

Title	モンテカルロ法による線量分布の計算
Author(s)	奥村, 寛
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1965, 25(8), p. 1018-1021
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/17927
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

モンテカルロ法による線量分布の計算

愛知県がんセンター研究所放射線部 (部長: 北島 隆)

奥 村 寛

(昭和40年7月17日受付)

Dose Distribution Calculated by Monte Carlo Method

By

Yutaka Okumura

From the Laboratory of Radiological Science, Research Institute
Aichi Cancer Center, Nagoya
(Director: Dr. T. Kitabatake)

Dose distribution was calculated by Monte Carlo method in telecobalt fixed-field irradiation of various field size, based on 20,000 to 50,000 histories of photons.

As gamma-ray source was assumed to be a point, the isodose curve near the edge of field by the calculation was quite different from that by experiment, but central dose distribution was well coincided with that by experiment. Gamma-ray histories were pursued in the two dimensional plane, so that the depth dose curve by calculation were different from that by experiment. However, the depth dose curve of three dimension could be obtained from the two dimensional calculation by using an experimental transformation equation. (13 July, 1965)

1. 緒 言

モンテカルロ法は、これまでに後方散乱及び物質透過の計算 (Berger and Raso)^{1,2)}あるいは内部照射の吸収線量の計算 (Ellett, Callahan and Brownell)³⁾などに試みられているが、遠隔照射時の線量分布を求めようとする試みは行われていない。

そこで本報告では digital 型電子計算機 (NEAC2203) を使用し、コバルト60遠隔照射における固定照射時の線量分布の算出を行つた結果について述べようと思う。

この計算では、20,000個から50,000個の γ 線の経歴 (history) を追跡し、照射野の大きさ $4\text{ cm} \times 4\text{ cm}$, $6\text{ cm} \times 6\text{ cm}$, $8\text{ cm} \times 8\text{ cm}$, $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ の線量分布を求め実験と比較した。

2. 計算方法

コバルト60 γ 線のエネルギーは、厳密には、照

射時に使用するコリメーターやフィルターによる散乱、吸収によつて影響されるが、この計算ではそれらの相互作用を無視し、1.33 MeV 及び1.17 MeV の線スペクトルと仮定した。線源は点線源と見做し半影はないものとした。さらに近似仮定として二次元平面の軌跡のみを考え、 γ 線と物質とが相互作用した点でエネルギーは吸収されるとして二次電子の飛程を無視した。また、SSDは75cm、水ファントームの大きさは巾40cm深さ30cmとした。

コンプトン散乱の散乱断面積 σ は Klein-Nishina の公式 (Klein und Nishina)⁴⁾ から得られる。 σ_a はトムソン散乱の断面積であり、 m_0 は電子の静止質量、 E は photon のエネルギーを示す。 σ は電子あたりの散乱断面積であるので σ に水の電子密度 (3.344×10^{23} electron/gm) を乗ずれ

$$e\sigma = \frac{3}{4} e\sigma_a \left\{ \frac{1+\alpha}{\alpha^3} \left[\frac{2\alpha(1+\alpha)}{1+2\alpha} - \log(1+2\alpha) \right] - \frac{1}{2\alpha} \log(1+2\alpha) - \frac{1+3\alpha}{(1+2\alpha)^2} \right\} \quad (1)$$

ここで $e\sigma_a = \frac{8}{3} \frac{\pi e^2}{m_0^2 C^4}$
 $= 6.65 \times 10^{-28} \text{ (cm}^2\text{)}$
 $\alpha = \frac{E}{m_0 C^2}$

ば単位質量あたりの散乱断面積が得られる。従つて、

$$\sigma = 3.344 \times 10^{23} \times e\sigma \quad (2)$$

散乱後のエネルギーEは、初期エネルギーE₀が2 MeV以下については次式によつて得られる (Cashwell and Everett)⁵⁾。

$$E = \frac{E_0}{1 + S r + \left(2 \frac{E_0}{m_0 C^2} - S \right) r^2} \quad (3)$$

