



Title	核医学診断・治療における件数, 国民線量およびリスクの推定 第3報 国民線量, 集団実効線量当量およびリスクの推定
Author(s)	丸山, 隆司; 山口, 寛; 野田, 豊 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1988, 48(12), p. 1544-1552
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/19881
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

核医学診断・治療における件数，国民線量およびリスクの推定

第3報 国民線量，集団実効線量当量およびリスクの推定

放射線医学総合研究所物理研究部

丸山 隆司 山口 寛 野田 豊

放射線医学総合研究所技術部

隈 元 芳 一

日本大学歯学部放射線学教室

岩 井 一 男

杏林大学医学部放射線医学教室

西 沢 か な 枝

(昭和63年4月27日受付)

(昭和63年6月20日最終原稿受付)

Estimation of Frequency, Population Doses and Stochastic Risks in Medical Uses of Radiopharmaceuticals in Japan, 1982

3. Population Doses and Risk Estimates

Takashi Maruyama, Hiroshi Yamaguchi, Yutaka Noda, Yoshikazu Kumamoto*, Kazuo Iwai** and Kanae Nishizawa***

*Division of Physics and Technical Services, National Institute of Radiological Sciences

**Department of Radiology, School of Dentistry, Nihon University

***Department of Radiology, School of Medicine, Kyourine University

Research Code No. : 302, 302.1

Key Words : Medical exposures, Nuclear medicine,
Population doses, Risk estimation

The population doses have been estimated on the basis of the annual number of nuclear medicine procedures evaluated from a nationwide survey, using organ or tissue doses determined with a modified MIRD technique. Risk estimates of the stochastic effects have been evaluated using the organ or tissue doses, population doses and risk factors.

The annual population doses from diagnostic nuclear medicine procedures were $4.2 \mu\text{Gy person}^{-1}$ for the genetically significant dose, $15.7 \mu\text{Gy person}^{-1}$ for *per Caput* mean bone marrow dose, $12.0 \mu\text{Gy person}^{-1}$ for the leukemia significant dose and $5.0 \mu\text{Gy person}^{-1}$ for the malignant significant dose, respectively. The collective dose equivalents from diagnostic nuclear medicine procedures were estimated to be 2334 man Sv for male and 1907 man Sv for female, with a total of 4241 man Sv.

The common use of unsealed radionuclides for therapy is administration of sodium iodine-131 (^{131}I) for hyperthyroidism. The population doses from the therapeutic procedures for hyperthyroidism using ^{131}I were $0.19 \mu\text{Gy person}^{-1} \text{ year}^{-1}$ for the genetically significant dose, $8.0 \mu\text{Gy person}^{-1} \text{ year}^{-1}$ for the *per Caput* mean bone marrow dose, $7.0 \mu\text{Gy person}^{-1} \text{ year}^{-1}$ for the leukemia significant dose and $464 \mu\text{Gy person}^{-1} \text{ year}^{-1}$ for the malignant significant dose. The collective effective dose equivalent was estimated to be 64000 man Sv for male and 621000 man Sv for female, with a total of 685000 man Sv.

Sv.

The risk of stochastic effects from the uses of radiopharmaceuticals for diagnosis and therapy was estimated to be about 7 for genetic effects, about 5 for leukemogenesis and about 913 for carcinogenesis for the whole population in Japan. The large value of carcinogenetic risk may be due to the highest exposure of the thyroids during the therapy for hyperthyroidism.

1. はじめに

1982年に日本全国で行われた核医学診断の頻度は、男性で54万件、女性で45万件、合計99万件であり、治療件数は約3,000件であった¹⁾。1977年の調査では、54万件であった²⁾ので5年間に件数は約2倍に増加した。放射性医薬品による国民線量は、1977年には、国民一人あたり年あたり遺伝有意線量が $3.8\mu\text{Gy}$ (0.38mrad)、骨髄線量が $25\mu\text{Gy}$ (2.5mrad)、白血病有意線量が $20\mu\text{Gy}$ (2.0mrad)であった。核医学診断・治療における放射性医薬品の種類や使用方法も、5年の間には変わってきており、実態に則した国民線量の推定が必要である。また、放射線誘発がんのリスクを評価するため、国民線量の一つとして、がん有意線量が提唱されている³⁾。さらに、最近では、人類が被曝する種々の放射線源からのリスクを比較する目的で、国際放射線防護委員会(ICRP)が勧告している実効線量当量が、医療被曝にも導入されている。

本報は、第1報¹⁾で推定した放射性医薬品の使用頻度と第2報⁴⁾で計算した臓器・組織線量を用いて、わが国における核医学診断・治療による国民線量、集団実効線量当量および確率的影響のリスクを評価した。

2. 国民線量

国民線量は国民一人あたりが受ける線量であり、これには遺伝有意線量(Genetically Significant Dose: GSDという)、平均骨髄線量(*per Caput* Mean Bone Marrow Dose: CMDという)、白血病有意線量(Leukemia Significant Dose: LSDという)およびがん有意線量(Malignant Significant Dose: MSDという)が含まれる。

