



Title	本邦X線従業員の放射線障害の見積り
Author(s)	北畠, 隆
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1964, 24(8), p. 999-1006
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/19807
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

本邦 X 線従業員の放射線障害の見積り

名古屋市立大学医学部放射線医学教室 (主任: 稲田五郎教授)

名古屋大学医学部放射線医学教室 (主任: 高橋信次教授)

北 島 隆

(昭和39年8月28日受付)

An Estimation of Radiation Injury in X-ray Technicians in Japan

By

Takashi Kitabatake

From the Dept. of Radiol., Nagoya City Univ. Sch. of Med.

(Director: Prof. G. Inada)

and

From the Dept. of Radiol., Nagoya Univ. Sch. of Med.

(Director: Prof. S. Takahashi)

In the present author's previous study, the radiation dose received by X-ray technicians in old Japan was discussed (Nippon Acta Radiol. 23: 1151, 1964). Based on these values and by using the dose-effect relationship reported by the other authors, frequency of the late radiation injuries which would possibly occurred in X-ray technicians at present or in future was estimated in this paper.

(1) Among X-ray technicians in Japan about 5 cases of leukemia are expected calculatedly in 1964, nearly 25 times of incidence of leukemia as that in general population, although the actual survey in X-ray technicians did not show any increase of leukemia in incidence. Discrepancy between the expected and actual may be produced by inaccurate survey such as a loss or omit of leukemia cases in X-ray technicians.

(2) About 2.8 times of skin cancer and 1.8 times of deep-seated cancer were expected calculatedly in X-ray technicians in 1964, as compared with the incidence in general population. However, the incidence of skin cancer in X-ray workers in Aichi Pref. showed about 20 times of that of general population actually. The radiation dose received by the hand in old X-ray technicians might have been more than the dose received by the whole-body.

(3) The sex ratio in offsprings of X-ray technicians at present was estimated to be the sex ratio in general population plus 0.023571. This is the same level as the actual survey.

(4) From the above three estimations, our estimated radiation dose received by the X-ray technicians may be appreciated to be reasonable.

緒 言

X線従業員は多かれ少なかれ放射線に被曝する

環境において仕事を行なっており、放射線障害をひき起こす可能性が考えられる。特に往時は現

在に較べ被曝水準が著しく高く、勤務年数の長い場合の総被曝線量は莫大なものであるに違いない。私どもは昭和32年以来、愛知県における診療X線技師についての諸種の調査研究を行なつており²⁾、また最近過去における本邦X線技師の被曝線量の推定を行なつた³⁾。本論文では、その推定線量をもとにし、過去においてこの程度のX線被曝を受けたX線技師の集団では、どのような放射線障害が期待または予測されるか、またそれらが、現実に発表されている成績と一致しているかどうか、などの問題を扱いたいと思う。

過去における被曝線量の推定

詳細は別報のごとくである³⁾。すなわち過去におけるX線従業員の被曝線量の大小を左右する因子は、X線防護への関心と注意力、フィルムの感度、増感紙の感度、制御卓子の防護程度、X線管球の防護程度、およびX線作業量の6つであると考へ、これらの各因子にもとづく補正乗数を現在の被曝線量に乗じて、過去の各時代の被曝線量を求めた。

このようにして求めた被曝線量については、その後1, 2の疑問点が生じた。すなわち、第1に、この推定の基礎となつた現在の被曝線量は荒川の成績であるが⁴⁾、これは昭和37年1カ年間の6457名のフィルムパツチ法による測定結果である。この成績から現在の平均被曝線量を求めるために、私どもは始め單純に算術平均をとつて、平均線量0.45 r/y と算出した。しかしこの6457名の

被曝線量は、ほぼ対数正規分布の度数分布を示しており、最頻値は0.3 r/y 以下の点にある。かかる分布を示す場合の代表値は、幾何平均を求める方がむしろ合理的である⁵⁾。したがつて、現在の平均被曝線量を幾何平均である0.31 r/y と定め、この値を採用するように今回は考え方をあらためた。

