

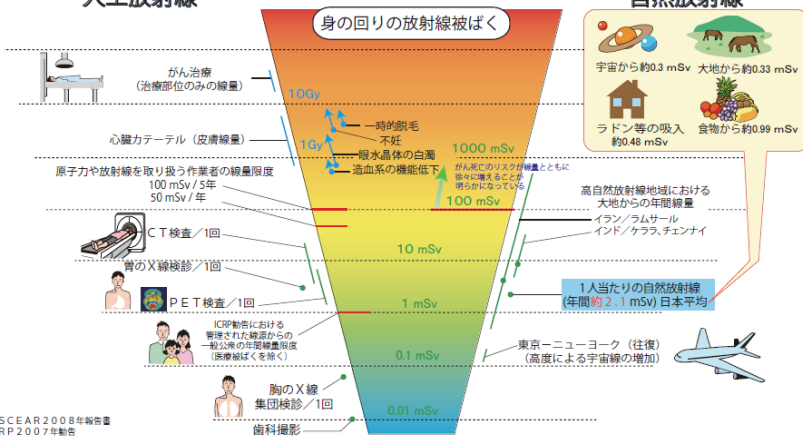
低線量の放射線健康影響 ガイドブック

初級編

放射線被ばくの早見図

人工放射線

自然放射線



・ UNSCEAR 2008 年報告書
・ ICRP 2007 年勧告
・ 日本放射線技術学会放射線被ばくガイドライン
・ 新版 生活環境放射線 (国民線量の算定)
などにより、放射線が作成(2013年5月)

【ご注意】
1) 数値は有効数字などを考慮した概数です。
2) 目盛 (点線) は対数表示になっています。
目盛がひとつ上る度に10倍となります。
3) この図は、引用している情報最新更新された場合
変更される場合があります。

【線量の単位】
各臓器・組織における吸収線量: Gy (グレイ)
放射線から臓器・組織の各部位において単位質量あたりに
どれくらいのエネルギーを受けたのかを表す物理的な量。
実効線量: mSv (ミリシーベルト)
臓器・組織の各部位で受けた線量を、がんや遺伝的影響の感受性について
重み付けをして全てで足し合わせた量で、放射線防護に用いる線量。
各部位に均等に、ガンマ線 1 Gy の吸収線量を全身に受けた場合、
実効線量が1000 mSv に相当する。

国立研究開発法人 **NIRS**
放射線医学総合研究所
http://www.nirs.go.jp
Ver.150401

はじめに

2011 年 3 月 11 日に起こった東北地方太平洋沖地震は巨大津波を引き起こし、多くの尊い命を奪いました。福島第一原子力発電所では電源喪失によって 1～3 号機が事故を起こし、多量の放射性物質を環境中に放出する災害となりました。福島県をはじめとして宮城県、岩手県、栃木県、茨城県など広範囲に放射性セシウムが降り注ぎました。事故から 4 年半以上経った今でも、福島県だけで約 6 万人の人々が豊かだったふるさとを追われて避難生活を余儀なくされています。事故当時と比べると放射線量は下がってきていますが、年間 50 mSv を超える帰還困難区域や年間 20 mSv を超える居住制限区域などから強制避難している人は約 5 万人で、福島県外に避難している人は自主避難されている人を含めて約 4 万 5 千人います。(2015 年 11 月時点)

多くの人が、原発事故が起こった後の比較的低線量と言われる放射線の健康影響がどのようなものなのか、信頼のおける確かな情報を知りたいと思っています。なぜなら、自分自身を含めて、子どもや子孫に対する将来の影響をきちんと見極めて対処していかなければならないと思っているからです。

現在、低線量の放射線健康影響について 100 mSv 以下は心配ないと言う専門家がいて一方で、1 mSv 以下にすべきだと言う専門家もいます。科学的にどこまで分かっているのか、どのような不確実性があるのか、信頼できるエビデンス（根拠）は何か、といった問題にきちんと答えてくれる信頼できる専門家はいるのでしょうか？

本研究では、放射線生物学、社会心理学、リスクコミュニケーション、社会的責任の専門家と地域市民の協働により、納得できる低線量の放射線健康影響リスクのガイドブックを制作しました。

このガイドブックには、低線量の放射線被曝影響について、現時点で科学的に分かっていること、不確実なこと、科学的に分かっていないことをできるだけ分かりやすく記述しました。記載内容についての出所も確かめられるように参考文献もできるだけ付けました。専門用語も多数出てきますが、脚注などで説明を加えました。

このガイドブックが皆さんご自身で、低線量の放射線健康リスクを客観的に冷静に判断していくために役立つことを願っています。

低線量影響における地域参画型リスクコミュニケーション手法の構築
研究代表者 山野 直樹

本活動は平成 25 年度科学研究費補助金基盤研究（C）「低線量影響における地域参画型リスクコミュニケーション手法の構築」（JSPS 科研費 25420902）の助成を受けたものです。

目次

1. 私たちのまわりの放射線	1
2. 低線量とは？	4
3. 低線量の放射線健康影響	5
3.1 低線量による精神的・心理的な影響	6
4. 放射線による身体影響	9
4.1 確定的影響と確率的影響	9
4.2 DNA 損傷を与えるメカニズム	9
4.3 放射線のリスク	10
4.3.1 原爆被爆者の生涯追跡研究 (LSS)	11
4.3.2 固形がんのリスク	11
4.3.3 白血病のリスク	12
4.3.2 甲状腺がんのリスク	12
4.3.3 放射線によるその他の健康リスク	13
4.3.4 被爆二世の健康影響	14
4.3.5 胎内被爆者のがん発生率	15
4.3.6 胎内被爆者の身体的・精神的発育	15
4.3.7 放射線による不妊のリスク	16
4.4 放射線による身体影響のまとめ	16
5. リスクの考え方	17
5.1 リスクの分析と評価	19
5.2 リスクの相互比較	23
5.3 リスクの感じ方と判断について	24
おわりに	25
追補	26
参考文献	27

1. 私たちのまわりの放射線

福島原発事故によって環境中に放出された放射性物質による放射線の健康影響を考える前に、私たちのまわりの日常の放射性物質や放射線がどの程度あるかを知ることから話を始めましょう。

約 45 億年前に誕生した地球は、はるか昔の超新星爆発で飛び散った「星のかげら」から出来ているので、地球誕生時からウランやトリウムなどの放射性物質が岩石や土壌に含まれています。これらの放射性物質は別の物質に変わる時に放射線を出します。例えば、カリウム 40 という放射性物質はその量が半分になる時間が 12.8 億年と非常に長く、現在でも土壌の中にごく僅かな割合で存在しています。

このように、私たちの周りには自然由来の放射線があります。日本人が日常受けている放射線の量（線量といいます）の平均的な値は、図 1 に示すように、宇宙線、大地、建物、空気中の放射線物質（ラドン等）や飲食物の摂取などの自然界に由来するものから年間 2.1 ミリシーベルト^a（mSv）です¹。大地、ラドン等による線量は地域によって差があり、宇宙線、大地、ラドン等の合計は日本では年間 1.11 mSv ですが、地層中のラジウムなどの含有量が多く空気中のラドン濃度が比較的高い北欧のスウェーデンやフィンランドでは年間約 5 mSv です²。

食物にも自然由来のカリウム 40 などが含まれており、平均的な日本人は野菜、果物、肉、魚などに含まれる放射性物質から年間約 1 mSv の線量を体内から受けています。

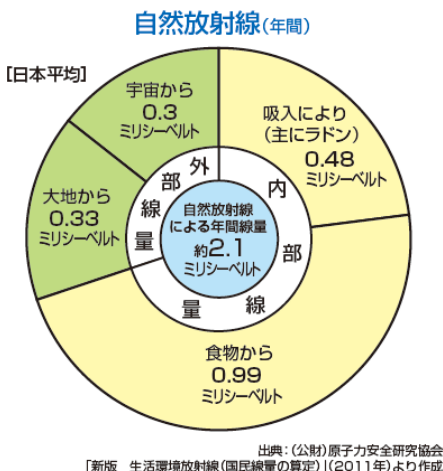


図1 平均的な日本人の被曝線量

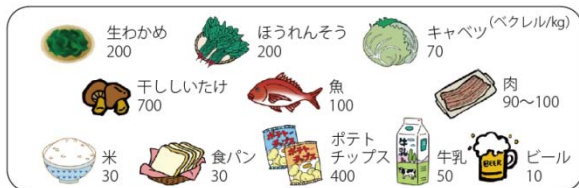


図2 典型的な食物に含まれるカリウム 40 の放射能の強さ（1 kg 当たり）

^a 放射線による身体影響の大きさを表す線量の国際単位としてシーベルト(Sv)が用いられる。
1 ミリシーベルト(1 mSv)は1 Sv の千分の一。1 マイクロシーベルト(1 μSv)は1 Sv の百万分の一。