国民線量は次式で定義されている：

$$\text{GSD} = \frac{\sum_k (N_k^{(M)} G_k^{(M)} d_{gk}^{(M)} + N_k^{(F)} G_k^{(F)} d_{gk}^{(F)})}{\sum_k (N_k^{(M)} G_k^{(M)} + N_k^{(F)} G_k^{(F)})} \quad \cdots (1)$$

$$\text{CMD} = \frac{\sum_k (N_k^{(M)} d_{bk}^{(M)} + N_k^{(F)} d_{bk}^{(F)})}{\sum_k (N_k^{(M)} + N_k^{(F)})} \quad \cdots (2)$$

$$\text{LSD} = \frac{\sum_k (N_k^{(M)} L_k^{(M)} d_{lk}^{(M)} + N_k^{(F)} L_k^{(F)} d_{lk}^{(F)})}{\sum_k (N_k^{(M)} + N_k^{(F)})} \quad \cdots (3)$$

$$\text{MSD} = \frac{\sum_k (N_k^{(M)} M_k^{(M)} d_{mk}^{(M)} + N_k^{(F)} M_k^{(F)} d_{mk}^{(F)})}{\sum_k (N_k^{(M)} + N_k^{(F)})} \quad \cdots (4)$$

ここで、

N_{jk} : k 年齢層の患者に投与された j タイプの放射性医薬品の投与量、

N_k : k 年齢層の人口

G_{jk} : j タイプの放射性医薬品を投与された k 年齢層の患者の子供期待率、

G_k : k 年齢層の人の子供期待率、核医学診断・治療の対象となる患者では、がん患者のように5年生存率を考える必要がないので、健常者の子供期待率と同一で $G_{jk} = G_k$ である。

L_{jk} : j タイプの放射性医薬品を投与された k 年齢層の患者の白血病有意因子、

M_{jk} : j タイプの放射性医薬品を投与された k 年齢層の患者のがん有意因子、

d_{gjk} : j タイプの放射性医薬品を投与された k 年齢層の患者が単位投与量あたり受ける生殖腺線量、

d_{bjk} : j タイプの放射性医薬品を投与された k 年齢層の患者が単位投与量あたり受ける平均骨髄線量、

d_{ejk} : j タイプの放射性医薬品を投与された k 年齢層の患者が単位投与量あたり受けるがん誘発に関連した実効線量、

(F) および (M) は、それぞれ女性および男性を表わす、

Table 1 は1979年の人口統計を用いて算出した性別、年齢別の遺伝、白血病およびがん有意因子

Table 1 significant Factors for Estimation of Population Doses.

Age	Relative Child Expectancy		Leukemia Significant Factor		Malignant Significant Factor	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female
0-4	1.00	1.00	0.99	0.99	0.93	0.94
5-9	1.00	1.00	0.99	0.99	0.91	0.93
10-14	1.00	1.00	0.99	0.99	0.87	0.91
15-19	1.00	1.00	0.99	0.99	0.80	0.87
20-24	0.97	0.92	0.98	0.99	0.74	0.82
25-29	0.72	0.47	0.98	0.98	0.65	0.74
30-34	0.34	0.12	0.97	0.98	0.54	0.65
35-39	0.092	0.007	0.95	0.97	0.45	0.54
40-44	0.019	0.003	0.93	0.95	0.34	0.45
45-49	0.0045	0.0001	0.90	0.93	0.26	0.34
50-54	0.0015	—	0.87	0.90	0.18	0.26
55-59	0.0007	—	0.80	0.87	0.10	0.18
60-64	0.0001	—	0.69	0.80	0.05	0.10
65-69	—	—	0.56	0.69	0.02	0.05
70-74	—	—	0.38	0.56	0.004	0.02
75-	—	—	0.23	0.38	—	0.004

を示す⁵⁾。核医学診断・治療を受ける患者の白血病およびがん有意因子は、子供期待率と同様に、健康者に対する有意因子と同一であるとして、 L_{jk} および M_{jk} に Table 1 の値を用いた。

第1報で得られた性別、年齢別および放射性医薬品のタイプ別投与量（以後の表などで医薬品の表示を簡略にするため Table 2 に、簡略記号と放射性医薬品の対応表を示す）と第2報で与えられた単位投与量あたりの臓器・組織線量を用いて式(1)―(4)で計算した国民線量を Table 3 および Table 4 に示す。性別、年齢別国民人口は1982年の厚生省統計⁵⁾を用いた。

核医学診断による GSD は、国民1人あたり年あたり、男性で $3.16\mu\text{Gy}$ 、女性で $1.06\mu\text{Gy}$ であり、合計 $4.22\mu\text{Gy}$ であった。年齢別の GSD は子供期待率の大きい20歳未満の寄与が、男性で全体の約60%、女性で約15%であった。特に、男性の5~9歳の寄与が全体の約25%を占めていた。核種別では、 ^{67}Ga による寄与が全体の約27%を占め、ついで I の25%、 ^{99m}Tc の約20%と続いている。

CMD は、国民一人あたり年あたり、男性で $9.24\mu\text{Gy}$ 、女性で $6.42\mu\text{Gy}$ 、合計 $15.66\mu\text{Gy}$ であった。CMD は年齢別の荷重係数が加味されないため、

Table 2 Lists of Radiopharmaceuticals with Their Symbols.

