

放射線影響の基礎知識
—放射線とは？ そして、からだへの影響は？—



日本放射線影響学会
The Japanese Radiation Research Society
Since 1959

一般社団法人 日本放射線影響学会
放射線災害対応委員会編

はじめに

2011年、東京電力福島第一原子力発電所(福島原発)の事故当時、日本放射線影響学会においては、会員有志による「福島原発事故 Q&A グループ」を発足させ、一般市民からの原発事故に伴う放射線影響に対する問い合わせに回答してきました。また、市民からの要望があれば、放射線の不安を解消できるように200回以上の講演会を行ってきました。「福島原発事故による放射線の人体影響に関するQ&A」は、学会ホームページ上に掲載し、2015年1月に、「本当のところを教えて！放射線のリスク 放射線影響研究者からのメッセージ」という書籍を発刊しました。当時、自治体職員や学校の先生などが放射線に関する正しい知識を得られるよう、放射線の基礎と事故にまつわる内容で作成されています。

2014年より放射線災害対応委員会を発足させ、引き続き一般市民の皆様からご質問をいただき回答して参りましたが、原発事故影響に関連するものだけでなく、放射線の基礎知識や医療被ばくなどのご質問も含まれるようになりました。現在も学会ホームページ上に掲載されている「福島原発事故による放射線の人体影響に関するQ&A」は、現状にそぐわなくなりました。2026年3月、福島原発事故から15年が経ちます。これを契機に、放射線の基礎や人への影響をもう一度見直す必要があると考えました。今回、「放射線影響の基礎知識 -放射線とは？そして、からだへの影響は？-」としてまとめました。またホームページ上の「福島原発事故による放射線の人体影響に関するQ&A」は、編集をしてアーカイブ版として掲載しております。絵やコラムを入れ、義務教育が終了したばかりの高校生が読んでもわかるような内容にしています。改めて、放射線の基礎やその影響が、わかりやすく伝われば幸甚です。

日本放射線影響学会 放射線災害対応委員会
2025年11月

第1章 放射線の基本

1-1. 放射線・放射性核種・放射性同位元素・放射性同位体・放射性物質・放射能の違い

1-1-1. 放射線

広い意味で、放射線とは、空間を伝わるエネルギーの流れです。いわゆる放射線とは、電離放射線のことで「電離」を略しています。軌道にあった電子が原子の外へ弾き飛ばし離れていく作用(電離作用)(図1)を持つ電磁波(光子)や粒子線のことを示します。電離作用はイオン化とも言います。したがって、英語では電離放射線のことを ionizing radiation と言います。

放射線は、懐中電灯から出てくる光として例えられます(図2)。

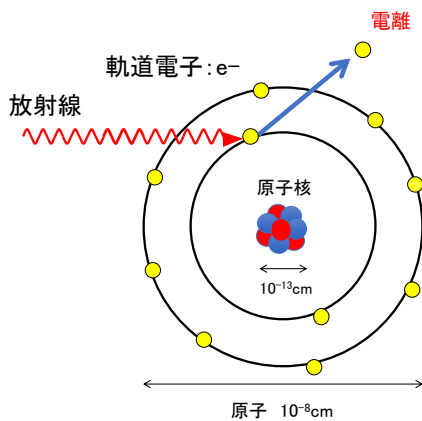


図1: 電離作用



図2: 懐中電灯に例えると

1-1-2. 放射性核種・放射性同位元素・放射性同位体・放射性物質

放射性物質は、放射線を出す物質そのものです。放射性物質は不安定(余分なエネルギーを持つ状態)なので、余分なエネルギーとして放射線を出します。安定化すれば、放射線を出さない状態になります。

放射性同位元素あるいは放射性同位体とは、原子番号が同じ(原子核内の陽子の数が同じ)でも質量数が異なる(中性子の数が異なる)と、放射能を持ちます。つまり放射性物質となります。図2の例えでは、懐中電灯そのものです。

放射性同位元素・放射性同位体を含む物質が放射性物質です。

1-1-3. 放射能

放射線を出す能力のことです。放射性物質が壊変(崩壊)することによって放射線が放出されます(後述)。たくさんの放射線を出すほど、放射能は高くなります。

過去、放射能と放射性物質を同義語として、「放射能漏れ」という言葉がよく使われていましたが、厳密には「放射性物質漏れ」が正しいです。

また放射能が半分になるまでの時間を半減期と言います。

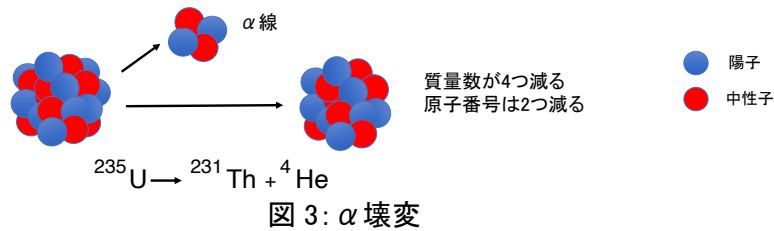
1-2. 放射線の放出様式(放射性壊変(崩壊))

放射性壊変とは、原子核が不安定であるため、アルファ(α)線、ベータ(β)線、ガンマ(γ)線を放出することにより、放射性物質が安定化していく現象のことです。放射性崩壊とも言います。それぞれ α 壊変、 β 壊変、 γ 線放射という形をとります。

1-2-1. α 線の放出(α 壊変)

ラドンやウランのように質量数の大きい放射性同位元素で起きやすい壊変です。原子核から陽子2個と中性子2個のヘリウム原子核として放出されます。これが α 線です。原子核の

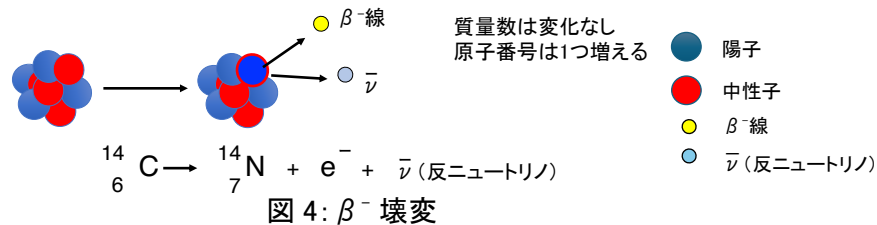
質量数が4つ、原子番号は2つ減ります。例えば、ウラン-235(原子番号 92)が α 壊変するとトリウム-231(原子番号 90)となります(図3)。