放射能汚染を心配して、福島産の農産物や畜産物を避ける傾向が一部で見られますが、現在、市場に出回っている野菜、果物、肉、魚などの食品や水、牛乳などの飲料物は世界で一番厳しい放射性セシウム基準値^bに基づいた放射能検査が行われており、市場に出まわる福島県をはじめとした各県の生産品は放射能の汚染を心配する必要は全くありません。なぜなら、もともと私たちの体には、自然界に由来するカリウム 40 や炭素 14 などの自然放射能を常時 7,300 ベクレル^c (Bq) (体重 60kg の人の場合) 程度持っています。カリウム 40 や炭素 14 のような自然放射能は人工の放射性セシウムと同様に体内で放射線を出す性質は同じです。

このベクレル (Bq) と身体影響の大きさを表す線量 (シーベルト、Sv) との換算^dは大ざっぱに言うと、乳幼児におけるヨウ素 131 の場合、100 ベクレル (Bq) の放射能を身体に取り込んだ場合の線量は 約 0.02 mSv となります。セシウムの場合はその十分の一で約 0.002 mSv です。福島事故後に東京の金町浄水場で 210 ベクレルのヨウ素 131 が検出されましたが、仮にその水道水を使ったミルクを乳児が 1 日¹飲んだとしても、自然界に由来するカリウム 40 や炭素 14 などの自然放射能や自然放射線による線量と比べると、将来の健康に影響があるとは考えられません。

放射線医学総合研究所は、私たちのまわりから受ける放射線の線量の一覧を図 3 のように示しています。この図の左側は医療放射線から受ける線量を示しています。日本人の平均では、自然界に由来するものに追加される形で医療放射線を 3.88 mSv 受けていると言われています¹。医療診断などの放射線を全く受けていない人では 2.1 mSv、健康診断や人間ドックなどの検査で放射線を平均的に受けている人では 5.98 mSv が年間に受ける線量の大まかな範囲となります。

放射線は私たちの「五感」では捉えられないので、「おばけ」のように恐ろしいと感じられるかも知れません。でも私たちの身近に普通に存在するものだということを知っていただけたでしょうか？

なお、広島・長崎の原爆被爆者の方々の疫学調査を第 4 章で示しますが、被ばくによる「がん死」を評価する際の基準となった線量の値は 1 Sv (1,000 mSv) で、平均的な日本人の受ける年間線量の 160~470 倍以上と桁違いに大きな値であることを覚えておいてください。

^b 一般食品は放射性セシウムで 100Bq/kg。国際的な基準値 (FAO/WHO CODEX) は 1,000Bq/kg。

^c 1 秒間に放射性核種が壊変する数の国際単位。Bq で表示し、この値が大きいほど放射能が強い。

^d Bq と Sv の換算係数は多めに見積って、乳幼児に対するヨウ素 131 で約 1 千万分の 2、セシウム 134 で約 1 億分の 2 (Sv/Bq)。(ICRP Pub. 72)

放射線被ばく線の早見図

人工放射線

自然放射線

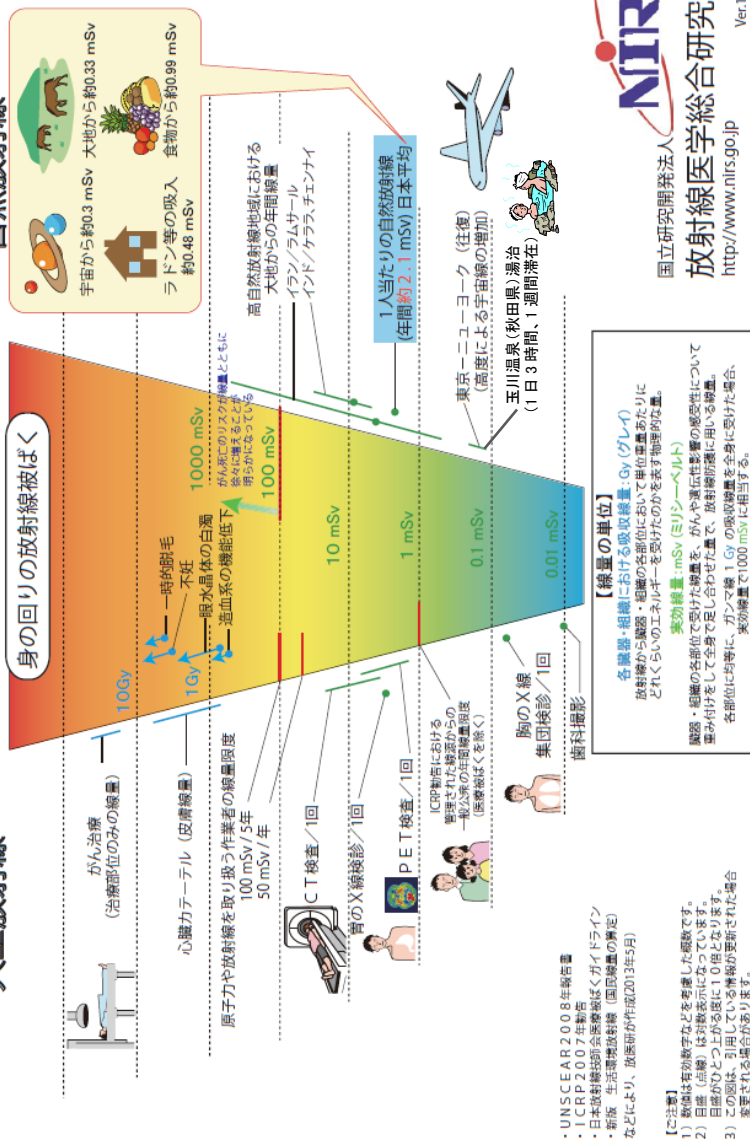


図3 放射線被ばく線量の早見図 (一部改変)

・ 玉川温泉(秋田県)の線量率は場所によって異なるので 5 Sv/時として計算。

2. 低線量とは？

さて、放射線の健康影響における「低線量」とはどのような意味の量でしょうか？ 放射線をこの量以上受けたら健康影響が現れると考えるものでしょうか？ それとも、この量より少なければ健康影響がないと考えられるものでしょうか？

「高線量」では、これ以上になると誰にでも健康影響が現れるという値（しきい値と言います）が存在し、科学的にその数値を決めることができます。また、このしきい値未満の線量であれば健康影響は現れません。これを「確定的影響」と呼びます。第4章で説明しますが、放射線に対する感受性が最も高い受精後の胎児（0～15週）の「確定的影響」は、100～150 mSv 以上で現れると言われています。

しかしながら、「低線量」については、しきい値が存在するかの有無を含めて科学的にその範囲を決めることができません。これ以下であれば健康影響はないと言い切ることもできません。人によって個人差があり、放射線以外の影響との区別が難しく、不確かさが大きいからです。そのため、「確率的影響」と呼ばれます。

また、皆さんが放射線の危険性をどのように考えているかによっても「低線量」の範囲は大きく違います。放射線は恐ろしい、非常に危険なものと考えている人は、少しでも許せないと感じるでしょう。あるいは、胎児でなければ 100 mSv でも大丈夫、心配ない考える人もいると思います。

残念ながら、「低線量」の範囲として決められたものは世界中見てもどこにもありません。また、「低線量」放射線の健康影響は不確かな「確率的影響」です。私たちを取り巻く環境や状況の変化をよく観察しながら、頭わになっていない未知の危険性の不確かさも考えて、どのような範囲が「低線量」と言えるのか、私たち自身で考えて、判断していくものなのです。

「低線量」の範囲は、これから私たち自身で考えていくものとして、ここでは、健康影響が明確に現れないと言われている 100 mSv 未満を、とりあえず「低線量」として考えていくことにしたいと思います。

3. 低線量の放射線健康影響

低線量では誰にでも健康影響が現れるわけではなく、しきい値についてもあるかないかははっきりしない不確かな確率的影響であると言われています。

低線量の健康への影響は、比較的長期間経過した後の「発がん」が考えられます。脱毛や出血などの明らかな影響は高線量(およそ 1,000 mSv 以上)でしか現れません。

低線量での「発がん」と線量との関係は、疫学調査などの科学的手法では統計的誤差が大きく、明確な関係を求めることができません。そのため、何らかの考え方(LNTモデル)を用いて推定することになります¹⁾。(LNTモデルについてはコラムを参照)

ところで、新聞などで低線量の放射線健康影響をセンセーショナルに報道している記事を時折見かけます。例えば次のようなものです。

【日本人のガンの3.2%は診断用X線が原因】：2004年2月10日付、朝日新聞・読売新聞
【CTで子どものがん危険増 国際チームが疫学調査】：2012年6月8日付、共同通信社・福井新聞

テレビや新聞などのマスメディアは、顧客である読者が記事に関心を持つように、このような見出し(ヘッドライン)を使う傾向にあります。私たちはこのような情報に接すると不安になり、恐ろしく感じます。

これらはランセットという医学誌に掲載された論文^{3,4)}の紹介ですが、前者³⁾はLNTモデルによって計算した推定値です。後者⁴⁾は疫学調査結果ですが、そもそも子どもがCT検査を何回も受けた理由は何だったのでしょうか。定期健診でCT検査を受けることはありません。重篤な病気の疑いがあるなどの理由でCT検査を何回も受けたのであれば、発がんが有意に見つかるのはごく自然なことです。

CT検査は表1のように、1回のごく短時間で約5~30 mSvの範囲の被ばくをします。CT検査による発がんの危険性については今後の研究結果を待たなければ明確な判断はできません。現時点で不確実なものは避けるという