Symbols	Radionuclides	Radiopharmaceuticals
Tc-1	^{99m}Tc	Ferrotechnetate
Tc-2	^{99m}Tc	MDP
Tc-3	^{99m}Tc	Colloidal Sn-hydroxide
Tc-4	^{99m}Tc	Phytic acid
Tc-5	^{99m}Tc	Albumin
Tc-6	^{99m}Tc	DTPA
Tc-7	^{99m}Tc	HIDA
Tc-8	^{99m}Tc	PYP
Tc-9	^{99m}Tc	MAA
Tc-10	^{99m}Tc	RBC
Tc-11	^{99m}Tc	Others
I-1	^{131}I	Fibringen
I-2	^{131}I	Adosterol
I-3	^{131}I	Hippurate
I-4	^{131}I	HSA
I-5	^{131}I	NaI
I-6	^{123}I	NaI
I-7	^{125}I	HSA
I-8	^{125}I	PVP
I-9	^{123}I	Hippurate
Ga-1	^{67}Ga	Citrate
Tl-1	^{201}Tl	Chloride
Se-1	^{75}Se	Selenomethionine
Se-2	^{75}Se	Cinitradrain
Xe-1	^{133}Xe	IV
Xe-2	^{133}Xe	Gas
In-1	^{113m}In	DTPA
In-2	^{111}In	Chloride
In-3	^{111}In	oxine
Au-1	^{198}Au	Colloid
Kr-1	^{81m}Kr	Generator
Kr-2	^{81m}Kr	Gas
Cr-1	^{51}Cr	NaCr
Cr-2	^{51}Cr	RBC
Fe-1	^{59}Fe	Ferric citrate
Co-1	^{57}Co	Cianocobalamin
Co-2	^{58}Co	Cianocobalamin
Ca-1	^{47}Ca	CaCl

ほぼ診断件数に比例している。年齢別では、診断件数の多い50歳台が男性で全体の約15%、女性で約11%を占めていた。核種別では、 ^{99m}Tc による寄与が男性で全体の約19%、女性で約14%であった。件数は少ないが、骨が線源臓器となる ^{47}Ca が全体の約12%を占めている。

Table 3 Annual Population Doses by Age-group from Uses of Radiopharmaceuticals in Diagnostic Nuclear Medicine.

Age group (years old)	GSD ($\mu\text{Gy person}^{-1} \text{ year}^{-1}$)			CMD ($\mu\text{Gy person}^{-1} \text{ year}^{-1}$)			LSD ($\mu\text{Gy person}^{-1} \text{ year}^{-1}$)			MSD ($\mu\text{Gy person}^{-1} \text{ year}^{-1}$)		
	Male	Female	Total	Male	Female	Total	Male	Female	Total	Male	Female	Total
0-4	0.539	0.207	0.746	0.099	0.075	0.174	0.098	0.075	0.173	0.168	0.156	0.324
5-9	1.041	0.174	1.215	0.079	0.055	0.134	0.079	0.055	0.134	0.146	0.113	0.259
10-14	0.777	0.112	0.889	0.069	0.046	0.115	0.068	0.046	0.114	0.110	0.084	0.194
15-19	0.165	0.124	0.289	0.070	0.056	0.126	0.069	0.055	0.124	0.095	0.082	0.177
20-24	0.143	0.209	0.352	0.094	0.097	0.191	0.092	0.096	0.188	0.110	0.135	0.245
25-29	0.206	0.131	0.337	0.470	0.135	0.605	0.460	0.132	0.592	0.205	0.152	0.357
30-34	0.137	0.073	0.210	0.251	0.299	0.550	0.244	0.293	0.537	0.209	0.290	0.499
35-39	0.051	0.012	0.063	0.634	0.519	1.153	0.602	0.504	1.106	0.249	0.451	0.700
40-44	0.014	0.003	0.017	0.655	0.383	1.038	0.609	0.364	0.973	0.226	0.268	0.494
45-49	0.005	0.001	0.006	0.891	0.517	1.408	0.802	0.481	1.283	0.241	0.251	0.492
50-54	0.002	0	0.002	1.102	1.061	2.163	0.959	0.955	1.914	0.225	0.351	0.576
55-59	0.001	0	0.001	1.279	0.623	1.902	1.024	0.542	1.566	0.137	0.157	0.294
60-64	0	0	0	0.824	0.606	1.430	0.568	0.484	1.052	0.054	0.084	0.138
65-69	0	0	0	0.829	0.691	1.520	0.464	0.477	0.941	0.021	0.048	0.069
70-74	0	0	0	1.015	0.600	1.615	0.386	0.336	0.722	0.005	0.016	0.021
75-	0	0	0	0.766	0.598	1.364	0.176	0.227	0.403	0	0.003	0.003
Unknown	.075	.014	0.089	0.118	0.057	0.175	0.114	0.056	0.170	0.077	0.051	0.128
Total	3.16	1.06	4.22	9.24	6.42	15.66	6.82	5.18	12.0	2.28	2.69	4.97