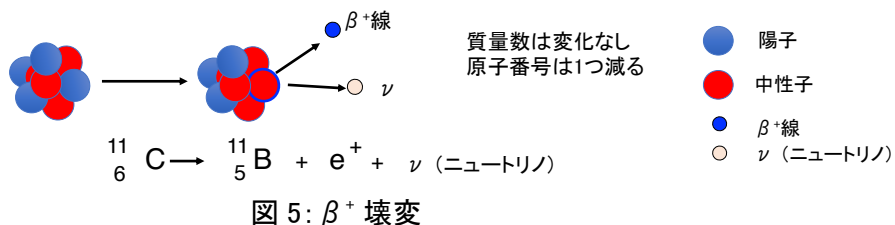
1-2-2. β 線の放出(β 壊変)

β^- 壊変と β^+ 壊変、電子捕獲があります。

β^- 壊変は原子核に中性子が陽子よりも多い状態で、中性子が電子(e^-)を放出して陽子に変化します(図4)。この放出された電子が β^- 線です。その際に、反ニュートリノも放出します。質量数は変化しませんが、原子番号は一つ増えます。例えば、炭素-14(原子番号 6)は窒素-14(原子番号 7)となります。



β^+ 壊変はその逆で、原子核に陽子が中性子よりも多い状態で、陽子が陽電子(e^+)を放出して中性子に変化します(図5)。この放出された陽電子が β^+ 線です。その際に、ニュートリノも放出します。質量数は変化しませんが、原子番号は一つ減ります。例えば、炭素-11(原子番号 6)はホウ素-11(原子番号 5)となります。



電子捕獲も原子核に陽子が中性子よりも多い状態で起こる現象です(図6)。 β^+ 壊変と競合することも多く、親核種と娘核種とのエネルギー差が 1.022MeV 未満の時に起こります。原子核の陽子が軌道電子を取り込み、中性子に変化します。原子番号が一つ減ります。原子核に最も近い軌道(K 殻)の電子が取り込まれ、空席となった所へその外側の軌道(L 殻)の電子が移動してきます。その時に特性 X 線が放出されます。さらに、その外側の軌道(M 殻)の電子が L 殻に移動し、また別の特性 X 線が放出されます。例えば、アルミニウム-26(原子番号 13)はマグネシウム-26(原子番号 12)となります。

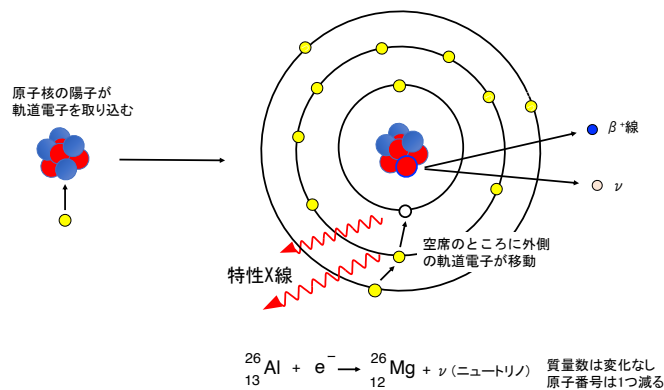


図 6: 電子捕獲

1-2-3. γ線の放出(γ線放射)

γ転移、核異性体転移、内部転換という形があります。

α線やβ線を放出したのちでも、原子核が励起状態(高いエネルギー状態)であることがあります。γ線を放出することで、原子核が安定化します(図7)。これがγ転移です。例えば、コバルト-60(原子番号 27)はニッケル-60(原子番号 28)となります。壊変図で示すように、コバルト-60の場合、β線を出した(β⁻壊変)後、2本のγ線を放出します(γ線放射)。

核異性体転移(IT: Isometric Transition)は、γ転移の一種で、核異性体がγ線を放出することで、原子核が安定化します(図 7)。例えば、テクネシウム-99m(原子番号 43)はテクネシウム-99(原子番号 43)となります。mとは準安定状態(metastable)を示します。壊変図で示すように、原子核が不安定で2種類のγ線を放出します。

ITの際に、γ線を放出せずに、軌道電子を放出することもあります。これを内部転換と言います、γ線放射の一部です。

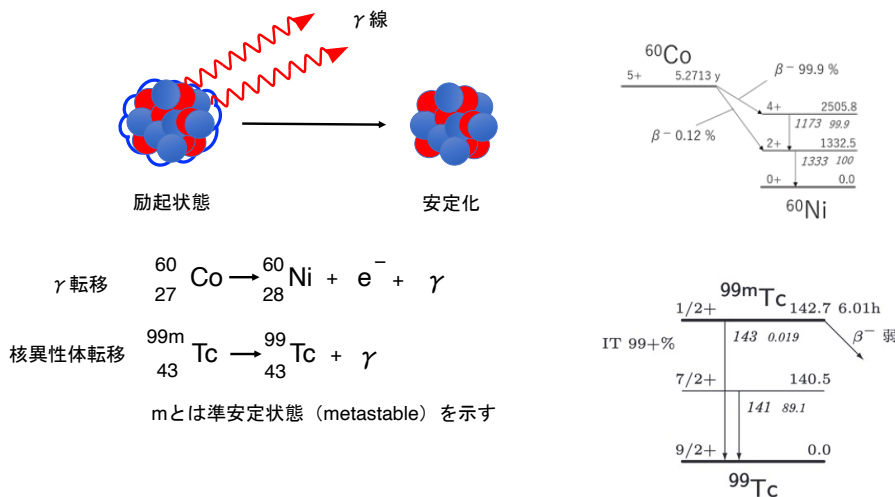


図 7: γ線放射

1-3. 放射線の種類

電離放射線と非電離放射線に分けられます。いわゆる放射線は電離放射線です。非電離放射線とは、電波、マイクロ波、赤外線、可視光線、紫外線の大部分などです。紫外線の一部は電離作用を持ちます。

