ノ ー ト

代表的放射性核種の単位放射エネルギーの点線源が作る 放射線場の1 cm 線量当量率に関する線源から の距離の逆二乗に対する比例係数

多田順一郎, 加藤和明*

筑波大学基礎医学系 305 つくば市天王台

*高エネルギー物理学研究所放射線安全管理センター 305 つくば市大穂町上原

1988年1月20日 受理

Key Words: photon, ambient dose equivalent rate constant, radioactive nuclide

1. はじめに

1977年のICRP勧告では、制御可能な放射線源に対する放射線防護の基本的な考え方として、確率的な影響の抑制に関しては実効線量当量を、また、非確率的な影響の発生防止に関しては臓器線量当量を、制限する体系が提案された。わが国の放射線障害防止関係諸法令は、1977年勧告の法令取入れにさいして、体外線源からの放射線被曝を実効線量当量に評価するための実用線量として、1 cm線量当量 (H_{10}) を導入した。そのさい、放射線環境のhazard indexも、その場所では人が受ける個人被曝線量と共通の基準で評価すべきであるという考え方から、放射線施設や設備の遮蔽基準等に対しても、同じ実用線量を使用することが定められた。

ところで、各種の γ 線放出核種が形成する放射線場を照射線量で記述するために、従来から照射線量率定数が用いられてきたが、法令の改正に伴い、放射線源が作る放射線場を H_{10} で記述するためのものが、放射線管理の実務上必要である。本稿では、種々の放射性核種に関する H_{10} 線量率定数 (単位放射エネルギーの点線源による深さ1 cmの ambient dose equivalent rate¹⁾ $\dot{H}^*(10)$ の、線源からの距離の逆二乗に対する比例係数) と、数学的人体ファントムに対するモンテカルロ計算のデータ²⁾ から算出した実効線量率定数 (単位放射エネルギーの点線源から、線源に正対直立したファントムが受ける実効線量当量率の、線源からの距離の逆二乗に対する比例係数、以下 H_E 線量率定数と略す) とを提示する。

2. 計算の方法

放射線源は点状とし、放射線場の参照点のものと同一の光子フルエンスとスペクトルを持つ面平行ビーム場 (整列拡張場) に置かれたICRU球³⁾ の、主軸上照射側深さ1 cmの点の吸収線量に、光子の線質係数1を乗じた値、すなわち深さ1 cmの ambient dose equivalent $H^*(10)$ を、その点における H_{10} とした。放射性核種が放出する光子 (エネルギー10 keV以上の γ 線と特性X線) のエネルギーと放出率とは、ICRP Publ. 38²⁾ の値を用い、また、80 kVpの診療用X線 (17° W-target 2 mm Al-filter) のデータはBirchら³⁾ のものを用いた。これらのデータと、ICRP Publ. 51の表6および表2に示された、前方からの面平行ビームに対する換算係数⁴⁾ とを用いて評価した H_{10} 線量率定数と H_E 線量率定数をTable 1に示した。なお、Table 1中の、壊変系列を構成する核種については、娘核種等からの放射線の寄与は計算に含めていない。 H_{10} は放射線場の量としては、 $H^*(10)$ そのものであるから、 H_{10} 線量率定数は、上述の整列拡張場に対して面平行ビームの換算係数を用いると、定義に従った正しい値が得られる。これに対して、同じ方法で算出した H_E 線量率定数は、ファントムの位置に点線源が作る光子の場が、面平行ビームと見なし得るような充分遠方でのみ、厳密に正しい値となる。

Table 1の第2欄に示した H_{10} 線量率定数という量は、ICRP Publ. 51の表10において、「単位光子フルエンス当たり、同じ値の空気衝突カーマ*を与える単色光子のエネルギー」として定義した実効エネルギーについての換算値を用いて、空気衝突カーマから計算

Table 1 Ambient dose equivalent rate constant at 1 cm depth

(Unit: $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{Bq}\cdot\text{h}$)

