

# 環境と健康

リスク評価と健康増進の科学

Vol.1      No.5

September.

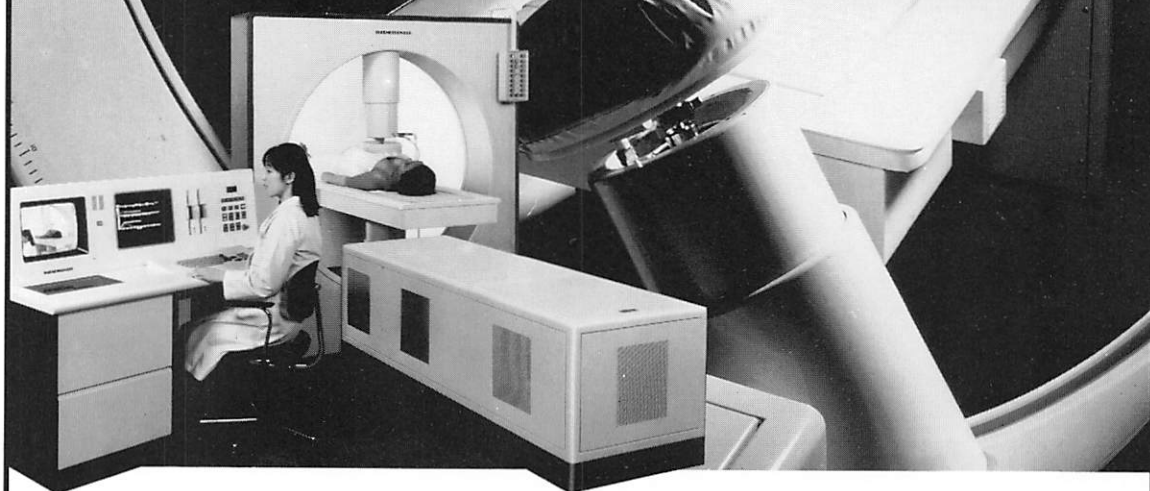
1988

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

科学技術庁長官賞受賞

# サーモトロン-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<sup>\*</sup>(Overlay 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. 1 No. 5 September, 1988

目 次

(1) 社会環境 - もう一つの環境	菅原 努	.....	1
(2) 連載講座：放射線リスク論			
まえがき - 講座を始めるに当たって -	菅原 努	.....	5
1. 放射線についてリスクとは	菅原 努	.....	7
2. リスクはどのようにして求めるか	松平 寛通	.....	14

# (1) 社会環境——もう一つの環境

菅原 努

環境というと普通は我々の住む周囲の山や野、街や空気、水、さらには騒音とか所謂、物質またはその働きとして認識されるものを意味している。これらも確かに我々の健康に重大な影響を及ぼしているが、もう一つの我々の健康に関係のある人々をとりまく環境—社会環境—のことを忘れてはならない。すなわち、我々は独りで生活をしている訳ではなく多くの人々と交渉を持ちながら社会を作っている。この社会環境が人の健康に相当な影響を及ぼしていることが明らかになりつつある。最近このような報告に接する機会があつて私自身もことの重大さに驚いた。そのいくつかをここに紹介する。今までは社会環境などは、精々近代社会での生活はストレスが強く、ストレスに弱い人達が心身症といわれるいろんな病気にかかり易いといった程度に考えられていたが、いろいろの社会環境が死亡率、場合によっては癌死亡率にまで関係していると知って愕然とした。公害対策の進んだ日本の社会では、今後この方がより重要になる可能性もある。これからの研究課題という意味を兼ねて問題提起をしておきたい。

ミシガン大学の J.S. House、K.R. Landis及び D. Umberson<sup>1)</sup> は今までの多くの研究をまとめて、図1、2のような関係を示した。人の社会との接触の程度—例えば友人の数、会う頻度、日曜日に教会へ行くか等々—を高低にランク付けし、それが年齢訂正死亡率と密接な関係があることを示した。夫々の線は夫々の報告をR.R. (相対危険率) とは社会的接触の最高の場合と最低の場合との死亡率の比を意味している。

図1 社会的接触の程度と死亡率 (男)

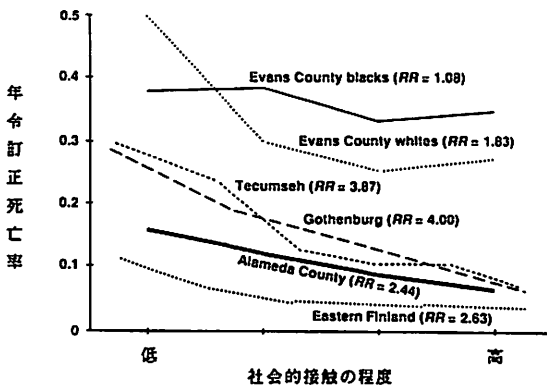


図2 社会的接触の程度と死亡率 (女)

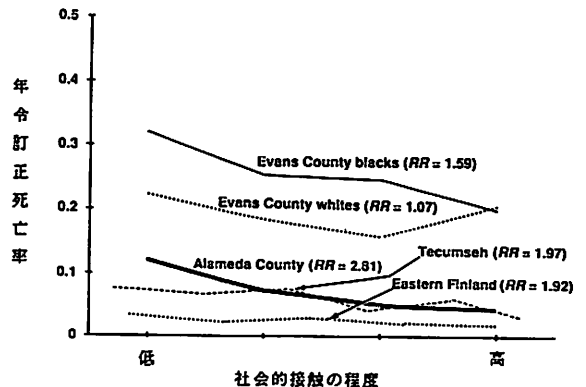
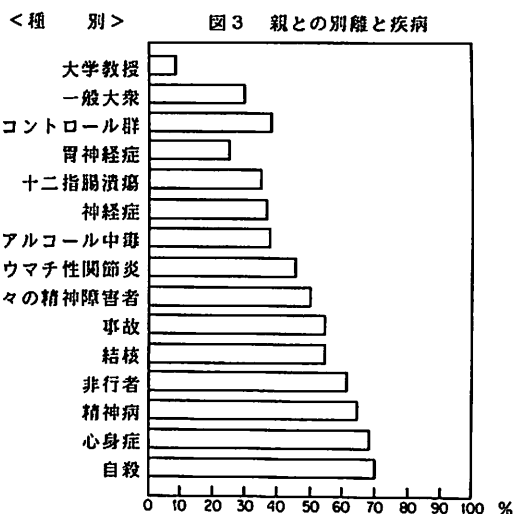


図1は男性の、図2は女性のデータである。調査の時期、対象の年齢、人種及び地域によって死亡率のレベルそのものは異なるが一般に孤立した者ほど交際の活発な者より死亡率が高いことが分る。また、社会的接触度の影響は男性の方が女性より著しい。女性ではR.R.が高々2程度であるのに、男性の場合報告によってはR.R.が4.0にも及ぶものがある。例えば結婚は健康にとって有利で、男やもめは女の未亡人よりはるかに死亡率が高い。女性は友人や親戚との交友で男性よりはるかに利益を得ている。

カリフォルニアのパロアルトに住む疫学者の L.A. Sagan<sup>2)</sup> は最近 The Health of Nations という本を書いてアメリカの健康問題、ことに最近の寿命延長競争での遅れを論じている。周知のように先進国では最近乳幼児の死亡率が著しく低下し、平均寿命も着々と伸びている。そのなかでアメリカは乳幼児死亡率では1950年には低い方から7番目であったのが、1960~64年では11番目、1970~74年で16番目、1982年には17番目に下がってしまった。平均寿命ではギリシャ、スペイン、イタリーについで18番目である。他方医療費は急激に伸び1950年には GNPの 4.4% (\$ 12.7 billion) であったのが1984年には 11% (\$ 392.7 billion) になっている。Saganはこれに対して社会環境の問題を大きく取り上げている。このなかから片親を失うことと、社会階層の影響の2つを紹介しよう。

アメリカでは1900年には子供が15才に達するまでに片親は失う者は24%もあったがその殆どは病気によるものであった。ところが1976年には死亡によるものは5%にすぎなくなったのに、離婚によるのが36%にも達している。図3はピッツバーグ大学の調査結果を示している。横軸は色々の病気の子供のうち片親を失ったものの割合(%)を示している。これには死別、別居、離婚などが含まれている。



