

# 環境と健康

リスク評価と健康増進の科学

Vol.2 No.1

February,

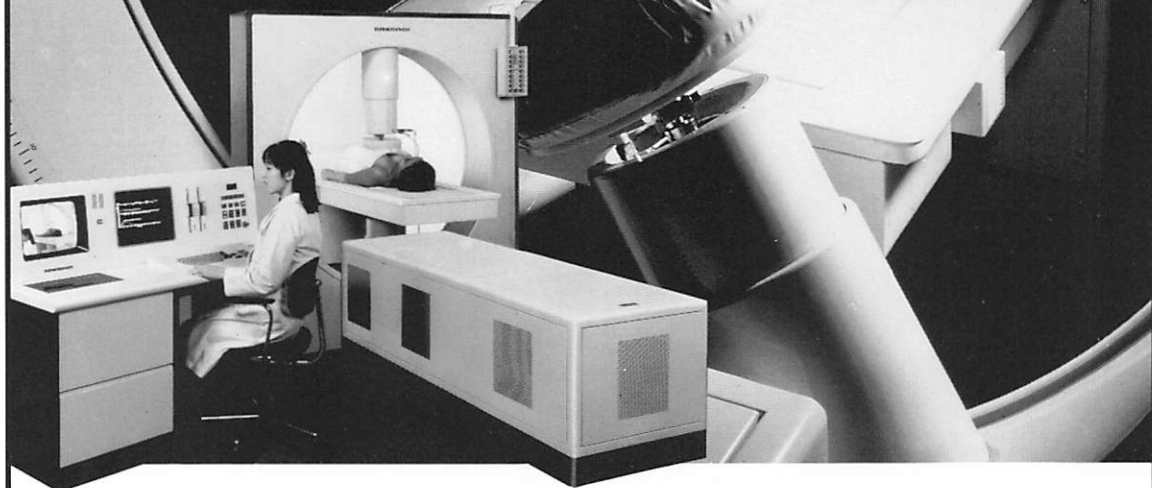
1989

*Environment and Health*  
Scientific Approaches to Risk Estimation and Wellness

科学技術庁長官賞受賞

# サーモトン-RF8 THERMOTRON-RF8

Most Advanced Hyperthermia System for Cancer Therapy



## 癌治療に対するHEARTがHARD(装置)に…

- 1 表在性腫瘍・浅在性腫瘍・深部腫瘍それぞれの病巣を的確に加温するための専用回路を内臓。
- 2 巨大コイルを構成する円形ガントリーの中心に電極を配置。偏りのない均一な電波で身体の中心部までの確に加温。
- 3 大型フレキシブルボラス(Over-lay Bolus)を採用したダブルボラスシステムにより疼痛や表層脂肪の発熱を大幅にコントロール。
- 4 温度測定点における局所血流量の推定ソフト<sup>\*</sup>を内臓。治療効果の判定、化学療法の計画等の参考に。
- 5 リニア・アレー温度センサー<sup>\*</sup>、温度測定値のチャート表示<sup>\*</sup>、ボラスと皮膚面を密着させるTECHシート<sup>\*</sup>、特殊電極<sup>\*</sup>、専用ダイナミックファントム<sup>\*</sup>、BGM装置等々治療を適切にすすめるための魅力あるオプション群。 \* = 注文仕様

販売



山之内メディカル株式会社

〒103 東京都中央区日本橋本町2-3-11 TEL 03(244)3019

製造



山本ビニター株式会社

〒543 大阪市天王寺区上汐6-3-12 TEL 06(771)0605

環境と健康  
-- リスク評価と健康増進の科学 --  
Vol. 2 No. 1 February, 1989

目 次

(1) 疫学研究の落とし穴	菅原 努	.....	1
～コーヒーと膀胱癌、アルコールと乳癌をめぐる～			
(2) 連載講座：放射線リスク論			
5. ヒトの受ける放射線の種類と量	阪上 正信	.....	5
A 自然放射線	阪上 正信	.....	6
B 医療放射線	土屋 武彦	.....	17
C 人工放射線	小林 定喜	.....	26
(3) 文明よ驕るなかれ		.....	35
(4) お知らせ (イメリタスクラブ)	菅原 努	.....	37

本誌は財団法人体質研究会がイメリタスクラブ会員の協力を得て、編集発行しています。イメリタスクラブについては本号p.37を参照して下さい。  
年会費（年間6冊）は ¥3000 です。  
同封の振込用紙にて平成元年分をお支払い下さい。

# ( 1 ) 疫学研究の落とし穴

～コーヒーと膵癌、アルコールと乳癌をめぐって～

菅原 努

我々の日常生活に関係した多くのものについて、科学的な研究の結果危険であると警告されることが屢々ある。ことに発癌について著しい。しかもそれが人間について調べた結果であると言われると多くの人は納得せざるを得ない。しかし、一般に人間については実験をする訳にはいかないため、人の集団で、その問題のものを摂っているものと摂っていないものを比較して、摂っているものにある癌が多かったというのが根拠となるデータである。このような研究方法を疫学と言い、過去にはこれで人類を救うすばらしい研究が沢山なされた。伝染病の流行に際して、その感染源がつきとめられたり、壊血病、脚気、ペラグラなどの原因が究明された。最近では喫煙と肺癌、放射線と癌、サリドマイドとアザラシ症などの関係づけに役立って来た。

ところが最近この方法が多くの日常生活に関係した因子、例えばコーヒーやアルコールさらには性生活と言ったものにまで適用されて、時にはそれらに危険因子のレッテルがはられることがある。人間を対象としての研究としては薬などの効能を調べるのに比較的短期に無作為コントロール試験というのがあるが、一般に長期にわたり、しかも日常生活に深く関係したものは実際上もまた論理的にも無作為に集団を2つに分けて一定のものを摂らせるというようなことは出来ない。そこで上述の疫学ということになるのであるが、これには多くの制約があることに注意しなければならない。ことに現在我々は実験的研究のすばらしい成果に目を奪われているので、疫学研究の結果もそれと同じように受け取る傾向がないとは言えない。Feinsteinは人間についての実験的研究の備えるべき条件を検討し、何よりも対象の感受性のかたより(bias)をなくする為に無作為抽出(randomization)が第一要件であることを指摘し、一般の疫学研究でそれが出来ないとすれば、どうすべきかを例をあげて論じている。ここではそのなかから①コーヒーと膵癌との関係についての既往調査法(retrospective case-control study)と②アルコールと乳癌についての便宜集団予後調査法(convenience-cohort study)の例について彼の議論を紹介する。

## 1) 報告

①は1981年にコーヒーを飲む人は飲まない人に対し膵癌のリスクが2.5倍であ

ると発表した。これは膀胱癌の患者 369例と同じ医師の治療した 644例の他の患者の過去のコーヒー摂取を調べて結論したものである。

②1987年に同じ雑誌に2つの論文が発表された。第1のものは米国の11の大きな州のどれかに住む30～55才の結婚している看護婦で1976年に出されたアンケートに答えた 122,000名についてのものである。その後1980年に食事について、また1982年と1984年に乳癌についてのアンケートが行われた。何れにも答えた 89,538名のなかで 601例の乳癌が報告された。第2のものは1971年と1975年の間に行われた国民健康栄養調査 (National Health and Nutrition Evaluation Survey, NHANES) に答えた女性から選ばれた。最初に面接調査を受けた8596名のうち10年後の1981～1984年の間に追跡調査を受けた7188(84%)のなかに 121例の乳癌が発見された。乳癌の発生率は前者では1000人中 6.7で、後者では18.2と大きく異なるがアルコール飲用者と非飲用者の発癌リスク比は何れも 1.5で同じであった。

これらの論文は勿論発表までに査読などの審査を受けており、結果は公にされて大きな反響を与えた。

## 2) 科学的評価

i) 研究仮設の設定：実験的研究では検討すべき仮設があり、それを考えて実験計画が阻まれるものである。ところが疫学研究では必ずしもそうではない。ことに最近コンピューターが普及して以来、性、年齢、人種などはもとより食事、喫煙、アルコール、環境因子、薬から結果としては癌も卒中も心臓病も何でも入力して、あとで因子分析が行われることが多い。上記の例でも最初に考えた仮定とは違う結果になってしまっている。

膀胱癌の場合は初め喫煙とアルコールとの関係を調べようとしたが、結果は否定であった。そこでいろいろ調べたらコーヒーとの関係が浮かび上がって来たのである。乳癌の例ではどれだけの関係を調べたかは不明であるが、予め予測したものではなく因子分析で出て来たものである。

ii) 集団の適応性：これらの調査では予めその集団について十分調べられており、追跡調査でもその成績は十分正確でなければならない。乳癌についての2つの調査では、初めに乳癌がなかったか、乳癌の発生も本人の報告だけで全く直接の検査が行われていない。膀胱癌では過去のことを本人の記憶に頼っているのみで、集団の選び方に特別の考慮が拂われていない。何れにしても対象集団の調査が不十分である。

iii) データの質：膀胱癌の場合は、はるかな過去のことを思い出すことの不正確さ

のみでなく、癌の診断そのものも必ずしも容易でないので、追跡調査が必要であろう。また調査をどこまで盲目でやったかも問題である。乳癌の場合、アルコールの摂取というのは、内容もとり方もいろいろで、時間的にも変化しているであろうし、正確さや区分けに問題がある。また乳癌は十分検診をしないと見い出せないことも、また自分で乳癌と思い込んでいることもあり、直接調べてないことは問題である。

iv) 修飾因子の分析：実験的研究では目的とする因子のみを変化させてということが出来るが、疫学的研究ではそれが仲々難しい。ことにアンケートや面接調査のようなもので、何が修飾因子か見分けることも容易でない。これに付随して2つの問題がある。その一つは、曝露されたとするとき、どこまでのものをまたどの位の範囲のものをそれに含めるかと言うことである。これのとり方で結果として得られるリスクは大きく変わる。もう一つは量反応関係が仲々単調増加型にはならないということである。

例えばアルコールと乳癌の関係で、看護婦のグループではアルコールが1.5～25瓦/日とふえるにつれて対照を 1.0として1.0、0.8、1.3、1.6、1.6 となった。またNHANESのグループでは対照を 1.0として 5.0瓦/日までを3段階にして 1.4、1.5、1.6となった。

v) 検出のバイアス：原則的にはこのバイアスをなくすために二重盲検が選ばれる。疫学では検出すべきは夫々の目的に応じた病気であることが多い。この時間問題になるのは剖検によって見い出されるようなsilent diseaseが少なくないということである。そこで何度も述べたように精密な直接の検診が極めて大切になる。またこの意味で乳癌の場合社会的に上流の婦人は、自己検査にも熱心であろうし、また社交上多少アルコールを摂る機会が多いという事があるかも知れない。

### 3) その後の研究結果

コーヒーと膀胱癌との関係はその後の研究、ことに同じ研究者が同じ病院で同様の調査を行ってnegativeな結果を出し否定された。そこでこの研究者はリスクがあるとしても、最初の成績が示唆した程大きなものではないと結んでいる。

アルコールと乳癌の関係については、当時 editorialにも紹介されたが、検出バイアスのことも量・効果関係のないことも、2つの集団での発生率の大きな違いについても論及されなかった。その後米防疫センター (Center for Disease Control, CDC) が行った大規模なcase-control studyでも否定されたが、それについても editorialではただ異常で説明出来ないと言うのみであったが、やがてCDCの調査は拡大され、また他の報告も出て完全に否定された。

以上疫学は極めて大切な研究分野であるが、ひとりよがりになり不安の流行を  
起こすもとにならないように、科学としての十分な批判と慎重な取扱が望まれる。

\*\*\*\*\*

本文は Alvan R. Feinstein: Scientific Standards in Epidemiologic Studies  
of the Menace of Daily life. Science 242, 1257~1263, 1988 をもとに著者  
の意見も多少まじえて紹介した。人々に不安を与えるばかりの報告が少なくない  
ので、それへの批判をこめて我々自身の反省にもなればとあえて専門外のことを  
書いてみた。 (菅原)



## (2) 連載講座：放射線リスク論

### 5. ヒトの受ける放射線の種類と量

阪上 正信

#### 被曝によるリスクの比較

ヒトが放射線を受けることによるリスクを評価し、さらに要因別にそれらと比較するには、各放射線の種類とエネルギーとその量の両者を取りこんだ単位を用いることが必要である。なぜならヒトに対する影響すなわちヒトに対する放射線の仕事の大きさは、丁度力学的仕事が（圧力×容積）できまるように、各放射線の種類とエネルギーと、その量の積によって左右される。物理的な被曝線量の比較にはグレイ(Gy)〔1Gy=100rad(ラド)〕がSI単位として用いられるが、さらに各放射線の相対的生物効果も考慮した場合にはこれにさらに線質係数(QF)を乗じた線量当量の単位シーベルト(Sv)〔1Sv=100rem(レム)〕を用いる。なお、各放射線の各器官への被曝線量当量を求めるだけでなく、ヒトに対するリスク比較には、それらをすべて全身被曝に換算した実効線量当量をSv単位で表わしたものが用いられる。もしこのような被曝の実効線量当量あたりのリスク、すなわちリスク係数が与えられるならば、各放射線被曝によるリスクが求められる。以下に各放射線源による被曝リスクをこのような単位で比較する。例えば以下のべる英国人（人口5500万人）に対す平均年間被曝が2.15mSv、うち自然放射線によるもの1.87mSvであり、「がん死」のリスク係数 $10^{-2}/\text{Sv}/\text{年}$ とすれば、放射線によるがん死は約1.2千人と推算され、そのうち約千人は自然放射線によることとなる。これが英国における年間の放射線以外のものも含むすべての要因による「がん死」145千人のリスクと比較できることとなる。

## 5. A 自然放射線

阪 上 正 信

実効被曝線量当量の観点にたつて、ヒトのうける放射線被曝を比較評価する試みは、全世界的には国連科学委員会(UNSCEAR)が概略的に努力しているが、英国では国家放射線防護委員会(NRPB)の数年にわたる研究にもとづく報告<sup>1)</sup>が最近出された。これはまだ充分なまとめの行われていないわが国にとってもいろいろの面で参考になることが多い。それによる放射線被曝の要因別のまとめを図1に示す。このなかで87%を示める自然放射線について、各要因別に、わが国での最近の成果(文献<sup>2)</sup>に述べた以後の)や問題点にも言及しつつ述べてみよう。

