

# AMCoR

Asahikawa Medical College Repository <http://amcor.asahikawa-med.ac.jp/>

旭川放射線技師会会誌 (1993) 15巻:13～16.

漏洩線量測定の実際

西部茂美

## 漏洩線量測定の実際

旭川医科大学医学部附属病院 放射線部 西部 茂美

平成4年11月28日～29日の両日、苫小牧に於て第一回全道版浦河セミナー開催時に教育講演を指名され、旭川の会員の数名よりその時の内容を纏めて寄稿してほしいとのことで投稿します。

### 【はじめに】

放射線障害防止法関連法令並びに医療法施行規則の改正が行われ、平成元年4月1日より施工され現在に至っております。主な改正のポイントは、国際放射線防護委員会の新勧告すなわち(ICRP Publ. 26)の取り入れによる用語及び単位の変更、実効線量当量及び組織線量当量の導入、健康診断の実施頻度の改正、医療分野においては、放射性同位元素装備診療機器の創設、ICU、CCUにおける診療用放射性同位元素等の使用緩和等独自の改正が行われたわけです。

これからお話ししますことは、実効線量当量と新法令上の1cm線量当量等とのつながりを説明し、次に漏洩線量の測定を実務上どう評価すべきかについて、順次お話ししたいと思います。

### 【新旧の比較】

単位の変更によって、ただ単にレムがシーベルトに変わっただけでなく、旧法令における最大許容集積線量という考え方がなくなり、新しく実効線量当量限度がでてきました。これらの二つの大きな違いは、皆様ご存じの旧法令における最大許容集積線量5(N-18)という式に基づき、年齢を重ねるほど大きな値まで集積線量が許容されるというものでありました。それに対し、新法令における実効線量当量限度とは年齢に関係なく、毎年4月1日を始期とするその年度に関する被曝は50mSv以下でなければならないわけで、従来から比べると厳しいものに成ったわけです。さらに重要な相違点としては、旧法令における被曝の量の評価は表面線量であったが、新法令においては表面から70 $\mu$ m、3mm、1cmの深さにおける線量当量によって評価しなければならなくなったわけです。

### 【最大許容集積線量について】

新法令によって新しくでてきた実効線量当量という概念ですが、最大許容集積線量との根本的な違いは何か。この二つがどのような根拠に基づき、導き出されたのかを述べたいと思います。先ず最大許容集積線量についてですが、全身に放射線を浴び、全身の各々の臓器が放射線によって均等に照射された場合でも、1962年までの観察結果によれば、血液の癌である白血病の発生率が他の癌の発生に比べて飛び抜けて高かった。そこでICRPは1962年、全身被曝の場合その影響として白血病以外の癌は無視できる範囲であると考えたわけです。よって全身被曝の場合の影響は、白血病のみを問題にすればよい。従って、白血病発生場である赤色骨髄の線量当量を放射線作業員について5rem/年以下に制限するよう勧告しています。又、放射線で誘発される遺伝病の発生を制限するために、生殖腺の線量当量も同様としました。これが、旧法令において年齢をN歳として最大許容集積線量が5(N-18)remとなった根拠です。

### 【実効線量当量について】

1962年以降、放射線の照射によって白血病のみならず、殆ど全ての臓器にも無視できない率の癌の発生が報告されるにおよんだわけで、白血病だけでなく、放射線によって誘発される癌のすべてと遺伝病(この両者を確率的影響と称する)の合計の発生確率をある容認できるレベル以下に制限する必要がある、そのためには、白血病と関係のある赤色骨髄及び遺伝病と関係のある生殖腺を含めて、全ての臓器、組織の線量当量を制限しなければならないと考えるに至りました(ICRP1977年勧告)。そこで全身全ての臓器、組織の受ける線量当量について、ICRPが新たに勧告したものを、今回わが国の法令に取入れた実効線量当量であります。図に示す様に、不均等に全身が照射された場合でも、均等に照射された場合でも、その時の実効線量当量に定数である全身のリスク係数 $1.65 \times 10^{-2}$ /Sv (Fig. 1 参照)を掛ければ、全身に発生する確率的影響を求めることができます。従って、この発生の確率を少なくするためには実効線量当量を抑えればよ

ということになるわけです。

組 織	リスク係数 (Sv <sup>-1</sup> )	荷重係数
生殖腺	4.0 x 10 <sup>-3</sup>	0.25
乳房	2.5 x 10 <sup>-3</sup>	0.15
赤色骨髄	2.0 x 10 <sup>-3</sup>	0.12
肺	2.0 x 10 <sup>-3</sup>	0.12
甲状腺	0.5 x 10 <sup>-3</sup>	0.03
骨表面	0.5 x 10 <sup>-3</sup>	0.03
その他の組織	5.0 x 10 <sup>-3</sup>	0.30
合 計	1.65 x 10 <sup>-2</sup>	1.00