電離放射線には粒子線と電磁波(光子)に分けられます(図 8)。

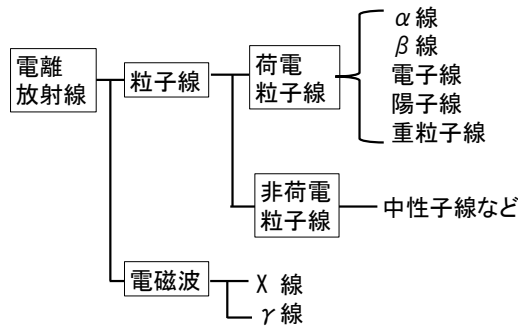


図 8: 放射線の種類

粒子線とは、高い運動エネルギーを持って流れる粒子です。具体的には、陽子線(水素原子核)、重粒子線(ヘリウム、炭素、ネオン、アルゴン等)があります。α線の正体はヘリウム原子核です。また、β線、電子線、中性子線も粒子線です。電荷を持つ粒子線は、α線、β線、電子線、陽子線、重粒子線などで、電荷を持たないのは中性子線です。

電磁波あるいは光子はX線やγ線です。X線は制動X線と特性X線があり、ともに原子核外から発生します。制動X線とは、電子が原子核に近づき進路を変更する際に発生します(図9a)。例えば、車が急ブレーキをかけると摩擦熱が出ます。その熱が制動X線です。特性X線は、原子核の周りの軌道電子が弾き飛ばされた後、外側の軌道電子が内側の空欄になった軌道へ移動するときに発生します(図9b)。高いところから物質が落ちる時に位置エネルギーがあります。それが特性X線です。また、γ線は原子核内から放出されますが、α線やβ線が原子核から放出される時に付随して発生します。あるいはα線やβ線が放出されても、原子核自体エネルギーが高いま(励起状態)となることがあります。γ線を放出することによって原子核が基底状態となります。この現象を核異性体転移といいます。

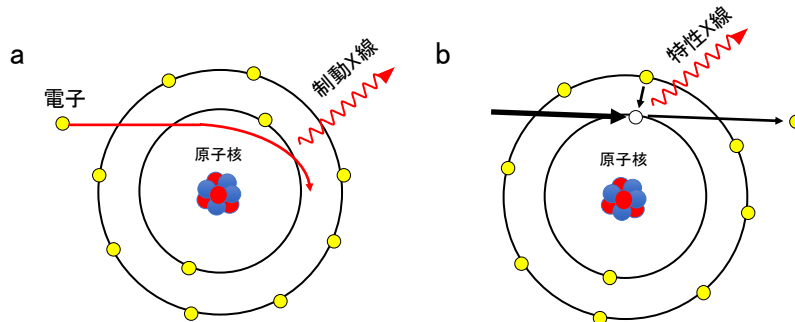


図 9: 制動X線と特性X線

その他にもX線を出す様式として、軌道電子捕獲があります。①軌道電子が飛ばされ、②すぐ外側の軌道電子が移動し、③軌道エネルギー準位差に基づき特性X線かオージェ電子が発生します。原子番号が高いほど、特性X線の発生確率は高くなります(図10)。プルトニウムを取り込んだ時に肺モニターで検出するのは特性X線です。

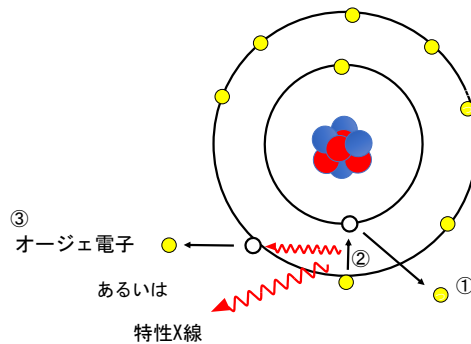


図 10: オージェ電子あるいは特性 X 線

1-4. 単位

放射線で用いられる単位は、放射能はベクレル (Bq)、吸収線量はグレイ (Gy)、等価線量と実効線量でシーベルト (Sv) を用います。

1-4-1. Bq (ベクレル)

放射能の強さを示す単位で、1 秒間での放射性核種が壊変する数です。物理量として直接計測可能です。

かつて、Bq は Ci (キュリー) という単位が使われていました。1 Ci は 3.7×10^{10} Bq (370 億 Bq) です。従って、Bq はとても大きな数字になることが多いです。

1-4-2. Gy (グレイ)

放射線が物質の単位質量あたりに付与したエネルギー量を示す単位で、吸収線量と呼ばれます。物理量として直接計測可能です。1 Gy は、物質 1 kg あたり 1 J (ジュール) のエネルギーを付与したことを意味します。

コラム

間接電離放射線 (ガンマ線や中性子) の照射により直接放出される全荷電粒子の初期運動エネルギーをカーマ (KERMA: Kinetic Energy Released per unit MAss) と言い、単位は Gy を使います。

1-4-3. Sv (シーベルト)

防護量と実用量の単位です。

放射線が人体に与える影響を管理するために防護量が用いられます。直接計測できません。防護量は、人体の各部位 (臓器や組織) に被ばくした量 (等価線量) と、全身被ばく量 (実効線量) に用います。等価線量は、受けた放射線の種類によって影響は異なるため放射線加重係数 (W_R) (表 1) に吸収線量を乗じて求めます。さらに組織によっても影響が異なるので組織加重係数 (W_T) (表 2) に等価線量を乗じて、その線量を総和 (Σ) したものが実効線量となります。

$$\text{等価線量 (Sv)} = W_R \times \text{Gy}$$

$$\text{実効線量 (Sv)} = \Sigma (W_T \times \text{等価線量})$$

表 1: 放射線加重係数 W_R

| 放射線加重係数 W_R | 放射線の種類 |
|---------------|---------------------------|
| 1 | β 線、 γ 線、X 線 |
| 2 | 陽子線 |
| 20 | α 線、重イオン |
| 2.5~20 | 中性子線 |

表 2: 組織加重係数 W_T

| 組織加重係数 W_T | 組織 |
|--------------|------------------|
| 0.12 | 骨髄(赤色)、結腸、肺、胃、乳房 |
| 0.08 | 生殖腺 |
| 0.04 | 膀胱、食堂、肝臓、甲状腺 |
| 0.01 | 骨表面、脳、唾液腺、皮膚 |
| 0.12 | 残りの組織の合計 |

