



Title	放射線の作用量に関する考察(其1)
Author(s)	江藤, 秀雄
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1953, 13(9), p. 540-544
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/19313
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

放射線の作用量に関する考察 (其 1)

東京大學醫學部放射線醫學教室(主任 中泉正徳教授)

助教授 江 藤 秀 雄

Some Considerations on the Action Dose of Radiation. (Part I)

[Radiological Department, Faculty of Medicine, Tokyo University.

Director, Prof. M. Nakaidzumi]

Assist. Prof. Hideo Etô

(昭和28年6月26日受付)

内容梗概

研究目標：ファントム内部で吸収された総エネルギー量を容積線量を基として計算により求め、これをファントム表面に入射する一次放射線の総エネルギー量と比較検討する。

研究方法：(i) 一次放射線の総エネルギー量を各線質に対する空中線量とエネルギー束の密度(エルグ/cm²)に對して一般に用いられている関係式を基として算出する。

(ii) 吸収総エネルギー量を容積線量を基として算出する。

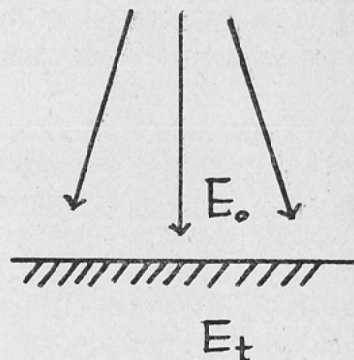
結果：(i) 一次放射線の総エネルギー E_0 とファントム内部で吸収された総エネルギーの計算値 E_t の間にはかなりの差がある。その主因についてはなお明らかでない。

(ii) 45kV の近接照射の例では E_t は E_0 よりも反つて大きい。斯かる不合理の生ずる原因については色々考えられるが、特に空中線量とエネルギー束の密度の関係式に對して検討を要するのではないかと推測される。

(1) 緒 論

ファントム表面に入射する一次放射線の総エネルギー量とファントム内部で吸収された総エネルギーの實測よりの計算値との間に著しい差のあることは Mayneord¹⁾ 及び著者²⁾ により數例について指摘されたが、その主因がファントムより放出される散亂線によるものか、或いは實際に

第 1 圖



ファントム内部で吸収されながら測定にかゝらぬ量にあるのか、更に亦計算方法の誤りにあるのかについては結論を得るに到つておらない。本文では一應具體的な數例について計算を行つた結果を報告し、併せてその解釋について述べようと思う。なお本文の内容は昭和27年12月の第44回關東部會の席上報告³⁾ したものである。

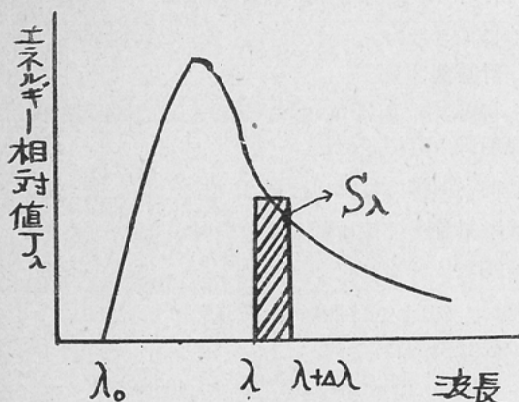
(2) 一次エックス線の入射エネルギーとレントゲン量の關係

ファントム表面に入射するエックス線のエネルギーを毎 cm² につき E (エルグ) とすればこれが何“r”に相當するかは次の如くして求められる。空氣の 1 g 中に吸収されるエックス線量 $4E$ は附表の(1)式で表わされる。但し、 τ は光电吸收係數、 σ_a はコンプトン電子吸收係數で何れも電子

