研究論文

獣医放射線診療における保定者による 国民線量およびリスクの推定

橋詰 雅^{*1}, 菅沼常德^{*1}, 信田卓男^{*1}(1988年9月26日受理)
(1989年3月16日再受理)

Estimation of Population Dose and Risk to Holding Assistants from Veterinary X-ray Examination in Japan

Tadashi HASHIZUME,^{*1} Tunenori SUGANUMA^{*1} and Takuo SHIDA^{*1}

For the estimation of the population doses and risks of stochastic effects to assistants who hold animals during veterinary X-ray examinations a random survey of hospitals and clinics was carried out concerning age distribution of such assistants by groups of facilities.

The average organ and tissue dose per examination was evaluated from the experimental data using mean technical factors such as X-ray tube voltage, tube current and field size based on the results of a nationwide survey.

The population doses to the assistants were calculated to be about 14 nSv per person per year for the genetically significant dose, 3.5 nSv per person per year for *per caput* mean marrow dose, 3.3 nSv for the leukemia significant dose and 4.5 nSv for the malignant significant dose, respectively. The total risk of stochastic effects to the Japanese population from holding assistants was estimated using population data and it was estimated to be less than one person per year, but the cancer risks to a number of the assistants were estimated to be more than 4×10^{-5} .

KEY WORDS : radiation risk, population dose, veterinary radiation protection, holding assistant

I 緒 言

獣医診療においてX線は欠くべからざるものであることは、いまさらいうまでもない。とくに最近では、その診療技術の進歩と相まって、X線利用は急激に増加しつつある。それに判い関係者の被曝も日を追って増加していると考えられる。しかし獣医領域では、放射線障害防止に関する法的規制がないため、獣医師、および畜主を含む第3者への放射線被曝が懸念されている。著者ら

は、獣医師のX線使用の実態を1985~86年にわたって調査し、撮影枚数、透視時間および保定者の集団線量当量を推定してすでに報告した¹⁾。

ICRPは、遺伝的リスクと身体的リスクの両者を総合的に簡便に評価する指標として、「実効線量当量」の使用を勧告している²⁾。実効線量当量は、集団のリスク等の概算値の推定には比較的容易であり、広く各方面で使用するには適していると思われる。しかし、遺伝的影響は子孫に対するものであり、身体的影響は本人自身のものであり、両者は本質的に異なる。さらにこれらは年齢や性等（とくに遺伝的影響）によって異なる。そこで本研究では一歩進めて、大学、開業医等のグループ別に保定者の性別に年齢分布を調査し、人の医療領域に対して

^{*1} 麻布大学獣医学部放射線学教室；相模原市淵野辺 1-17-71 (〒229)

Department of Veterinary Radiology, School of Veterinary Medicine, Azabu University ; 71-17, Fuchinobe-1, Sagami-hara 229, Japan.

著者らが行ってきた方法に準じ、遺伝的な面と、身体的面とを分けて、国民線量に対する寄与ならびにリスクを推定した。

II 国民線量

獣医放射線診療においては、多くの場合、保定者が必要である。このことは小児の放射線診療の場合と同様である。ICRP は小児の保定は放射線作業者ではなく家族が、また、歯科はX線撮影においてフィルムの保持を患者自身が行うよう勧告している。動物の保定は、現状では特定の人が行っている場合が多いが、今後は畜主に行わせる場合が多くなると思われるので、国民線量に対する寄与の推定も必要となる。

国民線量の表示方法はいろいろある。そのうち、ICRP が提案している集団実効線量当量についてはすでに報告した¹⁾。今回は、遺伝的に問題となる線量として遺伝有意線量 (*GSD*)、白血病の誘発に関連すると考えられる平均骨髄線量 (*CMD*) および白血病有意線量 (*LSD*) を、国連科学委員会³⁾ (UNSCEAR) にわれわれがすでに報告している方法^{3,4)}に準じて、(1)~(3)式を用いて推定した。さらに悪性腫瘍については、長崎の原爆のデータから橋詰等が算出した⁵⁾ 致死性がんのリスク係数で荷重したがん有意線量 (*MSD*) を、(4)式により推定した。

$$GDS = \frac{\sum_j \sum_k (C_{jk}^{(M)} \cdot \bar{W}_j^{(M)} \cdot {}_g D_{jk} + C_{jk}^{(F)} \cdot \bar{W}_j^{(F)} \cdot {}_g D_{jk})^{(F)}}{\sum_h (N_h^{(M)} \cdot \bar{W}_h^{(M)} + N_h^{(F)} \cdot \bar{W}_h^{(F)})} \quad (1)$$

$$CMD = \frac{\sum_j \sum_k (C_{jk}^{(M)} \cdot {}_b D_{jk}^{(M)} + C_{jk}^{(F)} \cdot {}_b D_{jk}^{(F)})}{\sum_h (N_h^{(M)} + N_h^{(F)})} \quad (2)$$

$$LSD = \frac{\sum_j \sum_k (C_{jk}^{(M)} \cdot \bar{L}_j^{(M)} \cdot {}_b D_{jk}^{(M)} + C_{jk}^{(F)} \cdot \bar{L}_j^{(F)} \cdot {}_b D_{jk}^{(F)})}{\sum_h (N_h^{(M)} + N_h^{(F)})} \quad (3)$$

$$MSD = \frac{\sum_j \sum_k (C_{jk}^{(M)} \cdot \bar{M}_j^{(M)} \cdot {}_m D_{jk}^{(M)} + C_{jk}^{(F)} \cdot \bar{M}_j^{(F)} \cdot {}_m D_{jk}^{(F)})}{\sum_h (N_h^{(M)} + N_h^{(F)})} \quad (4)$$