第2の疑問点は、上記6つの乗数を0.31 r/y に乗じた場合、1921年以前の線量は12000 r/y 以上となることである。私どもがいま推定しようとしている線量は、特別に大線量を受けた技師についてではなくて、大部分の平均に近い被曝をうけた場合の障害についてである。そこで、年間線量が12000r であるような慢性被曝をうけた場合においても、人間は生存できるだろうかという疑問が生じてくる⁶⁾。年間線量が12000r ほどの大量となつたのは、上記6因子をそれぞれ独立した因子と考へたことや、各因子による補正乗数が、根拠があるとはいつても、かなりの想像が入つての上で求められた結果であるからであろう。しかし一方、人間がどの程度の量の慢性照射に耐えられるかについての報告はまつたくない。そこで、ここでは、ひとの急性一時照射の際の、全員がかろうじて死亡をまぬがれうる線量を150r と仮定し、これにStrandqvist や Andrews の提唱している分割照射の場合の回復の考へ方、 $D = kT^n$ の実験式をあてはめて計算すると⁷⁾、一時照射の150r は、1年間の連日分割では、同一効果がほぼ900r で期待されることになる。このような場合にStrandqvist の実験式を適用することについては、Strandqvist の提案は局所照射による局所組織の損傷であるのに対し、私どもの場合は全身照射であつて、指標もひとの死亡をとつている。また照射のし方は、Strandqvist は高線量率短時間照射のくり返しであるのに対し、私どもは低線量率長時間照射であるなどの点から、はなはだ冒険であり、それだけに疑問視するむきもあるかも知れない。しかし他にはこの種の考へがないので一応この考へ方を採用し、過去におけるX線技師は平均的には最高900 r/y の被曝があつたものとして、いわゆる生物学的な補正を行なつた訳

第1表 過去における本邦X線従業員の推定被曝線量

年 代	推定年間被曝線量 (r/y)
～1921 (～大10)	900
1922～1926 (大11～昭元)	680
1927～1930 (昭2～昭5)	520
1931～1935 (昭6～昭10)	350
1936～1940 (昭11～昭15)	240
1941～1945 (昭16～昭20)	90
1946～1953 (昭21～昭28)	9.30
1954～1957 (昭29～昭32)	1.55
1958～ (昭33～)	* 0.31

* 印は実測平均値

第2表 愛知県X線技師の年令と経験年数の分布（昭和38現在）

経験年数	0～5	6～9	10～17	18～22	23～27	28～32	33～36	37～41	42～45	合計	平均経験年数
昭38年の年令	昭 33 昭 38	昭 29 昭 32	昭 21 昭 28	昭 16 昭 20	昭 11 昭 15	昭 6 昭 10	昭 2 昭 5	大 11 大 15	大 7 大 10	合計	平均経験年数
	20～24	27									
25～29	21	14	1							36	4.8
30～34	6	10	40							56	11.2
35～39		5	29	22	2					58	15.8
40～44		1	10	19	16					46	20.1
45～49			6	14	19	6				45	22.6
50～54			6	7	8	6	2			29	23.0
55～59			3	4	4	5	1	1		18	24.6
60～64				1	2	3	1		1	8	29.5
65～69				1	1			2		4	30.7
70～74								1		1	39.0
合計	54 (16.5%)	30 (9.2%)	95 (29.0%)	68 (20.7%)	52 (15.9%)	20 (6.1%)	4 (1.2%)	4 (1.2%)	1 (0.3%)	328 (100.1%)	16.0
平均年令	25.1	30.8	37.4	43.8	47.2	52.2	55.7	65.0	62.0	39.4	

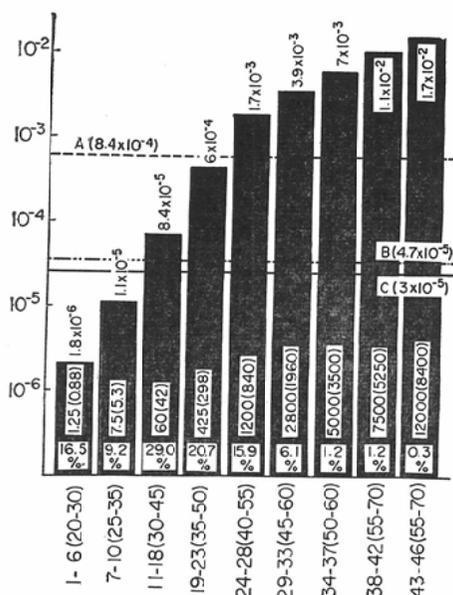
である。このようにして得られた過去のX線技師の被曝線量の推定の最終的な数値の詳細は別に述べてあるが⁸⁾、その要点は第1表にかかげてある通りである。

