

年次大会ポスター発表から (12)

簡略化サムピーク法の開発とその応用例 Development of the modified sum-peak method and its application

緒方 良至^{*1}, 宮原 洋^{*2}, 石原 正司^{*3},
石樽 信人^{*4}, 山本 誠一^{*4}, 小島 貞男^{*5}

1. 緒言

サムピークを形成する γ 核種の放射能を全計数率を用いず、ピーク計数率とサムピーク計数率のみで計算する簡略化サムピーク法 = modified sum-peak 法を開発した¹⁾。

放射能の定量は、通常、比較測定法で行われる²⁾。 γ 核種の場合、²⁴¹Am, ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co などの校正線源を用い、ある測定ジオメトリで γ 線エネルギーに対するピーク計数効率 (FEP 計数効率, Full Energy Peak efficiency) を得る。同じジオメトリでサンプルを測定する。しかし、ある核種が、一壊変で複数の γ 線を放出する場合、同時に検出器に入射することによるコインシデンスサム効果により、本来のピーク計数が減少することに注意する必要がある。

一方、 γ 核種では、 $4\pi\beta\text{-}\gamma$ 同時計数法や sum-peak 法などの絶対測定法で放射能を決定できる²⁻⁴⁾。 $4\pi\beta\text{-}\gamma$ 同時計数法は精度は高いが、専用の検出器、高度の線源作成技術および測定技術を要する。もっぱら、国家標準供給施設などで実施されている。他方、sum-peak 法は、精度は劣るが、一般的な γ 線スペクトロメトリ検出器に適用できる²⁻⁴⁾。sum-peak 法は、Brinkman らによって開発された⁵⁾。彼らは、NaI 検出器を用い、⁶⁰Co, ⁴⁶Sc, ²²Na などの測定に適用し

た。その後、¹²⁵I, ⁸⁸Y, ⁵¹Cr などの測定への適用、Ge 検出器への応用、体積線源の測定への応用などが報告されている²⁻⁴⁾。

しかしながら、sum-peak 法では、放射能の計算に全計数率を要するため、試料にほかの核種が含まれている場合、適用は難しい。そこで、全計数率を用いず、ピーク計数率およびサムピーク計数率のみを用いて放射能を計算する modified sum-peak 法を開発した¹⁾。本稿では、modified sum-peak 法の理論を略述した後、⁶⁰Co 及び ²²Na 線源を用いた実験の結果を報告する。

2. 理論

カスケードに放出される 2 本の γ 線の放出割合を 100% とし、 N_1 , N_2 を γ_1 , γ_2 のピーク計数率、 N_{12} をサムピークの計数率、 N_t を全計数率、 $\bar{w}(0)$ を角相関とすると次式で線源の放射能 N_0 を計算することができる。

$$N_0 = \left\{ \frac{N_1 N_2}{N_{12}} + N_t \right\} \bar{w}(0) \quad (1)$$

本法が Brinkman らによって開発された sum-peak 法である⁵⁾。しかし、この計算には全計数率 N_t を要する。線源にほかの核種が含まれている場合、注目する核種に由来する N_t を得る

ことは困難である。式(1)をピーク計数率と全計数率の項に分けた。

$$N_0 = R + T \quad (2)$$

$$R = \frac{N_1 N_2}{N_{12}} \bar{w}(0) \quad (3)$$

$$T = N_1 \bar{w}(0) \quad (4)$$

T は、ほぼ全計数効率に比例する。従って、線源-検出器間(S-D)距離が増すに従って減少する。一方、 $R+T=N_0$ は、一定であるので、S-D距離が増すにつれ、式(2)で、 R の割合が増える。そこで、式(2)から T 項を除き、次式で N'_0 を定義した。

