

乙第126号証

ICRP

Publication 60

国際放射線防護委員会の
1990年勧告

社団法人日本アイソトープ協会

国際放射線防護委員会の 1990年勧告

1990年11月に主委員会によって採択されたもの

1990 Recommendations of the International
Commission on Radiological Protection

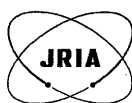
ICRP Publication 60

by

The International Commission on Radiological Protection

Copyright © 1991 The Japan Radioisotope Association. All rights reserved.
Authorised translation from the English language edition published for
the International Commission on Radiological Protection by Pergamon Press.
Copyright © 1991 The International Commission on Radiological Protection
Published by Pergamon Press. All rights reserved.

*No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or
transmitted in any form or by any means electronic, electrostatic, magnetic tape,
mechanical photocopying, recording or otherwise or republished in any form, without
permission in writing from the copyright owner.*



Japanese Translation Series of ICRP Publications
Publication 60

This translation was undertaken by the following colleagues.

Translated by

◆ 1990 Recommendations ◆

【Chaps.1&2】 Tatsuo FUCHIGAMI, Sadayoshi KOBAYASHI, Tamiko IWASAKI, Kenzo FUJIMOTO, Ryuji MARUYAMA, Jiro INABA, Nobuhito ISHIGURE, Yuji OTSU 【Chap.3】 Yutaka HASEGAWA, Kazunori KODAMA, Akio AWA, Mitoshi AKIYAMA, Kiyohiko MABUCHI 【Chap.4】 Masami IZAWA 【Chap.5】 Masao OSHINO, Michio YOSHIZAWA, Kazuyoshi BINGO, Syohei KATO, Nobuyuki KINOUCHI, Hideaki YAMAMOTO, Hiroyuki MURAKAMI, Makoto YOSHIDA, Bunzo KOHNOURA, Yoichi SUZUKI, Hiroshi NOGUCHI 【Chaps.6,7&8】 Kei NAKADA, Tomohiro ASANO, Kazushige NINOMIYA, Nobuhiko BAN, Takumaro MOMOSE, Katsuzo KOIZUMI, Yuji NAKAJIMA

◆ Annex A ◆

Tatsuji HAMADA

◆ Annex B ◆

Jiro INABA, Hisami ETO, Hiroshi OHARA, Kouki SATO, Takeshi FURUSE, Yuji OTSU, Toshiaki OGYU, Yoshiya SHIMADA, Yoichi OGISO, Iwao TOBARI, Takeshi YAMADA

◆ Annex C ◆

Sadayoshi KOBAYASHI, Kenzo FUJIMOTO, Yuji NAKAMURA, Masahiro DOI

Supervised by

The Committee for Japanese Translation of ICRP Publications,
Japan Radioisotope Association

Eizo TAJIMA (Chair)	Tatsuji HAMADA (Vice-chair)	Masami IZAWA
Jiro INABA	Sukehiko KOGA *	Sadayoshi KOBAYASHI
Tsuneo NUMAKUNAI	Yasuo YOSHIZAWA *	Yoshikazu YOSHIDA

* Japanese ICRP members

邦 訳 版 へ の 序

本書は

1990 Recommendations of the International Commission on Radiological
Protection, Adopted by the Commission on November 1990
(ICRP Publication 60 として *Annals of the ICRP*, 21, Nos. 1-3
(1991) に発表)

を、ICRP の承認のもとに翻訳したものである。

翻訳にあたっては従前の ICRP Publications の場合と同様、原文の意図するところを忠実に伝えることを旨とした。ただ、原文の明らかな誤りはとくに断わることなく訂正し、また、原文の意味を正しく表現するために必要と思われた場合には、多少の加筆や修正をした個所も若干ある。

翻訳は、まず次の諸機関に所属する専門家に依頼して第一次の訳を作成した：

放射線医学総合研究所、日本原子力研究所、動力炉・核燃料開発事業団、
放射線影響研究所、および日本アイソトープ協会

この原稿をもとに、ICRP 勧告翻訳検討委員会において推敲を重ねるとともに、素訳をして下さった上記諸機関の方々のほか、わが国からの ICRP 委員と専門委員、放射線審議会基本部会のメンバー、そのほか多くの専門家のご意見をいただいて、最終稿を決定した。とくに、おもな術語の訳については、多様な意見がよせられた。

新勧告の構成と内容は今までのものと大きく変わった。それに伴って新勧告にはかなりの数の新しい用語が導入され、それぞれ定義されて使われている。それらのうちおもだったものの原語と訳語を、その用語の説明の書かれた個所とともに下に示す。

deterministic effect (確定的影響) [54 項]

change (変化), damage (損傷), harm (障害), detriment (損害) [42 項]

practice (行為), intervention (介入) [106 項]

potential exposures (潜在被ばく) [111 項]

source-related assessment (線源関連評価), individual-related assessment (個人関連評価) [103 項]

dose constraint (線量拘束値) [121 項]

radiation weighting factor (放射線荷重係数), tissue weighting factor (組織荷重係数),

equivalent dose (等価線量), effective dose (実効線量) [2.2 節]

主文の図2および付属書Cにある“probability rate”は、本書では多くの場合時間単位を年としていることもあり、訳は“年確率”とした。また、risk（リスク）は新勧告でも使われているが、従前とはちがってきまった量ではなく単に定性的に“危険性”を意味する概念をあらわすために使うこととしている〔43項〕。

なお、geneticには遺伝的または遺伝学的という訳語を、hereditaryには遺伝性という訳語を原則として用いた〔B 150, 151項参照〕。ただし、hereditary effectはsomatic effect（身体的影響）に対する言葉なので、遺伝的影響とした。

ICRPは、1990年2月の段階の素案をICRP内部だけでなく各国の関係機関および関連する専門家団体等に送り、これに対する意見を求めるという段階をもうけた。この素案の訳が放射線審議会の資料として作成された。協会による最終稿完成までの諸過程で、これが大いに役に立ったことはいうまでもない。個人名を挙げることは避けるが、初期の段階から翻訳に関係された多くの方々にも感謝したい。

勧告には主文と4つの付属書（A, B, C, D）が含まれているが、これらの基礎となった生物学的、医学的情報とリスクについて、ICRP専門委員会1がまとめた5つの個人名の論文が、*Annals of the ICRP*, 22, No.1(1991)に発表されている。併せて検討されるよう希望する。

平成3年11月

ICRP 勧告翻訳検討委員会

日本アイソトープ協会

ICRP 勧告翻訳検討委員会

委員長 田島 英三（立教大学名誉教授）

副委員長 浜田 達二（（社）日本アイソトープ協会）

委員 伊澤 正實（日本原子力発電（株））

稲葉 次郎（放射線医学総合研究所）

古賀 佑彦（藤田保健衛生大学）

小林 定喜（放射線医学総合研究所）

沼宮内弼雄（（財）放射線計測協会）

吉澤 康雄（東京大学名誉教授）

吉田 芳和（（財）放射線計測協会）

目 次

	頁	(項)
序	vii	(1)
第1章 緒 言	1	(3)
1.1 委員会の歴史	1	(3)
1.2 委員会勧告の発展	1	(6)
1.3 この報告書の目的	3	(10)
1.4 委員会勧告の適用範囲	3	(13)
第2章 放射線防護に用いられる諸量	5	(17)
2.1 緒 言	5	(17)
2.2 基本的な線量計測量	6	(22)
2.2.1 放射線荷重係数	6	(23)
2.2.2 等価線量	6	(24)
2.2.3 組織荷重係数および実効線量	8	(27)
2.3 補助的な線量計測量	11	(33)
2.4 その他の量	12	(37)
第3章 放射線防護の生物学的側面	14	(42)
3.1 緒 言	14	(42)
3.2 電離放射線の生物影響	14	(44)
3.3 損害の概念	15	(47)
3.4 放射線被ばくの影響の定量的推定	17	(52)
3.4.1 確定的影響	17	(54)
3.4.2 被ばくした人における確率的影響	19	(62)
3.4.3 子孫における確率的影響	26	(87)
3.4.4 出生前被ばくの影響	27	(90)
3.5 組織荷重係数	28	(94)