何れにしても、いくつかの病気が片親を失ったものに多いことが分かる。離婚の子供の健康に対する影響は注目しなければならない。このほか子供の数が減ると共に乳幼児死亡率が低下する傾向があり、最近の産児数の低下が乳幼児死亡率の低下の大きな要因になっていると考えられる。

次に社会階層の影響については、未だに階層のはっきりしている英国で取られた階層別の死亡統計が重要な資料になる。ここで Class I というのは専門職、管理職などの最高クラスを、Class V は労働者、失業者などの最低クラスのことを指す。表1は全体としての死亡率を示したもので、たとえば1970~72年では、Class V のものは Class I のものより80%も死亡率が高いことを示している。最近のデータは入手出来ないが1980年でもこの差は拡がりこそすれ、狭まることはないと Sagan は判断している。

表1

時期	階層別死亡率 (England と Wales)					V/I
	男性・年齢 20~64才					
	I	II	III	IV	V	
1930-32	90	94	97	102	111	1.23
1949-53	98	86	101	94	118	1.20
1959-63	76	81	100	103	143	1.90
1970-72	77	87	103	114	137	1.80

これを死因別に見たものが表2である。

表2 標準死亡率 (SMR) 男性・年齢20~64才

死因	時期	社会階層					V/I
		I	II	III	IV	V	
悪性腫瘍	1921-23	80	92	99	97	123	1.54
	1930-32	83	92	99	102	115	1.39
	1949-53	94	86	104	95	113	1.20
	1970-72	75	80	97	110	150	2.00
結核	1921-23	49	81	95	97	137	2.80
	1930-32	61	70	100	104	125	2.05
	1949-53	58	63	102	95	143	2.47
	1970-72	75	80	97	110	150	2.00
肺炎	1921-23	85	84	90	97	150	1.76
	1930-32	71	80	91	109	139	1.96
	1949-53	53	64	92	105	150	2.83
	1970-72	88	91	110	108	111	1.26
気管支炎	1921-23	26	55	94	121	177	2.68
	1930-32	31	57	91	124	156	5.03
	1949-53	34	53	98	101	171	5.03
	1970-72	88	91	110	108	111	1.26
心疾患	1921-23	106	109	90	92	115	1.08
	1930-32	237	147	96	57	67	0.28
	1949-53	147	110	105	79	89	0.61
	1970-72	88	91	110	108	111	1.26
脳卒中 事故	1921-23	76	69	93	127	119	1.57
	1930-32	95	74	102	116	96	1.01
	1949-52	137	64	96	120	119	0.87
	1970-72	88	91	110	108	111	1.26

(註) W. Wilson; 脳卒中 R. Acheson; 心疾患(1970-72) J. Morris

結核や種々感染症だけでなく癌でも階層の影響が見られる。心疾患は以前には、却って Class I に多かったが、最近では反対になって来た。脳卒中も Class V に多く、これらは Class V での高血圧の増加と関係があるだろう。

これらの報告に対し、社会環境の健康影響が如何なる精神的あるいは身体的過程をへて発現されるのかについて明確な医学的証明がない、人との接触などは元々健康のすぐれないものが家にこもり勝ちになるので、これは原因と結果が反対である、などとの批判がないわけではない。しかし、Sagan は米国の現状を考えると運動不足とか栄養過剰ということもあろうが、何をおいても高い離婚率に示される家庭の崩壊こそ米国の健康破壊の主因ではないかと論じている。<sup>3)</sup>我々もそうならない前に良い社会環境を保つ努力を忘れないことが大切ではなかろうか。

以上見て来たように、社会的環境は人の健康に大きく影響している。すこやかな長寿を考える上での欠かせない観点として問題を提示しておく。

#### 文献

- 1) J.S. House, K.R. Landis, D. Umberson: Social relationships and health. *Science* 241, 540~545, 1988.
- 2) L.A. Sagan: *The Health of Nations. True Causes of Sickness and Well-being.* Basic Books, Inc., Publishers, New York, 1987.
- 3) L.A. Sagan: Family ties. *The Sciences* (Published by the N.Y. Academy of Sciences), March/April, pp.21~29, 1988.

## (2) 連載講座：放射線リスク論 - I -

まえがき - 講座を始めるに当たって -

菅 原 努

放射線という言葉は現在では広く使われており、一応分っている積りだという人が多いと思うが、放射線のリスクということになるとその本当の理解は余り期待出来ないのではないか。多分最も多いのは放射線は危険であるということだということであろう。ことにソ連の原発事故の報道などを読むと一層そのような印象を持たれるであろう。しかし、この講座ではそれをもっと違った意味に使っている。リスクとは英語のriskをそのままカナになおして表現しているが、直訳すると危険とか冒険というのが一般であるが、ここでの意味は危険率とか安全率とかいってもよいが、実はそのような価値判断をなるべく加えない発生率といったものなので、英語そのままにリスクと言うことにしたのである。上述の事故の場合でも我国での健康影響ということになるとリスクとして考えるべきことなのである。この説明だけでは多分よく分らないであろうが、この意味を理解し、その内容分って頂くために、連載・講座の形にまとめた。

放射線はこれを放置すれば人体にいろいろの障害を与えて危険である。しかし他面放射線そのものあるいは放射線を伴う現象がいろんな形で技術に取入れられ、現在の科学・技術に大きく貢献している。発電用の原子炉とか病院でのX線診断や放射線治療などのことは当然であるが、最近よく新聞紙上を賑わすがん遺伝子やその構造などの研究にも放射性同位元素（所謂アイソトープ）が極めて重要な役割をしている。むしろ逆に言えばアイソトープが自由に使えなければ、めざましいバイオテクノロジーの進歩はなかったであろう。とすれば放射線を人体に危害を加えることなく安全に使うということが必要になる。これが放射線防護の研究であり、それに基づいて実際の放射線管理の基準などが決められている。この管理の基準を決めるときに、一つの拠所として導入されたのがこの放射線のリスクである。

では、一体そのリスクはどうして求めるのか。そのためには一番必要なのはヒトについてのデータであるが、それを求める方法である放射線疫学というのはどういうものか。実験的なことも含めて、放射線を受けた本人に生じる身体的な影響、および子孫に生じる遺伝的な影響でリスクとして取り上げねばならないものにはどんなものがあるのかなどがまず必要であろう。



他方放射線そのものに注目すれば、ヒトは一体どんな放射線をどの位受けているのかが問題となる。いま我々が問題にしている放射線はそのうちのどれで、それは量的にはどんな位置にあるのかを考えねばならない。また我々は放射線以外にも職業上あるいは日常生活でも同様のリスクにさらされている。また放射線ではこのようにリスクとしてその防護を論じているが、一般に関心の高い公害物質などの環境要因ではどうなのか。同じ方法でリスクが求められているのかが問題となる。

また発電をするのにはいろいろの方法があるが、それをこのリスクで比較してみたらどうなるのか。この場合にはその選択には、リスク以外の社会的、地理的あるいは経済的なことも考慮しなければならないが、リスクで比較してみるのも問題を新しい観点から見るものとして参考になろう。他方急速な進歩を示している最近の医学生物学はこのリスクの問題にとってどのような貢献をしているのかも考えてみよう。

さて、こうして沢山のリスクを見て来たが、一体全体としてこのリスクをどこでどう使えばよいのかという疑問が残るであろう。例えば国際放射線防護委員会では放射線のリスクを一般産業のリスクと比較して、容認出来るとしている。ここではもっと広く現代社会のなかでの意義を論じてまとめとした。

私達放射線のリスクに関心を持つものは数年来グループを作って調査や検討を続けて来た。その結果を順次「放射線はどこまで危険か」（昭和57年 6月）、「被曝：日本人の生活と放射線」（昭和59年 8月）－共にマグブロス出版－として発表して来た。前者は昭和55年の米国の報告を中心として放射線リスクをまとめたものであり、後者は日本人の受けている放射線を広く見渡した報告書である。本講座はその後（主に昭和59、60年度）の検討結果を基礎にしてまとめたもので、放射線を中心としながらリスクそのものに強く迫ろうとしたものである。上述のいくつかの項目を分担執筆してもらったが、それをまとめるに当って出来るだけ1つの調子に揃えたいと思ったが、編者の力不足で、幾つか重複したり、詳しさの違うところが出来てしまった。また分かり易くという点について、執筆者一同力を注いだつもりであるが、仲々研究者の日頃の癖が抜けず、難解な専門用語を勝手に使ったところが散見される。このような点は最終的に編者の責任でここにお詫びする次第である。それにもかかわらず本講座を世に問うのは放射線をリスクとして取らえ、これを緒にして科学技術の社会をリスクの目でつかまえようという私達の気持ちを少しでも多くの人々に理解してもらいたいと思ったからである。それこそ我々の環境をより住みよいものにするために必要な第一歩であると考えている。

