

Title	治療用放射線による遺伝有意線量の推定
Author(s)	橋詰, 雅; 加藤, 義雄; 増山, 高同 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1965, 25(3), p. 192-199
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/18774">https://hdl.handle.net/11094/18774</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

## 治療用放射線による遺伝有意線量の推定

放射線医学総合研究所 物理第3研究室

橋 詰 雅 加 藤 義 雄

丸 山 隆 同 白 貝 彰 宏

信州大学中央レントゲン部

丸 山 静 雄 滝 沢 正 臣

(昭和40年2月1日受付)

Estimation of Genetically Significant Doses Due to Therapeutic Radiation in Japan

By

Tadashi Hashizume, Yoshio Kato, Takashi Maruyama, Akihieo Shiragai

Physics Division, National Institute of Radiological Sciences

and

Shizuo Maruyama, Masaomi Takizawa

Roentgen Center, Shinshu University Hospital

The genetically significant dose to the Japanese contributed by diagnostic x-ray was estimated to be 38.6 m rad/y per new born child according to the study made by the Education Ministry's Research Group in which some of the authors participated. At this time an estimate was made to determine the genetically significant dose contributed by radiation therapy. The irradiation conditions and number of cases were determined on the basis of the National Therapeutic Survey Tables compiled by the Education Ministry's Research Group.

Determinations were made by use of phantoms. A colonial dosimeter equipped with a chamber which has small energy response was used. There is much room for review of the method for calculating the number of expected children for patients, but in this case it was tentatively calculated on the basis of 5 year survival rate. These values were calculated by IBM for each case according to the conditions of irradiation. As a result, the contribution of genetically significant dose due to therapy was found to be about 2.2 % of that due to diagnosis or 0.87 mrad per person per year.

Of the above, 80 % of the whole was due to x-ray and 20 % was due to RI. Males contributed 62 % of the whole while that by females was 38 %. The contribution by children (persons under 15 years) was 40 % of the whole.

### 1. 緒 言

診断用X線による日本人の遺伝有意線量(Ds)への寄与は、生れてくる子供1人あたり年間38.6 mradと、著者の一部の者が入つておこなわれた文部省の班研究によつて1960年に推定した<sup>1)</sup>。今

回は、文部省の班研究が1961年に調査<sup>2)</sup>した放射線治療のうちの内部照射をのぞいた全例について、1例ごとに照射条件にしたがつてファントムによつて求めた生殖腺線量に、IBMを使用し、病気による5年生存率と余命を考慮した子供

期待数を掛けて、日本全体の生殖腺有意線量を求め、それを生れてくる子供の数で割った次式によって遺伝有意線量を求めた。

$$D = \frac{\sum_j (d_j^{(M)} L_j^{(M)} + d_j^{(F)} L_j^{(F)})}{\sum_k N_k W_k} \dots\dots\dots(1)$$

ただし

- $d_j$  : j 番目の人が照射でうけた生殖腺線量
- $L_i$  : j 番目の人が病気を考慮した子供期待数
- $W_k$  : k 年令層の人の子供期待数
- $N_k$  : k 年令層の日本人の数
- (M) : 男性
- (F) : 女性

2. 実験方法

1) X線発生装置は島津製信愛 250KV-20mA および 200KV-25mA を使用した。また、<sup>60</sup>Co, <sup>137</sup>Cs 遠隔治療装置はそれぞれ島津製 RT2000 および日立製 TS 200CA を使用した。

2) ファントームは、千葉大医学部整形外科で作成した成人、子供のギブスを基に、軟組織には M3 ファントーム (重量%で、パラフィン76.9%, Mg 22.4%, CaCO<sub>3</sub> 0.9%) を、骨には荒居考案のファントーム (重量%で、パラフィン54%, Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 38%, C 8%)<sup>3)</sup> を、また肺には密度 0.3 のコルクを用いた。

3) 成人の卵巣の位置は前面より12cm、中心線より5cm横、腸骨稜より下方5cmの位置にあるとした。子供については千葉大整形外科の決定によつた。また睾丸被曝線量測定は厚さ4~7mmの円