第4章 放射線防護の概念的な枠組み	31	(99)
4.1 基本的な枠組み	31	(99)
4.2 放射線防護体系	34	(112)
4.3 提案された行為と継続している行為における放射線防護	35	(115)
4.3.1 行為の正当化	35	(115)
4.3.2 防護の最適化	36	(117)
4.3.3 個人線量の限度	37	(122)
4.3.4 潜在被ばく	38	(127)
4.4 介入による放射線防護	39	(130)
4.5 防護体系の有効性の評価	40	(132)
第5章 提案された行為と継続している行為に対する防護体系	41	(133)
5.1 被ばくの種類	41	(134)
5.1.1 職業被ばく	41	(134)
5.1.2 医療被ばく	42	(139)
5.1.3 公衆被ばく	43	(140)
5.2 防護体系の適用	43	(141)
5.3 職業被ばくにおける防護体系	43	(144)
5.3.1 職業被ばくにおける防護の最適化	43	(144)
5.3.2 職業被ばくにおける線量限度	44	(147)
5.3.3 女性の職業被ばく	51	(176)
5.4 医療被ばくにおける防護体系	52	(179)
5.4.1 医療被ばくにおける行為の正当化	52	(179)
5.4.2 医療被ばくにおける防護の最適化	52	(180)
5.4.3 医療被ばくにおける線量限度	53	(182)
5.4.4 妊娠中の女性の医療被ばく	53	(184)
5.5 公衆被ばくにおける防護体系	53	(185)
5.5.1 公衆被ばくにおける防護の最適化	54	(186)
5.5.2 公衆被ばくにおける線量限度	54	(188)
5.6 潜在被ばく	57	(195)
5.6.1 行為の正当化	59	(202)
5.6.2 防護の最適化	59	(203)

5.6.3 個人のリスク限度とリスク拘束値	59	(204)
5.7 相互に影響しあう状況	60	(207)
第6章 介入における防護体系	61	(210)
6.1 公衆被ばくにおける介入の基本	61	(211)
6.2 救済措置が必要となりうる状況	62	(215)
6.2.1 住居におけるラドン	62	(216)
6.2.2 過去の事象に起因する放射性の残留物	63	(219)
6.3 事故および緊急時	63	(220)
6.3.1 公衆に影響を及ぼす介入	63	(220)
6.3.2 緊急時における職業被ばくの制限	64	(224)
第7章 委員会勧告の履行	66	(226)
7.1 責任と権限	67	(230)
7.2 委員会の勧告	68	(234)
7.3 規制上の要求	68	(236)
7.3.1 行為の規制	69	(238)
7.3.2 潜在被ばくに関係する規制	70	(244)
7.4 管理上の要求	70	(247)
7.4.1 作業場所および作業条件の区分	71	(251)
7.4.2 操 業 指 針	72	(254)
7.4.3 参考レベル	73	(257)
7.4.4 防護と保健に関する職業的サービス	73	(258)
7.5 線量の算定	74	(264)
7.5.1 職業被ばくにおける線量算定	75	(266)
7.5.2 医療被ばくにおける線量算定	76	(272)
7.5.3 公衆被ばくにおける線量算定	77	(273)
7.6 意図した防護基準の順守	77	(276)
7.6.1 記録の保存	78	(277)
7.7 緊急時計画	78	(278)
7.8 規制上の管理からの除外と免除	80	(285)

勧告の要約	82	(S 1)
緒 言	82	(S 1)
放射線防護に用いられる諸量	82	(S 2)
放射線防護の生物学的側面	84	(S 5)
放射線防護の概念的枠組み	86	(S14)
職業被ばく者の管理	87	(S21)
医療被ばく者の管理	90	(S33)
公衆被ばく者の管理	90	(S38)
潜在被ばく者	91	(S43)
介入における防護体系	92	(S46)
住居におけるラドン	92	(S47)
事故後の介入	93	(S49)
委員会勧告の実際の履行	93	(S51)
表 S-1 放射線荷重係数	82	
表 S-2 組織荷重係数	83	
表 S-3 確率的影響についての名目確率係数	84	
表 S-4 線量限度の勧告値	88	
表 1 放射線荷重係数	7	
表 2 組織荷重係数	9	
表 3 確率的影響についての名目確率係数	27	
表 4 組織・臓器別名目確率係数	29	
表 5 作業員集団の被ばくによる損害の諸属性	46	
表 6 線量限度の勧告値	56	
図 1 中性子に対する放射線荷重係数	8	
図 2 18 歳から 65 歳までの被ばくに対する無条件年死亡確率	48	
付属書 A 放射線防護に用いられる諸量	95	
付属書 B 電離放射線の生物影響	107	
付属書 C 放射線の影響の重要性を判断するための基礎	193	
付属書 D 委員会刊行物のリスト	227	

第2章 放射線防護に用いられる諸量

第2章では放射線防護において用いられる主要な量を簡潔に説明する。その正式な定義とさらに詳しい説明は付属書Aに与えられている。

2.1 緒 言

(17) 歴史的にいつて、電離放射線（この報告書では以下，“放射線”と略す。）の“数量”の計測に用いられる量は、ある決められた状況における電離事象の総数、もしくは、普通はある決められた質量の物質中に沈着するエネルギーで表される沈着エネルギーの総量に基づいてきた。こうしたやり方は電離過程の不連続性を考慮していないが、しかし、この総量は（放射線の種類に応じて補正して）、結果として生ずる生物影響とかなりよく対応するという知見によって、経験的に正しいものとされている。

(18) 将来の発展において、細胞核あるいはその中にあるDNA分子のような生物学的単位の寸法に相応する微小な体積の物質中における事象の統計的分布に基づいた別種の量を用いる方がよいということが示されるかもしれない。しかしながら現状では、委員会は巨視的な量の使用を今までどおり勧告する。これらの量は、他のものとともに付属書Aに記載されており、線量計測量として知られている。これらは国際放射線単位・測定委員会（ICRU）によって正式に定義されている。

(19) 線量計測量について考察する前に、第3章で記述される放射線の生物影響についていくらかの情報をあらかじめ述べておく必要がある。電離の過程は、原子と分子を、少なくとも過渡的には、必ず変化させ、このため、ときには細胞に損傷を与えることもありうる。もし細胞に損傷が実際に生じそれが十分に修復されないならば、それは細胞の生存あるいは再生を阻害するかもしれないし、あるいは、生きてはいるが修飾された細胞を結果として生ずるかもしれない。この2つの結果は、生物体全体にとってまったく異なった意味合いをもつ。

(20) ほとんどの臓器・組織は相当な数の細胞が失われても影響を受けない。しかし、失われた細胞の数が十分多いと、組織機能の喪失の結果現れる観察しうる障害が発生する。こうした障害を引き起こす確率は低線量ではゼロであるが、あるレベルの線量（しきい値）を超えるとその確率は急速に1（100％）にまで上昇するであろう。しきい値以上では、障害の重篤度も線量とともに増加する。この型の影響は委員会により以前は“非確率的”と呼ばれていたが、3.4.1節で説明する理由から、今回は“確定的”と呼ぶ。

(21) 照射された細胞が殺されずに修飾されるとき、結果はたいへん違ったものとなる。

きわめて効果的な生体防御機構が備わっているにもかかわらず、修飾されているが生存できる1個の体細胞が再生する結果生ずる細胞クローンは、潜伏期と呼ばれる長くかついろいろに変化する遅延時間ののち、悪性の状態つまりがんの発現をもたらすことがある。放射線に起因するがんの確率は、少なくとも確定的影響のしきい値よりも十分に低い線量では、おそらくしきい値がなく、線量におよそ比例して線量の増加分とともに通常は上昇する。がんの重篤度は線量に影響されない。この種類の影響は“確率的”と呼ばれ、この語は“ランダムな、あるいは統計的性質をもった”という意味である。もし、後の世代へ遺伝情報を伝達する機能をもった細胞に損傷が発生すると、その結果生ずる影響が、種類と重篤度はさまざまであるが、被ばくした人の子孫に現れる。この種の確率的影響を“遺伝的”と呼ぶ。

2.2 基本的な線量計測量

(22) 放射線防護における基本的な線量計測量は吸収線量 D である。これは単位質量あたりに吸収されるエネルギーであり、その単位はキログラムあたりのジュールで、これには特別な名称グレイ (Gy) が与えられている。吸収線量はある一点で規定することができる言い方で定義されているが、しかし、この報告書では、とくに断わらないかぎり、1つの組織・臓器内の平均線量を意味するものとして用いる。被ばくに引き続いて起こる確率的影響の確率の指標として平均線量を用いることは、ある影響を誘発する確率と線量との関係（線量反応関係）の比例性に基いている。この比例性は、ある限定された線量範囲で合理的な近似である。確定的影響に対しては線量反応関係に比例関係がないので、線量が組織・臓器内でかなり一様に分布しているのでないかぎり、平均吸収線量は確定的影響には直接関連しない。