1個に對する値、又 N は空氣1g中の電子密度 3.03×10^{23} である。

1“r”は空氣1g中に83.7エルグ吸収されるエックス線量に相當するから E エルグに對する空中線量を Q “r”とすれば(2)式及び(3)式が成立つ。

第2圖



ある線質のエックス線に對して(3)式を正しく適用するには先ずその波長——(エネルギー)分布を知る必要がある。第2圖の如き波長——(エネルギー)スペクトル分布曲線に於いて縦軸をエネルギーの相対値(J_λ)にとれば $\lambda \sim \lambda + \Delta\lambda$ の範圍に於いて曲線と横軸の包む面積 $S_\lambda (= J_\lambda \Delta\lambda)$ は $\lambda \sim \lambda + \Delta\lambda$ のエックス線の實際のエネルギー e_λ (エルグ) に比例する。すなわち(4)式が成立つ。

第2圖のスペクトル分布曲線と横軸の包む面積を S 及び $p_\lambda = \frac{S_\lambda}{S}$ とすればエックス線の全エネルギー E エルグとの間に(5)式、(6)式が成立つ。

波長 λ に對する $(e\tau + e\sigma_a)$ を $(e\tau + e\sigma_a)\lambda$ と記せば(2)式、(3)式は(7)式、(8)式の如く表わされる。

p_λ を求めるには最短波長 λ_0 を基點として考える波長域を適當な間隙 $\Delta\lambda$ ($\Delta\lambda$ は不等でよい)の小波長域に分割し、各小波長域の平均値 J'_λ の値を求め、(9)式によつて算出すればよい。

(3) 電子光電吸収係數及び電子コンプトン吸収係數

各波長に對するコンプトン電子吸収係數 $e\sigma_a$ は

附表 I

$$\Delta E = E(e\tau + e\sigma_a)N \quad \text{---(1)}$$

$$E(e\tau + e\sigma_a)N = 83.7Q \quad \text{---(2)}$$

$$E = 83.7Q / N(e\tau + e\sigma_a) \quad \text{---(3)}$$

$$S_\lambda = k e_\lambda \quad \text{---(4)}$$

$$\sum J_\lambda \Delta\lambda = S = \sum S_\lambda = k \sum e_\lambda = kE \quad \text{---(5)}$$

$$p_\lambda = S_\lambda / S = J_\lambda \Delta\lambda / \sum J_\lambda \Delta\lambda = e_\lambda / E \quad \text{---(6)}$$

$$\begin{aligned} \sum e_\lambda (e\tau + e\sigma_a)_\lambda N &= N \sum e_\lambda (e\tau + e\sigma_a)_\lambda \\ &= N \sum p_\lambda E (e\tau + e\sigma_a)_\lambda = NE \sum p_\lambda (e\tau + e\sigma_a)_\lambda \end{aligned} \quad \text{---(7)}$$

$$E = \frac{83.7Q}{N} \frac{1}{\sum p_\lambda (e\tau + e\sigma_a)_\lambda} \quad \text{---(8)}$$

$$p_\lambda = S_\lambda / \sum S_\lambda = J'_\lambda \Delta\lambda / \sum J'_\lambda \Delta\lambda \quad \text{---(9)}$$

附表 II

$$J_\lambda = \frac{k}{\lambda_0} \cdot \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda^2} \propto \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda^2} \quad \text{---(10)}$$

$$E = \frac{83.7Q}{31.86 \times 10^{-3}} \quad \text{---(11)}$$

$$\begin{aligned} h\nu &= \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.623 \times 10^{-27} \times 2.9986 \times 10^{10}}{\lambda \times 10^{-8}} \\ &= \frac{19.86 \times 10^{-9}}{\lambda} \quad \text{---(12)} \end{aligned}$$

$$\lambda \text{ の單位 } \text{\AA}$$

$$\zeta_\lambda = \frac{19.86 \times 10^{-9}}{\lambda} \times \frac{1}{1.602 \times 10^{-6}} = \frac{12.397 \times 10^{-3}}{\lambda} \text{ (eV)} \quad \text{---(13)}$$