ここで

C : 撮影枚数

j : 施設グループ別

K : 動物の種類, 大きさ, 撮影部位別

h : 日本人の年齢層別

W : 子供期待率

$\bar{W}$: 子供期待率の荷重平均

$\bar{L}$: 白血病有意率の荷重平均

$\bar{M}$: がん有意率の荷重平均

N : 日本人の人口

D : 動物からの散乱線等により保定者の受ける線量
(*M*) : 男性

(*F*) : 女性

一方、広島、長崎の原爆被曝者の障害のデータの解析が進むにつれて、放射線に対するリスクも、さらに解明されてきている。また、国連科学委員会 (UNSCEAR) や国際放射線防護委員会 (ICRP) も、それぞれ報告書や、勧告書を出しているの、これらの値を考慮して保定者の個人ならびに集団に対するリスクを推定する。

III 保定者の年齢分布

既報¹⁾の調査で回答のあった施設のなかから、施設群別に無作為に112施設を抽出し、保定にたずさわった人、すべての性別、年齢別の調査を依頼し、解答のあった51施設(大学関係7、競走馬12、開業医21、協同組合等11)を群別に5歳間隔で分類した人数をTable 1に示す。

IV 保定者の平均子供期待率、平均白血病有意因子、平均がん有意因子

日本人の平均子供期待率、白血病有意因子、がん有意因子は、橋詰等によりすでに求められている値を使用した^{6,7)}。この値をTable 2に示す。これに保定者のTable 1の年齢頻度分布(*P_i*)を乗じた積和をTable 3に示す。この値が各施設の保定者1人当りの平均子供期待率および各有意因子である。

V 保定者の臓器線量

1. 表面線量と臓器線量の比

照射方法は、撮影用ベットに中型犬(12 kg)を横向きに寝かせ、胸部等各部位の中心の真上に東芝製 DRX-190D のX線管を下向きに固定し、既報¹⁾のアンケートから得た照射条件(管電圧、照射野、焦点-フィルム間距離)で照射した。犬の中心より50 cmの位置に京都化学製の人骨入りファントム SBU-4(身長160 cm、体重60 kg)を立て、その胸部ポケット位置の表面および西岡ら^{8,9)}の解剖図譜から求めた各臓器の位置に、化成オプトニクス製の熱ルミネッセンス線量計 MSO-S (Mg₂SiO₄ 素子、長さ10 mm、φ2 mm、以下、TLD)を3本ずつ付けて測定した。このときのポケットの表面の線量を「表面線量」とした。

Table 1 Number of holding assistant by age and facility.

Age			~20	~25	~30	~35	~40	~50	~60	60<	Total	Ratio
University												
SA	Male	N_i	192	695	95	8	87	82	42	14	1215	0.89
		P_i	0.158	0.571	0.078	0.007	0.072	0.067	0.035	0.012	1.0	
SA	Female	N_i	3	135	16	0	2	0	0	0	156	0.11
		P_i	0.019	0.865	0.103	0	0.013				1.0	
LA	Male	N_i	10	49	22	0	4	52	0	8	125	0.94
		P_i	0.080	0.0392	0.176	—	0.032	0.256	—	0.064		
LA	Female	N_i		3	5						8	0.06
		P_i		0.375	0.625							
PHV												
SA	Male	N_i	92	470	296	81	113	12	7	12	1191	0.57
		P_i	0.077	0.395	0.249	0.068	0.095	0.01	0.006	0.100	1.0	
SA	Female	N_i	135	594	26	34	96	10	17	3	915	0.43
		P_i	0.148	0.649	0.030	0.036	0.105	0.011	0.019	0.002	1.0	
AMAA												
	Male	N_i	—	27	48	98	64	3	5		245	1.00
		P_i	—	0.110	0.196	0.400	0.261	0.012	0.021		1.0	
HR												
	Male	N_i	10	—	44	7	87	17	27	—	192	1.00
		P_i	0.052		0.229	0.036	0.453	0.089	0.141		1.0	

SA : Small Animal, LA : Large Animal, PVH : Private Veterinary Hospital, AMAA : Agricultural Mutual Aid Association, HR : Horse Racing, N_i : Number of holding assistant by age group, P_i : Ratio of number of each age group to total, Ratio : Sexual ratio of holding assistant in same facility.

Table 2 Child expectancy and significant factors for normal Japanese.

Age		~20	~25	~30	~35	~40	~50	~60	60<
CE	Male	1.767	1.672	1.280	0.542	0.153	0.031	0.008	—
	Female	1.753	1.626	0.849	0.203	0.012	0.005	—	—
LSF	Male	0.98	0.98	0.98	0.97	0.93	0.22	0.73	0.51
	Female	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97	0.94	0.88	0.63
MSF	Male	0.87	0.74	0.65	0.54	0.45	0.30	0.14	0.02
	Female	0.91	0.87	0.74	0.65	0.54	0.39	0.22	0.04

CE : Child Expectancy, LSF : Leukemia Significant Factor, MSF : Malignant Significant Factor.

2. 線量校正方法

TLD の校正は、前項の人体ファントムのかわりに京都化学製の板状ファントム XUR, SZ-50 を厚さ合計 20

cm にして横向きにおき、表面および深さ 1~12 cm の位置に、「医療用線量標準センタ」で校正した 6 ml の空気電離箱をつけた応用技研製の AE132-S 線量計と、

Table 3 Significant factor of holding assistant used for calculation of population doses.