実用量は、線量計で値が示されていますが、計測した物理量から定義される近似値です。

周辺線量当量 $H^*(10)$: 環境モニタリングにおいて用いられる防護量の近似値

個人線量当量: 個人モニタリングにおいて用いられる防護量の近似値、下記のごとく皮膚からの深さで被ばく量を計測しています。

- $H_p(10)$: 深さ 10 mm での線量(体内の被ばくを評価)
- $H_p(0.07)$: 皮膚の被ばく
- $H_p(3)$: 眼の水晶体の被ばく

コラム

放射線の単位: 物理量、防護量、実用量

物理量はベクレルとグレイの他に、照射線量(C/kg: 空気中 1kg に与えられたエネルギー量)やフルエンス(m^{-2} : 単位面積あたり通過した粒子の数)もあります。直接計測ができません。

人の被ばく影響を表す線量(シーベルト)は直接計測できません。物理量から放射線加重係数と組織加重係数を用いて防護量を算出し、その近似値を実用量として用いています。

物理量(測定できる物理的量)

↓ モデル換算

防護量(健康リスク評価用)

↓ 測定器で近似

実用量(現場の測定値)

1-5. 日常の被ばく

地球で暮らす私たちの周りには、放射線を出すものがたくさんあり、私たちはそれらの放射線から日常的に被ばくをしています(図 11)。

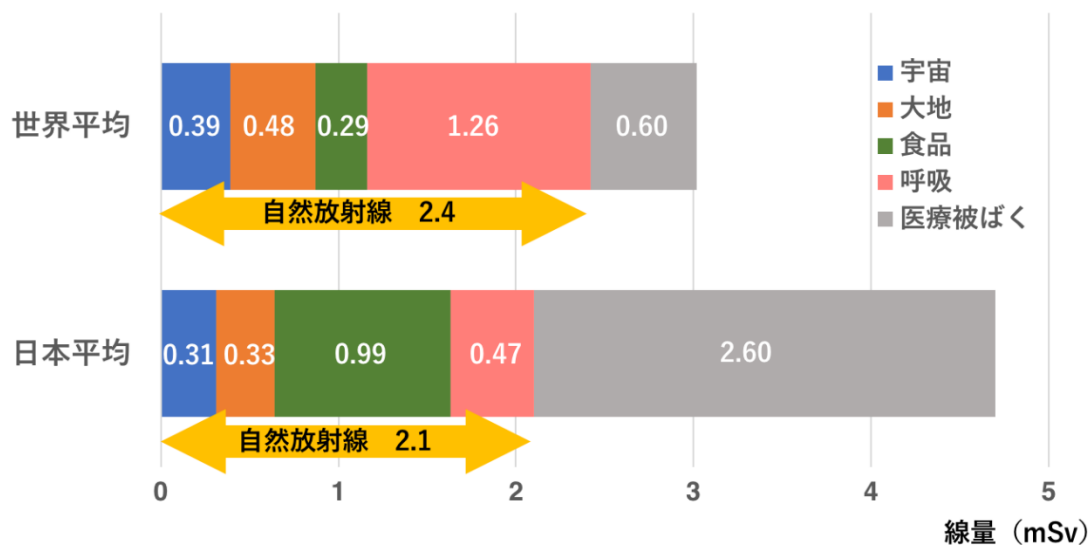


図 11: 日常生活から受ける被ばく線量

1-5-1. 自然放射線からの被ばく

人間の活動に関わらず自然界にもともとある放射線を「自然放射線」と呼びます。1 年間に、自然放射線からの被ばくは、世界平均で 2.4 mSv、日本平均で 2.1 mSv です。

自然放射線からの被ばくは、誰もが避けることのできない被ばくですが、その被ばく量は、環境や生活習慣などで変わります。

自然放射線による被ばくには大きく分けて次の4つの要因があります。

(i) 宇宙からの被ばく

宇宙空間には、宇宙線と呼ばれるエネルギーの高い放射線が飛び交っています。宇宙線（一次宇宙線）が地球の周りの大気圏に突入すると、空気を構成する原子の原子核と反応を起こし、ミューオン（ミュー粒子）や電子などの高エネルギーの粒子放射線を作り出します。これらは二次宇宙線と呼ばれ、その一部は地上まで降り注いで、私たちの被ばくの原因の一つになっています。

宇宙線は、空気によって遮られる（空気と反応してエネルギーを失う）ため、高度が高くなるにつれて線量率が高くなります。高度の高い地域では、高度の低い地域に比べて宇宙線からの被ばく線量は大きくなります。さらに、10,000 m 以上の高度で飛行する国際線の旅客機では、地表の 100 倍以上の線量率となります。例えば、東京とニューヨークを往復すると、約 200 μ Sv (0.2 mSv) の被ばくを受けることになり、これは地上での生活の約2ヶ月分に相当します。大気圏外を周回している国際宇宙ステーションでは、1日あたり 1000 μ Sv (1 mSv) の被ばくをすることが知られています。

(ii) 大地からの被ばく

地球の土壌、岩石などには、天然の放射性物質が含まれています。その多くは、今から 46 億年前の地球誕生の時からある放射性物質で、半減期が地球の年齢に匹敵するぐらいに長いものがまだ地球上に残っています。ウランやトリウム、カリウム 40 などはこのような半減期の長い放射性物質です。また、ラジウムやラドンは、ウランやトリウムが何度か崩壊して（＝放射線を出して別な元素に変化する）生まれた放射性物質です。その土地の地質によって、放射性物質が含まれる割合は大きく変わり、人間が受ける放射線量も異なります。ウラン鉱山とかラドン温泉という名を聞いたことがあると思いますが、鉱山や温泉地は放射性物質の

含有量が高い地域です。また、日本の場合、一般的に東日本より西日本の方が放射性物質の含有量が高い(=自然放射線による線量率が高い)傾向にあります。これは西日本に多い花崗岩に放射性物質が多く含まれることによります。花崗岩(御影石)は硬くて丈夫なので建築物にもよく使われており、このような建物の中では空間放射線量率が高い傾向があります。

人間の被ばくには関係ありませんが、これらの天然の放射性物質は、地球の内部の地殻という部分にも含まれており、地球の持つエネルギーである地熱の約半分はこれらの放射線のエネルギーから発生しています。これらの放射性物質がなければ、地球は冷え切ってしまう、マントル対流などの地球の活動も止まってしまうでしょう。

この他に、天然の放射性物質には、宇宙線が地球の大気に含まれる窒素や酸素と反応してできる、トリチウム(三重水素)や炭素 14 があります。半減期はそれぞれ 12.3 年と 5730 年と、地球の年齢と比べると短いですが、宇宙線から常時作られているので、地球上にはほぼ一定の量が存在します。

