放射線測定器校正時の散乱線の影響

板倉延江^{*1}, 加藤 朗^{*2}, 占部逸正^{*3}, 辻本 忠^{*3}

(1978年2月10日受理)

Effects of Scattered Radiation on Instrument Calibration

Nobue ITAKURA,^{*1} Akira KATO,^{*2} Itsumasa URABE^{*3} and Tadashi TSUJIMOTO^{*3}

KEY WORDS: scattered radiation, exposure rate, calibration, cesium-137, cobalt-60, gamma-ray spectrum, scintillation counter, response function, source-detector distance

I はじめに

最近の環境放射線モニタリングでは、低レベル（バックグラウンド程度）の照射線量率を精度よく測定することが要求され、種々の測定器や測定法が開発されている。検出器としては、NaI(Tl) シンチレータ、大容積の空気等価壁電離箱、高圧電離箱等がある。これら測定器による測定値の信頼性は、その性能上の特性とともに、校正の的確さに依存する。測定器はメーカーにおいて、基準により指示目盛または指示量に対する校正定数が与えられているが、購入後も回路部品、検出器の経年変化等による測定器レスポンス（指示値または指示量と線量率の比）の変化を考慮し、定期的な校正を行なうことが必要である。

放射線測定器の校正法についてはマニュアルを含め、いくつかの報告書がある^{1,2)}。照射線量率測定器の校正には JIS が制定されており³⁾、置換法と直接法が掲げられている。環境 γ 線測定器の校正は、一般に基準 γ 線源による直接法で行なわれている。一定距離における線量率

があらかじめ値付けされている基準 γ 線源、あるいは放射能のあきらかな γ 線源を用い、一定位置における線量率を、線源からの距離、 γ 線エネルギー等を考慮して求め、その点に検出器を置いて校正を行なう。

この場合、周囲の空気、壁あるいは床からの散乱線の寄与が問題となる。一般には線源・検出器間距離を変え、逆 2 乗法則よりのずれをもって散乱成分とする。この時、線源・検出器間の距離が 1 m の時を基準にする。すなわち 1 m 以内は散乱線の寄与はないものと考ええる。環境 γ 線モニタのような低線量率測定器の場合には線源強度の制約から線源・検出器間距離を大きくとって校正することが多いので、散乱線の影響を無視するわけにはいかない。校正における散乱線の影響は、線量率に散乱線の寄与が加わることで、散乱線のエネルギーが直接線に比し低下すること等から生ずる。今回、散乱線の校正におよぼす影響の基礎データとして、散乱線の線量率への寄与、エネルギー低下について、一般の校正室内（6 m $\times$ 6 m $\times$ 3.5 m^H、コンクリート作り）での散乱線のエネルギースペクトルを測定することにより、検討を行なった。

II 測定法

エネルギー スペクトルの測定には、3'' ϕ 球型の NaI (Tl) シンチレーションスペクトロメータを使用した。校正室内で、検出器を点線源からある一定距離に配置し、 γ 線による波高分布を測定する。次にこの波高分布をもとに、実際に検出器に入射した光子のエネルギー

^{*1} 日本放射線エンジニアリング(株); 日上市千石町2-5-12 (〒316)

Japan Radiation Engineering Co.; 2-5-12, Chikoku-cho, Hitachi-shi, Ibaraki-ken.

^{*2} 電子技術総合研究所; 田無市向台 (〒188)

Electrotechnical Laboratory; Mukodai, Tanashi-shi, Tokyo.

^{*3} 京都大学原子炉実験所; 大阪府泉南郡熊取町(〒590-04) Research Reactor Institute, Kyoto Univ.; Kumatori-cho, Sennan-gun, Osaka.

