医療放射線による国民線量とその問題点

(放射線医学総合研究所) 橋 詰 雅

医療放射線による国民線量は早くから問題になっており、日本の値は前後3回にわたって国連科学委員会に報告されている。最近の値は、遺伝有意線量が 27.5 mrad/person/yr, 白血病有意線量が約 400 mrad/person/yr となっている。この値は他の人工放射線に比較すれば桁違いに高い値であり、たとえそれが病気発見、治療の利益はあるとしても、多くの問題を含んでいる。本稿はこれらの問題を取り上げ、国民線量の実態と将来の医療被曝のあり方の要望を書いたものである。

国際放射線防護委員会は早くから放射線の許容量について検討し、多くの勧告をしており、1950年には1週当たり300 mrem 以下と勧告している。しかし医療被曝については、その利益と国情による差等を考慮して、自然放射線と共に勧告値からはずされている。しかし、その重要性については識者の間では早くから痛感されていた。その現れとして、1956年国連科学委員会でレントゲン診断時の生殖腺線量が問題になり、各国にその測定依頼が出された。当時日本の代表は日赤の故都築先生であった。帰国後直ちに日本医学放射線学会の総務理事樋口教授(後に初代放医研所長)を通して、当時学会の災害委員をしていた著者に、1957年の国連の委員会までに何らかの資料を提出するように伝えられた。

I. 試験的線量推定

生殖腺線量の測定に当たって問題は2つあった。その1つは撮影時間が非常に短いうえ、主線束が生殖腺に入らず、散乱線の場合には、線量が微量であることである。例えば、胸部撮影では曝射時間は $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{50}$ secで、生殖腺線量は10 μ R 程度と予想された。しかも、電離箱の容積はほぼ10 cm³ 程度にしなければならなかった。当時市販のサーベイメータの感度は500 cm³ の電離箱を使って、フルスケール10 mR がやっとといった程度であったので、その困難さは想像できよう。問題点のもう1つは、男性の場合は睾丸が体外にあり測定しやすいが、女性の場合は卵巣が体内にありその測定は容易でないことである。今ならば適当なフェントムがあるが、当時はまだそのようなものは得られなかった。そのため、まずこれらの2点を解決しなければならなかった。

第1の測定器の問題は、当時著者は信州大学にいた

が、その鈴木茂雄技官(現在、信州大中央放射線部副部長)の協力を得て、東芝の真空管IT4を改造し、第3グリッドを切り離し入力することによって、ほぼ目的の感度の測定器を作ることができた。第2の問題は、新鮮な女性死体を得ることであった。当時は交通事故が少なかったもので、これがほとんど得られず、そうかといって長い間病気で焦弊した患者では標準体にならないので、1年間にやっと3体しか測定できなかった。それでも一応、各種撮影時における生殖腺線量の測定ができたので、その値と年間フィルム使用量とから、1年間に日本人1人が受ける平均生殖腺線量は10~30 mrem であると、1957年の国連科学委員会に報告した。都築先生の話では国連に報告された国は少なく、最も信頼されると思われるアメリカの値は、日本の10倍もあるので、日本の値は何か違ってはいないかと心配された。

II. 第1回の線量推定

1. X線診断による遺伝有意線量

1957年には放射線医学総合研究所が開所し、樋口教授が初代所長となり、著者も大学から放医研に出向した。医学関係の仕事をしていた物理学者は当時研究費が少なく困りぬいていた。そこで、放医研の江藤部長と菅原室長と相談し、日本医学放射線学会の物理学者を中心にして国民線量の推定のために、文部省に研究班を申請しようということになった。この面での菅原の才能は独特のものがあつた、その結果間もなく、宮川東大教授を班長にして班員16名からなる研究班が出来た。1957年から3ヵ年計画で初年度140万円の費用を

Population Dose from Medical Radiations and Some Related Problems, Tadashi HASHIZUME.

もらうことができた。実際に研究班が動き出すと、宮川班長は非常に意欲的に活動し、全国調査はほとんど東大で引き受け、柄川(現帝京大教授)が中心になって、統計学の増山氏のアドバイスのもとに次々と重要な資料がそろえられた。一方、測定はファントムを使用して、全国調査の結果に基づき放医研の物理研究部第3研究室で行われた。その間に班員の1人であり、国連の日本代表の1人である田島英三教授(立大)などの提案で、国連でも国民線量の一環として遺伝有意線量(D_s)の Definition が(1)式のように決まった。

$$D = \frac{\sum_j \sum_k (N_{jk}^{(F)} W_{jk}^{(F)} d_{jk}^{(F)} + N_{jk}^{(M)} W_{jk}^{(M)} d_{jk}^{(M)})}{\sum_k (N_k^{(F)} W_k^{(F)} + N_k^{(M)} W_k^{(M)})} \quad (1)$$

ここで、 N_{jk} : X線検査 j を受けた年齢層 k の人数(年間)

N_k : 年齢層 k の全人数

W_{jk} : X線検査 j を受けた年齢層 k の人が将来生むと予想される子供の数

W_k : 年齢層 k の人が将来生むと予想される子供の数

d_{jk} : 年齢層 k の人が受けたX線検査 j による生殖腺線量

(F)(M): Fは女性, Mは男性を示す。

そのためわれわれも、(1)式に従って D_s を求めることにした。当時の卓上計算機はモノローとかファシットといったもので、いま考えると大変重労働なものでしかも計算時間が遅く、1時間も計算すればクタクタになってしまった。それでも当時としては大変貴重なもので、放医研ですできるだけ動員しても5台とは集めることができなかった。東大からも常時人の応援を受けて、この計算だけで3ヵ月しかかった。その間1960年に日本医学放射線学会にも中間報告をした。最初の全国調査は抽出方法が完全でなかったため再度行われた。その結果、求められた値は撮影件数が年間3,700万枚、透視件数400万件で、遺伝有意線量は38.6 mrem (撮影、透視の寄与がそれぞれ17.4, 21.2 mrem) となった。ただ測定を担当した者としては、調査書が必ずしも完全なものでなく、照射条件が不明のものが相当あった。そのため判然としないものは、線量が多くなる方の条件で計算した点に心配があった。この値は早速国連科学委員会に報告されたが、代表の帰国後の報告では、アメリカは日本の数倍の線量を報告しており、日本の値が違っているのではないかと肩身が狭い思いをしたとのことであった。著者としては、線量が多すぎたといわれれば、上記の理由で納得できた

