

平成23年9月19日

日本原子力学会・福島第一原子力発電所事故に関する特別シンポジウム

環境影響、線量評価および放射能計測の現状と見通し

3) 放射線計測の留意点

名古屋大学・工学研究科 井口哲夫

講演の内容

動機

福島第一原発事故による大量の放射性物質の環境放出

- ⇒ 我々の住環境、食品・飲料等、身のまわりの放射線に対する不安増
- ⇒ 現在、国を挙げて実測に基づく放射能汚染の詳細な状況把握に努めている一方、放射線の測定を専門としない一般の方々による放射線測定活動も活発化
- ⇒ このような身の回りの放射線の状況を正しく知ることは、放射線によるリスクの理解を深め、それらを低減する工夫にも繋がるので、本学会としてこの流れおおいに推進・サポートしたい

趣旨

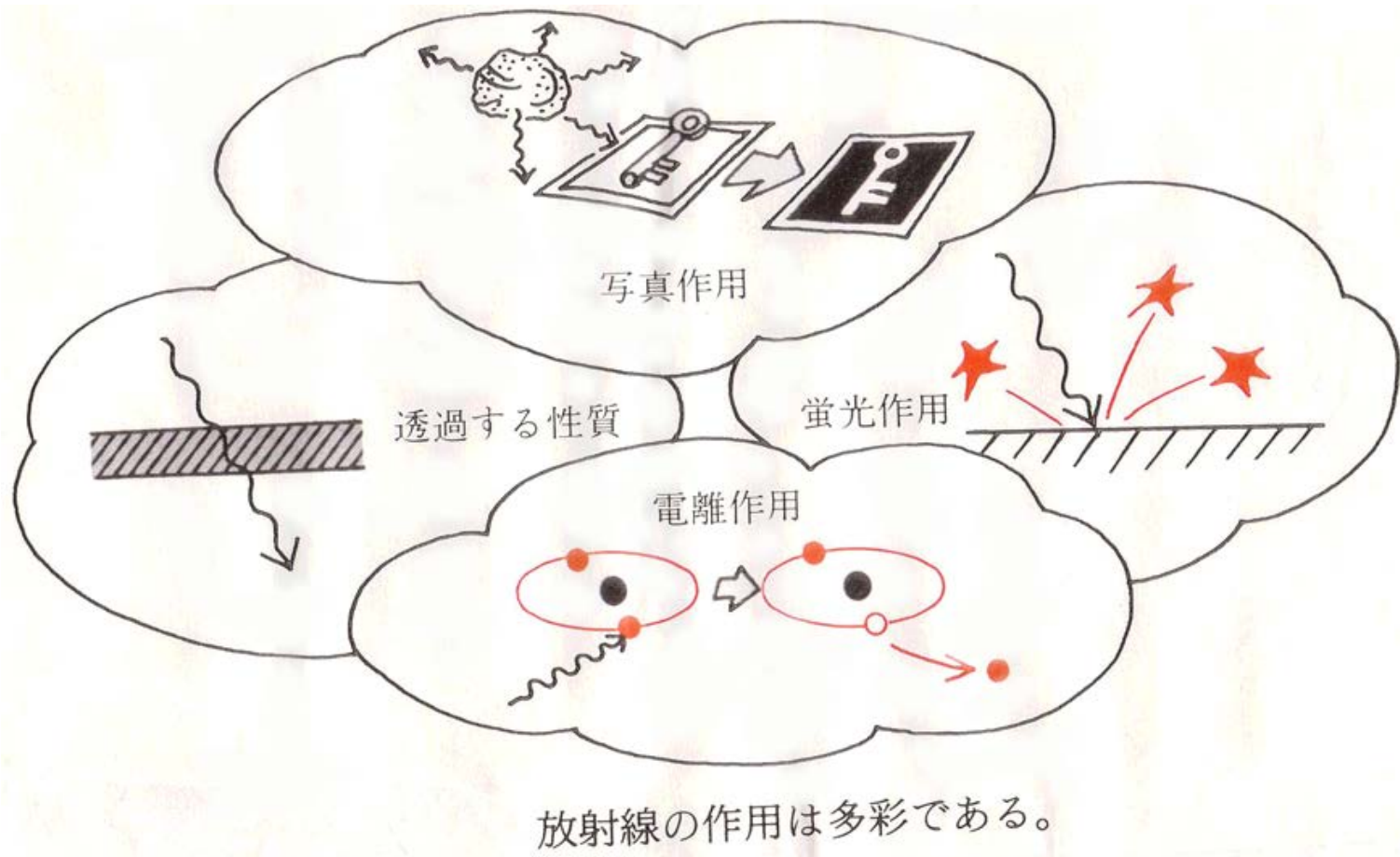
一般の方々による身の周りの放射線測定活動をより有効にさせていただくため、測定器固有の特性や表示される測定値の意味、また実際に測る環境や対象物における放射線場の特徴など、市販のサーベイメータを用いた放射線量測定の留意事項を指摘したい。

