



Title	癌集団検診における放射線被曝と個人のリスク(余命の短縮)
Author(s)	飯沼, 武; 舘野, 之男
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1993, 53(1), p. 57-65
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/18507">https://hdl.handle.net/11094/18507</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

## 癌集団検診における放射線被曝と個人のリスク（余命の短縮）

放射線医学総合研究所臨床研究部

飯 沼 武 館 野 之 男

（平成4年5月18日受付）

（平成4年6月10日最終原稿受付）

### Estimation of Risk due to Radiation Exposure in the Mass Screening of Cancer in Japan

Takeshi A. Iinuma and Yukio Tateno

Division of Clinical Research, National Institute of Radiological Sciences

---

Research Code No. : 302, 500

---

Key Words : Cancer, Mass screening, Radiation exposure, Risk

---

Five types of mass screening programs for cancer are performed under the auspices of the Adult Health Promoting Act of the Japanese Government. The cancers involved are those of stomach, uterus, lung, breast and colon. Radiological images are routinely used for the screening of stomach and lung cancers, and mammography will be employed in the near future.

In this study, the risk due to radiation exposure in the above-mentioned screening programs was estimated for an individual who participates in the screening of each cancer annually. The dose absorbed at each screening was estimated and an additive risk model was used as the pattern of occurrence of radiation-induced cancers for simplicity. Safety was also estimated.

Results showed that the risk of a shortened life-expectancy as a result of undergoing annual mass screening for breast, stomach and lung cancer was insignificant in comparison with the average life-expectancy of about 80 years for Japanese men and women, and much smaller than the benefit of mass screening expressed in terms of prolonged life-expectancy. However, it should be emphasized that a quality control program must be established to keep the dose absorbed at each X-ray screening examination as low as reasonably possible.

#### 1. 緒 言

日本では老人保健法のもとで癌の集団検診が広く行われており、さらには人間ドックなどの個別検診も盛んである。癌検診のうちで第1次スクリーニングとして画像診断を用いているのが胃癌と肺癌であり、将来的には乳癌もX線診断の導入が検討されている。それに対し一般人は勿論、医療関係者からも放射線被曝に伴うリスクの問題について懸念が表明されている。

筆者らはすでに胃癌<sup>1)</sup>、肺癌<sup>2)</sup>、および乳癌検診<sup>3)</sup>における集団としてのリスクと利益の関係を分析

した。それによると、集検によっておこる可能性のあるリスク（放射線誘発癌による余命の損失）と集検を実施することによる利益（余命の延長）の比較から、下限の年齢を越えれば利益がリスクを上回ることを明らかにした。

今回、本論文ではある個人に着目し、その特定の人が一定期間毎年検診を受診し、X線撮影を行った場合を想定し、リスクとしての余命の短縮を定量的に求め、一方、同時に集検受診によって、その個人がある癌から救命される可能性をも定量的に算出し、両者を比較することにした。それに

よって癌検診における放射線被曝のリスクが絶対値としてどの程度のものであるか、また、集検によって得られる利益と比較してリスクがどの位であるかを定量的に明らかにする。

2. 放射線被曝によるリスク算出の

モデルと内視鏡事故による損失

まず、癌検診では受診者の年齢の関係から遺伝的なリスクは考慮せず、発癌によるリスクのみを考慮すればよい。

次に、放射線被曝のリスクについては低線量域の誘発癌と線量との線形性に関して議論の多い所であるが、今回は発生数と線量は正比例するとし、線量率効果係数 (Dose Rate Effectiveness Factor) を導入して一部修正した。リスク・モデルについては前報<sup>4)</sup>と同じ相加的リスク・モデルを利用する。その基本的な考え方を次式で表す。まず、1回の被曝当りの致死発癌によるリスク (余命の短縮) を S とする。

$$S = (E_B \cdot R_B \cdot \Delta M_B + \sum_K E_K \cdot R_K \cdot \Delta M_K) \frac{1}{d} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、添字 B は白血病に関する項、K はその他の臓器組織に関する項を示すものとする。

$E_B$  は或る検査における平均骨髄吸収線量、 $E_K$  は同じ検査における臓器・組織 K の平均吸収線量を表す。 $R_B$  は単位骨髄吸収線量当りの白血病の発生率、 $R_K$  は臓器・組織 K における単位吸収線量当りの致死悪性腫瘍の発生率である。 $\Delta M_B$  と  $\Delta M_K$  は白血病とその他の致死発癌によって失われる余命の長さを表す。d は線量率効果係数で 2 とした。

$\Delta M_B$  と  $\Delta M_K$  の計算は次のような相加的モデルにもとづいて行った。放射線誘発の白血病とその他の癌については被曝後の潜伏期間と発病持続期間が大きく異なることが知られている。ここでは相加的モデルにもとづいて Fig. 1 のような放射線誘発癌のパターンを仮定した。

すなわち、被曝後、 $L_1$  という潜伏期間の後、 $L_2$  という発病持続期間の間一定の頻度で発癌がおり終了するというものである。 $L_2$  の間の面積が (1) 式の  $E_B \cdot R_B$  または  $E_K \cdot R_K$  に等しい。

