資料　1

放射線被ばくによる影響とリスクについて

目次

資料１について 2
第一部：全体要約版（スライド形式） 3
第二部：詳細説明資料 7
１．はじめに：背景と目的 7
２．放射線被ばくを知るための２つの観点 7
３．質的な観点 8
３．１　放射線は人の体にどのように作用するのか？ 8
１）細胞に入射した放射線による電離作用（図１） 8
２）ＤＮＡへの直接作用と間接作用（図２） 9
３）ＤＮＡの損傷と修復（図３） 10
３．２　その作用は、放射線特有のものなのか？（図４） 11
４．量的な観点 12
４．１　日常生活における健康影響とそのリスクとは？ 12
１）リスクという尺度 12
２）リスクの大きさ 12
３）がん死亡リスクと「直線しきい値なしモデル（ＬＮＴ)」について（図５） 13
４）がんの相対リスクと線量の関係（図６） 14
５）他の要因と放射線によるがんリスクの相互比較（図７） 14
６）他の危険との相対比較（図８） 15
４．２　職業人被ばくの線量限度は、どういう考えで定められているのか？ 16
１）公衆被ばくと職業被ばくの線量限度におけるリスク 16
２）線量限度決定における職業被ばくリスクの考え方 17
３）他の産業におけるリスク（図９） 17
４）職業人被ばくにおける生涯リスクの評価（図１０） 18
５）リスクの受容と ALARA の関係（図１１） 19
５．終わりに：「正当に怖がる」 20
５．１ 被ばく影響の相場感 20
５．２ 「正当に怖がる」ということ 20
【参照資料】 22

資料１について

今回の研修に先立ち事前アンケートを実施し、５０件余りの回答を得ました。この中の約半数で、放射線被ばくに対する漠然とした不安があることが確認されました。

また、アンケートの項目として、以下４つの問いかけを行い、上記不安の有無に関わらず、７～８割の方から「知りたい」という回答を頂きました。

・放射線の被ばくは、人の身体にどう作用するのか？
・その作用は、放射線特有のものなのか？
・日常生活における健康影響とそのリスクとは？
・現場で管理されている管理基準は、どういう考えで定められているのか？

今回の研修では、上記問いかけの要望に応えるものとして、この巻末資料を作成しました。

内容については、環境省の「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料（令和６年度版)」で示されている情報等を中心に参照した上で、これらをどのように読み解き、理解していけばよいかという観点での説明を加えました。

資料の構成は、第一部として全体要約版を示した後に、第二部に部詳細説明を掲載しています。末尾には、参照した情報源についても掲載しています。

研修講義では時間の制約上、本内容については紹介程度のみになりますが、興味のある方は、本資料並びに参照資料等を是非ご覧ください。

第一部：全体要約版（スライド形式）

はじめに：事前アンケート

◆今回の研修に先立ち事前アンケートを実施（５４件回答）
- 放射線被ばくに対して漠然とした不安の存在を確認（全体の約半数）

◆以下のような問に対する情報を、全体の７～８割の方が「知りたい」と回答
- 放射線の被ばくは、人の身体にどう作用するのか？
- その作用は、放射線特有のものなのか？
- 日常生活における健康影響とそのリスクとは？
- 現場で管理されている管理基準は、どういう考えで定められているのか？

➡これを受けて、本研修ではこの情報を巻末資料の形で提供する

アンケートに対応したテキストの構成

1．はじめに
2．放射線被ばくを知るための２つの観点
3．質的な観点
3．1　放射線は人の体にどのように作用するのか？
3．2　その作用は、放射線特有のものなのか？
4．量的な観点
4．1　日常生活における健康影響とそのリスクとは？
4．2　職業人被ばくの線量限度は、どういう考えで定められているのか？
5．終わりに：「正当に怖がる」

１，２章：はじめに/放射線被ばくを知るための２つの観点

◆日常生活は多様なリスクに囲まれている

・事故、生活習慣、災害など

◆放射線もその中の一つ

・しかし、五感で感知できず特別視されがち

➡放射線被ばくの影響を「質的」「量的」観点から眺め、
他のリスクと比較し『相場感』を得る

３章．質的な観点(1/2)：放射線の被ばくは、人の身体にどう作用するのか？

◆体内での作用

・放射線が細胞に入射して電離を起こす
　→ DNA損傷が引き起こされる

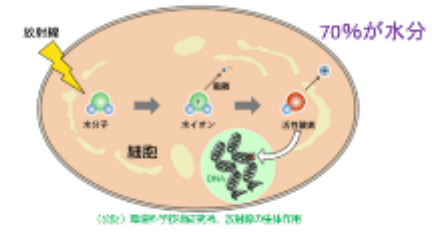
・殆どが水分を介した間接作用（水の電離）
　→水の電離で生成した活性酸素が作用する

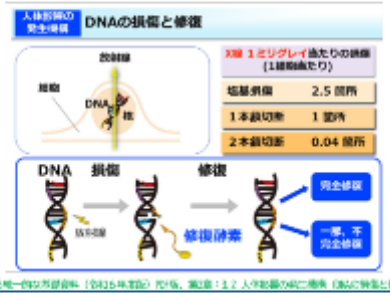
◆損傷の種類と修復

・損傷は３パターン、すぐに修復される

・修復失敗は自己淘汰として細胞死
（自然の代謝でも大量の細胞死）

・稀に修復失敗で残存
→潜伏期間を経てがん等に繋がる場合がある





３章. 質的な観点(2/2)：放射線の被ばくは、人の身体にどう作用するのか？

◆活性酸素によるDNA損傷は日常的事象

- ストレス
- アルコール
- 激しい運動
- 大気汚染
- 食品添加物
- 喫煙
- 日光（紫外線）など



➡放射線による作用は特別なものではなく、一般的な生体反応の一つ

４章. 量的な観点(1/2)：日常生活における健康影響とそのリスクとは？

◆作用(放射線)の定量化だけでなく、影響の定量化が重要

- リスク：どのくらいの割合で生じるか？（寄与リスク）
- 相対リスク：元々に対して何倍になるか？

◆ICRPによる評価：がんの相対リスク（原爆疫学調査）

- 一般のがんによる死亡割合は30%程度でばらつく
- 生涯1Svの被ばくにより、がん死亡率は約5.5%増
- 1/10相当の生涯100mSvでは、約0.5%増加と算定

