The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	病巣内線量分布の均等性の研究 第3報 60Co遠隔照射について
Author(s)	山下, 延男
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1964, 24(3), p. 310-317
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/19216
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

病巣内線量分布の均等性の研究
(第3報) ^{60}Co 遠隔照射について

東北大学医学部放射線教室(主任 古賀良彦教授)
山 下 延 男

(昭和39年5月4日受付)

Studies on Homogeneity of Dose Distribution in Tumor (3rd Reoprt) Cobalt 60 Teletherapy

By

Nobuo Yamashita
Department of Radiology, Faculty of Medicine, Tohoku University Sendai
(Director: Prof. Y. Koga)

The author divided dose distribution of cobalt 60 radiation into primary and scatter beam, and these to points on the central axis were used John's data, but the scatter to points off the axis were obtained as follows; the field may be replaced by a infinite series of arcs developing Clarkson's method at any point off the axis for circular field, and the scatter were obtained approximately a full circle corresponding to the average radius of arcs were calculated by second elliptic integral.

Heterogeneity index, as defined in the author's previous report, was calculated by the above method under the following conditions; S.S.D 80 cm, assuming the radius of the tumor sphere to be from 2 to 6 cm, the results were as follows.

1) One field irradiation: When S.S.D was constant, the heterogeneity index increased with the increase of the tumor radius. But, when the tumor depth in body was changed, heterogeneity index changed a little.

Heterogeneity index of cobalt 60 irradiation was less than a half value of 200 KV X-ray.

2) Two fields irradiation: The variation of heterogeneity index was about 1-3%.

3) Four fields irradiation: Heterogeneity index was under 1%.

内容目次

Ⅰ 緒 言
Ⅱ 中心軸以外の点の線量分布について
Ⅲ 病巣の位置, 大きさと照射野との関係
Ⅳ 一門照射の均等性
Ⅴ 多門照射の均等性
Ⅵ 所謂 200KV X線照射との比較
Ⅶ 結 語
Ⅷ 文 献

Ⅰ 緒言

前報[1]でX線深部治療としてよく用いられる所謂 200KV X線の場合の病巣内線量分布の均等性について述べた.

しかし最近, 本邦ではX線よりも皮膚反応, 深部量率等でこれより優れている ^{60}Co 遠隔照射法が深部治療に盛んに用いられるようになつた. この場合の病巣内線量分布の均等性について検討し

てみよう.

前報の緒言の中でも述べたように，今までに測定し発表されている線量分布の多くは等量曲線の形，或いは中心軸上のみの線量率として出されている．しかし，不均等指数を計算するには，中心軸のみならず，各深さの水平面上の線量分布を正確に知らねばならない.

前報の所謂 200KV X線の場合，中心軸以外の線量を求めるのに Worthley & Wheatley の S (x) を用いて計算する事が出来たが，^{60}Co 遠隔照射の病巣内の中心軸以外の部分について線量分布を計算して求める場合に，著者は次に述べるような一つの新しい近似計算法を考え出した.

病巣内で中心軸上の線量分布については Johns の Data より直接に求める事が出来るがそれ以外の病巣内の各点の線量分布は次に述べるような方法，即ち Charkson の方法[2] を拡張した近似計算法で計算した.

II 中心軸以外の点の線量分布について

線量は一次線と散乱線との和を考え，一次線は任意の深さの病巣内平面で均一と考える.

皮膚面照射野が円形の場合，任意の深さ d cm，又，中心軸より距離 l cmで示され任意の点Pの線量を D_{dl}，一次線を D^p_d，散乱線 D^s_{dl} とすれば次のように表わすことが出来る.

$$D_{dl}=D^p_d+D^s_{dl} \quad \cdots\cdots (1)$$

中心軸以外の散乱線の線量 D^s_{dl} を Clarkson 法を拡張して，新しい近似計算方法を考えてみた.