ベクトルを計算する。エネルギースペクトルが得られれば、その場における照射線量率は容易に計算できる⁴⁾。これらについての概略は以下のとおりである。

シンチレータに入射する光子で、エネルギー E (MeV) が、

$$E_i - \frac{\Delta E}{2} \leq E < E_i + \frac{\Delta E}{2}$$

であるものの粒子束密度を $x(E_i)$ (個/秒) とする。また、測定によって得られる波高分布において、波高値 P が、

$$P_i - \frac{\Delta P}{2} \leq P < P_i + \frac{\Delta P}{2}$$

となるものの計数率を $y(P_i)$ (カウント/秒) とする。 E_i と P_i は対応しているものとし、

$$\Delta E = E_{i+1} - E_i, \Delta P = P_{i+1} - P_i$$

とする。このとき $y(P_i)$ は次のように与えられる。

$$y(P_i) = \sum_{j=1}^N (H)_{ij} \cdot x(E_j) \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (1)$$

ここで H は測定系に固有であって、レスポンス行列といわれるものであり、 $(H)_{ij}$ はその i, j 成分である。 H と $y(P_i)$ ($i=1, 2, \dots, N$) から逆に $x(E_j)$ ($j=1, 2, \dots, N$) を求めることができる⁵⁾。この計算法には種々のものがあるが、今回は逐次近似法⁶⁾を用いた。エネルギー範囲は $0 \sim 3$ MeV で、これを 30 等分して解析を行なった。上の定義で、 $N=30$, $\Delta E=0.1$ MeV である。照射線量率は、 $x(E_j)$ から次式で求められる。

$$D = C \sum_{j=1}^N \mu(E_j) \cdot E_j \cdot \bar{l} \cdot x(E_j) / V \cdot W \quad (2)$$

ここで、 D : 照射線量率 ($\mu R/h$)

C : $1.724 \times 10^6 [(\mu R/h) / (\text{イオン対}/\text{cm}^3 \cdot \text{s})]$

$\mu(E_j)$: エネルギー E_j の光子に対する空気のエネ

ルギー吸収係数 (cm^{-1})

$\bar{l}$: シンチレータの実効長 (cm)

W : 空気の W 値 (33.7 eV)

V : シンチレータの体積 (cm^3)

測定は、検出器および線源と床面との距離を常に 1 m とし、検出器と線源との距離を変え、散乱線の影響がどのように変わるかを検討した。基準 γ 線源として、 ^{60}Co と ^{137}Cs を使い、それぞれ 0.5 m, 1 m, 2 m の距離で測定した。線源強度 (放射能) は、1 m, 2 m については約 100 μCi を、0.5 m については約 10 μCi を使用した。また、校正室内では、2 m 以上の距離で測定を行な

うことは不可能であったため、屋外で測定を行ない、参考とした。

III 結 果

II で述べた方法により得られた照射線量率のエネルギースペクトルの例として、 ^{137}Cs 100 μCi 線源についての結果を、Fig. 1 に示す。線源、検出器間距離 1 m で測定し、得られた結果からバックグラウンド成分を差し引いたものである。 ^{137}Cs は、単一エネルギー (662 keV) γ 線を放出するから、図で A の部分が直接線にもとづくものであり、B の部分は、散乱線による成分としてよい。このように、エネルギースペクトル分解を行なえば、散乱線の寄与分を分離評価できる。図において散乱線のエネルギーは、300 keV まで分布し、100~200 keV の所にピークがあることが分る。

同じ線源により、検出器との距離を 2 m として測定を行なった。1 m の場合との比較のため、全照射線量率を 1 に規格化して、Fig. 2 に示す。両者の間で、散乱線スペクトルの形にはほとんど変化がないが、距離 2 m の時は 1 m の時に比べ、散乱線の寄与の割合が多いことがわかる。散乱線成分は、1 m のとき全体の 4.2%, 2 m のとき 8.0% となっている。

^{60}Co からの γ 線についての測定結果を Fig. 3 に示す。 ^{60}Co については、線源、検出器間の距離 0.5 m, 1

Fig. 1 Energy spectrum of exposure rate per 0.1 MeV at 1 m from ^{137}Cs source.

A, Direct component; B, Scattered component.

Fig. 2 Comparison of energy spectra of exposure rate per 0.1 MeV at 1 m and 2 m from ^{137}Cs source.

