

ISSN 1881-7297

日本保健物理学会専門研究会報告書シリーズ

Vol.7 No.2

放射線安全の新しいパラダイム検討専門研究会報告書

2010年7月

日本保健物理学会

日本保健物理学会専門研究会報告書シリーズ ISSN 1881-7297  
Vol. 7, No. 2, 医療放射線リスク専門研究会報告書

---

2010年7月

発行者 日本保健物理学会企画委員会  
発行所 日本保健物理学会  
〒104-0031 東京都中央区京橋 2-2-11  
文献堂ビル 3F 日本保健物理学会事務局  
TEL : 03-3548-0342  
FAX : 03-3548-0344  
E-mail : [jhps@wwwsocnii.ac.jp](mailto:jhps@wwwsocnii.ac.jp)  
<http://wwwsoc.nii.ac.jp/jhps/index.html>

放射線安全の新しいパラダイム検討専門研究会  
報告書

2010年7月

日本保健物理学会

放射線安全の新しいパラダイム検討専門研究会

# 目次

第1章	緒言	1
	1.1 研究会設立の背景と目的	
	1.2 研究会の構成員	
	1.3 研究会の検討経緯	
第2章	放射線生物影響と放射線防護	5
	2.1 LNTモデルに関する議論	
	2.2 最新の生物影響研究、ヒト疫学研究	
	2.3 生物影響とリスク評価	
	2.4 新知見の放射線防護体系への反映	
第3章	現在の放射線防護の枠組みとその不合理性	18
	3.1 最適化に関する議論	
	3.2 他のリスクと放射線リスクの比較	
	3.3 全体論的な枠組み作りへの提言	
第4章	放射線防護に関する国際動向	42
	4.1 国際的な放射線防護に関する動向 (ICRP、IAEA、UNSCEAR、NCRP、WNA)	
	4.2 国際動向に対する日本の動向	
第5章	結語	46
	謝辞	

# 第1章 緒言

## 1.1 研究会設立の背景と目的

わが国では、ICRPによって勧告されている放射線防護の原則を取り入れ、それらに基づいた放射線防護体系の中で、放射線に関連する業務が行われている。この体系の中で運用されているリスクマネジメントは、放射線防護の観点においては、世界的にも高い水準を保持していると考えられる。

しかしながら、放射線以外の様々な分野におけるリスクマネジメントシステムとの連携・バランスが取れているとは言い難い。例えば、原子力施設での平成19年の新潟県中越沖地震において、東京電力(株)柏崎刈羽原子力発電所では安全停止や炉心冷却等の機能が正常に稼働したが、変圧器の火災や微量放射能の漏えいに基づく二次的な風評被害が発生している。このような現状を鑑みるに、事業者から公衆へ適切に情報を伝達するクライシスコミュニケーションを含めたマネジメントシステムが適切に機能したとは言えない。このような問題に対する解決策の策定においては、様々な分野において既に運用されている個々のリスクマネジメントを展開し、原子力・放射線分野におけるものと統合化を行うことが重要であると考えられる。

近年、世界的な原子力リネッサンスが始まる中で、米国、イギリス、フランス等の諸外国では著名人を先導に安全管理の統合化について、意識進化が始まってきている。その一方で、日本においては従前と変わらない体制を保持しており、国としての方向性が不明確である。そのため、日本側としては、諸外国の動向を受けた日本の意向を近年中に海外へ伝達すべきであり、その伝達を行う中で世界の先頭に立って「何をすべきか」を提示すべきである。その世界への参画の切り口として、文科省のみならず原子力安全・保安院に学会や産業界から議論を通じて伝え、日本として動き出す段階に来ていると思われる。そのためにはまず、広い意味での安全の考え方や規準を「あらかじめ」整理し、提示しておくことがファーストステップとなる。

一方、現在の放射線防護体系は、直線しきい値無し(LNT)仮説に基づいている。すなわち、その仮説が、現在の放射線安全パラダイム(paradigm—ある時代や分野において支配的となる「物の見方や捉え方」—)の大きな一部分であると考えられる。しかしながら、最近の放射線生物影響の知見(バイスタンダー効果、ゲノム不安定性、適応応答)からはこの仮説は科学的とは言えず、規制目的のモデルである。新しい放射線防護体系の構築は、従前のパラダイムの先入観なしにデータの再評価を行って「健全な科学」に基づくべきである。

このような現在の世界の流れ(先端科学、国際動向、現場での実情、リスクの考え方等)に応じて、従前の放射線安全パラダイムは、新しいパラダイムへと進化すべき時期に来ていると考えられる。以上の経緯から、わが国における放射線安全についての新しいパラダ

イムを検討するための場として、本研究会の立ち上げをおこなった。

## 1.2 研究会の構成員

本専門研究会は、様々な視点から放射線安全パラダイムを議論・検討するために、学識経験者、研究機関、メーカー関連、原子力及び RI 事業者等から構成されている。メンバーは以下のとおりである。

### 主査

小佐古敏荘（東京大学）

### 委員

稲瀬澄男（四国電力）

岩井敏（三菱総合研究所）

金子正人（放射線影響協会）

齋藤実（東北電力）

鈴木良男（東京電力）

千葉吉紀（日立製作所）

中居邦浩（日揮）

服部隆利（電力中央研究所）

二ツ川章二（日本アイソトープ協会）

宮崎振一郎（関西電力）

山本英明（日本原子力研究開発機構）

吉澤道夫（日本原子力研究開発機構）

米原英典（放射線医学総合研究所）

我妻真（日本原燃）

阿部琢也（東京大学）（幹事）

中田陽（日本原子力研究開発機構）（企画担当委員）

## 1.3 研究会の検討経緯

専門研究会は、計 5 回の会合を開催した。各会合の議事内容を以下に記す。

第 1 回会合（平成 20 年 6 月 9 日）

- ・ 研究会立ち上げの経緯について
- ・ 活動方針、計画の検討
- ・ 話題提供
  - 原子カルネッサンスにおける放射線防護
  - 公衆防護における最適化の線量下限に関する考察

## 第2回会合（平成20年6月26日）

- ・ 研究会の検討課題案
  - 放射線安全分野およびその他の分野のリスクの整合性
  - 放射線防護体系と他の分野の安全体系との統合
  - LNT 仮説検討の現状（最新の分子生物学の知見の反映）
  - 放射線防護量の実際
  - シンプルな防護体系
- ・ 研究会の方向性
  - 放射線防護に関する現状認識（不都合な点、関係者の認識、国内法、国際動向、放射線生物影響）
  - リスクマネジメントの新しい方向性の検討
  - 関係者への聞き取り

## 第3回会合（平成20年12月10日）

- ・ 依頼講演
  - 講師：丹羽太貫先生  
（放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター 副センター長）
  - 演題：放射線の生物影響の実態を社会としてどう評価するか  
ーパラダイムシフトへの期待ー
- ・ 国際動向の確認
  - 米国 NCRP 第45回年次会合の開催について
  - UNSCEAR 2006 REPORT vol.1 (Effects of Ionizing Radiation)
  - WNA の活動とパラダイム転換の必要性
- ・ 話題提供
  - 公衆被ばくの線量拘束値の下限に関する考察
  - 放射線審議会における放射性廃棄物埋設規制除外の基準の見直しについて
  - 放射線防護委員会における現存被ばく状況等の検討

## 第4回会合（平成21年3月9日）

- ・ 話題提供
  - 米国 NCRP 第45回年次会合の内容報告（世界的な原子力の将来—安全、健康と環境）
  - 放射線防護の安全指針の体系化
  - 最近の気になるトレンド（LNT 仮説、集団実行線量の状況）

第 5 回会合（平成 22 年 3 月 25 日）

- ・ 話題提供
  - UNSCEAR での大きな動き（職業被ばくに関する最近の検討）
  - 最適化・防護体系の変遷や基準値の決め方の新しい動き
  - 米国 NCRP 第 46 回年次会合の内容報告（放射線の利益とリスクに関するコミュニケーション）
- ・ 活動報告書について
- ・ 雑誌投稿の骨子について
- ・ 研究会のまとめ

この他に、第 43 回研究発表会（大阪府大阪市）の開催に合わせて、意見交換を中心とした連絡会を開催した。

## 1.4 本報告書の構成

本報告書は、本専門研究会における会合の中で中心的な議論の対象となった事柄について章を設けて取りまとめている。第 1 章では、本研究会の設立背景、構成メンバーおよび検討経緯を記した。第 2 章では、第三回会合での依頼講演の内容でもある放射線生物影響について述べている。第 3 章では、防護の最適化や放射線以外のリスクとの関係の中で、現在の放射線防護の枠組みとその不合理性について論じている。第 4 章では、会合で議論の中心となった国際的な放射線防護に関する動向についてまとめ、それらに対する我が国の動向について示す。

（小佐古敏荘、阿部琢也）

## 第2章 放射線生物影響と放射線防護

### 2.1 LNTモデルに関する議論

#### 2.1.1 LNTモデルの生物学的妥当性の議論

低線量放射線被ばくによる発がんリスクの線量応答関係については、以下のように異なる見解が示されている。

(1) 米国科学アカデミーの BEIR VII 委員会 (NAS/NRC2006)

入手できる生物学的、生物物理学的データは、直線しきい値なし (LNT) リスクモデルを支持している。

(2) 国際放射線防護委員会 (ICRP-99)

ICRP2007年勧告<sup>1)</sup>のベースになった報告書 (ICRP-99) では、いくつかの組織における放射線発がんには、低線量のしきい値が存在しそうではあるが、普遍的なしきい値 (universal threshold) を支持する証拠はないとしている。

(3) フランス科学アカデミー

高線量と低線量における放射線生物学的応答の相違から、LNTモデルは、低線量におけるリスクを過大評価する。

#### 2.1.2 LNTモデルの利点

LNTモデルは、線量の加算性 (線量とリスクの直線比例) を仮定しているため、被ばく線量の記録・管理を容易にする。また、人々に被ばくを低減しようというインセンティブを与えることが出来る。

#### 2.1.3 LNTモデルの欠点

どのように微量な線量でも「リスクがある」というモデルは、「安全」な線量はないと誤解され、“放射線恐怖症”を助長し、際限のない規制強化による資源の浪費につながる。原子力・放射線の利用が阻害され、人類がその恩恵を享受することへの妨げとなりえる。

(金子正人)

### 2.2 最新の生物影響研究、ヒト疫学研究

#### 2.2.1 最新の生物影響研究の概観

(1) 細胞におけるイニシャル・イベントとエネルギー沈着

生体分子の直接電離、水の電解生成物を介しての間接効果 (フリーラジカルの

生成)。DNA における塩基の酸化、塩基喪失、一重および二重鎖切断。高 LET 放射線では、二重鎖切断やクラスター損傷が起きやすい。物理的なエネルギー沈着と DNA 損傷の生成は、放射線量に比例して増加する。二重鎖切断やクラスター損傷は、修復されなければ、発がんに関連する損傷と考えられている。

- (2) 細胞タンパク、脂質 (lipids) および核酸における傷の生成
  - (3) 細胞間情報伝達、遺伝子生成、タンパクの活性化
  - (4) 細胞防御反応；セルサイクル・アレスト、DNA 修復、アポトーシス
- 遺伝子発現は電離放射線の小線量と高線量では大いに違う。

細胞は、低線量では、高線量におけるのと異なる反応をする。物理的な放射線損傷が線量に比例して生成されるとしても、細胞シグナル経路の活性化に依存した細胞防御系によって大いに緩和される。極低線量における応答は、ROS (活性酸素種) のバックグラウンドレベルおよび遺伝的な背景に大いに依存する。低線量放射線は、多くの細胞防護系を働かせ、抗酸化物質による直接的な酸化損傷の生成防止、あるいは間接的な放射線適応応答を起こさせることが出来る。その効率は、線量と線量率に依存する。

## 2.2.2 ヒト疫学研究

- (1) 国連科学委員会 (UNSCEAR 2006) によるレビュー

放射線の発がんリスク推定にはヒトについての疫学調査結果に依存せざるをえないが、低線量被ばくの研究においては、サンプルサイズに制約される統計的な検出力の弱さ、発がんに寄与する様々な因子の考慮の必要性から、“統計的に有意”とされる調査結果は、“真の”リスクを相当に過大評価することとなりがちである。

広島・長崎の原爆被爆者の最新のデータは、広い線量領域において、直線あるいは一次二次のリスク—線量傾向とおおむね矛盾しない。しかしながら、低線量に限っていえば、統計的な精度の限界、バイアス、偶然によって複雑なことになっている (UNSCEAR 2006)。

低 LET 放射線による分割したあるいは慢性的な低線量被ばくの解析結果が公表されている。特に、15 カ国の原子力従事者、ロシア連邦のテチャ川近傍の住民、カザフスタンのセミパラチンスク核実験場からのフォールアウトに被ばくした人々、および高自然放射線地域の研究がある。がんリスクは、原爆被爆者よりも幾分高いという研究もあるが、一般には同等である。しかしながら、日本の被爆者のデータよりもがんリスクの評価値がなぜ高くなっているかを説明するかもしれないバイアスについての懸念がこれらすべての研究にはある。

UNSCEAR 2006 報告書では、5 カ国 (中国、日本、プエルトリコ、米国、英国) の国民に適用したモデル計算で、1 Sv の急性被ばくによる全がんの死亡リスクを約 4.3 - 7.2 %、白血病について 0.6 - 1.0 %としており、子供が被ばくする場合の生涯リスクは 2~3 倍とな

ると推定している。

## (2) 疫学調査事例

### (a) 遺伝への影響調査

広島・長崎の原爆による遺伝的影響についての40年間にわたる追跡調査は、両親の0.4から0.6 Gyの被ばくでは統計的に有意な影響がなかったことを示している<sup>2)</sup>。

### (b) 広島・長崎の原爆被爆者の調査

OECD/NEAの専門家グループの報告書によれば、広島・長崎の原爆被爆者の生涯調査で放射線リスクが統計的に有意と観察された最小の線量は、**200 mSv**とされている<sup>3)</sup>。

一方、広島・長崎の被爆者調査報告(LSS第13報)では、Fig. 2.1を示し、固形がん死亡と被ばく線量との関係に「しきい値があるという証拠はない(no evidence of a threshold)」とされている。ただし、これは男女を平均し、すべての固形がんを合計した解析の結果である。

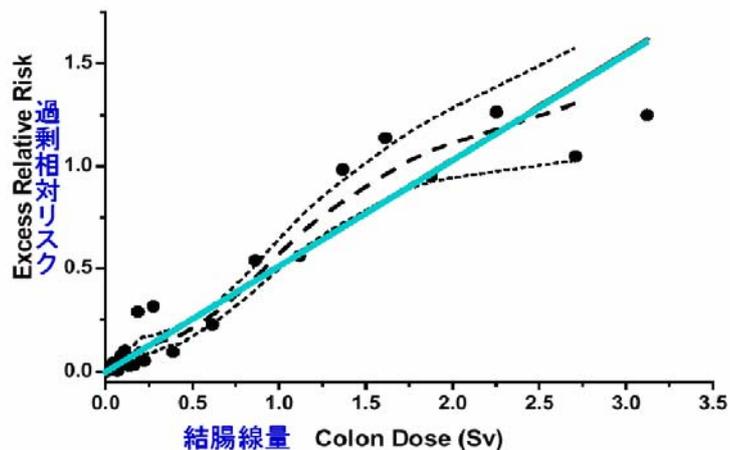


Fig. 2.1 固形がん死亡の線量一応答関数  
(両性の平均。30歳で被爆、70歳において)  
*Preston et al. Radiation Res. 160: 381-407 (2003)*

前掲と同じ原爆被爆者調査(LSS第13報)のデータを用いて、男女別に固形がんの過剰相対リスク(ERR)の解析を行うとFig. 2.2に示すようにERRの男女の違いが大きい(私信、水野正一2004年)。