原則に従えば、安易にCT検査を受けることを控えることは賢い選択でしょう。ただし、CT検査の被ばくによる発がんを恐れて、疑わしい病気を発見する機会を逃して早期に治療できるチャンスを失う危険性も考慮しなくてはなりません。

医療放射線(1回)

検査の種類	実効線量(mSv)
胸部撮影(正面)	0.06
腹部撮影(正面)	0.2
頭部撮影(正面)	0.13
頸椎撮影(正面)	0.3
上部消化管検査	3.0
CT撮影	5~30
核医学検査	0.15~15
PET検査	2~10
乳房撮影	2
歯科撮影	0.024

赤羽直一, INNERVISION, 2010;25:46-49

社団法人日本放射線技術学会医療被ばくガイドライン(低減目標値)
丸山隆司他, RADIOISOTOPES, 1996;45:761-773

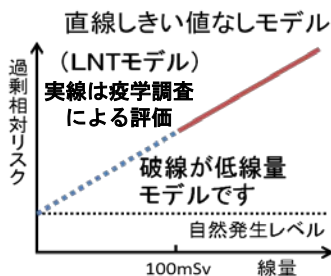
表1 医療放射線検査の被ばく線量

このような情報はできるだけ客観的に理解して冷静に判断することが大切です。でも、身に迫った危険を感じる時には冷静な判断は容易ではありません。平常時で平静な時こそ、このような情報をきちんと吟味しておく心がけが大切だと思います。

毎日微量の放射線を受ける場合は、一度に受ける場合と比べて線量の合計が同じでも、生体の自己修復機能、免疫機能などによって影響が小さくなります。世界には、ウランやトリウムが比較的多く存在するために自然放射線レベルが高い地域があります。イランのラムサール、インドのケララ、中国の陽江など場所によっては年間 10 mSv を超える地域でコホート研究⁵が行われていますが、がん罹患率が増えたという報告はありません^{5,6}。

コラム

国際放射線防護委員会(ICRP)は、人々を放射線から防護するための管理値を設定する方法として、低線量での発がんの危険性を著しく過小評価することはないとの理由で、疫学調査をもとに評価した、直線しきい値なし(LNT)モデルを勧告しています²。同じ線量でも一度に受ける場合よりも、少しずつ受ける場合の方が影響が少ないという効果も考慮しています。



3.1 低線量による精神的・心理的な影響

次に、低線量による精神的・心理的な影響について考えてみたいと思います。

私たちは普段、紫外線を多く浴びないように注意していますが、自然放射線の被ばくを常に気にしながら生活してはいないでしょう。でも、非常に低い線量の放射線を24時間365日いつも浴びている状況を想像してみてください。もちろん線量率の大きさによっても違いますが、いつも気にして過ごすのはあまり気持ちのいいものではありません。

⁵ 多くの(健康な)人を対象に要因の保有状況を調査した後、その集団(コホート)を長期にわたって追跡し、要因保有状況別の疾病罹患率を比較する研究方法。

りません。

原発事故後の福島市は、当初しばらく約 $1.75 \mu\text{Sv}/\text{時}$ 以上の空間線量率でした。現在では約 $0.2 \mu\text{Sv}/\text{時}$ (年間 1.75 mSv) 程度で北欧のフィンランドと同程度、ただし日本平均の 3~4 倍程度の線量率です。あなたはこの線量率が気になりますか？

平常時の自然放射線と同じように全然気にならないのであれば特に問題はないのですが、いつも気になる、あるいは恐ろしいと思うようであれば、精神的なストレスが増える可能性があります。過剰な精神的ストレスは体の免疫機能を低下させますし、いろいろな健康障害が現れることが分かっています。

同じような状況は、あなたが放射線の影響を全く受けていない環境でも起こる可能性があります。つまり放射線を多く浴びていると思い込む、あるいは牛乳、野菜や魚などの飲食物に放射能汚染があると思い込むと、将来の発がんなどの悪い進展を予想して、いわゆる「放射能パニック」に陥る人も出てきます。

実際に放射能パニックに陥って、後に回復した人が手記を公開⁷していますが、「原発の状態と放射能汚染の事ばかりを考え、情報収集に明け暮れ、ノイローゼでした。『このままでは放射能汚染で死んでしまう。その前に関東で地震が起きて死ぬ可能性もある』という思いに取りつかれ不安がぬぐえず、めまい、頭痛、だるさ、激しい動悸に悩まされ、体調も最悪の状態でした」と書かれています。また、放射能パニックに陥りやすい傾向の人として、「思い込みが激しく、偏ったネット情報のみを信じ、リアルなコミュニケーションをとることが上手ではない人」、「他のことに対する強い不安があり何かで解放されたいと思っている人」と書かれています。

また、福島県から母子避難されている方の手記も公開⁸されていますが、住み慣れた自然豊かなふるさとを離れて避難先の住環境や人間関係などに精神的ストレスを感じている方々もいます。

普通の人でも、学校教育で「原爆＝悪」、「原爆＝放射能」を学び、よって「放射能＝悪」という 3 段論法で放射能や放射線のイメージを無意識に固定化している人もいるのではないのでしょうか？「放射能＝悪」と認知すると、「穢れ (けがれ)、汚れ、忌避、嫌悪」の感情が生じるとの指摘があります^{9,10}。福島から避難してきた子どもに対して、「触るとうつる」といういじめが多数あったと報告されていますが、これは単に放射能の知識を持てば解決できる問題ではなく、おもいやりの気持と根拠のない「放射能＝悪＝汚れ」の刷り込みを取り除かなければ解決しない問題と思われます。

最初に述べましたが、放射線や放射能は、宇宙が誕生した時からずっと自然界に存

⁷ μ は百万分の一を意味し、 μ (マイクロ) で表示する。1,000 μSv は 1 mSv と同じ。

在しているものです。地球のマグマを溶かしている熱源も放射性物質が別の物質に変わる時に放出される放射線のエネルギーです。つまり、放射能や放射線は本質的には善でも悪でもありません。自然界に昔から存在するものです。

私たちはこれを上手に利用することで、エネルギーを取り出して発電したり、半導体を製造したり、豊かな生活に必要な身のまわりの便利な製品を作ったり、医療器具の滅菌や病気の早期発見や治療に役立てたり、その便益はたいへん大きいものがあります。その反面、放射線を比較的多く被ばくすると確率的影響として発がんのリスクが高まるのも事実です。

第 5 章でも説明しますが、リスクは「危険」と「便益」のトレードオフ（相反）の関係にあります。放射線や放射能は自然界に存在しており、私たちは医療被曝を加えると、年間約 6 mSv 未満の被ばくをしています。自然界からの放射線被ばくをゼロにすることは現実的に不可能です。厚いコンクリートや鉛で囲まれた家の中でフィルターを通した空気だけを吸い、放射性物質を含まない食品のみを食べて生活することはできません。そのため、私たちはどこかで折り合いをつけながら、不確実な中でも気にせずに生きていくことが大切です。

どの程度の低線量であれば気にせずにいられるかを見極めるためには、信頼できる確かな情報を知って、できるだけ客観的にリスクを合理的に判断する必要があります。

4. 放射線による身体影響

私たちの身体は約 60 兆個の細胞で構成されていると言われています。それぞれの細胞の中には DNA（デオキシリボ核酸）があります。ほとんどの細胞は常に細胞分裂を繰り返して新しく生まれ変わります。この時に DNA は遺伝情報を新しい細胞に伝える働きをします。

4.1 確定的影響と確率的影響

放射線が私たちの身体に影響を与えるのは、放射線が DNA を通り過ぎる時、または放射線が細胞内の水を電離して生成されたフリーラジカル（ $\text{OH}^\cdot$ 、 $\text{O}_2^\cdot$ ）が DNA を切ってしまうことが原因ですⁱ。切られた部位がわからなければ、細胞内に本来備わっている修復機能が働いて DNA は修復されます。しかし、ごく短時間に大量に切られてしまうと修復ができなくなり、その細胞は死んでしまいます。多くの細胞が短い時間に死んでしまうと、生命機能を維持するための細胞が生まれ変われなくなって、様々な影響が身体に生じることになります。これを「確定的影響」と呼び、数日から約 1 ヶ月で症状が現れます。

もう一つは「確率的影響」と呼ばれるもので、細胞死を免れ、誤って修復された DNA を持った細胞が「発がん」することによる、比較的長期間経ったあとに現れる晩発影響があります。この「確率的影響」は人によって個体差があり、「確定的影響」のように誰にでも影響が現れるとは限りません。具体的には、白血病（2～3 年後）、甲状腺がん（数年～10 年後）、固形がん（20～30 年後）などがあります。

4.2 DNA 損傷を与えるメカニズム

それでは、どのような放射性物質から出る放射線が DNA を切ってしまうのでしょうか？

福島事故によって環境中に放出された放射性物質で、事故後に考慮すべき放射性物質はヨウ素、セシウム、テルルなどで、これらはベータ線（エネルギーの高い電子）やガンマ線（エネルギーの高い光子）と呼ばれる放射線を放出します。このベータ線

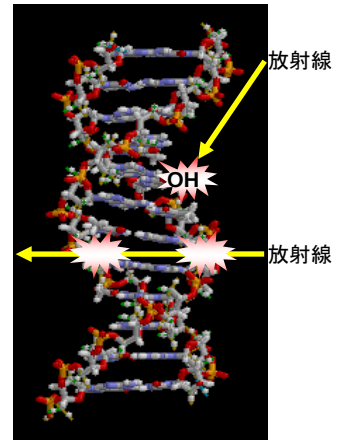


図 4 DNA の 2 重らせん構造

ⁱ UNSCEAR 2000, Effects of ionizing radiation, ANNEX F, DNA repair and mutagenesis. 2-9.