白血病に関しては  $L_{1B} = 5$  年、 $L_{2B} = 20$  年と仮定

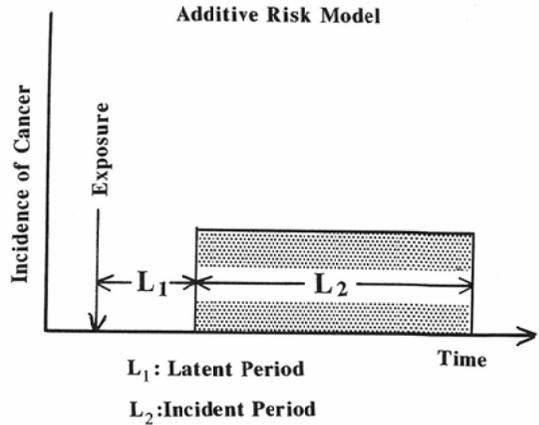


Fig. 1 Schematic explanation for the additive risk model of radiation-induced cancers.  $L_1$  indicates the latent period and  $L_2$  does the incident period of radiation-induced cancers.

し、その他の癌については  $L_{1K} = 10$  年、 $L_{2K} = 35$  年の場合と  $L_{1K} = 15$  年、 $L_{2K} = 30$  年の 2 つの場合を仮定し計算した。

一方、被曝した時点で平均余命 T を有する集団はもし被曝がなければ T だけ生存し、その時一勢に死亡すると仮定し、Fig. 1 から  $\Delta M_B$  と  $\Delta M_K$  を求める式を導いた。(詳細は前報<sup>4)</sup>参照)

(i) T が  $L_1$  よりも短い時。

$$\Delta M = 0 \dots \dots \dots (2)$$

すなわち、平均余命が潜伏期間より短ければ、発癌より前に死亡するので余命の短縮はおり得ない。

(ii) T が  $L_1$  よりも長く、 $(L_1 + L_2)$  よりも短い時。

$$\Delta M = (T - L_1)^2 / 2 \cdot L_2 \dots \dots \dots (3)$$

(iii) T が  $(L_1 + L_2)$  よりも長い時。

$$\Delta M = T - L_1 - (L_2 / 2) \dots \dots \dots (4)$$

$L_1$  と  $L_2$  に前述の数値を代入すれば、 $\Delta M$  が T の関数として求められる。

最後に検診による被曝を経年的に受けている場合として (1) 式を時間の関数として合計する。

$$S_{TOT} = \sum_J (E_B \cdot R_B \cdot \Delta M_{BJ} + \sum_K E_K \cdot R_K \cdot \Delta M_{KJ}) \cdot \frac{1}{d} \dots \dots \dots (5)$$

(5) 式の合計は余命の短縮に関するもので、括弧内

第2項の合計は臓器に関するものである。この  $S_{TOT}$  が最終的に求める値である。

次に、胃の X 線検査と直接比較するため胃内視鏡のリスクを放射線被曝の場合と同じ余命の短縮で表すことにした。

方法は文献<sup>6)</sup>と同様である。

$$S_E = \sum_j T_j \cdot (A_G + f \cdot A'_G) \dots\dots\dots(6)$$

ここで、 $T$  は平均余命、 $A_G$  は胃内視鏡の死亡事故発生率、 $A'_G$  は胃内視鏡の重篤障害発生率、 $f$  は重篤障害の死亡への換算係数。

(6)式は内視鏡の死亡事故によって残っている平均余命がすべて失われることを意味する。この場合は放射線発癌と異なり潜伏期間も発病持続期間もない。 $S_E$  は内視鏡によるスクリーニング検査毎の合計を意味する。

### 3. リスク算出に必要な数値

次に(5)式の変数に代入するための数値について詳しく論ずる。

#### (3-1) スクリーニング検査の線量 ( $E_K$ と $E_B$ )

本論文で検討する癌検診のスクリーニング検査は乳房撮影、上部消化管造影検査(胃)、胸部単純 X 線撮影(肺)の3種の他、胃に関しては胃内視鏡検査、肺癌に関しては将来導入が期待される肺癌検診用 CT (LSCT) も加えて検討する。

##### a) 乳房撮影

乳房撮影では骨髄への照射はないので  $E_B=0$  とした。

乳房への吸収線量は米国の勧告にしたがって一方向撮影に当たり最大0.4cGy、平均0.1cGy とする。2方向撮影を行うとして、 $E_K=0.8cGy$ (最大)、 $E_K=0.2cGy$ (平均)