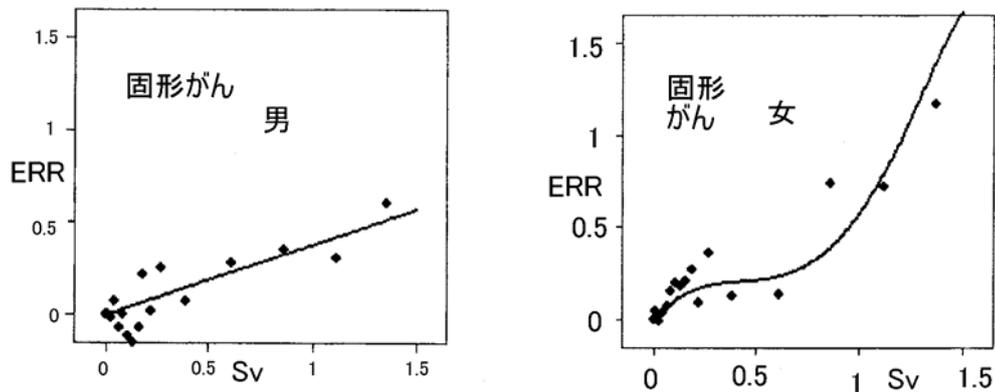


Fig. 2.2 固形がんの過剰相対リスク (男女別)

また、300 mSv 以下に限定して解析した結果は、Fig. 2.3 に示すように男性では発がんリスクは認められず、女性では肺がんと乳がんのリスクが大きいことがわかる。肺がんや乳がんについては、喫煙率あるいは結婚、出産などの要因に影響されるため、これらの要因の被爆群による相違を考慮することなしに放射線の影響を論ずることはできない。

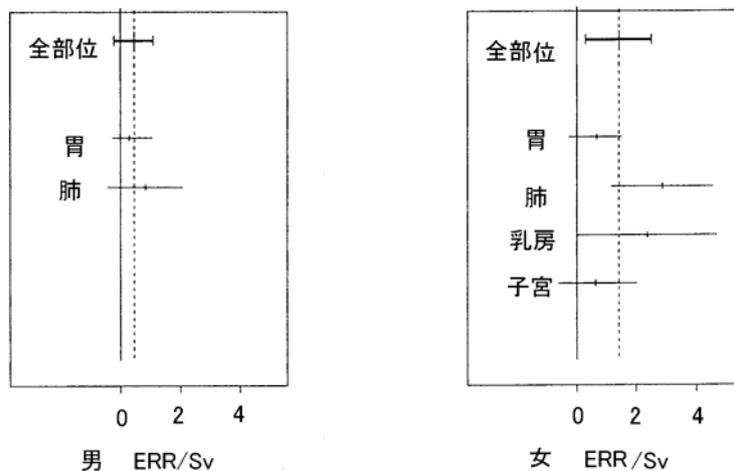


Fig. 2.3 男女別部位別1Svあたりの過剰相対リスク (ERR/Sv) (0~300 mSv)

### (c) 高自然放射線地域での調査

インド、ブラジル、イランには、10 mSv/年をこえる高放射線地域があるが、自然放射線が住民の健康に悪い影響を与えているという証拠はない。

インド西南端にあるKerala州の人口40万人のカルナガパリ地区 (taluk) の12の行政区 (panchayat) には、それぞれ2~4万人が住んでいる。各行政区の外部放射線の最大年線量は、4 mGy (屋内) から70mGy (屋外) に及ぶ。屋内および屋外の年線量の中央値を平均 (屋内外の滞在を半々と仮定) した値をその行政区の年線量として、男女別のがん罹患率を示したのがFig. 2.4である。高い自然放射線レベルによってがん罹患率が上昇する

という証拠は見られない<sup>4)</sup>。なお、被ばくはガンマ線によるものであるため、年線量の1Gyは、ほぼ1mSvと考えてよい。

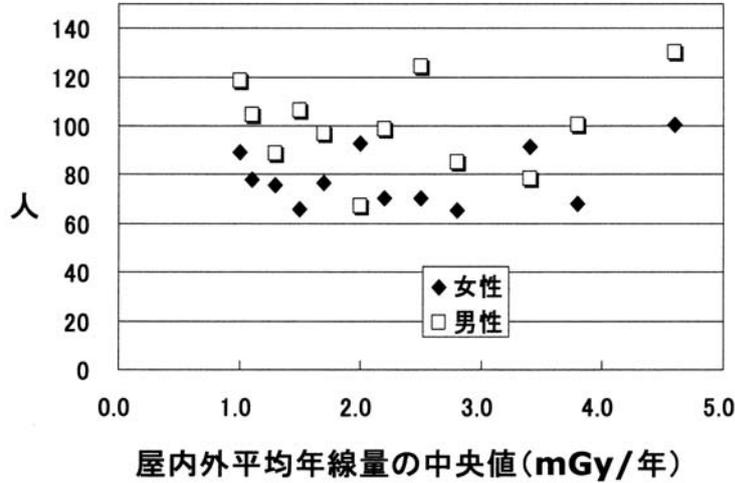


Fig. 2.4 インド Kerala 州カルナガパリ地区の人口 10 万人あたりのがん罹患数 (1990 年～1996 年)

(d) 原子力従事者の 3 カ国調査

米国、英国、カナダ 3 カ国の約 96,000 人の原子力従事者のデータを合同解析した結果、全がん死亡について放射線による過剰リスクは示されなかった<sup>5)</sup>。

放射線従事者のがんによる死亡率が累積線量によって増加するかどうかを解析したグラフが Fig. 2.5 である。400 mSv 以上被ばくした人たちに観察されたがん死亡数は 56 例であり、期待死亡数の 67.3 より少ない。統計学的に有意ではないが、累積線量が高いほど、がん死亡リスクが小さい (過剰相対リスクが 1 Sv あたりマイナス 0.07) という傾向がある。

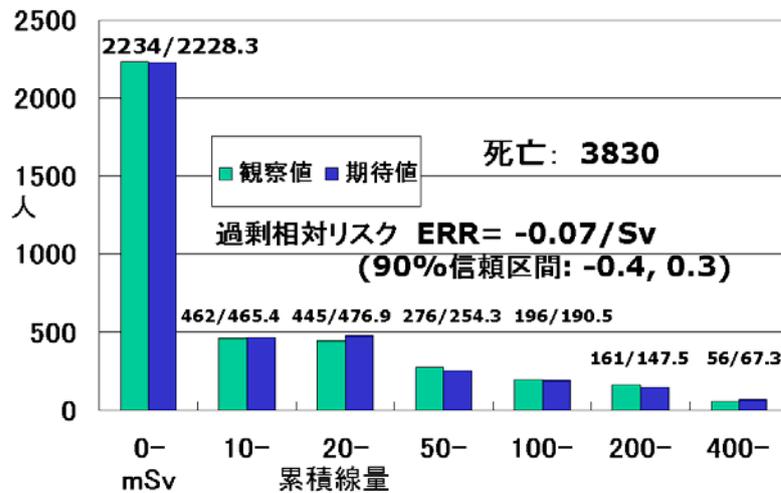


Fig. 2.5 3 カ国の原子力従事者の全がん死亡 (白血病を除く)

(e) 原子力従事者の15カ国調査

2005年6月29日に英国の医学誌BMJの電子版で発表された15カ国の原子力施設従事者の疫学調査結果(短報)は、過剰がんリスクを検出したとしている<sup>6)</sup>。しかしながら、これは、中性子被ばくや内部被ばくの可能性等を理由として比較的高線量を受けた者など20万人以上を故意に除外したものを全コホートとして解析した極めて信頼性の低いものである。Fig. 2.6に15カ国研究と3カ国研究および原爆被ばく生存者研究との比較を示す。左の欄には100人以上のがん死亡のあったコホートの過剰相対リスクを示しているが、カナダのデータを除くと全がんの過剰相対リスクも統計的に有意でなくなる。

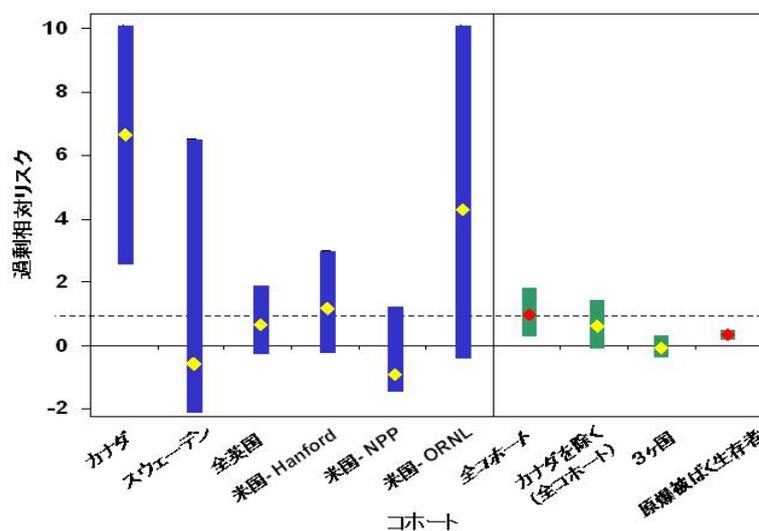


Fig. 2.6 全がんのSv当りの過剰相対リスク(3カ国研究との比較)

(f) 英国の放射線科医の100年間におよぶ調査

英国の放射線科医の100年間におよぶ調査結果は、Fig. 2.7に示すように、1920年以降に登録された放射線科医は、他の医師と比較して、がんによる死亡率の増加は統計的に有意ではなく、すべての原因による死亡率は有意に低いことが示された。さらに、平均生涯線量が20Svと推定される初期の放射線科医においても、がん以外の疾患に放射線の影響があったという証拠はなかった<sup>7)</sup>。

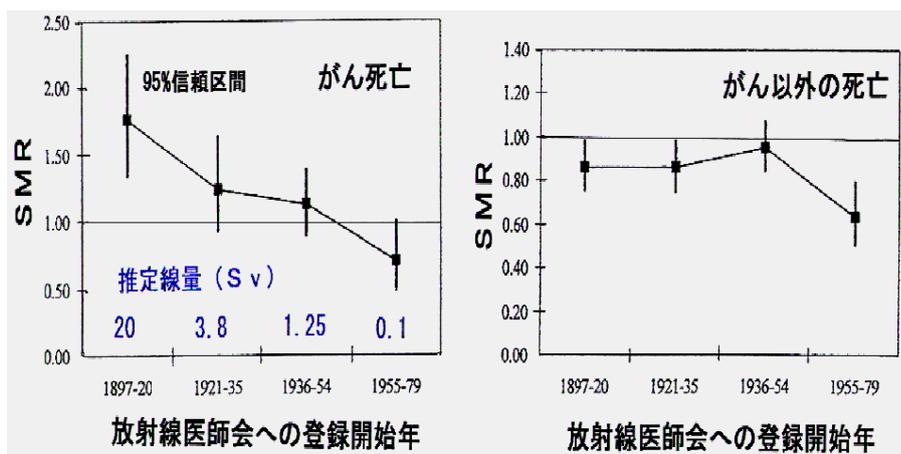


Fig. 2.7 英国放射線科医の一般臨床医との比較による標準化死亡比 (SMR)

(3) “非発がん線量”

田ノ岡は、発がんの有意な上昇が認められない線量の上限、“非がん線量”を自らの動物実験や疫学調査文献等の調査から求めている<sup>8)</sup>。Fig. 2.8 に示すように、急照射の場合、低 LET 放射線で 0.1 Gy 以上、高 LET 放射線で 0.01 Gy 以上であり、低線量率、分割照射あるいは部分照射の場合には、これらの値よりもはるかに高い線量となっている。なお、図中の”H”はヒトの疫学調査事例である。

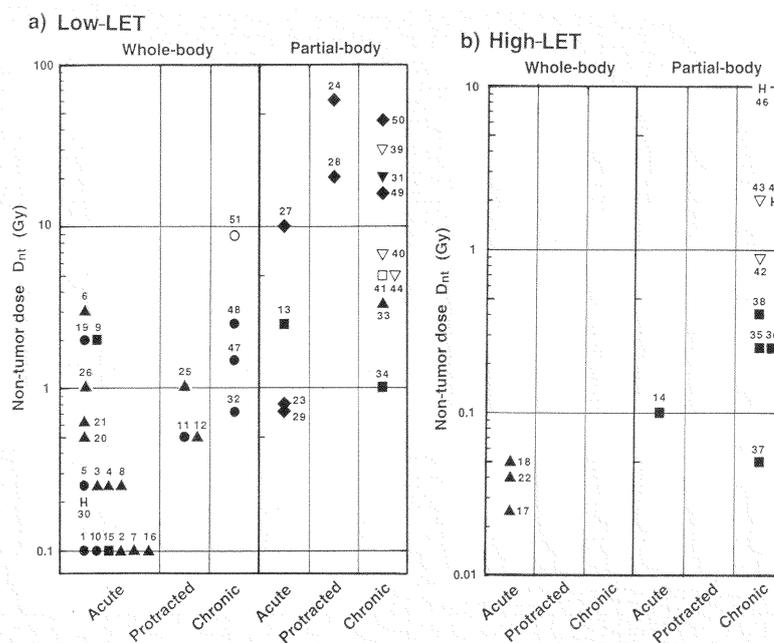


Figure 4. Distribution of non-tumour-inducing doses ( $D_{nt}$ ) in various irradiation conditions for low- (a) and high-LET (b). Thymic lymphoma and myeloid leukaemia, ●; lung tumour, ■; skin tumour, ◆; bone tumour, ▼; and others, ▲, in mouse and rat. Open symbols, dog; H, human. Numbers given alongside each data point indicate subject numbers in table 1.

