1 解説

規格日本人(Reference Japanese)の設定

(放射線医学総合研究所)田中 義一郎, 河村 日佐男,
(監察医務院)中原 義行

欧米人のモデルである Standard man, Reference man (ICRP)に相当する Reference Japanese が日本人の被曝線量推定には必要である。このため、欧米人と日本人の食生活、嗜好、体格、臓器質量、大きさ、代謝、化学組成の決定などに関する相互比較と、日本人モデル設定に必要な条件、意義および標準値決定の経過などについて解説する。

I. はじめに

環境中に放出された人工放射性核種は、吸入経路または食物連鎖を経て食餌より人体に摂取される。ある環境中または生態系においては、一定条件下で、一定量の放射性核種の放出に対応する人体内部被曝線量の推定を行うことは理論的に可能である。しかし、このためには、その核種の環境中での挙動、生物への移行・濃縮の各過程、および人体への取込み・代謝の各段階での定量的パラメータの把握が必要である。

日本人の放射性核種による内部被曝線量推定のためには、日本人の人体パラメータの決定は不可欠のものといえる。欧米においては、すでにICRPより Standard man (Pub. 2, 1959)⁽¹⁾, Reference man (Pub. 23, 1974)⁽²⁾として、解剖学的、生理学的および化学的数値が標準値、参照値として決められ、刊行されている。しかし、このモデルは欧米人を主体としたもので、日本人のデータは極めてわずかに利用されているに過ぎず⁽³⁾、人類共通のモデルとしての目的は果たしておらず、日本人の線量評価の基準値として直接適用することはできない。

この理由としては、生物地球化学的見地からいえることであるが、食生活の相違、食餌からの各元素摂取量、元素の体内量および代謝に伴う残留傾向の差異のほか、体重・体格、臓器の重量と大きさなどにおいて、欧米人と日本人とは明らかに人種的な差があると考えられるからである⁽⁴⁾。

以上の観点から、日本人の正確な被曝線量推定のためには、日本人についての各臓器質量、大きさ、元素代謝、各臓器中の元素濃度の研究調査を行い、諸特性を考慮したモデル、すなわち規格日本人(Reference Japanese)の設定が必要である⁽⁵⁾。

II. 体重・体格および食習慣

Standard man(以下 S.man)を含め Reference man(以下 R.man)は第1図のように、体重70 kg(成人男子平均体重)である。日本人は成人男子59 kg、女子51 kg(厚生省)であって、欧米人の15歳前後に相当する。これはR.manがコーカシヤ人種で、西ヨーロッパおよび北アメリカの生活習慣を持つ平均気温10~20°Cの地域に居住する身長170 cmの人間(モデル)であるからである⁽²⁾。このほか日本人とは胸囲、座高も相違がみられる。

第1図 日本人(1965~'73年の平均値)と R. man の年齢別、性別体重比較⁽²⁾⁽⁷⁾

栄養摂取の質および量についても、第1表のように、肉、牛乳・乳製品、魚介類、脂肪類の1日摂取量がかなり異なっている。

III. 臓器質量(重量)

臓器質量および大きさは放射性核種の沈着に伴い、

Establishment of Reference Japanese, Giichiro TANAKA, Hisao KAWAMURA, Yoshiyuki NAKAHARA.
(1977年 9月14日 受理)

第1表 日本における食料需給量および摂取量

	穀 類	イモ・ でん粉	豆・豆 製品	野菜	果実	肉類	鶏卵類	牛乳・ 乳製品	魚介類	海藻	砂糖・ 菓子類	油脂類	文献
需給量(10 ³ t)													
国内生産量 (1975年)	13,693	5,639	1,079	15,612	6,674	2,056	1,806	5,010	9,897	126	3,349	1,260	} (8)
輸 入 量 (1975年)	19,422	111	3,610	226	1,381	728	55	787	1,071	25	2,286	363	
輸 出 量 (1975年)	36	0	5	8	81	3	0	0	990	4	86	87	
1人1日当り摂取量 (g)													
日 本 人 (1975年)	343.7	61.7	67.0	256.4	183.6	62.8	41.1	96.5	91	4.7	43.1	16.2	(7)
ア メ リ カ 人 (1955年)	207	103	202	184	206	47	527	22	22	69	49	} (2)	
E. C. 諸 国 (1965年)	346	196	180	114	118	21	308	22	22	57	63		
	蛋白質(動物性)			脂肪(動物性)		炭水化物		カルシウム					
栄養素別摂取量 (g)													
日 本 人 (1975年)	78.7	(37.9)		51.6	(26.9)	339		0.54					(7)
ア メ リ カ 人 (1955年)	99			130		302		1.0					} (2)
E. C. 諸 国 (1963~65年)	79			99		320		1.0					