Fig. 1 リスク係数と荷重係数の関係

【実効線量当量限度について】

ICRP1977年勧告は、実効線量当量限度を50mSv/年とした。これは一見従来の5rem/年をただ単に単位を変更したように思われるが、先ほど述べたように、根本的に根拠とする考え方が違います。では、この50mSv/年という値はどのようにして導かれたかと申しますと、実効線量当量限度を定めるにあたり、ICRPは次のような三つの前提を設けました。

- 1) 安全と一般に認められている産業のリスク（死亡の確率）は10<sup>-4</sup>/年（一年当り1万人に一人の死亡者）であり、原子力あるいは放射線を取り扱う産業のリスクもこれと同程度であれば、放射線業務従事者はそれを容認できるであろう。
- 2) ある産業内の諸々の職種には、リスクの高いものもあれば低いものもあるが、ある産業のリスクは、それに含まれる全職種のリスクの平均値とする。
- 3) 原子力産業及び放射線を取り扱う職種の場合、線量当量限度を定めると、それを超えないように管理が行われるため、実際に浴びる線量当量の平均値はこれまでの経験により以下となっている。

以上の前提を踏まえ、実効線量当量限度を50mSv/年に定めてみると、

- ・実際に浴びる線量当量の平均値は3)より  
50mSv/年 × 0.3 = 5mSv/年
- ・5mSv/年浴びることによるリスクは、  
1.65 × 10<sup>-2</sup>/Sv × 5mSv/年 = 0.825 × 10<sup>-4</sup>/年
- ・安全であると考えられている産業のリスクは10<sup>-4</sup>/

年

$$0.825 \times 10^{-4} \leq 10^{-4}$$

よってICRPは実効線量当量限度を50mSv/年とした。

【H<sub>1cm</sub>線量当量について】

今までお話しました実効線量当量を日常の安全管理において評価することは殆ど不可能に近く実際的ではないので、これを容易にかつ常に安全側に評価するための手法として、1cm線量当量（H<sub>1cm</sub>ともいう）というものを導入し、これをもって実効線量当量を表すものとして法令に取入れたわけです。1cm線量当量は身体を模擬したICRU球（国際放射線単位の測定委員会で定められたもので、密度が1g/cm<sup>3</sup>の軟組織等物質から構成される直径30cmの球であり、実験を目的としたものではなくモンテカルロ計算に用いられる。）の深さ1cmにおける線量当量である。法令においては、自由空間中の空気吸収線量から1cm線量当量、3mm線量当量及び70μm線量当量に変換する換算係数が与えられている。

しかし、一般にはレントゲン単位で照射線量を測定することが多いので、ここでは照射線量から線量当量に変換する方法を中心に述べたいと思います。

【被曝線量の評価】

従来、X線及びγ線の被曝管理では、放射線場の強さを表す自由空間中の照射線量X [R] から線量当量H [rem] への変換は、1Rが0.95Rad以下の軟組織吸収量に相当することから、H=X…とおき、光子エネルギーとは無関係な換算係数1rem/Rの読み替えが安全側の評価として一般に採用されてきました。ICRP新勧告を取り入れた改正法令には確率的影響の発生を制限すること等を目的として実効線量当量が導入されたが、これを簡便でしかも安全側に評価するための手段として1cm線量当量を外部被曝線量の管理に使用することとなったわけです。均一強度分布平行ビームの場合の空間の線量率は場所によらず一定であり、この場の中にICRU球を置き、自由空間で照射線量がXとなる時間の照射を行うと、入射側の中心軸1cmでの深さの線量当量H<sub>1cm</sub>は、光子エネルギーに依存する換算係数f<sub>1cm</sub>を掛けることにより、自由空間中の照射線量から1cm線量当量に変換される。SI単位系 [Sv/(C·Kg<sup>-1</sup>)] 及び従来の単位系 [mSv/R] による換算係数f<sub>1cm</sub>をFig. 2に示します。又、放射線の遮蔽計算等では照射線量の代わりにフルエンスが用いられるため、その時の換算係数が与えられて