##### b) 胃の造影検査

本検査の場合、骨髄吸収線量は胃の線量の20%とした<sup>4)</sup>。また、胃の吸収線量は最大1cGy、平均で0.4cGy とした。

すなわち、

$$E_K=1.0cGy \text{ (最大)}, E_K=0.4cGy \text{ (平均)}$$

$$E_B=0.2cGy \text{ (最大)}, E_B=0.08cGy \text{ (平均)}$$

##### c) 胸部単純 X 線撮影

本検査の場合、骨髄吸収線量は肺の線量の18%

とした<sup>4)</sup>。肺の吸収線量は最大0.05cGy、平均0.01cGy とした。女性の場合は乳房の線量として肺の23%が照射されるとした。

$$E_K=0.05cGy \text{ (最大)}, E_K=0.01cGy \text{ (平均)}$$

$$E_B=0.009cGy \text{ (最大)}, E_B=0.0018cGy \text{ (平均)}$$

(女性のみ)(乳房の吸収線量)

$$E_K=0.01cGy \text{ (最大)}, E_K=0.023cGy \text{ (平均)}$$

d) 肺癌検診用 CT (LSCT)<sup>6)</sup>

LSCT では360°方向から照射が行われるため、骨髄線量は肺の吸収線量の33%と仮定した。また、女性の場合は乳房への照射も行われるのでそれを考慮に入れる。LSCT の肺の吸収線量は最大1cGy、平均0.3cGy とし、女性の乳房の線量は最大1cGy、平均0.3cGy がかかるものとした。すなわち、

$$E_K=1.0cGy \text{ (最大)}, E_K=0.3cGy \text{ (平均)}$$

$$E_B=0.33cGy \text{ (最大)}, E_B=0.1cGy \text{ (平均)}$$

(女性のみ)(乳房の吸収線量)

$$E_K=1.0cGy \text{ (最大)}, E_K=0.3cGy \text{ (平均)}$$

e) 胃内視鏡は別に論ずる。

#### (3-2) リスク係数 ( $R_K$ と $R_B$ )

国連科学委員会1988年報告<sup>7)</sup>の相加的モデルのリスク係数を利用する。

$$R_B \text{ (白血病)} = 9.3 \times 10^{-3} \text{ 人}/S_v$$

$$R_K \text{ (胃)} = 8.6 \times 10^{-3} \text{ 人}/S_v$$

$$R_K \text{ (肺)} = 5.9 \times 10^{-3} \text{ 人}/S_v$$

$$R_K \text{ (乳房)} = 4.3 \times 10^{-3} \text{ 人}/S_v$$

#### (3-3) 損失余命の長さ ( $\Delta M_B$ と $\Delta M_K$ )

前節(2)、(3)および(4)式に相加的モデルにもとづく計算式を示してあり、その中のパラメーターとしては次のようにおく。

##### i) 白血病

$$L_1 = 5 \text{ 年}, L_2 = 20 \text{ 年}$$

##### ii) その他の癌

$$a) L_1 = 10 \text{ 年}, L_2 = 35 \text{ 年}$$

$$b) L_1 = 15 \text{ 年}, L_2 = 30 \text{ 年}$$

平均余命 ( $T$ ) は1985年の生命表<sup>8)</sup>より日本人男・女の値を引用した。結果を Table 1 (男) と Table 2 (女) に示す。ここで  $\Delta M_K(10)$  は  $L_1 = 10$  年、 $L_2 = 35$  年を、 $\Delta M_K(15)$  は  $L_1 = 15$  年、 $L_2 = 30$  年の場合を示す。

Table 1 Age and life expectancy (T) of Japanese men (1985) and calculated loss of life expectancy due to leukemia ( $\Delta M_B$ ) and other cancer ( $\Delta M_K$ ).  $\Delta M_K$  (10) means loss of life expectancy with latent period of 10 years and incidence (death) period of 35 years.  $\Delta M_K$  (15) means that with latent period of 15 years, and incidence (death) period of 30 years. T,  $\Delta M_B$  and  $\Delta M_K$  are presented in year.

Age	T	$\Delta M_B$	$\Delta M_K(10)$	$\Delta M_K(15)$	Age	T	$\Delta M_B$	$\Delta M_K(10)$	$\Delta M_K(15)$
40	36.63	21.63	10.13	7.80	55	23.36	8.43	2.55	1.16
41	35.70	20.70	9.44	7.14	56	22.54	7.69	2.25	0.95
42	34.77	19.77	8.77	6.51	57	21.73	7.00	1.97	0.75
43	33.85	18.85	8.13	5.92	58	20.93	6.34	1.71	0.59
44	32.93	17.93	7.51	5.36	59	20.13	5.72	1.47	0.44
45	32.01	17.01	6.92	4.82	60	19.43	5.14	1.27	0.33
46	31.11	16.11	6.37	4.33	61	18.56	4.60	1.05	0.21
47	30.21	15.21	5.83	3.86	62	17.78	4.08	0.86	0.13
48	29.32	14.32	5.33	3.42	63	17.02	3.61	0.70	0.07
49	28.43	13.43	4.85	3.00	64	16.26	3.17	0.56	0.03
50	27.56	12.56	4.41	2.63	65	15.52	2.77	0.44	0.01
51	26.70	11.70	3.98	2.28	66	14.78	2.39	0.33	—
52	25.85	10.85	3.59	1.96	67	14.06	2.05	0.24	—
53	25.01	10.01	3.22	1.67	68	13.36	1.75	0.16	—
54	24.18	9.20	2.87	1.40	69	12.67	1.47	0.10	—

Table 2 Age and life expectancy (T) of Japanese women (1985) and calculated loss of life expectancy due to leukemia ( $\Delta M_B$ ) and other cancer ( $\Delta M_K$ ). Explanation of  $\Delta M_K$  (10) and  $\Delta M_K$  (15) is described in Table 1.