(iii) 食品からの被ばく

前項で説明した天然の放射性物質は、食品にも含まれています。人間の必須元素であるカリウムの中には、放射性物質のカリウム 40 が 0.012%含まれており、換算すると 1 g のカリウムは 30.4 Bq の放射能を持ちます。大人は1日に約 2 g のカリウムを必要とするので、60 Bq 以上のカリウム 40 を毎日摂取していることとなります。

被ばくという観点から見ると、食品からの被ばくの最も大きな要因となっているのは鉛 210 とポロニウム 210 で、日本人では、食品からの被ばく線量全体の約8割を占めます。ポロニウム 210 の摂取量は年間 220 Bq 程度で、1日あたり 1 Bq にも満たない量しか摂取していないにも関わらず、毎日 60 Bq 以上摂取しているカリウム 40 に比べて数倍の被ばく量となります。この理由は、ポロニウム 210 はアルファ線を出す放射性物質であり、ベータ線とガンマ線を出すカリウム 40 に比べて DNA に重篤な損傷を与えることから、人間への影響を指標とした単位である Sv に換算すると大きな値になるためです。ポロニウムは魚介類(特に内臓)に多く含まれるので、日本人の食生活の傾向から、世界平均に比べ食品からの被ばくの割合が多くなっています。なお、海外では食品中のポロニウムの分析があまり行われていないため、食品からの被ばくの世界平均は少なめに見積もられている可能性があります。

(iv) 呼吸からの被ばく

天然の放射性物質のうち、ラドンは唯一気体(ガス)の放射性物質です。ラドンには質量数の異なるいくつかの同位体(ラドン 222、ラドン 220 など)があり、その中でもラドン 220 をトロンと呼ぶことがあります。ラドンは、ウランやトリウムが何回か崩壊して生まれるので、ウランやトリウムを多く含む土壌や岩石の中から空気中に出てきて、人間が空気と一緒に吸い込むことにより、体の中から被ばくします。コンクリートや石材などの建築物からもラドンが放出されるので、このような建物の中ではラドンの濃度が高くなります。また、ラドンは重いガスなので、換気が悪いことも相まって地下室にはたまりやすくなります。このため、地下室を備えた石造りの住宅が多い欧米では、ラドンによる被ばくが多く、逆に木造建築や換気の良い住宅の多い日本では少なくなっています。

1-5-2. 人工放射線からの被ばく

現代の私たちの生活には、自然放射線以外に、人工的に作られた放射線もたくさんあります。健康的で豊かな生活を送るために放射線は欠かせないツールとなっています。

(i) 医療被ばく

人工放射線からの被ばく線量で最も多い要因となっているのは、医療における被ばくです。

医療では、病気の診断や治療にさまざまな放射線を使っています。日本は、他国に比べて医療被ばくが多く、世界平均が年間 0.6 mSv であるのに対し、日本平均は 2.6 mSv です。この 2.6 mSv という値は平均値であり、個人によって受ける線量は大きなばらつきがあることに注意してください。健康診断などで受ける胸部レントゲン写真では約 $50 \mu\text{Sv}$ (0.05 mSv)、歯科治療時に撮影されるパノラマ撮影では約 $20 \mu\text{Sv}$ (0.02 mSv) であり、多くの方は平均値より少ない被ばくしかしていないはずですが、これに比べて CT 検査では、撮影部位によって違いはありますが、1回あたり数 mSv の放射線を被ばくします。CT 検査が普及しているのは、初期のがんや小さな病変を発見できることによる健康上のメリットが、被ばくによるデメリットをはるかに上回っているためでもあり、医療被ばくの多さは医療水準の高さを反映しているとも言えるでしょう。最近では被ばく線量を低減した CT 撮影や、AI を利用した画像の高画質化など、低線量で高画質の画像が得られる研究開発も盛んに行われています。

(ii) 人工的に作られた放射性物質からの被ばく

放射性物質は、加速器や原子炉などで人工的に作ることができます。主に医療(放射性医薬品)や研究用として使われていて、放射性医薬品による被ばくは、医療被ばくに含まれます。

原子力発電は、核分裂反応に伴うエネルギー放出を利用しています。核分裂反応では、ウランやプルトニウムなどの重い原子核が分裂して、多くの核分裂生成物が生じます。これらの核分裂生成物の多くは放射性物質であり、福島第一原子力発電所の事故では、セシウム 137、セシウム 134、ヨウ素 131 などの多くの放射性物質が環境に放出されました。これらの放射性物質は、地表に沈着したものは外部被ばくの、農作物や水産物に取り込まれたものは内部被ばくの原因になります。また、過去には、1950 年代から 1960 年代前半にかけて米国や旧ソ連で行われた大気圏核実験で、同様の放射性物質が地表に降り注いでいた時代もあり、現在でも地表に残っています。

福島第一原子力発電所の敷地内では、これらの放射性物質を含む汚染水が日々発生しています。ALPS(多核種除去設備)という装置で、ほとんどの放射性物質が安全基準を満たすまで取り除かれますが、水素の放射性同位体であるトリチウムだけは、その多くが水(H_2O)として存在するので、ALPS で取り除くことはできません。2023 年 8 月から、トリチウムを含んだ ALPS 処理水を海水で大幅に薄めたのちに海に放出する海洋放出が行われています。この海洋放出に伴う被ばく線量を 2024 年 8 月までの 1 年間の実績から算出したところ、日本人が自然放射線から受ける線量(年間 2.1 mSv)の約 40 万分の 1~10 万分の 1 と評価されました。

コラム

Q: 人工的に作られた放射性物質は、天然の放射性物質に比べて危険なのでしょうか？

天然の放射性物質であっても人工の放射性物質であっても、発生する放射線の性質は、放射線の種類(アルファ線、ベータ線、ガンマ線)によって決まり、種類が同じであれば性質もほぼ同じになります。これらの放射線は原子核の一部(粒子または電磁波)が高いエネルギーを持って外に飛び出したものであり、どの原子も同じパーツを持っているからです。天然の放射性物質でも、アルファ線を出すポロニウム 210 は、DNA に局所的な傷を作るので、人体に関する影響が大きく、同じ放射能(Bq)を体内に取り込んだ場合に、人工の放射性物質であるセシウム 137 の約 100 倍の人体への影響があります。大雑把に言うと、ポロニウム 210 はセシウム 137 の 100 倍危険である、と言えます。

