

## 解説

## 放射線損害の概念と課題

## Consideration for Concept of Radiation Detriment

宮崎振一郎

Shinichiro Miyazaki

## 概要

国際放射線防護委員会 (International Commission on Radiological Protection: 以下、ICRP) は、放射線被ばくによる損害の計算方法に関するドラフト文書: “Radiation Detriment Calculation Methodology” (ICRP, 2020) (以下、ドラフト文書) を公表した。「電離放射線の健康影響についての理解が委員会勧告の中心である」とICRP勧告にあるように、健康影響、そして、それに関わる「放射線損害」は、放射線防護体系の根幹となる重要な概念であり、実効線量を求める上でも重要な役割を果たしている。最新のICRP勧告 (ICRP, 2007) を見直す時期が近づいていると見られることもあり、この概念の透明性を高め、できるだけ最新のデータを取り入れた内容にする必要がある。例えば、放射線損害の概念に含まれる項目の中で、影響度の低い項目の必要性を見直すこと、そして、計算過程を単純化することも含まれると考えられる。また、現在は定義されていない、非がんに関する放射線損害の考え方を整理し、放射線防護体系における放射線損害の概念の整合性を図るとともに、計算過程の透明性、単純化につなげれば、データ更新、見直しがやり易くなる。より本質的には、リスクモデルの見直しが必要になるが、それをすることで初めて放射線損害そして、放射線防護体系の次の発展につながると考えられる。

## Abstract

Radiation detriment is the essential part of ICRP Recommendations (Radiological Protection System). Several publications by the ICRP outline risk assessment for cancer in great detail. Most recently this was addressed in Publication 103, “2007 Recommendations. ICRP published the draft publication titled “Radiation Detriment Calculation Methodology” (ICRP, 2020). This paper examined areas where additional consideration may be needed for the assessment of radiation exposure risks and potential options for moving forward. In addition, the simplification and the transparency of the calculation process of detriment will be sure to promote the evolution of the concept of detriment and the next ICRP Recommendations. Finally, it is essential to consider the incorporation of non-cancer detriment into the well-defined system of radiological protection. Given the recent interest in non-cancer effects, it is essential to facilitate discussions in order to more clearly define dose limits within the existing system of radiation protection for both cancer and non-cancer effects.

## キーワード

放射線損害、放射線防護体系、名目リスク、非がん、線量・線量率効果係数、(DDREF)、リスクモデル

## 1. はじめに

ICRPは、放射線被ばくによる損害の計算方法に関するドラフト文書 (ICRP, 2020)\*を公表 (2020年1月29日) し、併せて、その内容に関する意見募集を行った。放射線損害は、放射線防護体系を構成する基本的概念の一つであり、放射線防護体系の発展のためには、科学的、社会的変化を勘案して、この概念の発展の必要性を検討することが必要とされる。従って、この概念の詳細を見て、概念に含まれる各要素、諸条件の変化が与える影響を検討することは、今後の放射線防護体系の発展を考えるうえで重要な作業であると考えられる。

\*ドラフトの段階 (2020年末現在) であり、意見募集用に公表されたもので、ICRPの正式文書ではない。

## 2. 「リスク」の議論

### 2. 1 放射線利用の現状

世界的なレベルで見ると、医療、工業での放射線利用は大きく進展し、原子力発電も引き続き堅調で、中国など一部の国々では、プラントの新設も進んでいる。また、地球温暖化が顕著になる中で、今後の原子力発電の位置付けに関する議論も継続して行われている。更に、新型コロナウイルス (以下、COVID19) と呼ばれる、新しい流行性疾患が2020年から全世界を巻き込む大流行となった。このような中で、殺菌としての放射線利用の可能性も議論されつつある。放射線は、今や社会の中で、多様な利用形態が考えられようになり、既に社会の中にしっかりと位置付けられている。ただし、広島長崎の原爆投下により、放射線の被ばくは、ベネフィットより健康被害のリスクに焦点が当たり勝ちのこともあり、放射線・原子力の利用には、常にリスクの議論と切り離せない状態となっている。また、放射線のリスクと他の、例えば化学物質のリスクの考え方の比較を行う試みもあるが、具体的な作業とは結び付いていない (甲斐, 2000)、(DOE, 1998)。