Table 4 Annual Population Doses by Type of Radiopharmaceuticals from Uses of Radiopharmaceuticals in Diagnostic Nuclear Medicine. (see Table 2)

Radio- pharma- icals	GSD ($\mu\text{Gy person}^{-1} \text{ year}^{-1}$)			CMD ($\mu\text{Gy person}^{-1} \text{ year}^{-1}$)			LSD ($\mu\text{Gy person}^{-1} \text{ year}^{-1}$)			MSD ($\mu\text{Gy person}^{-1} \text{ year}^{-1}$)		
	Male	Female	Total	Male	Female	Total	Male	Female	Total	Male	Female	Total
Tc-1	0.096	0.044	0.140	0.183	0.180	0.363	0.133	0.149	0.282	0.159	0.221	0.380
Tc-2	0.300	0.137	0.437	0.656	0.675	1.331	0.444	0.550	0.994	0.155	0.232	0.387
Tc-3	0.0021	0.0033	0.0054	0.153	0.096	0.249	0.112	0.075	0.187	0.043	0.038	0.081
Tc-4	0.0082	0.010	0.0182	0.642	0.374	1.016	0.465	0.292	0.757	0.170	0.132	0.302
Tc-5	0.059	0.021	0.080	0.238	0.124	0.362	0.165	0.095	0.260	0.036	0.025	0.061
Tc-6	0.0089	0.027	0.0359	0.231	0.177	0.408	0.171	0.145	0.316	0.254	0.250	0.504
Tc-7	0.0071	0.042	0.0491	0.263	0.236	0.499	0.182	0.186	0.368	0.049	0.059	0.108
Tc-8	0.024	0.015	0.039	0.476	0.299	0.775	0.303	0.219	0.522	0.018	0.019	0.037
Tc-9	0.0065	0.0038	0.0103	0.089	0.053	0.142	0.061	0.042	0.103	0.084	0.080	0.164
Tc-10	0.0016	0.0040	0.0056	0.070	0.041	0.111	0.051	0.033	0.084	0.038	0.040	0.078
Tc-11	0.0005	0.00077	0.0012	0.016	0.016	0.032	0.011	0.013	0.024	0.005	0.0062	0.0112
Tc-total	0.514	0.308	0.8217	3.017	2.271	5.288	2.098	1.799	3.897	1.011	1.022	2.1132
I-1	0.075	0.181	0.256	0.115	0.779	0.894	0.095	0.708	0.803	0.042	0.506	0.548
I-2	0.158	0.058	0.216	0.062	0.072	0.134	0.045	0.062	0.107	0.057	0.087	0.144
I-3	0.00005	0.00005	0.0001	0.0002	0.00026	0.00046	0.00016	0.00023	0.00039	0.0007	0.0012	0.0019
I-4	0.498	0.078	0.576	0.072	0.046	0.118	0.061	0.039	0.10	0.061	0.037	0.098
I-5	0	0	0	0	0.0013	0.0013	0	0.00005	0.00005	0	0.00010	0.0001
I-6	0.00093	0.0010	0.0019	0.004	0.012	0.016	0.0032	0.010	0.0132	0.021	0.065	0.086
I-7	0.000001	0.00003	0.000031	0.00008	0.00028	0.00036	0.00007	0.00027	0.00034	0.00008	0.00004	0.000048
I-8	0.00005	3×10^{-7}	0.00005	0.00028	0.00026	0.00054	0.0003	0.00023	0.00053	0.00004	0.00002	0.00006
I-9	0.00003	3×10^{-9}	0.00003	0.00011	0.00007	0.0001170	0.00009	0.000006	0.0000960	0.00002	0.000005	0.000205
I-total	0.732	0.318	1.05	0.254	0.910	1.16	0.205	0.820	1.02	0.182	0.696	0.878

(continued)

