

**ICRP**  
*Publication 64*

潜在被ばくの防護  
：概念的枠組み

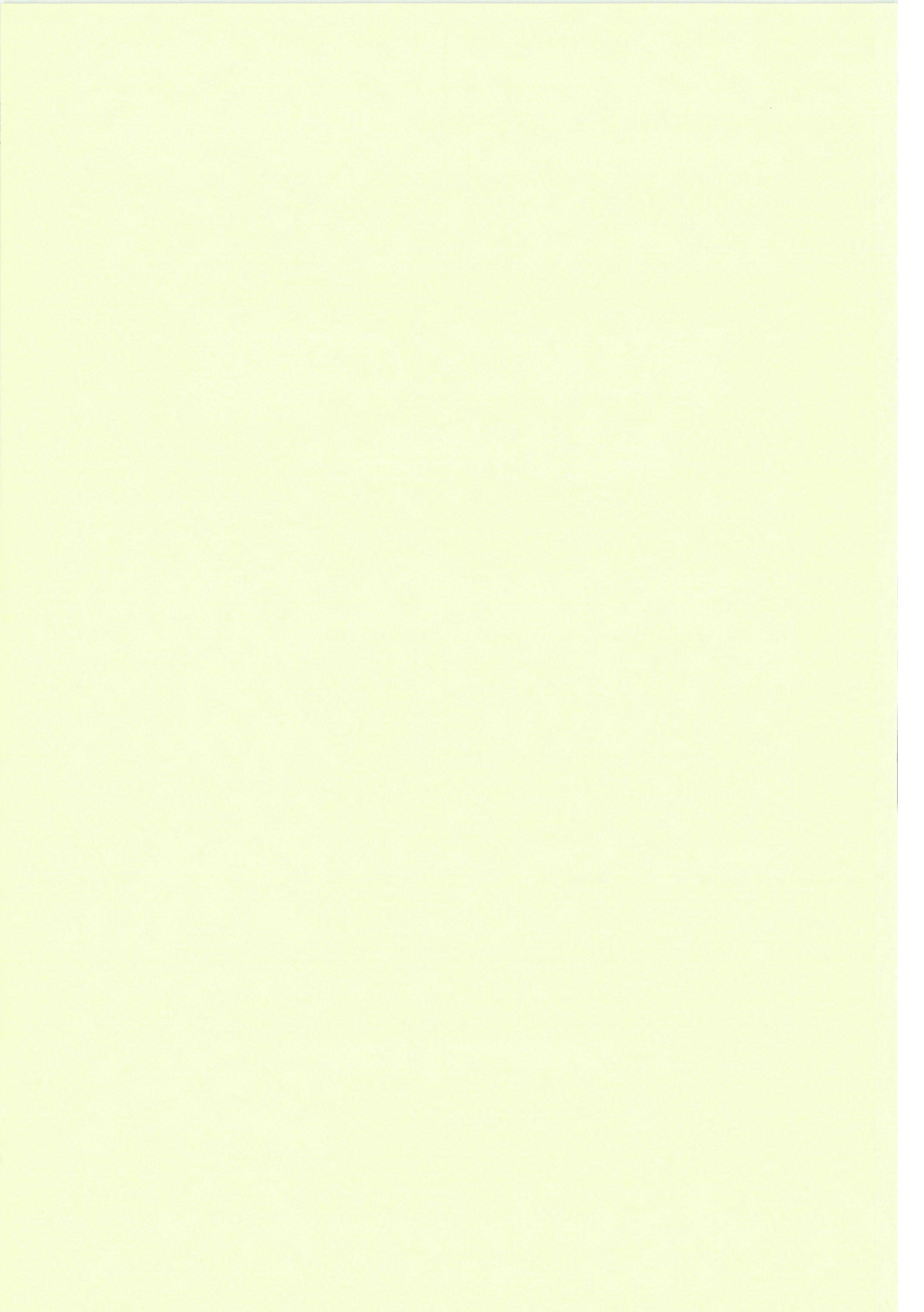
社団法人日本アイソトープ協会



# 潜在被ばくの防護 ：概念的枠組み

国際放射線防護委員会専門委員会4の課題グループの報告書  
1992年11月に主委員会によって採択されたもの







Japanese Translation Series of ICRP Publications  
*Publication 64*

This translation was undertaken by the following colleagues.

Translated by

Tomohiro ASANO, Katsuzo KOIZUMI,  
Norio NOMURA, Kenjiro MIYABE

Supervised by

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

---

Hikomichi MATSUDAIRA* (Chair)	Tatsuji HAMADA (Vice-chair)	
Masami IZAWA**	Jiro INABA*	Masao OSHINO
Tomoko KUSAMA	Sukehiko KOGA**	Sadayoshi KOBAYASHI
Kei NAKADA	Tsuneo NUMAKUNAI	Kiyohiko MABUCHI*

---

\* ICRP member at the time.

\*\* Former ICRP member.



## 邦訳版への序

本書は、ICRPの主委員会によって1992年11月に採択され、Publication 64として刊行された、ICRP専門委員会4の課題グループの報告書

Protection from Potential Exposure: A Conceptual Framework

(*Annals of the ICRP*, 23, No. 1 (1993) に発表)

を、ICRPの了解のもとに翻訳したものである。

1990年勧告でICRPは、放射線被ばくを2つのカテゴリー、すなわち、通常被ばく(normal exposure)と潜在被ばく(potential exposure)とに分けて考察すべきことを提案した。この報告書は潜在被ばく、すなわち、“被ばくの起こることは確実ではないがある行為を導入したり変更したりした結果予想することができ、その被ばくの起こる確率を定めることのできる被ばく”を扱っている。

訳文は動力炉・核燃料開発事業団の、次の方々により作成された。

浅野 智宏、小泉 勝三、野村 紀男、宮部賢次郎

この訳文はICRP勧告翻訳検討委員会において従来の訳書との整合性につき調整を行った。訳語のうち放射線安全(radiation safety)にかかわるものについては、とくに原子力安全の専門家のご意見も参考とした。適切な訳語が思いつかばないために原語の音をカタカナ表示したもの(たとえばセイフティカルチャー、シーケンス、イベントツリー、フォールトツリー等々)がある。翻訳にあたられた方々と、いろいろご意見をいただいた方々に感謝の意を表したい。

なお、この報告書に示された潜在被ばくの概念を実際問題に応用する際の具体的な諸点については、ICRP専門委員会4において検討が進められているとのことである。

平成6年1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 松平 寛通 (放射線医学総合研究所)

副委員長 浜田 達二 ((社)日本アイソトープ協会)

委員 伊澤 正実 (日本原子力発電(株))

稲葉 次郎 (放射線医学総合研究所)

押野 昌夫 ((財)原子力安全技術センター)

草間 朋子 (東京大学医学部)

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)

中田 啓 (動力炉・核燃料開発事業団)

沼宮内弼雄 ((財)放射線計測協会)

馬淵 清彦 ((財)放射線影響研究所)



# 目 次

	頁	(項)
序	iv	
1. 緒 言	1	( 1)
2. 基本的概念	3	( 6)
2.1 リ ス ク	3	( 7)
2.2 確 率	5	(17)
2.3 線量反応関係	7	(28)
3. 放射線安全の基礎	9	(31)
3.1 目 的	9	(31)
3.2 線源関連評価と個人関連評価	10	(34)
3.3 基本原則	11	(41)
4. 潜在被ばくの防護：実際の適用	15	(54)
4.1 行為の正当化	15	(54)
4.2 放射線安全の最適化	15	(55)
4.3 個人の健康リスクの制限	16	(61)
4.4 予防と軽減の役割	18	(67)
4.5 評価技術	19	(71)
4.6 行為における適用	21	(79)
4.6.1 複雑な線源と行為	21	(79)
4.6.2 それほど複雑でない線源と行為	22	(81)
4.6.3 医学診断および放射線治療における安全	23	(83)
4.6.4 廃棄物処分	23	(84)
4.7 シナリオおよび事象シーケンスの除外	24	(85)
4.8 シナリオおよび事象シーケンスの免除	24	(86)
5. 潜在被ばくに係る規制	25	(89)
参 考 文 献	26	

## 序

主委員会は1990年に、専門委員会4の勧告に基づいて、潜在被ばく概念および適用についての詳細な検討をするよう課題グループを指名した。この報告書は以下のメンバーからなる課題グループによって、専門委員会4のために作成されたものである：

R. E. Cunningham (委員長)	A. J. González
A. Birkhofer	L. Högberg
D. A. Cool	B. C. Winkler

この報告書を作成する間の専門委員会4のメンバーは以下のとおりであった：

R. H. Clarke (委員長)	O. A. Pavlovsky
B. C. Winkler (副委員長)	P. Pellerin
R. J. Berry (幹事)	K. C. Pillai
R. E. Cunningham	S. B. Prêtre
L. Frittelli	A. Salo
H. L. Gjørup	G. L. Voelz
A. J. González	Z. Wang
R. V. Osborne	Y. Yoshizawa
H. Paretzke	