筒形M3ファントームを電離箱にかぶせて所定の位置につけておこなつた。

4) 線量計は電離箱式のものと同様に蛍光ガラス板とを併用した。散乱線を測定した電離箱式の前回は診断用X線の遺伝有意線量を求めたときのものと同じである<sup>4)</sup>。主ビームの入る場合は、容積1cm<sup>3</sup>のものを Colonial 線量計につけ、これを電気試験所で校正した Victoreen の線量計で比較校正して使用した。蛍光ガラスは診断用X線による骨髄線量を求めたものと同じである<sup>5)</sup>。

5) 照射区分を第1図のごとくとり、各区分内の照射はすべてその区分内の中心に主ビームがきているものとした。

6) 照射野は皮膚面で8cm×8cmとした。

7) 皮膚焦点間距離FSDは40cmとした。

8) X線管電圧は100, 150, 200, 250kV を使用し、そのときの濾過板はそれぞれ Cu 0.3mm+Al 0.5mm, Cu 0.5mm+Al 0.5mm, Cu 1.0mm+Al 0.5mm, Cu 1.5mm+Al 0.5mm を使用した。<sup>60</sup>Co は3000Cで0.5mmCdの濾過板、<sup>137</sup>Csは2000CでCu 2mm+Cu 0.25mmの濾過板を使用した。

3. 線量算出方法

1) 線量計にあらわれたレントゲン値を吸収線量に換算するf値として、線量計が主ビーム中に入る場合は0.96を、散乱線では0.93を使用した。

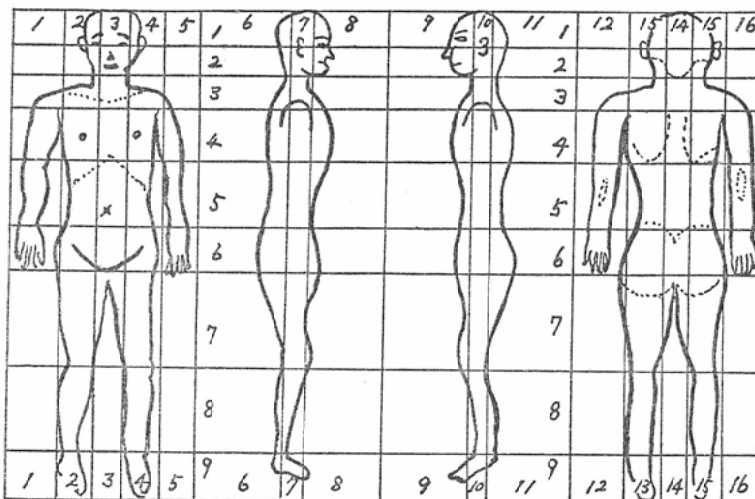


Fig. 1 Classification of the parts of therapies

Table 1. Gonad dose due to stray radiation (adult, ≥15 years old: female)  
( $\mu\text{R}/\text{R}_{\text{air}} \cdot \text{cm}^2$ )

Tube Voltage	Site	2, 6, 9, 13	2, 6, 9, 13	2, 6, 9, 13	4-1, 12	4-2
		1-3, 7, 10, 14 4, 8, 11, 15	2-3, 7, 10, 14 4, 8, 11, 15	3-3, 7, 10, 14 4, 8, 11, 15	5, 16	4
100kV		0.32	0.41	0.65	1.90	9.10
150		0.83	1.05	1.65	4.55	20.3
200		1.50	1.80	2.85	7.70	30.5
250		1.98	2.40	3.70	9.75	38.0
cobalt		1.00	1.20	1.50	4.00	15.0
	4-3		6, 9 4-7, 10 8, 11	4-13 15	4-14	5-2 4
100kV		5.2	6.00	8.30	4.50	210
150		12.3	13.4	18.8	12.3	415
200		20.3	21.0	30.0	21.0	660
250		25.3	26.6	38.3	27.2	850
cobalt		12.0	13.0	15.0	12.5	220
	5-3		5-6 11	5-7 10	5-13 15	5-14
100kV		175	200	230	125	55
150		315	380	445	298	155
200		470	525	690	510	320
250		575	675	888	750	478
cobalt		165	195	210	220	140
	6-3		6-6	6-8 9	6-14	2, 10 7-4, 13 7, 15
100kV		480	405	235	200	5.60
150		925	760	440	410	14.9
200		1300	1170	620	710	25.5
250		1530	1450	720	950	33.0
cobalt		450	420	250	430	8.8

