Operational quantities にファントム導入は必要か

加 藤 朗*¹

(1998 年 6 月 11 日受理)
(1998 年 9 月 18 日再受理)

Unnecessity of Phantom Introduction on ICRU Operational Quantities

Akira KATOH*¹

KEY WORDS : operational quantities, effective dose equivalent, phantom, conversion coefficient, measurement, dosimeter, energy dependency

1. ま え が き

現在, 日本で採られている放射線外部被ばくモニタリング上の線量は, 周知のように ICRU 球の 1 cm 線量当量, 70 μ m 線量当量, 3 mm 線量当量であり, これら線量は ICRU 39¹⁾, 43²⁾, 47³⁾ で導入された Operational quantities である。Operational quantities は, しばしば実用計測量, 実用量, 実用線量, モニタリング線量などとよばれているが, まだコンセンサスの得られた名称で統一されていない, ここではそのまま Operational quantities, 略して OP という。

放射線モニタリングの基本的な線量は, 実効線量当量と組織線量当量 (眼の水晶体およびそれ以外の組織の線量当量) である。実効線量当量, 組織線量当量というが, ICRP 90 年勧告⁴⁾の実効線量, 等価線量におきかえても議論は同様である。

OP は ICRU 39, 43 および 47 により, これらの基本的な線量に対応する実際上のモニタリングの線量として導入された。作業環境モニタリングには, 実効線量当量に対し ICRU 球の深さ 10 mm の周辺線量当量が, 皮膚と

眼の水晶体の線量当量に対しそれぞれ深さ 0.07 mm と 3 mm の方向性線量当量がとられている。個人モニタリングには, 実効線量当量, 皮膚の線量当量, 眼の水晶体の線量当量に対応しそれぞれ人体の深さ 10 mm, 0.07 mm, 3 mm の線量当量が個人線量当量としてとられ, 実際上では ICRU 39, 43 により深さ 10 mm, 0.07 mm, 3 mm の方向性線量当量がとられた。さらに ICRU 47 により人体の深さ 10 mm, 0.07 mm, 3 mm の線量当量とともに, ICRU 組織等価物質のファントムの深さ 10 mm, 0.07 mm, 3 mm の線量当量が個人線量当量として導入された。なお個人線量計校正のため ICRU 47 では 30 cm $\times$ 30 cm $\times$ 15 cm の PMMA のスラブファントムが推奨されている (PMMA であっても ICRU 組織等価物質に生じる線量当量をとる)。また, 換算係数は ICRP 51⁵⁾で示され, さらに総括的な ICRP 74⁶⁻⁸⁾が公刊された。

周辺線量当量は放射線場の着目した点での放射線を同一方向に整列し, 拡張した放射線場, すなわち整列・拡張場に ICRU 球を置いたとき生じる線量当量であり, また方向性線量当量は放射線場の着目した点での放射線を一樣に拡張した拡張場に ICRU 球を置いたとき生じる線量当量である。これら放射線場は近似的に実現できるにしても, いわば仮想的な放射線場であり, したがってこれらによる線量当量も仮想的な線量である。またファ

*1 株式会社千代田テクノ；東京都文京区本郷 3-40-11 柏屋ビル (〒113-0033)
Chiyoda Technol Corporation ; 3-40-11, Hongo Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan.

ントムに基づく個人線量当量も、ファントム材質にかかわらずICRU組織等価物質をとるとしており仮想的な線量である。

実際上の環境モニタリングでは、深さ10 mmの周辺線量当量と深さ0.07 mm, 3 mmの方向性線量当量とられ、個人モニタリングにはスラブファントムの深さ10 mm, 0.07 mm, 3 mmの個人線量当量が国際的にとられている。日本では一応のコンセンサスとして、現在1 cm線量当量は深さ10 mmの周辺線量当量, 70 μ m線量当量と3 mm線量当量は深さ0.07 mm, 3 mmの方向性線量当量とされ、作業環境、個人モニタリングに適用されている⁹⁾。

OPには、このようにファントムに基づく定義が与えられ、X, γ 線, β 線, 中性子に対し、カーマ, 吸収線量, フルエンスなど物理的線量からの換算係数が決定されている^{5,6)}。ファントムもICRU球, PMMAスラブファントム, 水ファントムなどが提案されてきている。

2. OPの意味

実効線量当量, 組織線量当量は人体自体が受ける線量である。人体は体型的に多様であり各臓器の線量, また放射線に対する感受性(リスク係数)も個人それぞれにより異なろう。すなわち, 同一の放射線場に人体がさらされたとしても実効線量当量は個人それぞれにより異なることになる。皮膚の線量当量, 眼の水晶体の線量当量も厳密に言えば同様, 異なろう。また, 個人, 個人の实効線量当量, 組織線量当量を直接測定することは実際問題として不可能である。放射線管理上のモニタリングの線量としては, 人体の体型, 放射線感受性の多様性に関わりなく, また実際に測定可能な線量であることが必要である。このようなことから, モニタリングの線量としてOPの導入の必要なことがいえる。

3. OPの測定

これらOPは、環境モニタリングであればサーベイメータなど, 個人モニタリングであればフィルムバッジ, TLDなどのいわゆる実用測定器で測定される。実用測定器は測定上, 相対測定を原理としている。すなわち実用測定器は, 基準とする線量の何倍かというかたちで測定をする。このことから実用測定器は校正を必要とし, 線量測定上の特性が問題となる。

実用測定器の特性には, エネルギー特性, 方向特性, 直線性, 温度特性, 湿度特性などいくつかある。測定の対象とする線量の種類に依存する特性は, エネルギー特性と方向特性である。