	University				PVH		AMAA	HR
	Small A		Large A		Small A		Large A	Large A
	M	F	M	F	M	F	M	M
Child expectancy (W_k)	1.341	1.529	1.022	1.140	1.158	1.363	0.683	0.453
Leukemia significant factor (L_k)	0.958	0.989	0.930	0.985	0.927	0.983	0.961	0.921
Malignant significant factor (M_k)	0.673	0.810	0.564	0.770	0.606	0.777	0.548	0.462

PVH : Private Veterinary Hospital, AMAA : Agricultural Mutual Aid Association, HR : Horse Racing, A : Animal, M : Male, F : Female.

Table 4 Relation between phantom depth and correction factor of TLD.

Tube Voltage (kV)	Depth (cm)					
	0	1	2	4	8	12
40	0.965	0.965	0.966	0.967	0.968	0.970
60	0.974	0.974	0.976	0.978	0.991	1.013
80	1.000	1.009	1.026	1.074	1.140	1.152
100	1.048	1.052	1.065	1.117	1.152	1.174
120	1.138	1.148	1.156	1.165	1.178	1.183

Table 5 Gonadal dose per unit skin dose of holding assistant (animal : medium size dog).

kV	40	60	80	100
Testis	0.25	0.41	0.58	0.72
Ovary	0.04	0.09	0.16	0.22

上記 TLD を並べておき, 管電圧 40, 60, 80, 100, 120 kV, FFD 75 cm 照射野 25×25 cm の条件で照射することによって行った。その結果得た TLD の校正定数を **Table 4** に示す。

1) 表面線量と生殖線量の比

表面線量を 1 としたときの睪丸および卵巣の線量を, 管電圧別に **Table 5** に示す。

2) 表面線量と骨髓線量の比

赤色骨髓の分布は, 橋本等の研究¹⁰⁾に基づき, 橋詰等が部位別に算出している⁵⁾。その値を **Table 6** の 2 列目に示す。また, 表面線量に対する各部位の線量の比(p_i)を **Table 6** の 3～6 列に示す。各電圧ごとの骨髓量(g_i)と p_i の積和を $\sum g_i p_i$ 欄に示す。この値を全骨髓量(765 g)で割った単位骨髓質量あたりの線量を, 管電圧別に **Table 7** に示す。

3) 表面線量と腫瘍線量の比

放射線の被曝により, がんの発生するおそれのあるおもな部位は, 広島, 長崎の被曝者のデータによれば甲状腺、乳房、肺、胃、大腸、その他消化器、泌尿器、およびリンパ組織等になっており、ICRP ではその外に骨表面をあげている。これらの臓器等のリスクは長崎の場合

Table 8, 2 列のごとく推定される⁴⁾。(ICRP では骨表面にリスク係数として $5 \times 10^{-4} \text{ Sv}^{-1}$ を与えているが, 広島, 長崎では骨がん発症例はないのでここでは 0 とした。また乳がんは女性のみに発生するので, 男性では 0 とした。) リスクの合計が 1 となるように負荷係数を定めると **Table 8** の 3 列 (W_p) のごとくなる。

40～100 kV の X 線を照射したとき, 保定者の表面線量と各部位の線量との比 (p_i) を **Table 8** の 4～7 列に示す。白血病以外の臓器と組織の全リスクを一括して評価するために $\sum W_p p_i$ 腫瘍線量 (tumor dose) として **Table 8** の最下欄に示す。

3. 各位置での保定者の 1 撮影あたりの線量

保定者の位置は, 小動物では頭側, 尾側, 真横, 大動物ではカセット側と頭側, 小鳥では真横であった¹⁾。各種の小動物, 大動物の胸部, その他の部位を全国アンケ

Table 6 Bone marrow weight and ratio of bone marrow dose to unit skin dose by tube voltage.

Tissue	Bone marrow weight (g_i)	Ratio of bone marrow dose to unit skin dose (p_i)			
		40 (kV)	60 (kV)	80 (kV)	100 (kV)
Head	57.4	0.04	0.07	0.14	0.20
C. Vertebrae	22.3	0.08	0.17	0.29	0.38
Clavicles	5.6	0.28	0.48	0.54	0.83
Sterum	20.6	0.26	0.47	0.54	0.85
T. 5	71.6	0.02	0.03	0.05	0.06
Ribs	104.5	0.08	0.18	0.31	0.43
Scaplae	16.7	0.02	0.05	0.07	0.10
Humerus	28.0	0.05	0.11	0.18	0.23
T. 11	30.0	0.02	0.05	0.07	0.10
L. Vertebrae	42.6	0.04	0.09	0.14	0.20
Scapal bone	65.8	0.02	0.05	0.07	0.10
Iliac bone	170.2	0.04	0.10	0.16	0.22
Femur	87.1	0.03	0.06	0.11	0.14
Total	765.0				
$\sum g_i \cdot p_i$		37.3	80.9	126.4	175.8
T : Thoracic vertebrae					

Table 7 Bone marrow dose per unit skin dose.

kV	40	60	80	100
Dose	0.049	0.106	0.165	0.230

ートによる既報の条件で撮影したときの各位置での保定者の各部位の線量は、既報の各撮影の表面線量に **Table 5, 7, 8** の値から内挿して求めた表面線量と各部位の線量との比を乗じて求めた。その値を **Table 9** に示す。

4. 1 撮影当りの全保定者の合計線量

既報の調査¹⁾では、保定者の数は、小動物では頭側と尾側の計2名とするもの60%、真横のみ1名とするもの23%、各方向計3名以上とするものが13%であった。したがって、1回撮影あたりの全保定者の受ける線量の合計 (τD_s) は次式によって求めた。

$$\begin{aligned}\tau D_s &= 0.6(hD + tD) + 0.23I D \\ &\quad + 0.13(hD + tD + I D) \\ &= 0.73(hD + tD) + 0.4I D\end{aligned}$$