2.2.1 放射線荷重係数

(23) 確率的影響の確率は、吸収線量のみでなく、線量の原因となる放射線の種類とエネルギーにも依存することがわかっている。このことは、線質に関係づけられた係数で吸収線量を荷重することにより考慮される。以前には、この荷重係数はある一点における吸収線量に適用され、線質係数 Q と呼ばれていた。また、荷重された吸収線量は線量当量 H と呼ばれていた。

2.2.2 等価線量

(24) 放射線防護上関心があるのは、一点における吸収線量でなく組織・臓器にわたって平均し、線質について荷重した吸収線量である。この目的のための荷重係数は今回、放射線荷重係数 w_R と呼ばれ、身体に入射する放射線、あるいは体内にある線源の場合には線源から放出される放射線の、種類とエネルギーに適するように選ばれている。この荷重された吸収線量は厳密な意味で線量であり、委員会は組織・臓器の等価線量 というもとの名称に戻り、記号 H_T を

第3章 放射線防護の生物学的側面

第3章では、電離放射線の確率的生物影響と確定的生物影響についての紹介を行い、放射線被ばくによる損害の定量的な尺度を確立する諸問題について考察する。放射線のリスクに関する情報を含むもっと詳細な生物学的情報は付属書Bにある。これらの情報を放射線防護方策の基礎として使用することに関しては、付属書Cで考察する。

3.1 緒言

(42) 第1章で説明したように、放射線防護は放射線の有害な影響からの人体の防護を扱う。委員会は、これまでのすべての委員会の作業において、放射線の生物影響についての利用しうる最善の情報をその取組みの基礎として用い、その情報を、放射線防護のための、単純化されてはいるが適切な生物学的根拠を与えるために用いてきた。この章と付属書Bは、したがって、このような取組みを支えるために必要な範囲に限って、放射線の有害な影響を扱っている。理解を助けるために、次の4用語、すなわち変化、損傷、障害、および損害を区別して用いることとする。変化は有害なことも有害でないこともある。損傷は、ある程度の有害な変化たとえば細胞に対する変化をいうが、被ばく者個人には必ずしも有害とは限らない。障害は、個人に現れる（身体的影響）かまたはその子孫に現れる（遺伝的影響）臨床的に観察できる有害な影響を指すのに用いる用語である。損害は、障害の確率、重篤度および発現時期を組み合わせた、複雑な概念である。これは単一の変数では表現しにくいものであり、3.3節において論じる。

(43) 委員会は、“リスク”という用語を、ある特定の有害な結果の確率を意味するものとしてこれまで使用してきたが、この用語は、1つの事象の確率と重大さとの積として、またもっと一般には純粹に説明用語として、他分野でも広く使用されてきている。委員会は今回、リスクを単に説明用語として、および、“リスク推定値”、“過剰相対リスク”といった、十分に確立された言葉の中で使用する。委員会は今回、確率を意味するときには確率という用語を使用する。確率とリスクの諸問題は付属書BとCで詳細に論ずる。

3.2 電離放射線の生物影響

(44) この問題の一部は2.1節ですでにざっと考察されているが、ここでもっと詳細に検討する。電離の過程においては、少なくとも過渡的に、必ず原子の変化が生じ、その結果、その原子を含む分子の構造の変化を引き起こすことがある。励起エネルギーが原子間の結合エネルギーを上まわる場合には、原子と分子の励起によっても分子の変化は引き起こされることが

ある。電離放射線により組織中に沈着するエネルギーの約半分は励起によるものであるが、これは電離に比べて影響が小さいので、以下の考察では分けて取り上げなかった。もし、影響を受けた分子が生きた細胞の中にあれば、その分子がその細胞の機能にとってかけがえのないものである場合には直接的に、また、たとえば遊離基の生成のように隣接の分子に化学的変化を起こすことによって間接的に、細胞そのものが損傷を受ける場合がある。細胞内で放射線が引き起こすことのできる種々のかたちの損傷のうち最も重要なものは、DNAの損傷である。DNAの損傷は、細胞の生存または再生を妨げることがあるが、しばしば細胞によって修復される。もし、その修復が完全でなければ、生育できるものの修飾された細胞を生ずることがある。被修飾細胞の生成と増殖は、放射線被ばく以前または以後に生じた細胞内の他の変化によって影響を受けることが十分考えられる。このような影響はよくみられるものであって、他の発がん物質または突然変異原にさらされた場合などが含まれるであろう。

(45) 組織・臓器内のかかなりの細胞が死んだり、正常に再生し機能することが妨げられたりすると、臓器機能の喪失——委員会が今回“確定的”と呼ぶ影響——に至るであろう。機能の喪失は、影響を受けた細胞の数が増加するにつれて重大なものとなる。詳細は3.4.1節に述べる。修飾された体細胞が依然として再生能力を保持する場合があります、最終的にがんになるかもしれない被修飾細胞のクローンを生ずることがある。遺伝情報を被ばくした者の子孫に伝える機能を有する生殖腺中の被修飾生殖細胞が、間違った遺伝情報を伝えて子孫の一部に重大な障害を引き起こすことがある。1個の被修飾細胞から始まることのあるこれらの身体的影響および遺伝的影響を、確率的影響と呼ぶ。これらについては、3.4.2節および3.4.3節でさらに論ずる。接合体から胚へ、さらに胎児への発達過程は複雑であるので、生まれる前の子供に対する放射線の確定的影響と確率的影響については別の節（3.4.4節）で論ずるのが便利である。

(46) 放射線が増殖と修復といった種々の細胞機能を刺激することができるという、ある実験結果がある。そのような刺激は必ずしも有益とは限らない。場合によっては、放射線が免疫反応を促進し、体内のホルモンのバランスを変えるように思われることもある。とくに、放射線は過去に生じた放射線損傷の修復を刺激して放射線の影響を軽減したり、あるいは免疫的抵抗力を改善したりして、その結果、人体に自然に備わった防御機構を強化することができるかもしれない。今日、“ホルミシス”と呼ばれるこのような影響に関するほとんどの実験データは、主として低線量における統計解析が困難なため、結論が出ていない。そのうえ、多くのデータが、がんあるいは遺伝的影響以外の生物学的エンドポイントに関係したものである。現在入手しうるホルミシスに関するデータは、放射線防護において考慮に加えるには十分でない。

3.3 損害の概念

(47) Publication 26 (1977)において、委員会は、あるグループが放射線源に被ばくし

しくないと結論した。したがって委員会は、従来の損害の概念にかえて多次元的概念を採用した。線量限度を勧告するにあたって、被ばくによる損害はいろいろに表現された。このアプローチについては第5章で、またもっと詳しくは付属書BとCで扱う。この目的には、これらの多くの面を、Publication 45(1985)で「統一された害の指標」と呼ばれた単一の量に総合する限られた試みがなされているにすぎない。しかし、組織荷重係数を選ぶにあたっては、これら係数が組織・臓器のそれぞれ異なる感受性について調整をとるためにのみ用いられるため、1つの総合的な方法が選ばれた。肺およびおそらくは甲状腺と皮膚以外は、単一の組織が単独に照射を受けることはまれなので、組織荷重係数の選択は、損害のいろいろな面を総合する仕方あまり影響されない。詳細は3.5節および付属書Bに述べる。

3.4 放射線被ばくの影響の定量的推定

(52) 放射線防護体系を作りあげるためには、確率的影響の確率と確定的影響の重篤度が線量に伴ってどのように変化するかを定量的に知ることが必要である。この目的に最も合った情報源は、人における放射線影響の研究から直接に得られるものである。それに加えて、損傷のメカニズムおよび人における線量と有害影響の確率との関係についての多くの情報は、微生物、インビトロ培養の分離細胞、および動物についての研究から推論することができる。しかし残念ながら、これらの入手できる情報は、放射線防護に直接適用できるものがあるとしてもわずかであり、すべてかなりの解釈が必要である。放射線防護に必要な生物学的情報についての委員会の結論は、人についての放射線影響に関するデータを最大限に利用して出されており、他の情報は支持材料として使われている。