\*使用許可・届出事業所数：放射線利用統計2019 (公益社団法人日本アイソトープ協会) によると、2011年から、2019年にかけて約30%増加している

### 2. 2 現代社会の「リスク」議論

COVID19については、放射線の場合と同じような議論がある。感染者数あるいは死者の数が大きくなり、社会全体への影響の増大により、個々人、そして社会が流行をどのようにとらえ対応するかが大きな議論となった。「新型コロナウイルスのような新たなリスクに直面したとき、個人的な、あるいは社会的な判断をサポートするため普段から「リスクのモノサシ」を整備する」、そして、「具体的には、いくつかの代表的ハザード (例えば、ガン、自殺、交通事故、自然災害、など) による国民10万人あたりの年間死者数の組み合わせを標準化してモノサシとしよう、新たに直面するリスクがどれくらいの大きさで、対応次第でどれくらいのレベルに下げられるのか、そのためにどれくらいのコストを充てるのが適切か、等を考えるときにこのモノサシをあてよう」 (中谷内, 2006) としている。COVID19の流行の中で、冷静な議論を進め、判断するにはリスクの持つ意味が具体的な共通の指標として意識されることは重要であるかもしれない。放射線についても、被ばくによるリスクについては、常に言われていることではあるが、専門家だけでなく、一般の人々にも「リスク」の意味が理解できるような多面的な努力が大切であろう。

### 2. 3 放射線の「リスク」議論

放射線利用あるいは原子力発電などの出発点でもある、放射線の被ばくによる健康影響に関して、最新のICRP勧告：ICRP Pub103 (ICRP, 2007) には、「電離放射線の健康影響についての理解が委員会勧告の中心である」とある。この健康影響は、言い換えると「被ばくによるリスク」であるが、現在の放

放射線防護体系の中では、「リスク」ではなく、「放射線損害」が使われる。この放射線損害の概念は、線量体系構築につながり、放射線防護体系を考える上での根幹となる。これを評価する方法は、特に、広島・長崎の原爆被爆者疫学調査結果に依拠しながら発展してきた。ただし、原爆被爆者の場合と大きく異なり、放射線防護で特に対象とする被ばく形態は、低線量・低線量率であり、解析する上で関連する要素は多く、かつ、それらが含む、多様な不確かさは、解析内容を複雑にしている。放射線防護体系の発展は、放射線損害の概念の発展に伴っているとも言えるが、その概念の複雑さ及び曖昧さは、議論を一部の専門家にとどめている傾向がある。ICRPはこれまで、勧告を改定する度に、放射線損害についての考え方を発展させて来た。勧告以外で、関係する議論を呼び起こしたのが、非がんに関する文書Pub118 (ICRP, 2011)であった。そこでは、それまでの放射線損害が発がん(及び、遺伝的影響)に限定されていたが、非がんによる損害が議論として浮かび上がった。結局は大きな議論になることなくほぼ収束し、非がんが放射線損害の中に定義されることなく、非がんの一つである白内障だけが防護体系の中に取り入れられた。それ以外では、線量・線量率効果係数(Dose and Dose Rate Effectiveness Factor, 以下、DDREF)のように、放射線損害の中で使われる概念の一部が、単独で議論されることがあっても、放射線損害の概念全体の系統立てた議論は、ほとんど起こっていない。従って、今回出されたドラフト文書は、放射線損害の成立、発展に関する歴史的経緯、内容そしてそこに含まれる因子の影響度が感度解析によって詳細に調べられているので、放射線損害の概念が初めてまとまった形で、勧告の作成とは切り離された状態で、一般向けに出されたことになる。これは、今後の検討を進める上で、大きな意味を持つと思われる。広がりのある議論が進めば、今後の放射線防護体系を発展させるための重要な示唆が得られると考えられる。

### 3. ドラフト文書

#### 3. 1 ドラフト文書の位置づけ

放射線損害の概念の発展の経緯が、ドラフト文書にまとめられている。この文書は、ICRPの第一委員会の中にTask Group102(委員長:伴 信彦)が設置され、そこで検討が進められた。そのタスクグループの活動趣旨は、「将来のICRP勧告見直しを見据えて、放射線損害の計算過程、使われているデータを明確にして改善する必要性を確認すること」を目標としている。(今後、意見募集の結果を踏まえ、ICRPで正式承認された上で文書が公表される予定)

#### 3. 2 ドラフト文書の内容

##### 3. 2. 1 概要

ドラフト文書冒頭に、この文書の主要点が以下のように、4項目でまとめられている。放射線防護を考えるうえで重要な放射線損害を考えるにあたって、この内容からも分かるように、放射線損害の概念には、様々な要素が含まれるので、それらの必要性、関連性を知り、不確かさ(影響度合い)を確認することが必要となる。