大動物では保定者はカセット側と頭側の計2名であった。したがって撮影回あたりの合計線量 (τD_L) はカセット側と頭側の保定者のそれぞれの線量 cD 、と hD の和となる。

$$\tau D_L = cD + hD$$

小鳥の撮影では保定者は真横1名のみであったので、その線量 (τD_g) は側方の保定者の線量 (D_l) だけとなる。

$$\tau D_B = D_I$$

これらの値を **Table 10** に示す。

5. 施設別動物別の透視時間

既報の調査¹⁾によると年間透視時間は全国で3,000時間で、そのなかの半数が保定者を使用していない。したがって、保定者の被曝時間は1,500時間(90,000分)となる。このなかで大学が年間10,800分であり、その内訳は小動物が93%、大動物が7%である。開業医その他では年間66,300分で、そのうち小動物が97.5%である。また競走馬関係ではすべて馬で、12,900分となっている。性別、施設別の透視時間(分)を **Table 11** に示す。

6. 透視における表面線量と臓器線量の比

既報の調査¹⁾によると透視条件は、蛍光板透視でもTV透視でも管電圧は平均60kVである。したがって

Table 8 Burden factor of risk and tumor dose per unit skin dose (Sv).

		Risk (10^{-4}Sv^{-1})	W_p	Tissue or organ dose per unit skin dose (p_i)			
				40 (kV)	60 (kV)	80 (kV)	100 (kV)
Thyroid		4	0.02	0.23	0.40	0.65	0.88
Femal Breast		(20)	(0.12)	(0.50)	(0.75)	(0.95)	(1.00)
Lung		30	0.20	0.15	0.26	0.40	0.49
Stomach		50	0.30	0.24	0.33	0.51	0.58
Colon		10	0.06	0.08	0.15	0.25	0.32
Other digestive		23	0.14	0.10	0.20	0.34	0.47
Urinary tract		15	0.08	0.09	0.16	0.26	0.36
Multiple myeloma		13	0.08	0.05	0.09	0.17	0.23
Bone skin		0	0	—	—	—	
Total	Male	145	0.88				
	Female	165	1.00				
$\Sigma W_p \cdot p_i$	Male			0.137	0.216	0.343	0.422
	Female			0.197	0.306	0.457	0.542

W_p : Burden factor.

表面線量と臓器線量等との比は Table 12 のごとくなる。

7. 透視時の保定者の臓器線量

透視条件は、管電圧が 60 kV、管電流は蛍光板透視が 1.5 mA、TV 透視が 0.5 mA であった。保定者は頭側、尾側の 2 名であり、保定者の平均表面線量は、蛍光板透視が毎分 15 μSv 、TV 透視が 5 μSv であった¹⁾。この値と Table 12 から求めた透視時の保定者の臓器線量を Table 13 に示す。

8. 保定者全員の生殖腺線量、骨髓線量および腫瘍線量

保定者全員の生殖腺線量、骨髓線量および腫瘍線量は撮影では、部位別の枚数と、各撮影にたずさわった全員の撮影 1 枚あたりの各臓器の線量との積和である。また透視では、1 分間あたりの臓器線量と総透視時間 (分) の積である。

(1) 撮影

施設別、撮影部位別の撮影枚数は、既報¹⁾の値を用いて動物別、大きさ別、部位別に算出した。その値を Table 14 に示す。保定者の臓器の総線量は、Table 14 の撮影枚数 (N_i) に、各撮影にたずさわった Table 10 の保定者全員の臓器線量の合計 (D_i) を乗じた積和 ($\Sigma N_i \cdot D_i$) で求められる。これらの値を Table 15 に示す。Table 15 の値は全員が男性または女性のときの線量になるので、実際の線量はこの表の値に各施設の保定

者の男女比 (Table 1 の ratio の値) を乗じたものになる。この値を Table 16 の 7 列に示す。さらに有意線量を求めるには、この値に Table 3 の有意因子を乗ずる。その値を Table 16 の $\Sigma N_i \cdot D_i \cdot S_i$ の列に示す。

(2) 透視

保定者の性別、施設群別および装置別に分類した Table 11 の透視時間に、Table 13 の線量を乗じた値を Table 17 の 6 列に、さらに Table 3 の有意因子 W_k , L_k , M_k を乗じた値を Table 17 の 8 列に示す。小動物では保定者が名 2 であるので、この値の 2 倍となる。

VI 国民線量の推定

動物の X 線撮影によって被曝した保定者の臓器線量から算出した有意線量を Table 16 に、また透視による有意線量を Table 17 に示した。その値をさらに動物の種類別、大きさ別、診療施設別に、遺伝、白血病、がん等に分けて示すと Table 18 のごとくなる。

Table 18 の最下行は国民線量の遺伝有意線量 (GSD) 平均骨髓線量 (CDS)、白血病有意線量 (LSD) がん有意線量 (MSD) を求める (1)~(4) 式の分子となる。(1) 式の実母は現在の日本人から将来生れてくる子供の数であり、これを約 9,000 万人とし、(2)~(4) 式の実母は現在の日本人の人口で、約 12,000 万人とすると、次式のごとく GSD が 13.8 nSv, CDS が 3.5 nSv, LSD が 3.3 nSv, MSD が 4.5 nSv となる。

Table 9 Organ dose of holding assistant per exposure by parts and species of animal (10 μ Sv).