ここで

$$S = \frac{E_0}{1 + 0.5625 \frac{E_0}{m_0 C^2}}$$

rは11桁の乱数(0 < r < 1)で、この計算では次式によつて得た。

$$r_{n+1} = (ar + b) \times 10^{-11} \quad (4)$$

a = 1001
 b = 1
 r₁ = 31415926535
 Mode 10¹¹

また、散乱角θはエネルギー保存則と運動量保存則により、

$$\cos \theta = 1 + \frac{m_0 C^2}{E_0} - \frac{m_0 C^2}{E} \quad (5)$$

となり、求められる。

散乱断面積がσの時、photonが入射して最初に散乱するまでの距離l、または散乱して次の散乱までの距離lは乱数rを使つて、確率を考えれば得られる。

$$r = \frac{\int_0^l e^{-\sigma x} dx}{\int_0^\infty e^{-\sigma x} dx} = 1 - e^{-\sigma l} \quad (6)$$

rは0 < r < 1を満たす乱数であるので

$$r' = 1 - r \quad (7)$$

もまた0 < r' < 1を満たす乱数となる。従つて(6)式のrをr'としても何ら意味は変らない。よ

つて(6)式は

$$r = e^{-\sigma l} \quad (8)$$

となり、求める距離lは

$$l = - \frac{\log r}{\sigma} \quad (9)$$

となる。

光電効果の水の断面積では実験式 (Johns)⁶⁾ を使つて得られる。

$$\log \tau = -3.24 \log E + 3.878 \quad (10)$$

また、光電効果による飛程l'はコンプトン散乱の場合と同様に、

$$l' = - \frac{\log r}{\tau} \quad (11)$$

となる。

photonの経歴は次のときに追跡を終えて新しいphotonの経歴を追跡した。すなわち、(a)photonが水と衝突せずファントームを透過するとき、(b)散乱後ファントームの外へ出たとき、(c)散乱後光電効果が優位になる cut off energy (30KeV) 以下になるとき (Fig. 1).

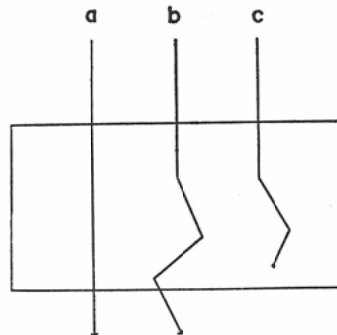


Fig. 1 Histories of photons in the phantom (See text).

Fig. 2 に流れ図を示した。Nは追跡しようとするphotonの数で、nはそれまでに追跡した数であり0より始まりNと等しくなつたとき計算は終る。E₀はphotonの入射エネルギーで1330 KeVと1170 KeVのphotonを交互に入射させた。(x,y) < Fはphotonがファントームの中にあるかどうかの判定を示し、E_aは吸収エネルギーを示す。コンプトン散乱の場合はE₀-Eが光電効果の場合はE₀が吸収エネルギーとなる。N個のphotonを追跡して1cm間隔の各点の吸収エネルギーを百分

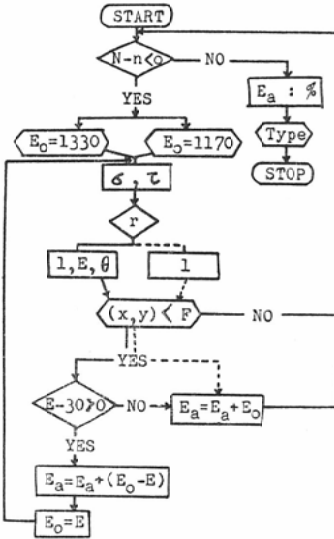


Fig. 2 Flow chart of Monte Carlo calculation.