Ga-1	0.870	0.268	1.138	2.03	1.44	3.47	1.38	1.12	2.50	0.370	0.379	0.749
Tl-1	0.766	0.089	0.855	0.85	0.59	1.44	0.609	0.462	1.071	0.209	0.207	0.416
Se-1	0.075	0.039	0.114	1.2	0.753	1.953	0.833	0.585	1.418	0.188	0.169	0.357
Se-2	0.023	0.0025	0.0255	0.062	0.087	0.149	0.052	0.074	0.126	0.019	0.026	0.045
Xe-1	0.0013	0.00038	0.00168	0.0018	0.00047	0.00227	0.0012	0.0004	0.0016	0.00045	0.00026	0.00071
Xe-2	0.0055	0.00223	0.00773	0.0041	0.002	0.0061	0.0028	0.0015	0.0043	0.0038	0.0032	0.007
In-1	0.012	0.015	0.027	0.098	0.068	0.166	0.073	0.053	0.126	0.086	0.068	0.154
In-2	0.014	0.0036	0.0176	0.031	0.016	0.047	0.025	0.012	0.037	0.0076	0.0032	0.0108
In-3	0.0020	0.0070	0.009	0.048	0.029	0.077	0.038	0.027	0.065	0.0048	0.0078	0.0126
Au-1	0.00078	0.00034	0.00112	0.017	0.010	0.027	0.013	0.008	0.021	0.0091	0.0064	0.0155
Kr-1	0.01	0.0031	0.0131	0.0054	0.0024	0.0078	0.0038	0.0018	0.0056	0.0026	0.0016	0.0042
Kr-2	0.000003	0.000001	0.000004	0.00012	0.00004	0.00016	0.00008	0.0003	0.00011	0.00008	0.00004	0.00012
Cr-1	0.00018	0.00062	0.0008	0.00060	0.00083	0.00143	0.0005	0.0008	0.0013	0.00016	0.00039	0.00055
Cr-2	8×10 ⁻⁸	0.00003	0.00003	0.00009	0.00005	0.00014	0.00005	0.00005	0.0001	0.000014	0.00005	0.000064
Fe-1	0.093	0.0018	0.0948	0.013	0.026	0.039	0.011	0.018	0.029	0.0047	0.0046	0.0093
Co-1	0.00003	1×10 ⁻⁷	0.00003	0.00004	0.00005	0.00009	0.00003	0.00004	0.00007	0.00002	0.000026	0.000046
Co-2	0.00004	1×10 ⁻⁸	0.00004	0.00008	0.00021	0.00029	0.00007	0.00013	0.0002	0.00005	0.00004	0.00009
Ca-1	0.038	0	0.038	1.62	0.216	1.836	1.47	0.195	1.665	0.179	0.019	0.0198
Total	3.16	1.06	4.22	9.24	6.42	15.66	6.82	5.18	12.0	2.28	2.69	4.97

LSDは高年齢層ほど小さな値となる白血病有意因子を荷重するため、CMDより小さな値となる。国民一人あたり年あたりのLSDは、男性で6.82μGy、女性で5.18μGy合計12.00μGyであった。年齢別では、50歳台の寄与は男性で全体の約17%、女性で約12%とCMDの場合に比べて多少増加がみられた。核種別では、男性で全体の約18%、女性で15%であった。

MSDは今回初めて推定されたが、男性では2.28μGy、女性では2.69μGyで合計4.97μGyであった。年齢別では、男女とも30歳台および40歳台の寄与が大きく、男性でいずれも全MSDの約9%を占め、女性で30歳台が15%および40歳台が10%を占めている。核種別では、件数の多い^{99m}Tcによる寄与が大きく、男性では全MSDの約20%、女性で約22%が^{99m}Tcによって占められていた。

3. 集団実効線量当量

国連科学委員会は、人間のいろいろな線源からの被曝を比較するとき、集団実効線量当量を用いること提唱している。ICRP Publ. 42によれば⁷⁾、集団実効線量当量 S_E は次式で定義される。

$$S_E = \sum H_{Ei} N (H_{Ei})_i \quad (5)$$

ここで、 $N(H_{Ei})_i$ は、 H_{Ei} という実効線量当量を受ける集団 i に属する個人の数である。 S_E の単位

Table 5 Collective Effective Dose Equivalents by Age-Group from Uses of Radiopharmaceuticals in Diagnostic Nuclear Medicine.

Age group (year old)	CDE (manSv)		
	Male	Female	Total
0-4	44	38	82
5-9	50	35	85
10-14	40	23	63
15-19	29	20	49
20-24	30	35	65
25-29	59	42	101
30-34	82	91	173
35-39	116	160	276
40-44	143	130	273
45-49	204	153	357
50-54	281	256	537
55-59	286	183	469
50-64	234	175	409
65-69	226	207	433
70-74	282	167	449
75-	198	175	373
Unknown	30	17	47
Total	2334	1907	4241

はman Sv (人・シーベルト)である。

Table 5およびTable 6は、性別、放射性医薬器のタイプ別の S_E を示す。核医学診断による S_E

Table 6 Collective Dose Equivalents by Type of Radiopharmaceuticals from Uses of Radiopharmaceuticals in Diagnostic Nuclear Medicine. (see Table 2)