- ① 放射線損害とは、発生確率とこれらの影響による重篤度を考慮して、低線量・低線量率の放射線被ばくによる確率的影響(がんおよび遺伝性影響)の健康への影響を定量化するために使用される概念。
- ② 放射線損害の計算方法は、2つの主要部分から構成される:一つは名目リスクの計算、もう一つは致死率、生活の質、および寿命損失年数の調整である。

注:名目リスクは、本来、年齢や性で異なるリスク係数を、放射線防護体系の中で使いやすくするために、単一の数値にしたものである(生涯がんリスクと放射線被ばくに関連する遺伝的影響のリスクの平均推定値)。Pub103「A.4. 放射線誘発がんのリスク」の中の

「名目リスク係数、放射線損害、及び組織荷重係数」の項に詳しく記述されている。

- ③ 放射線損害の推定に大きな影響を与えるパラメータは、DDREF、被ばく時年齢、性別、致死率であることが、感度分析の結果から特定された。
- ④ 放射線損害は、標準集団データの変化、性別や年齢によるがんリスクの変動、異なる集団間でのがんリスク、がん重篤度パラメータ、がんリスクモデルの進展、及び遺伝的影響に関するリスク推定値の見直しを勘案して更新する必要がある。

### 3. 2. 2 ドラフト文書の構成

ドラフト文書は、以下の6章から構成されている。

1. 序
2. 放射線損害の計算の歴史
3. 放射線損害の計算
4. 放射線損害の計算感度
5. 変革の可能性
6. 要約と結論

#### 3. 2. 2. 1 「序」の内容

ここでは、ドラフト文書の概要が、書かれている。その最後に、「この報告書では、Pub26以来、ICRPによって採用されている放射線の損害を計算するための方法と、Pub103で使われている計算過程の細かな記述について、レビューを行った」とある。そして、「それに基づいて、将来の検討のカギとなる幾つかの問題について論じた」としている。

#### 3. 2. 2. 2 「放射線損害の計算の歴史」の内容

この章「放射線による損害の計算の歴史」では、Pub26以降の、それぞれのICRP勧告における、損害の考え方、算出に関するICRPの検討の歴史がまとめられている。それらの概要を以下にまとめる。（「 」内がドラフト文書の記述から引用）

#### • Pub26

「損害の概念が、初めて導入されたのはPub22 (ICRP, 1973) で、その考え方は、Pub26 (ICRP, 1977a) のICRP勧告に受け継がれた。」そして、次のように説明されている。「放射線に被ばくすることによる悪影響は多岐にわたると考えられる。健康に及ぼす影響の中で、被ばくした個人の確率的影響と非確率的影響の双方が考えられるとともに、次の世代への確率的影響が考えられる。委員会は、損害を、これらすべての悪影響を明確にし、可能であれば定量化するために導入した。」

（注）Pub26 3.3損害の概念 パラグラフ (47)

に、「損害という用語を健康損害という意味のみに用いる」と明記されている。

#### • Pub27とPub45

「Pub27 (ICRP, 1977b) は、Pub26の補足文書である。」「異なる職業のリスクを比較することで、Pub26で採用された職業被ばくの線量限度の値が妥当性を示すことを目的とした。」とある。

\*Pub27 について。「害の指標をつくる時の諸問題」（稲葉、1978）

ここでは、次のように記されている。Pub27の記述の大きな意味の一つは、「放射線作業者に対する線量等量限度の決め方」である。「リスクに関し、損害のすべての成分を考えに入れるべきとしながらも、それは実際には難しいとして、死亡率のみに着目し、結論的に委員会の勧告を適用した職業グループでの平均リスクは他の安全な職業における平均リスクと同程度になるとしている。」

Pub45 (ICRP, 1985) では、「Pub27で使われた害の指標がより良いデータで見直されている。」

\*Pub45 (ICRP, 1985) について。「統一された害の指標を作成するための量的基礎」（草間朋子, 1987) では、「Pub27より多くの国の最新のデータをもとに害の指標を求め、放射線被ばくを伴う職業のリスクと、それを伴わない職業のリス

クとを比較した」とされている。

• Pub60 (ICRP, 1990)

ドラフト文書では、「Pub60では、1977年以降、人間の放射線起因性がんのリスクに関する新しいデータ及び動物実験によって得られたデータなどから放射線による発がん影響の確率を推定した。」の紹介で内容が書かれている。