白血病

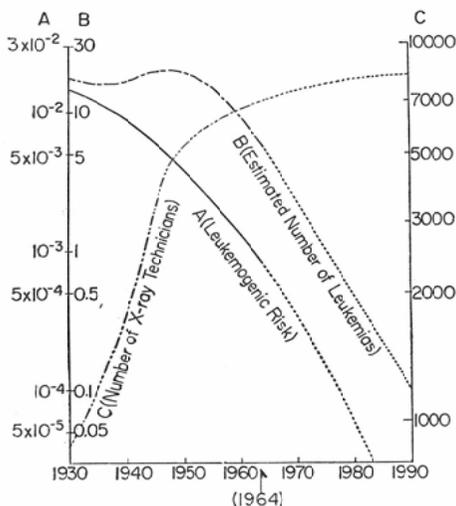
ある集団の被曝線量が判つていて、それをもとにして起こりうる障害の見積りを行なうには、他の方法によつてすでに線量効果関係にある程度の推測のついている障害でなければならぬ。放射線による白血病の誘発は原爆生存者、米国の放射線医、および良性疾患の照射後の患者などで調べられ⁹⁾、これらをもとにして Lewis は放射線による白血病誘発確率を1年間につき1r あたり、 $1 \sim 2 \times 10^{-6}$ と算定し¹⁰⁾、Hempelmann は $0.3 \sim 6 \times 10^{-6}$ と考えた¹¹⁾。白血病発生の線量効果関係については、Brues などから強い批判があるもの¹²⁾、ここでは直線関係にあるものとし、かつ限界線量は存在しないものと仮定しよう。また誘発確率は Lewis と Hempelmann の中間をとり、年間1r あたり 2×10^{-6} とすると仮定する。この値は現今国連科学委で承認されているものと同一水準である¹³⁾。

白血病誘発に関係する線量は、発病前にうけた全線量と考えられるので、勤務年数の長短に関係

がある。そこでいま勤務年数が1～6年の群を考えると、この群の人は1958年以降にX線業務に就業しているので、被曝線量は0.31 r/y で、総線量は0.3rから2rの間にある。いまこれを平均1.25 r とみなそう。白血病誘発に関与するのは骨髄のうけた線量であると考えられているが¹⁴⁾、山田によると体内の骨髄の深さは0.5～15cmのところ分布しており、多くは1～6 cmで、その平均はおおむね3～4 cmと考えるとよさそうである¹⁵⁾。X線従業員は60～200 kVp のあらゆる線質をうける可能性があるが、診断用X線を主に被曝したと考え、70～80 kVp 程度のX線を被曝するものもつとも多いと考えれば、3～4 cmの深さにある骨髄はおおむね1.25rの70%程度、すなわち0.88rad程度の被曝をうけていると考えてよい。これに上記の誘発確率の $2 \times 10^{-6}/r$ をあてはめると、勤続年数1～6年の群では1964年における白血病誘発確率は 1.8×10^{-6} となる。同様にして他の勤務年数の群についても計算すると第1図の通りとなる。本邦における一般人口の白血病発生率を 3×10^{-5} の程度とすると、勤務年数10年以下のX線従業員における誘発発生率はそれより低いこととなる。勤務年数38年以上の群の誘発率は 10^{-2} の水準になり、自然発生率の約1000倍ほどになる。



第1図 X線技師の1964年の白血病発生の予測縦軸は白血病発症率、横軸は勤続年数、その括弧内は1964年の年齢階級。各黒柱の上方の数値は各勤続年数における発症率、下方横ひきの数字は総皮膚線量、その括弧内は骨髄総線量。%は各勤続年数者の構成を示す。Aは全X線技師の平均白血病発症率、Bは戦後始業者の発症率、Cは一般日本人の白血病発症水準を表わす。



第2図 X線技師の各年代の年間白血病発症数の推定曲線A, B, Cはそれぞれ縦軸目盛A, B, Cに対応する。Aは白血病誘発発症率、Bはその年における発症数、Cは全技師数の推定値。横軸は西暦年。