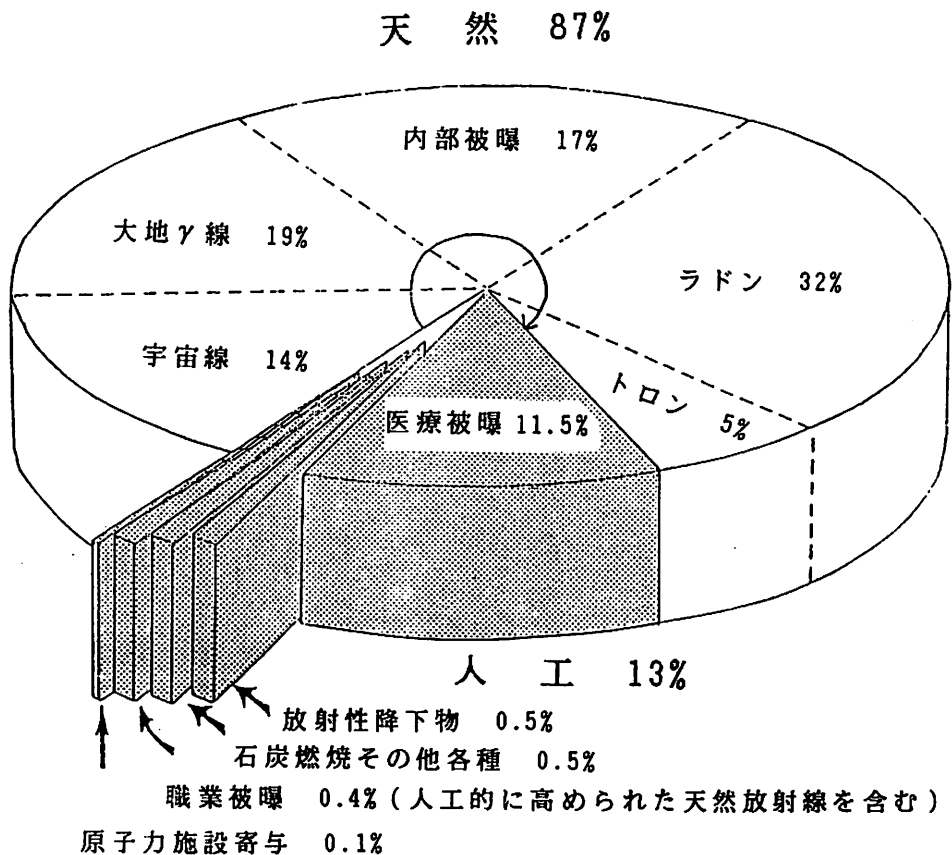


図1 英国民への放射線被曝の要因別百分率(1985)

(2-1) 宇宙線:

夜空に輝く星や我々の母なる太陽は核融合を主とする核反応を行っている。我々の地球にもその余波である宇宙線がたえずふりそそぎ、さらに地球をとりまく大気成分と二次反応をおこし種々の二次粒子を生み、それらが地表のヒトをも照射する。そのなかには英国では一年あたり0.26~0.39mSv と評価される電離成分と、線質係数を6として0.02mSv と評価される中性子成分がある。両者とも高度とともに増加し、その状況はUNSCEAR 報告中の図(文献<sup>2)</sup>p.19図1)でもうかがわれる。最近わが国ではNaI(Tl) シンチレーションカウンターを利用し3MeV以上のγ線を高い山へのドライブ中に測定して(カーボンという)、身近にこれを知ることが金沢大学低レベル放射能実験施設により行われた。図2にはその結果を示す。

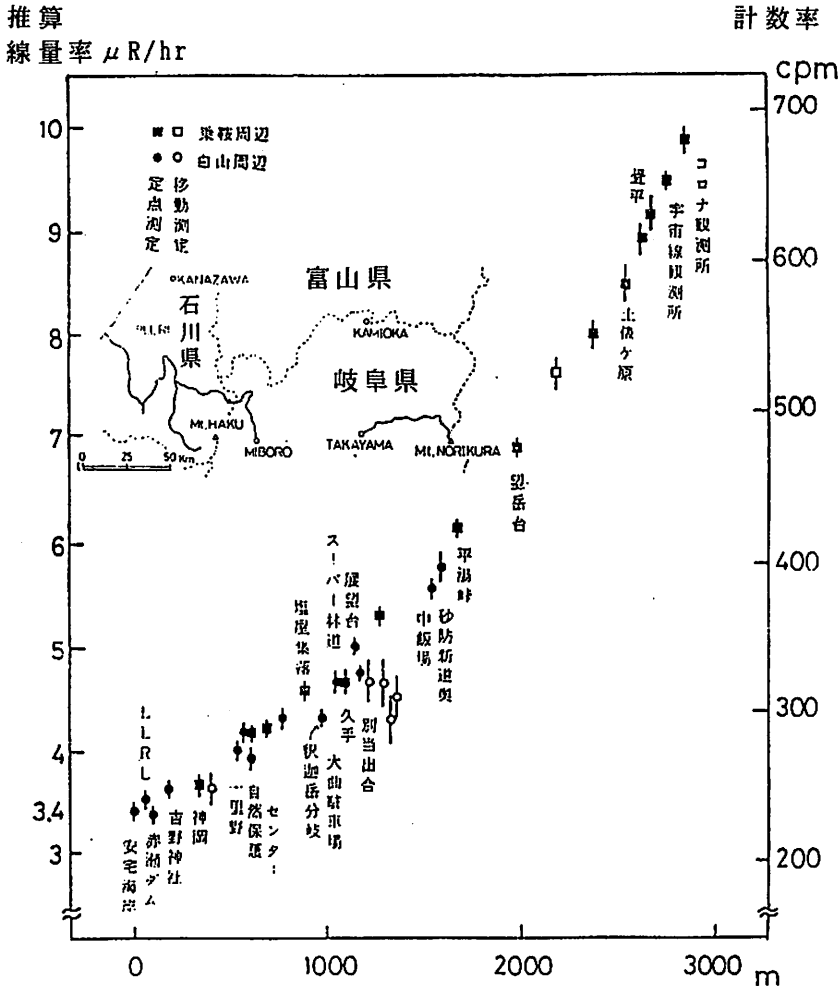


図2 NaI(Tl) 検出器による高度変化に伴う宇宙線成分計数率(>3MeV) の変化(金沢大)

この図にみられるように宇宙線寄与は高度と共に増加し海拔2000mでは約2倍になることがわかる。同図で全体の傾向よりやや低目の測定値のあるのは山際等で、岩体による宇宙線遮蔽効果があるためである。なお理研によって行われた高空飛行にも同乗しての測定(エアボン)も行ったが、その際の16000ft(4870m)、37000ft(11280m)での水平飛行の際のデータも入れた図をつくると図3(A)の如くなる。この傾向と他の研究者が電離箱を用いて測定した照射線量率( $\mu\text{R/hr}$ )の高度変化(図3(B))と比較するとほぼ同傾向で、NaI(Tl)シンチレーション測定も相対的な宇宙線による線量率測定に有効なことがわかる。

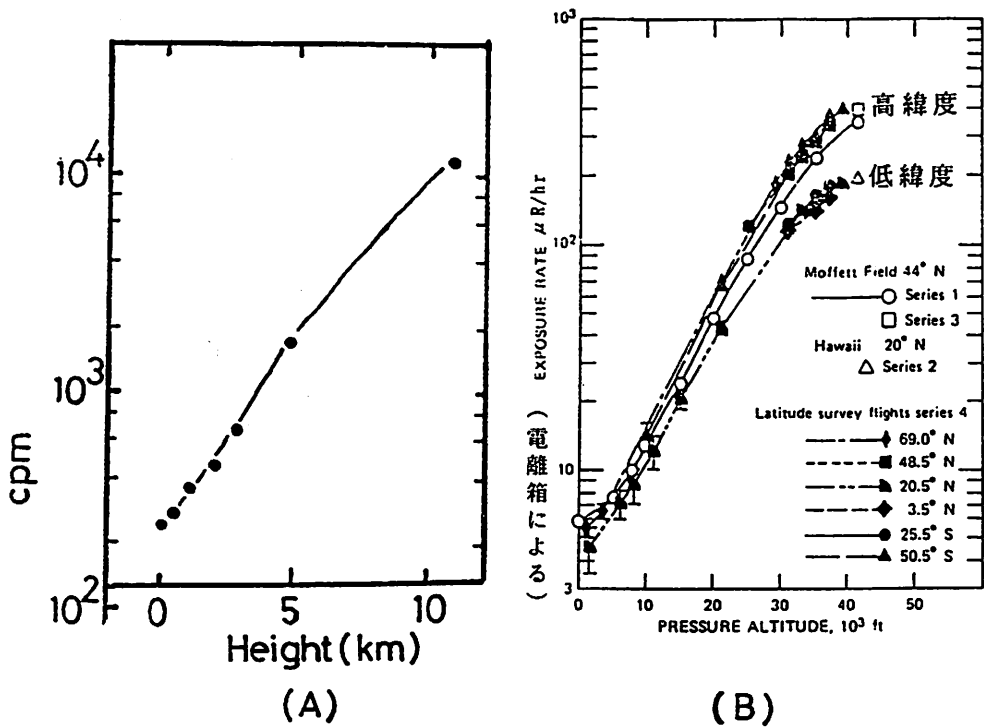


図3 高度変化に伴う(A)NaI(Tl)シンチレーション計数(>3MeV)の変化〔金沢大、1985〕と(B)電離箱による照射線量率変化[F.Hewitt et al(1980)]

なお $\mu\text{R/時}$ で表した照射線量率を吸収線量率に換算するには $1\mu\text{R}=0.93\mu\text{rad}$  (マイクロラド) =  $9.3\text{nGy}$  (ナノグレイ)を用いればよい。さらにリスク評価比較に関連する年間実効線量当量(remまたはSv)に換算するには全身均等照射でしかも電離成分については線質係数1として、単に1年を時間に換算すればよいので、 $10\text{nGy/時}$ は $87.6\mu\text{Sv/年}$ となる。ヒトに対する被曝を考える場合はさらに建物による遮蔽効果を考えねばならず、12階ビルでは10階で0.64倍、2階では0.37倍、地下では

0.27倍に減少するとのデータもある。一般居住環境でもどのような建物内に一日のどの位の割合（占有率）でいるかによって異なる。このほか、同じ海面上でも宇宙線には緯度効果があり（図3B参照）、高緯度地域では赤道地域に比しかなり寄与が大となる。一応英国のような平坦地で遮蔽効果もあまりない地域の住居に占有率 0.8で生活しているとすれば、海面での照射線量率を $3.45 \mu\text{R}/\text{時}$ とすると宇宙線電離成分によるヒトの実効線量当量は前述の計算により約 $280 \mu\text{Sv}$ となる。このほか、海面で約 $3.5 \mu\text{Gy}/\text{年}$ といわれる中性子による被曝があり、これのリスク評価には線質係数を如何にとるかが重要であるが、これを一応 6とすれば年間約 $20 \mu\text{Sv}$ となり、宇宙線全体の寄与は計約 $300 \mu\text{Sv}/\text{年}$ となる。わが国についても北海道から沖縄に到る緯度効果の差はそれほど大でなく、たとえ英国に比し高い山は多いものの、せいぜい長野県、岐阜県など数県でかなりの人々が $500 \sim 1000\text{m}$ の高地に住む程度で、全国平均を人口荷重も考慮して求めると英国と年間実効線量当量では大差はないと考えられる。

むしろ、宇宙線被曝については日本人の航空機利用回数が飛躍的に増大しているので、それによる被曝の可能性を、平均延飛行時間と高度に配慮して推算することが、個人被曝線量の上からも、国民線量評価の上からも今後は重要となろう。

## （2-2）大地 $\gamma$ 線

大地を構成する岩石、土壌にはカリウム-40 およびウラン系列、トリウム系列等の放射性核種があり、地質、すなわちそれを構成する岩石や土壌の組成や湿分、さらにそれらにより構築される建造物、道路（地下道、隧道も含め）の構成要素に応じて、ヒトはそれらから放出される $\gamma$ 線により外部被曝をうける。英国では全家屋約 2千万軒から約 2千軒を選んで TLD（熱ケイ光線量計）を設置して検討している。そして花コウ岩地域では他に比し高い線量を与えるものの、戸内外でのヒトの一日の占有率も考慮して、英国全体について年平均実効線量当量として $400 \mu\text{Sv}$ の値を評価し、図1にみるように全被曝の 19%にあたるとしている。

わが国では戸内についての全国的な測定調査の実績はないが、中小学校の校庭などを代表地点に選んだ全国的測定などがあり<sup>2)</sup>、関東と関西の差、いわゆる西高東低の傾向があり、年間線量として関西 $60 \sim 70\text{mR}/\text{年}$ 、関東 $47 \sim 37\text{mR}/\text{年}$ 、平均 $53\text{mR}/\text{年}$ とすれば、これは約 $500 \mu\text{Sv}$ の実効線量当量となる。（全身均一被曝線質係数 1 として）。実際はヒトは通常は一日のかなりの時間(>80%)住居または職場の建物内で生活しているので、その被曝はこれより1~2割以上は高いのではないかと考えられる。このように全国的な平均被曝線量を知るには、地域、生活形態の差異等によりかなりの巾があり、オーダーはこの程度でよいとしても、なお

検討すべき問題をかかえている。とくに建築材料による壁からのγ線被曝は種類によりかなり異なるので、ビルディング内や地下街等の生活の多くなっている都会人にとっての被曝線量の個人別評価は興味ある課題と考えられる。たとえば花コウ岩で上下四方が囲まれていると年間180mR/年であるに対し、砂岩や石こうなどの場合は50mR/年かそれ以下と推算されている。またたとえ地質的に高線量地域のヒトであっても、海上等で生活することの多い漁民では被曝線量はかなり少ないなど、職業による生活時間の影響にも配慮しなければならない。

### (2-3) 食品等による内部被曝

ヒト自身のなかに、ミネラルとして必須の元素であるカリウムなどや、有機物の主体である炭素にも放射性同位体がある。それらは主として食品を通じてとりこまれており、そのためにたえず放射線による内部被曝をこうむっている。このことは、案外ヒト自身は自覚していないが、重要な被曝要素である。世界的にみて食習慣等により個々の放射性核種の摂取量にはある程度の相異はあるものの、英国での評価では一応 UNSCEARによる下記の線量評価値をそのまま用いており、わが国の場合もほぼ同程度で年間約 370 μSvを概略値としてよいであろう。その内容として、宇宙線生成核種の  $^{14}\text{C}$ により12 μSv、 $^7\text{Be}$ により 3 μSv、そして始源放射性核種として最も寄与の大きな  $^{40}\text{K}$ で 180 μSv、 $^{87}\text{Rb}$ で 6 μSv、ウラン系列核種 154 μSv (内訳  $^{238}\text{U}$ - $^{234}\text{U}$  10 μSv、 $^{230}\text{Th}$  7 μSv、 $^{226}\text{Ra}$  7 μSv、 $^{214}\text{Po}$ - $^{210}\text{Pb}$  130 μSv)、トリウム系列核種 26 μSv ( $^{232}\text{Th}$  3 μSv、 $^{228}\text{Ra}$ - $^{224}\text{Ra}$  13 μSv) のように、それぞれの寄与が評価されている。