\*Pub60では、線量限度の設定と実効線量の評価に用いる組織荷重係数の決定に損害の概念を導入している。使用目的に応じてアプローチを変えたことが特徴的である。特に、組織荷重係数の決定には損害を単一の数値にまとめた集量的な量として総合した損害を定義した。ICRPは、考慮すべき因子として、

- ① 致死がんの発生確率
- ② 非致死がんの発生確率
- ③ 重篤な遺伝性影響の発生確率
- ④ 余命損失の相対的な大きさ

以上4つを取り上げた。これは、損害の評価に際して、死亡年齢の違いと非致死がんの損害を加味するためである。

• Pub103 (ICRP, 2007)

「最新のICRP勧告、Pub103では、新しい計算の方法を採用した。」「計算方法は、広い意味では、Pub60を踏襲しているが、大きな変更点の一つは、名目リスク計算ががんの死亡データからがんの罹患データに変わったことである。」

\*Pub103 3.2.3 項 パラグラフ (84) がんに対する現在の名目確率係数は、Pub60とは異なる方法で計算された。現在の推定値は、致死率と生活の障害 (life impairment) に関して加重されたがん罹患率データに基づいているが、Pub60では、損害は非致死性がんについて加重された致死がんリスク、致死がんに対する相対

寿命の損失、及び非致死性がんによる生活の障害に基づいている。

3. 2. 2. 3 「放射線損害の計算」の内容

ここでは、「放射線損害の計算に関しては、Pub103のAnnex A.4に記述されている。発がんリスク推定値に関する基礎的情報は、Pub60のAnnex Bにある。」の出だしとなっている。そして、「計算方法は、名目リスクの計算と重篤度の調整の、大きく2つの部分からなる。前者は、放射線被ばくに関連した生涯リスクの推定であり、後者は、死亡率、生活の質、寿命短縮を考慮している。前者は被ばく線量に依存しているが、後者は被ばくからは実質的に独立している」とある。

\*Pub103のAnnex A.4には、「放射線誘発がんのリスク」をタイトルとして、「約100mSvまでの線量範囲における放射線誘発がんのリスクに関する判断を進める」ための、諸データが集められている。また、この項の、パラグラフ (A.106) では、「放射線損害は、人体の異なる部位における放射線被ばくの有害な影響を定量化するために用いられる概念である。これは、致死性と寿命損失年数でみた疾患の重篤度を考慮して、名目リスク係数から決定される。全損失は、人体各部 (組織及び/又は臓器) の寿命の合計である。」用語解説の「放射線損害」は、これとほぼ同等の内容が記載されている。また、「損害」の項では、「あるグループが放射線源に被ばくした結果、被ばくグループとその子孫が受ける健康上の害の全体、損害は多次元概念であり、その主な構成要素は以下の確率量である。すなわち：致死がんの寄与確率、非致死がんの加重された寄与確率、重篤な遺伝性影響の加重された寄与確率、及び、害が発生した場合の寿命短縮年数。

Pub60のAnnex Bは、「電離放射線の生物影響」

をタイトルとして、その中にB. 5.14「損害」の項などが含まれる。

そして、この章の構成は、次の3つのサブタイトルからなっている。

- ・名目リスクの計算
- ・重篤度の調整
- ・放射線損害と実効線量との関係：組織荷重係数

WT

このように、放射線損害と実効線量の計算過程を追うことで、ICRP勧告がこれまで行ってきた計算過程を確認している。

### 3. 2. 2. 4 「放射線損害の計算感度」の内容

ここでは、「放射線損害計算における感度」のタイトルで、次の様な出だしとなっている。「多くのパラメータが放射線損害の計算の中で使われている。そして、これらのパラメータに使われる値には、色々な変動要因があり、それらは、放射線損害の最終的な値に影響を与えることになり、放射線防護の解釈に影響することになる。そのため、パラメータの変動が与える影響を調べるために感度解析が行われた。」そして、この章は、次の3つのサブタイトルの章から構成されている。

- ・名目リスク計算に含まれるパラメータ
- ・重篤度の調整に関連するパラメータ
- ・感度解析のまとめ

最初の、「名目リスク計算に含まれるパラメータ」では、「Pub103では、固形がんの名目リスクは、低線量・低線率被ばくであることを勘案してDDREFを2とした。DDREFの値に関しては、放射線防護関係者内で何年にも渡って議論されてきた。」とある。2番目の「重篤度の調整に関連するパラメータ」では、「放射線損害の計算において最も重要な部分である名目リスクとは別に、調整するための要素が

