

放射線の防護

稲葉次郎

1. はじめに

放射線はもともと天然に存在するものであるが、今日では現代社会の構成要素の一つともいえる重要なものとなっている。すなわち、私達は放射線を、あるいは放射線を発生するものを、医療、産業、科学、研究あるいは日常生活にと多方面で十分に活用している。放射線を大量に受けると放射線障害が現れることはよく知られている。他方で、わずかなものであればなんの障害もないことも十分知られているし、実際そのような形で放射線の利用が進んでいる。放射線あるいはその発生を伴うものの利用と放射線による健康影響との間にあって両者の調和にきわめて重要な役割をはたしているのが放射線防護である。ここでは、放射線防護において世界の指導的立場にあるICRP（国際放射線防護委員会）の線量限度に関する考え方を中心に最近の放射線防護について述べたい。

2. 歴史概観

放射線障害の経験はレントゲンによるX線の発見と殆どを同じにして始まったが、線量限度を設けて被ばく線量を制限するという方法によって放射線障害の防止が行われるようになるまでには、かなり時間を要した。すなわち、1895年の末のX線の発見から数カ月、1896年1月にはX線による急性皮膚炎の症状が現れ、引き続いて脱毛や造血臓器への影響など、さらに数年で現在放射線の身体的影響と言われるほとんどの障害を経験するようになった。欧米をはじめとする先進諸国では放射線防護に対する関心が高まり、1920年代初めに英、米、仏と最初は国内で、ついで国際的な動きとなり、1928年にはIXRP（国際X線ラジウム防護委員会）が組織された。それ以来、その活動と放射

線防護に関する勧告は世界中で権威あるものとして認められ、各国のまた国連組織の放射線防護の規準として用いられている。

IXRPは放射線防護を考えるに当たって耐容線量の概念を採用した。これは、人が少しも障害を受けずに長期間にわたり耐えうるX線量を意味した。線量の国際単位が確立される前は皮膚紅斑線量を基準にしていたが、レントゲンの単位を用いれば耐容線量の値は1日当り0.2Rに相当した。

第2次世界大戦を機に放射線防護に大きな変化がみられた。放射線医学あるいは放射線生物学の知識の蓄積と原子エネルギーの利用による被ばく様式の多様化が変化の要因である。IXRPは1950年に開かれた会合で名称をICRPに変更し、放射線の安全基準に関し再検討を行った。その結果、しきい線量の存在を前提とする耐容線量という用語は不適當であり、代わりに、当時注目された遺伝影響に代表されるしきい値を持たないタイプの放射線効果のありうることを考えに入れ、最大許容線量を用いることとなった。数値としては空中線量で0.3R/週である。1958年にはICRP Publ.1が刊行され、新しい事柄が盛り込まれた。D=5(N-18)による集積線量の規制（その後長く使われた年5レムという規制値はこのような形で現れた）であり、連続13週の期間における最大許容線量3レムとした規制であり、さらに集団を対象とした最大許容遺伝線量も勧告の中に入った。翌年にはICRP Publ.2が刊行され体内放射能の許容量が勧告された。

1965年にICRP Publ.9として刊行された勧告ではいくつかの新しい概念が加わった。その一つは“容認できるレベル”という考え方であり、しきい値を持たない放射線効果を従来にもまして強く意識し、許容線量という用語が誤解される虞があるとして、その代わりに線量限度を導入した。ただし、数値の変更は行わなかった。1977年になるとICRPはPubl.26を刊行、線

(放射線医学総合研究所)

量制限体系を確立すると共に、放射線の健康影響分類に確率的影響と非確率的影響という新しい概念を導入したり、リスクの定量的取扱の改善のため実効線量当量を導入するなど大改訂を行った。線量限度に大きな変更はなかったが、放射線防護の論理が精密で体系的なものになったといえよう。大改訂の背景としては、放射線防護の意識が進み職業上の被ばくに大きな問題がみられなくなったこととともに、非軍事の原子力利用が世界的に進展し、公衆の低線量被ばくが注目を引くようになったことなどが挙げられる。わが国の放射線安全に関する現在の法規制は基本的にICRPの1977年勧告に従っている。1990年になって、30年以上にわたり使われてきた線量限度の改訂が行われた。すなわち、ICRP Publ.60において、放射線防護に関する基本的な考え方に大きな変更はなかったが、年間50mSvという従来の線量限度に代わり後述のように5年間100mSvという限度を勧告した。