項目

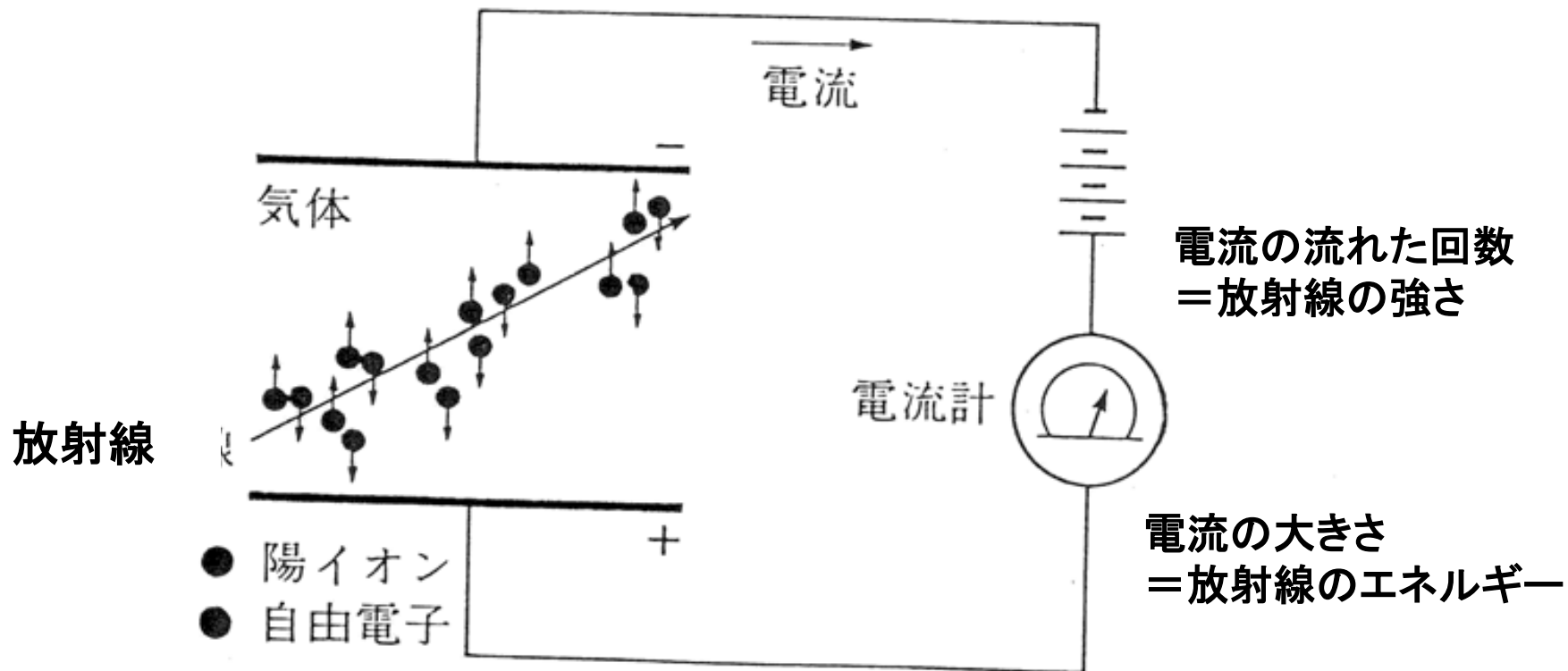
- (1) 測定器で何を測っているか？（主に、ガンマ(X)線サーベイメータ）
- (2) 巷で使われている放射線サーベイメータの性能現状（国民生活センター発表資料）
- (3) 正しく放射線を測定するための留意事項

放射線測定器で何を測っているのか？

放射線がモノに当たると
— 電気、光、傷が生じる？ —



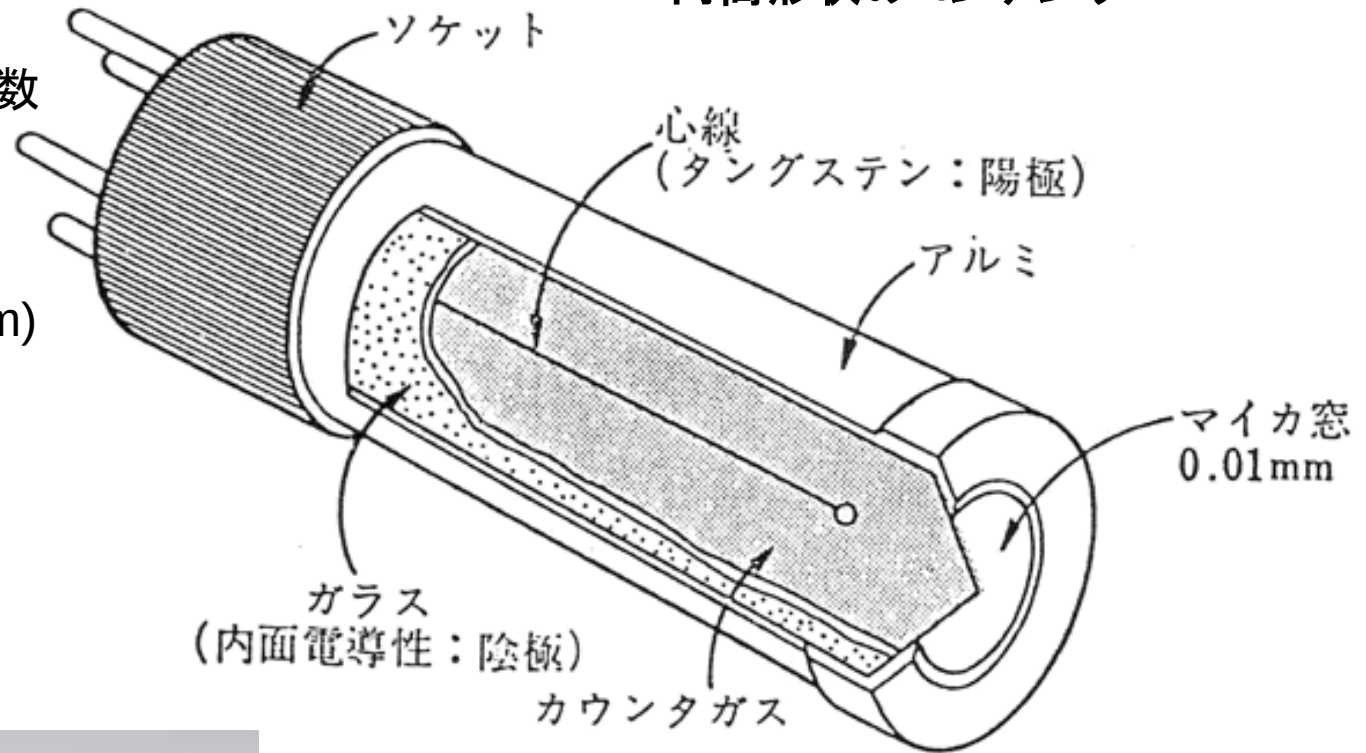
放射線が作った電気を捕らえる:コンデンサ



放射線による気体の電離作用を利用して放射線を検出する電離箱の原理：放射線によって気体が電離されると、陽イオンは負の電極へ、電子は正の電極へ引き寄せられて、電流が流れる。