次に、現在のX線技師を1群とみた場合についての見積りを行なつてみよう。それには勤続年数ごとの構成を知る必要があるが、これに関する全国的調査成績はない。そこで愛知県エックス線技師会支部に昭和38年現在で入会中の者 328名の入会届を調べた所、昭和38年現在の年齢と経験年数の分布は第2表のごとくであつた。いま日本全国のX線技師の経験年数の分布が愛知県のそれと同じであると仮定し、第1図にあげた経験年数ごとの白血病誘発発症率を経験年数分布で荷重平均を行なうと、X線技師における誘発率は平均 8.4×10^{-4} となる。すなわち、X線技師集団の1964年の白血病発症は、ほぼ1500名に1名の割りで起こることになり、全国では5名程度の白血病が起こるだろうという見積りとなる。しかし昭和20年以降にX線従務を始めた者のみでは 4.7×10^{-5} であつて、自然発症率とほぼ同じ水準である。

経験年数の分布が現在と同じであると仮定し、同様な計算を1930, 1940, 1950, 1970および1980年の時点で行なつてみると第2図のごとくなり、1980年代に至つて始めて誘発発症率が自然発症率と同程度となる。

一方現実のデータをみるに、宮田・脇坂らの全国的調査でもX線技師の白血病数はそれ程多いものでなく¹⁶⁾、また粟冠の統計学的解析によつても本邦のX線技師集団から白血病が多発するという結果はでてない¹⁷⁾。私どもの推定と、現実のデータとのくい違いはどこに原因があるだろうか。それは、1) 私どもの推定線量は不当に多すぎるものであるか、2) 白血病の誘発における線量効果関係は直線的でないのではないか、3) 原爆のごとき高線量率一時照射や、治療の時の高線量率分割照射などの場合と、X線技師のごとき低線量率慢性連続照射の場合では白血病の起こり方が違うのではないか、4) 現実の問題として発見された症例数は真の白血病例数に較べてかなり少ないのではないか、のいずれかではないかと思うのであるが、いずれの場合においても想像をまじえない訳にはいかない。私どもの推定では年齢による白血病発症率の差を無視したが、上述のくい違いはこれよりさらに上廻るものと考えられるか

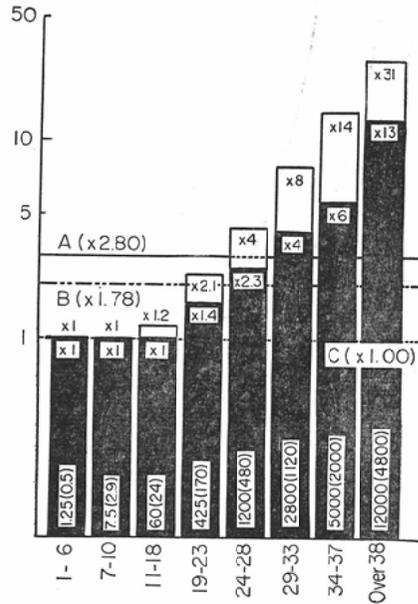
らである。

悪性腫瘍

白血病を除く悪性腫瘍が放射線によつても誘発されるであろうというデータは本邦でも高橋が提出したが¹⁸⁾、全身照射をうけた場合の線量効果関係はほとんど知られていない。原田・石田らは原爆生存者について調査を行ない、年齢ごとに癌の罹患率を算出した¹⁹⁾。癌は白血病に較べ、照射後発病までの潜伏期が長く、また年齢による本来の発癌率の差も大きいので、年齢構成や潜伏期を無視した見積りにはかなり難があると考えられる。誘発発生率そのものは、原田・石田らの場合は年齢によつて差がないので、この値を採用してX線技師の場合の推定を行なつてみよう。この場合も白血病と同じく、発癌には発病以前の総線量が影響するものとし、かつ線量効果関係は直線的であると仮定する。

原田・石田によると、広島市において爆心地から500~1499mの距離において原爆に被爆し、1958年までに生存した9661名のうち、悪性腫瘍と診断された者(白血病とリンパ腫を除く)が79例で、罹患率は 817.72×10^{-5} である。他方非被爆者(対照)の罹患率は 228.88×10^{-5} であった。この差は統計学的に有意であつて、発癌倍化線量は約400radであると推定されている¹⁹⁾。

