

NIRS-M-76

放射線医学総合研究所



\*890000140\*

放医研環境セミナーシリーズ No.16

# 線量評価に係わる人体特性 及びその関連因子

河村日佐男 編  
大桃洋一郎

放射線医学総合研究所

放医研環境セミナーシリーズ No.16

# 線量評価に係わる人体特性 及びその関連因子

河村日佐男 編  
大桃洋一郎

放射線医学総合研究所

**Characteristics of the Human Body and  
Other Relevant Factors in Dose Assessment**

**Proceedings of  
The Sixteenth National Institute of  
Radiological Sciences  
Seminar on Environmental Research  
Chiba, December 1-2, 1988**

**Edited by  
H. KAWAMURA  
&  
Y. OHMOMO**

**November 1989  
National Institute of Radiological Sciences  
Chiba, Japan**

# 序 言

本セミナーは、線量評価に係わる日本人の身体的・解剖学的、生理的・代謝的特性および食品摂取に関する基礎データと、それらを線量算定に反映させるための諸種のモデルとをテーマとして企画された。

巻頭挨拶2編にあるように、近年とくに一般公衆の被曝線量算定法の精度向上が重要な国際的課題となっており、ICRP専門委員会2(いわゆるCommittee 2)のタスクグループでは標準人の改訂、年齢依存線量係数の設定などが進められている。

放射線防護の基盤を成している人体の諸特性とそのモデルに関し参加者の強い関心のもとに、多くの貴重な研究成果の紹介があり、有益な議論が行われ、おおかたの問題点と今後の方向が示唆されたことは、主催者側の大きな喜びである。

なお、術語に関して、討論の部では、Reference ManをICRP標準人の固有名詞として扱った。

最後に、充実した内容の原稿を寄せられた著者の方々に厚く感謝しますとともに、企画にあたられた市川龍資前科学研究官、実行にお力添えをいただいた松岡理科学研究官および準備委員会の各メンバー、および実務と編集に携わった事務局ほかの方々の御苦勞に対し、併せて謝意を表します。

編者

河村日佐男

大桃洋一郎



# 目 次

序言 .....	v
開会の挨拶 .....	x
共催学会の挨拶 .....	xi
座長一覧 .....	xii
執筆者一覧 .....	xiii
<b>I. 線量評価における人体特性の意義</b>	
I-1 ICRP標準人の概念と標準日本人 .....	河村日佐男 3
<b>II. 日本人の身体的・解剖学的特性</b>	
II-1 体格等の正常値と標準値設定上の問題点 .....	東郷 正美 17
II-2 標準日本人の器官組織の質量および体組成 .....	田中義一郎 30
<b>特別講演 1. ICRP専門委員会 2 の活動</b> .....	松岡 理 39
<b>III. 人体の生理的特性</b>	
III-1 日本人の元素摂取量とその特徴 .....	白石久二雄 47
III-2 元素の器官組織内濃度と分布 .....	湯川 雅枝 59
III-3 日本人における元素の代謝 .....	内山 正史 73
III-4 代謝パラメータの修飾因子 .....	稲葉 次郎 82
<b>IV. 食品の摂取</b>	
日本における食品の摂取量 .....	住谷みさ子 95
<b>V. 総合討論(1)</b>	
V-1 人体におけるミネラルの代謝出納 .....	西牟田 守 111
V-2 線量評価に係わる年齢依存性の問題 .....	草間 朋子 118
V-3 人体を構成する臓器と腫瘍発生母地としての臓器 .....	大津 裕司 123
<b>VI. 人体特性と線量評価法</b>	
VI-1 超音波による胸部軟組織厚の測定とファントムの製作 .....	城谷 孝 139
VI-2 画像ファントム .....	山口 寛/本郷 昭三/竹下 洋 147
VI-3 NMR-CTと画像ファントム .....	本郷 昭三/山口 寛/竹下 洋 159
VI-4 日本人の被曝線量算定例 —— 広島・長崎線量再評価 —— .....	丸山 隆司 167

特別講演 2. 人類学から見た日本人	植原 和郎	180
--------------------	-------	-----

## VII. 関連分野からの提言

VII-1 呼吸生理学から	本田 良行	189
VII-2 公衆衛生学から	滝澤 行雄	197
VII-3 保健物理学から —— 体内微量放射能分布測定 ——	川崎 智	207

## VIII. 総合討論(2)

VIII-1 ICRPの欧米人中心よりアジア人への比重移行についての一考察	田中義一郎	217
VIII-2 IAEA/RCA放射線防護共同研究について	小柳 卓	220
VIII-3 国民線量とリスクの推定における「標準日本人」ファントムの必要性	丸山 隆司	227
閉会の挨拶	松岡 理	239
第16回放医研環境セミナー実行委員会委員一覧		240

# Contents

Editorial Note *	v
Opening Address *	x
The Joint Sponsor's Address *	xi
List of Chairpersons	xii
List of Authors	xiii
<b>I. Significance of Data on Characteristics of the Human Body in Dose Assessment</b>	
Characteristics of the Human Body Relevant to Dose Assessment-ICRP Reference Man and Reference Japanese Man Studies	H. Kawamura 3
<b>II. Physical and Anatomical Characteristics of Japanese</b>	
Nation-wide Anthropometric Survey Data in Japan to Determine Dimensions of Total-Body Phantom for Reference Japanese Man	M. Togo 17
Mass of Organs and Composition of the Body of Japanese Reference Man	G. Tanaka 30
<b>Special Lecture 1 :</b>	
Activities of the ICRP Committee 2	O. Matsuoka 39
<b>III. Physiological Characteristics of the Human Body</b>	
Daily Mineral Intakes for Japanese	K. Shiraishi 47
Concentration and Distribution of Elements in Organs and Tissues	M. Yukawa 59
Metabolism of Elements in Japanese	M. Uchiyama 73
Modifying Factors for Metabolic Parameters	J. Inaba 82
<b>IV. Intake of Food</b>	
Food Consumption in Japan	M. Sumiya 95
<b>V. General discussion 1</b>	
<b>Special Comment :</b>	
Human Mineral Metabolism	M. Nishimuta 111
Estimating Dose for Embryo/Fetus at Maternal Contamination	T. Kusama 118
Hollow Organs at Risk for Malignant Neoplasms	H. Ohtsu 123

<b>VI. Methods for Dose Assessment and Related Physical Characteristics</b>	
Ultrasonic Measurements of Chest Wall Thickness and Realistic Chest Phantom for Calibration of Pu Lung Counting Facilities .....	T. Shirohani 139
Symbol Phantoms .....	H. Yamaguchi, S. Hongo and H. Takeshita 147
NMR-CT Image and Symbol Phantoms .....	S. Hongo, H. Yamaguchi and H. Takeshita 159
Mathematical Phantoms for Use in Dose Estimation of Survivors in Hiroshima and Nagasaki .....	T. Maruyama 167
 <b>Special Lecture 2 :</b>	
The Japanese Population as Viewed from Anthropology .....	K. Hanihara 180
 <b>VII. Proposals from Related Subject Fields</b>	
On Respirative Physiology .....	Y. Honda 189
Radiation Dose and Public Health .....	Y. Takizawa 197
Measurement of Distribution of Low-Level Internal Radioactivity .....	S. Kawasaki 207
 <b>VIII. General Discussion 2</b>	
<b>Special Comment :</b>	
Reference Man for Asians as well as for Europeans—A change in the ICRP Concept of Reference Man .....	G. Tanaka 217
IAEA-RCA Co-ordinated Research Program on Reference Asian Man .....	T. Koyanagi 220
Comment on a Phantom of Japanese Reference Person for the Assessments of Population Doses and Risk from Medical and Occupational Exposures	T. Maruyama 227
 <b>Closing Address *</b> .....	O. Matsuoka 239
List of Members of the Organizing Committee of the Seminar .....	240

---

\* ) In Japanese only

## 開会の挨拶

今回で、放医研と日本保健物理学会の共催による環境セミナーも第16回になりました。本日は大勢の方々が遠くからおいで下さりまして誠に有難うございます。

放射線防護の分野では、ICRPの活動に致しましても、最初は職業人ということで、だいたい成年の男を対象にしておれば良かったのです。けれども、活動範囲が段々広がりまして一般人が問題になってまいりました。例えば、発ガンリスク係数に致しましても、最低限、性と年齢を考慮した係数を作ろうという事になり、今、そういう努力が成されております。放射性核種になりますと、核種によって性格が異なるうえ、性・年齢は勿論のこと、民族差等まで考慮しなければなりません。この間のチェルノブイリの事故の時に、各国で、例えば食品中の放射能の量の制限を行った際に、制限値が各国でまちまちで混乱を起こしました。こういう実際面での必要性もあるかと思えます。

放医研では前那珂湊支所長の田中義一郎さんを始めとして、標準日本人を確立し、日本人の代謝特性、臓器特性をいかして、それを放射線防護に役だてようと努力をしてまいりました。それをまた那珂湊支所で引き継ぎまして大桃部長をはじめ、皆さん、いろいろな仕事をして下さっております。

この2日間、いろいろな方々に専門の立場からいろいろなご意見をお聴きし、標準アジア人というものができるかどうか、せめて見込がたてば幸いと思っております。よろしく御討論の程、お願い致します。

放射線医学総合研究所 所長  
松 平 寛 通

## 共催学会の挨拶

日本保健物理学会を代表致しまして一言ご挨拶致します。

放医研の環境セミナーも、第16回になりますが、毎年放医研で行われている研究の成果を中心に、関係の方々の研究の発表、討論の場を設け、更にその結果を刊行物にして公表して頂いています。この事をずっと続けていられる事は、我々としては非常に、喜ばしく思っている次第です。

ご承知の様に、保健物理学会は、現場における放射線防護の技術、並びにその基礎になる研究開発を推進すること、また、その研究者の研究成果を普及することを目的として、最終的には、原子力並びに放射線の利用を安全にすすめる事に貢献するという事を目的とした学会です。この放射線防護の基礎となる一番重要なものは、線量評価の問題で、その線量評価の基礎になるのが、今日明日のテーマ、すなわち人体特性とその関連因子です。

ここで取りあげられているように、また、松平先生から紹介ありましたように、線量評価にあたっては、最近、従来の非常に平均化した一般人のほかに、年齢や性別等を含めた精度の高い線量評価が非常に要求されています。

放射線、原子力の平和利用に伴う、特に人体影響の問題について、一般公衆の方々の理解を得る為にも、低線量の影響と線量評価の問題が非常に重要な要素になっています。

このような時期に、上述のテーマを取り上げてセミナーを催す事は非常に時宜を得たものであり、私共、共催学会としても、心強く又、後援をしたいと考えている訳です。

ここで従来は、欧米のデータを中心に標準化されたもので線量評価が行われてきた訳ですが、放医研を中心に、日本人、あるいは広く東洋人を対象とした研究開発がどんどん進められてまいりました。国際的にも東洋人、あるいは日本人の標準データを作りあげていくため、この研究所を中心に貢献が成されていく事と思います。この研究の成果、今後の発展を大いに期待したいと思います。

このテーマの関連の研究者の方々が今日お集まりになり、放医研の成果を中心に、あるいは関連の皆様が活発に討論をされ、日本における、あるいは東洋人の線量評価の基礎になる諸因子についてデータを評価し、積み上げられていくことを期待するわけです。延いては、先に申しましたように今、国民もこの放射線防護の問題について非常に関心が高い時代ですから、その意味でこの2日間の成果発表、討論を有意義にすすめて頂きたいと期待致しまして私のご挨拶にかえさせて頂きます。

日本保健物理学会会長  
吉田芳和

座長一覽  
List of Chairpersons

(敬称略)

Session I	市川 龍資(R. Ichikawa)	原子力安全研究協会
Session II	滝澤 行雄(Y. Takizawa)	秋田大学
特別講演 1	上田 泰司(T. Ueda)	放射線医学総合研究所
Session III- 1 , 2	西牟田 守(M. Nishimuta)	国立栄養研究所
Session III- 3 , 4	福田 信男(N. Fukuda)	放射線医学総合研究所
Session IV	小柳 卓(T. Koyanagi)	放射線医学総合研究所
Session V	河村日佐男(H. Kawamura)	放射線医学総合研究所
Session VI- 1 , 2	川島 勝弘(K. Kawashima)	放射線医学総合研究所
Session VI- 3 , 4	岩倉 哲男(T. Iwakura)	放射線医学総合研究所
特別講演 2	小林 定喜(S. Kobayashi)	放射線医学総合研究所
Session VII	田中義一郎(G. Tanaka)	明治薬科大学
Session VIII	大桃洋一郎(Y. Ohmomo)	放射線医学総合研究所

執筆者一覧  
List of Authors

(五十音順・敬称略)

稲葉 次郎 (J. Inaba)	放射線医学総合研究所
内山 正史 (M. Uchiyama)	放射線医学総合研究所
大津 裕司 (H. Ohtsu)	放射線医学総合研究所
川崎 智 (S. Kawasaki)	日立製作所
河村日佐男 (H. Kawamura)	放射線医学総合研究所
草間 朋子 (T. Kusama)	東京大学
小柳 卓 (T. Koyanagi)	放射線医学総合研究所
白石久二雄 (K. Shiraishi)	放射線医学総合研究所
城谷 孝 (T. Shirotani)	日本原子力研究所
住谷みさ子 (M. Sumiya)	放射線医学総合研究所
滝澤 行雄 (Y. Takizawa)	秋田大学
田中義一郎 (G. Tanaka)	明治薬科大学
東郷 正美 (M. Togo)	東京大学
西牟田 守 (M. Nishimuta)	国立栄養研究所
埴原 和郎 (K. Hanihara)	国際日本文化研究センター
本郷 昭三 (S. Hongo)	放射線医学総合研究所
本田 良行 (Y. Honda)	千葉大学
松岡 理 (O. Matsuoka)	放射線医学総合研究所
丸山 隆司 (T. Maruyama)	放射線医学総合研究所
山口 寛 (H. Yamaguchi)	放射線医学総合研究所
湯川 雅枝 (M. Yukawa)	放射線医学総合研究所



# I 線量評価における人体 特性の意義

ICRP標準人の概念と標準日本人

河村日佐男

## ICRP標準人の概念と標準日本人

河村日佐男

放射線医学総合研究所

Characteristics of the Human Body Relevant to Dose Assessment-  
ICRP Reference Man and Reference Japanese Man Studies

Hisao Kawamura

Division of Radioecology, National Institute of Radiological Sciences  
3609 Isozaki, Nakaminato, Ibaraki, 311-12 Japan

**ABSTRACT**-With a new limit for committed effective dose equivalent for members of the public, 1 mSv per any year for prolonged exposures to radionuclides in the environment, an emphasis has been even more put on dose assessment for the general public to obtain more realistic estimates of doses, particularly after the Chernobyl accident. Reference Man defined by ICRP in 1975 which replaced Standard Man of 1959, is the basis for assessing doses and calculating ALI and other secondary limits. ICRP Reference Man is currently being revised as other ICRP models and parameters are.

Significance of data on characteristics of the human body, i.e. anatomical, physiological and some metabolic data in dose assessment in relation to intakes of radionuclides is confirmed. Some results of "Reference Japanese Man" studies are summarized.

For the present purpose, data may also be provided by such subject fields, i.e. health physics, environmental sciences, public health, nutrition, physiology, etc. The data on characteristics of the human body and related models for dose assessment are urgently to be established for Japanese. These will also provide key information for "Asian Reference Man".

### 1 はじめに

環境の放射性物質やその他の線源から人体がうける被曝線量の推定・評価のために、様々な数学的モデルとパラメーターが用いられている。内部被曝線量の算定法として代表的なもので

あるが<sup>3</sup>、ICRP Publication 30の諸モデルは、作業員の放射線防護のためであり、一般環境における公衆の被曝に対して直接適用することは、本来適当でないとされてきた<sup>1)</sup>。

吸入および経口摂取により環境から人体に取り込まれる放射性物質から器官・組織の受ける線量の推定に必要な因子としては図1のようなものが考えられる。すなわち、全身および各器官・組織の重量と大きさを始めとする解剖学的特性、元素の消化管での吸収係数、血液から各器官・組織へ移行・沈着する割合、器官・組織中に取り込まれた元素(放射性核種)の生物学的半減期などを中心とする生理的・代謝的特性である。これらの中の動的な側面は代謝モデル、消化管モデル、呼吸器モデルとして与えられており、放射性核種の骨内の分布に関しては骨線量算定モデルがある。また、体内のガンマ線(光子)による器官組織線量に関しては、数学的ファントムが<sup>3</sup>、また、体外放射線による線量に関しては、実験的ファントムが必要である。

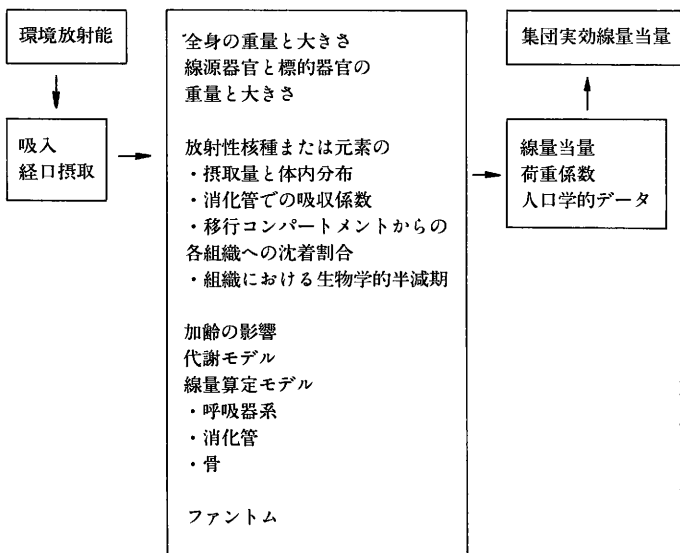


図1 環境放射能における被曝線量の推定に関連する諸因子  
Various factors in dose assessment with respect to intakes of environmental radioactivities.

以上の線量算定に関わる諸特性やモデルはいずれも欧米人を念頭に置いてまとめられたものが多いが<sup>3</sup>、理想的には欧米人とは種々の点で異なる日本人を可能な限り反映したものであることが望ましい。

われわれの最大の関心事である一般公衆の構成員に対するICRPの年線量当量限度は作業員のその10分の1とされてきたが<sup>3</sup>、1983年のワシントン声明ではさらに、長期にわたる放射性核種の取り込みに対しては、「終生にわたる被曝の各1年につきこれを1 mSvに限定するのが賢明であろうと勧告して」いる<sup>2)</sup>。この考え方はすでにPublication 26で示唆されていたと言われる<sup>3)</sup>。また、一方では原子力施設の増加および廃棄物の処理処分問題を背景として一般公衆に対する被曝線量算定の一般的必要性に加え、スリーマイル島およびチェルノヴィリの原子炉事故の発生により、公衆に対する影響評価のために年齢を考慮した線量推定がとりわけ重要となってきた。ICRPは、このような状況の下で、線量算定の出発点である標準人の改訂を含め一連

の勧告書、報告書の改訂を行っていると言われる。

## 2 ICRP標準人とその改訂について

現行のICRP Reference Man(標準人)は1975年にオークリッジの W. Snyderらを中心とするタスクグループにより、それ以前のStandard Manの改訂版として作られた<sup>4)</sup>。

その考え方は、個々人の相異が無視できる程に低いレベルの線量の日常的算定に用いるための、よく定義された参照用の個人ということである。1949年の許容線量に関するチョークリバー会議でStandard Manは、初めてはっきりした形をとり、器官線量、全身と各組織の化学組成、摂取と排泄のパターン、職業被曝の継続期間などのデータが暫定的に与えられた。また標準人データは温帯における通常の行動に対する平均的な値であることが決められた。その後、数度の修正を経て、1959年の第2委員会報告には、取り込み沈着の係数、生物学的半減期も含められていた<sup>5)</sup>。

この標準人タスクグループ報告書(Publication 23)は、当時としても極めて広範な内容を持っており、解剖学的データと生理学的データから成り、巻末には、線源器官内の放射性核種から放出される光子の、標的器官における比吸収割合が与えられている。標準人の定義は、「年齢20~30歳、体重70kg、身長170cmで、平均気温が10~20°Cの気候下に住んでいるもの(男子)」となっており、さらに、「(人種的には)コーカシアンであり、居住値と生活習慣に関しては、西欧人または北米人である」としている。同時に但し書きをつけて、選択したデータはある特定の集団の代表値として意図したものではないことを断っている<sup>6)</sup>。Snyder一派のM. R. Fordは、ICRP標準人がほぼ10年毎に改訂されることを示唆していたが、その後オークリッジのC. R. Richmondにより、改訂着手が広く一般に予告されていた<sup>7)</sup>。その呼びかけの中で、年齢と性を中心に据えてデータの見直しを行う方針を示しており1986年6月以来「標準人改訂タスクグループ」により改訂作業が進められている<sup>8)</sup>。

改訂版は、より一層豊富な内容を含むものとなる見込みである。とくに骨格や胚と胎児に関する章などの拡充、線量算定に関連の深いと思われるscalingに関する章、非ヨーロッパ人に関する章などが注目される。全体を通じて、新しく、より精度の高いデータが収録されるほか、世界人口の中で大きな割合を占めるアジア人など欧米人以外の集団に対する標準人の必要性を原則的に認めていることなど、考え方のうえで大きな変化が認められる<sup>9)</sup>。また、標準人データが放射線以外の分野で利用されることも考慮されている模様である。

## 3 標準日本人研究および関連研究

環境の放射性物質および放射線による人体の被曝線量の推定法を確立するため、その基礎となる日本人に関する解剖学的、化学的、生理学的な標準値の設定を目的として行われてきた田中義一郎博士を中心とした放医研における標準日本人研究の最近までの結果を次に紹介したい。本研究の出発点は、わが国における人体に関する諸基準には欧米人の値の直輸入であるものが

あり、科学的意味において、人種的な差異や食習慣の相異等を考慮しない点で不合理であるという認識である<sup>10)</sup>。

### a 正常日本人の主要器官の重量と大きさ

病理解剖によらない正常日本人の器官の重量と大きさの測定値の重要性は言うを待たない。日本人の栄養状態が改善された時期における各年齢男女の測定値がまとめられ、標準日本人(20~50歳)の12器官の重量値が設定された<sup>11,12)</sup>。現在、0~19歳を中心にデータを増やしてさらに検討が続けられており、間もなく発表される予定である(II, 2参照)。

### b 日本人のミネラル骨の重量

文献値および骨標本の重量測定に基づいて、ミネラル骨の各部位の重量を検討・推定した。ミネラル骨全体の重量は、標準日本人とICRP標準人の体重の比較をも参照して求められた<sup>13)</sup>。表1に示すように標準日本人成人男女のミネラル骨の重量は、それぞれ4.2kgおよび3.2kgであり、ICRP標準人男女ではそれぞれ5.0kgおよび3.4kgである。ICRPでは、成人女子における各

表1 標準日本人における骨重量とICRP標準人との比較  
Masses of mineralized bone in Reference Japanese male and female as compared with those in ICRP Reference Man.

骨	成人男子		成人女子	
	日本人	ICRP標準人	日本人	ICRP標準人
頭骨	694	(706)	632	NA*
肩甲骨	129	}	97	NA
鎖骨	50		38	NA
肋骨	307		230	NA
胸骨	21		16	NA
脊柱	384	(451)	288	NA
仙骨	83	(98)	62	NA
骨盤	354	(392)	280	NA
上腕骨	284	(294)	190	NA
尺骨	90	(98)	60	NA
前腕骨	112	(118)	76	NA
手骨	107	(294)	72	NA
大腿骨	781	(784)	571	NA
膝蓋骨	28	NA*	21	NA
脛骨	443	(608)	324	NA
腓骨	108	(98)	76	NA
足骨	229	(294)	167	NA
合計	4,200	5,000	3,200	3,400

\* ) NA : ICRP Publication 23には記載のない項目

部位のミネラル骨重量を示しておらず、また、手骨と足骨の重量値が等しいとするなど問題点があり、標準日本人では合理的な値が得られている。各骨部位のミネラル骨重量のICRP標準人との比較では、日本人の胸廓の骨重量が小さいことが見られた。

骨における線源器官と標的器官組織の重量が得られている。赤色骨髄と骨表面の細胞の重量は、新しい文献値のない現在では推定によっているため、正確な値は今後の研究を待たねばならない。

c ストロンチウムの骨内分布

脊椎骨のストロンチウム濃度は出生後短期間に増加したのちは、年齢にほぼ関係なく一定の値を示す傾向があるが、他方、長骨骨幹部や頭骨などはとくに30~35歳以後、年齢とともに濃度(Sr/Ca比)の増加を示すことが見られ、骨内の不均一分布が生ずるものと考えられた<sup>13,14,15,16</sup>。

肋骨中濃度も脊椎骨に比べてわずかに大きいことを確かめている(図2)。このような骨内分布を考慮して標準日本人の骨格中のストロンチウム含有量は430mgと推定された。ICRP標準人

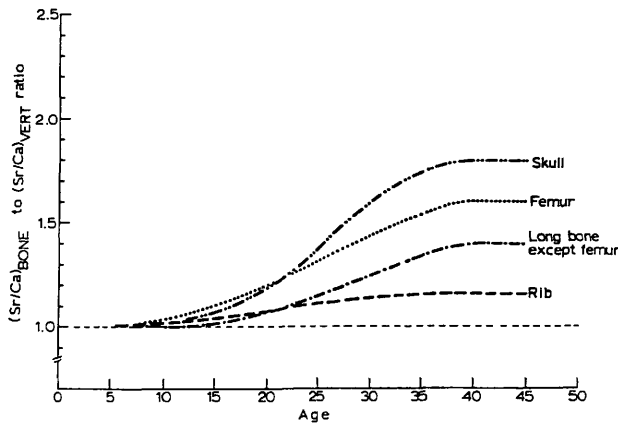


図2 脊椎骨を基準とした各骨部位のSr/Ca比と年齢の関係(脊椎骨のSr/Ca比=1) (実測値に基づき模式化したもの) Patterns of the Sr/Ca ratio in different bones normalized to that of vertebrae as functions of age.

表2 食餌から骨への移行係数(食餌—骨間のSr/Ca O. R. 値) Transfer factor for <sup>90</sup>Sr from the diet to bone or Sr/Ca O. R. between bone and diet in Japanese.

	1人1日あたりの摂取量			骨における含有量		
	Ca	Sr	Sr/Ca	Ca	Sr	Sr/Ca
日本人	0.54g	2.3mg	4.2×10 <sup>-3</sup>	840g	430mg	5.1×10 <sup>-4</sup>
欧米人*	1.1g	1.9mg	1.7×10 <sup>-3</sup>	1000g	320mg	3.2×10 <sup>-4</sup>

\* ) ICRP標準人

移行係数(TF)またはO. R. 値 =  $\frac{\text{骨中のSr/Ca比}}{\text{食餌中のSr/Ca比}} = 0.12$  (日本人),

0.19(ICRP標準人)

では320mgとされている。また、摂取量の測定値をも用いて、ストロンチウムの食餌から骨への移行係数(食餌-骨間のSr-Ca O. R. 値)を求めたところ0.12となり、欧米人における報告値0.16~0.25(ICRP標準人では0.19と計算される)より小さいことが推定された<sup>13,17)</sup>。

#### d 放射性ヨウ素の甲状腺到達率

経口摂取された放射性ヨウ素の甲状腺到達率が0.15~0.20と日本人ではICRPの値(0.3より小さく、また、甲状腺での生物学的半減期も顕著に短いこと、および、これが海産藻類の日常的摂取によることを、核医学データおよびvoluntary subjectsによる<sup>131</sup>I投与後の体外測定により立証した<sup>12)</sup>。後に内山により詳細な解析が行われた<sup>18)</sup>。最近の他の研究者により報告されている人における<sup>131</sup>I、<sup>125</sup>Iの甲状腺への取り込みと残留に関するデータもおおむねこれに近い値を示している。

#### e 日本人における元素の体内量と摂取量

人体器官・組織における安定元素の濃度分布は胎児期からの元素の連続摂取の結果を反映しているため、そのパターンは放射性各種の長期にわたる反覆または連続摂取時の体内分布を類推するための良いモデルを与えるものと考えられる。また、摂取量データとあわせて解析することにより、人体とくに幼児では得難い放射性核種の体内への取り込みと残留に関する情報も得られる<sup>10)</sup>。

正常日本人の、器官・組織中の14元素の濃度を、クリーンルーム、クリーンフードおよび真空加熱乾燥装置などを用い無汚染条件下で定量した。原子吸光分析およびICP発光分光分析によって得られた結果は、Cr, Mn, Sr, Yなどの元素について見るとICRP標準人に記載された値とはかなり大きく異なっているが、この第一要因は分析方法の進歩のためと考えてよい<sup>19,20,21)</sup>。

日本人の平均的な元素摂取量を求めることは、上述した意味から重要である。1960年代後半に京都と札幌で収集された日常食試料を中心に、1980年代前半に全国各地で収集されたものなどを加えて、同様にトレースアナリシスにより約15元素の定量を行った。その結果、約12の元素については平均的な日本人における一人一日あたりの摂取量が得られた<sup>22)</sup>。(III, 1参照)。

今後は、より微量で、したがってデータの少ない元素(ランタノイド等を含む)について、体内量および摂取量の検討を続行する予定である<sup>23,24)</sup>。

## 4 線量算定における標準日本人の器官質量などの利用

ICRP Publication 30は、標的器官*T*がいくつかの異なる線源器官*S*で生ずる放射線により照射されるとき、器官*T*の預託線量当量 $H_{50}$ の総和を次式で与えている<sup>1)</sup>。

$$H_{50, T} = 1.6 \times 10^{-10} \sum_s \sum_i [U_s \sum_j \text{SEE}(T \leftarrow S)_i]_j \text{ Sv} \quad (1)$$

ここで、

$U_s$  : 放射性核種 $j$ を摂取後50年間の線源器官 $S$ におけるその核種の核変換の数、

$SEE(T \leftarrow S)_i$  : 標的器官 $T$ に吸収された種類 $i$ の放射線の比実効エネルギー(MeV g<sup>-1</sup>/  
変換)

さらに、

$$SEE(T \leftarrow S)_j = \sum \frac{Y_i E_i A F(T \leftarrow S)_i Q_i}{M_T} \quad (2)$$

ここで、

$Y_i$  : 放射性核種 $j$ の変換あたりの放射線 $i$ の放出割合

$E_i$  : 放射線 $i$ のエネルギー(MeV)

$AF(T \leftarrow S)_i$  : 線源器官 $S$ における放射線 $i$ の放出あたり標的器官 $T$ に吸収されるエネルギーの割合

$Q_i$  : 放射線 $i$ の線質係数

$M_T$  : 標的器官の質量(g)

先に述べたように、線源器官から生じ標的器官で吸収される光子のエネルギーの比吸収割合(SAF)はPublication 23であたえられているが、その数値はICRP標準人にもとづいた数学的ファントムにより計算されたもので、日本人の体格などには適合しない<sup>4)</sup>。そこで、山口らにより正常日本人の体格および器官重量にもとづいて縮小法によりMIRD表の計算がおこなわれた<sup>25)</sup>。

アルファ粒子および電子は線源器官の中でそのエネルギーのすべてが吸収されるとしているが、骨および消化管内容物については別に線量算定モデルを定めている。たとえばミネラル骨中のベータおよびアルファ放射体から骨表面の細胞および赤色骨髄の受ける預託線量当量は、それぞれ梁骨(骨梁)および皮質骨(骨皮質)に沈着した放射性核種の核変換の総数、核変換の収率、放射線のエネルギーおよび線質係数、梁骨および皮質骨を線源器官とし骨表面および赤色骨髄を標的器官とする比実効エネルギー(SEE)および吸収割合(AF)の関数として与えられる。またSEEおよびAFは標的器官の質量の関数である<sup>1)</sup>。

$$H_{50,BS} = 1.6 \times 10^{-10} \sum_j [U_{TRAB. B.} \sum_i SEE(BS \leftarrow TRAB. B.)_i + U_{CORT. B.} \sum_i SEE(BS \leftarrow CORT. B.)_i]_j \text{ Sv} \quad (3)$$

$$H_{50,RM} = 1.6 \times 10^{-10} \sum_j [U_{TRAB. B.} \sum_i SEE(RM \leftarrow TRAB. B.)_i]_j \text{ Sv} \quad (4)$$

ここで、

BS : 骨表面の細胞

RM : 赤色骨髄

TRAB. B. : 梁骨

CORT. B. : 皮質骨



また,

$$SEE(BS \leftarrow TRAB. B.)_i = \frac{Y_i E_i AF(BS \leftarrow TRAB. B.)_i Q_i}{\text{骨表面の細胞の質量}} \quad (5)$$

$$SEE(BS \leftarrow CORT. B.)_i = \frac{Y_i E_i AF(BS \leftarrow CORT. B.)_i Q_i}{\text{骨表面の細胞の質量}} \quad (6)$$

$$SEE(RM \leftarrow TRAB. B.)_i = \frac{Y_i E_i AF(RM \leftarrow TRAB. B.)_i Q_i}{\text{赤色骨髄の質量}} \quad (7)$$

で、単位はMeV g<sup>-1</sup>/変換である。

これらの式を用いて、<sup>90</sup>Srおよび<sup>239</sup>Puによる各標的器官の預託線量当量を、ICRP標準人と標準日本人の器官重量値により求めて比較を行った。フォールアウト<sup>239</sup>Puの吸入による肺、骨表面細胞および赤色骨髄に対する線量当量の積算値(1957~76年)の試算結果を図3に示す。標準日本人モデルでは、赤色骨髄において、値が大きいことを示唆している<sup>26)</sup>。

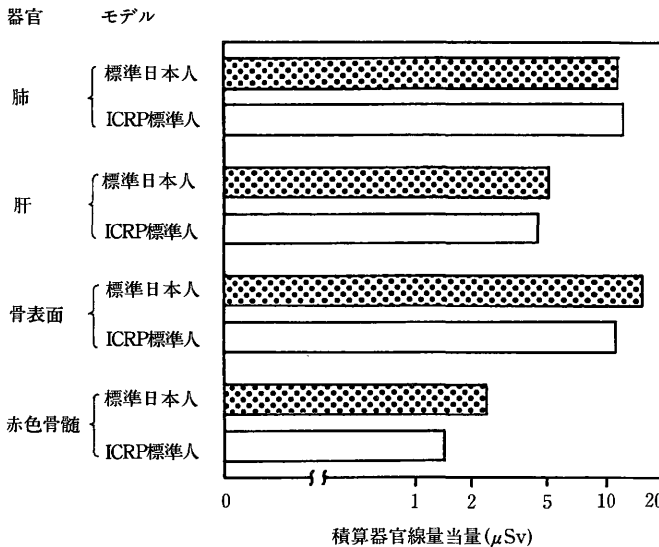


図3  
フォールアウトPuによる人体各器官のアルファ線線量当量の積算値に対する器官重量の影響(気中濃度報告値1957~76年より推定) Cumulative alpha dose equivalents in some tissues due to inhaled <sup>239</sup>Pu in Reference Japanese Man and ICRP Reference Man as estimated from reported air <sup>239</sup>Pu concentrations—effects of mass of organs.

また、関連研究として、甲斐は、長半減期の<sup>129</sup>Iによる甲状腺負荷量の評価にあたって、日本人のヨウ素代謝の5コンパートメントモデルを用いた結果、ICRPの仮定より著しく小さい結果を得ており<sup>27)</sup>、預託線量当量に大きな差を生じることを示唆した。

## 5 関連分野における人体特性に関する情報

基本的な身体計測値については厚生省の国民栄養調査および文部省の学校保健統計調査があり、食品消費に関しては農林水産省の食料需給表および厚生省統計が有効に利用できる。

また、一般的なミネラルに関しては栄養学・農芸化学および重金属等に関しては衛生学・公衆衛生学の分野で有用なデータが見られる。

放射性核種の代謝については、保健物理学分野での研究例がある(Sr, I, Cs, Ru等)。生理的

表3 関連分野のからの寄与  
Interdisciplinary aspects of internal radioactivity studies  
in man.

データ	研究分野
放射性核種の代謝・残留	保健物理 (核医学)
体内の重金属	衛生学 公衆衛生学 環境科学
ミネラルの必要量, バランス	栄養学
体と器官の機能	生理学
身体計測値	教育学, 衛生学

特性に関しては、呼吸生理学等の重要な蓄積がある。そのほか、医学の分野で編さんされた各種の標準値も日本の科学的水準の高さを示しているが、文献値に古い例が多いためその利用には若干問題がある。

#### 参考文献

- 1) a. ICRP Publication 30, Part 1, *Annals of the ICRP*, 2 (3-4), 1979 (和訳: 作業者による放射性核種の摂取の限度, 日本アイソトープ協会, 仁科記念財団). b. ICRP Publication 30, Supplement to Part 1, *Annals of the ICRP*, 3 (1-4). c. ICRP Publication 30, Part 4, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers: an Addendum, *Annals of the ICRP*, 19 (4), 1988, ほか.
- 2) 国際放射線防護委員会の1983年ワシントン会議の声明, 文献1a 和訳, p. 9または文献3 和訳, p. 37.
- 3) ICRP Publication 26, *Annals of the ICRP*, 1 (3) 1977 (和訳: 国際放射線防護委員会勧告, 日本アイソトープ協会, 仁科記念財団).
- 4) Report of the Task Group on Reference Man, ICRP Publication 23, Pergamon Press, p. 1, 1975.
- 5) ICRP Publication 2, Permissible Dose for Internal Radiation, 1959.
- 6) 文献4, p. 4.
- 7) C. R. Richmond, Radiation Data Wanted, *Nature*, 314 (21), 212, 1985.
- 8) 田中義一郎, 河村日佐男, ICRP Reference Man (標準人)改訂 Task Group オークリッジ会議について, *放射線科学* 30(1), 9-12, 1987.
- 9) 標準人改訂タスクグループ田中義一郎委員の情報による.
- 10) 田中義一郎, 河村日佐男, 中原義行, 規格日本人(Reference Japanese)の設定, *日本原子力学会誌*, 19(10), 674-679, 1977.

- 11) G. Tanaka, H. Kawamura and Y. Nakahara, Reference Japanese Man- I. Mass of Organs and Other Characteristics of Normal Japanese, *Health Phys.* **36**, 333-346, 1979.
- 12) G. Tanaka, H. Kawamura and E. Nomura, Physical Characteristics of the Japanese in Relation to Reference Man, Radiation Protection-A Systematic Approach to Safety (第5回IRPA国際会議プロシーディング), Vol. 1, 288-291, Pergamon Press, 1980.
- 13) G. Tanaka, H. Kawamura and E. Nomura, Reference Japanese Man-II. Distribution of Strontium in the Skeleton and Mass of the Mineralized Bone, *Health Phys.* **40**, 601-614, 1981.
- 14) G. Tanaka, H. Kawamura and K. Shiraishi, Concentration and Metabolism of Elements in the Normal Japanese, International Symposium on Elements in Health and Disease, Karachi, 1983.
- 15) G. Tanaka, H. Kawamura and K. Shiraishi, Distribution and Metabolism of Some Alkaline Earth Elements in Bone with Respect to Reference Japanese Man, Anthony and Frances D' Anna International Memorial Symposium on Clinical Disorders of Bone and Mineral Metabolism, Michigan, 1983.
- 16) H. Kawamura, G. Tanaka and K. Shiraishi, Distribution of Sr in the Fetal Skeleton, *Health Phys.* **50**, 159-161, 1986.
- 17) H. Kawamura, K. Shiraishi, Y. Igarashi and Y. Sakurai, Transfer of  $^{90}\text{Sr}$  in the Environment to Human Bone and Radiation Dose due to the Atomic Bomb and Weapons Testing, International Symposium on Health Problems in Connection with Radiation from Radioactive Matter in Fertilizers, Soils and Rocks, Oslo, 1988.
- 18) M. Uchiyama, G. Tanaka and S. Akiba, Radioiodine Retention by 2 Japanese Male Adults after a Single Oral Dose, *J. Radiat. Res.* **23**, 358-370, 1982.
- 19) 田中義一郎, 河村日佐男, 野村悦子, 白石久二雄, 標準日本人の設定(1)人体器官・組織の元素組成, 特別研究「原子力施設等に起因する環境放射線被曝に関する調査研究」最終報告書, NIRS-M-49, 131-133(1984).
- 20) G. Tanaka, H. Kawamura and K. Shiraishi, "Reference Japanese Man" as a Model of Man for Dose Equivalent Estimation, Radiation-Risk-Protection, 6th International Congress of IRPA Compacts, Vol. 1, 310-313, 1984.
- 21) K. Shiraishi, G. Tanaka and H. Kawamura, Simultaneous Multielement Analysis of Various Human Tissues by Inductively Coupled Plasma Atomic-Emission Spectroscopy, *Talanta*, **33**, 861-865, 1986.
- 22) K. Shiraishi, H. Kawamura and G. Tanaka, Daily Intake of Elements as Estimated from Analyses of Total Diet Samples in Relation to Reference Japanese Man, *J. Radiat. Res.* **27**, 121-129, 1986. ほか.
- 23) 河村日佐男, 白石久二雄, 五十嵐康人, 田中義一郎, 標準日本人の人体化学組成に関する研究—骨中の希土類元素について, 影響学会第30回大会講演要旨集, 253, 1987.

- 24) 河村日佐男, 白石久二雄, 加賀屋隆子, ICP-MSによる骨試料中の希土類元素の定量, 第48回分析化学討論会, 1987.
- 25) 山口寛, 西沢かな枝, 丸山隆司, 千葉美津恵, 福久健次郎, 橋詰雅, 日本人のMIRD表の作成プログラム, 保健物理, 18, 3-10, 1983.
- 26) 河村日佐男, 白石久二雄, 五十嵐康人, アクチニド核種等の代謝モデルと線量算定に関する研究, 特別研究「環境放射線の被曝評価に関する調査研究」最終報告書, NIRS-R-17,109-114, 1989.
- 27) 甲斐倫明, 日本人の甲状腺における放射性ヨウ素の生物学的半減期に関する考察, 保健物理, 18, 3, 1983.

## < 討 論 >

### Q. 田中義一郎:

標準アジア人について早急にまとめざるを得ない事態であるが, 方針は?

### A. 河村日佐男:

標準日本人は法的には認知されておらず, 早急に確立する必要があると思う。標準アジア人の方は, ICRPの標準人改訂の時間的ファクターを考慮して検討中なので, 御意見をお願い致します。

### Q. 座長(市川龍資):

環境放射性物質の量から人の体内被曝線量を推算する場面は実用上多いが, 殆どの場合, 日本人の人体特性を使わずに行っている(甲状腺へのヨウ素到着率を0.3から0.2にする, などにとどまる)。現在までに得られている情報に限って, それが実質的に線量計算結果に影響を及ぼすことがあるか。及ぼすならできるだけ早い機会に取り入れたい。

### A. 河村:

用いる線量評価のモデルによっても異なる。日本人のヨウ素の生物学的半減期は,  $^{129}\text{I}$ の甲状腺線量にはかなり効くと思われる。

### Q. 市川:

その点はまだ入っていない。そのほかにあるか。

### A. 河村:

ICRP Publication 2に準じて言えば, ストロンチウムの O. R. 値は, 0.25から0.12に切り下げるべきであろう。

### Q. 市川:

まだ, 得られていないが, これから入手すれば, 大変に影響が大きく重要なものは何か。

### A. 河村:

生理代謝の面のデータから大きな影響が出るのではないか。本セミナーの2日間で色々な方からの話を伺いたい。

## II 日本人の身体的・解剖学的特性

II-1 体格等の正常値と標準値設定上の問題点 東郷 正美

II-2 標準日本人の器官組織の質量および体組成 田中義一郎

---

特別講演 1 ICRP 専門委員会 2 の活動  
松岡 理

## II-1 体格等の正常値と標準値設定上の問題点

東郷正美

東京大学教育学部

Nation-wide Anthropometric Survey Data in Japan to Determine Dimensions of  
Total-Body Phantom for Reference Japanese Man

Masami Togo

Faculty of Education, University of Tokyo

7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113 Japan

**ABSTRACT**-In order to estimate radiation dose in Japanese population accurately, a Reference Japanese Man, whose stature and body weight are 170cm and 60kg respectively, is indispensable. The MIRD 5 total-body phantom has only 8 dimensions, i. e. total head height, head length, head breadth, trunk length, trunk breadth, leg length, and breadth and depth of a leg model at its lower end. Based on Japanese anthropometric data, the dimensions were determined and its mathematical descriptions were given. In Japan, annual statistical data of stature, body weight, chest circumference and sitting height for all Japan by sex and age are published. But other nation-wide survey data necessary for determining dimensions of total-body phantom of Reference Japanese Man, are unavailable. Much more national anthropometric data of every kind necessary for defining phantoms must be compiled.

### 1 はじめに

体格の体という字は、もとはへんは骨、つくりは豊で體と書いた。この旧字体に対し、現在用いられている体という字は、古くから中国において俗字として用いられてきたものである。へんの骨はほねであり、高はほねとほねの結合した様、即ち関節を示し、上部の冂は中がうつろになった骨、即ち頭蓋骨を示している。この下に、肉という字の省略された形で、筋肉を表す月(にくづき)を書き加えて骨という字ができ上がっている。一方、つくりの豊はつらなる状態を示し、従って體で骨がつらなってでき上がったからだを示している。格はこつんとつかえる堅い芯や心棒の事で、人間が芯にもつ本質を表す。体格で、骨と筋肉でできている人間のか

らだの基本的な構造を示すものと考えられる。

ヒトの身体は多くの部分から成り立つと考え、それらの部分が統合され一つのまとまったものとして身体が存在するといえる。どのような部分に分けるかは目的によって異なるが、線量評価の場合は、評価に差し支えの無い限り、簡略化できるものは簡略化し、単純な形であってほしい。数学的人体モデルを念頭に置かならば、人体を直方体、球、直正円柱、直楕円柱などの組み合わせで表現できれば、人体を三次元空間で正確に規定でき、標準日本人の線量評価は容易となる。ただし、この標準日本人の体内に存在する各種の臓器についても、その大きさ、形、体内での位置などを決めるモデルが必要となる。器官や組織についての問題は次章で田中<sup>2)</sup>によって詳細に論じられている。

東大原子力センターのWhole Body Counterでの測定に際し、プラスチックの検出器のもつ特性から、測定値を被検者の体格によって補正する目的で十余種にのぼる身体計測をくり返し行ってきている。毎月測定を行っている十余名の被検者一人一人について数学的人体モデルを作成する事は可能であるが、データの充分には揃わない日本人全体についてのモデルについても考えてみたい。

## 2 体格のモデル作成上の問題点

体格を数式で表現するのは、体格が複雑な形をしているので簡単ではない。正確に再現するには多くの変数が必要であり、しかも短時間内でも呼吸、飲食、排泄などにより外形も変るし、とり得る姿勢も多い。静止していても常に一定の、彫像のように不変の形ではない。しかも小児が発育するにつけて、小児の体型を保持したまま大きくなる事はなく、体型も発育に伴って変化する。

しかしすべての点で正確に体格を再現する必要は必ずしもなく、いくつかの重要な変数だけ分かれば、他は誤差があっても、あるいは無視しても実用上は十分である場合も多い。そこで我々の目標、即ち日本人を対象として線量評価をするに際して、必要にして、しかも最小限の変数はどれとどれであるのかを決める必要が生じる。さらにそこから問題は二つに分かれる。一つはこのセミナーのテーマである標準日本人の線量評価であり、MIRD 5ファントムを改訂して作成されたICRP標準人との対比で、日本人あるいは体格のほぼ等しいアジア人を代表する平均的な値を求める事である。これは日本人あるいはアジア人を集団として考察する際に必要なものであり、集団の健康管理、あるいは健康(保健)サービスに欠かせない。一方で当然の事ながら個人のレベルでの線量評価が求められる場合も少なくない。この際、問題となる個人の体格が、たまたま標準日本人と同じか、あるいはほぼ等しければ標準日本人として扱う事は可能であり、標準日本人は日本人の平均値あるいは平均値に近い値から求められていれば、標準日本人の値を借りて線量評価をしても大きな誤差は生じないと想定される個人の集団での割合は大きいに違いない。もし欲張って、標準日本人でカバーできる割合を増やそうとするのなら、標準日本人を現行のICRP標準人のように一つにせず、性によって分け、さらに大まかな



年齢階級によっても分けて、複数の標準日本人を設定しておけばよい。大勢の個人が、いずれかの標準日本人で近似され得るであろう。さらに、もし各個人ごとの線量評価を求められているのなら、個人の身体値を標準日本人の線量評価に用いる式に代入すればよい事になる。この際、必要な変数は少なければ少ない程計算は楽になるが、これだけ大小様々な計算機が普及しているわが国の現状からいえば、個人ごとの線量評価も、その人数が極端に多くなければ可能であろう。しかしこの問題はどのような人体モデルを考えるかによって可能とも不可能ともなるであろう。これは身体を外から測定して得られる体格だけで決まる問題ではなく、身体内の臓器をどのようなモデルで表現するかをも考えねばならない。

### 3 日本人の体格の平均値

わが国では、現在の性別・年齢別の身長・体重などの平均値を求める事ができ、従って、性別・年齢別の人口が分かっているので、性・年齢のすべてを計算に入れた平均値を求める事が可能であり、これはわが国でのみ可能な事である。実用上は、正確な平均値を求めた上で、次の計算に便利のように、きりのよい数字に丸めればよい。又、毎年新しい平均値を求める必要もない。

わが国では現在以下の3種の調査が全国的規模で毎年行われていて、その結果が公表されている。古い順に述べる。

#### 3-1 学校保健統計<sup>2)</sup>(文部省)

学校保健統計は明治33年、1900年に開始されたものである。対象は幼稚園、小学校、中学校、高等学校である。大学は以前は学校保健統計で扱われていたが、現在では後述する国民体力・運動能力調査へ移された。幼稚園から大学まで、毎年少なくとも1回は健康診断を実施し、その中には身体計測が含まれている。この健康診断は全員について行われるが、学校保健統計報告ではサンプリングでデータを集計している。

測定項目は身長、体重、胸囲、坐高の四種で、胸囲は心、肺など生命維持に必須の器官を納めている胸の周径であり、国民病とか亡国病とかいわれていた肺結核に関連すると考えられていたものであり、坐高は椅子と机の高さが明視の距離を保てるようにする為の資料にする目的があるが、身長から座高を差し引いた値は坐骨下脚長(Subischial Leg Length)と呼ばれ、直接測定するのがむずかしい脚長に代ってよく用いられている。これは人体モデルに活用できよう。坐高の測定は昭和12年、1937年より開始された。

四変数について性別・年齢別、都道府県別の平均値・標準偏差の他に、夫々の変数の性別・年齢別の分布が身長・胸囲・坐高はcm、体重はkg単位で千分率(‰)で示されている。

#### 3-2 国民栄養調査<sup>3)</sup>(厚生省)

国民栄養調査は昭和20年、1945年の敗戦で極度に食料の供給が不足し、国民の栄養水準が低

下してしまった。これに対する緊急処置として外国から食料援助を受ける為の資料として始められたのが国民栄養調査で、サンプリングされた世帯で調査が毎年行われている。この中には身体計測も含まれていて、その項目としては身長と体重の他に上腕伸展部(上腕三頭筋部)と肩甲骨下端部の2ヵ所の皮下脂肪厚(皮脂厚)が含まれている。国民栄養調査の統計資料としての特徴は男女共身長と体重については全年齢が含まれている事である。

### 3-3 国民体力・運動能力調査<sup>4)</sup>(文部省)

国民体力・運動能力調査は東京でオリンピックが開かれた昭和39年、1964年から毎年行われている。小・中・高・大学生と勤労青少年、壮年の6歳から59歳までの男女を全国でサンプリングし、身体計測としては身長・体重・胸囲・坐高があり、坐高に限って壮年(30~59歳)では測定から除かれる。6歳未満と60歳以上は対象とはならない。又その対象の一部は、学校保健統計と重複する。

### 3-4 乳幼児身体発育調査<sup>5)</sup>(厚生省)

乳幼児身体発育調査は10年毎に、西暦で末尾が0の年に行われる。測定項目は身長・体重・胸囲・頭囲である。2歳までは1ヵ月刻み、以後6歳6ヵ月までは6ヵ月刻みの値が公表されている。さらに10, 50, 90パーセントイル値が求められていて、そのグラフが母子健康手帳に掲載されている。成人とは異なる放射線感受性をもつ乳幼児の人体モデルを考える際に役立つであろう。次回は明年(平成2年、1990年)に行われる。

学校保健統計は1900年以来行われてきているが、現在でも最高記録が更新されつつあり、未だ体格が大きくなりつつある事が示されている。

参考までに、学校保健統計を表1に、国民栄養調査を表2に、国民体力・運動能力調査を表3に、乳幼児身長発育調査を表4に、夫々の身体計測値を示す。

身長・体重・胸囲・坐高の四つに関しては、これだけの人口で全国値が得られているのは日本だけで、世界一である。

## 4 標準日本人(男)の数学モデル作成に必要なその他の身体計測値

人体を極めて単純なモデルで表現したものに、すでに20年も前に発表されたMIRD 5ファントム<sup>6)</sup>がある。全体を3部に分け、上から順に頭部は直楕円柱、体幹部も直楕円柱、脚部は直楕円錐台で、その三次元空間での位置は表5に示す不等式群で表わされる。ここでは上肢(腕)は体幹部に含まれる。従って、本章での体幹とは、上肢を含むものと定義する。脚部は左右に分かれていない。又、手(手関節より先)と足(足関節より先)、鼻や耳などは省略されている。ここで用いられている数値はわずか8種類にすぎない。頭長(頭部の前後径)、体幹部と脚部上端の矢状径(=前後径)は共通、体幹部と脚部の幅も共通である。これらの数値を中心に、日本人

表1 性別・年齢別の身長・体重・胸囲・座高の平均値及び標準偏差(昭和62年度)

Means and standard deviations of stature, body weight, chest circumference and sitting height in boys and girls between the age ages of to 17, surveyed in 1987.

区 分	身長(cm)		体重(kg)		胸 囲(cm)		座 高(cm)			
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差		
男	幼稚園 5歳	110.8	4.61	19.2	2.56	56.4	3.01	62.6	2.76	
	小学校	6歳	116.6	4.83	21.3	3.17	57.9	3.39	65.3	2.77
		7	122.3	5.04	23.9	3.72	60.1	3.81	67.8	2.84
		8	127.8	5.32	26.8	4.66	62.5	4.54	70.3	2.93
		9	133.0	5.53	29.9	5.54	64.9	5.21	72.5	2.98
		10	138.2	5.89	33.4	6.63	67.5	5.93	74.7	3.14
		11	143.8	6.75	37.2	7.61	70.1	6.40	77.0	3.58
	中学校	12歳	150.7	7.72	42.6	8.73	73.2	6.67	80.3	4.33
		13	158.1	7.80	48.0	9.39	76.6	6.66	84.0	4.45
		14	164.0	6.77	53.4	9.30	80.2	6.44	87.1	3.97
	高等学校	15歳	167.7	5.84	58.4	9.38	83.2	6.60	89.5	3.42
		16	169.4	5.66	60.3	9.28	84.8	6.27	90.4	3.20
		17	170.3	5.71	61.8	9.19	86.3	6.13	91.0	3.19
	女	幼稚園 5歳	110.0	4.56	18.9	2.50	55.2	3.11	62.2	2.67
小学校		6歳	115.8	4.79	20.9	3.10	56.5	3.44	64.8	2.72
		7	121.4	5.05	23.3	3.68	58.6	3.90	67.4	2.81
		8	127.1	5.34	26.3	4.55	61.1	4.67	69.9	2.95
		9	132.7	5.89	29.5	5.40	63.7	5.29	72.4	3.17
		10	139.2	6.55	33.6	6.54	67.0	6.01	75.4	3.62
		11	145.8	6.75	38.3	7.39	70.8	6.44	78.6	3.84
中学校		12歳	151.2	5.89	43.5	7.74	75.1	6.31	81.8	3.57
		13	154.6	5.35	47.1	7.31	77.6	5.76	83.5	3.17
		14	156.3	5.11	49.8	7.07	79.6	5.47	84.5	2.93
高等学校		15歳	157.1	5.01	52.1	7.24	81.4	5.50	85.1	2.79
		16	157.6	4.99	52.7	6.89	81.9	5.21	85.2	2.80
		17	157.8	4.97	52.8	6.81	82.2	5.18	85.2	2.86

(注) 年齢は、昭和62年4月1日現在の満年齢である。

文部省 学校保健統計調査による。

表2 性別・年齢別の身長・体重の測定数・平均値及び標準偏差(昭和61年度)

Means and standard deviations of stature and body weight by sex and age sampled in all Japan in 1986.

年齢(歳)	男						女					
	身長(cm)			体重(kg)			身長(cm)			体重(kg)		
	人数	平均値	標準偏差	人数	平均値	標準偏差	人数	平均値	標準偏差	人数	平均値	標準偏差
1	123	80.59	5.69	123	10.89	1.38	132	78.77	5.55	132	10.27	1.26
2	116	89.49	3.99	116	13.07	1.41	117	88.92	4.20	117	12.53	1.47
3	138	96.89	4.24	138	14.86	1.84	129	96.18	3.92	129	14.46	1.81
4	132	104.01	4.26	132	16.81	1.94	135	102.77	5.01	135	16.52	2.40
5	141	109.53	4.11	141	18.49	2.30	126	108.77	4.23	126	18.26	2.26
6	152	115.48	6.70	152	20.79	2.70	139	114.89	4.70	139	20.53	2.67
7	171	121.52	5.56	171	23.92	4.12	152	120.80	5.70	152	23.11	3.84
8	177	126.54	5.23	177	26.07	4.47	153	126.32	5.17	153	25.99	5.33
9	172	131.49	5.81	172	28.84	5.01	179	132.28	5.74	179	29.35	5.12
10	171	137.71	6.74	171	33.01	6.49	164	138.18	6.51	164	33.23	6.11
11	176	143.48	6.91	176	37.99	7.54	156	145.11	6.17	157	37.94	7.13
12	160	149.70	7.62	160	42.03	8.43	175	150.36	6.19	175	42.76	6.47
13	135	157.81	7.24	135	47.64	8.52	159	153.96	5.04	158	45.83	7.08
14	167	163.49	6.97	168	53.20	9.49	147	155.57	4.71	147	48.65	6.47
15	143	166.46	6.52	143	56.00	9.64	138	156.75	4.80	138	50.88	6.51
16	125	168.14	6.36	125	59.99	9.45	97	156.76	5.49	97	51.77	7.22
17	115	170.17	6.07	115	61.55	7.66	110	158.37	5.43	110	52.92	7.01
18	106	170.20	5.98	106	61.76	8.80	99	157.64	5.87	99	52.10	6.29
19	761	170.51	5.73	76	60.58	8.28	81	157.04	4.94	81	49.73	6.03
20	541	171.11	6.44	54	61.66	8.44	54	156.95	5.03	53	48.44	4.78
21	71	170.28	6.44	71	61.89	9.06	88	157.54	5.68	85	51.26	7.80
22	71	169.95	5.66	70	61.37	9.14	83	157.40	5.18	80	50.62	6.46
23	70	170.82	5.46	70	64.45	9.20	80	156.95	5.30	75	49.57	6.60
24	79	170.39	5.54	79	63.44	7.92	76	157.61	5.13	66	50.56	7.54
25	67	169.62	5.30	67	64.52	8.66	100	158.05	4.97	89	51.73	7.15
26-29	283	169.87	5.40	283	63.75	8.89	425	156.64	5.34	379	51.34	7.53
30-39	1,205	168.01	5.57	1,205	64.19	8.49	1,615	154.96	5.13	1,575	52.47	7.51
40-49	1,014	164.82	5.97	1,012	63.15	8.38	1,310	152.56	5.01	1,310	53.88	7.90
50-59	972	162.75	5.85	972	61.23	8.79	1,264	150.48	5.44	1,264	52.88	8.08
60-69	723	160.54	6.12	723	57.98	8.99	920	148.04	5.80	921	51.01	8.38
70歳以上	487	157.30	6.95	488	53.07	8.78	666	143.81	6.67	668	46.53	8.42
60-64	422	161.15	6.18	422	58.38	9.08	523	148.54	5.92	524	51.72	8.42
65-69	301	159.69	5.92	301	57.43	8.83	397	147.40	5.58	397	50.07	8.23
70-74	224	158.02	6.76	224	54.00	9.22	335	145.14	5.78	335	48.02	8.07
75-79	156	158.02	6.89	157	53.56	8.27	185	143.95	6.14	185	46.76	8.27
80歳以上	107	153.83	6.27	107	50.39	7.98	146	140.60	8.03	148	42.88	8.27

厚生省 国民栄養の現状による。

図3 性別・年齢別の身長・体重・胸囲・座高の平均値及び標準偏差(昭和62年度)

Means and standard deviations of stature, body weight, chest circumference and sitting height by sex between the ages of 6 to 59 or 6 to 29 surveyed in 1987.

身長(単位: cm)						体重(単位: kg)							
年齢	男子			女子			年齢	男子			女子		
	標本数	平均値	標準偏差	標本数	平均値	標準偏差		標本数	平均値	標準偏差	標本数	平均値	標準偏差
6	1004	116.58	5.02	1012	115.73	4.90	6	1004	21.36	3.26	1012	20.82	2.93
7	1008	122.26	5.39	1007	121.35	5.35	7	1008	23.78	3.65	1006	23.30	3.66
8	1010	127.89	5.49	1003	127.22	5.40	8	1009	26.72	4.42	1002	26.23	4.41
9	1006	133.09	5.42	1001	133.00	6.31	9	999	29.52	4.90	1003	29.34	5.02
10	984	137.79	5.84	984	139.31	6.64	10	984	32.70	5.89	984	33.41	6.00
11	991	143.59	6.70	978	145.93	6.63	11	991	36.96	7.50	978	38.39	7.21
12	940	151.00	7.95	943	151.55	5.98	12	939	42.31	8.41	941	43.27	6.80
13	957	158.96	7.53	962	154.69	5.26	13	953	48.18	8.56	955	46.76	6.89
14	962	164.17	6.82	975	156.45	5.22	14	961	53.42	8.83	972	49.32	6.96
15	1061	167.70	5.99	1052	157.18	4.89	15	1059	57.89	8.74	1048	51.29	6.69
16	1105	169.45	5.88	1017	157.35	5.27	16	1103	59.87	8.62	1016	51.76	6.59
17	1108	170.22	5.90	1073	157.84	4.99	17	1099	61.17	8.25	1072	52.29	6.63
18	1896	170.62	5.67	1926	157.93	4.94	18	1898	62.23	7.77	1918	51.39	5.73
19	1780	170.87	5.53	1625	158.14	6.44	19	1778	62.61	7.39	1607	51.53	5.96
20	1226	170.96	5.45	1061	157.97	4.90	20	1223	63.33	7.65	1054	51.20	5.42
21	549	171.32	5.28	512	157.88	4.84	21	549	63.60	7.55	510	50.62	5.45
22	577	170.80	5.27	509	157.62	5.17	22	577	64.02	7.84	509	50.65	5.56
23	575	170.61	5.46	524	157.25	4.68	23	574	63.79	7.37	524	50.02	5.34
24	554	170.82	5.25	514	157.76	4.87	24	554	64.32	7.67	513	50.65	5.30
25	521	170.98	5.31	514	157.49	4.94	25	522	65.06	8.05	510	50.45	5.31
26	518	170.61	5.06	509	157.39	4.55	26	518	64.52	7.70	507	51.03	5.47
27	503	170.41	5.13	508	157.52	4.90	27	502	64.54	7.50	506	51.06	5.46
28	518	170.44	5.30	482	157.63	4.81	28	517	64.82	7.64	482	51.13	5.58
29	516	169.87	5.32	494	157.25	4.58	29	516	65.34	7.64	494	51.33	5.45
30	535	169.67	5.15	504	157.20	4.74	30	544	65.44	7.88	501	52.04	5.71
31	491	169.49	5.04	517	156.78	4.84	31	498	65.87	8.23	516	51.69	5.92
32	503	169.40	5.07	519	157.07	5.01	32	518	65.59	7.97	517	52.10	6.14
33	495	169.02	5.23	532	156.78	4.71	33	505	65.58	8.21	530	52.43	5.93
34	514	168.65	5.40	565	156.19	4.77	34	526	65.48	8.24	565	52.36	5.91
35	522	168.65	5.15	585	156.28	4.68	35	529	65.02	8.02	583	52.25	5.62
36	531	168.40	5.19	595	156.31	4.57	36	543	65.71	8.08	594	52.93	5.95
37	525	168.09	5.33	598	155.73	4.64	37	535	65.69	8.59	597	52.75	6.78
38	531	168.14	5.50	602	155.36	4.86	38	536	65.08	7.93	598	52.57	6.21
39	572	168.11	5.36	593	155.56	4.76	39	578	65.22	8.03	591	52.80	5.87
40	515	167.65	5.20	570	155.31	4.80	40	519	65.07	7.70	567	52.92	6.30
41	477	166.95	5.62	487	155.17	4.71	41	482	65.00	8.13	485	53.39	6.67
42	487	166.95	5.20	508	154.94	5.07	42	493	64.94	8.25	507	53.38	6.80
43	496	167.00	5.28	519	154.81	4.75	43	495	64.09	7.60	519	52.73	5.84
44	507	166.32	5.44	505	154.84	4.91	44	511	65.12	8.03	505	53.21	6.50
45	485	166.45	5.48	517	154.90	4.60	45	486	64.51	7.94	517	53.72	6.06
46	476	166.73	5.25	499	154.59	4.65	46	476	65.16	8.09	497	53.56	6.28
47	477	165.90	5.42	491	154.40	4.62	47	479	64.54	7.79	491	52.69	5.83
48	474	166.07	5.27	476	154.16	5.13	48	484	64.44	7.10	474	53.92	6.91
49	466	166.01	5.31	466	154.08	4.97	49	466	64.99	8.00	466	53.35	5.98
50	420	165.55	5.58	461	153.74	4.83	50	421	64.58	7.90	461	53.36	6.66
51	421	165.59	5.46	439	153.77	5.16	51	423	64.02	7.56	439	54.17	6.92
52	427	165.18	5.23	456	153.47	4.62	52	430	64.28	7.77	454	53.66	6.79
53	412	165.16	5.27	435	152.98	4.59	53	413	63.39	7.56	434	52.97	6.55
54	412	164.65	5.64	432	153.26	4.68	54	412	63.76	7.50	431	53.26	6.04
55	415	164.86	5.41	433	153.02	4.68	55	415	63.13	7.66	434	53.56	6.44
56	410	164.32	5.58	437	152.78	4.97	56	411	62.31	7.66	437	52.86	6.35
57	413	164.13	5.51	409	153.13	4.92	57	413	62.74	7.24	406	53.08	6.12
58	412	163.49	5.76	422	152.55	4.89	58	412	62.16	7.52	422	53.41	6.56
59	434	163.62	5.73	434	152.30	5.15	59	435	61.38	7.86	434	52.82	6.79

表3(つづき)

		胸			肩(単位:cm)			座			高(単位:cm)		
年齢	男子			女子			年齢	男子			女子		
	標本数	平均値	標準偏差	標本数	平均値	標準偏差		標本数	平均値	標準偏差	標本数	平均値	標準偏差
6	1004	57.88	3.56	1012	56.41	3.35	6	1003	65.30	2.79	1012	64.81	2.65
7	1008	59.88	3.57	1007	58.63	3.87	7	1007	67.98	2.92	1004	67.30	2.87
8	1010	62.33	4.30	1003	60.89	4.49	8	1010	70.34	2.98	1003	70.05	2.93
9	1006	64.79	5.05	1005	63.55	4.70	9	1008	72.67	3.03	1005	72.68	3.37
10	984	66.75	5.36	984	66.67	5.40	10	983	74.54	3.09	984	75.35	3.57
11	991	69.66	6.22	976	70.77	6.34	11	990	77.02	3.57	976	78.64	4.23
12	935	72.69	6.33	938	75.00	5.62	12	925	80.35	4.57	936	81.78	3.68
13	941	76.45	5.98	949	77.39	5.55	13	944	83.62	4.76	948	82.84	3.81
14	952	79.59	6.12	962	79.33	5.42	14	954	86.76	4.52	964	84.03	3.84
15	1042	82.59	5.50	1041	80.94	4.60	15	1055	88.86	3.89	1046	84.36	3.46
16	1088	84.30	5.73	1009	81.10	4.70	16	1100	89.73	3.79	1014	84.26	4.01
17	1069	85.29	5.31	1066	81.79	4.54	17	1095	89.96	3.89	1068	84.53	3.54
18	1816	86.94	5.10	1872	81.64	3.92	18	1803	90.41	3.61	1765	84.05	3.59
19	1694	87.77	5.05	1563	81.87	4.39	19	1663	90.59	3.71	1528	84.00	4.20
20	1157	88.59	4.84	1026	81.58	3.39	20	1151	90.30	3.82	998	83.93	3.56
21	528	89.72	4.78	492	81.83	3.62	21	522	90.19	3.85	484	83.36	4.12
22	547	89.73	5.31	490	81.83	3.62	22	557	90.01	3.95	477	83.20	4.07
23	550	89.62	4.57	503	81.62	3.85	23	552	89.79	3.83	493	83.23	3.88
24	528	90.13	5.26	493	82.59	3.44	24	524	89.83	4.01	484	83.23	3.97
25	498	90.14	4.75	494	82.24	3.51	25	499	90.20	3.94	483	83.09	3.89
26	493	89.47	4.47	490	82.27	3.70	26	494	90.28	3.84	481	83.44	3.68
27	478	89.97	4.41	492	82.23	3.56	27	485	90.18	3.81	478	83.38	3.76
28	499	90.04	4.53	459	82.14	3.81	28	489	90.38	3.92	451	83.31	3.75
29	492	90.20	4.44	476	82.41	3.81	29	489	90.20	4.80	462	83.08	4.26
30	516	89.75	4.90	490	82.25	4.11							
31	468	89.69	4.89	500	82.47	3.90							
32	486	89.78	4.83	503	82.64	4.18							
33	473	90.16	4.71	517	82.75	4.12							
34	491	90.01	4.79	546	82.64	4.27							
35	511	89.93	4.80	564	82.55	4.16							
36	511	89.93	4.82	576	83.22	4.16							
37	508	90.05	4.91	582	83.04	4.11							
38	504	89.57	4.76	580	83.34	4.64							
39	546	89.95	5.02	576	83.37	4.44							
40	486	89.63	5.35	545	83.66	4.76							
41	457	89.73	5.26	464	83.57	4.66							
42	474	89.21	5.22	496	83.89	4.63							
43	468	89.05	4.93	504	83.21	4.28							
44	479	89.27	5.04	492	83.76	4.75							
45	460	89.23	5.06	505	83.98	4.21							
46	447	89.65	4.99	480	83.86	4.85							
47	457	89.09	5.31	480	83.84	4.48							
48	457	89.38	4.97	456	84.45	4.95							
49	445	89.15	5.36	455	84.22	4.75							
50	401	88.65	5.27	453	84.19	5.04							
51	409	88.92	5.22	428	84.50	5.31							
52	415	88.44	5.69	445	84.28	5.24							
53	398	88.56	5.04	426	84.14	4.86							
54	396	88.46	5.39	417	84.28	5.24							
55	397	88.02	5.17	422	84.07	5.17							
56	399	87.53	5.58	426	83.73	5.50							
57	400	87.49	5.36	399	83.95	5.19							
58	405	87.70	5.42	413	84.30	5.20							
59	425	87.17	5.36	424	83.37	5.92							

数値は、当調査対象者の測定値(平均)であり、学  
校保健統計の数値(表1)とは必ずしも一致しない。

文部省 国民体力・運動能力調査による。

表4 乳幼児身体発育値の性別・年齢別の体重・身長・胸囲・頭囲の平均値  
Means of body weight, stature, chest circumference and head circumference in boys and girls from to age of 6 and a half years surveyed in 1980.

