



Title	医療被曝のリスク推定方法について
Author(s)	橋詰, 雅; 丸山, 隆司
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1980, 40(12), p. 1175-1182
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/16384
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

医療被曝のリスク推定方法について

放射線医学総合研究所物理研究部

橋 詰 雅 丸 山 隆 司

(昭和55年7月2日受付)

(昭和55年8月25日最終原稿受付)

Method of Risk Estimates for Genetic, Leukemogenic and Carcinogenic Effects from Medical and Occupational Exposures

T. Hashizume and T. Maruyama

Division of Physics, National Institute of Radiological Sciences, 9-1, Anagawa-4-chome,
Chiba-shi 260, Japan

Research Code No.: 302

Key Words: Risk estimation, Carcinogenesis, Genetic effects, Medical exposure, Organ
or tissue dose

Medical and occupational exposures may cause somatic effects, which are expressed in the exposed individual, and genetic effects expressed in his descendants. Nonstochastic effects cannot make contribution to harm from medical and occupational exposures except for medical exposures from radiation therapy. The risk estimates from medical and occupational exposures therefore deal with the induction of genetic effects and the induction of malignant diseases as constituting the main somatic effects. The risk factor for fatal malignancies were determined from the absolute mortality risk among survivors exposed to atomic bomb radiations in Hiroshima and Nagasaki. The resultant risk factor for fatal leukemia and malignancies was $20 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ and $165 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$, respectively. The present risk factor for fatal malignancies disagreed with the factor proposed by the International Commission on Radiological Protection.

For the risk estimate of fatal malignancies, an effective dose was proposed on the basis of the assumption that the risk should be equal whether the whole body irradiated uniformly or whether there is non-uniform irradiation. The effective dose was defined by the product of organ or tissue doses and a weighting factor representing the proportion of risk factor for a fatal malignancy resulting from organ or tissue irradiation to the total malignant factor. The risk of malignancies can be derived by multiplying the malignant significant factor by the product of the risk factor and the effective dose. For the genetic risk, a significant factor was a relative child expectancy and organ or tissue doses were gonad doses. And, for the leukemogenic risk, a significant factor was the leukemia significant factor and organ or tissue dose was mean bone marrow dose.

The present method makes it easy to estimate the risk for individuals and population from medical and occupational exposures. The variation with age and sex of risk rates for stochastic effects was discus-

sed, and the present data on risk rates were compared with the variation of risk rates recommended by the International Commission on Radiological Protection.

1. 緒 言

放射線被曝による人体への有害な影響は被曝者個人に対する身体的なものとその子孫に対する遺伝的なものとがある。国際放射線防護委員会(ICRP)¹⁾はこれらの影響を(1)皮膚の悪性でない障害、白内障などのようにそれらの重篤度が大きさと共に変わり、しきい値をもつ非確率的影響および(2)遺伝的影響、白血病や悪性腫瘍(以下、これをがんという)の発生はその重篤度でなくその影響の起こる確率がしきい値のない線量の関数とみなされる確率的影響とにわけている。医療被曝のリスクを考える場合、比較的大きな線量を付与する放射線治療を除けば、非確率的影響についてはほとんど考慮する必要がなく、確率的影響だけに着目すればよい。従って、以後、ことわりがない限り確率的影響のリスクを単にリスクという。

個人または集団の放射線被曝に起因するリスクを考えるとき、遺伝的影響、白血病およびがんの3つのリスクの総和を考える必要がある。しかしこれらのリスクはその大きさ、対象となる臓器・組織、潜伏期間などがそれぞれ異なるので、リスクの推定にあたってはそれぞれのリスクを別々に取扱わねばならない。

本論文は原子放射線による効果に関する科学委員会(UNSCEAR)²⁾、ICRP¹⁾あるいは米国の電離放射線の生物効果に関する委員会(BEIR)³⁾の報告書、さらに放射線影響研究所の疫学的調査の最新のデータ⁴⁾を用いて、医療被曝のリスク評価に必要なリスク係数を算定し、子供期待率や白血病およびがん有意因子⁵⁾を加味した比較的容易なリスクの推定法を提案するものである。リスク係数の算出方法やリスクの推定方法は前述の3つのリスクで異なるので、それぞれのリスクについて個々に議論することにする。