円筒形状のコンデンサ

増幅された
パルス電流の計数
↓
入射した放射線
の個数
(毎分カウント:cpm)

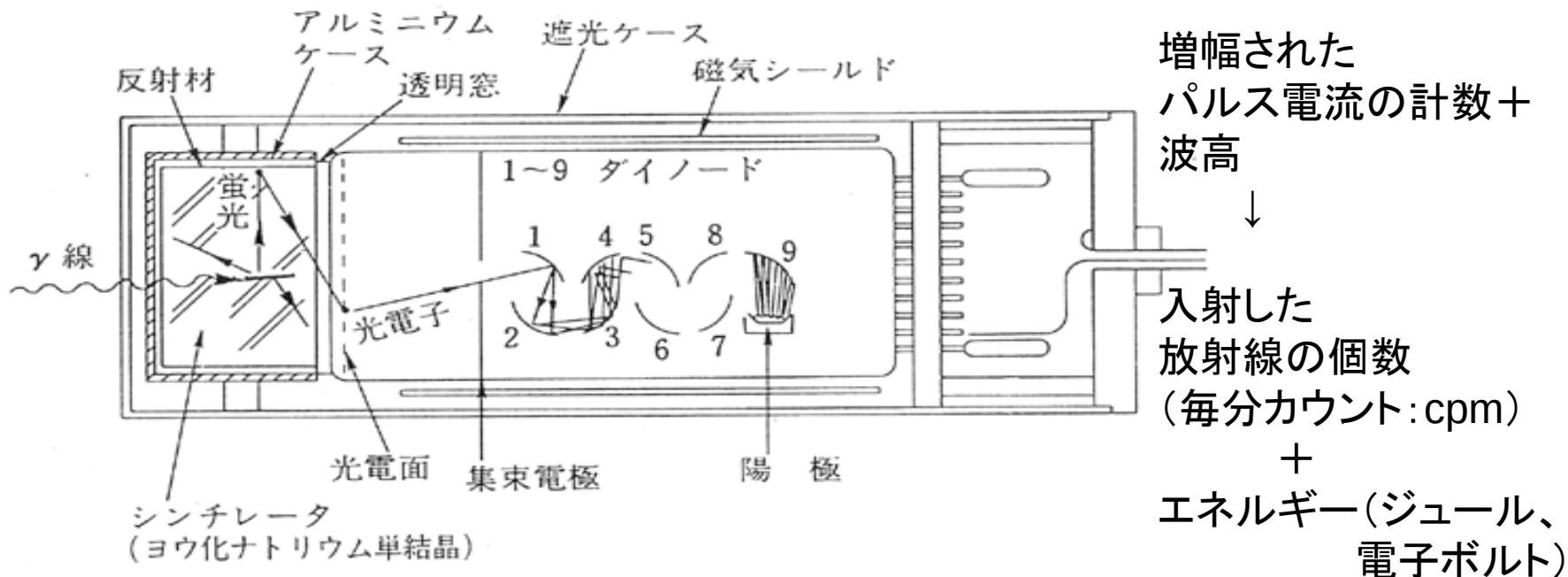


端窓型 GM 計数管の断面図



日立アロカメディカル(株)
 $\beta(\gamma)$, γ 線用のGM計数管サーベイメータ(TGS131)

放射線を光で検出：シンチレーション検出器

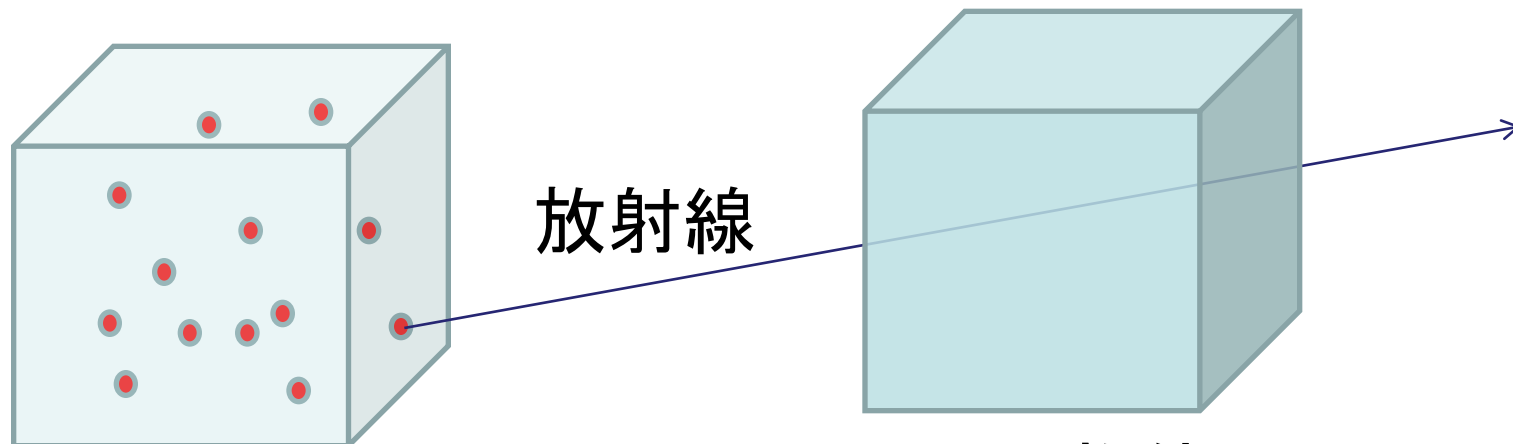


シンチレーション検出器：ヨウ化ナトリウムの単結晶を透明窓を間において光電子増倍管にとりつける。蛍光が光電面にあたると光電子が飛び出し、これがダイノードで増倍される。