年・月齢	体重(kg)		身長(cm)		胸囲(cm)		頭囲(cm)	
	男子	女子	男子	女子	男子	女子	男子	女子
	1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980
出生時	3.23	3.16	49.7	49.3	32.5	32.4	33.6	33.2
1～2月未満	5.08	4.76	56.0	55.2	39.1	38.2	38.2	37.4
2～3	6.09	5.55	59.8	58.4	41.0	39.9	39.8	38.7
3～4	6.84	6.24	62.7	61.1	42.4	41.2	41.1	39.9
4～5	7.39	6.83	64.9	63.3	43.4	42.2	42.2	41.0
5～6	7.80	7.33	66.6	65.3	44.1	43.0	43.0	41.9
6～7	8.15	7.71	68.1	66.8	44.6	43.6	43.7	42.6
7～8	8.47	8.00	69.4	68.2	45.1	44.1	44.4	43.3
8～9	8.77	8.24	70.8	69.4	45.6	44.5	45.0	43.9
9～10	9.04	8.47	72.0	70.6	46.1	44.9	45.5	44.3
10～11	9.27	8.70	73.2	71.8	46.4	45.2	45.9	44.7
11～12	9.49	8.91	74.3	73.0	46.7	45.5	46.2	45.0
1年0～1月未満	9.71	9.09	75.5	74.1	47.0	45.7	46.4	45.3
1～2	9.91	9.27	76.6	75.1	47.2	45.9	46.6	45.5
2～3	10.07	9.47	77.6	76.2	47.3	46.2	46.8	45.6
3～4	10.20	9.70	78.5	77.3	47.5	46.4	47.0	45.8
4～5	10.33	9.91	79.3	78.2	47.7	46.7	47.1	46.0
5～6	10.50	10.10	80.1	79.0	47.9	46.9	47.3	46.3
6～7	10.73	10.29	81.0	79.9	48.2	47.1	47.5	46.5
7～8	10.98	10.48	81.9	80.8	48.5	47.4	47.7	46.6
8～9	11.21	10.70	82.8	81.7	48.8	47.6	47.9	46.7
9～10	11.43	10.93	83.6	82.6	49.1	47.9	48.1	46.9
10～11	11.64	11.14	84.4	83.4	49.4	48.2	48.3	47.1
11～12	11.82	11.34	85.2	84.1	49.6	48.4	48.4	47.2
2年0～6月未満	12.18	11.89	87.2	86.3	50.1	48.9	48.7	47.6
6～12	13.27	12.88	91.1	90.2	51.0	49.8	49.2	48.1
3年0～6月	14.28	13.86	94.8	93.9	52.0	50.8	49.7	48.7
6～12	15.27	14.82	98.2	97.5	52.8	51.6	50.1	49.1
4年0～6月	16.12	15.76	101.5	100.9	53.7	52.4	50.4	49.4
6～12	17.01	16.67	104.6	104.1	54.4	53.1	50.7	49.7
5年0～6月	17.91	17.55	107.6	107.1	55.3	53.9	50.9	50.0
6～12	18.86	18.38	110.6	109.8	56.1	54.7	51.1	50.2
6年0～6	19.88	19.15	113.6	112.2	57.1	55.5	51.2	50.5

資料 厚生省「昭和45年及び55年乳幼児身体発育調査」 厚生省の指標 昭和63年版による。

について入手し得る身体計測項目について述べる。日本人の正常値を集めたものとしては、葦島高編の日本人・人体正常値表<sup>7)</sup>がある。人類学者によるものとしては、保志、河内による男性の生体計測値<sup>8)</sup>がある。これらの公表されたデータに、自ら測定した計測値を加えて、数学モデルを作成してみた。

まず田中に従って、身長170cm、体重60kgの男性を標準日本人(男)の基本的な値とする。頭部では、頭の高さ、即ち身長に占める頭部の長さは、保志らによれば23.4cmである。頭部の下端である頤(おとがい)と、胸の上縁である胸骨上縁との間を二つに分け、上部を頸部として頭部

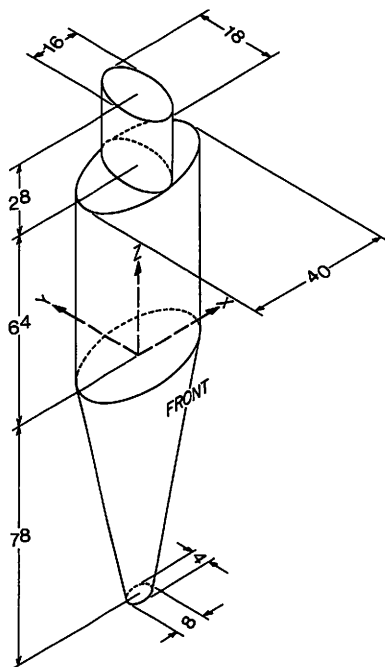


図1 仮の標準日本人ファントム(表5の値を図に示したものの), 脚の先端の矢状径の3.6cmは四捨五入して4と示されている  
 A tentative Reference Japanese Man, dimensions in centimeters.  
 Antero-posterior diameter at the end of leg, indicated as 4, is rounded value of 3.6.

表5 MIRD 5 ファントムと仮の日本人ファントムの数字モデルと体積  
 Mathematical descriptions of total-body phantoms in the MIRD 5 and a tentative Reference Japanese Man with their volume.

	MIRD 5 phantom	Tentative Reference Japanese Man
Head	$(x/7)^2 + (y/10)^2 \leq 1$ $70 < Z \leq 94$	$(x/8)^2 + (y/9)^2 \leq 1$ $64 < Z \leq 92$
volume	5,278cm <sup>3</sup>	6,333cm <sup>3</sup>
Trunk	$(x/20)^2 + (y/10)^2 \leq 1$ $0 \leq Z \leq 70$	$(x/20)^2 + (y/9)^2 \leq 1$ $0 \leq Z \leq 64$
volume	43,982cm <sup>3</sup>	36,191cm <sup>3</sup>
Legs	$(x/20)^2 + (y/10)^2 \leq ((100+Z)/100)^2$ $-80 \leq Z < 0$	$(x/20)^2 + (y/9)^2 \leq ((97.5+Z)/97.5)^2$ $-78 \leq Z < 0$
volume	20,776cm <sup>3</sup>	18,215cm <sup>3</sup>
total volume	70,036cm <sup>3</sup>	60.739

dimension in centimeters unless otherwise stated

と一体化し, 下部は体幹部に入れる。頭部(頸部を含む)を28cm, 体幹部を坐骨結節から頸部の下半分までの領域として64cm, 坐骨結節から床までを脚部として78cmとする。この脚長は坐骨下脚長と呼ばれる。次に頭部の直楕円柱の長軸は解剖学的には頭長と呼ばれるもので, 保志らの平均値では18.6cmであるので, これを18cmとする。頭の幅が楕円の短軸に当り, 同じく15.6cmであり, これを16cmにする。次に体幹部の前後の厚さを矢状径といい, 胸部, 腹部とも18cm



前後であり、18cmとすると、頭長と一致する。これは脚部の上端の楕円の短軸でもある。体幹部の左右の距離即ち横径は楕円の長軸に当る。肩の高さ、正確には肩峰の高さでの両側の肩峰間の直線距離は肩の幅であり、この平均が38.9cmである。腕はこの肩峰より外側に出ているので、測定値はないがこれを考慮に入れて肩の高さでの体幹の幅を40cmとする。腰の高さでは、腰部を前方から見て最も幅の広いところの横径を最大寛幅といい、この平均が31.2cmである。この両側に腕が垂れ下がっているため、これを入れると、やはり40cm前後となり、肩の高さでも腰の高さでも幅を40cmとしても大きな誤りはない。体幹部の楕円柱の長軸と短軸はそのまま脚部の上端の楕円の長軸と短軸でもある。脚長はすでに述べたように78cmである。脚部の先端の楕円の長軸と短軸は、解剖学的な根拠は不明ではあるが、MIRD 5ファントムに倣って長軸を8cmとすると、短軸は3.6cmとなる。このファントムのディメンジョンを図1に示す。表5にMIRD 5ファントムと仮の標準日本人(男)の各部ごとの不等式群と体積を示す。後者の全体積は60,739cm<sup>3</sup>であり、比重を1とすると体重は60.7kgとなり、60kgの目標を700gこえた。

## 5 考察

標準日本人(男)の数学的モデルを試みに作成した。大部分は身体計測学上に大きな誤りはない。全国平均値の得られない変数では、少数例での測定値を用いた。MIRD ファントムと比較してみると、まず頭はMIRDでは長軸と短軸とが20と14とで、前後に長いという特徴があり、はからずもコーカソイドを基礎として作られたファントムである事が分かる。これに対し、日本人の頭は楕円形ではあっても円に近く、モンゴロイドの特徴が認められる。

体幹部の幅は両者とも40cmで一致した。矢状径が前者で20cm、後者で18cmと少し差がある。幅にも多少差があった方が常識的には納得しやすい。

必ずしも十分なデータが揃っているわけでもないが、結果的には、少なくとも表面的には辻褃の合うモデルができたものと思われる。実際に作成してみて、MIRD 委員会は、ずい分思い切った単純化をしたものだと、その大胆さにただおどろくばかりである。

## 6 おわりに

わずかに8種の数値から成り立つファントムの日本人版を作成するのにも、十分な、日本人を代表するデータが揃っていなかった。現在は計算が大量に高速でできるので、さらに人の体格に近いファントムの作成もたやすいが、その為には、その基礎となる身体測定値が必要となってくる。まずは単純なものを使ってみて、資料が集まるにつれて複雑なものに作りかえてゆけばよい。ただ、多くの計測値を得るには、人手・時間・予算などが必要であるが、多くのデータが集まれば、より正確なモデルができ、線量の低い領域でも正確な評価が可能となるであろう。本セミナーでも何人かの講師がファントムにふれておられるが、いろいろ試みて後に、良いファントムが使えるようになるだろう。

謝辞 身体計測につき御教示を賜った東大医学部解剖学教室 保志宏講師に感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 田中義一郎；本書II，2，標準日本人の器官組織の質量と大きさ。
- 2) 文部省，学校保健統計調査報告書，昭和62年度，大蔵省印刷局，昭和63年。
- 3) 厚生省，国民栄養の現状，昭和63年版，第一出版，昭和63年。
- 4) 文部省，国民体力・運動能力調査報告書，昭和62年度，文部省体力局，昭和63年。
- 5) 厚生省，乳幼児身体発育調査報告書，国民衛生の動向，昭和63年，厚生統計協会，昭和63年より引用。
- 6) Medical Internal Radiation Dose Committee, MIRD PANPHLET 5, Journal of Nuclear Medicine, Supplement No.3, 1969.
- 7) 養島 高編：日本人・人体正常数値表，技報堂，昭和42年。
- 8) 保志宏，河内まき子：日本人成人男子112名の54項目生体計測値と，それらの示数ならびに相関係数，解剖学雑誌，53：238～247，1978。

## 〈討 論〉

### Q. 田中義一郎：

東郷先生のお話，非常に興味深く伺った。日本人の体格の標準値について，発表される御意志はあるか。

### A. 東郷正美：

今までは特にはないが，子供の発育について関西・近畿地区と関東との地域差などに興味があり，折りに触れて発表したいと思う。

### Q. 松岡 理：

日本の学校保健統計のサンプル数はどうか。昨年，中国のChenが約100万人の学童発育統計をICRPに持ってきたが。

### A. 東郷：

文部省は全員について計っている。1学年で百何十万人かと思う。但し報告される値はサンプリングされたものである。

### Q. 松岡：

ICRPのヨーロッパの委員は，中国のデータを驚異的な人数と受け取っていたが，日本の統計がさらに進んでいることがよくわかった。ただ，漢民族と少数民族とを分けて民族差を示していたのは興味深かった。

### A. 東郷：

中国できちんとしたことをしたという学会報告を聴いている。広大で人口の多い中国で百万人を計るのは大変なことと思う。欧米では，全員についての，あるいは，サンプリング量の多

い統計は行われていない。欧米人の身長・体重の報告は、ある地域で、また異なった研究者により計られたものというにとどまっている。

**Q. 座長(滝沢行雄)**

学校保健統計を見ると、緯度の相違・気温の相違といった環境因子により、身長・体重の変動がある。寒い所は身長が高く南の地方では低い。ヨーロッパでも北欧と比べ南欧では低い。

スリムな欧米女性が例示されたが、レオナルド・ダ・ヴィンチの8頭身に対して、最近の人間工学では、7.5頭身が理想的とされており、日本人はこれに近い。希望を持って日本人の種々の特性を集めたいと思う。

**A. 東郷**

学校保健統計では秋田県での身長が一番高いという結果もある。

## II-2 標準日本人の器官組織の質量および体組成

田中義一郎

明治薬科大学

Mass of Organs and Composition of the Body of Japanese Reference Man

Gi-ichiro Tanaka

Meiji Pharmaceutical College

1-35-23 Nozawa, Setagaya-ku, Tokyo, 154 Japan

**ABSTRACT**-Reference Man as defined and described in ICRP Publication 23 is in the process of major revision, with an emphasis on the age and sex, and characteristics of non-European populations.

Japanese Reference Man (or Woman) is to be defined as the subject, normal and healthy, 20 to 30 years of age, who inhabits in Japan and live on the "standard diet". He (or she) is a Mongoloid in race, and 170 (or 160) cm in height, and 60 (or 51) kg in weight.

Physical properties such as masses of 114 organs, tissues and components, and their specific gravities of Japanese Reference Male are given. Body composition or body fat, LBM, skeleton, soft lean body mass (SLBM), body water, blood, muscle, ash, protein and specific gravity were also given as well as body surface. These data are primarily based on the data obtained for normal Japanese, and, where data unavailable, they were derived from ICRP Reference Man data by using a new concept of SLBM. Red bone marrow was estimated to be 1,000g as compared to 1,500g in Reference Man. Body fat was obtained by using Nagamine's equations, which showed a recent slight tendency of obesity.

In conclusion, the present data for Japanese Reference Man could be used in designing appropriate phantoms, mathematical and real, for Japanese. Japanese Reference Man will also provide a basis for Asian Reference Man, which, in principle, should be consistent with ICRP concepts of Reference Man.

## 1 緒言

ICRPは“人体モデル”としてStandard Man<sup>1)</sup>を改訂し、世界の主要文献を総合したReference Man (Caucasian Reference Man : CRM)<sup>2)</sup>を発表した。今回最新のデータに基づき、1990年を目途に、職業人を含む一般公衆を対象とした新規Reference Man (ICRP Publication 123, 予定)を決定することになった。そのため、新たに女性および低年齢層(0, 1, 5, 10, 15歳)を加えた大幅な改訂を行うことになった。なかんずく、標準アジア人(標準日本人を含む)の重要性に鑑み併記を主要課題として作業が行われている<sup>3)</sup>。

著者らは、既にReference Japanese Man<sup>4,5)</sup>、規格日本人(Reference Japanese)の設定<sup>6)</sup>、標準日本人<sup>7)</sup>および放医研出版物など、多数の論文を発表してきた。このため、上述のごとくICRPの基礎概念に基づき114項目の人体各部組織、器官についてCRMに相当する体系的JRM<sup>8)</sup>の全容を明らかにした。

## 2 標準日本人および標準人の定義

標準日本人<sup>8)</sup>は、東アジアの一員として、モンゴロイドに属し、日本列島に居住し、日本の生

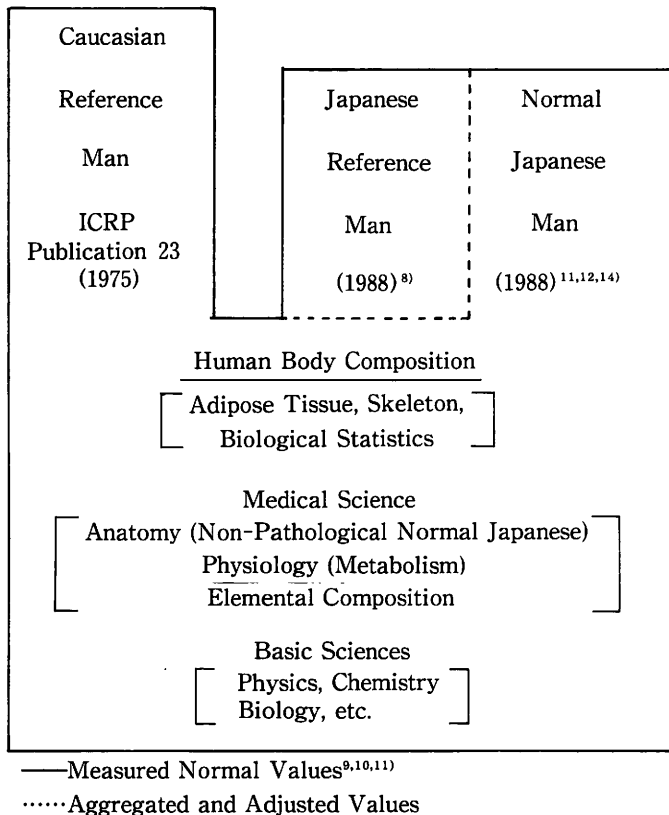


図1 標準日本人とICRP標準人の基礎データの模式図  
Reference Man Concept between Caucasian and Japanese

活習慣及び食嗜好を持ち、標準食<sup>1)</sup>を摂取し、年齢20歳より30歳までの健康な男子(女子)である。身長170cm(160cm)、体重60kg(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である。

ICRP Reference Man (CRM)は定義<sup>2)</sup>として記述されているがごとくコーカソイドであって、彼ら独自の食習慣をもつ平均気温10°~20°Cの欧米地域に居住するものであり、20~30歳の男子(女子)であり、体重は70kg(58kg)、身長は170(160cm)である、としている。

また、この構成要素は、図1に示すごとく人体の解剖学(各組織、器官重量、大きさ、物理的性状)、化学組成(全身及び各組織、器官別元素総量)、生物学的数値(各元素別摂取量、排泄量など代謝関係)に分類され、肺及び胃腸管モデルに関する情報などの被曝線量に関与することも包含されている<sup>9)</sup>。

### 3 標準日本人の体組成について

G. Forbes<sup>15)</sup>のHuman Body Compositionの概念は、人類の体組織構成の一般原則として体重より脂肪組織を除いた値を、Lean Body Mass (LBM)とし、人間相互間の活性組織を比較決定することが最も適切である、と結論づけている。しかし、著者の研究結果によれば異人種間比較においては、骨及び歯などを含む硬組織も除去した値、すなわちSoft Lean Body Mass (SLBM)<sup>8)</sup>により比較検討することが、よりよい結果をもたらすものと考えられた。以上の原則にしたがって表1にCRMとJRMの比較を表示した。

詳説すると、表2のカラムEに示すごとくWeight Ratio (JRM/CRM)は体重、脂肪量に関してそれぞれ0.857及び0.741であり、体重に対する脂肪比は86%(カラムF)であることを示している。この原因の主たるものは動物性脂肪摂取量の多寡によるものと推定される。この結果、Lean Body Mass (LBM)及びSoft-LBM (SLBM)の比はそれぞれ0.885と0.897となる(表2)。

このため、活性組織(LBM)を基礎として血液、水分、筋肉量はほぼ均質量となる。すなわち両者の軟組織構成要素は体重比で約2~3%(カラムG参照)前後と極めて近似した値となる。骨格は放射線防護上極めて重要な組織である。とくに赤色骨髄がCRM 1,500gに対してJRMは骨細胞を含め1,000g<sup>16,17)</sup>であり、その比は0.67となって唯一の例外である。

この他、主要パラメータである体表面積、体比重(Sp. gr.)を表示した。

この他、本課題の設定にあたっての情報源は次の優先順位にしたがって引用した。

#### 1. 国際機関刊行物

FAO, WHO, ICRP, IAEA, UNSCEARなど

---

注) 標準食摂取量は、厚生省統計<sup>14)</sup>「栄養素など摂取量ならびに食品群別摂取量(全国、1日1人当たり)」に準拠し農林水産省食料自給表<sup>13)</sup>「供給純食糧」を考慮する。

表1 標準日本人およびICRP標準人の物理的性質  
Physical properties of Caucasian Reference Man and Japanese Reference Man

Organ, tissue of component	Caucasian Reference Man		Japanese (Asian) Reference Man				
	Body Weight g	Weight in situ g	Normal Japanese g	Body Weight g	Weight in situ		Specific gravity g
1 Total body	70,000	70,000		60,000	60,000		1.06
1a Total soft tissue		60,000	51,655			52,000	
1b Total hard tissue			8,345			8,000	
2 Adipose tissue		15,000			11,000		0.92
3 Subcutaneous (hypodermis)*	7,500*	7,500		5,500*		5,500*	0.97
4 Other separable (omertum etc.)*	5,000*	5,000		3,700*		3,700*	0.92
5 Interstitial		1,000				800	0.92
6 Yellow marrow (skeleton)		1,500				1,000	0.98
7 Adrenals (2)*	14*	14	14.1	14*	14*		1.02
8 Aorta*	100*	100		90*	90*		
9 Contents*	190*	190		170*	(170)*		1.06
10 Blood		5,500			4,800		1.06
11 Plasma		3,100				2,700	1.03
12 Erythrocytes		2,400				2,100	1.09
13 Blood vessels*	200*	200		180*	180*		
14 Contents* (except aorta and pulmonary)	3,000*	3,000		2,500*	(2,500)*		1.06
15 Body fat		13,500	9,670		10,000		0.92
16 Essential		1,500				1,200	0.92
17 Nonessential		12,000				8,800	0.92
18 Body water		42,000			37,000		1.00
19 Extracellular		18,000				16,000	1.00
20 Intracellular		24,000				21,000	1.00
21 Cartilage (skeleton)		1,100			1,000		1.10
22 Connective tissue		3,400			2,900		1.20
23 Tendons and fascia		1,400				1,200	1.20
24 Periarticular tissue		1,500				1,300	1.20
25 Other connective tissue		500				400	1.20
26 Separable connective tissue*	1,600*	1,600		1,400*	1,400*		1.20
27 Central nervous system*	1,430*	1,430		1,500*	1,500*		
28 Brain		1,400	1,462			1,470	1.03
29 Cerebrum		1,200				1,280	
30 Cerebellum		150				160	
31 Brain stem		30				30	1.04
32 Spinal cord		30					1.03
33 Contents (cerebrospinal fluid)*	120*	120		110*	(110)*		1.01
34 Eyes (2)*	15*	15		15*	15*		1.03
35 Lenses (2)		0.4				0.4	1.10
36 Gall bladder*	10*	10		8*	8*		
37 Contents (bile)*	62*	62		50*	(50)*		1.03
38 GI tract*	1,200*	1,200		1,100*	1,100*		1.04
39 Contents (food plus digestive fluids)*	1,005*	1,005		950*	(950)*		
40 Esophagus		40				40	1.04
41 Stomach		150				140	1.05
42 Contents		250				(240)	
43 Intestine		1,000				920	1.04
44 Contents		750				(710)	
45 Small intestine		640				590	1.04
46 Contents		400				(350)	
47 Duodenum		60				50	1.05
48 Jejunum		280				260	1.04
49 Ileum		300				280	1.04
50 Large intestine		370				330	1.04
51 Contents		355				(360)	
52 Upper large intestine		210				180	1.04
53 Contents		220				(220)	
54 Ascending colon and cecum		90					80
55 Transverse colon		120					100
56 Lower large intestine		160				150	1.04
57 Contents		135				(140)	
58 Descending colon		90					80
59 Sigmoid colon		50					50
60 Rectum		20					20

(Asterisked quantities make up the totality of Reference Man, and parenthesis show contents)

表1 続き

Table 1 (continued)

Organ, tissue of component	Caucasian Reference Man		Japanese (Asian) Reference Man				
	Body Weight g	Weight in situ g	Normal Japanese g	Body Weight g	Weight in situ		Specific gravity g
61 Hair *	20 *	20		25 *	25 *		1.30
62 Heart *	330 *	330	358	360 *	360 *		1.03
63 Contents (av.)*	500 *	500		400 *	(400) *		1.06
64 Kidneys (2) *	310 *	310	317	320 *	320 *		1.05
65 Larynx *	28 *	28		27 *	27 *		1.08
66 Liver *	1,800 *	1,800	1,569	1,600 *	1,600 *		1.05
67 Lung *	1,000 *	1,000	1,147	1,100 *	1,100 *		0.26
68 Parenchyma (includes bronchial tree plus capillary blood)		570			500		1.00
69 Blood (arterial and venous)		430			600		1.06
70 Bronchial tree		30			26		
71 Lymphocytes		1,500			1,300		
72 Lymphatic tissue		700			600		
73 Lymph nodes (dissectible)*	250 *	250		220 *	220 *		
74 Miscellaneous *	2,953.1 *	2,953.1		2,612.1 *	2,612.1 *		
75 Solid soft tissue (nasopharynx, etc.)		2,600			2,312.1		
76 Fluid (synovial, pleural, etc.)		350			300		
77 Muscle (skeletal)*	28,000 *	28,000		24,600 *	24,600 *		1.04
78 Nails (20) *	3 *	3		3 *	3 *		1.30
79 Pancreas *	100 *	100	128	130 *	130 *		1.05
80 Parathyroid (4) *	0.12 *	0.12		0.12 *	0.12 *		1.05
81 Pineal *	0.18 *	0.18		0.18 *	0.18 *		1.07
82 Pituitary *	0.6 *	0.6	0.57	0.6 *	0.6 *		1.05
83 Prostate *	16 *	16		14 *	14 *		1.05
84 Salivary glands (6) *	85 *	85		82 *	82 *		1.05
85 Parotid (2)		50			48		1.05
86 Submaxillary (2)		25			24		1.05
87 Sublingual (2)		10			10		1.05
88 Skeleton *	10,000 *	10,000		8,300 *	8,300 *		1.40
89 Bone		5,000			4,500		2.20
90 cortical		4,000			3,600		1.85
91 Trabecular		1,000			900		1.08
92 Red marrow		1,500			1,000		1.03
93 Yellow marrow		1,500			1,000		0.98
94 Cartilage		1,100			1,000		1.10
95 Periarticular tissue (skeletal)		900			800		1.10
96 Skin *	2,600 *	2,600		2,400 *	2,400 *		1.10
97 Epidermis		100			100		1.15
98 Dermis		2,500			2,300		1.12
99 Hypodermis (adipose tissue)		7,500			5,500		0.97
100 Spleen *	180 *	180	141	140 *	140 *		1.06
101 Teeth (32) *	46 *	46		45 *	45 *		2.10
102 Enamel		10			10		
103 Dentin		35			34		
104 Pulp		1			1		
105 Testes (2) *	35 *	35	36.5	37 *	37 *		1.04
106 Thymus *	20 *	20	33.2	33 *	33 *		1.03
107 Thyroid *	20 *	20	19.1	19 *	19 *		1.05
108 Tongue *	70 *	70		67 *	67 *		
109 Tonsils (2 palatine)*	4 *	4		4*4 *			
110 Trachea *	10 *	10		9 *	9 *		1.08
111 Ureters (2) *	16 *	16		14 *	14 *		
112 Urethra *	10 *	10		9 *	9 *		
113 Urinary bladder *	45 *	45		40 *	40 *		
114 Contents (urine)*	102 *	102		102 *	(102) *		1.02
Grand total	70,000.0			60,000.0			1.062

(Asterisked quantities make up the totality of Reference Man, and parenthesis show contents)



表2 標準日本人の体組成とICRP(コーカシアン)標準人の体組成との比較  
Human Body Composition compared with Caucasian Reference Man and Japanese Reference Man

Organ, Tissue or Component	Caucasian Reference Man (CRM)		Japanese Reference Man (JRM)		JRM/CRM ratio		
	A	B	C	D	E	F	G
	Weight (g)	B. W. % (70,000) <sup>-1</sup>	Weight (g)	B. W. % (60,000) <sup>-1</sup>	JRM/CRM (C/A)	E/E E·(0.857) <sup>-1</sup>	E/SLBM E·(0.897) <sup>-1</sup>
Body Weight (B. W.)	70,000	100.0	60,000	100.0	0.857	1.00	0.96
Fat	13,500	19.3	10,000	16.7	0.741	0.86	0.83
Essential	1,500		1,200		0.800		
Non-Essential	12,000		8,800		0.733		
Lean Body Mass (LBM)	56,500	80.7	50,000	83.3	0.885	1.03	0.99
Skeleton	10,000	14.3	8,300	13.8	0.830	0.97	
Teeth (32)	46		45		0.978	1.14	
Soft LBM (SLBM)	46,454	66.4	41,655	69.4	0.897	1.05	1.00
Water	42,000	60.0	37,000	61.7	0.881	1.03	0.98
Extracellular	18,000		16,000		0.889		
Intracellular	24,000		21,000		0.875		
Blood	5,500	7.9	4,800	8.0	0.873	1.02	0.97
Muscle	28,000	40.0	24,600	41.0	0.879	1.03	0.98
Ash	3,700	5.3	3,200	5.3	0.865	1.01	
Protein	10,600	15.1	9,200	15.3	0.868	1.01	0.97
Body Surface (cm <sup>2</sup> )	18,000	25.7	16,500	27.5	0.917		
Sp. gr.	1.07		1.062				

## 2. 公的刊行物

文部省, 厚生省, 農林水産省他政府機関刊行物,  
Official annual report

## 3. 各種学術機関刊行物

学会誌, 放医研などの研究所報告

## 4. 私的刊行物

著書他, 個人出版物

## 4 体脂肪量について

長嶺ら<sup>23)</sup>によるequation(厚生省統計に應用されている)に基づき計算した日本人の体脂肪量はJRM(male)として約16.7%である。近年, 肥満傾向にあって, 他のアジア諸国に比べて, 増加傾向にある。

しかし, 日本人の油脂供給量は北アメリカ人の1/4であり, 動物性脂肪(魚類を除く)は1/6である。なお, 純植物性油脂の全食品に占める割合は67%である。

## 5 日本人の線量評価について

JRMの最終目標は、日本人の科学的根拠に基づく標準日本人体型を決定することである。

このため、JRM Phantomを作成し、身体内器官・組織に対する被曝線量を定量的に推定することにある。

山口ら<sup>19,20)</sup>による<sup>131</sup>I投与時のALIの計算値はMIRD ファントムに対する日本人モデル(但しJRMではなく、山口モデルである)の比較結果は下記のとおりである、という。

<sup>131</sup>Iの欧米人及び日本人の年摂取限度

ICRP Publication 26

$$\text{Min } \left\{ \begin{array}{l} (\text{ALI}) \cdot \Sigma W_T H_T < 5\text{rem}, (\text{ALI}) \cdot \bar{H}_T < 50\text{rem} \\ \text{stochastic} \qquad \qquad \qquad \text{non-stochastic} \end{array} \right\}$$

	MIRD Phantom	Japanese Model (Yamaguchi Model)
(ALI)stochastic	7.7MBq (207 $\mu$ Ci)	7.0MBq (189 $\mu$ Ci)
(ALI)non-stochastic	2.3MBq (63 $\mu$ Ci)	2.1MBq (57 $\mu$ Ci)

以上の結果、ALIは欧米人2.3MBq (63 $\mu$ Ci)と日本人2.1MBq (57 $\mu$ Ci)になるという。JRMによる正確な計算結果の予測に役立つものとして注目される。

この他、代謝に関するものとして特徴づけられるものは日本人/欧米人の甲状腺沈着率が<sup>3</sup>0.3に対し0.15<sup>21)</sup>~0.2<sup>22)</sup>である。また、生物学的半減期が<sup>3</sup>100日対35日であり、著しい違いが認められる。日本人の最大の特長は、海産物を多食し、安定ヨウ素摂取量が著しく多いことである(世界の平均の5~10倍量)。

## 6 結語

標準日本人は、標準アジア人<sup>18)</sup>のモデルの基礎となるものであり、正常日本人を根拠としICRPの概念に準拠し相互に整合性のあるものでなくてはならない。

ICRP Task Group on Reference Man委員として、5回に亘る会議に出席し、ほぼ完結に近づきつつあることを報告し各位の御支援を感謝する次第である。

### 参考文献

- 1) ICRP Publication 2, Permissible Dose for Internal Radiation (1959), Pergamon Press.
- 2) ICRP Publication 23, Report of the Task Group on Reference Man (1975), Pergamon Press.
- 3) 田中義一郎, 河村日佐男: ICRP Reference Man (標準人)改訂 Task Group オークリッジ会議について, 放射線科学, **30**: 9-12 (1987).
- 4) Tanaka, G., Kawamura, H. and Nakahara, Y.: Reference Japanese Man- I. Mass of Organs and other characteristics of normal Japanese, *Health Phys.*, **36**: 333-346 (1979).

- 5) Tanaka, G., Kawamura, H. and Nomura, E.: Reference Japanese Man-II. Distribution of strontium in the skeleton and in the mass of mineralized bone. *Health Phys.* **40** ; 601-614 (1981).
- 6) 田中義一郎, 河村日佐男, 中原義行: 規格日本人(Reference Japanese)の設定, 原子力誌, **19** : 674-679, 1977。
- 7) 田中義一郎: 標準日本人について, ぶんせき, **6** : 417-421 (1981).
- 8) 田中義一郎: 標準日本人(Japanese Reference Man)の研究-III。一器官・組織別質量に関する研究一, 日本医放会誌, **48** : 509-513 (1988)。
- 9) 田中義一郎: Standard Man, Reference Man, *Isotope News* **284** : 24 (1978)。
- 10) S. Aimi et. al., : Studies on the weight and size of Internal Organs of Normal Japanese, *Acta Path. Jap.*, **2** : 173-200 (1962)。
- 11) 田中義一郎, 中原義行, 中島義蔵: 標準日本人(Japanese Reference Man)-1988の研究-IV。一主要器官の正常値に関する研究一, 日本医放会誌, **49** : 344-364 (1989)。
- 12) 文部省大臣官房調査統計課, 学校保健統計調査報告書(昭和49年~62年), 大蔵省印刷局。
- 13) 農林水産省大臣官房調査課, 食料需給表(昭和49年~62年), 農林統計協会。
- 14) 厚生省公衆衛生局栄養課編: 国民栄養の現状(昭和23年~60年), 第一出版。
- 15) Forbes, G.: *Human Body Composition*, Springer Verlag (1987)。
- 16) 宮川 正, 橋本美知雄, 高橋信次他: The Bone Marrow Dose in Tele-Radiotherapy in Japan. 日放医会誌. **30** : 368-384(1970)。
- 17) Hashimoto, M.: The distribution of active marrow in the bones of normal adult, *Kyushu J. Med. Sci.* **11** : 103-111 (1960), **14** : 271-270 (1963)。
- 18) IAEA : Regional Co-operative Agreement, Complication of Anatomical, Physiological and Metabolic Characteristics for Reference Asian Man. IAEA (1988)。
- 19) Yamaguchi, H. et al.: The transformation method for the MIRD absorbed fraction as applied to various physics, *Phys. Med. Biol.*, **20** : 593-601 (1975)。
- 20) 山口 寛: 内部被曝線量評価の実際(勉強会), 日本保健物理学会, (1978)。
- 21) Uchiyama, M., Tanaka, G. and Akiba, S.: Radioiodine retention by 2 Japanese male adults a single oral dose, *J. Radiat. Res.*, **23** : 358-370 (1982)。
- 22) 吉澤康雄, 草間朋子: 日本人の甲状腺に関する正常値について, 保健物理, **11** : 123-128 (1976)。
- 23) 長嶺晋吉: 肥満の測定法, 医学のあゆみ, **101** : 401-409 (1977)。

## <討 論>

### Q. 河村正一:

活動的な田中先生のデータの一端を見せていただき感激した。アジア人のReference Manの(体格の)数値の母集団の大きさはどのくらいか。

#### A. 田中義一郎

内部臓器以外の身長，体重，胸囲等についてであれば，文部省統計で，全国くま無く都道府県別に調査しており，全生徒のおよそ2%（毎年約70万人）を実測している。文部省統計は正確で，年毎の変化は平均値で0.2cm～0.1cmであり，女子はほとんど変化が無いと言われているが，男子ではまだ微増の状態にある。世界的には，ほぼ10年間に1cm伸びるとの説がある。

#### 座長(滝澤行雄)

貴重な話を有難うございました。

## ICRP専門委員会 2 の活動

松岡 理

放射線医学総合研究所

Activities of the ICRP Committee 2

Osamu Matsuoka

National Institute of Radiological Sciences

4-9-1 Anagawa, Chiba-shi, 260 Japan

**ABSTRACT**—ICRP is the non-profitable organ of radiation protection which is composed of specialists of various fields selected independent of nationality. The ICRP consists of the Main Commission and 4 Committees.

Committee 2 (C-2) is composed of 15 members and each one third of them are health physicists, radiobiologists and dosimetric physicists, respectively. The basic role of C-2 is to show values of the secondary limit such as annual limit of intake (ALI) of various radionuclides, derived from basic dose limit set by the ICRP recommendations. The present major activity of C-2 is revision of various task group reports which support Pub-30 or Pub-26, such as Reference Man, Respiratory Tract Model, Metabolism of Transuranium Elements and so on. A new task group on age dependent dosimetry was set for dose estimation for the public which is a major concern of the recent ICRP.

The major activity of each task group is as follows:

- (a) Task Group on Reference Man : the major change is to cover all ages rather than the adult only and to add physiological parameter and etiological group data such as reference Japanese. Drs. Tanaka and Kawamura participate as task group member.
- (b) Task Group on the Respiratory Tract: Major revisions of the lung Model are fraction of respiratory tract, and attention on ultra small respiratable particle, age difference and smoking effect.
- (c) Task Group on Age-Dependent Dosimetry: due to accumulation of biokinetic data for various radionuclides, Sv/Bq values are expressed in each age group. Dr. Inaba participates as task group member, and also Dr. Watabe of IAEA does.

## 1 ICRPの性格

ICRPは、非営利の民間団体という性格となっている。その目的は、放射線防護の基本方針に関して各国の専門家集団に放射線防護に関する基本的な考え方及び基準となる数値を勧告することにある。従っておおのこの国は、その国情に合わせた形でそれを法令化したり、国の定める防護の基準として取り入れるようになっている。ICRPの委員の選定については、Pub-26に次のごとく明記されている。委員は国籍によらず、専門分野の適切な均衡を考え、放射線医学、放射線防護、物理学、保健物理学、生物学、遺伝学、生物化学および生物物理学の諸領域における著名な業績に基づいて選出されるものとすとされている。この国籍に無関係ということ、つまり国を代表していないということが、国連科学委員会(UNSCEAR)や国際原子力機構(IAEA)やNEAなどとはっきり異なるところであり、各国政府と直接には何等関係のない存在であることが、或る意味では事情を複雑にしているとも言えよう。

委員会は、主委員会とその下に4つの専門委員会という形で構成されている。各々の専門委員会の役割は、専門委員会1(放射線影響)、専門委員会2(補助限度)、専門委員会3(医学における放射線防護)、専門委員会4(勧告の適用に関する)である。

この委員会の委員の選定も国籍に関係なく選ばれているが、その体質は、殆ど先進国型であり、他の国際団体の性格と異なるところである。

## 2 国際団体との関連性

ICRPと密接な関係を有するUNSCAER, ICRU, IAEA, NEA等の各種団体との性格の相違、役割分担等についてまず解説しておく必要があるだろう、ついでICRP勧告が作られ、一般的に適用されるまでの経過について概説することにする。

UNSCEARは現時点での関連する重要な最新の科学的情報を収集し、取りまとめ、評価して報告書として提出するが、安全基準を設定したり、勧告したりすることはせず、このような作業を行なうICRPに対して放射線に関する情報を提供することを目的として放射線源からの線量、影響及びリスクについて詳細な報告書を発表している。ICRUはICRPと殆ど同様な性格を持ち、いわば兄弟の関係にある機関で、放射線の線量の単位および測定方法の基準などをとり扱っている。IAEAは原子力の平和利用を全世界に普及することを目的とし、とくに発展途上国への技術普及を目的としており、加盟国は百数十国に及んでいるが、体質的には、途上国の意見が、支配的である。NEAは元来はヨーロッパ共同体の原子力機構という形で、最初は出発したが、現在では、米国や日本も参加している国際的な政府代表による機関で先進国体質である。IAEA, NEA, WHO, ILOなどの関連の深い国際機関は、専門委員会4(勧告の適用)に連絡用の委員を送りこんでいる。

### 3 専門委員会2の構成とその役割

Meinhold(U. S. A.)委員長以下15名の委員で構成され、その内容は、保健物理の実務家(大型の原子力施設の保健物理の長)、内部被曝影響研究の専門家、ドジメトリーの専門家がそれぞれ3分の1づつ位の比率になっている。専門委員会2の基本的な役割は、主委員会の決めるICRPの基本限度(例えば500ミリSv/年)を実測可能な実用的な限度(例えば年摂取限度<ALI>などの各種の補助的な限度)にあらため、核種ごとの基準的な数値を示すことである。現在の主要な目標はPub-26の内部被曝版であるPub-30をPub-26の改訂と同時に改訂することである。そのためにはPub-30を支えている各種の専門家レポート、例えば呼吸器モデル、Reference Man等の改訂を進め、更にICRPが公衆被曝への注目という新しい転換を考えていることから年齢による放射性核種の代謝の変化、及びそれに由来する被曝線量の変化も緊急の問題として新しいタスクグループを作って検討を加えている。また、その時どきに問題となっている関連する問題についても、専門委員会の内部にWorking partyとよぶ委員の中の専門家数名からなる検討グループをつくり検討し、その結果重要性が特に高いと認められたものについては、新しいタスクグループの新設を主委員会へ提案することになるのである。これらの活動についてその狙いと概要、そして我々への将来への影響について紹介する。

### 4 主要なタスクグループの活動状況

#### a) Reference Manタスクグループ

Reference ManはICRPのあらゆる線量計算の基礎となる人体に関する標準値を示すものとして、非常に重要な地位を占め、また放射線の分野のみならず、一般の健康影響に関する広い分野で貴重な資料として使われてきたもので、Pub-23として1975年に出版されているが、10数年に及ぶ年月の間の進歩とより内容を多様なものにするために、その改訂が以前から、計画されているものである。

Dr. Richmondを主査とし、Pub-23の大幅改訂をめざして活発な活動を行なっている。その主要な点は、従来の成人男子に限っていた部分を女性も加え、年齢群別にすること、生理学的データを大幅に取り入れること、主要な臓器については微細構造も考えること、従来のヨーロッパ系白人を中心としたReference Man以外にReference Japanese, Reference Chinese, その他の異なる人種集団のデータも加えること等であり、放医研の田中義一郎が今まで、今年度からは河村日佐男がタスクグループメンバーとして活動している。1989年には本タスクグループ会合を放医研がホストとなり千葉で開催した。

#### b) 呼吸器モデル改訂タスクグループ

吸入による放射性物質の体内摂取による被曝線量の計算の中心をなすものにICRP肺モデルと呼ばれるものがあり、Reference Manと共に全ての線量計算の根拠となってきた。しかし、

これも古くなり、種々の不適合性も指摘されるようになってきたので、これを今日的に改訂しようとしている。

放医研にも関連の深いDr. Bairを主査とし、同名の米国NCRPのタスクグループとともに、吸入被曝線量計算の基礎をなす呼吸器モデルの改訂を目指している。主要な点は呼吸気道の沈着部位の分画の変更、特に鼻咽喉部分の沈着線量評価の可能性の検討、1ミクロン以下の小型粒子への注目、生理的条件と共に病的条件下での吸入への注目、喫煙の影響の検討、年齢差への注目、Reference Man以外の異民族集団への配慮などである。このタスクグループには、レスポンドングメンバーとして、著者も加わっているので、わが国での関連情報は、著者を通じて、通信により、すでに幾つかが、ドラフト等に引用されている。

### C) 年齢依存性のドジメトリーに関するタスクグループ

ドイツのDr. Kaulを主査として、ICRPが公衆をめざしての勧告の全ての基礎として、単位量の放射性の摂取に伴う被曝線量の年齢差を表示しようとするものである。食品の安全基準の策定にも関連し、EC諸国をはじめ各種の国際団体から早急な解答を要求されている。当然のことながら胎児の線量も問題になるが、現在のところはデータ不足のためまとまった結果は、すぐには出せないようである。ここには放医研の稲葉次郎が参加し、IAEAからの連絡担当として放医研から出向中の渡部輝久も加わっている。最近のドラフトによれば、重要度1とされた重要7核種(H, C, Sr, I, Cs, Pu, Am)については、6段階の年齢区分で、70年の集積線量当量が、Sv/Bqの単位で表示されている。年齢差の問題は、食物摂取量の年齢差、食べ物の種類の年齢差そして、臓器の放射線感受性の年齢差も加えて最終的には検討されねばならないという複雑な問題である。

d) 専門委員会2. 専門委員会2の活動は上記以外の各種タスクグループの作業結果について検討と共に、主委員会から求められた各種の問題に答え、例えば14Cと3Hに関するワーキングパーティの報告書の検討とか、線質係数の議論など、全体としてPub-26, Pub-30の1990年の改訂を目指して委員会の議論が進んでいる。

### 〈討 論〉

座長(上田泰司)：

松岡先生どうも有難うございました。特別講演ですが、どなたかお伺いしたいことがありましたらどうぞ。

Q. 松平寛通：

年齢別のベクレル当たりシーベルトについて、幼児から70歳まで延ばすということは？

A. 松岡 理：



従来までの20歳から50年ということに加えて、20歳以下の場合にはtotalでもかく70歳までということにしたわけである。

**Q. 松平：**

Committee 1では、例えば、non-stochastic effectに対する感受性を考えると、子供としては10歳または15歳まででいったん切り、さらに、大人として15歳または20歳から70歳位まで(積算)すればよいとの議論がでた。

**A. 松岡：**

言い忘れたが、Committee 2では、あくまでも「線量」の観点から議論されており、感受性はCommittee 1の課題である。Publication 26の改訂の際には、線量への年齢依存性の影響と、sensitivityにおける年齢依存性の問題と合わせて修正されて出ることになる。sensitivityについてきちんとした考え方をCommittee 1に示してもらい、それによって考えようということです。したがって、最終的な形は、別の問題になる。また、15歳については、体格は大人と同じであると言い、子供の概念で律するのは無理があるため、teenと呼ぶことになった。

**Q. 田中義一郎：**

講演で引用された中国、韓国、インドのデータは、ドラフトあるいは未発表データなので引用できないか。

**A. 松岡：**

この(標準人改訂)タスクグループ報告がunpublishedであるため、引用できない。しかし、Chen委員は、田中先生からの要望もあり、まもなく出版するから待つて欲しいと言っていた。今の段階では引用できないと思う。

**Q. 吉田芳和：**

年齢に応じて(線量の)積分期間が異なる場合のことだが、1回摂取後の臓器の成長を考慮して換算係数(Sv/Bq)が求められているか。

**A. 松岡：**

臓器の大きさによる、薄められ方というべきものは計算に入っている。ガンマ線の呼吸係数の、臓器の大きさによる違いなどを全部考慮して、オークリッジ国立研究所のEckermanらが計算した結果に基づいている。

### III 人体の生理的特性

- III-1 日本人の元素摂取量とその特徴  
白石久二雄
- III-2 元素の器官組織内濃度と分布  
湯川 雅枝
- III-3 日本人における元素の代謝  
内山 正史
- III-4 代謝パラメータの修飾因子  
稲葉 次郎

### III-1 日本人の元素摂取量とその特徴

白石久二雄

放射線医学総合研究所

#### Daily Mineral Intakes for Japanese

Kunio Shiraishi

Division of Radioecology, National Institute of Radiological Sciences  
3609 *Isozaki, Nakaminato, Ibaraki, 311-12 Japan*

**ABSTRACT**-Recently it became necessary to assess the dietary intake of both stable and radioactive elements for non-radiation workers. But data of mineral intake in the literature are not good enough for this assessment. ICRP Pub. 23 in "Reference Man" is one of the best references in this field. ICRP Reference Man was selected as the standard for Caucasian by using values reported during early 1970s or before. Moreover it seems not to be suitable for Japanese (Mongolian).

In this report, analytical methods of minerals in total diet samples for Japanese were described. Furthermore, daily intakes for Japanese(Reference Japanese Man) and ICRP Reference Man were compared.

After collected by a duplicate portion study and a model diet study, diet samples were dry-ashed followed by wet-digestion with a mixture of HNO<sub>3</sub> and HClO<sub>4</sub>. Diet sample solutions thus prepared were analysed by using atomic absorption spectrometry(AAS), inductively-coupled plasma atomic-emission spectrometry (ICP-AES), and inductively-coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Matrix effects of major elements (Na, K, P, Ca and Mg) in diet samples were compensated by a matrix-matching method. About 20 elements were simultaneously determined by ICP-AES and ICP-MS, more easily than by AAS.

Most of dietary mineral intakes, except for Na, Mn, and Sr, for Japanese were lower than those of ICRP Reference Man. But, dietary intakes were found to be different depending on countries, even among European and American countries. New representative data for as many elements as possible are necessary now.

放射線作業従事者だけでなく、一般公衆に関しても、放射性物質による被曝線量の推定・評価の必要性が、叫ばれてきている。食物連鎖の最終ステップである食品-人体系における放射性物質の移行に関するデータは、線量評価の目的に欠くことが出来ない。しかしながら放射性物質に関する人における代謝研究が、限られていること、動物実験の結果を人に外挿する時の問題等の理由から、安定体元素のデータ蓄積は、特に食品-人体においては重要と考えられている。ICRP標準人(Pub. 23)はこの分野の優れた出版物であるが、データの的にも古くなり、今、改定作業中で新しいデータを求めている。又、「標準人」は欧米人を基準にしており、体格、食習慣等の異なる日本人(黄色人種)に、そのまま適用することは適切とはいえない。

日本人の標準値、「標準日本人」を設定する目的で、食品-人体系での無機元素の定量及びデータの蓄積を行なっているが本講では食事からの無機元素の摂取量について、分析方法及び得られた結果と現行のICRP標準人との値と比較を行う。

## 1 食事試料の収集と分析法

### 1) 収集法

生物試料の範疇に入るこの種の試料収集法は、標準値を得ようとする目的にたいして、1つの難問となるが、いずれの方法<sup>1)</sup>にも長短があることから、陰膳法とモデル献立を用いた。

### 2) 試料処理

収集、調製した試料は乾燥後、最終温度400℃にて乾式灰化した。その内約0.25gを秤量し、硝酸-過塩素酸を用い湿式灰化した。乾固後、塩酸に溶解し0.3M塩酸溶液25.0mlとした。

### 3) 分析法

環境からの汚染を極力避けるよう努力して溶液化した試料は、原子吸光分析法(AAS)、誘導結合プラズマ発光分光分析法(ICP-AES)及び誘導結合プラズマ質量分析法(ICP-MS)により定量した。主にICP-AES法に関して食事試料への適用について述べる。実験条件と測定波長については省略する<sup>2)</sup>。

ICP-AESはAASの単元素分析法とは違って、 $10^5$ 前後の幅広いダイナミック・レンジを持つ多元素同時分析を可能とするが、測定にあたって種々の干渉効果が問題となる。NBS標準物質、牛肝1577のような低塩濃度の試料の場合は、表1にみられるように保証値と4%の誤差内でよい一致が見られたが<sup>3)</sup>、食事試料の場合、主成分である無機元素であるNa, K, P, Ca, Mgによるマトリックス効果を考慮する必要がある。表2に示すように11種類の陰膳法によって集められた各食事試料中に占める主成分5元素の割合はよく似ていた(但し、濃度は0.25gの灰分を25.0mlに定容した時のもの)。試料間の主成分元素の濃度差はCaが14%の最大で、Naは最小0.5%で、あまり差が無い事からmatrix-matchingを用いる事で、少・微量成分の分析を行う事とした。

表1 NBS牛肝1577の分析結果  
Analytical results for NBS Bovine Liver 1577<sup>3)</sup>

Element	Concentration ( $\mu\text{g/g dry wt}$ )	
	Present result*	Certified values
P	11340 $\pm$ 60	(11000)†
K	9890 $\pm$ 100	9700 $\pm$ 60
Na	2340 $\pm$ 8	2340 $\pm$ 130
Mg	604 $\pm$ 2	604 $\pm$ 9
Ca	120 $\pm$ 8	124 $\pm$ 6
Fe	264 $\pm$ 4	268 $\pm$ 8
Cu	191 $\pm$ 2	193 $\pm$ 10
Zn	128 $\pm$ 1	130 $\pm$ 13
Mn	9.95 $\pm$ 0.09	10.3 $\pm$ 1.0
Cd	0.26 $\pm$ 0.05	0.27 $\pm$ 0.04
Sr	0.14 $\pm$ 0.02	(0.14)†

\* Mean of six determinations.

† Not certified.

表2 食事試料溶液中の主要元素濃度と調整したマトリックス濃度  
Concentration of major elements in dietary sample solution and those of the standard matrix derived<sup>2)</sup>.

Element	Conc. in sample	Conc. of std. matrix
	$\mu\text{g cm}^{-3}$	$\mu\text{g cm}^{-3}$
Na	2356 $\pm$ 12*	2250
K	837 $\pm$ 73	800
P	462 $\pm$ 21	450
Ca	274 $\pm$ 39	300
Mg	96 $\pm$ 7	100

\* Mean and s. d. for eleven samples.

試料ごとにマトリックスを合わせて分析することは大変であるので、まず、1組のマトリックス(表2, 右列)の検量線が、どの程度の試料のマトリックスの変動に耐え得るかを検討してみた。高濃度の食事試料を調製し、これを希釈して、0.25g ash/25.0mlを基準濃度(1.0)として0.5~1.5倍の範囲の試料を調製した<sup>2)</sup>。即ち、試料のマトリックス濃度を検量線マトリックス濃度の半分から1.5倍にして測定してみると、元素によって定量値に違った傾向が得られた。図1に代表例として、Fe, Mo, Coの結果を示す。Feを始めとするppmレベルの元素、Zn, Mn, Sr, Cuはマトリックス濃度の変動に対して約5%以内の差でよく一致していた。高濃度領域で低い値を示すのは物理干渉によるものである。逆に、MoやAlのように低濃度側で分光干渉による低い値を示すものもあった。Co, Cdのような数10ppbレベルの元素は図のように定量値の変化が大きく、検出限界に近いことを示している。以上の実験より、1組のmatrix-matchingした検

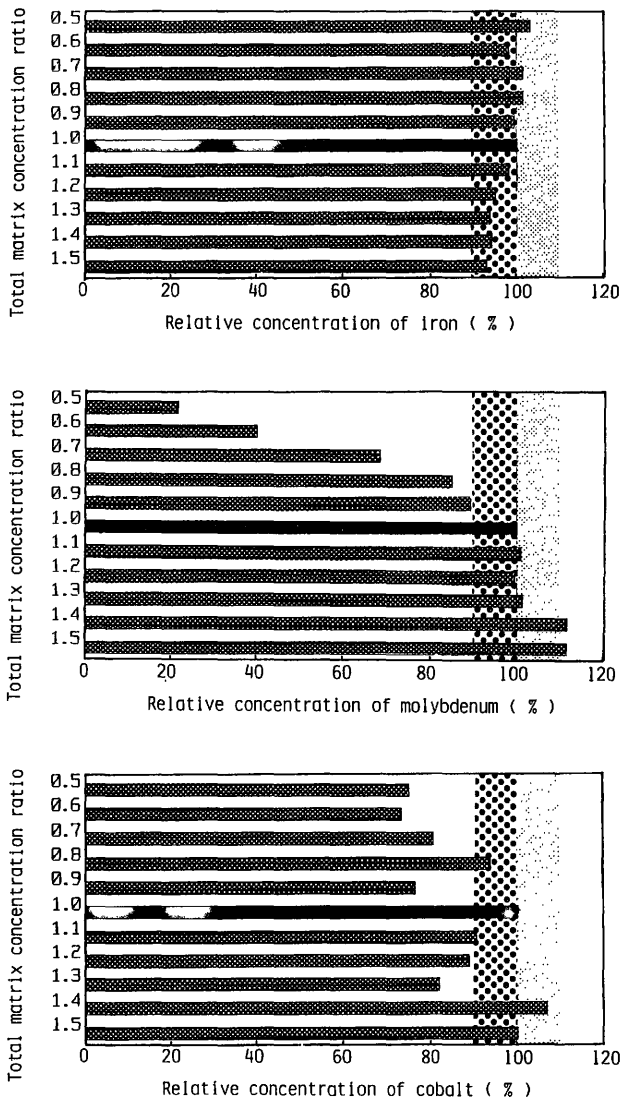


図1 測定試料中のマトリックス濃度変化がFe, Mo, Coの定量に及ぼす影響  
 Effect of the matrix concentration ratio between samples and standards for three representative elements

量線を用いて20%内の試料のマトリックス変動では、大部分の元素が5%の誤差内で測定出来ることがわかった。又、同濃度レベルのスパイクによる回収率テストはCo(89%)とMo(117%)を除いて98~106%であった<sup>2)</sup>。

表3に1960年代に京都、札幌で集めた11試料に関してICP-AESとAAS<sup>4)</sup>による分析結果を示した。両者の結果は非常によく一致した。又、CaとSrを除く全元素に $r=0.8(p<0.01)$ 以上の高い相関が認められる事からも、ICP-AESによる多元素同時分析の食事試料への有効性が証明できた<sup>5)</sup>。

表3 札幌・京都で集めた食事試料中ミネラルの定量法の比較  
Comparison of results by ICP-AES with those by AAS for the total diet samples collected from Sapporo and Kyoto<sup>5)</sup>

Element	Daily intake		Correlation coefficient <sup>#</sup>
	ICP-AES	AAS	
Na (g)	4.76±0.01*	4.39±0.45*	0.855
K (g)	1.74±0.26	1.63±0.26	0.927
P (g)	1.00±0.12	—	—
Ca (g)	0.512±0.058	0.502±0.087**	0.621
Mg (g)	0.196±0.026	0.186±0.028	0.965
Fe (mg)	11.5±2.9	11.4±2.8	0.972
Zn (mg)	7.10±0.82	7.24±0.76	0.971
Al (mg)	4.88±1.28	4.37±1.10	0.852
Mn (mg)	3.85±2.45	3.75±0.50	0.811
Sr (mg)	1.99±0.45	2.10±0.40	0.514
Cu (mg)	1.28±0.34	1.30±0.32	0.945
Ba (mg)	0.43±0.05	—	—
Ni (mg)	0.286±0.009	0.253±0.077	0.934
Mo (mg)	0.161±0.161	0.163±0.039	0.949
Y (mg)	0.003±0.002	—	—

\* Mean ± s. d. for three determinations.

\*\* By complexometry.

#t-test, p<0.01

表4 ロス・アラモスと水戸における成人男子の微量元素1日摂取量  
Daily intake of trace elements for an adult male in Los Alamos and Mito city.

Element	Los Alamos	Mito City	ICRP
Co (μg)	16±10*	5.6±3.0**	300
Sr (mg)	2.4±0.5	1.3±0.4	1.9
Mo (mg)	0.15±0.08	0.15±0.03	0.3
Cd (μg)	24±15	25±3	150
Cs (μg)	4.2±0.7	5.2±1.5	10
Ba (mg)	0.62±0.19	0.38±0.09	0.75
Tl (μg)	0.38±0.25	0.48±0.29	1.5
Pb (mg)	0.021±0.008	0.026±0.013	0.44
Bi (μg)	0.76±0.17	0.25±0.14	20
Th (μg)	0.22±0.1	0.28±0.36	3
U (μg)	4.7±1.8	0.55±0.60	1.9

\* n = 6, \*\* n = 9

最近、優れた重量分析の1つとして、ICP-MSによる超微量分析が開発された。長い間、吸光法や分光法の後塵を拝していた重量法が、再び失地を回復したと言われているものである。ICP-

AES法に比べて約1000倍の検出感度がある。食事試料中の低いレベル濃度の元素及びICP-AESで測定しがたい元素について検討をおこなった。試料処理中の環境からの汚染を防ぐため、Sub-boiling蒸留による高純度硝酸を用いて、マイクロウェーブ分解法(CEM Microwave Digestion System Model MDS-81D)により溶液化した。試料は最終的に3%硝酸、25.0mlに溶解し、VG PlasmaQuad ICP-MSで測定した。食事試料は著者が水戸とLos Alamos (U. S. A.)で摂取したものをを用いた。結果を表4に示した。ICP-AESに比べてCd, Co以下の濃度の微量元素, Cs, Tl, Biや放射性元素のTh-232, U-238が測定出来ることは、注目に値する。又、ICP-AESで感度の低いPbもICP-MSでは測定が容易であった。今回、測定していないランタノイド等の微量元素にもこの分析法の有効性<sup>6)</sup>がいわれており、食事試料への適応を考えている。

## 2 日本人のミネラル摂取量

### 1) モデル食による年齢群別、性別摂取量の測定

厚生省の国民栄養調査の結果に基づくTotal Diet Study<sup>1)</sup>は、1つの推奨された方法であるが、ここからはひっくりめた国民1人当たりのデータのみで、年齢別の知見は得ることができない。いずれの摂取量の研究法にも長短が存在するのであれば、もっともらしいモデル食の調製により、年齢別の差がでてくるのではないだろうか？ 特殊な環境あるいは食生活を営む人以外は、健康人としてまんべんなく元素を摂取しているはずである。そこで、年齢別区分として3, 16, 40, 70歳男女の8群、栄養所要量としては第3次改定日本人の栄養所要量、成長期及び生活活動強度IIを基準とし、献立作成時は厚生科学研究所の食品構成、厚生省保健医薬局健康増進栄養課の食生活方針—1日30食品使用を参考にして、1群につき3日分、3人の専門家が献立を立て、調理を行なった<sup>7)</sup>。以後の試料処理は前述の通りである。年齢・男女別の摂取量を40歳男子(成人男子)を基準として比で示した(表5)。大部分の元素において3歳と16~70歳

表5 4つの年齢群、男女における13元素の1日摂取量  
Daily intake of thirteen elements in four age groups<sup>7)</sup>

Age	Sex	Na	K	P	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Al	Cu	Ba	Ni	Mo
3	M	0.56	0.66	0.63	0.79	0.61	0.88	0.56	0.52	1.67	0.54	0.75	0.30	0.25
	F	0.49	0.53	0.58	0.73	0.50	0.53	0.59	0.41	1.51	0.44	0.56	0.26	0.32
16	M	0.81	0.95	1.04	1.14	0.98	1.11	1.17	1.52	1.77	1.10	1.12	0.66	1.05
	F	0.81	0.78	0.93	1.06	0.85	1.08	1.00	0.96	1.33	1.02	0.78	1.17	0.88
40	M	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	F	1.11	0.77	0.92	0.91	0.89	1.07	0.71	0.75	0.98	0.75	1.13	0.88	0.50
70	M	0.98	0.78	0.94	0.92	0.91	0.87	0.86	0.95	1.50	0.90	1.00	0.59	0.63
	F	0.82	0.96	0.82	1.23	1.12	1.11	0.71	0.98	1.15	0.74	0.92	0.78	0.84

\* Values normalized to 40-year-old males.



表6 モデル献立法と陰膳法による成人男子の13元素1日摂取量の比較  
A comparison of daily intakes in adult males for thirteen elements between the model diet study and the duplicate portion study<sup>7)</sup>

Element	Model diet study		Duplicate portion study		Ratio* (%)
	Mean	Range	Mean	Range	
Na (g)	4.73	4.03-5.23	4.76	4.19-5.23	99
K (g)	2.79	2.43-3.01	2.41	2.02-2.69	116
P (g)	1.20	1.11-1.36	1.20	1.05-1.43	100
Ca (g)	0.63	0.51-0.77	0.72	0.55-1.13	88
Mg (g)	0.28	0.25-0.30	0.25	0.22-0.26	112
Fe (mg)	7.8	6.9-9.5	11.5	9.3-14.8	68
Zn (mg)	7.9	7.8-8.0	8.9	8.0-10.4	89
Mn (mg)	4.1	3.7-4.4	4.3	3.5-5.4	95
Al (mg)	2.3	1.9-2.9	4.2	2.2-8.1	55
Cu (mg)	1.4	1.1-1.4	1.3	1.1-1.5	108
Ba (mg)	0.42	0.37-0.42	0.48	0.44-0.55	88
Ni (mg)	0.22	0.16-0.29	0.09	0.04-0.13	244
Mo (mg)	0.29	0.23-0.36	0.22	0.19-0.29	132

\* Ratio of model diet study to duplicate portion study.

の間に、食事量に起因すると考えられる元素摂取量の差が認められた。NaとZnは3歳と16歳以上の年齢間以外にも年齢間に差が認められ(平均値の差の検定)、食事内容により変動しやすい元素の可能性が考えられる。食品成分表に基づく計算値と実測値には、主成分元素においてよい相関が認められた。又、モデル法と陰膳法の成人男子の摂取量の比較では(表6)、主成分元素は16%以内の差があり、少・微量元素により異なる傾向があった<sup>7)</sup>。この結果は陰膳法とモデル献立法の組み合わせで、標準摂取量の推定の可能性を示すものである。

## 2) 陰膳法による地域別、季節別の摂取量

図2に示した日本人全国31ヵ所から、1981年に2回、陰膳法によって、成人男子の食事を収集した。まず、全地域を北日本(北海道、東北)、関東、中部、(北陸、東海)、近畿、中国、九州の6つにわけ、各地域ごとに摂取量を比較すると、中部、関東、近畿の日本を中心部における摂取量が高かった。西日本、特に、中・四国の摂取量は全国平均値よりの低かった。日本を12地域の分けた場合も、ほぼ同様の結果であった。又、6、7月と11、12月に試料採取が行われた25ヵ所について夏と冬の摂取量を比較したところ、Na、Zn、Cu以外の元素の平均値において冬の摂取量が高かった。しかし、統計的には差が無く、この場合地域差や個人差が季節差を打ち消しているように推察される。Naのみに東西、表裏日本に差が認められた。

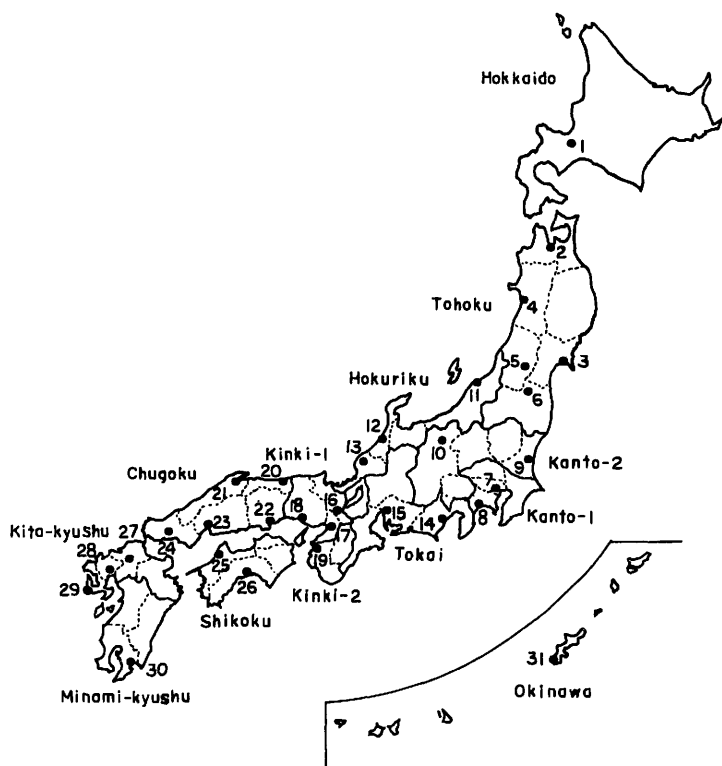


図2 全国31カ所の食事試料の収集場所とその区分け  
 Twelve blocks of Japan and thirty one sampling locations for diet samples.

### 3 日本食の特徴と標準人との比較

これまで得られた結果，札幌，京都，水戸，全日本の31カ所で収集・分析したもの，モデル献立法によるもの，及び日本の出来るだけ最近の文献値を集めたもの，並びにICRP標準人1日の摂取量を，表7にまとめた。年代別に見た場合，Ca, Mgのように増加傾向にあるものもあるが，少・微量元素はほとんど変わらないようである。残念なことに主成分元素以外の日本人に関する報告値は，まだまだ乏しい状況にあり，報告値の中には測定法，試料処理中の汚染の問題も残っているようだ。ICRP値と比較した場合，Na, Mn, Sr以外に総じて低い値であることが言える。

表8に，元素例は少ないが，ICRP，日本の文献値の平均，英国を初めとする8カ国の摂取量を示した。この表を見る限りにおいては，Na摂取量がICRP値4.4gを超える国は多く，日本の摂取量が必ずしも高いとは言えない。Feについても，英国，インド，の摂取量(共に1960年代のデータ)は，ICRP値よりかなり高い値である。図3に黄色人として日本人の平均値と欧米人としての英国人の値<sup>9)</sup>を，ICRP値と基準にして比で示した。主成分5元素(Na, K, P, Ca, Mg)

表7 成人男子におけるICRP値と日本人のミネラル1日摂取量の比較

A comparison of daily intake in adult males between Japanese data and ICRP data

Element	Sapporo 1960s	Kyoto 1960	Japan 1981	Mito 1983	Model 1986	Reference 1970-	ICRP 1975
Na(g)	5.1	4.4	4.5	4.8	4.7	3.0-7.2	4.4
K	1.9	1.5	1.9	2.4	2.8	1.4-3.2	3.3
P	1.1	0.90	0.92	1.2	1.2	0.9-1.2	1.4
Ca	0.49	0.54	0.56	0.72	0.63	0.54-0.71	1.1
Mg	0.21	0.18	0.20	0.25	0.28	0.20-0.30	0.34/0.27
Fe(mg)	13	9.8	—	11	7.8	8-17	16/12
Zn	7.6	6.5	7.1	8.9	7.9	7.8-30	13
Al	5.1	4.6	4.0	4.2	2.3	4.5	45
Mn	3.8	4.0	3.4	4.3	4.1	2.7-8.7	3.7
Sr	2.0	1.9	2.3	2.8	—	1.0	1.9
Rb	2.1	1.6	—	—	—	—	2.2
Cu	1.4	1.1	1.3	1.3	1.4	1.5-3.6	3.5
Ba	0.45	0.41	0.36	0.48	0.42	0.43	0.75
Ni	0.29	0.28	—	0.09	0.22	0.19	0.40
Mo	0.14	0.20	—	0.22	0.29	0.15	0.30
Y	0.0031	0.0028	—	0.0048	—	—	—

表8 ICRP値と9カ国のミネラル1日摂取量

Comparison of daily mineral intakes among several countries

Element	ICRP 1975	Japan 1970-	(n)	U.K. 1960s	U.S.A. 1980s	Turkey 1984	Norway 1984	Italy 1970s	Sweden 1980s	Germany 1970s	India 1960s
Na (g)	4.4	4.72±1.19	(8)	4.64	4.70	4.34	2.97	—	5.88	4.50	—
K (g)	3.3	2.32±0.48	(9)	2.80	3.45	2.38	2.54	—	2.42	2.40	4.1
Fe (mg)	16	12.2±3.6	(5)	23.3	18.4	16.7	10.1	7.52	—	13.9	39.4
Zn (mg)	13	9.13±2.5	(12)	14.3	12.8	11.3	7.14	9.82	8.91	1.81	6.1
Rb (mg)	2.2	1.71±0.29	(2)	4.4	—	1.89	1.77	3.78	—	1.9	2.7
Co (μg)	300	5.2	(1)	—	—	27	73	11	—	17	—
Cr (μg)	150	72±52	(2)	320	—	49	29	41	190	62	150
Se (μg)	150	177±109	(3)	—	102	52	31	22	24	59	—
Cs (μg)	10	7.5±3.4	(2)	13	—	12	7.3	34	—	13	—
Sc (μg)	—	—	—	—	—	2.2	0.2	0.17	—	1.0	—

U. K. Hamilton, E. I. (1966), U. S. A. Pennington, J. A. (1983), Turkey Mumucu, T. et al. (1988), Norway Bibow, K. (1984), Italy Rossi, L. C. et al. (1978), Sweden Abdulla, M. (1986), Germany Schelenz, R. (1977), India Soman, S. D. et al. (1969).

についてはICRP, 英国, 日本共にほぼ類似した5角形であるが, 少・微量成分は, ICRPの正12角形に比べて, 英国, 日本ともに大きな差がある。Alについて, ICRPは高い値を選んでおり(表7参照), この値については将来修正がなされると思う。ただ最近の英国の報告値<sup>9,10)</sup>によれ

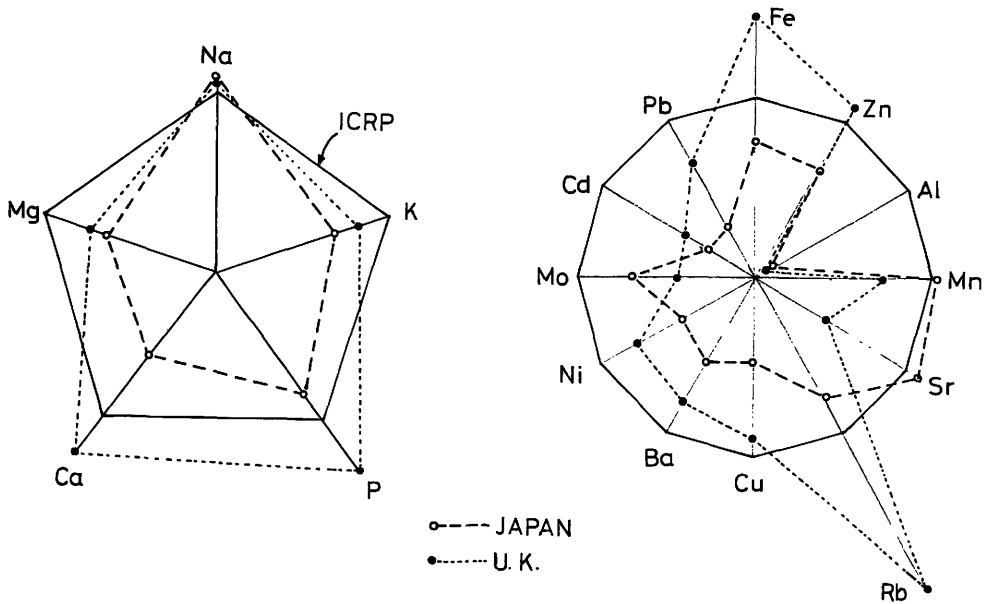


図3 ICRP値と英国、日本人の1日ミネラル摂取量の比較  
Daily mineral intakes normalized to ICRP values (Reference Man)

ば、Fe 0.81, Rb 1.29, Ca 0.82の比になり、突出した部分が丸味をおびて、Na, P, Zn, Rb 以外はICRP値より低くなる。微量元素の場合、生活環境、食生活の違いの影響は充分考えられる。

以上、従来のAAS法に加えて、ICP-AES, ICP-MS, 放射線分析法等、多元素同時分析法による摂取量の研究が盛んになって来てはいるが、各国における代表的食事試料となるべき分析試料の基準及び分析元素数を増やすことが必要である。その結果、標準摂取量の見積もりと、摂取・吸収時の元素の化学形態、他の元素との相互関係、さらには数割程度の摂取量の違いが摂取後の線量評価に際してどの程度の影響をもたらすかが、今後の残された問題となろう。

#### 参考文献

- 1) WHO: Joint FAO / WHO food contamination monitoring programme, guidelines for the study of dietary intakes of chemical contaminants, 1983.
- 2) Shiraishi, K., Kawamura, H., and Tanaka, G.: Simultaneous multiement analysis total diet samples by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. *Anal. Sci.*, 1, 321-325, 1985.
- 3) Shiraishi, K., Tanaka, G., and Kawamura, H.: Simultaneous multielement analysis of various human tissues by inductively-coupled plasma atomic-emission spectrometry, *Talanta*, 33, 861-865, 1986.