やガンマ線が身体の中の細胞を通り抜ける時に、DNA を直接切ったり、細胞内に生成したフリーラジカルが化学反応を起こして DNA を切ってしまいます。自然由来のカリウム 40 などの放射性物質から出る放射線も同じ働きをします。

生物は長い進化の過程で、フリーラジカルや地球に降りそそぐ宇宙線の放射線で損傷した DNA を修復する機能を獲得して生きのびてきました。

しかしながら、修復に失敗する場合があります。修復に失敗した DNA を持った細胞のほとんどは細胞死（アポトーシス）をします。アポトーシスせずに生き残った細胞は、生体の免疫機能によってほとんどが排除されます。それでもしぶとく生きのびた細胞が発がんの原因となります。

この免疫機能を司る免疫細胞やその前駆体である骨髄幹細胞、ナチュラルキラー細胞は、放射線に弱くて死にやすいことが知られています。また、これらの免疫細胞は回復するのに時間がかかることが分かっています。そのため、大量の放射線を一度に受けると回復に時間がかかることになります。原爆被爆者の多くの人が「がん死」ではなく、免疫機能低下による感染症で亡くなっています。

4.3 放射線のリスク

私たちは普通の日常生活をしているだけでも、様々な要因で DNA 損傷が少しずつ増えていくことが分かっています。紫外線、食物に含まれる化学物質（発がん物質）や、喫煙、飲酒、強いストレスも原因となることが分かっています。放射線もその原因の一つです。そのため、放射線をどれくらい受けたら、「発がん」がどの程度増えるかというリスクを知っておく必要があります。

しかし、「発がん」のリスク評価は難しく、私たちの全てが「がん検診」を受けているわけではないので、自覚症状のない人が精密検査を受けなければ「がん」は見過ごされてしまいます。そのため、「何パーセントの人が『がん』になるか」という正確な統計はありません。しかしながら、死因が「がん」である統計データはあります。厚生労働省が発表している人口動態統計（2011）によると、放射線とは関係なく「がん」で亡くなった人は死亡総数の 28.5%（人口 10 万人当たり）で、男性は 32.5%、女性は 24.2%となっていますⁱ。低線量の放射線の健康影響の大部分は「発がん」のリスクであると考えられるので、この値が基準（ベースライン）となります。あなたが人口 10 万人の町に住んでいるとすると、生涯で約 3 万人が「がん」で亡くなるということを意味します。

ⁱ 厚生労働省、人口動態統計、2011 年、第 6 表 性別にみた死因順位（第 10 位まで）別 死亡数・死亡率（人口 10 万対）<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/kakutei11/index.html>

最近の放射線生物学の進歩は著しく、理論研究、試験管内の実験や動物実験などによって放射線の DNA 影響はかなり詳しく研究されています。しかし、ヒトでは修復機能や免疫機能が複雑に影響し合うため、信頼できる確実なリスク評価を行うところまでには至っていません。実際に放射線を受けた人がどれくらい「がん」になったかという疫学調査を行わなければ信頼できる評価はできないのが実情です。

そのため、不幸にも放射線を被ばくした人たち、あるいは病気の検査や治療のために医療被ばくした人たちを対象にした調査^kが行なわれていて、多くの結果が得られています¹。次節以降にこれらの結果について説明することで放射線の「発がん」リスクについて考えることにします。

4.3.1 原爆被爆者の生涯追跡研究 (LSS)

最も大規模に行われた疫学研究は、広島・長崎での 8 万 6 千人の被爆者を含む 12 万人を対象にした LSS (Life Span Study, 寿命調査)^{2,3}と呼ばれる 50 年以上に及ぶ寿命追跡研究があります。

4.3.2 固形がんのリスク⁴

LSS の固形がん（胃がんや肺がんなど）の「がん死」の結果を見ると、1 Sv の被曝をした集団のリスクは被ばくしなかった集団と比べると 1.47 倍となります。固形がん死のリスクは線量に比例して直線的に増えていますが、500 mSv 以下ではバラツキがあります。これは個体差（生活環境や生活習慣を含む）の影響が現れていることと、少ない被ばく線量の範囲にある人数が十分に多くないために統計的な誤差が生じているためです。

また、被爆時年齢が低くなるに従い発がんリスクは上昇し、被爆時年齢が 10 才の小児は被爆時年齢 30 才の人と比べると約 3 倍になると推定されています。被爆時年齢が低いほど、その後の経過年数におけるがん発生率が増加します。ただし、この推定値は一度に全身に 1,000 mSv の線量を被ばくした時の条件であって、500 mSv 以下の場合には被爆時年齢の依存性は男女ともに見られていません。

^k 調査方法を大別すると、(1) エコロジカル研究：集団を単位として、各集団の要因保有率と疾病罹患率との相関を検討する研究手法、(2) ケース・コントロール研究：患者（ケース）と対照（コントロール）との間で、過去の要因保有率を比較する研究手法、(3) コホート研究：多くの（健康な）人を対象に要因の保有状況を調査した後、その集団（コホート）を長期にわたって追跡し、要因保有状況別の疾病罹患率を比較する研究手法、がある。

4.3.3 白血病のリスク⁵

原爆被爆者の白血病による死亡リスクは、2つの点でほとんどの固形がん死とは異なります。まず、放射線による白血病の発生率増加は、固形がんよりも大きい（しかし白血病は比較的まれな疾患なので、高線量被爆者の間でさえも絶対的な症例数は少ない）。次に、白血病は被爆後、早期に増加（特に子供で顕著）することです。白血病は被爆後約2年で発生し始め、被爆後約6～8年の間にピークに達しました。この傾向はチェルノブイリ事故の事故処理作業員でも同様であったことが報告されています⁶。

白血病の線量との関係は二次関数的で、低線量では単純な直線関係（LNT モデル）で予測されるよりもリスクは低くなっています。ただし、200～500 mSv の線量範囲では白血病リスクの上昇が認められています。

4.3.2 甲状腺がんのリスク^{7～14}

甲状腺がんのリスク研究は様々な結果があります。自然発生の甲状腺がんは全てのがんの2～8%であり、発生率は年齢と共に増加し、女性で3倍高いと推定されています。世界人口で調整された年間の発生率は10万人当たり男性1～2人、女性2～8人と推定されています。世界的に発生率は年々増えていますが、乳がんの10年生存率は90%以上となっています。

被ばくによる甲状腺がんのリスクは、被ばく線量に対して直線的に増加し、子どもは高感受性があり、被ばく時年齢が高くなるとリスクは減少します。女性におけるリスクは男性より約3倍高いと言われていますが、研究によって結果が異なり、放射線による甲状腺がんの性差についてはその理由がよく分かっていないのが現状です。

チェルノブイリ事故における小児の甲状腺被ばく線量は、ヨウ素131の割合（牛乳と野菜摂取から）が多く、およそ500万人が被ばくし、18歳未満で汚染地域に居住していた人に、事故4年後から小児甲状腺がんが増え始めました。甲状腺がんと診断された数は正確に分からないのですが、少なくとも1991年から2005年の間に6,848人が発症したと推定されており、そのうち15人が亡くなりました。（UNSCEAR 2008 報告による）

では、福島事故においては現在どのような状況になっているのでしょうか？ 福島事故では、チェルノブイリ事故時とは違い、早期に避難指示が出されました。また、飲食物の摂取制限も早期に実施されたので、汚染された飲料水や牛乳を子どもたちが飲み続けて大量に被ばくしてしまうことは避けられました。しかしながら、事故直後のヨウ素131の正確な汚染分布は未だ分かっておらず、福島県の住民のヨウ素131の被ばく線量は推定に頼らざるを得ないのが現状です。

福島県が行っている「県民健康管理調査」によると、ホールボディカウンタによる個人内部被ばく線量計測と大気拡散シミュレーションを組み合わせ、甲状腺の線量を推計した結果、福島県民全体の甲状腺線量は中央値として 10 mSv 未満で、比較的高い地域においても甲状腺線量の 90%は 30 mSv 以下と推計されています。

また、18 才未満の子どもの超音波による甲状腺一次検査では、295,689 人のうち、99.2%がA判定、47.8%に 20mm以下の大きさの「のう胞」が見つかりました。「のう胞」とは、液体が入った袋でこの程度の大きさでは経過観察で問題ありません。また、細胞診の結果、悪性あるいは悪性の疑いのある 104 人のうち 58 人が手術を受け、そのうち 1 人は良性結節、2 人は低分化がん、55 人が乳頭がんでした¹。