こゝで Clarkson 法[2)3)] について述べておく．この方法に於いては Fig. 1 に示すよう矩形の照射野の中心Pで，例えば，角度5，15°，25°，35°……85° で小さい扇形に分けることが出来る．このように矩形を分割すると点Pの散乱線は分割された扇形の小区画の散乱線の和と考えることが出来る．又その各扇形の小区画の散乱線は同一半径の円形照射野より求められる.

Fig. 2 で示すように半径 γ の円形照射野内の任意の点Pの散乱線は，Clarkson 法に従えばこの点に於いて照射野を小さい角度の扇形に分け，各扇形の小区画について同じ半径の円形照射野の中心の散乱線より求められる．こゝで小分割する時の分割数を出来るだけ多くすればする程精度がよくなる.

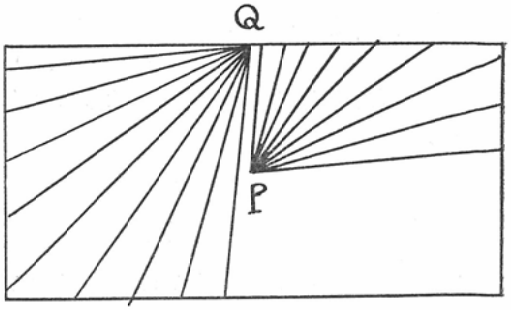


Fig. 1. Figure 1 shows how the scatterdose for a rectangular field may be determined by replacing the rectangular by a series of segments of circular fields as Clarkson's method.

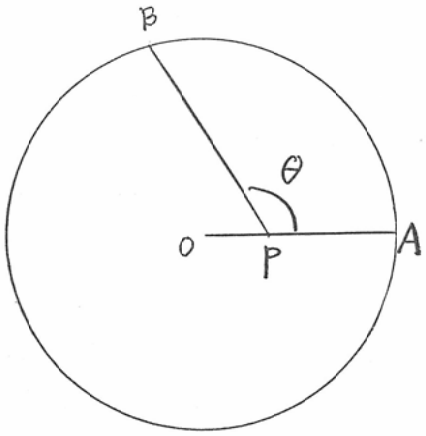


Fig. 2. P is any point off the axis for circular field. The scatterdose at P may be changed with relative distance (OP/OA) and area of field

著者は，この方法より一歩拡張して分割数を無限に大きくした場合を考えた．その時の散乱線はこの分割によつて出来た無限の小さい扇形の散乱線の和であるから，それは，又これらの小さい扇形の平均の半径と同一半径（同一深さの円形照射野の中心）の散乱線と近似的等しいものと著者は考え，その平均半径を次のように算出した.

OAを半径 γ，OPを a，∠BPAを θ とするとPBの平均Lは次の式で示される.

$$L=\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi}(\sqrt{r^2-a^2\sin^2\theta}-a\cos\theta)d\theta \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

$a/r=e$ とおけば（2）式は次のようになる．

$$I=\gamma\int_0(\sqrt{1-e^2\sin^2\theta}-e\cos\theta)d\theta \quad \cdots\cdots (3)$$

（3）式の積分の前の項，即ち

$$I_1=\int\sqrt{1-e^2\sin^2\theta}\,d\theta \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

は第2種楕円積分[4]（the elliptic integral of the second class）で次のように表わされる．

$$I_1=\int\sqrt{1-e^2\sin^2\theta}\,d\theta$$
$$=\int\left(1-\frac{1}{2}e^2\sin^2\theta-\frac{1}{2.4}e^2\sin^4\theta-\frac{1.3}{2.4.6}e^6\sin^5\theta\cdots\cdots\right)d\theta \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

この積分は (e,θ) の函数，即ち $I_1=E(e,\theta)$ である．

I_1 の値については，Table I に示した．

特に $\theta=\pi/2$ の場合（7）式のようになる．

$$E(e,\frac{\pi}{2})=\frac{\pi}{2}\left[1-(\frac{1}{2}e)^2-\frac{1}{3}(\frac{1}{2}\cdot\frac{3}{4}e^2)^2-\frac{1}{5}(\frac{1}{2}\cdot\frac{3}{4}\cdot\frac{5}{6}e^3)^2-\frac{1}{7}(\frac{1}{2}\cdot\frac{3}{4}\cdot\frac{5}{6}\cdot\frac{7}{8}e^4)^2\cdots\cdots\right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