日立アロカメディカル(株)
エネルギー補償型シンチレーションサーベイメータ
(TCS171B・172B)

測定したい放射線の量と単位



放射能(量) Bq ベクレル

単位体積あたり Bq/m^3

単位重量あたり Bq/kg

単位面積あたり Bq/m^2

1kgの物体に
吸収されたエネルギー

(吸収)線量 $\text{J/kg}=\text{Gy}$
グレイ

単位時間あたり
線量率 Gy/h

吸収された放射線が人体に及ぼす影響の尺度

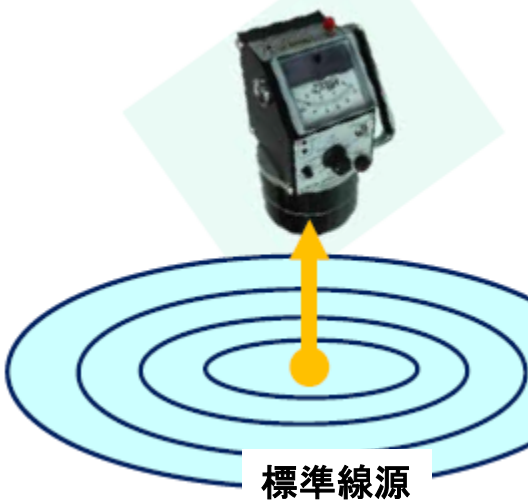
等価線量、実効線量 Sv シーベルト

ガンマ線、ベータ線では $1\text{Gy}=1\text{Sv}$

留意点((1)計数率(cpm) ⇒放射能濃度 ⇒ 線量率(μ Sv/h)への換算

ある条件下でのcpm (測定値)からBq/cm²、 μ Sv/hへの換算

放射線サーベイメータ



高精度な標準線源
と厳格な測定条件
のもとで校正
(換算係数の決定)

計測器の指示値 (バックグランドを差 し引いた値)(cpm)	放射能面密度 (Bq/cm ²) ^{注参照}	線量当量率 (μ Sv/h) ^{注参照}
0	0	0
10	0.04	0.00033
100	0.4	0.0033
1,000	4	0.033
10,000	40	0.33
100,000	400	3.3

注: 上記換算表で仮定した条件

計数率(cpm)は、校正された大面積端窓型GM計数管(有効窓面積20 cm²、機器効率40 %程度)を用いて、JIS Z 4504 の規格に従い、試料から5 mm程度の距離に時定数の3倍以上の時間幾何条件を一定に保ちつつ測定するよう、訓練を受けた要員により測定されていること。また、測定対象物は、標準面線源と同じ線源効率が適用可能な汚染核種と表面状態を仮定している。

線量当量率は、平らな試料の表面が、半径20 cmの円盤状に(ミカン箱の上面サイズ程度の面積)、Cs-137(1 cm線量当量率定数0.0927 μ Sv m² MBq⁻¹ h⁻¹)によって表2列目の放射能面密度で一様に汚染されていると仮定し、表面から5 cm離れた位置の線量当量率値を計算した結果である。

この表の数値の算出手順については、以下の解説資料を参照のこと。

http://www.aist.go.jp/aist_j/rad-accur/pdf/case_study_1_suppl.pdf

異なる測定器位置や汚染面積の場合については、上記解説資料中の参考データを参照されたい。

校正時と同一条件での測定のみ適用可

産総研「放射線計測の信頼性について」
http://www.aist.go.jp/aist_j/rad-accur/index.html

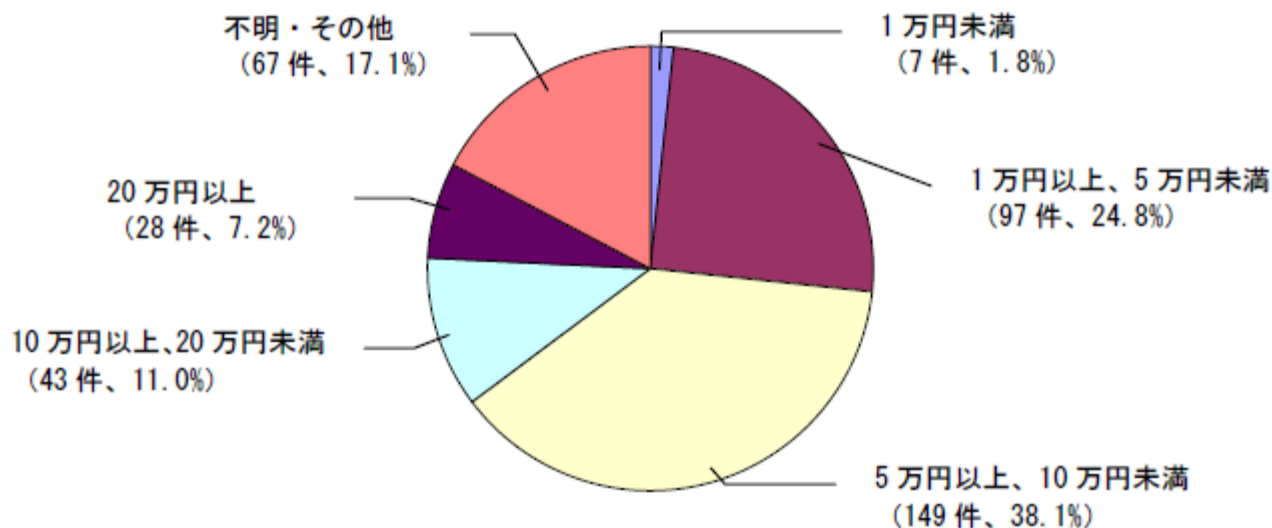
比較的安価な放射線測定器の性能

(平成23年9月8日付 独立行政法人国民生活センターの報道発表資料から)