A, Direct components; B, Scattered components.

Fig. 3 Comparison of energy spectra of exposure rate per 0.1 MeV at 0.5 m, 1 m and 2 m from ^{60}Co source.

A, Direct components; B, Scattered components.

Fig. 4 Relation between source-detector distance and the scattered fraction of radiation.

m, 2 m の3点について測定した。結果は、全照射線量率を1に規格化して示してある。 ^{60}Co は ^{137}Cs にくらべ直接線のエネルギーが高い(1.17 MeV, 1.33 MeV)ため、散乱線のエネルギーも、500 keV 付近まで分布しているが、ピークは100 keV~300 keVの所にある。また、距離が大きくなるに従い、散乱線寄与の割合は増加していくことが明らかである。散乱線成分は0.5 m, 1 m, 2 m についてそれぞれ2.5%, 3.3%, 6.3% である。

^{60}Co 線源を用い、屋外において同様の測定を行なった。線源、検出器間の距離は、1 m, 5 m, 10 m とした。その結果、それぞれの点において、散乱成分は、3.4%, 8.2%, 9.1% であった。

線源、検出器間距離と、散乱線成分の関係を Fig. 4 に示す。図から、距離が大きくなるに従い、散乱線の割合は増加するが、その増加率は次第に小さくなっている。 ^{137}Cs と ^{60}Co とでは、 ^{137}Cs の方が散乱線の寄与が大きくなっている。

IV 結 論

以上の結果、次のことが結論される。

(1) エネルギースペクトル分解による散乱線評価法によれば、照射線量率によらず散乱線のエネルギーは、300~400 keV まで分布し、100~200 keV 付近でその最大値をとるが、環境γ線モニタで感度の著しく悪くなる100 keV 以下は数% 程度以下であるので、環境γ線モニタの校正にはあまり影響を及ぼさないことがわかった。

(2) 線源と検出器との距離が1 m 以内であっても数% の散乱線の寄与がある。 ^{60}Co 線源で線源・検出器間距

離が 50 cm の場合, 散乱線成分は 2.5% であった。)

(3) ^{137}Cs , ^{60}Co のような γ 線源の場合, 条件にもよるが, 検出器までの距離 1 m のとき一般的に 2~4%, 2 m において, 4~6% 程度の散乱線成分 (照射線量率において) を含んでいる。

なお, 今回エネルギースペクトル分析に用いたレスポンス行列は, エネルギー 分割幅が 100 keV であるために, エネルギーの低い γ 線については, 直接線と散乱線の分離評価ができない。分割幅の狭い (10 keV あるいは 20 keV) レスポンス行列を作成し, 使用すれば, 低エネルギー γ 線についても解析可能となろう。

今後は, これらの結果をもとに, 散乱線について他の測定法による測定値との比較を行ない, 散乱線成分による影響を明確にしたい。また, 校正については, 校正場所におけるエネルギースペクトルを測定し, 結果を記録しておくことが望ましいと考える。

おわりに, 今回の測定にあたり, 電総研の山地 磐氏, 京大炉の山崎敬三氏, 義本孝明氏のご協力をいただ

いた。ここに感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 山崎文男; “原子力施設周辺の放射線測定の基準化に関する対策研究” (1974, 1975, 1976), 原子力安全研究協会。
- 2) 山地 磐, 加藤 朗; 電子技術総合研究所彙報, 38, 310 (1974)。
- 3) 日本工業規格; “照射線量測定器の校正方法”, JIS Z-4511 (1975)。
- 4) 辻本 忠, 桂山幸典; 散乱ガンマ線の測定, 非破壊検査, 20, 127 (1971)。
- 5) J.E. MONAHAN, ed.; “Scintillation Spectroscopy of Gamma Radiation,” p. 371 (1967), Gordon and Breach Science Publishers, New York.
- 6) J.F. MOLLENAUER; A Computer Analysis for Complex Sodium Iodide Gamma Spectra, UCRL-9748, p.8 (1961)。