が、少ないといわれたので何とも答える理由がなく、ただアメリカ以外の国の値が、1日も早く出ることを待つしかなかった。一方、測定実験を直接受け持った放医研の加藤らは、生殖腺線量が照射の大きさによって非常に差の出る場合が多く、主線束が直接生殖腺に入る必要のない胸部等では、施設によって10倍、100倍はおろか中には必要な線量の1,000倍近い線量を被曝させていることに気が付いた。そのためフィルムと同程度の大きさの照射野で、日本中が撮影を行なったとしたときの遺伝有意線量を求めたところ80%も減少し、前回の調査で17.4 mremであったものがわずかに3.7 mremですむことがわかった。この結果をもとに、学会や講演会で照射野はできるだけ小さくするようにPRしたが、初めのうちはあまり関心を示されなかった。

2. 治療による骨髄有意線量

3年間続いた文部省の宮川班は、直接撮影と透視による遺伝有意線量を求めただけで終了した。引き続き白血病の誘発の原因と考えられる骨髄線量の推定をすることになり、1962年から3ヵ年計画で研究班が作られた。班会議で検討の結果、骨髄線量への寄与は診断によるものは少なく、大部分が放射線治療によるものであろうということになった。そこで、調査は宮川、安河内を中心とする東大グループが、測定は放医研があたることになったが、日本人の赤色髄の分布が不明のため、九大の橋本、名大の山田両教授の骨髄の体内分布の結果を待って測定に入ることにした。骨髄線量については、国連科学委員会もその計算方法を示していないので、班会議を再三行なって、骨髄線量(D_m)と骨髄有意線量(D_s)を(2)および(3)式で求めることにした。

$$D_m = \frac{\sum_{jk} (N_{jk} d_{jk})}{\sum_k N_k} \quad (2)$$

$$D_s = \frac{\sum_j \sum_k (N_{jk} d_{jk} L_{jk})}{\sum_k N_k} \quad (3)$$

ここで、 D_m : 骨髄線量

D_s : 骨髄有意線量

N : 治療を受けた患者数

d : 治療を受けたときの骨髄線量

j : 治療の種類別

k : 年齢層

L : 余命因子

全国調査は放射線治療装置をもつ全病院について行われ回答率は約65%であった。一方、赤色髄の体内の

分布は橋本らから貴重な資料が提出された。生殖腺と異り骨髄は全身の骨の中に分布しているため、測定点を30箇所にする必要があった。したがって(2),(3)式の d の値は、次式のように各測定点の値(D_i)に、その点が代表できる骨髄線量(M_i)を掛け合せて合計した。

$$d = \sum_i D_i M_i \quad (4)$$

1回の治療に30点の測定値を出す努力は大変なものであったが、当時研究班員でなかった放医研の多くの研究者の好意ある応援を得て、どこの国でも求めることのできなかつた骨髄線量(d_{ik})を求めることができた。 D_m , D_s については原爆調査委員会(ABCC)の協力を得て、電子計算機を利用して求めた。 L^* (余命因子)は安河内が苦心して病気別に推定した**。その結果は1965年ローマの第11回国際放射線学会に宮川班長から報告された。それによれば1962年において約84万回の遠隔治療(Beam)が行われ、骨髄線量(D_m)として220 mrem、骨髄有意線量(D_s)として79 mremとなった。

3. 医療放射線によるその他の国民線量

文部省の研究班は6年間続いて終了したが、診断における骨髄線量等は国民線量としては少ないかもしれないが、推定しておく必要のあるものが多く残されていた。やむを得ず放医研で科学技術庁の放射能調査費の援助を受けて続けることにした。診断については骨髄線量、治療については遺伝有意線量が主なものであり、そのほかに密封小線源(Bracky)による治療が考えられた。これらの調査は、班研究で集めた資料を用いれば線量測定だけをすれば計算できるはずである。そのほか歯科については村井(東京医科歯科大学教授)が全国値を推定しており、非密封放射性同位元素については宮川班に引き続き文部省の研究班として阿武(鳥取大教授)班が出来、ここで推定された。これを総合したものを Table 1 に示す。

この表でわかることは、診断による骨髄有意線量が初め予想した値に比較して非常に大きいことである。これらの結果から、医療用放射線によって遺伝有意線量は約 40 mrad、骨髄有意線量は約 200 mrad であることがわかった。

4. 放射線作業等者の被曝

このほか、放射性同位元素(R. nuclide)を使用している施設の放射線作業者の線量と周辺住民の線量を科学技術庁の放射能調査費の援助によって、1966年と67年の2年間にわたり調査した結果、放射線作業者は

Table 1 Annual frequencies, GSD† and LSD† of medical irradiation (1st survey) (mrad/person/yr)

		No. of cases	GSD	LSD	Date of survey
Diagnosis	Radiography	3.7×10^7	17.4	4.5	1959
	Photofluorography	4.3×10^7	0.05	15.5	1964
	Fluoroscopy	4.8×10^6	21.2	90.4	1959
	Subtotal		38.65	110.4	
Therapy	Beam		0.87	79	1962
	Bracky	4.0×10^4	0	5.7	1962
	R. nuclide	9.7×10^3	0.07	0.65	1965
	Subtotal		0.94	85.35	
Dental		1.3×10^6	0.001	0.003	1961
Total			39.6	195.8	