http://www.kokusen.go.jp/news/data/n-20110908_1.html

2011年3月11日～7月末までに全国消費者生活情報ネットPIO-NETに寄せられた苦情件数:391件

図3. 契約購入金額別内訳

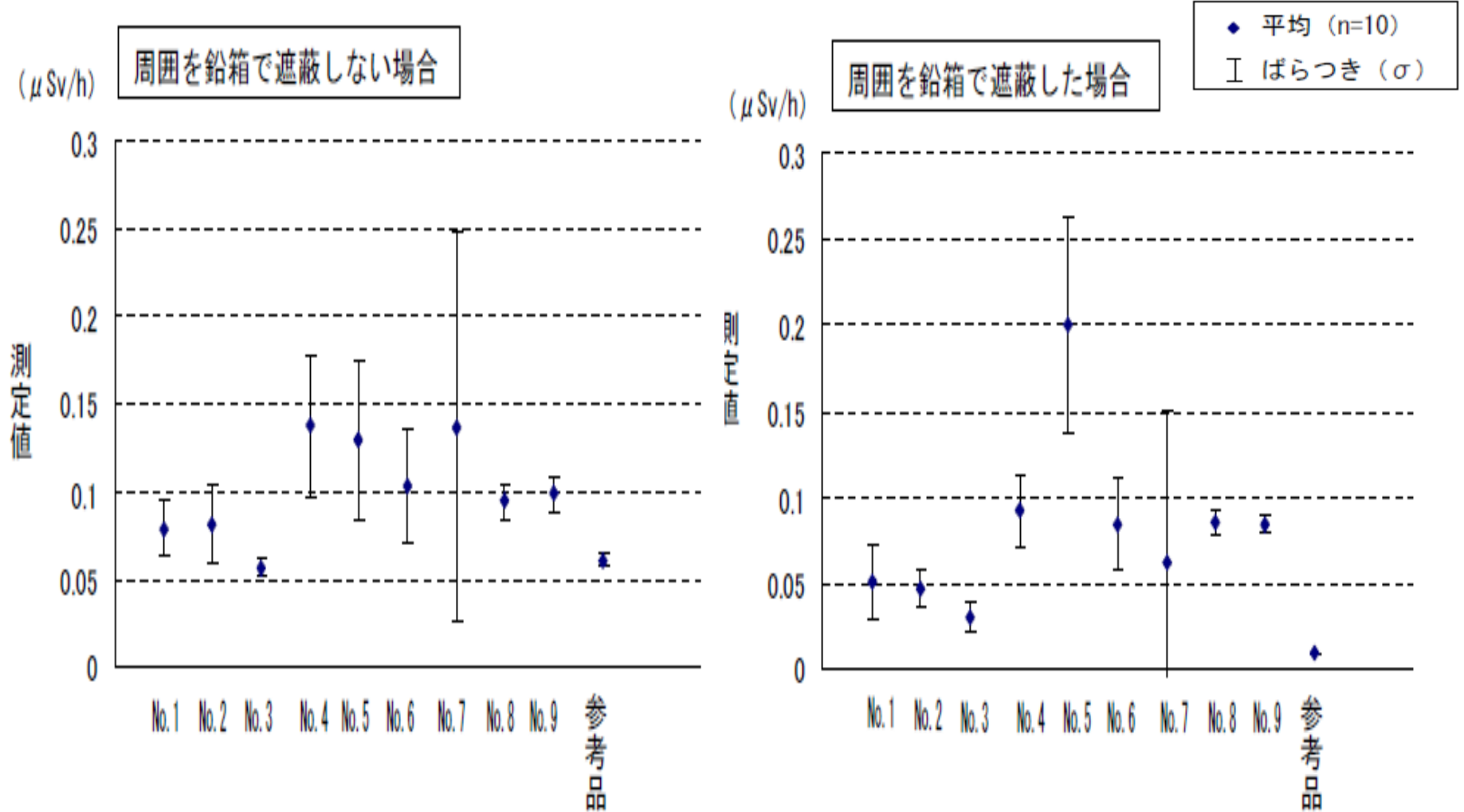


購入金額:1~10万円のインターネット通販で売れ筋の放射線測定器(9銘柄)