◆日常を取り巻く他のリスクとの比較

- 100～200mSvの被ばく ≈ 野菜不足、受動喫煙等と同等

リスク　がんのリスク（放射線）

放射線の線量（ミリシーベルト）	がんの相対リスク※1
1,000 ～ 2,000	1.8（1,000mSvだと1.5倍と解析）
500 ～ 1,000	1.4
200 ～ 500	1.19
100 ～ 200	1.08
100 未満	検出困難

リスク　がんのリスク（生活習慣）

生活習慣因子	がんの相対リスク※1
喫煙者 大量飲酒（46g/日以上/日）※2	1.6 1.6
大量飲酒（23g～46g/日以上/日）※2	1.4
肥満（BMI≧30） やせ（BMI＜18）	1.22 1.29
運動不足 偏食（野菜不足）	1.15 ～ 1.19 1.11 ～ 1.15
野菜不足 受動喫煙（非喫煙女性）	1.06 1.02 ～ 1.03

➡日常生活で無意識に受容しているリスクと比較＝「相場観」

４章．量的な観点(2/2)：職業人被ばくの線量限度は、どういう考えで定められているのか？

◆職業人の線量限度は公衆被ばく限度の20倍、これはどの程度？

・ICRP1990年勧告で「容認可能なリスク<10^{-3}/年」「ALARAの考え方」を導入

●他産業における死亡リスク水準を超えないこと、 ●放射線業務の管理可能性・専門性などの産業特性も考慮

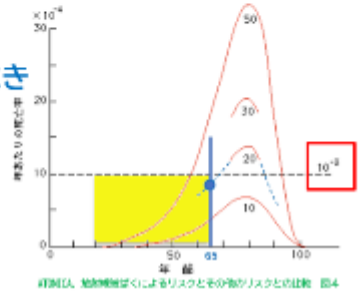
◆ICRPによる線量限度策定の考え方

・就労年数47年間に毎年連続で線量限度の最大被ばくを仮定、がんの潜伏期間、年齢に応じた感受性等を考慮して毎年のリスクを算定

◆就労年齢期間で10^{-3}/年を超えない線量限度であるべき

→線量限度=平均20mSv/年としたときに条件満足

➡これにより、
5年で100mSv、1年で最大50mSv（実質年平均20mSv）
という職業人の線量限度が示された



5章．終わりに：「正当に怖がる」

◆被ばくの相場感

・リスクという共通尺度により、日常を取り巻く危険との相互比較、判断が可能

・科学的データに基づいた冷静な判断に繋げることができる手段を獲得

◆「正当に怖がる」ことの重要性

・リスクは低くとも油断は禁物

・放射線作業従事者は、線源と隣合わせにいる

・放射線防護の3原則をあらためて認識

➡冷静に判断をしつつ、
常に危険を意識し「正当に怖がる」姿勢が重要
ALARA原則に基づく不断の被ばく低減努力が責務



以上

次頁以降に各スライドの詳細説明及び参照資料を掲載していますので、ご興味のある方はぜひご覧ください。

第二部：詳細説明資料

１．はじめに：背景と目的

・私たちの日常生活は、環境要因、食品に起因する問題、自然災害や人為的災害などさまざまな危険やリスクに囲まれている。
・それにも関わらず、私たちはそれらに対して一定の「相場観」を持ち、折り合いをつけながら、普段はあまり意識することなく生活をしているのである。
・自然界にも存在する放射線はその中の一つであり、被ばくに伴う確率的影響として、がんのリスクが知られている。
・しかし、放射線は五感で感知できないものであるため、その影響やリスクについても、何か特別なものとして捉えられやすく、日常生活における他の危険やリスクとの比較が難しいのが実情ではないだろうか。
・そこで本稿では、日常的な危険やリスクとの相対比較を通じて、放射線被ばくによる危険やリスクの相場観を獲得することを目的とし、そのために必要な、既存の知識や情報の読み解き方についての道標を示すことにする。

２．放射線被ばくを知るための２つの観点

✓ 情報を読み解くための 2 つの視点
・見回せば、放射線や被ばく影響に関する多くの情報が溢れていることに気付く。
・しかし、これら情報の渦の中から適切なものを選び取り、それらを読み解くことは意外に難しいことに気付くだろう。
・放射線被ばくについてはシンプルに、日常的な危険やリスクと比較することで、自然な理解に繋がるものと考えられる。
・そのためには、「質的な観点」と「量的な観点」の両面から情報を整理・把握することが重要である。
✓ 質的な観点
・放射線被ばくを他の事象と比較して理解するには、体内で何が起こるのかという「作用」そのものを知ることに加え、その作用が放射線に特有のものなのか、あるいは他の要因でも生じ得るものなのかを見極めることが重要なポイントである。
✓量的な観点
・放射線防護や放射線管理の観点からは、制限値・許容値としての線量限度が定められており、線量は［Sv］（シーベルト）や［Gy］（グレイ）、放射能は［Bq］（ベクレル）といった単位で定量的に表される。
・しかしこれは、放射線という「作用を及ぼす側」を定量的に表わしただけであり、その結果生まれる「影響」については何も判らないため、他と相互に比較することができない。

・このため本稿では、「影響の程度や頻度」について相互比較を可能にするための共通尺度である被ばく影響の「リスク」という数値を使って、説明を進める。
・以下、この「リスク」という概念や数値の意味合いも含めて詳しく説明していく。

３．質的な観点

３．１　放射線は人の体にどのように作用するのか？

１）細胞に入射した放射線による電離作用（図１）

・放射線が物質に入射すると、物質との相互作用により分子内の電子が外部へ弾き出され、分子がイオン化する電離作用が発生する。このイメージを図１に示す。
・放射線の被ばくを考える場合、この「物質」にあたるのは人体、すなわち細胞の集合体であるため、細胞内での電離作用に着目する必要がある。
・細胞の内部には、遺伝子情報を担い、細胞の機能や構造を制御する、生命の「設計図」とも言えるDNAが存在している。ただし、細胞単位で見てみると、DNAの質量割合は全体の1%未満であり、約70%は水分子で構成されている。
・このような構成を持つ細胞内で電離作用が発生すると、DNAの一部が損傷を受けることがある。損傷が適切に修復されない場合、がんの発症などの健康影響に繋がる可能性がでてくるのである。