$$A_e = \pi l^2 \log_e \left(1 + \frac{q^2}{l^2} \right) \quad \text{---(14)}$$

表(3)により求め、光電吸収係數は次式により算出する(4)。

$$e\tau = 2.64 \times 10^{-26} Z^{2.94} \times \lambda^3$$

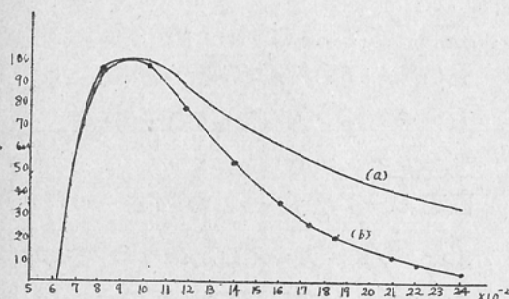
但し Z は空氣の有効原子番號で7.67である。

(4) 計算例(i)

200kVp, 1mmCu + 1mmAl, 焦點一皮膚間距離80cm, 照射野の直径10cm。

($J - J$) 曲線を(10)式より求める。但し λ_0 は最短波長。

第 3 圖



第3圖(a)は $(J_k - J)$ 曲線で同圖(b)は濾過板通過後の曲線を示す。(但し J_k の単位は任意)

以上を基とし計算した結果は(11)式で表わされる。今表面線量を 100'r' と仮定し、背後散亂量を25%とすると空氣中線量 $Q=73\text{'r'}$ となる。照射野の直径は10cmであるから入射一次エックス線の總エネルギーは $E_0 = \pi \times \left(\frac{10}{2}\right)^2 \times E = 197050.0 \times \pi \times \left(\frac{10}{2}\right)^2$ 。

ファントム内部で吸収された容積線量は完全吸収の場合の式(5)を用いて計算すれば

$$\pi \times \left(\frac{10}{2}\right)^2 \times 1181.3(\text{g' 'r'})$$

他方容積線量 1g' 'r' に對し93(エルグ/g)を採用すれば吸収總エネルギーは $E_t = 119861.8 \times \pi \times \left(\frac{10}{2}\right)^2$ となる。よつて $\eta = \frac{E_t}{E_0} \times 100 = 60.8(\%)$ 。

すなわちファントム内部で吸収された總エネルギーの實測値は入射一次エックス線の總エネルギーの60%に相當する。

Mayneord氏は200kVp, 1mmCu, 焦點—表面間距離50cm, 照射野の直径10cmの場合につき算出して $\eta=47(\%)$ の如き小さい値を得た。勿論著者の計算例とは焦點—表面間距離の點に於いて異なるがそれは根本的な問題ではない。

(a): E_0 の算出に際し Mayneord氏は單に平均波長 $0.12\text{\AA}$ を用いているが著者は波長—(エネルギー)分布曲線を基とした。

(b): Mayneord氏は容積線量を實測の等量曲線を基とし且つ深部量百分率10%迄の値を求めている。著者は完全吸収の式を基として算出した

が、これが實測の等量曲線を基にし且つ0%迄に外挿した値とよく一致することを確めた。(この點に關しては後述する。)

從つて著者の場合の方が實際の容積線量に近いとも考えられるので η に對して大きい値を得たものと推測する。

(c): 上記のような計算法に拘らず η は僅か60%にすぎない。

計算例(ii)

140kVp, 0.25mmCu, 焦點—表面間距離20cm, 照射野の直径4cm。

前と同様の計算の結果 $E = \frac{83.7Q}{47.44 \times 10^{-3}}$ 。背後散亂量率の値に關しては疑問があるが假りに $Q=75\text{'r'}$ とすれば $\eta = \frac{722.8 \times 93 \times A}{13.23 \times 10^4 \times A} = 50.8(\%)$ 。(但しAは照射野の面積)

計算例(iii)

45kVp, 2.5mmAl, 焦點—表面間距離2.2cm, 照射野の直径1cm。

$$\text{結果 } E = \frac{83.7Q}{28.17 \times 10^{-2}}$$

背後散亂量率は約10%程度と考えられるので表面量を 100'r' とすれば $Q=90\text{'r'}$ となる。よつて

$$E_0 = EA = 26739.0A \quad (A \text{は照射野の面積})$$

完全吸収の式より算出すると、 $424.3A \times 93 = 39460.0A$ 。從つて、この場合には $\eta=147\%$ となる。又等量曲線の實測値より求めても同程度の大きいこととなる。すなわち η の値は100%以上となり全く不合理な結果を與える。