- ・自然放射線の測定
- ・Cs-137校正用線源のガンマ線測定

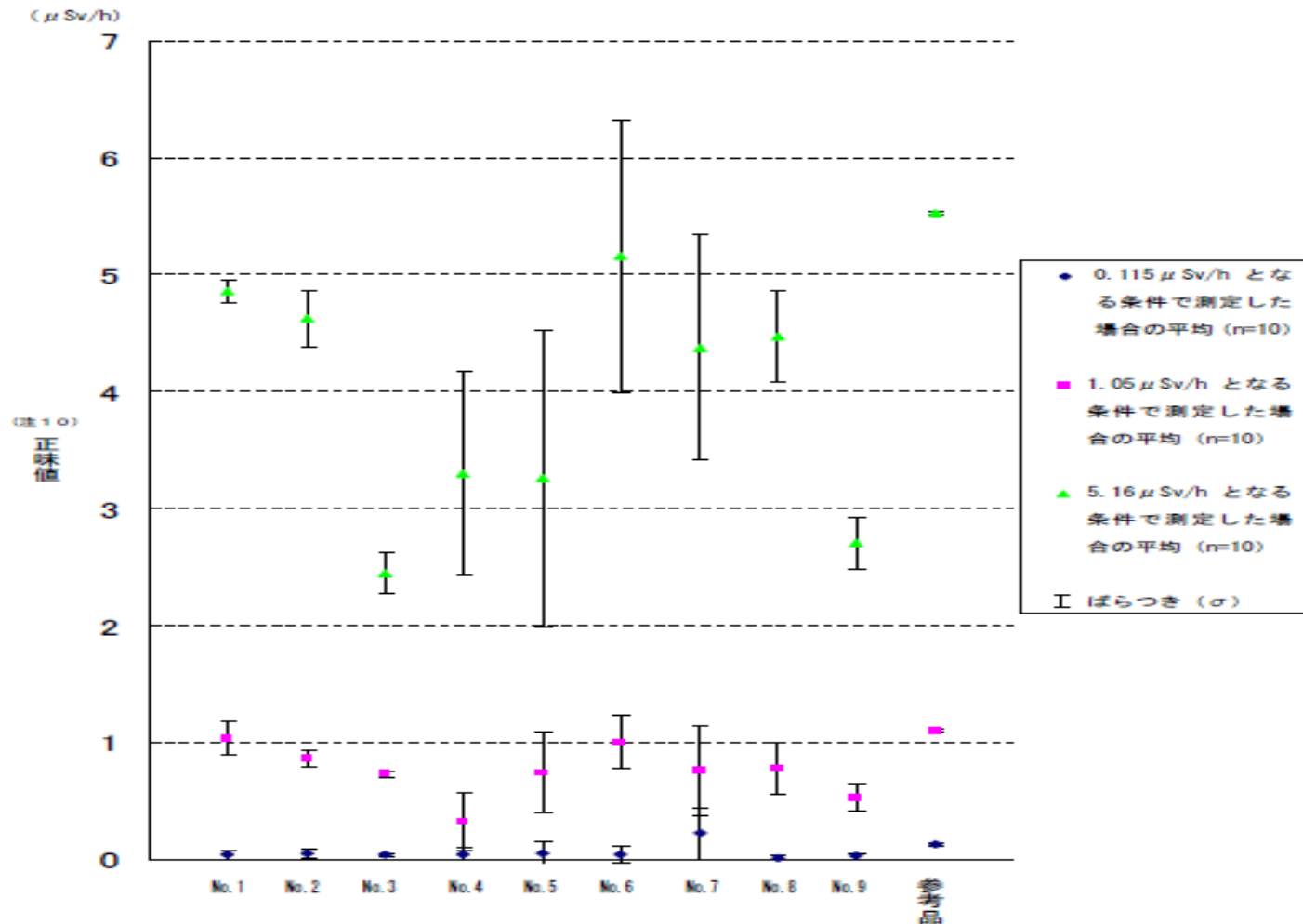
⇔ 校正済みNaI(Tl)シンチレーションサーベイメータ(～¥60万)と比較

自然放射線の測定結果



自然放射線の測定値は、参考品と比べて、高く、ばらつきも大きい傾向

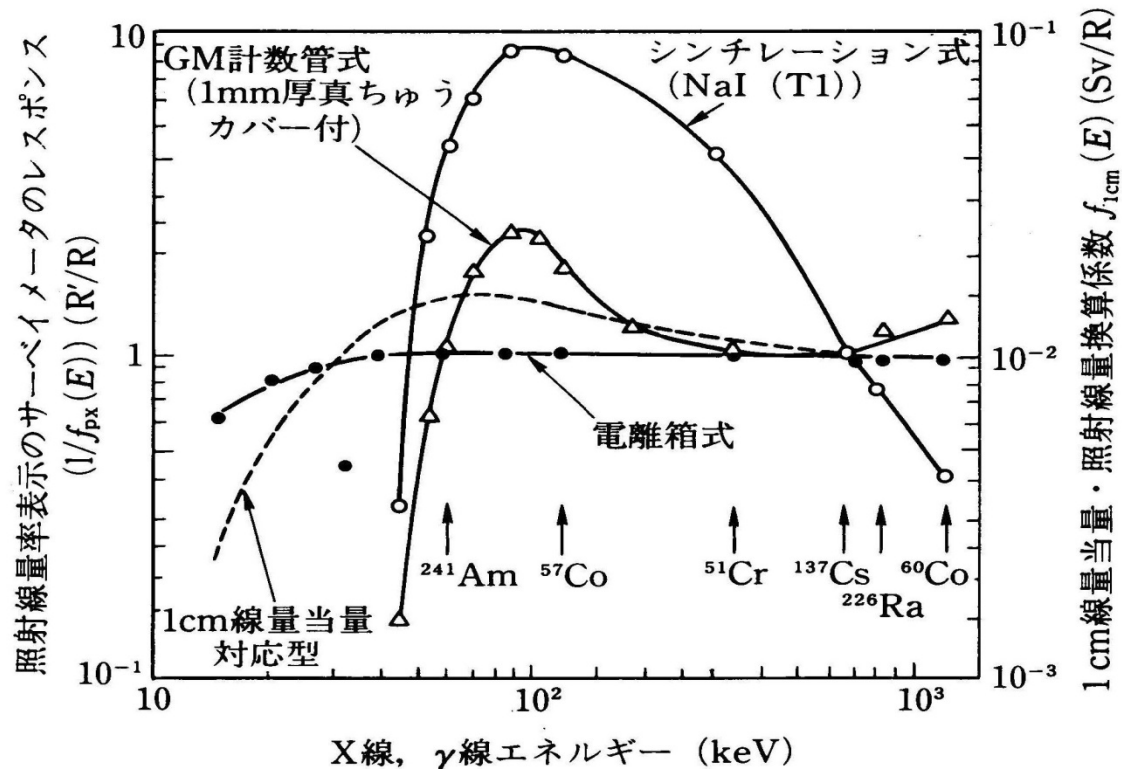
Cs-137ガンマ線の照射試験結果



(注10) 測定値の平均からバックグラウンドの平均を引いたもの

- ・参考品と比較して、総じて正味値が小さく、照射する線量率に比例してばらつき大
- ・低い線量率レベル(0.115 $\mu\text{Sv/h}$)では、相対標準偏差30%超
- ・正味値と照射線量率の相関性は概ねあり