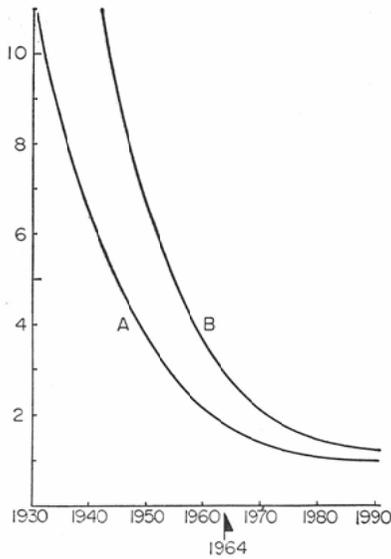
私どもの推定線量は全身被曝時の皮膚線量であるので、皮膚癌発生のためにはこの線量とそのまゝ関与すると考えられるが、胃、肺などの深在癌は、組織による減弱をうけた後の線量が関与する。過去においてもつとも多く用いられたX線の線質を70~80kVpと考え、胃、肺などの平均の深さを8cmと考えると、その深部率はおよそ40%程度であつて、例えば勤続年限1~6年の群では皮膚には平均1.25rad、体深部には平均0.5radうけていることになり、これらの線量は発癌倍化線量400rに較べるとほとんど無視できるので、この群では誘発発癌の危険性はまったくないと考えてよい。経験年数24~28年の群では皮膚には平均1200rad、体深部には平均480radうけていることになるので、誘発発癌率は皮膚癌では自然発生率の約4倍、深在癌では約2倍となる。同様に



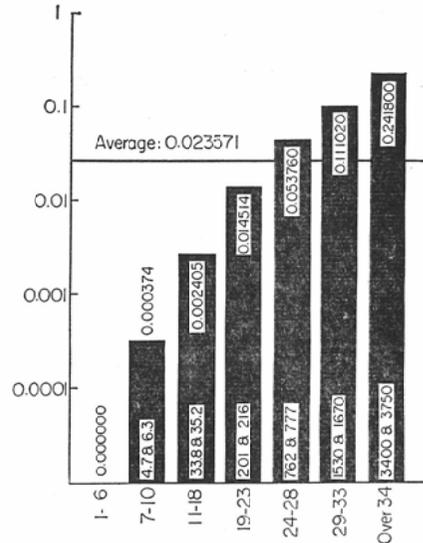
第3図 X線技師の1964年における癌発生の予測。縦軸は一般日本人の発生率の何倍起こるかという倍数、この倍数が1であれば一般と同じ発生率である。横軸は勤続年数。白柱は皮膚癌の、黒柱は深在癌の発生確率。Aは全X線技師の平均の皮膚癌の、Bは深在癌の発生の危険性を示す。黒柱下方の数字は各勤続年数における皮膚のうけた総線量、同括弧内は深在組織のうけた総線量。

して他の経験年数の群についても計算を行なうと第3図のごとくなる。X線技師を1群としてみると、1964年における皮膚癌誘発危険度は自然発生率の約2.8倍、深在癌は約1.8倍となる。これを1930年から1990年までに亘つて計算すると第4図となり、白血病に較べると発生危険度はかなり低いものとなる。

これを現実のデータと比較するに、私どもの行なつた愛知県のX線技師について調査では、昭和8年から昭和38年までの31年間に皮膚癌で死亡した者2名、他の悪性腫瘍で死亡した者5名である²⁰⁾。この31年間の技師数はおおよそ5000人年と推定されるので、皮膚癌および他の癌の発生率は人口10万あたり、それぞれ40および100程度と計算される。昭和35年における本邦の悪性腫瘍死亡率は人口10万あたり126とされているので²¹⁾、深在癌についてはほとんど発生増加はみられな



第4図 X線技師の各年代における癌発生推測値。
縦軸は一般日本人の発生の何倍の癌がX線技師にみられるかという倍数、横軸は年代。Aは深在癌、Bは皮膚癌を示す。危険性は年とともに減少し、1980年以降はほとんど1に近づき、誘発発生の可能性はなくなる。