故に（2）式の積分は（8）式になる．

$$L=\gamma\left[1-(\frac{1}{2}e)^2-\frac{1}{3}(\frac{1}{2}\cdot\frac{3}{4}e^2)^2-\frac{1}{5}(\frac{1}{2}\cdot\frac{3}{4}\cdot\frac{5}{6}e^3)^2-\frac{1}{7}(\frac{1}{2}\cdot\frac{3}{4}\cdot\frac{5}{6}e^4)^2\cdots\cdots\right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (8)$$

上の計算で求めた平均値は（8）式からもわかるようにeの値，即ち，相対距離が大きくなるにつれて散乱線は小さくなる．言い換れば同一水平面にあつても中心軸より離れるにつれてその散乱線は小さくなることを示している．

なお，以上の近似的算出法は，所謂幾何学的本影内にある点について考え，半影の部分についてはこゝではふれない事にする．

III　病巣の位置，大きさと照射野との関係

前報と同様，病巣は球形〔$x^2+y^2+(z-d)^2=\gamma^2$〕と考え，Fig. 3 A，Bに示すように皮膚面の照射野は円形で線源は点線源と見做し，線維は幾

Table I　Second Elliptic Integral　E (e, θ)　e=sin α

θ	α=0°	α=15°	α=30°	α=45°	α=60°	α=75°	α=90°
0°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5°	0.087	0.087	0.087	0.087	0.087	0.087	0.087
10°	0.175	0.174	0.174	0.174	0.174	0.174	0.174
15°	0.262	0.262	0.261	0.260	0.260	0.259	0.259
20°	0.349	0.349	0.347	0.346	0.344	0.342	0.342
25°	0.436	0.435	0.433	0.430	0.426	0.424	0.423
30°	0.524	0.522	0.518	0.512	0.506	0.502	0.500
35°	0.611	0.608	0.602	0.593	0.582	0.576	0.574
40°	0.698	0.695	0.685	0.672	0.657	0.647	0.643
45°	0.785	0.781	0.767	0.748	0.728	0.713	0.707
50°	0.873	0.866	0.848	0.823	0.795	0.774	0.766
55°	0.960	0.952	0.928	0.895	0.859	0.830	0.819
60°	1.047	1.037	1.008	0.965	0.918	0.881	0.866
65°	1.134	1.122	1.086	1.033	0.974	0.926	0.906
70°	1.222	1.206	1.163	1.099	1.029	0.965	0.940
75°	1.309	1.291	1.240	1.163	1.096	0.999	0.966
80°	1.396	1.375	1.316	1.227	1.122	1.028	0.985
85°	1.484	1.460	1.392	1.289	1.169	1.053	0.996
90°	1.571	1.544	1.469	1.351	1.211	1.076	1.000

Table Ⅱ A Scatter Function Cobalt 60 S.S.D 80 cm

Depth in cm	Radius of Field cm					
	1	2	3	4	5	6
0	0.5	1.0	1.4	1.9	2.3	2.7
1	1.1	2.2	3.2	4.1	4.9	5.5
2	2.1	4.1	5.8	7.1	8.1	8.9
3	2.9	5.6	7.7	9.3	10.5	11.5
4	3.4	6.5	9.0	10.9	12.2	13.3
5	3.7	7.1	9.8	11.9	13.3	14.5
6	3.8	7.3	10.2	12.4	13.9	15.2
7	3.8	7.3	10.2	12.5	14.1	15.5
8	3.7	7.1	10.0	12.3	14.0	15.4
9	3.5	6.8	9.7	11.9	13.7	15.3
10	3.3	6.5	9.3	11.5	13.4	14.9
11	3.1	6.1	8.9	11.1	13.0	14.5
12	3.0	5.9	8.5	10.9	12.5	14.1
13	2.8	5.5	8.1	10.3	12.1	13.8
14	2.6	5.2	7.6	9.8	11.7	13.3
15	2.5	5.0	7.3	9.4	10.2	12.8
16	2.4	4.8	7.0	9.0	10.7	12.3
17	2.3	4.6	6.9	8.6	10.3	11.9
18	2.2	4.4	6.4	8.2	9.9	11.4
19	2.1	4.1	6.1	7.9	9.5	10.9
20	1.9	3.9	4.8	7.5	9.1	10.5