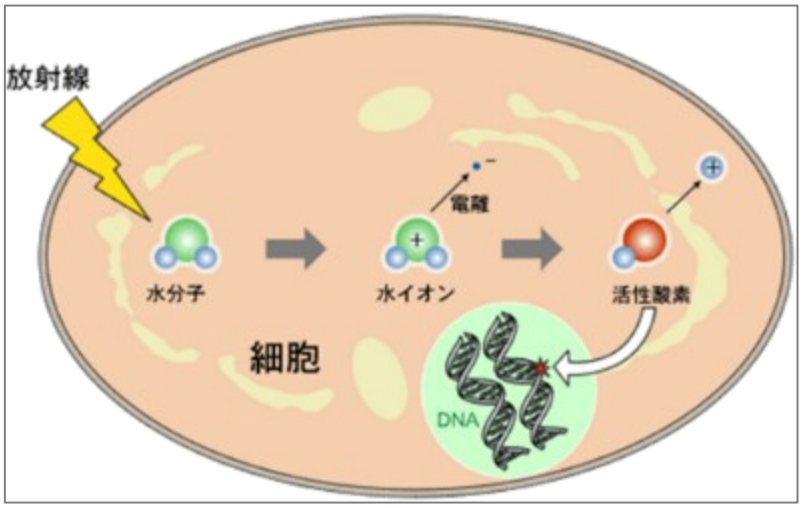


図１．細胞に入射した放射線による電離作用のイメージ図[*1]

2）ＤＮＡへの直接作用と間接作用（図２）

・図２を使って、DNA の電離作用と損傷について、もう少し詳しく見てみる。
・DNA は高分子であり、単位分子（DNA の場合は「塩基」と呼ばれる化学物質）が二本の鎖で螺旋状に結合した構造をしている。
・DNA に対する電離作用としては、「直接作用」と「間接作用」の二つの形態がある。
・直接作用では、入射放射線が直接 DNA と相互作用を起こし DNA を電離する。
・一方、間接作用では、入射した放射線がまず水分子を電離し、その際に生じたイオンが他の水分子と反応して活性酸素を生成し、その活性酸素が DNA を電離する。
・細胞の構成要素としては、前述のように水分子が約 70%を占めているため、放射線が相互作用を起こす対象は圧倒的に水分子となる。
・その結果、DNA の損傷は主に、放射線によって生成された活性酸素によって引き起こされることになる。
・電離作用による DNA 損傷のパターンには、塩基の一部が損傷する「塩基損傷」、鎖の一本が切断される「一本鎖切断」、両方の鎖が同時切断される「二本鎖切断」の３種類がある。
・なお、直接・間接作用の何れにおいても、電離により DNA に損傷が生じる点に変わりはない。

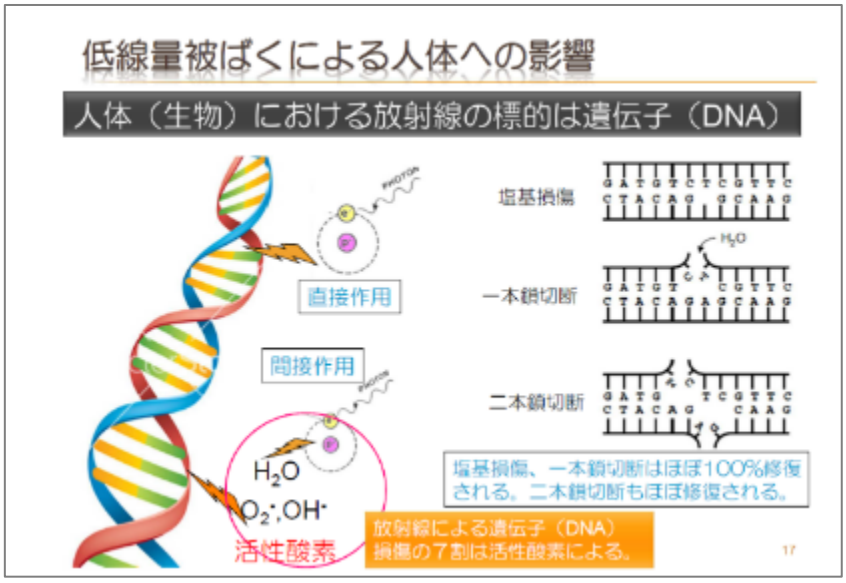


図２　直接作用と間接作用による DNA の損傷[*2]

3）ＤＮＡの損傷と修復（図３）

・図３に示すとおり、DNA 損傷の発生確率は、塩基損傷が最も高く、二本鎖切断が最も低い。損傷確率の高いものほど、修復確率も高い傾向がある。

・損傷を受けた DNA は、細胞内の修復酵素によって、ほとんどが完全に修復される。修復が不可能な場合には、生体に備わった防御機能により、細胞はアポトーシス（プログラムされた細胞死）に至る。一方で、稀に修復が不完全なまま残存する場合がある。

・細胞死が短期間に一定数を大きく超える場合、確定的影響（組織反応）につながる。これは、一度に 100mSv 以上の高線量を被ばくした場合に生じる現象であるため、今回のような管理された環境・作業条件下での被ばくとは異なるものである。

・一方、ここで対象としている低線量被ばくにおける確率的影響の観点では、細胞死は影響因子とはならない。なぜなら、通常の生活環境下では、膨大な数の細胞が常に生成と消失を繰り返しており、細胞死は代謝の一環として自然に生じているため、少量の細胞死は揺らぎに隠れてしまうのである。

・DNA の損傷は、放射線を受けてから約 1/1000 秒という短い時間内に発生し、約１秒後には修復が始まる。修復に失敗した場合には、１時間から１日程度の間に細胞死や突然変異が生じる可能性がある。

