

2. 医療被ばくの線量評価

2.1. 線量とその単位

被ばくを評価する上で、その量が法定の基準値に対してどの程度であるかを評価する必要がある。放射線防護の目的に使用される量は防護量であり、一方で、実際に測定できる量に基づいて防護量と比較することが可能な線量は実用量と呼ばれる。

2.1.1. 放射線防護量

防護量としての線量の評価単位はカーマ、吸収線量、実効線量などがある。単位はカーマと吸収線量はGy、SI単位系ではJ/kg、実効線量はSvで表わされる。

2.1.1.1. カーマ、吸収線量

カーマと吸収線量の関係を分かりやすくするために、制動放射がないものとして質量 m の領域にエネルギー $h\nu$ の光子が入射し、荷電粒子にエネルギー T_0 を転移し、その電子が領域外へ出ていく。別の電子がエネルギー T_1 で入射し、 T_1' で出ていくケースを考える。カーマは単位質量あたりに入射非荷電粒子(X線、ガンマ線、中性子線等)が荷電粒子(2次電子等)に転移する初期運動エネルギーであり、図1中の T_0 に該当する。一方、吸収線量は、単位質量あたりにエネルギーを付与するエネルギーであり全ての荷電粒子、非荷電粒子が対象となる。すなわち、領域中に入っていきエネルギーと持ち出されるエネルギーの差分となるので、吸収線量 D は

$$D = (h\nu' - h\nu) + (T_1 - T_1' - T_0') = T_0 - T_0' + T_1 - T_1'$$

となる。

特に、入射する荷電粒子と射出する荷電粒子のエネルギーが等しい時(荷電粒子平衡成立時)には $T_1 = T_1' + T_0'$ となり、結局 $D = T_0$ となる。すなわち、カーマと吸収線量は等しくなる。

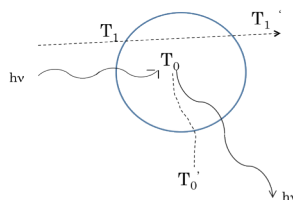


図1. エネルギーの授受とカーマ、吸収線量

2.1.1.2. 等価線量 (Equivalent dose)

等価線量は、吸収線量に放射線荷重係数(W_R)を乗じたものである。同じ吸収線量を受けても放射線の種類によって発がんや遺伝性の影響の発生のリスクが異なるので、それによって放射線加重係数を掛けた線量であり、以下の式で与えられる。

$$\text{等価線量(Sv)} = W_R \times \text{吸収線量(Gy)}$$

放射線の種類による放射線荷重係数を表1に示す。これを見て明らかなように、医療の現場よく使用されるガンマ線、X線では等価線量はほぼ吸収線量と等しいと考えてよい。

放射線の種類	放射線加重係数
ガンマ線、X線、電子線及び μ 粒子	1
陽子線	2
アルファ線、重粒子線	20
中性子線	2.5 ~ 20

2.1.1.3. 実効線量 (Effective dose)

実効線量は、それぞれの臓器で受けた等価線量に臓器特有の発がんや遺伝的影響の発生リスクのウェイトをあらわす組織荷重係数 W_T を乗じ、各臓器の総和をとったものであり、以下の式で与えられる。

$$\text{実効線量 (Sv)} = \sum (\text{等価線量 (Sv)} \times W_T)$$

表2に各組織の組織荷重係数を示す。

各臓器の組織荷重係数は総和をすることで1.00になることから、全身に一応に被ばくをした場合には、吸収線量と実効線量は等しくなる。一方で、ある部分に部分的に被ばくした場合には結果が異なる。

表2. 組織荷重係数 W_T

放射線の種類	W_T (ICRP60, 1990)	W_T (IRP103, 2007)
生殖線	0.2	0.08
骨髄	0.12	0.12
結腸	0.12	0.12
肺	0.12	0.12
胃	0.12	0.12
乳房	0.05	0.12
膀胱	0.05	0.04
肝臓	0.05	0.04
食道	0.05	0.04
甲状腺	0.05	0.04
皮膚	0.01	0.01
骨表面	0.01	0.01
唾液腺	対象外	0.01
脳	残りの臓器に含む	0.01
残りの組織	0.05	0.12
合計	1.00	1.00