Age	T	$\Delta M_B$	$\Delta M_K(10)$	$\Delta M_K(15)$	Age	T	$\Delta M_B$	$\Delta M_K(10)$	$\Delta M_K(15)$	Age	T	$\Delta M_B$	$\Delta M_K(10)$	$\Delta M_K(15)$
30	51.41	36.41	23.91	21.41	44	37.90	22.90	11.12	8.74	58	25.01	10.01	1.71	1.67
31	50.43	35.43	22.93	20.43	45	36.96	21.96	10.38	8.04	59	24.12	9.14	1.47	1.39
32	49.46	34.46	21.96	19.46	46	36.01	21.01	9.66	7.36	60	23.24	8.32	1.25	1.13
33	48.48	33.48	20.98	18.48	47	35.07	20.07	8.98	6.71	61	22.36	7.53	1.05	0.90
34	47.51	32.51	20.01	17.51	48	34.14	19.14	8.32	6.12	62	21.49	6.80	0.86	0.70
35	46.54	31.54	19.04	16.54	49	33.20	18.20	7.76	5.52	63	20.63	6.11	0.70	0.53
36	45.57	30.57	18.07	15.57	50	32.28	17.28	7.09	4.98	64	19.78	5.46	0.56	0.38
37	44.60	29.60	17.10	14.60	51	31.36	16.36	6.52	4.46	65	18.94	4.86	0.44	0.26
38	43.64	28.64	16.17	13.67	52	30.44	15.44	5.97	3.97	66	18.11	4.30	0.33	0.16
39	42.68	27.68	15.26	12.77	53	29.53	14.53	5.45	3.52	67	17.29	3.78	0.24	0.09
40	41.72	26.72	14.37	11.90	54	28.62	13.62	4.95	3.09	68	16.48	3.29	0.16	0.04
41	40.76	25.76	13.52	11.06	55	27.71	12.71	4.48	2.69	69	15.68	2.85	0.10	0.01
42	39.80	24.80	12.69	10.25	56	26.81	11.81	4.04	2.32					
43	38.85	23.85	11.89	9.48	57	25.91	10.91	3.62	1.98					

## (3-4) 胃内視鏡の場合

(6)式の各変数の値は文献<sup>5)</sup>と同様で次の通りである。胃内視鏡の死亡事故発生率( $A_G$ )は $1.6 \times 10^{-5}$ と $3.0 \times 10^{-5}$ 人の2種類、同じく重篤障害発生率( $A'_G$ )は $48 \times 10^{-5}$ と $90 \times 10^{-5}$ 人の2種類とした、 $f$ は0.2と仮定した。

## 4. リスク算定の結果

前述の数学モデルと代入する数値を用いると、各種の集検におけるリスク(人・年)が算定できる。

## (4-1) 乳癌集検

ここでは或る女性が30歳から69歳まで40年間毎年乳房撮影を受診した場合についてリスクを算定する。以下、 $Gy \doteq S_V$ とする。

まず乳腺の吸収線量として最大の $0.8cGy$ をとり、リスク係数は $4.3 \times 10^{-3}$ 人/ $S_V$ 、 $\Delta M_K(10)$ を30~69歳の合計をTable 2より計算すると、364.8年となるので、(5)式よりリスク(人・年)は以下のように算定される。

$$S_{TOT} = (0.8 \times 10^{-2} \times 4.3 \times 10^{-2} \times 364.8) \\ \times \frac{1}{2} = 6.27 \times 10^{-3} \text{人} \cdot \text{年}$$

次に、 $\Delta M_K(15)$ の場合はTable 2より30~69歳の合計を求めると、290年となるので、

$$S_{TOT} = (0.8 \times 10^{-2} \times 4.3 \times 10^{-2} \times 290) \\ \times \frac{1}{2} = 4.99 \times 10^{-3} \text{人} \cdot \text{年}$$

乳房撮影では骨髄への照射はないので白血病のリスクは0である。

また、 $6.27 \times 10^{-3}$ 人・年を一人当たりのリスクとすると $6.27 \times 10^{-3}$ 年であるから、これは $6.27 \times 365$ 日 $\times 10^{-3}$ であり、2.3日となる。同様な計算を吸収線量の平均値 $0.2cGy$ の場合にも行い、Table 3に結果を示した。

## (4-2) 胃集検

胃集検では男・女別に40歳から69歳の30年間毎年X線撮影を受診した場合のリスクを算定し、その結果をTable 4(a), (b)に示す。吸収線量は最大 $1cGy$ と平均 $0.4cGy$ の場合、 $\Delta M_K(10)$ と $\Delta M_K(15)$ の両者を求めた。

Table 3 Calculated risk expressed as a loss of life expectancy (person·years) due to mammographic exposure performed from age of 30 to 69 years old annually. Two case of absorbed doses of 0.8 cGy (maximum) and 0.2 cGy (average) and those of  $\Delta M_K(10)$  and  $\Delta M_K(15)$  are shown