(53) 人についての確定的影響のデータは、放射線治療の副作用、初期の放射線医における影響、日本の広島と長崎の原爆の影響、および、原子力産業とラジオグラフィ用線源が関係したいくつかの重大な事故の結果から得られている。現在、確率的影響についての3つのおもな情報源は、広島と長崎における核兵器攻撃の生存者、治療または診断のため放射線に被ばくした患者、および、工作中に放射線あるいは放射性物質にさらされたいくつかの作業グループについての、疫学的研究である。この種の研究は非常に複雑で時間もかかるため、委員会自体は行っていない。委員会は、各専門委員会の協力を得て、公表された研究報告書、および、国の機関または国際機関によって行われた検討結果があればそれらを検討し、放射線防護に必要な結論を引き出している。

3.4.1 確定的影響

(54) 体内の多くの組織・臓器の中では、常に細胞の喪失と交替が起こっている。喪失の率がたとえば放射線被ばくにより増大すると、交替率の上昇によって埋め合わされうるが、一

(58) 低 LET 放射線のデータによると、組織により感受性に大きな違いがみられる。しかし、1 回（すなわち急性）の数グレイ以下の吸収線量では、臨床的に有意な悪影響を示す組織はわずかしかなないと結論できる。何年もの期間にわたって放射線を受ける場合には、約 0.5 Gy 以下の年線量では、ほとんどの組織に重篤な影響は起こりそうにない。ただし、生殖腺、眼の水晶体、および骨髄は、感受性がもっと高い。

(59) 辜丸の一回被ばくにより男性が一時的不妊になるしきい線量は、吸収線量で約 0.15 Gy である。長期間被ばくの場合の線量率のしきい値は約 0.4 Gy y^{-1} である。永久不妊を生ずるしきい値は、一回被ばくで約 3.5-6 Gy、線量率で 2 Gy y^{-1} である。女性に永久不妊を起こすしきい線量は、急性被ばくの場合約 2.5-6 Gy の吸収線量であり、高年齢者の方が感受性が高く、また、何年にもわたる遷延被ばくの場合、吸収線量率のしきい値は 0.2 Gy y^{-1} 以上である（付属書 B, 表 B-1 参照）。

(60) 多少遅れて視覚障害を起こすのに十分な水晶体の混濁に関するしきい値は、低 LET 放射線に対する急性被ばくで 2-10 Gy の範囲にあると思われる。高 LET 放射線の場合には、吸収線量のしきい値は低 LET 放射線の $1/2$ から $1/3$ である。慢性被ばくのさいの線量率しきい値はもっと不明確であるが、何年にもわたる被ばくについては 0.15 Gy y^{-1} をいくぶん上回ると考えられる（付属書 B, 表 B-1 参照）。

(61) 臨床上有意な造血機能の低下のしきい値は、全骨髄の急性被ばくで吸収線量約 0.5 Gy である。長年にわたる遷延被ばくの線量率しきい値は 0.4 Gy y^{-1} 以上である。不均一な集団が一様かつ急性の被ばくをした場合の骨髄症候群による 60 日間の LD_{50} は、高水準の医療が得られなければ、約 3-5 Gy である（付属書 B, 表 B-2 参照）。

3.4.2 被ばくした人における確率的影響

(62) 修飾された体細胞のクローン形成に対する生体の反応は複雑である。そのようなクローンの最初の形成は、もし何か付加的な因子による促進がなければ、阻止されうる。生き残ったクローンも、生体の防御機構によって排除もしくは隔離される可能性が高い。しかし、もしそうならなかった場合には、潜伏期と呼ばれる長くかつ不定の遅延ののちに、被修飾細胞の増殖が制御されなくなった悪性状態を生ずる結果になることがありうる。このような状態は、通常一括してがんと呼ばれている。放射線被ばくにより生じたがんは、他の因子の寄与があってもなくても、放射線以外の原因で生じたがんとは区別できない。生体防御機構は、低線量においてさえ完全には効果的でないので、線量反応関係にしきい値を生ずることはありそうにない。放射線により発生するがんの確率は、少なくともその一部は、当初生じた被修飾細胞のクローン数によるであろう。というのは、この数は、少なくとも 1 つのクローンが生き残る確率に影響を及ぼすと思われるからである。そこで、線量に関係するのはがんの確率であって、

他方、特定のがんの重篤度はがんの種類と発生部位からだけ影響を受ける。遺伝学および生理学的なばらつきの反映として、放射線によるがん誘発に対する感受性にはある程度の個人差があろうが、この過程はランダムのように思われる。まれな遺伝病にかかっている人々は、平均的な人よりずっと感受性が高いかもしれない。放射線被ばく者においては、がん（およびいくつかの臓器の良性腫瘍）以外の確率的影响は放射線によって誘発されないと思われる。とくに、被ばくした人の集団と低線量照射実験動物にみられる寿命短縮はすべて、放射線誘発がんによる過剰死亡のためであることがわかっている。

(63) 自然放射線に身体がさらされることにより、人の体内の DNA 全体には毎年数兆ものイオン対が発生している。がんによる死亡は全死亡の約 1/4 以下であり、放射線によるものはこれらのがん死亡のうちのごく一部にすぎない。DNA に 1 つのイオン対が発生してからがん発現に至る過程が完結することは非常にまれであることは明らかである。

(64) 確率的影响に関する結論を導く道すじは単純ではない。というのは、疫学的調査は、まさに必要とされている情報を提供することはできないからである。疫学的調査は統計的な関連を示すことができるのみであるが、この関連が明らかに線量と関係があり、かつ、対応する実験データにより支持される場合には、強固なものとなる。日本のデータは欠くことのできない、かつ広汎なものではあるが、調査対象者の約 60 % が生存中であるので、最終的な確率的影响の総数は推定によらなければならない。そのうえ、今後現れるがんの大部分が、被ばく時に 20 歳未満であった人々に生ずるであろう。そして、これらの人々の単位線量あたりの放射線の寄与による生涯致死確率は、もっと年齢の多い人々よりもおそらく高いであろう。調査対象集団は大きい(約 8 万人)が、95 % レベルで統計学的に有意ながんの過剰は約 0.2 Sv 以上の線量でのみみられる。もっと低い有意レベルならば、0.05 Sv ぐらいの線量で過剰がみられる。また忘れてはならないことは、これらの日本人調査集団の線量はすべて、きわめて高い線量率で与えられたことである。ところが、急性被ばくでも遷延被ばくでも、放射線防護の立場から必要とされているのは、ほとんど常にもっとずっと低い線量率での影響に関する情報である。しかしながら、この集団についての調査は、他の調査に比べていくつかのすぐれた点がある。すなわち、この集団は男女両性およびすべての年齢層の人々を含んでおり、しかも、ほとんどゼロから致死線量に至る非常に広範囲の線量を全身ほぼ均等に受けたという点である。

(65) 患者を対象とした調査にも問題がある。とくに、照射は意図的に不均等に行われており、医学的理由で患者が選ばれているので、比較すべき対照群の選定がときに困難である。また、患者は一般集団を代表していないかもしれない。そうはいっても、これらグループは貴重な情報源であり、継続的調査の対象となるものである。

(66) 作業者についての調査で今までに重要な結果をもたらしたのは、20 世紀の 20-30 年代にラジウム-226 を取り扱った人々に関するものと、今世紀中頃にウラン採鉱を主とした採鉱

第4章 放射線防護の概念的な枠組み

第4章では放射線防護の一般的方針を取り扱う。ここで、線源関連評価と個人関連評価という考え方を取り入れる。そして、職業被ばく、医療被ばくおよび公衆被ばくについての防護の基本体系の概要を述べ、放射線被ばくを引き起こす“行為”と、被ばくを減らすことになる“介入”とを区別する。

4.1 基本的な枠組み

(99) 世界中の人々は皆、自然放射線源と人工放射線源からの放射線を受けている。したがって、放射線防護の現実的な体系はどれも、もし人類のすべての活動に適用しようとするのでないならば、明確に決まった適用範囲をもっていなければならない。一方、その体系はまた、一貫したかたちで非常に広範な状況をカバーしていなければならない。

(100) 放射線防護の第一の目的は、放射線被ばくの原因となる有益な行為を不当に制限することなく、人を防護するための適切な標準を与えることであるから、放射線防護の基本的な枠組みには、必然的に、科学的な判断だけでなく社会的な判断も含めなければならない。そのうえ、少ない放射線量でもなんらかの健康に対する悪影響を起こすことがあると仮定しなければならない。確定的影響にはしきい値が存在するので、個人に対する線量を制限することによってこれを避けることが可能である。しかし他方、確率的影響はしきい値を求めえないので、これを完全に避けることはできない。委員会の基本的な枠組みは、線量を確定的影響のそれぞれに対するしきい値よりも低く保つことによってその発生を防止し、また確率的影響の誘発を減らすためにあらゆる合理的な手段を確実にとることを目指すものである。