(After Johns)

Table Ⅱ B Primary Depth Dose Cobalt 60 SSD 80 cm

Depth in cm Depth	Dose Dose	Depth in cm	Depth Dose
0.5	100.0		
1	95.4	11	39.2
2	87.1	12	35.9
3	79.5	13	32.9
4	72.7	14	30.2
5	66.5	15	27.7
6	60.8	16	25.4
7	55.6	17	23.3
8	50.9	18	21.4
9	46.6	19	19.6
10	42.7	20	18.0

(After Johns)

Table Ⅲ Heterogeneity Index σ (S.S.D 80 cm Tele ^{60}Co)
Radius in cm : r
Depth in cm : d

d \ r	2	3	4	5	6
3	6.4				
4	6.7	9.0			
5	7.0	9.6	12.4		
6	7.6	10.4	13.0	14.8	
7	7.6	10.4	13.6	16.5	18.8
8	7.5	10.5	14.3	16.6	18.7
9	7.5	10.7	14.3	16.9	19.2
10	7.5	10.9	14.5	17.2	19.7
11	7.5	10.9	14.8	17.2	20.0
12	7.5	11.1	15.0	17.2	19.9

何学的にこの球形（病巣）に接するものと考える．

この場合，皮膚面，照射野面積M，皮膚面より病巣中心までの距離 d，病巣半径 γ，線源皮膚間距離 f とすれば次のような関係がある．

$$M=\frac{\pi f^2\gamma^2}{(f+d)^2-\gamma^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (9)$$

IV　一門照射の均等性

不均等指数[5]の計算法は前報と同様で Fig. 3 C で示した如く病巣を5㎜間隔に分割し周囲部では4捨5入した．

被射体の密度を水と等しく，照射野（皮膚面）は円形で線源皮膚間距離80㎝，そして病巣の大きさは球でその半径が2～6㎝の場合について種々の深について考えた．

中心軸の一次線及び散乱線の線量については，Johns[6] の The Thysics of Radiology に記載されている Data をそのまゝ用いた．又，各深さの水平面上の線量分布については中心軸上の散乱線線量を基にして，著者の考え出した近似法で計算した．なお，Johns の Data に出ていない各区間の中間的な値については比例部分の原理に従つて直線的に変化するものと見做した．

例えば，Fig. 4 A は S.S.D 80㎝，病巣半径5㎝，病巣中心の深さ6㎝の場合の中心を通る z・x 平面上の著者の近似法で計算した散乱線の線量分布を示した．

Fig. 4 B は上の場合の中心を通る x,y 平面の散乱線の線量分布を示した．これに一次線の線量分布を加えると Fig. 4 C,D で示すようになる．

計算結果を Table Ⅲ に示した．

V　多門照射の均等性

X線深部照射では，皮膚の線量を軽減し，病巣に出来るだけ大線量を与える目的で多門照射法がよく用いられているが，^{60}Co 遠隔照射の場合では，X線に比べて ^{60}Co γ 線の方が皮膚反応が小さいので，皮膚線量を軽減するという点では，X線照射の場合程重要な意味を持たない，これよりは寧ろ，病巣内線量分布の均等性をよくする点に多門照射法の意義があると思われる．