Dose (cGy)	$\Delta M_K$	Loss of Life Expectancy(person·years)		
		Breast Cancer	Leukemia	Total
0.8	$\Delta M_K(10)$	$6.27 \times 10^{-3}$	0	$6.27 \times 10^{-3} \rightarrow 2.3 \text{days}$
	$\Delta M_K(15)$	$4.99 \times 10^{-3}$	0	$4.99 \times 10^{-3} \rightarrow 1.8 \text{days}$
0.2	$\Delta M_K(10)$	$1.57 \times 10^{-3}$	0	$1.57 \times 10^{-3} \rightarrow 0.57 \text{days}$
	$\Delta M_K(15)$	$1.25 \times 10^{-3}$	0	$1.25 \times 10^{-3} \rightarrow 0.45 \text{days}$

Table 4 Calculated risk expressed as a loss of life expectancy (person·years) due to gastric X-ray screening performed from the age of 40 to 69 years old annually, and those of  $\Delta M_K(10)$  and  $\Delta M_K(15)$  are shown

(a) for men and

Dose (cGy)	$\Delta M_K$	Loss of Life Expectancy(person·years)		
		Stomach Cancer	Leukemia	Total
1.0	$\Delta M_K(10)$	$4.61 \times 10^{-3}$	$2.75 \times 10^{-3}$	$7.36 \times 10^{-3} \rightarrow 2.7 \text{days}$
	$\Delta M_K(15)$	$2.87 \times 10^{-3}$	$2.75 \times 10^{-3}$	$5.62 \times 10^{-3} \rightarrow 2.1 \text{days}$
0.4	$\Delta M_K(10)$	$1.85 \times 10^{-3}$	$1.10 \times 10^{-3}$	$2.95 \times 10^{-3} \rightarrow 1.1 \text{days}$
	$\Delta M_K(15)$	$1.15 \times 10^{-3}$	$1.10 \times 10^{-3}$	$2.25 \times 10^{-3} \rightarrow 0.8 \text{days}$

(b) for women

Dose (cGy)	$\Delta M_K$	Loss of Life Expectancy(person·years)		
		Stomach Cancer	Leukemia	Total
1.0	$\Delta M_K(10)$	$7.32 \times 10^{-3}$	$3.81 \times 10^{-3}$	$11.1 \times 10^{-3} \rightarrow 4.1 \text{days}$
	$\Delta M_K(15)$	$5.14 \times 10^{-3}$	$3.81 \times 10^{-3}$	$8.95 \times 10^{-3} \rightarrow 3.3 \text{days}$
0.4	$\Delta M_K(10)$	$2.93 \times 10^{-3}$	$1.52 \times 10^{-3}$	$4.45 \times 10^{-3} \rightarrow 1.6 \text{days}$
	$\Delta M_K(15)$	$2.06 \times 10^{-3}$	$1.52 \times 10^{-3}$	$3.57 \times 10^{-3} \rightarrow 1.3 \text{days}$

## (4-3) 肺癌集検—胸部単純撮影

肺癌集検で現行の胸部単純撮影の場合のリスクを算定する。この時も40歳から69歳の30年間毎年X線検査を受診したとして男・女別にTable 5(a), (b)に示す。吸収線量は最大 $0.05cGy$ 、平均 $0.01cGy$ の2種と $\Delta M_K(10)$ と $\Delta M_K(15)$ の合計4種を求めた。

Table 5 Calculated risk expressed as a loss of life expectancy (person•years) due to chest X-ray screening performed from the age of 40 to 69 years old annually, and those of  $\Delta M_K$  (10) and  $\Delta M_K$  (15) are shown.

(a) for men					
Dose(cGy)	$\Delta M_K$	Loss of Life Expectancy(person•years)			
		Lung Cancer	Leukemia	Total	
0.05	$\Delta M_K(10)$	$0.158 \times 10^{-3}$	$0.124 \times 10^{-3}$	$0.282 \times 10^{-3} \rightarrow 0.1\text{days}$	
	$\Delta M_K(15)$	$0.098 \times 10^{-3}$	$0.124 \times 10^{-3}$	$0.222 \times 10^{-3} \rightarrow 0.08\text{days}$	
0.01	$\Delta M_K(10)$	$0.032 \times 10^{-3}$	$0.025 \times 10^{-3}$	$0.057 \times 10^{-3} \rightarrow 0.02\text{days}$	
	$\Delta M_K(15)$	$0.020 \times 10^{-3}$	$0.025 \times 10^{-3}$	$0.045 \times 10^{-3} \rightarrow 0.02\text{days}$	

(b) for women					
Dose(cGy)	$\Delta M_K$	Loss of Life Expectancy(person•years)			
		Lung Cancer	Breast Cancer	Leukemia	Total
0.05	$\Delta M_K(10)$	$0.251 \times 10^{-3}$	$0.037 \times 10^{-3}$	$0.171 \times 10^{-3}$	$0.459 \times 10^{-3} \rightarrow 0.17\text{days}$
	$\Delta M_K(15)$	$0.176 \times 10^{-3}$	$0.026 \times 10^{-3}$	$0.171 \times 10^{-3}$	$0.373 \times 10^{-3} \rightarrow 0.14\text{days}$
0.01	$\Delta M_K(10)$	$0.05 \times 10^{-3}$	$0.008 \times 10^{-3}$	$0.034 \times 10^{-3}$	$0.092 \times 10^{-3} \rightarrow 0.03\text{days}$
	$\Delta M_K(15)$	$0.035 \times 10^{-3}$	$0.006 \times 10^{-3}$	$0.034 \times 10^{-3}$	$0.075 \times 10^{-3} \rightarrow 0.03\text{days}$

Table 6 Calculated risk expressed as a loss of life expectancy (person•years) due to Lung Cancer Screening CT (LSCT) examination performed from the age of 50 to 69 years old annually, and those of  $\Delta M_K$  (10) and  $\Delta M_K$  (15) are shown.