本論文文中にてくる主な用語を次のように定義した。

(1) 個人のリスク：放射線被曝により、将来、被曝者の子孫に起こるかも知れない重篤な遺伝的損傷、あるいは被曝者個人に起こるかも知れない致死性の白血病およびがんの確率をいい、通常は 10^{-6} で与えられる。

(2) 集団のリスク：日本国民全体といった大きな集団での放射線被曝によるリスクを考える場合に用いる。従って、被曝者を含む集団全体から将来、重篤な遺伝的損傷をもった子供が何人生まれるか、あるいは集団全体に何人が致死性の白血病およびがんになるか、その人数でリスクを表わす。

(3) 規準人：通常は誰でも生存率は1以下であるので、後述の子供期待数、白血病およびがん有意因子には年齢別に生存率の補正がなされる。規準人とは生存率が1である人をいう。

(4) 子供期待数：ある年齢層の人が子供を生みおわるまで死亡しないとしたとき、将来生むであろう子供の数で表わされ、出生児の両親の年齢別出産率を用いて親の性別、年齢別に算出される。例えば、0歳の乳児では約1.8の子供期待数をもつ。

(5) 遺伝有意因子。0歳の乳児の子供期待数を1とした子供期待数の相対比である。これも性別、年齢別に与えられる。遺伝有意因子は前報⁶⁾の相対子供期待率⁷⁾にほぼ等しい。

2. 遺伝的影響のリスク

(1) リスク係数の算定

生殖線が放射線に被曝すると遺伝子突然変異や染色体異常の起こる確率は線量と共に増大する。遺伝的影響の量的評価方法には、単位線量あたりの配偶子に予想される損傷の大きさによって定める直接法と、ヒトの遺伝病の自然発生率からリスクを定量化する倍加線量法とがある。前者は動物実験によって得られたゲノム(Genome)の中の1座位あたりの突然変異率にヒトの座位数を乗じ

て求めるものであり、後者は突然変異を起こす因子をすべて自然のままにしておき、放射線照射のみによって突然変異率を自然突然変異率の2倍に高める線量、すなわち倍加線量を動物実験から求めるものである。UNSCEARでは、高線量、高線量率でマウスの精原細胞の種々の遺伝的損傷について得られた平均値0.3Gy (30rad) を倍加線量としている²⁾。低線量、低線量率の場合は3~4倍が必要とみて、倍加線量を1Gy (100rad) としている。このように、高線量、高線量率で求めた線量-効果関係を基にして、低線量、低線量率での被曝による遺伝的影響のリスクがUNSCEARやICRPで推定されている。以下にそれらの文献のリスク係数を示す。UNSCEAR²⁾の値では、第1世代で $63 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ 、平衡状態で $185 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ としており、ICRP¹⁾は被曝者個人への影響として2世代(子と孫)を考え、 $100 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ としている。遺伝的影響のリスクは親が被曝によって受けた生殖腺線量1radあたり、その親から将来生まれてくる子供100万人あたりの遺伝的に障害をもった子供の数で与えられている。従って、将来子供を生まない被曝者では遺伝的影響のリスクはゼロであり、このリスクは被曝者が将来子供を生む確率、すなわち遺伝有意因子に関係している。規準人の遺伝有意因子は男女とも1

$$cR_p = \left\{ \frac{\sum_j \sum_k ({}_gD_{jk}^{(M)} \cdot G_{jk}^{(M)} \cdot N_{jk}^{(M)} + {}_gD_{jk}^{(F)} \cdot G_{jk}^{(F)} \cdot N_{jk}^{(F)})}{\sum_k (G_k^{(M)} \cdot N_k^{(M)} + G_k^{(F)} \cdot N_k^{(F)})} \right\} {}_gR_p \quad (2)$$

ここで、

${}_gD_{jk}$: タイプjの照射を受けたk年齢層の人の生殖腺線量、

G_{jk} : タイプjの照射を受けたk年齢層の人の遺伝有意因子、

N_{jk} : タイプjの照射を受けたk年齢層の人の数

G_k : k年齢層の人の遺伝有意因子、

N_k : k年齢層の人の数

(M)および(F)はそれぞれ、男性および女性を意味する。

${}_gR_p$ はリスク係数で、 $185 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ を用い