† GSD : Genetically Significant Dose
LSD : Leukemia Significant Dose

約5,400人、被曝線量は 2.7×10^3 rem となった。また管理区域内にとどき立ち入る人、および周辺の非職業人の被曝による国民線量への寄与も同程度で、遺伝有意線量への寄与は作業者と同程度の0.02 mrem 前後と推定された。

Ⅱ. 第2回目の全国調査

研究上の諸問題を解決するのに手間どったため、国民線量を一通り推定するのに10年近い年月を要した。その間診断技術の進歩や対象患者の変動が予想されたので、第2回の全国調査をする必要を感じた。しかし研究費の援助がなかなかつかず、やっと科学技術庁の実態調査費、年間約20万円を得ることができたにすぎなかった。その上、医師会の了解を得ることが難しく、多くの人の尽力で、やっと調査できることになった。今回は調査から測定、計算まですべて放医研単独でやらざるを得ないことになり、放医研の負担は膨大なも

* 白血病有意係数とでもいうべきもので、その人が線量を受けてから後に、どのくらい生きられる時間があるかという因子と、線量を受けてから白血病が時間的にどのように発生するかという因子の両方に関係した値である。したがって、その人の年齢と性およびその人の病気に関係して決まる。(Table 8を参照)例えば若い人、30才以下ではこの値は1に近く、高齢者では低いことになる。

** T. HASHIZUME *et al.*: *Health Physics*, Appendix, 23, 845~853.

Table 2 Estimation of annual number of radiographs

Group of medical facilities	No. of (A) radiographs per 30 days	(B) Ratio†	(C)=(A)×(B)	Annual No. = (C)×12.17
Male				
(A) 300	274,074	6.346	1,739,000	21,170,000
(B) 20~299	238,534	14.44	3,444,000	41,920,000
(C) 19	23,497	170.0	3,995,000	48,610,000
Health center	1,404	75.64	106,200	1,292,000
Total				113,000,000
Female				
(A) 300	185,583	6.346	1,178,000	14,330,000
(B) 20~299	160,856	14.44	2,323,000	28,270,000
(C) 19	10,643	170.0	1,809,000	22,020,000
Health center	1,131	75.64	85,550	1,041,000
Total				65,660,000

† Ratio of bed number of all hospitals of a group to that of participating hospital for groups A and B, and the ratio of numbers of facilities, countrywide to participating, for group C and Health centers.

Table 3 Child expectancy and future number of children in the population by age-group

Age-group (yr)	Child expectancy	Population	Future No. of children
Male	$W_k^{(M)}$	$N_k^{(M)}$	$W_k^{(M)} \times N_k^{(M)}$
~14	2.116	$12,569 \times 10^3$	$26,596 \times 10^3$
15~19	2.115	4,929	10,425
20~24	2.066	5,101	10,539
25~29	1.566	4,551	7,127
30~34	0.633	4,113	2,604
35~39	0.143	4,051	579
40~44	0.036	3,582	129
45~49	0.011	2,518	28
50~54	0.004	2,113	8
55~59	0.0014	2,051	3
60~64	0.0007	1,723	1
65~69		1,386	
70~		1,727	
Male total		50,414	58,039
Female	$W_k^{(F)}$	$N_k^{(F)}$	$W_k^{(F)} \times N_k^{(F)}$
~14	2.020	$12,033 \times 10^3$	$24,307 \times 10^3$
15~19	2.015	4,778	9,628
20~24	1.784	5,047	9,004
25~29	0.929	4,642	4,312
30~34	0.236	4,153	980
35~39	0.036	4,021	145
40~44	0.003	3,651	11
45~49	0.0001	3,117	3
50~54		2,538	
55~		7,972	
Female total		51,952	48,390
Total		102,366	106,429

のになった。そのため調査も相当長期的な計画を立てた。ところが、たまたま当時 Oak Ridge 国立研究所の K.Z. Morgan が来日し、前回の日本の研究を非常に高く評価しており、またわれわれの今回の計画にも非常に賛同しぜひ 1 日も早く結果を出すように強く要望された。また、1969 年の国連科学委員会でも、1971 年を目標に第 2 回目の国民線量の集計をしたいとの依頼があったため、研究費の援助の有無に関係なく第 2 回目の調査のピッチを上げることになった。

1. 診断用 X 線による国民線量

診断用 X 線については、1968 年に準備して 1969 年に調査を行なった。ベッド数別に 3 つのグループに分けた施設の中から、無作為に抽出した約 1,000 施設を対象にして調査した結果約 70% の回答率を得た。前回同様調査表に従った照射を行い、そのときの線量を求め、前回と同様 (1), (2) 式を用いて遺伝有意線量ならびに骨髓線量を求めた。ただし、骨髓有意線量は広

島、長崎の年別の白血病発生頻度を加味し、白血病有意線量とした。国連で使用されている線量の表示は genetically significant dose (GSD 遺伝有意線量) と per caput mean bone-marrow dose (CMD 骨髓線量) のみであるが、われわれの考え方からすれば、骨髓線量はあくまでも白血病の誘発を対象に考えた線量であるから、余命の長短で同一の線量があたっても、白血病が発病する可能性は非常に異なるはずである。また原爆被曝者のデータによると、被曝後数年で最も発生し、20 年後には非常に少なくなっていることがわかっている。遺伝有意線量に子供期待率 (W) を入れて考えると同様に、白血病発生因子 (L) を加味した白血病有意線量 (LSD) を推定しなくては意味がないという考えのもとに、国連科学委員会にもこの白血病有意線量で報告した。国連では相当検討されたが、骨髓線量を提出している国がまだ少ないのと、内容的に十分な理解を得られなかったことなどから、同様な考