Radiopharmaceuticals	CDE (manSv)		Total
	Male	Female	
Tc-1	96	95	191
Tc-2	130	135	265
Tc-3	85	54	139
Tc-4	350	206	556
Tc-5	30	16	46
Tc-6	167	130	297
Tc-7	42	40	82
Tc-8	33	22	55
Tc-9	40	24	64
Tc-10	153	91	244
Tc-11	9	9	18
Tc-total	1135	822	1957
I-1	30	207	237
I-2	124	144	268
I-3	0.36	0.48	0.84
I-4	28	15	43
I-5	0	11	11
I-6	23	66	89
I-7	0	0.01	0.01
I-8	0.01	0.01	0.02
I-9	0.06	0	0.06
I-Total	205	444	649
Ga-1	371	264	635
Tl-1	246	154	400
Se-1	202	129	331
Se-2	11	15	26
Xe-1	0.59	0.17	0.76
Xe-2	2	1	3
In-1	52	35	88
In-2	5	2	7
In-3	3	2	5
Au-1	30	18	48
Kr-1	1.8	0.84	2.64
Kr-2	0.11	0.03	0.14
Cr-1	0.08	0.11	0.19
Cr-2	0.08	0.05	0.13
Fe-1	8	11	0.19
Co-1	0.04	0.04	0.08
Co-2	0.06	0.14	0.02
Ca-1	61	8	69
Total	2334	1907	4241

は、男性で2334man Sv, 女性で1907man Sv 合計4241man Svである。核種別では、 ^{99m}Tc による S_E が全体の約46%を占めている。年齢別では、男性

の50歳台が最大で全体の約13%を占めていた。20歳未満の若年層の S_E は男女合わせて全体の約7%である。

^{131}I が甲状腺機能亢進症の治療に用いられていた¹⁾。この核医学治療による国民線量および集団実効線量当量を、診断の場合と同様に計算した。それらの結果をTable 7に示す。若年層と男性の治療件数が少ないため、男性の国民線量は小さい。しかし、最も大きな線量を受ける線源臓器である甲状腺が、がん有意線量MSDおよび実効線量当量 S_E に直接関係するため、件数の多い女性のMSDおよび S_E への寄与は大きい。

核医学治療によるGSD, CMD, LSDおよびMSDは、国民一人あたり年あたり、それぞれ0.189, 7.98, 6.99および464.74 μGy であった。また、 S_E は685,000man Svであった。1980年代に行われた医療被曝による国民線量および集団実効線量当量をまとめてみるとTable 8のようになる⁸⁾⁻¹⁰⁾。核医学治療によるがん有意線量がずばぬけて大きいことを示している。 ^{131}I を用いた甲状腺機能亢進症の治療には、高い放射能が用いられるため、甲状腺の線量が非常に大きくなることによる。

医療被曝の頻度や国民線量の資料をまとめている国連科学委員会報告書¹¹⁾でも、核医学診断・治療に関するデータはほとんどない。最近、米国やソ連などから核医学診断による集団実効線量当量が報告されている¹²⁾⁻¹⁵⁾。本報告で推定された日本のデータを、それら外国のデータとTable 9に比較した。表には、核医学診断による年集団実効線量当量と国民一人あたり年あたりの実効線量当量を示している。わが国の国民一人あたり年あたりの実効線量当量は、ソ連とはほぼ同一であるが、英の値の約2倍であった。

4. リスクの推定

核医学診断に用いられる程度の投与量では、非確率的影響の発生は考えられず、確率的影響のみが対象となる。電離放射線の確率的影響として遺伝的影響と白血病およびがんの誘発がある。核医学診断による、日本国民全体を対象とした集団のリスクと患者個人のリスクの両方を評価した。

Table 7 Annual Population Doses and Collective Dose Equivalents by Age-Group from Uses of ¹³¹I-Radiopharmaceuticals in Therapeutic Nuclear Medicine.

Age group (years old)	GSD			CMD			LSD			MSD			CDE (manSv)		
	$(\mu\text{Gy person}^{-1} \text{ year}^{-1})$			$(\mu\text{Gy person}^{-1} \text{ year}^{-1})$			$(\mu\text{Gy person}^{-1} \text{ year}^{-1})$			$(\mu\text{Gy person}^{-1} \text{ year}^{-1})$					
	Male	Female	Total	Male	Female	Total	Male	Female	Total	Male	Female	Total	Male	Female	Total
0-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20-24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25-29	0.014	0.036	0.05	0.02	0.064	0.084	0.02	0.063	0.083	2.634	9.423	12.057	1753	5506	7259
30-34	0.020	0.1	0.12	0.062	0.706	0.768	0.06	0.692	0.752	6.633	91.090	97.723	5314	60590	65904
35-39	0.008	0.007	0.015	0.093	0.816	0.909	0.089	0.792	0.881	8.320	87.480	95.8	7998	70040	78038
40-44	0.001	0.001	0.002	0.066	0.313	0.379	0.062	0.297	0.359	4.478	27.91	32.388	5697	26820	32517
45-49	0.001	0.001	0.002	0.129	0.517	0.646	0.116	0.481	0.597	6.651	34.87	41.521	11070	44350	55420
50-54	0	0	0	0.208	2.684	2.892	0.181	2.415	2.596	7.408	138.5	145.908	17800	230300	248100
55-59	0	0	0	0.041	0.138	0.179	0.033	0.12	0.153	0.811	4.938	5.749	3506	11860	15366
60-64	0	0	0	0.062	1.267	1.329	0.043	1.014	1.057	0.614	25.15	25.764	5314	108700	114014
65-69	0	0	0	0.047	0.659	0.706	0.026	0.454	0.48	0.185	6.535	6.72	3999	56510	60509
70-74	0	0	0	0.005	0.015	0.02	0.002	0.009	0.011	0.004	0.060	0.065	438	1315	1753
75-	0	0	0	0.01	0.054	0.064	0.002	0.02	0.022	0	0.043	0.043	877	4602	5479
Unknown	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	.044	.145	.189	.743	7.23	7.98	.634	6.36	6.99	38	426	464	64000	621000	685000

Table 8 Comparison of population doses and collective effective dose equivalents from recent medical exposures in Japan.