	Parts	Animal size	Tube voltage (kV)	D_t			D_o			D_b			D_m		
				H	T	LC	H	T	LC	H	T	LC	H	T	LC
Small animal	Head Neck	L	71	55	19	64	11	4	13	15	6	18	29	10	35
		M	63	38	14	45	7	3	8	11	4	13	19	7	22
		S	55	23	8	28	4	1	5	6	2	7	11	4	13
	Chest	L	72	46	45	105	9	9	21	13	12	29	24	23	54
		M	65	32	30	72	6	6	14	8	8	19	15	14	34
		S	57	20	18	42	3	3	7	4	4	10	9	8	19
	Ab.	L	71	25	51	109	5	10	22	7	14	24	13	27	45
		M	63	17	35	66	3	7	12	5	10	19	8	17	32
		S	56	11	23	44	2	4	8	2	5	9	5	10	20
	Ext.	L	63	17	24	24	3	5	5	5	7	7	9	12	12
		M	55	10	20	22	2	3	3	3	4	5	5	8	9
		S	50	8	12	20	1	2	3	2	3	4	4	5	7
	Others	L	65	31	31	63	6	6	12	9	9	18	16	16	32
		M	60	23	23	49	4	4	9	6	6	13	11	11	23
		S	55	15	15	31	3	3	6	4	3	8	7	6	15
	Bird	M													
		S	44			4			1			1			2
Large animal	Head Neck	C	80	122		230	27		52	35		67	66		126
		P	80	99		220	22		49	29		64	53		120
	Chest	C	81	56		200	13		48	16		58	31		110
		P	80	45		174	10		39	13		50	24		95
	Ab.	C	95	52		210	13		54	16		63	27		118
		P	85	40		200	9		45	11		54	20		101
	Ext.	C	66	8		19	2		4	3		6	4		10
		P	60	6		12	1		2	2		3	3		6
	Others	C	80	46		190	10		43	13		55	26		104
		P	80	38		174	5		39	11		50	21		95

L : Large, M : Medium, S : Small, C : Cow, P : Pig, Ab. : Abdomen, Ext. : Extremity. H, T : Holding assistant of head and tail side, respectively, LC : Holding assistant of Lateral for small animal and Cassette side for Large animal, D_s : Skin dose of holding assistant, D_t, D_o, D_b : Dose of Testis, Ovary and Bone marrow, respectively, D_m : Tumor dose.

$$GSD=124.7 \times 10^7 / 9 \times 10^7 = 13.8 \text{ nSv}$$

$$CMD=42.5 \times 10^7 / 12 \times 10^7 = 3.5 \text{ nSv}$$

$$LSD=39.9 \times 10^7 / 12 \times 10^7 = 3.3 \text{ nSv}$$

$$MSD=54.3 \times 10^7 / 12 \times 10^7 = 4.5 \text{ nSv}$$

VII リスクの推定

保定者が獣医学的診断用X線によって受けた散乱線によって国民全体に起こるかもしれない遺伝的撮影リスク

を gR , 白血病およびがんのリスクをそれぞれ eR , mR , とすると, gR , eR , および mR は橋詰等の研究^{7,11)}により次式によって求められる。

$$gR = (GSD) \times 185 \times 10^{-4}$$

× (将来生まれてくる子供の数)

$$eR = (LSD) \times 20 \times 10^{-4} \times (\text{人口})$$

$$mR = (MSD) \times 165 \times 10^{-4} \times (\text{人口})$$

ここで 185×10^{-4} , 20×10^{-4} , 165×10^{-4} はリスク係

Table 10 Mean total dose of holding assistant per exposure by parts and species of animal ($\times 10 \mu\text{Sv}$).

Small animal

Part	Animal size	D_t	D_o	D_b	D_m
Head Neck	L	80	16.1	23	43
	M	56	10.4	15.6	27
	S	34	5.6	8.9	16
Chest	L	108	22	30	50
	M	74	14.1	19.7	35
	S	45	7.3	10	20
Ab.	L	99	20	25	47
	M	64	11.9	17.9	32
	S	42	7.2	8.8	26
Ext.	L	39	7.4	11	14.9
	M	31	4.7	7.1	12.7
	S	23	3.4	5.4	8.9
Others	L	71	13.6	15.9	36
	M	54	9.5	13.6	26
	S	34	6	8.6	15.8

Large animal

Head Neck	C	450	79	102	192
	P	320	71	93	173
Chest	C	269	51	74	140
	P	220	49	63	119
Ab.	C	260	67	79	145
	P	240	54	65	12.2
Ext.	C	27	5.2	8.4	13.5
	P	18.1	3.2	4.7	8.6
Others	C	249	53	69	130
	P	210	44	62	116

Bird

	M	5.6	0.92	1.8	2.6
	S	2.8	0.46	0.9	1.3

Ab. : Abdomen, Ext. : Extremity, L : Large, M : Medium, S : Small, C : Cow, P : Pig, D_t , D_o , D_b : Dose of testis, ovary and bone marrow respectively, D_m : Tumor dose.

数で, 1 Sv 被曝したときの致死の期待数である。これに前項の GSD , LSD , MSD の値を入れると $gR=0.023$ 人, $lR=0.008$ 人, $mR=0.009$ 人となる。

この結果, 国民全体を一つの集団と考えると致死的风险は無視できるほど小さいことがわかる。

しかし特定の人がいとも保定する場合は, 1 回の撮影で, 多いときは $1 \mu\text{Sv}$ 程度被曝する。1 日 10 回以上保定する人は年に 4×10^{-5} 以上のリスク (がん) になるので注意しなければならない。

Table 11 Time of fluoroscopy by sex and facility (minute).