イ）2門照射

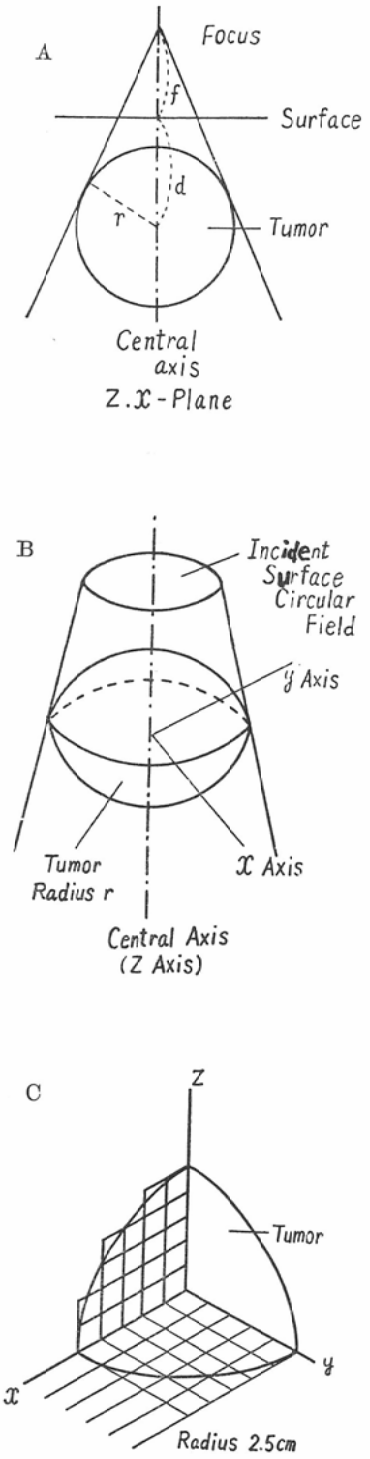
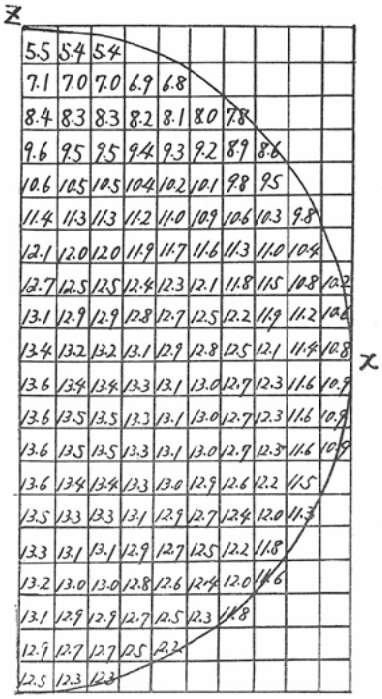
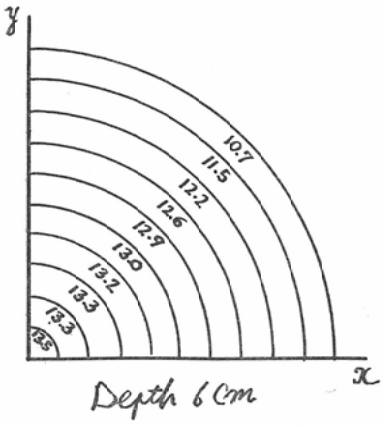