### (2-4) ラドンとその娘諸核種による内部被曝

ヒトはたえずまわりの大気を呼吸しながら生存している。その大気中には、大地や建築材料のなかに存在するウラン系列核種の一員であるラジウム ( $^{226}\text{Ra}$ ) から生成する放射性ガスのラドン ( $^{222}\text{Rn}$ ) が供給され存在している。そのためヒトはたえず大気中のラドンと、そこで生成したラドンの娘核種のエアロゾルを呼吸とともに吸入しており、いはばそれらの吸入による内部被曝という必然的なリスクの上に生存しているともいえる。これらによる被曝線量がどの程度であるかについては以前から臓器別には評価され、肺に対しては 30mrad/年ともされていたが、最近はこのを実効線量当量として全身被曝のリスクとして換算することとなった。それによるとα放射体が多いため線質係数が20と大きいので、たとえ臓器別の肺の荷重係数0.12を乗じても、年間72mremすなわち 720 μSvとなる。これは図1でもわかるよう全被曝実効線量当量の 30%以上を占めることとなる。最近と

くにこれによる被曝リスクが注目され、とくに室内ラドンレベルの調査研究が各国でさかんに行われるようになってきている。

ラドン濃度の異常に高い鉱山内で長期間作業していたヒトに肺ガン等のリスクの高いことはすでに観察されており、空気中でどの程度のラドン濃度のとき、そのリスクがどの程度か、さらにその基礎として被曝の実効線量当量をどの程度に評価すべきかについても、種々の問題をはらみつつも検討が加えられつつある。その際ラドン濃度 ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ) のみならず、エアロゾルとして共存している娘核種の親核種ラドンとの放射平衡関係 (平衡度係数) にも配慮しなければならない。これらも含めて Working Level (WL) という単位が用いられているが、これは  $100 \text{ pCi}/\text{l} (\equiv 100 \text{ nCi}/\text{m}^3 \equiv 3700 \text{ Bq}/\text{m}^3)$  の Rn と娘核種が放射平衡にある場合に相当する。実際には平衡達成には 1 時間近くを要しその間に壁への付着等により除去されるので、平衡度係数は 0.5 とすると  $100 \text{ pCi}/\text{l}$  のラドン濃度はほぼ 0.5 WL と評価されることとなる。そしてこのような条件で 1 ヶ月 (労働時間で全 170 時間相当) 作業した場合を 1 Working Level Month (1 WLM) と定義し、1 WLM あたりの被曝が線量当量として何 rem (または何  $10 \text{ mSv}$ ) にあたるかが、リスク評価では重要となる。これについては鉱山労働者などでは作業中は呼吸回数が多いので  $10 \text{ mSv}/\text{WLM}$  とされているが、通常の状態では生活しているヒトでは、呼吸はそれに比しよわいので一応  $5 \text{ mSv}/\text{WLM}$  の値で、ラドンとその娘核種の濃度を被曝線量当量に換算する方法がとられている。この際 (WL で表した濃度)  $\times$  (被曝時間)  $\div 170$  により積算被曝ラドン濃度を WLM 単位に換算して用いる。

以上のような推算の基盤となる一般生活環境でのラドン濃度がどの程度であり、どれほどの変動が、住居別、地域別、季節別等によってあるかについては、ここ数年世界の主要各国で調査が活発に行われつつある。わが国でも、フィルターでラドン娘核種を捕集して計測したり、プラスチックに記録される  $\alpha$  線のトラックをエッチングして計数するトラック法等を用いての研究調査が始められつつあるが、ここでは金沢大学低レベル放射能実験施設で数年前に開発した簡易な室内ラドンレベル測定法による成果をのべよう。

この方法では活性炭  $100 \text{ g}$  を容器に入れて 24 時間ふたをあけて放置する。その後密封して実験室に持帰り、重遮蔽してバックグラウンドを低くした NaI(Tl) シンチレーション測定器で、放射平衡に達した娘核種からの  $\gamma$  線を測定して、活性炭に吸着した親核種ラドンの量を知る。すでに福井県美浜町、広島市、金沢市等を対象に 89 ヶ所、計 116 ヶの測定が行われたが、その結果を頻度分布で表したものが図 4 である。

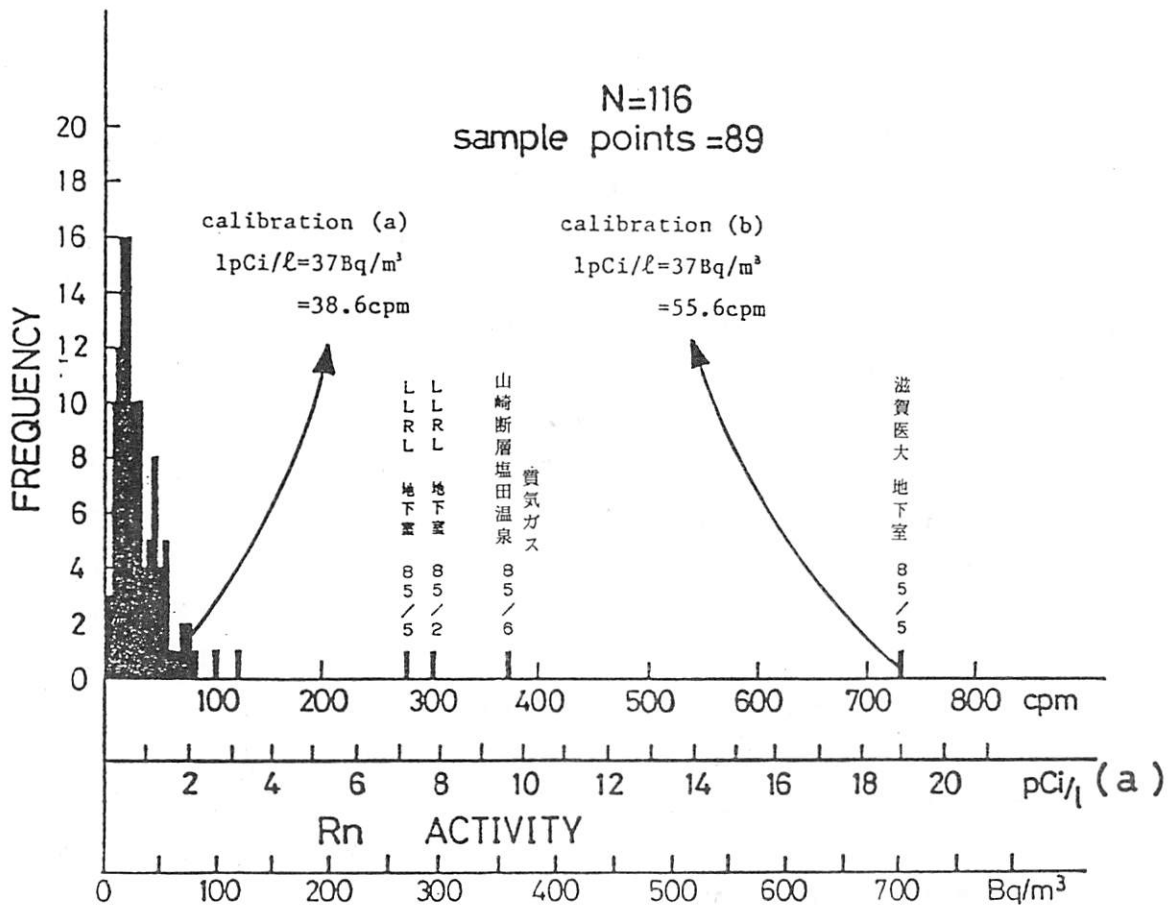


図4 室内ラドン濃度の頻度分布（金沢大学低レベル放射能実験施設測定）

なお横軸には直接測定の計数値のほか、pCi/lまたは Bq/m<sup>3</sup>で示したラドン濃度も示してある。これは滋賀医大において別な測定法でラドン濃度が測定された(a)(b)2室で、同時に本法によっても測定を行い、室内空気を強制攪拌していなかった(a)室での測定をもとにして推算したものである。図4でわかるように通常の家屋でも地下室等ではラドン濃度は高く、例えばLLRL地下室約8pCi/l(300 Bq/m<sup>3</sup>)のラドン濃度で1年間を過ごすとして前述の計算で実効線量当量を求めると、 $0.5 \times (8/100) \times (8760/170) \times \dots \approx 2\text{WLM}$ (\*1年=8760時間、1WM=170時間として1年は約50WMにあたる)に当たる線量当量として年間10mSvとなる。もしリスク係数を10<sup>-2</sup>/Sv/年とすると、年間「がん死」のリスクはここでは10<sup>-4</sup>、すなわち1万人に1人と推算される。

一方、通常の内室のラドン濃度はほぼ対数正規分布をしており、平均約30 Bq/m<sup>3</sup>である。そのリスクは線量リスク関係を直線的と仮定すれば前記の約1/10



すなわち $10^{-5}$ と評価される。なお室内ラドン濃度は図5に示すように建材によってかなり異なり、木造では調査地域では平均約 $20\text{Bq}/\text{m}^3$ であるが、コンクリート建造物では平均約 $40\text{Bq}/\text{m}^3$ に達する。また同じ建物でも換気の良い夏期にはかなり低下し、全平均値も $12\text{Bq}/\text{m}^3$ となること、図6に示すように季節別に全データを解析するとわかる。このため全国的にみると、温暖地方で換気の良い条件の期間の長い地方では、室内の年平均ラドン濃度はこれらの平均値よりは低くなる可能性がある。それ故今後わが国民の国民線量的評価を行うにはさらに全国的な調査が必要であると考えられる。

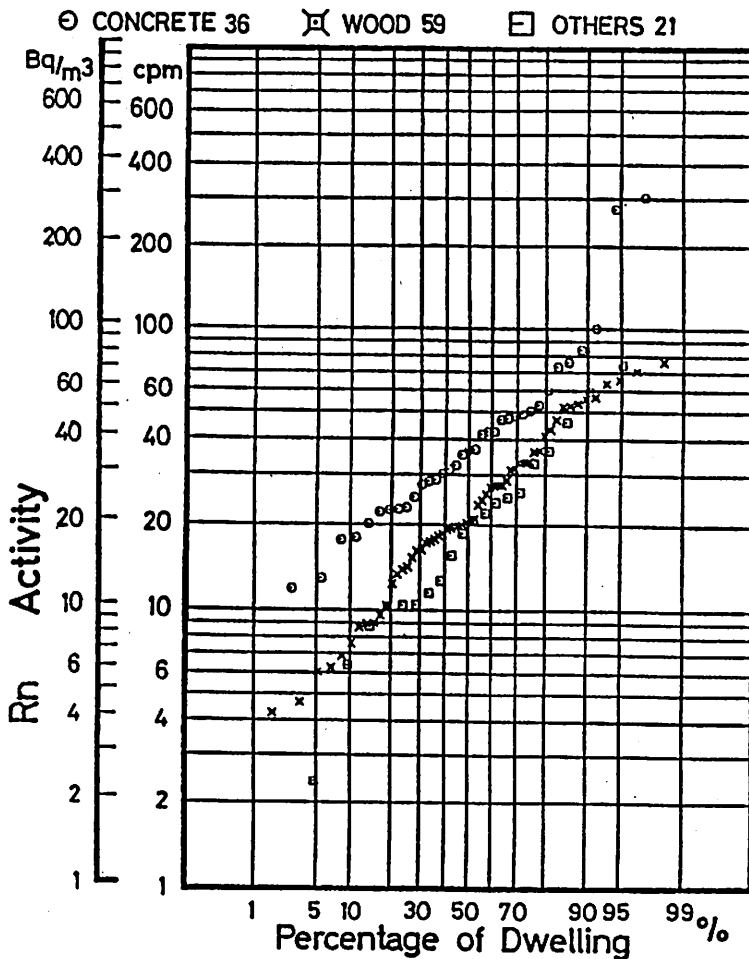


図5 室内ラドン濃度の建築材別の比較

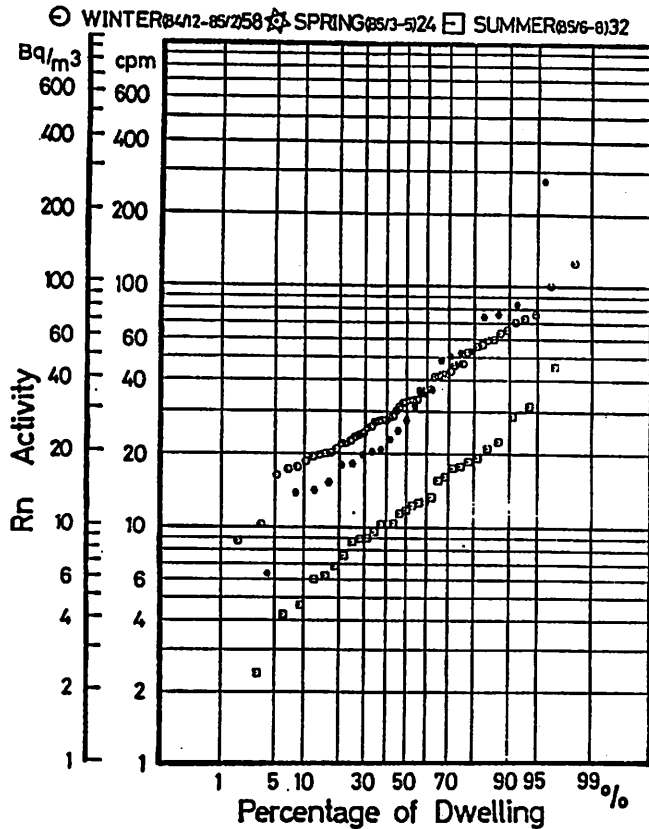


図6 室内ラドン濃度の季節別の比較

英国では花コウ岩地域のCornwall地方では高く平均 $100\text{Bq/m}^3$ であるが、全国的にみると、イングランドでは居室 $25\text{Bq/m}^3$ 、寝室 $18\text{Bq/m}^3$ 、スコットランドでは居室 $18\text{Bq/m}^3$ 、寝室 $14\text{Bq/m}^3$ 、ウェールズ地方では居室 $21\text{Bq/m}^3$ 、寝室 $16\text{Bq/m}^3$ 、北アイルランドでは居室 $13\text{Bq/m}^3$ 、寝室 $12\text{Bq/m}^3$ の平均値が、1984年までに完了した376軒の調査結果から出されている。寝室の値がいずれもやや低目なのは、英国での寝室は、家屋での位置や構造により地表からのラドンの侵入寄与が居室と相異なるためと考えられる。このようなラドン濃度をWLMで表すと年間約 $0.16\text{WLM/年}$ とされている。これらの結果をもとに、居室（職場も同じとして）と寝室での相対的生活時間を考慮し、室内での生活時間を1日の90%（占有率）とすると、年間のラドンとその娘核種の吸入による内部被曝の実効線量当量は約 $700\mu\text{Sv}$ と評価され、さきのUNSCEARの値とほぼ同じであるがやや低目の値となっている。