・このような細胞レベルでの反応が生じてから、人体に臨床症状として現れるまでには長い時間が必要であり、特にがんの発症に関しては、数年から数十年の潜伏期間を要する。

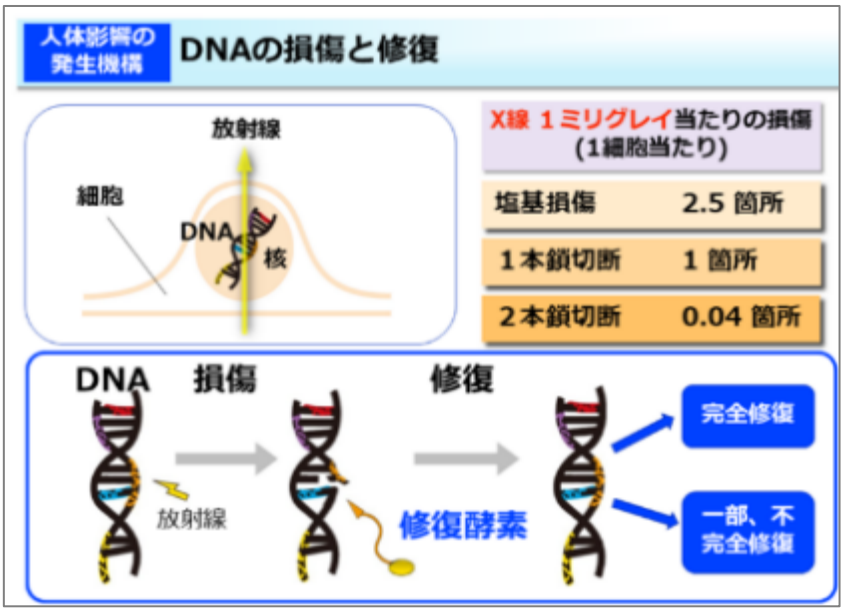


図３　DNA の損傷と修復[*3]

３．２　その作用は、放射線特有のものなのか？（図４）

- これまで述べてきたように、放射線被ばくによる作用は、主に活性酸素による DNA 損傷である。しかし、この活性酸素は、放射線によってのみ生成されるものではなく、実は日常的に体内で自然に生成されている。
- 活性酸素は、呼吸によって取り込まれた酸素の一部から生成されたり血液中の免疫細胞が活動する際に生成されたりすることで、常に体内で発生している。
- 図４には、生活習慣の中で活性酸素の生成を助長する要因の一例を示している。日光（紫外線）、喫煙、食品添加や大気汚染物質、睡眠不足を含むストレス、アルコール（飲酒）や激しい運動などが挙げられる。これらは、体内の抗酸化防御機能を低下させ、結果として活性酸素の生成量を増加させる。
- 活性酸素自体は、がんのリスクを高めるだけでなく、生活習慣病をはじめ各種の疾患の発生に関与することが、近年の研究で明らかになっている。
- 従って、活性酸素の生成は放射線に特有の現象ではなく、日常的な生活の中で多様な要因によって生じる、一般的な生体反応の一つである。



図４　活性酸素を生み出す生活習慣[*4]

４．量的な観点

４．１　日常生活における健康影響とそのリスクとは？

１）リスクという尺度

・「リスク」という値は、一般的には「その事象の発生確率×結果・影響の大きさ」を表す尺度である。ただし、「結果・影響の大きさ」を特定のものとして着目する場合は、発生確率そのものを表す場合もある。

・放射線被ばくによる作用は放射線に特有のものではなく、他の日常的な事例でも生じる作用と同種のものであることを確認した。従って、「がんの相対リスク」という視点から、放射線被ばくを含む様々ながんの要因と比較することが可能である。

・一方、「がん」という枠を超えて「危険」という広い領域に視野を拡げると、交通事故、電車事故、火災など様々な種類の危険と比べることができる。これらの一般的事象は、「年間死亡リスク」として統計的に調査・評価されている。従って、これを元にすることで、異なる種類の危険を共通の尺度で比較することができる。

２）リスクの大きさ

・これまで、当然のようにリスクという言葉を用いて説明してたが、リスクには相対リスクと寄与リスクの二つがある。

・相対リスクとは、ある影響が確率 P_1 で出現している元の状態に対して、特定の要因が加わると確率が P_2 になる場合、その比 P_2/P_1 に相当する。差異がない場合の相対リスクは１になる。

・寄与リスクは、その要因で影響が生じる確率そのものの値である。

例）＊ 例えば、放射線被ばくとは無関係な集団があり、その集団において、がんを患って死亡する人の割合 P_1 が 30%であるとする。

＊ もうひとの集団は、線量 X[mSv]を被ばくした人の集団であり、そこでのがんを患って死亡する人の割合 P_2 は、30.55%であったとする。

＊ 線量 X[mSv]で被ばくしたときの相対リスクは、P_2/P_1=30.55/30.00=1.0183(倍)

＊ 線量 X[mSv]で被ばくしたときの寄与リスクは、P_2-P_1=30.55-30.0=0.55%

・相対リスクでは、リスクの値は気にせず、事象の起こりやすさの相互比較ができる：“A 事象の発生は B 事象の発生の何倍？何分の１で発生する？・・・“。

・一方、寄与リスクは、リスクの値そのものを直接比較することができる。:“A は数%で発生、それに比べて B は 0.06%, C は 0.01%で発生する・・・”。

・ただし、これらのリスクは、あくまで個々人の環境や条件等が平均化された集団における出現割合（人数）を示すものであり、「個人」の生涯における発症・発生確率などを直接示すものにはならない。この点は、充分に認識しておく必要がある。

・なお、寄与リスクは単に「リスク」と呼ぶことが多いため、以降本稿でも準じる。

３）がん死亡リスクと「直線しきい値なしモデル（ＬＮＴ）」について（図５）

・国際放射線防護委員会（ICRP）では、2007 年の勧告[*5]において、原爆被爆者の疫学データを基に低線量率被ばくによる固形がんでの死亡リスクを再評価した。

・その結果、集団におけるがん死亡者の割合は、１シーベルトあたり 5.5%（5.5×10^{-2}/Sv）増加するという名目リスク[脚注1]を提示した。

・図５はイメージ図である。生涯を通じた一般的ながんによる死亡割合は約 30%であるが、300mSv の被ばくは、その割合を約 1.5%増加させることを示している。