3. ICRP

現在のICRPは主委員会(Commission)とその下に位置する4つの専門委員会(Committee)によって構成されている。

主委員会はICRP活動全般に責任を持ち、線量限度等を決めて勧告をするという社会的政策的な活動を行う。主委員会の委員の数は13名で、日本人一人を含むが欧米諸国からの委員が多い。ただし、1国からは3名以内の委員しか出せないことにし、特定の国による影響力の偏りを排除するようになっている。また、委員は放射線に利害関係のある団体、すなわち放射線を利用して利益を得るような団体からは選ばれない。ICRP自身はもちろん非営利団体であるが委員も放射線利用で直接営利を行うことから注意深く身を守っているといえる。このことは重要なことで、ICRPは科学的根拠に基きながらも社会的インパクトの大きな政策問題を議論し決定しなければならないからである。主委員会での意思決定のほとんどはコンセンサス方式で行われているが、それが得られない場合には多数決で決定することになっている。

4つの専門委員会はそれぞれ専門領域に関する科学的検討を行っている。第1専門委員会は放射線生物影響に関する科学的検討を行い、そのため疫学から動物実験あるいは分子レベルでの放射線生物影響研究の専門家によって構成されている。第2専門委員会は補助限度に関する科学的検討を行っている。補助限度とは

表1 ICRPの線量限度の歴史的変遷

	職業被ばく	公衆被ばく
1928	X線取扱者の作業条件 線量の記述無し	勧告されていない
1934	耐容線量 0.2R/d	勧告されていない
1950	最大許容線量 0.3R/w	勧告されていない
1954	最大許容線量 0.3rem/w	最大許容線量 職業人の1/10
1958	①放射線作業者 最大許容集積線量 $D=5(N-18)$ 最大許容線量 3rem/13w ②他の作業者 最大許容線量 1.5rem/y	最大許容線量 0.5rem/y
1965	最大許容線量 5rem/y	線量限度 作業者の1/10
1977	線量当量限度 50mSv/y	線量当量限度 ①主限度 1mSv/y ②副次限度 5mSv/y
1990	実効線量限度 ①主限度 100mSv/5y ②副次限度 50mSv/y	実効線量限度 ①主限度 1mSv/y ②副次限度 5mSv/y

基本限度に対する用語で、内部被ばくに関しては年摂取限度、外部被ばくに関しては線量限度の指標をいう。それぞれでの線量計算法の検討が中心であり、放射線物理の専門家あるいは放射性核種体内代謝等内部被ばく関連研究者によって構成されている。第3専門委員会は医療に関連した放射線防護を扱っており、そこでは故意に放射線を人体に照射するという非医療の分野とは違った特殊性があり、そのため他のそれとは異なった視点で専門委員会が設けられている。第4専門委員会は委員会勧告の適用に関する事項を検討するところであり、勧告の持つ社会的インパクトの大きなことの認識も含めてそれを実際の場に適用することに伴う種々の問題点に精通した管理者や学者が委員となっている。

主委員会での検討結果は「勧告」あるいは「声明」という形で出版物として公表され、専門委員会での検討結果は「報告書」として刊行される。専門委員会での報告書の作成に当たっては専門委員会の中に専門委員と専門委員外の専門家によって構成されるタスクグループが設けられてそこで実際の作業が行われている。

4. 放射線被ばくのデトリメント

放射線の作用のある一面は人間にとって有害であると考えられる。ICRPでは放射線のこの一面をデトリメント（損害）として捉え、放射線防護を考える上で最も基本的な概念としている。