損害の値の変動に影響する。」

「診断技術や治療の進歩によってがんの死亡率はこの数十年間下がり続けている。米国のがん統計によるとがん死亡率は1991年から2016年にかけて27%減少した。減少傾向は高死亡率のがんで顕著であった。肺がんの場合、死亡率は、1990年から2016年にかけて男性で48%減少した。また、女性では2002年から2016年にかけて23%減少した。このような状況は、死亡の項の値に大きな変化をもたらすと考えられるので、今後はこのことを考慮すべきである。」

このようなことを踏まえて、3番目の「感度解析のまとめ」では、まず次のようなまとめになっている。「放射線損害に与える影響度に応じて、パラメータは“限定的”、“重要”、“大きい”の3つのカテゴリーに分類できる」としている。「限定的な影響であるパラメータ」、「重要な影響を与えるパラメータ」、そして「大きな影響を与えるパラメータ」である。「重要な影響を与えるパラメータ」として挙げられているのは、「準拠する集団とリスク転移モデル」である。「これらのパラメータを変更すると、放射線損害ファクターを1.5倍あるいはそれ以上変える、またはある種のがんについては2以上減らすことになる。」そして、「転移モデルと集団を併せると、放射線損害はある種のがんについては大きく変動しうる」ことになる。「大きな影響を与えるパラメータ」として挙げられているのは、「DDREF、年齢、性、死亡の割合」である。「これらのパラメータの設定を変えると、ある種のがんにおいては、放射線損害をファクター2あるいはそれ以上に変える」ことになる。「特に、「DDREFの値の選択は、直接的な影響をあたえる」ことになる」としている。

### 3. 2. 2. 5 「変革の可能性」の内容

ここでは、「変更の可能性」として、「放射線損害は、低線量・低線率放射線の被ばくによる健康への損害全体の指標となる。科学的知見に基づき、放射線防護体系の確固たる基礎を形成するために、健

康と性、年齢及び集団に関する変動要素を考慮に入れることが肝要である。」とし、「損害の計算方法には更なる改善が考えられる。」としている。この章は次の5つのサブセクションで構成されている。

- ・入力情報
- ・性及び年齢の変化
- ・被ばく状況
- ・非がん効果の考慮
- ・透明性と分かりやすさ

この中で、「非がん効果の考慮」については、Pub118 (ICRP, 2012) が循環器系疾患と白内障の閾値を0.5Gyとしているものの、低線量・低線量率領域での線量依存性が不確かであることなどから、「生物学的機序、標的組織を明確にすることが必要とされる。そして、放射線損害の計算に非がんを含めるかどうかは今後の議論である」としている。

### 3. 2. 2. 6 「要約と結論」の内容

ここでは「要約と結論」をタイトルとして、3つのサブセクションで構成されている。

- ・放射線損害の計算
- ・放射線損害の感度解析
- ・今後の発展のための示唆

「放射線損害の計算」では、「放射線損害の計算は、2つの部分から成っている。名目リスクの計算と名目リスクを重篤度で調整する計算である。後者は、線量から独立している。」としている。「放射線損害の感度解析」では、「固形がんのDDREFを2として生涯リスクを想定しているが、DDREFの値は直接、損害に効いてくる。例えば、もし、DDREFの値を1とすると、固形がんの損害は倍になる。」また、「感度解析では、死亡率の項は、損害に大きな影響を与えることが分かった。損害の計算で使われている死亡率は、1980年代の米国のデータに基づいている。これらのデータは最新のものに変える必要がある。」とある。

「今後の発展のための示唆」には、6つのパラグラフが含まれている。それぞれ重要な示唆となっている。6つの内、4つは、上記3.2.1項にある4つの項目に関連するであり、残りの1つは、ICRPが、低線量域での閾値を勧告した、非がんの中でも特に、循環器系の疾患と白内障を損害の計算に入れる必要性の検討であり、もう1つは、損害の計算方法には、計算方法のすべてが公表され、透明性とトレーサビリティが求められることが書かれている。

## 4. 「今後の発展のための示唆」が有効になるには

### 4. 1 「今後の発展のための示唆」に関する現状

放射線防護の発展（新勧告作成）のために、ドラフト文書により、ICRPの放射線防護体系における損害の概念の発展の過程、課題が整理され、ICRP Pub103の次となる勧告に向けて、それらの課題が具体的に解明されていくことが期待される。