(a) for men					
Dose(cGy)	$\Delta M_K$	Loss of Life Expectancy(person•years)			
		Lung Cancer	Leukemia	Total	
1.0	$\Delta M_K(10)$	$0.99 \times 10^{-3}$	$1.85 \times 10^{-3}$	$2.84 \times 10^{-3} \rightarrow 1.0\text{days}$	
	$\Delta M_K(15)$	$0.43 \times 10^{-3}$	$1.85 \times 10^{-3}$	$2.28 \times 10^{-3} \rightarrow 0.83\text{days}$	
0.3	$\Delta M_K(10)$	$0.30 \times 10^{-3}$	$0.56 \times 10^{-3}$	$0.86 \times 10^{-3} \rightarrow 0.31\text{days}$	
	$\Delta M_K(15)$	$0.13 \times 10^{-3}$	$0.56 \times 10^{-3}$	$0.69 \times 10^{-3} \rightarrow 0.25\text{days}$	

(b) for women					
Dose(cGy)	$\Delta M_K$	Loss of Life Expectancy(person•years)			
		Lung Cancer	Breast Cancer	Leukemia	Total
1.0	$\Delta M_K(10)$	$1.82 \times 10^{-3}$	$1.32 \times 10^{-3}$	$2.84 \times 10^{-3}$	$5.98 \times 10^{-3} \rightarrow 2.2\text{days}$
	$\Delta M_K(15)$	$1.01 \times 10^{-3}$	$0.74 \times 10^{-3}$	$2.84 \times 10^{-3}$	$4.59 \times 10^{-3} \rightarrow 1.7\text{days}$
0.3	$\Delta M_K(10)$	$0.55 \times 10^{-3}$	$0.40 \times 10^{-3}$	$0.86 \times 10^{-3}$	$1.81 \times 10^{-3} \rightarrow 0.66\text{days}$
	$\Delta M_K(15)$	$0.30 \times 10^{-3}$	$0.22 \times 10^{-3}$	$0.86 \times 10^{-3}$	$1.38 \times 10^{-3} \rightarrow 0.50\text{days}$

#### (4-4) 肺癌集検—LSCT

筆者らは現行の肺癌集検のスクリーニング検査の有効性に疑問をもっており、新しくLSCTによる肺癌検診を提唱している<sup>6)</sup>。ここでは50歳から69歳の20年間毎年LSCTによる検診を受けた

男・女のリスクを算定する (Table 6(a)と(b)参照)。吸収線量は最大値として1.0cGy、平均として0.3cGy、 $\Delta M_K(10)$ と $\Delta M_K(15)$ の4種類を求めた。

#### (4-5) 胃内視鏡

胃集検のスクリーニング検査をすべて内視鏡で

Table 7 Calculated risk expressed as a loss of life expectancy (person·years) due to gastric endoscopic screening performed from the age of 40 to 69 years old annually.

A <sub>c</sub>	A' <sub>c</sub>	Loss of Life Expectancy(person·years)	
		men	women
1.6×10 <sup>-5</sup>	48×10 <sup>-5</sup>	80.9×10 <sup>-3</sup> →29.5days	95.2×10 <sup>-3</sup> →34.7days
3.0×10 <sup>-5</sup>	90×10 <sup>-5</sup>	152×10 <sup>-3</sup> →55.5days	179×10 <sup>-3</sup> →65.3days

A<sub>c</sub> is an accident rate of mortality by gastric endoscopy.

A'<sub>c</sub> is an accident rate of severe injury by gastric endoscopy.

実施したとして、40歳から69歳の30年間毎年受診した場合のリスクを(6)式より算定する。結果を、Table 7に示す。

5. 各種の集検の利益

今までのリスク算定に対応した集検の利益を平均余命の延長として推定する。計算には筆者の癌集団検診の評価の数学モデルを用いる<sup>9)</sup>。それによると集団検診を毎年連続して受診した場合の余命の延長(N)は次式で与えられる。

$$N = \sum_j \text{Dij} \cdot f_s \cdot s \cdot f_D \cdot [W_M - W_o] \cdot \text{Tij} \dots\dots\dots (7)$$

ここで、i, jは性、年齢を示す添字。

- Dij: 当該癌の罹患率(人/年)
- f<sub>s</sub>: スクリーニング検査の有病正診率
- s: 精検受診率
- f<sub>D</sub>: 精密検査の有病正診率
- W<sub>M</sub>: 集検発見患者の5年生存率
- W<sub>o</sub>: 一般外来患者の5年生存率
- Tij: 平均余命(年)

(7)式を求めるための数値は以下の通りとした。

Dijは1985年現在の胃、乳房、肺の癌の罹患率<sup>10)</sup>。TijはTable 1に示した。次の部位によって変らないパラメータは以下の通り。

s=0.8, f<sub>D</sub>=1.0.