Mayneord氏は45kVp, 管壁濾過のみ, 焦點—表面間距離20cm, 照射野の直径1cmの場合につき平均波長 $0.90\text{\AA}$ として算出した結果 $\eta=222\%$ という大きな値を得た。何故この場合にのみ不合理が起るかについては明らかでなく平均波長を使用することに誤りがあるのではなからうかと述べているが、著者の場合は波長—(エネルギー)分布曲線を基にしたにも拘らず同様の結果を生ずるから解釋は一層困難である。著者はこの原因を斯かる長波長のエックス線に對し(1)式の如き(エネルギー)と 'r' の換算式を適用することの可否及び近接照射の場合の等量曲線及び深部量百分率曲線の測定上の誤差等にあるものと一應想定して目

下考察を行つている。

(5) ラジウムの場合の計算例

ラジウム量 5 gm, 線源—表面間距離 8.2cm, 照射野の直径 8 cm の場合につき計算する。

(a): 振動数 V , 波長 λ のガンマ粒子のエネルギーは(12)式で表わされ, 1(エルグ)は $1/(1.602 \times 10^{-6})$ (MeV) であるから波長 λ のガンマ粒子のエネルギーは(13)式で表わされる。ガンマ粒子の 1 "r" に對する入射エネルギー (エルグ/cm²) はガンマ粒子のエネルギーにより異なるがその関係は文献のグラフ⁽⁶⁾ より求められる。

ラジウムの主要ガンマ線成分の波長, 強度の割合及び 1 "r" に相當する入射ガンマ線のエネルギー (エルグ/cm²) は附表第 III 表⁷⁾ に示す如くである。これより 1 "r" に相當する入射一次ガンマ線のエネルギーは 3036.1 (エルグ/cm²) となる。

附表 III ラジウム γ 成分

波長(Å)	(MeV)	強度(%)	エルグ/cm ² /r
0.0056	2.213	9.090	3600
0.0070	1.771	25.37	3350
0.0089	1.392	4.93	3150
0.0100	1.2397	4.36	3000
0.0110	1.127	12.91	2950
0.0132	0.939	3.49	2850
0.0161	0.770	2.18	2800
0.0203	0.611	22.36	2750
0.0353	0.3511	8.80	2800
0.0420	0.295	4.24	2850
0.0512	0.242	1.55	2950
0.0671	0.185	0.12	3050

(b): この場合線源—表面間距離に比して照射野の直径が割合に大きいので照射野の有効面積として(14)式を用いる。但し l は焦点—表面間距離, a は照射野の半径である。実際の数値を入れると $Ae = 14.12$ (cm²) となる(第 4 圖)。

(c): 背後散亂量率については詳しく知られておらぬが後述の Co⁶⁰ の場合から考えて一應考えぬこととすれば表面量 1 "r" に對して

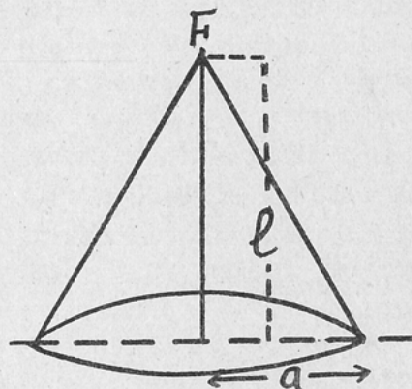
$$E_0 = 42609.1\pi \text{ (エルグ)}$$

(d): 完全吸収の式より計算すると

$$Et = 26682.6\pi \text{ (エルグ)}$$

従つて $\eta = 62.6\%$ となる。

第 4 圖



(6) Co⁶⁰ の場合の計算例(i)