・Pub103 2.1章「勧告の目的」では、「放射線防護に関連する人々はすべて、いろいろな種類のリスクの相対的な重要性について、またリスクと便益のバランスをとることについての価値判断をしなければならない。この点において、放射線防護は、危険の管理に関する他の分野と異ならない。科学的推定と価値判断の基礎及びそれらの間の区別は、どのように決定がなされたかの透明性を高め、かくして決定への理解を増すために、可能であればいつでも明らかにすべきである。」としていて、ドラフト文書は、当然この考え方を踏襲している。そして、当然、今後も基本となる。複雑な現代社会において、この「リスクと便益のバランス」は、極めて難しい課題と言えよう。半年間に渡るドラフト文書のコメント募集（2020年1月から6月まで）に27件のコメントが寄せられた。今回のドラフト文書は、放射線損害に関する発展の経緯、内容に基づいて、「今後の発展のための示唆」として課題をまとめている。そこに書かれている内容の検討が、今後の放射線損害についての検討を進め、そして、次の放射線防護体

系の発展のため重要になると考えられる。そのため、今回のドラフト文書自体が、今後の放射線防護体系の内容に、すぐに具体的な影響を与えるものではない。そのため、コメントの数、内容から見ると、全体としては、大きな関心と呼んではいけないように見える。しかし、放射線損害の概念は、放射線防護体系の根幹の一つであるので、「今後の発展のための示唆」に関することに具体的前進が出る、例えば、放射線防護体系の線量体系に影響が出るとなると、より幅広い関係者による議論になると考えられる。また、現行のように、約50年に渡る議論の中で緻密化した放射線損害の概念をより分かりやすくし、社会や科学の現状、あるいは、発展から乖離し過ぎないようにするために、単純化することについても検討の余地があると考えられる。

#### 4. 2 「今後の発展のための示唆」に関する各論

① 疫学調査：今後の放射線損害の発展に必要とされているデータの 하나가、疫学調査データである。特に、大きな貢献を果たしてきたのは、原爆被爆者の疫学調査（追跡調査）で、この調査結果は、放射線影響研究所から寿命調査（Life Span Study: LSS）と成人健康調査（Adult

Health Study: AHS）として報告されて来た。前者は第14報（Ozasa, 2012）まで、後者は、第8報（Yamada, 2004）まで公表されている。原爆投下から75年以上経過し、今後、解析データの精度向上などにつながる新たなデータの蓄積は困難になりつつある。また、広島・長崎の疫学調査以外にも大規模な疫学調査が行われている。それらの調査進展に期待する報告（Cardis, 2001）もあるが、現時点では、原爆被爆者の疫学調査を超える規模、精度、調査年数となっている疫学データを期待することは困難である（NCRP, 2012）。原爆被爆者より低線量領域での被ばくに関わる疫学調査には、膨大な母数が必要になる困難さもある。また、一部で試みられているようなプール解析なども、現時点では十分なパワーがあるとは言い難い状態である。インド、中国などの高自然放射線地域の疫学調査が継続的に行われている。これも、有意義な内容が報告されているが、広島・長崎の疫学調査に相当するようなパワーを持つレベルには到達していないため、防護体系に影響を与えるまでには至っていない。現在進められている疫学調査に、今後、具体的に期待できる内容を明確にすることも必要となろう。

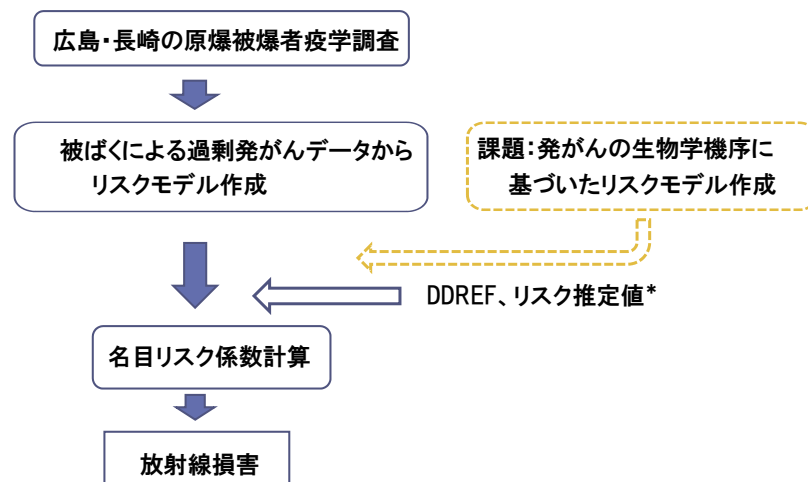


図 放射線損害に至るフロー

\*「委員会のリスク推定値は、それが代表的な年齢分布を持つ女性と男性の名目集団の被ばくに関連していること、また年齢グループと両性にわたって平均化していることから“名目”と呼ばれる。」（ICRP, Pub103）