コラム

Q: 内部被ばくは外部被ばくに比べて危険なのでしょうか？

身体の中に放射性物質を取り込むと、細胞は至近距離で放射線を浴び続けるので、内部被ばくはどんなに少量でも危険である、と主張する人がいます。例えば、1 Bq の放射性物質は、1秒間に1本放射線を出し続け、その近くの細胞がずっと放射線を浴び続けるように思えますが、このイメージは正しいのでしょうか？

よくある内部被ばくのイラストでは、体の中の放射性物質から四方八方に放射線が出てるように描かれています。しかし、多くの放射性物質は、1度放射線を出して安定な物質になったら二度と放射線を出しません(図 12)。1 Bq のセシウム 137 は、原子の数で言うと約 10 億個に相当します。これらは、体の中でバラバラに存在しており、この 10 億個のうち、どれか1個が1秒ごとに放射線を出しているのが正しいイメージです。つまり、特定の細胞や臓器が集中的に放射線を受けると言うことはなく、外部被ばくと状況はそれほど変わりません。

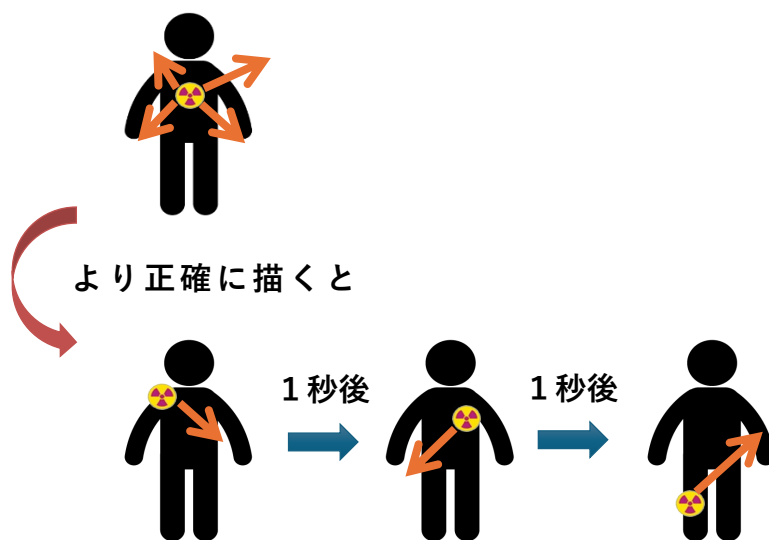


図 12: 内部被ばくのより正しいイメージ

コラム

Q: 食品中の放射性物質の基準値はどのようにして決められたのですか？

福島第一原子力発電所の事故後の 2011 年 3 月 17 日に、厚生労働省から「放射能汚染された食品の取り扱い」に関する方針が発表されました。この時に設定された食品中の放射性物質の暫定規制値は、原子力安全委員会(現在の原子力規制委員会)が示した「原子力施設等の防災対策について(防災指針)」中の「飲食物摂取制限に関する指標」を元としています。上限濃度に汚染された食品を1年間食べ続けたとしても、全ての年代における追加被ばくが年間 5 mSv を超えないように設定されています。2012 年 4 月からは、より一層の食品の安全・安心を確保するという観点から、追加被ばくの上限を年間 1 mSv とした新しい基準値が設定されています。新しい基準値は、放射性セシウムについては、飲料水については 10 Bq/kg、乳幼児の摂取を考慮した乳児用食品と牛乳については 50 Bq/kg、その他の食品については 100 Bq/kg となっています。前述したように、基準値は「汚染された食品を1年間食べ続けたとしても」という条件で設定されたものであり、基準値を超えた食品をたまたま摂取してしまっても健康に影響することはありません。

コラム

Q: トリチウムはなぜ ALPS で除去できないのでしょうか？

トリチウムは三重水素とも言い、原子核に陽子 1 個と中性子 2 個を含む水素の同位体です。化学的性質は水素と同じなので、多くは水とほとんど同じ性質のトリチウム水として存在します(図 13)。通常の水の中に含まれるトリチウム水を分離することは技術的に大変難しく、コストと効率に見合う技術は今のところありません。そのため、海水で大量に薄めて海洋に放出されています。これは、事故を起こした原子力発電所に特別の処理ではなく、世界のあらゆる原子力施設からトリチウムを含んだ水が発生し、同様に海洋に放出されています。

トリチウムから放出されるベータ線のエネルギーは非常に弱いので、紙1枚で遮ることができるので、外部被ばくはほとんど無視できます。体の中に入った場合も、水と同様にあらゆるところにバラバラに存在し、特定の臓器に蓄積することはありません。同じ放射能(Bq)を体内に取り込んだ場合に、トリチウム水はセシウム 137 の約 700 倍の1しか人体への影響がありません。

トリチウムは水として存在する他、生体内のタンパク質、糖、脂肪などの有機化合物の水素として存在することがあります。このような形態を「有機結合型トリチウム (OBT)」と呼び、トリチウム水に比べて長く体内に残ります。OBT による人体への影響はトリチウム水に比べて大きくなりますが、それでも数倍程度であり、セシウム 137 に比べると影響はかなり小さいです。

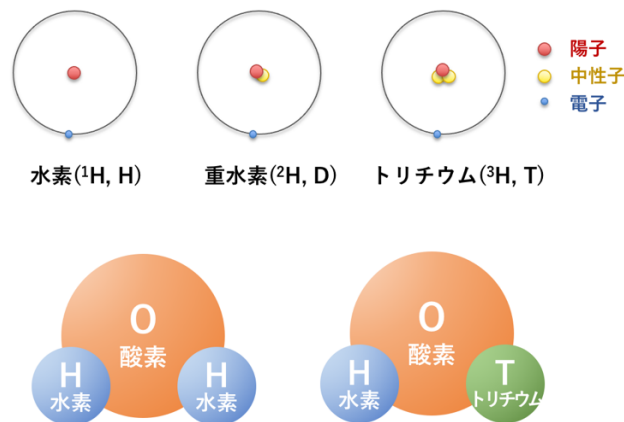


図 13: 水素の同位体(上)通常の水とトリチウム水(下)