# 1. 緒 言

(1) 国際放射線防護委員会 (ICRP) は、ICRP Publication 60「委員会の勧告」(ICRP, 1991)において、放射線に対する防護のさまざまな観点とアプローチを1つの概念的枠組みにとりまとめた。委員会は、個人の放射線被ばくに影響を及ぼす状況を行為と介入という2つの幅広いカテゴリーに分類した。行為とは、新しい線源、経路あるいは個人を導入するか、または既存の線源から人に至る経路のネットワークを変更して、個人へのリスクあるいは被ばくする人の数を増加させるような、既存の放射線リスクを全体的に高める人間の諸活動である(放射線リスクの議論については2.1節を参照)。介入とは、以下によって、すでに存在する放射線リスクを減少させることを意図した人間の諸活動である：

- (1) 既存の線源の低減または除去
- (2) 既存の線源に対する信頼性の向上
- (3) 経路の変更
- (4) 被ばくする人の数の低減

放射線防護の基本諸原則は行為の導入と介入の両方に適用できるが、根本的に異なる方法で適用される。行為の場合、その諸原則は行為の導入あるいは変更によって生ずる放射線リスクの増加に対して適用され、一方、介入の場合、その諸原則はすでに存在する放射線被ばくの削減または低減に対して適用される。

(2) ある行為の導入の結果として生ずるであろう放射線被ばくも、2つの幅広いカテゴリーに分類される。すなわち、通常被ばくと潜在被ばくである。通常被ばくは、発生が合理的に期待できるものである。言い換えると、その被ばくが、いつ起こるかは別として、1か1に近い確率で起こることが予言される。この通常被ばくには、意図されていない高確率・低影響の事象からの被ばくと、計画的に行われる操業による被ばくの両方を含んでいる。これらの事象は、操業中ほとんど確実に発生するが、結果としての線量は規定された限度以内である。潜在被ばくは、起こることは確実ではないが、ある行為を導入しまたは変更した結果として起こることが予期でき、発生確率を定めることのできる被ばくである。このような被ばくは、通常被ばくについての一般的考察範囲の外にあるリスクの考察を伴う。潜在的な事象の発生とこのような事象が個人またはその集団に線量をもたらす機会とは、予想される結果としての線量による放射線影響の確率とあわせて、害の先験確率として表すことができる。したがって、潜在被ばくは、行為に適用される防護体系の一部としてまず考察すべきであるが、被ばくが起こった場合には、介入に至る可能性があることを認識すべきである (ICRP, 1991)。

## 2 1. 緒 言

(3) この報告書の目的は、潜在被ばくに関連する ICRP 勧告の原則と目標について詳しく述べ、基本概念、用語、および勧告の適用に関する方法論を説明し、その実際の適用についての一般的な手引きを提供することである。この報告書は、特定の行為に関連する、より詳細な手引きの作成のためのいくつかの根拠を提供することを意図している。

(4) 潜在被ばく状況は、すべてではないとしてもほとんどの行為の導入によって引き起こされるものであり、多様な潜在的影響を含んでいる。いくつかの行為は簡単な線源を使用する。ガンマカメラを利用する工業用ラジオグラフィは、もし潜在被ばくが現実起こったとすれば、1人もしくは2、3人の過剰被ばくというような、ほぼ確実に予言でき、かつ限られた影響を生ずる行為の1例である。また他の行為は、潜在被ばく状況が放射線の健康への影響に加えて経済的・社会的秩序の混乱を含む広い範囲の影響に至る、原子力施設のような複雑な線源と関係する。放射性廃棄物処分に関連する状況のように、影響の予測がもっとずっと困難になる遠い将来に起こりうる潜在被ばく状況もある。この広範囲の状況に対する放射線安全は、筋の通った一貫性のある原則によって支配されるべきであるが、原則の履行に求められる努力のレベルと受入れ規準の系統的表現とは、その行為の複雑さ、工学的安全システムの精緻さ、そして起こりうる結果によってかなり異なるであろう（放射線安全の議論は3.1節を参照のこと）。

(5) 実際の適用においては、潜在被ばくに対する防護体系は、宇宙空間システムおよび動力炉といった複雑な技術体系のために開発された基本安全原則を用いなくてはならない。この報告書は、どのようにしてその基本安全原則がすべての潜在被ばくの状況に適用できるかを示すことを意図している。しかし、原子炉安全の複雑な詳細についてとくに述べることは意図していない。あまり複雑でない放射線源に対しては、これらの原則の適用方法の複雑さは少ないであろうが、放射線源の設計と操作にこの安全原則を良心的に適用することは、多くの工業および医療の行為における事故的被ばくのリスクを低減するのに適切と思われる。



## 2. 基本的概念

(6) 潜在被ばくを委員会勧告の枠組みの範囲内で評価し取り扱うためには、ある概念が潜在被ばくにどのように適用されるのかについて、しっかりとした理解が必要である。これらの概念は放射線安全全般への基本的なアプローチの開発に共通に適用されるが、これらのうちのあるものは潜在被ばくを適切に取り扱えるように拡張されなければならない。

### 2.1 リスク

(7) ICRP Publication 60 以前は、簡単のために、委員会は“リスク”という言葉有害な影響（おもに致死がんと重篤な遺伝的障害）の確率の同義語として用いていた。しかし、放射線防護以外の分野では“リスク”には他のいくつかの意味があり、その中には日常語でふつうに使われる漠然とした意味、すなわちある事象の確率と性格の両方を含んだ望ましくない事象の脅威という意味もある。原子力安全の分野においては多くの場合、“リスク”は望ましくない影響の大きさについての数学的期待値すなわち事象の確率と影響の積として定義される。したがって、リスクが確率を意味するならば、リスクは次元のない単位で表される大きさによって特徴づけができる量になるが、リスクが影響の数学的期待値を意味するならば何らかの次元をもつ。この言葉の意味の違いのために、異なる学問分野間の意思の疎通のうえで相当な混乱が生じていた。

(8) リスクのこのような限定された表現は“リスクの状況”を記述するには不十分であることがますます認識されるようになってきている。それゆえ、危険性評価の多くの領域では特定の意味の“リスク”という言葉は避けられ、“確率”とか“影響”といった、関連する側面をより直接的に示す言葉が好んで使われている。この結果、“リスク”という言葉は日常的な意味で自由に使えるように残され、リスクの概念の中に、比較的定量化しやすい要因に加えて、リスク容認に関する決定に影響を及ぼす数多くの要因を含めることが可能になっている。このような要因には、リスクが自発的なものかそうでないものか、その影響は新しいものかよく知られているものか、また、その影響の重篤度とそれがいつ起こるか、などが含まれる。

(9) 委員会は、歴史的には次のことによって放射線の確率的健康影響を定量化した：

- (a) ある被ばくした個人とあとに続く世代への重篤な放射線影響の寄与確率で、当時放射線健康リスクと呼ばれたもの、および
- (b) ある被ばくした人の集団とその子孫が最終的に経験するであろう放射線の害の数学的期待値で、当時放射線健康損害と呼ばれたもの。

#### 4 2. 基本的概念

(10) ICRP Publication 60 で委員会は損害という用語を、さまざまな属性を含む個々の害の多次元的概念として用いている。死亡に関連する属性には以下のものがある：

- 寄与死亡の生涯確率
- 寄与死亡が起こった場合の損失期間
- 平均余命の減少（上の2つの属性の組合せ）
- 寄与死亡確率の年分布、および
- 年齢別死亡率の増加，すなわち，その年齢まで生きることを条件として任意の年齢で1年に死亡する確率の増加

委員会はまた、重篤度および寿命損失期間または健康を害している期間で重み付けされた非致死性疾病数を用いることによって、非致死がんと遺伝的障害による罹患率も考慮している。

(11) 実際に起こる被ばくへの対処と潜在被ばくへの対処に厳密な一貫性を維持するには、損害が生ずることになる状態の発生確率を含めるように損害の概念を拡張することが必要である。これを達成するための手法は今なお開発中であり、当面は損害の一部である寄与死亡の確率に重点を置かなければならない。しかし、非致死がんと重篤な遺伝的影響を含む確率的影響の名目確率係数は、潜在被ばくから個人への損害を考慮するのに用いることができる。また、発生確率の推定における不確実性は、通常、線量を与えられた場合の影響の確率の推定における不確実性よりも、はるかに大きいことも認識しなければならない。

(12) ある個人に寄与死亡の無条件確率を用いることは、潜在被ばくの防護体系のためには適当な出発点であるが、十分ではない。これは、もし潜在被ばくを与える事象が実際に生じた場合、その状況が変化するからである。潜在被ばくをもたらす事象の確率が低いときには、その事象が発生した場合の個人の全リスク限度は、介入を必要とするほど大きいかあるいは確定的影響をもたらすほどの線量を意味することになるかもしれない。個人リスクを評価するさいに留意すべきことは、ある線量を受けた場合、有害な影響の条件付確率は名目確率より高いかもしれないということである。その理由は、線量および線量率が名目確率係数を選んだときに使った値よりも高いかもしれず、また、このようなより高線量のもとでは確定的影響が重要になることがあるためである（2.3節参照）。