(101) 人間の活動に関するほとんどすべての決定は、便益と費用プラス不利益との暗黙の比較に基づくもので、そうすることにより、ある一連の措置または行為が実行する価値のあるものかどうかの結論が導かれる。これほど一般的ではないが、ある行為は、個人あるいは社会にとっての正味の便益が最大になるように調整して実施すべきであることも認識されている。個人の目標と社会の目標とは一致するとは限らないので、これはそう簡単な過程ではない。放射線防護では、他の分野と同様に、これらの決定に達する助けとなる手順の形式を整え、これを定量化することが可能になってきている。このさいには、社会全体の利益と不利益とに注目するだけでなく、個人の防護にも注意を払わなければならない。便益と損害とが集団の中で同じ分布をしない場合には、ある程度の不公平が必ず生ずることになる。はなはだしい不公平は、個人の防護に注意を払うことによって避けることができる。また、現在の多くの行為は、将来、

によるか、あるいは、既存の線源から人に至る経路のネットワークを変えて個人の被ばくまたは被ばくする個人の数を増加させることによって、総放射線被ばくを増加させる。委員会はこれらの人間活動を“行為”と呼ぶ。他の人間活動は、現在あるネットワークのかたちに影響を与えて総被ばくを減らすことができる。これらの活動によって、現在ある線源を撤去したり、経路を変えたり、被ばくする個人の数を減らしうる。委員会はこれらすべての活動を“介入”と記す。

(107) ある行為の管理においてもしくは介入によって、個人の被ばくを制限するのに必要な対応は、線源を個人に結びつけるネットワークの中のどの点で措置をとっても、行うことができる。この措置は線源に対し、環境に対し、あるいは個人に対して適用されうる。線源において適用できる措置は他への影響が最小である。それらは、事故が起こって措置できなくなることがなければ、必要とされるだけ効果的に行うことができる。そして、その線源に関連のあるすべての経路とすべての個人に影響する。極端な場合には、その措置とは、その線源の使用の中止であってもよい。使えるならば線源において適用される管理の方が好ましい。環境または個人に対し適用される措置はもっと無理が大きく、予見できるものばかりではない社会的な不利益をもっているかもしれない。それらはいくつかの経路および何人かの個人だけに適用されるので、その有効性は限られている。

(108) 委員会の防護体系は、できるだけ一般的であるように意図されている。それは、一つには一貫性を保つためであり、他方には、異なる状況を区分することから生ずる方針の変更を避けるためである。けれども、被ばくにいろいろな種類があり、また行為と介入との区別があるために、管理しやすさの程度もいろいろになり、その結果、いろいろな管理手順の合理性についての判断も影響を受ける。

(109) 委員会は被ばくを3種類に区分する。第一は職業被ばくで、これは仕事の中に、主として仕事の結果起こる被ばくである。第二は医療被ばくで、おもに診断または治療の一部として患者が受ける被ばくである。そして、第三は公衆被ばくで、第一、第二以外のすべての被ばくを含む。これらは第5章でもっと詳細に述べる。

(110) 職業被ばくの管理においては、通常は次の3つの点すべてにおいて管理を行うことが可能である。すなわち、線源において、その特性を決めそのごく近くで遮蔽と閉じ込めを行うことによる管理；環境において、換気あるいは追加の遮蔽による管理；そして、個人の段階において、作業習慣を実行させ、防護衣、防護用具を使用することによる管理；である。いつもこれらすべてのレベルの管理が必要というわけではない。医療被ばくでも、管理はこの3点のすべてにおいて行われるが、独立した防護体系の一部としてではなく、主として診断あるいは治療の本来の役割の一部と考えて行われる。公衆被ばくでは、管理は線源において行うべきである。線源における管理が効果的に行えない場合にのみ、環境に対し、または個人に対し

(119) 防護を最適化することに含まれる諸判断は純粹に定量的なものばかりとはいえず、種類の違う損害間の選択、および、資材の使用と健康影響との間の選択の問題が含まれている。最適化に必要な手法についての指針は、Publication 37 (1983) および Publication 55 (1989) として委員会によりすでに刊行されている。

(120) 防護を最適化する過程は、注意深く組み立てるべきである。この過程は本質的に線源関連のもので、どんなプロジェクトにおいても、まずその設計段階に適用すべきである。線量の低減が費用-効果的手法で達成されそうなのはこの場合である。防護に関し最適化された設計を行うには、設計者は、その施設または設備がその後どう使われるかを考慮に加え、使われ方に影響を及ぼすべきである。ただし、このような将来の操業面に関し設計者のもつ情報と影響力は限られたものであろう。彼らはまた、工業標準化によりもたらされる大きな利点を考慮に入れたいと思うであろう。したがって設計段階では、防護の最適化の過程はある程度一般的な側面をもっている。これ以上の防護の最適化は操業レベルで行うべきである。操業時の最適化は、作業手順の常識的な変更を含む、通例は非公式なものであるが、それは多くの場合非常に効果的である。

(121) 防護の最適化に用いられる方法の大多数は、社会および全被ばく集団に対する便益と損害を重視する傾向にある。便益と損害の2つは社会の中で同じ分布をしそうにないので、防護の最適化は、ある人と他の人との間に大きな不公平を生ずるかもしれない。この不公平は、最適化の過程の中に個人線量についての線源関連の限定を導入することにより、制限することができる。委員会は、これら線源関連の限定を線量拘束値と呼ぶ。これは、今まで上限値と呼ばれていた。線量拘束値は防護の最適化の重要な部分をなすものである。潜在被ばくの場合、これに該当する概念はリスク拘束値である。このような拘束値の選択は状況によって変わるものであり、第5章でさらに論ずる。

4.3.3 個人線量の限度

(122) 行為の正当化の手順と防護の最適化の手順が有効に実行されたならば、個人線量についての限度を適用しなければならない場合はわずかしかないであろう。しかし、このような限度は、かなり主観的なこれらの手順についてはっきりと決まった境界線を与え、またいろいろな行為の複合により生ずるかもしれない過大な個人損害の発生を防止する。委員会の決める個人線量限度は、行為の管理だけに適用すべきものである。

(123) 線量限度の数値は、この値をわずかに超えた被ばくが続けば、ある決まった行為から加わるリスクは平常状態で“容認不可”と合理的に記述できるようなものとなるように選ぶ、というのが、委員会の意図である。したがって、線量限度の定義および選択には社会的な判断が入ってくる。これらの判断は、線量限度はある決まった値としなければならない、他方、容認

可能性を計るものさしには不連続はないことが一つの理由で、難しい。電離放射線のような作用因子については、被ばくによって起こるある種の影響の線量反応関係にはしきい値を仮定できないので、この困難をのがれることはできず、限度は健康の考察だけに基づいて選択するわけにはいかない。

(124) 実施面では、線量限度の定義と機能についていくつかの誤解が生じている。まず第一に、線量限度は“安全”な範囲と“危険”な範囲との境界線であると、広く、しかし間違っ、て、みなされている。第二に、これも広くしかし間違っ、て、線量限度は被ばくを低く保ち、改善を強制するための最も簡単で効果的な手法と考えられている。第三に、これは、防護体系の厳格さの唯一の尺度と通常考えられている。これらの誤解はある程度、線量限度を規制手段に取り入れることで強められている。そして、線量限度を超えることがあるとそれは規則をおかしたことになる、ときには法令違反となる。この背景があるので、管理者、規制機関および政府のすべてが、たとえ線源が部分的にあるいはまったく彼らの管理外にある場合でも、また防護の最適化の方が措置としてもっと適切であっても、可能なかぎりいつでも線量限度を適用するものと、不適切にも規定しているのは、驚くにはあたらないことである。

(125) さらに、線量限度は、二通りのまったく違った使い方で用いられるのが通例であることも明らかとなってきた。一つの使い方では、主として職業被ばくに関係するが、線量限度は、一つの施設の設計と操業についての超えてはならない制約とみなされている。他方では、線量限度は、各個人の線量蓄積を管理するという、限度本来の役目に使われている。すべての状況下ですべてのかたちの被ばくに線量限度をあてはめるのは決して適切ではない。適用することは考えられていない、たとえば、緊急時とか、相当に重要な特殊作業の期間には、線量限度のかわりに、その場合のため特別に決められた規制機関が定める限度、あるいは、そのレベルになるとある決まった一連の措置を開始する必要がある、規定された線量レベルが使われるのが普通である。このようなレベルはしばしば対策レベルあるいは介入レベルと呼ばれ、もっと一般的には参考レベルと呼ばれて、放射線防護の手順を体系づける有用な手法となっている。