2) Stray radiation による生殖腺線量は、照射野内の線量は均一に分布していると仮定して、2 節の方法で照射して求められた生殖腺線量を、64 (8 cm × 8 cm) で割って 1 cm<sup>2</sup> あたりの線量とし、さらにそのときの空中線量で割って 1 R 1 cm<sup>2</sup> あたりの線量として求めた。そのうち成人女子の値を第 1 表に示す。

生殖腺線量は照射野に比例すると仮定した。FSD が異なっても人体内に入る volume dose はほとんど変化せず、主ビームの周辺が生殖腺に非常に近いときとか主ビームの一部が体外に出るときのほかは散乱線の総線量は変らないはずであるから、常に FSD40cm の値を使用した。また、容器からの漏洩線線量は厳密には照射野に関係なく F

Table 2. Gonad dose due to direct beam (adult, ≥ 15 years old;) (mR/cm<sup>2</sup>)

Tube Voltage	Female			Male			
	Site	6-2 4	6-13 15	6-6 7	7-3	7-7 10	7-14
kVp 100		130	78	56	800	30	300
150		203	133	112	890	76	450
200		290	250	200	940	150	580
250		400	330	295	965	250	690
cobalt		800	720	680	1000	600	900

SD によって変化するはずであるが、今回はこの点を無視した。

3) 主ビームが直接生殖腺にあたる可能性のあ

Table 3. Percentage depth dose of various field size, at 10 cm depth (%)

Field Size	4 cm × 4 cm	5 × 5	6 × 6	7 × 7	8 × 8	10 × 10	12 × 12	15 × 15	20 × 20
X-ray	18.3	20.1	22.0	23.7	25.5	28.7	31.2	34.1	37.8
cobalt	43.8	45.0	46.2	47.2	48.1	49.7	50.9	52.5	54.7

る場合(例えば女子6-2, 6-4等)は, 照射野のいかにかわらず必ず生殖腺にあたるものとした. したがってFSD40cm照射野8cm×8cmで得た実験値(直接線線量を第2表に示す.)を利用するにあたって次のような補正をした.

i) 照射野による補正

半価層 1.0mmCu のX線および <sup>60</sup>Co の種々の照射野での, 入射線量を 100とした時の10cm深部線量を第3表に与える<sup>6)</sup>. 第3表で8cm×8cm照射野での値を1,000としたときの比率を図に示すと第2図のごとくなる.

この図でわかるように, 小照射野を除いては線量比はほとんど直線になることから, 深部線量の補正は各 case ごとに行なわないで荷重平均で出した平均照射野でおこなつてもたいした誤差にはならない.

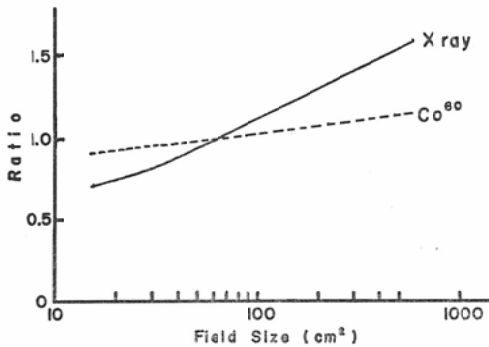


Fig. 2 Ratio of 10 cm depth dose of various field size to that of the field size of 64 cm<sup>2</sup> (8 cm × 8 cm)

一方, 女子の卵巣に直接放射線が入る場合の皮膚面における照射野の大きさとその頻度は調査表から第4表のようになる.

治療件数 1,412 の総面積は 136,961 cm<sup>2</sup>となり, 1件あたりの平均照射面積は97.0cm<sup>2</sup>となる(X線の場合も Co の場合もいずれも 100cm<sup>2</sup>と

Table 4. Frequency of field size

Field Size S <sub>i</sub> (cm <sup>2</sup> )	Frequency N <sub>i</sub>	S <sub>i</sub> × N <sub>i</sub>
2	1	2
4	8	32
6	0	0
9	17	153
12	6	72
16	7	112
25	41	1025
36	44	1584
48	168	8064
64	186	11904
72	29	2088
80	128	10240
100	479	47900
120	78	9360
150	126	18900
225	69	15525
400	25	10000
> 400	0	0
Σ <sub>i</sub>	1412	136961
ΣS <sub>i</sub> N <sub>i</sub> /ΣN <sub>i</sub>		97.00