(13) さらに、潜在被ばく状況の中には、社会的害を伴った深刻な経済的損害を含む重大な影響を招くものもある。たとえば、高レベルの放射線または地域の汚染のために必要とされる一時的な避難または長期間の移住は、そこにいる人々の集団にとって社会的混乱という結果を招くであろう。介入活動が必要とされたり、あるいは土地または施設が生産的に使用できなくなることからくる重大な経済的影響も起こるかもしれない。これらの社会的・経済的混乱の中には、廃棄物処分場からのような非常にゆっくりとした放出の結果、あるいは事象のあとの長寿命核種による継続的な汚染の結果として、長期間にわたって存在するものもあるかもしれ



ない。

(14) 潜在被ばくに伴う影響を特定することは、たとえ損害を寄与死亡に限って考えても、なお複雑であり、議論の分かれるところである。ある事象の確率と万一この事象が起こった場合の寄与死亡の数との積、すなわち死亡数の期待値の使用に頼るのは妥当ではない。これに頼ると、事象が発生しなければ影響がまったくなく、事象が起こればすべての影響が生ずる、という結果となる事実を隠してしまうからである。またこれには、確率の低減と影響の規模の低減との間の相反関係についての仮定、すなわち、小さな影響をもたらす頻度の高い事象と、大きな影響をもたらす頻度の低い事象とは、もし結果の期待値が同じならば同じ大きさの損害となる、という暗黙の仮定が含まれている。事実、多くの人々は発生確率よりも影響の規模と性格のほうにより大きな重点を置くであろう。潜在被ばくの確率が低いときには、個人の全リスク限度は、もし事象が起こったとき介入を必要とするほど大きいか、または確定的影響をもたらすほどの線量を意味することになるかもしれない。

(15) 潜在被ばくに伴う集団損害を取り扱うもっと包括的なアプローチは、多属性解析の方法を用いることである。考えられる選択肢のおのおのの特徴（属性）は、可能なかぎり同定し、定量化しなければならない。これには、寄与死亡の確率だけでなく、避難または移住によって引き起こされる一時的あるいは長期的な社会的または経済的混乱のような他の因子も含めるべきことは明らかである。次いで、個々の属性にはその重要性を表すと判断される荷重係数が与えられる。その荷重された属性は良度示数（figure of merit）を与えるように総合することができ、あるいは他の選択肢における荷重された属性と個々に比較することができる。最終結果は、代替となる安全選択肢の間に損害を割り当てるための半定量的かつ半定性的な基礎となる。

(16) しかし、多属性意思決定モデルに導入される荷重係数は、倫理的かつ政策的な性質の意味合いをもった価値判断を表していることに注意すべきである。したがって、多属性意思決定のための数学的モデルの使用を極端に推し進めて、このような価値判断の透明さが失われたり不明瞭になることのないようにすべきである。事実、意思決定者の中には、いくつかの総合された定量的な良度示数よりも、むしろ一連の記述的な属性の定性的な評価に基づいた決定を好む人もあろう。

## 2.2 確 率

(17) “確率”の一般的な定義は、ある特定の事象が発生すると信ずる度合いの表現である。それはいつも、明確に述べられているにせよ、あるいは暗黙であるにせよ、何らかの仮定の条件付きである。1つのありふれた例は、 $N$ の値が無限大になるときの  $n/N$ の極限値は  $N$ 回の機会に  $n$ 回発生する事象の確率として用いることができる、という仮定である。これは頻度に

## 6 2. 基本的概念

基づいた確率の定義である。もう1つの例は対称性の仮定で、これに基づいて、サイコロを投げたときに“6”の目が出る確率が1/6であるということができる。このような仮定を設けることができず、そして何が生ずるか不確実であるときには、述べられた確率は確信の程度を表明する人の経験と知識に依存するであろう。これは、与えられた値が任意的なものではなくて、利用可能な情報とその情報がどのように解釈されるべきかに依存しているにもかかわらず、しばしば“主観的”確率と呼ばれる。

(18) 頻度の経験または対称性に基づいて示された確率もまた、それらがやはり、利用可能な情報に依存しているという意味で、すなわち仮定の適切さに関して、主観的であることを認識すべきである。たとえば、観察された頻度が将来必ずしも繰り返されるとは限らないし、仮定した対称性が間違いであるかもしれない（サイコロに鉛をつけることもできよう）。

(19) 1個の放射線源のように1つの観察されているユニットに関連する事象の確率を  $p$  とするならば、 $N$  個のユニットのグループにおいて少なくとも1つの事象が起こる確率は、

$$P_N = 1 - (1 - p)^N$$

で示される。ここで積  $pN$  の値が小さいと  $P = pN$  となり、 $pN$  の値が大きくなると1に近づくが1を超えることはない。

(20) 多くの実際的な場合において、ある事象の起こる確率は特定の期間  $T$  たとえば1年あるいは与えられた行為の継続期間に関係している。もし、単位時間あたりの確率  $dp/dt$  から確率評価を行うのであれば、期間  $T$  において少なくとも1つの事象が起こる確率は、

$$P_T = 1 - e^{-(dp/dt)T}$$

となる。

確率は期間にかかわらず無次元であり、1より大きくなることはない。一方、単位時間あたりの確率は次元 (time)<sup>-1</sup> を有し、したがって、その数値は選択された時間単位 (秒、年等) に依存する。

(21) ある時間における頻度  $f$  は、単位時間あたりに生ずる事象の平均の数である。観察できる事象に対して、この頻度の逆数 ( $1/f$ ) (事象の数が無次元なので、これは時間の次元をもつ) は、観察期間よりも短いはずである。もし、それぞれが事象の単位時間あたりの確率  $dp/dt$  をもつ多数のユニット ( $N$ ) に対して観察が行われるならば、期間  $T$  における事象の数の数学的期待値は、

$$\bar{n} = (dp/dt)NT$$

となるであろう。

(22) もし、 $(dp/dt)$  が  $1/T$  より十分に小さく、そして  $N$  が大きいならば、その結果はポアソン分布を示すであろう。頻度の数学的期待値はつねに  $\bar{n}/T = (dp/dt)N$  となる。単一のユニットに対しては頻度の期待値は  $dp/dt$  に等しい。それゆえ、事象の起こる可能性を単位時間

あたりの確率で表すか頻度で表すかは選択の問題であり、両方ともたとえば  $10^{-3} \text{ y}^{-1}$  のように表現されよう。

(23) しかしながら、同じ量を“1000年に1回”と表現するならば、——これは妥当な代替表現であるが——これは通常、予測頻度と解釈される。1000年に1回という表現の欠点は、1年あたり  $10^{-3}$  回の表現のほうがもっとはっきりと現在の状況に関連しているのに対し、一般の人々には1000年に及ぶ予言を意味していると受け取られるかもしれないことである。

(24) 単位時間あたりの確率または頻度の期待値と実際に観察された頻度とは、区別しなければならない。もし、観察期間 ( $T$ ) が単位時間あたりの確率または頻度の逆数よりも短いならば、もっともありそうな観察結果は事象数ゼロか1である。もし、何の事象も観察されないとしても、そのことは、単位時間あたりの確率と頻度の数学的期待値とがゼロであるということの意味してはいない。観察期間が頻度の逆数の70%より短いときは、何の事象も起こらない確率はいつも50%より大きい。

(25) 多くの安全解析は、技術的障害またはヒューマンエラーのような起因事象の推定頻度を出発点としており、これらを、有害な最終的影響が発生する必要条件である種々の安全機能の喪失の推定確率と結びつける。その評価の結果は、おのおのの特定された最終的影響に対し先験的すなわち無条件の単位時間あたりの確率  $dp/dt$  となる。次に、与えられた時間間隔、たとえば1年あるいは行為の継続期間内における最終事象の確率は、20項の式によって評価することができる。確率の組合せには、ある個人が既知の放射線量を受ける事象の発生を条件としての、その個人に対する害の確率も含まれるであろう。

(26) 安全解析においては、確率が観察された頻度から導かれても専門家の判断から導かれても、確率を推定しあるいは取り扱うプロセスには同じ程度の一貫性と厳密性が要求される。さらに、安全解析において導かれた単位時間あたりの先験確率は、新しい情報が得られた場合には改訂される。安全解析の結果に対して感度解析を行うと、確率の評価結果は専門家間の主観的判断の違いの影響を受けにくいことが示されるであろう。この情報は意思決定者に提供される資料の中に含まれているべきである。

(27) 安全解析のおもな価値は、安全の改善が適切と思われる最も起こりそうな事象シーケンスを同定することである。しかしながら、モデル化の不完全さによって、定量的な評価の困難な不確実性がいつも導入される。それでも、事象の推定頻度の逆数でときには示される安全解析の結果は、結果間の比較において有用な良度示数とみなされるであろう。

## 2.3 線量反応関係

(28) 潜在被ばく状況に対しては、確率的影響に用いられる基本的線量反応関係の考察を、確定的影響も生ずる高線量領域にまで拡張しなければならない。また、実効線量の算出に用い