# 1. 放射線についてリスクとは

菅 原 努

## §1-1 リスクという言葉

リスクという言葉は未だ一般にはあまり耳慣れない言葉かもしれないが、放射線の安全性を考えるときには今では欠かせることの出来ない言葉になっている。ここではリスクを放射線を中心として論じるが、アメリカでは所謂公害物質などの環境にある種々の化学物質についても、同様にリスク評価ということが盛んに言われている。もっと広く考えれば東京から大阪へ行くのには新幹線や飛行機や高速道路などいろんな方法があるが、それらを使ったときのリスクの比較というようなことも考えてみなければならない。

リスクという言葉そのまま翻訳すると「危険度」というようなことになるが、これは決して危険な場合にだけ使うということではなく、人の生命に重大な支障を与えるような事象が起こる確率をいうというのが一般的な使い方である。従ってリスクといってもその確率が非常に高いこともあれば低いこともあり、極めて低いときにはむしろこれはその安全性を示しているともいえる。言い換えるならばリスクというのは安全とか危険とかいうそのような判断をする前に、一体その事象がどのような頻度で起こるのかということの数値にして表してみようという試みである。勿論全ての現象が簡単な一つの数値になるとは限らないので、リスクで表わされた数値をそのまま何でも丸呑みにするというのは問題である。そのようなことも含めてリスクという言葉に慣れ親しみ十分に使いこなすことによつてこそ、この新しい科学技術の時代を大きな危険をもたらすことなく、住み良い社会にすることができるのではないだろうか。

上述の東京から大阪への交通機関の例にも表したように、現在の科学技術にはどれも何等かのリスクを伴わないものはない。従つて科学技術に囲まれた我々の生活はそのようなリスクを検討し、それに対して適切な対処をするということでも成りたつているといえる。勿論リスクはこのような科学技術が作るものだけではなくて、自然の現象の中にもある。例えば地震が起こったり台風が来たりして我々の生命を脅かすことも否定出来ない。

このようなリスクであるが、これをいざ開き直つて考えてみると、我国ではリスクという言葉が未だ十分に定着していないし、単純に人々は危険と結び着けて考えられることが多いのでそのような言葉は使わない方がよろしいという主張がある。またリスクの定義そのものが人により時と場合では異なつて使われているということも、リスクに対する反対意見の根拠となっている。しかし放射線の人

に対する影響を考える場合には昔には確かに明らかな障害が起ったが、だんだんと放射線の管理が進んでくるとそのような明らかな障害が起こることを証明することが出来なくなってきた。従って現在ではあくまで放射線が人に及ぼす影響をリスクとして推定し、それに基づいて放射線防護のいろいろな方策が立てられているというのが実情である。従って放射線のリスクがどのような場合にどの程度の値をとり、それはその他の人々を取り囲むリスクと比べてどのようなものであるのかというような検討は、もはや避けて通ることの出来ない課題といわなければならない。

### §1-2 放射線障害の変遷

放射線を取り扱う時に、どうしてリスクを取り上げなければならないかを、もう少し順をおって説明しよう。人が放射線に被曝すると放射線障害が生じるということは古くから知られている。しかし同じ放射線障害といっても、その実際の内容は歴史的にみてこの90年程の間に著しく変化している。放射線による障害は、19世紀の末にレントゲン博士がX線を発見して以来直ぐにみられるようになり、その当時はX線にそのような生物作用のあることを何も知らないで、それを取り扱ったたくさんの技師の人達が、放射線による障害を受けた。放射線を続けて受けていたので、一つの放射線症ともいべき病気のような形を呈した。皮膚には皮膚炎の烈しい症状が出来、また血球が著しく減少し、これらが最後に癌という形になって亡くなった方が沢山あった。1895年にX線が発見されたが、1904年に最初の放射線による癌の症例が報告されている。これを先づ第1期とすることにする。このころには未だ線量という概念もなかったので、どの位の線量を被曝したかはよく分らないが、相当大量な放射線を受けたものと考えられる。

その後むしろ放射線に生物作用があることが分ってからは、逆にこの放射線を使って病気を治そうとして多くの人々が放射線を受けた。その人達に後になって癌が出来るということになった。この頃にはいろいろな病気に放射線が使われ、その線量も何千レントゲンという程度になり、しばしば皮膚などに放射線を受けた為の傷跡がのこっていた。このように放射線を受けたことが明らかで、それが数年から数十年たって癌が出来てきたということで、これらの経験から放射線による癌には明らかに長期にわたる潜伏期があるということが明らかになった。このような症例の見られる時期を第2期と呼ぶことにする。

このような障害が起こることが分ったので、だんだんと放射線は良性の疾患には使われなくなり、現在では悪性腫瘍の治療にだけ使われるようになった。我国ではこのように放射線治療といえば癌の治療というようになったのは1960年以降

と考えられる。勿論悪性腫瘍の場合でもそれが放射線によって完全に治ったとしても、放射線の被曝を受けたためにそれによる第2次の発癌ということが考えられるが、これまではなかなかそれ程の優秀な治療成績が得られなかったので、これがあまり問題にならなかったのである。しかし最近になって放射線や化学療法による治癒例が出来てくると、逆にこの治療のために新しい癌が誘発されるという問題が出てくるようになった。しかしこれについての広範囲な統計的な調査はようやく最近始まったばかりのところである。

それではもっと少ない数十や数百レントゲン程度の線量では障害は起こらないかどうかということが問題になる。この質問に対して1955年に一つの解答が出された。それは胸腺肥大による所謂胸腺淋巴体質を治療するためと称して、出生後間もなく放射線照射を受けた子供達を調査した結果によるものである。これらの子供にその後甲状腺癌と白血病が増えているということがシンプソンとヘンベルマンによって1955年に発表された。この場合には放射線を受けた個々の人々には被曝の跡は何も残っていない。この場合、被曝を受けた人とその兄弟で被曝を受けなかった人とを統計的に比較することによって、初めて癌の増加が証明された訳である。このような統計的調査によって初めてみい出される癌のみられる時期を第3期とする。広島・長崎の原爆被曝者に悪性腫瘍が増加しているということも、これから間もなく引き続いて行われた統計的調査によって次第に明らかになってきた。

では更に線量を低くして数レントゲンから更に低く数十ミリレントゲンというような放射線の被曝ではどのようなことが起こるのであろう。この場合にも何か起こるとすればそれは当然第3期に使った統計的方法によらなければならない。しかし線量が少なければ、もし何かが起こるとしてもその頻度が非常に低いことが考えられるので、そのような集団について統計的な検討をするためには、非常に大人数の集団を対象にしなければならない。線量が少なくなれば数十万人あるいは数百万人という集団について比較しなければならないことになる。しかしこのような大きな集団になると、放射線を受けたか受けなかったかということ以外にその他いろいろな因子が入ってくる。例えば住んでいる地域が違ったりとか、種々の職業の人が混じっているとか、大都会と農村が混じっているとか、人種が違ったりとか、とても放射線被曝だけが違うというような理想的な条件は得られない。勿論このような研究が全く無いわけではなくバックグラウンドの放射線の線量の違いとそこに住む人達の癌の発生頻度とを比較した研究などもあるが、何れも明確な結果を得たものはない。逆にアメリカや中国での例などではバックグラウンドの放射線の高いところの方が、却って癌死亡率が低いというような結果も出ている。こ