甲状腺がんには、いろいろな種類がありますが、この乳頭がんが 9 割を占めます。乳頭がんは進行が遅く比較のおとなしいので、命にかかわらないことが多く、経過観察することもあります。

放射線とは関係のない年間の推定発生率と比べると、高い発生率と考えられますが、もともとの推定発生率の不確かさが分からないので、今回の福島での甲状腺がんの発生原因が福島事故由来かどうかは、現時点でははっきりとは分かりません。

甲状腺の超音波検査を受けると 3～4 人に 1 人がしこりやのう胞など何らかの異常が指摘されると言われています。一般的に放射線による甲状腺がんは被ばく後数年～10 年後に現れると言われており、事故後 1～3 年で発見されたのは、福島事故後に大規模な子どもの甲状腺検査が行われたために、本来なら見つけれなかった甲状腺がんが早期に見つかった可能性も考えられます。いずれにせよ、今後も注意深く定期的な甲状腺検査を続けていく必要があります。

4.3.3 放射線によるその他の健康リスク^m

LSS 対象者の中から選ばれた約 20,000 人について、1958 年から放射線影響研究所で成人健康調査 (AHS) が行われています¹⁵。この健康診断に含まれる項目は、一般的検診、心電図、胸部 X 線、超音波検査、及び生化学検査などです。(1977 年には LSS 対象者約 2,400 人と胎内被爆者約 1,000 人が追加されました)

この成人健康調査から、子宮の良性腫瘍、甲状腺疾患 (例えば甲状腺結節)、慢性肝疾患、白内障、心筋梗塞、高血圧などについて、原爆放射線の影響が示されています。また、LSS 死亡率データから、呼吸器疾患、脳卒中及び心臓疾患についても、1 Sv の

¹ 福島県「県民健康調査」検討委員会第 4 回「甲状腺検査評価部会」(平成 26 年 11 月 11 日開催)。
<http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/90995.pdf>

^m 詳しくは放射線影響研究所の HP を参照。<http://www.rerf.or.jp/radefx/index.html>

線量を受けた時の固形がんによる死亡リスクよりは小さいのですが、線量と関連した死亡リスクは大きくなっています。

AHS データ及び LSS 死亡率調査により、被爆者（特に若年被爆者）における心臓血管疾患の発生率が増加していることはほぼ明瞭です。チェルノブイリ事故においても、ウクライナが行った調査結果から線量と関連した有病率の増加が報告されています⁶。

これらの疾患リスクについては研究例が少なく、その原因は未だよく解明されておらず、現時点では確実な影響とは判断できないとしています⁹。そのため、今後の研究成果の蓄積が必要で、可能性のある生物学的メカニズムに関して多くの研究が行われています。

4.3.4 被爆二世の健康影響

放射線を被曝した人から生まれる子どもの健康影響は、福島事故後の将来の影響を考えるうえで重要な問題です。

放射線の遺伝的影響については、1920 年代以降、多様な実験研究によって、放射線は遺伝性疾患をもたらす生殖細胞突然変異及び染色体異常を誘発することが示されています。

ヒトを対象にした遺伝的影響については、原爆傷害調査委員会（ABCC）（放射線影響研究所）で幾つかの調査が行われています。初期には、先天性奇形、死産、出生直後の死亡について、その後、染色体異常の調査、一次元電気泳動法による蛋白質変化及び酵素活性の変化に関する調査が実施されました。さらに、被爆者の子どもの大規模集団における死亡率及びがん罹患率に関する長期追跡調査も実施されています。これらの調査結果からは、現在までのところ、放射線被ばくと関連した遺伝的影響が存在するという証拠は得られていません。

放射線影響研究所がまとめた報告書¹⁰では、親の被ばくと二世への健康影響の関連は見出されなかったとの結論です。今後、対象者の高齢化に伴って、引き続き調査を行っていくことが必要ですが、親の被ばくと二世への健康影響の関連は今までのところ見出せなかったことはエビデンス（事実）として大切な証拠です。

⁹ UNSCEAR 2008, Volume II, Scientific Annex D.¹⁶

¹⁰ 被爆二世健康影響調査報告、被爆二世健康影響調査 科学・倫理合同委員会、平成 19 年 3 月。
<http://www.rerf.or.jp/radefx/genetics/FOCSreportJ.pdf>

4.3.5 胎内被爆者のがん発生率

胎内被爆者と小児期被爆者について、12 歳から 55 歳までの期間に生じたがん発生率データの比較が行われています^p。胎内被爆者では、1 グレイ^q (Gy) 当たりの過剰相対リスクは 1.0 で有意な結果が認められました。しかし、被爆時年齢 5 歳までの幼児期被爆者の過剰相対リスク 1.7 と比べると大きいリスクではありません。また、幼児期被爆者では年齢の増加と共にリスクが急増するのに対して、胎内被爆者ではこうした過剰例の増加ははっきりと現れていません。少なくとも、胎内被爆による成人期のがんリスクは、幼児期被爆によるリスクと比べて高くはないことが結論として言えます。

4.3.6 胎内被爆者の身体的・精神的発育^{19~21}

被爆に関連した小頭症や知的障害の発生増加は、1950 年代後半に既に明らかにされてきました。線量が 5 mGy 未満と推定された胎内被爆者においては、1,068 人中 9 人 (0.8%) に重度の知的障害が見られたのに対し、線量が 5 mGy 以上と推定された胎内被爆者においては、476 人中 21 人 (4.4%) が重度の知的障害と診断されました。この重度の知的障害が発生する確率は、被爆線量および被爆時の胎齢（特に発達の著しい段階）と強い相関があります。250 mGy 以上の線量では、知的障害の過剰発生は、受胎後 8–15 週で被爆した人に特に顕著であり、受胎後 16–25 週で被爆した人ではそれよりも少なく、受胎後 0–7 週、または 26–40 週で被爆した人では全く見られませんでした。250 mGy 未満では、その違いは小さく、統計的な誤差を考えると有意な差は現れていません。

また、重度の知的障害に至らない場合でも、受胎後 8–25 週で被爆した人に、100 mGy 以上の被曝線量において、線量の増加に伴う学業成績と IQ 指数の低下が見られ、発作性疾患の発生増加も示されています。6 人の重度の知的障害者については脳の MRI 画像診断が行われており、受胎後 3 カ月目から 4 カ月目に被ばくすると、脳の構造に明らかな異常が引き起こされることが示唆されています。小児期被爆者と同様、毎年行われた胎内被爆者の身体測定でも、高線量被爆群において成人時 (18 歳) の身長、体重の全体的な減少が観察されています。この場合、性や被爆時の胎児の週齢は関係がありませんでした。

^p 詳しくは参考文献 17, 18。

^q 放射線が組織に与えるエネルギーの単位で 1 Gy=1 J/kg。近似的に 1 Gy=1 Sv とみなします。

4.3.7 放射線による不妊のリスク

かつては不妊することを目的として生殖腺への放射線照射が行われたことがあります。そのため、どの程度の放射線被ばくで不妊になるかということは経験的に明らかになっています。放射線による不妊は確定的影響で、ある程度の線量（しきい線量）を受けなければ生じません。また、しきい線量は性別・年齢によっても異なり、しきい線量を超える被ばくでも一時的に不妊になるだけで、しばらく後には回復します。

一時的な不妊では、男性は 150 mSv、女性は 650 mSv を一度に受けた場合、慢性的な被ばくでは、1 年間で、男性が 2,000 mSv、女性が 200 mSv 受けた場合で永久不妊になると言われています^r。

4.4 放射線による身体影響のまとめ

これまでに広島・長崎の原爆、チェルノブイリ事故や医療被ばくなどにおける放射線による健康影響について、科学的に明らかになっていることを書きました。これらの結果をまとめると、放射線による健康影響が現れると考えられるのは、少なくとも 100 mSv 以上であることが分かります。

ここで特に注意したいことは、広島・長崎の原爆による過剰相対リスクは 1 Gy 当たりの評価値が多く、しかも放射線をごく短時間に一度に全身に受けたことによるものです。それより低い線量に対しては、調査対象の人数が十分ではないため統計的な不確実性が大きく、また、放射線を一度に大量に受けた場合と、少しずつ時間をかけて受けた場合の違いも明らかではありません。

まだ科学的に明らかになっていないことや、循環器障害などの関連はよく分かっていないことを知ることはリスクを判断するうえで大切です。

^r ICRP Publication 60 (1990).