## 8 2. 基本的概念

られる放射線荷重係数および組織荷重係数は確定的影響には適用できないこと、さらに、この場合の線量は等価線量よりもむしろ吸収線量であるべきであり、シーベルト (Sv) でなくグレイ (Gy) で表されるべきであることを認識しなければならない。

(29) 約 0.1 Sv 以下の実効線量のレベルでは、確率的影響のみが生ずると予想され、その発生確率は実効線量と正比例するものと仮定される。線量と害の確率との関係は、したがって、この領域でしきい値のない直線である。一般集団における致死がんの確率に対して、低線量・低線量率における線量・線量率効果係数 (DDREF) を 2 として、 $5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$  という名目的な比例係数が、ICRP Publication 60 において主委員会によって用いられている。

(30) 短期間におよそ 0.5 Gy よりも大きい吸収線量を受けた場合には、確率的影響に加えていくつかの確定的影響が起こりはじめる。放射線の寄与による死亡に対する線量反応関係は、正確なかたちは線量率と被ばくの時間分布等の多くの因子に依存して変わるが、ほぼシグモイド曲線に近い。およそ 3 Gy の吸収線量を全身に受けたとき、医療措置が行われない場合に死に至る確率は約 0.5 である。短期間に急激に 6 Gy よりも大きい線量を受けた場合、照射を受けた個人は実際上すべてが急性放射線症に罹り、照射の結果として最終的には死亡する可能性がある。

### 3. 放射線安全の基礎

#### 3.1 目 的

(31) 安全はいろいろな意味合いで用いられてきた複雑な概念である。多くの場合、安全は防護と保障の概念と結びつけられ、信頼性、慎重な用心および危険からの解放を表すために用いられてきた。初期の毒物学者達は、毒性が明らかに生じうるレベル（しきい値）以下の有害物質の量を表すために安全投与量の概念を用いた。しかし、悪影響に対するしきい値がないと現在仮定されている遺伝毒性物質を知って、毒物学者達はその概念を、毒性効果の起こる可能性がある決められたレベル以下に保たれる量を反映するように修正した。一方、工学者や技術者は、一般に、事故の防止を意味するものとして安全という用語を用いる。事故防止の手段は、事故の可能性をなくすよりも事故の確率を低減することを通常意図したものである。

(32) 歴史的には、放射線防護の分野では、人工の線源に対して予期できる“通常の”被ばくによる放射線量の無条件の制限をおもに取り扱ってきたが、一方、原子力安全の分野では、原子力事故の防止と、もし事故が起こった場合にその影響の工学的またはその他の方法による軽減をおもに取り扱ってきている。これらのアプローチにおける相違が最終的な安全目標に係る解釈の問題を生み出したことは驚くべきことではない。両分野はしばしば別々でまったく異なったものと考えられているが、実際にはこれらは互いに補完し合うものである。これらは、すべての種類の行為におけるあらゆる被ばく状況、すなわち通常被ばくと潜在被ばくの両方を包含すべき、連続した管理体制の2つの部分をなすものである。それゆえ、この報告書の目的には、放射線防護と、放射線源に係る安全たとえば原子力安全を、“放射線安全”と称する統一した枠組みの中で考える。潜在被ばくの評価の諸原則は、実際の適用において複雑さは大きく変わるであろうが、複雑な施設にももっと簡単な施設と行為にも、同じように適用できる。

(33) 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した放射線防護体系は、次の一般原則に基づいている。

- (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損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制御に従うべきである。これらは、通常の場合ではいつも、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よって制御が可能とは限らないので、線量限度を選択する前に、関連するものとして含めるべき線源を特定する必要がある。(個人線量限度および個人リスク限度) (ICRP, 1991)

### 3.2 線源関連評価と個人関連評価

(34) 潜在被ばくを引き起こすプロセスは、潜在的な事象と状況のネットワークとして考えることが便利であり、この状況とは、これらの事象が起こるかもしれない背景を決めるものである。このネットワークの各部分は線源から始まる。その線源が放射線を出したりまたは放射性物質を放出したりする原因となる事象またはプロセスの起こる可能性がある。次いで放射線または放射性物質は、自然環境で非常に複雑なことのあるシーケンスとプロセスを含む環境経路に沿って移行するが、いくつかの経路は多くの線源に対して共通である。各環境移行経路には、通常、発生確率と移行プロセスの特性とを指定することができる。これらの事象、プロセスおよび経路の組合せは、リスク評価においては一般に“事象シーケンス”あるいは“シナリオ”と呼ばれる。ほとんどの場合、“事象シーケンス”は“シナリオ”と同じ意味の用語として用いられる。しかしながら、“シナリオ”は“事象シーケンス”の生ずる背景のより明確な規定を意味するもっと広い概念であり、すなわちシナリオは、起因事象から始まり放射線影響に至る諸事象、特性およびプロセスのある特定の組合せとして定義される。

(35) 個人、それもおそらく多くの個人は、単一の起因線源に関連したいくつかのシナリオによる潜在被ばくの結果としてリスクを負う。また、多くの線源が存在しうるので、ある個人は複数の線源からの放射線リスクにさらされることがあろう。個人が実際に被ばくするかどうか、また被ばくがあったとき実際に害が生ずるかどうかの点は確実にはわからないので、1つの確率あるいは確率の組合せによって表現されなければならない。

(36) 安全手段の有効性の評価は2つの異なる観点から行うことができる。まず、単一の線源に起因する被ばくの観点から評価が行われる場合、これは線源関連評価といわれる。しかしながら、1つあるいは複数の線源に被ばくする個人に着目して評価を行うこともできる。この第二の場合は、ある個人の被ばくに寄与しているすべての線源からの被ばくを含むものであり、個人関連評価といわれる。

(37) 線源関連評価は種々の経路により個人の被ばくをもたらす数多くのシナリオを含むであろう。たとえば、線源からの放射線に直接被ばくするシナリオ、あるいは空气中または水中に放出された放射性物質の吸入または経口摂取による被ばくをもたらすシナリオも考えられる。このように、被ばくのシナリオには、起因事象とそのプロセスおよび環境経路とそれ以外の被ばく経路の両方が含まれる。

(38) 線源関連評価の特別な例には個々のシナリオに関連したリスクの評価がある。このようなシナリオ関連評価は、潜在被ばくが関係する場合に重要である。この評価によって、そのシナリオに含まれる放射線リスクを低減させるためにすべての合理的手段がとられたかどうかの判断を行うことができる。

(39) 線源関連評価は、すべてのもっともらしいシナリオの評価の組合せであり、その線源による個人のリスクの大きさと被ばくした個人の人数の両方が考慮されるが、それ以外の線源からの寄与は考慮されない。個人関連評価は、ある個人に対するリスクが受け入れることができないほど大きいかどうかを決定するために、関連するすべての線源から受ける個人の全リスクの決定を含んでいる。多くの潜在被ばく状況において、個人関連評価は容易に行うことができるものではない。さらに、多くの線源に対して、シナリオの数と複雑さが線源関連評価も困難なものにしている。この理由で、潜在被ばくに関連する状況に対する条件は、個々の線源のシナリオ関連評価に基づく必要がある。

(40) リスク評価は、理想的には、放射線被ばくをもたらす可能性をもつすべてのシナリオを含むべきである。そしてこの評価の結果は、社会によって耐えることができると判断されるリスクと比較される全リスクの何らかの尺度になる。技術的に複雑な線源に対しては、すべてのシナリオを含めることは不可能である。これに対する実際的なアプローチは、リスクにも寄与するものを合理的に達成できるかぎり包含するシーケンスをリスク評価の基礎とすることである。

### 3.3 基本原則

(41) 潜在被ばく状況とくに適用できる、放射線防護体系における基本原則の関連部分を以下に示す：

(42) 行為の正当化：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損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。

(43) この正当化の要件は、ある行為の導入を許しまたはその継続を認めるためには、損害よりも大きい便益が期待されるべきであることを単に規定している。通常被ばくからより広い観点の潜在被ばくに移る場合、正当化の原則の実際的な適用はもっと複雑になる。いくつか



のシナリオについては、発生確率は非常に低いことがあるが、このシナリオで予測された事故が発生した場合、その影響は受け入れがたいほど大きいと判断されるかもしれない。このような場合は正当化の評価に含めるべきであり、この事象の耐容性を関係する確率と影響の両方の面から考察すべきである。ある行為の正当化の一部としてのこのような低確率・高影響のシナリオの耐容性に関する最終的な決定は、多くの場合政治的レベルで、または明示された政治的指針あるいは許可のもとでなされる。正当化は必ずしも規定された方法で適用すべきであるとは限らない。むしろ、正当化は原則の一般的宣言の一部を構成しうるものであるかもしれない。当局は、正当化の議論に基づいて行為の導入を拒み、あるいは行為を中止させる力をもつべきである。

(44) 防護の最適化：ある正当化された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つのすべてを、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。