Radiological Procedures	Population Dose ($\mu\text{Gy person}^{-1} \text{ year}^{-1}$)									Collective Effective Dose Equivalent (man Sv)		
	GSD			LSD			MSD					
	Male	Female	Total	Male	Female	Total	Male	Female	Total	Male	Female	Total
Stomach mass screening	0.42	1.38	1.08	52.6	47.6	100.2	37.0	42.4	79.4	7915	8220	16135
Chest mass screening			0.17			52.6			28.0	3444	3363	6808
Brachy therapy	0.00108	0.00581	0.00789	0.54	18.71	19.25	1.87	169.7	171.6	320	51000	51320
Nuclear medicine												
Diagnosis	3.16	1.06	4.22	6.82	5.18	12.00	2.28	2.69	4.97	2334	1907	4241
Therapy	0.044	0.145	0.189	0.634	6.36	6.99	38	426	464	64000	621000	685000
Dental Radiography	0.0712	0.0058	0.0770	4.31	5.26	9.57	3.37	5.09	8.46	1272	1635	3908

Table 9 Annual collective effective dose equivalent and annual *per Caput* effective dose equivalent for diagnostic nuclear medicine.

Country	Collective effective dose equivalent (man Sv)	<i>per Caput</i> effective dose equivalent (mSv)
USSR 1981	8700	0.034
United Kingdom 1982	950	0.017
United States 1982	32000	0.14
Japan (Present data)	4240	0.035
Sweden 1983	540	0.060

1) 集団リスク

核医学における放射性医薬品の利用によって、国民全体に起こるかも知れない遺伝的影響、白血病およびがんのリスクをそれぞれ、 gR_p 、 iR_p および mR_p とすれば、それらのリスクは次式で推定できる。

$$gR_p = (\text{GSD}) \times 185 \times 10^{-4} \times (\text{将来の子供総数})$$

$$iR_p = (\text{LSD}) \times 20 \times 10^{-4} \times (\text{人口}) \quad (6)$$

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

ここで、右辺の数値は、それぞれ遺伝的影響、白血病およびがん誘発のリスク係数である¹⁶⁾。

Table 3 および 4 の国民線量と1982年の人口⁶⁾を

Table 10 Population risks from the uses of radiopharmaceuticals in nuclear medicine.

Type of Risk	Procedure	Population Dose ($\mu\text{Gy person}^{-1} \text{ year}^{-1}$)	Risk Factor (Gy^{-1})	Population	Risk Estimates
Genetic	Diagnosis	4.22	185×10^{-4}	8.82×10^7	6.89
	Therapy	0.044			0.072
	Total	4.66			6.962
Leukemia	Diagnosis	12.0	20×10^{-4}	1.18×10^8	2.83
	Therapy	6.99			1.65
	Total	18.99			4.48
Malignant	Diagnosis	4.97	165×10^{-4}	1.18×10^8	9.68
	Therapy	464.			903.
	Total	468.97			912.68

用いて計算した国民全体のリスクを Table 10 に示す。1982年の核医学診断および治療によって、現在の人口から生まれるであろう子供の約7人になんらかの致命的遺伝的影響の発生が予想される。また、全国民のうち約5人が致命的白血病に、約913人が致命的がんになることが予想される。

2) 個人のリスク

放射性医薬品の投与による個人のリスクは集団の場合と同様、遺伝的影響のリスク、白血病およびがんのリスクの3つからなる。遺伝的影響は個人が将来生産するであろう子供の数に関係する。白血病およびがんの発生には潜伏期間があり、その期間に他の原因に依って死亡することがある。このような理由で、これらの影響の起こる確率は線量だけでは決まらない。年齢に関する有意因子で線量を荷重しなければならない。k 年齢層の

個人の受けるリスクは次式で計算される。

$$\begin{aligned} {}_G R_k &= {}_G d_k \times 100 \times 10^{-4} G_k \\ {}_L R_k &= {}_L d_k \times 20 \times 10^{-4} L_k \\ {}_M R_k &= {}_M d_k \times 165 \times 10^{-4} M_k \end{aligned} \quad (7)$$

ここで、 ${}_G R_k$ 、 ${}_L R_k$ および ${}_M R_k$ は、それぞれ k 年齢層の個人の遺伝的影響のリスク、白血病およびがんのリスクである。 ${}_G d_k$ 、 ${}_L d_k$ および ${}_M d_k$ はそれぞれ、k 年齢層の患者が放射性医薬品の投与によって受けた生殖腺線量、骨髄線量および実効線量である。右辺の数値は、それぞれのリスク係数である⁷⁾。Table 11 に 2, 3 の放射性医薬品による個人のリスクを示す。若年齢層ほどリスクが大きいことがわかる。

5. 結 論

1) 1982年に日本全国で行われた核医学診断で受けた国民線量は、GSD が 4.22、CMD が 15.66、

Table 11 Individual Risks from the Uses of Radiopharmaceuticals in Diagnostic Nuclear Medicine.