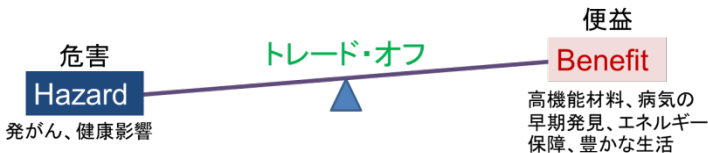
5. リスクの考え方

低線量の放射線健康影響を考えるときには、不確かさを伴う対象をどのように考えて判断するかという「リスク」の考え方を知ることが大切です。

リスクの語源（コラムを参照）では、リスクには将来の「危害」だけではなく「便益」の意味も含まれています。つまり、リスクには「危険かも知れないが便益が得られること」、または、「便益を得るには危険が伴うこと」の意味も含まれます。将来のことですから現時点では不確実です。リスクマネジメントの国際標準では「目的に対して不確かさが与える影響」と定義されています*。

一方、技術者が考えるリスクの定義は「確率×結果の程度（大きさ）」で、定義そのものが違うように、リスクに対する考え方は分野によって異なることに注意する必要があります。

リスクは「危害（危険有害性）」と「便益」が常に相反（トレードオフ）するものとして関係づけられています。



リスクは「目的に対して不確かさが与える影響」ですから、このリスクの取捨選択を間違えないためには、直感的な感覚のみに頼るのではなく、科学的なリスクの大きさを知って、合理的に判断することが、危害を避けて便益を得るためには大切です。

では、リスクの大きさをどのように見積もるのでしょうか？ これを知るためには、リスクの分析と評価方法についてある程度知っておく必要があります。

コラム

リスクの語源

「リスク」という言葉は、英語“risk”の外来語ですが、イタリア語“risicare”、フランス語“risque”が語源である説[†]があり、古代ギリシャ語から派生し変化したラテン語“risicum”に由来すると言われています。元々は「チャンス」「危険」「冒険しなければ何も得られない」のように両義性があります。日本では、リスクは将来の「危険」を意味するものとして一般的に使われています。

* 国際標準化機構(ISO) ISO 31000:2009 の定義。

† ウェブスター辞典による。

リスクにつながる様々な要因を科学的に分析して「数値化」することは、リスクの大きさを合理的に考えるための良い判断材料となります。次節ではこのリスク分析と評価方法について簡単に述べることにします。

コラム リスク社会

私たちが様々なリスクに囲まれた「リスク社会」にいと警鐘を鳴らしたのはドイツの社会学者ウルリヒ・ベックでした。ベックが「リスク社会」を著したのはチェルノブイリ事故が起こった1986年で、放射能がヨーロッパにも飛来したことで、日常は考えることのなかった「環境と生命にかかわる」リスクの存在を示しました。ベックはもう一つのリスクとして「社会と人間にかかわる」リスクを示して、近代社会の特徴を明らかにしました。ベックはリスクを「危険」と全く同じものとは考えていなかったのですが、日本語版では題名の「リスク社会」を「危険社会」と訳したために、「リスク＝危険」という偏ったイメージが日本で定着したのかもしれません^u。

近代社会は科学技術に基づく工業社会で人類に多くの便益をもたらしましたが、その副作用としてのリスクの存在が認識されるようになりました。同様に、社会の中の生活における様々な選択の自由が拡大するに伴って、私たちは日常生活においてもリスクの取捨選択を半ば無意識で行っています。

^u ベックの原著の題名は“*Risikogesellschaft. Auf dem Weg in eine andere Moderne*”。英訳は“*Risk Society: Towards a New Modernity*”。“リスク社会：新しい近代に向けて”の意味。

5.1 リスクの分析と評価

リスクを客観的に「数値化」するためには、起こるかどうか事前には分からない一つの要因の起こりやすさを「確率」で表して、関係する様々な要因の確率を組み合わせ、結果として注目する事象がどの程度起こるかを推定する、確率論的リスク解析手法^vと呼ばれる方法を用いるのが一般的です。（確率についてはコラム参照）

低線量の放射線の健康影響に関しては、考えられる要因とその他の要因による影響の不確かさが大きく、科学的な確率論的リスク解析手法を用いることは困難です。そのため、次のような仮定に基づいたモデルによって健康影響を評価する手法が用いられています。

実際には、第4章で述べた原爆被爆者の生涯追跡研究（LSS）の調査結果などで、ごく短時間に1,000 mSvの全身被ばくをした時のがん死の増加分が10%であったことから、図5に示すように、放射線を長期間にわたり少しずつ受けた場合にはこの半分の5%の影響があると仮定して、それを直線で0まで伸ばしたLNTモデル^wを採用し、1,000 mSvの十分の一である100 mSvにおけるがん死リスクの増加を0.5%と見積もっています。

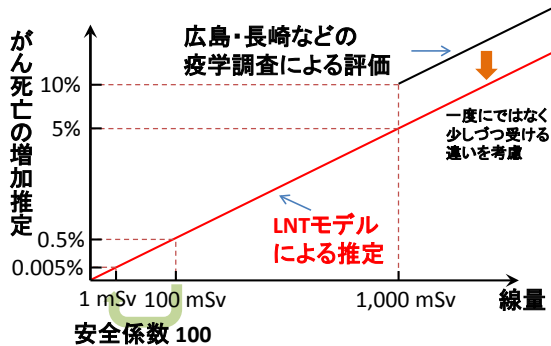


図5 低線量の放射線によるがん死亡の評価モデル

国際放射線防護委員会（ICRP）は、人工的な放射線から人々を防護することを目的として、安全係数として100を設定し、この100分の1の1 mSvを1年間の規制値とするよう勧告しています。

このように、リスク評価では、常に「安全係数」を考慮することによって、健康影響が出ると推定される量よりもはるかに少ない量を制限値として、安全裕度を持った

^v 確率論的リスク解析の詳細はT. Bedford, R. Cooke (著), 今野秀敏 (訳), 確率論的リスク解析, Springer Japan (2006) ISBN4-431-71074-4などを参照。

^w LNTモデルについては第3章のコラムを参照。

評価が行われていることを知っておくことが大切です。

日本の放射線に対する安全規制値は、放射線審議会^{*}の専門家が、ICRPが決定した勧告に整合するように審議して決めています。

話題が少しそれますが、上記の「安全係数」の決め方は非常に重要なので少し説明します。安全係数の値は、実は 10 でも 100 でもよいわけで、任意性があります。不確実性を考慮するための基本として、事前警戒原則（コラム参照）があり、ALARA (as low as reasonably achievable) という「合理的に達成できる限り低く」設定するという考えが用いられます。この「合理的に達成できる」とはどういう意味でしょうか？ もし可能な限り低くするのが良ければ、限りなくゼロに近づければ良いということになります。でも実際にゼロにするのが不可能であれば、どこまで少なく設定すれば安全なのか？ (how safe is safe enough?) という問題が生じます。この場合は「危害」と「便益」のトレードオフを考えて、科学的、経済的、社会的に正当性があり、合理的に実現可能な設定値を決めることになります。ここで大切なのは、安全係数を決める時には、専門家や有識者だけで決めるのではなく、それによる影響を受けると考えられる住民や国民の意見をよく聞いて合意を得る努力と説明責任を果たさなければなりません。

コラム

事前警戒原則

不確実性による影響に対処するための基本的原則は「事前警戒原則 (precautionary principle)」と呼ばれます。これは、「不確かさをどのように考慮するか？」に対する原則で、不確かさの影響をどこまで事前に警戒するかを考えることです。事前警戒原則には強弱があり、強い事前警戒原則は、万一危害が生じるおそれがあるならば、それをしてはならないということになり、弱い事前警戒原則は、完全な科学的確実性が欠けているとしても、予防的な措置をとることを遅らせてはならないということになります。

^{*} 放射線審議会は原子放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）や米国科学アカデミーの電離放射線の生物影響に関する委員会（BEIR）の専門家によるリスク評価や安全性などに関する科学的な情報も参考になっている。

福島事故後の学校の校庭の放射線の線量制限値を、原子力安全委員会の専門家の助言をもとに文部科学省が各学校に通達した際に、この合意を得るためのプロセスを十分に行わなかったために大きな批判を浴びました。この教訓から、私たちは安全係数や規制値がどのように決められているかについての情報を知って適切かどうかを考えることが大切です。

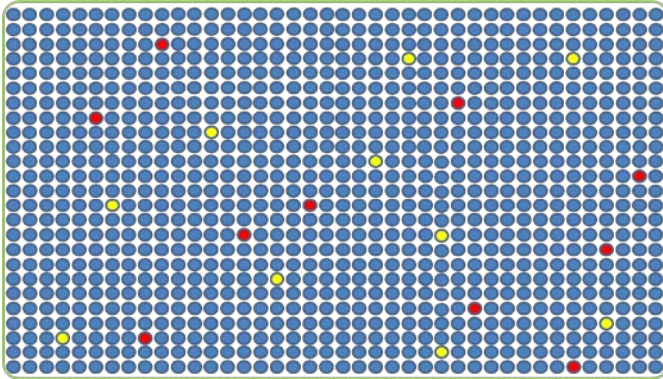
放射線のみならず、様々なリスク評価が多くの特門機関で行われています。例えば、日常生活に起因する「発がん」のリスク評価については国立がん研究センターが評価して公表しています。

私たちは放射線だけでなく日常生活においても様々なリスクに囲まれていることが分かりました。それでは、これらの異なったリスク評価の結果をどのように比較すればよいのでしょうか？ リスクの相互比較については次節で説明します。

コラム

確率の考え方

事象の起こりやすさを表す「確率」について少しお話します。注目する事象として、ここでは下の図のように 1,000 本の「おみくじ」の中から 1 本を引くことを考えます。この中に「大吉」は 10 本（図中の赤丸）、「凶」は 10 本（図中の黄丸）、残り 980 本は「吉」が含まれているとします。



(1,000 本のおみくじ 赤●は「大吉」、黄●は「凶」、その他の●は「吉」を表わす)