		Small Animal		Large Animal		
		Uni.	PVH	Uni.	AMAA	HR
Male	Flu	890	16470	70	760	5800
	TV	7970	12630	640	940	7100
Female	Flu	110	20100	10	—	—
	TV	1030	15400	80	—	—

Flu : Screen Fluoroscopy, TV : Fluoroscopy using TV monitor, Uni. : University, PVH : Private Veterinary Hospital, AMAA : Agricultural Mutual Aid Association, HR : Horse Racing.

Table 12 Organ dose per unit skin dose (fluoroscopy).

	D_t	D_o	D_b	D_m
Dose	0.41	0.07	0.11	0.2

D_t , D_o , D_b : Dose of testis, ovary and bone marrow respectively, D_m : Tumor dose.

Table 13 Organ dose per minute in fluoroscopy (μSv).

	D_t	D_o	D_b	D_m
Screen fluoroscopy	6.2	1.1	1.65	3.0
TV fluoroscopy	1.1	0.4	0.55	1.0

D_t , D_o , D_b : Dose of testis, ovary and bone marrow respectively, D_m : Tumor dose.

VIII 結果および考察

1) 実験には東芝製 DRX-190P を使用した。X線量は装置によりある程度の差が予想されたので、当大学の外国製を含む4台の診断装置について同一条件 (70 kV, 3 mAs, 焦点・チェンパー間距離 75 cm, 照射野 10×10 cm) で線量を測定したところ、平均 588 nc/kg (2.28 mR) で標準偏差 (σ) が 18 nc/kg であった。また、神奈川県下で開業している施設のX線装置の同上の条件での線量は、578 nc/kg (2.24 mR), σ は 101 nc/kg であった。なお、東芝 DRX190D は 593 nc/kg (2.30 mR) であったので、線量推定に使用した照射線量については問題はないと思われる。

2) 年齢を荷重した保定者の平均子供期待率は大学が最も高く、男性 1.34, 女性 1.53 であり、開業医はそれに次ぎ、それぞれ 1.16, 1.36, となった。この値は ICRP の値をはるかに超えている。

3) 施設群別の有意線量は開業医がいちばん高く、全体の 90% を占めている。これは医療領域関係とは相当の違いがある。

4) 国民線量としては、遺伝有意線量 (GSD) が最も高く、14 nSv 以下であった。がん有意線量 (MSD) が

4.5 nSv, 白血病有意線量 (LSD) が 3.3 μSv であるが、いずれも国民線量に対する寄与は少なくあまり問題はないと思われる。

5) 獣医関係では保定に畜主を使うことは現在少なく、特定の人がいつも保定する場合が多い。保定者は1枚の撮影において、多いときは生殖腺に小動物照射の場合、1 μSv , 大動物照射の場合、3~4 μSv も被曝する。1カ月に100枚以上撮影する開業医は少なくないので、十分注意が必要である。

6) 防護衣を使用すれば生殖腺量は 10% 以下に、また骨髓線量は Table 6 の値から算出すると 17%, がんは Table 8 から 12% 程度に減少する。前回の調査¹⁾で半数が防護衣を使用しているので、3項の値の GSD は 55%, LSD は 58%, MSD は 56% 程度となる。

7) 広島、長崎の原爆線量の再評価 (DS-86) ならびに 1988 年の UNSCEAR の報告によると、リスクがある程度高くなるが、器官別の生涯相加リスクは多発生骨髓腫以外は Table 8 の W_p とほとんど変わらない。したがって国民線量としては問題ない。しかし特定の人が、いつも保定する施設の個人のリスクについては、なおいっそう注意が必要と思われる。

Table 14 Number of exposure per year by animal size and parts.

		Size	Head	Chest	Ab.	Exte.	Others	Total
Univ.	Dog	L	160	970	1060	940	100	3230
	Dog	M	570	3380	3730	1280	340	11300
	Cat	M	190	660	780	630	90	2350
	Sub Total		760	4040	4510	1910	430	13650
	Dog	S	620	3710	4090	1590	370	12380
	Cat	S	1070	3730	4400	3600	530	13330
	Sub Total		1690	7440	8490	7190	900	26710
	Bird							580
PVH (×10 ³)	Dog	L	7.1	42.5	46.7	41.1	4.3	141.7
	Dog	M	24.8	148.7	163.6	143.8	14.9	495.8
	Cat	M	12.7	44.3	52.2	42.7	6.3	158.2
	Sub Total		37.5	192.0	215.8	186.5	21.2	653.0
	Dog	S	27.2	162.9	179.2	157.4	16.3	543.0
	Cat	S	71.7	251.0	295.9	242.1	35.9	896.6
	Sub Total		98.9	413.9	475.1	399.5	52.1	1439.6
	Bird							288.3
Univ.	CH		310	140	60	2170	140	2820
PVH	CH		4420	2010	800	30960	2010	40200
AMAA	CH		1080	490	200	7570	490	9830
HR	CH		460	1380	460	43850	0	46140
Sub Total			6270	4020	1520	84550	2640	99000
Univ.	PO		30	50	60	370	30	540
PVH	PO		370	670	810	5180	370	7400
AMAA	PO		60	110	130	810	60	1170
Sub Total			460	830	1000	6360	460	110

Univ. : University, PVH : Private Veterinary Hospital, AMAA : Agricultural Mutual Aid Association, HR : Horse Racing, L : Large, M : Medium, S : Small, Ab. : Abdomen, Exte. : Extermity, CH : Cow and Horse, PO : Pig and Others.

Table 15-1 Total organ dose of holding assistant per exposure of small animal (μSv).