1977年のICRP Publ.26では、デトリメントは健康への悪影響のほかに、施設や製品など人間の経済活動への有害効果、さらには被ばくした人またはその家族の不安のような精神的なものまでを含むとした。ただし、現実問題として全損害を定量的に評価することは不可能に近いとし、実際には健康影響にのみ着目し、デトリメントを下記の影響の重篤度とその影響の発生確率の積である放射線被ばくに起因する影響の期待値として表している。

- (1) 致死腫瘍性疾患の誘発
- (2) 非確率的变化の誘発
- (3) 出生する子と孫に現れる重大な遺伝的欠陥の誘発

このうち(1)と(3)が確率的影響（実際には重篤度をいず

れの場合にも1と考えている）であり、(2)は非確率的影響である。Publ.26でのリスク係数は(1)と(3)である確率的影響の発生確率として表されている。

1990年のICRP Publ.60ではデトリメントを健康影響に限定し、従来とは異なる考え方を入れた。すなわち、放射線の人間への作用を、主としてDNAなどの分子レベルでの変化、主として細胞や組織レベルでの損傷、人間個体レベルでの障害、及び人間が人間らしく生きることに對するデトリメントの4段階に分けて考えている。変化や損傷だけでは直接的には人間に対する健康障害を意味しているわけではないことには注意が必要である。障害はPubl.26でのデトリメントあるいは健康リスクに相当すると考えられる。デトリメントは損害概念を従来よりも広げたものであり、人間の健康で考え得るあらゆる悪影響を含む多次的に捉えていること、すなわち余命の損失や非致死性腫瘍などにも考慮を払っていることが特徴的である。デトリメントは多次的であり使用目的によって使い分けることが可能であるが、一般的には

- ①確率的影響の発生確率
- ②影響が発生したときの時間損失
- ③平均余命の損失
- ④非致死がんの罹患率

が含まれる。また、デトリメントは

- ①線量限度を定めるに当たっての放射線の影響の算定
 - ②組織荷重係数の選定
 - ③防護の最適化に用いる実効線量の算定
- などの目的に使用する。

5. 放射線防護体系

放射線被ばくに関連する人間の活動は「行為」と「介入」に分けられ、それぞれの活動を計画し、実行する場合には、次に示す放射線防護体系に従う必要がある。ここで行為とはそれを実行することにより放射線被ばくが加わる可能性のある人間活動であり、放射線診断や原子エネルギーの利用などがあり、計画段階のものすでに始まり継続しているものがある。介入とは放射線被ばくを低減させる人間活動であり、具体例として事故時の屋内退避が挙げられる。

行為についての放射線防護の体系は①行為の正当

化、②防護の最適化、および③個人の線量限度という3つの原則からなっており、介入についての放射線防護の体系は①介入の正当化および②介入の程度の最適化という2つの原則からなっている。それぞれについて少し詳しく述べれば、

I 行為についての放射線防護の体系

①行為の正当化

放射線被ばくを伴うどのような様な行為も、その行為によって被曝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ものでなければ、採用すべきではない。

②防護の最適化

ある行為内のどのような特定線源に関しても、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つの全てを、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限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度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度によって拘束されるべきである。

③個人の線量限度およびリスク限度

関連する行為すべての複合の結果生じ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等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いようにすることを目的とする。

II 介入についての放射線防護の体系

①介入の正当化

提案された介入は害よりも益の方が大きいものであるべきである。すなわち、線量を引き下げた結果生ずる損害の減少は、この介入の害と社会的費用を含む諸費用とを正当化するのに十分なものであるべきである。