Co⁶⁰ 量 1000 キュリー, 線源—表面間距離 60cm, 照射野の面積 100cm² の場合⁸⁾ につき計算する。

Co⁶⁰ のガンマ粒子は 2 種のエネルギー成分, すなわち 1.17 より 1.33 (MeV) なるが, 1 "r" に相當する入射ガンマ粒子のエネルギー量は各 3050 (エルグ/cm²) 及び 3130 (エルグ/cm²) であるから, これを平均すれば 3090 (エルグ/cm²) となる。背後散亂量は殆んど無視し得るので 1 "r" に對する入射ガンマ線の總エネルギーは

$$E_0 = 3090 A \text{ (エルグ)}$$

深部量百分率曲線より完全吸収の場合の式を用いて算出した値は

$$Et = 23.063 \times 93 \times A = 2144.8 A$$

従つて $\eta = 69.4\%$

計算例(ii)

線源—表面間距離 100cm, 照射野面積 400cm² の場合について同様の計算を行えば

$$\eta = 83.6\% \text{ になる。}$$

附表 IV 照射條件と η 値

200kVp, 1 mm Cu + 1 mm Al	F.S.D 80cm	ϕ 10cm	60 %
140kVp, 0.25 mm Cu	F.S.D 20cm	ϕ 4cm	50.8%
45kVp, 25mm Al	F.S.D 2.2cm	ϕ 1cm	147 %
ラジウム 5 gm	F.S.D 8.2cm	ϕ 8cm	62.6%
コバルト 60 1000 キュリー	F.S.D 60cm	100cm ²	69.4%
コバルト 60 1000 キュリー	F.S.D 100cm	400cm ²	83.6%

(7) 考 按

(a): 入射一次放射線のエネルギー総量と容積線量より算出した放射線のエネルギー総量との間には一見想像される以上の差異のあることが知られた。その主因については照射条件との関係を更に詳しく検討する要があろう。然し45kVの近接照射の例で起る不合理は一應出發點にもどり根本的に考えなおす必要のあることを意味し、これ以上具体的な例につき計算することは無意義なように思われる。

(b): 本計算ではラジウムや Co^{60} ガンマ線の場合に對して著者がかつて報告したエックス線に對して行つた計算法をそのまま利用した。これに關する吟味は後に譲るが、結論として特に Co^{60} の場合には計算式がよく適用されること及びそれが二つの單色ガンマ線よりなることが實測と計算との結び付を一層容易ならしめること、従つて理論的計算が將來非常に實用的價值を示すであろうなどのことが豫想される。

(終りに本文の御校閲を賜つた中泉教授に對し深謝す

る。)

文 獻

- 1) W.V. Mayneord: [Energy Absorption; Brit. Journ. Rad. XIII. (1940), 235.—2) 江藤秀雄: 放射線量の空間的分布に關する考察, 日本醫放學會第10回總會宿題報告 (1951年4月).—3) Lea, D.E.: Actions of radiation on living cells.—4) C.W. Wilson: The quantity and quality of the radiations scattered within a medium irradiated by high voltage radiation; Brit. Jour. Rad. XVIII. (1945), 344.—5) 江藤秀雄: エックス線の作用量及びその分布の求め方について (其3), 日本醫放誌, 第9卷第2號, 11頁 (昭和24年6月).—6) W.V. Mayneord: Some Applications of Nuclear Physics to Medicine; Brit. Jour. Rad. Supplement. No. 2.—7) S.L. Wither: Energy Absorption by Externally Irradiated Liquids; Nucleonics, 10 (1952), No. 4, 47.—8) H. E. Johns, L.M. Bates and T.A. Watson: 1000 Curie cobalt units for radiation therapy; Brit. Journ. Rad. XXV. (1952), No. 294, 296.—9) 江藤秀雄: 放射線の作用量に關する2, 3の考察, 日本醫放誌, 13卷2號, 117頁.—10) J. Read, Methodes Techniques en Radiotherapie: Bulletin Medical Britanique. 2, No. 1 (1947), 46.