② DDREF：これに関する議論は、長年続いているが、低線量・低線量率領域での生物学的データの新たな蓄積が難しいので、一つの結論に収束する気配はない。環境レベルの低線量・低線量率放射線の生物学的データを、マウスなどの生物実験で集めるには、相当のパワーが必要とされることなどが大きな理由の一つである。かつて、DOE（米国エネルギー省：Department of Energy）が、1999年から巨額の資金を投入して、低線量域の生物研究を行った（宮崎、2016）。この研究では、放射線防護体系に大きな影響を与える成果は報告されなかった。この時の経験を踏まえて今後の研究を考えることも重要である。この状況を変える可能性のある報告が、組織幹細胞に関するICRP Pub131（ICRP, 2015）である。ここで述べられていることが、より多くのデータで確認され、組織幹細胞の競合によって、環境レベルの低線量・低線量率放射線の影響が蓄積しないことになれば、DDREFの議論は新たな展開を示すことになるかと期待される（宮崎、2018）が、関連する報告（Little, 2017）は、まだ少ないので、パラダイムシフトとなるには時間がかかるかもしれない。

一方、ICRPは、タスクグループ91（放射線防護の目的のための低線量・低線量率被ばくの放射線リスクの推定：Radiation Risk Inference at Low-dose and Low-dose Rate Exposure for Radiological Protection Purposes）を、第1委員会の中に設置して、DDREF関連の検討を開始している（ICRP, 2020）

③ 非がん：Pub103で、それまで使われていた、確定的影響が組織反応（非がん影響）とされた。その非がんに関する文書Pub118（ICRP, 2012）が出され、循環器系疾患と白内障の閾値が、従来から大きく見直され、0.5Gyとされた。ただし、依然として、線量反応曲線が不明確である。また、診断精度などの議論は煮詰まっていなかった

め、非がんの放射線損害に関する議論は進んでいない（宮崎、2018）。非がんの中でも、特に、白内障は、致死性ではなく、しかも、がんとは発生機序が異なるため、放射線防護体系の中ではがんとは、切り離されてきた。しかしながら、放射線被ばくの蓄積が発症につながるということが考えられるようになり、がんとの共通点が出てきていることを考えると、白内障等の非がんの放射線損害を考える必要が出てきたと思われる（藤通、2013）。更に、非がんの放射線損害が定義されることになると、放射線防護体系は、現在のような確率的影響と組織反応との区別とは異なる体系になる可能性がある。このように、今後の放射線損害の議論は重要な岐路に立っているかもしれない。

## 5 まとめ

放射線損害の概念は、放射線防護体系の根幹となる概念の一つである。そのため、できるだけ現実に即したデータが使われていることが望ましい。そのためには、使われているデータの中でがん発生率のように、地域、時代によって変動が考えられる場合の対処の考え方を整理することも必要かもしれない。また、ICRPの放射線防護体系の基本姿勢である、「放射線防護体系の継続性・一貫性」の観点からは、放射線損害の観点から見た、がんと非がんの関係、あるいは、等価線量と実効線量の関係のように、文書間の整合性を図るために、考え方の見直しが必要な課題もある。今後は、議論すべき問題点をより明確し、時代に適合した分かりやすい放射線防護体系の「変革」が望まれる。このことと関連して、今回のドラフト文書では、示された課題を解決する具体案の定性的な示唆はあっても、具体的に解決するための方針までは、対象外と思われる。そのため、例えば、広島・長崎原爆被爆者の疫学調査は、75年以上経過し、今後の発展が難しいように、どの課題についても、実際のデータに基づいた前向きな議論による解決は難しい可能性が大きい。今