②介入の程度の最適化

介入の形、規模および期間は、線量低減の正味の便益つまり放射線損害の低減の便益から介入に関する損害を差し引いたものを最大とするように最適化されるべきである。

なお、線量限度は介入の場合には適用されない。

表2 ICRPの線量限度

1977年勧告の線量限度	
職業被ばくに関する限度	
実効線量当量	: 50mSv/年
水晶体の線量当量	: 150mSv/年
水晶体以外の組織の線量当量	: 500mSv/年
一般公衆の線量限度	
実効線量当量	: 1mSv/年
皮膚の線量当量 (1cm ²)	: 50mSv/年
水晶体の線量当量	: 50mSv/年
1990年勧告の線量限度	
職業被ばくに関する限度	
実効線量	: 5年間の平均が20mSv/年 (100mSv/5年) ただし50mSv/年を越えない。
皮膚の等価線量 (1cm ²)	: 500mSv/年
水晶体の等価線量	: 150mSv/年
手先および足先の等価線量	: 500mSv/年
一般公衆の線量限度	
実効線量	: 1mSv/年
皮膚の等価線量 (1cm ²)	: 50mSv/年
水晶体の等価線量	: 15mSv/年

6. 線量限度

線量限度は放射線防護体系の中の1要件として規定されているに過ぎないが、他の要件である正当化と最適化がどちらかといえば概念的であるのに対して、具体的に量的に表され、放射線防護とその管理に実用的にはきわめて大きな意味を持つ。

これらはどのように決定されたのであろうか。最新のすなわち1990年のICRP勧告では線量限度の値はがんなどの確立的影響によるデトリメントが受け入れられるかどうかに着目して決定されている。もう少し詳しくは以下のようにいえる。

1977年勧告では、1958年のICRP Publ.1で勧告した値は十分な安全を確保してきたとし、そのまま継続して採用するというのを基本的姿勢とした。その上で、線量限度を含む線量制限体系の下で職業人および一般公衆の構成員の放射線被ばくに伴う健康リスクの評価を行い、それぞれのリスクが安全な産業における事故死あるいは日常生活におけるリスクと比較して低いことを判断基準とし、それと比較した上で限度値の変更の必要性がないとした。具体的には、安全と考えられている産業での事故死亡の確率が年間 10^{-4} であると、年限度を決めて放射線管理を行うと作業者の平均線量は年限度の1/10を越えることはないという経験を考慮して、リスク係数 ($1.65 \cdot 10^{-2}$) と年限度 (50mSv/y) の1/10との積から年限度のリスクは年間 10^{-4} 以下となり判断基準と合致するとした。

1990年勧告では、上述の線量限度設定あるいは確認

の方法には種々の問題があるとし、以下のような考え方を採用した。すなわち、放射線被ばくによる害をリスクではなくデトリメントとしてとらえ、デトリメントの容認の程度を①容認できない(容認不可)、②耐えられる、③容認できる(容認可)の3つのカテゴリーに分け、線量限度は「容認できない」と「耐えられる」の境界に該当する線量を充てることにした。線量限度の値を決めるに当たっては、

- (1) 放射線障害による死亡の生涯確率
- (2) 上記死亡が発生したときの損失期間
- (3) 平均余命の減少(上記(1)と(2)の積)
- (4) 放射線被ばくによる年齢別の死亡率

という4つのデトリメントの属性について、年間の線量限度として10mSv, 20mSv, 30mSv, 50mSvを選択した場合について検討し(表3および図1)、各属性の数値を総合的に評価した結果、

- (1) 年当りの死亡率: 職業人: 10^{-3} /年
- (2) 放射線の生涯寄与死亡率: 数%程度
- (3) 平均余命の損失: 1年未満

が容認不可の下限に近いと判断し、線量限度として生涯線量を1Svとした。但し、線量限度として生涯線量のみでは短期間にこれを被ばくしてしまうような可能性があり、また実際に管理への適用を考えて管理期間として5年を選択し、表2に示す線量限度を勧告した。

7. 補助限度等

放射線防護の実務に当たってはいろいろな種類の基準を用いると便利である。そのような観点からICRP

表3 作業員集団の被ばくによる損害の諸属性¹⁾

年実効線量 (mSv)	10	20	30	50	50(1977年データによる)
概算の生涯線量 (SV)	0.5	1.0	1.4	2.4	2.4
寄与死亡の確率 (%)	1.8	3.6	5.3	8.6	2.9
非致死がんからの荷重された寄与 (%) ²⁾	0.4	0.7	1.1	1.7	—
遺伝的影響からの荷重された寄与 (%) ²⁾	0.4	0.7	1.1	1.7	1.2
総合損害 (%) ³⁾	2.5	5	7.5	12	
寄与死亡が生じたときの損失期間(年)	13	13	13	13	10 - 15
18歳における平均余命の平均損失(年)	0.2	0.5	0.7	1.1	0.3 - 0.5