Fig. 3. Geometical Relationspship of Beam

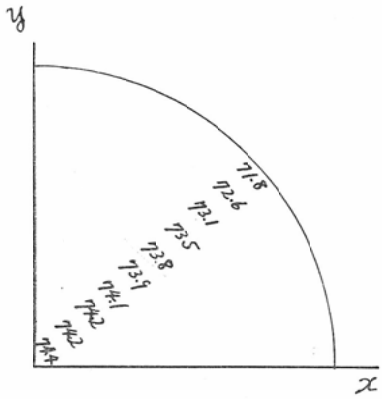


A. Z-X Plane
S.S.D 80 cm Radius 5 cm Depth 6 cm
(center) M 42.6 cm² (100 R in air)

C. Z-X Plane
S.S.D 80 cm Radius 5 cm
Depth 6 cm (center)



B. X-Y Plane
Fig. 4. Scatter Dose Distribution in Tumor



D. X-Y Plase
Fig. 4. Dose Distribution in Tumor

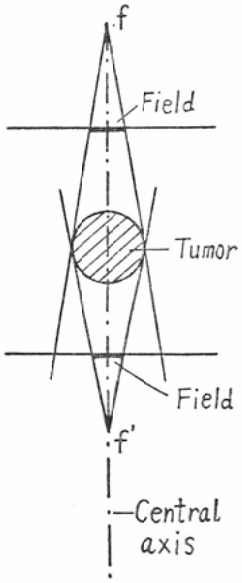
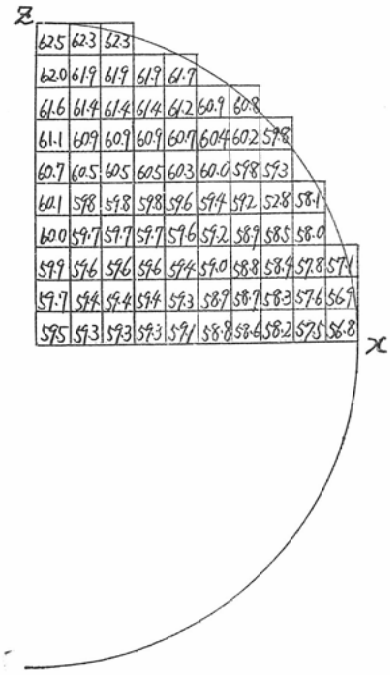


Fig. 5. Two fields Irradiation (180°)



S.S.D 80 cm, Radius 5 cm, Depth 9 cm
Each Field 50 R in air

Fig. 6. Dose Distribution in Tumor for Two Fields Irradiation

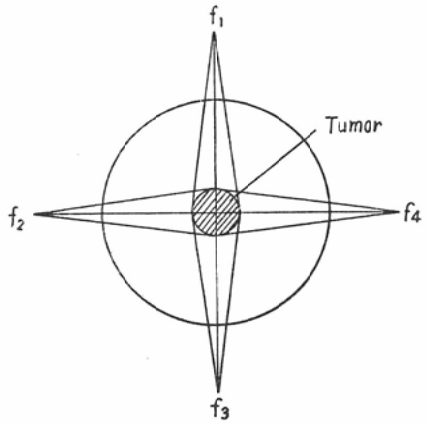
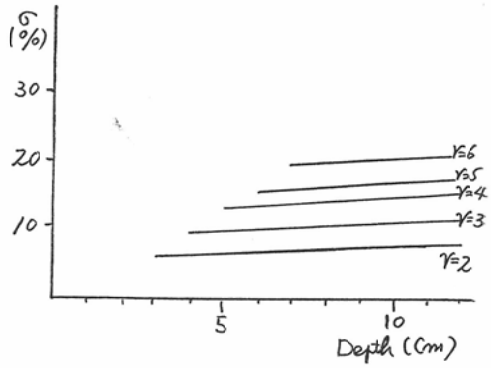
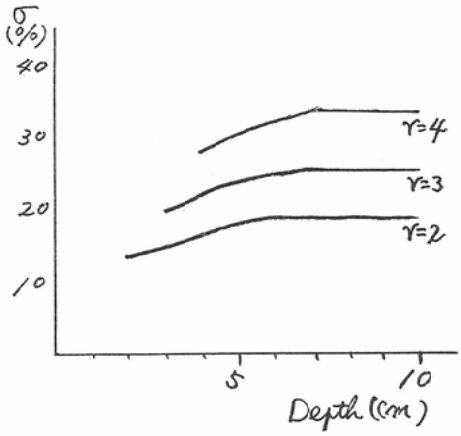


Fig. 7. Four Fields Irradiation

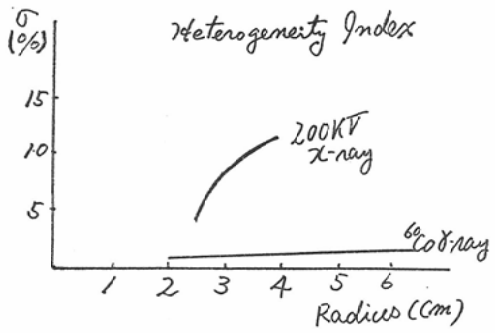


A Graph showing the variation of Heterogeneity index for the tele cobalt 60 γ-rays with the tumor depth.