なおとくに室内ラドン濃度が平均値より数十倍高い家屋については、床下からのラドンの侵入を防いだり、換気率を高めてそれを低下させる対策をして、これによるリスクを低める措置が検討されている。一方米国で、省エネルギーのため

に換気率を少くし、室内の密閉性をよくする政策は、エネルギー不足によるリスクはへらすとしても、かえって室内ラドン濃度を増加させ、そのための放射線リスクを増やすことになり、省エネルギー政策は化学物質や原子力施設に関する規制のリスク規準を上まわるリスクを生むものだと、政策の相互矛盾を指摘する提言<sup>3)</sup>もなされている。

#### (2-5) トロンとその娘核種による内部被曝

ヒトが吸入して内部被曝をうける可能性のある放射性物質としては前述したラドン( $^{222}\text{Rn}$ ) (半減期 3.8日) とその娘核種エアロゾルのほか、トリウム系列に属する半減期約 1分の放射性ガスのトロン( $^{220}\text{Rn}$ ) とその娘核種エアロゾルがある。地表や建築材中のトリウム系列、ウラン系列の放射能濃度はほぼ同程度であるが、トロンは半減期がかなり短いので、たとえ親核種の  $^{224}\text{Ra}$  からたえず生成していても地表面や建築材表面までにガスとして拡散するまでにはかなり減衰し、室内に放出される量は少ない。室内でも均一に拡散するまでには半減期が短く、その濃度は放出源の床や壁面の表面近くに比して、室内中央ではかなり低い。正確な室内トロン測定はいまだなされていないが、線量当量への換算係数  $2\text{mSv/WLM}$  としても、実効線量当量は年間約  $0.1\text{mSv}(100\mu\text{Sv})$  で、ラドンとその娘核種によるものの  $1/7\sim 1/8$  と見積られており、図 1 にみるように全被曝の 5% 程度に相当するのでないかとされている。室内のラドンとその娘核種の測定はかなり行われるようになったが、その測定の際に、寄与は少ないものの同時に測定される可能性のあるトロンとその娘核種の寄与の程度を正確に評価することも今後の課題であると思われる。

#### (2-6) 喫煙による内部被曝線量

喫煙者には肺がん等のリスクが高いことは疫学的に認められていることであるが、それが化学物質によるのか、タバコ中の放射性核種によるのか、あるいはそれぞれがどの程度の寄与をしているのか、協同効果があるのかどうかについてはいまだ研究が充分されておらず、UNSCEAR においても重要問題であるにかかわらず、いまだこれを取り上げていない。私共はさきに文献(2) P.93~94で述べたように市販タバコ各種および石川県および愛知県産タバコ生葉中の  $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{210}\text{Po}$  を測定したが、その後各地のタバコ生葉をさらに検討し、米国のほか、ソ連や中国の市販タバコについても測定した。これらの結果から日本のタバコ生葉では雨量の多い秋田、鳥取や鹿児島産(桜島火山降灰による影響も考えられ、検討されつつある)のものが徳島産に比し  $^{210}\text{Pb}$  量が約  $1\text{pCi/g}$  かそれ以上と多い。これは空

気中のラドンから生まれる娘核種で一番長寿命の  $^{210}\text{Pb}$  がフォールアウト起源として蓄積するからである。その際タバコ葉の表面の粘液を分泌する細毛 Trichome の濃度が高く大きな役割をはたしていることを確かめた。一方、 $\alpha$  放射体でしかも揮発性で内部被曝線量評価に重要な  $^{210}\text{Po}$  は、 $^{210}\text{Pb}$  の壊変により生長蓄積したものであることは、採取後の時期のたったものでは  $^{210}\text{Pb}$  とほぼ放射平衡にあり、採取後間もない若い葉では放射平衡に未達成であることからわかる。しかも揮発性の  $^{210}\text{Po}$  は喫煙の際は灰の中に約 10% 程度しか残留せず、主流煙および副流煙に移行することが自動喫煙装置による実験等で確かめられた。このような煙の吸入による内部被曝線量については、肺内の分布の状況等によってかなり異なることが考えられる。一日数十本以上の高度喫煙者では年間数 rem に達するとした研究者もあるが、少なくとも室内ラドンとその娘核種の吸収による被曝線量よりは大きいものとみられ、今後のリスク評価での重要な課題である。なお、米国のある研究者はタバコの煙が室内のラドン娘核種を付着してその吸入量を増加させ、そのために被曝線量が増加し、疫学的に肺がん等の発生のリスクが増加するのだとの説も提出している。

#### 文献

- 1) The National Radiological Protection Board (UK) Report (NRPB-R173) (1984)
- 2) 菅原 努編「被曝・日本人の生活と放射線」マグブロス出版(1984)
- 3) Henry Hurwitz, Jr. "The Indoor Radiological Problem in Perspective", Risk Analysis 3(1), (1983)

## 5. B 医療放射線

土 屋 武 彦  
産 業 医 科 大 学

人は様々な人工放射線に曝されているが、その中でも医療による放射線が他の線源にくらべて非常に大きい。これが問題とされるようになったのは、原子放射線の影響に関する国連科学委員会(United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR)が1955年に発足してすぐのときからである。

### 1. 医療放射線とは

さて、医療放射線と云うのは、病気になった人が病院などでX線診断をうけたり、放射線治療をうけたりする場合のように、診断にともなって、人が放射線被曝を受けることであり、医療被曝などと云っている。さらに健康診断、集団検診、入学あるいは入社などのための身体検査のときのX線診断のような場合も医療放射線である。しかし、医師やX線技師、看護婦などが患者の診療に際して被曝する場合は、職業被曝であって、医療放射線による被曝とは云わない。

表 1 医療放射線の分類

1. 診断用 X 線検査
  - 1) 一般診断
  - 2) 胸部集団検診
  - 3) 胃部集団検診 (日本独特)
  - 4) 歯科診断
  - 5) CT検査
  - 6) 乳房検査 (乳癌の関係で欧米ではこれが多いので別にして)
  - 7) その他の特殊診断等
2. 放射性医薬品による診断
3. 放射線治療
4. 医療器具による被曝

医療放射線はその目的あるいは方法から、一般に表 1 に示すように大別することができます。要するに、病気あるいは健康診断などで X 線装置を使って写真をとったり、透視をしたりするのが診断用 X 線検査である。つぎに放射性同位元素

(ラジオアイソトープ) からできている放射性薬品を注射などで体内に入れて、その動きをしらべる検査が放射性医薬品による診断である。また、放射線治療と云うのは、X線治療装置やリニャアクセレーター(リニャック)と云うような加速器、コバルトなどの放射性同位元素を線源とする治療装置などで体の中の癌病巣を照射して治療する療法のことを云う。さらに、医療器具による被曝とは、大変特殊な場合で数も少ないが、心臓病などで心臓のペースメーカーを体に入れている人がいる。このような人はペースメーカーに使われている原子力電池から非常に微量ではあるが放射線をうけるので、このような場合を云う。

X線診断にはいろいろな方法があり、また一般に非常に多く使われますので、図1にX線診断の方法のおもなものをあげた。直接撮影と云うのは大きなフィル

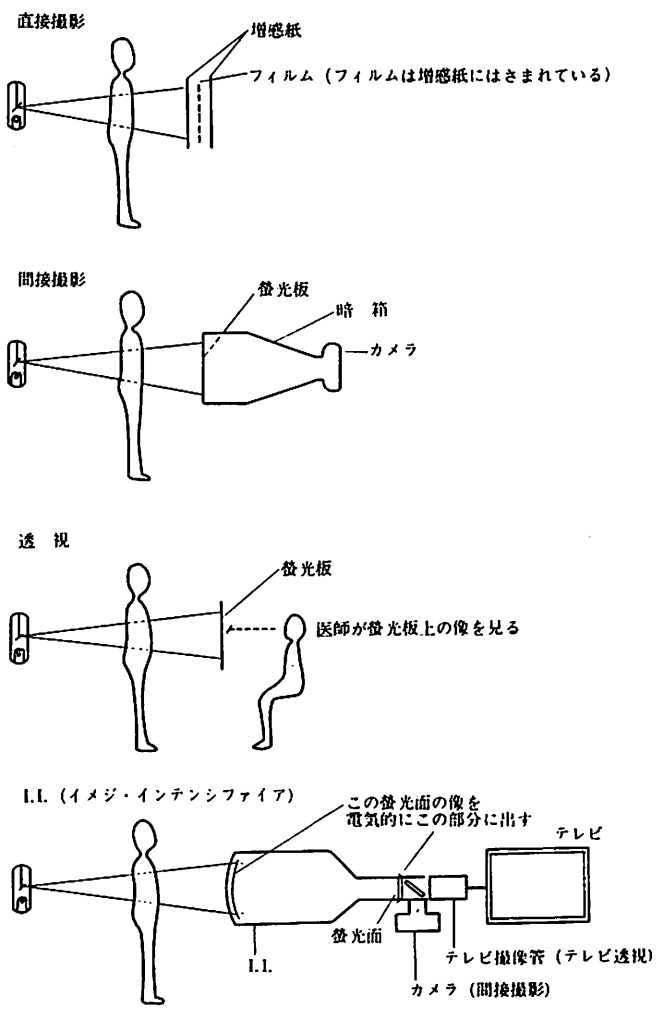


図1 X線撮影および透視の原理

ムにその人の身の大きさと同じ像が得られるようにした写真である。この場合、フィルムはX線量を減らすために増感紙と云う蛍光物質でできたシートで両側からはさまれている。間接撮影と云うのは病巣を一度蛍光板に出して、これをカメラで撮影するものである。したがって、像は小さくうつる。また、透視と云うのは蛍光板に出された像を医師が直接眼でみる方法である。最近ではこの間接撮影と透視の場合の線量を減らすために、I. I. (イメージインテンシファイア：蛍光増倍管)と云う蛍光像を電氣的に明るくして、これをテレビ画像に映して透視したり、あるいはカメラにとって間接撮影を行っている。

## 2. 医療放射線の線量としてはどのようなものがあるか

医療放射線と一口で云っても、診断なのか治療によるものなのか、それによって、人、体のいろいろな部分での線量は大変異なってくる。そこで、医療放射線での線量をあらわす場合にそれがどのような場所の、こういった性質の線量であるかとはっきりすることが大変大事なことである。

一般によく使用されている表現として、皮膚線量、臓器線量、骨髄線量、生殖線量、平均骨髄線量、遺伝有意線量など云う言葉が使われている。

皮膚線量：これは臓器線量の一つとなるが、放射線が照射される入口になる皮膚のうける線量のこと、一般の人には一番わかりやすい線量かと思われる。

臓器線量：体のいろいろな臓器の線量を云う。したがって、何かのときそれぞれの目的とする臓器がどの位の線量をうけているかを知ろうとするときに使われる。

骨髄線量：骨髄は頭の骨の中をはじめとして、背骨の骨の中、手足、骨盤などにあり、このすべての骨髄のうち造血作用を行っている赤色骨髄のうける線量のことを言う。したがって、体のあちこちにあるわけである。そこで、直接放射線をうけたものだけでなく、散乱線でうけた線量も全部合計し、これを全体の赤色骨髄の重さで割った線量のことを骨髄線量と云う。このようにややこしい骨髄線量がとりあげられている赤色骨髄は、血液をつくる重要な臓器であり、しかも放射線とかかわりの深い白血病が骨髄に関係をもっているからである。

生殖腺線量：これも臓器線量の一つであるが、男子では精巣(睪丸のこと)、女子では卵巣の線量のことを云う。また生殖腺は遺伝的影響に直接関係がある。そこで、写真をとるときなど、できるだけ鉛ゴムなどで防御する必要がある臓器として重要視されている。

遺伝有意線量：遺伝的なりスクを考える場合には日本人なら日本国民全体の集団として考えなければならない。またさらに子供を生む年齢までの被曝線量が問

題となる。そこで、各年齢集団での生殖腺の線量の合計線量をその集団の中から将来生まれてくるであろうと予測される子供の数で補正すると云うやっかいな次のような式を用いて算出される。

$$D_g = \frac{\sum_j \sum_k (N_{jk}^{(F)} \cdot W_{jk}^{(F)} \cdot d_{jk}^{(F)} + N_{jk}^{(M)} \cdot W_{jk}^{(M)} \cdot d_{jk}^{(M)})}{\sum_k (N_k^{(F)} \cdot W_k^{(F)} + N_k^{(M)} \cdot W_k^{(M)})}$$

ここで

j: 診療の種類の区別

k: 診療を受けた人の年齢による区別

(F)(M): それぞれの女性、男性の区別

$N_{jk}$ : j種の診療を受けた年齢k層の人数

$N_k$ : 年齢がk層の国民全体の数

$W_{jk}$ : j種の診療を受けたk才の人のその後の期待される子供の数  
(子供期待数)

$W_k$ : 年齢k層に属する人の1人当りに期待される子供の数

$d_{jk}$ : 年齢k層の人がJ種の診療を受けたとき生殖腺が被曝する線量

平均骨髓線量: 医療放射線によるリスクを評価するのに、個々の人の線量を取りあげるわけではない。日本人なら日本人全体としてみたときにどれだけのリスクとなるかを考えなければならない。そこで、放射線ととくに関係の深く、また致死的な白血病を考えるのには日本人全体の平均としてうける赤色骨髓の線量が重要になる。そこで、それは赤色骨髓の質量 $m_r$ とその受けた線量 $d_r$ 総和 $\sum m_r d_r$ に比例します。したがって全赤色骨髓の量 $M = \sum m_r$ で割ると1gあたりの赤色骨髓線量 $d$ が得られる。

$$d = \frac{1}{M} \sum m_r d_r$$

集団については $d_{jk}$ を年齢kの人がJ種の診療を受けることによる被曝骨髓線量とすると、平均骨髓線量 $D_c$ は

$$D_c = \frac{\sum_j \sum_k (N_{jk}^{(M)} \cdot d_{jk}^{(M)} + N_{jk}^{(F)} \cdot d_{jk}^{(F)})}{\sum_k (N_k^{(M)} + N_k^{(F)})}$$