$$N'_0 = R = \frac{N_1 N_2}{N_{12}} \bar{w}(0) \quad (5)$$

S-D距離が増すに従って N'_0 は N_0 に近づく。

相対計数効率40%のHP-Ge検出器での ^{60}Co 測定を想定する。S-D距離5cmで、典型的な値 $\varepsilon_{1.17}^p = 0.44\%$ 、 $\varepsilon_{1.33}^p = 0.40\%$ 、 $\varepsilon_{1.17}^p = \varepsilon_{1.33}^p = 2.2\%$ を基に、ほかの距離での計数効率を距離の逆二乗に比例するものとして計算した。 $\bar{w}(0) = 1.11$ を用いた⁸⁾。図1に、この条件で計算した R/N_0 、 T/N_0 、 $(R+T)/N_0$ のS-D距離特性を示す¹⁾。距離が増すにつれ R/N_0 は1に近づいた。放射能 $A_0 = 10$ kBqの線源の測定を仮定し、前述の計数効率を用いて計算し、 $\gamma_{1.17}$ の計数率(N_1)を横軸に、 N_0 と N'_0 を縦軸にとったグラフを図2に示す¹⁾。このグラフから $N_1 = 0$ における N'_0 を外挿することにより N_0 すなわち測定対象の放射能を算出することができる。このように N'_0 の外挿値として放射能を計算する方法をmodified sum-peak法と名付けた¹⁾。本法では、全計数率 N_1 を用いないためサンプルにほかの核種が含まれていても適用できる。

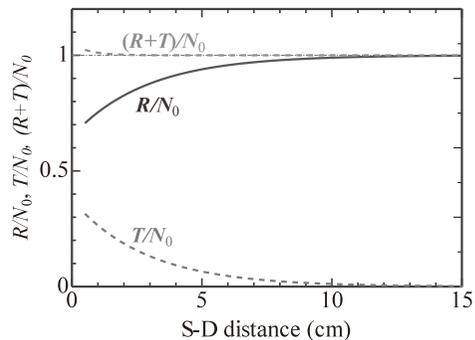


図1 R/N_0 、 T/N_0 、 $(R+T)/N_0$ のS-D距離特性

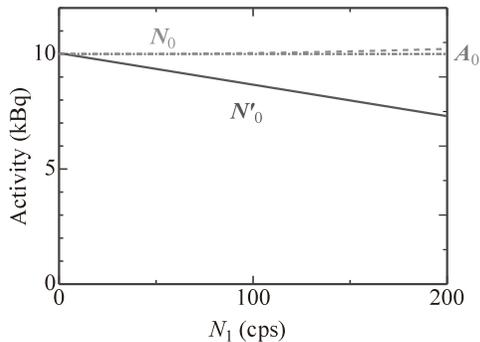


図2 N_0 、 N'_0 のピーク計数率特性

3. 実験

実験は、相対効率40%のp型HP-Ge検出器(A)と同26%のn型HP-Ge検出器(B)で行った。

線源は、日本アイソトープ協会製の標準溶液(^{60}Co 、 ^{22}Na)を滴下・乾燥することより、30~100 kBqのものを数個作製した。線源をHP-Ge検出器の中心軸上、S-D距離0.4~15.3 cmで測定した。3種類の測定、すなわち、(1) ^{60}Co 線源のみ、(2) ^{22}Na 線源のみ、(3) ^{60}Co および ^{22}Na 線源の同時測定を行った。

4. 実験結果と考察

図3に、検出器Aで 32.54 ± 0.17 kBqの ^{60}Co

を測定したときの結果を横軸に $\gamma_{1.17}$ のピーク計数率 (N_1) をとってプロットした。 N_0 と N'_0 の $N_1 \rightarrow 0$ における外挿値はよく一致し、また、それらは A_0 と 2σ 以内で一致した。