留意点(2) 検出器応答のエネルギー依存性



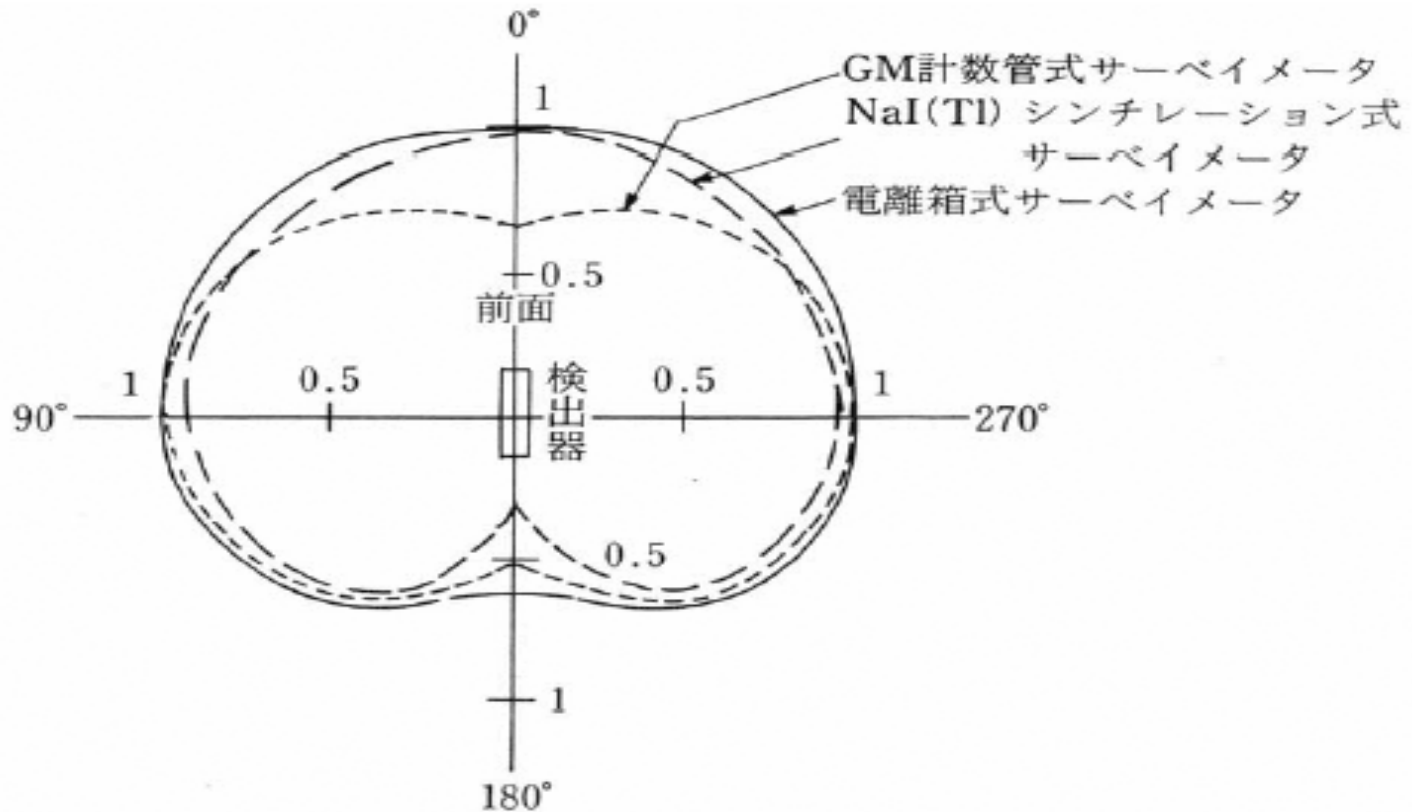
代表的なサーベイメータのエネルギー特性

(原子力安全研究協会: 緊急被ばく医療「地域フォーラム」テキスト詳細版
(平成20年度版) 第5章 <http://www.remnet.jp/lecture/forum/sh05.html>)

線量(1cm線量当量～ 皮膚1cm下の被ばく線量)を正確に測定するためには、
検出器応答のエネルギー依存性の補正が必要 ⇒ 「エネルギー補償型」

- ・GM計数管サーベイメータ: 物理的にフィルター(カバー)等を付加して調整
- ・NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータ: エネルギー弁別測定により重みづけ

留意点(3) 検出器応答の方向依存性

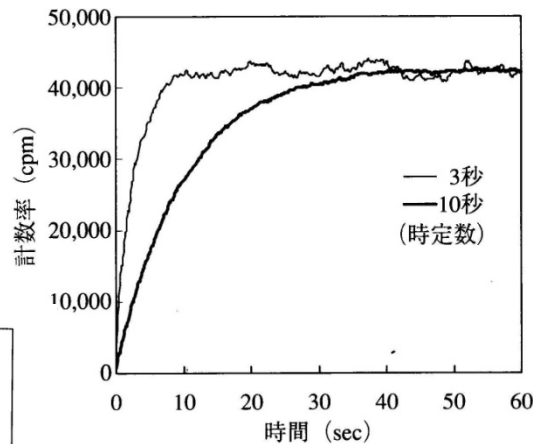


代表的なサーベイメータの方向特性

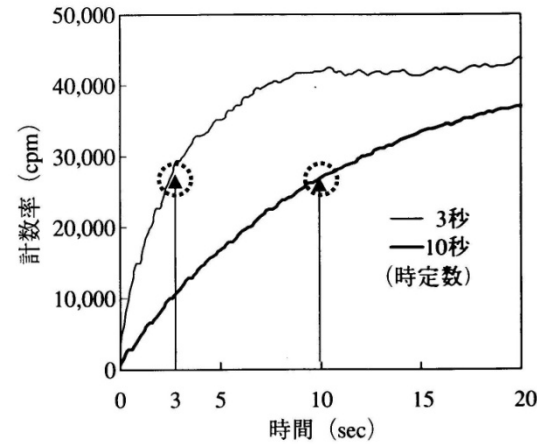
(原子力安全研究協会: 緊急被ばく医療「地域フォーラム」テキスト 詳細版
(平成20年度版) 第5章 <http://www.remnet.jp/lecture/forum/sh05.html>)

一般に後方入射の $\gamma(X)$ 線に対して感度劣化、エネルギーが低いほど顕著化
⇒ 正確に線量測定を行うためには、**校正を行ったときと同一方向、測定対象**
に対して常に同じ向きで測定が必要