- 4) Shiraiishi, K., Kawamura, H., and Tanaka, G.: Daily intake of elements as estimated from analysis of total diet samples in relation to Reference Japanese Man. *J. Radiat. Res.*, **21**, 121-129, 1986.
- 5) 白石久二雄, 河村日佐男, 大内昌子, 田中義一郎; 誘導結合プラズマ発光分光分析法による日常食の15無機元素量, *栄養誌*, **39**, 209-215, 1986.
- 6) Longerich, H. P, Fryer, B. J., Strong, D. F., and Kantipuly, C. J.: Effects of operating conditions on the determination of the rare earth elements by ICP-MS. *Spectrochim. Acta*, **42B**, 75-92, 1987.
- 7) Shiraiishi, K., Yamagami, Y., Kameoka, K., and Kawamura, H.: Mineral contents in model diet samples for different age groups. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **34**, 55-65, 1988.
- 8) Hamilton, E. I.: Relations between metal elements in man diet and environmental factors. *Trace Subst. Environ. Health*, **13**, 3-15, 1979.
- 9) Evans, W. E., Read, J. I., and Caughlin, D.: Quantification of results for estimating elemental dietary intakes of Li, Rb, Sr, Mo, V and Ag. *Analyst*, **110**, 873-877, 1985.
- 10) Bingham, S., Mcneil, N. I., and Cummings, J. H.: The diet of individuals: a study of a randomly chosen cross section of British adults in a Cambridgeshire village, *Br. J. Nutr.*, **45**, 23-35, 1981.

## 〈討 論〉

### Q. 河村正一:

ICP-AESの回収率は、微量・多元素同時分析として良好だが、標準添加の期間は何時か。

### A. 白石久二雄:

測定直前に試料溶液に添加したもので、試料処理の段階では、それ以上の誤差があると思われる。

### Q. 田中義一郎:

日本人の食品の1日1人当たりの総摂取量は、何グラムあるいは何ミリリットルか。

### A. 白石:

摂取重量としては水分を入れてtotalでおおよそ2~3Kgあると思う。

### 座長(西牟田守):

私の所では、日本人の栄養所要量を満たすという条件で食餌を作っているが、おおよそ1500~2000gになる。実際には、栄養所要量を満たす食事を摂る人は殆どいないためそれより少ないと思う。

### Q. 田中:

水としてはどれくらいか。

**A. 白石**

データがあるので後程お話する。

**座長**

生物学的には、水分をおおよそ1500ml摂ることになっている。

## III-2 元素の器官組織内濃度と分布

湯川 雅枝

放射線医学総合研究所

Concentration and Distribution of Elements in Organs and Tissues

Masae Yukawa

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

**ABSTRACT**-Distribution of radioactive nuclides in human body is one of the most important factors to estimate the radiation dose to human being. As the study using radionuclides is normally limited in human, it is quite useful to get information about distribution and concentration of their stable nuclides. In this study, neutron activation analysis (NAA) and particle induced X-ray emission analysis (PIXE) were applied to determination of stable elements in various human tissues and organs of 25 normal male Japanese. Both of these techniques can analyze many elements simultaneously and non-destructively with high sensitivity. Distribution of Br, Ca, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, I, Rb, Se and Zn in human body was shown as geometrical means of concentrations of these elements in 21 tissues and organs.

The PIXE analysis has also a microbeam scanning characteristic which makes it possible to research a very small area continuously without separation of a sample into many small pieces. Using this characteristic, distribution of trace elements in kidney, cerebrum and bone were investigated in the microscopic view. The results obtained in this study are discussed in reference to the specific distributions and concentrations of various elements in human body.

### 1 はじめに

人体に取り込まれた放射性核種による被曝線量評価に際して、その体内での存在量と分布は必要欠くべからざる情報である。しかしながら、実際の人体への放射性核種の取り込みとなる

と、核実験等に由来するフォールアウトか事故によるもの以外なく、情報量は限定される。そこで放射性核種の安定同位体に関する知見が重要となってくる。ここでは、健常日本人の臓器中の微量元素濃度を求めるため行われた、文部省科学研究費班によるプロジェクトの結果<sup>1)</sup>と、本研究所バンデグラーフ装置を利用したPIXE分析による、二、三の臓器内の元素分布に関する考察を中心に述べることにする。

## 2 人体の器官組織内微量元素の濃度

### 2-1 中性子放射化分析法による健常な人体臓器中の微量元素の定量<sup>1)</sup>

人体臓器はある意味で、非常に入手困難で貴重な試料といえる。特に健常人体での元素濃度を調べるとなると、ますます機会が限られてくる。従って、得られた試料からはできるだけ多くの情報を引き出す必要があり、高感度非破壊多元素同時定量法である中性子放射化分析法を適用することにした。

また、人間という対象は、年齢差、性差、生活環境、生活様式の違いなどにより非常に大きな個体差を示すものである。この点を考慮し、成人男女で不慮の事故による急性死をとげたものだけに限り、採取する臓器、部位等も法医学、衛生学的見地からみて検討すべきであると思われる臓器で、その中でなるべく一定の位置であるように定めた。以下、詳細を述べる。

#### 2-1-1 試料の収集

司法解剖体から提供された臓器組織を試料とした。被検体は22から66歳の男子45体、女子3体、計48体であり、死亡直前まで健康体で、中毒死、焼死、溺死を除いた不慮の事故による急性死亡例である。原則として死後24時間以内の解剖体を対象とし、性、年齢、職業歴、死因、既往症等のデータも記録した。採取した臓器は肝、腎皮質、腎髄質、右肺尖、肺中葉、第六肋骨、膈体部、脾、甲状腺、耳下腺、精巣または卵巣、大動脈弓、大脳皮質、小脳皮質、胃大弯部、小腸(回盲部10cmを残した遠位部)、大腸(横行結腸中央部)、心筋(心尖部)、副腎、皮膚(腹部)、毛髪(頭頂部のなるべく頭皮に近い所から切る)であり、それぞれ4gから5g(毛髪は数100本)を得た。

#### 2-1-2 分析方法

臓器試料は凍結乾燥後メノウの乳鉢で粉末にした。乾燥重量で約100mg精秤し、希硝酸と純水で洗滌したポリ袋に二重封入して放射化分析用試料とした。中性子照射は立教大学原子炉(TRIGA II)において行った。検出定量された元素はNa, Mg, Al, Cl, K, Ca, V, Mn, Cu, Br, I, Ti, Cr, Fe, Co, Zn, Se, Rb, Cs, Sr, Sc, Sbである。

#### 2-1-3 結果

分析された全検体のうち、男性25体分のデータ解析が終了している。この検体の各臓器中で検出定量された元素のデータ数が表1に示してある。この中で精巣、甲状腺、耳下腺、副腎、大動脈、大脳、小脳については、臓器組織採取が行われなかった検体が多かったためにデータ数は少ない。また、肋骨については追加検体のデータが加えてある。これらのデータを用いて、



表1 中性子放射化分析法による元素分析に用いられた臓器数  
Number of organs used for Neutron Activation Analysis of each element.

ELEMENT	ORGAN										
	Mg	Ca	Mn	Cu	Br	Cr	Fe	Co	Zn	Se	Rb
LIVER	24	24	24	24	24	15	25	15	15	15	15
REN-CORTEX	12	12	20	21	21	14	15	14	15	17	17
KID-MEDULL	22	22	22	22	22	15	16	15	16	15	15
LUNG-APEX	22	21	19	20	21	16	16	16	16	15	15
LUNG-LOBE	23	21	23	21	23	14	14	14	14	13	13
RIB	32	36	36	36	36	23	25	23	27	20	20
PANCREAS	25	23	25	25	25	15	15	15	15	16	16
SPLEEN	25	24	25	25	26	17	17	17	17	17	17
TESTICLE	9	8	10	10	10	7	7	7	7	7	7
THYROID	12	12	12	12	8	8	8	8	8	8	8
PAR-GLAND	5	8	8	8	8	4	4	4	4	4	4
ADR-GLAND	13	13	13	13	13	8	8	8	8	8	8
AORTA	15	14	15	15	15	7	7	7	7	8	8
CEREBRUM	15	14	14	14	14	8	8	8	8	8	8
CEREBELLUM	13	13	13	13	13	8	8	8	8	8	8
STOMACH	17	17	17	17	17	12	12	12	12	12	12
S-INTEST	20	20	20	20	20	10	10	10	9	10	10
L-INTEST	17	17	17	17	17	10	10	10	10	10	10
HEART	23	23	23	22	23	13	13	13	13	13	13
SKIN	22	22	22	22	22	11	11	11	11	12	12

REN-CORTEX ; RENAL CORTEX, KID-MEDULL ; KIDNEY MEDULLA,  
PAR-GLAND ; PAROTID GLAND, ADR-GLAND ; ADRENAL GLAND,  
S-INTEST ; SMALL INTESTINE, L-INTEST ; LARGE INTESTINE,

各臓器中での各元素濃度についてデータの幅、算術平均値、幾何平均値、中央値を求めた。検出された元素のうち、ほぼ全臓器にわたって検出された元素について、その濃度の幾何平均値を元素毎の臓器間変動、即ち体内分布として図1に示した。

Brは大動脈に多く、肝、肋骨、脾、甲状腺、小脳等で少ないことがわかった。Caは、肋骨の次に大動脈で高濃度である。肝では他の臓器に比べて低濃度であった。Coは肝、心筋に多く、皮膚には少ないが、比較的全臓器に均一に存在している。Crは肝と肋骨に多く、次に脾、大動脈、筋肉に多い。Cuは肝、腎皮質、肺尖、小脳、心筋に多く、肋骨には非常に少ない。Feは肺と脾臓に大変多く、肝にも比較的多い。Mgは肋骨と大腸に多かった。Mnは、腸の他に精巣にやや多かった。Iはほとんどが甲状腺にあり、他の臓器では低濃度であった。Rbは肝と小脳に多かった。Seは腎臓、甲状腺、大脳に多く、肋骨、皮膚、耳下腺に少なかった。Znは肝、腎、肋骨、脾、甲状腺に多く、耳下腺、皮膚に少なかった。

これらの結果は、各臓器の生理機能を正しく反映しており、正常日本人の体内臓器中元素濃

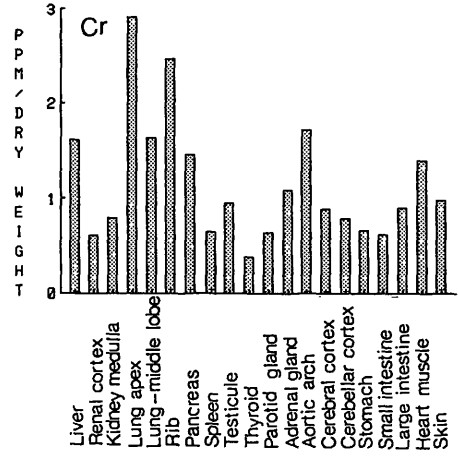
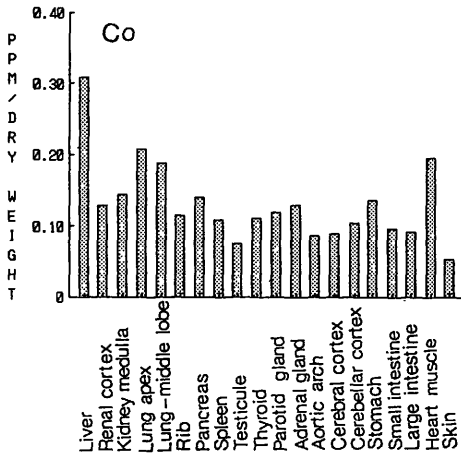
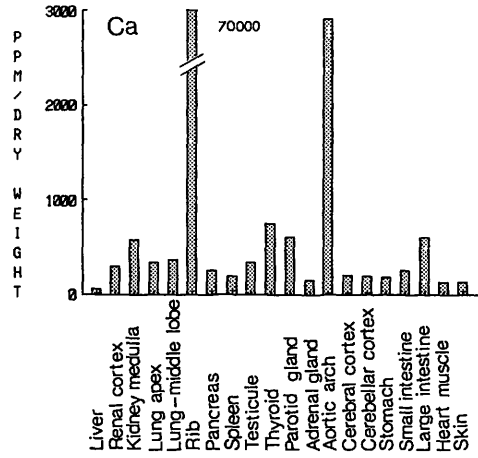
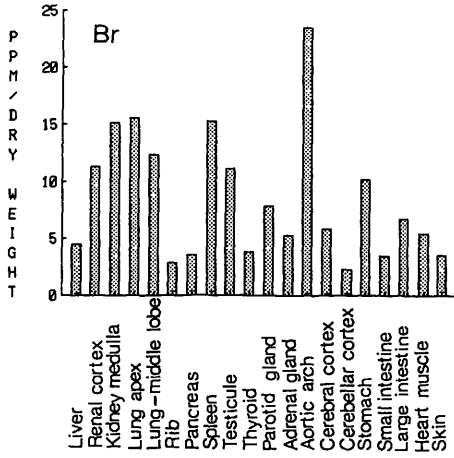


図 1-1 人体中の元素分布  
Distribution of elements in human body.

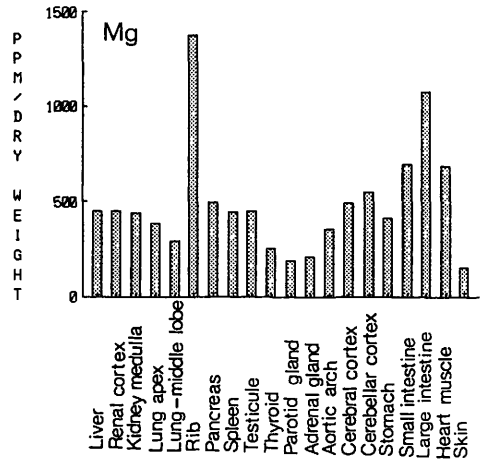
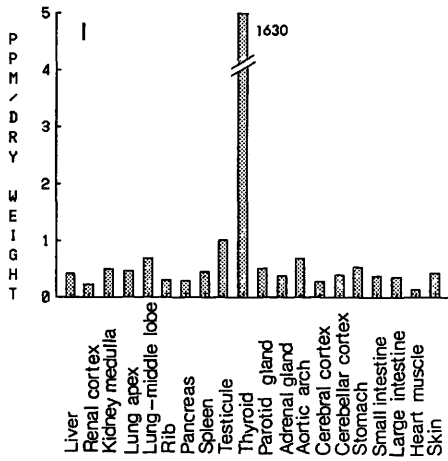
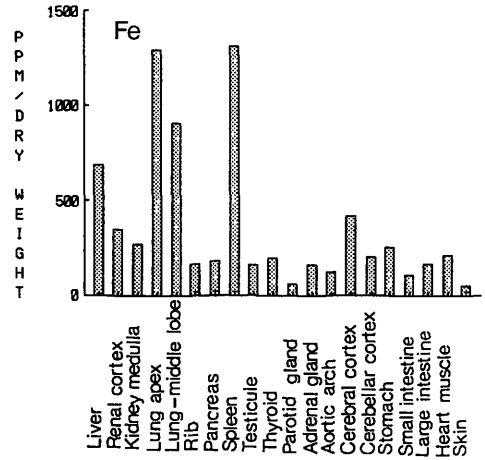
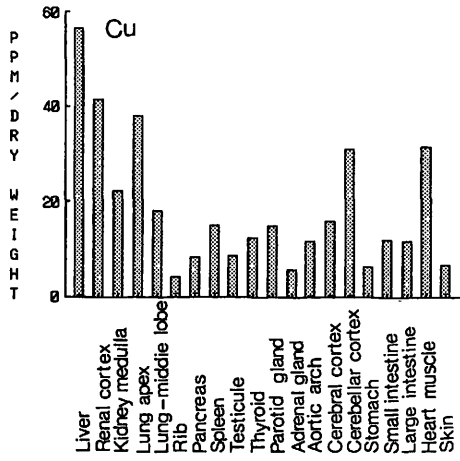


図 1-2 (続き 1)  
(Continued.)

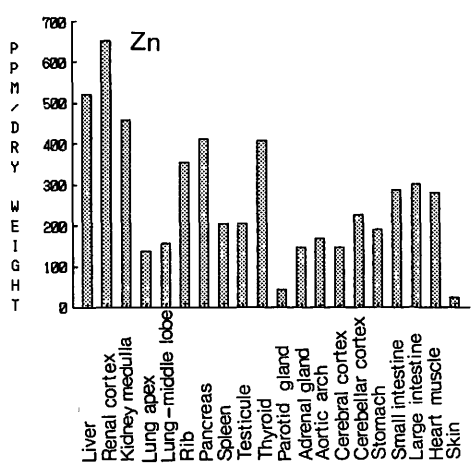
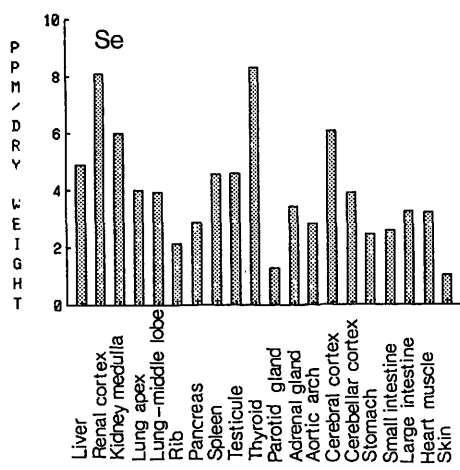
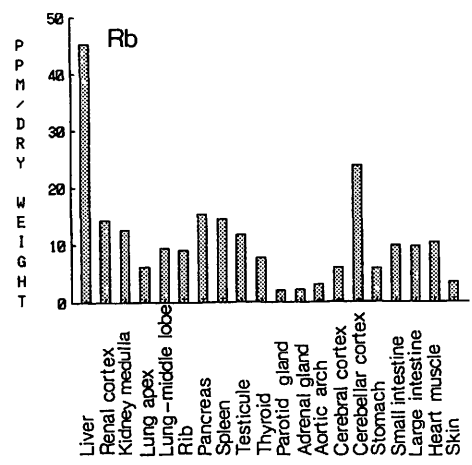
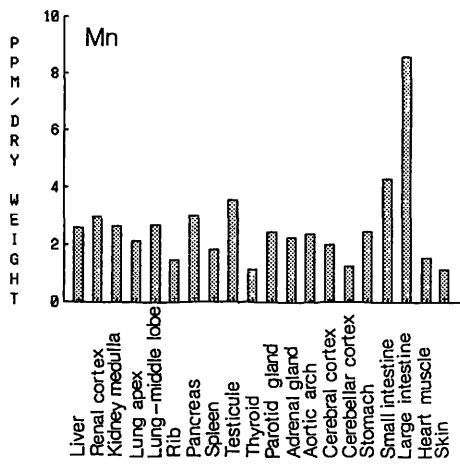


図 1 - 3 (続 2)  
(Continued.)

度として評価し得るものとする。

## 2-2 臓器中微量元素濃度の性差及び年齢依存性

前項で述べた元素の濃度は、22-66歳の成人男子に限定して求められたものであり、性差や年齢との関連についての検討を行う場合にはもっと幅広い年齢層での男女両方のサンプリングが必要となる。我々が、科研費班のプロジェクトとは別に以前から蓄積してきたデータからその一部を紹介する<sup>2,3,4)</sup>。

イタイイタイ病との関連で注目されたCdは、人体内ではその大部分が肝臓と腎臓中に存在し、他の臓器にはあまり検出されない。そして、腎臓で最も高濃度に蓄積することが問題とされた。そこで検体を20歳ずつの年齢群にまとめて、各年齢群中での中央値を代表値として図示したのが図2である。肝臓でも腎臓でも、年齢と共に臓器中の濃度がたかくなっている。腎臓中では、60歳を過ぎると逆に濃度が下がる傾向にあるが、これは、60歳前後をピークに濃度は下がるというイタイイタイ病発生地域での疫学調査の結果とよく一致している。また、肝臓では男より女の方に濃度が高く、腎臓では男の方が濃度が高かった。

CuとHgについても同様のまとめを行い、肝臓、腎臓、大脳、小脳について図示したのが図3、図4である。Hgでは、小脳に年齢による蓄積傾向が見られた。性差については、臓器や年齢層によって傾向が異なり、一概にはいえないが、やや女の方が高濃度であった。

しかしながら、これらの結果は大きな変動を含んでいて、Cdについての高年齢層における性差を除き統計的に有意とはいえなかった。

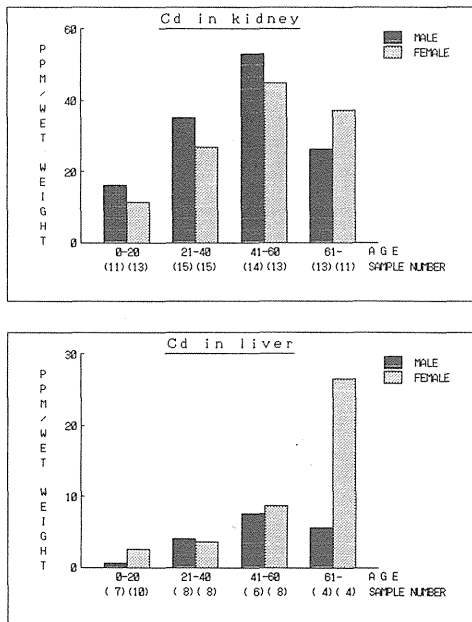


図2

人の腎臓及び肝臓におけるCd濃度の年齢群別中央値による年齢依存性

Age dependency of Cd concentration in human kidney and liver represented by median values in several age groups.

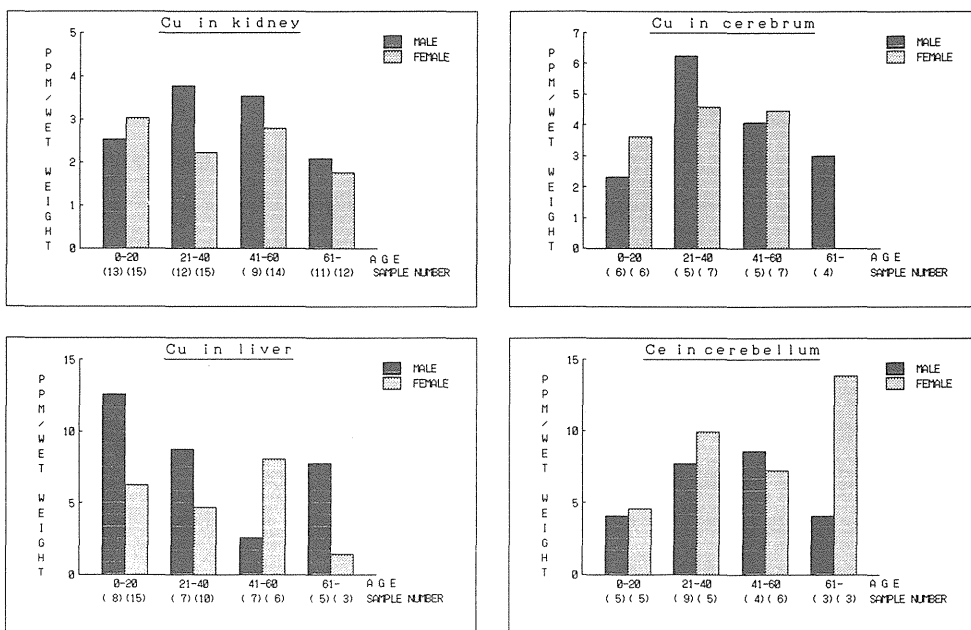


図3 人の腎, 肝, 大脳, 小脳におけるCu濃度の年齢群別中央値による年齢依存性  
Age dependency of Cu concentration in human kidney, liver, cerebrum and cerebellum represented by median values in several age groups.

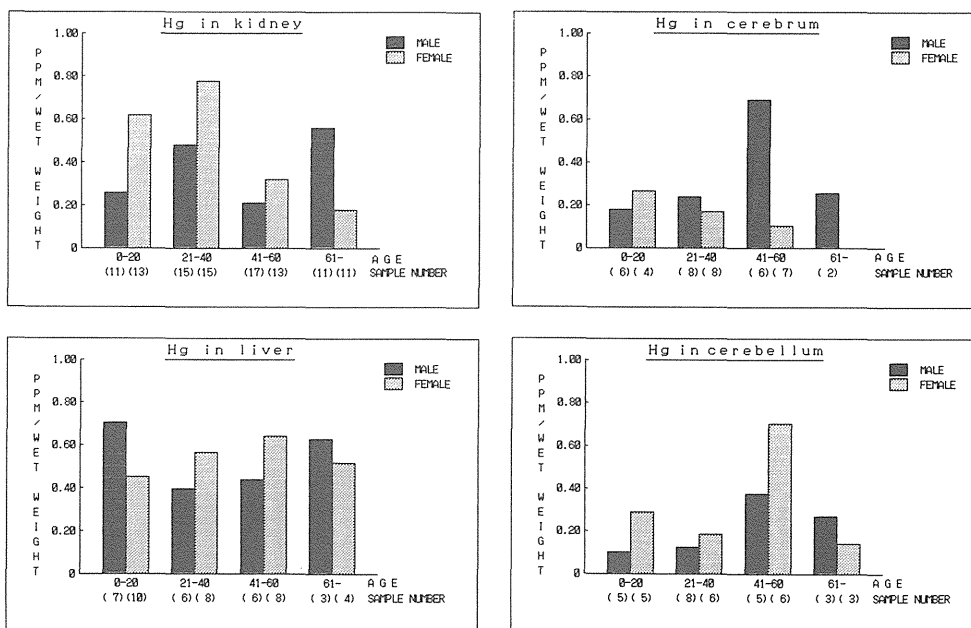


図4 人の腎, 肝, 大脳, 小脳におけるHg濃度の年齢群別中央値による年齢依存性  
Age dependency of Hg concentration in human kidney, liver, cerebrum and cerebellum represented by median values in several age groups.

### 3 PIXE分析法による微量元素の臓器内分布

#### 3-1 PIXE分析法とは

バンデグラフなどの加速器から取り出される荷電粒子線を試料に当て、励起される特性X線により元素分析を行うもので、高感度非破壊多元素同時分析法の一つである。陽子線を用いることが多く、四重極マグネットやメカニカルスリットを用いることによりビームを数ミクロンまで絞りこむことが可能である。このビームに対して垂直におかれた試料を動かすことによって、試料表面をスキャンできる。中性子放射化分析の場合、試料中にふくまれる元素全体を分析することになるので、臓器組織内での元素分布を観察するためには試料を細分割して、それぞれを別々に分析し再構成する必要がある。しかし、PIXE分析の場合は、陽子線走査により一時に元素分布の微細構造を把握することができる。これがPIXE分析法の最大の利点である。図5に本研究所における陽子マイクロビームスキャンニングシステムの概略を示した。ターゲットチャンバーの上蓋に取り付けられたサンプルホルダーは、その上部にあるステッピングモーターにより $10\mu\text{m}$ づつ動かすことができるし、陽子ビームは約 $50\mu\text{m}$ までは絞ることができるので、元素の臓器組織内分布を顕微鏡レベルで観察することができる。

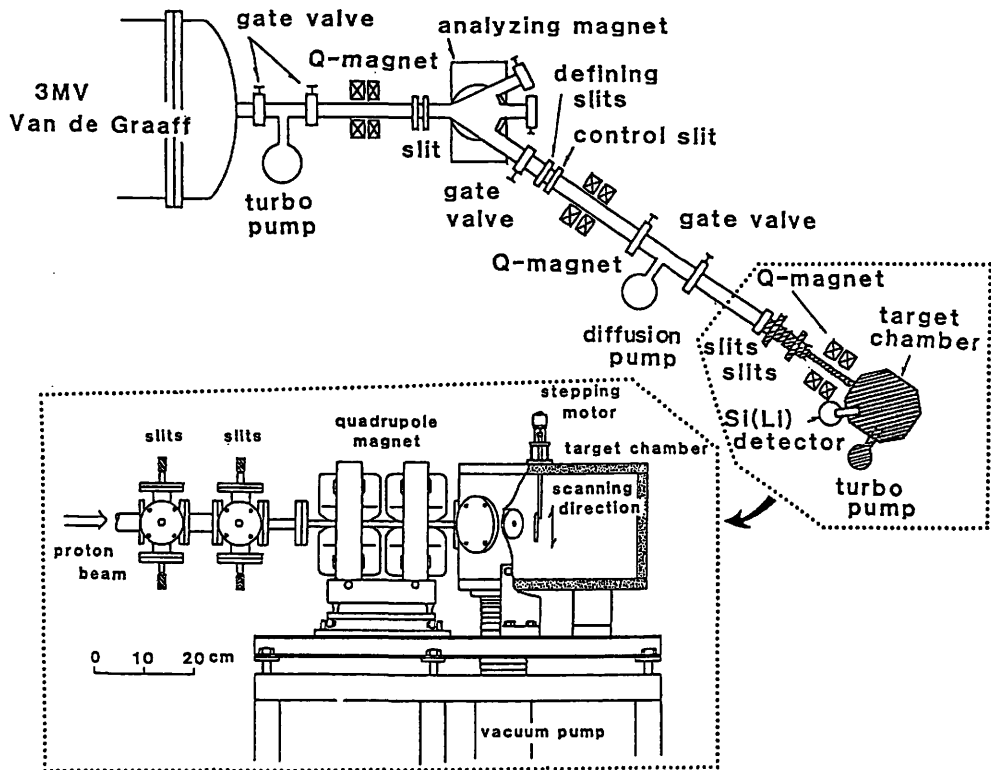


図5 スキャンニングPIXE分析用陽子マイクロプローブ装置の概略図  
Schematic layout of the proton microprobe system for the scanning PIXE analysis.

試料作成は容易で、試料の溶解、目的元素の分離、濃縮などの化学操作を必要としない。凍結乾燥した試料切片をマクロフォルなどの薄いプラスチックフィルムに接着剤で張り付け、Al板の試料支持体に載せるだけでよい。また、照射による損傷も、表面のビーム照射位置がほんの少し焦げる程度なので、同じ試料を再照射したり、他の分析に使うことができる。

### 3-2 陽子マイクロビームによる走査分析の結果

#### 3-2-1 人の腎臓における元素分布<sup>5)</sup>

腎臓は図6に示すごとく、組織学的に皮質と髄質に大きく分けられ、生理機能も異なるとされている。したがって、その中に含まれている微量元素の量にも違いが見られると思われるので、皮質と髄質を含むような組織切片をつくり、陽子マイクロビームによる走査分析を行った。ビームの大きさは縦0.2mm、横1mmの長方形であり、試料表面を図中の矢印方向にビームスキャンした。データは走査線に沿って1mm間隔のスポット照射の結果として得られた。図7aは照射用試料の模式図で、照射スポットの形状及び位置が1から11の番号で試料切片上に示してある。図7bは元素の存在量の変動プロフィールで、縦軸に陽子線によって励起された特性X線の強度を示してある。これは元素の存在量に対応している。横軸には陽子線の当たった位置をスキャンラインにそって示してあり、図7aの中の照射スポット1から11に対応している。また、皮質と髄質の境界を縦の点線で示してある。

Kを除き、元素分布は均一ではない。Ca, Zn, Cu, Cdは皮質で髄質よりも元素の存在量が多いことがわかる。Feは逆に、髄質の方に多く存在している。Kに関しても、詳しくみると、腎臓の表面と、皮質と髄質の境界領域で存在量がやや少なくなっている。Mnは腎臓の表面と、皮質髄質の境界部で存在量が少なく、Kと似ている。Cdは皮質部分に存在して髄質にはほとんどない。そして、ZnはCdの多いところで多くなっている。これは、メタロチオネインがCdを取り込んで皮質部に沈着し、Cdの毒性発現を抑えるというメカニズムを支持するデータである。

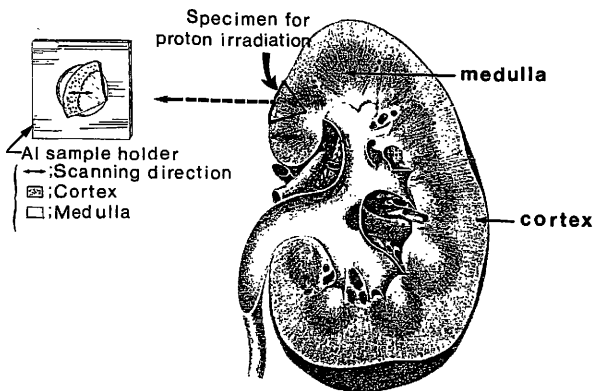


図6  
人の腎臓の縦断面とPIXE分析用試料  
Longitudinal section of human kidney and a specimen for PIXE analysis.



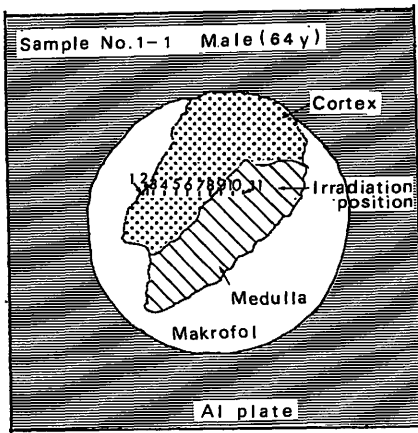
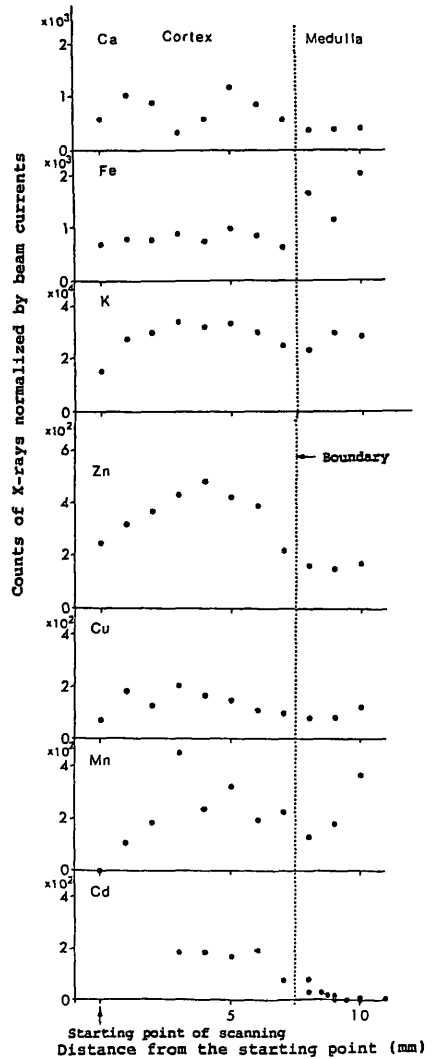


図 7 a  
腎臓切片における陽子線スキャンニングライン上の照射位置  
Irradiation positions on the kidney segment along the scanning line of the proton beam.

図 7 b  
人の腎臓における元素濃度の皮質から髄質にかけてのプロフィール  
Concentration profiles of elements in human kidney across the cortex and the medulla.



3-2-2 人の大脳中における元素分布<sup>6)</sup>

腎臓と同様にして大脳における元素分布を求めた。結果を図 8 に示す。大脳皮質と髄質で元素の存在量の違いが見られた。ほとんどの元素は髄質よりも皮質に多く存在したが、Feに関してはこの違いははっきりしなかった。元素量の変動が、皮質と髄質の境界領域で起こっているのは腎臓の場合と同じだが、その変化は腎臓よりも緩やかである。

3-2-3 人の胸骨中における元素分布<sup>7)</sup>

胸骨の一部を切り取って、元素分布を観察した。試料は図 9 a に示すように、海綿骨と緻密骨をふくむかたちになっており、三本のスキャンニングラインに沿って陽子線による走査分析を行った。ラインに沿って示されている小さなバーはビームの照射位置及び大きさを示している。検出された元素は腎臓や大脳と異なり、照射位置毎に大きく変動した。そこで、検出された元

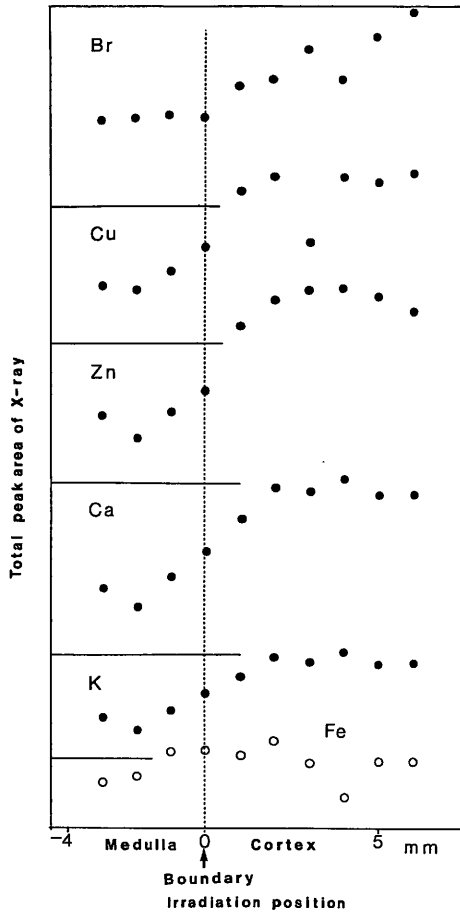


図 8  
 人の大脳における元素濃度の皮質から髄質にかけてのプロフィール  
 Concentration profiles of elements in human cerebrum across the cortex and the medulla.

素のうちからP, K, Ca, Fe, Cu, Znについて、元素間の比をとりその一部をプロットしたのが図 9 bである。元素間の比は、海綿骨と緻密骨の境界で大きく変化していることが示された。データのふれは、海綿骨中で非常に大きく、緻密骨中では非常に小さい。また、各スキャンニングライン毎に見ても、緻密骨中では元素比はほとんど一定だが、海綿骨中では場所によって異なることが示された。

以上、PIXE分析法による臓器内元素分布の測定結果について述べたが、これらの情報は微量元素の生理的役割や代謝のメカニズム、元素間相互作用などの研究に役立つものと考えられる。

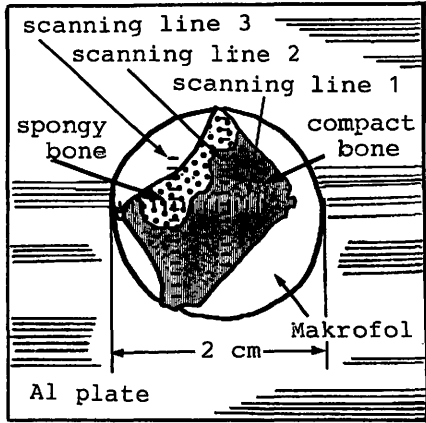
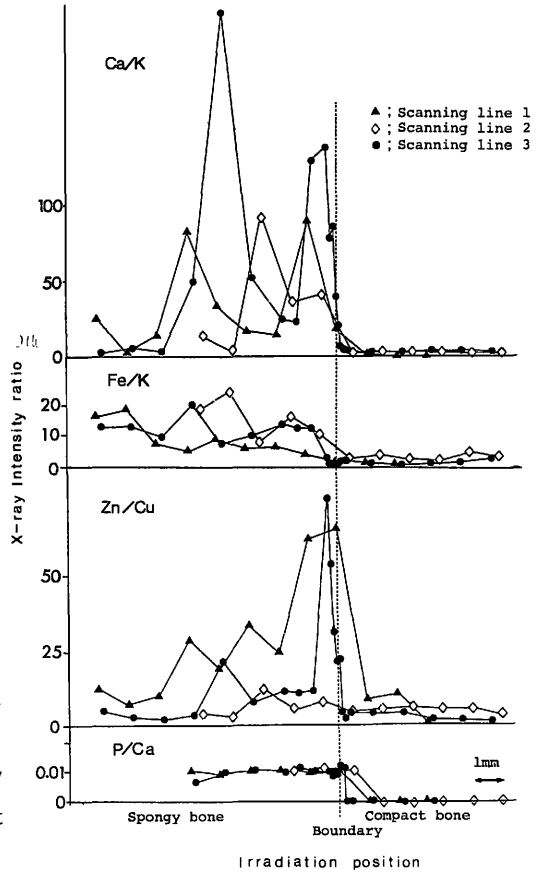


図 9 a  
胸骨切片における陽子線スキャンニングライン上の照射位置  
Irradiation positions on the breast bone segment along the scanning lines of the proton beam.

図 9 b  
胸骨における元素濃度比, Ca/K, Fe/K, Zn/Cu, P/Ca の変化  
Changes in the ratios of Ca/K, Fe/K, Zn/Cu and P/Ca in the breast bone along the scanning lines.



#### 4 おわりに

文献の中にみられる人体臓器中の微量元素濃度の測定値は大きな変動幅を持っている<sup>9,10</sup>。これらの変動は、個体差として片づけられがちだし、実際、人の個体差は実験動物などとは較べものにならないほど大きい。FeやZnのようにホメオスターシスが働いている必須元素はまだしも、汚染元素や有害金属の元素濃度は、その人の生活環境や健康状態、食習慣などの非常に複雑な要因によって大きく影響される。しかし、分析化学の立場からみてまだ解決されるべき問題がある。それは臓器組織のサンプリングの問題である。今日のように、分析法の進歩して高感度になり、非常に少量のサンプルでも分析が可能になると、その分析に供した少量のサンプルが元の臓器を代表しうるものかどうか重要な問題となってくる。前述の腎臓や大脳のように、臓器内での元素分布が均一ではない臓器を考えれば自明であろう。人体組織のようにサンプリングに多くの制約がある場合は深刻な問題である。例えば、肝臓など平均的重量として1500gもあるので、分析に必要な量の数グラムはほんの一部ということになる。臓器全体を分析する機会に恵まれたとして、いかに均一になるように試料を混合するか、あるいは、臓器中の何か

所からサンプリングを行えば良いかを考える必要が生じる。人体組織という特殊性を考慮するならば、臓器全体を入手することは困難と思われるので、組織学及び生理学の知識を導入して、サンプルとしてどの場所を取り上げるのが適当かを定めることが重要と考える。そして、人体臓器中の元素分析における標準サンプリング法とでもいふべきものの確立を強く望むものである。

#### 参考文献

- 1) 西山敬太郎, 三木敏行, 桜井四郎, 住野公昭, 鈴木泰夫, 田中茂, 寺井稔, 戸村健児, 角田文男, 安本正, 湯川雅枝: 放射化分析による微量金属の生体内分布と存在量に関する基礎的研究, 昭和57・58年度文部省科学研究費補助金(A)57370014研究報告書, 1985.
- 2) M. Yukawa, K. Amano, M. Suzuki-Yasumoto and M. Terai : Distribution of Trace Elements in the Human Body Determined by Neutron Activation Analysis. Archives of Environmental Health, Vol. 35, No 1 , 36-44, 1980.
- 3) 湯川雅枝, 天野一秀, 鈴木間左史: 人体臓器の中性子放射化分析(その3), 日本衛生学雑誌, **34**, 119, 1979.
- 4) 湯川雅枝, 田中茂, 鈴木間左史, 戸村健児: 人体臓器の中性子放射化分析(その4), 日本衛生学雑誌, **35**, 185, 1890.
- 5) M. Yukawa, K. Kitao and M. Terai : Distribution of Elements in Human Kidney by PIXE Analysis. Trace Element-Analytical Chemistry in Medicine and Biology, Vol. **3** , 392-397, 1984.
- 6) 湯川雅枝, 喜多尾憲助: PIXE分析法による人体臓器中微量元素の分布について, 第28回放射化学討論会講演予稿集, 135-136, 1984.
- 7) 湯川雅枝, 喜多尾憲助, 安本正: 人体臓器中微量元素のPIXE分析(第2報)人骨中の微量元素分布, 日本衛生学雑誌, **42**, 371, 1987.
- 8) Report of the Task Group on Reference Man : ICRP Publication 23, Pergamon Press, 1975.
- 9) Iyenger, Kollmer, Bowen : The Elemental Composition of Human Tissues and Body Fluids, Verlag Chemie, 1978.

### III-3 日本人における元素の代謝

内山正史

放射線医学総合研究所

Metabolism of Elements in Japanese

Masafumi Uchiyama

Risk Analysis Unit, National Institute of Radiological Sciences

4-9-1 Anagawa, Chiba-shi, 260 Japan

**ABSTRACT**—The metabolism of cesium and iodine in Japanese is reviewed regarding with assessing the internal dose from their radioisotopes.

**Cesium** : A two-component model can depict the time-relating retention in the whole-body. The half-time in adult male is shorter for Japanese than for the ICRP Reference Man. The half-time is shorter in woman and shortest in infants. The difference in half-time between Japanese and Caucasian becomes larger with aging. The half-time is successfully related with other biological parameters. A use of the estimation model for biological half-time by Cryer and Baverstock is recommendable for Japanese. The cesium half-time has a wide difference as much as 3 times among individuals even within the limited sexual and age-group.

**Iodine** : ICRP recommended a model of iodine for Reference Man. However, uptake of iodine in thyroid depends on the concentration of iodine in blood in the same way as with the half-time. It is indicated that concentration of thyroxine in blood is kept constant when thyroid has an extraordinary amount of iodine supply. The amount of stable iodine in thyroid indicated no difference between Japanese and Caucasian. Considering these characteristic conditions for Japanese, a model was established in which another route for the release of inorganic iodine from thyroid is included beside those assumed in the ICRP model. The estimated half-time agreed with the observed values in Japanese who were administered iodine-131. The observed smaller uptake of iodine in thyroid for Japanese was also well explained. The uptake begins around 13 weeks after conception and increases

with age upto the time of delivery. The rate of metabolism in newborn is 3 times higher than in adult. The biological half-time in thyroid increases with age.

## 1 はじめに

内部被曝線量推定の観点から人体における代謝について解明されている元素は多くはない。核実験で放出された放射性セシウムを摂取した人についての測定例が多いセシウムと、甲状腺機能検査の目的で投与された放射性ヨウ素についての測定例数が豊富なヨウ素とは、内部被曝線量の推定に必要な代謝パラメータの数値が比較的多く報告されている元素である。

チェルノブイリ原子炉事故が一般公衆に生じた被曝線量についても、この二つの元素の放射性同位元素の寄与が大きかった。米国、英国、西独、スウェーデン等やイタリアでこの事故による内部被曝線量推定をするに際して異なるパラメータの値が用いられた。国際放射線防護委員会(ICRP)のPub. 30<sup>1)</sup>には放射線作業従事者の放射線障害からの防護を目的とするパラメータ値が記載されている。多様な年齢層により構成される一般公衆に、この数値を画一的に適用することは妥当ではないことが、チェルノブイリ事故による体の中の放射能(体内量)の測定から再確認された。そこで前述の諸国では年齢の関数として表した代謝パラメータを、一般公衆の内部被曝線量の算定に適用している。

体格についてICRPのReference Man (標準人)との差は日本人の方が前記諸国民よりも大きいので、代謝パラメータを修正する必然性は日本人の方が大きい。

本稿では内部被曝線量を推定するモデルやモデルを構成するパラメータの数値について、日本人に適切なモデルの設定を目的としてセシウムとヨウ素の代謝をレビューした。

## 2 セシウムの代謝モデルとパラメータ

<sup>137</sup>Csの1回摂取後に全身に残留する放射能の経時変化については多くの観察例があり、その残留率は時間についての指数項2項の和で示される2・コンポーネントモデルで近似できる。このモデルが日本人にも適用できることは1回摂取実験で実証されている。図1は1回摂取後の<sup>137</sup>Csの全身残留率について、その経時変化を標準人と日本人とについて示している。標準人についてのパラメータ値を日本人に適用すると、経時時間とともに過大評価の程度が大きくなる。

主として男子成人の数値に限ってもセシウムの生物学的半減期は国あるいは民族の間で異なる(図2)<sup>2)</sup>。しかし同一国民の成人男子集団を異なる時期に測定した場合、生物学的半減期についてそれぞれの集団の平均値は日本人の例に見るように一致している。このことは同一国民ないし民族について、年齢層や性を特定した場合には、生物学的半減期の平均値は一定値であることを示唆している。

新生児を含めて乳児の生物学的半減期は成人男子よりはるかに短い。体内量の測定をすること自体難しい年齢層であって、体内量も相対的に少ないために成人男子の場合よりも数値の不

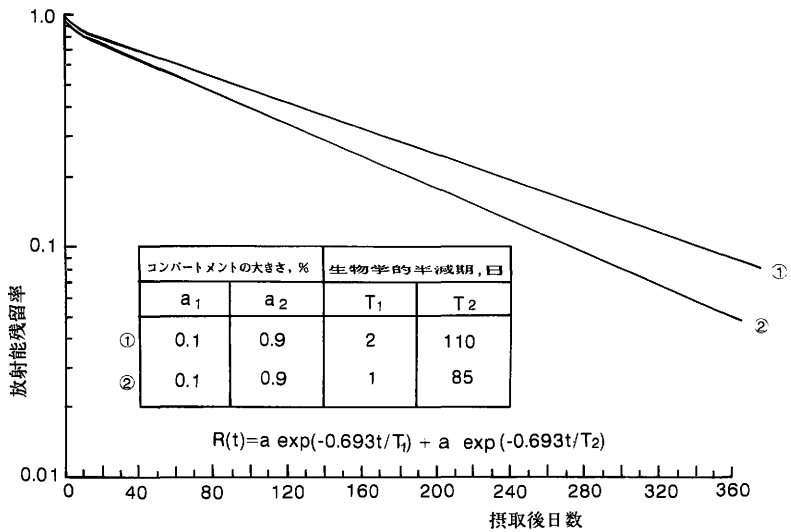


図1 セシウムの全身残留率に関する2-コンポーネントモデル

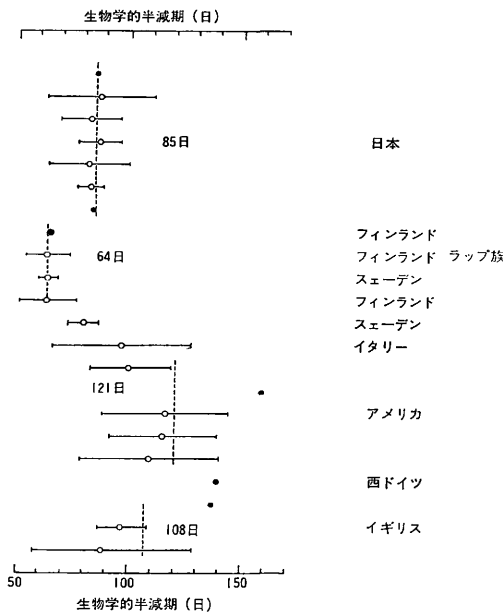


図2 生物学的半減期の民族ないし国民の間での比較

確実性は大きい<sup>3)</sup>が、出生から6ヵ月後までの年齢層ではほぼ同程度の生物学的半減期をもつものと考えてよい。図3中で日本人のデータを\*で示した。コーカシアン乳児と日本人乳児との間に生物学的半減期の差は認められない。

米国ユタ大学ではフォールアウト<sup>137</sup>Csについて、年齢別、性別に生物学的半減期当量を算定している。生物学的半減期当量は図1中の表に示したa<sub>1</sub>とT<sub>1</sub>との積として定義される。同一年齢層を比較すると小児期までは性差がない<sup>3)</sup>が、その後は男子は女子よりも生物学的半減期当量が

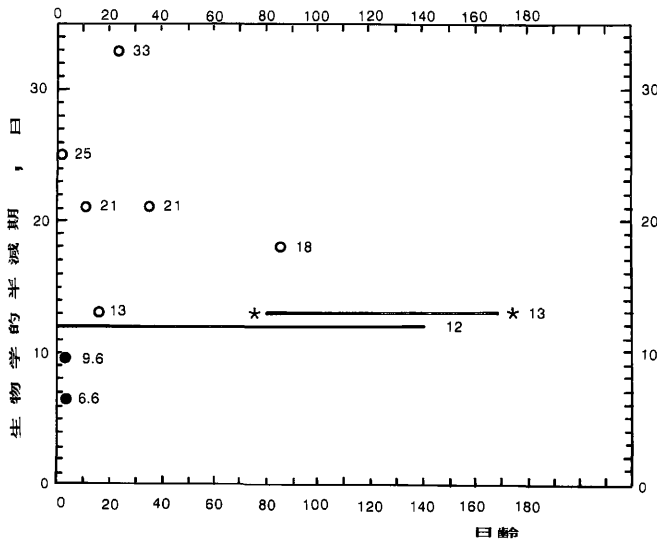


図3 乳児の生物学的半減期

大きく、性により異なるもののある年齢までは増加をつづける<sup>4)</sup>。

直接の測定が難しいパラメータについて観察されている性や年齢による変化の様相を、一般公衆の被曝線量の推定に的確に反映させるには、性や年齢との関係が正確に解明されていて、しかも測定が容易なパラメータの数値から推定する方法論が確立されていなければならない。Eberhardtは英国、米国、スカンジナビア諸国、エスキモーの個人について、生物学的半減期( $T_b$ , 日)と体重( $W$ kg)との関係を解析して、両パラメータをそれぞれ対数で表わしたときに(1)式の成立することを示し、その妥当性の根拠として所要熱量の体表面積との相関との類似性をあげている<sup>5)</sup>。実測された体内量と尿中排泄量から生物学的半減期を算定した日本人成人男子群(グループ1)について、その平均体重から(1)式を用いて推定した生物学的半減期は、いくらか過大評価であるが測定誤差から判断して十分によい推定値が得られる。

$$T_b = 6 W^{2/3} \quad (1)$$

CryerとBaverstockは、5人以上の集団の平均生物学的半減期とその平均体重との関係を検討し(2)式を示している。(2)式で $m$ はkgで表した体重である<sup>6)</sup>。各項の補正項を含まない場合の体重から求めた生物学的半減期は、グループ1については過小評価となる。両補正項についてすべて正符号をとった場合、グループ1の平均体重を用いて得た推定値は、実測値と一致する。

$$T_b = (1.14 \pm 0.13)m + (4.6 \pm 7.3) \quad (2)$$

人体内での分布や挙動に関してセシウムはカリウムと似ている。Leggettはこの類似性に着目してセシウムの生物学的半減期の全身カリウム量への回帰を成人男、女及び乳児について計算し表1のモデルを報告している<sup>7)</sup>。標準人の全身カリウム量は140gであるが同表のモデルで計算した生物学的半減期は101日となり、本来設定されている110日の約90%である。



表1 Leggett モデル

$R(t) = a \exp(-0.693t/T_1) + (1-a)\exp(-0.693t/T_2)$ $K_t$ : 全身カリウム量, g		
成人男子		
$a = 0.81 \exp(-0.014K_t)$	$T_1 = 18 \exp(-0.0016K_t)$	$T_2 = 1.22 + 0.72K_t$
成人女子		
$a = 0.89 \exp(-0.016K_t)$	$T_1 = 14 \exp(-0.01K_t)$	$T_2 = 17.1 + 1.09K_t$
小児 $a = 0.6$		
6 ヶ月から1歳	( $15g < K_t < 20g$ )	$T_1 = T_2 = 13$
6 ヶ月まで	( $5g < K_t < 15g$ )	$T_1 = T_2 = -0.9K_t + 26.5$
例: ICRP Pub. 23のモデルより		
Ex. $R(t) = 0.14 \exp(-0.693t/1.9) + 0.86 \exp(-0.693t/101)$		

表2 日本人の生物学的半減期推定のためのモデルの評価

モデル	生物学的半減期(日)	
	成人男子	乳児
Eberhardt	89	21
Cryer & Baverstock	85*	22**
Leggett	89	13***

成人男子 85日

乳児 13日

\*\*\* 動かないパラメータ値として適用

\*  $T_b = 1.27m + 11.9m > 10kg$

\*\*  $T_b = 1.14m + 4.6m \leq 10kg$

上述の三つのモデルを用いてグループ1と乳児について計算した生物学的半減期を報告値と比較して、モデルの妥当性を検討した(表2)。成人男子については、CryerとBaverstockによる(2)式で、補正項の符号はすべて正符号を取った場合が最も適切であり、乳児については(2)式で補正項を除いた場合とEberhardtの(1)式とは同等の結果が得られた。

日本人女子については生物学的半減期を測定した例がほとんどない。男子の場合と同様に生物学的半減期が筋肉の発達に伴って増加することを仮定すると、女子では14~15歳で生物学的半減期の増加はなくなる。成人男子の生物学的半減期85日に対し女子はその約2/3と見積られる。

### 3 ヨウ素の代謝モデルとパラメータ

-Iの形で<sup>131</sup>Iを摂取すると甲状腺中の<sup>131</sup>Iの放射能は通常24時間後に最大値に達し、その後減少に向かう。<sup>131</sup>Iを摂取する前のヨウ素の摂取量の違いが摂取24時間後の甲状腺中の<sup>131</sup>Iの放射能やその後<sup>131</sup>Iの甲状腺から減少する速度に反映する。

海産物を摂取しない食生活を2週間続けた被検者(A)と、日本人の通常の食習慣を2週間続けた被検者(B)に同量の<sup>131</sup>IをNaI水溶液として摂取してもらい<sup>131</sup>Iの甲状腺到達率と放射能の減

衰の様相を観察した。<sup>131</sup>Iの24時間後の甲状腺到達率はAでは標準人に設定されているのと同程度である33%で、Bの約3倍であった。しかし生物学的半減期はAで40日、Bで30日であり、その差は甲状腺到達率に認められたほど大きくはない<sup>8)</sup>。いずれも標準人に設定された生物学的半減期である80日<sup>9)</sup>よりはかなり短い。

ICRPでは標準人のヨウ素代謝について、血液、甲状腺及び全身の3個のプールをもつ3-コンパートメントモデルを採用している<sup>1)</sup>。このモデルはコーカシアンについて設定された200  $\mu\text{g}/\text{日}$ の非放射性ヨウ素の摂取を前提としている。摂取されて血液に入ったヨウ素のうち30%は6時間の生物学的半減期で甲状腺に移行し、残りの70%は同じ半減期で尿中へ排泄される。甲状腺コンパートメントには10mgのヨウ素が含まれており、80日の生物学的半減期の形で全身へ送り出されている。全身には1mgのヨウ素が分布しており、10%が12日の生物学的半減期で糞便中に排泄され、残りの90%は同じ生物学的半減期で血中へ戻る。この血液中に戻ったヨウ素の30%は甲状腺ホルモンの生成に再利用される。

前述の日本人の被検者A、Bの例から明らかであるが、血液中のヨウ素濃度が高いとヨウ素の甲状腺到達率は低下し、甲状腺における生物学的半減期は短くなる。甲状腺到達率に関するこのような現象はしばしば観察されている。生物学的半減期へのヨウ素摂取量の影響はColardらが4-コンパートメントモデルを用いて理論的証明を行った<sup>10)</sup>。

日本人が日常的に摂取するヨウ素の量はColardらが解析の前提とした摂取量の範囲を越えているので、その代謝モデルにはなお検討の余地がある。すなわちColardらのモデルでは甲状腺からホルモンの形で血液中に放出されたヨウ素のうち、甲状腺へ戻った血液に無機化された形で残留するヨウ素の全量がホルモンの合成に再利用されることになっている。大量のヨウ素を摂取する機会が多い日本人のヨウ素代謝にはこのモデルは必ずしも当てはまらない。

長滝による研究から日本人の場合、甲状腺中でトリヨードチロシン( $T_3$ )とサイロキシン( $T_4$ )まで生合成が進まずに、 $-I$ となって血液中に放出されるヨウ素循環の短絡経路のあることが明らかにされている。東京に住む15人につき海産物摂取を禁ずる等の食餌制限をせずに<sup>131</sup>Iを摂取させ、1時間後と2時間後に甲状腺、血液、尿の<sup>131</sup>Iの定量と血液及び尿中の化学的ヨウ素の定量が行われた。血液中の無機ヨード濃度は食餌中のヨード濃度と考えることができる。血液中の $\mu\text{g}/100\text{ml}$ で表した無機ヨード濃度の対数に対して①摂取1~2時間後の<sup>131</sup>Iの甲状腺到達率は、負の相関を示す；②投与量に対する100ml当りに残留する<sup>131</sup>I濃度は相関がない；③甲状腺の<sup>131</sup>I量を血中の<sup>131</sup>I量で割ったクリアランスは負の相関を示す；④クリアランスと血中無機ヨード濃度の積で推定される甲状腺に摂取されるヨード量は正の相関を示す。日常的に日本人が摂取している程度の海藻類の摂取によって増加する血中のヨード濃度の範囲では甲状腺のヨードの摂取量は増加する。しかし血液中へ放出されるサイロキシンの血液中の濃度には変化がない。つまり余分に甲状腺に摂取されたヨードはサイロキシンまでには合成が進まないものと考えられる<sup>11)</sup>。

一方、食餌制限をしていない甲状腺腫瘍患者から腫瘍の切除時に入手された正常組織部分の

ヨード含有量は欧米人より特に多くはなかった。ヨウ素の摂取量は欧米人より多いが、余分に摂取されたヨウ素が甲状腺に蓄積されているのではない<sup>11)</sup>。

一定のヨード含有量の餌を与えているイヌに<sup>131</sup>Iを投与し、<sup>131</sup>Iとヨードの動脈血と静脈血中濃度を測定し、ヨード含有量を変えた餌でさらに飼いつづけ、<sup>131</sup>Iを投与後に同様な測定を行い前回の成績と比較した。余分に摂取されたヨードは甲状腺で有機化されるが、ホルモン以外の形で甲状腺から流出する経路の存在が確認された。日本人のヨウ素代謝モデルにこの経路を加えることが示唆されている研究であり、そのモデルが示されている<sup>11)</sup>。

甲状腺の放射性ヨウ素による内部被曝線量を推定するために、日本人に適用する代謝モデルは長滝のモデルが原型として適切であろう(図4)。甲状腺中で<sup>-</sup>Iはアミノ酸であるチロシンと

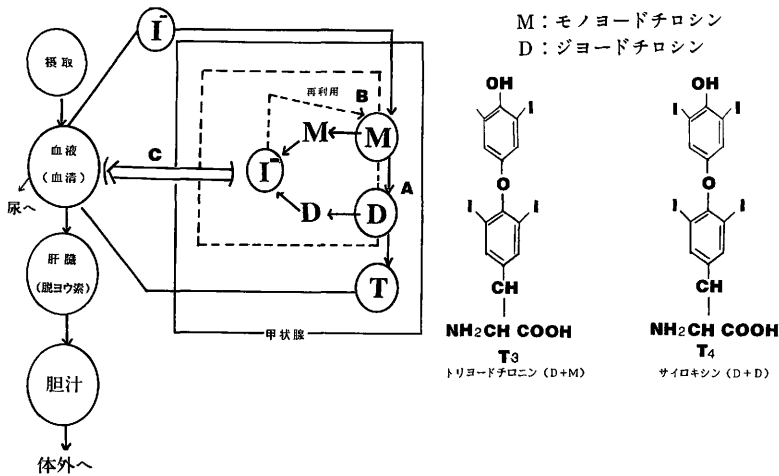


図4 血液内ヨウ素と甲状腺内ヨウ素代謝

結合してモノヨードチロシンやジヨードチロシンとなる。これらのヨウ化アミノ酸が酸化反応によってトリヨードチロニン(T<sub>3</sub>)やサイロキシン(T<sub>4</sub>)に生合成される。日本人は甲状腺に摂取される<sup>-</sup>Iの絶対量が多い。このため経路Aによる生合成がT<sub>3</sub>やT<sub>4</sub>まで進まずに、モノヨードチロシンやジヨードチロシンが分解して放出された<sup>-</sup>Iのホルモン合成への再利用経路Bのホルモン合成上での比重が、欧米人の場合よりは小さいのである。再利用されなかった<sup>-</sup>Iは経路Cにより血液中へ戻る。この経路Cを日本人のヨウ素代謝につけ加えるべきことを長滝は示している<sup>11)</sup>。

一方、ホルモンの形で甲状腺から放出されたヨウ素は体内を循環した後、肝臓で血液から胆汁中へ移行し排泄される。

ヨウ素の大量摂取の場合、経路Cを通して<sup>-</sup>Iとしてヨウ素は短時間に甲状腺から放出されるため、<sup>131</sup>Iもかなりの部分が同経路を經由して放出される。この機構が働くことによって日本人では甲状腺におけるヨウ素の生物学的半減期が、ヨウ素摂取量の少ないコーカシアンよりも短くなる。

甲斐は長滝のモデルを基礎に甲状腺におけるヨウ素の生物学的半減期を日本人について39日と推定している<sup>12)</sup>。これは前述の2名について観察された30日と40日の生物学的半減期とも一致するので、日本人に適用するモデルとして長滝のモデルは妥当と考えられる。

甲状腺におけるヨウ素の生物学的半減期は年齢により異なることがコーカシアンについて観察されている。その変化の様態はセシウムの場合に似ており、乳児で最も短く、成長に伴って増加して30歳で80日に達する。50歳以上では生物学的半減期に減少傾向が見えるが例数が少なく確実なことは言えない<sup>13)</sup>。

英国ではStatherとGreenhalghが1歳、10歳および成人について甲状腺におけるヨウ素の生物学的半減期を算定し、チェルノブイリ事故による英国国民の受けた甲状腺吸収線量の計算に用いられた。3-コンパートメントモデルで甲状腺コンパートメントのヨウ素量を8 mg, 70 $\mu$ gが1日に有機ヨウ素として放出され全身の有機ヨウ素プールにある800 $\mu$ gに入り、56 $\mu$ gは無機ヨードプールへ戻る。このプールのヨード量は毎日D  $\mu$ g摂取されるヨードで補われて一定に維持されている。年齢別に食品摂取量を調べ、さらに食品中のヨウ素濃度を測定して、1歳、10歳、成人のヨード摂取量として151, 184, 225 $\mu$ gを推定している。甲状腺のヨウ素摂取率は一律に25%として算定して生物学的半減期はそれぞれ17, 72, 79日であった<sup>14)</sup>。10歳と成人との間で生物学的半減期の差はほとんどないことが示されている。

甲状腺のヨウ素の摂取は胎生13週頃から始まり21週頃までは母体に投与された<sup>131</sup>Iの1.5%/gであるが、22週頃から4.6%/gと急激な上昇を示し出産間近かまでこの状態を維持するという。乳児期の甲状腺のヨード代謝は成人期の3倍に達し、成長で低下する。他のヨード代謝のパラメータも加齢で低下するとされている<sup>15)</sup>。

#### 参考文献

- 1) 作業による放射性核種の摂取の限度Part 1, ICRP Publication 30 Part 1, 国際放射線防護委員会専門委員会2の報告書, 日本アイソトープ協会, 仁科記念財団, 1980.
- 2) Uchiyama, M.: Estimation of <sup>137</sup>Cs body burden in Japanese II. the biological half-life, *J. Radiat. Res.*, **19**, 246-261, 1978.
- 3) Inuma, T. A., Yashiro, S., Ishihara, T., Uchiyama, M., Nagai, T., and Yamagata, N.: Estimation of internal dose in human fetus and newborn infants due to fallout cesium-137, IN: Radiation biology of the fetal and juvenile mammal, proceedings of the Ninth Annual Hanford Biology Symposium at Richland, Washington, May 5-8, 1969, Edited by M. R. Sikov and D. D. Mahlum, U. S. Atomic Energy Commission, Division of Technical Information.
- 4) Lloyd, R. D., Zundel, W. S., Mays, C. W., Wagner, W. W., Pendleton, R. C., and Aamodt, R. L.: <sup>137</sup>Cs half-times in normal, in dystrophic, and in pregnant humans, Research in radiobiology University of Utah Report COO-119-234, 297-317, 1966.
- 5) Eberhardt, L. L.: Relationship of cesium-137 half-life in humans to body weight, *Health Phys.*,

- 13, 88-90, 1967.
- 6) Cryer, M. A., and Baverstock, K. F.: Biological half-life of  $^{137}\text{Cs}$  in man, *Health Phys.*, **23**, 394-395, 1972.
- 7) Leggett, R. W.: Predicting the retention of Cs in individuals, *Health Phys.*, **50**, 747-759, 1986.
- 8) Uchiyama, M., Tanaka, G., and Akiba, S.: Radioiodine retention by 2 Japanese male adults after a single oral dose, *J. Radiat. Res.*, **23**, 358-370, 1982.
- 9) 作業者による放射性核種の摂取の限度, ICRP Publication 30 Part 3, 国際放射線防護委員会専門委員会2の報告書, 日本アイソトープ協会, 仁科記念財団, 1983.
- 10) Colard, J. F., Verly, W. G., Henry, J. A., Boulenger, R. R.: Fate of the iodine radioisotopes in the human and estimation of the radiation exposure, *Health Phys.*, **11**, 23-35, 1965.
- 11) 長滝重信: ヨードを多量に含む食物の摂取に適応する甲状腺ホルモン生成の調節, *内科*, **30**, 1113-1123, 1972.
- 12) 甲斐倫明: 日本人の甲状腺における放射性ヨウ素の生物学的半減期に関する考察, *保健物理*, **18**, 3-10, 1983.
- 13) Snyder, W. S., Cook, M. J., Bernard, S. R., Fisher, H. L., and Ford, M. R.: Internal dose estimation, ORNL-3849, UC-41-Health and Safety 185-203, 1965.
- 14) Stather, J. W., and Greenhalgh, J. R.: The metabolism of iodine in children and adults, NRPB-R140, 32p. National Radiological Protection Board, 1983.
- 15) 長滝重信, 山下俊一: 加齢と甲状腺機能. 日本医師会医学講座 昭和57年刊別冊 71-80, 金原出版, 1981.

### < 討 論 >

#### Q. 稲葉次郎:

イタリアでは、(セシウムの体内量が)モデルと合致しないという根拠について。

#### A. 内山正史:

連続摂取で、ICRPの代謝モデルを使って摂取量から計算した体内量が実測値より高くなったということである。

#### Q. 田中義一郎:

結論的に言って、日本人ではヨウ素の甲状腺到達率は0.2, 生物学的半減期は35日でよいか。

#### A. 内山:

成人男子(あるいは大人と言ってよいかと思うが)に対してはその値でよい。

(座長: 福田信男)

### III-4 代謝パラメータの修飾因子

稲葉次郎

放射線医学総合研究所

#### Modifying Factors for Metabolic Parameters

Jiro Inaba

Division of Environmental Health, National Institute of Radiological Sciences

4-9-1 Anagawa, Chiba-shi, 260 Japan

**ABSTRACT**—Studies on factors which influence the metabolic parameter for calculation of radiation doses from intakes of radionuclides are very important for estimation of the doses for the general public, because the present procedures recommended by the International Commission on Radiological Protection is for occupationally exposed workers and the underlying metabolic and dosimetric models have been developed from studies on adult man and experiments on adult animals and from observations on radionuclides in physico-chemically simple form.

Many factors have been reported to influence the metabolic parameters. Among them, the food-chain involvement of radionuclides and the age-dependence in humans and animals are most significant as environmental and physiological factor, respectively. In connection with the age-dependence of dose calculation, the ICRP started a new programme. They organized a Task Group on Age-Dependent Dose-Factors where relevant information on metabolic and biokinetic parameters are presently being reviewed for development of a set of dose factors for the following age-groups: infant, 1-year-old, 5-year-old, 10-year-old, 15-year-old, and ICRP Reference Man. The first stage of the work is for age-dependent integrated organ and effective dose factors for radioisotopes of the following elements: hydrogen, carbon, iodine, caesium, strontium, plutonium and americium.