(45) 行為がいったん正当化され、採択されたならば、次の段階は、その場の状況下で、潜在的な放射線影響とその発生の可能性を合理的に低く保つための安全手段に資源を最もよく使用する方法を決めることである。ある放射線源に適用される安全の最終レベルは、実行可能な安全選択肢のどれを選ぶかによってきまる。意思決定を行う個人あるいは集団は、その場の状況下で最も適切な安全選択肢が選ばれたことに満足すべきである。安全手段が増すにつれて、発生確率または潜在的放射線影響自体は論理的には減少するであろう。しかしながら、安全をもう一段増加させるために、それによる確率または放射線影響の大きさの減少に不釣り合いなほどの資材の配備を必要とするか、または社会的コストの増加を引き起こすのであれば、その手段をとることは社会のためにならない。そのとき、安全手段は最適化されており、残存するリスクは、経済的および社会的要因を考慮に入れたうえ、合理的に達成できるかぎり低くなっている、ということができる。

(46) 個人のリスク制限：最適化の手順は、本来の経済的、社会的な判断の結果生ずるかかもしれない不公平を制限するよう、個人のリスクに関する限定によって拘束されるべきである。したがって、個人が正当化された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指し、個人リスクの何らかの制御方法を確立しておくべきである。

(47) 拘束されない最適化プロセスに基づいて到達した最適な安全選択肢は、何びとも事前に確立されたレベルよりも大きい確率の放射線の害を受けると予想されてはならないという要件を満たしていないかぎり、容認されないかもしれない。個人に対するこれらのレベルは、最適化の前に確立されているべきである。個人のリスク限度以上のリスクは容認されないと考

えられるから、解析の一部として限度よりも低いリスク拘束値を確立することができよう。ある特定のシナリオに関連したリスクは、すべてのシナリオおよび線源からの個人に対する全体のリスクの一部にすぎないので、事象シーケンスまたはシナリオの容認性を評価する場合には、リスク拘束値はとくに重要である。個人は多数の線源および行為によって潜在的に被ばくするので、拘束値の確立は、特定の線源、シナリオまたは事象シーケンスに対し全リスク限度を先験的に割りふる目的にも役立てることができる。さらに拘束値は、大きな分散または不確実性をもつ確率値を適用する場合、追加的な警告手段を提供できる（30項参照）。

(48) 技術面および管理面の原則：放射線安全プログラムの履行は、上で議論された基本原則に加え、多くの実際的な技術面および管理面での原則に基づくべきである。これらの原則は、リスクに応じた放射線源の安全な立地、設計、建設、運転、使用廃止および最終処分に一般的に適用でき、とくに原子力安全の分野では、多くの状況において議論され、適用されてきた。

(49) 第一の最も重要な技術的な原則は、多重化された安全対策の層（すなわち、構造、構成要素、システム、手順、またはこれらの組合せ）があるべきであるということである（“深層防護”）。ある防護レベルは、ただ1つの層によって高い防護レベルをなし遂げようとするよりも、いくつかの層の組合せによって最もよく達成される。この理由の1つは、各層の失敗の確率が相乗的となるように独立した防護層を組み合わせることにより、失敗の全確率の低減が最も容易になし遂げられるからである。もう1つの理由として、多くの独立した防護層がある場合、不測の失敗モードは全体の防護に関して比較的小さい影響しかもたないことが挙げられる。

(50) “深層防護”の原則は、人間あるいは機械による潜在的な失敗を補う手段として、いかなる重要な放射線源にも適用されなければならない。深層防護の程度は、通常、事故の場合の潜在的な影響ならびに放射線源の複雑さと規模に応じて分けられる。この“深層防護”の原則の当然の結果は、事故の防止と軽減の概念である。したがって、事故防止に役立つ手段がまず第一に強調されるべきであり、次いで、事故が実際に起こった場合、事故の影響を大幅に低減するためのいっそうの手段が利用できるようにすべきである。

(51) “深層防護”の基本原則に加え、放射線安全を達成するために不可欠な他の技術的諸原則がある。これらには、以下が含まれる：

- 放射線源の設計、建設および運転は、安全を改善するための研究および技術革新が必要なことを前提として試験および経験によって証明され、かつ認可された規定と基準ならびに適切に成文化されたその他の公式文書を反映した、健全な工学的原則および行為を基礎とすべきである。
- 品質保証の包括的システムは、線源の設計、建設および運転が規定された要件に合致

することを高い信頼度で確実にすべきである。

- 放射線安全に影響を与えるすべての職員は、彼らの義務を遂行するために訓練され、かつ有資格者であるべきである。ヒューマンエラーの可能性は、多くの事象およびとられる手段に対するおもな寄与要因の1つとして考慮すべきである。すなわち、正しい決定を促進し間違った決定を抑制することによって、ヒューマンエラーの寄与を減らし、このようなエラーの検知と修正または補償の手段を提供すべきである。
- 安全評価は、放射線源の設計、建設および運転の一環として実施すべきである。これらの評価は十分に文書化され、独立に検討され、重要な新しい安全情報に照らして系統的に更新されるべきである。運転経験に基づく安全の弱点が、次の設計および建設において考慮されるように、フィードバック機構が確立されるべきである。設計者、製作者および運転者との間の緊密な協力は、安全の改善のために不可欠である。

(52) 技術的原則に加え、すべての個人および組織に対して不可欠な管理上の原則は、放射線源の建設、運転および最終処分に関連した活動のすべてを支配する、安全への一貫かつ広く行きわたったアプローチを確立することである。この原則は“セイフティカルチャー”と呼ばれ、原子力安全の文章 (IAEA, 1988 b) の中で、“安全問題がその重要性に応じた注目を最優先的に受けることを確立する、組織および個人の特性と態度の集合であり…、それは原子力発電所の安全に関する活動に従事しているすべての人の個人的献身と責任に関係する。”と定義されている。しかしながら、この原則はすべての線源および行為に一般的に適用可能であり、個人の態度と思考習慣および組織のアプローチと優先度の双方を強調するのに役に立つ。このように、この原則の適用には、安全上重要なすべての義務を正確に用心深く、しかるべき配慮と十分な知識、健全な判断、および責務に対する正しい意識をもって、果たすことが要求される。さらにそれは、安全の改善と再評価のための基礎としての新しい研究結果はもちろん、すべての関連する運転経験を考慮することによる、関連するすべての組織における学習態度を意味している (IAEA, 1991)。

(53) 放射線被ばくの十分な管理を達成し維持する主要な責任は、まさに、その被ばくを生ずる運転を実施する事業者の管理組織体にある。設備またはプラントが他の事業者によって設計され、供給されるときには、供給された設備またはプラントが意図されたとおり使用された場合に満足のいくものであるかどうかを確認する責任は設計・供給者にある。政府は規制機関を設ける責任を有し、その規制機関は管理組織体の責任を強調するための規制および、ときには、助言の枠組みを設け、また同時に全体的な防護基準を設定し施行するための責任を有している。規制機関はまた、多くの自然線源による被ばくのように、関連する管理組織体がない場合には、直接の責任をもたなければならないかもしれない (ICRP, 1991)。

## 4. 潜在被ばくの防護：実際の適用

### 4.1 行為の正当化

(54) 第3章で示したとおり、行為の正当化は必ずしも規定された方法で適用すべきであるとは限らない。以下で述べる評価方法および概念の適用の議論では、行為はすでに正当化されているものと仮定している。

### 4.2 放射線安全の最適化

(55) 潜在被ばくの線源に関連した安全レベルは、通常、施設の設計者または事業者によって確立され、政府当局によって判断される。決定と判断のプロセスは客観的な放射線安全の観点のみに関連した単純明快なプロセスでは決してなく、現実には、文化的背景、各国の伝統、社会的価値および専門的態度を反映する。安全レベルは個人または社会に対して正味の便益が最大となるように調整されるべきであることも認識されている。個人または個人の集団の目標と社会の目標が一致しないことがあるため、これは簡単なプロセスではない。

(56) 放射線安全手段の最適化において要求される判断は純粹に定量的なものではなく、それらは、異なった種類の損害とその発生確率の間の選択、および資源の配備と放射線損害の間の選択を反映する。したがって、安全手段の最適化のプロセスは注意深く構築されるべきである。最適化プロセスは、行為の正当化に続く安全手段の計画および実施に適用されるべきである。潜在的な線量およびその発生確率の低減が、出費に対して十分償われるように達成できる可能性の最も大きいのがこの段階である。

(57) 安全の最適化に向かったの第一段階は、最適化プロセスの中で考慮すべき関連因子を特定することである。潜在被ばく状況の最適化には、必然的に、被ばくの確率、リスクの分布、被ばくが生じたときの全影響、および払われる安全のための努力（ときには、安全のコストで表現される）のような諸因子の考察が含まれる。

(58) 全損害すなわち集団損害を評価する場合には、これに加えて、以下のことを認識すべきである：

- (1) 潜在被ばく状況は、確定的影響を生ずるような線量をもたらす可能性があり、このような線量におけるリスクに確率的影響のみを生ずるような低い線量とは異なった荷重をすべきかどうかを考察する必要がある。
- (2) 影響の現れる時点の異なること、および含まれるリスクの感じとられ方が異なること