1-6. 放射線の生体影響の基礎

1-6-1. 放射線の体への影響

放射線は体に様々な影響を及ぼしますが、体への影響を考えるには、まず人の体のことを知る必要があります。人の体は一つ一つが $10 \mu\text{m}$ (マイクロメートル:100 万の 1 メートル)ほどの目に見えないくらい小さい「細胞」から成り立っていて、成人男性だと 37 兆個の細胞で構成されています(図 14)。細胞にはいろいろな種類があり、それぞれの臓器・組織によって異なる種類の細胞が存在しており、大まかに分類するだけでもおよそ 200 種類あります。ガンマ線や X 線などの放射線が体に当たると最小単位である細胞に対する影響が大きいために、放射線の体への影響を考える際には、まず細胞への影響を考える必要があります。

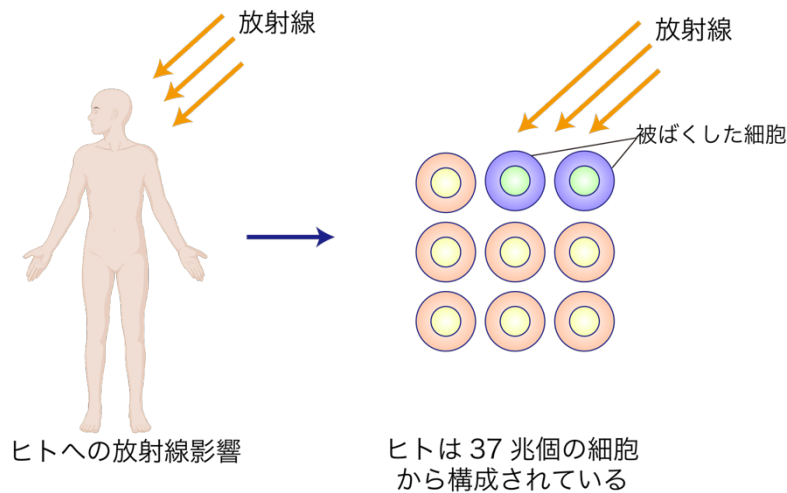
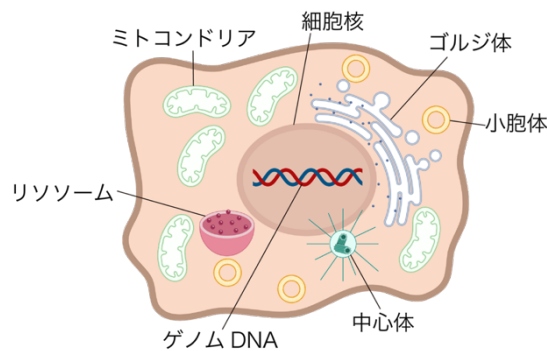


図 14: 人の体への放射線の影響

1-6-2. 体を構成する細胞

細胞の中身は 70 - 80 %が水成分で成り立っています。そして遺伝情報の元であるゲノム DNA が収まっている細胞核という構造物が細胞の中心に浮かんでいて、その周りをミトコンドリア、リソソーム、ゴルジ体、小胞体といった様々なタンパク質、核酸、糖で構成された構造物を取り囲んでいる状態です(図 15)。ヒトでは、一つの細胞あたり DNA は直線距離にするとなんと 2 m という長さがあるのですが、それが非常にコンパクトに折りたたまれて、細胞核の中に収まっています。



細胞の中はさまざまなタンパク質や DNA で構成されている

図 15: 細胞小器官

1-6-3. 放射線の細胞への影響

放射線が細胞の DNA に与える影響は「直接作用」と「間接作用」に分けることができます。「直接作用」は放射線が DNA に直接当たり、切断などの損傷を起こします。一方で、放射線が水成分に当たると水が電離あるいは励起され、ラジカルという反応性が高い状態に変化します。ラジカルの寿命は 100 万分の1秒程度という極めて短い時間なのですが、発生した直後にすぐ近くに DNA があるとそれに反応して損傷を与えます。これを「間接作用」といいます。「直接作用」と「間接作用」が起こる割合は放射線の種類に依存します。

1-6-4. DNA 損傷

放射線が細胞内の成分であるDNAやタンパク質、糖、などと反応する確率は一樣ですが、特に影響が大きいのはDNAです。というのは、DNAは生命の設計図なのでタンパク質が壊れてもDNAが残っていればそれを元にタンパク質が新しく合成できるのですが、DNAが壊れてしまうと新しくタンパク質が作れなくなってしまいます。

そのため放射線の影響が最も大きいのはDNAと考えられ、DNAに起こる様々な損傷を総称してDNA損傷と呼びます(図16)。

実は放射線以外にも私達の身の回りにはDNAを傷つける要因がたくさんあります。例えば、日光の紫外線を浴びたり、焼き魚の焦げた部分を食ったりするとDNA損傷ができます。これらを放置しておくとも細胞は困るので、DNA損傷が出来ても修復される仕組みがあります。

DNA 一本鎖切断 DNA 二本鎖切断

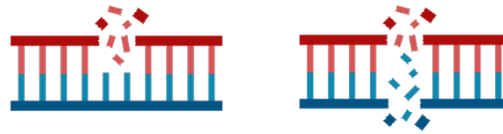


図 16: DNA 損傷

1-6-5. DNA 損傷の種類

DNAは分子としての安定性を高めるために二本鎖構造になっています。放射線によって一本だけ切れてしまった場合はDNA一本鎖切断、二本とも切れてしまった場合はDNA二本鎖切断と呼びます。その他、DNAの構成物である塩基が傷つく塩基損傷、二本のDNA鎖が本来とは異なる様式で結合してしまうDNA架橋といった傷があり、これらもDNA損傷の一つとして考えられています。

同じ強さの放射線を浴びた際は、DNA一本鎖切断の方が二本鎖切断よりも多くできます。例えば、1 SvのX線やγ線では一つの細胞あたり1000個のDNA一本鎖切断と40個のDNA二本鎖切断ができると見積もられています。DNA二本鎖切断の方ができる割合は少ないのですが、傷としては重症で修復されずにそのまま放置すると、細胞が死んでしまう可能性があります。