Type of Risk	Male(age)					Female(age)					
	1	5	10	15	25	1	5	10	15	25	
	$(\times 10^{-8})$										
Tc-2	Genetic	2.6	2.7	3.8	1.6	1.0	1.7	1.0	1.3	1.7	0.80
	Leukemia	0.90	0.56	0.78	1.1	1.1	0.90	0.56	0.78	1.1	1.1
	Malignant	1.6	1.5	2.0	2.4	1.9	2.5	1.6	2.3	1.8	2.3
	Total	5.1	4.8	6.6	5.1	4.0	5.1	3.2	4.4	4.6	4.2
I-2	Genetic	1.1	1.3	1.5	0.20	0.12	0.60	0.35	0.35	0.21	0.10
	Leukemia	0.034	0.021	0.025	1.017	0.017	0.034	0.021	0.025	0.017	0.017
	Malignant	0.85	0.56	0.65	0.40	0.29	0.87	0.57	0.73	0.43	0.33
	Total	2.0	1.9	2.2	0.51	0.43	1.5	0.94	0.81	0.66	0.45

LSDが12.00およびMSDが $4.97\mu\text{Gy person}^{-1}\text{ year}^{-1}$ であった。核医学治療によるGSDは0.189, CMDは7.98, LSDは6.99およびMSDは $464\mu\text{Gy person}^{-1}\text{ year}^{-1}$ であった。核医学治療によるがん有意線量は診断によるその約100倍であった。

2) 核医学診断による集団実効線量当量は、4241 man Svであったが、核医学治療の集団実効線量当量はほぼ150倍の685,000 man Svであった。

3) 核医学における放射性医薬品の利用によって国民全体が受ける確率的影響のリスクは、遺伝的影響で7人、白血病の発生で約5人、さらにかんの発生で913人と推定された。

文 献

- 1) 丸山隆司, 野田 豊, 隈元芳一, 他: 核医学診断・治療における件数, 国民線量およびリスクの推定, 第1報, 件数と放射線医薬品の使用量, 日本医放会誌, 48: 911-920, 1988
- 2) 橋詰 雅, 丸山隆司, 館野之男, 他: 放射性医薬品による国民線量の推定, 日本医放会誌, 39: 267-276, 1979
- 3) 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
- 4) 丸山隆司, 山口 寛, 野田 豊, 核医学診断・治療における件数, 国民線量およびリスクの推定, 第2報, 臓器・組織線量と実効線量当量の計算, 日本医放会誌, 48: 1536-1543, 1988
- 5) 橋詰 雅, 丸山隆司, 野田 豊, 他: 診断用X線によるリスクの推定, 第3報, X線診断による国民線量と集団のリスク, 日本医放会誌, 41: 132-143, 1981
- 6) 厚生統計協会: 厚生指針, 29: 9-391, 1983
- 7) ICRP Publ. 42: ICRPが使用しているおもな概念と量の用語解説, 日本アイソトープ協会訳, International Commission on Radiological Protection, 1986
- 8) 丸山隆司, 野田 豊, 隈元芳一, 他: 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: 971-982, 1987
- 9) Kumamoto Y: Population doses, excess deaths and loss of life expectancy from mass chest X-ray examinations in Japan 1980. Health Phys 49: 37-48, 1985
- 10) 丸山隆司, 岩井一男, 橋本光二, 他: 歯科X線撮影における撮影件数, 国民線量およびリスクの推定, 1985, 日本歯放会誌, 27: 143-153, 1987
- 11) UNSCEAR Report: Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects, United Nations, New York, 1982
- 12) Hughes JS, Roberts GC: The radiation exposure of the UK population—1984 Review. NRPB-R173, 1984
- 13) Johansson L, Mattson S: Effective dose equivalent from internally deposited radionuclides; effect of age and sex distribution of the irradiated population 29-46: In Assessment of Radiactive Contamination in Man 1984. Proceedings of a Symposium. IAEA Vienna, 1985
- 14) Mettler FA, Christie AG, Williams AG, et al: Population characteristics and absorbed dose to the population from nuclear medicine: United States-1982, Health Phys 50: 619-628, 1986
- 15) Vorobjev EI, Stavitsky RV, Kniznikov VA, et al: Radiation exposure of the population in the USSR due to medical diagnostic procedures. Radiat Prot Dosim 11: 35-40, 1985
- 16) 橋詰 雅, 丸山隆司: 医療被曝のリスク推定方法について, 日本医放会誌, 40: 1175-1182, 1980