環境中の放射性物質による被曝線量を予測したり評価するためには、その対象になっている人から算定に必要な情報、ここでは代謝パラメータ、を得ることが重要であることはここに改めて言う必要もない。しかし、実際問題としては、対象となる人口集団あるいは特定の個人についてそれらを得ることが困難であったり、不可能であったりすることが多い。そのような場合には、なんらかの方法による人体での観測例、それがなければ動物実験に基づく推定値から標準的人間のための標準的代謝パラメータを設定しておき、得られる情報からそれがどの程度この標準的代謝パラメータを修飾するかを考察し、必要に応じて特定代謝パラメータを推定した上でそれにより線量算定をすることが常法になっている。

放射性物質の体内代謝に影響を与えると考えられる要因は多数ある<sup>1)</sup>。それらは環境要因と生理要因に大別でき、現実的には、環境要因として食品中の放射性物質の化学形など食物連鎖にかかわる要因が<sup>2)</sup>、また生理要因としては対象とする人が成人であるか幼児であるかまたは胎児であるか等年齢<sup>3)</sup>が最も重要なものであると言える。

ここでは、それらについて一応簡単に影響要因の項目だけを掲げ、次いで最近一般公衆の放射線防護の観点から注目されている年齢因子に着目し、現在ICRPで進められている年齢依存代謝モデルとそれに基づいた年齢群別線量係数につき紹介したい。

## 代謝パラメータの修飾因子

被曝線量算定の観点から重要な代謝パラメータは、経口摂取後の血中への移行の割合、体内分布、各臓器組織からの移行速度あるいは生物学的半減期などである。これらの影響を与えると考えられるものは多数あるが、それらは以下のように分類できよう。ただし、多くの要因が相互に関連しており、ここでの分類も便宜的なものであることに注意してほしい。

### 1 環境側の要因

#### 1.1 放射性物質の物理化学的性状、特に化学形

環境側要因として最も重要であり、代謝はこれに大きく依存する。生体に吸収されるためには、一般に、物質はイオン状か低分子になっている必要があり、放射性物質の化学形、例えばコロイドの形成の度合やその重合度などが重要である。また水生動植物に取り込まれたコバルトの哺乳動物体内代謝は無機コバルトとは大きく違う<sup>4,5)</sup>など、食物連鎖の寄与はきわめて重要である。

#### 1.2 放射性核種の安定同位体と類似元素

これも放射性核種代謝に大きく影響する。安定同位体の存在下では通常は希釈効果が見られるが、逆に微量のそれを加えることにより放射性核種の吸収の促進される例も知られている。また生物学的半減期や分布にも影響をおよぼす。

#### 1.3 食性

消化管からの放射性物質の吸収は消化管内で共存する物質の影響を受ける。Srは乳糖共存下

で吸収が促進され、乳酸や炭酸の共存下で抑制される。

#### 1.4 気温等の環境要因

$^{137}\text{Cs}$ の生物学的半減期が環境温度や居住高度の影響を受けることが知られている。

#### 1.5 その他

## 2 生体側の要因

### 2.1 生体内侵入経路

経口、経気道、経皮膚及び傷口がある。

### 2.2 人種差、性差等の遺伝的要因

今回の環境セミナーの主題のひとつ。ただし代謝に関し生理学的に人種差を調べた研究は少ない。

### 2.3 年齢

後述。

### 2.4 妊娠授乳等の特殊状況

妊娠中の婦人は $^{137}\text{Cs}$ の生物学的半減期が短いことが知られている。

### 2.5 栄養状態

放射性核種とはいえ基本的には通常元素代謝と同様であり、この意味で栄養状態の影響を受ける。

### 2.6 薬物その他の影響

種々のホルモンとか薬物と物質代謝の関係についても観察されている。

### 2.7 その他

## 年齢依存代謝モデル

ICRPは、職業人のための体内被曝の限度に関連してPublication 30において年摂取限度を勧告しているが、公衆の構成員のための勧告はない。従来、一般公衆の線量限度が職業人の10分の1あるいは50分の1とされていること、ならびに実際の公衆の被曝がその限度に近づくことがほとんど考えられないことなどから、一般公衆のための年摂取限度を設定する必要が無いと考えていたからである。ところが、乳幼児の放射性核種代謝が成人のそれとは相当違う場合があることなどの知見の蓄積とともに年齢群別に年摂取限度を設定しようとする動きが出てきた。これにわをかけたのがチェルノブイリ事故であり、放射能汚染された食品の摂取あるいは流通制限をするにあたっての基準が世界各国で強く望まれ、特に国際的に受け入れられる基準の設定がICRPの急務であると認識されるようになった。ただし、公衆の被曝限度は、それを管理しようと思えば被曝源に割り付けたSource upper boundが実際上の意味を持ち、年摂取限度を設定するより1 Bqの摂取量当りの実効線量当量Svを示すDose factorを設定しておく方が便利であるとする考えがあり、その方向で作業を進めることとした。



ICRPは1987年のワシントン会議において、Committee 2の中に西独ISHのKaulを主査とし筆者をメンバーの一員とするTask group on age-dependent dose factorsを設置し、活動を始めた。タスクグループでは放射性核種を環境放射能としての重要性からグループわけをし、まず最重要7核種に着目し、その経口摂取後の体内代謝の年齢依存性に考慮を払いながら、年齢群別dose factorを設定する作業を進めている。

ICRPの定めるであろうものの重要性に鑑み、現時点でのタスクグループの報告書のWorking Paperについて、目次順に概要を紹介すれば、以下の通りである。ただし、現在作業が進行中であり、タスクグループで検討されていることは、今後の検討によっては、結果的にここで紹介するものと大幅に違ったものになる可能性があることに十分注意されたい。

## Working Paperの概要

### 緒言

### 量と単位

## I 線量計算モデルと体内動態モデル

### 1 線量計算モデル

#### 1.1 出生後の被曝にかかわる預託実効線量当量の計算

基本的にICRP Publication 30の方式を採用する。

年齢群として乳児(infant)、1歳、5歳、10歳、15歳、成人(ICRP Reference Man)に着目する。

乳児とは生後3ヵ月齢の乳児を指し、新生児は特別な着目はしない。

線量積分時間は成人で50年間、それ以外の年齢群では70歳までとする。

体格等は成人はICRP Publication 30を用いるが、幼若児に関してはORNLの設定したファントムを用いる。

年齢依存比吸収割合SEEもORNLのものを用いる<sup>6)</sup>。

#### 1.2 母親が摂取した放射性核種による胚と胎児の線量の計算

利用できるデータが少ないため今後さらに検討が必要。

授精後2ヵ月間は胚の線量は子宮の線量と同じであると考える。

その後については母体と胎児の沈着量の比に着目して線量計算する。

摂取の時期と妊娠期間の関連からいくつかのシナリオをつくる。

胎盤あるいは胎膜に沈着した放射性核種の寄与も考慮すべきであるが、データがないため計算には含めない。

### 2 体内動態モデル

#### 2.1 胃腸管モデル

#### 2.2 通過コンパートメントモデル

#### 2.3 娘核種の体内動態

### 3 実効線量当量

放射線感受性の年齢依存に関する信頼性の高いデータが無いことから、ここでは成人で用いているものと同じ荷重係数を用いて実効線量当量を計算する。リスク係数の年齢依存に関し情報が得られれば改訂する必要があるだろう。

#### 付録A 特別な体内動態モデル

- A.1 年齢群別臓器及び組織の質量
- A.2 新生児における消化管吸収と残留
- A.3 プルトニウムとアメリシウムの体内動態

#### II 体内動態モデルとデータ、放射性核種別の蓄積線量と実効線量当量

- 1 放射性核種の選定基準
- 2 体内動態データと線量(第一期)以下各論
  - 2.1 水素
    - 2.1.1 トリチウム水
    - 2.1.2 有機結合トリチウム
  - 2.2 炭素
  - 2.3 ストロンチウム
  - 2.4 ヨウ素
  - 2.5 セシウム
  - 2.6 プルトニウムとアメリシウム
- 3 体内動態データと線量(第二期)
  - 3.1 ジルコニウム
  - 3.2 ニオビウム
  - 3.3 ルテニウム
  - 3.4 テルル
  - 3.5 バリウム
  - 3.6 セリウム
  - 3.7 ネプツニウム

#### III 線量計算データと体内動態データの信頼性

- 1 線量計算データ
- 2 体内動態データ

#### IV 今後の研究の必要性

#### V 用語集

#### VI 索引

## 体内動態データと線量 各論の一例

### 2.1 水素

トリチウムは、環境中に放出される時、その化学形はトリチウムガス、トリチウム水及び有機結合型トリチウムの3種が考えられる。ここではトリチウム水と有機結合型トリチウムに関し別々に扱い、トリチウムガスに関してはそれによる線量寄与が低いことから、これ以上言及しない。

#### 2.1.1 トリチウム水

##### 経口摂取後の血中への取込み

取込みの割合 $f_1$ は全ての年齢で1、吸収は即時に行われる。

##### 分布と残留

##### 成人

経口摂取したトリチウム水は血中に入ってから急速に完全に全身の水と混合する。トリチウム水のトリチウムの一部はその後有機結合型に変化する。この場合トリチウムの残留はその組織での代謝活性に依存する。例えば肝や腸で結合型トリチウムの残留の半減期は短く、脳や皮膚のそれは長いことが知られている。しかし、線量計算のため、ここではトリチウム水と有機結合トリチウムは両方とも各臓器組織に均等に分布すると仮定する。

トリチウム水として摂取したトリチウムの全身残留は多成分指数関数によって表される。ICRP Publication 30ではトリチウム水の摂取後の残留は3成分の指数関数で以下のように記述できるとしている<sup>7)</sup>。

$$R(t) = Ae^{-0.693/T_1} + Be^{-0.693/T_2} + Ce^{-0.693/T_3}$$

ここで $T_1$ は半減期10日(範囲4-18日)を持った体内の水の代謝回転を意味しており、 $B+C$ の成分は組織に結合したトリチウムを示している。この $B$ と $C$ の成分は預託線量の約10%を寄与すると考えられている<sup>7)</sup>。トリチウム水を用いた動物実験によれば、血中に入ったトリチウムの1-5%は不揮発性の有機成分に取込まれる<sup>8)</sup>。したがって、トリチウム水として体に入ったトリチウムからの線量計算のため、2成分指数関数を適用する、

$$R(t) = Ae^{-0.693/T_1} + Be^{-0.693/T_2}$$

ここで $T_1$ は1日の水分バランスと全身水分量から計算でき

$$T_1 = (\ln 2) (\text{全身水分量} / \text{1日水分バランス})$$

$T_2$ は1日の炭素バランスと全身炭素量から計算できる

$$T_2 = (\ln 2) (\text{全身水分量} / \text{1日水分バランス})。$$

前述のように非水型トリチウムからの線量寄与は10%であると仮定すれば、水と炭素の生物学的半減期がそれぞれ10日と40日であることから、成人にトリチウム水として摂取されたトリチウムの全身残留は次の式で記述できる。

$$R(t) = 0.97e^{-0.693/10} + 0.03e^{-0.693/40}$$

## 新生児と子供

新生児と子供の1日水分バランス(代謝水を含む)の値は以下のような生理学上の考察から導ける。すなわち、エネルギー消費4.22kJにつき1mlの水を必要とする<sup>9)</sup>。ICRP Publication 23(340ページ、表115)から新生児、1歳児、5歳児、10歳児、15歳児のエネルギー消費はそれぞれ1日当りkJである。全身の水分量計算のために、全身の含水率を新生児、1歳児、5歳児、10歳児につきそれぞれ61.2%、60.7%、65.0%、63.4%とし、15歳児は標準人の値と同じ60%とする。このようにすると水の生物学的半減期は

新生児	2.4
1歳児	3.2
5歳児	5.0
10歳児	5.7日
15歳児	8.0日
成人	10日

種々の年齢のラットにトリチウム水を一回投与した後トリチウムの組織分布と尿中排泄を観察した動物実験がある<sup>10)</sup>。それによれば尿中濃度は2成分の指数関数的に減衰するが、投与時年齢の増大と共に長半減期成分も増大する。成人でのA(0.97)とB(0.03)が幼若児にも適用できると仮定すれば、また、B成分のトリチウムの生物学的半減期が次節で示す炭素のそれと同じであると仮定すれば幼若児にトリチウム水として摂取されたトリチウムの残留曲線を記述するパラメータは上記で与えられた一般式で与えられる。

## 胚と胎児

胚および胎児は水分含有量が高く、母体のトリチウムは容易にまた急速にその水と混合する。したがって、ここでは母親が摂取したトリチウム水からのトリチウムによる胚と胎児の吸収線量計算は、胚と胎児での残留半減期が成人のそれと同じであるとの仮定に基づいて行う。このことは胚と胎児の線量は新生児に比し高いということを意味する。

### 2.1.2 有機結合型トリチウム

有機結合型トリチウムは体内において代謝され、その一部は水となる。したがって、基本的にはトリチウム水摂取の場合と同じ手法を用いて線量計算を行う。すなわち、水の生物学的半減期を持つ成分と炭素の生物学的半減期を持つ成分の2成分を考え、それぞれについて年齢別に半減期を計算する方法を採用している。

トリチウム水としてあるいは有機結合型トリチウムとして摂取したときの、それぞれのトリチウムによる線量換算係数を表1および表2としてかかげる。

表1 トリチウム水の経口摂取後の線量換算係数(1 Bq摂取後70歳までの受ける線量当量)  
 INGESTION DOSE FACTORS (DOSE EQUIVALENT (Sv Bq) TO AGE 70 YEARS)  
 FOR TRITIATED WATER (<sup>3</sup>H)

AGE AT INTAKE	3 MONTHS	1 YEAR	5 YEARS	10 YEARS	15 YEARS	ADULT
ADRENALS	7.0E-11	4.1E-11	3.1E-11	2.1E-11	2.2E-11	1.8E-11
BLADDER WALL	7.0E-11	4.1E-11	3.1E-11	2.1E-11	2.2E-11	1.8E-11
BONE SURFACES	8.6E-11	5.0E-11	3.5E-11	2.4E-11	2.6E-11	2.1E-11
BRAIN	7.0E-11	4.1E-11	3.1E-11	2.1E-11	2.2E-11	1.8E-11
BREAST	7.0E-11	4.1E-11	3.1E-11	2.1E-11	2.2E-11	1.8E-11
GI-TRACT	7.0E-11	4.1E-11	3.1E-11	2.1E-11	2.2E-11	1.8E-11
ST WALL	7.0E-11	4.1E-11	3.1E-11	2.1E-11	2.2E-11	1.8E-11
SI WALL	7.0E-11	4.1E-11	3.1E-11	2.1E-11	2.2E-11	1.8E-11
ULI WALL	7.0E-11	4.1E-11	3.1E-11	2.1E-11	2.2E-11	1.8E-11
LLI WALL	7.0E-11	4.1E-11	3.1E-11	2.1E-11	2.2E-11	1.8E-11
KIDNEYS	7.0E-11	4.1E-11	3.1E-11	2.1E-11	2.2E-11	1.8E-11
LIVER	7.0E-11	4.1E-11	3.1E-11	2.1E-11	2.2E-11	1.8E-11
LUNGS	7.0E-11	4.1E-11	3.1E-11	2.1E-11	2.2E-11	1.8E-11
OVARIES	7.0E-11	4.1E-11	3.1E-11	2.1E-11	2.2E-11	1.8E-11
PANCREAS	7.0E-11	4.1E-11	3.1E-11	2.1E-11	2.2E-11	1.8E-11
RED MARROW	1.4E-10	6.1E-11	3.8E-11	2.6E-11	2.7E-11	2.2E-11
SKIN	7.0E-11	4.1E-11	3.1E-11	2.1E-11	2.2E-11	1.8E-11
SPLEEN	7.0E-11	4.1E-11	3.1E-11	2.1E-11	2.2E-11	1.8E-11
TESTES	7.0E-11	4.1E-11	3.1E-11	2.1E-11	2.2E-11	1.8E-11
THYMUS	7.0E-11	4.1E-11	3.1E-11	2.1E-11	2.2E-11	1.8E-11
THYROID	7.0E-11	4.1E-11	3.1E-11	2.1E-11	2.2E-11	1.8E-11
UTERUS	7.0E-11	4.1E-11	3.1E-11	2.1E-11	2.2E-11	1.8E-11
EFFECTIVE DOSE EQUIVALENT	7.9E-11	4.4E-11	3.2E-11	2.2E-11	2.3E-11	1.8E-11
GI-TRACT	GASTRO INTESTINAL TRACT					
ST	STOMACH					
SI	SMALL INTESTINE					
ULI	UPPER LARGE INTESTINE					
LLI	LOWER LARGE INTESTINE					

表2 有機結合トリチウムの経口摂取後の線量換算係数(1 Bq摂取後70歳までに受ける線量当量)  
 INGESTION DOSE FACTORS (DOSE EQUIVALENT (Sv Bq) TO AGE 70 YEARS)  
 FOR ORGANICALLY BOUND TRITIUM

AGE AT INTAKE	3 MONTHS	1 YEAR	5 YEARS	10 YEARS	15 YEARS	ADULT
ADRENALS	1.7E-10	1.1E-10	6.2E-11	4.9E-11	4.9E-11	4.0E-11
BLADDER WALL	1.7E-10	1.1E-10	6.2E-11	4.9E-11	4.9E-11	4.0E-11
BONE SURFACES	2.1E-10	1.3E-10	7.1E-11	5.6E-11	6.0E-11	4.8E-11
BRAIN	1.7E-10	1.1E-10	6.2E-11	4.9E-11	4.9E-11	4.0E-11
BREAST	1.7E-10	1.1E-10	6.2E-11	4.9E-11	4.9E-11	4.0E-11
GI-TRACT	1.7E-10	1.1E-10	6.2E-11	4.9E-11	4.9E-11	4.0E-11
ST WALL	1.7E-10	1.1E-10	6.2E-11	4.9E-11	4.9E-11	4.0E-11
SI WALL	1.7E-10	1.1E-10	6.2E-11	4.9E-11	4.9E-11	4.0E-11
ULI WALL	1.7E-10	1.1E-10	6.2E-11	4.9E-11	4.9E-11	4.0E-11
LLI WALL	1.7E-10	1.1E-10	6.2E-11	4.9E-11	4.9E-11	4.0E-11
KIDNEYS	1.7E-10	1.1E-10	6.2E-11	4.9E-11	4.9E-11	4.0E-11
LIVER	1.7E-10	1.1E-10	6.2E-11	4.9E-11	4.9E-11	4.0E-11
LUNGS	1.7E-10	1.1E-10	6.2E-11	4.9E-11	4.9E-11	4.0E-11
OVARIES	1.7E-10	1.1E-10	6.2E-11	4.9E-11	4.9E-11	4.0E-11
PANCREAS	1.7E-10	1.1E-10	6.2E-11	4.9E-11	4.9E-11	4.0E-11
RED MARROW	3.3E-10	1.6E-10	7.6E-11	6.0E-11	6.3E-11	4.9E-11
SKIN	1.7E-10	1.1E-10	6.2E-11	4.9E-11	4.9E-11	4.0E-11
SPLEEN	1.7E-10	1.1E-10	6.2E-11	4.9E-11	4.9E-11	4.0E-11
TESTES	1.7E-10	1.1E-10	6.2E-11	4.9E-11	4.9E-11	4.0E-11
THYMUS	1.7E-10	1.1E-10	6.2E-11	4.9E-11	4.9E-11	4.0E-11
THYROID	1.7E-10	1.1E-10	6.2E-11	4.9E-11	4.9E-11	4.0E-11
UTERUS	1.7E-10	1.1E-10	6.2E-11	4.9E-11	4.9E-11	4.0E-11
EFFECTIVE						
DOSE EQUIVALENT	1.9E-10	1.1E-10	6.4E-11	5.1E-11	5.1E-11	4.1E-11
GI-TRACT	GASTRO INTESTINAL TRACT					
ST	STOMACH					
SI	SMALL INTESTINE					
ULI	UPPER LARGE INTESTINE					
LLI	LOWER LARGE INTESTINE					

### おわりに

代謝パラメータの修飾因子の一つとして年齢を取り上げ、ICRP Committee 2での動きを中心に紹介した。年齢によって体内放射性物質代謝がどの様になるか、さらに線量がどのようになるかは、すでに述べたように環境放射線安全評価に大きく影響し、現実問題としての重要性が大きい。ただし、代謝パラメータの修飾因子について現実問題にのみ注意を注ぐのは必ずしも正しい態度ではなからう。ここでは触れられなかったが、放射性物質代謝を生理学あるい

は生物学としてとられるとき、修飾因子の注意深い観察は貴重な情報を提供することに思いを致す必要があるからである。

#### 参考文献

- 1) 稲葉次郎：環境放射能による体内被曝の研究と問題点，日本原子力学会誌，**24**，348-354，1982.
- 2) 岡林弘之：人体での元素の移行と代謝におよぼす元素の化学形の影響：総論，放射性核種の化学形が被曝線量評価に及ぼす影響(第12回放射医研環境セミナー報文集) 117-129，1986.
- 3) 稲葉次郎：放射性物質代謝の年齢依存性，放射性物質の摂取に伴う被曝とその管理(第11回放射医研環境セミナー報文集) 103-116，1985.
- 4) 西村義一：環境中の $^{60}\text{Co}$ による体内被曝。放射性物質の摂取に伴う被曝とその管理(第11回放射医研環境セミナー報文集) 59-67，1985.
- 5) Inaba J., Nishimura Y., Kimura K., and Ichikawa R.: Whole-body retention and tissue distribution of  $^{60}\text{Co}$  in rats after oral administration of fresh water fish contaminated with  $^{60}\text{Co}$ , *Health Physics* **43**, 247-250, 1982.
- 6) Cristy, M. and Eckerman, K. F.: Specific absorbed fractions of energy at various ages from internal photon sources. I. Methods, Oak Ridge National Laboratory Report ORNL/TM-8381/VI.
- 7) ICRP: Limits for intakes of radionuclides by workers, ICRP Publication 30, Pergamon Press, 1979.
- 8) Takeda, H. and Kasida, Y.: Biological behavior of tritium after administration of tritiated water in the rat, *J. Radiat. Res.* **20**, 174-185, 1979.
- 9) ICRP: Report of the Task Group on Reference Man, ICRP Publication 23, Pergamon Press, p. 29, Fig. 25, 1975.
- 10) Inaba, J., Nishimura, Y., Takeda, H., Kasida, Y., and Ichikawa, R.: Age dependence of excretion and tissue distribution of tritium after single oral administration of tritiated water on rats of various ages, *J. Radiat. Res.* **22**, 287-296, 1981.

#### < 討 論 >

Q. 河村正一：

計算の基礎になったreference manはPublication 23が使われているか。

A. 稲葉次郎：

Publication 23のReference Manと、今後ICRPが採用するであろう新しいデータの両方を使っている。

Q. 河村：

ひとつのモデルで計算した後、この年齢依存性のファクターを掛けて行くという考えでよいのか。

A. 稲葉

年齢によって代謝データが異なり、SEEも異なる。結果的には幼若児のドーズファクターが成人のそれと同一または近い数字になっているものがあるが、途中のパラメータはかなり違っている。幼若児のALIを考えるとすれば幼若児のドーズファクターと成人のそれとの関連から計算できることになる。

Q. 河村：

(投与)実験について、亜鉛、マンガン、鉄、コバルトなどはキャリア・フリーかどうか。

A. 稲葉：

キャリア・フリーではない。必須元素で(安定体が<sup>3</sup>)入っているため。

Q. 河村：

コバルトの場合、ビタミンB12が原因ではないか。

A. 稲葉：

そうかもしれない。

Q. 内山正史：

年齢依存性の代謝の式について、今までのICRP Publication 30のように、たとえば(元素の化学形を)水溶性として一括して考えているか。それとも化学形などが、そのうちに付け加えられるのか。

A. 稲葉：

さしあたりは付け加わらないと思う。トリチウムに関しては、<sup>3</sup>H Waterとorganically bound <sup>3</sup>Hとに分けている。他の元素(の化学形に)に関しては分けなくて、たとえば $f_1$ が1に近い場合は、殆ど1を採用している(セシウム、ヨウ素など)。

Q. 内山：

そうすると、消化管吸収率が悪いような元素は例外的に考えるということか。

A. 稲葉：

通常の $f_1$ などを使っている。

(座長：福田信男)



## IV 食品の摂取

日本における食品の摂取量 住谷みさ子

## IV 日本における食品の摂取量

住谷みさ子

放射線医学総合研究所

Food Consumption in Japan

Misako Sumiya

Division of Radioecology, National Institute of Radiological Sciences

3609 Isozaki, Nakaminato, Ibaraki, 311-12 Japan

**ABSTRACT**-This paper presents some characteristic features of food consumption in Japan. Recent survey shows that the average daily food consumption, on a fresh weight bases, of Japanese is 1.3-1.4kg per person. A marked characteristic on food consumption of Asian countries, including Japan, is the large dependency on agricultural products amounting to about 60% of the total food consumption. Contrary to this, western countries were observed to depend 60% of their food consumption from livestock, and only 30% from agricultural products.

The Ministry of Welfare of Japan conducted a nationwide food consumption survey, a year after the end of World War II, and has since then carried out similar surveys annually. Those surveys present the average daily consumption of foods which were classified into 89 categories, and describe the year by year variation in food consumption. Local food consumption survey conducted at the Ibaraki Prefecture (Sumiya et al), and survey conducted at the Aomori Prefecture (Japan N. U. S. Company), were compared with the recent nationwide survey.

This paper also presents food consumption of infants and children from the local surveys.

## はじめに

国際放射線防護委員会(ICRP)が、被曝線量算定のために、人体モデルを設定し、身体的、解剖学的標準値や、代謝パラメータの標準値などを定めていることは、よく知られている。また、同委員会の勧告は、最近までずっとその対象が職業人に限られていたため、上述の標準値は、Reference Man(標準人)として、20~30歳のCaucasianの成人男子を念頭において認定されたものであることもよく知られている。そして、体格や食習慣の異なる日本人の被曝線量の算定に、このReference Manの値をそのまま用いることについては、検討を要すると考えられてきた。

近年、放射性物質および放射線の利用が進み、また原子力平和利用の進展に伴い、更に、地球的放射能汚染を引き起こしたチェルノブイリ原子炉事故などの例もあって、一般公衆の被曝評価を行う必要が深まってきた。

このような状況をふまえ、日本人のための標準値、しかも、ICRPのReference Manに直接対応する20~30歳の日本人成人男子に関する標準値ばかりでなく、年齢群別の標準値を設定しようとする動きが高まってきている。

国際的にもICRPを中心に、Caucasianとは明らかに体格や食習慣の異なる人々に配慮して、複数の標準人(例えば、標準アジア人のような)を設定しようとする動きや、一般公衆の被曝評価を考慮して、年齢群別の標準値を設定しようとする動きなどがあり、ICRPでは、これらに関するTask Groupを組織して、作業を進めていると聞いている。

経口摂取された放射性物質は、消化管から吸収され、親和性のある器官組織に移行し、やがてはほぼ一定の生物学的半減期で排出されてゆく。このような放射性物質の代謝には、遺伝的な要因ももちろんあろうが、食習慣も関与していると考えられる。物を食べるということに関して、日本人の標準値という観点から考えると、まず諸外国(特にCaucasian)と比較した時に、日本人がどのような食事をしているかが問題となる。又、年齢群別という観点からは、例えば、成人と幼児の食事の内容、量がどのように異なっているかが問題となる。

国内的にみれば、われわれ日本人の食事がどのように変化してきたか、localな住民の食事と国民平均像との間にどのような相違があるかなどは、興味のあるところであろう。ここでは、前述のような問題等について、「食品摂取量」という観点から述べてみたいと思う。

### 1 日本人の食品摂取の特徴について

食品を農作物、畜産物、水産物、およびその他の4群に分けた時の国民1人1年当りの食料総供給量に占める各食品群の割合を表1に示した。この表は、昭和59年度版食品需給表<sup>1)</sup>の国民1人1日当り(供給食料の表-19)より算出したものであり、厳密な意味での摂取量ではないが、食品摂取の傾向を推測することはできる。この表から見ると、日本人の食品摂取の特徴は、(1)全食料に占める農作物の割合が約60%と多いことである。これは、アジア各国の特徴でもある。

(2)畜産物の摂取割合は、欧米各国のほぼ半分位であり、農作物が多いぶんだけ低くなっている。(3)水産物の消費割合は、19カ国中最も多い。ちなみに供給量から言うと、日本、韓国、デンマークがそれぞれ1人1年当り69.8kg, 42.3kg, 32.6kgと多く、水産物三大消費国となっている。その他の国々は年1人当り20kg以下であるが、スウェーデン、フランス、オランダ、イギリス等も20kg近くの水産物消費を示し、水産物に関しては、海洋に面した国々での消費が多いようである。

表1 食料総供給量に占める各食品群の割合  
Proportion of Agricultural, Livestock and Aquatic  
Products Supply in Different Countries.

国名	食料総供給量に占める割合(%)			
	農作物	畜産物	水産物	その他
1. スウェーデン	33.2	57.9	2.4	6.5
2. デンマーク	30.9	57.1	4.0	8.0
3. オランダ	40.7	50.0	1.8	7.3
4. スイス	37.4	56.0	0.6	6.0
5. 西ドイツ	44.3	47.2	0.8	7.8
6. イギリス	40.9	49.8	2.0	7.4
7. アメリカ合衆国	37.9	48.7	1.0	12.4
8. カナダ	40.9	50.5	0.9	7.7
9. ニューゼーランド	39.2	55.1	0.6	5.0
10. フランス	39.3	52.6	1.9	6.2
11. イタリア	48.8	43.7	1.3	6.3
12. アルゼンチン	49.7	42.5	0.7	7.2
13. ブラジル	65.8	21.0	1.3	12.1
14. 日本	59.5	21.5	12.4	6.7
15. 韓国	85.3	5.4	6.6	2.7
16. 中国	90.6	6.9	0.9	1.6
17. パキスタン	61.8	22.8	0.5	14.9
18. インド	81.2	11.1	0.8	6.9
19. インドネシア	89.8	2.1	3.0	5.1

食品需給表(昭和59年度版)国民1人1日当り供給食料の表—  
19より算出

一般に西欧諸国は畜産物の消費が(その半分以上が乳および乳製品である)農作物よりも多く、アジア各国は農作物の消費割合が畜産物の消費割合よりかなり多い(3~数十倍)のが特徴である。その意味では日本人の食品摂取の傾向はアジア型といえるが、畜産物の消費割合が、アジア各国の中では多いという点から見ると、西欧諸国に近づきつつあるアジア型といえよう。

参考までに、日本における純食料供給量(1人1日当たり)の内訳を表2に示しておく。

表2 国民1人・1日当たり供給純食料  
Year to Year Change of Average Daily Food Supply for Japanese.

類別	品目別	昭和57年度	58	59	60	61	類別	品目別	昭和57年度	58	59	60	61
1. 穀類		301.3	297.9	297.7	295.6	292.3	10. 魚介類		91.5	95.2	97.3	98.1	99.5
a. 米		209.4	206.9	206.2	204.3	201.1	a. 生鮮・冷凍		33.7	35.3	38.3	39.0	39.0
		(205.0)	(201.8)	(201.1)	(199.2)	(195.6)	b. 塩干、くん製、その他		53.8	55.7	54.7	55.0	56.0
b. 小麦		87.2	86.8	87.1	86.9	86.4	c. かん詰		4.0	4.3	4.4	4.2	4.4
c. 大麦		1.2	0.8	0.8	0.8	0.8	d. 飼肥料		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
d. 裸麦		0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	11. 海藻類		3.3	3.6	3.8	3.6	4.0
e. とうもろこし		1.6	1.7	1.7	1.8	2.1	12. 砂糖類		61.4	59.1	58.3	58.7	57.6
f. こうりゃん		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	a. 粗糖		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
g. その他の穀類		1.4	1.3	1.5	1.5	1.6	b. 精糖		60.4	58.1	57.3	57.7	56.5
2. いも類		49.6	49.2	48.4	51.0	53.9	c. 含みつ糖		0.6	0.6	0.7	0.7	0.6
a. かんしょ		11.2	11.3	11.8	13.1	12.6	d. 糖みつ		0.4	0.4	0.3	0.4	0.5
b. ばれいしょ		38.4	37.9	36.6	37.9	41.3	13. 油脂類		36.5	36.9	38.0	38.7	39.8
3. でんぷん		33.9	37.2	38.4	38.5	39.2	a. 植物油脂		30.0	30.5	31.1	31.9	32.9
4. 豆類		23.2	24.1	24.5	24.7	25.2	ア. 大豆油		12.3	12.7	13.0	12.7	12.6
a. 大豆		15.4	15.9	16.5	16.5	16.8	イ. 菜種油		9.5	9.3	10.1	10.8	11.3
b. その他の豆類		7.8	8.2	8.0	8.1	8.4	ウ. やし油		0.8	0.9	0.6	0.5	0.5
5. 野菜		306.7	294.1	302.2	296.8	300.7	エ. その他		7.4	7.6	7.5	7.9	8.4
a. 緑黄色野菜		31.7	30.8	31.7	31.7	32.0	b. 動物油脂		6.6	6.4	6.8	6.9	6.9
b. その他の野菜		275.0	263.3	270.5	265.1	268.8	ア. 魚・鯨油		2.5	2.5	2.6	2.5	2.4
6. 果実		108.1	108.1	94.6	100.7	101.6	イ. 牛脂		1.3	1.4	1.3	1.2	1.1
a. みかん		39.3	38.4	29.0	31.9	28.0	ウ. その他		2.7	2.5	3.0	3.1	3.5
b. りんご		16.3	18.2	14.2	16.2	17.3	14. みそ		16.0	15.5	15.3	14.8	14.7
c. その他の果実		52.5	51.5	51.5	52.6	56.3	15. しょうゆ		29.0	28.4	27.9	27.4	27.5
7. 肉類		63.9	65.1	66.5	68.8	71.8	16. その他食料計		7.3	7.6	8.0	8.0	8.4
a. 牛		10.8	11.4	11.8	12.0	12.6	うちきのこ類		3.6	3.8	4.2	4.3	4.6
b. 豚		26.1	26.3	26.5	28.2	29.2	17. 合計						
c. にわとり		22.7	23.5	24.5	25.0	26.8	野菜		306.7	294.1	302.2	296.8	300.7
d. その他の肉		3.4	3.0	3.0	2.9	2.7	再1. 果菜類		91.1	88.4	93.1	88.8	90.6
e. 鯨		0.9	0.9	0.8	0.7	0.4	うち果実的野菜		19.0	18.0	18.3	17.5	17.9
8. 鶏卵		39.9	39.9	40.6	40.8	43.0	再2. 葉茎菜類		129.2	123.0	125.3	125.4	125.7
9. 牛乳及び乳製品		181.0	183.3	186.5	183.9	185.8	3. 値葉類		86.4	82.7	83.8	82.6	84.4
a. 農家自家用		1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	(参考)酒類		162.8	165.2	161.5	169.6	171.7
b. 飲用向け		97.1	96.7	97.6	96.5	96.8							
c. 乳製品向け		82.7	85.4	87.7	80.1	87.8							
ア. 全脂れん乳		1.3	1.2	1.3	1.1	1.1							
イ. 脱脂れん乳		0.5	0.4	0.3	0.3	0.3							
ウ. 全脂粉乳		0.8	0.8	0.8	0.8	0.7							
エ. 脱脂粉乳		3.8	4.1	4.1	4.1	4.0							
オ. 育児用粉乳		1.1	1.1	1.0	1.1	1.0							
カ. チーズ		2.0	2.1	2.3	2.2	2.5							
キ. バター		1.7	1.7	1.8	1.8	1.8							

## 2 主要農畜産物の自給率の推移

食物を通じて摂取する元素の種類と量は、1日分の食品自体を分析定量するのが最も手取り早い方法である。これを、陰膳方式で採取した場合でも、マーケットバスケット方式で採取した個々の食品の分析値から計算するような場合でも、少なくともその食品が国内産であるのか、輸入品であるのかを知っておくことが必要である。特に農畜産物の場合などは、大気からの沈着や、土壌からの移行の影響が大きいと考えられるからである。又、チェルノブイリ原子炉事故の際のように、日本全国で食物から放射性物質が検出された場合の被曝を評価する時にも、重要なパラメータになってくる。それを、間接的に示すものとして、主要農作物の自給率の推移に関する統計値を表3に示した。豆類(特に大豆)と小麦の自給率が極端に低いことがわかる。

表3 主要農畜産物の自給率の推移

Year to Year Change of self-supply Ratio for Main Agricultural and Daily Products.

	35年度	40年度	45年度	50年度	55年度	56年度	57年度	58年度	59年度	60年度	61年度 (概算)	
主要農作物の 自給率	米	102	95	106	110	87	92	93	94	109	107	108
	小麦	39	28	9	4	10	10	12	11	12	14	14
	豆類	44	25	13	9	7	7	9	7	9	8	8
	うち大豆	28	11	4	4	4	5	5	4	5	5	5
	野菜	100	100	99	99	97	97	96	96	95	95	95
	果実	100	90	84	84	81	77	79	81	74	77	73
	鶏卵	101	100	97	97	98	97	98	98	99	98	97
	牛乳・乳製品	89	86	89	82	86	84	85	86	86	89	86
	肉類(鯨肉を除く)	91	90	89	77	81	80	80	80	80	81	78
	うち牛肉	96	95	90	81	72	75	71	70	72	72	69
	豚肉	96	100	98	86	87	86	87	85	84	86	82
	砂糖	18	30	23	16	29	28	31	30	32	33	33

食品需給表(昭和63年度版)

## 3 国民1人1日当りの食品群別摂取量について

厚生省は第2次世界大戦が終結した翌年から、国民の栄養状況を把握する目的で、毎年食品消費実態調査を実施し、「国民栄養の現状」<sup>2)</sup>として調査結果を公表してきている。調査時期や対象世帯数などは、過去四十数年の間に何回か変更されているが、現在は毎年11月に、全国から7000世帯を選び、連続する3日間の献立を記入する方式で実施されている。集計は、世帯業態別、地域ブロック別、支出階層別など様々なかたちで行われているが、表4に、全国および世帯業態別食品群別摂取量(昭和60年調査結果)を示した。又、同年調査結果から、地域ブロック別の集計結果を表5に示す。表5において、総摂取量が最も多いのは東北、最も少ないのは、近畿Iブロック(Iブロックは都市部、IIブロックはその他に分けてある)で、その差はおよそ80gであった。なお、地域ブロック別摂取量の集計表は、国民栄養の現状昭和63年度版以後は掲載されていないが、厚生省保健医療局健康増進栄養課に連絡すれば入手できる。

表4-1 食品群別摂取量(全国, 世帯業態別)

Average Daily Intake of Foods by Categories in Japan. (Occupational Differences)

1人1日当たり(g)

食品群別	食品(群)番号	全国	農家世帯			非農家世帯				
			平均	専業世帯	その他の世帯	平均	自営業者世帯	常用勤労者世帯	日雇労働者世帯	その他の世帯
総量	2-89 24, 27	1,345.6	1,361.2	1,388.2	1,353.7	1,342.8	1,359.8	1,341.3	1,324.9	1,311.4
動物性食品	62-84 2-61	320.0	278.0	269.3	280.4	326.8	320.8	333.0	258.9	296.7
植物性食品	(24, 27) 除く	1,011.9	1,068.8	1,106.0	1,058.5	1,002.4	1,024.9	994.6	1,056.7	1,002.7
穀類	2-11	308.9	326.3	344.8	321.2	306.1	317.0	304.3	327.7	290.9
米類	2-3	216.1	257.1	266.2	254.6	209.3	219.0	206.8	246.4	202.0
米	2	211.2	251.6	259.4	249.4	204.6	214.4	202.1	238.0	195.9
米加工品	3	4.8	5.5	6.8	5.1	4.7	4.5	4.5	8.4	6.0
大麦	4	0.6	0.5	0.7	0.4	0.6	0.7	0.5	0.7	1.3
小麦類	5-10	91.3	68.1	77.3	65.5	95.2	96.3	95.9	79.2	87.0
小麦粉	5	6.0	6.6	9.6	5.8	5.9	6.0	6.1	5.5	4.7
パン	6	42.6	25.7	26.7	25.4	45.4	43.9	47.2	29.3	35.9
菓子パン	7	5.3	5.0	5.7	4.8	5.3	5.8	5.3	4.2	4.7
生めん, ゆでめん	8	30.1	23.0	24.5	22.6	31.3	32.8	30.5	32.0	34.0
乾めん, マカロニ	9	4.7	5.1	7.0	4.6	4.6	5.2	4.4	3.1	4.8
即席めん	10	2.5	2.6	3.8	2.3	2.5	2.6	2.4	5.1	3.0
その他の穀類	11	0.9	0.6	0.5	0.6	1.0	1.0	1.0	1.3	0.6
種実類	12	1.4	1.5	1.6	1.5	1.4	1.5	1.4	1.5	1.6
いも類	13-16	63.2	73.6	78.3	72.4	61.5	62.5	60.8	71.9	63.3
さつまいも	13	10.7	14.9	19.0	13.7	10.0	10.9	9.6	11.8	11.6
じゃがいも	14	25.6	25.1	24.0	25.3	25.7	24.5	26.2	30.8	24.2
その他のいも	15	14.2	20.1	22.0	19.5	13.2	13.6	12.7	13.8	16.3
いも類加工品	16	12.7	13.7	13.3	13.8	12.5	13.6	12.2	15.4	11.2
砂糖類	17, 18	11.2	12.4	13.2	12.2	11.0	10.3	11.2	12.8	11.5
砂糖	17	10.6	12.2	13.1	12.0	10.4	9.7	10.6	12.8	10.5
ジャム類	18	0.6	0.2	0.2	0.2	0.6	0.7	0.6	—	0.9
菓子類	19-23	22.8	22.4	21.6	22.6	22.9	22.2	23.4	14.9	20.7
飴類	19	0.5	0.5	0.3	0.6	0.5	0.5	0.5	0.1	0.7
せんべい類	20	2.6	2.9	2.8	2.9	2.5	2.7	2.5	2.5	1.9
カステラ, ケーキ類	21	4.3	4.0	3.2	4.2	4.4	4.5	4.4	3.5	3.5
ビスケット類	22	1.8	1.4	1.1	1.5	1.8	1.7	1.9	1.0	1.2
その他の菓子類	23	13.7	13.6	14.2	13.4	13.7	12.9	14.0	7.8	13.4
油脂類	24-28	17.7	14.4	12.6	15.0	18.2	17.4	18.9	16.4	15.1
バター	24	1.2	0.6	0.5	0.6	1.3	1.3	1.4	0.7	1.2
マーガリン	25	1.7	0.7	0.6	0.7	1.8	1.6	1.9	1.0	1.5
植物油	26	10.3	9.4	8.4	9.6	10.5	10.1	10.8	11.7	8.7
動物性油脂	27	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1
マヨネーズ類	28	4.3	3.6	2.9	3.8	4.4	4.2	4.6	2.9	3.6
豆類	29-33	66.6	77.3	82.6	75.8	64.9	67.1	62.6	86.5	75.9
大豆, 大豆製品	29-32	64.3	74.4	79.2	73.0	62.7	65.2	60.5	84.5	72.9
味噌	29	15.9	19.3	18.8	19.4	15.3	15.5	15.1	19.1	16.5
豆腐	30	34.3	38.9	44.7	37.3	33.5	35.4	31.9	48.5	40.6
豆腐加工品	31	7.7	8.5	9.0	8.4	7.5	7.9	7.3	9.2	8.1
大豆, その他	32	6.5	7.6	6.8	7.9	6.3	6.4	6.1	7.7	7.7
その他の豆類	33	2.3	2.9	3.3	2.8	2.1	1.9	2.1	2.0	3.0
果実類	34-39	140.6	137.6	143.3	136.0	141.0	138.9	140.3	142.5	152.8
柑橘類	34	59.7	56.1	66.4	53.3	60.3	61.1	59.4	51.2	66.7
りんご	35	28.5	27.1	28.6	26.7	28.6	27.6	28.8	29.8	29.9
バナナ	36	5.1	4.9	4.3	5.0	5.1	4.4	5.2	1.4	6.4
いちご	37	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.1	0.1
その他の果実	38	41.4	45.5	39.5	47.2	40.7	40.4	40.1	51.9	45.9
果汁	39	5.6	3.5	4.1	3.4	5.9	5.1	6.4	8.1	3.8

昭和60年国民栄養調査成績

表4-2 食品群別摂取量(全国, 世帯業態別)

Average Daily Intake of Foods by Categories in Japan. (Occupational Differences)

1人1日当り(g)

食品群別	食品(群)番号	全国	農家世帯			非農家世帯				
			平均	専業世帯	その他の世帯	平均	自営業者世帯	常用労働者世帯	日雇労働者世帯	その他の世帯
緑黄色野菜	40-44	73.9	73.8	79.2	72.3	74.0	73.0	73.4	66.9	81.8
にんじん	40	15.3	15.9	15.4	16.0	15.2	14.4	15.5	13.7	15.4
ほうれん草	41	22.2	24.7	27.8	23.8	21.8	22.0	21.6	21.3	22.7
ピーマン	42	3.4	2.9	2.6	3.0	3.5	3.3	3.6	2.5	3.2
トマト	43	8.4	4.7	6.9	4.1	9.0	7.8	9.2	6.8	10.4
その他	44	24.7	25.6	26.5	25.4	24.5	25.4	23.6	22.6	30.2
その他の野菜類	45-52	178.1	204.9	212.0	203.0	173.7	176.9	172.2	191.1	175.9
大根	45	37.2	51.6	54.9	50.6	34.9	34.6	34.1	43.7	41.0
たまねぎ	46	21.8	20.1	22.9	19.3	22.1	22.0	22.5	16.8	19.6
きゃべつ	47	21.7	19.3	16.9	19.9	22.1	23.4	21.8	20.8	21.5
きゅうり	48	10.2	7.5	6.9	7.6	10.7	9.6	11.2	5.9	9.6
はくさい	49	21.2	27.6	29.3	27.1	20.2	20.3	20.2	28.4	18.8
その他の野菜	50	42.0	42.9	40.5	43.6	41.8	42.7	41.7	46.1	39.7
葉類つげもの	51	11.2	19.6	20.1	19.5	9.8	10.3	9.5	14.3	11.0
たくあん, その他つげもの	52	12.7	16.3	20.4	15.2	12.1	13.9	11.2	15.2	14.7
きのこ類	53	9.7	10.5	10.5	10.5	9.5	10.2	9.3	7.0	9.8
海藻類	54	5.6	6.0	6.0	6.0	5.6	6.0	5.5	3.7	5.5
調味嗜好飲料	55-61	113.4	108.7	101.1	110.9	114.0	123.2	112.9	114.6	99.3
しょうゆ	55	21.1	25.5	27.8	24.9	20.3	21.5	19.6	23.8	23.3
ソース類	56	3.9	2.8	2.1	3.0	4.1	4.2	4.3	2.5	2.9
塩	57	1.4	1.4	1.5	1.8	1.4	1.4	1.4	1.0	1.4
日本酒	58	19.5	24.7	24.4	24.8	18.6	19.6	18.5	16.6	16.7
ビール	59	27.7	15.2	15.1	15.2	29.7	37.2	28.4	33.3	19.6
洋酒その他	60	5.3	4.4	9.1	3.1	5.5	4.7	5.6	10.3	6.1
その他の嗜好飲料	61	34.4	34.4	21.1	38.1	34.4	34.7	35.0	27.2	29.3
魚介類	62-74	90.0	90.0	83.8	91.7	90.0	95.0	88.2	93.9	90.9
生魚	62-66	39.6	39.0	38.2	39.2	39.7	41.8	38.6	40.8	43.8
まぐろ類	62	6.3	5.3	3.7	5.8	6.5	7.1	6.4	4.4	5.7
たい, かれい類	63	7.4	7.5	7.4	7.5	7.4	7.9	7.1	10.3	8.6
あじ, いわし類	64	11.1	11.9	13.8	11.4	11.0	10.7	11.0	8.4	11.7
さけ, ます	65	3.0	3.4	3.6	3.3	3.0	3.7	2.8	5.3	2.8
その他の生魚	66	11.7	10.9	9.7	11.2	11.9	12.4	11.3	12.5	15.0
いか, たこ, かに	67	13.0	11.4	9.8	11.8	13.2	13.5	13.4	13.0	11.5
貝類	68	4.4	2.4	1.7	2.7	4.7	5.6	4.4	6.6	4.2
魚(塩蔵)	69	7.0	9.0	6.1	9.8	6.6	7.6	6.3	9.2	6.1
魚介(生干し, 乾物)	70	7.4	7.6	7.0	7.8	7.4	8.0	7.1	7.4	8.1
魚介かん詰	71	2.1	2.4	2.4	2.4	2.1	2.0	2.2	2.4	1.8
魚介佃煮	72	0.6	0.8	0.5	0.9	0.6	0.6	0.5	1.0	0.7
魚介練製品	73	14.9	16.2	17.3	15.9	14.7	14.8	14.7	12.7	14.1
魚肉ハム, ソーセージ	74	1.0	1.2	0.8	1.4	1.0	1.0	1.0	0.7	0.7
肉類	75-80	71.7	55.9	52.0	57.0	74.3	75.3	75.9	52.4	60.3
牛肉	75	16.2	8.9	7.7	9.2	17.4	17.9	17.6	7.5	15.0
豚肉	76	27.5	22.8	21.5	23.2	28.3	28.6	28.9	28.6	22.9
鶏肉	77	16.9	15.7	15.2	15.9	17.0	17.4	17.4	8.8	14.1
鯨肉	78	0.7	0.7	1.2	0.6	0.7	0.7	0.6	0.9	0.8
その他の肉	79	0.7	1.0	1.2	0.9	0.7	0.6	0.7	0.0	1.0
ハム, ソーセージ	80	9.8	6.7	5.2	7.2	10.3	10.2	10.8	6.5	6.6
卵類	81	40.3	37.2	37.9	37.0	40.8	39.5	41.7	40.0	36.7
乳類	82-84	116.7	94.2	95.0	94.0	120.3	109.4	125.8	72.0	107.5
牛乳	82	108.0	89.2	90.7	88.8	111.0	101.7	115.7	66.0	100.2
チーズ	83	1.4	0.8	0.9	0.8	1.5	1.4	1.5	0.7	1.2
その他の乳製品	84	7.3	4.2	3.3	4.4	7.8	6.3	8.5	5.3	6.1
加工食品	85-88	6.5	7.2	5.9	7.6	6.4	7.0	6.4	4.8	4.8
ぎょうざ	85	1.9	2.3	2.1	2.4	1.8	2.0	1.8	0.9	1.7
しゅうまい	86	1.2	0.8	0.6	0.8	1.3	1.4	1.3	0.3	0.5
コロッケ	87	2.9	3.7	2.6	4.0	2.7	3.2	2.7	3.4	2.1
サラダ	88	0.5	0.5	0.6	0.4	0.6	0.4	0.6	0.3	0.6
その他の食品	89	7.2	7.1	6.9	7.2	7.2	7.1	7.3	4.5	7.2



表5-1 食品群別摂取量(全国, 世帯業態別)

Average Daily Intake of Foods by Categories in Japan. (Occupational Differences)

1人1日当り(g)

食品群別	北海道	東北	関東I	関東II	北陸	東海	近畿I	近畿II	中国	四国	北九州	南九州
総量	1,332.4	1,399.7	1,368.0	1,355.9	1,368.8	1,328.8	1,319.9	1,428.2	1,324.4	1,331.5	1,295.8	1,271.4
動物性食品	334.3	305.2	327.6	313.7	291.9	309.6	332.2	328.9	330.0	314.9	330.9	318.4
植物性食品	986.3	1,081.8	1,027.5	1,026.2	1,062.0	1,006.3	976.4	1,079.8	979.8	1,004.0	949.7	934.8
穀類	306.7	321.2	306.4	311.5	319.9	304.8	310.3	320.6	302.6	319.0	304.1	285.7
米類	215.5	244.7	203.2	215.6	242.8	218.5	204.6	226.8	209.2	225.8	214.2	208.0
米	210.5	239.2	197.6	209.4	236.9	213.8	200.1	222.9	204.8	220.3	211.7	205.2
米加工品	4.9	5.3	5.5	6.1	5.7	4.5	4.4	3.9	4.2	5.4	2.3	2.8
大麦	0.2	1.1	0.6	0.7	0.3	0.5	0.3	0.4	0.4	0.8	1.0	1.0
小麦類	90.2	74.6	101.5	94.5	76.6	84.4	104.8	92.7	92.1	91.4	87.8	75.4
小麦粉	4.6	5.9	7.1	6.1	5.1	5.3	6.3	5.7	6.3	5.4	5.4	5.7
パン	42.0	29.1	46.2	41.2	38.2	41.4	51.7	47.2	45.8	39.0	39.8	39.4
菓子パン	6.1	4.4	4.9	4.7	5.2	4.9	6.7	5.8	5.3	8.5	5.4	3.6
生めん, ゆでめん	27.6	26.5	34.7	34.4	21.7	26.4	34.1	28.7	30.2	31.5	29.9	19.7
乾めん, マカロニ	6.7	5.8	5.6	5.4	4.2	4.1	3.8	2.8	3.0	3.8	5.1	4.8
即席めん	3.2	3.0	2.9	2.8	2.3	2.4	2.2	2.6	1.5	3.1	2.2	2.1
その他の穀類	0.7	0.7	1.0	0.7	0.2	1.5	0.6	0.7	1.0	1.0	1.1	1.3
種実類	1.1	1.1	1.5	1.3	0.9	1.8	1.6	1.1	1.3	1.0	2.4	1.1
いも類	61.3	72.2	60.6	70.8	70.6	63.6	56.9	59.3	62.1	67.3	61.7	52.5
さつまいも	7.7	11.9	10.4	10.5	8.1	10.8	9.5	10.7	11.5	13.9	13.1	10.2
じゃがいも	31.8	28.3	25.3	28.3	30.9	22.1	27.0	25.6	25.9	21.7	22.7	21.2
その他のいも	10.7	17.9	12.6	16.8	18.0	18.1	8.4	12.0	12.6	16.9	13.0	13.3
いも類加工品	11.1	14.1	12.2	15.2	13.6	12.6	12.0	11.0	12.0	14.8	12.8	7.7
砂糖類	9.8	10.8	10.8	10.5	9.5	11.6	11.5	11.8	12.9	13.6	11.7	10.2
砂糖	9.3	10.5	9.9	9.8	9.0	11.2	10.9	11.4	12.4	13.2	11.1	9.8
ジャム類	0.6	0.3	0.9	0.7	0.4	0.4	0.6	0.5	0.6	0.4	0.6	0.4
菓子類	19.3	22.9	24.4	22.4	24.7	24.5	22.6	20.3	19.7	23.9	21.6	16.9
飴類	0.4	0.4	0.4	0.4	1.1	0.5	0.6	0.7	0.5	0.7	0.5	0.4
せんべい類	1.8	3.4	3.1	2.7	3.0	2.9	2.2	2.1	1.7	1.6	1.6	1.3
カステラ, ケーキ類	3.8	3.8	4.5	3.6	4.9	4.3	4.8	3.3	3.8	7.1	3.4	3.2
ビスケット類	2.1	1.3	1.7	1.1	1.7	1.9	2.5	2.2	1.2	2.0	2.3	1.2
その他の菓子類	11.1	13.9	14.7	14.5	14.0	14.9	12.5	12.0	12.4	12.6	13.8	10.8
油脂類	17.3	17.9	20.6	17.9	15.3	15.8	17.8	15.0	17.8	14.2	16.4	18.2
バター	1.6	0.6	1.7	0.9	0.9	1.1	1.5	1.4	1.3	0.9	1.1	0.7
マーガリン	1.5	0.7	2.0	1.3	1.3	1.4	2.5	2.2	2.0	1.4	1.3	1.4
植物油	10.2	11.7	11.8	10.5	9.1	9.1	9.7	8.6	10.3	8.2	9.4	11.8
動物性油脂	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2
マヨネーズ類	4.0	4.7	4.9	5.0	3.9	4.0	4.0	2.6	4.1	3.6	4.5	4.1
豆類	66.0	85.9	62.1	73.1	70.2	64.7	58.1	55.0	66.8	63.7	66.3	76.1
大豆, 大豆製品	64.3	83.2	59.8	70.5	67.7	62.2	56.2	52.1	64.7	61.2	64.3	75.4
味噌	20.0	21.3	15.4	17.4	18.2	16.8	11.5	11.2	12.2	13.4	16.2	20.5
豆腐	28.9	43.6	30.5	37.0	29.7	31.2	31.6	30.0	41.4	37.7	34.8	43.5
豆腐加工品	5.1	6.2	7.1	6.9	12.4	7.5	8.9	7.9	7.2	6.8	8.7	6.3
大豆, その他	10.2	12.0	6.8	9.1	7.4	6.6	4.2	3.0	4.0	3.3	4.5	5.1
その他の豆類	1.7	2.7	2.2	2.6	2.6	2.5	1.9	2.8	2.0	2.5	2.0	0.8
果実類	154.9	140.9	149.9	142.2	132.5	140.4	133.8	138.9	137.6	148.1	128.5	130.7
柑橘類	42.4	42.0	62.9	54.3	56.1	57.5	61.0	71.9	59.1	76.4	69.7	69.4
りんご	39.3	41.6	30.8	33.2	24.4	26.2	22.8	25.2	24.3	25.3	23.6	24.2
バナナ	2.1	2.6	5.4	5.3	4.7	5.3	5.3	5.9	6.2	6.6	5.9	3.8
いちご	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.8	0.3	0.1	0.4	0.6	0.1	0.2
その他の果実	60.3	49.7	42.4	43.9	43.5	47.1	38.7	31.1	41.4	34.2	25.5	29.3
果汁	10.6	4.8	8.2	5.3	3.6	3.5	5.6	4.7	6.2	4.9	3.6	3.9

昭和60年国民栄養調査成績

表5-2 食品群別摂取量(地域ブロック別)

Average Daily Intake of Foods by Categories in Japan. (Occupational Differences)

1人1日当り(g)

食品群別	北海道	東北	関東I	関東II	北陸	東海	近畿I	近畿II	中国	四国	北九州	南九州
緑黄色野菜	59.5	73.3	79.4	75.6	63.4	74.7	73.3	68.5	70.0	76.0	66.6	88.0
にんじん	14.1	16.1	15.3	17.3	17.3	15.2	13.9	14.6	14.8	13.7	13.2	18.4
ほうれん草	13.2	21.6	23.3	28.3	17.5	25.4	20.5	24.1	20.4	23.2	17.6	20.3
ピーマン	3.4	2.4	3.8	3.3	2.8	3.5	3.3	3.1	4.1	2.8	3.5	4.3
トマト	5.9	5.1	12.0	8.8	5.3	8.6	7.1	4.9	6.2	5.6	8.4	13.7
その他	22.9	28.1	25.0	17.9	20.4	21.9	28.5	21.9	24.5	30.8	23.9	31.4
その他の野菜類	172.2	211.8	181.2	195.8	210.8	169.1	157.5	164.2	169.3	160.4	167.3	164.2
大根	34.4	53.9	31.2	40.4	54.4	37.7	30.3	36.4	35.5	38.3	31.2	35.7
たまねぎ	21.8	19.6	21.3	21.1	19.8	20.4	24.7	26.9	23.4	21.4	25.4	18.3
きゃべつ	20.2	22.0	23.6	21.5	20.2	20.9	21.6	18.8	21.3	19.1	20.5	25.3
きゅうり	7.2	6.4	12.2	11.4	9.4	10.3	9.5	7.0	9.3	9.8	11.2	12.6
はくさい	15.0	24.3	16.2	22.1	25.0	21.4	23.7	30.9	22.7	22.5	21.4	19.1
その他の野菜	37.3	47.7	48.6	46.0	51.8	39.0	32.6	27.1	43.1	33.3	37.3	38.6
葉類つけもの	18.9	20.0	13.2	18.5	15.1	6.2	6.5	6.4	6.3	6.9	10.2	6.7
たくあん、その他つけもの	17.3	18.0	14.9	14.9	15.2	13.3	8.6	10.9	7.7	9.1	10.2	7.8
きのこ類	8.3	15.4	9.9	9.7	9.0	8.8	8.4	10.8	10.6	9.6	7.0	6.8
海藻類	5.2	7.5	6.4	6.1	5.7	5.7	4.4	4.2	4.9	4.1	5.4	4.4
調味嗜好飲料	106.3	101.5	116.1	90.4	130.4	122.0	121.9	211.6	105.7	104.1	91.9	80.8
しょうゆ	20.9	25.8	21.1	23.3	21.4	20.4	18.1	16.4	21.0	21.3	22.0	18.6
ソース類	3.0	2.7	5.0	3.6	3.0	3.7	4.9	3.9	4.0	3.0	3.7	2.7
塩	1.0	1.6	1.3	1.2	2.1	1.1	1.4	1.1	1.6	1.7	1.8	1.8
日本酒	16.8	24.4	18.4	19.4	30.0	20.2	18.3	19.4	21.5	21.7	13.9	4.5
ビール	26.8	13.0	35.1	18.3	17.3	23.9	45.3	36.3	26.4	28.7	21.5	19.0
洋酒その他	11.6	4.7	6.3	4.5	1.6	2.9	4.3	1.3	3.2	6.3	9.3	16.2
その他の嗜好飲料	26.1	29.4	29.0	20.1	55.1	49.7	29.6	133.1	28.1	21.4	19.8	18.1
魚介類	97.0	102.3	85.1	90.5	95.0	89.6	85.6	85.6	92.6	92.2	94.9	78.5
生魚	45.4	47.9	34.8	38.3	45.9	38.4	35.5	34.1	44.4	41.8	44.4	38.9
まぐろ類	4.2	6.6	8.0	10.1	5.7	10.3	3.3	4.4	2.5	4.9	2.2	4.0
たい、かれい類	8.4	10.9	6.5	5.2	12.3	5.0	7.4	4.7	9.1	7.1	9.3	6.0
あじ、いわし類	7.2	13.2	9.4	10.8	10.9	10.4	9.6	11.5	13.9	11.9	14.6	13.4
さけ、ます	11.2	7.4	2.9	6.0	4.2	2.3	1.7	0.4	0.8	0.7	0.7	1.4
その他の生魚	14.4	9.9	8.0	6.3	12.8	10.5	13.5	13.2	18.0	17.3	17.6	14.1
いか、たこ、かに	12.0	13.4	12.5	12.2	12.6	13.1	13.6	11.2	15.0	13.4	12.3	13.5
貝類	4.7	5.7	5.2	4.4	2.6	4.7	4.3	2.3	3.9	3.3	3.8	2.4
魚(塩蔵)	11.3	11.5	6.8	9.0	11.2	4.3	6.6	8.7	5.1	3.7	5.6	2.8
魚介(生干し、乾物)	10.5	5.3	8.7	7.7	4.4	8.5	8.0	10.6	5.7	7.9	5.6	5.8
魚介かん詰	1.8	2.3	2.6	2.9	1.8	2.1	2.0	1.4	1.3	1.3	1.6	2.7
魚介佃煮	1.1	0.7	0.6	0.6	0.8	0.8	0.4	0.5	0.6	0.5	0.3	0.1
魚介練製品	8.8	14.1	13.1	14.4	14.4	16.7	14.6	16.1	16.0	19.5	18.6	11.0
魚肉ハム、ソーセージ	1.5	1.4	0.7	1.0	1.3	1.0	0.5	0.6	0.5	0.9	2.7	1.3
肉類	60.5	53.7	79.7	62.7	58.2	68.8	80.9	77.6	72.7	63.7	81.4	79.5
牛肉	5.3	5.7	15.2	7.2	12.9	12.7	26.9	23.1	23.1	19.8	22.8	19.0
豚肉	28.9	27.5	35.2	32.7	24.1	28.3	22.9	20.1	21.9	18.0	22.6	25.5
鶏肉	12.3	12.5	17.2	12.9	11.9	16.7	18.3	22.9	17.2	17.0	23.5	21.2
鯨肉	0.5	0.6	0.3	0.4	0.4	0.4	0.7	1.0	0.7	0.8	2.4	0.8
その他の肉	5.0	1.1	0.3	0.9	0.2	0.5	0.6	0.5	0.6	0.3	0.8	2.4
ハム、ソーセージ	8.6	6.1	11.4	8.6	8.7	10.3	11.3	10.0	9.1	7.8	9.3	10.7
卵類	36.3	36.7	39.3	36.6	37.0	40.5	43.8	42.6	44.5	42.2	42.8	40.4
乳類	138.8	111.7	121.7	122.9	100.7	109.4	120.4	121.4	118.8	115.7	110.5	119.1
牛乳	131.1	105.9	109.8	114.2	94.7	101.5	110.3	113.8	109.3	108.1	104.8	114.3
チーズ	2.0	0.8	2.0	1.3	1.1	1.2	1.4	1.3	1.1	1.1	1.1	1.0
その他の乳製品	5.8	5.0	9.9	7.3	4.8	6.7	8.7	6.3	8.4	6.5	4.6	3.8
加工食品	4.2	6.3	7.0	9.6	7.0	6.7	5.2	6.9	5.5	5.1	6.7	5.3
ぎょうざ	1.7	1.8	1.7	2.9	2.1	1.7	1.5	2.0	1.8	1.7	2.6	2.3
しゅうまい	0.4	1.0	1.8	1.3	1.1	1.4	1.3	0.7	0.8	0.4	1.0	0.4
コロッケ	1.8	3.1	3.0	4.2	3.6	3.0	2.0	3.2	2.3	2.9	2.7	2.0
サラダ	0.3	0.5	0.5	1.2	0.3	0.6	0.4	1.0	0.6	0.1	0.3	0.6
その他の食品	7.6	6.4	6.0	6.5	8.0	6.2	6.1	12.5	9.1	7.5	8.4	12.9

#### 4 食品群別摂取量の年次推移について

「国民栄養」の現状の集計には、かなりの日数がかかるため、結果は2年おくれて印刷物として刊行される。昭和63年度版には、主要食品14種について昭和50年の調査結果と、55年から61年までの調査結果が、食品群別摂取量の年次推移として示されている。(表6参照)。昭和50年の調査結果と昭和61年のそれを比較してみると、過去約10年の間に、米類と果実類の消費量が減少している。反面肉類と乳・乳製品は若干増加しているほか、緑黄色野菜の著しい増加が認められる。

表6 食品群別摂取量の年次推移(全国平均1人1日当り:g)  
Year to Year Change of Average Daily Intake of Foods for Japanese.

	昭和50年	昭和55年	昭和56年	昭和57年	昭和58年	昭和59年	昭和60年	昭和61年	61/60年 ×100	
穀類	米類	248.3	225.8	221.8	218.2	217.9	214.3	216.1	212.1	98.1
	小麦類	90.2	91.8	96.5	95.9	95.3	93.8	91.3	93.7	102.6
いも類	60.9	63.4	61.1	61.0	63.1	60.6	63.2	62.5	98.9	
油脂類	15.8	16.9	18.0	18.3	18.0	18.4	17.7	16.8	94.9	
豆類	70.0	65.4	66.2	67.2	69.9	66.2	66.6	65.3	98.0	
緑黄色野菜	48.2	51.0	58.3	58.7	61.1	73.1	73.9	70.9	95.9	
その他の野菜	198.5	200.4	203.5	201.1	198.0	189.8	187.8	189.2	100.7	
果実類	193.5	155.2	154.6	159.7	166.4	145.0	140.6	137.0	97.4	
海藻類	4.9	5.1	4.7	5.0	5.7	5.3	5.6	5.5	98.2	
調味嗜好飲料	119.7	109.4	108.7	114.6	113.3	117.4	113.4	113.3	99.9	
魚介類	94.0	92.5	92.0	90.2	93.4	91.5	90.0	90.5	100.6	
肉類	64.2	67.9	72.4	70.8	70.7	71.3	71.7	70.8	98.7	
卵類	41.5	37.7	39.5	40.0	40.4	40.3	40.3	41.2	102.2	
乳・乳製品	103.5	115.2	116.4	124.2	129.4	124.0	116.7	117.9	101.0	

国民栄養の現状(昭和63年度版)

#### 5 地域住民の食品群別摂取量について

われわれは、東海村の動力炉・核燃料開発事業団(動燃)東海事業所の核燃料再処理工場の放出官移設に係わる環境安全評価に資するため、茨城県沿岸住民を対象に食品消費実態調査を実施した<sup>3)</sup>。また、最近青森県六ヶ所村において、日本エヌ・ユー・エス株式会社が<sup>4)</sup>、社会環境調査の一環として、同地域住民を対象として、食品消費実態調査を実施した<sup>4)</sup>。その結果を表7に示した。表中の東海村一般世帯は、動燃職員世帯であり、都会から東海村に移り住んだ世帯が多く含まれている。そのためか、その消費実態は、国民平均に類似している。表から明らかであるように、茨城沿岸漁業世帯と、六ヶ所村の世帯の食品消費実態は、国民平均のそれと極めて大きな相違が認められる。特に海産物の消費量に著しい相違があり、茨城の沿岸漁業世帯及

表7 食品群別摂取量 昭和58年～62年  
一人一日当たりの年平均摂取量(g/d/p. wct)  
Average Daily Intake of Foods.

食品の種類	東海村一般 58～59年	那珂湊漁業 59～60年	大洗漁業 58～59年	国民平均 60年	六ヶ所村 61、62年の平均
穀類	307	350	382	309	—
米	193	269	333	216	317
小麦製品等	114	80	49	93	—
豆類	66	68	85	67	16
大豆製品	64	59	84	64	—
その他の豆類	2	9	1	2	—
種実類	2	0	0	1	—
野菜類	432	476	509	325	488
葉茎菜	97	129	132	—	283(葉茎菜, 果花菜)
果花菜	135	124	108	—	—
きのこ類	12	4	6	10	13
根菜	114	162	173	—	144
芋類	74	57	90	63	48
果実類	139	13	5	141	—
海産物	148	415	358	96	310
シラス等	2	19	33	—	184(魚類)
回遊魚	43	179	132	—	—
沿岸魚	8	80	51	—	—
沖の底魚	23	4	18	—	—
甲殻類	4	4	13	—	5
頭足類	7	36	24	—	61
貝類	1	24	26	4	7
その他魚介類	0	1	1	—	5
海藻類	34	53	35	6(乾)	35
加工品	26	15	25	33	13
淡水魚	0	3	3	—	25
鳥獣鯨肉類	121	83	88	72	88(肉加工品を含む)
卵	57	46	43	40	46
乳及び乳製品	134	24	8	117	182
その他	0	21	18	14	—
総摂取量	1406	1499	1499	—	1706

び六ヶ所村の世帯の海産物摂取量は、国民平均の3～4倍も多い。又、野菜や米の消費量も多い。乳および乳製品の消費については茨城の沿岸漁業世帯は極めて少ないが、六ヶ所村では、国民平均並であった。

## 6 年齢別食品摂取量について

食品摂取量は、世帯ごとの1日分の総摂取量を家族構成員で割った平均値として与えられて

**表 8** 昭和59年度改定日本人の栄養所要量から算出した食品摂取量の年齢別換算率  
(20歳代の男を1とした場合の割合で示す)  
Conversion Factor of Food Consumption for Japanese.  
(Calculated from Energy and Protein Requirements by Ages and Sexes)

年齢	エネルギー所要量		蛋白質所要量	
	男	女	男	女
1	0.39	0.37	0.43	0.43
2	0.50	0.48	0.57	0.50
3	0.56	0.54	0.56	0.57
4	0.60	0.56	0.64	0.64
5	0.64	0.60	0.71	0.71
6	0.68	0.64	0.79	0.71
7	0.72	0.64	0.86	0.79
8	0.74	0.68	0.93	0.86
9	0.76	0.72	0.93	0.93
10	0.80	0.76	1.00	1.00
11	0.84	0.84	1.07	1.07
12	0.92	0.88	1.12	1.12
13	0.96	0.92	1.21	1.12
14	1.04	0.92	1.21	1.07
15	1.06	0.88	1.21	1.00
16	1.08	0.88	1.21	1.00
17	1.08	0.84	1.14	1.00
18	1.06	0.84	1.14	0.93
19	1.04	0.82	1.07	0.86
20	(2500kcal)	0.80	(70g)	0.86
30～	0.96	0.78	1.00	0.86
40～	0.92	0.76	1.00	0.86
50～	0.88	0.72	1.00	0.86
60～	0.80	0.68	1.00	0.86
70～	0.72	0.60	0.93	0.76
80～	0.64	0.56	0.93	0.76

いるので、年齢群別、又は性別の摂取量を知ること、ほとんど不可能である。そこで、日本人の年齢別、性別栄養所要量<sup>5)</sup>から算出した換算表(表 8 参照)などから推定する方法がとられている。

尚、この換算率を使う場合、エネルギー所要量から計算した値を使うか、たん白質所要量からの値を使うかは定まっていないようであるが、一般に畜産物と水産物はたん白からの計算値を使い、その他はエネルギー所要量からの値を使っているようである。

又、表4に示した昭和60年の国民栄養調査の値は、調査対象の全摂取量を、調査対象の人数で割った平均値であり、これから20歳代男の値を求めるには、昭和60年の調査対象の平均栄養所要量、1975kcal、たん白質65.5gを、20歳代男で、中程度の生活活動強度の日本人の栄養所要量(2500kcal、たん白質70g)で割り、成人換算率を求め、摂取量を成人換算率で割れば求めることができる。例えば20歳代男の米の摂取量の計算は次のようになる。

国民栄養調査60年成績の成人換算率=1975/2500=0.79

” 米摂取量の国民平均値=216g

” 20歳代男の米摂取量=216/0.79=273g

また、被曝評価上、その代謝等が成人と異なるという点で問題となってきた乳幼児についての食品消費調査のdataも、ほとんど見当たらないのが現状であるが<sup>3</sup>、筆者等が以前東海村で実施した乳幼児の年齢群別ミルク、葉菜および海産物の消費実態調査の結果を表9に示す<sup>6)</sup>。

表9 乳幼児の食品摂取量 東海村一般世帯の乳幼児(g/d/p. wet)  
 ミルク・葉菜 昭和49~50年  
 海産物 昭和51~52年  
 Average Daily Intake of Foods by Infants in Tokai-mura.

食品の種類	乳幼児の年齢区分(歳)				
	0~0.5	0.5~1.5	1.5~3	3~5	5~6
母乳又は粉乳(ml)	1100	—	—	—	—
粉乳から市乳へ	—	600	—	—	—
市乳	—	—	300	300	300
葉菜類	0	20	25	35	50
回遊魚	0	6	15	18	—
その他魚	0	21	17	12	—
頭足類	0	1	3	3	—
甲殻類	0	6	5	12	—
貝類	0	2	3	1	—
海藻類	0	7	15	18	—
水産加工品	0	2	7	6	—

## おわりに

日本における食品摂取量に関して、既存のdataを紹介してきたが<sup>3</sup>、性別、年齢別等のdataはほとんど見当たらないのが現状である。

四十数年間の莫大なdataの蓄積のある、国民栄養調査の成績は、栄養状態を把握する目的で食品が分類されている。放射性物質のみならず、公害物質や化学物質の健康への影響が憂慮されている現在、それ等の経口摂取量が計算できるような、汚染経路を加味した食品の分類と集計も考慮する必要があると考える。

## 参考文献

- 1) 農林水産大臣官房調査課編：食料需給表，昭和61年度，農林統計協会，1988.
- 2) 厚生省保健医療局健康増進栄養課編：国民栄養の現状，昭和60年国民栄養調査成績，第一出版，1987.
- 3) 住谷みさ子，村松康行，大桃洋一郎：茨城県沿岸原子力施設周辺住民の食品消費実態調査，日本放射線影響学会第30回大会口頭発表，東京，1987.
- 4) 日本エヌ・ユー・エス株式会社：六ヶ所村周辺の社会環境パラメータ報告書，1989.
- 5) 厚生省保健医療局健康増進栄養課編：日本人の栄養所要量，第一出版，1984.
- 6) 住谷みさ子：東海村乳幼児の食品消費実態調査，放医研環境セミナーシリーズ，234-242，(1981)，技術寄与研究会.

## <討 論>

### Q. 田中義一郎：

20歳という年齢を中心に話されたが，20～30歳はICRPの定義でも最も重要な年齢である。女子のデータを男子の80%としているが，問題は厚生省統計で調べると，20歳前後で女性はダイエットするため，どうしても一時減少することだ。ご発表ではきれいな線を使われているが，この点についてはどうお考えか。

### A. 住谷みさ子：

それについては実態がよくわかっていないので，需要表や日本人の栄養所要量などに従った。

(座長：小柳卓)

## V 総合討論

- V-1 人体におけるミネラルの代謝  
出納 西牟田 守
- V-2 線量評価に係わる年齢依存性  
の問題 草間 朋子
- V-3 人体を構成する臓器と腫瘍発  
生母地としての臓器  
大津 裕司



## V-1 人体におけるミネラルの代謝出納

西牟田 守

国立健康・栄養研究所

### Human Mineral Metabolism

Mamoru Nishimuta

Laboratory of Fatigue Physiology, The National Institute of Health and Nutrition  
1-23-1 Toyama, Shinjuku-ku, Tokyo, 162 Japan

**ABSTRACT**—Results of studies on mineral metabolism in human at the National Institute of Nutrition were introduced for the following elements : sodium (Na), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), phosphorus (P), iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu), and manganese (Mn). The data were obtained for young Japanese male and females under physiologically controlled conditions.