・一方、放射線被ばく以外でのがんによる死亡割合の増加は、100mSv 未満の線量領域では統計的に有意に同定することは容易ではない。

＊「100mSv 未満の線量領域」についての扱いは、各国で見解が分かれている。

＊ たとえばフランスは、「一定の線量より低い被ばくにおいては、がんや白血病は実際には生じない」とし、しきい値が存在すると主張している。一方、米国は「これ以下なら安全といえる量はない」として、しきい値の存在を否定している。

・ICRP では、放射線防護の目的上単純かつ合理的な仮定として米国の考え方と同類の「直線しきい値なし（LNT）モデル[*7]」を採用している。

・そのため、ICRP2007 年勧告で示された値（5.5×10^{-2}/Sv）を用いて、100mSv 以下の被ばくであっても一定のリスクを評価する方針が取られている。

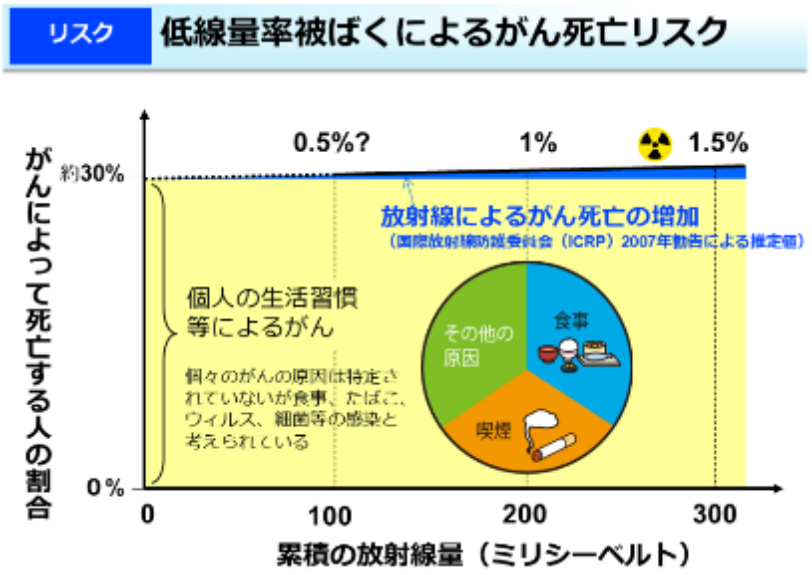


図５　低線量率被ばくによるがん死亡リスク[*8]

脚注 1:名目リスクとは、「罹患率、致死率、疾患に伴う寿命損失、重篤な病気に伴う QOL(Quality of Life)の低下を考慮して、致死性のリスクと非致死性のリスクを計算して加え、さらに寿命損失による重みづけをする」[*6]という方法で算出されたものであり、他との比較をする際には、これを生涯における死亡リスクとして扱う。(なお、引用文中の QOL の括弧書きは著者が追加したものである)

４）がんの相対リスクと線量の関係（図６）

・図６に、国立がん研究センターによる被ばく線量とがんの相対リスクを示す。
・被ばく線量が 1,000～2,000mSV の場合、生涯にわたるがんの相対リスクは 1.8 倍、500～1,000mSv では 1.4 倍、200～500mSv では 1.19 倍に高まるとされている。
・また前述の通り、100mSv 未満の被ばく線量では、統計的に算定することは難しい。
・これは、実生活の感覚で言えば、この線量域での被ばくによる健康リスクの増加は、喫煙・食生活・運動習慣など他の要因による変動に隠れてしまい、明確に識別することはできないということである。そのため、生活の中では、特段気にする必要のあるレベルとは言えないという判断も成り立つのである。



図６　放射線によるがん死亡リスク[*9]

５）他の要因と放射線によるがんリスクの相互比較（図７）

・図７に、放射線以外の生活習慣によるがんの相対リスクを併せて示す。
・特に、100mSv の被ばくリスクと近いものは、野菜不足、受動喫煙であり、まさに日常生活の中にあるよく知られたリスクと同程度のレベルであることがわかる。



図７　生活習慣によるがん死亡リスク[*10]

６）他の危険との相対比較（図８）

・ここまでで、放射線被ばくによる健康影響、即ちがんリスクの増加と、日常的な生活習慣に伴うがんリスクの増加の相対的な比較ができるようになった。

・その結果、想定される放射線の被ばくによるリスクよりも、生活習慣上の注意点に起因するがんリスクのほうが明らかに大きいということが明らかになった。

・次に、がんという特定の要因によるリスク比較からいったん離れ、他の一般的な危険事象を交えたリスクを示す。図８には、日常生活を取り巻くさまざま危険事象について、「１年あたりの死亡のリスク」が示されている。

・これらと被ばくによるがんのリスクを比べる場合には、少し注意が必要である。

・がんは、被ばくから数年～数十年の潜伏期を経て起こるため、生涯にわたるリスクとして提示されている。従って、人の生涯を仮に 100 年とみなし、放射線の被ばくに伴うがんの名目リスクを、「100 年あたりの死亡リスク」として見てみる。

・一般公衆の線量限度に相当する年あたり 1mSv (1/1000 Sv)の線量を生涯 100 年に亘間連続して被ばくしたとすると、合計 100mSv の被ばくになる。

・ICRP が示した名目リスク係数を使って、このリスクを算定すると 0.55% (5.5×10^{-3}) となる。今、図８と比較するために、厳密ではないが各年に均等に１年あたりのリスクが分配されると考えると、1/100 して 0.0055%(5.5×10^{-5})が得られる。

・一般的ながん（悪性新生物（がん））の１年あたりのリスクは 0.26%（2.6×10^{-3}）であるため、この条件での被ばくによるがんリスクは一般のがんリスクの約 50 分の１ある。
・これは、一般のガンの発症のばらつきに埋もれてしまうレベルの値であり、明確に増分を識別することは難しいと思われる。
・また、このリスク(5.5×10^{-5})は、道路交通事故のリスクと同等であることも判る。

図８　年間死亡リスクの相互比較[*11]