(126) 以上の理由で、委員会は線量限度に対してもっと複雑なとり上げ方を開発しなければならなかった。線量限度の詳細と数値の選択は第5章で議論する。

4.3.4 潜在被ばく

(127) すべての被ばくが予告されたとおりに起こるとは限らない。計画された操業手順からあやまって逸脱するかもしれないし、装置が故障するかもしれない。放射性廃棄物を捨てたのちに環境変化が起こるかもしれない、環境の使われ方に変化があるかもしれない。そのような出来事は予想することができ、それらが起こる確率は推定できるけれども、それらを詳しく予

な放出を最終的な個人線量レベルおよび集団線量レベルと結びつける長期の平衡環境モデルを用いるかわりに、線量預託の考え方が有用である。将来の個人線量、より厳密に言えば決定グループの典型的なメンバーに対する線量は、線量預託を用いることにより制限できる。一定の年レベルで継続する行為の各年からの決定グループに対する実効線量預託に限度を設定するならば、平均年個人実効線量がこの限度を超えることは決してない。もし預託を決めるときに打ち切り時間が用いられるならば、この保証は打ち切りのときまでのみ維持されるであろう。単位の行為あたりの集団実効線量は、ある行為の正当化と防護の最適化に利用できる。集団線量の一部は遠い将来において受けることになるかもしれないということに注意を払うべきである。もしもこのことが損害の重要性の判断上意味があると考えられるならば、完全集団線量預託のかわりに、決められた期間に受ける集団実効線量を用いるべきである。

5.5.1 公衆被ばくにおける防護の最適化

(186) 実際には、公衆被ばくはほとんどすべて、拘束値を組み込んだ最適化手順と規制機関の決めた限度の使用により管理される。ある単一の線源による被ばくに関して均質なグループを構成する個人を1クラスにまとめて分類すると、しばしば便利である。そのようなグループがその線源から最も高い被ばくを受けるグループの中の典型的なものであるならば、それは決定グループとして知られているグループである。線量拘束値は、防護を最適化しようとしている線源からの決定グループ内の平均線量に適用されるべきである。ときには、同じグループが他の線源に対しても決定グループであることがあろう。あるいは、決定グループが異なる場合には、各グループはそのグループが決定グループではない線源からいくらかの線量を受けるかもしれない。もし任意の決定グループの被ばくが公衆被ばくに対する線量限度(5.5.2節)に近づきそうならば、各々の線源に適用される拘束値は、その決定グループの被ばくに対してその他の線源からの有意な寄与があればそれを考慮して、選定されなければならない。

(187) 公衆被ばくにおける拘束値を組み込んだ最適化の主要な目的は、たとえば放射性廃棄物の環境への放出に関する制限といったかたちでの、被ばく源に対する実際的な制限を開発することにあるべきである。

5.5.2 公衆被ばくにおける線量限度

(188) 線源関連線量拘束値の広範な使用と公衆の被ばく源に対する実際的な制限によって、一般的に適用可能な線量限度が実際に制限因子となることはまれである。しかし、拘束値は線源関連であるため、それらは、少なくとも原理的には、他の線源からの被ばくを適切に考慮しえないことがあるかもしれない。委員会はこれがかなりの程度で起こるとは信じていないが、単に拘束値の選択についての限度を与えるにすぎないとしても、公衆被ばくに対する線量限度

を引き続いて勧告する。

(189) 委員会は、公衆被ばくに対する線量限度の適用範囲を、行為の結果受ける線量に限るものと決める。唯一利用できる防護措置が介入のかたちをとるような状況で受ける線量は、適用範囲から除外される。潜在被ばくには別な注意を払わなければならない(5.6節参照)。鉱山および廃棄物処分場などの施設からの自然界に存在する放射性核種の放出を含め、施設からの放射性核種の意図的放出は、行為として扱われるべきである。それによって生じた線量は線量限度に従うべきである。住居内および屋外のラドン、すでに環境中に存在する自然または人工の放射性物質は、介入によってのみ影響を与えることのできる状況の例である。それゆえ、これらの線源からの線量は、公衆被ばくに関する線量限度の範囲の外である。他の自然放射線源による被ばくもまたこの範囲の外である。既存の住居内あるいは新しい住居内のラドンについては6.2.1節で扱われる。介入の実施には職業被ばくが関与するので、それに応じて取り扱うべきである。

(190) 公衆被ばくに関する線量限度の選択には、少なくとも2つのアプローチがある。第一のアプローチは、職業上の限度の選択に利用されているものと同じである。その影響の評価は職業上の場合より難しいということはないが、その影響が容認不可と合理的に記述できる点を判断することはずっと困難である。第二のアプローチは、自然放射線源からの現存する線量レベルの変動に判断基準をおくことである。この自然バックグラウンドは無害ではないかもしれないが、社会が経験する健康損害に対して小さな寄与をするにすぎない。それは歓迎すべきことではないかもしれないが、場所による変動(住居内のラドンからの線量のような大きな変動は除外する)を容認不可と呼ぶことはほとんどできない。

(191) 年実効線量が1 mSv-5 mSvの範囲の継続した追加被ばくの影響は付属書Cに示してある。それらは判断のための基礎としてわかりやすいものではないが、1 mSvをあまり超えない年線量限度の値を示唆している。一方、付属書Cの図C-7のデータは、たとえ5 mSv y⁻¹の継続的被ばくによっても、年齢別死亡率の変化は非常に小さいことを示している。非常に変動しやすいラドンによる被ばくを除けば、自然放射線源からの年実効線量は約1 mSvであり、海拔の高い場所およびある地域では少なくともこの2倍である。これらすべてを考慮して、委員会は、年実効線量限度1 mSvを勧告する。時間平均については次項で議論する。

(192) 公衆の被ばく源に対する制限を導くさいには、人に至る環境経路の変動にいくぶん考慮を払っているが、より大きな一時的な変化の可能性が常にある。線源に適用される管理手順の有効性にも変動があろうから、そのような変動から生ずる線量の一時的な増加は線量限度の対象となる線量に含めるべきであることを、委員会は勧告する。重大な事故による線量は、介入によってのみ処置することができるので、線量限度の対象ではない。損害は多年にわたる線量の集積量の関数であるから、年線量限度に厳格に関連させるような管理を要求することは

れる線量によって決まる。

放射線防護の生物学的側面

(S5) 電離放射線は照射された組織に確定的影響と確率的影響の両方を引き起こす。放射線防護は、線量限度をしきい値以下に設定することにより確定的影響を避けることを目的とする。確率的影響は、低い頻度ではあるが非常に低い線量においても起こると考えられるため、すべての線量域で考慮されてきた。

(S6) 確定的影響は細胞が殺される結果生じ、線量が十分に大きければ、組織の機能を損なうのに十分な細胞損失を引き起こす。小線量では障害を生ずる確率はゼロであろうが、線量があるレベル(臨床的影響に関するしきい値)を超えると、障害発生の確率は急速に1(100%)にまで増加する。しきい値を超えると障害の重篤度は線量とともに増大する。これらの影響のしきい値は数グレイの線量あるいは年あたり数分の1グレイの線量率であることが多い。

(S7) 広島と長崎において受胎後8-15週という決定的な期間に子宮内で被ばくした子供達についての重要な所見によると、線量の増加に応じて知能指数分布は下方にシフトし、もっと高い線量を受けたあとには重度精神遅滞の確率が増加する結果となりうる。この影響は、知能指数のシフトが認められる最低線量をしきい値とする確定的影響であると推定される。

(S8) 確率的影響は、照射された細胞が殺されるのではなく修飾された結果起こるものであろう。修飾された体細胞は、その後長い遅延期間ののちにがんとなるかもしれない。修復機構と防御機構があるために、この状態を生ずることはめったにない。しかしながら、放射線によるがんの確率は線量の増加とともに増加し、おそらくしきい線量は存在しない。がんの重篤度は線量に影響されない。この損傷が遺伝情報を後の世代に伝える機能をもつ細胞に生ずるならば、その影響はすべて被ばくした人の子孫に現れ、この影響には多くの異なる種類と重篤度のものがあるかもしれない。この種の確率的影響は“遺伝的影響”と呼ばれる。