Requirements of some minerals and factors influencing them were proposed. Accumulative or losing tendencies of minerals with age were discussed with possible mechanism. Aetiologies of some neoplastic or chronic degenerative diseases related to mineral metabolism or irradiation were also discussed with a mineral losing hypothesis.

### はじめに

日本人におけるミネラルの代謝出納は、日本人の身体特性や摂取する食品の内容、生活環境などが欧米人(コーカサス人)と異なることなどのために、欧米人とは異なると考えられる。その一例としてヨウ素代謝については、他に報告がなされた<sup>1)</sup>。

しかし、日本人を対象に、日本人が通常摂取している食品を給したような実験結果の集積は必ずしも充分であるとはいえず、実態は必ずしも明らかではない。

そこで、限られたデータをもとにしてではあるが、日本人におけるミネラル代謝出納の特性について言及するとともに今後の問題点について指摘したい。

## ミネラルの体内分布特性

ミネラルの場合、その生体内分布は不均一であるという特性をもっている<sup>2)</sup>。細胞内にはカリウムが、細胞外にはナトリウムが多く含まれていなければ細胞の生命活動が維持できないことは周知のことである。実際には、生理的条件下では細胞内濃度が高いもの(細胞内ミネラル)としてカリウムの他にマグネシウム、磷、鉄、亜鉛が、その逆のもの(細胞外ミネラル)としてはナトリウム、塩素、カルシウムなどが存在する。このほかに、骨歯牙組織に存在するミネラル(骨ミネラル)として、カルシウム、磷、マグネシウム、ナトリウムなどが存在する。

カルシウムは細胞外ミネラルであると同時に骨ミネラルであり、骨形成に特に重要な役割を演じている。ただし、カルシウムは、筋肉細胞に侵入すると筋拘縮を起こす、という厄介な性質も併せもっている。実際に、加齢とともに骨ミネラルが失われていくこと(骨粗鬆化)とカルシウムが血管や臓器に沈着すること(カルシウムの異所性沈着)が同時に進行している。栄養不良状態や偏食によってミネラルの過不足が生じると、細胞内外のミネラル不均一性が乱れることが考えられるので、この点を踏まえて検討したミネラルについて述べることにする。

### カリウム

細胞内ミネラルであるカリウムの体内総量は測定可能である。この値は加齢とともに低下する<sup>3)</sup>。この現象は、加齢により体脂肪率が高くなるためと説明されているが<sup>3)</sup>、細胞中のカリウム濃度が低下したために、体重当りのカリウム含量が低下したとも考えられる。

実際に腎<sup>4)</sup>や汗腺<sup>5)</sup>のカリウム保持力は強くなく、利尿剤のなかには骨格筋中のカリウム含量を減少させるもの(サイアザイド系など)や増加させるもの(スピロラク톤)が存在し、細胞内のカリウム濃度は低下する可能性が強い<sup>6)</sup>。また、カリウムの尿中排泄は食塩の摂取過剰により増大することも知られている<sup>7,8)</sup>。

日本におけるカリウムの目標摂取量は2～4g/dとされている<sup>9)</sup>がエネルギー摂取量2000kcal/dレベルで3g/d以上摂取するのは容易ではない。栄養計算により求めたカリウム摂取量の75%程度が実際の摂取量に相当し、その65%以上が尿中に失われる<sup>10)</sup>。また、マグネシウムの補給や血中インスリン濃度の上昇は細胞内カリウム濃度の上昇に寄与するが、カリウム自体の補給は寄与しないとされる<sup>6)</sup>。

### ナトリウム

ナトリウムは、食塩の過剰摂取と高血圧症発症との関係が指摘されるようになってから、摂取過剰が問題となった細胞外ミネラルであるが、摂取不足に関しても考慮しなければならないものである。日本におけるナトリウムの目標摂取量は食塩相当量として10g/d以下とされているが、下限については定められていない。食塩相当量に換算してみると、米国2.8～8.4g/d、ソ連10～15g/d、東独7.6g/d、西独5.1～7.6g/dと所要量を明示している国も存在するが、各国に

よって大きな隔たりがあり、その他の国では何も触れられていない。しかし、実験的に食塩として1日6g程度のナトリウムを摂取させながら運動させ、汗中ナトリウム濃度を測定すると100mg/l程度まで低下している。食塩を1日10g程度摂取させるとこのような現象が起こらないことから、日本人のナトリウム必要量は1日6g以上に及ぶものであると示唆される。

## カルシウム

動物性食品、とくに肉などは、細胞成分を主としているために、細胞外ミネラルであるカルシウムの含有量が少ないという特徴をもっている。魚類を切身として摂取する場合にも同様である。ただし、魚全体、または、骨ごと摂取する場合にはカルシウムの良い給源となる。乳・乳製品もカルシウムの良い給源であるが、乳飲料やカテージチーズ、クリームチーズなどのようにエネルギー当りのカルシウム含有量が少ない食品もある。また、植物性食品、とくに葉菜類は比較的カルシウムを多く含有しているが、トマトやキュウリなどの果実野菜はあまり良い給源とはいえない。すなわち、カルシウムは食品の種類によって偏在するミネラルである。

カルシウムは多くの国で所要量が定められているミネラルの一つであり、日本でも600mg/dとなっている。その根拠は、吸収率50%、尿中排泄300mg/dということであるが、尿中に300mg/d排泄される例は特殊な条件を除けば稀で、通常は200mg/d以下であり、見かけの吸収率が低いと尿中排泄も少ない。カルシウムの問題は尿中排泄亢進因子(精神的、肉体的ストレス、過食など)と吸収抑制因子がほぼ等しいことと、前述した食品中の偏在に伴う摂取量の低下に起因するものであろう。

## マグネシウム

マグネシウムはカリウムと同様に細胞内ミネラルであるとともに、カルシウムと同様に骨ミネラルでもある。マグネシウムは、精製されていない食品中には普遍的に存在するため、不足することのないミネラルと考えられていたばかりではなく、腎病変等により高マグネシウム血症がひきおこされる場合があるので、むしろ摂取過剰を念頭に入れた研究がなされてきた。しかし、マグネシウムは食品を精製したり加工調理する際に失われるミネラルであり、その欠乏に関しても充分配慮しなければならない栄養素である。実際にマグネシウムの投与が<sup>3</sup>高血圧、糖尿病、動脈硬化などの病態を改善させること<sup>2)</sup>や、アルコール中毒患者を対象にマグネシウムの出納を調べると大幅な正の出納を示すことなどから、マグネシウム欠乏の存在が示唆される。

マグネシウムの場合、摂取量が少ない場合だけでなく、ストレスやエネルギー摂取過剰<sup>2)</sup>、燐摂取不足などによって、尿中排泄量が増加したり、吸収率が低下することによっても欠乏状態になると考えられる。日本人の摂取量は200-300mg/dとされているが、制酸剤(胃腸薬)の成分として摂取される量は無視出来ない。日本においてもマグネシウムの目標摂取量300mg/dが策定されたが、米国、イタリアでは300-350mg/d、カナダでは250-300mg/d、ソ連では500mg/dが所要量として定められている。マグネシウムの代謝経路を図1に示す。

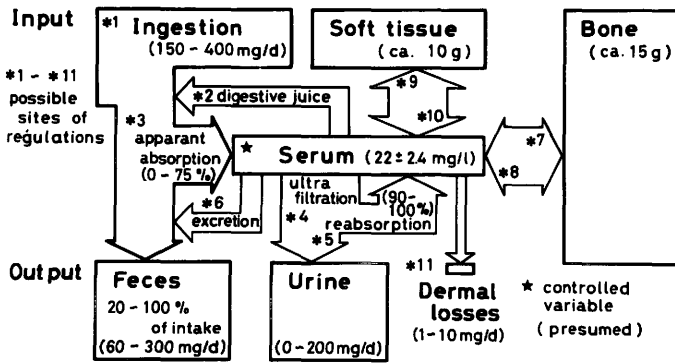


図1  
人体代謝実験の結果想定した、親水性陽イオンであるマグネシウムの代謝調節部位  
Fig.1  
Possible sites of regulations concerning a hydrophilic cation of magnesium(Mg) after human mineral balance studies.

成長期の人間や実験動物の場合、尿中マグネシウム排泄量はモル比で考えた場合、カルシウムより多いのが一般的である。しかし、カルシウム排泄量がマグネシウム排泄量を大巾に上回る場合もある。

この現象は、カルシウムとマグネシウムの血清レベルが恒常性維持機構により厳密に維持されていることに関係している。カルシウムの場合、骨歯牙組織に局在しているため、骨中のカルシウムが溶出して(実際には破骨細胞に貪食されて)血清のカルシウムレベルを維持すると考えられる。また、マグネシウムにとっても骨歯牙組織が貯蔵庫と考えられているが、骨中のカルシウムとマグネシウムの比はモル比で40倍近くカルシウムが多いという特性をもっている。しかし、尿中に排泄されるカルシウムとマグネシウムの比はモル比でほぼ1であることから、尿中に失われたこれ等のミネラルが全て骨由来であると考えると矛盾が生じる。

すなわち、カルシウムを中心に考え、尿中に排泄されたカルシウムによって低下する血清カルシウムレベルを維持させるために骨からカルシウムが溶出したとすると、カルシウムに関しては説明できるが、同時に排泄されたマグネシウムによって低下した血清マグネシウムレベルは回復しないことになる。一方、マグネシウムを中心に考え、骨からマグネシウムが溶出し、血清のマグネシウムレベルを維持したとすると、莫大な量(約40倍)のカルシウムが同時に溶出することになる。従って、尿中排泄により低下した血清マグネシウムレベルを維持するためには骨以外の組織からもマグネシウムが溶出しなければならない。

老化や疾病などによって生じる尿中カルシウム・マグネシウム排泄増に伴い、実際に生じている現象は、骨の粗鬆化と軟組織へのカルシウム沈着、異所性石灰化などであり、筋肉中ではナトリウムとカルシウムの増加、カリウムとマグネシウムの低下が起こっている。すなわち、生体内のミネラル分布は老化等により不均一性を失うように変化する。

## 磷

磷の適正摂取量は1300mg/dとされているが、目標摂取量はカルシウムと等量(600mg/dとは記載されていない)である。磷は食品添加物として認められている化合物があるために摂取過剰が危惧されているが、エネルギー2000kcal/d、脂質エネルギー比35%の条件で、磷800mg/dの食事

を供したところ尿中磷排泄量が低下し、逆に、尿中カルシウム、マグネシウム排泄が増加したことから、摂取不足の面から検討する必要性が示唆される。磷の所要量はソ連では1600mg/dとされているが、他の所要量の決められているいくつかの国では800mg/dとなっている。

#### 微量元素(鉄, 亜鉛, 銅, マンガン)

微量元素のうち考察した元素は鉄, 亜鉛, 銅, マンガンであり, アルミニウム, ストロニウム, ルビジウムに関しては検討していない。

鉄は赤血球に局在し, 出血により多量に失われる元素であるが, それだけではなく, すべての細胞において, チトクローム等として存在し, 重要な役割を演じている。鉄の所要量は10mg/d(妊娠可能女子では12mg/d)とされており, 成分表を用いて摂取量を推計できる。しかし, 食事中の鉄を測定すると計算上求めた値と大きく異なる場合があり, また, 見かけの吸収率は個人によって大きく異なり, 代謝上不明な点が依然として存在している。尿中排泄量は0.1mg/d(米国の報告では0.5mg/d), 汗中排泄量は0.1mg/d以下であり, 上皮の脱落や胆汁からの排泄により失われる。鉄栄養の判定は現在のところ血液所見によってなされている。

亜鉛は生体内に広く分布しており, DNA合成やたんぱく合成に必須な元素である。そのために, 細胞分裂を繰り返している組織(上皮, 腸管, 腺, 骨髄, 肝等), 従って, 成人後悪性新生物が発生しやすい組織に集積する性質をもっている。すなわち, 晩発性放射線障害の発生と亜鉛の栄養状態との関係が示唆されるが, 研究は進展していない。また, 亜鉛は, インスリンとともに糖代謝に関与する重要な微量元素であるが, 鉄と同量の摂取が見込まれる反面, 鉄の10倍以上尿や汗に排泄される。薬剤として亜鉛を投与すると, 150mg/dの投与により50mg/dと多量吸収される。また, ウイルソン病の患者に対して50mg/dの亜鉛を長期間投与する治療法があり, 副作用は認められないという。血清中の亜鉛は年齢と負の相関があり, 加齢とともに尿中亜鉛排泄量が増加し, 亜鉛を媒体とする味覚も低下する。また, 糖尿病患者の尿中亜鉛排泄量は老人よりも多い場合がある。これ等の事実は, 亜鉛が加齢とともに摂取不足と相まって欠乏する可能性を示唆しているが, 証明されていない。亜鉛欠乏は免疫機能を低下させる一方で, DNA合成に亜鉛が必要であることから, 悪性新生物の発生にとっても増殖にとっても亜鉛欠乏が一因子として関与していると想定できる。ところが, 担癌動物に亜鉛欠乏食を給与すると増殖が抑制されるという報告もある。なお, 急性骨髄性白血病患者(74歳)に亜鉛50mg/dを連続投与(抗癌剤併用)したところ, 末梢血中に異型細胞は出現しなくなった<sup>10)</sup>。

銅は, 細胞中にも細胞外液にもほぼ均等に分布しているらしい。食事中の銅レベルは鉄や亜鉛の10分の1程度しか存在しないが, 血清中では鉄や亜鉛と同レベルで存在している。血清中や髄液中の銅は年齢と正の相関があり, 銅は加齢とともに蓄積してゆく可能性がある。加齢とともに血清レベルが上昇してゆくカテコールアミンの代謝に関与する酵素は, 活性中心に銅をもつ酵素であることと関係あるのかもしれない。銅はセルロプラスミンまたはその代謝産物とともに胆汁中に排泄され, 吸収されずに体外に排泄されると報告されている。女子ボランティア

アによる代謝実験では、見かけの吸収率は10~40%であったが、ウイルソン病患者では60%に達していた<sup>10)</sup>。

マンガンの見かけの吸収率は6~40%とかなり高値であるが、血清中にはほとんど存在しない。また、動物の血中にマンガンを投与すると速やかに骨中等に移行する。これは、マンガンの代謝経路が特殊であり、腸管で吸収されたマンガンのほとんどが肝臓に運ばれ、大循環を経ずに胆汁中に排泄されるためと想定している。肝臓においてマンガンはマグネシウムと同じようにコファクターとして作用するが、親水性が乏しいためにマグネシウムとは異なった動態を示すのであろう。

以上、ミネラルに関する実験結果とそれに基づくいくつかの仮説を提示し、日本人におけるミネラル代謝の概要について述べた。

#### 参考文献

- 1) 内山正史：日本における元素の代謝，本報告書，73~81，1990.
- 2) 西牟田守：成人病危険因子とマグネシウム——慢性退行性疾患群のマグネシウム欠乏仮説——  
Curr. Conc. Mag. Meta., **3** (3), 18-21, 1988.
- 3) 山根昭子：カリウムの生体内分布とKinetics, 日本臨床, **39**(2), 15-19, 1981.
- 4) 西牟田守, 児玉直子, 山田哲雄, 鈴木一正：糖負荷試験時の尿中ミネラル排泄とその経時変化, 微量金属代謝, **14**, 95-101, 1986.
- 5) 西牟田守, 児玉直子, 小野桂子, 小林修平, 鈴木一正：運動時の汗中マグネシウム, マグネシウム, **4**, 13-21, 1985.
- 6) Dyckner, T.: マグネシウム——腎における動態とそれに対する利尿剤の影響, Curr. Conc. Mag. Meta. **3** (3), 4-8, 1988.
- 7) 西牟田守：水・電解質排泄に及ぼす食塩水摂取の影響, 日本栄養・食糧学会誌, **36**, 367-371, 1983.
- 8) Shirataka, M., et al.: Response of atrial natriuretic peptide in plasma and urine to changes in dietary intake of sodium chloride in man. *Jpn. J. Physiol.*, **38**, 677-687, 1988.
- 9) 厚生省保健医療局健康増進栄養課編：日本人の栄養所要量，第一出版(東京)，1984.
- 10) 西牟田守他(未発表).

#### < 討 論 >

**Q. 座長(河村日佐男)：**

大変な実験だと思うが、何人程度について毎年行っておられるか。

**A. 西牟田守：**

毎年、被検者として12名、短いときで2週間ないし長いときで3週間実験している。サンプルも提供できると思う。

**座長：**

有難うございました。次に生理的特性の後半，年齢依存性の問題について草間朋子先生にコメントをお願い致します。

V-2 線量評価に係わる年齢依存性の問題  
——とくに胎児に着目して——

草間 朋子

東京大学

Estimating Dose for Embryo/Fetus at Maternal Contamination

Tomoko Kusama

Department of Radiological Health, Faculty of Medicine University of Tokyo  
7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku Tokyo, 113 Japan

**ABSTRACT** -Embryos/fetuses are the most sensitive to radiation and other agents in environment. Information on biological effects and dose estimation of embryo/fetus, however, are scanty. Especially, there are little information on internal exposure of embryo/fetus at maternal radioactive contamination. Systematic research on internal exposure of embryo/fetus are needed.

The period of pregnancy is divided into three stages, that is pre-implantation, main organogenesis and fetuses. The remarkable biological effects and estimating doses are different from each stage. Then, we should also take into consideration how effects are at each stage in deciding an estimated dose. Embryonic death, malformation, mental retardation and cancer are the remarkable biological effects from radiological protection viewpoint. We propose that the estimating doses at each stage are as follows: (1) the mean dose equivalent of blastocyst or embryo at the pre-implantation, (2) the mean dose equivalent of embryo at main organogenesis and (3) the mean organ dose equivalent and effective dose equivalent at fetus, and that the system analysis is more appropriate biokinetic and dosimetric model for embryo/fetus.

1 はじめに

線量評価に関する年齢依存性の問題を考える際に着目しなければならない重要な個体は胎児である。何故ならば、胎児は放射線をはじめとする種々の環境中の有害要因に対する感受性が高いうえに、母体が職業上あるいは医療上の放射線照射を受ける場合には胎児も被曝する可能



性があり、また胎児自身が一般公衆として被曝する可能性もあり被曝の機会が少なくないからである。それにもかかわらず、胎児の線量評価に必要な情報は量、質ともに限られている。胎児の防護・安全の視点から、放射線影響および線量評価などについての系統的な検討が必要とされる。

## 2 線量評価の視点からみた胎児の被曝の形式

胎児の被曝の形式としては次の3つに着目する必要がある。

### ①母体の外部被曝に伴う胎児の外部被曝：

母体の体外に存在する放射線源から照射を受けること。この場合、母体は胎児にとって遮蔽体となる。

### ②母体の体内汚染に伴う胎児の外部被曝：

母体に摂取された母体の臓器・組織に沈着している放射性物質からの放射線で胎児が外部照射を受けること

### ③母体の体内汚染に伴う胎児の内部被曝：

母体に摂取された放射性物質が胎盤を通過して胎児に取り込まれ、それから胎児が放射線を受けること

上記の①および②については、モンテカルロ計算などを用いたシミュレーションにより胎児線量を評価することが可能であるが、③の胎児の内部被曝に関しては、放射性物質の生物動態に関する情報を実験等により入手する必要があり線量評価に関する情報が現在とくに不足している。

本稿では、話題提供として胎児の内部被曝の線量評価に関する問題点について考察する。

## 3 胎児の体内被曝の線量評価上の問題

胎児の内部被曝の線量評価を行う際に、考慮すべき事項は次の4点である。

### ①胎児の線量として評価すべきものの確定

### ②線量評価モデルの確定

### ③放射性物質の代謝パラメータの入手

### ④胎児の臓器・組織の発育過程と放射線影響の把握

これらの線量評価上検討が必要とされる要因は相互に関係し合っている。

## 4 胎児の線量として何を扱うか？

胎児の放射線防護上の線量としてどのような線量を用いることが適切であるか否かを判断する場合には、①胎児の個体としての認知の問題、②胎児の成長過程、および、③胎児の放射線影響の3点を考慮する必要がある。

胎児を一つの独立した個体と見なすか、あるいは、母体の臓器の一つと考えるかによって放

放射線防護上の取扱は異なる。胎児は母体の臓器の一つであると考えた立場をとれば、胎児を特別に取り上げて扱う必要はない。しかし、胎児を一つの個体であるのみならず、母体という環境に存在している一つの個体として扱う必要がある。社会通念から考えて、放射線防護上は後者の考え方をとることが妥当であろう。このような考え方に立つと、母体の放射線被曝と、胎児の放射線被曝とはそれぞれ個別に取り扱うことになり、母体の職業被曝あるいは医療被曝の際に胎児が受ける被曝は公衆としての被曝ということになり、一般公衆の防護基準が適用されることになる。

胎児を個体として取り扱う場合には、いずれの時期から個体として扱うかを明確にしておく必要がある。いつから胎児を個体と見なすかについては、現在、表1に示す考え方が取られている。

表1 胎児を個体として認める時期  
Time of recognition of personality of embryo/fetus.

時期	胎齢
受精時以降	0日～
子宮への着床以降	9日～
臍帯の完成以降	6週～
脳の機能(脳波がでた時)以降	8週～
胎動開始以降	18ないし20週以降
生命維持装置があれば母体外で生存が可能な時期以降	26ないし28週～
出産時	出生

このようなさまざまな考え方があられる場合には、受精以降を一つの個体として考え放射線防護上の対応をとっておくことが安全を考える場合の姿勢であろう。

受精卵の段階から一つの個体とみなし放射線防護方を考えるとすると、胎児の成長過程と影響の特徴を考慮して、胎児の発育段階ごとに評価すべき線量を検討しておく必要がある。なぜなら、胎児の放射線影響は、時期特異性があることが大きな特徴であるからである。

胎生期(受精から出産までの時期)の区分の仕方には、産科学的区分と胎生学的区分とがあるが、胎児の線量評価の観点からは、胎生学的(発生学的)区分を用いるのが妥当である。

胎児の胎生学的区分および各時期に特徴的な放射線影響を表2に示す。

表2 胎児期の区分と主な放射線影響  
Fetal stage and biological effects

時期の分類	胎齢(日)	主な影響		評価すべき線量
		非確率的影響	確率的影響	
着床前期	0-8	胚死亡	遺伝的影響 発がん	胚の平均線量
器官形成期	9-60	奇形発生		胚の平均線量
胎児期	60-270	精神発達遅滞		実効線量当量 組織線量当量

放射線影響の特徴などを考慮して各時期の評価すべき線量をつぎのように提案する。

(1)着床前期：線量としては、受精卵、胚全体の平均線量とする。この線量と実効線量当量限度あるいは組織線量当量限度を対応させることとする。

(2)器官形成期：器官形成期の特徴的な影響である奇形は非確率的影響であり、放射線防護の線量としては、分化を開始した個々の臓器原基の平均線量を考える必要がある。しかし、個々の臓器に着目して線量評価に必要な情報を実験的に入手することは不可能である。器官形成期のヒトの胚の重量は15g以下であることも考え合わせると、器官形成期の線量は胚全体の平均線量とすればよい。この線量を胚の被曝による確率的影響および非確率的影響の制限、防止のために用いることとする。

(3)胎児期：胎児期の代表的な影響は、精神発達遅滞、発がんおよび遺伝的影響である。精神発達遅滞は脳の被曝に起因するので、脳の線量を評価する必要がある。一方、発がんおよび遺伝的影響に着目した場合には、胎児の実効線量当量および生殖線量を評価する必要がある。胎児の実効線量当量は、胎児体内の放射性物質の生物動態から個々の臓器の線量を評価し、臓器ごとの荷重係数を乗じて求められるが、臓器の線量を評価すること、あるいは、胎児臓器の荷重係数を設定することは実際にはかなり難しい。

以上の諸点を考慮して、胎生期の区分別の評価すべき線量を表2の第4欄に記載する。

いずれの線量を評価する場合にも、胚あるいは胎児の個々の臓器の時間的な成長、重量の変化を正確に把握しておく必要がある。

## 5 胎児の内部被曝線量評価モデル

評価すべき線量を決定した後は、胎児の線量評価モデルを確定する必要がある。

胎児の線量は、放射性物質の生物動態の特性を考慮したコンパートメントを設定し、①平衡濃度比法あるいは、②システム解析法のいずれかの解析法を用いて評価される。平衡濃度比法は、母体からの放射性物質の移行率と、胎児体内の放射性物質の濃度との間には平衡関係があると仮定し、各コンパートメント間の濃度比をもとに線量を評価する方法である。これに対してシステム解析法は、母体および胎児体内での放射性物質の動的な生物動態をコンパートメント間の微分方程式で記述して線量を評価しようとする手法である。

著者らは、マウスを用いて放射性物質の母体および胎児の体内での生物動態に関する実験的検討結果から、母体および胎児体内での放射性物質の移行は時間的に変化しており平衡状態を仮定することは難しいと考えている。したがって、胎児線量評価は、より動的な移行動態を解析できるシステム解析法による線量評価のほうが適切である。

いずれの線量評価手法を用いるかにより、実験的に入手すべきパラメータも異なる。実験データ等をもとに、個々の放射性物質の母体—胎児の生物動態を勘案した線量評価モデルを確立する必要がある。

## 6 おわりに

胎児は放射線感受性が高いこと、あるいは、胎児、子供に対する放射線影響は成人のそれと比べて科学的な情報が得られにくいことなどが関係し、胎児に対する関心はとくに高い。

線量評価に関する年齢依存性を考える場合には胎児を除いて考えることはできない。しかし、胎児の内部被曝の線量評価に必要な情報はとくに不足しており、研究者の数も少ない。線量評価に役立つ情報を、系統的に効率よく収集するためには研究者間の連絡を密にしていくことが今後の重要な課題であろう。

### < 討 論 >

#### Q. 滝澤行雄：

胎児の線量評価は注目されており、胎児に責任を持たすのではなく、妊娠している母親に対する評価がbetterではないかと個人的に常々考えているが。

#### A. 草間朋子：

放射線防護の責任は胎児については母親だと思う。胎児を母親の付属物としてみるか、独立した個体として見るかによって基準に対する考え方が全く変わってくる。私としては、独立した個体と考えて、母親が責任を持つべきだと考える。間接的であるが、そのような形で放射線防護安全の責任を取ってほしい。

#### 座長：

有難うございました。第3に、セッションII日本人の身体的・解剖学的特性について、大津裕司先生のコメントをお願い致します。

### V-3 人体を構成する臓器と腫瘍発生 母地としての臓器

大津裕司

放射線医学総合研究所生理病理部

#### Hollow Organs at Risk for Malignant Neoplasms

Hiroshi Ohtsu

Division of Physiology and Pathology, National Institute of Radiological Sciences  
4-9-1, Anagawa, Chiba-shi, 260 Japan

**ABSTRACT**-The death rate per  $10^6$  population is lower of malignant neoplasms for all sites in Japan (male/female: 187/126) than in U. S. A. (211/174) and in England and Wales (302/259), but the rates are higher in the stomach and the liver, and lower in the lung and the colon in Japan than in these countries.

The malignant neoplasms of a high death rate are found to develop at a rate of about 50% of all malignant neoplasms in the hollow organs, consisting of the three layers: the mucosa, the muscle layer and the serosa. On the malignant neoplastic point of view, the digestive tract is the most important of the hollow organs and the second is the connection canals between the parenchymatous organ and the others, for example biliary tract. The malignant epithelial neoplasms, arising from the mucosa, the glandular organs, are referred to as carcinoma, which is divided into three histologic types: squamous cell carcinoma, adenocarcinoma and undifferentiated carcinoma or carcinoma simplex.

The appearance of carcinomatous cells tends to resemble the parent epithelium of the origin from which the carcinoma occurs. Though there is no tissue covered with squamous epithelium in the lung, we have often encountered squamous cell carcinoma, which is thought to develop on basis of squamous metaplasia, caused in the bronchial trees by chronic irritation.

The death rates of malignant neoplasms, as well as lung carcinoma, have been increasing steadily in many countries, and the ratio of kinds of malignant neoplasms and ratio of histologic types of them have varied gradually. Investigations

are continuing with the aim of gaining greater understanding of the carcinogenesis of the phenomena.

放射線被曝量を評価するために欧米人を基礎に標準人が設定されている<sup>1)</sup>。本邦でも標準日本人の作成を目指し、田中らによる日本人の諸臓器重量の測定がなされ、その結果が報告されている<sup>2,3)</sup>。

この章では、臓器を重量など数量面からでなく、腫瘍発生について病理学的観点から以下の6つの項目について触れてみたい。1. 悪性新生物による死亡率における日本人と欧米人との相違。2. その主な発生母地である内臓は中腔性臓器と実質性臓器とに大分される。3. 悪性新生物は中腔性臓器に多く発生する。4. 同一臓器内でも悪性新生物には好発部位がある。5. 同じ名前の悪性新生物でも顔付が違う(組織型)。6. 悪性新生物の発生率は年ごとに変化している。

日本における悪性新生物による死亡率は昭和60年では10万人に対して男性では187,女性では126を示している。欧米では男女とも日本人よりは高い率である。そこで、死因となった悪性新生物が身体の何処の部位に発生したかをみることにする。

表1は悪性新生物の発生部位と10万人当りの悪性新生物による死亡率を表わしたもので「厚生省の指標」昭和63年版から転載したものである<sup>4)</sup>。そして、同様に米国や英国での悪性新生物による死亡率が併せて記載されている。これらの悪性新生物のうちで目立って多いものは、日本人では胃や肝臓に発生した悪性新生物であり、一方、結腸、気管・気管支・肺と造血器系の悪性新生物は欧米人の方に多い。さらに男性生殖腺(前立腺や精巣)や女性性器(乳腺や卵巣)の悪性新生物でも欧米人の方が高率であり、日本人と欧米人とは悪性新生物の発生頻度や部位における相違がはっきり認められる。

また、この表にみられるように、日本人では悪性新生物のほぼ半数が消化管に発生しており、この消化管は人体構築上では中腔性臓器に属する。そこで、人体の構造について考える。臓器はその構造・機能により表2のように11臓器系列に分類することができる。このうち呼吸器、消化器、泌尿器、性器と内分泌器は内臓として総括されており、さらに内臓はその構造上から中腔性臓器と実質性臓器とに2分される。中腔性臓器は管または嚢状をなし内腔側から外側に向かつて粘膜、筋層と漿膜または外膜の3層構造の特徴を具えた臓器である。この3層は図1のように、さらにいくつかの層に細分される。臓器の最外層は部位により漿膜構造か、あるいは外膜構造となっており、その相違は最外層外表が一層の中皮細胞に被われているか否かである。中皮細胞層があれば隣接臓器との間はそれにより明確に境される。しかし、中皮細胞層を欠いていれば、外膜を構成している疎性結合組織が、隣接する臓器の外膜にと移行して、相互間が結合組織性に連続した境界のはっきりしない構造となる(例えば食道と気管)。次に実質臓器とは多くの腺組織に見られるように、その臓器特有の機能を果す細胞集団である実質と、こ

表1 部位別悪性新生物死亡率(人口10万対)と構成割合(%)の国際比較(1985年)

Malignant neoplasm death rates per 100,000 population sex for all sites, and comparison of sites of neoplasms in the three countries

悪性新生物部位	死亡率						悪性新生物の割合(%)					
	男性			女性			男性			女性		
	Japan	U.S.A.	Eng.	Japan	U.S.A.	Eng.	Japan	U.S.A.	Eng.	Japan	U.S.A.	Eng.
全部位	187.4	211.1	302.0	125.9	173.5	259.2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
口腔と咽頭	2.5	5.0	4.1	1.0	2.2	2.7	1.3	2.4	1.4	0.8	1.3	1.0
食道	8.5	5.5	11.2	1.9	1.9	7.2	4.6	2.6	3.7	1.5	1.1	2.8
胃	51.1	7.4	24.3	30.6	4.8	15.8	27.2	3.5	8.1	24.3	2.7	6.1
結腸	9.4	20.0	20.2	9.3	20.5	24.9	5.0	9.5	6.7	7.4	11.8	9.6
直腸と肛門	7.9	3.9	13.5	5.4	3.2	10.7	4.2	1.8	4.5	4.3	1.9	4.1
肝	24.2	3.4	2.8	9.1	2.1	1.9	12.9	1.6	0.9	7.2	1.2	0.8
膵	10.1	10.0	12.6	7.3	9.6	11.8	5.4	4.7	4.2	5.8	5.5	4.5
胆のうと胆外胆管	6.7	1.3	1.4	9.0	2.2	2.5	3.6	0.6	0.4	7.2	1.3	1.0
喉頭	1.3	2.6	2.7	0.1	0.5	0.6	0.7	1.2	0.9	0.1	0.3	0.3
気管・気管支・肺	35.5	71.1	106.8	12.7	29.8	38.3	18.8	34.0	35.4	10.	117.2	14.8
骨と軟骨	0.5	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2
皮膚	0.6	3.9	3.0	0.5	2.3	2.9	0.3	1.9	1.0	0.4	1.3	1.1
乳腺	0.1	0.2	0.3	8.0	32.5	52.8	0.0	0.1	0.1	6.4	18.7	20.4
子宮	—	—	—	8.0	8.7	13.7	—	—	—	6.4	5.0	5.3
卵巣	—	—	—	4.4	9.2	14.9	—	—	—	3.5	5.3	5.7
男性性器	4.9	22.7	28.2	—	—	—	2.6	10.7	9.3	—	—	—
前立腺	4.5	22.1	27.2	—	—	—	2.4	10.5	9.0	—	—	—
膀胱	2.9	5.7	13.4	1.4	2.6	5.5	1.5	2.7	4.4	1.1	1.5	2.1
腎	2.3	4.5	5.2	1.0	2.6	3.1	1.2	2.1	1.7	0.8	1.5	1.2
造血・リンパ組織	11.1	18.8	19.4	7.6	16.1	16.9	5.9	8.9	6.4	6.0	9.3	6.5

Japan: Data from national vital statistics by the Ministry of Welfare

U. S. A.: Data from vital statistics of the United States 1984 Volume 11 Part A

Eng.: Data from England and Wales mortality statistics cause 1985

表2 臓器系の分類

Classification of the organ systems

1. 循環器	心臓, 動脈, 静脈, 毛細血管, リンパ管
2. 呼吸器	鼻, 喉頭, 気管, 気管支, 肺臓
3. 消化器	消化管: 口腔, 咽頭, 食道, 胃 12指腸, 小腸, 大腸, 胆道 消化腺: 唾液腺, 肝臓, 膵臓
4. 泌尿器	腎臓, 尿管, 膀胱, 尿道
5. 性器	男性: 精巣, 精管, 精囊, 前立腺 女性: 卵巣, 卵管, 子宮, 乳房
6. 内分泌	下垂体, 甲状腺, 副腎
7. 造血器	骨髄, リンパ節, 脾臓
8. 運動器	筋肉, 骨, 軟骨, 関節, 靱帯
9. 感覚器	耳, 眼
10. 皮膚	皮膚, 皮下軟部組織, 汗腺, 等皮膚附属腺
11. 神経系	脳, 脊髄, 末梢神経

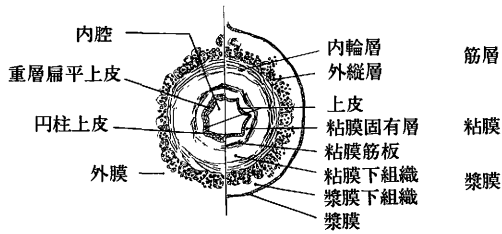


図1  
中空性臓器横断面の模式図  
Drawing illustrating the cross section of the hollow organ

の実質を支持する役目の間質とから成り立っている。間質は一般には血管と結合組織により構成されている。実質と間質とは組合わさって機能単位をなしている。たとえば肝臓の肝小葉、または、腎臓のネフロンである。このような組織単位が集合し合って臓器を形づくっているので実質臓器は比較的均質な構造から成立している。中空性臓器はこれら実質性臓器を結び合わせてより大きな機能集団を形成する役割を果たしている。たとえば肝臓と12指腸とを連絡している胆管を例にとると、幾多の肝小葉は小葉間胆管により相互に結ばれ、結合を繰返してついには左右一本ずつの肝管となり、つぎに一本の総肝管となる。さらに総肝管は途中胆のうからの胆のう管を受け入れ総胆管となり最終的には膵臓からの導管である膵管とともに12指腸に開口する。このように肝細胞で生産された胆汁は胆道系をあたかも川の水が大河に注ぐように合流しあって12指腸に運ばれるのであって、この場合、胆道系は運搬路の役割を果たしている。このように肝臓と胆管は密接な関係にあり、その何処かに通過障害のような異常が生じた場合には黄疸という生体にとって重篤な状態が起こるのである。そうした中空性臓器のうちで最も重要な臓器は食物を運びながら食物の消化、栄養を吸収している、消化管である。口腔から始まり肛門に終る1本の連続した管であるが、機能を反映して途中膨らみや狭い部分などがあり複雑な形態をなしている。

この消化管に発生した悪性新生物の発生頻度は表1からみられるように、男性では口唇・口腔・咽頭2.5, 食道8.5, 胃51.1, 12指腸・小腸・結腸9.7, 直腸・肛門7.9で合計79.7となり、同じように女性では57.2となり、全悪性新生物による死亡は男性ではほぼ40%, 女性でも、ほぼ45%に相当する高い頻度を示している。さらに他の中空性臓器である胆のう・肝外胆管6.7, 咽頭1.3, 膀胱2.9の合計値は男性10.9, 女性は同様の値にさらに子宮8.0を加えた値18.5をそれぞれの先の値に加えると男性女性ともに半数以上の悪性新生物が中空性臓器に発生したことになる(表1)(図2)。

悪性新生物は中空性臓器のいずれの部位からも発生する可能性がある<sup>3)</sup>と仮定されているが、現実にはより発生頻度の高い、即ち好発部位が存在している。食道は頸部, 胸部上部, 胸部中部, 胸部下部, 腹腔部の5つの部分に区分けられるが<sup>4)</sup>ほぼ4:10:55:23:8の割合で悪性新生物はそれぞれの部位に発生し、半数以上は胸部中部に発生して好発部位の存在が明らかである<sup>5)</sup>。胃では胃底部, 胃体部と幽門部に大別すると6:9:85でその85%が胃幽門部に発生している<sup>6)</sup>。小腸での悪性新生物は極めて稀である。次に大腸では盲腸, 上行結腸, 横行結腸, 下行結



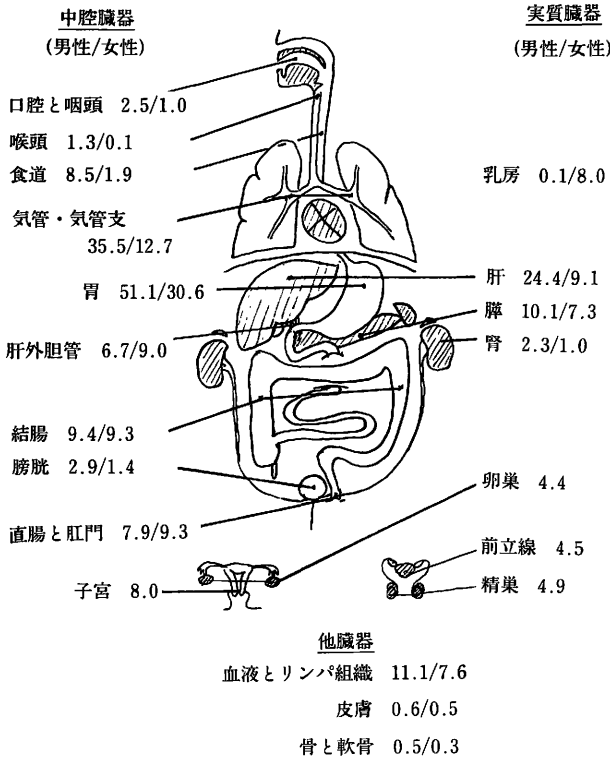


図2 部位別悪性新生物人口10万人当りの死亡率  
Estimated malignant neoplasm death rates per 100,000 population by sex for all sites

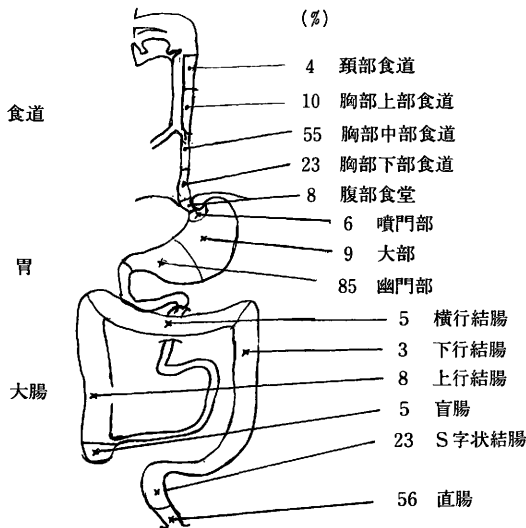


図3 各消化管における癌の部位別発生率  
Ratio of carcinoma arising site in each alimentary tract

腸, S状結腸と直腸に分けられている。悪性新生物の発生の割合は初めから順番に5:8:5:3:23:56で過半数は直腸に発生している<sup>7)</sup>。食道, 胃, 大腸とその走行に沿って悪性新生物の発生頻度と, その部位における比率とを模式的に表示したのが図3である。次に悪性新生物は

その部位の消化管壁を成している三層のどの層から発生するかをみると、それは最も内側である粘膜上皮組織からである。この消化管の悪性新生物の実に90%以上はこの粘膜上皮組織から発生している。この粘膜上皮組織は部位により上皮細胞が重なり合った重層扁平上皮組織と、一層の円柱上皮細胞から成っている粘膜上皮組織とがある。

粘膜上皮組織から発生する悪性新生物の構造に触れる前に、悪性新生物を光学顕微鏡的に即ち組織構築の側面からみると正常組織と同じように実質と基質とに区別することができる。実質は実質臓器と同様に悪性新生物を新生物ならしめている生体から殆ど制御をうけることなく、自由に増殖する能力(自律性)を発揮している増殖細胞集団である。基質とは実質臓器における間質に相当し、血管結合組織から成っている。これまで悪性新生物という言葉を使ってきたが、実質をなす細胞の性格により悪性新生物を癌腫と肉腫に大別できる。癌腫とは実質の細胞が上皮細胞性の性格を具えている新生物である。上皮性の性格とは細胞・細胞結合といわれ隣接した細胞相互に具わっている特殊な接着装置により細胞が密着し、さらに、細胞の基底部に基底膜を備えていることで、癌腫でもこれらの装置が不完全ながらも認められ、上皮性の性格である細胞と細胞とが密着して増殖し、癌特有の増殖細胞集団を基質がとりまく蜂窩状構造を形成している。肉腫は非上皮性悪性新生物といわれ、上皮性構造を具えていない悪性新生物の総称となっている。日常使われている「がん」という言葉は癌腫のみを意味しないで悪性新生物とほぼ同意義的な意味で使われている。肉腫の多くは発生母地に由来する物質を産生している。たとえば、線維肉腫では線維として膠原線維を、軟骨肉腫ならば軟骨物質を産生している。肉腫は粘膜や上皮組織以外の組織から発生し、その頻度は癌腫と比較すると低い。表1での骨と軟骨やリンパ・造血組織の悪性新生物が相当している。消化管では数%である。

癌腫も発生母地の上皮組織を反映した形を表現することが多く、扁平上皮組織に被われている食道や子宮頸部からは扁平上皮組織に類似した構造をした扁平上皮癌が多く、円柱上皮組織からは、この上皮細胞が管状や乳頭状に増殖し、この癌腫を腺癌という、そのいずれにも組織学的に類似性を求めることのできない癌腫を未分化癌または単純癌とっている。癌腫は原則的にはこの三つの組織型に大別されるが、しかし実際には発生した臓器に特有な名称を用いることもある、たとえば乳腺の面癌など、また特に、泌尿器系では移行上皮組織に被われているのでこの上皮組織に類似した癌腫が発生することが多く、この癌腫を移行上皮癌と呼んでいる。中腔性臓器の粘膜には以上の3種の組織型をした癌腫が発生するが、だいたい扁平上皮組織の部位は扁平上皮癌が多く、円柱上皮組織で被われている部位は腺癌が多いという傾向はある。しかし、肺癌の組織型はこの原則とはやや異なった発生様式を呈している。肺の内には扁平上皮癌がしばしば認められる。肺臓内には扁平上皮組織は正常肺組織には存在しないにもかかわらず、扁平上皮癌の発生するのは何処からであろうか。現在考えられている有力な説は気管支粘膜上皮組織の扁平上皮化生部位がその発生母地となり得るとする説である。気管支粘膜上皮組織は本来は線毛を具えた一層の円柱上皮細胞から成っているが、外来からの慢性的刺激(喫煙もその一つ)によって円柱上皮細胞の線毛の脱落が始まり、次いで数層の扁平化した細

胞層に置換されていく、この現象を扁平上皮化生とっているが、この化生を起こした細胞の癌化から扁平上皮癌が発生するのであろうと考えられている。

肺は一見実質臓器のようであるが、癌腫の発生を考えた場合、肺臓内に分布する気管支はまさに中腔性臓器の性格を持っており、その粘膜上皮組織から肺癌のほぼ90%は発生すると考えられており、それゆえに気管支癌(bronchogenic carcinoma)と呼ばれている程である。それでは、肺癌の組織型をみると、男性では扁平上皮癌：腺癌：未分化癌を含むその他の癌の比は5：3：2であり、女性では、3：7：2である<sup>8)</sup>。男性では扁平上皮癌の頻度が高く、女性では腺癌の方が高頻度であり、同じ肺癌であっても組織型による発生率に男女の相違がみられ、先述の扁平上皮化生と考え合わせて、男女で発癌過程が異なるのではないかと推測されている。また肺癌発生率も男女で異なり、4：1と男性に多く、諸外国でも男性が多く5：3：1の範囲にある。扁平上皮癌はことに女性に比較して男性に多くほぼ10倍の発生頻度である。これまで、肺癌は第一次大戦後に欧米でその発生率が増加したことで注目され、以後、増加の一途をたどっており、近年、日本においても肺癌の増加が注目されてきた。表3に年次推移が表示されているが、昭和25年(1950年)に人口10万人の男性に対して1.9であったものが昭和61年(1986年)には17.1と著しい増加を示している。胃癌の25.1に次いで高値を示している。女性においても、0.8から6.1と著しく増加している<sup>9)</sup>。

表3 部位別悪性新生物訂正死亡率(人口10万対)の年次推移

Trend of estimated age-adjusted cancer death rates per 100,000 population by sex for all sites

Sites of cancers	男性										女性									
	'50	'55	'60	'65	'70	'75	'80	'85	'86	'50	'55	'60	'65	'70	'75	'80	'85	'86		
全部位	77.4	86.1	94.4	96.5	96.6	94.4	97.2	97.6	96.6	74.6	76.0	79.3	78.0	75.3	71.2	68.7	64.7	63.1		
口腔と咽頭	1.0	0.9	0.9	0.8	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5		
食道	4.6	4.3	4.5	4.5	5.1	4.6	4.6	4.4	4.4	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.3	1.1	0.8	0.8		
胃	45.0	47.6	48.3	46.3	42.0	36.5	31.4	26.0	25.1	28.6	29.9	30.1	28.5	26.7	22.7	19.2	15.3	14.3		
結腸	1.5	1.5	1.7	2.1	2.5	3.2	3.9	4.7	4.8	2.0	1.9	2.1	2.5	2.8	3.4	3.9	4.6	4.6		
直腸と肛門	2.8	2.8	2.7	3.2	3.6	3.7	4.0	4.0	4.0	2.5	2.6	2.8	2.9	3.0	3.2	2.9	2.7	2.7		
肝			9.6	8.2	8.6	8.5	11.0	13.5	13.7			6.6	5.7	5.0	4.4	4.3	4.5	4.4		
胆のうと胆道	8.5	10.2								6.1	7.7									
膵			1.0	1.6	1.9	2.3	2.8	3.2	3.3			1.1	1.7	2.5	3.0	3.6	4.2	4.2		
喉頭	0.8	1.3	2.2	2.9	3.7	3.9	4.7	5.2	5.3	0.5	1.0	1.5	2.2	2.6	2.9	3.3	3.5	3.6		
気管・気管支と肺	1.4	1.1	1.0	1.0	1.0	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0		
骨と軟骨	1.9	3.9	6.6	8.6	10.5	12.6	15.3	17.3	17.1	0.8	1.7	2.8	3.8	4.2	4.7	5.6	6.1	6.1		
皮膚	0.5	1.0	1.1	1.1	0.9	0.6	0.4	0.4	0.3	0.4	0.7	0.8	0.7	0.6	0.4	0.3	0.3	0.2		
乳腺	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.5	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2		
子宮	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	3.2	3.1	3.2	3.6	4.0	4.5	4.8	4.9		
卵巣	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.6	15.2	13.1	11.0	9.1	7.3	5.5	4.2	3.9		
男性性器	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7	2.0	2.3	2.6	2.5		
前立腺	0.5	0.9	1.2	1.4	1.5	1.7	1.8	2.1	2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
膀胱	0.2	0.5	0.8	1.0	1.1	1.3	1.5	1.8	1.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
腎			1.2	1.3	1.4	1.3	1.5	1.3	1.3			0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5		
造血とリンパ組織	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.3	1.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5		
	2.9	4.4	5.2	6.0	6.4	7.0	7.2	7.1	7.1	1.9	2.8	3.6	4.2	4.5	4.9	4.9	4.8	4.9		

近年では肺癌のみならず、悪性新生物による死亡率が高くなり、昭和56年(1981年)には全死因の23%を占め、死因の一位となった。以来、悪性新生物による死亡率は一位であり年齢階層別にみても35歳から69歳までの年齢層で死因の一位である。また、悪性新生物の発生部位別にみると、増加が著しく最も注目された悪性新生物は肺癌であり、その増加の様子は先の通りである。悪性新生物による死因の第1位である胃癌は男女において漸減の傾向にある。また子宮癌も同じように減少傾向をたどっている。一方、腸癌、膵癌そして前立腺癌は増加の傾向にある。この様に悪性新生物においては、時間の経過とともに発生率は変化し、またその組織型の比率も変化している。

以上、悪性新生物の発生の様式において日本人は欧米人とは相違している。日本人においては悪性新生物の過半数は中腔性臓器の粘膜から発生しており、主として消化器からの癌腫が高率に発生している。さらに、近年、悪性新生物による死亡率は増加しているが、そのうちわけでは死亡率が減少している悪性新生物、また増加している悪性新生物があり、その結果、悪性新生物の種類比率の変化が生じており、また同一新生物のなかでの組織型の占める比率の変化が指摘されている。これらの現象が私どもを取巻く環境とどのようなかわりあいがあるのか今後の検索にまたれている。

#### 参考文献

- 1) International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 23, Report of the Task Group on Reference Man. Pergamon Press, 1975.
- 2) 田中義一郎：標準日本人の研究—III, 日医放誌, 48, 93-97, 1988.
- 3) 田中義一郎, 中原義行, 中島義蔵：標準日本人—1988の研究—IV, 日医放誌, 49, 96-116, 1989.
- 4) 厚生統計協会：国民衛生の動向, 厚生指標35, 57, 1988.
- 5) 佐藤栄一：食道の腫瘍, 現代病理学大系12A(飯島宗一他編集), 251-277, 1984.
- 6) 中村恭一：胃癌, 現代病理学大系12A(飯島宗一他編集), 309-375, 1984.
- 7) 佐藤栄一：大腸癌, 現代病理学大系9D(飯島宗一他編集), 110-119, 中山書店, 1984.
- 8) 吉村克俊他：日本の肺癌の組織別臨床統計, 日本臨床38, 47, 1980.
- 9) 厚生統計協会：国民衛生の動向, 厚生指標35, 56, 1988.

#### < 討 論 >

##### Q. 田中義一郎：

ICRPのReference Manの項目としては、乳腺(乳房)は無いが、Reference maleにやはり乳腺を入れた方が良いとお考えかどうか。

##### A. 大津裕司：

男性でも痕跡的にはあり、また、女性と較べて非常に稀ではあるが、乳ガンも無いわけではない。普通は取るに足りないことなので、(男性の乳腺データが)無いことが、特に問題ではな

いと思う。

#### Q. 田中

一時的には無視しても、また、注目することもあり得る。女性の場合は、日本人は向こうの人々に較べて脂肪の量(厚さ)が違うため、乳ガンと乳腺(データ)の関係について、外国の関心が高い。

#### A. 大津

確かに乳腺を計測するのは非常に難しい。思いつきに近いことだが、アメリカでは、35歳を過ぎるとマンモグラフィ(造影剤を乳腺に入れて乳腺のおおよその形を描写すること)が行われているので、それを上手に利用すると乳腺の実質の大きさが計測できるのではないかと思う。少なくとも2方向から写真を撮ればかなり立体視でき、乳腺重量の推量ができないかと今思っている。

#### コメント. 田中

ICRPのある専門委員会では世界の人々を5つほどに分けて、ファントムを考える方向と聞いている。White氏からICRP関係者に対してクリスマスまでの期限で基礎データの協力要請があった。その際、やはり、モンゴロイド系の人の乳腺のデータが必要とされている。上下方向に押さえたときの厚さ、乳頭と胸郭との距離、周囲の量などを調べることができれば、世界規格のひとつとして非常に寄与するのではないか。もし、スタンダードかまたはそれに近い資料があれば、tentativeなものでも結構なので、教えていただければ大変有難い。

#### 座長

管腔臓器の重要性と乳腺の問題について重要な指摘をいただきまして有難うございました。

予定時間になりましたけれども、今日一日の演者の方々に対する質問および講演内容に関するディスカッションをあと少し時間を延長して行いたいと思います。

第Iセッション線量評価における人体特性の意義ということで、標準人の概念につきまして、どなたか、ご討議ありましたら、お願いします。

#### 草間朋子：

今日は、田中先生のグループの大変貴重なデータをみせて頂きまして、本当に感激しました。どうも有難うございました。

一つ、お考えをお聞かせ願いたいのですが、Reference Manあるいは、標準人を、どういうふうにするかの問題です。Reference Manを用いて、評価した線量をどういうふうにするかで、そのReference Manの値の考え方が、違ってくるのかなというような印象をちょっと持ちました。例えば、線量評価したものを、基準値と比較するのか、あるいは、そのReference Manをもって、国民線量のような、いわゆる、アベレージなものを評価するのかによって、Reference Manに対する値の考え方が、違ってくるのではないかと思います。というのは、そ

の線量基準，すなわち線量当量限度のようなものと比較するとすれば，線量当量限度の場合には，ICRPでは，いわゆるmaximum assumptionをしなさいという考え方を言っているわけですね。そうなりますと必ずしも，その平均的なものでいいのかどうかという疑問が残るのです。Reference Manを，例えば，そのpopulation doseを求める場合の平均的なものとして，使うとすれば平均値でいいと思います。ですから，線量当量限度との比較をする目的の線量評価のためのReference Manとして考える時には，いったい，その代表値が，線量評価上，maximumになるものを用いるのか，あるいは，平均的なものでいいのかどうかという，その辺のお考えをお聞かせ頂きたい。

#### 座長

これは，難しい問題だと思います。最近の線量評価の手法としまして，システム分析的な手法も入っておりますし，また，計算機により，全ての値が計算できることになりまして，値の分布まで計算しまして，それをある基準値と較べて判断を下すということがあると思います。我々は，標準人に関係した研究を行う場合に，一応，ICRPで考えている標準人，acceptされている概念に基づいてやっています。もし，標準人のデータに幅をつけたと致します。単一の代表値ではなく，幅をつけて，全ての計算をするとなりますと，計算機を使ったとしても，おそらく，膨大な計算になると思います。また，出てきました結果が，草間先生がおっしゃいましたように，最大値評価などに，すぐ，反映できるようになるかどうか。非常に幅ができ，結果の解釈に困るのではないかと考えられるわけです。従って，私は必ずしもその専門ではありませんけれども，線量評価の基準になる，身体特性の場合には，代表値を決めた方が，実際的であると思います。草間先生のおっしゃったような最大値，最大被曝というような問題は別途に重要なファクターとして考えられると思う。また，個人線量といった面からは，それ(身体特性の値)に幅を持たせることはできると思います，このようなことでしょうか。もっと基本的な御質問かと思えますけれど。

#### 田中

お答えになるかどうかわかりませんが，草間先生のお考えの中に，これは始めからあった事柄ですけれども，その疑問というか，喉を通らない部分がおありになるのは，わかるのです。それで，実は，私の方は，標準人研究の一員として，そういうもの(標準人データ)を，createしようという立場からしますと，ICRPの系統的な一連の大きな放射線防護の考え方，コンセプトの中での標準人は，非常に組織的で，また，一つ一つが非常に戦略的で，きちんとしてはいるのですが，私が全体的に見てみますと，非常に間違えているところがあるのです。それを，欧米人と同様に，日本人にはそのまま適用できない。一般的なモデルとして考えられている，牛乳の汚染と骨線量の関係に近いことは，日本人には適用できない。要するに日本人には日本人の特殊性がある，characteristicsといいますか，そういう事じゃないかと思っています。

それともう一つ，例えば，この間10月に，IAEA-RCA主催で水戸でそういうアジア人の標準人に関するミーティングがありましたが，各国の皆さんもそれはやはり必要だという様なこと

を言っています。また、Committee 2のChenさんと、それから韓国のKimさん(私の所へ来た人ですが)が居まして、この人は欧米人の標準人モデルは絶対に我々には使えないと、だから(アジア人標準人は)絶対に必要なんだと。絶対という意味にはちょっといろいろと誤解があるかも知れませんが。そういう事で一応あっても良いのじゃないか、それは向こうへ押し付けるのではなくて、それも平行してあれば良いのではないか。大きく言ってICRPのタスクグループの考え方の中には、有って悪くはないし、むしろそれは、一つの意見であって、それが、ICRP (Reference Man)の基本に関わるものであったら、向こうが直すということです。私はそういった細かい点で向こうの違う点を指摘しています。

ただ、アベレージという考え方をすると、どこがアベレージか解りませんですね。健康とは何か、アベレージとは何かというと、基本概念がまた変わってきます。線量評価の問題では、おそらく東南アジアの人々に対しては、差が出て来ると思います。物理的に考えるか、バイオロジィから見るか、ちょっと解りません。

#### 座長

有難うございました。体格上の問題で、東郷正美先生の御発表になった所で、ディスカッションございませんか。東郷先生は、実際に、体内放射能を計っておられ、関連して体格や成長の問題をあわせて扱っていらっしゃるわけですが、ここで特に、測定すべき、あるいは実際に測定しておられる項目をあげて詳しく御説明になりました。この辺は普通、こういった環境問題の中で、議論されないところでありますが、非常に貴重なお話だったと思います。

それから、ICRP専門委員会2の活動の方は松岡先生が、特別講演で非常に詳しくご紹介になりましたので、特に御質問ないかと思えます。

生理学的特性の方ですが、現在、西牟田先生から、実際の日本人におけるかなり多数の元素のバランス・スタディの非常に貴重な結果を、それも元素単独の動態でありませんで、他の元素を付加した状態、あるいは除去した状態、あるいはエネルギー代謝との関連で、非常に詳しいデータを御発表になりました。これは、線量算定のほうから言いますと、直接的には、元素のf1、消化管吸収率における日本人の値の非常に良いデータソースになると考えられます。この辺につきまして、どなたかディスカッションございませんか。

#### 滝澤行雄

代謝の修飾因子ということでは、年齢依存性だとか体系を入れるのではなくて、むしろ、例えば、20歳の男子におきましても、腎機能あるいはそこに取り込まれるカドミウム(濃度)でも、いわゆるバリエーション、変異差が非常に大きいわけです。いわゆる個人差、あるいは体質的な要因ではないかということで、従来から我々は、その点に大層興味を持っているわけです。その点について、非常に問題(の認識が)不足だと。

今までも体質学が医学上進展しなかったのは、例えば手術、operationで失敗した場合は、これは異常体質だったと言うと家族の人もまあ我慢したわけです。しかし、今は時代が変わりまして、今では例えばペニシリン注射によりanaphylaxyを起こすというような異常体質を見るこ

とができるわけです。その個人差というものについて、クレッチメルは人間のタイプをいわゆる闘志型とか、あるいは体型で分けたり、もう一つは気質で分けるとかしているわけです。西牟田先生のいわゆるストレスのお話がありました。コールドのexposureという条件でストレスを入れているわけですが、耐暑耐寒という様な人間・ホスト側から見ますと非常に寒さに強い人、暑さに弱い人があり、それから、そういう人は気質的にもそれに呼応するようなものが必ずあると思います。そうすると、例えば、20代の幅広い変異差というものが、2つにだいたい分かれるんじゃないかというような気がするわけです。

少しこの個人差という様なものから見て頂きまして、線量評価には、年齢や体型といった人体特性は、もうすでに組み込まれているけれども、そのmodifying factorとして、個人差というものをこれから、きめ細かく、日本の優秀なグループから是非出して頂きたいということコメント致します。

座長：

どうも有難うございました。そろそろ時間も参りましたが、最後に、伊澤先生、何かございませんでしょうか。

伊澤正實：

突然の御指名ですが、全体として伺っておりまして、ここ数年来、あるいは十数年来と言いますか、日本でのいろいろな進歩が解りまして大変感銘を受けました。

私のICRPに関係したのは、もう20年以上前です。その頃から較べると、特に日本のデータの収集、あるいはその、ICRPそのものへの反映ということで、ずいぶん努力なされていることがよく解りました。

コメントとして特に考えていることは無いのですが、ICRPにしても、この表題で言いましても「線量評価に関わる」という頭がついているわけですね。今の話題は、そうなりますと、最終的にはその個人について、例えば、インターナルなexposureがあればその個人についてできるだけその場その場で、代謝も見る、半減期も見ていくというのが、実際のやり方というか、実際、起こった場合に取る手段だと思っております。それに役立つということでStandard Man、今はReference Manですけども、先のコメントにもありましたように、個人的な違いがどの位あるかということも、あらかじめ解っていると、ある特定の個人について、測定するとか、推定するとかいう場合でも、参考になると思うので、だんだんそういうふうになっていくと思います。

ただ、もう一つ、データがたくさん集まってくるのは良いのですが、やはり、線量評価ということの頭に置くとすると、どうしても、もう一つの話題として、インターコンシステンシーとも言いますか、一方で代謝が入ったものがあれば出てくるものがあるわけです。それをやはりこういう形で、Standard ManならStandard Man、Reference ManならReference Manにまとめようとすると全体としてのバランスがとれないといけないわけですね。それがやはり、田中さん、河村さんのグループで、あるいはICRPのグループで生のデータから、そうい



うことを十分に考えていかなければいけないと思いますし、そういう役にたつデータを、皆さんに出して頂ければ、大変有難いと思います。また、明日、後半のお話がありますけれどそれを期待したいと思います。

**座長：**

有難うございました。非常に貴重な御意見でありました。この討論はちょっと時間が不足でして、これはプログラム作成の時から解っておったのですが、この続きは明日の総合討論、そのときに引き続き、是非御討論頂きたいと思います。貴重な御意見を頂きまして有難うございました。

## VI 人体特性と線量評価法

- VI-1 超音波による胸部軟組織厚  
の測定とファントムの製作  
城谷 孝
- VI-2 画像ファントム 山口 寛
- VI-3 NMR-CTと画像ファントム  
本郷 昭三
- VI-4 日本人の被曝線量算定例  
—広島・長崎の原爆線量  
再評価— 丸山 隆司
- 

特別講演 2 人類学から  
見た日本人  
埴原 和郎

## VI-1 超音波による胸部軟組織厚の測定とファントムの製作

城 谷 孝

日本原子力研究所

Ultrasonic Measurements of Chest Wall Thickness and Realistic Chest Phantom for Calibration of Pu Lung Counting Facilities

Takashi Shirotani

Department of Health Physics, Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai, Naka-gun, Ibaraki, 319-11 Japan

**ABSTRACT**—There are four important problems for the measurements of chest wall thickness using ultrasonic device: (1) selection of optimum position of transducer and the number of measured points on the chest covered with detector, (2) estimation of adipose-to-muscle ratio in the chest wall, especially for dispersed adipose like “marbled beef”, (3) determination of regression equations for the prediction of chest wall thickness, derived from groups of different body shape, i. e. corpulent and lean, and (4) estimation of effective chest wall thickness involved self-absorption layer of lung tissue, which changes with distribution of activity in the lungs. This quantity can not be measured with ultrasonic device.

Realistic chest phantom was developed. The phantom contains removable model organs (lungs, liver, kidneys and heart), model trachea and artificial rib cage, and also includes chest plates that can be placed over the chest to simulate wide range adipose-to-muscle ratio in the chest wall. Various soft tissue substitutes were made of polyurethane with different concentrations of additive, and the rib cage were made of epoxy resin with calcium carbonate. The experimental data have shown that the phantom can be used as a standard phantom for the calibration.

### 1 超音波による胸部軟組織厚の測定

肺モニタを用いて肺に沈着したPuを定量する場合、胸部軟組織壁を透過し体外に放出される平均17keVのLX線を測定して行うが、筋肉の17keVに対する半価層は約6mmと薄く、各個人によって異なる胸部軟組織厚を正確に決定しておく必要がある。この軟組織厚の測定は、

表1 超音波による胸部軟組織厚の測定

Chest wall thicknesses measured with an ultrasonic device.

	(1) 動燃	(2) 原研(I)	(3) 原研(II)
測定年	1978	1983	1988
測定人数	61	70	24
平均体重(kg)	59.9	63.5	63.1
平均身長(m)	1.67	1.69	1.71
平均胸囲(m)	0.88	0.91	0.86
軟組織厚(cm)右	2.20	2.33	2.32
左	2.09	2.18	2.20

3回の測定で、測定装置・測定位置・測定点の数はいずれも異なっている。

Ramsden<sup>1)</sup>が超音波を用いて以来、多くの研究者によってなされてきた。筆者は、表1に示すように、3回の測定を経験したが肺内Pu量評価上問題点も多い。その中から、主要な4つの問題点を以下に述べる。

a) 胸部軟組織厚の測定位置は検出器窓面直下に限られるが、その範囲内のどの位置で何点測定するかによって平均厚が異なる。最適位置と最適測定点数は、各被検者の肺形状や体形などによっても異なり、画一的に決められない面もあるが、一般的な意味で、決めておくことは測定者が専門家でない場合に有益である。

b) 胸部軟組織は筋肉だけでなく脂肪層も含む。(脂肪/筋肉)比の決定は重要である。脂肪と筋肉の17.2keVに対する光電減弱係数は、それぞれ、 $0.408$ 、 $0.882\text{cm}^{-1}$ であり、両組織の混合割合によりX線透過率は大きく異なるため、各個人の混合割合を明確に決定しておくことは必要である。脂肪層が皮下脂肪のみであれば、a)の測定の際に決定することは可能であるが、脂肪が霜降り状に分散している場合、超音波装置でその混合割合を決定することは極めて困難である。

c) Pu吸入汚染者が、過去に胸部軟組織厚が測定されていれば問題ないが、測定されていない場合は推定しなければならない。通常、ある集団で、超音波を用い胸部軟組織厚を測定した場合、同時にその集団の各被検者の測定値 $T_{cw}$ と体格パラメータ(体重 $W$ 、身長 $H$ 、胸囲 $C$ )の関係から、 $T_{cw}$ を算定できる実験式を導いておき、その式を用いて算定することが行われている。例えば、Fry<sup>2)</sup>の導いた式は、

$$T_{cw}(\text{cm})=6.0(W(\text{kg})/H(\text{cm}))+0.11$$

である。しかし、これまでに発表された実験式では、体形(肥満体と筋肉質または瘦身体など)との関係は全く考慮されていないが、筆者が行った測定(表1の(1)、(2))から導いた実験式<sup>3)</sup>では、基本的に体形に依存することが示されたのでここに概要を述べておく。

動燃職員(Dグループ)と原研職員(Gグループ)集団の体形の特徴は、図1の $H$ と $W$ の平均散布図で示されるように、Dグループでは $H$ と $W$ の関係がほぼ直線となる瘦身または筋肉質体格であるが、Gグループは非直線で平均身長以下では肥満体となっている。また、測定した $T_{cw}$ と $H$

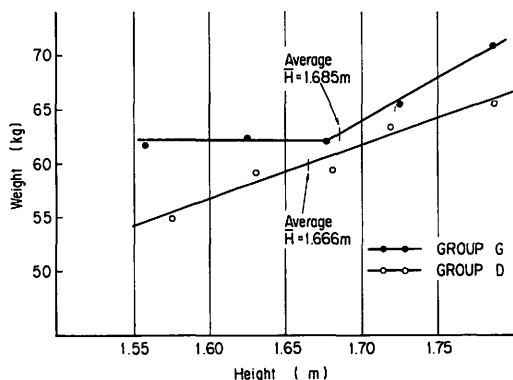


図1 平均散布図で示した2つの集団における身長と体重の関係  
Relationship between weight and height obtained from two groups, shown in the form of average-scatter-diagrams.

表2 体形の異なる2つのグループの最良の相関関係を与える胸部軟組織厚算定式の形  
Optimum form of regression equations for prediction of chest wall thickness, derived from two groups.

	G-group (non-linear group)	D-group (linear group)
One variable	$T_{cw} = a \cdot \sqrt{WC} / H - b$	$T_{cw} = a \cdot W / H^2 - b$
Two variables	$T_{cw} = a \cdot \sqrt{WC} / H + b \cdot C - c$	$T_{cw} = a \cdot W / H^2 + b \cdot C - c$

$T_{cw}$  : Chest wall thickness (cm),  $W$  : Weight (kg),  $H$  : Height (m),  
 $C$  : Chest circumference (m)

および $W$ との関係は、Dグループでは、 $T_{cw}$ は $W$ に比例して増加するが、 $H$ が大きくなるに従い単調に減少することを示し、Gグループでは、 $\sqrt{W}$ に比例して増加し $H$ のほぼ二乗に逆比例して減少することが示された。このことは、身長に見合った体重の増加であれば $T_{cw}$ は $W$ に比例して直線的に増加するが、身長に見合わない体重増加(肥満)であれば $T_{cw}$ は $\sqrt{W}$ に比例して非直線的に増加することを意味する。この理由は、肥満体格者は下腹部から大腿部にかけて多くの肉が付くことに起因すると考えられる。結論として、表2に最良の相関係数をもつ式の形を示すが、これは測定集団の体形に応じて式を導くことが必要であることを示している。なお、ある個人の肥満度の判定は、日本人の平均体格に対する $W$ (kg)/ $H$ (m)の値36.0より大きな値(Gグループで37.6)か、小さな値(Dグループで35.9)かを1つの目安としているが、医学で使われる肥満度も1つの判定材料となろう。

以上の結果はまだ小人数での検討に過ぎないので、今後体形との関係をさらに検討し、より正確な実験式を導くことが必要である。

d) 肺沈着Pu量算定に本当に必要な胸部X線吸収についての情報は、超音波で求められる単純な物理的な厚さではない。必要な量は、肺の自己吸収層厚を含む実効的な減衰量を与える等価厚すなわち、実効軟組織厚である。しかし、この厚さは肺内の放射能分布に依存し、胸郭形状の影響も受けて変化するためその正確な決定は困難であり、超音波では測定不能な量である。通常の管理では、ファントムの肺内に線源を均等分布させた条件で求めた校正定数を用いてお

り、肺組織の自己吸収損失等の影響も含むため、超音波で測定される各人の軟組織厚の相違のみを補正している。しかし、これは誤差の多い評価である。この意味で実効軟組織厚の決定は重要である。以上の4点が主な問題点であり、今後の研究が必要である。

## 2 精密ファントムの製作

### 2.1 固体ファントム

Pu肺モニタ装置の校正には、低エネルギー光子に対して、人体組織の減弱係数と正確に一致したファントム材を用いて、解剖学的に正確に作られた精密ファントムが必要不可欠である。原研における精密ファントム(JAERIファントム)の開発は、1979年に検討を開始して以来、1987年までに人骨をもつファントム2体と人工骨をもつファントム2体の計4体を、部分的に改良を加えながら製作してきた。表3に体格寸法(日本人平均体格に近い)を示す。参考までにIAEAファントム(Griffith<sup>5)</sup>の開発したファントムをIAEAが購入)の寸法も示す。JAERIファントム

表3 JAERIファントムとIAEAファントムの体格および臓器体積の比較  
Body and organ sizes of JAERI-phantom and IAEA-phantom.