(記号は遺伝有意線量と同じ)で与えられる。

### 3. 医療被曝線量はどのように求めらるかまたどの位の線量か

表1で示したようにいろいろな医療放射線量があるがX線診断による線量が圧倒的に多くなっている。そこでここではX線診断による線量についてだけ述べる



ことにする。それらはどうして求められているかと云うと、放射線医学総合研究所の物理研究部の方々（橋詰雅（現麻布大学獣医学部教授）丸山隆司（研究室長）ら放医研研究部のグループ）によって、実験とアンケートから求められている。彼らはまずいろいろな模型について、種々の線量計を用いて、いろいろな撮影条件での実験を行い種々の撮影におけるそれぞれの部位の線量を測定と計算とから求めている。ついで、これらの線量と全国の多くの病院、医院などからのアンケート調査による放射線診断の実態とから、平均骨髄線量、遺伝有意線量が算出されている。

皮膚線量：表2に示すような線量であるが、同じような部位で胃、腰椎では撮影の目的が異なり、しかも胃の方は造影剤を使用しているので線量が少なくてすむ。したがって皮膚の線量が大きく異なっている。

臓器線量：同じ胸部の撮影でも直接撮影と間接撮影とでは表3に示すように同じ肺の受ける線量が非常に異なっている。

表2 皮膚線量

	撮影部位	線量(mrad)
一般 撮影	頭	400
	胸	23
	胃	295
	腰 椎	515
	腎 臓	390
	股 関 節	385
間接 撮影	胸	200
	胃	950
透視	胃	2,000

\* UNSCEAR (橋詰雅：医療被曝Q & A)

表3 臓器線量

検査部位	臓 器	線量 (mrad)
胸 部	肺	10.8
胸部(間接)	肺	94
胃 部	胃	50
胃部(間接)	胃	280
腎 臓	腎 臓	33
歯 (下臼)	甲 状 腺	20

(橋詰雅：医療被曝Q & A)

骨髄線量：表4に示すように脊椎とか、骨盤とか赤色骨髄を大量にもっている部分が含まれる撮影では骨髄線量は非常に大きくなっている。

また、同じ頭部であってもCT（最近行われるようになったコンピューターを用いての撮影）では何回も曝射が行われているので線量は10倍近くも多くなっている。

る。

生殖腺線量：表5に示すように例えば股関節の撮影のように男性でも女性でも生殖腺が直接の放射線にさらされる撮影では線量が高くなっている。この場合女性の方が線量が少ないのは体の中にあるからである。一方男性の場合睾丸を遮蔽することは容易であるので、もし鉛などで遮蔽すればずっと少なくなる。

表4 診断用X線による1件あたりの骨髄線量(ミリラド)

	男	女		男	女
頭	26	25	腎 臓	36	36
胸	9	8	股 間 節	12	12
食 道	833	638	大腿下部	5	5
胃	815	760	断層(胸)	68	61
直 腸	1560	1290	CT(頭)	210	210
腰 椎	44	45	CT(下腹)	320	320
胸 椎	65	55	胸(間接)	33	31
膀 胱	45	51	胃(間接)	450	390
骨 盤	36	36		(300)	(260)

[橋詰雅：医療被曝Q&A]

表5 X線診断による生殖腺線量(ds)(ミリラド)

	男	女	
頭 部	0.03	0.02	2.8
胸部(肺)	0.01	0.04	1.3
食道(造)	0.02	0.06	6.7
胃(造)	0.5	15	7.5
直腸(造)	30	98	5.4
腰 椎	3	54	2.8
骨 盤	32	90	1.8
腎 臓	3	51	3.9
股 関 節	190	86	1.5
膝 関 節	10	0.4	3.1
胸部断層	0.1	0.07	6.8
歯	0.1	0.001	1
CT(頭)	0.06	0.06	10
CT(下腹)	22	119	10
〈間 接〉			
胸 部	0.06	0.21	1
胃 部	0.96	14	5.8

[橋詰雅：医療被曝Q&A]

平均骨髄線量：先に述べたようにこの線量は国民全体からみた平均の線量であるのでそのつもりで表をみるのが大切である。表6でわかるように、各検査による全体の平均骨髄線量は106.5ミリラドである。と云うことはX線診断で国民一人当たりが骨髄線量として1年に106.5ミリラドを被曝していることと云うことである。このうち、胃、食道の検査が76.7ミリラドであるから、大半はこの検査のためと云える。これは日本人には胃癌が多いために胃の検査が非常に多いことによ

る。

遺伝有意線量：国民全体としてみたときX線診断によって遺伝にかかわると思われる線量であるが、合計のところをみると、15ミリラドと云う値になっている。また表8に示したように1962からみると1977年には16.5ミリラドと次第に減少している。これは医療関係者の努力によるものと言える。

表6 一検査当りの平均骨髄線量(CMD)(ミリラド)

部 位	撮 影		透 視		小 計
	男	女	男	女	
頭頸部	0.6	0.5	0.0	0.0	1.1
胸部	1.2	0.9	0.4	0.3	2.8
胃・食道	13.3	9.8	31.2	22.4	76.7
胆のう	0.8	0.8	0.5	0.5	2.6
大腸	1.3	1.0	0.1	0.0	2.4
直腸	1.1	1.0	4.2	4.5	10.8
胸腰椎	1.3	1.1	0.1	0.1	2.6
骨盤	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2
泌尿系	0.7	0.4	0.2	0.1	1.4
産科	0.0	0.2	0.0	0.3	0.5
股関節	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4
大腿	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
胸断層	0.3	0.1	0.0	0.0	0.4
C T	1.9	0.9	0.0	0.0	2.8
その他	0.5	0.2	0.5	0.4	1.6
合 計	23.2	17.3	37.4	28.6	106.5

(橋詰雅：医療被曝Q & A)

表7 検査部位別遺伝有意線量(GSD)(ミリラド)

部 位	撮 影		透 視		小 計
	男	女	男	女	
頭頸部	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
胸部	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01
胃食道	0.12	0.91	0.13	2.05	3.21
胆のう	0.01	0.05	0.0	0.01	0.06
大腸	0.18	0.70	0.06	0.0	0.94
直腸	0.32	0.52	0.38	1.54	2.76
胸腰椎	0.17	1.08	0.01	0.07	1.33
骨盤	0.52	0.13	0.0	0.0	0.65
泌尿系	0.24	0.48	0.13	0.13	0.98
産科	0.0	0.34	0.0	0.0	0.34
股関節	1.75	1.11	0.09	0.03	2.98
大腿	0.23	0.01	0.0	0.0	0.24
胸断層	0.01	0.0	0.0	0.0	0.01
C T	0.13	0.04	0.0	0.0	0.17
その他	0.82	0.14	0.0	0.27	1.23
合 計	4.5	5.5	0.8	4.2	15.0

(橋詰雅：医療被曝Q & A)

表8 遺伝有意線量の各国の推移

国連報告年次	1962年		1972年		1977年	
	調査年代	有意線量 ミリラド	調査年代	有意線量 ミリラド	調査年代	有意線量 ミリラド
日 本	58~60	39	69	26.5	74	16.5
ド イ ツ	57~58	17.7	56~58	13.7	74	41
オランダ	59~60	6.8	67	20	72	28
イギリス	57~58	14.1	64	8.6		
アメリカ			64	16	70	20
ス イ ス	57	22.4			71	42.9
スウェーデン	55~57	38.2			74~76	46

#### 4. 医療被曝線量の年代的（動き）

まずX線診断のために日本でどの位のフィルムが使われているかをみると、図2でわかるように1957年に2700万枚だったものが、1979年には3億4300万枚に増えている。これは国民1人平均年に3回のX線撮影を受けていることになる。このような増加傾向は表9でわかるように、世界的傾向である。このように、フィルムの使用枚数が激増しているのに、遺伝有意線量は表8に示すように他国とは異なって日本では減少している。これは日本の放射線医療関係者がいつも防護に細心の注意と努力をはらっているためである。日本では集団健康診断が発達している。したがって間接撮影が大変多くなっている。表10にあるように胸部の間接撮影が1975年で71年より減っている。これは日本での結核が減ったために、小中学校での検査を大巾に少なくしたことによる。一方、胃癌の健診のために胃の間接撮影は増加している。

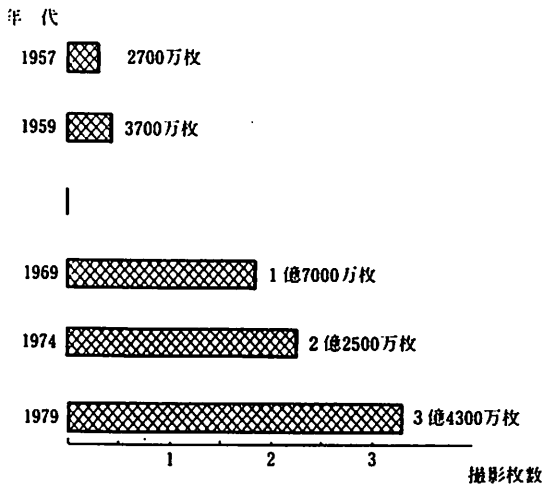


図2 年間撮影フィルム枚数  
〔橋詰雅：医療被曝Q & A〕

表10 間接撮影の推移（年間件数）

調査年	1963年	1971年	1975年
胸部間接	4,800万	6,420万	4,000万
胃部間接		180万	412万

橋詰雅：わが国における医療放射線による国民線量(Ⅲ)  
(放射線科学 vol. 19, p. 217, 1976)

表9 各国の撮影件数（1,000人当り）

	1962年	1972年	1977年
西ドイツ	560	601	1,530
日本	410	610	676
オランダ	350	810	1,186
イギリス	280	310	
アメリカ		475	669
スイス	310		1,350
スウェーデン	290		540
フランス	150		
ソ連	171		
インド			35
エジプト	40		
タイ		39	
台湾			43

〔UNSCEAR 国連 1977〕

## 5. 医療被曝軽減のための努力

X線検査が多くなっていることに対して放射線医療関係者はいろいろと気をつけて努力している。X線線量をいかに少なくして良い写真がとれるかについて、装置とか、フィルムの感度とか、種々の部品などの性能を上げることによって、線量を減らす努力が絶えずなされている。図3にはその全体的なものの年代的な変化を示している。これはX線写真をとるのに使う増感紙の性能をよくするとか、フィルムの感度を上げたことによる線量の減少、また透視や間接撮影のときの蛍光板から蛍光増倍管と云うような装置の開発などの有用さを示している。

さらに最近では日本で開発されたイメージングプレートと云ったエレクトロニクスを駆使した装置がでてきている。これを数値的にみても表11のようになり、20~30年間をみても1/10~1/50に減少していることがわかる。

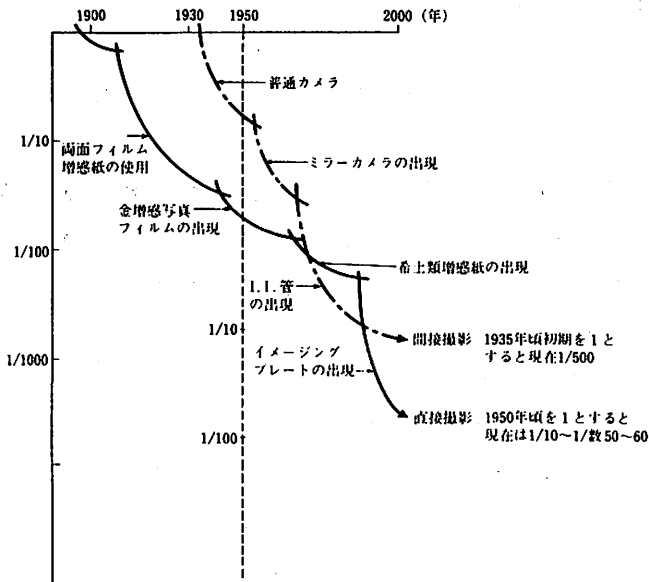


図3 X線写真の進歩と被曝線量減少の動き  
(フジメディカルシステム提供)

表11 年代による間接撮影での線量の推移

胸部間接		
年 代	比 率	線 量
1955年頃	1	600mR
1965年頃	1 / 6	100mR
1980年頃	1 / 12	50mR

胃部間接		
年 代	比 率	線 量
1965年	1	1,200mR
1975年	1 / 30	40mR
1980年	1 / 55	22mR

透 視		
年 代	比 率	線 量
1965年	1	3,000mr/分
1975年	1 / 3	950mr/分
1980年(新型)	1 / 40	75mr/分

(東芝那須工場提供)

以上のように医療被曝線量は日本では自然放射線と同じ位の線量になっている。したがって、医療関係者は勿論のことで一人一人が心して、不必要な医療被曝がないように心がけることが大事だと思われる。

## 5. C 人工放射線

小林 定喜

放射線医学総合研究所

私達が受けている放射線の源であって、人工のものとしては医療に用いられる放射線、ラジオアイソトープが最も大きい、それ以外のものとしては①核兵器の爆発によって生じた放射能、②原子力発電と核燃料サイクル（核燃料の製造から使用済燃料の再処理、そして廃棄物の処理処分に至る道すじ）から出る放射線と放射能、③市販されている一般商品で放射線（能）を出すか、又は放射能を含んでいるもの、及び④建材や肥料、あるいは石炭火力発電の排煙や灰（フライアッシュとスラグ）など自然放射能が人間活動によって天然にある時の状態よりも濃縮され放射線を余計に出すようになったもの、がある。

### 1. 核兵器実験による放射能

1945年に始まった大気圏での核爆発実験は1954～58年、及び1961年～62年の期間に最も盛んに行われ、1980年10月を最後として行われなくなっている。現在は大気圏爆発の代わりに地下爆発が行われている。地下爆発による環境汚染は極く軽微である。

これらの核実験によって数 100種類の放射性核種が生成し、これらがフォールアウトとして落下してくるが、その大部分は寿命が短かったり生成量が小さかったりして、私達の被曝線量にきいてくるのはヨウ素( $^{131}\text{I}$ )、ストロンチウム( $^{90}\text{Sr}$ )、セシウム( $^{137}\text{Cs}$ )、炭素( $^{14}\text{C}$ )など、20種類の核種である。

図に大気圏核爆発によって受ける線量の経年変化を示す。この図から判るように私達の受ける線量として一番大きいのは1961～62年の核実験であった。図(b)には線量を自然放射線被曝の日数に換算して表してあるが、これを合計すると約4年間になる。即ち核実験によるフォールアウトから受ける線量は自然放射線4年分ということになる。その内今までに受けた分は約0.4年分（1982年での計算）で、残りは今後2000～3000年にわたって少しずつ受けていくことになる。