Fig. 2.8 非発がん線量

(金子正人)

## 2.3 生物影響とリスク評価

国際放射線防護委員会(ICRP)は、1977年勧告(Publ. 26)から、放射線防護基準設定を目的として、主に原爆被ばく者の疫学データを基に確率的影響(発がんや遺伝的影響)に対するリスク係数を評価している。1977年勧告の時点では、主に致死確率(生殖腺は遺伝的影響)を考慮し、線量限度の妥当性の確認(他の産業の致死率との比較)に使用した。1990年勧告(Publ. 60)では、リスク評価をさらに詳細化するとともに非致死がんや寿命損失を考慮したものとし、実効線量の計算に必要な組織荷重係数の算出に使うとともに、線量限度の決定にも用いられた。2007年勧告では、発がんについては罹患率を用いた評価した。このように、ICRPのリスク評価は、生物影響データの進展とともに変化している。以下では、1977年勧告、1990年勧告及び2007年勧告におけるリスク評価の概要をまとめる。

### 2.3.1 ICRP1977年勧告におけるリスク評価

ICRPは、1977年勧告(Publ. 26)から、臓器別及び全身のリスク係数を確率的影響である発がん及び遺伝的影響について評価している。本来、リスク係数は年齢及び男女によって異なるものであるが、放射線防護の目的では、年齢または男女の平均値からの変動幅は大きくはないとしている。Publ. 26では、致死悪性腫瘍性疾患の誘発、非確率的变化の誘発あるいは出生する子孫に現れる重大な遺伝的欠陥の誘発の推定見込数に基づいて、生殖腺、赤色骨髄、骨、肺、甲状腺、乳房、他の全ての組織についてリスク係数が与えられ、これらから全身均等照射による全確率的リスクが評価されている。この段階でのリスク係数は、作業員と一般公衆の構成員の年齢構成による違いは別々の値を用いるほど大きくないとしている。また、遺伝的リスクは、最初の2世代までを考慮した値を示しており、全世代ではその値の2倍としている。また、全身に対するリスク係数は、ICRPが設定する職業被ばくに対する線量限度が、他の安全な職業におけるリスクと同程度であることを示すのに使われた。

部位別のリスク係数の1990年勧告及び2007年勧告との比較をTable 2.1に示す。

### 2.3.2 1990年勧告におけるリスク評価

1990年勧告では、国連科学委員会(UNSCEAR)の1988年報告やBEIR-V報告等の成果を反映させて、1977年勧告よりも詳細なリスク評価を行っている。リスク係数は、1977年勧告と同様、発がんや遺伝的影響について評価しているが、評価対象の臓器・組織を増加させて、生殖腺、赤色骨髄、骨表面、肺、甲状腺、乳房に加えて、結腸、食道、胃、肝臓、膀胱、卵巣、皮膚についてもリスク係数(生涯死亡確率)を評価した。また、その評価方法等についても付録で詳細に記述している。まず、リスク推定の基となるデータは、主に原爆被曝者のデータであるが、その被ばく状況は、通常の放射線防護の対象と比べて、高線量・

高線量率である。このため、ICRP は線量・線量率効果係数 (DDREF) を導入し、その値として 2 を採用した。また、1977 年勧告では、一般公衆と職業人を区別していなかったが、1990 年勧告では、年齢分布の違いを考慮して、別々な値を出している。また、遺伝的影響に対するリスク係数は、2 世代までではなく、全世代を考慮した平衡値を算出している。リスク評価を種々の集団の平均として求める考え方は 1977 年勧告と同じである。1990 年勧告では、バックグラウンドデータとして、5 つの集団 (日本、米国、英国、中国、プエルトリコ) に適用して生涯過剰死亡確率を求め、その平均値として致死がんの確率 (リスク係数) を評価している。さらに、この致死がんの確率に相対的寿命損失と非致死がんの相対寄与を考慮したものを総合損害とし、この総合損害に対するリスク係数を算出している。1990 年勧告では、このような放射線防護を目的として平均化されたリスク係数を「名目確率係数」と名付けている。部位別リスク係数 (致死がんと総合損害の両方) を表 1 に示す。また、全集団と成人 (労働者の年齢分布) に対するがん及び遺伝的影響の名目確率係数を表 2 に示す。

### 2.3.3 2007 年勧告におけるリスク評価

#### (1) 発がん

2007 年勧告においては、1990 年勧告以降の原爆被曝者の疫学等のデータの進展を踏まえて、さらにリスク評価を発展させている。特に、原爆被ばく者の疫学調査で得られた固形がん罹患率 (1958-1998 年) を基に評価している点が特徴である。この罹患率データとから、人口集団の違い、性別、被ばく時年齢と到達年齢による補正等を行い、これに欧米とアジアの人口集団のがんベースラインデータ (性別、年齢群、がん部位ごとの罹患率と死亡率) 等を用いて部位別のリスクを算定している。そして、人口集団と両性で平均した平均値を名目リスク係数と呼んでいる。この名目リスク係数は、がん罹患率に基づく値である。さらに、致死率と生活の生涯を加重した値を調整された名目リスク係数として示している。名目リスク係数と調整されたリスク係数を表 1 に示す。また、全集団と成人 (労働者の年齢分布) に対するがん及び遺伝的影響の調整された名目リスク係数を 1990 年勧告の値と比較して Table 2.2 に示す。

#### (2) 遺伝的影響

遺伝的影響のリスク係数は、2007 年勧告で大きく変更された。これは、国連科学委員会 (UNSCEAR) の 2001 年報告書でリスク評価を見直したことが反映されている。遺伝的影響は、人では認められておらず、マウスなどの動物実験データだけである。2007 年勧告では、単一遺伝子突然変異の結果生じるメンデル性疾患、及び、複数遺伝子突然変異と環境要因が関係し生じる多因子性疾患について、倍加線量法に基づき、ヒトの自然突然変異率とマウスの放射線誘発突然変異率の両者を用いて、被ばく者 2 世代までの遺伝リスクが評価された。その結果、Table 2.2 に示すように、遺伝的影響の名目リスク係数は、全年齢集団に対

して  $0.2\% \cdot \text{Sv}^{-1}$ 、成人作業者に対して  $0.1\% / \text{Sv}$  と 1990 年勧告の約 1/6 及び 1/8 となった (Table 2.2 参照)。

Table 2.1 部位別リスク係数の比較 (全集団、1 Sv あたり)

臓器・組織	1977 年勧告	1990 年勧告		2007 年勧告	
	リスク係数 *1	名目確率係数		名目リスク係数 *3	調整された 名目リスク係数*4
		致死がん	総合損害*2		
食道	—	$3.0 \times 10^{-3}$	$2.4 \times 10^{-3}$	$1.5 \times 10^{-3}$	$1.51 \times 10^{-3}$
胃	—	$1.1 \times 10^{-3}$	$1.0 \times 10^{-3}$	$7.9 \times 10^{-3}$	$7.70 \times 10^{-3}$
結腸	—	$8.5 \times 10^{-3}$	$1.03 \times 10^{-2}$	$6.5 \times 10^{-3}$	$4.94 \times 10^{-3}$
肝臓	—	$1.5 \times 10^{-3}$	$1.6 \times 10^{-3}$	$3.0 \times 10^{-3}$	$3.02 \times 10^{-3}$
肺	$2 \times 10^{-3}$	$8.5 \times 10^{-3}$	$8.0 \times 10^{-3}$	$1.14 \times 10^{-2}$	$1.13 \times 10^{-2}$
骨	$5 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}$	$7 \times 10^{-4}$	$7 \times 10^{-4}$	$5.1 \times 10^{-4}$
皮膚	—	$2 \times 10^{-4}$	$4 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-1}$	$4.0 \times 10^{-4}$
乳房	$2.5 \times 10^{-3}$	$2.0 \times 10^{-3}$	$3.6 \times 10^{-3}$	$1.12 \times 10^{-2}$	$6.19 \times 10^{-3}$
卵巣	—	$1.0 \times 10^{-3}$	$1.5 \times 10^{-3}$	$1.1 \times 10^{-3}$	$8.8 \times 10^{-4}$
膀胱	—	$3.0 \times 10^{-3}$	$2.9 \times 10^{-3}$	$4.3 \times 10^{-3}$	$2.35 \times 10^{-3}$
甲状腺	$5 \times 10^{-4}$	$8 \times 10^{-4}$	$1.5 \times 10^{-3}$	$3.3 \times 10^{-3}$	$9.8 \times 10^{-4}$
骨髄	$2 \times 10^{-3}$	$5.0 \times 10^{-3}$	$1.04 \times 10^{-2}$	$4.2 \times 10^{-3}$	$3.77 \times 10^{-3}$
その他	$5 \times 10^{-3}$	$5.0 \times 10^{-3}$	$5.9 \times 10^{-3}$	$1.44 \times 10^{-2}$	$1.10 \times 10^{-2}$
合計	$10^{-2}$	$5.00 \times 10^{-2}$	$5.92 \times 10^{-2}$	$1.70 \times 10^{-1}$	$5.46 \times 10^{-2}$
生殖腺 (遺伝性)	$4 \times 10^{-3}$	$1.00 \times 10^{-2}$	$1.33 \times 10^{-2}$	$2.0 \times 10^{-3}$	$1.93 \times 10^{-3}$
総計	—	—	$7.30 \times 10^{-2}$	—	$5.65 \times 10^{-2}$

- \* 1 致死悪性腫瘍、重大な遺伝的欠陥の誘発による死亡を考えている (生殖腺を除く)。
- \* 2 致死がんの確率に相対的寿命損失及び非致死がんの相対寄与を考慮 (生殖腺を除く)。
- \* 3 がんの罹患率に基づく値 (生殖腺を除く)。
- \* 4 名目リスク係数に致死率と生活の生涯を加重した値 (生殖腺を除く)。

Table 2.2 低線量率放射線被曝後の確率的影響に対する、  
損害で調整された名目リスク係数 ( $10^{-2}$  Sv)

被ばく集団	がん		遺伝性影響		合計	
	2007年勧告	1990年勧告	2007年勧告	1990年勧告	2007年勧告	1990年勧告
全集団	5.5	6.0	0.2	1.3	5.7	7.3
成人	4.1	4.8	0.1	0.8	4.2	5.6

(吉澤道夫)

## 2.4 新知見の放射線防護体系への反映

### 2.4.1 放射線防護の変遷

1895年のレントゲンによるX線の発見から60年間における放射線防護の目的は、職業被ばくから確定的影響を防止することであり、防護の原則は、個人線量を「しきい値」未満に保つことであった。低線量放射線は、医療目的の使用であり、有益 (beneficial) とされた。

1950年代半ば、考え方 (philosophy) が、変わった。疫学的な証拠 (米国放射線技師の過剰がん、広島・長崎の原爆被爆者の白血病の過剰) から、「しきい値」が排斥された。自然放射線をこえる放射線は、絶対安全とは言えず、現在の知識に照らして、negligible riskを含む practical level を選ぶことが問題となった。他の有害要因 (hazards) との比較で最大許容線量を決めなければならない。影響が不可逆的、蓄積的であるとの認識から、被ばくは、可能な限り低く (to the lowest possible level) すべきとされた。

リスクの受容性 (acceptability) をめぐる議論から、表現が、“as low as practicable” (ICRP 1959)、“as low as readily achievable” (ICRP 1966)、“as low as reasonably achievable” (Pub. 22, ICRP 1973)と変わった。

ICRPの1977年勧告で、放射線防護の3原則が導入された。(行為の)正当化、(防護の)最適化、線量限度の遵守である。

- ・正当化は、doing more good than harm (positive net benefit)
- ・最適化は、maximizing the margin of good over harm for society as a whole (ALARA) 集団線量 (collective dose) の金銭換算などの手法も導入された (utilitarian principle of ethics)。

その後、Pub. 55 (ICRP 1989)、Pub. 77 (ICRP 1997) を経て、功利主義的な価値観から倫理的な立場に移行し、controllable source からの個人線量の防護が強調され現在に至っている。

### 2.4.2 進化した放射線防護体系の提案

### (1) 新体系は健全な科学に基づかなければならない

DNA 修復、アポトーシス、適応応答、免疫系というような生体防護機構の存在がよく認識されるようになった現在、すべての線量レベルで直線性があるという仮説は“科学的”とは言えない。LNT 仮説と矛盾する低線量放射線の健康影響データは豊富にあり、生物学的に有益な“ホルミシス”まである<sup>9)</sup>。証拠は、ますます放射線のリスクには、しきい値効果があることを示している。

Calabrese と Baldwin は、線量—応答関係の最も基本的な形は、しきい値でも直線でもなく、U 字形（ホルミシスの）であり、特に、直線モデルによる低線量リスクの推定値は信頼できないという<sup>10)</sup>。

米国の保健物理学会は、1996 年に声明（2004 年に改訂）を発表し、（バックグラウンド放射線に加えて）年線量 5 rem (50 mSv) あるいは生涯線量 10 rem (100 mSv) 未満で放射線リスクの定量的な評価を行うことに反対しているが、その理由は、10 rem (100 mSv) 未満では健康影響のリスクが小さすぎて観察されないか、あるいは存在しないからとしている<sup>11)</sup>。 ([http://hps.org/documents/risk\\_ps010-1.pdf](http://hps.org/documents/risk_ps010-1.pdf))

5 大陸、20 カ国から 79 名の科学者、法律家、社会学者、規制当局、政策決定者が参加した国際会議 Airlie House Conference (1999 年 12 月 1～5 日、米国) での結論は、

- ・統計的に有意な放射線リスクが示されている最低線量は、およそ 100mSv。
- ・バックグラウンド放射線に上乗せされる 1mSv/年未満の低レベル放射線の影響は、日常、自然に起こっている健康障害と区別できない。

また、低レベルの放射線被ばくを与える放射線源を規制する政策の議論においては、自然バックグラウンド放射線を参照すべき、と勧告している。

Final Report の URL: <http://www.inec.org.br/bridradia.htm>

### (2) 新体系は、他の“有害”物質と調和がとれていなければならない

もし、電離放射線が、これまで毒性学の原則であった Paracelsus (1493-1541) の下記の金言の例外ではないと考えるならば、新体系を紫外線や毒性のある化学物質のような健康に害を与えるものと調和をとることができる。

“全てのものは毒である。毒でないものは存在しない。毒になるか薬になるかは正しい量であるかどうかで分かれる。”

### (3) 実際の”しきい値の意味合い

“実際の”しきい値を、それ以下では検出できるような放射線による発がんや遺伝的影響は期待されない被ばくレベルと定義する<sup>12)</sup>。

被ばくが、“実際の”しきい値以下に保たれているかぎり、行為の「正当化」も防護の「最適化」(ALARA)も必要ではなくなる。それゆえ、個人への放射線の害が社会への便益で相殺することを許すという「正当化」の倫理上の問題を解決することができる。また、健康あるいは安全を経済的な利得と交換するという「最適化」の倫理上の問題をも解決できる。

すなわち、“実際の”しきい値という概念の導入は、個人尊重の考え方に立っており、

“実際の”しきい値以下の線量を受けた人のリスクを平等に negligible と扱うことができるのである。

#### (4) 線量限度に関する試案

20世紀の後半、世界中で採用された全身被ばく線量の限度（作業員 50 mSv/年、公衆 5 mSv/年）以下の放射線被ばくでは、有害な健康影響のはっきりした証拠は見られていない。このため次の線量限度は、“実際の”しきい値以下であると想定する。

－作業員：50 mGy/年

（身体の部分あるいは1つの臓器の被ばくについては、500 mGy/年）

－公衆：5 mGy/年

（身体の部分あるいは1つの臓器の被ばくについては、50 mGy/年）

なお、アルファ線、中性子線のような高 LET 放射線の場合には、上記線量限度に10分の1を乗じる。

（金子正人）

#### 参考文献

- 1) ICRP: The 2007 Recommendations of the International *Annals of the ICRP*, **37**, No. 2-4 (2007)
- 2) Kondo S: Evidence That There are Threshold Effects in Risk of Radiation *J. Nuclear Science & Technology* **36** 1-9 (1999)
- 3) OECD/NEA: Developments in Radiation Health Science and Their Impact on Radiation Protection *Report of The WGST-RHS*, p.14 (1998)
- 4) Krishnan Nair M et al.: Population Study in the High Natural Background Radiation Area in Kerala, India *Radiation Research* **152** S145-S148 (1999)
- 5) Cardis E et al.: Effects of low doses and low dose rates of external ionizing radiation: cancer mortality among nuclear industry workers in three countries *Radiat. Res* **142** 117-132 (1995)
- 6) Cardis E, Vrijheid M, et al.: Risk of cancer after low doses of ionizing radiation-retrospective cohort study in 15 countries *Br. Med. J.* 331(7508), 77-80 (2005)
- 7) Berrington A et al.: 100 years of observation on British radiologists: mortality from cancer and other causes 1897-1997 *British J. of Radiology* **74** 507-519 (2001)
- 8) Tanooka H: Threshold dose-response in radiation carcinogenesis: an approach from chronic  $\beta$ -irradiation experiments and a review of non-tumor doses *Int. J. of Radiat. Biol.* **77** 541-551 (2001)
- 9) Berrington A et al.: 100 years of observation on British radiologists: mortality from cancer and other causes 1897-1997 *British J. of Radiology* **74** 507-519 (2001)
- 10) Calabrese EJ and Baldwin LA: Toxicology rethinks its central belief *Nature* **421** 691-692 (2003)
- 11) Health Physics Society: Radiation Risk in Perspective (Position Statement) *Health Physics News October 2004*, 15-16 (2004)
- 12) Jaworowski Z : Radiation Risk and Ethics *Physics Today* **52** (9), 24-29 (1999)

