技術報告

広島大学工学部の低バックグラウンド γ線スペクトロメータ†

静間 清, 岩谷和夫, 葉佐井博巳

広島大学工学部応用理化学

724 東広島市西条町下見

1985年7月10日 受理

Key Words: germanium detector, low-background, detector shielding, gamma-ray spectrometer

1. はじめに

広島大学の東広島市への統合移転に伴い, 工学部放射線総合実験室にはコッククロフト・ワルトン型加速器 (500kV) に代って新しくファン・デ・グラーフ型加速器 (2.5MV) が設置されて, 学部内に限らず種々の分野の研究者に利用されている¹⁾。ここでは, その周辺機器の1つとして装備された Ge 検出器による, 低レベル放射能測定装置の遮蔽性能について検討した結果を報告する。また, この装置による微量放射能の測定例を紹介する。

2. Ge 検出器および遮蔽体

Ge 検出器 (EG&G ORTEC 社製) の性能を Table 1 に示す。この検出器は横向きであるので, 遮蔽をしやすくするためにオフセットポートデュワを使用している。また, 検出器の首の部分は通常タイプより 20cm 長くしてある。

Table 1 Specifications of Ge detector

Crystal size	55.3 mm (dia.) × 51.8 mm (length)
Resolution (FWHM)	1.78 keV (1.33 MeV) 847 eV (122 keV)
Relative efficiency	28.1% (1.33 MeV)
Peak/Compton ratio	60.9% (1.33 MeV)

† Hiroshima University Low-background γ-Ray Spectrometer. Kiyoshi SHIZUMA, Kazuo IWATANI and Hiromi HASAI: Applied Physics and Chemistry, Faculty of Engineering, Hiroshima University, Shitami, Saijo-cho, Higashi-Hiroshima-shi 724.

遮蔽方法は次の3通りについて検討した。

① 遮蔽体 1 外側に鉛 10cm, 内側に無酸素銅 2cm およびアクリル 5 mm を使用したもので内容積は $28 \times 28 \times 43 \text{ cm}^3$ である。使用している鉛は昭和37年頃購入された古い鉛ブロックであり, これを鉄製の箱の中に詰めている。

② 遮蔽体 2 外側に鉛 10cm, 内側には遮蔽体 1 の場合に使用した無酸素銅とアクリルを除いて鉛ブロックをさらに 10cm 厚に積んだもので, 内容積は $10 \times 10 \times 27 \text{ cm}^3$ である。

③ 遮蔽体 3 鉛から発生する KX 線を遮蔽するために, 遮蔽体 2 の内側をさらに無酸素銅 5 mm でおおったもの。ただし, 遮蔽体 2, 3 では検出器の出し入れを容易にするために円筒型の銅製ガイド (直径 9 cm, 長さ 53 cm, 厚さ 0.3 mm) を使用している。Ge 検出器を遮蔽体 2 の中に入れた様子を Fig. 1 に示す。

測定試料の交換は遮蔽体 1 の場合は側面の扉を開閉

Fig. 1 Low-background shielding (Shield-2) and 124 cm^3 Ge detector.

Table 2 Background-continuum and peak counting rates for different shieldings

Background-continuum energy (keV)	No shielding		Shield-1*		Shield-2**		Shield-3***	
	N_0 (cpm)		N_1 (cpm)	N_0/N_1	N_2 (cpm)	N_0/N_2	N_3 (cpm)	N_0/N_3
50	30		0.17	179	0.14	212	0.10	294
100	53		0.21	254	0.078	682	0.11	488
200	22		0.15	145	0.065	345	0.081	276
300	10		0.09	120	0.051	200	0.053	192
500	3.8		0.032	118	0.022	172	0.022	172
700	2.6		0.022	118	0.018	144	0.017	153
1000	1.6		0.013	123	0.0093	172	0.0078	203
2000	0.12		0.0032	37	0.0024	50	0.0024	50
2700	0.004		0.0019	2	0.0019	2	0.0012	3
Total counts 100 - 2700	9 307		65	143	35	268	38	243
Peak Nuclide E (keV)	n_0 (cpm)		n_1 (cpm)	n_0/n_1	n_2 (cpm)	n_0/n_2	n_3 (cpm)	n_0/n_3
[U-series]								
^{210}Pb 46.5			0.15		0.23		0.16	
^{226}Ra 186.0	8.6		0.26	33	0.20	43	0.23	37
^{214}Pb 295.2	15.5		0.14	111	0.05	310	0.08	194
	351.9		0.30	93	0.04	695	0.06	463
^{214}Bi 609.3	27.9		0.25	112	0.05	558	0.06	465
	1764.5		0.05	136	0.005	1360	0.004	1700
[Th-series]								
^{212}Pb 238.6	43.3		0.34	127	0.36	120	0.31	140
^{208}Tl 583.1	22.4		0.10	224	0.10	224	0.09	249
	2614.6		0.06	272	0.033	494	0.013	1253
^{228}Ac 911.1	16.5		0.02	825	0.01	1650	0.02	825
[Other lines]								
Annihi- lation 511.0	14.1		0.80	18	0.59	24	0.52	27
^{40}K 1460.8	174.1		0.08	2175	0.044	3957	0.047	3704