線量計算上必要なパラメータの1つである。しかし、動物と異なり生きているヒトの臓器重量を計測することはできない。また、ある疾病が原因で死亡したヒトの臓器は、健康人と異なり放射線防護のためのモデルには適さない。

以上の観点から、日常活動している正常な人間の生きた情報を得ることは容易にできることではない。東京都監察医務院においては事故死者に対する司法的立場での医学的判定を下す行政解剖が行われているが、1952年相見ら⁽⁶⁾は交通事故死、ショック死、中毒死など1,800例を抽出し、正常日本人の臓器重量および大きさとして発表した。この値は戦後の極めて厳しい食糧難時代の日本人体型であったが、病理解剖時に得られた値とは本質的に異なり信頼度の高いものである。しかし当時と現在(1970年代)とでは、1人1日当りの食物摂取量で、熱量で1,929から2,467 Calに、動物性蛋白質で18から37.9 gに、総蛋白質摂取量で18%増加し、その後の体位の向上はめざましい(厚生省統計)⁽⁷⁾⁽⁹⁾。

本解説は、これと同質のデータについて、1971~1976年の6年間の資料10,598件より病理学的に異常のない2,880件を選んで統計処理を行なった。さらに剖検所見より鬱血、出血、炎症、水腫、脂肪化、萎縮・^{こん}濁など正常組織と異なる臓器についてはすべて除外した。このため、第2表中例数において、男女合計数の減少、臓器間の数の相異が生じている。第2図(a)~(1)は、現代の日本人に相当する各臓器の年齢別、性別重量(g)である。図中の□は男、★は女を表わす。胸腺のバラツキを除き、各年齢と臓器重量の間には一定の傾向がみられる。また、得られた年齢別の平均体重は、例数の少ない場合を除き第1図の日本人平均体重にはほぼ一致している。

第2表は、1970年代、'50年代の日本人と欧米人(R. man 基礎データ)の臓器重量を比較したものである。欧米人に比べて日本人の値がやや高い傾向について疑問がもたれるが、統計的な根拠にたてば疑問は解消する。ここで甲状腺について、ICRPは男17.6 g、女14.5 gをまとめの段階でそれぞれ20 g、17 g(R. man)としている点なども注目される。また日本人に関する情報も、岡(1941)⁽¹⁰⁾の報告と相見(正常人)の報告とでは差があり、脾、副腎を除いて後者がいずれも高く、脳、腎で4%、心、肝、脳下垂体で13~22%、胸腺で2.5倍と高い値を示している。病気の原因を究明する病理解剖と、事故と臓器の異常の因果関係を究明する司法解剖という条件の相異によるものであるという。

第3表は、著者らの統計値をもとにR. manに対応する日本人臓器重量モデル(Reference Japanese)をまとめて提案したものである。

蛇足を加えるならば、厚生省は1985年の国民栄養予測を行なっている⁽⁷⁾⁽⁹⁾。食物の改善が成長期グループの体位に、また成人では体重増加(肥満)に影響があらう。しかし、成人の臓器重量(臓器実質)には大きな影響を及ぼさないことが統計的に判明している。また、食物の摂取量や質の改善のみで人種的差異を越える可能性はないと思われる。

インド以西を除くアジア諸国の人口は世界人口の30.8%(FAO, 1975)を占める。第3表のデータが日本以外のアジア諸国民の臓器重量類推に役立つ可能性もあると考えられる。

Ⅳ. 元素の代謝および体内量

生物体を構成する元素の存在度は元素の種類により大きく異なるが、地球上に存在するあらゆる元素が生

① 副 腎(上: 左, 下: 右)

② 脳

③ 心 臓

④ 腎 臓(上: 左腎, 下: 右腎)

⑤ 肺 臓(上: 左葉, 下: 右葉)