Table 4 Gonad dose, d_{ik} , per examination (mrad)

Type of examination	Male/yr				Female/yr			
	0 ~ 2	3 ~ 7	8 ~ 14	15 ~	0 ~ 2	3 ~ 7	8 ~ 14	15 ~
Radiography†								
1. Head	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02
2. Cervical	0.05	0.05	0.04	0.03	0.06	0.03	0.02	0.02
3. Shoulder	0.05	0.03	0.02	0.01	0.07	0.04	0.03	0.02
4. Thorax	0.27	0.05	0.02	0.01	0.37	0.08	0.06	0.04
5. Chest	1.04	1.9	0.37	0.13	0.92	2.6	1.02	0.48
6. Esophagus	0.13	0.11	0.10	0.08	0.32	0.28	0.22	0.20
7. Stomach	5.1	2.9	1.7	1.3	17	15	8.1	15
8. Gall	2.8	5.0	0.48	0.82	17	15	8.7	6.8
9. Abdomen	20	31	47	67	28	41	54	67
10. Intestine	36	54	89	160	31	53	68	79
11. Dorsal	0.37	0.29	0.21	0.13	1.11	0.15	0.14	0.13
12. Lumbar	32	14	20	26	15	42	69	80
13. Lumbo.	46	102	20	350	18	40	76	120
14. Pelvis	44	86	210	460	16	34	67	110
15. Urography	27	11	11	10	15	26	43	56
16. Bladder	45	89	180	580	17	37	73	95
17. Pelvimetry								230
18. Hystero.								101
19. Obstetric								230
20. Hip	20	58	130	230	6.1	16	34	58
21. Femur	19	40	70	120	2.9	3.7	5.3	6.8
22. Lower leg	1.9	3.4	5.7	10	0.21	0.30	0.42	0.52
23. Tomogram	2.9	2.1	1.3	1.1	—	20	15	7.5

† X 線直接撮影

えは必要であることに大部分の委員が賛成しながらもまだ採用になっていない(保健物理の最も権威ある雑誌である *Health Physics* に投稿した論文については、白血病有意線量についてのわれわれの考え方は何のコメントもなく掲載された)。年間のX線撮影件数を **Table 2** に、子供期待率を **Table 3** に、また1回の撮影で受けた生殖腺線量を **Table 4** に示す。これらの値を使って(1)式により計算した遺伝有意線量を **Table 5** に示す。透視、間接を含む診断全体の値は **Table 6** のようになる。

この結果を要約すれば、直接撮影 18,000 万枚、透視件数 1,700 万件、間接撮影 6,600 万件で、それによる遺伝有意線量はそれぞれ 15.2, 10.5, 0.8 mrad、の計 26.5 mrad である。また1回の撮影による骨髓線量を **Table 7** に、また白血病発生因子を **Table 8** に示す。これらの値を使って(2)式によって求めた白血病有意線量は **Table 9** のようになる。この結果を要約すると、白血病有意線量はそれぞれ 33, 112, 24 mrad の計 169 mrad となる。なお骨髓線量はそれぞれ 36, 126, 27 mrad の計 189 mrad であった。

2. 治療用放射線による国民線量

治療用放射線については1970年に準備し、1971年に調査をした。 ^{60}Co 遠隔治療装置をもつ施設と、X線のみの遠隔治療をしている施設と、遠隔治療装置はなく Brackey 治療(Ra 針のような密封小線源)のみとところの3種類に分けて、無作為に約 400 施設を抽出し、1ヵ月間の全治療患者について調査した。その結果、遠隔治療の件数は **Table 10** のように年間 179 万回、Brackey 治療の件数は 4.5 万件、その遺伝有意線量はそれぞれ 1, 0.044 mrad であった。また、骨髓線量はそれぞれ 206, 26 mrad、白血病有意線量は 37, 4 mrad であった。

3. 非密封放射性同位元素による有意線量

1971年に医学に利用された非密封の放射性同位元素の件数は、診断が約 85,000 件、治療が約 2,000 件であっ

Table 5 Genetically significant dose by sex and type of examination (mrad/person/yr)

Type of examination	Male	GSD Female	Total
Radiography			
1. Head	0.0012	0.0004	0.0016
2. Cervical	0.0010	0.0003	0.0013
3. Shoulder	0.0007	0.0004	0.0011
4. Thorax	0.0002	0.0003	0.0005
5. Chest	0.0523	0.0709	0.123
6. Esophagus	0.0004	0.0005	0.0009
7. Stomach	0.304	1.23	1.54
8. Gall	0.0091	0.0409	0.050
9. Abdomen	0.424	0.266	0.690
10. Intestine	1.07	0.453	1.52
11. Dorsal	0.0007	0.0005	0.001
12. Lumbar	0.844	0.884	1.73
13. Lumbo.	1.96	0.255	1.30
14. Pelvis	1.11	0.198	1.30
15. Urography	0.142	0.273	0.415
16. Bladder	1.18	0.116	1.30
17. Pelvimetry	—	0.250	0.250
18. Hystero.	—	0.137	0.137
19. Obstetric	—	0.674	0.674
20. Hip	2.04	0.316	2.36
21. Femur	0.361	0.0076	0.369
22. Lower leg	0.518	0.0122	0.560
23. Tomogram	0.0049	0.0205	0.0254
Total	10.02	5.21	15.24

た。使用された放射性同位元素の核種は $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{131}I , ^{198}Au が非常に多い。遺伝有意線量への寄与は診断が 0.26, 治療が 0.21 mrad の計 0.46 mrad であった。これら医療関係の線量を **Table 11** に示す。この表でわかるように、医療被曝全体で遺伝有意線量は約 28 mrad、白血病有意線量ははまだ推定できていない非

Table 6 Genetically significant dose by age and sex (mrad/person/yr)