		University					PVH				
		N	D_t	D_o	D_b	D_m	$N \times 10^2$	$D_t \times 10^3$	$D_o \times 10^3$	$D_b \times 10^3$	$D_m \times 10^3$
Head	L	160	130	30	40	70	71	5	1	2	3
	M	960	430	80	120	50	375	20	4	6	10
	S	1690	580	100	150	270	989	33	5	9	15
Chest	L	970	1050	210	290	490	425	45	9	12	21
	M	4039	2990	570	800	1410	1920	139	27	37	66
	S	7440	3350	690	740	1490	4139	181	29	40	80
Ab.	L	1060	1050	210	270	500	467	45	9	11	21
	M	4510	2890	540	810	1440	2158	134	25	38	67
	S	8490	3570	610	750	2210	4751	193	33	41	120
Ext.	L	940	370	70	100	140	411	16	3	4	6
	M	3410	1210	180	280	500	1865	56	9	13	23
	S	7190	1650	240	390	140	3995	89	13	21	35
Others	L	100	70	10	20	30	45	3	1	1	2
	M	430	230	40	60	110	212	11	2	3	5
	S	900	310	50	80	140	522	17	3	4	8
Bird	M	580	24	4	6	9	297	1.2	0.2	0.3	0.5
Total			19900	3630	4900	9500		988	173	242	482

L : Large, M : Medium, S : Small, PVH : Private Veterinary Hospital, D_t , D_o , D_b : Dose of testis, ovary and bone marrow respectively, D_m : Tumor dose.

Table 15-2 Total organ dose of holding assistant per exposure of large animal (μSv).

		University					AMAA				Horse Racing			
		N	D_t	D_o	D_b	D_m	N	D_t	D_b	D_m	N	D_t	D_b	D_m
Head Neck	C	310	1400	250	320	600	1980	4860	1100	2070	460	2070	470	880
	P	30	100	20	30	50	60	190	150	280				
Chest	C	140	360	70	100	200	1490	1270	360	690	1380	3590	1020	1930
	P	50	110	30	30	60	110	240	70	130				
Abdomen	C	60	160	40	50	90	200	520	160	290	460	1200	360	670
	P	60	140	30	40	70	130	310	80	160				
Exterimity	C	2170	590	110	180	290	7570	2040	640	1020	43850	11840	3680	5920
	P	370	70	10	20	30	810	150	40	70				
Others	C	140	340	70	100	180	490	1180	340	640	—	—	—	—
	P	30	60	10	20	30	60	130	1160	70				
Total			3330	640	890	160		10890	2980	5420		18700	5530	9400

D_t , D_o , D_b : Dose of testis, ovary and bone marrow respectively, D_m : Tumor dose.

Table 16 Total dose per year of holding assistant for radiography.

		mSv	Sex	M/F	$\sum N_i D_i$ (mSv)	S	$\sum N_i D_i S_i$ (mSv)	
SA	Univ.	Testis	19.9	M	0.886	17.6	1.34	23.6
		Ovary	3.6	F	0.114	0.4	1.53	0.6
		D_b	4.9	M	0.886	4.3	0.96	4.1
			4.9	F	0.114	0.6	0.99	0.6
		D_m	9.5	M	0.884	8.4	0.67	5.6
			9.5	F	0.114	1.1	0.81	0.9
	PVH	Testis	988	M	0.566	559	1.16	648.4
		Ovary	173	F	0.434	75	0.36	102
		D_b	242	M	0.566	137	0.93	127.4
			242	F	0.434	105	0.98	102.9
		D_m	482	M	0.566	272.8	0.61	166.4
			482	F	0.434	290.2	0.78	163.2
LA	Univ.	Testis	3.3	M	0.940	3.1	1.02	3.2
		Ovary	0.6	F	0.060	0.04	1.14	0.05
		D_b	0.9	M	0.940	0.8	0.93	0.7
			0.9	F	0.060	0.05	0.99	0.05
		D_m	1.6	M	0.940	1.5	0.56	0.8
			1.6	F	0.060	0.1	0.77	0.1
	AMAA	Testis	10.9	M	1	10.9	0.68	7.4
		D_b	3.0	M	1	3.0	0.96	2.9
		D_m	5.4	M	1	5.4	0.55	3.0
	HR	Testis	18.7	M	1	18.7	0.45	8.4
		D_b	5.5	M	1	5.5	0.92	5.1
		D_m	9.4	M	1	9.4	0.46	4.3

SA : Small Animal, LA : Large Animal, PVH : Private Veterinary Hospital, HR : Horse Racing, Univ. : University, AMAA : Agricultural Mutual Aid Association, M : Male, F : Female, M/F : Sexial ratio, S : Significant factor, N : Number of Holding Assistant, D_b : Bone marrow dose, D_m : Tumor dose.

Table 17 Total dose and total significant dose of holding assistant for fluoroscopy by group of facility.

Small animal

		Sex	Dose (μ Sv)			SF	Sig. Dose (mSv)
			FI	TV	Total		
Univ.	GD	M	5520	8770	14290	1. 34	19. 2
		F	120	410	530	1. 54	0. 8
	LD	M	1470	4380	5850	50. 96	5. 6
		F	180	570	750	0. 99	0. 7
	MD	M	2610	7970	10580	0. 67	7. 1
		F	330	1030	1360	0. 86	1. 2
PVH	GD	M	102110	42210	144320	1. 16	167. 4
		F	13890	6160	20050	1. 56	27. 3
	LD	M	27180	11060	38240	0. 93	35. 6
		F	20840	8470	29310	0. 98	28. 7
	MD	M	49410	20100	65510	0. 61	42. 4
		F	37890	15400	53290	0. 78	41. 6

Large animal

Univ.	GD	M	430	1344	1770	10.2	1.8
		F	10	30	40	1.14	0.05
	LD	M	120	350	470	0.93	0.4
		F	20	40	60	0.99	0.06
	MD	M	210	640	850	0.56	0.5
		F	30	80	110	0.77	0.1
AMAA	GD		4650	1910	6560	0.68	4.5
	LD		1240	500	1740	0.96	1.7
	MD		2250	910	3160	0.55	1.7
HR	GD		35960	14910	50870	0.45	22.9
	LD		9570	3900	13470	0.92	12.4
	MD		17400	7100	24500	0.46	11.3

GD : Genetically Significant Dose, LD : Leukemia Significant Dose, MD : Malignant Significant Dose, M : Male, F : Female, SF : Significant Factor, Sig. Dose : Significant Dose, FI : Screen fluoroscopy, TV : TV fluoroscopy.