⑥ 肝 臓

⑦ 腺 臓

⑧ 脳下垂体

第2図 現代の日本人に相当する年齢別、性別臓器重量

第2表 正常日本人と欧米人の臓器重量比較

臓器名	男				女			
	日本人		欧米人 ^{d)}		日本人		欧米人 ^{d)}	
	著者 ^{a)} (1971~76年)	相見ら ^{e)} (1952年)			著者 ^{a)} (1971~76年)	相見ら ^{e)} (1952年)		
	例数 (g)	例数 (g)	例数 (g)	例数 (g)	例数 (g)	例数 (g)	例数 (g)	例数 (g)
副腎	14.7	11.1	328	13.8 ^{e)}	13.2	10.5	277	12.7 ^{a)}
" (左)	1127 (7.65±2.30)	474 (5.58)			247 (6.85±2.08)	138 (5.52)		
" (右)	1189 (7.03±2.04)	473 (5.56)			248 (6.36±1.89)	138 (5.00)		
脳	918 1440±118	437 1424	2107	1355 ^{f)}	197 1308±103	134 1256	1330	1220 ^{f)}
心臓	596 352±77	441 309		330 ^{g)}	181 284±62	133 249		240 ^{g)}
腎臓	327	269	2414	310 ^{h)}	280	235	1014	275 ^{h)}
" (左)	868 (168±41)	442 (138)			183 (145±42)	135 (121)		
" (右)	876 (159±38)	442 (139)			184 (135±34)	135 (114)		
肺	1162	—	259	1169 ^{j)}	893	—	150	886 ^{j)}
" (左)	715 (539±170)				152 (415±115)			
" (右)	722 (623±189)				155 (478±141)			
肝臓	856 1600±366	443 1431	150	1831 ⁱ⁾	174 1363±354	128 1269	44	1477 ⁱ⁾
脾臓	1017 135±38	—	131	96.1 ^{k)}	218 111±29	—	79	84.8 ^{k)}
脳下垂体	1186 0.56±0.12	426 0.66	64	0.55 ^{l)}	247 0.63±0.15	128 0.75	60	0.62 ^{l)}
脾臓	867 127±56	368 109	1022	192 ^{m)}	195 122±53	113 106	720	153 ^{m)}
睪丸	36.3 ^{b)}	—	528	34.7 ⁿ⁾				
" (左)	1135 (17.7±5.1)							
" (右)	1134 (18.6±5.3)							
胸腺	304 31.7±17.9	380 24.9	142	19.7 ^{o)}	65 25.6±11.4	114 21.7	142	19.7 ^{o)}
甲状腺	1185 19.1±6.4	435 18.8	278	17.6 ^{p)}	241 16.8±5.9	126 17.2	144	14.5 ^{p)}

a) 20~50歳の平均値±標準偏差, b) 副睪丸を含む重量, c) 21~51歳, d) ICRP. Reference man (1975) より引用(注. 文献値であり, R.man ではない), e) 21~50歳(同, table 88), f) 20~60歳(同, table 93), g) Reference adult male and female (同, p. 115), h) 20~40歳(同, table 74), i) 20~49歳(同, table 60), j) 20~40歳(同, table 65), k) 20~49歳(同, table 62), l) 20~50歳(同, table 91), m) 20~40歳(同, table 41), n) 20~30歳(同, table 77), o) 20~59.9歳(同, table 44), 性についての記載はない, p) 20~49歳(同, table 83), q) 16~49歳(同, table 91)

第3表 Reference Japaneseにおける臓器重量
(単位: g)

臓器名	日本人		Reference man	
	男	女	男	女
副 腎	15	13	14	14
脳	1,400	1,300	1,400	1,400
心	350	280	330	240
腎	330	280	310	275
肝	1,600	1,400	1,800	1,400
肺	1,200	900	1,000	800
脾	135	110	100	85
脳下垂体	0.6	0.6	0.6	0.7
脾	130	180	120	150
薬 丸	33	—	35	—
胸 腺	30	25	20	20
甲 状 腺	19	17	20	17

物体に存在するといわれている⁽¹¹⁾。生物地球化学的にはその存在度の大きさによって不変成分, 変動成分に分類し(第4表), 微量成分には生物化学でいう必須微量元素に対応するものも含まれる。

第4表 生物体の重量パーセントで表わした元素の分布

不 変 成 分			変 動 成 分		
主成分 60~1	副成分 1~0.05	微量成分 <0.05	副成分	微量成分	混入成分
H	Na	B	Ti	Li	He
C	Mg	Fe	V	Be	Ar
N	S	Si	Br	Al	Se
O	Cl	Mn		Cr	Au
P	K	Cu		F	Hg
	Ca	I		Ni	Bi
		Co		Ge	Tl
		Mo		As	
		Zn		Rb	
				Sr	
				Ag	
				Cd	
				Sn	
				Cs	
				Ba	
				Pb	
				Ra	