### 2. 原子力発電による放射能

原子力発電所から気体として放出される放射性核種にはクリプトン( $^{83}\text{Kr}$ 、 $^{85}\text{Kr}$ )、キセノン( $^{135}\text{Xe}$ )など核分裂希ガス、窒素( $^{16}\text{N}$ )やアルゴン( $^{41}\text{Ar}$ )などの放射化ガス、トリチウム、炭素( $^{14}\text{C}$ )、ヨウ素、及びエアロゾル（コバルトなどの金属や核分裂希ガスの壊変生成物など）として出るものがある。放出ガス

は高性能フィルターを経てから放出されるので、外に出るエアロゾルは極く少ない。

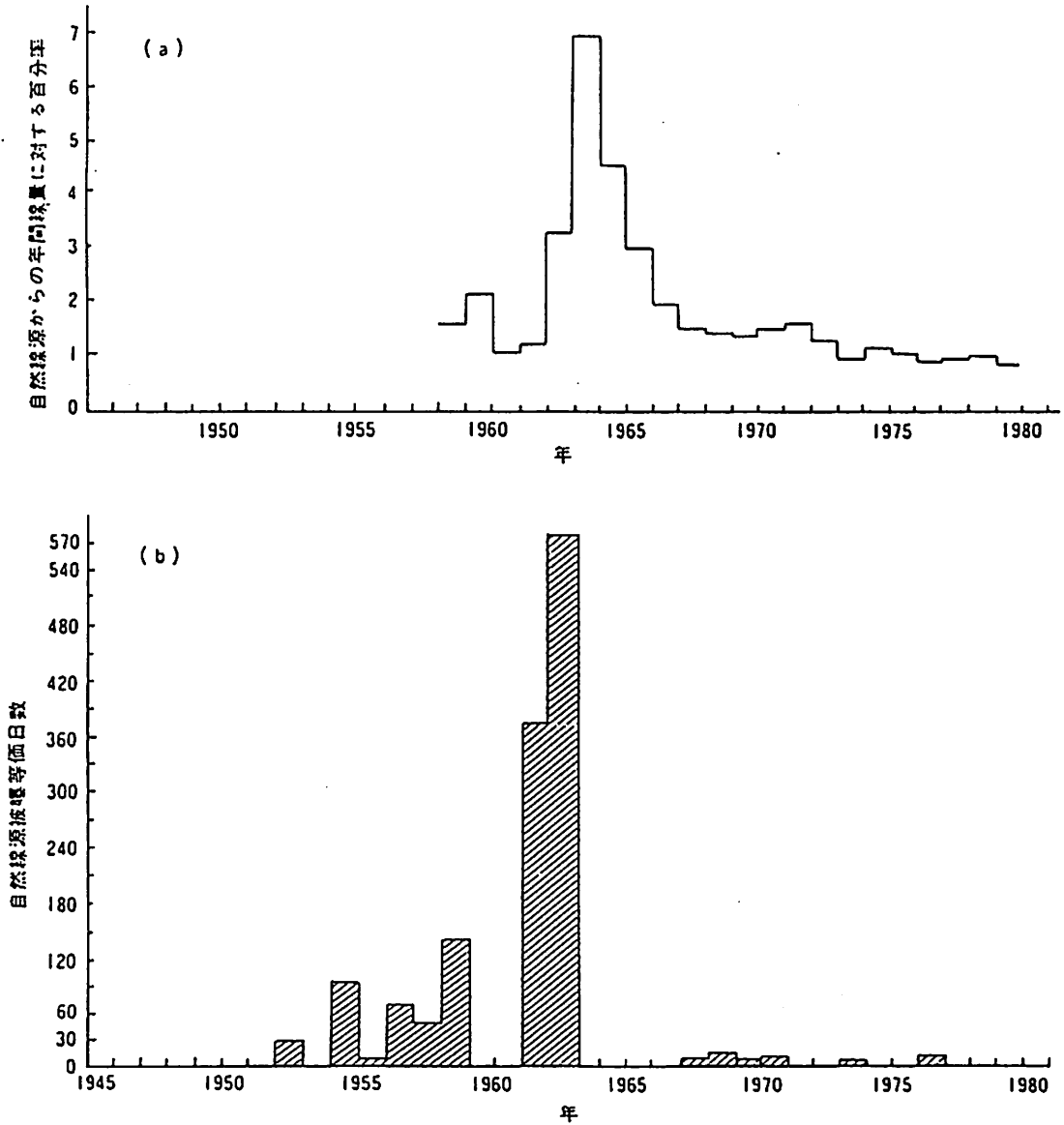


図1 大気圏内核爆発からの集団線量の経年変化

- (a): 1958～1979年に受けた平均年集団線量の自然放射線による線量との比  
(将来にわたって受ける線量の合計)
- (b): 1945～1980年に行われた爆発による集団線量預託を自然放射線を受ける  
日数に換算して表したもの

液体として放出される放射性核種にはトリチウムその他の核分裂生成物とクロム、鉄、コバルトなどの放射化された腐食生成物とがある。軽水炉から放出される気体及び液体放出物中の放射性核種の主要なものと、それによって周辺の住民が受ける線量の算定の例を次表に示す。

希ガスまたは希ガス由来のもので線量として大きいものはクリプトン、キセノン及びルビジウム( $^{86}\text{Rb}$ )などである。エアロゾル(粒子)としてはセシウム( $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{134}\text{Cs}$ )、コバルト( $^{60}\text{Co}$ )、バリウム( $^{140}\text{Ba}$ )、ストロンチウム( $^{90}\text{Sr}$ )が寄与が大きく、また大気に出るその他の核種ではトリチウム、炭素が主要なものである。液体放出物ではセシウム、コバルト、マンガン( $^{54}\text{Mn}$ )、ヨウ素( $^{131}\text{I}$ )が重要である。

使用済核燃料の再処理及び廃棄物の処理処分では上述の核種に加えてプルトニウム、アメリシウム、キュリウムなどの長寿命の $\alpha$ 線放出超ウラン核種やルテニウム( $^{106}\text{Ru}$ )、及びテクネチウム( $^{99}\text{Tc}$ )、ヨウ素( $^{129}\text{I}$ )などの長半減期の核種が問題となる。

ウランの採鉱から発電、再処理、廃棄物処理処分に至る核燃料サイクル全体を通じて公衆が受ける線量はどのくらいになるであろうか。電力1GW・年(100kW・年)発電当たりで100年あるいは1万年にわたって受けることになる線量は表1の通りである。

表1 電力生産量 100kW・年あたりで規格化した原子力発電による公衆の集団実効線量当量預託(人・シーベルト)およびその時間積分値推定値

年	燃料サイクル運転製 錬廃石および廃棄物 の処分は含まない				高レベル廃 棄物処分
	局地的および地域的	地球的規模	製錬廃石		
10 <sup>2</sup>	6	12	< 3	0	
10 <sup>4</sup>	6	70	< 500	0	

個人が受ける年線量としては1960年では自然放射線の0.0001%、1980年では0.01%と見積られる。通常、原子力施設周辺に住む人々が受ける局地的線量は自



然放射線の1%～数%の範囲である。日本では軽水炉発電所からの周辺公衆への線量は目やすとして年5ミリレム以下とすることとなっている。

原子力発電の比率が増し、商業規模の再処理施設が稼働し、また廃棄物の処理処分が進めば、核燃料サイクルから受ける線量も次第に増加することになる。原子力発電が現在の規模で、且つ現在の線量低減技術のままで500年間行われると仮定すると、公衆全体の受ける線量（年集団実効線量当量）は自然放射線から受ける線量の1%程度に達すると推定される。

表2 原子炉から大気中に放出された希ガスからの生殖腺線量

原子炉のタイプ	単位放出量当りの線量 ( $10^{-5}$ rad $Ci^{-1}$ )				単位放出量当りの集団線量 ( $10^{-3}$ man rad $Ci^{-1}$ )		
	1 km	10 km	100 km	1 000 km	1-10 km	10-100 km	100-1 000 km
BWR	44	2.0	0.015	0.00012	0.16	0.29	0.041
PWR	5.7	0.26	0.0079	0.00027	0.020	0.070	0.059

表3 原子炉からの大気中放出物中の粒子による局地集団線量預託

規格化された 放出放射能 (MW(e)y 当りのCi)	単位発電量当りの集団線量 (MW(e)y当りのman rad)				規格化された 放出放射能 (MW(e)y 当りのCi)	単位発電量当りの集団線量 (MW(e)y当りのman rad)			
	全身	肺 (全体)	骨髄	骨内膜 細胞		全身	肺 (全体)	骨髄	骨内膜 細胞
<b>PWR</b>					<b>BWR</b>				
$^{137}Cs$ $2.1 \times 10^{-4}$	$1.4 \times 10^{-3}$	$0.1 \times 10^{-4}$	$0.1 \times 10^{-4}$		$^{60}Co$ $1.0 \times 10^{-4}$	$8.0 \times 10^{-3}$	$1.9 \times 10^{-4}$	$0.08 \times 10^{-4}$	
$^{60}Co$ $1.5 \times 10^{-3}$	$1.2 \times 10^{-3}$	$2.9 \times 10^{-3}$	$0.1 \times 10^{-3}$		$^{137}Cs$ $2.3 \times 10^{-3}$	$1.2 \times 10^{-3}$	$0.02 \times 10^{-4}$	$0.02 \times 10^{-4}$	
$^{137}Cs$ $1.4 \times 10^{-3}$	$0.7 \times 10^{-3}$	$0.1 \times 10^{-3}$	$0.1 \times 10^{-3}$		$^{137}Cs$ $1.7 \times 10^{-3}$	$1.1 \times 10^{-3}$	$0.01 \times 10^{-4}$	$0.09 \times 10^{-4}$	
$^{60}Co$ $1.6 \times 10^{-3}$	$0.02 \times 10^{-3}$	$0.1 \times 10^{-3}$	$0.08 \times 10^{-4}$		$^{140}Ba$ $3.9 \times 10^{-4}$	$0.2 \times 10^{-3}$	$0.04 \times 10^{-4}$	$0.02 \times 10^{-4}$	
$^{140}Ba$ $3.2 \times 10^{-3}$	$0.02 \times 10^{-3}$	$0.03 \times 10^{-3}$	$0.02 \times 10^{-3}$		$^{60}Co$ $1.8 \times 10^{-3}$	$0.02 \times 10^{-3}$	$0.02 \times 10^{-4}$	$0.09 \times 10^{-4}$	
$^{90}Sr$ $1.4 \times 10^{-3}$		$0.04 \times 10^{-3}$	$1.4 \times 10^{-3}$	$2.0 \times 10^{-4}$	$^{90}Sr$ $5.0 \times 10^{-4}$		$0.02 \times 10^{-3}$	$5.1 \times 10^{-4}$	$7.0 \times 10^{-4}$
$^{90}Sr$ $6.0 \times 10^{-3}$		$0.06 \times 10^{-3}$	$0.05 \times 10^{-4}$		$^{90}Sr$ $3.3 \times 10^{-4}$		$0.03 \times 10^{-3}$	$0.3 \times 10^{-4}$	
合計	$3 \times 10^{-3}$	$3 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-4}$	合計	$1 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}$	$7 \times 10^{-4}$

表4 原子炉からの液体放出物中のトリチウム以外の放射性核種による集団線量

規格化された放出放射能 (MW(e)当りのCi)		規格化された集団線量 (MW(e)当りのman rad)							
		海水への放出				淡水への放出			
		全身	大腸下部	骨	甲状腺	全身	大腸下部	骨	甲状腺
<i>PWR</i>									
<sup>137</sup> Cs	0.002	1.1 10 <sup>-3</sup>				4.4 10 <sup>-3</sup>			
<sup>134</sup> Cs	0.001	0.5 10 <sup>-3</sup>				1.4 10 <sup>-3</sup>			
<sup>60</sup> Co	0.0004	0.06 10 <sup>-3</sup>	4.4 10 <sup>-3</sup>			0.2 10 <sup>-3</sup>	1.6 10 <sup>-3</sup>		
<sup>54</sup> Mn	0.0001	0.02 10 <sup>-3</sup>	2.2 10 <sup>-3</sup>			0.08 10 <sup>-3</sup>	1.6 10 <sup>-3</sup>		
<sup>144</sup> Ce	0.00008	0.07 10 <sup>-3</sup>	0.07 10 <sup>-3</sup>			0.08 10 <sup>-3</sup>	0.2 10 <sup>-3</sup>		
<sup>51</sup> Cr	0.0002	0.01 10 <sup>-3</sup>	0.01 10 <sup>-3</sup>			0.01 10 <sup>-3</sup>	0.03 10 <sup>-3</sup>		
<sup>90</sup> Sr	0.000002			3.2 10 <sup>-7</sup>				6.0 10 <sup>-3</sup>	
<sup>131</sup> I	0.002				1.3 10 <sup>-3</sup>				2.2 10 <sup>-3</sup>
合計		2 10 <sup>-3</sup>	7 10 <sup>-3</sup>	3 10 <sup>-3</sup>	1 10 <sup>-3</sup>	6 10 <sup>-3</sup>	2 10 <sup>-3</sup>	6 10 <sup>-3</sup>	2 10 <sup>-3</sup>
<i>BWR</i>									
<sup>137</sup> Cs	0.025	1.4 10 <sup>-3</sup>				5.5 10 <sup>-3</sup>			
<sup>134</sup> Cs	0.017	0.8 10 <sup>-3</sup>				2.4 10 <sup>-3</sup>			
<sup>60</sup> Co	0.006	0.1 10 <sup>-3</sup>	6.6 10 <sup>-3</sup>			0.3 10 <sup>-3</sup>	2.4 10 <sup>-3</sup>		
<sup>54</sup> Mn	0.002	0.04 10 <sup>-3</sup>	4.4 10 <sup>-3</sup>			0.02 10 <sup>-3</sup>	0.3 10 <sup>-3</sup>		
<sup>51</sup> Cr	0.0006	0.02 10 <sup>-3</sup>	0.03 10 <sup>-3</sup>			0.04 10 <sup>-3</sup>	0.08 10 <sup>-3</sup>		
<sup>90</sup> Sr	0.0001			1.6 10 <sup>-7</sup>				3.0 10 <sup>-3</sup>	
<sup>89</sup> Sr	0.0008			0.2 10 <sup>-7</sup>				0.07 10 <sup>-3</sup>	
<sup>131</sup> I	0.004				2.7 10 <sup>-3</sup>				4.4 10 <sup>-3</sup>
合計		2 10 <sup>-3</sup>	1 10 <sup>-3</sup>	2 10 <sup>-3</sup>	3 10 <sup>-3</sup>	8 10 <sup>-3</sup>	3 10 <sup>-3</sup>	3 10 <sup>-3</sup>	4 10 <sup>-3</sup>