64cm<sup>2</sup>に頻度の山があり, 平均照射面積もほとんど差がない.). すなわち正方形の照射野とすれば1辺は9.85cmとなる. したがって, 第2図から, 吸収線量に対する照射野の補正としてX線では 1.111Co では 1.028を得る.

ii) FSDによる補正

焦点から a cmの所の線量と (a+10)cm の所の線量の比 fa は, 距離の逆自乗法則が成り立つとすれば, 一般に a<sup>2</sup>/ (a+10)<sup>2</sup>となる. すなわち, fa=a<sup>2</sup>/ (a+10)<sup>2</sup>いま, K=fa/f<sub>40</sub>として種々の距離のKの値を示すと第5表のようになる.

一方調査表から, 表在治療, 深部治療, RI治療におけるFSDの頻度は第6表下値のごとくなる.

Table 5. Ratio of 10 cm depth dose with various F.S.D. to that of the 40 cm F.S.D.

a	5 cm	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
K	0.17	0.39	0.69	0.88	1.00	1.09	1.15	1.20	1.23	1.27	1.29

Table 6. Frequency of F.S.D. and correction value of the frequency due to E.S.D.

	F S D	≤ 5 cm	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100 ≤	$\sum_i$	$\sum N_i / \sum F_i$
Surface Therapy	$F_i^*$	78	30	167	553	403	76	6	1	0	12	0	1326	0.857
	$N_i^{**}$	13.3	11.7	115.2	486.6	403	82.8	6.9	1.2	0	15.2	0	1135.9	
Deep Therapy	$F_i^*$	0	1	46	2378	3166	1780	638	12	0	0	6	8027	0.995
	$N_i^{**}$	0	0.4	31.7	2092.6	3166	1940.2	733.7	14.4	0	0	7.7	7986.7	
R.I. Therapy	$F_i^*$	6	54	25	772	1569	1619	534	1339	4	0	2	5924	1.060
	$N_i^{**}$	1.0	21.1	17.3	679.4	1569	1764.7	614.1	1606.8	4.9	0	2.6	6280.9	

\*  $F_i$  : Frequency    \*\*  $N_i$  : Correction value of frequency  $F_i$

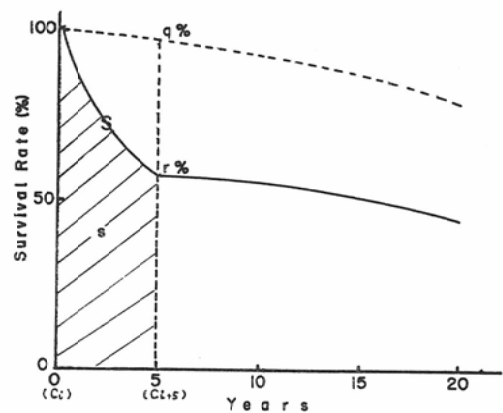
第6表のF値に第5表のK値を掛けるとFSD 40cmでおこなつたと同じ10cm深部線量率を持つ件数になる。これを第6表にN値として示す。表在、深部およびR I治療についてそれぞれ  $\sum_i N_i$  と  $\sum_i F_i$  との比を求めると 0.857, 0.995, 1.060となる。したがつてこの値をFSDの補正值として使用した。

4) 子供期待数は診断用X線による遺伝有意線量を求めたときと同じ統計表<sup>7)</sup>によつた。その値を第7表中 Normal 欄に示す。

病気の種類によつて余命が正常人より短くなることが予想されるものについては、安河内氏の分類<sup>2)</sup>にしたがつて、病気別の5年生存率rを正常, 60%, 40%, 30%, 20%, 10%, 5%, 1%に分け、その5年間の生存率は指数関数的に減少するものと仮定した。更らに生殖腺の病気の場合および生殖腺量が300 rad以上照射された場合は子供期待数を0とし、5年生存者については以後正常人と同じ余命があると仮定した。年齢層別病気別に子供期待数を算出した。

年齢iの正常人の子供期待数を  $C_i$  としたとき、第3図のごとく、正常人の5年間の生存比を面積Sで示し、病気の人の生存比をsで示すと、この病気の人の5年間における子供期待数は  $(C_i - C_{i+5}) \times s/S$  で求められる。つぎに、正常人の現在時に対する5年後の生存比をq%とすれば、5年後からの子供期待数は  $C_{i+5} \times r/q$  で求められる。したがつて、病気の人の子供期待数は次式で