必須元素は, 生物体内濃度はホメオスタシスなどにより正規または対称分布を示すとされており, 必須でない元素は, 副成分として有意の制御を受けないため組織中の濃度が外部からの影響を受け, その結果として環境中のレベルに似た分布パターンを示すと考えられている⁽¹²⁾。

上述のように, ヒトにおいては放射性核種を含む元素は生体制御機構により代謝過程を経て沈着および排泄が行われる。食餌および人体臓器中の安定元素量の測定意義は, 人体被曝線量寄与の最も大きい長半減

期・放射性核種の長期連続摂取時の体内分布と同じパターンを示すため, 代謝パラメータの推定に役立つことにある。線量の不均等分布における distribution factor (D.F.), 摂取核種の体内残留に影響をもつ同位体希釈効果, 放射性核種の投与実験の不可能な乳幼児の代謝, 母体より胎児への移行の割合, 年少者の代謝, 放射線障害の危険性のある放射性核種の医学利用の問題などに有益な情報を得ることの意義もきわめて大きい。

著者らの実験例を紹介すると, 日常食中の安定 Sr⁽¹³⁾, Rb⁽¹⁴⁾, Cs, 人体中の上記元素のほか Ba⁽¹⁵⁾, Zn, Cd, Co, I などの測定を行なっている。成果の1例として, 人骨中の⁹⁰Sr レベルの放射化学分析を1961年以来, 毎年100例以上行なっているのに加えて, 同時に安定 Sr の骨内分布, 骨種間の相違などに関し, 原子吸光分析によりすでに2,000例近い分析を行なってきた。この結果から, フォールアウト由来の⁹⁰Sr の骨内蓄積のパターンが安定 Sr の骨内分布に漸近する傾向を示すことをつきとめている。

V. 日本人における I の代謝

原子力施設における¹³¹I, ¹²⁹I の環境, 人体甲状腺へのとり込みの問題は重要である。著者らの¹³¹I 摂取実験(Na 塩, 74nCi, whole body counter計測)において⁽¹⁶⁾, 甲状腺に沈着する割合(ICRP Pub.10では主にK₂)⁽¹⁷⁾が0.11, 0.33であり, 生物学的半減期が30, 40日(ICRP は136日)と短かった。ICRP は K₂=0.3が適当とされているが, 食物中のヨウ化物が50から300 μg になると0.57から0.17へ低下し, Tb₂ は158日より95日に短縮されたといわれる。日本人の海藻, 海産物よりの I 量は500~1,000 μg/day⁽¹⁸⁾といわれ, 吉沢らの推定値0.2を含め0.1~0.2の範囲と思われる。

VI. 人体中の微量安定元素測定法⁽⁵⁾

人体中の微量安定元素測定は一般に微量成分分析(trace analysis)および超微量成分分析(extreme trace analysis)に相当するもので, その手段は通常の化学分析の諸方法のなかでも特に高感度の方法が用いられている。対象物質(試料)中の安定元素の存在量と存在形態に関する情報を損わずに取り出すことの有意義はきわめて大きい。しかし, 狭義の目的のみに限定すれば, 存在形態にかかわらず各臓器ごとの総量測定に集約されることになる。

以上を分析上の観点から要約すれば

- (1) 選定された対象物質から代表的な試料採取を行うこと。

(2) 対象元素の実験室内汚染・損失を防止すること。

(3) 目標元素に適した感度・精度をもつ分析法を選択すること。

などが挙げられる。

最新高感度機器分析が盛んに開発・使用されている。著者らはフレームレス原子吸光分光分析法、放射化分析、蛍光X線分析などを用い、特に原子吸光分析法はRI 利用による同位体希釈法を応用することにより本研究の主要分析法とし、正確さ・信頼性について充分な検討を行なっている。