死亡要因	死亡者数（人）	年間死亡リスク
悪性新生物（がん）	325,941	2.6×10^{-3}
心疾患（高血圧性を除く）	173,125	1.4×10^{-3}
脳血管疾患	132,847	1.1×10^{-3}
肺炎	107,241	8.5×10^{-4}
道路交通事故	6,871	5.4×10^{-5}
火災	2,195	1.7×10^{-5}
鉄道事故	324	2.6×10^{-6}
海難	135	1.1×10^{-6}

（出典）日本の統計2008　総務省統計局
※各死亡者数は平成１７年度データ（但し、鉄道事故のみ平成１６年度データ）を用い、人口は平成１７年度国勢調査の総人口（日本人）を用いて、リスクを計算した。

４．２　職業人被ばくの線量限度は、どういう考えで定められているのか？

１）公衆被ばくと職業被ばくの線量限度におけるリスク

・一般公衆に対する線量限度は「1mSv/年」、職業人に対しては、「5 年で 100mSv/年かつ 50mSv/年を超えないこと」と定められており、年平均では 20mSv に相当する。
・一般公衆の線量限度での被ばくに対する生涯リスクは、既に 4.1.6)で示したように、0.55%（5.5×10^{-3})程度であり、日常生活の中で暗黙のうちに受け入れているリスク水準といえる値である。[脚注2]

脚注[2]：　職業人被ばくの線量限度決定は、以降で説明するように受容可能なリスクという観点で判断がなされている。
　しかし、ICRP90 年勧告によれば、公衆被ばくの線量限度決定については、職業人とは異なるアプローチ、即ち「自然放射線源からの現存する線量レベルの変動に判断基準をおく」とされており、以下の説明がなされている。:「自然バックグラウンドは無害ではないかもしれないが,社会が経験する健康損害に対して小さな寄与をするにすぎない。それは歓迎すべきことではないもしれないが,場所による変動(住居内のラドンからの線量のような大きな変動は除外する)を容認不可と呼ぶことはほとんどできない（中略）自然放射線源からの年実効線量は約 1mSv であり,海抜の高い場所およびある地域では少なくともこの２倍である。これらすべてを考慮して,委員会は,年実効線量限度 1mSv を勧告する」。
　これからもわかるように、この線量限度を超えたからといって、すぐさま状態が安全から危険に変わるわけではない。しかし、国内では法令でも規定された値であるため、限度超過は厳格に管理・防止されるべきものなのである。

・一方、職業人の線量限度は一般公衆の 20 倍の線量である。就労年齢を 18-65 歳の 47 年とした上で、さらに繰り上げて 50 年として扱い、毎年線量限度の 20mSv を被ばくしたと仮定すると、合計線量は 1Sv となる。このときの生涯リスクは、先に示した名目リスクの条件そのものであり 5.5%である。このリスクの位置づけについて次節で考える。

2）線量限度決定における職業被ばくリスクの考え方

・ICRP の 1990 年勧告（ICRP Publication 60）[*12] により、放射線防護における「容認可能なリスク」の概念が、最適化原則（ALARA:As Low as Reasonable Achievable）とともに初めて体系的に導入された。
・なお、2007 年勧告（Publication 103）ではさらに、被ばく状況に応じた線量拘束値や参考レベルという考え方もが取り入れられ、リスクの容認性についても、社会的・倫理的・技術的な観点から判断する枠組みが明確化された。
・1990 年勧告では、リスクアセスメントの結果、職業上容認できるレベルは、就労年齢期間における毎年の年間死亡確率が 0.1%（1.0×10^{-3}）を下回ることとしている。
・前節までに、被ばくの影響として生涯リスクを議論してきたが、これは見方を変えれば、生涯にわたり累積したリスクとも言える。
・従って、ICRP の容認可能性を満たす形で職業被ばくの線量限度を決めるためには、この生涯リスクが、標準的な就労年齢期間(18 歳から 65 歳)において、１年あたりのリスクとして、毎年どのように分配されることになるのかを評価することが必要になるのである。逆にいえば、この観点から職業人の線量限度が決められているのである。

3）他の産業におけるリスク（図９）

・ICRP の容認可能なリスクの定義 0.1%（1.0×10^{-3}）に対して、他の産業の状況を見ておくことにする。
・図９は、各種産業における 100 万人あたりの年間死亡者数を示しており、年間死亡リスクとして見ることができる。0.1%は、人数で言うと 1000 人に相当する。
・鉱業は他の業種と比較して、死亡リスクが突出して高く、100 万人当り約 1300 人、即ち 0.13%（1.3×10^{-3}）のリスクであり、ICRP の容認可能レベルを超えている。
・相対的に安全な業種は、製造業と電気・ガス・水道・熱供給事業である。ここでは、100 万人当り 50～60 人であり、0.005～0.006%（5.0×10^{-5}～6.0×10^{-5}）という充分低いリスクとなっている。
・掲載した７業種の平均リスクは、0.014%（1.4×10^{-4}）であり、運輸業がこの平均に近い水準である。なお、業種平均値は他の欧米諸国とそれほど異なる値ではない。

・ICRP 勧告では、放射線業務におけるリスクの受容可能性を評価するにあたり、他産業における死亡リスク水準との比較を踏まえつつ、放射線業務の管理可能性・専門性などの産業特性を考慮した上で、線量限度が勧告されているのである。

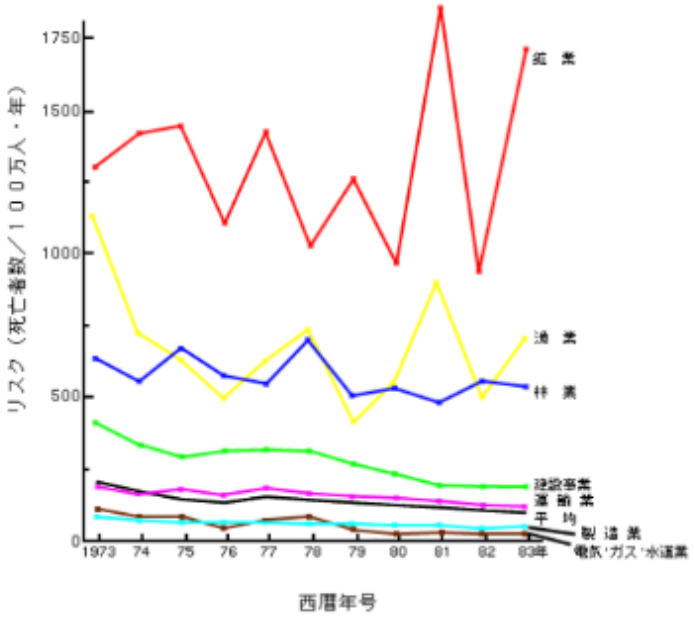


図９　我が国における産業上のリスク[*13, 14]