Fig. 3 Method of the calculation of the mean future number of children per head



与えられる。

$$(C_i - C_{i+5}) \times \frac{s}{S} + C_{i+5} \times \frac{r}{q}$$

その値を第7表に示す。

#### 4. 結果

調査表 17,773 枚のうち電子計算器による計算に使用できた 16,643 枚から求めた、年齢別線質別の生殖腺線量および生殖腺有意線量を示すと第8, 9表のごとくなる。また、部位別による生殖腺有意線量百分率を第10表に示す。

#### 5. 考察

1) 第8~10表の値は使用できた 16,643 枚の集計であるので、日本全体の1年間の治療線量に換算する必要がある。すなわち、第9表による男

Table 7. Mean future number of children per head, classified by age class and 5 years survival rate

Age	γ*	Male					Female										
		Normal	60%	40	30	20	10	5	1	Normal	60%	40	30	20	10	5	1
0-4		2.654	1.603	1.069	0.801	0.534	0.267	0.134	0.027	2.222	1.340	0.893	0.670	0.447	0.223	0.112	0.022
5-		2.654	1.597	1.065	0.798	0.532	0.266	0.133	0.027	2.222	1.336	0.891	0.668	0.445	0.223	0.111	0.022
10-		2.654	1.599	1.066	0.800	0.533	0.267	0.134	0.027	2.222	1.341	0.897	0.675	0.453	0.230	0.118	0.028
15-		2.652	1.632	1.108	0.845	0.580	0.312	0.175	0.059	2.196	1.426	1.019	0.813	0.601	0.378	0.255	0.133
20-		2.497	1.671	1.222	0.993	0.754	0.497	0.352	0.198	1.656	1.167	0.891	0.748	0.595	0.424	0.319	0.198
25-		1.655	1.163	0.883	0.739	0.586	0.500	0.311	0.191	0.773	0.562	0.439	0.374	0.305	0.224	0.173	0.111
30-		0.808	0.580	0.448	0.380	0.306	0.270	0.169	0.107	0.271	0.204	0.164	0.142	0.118	0.090	0.071	0.047
35-		0.329	0.240	0.187	0.160	0.130	0.095	0.074	0.047	0.056	0.044	0.036	0.032	0.027	0.021	0.017	0.011
40-		0.116	0.086	0.068	0.058	0.048	0.035	0.028	0.018	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
45-		0.035	0.026	0.020	0.018	0.014	0.011	0.008	0.005	0.002	0	0	0	0	0	0	0
50-		0.011	0.008	0.006	0.005	0.004	0.003	0.002	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0
55-		0.004	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0
60-		0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
65-		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

\* γ : 5 years survival rate

Table 8. Gonad dose (rad)

	0-2					3-7		8-14		<15		≥15		total
	surface therapy	deep therapy	total	surface therapy	deep therapy	total	surface therapy	deep therapy	total	surface therapy	deep therapy	total		
male	8	38	46	16	16	32	181	1,237	205	3,992	4,197	4,197		
female	4	929	933	44	174	218	15	423	63	1,807	1,870	1,870		
total	12	967	979	60	350	540	196	1,660	268	5,800	6,067	6,067		
male	Co, Cs	2	141	143	27	105	51	103	80	8,848	8,928	8,928		
female	Co, Cs	141	105	249	105	249	103	249	249	88,679	88,928	88,928		

	X-ray	R. I.	total
male	18×10 <sup>3</sup>	9×10 <sup>3</sup>	27×10 <sup>3</sup>
female	219×10 <sup>3</sup>	89×10 <sup>3</sup>	308×10 <sup>3</sup>
total	237×10 <sup>3</sup>	98×10 <sup>3</sup>	335×10 <sup>3</sup>

Table 9. Genetically significant dose (rad)

		0—2	3—7	8—14	<15	≥15	total
male	surface therapy	20	43	480	543	1,453	1,997
	deep therapy	70	4	396	470	118	588
	total	90	47	876	1,013	1,571	2,584
female	surface therapy	9	97	32	138	263	401
	deep therapy	1	254	255	510	454	1,392
	total	10	351	287	648	717	1,365
male	Co, Cs	1	15	21	37	424	461
female	Co, Cs	69	59	52	180	388	568