のような状態なので低線量のところでは結局実際の統計データから発生率を計算し、それをもとに種々の方策をたてるということは不可能である。

そこで取り入れられたのがリスクを求めようという考え方である。即ち非常に低い線量のところでは実際のデータはないが、より高いところで得られた癌の発生率のような実際のデータと、それを低い線量のところに外挿して考えるのにはどのようにすべきかという生物学的な原則に基づく仮説から、低い線量のところでの事象の起こる頻度を推定することは出来る。その具体的な内容はいろいろであるが、このようにして求めた低線量での人体に影響を起こす事象の確率をリスクとして推定し、これをもとに放射線取り扱いの安全の為の基準を考えて行こうとする訳である。勿論このようにして求めたリスクは一般にはゼロではない。しかし初めにも述べたように、我々の住む世界には放射線に限らずいろいろな形のリスクがいっぱいあり、人々はそれに取り囲まれて生活をしているというのが実体である。従ってこのようなリスクを比較検討することによって、実際の安全あるいはそのリスクの許容の範囲というようなものが決められるというように考えるのである。

勿論これに問題が無い訳ではない。確かにこのようにして推定されたリスクは、例えば癌の発生の確率のように簡単な一つの数値になるが、実際に放射線を受けてから癌が発生するまでには10年も20年もかかり、その癌もあるいは早期に見つかれば治し得るかもしれないし、あるいは癌の部位によってはその人に与える苦痛の程度もいろいろであろう。またリスクとして比較するとき、癌のリスクと自動車事故で死亡するリスクとは数値の上では同じで、死亡率として同じようにみえていても、内容は著しく違うことは誰が考えても明らかなことである。

そこで問題は放射線のリスクはどのようにして求めるのがよいのか、そのリスクは何を対象として考えるべきなのか。またその数値で表されたリスクは同じでもその内容の人の生命に対する、あるいは社会的な負担についての意味が違えば、それをどのように取り扱えばよいのか。また単に放射線のリスクだけが明らかになってもこれだけでは対処の仕方がないので、その他に同時に人々を取り巻くいろいろなリスクも同時に調べてみる必要があるが、一体それをどこまでどうすれば良いのか。このようないろいろな問題を含んでいる。その他に同じ数値のリスクを示されてもそれを大変危険だと思ふのか、まあそのくらいなら大丈夫だと思ふのかは人によって異なり、また人の置かれている状況によっても違ふであろう。このようなリスクを認知する立場の問題というのも、これから取り上げていかなければならない問題である。

この章ではとにかく放射線についてはリスクという概念は欠かせないし、それ

を避けて放射線の安全性の問題を論じることは出来ないということを強調した。以下の諸章でこのリスクをどうして求めるか、から始まって先程述べたリスクにまつわるいろいろの問題を、現在我々が検討した限りにおいて明らかになったことを順次述べてゆきたいと思う。ただ残念乍ら我国においてはこのリスクの問題は、まだまだ学者の一般的な検討の対象にはなっていないので、沢山の不明の部分があることを予めお断りしておかなければならない。それでも読者の皆様がリスクという概念を少しでも理解し、それによって放射線に限らずこれから次々と出てくる新しい科学技術を人類全体の発展と幸福のために適正な判断をするというのに役立てて頂ければ幸いである。正しく恐れること、そのためにはリスクの概念が必要なのである。

### § 1-3 許容量の変遷

放射線でリスクの概念が用いられるようになって来た歴史的な変遷を示す一つの例として、次の表 1-1 に放射線の許容量の変遷を示しておく。

表 1-1 放射線許容量の変遷

基 準	勧告の年	許 容 線 量
1. 個人的に障害の出ない経験的線量(放射線技師の実情調査に基づく)	1936	0.2 R/日
2. 実験的に障害のみられない線量(マウスからイヌに至る大規模な動物実験で微量線量の影響が調べられた)	1950	0.05 R/日
3. 白血病発生, 寿命短縮, 突然変異誘発を重大因子としてとり入れ, 個人のみでなく, 集団の被曝を考慮	1958	5 (N-18) rem, Nは年齢, 集団の遺伝許容線量は30年間に5 rem (0.17 rem/年)
4. 学問的に低線量の影響を推定し, そこで考えられる危険を容認可能レベルにおさえる(言葉の定義, 概念も整理した)	1965	5 rem/年 集団については1958年に同じ
5. 非確率的な有害な影響を防止し, また確率的影響の確率(リスク)を容認できるとおもわれるレベル*にまで制限する	1977	線量限度に統一, 集団については, ふれない

\* 他の職業のリスクと比較して

初めに人についての障害の出ない経験的な線量から出発し、それをより確実にするために大規模な動物実験を行って、本当に微量の放射線でどこまで変化が見られるかを調べて許容量を決めたというのが1950年までの考え方である。その後白血病や突然変異などの因子を取りあげて、統計的調査によって得られるデータから推定して許容量が決められた。この時にはリスクとして他のものと比較するというよりは、実際に起こる頻度が人類にとって耐えられるかどうかということ

を判断の基準にしていた。しかしその後国際放射線防護委員会では、放射線の種々のリスクを推定する作業を行って、それに基づいて1965年にそのリスクそのものが容認可能なレベル以下と考える線量を線量限度とすることにした。しかしその後、他の放射線以外の産業などにおけるリスクの推定が進められ、放射線のリスクをこれらの他のリスクと比較することによって放射線作業を一般的にみて安全と考えられる産業のレベルにおこうという考えで線量限度が決められた。もちろんそのリスクの推定には幾つかの仮定と計算が入っているのは現状ではやむを得ないことと言わねばならない。

このような推移を見れば放射線の安全問題を考える上で、リスクを無視しては通れないことが理解出来るであろう。

#### §1-4 チェルノブイリ原子炉事故

我々が放射線リスクを論じている最中の昭和61年4月26日に、ソ連のチェルノブイリ原子炉で大きな事故があった。同様に世間を騒がせた原子炉事故としては7年前の昭和54年3月28日に米国のスリーマイル島原子炉事故がある。幸いにしてこの場合には原子炉外への放射性物質の漏れが極めて少なかったので周辺の人々への影響はここでいうリスクを推定するというのでよかった。例えばアプトンはスリーマイル島の場合、原子炉周辺50マイル以内の住民について、今後予想される致死的な癌について自然のままでの癌死が約220万人の住民のうち325,000人と推定され、事故による増加は0.7人(巾をとっても0.15~2.4人)にすぎないと推定している。

ところが今度のソ連の事故ではすでに何人かの人が死亡している。このなかには消火活動や救護活動のため、放射性物質の広がっているところで何時間も居て相当な線量を受けたものが少なくない。ことに放射性のヨード(I-131)が周辺数百米にわたって飛びちり、そこでは一時間に何十レムといった大線量を受けたと推定される。ヒトの場合全身に400~500レムを受けると2ヵ月以内に半数が死亡するので、これは正にリスクどころではなく放射線による急性死である。このようなことは日常生活では考えられないことなので、本講でもこの急性死については全くふれていない。興味のある方は放射線生物学の専門書を参照してもらいたい。

しかし、このソ連の事故の場合にも我国で放射性降下物が認められ、それが国民に不安を与えたことは否めない。このような場合にその僅かな放射性降下物(主にヨード-131)が人体に何か影響を及ぼすかどうかということになると、ここで本講でいうリスク推定が必要になってくる。本講の共同執筆者の一人青山喬

は降下物中のヨード-131の濃度から種々の仮定のもとに幼児への取込みを計算し、甲状腺の線量を28ミリレムと推定した。これから0～4歳の幼児へのリスクを人口を717万人とし、誘発甲状腺癌が20人に生じ、そのうち死亡数は0.99人とした。ちなみにこの集団での自然発生甲状腺癌死亡数として7,170人が予想される。

これは日本だけの話であるが、より近いヨーロッパ諸国での事故によるリスクはどのようなものであろうか。それをどのように受け止めるか。その後度々学術雑誌などに発表があり、リスクの問題は益々重要性を増してきたと考えられる。



## 2. リスクはどのようにして求めるか。

放医研 松平寛通

リスクとは数理的な予想値で、普通過去の経験を基に数として表す。それは集団にも個人にも当てはまるものである。日本の自動車事故による死亡は年間ほぼ1万人、1人について言えば年間ほぼ $10^{-4}$ というのがリスクである。この数値は毎年実際に起こった経験が基になっているのでそれなりに確実と言える。一生について言えばほぼ $7 \times 10^{-3}$ が個人のリスクということになる。この数値がドライバーとそうでない人でどの位差があるか、あるいは年齢その他を加味したらどうなるかを求めるのは多少面倒ではあるが、その気になれば可能である。それは事故と死亡との間の関係がはっきりしているからである。