であるが、加齢と共に減少し女性では50歳程度でほぼゼロとなる。男性では65歳程度でようやくゼロとなる。すなわち、遺伝的影響のリスク係数は、子供期待数がほとんどゼロになるまで生きている人(規準人)のリスクである。個人のリスクを考える場合、孫まで考えリスク係数を $100 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ 、集団の場合、将来の子孫まで考え $185 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ とする。

ただし、これは低線量、低線量率での値である。X線診断では毎分100rad以上になることもあるが、ほとんどの場合線量は1rad以下であるので、放射線治療を除く医療被曝のリスク係数を個人では $100 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ とする。

(2) リスクの推定法

年齢層kの人が生殖腺に ${}_gD_k$ (rad)を受けたとき、その個人の遺伝的リスク cR_i (10^{-6})はリスク係数 ${}_gR_i$ ($100 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$)に年齢層kの人の子供期待数を規準人の子供期待数で除した値、 G_k とを乗じて求められる。すなわち、

$$cR_i = {}_gR_i \cdot {}_gD_k \cdot G_k \quad (1)$$

集団でみた個人のリスク cR_p は、1人ずつの個人のリスクを(1)式によって求め、それらを合計してもよいが、同じような被曝グループをつくり

次式によって求めることもできる。

る。{ }内は従来まで使用されてきた遺伝有意線量(GSD)とほぼ同じである。従って、集団でみた個人の遺伝的影響のリスクは、GSDに $185 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ を乗じて求められる。集団のリスクは(2)式で得た値にその集団から生まれた子供の総数を乗じて求める。

3. 白血病のリスク

(1) リスク係数

広島、長崎では原爆被爆後1~2年後に白血病が発生しはじめ、数年で発生はピークに達し、20~25年後にはほぼ自然発生に近い値に戻った。1950年から1978年までの28年間で白血病による超

過死亡率の回帰曲線から推定した致死リスクは広島で $60.2 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$, 長崎で $36 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ であった²⁾. 広島および長崎での空気中におけるガンマ線量に対する中性子線量の比は, 爆心から 1,000m のところでそれぞれ 0.53 および 0.07 である⁸⁾. 広島では長崎に比べて生物効果の大きい中性子線の寄与が大きいため, リスクが大きくなっている. 医療被曝では X, γ 線が主体となるので, 長崎でのリスクを用いることにする. 長崎でのデータは平均 335rad の被曝者グループでのリスクは $36 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ であるが, 平均の線量で 145, 70 および 20rad の被曝者グループでのリスクは, それぞれ 21, 16 および $14 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ となっており²⁾, 被曝線量と共に rad あたりのリスクは減少している. これらのリスクから外挿すれば, 被曝線量 1rad のグループのリスクはほぼ $13 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ となる. しかし, これらのデータに用いられている線量は空気中での組織カーマ (rad) であり, 骨髓線量ではない. 原爆被曝者の組織カーマに対する骨髓線量の比は, 屋外・屋内被曝者について推定されている⁹⁾. 放影研 (放射線影響研究所) での追跡調査によれば, 被曝者のほとんどが等方的に放射線を受けたと考えられる屋内被曝であった¹⁰⁾. 組織カーマに対する骨髓線量の比の平均値としてガンマ線に対して 0.69 を用いれば, 白血病のリスク係数 (白血病有意因子がゼロになるまで生きている規準人に対するリスク) は約 $20 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ である.

(2) リスクの推定法

放射線による白血病発生は骨髓の中の赤色髓の

$$L R_p = \left\{ \frac{\sum_k \sum_j ({}_b D_{jk}^{(M)} \cdot L_{jk}^{(M)} \cdot N_{jk}^{(M)} + {}_b D_{jk}^{(F)} \cdot L_{jk}^{(F)} \cdot N_{jk}^{(F)})}{\sum_k (N_k^{(M)} + N_k^{(F)})} \right\} \cdot {}_i R \quad (5)$$

ここで,

${}_b D_{jk}$: タイプ j の照射を受けた k 年齢層の人の骨髓平均線量

L_{jk} : タイプ j の照射を受けた k 年齢層の人の白血病有意因子

${}_i R$: リスク係数で $20 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ である.

N_{jk} , N_k (M) および (F) は (2) 式と同じである. { } 内は従来使用してきた白血病有意

被曝に起因するとされており, リスクの推定には骨髓平均線量 ${}_b D$ が重要な因子となる. 医療被曝のように局所被曝では, ある部分の骨髓だけが高い線量を受ける. このような場合, 骨髓平均線量は次のような仮定にもとづいて計算される.