といったいろいろな理由から、放射線安全システムの設計のさい、高線量になるほど次第に高い荷重を適用すべきである、ということができる。

- (3) 大規模なまたは長期にわたる地表汚染のようなある種の事故時の放射線影響に対しては、より高い荷重を割り当てるべきである、ということもできる。高い荷重をすることと、リスクと損害が潜在被ばくから通常被ばくに、または公衆被ばくから職業被ばくにおよびその逆の向きに移ることが、相互に影響するという問題がある。

(59) 最適化された安全についての最終決定は、通常被ばくおよび潜在被ばくの両方の状況を考察した結果としてなされるべきである。決定には、多くの場合、量的および定性的な要素が含まれそうである。包含される諸因子はいろいろな次元をもつ可能性があるため、利用できる選択肢は、評価された結論の得られにくい多くの属性をもつかもかもしれない。したがって、選択された最適な安全選択肢の作成、解釈および擁護を支援するために、意思決定支援プロセスが考慮されるべきである。このプロセスは、問題の複雑さによって、単純な常識から複雑な意思決定支援技術までの幅広いものとなりうる(ICRP, 1990)。

(60) 多くの状況下、とくに線源の複雑さが増すにつれて、安全関連の意思決定プロセスには、いろいろな関心と、おそらくは異なる社会的視野と目標をもった人々が参加することとなろう。このプロセスは、第3章で議論した原則の枠組みの中で決定に達することを確実にすべきであり、また統一性と一貫性の保証を目指したある種の組織的アプローチによって特徴づけられるべきである。同時に、このプロセスは、情報およびプロセス自体を公開することによって、関係者間に信頼を形成するようにすべきである。

### 4.3 個人の健康リスクの制限

(61) 放射線安全においては、すべての想定された被ばく源からの個人のリスクを制御するために限度が用いられる。しかし、ある特定の線源からの個人の被ばくを拘束するための要件を確立するため、委員会は、最適化のプロセスで拘束値を用いることを勧告した。拘束値は線源関連であり、すべての関連する線源からのリスクの合計が個人の限度を超えないように設定すべきである。潜在被ばくの取扱いについては、委員会は、通常被ばくに対する線量限度の意味する健康リスクと同程度のリスク限度を勧告する。しかしながら、線量限度自体は潜在被ばく状況には適用できない。

(62) 潜在被ばく状況における個人リスクの拘束値は、特定の潜在被ばくシナリオあるいは被ばくをもたらし事象シーケンスからの確率を拘束することによって、または被ばくの大きさを拘束することによって、またはその両方によって、すなわち線量を受ける確率および/または線量それ自体を制限することによって、得ることができる。これは、システムの信頼性の改善、運転手順の確立または改善、および人の行動の信頼性の改善のような手段を通じて達成さ

れよう。これらの手段は、容認できないような個人リスクを課することはないという合理的な確信に到達するのに不可欠なものとして、最初の評価において決められるべきである。これに加えて、潜在的線量をさらに低減するための技術的および管理上の手段も考慮されるべきである。放射性物質の閉じ込めおよび緊急時対応のような軽減手段の有効性は、場合に応じて決定されなければならないかもしれない。

(63) 確率事象に線源関連拘束値を適用する1つのやり方は、事象シーケンスの確率をそのシーケンスが実際に起こったとき与えられる線量の関数として表現することである。このような拘束値は、ある与えられた大きさの線量を超えるようなシーケンスを許すことのできる最大の確率を表すであろう。したがって、評価には、いろいろ可能なシナリオあるいは事象シーケンス、および関連する安全システムおよび安全手順の信頼性を考慮することによる、確率の推定が含まれるであろう。次に、これらの確率は、いろいろな潜在的線量に対して定まっている確率と比較することができる。この比較が不満足であれば、追加的な防護レベルを導入する安全システムの全体的な性能を、システムの信頼性の増加あるいは安全システムの多重性の追加によって改善する必要がある。

(64) システムが複雑になるにつれて、起因事象と最終結果とを結ぶシーケンスは、起こると考えられるすべての分枝を描いたイベントツリーまたはフォールトツリーを次第に複雑なものとするであろう。状況を適切かつ体系的に解析するためには、影響を解析するための類似の条件を特徴づける最も重要な属性に基づいてシーケンスをグループ化すべきである。各グループの確率は、そのグループに属するおのおののシーケンスに対する確率の和であろう。そうすると、そのグループ全体内の最悪の影響の組を含むシーケンスが選択されるならば、その影響の組は、上で導き出されたそのグループの確率と合わせて、安全側のリスク拘束値解析においてそのグループを代表するために用いることができる。

(65) 全体のシステムに対する限度あるいは拘束値を一般化することは困難であるが、グループにまとめられたシーケンス、特定のシナリオ、あるいは放射線安全の考察に基づいた年間確率は、表1に示す値から選択されるであろう。これらは、その特定の行為から導き出される便益を考慮に入れ、経験に基づいて課されるかもしれない拘束値の種類を表すことを意図している。これらはまた、経験が得られたならば改訂されることを条件として、運転経験がない場合の暫定的な拘束値として課されるかもしれない。このような場合には、拘束値は、たとえば安全システムの設計において望まれる性能目標を選択するための上限とみなされてよいであろう。図1は、表1に示す拘束値の選択に対する事象シーケンスの年間確率を図示したものである。これらの拘束値は、固体廃棄物処分に関して委員会が以前に決めたリスク規準と一貫している。確率の表現（たとえば1年または1サイクル中の発生数）は、行為の種類に依存する。ほとんどの行為に対しては、潜在被ばくの確率はある期間内の確率で表現されるであろう。

表1 拘束値選択のもとになる年間確率の幅

通常被ばくの一部として扱われる線量をもたらす事象シーケンス	$10^{-1}$ から $10^{-2}$
線量限度を超えるが、確率的影響のみをもたらす事象シーケンス	$10^{-2}$ から $10^{-5}$
放射線影響のいくつかは確定的影響になる線量をもたらす事象シーケンス	$10^{-5}$ から $10^{-6}$
死亡が起これる線量をもたらす事象シーケンス	$<10^{-6}$

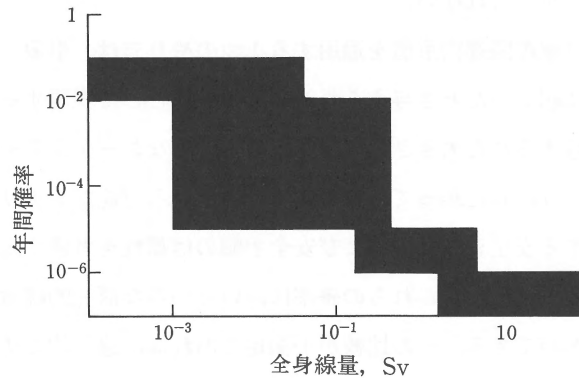


図1 潜在被ばくに対する拘束値

(66) 最後に、これらの拘束値は個人の潜在被ばくに関するものであることを強調する。社会秩序の混乱を招く影響のような他の影響の確率を制限するためには、他の拘束値が適用されるかもしれない。これもまた、複雑な潜在被ばく状況に対しては多属性解析が必要なことを強調するものである。

#### 4.4 予防と軽減の役割

(67) 潜在被ばくに関して決めることのできる安全選択肢は、便宜上、予防の機能をもつものと軽減の機能をもつものとに分類できる。予防は、線源を管理下に置くために、すなわち、通常のレベルを超えた放射線被ばくを引き起こすかまたは増加させるような事象シーケンスの確率を低減させるために用いられるシステムと手順を包含している。これに対して軽減は、事象の起こったあとに、事象シーケンスの中断またはその他の手段でその影響を制限するように機能するシステムと手順を包含している。ある安全システムは予防と軽減の両方の機能を有する。

(68) 事故の予防は、設計者および事業者の両者にとって安全の最優先事項であるべきである。これは、放射線源の設計と建設に信頼性の高い構造、構成要素、システムおよび手順を使用することにより、また、よく訓練され、安全に強く関与している職員によって厳格な手順に従って管理され、運転されることを確実にすることにより、達成される。予防は安全工学の確立された手法を適用することにより、主として設計段階で検討されるべきであり、これにはたとえば、線源が制御下にあることを十分な信頼性をもって確実にするため、深層防護の原則

に基づいたシステムと特徴が組み込まれる。

(69) 軽減システムも深層防護の原則に基づいており、事故シーケンスの起因事象が発生した場合、職員の被ばくおよび環境への放射能放出を避けるか、または少なくとも制限すべきである。軽減もまた設計段階において検討されるべきである。たとえば、屋内退避および短期間の避難のような緊急時計画は軽減の一環である。しかし、それは最後の手段である。その有効性に対するクレジットは、設計段階では通常考慮すべきでないが、運転段階では適切な安全性の増強策として考慮されてよいであろう。

(70) 予防と軽減には、工学的システムに加えて運転員の訓練および適切な運転手順の確立も含まれている。これらの手順は、通常運転を包含するだけでなく、事故シーケンスの起因事象が発生したという仮定のもとで立てられた緊急時手順または事故管理手順も包含すべきである。比較的単純な行為においては、これらの手順が安全を達成する最も重要な手段であるかもしれない。