あなたが「おみくじ」を 1 本引いて、それが「大吉」か「凶」である「起こりやすさ」は $10 \div 1000 = 0.01$ (1%) となります。同様に「吉」であるのは $980 \div 1000 = 0.98$ (98%) となります。これより、「大吉」や「凶」が出る確率より「吉」が出る確率のはるかに大きい (1% 対 98%) と言えます。でも、くじを引くまでは何がでるかは事前には分かりません。何が出るか事前に分からない「不確実なこと」を「数値化」して表すための便利な考え方が「確率」です。

ここで気をつけなくてはいけないことは、おみくじの総数は常に 1,000 本であることです。誰かがあなたの前におみくじを引いたとしても、その引いたくじは元に戻されると考えてください。そのため、前の人が「凶」を引いたとしても、あなたが「凶」を引く確率は変わりません。また、確率が 1% だからと言って、100 回引けば「大吉」や「凶」が必ず 1 回出るというわけでもありません。100 回引いてもすべて「吉」の可能性があります。

5.2 リスクの相互比較

異なる対象におけるリスクの数値の相互比較では、「対象とする集団」の違いに十分注意する必要があります。例えば、飛行機事故や自動車事故による死亡リスクを比較対象とする時には、日常の交通手段として日本よりはるかに多用されている米国の集団における過剰リスクの評価値と日本のそれとは「対象とする集団」が異なるため、単純に比較することはできません。異なる対象の過剰リスクの数値の相互比較は、「対象とする集団」が十分多数で、かつ属している環境や追跡期間がほぼ同じでないと正確にはできないことを覚えておいてください。

また、人々はリスクの数値の大小比較だけで危険性の大小を判断しているわけではありません。低線量の放射線リスクは、日常生活に起因する「発がん」のリスク、例えば喫煙、飲酒や運動不足のリスクと比較して小さいと言われますが、喫煙も飲酒もせず運動不足でもない多くの人にとってはこのリスク比較は何の意味も持ちません。

つまり、様々な状況における「発がん」リスクの単純な数値の比較は正しく行えるとは限らず、あくまでも健康への影響の大きさを大まかに見積もるための「目安」として考えるべきものです。

コラム

過剰相対リスク(ERR)^γと過剰絶対リスク(EAR)^z

何らかの原因で、集団全体の「がん死」リスクが増えたとします。この増えたリスク（過剰リスク）を表すために、過剰相対リスク(ERR)と過剰絶対リスク(EAR)という2つの異なった定義が用いられます。もともとあった「がん死」リスクを28.5%、現在の「がん死」リスクを30%と仮定すると、過剰相対リスクというのは、 $30 \div 28.5 = 1.05$ から1.0を引いた0.05と算出され、5%のリスク増加を表します。過剰相対リスクは、リスクが割合としてどれだけ増えたかを表します。一方、過剰絶対リスクは、その差 $30 - 28.5 = 1.5\%$ となります。過剰絶対リスクは、リスクがどれだけ増えたかを表します。

リスクの比較では、この過剰リスクの大きさがどちらの定義で与えられているか注意が必要です。第3章で説明した広島・長崎被爆者の疫学調査(LSS)^{aa}の文献では過剰相対リスクが使われており、ICRP^{bb}の勧告は過剰絶対リスクで示されています。

^γ 過剰相対リスク (ERR: Excess Relative Risk)

^z 過剰絶対リスク (EAR: Excess Absolute Risk)

^{aa} LSS (Life Span Study) (生涯追跡調査)。

^{bb} 国際放射線防護委員会 (International Commission on Radiological Protection)

5.3 リスクの感じ方と判断について

リスクの感じ方は、リスクの性質や特徴によって異なります。例えば、容易に目に見えるもの、音として聞こえるものは、そうでないものよりリスクは小さく感じられます。人間の「五感」（視覚、聴覚、嗅覚、触覚、味覚）に感じない放射線のリスクはより大きく感じます。

放射線は私たちの「五感」では捉えられないので、「おばけ」のように恐ろしいと感じられるかも知れません。「おばけ」は正体が不明なので全く対処できませんが、「放射線」の正体ははっきり分かっています。正体がはっきり分かっているものは、防止することも制御することも可能です。

正体が分かっているものに対するリスクは、科学的なリスク評価に基づいて、客観的にその影響の有無を判断することが大切です。

しかし、リスクの感じ方は、リスクに対する知識の有無、制御可能性、緊急性、能動的／受動的の違いや起こる頻度によっても大きく左右されます。また、その人の持つ性格によっても左右されます。（人を信頼しやすい性格、楽観的な性格、懐疑的な性格、悲観的な性格など）

このように、科学的に評価された客観的リスクであっても、人によってリスクの感じ方は様々であり、主観的に捉えてしまう傾向があるところがリスク判断の難しさです。普段の生活環境では、客観的にじっくりとリスクを考えて取捨選択するよりは、半ば直感的に判断して選択していることが多いはずです。さらに、置かれた環境や状況によっては、自分がある特定の方向に影響（バイアス）されて、誤った判断をしていることに気づかないこともしばしば起こります。

リスクをチャンスとして捉えられる人は、そのリスクを比較的受け入れやすいのですが、生理的に嫌いと思っている人は、受け入れることは困難です。極端な人は、嫌いなものを断固拒否したい欲求から、実際には達成できない「ゼロリスク」を望むことになります。

人類が作り上げた「人工物」では「絶対安全」が達成できないのと同じように、「ゼロリスク」も達成できません。そのために、人工物が私たちや環境に危害（ハザード）を与えないように、私たちは絶え間なく安全を確保する努力を続けていく必要があります。

いくら望んでも叶えられない「ゼロリスク」を追及しつづけることは、逆に精神的なストレスを増加させ、あなたが気づいていない別のリスクをいつのまにか背負い込んで、その悪影響を受ける可能性にもつながります。

いろいろな考え方がありますが、やっかいな別のリスクを背負い込むくらいなら、受け入れにくいリスクを部分的に受け止めて、あまり気にしないかわりに、そのリスクの悪影響をうまく回避する方法を採ることが賢い選択ではないでしょうか？

リスクは常に「危険」と「便益」のトレードオフ（相反）関係にあることをもう一度思い出してください。

おわりに

私たちは生まれた時から「リスク社会」の中で生きています。リスク社会は「危険」と「便益」のトレードオフの選択を余儀なくされる社会です。窮屈に感じられるかも知れませんが、逆に選択の自由があるためにリスクもあると言えます。職業の自由、結婚の自由など、私たちは人生の中でいくつもの選択をしています。あなたがリスク社会には住みたくなければ、選択の自由のない中世社会に戻るしかありません。近代社会という選択の自由がある社会であるからこそ、チャンスが生まれ未来にチャレンジできるのです。

私たちはこのようなリスク社会に生きていながら、きちんとしたリスク教育を学校で学んできませんでした。このガイドブックは、皆さんが低線量の放射線健康リスクをご自身の的確に判断していくための参考として役立てていただければ幸いです。

追補：全体を通した参考図書

このガイドブック以外にも優れた解説書や Q&A 集が幾つかあります。教科書的な構成が多いのですが、このガイドブックでは詳しく説明しなかった、あるいは説明を省略したためによく分からない部分もあると思います。ここに挙げる参考図書も合わせてご覧になることで、より確かな情報と理解を得ることができると思います。参考にして頂けると幸いです。

- (1) わかりやすい放射線と健康の科学, 放射線影響研究所 (2008).
http://www.rerf.or.jp/shared/basicg/basicg_j.pdf
- (2) 食品と放射能 Q&A (第 8 版), 消費者庁 (2013 年 9 月).
http://www.caa.go.jp/jisin/pdf/130902_food_qa.pdf
- (3) たべものとおくらの放射能 Q&A 集, 福島県 (2012).
http://wwwcms.pref.fukushima.jp/download/1/syouhi_QA.pdf
- (4) 福島原子力発電所の事故に伴う放射線の人体影響に関する質問と解説 (Q&A), 日本放射線影響学会, <http://jrrs.kenkyuukai.jp/special/?id=5548>
- (5) 田崎晴明, やっかいな放射線と向き合って暮らしていくための基礎知識, 朝日出版社 (2012). ISBN 978-4-255-00676-5.
著者がインターネットに公開しているものは無料で入手可能です。
<http://www.gakushuin.ac.jp/~881791/radbookbasic/rbb20130117.pdf>

参考文献

第 1 章

- [1] 新版 生活環境放射線（国民線量の算出）、原子力安全研究協会（平成 23 年 12 月）.
- [2] B.M.R. Green, J.S. Hughes, P.R. Lomas, A. Janssens, Natural Radiation Atlas of Europe, Radiation Protection Dosimetry, 1992; 45, 491-493.
- [3] 放射線医学総合研究所
<http://www.nirs.go.jp/data/pdf/hayamizu/j/20150401.pdf>