(a) 赤色骨髓はすべて, 放射線感受性が同じである.

(b) 線量とリスクとの関係は直線的である.

(c) リスクは赤色髓の積分線量 ($g \cdot \text{rad}$) に比例する.

赤色髓は子供では手足の先まで全身に分布し, 成人では腕腿部と体幹部に分布しているとされている. 従って, 全赤色髓を部位別に区分し, ある被曝により r 番目の赤色髓 (重量 m_r) の受けた線量を d_r とすれば, この赤色髓の積分線量は $m_r d_r$ ($g \cdot \text{rad}$) であり, これをすべての赤色髓について加えれば, 全赤色髓の積分線量が求まる. 骨髓平均線量はこの積分線量を全赤色髓質量で除して平均した線量である. すなわち,

$${}_b D = \frac{\sum_r m_r d_r}{\sum_r m_r} \quad (3)$$

ある年齢層 k の人が骨髓平均線量 ${}_b D_k$ (rad) を受けたとき, 個人の白血病のリスク ${}_i R_i$ は, 白血病のリスク係数 ${}_i R$ ($20 \times 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$) と ${}_b D_k$ との積に平均寿命を加味した白血病有意因子⁹⁾, L_k を乗じて求められる.

$${}_i R_i = {}_i R \cdot {}_b D_k \cdot L_k \quad (4)$$

集団での個人のリスク ${}_i R_p$ は, 遺伝の場合と同様に被曝条件が同じ人のグループを作り, 次式によって求めることができる.

線量である. 従って, 白血病のリスクは白血病有意線量とリスク係数との積で与えられる. 集団での白血病のリスクは (5) 式にその集団の人口を乗じて求める.

4. がんのリスク

(1) リスク係数

広島, 長崎の被曝者の中から被曝後の早い時期には白血病が多く発生したが, 白血病の発生が減

少してきた昭和32～35年頃からがんのうち甲状腺がん、胃がん、肺がん、乳がんなどが発生し始め、次第にがんの超過死亡数が増加し、現在ではがんによる死亡者数は白血病のそれを凌駕している。ICRP は今後、がんの死亡者総数は現在までの2～3倍になると予想している。著者らの予想⁶⁾でも現在までの2.4倍が見込まれる。放影研で1950～1978年に集計した長崎の被曝者調査によって、放射線による種々のがんのリスクを推定した。推定にあたってはそれぞれのがんによる特性を考慮した。例えば肺がんについては次のような考え方に従った。

(a) 肺がんは男性より女性に多いというデータもあるが、有意差はないとみる。

(b) 広島での肺がんによる超過死亡数は長崎のその2.4倍である。

(c) 年齢的には中年以上に多い。

(d) 1950年から1978年までの28年間の超過死亡数の回帰直線から求めた⁴⁾、1人あたり、年あたり、ラド(カーマ)あたり(これをPYRで表わす)のリスクは $0.35 \cdot 10^{-6} \text{PYR}$ である。従って、1978年までのラド(カーマ)あたりのリスク、 ${}_{33}\text{R/K}$ は $0.35 \cdot 10^{-6} \text{PYR}$ に28(1945～1950年の肺がんの超過死亡数をゼロとする)を乗じて $9.8 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ となる。

(e) 1978年以降の超過死亡数の年次変化は前報⁵⁾と同じとすれば、今後、1978年までの死亡数の1.4倍の超過死亡数が見込まれる。最終的には、がん有意因子がゼロになるまで生きている人、すなわち規準人に対する肺がんのリスク係数は $24 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ となる。しかし、この係数の分母の線量は空気中での組織カーマ(rad)である。

原爆からの放射線によるがんとして、胃、大腸、その他の消化器、泌尿器系臓器、悪性リンパ腫、甲状腺、乳房のがんがある⁴⁾。これらのがんについても肺がんと同様の考え方に従って、1950～1978年の超過死亡数からリスク係数を推定した。甲状腺については発がん率の3%を超過死亡率とした。これらの結果をTable 1に示す。