	0~14		15~29		30~44		45~		Total	(%)
	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female		
Radiography	1.32	0.61	7.23	4.31	1.45	0.30	0.02	—	15.2	57.4
Photofluorography	0.42	0.34	0.02	0.03	0.01	0.01	—	—	0.8	3.0
Fluoroscopy	0.41	0.64	2.64	5.62	0.54	0.61	0.01	—	10.5	39.6
Total	2.15	1.59	9.89	9.96	2.00	0.92	0.03	—	26.5	100
(%)	8.1	6.0	37.3	37.5	7.5	3.5	0.1	—	100	

密封の放射性同位元素を除いて約210 mrad であった。前回同様、診断による白血病有意線量が非常に大きい点が目につく。

4. 放射線作業者の被曝

放射線作業者について、1968年の着用していたフィ

Table 7 Mean bone-marrow dose per examination (mrad)

Type of examination	Years			
	0~2	3~7	8~14	15~
Radiography				
1. Head	4	6	9	12
2. Cervical	4	6	9	13
3. Shoulder	3	5	7	9.2
4. Thorax	6	8	14	20
5. Chest	4	5	6	7.2
6. Esophagus	26	34	42	47
7. Stomach	15	18	22	24
8. Gall	12	15	19	22
9. Abdomen	9	15	26	39
10. Intestine	12	19	30	42
11. Dorsal	18	29	47	67
12. Lumbar	19	29	42	56
13. Lumbo.	20	30	45	61
14. Pelvis	15	21	29	39
15. Urography	12	17	23	29
16. Bladder	9	12	17	22
17. Pelvimetry				83
18. Hystero.				21
19. Obstetric				65
20. Hip	8	12	16	21
21. Femur	3	3	4	4.0
22. Lower leg	0.4	0.3	0.2	0.1
23. Tomogram	23	45	57	67

ルムバッジの結果から、遺伝有意線量を推定した。作業者数および遺伝有意線量は **Table 12** のようになる。この表でわかるように、作業者数は医学関係が最も多く(27,000人で)、その他工業、研究教育、原子力関係がそれぞれ約6,000, 5,000, 2,000人で計約40,000人であった。被曝線量別の人数を **Table 13** に示す。これでわかるように、年間1 rad 以上の被曝をしている者が医療関係で約900人で一番多く、つづいて工業、原子力、研究教育関係がそれぞれ170, 30, 7人であった。遺伝有意線量への寄与は合計で0.125 mrem となった。

Ⅳ. 1, 2 回の国民線量の比較

1. 件数

X線直接撮影は第1回の調査では3,700万枚であっ

Table 8 Leukaemia significant factor

Age-group	Male	Female
0 ~ 2	0.98	0.98
3 ~ 7	0.99	1.00
8 ~ 14	0.99	1.00
15~19	0.99	0.99
20~24	0.99	0.99
25~29	0.98	0.99
30~34	0.97	0.98
35~39	0.96	0.98
40~44	0.94	0.96
45~49	0.90	0.94
50~54	0.86	0.88
55~59	0.78	0.85
60~64	0.68	0.77
65~69	0.52	0.68
70~74	0.38	0.56
75~	0.18	0.42

Table 9 Leukaemia significant dose by sex and age-group (mrad/person/yr)

Age	0 ~ 14		15 ~ 29		30 ~ 44		45 ~ 59		60 ~		Total (%)	
Sex	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F		
Radiography	0.43	0.36	5.32	2.87	7.71	4.31	5.16	3.47	1.60	1.47	32.7	19.3
Photofluoroscopy	1.71	1.65	3.33	3.34	4.01	3.52	2.64	2.77	0.76	0.88	24.6	14.5
Fluoroscopy	0.80	0.63	15.6	9.33	24.6	15.9	20.4	14.1	5.05	5.62	112.0	66.2
Total	2.94	2.64	24.3	15.5	36.3	23.7	28.2	20.3	7.41	7.97	169	100
(%)	1.7	1.6	14.3	9.2	21.4	14.0	16.7	12.0	4.4	4.7	100	

Table 10 Annual frequencies of beam therapy in Japan estimated by age class and sex

Radiations	Age class (yr)	Male	Female	Total	(%)
^{60}Co γ -rays	0~14	11,400	8,800	20,200	1
	15~29	20,100	28,800	48,900	3
	30~44	49,100	160,400	209,500	12
	45~	300,200	550,100	850,300	47
	Subtotal	380,800	748,100	1,128,900	63
Low energy X-rays (HVL 2 mm Cu>)	0~14	3,300	5,500	8,800	
	15~29	5,500	10,100	15,600	
	30~44	4,400	11,400	15,800	
	45~	28,800	63,100	91,900	5
	Subtotal	42,000	90,100	132,100	7
High energy X-rays (4~30 MeV)	0~14	3,700	3,400	7,100	
	15~29	7,000	7,700	14,700	
	30~44	15,700	40,800	56,500	
	45~	85,200	156,300	241,500	13
	Subtotal	111,600	208,200	319,800	18
High energy electrons (8~35 MeV)	0~14	4,400	2,200	6,600	
	15~29	5,700	8,100	13,800	
	30~44	14,000	33,300	47,300	
	45~	56,900	82,700	139,600	8
	Subtotal	81,000	126,300	207,300	12
Total		615,000	1,173,000	1,788,100	100

Table 11 Annual frequencies, GSD and LSD of medical irradiation (2nd survey)
(mrad/person/yr)

		No. of cases	GSD	LSD	CMD
Diagnosis	Radiography	1.8×10^8	15.2	33	37
	Photofluorography	6.6×10^7	0.8	25	27
	Fluoroscopy	1.7×10^7	10.5	112	126
	R. nuclide		0.24		
	Subtotal		26.7	169	189
Therapy	Beam	1.8×10^5	0.98	37	210
	Brackly	4.5×10^4	0.044	4	
	R. nuclide		0.21		
	Subtotal		1.2	41	210
Total			27.9	210	399