放射線の場合はそう簡単ではない。確かに人が数百ラドの $\gamma$ 線を全身に受けると約2ヶ月内に骨髄障害で死亡する。最近の推定では300ラドではほとんど死亡例がなく、600ラドではほとんど死亡すること、大動物の実験結果から、ほとんど死亡がない時とほとんどが死亡する線量の比がほぼ2であることなどから、骨髄障害による人の50%致死線量は約400(300~500)ラドとされている。

このように放射線の線量がある程度大きい場合は50%致死線量の見積りはかなり正確であるが、年齢、治療法、線量の空間的分析(均等性)と時間的分布(瞬間の被曝、数日-数週-数ヶ月にわたる被曝)等まで考慮すると不確かさが入って来る。この辺の不確かさを克服するには、過去の人間の被曝例の経過を総ざらいする一方、いろいろの条件下で殊に犬などの中・大動物で実験し補完する必要があり、実際多くのデータがある。ただ、人が死ぬか生きるかの判断には相当の正確さが要求されるので、その意味では現在なおデータ不足とさえ言われている。

しかし、放射線の線量がもっと小さくなり、それに全ての放射線や全ての被曝様式に共通して物を言えと言われると事はそう簡単ではない。幸か不幸か、放射線の場合線量という概念が比較的はっきりしている上、1895年のX線、翌年の放射能の発見以来、核爆発の犠牲者や医療および職業被曝のため放射線障害を受けた人がたくさんあり、一方放射線の生物作用の研究が進んだこともあって、一応の筋書きはわかっていると行ってよい。つまり、放射線エネルギーの吸収に始まり、遺伝物質に起こる変化、細胞-組織、さらには個体に起こる変化は定性的に予想可能である。問題はどの程度定量的に物が言えるかという点で、意見の

別れる理由でもある。

職業や日常生活に伴う放射線被曝で人間の体に起こり得る障害として挙げられるのが、がんと遺伝病と発生異常の3つである。ただ、いずれも起こる可能性がそれも目に見得るものとしてではなく、大勢の被曝集団の調査結果を疫学統計的に検討した上、ある確率で起こる可能性があるというものである。もちろん、多くの実験的研究がその支えとなっていることは言うまでもない。遺伝病については、動物実験の結果から人間でも放射線被曝によって遺伝病の発生率が増加すると予想されるが、人間集団では広島・長崎の被曝者を含めてははっきりした証明はない。現在では主としてマウスについて得られた低線量・低線量率放射線照射による突然変異の倍加線量（自然に起こる突然変異を2倍にする線量）から、単位線量当たりの人間集団（生殖年齢の人、職業人、一般人）の被曝によってその子孫（子供、子供と孫、将来の全世代）に現れる遺伝病の頻度を推定している。遺伝的影響の発生機構はがんに比べるとよくわかっている。また、遺伝病は個人の病気というよりも集団の病気といった方がよく、子孫に伝えられる一方で淘汰によって集団から除かれていくので、被曝が継続したからといって無制限に増えるのではなく、ある頻度－平衡状態－以上にはならない。放射線がもとで仮に遺伝病になったとした時、それが個人および社会にとってどれくらいの損害を与えるかという見積りもなされている。遺伝病の人は普通正常人より寿命が短い。その上にながしかのハンディキャップを背負って生きなければならない。これらの点を勘案すると、放射線によってかなり重い遺伝病が1人出るということは、がんによる死亡が1人出ることと同じかあるいはそれ以上の損害を与えるともみてよい。リスクという言葉の中にこのような意味を含ませるべきかどうかについては多少の議論が残る。さらにメキシコの大地震やコロンビアのネバドデルルイズ火山の噴火のように、何十年何百年に1度しか起こらないが、1度起こると何千何万の人が死ぬような大災害と、毎日のようにあちこちで起こっている自動車事故とに対する見方は、単に年間死亡率の大小だけでは比較できないかもしれない。リスクという言葉の中にこのような意味を含ませるかどうかにも議論が残る。

そこで放射線発がんを例にして常識的な意味でのリスクをどう求めるかを述べることにする。

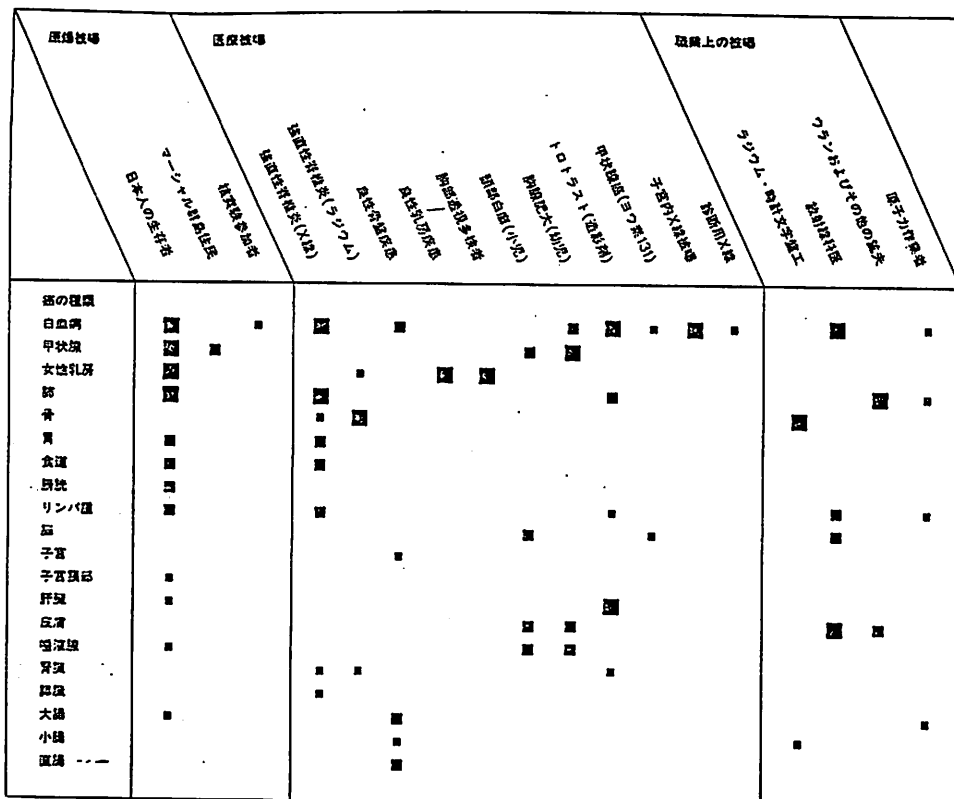
#### 放射線発がんのリスクの求め方

リスク推定はできれば人間でのデータを基とする。

その理由はいろいろある。単的には動物と人とは生物学的に見てもかなり差がある上、放射線の場合数十ラド以上の被曝例は図2-1に示すようにかなり多

いからである。とはいってもすべてを人間のデータでカバーすることはできないので、場合によっては目をつぶったり、細胞や動物実験の結果が普遍的に人にも当てはまるとしている。問題点を列挙するとおよそ次のようになろう。

図 2 - 1 癌の発生率



放射線と関連した癌の発生頻度を、被曝状況の異なる三つの集団、つまり日本人原爆被曝者、放射線治療患者、職業上の被曝者についてそれぞれ表示したもの。被曝と強い関連があるものを大きな四角で、関連のあるものを中ぐらいの四角で、関連はありそうだが確認できないものを小さな四角でそれぞれ示した。この三つの被曝グループについては、放射線被曝がかなりよく記録されている。

(A.C.アプトン、サイエンス 12、104、1982)

放射線と関連した癌の発生頻度を、被曝状況の異なる三つの集団、つまり日本人原爆被曝者、放射線治療患者、職業上の被曝者についてそれぞれ表示したもの。被曝と強い関連があるものを大きな四角で、関連のあるものを中ぐらいの四角で、関連はありそうだが確認できないものを小さな四角でそれぞれ示した。この三つの被曝グループについては、放射線被曝がかなりよく記録されている。

(A. C. アプトン、サイエンス 12、104、1982)