Table 1の第1例は超過死亡数から求めたPYR

あたりのリスク、第2列は1978年までのデータから得たカーマでのリスク、 ${}_{33}\text{R/K}$ 、第3列は将来を見込んだカーマを用いたリスクを示している。

これらのがんは関連する臓器・組織の被曝によるので、リスク係数の決定には白血病の場合と同様に、各臓器・組織線量カーマに対する比率が必要である。これらの比率¹¹⁾をTable 1の第5列に示す。それらの比率で第4列のリスク係数を除して、臓器・組織線量あたりのリスク係数、 ${}_mR_r$ として第6列の値を得た。

この第6列の値は規準人に対する個々のがんのリスク係数を与える。これらを合計した値、 $165 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ はがんのリスク係数である。

しかし、男性では乳がんになることはほとんどでないので、男性のリスク係数は $145 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ となる。

(2) リスクの推定法

放射線による発がんは関連する臓器・組織の被曝に起因するので、がんのリスクを推定するにはそれらの臓器・組織の線量が必要である。しかし、がんのリスク係数が臓器・組織によって異なるので、ある臓器・組織Tの線量 D_T を全がんに対する個々のがんのリスク係数の比 W_T で荷重して求めた平均の線量、すなわち実効線量 ${}_E D$ が用いられる。

$${}_E D = \sum_T D_T \cdot W_T \quad (7)$$

${}_E D$ はICRP-26¹⁾に勧告されている実効線量に相当している。医療被曝のように局所被曝の場合にも(7)式は成り立つ。

年齢層kの個人の受けるがんのリスク ${}_m R_i$ は遺伝的影響や白血病のリスクと同様の考え方で次式によって推定できる。

$${}_m R_i = {}_m R \cdot {}_E D_k \cdot M_k \quad (8)$$

ここで、 ${}_m R$ はがんのリスク係数である。男性の場合、乳がんに対する W_T をゼロとしたので、男女どちらでも ${}_m R = 165 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ とする。 ${}_E D_k$ は年齢層kの個人の実効線量であり M_k はがんの有意因子⁵⁾である。

集団での個人のがんのリスク ${}_m R_p$ は次式によって求められる。

Table 1 Risk of fatal malignancies*.

Organ or tissue with respect to malignant disease	Absolute mortality risk (excess death) 10^{-6} PYR ^{a)}	Risk per kerma $_{33}R/K$ (10^{-6} rad ⁻¹) (1945-1978)	Risk per kerma P/K (10^{-6} rad ⁻¹) (estimated) ^{b)}	RATA ^{c)}	Risk per dose R/D (10^{-6} rad ⁻¹)	Weighting factor W _T
Lungs	0.34	9.5	23	0.75	30	0.20
Stomach	0.48	13.4	32	0.65	50	0.30
Large intestine	0.09	2.5	6.1	0.60	10	0.06
Other digestive ^{c)}	0.21	5.9	14.1	0.66	23	0.14
Bladder & urinary organs	0.13	3.6	8.7	0.63	15	0.08
Lymphatic & Hematopoietic (except for leukemia)	0.12	3.4	8.1	0.64	13	0.08
Thyroids	0.04	1.1	2.7	0.69	4	0.02
Breasts	0.23	6.4	15.4	0.71	(20)	(0.12)
Total					165	1.00
Leukemia		13.0	13.0	0.69	20	

a) after Kato and Schull (Ref. 4), PYR: per yearper rad in tissue kerma in air.

b) These values were estimated on the basis of the assumption that the total number of deaths in future including the numbers up to date will be 2.4 times as large as the number of deaths from 1945 to 1978.

c) RATA represents the ratio of organ or tissue dose to tissue kerma in air.

d) The dose means the absorbed dose in organ or tissue with respect to fatal malignant diseases.

e) Including rectum, the liver, salivary glands, the small intestine and the pancreas.

Data on fatal malignancies were obtained from the results of the epidemiological survey in Nagasaki performed by Kato and Schull (Ref. 4).