(S9) ICRPは、おもに日本の原爆被ばく者の研究とUNSCEAR, BEIR等の機関によるその研究の評価に基づいて、致死がんの確率を推定した。これらの委員会は、1985年までに蓄積されたデータ、新しい線量算定体系(DS86)、および、相乗モデルあるいは修正相乗モデル

表S-3 確率的影響についての名目確率係数

被ばく集団	損害 (10^{-2} Sv^{-1}) ¹⁾			
	致死がん ²⁾	非致死がん	重篤な遺伝的影響	計
成人作業者	4.0	0.8	0.8	5.6
全集団	5.0	1.0	1.3	7.3

¹⁾ 丸めた値である。

²⁾ 致死がんについては、損害は確率係数に等しい。

放射線防護の概念的枠組み

(S 14) 放射線防護の体系は、益が害を上回ることを目指すべきであり、正味の便益を最大にする防護の手段を要求すべきであり、そして、個人と社会全体の間での利害の矛盾に由来する不公平を制限することを目的とすべきである。

(S 15) 人間活動のあるものは総放射線被ばくを増加させる。委員会はこれらの人間の活動を“行為”と呼ぶ。他の人間活動は、現在ある被ばくの原因に影響を与えて総被ばくを減らすことができる。委員会はこれらの活動を“介入”と記す。

(S 16) 委員会は被ばくを3種類に区分する。第一は職業被ばくで、これは仕事に、主として仕事の結果起こる被ばくである。第二は医療被ばくで、おもに診断または治療の一部として患者が受ける被ばくである。そして、第三は公衆被ばくで、第一、第二以外のすべての被ばくを含む。

(S 17) 行為においても介入においても、多くの場合、被ばくが起こり、その大きさが、ある程度の誤差はあっても予測できることは實際上確実であろう。しかしながら、被ばくが起こる可能性はあるが、起こるということは確実ではないことがある。委員会は、このような被ばくを“潜在被ばく”と呼ぶ。

行為における防護の体系

(S 18) 提案された行為および継続している行為に関して委員会が勧告する放射線防護体系は、次の一般原則に基づくものである。

- (a) 放射線被ばくを伴うどんな行為も、その行為によって、被ばくする個人または社会に対して、それが引き起こす放射線障害を相殺するのに十分な便益を生むのでなければ、採用すべきでない。(行為の正当化。)
- (b) ある行為内のどんな特定の線源に関しても、個人線量の大きさ、被ばくする人の数、および、受けることが確かでない被ばくの起こる可能性、の3つすべてを、経済的および社会的要因を考慮に加えたうえ、合理的に達成できるかぎり低く保つべきである。この手順は、本来の経済的、社会的な判断の結果生じそうな不公平を制限するよう、個人に対する線量に関する限定(線量拘束値)、あるいは、潜在被ばくの場合には個人に対するリスクに関する限定(リスク拘束値)によって、拘束されるべきである。(防護の最適化。)
- (c) 関連する行為すべての複合の結果生ずる個人の被ばくは線量限度に従うべきであり、また潜在被ばくの場合にはリスクの何らかの管理に従うべきである。これらは、通常の状態ではいつも、どの個人も、これらの行為から容認不可と判断されるような放射線リスクを受けることが確実にならないようにすることを目的とする。すべての線源が線源での措置に

についての実験的研究がなされており（たとえば Little ら, 1970; Little と O'Toole, 1974), そして肺におけるアルファ粒子についての問題は米国放射線防護測定審議会 (NCRP, 1975) および米国科学アカデミー (NAS, 1976) によって検討されている。一般に“ホットスポット”中の高濃度の放射性物質は, 均一に分布してもっと低い均等な線量を与える同量の物質よりも, 発がん性については効率が低いことがわかっている。このことは概して理論的予想と一致する (Mayneord と Clarke, 1973)。

B.4.3 低 LET 放射線によるがん誘発：線量反応関係

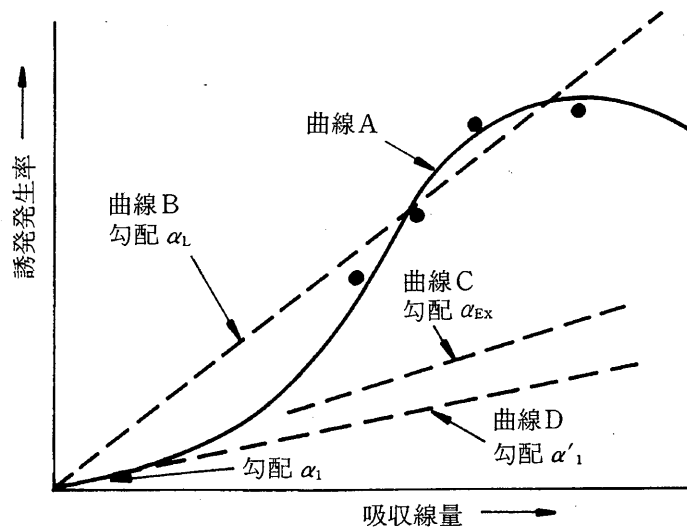
(B 53) 低 LET 放射線による誘発がんの発生率に関する情報が放射線防護に重要な線量域すなわち数 mGy からおそらく数十 mGy の領域で直接に得られるならば, しきい値の存在の可能性, 線量反応曲線の形, 線量率効果などについての疑問は問題とならないであろう。しかし大部分のヒトの情報はもっと高い線量域 (0.1 ないし 0.2 Gy かそれ以上) で得られており, より低い線量で有意な結果が観察されるのは例外にすぎない。しかし, 日本からのデータには低線量に被ばくした多くの個人が含まれており, 結局はこれらのデータが低線量における重要な情報を与えるであろう。被ばくはまたしばしば高線量率におけるものである。したがって, これらの疑問は, 低線量・低線量率における誘発致死がんの確率の評価にとってきわめて重要である。それゆえ, 低線量におけるヒトの放射線誘発がんについての信頼できる線量反応関係を確立するためには, 理論的考察, 実験データ, および限られたヒトでの経験を考慮する必要がある。

(B 54) がんのイニシエーションは, 特定の遺伝子の喪失および/あるいは遺伝子の構造と活性の変化をもたらすゲノム DNA の傷の誘発と関連している, という証拠が蓄積しつつある (Bishop, 1987; Ponder, 1988; Reik と Surani, 1989)。放射線誘発あるいは化学物質誘発のげっ歯類の腫瘍に関する最近の研究も, このイニシエーション過程に関与するかもしれない遺伝子を明らかにしつつある (Janowski ら, 1990; Sloan ら, 1990; Kumar ら, 1990)。哺乳動物細胞は DNA の傷を認識して除去するために発達した酵素系をもつことが知られており, インビトロの研究によって, 細胞の低 LET 放射線反応における線量率効果はある DNA 修復系の活性と関連するらしいことが示されている (B 76 項)。それゆえ, ある細胞修復系は高線量率被ばくよりも低線量率被ばく後の方が効率的に働くようである。低線量率照射に伴う DNA の傷はより効率的に除去されることから, 中線量から高線量における放射線発がんは高線量率と低線量率の間の線量率係数に従うことが予想される。決定的な細胞標的体積中におけるエネルギー損失事象の数が標的自体の数と等しいかそれよりも少ない非常に低い線量では (B 46 項参照), 線量率に依存する細胞過程は本来無関係である。放射線防護にとっての中心的課題は, 発がんの線量率効果係数が, 非常に低い線量における単純な生物物理的ベースラインである 1 と

いう値から、細胞修復についてのわれわれの現在の知識から予測され、また多くの研究において直接観察されるもっと高い値まで、線量とともにどのように増大するかのである（以下の B 55-B 59 項参照）。しかし悪性形質転換に關与する多段階細胞過程の遺傳学的複雑さのため、線量率効果は、異なった組織で、また異なった腫瘍型で変わるようである。たとえば、線量率効果は DNA 内の腫瘍をイニシエートする傷のそれぞれに特有の性質によって影響を受け、そのため異なった腫瘍型の間で線量率効果に差異を生ずる。それにもかかわらず、全体としては、比較的低い線量におけるデータから導かれたがん誘発の推定値に適用すべき線量率効果係数は、もっと高い線量での観察によって適用すべきであるとされる係数よりも低いはずであるということが、前述の考察に暗に示されている。