たものが、第2回ではその5倍近い18,000万枚となった。その内訳をみると、その増加の最も激しいのは19ベッド以下の小病院、開業医で、実に10倍近い撮影枚数になっている。また、1件当りの平均撮影枚数を **Table 14** に示す。最も多いのは胃で平均8.6枚となっており、全撮影の件数は6,400万件となる。これを外国の件数と比較したものを **Table 15** の6欄に示す。アメリカ、オランダに比較すれば日本はやや少ないが、イギリス、ニュージーランド、フィンランドに比較すると2倍近い。タイは非常に少ないが、これは医療に関しては他の国と同列に考えることはできないだろう。

間接撮影については45%程度の増加があるが、特に問題と思われるのは第1回目になかった消化器が、第2回目に200万件あり年とともに増加の傾向があることである。

透視は第1回は胸部も多かったのが、第2回では消

Table 12 Mean annual dose equivalent and genetically significant dose equivalent

Type of radiation work	Number of workers		Mean annual dose equivalent (mrem)	Genetically significant dose equivalent(mrem)	
	Surveyed	Monitored		Surveyed	Monitored
Medical diagnosis therapy	14,625	27,124	377	0.044	0.082
Industrial	4,298	5,887	291	0.024	0.032
Research and educational	1,073	4,698	88.6	0.0012	0.0053
Atomic energy	2,135	2,200	125	0.0054	0.0056
Total	22,131	39,909		0.075	0.125

Table 13 Number of workers in selected dose ranges

Dose range (mrem)	Medical	Industrial	Research and educational	Atomic energy
~10	2,930 (20.0%)	2,554 (59.4%)	745 (69.4%)	1,328 (62.2%)
10~99	4,876 (33.3)	991 (23.1)	253 (23.6)	373 (17.5)
100~499	4,539 (31.0)	443 (10.3)	56 (5.2)	350 (16.4)
500~999	1,368 (9.4)	145 (3.4)	12 (1.1)	54 (2.5)
1,000~1,999	587 (4.0)	100 (2.3)	6 (0.6)	25 (1.2)
2,000~2,999	168 (1.1)	23 (0.5)	—	5 (0.2)
3,000~3,999	67 (0.5)	13 (0.3)	—	—
4,000~4,999	39 (0.3)	7 (0.2)	—	—
5,000~5,999	21 (0.14)	6 (0.14)	1 (0.09)	—
6,000~6,999	7 (0.05)	6 (0.14)	—	—
7,000~7,999	8 (0.05)	3 (0.07)	—	—
8,000~8,999	1 (0.007)	2 (0.05)	—	—
9,000~9,999	1 (0.007)	—	—	—
10,000~	13 (0.09)	5 (0.12)	—	—
Total	14,625 (100)	4,298 (100)	1,073 (100)	2,135 (100)

化器に比較して非常に少なくなっている。全体としては第1回の約4倍の増加を示している。

2. 遺伝有意線量への寄与

直接撮影の枚数が4.8倍になっているが、遺伝有意線量はほとんど変化していない。これは第1回の調査時には絞りを使用していない施設が相当あったが、第2回ではほとんどなくなったためと思われる。間接撮影の場合は、第1回の調査では病院で行なったものしか計算に入っていなかったため、第2回との比較はできない。透視は、第1回のときは女性の消化器の透視を全時間主線束に生殖腺が入っていると仮定したが、第2回では透視時間の $\frac{1}{2}$ が主線束に入るとしたため、大きな差ができた。第1回の場合も第2回と同様な考え方にすれば、透視全体で数mrad以下になると思わ

れる。諸外国の値と比較すると、アメリカなど日本より多い国もあるが、イギリスの8.6mradに比較すると大分多いと思われる。しかし、イギリスは1,000人当りの検査数が日本の約 $\frac{1}{2}$ であるので、もし件数を少なくすれば、いまの程度の技術でも10mrad以下にすることは困難ではない。オランダは1,000人当りの件数が日本より相当多いにもかかわらず、遺伝有意線量が日本より少ない点は注目すべきである。タイが1.25mradと非常に少ないのは、件数が少ないこともあるが、照射に当って相当注意が払われていると思われる。全体としては、間接撮影以外は件数が4~5倍になったが、技術的進歩もあって遺伝有意線量はあまり差がなかったといえる。

Table 14 Annual frequencies of exposure and examination in radiography

Type of examination	Number of exposure (A)	Exposures per examination (B)	Number of examinations (A)/(B)
1. Head (頭, 顔)	$6,714 \times 10^3$	2.4	$2,798 \times 10^3$
2. Cervical (頸)	6,827	3.3	2,069
3. Shoulder (肩)	6,651	2.0	3,326
4. Thorax (胸骨)	2,075	1.7	1,221
5. Chest (胸)	36,604	1.3	28,157
6. Esophagus (食道)	2,561	2.9	883
7. Stomach (胃)	75,578	8.6	8,788
8. Gall (胆)	4,810	3.3	1,458
9. Abdomen (腹部単純)	2,136	1.5	1,424
10. Intestine (腸)	3,168	5.0	634
11. Dorsal (胸椎)	1,510	2.1	719
12. Lumbar (腰椎)	8,129	2.7	3,011
13. Lumbo. (仙骨)	1,375	1.5	917
14. Pelvis (骨盤)	848	1.8	471
15. Urography (腎)	2,796	3.9	717
16. Bladder (膀胱)	812	1.7	478
17. Pelvimetry (骨盤計測)	128	2.0	64
18. Hystero. (子宮卵管)	204	2.4	85
19. Obstetric (妊娠胎児)	262	1.1	238
20. Hip (股関節)	2,932	2.0	1,466
21. Femur (大腿上部)	510	2.0	255
22. Lower leg (大腿下部)	9,267	2.1	4,413
23. Tomogram (脳部断層)	2,631	5.0	526
24. Others (その他)	41	2.5	16
Total	178,569		64,134