(i) 放射線発がんの線量-効果関係の形。

がんは少数の細胞の多分遺伝子の上に起こった変化から出発するが、診断可能

ながん病変にまで発達するためには、少なくとも2つ以上の段階を含め、特に人間では数年数十年にわたる年月を要すると考えられている。その上、放射線がほとんどの組織にがんを誘発するといっても自然発生率を少し増加させるだけであり、自然発生といってもがんの発生率が年齢、性、民族、生活様式それに時代などでかなり変わっているところからみて本当の自然発生かどうかわからない点が多い。また、放射線（原因）に特異的ながん（結果）はほとんど存在しない（ある種の化学物質と異なる）。結局、適当な対照集団の取り方、それに被曝集団の人数等々に制限があり、観察期間が長くお金や労力のかかることも手伝って、そう簡単にはいかない。一般に、放射線による発がんの増加分—これを過剰または超過という—をある統計誤差内で見つけるために必要な被曝集団の人数は被曝線量の2乗に反比例して多くなると言われている。つまり、100ラドの被曝をした人たちが5千人いれば十分なデータが得られるとすると、10ラドの影響を同じ誤差で見つけ出すためには50万人からなる被曝集団が必要だということになる。人間での調査はただ数を増やせば正確になるとは限らず特に長い年月の間には別の誤差要因が入って来る。以上のようなこともあって、特に総計数十ラド以下での線量効果の形は、X線やγ線に限っても意見が別れる。仮に、図2-2の右上の○印の線量のところまでかなり確実なデータがあったとして、それ以下のところではどうかというと、ある人は線量の低いところの方ががんが出やすい（図2-2、曲線3）といい、ある人は線量の低いところではかえってがんが出にくくなる（図2-2、曲線4）という。そこで、細胞や動物実験の結果をも参考にして、放射線発がんの線量効果関係の基本モデルとされているのが、図2-3といってよく、数式で書くと次のようになる。

$$E = \alpha D \text{ ----- (1)}$$

$$E = \alpha D + \beta D^2 \text{ ----- (2)}$$

Eは放射線（X線やγ線）によるがんの付加分、上に述べた過剰で、Dは放射線の線量（50%致死線量のような高線量域は除く）、αとβはいわば比例係数である。式1は直線モデルと呼ばれ、総線量が同じであれば、その線量が1分間で与えられても1年がかりで与えられても発がん率は変わらない。これに対して式2は直線-2次曲線モデルで、線量が短時間で与えられた時にのみ適用でき、例えば同じ線量が数日、数週間、数ヶ月かかって与えられると、3式のようなになる。

$$E = \alpha D \text{ ----- (3)}$$

なお、同じ $\alpha$ でも1式の $\alpha$ が1番大きく、2式の $\alpha$ がこれに次ぎ、3式の $\alpha$ は2式のそれと同じかそれよりも小さくなると考えられている。さらに、

$$E = \beta D^2 \text{ ----- (4)}$$

で表される2次曲線モデルを提唱する人もある。

上に挙げた4つの式は、それ以下では放射線を受けてもがんにならないという、

図2-2 低LET放射線の線量-効果関係の模式図

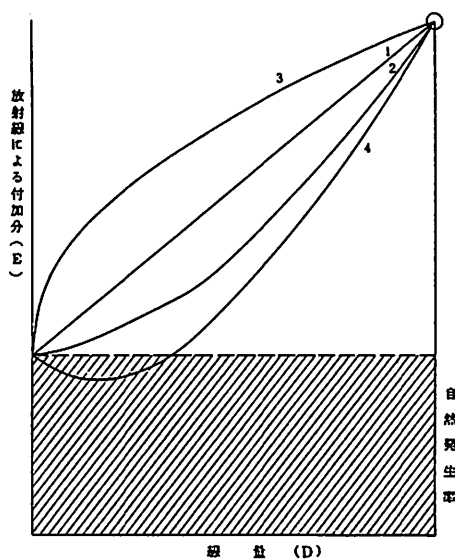
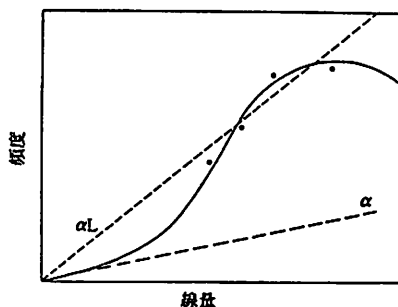


図2-3 低LET放射線による突然変異や発がんの線量-効果関係の基本モデル (黒マルは人間で実際に観察される値、破線は低線量域への内挿を示す)



いわゆるしきい値は存在しないというモデルである点では共通している。ただ、現実にある数十、数百ラドの被曝データから、年数ラド（レム）とか1回に1ラド以下という職業被曝や医療被曝で起こるかもしれない発がんの確率を推定した時の値は、それぞれのモデルによって2桁の差が出て来る。4式のようなであれば、低線量域での放射線発がんの可能性はあったとしても非常に少ない。どのモデルが1番正しいかについても議論が多い。がんの種類によっても異なり、甲状腺や女性の乳腺のがんのようにホルモン依存性のものはどちらかという直線モデルが適合でき、動物実験の結果もこれを指示している。

(ii) 線量-効果関係の形を変更させる要因と変更の程度

これにはいろいろある。主なものは受ける放射線の種類、放射線の受け方（体外か体内被曝か、全身か体の一部か、急性か何度にも分けられた慢性被曝か）、放射線を受けた時の年齢、男女差、タバコ等放射線以外の因子などである。

これらの要因が線量-効果関係の形にどの位の影響を与えるかについては人間集団でのデータはむしろ少ないので、動物実験などの結果に頼ることになる。

動物や細胞を用いた実験によるとX線はγ線よりも2倍近く効果が大きい。人間でのデータは発がんに関し、X線とγ線の差を見つけられる程多くなく、正確度も落ちる。リスク推定上はX線とγ線の効果は等しく1としている。速中性子線やα線は、X線やγ線と比べると明らかに効果が大きい。特に、低線量になるほど、γ線またはX線と比べた効果比—これをRBE、生物学的効果比という—が大きくなる。これは一般的に、速中性子線やα線の効果が低線量域で大きくなるのではなく、γ線やX線の効果が低線量域で落ちるため、さきに述べた線量-効果関係の中で、式2や式4が成立する大きな理由である。速中性子線やα線はγ線やX線と異なり、次に述べる線量率や多分割による効果の減少が少なく、線量-効果関係はほぼ1本の直線  $E = \alpha D$  で表される。速中性子線やα線の“ $\alpha$ ”は、式1や式2、3で示したX線やγ線の“ $\alpha$ ”より数十倍大きく、現在では20という値が用いられている。総線量が同じでもそれを数日、数週、数ヶ月にわたって連続して与えるのと1回で与えるのとでは放射線の効果はかなり少なくなる。この現象はX線、γ線などについて、動物でも細胞でも見られており、線量率効果と呼ばれている。放射線を連続的にでなく、時折例えば1日に1回とか1ヶ月に1回とかに分けて与え—分割照射—た時の結果は本質的には低線量照射と同じと考えてよい。このようにX線やγ線で線量率効果や分割効果が見られるのは、生体に放射線の作用から回復する力があるため、図3についていえば、 $\alpha L$ と $\alpha$ の傾斜の差は数倍から10倍位になることが実験的に確かめられている。

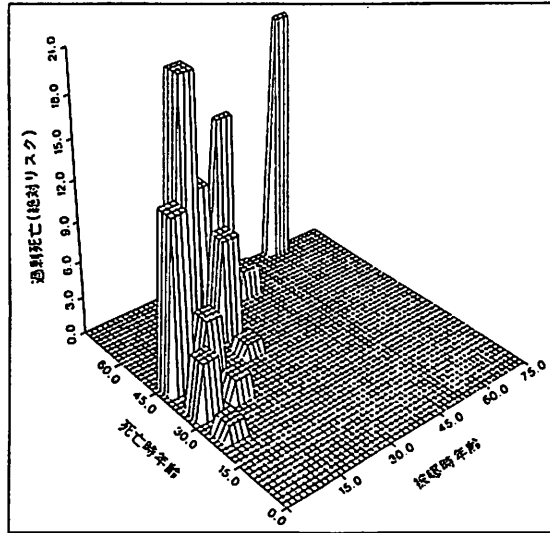
人間についてのデータは、実験のように条件をきれいに揃えるわけにはいかない。言わば寄せ集めのデータである。人種も異なり放射線の受け方も異なる。従って、発がんに関しても非常にきれいな線量率効果や分割効果は見つかっていない。そこで放射線防護の立場からは式1または図3の $\alpha L$ 、つまり直線モデルを採用しているのが現状である。