４）職業人被ばくにおける生涯リスクの評価（図１０）

・先に触れたように、ここでは被ばくにより算定される生涯リスクが、１年あたりのリスクとして毎年どのように分配されるかということについて確認する。
・被ばくによるがんの発症には潜伏期間があり、年齢に応じた感受性なども変わるため、ICRP では、これらを考慮した詳細な評価が行われた。結果を図１０に示す。
・図は、職業人として 18 歳から 65 歳までの 47 年間に連続して毎年一定量（10mSv, 20mSv, 30mSv, 50mSv の４ケース）の被ばくを仮定して算定された結果である。
・先に２）で示した、リスクの容認性「就労年齢期間最後の 65 歳までのリスクが 1×10^{-3} を超えない」という条件でみると、毎年 20mSv 以下の条件が、この基準を満たし得ることが判る。
・つまり、先に示した「生涯線量 1Sv(20mSv/年×50 年)時の名目リスク 5.5%」の条件を、生涯にわたっての毎年あたりのリスクに評価・分配した結果、就労年齢期間において、ICRP の定めた容認可能なリスクレベル 10^{-3} を超えないということである。
・この評価が、ICRP が勧告する職業人の線量限度の値を決める根拠となっているのである。

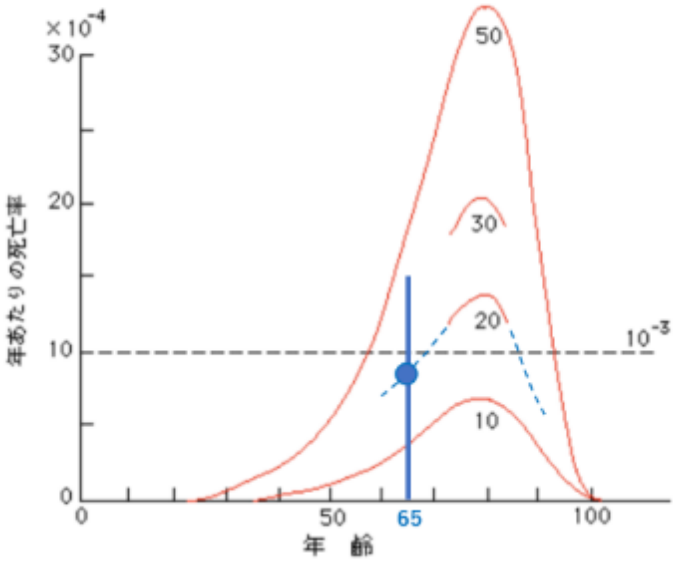


図１０　被ばくに起因するがん死亡確率の年当たり発現年齢分布[*15, 16]

（４ケースとも 80 歳頃に最大を示す分布形状となっており、20mSv，30mSv については、最大値近傍のみプロットされている。このため、65 歳を示す青の縦線、20mSv のグラフを外挿する青い点線、これらの交点●などは、筆者がグラフの読み取り易さを考慮して追記した。）

５）リスクの受容と ALARA の関係（図１１）

・ICRP2007 年勧告（Pub.103）で示されている放射線防護の 3 原則を図１１に示す。

＊ 正当化（Justification）：
被ばくを伴ういかなる行為も、その行為によって得られる利益が、被ばくによる損失を上回る場合にのみ実施されるべきである。

＊ 最適化（Optimization）（ALARA の原則）：
放射線被ばくは、「合理的に達成可能な限り低く、ALARA:As Low As Reasonably Achievable」保つべきである。

＊ 線量限度（Dose Limitation）：
放射線を受ける個人の被ばく線量は、規定された線量限度を超えてはならない。

・職業被ばくの線量限度はリスクの観点からすると「許容可能（Tolerable）」な水準とされており、公衆被ばくの線量限度は、「受容可能（Acceptable）」な水準として決められている。

・従って、日ごろの作業においては、常に ALARA の原則を徹底し、「許容可能」レベルから「受容可能」レベルへと近づける継続的な被ばく低減の努力が求められるのである。

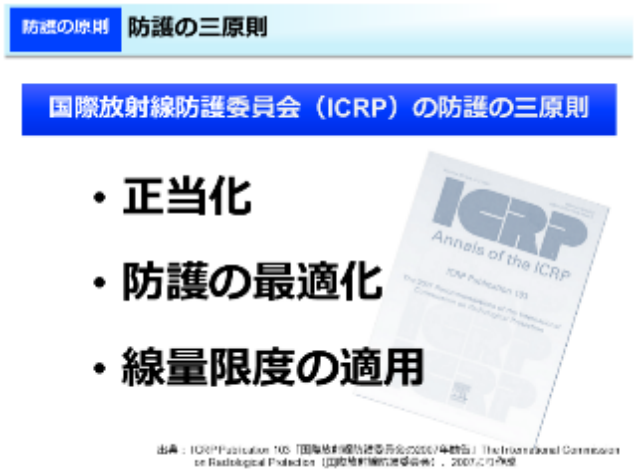


図１１　放射線防護の３原則[*17]

５．終わりに：「正当に怖がる」

５．１ 被ばく影響の相場感

・放射線の被ばくについて、リスクという尺度を用いて、他のがんの要因や日常生活に潜む様々な危険と比較してきた。
・あらためて振り返ると、私たちの生活は実に多くの危険に囲まれていることが判る。個々のリスクは小さくとも、合算すれば相応の値になることに気づかされる。
・それでもなお私たちは、それらのリスクの存在を知りつつも、常に意識して対処・対応しているわけではない。一定のリスクについては、「気にしない」、つまり事実上の安全を感じ取りながら生活しているのである。これが「相場感」と言うべきものなのである。
・放射線の被ばくについても、リスクという共通尺度を用いることで、様々な危険の判断の一環として、自律的に行えるようになる。これは、シンプルな方法であるが、科学的データに基づいた冷静な判断力の獲得を意味するのである。