いるし、告示別表4では、照射線量に代えてGy単位の空気吸収線量が採用され、この場合の換算係数も与えられています。

光子エネルギー MeV	照射線量		空気吸収線量	
	f1cm Sv·C <sup>-1</sup> ·Kg	fφ1cm mSv·R <sup>-1</sup>	f1cm 10 <sup>-12</sup> Sv·cm <sup>2</sup>	f×1cm Sv·Gy <sup>-1</sup>
0.010	0.35	0.090	0.077	0.010
0.015	9.17	2.37	0.846	0.271
0.020	20.3	5.25	1.01	0.601
0.030	36.8	9.50	0.785	1.09
0.040	48.5	12.5	0.614	1.43
0.050	55.1	14.2	0.526	1.63
0.060	59.1	15.2	0.504	1.74
0.080	58.7	15.1	0.532	1.73
0.10	55.7	14.4	0.611	1.65
0.15	50.3	13.0	0.890	1.49
0.20	46.7	12.0	1.18	1.38
0.30	44.4	11.5	1.81	1.31
0.40	42.6	11.0	2.38	1.26
0.50	41.2	10.6	2.89	1.21
0.60	40.3	10.4	3.38	1.19
0.80	39.3	10.1	4.29	1.16
1.0	38.7	10.0	5.11	1.14
1.5	38.3	9.88	6.92	1.13
2.0	38.3	9.87	8.48	1.13
3.0	38.1	9.82	11.1	1.12
4.0	37.7	9.71	13.3	1.11
5.0	37.5	9.67	15.4	1.11
6.0	37.3	9.62	17.4	1.10
8.0	36.8	9.50	21.2	1.09
10	36.8	9.50	25.2	1.09

Fig. 2 光子のエネルギーと照射線量及びフルエンス並びに空気吸収線量からの換算係数との関係

・ファントムの無い自由空間におけるフルエンスφ [cm<sup>-2</sup>] からH1cm [Sv] への換算係数 fφ1cm [Sv·cm<sup>2</sup>] は、照射線量からの換算係数 f1cm [Sv/(C·Kg<sup>-1</sup>)] より fφ1cm = f1cm × (4.735 × 10<sup>-12</sup>) × Ex (μen/ρ) で求められる。ここでEはMeV単位の光子エネルギー、(μen/ρ)はcm<sup>2</sup>/g単位の空気エネルギー吸収係数で、(4.735 × 10<sup>-12</sup>)は1.602 × 10<sup>-13</sup> [J/MeV] と10<sup>-3</sup> [g/kg] との積を空気W値で除した値である。

・告示別表第4では [Gy] 単位で表される空気吸収線量Dが採用されている。自由空間において荷電粒子平衡が成り立つ場合には、空気吸収線量D [Gy] は照射線量X [C/kg] と一定の比例係数で関係付けられる。即ち、D = X × (W/e) ここに、(W/e) は空気W値であり、33.85 [J/C] が使用される。

・荷電粒子平衡が成り立つ場合の自由空間中の空気吸収線量D [Gy] からH1cm [Sv] への換算係数 f×1cm は、照射線量からの換算係数 f1cm [Sv/(C·kg<sup>-1</sup>)]

より、f×1cm = f1cm × 0.02954で求められる。ここに、0.02954は空気W値の逆数である。

【具体的な線量当量率の測定】

今までお話ししてきたことを踏まえ漏洩線量率の測定としては、法令値の遵守の確認を目的とした、管理区域、遮蔽物及び運搬物等に係る線量当量率の測定、並びに作業場所における最大被曝線量の推定を目的とした作業場の線量当量率の測定等があります。これらの線量当量率の測定には、一般にサーベイメータが使用され、放射線(X線、γ線、β線、中性子線)の種類やエネルギーに応じて適切な機種を選び使用しなければなりません。

サーベイメータにより1cm線量当量率を正確に評価するには、Fig. 3に示す様にエネルギー特性が1cm線量当量換算曲線に合致し、しかも、方向依存性の少ないサーベイメータを用いることが望ましい。在来のサーベイメータの大部分は照射線量率で目盛りされているため、これらのサーベイメータを用いて1cm線量当量率を評価する方法を中心に以下に述べます。

X・γ線用サーベイメータは最も多用されているサーベイメータであり、エネルギー、特性、測定可能線量率範囲等は機種によって異なります。このような多機種のもの個々について具体的に1cm線量当量率の評価法を示すことは難しく、ここでは、照射線量率表示のサーベイメータを用いた1cm線量当量率の一般的な評価法を示すと共に、汎用型のサーベイメータを対象に作業環境の放射線エネルギーが不明の場合の評価法も述べたいと思います。