¹⁾ これらの値はすべて付属書Cから導かれている(155項参照)。もっと広範囲の集団を扱っている付属書Bでは、寄与死亡による損失期間の推定値はこれらよりもいくぶん高い。

²⁾ 重篤度および寿命損失について荷重されている。

³⁾ 寄与致死がんの確率あるいはこれに相当する損害の合計(丸めた値)である。

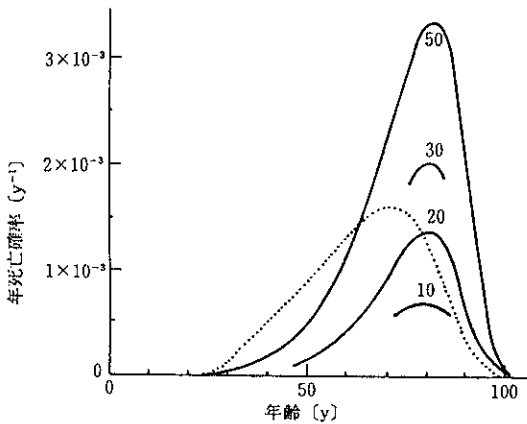


図1 18歳から65歳までの被ばくに対する無条件年死亡確率(生涯リスクに対して規格化された寄付死亡年齢の確率密度)。この曲線は女性に対するものであり、また現在のリスク推定値を用いている。
 ……相加里リスク予測モデル(50mSv y⁻¹)
 ———相乗リスク予測モデル(数字はmSvで表した年線量)

では防護のための諸基準を提唱している。

線量限度は被ばくの状態により組織の等価線量あるいは実効線量と関連付けられる限度で、それぞれには内部被ばくによる預託線量の意味が含まれる。

補助限度は線量限度を直接適用するのが困難な場合に使用することになっているが、実効線量あるいは等価線量は測定できる量ではないため、実際にはほとんどの場合に直接適用が困難である。体外被ばくの場合の指標の限度と体内被ばくの場合の年摂取限度が補助限度に当たる。

誘導限度はある決まったモデルを仲介として基本限度と対応する値として算出されたいろいろな量の限度

で、環境のレベルで示したものが多い。放射線防護に実務はほとんどが誘導限度でなされる。

以上の他に、監督官庁あるいは施設管理者が定める認定限度、線量の拘束値、などがあり、さらに放射線管理の便利のため参考レベルなどを定める場合がある。

8. おわりに

放射線防護の中心課題は放射線管理である。放射線の利用あるいはそれを伴う行為は放射線管理への配慮があつて初めて許されるといえるくらいに重要なものである。すなわち、放射線管理は放射線利用の前提であるといえる。もちろん放射線防護は放射線利用をなくすることではない。事故的な事例以外では放射線管理が大きな誤りなく行われるようになってきている今日、放射線利用によって人間そして人間社会がいろいろなそして大きな利益を受けられるよう、放射線防護の最適化を図ることの重要性は今後益々増大するであろう。

参考文献

- 1) 国際放射線防護委員会勧告(1958年9月採択) ICRP Publication 1, 日本アイソトープ協会(1959)
- 2) 体内放射線の許容線量に関する専門委員会IIの報告 ICRP Publication 2, 日本アイソトープ協会(1959)
- 3) 国際放射線防護委員会勧告(1965年9月17日採択) ICRP Publication 9, 日本アイソトープ協会(1966)
- 4) 国際放射線防護委員会勧告(1977年1月17日採択) ICRP Publication 26, 日本アイソトープ協会(1977)
- 5) 国際放射線防護委員会の1990年勧告 ICRP Publication 60, 日本アイソトープ協会(1991)