		JAERI - phantom	IAEA-phantom
Weight	(kg)	63.5	75.0
Height	(m)	1.68	1.77
Chest circumference	(m)	0.905	1.01
Lung(right)	(cm <sup>3</sup> )	1892	2180
(left)	(cm <sup>3</sup> )	1633	1689
Kidney(right)	(cm <sup>3</sup> )	151	150
(left)	(cm <sup>3</sup> )	154	170
liver	(cm <sup>3</sup> )	1761	2050
heart	(cm <sup>3</sup> )	818	748

は、肺、肝臓、腎臓および心臓の取り外しができ点状線源の挿入が可能である。肺に挿入した線源は4mmφ×2cmのカプセルに線源溶液滴下後肺材を充填したもので、右肺に122個、左肺に114個を挿入した。点状線源は、線源の種類と分布を任意に容易に変えられる利点がある。肋軟骨を含む胸壁部分(torso cover)の厚さは、図2に示すように、超音波測定から決定され1.5cmである。胸壁部分の脂肪割合を調整する胸重ね板(chest plate)は表に示す3種類があり、厚さは0.8と1.5cmとがある。このファントムのために開発した素材は、ポリウレタンに添加剤(trischloroethyl phosphate (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>ClO)<sub>3</sub> PO)を計算した量を加えて人体組織の16.6keVの減弱係数と一致するように作られている。表4にこのファントムに用いた素材の物理データと、比較のために、人体組織と他のファントム材についても示した。減弱係数はそれぞれの元素組成から計算したが、Rando-muscle の値<sup>6)</sup>は引用した。L-1は肺材となる発砲ポリウレタンで、骨材の

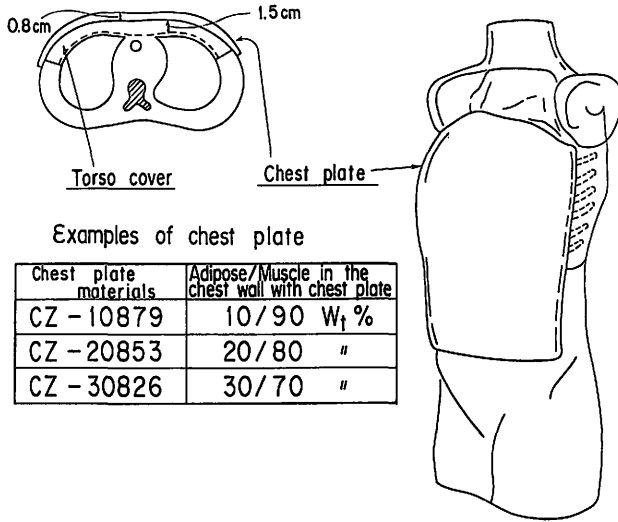


図 2

胸部軟組織中の脂肪割合調整用胸重ね板

Chest plates for adjustment of adipose/muscle ratio in the phantom chest.

表 4 JAERIファントム材および他のファントム材の17.2keVのx線に対する減弱係数 ( $\mu(P)$ ,  $\mu(C)$ : 光電およびコンプトン減弱係数)

Linear attenuation coefficients (17.2keV) of phantom materials.

$\mu(P)$ ,  $\mu(C)$ : coefficients for photoelectric and Compton interactions, respectively.

		Density (g/cm <sup>3</sup> )	Linear attenuation coefficients (cm <sup>-1</sup> )	
			$\mu(P)$	$\mu(C)$
(JAERI-phantom)	(Corresponding human tissues)			
SZ-208	(muscle)	1.075	0.872	0.182
SZ-220	(muscle+10%addi.)	1.069	0.808	0.182
SZ-160	(cartilage)	1.117	0.937	0.189
L-1	(lung)	0.280	0.211	0.046
EZ-129	(rib bone)	1.630	3.666	0.224
(Other materials)				
	Griffith-muscle <sup>5)</sup>	1.08	0.833	0.188
	Rando-muscle <sup>6)</sup>	1.00	0.70-0.47	0.173
	Rando-lung <sup>6)</sup>	0.27		
(Human tissues)				
	muscle	1.06	0.870	0.179
	cartilage	1.10	0.921	0.188
	rib bone	1.30	3.833	0.204
	lung	0.26	0.238	0.048
	water	1.00	0.809	0.172

EZ-129はエポキシ樹脂に炭酸カルシウムを添加したものである。Griffith-muscleはGriffithファントムの筋肉材であり、その減弱係数は筋肉材SZ-208とほぼ同じで互いによく一致している。Griffithファントムのtorso coverの厚さは1.54cmで、Pu線源の同位対組成比もほぼ類似しているため、同一のホスウィッチ検出器で測定して得た計数効率も両ファントムでほぼ同じ値であった。

## 2.2 水溶液ファントム材

前節の固体ファントム材の元素組成比は人体組織と同じではない。中性子に対しては同じ元素組成の素材が必要であるので、容易に作れる水溶液ファントム材<sup>7)</sup>の開発を行った。これは水に複数種類の添加剤を加え指定した元素組成比をもつ水溶液材である。添加剤最適量は複数の添加剤の添加量を未知数とし、元素数と添加剤の種類に応じて導かれる多元一次連立方程式を解いて決定される。実際の水溶液材の例を表5に示す。これらは、実効線量当量測定検出器の

表5 ICRU球と同じ元素組成をもつ水溶液ファントム材の例  
Examples of liquid tissue equivalent materials.  
- additive weight percent in water.

Additives	Wt %	g cm <sup>3</sup>	Wt %
urea	5.58	1.060	H : 10.10
citric acid	15.80		C : 11.10
ethanol	8.76		N : 2.60 O : 76.20
glycine	13.93	1.079	H : 10.10
citric acid	9.30		C : 11.10
ethanol	6.63		N : 2.60 O : 76.20
NN-dimethyl- formamide	12.94	1.001	H : 10.86
citric acid	4.48		C : 12.13
ethanol	8.08		N : 2.48 O : 74.53

校正用ファントムにも使えるように、ICRU球<sup>9)</sup>と同じ元素組成でtotal soft tissue<sup>9)</sup>とほぼ等しい光子減弱係数を持ち、Pu LX線に対しても正しい透過率を示す。この水溶液をPu肺モニタ校正用ファントムに使用する場合は、ファントム容器は人体皮下脂肪と類似の元素組成をもつ材質(例えばメタクリル樹脂)を用い、肺はL-1のような等価材を密封して使用する。

## 2.3 ファントムおよび校正における問題点

### 2.3.1 ファントム開発の今後の課題

今後のファントム開発は、a)元素組成を人体主要元素組成に一致させた固体ファントム材を



開発し、光子だけでなく中性子に対しても正しい応答をもつファントムを作ること、b)日本人の体形および臓器形状を標準化したデータを用いて、成人男女および小児用精密ファントムを作ること、c)日本人の人体組織元素組成を考慮に入れた素材を作ること、である。上記b), c)に関係して、日本人の体形、臓器形状および人体組織元素組成の標準化の1日も早い完成を期待したい。

### 2.3.2 校正における問題点

いかに精密なファントムが開発されても、それだけで肺沈着Pu量の正確な評価はできない。すでに述べたように、各被検者の体格差に関する補正(特に胸部軟組織厚)を必要とし、また、肺内放射能分布の相違に起因する計数効率の補正も重要となる。実際の汚染では、Pu化合物の物理的・化学的性質、吸入条件および個人の生理機能などの違いから、肺内の放射能は均等に分布することではなく常に不均等に分布すると考えられ、吸入量が微量であるほど分布は不均等になると推定される。内部被曝管理上問題となる程度の肺沈着量では分布の推定は不可能に近い。従って、今後の研究課題は、体形と臓器形状の個人差を含めた不均等分布に起因する計数効率の変動幅の決定を、ファントムによる実験値だけでなくシミュレーションによる結果を含めて新しい校正法を確立することであろう。

### 参考文献

- 1) Ramsden, D. Peabody, C. O. and Speight, R. G., "The Use of Ultrasonic to Investigate Soft Tissue Thickness on the Human Chest", AEEW-R493, 1967.
- 2) Fry, F. A. and Sumerling, T., *Health Phys.*, **39**, 89-92, 1979.
- 3) Shirovani, T., *Health Phys.*, **50**, 860-867, 1986.
- 4) Shirovani, T., *J. Nucl. Sci. Technol.*, **25**, 875-883, 1988.
- 5) Griffith, R. V., Dean, P. N., Anderson, A. L. and Fisher, J. C., "Advances in Radiation Protection Monitoring", 493-503, 1979, IAEA, Vienna.
- 6) Newton, D. and White, D. R., *Health Phys.*, **35**, 699-703, 1978.
- 7) Shirovani, T. and Suzuki, Y., *Radioisotopes*, **38**, 68-75, 1989.
- 8) ICRU Report 39, "Determination of Dose Equivalents Resulting from External Radiation Sources", 1985.
- 9) ICRP Publication 23, "Reference Man", see Table 108 (pp. 290-323), 1975.

### < 討 論 >

#### Q. 座長(川島勝弘) :

演者から、胸部の軟組織の計り方について質問がありましたが、M. D. の方……福田先生、コメント頂ければ。

#### A. 福田信男 :

先ほど胸部軟部組織の脂肪と水の含有比の測定法について、問題提起されたが、私どもも骨髄の脂肪と脂肪以外の造血組織との混合比の測定を核磁気共鳴映像法(NMR)で行おうと考えている。水と脂肪の核磁気共鳴の特性の相違点は、共鳴周波数が3. いくつppmぐらいずれていること、それから、緩和時間、縦緩和時間・横緩和時間がやはり違うことである。これを使って、実用的な時間内でなんとか計れるように、水と脂肪の混合ファントムを作って測定しており、ある程度のめどはたってきている。ただ、胸部組織の場合、一番の問題点は、呼吸性移動や心拍動の影響で、特に私どもが使っている高磁場の核磁気共鳴映像装置だと、かなりそれが効いてきます。息止めと、呼吸の心電ゲートで疑似的に心拍動を止めたような状態にして、水と脂肪の混合比を何とか計れるようにしたいと思っている。

その点、臨床の方では脂肪肝の場合、健康管理の点から水と脂肪を計りたいという要望があり、やはり呼吸性移動が影響するため、メーカーもかなり力を入れて開発している。

座長：

先生、ポイントだけ、お願いできれば。

福田：

ポイントは、だから核磁気共鳴で、一つはいけるかもしれない。

Q. 松岡理：

測定者を群として分けているようですが、それを分ける基準は何か。

A. 城谷孝：

日本人全体の平均身長と平均体重の比率を一応の目安にして、その比よりも大きい場合と小さい場合にグループを分けています。実際には、原研の場合は、その比よりもずっと大きな値になり、動燃の場合には、むしろその比より低い値になります。

Q. 松岡：

これはコメントですが、霜降り肉のようにになっているということに、大変興味がある。オートラジオグラフィーの方では、縞状になっているものでも、画像解析することによって、2つの分布としてとらえることが、すでに成立しているようですから、それをご利用になれば、たぶん分けられるのではないかと思う。

A. 城谷：

我々の場合には、あくまでもルーチン規模でしますから、あまり難しい機械やお金のかかる装置は、実際には、なかなか使えない。

コメント. 松岡：

超音波の出力をつなげば、そういう解析ができる。それほど難しいことではないようです。

## VI-2 画像ファントム

山口 寛/本郷昭三/竹下 洋

放射線医学総合研究所

### Symbol Phantoms

Hiroshi Yamaguchi, Syozo Hongo and Hiroshi Takeshita

National Institute of Radiological Sciences

4-9-1, Anagawa, Chiba-shi, 260 Japan

**ABSTRACT**-We have developed Japanese phantoms in two procedures for computation of organ doses exposed to internal and/or external radiation sources. One method is to make mathematical phantoms on the basis of ORNL mathematical phantoms. Parameters to specify organs of Japanese mathematical phantom are determined by interpolations of the ORNL data, which define the organs of Caucasian males and females of various ages, i.e. new born, 1, 5, 10, 15 years and adult, with survey data for Japanese physiques. Another procedure is to build "symbol phantoms" for the Japanese public. The concept and its method of the symbol phantom enables us to make a phantom for an individual when we have all of his transversal section images obtained by a medical imaging device like MRI, and thus we may achieve more realistic phantoms for Japanese public than the mathematical phantoms. Both studies are in progress in NIRS.

### 1 はじめに

体外及び体内被曝による臓器吸収線量の評価のためには何等かのファントムが必要である。ファントムとして図1のものが考えられている。物理ファントムとは市販されているRANDOファントムの様なもので、その中にTLD等の測定器等をいれて吸収線量を測定から推定する際に使われるものである。計算機ファントムとは計算機上に定義されるファントムであり、吸収線量をモンテカルロ法を含む計算から推定しようとするときに使われるものである。従って計算機ファントムは、臓器の幾何学形、元素組成及び密度が人体の実際に可能な限り近いことを目標にする。計算機ファントムはさらに数学ファントムと我々の開発した画像ファントムに分

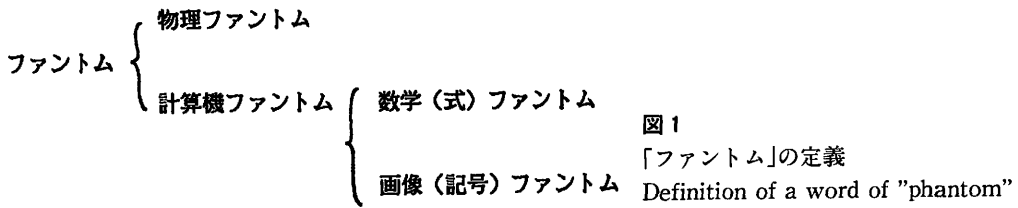


図1 「ファントム」の定義  
Definition of a word of "phantom"

けられる。画像ファントムは線量評価の目的である、1) 日本人一般公衆に対する線量をなんとか評価できないか、2) 事故被曝等で問題になる特定の個人に対する線量をより現実に即して評価できないか、の問題意識から考え出されたものである。

## 2 数学ファントム

数学ファントムは臓器の幾何学形を数式で定義することから数式ファントムとも呼ばれるが、1969年のMIRD法に端を発している<sup>1)</sup>。MIRDファントムと呼ばれたその数学ファントムはICRP Publication 23のコーカシアンに対するReference Man<sup>2)</sup>を基礎にし、 $\gamma$ 線に対する内部被曝の膨大な計算がなされた。このファントムはICRP Publication 30<sup>3)</sup>にも使われ職業被曝に対する放射線防護の基礎データの一つになっている。外部被曝への適用も二、三試みられている<sup>4)</sup>。

一般公衆の被曝が問題視されるようになり一般公衆用の数学ファントム及び臓器吸収線量が検討されるようになった。一般公衆用としてコーカシアンの公衆(N. B. 1歳, 5歳, 10歳, 15歳=adult female, adult)に対する数学ファントムが作られ、内部被曝に伴う臓器吸収線量がモンテカルロ法によりORNLのM. Cristyらにより求められた<sup>5)</sup>。又このファントムを使い西独のK. HenrichsとA. Kaulは、ファントムの大きさをパラメラーにした放医研の変換法により内部被曝に伴う臓器吸収線量を求めた<sup>6)</sup>。

日本人の数学ファントムはADULTファントム(1945年当時の日本人、広島、長崎の線量評価用)がコーカシアンのADULTファントムを縮小して作られた<sup>7)</sup>以外、現在の体格を基にした数学ファントムは作られていない。但し、日本人公衆の内部被曝の線量値は、数学ファントムの定義を経ずに、直接、体格をパラメターにした変換法で与えられている<sup>8)</sup>。しかし、日本人公衆の線量計算用ファントムは基礎データでもあるので、我々は2つの方向からファントム作成を検討している。

A) コーカシアンの公衆ファントム上に日本人の体格を重ね合わせて日本人公衆の数学ファントムを作る。

B) 数学ファントムの方式をやめて画像ファントム方式にする。

## 3 画像ファントム

画像ファントムは、臓器の幾何学形の数式表現を止め3次元の画素の集合体で表現するとい

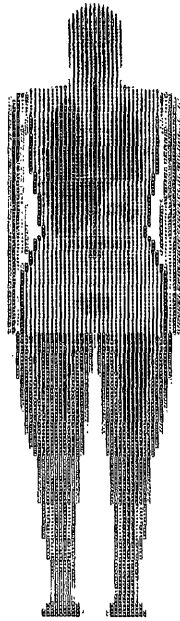


図2 画像ファントムの一例  
An example of a symbol phantom

表1 数学ファントムと画像ファントムの比較  
Comparison between mathematical phantom and symbol phantom

A) 数学ファントム	B) 画像ファントム
長所・国際的基準の上で定義できる  ・数値として明示的 短所・ファントム制作編集が困難 ・ファントムの精密化が困難	・日本人固有のファントムが可能 ・MIR画像が利用できる ・より精密なファントムが可能 (頭部, 骨髄, 肺, など) ・ファントム制作編集が可能 ・Monte Carlo計算の高速化ができる。  ・データが数値として表示できない

う全く新しい発想に立っている<sup>9)</sup>。画素一つの大きさは出来上がりの臓器表現の精密さと計算機容量との兼ねあわせで決まる。現在の試作では $1\text{ cm}^3$ で作られているが(図2参照), ゆくゆくは一辺が $0.5\text{ cm}$ の立方体にする予定である。頭部骨格系を表現するにはこの程度に小さい画素が必要である。画素ごとの元素組成及び密度は数学ファントムの臓器における定義と同じとする。数学ファントムと画像ファントムはそれぞれの長所と短所がありそれを表1にまとめた。

日本人の公衆に対する数学ファントムを作成する過程で臓器が重なって定義されていないかどうかを見る上でも、ファントムの画像化の手法は有用である。日本人公衆の数学ファントム上でモンテカルロ計算が実行されることになるが<sup>3</sup>、その画像化したファントム上で行った方が数学ファントム上より計算時間が3分の1程度に短縮される。画像ファントムは任意の断面での表示が可能であり、しかも文字または記号列表示であるので、医療画像を参照しながら、通常のワードプロセッサで編集できる。数式表現の非常に困難な臓器の定義が画像化手法で可能になった。

現在の数学ファントムでは、赤色骨髄への線量計算の向上がファントムの精密化を含め検討されるべきであると指摘されている<sup>5</sup>。赤色骨髄をとりまく骨の構造(~数百 $\mu\text{m}$ )を考慮した2次電子の飛跡シミュレーションを含むモンテカルロ計算をする必要があり、その際、画像ファントムの手法は無くしてはならないものであろう。

胎児の線量計算も試みられ始めたが<sup>10</sup>、胎児の発育を考慮した計算の必要性が生じたとき、画像ファントムの手法は大いに有望である。

個人用のファントムは画像ファントムがあって初めて実現できる。そのために全身画像等から画像ファントムを構成するアルゴリズムの開発が目下進められている。

#### 4 日本人公衆の数学ファントムの作成について

ORNLにおいてコーカシアン公衆の数学ファントムが作られた(図3)。さらに臓器の例を図4、5に示す。肝臓と骨盤を定義する数式と年齢毎のパラメタ値が与えられている。これだけのデータが与えられているので、日本人の各年齢層はコーカシアン公衆の数学ファントムのどこに位置するかを知れば、これらデータの補間により日本人の数学ファントムの第一近似のパラメタ値を得ることが出来る。日本人の体格のデータは田中ら<sup>11</sup>)により蓄積されているので、

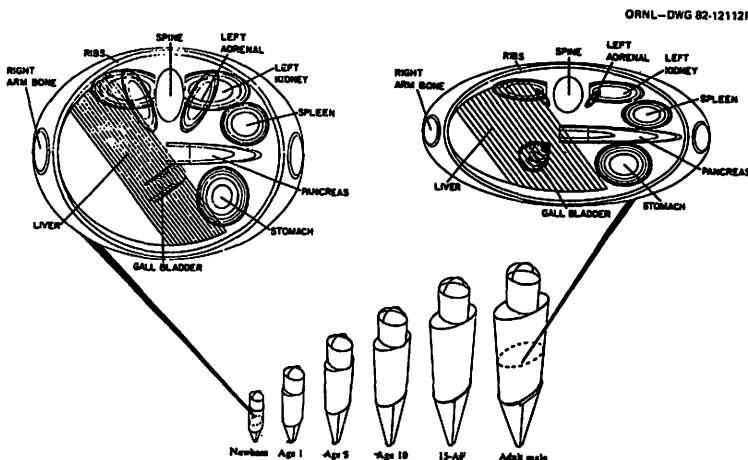


図3 コーカシアン公衆に対するORNL数学ファントム  
ORNL mathematical phantom for Caucasian public<sup>5)</sup>

Liver. The liver is defined by an elliptical cylinder cut by a plane as follows:

$$\begin{aligned} &\text{and } z_1 \leq z \leq z_2. \\ &(x/a)^2 + (y/b)^2 \leq 1 \\ &x/x_m + y/y_m - z/2m \leq -1 \end{aligned}$$

The liver in the age-15-male/adult-female phantom has been changed slightly from that given for the age 15 phantom in Cristy (1980) to match the data for a reference adult female (ICRP 1975).

Phantom	a	b	$x_m$	$y_m$	$z_m$	$z_1$	$z_2$
Newborn	5.19	4.25	8.45	10.90	13.27	8.33	13.27
Age 1	7.20	5.47	12.83	16.55	18.86	11.84	18.86
Age 5	9.39	6.30	16.27	20.34	25.06	15.74	25.06
Age 10	11.43	6.83	21.98	29.67	31.21	19.59	31.21
15-AF	14.19	7.84	31.51	44.75	38.76	24.34	38.76
Adult male	16.50	8.00	35.00	45.00	43.00	27.00	43.00

Phantom Volume (cm <sup>3</sup> )	
Newborn	117
Age 1	281
Age 5	562
Age 10	853
15-AF1	350
Adult	1830

図4 ORNLファントムの肝臓の数学表現

Mathematical expression and parameters of Liver in the ORNL phantom<sup>5)</sup>

Pelvis. The pelvis is a portion of the volume between two nonconcentric elliptical cylinders. The inequalities defining the pelvis are

$$\begin{aligned} &(x/a_2)^2 + \{(y-y_{02})/b_2\}^2 \leq 1 \\ &(x/a_1)^2 + \{(y-y_{01})/b_1\}^2 \geq 1 \\ &y \geq y_{02}, \\ &0 \leq z \leq z_2, \\ &\text{and } y \leq y_1 \text{ if } z \leq z_1. \end{aligned}$$

Phantom	$a_1$	$b_1$	$a_2$	$b_2$	$y_{01}$	$y_{02}$	$y_1$	$z_1$	$z_2$	Volume (cm <sup>3</sup> )
Newborn	3.59	5.54	3.81	5.88	-1.86	-1.47	2.45	4.32	6.79	28.9
Age 1	4.97	7.35	5.28	7.80	-2.47	-1.95	3.25	6.14	9.65	76.0
Age 5	6.47	8.48	6.87	9.00	-2.85	-2.25	3.75	8.16	12.82	151
Age 10	7.85	9.49	8.34	10.08	-3.19	-2.5	24.20	10.16	15.97	258
15-AF	9.75	11.07	10.35	11.76	-3.72	-2.9	44.90	12.62	19.83	460
Adult male	11.30	11.30	12.00	12.00	-3.80	-3.00	5.00	14.00	22.00	606

図5 ORNLファントムの骨盤の数学表現

Mathematical expression and parameters of Pelvis in the ORNL phantom<sup>5)</sup>

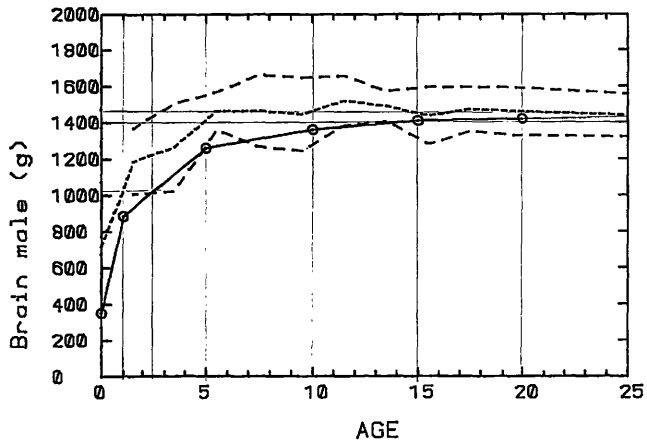


图 6 - 1

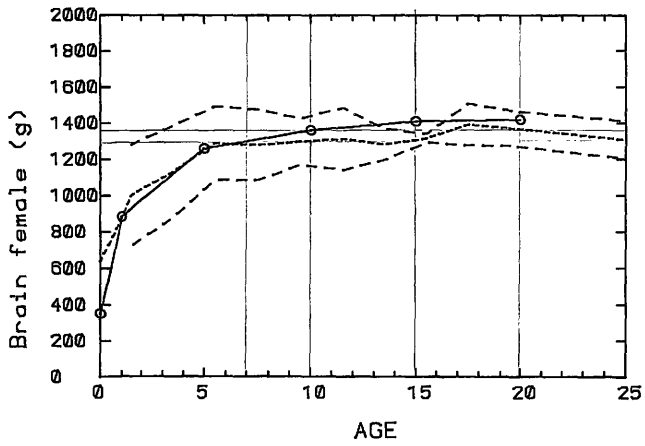


图 6 - 2

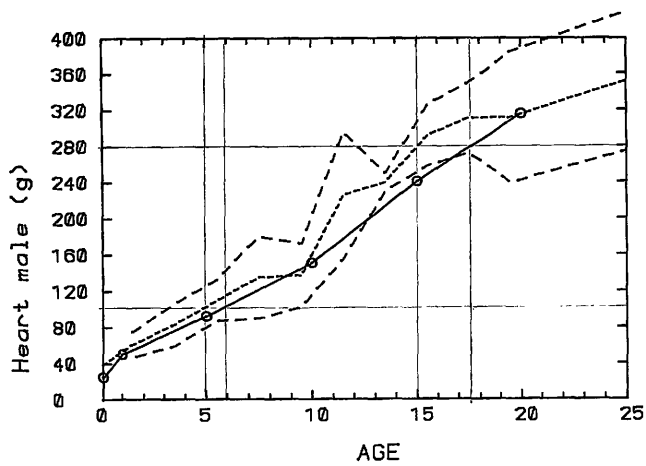


图 6 - 3



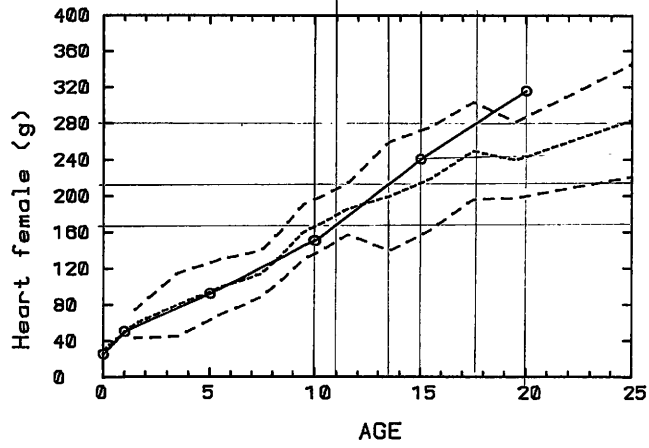


図 6 - 4

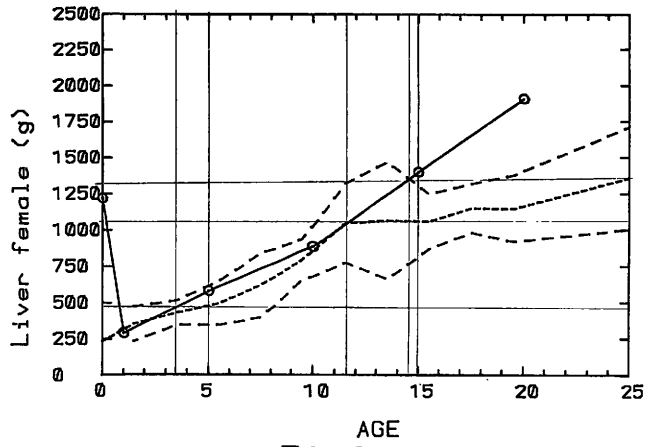


図 6 - 5

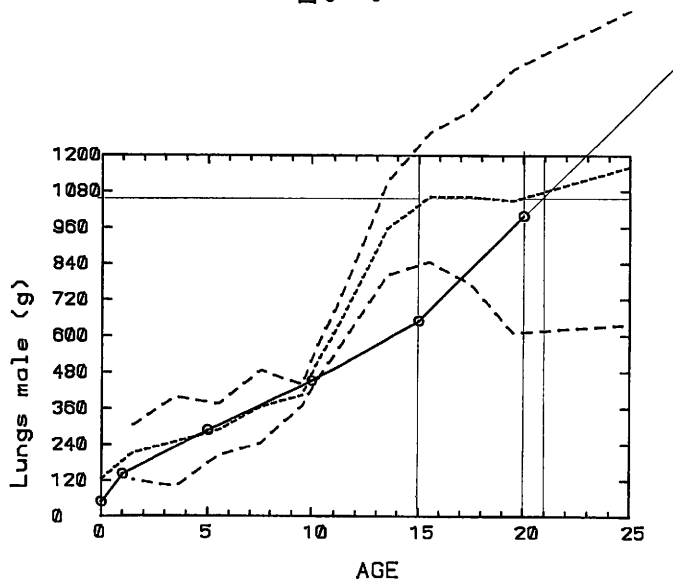


図 6 - 6

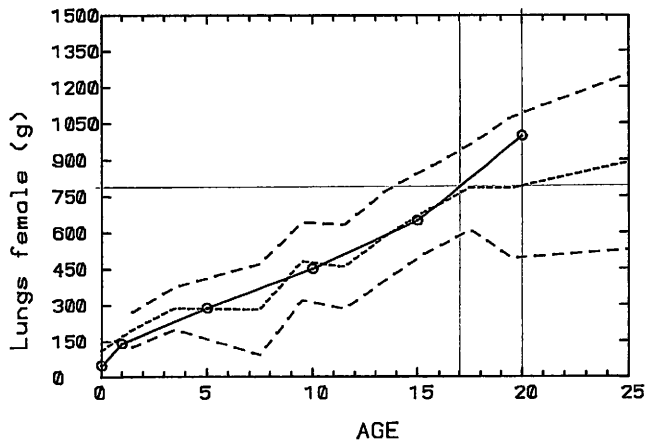


図 6-7

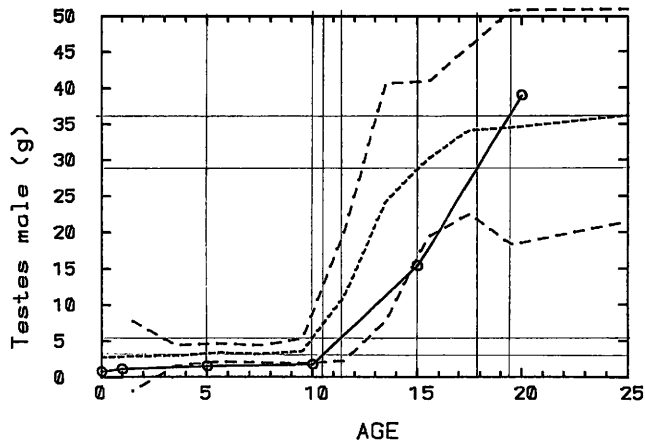


図 6-8

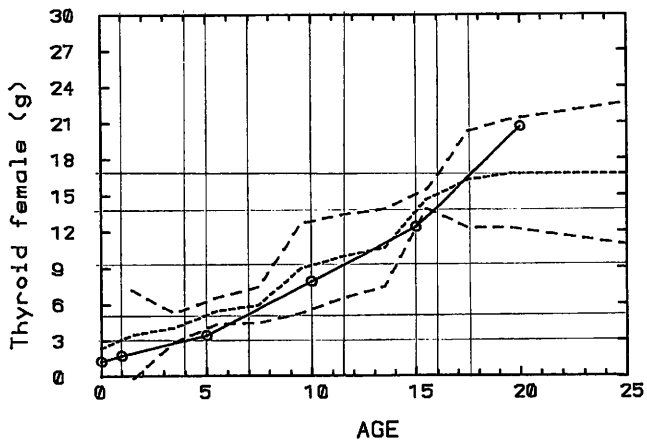


図 6-9

図 6 ORNLファントムと日本人の体格比較

実線及び○印はORNLの値を示し、小破線は日本人の平均値、大破線はその標準偏差値<sup>1)</sup>を示す。縦横に引かれた薄い実線は日本人の体格に対するORNLファントムの対応年齢をみつけるために引かれたものである。

表2 ORNLの数学ファントム上の年齢で示した日本人男子の体格

Ages of ORNL mathematical phantoms corresponding to physiques of Japanese male

Japanese male						
	N. B.	1	5	10	15	Adult
Adrenals	—	3	6	12	16	18.5
Brain	—	2.5	15	31	31	31
Heart	—	—	6	—	17.5	—
Kidneys	—	—	—	—	—	—
Liver	—	—	—	—	13.5	17
Lungs	—	—	—	—	21	21
Pancreas	—	10	12	14	21.5	23
Spleen	—	3.5	6.5	—	14.5	16.5
Testes	—	10.5	10.5	11.5	18	19.5
Thymus	—	—	—	—	10	10
Thyroid	—	—	—	7.5	17.5	19
Hight	—	—	—	—	15	15
Sit. hight	—	—	—	—	17.5	17.5
Legs	—	—	—	—	—	14
Weight	—	—	—	—	—	16

— shows both ages are same.

表3 ORNLの数学ファントム上の年齢で示した日本人女子の体格

Ages of ORNL mathematical phantoms corresponding to physiques of Japanese female

Japanese female						
	N. B.	1	5	10	15	Adult
Adrenals	—	3	8	—	15.5	17.5
Brain	—	—	—	7	7	10
Heart	—	—	—	11	13.5	17.5
Kidneys	—	—	3.5	11	—	18
Liver	—	—	3.5	—	11.5	14.5
Lungs	—	—	—	—	—	17
Pancreas	—	4.5	11.5	13.5	17.5	22.5
Spleen	—	—	7	—	11.5	19.5
Thymus	—	—	1	15	—	15
Thyroid	—	4	7	11.5	16	17.5
Hight	—	—	—	—	13	13
Sit. hight	—	—	—	—	15	15
Legs	—	—	—	9	14	12
Weight	—	—	—	—	13.5	14

それらのデータをORNLのデータのグラフ上にプロットし(図6),日本人の体格がORNLの何歳に相当するかをグラフ上で決めた。その結果を表2, 3に示す。

N. B. (New Born)はORNLのファントムを適用できるが, 1歳, 5歳, 10歳, 15歳, Adultは男女別に日本人の数学ファントムを作るほうがよさそうである。現在その方向で検討している。

#### 参考文献

- 1) Snyder, W. S., Ford, M. R., Warner, G. G. and Fisher, Jr. H. L.: Estimation of absorbed fractions for monoenergetic photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom. MIRD Pamphlet No. 5, 1969.
- 2) Snyder, W. S., Cook, M. J., Nasset, E. S., Karhansen, L. R. and Howells, P. G.: Report of task group of reference man., ICRP Pub. No. 23, Pergamon Press, London, 1974.
- 3) ICRP Pub. 30: Limits for Intakes by Workers. Pergamon Press, Oxford, 1979.
- 4) a. Warner, G. G., Poston, J. W. and Snyder, W. S.: Absorbed dose in phantoms which represent various aged male humans from external sources as a function of age. *Health Phys.* **28**, 599-603, 1975.  
b. O'Brien, K. and Sanna, R.: The distribution of dose-rates in human from exposure to environmental gamma rays. *Health Phys.* **30**, 71-78, 1976.
- 5) Cristy, M. and Eckerman, K. F.: Specific absorbed fractions of energy at various ages from internal photon sources. I. Method. Oak Ridge National Laboratory Rep. ORNL/TM-8381 Vol. 1, 1978.
- 6) Henricks, K. and Kaul, A.: Dosimetry of Internal emitters, Age dependent values of specific absorbed fractions. STH Berichte, Dietrich Reimer Verlag, Berlin, 1982.
- 7) Kerr, G. D., Hwang, J. M. L. and Jones, R. M.: A mathematical model of a phantom developed for use in calculation of radiation dose to the body and major internal organ of a Japanese adult. *J. Radiat. Res.* **17**, 211-229, 1976.
- 8) Yamaguchi, H.: Estimation of internal radiation dose for various physiques using MIRD adult absorbed fractions. *Acta Radiological Oncology* **17**, 429-439, 1978.
- 9) 山口 寛, 本郷昭三, 竹下 洋: 吸収線量計算のための人体ファントムの画像化, 保健物理 **19**, 215-218, 1984.
- 10) Smith, E. M. and Warner, G. G.: Estimation of Radiation Dose to the embryo from nuclear medicine procedures. *J. Nucl. Med.* **17**, 836-839, 1976.
- 11) Tanaka, G. and Kawamura, H.: Reference Japanese man-1. Mass of organ and other characteristics of normal Japanese. *Health Phys.* **36**, 333-346, 1979.

## ＜討 論＞

座長(川島勝弘)：

各臓器がいろいろな年齢でどの位に変化するかと、バラツキとか、いろいろな問題を見せて頂いたが、特に城谷先生の肺モニタに関連する肺というのは、バラツキの多い部分であるということになるとさらに考えさせられることがあろうかと思う。

Q. 河村日佐男：

日本人ファントムの開発のため、コーカシアンの公衆に対する数学ファントムの利用と独立に画像ファントムで考えていくという2つの方針をたてられているのは、非常に結構だと思う。欧米人公衆のファントムとの対比に関して、後の方の各臓器、各年齢における各臓器、身長、体重などのいわゆる等価年齢というか、年齢の比較に一つ問題がある。Cristyのデータは、何らかの方法でまるめた値を取っている。お使いになった、こちらの田中先生のデータは、生データの平均値を取ってある。生データと、何かモデル化したデータとを比較するのはちょっと問題がある。(日本人のデータの方も)臓器重量と年齢の関数表示をした上で評価しないと、正確な比較にならない。ある年齢群で女性の脳重量が(欧米人に較べてかなり)小さいと言われたが、その辺の事が効いているのではないかと思う。

A. 山口寛：

向こうのファントムと比べる場合に、臓器重量の年齢に対する何らかの経験式をまずたてることが重要でないかという点に、若干異義を申し立てたい。そういう補間のための経験則をたてるとすると、何か必然的なロジックなり理由をたてた式でない限り、それは代表値を求めた時のまるめかたと同じです。カーブがずいぶん波うったのをまっすぐにするような内(外)挿する式をたてることに対しては反対です。そうすると、カイネティックスというか、年齢による生長を記述するロジックがあればもちろんそれを導入した方がよいと思う。今報告はそういうことを検討する時間が無かったので欧米人のいろいろな統計データから作った数学ファントムを一つの座標系とみて、その座標上で生データを表現することを考えた。もちろん、そのロジックがわかり、その統計変動の理由も解れば、即時それに換えて作ることが可能だと思う。

コメント. 田中義一郎：

WhiteさんがICRPのファントムの責任者で今度新しく作りたいと言っている。昨日もお話した通り、各ファントム5つを考えるようだ。詳細はともかくとして、世界的な意味でファントムは、非常に重要なことになってきていると思う。

Q. 河村：

昨日は、dimensionあるいは大きさについて発表がなかったけれども、日本人の器官のサイズのデータはある。原研ファントムとIAEAファントム(ローレンス・リバモアで作ったもの)で、その臓器の形が違うというが、城谷先生の方では臓器の形は、どのようなデータによって決められたか。

#### A. 城谷孝：

私の方は現在、解剖学的な細かいデータは手元にないので、古い解剖図、最近のものでは、X線写真、あるいは入手した人体のCTスキャンの一部など、そういう断片を継ぎ合わせている。後でいくらでも作り換えられるから、とりあえず、このような格好でやってみようということだ。肝臓の形が良くない等というクレームがつけられたりしてはいるが、形は鋳型さえ作り直せば、いくらでも出来る。具体的なデータをとにかく入手したいと思い、2、3の関係者に声をかけたが、なかなか良いものがなく、私の方では入手していない。

#### 座長：

今、形そのほかいろいろな問題があったが、日本では今、X線CTスキャナーの数が3千台を超えていると言われており、毎日そういったX線CT写真が撮られている。ですから部分的であっても形状、大きさなどおそらくいろいろな情報が随分日本中にあふれていると思う。いかにそれをうまく利用するか、患者さんでも正常なところはあるわけで、それを利用したら、今のような問題も解決するのではないかと思う。それではお二方、有難うございました。

### VI-3 NMR-CTと画像ファントム

本郷昭三／山口 寛／竹下 洋

放射線医学総合研究所

#### NMR-CT Image and Symbol Phantoms

Syozo Hongo, Hiroshi Yamaguchi, and Hiroshi Takeshita

National Institute of Radiological Sciences

4-9-1, Anagawa, Chiba-shi, 260 Japan

**ABSTRACT** -We have developed Japanese phantoms in two procedures. One is described as a mathematical expression. Another is "symbol phantoms" in 3 dimensional picture-elements, each of which symbolize an organ name. The concept and the algorithm of the symbol phantom enables us to make a phantom for a individual in terms of all his transversal section images.

We got 85 transversal section images of head and trunk parts, and those of 40 legs parts by using NMR-CT. We have made the individual phantom for computation of organ doses. The transversal section images were not so clear to identify all organs needed to dose estimation that we had to do hand-editing the shapes of organs with viewing a typical section images: we could not yet make symbol phantom in a automatic editing. Symbols were coded to be visual cords as ASCII characters. After we got the symbol phantom of the first stage, we can edit it easily using a word-prosseser. Symbol phantom could describe more freely the shape of organs than mathematical phantom.

Symbol phantom has several advantages to be an individual phantom, but the only difficult point is how to determine its end-point as a reference man when we apply the method to build the reference man.

#### 1 はじめに

放射線被曝による、臓器線量を計算するためには、ある線源から発生した放射線のエネルギーがどの程度対象とする臓器に吸収されたかを知る必要がある。この吸収割合：AF (Absorbed

Fraction)を求める方法には実験による方法、コンピュータ・シミュレーションによる方法の二通りある。実験による方法では人体の模型を実際に作り測定対象とする臓器に検出器を設置し、線源を設置して測定を通して求めることになる。コンピュータ・シミュレーションによる方法ではコンピュータ上に人体模型を作り、光子のシミュレーションを行ってAFを求める。一見すると、実験的にAFが求められれば、コンピュータ・シミュレーションなど必要ないのではなかろうかと思われるが、種々の放射線、臓器に対して、AFを求めるには幾つかの難点がある。それは、まず手間が大変であること、人体模型が果たして種々の放射線に対して人体と同じ反応をしてくれるかどうか(組織等価性の問題)、検出器や線源を設置したために観測値が変化しないか(検出器の質と量による観測場の乱れ)の問題などがある。一方、コンピュータ・シミュレーションによる方法では人体模型をいかに構築するか、光子のシミュレーションは現実を忠実に模擬しているか、等の問題がある。現実的には、実験によりすべての核種に対して線量を評価することは困難であるため、国際放射線防護委員会ではコンピュータ・シミュレーションによる方法で線量を評価している。筆者らはコンピュータ・シミュレーションによって求められたAFを用いて内部被曝線量を評価するコードIDES 1を開発した。IDES 1の特徴は日本人の体格に相当する線量を計算できることにあるが、AFは光子シミュレーションによる方法で求めたものではなく、山口が理論的考察の上、開発した体格変換法により求めたものである。現在筆者らが開発に取り組んでいるIDES 2は新たに日本人の人体模型をコンピュータ上に定義し、それに対して光子シミュレーションを行ってAFを求め、外部、内部被曝線量計算するシステムである。

## 2 人体模型(ファントム)

臓器線量を計算するためのいずれの方法を選択しても人体模型を用いる必要がある。人体模型は表1の様に分類することが出来よう。各人体模型については、前報告で述べた。筆者らが

表1 人体模型の分類

物理 ・ファントム		RANDO RANDOファントム等
	数式	MIRDファントム等
コンピュータ ・ファントム		(ORNL)
・ファントム	画像	シンボル・ファントム
	・ファントム	その他、画像・ファントム

開発したシンボル・ファントムは画像化の手法を取り入れ、人体を単位立方体(現在は1 cm立方)の積みかさねで表し、その立方体の一つ一つに臓器名を示す文字コードを割り当てて人体を表現するものである。この方法の特徴は表現の自由度が大きく、臓器の大きさ、形、位置を容易に変更することができる。この特徴はひるがえって、日本人の平均的体格を表現するなどの、



標準化の場合修正の終点が決め難いという難点をもつことになる。このファントムの特徴を最もいかしたのものとして、ある特定の個人の線量評価用のファントムを挙げることができる。

### 3 NMR-CT画像からシンボル・ファントムへ

最近の医療画像技術の進歩は目ざましく、簡単にin vivo 横断面、縦断面を観察することができる。線量計算用のファントムにもこれらの技術を導入することにより解剖学的には、入手困難な年齢層の体格や肥満などの特殊な体格についても線量計算が可能となる。このような観点からNMR-CT画像から線量計算用の人体ファントムの制作を試みた。当研究所のNMR-CTを用いて上半身1 cmごとの、下半身2 cmごとの断面を撮影し、そのデータを変換して筆者らの使用しているパーソナル・コンピュータにとりこんだ。このNMR-CT画像から自動的に線量評価に必要な臓器をすべて区別することは難しく、実際上の画像処理の大部分は手作業が必要となった。この作業の過程で別種類の二つのファントムをつくることとなった。一つはICRP等で用いている画素化しNMR-CT画像に近づける過程で作られたものと、もう一方はNMR-CT画像から忠実にファントム化を行う過程で生じたものである。前者のファントムでは細部の表現が難しく臓器の形状はある程度近似し臓器の体積をあわせることとした。

後者のファントムでは1 cm立法ではなく5 mm立法程度にしなくては表現出来ないことが判った。図1にMIRDファントムを直接画像化したもの、図2にNMR-CT画像、図3に図2の画像を参考に図1を修正したもの、図4にNMR-CT画像をプログラムの自動判別させシンボルを対応させたものを示した。表2に識別した組織とそのシンボルを示した。また表3及び図5には現在定義している組織の元素組成を示した。

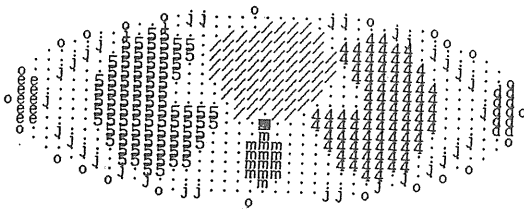


図1 シンボルファントム断面図1  
(MIRDファントムを直接画像化したもの)

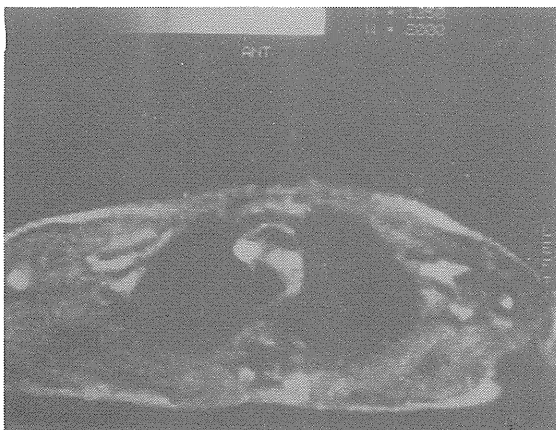


図2 NMR-CT画像

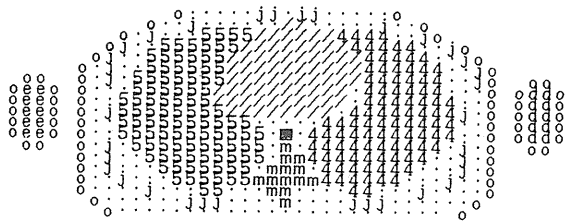


図3 シンボルフアントム断面図2  
(図2の画像を参考に図1を修正したもの)

表2 組織とシンボル

1 [!] left adrenal	2 ["] right adrenal	3 { } adrenals
4 [\$] bladder	5 [%] contents	
6 [&] brain		
7 [^] stomach	8 [( ) contents	
9 [ ) ] ULI	10 [*] contents	
11 [+ ] LLI	12 [ , ] contents	
13 [- ] SI+contents		
14 [ . ] genital		
15 [ / ] heart		
16 [ 0 ] left kidney	17 [ 1 ] right kidney	18 { } kidneys
19 [ 3 ] liver		
20 [ 4 ] left lung	21 [ 5 ] right lung	22 { 6 } lungs
23 { 7 } RM l. arm	24 { 8 } RM r. arm	
25 { 9 } RM clavicles		
26 { : } RM up. l. leg	27 { ; } RM up. r. leg	
28 { < } RM pelvis	29 { = } RM ribs	30 { > } RM scapulae
31 { ? } RM cranium	32 { @ } RM mandible	
33 { A } RM low spine	34 { B } RM mid. spine	35 { C } RM upp. spine
36 { D } RM mid region	37 { E } RM low region	38 { F } RM head
39 { } RM Red Marrow		
40 { H } YM up.l.arm	41 { I } YM low. l. arm	42 { J } YM up. r. arm
43 { K } YM low. r. arm	44 { L } YM clavicles	45 { M } YM up. l. leg
46 { N } YM low. l. leg	47 { O } YM up. r. leg	48 { P } YM low. r. leg
49 { Q } YM pelvis	50 { R } YM ribs	51 { S } YM scapulae
52 { T } YM cranium	53 { U } YM mandible	54 { V } YM low. spine
55 { W } YM mid. spine	56 { X } YM upp. spine	57 { Y } YM mid. region
58 { Z } YM low. region	59 { [ ] YM head	60 { ¥ } YM Yellow Mar
61 [ J ] septum	62 [ ^ ] nares	63 [ - ] nasal region
64 [ ^ ] left ovary	65 [ a ] right ovary	66 { } ovaries
67 [ c ] pancreas		
68 [ d ] left arm bone	69 [ e ] right arm bon	
70 [ f ] clavicles		
71 [ g ] left leg bone	72 [ h ] right leg bon	
73 [ i ] pelvis	74 [ j ] ribs	75 [ k ] scapulae
76 [ l ] skull	77 [ m ] spine	78 { } skeleton
79 [ o ] trunk skin	80 [ p ] leg skin	81 [ q ] head skin
82 { } total skin		
83 [ s ] spleen		
84 [ t ] left teste	85 [ u ] right teste	86 [ v ] testes
87 [ w ] thymus	88 [ x ] thyroid	89 [ y ] trunk tissue
90 [ z ] leg tissue	91 [ { ] head tissue	92 { } total tissue
93 [ } ] uterus		
94 [ ~ ] trachea	95 [ r ] main bronchi	96 [ ! ] oesophagus
97 { } trunk	98 { } legs	99 { } head
100 { } total body		
101 { } void		

[ ] 内は組織に当てられたシンボル

{ } はファントムには現われないが集計上現われる組織

表3 組織の元素組成(g/cm) [ ] 内は原子番号

骨 SKELETON INCLUDING BONE AND MARROW					
[1]. 106E00	[6]. 342E00	[7]. 581E-01	[8]. 728E00	[11]. 480E-02	
[12]. 165E-02	[15]. 104E00	[16]. 255E-02	[17]. 210E-02	[19]. 225E-02	
[20]. 149E00	[26]. 120E-03	[30]. 720E-04	[38]. 480E-04		
軟組織 TISSUE OTHER THAN LUNG BONE OR THYROID					
[1]. 105E00	[6]. 230E00	[7]. 234E-01	[8]. 532E00	[11]. 130E-02	
[12]. 150E-03	[15]. 240E-02	[16]. 220E-02	[17]. 140E-02	[19]. 210E-02	
[26]. 630E-04	[30]. 320E-04	[37]. 570E-05	[38]. 340E-06	[40]. 800E-05	
[82]. 160E-06					
肺 LUNG					
[1]. 306E-01	[6]. 300E-01	[7]. 840E-02	[8]. 228E00	[11]. 570E-03	
[12]. 222E-04	[15]. 243E-03	[16]. 690E-03	[17]. 810E-03	[19]. 600E-03	
[20]. 210E-04	[26]. 111E-03	[30]. 330E-05	[37]. 111E-05	[38]. 177E-07	
[82]. 123E-06					
甲状腺 THYROID					
[1]. 105E00	[6]. 230E00	[7]. 234E-01	[8]. 632E00	[11]. 130E-02	
[12]. 150E-03	[15]. 240E-02	[16]. 220E-02	[17]. 140E-02	[19]. 210E-02	
[26]. 630E-04	[30]. 320E-04	[37]. 570E-05	[38]. 340E-06	[40]. 800E-05	
[53]. 170E-08	[82]. 160E-06				



図4 シンボルファントム断面図3 (NMR-CT画像をプログラマ的に自動判別させシンボルを対応させたもの)

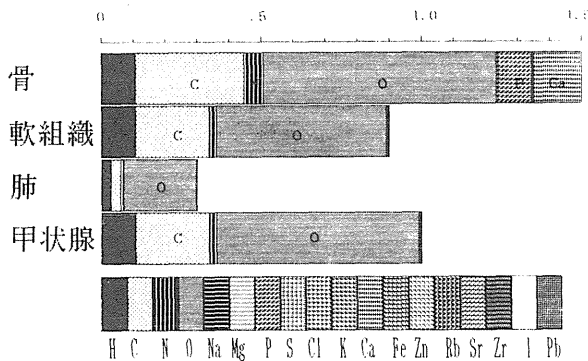


図5 組織の元素組成

#### 4 おわりに

これらのファントムの組織の元素組成は必要ならば、最近のデータで更新することができる。光子シミュレーションプログラムでは、まず組織の元素組成、元素の光子反応断面積のファイルを読み、組織の光子反応断面積を計算する。次に、コンピュータの疑似乱数を用いて、組織の反応断面積を参照しつつ、ファントム内で光子を走らせ光子反応が生じるごとに、その組織

に付与するエネルギーを求めて、最終的にAFを出力する。光子のシミュレーション・コードは既に開発済みで、ICRPの用いた数学ファントム(MIRDファントム)を画像化(1cm立法)したシンボルファントムに適用した結果、体積の大きな組織では良い一致をみたものの、体積の小さな組織では若干の違いがみられた。現在のところ、この相違は画素化によるものか、光子のシミュレーション・コードによるものか、シミュレーション全体の統計が不十分なためか、または、コンピュータの疑似乱数の精度の相違によるものか、定かではなく、5mm立法のファントムと異なる疑似乱数を用いて検討を続けている。この検討を経て後、個人用のファントムに対して光子シミュレーションが信頼できるものとなろう。

そして、それを使い個人のAFを求める体制が整備されたといえよう。NMR-CT画像から個人のファントムを作りあげるには、まだ解決すべき問題が幾つかある。その一つは現在の編集方法ではあまりにも時間がかかり過ぎる事である。しかしながら、医療画像、コンピュータの輪郭抽出技術も急速な進歩をしており、近い将来医療画像から即座に線量計算用のファントムをつくりあげることも可能になるものと思われる。この様なある特定の個人の線量評価用のファントムを挙げることは医療被曝における患者個人の線量評価、放射線医療における線量評価、また、線量計算のための標準的な体格を決定する過程で、体格による線量の変化を研究する等に有意義であると考えている。

## <討 論>

### Q. 丸山隆司:

こういうファントムができると、医療被曝あるいは職業被曝、全身被曝あるいは局所被曝、如何なる被曝でも簡単に計算できるということか。中性子に対する検討は?

### A. 本郷昭三:

中性子シミュレーションについては、私どもまだ、手掛けていない。出来ることは確かだが、マンパワーの問題だと思う。

### Q. 内山正史:

今のファントムは、組織内の元素の濃度分布は、均一と見るわけですね。昨日から色々な発表を聞いていますと臓器の中でも元素の分布、片寄りがある。いずれはそれを考慮して作られるかどうか。

### A. 本郷:

ここに示したように臓器をかなり多数に区分している。臓器内に濃度分布の異なる(部分)臓器を作っても構わないわけで、充分に対応できると思う。

### Q. 内山:

そうして算定した線量はおそらく、はるかに正確になっていくものと期待している。

A. 本郷：

そう思う。

Q. 河村：

MIRDファントムのNMR-CTデータによる修正について、トランクの場合に現在、水平移動のほか、サイズは縮小されているか。

A. 本郷：

我々の修正内容は、形の方を最初に検討した。実際にはシミュレーションする時にピクセルのサイズを変えられるようになっていて、だからピクセルのサイズを変えてやると、比率が変わって全体が変形されて、それで対応させている。ここで紹介したのは、まだピクセルはMIRDからそのまま変換した、1cmのままのシミュレーションである。

Q. 松岡理：

NMRは確かに被曝線量が無い点では良いが、X線・ガンマ線の吸収とは無関係である。元素組成からもっていく形をとっているが、同じ位置でのX線CTでその濃度を取って、それから、持って行く方がより実用的ではないか。

A. 本郷：

本当にできればですね。1人の人が色々な測定器に入ってもらえば、もっと簡単に精密なファントムが作られるはずだ。

Q. 松岡：

組織の元素組成は、一つの組成をお使いか。

A. 本郷：

そうである。

コメント. 松岡：

それと同じ考え方で、ある特定のNMR-CTでは、たくさんの断面を撮り、X線CTは、極く紛らわしい所(骨との境界などNMRでよく見えない部分)だけ、2, 3発撮ればよい。我々の場合には骨のプルトニウムが問題になるが、骨や軟骨に対してはやはり、X線CTの威力があるように思う。NMR-CTとX線CTとの組合せを考えて頂きたいと思う。

Q. 座長(岩倉哲男)：

一つプリミティブな質問をさせて頂きたい。臓器を簡単な幾何学的なモデルで考えたファントムと、今おやりになったような、かなりリアリスティックに形状・位置関係を考えたファントムとで、具体的に線量の差はどの程度出て来るものか。

A. 本郷：

先ほどのシンボル・ファントムでシミュレーションした結果では出てきた差が統計誤差かどうか、まだ確かめられていない。線量が一番多くなるのは、結局、自己吸収というか、自分(同一の臓器)から発した放射線だ。従って、トータルの吸収線量としては、臓器自身の重さが一番効き、あと(形状など)は、それほど大きくは効かないかも知れない。どのような因子が最終的なトータルの線量に効いているかを見るためにも、シンボルファントムは有用であると考えている。

## VI-4 日本人の被曝線量算定例 — 広島・長崎の原爆線量再評価 —

丸山 隆 司

放射線医学総合研究所

Mathematical Phantoms for Use in Dose Estimation of Survivors in

Hiroshima and Nagasaki

Takashi Maruyama

Division of Physics, National Institute of Radiological Sciences

4-9-1, Anagawa, Chiba-shi, 260 Japan

**ABSTRACT**—The T65D (Tentative 1965 Dose) was recently revised on the basis of new scientific evidences which were available in accordance with the development of computer techniques and the accumulation of nuclear data. For the dose determinations of survivors in Hiroshima and Nagasaki, DS86 (Dosimetric System 1986) is a complete replacement of T65D for the Life Span Study (LSS) in RERF (Radiation Effects Research Foundation). In the DS86, depending on the input data for a survivor, various elements of several data bases are combined to provide the dosimetric variables requested by the user. The quantity finally desired for the LSS is absorbed dose in each organ.

The calculation of quantities for converting incident fluence to absorbed dose in the target organ was carried out using Monte Carlo methods. For this calculation, mathematical phantoms were required. This paper describes the background data used for the construction of Japanese survivor phantoms and summarizes the mathematical phantoms employed in the DS86.

### 1 はじめに

人類に対する放射線影響を考える上で、広島・長崎における原爆による生物学的効果の調査研究は非常に重要な役割を果たしている。特に、寿命調査(Life Span Study, LSS)は、ヒトの放射線誘発がんの線量・効果関係に関する貴重な情報を提供している。この調査は、1950年以来、ABCC (Atomic Bomb Casualty Commission) が実施し、RERF (Radiation Effects Research Foundation, 放射線影響研究所, 放影研ともいう)が引き続き行っている。LSSで

は、約82,000人の被爆者と27,000人(原爆投下時に市内に居住しなかった人数を含む)の非被爆市民を対象にして、毎年、死亡数を調査している。1985年までの30年間の死亡数が報告されているが、年数を経るに従ってLSSの対象者が加齢するので、死亡数も増加してくる。現在、用いられているLSSのデータは、1950～1978年あるいは1950～1982年のものである。

LSSで重要なものの一つは、被爆者が原爆から受けた放射線の線量である。1965年に暫定的にきめられた、いわゆるT65D (Tentative 1965年 Dose)がLSSのために広く用いられてきた。T65Dは文字通り、新しい科学的事実が明らかになったとき、その事実に従って改訂されるべき線量であった。1980年ごろ、原爆線量をきめるための基本量である、原爆の出力(原爆のエネルギーで、通常、TNT火薬の相当ktで表わされる)、原爆から放出された放射線のエネルギー・スペクトルなどに新事実が見出され、原爆線量再評価が日米の専門家の間で検討されてきた。1986年にLSSのための線量評価法、DS86 (Dosimetric System 1986年)が作成された。ここでは、被曝線量算定の一例としてDS86を概観し、臓器・組織線量算出<sup>1)</sup>のために設定されたファントムについて述べる。

## 2 DS86

LSSの対象者は、広島で61,894人、長崎で31,717人の合計93,611人であり、T65Dで10rad (0.1Gy)以上の被曝を受けたと思われる人は広島で17,753人、長崎で8,920人の合計26,703人であった。LSSの対象者については遮蔽カードが作成されており、被爆地点、場所、被爆時の状況などが記載されている(図1)。DS86は、LSSの対象者個人個人の遮蔽カードから得られた図1の情報を入力データとし、必要に応じて(1)自由空間中の組織カーマ、(2)屋内あるいは遮蔽透過後の放射線の組織カーマおよび(3)人体の臓器・組織線量を計算するシステム(図2)である。DS86からの出力は、RERFの研究者達がLSSを実施する上で必要に応じて、表1に示す放射線の成分別に取り出すことができる。核分裂で発生した即発 $\gamma$ 線と即発中性子は、弾筒が破壊される前に大気中に放射される。中性子と物質との相互作用により $\gamma$ 線を発生するが、この $\gamma$ 線を2次 $\gamma$ 線とする。初期 $\gamma$ 線は、即発 $\gamma$ 線と即発中性子により大気や土壌で発生した2次 $\gamma$ 線を含む。後期 $\gamma$ 線は、核分裂生成物からの $\gamma$ 線と遅発中性子により大気や土壌で発生した2次 $\gamma$ 線を含む。自由空間中では4成分のみであったが、これらの放射線が家屋などを構成する物質と相互作用して発生した2次 $\gamma$ 線を加えて遮蔽後は6成分となる。さらに、人体との相互作用による2次 $\gamma$ 線が加わるので、臓器・組織線量は8成分について計算される。

DS86で最終的に線量が計算される臓器・組織は次の15である。骨髄、脳、甲状腺、肺、乳房、胃、肝、脾、大腸、膀胱、子宮、卵巣、精巣、眼、骨格。これらの臓器・組織の吸収線量の計算は、ファントムを用いて行われるので、1945年当時の日本人の体格を模擬したファントムの設定が必要である。



入力データ
すべての被爆者
a. 被爆市別, 性別, 被爆時年齢 爆心からの距離, 炸裂点からの距離
b. 遮蔽 屋外, 屋内(日本家屋, 工場など) 遮蔽物
c. 被爆方向, 被爆時の姿勢
9パラメータ*を有する被爆者
a. 9パラメータ; FS(前方遮蔽の有無), FSS(前方遮蔽のサイズ) US(爆心方向にある遮蔽されていない窓からの距離) LS(側方遮蔽) IFW(内部前方壁数) ILW(内部側方壁数) HF(床面からの高さ) FN(床面の数) SP(斜め透過長)
b. 家屋のタイプ
グローブデータを有する被爆者
a. 地形あるいは家屋の遮蔽
b. グローブの数
c. 前方あるいは後方遮蔽への距離

図1 Input data to DS86 from RERF data base (shielding card).

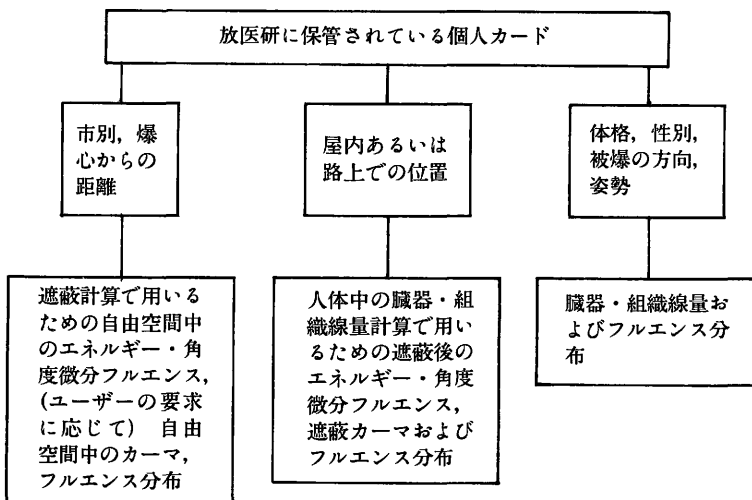


図2 Description of DS86.

表 1

自由空間	家屋内部	人体内
即発中性子カーマ	遮蔽後の即発中性子カーマ	臓器の即発中性子線量
初期γ線カーマ	遮蔽後の初期γ線カーマ	臓器の初期γ線量
後期γ線カーマ	遮蔽後の後期γ線カーマ	臓器の後期γ線量
遅発ガンマ線カーマ	遮蔽後の遅発中性子カーマ	臓器の遅発中性子線量
中性子フルエンス	即発中性子と遮蔽体との相互作用による2次γ線カーマ	即発中性子と家屋の相互作用による2次γ線からの臓器のγ線量
γ線フルエンス	遅発中性子と遮蔽体との相互作用による2次γ線カーマ	遅発中性子と家屋の相互作用による2次γ線からの臓器のγ線量
	遮蔽後の中性子フルエンス	即発中性子と人体の相互作用による2次γ線からの臓器のγ線量
	遮蔽後のγ線フルエンス	遅発中性子と人体の相互作用による2次γ線からの臓器のγ線量
		臓器の中性子フルエンス
		臓器のγ線フルエンス

### 3 被爆者の体格データ

臓器・組織線量は、人体に入射した放射線の種類、エネルギー、入射角度など物理的因子のほかに、人体の大きさ、臓器・組織の位置など生物学的因子に関係する。日本では、第二次大戦以前から文部省および厚生省が体格や栄養状態などの調査を行い、報告書にまとめていた。しかし、1940年から1947年までの戦争中のデータは不明であった。文部省のデータによれば、これらの期間を除く、1926年から1952年までの6歳、10歳および23歳の児童と学生の平均身長

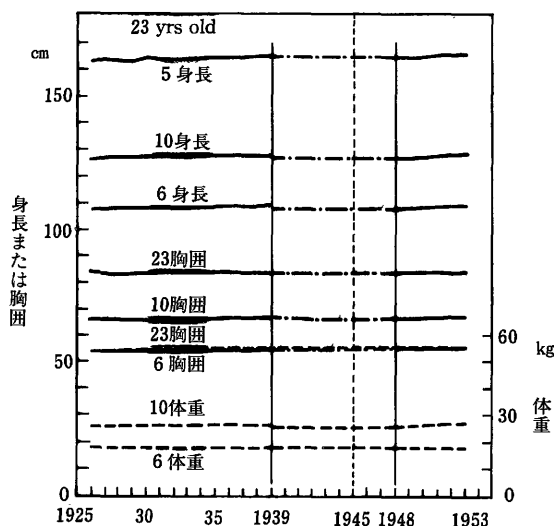


図 3  
1926年から1952年までの日本における学齢者の身体特性  
Physical characteristics of Japanese school-age people from 1926 to 1952

表 2

年齢	歳	23	10	6
身長	cm	163	126	107
胸囲	cm	83	66	53
体重	kg	56	27	19

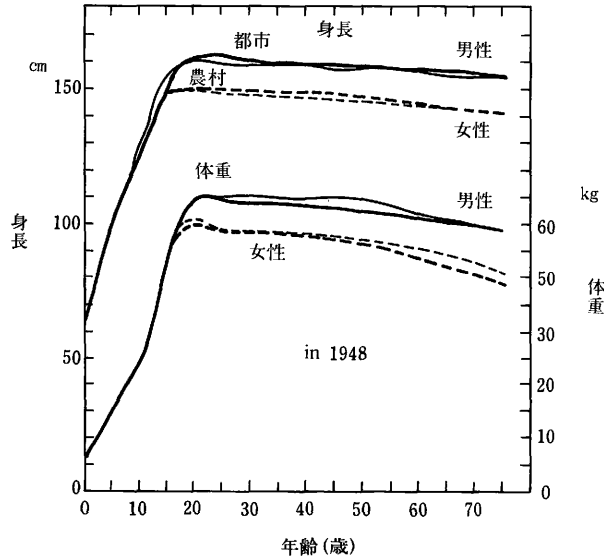


図 4 日本人の年齢別、性別、地域別平均身長と体重，1948年  
Japanese height and weight by age, sex and region, 1948

および平均体重の変化は図 3 の如くであった。1939年と1948年の値には不連続な変化はないようである。1945年の日本人の平均身長、平均胸囲および平均体重として、図 2 から表 2 のような推定値を得た。

一方、厚生省のデータによれば、例えば、1948年の日本人の性別、年齢別および地域別平均身長および体重は図 4 のように与えられる。男女共に、15歳程度までは成長期にあり、年齢と共に身長および体重が急激に増加する。しかし、ほぼ20歳以上では、身長は年齢と共にわずかず小さくなっている。被爆者の体格は個人差が大きく、すべての人達に平均値を適用することには問題もあるが、被爆者 1人1人の体格を模擬したファントムを用いることも困難である。実際には、成長期の子供について2～3体のファントムを用意し、15歳以上では成人として1体のファントムで代表されることとした。

成人では、男性は女性に比べて体重や身長が大きい。文部省のデータによれば、平均値のまわりのバラツキを考慮すれば、男女差は個人差のバラツキの中に入ってしまう。成人では、身長に男女の差がみられるが、男性の最小値と女性の最大値とがほぼ一致している(図 5)。また、1958年のデータである身長に対する座高や胸囲の比は図 6 に与えられる。

日本人の成人の赤色骨髄の重量とその全骨格中の分布および骨重量分布については、死体解

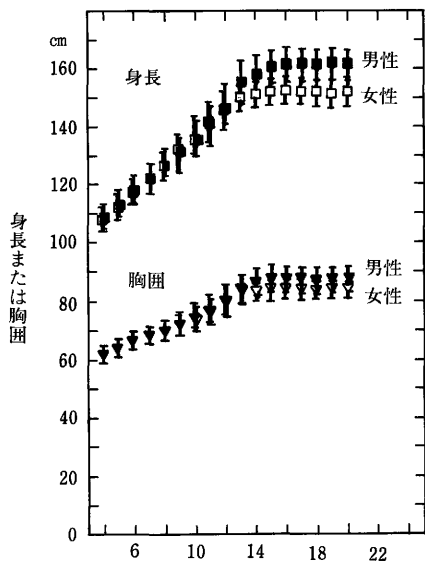


図5 日本人学齢者の平均身長及び胸囲,  
1949年  
Height and chest circumference  
for Japanese school-age people,  
1949

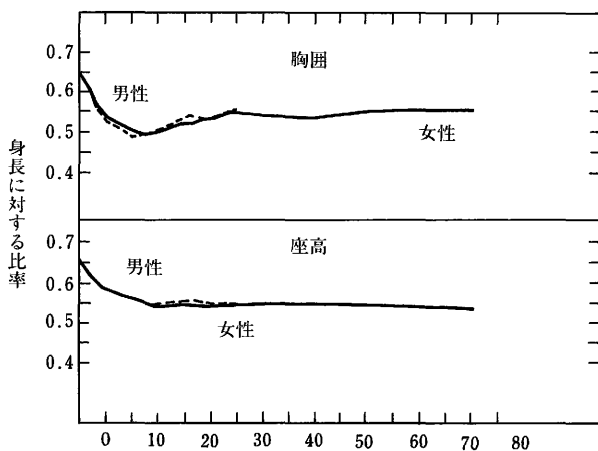


図6 日本人の年齢別、性別胸囲及び座高の身長に対する比率, 1958年  
Ratio of chest circumference and length of body parts to body height by age and sex for Japanese in 1958

剖に基づくいくつかのデータがある。骨髄の重量分布は、欧米人では、40歳の人の赤色骨髄量を1045.7gとしている<sup>2)</sup>のに対して、日本人では橋本らのデータに基づいて宮川ら<sup>3)</sup>が決定した、成人で766.8gという値が用いられている。骨格部位別の赤色骨髄分布は表3のように、日本人と欧米人では大きな差異は認められない。田中らの測定した日本人の骨重量分布を表4に示す。骨以外の臓器・組織の大きさおよび重量は、Aimi<sup>4)</sup>および田中ら<sup>5)</sup>が日本人について測定している。1945年のデータとして、Aimiのデータを用いる。

表 3

骨	赤色骨髓の重量分布		
	日本人 成人	欧米人 15歳	欧米人 成人
頭蓋	7.2%	9.2%	7.6%
顎骨	0.5	0.9	0.8
肩甲骨	2.2	3.3	2.8
鎖骨	0.8	1.0	0.8
胸骨	2.7	2.7	3.1
肋骨	13.6	13.6	16.1
頸椎	2.9	3.3	3.9
胸椎	13.2	13.7	16.1
腰椎	11.2	10.5	12.3
仙骨	8.6	8.4	9.9
寛骨	22.2	18.5	17.5
大腿骨	11.4	11.2	6.7
上腕骨	3.7	3.8	2.3

表 4

Organs	男性			女性		
	日本人			日本人		
	Tanaka (1979)	Aimi (1952)	ICRP (1975)	Tanaka (1979)	Aimi (1952)	ICRP (1975)
Adrenal glands	14.7g	11.1g	13.8g	13.2g	10.5g	12.7g
脳	1,440	1,424	1,355	1,308	1,256	1,220
心臓	352	309	330	284	249	240
腎臓	327	269	310	280	235	275
肝臓	1,600	1,431	1,831	1,363	1,269	1,477
肺臓	1,162		1,169	893		
脾臓	135		96.1	111		84.8
脳下垂体	0.56	0.66	0.55	0.63	0.75	0.62
脾臓	127	109	192	122	106	153
精巣	35.3		34.7			
胸腺	31.7	24.9	19.7	25.6	21.7	19.7
甲状腺	19.1	18.8	17.6	16.8	17.2	14.5

Tanaka et al. 21

Aimi et al. 22

ICRP Publication 25. 23

#### 4 被爆者の標準ファントム

従来、核医学の分野で投与された放射性医薬品による臓器・組織線量は、FisherとSnyderが<sup>3</sup>開発した数学的ファントムを用いて、モンテカルロ法で計算されてきた。このファントムは、密度や組成の異なる肺、骨格および他の軟組織の3組織から構成されている。さらに、人体を3部分、頭頸部(楕円筒)、胴体部(楕円柱)および脚足部(楕円錐)に分けた(図7)。腕と手は胴体部に含めている。図6に楕円柱あるいは楕円錐の長径、短径、高さなどの寸法をa~fで表すが、体格などのデータに基づき、これらの寸法を決めて、標準ファントムを作成した。そのファントムには、図8に示すように、骨格をはじめ、肺、胃、腸などの主要臓器が含まれている。それらの臓器・組織のファントム中の位置、それらの形などはコンピュータ計算が容易に行えるように、すべて数学的に表示されている。

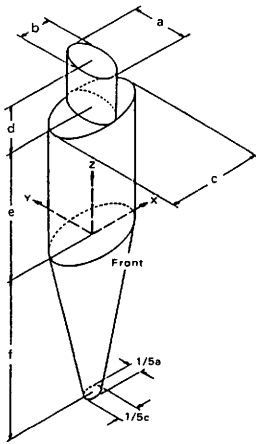


図7  
標準日本人ファントムの寸法  
Dimensions of a standard Japanese phantom

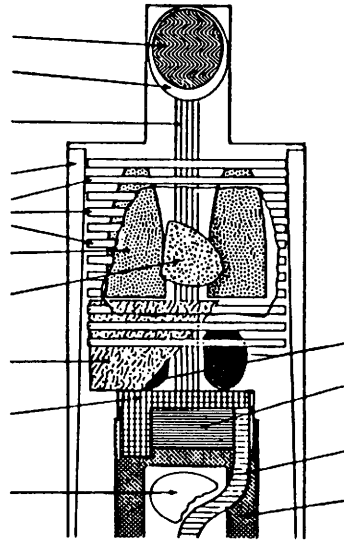


図8  
頭部及び主要臓器を含むファントムの前面図  
Anterior view of the principal organs in the head and trunk of a phantom

図3~5に示した体格データのほかに、図6に示す胸囲と座高のデータを参考にして、図7に示したファントムの寸法を0, 1, 5, 10, 15歳および20歳の体格に合わせて、表5のように決めた。表5の寸法で計算したファントムの容積を最下行に示すが、人体の密度を1とすれば、平均体重をよく近似することがわかる。

表 5

年齢	0	1	5	10	15	20	
						男性	女性
身長 (cm)	49	74	102	126	150	162	152
体重 (kg)	2.8	8.5	16	25.5	44	54	50
胸囲 (cm)	32	46	54	61	63	83	81
座高	32	46	59	70	82	88	84
ファントム係数							
a cm	9.5	13	14	15	17	18	18
b	10	12	12	12	14	14	14
c	10	15	22	26	32	36	36
d	13	15	19	21	22	23	22
e	20	32	30	49	60	65	62
f	16	27	43	56	68	74	68
推定容積(l)	2.8	8.4	16.5	25.1	42	53	50

## 5 DS86で用いられたファントム

Snyderらは、欧米人の子供の線量を評価するため、0、1、5、10および15歳の小児について、成人ファントムを参考にして図9に示すようなファントムを作成した。さらに、ORNLの

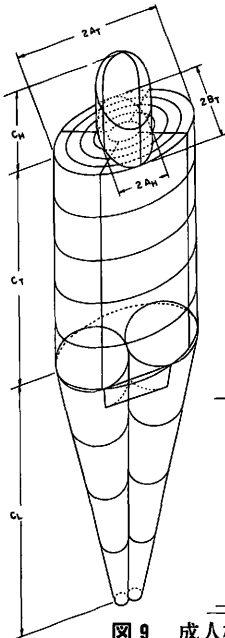


図9 成人模擬ファントムの寸法。Hは頭部、Tは胴体、Lは脚部を示す。BHは頭部前後厚さ寸法の1/2である。

Phantom	Weight (kg)	At (cm)	Bt (cm)	Tt (cm)	AH (cm)	BH (cm)	CH (cm)	CL (cm)
0-yr	3.1	5.1	5	23	4.5	5	13	16
1-yr	9.1	8	7	33	6.5	7	16	28.8
5-yr	18.1	11	7.5	45	6.5	7.5	20	46
10-yr	30.6	14	8	54	6.5	8	22	64
15-yr	54.0	18	9	65	7	9	23	78
Adult	69.9	20	10	70	7	10	24	80

Dimensions of the adult phantom and of similitude phantoms. The subscripts H, T and L refer to the head, trunk and legs. BH is one half of the thickness of the head from front to back.