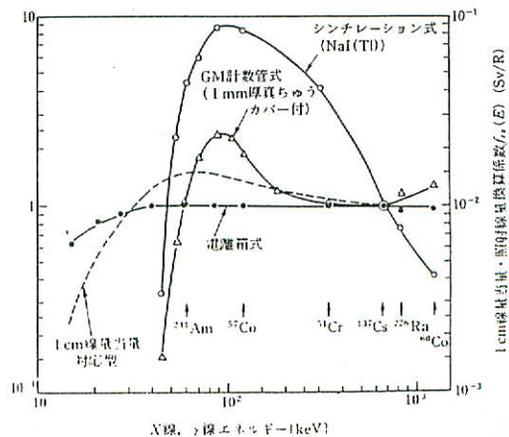


Fig. 3 1cm線量当量・照射線量換算曲線との比較

【形式と特性】

X・γ線用サーベイメータは、主として電離箱式

サーベイメータ、GM計数管式サーベイメータ、シンチレーション式サーベイメータに分類されます。その他に、近年半導体式サーベイメータも市販されています。測定に関する特性としては、エネルギー特性、方向特性、指示誤差などがありますが、このうち1cm線量当量評価に最も関係するのはエネルギー特性と方向特性である。電離箱式、GM計数管式、シンチレーション式の照射線量率用について、各々のエネルギー特性の代表例をFig. 3に示します。エネルギー特性の図中破線で示した曲線は、1cm線量当量-照射線量換算曲線である。この破線で示したレスポンス曲線をもつ測定器であれば、作業環境のX・γ線エネルギーに関係なく、1cm線量当量率を表すこととなります。照射線量の場合は、平坦であるほどエネルギー特性は良好とされたが、1cm線量当量の場合は破線で示した特性に近いものほど良好ということになり、この点が今までと大きく異なる点といえます。図から判るように、照射線量率表示のサーベイメータのエネルギー特性曲線が破線の特性曲線よりも上側であれば過大評価となり、下側にあると過小評価となります。又、過大評価となるか過小評価となるかは、測定時における作業環境の放射線エネルギーに依存することとなります。又、図から電離箱式サーベイメータでは、放射線のエネルギーが数10KeV以下か或は数100KeV以上で、GM計数管式サーベイメータでは、約70KeV以上で、又、シンチレーション式サーベイメータでは、約50KeV~0.7MeV位の範囲で各々安全側に評価できることとなります。このように、1cm線量当量率を照射線量率表示のサーベイメータで評価するには、そのエネルギー特性に加えて作業環境の放射線のエネルギーに関する情報が必要となります。方向特性は等方向であることが望ましく、構造上測定器の後側の特性は悪くなり、実際の測定では放射線の主成分が前方から照射される状態で測定するのが肝要で、前方180度の範囲で等方向的であれば問題は無いわけです。

【1cm線量当量の算定】

照射線量率測定用サーベイメータの場合X・γ線についての $H_{1cm}$ は次式から算定される。

$$H_{1cm} = X \cdot f_{1cm} \\ = P_x \cdot f_{px} \cdot f_{1cm}$$

X：自由空間中の照射線量率

$f_{1cm}$ ：1cm線量当量・照射線量換算係数

$P_x$ ：測定器による照射線量率の正味指示値

$f_{px}$ ：測定器のエネルギーに応じた換算係数

【例題】

作業環境におけるX・γ線の実効エネルギーEが判っているときは、電離箱式サーベイメータのエネルギー特性及び1cm線量当量・照射線量換算係数表から実効エネルギーEに対応した校正定数 $f_{px}$ と換算係数 $f_{1cm}$ を求め、上式に代入して $H_{1cm}$ を算定します。例えば、実効エネルギーがE=60KeVであるとする、 $f_{1cm}=15.2 \mu Sv/mR$ となる。また、使用サーベイメータのエネルギー特性から求めた、実効エネルギー対応の校正定数が $f_{px}=0.9$ であり、測定した正味指数値が $P_x=10mR/h$ であったとすると $H_{1cm}=10 (mR/h) \times 0.8 \times 15.2 (\mu Sv/mR) = 136.8 \mu Sv/h$ として求まります。

実際は、作業環境におけるX・γ線のエネルギーが数10KeVから数100KeVの範囲にあるときだけ上式による算定を行い、その他は、正味指示値を百分の1にしてシーベルト/時間単位で読み換えればよい。又、エネルギーが不明の場合はFig. 4に示す、主たる業務に対応した想定エネルギーを目安として使用するとよいわけです。

主な業務名	想定エネルギー
分析用X線装置の取扱	10 KeV
医療用X線装置の取扱	25 ~ 35 KeV
工業用X線装置の取扱	40 ~ 50 KeV
R I (低エネルギー)	25 ~ 150 KeV
R I (高エネルギー)	150 KeV以上

Fig. 4 主たる業務の想定エネルギー

【おわりに】

以上長々と取り留めもなくお話ししてきましたが、少しでも会員の皆様の日常の業務の手助けになれば幸いです。参考文献は紙面の都合上割愛させていただきました。