Nuclide	H_{10}	H_{10}'	H_E	Nuclide	H_{10}	H_{10}'	H_E
^7Be	0.0081	0.0080	0.0072	^{85}Sr	0.093	0.15	0.075
^{11}C	0.17	0.17	0.15	*	0.083	0.083	0.073
^{13}N	0.17	0.17	0.15	^{86}Y	0.35	0.42	0.31
^{15}O	0.17	0.17	0.15	*	0.35	0.38	0.31
^{18}F	0.17	0.17	0.15	^{99}Mo	0.25	0.026	0.021
^{22}Na	0.32	0.33	0.28	**	0.24	0.024	0.021
^{24}Na	0.45	0.51	0.42	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	0.024	0.026	0.019
^{26}Mg	0.20	0.21	0.17	**	0.022	0.022	0.019
^{26}Al	0.36	0.37	0.32	^{108}Cd	0.030	0.045	0.0083
^{28}Al	0.22	0.23	0.19	***	0.0013	0.0014	0.00074
^{36}Cl	0.18	0.19	0.16	^{111}In	0.090	0.099	0.064
^{41}Ar	0.17	0.19	0.15	***	0.069	0.067	0.058
^{40}K	0.021	0.021	0.018	^{123}I	0.053	0.055	0.036
^{42}K	0.036	0.036	0.033	^{125}I	0.036	0.026	0.013
^{43}K	0.16	0.16	0.14	^{131}I	0.065	0.066	0.056
^{51}Cr	0.0054	0.0054	0.0047	^{133}Xe	0.016	0.019	0.0096
^{54}Mn	0.13	0.13	0.11	^{134}Cs	0.24	0.24	0.22
^{59}Fe	0.16	0.17	0.14	^{133}Ba	0.089	0.095	0.066
^{57}Co	0.023	0.032	0.019	$^{137\text{m}}\text{Ba}$	0.096	0.096	0.084
*	0.021	0.021	0.018	^{154}Eu	0.18	0.18	0.16
^{58}Co	0.15	0.15	0.13	^{153}Gd	0.030	0.032	0.021
^{60}Co	0.34	0.37	0.30	^{192}Ir	0.14	0.14	0.12
^{64}Cu	0.031	0.031	0.027	^{188}Au	0.068	0.068	0.060
^{65}Zn	0.082	0.085	0.072	^{201}Tl	0.020	0.061	0.015
^{67}Ga	0.027	0.027	0.023	*	0.017	0.018	0.015
^{75}Se	0.074	0.16	0.060	^{208}Tl	0.38	0.46	0.35
*	0.072	0.087	0.059	^{212}Pb	0.026	0.026	0.022
**	0.068	0.067	0.058	^{241}Pb	0.043	0.045	0.037
^{85}Kr	0.00037	0.00036	0.00032	^{214}Bi	0.20	0.21	0.18
^{81}Rb	0.11	0.18	0.091	^{241}Am	0.022	0.066	0.0076
*	0.10	0.10	0.089	*	0.017	0.031	0.0066
				**	0.0079	0.010	0.0048
				***	0.0058	0.0060	0.0043

* Photon energy > 15 keV

** Photon energy > 20 keV

*** Photon energy > 25 keV

* (前頁)衝突カーマ: カーマは, 物質単位質量当たり, 間接電離放射線が荷電粒子の運動エネルギーとして与えたエネルギーの総和であるが, このうち制動輻射の形で失われる部分を放射カーマと言い, 残りを衝突カーマという。カーマは, エネルギーフルエンスと質量エネルギー転移係数の積で表されるが, 衝突カーマは, エネルギーフルエンスと質量エネルギー吸収係数の積で表される。[Cf: Attix, F. A.: "The partition of kerma to account for bremsstrahlung", *Health Phys.*, **36**, 347-354 (1979)]