率の形でタイプさせた。

3. 計算結果

照射野 4 cm × 4 cm, 6 cm × 6 cm, 8 cm × 8 cm, 10 cm × 10 cm (SS D75cm) の線量分布を計算した。Fig. 3 は照射野の大きさ 8 cm × 8 cm の線量分

890	923	903	922	20	15	18	12	15	10	9	11	9	10
999	906	906	904	30	21	16	15	14	11	11	14	8	9
897	910	895	886	54	29	21	22	18	15	13	10	9	12
812	783	918	899	64	43	36	22	21	17	19	11	13	14
818	893	799	777	73	49	34	30	25	20	14	13	18	16
766	772	719	724	82	52	40	36	22	25	19	21	15	16
753	651	710	680	76	53	53	41	32	29	25	18	21	12
689	727	689	720	65	68	42	36	34	29	27	23	17	17
645	646	682	656	108	57	67	51	34	33	26	26	15	23
624	677	683	593	94	65	67	41	42	35	28	29	20	20
603	596	612	489	220	76	70	46	48	35	33	22	22	19
610	547	510	102	512	79	66	56	56	43	26	36	34	29
578	562	553	127	593	78	61	50	44	38	32	28	24	19
520	499	491	109	453	84	81	53	53	43	31	33	33	17
503	476	506	117	443	84	61	56	50	47	46	32	26	19
465	468	94	474	397	72	60	67	55	49	35	29	34	34
481	464	111	400	384	70	61	47	52	37	44	22	32	25
396	384	102	430	457	64	68	60	58	49	51	31	34	27
374	410	99	383	394	65	61	73	44	32	34	29	29	28
365	382	93	354	342	69	72	54	45	46	38	38	29	25

Fig. 3. Dose distribution by Monte Carlo calculation, Field 8x8, SSD 75 cm.

布で等線量曲線は内挿によつて求めた。入射 photon の数は、40,000個である。計算によつて得た等線量曲線を実験結果と比較すると Fig. 4 のごとくなる。実測はすでに報告した⁶⁰Co照射装置(岡

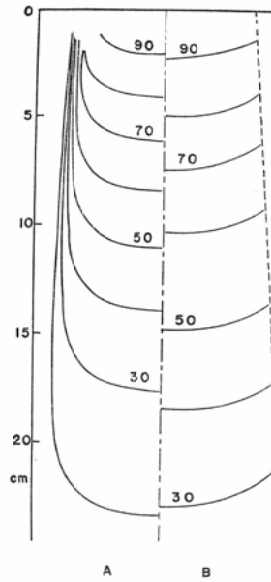


Fig. 4. Comparison of isodose curve by experiment (A) with calculation (B).

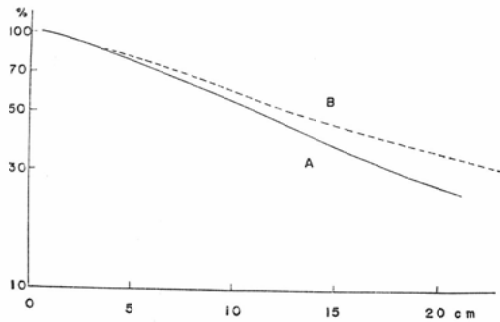


Fig. 5. Comparison of depth dose curve by experiment (A) with calculation (B).

島) で水フロントームにγ線照射を行ない、その際の線量分布を東芝深部線量計で測定したものである。この計算では点線源として半影を考えていないので境界線付近は実験と著しく異なっており、この部分を点線で示した。深部率曲線の計算値と実験値との比較を Fig. 5 に示した。両者は若干のくい違いがあるが、これは計算を二次元平面で行つたためである。Fig. 5 の二つの深部率曲線において同一線量値を示す計算上の深さを x cm, 実験上の深さを y cm とし、両対数グラフにプロットすれば Fig. 6 のように x と y は直線関

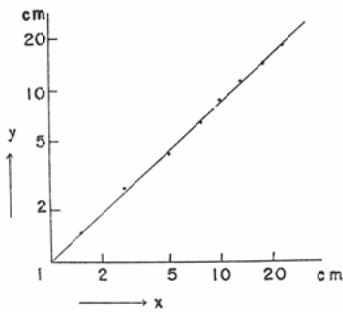


Fig. 6. Relation between x and y ,
 $\log y = 0.93 \log x$.