Phantom	Weight (kg)	AT (cm)	BT (cm)	CT (cm)	AH (cm)	BH (cm)	CH (cm)	CL (cm)
0-yr	3.6	6.35	4.90	21.60	4.52	5.78	13.09	16.8
1-yr	9.7	8.80	6.50	30.70	6.13	7.84	17.76	26.5
5-yr	19.8	11.45	7.50	40.80	7.13	9.05	20.22	48.0
10-yr	33.2	13.90	8.40	50.80	7.43	9.40	21.78	66.0
15AF	56.8	17.25	9.80	63.10	7.77	9.76	22.89	78.0
Adult male	73.6	20.00	10.00	70.00	8.00	10.00	24.00	80.0

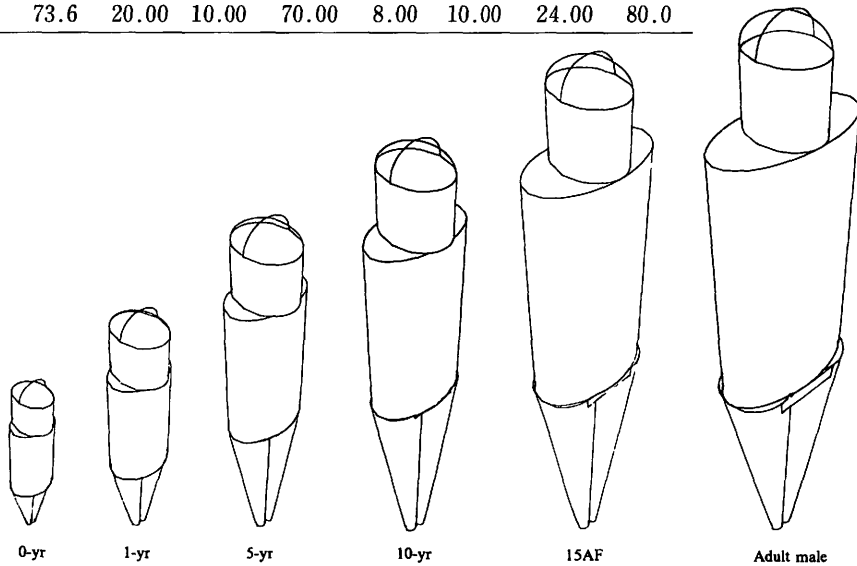


図10 コンピュータが描いたORNLファントムシリーズの立体外観図。AT,BT等変数は図9参照。  
Computer-drawn three dimensional perspective drawing showing external views of the ORNL phantom series. The variables AT, BT, etc., are defined in Fig. 9

Christyは、図10に示すような小児ファントムを開発した。成人女性のファントムは15歳児と同じであるが、胴体部に乳房を付加した点で漸進的であった。

図7～10に示したファントムは、いずれも内部被曝線量の計算を行うために開発されたが、時には外部被曝線量を計算する場合にも使用することができる。実際に、深部にある臓器では、その線量はファントムの形状によって大きな差異はないが、甲状腺や頸部のリンパ腺などでは頭・頸部の区別のない(頸の太い)ファントムを用いた場合、それらの線量は過小評価される。外部被曝の場合、被曝時の姿勢によっては手足による遮蔽が問題となることがある。手足が胴体から独立した形状のファントムが必要となる。

一般に、従来のファントムは欧米人を対象に考えられてきた。思春期以前の子供では、日本人と欧米人と体格差は小さく、米国の1歳、5歳および10歳児は、日本の1.5歳、7.5歳児および14歳児に相当する。思春期を過ぎると、欧米人と日本人との体格差は大きくなる。男女差は欧米人でも日本人でも同程度である。成人の日本人男性の体格は欧米の15歳の男子および成



人女性と同じ位である。

体格が異なれば臓器の大きさも欧米人と日本人ではかなり異なると思われる。しかし、電車などで座った姿を比べると、日本人と欧米人、男性と女性の間で、立っている姿でみられるような大きな差異はない。大抵の臓器が胴体部に集中していること、表4の日本人と欧米人の主要臓器重量に大きな差異が認められないことなどから、臓器の大きさには体格ほどの差異はないと考えられる。

DS86では、これまで使用経験のあるファントムを被爆者の臓器・組織線量の計算に適用すべきとの意見があったが、図11に示すファントムが採用された。図11から明らかな如く、腕と手が胴体と別になり、頭頸部も実際の大きさになっている。乳房を取り去れば成人男性となる。

被爆者の中には、茶卓などの前に座って被爆した場合もあるので、図12に示すように2種類のファントムが使い分けられている。横になっていた場合は、立位ファントムを倒して用いる。これらのファントムはコンピュータの中に存在しており、放射線の入射角度やファントムの体軸をいろいろな角度に変えることは容易である。

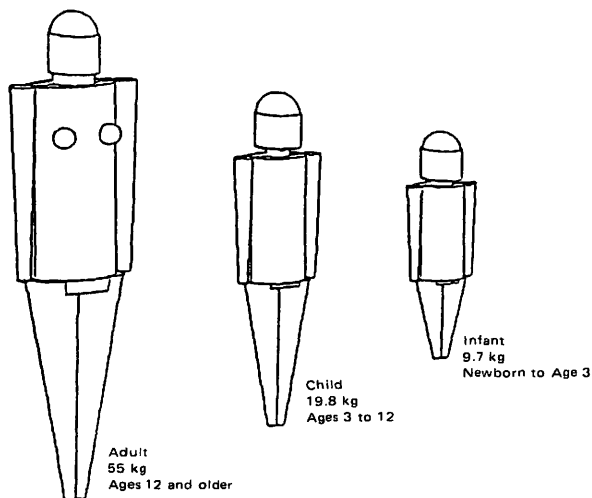


図11

成人、子供、幼児を代表する3つのファントムの外観

External configuration of three phantoms representing adult, child and infant survivors.

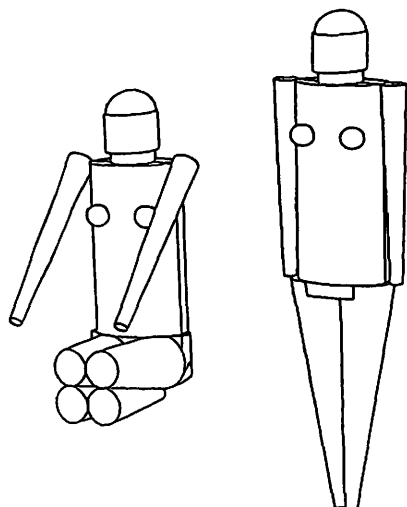


図12

腕を45°の位置にした座位と、腕をまっすぐのばした立位の変位ファントム

The modified phantom: kneeling with articulated arms at 45° and standing with articulated arms at 90°.

## 6 おわりに

線量計測用ファントムの一例として、広島・長崎における原爆線量再評価のときに考慮されたファントムを紹介した。実験に用いるファントムと異なり、計算用ファントムは数学的図形の集合した外形を呈している。その大きさなどは、日本人の体格データに基づいて決められているのは勿論であるが、その内部にある臓器の大きさおよび位置についても日本人のデータを参考に行っている。

### 参考文献

- 1) D. C. Kaul, S. D. Egbert, M. D. Otis, T. Kuhn, G. D. Kerr, K. E. Eckerman, M. Cristy, T. Maruyama, J. C. Ryman and J. S. Tang: Organ Dosimetry, in Final Report: US-Japan Joint Reassessment of Atomic Bomb Radiation Dosimetry in Hiroshima and Nagasaki, Vol. I, Radiation Effects Research Foundation, Hiroshima, 1987.
- 2) R. E. Ellis: The distribution of active bone marrow in the adult, *Phys. Med. Biol.*, **5**, 255, 1960.
- 3) T. Miyakawa: Chairman Bone Marrow Dose Research Group, 1970, The bone marrow dose in tele-therapy in Japan, *Nippon Acta Radiological* **30**, 4, 1970.
- 4) S. Aimi, S. Yasoshima, M. Sugai, B. Sata, T. Sakai and Y. Nakajima: Studies on the weight and size of internal organs of normal Japanese, *Acta Path. Jap.*, **2**, 173, 1952.
- 5) G. Tanaka, H. Kawamura and Y. Nakahara: Reference Japanese Man- I. Mass of organs and other characteristics of normal Japanese, *Health Phys.*, **36**, 333, 1979.

### <討 論>

#### Q. 田中義一郎：

次には物理屋さんに移る問題と思うが、概念的に言えば、線量評価の問題では今のファントムや何かを含めて、このような事柄が一番重要になってくる。

今、このセッションの講演に関連して、アジア人ということを考えてみたい。丸山先生が、今お話になった当時の日本人とよく似ている非常に大勢のアジア人がいるわけです。Cristyは私のデータ等をよく、持って行くのだが、彼もきっとそういう事を考えていると思う。

アジア人(の標準人)などという突出した考え方でなくて、世界共通の考え方、例えば欧米人の15歳に相当するという(私はかつてそういうふうにしたことがあるが)ようにまとめる方が、将来において良いのかどうか。つまり、松岡イズムの特定の名称を付けない標準人A, Bにして良いのだろうか。それとも、やはり我々は土台から作って行く積み重ねの努力が必要なのか。その辺はどうしたら良いのでしょうか。

#### A. 丸山隆司：

良いアイデアがないのですが、私どもこれに5年間かかったのだが、色々なものをコンピュー

タで段々計算しながら、実験データと比較して、これなら線量評価上、だいたい15%くらいに持っていけるというものにだとりついたわけです。やはり、トライアル・アンド・エラー、R&Dという事で作り上げて行かなければならないと思う。これ(DS86のファントム)でも、決して良いと思ってはいないが、原爆の場合には、被曝者の情報が頼りであり、そちらのエラーの見積りが先である。ファントムなど線量評価の誤差は小さい方が良いのだが、まあこれならという(ALARAではないが)もの(妥協点)が、あるのではないかと、そこでようやく折れたわけです。まだ、いくらでもすることはあると思う。

#### コメント. 松岡理:

アジア人成人と現在のReference Manの成人との違いを、田中先生は一生懸命やっておられる。私は、ICRPでteenと称するものを決めようとしているので、それと日本人(成人)がどれくらい違うかが、次のステップになると思っていた。丸山先生そのほかのお話で、teenの(特性の)中でも、合っている所と合っていない所があることも分かった。今は、ICRPのadultを使うよりは、teenを使った方が日本人に対して、第一次近似としては、良いのではないかという気がする。その相違についてはやはり、これから調べて行く必要があると思う。

城谷先生が形ということをさっぱりやってくれてないとおっしゃった。プルトニウム屋にとっては、まさに重大な問題である。肺の長さによって、5インチのディテクターでカバーできる面積が全く違って来る。古い話になるが、15年程前にプルトニウムの仕事を始める時に、私と田中英一先生の肺をX線写真に撮ったら、私は当時太っており胃が押し上げていて、肺が5インチのディテクターの中にすっぽり入り、田中先生の肺は、半分しか入らないというほどであった。胃が下がっていたそうで、そのため肺が(ディテクターの視野から)出る。そういう、形が大変に効いてくる分野もあるということも是非、お考え頂きたいと思う。

#### コメント. 丸山:

言い忘れたが、線量評価はすべて、臓器のvolume平均で計算している。生物の先生方には是非、どこの臓器のどの部分が大事なのか、そういう位置も決めて頂ければ、ファントムも非常に精度良く出来ると思う。

臓器の大きさなどの問題があるが、外部被曝では、やはり点と考えられ、そういう面でまた、午後にコメントさせて頂きたい。

(座長. 岩倉哲男)

## 人類学からみた日本人

埴原和郎

国際日本文化研究センター

The Japanese Population as Viewed from Anthropology

Kazuro Hanihara

International Research Center for Japanese Studies

*Rakusai Center Bldg., Oharano, Nishikyo-ku, Kyoto, 610-11 Japan*

**ABSTRACT**-In the course of investigations on the origin and the formation processes of the Japanese population through statistical and comparative studies of the skeletal remains, I obtained an idea which may be called dual structure model.

The direct ancestors of modern Japanese lived on the Islands of Japan since the Upper Paleolithic age (ca. 18,000 B. P.) as represented by Minatogawa Man which was unearthed in Okinawa Prefecture. They show a close affinity to the later Jomon population, the people of the Neolithic age, on one hand, and to the contemporaneous Liujiang Man from south China on the other. It is quite probable, therefore, that the Japanese population has derived from the early people who inhabited southeast Asia.

Since the Yayoi age, the final stage of the Neolithic age of Japan, a large number of people migrated to Japan from northeast Asia during the period roughly from the 3rd century B. C. to 7th century A. D. They brought rice-crop and metal cultures to Japan and gave a great impact to the aboriginal Japanese who were descendants of the Jomon population. At the same time, they were quite different from Jomon people in physical characteristics. The statistical analysis proved that the migrants were likely derived from the northeast Asians who adapted to extremely cold climate such as in northeast China and east Siberia.

The admixture between the aboriginal Japanese and the migrants took place after the Yayoi age and it proceeded gradually from west to northeast Japan. However the influence of the migrants did not cover Hokkaido and southwest

islands of Japan including Okinawa Prefecture. On the other hand, the people in the large islands of Japan have changed physically and culturally under the influence of the migrants but the magnitudes of such an influence were different in regions. Rather large regional differences which are still recognized in Japan might be caused by the differences in the extent of influence of the early migrants, or the people from northeast Asia.

The dual structure model proposes an idea that the Japanese population has been consisted of early Mongoloids from southeast Asia and those from northeast Asia who adapted to cold climate in comparatively later ages. This model explains regional differences in culture as well as physical characteristics of the modern Japanese.

人類集団としての日本人の起源および形成過程の科学的研究は、幕末に来日したシーボルトから始まったといつてよい。したがってこの研究は、すでに約150年の歴史をもつことになる。しかし日本人については現在もなお研究すべき点が多く、このこと自体、日本人の形成が複雑であることを示している。

明治初期まではシーボルトの子息であるH. v. シーボルト, E. S. モース, E. v. ベルツなどの外国人研究者が日本人の起源に関する研究を行い、現在も傾聴すべき見解を発表している。その後日本人による研究が行われるようになったが、従来の説を分類すると次の3群に大別することができる。

1. 人種交代説
2. 混血説
3. 移行説(または連続説)

人種交代説は、日本列島の中で人種が1回または2回入れ替わったという考えであり、混血説は、縄文時代(新石器時代)以来の土着集団が、弥生時代(新石器時代末期)以後に種々の近隣集団と混血することによって現代日本人を生じたという考えである。これに対して移行説は、縄文時代以来、日本列島では大規模な人種の交代や混血はなく、縄文人そのものが小進化をとげた結果、現代人に変化してきたと主張する。

いうまでもなく、上記の3分類の中でも研究者による微妙な考え方の違いがあるが、これらを別の視点からみると、現代日本人には縄文人の系統が全く残っていないとするか、濃厚に残っているとするかのいずれかになる。

日本人の研究は、1950年代後半から60年代までやや停滞したかの感がある。しかしその後再び活発になって今日に至っている。停滞した理由は、長谷部言人・鈴木尚両教授らの移行説が多数の人骨資料によって支えられ、ほとんど反論の余地がないように思えたからであろう。また再燃した理由は、金関丈夫教授らによる渡来系弥生人の発見や、尾本恵市教授や私どもが分

子遺伝学ならびに形態の数量分類学的方法を導入したことが動機となったように思える。

さて、従来の説に共通する欠点は、1) 現代にも明らかにみられる日本人の地域性(地域差)を無視している点、ならびに、2) 独特の身体的ならびに文化的特徴をもつ北海道のアイヌ、沖縄のいわゆる琉球人と本土の日本人との関係について何も触れていないということであろう。

アイヌの人種的起源については、かつて白人説(アイヌは白色人種であって日本人とは人種を異にするという説)が世界的に広まっていたが、これに対してはほとんど何の批判もないばかりか、それを認めるのか認めないのかということすら明らかでなかった。また琉球人については、1950年に須田昭義教授が「琉球人は日本人の一地方型である」との見解を明らかにしたのみで、その形成の歴史や本土人との違いの原因について分析されることはなかった。

私もまずはアイヌの人種系統に関する研究を行い、この集団がモンゴロイド(黄色人種系統)に属することを明らかにすると同時に、他の日本人と同じく縄文人を祖先とすることを証明した。したがってこの集団を生物学的に日本人から区別する理由はなく、琉球人と同様にアイヌも日本人の一地方型と考えざるをえなくなる。そうすると、日本人の形成史を考えるためにはアイヌ・琉球人を含む日本人の地域性を分析するとともに、現代にみられるような大きな地域性が生じた原因を明らかにすることが必要となる。以下、このような観点から分析した結果を簡単に紹介する。

現代日本人の直系の祖先と思われるものは1961年に那覇市近郊の港川で発見された港川人である。これは後期旧石器時代(約18,000年前)の人骨で、その後の縄文人に似ていると同時に、同時代の柳江人(中国・広西省発見)にも近い。したがって港川人は東アジア大陸南部の集団と近親性をもっていることが分かる。このことから、その子孫と思われる縄文人もまた南アジア系統の集団と思われるが、この推測は人骨の形態学的特徴からも裏づけられる。

約1万年前に始まった縄文時代はほぼ2,300年前に終り、弥生時代となった。この時代には大陸から水稻耕作の技術や金属器(青銅器、鉄器)がもたらされ、これがその後の日本文化に大きな影響を与えた。同時にかなり多数の渡来人がやって来たが、大陸からの渡来は7世紀前後まで、約1,000年間にわたって続いた。重要なことは弥生時代以後の渡来人がどのような集団であったか、という問題である。弥生時代の渡来人の遺跡と思われる山口県・土井ヶ浜遺跡や佐賀県・三津永田遺跡の人骨を研究した金関丈夫教授は、彼らが朝鮮半島北部に由来すると考えた。しかし私が種々のデータに基づいて分析した結果では、渡来人の原郷はさらに北の中国東北地方(旧満州)またはバイカル湖以東の東部シベリアに求められる。

この集団はやはりモンゴロイドに属するが、極端な寒冷気候に適応した独特の進化を示している。例えば縄文人の頭蓋は長頭、低顔(四角ないし丸顔)で顔の凹凸が強いが、北方モンゴロイドではやや短頭、高顔(面長)で顔面は扁平である。また前者の男子の平均身長がほぼ158cmであるのに対して、後者のそれは163cm程度でかなり高い。とくに後者の頭蓋の特徴は寒冷地における特殊な適応によるもので、世界的にも珍しい。

一方、現代日本人にも短頭、高顔、高身長、扁平な顔は珍しくない。また体毛が少なく、耳

垢が乾燥しているという特徴も多くの人にみられる。これらはすべて北方モンゴロイドの特徴であって、日本のような比較的温暖な地方でこのような特徴が獲得されたとは考え難い。したがってこれらは北方アジアからの渡来者の影響と思われる。

渡来者はまず西日本、とくに北九州に上陸し、やがて近畿地方にやって来てついに日本の王権を樹立した。その後平安時代に至るまで、日本の朝廷は積極的に渡来人を招き、また招かれざる者もかなり大量に日本に上陸したことは歴史に明らかである。

渡来者の影響は意外に早く東北地方にまで及んだが、やはり西日本に濃厚で、九州南部、四国南部および本州の東部には弱い。またこの影響の程度の差が現代の地域性を作ったという可能性はきわめて大きい。とくに北海道や沖縄には北方モンゴロイドの影響がほとんど及ばなかったため、この地方の住人は縄文人がそのまま近代化した集団と考えられる。また現在みられる本土人とアイヌ・琉球人との差は、まさに渡来人の影響を受けたか受けなかったかの違いによって生じたのであろう。

以上の私の考えはまだ作業仮説の域を出ないが、これを日本人の二重構造モデルといてよいかと思われる。つまり、日本人は縄文人を基盤とし、弥生時代以降にアジア大陸から渡来した集団がその上層に被って来たというものである。これは、かつての混血説に似ているが、混血説が日本人の全面的混血を主張したのに対して、私はむしろ部分的混血を重視している。

このようなモデルは、アイヌおよび琉球人と本土人との違いや、本土の中にみられるかなり大きな地域性を分析した結果得られたもので、従来の研究者がアイヌにあえて触れなかったり、日本列島内の地域性を事実上無視した研究とは根本的に異なる点がある。

また日本人の二重構造を念頭に置くことによって、文化の地域性を解釈することも可能となる。例えば東西日本の文化における違いならびに種々の身体形質の差などは、日本人が均質民族であるという考えからは説明することができない。

このような推測は、形態学とは異なる分子遺伝学的研究(尾本恵市教授)のほか、人類学とは独立に行われたノズミ(森脇和郎教授)や日本犬(田名部雄一教授)の分子遺伝学的研究によっても裏づけられ、またATLウイルス(日沼頼夫教授ら)の分布とも矛盾しない。

私は現在、関連する自然科学者と、種々の分野の文化系研究者を混じえた総合的研究を進めており、以上の作業仮説を学際的に検討している。近い将来、その結果を報告できると思っている。

## < 討 論 >

### Q. 沢田文夫：

素人ですが、縄文以降のお話は良く解ったが、それ以前の旧石器時代、シベリア系統の細石器文化が入っているという近頃の話(骨が出ないのでしょうか)と、先ほどの港川人・南方系のお話との関係をお教え頂きたい。

### A. 埴原和郎：

おっしゃるように、我々の方からは骨が出ないと物が言えないが、確かに最近の研究では、旧石器時代にかなり、シベリアの方の文化が、少なくとも関東地方とか中部地方まできている、ということがはっきりしている。問題は、このような旧石器文化をもたらした人たちがその後、日本に定着したのか、あるいは何らかの気候の変化、その他の理由でいなくなったのか、ということが骨が無いと解らない、ということです。

大阪のある先生が、一つの遺伝子を研究されて、それがバイカル湖である、というような事を言っておられる。確かに一つの遺伝子では、そういう事が言えますが、遺伝子一つでは何分にも説得力が弱いわけです。他の色々な座位の遺伝子を、総合的に分析致しますと、やはり、基本的には南方説を取らざるを得ない、という結果になっている。ということはやはり、北からの影響も何分か有ったということを考えなくてはならない。それは今後の課題であるが、しかし、どうも今のところは、やはりそれは、主流にはならなかったのではないかと考えられる。現在はそのくらいのお答えしか出来ません。

#### Q. 田中義一郎：

先生には前から色々教えて頂いているが、一つ大きな事をお聞きしたい。いわゆる日本人という定義、あるいは、被曝線量という放射線防護上の目的で、アジア人をモデル化する際、アジア人を分類する定義の一つとして、東アジア・モンゴロイドと、もう一つ、アジアということでは、どう呼ばばよろしいでしょうか。

#### A. 埴原：

ちょっと難しい問題になりましたが、今、軽く日本人と言っているのは、日本列島に相当長い間住み着いて、少なくとも遺伝子の交流が大なり小なりあって、なおかつ、基本的に一つの文化の中で生活してきたという意味でありまして、決して日本人という政治的な意味は入っていない。遺伝子とか文化とかということを経験に入れて一つの人間のグループを考えるとすると、やはり、日本人というのは日本文化というものを持っていることで一つにくられる。今、普通日本人とっているのは日本民族の事である。で、日本人種という概念は、実は成立しないで、言うまでもなく、朝鮮半島、あるいは、中国の方と遺伝子的には殆ど変わっていないと言ってもよいくらいである。遺伝子のレベルで言うと、やはり、東アジアでは南方のモンゴロイド、それから、寒冷適応を遂げた北方のモンゴロイド(これは体格も大分違う)というように2つに分けた方が良いのではないかと思う。

それから更に、先生方にはあまり必要ないかと思いますが、モンゴロイド全体という事になると、アメリカン・インディアンも、エスキモーも入り、実は2日前まで太平洋に入って研究してきたのだが、あの太平洋民族も、おそらくはモンゴロイド系統である。ということで非常に幅が広がってしまうが、アジアで考える限りは、日本とか中国とかいうことではなくて、むしろ、北と南に分けてお考えになった方がよろしいかと思う。



Q. 田中：

先生のお考えでは、結局2つに分けるのが正しいという事になりますか。

A. 埴原：

はい、おそらくは。先生方の研究でどのくらいの体格の差が問題になるのかということが、私には解らないが、少なくともタイプから言えば、2つに分けるのが妥当であろうかと思う。

Q. 田中：

私もどうしても2つに分けざるを得ないような感じは致しますので、非常に心強い。

A. 埴原：

その方が合理的だと思う。

Q. 座長(小林定喜)：

先ほどアイヌと琉球人のところで、歯の事におふれになった。私は出歯ですが、このような歯の方がいかなるものでしょうか。

A. 埴原：

先ほど、歯が似ていると申し上げたのは、大白歯に色々な突起などがあり、その一つ一つの特徴をやはり頻度で調べる。進化の上から言って、人間の歯に関する限り、数千万年前まで追及できる。そういった進化の途中で出来た色々な付属物の出かたを見るとということと、それからもう一つは、歯の大きさの絶対値も大切だが、前歯と後歯とのプロポーション、これが人種によってかなり違う。総合すると似ているという意味で申し上げた。

座長：

先生の御講演は、我々のreference manの研究に非常に何かひらめきやヒントを与えて下さったと思う。同時に、美人の顔を見るという、生きていく上の楽しみを一つ与えて下さった。有難うございました。

埴原：

どうぞ、人類学をおやりになって下さい。

## VII 関連分野からの提言

VII-1 呼吸生理学から 本田 良行

VII-2 公衆衛生学から 滝澤 行雄

VII-3 保健物理学から  
—体内微量放射能分布測定—  
川崎 智

## VII-1 呼吸生理学から

本田 良行

千葉大学医学部生理学教室

### On Respirative Physiology

Yoshiyuki Honda

Chiba University, School of Medicine

1-8-1 Inohana, Chiba-shi, 280 Japan

**ABSTRACT**—The principal task of respiration is oxygen uptake and carbon dioxide excretion. Because oxygen store in the body is relatively small and its deficiency immediately causes critical danger for metabolic activities of the living organisms, respiration must continuously be maintained throughout human life.

The amount of ventilation to obtain a unit volume of oxygen intake is called ventilation equivalent (V. E.) for oxygen. For instance, V. E. 30 signifies that one must ventilate 30 liter of air to take in one liter oxygen. At rest, V.E. in children under 8 years is 30 and linearly decreases to 25 at 20 years. In maximal exercise, this figure is 40 in children and decreases to 35 in adults, in the similar manner with the resting condition. According to the literatures so far reported, the values of V. E. appear to be the same among Caucasians and Japanese. The reasons why V. E. in children is higher than adults and V. E. in maximal exercise is higher than at rest are higher metabolic rate per unit mass with tachypneic pattern and lactic acid production in heavy exercise, respectively.

On the basis of the data on metabolic rate at rest and maximal exercise in Japanese, the amount of ventilation in terms of l/min as well as l/min/kg was presented from children to adults. At rest, ventilatory volume in l/min was calculated to be roughly 5 in children and increased up to 10 in the adults. In maximal exercise the corresponding figures were found to be 50 to 100 l/min and 40 to 70l/min in male and female Japanese, respectively.

In summary, to determine necessary amount of ventilation one must take into

account of the difference in body mass, metabolic rate per body weight, gender and respiratory pattern.

呼吸の最も重要なはたらきは、酸素の取り入れと二酸化炭素の排出にある。体内における酸素の貯蔵量はせいぜい安静時の必要量の数分間分をまかなうくらいしかない。そして、その欠乏は直ちに生体の死につながる。従って、必要な酸素を取り入れ、二酸化炭素を排出するためにどれだけの換気が行わなければならないかという立場から考察を進めることとしたい。

## I 換気当量(Ventilation equivalent, V. E.)

ある量の酸素を取り入れるためにどれだけの空気が肺内に入り出したか(肺換気)を表わす量を換気当量(Ventilation equivalent, V. E.)と呼ぶ。たとえば、V. E. 30ということは、1 lの酸素を取り入れるためには30 lの肺換気が必要であったということを意味する。スウェーデンのオストランド<sup>1)</sup>は、表1に示すように、安静から中等度の運動時と最大運動時とではV. E.の値が異なり、8歳以下の子供では前者の値は30、後者は40であると報告した。また成人においては前者が25、後者が35であるとした。また、子供から成人に達するまでは、年齢とともにV. E.が漸減することを認めた。

表1 小児および成人での種々の身体活動条件下での換気当量  
Ventilatory equivalent (V. E.) in children and adults with different physical conditions.

	Children under 8 yrs (liter/liter)	Adult (liter/liter)
Rest to moderate exercise	30	25
Maximal exercise	40	35

Between 10 to 20 yrs in age, this value decreased by one liter/liter in every two years.

図1に、最大運動時の成長期におけるV. E.の推移を示した。実線と点線は、オストランドの示したスウェーデンの男子と女子の平均値を示す。大小の星印は、日本人について小林<sup>2)</sup>と吉沢<sup>3)</sup>らの報告した値である。かなりバラつきはみられるが、おおよそオストランドの値にそって年齢に伴う推移を示している。このことを踏まえてBar-Or<sup>4)</sup>は、白人、日本人を含めて、V. E.が小児から成人に達するまでの間、直線的に低下すると述べた。

小児のV. E.が大人より大きい理由は、第一に単位体重当たりの物質代謝量が大人より大きいことによる。第二には、呼吸数が多いことによる。ヒトの気道系はガス交換のできない死腔量

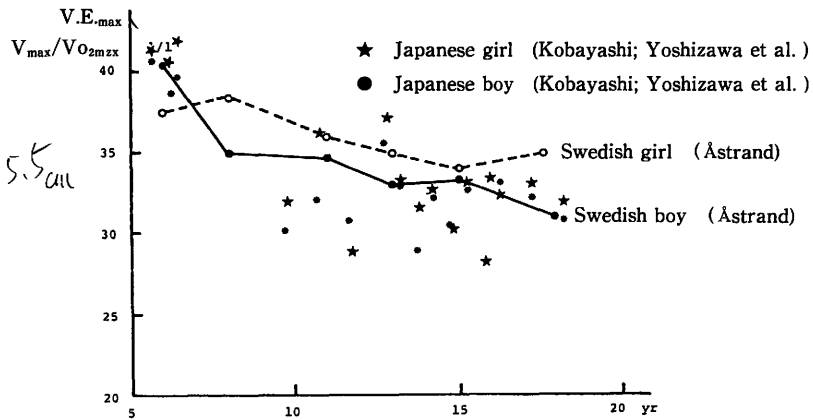


図1 最大換気当量(V. E. max)  
 Maximal ventilation equivalent (V. E. max)  
 ★ Japanese girl (Kobayashi; Yoshizawa et al.)  
 ● Japanese boy (Kobayashi; Yoshizawa et al.)  
 Swedish girl (Åstrand) Swedish boy (Åstrand)

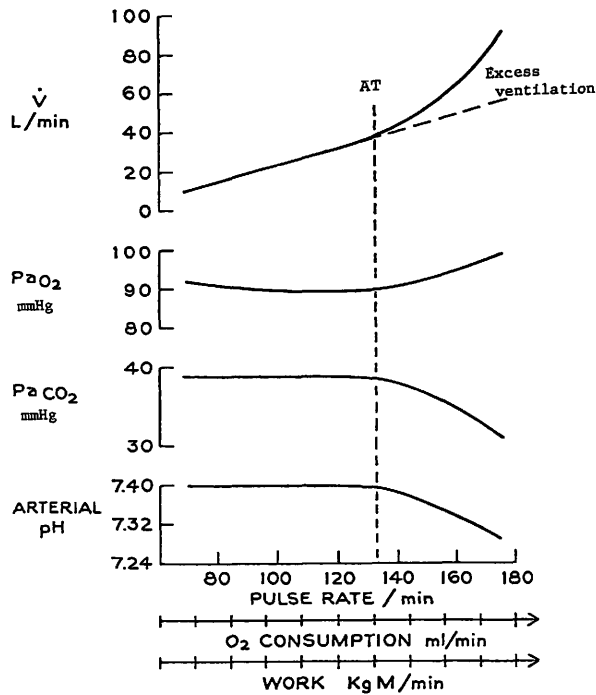


図2 運動時の換気量  
 Ventilation during muscular exercise  
 ☆ : total ventilation/min;  $P_{aO_2}$  and  $P_{aCO_2}$ : arterial  $O_2$  and  $CO_2$  tensions. The three indices of the severity of muscular exercise (pulse rate,  $O_2$  consumption and work) increase linearly from left to right. Ventilation increases in proportion to the severity of the exercise up to the point indicated by the dashed vertical line (AT). Thereafter ventilation sharply goes up with excess ventilation.

が安静時の1回呼吸量の約1/3を占めている。それ故、呼吸数が多くなる程ガス交換に役立たない死腔換気が多くなり、全体の肺換気量を大きくしないと必要なガス交換を達成できなくなる。呼吸数がどのような機構で決められているかは不明の点が多いが、少なくともその一部は肺の呼吸運動に伴って活動する肺伸展受容器から肺迷走神経を経て、呼吸中枢にもたらされる求心情報が関与していることは確かである。

また、最大運動時のV. E.が何故増大するのかを図2で説明した<sup>5)</sup>。運動に伴い酸素消費量が増加すると、中等度の運動負荷までは換気量( $\dot{V}$ )が比例的に増加する。しかし、運動強度が増して、いわゆるAerobic threshold(AT)を越えると、無酸素代謝で運動のエネルギーの一部がまかなわれるようになる。その場合、多量の乳酸が生成され、血液が酸性となり呼吸が強く刺激される。従って、図に示すように酸素消費量と換気の比例性が失われ、 $\dot{V}$ は急激に上昇する。最大運動時のV. E.はこの状態を反映し、増大することになる。

## II 安静時の肺換気量

日本人の年齢別平均基礎代謝量<sup>6)</sup>より、4.80/Kcalが酸素消費量1lに相当するとし、表1に示したV. E.値を用いて、年齢別肺換気量を表2と図3に示した。肺換気量の絶対値は、男子においては2才の3.5l/minから漸増し、16才では6.3l/minに達する。以後漸減し、70才では4.2l/minとなる。女子では2才の3.3l/minから12才で最高の5.6l/minとなり、70才では3.6l/minまで漸減する。

表2 日本人の男女年齢別の安静換気量(基礎代謝と表1の換気当量より計算)  
Resting ventilation in male and female Japanese with different age groups, calculated from basal metabolic rate and V. E. shown in Table 1.

years	Male		Female	
	l/min	ml/min/kg	l/min	ml/min/kg
2	3.5	255	3.3	252
4	4.0	237	3.8	228
6	4.4	210	4.0	201
8	4.8	186	4.5	174
10	5.3	162	5.1	150
12	5.8	142	5.6	133
14	6.2	120	5.5	112
16	6.3	108	5.1	97
18	6.0	99	4.8	91
20	5.4	88	4.4	85
30	5.3	85	4.2	80
40	5.0	83	4.2	78
50	4.8	83	4.0	78
60	4.5	80	3.8	78
70	4.2	80	3.6	78

Energy consumption of 4.801 Kcal was converted to oxygen uptake of one liter.

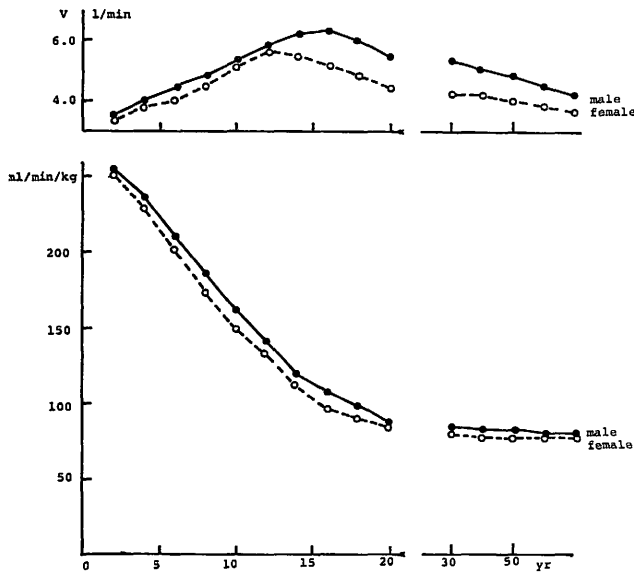


図3 安静時の換気量  
Ventilation at rest

表3 小児と成人での最大運動換気量( $V_{Emax}$ )。最大運動時の酸素消費量と換気当量より計算

Maximal exercise ventilation ( $V_{Emax}$ ) calculated from oxygen uptake in maximal exercise and V. E. in children and adults.

years	Male (n=157)		Female (n=141)	
	l/min	l/min/kg	l/min	l/min/kg
5-06	40.1	1.98	36.0	1.92
9-10	50.4	1.68	40.0	1.29
11-12	65.9	1.83	65.1	1.62
13-14	82.8	1.79	66.5	1.47
15-16	102.9	1.85	57.4	1.17
17-18	108.4	1.74	54.0	1.07
19-20	100.1	1.67	52.5	1.04
30-34	86.1	1.33		
40-44	85.8	1.49		
50-54	76.0	1.25		

Values in subject 5-6 years are the data from Yoshizawa et al.<sup>3)</sup>

Other values are the data from Miyamura and Honda.<sup>7)</sup>

一方、体重1kg当りの肺換気量で示せば、男女とも2歳が最高で、それぞれ255ml/min/kg, 252ml/min/kgである。これより年齢とともに低下し、70歳ではそれぞれ、80ml/min/kg, 78ml/min/kgとなる。

### III 最大運動時の肺換気量

MiyamuraとHonda<sup>7)</sup>, 吉沢<sup>9)</sup>らの年齢別最大酸素摂取量より計算した最大換気量を表3と図4, 5に示した。

肺換気の絶対量は、男子で5～6歳の40.1l/minから17～18歳の108.4l/minまで増加し、以下漸減して50～54歳で76.0l/minとなった。女子では5～6歳の36.0l/minから13～14歳の66.5l/minまで増加し、以後漸減して19～20歳で52.5l/minであった。

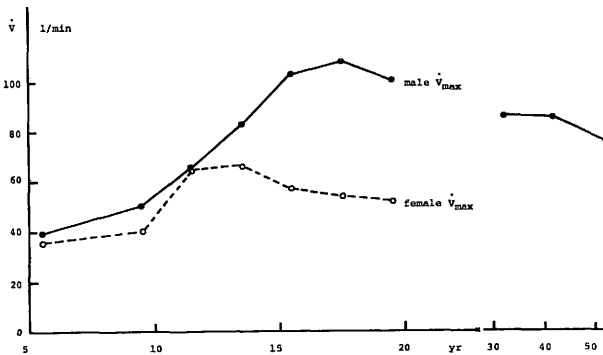


図4  
最大運動時の換気量( $\dot{V}_{\max}$ )  
Ventilation at maximal exercise ( $\dot{V}_{\max}$ )



図5  
最大運動時の単位体重当りの換気量  
Ventilation per unit body weight at maximal exercise.

一方、体重当りの肺換気量で計算すると、男女とも5～6歳でそれぞれ1.98l/min/kg, 1.92 l/min/kgと最高値を示した。その後、年齢とともにやや動揺を示しながらも漸減し、19～20歳でそれぞれ1.62l/min/kg, 1.04l/min/kgまで低下した。さらに男子成人の値が得られており、50～54歳で1.25l/min/kgまで低下した。

#### まとめ

以上の日本人の年齢別肺換気量の値を要約すると、安静時ではおおよそ5～10l以内、最大運動時で男子は50～100l/min, 女子では40～70l/minとなる。肺換気量に影響する因子としては、体重、代謝活動、性、呼吸パターンなどが挙げられる

#### 参考文献

1) Åstrand, P-D. and Rodahl, K.: Respiration In: Textbook of work physiology, International



student Edition, pp. 185-254, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd. 1970.

- 2) 小林寛道; 日本人のエアロビック・パワー・加齢による体力推移とトレーニングの影響, pp.20-25, 杏林書院, 1982.
- 3) 吉沢茂弘, 石崎忠利, 本田宏子・幼児の有酸素的作業能に関する研究(I), 体力科学 24, 37-44, 1975.
- 4) Bar-Or, O.: Pulmonary response to exercise in children. In: Pediatric Sports Medicine for the Practitioner from Physiologic Principles to Clinical Applications. pp. 30-33, Springer-Verlag, 1983.
- 5) Comroe, J.H.: The hyperpnea of muscular exercise. In: physiology of respiration. 2nd ed. pp. 234-241, Year Book Med Publ., 1974.
- 6) 杉晴夫, 村村幹郎, 上山章光, 渡部士郎, 中野昭一, 斉藤望, 林秀生, 新井康允共著: 人体機能生理学, 栄養と代謝 G, エネルギー代謝 pp558-564, 南江堂, 1985.
- 7) Miyamura, M. and Honda, y.: Maximum cardiac output related to sex and age. *Jpn. J. Physiol.*, 23, 645-656, 1973.

## < 討 論 >

座長(田中義一郎):

本田先生の今日の貴重なお話のような事は、日本ではあまり定量的に出ていないので、非常に有難いと思います。

Q .丸山隆司:

素人で良く分からないが、口で呼吸するような呼吸量, 鼻で呼吸できない状態の呼吸量は、だいたいどの位の量か、具体的にお教え願いたい。

A. 本田良行:

口で呼吸した場合の換気量というものは、鼻で呼吸した場合よりも増える、少なくとも増やす余地があるということであり、実験的には口の方から呼吸すると、もっとたくさん、普通の大人で120~130リットルまで行きます。しかし、鼻の場合はそこまで行かない。

ただ、人間は鼻から呼吸しているという事が大変大事である。一つには、外から入ってきた空気を水蒸気飽和させる(それをしないと気道系が乾燥してしまう), それから、口を開けて寝る人の場合には、非常に睡眠中の呼吸量が多い。我々は自分が、非常に健康だと思っているが、実は、特に大人(男)の場合には、一晩に少なくとも一晩中に7, 8回位は、10秒以上の呼吸停止があるという事が、今日分かっており、それは、鼻から息をしないで口から息をする場合に、非常に増える。そういう障害のある人は口を開けられないようにして、一晩鼻から息をするようにすると、非常によくなるという仕事もある。ですから、鼻は非常に大事であります。動物によっては、鼻をつまむと呼吸できなくて、窒息死してしまう動物もある。

**Q. 丸山：**

特に子供は外で遊んでいて、走るとき、口から呼吸する。(本田：そうです。)その時は、どれ位の呼吸量あるいは、そうせざるを得ない運動量との関係のようなものはありますか。

**A. 本田：**

吉沢先生のお仕事は、多分、そういうタイプの、最大まで追い込んだ呼吸だから、口からしていると思う。私共の経験では、そういう口からした最大呼吸と比べ、鼻から(の呼吸量)はほぼ7～8割位にとどまる。それ以上は、口からできない。

**座長：**

今後、色々な点でまたよろしくお願い致します。

## VII-2 公衆衛生学から

滝澤 行雄

秋田大学医学部公衆衛生学教室

### Radiation Dose and Public Health

Yukio Takizawa

Department of Public Health, Akita University School of Medicine

1-1-1 Hondo, Akita, 010 Japan

**ABSTRACT**-A major interest has been focussed on the assessment of radiation levels and doses in Japanese people that have systematically occurred due to the global proliferation of nuclear energy industries. Judging from the public health, two problems of radiation dose characterized by exposures to nuclear explosions were reviewed.

(1) Although the accident at the Chernobyl nuclear power station was of a serious incidence, a tragic event for the people mostly affected in countries of Europe and, to a lesser extent, in countries throughout the northern hemisphere, the radiation exposures were, in perspective, not of great magnitudes.

(2) The concentration of fallout plutonium in various human tissues from several countries are summarized. Plutonium concentration was found to be highest in bronchial lymph nodes, followed by the liver and bone. The concentration in liver and bone agreed that with those estimated values obtained from inhalation intake metabolic model of ICRP 30. However, the observed concentration in lung was considerably higher than the estimated value. The analytical techniques relating to detection of transuranic elements such as  $^{239}\text{Pu}$ , must be more developed.

1986年4月に発生したソ連チェルノブイリ原発事故は、わが国において当初考えられていた予想をはるかに超える放射能汚染をもたらし、国民のあいだに不安をつのらせた。一方でわが国の原子力は本格的な利用段階に入り、青森県下北地区等における核燃料サイクル施設の建設

計画が具体化するとともに、社会的には環境問題、とくにプルトニウムをはじめとする長半減期核種への関心が高まってきた。このような現況に、線量評価の問題は個人の保護にとどまらず、公衆のためにより高い安全性の確保が要請されている。もとより、公衆の受ける被曝とは健康に対する影響全体を意味し、最近、ICRPは各国が種々の年齢層から成る公衆を対象とする精緻な線量評価を勧告している。つまり、線量評価に係わる人体特性が重視されるわけである。

よって、線量評価に係わる人体特性およびその関連因子について、公衆衛生学の立場からチェルノブイリ事故による被曝線量の地域差を考えるとともに、最近とみに注目されてきた超ウラン核種の線量評価の実際について焦点をあわせ、論述したい。

## 1 チェルノブイリ原発事故による実効線量当量の推定 —環境的要因としての地域差

公衆に対する線量dose to populationが集団全体のリスクの指標となるためには集団の人体特性およびその関連因子を考慮して決定されなければならない。元来、人体特性とは、人類学上重要な種族特徴であって、広義の体質的要因と自然、社会、文化等を含む広義の環境的要因とを有機的に一体とした総合的地域的要因を通して抽出されるものである。ICRPが線量計算を少なくとも(1)各国において、(2)種々の年齢層で、と勧告しているのは理の当然であって、わが国では放医研田中ら<sup>1)</sup>によって標準日本人Reference Japanese Man設定がなされてきた。

ところで、集団が受ける被曝線量の算定評価あるいはその上限の推定には、第1に人工放射能と自然放射能の識別、第2に外部被曝線量の推定として、環境中の人工および自然放射性核種の分布と挙動、第3に内部被曝線量の評価として経気道あるいは経口摂取の寄与、等をそれぞれ解明する必要がある。ここに、チェルノブイリ事故による被曝線量の評価を諸外国の一般住民で検討した報告をみることにする。

北半球規模の放射能汚染をもたらしたチェルノブイリ事故は、炉内に存在した希ガス核種のほとんど(約50MCi)が約10日という短期間に環境に排出し、希ガス核種以外では<sup>131</sup>Iが20%、Te、Csが10~15%を占め、その他主要核分裂生成物と超ウラン核種が各2~6%放出している<sup>2)</sup>。日本では事故1週間後の昭和61年5月3日に放射性降下物が関東地方で検出されたのを契機に、全国各地で放射能汚染が確認された<sup>3)</sup>。検出核種は<sup>131</sup>I、<sup>134</sup>Cs、<sup>137</sup>Cs、<sup>90</sup>Sr、<sup>103</sup>Ru、<sup>106</sup>Ru、<sup>132</sup>Te、<sup>140</sup>Ba、<sup>140</sup>La、<sup>144</sup>Ceなどであり、これらはソ連国内および隣接国において多量検出されているもので、あらゆる環境試料に移行、蓄積している。当時の地表降水量は気象条件、とくに降雨に大きく左右され、隣接国における降下状況のパターンが異なり、その結果、大気から土壌、食品への移行、および個人の被曝線量はきわめて不均一を示した。

国連科学委員会 UNSCEAR による線量計算は線量に寄与する核種として<sup>131</sup>I、<sup>134</sup>Csおよび<sup>137</sup>Csを取りあげ、より細分化した地域別アプローチに主力がおかれた。線量は主に沈着した物質からの外部被曝および汚染食品からの内部被曝を実効線量当量として求められている。表1に諸外国における個人の実効線量当量および甲状腺線量当量の平均値を示す<sup>2)</sup>。これによると、

表1 チェルノブイリ原発事故に伴う各国における平均線量当量  
Country average of effective dose equivalent (uSv) from  
the Chernobyl accident

国名	実効線量当量(mSv)	甲状腺線量当量(mSv)
オーストリア	0.65	2.3
ノルウェー	0.17	0.47
フィンランド	0.50	0.90
スウェーデン	0.21	0.44
スイス	0.21	1.3
西ドイツ	0.30	1.5
イタリア	0.49	2.0
ギリシャ	0.37	2.7
アイルランド	0.11	0.51
ルクセンブルグ	0.11	0.40
オランダ	0.07	0.41
フランス	0.02	0.13
デンマーク	0.03	0.07
ベルギー	0.04	0.31
イギリス	0.04	0.19
日本	0.007	0.07
トルコ	0.02	1.0
アメリカ	—	0.01
カナダ	0.003	0.004
スペイン	—	—
ポルトガル	0.006	0.02
アイスランド	0.001	小
オーストラリア	—	—

1mSv=100mrem

注1：平均値は各国の集団線量当量の算定値を人口で割って求めたものである。

注2：国名はセシウムの平均降下量の大きい順に並べてある。

注3：日本の値は、OECD/NEA への報告時点(1986年9月)での平均値である。

(OECD/NEA CRPPH・Report, 1987)

1986年5月から1年間における個人の実効線量当量は、各国の平均値が0.001mSv-0.7mSvの範囲に分布している。なお、OECD加盟国全体(人口約8億)の集団線量当量は、実効線量当量で約66,000人Sv、甲状腺線量当量で約300,000人Svと算定されている。

これらの変動幅は汚染食物の摂取制限等の対策をとった場合、然らざる場合とで大きく異なり、とりわけ、(1)プルームからの直接 $\gamma$ 線被曝、(2)吸入、(3)地表への降下物からの $\gamma$ 線被曝、(4)汚染食糧の摂取、などの被曝経路のうち、(3)と(4)が線量当量への寄与を大きくしている。

要するに、線量評価に係わる環境要因として、地域の局地気象、地形、土地の利用状況が重

視される。しかし、各国での地域差のなかには対象データの整理方法とパラメータの考え方が統一されていないことによることも考えられる。ちなみに、自然線源からの線量でも、地域的変動の差異の大きいことを明記する必要がある。

## 2 超ウラン元素の体内挙動とその線量評価

核燃料再処理施設の稼動に伴って環境に放出されることが予想される長半減期核種として<sup>99</sup>Tc, <sup>129</sup>I, <sup>237</sup>Np, <sup>239</sup>Pu, <sup>241</sup>Am, <sup>244</sup>Cm, <sup>252</sup>Cfなどがある<sup>4)</sup>。加圧水型軽水炉の使用済み燃料中の超ウラン核種を表2に示したが<sup>5)</sup>、これらは人体内に取り込まれると、それぞれの標的臓器に移行、蓄積することが考えられる。

表2 使用済みの加圧水型軽水炉燃料中の超ウラン元素  
Transuranic elements in nuclear fuel waste of PWR

元素	重量(g/t)	放射能(Ci/t)	発熱量(W/t)
U	$9.54 \times 10^5$	4.05	$4.18 \times 10^{-2}$
Np	$7.49 \times 10^2$	$1.81 \times 10^1$	$5.20 \times 10^{-2}$
Pu	$9.01 \times 10^3$	$1.08 \times 10^5$	$1.52 \times 10^2$
Am	$1.40 \times 10^2$	$1.88 \times 10^2$	6.11
Cm	$4.70 \times 10^1$	$1.89 \times 10^4$	$6.90 \times 10^2$
計	$9.64 \times 10^5$	$1.27 \times 10^5$	$8.48 \times 10^2$

装荷ウラン重量 1t, 燃焼度 33MWd/kg, 冷却期間 150日  
(Benedict, 1981)

超ウラン元素の線量—生物学的効果の関係はすこぶる複雑であるが<sup>6)</sup>、線量評価の前提として、どのような核種が人体のいかなる組織に、どれほど移行ないし蓄積しているかを知ることは公衆衛生学上意義が大きい。

### 2-1. 超ウラン元素の体内代謝

超ウラン元素の急性毒性を表3に示したが<sup>7)</sup>、大部分が $\alpha$ 線放出核種で、体内半減期も長いもの

表3 超ウラン元素の急性毒性  
Acute toxicity of transuranic elements in rats

核種	LD50( $\mu$ Ci/g)
<sup>237</sup> Np	0.003
<sup>239</sup> Pu	0.05
<sup>241</sup> Am	0.11
<sup>244</sup> Cm	0.11
<sup>252</sup> Cf	0.015

(注) ラットの急性毒性(30日)  
(Moskalev (1972)のデータを改変)

が多く危険視されている。環境中で種々の酸化状態をとり、またこれら元素の陽イオンが生理学的水素イオン濃度では加水分解によって重合体・粒子状物質を形成し、それがこれら核種の表面吸着性や食細胞の取り込みなどに影響を与える。

$^{239+240}\text{Pu}$  (以下、 $^{239}\text{Pu}$ とする)が体内に取り込まれる経路は公衆の場合、肺吸入と経口摂取の2つが考えられる。 $^{239}\text{Pu}$ の肺吸入では、可溶性化合物(硝酸塩やクエン酸錯体)は骨組織への移行割合が大きく、また不溶性化合物(酸化物)は大部分が肺に残留し、徐々に肝臓などの他臓器に移行する<sup>6)</sup>。血中に移行した $^{239}\text{Pu}$ は骨および肝臓にほぼ45%ずつが沈着し、生物学的半減期は

表4 プルトニウムの動物体内における分布量  
Distribution of plutonium radionuclides in various animal tissues

Puの化学型	動物と注射位置	投与量	注射後の 日数	臓器中の100分率	参考文献
単量体 Pu	マウス・尾静脈	3.3 $\mu\text{Ci}/\text{kg}$	3	骨髄：29.8% 肝臓：34.5%	Schubert, J. et al.
重合体 Pu	マウス・尾静脈	2.6 $\mu\text{Ci}/\text{kg}$	3	骨髄：19.7% 肝臓：44.9%	
$\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$	兎・耳静脈	1.05~2.29 $\mu\text{Ci}/\text{kg}$	1	骨髄：39% 肝臓：10.9%	Taylor, D. M.
			112	骨髄：35% 肝臓：17.8%	
$\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$	兎・筋肉	1.74~2.61 $\mu\text{Ci}/\text{kg}$	1	骨髄：4% 肝臓：0.6%	
			112	骨髄：19.5% 肝臓：8.6%	
単量体 Pu	成熟ラット・尾静脈	6~90 $\mu\text{Ci}/\text{kg}$	1	肝臓：35.5% 脾臓：0.26%	Mahlum, D. D. and Sikov, M. R.
			90	肝臓：1.6% 脾臓：0.26%	
重合体 Pu	成熟ラット・尾静脈	6~90 $\mu\text{Ci}/\text{kg}$	1	肝臓：67.6% 脾臓：5.58%	
			90	肝臓：50.1% 脾臓：5.05%	
$\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$	犬の頭部静脈	18~22 $\mu\text{Ci}/\text{kg}$	30	骨髄：5.7~68% 肝臓：77.0~84.0% 脾臓：4.4~9.5%	Bair, W. J. et al.

(岡林, 1980)

骨で100年、肝臓で40年と見積もられている<sup>7)</sup>。吸入した<sup>239</sup>Puの排泄は糞便が尿より多く、また胆汁中からも排出される。

各種の可溶性Puの吸入以外の経路をみると、表4のように、大部分が肝に沈着し、筋注の場合静注のそれよりも肝と骨へのPu移行率は少ない。一方、経口摂取の場合、<sup>239</sup>Puの消化管吸収率はこれまで不溶性の酸化物が $2.5 \times 10^{-6}$ から $1 \times 10^{-4}$ %と小さく、可溶性化合物でも $1.3 \times 10^{-3}$ から1.9%程度とされ、体内への寄与については無視できるといわれてきた<sup>6)</sup>。しかし、この数値についてその後の研究から表5に示すように胃腸管吸収率 $f_1$ の改訂がなされた。

表5 Pu化合物の胃腸管吸収率 $f_1$   
Absorption values ( $f_1$ ) of plutonium from the human gastrointestinal tract

Publication 19 (1972年)		Publication 30 (1979年)	
化学形	$f_1$	化学形	$f_1$
比較的溶け難い物質 (PuO <sub>2</sub> 等)	$10^{-6}$	Pu酸化物および水酸化物	$10^{-5}$
より溶け易い化合物 (硝酸Pu等)	$3 \times 10^{-5}$	その他の職業被曝で遭遇する通常のPu化合物すべて	$10^{-4}$

## 2-2. 人体組織中の<sup>239</sup>Pu蓄積量

一般人の体内<sup>239</sup>Pu量は表6、7のように各国で数多く測定され、その分布は概してリンパ節でもっとも大きく、ついで肝、骨などの順となっている。ところで、1960年代前後の生殖腺中の<sup>239</sup>Pu量が高値を示していることが注目され、当時の試料を再検討したMcInroyら<sup>8)</sup>は生殖腺中の<sup>239</sup>Puがそれほど高くないとした。また、Takizawaら<sup>9)</sup>は最新の試料(1980年)では以前のような高値が得られないことを報告している。骨中の分布パターンは椎骨、肋骨、大腿骨等で差がみられるが、Singhら<sup>10)</sup>は比較的近似することから、大腿骨(頭片)が人骨の線量評価に有用としている。

表6 各国における人体組織中Pu濃度(fCi/kg-湿重量)  
Plutonium concentration in human tissues in several countries, in fCi/kg-wet

採取年	脳	肺	リンパ節	肝	腎	脾	骨	生殖腺	甲状腺	文献
1959		0.8	5.0	—	0.5	0.5	—	3.6	—	Kreyら(1962)
1965-1966		0.5(14)	—	0.8(12)	—	—	—	—	—	Magnoら(1967)
1963-1969	0.1(3)	0.1(5)	—	0.2(5)	0.1(5)	0.2(4)	1.6(6)	1.1(5)	—	Takizawaら(1971)
1959-1973		0.25(95)	2.78(68)	0.78(85)	1.88(70)	—	0.43(90)	0.57(37)	—	
Colorado										
New York		0.16(60)	—	0.68(57)	—	—	0.57(57)	0.43(60)	—	Campbellら(1974)
New Mexico と合衆国		0.41(93)	3.14(81)	0.41(83)	0.14(76)	—	0.21(57)	0.68(9)	—	
1963-1973		1.18(27)	—	0.81(19)	0.58(19)	1.07(12)	2.66(14)	3.4(6)	—	Okabayashi ら(1976)
North Japan										
1970		0.23(10)	—	0.57(10)	0.02(5)	—	1.10(5)	—	—	Kawamura(1983)
1974-1976		0.3(150)	2.6(48)	1.3(153)	0.1(164)	0.2(148)	0.4(31)	0.4(96)	0.8(108)	McInroyら(1979)
1977-1979		0.17(9)	0.68(7)	0.55(10)	0.03(10)	0.08(11)	0.22(12)	0.02(4)	0.01(1)	Singhら(1983)



表7 最近(1980-1984年)の3カ国における人体組織中Pu濃度(fCi/kg-湿重量)  
Plutonium concentration in human tissues from three countries (1980-1984), in fCi/kg-wet

	西ドイツ(男) (Bunzl と Kracke) 1980-1981	英国(男女) (Papplewell) 1980-1984	日本(男女) (Takizawa et al) 1980-1984
肺	0.028 (29)	0.059 (30)	0.11 (66)
肝臓	0.53 (28)	0.70 (29)	0.62 (59)
腎臓	—	—	0.03 (24)
脾臓	—	—	0.08 (17)
骨			
肋骨	0.073 (29)	0.20 (30)	0.08 (13)
椎骨	0.092 (30)	0.14 (31)	0.21 (16)
リンパ組織	0.058 (30)	0.32 (25)	—

表8 日本人の臓器中<sup>239</sup>Pu実測値および  
ICRP-30モデルに基づく推定値

Concentration of <sup>239</sup>Pu in Japanese  
and estimated value from  
metabolic model in ICRP 30 (pCi/  
kg wet-weight)

臓器	臓器中 <sup>239</sup> Pu 実測値(中央値)	ICRPモデルに 基づく推定値
肺	0.11	0.019
肝	0.62	0.56
骨		
胸骨	0.08	0.12*
椎骨	0.21	

\*大腿骨

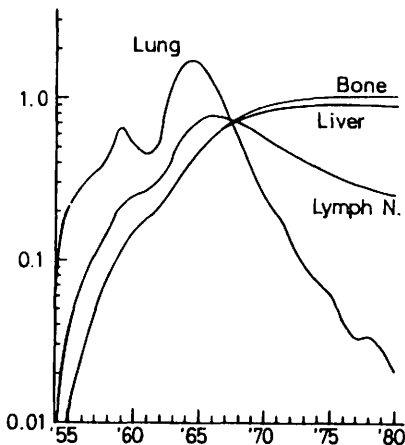


図1 ICRP-30 代謝(吸入)モデルに基づく人体  
臓器中<sup>239</sup>Pu濃度の推定

Estimated tissue burdens of <sup>239</sup>Pu for  
Japanese via inhalation from metabolic  
model in ICRP 30 (pCi/kg wet-weight)

### 2-3. 人体への移行モデルの適用

わが国では放医研にPu取り扱い施設が完成し、代謝および線量評価モデルに関する研究が進められている。ここではICRP-30代謝モデルに基づいて体内濃度を推定し、人体臓器の実測濃度と対比してみた。Pu人体臓器中濃度の推定は、経肺吸収についてはBennett<sup>11)</sup>の方法を参照し、空气中PuのAMADは0.4 $\mu$ m、溶解性はクラスYと仮定し、臓器重量等のパラメータは標準人の数値を用いた。推定方法の詳細<sup>9,12)</sup>を略したが、図1に秋田における推定値を掲示した。一方、1980~82年の死亡例におけるPu測定結果とICRPモデルよりの推定値の比較をみると、表8のように、骨および肝でよく一致し、ICRPモデルはfallout Puのような低線量域で十分適用できることがわかった。しかし、肺における推定値は実測値に比べて低く、肺クリアランスがICRPモデルより遅いことが考えられる。ここで、臓器負荷量に対する経口摂取の寄与率をみると、1979年度の測定結果から肝が0.45%、骨が0.48%となった。

Puの腸管吸収率は化学形で異なり、食物連鎖の効果も無視できない。従来の報告では、クエン酸Puのような可溶性塩や硝酸Puのような中間的な溶解性塩の吸収率は $10^{-3}$ のオーダーであり、不溶性Puは粒径によって $10^{-4}$ オーダーを示した。fallout Puの場合、腸管吸収率を $10^{-3}$ とすれば、肝と骨における経口摂取の寄与は経肺吸収の約50%、全体への寄与率は約30%となる。

### 2-4. <sup>239</sup>Puの線量預託

国連科学委員会は、一般公衆における臓器線量をICRPの肺モデルを使用し、クラスYパラメータ(不溶性エアロゾル粒子に相当)として空气中<sup>239</sup>Pu濃度を推定すると、その値は組織中のPu濃度の測定結果とよく合致することから、Puの預託線量を表9のように提示している。

表9 プルトニウム放射性核種の単位摂取量当りの預託線量( $\mu$ Gy Bq<sup>-1</sup>)  
Committed dose per unit intake of Pu-238 and Pu-239 ( $\mu$ Gy Bq<sup>-1</sup>)

	<sup>238</sup> Pu	<sup>239</sup> Pu		
	吸入 (Class Y)	経口 (Soluble)	吸入 (Class Y)	経口 (Soluble)
肺	16	—	16	—
赤色骨髄	3.3	0.008	3.8	0.008
骨内膜細胞	42	0.09	48	0.1
肝臓	9	0.02	11	0.02
生殖腺	—	0.001	—	0.001

(UNSCEAR, 1982)

### 2-5. ICRPによるPuの肺モデルの問題点一むすび

<sup>239</sup>Puの体内代謝を左右する因子は化学形とエアロゾルの粒度分布であるが、骨、肝についてはICRPモデルはfallout Puに適用可能であり、その腸管吸収率は $10^{-3}$ 以下と推論された。このことは、経口摂取された多くの部分が直接汚染による酸化物であることを示唆している。一方、肺の推定値は実測値に比較して低く、肺クリアランスがICRPモデルより遅いことが考えられ

るが<sup>3</sup>、今後の吟味が期待される。

#### 参考文献

- 1) 田中義一郎, 河村日佐男, 中原義行: 規格日本人(Reference Japanese)の設定, 原子力学会誌, **19**, 674-679, 1977.
- 2) International Nuclear Safety Advisory Group: Summary Report on the Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident. Safety Series No. 75-1, NSAG-1, 1986.
- 3) 滝澤行雄: チェルノブイリ原子力発電所事故に伴う放射能汚染とその被ばく線量評価, 日本公衛誌, **34**, 3-9, 1987.
- 4) 滝澤行雄: 環境プルトニウムと放射線衛生, 日本公衛誌, **26**, 393-409, 1979.
- 5) Benedict, M. (Ed.): Nuclear Chemical Engineering. McGraw-Hill, p. 338, 1981.
- 6) ICRP: Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Report No. 30, Pergamon, Oxford, 1979.
- 7) ICRP: Publication 19, Pergamon, Oxford, 1972.
- 8) McNroy, J. F., Campbell, E. E., Moss, W. D., Tietjen, G. L., Eutsler, B. C. and Boyd, H. A.: Plutonium in autopsy tissues. *Health Phys.*, **37**, 1-136, 1979.
- 9) Takizawa, Y., Hisamatsu, S. and Abe, T.: Concentration of fallout plutonium in tissues of Japanese who died during 1980-1984. *Radiat Res*, **109**, 245-255, 1987.
- 10) Singh, N. and Wrenn, M. E.: Plutonium concentration in human tissues; Comparison to thorium. *Health Phys.*, **44**, 469-476, 1983.
- 11) Bennet, B. G.: Fallout <sup>239,240</sup>Pu dose to man. Report HASL-278 I-41-I-63, U. S. Dept. of Energy Technical Information Center, Oak Ridge, 1979.
- 12) 滝澤行雄: 長寿命放射性核種の放射生物学的挙動とその被ばく線量評価に関する研究(III), 昭和58年度文部省科学研究費総合研究(A)報告書, p. 54-58, 1984.

#### < 討 論 >

##### 座長(田中義一郎):

いろいろなお話の中で、特にトランスプルトニウム系統の問題は、これからますます重要になってくる問題で、会場の皆様のディスカッションを期待します。

##### コメント. 松岡理:

水道水(中のPuの価数)が反対運動のターゲットとして問題になり、ICRPの方でSullivanらがいろいろ検討した結果、6価Pu特有の高い消化管吸収率は、食物が入っている状態では見られず、空の状態で計った時にしか出ないから、余り心配がない事が一点。

プルトニウムの吸収率 $f_1$ も、newbornで100倍、あるいは3桁も違うという数字が出ているが<sup>3</sup>、それは生まれた直後だけであり、1日の単位でずっと下がって行き、全生涯の線量には殆

ど寄与がないため、 $1 \times 10^{-3}$ という1桁の数字に決めたと説明されております。

Q. 大桃洋一郎：

最も敏感なグループについて影響のないdoseと言われたが、それは放射能の方でいうと、クリティカルグループに対して影響のない線量と言う意味ですか？

A. そうということです。

Q. 稲葉次郎：

影響のない線量またはdoseを具体的にはどうして見るのか。また、モデルのパラメータのvalidationの解析をフィールド・データから行うとき、空気中のプルトニウム濃度は何を使われるか。

A. 滝澤：

メチル水銀化合物で汚染された魚介類の多食によって水俣病が発生しているが、中毒発症量は魚介類の喫食量と魚介類の水銀濃度がわかると、体内の水銀摂取量を求めることができる。知覚障害や運動障害などの中枢神経系障害が発現する中毒量がわかれば、安全率(例えば10倍とか100倍など)を乗じて体内水銀摂取限度を策定できる。

影響のないdoseの算定は、中毒学では慢性毒性試験によって無作用量を求めることがよく行われる。最近、原爆被曝による広島疫学データで低線量域の影響について慎重な議論が行われているが、hormesisとの関連で微量線量の効果に注目したい。

第2の質問について、大気中Puのデータは少ないため、 $^{90}\text{Sr}$ 降下量から推定したPu年間降下量、さらにPuの大気中濃度/降下量比はBennetの値を用いた。

座長：

最近、セシウムに対する比を取ることが非常に多い。お話の中で、ストロンチウムとプルトニウムの比について伺い、私の経験からたいへん嬉しく思いました。

## VII-3 保健物理学から ——体内微量放射能分布測定——

川崎 智

㈱日立製作所エネルギー研究所

Measurement of Distribution of Low-Level Internal Radioactivity

Satoru Kawasaki

Energy Research Laboratory, Hitachi Ltd.

1168 Moriyama-cho, Hitachi, Ibaraki, 316 Japan

**ABSTRACT** -A new technique for measuring distribution of a small amount of radioactivity in the human body is described. The distribution is obtained by analysing the difference in gamma-ray pulse height distributions measured around the body, which contains information for not only unscattered, but also scattered rays within the body, by use of the response function method. The analysis is performed by the least squares method with the condition that the radioactivity is greater than or equal to zero.

Basic experiments involving the measurement of two-dimensional radioactivity distribution in a homogeneous acrylate block (40cmW×20cmH×50cmL) containing two  $^{137}\text{Cs}$  point sources (0.8 and 1.0 $\mu\text{Ci}$ ) were made using gamma-ray counts measured by twenty 2"  $\phi$ ×2" H NaI(Tl) scintillators arranged on a circle, and the response functions calculated by the Monte Carlo technique or obtained by measurements. The distribution on a 10×5 mesh division was successfully analysed using both 20 unscattered rays data and 100 scattered rays data, for a measuring time of 10 min. The mesh size was 4cm×4cm, which was about one-half that possible when analysing only unscattered rays.