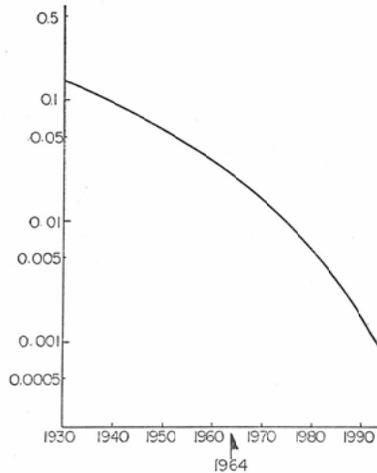
第5図 X線技師子弟の性比上昇予測値(1964年現在) 縦軸は性比上昇度、横軸は勤続年数。黒柱下方の数字の初めの値は第1子妊娠までの性腺線量、後の数字は第2子妊娠までの性腺線量の平均である。平均上昇0.023571に現在の日本人工子弟の性比を加えると現在の全X線技師の子弟の性比がでてくる。

い。また皮膚癌の頻度は全癌の1~4%程度であるので、それに較べると愛知県X線技師集団では約20倍くらいの頻度を示している。この実測値は上記の推定値よりはるかに高い。しかし実測された皮膚癌の2例はいずれも手であつて、上肢の被曝線量は私どもの推定線量をはるかに上廻っていたと考えると説明がつく。

遺伝的障害

放射線により人類においても遺伝的障害のみられることが報告されている²²⁾。しかし現在のところ線量と関係づけて調べられているのは、子弟の性比変動のみである。すなわち父親が照射を受けることによって男児出生が多くなり産児の性比が高くなつてくることが観察されている。したがつて、こゝでは前述のごとき線量をうけているX線技師の子弟の性比の推定を行なう。遺伝に関与する線量はX線始業からその子の妊娠までにうけた総線量であると仮定する。また睾丸は皮膚線量の90%を吸収すると仮定しておく。

私どもが以前愛知県のX線技師の産児状況の調査を行なつた時の結果によると²³⁾、X線始業から



第6図 全X線技師子弟の各年代の性比上昇の推定 縦軸は性比上昇度、横軸は年代を示す。1980年以降に至つて始めて、上昇度は無視できる程度となる。

第1子妊娠(出生から10カ月差引いた。以下同じ)までの平均期間は6.7年(108児平均)、第2子妊娠までは8.5年(70児平均)、第3子妊娠までは

11.3年(35児平均),第4子妊娠までは13.4年(21児平均),第5子妊娠までは15.7年(7児平均)であった。なお子弟6名以上有する者が5名で,全児数は246名である。また平均産児数は愛知県X線技師では1.9名²³⁾,田中・大倉による勤続25年以上の全国X線技師では3.03名である²⁴⁾。しかしいまX線技師全体として考えようとするものであるから,その中には勤続年数の短い者すなわち若年者も多く入っているので,私どもの成績を採用することにした。すなわちX線技師は平均2名の子弟を有し,第1子はX線始業後6.7年後に妊娠し,第2子は8.5年後に妊娠したものと仮定した。

勤続1~6年では子弟がなく,7~10年の群では第1子出生までに,平均 $(2.5 \times 1.55) + (4.2 \times 0.31) = 5.2 \text{ rad}$ の皮膚線量をうけているので,睾丸はその90%すなわち4.7radをうけている。いま北島や²⁵⁾,田中・大倉の成績から²⁴⁾,1radあたり性比が 7×10^{-5} だけ上昇するとすれば,4.7radは自然性比を0.000329だけ上昇させる。次に第2子出生までには,同様にして皮膚線量は7rad,睾丸線量は6.3radとなり,性比は0.000441上昇する。第1子と第2の数の割合は愛知県では約6:4であるので,第1,2子合計の性比上昇の割合は, $(0.000329 \times 0.6) + (0.000441 \times 0.4) = 0.000374$ となる。同様に他の勤続年数の群について計算すると第5図となる。この値は,以前の私どもの調査結果や,田中・大倉の値とまったく同一水準にあるものである。

要 約

過去におけるX線技師の真の被曝線量は知る方法がないので,別の観点から各時代ごとの被曝線量の推定を行なった(別報)。それによると1921年以前は900 r/yで,以後年とともに減少し,1958年以後は0.31 r/yとなる。このような被曝をうけているX線技師にはどの程度の晩期障害が起こりうるかについての見積りを行なった。