Table 15 Genetically significant doses and annual number of X-ray examinations per 1,000 of total population

	Male	Female	Foetal	Total	No. of 1,000
Czechoslovakia (1958~66)	18.7	16.4	1.39	36.5	517
Finland (1963)	4.2	8.7	3.9	16.8	334
Bavaria (1957)	8.2	5.5	0.02	13.7	
Netherlands (1967)	10.0	10.0		20.0	840
Japan (1969)	14.1	12.4		26.5	640
New Zealand (1963)	4.7	4.5	1.9	13.1	366
Thailand (1970)	0.8	0.5		1.25	37
U.K. (1964)	3.7	3.2	1.7	8.6	310
U.S.A. (1964)	45.4	8.3	0.9	54.6	750
Puerto Rico (1968)	11.2	25.0		36.2	512

3. 白血病有意線量

骨髄は全身の骨の中に分布しているので、生殖腺のように、照射野の大きさによって主線束が入ったり入らなかったりすることはほとんどないので、骨髄線量は照射野の面積にほぼ比例して増減する。そのため第1回の調査に比較して第2回は件数が4～5倍になったが、照射野が小さくなったため、骨髄線量の1.55倍でとどまった。遠隔治療の場合は、第1回と第2回で骨髄線量はほぼ同じであるのに、白血病有意線量が第2回目の方が相当少なくなったのは、余命の少ない、悪性腫瘍の人や高齢層の人の治療が増加したためと思われる。

なお、参考までに医療以外の放射線による国民線量の比較を Fig. 1 に示す。(ただし、原発は 2000 年 4,300 GW の時の予想値)

Fig. 1 Genetically significant dose and leukaemia significant dose from each radiations(mrad/person/yr)

V. 問題点

2回にわたる調査結果から、国民線量の上いくつかの問題のあることがわかった。それを大別して医師、放射線技師、メーカーおよび物理学者の側からとらえてみると、次のようなことが考えられる。

1. 医師の側からみて

(1) 撮影

諸外国に比べて件数も枚数も共に相当の数である。

確かにX線診断には大きな利益があり、病気の診断には欠くべからざるものも多いと思われる。そのため、単に被検者の被曝量と患者発見率のみを考えれば、今の10倍の線量があたっても、それによる遺伝的障害にしろ、晩発障害にしろ、問題にならないだろう。しかし、X線を使用しなくても発見できる病気も多いと思われる。したがって、X線診断の利益と障害を考えるときは、必ずX線を使用しないで他の方法によって発見できる数を除いて考えるべきである。また病気が発見できても適切な治療方法のない病気では利益とはいえない。またX線写真の鮮鋭度の問題であるが、一般的について鮮鋭度をよくするためには、増感紙やフィルムの感度が低くなる。そのため線量が多く必要となる。例えば、簡単な骨折とか脱臼とか胎児の位置などのような鮮鋭度の全く必要としないものは、できるだけ高感度の増感紙、フィルムを使用すべきである。

(2) 透視

透視時間はできるだけ短くすべきである。1 min間と2 min間では、明らかに2倍の線量の差のあることを忘れてはいけない。また、照射野の大きさは必要限できるだけ小さくすることが望ましい。照射野を小さくすることは、身体的全積分線量を減少させるのみならず、散乱線の減少によって蛍光像が鮮鋭になるという利点もある。特に下腹部の透視は、生殖腺が主線束に入るため十分な注意が必要である。また最近TV透視の普及で医師の被曝がゼロに近くなったため、透視時間の延長が目に見えて多くなって来ている。ある大学病院では、TVのために1 min当りの患者の被曝線量は数分の1に減少したにもかかわらず、1回の透視で受ける患者の線量はむしろ増加しているという報告が出されている。透視時間の増加と情報量の増加を天秤にかけ、あまり役に立たない透視は避けるべきである。患者は、医師が無用な放射線は当てていないと信じて、検査を受けている点を十分自覚して欲しい。できることなら放射線防護の実際をよく知っていることを放射線専門医の条件に加味し、放射線専門医以外の医師については、放射線取扱以上の何らかの制限をすべきである。

(3) 集団検診

日本のように1,000人当り660人も胸部の間接撮影をしている国は世界中にない。他の間接撮影の多い国と比較しても1桁違う。確かに20年前の間接撮影の結核に対する役割は大きかった。しかし、現在の日本にどれだけの貢献をしているか疑問である。まず第1段階として、外国なみに枚数を10分の1にするように考え

たらどうであろうか。次に、最近急激に増加しようとしている消化器系の集団検診である。いままでは、ほとんど40歳以上の人を対象にしていた。これは消化器系の病気(特に胃癌)が高年齢層に多いことによると思われるからであったが、最近東京都を初め多くの自治体で年齢を35歳以上にする傾向が出始めた。この年齢を5歳切り下げすることは十分に検討されてからすべきである。というのは、5歳引き下げることによって、子供期待率は女性で10倍、男性で4倍もの増加になるからである。しかも癌の発生率はずっと少ない。いわゆる「無駄弾」が非常に多くなる。そのうえ、若い人の癌の治癒率は非常に悪いことも考慮すべきである。そのほか生まれたばかりの子供に対する先天性股関節脱臼の集検がある。子供は成人に比較して何倍もの放射線感受性があることも考慮すべきである。X線検査を行う前に別の方法(例えば足の屈伸など)によって一応スクリーニングして後、問題のありそうな子供だけにすべきである。股関節の場合は胸部と異り、主線束がまともに生殖腺に入ることは明らかである。