The figures in parentheses should be applied only for female.

$$mR_p = \left\{ \frac{\sum_j \sum_k ({}_k D_{jk}^{(M)} \cdot M_{jk}^{(M)} \cdot N_{jk}^{(M)} + {}_k D_{jk}^{(F)} \cdot M_{jk}^{(F)} \cdot N_{jk}^{(F)})}{\sum_k (N_k^{(M)} + N_k^{(F)})} \right\} \times mR \quad (9)$$

ここで,

${}_k D_{jk}$: タイプ j の照射によって受けた年齢層 k の人の実効線量,

M_{jk} : タイプ j の照射を受けた年齢層 k の人のがん有意因子,

N_{jk} , N_k , (M) および (F) は (2) 式と同じである. { } 内はがん有意線量といい、従来まで用いてきた遺伝有意線量および白血病有意線量と同じく国民線量の一種である.

5. 考 察

広島、長崎の原爆被爆者に関する1950から1978年までの疫学的調査結果⁴⁾にもとづき、放射線による白血病およびがんのリスク係数を推定した。その結果を ICRP-26 に勧告された値と比較すれば、白血病のリスクは両者でよく一致しているが、がんについては Table 2 の如く両者に差異

Table 2 Comparison of risk factors between the present data and ICRP's data.¹⁾

Organ or tissue	Present data	ICRP
Thyroids	$4 \cdot 10^{-6} \text{ rad}^{-1}$	$5 \cdot 10^{-6} \text{ rad}^{-1}$
Breasts	(20)	25
Lungs	30	20
Bone surface	0	5
Stomach	50	50
Large intestine	10	
Other digestive organs	23	
Bladder and urinary organs	15	
Lymphatic and hematopoietic	13	
Total	$165 \cdot 10^{-6} \text{ rad}^{-1}$ (for female) $145 \cdot 10^{-6} \text{ rad}^{-1}$ (for male: Except for breast cancer)	$105 \cdot 10^{-6} \text{ rad}^{-1}$

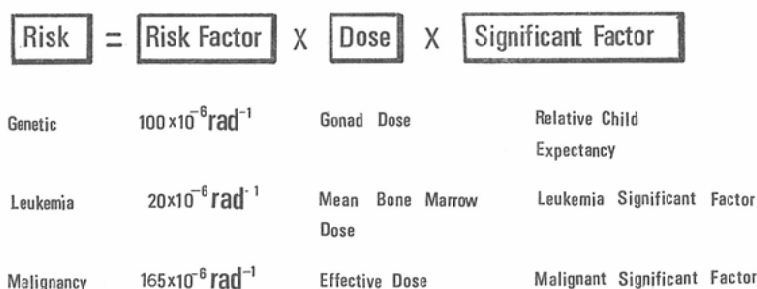


Fig. 1 Diagram of procedure for risk estimates of individual

がみられる。日本人には乳がんや甲状腺がんが少く、消化器系統、特に胃がんが圧倒的に多い。骨肉腫は ICRP では内部被曝のデータから求めたもので、広島、長崎の被曝者にはこれは全く見出されていない。従って、ここでは骨肉腫のリスクを無視した。ICRP のリスク係数は職業人に適用される平均的な値であるが、この論文に示す値は規準人に対する値であり、X線診断を中心とした医療被曝によるリスクの推定に用いるものである。

リスクの推定では、Fig. 1 に示すように 10^6 あたり、rad あたりで表わされるリスク係数に rad 単位の臓器・組織線量を乗じて、 10^6 あたりのリスクを求める。このリスクは規準人に対するものであり、一般には被曝からリスクの発現までの潜伏期間に他の原因で死亡することがあるので、それを考慮した白血病およびがん有意因子で補正し

た。

ICRP-27⁹⁾ は放射線誘発悪性腫瘍に対して、白血病の潜伏期間を10～13年、がんのそれを20～26年として求めた性別、年齢別平均リスク ($10^{-6} \cdot \text{rem}^{-1}$) を示している。Table 3 にこの ICRP の値と本論文で得た値とを比較した。がんのリスクの平均値では、ICRP の値は男性で9%低く、女性で28%高くなっている。この主な原因は日本人に乳がんが少いことによる。年齢別にみると ICRP は若年で比較的低いリスクを示しているのに、高年齢では日本人の値より非常に高くなっている。

白血病については男女とも年齢別のリスクおよび平均値は ICRP と本論文の値とがほぼ一致している。遺伝的影響については、ICRP の値は30歳以上で高くなっている。これは日本人に比べて、欧米人の出産年齢が高いためである。

Table 3 Variation of risk rates with age and sex of individual (Risk level 10^{-6})