放射線を全身に受けた時と体の一部に受けた時、発がんに関して差が見られることがある。割合ははっきりしているのが、ネズミの白血病で、体の一部（たとえば下肢）が放射線を受けていないと全身が受けた時に比べて白血病になりにくい。人間の場合も同様なことが起こっていると思われる。成人では活発な機能をしている骨髄は、頭頸部に15、胸部45、腰-腹部40位の割合で分布しているので、体の一部が放射線を受けた（たとえば胸のX線写真）様な場合、リスクの算定に放射線を受けた骨髄量の補正をすることがある（per caput mean bone marrow dose, CMD）。人間で実際にある疫学データはこの点に関して必ずしも明確な答えは出していない。白血病が起こるためには体の相当大的な部分が放射線を受ける必要があることは確かのようなのである。卵巣などの内分泌器官の場合、動物では両側の卵巣が放射線を受けないとがんになりにくいと言われる。人間の場合必ずしもはっきりしたデータはない。また、肺の場合などある組織がほぼ均等に放射線を受けた方が、非常に小さなミクロの部分だけが受けた時よりもがんになりやすいという実験結果もある。

年齢の影響は非常に重要である。放射線を受けた時の年齢とがんになるあるいはがんで死ぬ時の年齢の両方が、リスク推定に絡んで来るからである。前者は発がん感受性と後者は放射線は自然に発生するがんの時期を早めるかどうか、つまり放射線発がんの潜伏期の問題と絡んで、放射線によるがんで失われる寿命の長さに関係するからである。この点に関し動物実験の結果は必ずしもはっきりした答えを出していない。放射線を与える時の年齢によって発生して来るがんの種類が変わったり、がんが出る前に動物が死亡してしまったりいろいろである。放射線防護との関連では、職業人は18才から仕事を始め60~65才で定年になる（平均40才の）成人の集団であるのでそう問題はないが、一般人特に子供が対象となると未解決のところがある。ただ、放射線の線量限度が一般人は職業人の1/10（1/50の国もある）であるので、子供が仮に大人の10倍放射線発がんに感受性であったとしてもそう大きな問題とはなるまい。その上、白血病に関しては子供の方が大人よりも感受性が高いが、放射線の影響が大人よりも早く消失する-白血病が早く出きってしまう-ので、放射線を受けてからの全期間について積算すると放射線誘発白血病の総数は大人の場合とそう変わらない。他の

がんについては白血病ほどはっきりしたデータは人間ではまだない。広島・長崎で原爆放射線を受けた当時10才以下であった人たちについての調査結果（あと20～30年は必要）がこの間に対する唯一の答えとなりそうである（図2-4）。

図2-4-被曝時年齢と白血病以外の全癌の過剰死亡



(W. J. Schull, Prog. Canc. Res. Therapy. Vol. 26, PP 21-36, 1984)

(iii) リスク係数の求め方

基本的な考えは図4を見るとわかる。つまり、放射線を受けてからある年月を経て現れて来るがんによる死亡（または発生数）の増加-過剰分を増加が観察された期間（年）についてならしたのがリスク係数といえる。

実際には、絶対リスクまたは相対リスクモデルによって次式で計算し、前者ではラド当り年当りのリスクとして、後者ではラド当りの自然発生率のパーセントとして得られる。

絶対リスクモデルでは、

$$\frac{\text{観察数}}{\text{人} \times \text{年}} - \frac{\text{期待数}}{\text{人} \times \text{年}} \times 10^6 / \text{線量} \dots\dots\dots (5)$$

相対リスクモデルでは、

$$\frac{\text{観察数}}{\text{人} \times \text{年}} - \frac{\text{期待数}}{\text{人} \times \text{年}} - 1 \times 100 / \text{線量} \dots\dots\dots (6)$$



観察数を求める時の人・年は、ある線量（D）を受けた集団のもので、期待数の方の人・年は対照集団（広島・長崎について言えば爆心地から2 Km以上の距離にいた人）のものである。絶対リスクモデルでは、その集団に於けるがんの自然発生（死亡）率の大小は直接問題にならない。相対リスクモデルでは、放射線によるがんの増加分－過剰は自然発生率に比例するので、例えば日本人では胃がんが、アメリカ人では肺、乳、大腸などのがんが他のがんよりパーセントとしては低い数では余計増えることになる。

さらに、上式の人・年、観察数、期待数は（がん）死亡が起こった場合、その年の1/2までとし、それ以降は分子からも分母からも差し引かれる。つまり、上式から出て来るリスク係数は、放射線を受けた後生きている間に生ずるがんの過剰発生または死亡を意味する（intrinsic risk per year）。少し細かく言うと、発がん放射線を受けてからの最少－最大潜伏期があると、潜伏期以外の人・年、観察、期待等の各値を除いて過剰を求める必要がある（この意味では文献に挙げられているリスク係数は全てがそう厳密とはいえない）。

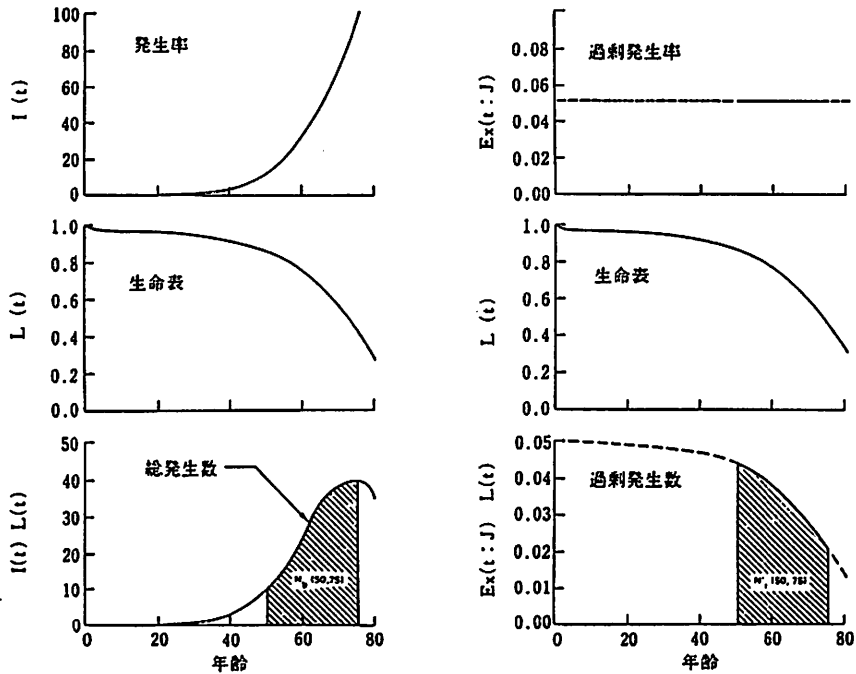
線量－効果関係との関連でいえば、上式は過剰／線量（E/D）となっており、直線モデルである。広島・長崎のようにいろいろの線量を受けた亜集団が得られる場合には、それぞれについて上式に従ってリスク係数を求める。それぞれが等しければ、本来の意味での直線モデルが成立することを意味する。もし、いろいろの亜集団についてのリスク係数が、 $E/D = \alpha + \beta D$ の式にあてはまれば（単位線量当りの過剰が線量が伴って増える）、過剰リスクは $E = \alpha D + \beta D^2$ に従うことになるので、直線－2次曲線モデルが成り立つ。同様に、 $E/D = \beta D$ にあてはまれば、 $E = \beta D^2$ となり2次曲線モデルが成り立つ。このようにして得られた $\alpha$ や $\beta$ がラドまたは（ラド）<sup>2</sup>当りのリスク係数でBEIR III報告（1980）に表示されている。同報告書はかなり無理をして線量－効果関係のモデル別、男女別、被曝時年齢別のリスク係数をコンピューターで算出した。被曝時20才以下および50才以上であった人たちの、白血病を除くがんのリスク係数は、観察期間が充分でないか充分採れないため制約を受ける。