後、継続的に検討を進めるには、放射線防護体系に放射線リスクの考え方が導入されてから約50年経過し、放射線損害の内容が精緻かつ複雑になり、概念の一部を変えることの難しさとか、発がん機序を含む生物学の大きな進歩が内容に反映し難い状況があると思われる。そのため、損害の概念の整理、単純化 (Breckow, 2020) の検討も併せて必要であろう。これは、リスクモデルの再検討を伴うことになり、今回のドラフト文書では、詳しく触れられていない重要な課題となろう。また、Pub131 (ICRP, 2015) に示されているように、低線量・低線量率放射線の細胞に与える傷は蓄積しないとすると、これまでと違う視点からの議論 (宮崎, 2018) が、新たな生物学データが蓄積される中で、ますます重要となる可能性があるだろう。現行のICRP勧告 (ICRP, 2007) は、発がんの多段階説を意識しつつも、従来からの標的理論を踏襲し、直線仮設に依拠している。この従来からの考え方と新しい生物学の考え方との整合を図るためにも、更なるデータの集積とそれと合わせたリスクモデルの構築が不可欠であろう。

## 6. 参考文献

- 稲葉次郎., 1978. 害の指標をつくる時の諸問題. 保健物理. 13. 307-310
- 甲斐倫明., 2000. 様々な分野のリスク概念に関する歴史的経緯と最近の動向. 保健物理. 35(1) 421-433
- 草間朋子., 1987. 統一された害の指標を作成するための量的基礎. 保健物理. 22. 67-71
- 中谷内一也., 2006. リスクのモノサシ—安全・安心生活はありうるか. NHKブックス
- 藤通有希. 他., 2013. 新たな水晶体等価線量限度に関する放射線防護の課題. J. Health Phys., 48(2). 86-96
- 宮崎振一郎., 2016. 低線量放射線リスク研究動向と放射線防護体系. 近畿大学原子力研究所年報. 53: 19-27
- 宮崎振一郎., 2018. 組織幹細胞研究の進歩が促す放射線防護体系の発展. 近畿大学原子力研究所年報. 55 : 13-26
- 宮崎振一郎., 2018. 放射線影響における確率的影響と組織反応の関係. 近畿大学原子力研究所年報. 55 : 35-37
- Breckow Joachim., et al., 2020. Do we really need the “detriment” for radiation protection?. Radiat Environ Biophys. 59(3):343-348
- Cardis Elisabeth., et al., 2001. Radiation Risk Estimates in the Beginning of the 21<sup>st</sup> Century. Health Physics. 80(4):349-361
- DOE, 1998. Implementation Guide for use with DOE ORDER 440.1 Occupational Exposure Assessment G 440.1-3
- ICRP ; 1977 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26. Ann. ICRP1(3)
- ICRP ; 1977. Problems Involved in Developing an Index of Harm. ICRP Publication 27. Ann. ICRP 1 (4)
- ICRP; 1986. Quantitative Bases for Developing a Unified Index of Harm. ICRP Publication 45. Ann. ICRP
- ICRP ; 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP21(1-3)
- ICRP ; 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2-4)
- ICRP ; 2012 ICRP Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. ICRP Publication 118. Ann. ICRP 41 (1/2).
- ICRP; 2015 Stem Cell Biology with Respect

- to Carcinogenesis Aspects of Radiological Protection. ICRP Publication 131. Ann. ICRP 44 (3-4)
- ICRP; 2020 Draft Document: Radiation Detriment Calculation Methodology. <https://www.icrp.org/docs/TG102>
- ICRP; 2020 Task Group 91 Radiation Risk Inference at Low-dose and Low-dose Rate Exposure for Radiological Protection Purposes. <http://www.icrp.org/>
- Little MP, Hendry JH., 2017. Mathematical models of tissue stem and transit target cell division and the risk of radiation- or smoking-associated cancer. PLoS Comput Biol 13(2): e1005391. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1005391>
- Miyazaki S., 2013. Implications of Tissue Reactions for Radiological Protection. Annual Report of Kindai University Atomic Energy Research Institute. 50:1-7
- Miyazaki S., 2018. The Progress of Tissue Stem Cell Researches Accelerates the Development of the Radiological Protection System. Annual Report of Kindai University Atomic Energy Research Institute. 55:13-26
- NCRP ; 2012 National Council on Radiation Protection and Measurements. Uncertainties in the Estimation of Radiation Risks and Probability of Disease Causation, NCRP Report No. 171
- Ozasa K., et al., 2012. Studies of the Mortality of Atomic Bomb Survivors. Report 14. 1950-2003: an overview of cancer and noncancer disease. Radiat. Res. 177, 229-243
- Shimizu Y., et al., 2010. Radiation Exposure and Circulatory Disease Risk: Hisoshima and Nagasaki Atomic Bomb Survivor Data, 1950-2003. MJB 340, b5349.
- Yamada Michiko., et al., 2004. Noncancer disease incidence in atomic bomb survivors, 1958-1998, Radiat Res. 161,622-32.