## 第3章 現在の放射線防護の枠組みとその不合理性

### 3.1 最適化に関する議論

#### 3.1.1 ICRP における最適化の考え方の変遷について

ICRP（国際放射線防護委員会）の勧告する放射線防護体系は、日本を含めて、世界各国の放射線防護関連法令のベースになっており、多くの国々では、ICRP が 1990 年に発表した主勧告である Publication 60<sup>1)</sup>を規制体系に取り入れている。その 17 年後にあたる 2007 年 12 月、ICRP は、その後の新しい知見を取り入れて、新しい主勧告を Publication 103<sup>2)</sup>として発表した。ICRP の勧告する放射線防護体系は、正当化、最適化、線量限度、の三つの原則に基づいて構成されており、この点については、Pub. 60 と Pub. 103 の二つの主勧告で違いはない。なお、放射線防護の三原則の一つである線量限度は、作業者と公衆に対してそれぞれ値が決められており、Pub. 103 では、Pub. 60 の値や導出根拠がそのまま継承されている。

最適化とは、Pub. 103 でその役割が大きく強調された原則であり、一言でいえば、個人や集団の被ばく線量を、社会的および経済的要因を考慮に入れて合理的に達成できる限り低くする（ALARA: As Low As Reasonably Achievable）ことである。すなわち、個人や集団の被ばく線量を低減するためには、人や資金などの資源の投入が不可欠となるが、その場合、その低減できる被ばく線量の程度と、国や事業者が投入可能な資源とのバランスを考慮しながら、最適化を進めることが求められている。最適化は、このような ALARA の概念で概ね説明することができるが、一方で、Pub. 103 には、最適化とは、①現状で最善の対策が実施されているかどうか、②線量を低減するために合理的とみなされる全ての対策が実施されているかどうか、を常に自問する一種の「心構え」である、とも記述されており、最適化は、ALARA を推進するための継続的かつ反復的なプロセスとして認識されるべき原則であることに注意が必要である。

ICRP における最適化の考え方は、古くは 1950 年代に遡ることができ、Pub. 103 に至る間に少しずつ変化してきている。この最適化概念の変遷は、ICRP Publication 101 Part 2<sup>3)</sup>に詳述されており、十分な検討を行った翻訳ではないがここに抜粋して紹介する。

“ICRP 勧告における最適化概念は、1940 年代のいわゆる確率的影響の認識、及びこの種の不可逆的影響に関してしきい値の有無を明らかにしえなかったことによる直接的な影響として導入された。当時は、放射線による悪影響の認識だけが確定的影響である限り、放射線の望ましくない影響を回避するには、これらの影響の出現に関する周知のしきい値よりも、被ばく制限が下回るようにすることで十分だと考えられていた。確率的影響に関する線量影響関係が不確かであるため、線量限度の利用はもはやリスク解消の保証にならなかった。このため委員会は、1950 年初期には慎重な姿勢を示して、『全ての種類の電離放射線への被ばくを必要最低限のレベルに低減化するためにあらゆる努力を払うよう』勧告した。確率的影響を管理するためにこの慎重な態度を取り入れたため、

被ばくの正当化に関する問題が提起された。このような不確かな状況下では、個人のグループにリスクを課すことは、見返りとして明確な社会的便益が存在する場合のみ、正当化される。さらに、活動がこのような便益をもたらすような場合に、次に考慮すべき事項は、どの程度までリスクを低減し、それと同時にリスクをもたらす活動をどの程度まで継続させるかである。これらを考慮し、委員会は、当初の説明を言い換えて、『全ての線量をできるだけ低く保ち、且つ不必要な被ばくを回避する』よう勧告した(45 項； Publication 1； ICRP、1959 年)。

最適化の原則における次の展開は、「実行可能な限り低く」と考えられる、被ばくレベルの判定基準を入念に定めることであった。Publication 9 で紹介されたこれらの基準は、前の勧告に『被ばくはある程度リスクを伴うことがあるため、委員会は、不要な被ばくを回避して、経済的及び社会的考慮に注意を払いながら、全ての線量を容易に達成可能な限り低く保つよう勧告する』という新たな説明を付加した(52 項； Publication 9； ICRP、1966 年 b)。リスクは個人及び社会の 2 つの側面を有しており、提起された活動の便益と均衡が保たれていなければならないことも Publication 9 において記載されている。さらに「被ばくを容易に達成可能な限り低く」保つ目的は、この目的の達成に必要な努力と均衡が保たれていなければならない。

原則の進化におけるその他の重要な段階として、Publication 9 の上記文言の説明にもつばら焦点を絞った Publication 22 (ICRP、1973 年)が挙げられる。特に委員会は、実際の業務に原則を導入し易くするために、費用便益モデルを持ち込んだ。Publication 22 の重要なポイントは、『経済的・社会的に配慮しながら、線量のさらなる低減による経済的・社会的利得が、低減を達成するための経済的・社会的費用に等しくなるような線量を選択することで、線量が容易に達成可能な限り低くなる時点を定義することが可能になる』という記述であった(11 項； ICRP、1973 年)。

さらに、リスクの低減に焦点を当てた取り組みに関する委員会の意向をより正確に説明するために、『容易に』という副詞を『合理的に』に差し替えた(20 項； Publication 22； ICRP、1973 年)。このようなアプローチは、1964 年に委員会が発表した低線量及び低線量率の被ばくに伴う身体的及び遺伝的リスクの大きさを最初に推定できるようにすることで可能になった(Publication 8、ICRP、1966 年 a)。単位被ばく当たりの得られたリスク値は『放射線量から受ける損害の予想』数式として定義され、損失概念の作成を可能にした(21 項； Publication 22； ICRP、1973 年)。本概念は、線量の低減が妥当であるのかを判断するための費用便益モデルの、基本要素の一つになっている。

『考慮』という用語が『因子』に差し替えられた Publication 26 (ICRP、1977 年)において、説明がいくらか変更された。Publication 22 に示された費用便益モデルは、10 年以上の間、最適化を公衆及び職業被ばくの管理に組み込むための、全ての方法的及び実用的展開の基礎をなす概念になっていた。次に重要な段階は Publication 37 (ICRP、1983 年)であり、ここでは施設的设计や運転で実際に使われるのと同様に、費用便益モデルの数理的表現に向けられた。

まもなく、厳密な費用便益アプローチで具現化される場合より多くのパラメータで意思決定が推進されることが、最適化の実際の導入に関与するものにとって明らかになった。補足的因子を組み込むために、まず、柔軟性に富んだ決定支援方法、特に複数因子の得点付け及び順位付けに基づいた決定支援方法の探索が試みられた。次のアプローチは、ALARA 順守に関して事業者を支援する手

順の作成であった。

これらの作業は、1988年に委員会が採択した Publication 55 に反映された。この勧告は、引き続き理論的展開や数理的定式化を適用したが、放射線防護及びより実用的なアプローチに関係した意思決定プロセスに関する幅広い展望を得る方向へ向けて開始された。例えばこの勧告は次のように記載している。『防護の最適化の概念はそもそも実用的なものである。最適化は次のような考え方の基本的枠組みを与える。すなわち、その状況において達成される最善の結果を得るために、他の因子や制約の存在のもとで、防護に投じる資源と得られる防護のレベルとの何らかの均衡を持たせることが妥当である。』（8項、Publication 55；ICRP、1988年）。

2年後に採択された1990年勧告では、概念のさらなる発展が示された。この勧告では、委員会は、最適化プロセスを導入する際に『個人線量の大きさ、被ばく者の数、及び、潜在被ばくの尤度』を考慮する必要性を強調した。さらに、社会全体にわたる便益・損失の不均等分布によって提起された公平性の問題が強調された。このような観点から、『防護の最適化によって個人間にかなりの不公平性が持ち込まれる』ことが認識されている(121項、Publication 60；ICRP、1991年)。委員会は、線量拘束値の概念を、『最適化手順で考慮されるオプションの範囲を制限するための個人線量の線源関連値』として取り入れることで、これらを考慮したが、その概念は、行為にのみ使用し介入には使用しないように勧告した(144項、Publication 60；ICRP、1991年)。この勧告では、厳密な費用便益モデルの域を越えて、委員会が、被ばくを合理的に達成可能な限り低く保つための非公式の過程及び実用的手順の重要性を強く主張していることに注目されたい。

Publication 60以来、いくつかの勧告において、各種状況における適用に関連した最適化の新しい要素が紹介されてきた。例えば、放射線緊急事態における公衆防護のための介入の原則に関する Publication 63(ICRP、1993年)は、事故影響を緩和するための防護措置の設計において最適化が重要な役割を果たすことを強調している。最適化の原則は、作業員の防護に取り組んだ Publication 75においても、大きく焦点が当てられている(ICRP、1998年)。この勧告では、作業時に防護の最適化を現実導入する際における管理措置と特に安全基本の態度を確約することの重要性が強調されている。放射性廃棄物の処分に関する放射線防護政策を扱う Publication 77(ICRP、1997年)では、委員会が、最適化の原則の判断性について繰り返し述べると同時に、非常に長期にわたり分布する低個人線量に対処する防護オプションを比較する目的で、集団線量の概念が誤用される可能性がある点を強調している。長寿命放射性固体廃棄物の処分を扱った Publication 81(ICRP、1998年)では、委員会は1970年代及び1980年代中に作成された定量的アプローチを越えるよう勧告し、従来よりも幅広い見方を採用することを奨励している。

このような方向におけるその他の重要な動きは、長期にわたり放射線に被ばくする状況下における公衆の防護に関する Publication 82(ICRP、1999年)の中で、委員会が取り挙げている。この勧告では、委員会が、様々な被ばく状況における被ばくレベルや関連する属性に伴う健康リスクの客観的評価に基づいて、放射線防護に関する勧告を提供することを、繰り返し述べている。ただし、委員会は通常、防護レベルに関する最終的判断に影響する、社会政治的及び文化的考慮の実在についても認識している。その結果、委員会は、意思決定プロセスが『放射線防護に直接関係する属性

以外の属性を考慮することができ』、また『放射線防護専門家だけでない当該利害関係者の参加を含む』ことを予想している(4項; Publication 82; ICRP, 1999年)。

これらの勧告に従って、国内及び国際レベルにおける実際の経験の分析では、放射線防護の意思決定プロセスにおいて利害関係者の関与が増した場合に、課題、関係及び便益の理解がより優れたものになった(NEA, 1998, 2001及び2004年)。このため、委員会は、現在、利害関係者の関与が最適化プロセスの重要なインプットと考えている。その理由として、利害関係者の関与により、放射線リスク管理に必要な柔軟性が確保される。より効果的で持続可能な判断を下す上で必要となるのがその柔軟性である。”

### 3.1.2. 最適化の下限線量の現状について

ICRP 新主勧告 (Pub. 103) では、計画被ばく状況においては、線量拘束値を下回る線量領域で最適化を実施することを原則としており、通常、線量拘束値が決まれば、その線量レベルよりも低いレベルで最適化が要求される。しかし、放射線防護体系の中で、線量拘束値に下限値を与える場合には、その下限値以下では線量拘束値の設定を許容しないことから、下限値以下の線量領域では最適化を必要としないと解釈できる。したがって、線量拘束値の下限は、最適化を必要とする線量領域の下限でもあり、また、LNT (しきい値なし直線) 仮説の適用下限にも相当することから、集団線量を計算する際の線量下限にもなる。一方、ICRP では、主勧告の2005年版ドラフトで、最低の線量拘束値という表現で0.01mSv/yを明示し、2007年版ドラフトでは、0.01~1mSv/yの線量バンドの表現として、0.01mSv/yを線量拘束値の最低値として表現したが、最終的にPub. 103では、この線量バンドは1mSv/y以下と表現され、線量拘束値の下限値は定義されなかった。したがって、線量拘束値の下限値、すなわち最適化を必要とする線量の下限値は、未だに、ICRPの勧告する放射線防護体系の中に位置づけられていないということができ、このことが世界各国で、公衆被ばくに対して過剰な放射線安全規制を強いる傾向を生じる一因となっている。

一方、規制免除やクリアランスの形態によって、これ以上の最適化を必要としない固体状の線源を規制当局が認可するシステムは、既に、多くの国々が支持するに至っている。1996年に発表された国際基本安全基準(BSS)<sup>4)</sup>では、これ以上の最適化を必要としない人工起源の放射性核種(人工核種)に対する規制免除の線量規準は0.01mSv/yオーダーであると定義している。また、IAEAでは、BSSを補完し、各国の規制当局等に対して、規制除外、規制免除およびクリアランスの概念の適用に関する指針を示すことを目的として、2005年に安全指針RS-G-1.7を発表し、自然起源の放射性核種(NORM)と人工核種の両方に対して、大量の物質を規制除外、規制免除またはクリアランスする際の放射能濃度値を示した<sup>5)</sup>。この放射能濃度値は、NORMと人工核種の間で異なる考え方にに基づき導出された<sup>6)</sup>。NORMに対する放射能濃度レベルは、UNSCEARによる世界規模での土壌、岩石、砂および鉱石中におけるNORMの放射能濃度調査結果<sup>7)</sup>の上限を基に設定し、これらの放

射能濃度の影響として、BSS でも別に取り扱われているラドンのエマネーション（散逸）からの寄与を除外すれば、個人の受ける線量が約 1mSv/y を超えることはありそうもないとしている。これに対して、人工核種については、全ての固体状物質を対象に、外部被ばく、ダスト吸入および経口摂取の被ばく経路を包含するように選定された典型的な被ばくシナリオに基づき、現実的なパラメータ値を用いる場合は線量規準を 0.01mSv/y、低確率なパラメータ値を用いる場合は線量規準を 1mSv/y に設定して線量評価を行い、人工核種に対する放射能濃度レベルを算出している。また、RS-G-1.7 では、大量の物質を規制免除またはクリアランスする際の放射能濃度値については、IAEA 加盟国のインフラ整備の状況に応じて 10 倍まで緩和した値を各国で採用しても良いとしており、このことは、免除やクリアランスの線量規準が、10 倍まで緩和できることを示唆している。

以上を取り纏めると、線量拘束値の下限值、すなわち最適化を必要とする線量の下限值は、未だに ICRP の勧告する放射線防護体系に明確に規定されていないものの、規制免除やクリアランスの場合には、IAEA 加盟国の合意を経て、現実的な被ばくを想定する場合には 0.01mSv/y オーダー、被ばくの発生確率や各国の状況によっては 1mSv/y まで許容できる段階的な変化（グラデーション）を持つ線量規準として扱われているのが現状である。このような現状を踏まえると、数 mSv/y 以下の低線量領域の最適化を円滑かつ合理的に実施できるようにするため、次世代の新しい放射線防護体系には、線量拘束値の下限值、すなわち最適化を必要とする線量の下限值を、明確に位置づけることが重要であるといえる。

### 3.1.3 自然バックグラウンド放射線アプローチ

最近、線量拘束値の下限値を議論する研究成果が学術誌に発表されてきており、（財）電力中央研究所の服部<sup>8)</sup>は、NORM によって受ける被ばく線量分布に人工核種から受ける被ばく線量分布が付加された時の線量の確率分布に注目し、最適化を必要とする線量拘束値の下限を、合理的に導くための新しいアプローチを提案している。ここでは、そのアプローチとその結論について紹介する。

#### (1) NORM によって受ける線量分布の作成方法

UNSCEAR2000 年報告には、NORM による年間線量の世界平均値は 2.4mSv/y であることに加え、年間線量分布として 15 カ国の事例が提示されている<sup>7)</sup>。その線量分布の算術平均は約 2.0mSv/y<sup>7)</sup>であり、分布形状は、平均値よりも低線量側でピークを示しており、対数正規分布として表すことが可能である。また、年間線量の約 50%を占めるラドンの吸入による内部被ばくの線源となる屋内ラドンの濃度分布もまた、対数正規分布を示すことが知られている<sup>9)</sup>。UNSCEAR によると、その幾何平均と幾何標準偏差の世界の人口荷重平均値はそれぞれ 30Bq/m<sup>3</sup> と 2.3 である<sup>7)</sup>。