#### （iv）生涯リスクの算定

ラド当り年当りのリスク係数が得られると、それを基にラド当り－生涯に現れるかもしれないがんの死亡（または発生）の総数－生涯リスクを算定する（図2－5）。

図 2 - 5 絶対リスク・モデルによる過剰分の計算と自然発生率との比較

左: (ある) 癌の自然発生数 右: 40歳で被曝したとき50~75歳で発生する(問題とする)癌の過剰分。 比 =  $N \cdot r / N b$



この時問題となるのは、(イ)被曝線量の他に、1回被曝であるか職業人のように毎年続く被曝であるか等の被曝条件、(ロ)被曝部位(普通簡単にするため全身とする)、(ハ)被曝者(集団)の年齢、(ニ)生命表、(ホ)各年齢別のがん死亡(発生)率、それに(ヘ)がんの発現期間(現在は白血病と骨のがんは被曝後3年目から27年目までの25年間、その他のがんは被曝後11年目から一生涯としている)である。ラド当り年当りのリスク係数にがんの発現期間(年数)を掛け、生命表によってがんになるべき人が他の原因で死亡するため結果的にがんが出ない分を補正するわけで、expressed life time riskと言われる所以である。

簡便法としては、20~30才位で被曝した人々の調査結果から単位線量当り年当りのがん死亡(発生)のリスク係数を求め、白血病では20倍、それ以外のがんでは30~40倍することによって生涯リスクとしてよい。20才前後の人の余命はかなり長く、放射線の発がん効果がほぼ100%発現するとみられるからである。追跡調査の期間が30年以上にも及んでいるときは、次式に従って生

涯リスクとすることもできる。

$$\left| \frac{\text{観察値}}{\text{人}} - \frac{\text{期待値}}{\text{人}} \right| \times 10^6 / \text{線量}$$

充分な数の亜集団が得られない時には、線量は被曝集団の平均値を使用する。

国際放射線防護委員会（ICRP）の1977年勧告、国連科学委員会（UNSCEAR）1977年報告の個々のがんについての数値はこのようにして算出されたものが多い。もちろん、広島・長崎の追跡調査の結果が基本となっている。橋詰等の方法はもう少し厳密で、1978年までの長崎の調査結果から、直線モデルに従って、死亡がないと仮定したときの放射線発がんの生涯リスクを算定し、それに潜伏期間と生命表から予想される補正值（白血病有意因子とがん有意因子）を掛けて生涯リスクを求めた。

自然放射線や職業被曝、それに集団として見た時の医療被曝のように、被曝が毎年続くときには、上述のラド当りの生涯リスクの値を年当りのリスクとしてほぼ間違いない。厳密には生命表からある年齢層（たとえば20才の人）100万人の人口を設定し、発がんの発現期間に当たる年数を掛けた人・年・リスクを計算し、その値に単位線量当り年当りのリスク係数を掛け、得られる過剰分を被曝の続く期間（たとえば20～65才）全体について求め、総計する。年当りのリスクを算出するにはこの総計を年数（たとえば45年）で割ればよい。このような場合は直線モデル $\alpha$ か、直線-2次曲線モデルの $\alpha$ の値をリスク係数として使用する。2次曲線モデルは連続被曝やman remの計算には用いられない。

#### （v） 生涯リスクの推定値

表2-1に色々な委員会のリスク推定値を挙げた。表2-1（2）のBEIR委員会、橋詰の値は明らかにexpressed life time riskで、表2-1（1）のふたつの値および表2-1（2）のUNSCEAR、ICRPの値は、intrinsic life time riskとみてよい。

なお、リスク計算にはがんの死亡数を用いることが多い。それは、がんになって不幸にして死亡するまでの期間に受けた健康上の損害の重みづけをどうするかという問題やがん登録が完成された歴史が比較的新しいためがんの発生率の統計の方が死亡率よりも正確さを欠く面があること等のためである。絶対リスクモデルと相対リスクモデルからの推定値は本来一致すべきものであるが目下は多少異なっている。それにはがんの自然発生（死亡）率のどのくらいが「自然」であるかという問題が解決され、また広島・長崎他の集団の調査がさらに20-30年続

けられないと本当のことはわからない。動物実験の結果がこの問題を解決するかもしれない。現在少なくとも放射線防護関係では絶対リスクモデルによるリスク推定値の方が多く用いられている。相対リスクモデルによるリスク係数が表面にはっきり出ているのは BEIR I (1972) 報告位である。日本人についての細かな値は「日本人の生活と放射線－菅原努編」を参照されたい。

なお、現在ようやく結論が出かかっている広島・長崎の原爆放射線の線量再評価の結果如何で、上述の発がんリスク推定値は少し変わるかもしれない。詳細は本講Ⅲを参照されたい。

表2-1 低LET放射線による発がんの生涯リスク  
(10<sup>6</sup>人当たりrad当りの死亡率)

(1) ICRPと橋詰(カッコ内)の推定値

	男	女
白血病(骨髄)	20(20)	20(20)
肺癌	20(30)	20(30)
乳癌	0(0)	50(20)
甲状腺癌	5(4)	5(4)
骨のがん	5(0)	5(0)
その他の組織	50(111)	50(111)
	100(165)	150(185)

橋詰の値は長崎の統計による日本人での値、  
その他の中では胃癌が50と大。

(2) BEIR委員会他の推定値(全がん、全年齢、男女平均)

報告書名	線量-効果 モデル	1回被曝		年1ラドの 生涯被曝	
		絶対 リスク モデル	相対 リスク モデル	絶対 リスク モデル	相対 リスク モデル
BEIR III	直線-2次 曲線(LQ)	77	226	67	182
	直線(L)	167	501	158	403
	2次曲線(Q)	10	28	-	-
BEIR I	直線(L)	117	621	115	568
	UNSCEAR 直線(L)	75	172	-	-
ICRP 直線(L)		125	-	-	
橋詰*	直線(L)		95	-	-

\* この値は(1)の値に白血病、がん有意因子を掛け、昭和45年の定常人口  
100万人について求め、男女平均したもの。

環境と健康 —リスク評価と健康増進の科学—  
Vol.1 No.5 (隔月刊) 1988年 9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 〒602 京都市上京区河原町通丸太町下ル  
伊勢屋町406 マツヲビル4F  
(財)体質研究会 河原町分室  
TEL (075)241-4054 FAX (075)251-0901

\*\*\*\*\*  
\* 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】**

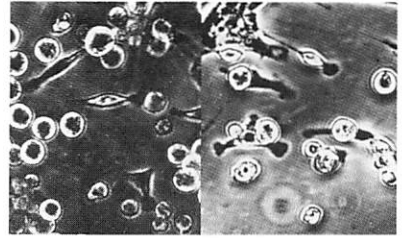
財団法人 体質研究会  
理事長 菅原 努

**血液研究所**

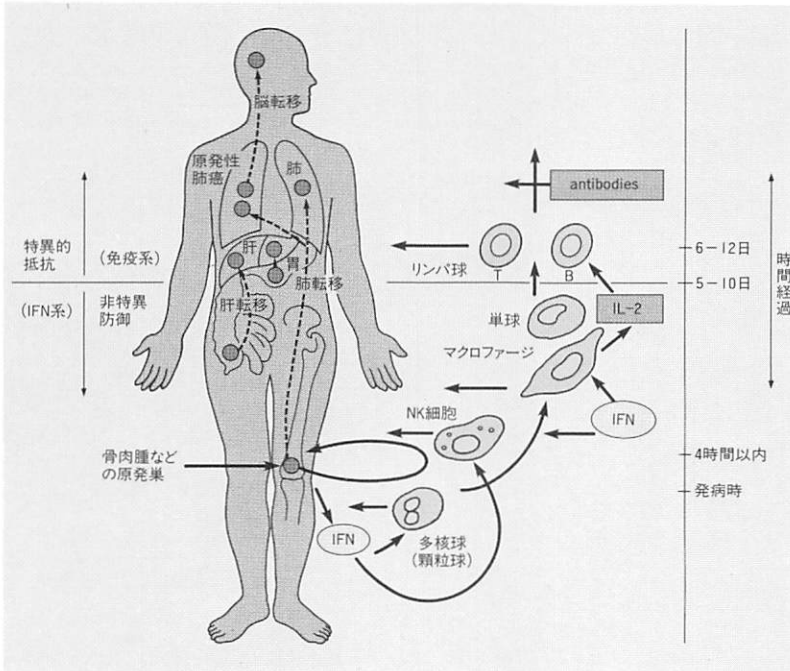
〒606 京都市左京区一乗寺大新開町26  
TEL (075) 781 - 7118 (代)

# 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