* Pb (10cm), Cu (2cm), Lucite (5mm) ** Pb (20cm) *** Pb (20cm), Cu (5mm)

して行い、遮蔽体2, 3の場合は試料ホルダを取り付けた検出器を水平に移動させて行う。波高分析器はTN-1750 (Tracor-Northern 社製, 4 kメモリ) を使用し、得られたスペクトルデータは MBC-225 (サンヨー 16ビットマイクロコンピュータ, 容量 64 kB) をホストコンピュータとするマルチパラメータシステム AMS-1000 (Labo 社製) に転送してデータ解析を行っている。

3. 遮蔽性能

検出器を遮蔽しない場合と遮蔽体の中に入れた場合の自然放射線スペクトルをFig. 2に示し、スペクトル中の平坦部および主な γ 線ピークについての計数率をTable 2に示す。

3.1 平坦部分

一般に鉛の厚さを 10cm 以上にしてもバックグラウ

Fig. 2 Background spectra measured with the Ge detector without shielding (a), in the Shield-1 (b) and in the Shield-2 (c).

ンドはあまり減少しないといわれている。Table 2に示されているように、遮蔽体 2, 3 (鉛 20cm) ではバックグラウンド計数率は遮蔽体 1 (鉛 10cm) に比べて 500keV 付近より低いエネルギー領域で約 5 割、それより高いエネルギー領域で約 3 割減少した。したがって、鉛厚を増すことは低いエネルギー領域において有効であることが分かった。

3.2 ピーク部分

^{40}K 1.46MeV γ 線の計数率は遮蔽体 1 で約 1/2200, 遮蔽体 2, 3 で約 1/4000 に減少した。後者の値は報告されている値 1/1990²⁾ や 1/3590³⁾ と比較して良好である。 ^{40}K 以外の γ 線は大部分ウラン、トリウム系列の核種からのものである。これらの核種は遮蔽体外部だけでなく、遮蔽材や検出器の構成材中にも含まれていることが知られている^{4), 5)}。遮蔽体 2 の内側の鉛 10cm の部分について鉛ブロックの組み合わせをいろいろ換えてみたところ、511keV γ 線(消滅 γ 線), 1.46MeV γ 線(^{40}K) およびトリウム系列核種の γ 線については計数率の変動が少なかったのに対して、ウラン系列核種の γ 線や 662keV γ 線(^{137}Cs) の計数率は 3 - 5 倍変化した。このことはウラン系列核種や ^{137}Cs は鉛ブロック中にかなり偏在していることを示しており、鉛ブロックの組み合わせをうまく選ぶことにより計数率の低い状態を得ることが可能である。

鉛材中の ^{210}Pb (半減期 22.3年) のバックグラウンドへの影響を調べるために、遮蔽体 2 の内側 10cm 分の鉛に最近 (昭和 57 年) 購入した新しい鉛ブロックを使用してバックグラウンドスペクトルを測定し、古い鉛の場合と比較した。そのときのスペクトルを Fig. 3 に示す。スペクトル中の 47keV および 803keV γ 線はそれぞれ ^{210}Pb および ^{210}Po の崩壊によるものであり、連続スペクトルの部分は ^{210}Bi の崩壊による β 線 + 制動放射と考えられる。さらに、 ^{210}Bi の β 線制動放射に起因する⁶⁾鉛の KX 線も顕著に現れている。このスベ

Fig. 3 Background spectrum measured with the Ge detector in the shielding with new lead blocks.

クトル中の 40 - 1500keV の総計数率は古い鉛を使用した場合の 22 倍にも及ぶ。したがって、われわれの所有している古い鉛が低バックグラウンド遮蔽体に適していることが分かった。

3.3 鉛の KX 線の遮蔽

無酸素銅 5 mm で内張りされた遮蔽体 3 の中に ^{60}Co や ^{57}Co 等の線源を置いても鉛の KX 線は観測されず、ほぼ完全に遮蔽されていることが確かめられた。けれども、Table 2 に示されているように約 500keV 以下のバックグラウンド平坦部の計数率は遮蔽体 2 の場合よりも高くなった。同様のことは鉄を主体とした遮蔽体の内側に水銀または銅を使った場合においても報告されており^{3), 7)}、原子番号の低い物質では散乱線が吸収されにくいためと考えられる。したがって、73 - 87 keV の範囲に特に関心のある場合以外で、100 - 500 keV の範囲のバックグラウンドを少しでも減らしたい場合には古い鉛のみの方が有利である。