部位によって変わるパラメータは以下の通りとした。

- a) 胃: f<sub>s</sub>=0.85, W<sub>M</sub>=0.7, W<sub>o</sub>=0.3
- b) 乳房: f<sub>s</sub>=0.9, W<sub>M</sub>=0.9, W<sub>o</sub>=0.75
- c) 肺(x-P): f<sub>s</sub>=0.7, W<sub>M</sub>=0.3, W<sub>o</sub>=0.1

Table 8 Benefit of mass screening of various cancers expressed as a gain of life expectancy (person·years). Periods of screening correspond to those described in Table 3, 4, 5, 6 and 7 respectively.

Type of Cancer	Period of Screening	Gain of Life Expectancy (person·years)	
		Women	men
Breast Cancer	Age 30 to 69 y.o. 40 years	6.92×10 <sup>-2</sup> →25.3days	—
Stomach Cancer (X-P)	Age 40 to 69 y.o. 30 years	1.74×10 <sup>-1</sup> →63.5days	3.35×10 <sup>-1</sup> →122days
Stomach Cancer (Endoscopy)	Age 40 to 69 y.o. 30 years	2.81×10 <sup>-1</sup> →103days	5.42×10 <sup>-1</sup> →198days
Lung Cancer (X-P)	Age 40 to 69 y.o. 30 years	1.87×10 <sup>-2</sup> →6.8days	5.04×10 <sup>-2</sup> →18.4days
Lung Cancer (LSCT)	Age 50 to 69 y.o. 20 years	5.58×10 <sup>-2</sup> →20.4days	1.66×10 <sup>-1</sup> →60.4days

d) 肺(LSCT): f<sub>s</sub>=0.9, W<sub>M</sub>=0.65, W<sub>o</sub>=0.1

e) 胃(内視鏡): f<sub>s</sub>=1.0, W<sub>M</sub>=0.85, W<sub>o</sub>=0.3

肺(X-P)と肺(LSCT)は前者が現行の胸部単純撮影による集検、後者がLSCTによる集検を意味する。また、内視鏡の場合はf<sub>s</sub>を100%、W<sub>M</sub>を85%とX線の場合より高精度であるとした。これらの数値を(7)式に代入し、乳癌では30~69歳の40年間、胃癌では40~69歳の30年間、肺癌(X-P)では40~69歳の30年間、肺癌(LSCT)では50~69歳の20年間で毎年受診した場合の余命の延長を計算した。その結果をTable 8に示した。平均余命の延長は本計算では最も大きかったのが胃(内視鏡)の男で122日、最も短かったのは肺(X-P)の女で6.8日であった。

6. 考 察

チェルノブイリ原発事故の後、国民の放射線被曝に対する関心はとくに強い。医療被曝についても例外ではなく、放射線医学の関係者は一般人の疑問に適切な答えをだす責任がある。

本研究ではわが国で広く普及している癌集団検診で第1次スクリーニングにX線診断で使われている胃癌、肺癌と将来導入が検討されている乳癌について、放射線誘発癌による余命の損失という観点からリスクを定量的に算定した。まず、吸収部位に応じて最大値と平均値を利用した。

その結果、乳房撮影では最大で2.3日、平均で0.5

日、胃の造影撮影は男で最大2.7日、平均約1日、女で最大4.1日、平均約1.5日、胸部間接は男で最大0.1日、平均0.02日、女で最大0.15日、平均0.03日、LSCTを利用した場合、男で最大1日、平均約0.3日、女で最大2.2日、平均約0.6日の余命の短縮と算出された。これらの値は日本人の男・女の平均余命に比して無視できるくらい小さい。一方、比較のために求めた胃内視鏡のリスクは男で最大55日、平均30日、女で最大65日、平均35日とX線撮影に比してはるかに大きく、胃内視鏡のリスクがX線より小さいという風説は明らかに誤りであることがわかる。

さらに、医療被曝では医療の利益（ベネフィット）を求めなければ片手落ちとなるので、本研究の場合は癌集団検診の実施による利益として余命の延長（人・年）を求めた。これは筆者が報告した数学モデルにもとづくものである。それによると乳房で25日、胃では男122日、女64日、肺（胸部X線）では男18日、女7日、肺（LSCT）では男60日、女20日といずれも、該当するリスクを大幅に上回っている。内視鏡による胃癌でも男200日、女100日とリスクを上回るが、利益との差は女性で小さい。

次に放射線被曝によるリスク算定に当たっていくつかの重大な仮定があることに注意されたい。

第1に、計算に当たっては低線量・線量率効果として係数2を用いているが、基本的には直線(L)モデルである点である。この点は近年、放射線ホルミシス説なども含め、係数はもっと大きい可能性があり、本計算は過大評価の可能性を否定できない。

第2は広島・長崎のデータは全身被曝の結果であるが、医療診断における被曝は局所被曝であり、恐らく後者のリスクは前者に比して小さいと思われる。具体的にどの位の低減になるかは明らかではないが、放射線治療（局所照射）の経験から判断して1/2~1/3にはなるものと考えられる。