B Graph showing the variation of Heterogeneity index for 200 KV X-ray with the tumor depth.

Fig. 8. One Field Irradiation



Graph Comparing the Heterogeneity index produced by 200 KV X-ray and tele cobalt 60 γ-ray

Fig. 9. Two Fields Irradiation

Fig. 5 で示されるような 180° 2門照射についてのその z,x 平面の病巣内線量分布について，例として病巣半径 5 cm，病巣中心の深さ 9 cmの場合について Fig. 6 で示した．

被射体の厚さ18cmと仮定し病巣中心の深さ d が 9 cmの場合の不均等指数Ⅳに示した．

この表からも明らかなように，2門（180°）照射の不均等指数は1門照射の場合に比べて著明に小さい．

ロ）4門照射

Fig. 7 に示すような90° 4門照射で，病巣半径 2～6 cmで被射体を直径18cmの円筒と仮定し，病巣の位置が中心にある場合，不均等指数は1％を越えない．2門照射に比べれば更に均等性がよくなる．

VI 所謂 200KV X線照射との比較

所謂 200KV X線照射の不均等指数については前報で述べたが，これと ^{60}Co 遠隔照射の場合と比較してみよう．

Fig. 8 A,B は1門照射の不均等指数(縦軸)に示すもので，横軸は病巣中心の深さを表わした．

Fig. 8 Aは 200KV×S.S. 照射の場合の病巣半径 2～4 cmについての不均等指数を示した．

Fig. 8 Bは ^{60}Co 遠隔照射の場合の病巣半径 2～6 cmについて示した．

Fig. 9 は被写体の厚さが18cmで病巣中心が 9 cm の深さにある 180° 2門照射の場合について病巣半径の変化と不均等指数の相関関係を 200 KV (H.V.L 1.5mmCu) と ^{60}Co 遠隔照射について比較を示したものである．

Table Ⅳ Heterogeneity Index
(Two Fields Irradiation)
S.S.D 80cm Tele ^{60}Co Irradiation

γ	2	3	4	5	6
σ %	1.0	1.7	1.8	2.2	2.5

これらのグラフからも明らかなように ^{60}Co 遠隔照射の方が，200KV X線照射に比べて病巣内線量分布が著明によい．又，180° 2門照射の場合，^{60}Co 遠隔照射では病巣半径の増大につれて不均等指数は余り大きくならないが，これに反して 200KV X線では，明らかに不均等指数が増大する．

VII 結語

中心軸以外の線量分布を求める方法として，近似計算法を考え出し，それを用いて病巣内線量を算出し，著者の定義した不均等指数を種々の大きさの病巣及びその位置がいろいろの深さにある場合について求め，前報で報告した所謂 200KVX 線照射と比較して見た結果次の事がわかつた．

1） 1門照射

不均等指数は病巣半径の増大につれて大きくなるが，病巣中心の深さが深くなるに従つては余り変らない．200KVX線照射の場合比べてその値は 1/2 より小さかつた．

2） 2門照射（180°）

不均等指数約1～3％であつた．

3） 4門照射（90°）

不均等指数は1％を越えなかつた．

文 献

1) 山下延男：病巣内線量分布の均等性の研究（第2報）所謂 200KV X線治療について，日医放誌第22巻10号93～98. —2) Clarkson, J.R.: A Note on Depth Doses in Fields of Irregular Shape. —3) Meredith, W.J. and Neary, G.J.: The Production of Isodose Curves and the Calculation of Energy Absorption from Standard Depth Dose Data. Brit. J. Radiol., 17 : 75, 1944. —4) Chandler, G.H.: Elements of the Infinitesimal Calculus. 239, 316. —5) 山下延男：病巣内線量分布の均等性の研究（第1報）不均等指数について，日医放誌，第22巻6号，34～38. —6) Johns, H.E.: The Physics of Radiology, Charles C Thomas. U.S.A.