以上をまとめると、吸収線量、等価線量、実効線量の関係は図2のようになる。

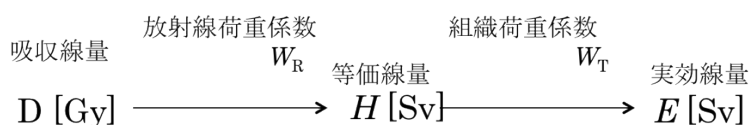


図2. 吸収線量、等価線量、実効線量の関係

2.1.2. 実用量(線量当量)

外部被ばくによる等価線量や実効線量を直接的に測定することは事実上できないため、実用量が用いられる。例えば、個人線量当量は後述の個人線量計で測定され、 $H_{1\text{cm}}$ 、 $H_{70\mu\text{m}}$ 、 $H_{3\text{mm}}$ が用いられ、それぞれ1cm線量当量、70mm線量当量、3mm線量当量と呼ばれる。これらは直径30cmで密度が $1\text{g}/\text{cm}^3$ の身体を模擬したICRU球への放射線入射方向の深さにおける線量をとっている。実効線量としては $H_{1\text{cm}}$ 、皮膚に対する等価線量では $H_{70\mu\text{m}}$ 、眼の水晶体には $H_{1\text{cm}}$ 、または $H_{70\mu\text{m}}$ 、その他の組織には $H_{1\text{cm}}$ が用いられる。個人線量当量に関する防護量と実用量の関係を図3に示す。

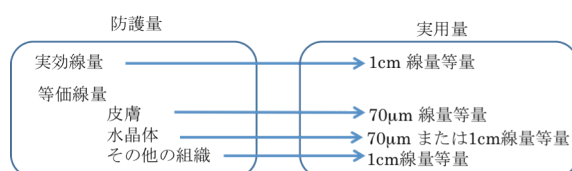


図3. 個人線量等量に関する防護量と実用量の関係

2.2. 個人の外部被ばく線量の測定

個人被ばく線量の測定は以下のものが用いられる。

- ①ガラス線量計
- ②光刺激ルミネッセンス線量計
- ③フィルムバッジ
- ④半導体ポケット線量計
- ⑤ポケット照射線量計
- ⑥熱ルミネッセンス線量計

最近では①、②が多く用いられている。

これらにより、上述の1cm線量等量、70 μm 線量等量を算定する。方法はいくつかあるが、代表的なものとして、光子の場合、空気カーマから個人線量等量への換算をする方法がある。この換算係数は(ICRP74, 1995)に挙げられている。

2.3. 内部被ばく線量の測定

内部被ばく線量の測定には体外計測法、バイオアッセイ法、空气中放射線物質からの算定法がある。

体外計測法は全身カウンタ(ヒューマンカウンタ)により、体外から直接測定して摂取量及び沈着している場所を推定できる。ただし、ガンマ線放出核種でなければ測定が困難であるとともに、検出性能を高める為の高感度の検出器の採用と十分な遮蔽を要する。

バイオアッセイ法では糞尿や痰、鼻汁、血液、呼気などを資料として計測される。この方法は α 線や β 線のような飛程の短い放射線しか放出しない核種の体内摂取量推定に用いられる。

空气中放射線物質からの算定法は空気モニタにより測定した放射線物質の空气中濃度から次式による摂取量を求めることができる。

$$I=C \cdot B \cdot t \cdot F/P$$

ここで I は摂取量 [Bq]、 C は空气中放射性物質の平均濃度 [Bq/cm³]、 B は単位時間あたりに呼吸する空気量 [1.2 x 10⁶cm³/h]、 t は作業時間[h]、 F は呼吸している場所の空气中放射性物質濃度と測定値として使用した平均濃度(C)との比、 P は防護マスクの防護係数である。簡便であるが精度は他の方法に比べ劣る。

内部被ばくの実効線量の算定は以下の式でなされる。

$$E_i=e \cdot I$$

ここで E_i は内部被ばくによる実効線量[mSv]、 e は放射線同位元素の種類に応じて与えられる実効線量計数[mSv/Bq]、 I は摂取した放射性同位元素の摂取量[Bq]である。