以上のことを考慮にいれ、NORM による線量分布は、幾何平均値 2.0mSv/y、幾何標準偏

差 2.0 の対数正規分布と想定する。この分布の算術平均値は理論的に 2.5mSv/y と得ることができ、UNSCEAR の報告した 2.4mSv/y の値とほぼ一致しており、このことは、想定した分布が妥当であることを示唆している。

## (2) 人工核種によって受ける線量分布の作成方法

放射性物質の環境放出によって一般公衆が被ばくした線量を、外部被ばくと内部被ばくについて、線量分布を調べた事例はないし、仮にそのような事例があったとしても、その事例を代表的な分布として採用するだけの根拠を見つけることはできない。しかし、NORM に曝されている一般公衆の線量分布と同じように、線量を管理したり制限したりしていないような原子力施設の職業被ばく線量の確率密度関数は、対数正規分布を示す可能性が高い<sup>9)</sup>。そこで、人工核種による一般公衆の線量分布は、NORM による線量分布と同じように対数正規分布を示すものとして取り扱うこととした。

対数正規分布は、中央値である幾何平均とばらつきの程度を表す幾何標準偏差の二つのパラメータによって決定される。NORM の線量分布の幾何標準偏差は、上述したように既に 2.0 と想定した。人工核種による一般公衆の線量分布のばらつき程度を推し測るための調査結果は存在しない。しかし、NORM も人工核種も、人の生活する環境内に様々な形態で分布し、内部被ばくや外部被ばくなどの様々な被ばく経路を通じて一般公衆は線量を受けるという観点で共通しており、NORM と人工核種の間で、線量分布のばらつきに違いが生じることを正当化できる本質的な理由は見当たらない。したがって、人工核種による線量分布の幾何標準偏差についても、NORM による線量分布と同じように 2.0 と想定する。

一方、幾何平均をどのように与えるかは、ICRP が Publication 101 Part 1<sup>10)</sup> で新たに発表した代表的個人の考え方をを用いて線量拘束値を遵守するための要件と深く関係する。代表的個人とは、集団の中で最も高い被ばくを受ける人々を代表する線量を受ける仮想的な個人のことである。ICRP は、仮想的な個人に対する線量を予測する確率論的評価の場合、仮想的な集団から任意に抽出された人間が線量拘束値を超える年間実効線量を被ばくする確率が 5%未満であるように代表的個人を決定するよう勧告している。この ICRP の勧告は、保守的かつ一義的な線量評価結果に基づいて線量拘束値の遵守を求める、これまでの決定論的な手法に加えて、確率論的な手法を用いた場合の線量拘束値の遵守方法を定めたものであり、保守性の強さを、数学的かつより精密に表したものである。この ICRP の勧告の考え方を活用すれば、線量拘束値  $D$  が決まったら、代表的個人に対する線量分布の 95 パーセンタイル値  $E_{95}$  は、下記の式 (1) のように、その線量拘束値よりも常に低いことが保証されることを数学的に明示できる。

$$D \geq E_{95} \cdots (1)$$

一方、対数正規分布の場合、95 パーセンタイル値は、幾何平均と幾何標準偏差を用いて、

下記の式 (2) のように表すことができ、幾何標準偏差を 2.0 とすると、式 (2) は、式 (3) のように表すことができる。

$$E_{95} = E_{GM} \cdot S_G^{1.645} \dots (2)$$

$$D \geq 3.13 \cdot E_{GM} \dots (3)$$

ここで、 $E_{GM}$  は幾何平均、 $S_G$  は幾何標準偏差である。

以上の結果から、人工放射性核種による一般公衆の線量分布は、幾何標準偏差を 2.0 と想定し、幾何平均については、ICRP の代表的個人の考え方に従い、想定する線量拘束値に対して式 (3) を用いて、その最大値を与えることが可能となる。Fig. 3.1 に、一例として、線量拘束値が 0.5mSv/y の場合について、NORM による線量分布と人工核種による線量分布を示す。同図から、式 (3) に基づいて決まる人工核種による線量分布は、線量拘束値よりもやや低い線量域に分布していることがわかるが、この人工核種による線量分布は最大値、すなわち保守的に最も高い線量を受けると想定される代表的個人の線量分布であって、実際に公衆が受けるだろう人工核種による線量分布はさらに小さい線量であるかも知れないことに注意が必要である。

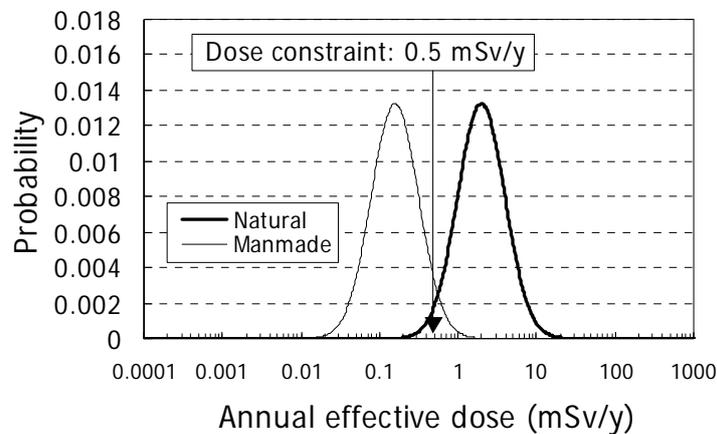


Fig. 3.1 線量拘束値と NORM と人工核種による線量分布の関係の一例

### (3) NORM と人工核種によって受ける線量分布の加算結果

NORM による線量分布と人工核種による線量分布が付加されてできる線量の確率分布をモンテカルロ計算手法によって求めた。NORM の線量分布は、幾何平均 2.0mSv/y、幾何標準偏差 2.0 の対数正規分布である。また、遵守すべき線量拘束値として、0.1、0.3、0.5、1.0 mSv/y を選択し、NORM の線量分布に付加した人工核種の線量分布の幾何平均は、式 (3)

の関係から、それぞれ 0.030、0.091、0.15、0.30 mSv/y とし、幾何標準偏差が 2.0 の対数正規分布とした。

Fig. 3.2 に、NORM の線量分布とこれに人工核種による線量分布を付加した総線量分布を示す。図中で、太い実線が NORM の線量分布、細い実線が総線量分布を示している。同図から、遵守すべき線量拘束値が 0.5mSv/y までであれば、両者の分布にはほとんど差が生じていないことがわかる。一方、線量拘束値が、一般公衆に対する線量拘束値の最大値、すなわち線量限度に相当する 1.0mSv/y の場合には、両者の分布に若干の差異が認められる。しかし、NORM の線量分布と総線量分布の相違は、低線量域では顕著だが、高線量域では顕著ではない。このことは、NORM から受けている線量が低い人の集団にとっては、線量加算の影響が相対的には大きいことを示しているが、その線量レベルの絶対値は小さいことに注目すべきである。また、さらに重要なポイントは、どの公衆の構成員も、自分が線量分布のどの位置に相当する被ばくを NORM から受けているのか、まったく知らないまま問題なく暮らしているということである。したがって、放射線防護の体系に係る議論の枠組みの中では、人工核種による 0.1mSv/y オーダーの線量拘束値の設定に基づく線量付加は、些少な (trivial) 扱いにすることが可能といえる。

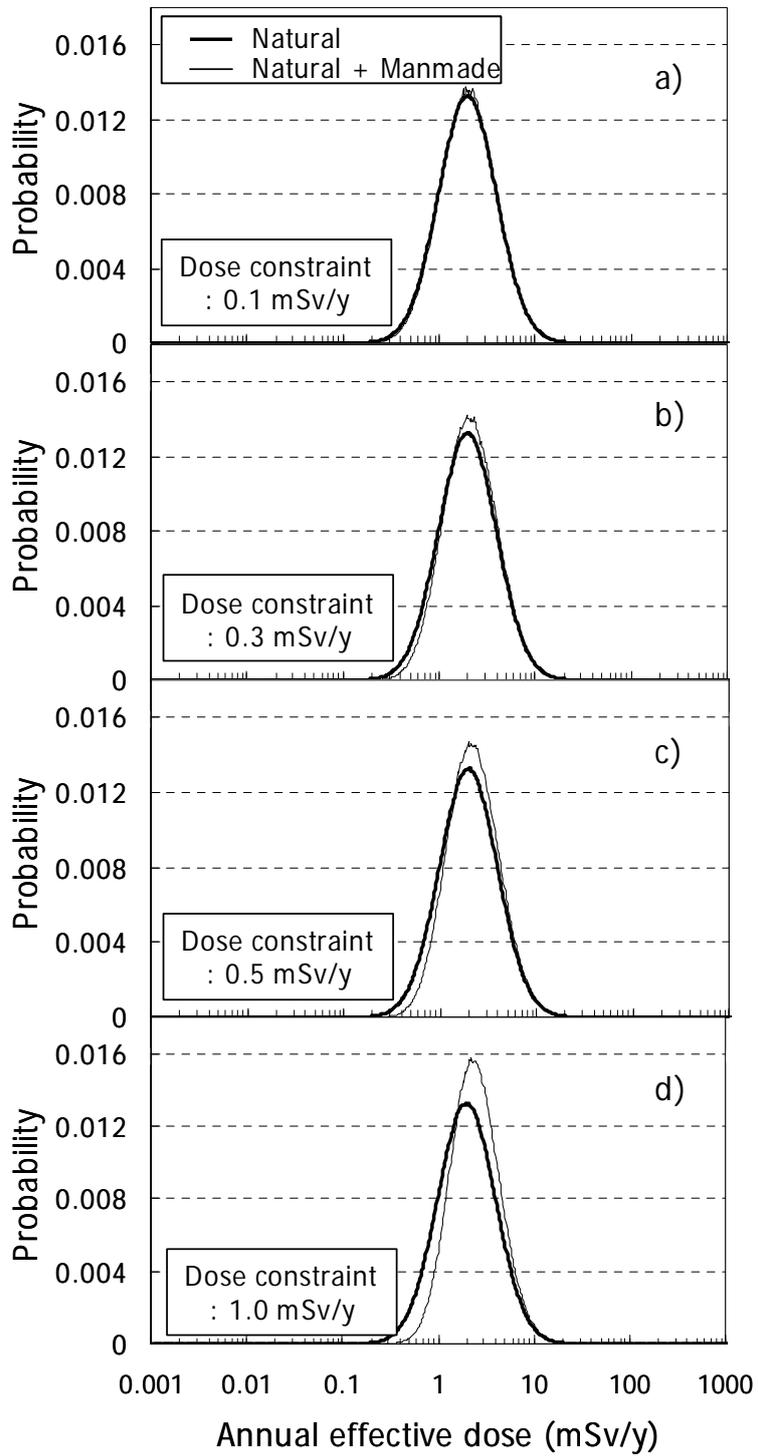


Fig. 3.2 NORMによる線量分布と人工核種による線量分布が付加された線量分布

#### (4) まとめ

放射線作業従事者は、作業時は常に線量計を携帯し、受けた外部被ばく線量を正確に知ることができるし、内部被ばくは可能な限り発生しないような管理がなされ、仮に発生しても適切な方法を通じて線量評価が可能である。一方、一般公衆を構成する個人は、外部被ばくと内部被ばく量を正確に把握することは不可能であり、NORM や環境に放出された人工核種から受ける線量を正確に知ることはできない。したがって、その不確かさを線量の確率分布として表現し、これに基づき、最適化を必要とする線量範囲を議論することは合理的なアプローチといえる。現在、人工核種に対して、規制免除やクリアランスの線量規準は0.01mSv/y オーダーとされているが、ここで提案した合理的なアプローチに基づけば、最適化を必要とする線量拘束値の下限は、0.01mSv/y オーダーの線量規準よりも1桁高く設定すべきであり、0.1mSv/y が適当であると結論できる。

### 3.1.4 バックグラウンドがんリスクアプローチ

ICRP は、がんや遺伝的影響に係るリスクを、単にそれらに罹患することで死亡するリスクとして捉えるだけでなく、非致死の場合の影響も適切に取り入れるため、デトリメント（損害）と呼ばれる概念を導入し、それらに罹患することで発生するであろう、死亡、寿命の損失、生活の障害（生活の質の低下）といった要因を考慮に入れて、がんの種別（組織あるいは臓器別）に求めた損害を総和することによって調整したリスク係数を導出する方法を提案している。このような方法で導出された損害調整リスク係数は、通常、男女間や年齢グループによっても異なることになるが、ICRP は、男女間と年齢グループで平均化した名目リスク確率係数を Pub. 60<sup>1)</sup> および Pub. 103<sup>2)</sup> の双方で発表しており、これらの値を勘案して、Pub. 103 では、放射線防護の目的には、現行の国際的な放射線安全基準が根拠としている 5%/Sv というおおよその全体的な致死リスク係数（Overall fatal risk coefficient）を使用することが適当であるとしている。したがって、このリスク係数を用いて逆算すれば、1mSv/y の公衆に対する線量限度は、約  $5 \times 10^{-5}$  /y のリスクに相当するといえる。このリスクが、どの程度の大きさのリスクなのかを知るためには、ICRP が、Pub. 60 で公衆の線量限度を導き出す際に用いた Natural BG radiation-based approach と同様のアプローチを用いることが有効で、既に存在しているバックグラウンドリスクを把握することが重要である。また、自然に発生しているがんや遺伝的影響によるバックグラウンドリスクには、発がん物質を摂取したことによるリスクや、医療被ばくを受けることによって生じているかも知れないリスクなど、すべてのがんや遺伝的影響の要因によるリスクが含まれており、1mSv/y 以下の低レベルの放射線の被ばくにより付加される追加リスクの受容性を考える上で、ICRP の定義した損害で調整したバックグラウンドがんリスクを知ることは極めて重要である。

このような背景を受けて、(財)電力中央研究所の服部<sup>11)</sup>は、日本のバックグラウンド

がん死亡率データを用いて、ICRP の定義した損害調整リスクを指標にしてバックグラウンドリスクの確率分布を調べ、その不確実性（標準偏差）を評価し、公衆の線量限度である 1mSv/y、自然バックグラウンド放射線の線量分布、ならびに線量拘束値の設定によって生じるかも知れない人工核種起源の最大の想定線量分布、に相当するリスクと比較・考察した結果について報告している。ここでは、そのアプローチとその結論について紹介する。

#### (1) ICRP のデトリメントの定義

ICRP は、Pub. 103<sup>2)</sup>において、原爆被ばく者集団の疫学調査結果をもとに、がんの種別（組織あるいは臓器別）に、食道、胃、結腸、肝臓、肺、骨、皮膚、乳房、卵巣、膀胱、甲状腺および骨髄（白血病）のがん、並びにその他の固形がん、そして生殖腺の遺伝的疾患について、例えば、Table 3.1 の第二欄に示すような名目リスク係数を与えている。また、これらのがんや遺伝的疾患に対して、第三欄以降に示したように、致死割合と生活の障害（生活の質の低下）を調整した結果と寿命損失年数による調整係数を示し、これら乗じることで得られるデトリメントを第七欄に与えている。具体的なデトリメントの算定方法<sup>2)</sup>は、式(4)に基づいている。

$$D_T = [k \cdot R_T + (1-k) \cdot R_T \cdot \{k \cdot (1 - q_{min}) + q_{min}\}] \cdot I_T \quad \dots (4)$$