#### 4.5 評価技術

(71) 潜在被ばくに対する十分なレベルの防護が達成されたことの評価に利用できる、互いに補足的な技術が2つある。第一の最も古い技術は、一般に決定論的評価方法といわれるものである。第二のもっと最近開発された技術は、確率論的評価方法といわれる。確率論的評価方法と決定論的評価方法とは互いに排他的なものとするべきではなく、むしろ相補的な技術である。十分な安全レベルが達成されており、リスクへの重要な寄与因子が見落されていないことを確実にするには、これら両者が必要である。決定論的方法は、潜在被ばくに至るシナリオが特定されているシステムにおいて、適切な安全余裕をもって安全を確保するために、しばしば最初に用いられる。確率論的方法は、決定論的アプローチによって見落されたかもしれないような安全システムの弱点を特定するためにしばしばその次に用いられる。原子力発電所のような複雑な施設では、重大な放射線影響を及ぼす事故の確率を非常に低くするための設計において、安全評価に係る決定論的方法と確率論的方法の両者を注意深く適用することが一般に要求される。それほど複雑でない施設については、実際上適用は単純化されるであろうが、それでも、潜在被ばくに対する十分な防護レベルが達成されることを確実にするためには、両方法が必要である。

(72) 安全評価のための決定論的評価方法は、発生すると仮定される起因事象と構成機器の故障に関して厳密に規定されたシナリオ（設計基準シナリオ）によって特徴づけられる。シナリオは、可能性のほとんどない事象さえも含むように規定される。容認基準は許容される最終的有害影響で表され、確率的な観点では定量化されていないものの、重大な影響を有する事故の可能性が極端に小さくなることを確実にするために、工学と運転経験に基づき、保守的な



安全余裕を含んで定められる。

(73) 確率論的評価方法は、原子力発電所の運転のような種々の線源あるいは行為に対して、前もって決められた1組の有害影響の確率を評価する。原子力安全では、これらの解析を、通常、確率論的リスク評価 (probabilistic risk assessment: PRA) あるいは確率論的安全評価 (probabilistic safety assessment: PSA) という。以下の議論では、PSA という用語をこのような解析技術のすべてに用いる。PSA法は1970年代から開発され改良されており、多くの潜在被ばく状況に関連したリスクを評価するうえで最も有用な手段であると認識されるようになってきている。その欠点についても比較的良好に認識され理解されてきた。PSA法の詳細な議論および原子力発電所へのその適用については、最近の文献を参考とすべきである (NRC, 1989 a; GRS, 1980, 1989)。PSA法はとくに原子力発電所への適用のために開発されてきたが、他への適用にも応用することができる。

(74) ある特定の線源に対する潜在被ばく状況を記述するPSAは、確率評価をしようとする最終的な有害影響を定めることから始まる。このような有害影響は、たとえば、潜在的な個人の健康影響および社会的健康影響として規定されるが、その線源に対するある一連の潜在的な損傷状態として、あるいは、一連の潜在的なソースタームすなわち事故時に放出される可能性のある放射性物質の量として、規定されることもある。

(75) PSAの次の段階は、規定された有害影響に至るすべての関連する起因事象およびそれに伴う事象シーケンスのマッピングである。たとえば、原子力発電所では、起因事象には、頻度が経験的にわかっているポンプの故障のような一連の運転上の障害が含まれる。一連の起因事象には、経験的なデータが不十分かあるいは欠如している地震の少ない地域における大規模地震のような、めったにない事象も含まれることがある。おのおのの起因事象に対して、いわゆる、フォールトツリー-イベントツリー法によって最終的な有害影響に至る潜在的経路のモデル化が行われ、潜在的な事象シーケンスがマップ化される。ツリーの分岐点には、ある安全システムの故障確率を表す確率が割り当てられる。これらの故障確率は次に、試験プログラムを含む運転経験から知るか、または専門家の判断に基づいて推定しなければならないであろう。フォールトツリー-イベントツリーの作成は、評価すべき線源あるいは施設のシステム設計、システムの相互依存度およびプロセスについての既存の知見に基づいて行われる (NRC, 1989 b)。

(76) 複雑な線源および施設に対しては、フォールトツリー-イベントツリーは非常に複雑で枝の数は膨大になり、すべての潜在的なフォールトツリー-イベントツリーの体系的な評価は、通常、計算機の支援を必要とする。最終結果は通常、選択された1組の発生する有害影響の頻度推定値、および、解析においてもともと定められた起因事象およびシーケンスのうちこの発生頻度を左右するある1組の起因事象およびシーケンスの頻度推定値であろう。この推定

頻度から、たとえば1年あるいは行為の継続期間などの与えられた時間枠における、選択された1組の有害影響の発生確率が、潜在被ばくへのリスク評価に対する基礎として導き出される(2.2節参照)。それほど複雑でない線源については、フォールトツリー-イベントツリーの枝の数は少ないであろうが、最終結果はまったく同じであろうし、解析においては欠陥あるいは誤りを避けるため同様の厳格さが適用されるべきである。

(77) 決定論的評価方法にも確率論的評価方法にも限界と不確実性とがある。これらの評価における不確実性には、以下のようないくつかの原因がある：

- 起因事象またはシナリオの選択および特定の不完全さ
- 共通原因故障を含む複雑な技術システムの相互依存のモデル化の不完全さ
- 事故シーケンスにおいて起こる多くのプロセスのように、実験的あるいは経験的データがほとんど得られない、通常のプロセス制御以外の複雑なプロセスのモデル化の不適切さ
- とくに委任の誤りの取扱いに関しての人間信頼度解析の分野における不完全さと不確実性
- 専門家の判断をおもな基礎とした評価に関連する不確実性
- ソフトウェアの信頼性
- 安全に対する各人の態度と安全確保への管理者の関与(すなわち、“セーフティカルチャー”)に関連する不確実性

(78) このように、安全評価のための決定論的方法および確率論的方法の両者の質は、たとえばこれらの不確実性の諸原因に向けた評価プロセスにおける、同僚の批評のような、確立された品質保証の方法の使用に強く依存する。しかし、このような不確実性が存在するからといって、潜在被ばくに対する防護体系の設計と実施のさいに利用しうる最良の道具として決定論的方法および確率論的方法の使用を排除すべきではない。最後に、ここで議論されたアプローチに基づくリスク評価は、実際の事故の頻度あるいは期待される影響の予測に用いることのできる、正確な評価ではないことに注意すべきである。むしろそれらは、安全システムと安全管理の質を解析し、安全の改善が最も適切な領域を特定することによって、安全性を評価する現在利用可能な最良の方法を代表するものである。これらの評価によって、安全の適切さに対する確信が深められる。

## 4.6 行為における適用

### 4.6.1 複雑な線源と行為

(79) 原子力発電所の設計、建設および運転においては、長年にわたり、潜在被ばくを評価し抑制するための原則と方法論が採用されてきた。しかし、適用に関しての厳格さはさまざ

までであった。

(80) これらの原則と方法論は、核燃料サイクル施設、大量の放射性同位体線源製造施設、大線源を取り扱う研究開発施設等の他の複雑な施設に対しても適用可能である。深層防護、予防と軽減および品質保証の原則に基づく評価の方法論と防護手段が適用できるが、原子炉に対するのとは違ったふうに適用され、違った重点の置かれ方になるであろう。このような施設のほとんどは、施設外への放出の可能性はあるとしても、大規模な施設外公衆被ばくおよび広範囲の施設外汚染の発生に関して、原子炉ほどの潜在能力をもたない。しかし、これら施設の大部分は、運転が、原子炉の場合のように制御室に集中化されていない。プロセスおよび手順は頻繁に変更される。これらはしばしばヒューマンエラーを起こしやすい。被ばくの可能性がより大きいのは施設外公衆よりも作業者自身である。これらの考慮事項があることから、人間の信頼性の評価、よく確立された運転手順、訓練、および管理状況の監視に重点を置くべきである。

#### 4.6.2 それほど複雑でない線源と行為

(81) 比較的簡単で単純な機器および運転手順を有する線源を使用する行為のカテゴリーがある。1つの線源の単一の運転はどれも比較的少ない作業者ですむ。しかし、もしも線源が正しく用いられないと、おもに作業者に対する放射線リスクを生ずる危険がありうる。放射性同位体線源またはX線装置を用いた食品および医療用品の照射施設ならびに工業用ラジオグラフィ作業は、機器の故障と人の失敗との組合せによって重篤な傷害および死亡が生じたことのある行為の例である(NRC, 1982, 1989 a)。機器の機能と運転は、運転者が人であることを念頭において解析し、ヒューマンエラーを最小にするように機器を設計すべきである。機器設計には決定論的方法が主として用いられるが、弱点を特定するためにPSAも用いるべきである。通常、この種類の行為に対しては、安全は機器設計のみで確保することはできない。よく開発された単純な運転手順、十分な要員の訓練、および安全に対する前向きな姿勢が、これらの行為による潜在被ばくが現実となるのを防ぐうえで必須である。