実用測定器は, 測定の対象とする線量, OPに対してエネルギー特性が良好, すなわちエネルギー依存性をもた

ないのが基本である。また方向特性は, 周辺線量当量を測定の対象とする場合, 方向依存性をもたないことが基本となり, 方向性線量当量(個人線量当量も同様)を対象とする場合, 測定器の方向依存性は方向性線量当量(個人線量当量)のもつ方向依存性に合致するのが基本となる。

実用測定は相対測定であることにより, 物理的線量に関連する仮想的線量を設定すれば, 線量として測定(評価)することができる。すなわち, エネルギーの関数である係数を取り, 照射線量, カーマ, 吸収線量などの物理的線量にその係数を乗じた仮想的線量をとれば, 実用測定の意味でその仮想的な線量を測定, 評価することができる。

物理的線量を X , 係数を $f(E)$, Y を仮想的線量とし, 次式により Y をきめる。

$$Y = X \times f(E) \quad (1)$$

もし, X についての測定器のエネルギー依存性を $f(E)$ とすれば, この測定器は Y に対してエネルギー依存性をもたないことになる。一定エネルギー E_r に対する係数を $f(E_r)$, X を X_r , Y を Y_r とし, X_r に $f(E_r)$ を乗じて Y_r を決定する。 Y_r は校正についての基準の仮想的線量である。この Y_r を測定器に照射し, 測定器の指示値を I_r とすると, 線量 Y_r についての校正定数 K は Y_r と I_r との比として与えられる。

$$K = \frac{Y_r}{I_r} \quad (2)$$

線量 Y について測定器の特性が良好, すなわちレスポンスが一定であるとすれば, 線量 Y に対する指示値 I に K を乗じて正しい Y が得られる。

$$Y = I \times \frac{Y_r}{I_r} = Y_r \times \frac{I}{I_r} \quad (3)$$

(3)式から実用測定器による測定は, 基準の(I/I_r)倍として測定していることが分かる。以上のことからエネルギーの関数である任意の係数を物理的線量に乗じた仮想的量を線量として測定することができる。周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量は, 線量の定義が与えられているが, まさに物理的線量に係数(換算係数)を乗じて決定した仮想的線量である。ここで物理的線量に対し $f(E)$ のエネルギー依存性を測定器にもたせられるかであるが, このことは原理的には可能なことである。方向依存性に対してもエネルギー依存性と同様な考え方が適用できる。

4. OPの合理性

実効線量当量は一定形状の人体数式ファントムを基として算出され, OPは実効線量当量を安全側に測定する

ことを目的とする。組織線量当量の場合も同様である。OP として日本では ICRU 球の深さ 1 cm の周辺線量当量、いわゆる 1 cm 線量当量が用いられている。OP の合理性はその定義そのものでなく、実用測定上、実効線量当量に対してどの程度の一致性、適用性をもつかである。一定形状の人体数式ファントムを基に求めた実効線量当量は、その換算係数を決定することができることから、これは実は一つの OP である。

問題は、基準にとる実効線量当量のモニタリング上の合理性となる。人体は形態的、また生物学的にも多様である。基準にとった実効線量当量が人体の多様性に対してどのような位置づけをもつかである。平均的な体型の人体をとるのが合理的であるならば、平均的な体型の人体数式ファントムをとり、その人体数式ファントムの実効線量当量に対し妥当な OP を選択し換算係数をきめればよい。換算係数を物理的線量に乗じればモニタリングの線量、すなわち OP となる。

場合によれば、その人体数式ファントムの実効線量当量を OP としてとることもできる。もし安全側とするのであれば換算係数にたとえば係数 1.2 を乗じればよい。方向に対する依存性もその実効線量当量の方向依存性に合わせるようにする。

人体また被ばくの条件の多様性に対し、OP の観点から基準となる実効線量当量の決定にどのような人体数式ファントムを採用するかは、一つの課題となる。また選択した OP に対する換算係数に応じる測定器のデザインが問題として入る。実用測定の意味からいえばとくに OP に対しファントムをとる必要性はない。実効線量当量に対し最も妥当な OP の換算係数を選択し、その換算係数を採用すればよいことになる。

5. あとがき

放射線モニタリング上、人体の多様性の影響を受けない OP の導入は必要である。現在、ファントムを導入し OP をきめているが、実効線量当量、皮膚の線量当量、眼の水晶体の線量当量に最も妥当な OP をとり、ファントムの導入なくカーマ、吸収線量など物理的線量からこれら OP への換算係数を設定することができる。この場合、OP の線量としての定義の合理性は必要ない。問題となるのは、ファントムを導入した場合も同様であるが、モニタリングの基本的な線量である実効線量当量、皮膚の線量当量、眼の水晶体の線量当量への OP としての適合性、実用測定器のエネルギー依存性、方向依存性をどのように対応させるかの測定器デザインである。

OP の概念は多面的であり、本論は OP の一つの見方を示したものである。

参 考 文 献

- 1) ICRU ; ICRU Report 39 (1985).
- 2) ICRU ; ICRU Report 43 (1988).
- 3) ICRU ; ICRU Report 47 (1992).
- 4) ICRP ; ICRP Publication 60 (1991).
- 5) ICRP ; ICRP Publication 51 (1987).
- 6) ICRP ; ICRP Publication 74 (1996).
- 7) 吉澤道夫 ; 新しい外部被ばく線量換算係数の放射線管理への適用とその問題点, 保健物理, **33**(1), 7 (1998).
- 8) 山口恭弘 ; ICRP Publication 74 の概要と新し外部被ばく線量換算係数, 保健物理, **33**(1), 12 (1998).
- 9) 南賢太郎 ; 線量測定器校正方法の JIS 改正原案について, 保健物理, **32**(4), 423 (1997).