(4) 重複

病院間はもちろん、なかには同一病院でも各科間の連絡が悪く、同じ写真を何度も撮影される。例えば胃の具合が悪くて内科に行くと、まず透視をして数枚の写真を撮影される。その結果内科では手に負えないと思うと外科に回される。ここでまた改めて透視してまた数枚の撮影が行われ、外科の先生が自信がないとまた放射線科に回される。あまり回されるので患者は心配になり、また別の病院に行く。そのとき前のフィルムを借りて行けばよいが、それもできないとまたまた同じことが繰り返される。これではまったものではない。病院はX線フィルムを中央管理し、診断する医師は初めから専門医が必ずタッチすべきであり、患者の被曝を最小限に食い止めるべきである。

また最近では、入学試験の受験に胸部間接撮影写真を付けさせる大学がよくある。受験生は数枚受験する人も珍しくないで、病院や保健所で胸部写真を数枚依頼する。本来ならば1枚撮影して、残りはそれを複写すればよいのだが、複写をするのが面倒なので、X線写真を数枚撮影してしまう。大部分の施設では、複写装置さえないのが現状である。

2. 放射線技師の立場からみて

(1) 照射野

先に述べたように照射野の線量に及ぼす影響は非常に大きい。一般に照射野を大きくして撮影すれば、フィルム全面にX線が間違いなく入り、失敗が少なくて

すむ。著者も経験したが、例えば国立の施設では毎年会計検査があり、必ずといってよいほどフィルムの枚数の検査がある。そのとき失敗が多いと何かと皮肉をいわれる。一方大学病院などでは1日に数100枚の撮影をさせられ、1枚当りの撮影時間が限られている。そんなとき暗室から失敗の写真が1枚でも出ると頭にきてしまう。しかし、やはりできるだけ照射野は限定すべきである。そのためには、正確に照射野を指示する光線を装置につけるとか、自動固定装置とか、何らかの方法で被曝を最小限におさえねばならない。国際放射線防護委員会は、フィルム面上に必ず絞りの影の入った撮影をするように勧告している。日本でも1日も早く実行してもらいたいと思う。これが正しい意味での良いX線写真の条件の1つとなる。フィルム会社の毎年やっているX線写真コンテストも、以上のことを十分加味して正しく行えば、必ずしも悪いものではないが、いまのように鮮鋭度にばかり重きをおいて、同じ患者を大線量で何回も撮影して応募するようなものは中止すべきである。

(2) 再撮影

撮影の条件、現像の失敗のため再撮影をするのは、全く無駄な放射線を患者に与えることになる。技師は十分訓練し勉強して、そのような失敗をしないようにすべきことはいうまでもない。特に心臓などの連続撮影をするときは、枚数が多いから事前に十分テストをした後始めねばならない。

(3) 遮蔽

診断に無用の部位を遮蔽するのは当然である。そのために多少時間を必要とすることは止むをえない。もし患者を遮蔽するだけの時間も取れないくらい患者の多い病院は、人員を増加してもらうべきである。そのような病院にとって、X線撮影の収入は膨大なものであるから遠慮することはない。それよりも患者の遮蔽の方がはるかに大切である。例えば前述の股関節の撮影の場合、鉛で生殖腺を遮蔽すれば男性で95%、女性でも85%線量を低減させることができる。すなわち、男の乳幼児では線量はわずか1 mrad にすることができる。このほかいくつかの被曝線量を低減させる方法について、われわれは1967年の日本医学総会のシンポジウムで発表しているが、いまだに実行されている病院は10%にも満たない。技師達の勉強を強く願うものである。

3. メーカーと物理専門家に対して

フィルムの感度や増感紙の増感率は、そのまま被曝に直接関係することはいうまでもない。最近外国に

劣らぬものも数多く見られるようになったが、なお一層の研究が望ましい。フィルムの感度については、いつも新製品が出るたびに高感度などか書いてあるが、普通写真フィルムのように ASA とか DIN に相当する表示がない。こんなごまかしは 1 日も早く止めて、正々堂々と感度を表示できるようにすべきである。X 線発生装置についてもすでに相当の水準に達していると思われるが、さらに撮影を自動化して、取扱いを容易にしたうえ、再撮影等失敗のないような装置を作るよう心掛けるべきである。メーカーには相当数の研究者がいる。これらの人は病院の物理学者や医師との協力のもとに、小線量で十分診断できるような装置を開発すべきである。また物理学者は、今までの方法などにこだわらず新しい方法で、医師の診断を容易

でしかもより正確な情報を得られるような方法を考えるべきである。1 例として、先に述べた先天性股関節脱臼の場合をとると、テレビカメラを使用し、X 線と同期させた X 線の 1 パルスで出来た画面をディスクメモリーさせ、それを再生することによって写真を作ると、わずか 0.07 mrad 以下の被曝ですむことが、千葉大の実験で確かめられている。もしこのとき、さらに生殖腺を遮蔽すれば、0.0035 mrad 以下となり、在来線量の 1/500 から 1/1,000 にすることができる。

当面日本人の遺伝有意線量を 10 mrad/yr 以下に下げることが目標とし、さらに近い将来は自然放射線の 1/100 にすることも夢ではない。医師、技師、物理学者等の一層の努力を望む次第である。

「昭和48年秋の分科会」予稿集

核燃料・炉材料分科会 (139頁)	} 3分科会合本 1,000円(〒140円)
研究発表63件, 講演 2 件	
化学・化学工学分科会 (91頁)	
研究発表38件, 講演 3 件	} 1,500円(〒140円)
保健物理分科会 (19頁)	
研究発表 8 件, 講演 1 件	
炉物理・炉工学分科会 (380頁)	
研究発表169件, 特別講演 2 件, 総合講演 2 件	
(お申込みは本会事務局へ)	