(82) 産業用および医療用の密封放射性同位体線源の安全管理の欠如または不適切な管理により、紛失あるいは盗難が起こったことがある。これによって、公衆構成員の重度の傷害と死亡を引き起こし、また、いくつかの例では広範囲の汚染を生じた(IAEA, 1988 a)。予防と軽減が線源の紛失からのリスクを低減する主要な方法である。線源の安全管理は予防的手段である。これには、安全な貯蔵施設のほか、線源を確実に記帳し、運転後あるいは輸送中正しく安全に保つ手順が含まれる。軽減に関連するのは、線源の種類のみ示すのではなく、傷害を避けるための簡単な注意書きである。密封線源あるいはその関連機器は、危険であることの警告を与えるようなラベルを貼るべきである。設計には、この線源が紛失あるいは盗難のあとで損傷を受けた場合

に、汚染の拡大を防ぐような特性が含まれる。

#### 4.6.3 医学診断および放射線治療における安全

(83) 患者の診断および処置にさいして潜在被ばくを考慮すべきである。患者は治療の間、高線量・高線量率に被ばくすることから、小さな過失であっても重度の傷害または死亡をもたらすことがある。医療行為における潜在被ばくの解析は、診断線量あるいは治療線量が処方されたとおりに、すなわち該当する患者とその臓器または組織に適切な時系列で、処方された線量が与えられたかという、高い確信の保証に向けられるべきである(NRC, 1990)。さらに、PSA あるいは決定論的方法を、適切な信頼レベルを達成するための治療装置の設計段階において使用することが適切である。経験によると、治療事故は通常、ヒューマンエラーの要素を含んでいることから、治療行為に対する潜在被ばく評価においては、マン・マシン・インターフェイスおよび一般的な人間の信頼性が重要な側面である。線量計測ソフトウェアの品質保証は、近年、ソフトウェアの誤りが患者治療で大きな過誤をもたらし、その過誤が発見されるまでに多くの患者に対して何度も繰り返されたことから、特別な注意が必要である。診断および治療に対してもすでに議論した深層防護の概念が適用できる。しかし、これらの行為においては、深層防護は主として、診断または治療患者の照合に始まり、経過全体にわたって継続する、よく計画された品質管理手順を含む。この手順には、経過の重要段階において2人の人による独立に行われるチェック、計算あるいは確認が含まれる。

#### 4.6.4 廃棄物処分

(84) 放射性廃棄物の処分は、極端に長い期間にわたり続くことのある放射線源となりうる。これは、潜在被ばく評価のための、事象とプロセスへの確率の割り当てに関連した方法論的な問題を提起する(ICRP, 1985)。生物圏の経路は、人口分布および社会・経済的条件と同じく時間とともに変化するので、予測の困難な例となっている。評価技術は現在なお開発中であり、動力炉に関する PSA と同じ程度には熟していない。潜在被ばくの推定値は、おのおののシナリオと各シナリオ内の重要な事象シーケンスに対する推定確率に大きく依存する。廃棄物容器の早期の機能喪失あるいは貯蔵場の地質的構造の放出遅延特性の喪失は、このようなシナリオの例である。品質保証、予防と軽減、深層防護等の、潜在被ばくからのリスク低減の他の側面は、他の行為に適用可能であると同様、廃棄物処分にも適用できる。大きな違いは、機能喪失が線量をもたらすまでの期間であるが、関連する時間尺度がとくに長いため、評価に複雑さが加わる。

#### 4.7 シナリオおよび事象シーケンスの除外

(85) 正当化について決定に達したあと、規制要件を強制する能力または、その他線量に影響を及ぼす能力がないという理由で、いくつかの状況を規制文書の範囲から除外する条項を設けることがしばしばある。除外に対する支配的因子は、シナリオに関連した確率ではなく、確率あるいは結果に影響を与える能力の欠如である。起こりうるこのような除外の1例は大きな流星の衝突である。しかし、このようなシナリオは、正当化に関する意思決定において考慮されるかもしれない。

#### 4.8 シナリオおよび事象シーケンスの免除

(86) 通常被ばくの場合、行為は正当化されているが規制条項は不必要であることが明確なときには、ほとんどの規制体系は、その規制体系からの免除を認める条項を含んでいる。免除の根拠は、線源が小さな個人線量（1年あたり  $10 \mu\text{Sv}$  のオーダー）しか与えず、防護が最適化されていることである。すなわち、規制条項によって、線量低減がわずかしか、あるいはまったく改善されないということである。（もし、集団線量が小さく、たとえば1年あたり  $1 \text{ man Sv}$  のオーダーであれば、防護は最適化されているとみなされることが多い。）

(87) 規制体系からの潜在被ばくの免除に関しては、これと類似した根拠はない。しかし、あるシナリオまたは事象シーケンスを潜在被ばく状況に関連したリスクのそれ以上の考察から除外してよいという論理の根拠は、以下の事項に対してのこのようなシナリオあるいは事象シーケンスがもつ意味合いに焦点を合わせてよいかもしれない：

- (a) 正当化の原則を基礎とした、行為の容認可能性
- (b) 最適化の原則を基礎とした、選択された安全選択肢の容認可能性
- (c) 個人リスクの制限の原則を基礎とした、結果としての個人リスクの容認可能性、および
- (d) 支配的なリスクを構成する影響のほうによりよく焦点を当てるため、評価の初期の段階で無視することのできる、影響の小さな期待値の容認可能性。

(88) 免除規準の使用は、推定確率のもっと低い事象シーケンスは起こり得ないことを意味するものではなく、潜在被ばくに対する防護体系を実行するさいにそれらを考慮することは可能でもなく、また意味もないということの意味しているにすぎない。



## 5. 潜在被ばくに係る規制

(89) 潜在被ばくに係る規制の第一段階は、事故および設計と運転の重大な過失のような、通常の条件における線量よりもかなり高い線量を与えるかもしれない事象の予測頻度および起こりうる影響の評価を実施する義務を運転管理者に課する段階である。洪水および嵐のような、事業者の管理外の起因を含む広汎な起因を考慮すべきである。事業者は、事象が発生したときその事象を取り扱うために必要な手順の検討を含めることを要求されるべきである。これら評価は必然的に特定された事象シーケンスに基づくが、このようなシーケンスすべてが特定されていると保証できることはほとんどない。特定されていないまれなシーケンスが存在しうるため、事故の全確率が非常に低い値になるような評価を正当化することは不可能である。

(90) 第二段階は規制機関による審査である。潜在被ばくを生ずる事象によって提起される問題がどんな規模になりそうかに応じて、規制機関は事業者の評価を審査する手順を確立すべきである。ほとんどの場合、この手順は、規制要件の順守に対する通常レベルの検査以上のものとする必要はないであろう。事故の影響が重大になるかもしれない数少ない施設については、この手順はおそらく、従前の許可または認可の体系に関連した、評価全体の詳細な審査を含むであろう。個別のシーケンスについてリスク拘束値の使用を考慮すべきである。拘束値を用いることにより、選択が困難で強制はもっと困難な全リスク限度を確立することは不必要となろう。

(91) リスク限度および拘束値が守られているかどうかは、プラントおよび機器の設計、運転および保守の質の評価、ならびに管理体制の質の評価の結果から判断されなければならない。関連する事項には、機器の性能と信頼性、および、試験手順、運転教育および訓練の質が含まれる (ICRP, 1991)。

参考文献

- GRS (1980). *Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke*. Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS).
- GRS (1989). *Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke*. Phase B, Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS).
- IAEA (1988 a). *The Radiological Accident in Goiania*. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- IAEA (1988 b). *Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants*. 75-INSAG-3, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- IAEA (1991). *Safety Culture*. 75-INSAG-4, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- ICRP (1985). *Radiation Protection Principles for the Disposal of Solid Radioactive Waste*, ICRP Publication 46. *Annals of the ICRP* 15(4).
- ICRP (1990). *Optimization and Decision-Making in Radiological Protection*, ICRP Publication 55. *Annals of the ICRP* 20(1).
- ICRP (1991). *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, ICRP Publication 60. *Annals of the ICRP* 21(1-3).
- NRC (1982). *Working Safely in Gamma Radiography*. NUREG/BR-00024, U.S. Nuclear Regulatory Commission.
- NRC (1989 a). *Review of Events at Large Pool-Type Irradiators*. NUREG-1345, U.S. Nuclear Regulatory Commission.
- NRC (1989 b). *Severe Accident Risks: An Assessment for Five U.S. Nuclear Power Plants*. NUREG-1150, U.S. Nuclear Regulatory Commission.
- NRC (1990). *Report to Congress on Abnormal Occurrences*. NUREG-0090, U.S. Nuclear Regulatory Commission (Series of Reports).

潜在被ばくの防護：概念的枠組み

定価 2,060 円 (本体 2,000 円・税 60 円)

平成 6 年 2 月 1 日 初版第 1 刷発行

© 1994

翻 訳 社 団 日 本 ア イ ソ ト ー プ 協 会  
お よ び 法 人  
発 行

〒113 東京都文京区本駒込二丁目28番45号

電 話 (03)3946-9682

振 替 東京8-143345

発 売 所 丸 善 株 式 会 社

印刷・製本 富士美術印刷株式会社

ISBN4-89073-068-0 C3340