### 1 緒 言

国際放射線防護委員会(ICRP)は、内部被曝線量評価に関して、従来の「決定臓器」に代えて「全臓器」を評価の対象にすべきことを1977年報告<sup>1)</sup>において提案し、具体的な計算モデルをPub. 30<sup>2)</sup>に示した。このモデルは、線量換算係数、荷重係数のほかに体内摂取した放射性核種につい

てさらに7つの情報、すなわち、核種名、摂取量、摂取した核種の体内分布を規定する経過時間、摂取経路、化学形態、吸入摂取の場合には吸入エアロゾルの粒子径および臓器における残留関数を必要とする。原子力発電所等に内部被曝検査用として設置されているホールボディカウンターでは全身量が測定されている。さらに、体内の放射能分布を詳細に測定することができれば、実効線量当量を計算するのに必要な情報を得ることができるので、内部被曝評価上のホールボディカウンターの有用性はさらに増すものと考えられる。

体内放射能分布を測定する方法としてECT(Emission Computed Tomography)法が核医学の分野で実用化されている。ECT法では体内から放出された $\gamma$ 線の放射方向と強度を求める必要があり、放射線をコリメートして測定する。したがって、微量な放射能を対象にした内部被曝検査にECT法を適用した場合、必要とされる精度をもつデータを得るためには測定時間を長く設定しなければならず実用的ではない。

著者らは、体内から放出された $\gamma$ 線をあまりコリメートせずに効率良く測定することによって、微量な放射性物質の三次元分布を求めることができる装置を開発している<sup>3,4)</sup>。

## 2 放射能分布解析

### 2.1 測定方法

図1に示すように、人体周囲のj位置に配置した検出器に入射する $\gamma$ 線計数率 $C_j$ と人体を仮想的に分割したときのi領域内の放射能強度 $A_i$ との関係は、応答関数 $R_{ji}$ を用いて次式で表わすことができる。

$$C_j = \sum_i R_{ji} A_i \quad (1)$$

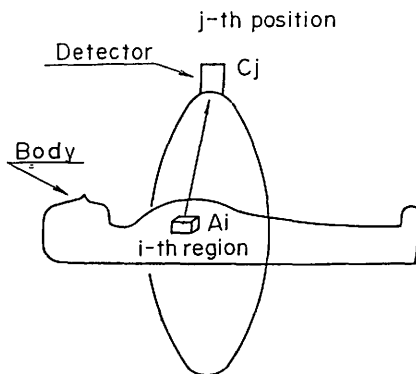


図1 測定体系  
Detector arrangement around a body.

ここに、応答関数 $R_{ji}$ は、i領域に単位強度の放射能があるときのj位置の検出器に入射する計数率で定義される値である。人体内における $\gamma$ 線の減衰は既知と考えることができるので、応答関数は計算あるいは実験で求めることができ、既知量とみなすことができる。

体内における放射能分布は、制約条件付き最小二乗法で求める。すなわち、(2)式を(3)式の制約条件の下で最小にする $A_i$ を求める。

$$Z = \sum_j W_j (C_j^{\text{ex}} - C_j)^2 \quad (2)$$

$$A_i \geq 0 \quad (3)$$

ここに、 $C_j^{\text{ex}}$ はj位置の検出器における $\gamma$ 線計数率測定値、 $W_j$ はその荷重係数である。

## 2.2 散乱線の利用

従来、ECT法では、人体内で散乱されずに透過してきた非散乱線のみを解析対象としていた。この方法では、1個の検出器当たり1個の測定値しか得られないので、人体内の詳細な放射能分布を得るためには多数の空間的に独立な位置で放射線を測定しなければならない。

一方、検出器には、図2に示すように、非散乱線とともにいったん散乱後に透過してきた散乱線も入射している。この散乱線は非散乱線と同様に人体内の放射能の強度と位置に関する情報をもっている。したがって、非散乱線だけでなく散乱線をも( $\gamma$ 線スペクトルの変化)解析対象

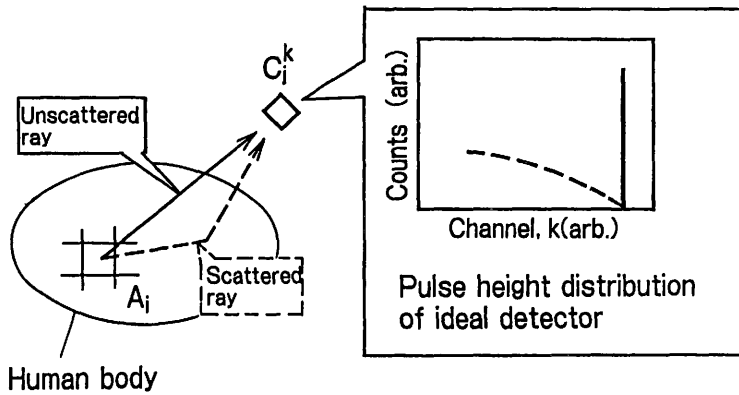


図2 測定原理<sup>3)</sup>

Principle of measurement.

The solid and dashed lines represent the unscattered and scattered rays within the human body, respectively.

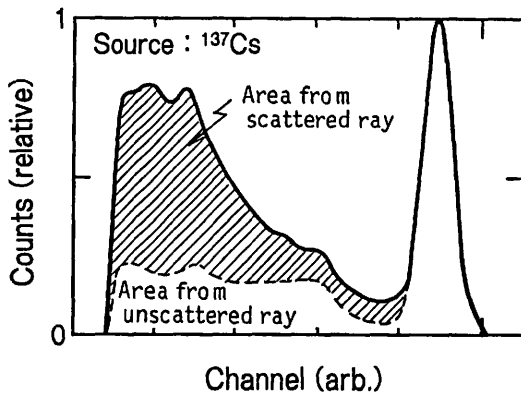


図3

NaI検出器の波高分布の例<sup>3)</sup>

Example of pulse height distribution measured by NaI.

にすれば、空間的に異なる位置での $\gamma$ 線測定回数が同じであっても独立な測定値数が増えたともみることができるので、放射能分布測定の精度向上が期待できる。

理想的な検出器では非散乱線と散乱線を分離して測定できるが、実際の検出器では両者を完全に分離できない。図3は、アクリルブロック内に設置した $^{137}\text{Cs}$ 点線源を測定して得られた波高分布である。破線はアクリルブロックがない場合に非散乱線の入射によって生じた波高分布である。したがって、斜線領域はアクリル内で散乱した $\gamma$ 線によって生じたものである。すなわち、 $^{137}\text{Cs}$ の放出する662keVの非散乱線によって生じた光電ピーク領域に達しないエネルギーに相当するチャンネルの計数率は非散乱線と散乱線の両者を合わせた計数率である。しかし、応答関数を図3に示すように非散乱線と散乱線とを分離しないであらかじめ求めておけば、上述した解析方法を適用できる。独立なものとして扱うことができる散乱線成分の個数は検出器のエネルギー分解能、散乱線と非散乱線の割合に依存する。

### 3 実 験

#### 3.1 方法

体内微量放射能分布を測定するために開発したホールボディカウンタを用いた。図4にその全体構成、図5にガントリ内の検出器の配置を示した。図5に示すように、各検出器の有効視野は広く、人体から放出された非散乱線と散乱線を効率よく測定できるように設計されている。

図6に示すような $^{137}\text{Cs}$ 標準 $\gamma$ 線源を内包した均質のアクリルブロックを測定した。アクリルブロックは人体胸部を模擬したものであり、その大きさは40cmW×20cmH×50cmLである。

線源を含む断面位置に検出器を移動し、この断面周囲の $\gamma$ 線を10分間測定した。この測定値を基にこの断面内の2次元の放射能分布を解析した。解析では、40cmW×20cmHの断面を50分割した4cm×4cmの大きさの小領域単位で放射能を求めた。

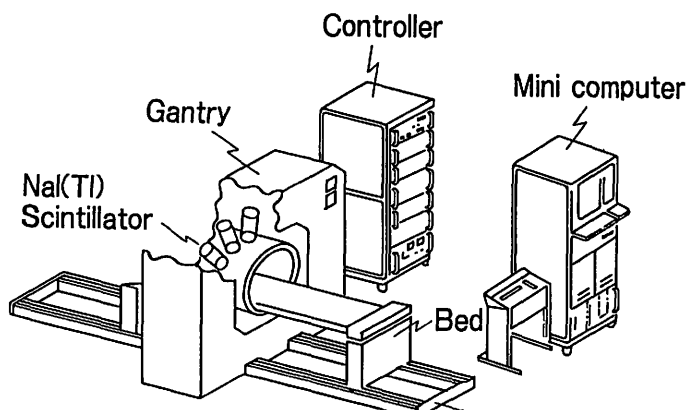


図4 体内放射能分布測定装置<sup>3)</sup>

Schematic appearance of whole body counter for measuring radioactivity distribution.



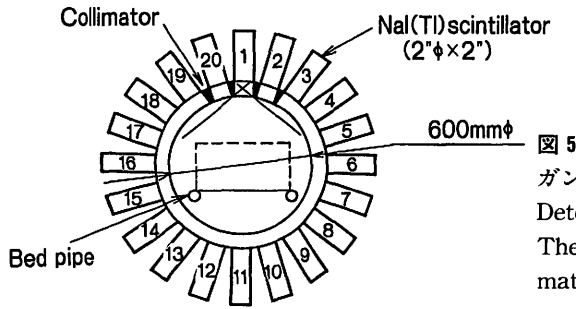


図 5

ガントリ内の検出器配置<sup>3)</sup>

Detector arrangement in gantry.

The dashed line represents the approximate size of the body.

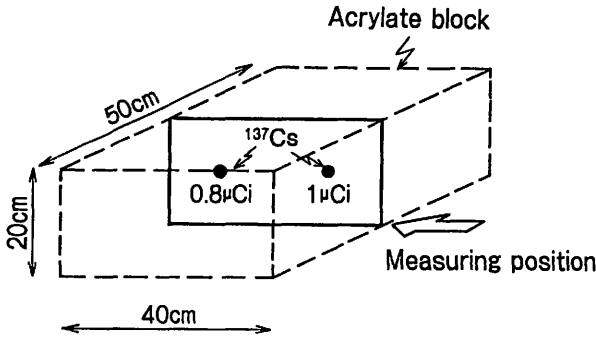


図 6

被検体<sup>3)</sup>

Measurement subject.

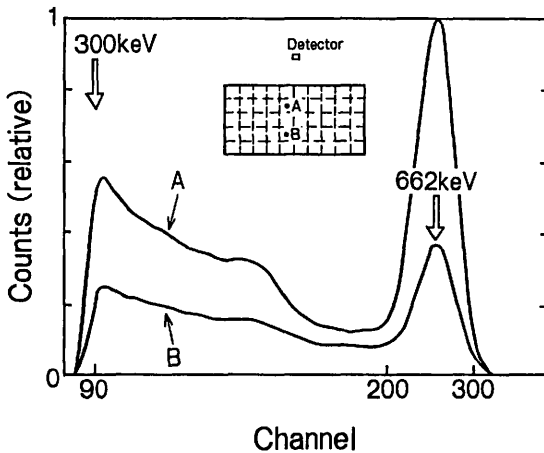


図 7

応答関数の例<sup>3)</sup>

Example of response functions.

A and B represent the source positions of <sup>137</sup>Cs, and two curves correspond to their positions, respectively.

Energy resolution (FWHM) is about 50 keV (20ch) at 662 keV.

(1)式に示す応答関数は、求めようとする小領域の中央に点線源がある場合を想定し、モンテカルロ計算あるいは実験で求めた。図7に実験で求めた応答関数の例を示した。線源位置が変わると、波高分布の形状はその強度とともに変化する。662keVのγ線に対するエネルギー分解能は、半値幅で約50keV(チャンネル数で20ch)であった。非散乱線に対する応答関数は、662keVのγ線に対する光電ピーク領域である200~230chの計数率の和から計算した。散乱線については、アクリル内での前方散乱にのみ着目し90~199chを5分割した各チャンネルの幅に入る計数率の和から計算した。すなわち、検出器1個当たりの測定値数は6個、全測定値数は120個であった。

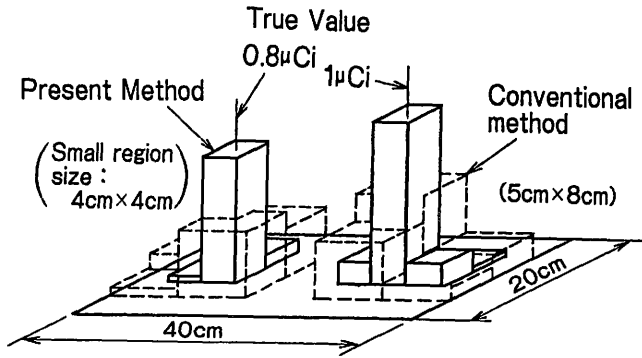


图 8 放射能分布解析例(1)<sup>3)</sup>

Example of analysed radioactivity distributions (1).

Measuring time is 10 min. True value means the radioactivity of <sup>137</sup>Cs set in the phantom (Fig.6) and the height of the small region represents the radioactivity analysed in each region. Conventional method means the radioactivity analysis using only unscattered rays.

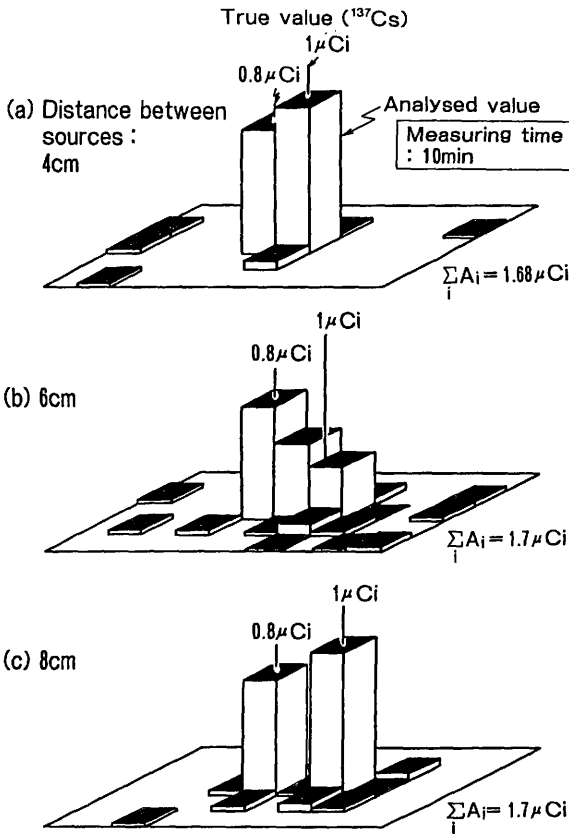


图 9

放射能分布解析例(2)<sup>4)</sup>

Example of analysed radioactivity distributions (2).

### 3.2 結果と考察

測定した計数率分布に基づいてアクリルブロック断面内の放射能分布を解析した例を図8に示した。応答関数は実験で求めたものを使用した。実線が非散乱線と散乱線を用いて解析した結果である。破線は、非散乱線にだけ着目し断面を分割できる上限値である20分割した小領域(大きさ: 5 cm × 8 cm)について解析したものである。非散乱線だけでなく散乱線をも解析の対象にすることの有効性を確認できた。

実際の人体を測定対象とする場合、応答関数を実験で求めることは難しく、計算で求めた応答関数を用いることができれば、本手法の実用性が増すものと考えられることができる。そこで、モンテカルロ計算で求めた応答関数を用いて解析した例を図9に示した。放射能分布解析の精度は、実験で求めた応答関数を用いた場合とほぼ同程度であった。したがって、人体を模擬した数値ファントムを対象にモンテカルロ等の計算によって応答関数を求めておくことにより、本手法を実人体の測定に適用できる可能性のあることがわかった。

## 4 結 言

内部被曝検査で遭遇する放射能は通常微量であるので、摂取した放射性核種の体内分布を測定するためには、放射線をあまりコリメートしないで測定できる応答関数法が有効である。この場合、良好な位置分解能を得るためには放射能分布を詳細に求める必要がある。人体内で散乱されずに透過してきた非散乱線だけを測定する方法では、多数の空間的に独立な位置で放射線を測定しなければならないという問題がある。これを解決する方法として、非散乱線とともに人体内で散乱後に透過してきた散乱線を測定し、そのスペクトルデータから体内の放射能分布を解析する方法を示した。

同一円周上に20個のNaI検出器を配置した装置で、<sup>137</sup>Cs線源を内包したアクリルブロック(40 cmW × 20 cmH × 50 cmL)の横断面内の2次元の放射能分布を求める実験を実施し、以下の結論を得た。

(1) 0.8と1.0 μCiの2個の点線源を含むとき、10分間の測定で、4 cm × 4 cmの小領域単位で放射能分布を解析できた。分割した小領域の大きさは、非散乱線だけに着目した場合の約1/2以下であった。

(2) モンテカルロ計算で求めた応答関数を用いた場合と実験で求めた応答関数を用いた場合の放射能分布の解析精度はほぼ同程度であった。

以上の結果から、散乱線を解析過程に含めて放射能分布を測定する手法が有効であることを確認できた。

### 参考文献

- 1) ICRP: Recommendation of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publ. 26, Pergamon Press, Oxford, 1977.

- 2) ICRP: Limits of intakes of radionuclides by workers. ICRP Publ. 30, Part 1, Pergamon Press, Oxford, 1978.
- 3) 川崎智, 近藤正弘: 非散乱および散乱 $\gamma$ 線を利用した体内放射能分布測定法, 日本原子力学会誌, **29**, 11, 1008-1013, 1987.
- 4) Kawasaki, S. and Kondo, M.: A measurement technique for trace radioactivity distributions in the human body by using gamma-ray spectra. IEEE Trans., NS-34, 1, 611-615, 1987.

<討 論>

座長(田中義一郎):

御質問・討論, 物理の方は如何でしょう。座長, 専門外のためちょっとコメントできません。川崎先生, 有難うございました。

## VIII 総合討論(2)

- VIII-1 ICRPの欧米人中心よりアジア人への比重移行についての一考察 田中義一郎
- VIII-2 IAEA/RCA放射線防護共同研究について 小柳 卓
- VIII-3 国民線量とリスクの推定における「標準日本人」ファントムの必要性 丸山 隆司

## VIII-1 ICRPの欧米人中心よりアジア人への比重移行 についての一考察

田中義一郎

明治薬科大学

Reference Man for Asians as well as for Europeans—A change in the ICRP concept of  
Reference Man

Gi-ichiro Tanaka

Meiji Pharmaceutical College

1-35-23, Nozawa, Setagaya-ku, Tokyo, 154 Japan

**ABSTRACT**—ICRP Reference Man, according to the definition, is primarily for Caucasoid populations (Western Europeans and North Americans) that contribute only 13 per cents of the world population. A speculative world population dose will, assuming a uniform exposure all over the world at a level of  $10\mu\text{Sv}$ , be 50 k man Sv in total. Of this, all regions of Caucasoid populations may contribute by 22 per cent maximum. Asian populations will share about 58 per cents (29 k man Sv) of the world population dose. About eighty per cents in total of the world population can be covered by scientific dose assessment, if Reference Man data for Asians are made available. Thus the importance of establishing Asian Reference Man should be evident.

The important point of characteristics of Asians is that they are “Vegetarians” as compared to Westerners, which suggests different pathways with respect to transfer of radionuclides from foods to the human body. Therefore it is required to determine accurate and suitable parameters relevant to dose assessment.

Considering the above, contribution of Japan in science and technology to Asian countries with “knowhows” accumulated may be of a most urgent matter.

ICRP Reference Man(Publication 23, 1975)は図1に示すごとく、世界人類全体の13%を占めるCaucasoid(West Europe and North America)のためのものである。

このため、地球規模の視点より概観すると個人均等に $10\mu\text{Sv/person}$ を被曝すると仮定した場合、人類全体の集団線量当量は総計50k man Svとなる。全Caucasoid(Europe, North Amer-

ican, Russian and Oceanian)を含めてもその寄与率は22%(11k man Sv)にすぎないことにな  
る。

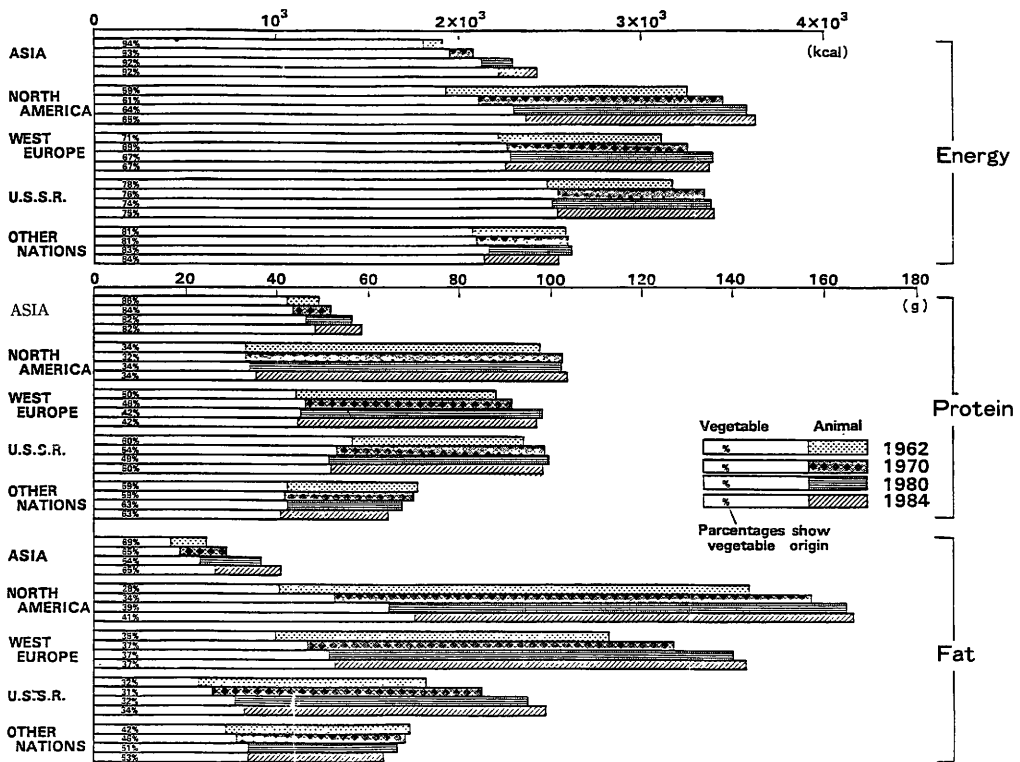


図1 世界の主要地域における熱量, タンパク質および脂肪の1人1日当り正味供給量  
Per capita net supplies of energy, protein and fat in main regions of the world.

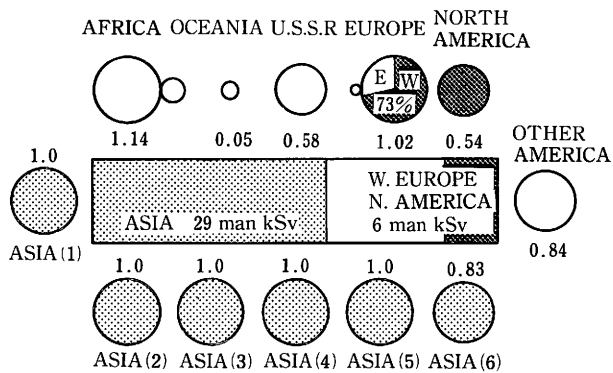


図2 世界の地域別 man Sv 計算値  
World population dose: assuming a uniform exposure all over the world at a level of 10 $\mu$ Sv per person, be 50k man Sv in total population.

ここで、アジア人の集団線量当量 $29\text{k man Sv}$  (58%)を加算すれば世界の80%を正確な科学的根拠に基づく線量として把握できることになる。

このためには、標準アジア人(Asian Reference Man)モデル設定は不可欠な課題であることが明白である。

アジア人の特徴は図2に示すごとく欧米人と比較するとVegetarianであって、したがって放射性物質の食品摂取汚染経路が著しく異なり、我々アジア人独自の各種パラメーターをより正確に決定しなければならない。

以上の点を考慮すると、我が国の果たす役割は大きく、過去に蓄積された学問的・技術的know-howを利用してもらい、アジア諸国に貢献することが最も緊急な課題と考える。



## VIII-2 IAEA/RCA放射線防護共同研究について

小柳 卓

放射線医学総合研究所

IAEA-RCA Co-ordinated Research Program on Reference Asian Man

Taku Koyanagi

Laboratory for Radioecology, National Institute of Radiological Sciences  
3609 *Isozaki, Nakaminato, Ibaraki, 311-12 Japan*

**ABSTRACT** -The Research Coordination Meeting was held in Mito City, Japan on October 17-21, 1988, inviting the chief investigating scientists from 11 RCA member countries to discuss practical plans for the Coordinated Research Program (CRP) on "Compilation of Anatomical, Physiological and Metabolic Characteristics for a Reference Asian Man" based on the decision taken at the Project Formulation Meeting for the RCA Project "Strengthening Radiation Protection", Tokyo, November 1987. Significance of the setting "Reference Man" for Asian peoples to estimate more realistic radiation doses by applying the real typical physical, physiological and metabolic parameters for them instead of those recommended by ICRP based on the data for "Caucasian Man" has been indicated by whole member countries and recognized again at the Meeting. The present status of "Reference Man-oriented Studies" in each countries was presented by the participants and certain difference or difficulties were pointed out among the countries depending on the geographical, social, or economical conditions as well as the ethnic circumstances.

After the mutual discussions and exchange of up-to-date information, the general conclusions were drawn as follows: acknowledging the importance of the CRP, research works should be carried out in each country with the expected supports from IAEA and other member countries. The first priority is given on the measurements of human physique (and internal organs) followed by the food consumption survey. Trace element analysis would be done by the countries where

possible. The standard manual for data collection might be necessary. The establishments of Co-ordination Center or central body with data base and also sub-group systems are desirable to promote the CRP.

国際原子力機関(IAEA)では、アジア太平洋地域のIAEA加盟国を対象として、“原子力利用技術の開発、研究および訓練を目的とした地域協力協定”Cooperative Agreement for Research, Development and Training related to Nuclear Science and Technology in the Asia and Pacific Region: RCA)を設けており、現在オーストラリア、バングラデシュ、中国、インド、インドネシア、日本、韓国、マレーシア、パキスタン、フィリピン、シンガポール、スリランカ、タイ、ベトナムの14カ国がこれに参加している。これらRCA加盟国の政府間専門家会議(RCA Working Group Meeting)において協力推進が呼びかけられた放射線防護対策の強化(Strengthening of Radiation Protection)に関するプロジェクトの一環として、我が国の研究者からプロポーズされた“標準アジア人設定のための身体、生理ならびに代謝特性に関するデータの集積”(Compilation of Anatomical, Physiological and Metabolic Characteristics for a Reference Asian Man)という共同研究テーマが、1987年11月東京で開催された共同研究計画策定会議(Project Formulation Meeting)で原則的に採用され、IAEAの委員会で承認された。それを受けて第1回目の研究調整会議が1988年10月17日より21日まで日本(水戸市)で開催された。その概要は以下の通りである。なおシンガポールは本共同研究に参加せず、またバングラデシュは欠席でレポートのみが提出された。(Appendix A)

## 1 共同研究の重要性

本共同研究提案理由の基本的概念は、人の放射線被曝線量を算定するに当って、パラメータとして用いられている身長、体重、その他の身体的数値として、アジア人のために最も適切な値を設定すべきであるという所にある。従来より適用されてきた国際放射線防護委員会の勧告値(ICRP)は西欧または北米に居住する白人成人の値にもとづいたものであってアジア人の値とは違う場合が多いことから、より適切な数値を採用することの必要性は以前より指摘されていたところであるが、ソ連原発事故の影響評価に際して、各国国民のより現実的被曝線量評価の必要性が認識されるに至って、本研究課題の重要性があらためて確認されたと見ることができる。前回の研究計画策定会議での提案説明に対する理解をも含めて、今回の会合でも本研究の重要性は参加者全員により再確認された。

## 2 研究調整会議の経過と各国の現状

共同研究の目的あるいは計画立案の経緯ならびに実施方法の試案等についてIAEA及び日本の研究担当代表者より説明があったのち、①身体的数値のデータ集積、②食品消費の調査、③生理学的乃至栄養摂取に関するデータの3点について10のセッションが設けられ、それぞれに

関して各国代表から研究の実績、現在の進捗状況、将来の予測などが紹介され、論議された。現在までの研究の実績は国によって大きく異なり、標準日本人の研究のようにほぼ確立に近い所まで到達しているものから、まだやっとスタートラインに立ったばかりのところまで様々であり、それぞれに抱えている問題点多種多様にわたることが、発表及び相互討論で明らかになった。たとえば、

①バングラデシュでは、この国の人口約9,900万人を食習慣その他の条件に応じて7段階の年齢群に分け、それぞれ男性、女性について身長、体重の平均値とその変動範囲が示されたが臓器重量や、食品摂取あるいは栄養調査等については、ほとんどデータがなく今後の課題であると思われる。

②その人口が世界総人口の約20%を占める中国では、標準中国人の調査が1974年から開始されており、18歳から55歳までの男子100,325人のデータと事故死した成人4,070人の解剖による臓器重量が調べられている。また、1979年と1981年にはそれぞれ身長、体重および12種の臓器の重量が報告されている。広大な国土と膨大な人口の中から代表値を選定することの難しさは容易に想像される場所であるが、調査は全国的規模でなされており、現時点では主要都市部に限られているものの十分な統計処理が可能になる様、すべての地域をカバーする予定となっている。

③インドの人口は7億5千万人で世界人口の15%、アジア人口の30%を占めており、Indian Reference Manを設定することが現実的線量評価上きわめて重要であると考えられている。また、インド人の体重、臓器重量は日本人ともかなり違う上、食習慣の違いも大きいことから標準日本人の値も適用し難い。現在までに得られている調査データについて、一応生理代謝特性等に関する考察がなされているが、いずれもまだ暫定的なものであって今後のデータ蓄積が期待される場所である。一方、人種の問題に関してはいくつかの人種間で変動が認められているが平均的な値を求める努力が払われている。

④インドネシアでは日本より多い1億6千万人の人口が種々の人類から成り、大小多数の群島に居住している。概して西部のほうが主にマレー人で東部のほうがマイクロメラネシア人から成る。地方の人口統計を左右する要因として都市化の影響が大きい。また国自体が群島から成立しているための調査の困難さも指摘される。現時点では解剖設備等も不十分であるが、医療対策、家族計画、栄養指導などが普及しつつあるので今後の調査に期待がかけられる。少なくともジャカルタ中心のデータは次回会合までに提出できそうであるが、その代表性に問題は残されよう。

⑤韓国では1981年に標準韓国人の設定を目的とした調査が実施されている。その結果の中から、身長体重等の標準値、食品経由の放射性物質の摂取率、天然放射線による外部および内部被曝線量、脊椎骨中の<sup>90</sup>Sr濃度、等の調査結果が紹介された。ただし、最近の経済急成長にともなって生活様式も変わり、現在の数値は当時とはかなり違う可能性がある。身体、臓器の計測に関しては、農村、漁村及び都市部という3グループに分けて調べられている。

⑥人口1千6百万人のマレーシアは、その54%はマレー人であるが、次いで中国人が35%、インド人が10%など、6つの人種から成る。現時点では本テーマに関連するデータはきわめて乏しい。保健衛生を目的とした調査がなされているが、それによれば、地方の子供たちに体重不足が目立っている。いずれにしても本プロジェクトに対応する態勢はまだ緒についたばかりであり、研究の進め方について指針の必要性があげられるが、それにも増して資金面での協力、援助が強く望まれるところである。

⑦パキスタンの人口は9千6百万人とかかなり多い。人体臓器重量に関するデータは主として大学医学部の病院から求めることができるが、事故死等の死体を対象とした解剖学的データの収集はきわめて困難な状況にある。生理学的データについても同様であるが、現在、国内の各種機関にはかつてReference Man設定に必要なデータの収集を計画している段階にある。

⑧人口5千4百万のフィリピンでも、ICRPのReference Manの数値は平均的なフィリピン人の値とかかなり違うことが認められている。フィリピン原子力研究所の保健物理部が中心となってフィリピン男性及び女性の平均的な身体臓器計測値が求められておりその一部が紹介された。フィリピンもインドネシア同様、多数の島から成る島国であり、その代表抽出にはかなりの困難が予想される。

⑨スリランカは人口1千6百万人であるが、食習慣の栄養基準等の観点から都市部、地方、山村という3つのセクターに分けられる。食品摂取に関しては、月毎のカテゴリー別食品消費の実態調査の結果、地方、山村では澱粉質の消費が最も高いことがわかった。

⑩タイでは1948年に臓器重量に関する研究成果が報告されている。現在人口は5千1百万人であるが、身長体重についてのデータはまだ少ない。一応標準値として男性が55kg, 165cm, 女性が48kg, 154cmという数値が得られているが、肺重量に他と大きく離れた数値がみられる等、尚詳細な調査検討が必要と思われる。

⑪ベトナム、人口は約6千万人で人種のなかではKink Mongorianが大部分を占め、ベトナム中央部に居住するのでそれをReferenceとするのが妥当と思われる。暫定的なデータのいくつかを紹介されたが、いずれも初歩的なもので、今後に全ての期待がかけられる。代謝データに関して熱帯地域国の気象条件の影響が大きいことが示唆されたが、食品摂取については穀類への依存度が高い程度で特に特徴はあげられない。

⑫最後に日本であるが、既に述べたように標準日本人に関する調査研究が放医研の田中、河村両氏を中心としたグループによって永年にわたり精力的に進められており、そのエッセンスとも言うべき重要ポイントが説明された。特に最新のそして詳細な標準日本人の身体臓器に関するデータが披露され、あらためて、ICRPのReference Manとの関連においてReference Asian Manの設定の重要性が説かれた。食品消費の実態に関しても、放医研の大桃、住谷両氏らによる永年の努力の結晶があり、その経験から生まれた調査指針としていくつかの留意点が指摘された。さらに代謝の関係ではチェルノブイリ原発事故に起因した $^{131}\text{I}$ と $^{137}\text{Cs}$

の日本人における代謝について放医研内山氏らによる研究成果の講演があり大きな関心を集めた。また、放医研の丸山氏による臓器線量評価のためのファントムに関する特別講義がなされた。なお、放医研松平所長、松岡科学研究所長、上田那珂湊支所長からもそれぞれ本共同研究の意義と重要性について意見が寄せられた。

### 3 会議の結論と今後の課題

4日間の会議の結果、次の様な結論に到達し、それぞれ今後の課題と共に各自、自国での検討をふまえて次回に備えることとなった。

- ① 先ず本共同研究の重要性を再認識する。用語としてのReference Asian Manについては現時点では変更しないこととし、当面それぞれの国独自で本研究課題の推進に努める。
- ② それぞれの国のNational Reference Manを確立するために必要なphysical, anatomical dataを集積することを最優先とし、他の関連パラメータについては可能性に応じて集める。それらのデータを照らし合わせることによって、アジア諸国の国民全体が1つのReference Asian Manという数値で代表され得るか否かの結論が導かれるものと期待する。
- ③ プライオリティーの第1は身体計測(臓器も含めて)におき、食品摂取の調査はその次にする。そこまでが次年までに各国で果たすべき役割とし食品や人体臓器中の微量元素の分析は、それが出来る国でまずは実施する。分析機器等の不備な国に対してはCRP参加国間の協力が望まれるがIAEAと日本には援助を要求する。
- ④ 本CRPの推進のために必要なデータ収集について何らかのスタンダードマニュアルが必要と思われる。データの相互比較のためにも標準はぜひ必要であり、臓器重量の測定法については日本とIAEAに情報提供が望まれる。
- ⑤ 研究協力契約の締結によって適切な予算の供与があるものと期待する。また本CRPの効果的な推進と有効な活用をはかるべく中心的役割を果たすシステムを作ること、より緊密な協力を推し進めるためにサブグループを作ることが望ましい。

そのほか、次回の会合はデータ収集の進んでいる国で開くことで合意した。本会合の報告書は現在作成中であるが、以上概要を述べ、総合討論の材料に供したい。

#### Appendix A. List of Participants

China	Dr. Jixian Wang	Radiation Effects Department, Institute of Radiation Medicine, P. O. Box 71 Tianjin, People's Republic of CHINA (Telex Nr: 23174 TJPTB CN TREG 221)
India	Dr. H. S. Dang	Health Physics Division, Bhabha Atomic Research Centre, Trombay, Bombay 400 085, INDIA (Telex Nr: 1171017 BARC IN)

Indonesia	Dr. Chrys Soegiarto	PSKR-BATAN JI. CINERE, PASAR JUMAT, P.O.box 43/KBYL JAKARTA SELATAN, INDONESIA Pone: 763906 Cable: BATAN, JAKALTA Telex: 46354, Batan, JAKALTA
Korea	Dr. Yung-Jin Kim	Department of Biology, Chungnum National University, 301-764, Daejeon 300, KOREA (Telex Nr: CNUCIE K45571)
Malaysia	Dr. M. Yadav	Institute of Advanced Studies, University of Malaya, 59100 Kuala Lumpur, MALAYSIA (Telex Nr: UNIMAL MA 39845)
Pakistan	Dr. Khurshid Anwar	Health Physics Division, Pakistan Institute of Nuclear Science and Technology (PINSTECH) Islamabad, PAKISTAN (Telex Nr:
Philippines	Dr. Carmela H. Paredes	Health Physics Research Group, Philippine Nuclear Research Institute, Don Mariano Mar- cos Avenue, Diliman, Quezon City, PHILIPPINS (Telex Nr: 60804 PAEC PN)
Sri Lanka	Dr. S. D. Wimalaratine	National Atomic Energy Authority 1st Floor, Ceylon Ceramics Corporatiion Build- ing, No. 696, Calle Road, Colombo-3 SRI LANKA (Telex Nr: 21208 HPT)
Thailand	Dr. Poonsuk Pongpat	Health Physics Division, Office of Atomic Ener- gy for Peace, Vibhavadee Rangsit Road, Bang- khen, Bangkok 10900, THAILAND (Telex Nr: 87161 ATENPEA TH)
Viet Nam	Dr. Nguyen Manh Lien	Vietnam National Atomic Energy Institute, 67Nguyen Du, Hanoi, VIET NAM (Telex Nr. 4518 NINREV HANOI)
IAEA	Dr. Alexej Moiseev	Radiation Protection Section, IAEA Wagramerstrasse 5, P. O. Box 100 A-1400 Vienna, AUSTRIA (Telex Nr: 112645 ATOM A)

## <討 論>

座長：

どうも有難うございました。今お聴きのように田中先生は標準人設定のため、データの信頼性の問題が重要であることを提言されました。

小柳先生は日本を中心としてIAEA-RCAのミーティング(研究調整会合)が本年10月水戸市で開かれたこと、アジア各国で標準人設定のためのデータ収集が始められようとしていることをお話し下さいました。

次の丸山先生には、2日間にわたる本セミナーの問題点や今後行なうべき仕事についてもサマライズしていただければ有難いと思います。

### VIII-3 国民線量とリスクの推定における 「標準日本人」ファントムの必要性

丸山 隆 司

放射線医学総合研究所

Comment on a Phantom of Japanese Reference Person for the Assessments of Population  
Doses and Risks from Medical and occupational Exposures

Takashi Maruyama

National Institute of Radiological Sciences

4-9-1, Anagawa, Chiba, 260 Japan

**ABSTRACT** -Since 1960, an NIRS research group has evaluated the population doses (such as genetically significant dose, leukemia significant dose and malignant significant dose) and risk of stochastic effects from medical and occupational exposures, based on the nationwide survey of radiological procedures throughout Japan. These results have been published in the UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations) reports and have been compared with the data from other countries. In these studies, various phantoms were used for the determinations of organ or tissue doses. Recently, the concept of effective dose equivalents has been introduced in the UNSCEAR reports for comparison of human exposures from various radiation sources. In order to obtain the reliable national data, organ or tissue doses related to the effective dose equivalent should be determined using a phantom of national reference person.

#### 1 はじめに

科学技術の進歩に伴い、人類は原子力や放射線のみならず、車や化学薬品などいろいろなものから、数多くの便益を受けると同時に、さまざまな有害な影響を受けている。特に、放射線は、その定量化やその人体への影響について研究が進められており、線量・効果関係についても他の要因に比べて、かなり考え易い状況にある。

放射線は医療や産業の分野で人類に数々の便益をもたらし、原子力は医療や産業を生み出すエネルギー源となっている。原子力や放射線の利用を正当化し、それに伴う被曝を合理的に達成しうる限り低く保つ(ALARA)ために防護の最適化をはからねばならない。さらに、放射線被



曝に伴うリスクを、他の要因によるリスクに比べて容認しうるレベルにするため、ある種の被曝について線量当量限度が設けられている。

ICRP(国際放射線防護委員会)は、正当化、最適化および線量当量限度を3本柱とする「線量制限体系」を勧告した。この体系の基礎となっている線量は実効線量当量である。放射線の影響のうち非確率的影響は、その発生確率がしきい値を有する線量の関数であるので、被曝線量をしきい値以下にすることによって防止できる。しかし、発がんや遺伝的影響からなる確率的影響は、その発生確率がしきい値のない線量の関数である。放射線による発がんには、被曝後数10年に及び潜伏期がある。従って、この潜伏期間中に事故など他の原因でがん発生前に死亡することがある。また、遺伝的影響は子孫ができない場合には、生殖腺が被曝しても全く影響はない。確率的影響のリスクを推定するとき、その基礎となる線量は、遺伝有意線量(GSD)、白血病有意線量(LSD)およびがん有意線量(MSD)である<sup>1)</sup>。UNSCEAR(国連科学委員会)は、1958年ごろから、GSDや平均骨髄線量(CMD)の利用を勧告してきた<sup>2)</sup>。

人類が受ける放射線の線源には、自然放射線のほかに、医療被曝など原子力や放射線の利用に伴う公衆や職業上の被曝がある。これらの線源によるリスクの推定は、正当化や最適化を考える上で重要である。リスクの推定には、GSDやMSDなどは勿論、実効線量当量も必要である。これらの線量は、それぞれの影響に関係した臓器・組織線量に基づいて決定される。ここでは、医療被曝における国民線量の推定を中心に、標準日本人について述べる。

## 2 臓器・組織線量の測定・計算

1958年にUNSCEAR(国連科学委員会)が<sup>3)</sup>、医療被曝や職業被曝における遺伝有意線量(GSD)の推定を提案して以来、著者らのグループはファントム実験により、X線診断などにおける生殖腺線量および骨髄線量の測定を行い、GSDなどを推定してきた。1960年代は、ドイツで開発されたM3<sup>3)</sup>を素材とし、千葉大整形外科で作成したギプスを祖形とした女性ファントムを用いて、蛍光ガラス線量計や電離箱で線量測定を行った。このファントムに用いたM3は、重量百分率でパラフィン：76.9%、MgO：22.4%、CaCO<sub>3</sub>：0.7%からなり、密度は1.00g/cm<sup>3</sup>であった。また、骨にはパラフィン：54%、Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>：38%、C：8%の骨等価物質<sup>4)</sup>を用い、腕には密度0.3g/cm<sup>3</sup>のコルクを用いた。1970年代後半まで、M3を素材とし、10歳、5歳および8ヵ月児の体位に似せたファントムを作成して線量測定を行った。一時、Mix D(重量百分率でパラフィン：60.8%、ポリエチレン：30.4%、MgO：6.4%、TiO<sub>2</sub>：2.4%、密度0.99g/cm<sup>3</sup>)やMix Dp(重量百分率でパラフィン50.0%、ポリエチレン：25.0%、松脂：16.2%、MgO：6.4%、TiO<sub>2</sub>：2.4%、密度1.00g/cm<sup>3</sup>)がファントム素材として用いられた。1970年代の後半には、ようやく予算化されたので、念願のランドファントムを購入し、これが線量測定に用いられることになった。

ランドファントムは、放射線医学における患者の体内線量分布などを測定するために開発された。男性用および女性用ファントムがあり、それぞれ、欧米人の平均的体格に基づいて、男

性用は身長175cmで体重73.5kg, 女性用は身長163cmで体重54kgに相当する。その外形は写真1に示すように脚・足と腕・手を欠いているが, 内部に線量計を入れることができるように, 頭頂から鼠蹊部近傍まで厚さ2.5cmの板で構成されている。素材は明らかにされていないが, 重量百分率で炭素:62.5%, 水素:7.7%, 酸素:20.5%, 窒素:3.7%, 他にCa, Cl, Feなどを含んだ軟組織等価プラスチックであり, 密度は0.985g/cm<sup>3</sup>である。

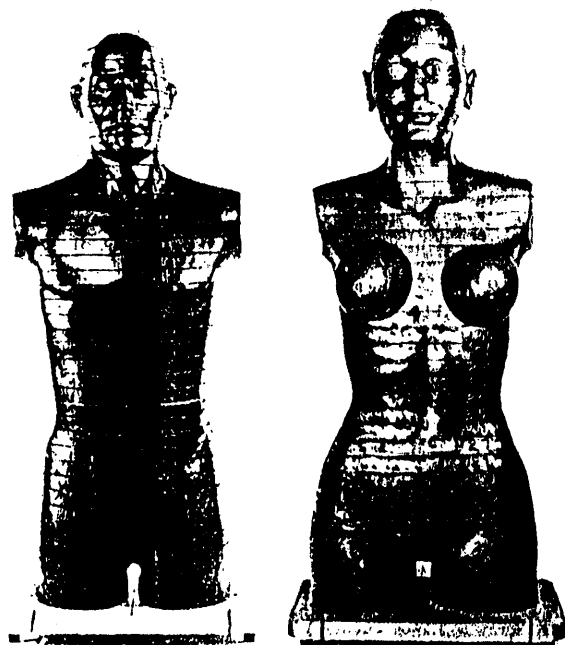


写真1  
ランドファントム(カタログより)  
左:男性用, 右:女性用  
Photographs of rando phantom  
left: male, right: female

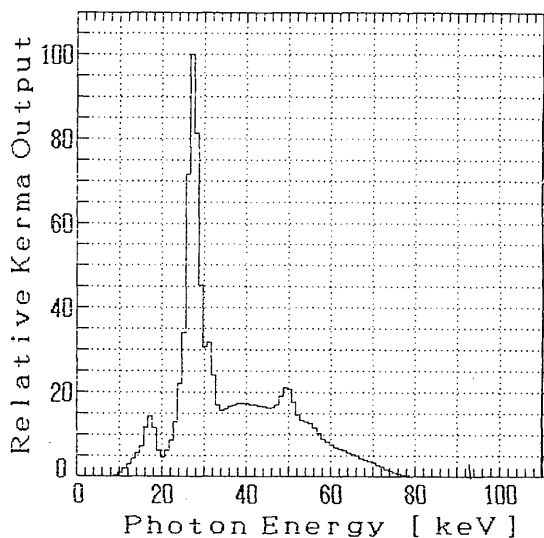


図2  
ランドファントムからの特性X線  
(100kV X線による150°方向散乱線のスペクトル)  
Spectrum of scattered X-rays from a rando Phantom  
(Tube voltage: 100kV scattering angle: 150°)

また、肺には軟組織物質の空気膨張材を用い、密度を $0.3\text{g}/\text{cm}^3$ としている。骨には人骨が用いられているが、アジア人の骨であるため、X線写真で見るとファントムの大きさに比べて骨格がかなり小さい。野田らの測定<sup>9)</sup>によれば、ランドファントムにX線を照射したとき、塗料によると思われるアンチモンからの特性X線が観測された(図2)。この特性X線の発生量は、照射したX線のエネルギーに関係するが、診断用X線のエネルギー範囲でも、その発生量は問題になろう。本論からははずれるが、ランドファントムを用いる場合、この特性X線による影響に留意すべきであろう。

最近、わが国でも京都科学標本社から人骨入りの人体等価ファントムが市販されており、臓器・組織線量の測定に用いられている。しかし、その大きさは「標準日本人」ではない。

一方、ICRPが実効線量当量を勧告して以来、計算による臓器・組織線量の算出が行われるようになり、従来の計算に用いられてきた内部被曝線量評価用のMIRDファントムに代って、図3に示すようなファントム<sup>9)</sup>が外部被曝線量計算に用いられている。このファントムのほかに、腕と手を外部に出したタイプや頭頸部をもう少し人体に似せたファントムも出現した。コンピュータ技術の進歩に伴い、精巧なファントムが実用化され、外部被曝における臓器・組織線量の計算の精度は向上した。しかし、それらのファントムは、ICRPの標準人を模擬しており、日本人の体格とは相違がみられる。

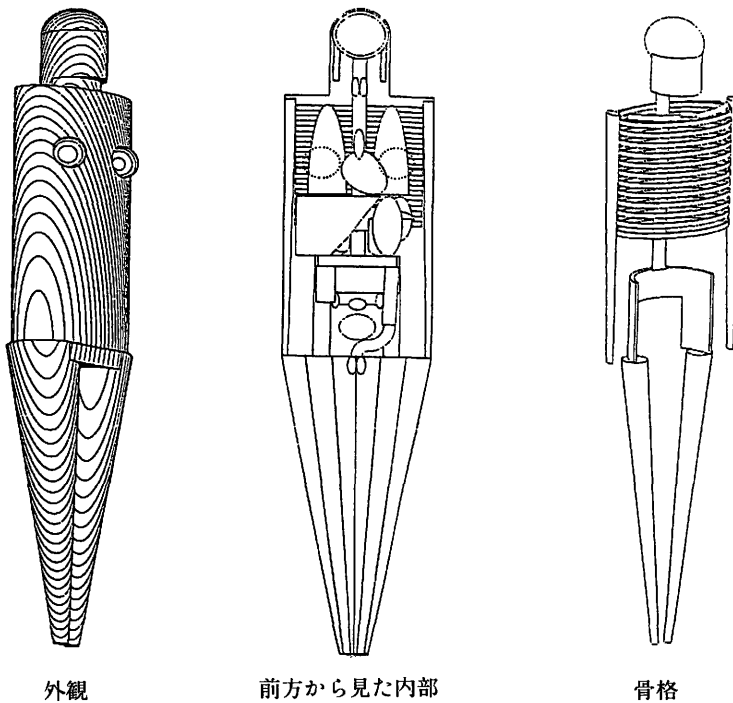


図3 臓器・組織線量の計算に用いられる代表的ファントム  
Typical phantom used for calculations of organ and tissue doses

外部被曝の場合、人体入射面から臓器・組織までの距離が、それらの線量を決める重要なファクタとなるので、計算に用いるファントムの大きさが基本的に重要となる。日本の若い青少年の体格は、西欧人に近づきつつあるが、人口の約70%を占める年齢層の体格は、西欧人に比べて小さい。大きな西欧人の体格を模擬したファントムで評価された臓器・組織線量は、日本人の線量を過小評価することになる。

### 3 性別、年齢別標準日本人の必要性

医療被曝や職業被曝など人工放射線による国民線量のみならず、自然放射線による国民線量を考える場合、子供期待率やがん有意因子など性別、年齢別に異なる係数が用いられる。日本人の体格は、図4のように性別および年齢別に異なる。O'Brienによれば<sup>7)</sup>、体重3.4、58および70kgのファントムで計算されたICRPの実効線量当量は、光子のエネルギーに対して図5のように与えられる。光子のエネルギーによって異なるが、成人女性では体重10kg程度のちがいで実効線量当量は約10%変動するようである。体重50kgでは、70kgの実効線量当量とは20%程度の差異が見込まれる。このような差異は、ファントムの大きさによる臓器・線量のちがいによる。

今後、いろいろな放射線源による集団実効線量当量や国民線量の推定、さらにはリスク評価が行われることになろう。そして、それらの線量やリスクは、それぞれの線源別に検討され、その結果は原子力や放射線の利用の正当化や防護の最適化に応用されるであろう。そのような目的のためにも、それらの基礎となる臓器・組織線量を標準日本人について、それぞれの線源について決定することが必要となろう。線量が実験的に測定されるか計算により算定されるか

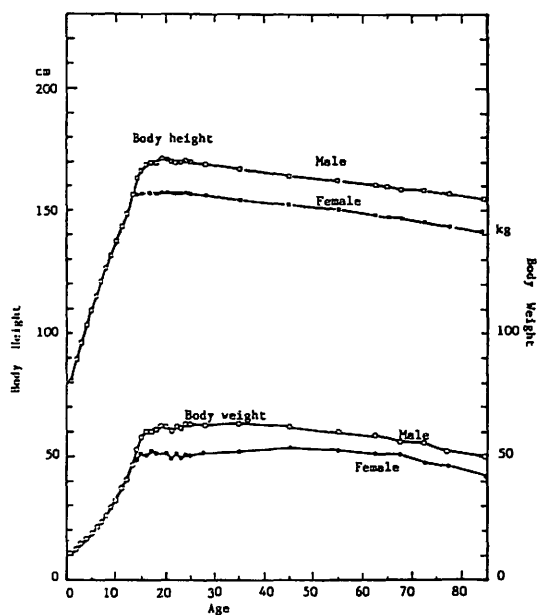


図4  
1985年における日本人の性別、年齢別身長および体重  
Japanese height and weight by age, sex and region, 1948

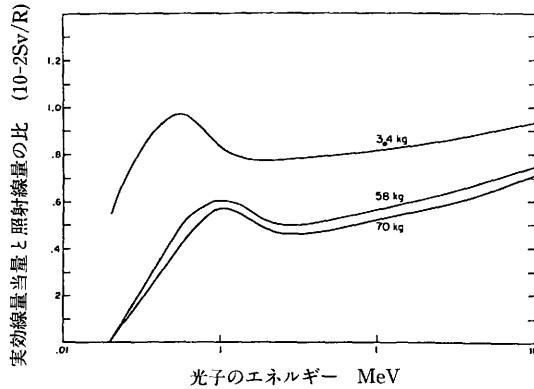


図5 光子の等方入射ビームに対して計算された女性のICRP実効線量当量の体重による相異  
ICRP. Effective dose equivalent for female as function of body mass for isotropic phantom irradiation<sup>7)</sup>

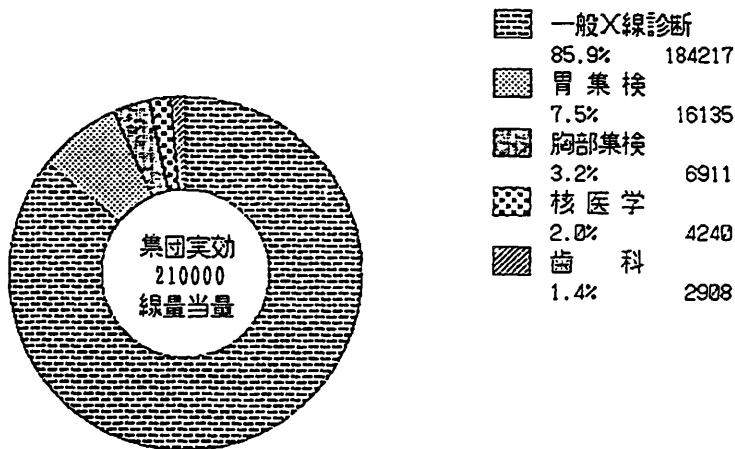


図6 最近の我が国における医療被曝による集団実効線量当量(man·Sv)  
Collective effective dose equivalent from medical exposures in Japan.  
1980~1986

はともかくとして、いずれの場合にも標準日本人のファントムが利用されよう。

現在、10代の若年層を対象に標準日本人を決定する動きがあるようであるが、国民線量やリスクを推定する立場から、性別・年齢別の標準日本人を決めてほしいと願うものである。

おわりに、最近の我が国の医療被曝による集団実効線量当量を円グラフに示しておく(図6)。核医学については、日本人の体格補正を加えたMIRDファントムの日本版を用いた線量計算によるが、他はランド女性ファントムを用いた実験による。このような線量評価の精度は用いたファントムが日本人を代表しているかどうかに関係している。

## 参考文献

- 1) 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, 1990.
- 2) UNSCEAR Report: Supplement No. 17 (A/3838), 62, 1958.
- 3) B. Markus: Über den Begriff der Gewebäquivalenz und einigen Wasserähnliche Phantomsubstanzen für Quanten von 10 keV bis 100MeV schnelle Elektronen, *Strahlentherapie*, **101**, 111, 1956.
- 4) 荒居竜雄: 硝子細桿線量計による線量推定, 日本医放学会誌, **23**, 753, 1963.
- 5) 野田 豊: 私信.
- 6) B. F. Wall, R. H. Harrison and F. W. Spiers: Patient Dosimetry Techniques in Diagnostic Radiology, Report 53, The Institute of Physical Sciences in Medicine, 1988.
- 7) K. O'Brien: Dosimetric Quantities and the Radiation Field, *Radiat Protec. Dosim.* **3**, 3, 1982.

## &lt; 討 論 &gt;

## 座長:

有難うございました。最初に3人のコメンターに対する質問・討論を受け、次に今日2日目の全体を通しての御質問なりコメントを頂き、最終討論でございますので最後に簡単に昨日の概略をまた振り返って、全体としてのご意見なりコメントなりを頂きたいと思います。松岡先生、どうぞ。

## Q. 松岡理:

丸山先生にお伺いしたい。老年者の被曝(X線の枚数)が圧倒的に多いということですが、これは結核の集団検診を止める前はどんな状態だったのでしょうか。つまり止める前はだいたい年齢に関わらず多かったのか、それとも、やはり若い者は枚数が少なかったのか。

## A. 丸山隆司:

胸部の検診は今3000万枚ぐらいあるが、昔はその倍位あった。しかし、病院での一般検診の枚数が億の単位であり(それと比較すると)、結核(集団検診)の方は少ないわけです。従って分布といえばやはりガンを中心とした高年齢層の育成診断が圧倒的に多い。

## Q. 松岡:

ただ集団検診の場合には間接撮影で被曝線量はずっと多かったわけですね、枚数は半分減ったとしても。

## A. 丸山:

結核の集団検診は撮影枚数が1枚で、ガンのX線診断は、何枚も撮りますので、(後者が)件数は少なくとも、枚数は多かったわけです。

**座長：**

他にコメントの先生に対する質問ございませんか。

それでは、次に移りまして、2日目の事を振り返ってみます。セッションVI人体特性と線量評価法で、ファントムに関するお話がたくさんありました。その中で臓器の形状あるいは位置が欧米人と日本人では異なるという指摘がありました。その後、特別講演として埴原先生の人類学から見た日本人ということで非常に興味あるお話を頂きました。それから関連分野からの提言では、3人の先生から、それぞれ呼吸生理学、公衆衛生学の立場から、また保健物理の現場からということでお話を頂きました。今日の2日目の全体を通じて何か御質問なりコメントなりがありませんでしょうか。

**河村日佐男：**

関連分野からの提言で、本田先生が呼吸の標準値ということで各年齢の安静時と最大の呼吸量などのデータをお示しになりました。これからの標準値の範囲を決める上で非常に有益であると思います。

**滝澤行雄：**

今の呼吸生理学に関連してまして、静的な肺容量、例えば肺活量、あるいは動的換気能力、最大換気量などは、20歳の男性でも非常に変動幅が(本田先生の講演にもありましたが)広い。例えば肥満形の人ですとどうしても、胸郭制限を受けますから、呼吸は浅く、従って呼吸数が多く、1回の呼吸量が小さい。ところがどちらかというと痩せ型の人ですと呼吸回数はむしろ少なくて、1回換気量はむしろ多い。概算すると同じわけですが、そういうように体形によってかなり違います。

胸郭制限のある体形(肥満形)の人は代謝機能からみますとどちらかというと、いわゆる耐寒性というか寒さに非常に強い。そういう人の機能を(統計的な面から)みますと、どちらかというと非常に性格があっさりしているような所があり、日常のライフスタイル・食生活となると、どちらかというと脂肪食を多く摂っているというような事があります。そのような体形を仮にSMとしましてそれと反対のものをWMとしますと、ちょうど換気量のSMとWMとに対応し、おおかたの50%は中間型に入りますが、極端の耐暑、耐寒性というものをみますと、その変動幅が2つのラインに乗ってくるわけです。

このような変動の幅の広さは呼吸器ではかなりはつきり出ますが、他の血液のコレステロールでもそういうようなことが充分に言えるわけです。ICRPなどの世界の頭脳の先生方ですからそういう所まで、ひとつやって頂ければという気が致します。

**座長：**

有難うございました。他に本日2日目を通じましてコメントなどを、どうぞ。

**小柳卓：**

特別講演で、日本人について伺いましたが、東南アジアの国はその国の中で人種が雑多でございます。例えばインドネシアでも、島によって殆ど人種が違うわけです。そういう所の調査

結果が無いばかりに、例えばジャカルタで調べた結果を持って来た時、果してそれが本当にインドネシアを代表しているかどうか、疑問が持たれると思うのです。

マレーシアも、スズ採掘で中国人が大量に入っていますし、ゴム工場ではインド人が大量に入っている。そういうところで本当にマレーシアを代表するreference Malaysianというものが出来るものか、あるいはどれだけ意味があるか、そういう疑問を感じます。

そうした事がある上でreference Asianという一つの値が出るものかどうか、田中先生の御意見を賜りたいと思います。

**田中義一郎：**

東アジア、要するに中国、日本、韓国それから場合によるとベトナムなど、それとモンゴルを東アジア人と称してその部類に関しては、まず本質的には差が無い。だから食料の摂取量によって肥ったり長くなったりはしても、本質的には変わらない。南の国の人には気候的な問題もあるかもしれませんが、温度の事もあるかもしれませんが、その人達はどれも小さい。だからモンゴロイドというのは二つに分ける必要があるのではないかというのは、どうも埴原先生の説のような感じで、今日お聞きした限りではそれでよいのではないかというふうなお話でした。今なお検討中で、今後どうなるかは、まだ私は知りません。

**座長：**

先生はそうすると放射能の被曝線量算定という面から、アジア人を二つのグループに分けた方が良いというふうにお考えですか。

**田中：**

体重・身長に関して統計的にみますと日本人のかつての戦後の非常な混乱期の食料摂取量と考え併せて、タイ、マレーシア(マレーシアはそうでもないですが)、フィリッピンの人を考えますと、明らかに小さいのですね。日本人が欧米人の15歳に相当するならば、その人達は日本人の15歳に当るかも知れません。そのような意味で、どうも二つになる可能性があると言うことです。いかにも今の段階では要するに、トライアル・アンド・エラーの段階で、決定ではありません。ただ、そういう考えがあっても良いのだらうと、あるいはそういう考えも一つ考えて将来に臨むべきではないかと考えています。特にインド代表などのお話がありましたので、私もついにそういう感じになりました。

**座長：**

ただ今のお話はかなり重要な問題を含んでいると思いますが、この件に関しまして。

**松岡：**

今までReference Man一つでやってきたわけですが、いわゆるコーカシアンの人達は満足していたかというところではない。この間来た人は(グラフ上に)点を打って見せて、アメリカは、うんと外れているにもかかわらずアメリカ寄りにReference Manを引っ張って行った、ヨーロッパの北の人間はずっと大きく、南のイタリア人はもっと小さいのだということを、盛んに強調していました。Reference Asianかなにか知りませんが、それが出来れば、今までの一つより



は一つ進歩で、一步一步作って行くことで良いと思う。今までのReference Manに属している人達とかコーカシアンとと思っている人達の間でも二つにも三つにも分けられるというような事があるわけですから、余り深刻に考えない方が良いのではないかというのが、私のICRPに出席しての感じでございます。

田中：

松岡先生のお話と私の考え方はその点では同じです。

松岡：

追加しておきますと、体格の問題よりも放射性物質による汚染ということになるとやはり食性というかnutritionalなもの(の寄与)がもっと大きくて、それでもって世界をいくつかに分けた方が良いのではないかという気さえます。

河村：

Asian reference manのnutritionalな面ですが、ヨウ素とストロンチウム位は、安定元素の摂取量調査を行えば、ある程度解るのではないかと、他の元素は、色々難しい面があると思えます。

松岡：

それについて中国のChenとも議論しましたが、中国10億の民といっても、海岸と中央とでは全く違っており、海岸は日本に近いような生活をしているけれども、奥の方は全然別の生活であると。nutritionalな分け方をする時には国別ではなくて、ベジタリアンと肉食とに分ける、あるいは動物性蛋白を多く摂る場合とそうじゃない場合とに分けるというように、区分をしないといけないのではないかと思います。

座長：

有難うございました。

最後に昨日と今日と全体を通じてのコメントなり御質問なりを頂きたいと思えます。時間があれば、座長の先生に各々のセッションのまとめをして頂き、そしてまた、そのコメントを頂くというのが一番良いわけですが、時間も残り少なくなりましたので、ざっとプログラムに従いまして振り返ってみます。

日本人の身体的、解剖学的特性で東郷先生には身体計測についてのお話を頂きました。田中先生からもむしろ身体的特性についてのお話があり、予稿集の中に器官組織の質量のデータが載っております。松岡先生にはICRP専門委員会Committee 2の活動についてお話頂きました。人体の生理学的特性、日本人の元素摂取量の特徴の話と、元素の器官組織内の濃度分布についてのお話がありました。日本人における元素の代謝では、セシウムとヨウ素につきまして biological half-lifeを測定した話がありました。代謝パラメータの修飾因子としては、年齢依存性に着目した実験的なデータについての話がありました。今話題になりました食品摂取の特徴については、日本における食品の摂取量の話がありました。総合討論1では、3人の先生から非常に興味あるコメントがあり、その後セッションIからセッションIVに関わる問題につき討論

がありました。

本日については、先程サマライズしました通りです。全体を通じまして、御意見・コメントがありませんか。稲葉さんどうぞ。

**稲葉次郎：**

ICRP Committee 2でReference Manのタスクグループの活動がかなり進んでおり、Age-dependent Dosimetryのタスクグループではdose factorを出す作業が、若干の核種について進んでおります。それからdose factorに関しても、一応実効線量当量の評価をしており、その辺になりますとweighting factorというふうに多分、Committee 1と関わるものもあろうかと思えます。どのように考えて、どのように進めて行くのか、教えて頂きたいと思えます。

**松岡：**

タスクグループの進み方がそれぞれ違うわけですが、その仕事の中でReference Manの方で決めてもらった数字を使わなければ出来ない所があります。ですから、そこの所は旧Reference Manの数字で一応計算する形で進め、そこに将来(新)Reference Manの数字が固まったらパッと入れ換えられるように、いわばアンダーラインを引いた数字で全部行っています。それからBqあたりのSvについても、例えばCommittee 1で松平先生の関係しておられた、sensitivityの年齢差というものが、カーブとして出て来た時に、それを入れてパッと修正できるようにしようということです。Publication 26の改訂とPublication 30の改訂などは皆、未知数・変動要因を含みながら進めるという方向であります。26の改訂の文案そのものはCommittee 4とMain Commissionでもうどんどん進んでいます。至る所に穴があって、Publication 30が改訂されればその数字を入れるというように進められているようです。30そのものの改訂文案、殆どまだ何も作業していません。基礎データとなる色々なレポートが揃ってからでも遅くないということですから、多分、26の改訂に少し遅れて30の改訂が出る形になると思えます。いずれも手順としてはここは誰が決める、あそこは誰が決めるという、いわば縄張りはもうちゃんと決まっていて、仮の数字で処理しており、決定稿にはならない形になっています。

松平先生、他にありませんか……。松平先生は特に無いそうです。

そういうことで、26の文案は吉沢先生の委員会がやっており、私達はLung Modelの形だとか、数字だとかを中へ入れ込む作業を後からするという形になっています。

**座長：**

それでは2日間を通じまして、どなたかに感想をお伺いしたいと思います。滝澤先生お願い致します。

**滝澤：**

今回は線量評価に関わる人体特性及びその関連因子ということで各分野からの素晴らしい、しかも新しい、色々データ紹介をして頂きました。私、身体特性は、今日の特別講演にありましたが、人類学上の重要な種族特徴でありまして、広い意味で身長・体重のようないわゆる体質的な要因と同時に、栄養摂取量などを含めた自然・社会・文化などを含めた広義の環境要因

を有機的に一体とした総合的な、地域的な要因を通じて検討して初めて、日本人であれ、あるいはアジア人であれ、身体特性が出来るのではないかということが実は解ったわけです。

ご承知のように原子力の平和利用を前提として、いま、我々色々努力しているわけですが、あまりにも、厳しい現実にあるわけです。こういった中でICRP等でも、日本の先生方の力を借り、今度新しい改訂にはいるわけですが、やはりこのような改訂は、いわゆる緊急を要する課題ではないかという気が致しました。特にこれからのReference Manを改訂する作業が行われるわけですが、その場合のデータの信頼性につきまして、田中先生からもいろいろとお話がありました。

最近、シミュレーションなどを行う場合に多様化して、色々なファクターが非常に多くなってきており、多ければ多いほど、精密度とか信頼度が高まったように見えるわけです。成層圏のオゾン層のいわゆる、depletionにつき、NASAおよび、色々の国際機関を通して、1次元モデルから2次、3次、4次元モデルに拡張して、オゾンの溜湯度をestimateしています。全米科学アカデミーの最近の報告を見ますとDobsonの多くの環境データに一致するのは、むしろ、1次元の方だということに、元に戻ってきております。

その点では、放医研の田中先生を始めとして長期にわたって積み重ねたデータと、これから更に新しく色々なデータを幅広く集めて、それが最終的な線量の評価の上に果して良いかどうか検討していくことが大切だと思います。そのような意味で、放医研の素晴らしいデータが色々出たことが、大変印象的でした。素晴らしいセミナーを開いて頂いたということで感想に変えさせていただきます。

座長：

有難うございました。滝澤先生から、2日間の印象をお聞きしました。ICRP Publication 2及び23に規定されておりますReference Manに対応する標準日本人を設定するということでは、Adult maleに対する日本人の標準値を設定するということになるのだと思います。

ICRPで進められている改訂作業では、年齢・性を考慮した身体的、あるいは生理学的特性に関するパラメータを収集するということだそうです。この2日間に渡るお話をお聞きしますと、そういうものを含んだデータが、すでにいくつか出てきております。また、先程小柳さんの方から、お話がありましたが、水戸市でアジアの主だった国から代表者が集まり、各々reference manを設定するためのデータを集めることになりましたが、そういう中で一応、放医研が中心的な役割を果さなくてはならないという立場にございます。どうぞ、関連学会の皆様、あるいはここにおられる皆様方のご協力を得て、その仕事を更に発展させていけたら幸せだと思えます。

総合討論、これで終わらせて頂きます。ご協力有難うございました。

## 閉会の挨拶

寒い折から、また非常に遠い所へ沢山の皆様にお出で頂き、色々な貴重なお話を承って大変感謝しております。私共主催者と致しましては、このようなテーマで果して人を集め得るか、最初はずいぶん危ぶみましたが、昨日などは、ほぼ講堂がいっぱいになるくらいの方々に来て頂きまして、予想外の反響に驚き、また大変喜んでいる次第です。

ICRPも今までの職業人から公衆へ、また、全世界が公衆被曝の評価という事へ向かって動いていますので、ますますこの種の事は大切な事になると思いますし、また、アジアのみならず世界で果たす日本の役割も大きいのではないかと思います。

田中先生の長年の努力によって、ICRPがともかく、正式に、Reference Man以外に、Reference Asianを取り上げようという事をきちんと決めたという事を見ても、放医研や、日本が努力してきた事は大きいと思います。実は私共の委員会ではReference Environmentというものを作つたらどうかという提案がスウェーデンの委員からありまして、この前、大分その議論をしたのです。そのような議論を通じて解った事は、日本人の食生活を考えた様な被曝線量の評価法を外国人は誰も考えてくれないという事です。従って、やはり将来は、食物の事についても、アジア人の独特な点、例えば、米を食べる人という様な問題は、自分達で解決しなければならぬと思います。

その為には上述のような地道な努力を積み重ねていく必要がありますし、日本の今まで蓄えた力をどんどん国際的に提出していく努力が必要です。日本はあまり今まで主張しなすぎたのではないかと思います、私は一所懸命、メッセンジャーボーイの役割を務めて日本のデータをICRPへ持って行っており、いくつかは正式のレポートに入っております。皆様も是非、情報を国際社会の方へ提出するように努力して頂きたいし、また、良いものがあれば是非、お知らせ願いたいと思います。

例えば呼吸の生理学に関しても、日本のデータをほしいと要求されまして、いろいろ捜して送りました。その後、フランスのアンジェルで、年齢に関するヨーロッパ共同体のシンポジウムが開催された折、フランスの美人が私の所へきて、「実は私はICRPの呼吸気道のモデル化のドラフト作製の、呼吸生理を担当していますモニカ・ロイですが」と挨拶を受け、日本からのデータに感謝されました。日本のデータが、これから出版されるICRP刊行物にどんどん載っていく様に頑張りたいと思っておりますので、皆様方もどうぞ、よろしく御協力の程、お願い致します。

本当に長い間、皆様方、この第16回放医研環境セミナーに御参加下さいまして、どうもありがとうございました。今後共、よろしくお願い致します。

放射線医学総合研究所 科学研究官  
松 岡 理

第16回放医研環境セミナー実行委員会委員一覧  
(List of Members of the Organizing Committee of the Seminar)

委員長 Chairperson	大桃洋一郎	Y. Ohmomo
副委員長 Vice-chairperson	河村日佐男	H. Kawamura
委員 Member	丸山 隆司	T. Maruyama
	大津 裕司	H. Ohtsu
	高橋千太郎	S. Takahashi
	稲葉 次郎	J. Inaba
	福田 信男	N. Fukuda
	越島得三郎	T. Koshijima
	宮本 忠明	T. Miyamoto
	内山 正史	M. Uchiyama
	鎌倉 幸雄	Y. Kamakura
	石澤 義久	Y. Kokuzawa
	米倉 友昭	T. Yonekura
アドバイザー Adviser	田中義一郎	G. Tanaka
編集担当 Editor	河村日佐男	H. Kawamura
	大桃洋一郎	Y. Ohmomo
	金沢田鶴子	T. Kanazawa
	石澤 義久	Y. Kokuzawa
	鎌倉 幸雄	Y. Kamakura

放医研環境セミナーシリーズ No.16

**線量評価に係わる人体特性及びその関連因子**

---

1990年3月31日

編集 河村日佐男／大桃洋一郎

編集協力 鎌倉 幸雄／石澤 義久／米倉 友昭

---

放射線医学総合研究所

〒260 千葉市穴川4-9-1

電話 0472-51-2111