Table 18 Total significant dose per year of holding assistant in Japan (mSv).

Radiography

Animal	Facility	Sex	GD	CD	LD	MD
Small	Univ.	M	23.6	4.3	4.1	5.6
		F	0.6	0.6	0.6	0.9
	PVH	M	648.4	137.0	127.4	116.4
		F	102.0	105.0	102.9	163.2
	Sub total		774.6	246.9	235.0	336.1
Large	Univ.	M	3.2	0.8	0.7	0.8
		F	0.05	0.05	0.05	0.1
	AMAA	M	7.4	3.0	2.9	3.0
	HR	M	3.0	5.5	5.1	4.3
	Sub total		13.7	9.4	8.1	8.2
Small, Large Total			788.3	256.3	243.1	344.3

Fluoroscopy

Animal	Facility	Sex	GD	CD	LD	MD
Small	Univ.	M	38.4	11.8	11.2	14.2
		F	1.6	1.4	1.4	2.4
	PVH	M	334.8	76.4	71.2	84.8
		F	54.6	58.6	57.4	83.2
	Sub total		429.4	148.2	141.2	184.6
Large	Univ.	M	1.8	0.5	0.4	0.5
		F	0.05	0.06	0.06	0.1
	AMAA	M	4.5	1.7	1.7	1.7
	HR	M	22.9	13.5	12.4	11.3
	Sub total		29.3	15.8	14.6	13.6
Small, Large Total			458.7	164.0	155.8	198.2

Rad+Flu

Total			1247.0	425.3	398.9	542.5
-------	--	--	--------	-------	-------	-------

GD : Genetically Significant Dose, CD : *per caput* Mean Marrow Dose, LD : Leukemia Significant Dose, MD : Malignant Significant Dose, Uni. : University, PVH : Private Veterinary Hospital, AMAA : Agricultural Mutual Aid Association, M : Male, F : Female, Rad+Flu : Radiography+Fluoroscopy.

IX 結 論

- 1) 保定者は男性のほうが相当多いが、開業医では女性と比較的多く、男性の 77% である。
- 2) 遺伝的に有意な生殖腺線量の合計は、開業医の場合男性は女性の 6 倍であるが、がんに関連した有意な線量はほとんど男女の差がない。
- 3) 有意線量の合計は、生殖腺で約 1.25 Sv、がんで 0.54 Sv となった。
- 4) 有意線量は小動物照射の場合が、大動物の場合の 15~28 倍あった。
- 5) 有意線量は開業医が全体の約 90% を占めているので、開業医に対する放射線管理の教育が必要である。
- 6) 国民線量としては、遺伝有意線量が 14 nSv、白血病有意線量が 3.3 nSv、がん有意線量が 4.4 nSv と少ないので、問題ない。
- 7) 獣医診療では、特定の人がつねに保定者になる場合が多いため、個人のリスクが 4×10^{-5} 以上になることも考えられる。
- 8) 保定者には防護衣等を着用させることを義務づける必要がある。
- 9) 被曝線量低減のために保定器の開発が急務である。

この調査にあたり、実験に協力された大学院生、石川義広氏、調査に協力いただいた各大学、ならびに各診療施設に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 橋詰 雅, 菅沼常徳, 信田卓男; 獣医放射線による保定者の集団線当量の推定, 保健物理, **23**, 185 (1988).
- 2) ICPR; Recommendations of the International Commission on Radiation Protection, ICPR Publication 26 (1977); 34 (1982).
- 3) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; Ionizing Radiation Sources and Biological Effects, (1977); (1982)
- 4) T. HASHIZUME, Y. KATO, T. MARUYAMA, Y. KUMAMOTO, A. SHIRAGAI and A. NISHIMURA; Population mean marrow dose and Leukemia significant dose from diagnostic medical X-ray examination in Japan. 1969, *Health Phys.*, **23**, 845 (1972).
- 5) 橋詰 雅, 丸山隆司; 医療被曝のリスク推定方法について, 日本医放学会誌, **40**, 1175 (1980).
- 6) 橋詰 雅, 丸山隆司, 野田 豊, 岩井一男, 館野三男, 西沢かな枝; 診断用 X 線によるリスクの推定(第 2 報), 日本医放会誌, **41**, 59 (1981).
- 7) 丸山隆司ほか 9 名; 胃集団検診における件数, 国民線量およびリスクの推定, 日本医放会誌, **47**, 971 (1987).
- 8) 西岡清春; “画像診断のための解剖図譜”, メディカルレビュー社, 東京 (1982, 1983).
- 9) 福田信男, 池平博夫, 館野三男; “全身 NMR-CT 臨床アトラス”, 秀潤社, 東京 (1984).
- 10) 橋本美智雄; Pathology of bone marrow, *J. Kyushu Hema Soc.*, **9**, 386 (1957).
- 11) 橋詰 雅; 医療被曝のリスクと低減, 日本医放会誌, **41**, 445 (1981).