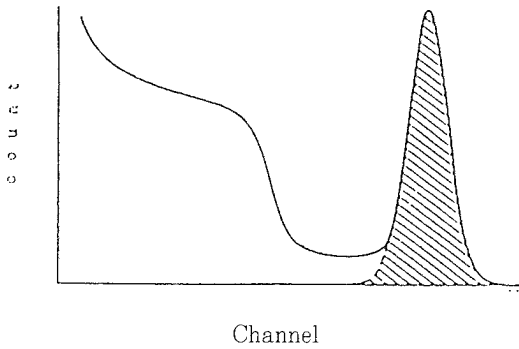


図1 NaI(Tl) シンチレーターによる γ 線スペクトル

される。⁽³⁾⁽⁴⁾ シンチレーションカウンターからのパルス波高は入射 γ 線のエネルギーに比例するため、標準となる放射性試料からの放射 γ 線のエネルギースペクトルのピーク位置をあらかじめ測定することにより入射 γ 線のエネルギーを知ることができる。図1にNaI(Tl)シンチレーターによる¹³⁷Csの γ 線スペクトルを示す。この図1に観られるピークを光電ピークと呼び、この面積を求めることにより試料の放射能を求めることができる。相対測定では、あらかじめ強さの知られている標準試料の光電ピーク面積を測定し、それと比較することにより未知の試料の放射能を求める。また、標準試料を測定することにより測定システムの検出効率を求めることができる。

III 測定システム

本実験で用いた測定システムの概要を図2に示す。測定システムは(1)検出系、(2)増幅系、(3)処理系に分かれている。測定スタンドは、鉛で低レベルのバックグラウンドより遮蔽してある。以下にシステムの仕様を示す。

(1) 検出系

NaI(Tl) シンチレーター (10mm ϕ x 10mm)

CsI(Tl) フォトダイオード

(2) 増幅系

リアアンプ ORTEC 571

GAIN 1K

SHAPPING 10 μ sec

(3) 処理系

マルチチャンネルアナライザー MCA-48F

ラボラトリ・イクイップメント・コーポレーション

ウィルキンソン型 50MHz

4096ch/8V

ホストコンピュータ PC-9801 NEC

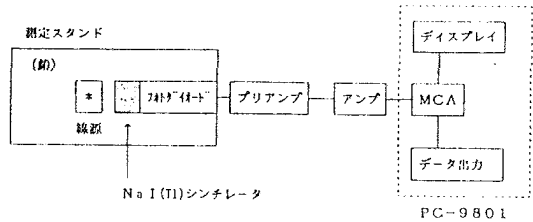


図2 測定システムの概要

シンチレーターより発せられた光をフォトダイオードで受光し電気信号に変え、増幅器で増幅した後、そのパルス波高をPC-9801を用いたマルチチャンネルアナライザーで観察および解析する。

IV 検出器の測定限界

1 標準試料の放射能の測定

基準となるCsからの放射線を測定しシステムの検出効率を求める。いま、放射能のわかっている試料を用いると、次の式により測定システムの検出効率を求めることができる。

$$\epsilon = \frac{S}{n_0 p t}$$

ここで、Sはピーク面積、 n_0 は標準試料の壊変率(放射能)、pは着目する γ 線の放出比、tは測定時間である。図3に1.0 μ CiのCsによる γ 線スペクトルを示す。これよりS=2.91 $\times 10^6$ となり、 $n_0=3.7 \times 10^4$ Bq、p=85.2%、t=12600secより $\epsilon=0.733\%$ となる。

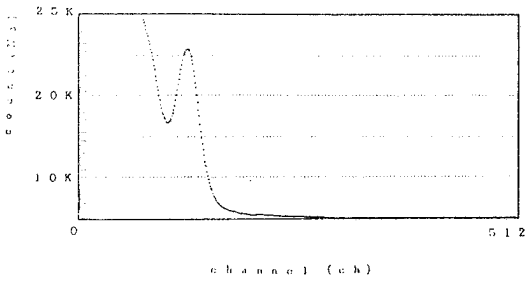


図3 ^{137}Cs の γ 線スペクトル

2 検出器の測定限界

バックグラウンドの測定値より測定システムの測定限界を求める。いま、定常的にバックグラウンドが存在するときの、ある放射線源からの計数を測定する場合を考える。

光電ピーク領域にある一つのチャンネル (jch) において、

N_{ja} : バックグラウンドを含む放射線源からの計数,
 N_{jb} : バックグラウンド計数,

とすると計測時間が同じ場合、jchにおける放射線源からの計数 N_{js} およびピーク面積 S は簡単に、

$$N_{js} = N_{ja} - N_{jb},$$

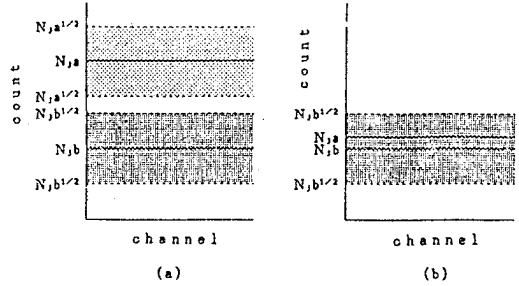
$$S = \sum_j N_{js} \quad (\Sigma \text{は光電ピーク領域})$$