Sex		Male						Female					
Age		20	30	40	50	60	Mean	20	30	40	50	60	Mean
Malignant	Present	119	89	59	32	11	62	141	110	80	50	22	81
	ICRP*	80	72	60	38	16	53	130	125	109	82	44	98
Leukemia	Present	20	20	19	17	15	18	20	20	19	18	16	19
	ICRP*	20	20	20	19	11	18	20	20	20	20	16	19
Genetic	Present	98	47	4.3	0.15	0	30	98	16	0.3	0	0	23
	ICRP*	97	41	7	1	0	29	89	23	2	0	0	23
Total	Present	237	156	82	49	26	108	259	146	99	68	38	123
	ICRP*	197	133	87	58	27	100	239	168	131	102	60	140

* after ICRP Publication 27⁹⁾

6. 結 論

放射線に被曝したときの確率的影響は、遺伝的影響、白血病およびがんの誘発の3つに分けて考えられる。これらのリスクは、いずれもリスク係数とおのおののリスクに対応した臓器・組織線量との積により規準人のリスクを求め、有意因子で補正することによって推定できる。遺伝、白血病およびがんのリスクの推定に必要な臓器・組織線量は、それぞれ生殖腺線量、骨髓平均線量および実効線量である。遺伝的影響のリスク係数はUNSCEARの値を用いたが、白血病およびがんについては長崎の原爆被爆者のデータを用いて、それぞれ $20 \times 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ および $165 \cdot 10^{-6} \cdot \text{rad}^{-1}$ という値を推定した。有意因子については前報⁹⁾の値が使用できる。

性別、年齢別のリスク率をICRP-27⁶⁾の値と比較したところ、遺伝的影響については平均値では本論文の値はICRPとほぼ一致するが、

年齢別の値はICRPに比べて、若年(特に20代の女性)で高い値であった。白血病についてはICRPとほとんど同じ値であったが、がんについては平均値と比較して、本論文の値はICRPの値より男性で9%高く、女性では逆に28%低かった。これは胃がんと乳がんにおける違いによるものと思われる。

本論文によるリスクの推定方法は容易であり、医療被曝のみならず日本人の被曝全般に適用できるとと思われる。

参考文献

1) ICRP Publication 26: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, The International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press,

- Oxford, New York, Frankfurt, 1977
- 2) UNSCEAR Report: Sources and Effects of Ionizing Radiation, 361—424, United Nations, New York, 1977
 - 3) BEIR Report: The Effects on Populations of Exposure to Low Level of Ionizing Radiation, National Academy of Sciences, National Research Council, Washington, D.C., 1972
 - 4) Kato, H. and Schull, W.J.: Life Span Study Report 9, Mortality Experience of Atomic Bomb Survivors, 1950—1978, Technical Report RERF TR1—79, 1980, (in press)
 - 5) 橋詰 雅, 丸山隆司, 館野之男: がん 有意因子について, 日本医放会誌, 40, 815—822, 1980
 - 6) 橋詰 雅, 松沢秀夫, 丸山隆司, 河内清光, 白貝彰宏, 野田 豊, 館野之男: 遠隔放射線治療による国民線量の推定, 第2報. 遺伝有意線量, 平均骨髓線量および白血病有意線量. 日本医放会誌, 40, 466—475, 1980
 - 7) ICRP Publication 27: Problems Involved in Developing an Index of Harm, The International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press, Oxford, New York, Frankfurt, 1977
 - 8) Hashizume, T., Maruyama, T., Shiragai, A., Tanaka, E., Izawa, M., Kawamura, S. and Nagaoka, S.: Estimation of the air dose from the atomic bombs in Hiroshima and Nagasaki. Health Phys, 13: 149—161, 1967
 - 9) Hashizume, T., Maruyama, T., Nishizawa, K. and Fukuhisa, K.: Mean bone marrow dose of atomic bomb survivors in Hiroshima and Nagasaki. J. Radiat. Res., 18: 67—83, 1977
 - 10) Kerr, G.D.: Organ dose estimates for the Japanese atomic-bomb survivors. Health Phys., 37: 487—508, 1979
 - 11) Hashizume, T., Maruyama, T., Nishizawa, K., Noda, Y., Fukuhisa, K. and Takeda, E.: Determinations of organ or tissue doses to survivors in Hiroshima and Nagasaki. J. Radiat. Res. In press, 1980