(国連科学委員会 1977年報告書より引用)

### 3. 一般商品による被曝

人々が普段使用したり、あるいは近づく機会があり、放射線を出している一般に市販されている物品がいくつかある。このなかには放射線(能)の性質を積極的に利用しているものと、放射線(能)そのものを利用しているのではないが、その物品の機能や材質が原因で放射線が心ならずも、出てきてしまうものがある。

放射線(能)の性質を積極的に利用したもので代表的なものは放射性夜光塗料で、時計などの文字盤に用いられる。放射性核種としてはラジウム(<sup>226</sup>Ra)、プロメシウム(<sup>147</sup>Pm)、トリチウム(<sup>3</sup>H)が使われている。夜光時計による線量は英国では1984年現在で平均約 1μSv(0.1ミリレム)と見積られている。近年注目を要するのはアメリシウム(<sup>241</sup>Am) やクリプトン(<sup>85</sup>Kr)を用いた煙探知器である。ホー

ルなどでは火災防止のために煙探知器の設置が義務づけられているために数が増えてきており、設置された正常の状態では特に被曝の原因とはならないが、建物の建て換えや改装で取りはずされた時に正しく処置されない可能性もあり、潜在的被曝源であるといえる。特殊なものとしてはストロンチウム( $^{90}\text{Sr}$ )やプルトニウム( $^{239}\text{Pu}$ )を用いた心臓のペースメーカーがある。

もっと積極的に放射線(能)を出すことを売り物にした商品もある。これは現在のところ、日本にしかみられぬものであるが、家庭、あるいは人工ラドン温泉などの特殊な浴場用のラドン発生器である。通常は天然トリウムを高濃度に含む砂や岩を加工したものでラドンよりはむしろトロンを発生するものが多い。線量としては建材や大地から放出されるラドン・トロンと大して変わらぬ程度である。

意図しないで放射線を出しているものとしてはカラーテレビやパソコンのディスプレイ、天然のウランやトリウムを含んだ陶器やセラミックがある。カラーテレビから出る極微量のX線による線量は英国で平均  $3\mu\text{Sv}$  (0.0003ミリレム)程度と見積られている。日本の最近の製品から出るX線は殆ど無視できる程度に過ぎない。放射性物質を用いた一般商品はそれが廃棄された時どうなるかが、平均線量としては少なくとも局部的に高くなることも考えられるので、むしろ問題になるかもしれない。表5に放射性核種を含んだ一般商品の一覧を示す。

#### 4. 人間活動によって増加する自然放射能

石炭はカリウム( $^{40}\text{K}$ )、ウラン( $^{235}\text{U}$ )、ラジウム( $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{228}\text{Ra}$ )、トリウム( $^{232}\text{Th}$ 、 $^{230}\text{Th}$ )などの天然の放射性核種を含んでいる。これらの核種相互の割合や濃度は様々である。石炭火力発電で石炭が燃えると燃焼生成物としてガスと粒子(フライアッシュのエアロゾル)が大気中に出されるとともに、燃えかす(フライアッシュとスラグ)が残る。

このガスとエアロゾル、及びフライアッシュとスラグの中には前述の放射性核種、及びラドンなどそれらに由来するものが濃縮されて含まれてくる。日本の石炭火力発電ではエアロゾルは殆ど環境中に出ないので発電所周辺で問題になることはないが、希ガスのラドンの寄与を考え、また日本全体やアジアなどの広い地域、あるいは世界的規模で考えるとある程度の線量に達する。英国における値は石炭火力発電量 1GW年あたり約5人・Sv(500人・レム)と算定されている。これは石炭として  $4 \times 10^6$  トンに当り、英国全体での線量は 120人・Sv( $1.2 \times 10^4$ 人・レム)、1人当りでは年間  $4\mu\text{Sv}$ (0.4ミリレム)となる。世界全体での平均は1982年国連科学委員会報告書によると、1GW当り2人Sv(200人・レム)程度と評価されている。

表5 放射性核種を含む一般商品（国連科学委員会1977年報告書より引用）

製品	核種	1個あたりの放射能または質量（近似値の中）	製品	核種	1個あたりの放射能または質量（近似値の中）	
<b>1. 放射性発光製品</b>			<b>(f) ガス放電灯（水銀灯）</b>			
<b>(a) 塗料またはプラスチックに含まれた放射性核種</b>			(g) 真空管	天然 Th	6 nCi	
(1) 時計	$^3\text{H}$ $^{147}\text{Pm}$ $^{226}\text{Ra}$	1-25 mCi 65-200 $\mu\text{Ci}$ 0.1-3 $\mu\text{Ci}$	(h) 電球		0.8-1.2 wt%	
(2) 航空気計器		< 10 Ci < 0.3 Ci < 20 $\mu\text{Ci}$	(i) 紫外ランプ		50 mg	
(3) 羅針盤		$^3\text{H}$ $^{147}\text{Pm}$	5-50 mCi 10 $\mu\text{Ci}$	(j) グローランプ	2 g	
(4) 計器ダイヤルとマーカー	$^3\text{H}$	25 mCi	(k) 放電管	$^3\text{H}$	0.01 mCi	
(5) 計器指示器	$^{147}\text{Pm}$	0.75 Ci	(l) 高圧保護機器	$^{147}\text{Pm}$ $^{60}\text{Co}$ $^{63}\text{Ni}$ $^{137}\text{Cs}$	30 $\mu\text{Ci}$ 5 $\mu\text{Ci}$ 5 $\mu\text{Ci}$ 5 $\mu\text{Ci}$	
(6) サーモスタットとダイヤル	$^3\text{H}$	25 mCi	(m) 低圧プューズ		$^{147}\text{Pm}$	3 $\mu\text{Ci}$
(7) 自動車旋錠部照明	$^3\text{H}$ $^{147}\text{Pm}$	2-15 mCi 2 mCi	(n) 静電防止器		$^{147}\text{Pm}$	3 $\mu\text{Ci}$
(8) 自動車シフトレバー		$^3\text{H}$	25 mCi	(a) 放電棒	$^{226}\text{Ra}$ $^{241}\text{Am}$	0.2-1 mCi 0.06-0.7 mCi
(9) 押ボタン	$^3\text{H}$	0.3 mCi	(b) 計器内静電気防止器	$^{226}\text{Ra}$		10 $\mu\text{Ci}$
(10) 速度計	$^{147}\text{Pm}$	0.1 mCi	(c) 静電防止ブラシ	$^{210}\text{Po}$ $^{241}\text{Am}$	0.05-0.5 mCi 2-25 $\mu\text{Ci}$	
(11) 水中時計	$^3\text{H}$	0.3 mCi	(d) 精密天秤用静電気防止器		$^3\text{H}$	1 mCi
(12) 魚糸用照明	$^{14}\text{C}$	3-4 mCi	<b>4. 煙探知器</b>			
(13) アルコールレベル	$^3\text{H}$	5-25 mCi	煙、火災探知器	$^{241}\text{Am}$ $^{226}\text{Ra}$ $^{210}\text{Po}$ 天然または劣化 U $^{239}\text{Pu}$	1-100 $\mu\text{Ci}$ 0.01-15 $\mu\text{Ci}$ 7 mCi 7.5 mg 20 $\mu\text{Ci}$	
<b>(b) 封入管内の放射性核種</b>			<b>5. ウラニウムまたはトリウムを含んだセラミック、ガラス器、合金等</b>			
(1) 時計	$^3\text{H}$	0.2-0.4 Ci	(a) 陶器		天然 U	$10^{-3}$ $\mu\text{Ci cm}^{-2}$ surface
(2) 羅針盤		0.2-0.4 Ci	(b) セラミック		天然 Th 天然または劣化 U	20 wt% (つや裏)
(3) 船舶用羅針盤		0.25 Ci	(c) ガラス器	天然 Th 天然または劣化 U		10 wt%
(4) 船舶用計器		0.3 Ci	(d) 光学レンズ		天然 Th	< 30 wt%
(5) マーカー	$^{86}\text{Kr}$	0.3 Ci	(e) ランプマントル	天然 Th	< 0.5 g	
(6) 器材指示	$^3\text{H}$ $^{86}\text{Kr}$	2 Ci 0.25 Ci	(f) マグネシウムトリウム合金		< 4 wt%	
(7) 出口表示		15 Ci	(g) 希土類を含んだ製品		天然 Th 天然または劣化 U	0.25 wt%
(8) 大型表示	30 Ci	アーク炭素棒、ライター	0.25 wt%			
(9) 小型出口の表示	2 Ci	の石、冶金塩化物、精密	1-2 wt%			
(10) 階段マーカー	2 Ci	レンズ、ブラウン管、エ				
(11) アイ照明	2 Ci	レクトロニクス用セラミ				
(12) 公衆電話ダイヤル	0.5 Ci	ック、マイクロウェーブ				
(13) 照明スイッチマーカー	0.2 Ci	部品				
(14) 押ボタン	10 mCi					
(15) 小型光源	20 mCi					
<b>2. 電子ならびに電気装置</b>			(h) 熔接棒	天然 Th	1-2 wt%	
(a) 電子管	$^3\text{H}$ $^{63}\text{Ni}$ $^{147}\text{Pm}$ $^{86}\text{Kr}$ $^{60}\text{Co}$ $^{226}\text{Ra}$ $^{137}\text{Cs}$	1-10 <sup>4</sup> $\mu\text{Ci}$ 1-5 $\mu\text{Ci}$ 1 $\mu\text{Ci}$ 1-5 $\mu\text{Ci}$ 0.15-5 $\mu\text{Ci}$ 0.1 $\mu\text{Ci}$ 5 $\mu\text{Ci}$	<b>6. 科学計測器</b>			
(b) グロー放電管		$^{86}\text{Kr}$	0.01-10 $\mu\text{Ci}$	(a) ガスクロマトグラフ	$^3\text{H}$ $^{63}\text{Ni}$	250 mCi 12 mCi
(c) 高圧放電管		$^{147}\text{Pm}$	3 $\mu\text{Ci}$	(b) 静電気メータ		$^{241}\text{Am}$
(d) 冷陰極管		$^3\text{H}$	90 $\mu\text{Ci}$	(c) 自動販売機用硬貨	$^{14}\text{C}$	2 $\mu\text{Ci}$
(e) 蛍光灯点灯管		$^{226}\text{Ra}$	1 $\mu\text{Ci}$	(d) 銀行小切手	$^{14}\text{C}$	0.01 $\mu\text{Ci}$

天然のリン酸鉱には高濃度のウラン系列の自然放射性核種 ( $^{238}\text{U}$ など) が含まれており、リン鉱石の採掘と処理に伴う廃棄物、リン酸肥料、副産物としての石膏にそれらの放射性核種が入ってくる。

これらのリン鉱石による線量はリン鉱石の原石1トン当りでリン酸肥料によるものが  $65 \times 10^{-6}$  人・Sv ( $65 \times 10^{-4}$  人・レム)、石膏によるものが  $33 \times 10^{-6}$  人・Sv (3.3 人・レム) 程度である。石膏による線量が高いのは石膏ボードとして広く建材に使用されるためである。

### 5. 人工放射線から受ける線量のまとめ (医療被曝を除く)

個人が人工放射線源から受ける年平均線量を算定した英国の例を表6に示す。

表6

線源	英国における個人平均線量	
	$\mu\text{Sv}$	(ミリレム)
核実験	10	(1)
原子力発電及び核燃料サイクル	2	(0.2)
一般商品		
夜光時計	1	(0.1)
煙探知器	0.04	(0.004)
カラーテレビなど	0.03	(0.003)
石炭火力	4	(0.4)
その他 (飛行、建材など)	6	(0.6)
医療	250	(25)
職業被曝	9	(0.9)

世界的平均として様々な放射線源から受ける線量を自然放射線に対する相対的値として経年的に比較してみると図2のようになる。

現在のところ私達が受けている線量は自然放射線が最大で、次いで放射線とラジオアイソトープの医学利用が大きく、一桁下がって核実験、そして放射能を含む一般商品による被曝があり、更に一桁以上下がって原子力発電による線量があることになる。

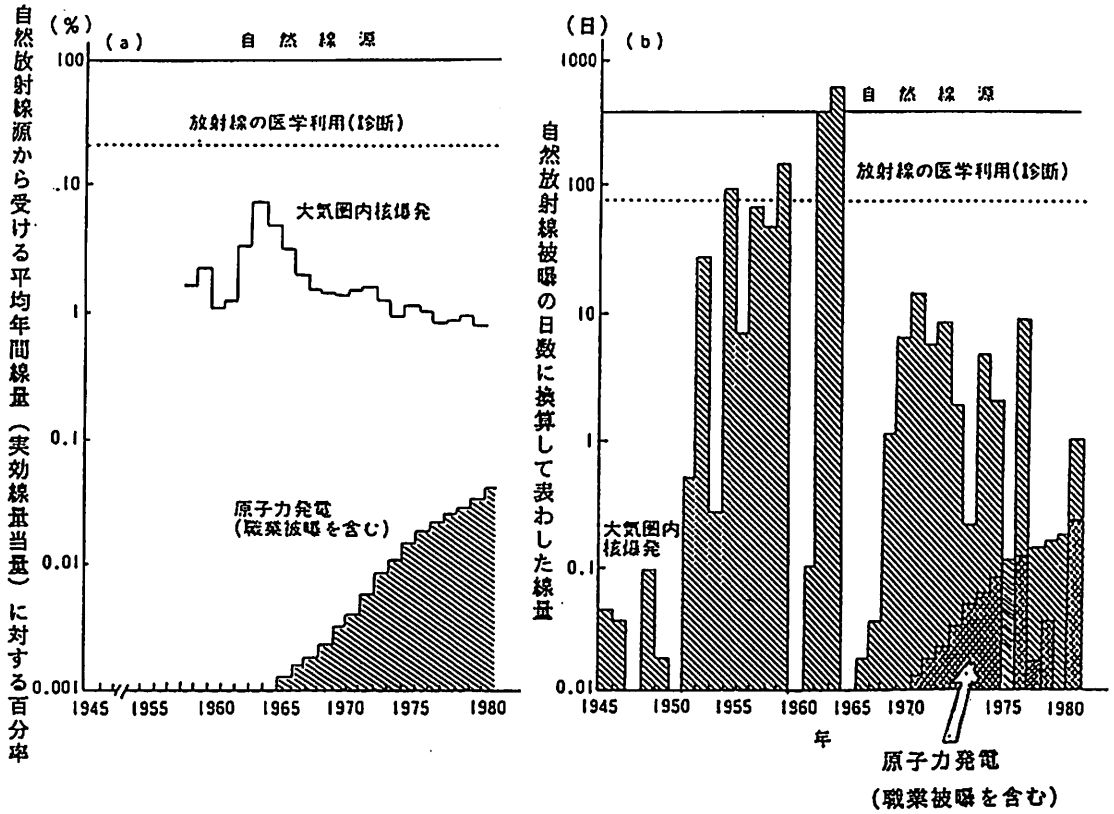


図2 種々の放射線源から受ける線量の経年変化。

- (a): 自然放射線源から受ける平均被曝量に対する百分率で表した年間線量 (実効線量当量)
- (b): 自然放射線源から受ける被曝と等価な被曝量になる日数で表した、1年間の行為当りの預託線量 (集団実効線量当量預託)