白血病は1964年においてはほぼ5名の発病が予測されるがこれは自然発生率の約25倍にあたる。

しかし実際の調査結果ではかゝる傾向がない。このくい違いの最大の理由は,白血病症例の発見方法に問題があるだろう。

癌では1964年の予測値は皮膚癌が一般人口の約2.8倍,深在癌が約1.8倍である。愛知県調査では皮膚癌はこれよりはるかに高率である。これは発癌部の上肢部の被曝線量が全身線量よりはるかに上廻っていたせいだろう。

遺伝的障害のうち,子弟の性比の変動は,1964年現在では一般人口の性比プラス0.023571であることが予測され,これは現実の調査結果とまったく合致する。

以上の結果から,逆に私どもの推定したX線技師の過去の被曝線量は,おゝむね正当であると考えてもよいと思う。

(本論文作成を示唆された東北大学栗冠正利教授,ご助言を頂いた東京大学増山元三郎博士,京都大学菅原努教授,東京大学鈴木維美博士のご好意に感謝する。)

文 献

- 1) 高橋信次: X線従業員のX線被曝,臨床放射線, 4:765, 昭34.
- 2) 北島隆他: X線従業員のX線被曝について, 第1~7報, 日医放会誌, 17:~19:分載, 昭33~34.
- 3) 北島隆, 岡島俊三: 往時における本邦のX線従業員の被曝線量の推定, 日放会誌, 23:1151, 昭39.
- 4) 荒川昌: 放射線従事者被曝線量のフィルムパッチによる測定結果, 日放会誌, 19:160, 昭38.
- 5) 増山元三郎: 私信, 昭39.
- 6) 菅原努: 放射線防護研究協議会における討論, 昭39.
- 7) 江藤秀雄編: 放射線医学, 医学書院, 東京, 昭34.
- 8) Takahashi, S., Kitabatake, T. and Okajima, S.: An estimation of past radiation dose received by X-ray workers in Japan, Nagoya J. med. Sci. in press.
- 9) 宮田久寿: 放射線と白血病, 臨床血液, 4:1, 1963.
- 10) Lewis, E.B.: Leukemia and ionizing radiation, Science 125: 965, 1957.
- 11) Hempelmann, L.H.: Epidemiological studies of leukemia in persons exposed to ionizing radiation, Cancer Res. 20: 18, 1960.
- 12) Brues, A.M.: Critique of the linear theory of carcinogenesis, Science 128: 693, 1958.
- 13) 塚本憲甫: 第13回国連科学委員会に出席して,

- 放医研ニュース, 7/5, 1, 昭39.
- 14) 宮川正他: 診断用電離放射線による国民線量について, 文部省研究報告集録(昭38)放編, 53~57, 昭39.
 - 15) 山田常雄: 成人造血器の体表面からの深さについて, 日医放会誌, 18: 905, 昭33.
 - 16) 都築正男他: 放射線を受けた人々に見られた白血病の統計的観察(東日本および西日本), 文部省研究報告集録(昭36)放編, 151, 1962.
 - 17) Sakka, M.: Leukemia and ionizing radiation in Japan: An epidemiological survey, J. Radiation Res. 3: 109, 1962.
 - 18) Takahashi, S. et al.: A statistical study on human cancer induced by medical irradiation, NipponActa Radiol. 25: 1510, 1964.
 - 19) Harada, T. and Ishida, M.: Neoplasms among atomic bomb survivors in Hiroshima City, ABCC Tech. Report 10-59, 1959.
 - 20) 北島隆, 小見山喜八郎: 発表予定.
 - 21) 厚生省統調部: 昭和29~31年職業別産業別死亡統計, 厚生統計協会, 東京, 昭34.
 - 22) 田中克己: 人類における放射線の遺伝的影響, 放射線遺伝学, 410, 松村・田島編, 裳華房, 東京, 昭39.
 - 23) Kitabatake, T.: Sterility, stillbirth, infant death, and sex ratio of offsprings of X-ray workers, Nagoya J. med. Sci. 23: 227, 1960.
 - 24) Tanaka, K. and Ohkura, K.: Evidence of genetic effects of radiation on offsprings of radiological technicians, Jap. J. Human Genet. 3: 135, 1958.
 - 25) Kitabatake, T.: Genetic survey of offsprings of X-ray workers, Industr. Med. & Surg. 31: 347, 1962.