した H_{10} 線量率定数である。

放射線管理の現場で使用されているサーベイメータの多くは, 放射線場の照射線量(率)に対する応答を持つよう製造されている。これらの線量計は, 光子のエネルギーがあまり高くない場合には, 空気衝突カーマを近似的に測定することができる。しかしこうした場合, 放射線のエネルギー分布については, その実効エネルギー程度しか把握できないのが普通である。 H_{10}' 線量率定数は, 放射線の線質に関して十分な情報が得られない場合の, 照射線量率計による H_{10} 線量率

定数の評価を模擬したものである。

H_{10} 線量率定数に対する低エネルギーの光子の寄与が著しい核種では、密封容器等により線源から放出される低エネルギー光子成分が减弱されると、 H_{10} 線量率定数の値に大きな影響が現われる。そうした核種に対しては、計算に取り入れる光子の最小エネルギーを 15 keV, 20 keV, 25 keV に変えた場合の H_{10} 線量率定数の値もあわせ示した。

Table 2 Ambient dose equivalent rate constant
(at 1 cm depth) of 80 kVp X-rays
(Unit: mSv m²/mAs)

Photon energy	H_{10}	H_{10}'	H_E
>10 keV	0.13	0.071	0.16
>15 keV	0.13	0.071	0.16
>20 keV	0.13	0.071	0.15
>25 keV	0.12	0.067	0.13

Table 2 には、80 kVp X線に対する H_{10} 線量率定数等を示した。ただし、表の値は、1 mAs 当たりの数値として示してある。なお、この X線の、焦点から 1 m の距離における空気カーマは、約 0.1 mGy/mAs である。

3. 考 察

本稿で示した 1 cm 線量率定数を、作業者の被曝予測などの、放射線管理の実務に応用するに当たって、とくに注意すべき場合がある。それは、作業者が、点線源の近傍で作業をする場合である。

作業者の被曝を実効線量当量で評価するさい、人体のどの部分における放射線場を参照するかが問題となる。しかし、複数の線源がある場合にも実効線量当量に対する評価を一意的に保つためには、 H_{10} の参照点は人体の体軸上に一致させざるを得ない。その結果 H_{10} は、点線源の近傍のように、光子フルエンスが空間的に急激に変化する場所では、実効線量当量を著しく過小評価する可能性を持つからである。たとえば線源から 50 cm の点では、体表面近くの光子フルエンスは参照点の光子フルエンスの 2 倍近くになり、 H_{10} が

実効線量当量を大きく過小評価するおそれを生じることになる。

なお、本稿に示す値を用いて線量計を H_{10} に対し校正する場合、測定器中の光子フルエンスが一樣であると見なし得るように、測定は測定器の大きさに比べて線源から充分離れた地点で実施すべきである。

文 献

- 1) ICRU REPORT 39, Determination of Dose Equivalents Resulting from External Radiation Sources (1985)
- 2) ICRP Publication 38, Radionuclide Transformation: Energy & Intensity of Emissions, Annals of the ICRP, Vol. 11-13, Pergamon Press, Oxford (1983)
- 3) Birch, R., Marshall, M. and Ardran, G. M.: Catalogue of Spectral Data for Diagnostic X-Rays, Hospital Physicists' Association (1979)
- 4) ICRP Publication 51, Data for Use in Protection against External Radiation, Annals of the ICRP, Vol. 17, No. 2/3, Pergamon Press, Oxford (1987)

Abstract

Ambient Dose Equivalent Rate Constant for Several Radioactive Nuclides. Junichiro TADA and Kazuaki KATOH*: Institute for Basic Medical Science, University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki-Pref. 305, Japan. *National Laboratory for High Energy Physics, Tsukuba, Ibaraki-Pref. 305, Japan.

Ambient dose equivalent rate constant (which is the quotient of $l^2\dot{H}^*(10)$ by A , where $\dot{H}^*(10)$ is ambient dose equivalent rate at 10 mm depth due to photons at a distance l from a point source of the nuclide having an activity A) is calculated for 50 nuclides. The limitation of the validity of the quantity is also discussed.

(Received January 20, 1988)