留意点(4) 検出器応答の時間依存性



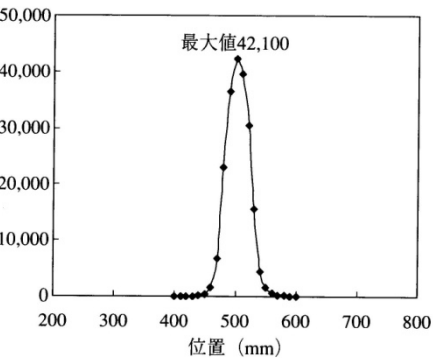
(a) 応答全体の様子



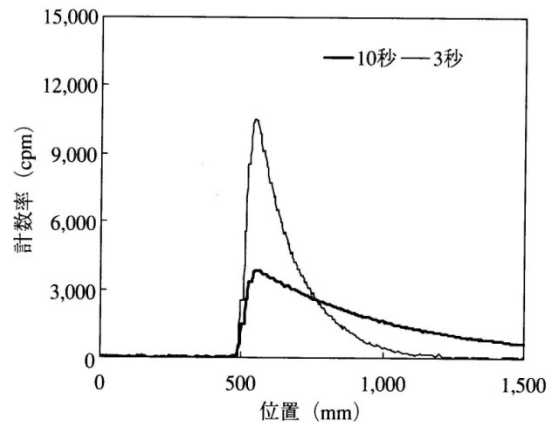
(b) 応答の立上がりの様子

時定数の2～3倍の
経過時間後に計数
率の指示値を読む

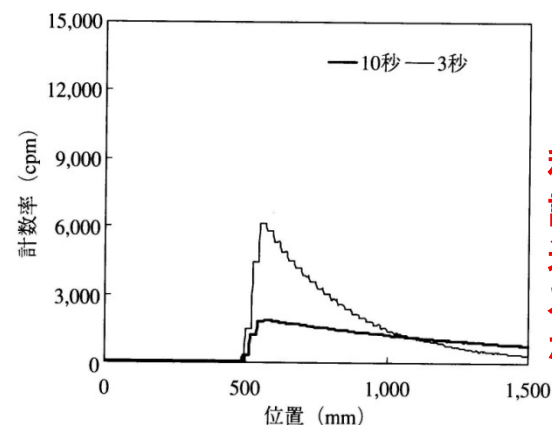
サーベイメータの計数率指示値の時間変化



GMサーベイメータの
静止スキャン応答



(a) 移動速度毎秒 50 mm



(b) 移動速度毎秒 100 mm

移動スキャンの場合
計数率の指示値を
過小評価、ホット
スポットの探知位置
がややズれる

サーベイメータの移動スキャン応答

留意点(5) 自然放射線の変動

基本原理:

計数値がNカウントのとき、その分散はN、
標準偏差は $\sqrt{N}$ とみなす。

(計数のばらつきは、ポアソン分布または正規分布に従う)

例えば、N=100カウントのとき、
計数値のばらつく範囲は、 100 ± 10 (1σ)

ただし、正規分布モデルを仮定すると、
計数値が90～110の範囲に収まる確率は～68%

従って、測定器の感度が低い、測る線量が低いほど、
測定値がブレる。

測定下限の仕様: $0.1 \mu\text{Sv/h}$ ～1分間測定で10カウント、
相対標準偏差～ $\pm 30\%$

留意点(6) ガンマ線とベータ線に対する検出器応答の違い

ガンマ線・ベータ線用GM計数管サーベイメータ

放射性Csのベータ線エネルギー: 0.5MeV $\Rightarrow$ 空気中の飛程: $\sim 1.5\text{m}$

距離 $\sim 1\text{m}$ 離れると、 $1/500$ 、地表にある放射性Csを測る場合、地表と 1m 高さで最大500倍の差
GM管は、ガンマ線よりベータ線に感度が高い、近くのベータ線の影響を受けやすい

地上1m



0.35 $\mu\text{Sv/h}$



0.25 $\mu\text{Sv/h}$

地表面



0.75 $\mu\text{Sv/h}$



0.35 $\mu\text{Sv/h}$

アルミニウム板(1mm厚)を
置くことでベータ線の遮蔽可

齋藤則生(産総研)
産総研つくばセンター一般公開
特別講演スライド2011.7.23から
一部引用

留意点(7) 自然放射線の変動

1000 nGy~1μSv ⇒B.G.レベル: 0.1μSv/hに対し、~30%の揺らぎ

変動の原因		変動のパターン	変動の頻度	変動量
自然現象による変動	降雨	降雨中ゆるやかな変動を持つ 降雨終了後約30分の半減期で減少	年間100回程度 地域によって差がある	~20nGy/h ~10 μ Gy/y
	降雪	増加と減少が複雑に入り混じる	地域によって差がある	±10nGy/h
	雷雨	急激に増加して約30分の半減期で減少	春先に多い	最高数十nGy/hになることがある
	積雪	積雪によるしゃへい効果	地域によって差がある	~10~30nGy/h程度 降雪の影響と複合して発生する
	気象その他の	逆転層による日周期		~10nGy/h程度
		地表の水分による放射線の吸収		~2nGy/h程度減少

ま と め

1. 放射線の測定は、種々の物理量の測定の中でも高度な技術が必要。とくに、低いレベルの被ばく線量や放射能濃度の高精度な実測評価は、専門家でも至難の業。
2. 正しい測定を行うためには、検出器の定期的な校正・点検が必要。あるいは、国家標準とのトレーサビリティが保証された測定器を用いることが望ましい。
3. 放射線サーベイメータの指示値(線量値)を安易に信用することは避けるべき。国の公開データや複数の測定結果と相互に比較して妥当性を確認していただきたい。
4. 同一条件の測定であれば、市販の安価なサーベイメータでも、その相対的な時系列データは有効と思われ、継続的に実施されることを勧めたい。ただし、測定条件(天候、場所、測定の配置など)の記録も忘れずに。
5. 本学会として、一般市民の方々の放射線測定活動は、普段人間の五感に触れない放射線を実感していただき、放射線のリスクを正しく理解いただく上で、おおいに推進し、ご希望に応じて、適切な助言・技術支援を行っていく所存である。