4. 低レベル放射能測定の実例

4.1 フォールアウト中の ^{137}Cs の測定

昭和 51 年および 58 年に宍岐、対馬で発掘された多数の遺骨が広島原爆の被爆者のものであるかどうかについて、中国放送より調査依頼を受けた。被爆者や原爆のすぐあとで市内に入った人々は、原爆のフォールアウトを体内に取り込んだ可能性があるため、提供を受けた 2 種の遺骨および宍岐の発掘現場近くの海岸で表面から 20cm ごとに深さ 120cm まで採取された砂 7 サンプル (おのおの約 200 g) につき ^{137}Cs の有無を調べた。

^{137}Cs 662keV γ 線はバックグラウンドスペクトル中にもわずかに (0.02cpm) ではあるが現れるので、3.2 で述べたように鉛ブロックを組み換えて計数率の低い状態を選んだ。各サンプルの 1 回の測定時間を 1 日として砂については 1 回、遺骨についてはバックグラウンドと遺骨の測定を交互にそれぞれ 7 回繰り返した。この結果を Fig. 4 に示す。砂に含まれている ^{137}Cs は明らかに核実験によるフォールアウトである。その強度は表面の砂について、 $0.026 \pm 0.004 \text{ Bq/g}$ ($0.7 \pm 0.1 \text{ pCi/g}$) であった。 ^{137}Cs は土壌中では地表から約 10cm までの深さに分布することが知られている⁸⁾が、今回の測定結果は砂の場合、表面から約 40cm の深さまでに分布することを示している。遺骨については Fig. 4 に示されているようにバックグラウンドと比較して有意の差はみられなかった。したがって、今回行った γ

Fig. 4 Depth distribution of ^{137}Cs in sand of Iki-island. Data on the human bones (A, B) found at the island and the room background (BG) are also shown in the insert.

Fig. 5 Gamma-ray spectrum of a granite sample taken from the pillar of Motoyasu Bridge. The residual activity ^{152}Eu was caused by the Hiroshima atomic bomb.

線測定からは被爆者の遺骨かどうかについての判断はできなかった。

4.2 原爆残留放射能 ^{152}Eu の測定

最近, 広島・長崎における原爆線量の再評価が日米において進められている^{9), 10)}。われわれは広島原爆の中性子エネルギースペクトルを推定するために, 爆心近くの元安橋橋柱(花崗岩)から抜き出したコア(直径6.9cm, 長さ82cm)を2cmごとに切断し, γ 線スペクトルを測定して原爆中性子により生成された ^{152}Eu

の深度分布を求めている。橋柱表面サンプル(172g)の γ 線スペクトルをFig. 5に示す。 ^{152}Eu の強度は橋柱表面でサンプル1g当たり約0.01Bq(0.28pCi)であり, 表面から40cm深部では約 $1/4$ に減る。 ^{152}Eu の γ 線の中で深度分布の決定に利用できるのは, 相対強度および他の γ 線との重なりぐあいから122keVと344keVの2本であるので, 特に100-400keVのバックグラウンドを減らすことが必要である。そのため, 遮蔽体2によりこの測定を行っている。

5. まとめ

Ge検出器用の低バックグラウンド遮蔽体として, 厚さ20cmの鉛を主体とすることにより ^{40}K 1.46MeV γ 線の計数率を遮蔽しない場合の約 $1/4000$ に減らすことができた。鉛厚を10cmから20cmに増すことはバックグラウンドの平坦部についても, 約500keV以下の領域において計数率を減らすために効果がある。鉛のKX線を遮蔽するために銅板を内張りすることは有効であるが, 約500keV以下の領域でバックグラウンドを高めるので, その使用にあたっては注意を要する。

文 献

- 1) 葉佐井博巳, 岩谷和夫, 静岡 清, 西山文隆: 広島大学工学部研究報告, **33**, 85-96 (1984)
- 2) 鈴木章悟, 平井昭司: *Radioisotopes*, **26**, 799-802 (1977)
- 2) 金沢大学低レベル放射能実験施設研究概要・年次報告, LLRL-AR-1, p. 3 (1977)
- 4) Camp, D.C., Gatrousis, C. and Maynard, L.A.: *Nucl. Instrum. Methods*, **117**, 189-211 (1974)
- 5) 桜井次郎, 小村和久: *Radioisotopes*, **30**, 471-474 (1981)
- 6) 島 邦博, 見原 猛, 梅谷啓二, 三雲 昂: *ibid.*, **29**, 363-367 (1980)
- 7) 小村和久, 塚本正樹, 阪上正信: 昭和53, 54年度文部省科研費研究成果報告書, p. 8, 京大原子炉実験所 (1980)
- 8) 広島, 長崎の残留放射能調査報告書 (昭和51, 53年), 日本公衆衛生協会
- 9) Proc. Workshop: Reassessment of Atomic Bomb Radiation Dosimetry in Hiroshima and Nagasaki, Feb. 1983, RERF
- 10) Proc. 2nd Workshop: Reassessment of Atomic Bomb Radiation Dosimetry in Hiroshima and Nagasaki, Nov. 1983, RERF