(B 55) 線量反応関係と線量率の影響についての実験的情報は米国放射線防護測定審議会の報告で包括的に検討された (NCRP, 1980)。一般的結論は、高線量・高線量率での線量反応関係の形はほとんどの生物系において線形-二次の形 (図 B-5, 曲線 A) らしいということであった。しかし低線量率での低線量被ばくでは、反応はしばしば線形-二次反応の低線量域で期待されるように事実上直線である。線形-二次式 $E = \alpha D + \beta D^2$ において、効果は最初は線量とともに直線的に上昇する。すなわち単位線量あたりの効果 $E/D = \alpha$ は一定である。その後、効果はもっとすみやかに上昇する。すなわち二次の項が効いてくるので、単位線量あたりの効果は直線的に増大する ($E/D = \beta D$)。さらにもっと高い線量では、細胞致死効果によってリスクを負った細胞の数が減少するため、有効性はしばしば再び低下する。線形-二次式において、一次と二次の項のパラメータの比 α/β は線量のディメンションをもち、その値は一次と二次の項のそれぞれの寄与を反映する。それで、もし $\alpha/\beta = 1 \text{ Gy}$ ならば、1 Gy において一次と二次の項 (曲線 A) の反応への寄与は等しい。

(B 56) NCRP は線量率効果係数 (DREF) を、高線量・高線量率データをしきい値なしの直線でフィットした場合の勾配と、低線量率データをしきい値なしの直線でフィットした場合の勾配との比として定義した (すなわち図 B-5 における α_L (曲線 B) 対 α_1 (曲線 D))。この図から $\alpha_L D = \alpha_1 D + \beta D^2$ (ここで曲線 A と B が初めて交わる) であり、したがって $\text{DREF} = \alpha_L/\alpha_1 = 1 + (\beta/\alpha_1) D$ であることは明らかである。実験的に決められた曲線の勾配 α_{Ex} (曲線 C) は、線量と線量率が高い (そして DREF も高い) ときには α_L に近く、線量と線量率が低い (そして実験的に決められる DREF は 1 に近い) ときには α_1 に近い。このように、いろいろな実験条件において観察される DREF は、その研究がなされたさいの線量範囲および線量率範囲に依存する。もしもこれらの範囲が小さければ、DREF は小さいであろう。曲線 A の最大値 (ここでは上述のように細胞致死によって曲線は曲がる) においては DREF もまた最大である。NCRP 報告は、動物における腫瘍と寿命短縮を含む多様な実験生物系における DREF 値についてのデータの表を提供した。これらの実験データのあるものは DREF の最大値を反映し、他



図B-5 吸収線量対発生率の模式的曲線 (NCRP, 1980)

はそうではない。取り扱っている線量範囲（したがって DREF も）は、たとえば広島と長崎のようなヒトにおける経験で明らかになっているものよりも、多くの場合もっと広い。

(B 57) NCRP は、実験系における DREF 値は、動物の個々の腫瘍型と寿命短縮および他のいろいろな実験的エンドポイントについて、2 と 10 の間で変動すると結論した。UNSCEAR (1986) は利用可能なデータを再検討し、本質的には同じ実験情報の資料に基づいて、低線量・低線量率における反応は高線量・高線量率における反応よりも、多分 5 までの係数で低いという結論に達した。UNSCEAR (1988 b) はそのデータを再評価しなかったが、2 と 10 の間の係数を使用することを示唆した。その意味するところは、影響は異なる種類の腫瘍について変わるということである。これらのデータといくつかの追加の実験情報についてのそれ以上の考察 (Liniecki, 1989) は寿命短縮と形質転換のデータを含んでおり、動物実験において 2 から 10 という範囲を確証している。 ^{60}Co ガンマ線の一回被ばく、分割被ばくおよび連続被ばく後のマウスにおける放射線誘発寿命短縮（腫瘍による）についての最近の報告では、最大の DREF として 5 を与えている (Thomson と Grahn, 1989)。しかし、この値には“浪費”放射線（すなわち寿命短縮にそれ以上寄与しなかった動物の寿命後期の放射線）が含まれている。これについて補正すれば、この重要なエンドポイントについて一回被ばくと連続被ばくとの比は約 2-2.5 である。（注：NCRP によって DREF と呼ばれている比を記述するのに、種々の用語が使用されてきた。委員会はこの重要な比を線量・線量率効果係数 (DDREF) と呼ぶことに決めた。）

(B 58) 線量反応関係ならびに線量率効果に関するヒトの情報は、NCRP (1980) と UNSCEAR (1986) がともに指摘しているように、限られており、また不確実な点が多い。原爆被ばく者についての最近の情報は、白血病についての線量反応は線形-二次の関係に最もよく適合し、相当する DDREF は約 2 であることを示唆している (NAS, 1990)。固形がんを一まとめと

すると、直線が最もよく適合する (NAS, 1990) が、個々の腫瘍型は線量反応の勾配に多少の違いを示す。しかし、最も新しい再分析 (Pierce と Vaeth, 1989) では、白血病を含むいろいろな部位のがんのどれについても、線量反応関係にあまり相違がないことが示唆されている。この著者たちは、原爆被ばく者のデータから 2 までの DDREF は考えられるが、2 以上は正当化することが難しいと結論している。

(B 59) 臨床データには分割線量と一回線量を比較したいくつかの研究が含まれている。乳房と甲状腺の研究データは分割効果の証拠をほとんど示さない (Boice ら, 1979; Shore ら, 1984 a)。放射線誘発乳がんに関する最近の研究は 3 までの DDREF の可能性を示している (Miller ら, 1989)。最近、甲状腺がんが ^{131}I によって X 線急照射の 4 分の 1 の効率で誘発されることが示された (Holm ら, 1988) が、線量率以外の要因 (たとえば線量の空間分布とホルモンバランス) もまた関係しているかもしれない。別の研究では、原爆被ばく者の研究とは矛盾して、肺の分割被ばくは数 Gy でも肺腫瘍を生じなかった (しかし乳がんは生じた) が、DDREF は計算できなかった (Davis ら, 1989)。この問題に関するヒトについての新しい情報は非常に価値があるであろう。

(B 60) 1 Gy 以上の線量における線量反応の直線性は、線量率効果がないことを必ずしも意味しないということも注意されなければならない。その理由は、線量が遷延されるとその被ばくの全体の時間も異なるからである。そのような線量では分子次元の標的に 1 つ以上の電離事象が確実に起こりうる。マウスにおける寿命短縮のような多くの重要な実験的反応は、分割方式を変えまたは線量率を変えたとき異なった勾配をもつ直線反応を示すようであるが、それは主として比較的高い線量域においてである (Thomson と Grahn, 1989)。感受性標的あたり 1 未満の事象しか起こらないようなごく低い線量では、反応は直線であることが期待される。

(B 61) 理論的考察も大部分の利用可能な実験データならびに疫学データも、低 LET 放射線に対する発がん反応にしきい値があるという考えを支持しない。それにもかかわらず、個々の腫瘍型についてのしきい値の存在を確信をもって除外することは、ヒトでも実験系でも統計的根拠からできない。しかし、もししきい値が存在するとしても、その値はほとんどのヒトのがんについておよそ 0.2 Gy 以下であり、多分これよりずっと低いに違いない。

B.4.4 低 LET 放射線に対する線量・線量率効果係数の選択

(B 62) 理論的考察、動物およびその他の生物における実験結果、およびいくつかの限られたヒトでの経験でさえも、低線量・低線量率におけるがん誘発は高線量・高線量率で観察されるよりも低いことを明白に示唆している。あとで考察するリスク推定の主要な拠りどころは、高線量率でいろいろな線量に被ばくし、最低 0.2 Gy までの線量で統計的に有意な過剰がんが観察されている日本の原爆被ばく者である。したがって、DDREF をこのデータに適用すべきで

ICRP Publication 60
国際放射線防護委員会の 1990 年勧告

定価(本体 2,718 円 + 税)

1991 年 11 月 25 日 初版第 1 刷発行
2006 年 7 月 7 日 初版第 5 刷発行

© 1991

翻訳
および
発行
社団法人 日本アイソトープ協会

〒113-8941 東京都文京区本駒込二丁目 28 番 45 号

電 話 代表 (03)5395-8021

出版 (03)5395-8082

F A X 出版 (03)5395-8053

発行所 丸 善 株 式 会 社

印刷 (株)レオプロダクト