	X-ray	R. I.	total
male	$2.69 \times 10^3$	$0.46 \times 10^3$	$3.15 \times 10^3$
female	$1.37 \times 10^3$	$0.57 \times 10^3$	$1.94 \times 10^3$
total	$4.06 \times 10^3$	$1.03 \times 10^3$	$5.09 \times 10^3$

Table 10. Contribution of each part of the rapies to genetically significant dose (%)

site	male	female	site	male	female	
1	0.02	0.10	2	0.08	0.23	
3	0.10	0.82	4	0.12	4.94	
5	0.12	26.67	7	3	12.65	
6	2 4	6.67		7.30	14	31.65
	13 15	4.41		6.83	7 10	5.80
	etc.	23.94		33.10	etc.	13.87
8	1.00	0.12	9	0.20	0.03	

Table 11. Contribution of each age class to genetically significant dose (%)

Age	Male	Female
0—2	3	5
3—7	2	20
8—14	33	22
15—18	7	13
19—30	42	29
31—44	12	11
45—	1	0

子および女子の総線量  $9.1 \times 10^3$  rad および  $11.2 \times 10^3$  rad にそれぞれ次の補正を行う。

- i) 調査表の枚数と計算に使用したものとの比 17.773/16.643, 即ち 1.0679倍した。
- ii) 回答率60%として10/6, 即ち1.667倍した。
- iii) 調査表は1カ月であるので1年になお12倍

Table 12. Mean future number of children per head of patient

Age	Male	Female
—18	1.339	0.404
—30	0.388	0.083
—44	0.090	0.029
45—	0.003	0.000

した。

以上の補正を行った値を将来生れてくる子供の数  $1,249 \times 10^8$  人で割つて、遺伝有意線量として男子による寄与 0.54mrad. 女子による寄与 0.33 mrad. 計0.87mrad を得た。

この値はX線診断による遺伝有意線量の 2.3% にあたる。

2) 表在治療による寄与も比較的多く、全線量の47%になつている(第9表)。

3) 部位別に見ると、いずれも主ビームが当たった場合が最も大きく寄与しており、男子では60%以上に、女子でも50%近くになつている。

4) 第8表と第9表から線量の有意率を求めると男子の場合0.12, 女子の場合は僅か 0.006となり男女合計では 0.015となる。これは診断の場合と非常に異なる。但し子供の場合は0.87と比較的大きい。

5) 年齢層別の遺伝有意線量への寄与率は、第



11表に示すように、男子では18才までに45%、30才までに87%、44才までに99%となっており、女子では18才までに60%、30才までに89%、44才までに100%、以後は0となっている。

18才までの寄与比が非常に大きいことは放射線治療上特に考慮すべき問題と思われる。

6) RIによる寄与は約20%であるが今後この比率はもつと増えるものと思われる。

## 6. 結 論

放射線治療による遺伝有意線量を求めた結果0.87mrad となった。この値はさきに文部省の班研究で求めた診断用X線によるものの約2%にあたる。男による寄与には約60%、女子による寄与が約40%であった。

X線による寄与が80%をしめている。その中表在治療は件数が少ないのに相当大きな寄与しているのは問題がある。

女子では18才までに全寄与の60%にも達しているが、将来考慮する余地があると思われる。

(本研究は科学技術庁の放射能調査費によつた。なお、本研究に当つて種々御援助いただいた文部省研究班に感謝する。)

## 文 献

- 1) 宮川正, 他: 医学診療用放射線による遺伝有意線量に関する研究, 日本医学放射線学会雑誌, 第21巻, 565—616 (1961).
- 2) 宮川正, 他: 診療用電離放射線による国民線量について, 昭和38年度(文部省科学研究費による)研究報告集録〔放射線影響編〕, 53—57 (1964).
- 3) 荒居竜雄: 硝子細桿線量計による線量推定, 日本医学放射線学会雑誌, 第23巻, 753—772 (1963).
- 4) 橋詰雅, 他: 放射線に対する Critical Organ の防護方法の研究(日本人の医学診療用放射線による遺伝有意線量の測定), 放射線医学総合研究所年報(昭和35年度).
- 5) 橋詰雅, 他: 診断用X線撮影による骨髄線量の推定, 日本医学放射線学会雑誌, 第24巻, 1087—1093 (1964).
- 6) British Journal of Radiology, Supplement 10 (1961).
- 7) 厚生省昭和31年度人口動態統計表.