ここで、 $D_T$ ：組織  $T$  のデトリメント（Table 3.1 第七欄）、 $R_T$ ：組織  $T$  のがん発生に対する名目リスク係数（Table 3.1 第二欄）、 $k$ ：組織  $T$  のがんに対する致死率（Table 3.1 第四欄）、 $q_{min}$ ：組織  $T$  の非致死がんに対する最小の加重（皮膚以外の組織は 0.1、皮膚については 0）、 $I_T$ ：相対的寿命損失、を表す。Table 3.1 の最下行に示したように、これらのがんや遺伝的疾患に対するデトリメントの総和は、Pub. 103 では損害調整リスクと定義され、この値が 5 %/Sv というおおよその全体的な致死リスク係数の基礎となっている。なお、Table 3.1 の最右欄の相対値は、実効線量を求める際に用いられる組織加重係数を決定する根拠となっている。

Table 3.1 の第二欄の名目リスク係数は、Pub. 60<sup>1)</sup> では、がんや遺伝性疾患の死亡率のデータに基づき計算されていたが、Pub. 103 では、特に生存率の高いがんに対して、より正確な知見を与えることができるという理由から、罹患率（発生率）のデータに基づいて計算されている。また、致死割合と生活の障害（生活の質の低下）および寿命損失年数による調整係数についても、Pub. 60 で用いられた値は、Pub. 103 で更新されている。一方、Pub. 103 の付属書 A では、Pub. 103 の方法で計算したケースに加えて、参考として、Pub. 103 の方法で死亡率データに基づいて名目リスク係数を求め、それを使って損害調整リスクを計算したケースも示されているが、両者の損害調整リスク間の違いは 20% 未満であり大きくない。したがって、ICRP の定義した損害調整リスクを用いてバックグラウンドリスクを

調べる場合、罹患率データと死亡率データのどちらを使っても結果に大きな影響は及ぼさないといえる。

Table 3.1 ICRP Pub. 103<sup>2)</sup>に与えられている公衆に対する性平均の名目リスクと損害の要約

	Nominal risk coefficient (cases/10,000 persons /Sv)	Fatal contribution	Lethality fraction	Nominal risk adjusted for lethality and quality of life	Relative cancer-free life lost	Detriment	Relative detriment
Oesophagus	15.1	14.0	0.93	15.1	0.87	13.1	0.023
Stomach	79.1	65.5	0.83	77.0	0.88	67.7	0.118
Colon	65.4	31.3	0.48	49.4	0.97	47.9	0.083
Liver	30.3	28.9	0.95	30.2	0.88	26.6	0.046
Lung	114.2	101.5	0.89	112.9	0.80	90.3	0.157
Bone	7.0	3.2	0.45	5.1	1.00	5.1	0.009
Skin	1000.0	2.0	0.002	4.0	1.00	4.0	0.007
Breast	112.1	33.0	0.29	61.9	1.29	79.8	0.139
Ovary	10.6	6.0	0.57	8.8	1.12	9.9	0.017
Bladder	43.4	12.0	0.29	23.5	0.71	16.7	0.029
Thyloid	32.5	2.2	0.07	9.8	1.29	12.7	0.022
Bone Marrow	41.9	28.0	0.67	37.7	1.63	61.5	0.107
Other solid	143.8	70.5	0.49	110.2	1.03	113.5	0.198
Gonads (Heritable)	20.0	16.0	0.80	19.3	1.32	25.4	0.044
<b>Total</b>	<b>1715.4</b>			<b>564.8</b>		<b>574.3</b>	<b>1.000</b>

## (2) 日本のバックグラウンドがん死亡率データ

日本のがん死亡率のデータは、国立がんセンターのがん対策情報センターが、がん対策を総合的かつ計画的に推し進めるために必要な情報として整備してきており、がん診療連携拠点病院において実施されている院内がん登録および各都道府県で実施されている地域がん登録を標準化して収集・集計を行い、正確ながん統計情報を算出している。がん死亡率は、高齢になるほど高くなるため、高齢者が多い集団の死亡率は、高齢者が少ない集団のそれよりも高くなる。このため、二つの集団の死亡率に差があっても、その差が真の死亡率の差なのか、単に年齢構成の違いによる差なのかの区別がつかない。そこで、年齢構成が異なる集団の間で死亡率を比較する場合や、同じ集団で死亡率の年次推移を見る場合には、年齢調整死亡率が用いられる。年齢調整死亡率は、集団全体の死亡率を、基準となる集団の年齢構成（基準人口）に合わせた形で求められる。基準人口としては、日本では、通常、昭和60年（1985年）モデル人口（昭和60年の人口をベースに作られた仮想的な人口分布）が用いられる。本研究では、日本のバックグラウンドがん死亡率データとして、国立がんセンターのがん対策情報センターが提供している2007年における都道府県毎の悪性新生物部位別75歳未満年齢調整死亡率を用いた。

## (3) バックグラウンドがん死亡率に基づく損害調整リスクの確率分布

都道府県毎の悪性新生物部位別 75 歳未満年齢調整死亡率のデータは、食道、胃、結腸、直腸 S 状結腸移行部、肝および肝内胆管、胆のうおよび他の胆道、膵、気管、気管支および肺、乳房、子宮、卵巣、前立腺、膀胱の悪性新生物、悪性リンパ腫、白血病、の 15 種類の部位やがん種で区分されている。この区分は、Table 3.1 に示した ICRP の区分と若干異なるため、区分が異なるもののうち、肝および肝内胆管のデータは ICRP 区分の肝臓に、気管と気管支および肺のデータは ICRP 区分の肺に、膀胱の悪性新生物のデータは ICRP 区分の膀胱に、白血病のデータは ICRP 区分の骨髄に、直腸 S 状結腸移行部、胆のうおよび他の胆道、膵、子宮、前立腺、悪性リンパ腫のデータは、ICRP 区分のその他の固形がんに分類した。また、ICRP 区分の骨、皮膚、甲状腺、生殖腺の遺伝的疾患については、該当するデータがなかったため、損害調整リスクの計算には含めなかった。

このような方法で、都道府県毎の悪性新生物部位別 75 歳未満年齢調整死亡率のデータを ICRP の区分に再分類し、式(1)の  $kR_T$  に代入することで、Table 3.1 に示した ICRP の定義したデトリメントを組織あるいは臓器別に算出し、その総和を求めることで都道府県毎の損害調整リスクを算出した。得られた 47 都道府県別の損害調整リスクを都道府県別の人口によって加重して、損害調整リスクの確率分布（頻度分布）、すなわち損害調整リスクの人口分布を調べた。都道府県別の人口データは、総務省統計局が提供する 2007 年 10 月 1 日現在の「都道府県 年齢(5 歳階級) 男女別推計人口」を用いた。損害調整リスクの確率分布を正規プロットした結果を Fig. 3.3 に示す。同図において、損害調整リスクは概ね右上がりの直線を示していることから、損害調整リスクの確率分布は、正規分布を示すといえる。この正規分布の算術平均値と標準偏差を求めることにより、日本のバックグラウンドがん死亡率に基づく損害調整リスクの算術平均値は  $1.2 \times 10^{-3} / y$  であり、標準偏差に相当する損害調整リスクは  $7.4 \times 10^{-5} / y$  であることが明らかになった。以下、この正規分布をバックグラウンドがんリスク分布と呼ぶ。

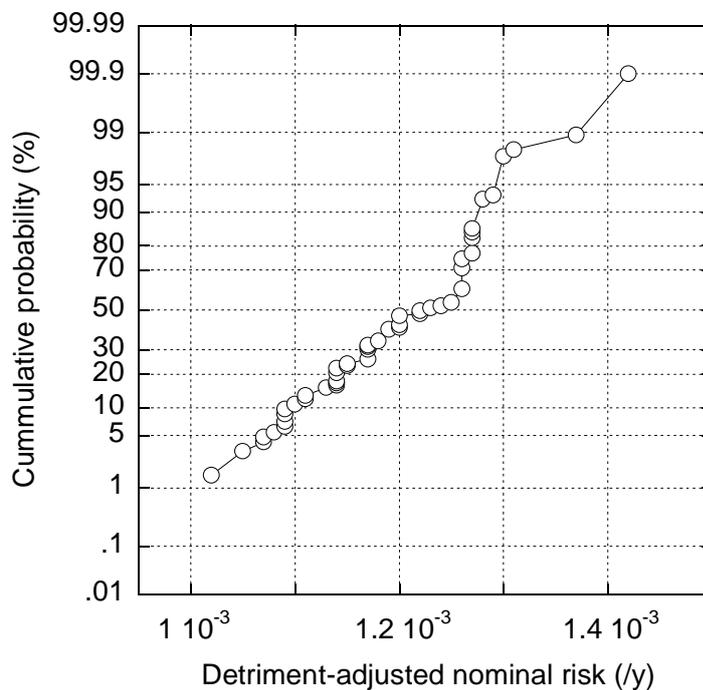


Fig. 3.3 日本における損害調整リスクの人口加重分布の確率プロット

(4) 自然バックグラウンド放射線に起因する想定リスク分布との比較

自然バックグラウンド放射線に起因する被ばく線量分布の作成方法は、3.1.3 (1) と全く同様である。このようにして作成した自然バックグラウンド放射線による線量分布を、Pub. 103 が与えている 5%/Sv という致死リスク係数を用いて、損害調整リスクの確率分布に換算した。この分布とバックグラウンドがんリスク分布とを比較した結果を Fig. 3.4 に示す。自然バックグラウンド放射線に起因すると想定したリスクの中央値は、バックグラウンドがんリスクに対して1桁以上低く、両者の分布はほとんど重畳しないことがわかる。

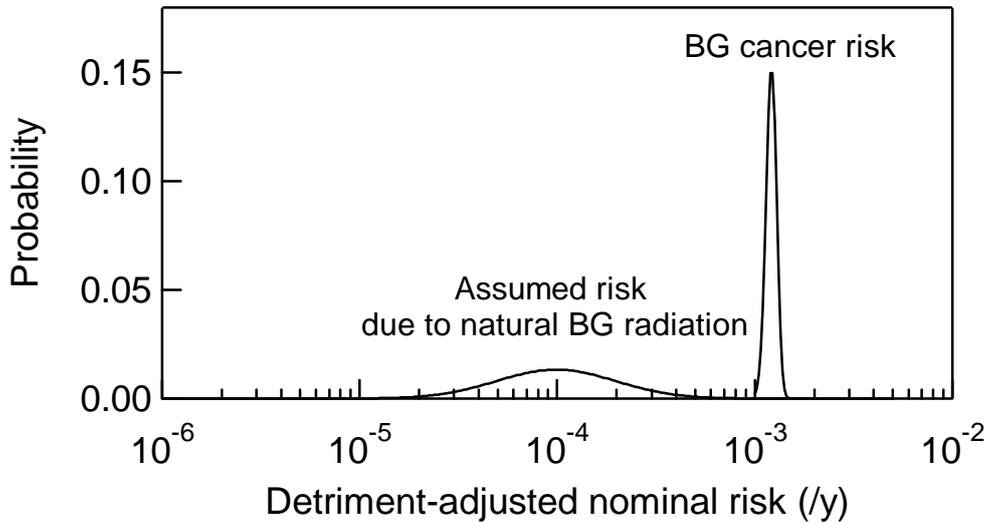


Fig. 3.4 バックグラウンドがんリスク分布と自然バックグラウンド放射線に起因する  
想定リスク分布との比較

(5) 人工放射性核種起源の放射線に起因する最大の想定リスク分布との比較

線量拘束値を決定した時の人工核種起源の放射線に起因する最大の被ばく線量分布の作成方法は、3.1.3 (2) と全く同様である。線量拘束値の最大値であり、公衆に対する線量限度である  $1\text{mSv/y}$  が、公衆に対する線量拘束値として設定された場合について、人工核種による一般公衆の線量分布を求め、Pub. 103 が与えている  $5\%/\text{Sv}$  という致死リスク係数を用いて、損害調整リスクの確率分布に換算した。この分布は、ICRP の代表的個人の考え方にしたがって求めているため、人工核種からの放射線に起因すると想定する最大のリスク分布といえることができる。この分布とバックグラウンドがんリスク分布とを比較した結果を Fig. 3.5 に示す。同図には、バックグラウンドがんリスクの標準偏差に相当する損害調整リスクである  $7.4 \times 10^{-5}/\text{y}$  の位置も示した。人工核種による放射線に起因すると想定できる最大のリスクの中央値は、バックグラウンドがんリスクに対してほぼ二桁低いことがわかる。また、人工核種による放射線に起因すると想定できる最大のリスク分布のほとんどが、バックグラウンドがんリスクの標準偏差に相当する損害調整リスクである  $7.4 \times 10^{-5}/\text{y}$  よりもかなり小さいことがわかる。このことから、線量限度である  $1\text{mSv/y}$  を遵守できるような放射線防護を遂行することで、一般公衆は、バックグラウンドがんリスクのばらつきの中に埋もれてしまうほどの小さなリスクしか受けないことが十分に保証されているといえる。

また、さらに重要なポイントは、どの公衆の構成員も、自分がリスク分布のどの位置に相当するバックグラウンドリスクを受けているのか、まったく知らないまま問題なく暮らしているということである。したがって、バックグラウンドがんリスクの標準偏差に相当する損害調整リスクである  $7.4 \times 10^{-5}/\text{y}$  が、公衆の構成員にとって全く懸念を持たれない

リスクレベルとして扱えるなら、放射線防護の体系に係る議論の枠組みの中では、最適化を必要とする線量拘束値の下限、すなわち最適化の下限線量は、3.1.2 で述べた自然バックグラウンド放射線アプローチの結論である 0.1mSv/y よりも 1桁高い 1mSv/y に設定することができ、1mSv/y 以下の線量領域では最適化を不要にした新しい放射線防護体系の構築の可能性が示唆される。

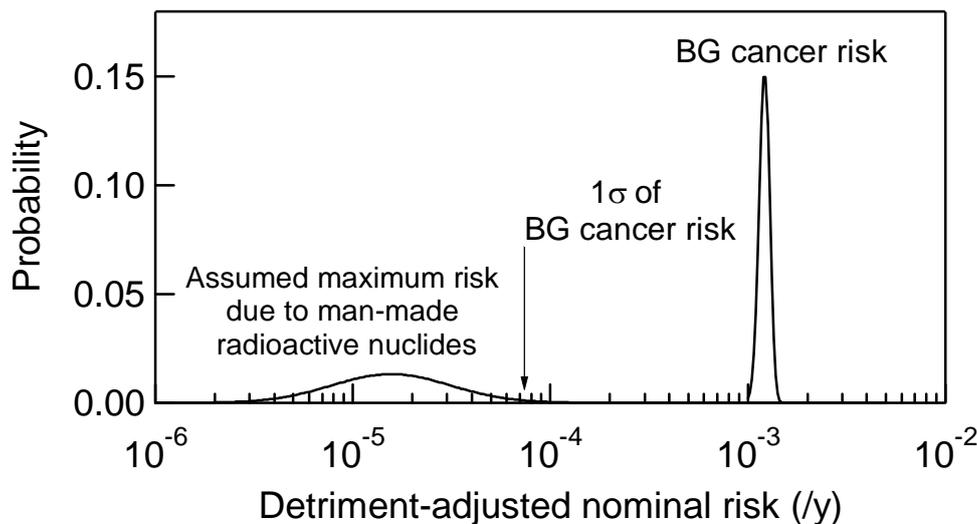


Fig. 3.5 バックグラウンドがんリスク分布と人工放射性核種起源の放射線に起因する最大の想定リスク分布との比較

#### (6) まとめ

日本の 2007 年の都道府県毎の悪性新生物部位別 75 歳未満年齢調整死亡率のデータを用いて、ICRP が定義した損害で調整したバックグラウンドがんリスクの確率分布を調べ、そのばらつきを定量的に明らかにした。また、このリスク分布に比べて、自然バックグラウンド放射線に起因すると想定したリスクの中央値は、バックグラウンドがんリスクに対して 1桁以上低いことを明らかにした。また、損害で調整したバックグラウンドがんリスクの確率分布と ICRP の定義した代表的個人の考え方をういて得られた人工放射性核種による放射線に起因すると想定できる最大のリスク分布とを比較し、線量限度である 1mSv/y を遵守できるような放射線防護を遂行していることで、一般公衆は、バックグラウンドがんリスクのばらつきの中に埋もれてしまうほどの小さなリスクしか受けないことが明らかになった。また、バックグラウンドがんリスクの標準偏差に相当する損害調整リスクが、公衆の構成員にとって全く懸念を持たれないリスクレベルとして扱えるなら、最適化を必要とする線量拘束値の下限、すなわち最適化の下限線量は 1mSv/y に設定することができ、1mSv/y 以下の線量領域では最適化を不要にした新しい放射線防護体系の構築の可能性が示唆された。なお、このバックグラウンドがんリスクアプローチを、国際的に用いられる