第3に被曝後の癌発生の時間パターンとして相加的リスクモデルを仮定し、2種類の期間を仮定し計算した。すなわち、a) 潜伏期10年、発病持続期35年、b) 潜伏期15年、発病持続期30年である。

当然、前者の方がリスクが大きく算出される。また、相乗モデルと比較しても、このモデルでは高年層に対しリスクを大きめに評価することが明らかである。

第4として本計算では照射部位と骨髄のみしか考慮していない。例えば胃造影検査では胃部と骨髄以外には僅かながら被曝は存在するが計算にいられていない、しかしこれによるリスクの増加は僅か（多くて数10%）である。

以上の点を考慮すると、本稿で示したリスク（余命の短縮）は最大1桁ほどの過大評価になっている可能性が大きいと思われる。

しかし、今後のX線診断を用いる集団検診の健全な発展のためにはICRP(1990)の勧告<sup>14)</sup>で示された線量拘束値を胃、肺、乳房などのX線検査に導入し、その上限値を設定する必要があるように思われる。この処置によってリスクの上限値が決められ国民一般は安心して癌検診を受診できるようになるであろう。

現在の医用画像工学の水準から言えば、筆者らが本報で示した最大値を線量拘束値とすることは無理なく行えるものと考えられ、これを監視するモニタリング制度が学会の自主的規制として実施されることが期待される。

## 7. 結 論

或る特定の個人（男・女）が癌検診を毎年定期的を受診した場合、その個人にX線被曝によるリスクがどの程度となるかを定量的に算出した。放射線誘発癌のモデルとしては相加的リスクモデルを採用し、リスク係数は1988年国連科学委員会のデータを利用した。

1) 乳癌検診で30~69歳の40年間毎年マンモグラフィを受診した女性は最大2.3日、平均0.5日の余命短縮の可能性がある。

2) 胃癌検診で40~69歳の30年間毎年胃造影検査を受診した男性は最大2.7日、平均1.1日、女性は最大4.1日、平均1.6日の余命短縮の可能性がある。

3) 肺癌検診で40~69歳の30年間毎年胸部間接撮影を受診した男性は最大0.1日、平均0.02日、女性は最大0.17日、平均0.03日の余命短縮の可能性

がある。

4) 肺癌検診で50～69歳の20年間毎年癌検診用CT(LSCT)を受診した男性は最大1.0日、平均0.3日、女性は最大2.2日、平均0.7日の余命短縮の可能性がある。

5) 胃癌検診で40～69歳の30年間毎年胃内視鏡によるスクリーニング検査を受診した男性は最大56日、平均30日、女性は最大65日、平均35日の余命短縮の可能性があり、これはX線のリスクよりも20倍くらい大きい。

6) 各種検診を受けた場合の利益としては上と同じ条件で受診したとして、乳房では25日、胃では男122日、女64日、肺では胸部間接の場合男で18日、女で7日、LSCTの場合、男で60日、女で20日の余命延長の可能性があり、計算された。胃内視鏡の場合は男で200日、女で103日の余命延長があり得る。これはX線の場合の1.6倍である。

7) 上述のリスクは絶対値としても日本人男・女の平均余命80年に比してきわめて小さい。また、上記の計算は過大評価の可能性が大きい。

8) しかし、癌診断に用いられるスクリーニング用X線検査に関してはICRPのいう線量拘束値を導入してコスト的に見ても妥当な上限値を設け、適切なモニターシステムによって定期的な点検を行うことが必要である。

本研究の一部は厚生省がん研究助成金土井班（胃集検）と木戸班（乳房集検）より援助された。ここに感謝する。松田

#### 文 献

- 1) 飯沼 武, 館野之男, 橋詰 雅, 他: 胃集検の利益と損失, I, 救命と危険, 日本医放会誌, 37: 1109—1121, 1977
- 2) 飯沼 武, 館野之男: 肺癌集団検診におけるリスク利益分析, 日本医放会誌, 50: 101—106, 1990
- 3) 飯沼 武, 館野之男: 乳房撮影を用いる乳癌集団検診のリスク利益分析, 日本医放会誌, 49: 1091—1095, 1989
- 4) 飯沼 武, 館野之男, 橋詰 雅: 診断用放射線被曝における個人のリスクの定量的評価, 日本医放会誌, 40: 476—484, 1980
- 5) 飯沼 武, 館野之男: 胃集団検診におけるリスク利益分析の再評価—X線撮影と内視鏡について, 日本医放会誌, 50: 527—532, 1990
- 6) 飯沼 武, 館野之男, 松本 徹, 他: 肺癌検診用CT(LSCT)の基本構想とその事前評価, 日本医放会誌, 52: 182—190, 1992
- 7) United Nations Scientific Committee: Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation: Annex F. Radiation Carcinogenesis in Man. 1988 Report, United Nations, New York
- 8) 人口問題研究所編: 日本の将来推計人口, 厚生省統計協会, 東京, 1987
- 9) 飯沼 武, 館野之男: 癌集団検診評価のための数学モデルの1試案, 癌の臨床, 36: 2427—2433, 1990
- 10) がん研究振興財団編: がんの統計, 1991, p32—33