５．２ 「正当に怖がる」ということ

・リスクという尺度を用いて判断し、日常の他のリスクとの比較をすることで、不安を解消するということは重要である。
・しかしそれとは別に、放射線を業務として扱う場合には、常に被ばく低減を念頭において取り組む姿勢が不可欠である。
・2011 年の福島第一原子力発電所の事故以降、「正しく怖がる」という言葉がメディアを中心に広く使われた。当時は、「放射線被ばくとリスクについて正確な知識を持ち、過度に神経質にならないように」という趣旨で用いられることが多かった。

・もちろん本稿もまた、正確な知識を得るための道標を提示することを目的としてきた。しかし、やはりこの言葉を思い出し、注意が必要である。
・この言葉の原典は、物理学者・随筆家の寺田寅彦（明治 11 年 11 月 28 日～ 昭和 10 年 12 月 31 日）が書いた随筆「小爆発」の一節にある。
・彼は次のように書いている。
「ものをこわがらな過ぎたり、こわがり過ぎたりするのはやさしいが、正当にこわがることはなかなかむつかしいことだと思われた」
・前後の文脈も含めないと解釈は難しいかもしれないが、寺田は「正当にこわがる」として、理性的かつ適切な警戒心を持つことの重要性を示していたのである。
・この言葉には、我々放射線に係る者にとって重要な示唆が含まれている。
・放射線作業従事者は、常に線源と隣り合わせの状況を意識することが必要である。
・正しい知識を持ち、漠然とした不安は払拭したとしても、「低線量であってもリスクは確かに存在する」ということを常に意識し、ALARA の原則に基づいた被ばく低減の不断の努力を惜しまないという不断の姿勢が求められるのである。
・これこそが、放射線作業従事者として忘れてはいけない基本的な姿勢であり、専門職としての責任と倫理に根差した態度なのである。

～以上～

【参照資料】

1. （公財）環境科学技術研究所、放射線の生体作用
http://www.ies.or.jp/ri_online/radiation/radiation03-5.html （2025/09/20）

２．厚生労働省：食品に関するリスクコミュニケーション（意見交換会　小田原会場)、福島大学　大瀬、「放射線の基礎知識と食品中の放射能」
https://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/iyaku/syoku-anzen/iken/dl/151119-1-odawara-1-all.pdf（2025/09/20）

３．環境省：放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料（令和６年度版）PDF版、第３章：3.2 人体影響の発生機構（DNA の損傷と修復）
https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/03-02-02.html（2025/09/20),

４．彩都友紘会病院　関西放射線治療センター、活性酸素のチカラと影～日常生活からがん治療まで～
https://www.saito-yukoukai-hp.jp/consultation/cancer-therapy/425/#:~:text=%E5%A4%A7%E5%88%87%E3%81%AA%E3%81%AE%E3%81%A7%E3%81%99%E3%80%82-,%E3%80%90%E6%B4%BB%E6%80%A7%E9%85%B8%E7%B4%A0%E3%82%92%E7%94%9F%E3%81%BF%E5%87%BA%E3%81%99%E7%94%9F%E6%B4%BB%E7%BF%92%E6%85%A3%E3%81%A8%E3%81%AF%E3%80%91,%E4%BF%9D%E3%81%A4%E3%81%93%E3%81%A8%E3%81%8C%E9%87%8D%E8%A6%81%E3%81%A7%E3%81%99%E3%80%82 （2025/09/20）

５．国際放射線防護委員会 2007 年勧告(ICRP 2007), Pub.103 （日本語版）
icrp.org/docs/P103_Japanese.pdf（2025/09/20）

６．中西、原発事故と放射線のリスク学、日本評論社（2014/03）,ISBN978-4-535-58650-5

７．環境省：放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料（令和６年度版）PDF版、第４章　4.1　防護の原則：LNT モデルをめぐる論争
https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/04-01-08.html （2025/09/20）

８．環境省：放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料（令和６年度版）PDF版、第３章 3.4 リスク：低線量率被ばくによるがん死亡リスク：
https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/03-04-03.html （2025/09/20）

９．環境省：放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料（令和６年度版）PDF版、第３章 3.4 リスク：がんのリスク（放射線）
https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/03-04-05.html （2025/09/20）

１０．環境省：放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料（令和６年度版）PDF 版、第３章 3.4 リスク：がんのリスク（生活習慣）
https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/03-04-06.html （2025/09/20）

１１．環境省化学物質アドバイザ、化学物質アドバイザの募集要項/テキスト第三章 環境リスクとその評価
https://www.env.go.jp/chemi/communication/taiwa/index.html,
https://www.env.go.jp/chemi/communication/taiwa/text/3s_2008.pdf
(2025/09/20)

１２．国際放射線防護委員会 1990 年勧告(ICRP 1990), Pub.60 （日本語版）
https://www.icrp.org/docs/p60_japanese.pdf (2025/09/20)

１３．ATOMICA, 放射線被曝によるリスクとその他のリスクとの比較 (09-04-01-03) 図１
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_09-04-01-03.html
(2025/09/20)

１４．岩崎、西澤、日本における最近の労働災害のリスク, 保健物理, 1993, 2 巻, 2 号, p.173-178, （資料１３が参照している原典）
https://doi.org/10.5453/jhps.28.173、
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jhps1966/28/2/28_2_173/_ar
(2025/09/20)

１５．ATOMICA, 放射線被ばくによるリスクとその他のリスクとの比較 (09-04-01-03) 図４
https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_09-04-01-03.html
(2025/09/20)

１６．草間朋子（編)、ICRP1990 勧告―その要点と考え方、日刊工業新聞社, 1991 （資料１５が参照している原典）
１７．環境省：放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料（令和６年度版）PDF 版、第４章 4.1 防護の原則
https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/04-01-09.html (2025/09/20)