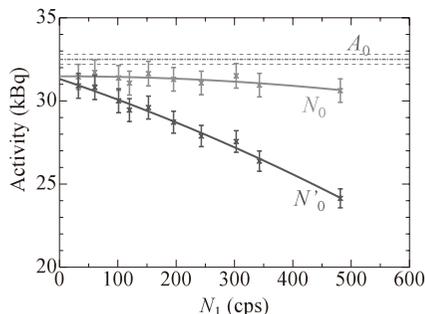


図3 ^{60}Co 測定における N_0 , N'_0 のピーク計数率特性

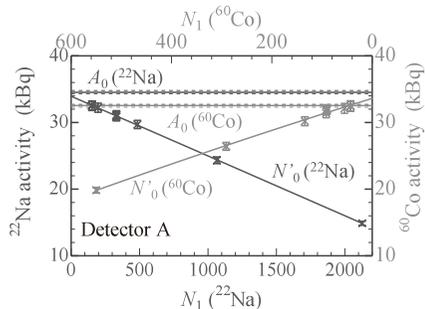


図4 ^{60}Co と ^{22}Na 同時測定における N_0 , N'_0 のピーク計数率特性

図4に検出器Aで ^{60}Co と ^{22}Na 線源を同時に測定した場合の結果を示す。ここで、横軸(下)は ^{22}Na の0.511 keVのピーク計数率(N_1)、縦軸(左)は ^{22}Na の N'_0 、横軸(上)は ^{60}Co の1.17 MeVのピーク計数率(N_1)、縦軸(右)は ^{60}Co の N'_0 を表す。2核種同時測定であり、 N_0 はプロットしていない。両核種とも N'_0 の外挿値は A_0 とよく一致した。検出器Bでも同様の結果を得た。表1に一連の測定結果を示す。 N_0 と N'_0 の外挿値は、お互いによく一致し、また、 A_0 と 2σ 以内で一致した。

modified sum-peak法は、限定された精度で、一般的なサンプルの測定を想定している。この意味で、比較測定法と比較する。比較測定法では、計数効率、測定ジオメトリに左右される。さらに、複数の γ 線を同時放出する場合、適切なコインシデンスサム効果の補正を施さないと過小評価となる。コインシデンスサム効果は、測定ジオメトリに強く影響される。一方、modified sum-peak法では、測定ジオメトリの影響は少ない。また、放射能の定量に校正線源を要しない。

sum-peak法及びmodified sum-peak法は、 ^{134}Cs の測定にも適用可能である⁶⁾。

表1 放射能計算結果のまとめ

Source	Nuclide	Certified activity A_0 [kBq]	Detector	N_0 [kBq]	Extrapolated N'_0 [kBq]
'60Co-P01'	^{60}Co	32.54 ± 0.17	A	31.4 ± 0.7	31.3 ± 0.7
'60Co-P01'	^{60}Co	32.54 ± 0.17	B	31.6 ± 0.7	31.5 ± 0.7
'22Na-P01'	^{22}Na	34.53 ± 0.17	A	33.8 ± 0.8	33.6 ± 0.8
'22Na-P01'	^{22}Na	34.53 ± 0.17	B	32.7 ± 0.7	32.3 ± 0.7
'60CoP01'	^{60}Co	32.54 ± 0.17	A	—	33.6 ± 0.8
+ '22Na-P01'	^{22}Na	34.53 ± 0.17			33.9 ± 0.8
'60CoP03'	^{60}Co	98.3 ± 0.5	B	—	95.0 ± 2.2
+ '22Na-P01'	^{22}Na	34.53 ± 0.17			35.0 ± 0.8

5. 結言

ピーク計数率およびサムピーク計数率のみを用いてサンプルの放射能を評価することができる modified sum-peak 法を開発した。本法では、多核種を含むサンプルの測定に有効であることが分かった。本法は、極めてシンプル、かつ、実用的である。

参考文献

- 1) Ogata, Y., *et al.*, *Nuclear Inst. Meth. Phys. Res. A*, **775**, 34-40 (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2014.11.101>
 - 2) L'Annunziata, M.F., *Handbook of Radioactivity Analysis*, 3rd ed., Academic Press, Oxford (2012)
 - 3) NCRP Report No. 58, *A Handbook of Radioactivity Measurement Procedures*, National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda (1985)
 - 4) Brinkman, G.A., Aten, A.H.W., Jr, and Veenboer, J.T., *International Journal of Applied Radiation and Isotopes*, **14** (1963) 153 など
 - 5) Siegbahn, K., (Ed), *Alpha-, Beta- and Gamma-ray spectroscopy*, North-Holland Publishing, Amsterdam, 1033 (1965)
 - 6) Ogata, Y., *et al.*, 20th International Conference on Radionuclide Metrology and its Applications (ICRM 2015), Vienna (2015)
- (*¹ 名古屋大学アイソトープ総合センター分館, *² 岐阜医療科学大学, *³ 名古屋市立大学医学部, *⁴ 名古屋大学大学院医学系研究科, *⁵ 愛知医科大学)