第 3 章

- [1] 松本義久, 放射線の人体影響の生物学的基礎, 日本職業・災害医学会会誌, 61[3], 180-185 (2013).
- [2] The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103 (2007).
- [3] Amy Berrington de González, Sarah Darby, Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries, Lancet, 2004; 363: 345-351.
- [4] Mark S Pearce, Jane A Salotti, Mark P Little, Kieran McHugh, Choonsik Lee, Kwang Pyo Kim, Nicola L Howe, Cecile M Ronckers, Preetha Rajaraman, Sir Alan W Craft, Louise Parker, Amy Berrington de González, Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study, Lancet, 2012; 380: 499-505.
- [5] Nair, K.M., Gangadharan, P., et al.: High natural radiation and cancer in Karunagappally, Kerala, India, Biological Effects of Low Dose Radiation, 177-183, Proceedings of the International Meeting on Biological Effects of Low Dose Radiation held in Cork, Ireland, on 25-26 July 1999, Elsevier Science B.V., Amsterdam (2000).
- [6] M. Ghiassi-nejad, S. M. J. Mortazavi, J. R. Cameron, A. Niroomand-rad, P. A. Karam, Very High Background Radiation Areas of RAMSAR, IRAN: Preliminary Biological Studies, Health Physics, 2002; 82(1): 87-93.
- [7] 放射能パニックからの生還＝ある主婦の体験から, GEPR BLOGOS アゴラ, 2012 年 5 月 10 日. <http://blogos.com/article/38692/>
- [8] 石川 公彌子, 穢れ思想とつくられた母親像から見えた放射能問題-「現代化」問われる日本社会, GEPR, <http://www.gepr.org/ja/contents/20120326-01/>
- [9] 加藤晃生, なぜ科学は放射能パニックを説得できないのか — 被害者・加害者にな

った同胞を救うために社会学的調査が必要, GEPR,

<http://www.gepr.org/ja/contents/20120409-03/>

[10] 福島乳幼児妊産婦ニーズ対応プロジェクト (FnnnP) ,

<http://tegamifukushima.blog.fc2.com/>

(公式ブログ : <http://fukushimanneeds.blog50.fc2.com/>)

第 4 章

- [1] UNSCEAR 2006, Effects of ionizing radiation, ANNEX A, Epidemiological studies of radiation and cancer. 45-53.
- [2] Preston DL, Shimizu Y, et al., Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13. Solid cancer and noncancer disease mortality: 1950-1997. Radiation Research 2003; 160:381-407.
- [3] Ozasa K, Shimizu Y, Suyama A, Kasagi F, Soda M, Grant EJ, Sakata R, Sugiyama H, Kodama K, Studies of the Mortality of Atomic Bomb Survivors, Report 14, 1950–2003: An Overview of Cancer and Noncancer Diseases. Radiation Research 2012; 177:229-243.
- [4] Preston DL, Ron E, Tokuoka S, Funamoto S, Nishi N, Soda M, Mabuchi K, Kodama K, Solid Cancer Incidence in Atomic Bomb Survivors: 1958–1998. Radiation Research 2007; 168(1):1-64.
- [5] Richardson D, Sugiyama H, Nishi N, Sakata R, Shimizu Y, Grant EJ, Soda M, Hsu WL, Suyama A, Kodama K, Kasagi F, Ionizing radiation and leukemia mortality among Japanese Atomic Bomb Survivors, 1950-2000., Radiation Research 2009; 172 (3): 368-382.
- [6] National Report of Ukraine, Twenty-five Years after Chernobyl Accident: Safety for the Future (2011) ISBN 978-966-1547-64-2.
- [7] Ron E., Thyroid cancer incidence among people living in areas contaminated by radiation from the Chernobyl accident. Health Phys. 2007, 93(5):502-511.
- [8] Ron E, Lubin JH, Shore RE, Mabuchi K, Modan B, Pottern LM, Schneider AB, Tucker MA, Boice JD Jr., Thyroid cancer after exposure to external radiation: a pooled analysis of seven studies. Radiation Research 1995, 141(3):259-277.
- [9] Cardis E, Kesminiene A, Ivanov V, Malakhova I, Shibata Y, Khrouch V, Drozdovitch V, Maceika E, Zvonova I, Vlassov O, Bouville A, Goulko G, Hoshi M, Abrosimov A, Anoshko J, Astakhova L, Chekin S, Demidchik E, Galanti R, Ito

- M, Korobova E, Lushnikov E, Maksioutov M, Masyakin V, Nerovnia A, Parshin V, Parshkov E, Piliptsevich N, Pinchera A, Polyakov S, Shabeka N, Suonio E, Tenet V, Tsyb A, Yamashita S, Williams D., Risk of thyroid cancer after exposure to ¹³¹I in childhood. *J Natl Cancer Inst.* 2005, 97(10):724-732.
- [10] Tronko MD, Howe GR, Bogdanova TI, Bouville AC, Epstein OV, Brill AB, Likhtarev IA, Fink DJ, Markov VV, Greenebaum E, Oliynyk VA, Masnyk IJ, Shpak VM, McConnell RJ, Tereshchenko VP, Robbins J, Zvinchuk OV, Zablotska LB, Hatch M, Luckyanov NK, Ron E, Thomas TL, Voillequé PG, Beebe GW., A cohort study of thyroid cancer and other thyroid diseases after the chornobyl accident: thyroid cancer in Ukraine detected during first screening. *J Natl Cancer Inst.* 2006, 98(13):897-903.
- [11] Likhtarov I, Kovgan L, Vavilov S, Chepurny M, Ron E, Lubin J, Bouville A, Tronko N, Bogdanova T, Gulak L, Zablotska L, Howe G., Post-Chernobyl thyroid cancers in Ukraine. Report 2: risk analysis. *Radiation Research* 2006, 166(2):375-386.
- [12] Jacob P, Kenigsberg Y, Zvonova I, Goulko G, Buglova E, Heidenreich WF, Golovneva A, Bratilova AA, Drozdovitch V, Kruk J, Pochtennaja GT, Balonov M, Demidchik EP, Paretzke HG., Childhood exposure due to the Chernobyl accident and thyroid cancer risk in contaminated areas of Belarus and Russia. *Br J Cancer.* 1999, 80(9):1461-1469.
- [13] Jacob P, Bogdanova TI, Buglova E, Chepurniy M, Demidchik Y, Gavrilin Y, Kenigsberg J, Meckbach R, Schotola C, Shinkarev S, Tronko MD, Ulanovsky A, Vavilov S, Walsh L., Thyroid cancer risk in areas of Ukraine and Belarus affected by the Chernobyl accident. *Radiation Research* 2006, 165(1):1-8.
- [14] Brenner AV, Tronko MD, Hatch M, Bogdanova TI, Oliynyk VA, Lubin JH, Zablotska LB, Tereschenko VP, McConnell RJ, Zamotaeva GA, O'Kane P, Bouville AC, Chaykovskaya LV, Greenebaum E, Paster IP, Shpak VM, Ron E., I-131 dose response for incident thyroid cancers in Ukraine related to the Chornobyl accident. *Environ Health Perspect.* 2011, 119(7):933-939.
- [15] Yamada M, Wong FL, et al., Noncancer disease incidence in atomic bombs survivors, 1958-1998. *Radiation Research* 2004; 161:622-32.
- [16] UNSCEAR 2008, Sources and Effects of Ionizing Radiation, Vol. II Scientific Annexes C, D and E.

- [17] Delongchamp RR, Mabuchi K, et al., Cancer mortality among atomic bomb survivors exposed in utero or as young children, October 1950-May 1992. *Radiation Research* 1997, 147:385-95.
- [18] Preston DL, Cullings H, Suyama A, Funamoto S, Nishi N, Soda M, Mabuchi K, Kodama K, Kasagi F, Shore RE, Solid cancer incidence in atomic bomb survivors exposed in utero or as young children. *Journal of National Cancer Institute* 2008; 100:428-36.
- [19] Nakashima E: Relationship of five anthropometric measurements at age 18 to radiation dose among atomic-bomb survivors exposed in utero. *Radiation Research* 1994, 138:121-6.
- [20] Otake M, Schull WJ, Yoshimaru H: Brain damage among the prenatally exposed. *Journal of Radiation Research (Tokyo)* 1991; 32(Suppl):249-64. (A review of 45 years' study of Hiroshima and Nagasaki atomic-bomb survivors)
- [21] Otake M, Yoshimaru H, Schull WJ: Prenatal exposure to atomic radiation and brain damage. *Congenital Abnormalities* 1989; 29:309-20.
- [22] Robert L. Brent: Saving lives and changing family histories: appropriate counseling of pregnant women and men and women of reproductive age, concerning the risk of diagnostic radiation exposures during and before pregnancy, *American Journal of Obstetrics & Gynecology*, 4-21, January 2009.

第5章

- [1] Vincent T. Covello and Jeryl Mumpower, *Risk Analysis and Risk Management: An Historical Perspective*, *Risk Analysis*, Vol. 5, No.2, 1985, 103-120.
- [2] Rob P. Rechard, *Historical Relationship between Performance Assessment for Radioactive Waste Disposal and Other Types of Risk Assessment*, *Risk Analysis*, Vol. 19, 1999, 763-807.
- [3] 木下富雄, 土屋智子, 米原英典, 神田玲子 (著), 柴田義貞 (編), *リスクコミュニケーションの思想と技術 放射線リスクの正しい理解を目指して*, 長崎大学グローバル COE プログラム 放射線健康リスク制御国際戦略拠点 (2010.3). [非売品]