VII. おわりに

現在までにSumino らによる人体中重金属の報告⁽²⁰⁾がある。著者らは特定元素に限り数100～数1,000例の精度に力点を置く分析を重視して研究を行なってきた。現在、当所においてはクリーン・ルーム(Class 10,000～100,000)中に設置したクリーン・ベンチ(Class 100)により、かなりの乾燥試料(国私立機関より分譲のもの)を有している。Perry ら⁽²¹⁾は重金属の臓器中濃度が民族・人種間で大きく異なる点を指摘したが、この報告によるまでもなく、日本人に関する体内元素量の正常値の決定は放射線防護の範ちゅうを越えて広く環境問題全般に有益な情報を提供し、諸種の解析に役立つことと思われる。

付. 規格日本人(Reference Japanese)の定義(提案)

規格日本人は、日本国内に居住し、日本の生活習慣および食嗜好をもち、基準食を摂取し、年齢20歳より50歳までの健康な男子(女子)である。身長は165cm(152cm)、体重は50kg(51kg)であって、解剖学、生理学、化学的数値が日本人の平均値を有するもの。

150 60 50

(注) 基準食は本文第1表の1人1日当り摂取量を指し⁽⁷⁾⁽⁸⁾、身長・体重はいずれも厚生省統計⁽⁷⁾に準拠する。

—参考文献—

- (1) ICRP Publication 2, (1958).
- (2) ICRP Publication 23, (1975).
- (3) YAMAGATA, N.: *J. Radiat. Res.*, **3**, 9 (1962); YAMAGATA, N., et al.: *ibid.*, **3**, 4 (1962).
- (4) 田中義一郎: 放射線科学, **14**, 239 (1971); **15**, 15 (1972).
- (5) 同上: 第3回放医研環境セミナー報文集, *NIRS-M-14*, p. 38 (1976).
- (6) AIMI, S., et al.: *Acta Pathol. Jap.*, **2**, 173 (1952).
- (7) 厚生省公衆衛生局栄養課編: “国民栄養の現状(昭和49年度)”, (1977), 第一出版.
- (8) 農林省官房調査課編: “食料需給表(昭和50年度)”, (1977), 農林統計協会.
- (9) 国民栄養振興会編: “日本人の栄養所要量と解説(昭和50年改訂)”, (1977), 第一出版.
- (10) 岡 暁: 京都医学誌, **38**, 632 (1941).
- (11) BOWEN, H. J. M.: “*Trace Elements in Biochemistry*”, (1966), Academic Press.
- (12) UNDERWOOD, E. J.: “*Trace Elements in Human and Animal Nutrition*,” (3rd Ed.), (1971), Academic Press.
- (13) 田中義一郎, 他: 日 化, **89**, 175 (1968).
- (14) TANAKA, G., et al.: *Bull. Chem. Soc. Japan*, **50**, 2310 (1977).
- (15) KAWAMURA, H., et al.: *Spectrochim. Acta*, **28B**, 309 (1973).
- (16) 田中義一郎, 内山正史: 特別研究「環境放射線による被曝線量の推定に関する調査研究」中間報告書, *NIRS-R-5*, (1976).
- (17) ICRP: Publication 10, p. 104 (1968).
- (18) 桂 英輔, 中道律子: 栄養と食料, **12**, 34 (1959).
- (19) 古沢康雄, 他: 保健物理, **11**, 123 (1976).
- (20) SUMINO, K., et al.: *Arch. Environ. Health*, **30**, 487 (1975).
- (21) PERRY, H. M., Jr. et al.: *J. Chron. Dis.*, **14**, 259 (1961).

日本原子力研究所・第3回核融合研究成果 報告会

日 時 11月18日(金) 13:30～17:00

場 所 全共連ビル大会議室(東京都千代田区平河町2-7-9)

○プログラム○

あいさつ	副理事長 村田 浩
核融合研究開発の概要	核融合研究部 森 茂
トーラス実験	プラズマ実験研究室 田中裕二
粒子入射加熱技術	加熱工学研究室 白形弘文
核融合炉の炉物理	原子炉工学部 弘田実弥
JT-60 計画の現状	JT-60第1開発室 吉川允二
(特別講演) エネルギー戦略と核融合開発の意義	
U. S. ERDA エドウィーン・E・キントナー	
核融合研究開発の進め方	理事 山本賢三

核融合研究の進歩と 動力炉開発への展望

(「核融合炉調査」研究専門委編)
好評発売中!!

B 5 判, タイプオフセット印刷, 575p.(1976. 8.)

定価 8,000円(会員特価 6,000円), 〒300円

内容詳細は本誌Vol.18, No.7 (p.469) 参照。