より求めることができる。 N_{ja} がバックグラウンドに対する統計誤差以上であればバックグラウンド以外の放射線源による計数と考えられるが(図4(a))、それ以下であれば N_{js} はバックグラウンドに埋もれてしまう(図4(b))。このことより、バックグラウンドと判別が可能となるとききの N_{ja} を求め測定限界とする。

計数 N の統計誤差は $N^{1/2}$ と表すことができるので N_{js} は、

$$N_{js} = (N_{ja} - N_{jb}) - (N_{ja} + N_{jb})^{1/2},$$

となり、 $N_{js} > 0$ より、



N_{ja} : バックグラウンドを含む計数
 N_{jb} : バックグラウンド計数

図4 バックグラウンドが存在する場合の低レベル放射能からの計数

$$N_{ja} > (2 N_{jb} + 1 + \sqrt{8 N_{jb} + 1}) / 2,$$

であれば放射線源による放射線の測定が可能である。この計数を光電ピーク領域で積分し S を求め、標準試料と比較することにより試料の放射能を求めることができる。3日間(259200 sec)のバックグラウンドの測定より、光電ピーク領域でのバックグラウンドの平均計数率を 4.47×10^{-4} cps とすると、

$$N_{ja} > 1.31 \times 10^3,$$

となり、測定限界におけるピーク面積 S_{min} は、

$$S_{min} > 2.76 \times 10^3,$$

となる。ピーク面積を S としたときの放射能 n は、着目する γ 線の放出比を p 、測定時間を t 、測定効率を ϵ とすると、

$$n = \frac{S}{\epsilon p t},$$

であるから、これより ^{137}Cs の測定限界 n_{min} は、

$$n_{min} > 35.07 \text{ Bq},$$

となる。

3 測定時間の最適化

次にバックグラウンド計数とその測定時間より試料の最適測定時間を求める。

Na : バックグラウンドを含む計数

Nb : バックグラウンド計数

Ns : 放射線源による計数

Ta : バックグラウンドを含む放射線源の計数時間

Tb : バックグラウンドのみの計数時間

とすると、放射線源からの計数率 S , およびバックグラウンドの計数率 B は、次式で表される。

$$\text{放射線源の計数率: } S = \frac{N_a}{T_a} - \frac{N_b}{T_b}, \quad (1)$$

$$\text{バックグラウンドの計数率: } B = \frac{N_b}{T_b}, \quad (2)$$

このとき、S の標準偏差は、

$$\sigma_s = \left(\frac{S+B}{T_a} + \frac{B}{T_b} \right)^{1/2}, \quad (3)$$

となる。ここで、

$$T = T_a + T_b = \text{定数} \quad (4)$$

としたとき、 σ_s が最小となるときの条件を求めると、

$$\frac{T_a}{T_b} = \left(\frac{S+B}{B} \right)^{1/2}, \quad (5)$$

が得られ、これを測定のお最適条件という。この条件を満たしているとすると、(3), (4), (5) 式より、相対標準偏差を ϵ とすると、標準偏差および全体の測定時間が (6), (7) 式で得られる。

$$\text{相対標準偏差 } \epsilon = \frac{\sigma_s}{S}$$

$$\sigma_s^2 = \frac{(B^{1/2} + (S+B)^{1/2})^2}{T}, \quad (6)$$

$$\frac{1}{T} = \frac{\epsilon^2 S^2}{(B^{1/2} + (S+B)^{1/2})^2}, \quad (7)$$

ここで S 《 B とすると、

$$T \cong \frac{4B}{\epsilon^2 S^2} \quad (8)$$

となり最適条件での測定時間を求めることができる。バックグラウンドの計数率 $B = 4.47 \times 10^4 \text{ cps}$, 測定限界における計数率 $S = 5.84 \times 10^5 \text{ cps}$, より相対偏差が 30% になるときの時間を計算すると、

$$T_{30} = 2.601 \times 10^6 \text{ sec} \quad (\text{約 } 30 \text{ day})$$

となる。

V 結果と考察

1 結果

今回の実験で得られた結果を次に示す。

- (1) システムの検出効率
 $\epsilon = 0.733\%$
- (2) システムの測定限界放射能
 $n_{\min} = 35.07 \text{ Bq}$
- (3) 測定限界における最適条件

バックグラウンド測定時間を3日間としたときの試料の測定時間は約30日間

2 考察

このシステムは、低レベルの放射能の測定を目的としたものであるが、低レベル放射能として食品等に含まれる放射能について考える。食品に含まれる放射能の基準値は 370 Bq/kg であり、現在の測定システムでは基準値を越える放射能については、十分検出可能であると考えられる。

(注)

- (1) 河村 武・橋本 道夫：環境科学Ⅲ，朝倉書店
- (2) 河田 燕：放射線計測技術，東京大学出版会
- (3) 日本アイソトープ協会編：ラジオアイソトープ，丸善株式会社
- (4) Glenn.F.Knoll：放射線計測ハンドブック，日本工業新聞社
- (5) 国連環境計画編：放射線，同文書院
- (6) コンセンサス原子力Q&A 電気事業連絡会