放射線防護体系に具体的に活用していくためには、日本だけでなく、世界のバックグラウンドがんリスクのデータに基づくさらなる検討が必要であることに注意が必要である。

(服部隆利)

## 3.2. 他のリスクと放射線リスクの比較

### 3.2.1 放射線リスクと他のリスクとの比較の議論

放射線（または放射性物質）と化学物質など他のリスクを比較した研究は多くは実施されてきていない。1992年 EPA（米国環境庁）は放射線と化学物質による健康影響へのリスク評価を統合して、総合してリスク削減を行う政策に関する見解を作成したが、この中で共通指標の必要性に触れている<sup>12)</sup>。1996年に Boice ら<sup>13)</sup> は慢性的喫煙、原爆の被爆、室内ラドンによる被ばくによる肺がん発生のリスクの比較を行っている。この結果から一日あたり1～9本の喫煙による肺がんのリスクは原爆による3.4Svに相当するという結果が示されている。蒲生ら<sup>14)</sup> は化学物質のリスクの比較として損失余命という指標を用いて、放射性物質であるラドンと、ベンゼン、ホルムアルデヒドなど11種類の化学物質のヒトへの健康影響を比較している。しかし、放射線（または放射性物質）と化学物質の健康リスクの比較についてはまだ統一的な指標が確立していないのが現状である<sup>15)</sup>。

### 3.2.2 放射線ならびに化学物質の健康リスク指標

#### (1) 放射線のリスク指標

放射線がヒトに及ぼす健康影響については、放射線防護の観点から Fig. 3.6 に示すように分類される。この中で急性影響と晩発性影響である白内障は確定的影響と呼ばれ、影響が発生する被ばく線量の閾値（しきい線量）があるとされてきた。しきい線量とは、影響が発生する最小線量であり、線量の増加とともに影響の発生率と重篤度(severity)が増大する。確定的影響の中で致死的な急性効果は急性放射線症である。全身が急性被ばくした場合、致死の原因となる影響、被ばくしてから死亡までの期間および影響が発生するしきい線量を Table3.2 に示す。

3～5Gy の全身被ばくの線量は被ばくした人々の50%が60日以内に死亡する線量であり LD<sub>50/60</sub> と呼ばれている。晩発性効果であるがん、白血病、ならびに遺伝的影響は、放射線防護を考慮したヒトへの健康影響の分類では確率的影響と呼ばれ、しきい線量が存在せず、線量の増加に伴って発生確率の影響のみが正比例して増加すると仮定されている。この仮定は放射線防護の安全管理上考えられた仮説と考えられており、この仮説で用いられる直線しきい値なしのモデルは LNT モデルと呼ばれている。一方、確率的影響の程度、すなわち重篤度は線量に関係なく一定であると仮定されている。

# Radiation Effects for Human Health

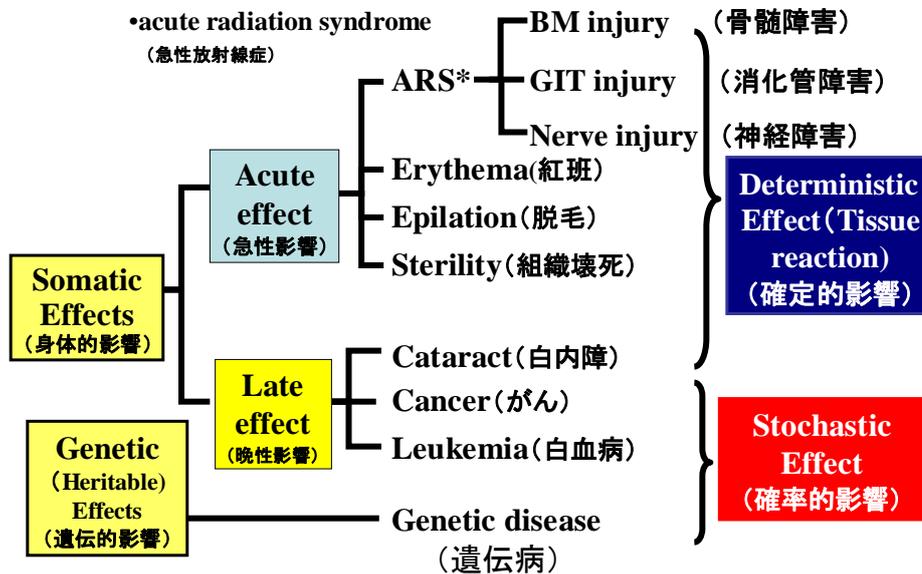


Fig.3.6 防護の観点から見た放射線の健康影響

Table 3.2 致死的な急性放射線症

全身の吸収線量 (Gy) *	致死に関係する健康影響	死亡までの期間 (日)
3~5	骨髄障害	30~60
5~15	消化管および肺障害	10~20
15以上	神経障害	1~5

\*低 LET 放射線の場合で身体を中心軸の線量に相当する。低 LET 放射線の場合は骨髄線量に相当

以上に示すように、放射線の健康影響に関しては、線量が健康影響に関連性を持つ重要な指標となっている。もちろん、線量と一口に言っても、放射線防護の分野に限定しても組織・器官の吸収線量や、全身の実効線量などの線量概念があるため、対象となる健康影響に応じて適切な線量概念を指標として使い分けることが重要である。

## (2) 化学物質のリスク指標

化学物質がヒトに及ぼす健康影響は、たとえば米国の毒性物質疾病登録機関 (ATDSR) <sup>16)</sup> では、すでに報告された疫学研究や動物実験結果を収集・解析して、化学物質の有毒性プロファイル (Toxicological profile) として Table3.3 のように健康影響を分類している。化学物質の健康影響を示す代表的な指標の一部を以下に示す。

Table3.3 ATSDR の化学物質の有害性プロファイル分類

有害性プロファイル分類	備考
死亡	—
全身系	呼吸器、心血管、胃腸、血液、肝臓、腎臓、内分泌系などの器官で生じる有害健康影響
免疫系	—
神経系	—
生殖・発生	受精、妊娠、分娩、さらに哺乳を通じて子の成熟に至る生殖発生過程で生じる有害健康影響
遺伝子	DNA,染色体、および DNA に存在する遺伝子に生じる有害影響
発がん	—

(a)急性毒性に関する LD<sub>50</sub>、LC<sub>50</sub>

1992年にリオデジャネイロで開催された「国際連合環境開発会議」で採択された「アジェンダ 21」の採択に基づいて化学物質の管理方策が検討された。化学物質管理の基本となる危険有害性情報は各国各地域で定義もことなり有害情報の伝達も異なる。これらの情報を国際的に統一したものとして、2003年7月に「化学品の分類および表示に関する世界調和システム」(GHS: Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals) が GNS 文書(通称: パープルボックス)として勧告された。GHSは化学品の危険有害性を世界的に統一された基準に従って分類し、災害防止、ヒトの健康維持、環境保護に役立てようというものである。GHSは化学品(化学物質)の有害性を物理化学的危険性(引火性、可燃性、腐食性など)、健康にたいする有害性、環境に対する有害性について項目と判定基準を示している。このなかで、ヒトに及ぼす健康影響としては、Table3.4のように分類している。

この中で急性毒性に関しては、死亡と関連する指標として LD<sub>50</sub>および LC<sub>50</sub>を用いている。50%致死量、または半数致死量ともいう。物質の急性毒性の強さの指標である。LD<sub>50</sub>は、一定条件下において物質を一つの投与経路(経口、皮下、静脈内、腹腔内、筋肉内など)から1回投与した後の一定期間(通常7~14日間)内に動物の半数を死亡させる量を推計学的に算出したものである。LC<sub>50</sub>も LD<sub>50</sub>と同様であるが、化学物質の投与量ではなく、その物質が、気体、蒸気、粉塵、ミストの形で存在する空気中での濃度で表現され、半数致死濃度と呼ばれる。GHSでは吸入時間は4時間で評価している。なお、国連危険物輸送勧告(UNRTDG)の文書(オレンジブック)でも急性毒性については LD<sub>50</sub>および LC<sub>50</sub>の指標に基づいて危険性が分類されている。

Table 3.4 GHS のヒトへの健康に対する有害性分類

項目	備考
急性毒性	急性毒性は物質の経口または経皮からの単回投与、あるいは 24 時間以内の複数回投与、ないしは 24 時間以内の吸入曝露による有害な影響のことである。定量的には半数致死量 LD <sub>50</sub> (経口、経皮) または半数致死濃度 LC <sub>50</sub> (吸入) または急性毒性推定値 (ATE) であらわされる。
皮膚腐食性/刺激性	—
眼に対する重篤な損傷性	—
呼吸器感作性または皮膚感作性	—
生殖細胞変異原性	—
発がん性	—
生殖毒性	—
特定標的臓器毒性	(単回暴露、反復暴露)
吸引性呼吸器有害性	—

## (b) 晩発影響としての発がん性

化学物質の摂取量と晩発性有害性健康影響の発生率との関係は以下のように 2 種類に分類されている。有害性の確認で発がん性はない、または発がん性は認められても遺伝子への影響はないと判断される物質 (非遺伝毒性発がん物質) は、ある摂取量以下では生体修復機構のための有害影響は発生しない。すなわち、しきい値があるとみなされる。このしきい値に相当する量を無毒性レベル (または無毒性量) NOAEL と呼ぶ。化学物質を摂取した場合さまざまな種類の有害健康影響が同時に発生するため NOAEL はもっとも低い暴露濃度や投与量の値から決定される。一方、遺伝子への影響が考慮される発がん性のある物質 (遺伝毒性発がん物質) はしきい値はないと仮定されている<sup>2)</sup>。この分類に従えば、放射線による発がんはしきい値なしと仮定されるため後者と同様になる。

化学物質による発がんは一回摂取または短期間における摂取ではなく、慢性的な摂取を前提としている。化学物質の発がんの強度を示す指標として TD<sub>50</sub> (50%の実験動物に発がんさせる一日の投与量) がある。TD<sub>50</sub> は複数の発がん性物質の間で発がん性の強度を比較するには便利な指標であると考えられているが、発がん率と用量との関係は放射線のようにゼロを基点とする無限直線性を持つとは限らないため、TD<sub>50</sub> で比較した発がん性の強度も低用量では逆転する場合も考えられる。したがって、国際化学物質安全計画 (IPCS : International

Program on Chemical Safety)では、ヒトの発がん性リスク評価の方法として、これまでのTD<sub>50</sub>に変えて、5%発がん量TD<sub>5</sub>に関連する量を用いることが案として提唱されている<sup>17)</sup>。とくにしきい値のない遺伝毒性発がん物質のリスク評価のため、提唱されてきた実質安全量(VSD)という概念がある。これはきわめて低い危険率(たとえば10<sup>-6</sup>)でがんを発生させる物質の量あるいは濃度のことである<sup>18)</sup>。そのほか、米国環境庁の総合リスク評価システムIRIS(Integral Risk Information System)には、ユニットリスクとスロープ係数という指標がある。ユニットリスクとは化学物質を濃度1μg/L(水)または1μg/m<sup>3</sup>(空気)で生涯(70年)慢性的に毎日曝露したときに予測される発がんの過剰リスクの上限値である。ユニットリスクは経口摂取と吸入の2種類が示される場合がある。スロープ係数とは経口摂取に用いられ、経口スロープ係数と名付けられている。ユニットリスクを体重で割ったものであり(mg/kg/day)<sup>-1</sup>の単位で表示される。これらは、動物実験または疫学データから得られた結果を原点(摂取量ゼロの点)まで外挿して得られた直線の傾きで表示される。通常は安全側の値となる傾きの95%信頼区間の上限値を用いて得られた直線の傾きから求められる。

### 3.2.3 急性毒性に関するリスク指標共通化の試み

共通の指標として、化学品の分類および表示に関する世界調和システム(GHS: Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals)および国連危険物輸送勧告(UNRTDG)で使用される化学物質に対する急性毒性の危険性を示す指標である半数致死量LD<sub>50</sub>(単回または24時間以内の経口、経皮)および半致死濃度LC<sub>50</sub>(4時間の吸入曝露)を用い、摂取による放射性物質と化学物質を急性毒性(障害)に関して比較を試みた。

経口摂取またはダストとして吸入摂取したとき、急性放射線障害により30日以内に致死的影响を受けるレベル(4Gy)になる経口摂取量および吸入摂取量を、放射性物質に対するLD<sub>50</sub>、LC<sub>50</sub>とした。なお、内部被ばく線量評価コードとして、LUDEPversion2.07<sup>18)</sup>を使用した。

市販の<sup>60</sup>Coガンマ線源(3.7MBq: 2mmφ×10mm金属コバルト)と同じ放射能濃度の物質について、急性放射線障害に係わる致死的急性放射線毒性に関わるLD<sub>50</sub>およびLC<sub>50</sub>の値を、代表的な化学物質の致死的有害性を示す指標(LD<sub>50</sub>、LC<sub>50</sub>)と並べて表記するとTable 3.5のようになる。

Table 3.5 急性放射線症による致死的风险と化学物質の急性毒性リスクとの比較

物質	LD50			LC50		
	経口摂取量 (mg/kg)	GHS 分 類	UNRTDG 区分	空气中濃度 (mg/L)	GHS 分 類	UNRTDG 区分
ダイオキシン	0.013	1	I	データなし	—	—
シアン化カリウム (青酸カリ)	7.49	2	II	データなし	—	—
ヒ酸カリウム	14	2	II	データなし	—	—
アジ化ナトリウム	45	2	II	情報不足	—	—
ヒドラジン	60	3	III	データなし	—	—
市販 Co-60 線源 (3.7MBq)	220	3	区分外	2.9	4	III
ホルムアルデヒド	605	4	区分外	データなし	—	—
ホウ酸	650	4	区分外	データなし	—	—
砒素	763	4	区分外	データなし	—	—
カドミウム	1140	4	区分外	0.0031	1	I
ナフタレン	1157	4	区分外	データなし	—	—
硫化カドミウム	1166	4	区分外	データなし	—	—

表に示す GHS 区分および UNRTDG 分類は数字が小さいほど危険有害性が高い。

この手法を確立することにより、全ての放射性物質の摂取に伴う急性毒性を化学物質と共通の尺度で評価することが可能となる。今後は急性放射線障害以外のエンドポイントについても検討を行い、放射線防護に役立つ指標の開発を検討したい。

(岩井敏)

### 3.3. 全体論的な枠組み作りへの提言

2007年に発表された ICRP Pub. 103 では、線量限度の根拠については 1990年の Pub. 60の内容をそのまま継承しており、現在、線量限度の設定の考え方は、約 20 年前の考え方に立脚しているといえる。また、外部情勢として、現在、ICRP 第 4 委員会では、損害（デメリット）の定義に係る再検討に着手しようとする動きがあることもあり、放射線名目リスク係数の定義や線量限度の考え方について、根本的な議論を必要とする時が近づいているといえる。