### ( 3 ) 文明よ 驕るなかれ

過酷な環境は生存そのものを脅かす。砂漠での干ばつは決定的な打撃を植生に与える。第三世界の国々では毎日 4万人に及ぶ乳幼児が餓死していると言う。しばしば干ばつに見舞われる砂漠の民の中で、十五世紀以来一人の聖者の教えに従い過酷な環境に耐えた種族の英知が今、生態学者達により調査され広く注目を集めている。

《New Scientist》17 December 1988 の Michael Tobias のレポートから……

今年(1988)初めに社会生態学者が干ばつに悩むインドのラジャスタン砂漠に住むビシュノイ族に伝承される生活習慣から貴重なヒントを得るに到った。

ラジャスタンの北方に位置する凡そ 500平方キロのタール砂漠、ここには 300万のヒンズー、シク、ムスリム、ビシュノイの各種族と共に 900万頭の牛、それに多くの羊、山羊、水牛、らくだ、が住む。この地方の年間の雨量は通常 25-60cm であるが、ここ 5年間は平均 1 cm で西インド最悪の記録である。この干ばつはまだ続くと言われ、夏期のモンスーンに依る雨がないと8000万人近い人々が穀類の不作による深刻な影響を受けると言われる。

ビシュノイは動植物を大切にし、食物に飛び込んだ虫を誤って呑み込むのを避けるため暗くなってからは食事をしないと言う程である。また、ケジャーレと呼ぶシネラリア属の木を神聖なものとし、蛋白質に富んだその葉を牛の飼料とし飢饉の時でも乱獲を避け、一定量以上の葉を刈ることがない。食い荒して草むらを裸にするとする理由から羊や山羊を飼わず、らくだの食料漁りをも注意深く監視する。牧畜民として百家族程の小社会を作って定住し、一人当りの牛数を四頭程度に止めているのも母なる大地が許容する限界と調和している。食料は主として家畜から得られるミルク、ヨーグルト、チーズに依存している。

100万人程のビシュノイの社会は 1730年に森林の伐採に來た他所者から緑を守るために、子供を含む 363人の村人たちが命を落とし、その後にも野生動物を密猟者から守り緑を守るために多くの人々が死んでいる。1988年 1月インド政府はビシュノイの住む地区を最初の国の環境記念地区として指定した。政府の褒賞は環境保全に身を挺した村人の死を記念すると共に、この様な生存の知恵とも言える

理念を代々伝承し、させて来た教育努力に対してのものであり、彼らのこのような生活習慣は他の地区にも応用が出来るからであった。牛を神聖視しその他の動物にも魂の再来を信じるインド社会にあってもこのような動植物に対する殉教的習俗は前例がないと言う。

インドは毎年 150万ヘクタールの森林を失っている。中北部アフリカのザヘルで燃料としての木の乱伐や羊、山羊、らくだに依る食い荒しが不毛化をもたらしている様に、ラジャスタンの砂漠化進行は大きな問題となっており、ビシュノイは生態学的見地からも貴重なモデルとして見習うに値するであろう。生態系の一員として植生との共存を図るこの様な習俗は環境問題を考える場合の原点と言えよう。

冒頭にも紹介したがビシュノイの英知は十五世紀に始まる。1452年ラジャスタニ村に生まれたヤンボイエ(Jamboje)は、ビシュノイの生活様式に生態学の原則に繋がる一連の規範を説いた。彼はビシュノイの聖者として崇められるに到り、人々は彼をヒンズーの神 Vishnu の後えいと信じた。その教典には砂漠に於ける動植物と環境の関係について数多の記述がなされ、生態系の保護こそが生き残りの知恵であると説いている。以来 500年に亙りビシュノイは信仰の基礎としてこの生活規範に従って来たのである。

似たような習俗を持つ種族に、タンザニアのハドザ、北ボリビアのクォロヤハ西イランのピミン・クスクスミンの三つの部族がいると言う。

.....

米誌「タイム」は毎年、その表紙に「年の人物」を取り上げるが今年地球が「年の惑星」として登場し、その環境を破壊しつつある要因として、1)森林の消滅、2)温暖化、3)廃棄物、4)人口過剰、その他海洋汚染、オゾン層の破壊等地球規模での解決を迫られている重要諸事項について特集している。問題点の殆どが主として産業革命後のいわゆる先進諸国の行動様式に起因していることを考えると、ハイテクに支えられる快適な生活の裏に潜む文明の驕りについて謙虚な反省が必要であろう。

(Yo)



## (4) お知らせ

### イメリタスクラブ

京都百万遍の北に新しく建った京都バストゥール研究所の5階に、世界で最初のイメリタスクラブが誕生しました。イメリタス、Emeritusというのは名誉教授、名誉院長等というときの名誉に相当する称号のことです。そのクラブというのは何でしょうか。クラブの設立の趣旨を次に会則より引用します。

#### 《 設立の趣旨 》

我が国の平均寿命は年毎に延び、今では世界最長寿命国の一つに入っている。大学教授や研究員についても他の職場と同様で、定年退職後もなお健康に恵まれ、研究意欲の旺盛な人が大部分である。第二の人生を私立大学などで教育に当たるのも一つであるが、折角の公職からの退職を契機として、新しい形でその健康と研究意欲を社会に役立てる組織を作ろうというのが、このイメリタスクラブである。

すなわち、名誉教授またはこれに相当する人が、退職後、従来の所属・専門分野にとらわれることなく協同し、学問の発展に盡すと共に、今までに蓄積した学識を社会に還元するための場を作ろうというのである。また、退職後も研究室を維持し、研究を発展させる意欲のある名誉教授に在職中に負けない研究事務機能を提供することにより、その人の持っている学識経験を社会に役立ててもらおうということでもある。

クラブ組織であることにより、内部では自由にグループが作られ、官庁、大学、企業などとも必要に応じた協力体制を作ることが出来る。それらを通じてこのクラブがどのように発展していくか、それはクラブ会員の今後の活動と共に、これに対し社会がどのように応じるかにもよるであろう。長寿社会における学識経験者の新しい使命として社会にも役立ち、多くの指示を得て発展していくことを期待している。

\* \* \* \* \*

私は1984年4月1日付けで国立京都病院長を最後に公務員生活に別れを告げましたが、それから1カ月後の5月に河原町丸太町にささやかなオフィスを開設しました。よくそれは何をやる所だと尋ねられたものですが、なんとなく研究コンサルタントのようなことだと答えていましたが、自分でもそれほど明確なイメージがあった訳ではありません。段々と月日が経つ内に活動のパターンも決まり、そこへ Current Contents の1987年 5月18日号の News 欄にあった Dr. Appley の "A haven for the emeritus: recycling wisdom" という記事を読んだのが決め手になり、新しく広いオフィスに移ったのを機会に個人の菅原研究室から任意団体で理事会組織を持つイメリタスクラブに発展させた次第です。

会 長：菅原 努

副会長：岡本 耕造、岸田 綱太郎

理 事：（A B C 順）波多野 博行、鍵谷 勤、門田 敏量、岸田 綱太郎、  
万井 正人、野津 敬一、岡本 耕造、斎藤 誠次、菅原 努、  
寺松 孝、鳥塚 莞爾、

クラブ正会員：（A B C 順）

波多野 博行、鍵谷 勤、岸田 綱太郎、万井 正人、野津 敬一、  
岡本 耕造、菅原 努、寺松 孝、鳥塚 莞爾、

### 《 当 面 の 活 動 》

- ◇ 昭和63年11月1日に京都バスターール研究所5Fにクラブとしての施設設備を開設した。
- ◇ 昭和64年1月1日現在で、クラブ事務局の他、A会員4名のオフィス、維持会員である2財団、1研究協会の事務局が設置されている。
- ◇ また理事会内に企画委員会を儲け、1989年4月をめどに研究部会の設置、教室の開設などの準備が進められている。

（案）ハイパーサーミア研究部会

健康教室：長寿の科学

京都MD懇話会

新開発食品研究部会

解析技術交流セミナー

なお、本誌”環境と健康”は今まで財団法人体質研究会が編集・発行して来たが、Vol.2からはイメリタスクラブのうち関係のあるものがバックアップしてその内容を充実し、クラブの活動の一環ともなるようにして行きたいと考えています。従って本誌の購読者はクラブの準会員に相当するものとして取り扱いたいと思います。そのなかにより積極的に正会員あるいは維持会員としてご協力頂ける方があれば幸いです。この新しいクラブが単なる夢で終わるか、着実に発展し、日本国内はもとより世界に網目を広げることが出来るかは、皆様のご理解とご協力によるところが大きいと思いますので、どうぞよろしくお願いします。クラブとしてもできるだけ社会に役立つ活動を積極的に行いたいと思っています。そのためのご意見もどうぞご遠慮なくお寄せ下さい。

なお会費その他は理事会で一応次の如く決めました。

### 《 会費その他 》

正会員：名誉教授またはこれに準じるもの

A会員 年10万円 クラブ内にオフィスを持つもの

B会員 年1万円 オフィスを持たずにクラブを利用するもの

維持会員：本会の目的に賛同し、本会の事業の維持に賛助協力する個人または法人（任意団体を含む）

年会費 一口 20万円

研究、調査の委託、指導などについては事務局へお問い合わせ下さい。

イメリタスクラブについてのお問い合わせは下記にお願いします。  
ご希望により会則、案内書などを差し上げます。

イメリタスクラブ事務局

〒606 京都市左京区田中門前町103-5

京都パストゥール研究所5F

Tel (075)702-1141

Fax (075)702-2141

\*\*\*\*\*  
\* 技術と経験に基づいた \*  
\* 精度の高い各種検査を行います \*  
\*\*\*\*\*

**【臨床検査】**

血清学的、血液学的、病理学的、寄生虫学的、  
生化学的、微生物学的、生理学的…各検査

**【公害検査】**

水質、土壌、食品、底質、汚泥、体液、大気…

**【眼球銀行】**

財団法人 体質研究会  
理事長 菅原 努

**血液研究所**

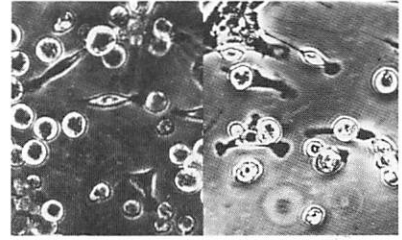
〒606 京都市左京区一乗寺大新開町26  
TEL (075) 781 - 7118 (代)

環境と健康 - リスク評価と健康増進の科学 -  
Vol.2 No.1 (隔月刊) 1989年 1月30日発行

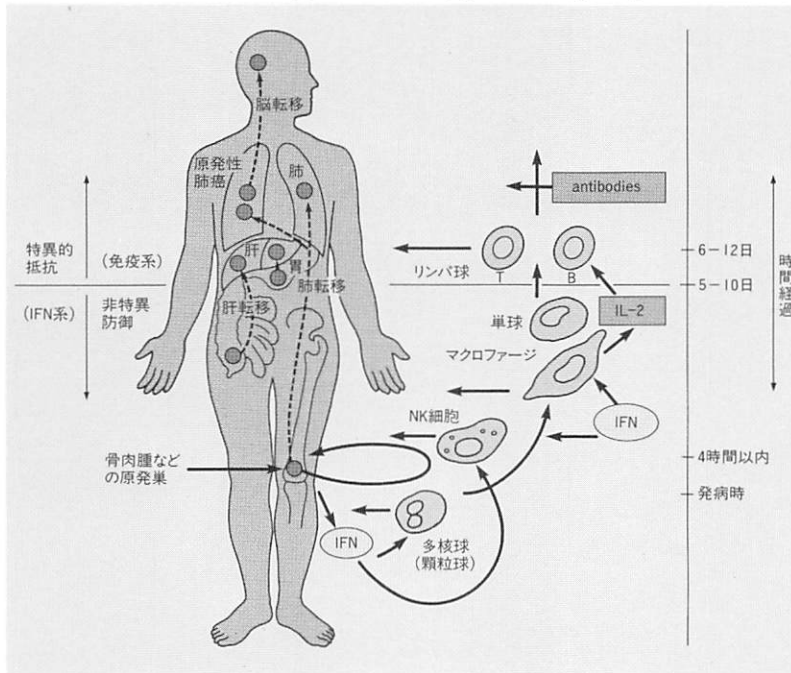
編集・発行 財団法人 体質研究会  
編集人 菅原 努  
発行所 〒606 京都市左京区田中門前町103-5  
パストゥールビル5F  
財団法人体質研究会  
TEL (075)702-1141 FAX (075)702-2141

# ボンナリネ

## BON-NARINE



### インターフェロン産生能を高めるボンナリネ



発病(腫瘍・ウイルス病など)後時間経過と生体内防御機構に活躍する諸細胞と諸因子との関連性  
 出典：岸田 綱太郎：Interferon、日本医師会雑誌93-8、付録、臨床医のための免疫科学

人間の体には元来、できたばかりの癌やウイルス感染症といち早く戦う生まれながらの仕組みが備わっていることが判ってきました。この仕組みが正常に働いて、癌、ウイルス感染症、成人病などを自然に治せた人は幸運ですが、この仕組みが正常に働かない場合に癌などが進行して行くのです。

この仕組みによって造り出され、種々の病気と戦うのがインターフェロン(IFN)という物質です。しかしこのインターフェロンという物質を体の中で造り出す能力には個人差があります。ボンナリネはこの能力を高めます。



研究指導 財団法人 京都パストゥール研究所  
 発売元 財団法人 体質研究会

(財)京都パストゥール研究所では「ナリネ菌」と健康の関わりを解明する研究が進められています。  
 (財)体質研究会では、健康増進を目指し、種々の研究活動を行っています。

財団法人 体質研究会  
Health Research Foundation