係($\log y = 0.93 \log x$)にあり勾配は0.93である。照射野の大きさが $4 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$, $6 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$, $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ の場合の勾配はそれぞれ 0.94, 0.92 及び 0.94であった。

4. 考 按

等線量曲線の理論的分布を計算した研究は未だ行なわれていない。そこで私共はモンテカルロ法にたよって試みたのである。モンテカルロ法によつて線量分布を求める計算は γ 線の経歴を追跡し、水等価物質との相互作用による吸収エネルギーを計算することであつて、ファントームの形や線源の運動角度を自由に定めることが出来、また繰返しが容易であるので線量の理想的な分布を得るために適していると思われる。その計算は一度プログラムを組めばSSD, 照射野, ファントームの形を決める定数を指定するのみで結果が得られる。従つてファントームの形が異なる個々の例の線量分布を容易に計算することが出来る。この計算は二次元平面で行なつたが、これは計算上の手順と時間を短かくして早く結果を得るためである。二次元で行なつても先述の変換式($\log y = 0.93 \log x$)を使えば実験値と十分一致する。また飛程を計算するとき weight factor として変換式を導入すれば変換する必要もないと考えられる。

この計算を複雑な形のファントーム, あるいは回転照射, 振子照射の運動照射に適用すれば, 実験的に不可能または困難な場合にも応用が出来, それらの線量分布を求めうる可能性がある。

今回の計算にはNEAC2203を用いたが, この計算機は線量分布を求めるためには必ずしも最適ではなく, その為一面を得るに約10時間を要したが, 計算精度をもつと下げ, 高速計算機を使用すれば2時間程度までになしうと思う。私共が実験的に線量分布を求めるわずらわしさを考えると計算機による方法も充分実用になるのではあるまいか。

5. 要 約

コバルト60 γ 線による固定照射時の線量分布をモンテカルロ法によつて計算した。入射 photon は20,000個から50,000個で照射野の大きき $4 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$, $6 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$, $8 \text{ cm} \times 8 \text{ cm}$, $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ についての線量分布を計算しかつ実験値との比較を行なつた。線源を点線源と仮定したので照射野の辺縁部附近の線量分布は実験値と著しく異なつたが, 中心部はよく一致した。深部率曲線は, 計算を二次元で photon の経歴を追跡することによつて行なつたので, 実験値と異なつたが変換式を利用することによつて, 三次元散乱も含めた場合に交換出来, 充分実用しうるものであることがわかつた。

(ご指導ご便宜を賜つた名古屋大学医学部高橋信次教授, 同大学総合計算室大槻説平氏に深く感謝の意を表する。北嶋隆。)

(本研究の要旨は昭和40年2月7日第27回日本医学放射線学会中部地方会で報告した。)

文 献

- 1) M.J. Berger and D.J. Raso: Monte Carlo Calculations of Gamma-Ray Backscattering. Radiation Res. 12 : 20, 1960.
- 2) D.J. Raso: Scattering of Gamma Rays in Laminar Media. Radiation Res. 19 : 384, 1963.
- 3) W.H. Ellet, A.B. Callahan and G.L. Brownell: Gamma-Ray Dosimetry of Internal Emitters. Brit. J. Radiol. 34 : 45, 1964.
- 4) O. Klein und Y. Nishina: Über die Streuung von Strahlung. Z. Physik 52 : 853, 1929.
- 5) E.D. Cashwell and C.J. Everett: Monte Carlo Method for random walk problems. Pergamon Press, London, 1959.
- 6) H.E. Johns: The Physics of Radiology. Charles C. Thomas, Springfield, 1961.
- 7) 岡島俊三: ^{60}Co 遠隔照射法の研究。 ^{60}Co 線量分布の測定, 日医放会誌, 24 : 174, 昭39.