3. 1に述べたように、現在の放射線防護体系には、線量拘束値の下限值、すなわち最適化を必要とする線量の下限值が規定されておらず、このことが世界各国で、公衆被ばくに対して過剰な放射線安全規制を強いる傾向となる一因となっている。しかし一方で、最近の新しいバックグラウンドがんリスクアプローチにより、1mSv/y以下の低線量領域の最適化は不要にできるような放射線防護体系の構築の可能性も見出すことができる。また、このアプローチは、線量限度の設定根拠にも展開できるものであり、さらなる研究の推進による新しい知見の提供が、新しい放射線防護体系の枠組み作りに大きく期待される。しかし、新しい放射線防護体系を考える時、最初に最も重要になることは、現在の放射線防護体系の背景となっている考え方を正確に理解し、1990年以降、新しく得られた科学的な知見を踏まえて、その問題点を抽出することである。また、放射線による健康リスクを他のリスクと独立に議論するのではなく、他のリスクとの調和を考慮して、リスク全体を低減するという観点から放射線防護を考えることも重要である。本専門研究会での新しい知見の共有と革新的な議論の展開を期待したい。

(服部隆利、岩井敏)

#### 参考文献

- 1) International Commission on Radiological Protection. 1990 recommendations of the international commission on radiological protection. ICRP Publication 60 (1990).
- 2) International Commission on Radiological Protection. The 2007 recommendations of the international commission on radiological protection. ICRP Publication 103 (2007).
- 3) International Commission on Radiological Protection., The optimisation of radiological protection: Broadening the process. ICRP Publication 101, Part 2 (2006).
- 4) International Atomic Energy Agency, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, Vienna (1996).
- 5) International Atomic Energy Agency, Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance, RS-G-1.7, Vienna (2004).
- 6) International Atomic Energy Agency, Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance, SR-44, Vienna (2005).
- 7) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation., UNSCEAR 2000 Report Vol. I (2000).
- 8) T. Hattori, Reconsideration of the minimum dose constraint for public exposures in radiological protection, Radiat. Prot. Dosim., Vol. 131, No. 3, p. 340-345 (2008).  
<http://rpd.oxfordjournals.org/cgi/reprint/131/3/340>

- 9) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation., UNSCEAR 1993 Report (1993).
- 10) International Commission on Radiological Protection., Assessing dose of the representative person for the purpose of radiation protection of the public. ICRP Publication 101, Part 1 (2006).
- 11) T. Hattori, Understanding of minute assumed risk due to radiation from man-made radioactive nuclides taking into consideration quantitative comparison with detriments based on background cancer mortality in Japan, Jpn. J. Health Phys., Vol 45, No. 2 (2010). (in press)
- 12) EPS-SAB-RAC-COM-92-007 Commentary on Harmonizing Chemical and radiation Risk-reduction Strategies(1992)
- 13) Jr JD Boice, JH Lubin: Lung Cancer Risk: Comparing Radiation with Tobacco Radiat.Res 146 pp356-357(1996)
- 14) 蒲生昌志、岡敏弘、中西準子：日本における化学物質のリスクランキング [http://risk.kan.ynu.ac.jp/ws2001/Gamo\\_slide.pdf#search='ユニットリスク%20%20化学'](http://risk.kan.ynu.ac.jp/ws2001/Gamo_slide.pdf#search='ユニットリスク%20%20化学')
- 15) 甲斐倫明 低線量放射線のリスク評価とその防護の考え方 pp52-82 益永茂樹 リスク学入門 5 科学技術から見たリスク 岩波(2007)
- 16) <http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/index.asp>
- 17) 福島昭治、前川昭彦：環境化学物質による発がん p58-59 放射線および化学物質による発がんー本当に微量でも危険なのか？ー (編集) 佐渡敏彦、福島昭治、甲斐倫明、医療科学社、東京(2005)
- 18) Y.Hayashi, Y.Kurokawa, A.Maekawa, M.Takahashi: Strategy of long term animal testing for quantitative evaluation of chemical carcinogenicity: in PL Chamber, P.gehring, F.Sakai, eds: New Concepts and Development in Toxicology. Elsevier Science, Amsterdam (1986) pp383-391
- 19) LUDEP (LUng Dose Evaluation Program) (NRPB (現 HPA) 開発 1997)

## 第4章 放射線防護に関する国際動向

### 4.1 放射線防護に関する国際的な動向

原子放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）が収集・整理したあらゆる電離放射線源からの被ばくがヒトの健康と環境に及ぼす影響についての資料を基礎にして、国際放射線防護委員会（ICRP）が科学としての放射線防護を発展させ、それに基づき国際原子力機関（IAEA）が放射線・原子力分野における国際整合性の取れた放射線防護基準体系を構築・供給している。また、国や民間の団体は、これら国際機関の動きに対して意見を表明する等の活動を行っている。

専門研究会は、これらの国際機関、団体等の活動に関与している研究会メンバーからの報告等により、国際的な放射線防護に関する動向を調査した。UNSCEAR、ICRP、IAEA、米国放射線防護委員会（NCRP）及び世界原子力協会（WNA）の動向に関する調査結果は以下のとおりである。

#### 4.1.1 UNSCEAR の動向

UNSCEAR は、引き続き人類の放射線被ばくに係るデータの収集と解析が進められている。前回の 2000 年報告以降、自然放射線源（NORM）と医学利用による線量の増加が見られ、それぞれの作業員数の増加が顕著である。一方、核燃料サイクル関係は作業員数が変わらないで線量が下がっている。

NORM については、ヨーロッパ連合における調査結果から、トリウムの入った溶接棒による寄与が大きい。また、医学利用については、X 線診断による線量の増加が見られる。

一般に NORM に被ばく線量分布は対数正規分布を示す性質がある。一方、職業被ばくの線量分布は放射線管理がなされると分布が頭打ちになって混成対数正規分布を示す傾向のあることはよく知られている。このような観点から、放射線管理が行われた NORM による職業被ばくの線量分布のデータが注目される。また、今後、NORM にも何らかの規制がかけられるようになり、そのリスクが認識され、同じリスクのものは人工起源か自然起源に関わらず同じように管理するという論理の正当性が徐々に強まってくることも考えられる。

#### 4.1.2 ICRP の動向

後述する放射線防護に関する IAEA の基準やいろいろな国際労働協定は、現在、ICRP の 1990 年勧告に基づいている。欧州命令書のような地域規定やほとんどの国の法令も 1990 年勧告に基づいている。

1990 年勧告以降、UNSCEAR によるものを含め、電離放射線による被ばくがヒトの健康と環境に及ぼす影響についての新たな科学的データの蓄積があった。放射線防護を支える

生物学的及び物理学的な仮定と概念は依然として堅固ではあるものの、これら新知見に基づき 1990 年勧告に対していくらかの更新が必要となり、ICRP は 2007 年勧告を取りまとめた。

確定的影響の推定値は全体としては基本的には同じままである。放射線被ばくに起因するがんのリスクの推定値は 1990 年勧告以降、大きく変わってはいないが、遺伝性影響の推定リスクは低くなっている。これらの新たな知見は、リスクをモデル化し、損害を評価する上で、より強固な基礎を与えることになったとされている。

2007 年勧告では、行為と介入というプロセスに基づいた 1990 年勧告のアプローチから、放射線被ばく状況の特性に基づいたアプローチへの転換がなされた。被ばく状況は、計画被ばく、緊急時被ばく、現存被ばくの 3 つに整理された。正当化、防護の最適化及び個人の線量限度からなる放射線防護体系は原則としてあらゆる被ばく状況に適用され、特に、最適化に重点を置がおかれることとなった。防護の最適化に当って、stakeholder の視点や懸念を考慮する必要が表明されていることも重要である。

### 4.1.3 IAEA の動向

IAEA では、「電離放射線に対する防護と放射線源の安全のための国際基本安全基準」(BSS) の改定作業が進められ、2010 年 1 月に改定版ドラフト 3.0 が意見照会のため IAEA 加盟国に提示された。

今回の改定によって BSS が規定する各要件が、IAEA の「基本安全原則」(SF-1) の目標、考え方及び原則に支配されるものであることが明示され、IAEA の安全文書の体系上の BSS の位置づけが明確にされた。

今回の改定作業においては、加盟国における現行 BSS の適用の経験や多くの国での放射線及び原子力技術の利用経験から導き出された情報が反映された。また、放射線の生物影響や線源の安全設計や使用に関する広範な研究開発の成果も反映されている。

また、当然のことながら、ICRP の 2007 年勧告も考慮されていて、被ばく状況を、計画被ばく、緊急時被ばく、現存被ばくの 3 つに区分する枠組みを導入している。ドラフト 3.0 は、3 つの被ばく状況に共通な要件を規定した上で、それぞれ職業被ばくおよび公衆被ばくについての固有の要件を規定している。加えて計画被ばく状況については医療被ばくに関する要件も規定されている。

「基本安全原則」(SF-1) は「安全の基本目標は電離放射線の有害な影響から人と環境を防護することである。」としている。この目標は、放射線リスクを発生させる施設の操業や活動の実施を不当に制限することなく、達成されなければならない。そのため、防護と安全のシステムは、放射線リスクと健康影響が合理的に達成できる程度まで低減できるように電離放射線への被ばくを算定し、管理し、制御することを目指す(ドラフト 3.0、1.6 節)。このようなシステムにおいては、純粋科学的な考察は、防護と安全に関する意思決定の基

礎のひとつであるのに過ぎないので、BSS は相対的なリスクのマネジメントに関する価値判断も考慮に入れている。

#### 4.1.4 米国 NCRP の動向

第 45 回 NCRP 年次総会が 2009 年 3 月 2 日、3 日の両日開催された。原子力エネルギー利用がテーマであり、原子力の新たな発展に向けた課題の整理が行われた。会合では、原子力は CO2 対策として有効であり、環境負荷が小さいことが強調されていた。一方、米国は資源が豊富なため、資源問題は強調されていなかった。

会合参加者から、米国の政権交代により、原子力推進の流れが変わったとの印象が報告された。また、「DOE (retired)」、「NRC (retired)」など出席者には退職者が目立ち、次に続く世代が育っていないとの印象が報告され、今後の原子力拡大には要員確保が課題であることが指摘された。NRC では数 100 人規模で採用拡大。

研究機関の状況に関連して、会合には、オークリッジ、ブルックヘブン等の政府直轄研究所からの参加がなかったことが報告され、オークリッジでは加速器はやっているが原子力はやっていないこと、アイダホはガス炉の研究で予算がついているが、ロス・アラモスではセキュリティが中心でありこと、大学の研究も、核不拡散、セキュリティ中心になっており、“使わせないための研究”に重点が置かれていることが報告された。

第 46 回年次大会は、2010 年 3 月 8 日、9 日の両日開催され、テーマは放射線の利益とリスクに関するコミュニケーションであった。

会合参加者から、小児の CT 診断においても説明責任が要求されているのが現状であり、患者（子供）とのリスクコミュニケーションとなっているとの報告がなされた。医療でのリスクコミュニケーションの問題は低線量での議論と同じであるとの見解がしめされた。

#### 4.1.5 WNA の動向

WNA では 10 のワーキンググループが情報交換を中心とする活動を行っている。2002 年に活動を開始した放射線防護ワーキンググループ(RPWG)は、ICRP 委員長らとの定期的な意見交換を行っているほか、2005 年以降は、OECD/NEA や IAEA 等の国際会議に参加している。特に、IAEA/RASSC と WASSC には産業界代表として参加している。

放射線防護体系の発展（特に防護の最適化の解釈を発展させることが重要）は今後の原子力ルネッサンスに不可欠との認識のもとに活動している。

### 4.2 国際動向に対する日本の動向

放射線審議会は、第 104 回総会(2008 年 1 月 21 日開催)において、ICRP2007 年勧告の国

内制度等への取入れについて、基本部会に放射線障害防止の技術的基準の考え方などの検討を行なわせることとした。

基本部会は、2008年3月に2007年勧告の国内制度への取入れに係る検討を開始し、当面の検討課題として下記の項目について検討し、その結果を中間報告として取りまとめることとした。

- 1) 2007年勧告の内容把握
- 2) 2007年勧告及び1990年勧告との主な比較
- 3) 2007年勧告及び国内法令等との主な比較
- 4) 国内制度等への取入れに関して検討すべき事項及び問題点

検討にあたっては、1990年勧告から2007年勧告への変更箇所のみを検討の対象とはせず、1990年勧告の取入れ以降の国内制度の状況等を踏まえて、幅広く検討事項の抽出を行うこととした。中間報告取りまとめの後、これらの検討事項について、過去の検討の経緯、1990年勧告の国内制度等への取入れ以降の安全管理の状況を確認し、我が国における今後の放射線防護体系のあり方を検討することとしている。

(山本英明、宮崎振一郎、吉澤道夫)

## 第5章 結語

近年、世界的に原子力リネッサンスが言われる中で、世界を先導するための考え方を提示すべく放射線防護の諸問題を議論することが我々にとって必要と考える。本専門研究会では、従前からの放射線防護の考え方をレビューし、放射線安全についての新しいパラダイムを検討することを目的としてスタートした。

一年目は、リスクの表現法を含む今後の放射線防護の考え方や原則について議論するために、その実情調査の一環として、(1)低線量被ばくの生物学的影響に関する知見の収集、(2)国際的な原子力動向(NCRP、WNA、IRPA等)の把握、(3)ALARAの詳細な検討のための線量拘束値下限の議論、等を全4回の会合の中で行った。特に(1)に関しては、外部からの講演者として丹羽太貫先生(放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター 副センター長)をお招きし、「放射線の生物影響の実態を社会としてどう評価するか」との演題の御講演の中で「リスクに対する社会のパラダイムシフトが必要」とのコメントをいただいた。

二年目は、将来に向けて今後の新しい放射線安全のパラダイムやそれに基づく原則に議論を展開するための足がかりとして、前年度の一連の実情調査の中で中心的な話題となった「世界的な大きな動向」について詳細なレビューを行いつつ、研究会設置一期目としてのまとめを行った。その中では、(1)UNSCEARでの最新動向に基づく職業被ばくに関する最近の検討、(2)確率論的アプローチによる防護の最適化のための線量拘束値の決定方法の検討、および、(3)「放射線による便益とリスクに関する政策決定におけるコミュニケーション」をテーマとした米国NCRP年次会合での先駆的な議論に関する情報収集と考察などが行われた。

本会期全体を通して、「放射線によるリスクを社会が正しく認知し受容することを目的として、自然放射線・医療用人工放射線・医療以外の人工放射線の三分野に関わるそれぞれの防護体系の整合性や、放射線とそれ以外のリスクの整合性が確立することが重要である。このことが新しいパラダイムの方向性であり、正しい科学知見に基づく健全な防護体系を構築することにつながる。」ということが委員の共通認識として得られた。

以上の考え方を海外へ発信すると共に米国保物学会やIRPAなどとの共同活動を積極的に行うことが重要である。また、当専門研究会を強化させて恒常的に活動する基盤を将来的に構築するための準備期間として、二期目の設置を予定している。その中では、現在までに行ってきた実情調査報告に対する議論を基に、役所に活動を促すこと、および、各関係者との意識共有を図ること、等を目標に、活動を行っていく予定である。

(小佐古敏荘)

## 謝辞

第3回会合では、放射線医学総合研究所 重粒子医科学センターの丹羽大貫先生には、放射線の影響の最新の知見を御明示いただくと共に、新しいパラダイムに対する大変貴重な御提言をいただきました。ここに記して深謝致します。