1-6-6. DNA の修復

DNA損傷ができて、全ての細胞が死んだり、がん化したりすることはありません。DNAは細胞の中で非常に重要なので細胞にはDNAを直す仕組みが備わっています。これをDNA修復といいます。DNAには様々な傷が出来るので、細胞にはその傷の種類に適した修復する仕組みが備わっています。例えばDNA一本鎖切断に対してはDNA一本鎖切断修復経路、DNA二本鎖切断に対してはDNA二本鎖切断修復経路といった様々な種類のタンパク質が関与する修復経路が存在します。

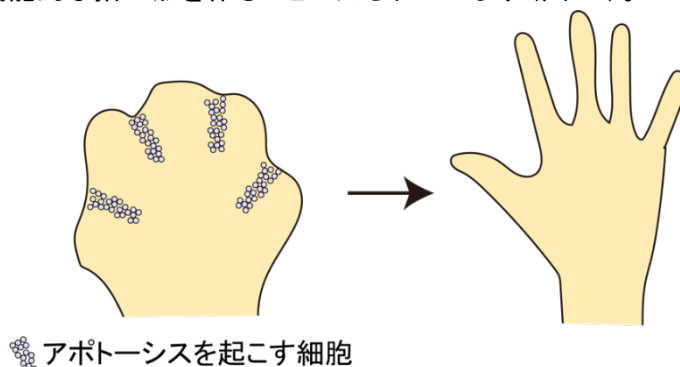
さらにDNA二本鎖切断は細胞の生死に関わる重篤な損傷であるために、哺乳類の細胞には非相同末端結合修復と相同組換え修復の二種類の修復経路が存在します。非相同末端結合修復は切れたDNA同士を直接結合する修復方法で、多くの場面でこの方法が使われています。一方で相同組換え修復は切れた部位と同じ配列を持つDNA鎖を鋳型としてDNAを再合成する方法です。こちらは修復過程が複雑であることに加えて、同じ配列を持つDNA鎖の鋳型が必要であるために、限られた場面のみで行われます。

それぞれの修復にかかる時間は損傷の複雑さに依存しています。例えば、DNA一本鎖切断は単純な構造であるために数秒から数分の間に修復されますが、DNA二本鎖切断は複雑な損傷であるために数十分から数時間かかると考えられています。

1-6-7. アポトーシス(細胞死)と p53

アポトーシスは別名「プログラムされた細胞死」ともいい、生物が進化させてきた重要な分子機構です。死ぬことが何故重要かと疑問に思うかもしれませんが、実は生物は DNA に傷がなくても細胞の数や形を調整するために生物の発生の過程でアポトーシスを行っています。

例えば、手の発生過程ではわざと細胞を増やしておいてから必要ない部分をアポトーシスで除くことにより、機能的な指の形を作ることが知られています(図 17)。



アポトーシスを起こす細胞

図 17: 発生の過程でのアポトーシス(細胞死)

放射線によって DNA に傷がたくさんできて、修復できなくなってしまった場合、アポトーシスで傷ついた細胞を除くことにより、健康な細胞だけを残すという判断を細胞がします。アポトーシスを起こすかどうかという判断を下すのが p53 というタンパク質です。p53 は DNA 修復とアポトーシスをコントロールし、正常な細胞の維持に重要であるために「ゲノムの守護神」と呼ばれています。p53 の機能が正しく働かなくなっていると、傷ついた細胞が排除されることなく残ってしまいます。そうするとゲノム DNA に突然変異がどんどん蓄積していき、細胞は「がん化」してしまいます。実際のがん細胞の半数以上で p53 の機能が低下していることが知られています。このことから傷ついた細胞を適切にアポトーシスによって排除することは生物の健康のためには重要なのです。

本項目で用いた図は BioRender と Adobe Illustrator を用いて作製しました。

第2章 確定的影響、確率的影響の概念

2-1. 確定的影響(組織反応)と確率的影響

放射線は医療(レントゲン検査やがん治療など)で使われます。でも、この放射線がたくさん体にあたると、健康に悪い影響が出ることがあります。その影響には大きく分けて「**確定的影響(組織反応)**」と「**確率的影響**」の2つがあります。

2-1-1. 確定的影響(組織反応)

確定的影響は、**ある量以上の放射線をあびたら、出てくる影響のこと**です(図 18)。この「ある量」のことを「**しきい値**」といいます。しきい値は、被ばくした集団の1%に影響が現れる線量で定義されます。つまり、「**これ以上の放射線をあびたら、ほぼ必ず体に悪いことが起こる**」という種類の影響です。しきい値を超えた場合、線量が増えるにつれ影響の発生率と重症度が大きくなります。確定的影響には、皮膚のやけど(放射線皮膚炎)、脱毛、白血球の減少、不妊などがあります。

確定的影響 (組織反応)

- ✓ 線量が増えるにつれ影響の発生頻度が多くなります。
- ✓ 放射線の量が多いほど症状が重くなります。

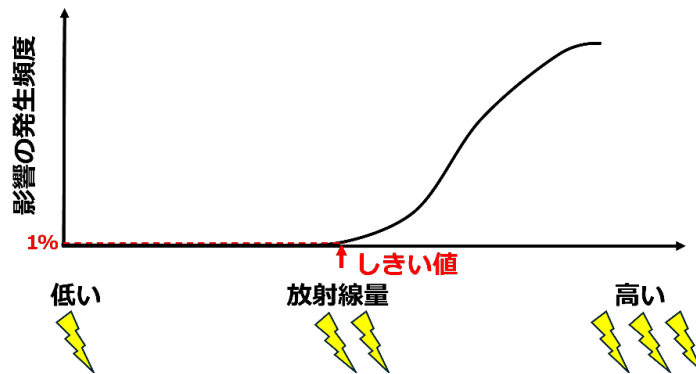


図 18: 確定的影響(組織反応)

2-1-2. 確率的影響

確率的影響は、**あきらかなしきい値がなく、どんなに少量の放射線をあびても、起こる可能性がある影響のこと**です(図 19)。**放射線の量が多くなるほど、影響が出る“確率”が高くなりますが、影響の大きさ(重篤度)は線量に関係せず一定です**。確率的影響には、白血病や肺がんなどのがん、子どもや孫など次の世代に起こるかもしれない遺伝性の影響などがあります。ただし、人では遺伝性影響は報告されていません(国際放射線防護委員会 2007 年勧告参照)。

確率的影響

- ✓ あきらかなしきい値がない影響で、放射線の量が増えると、影響が出る確率が高くなります。

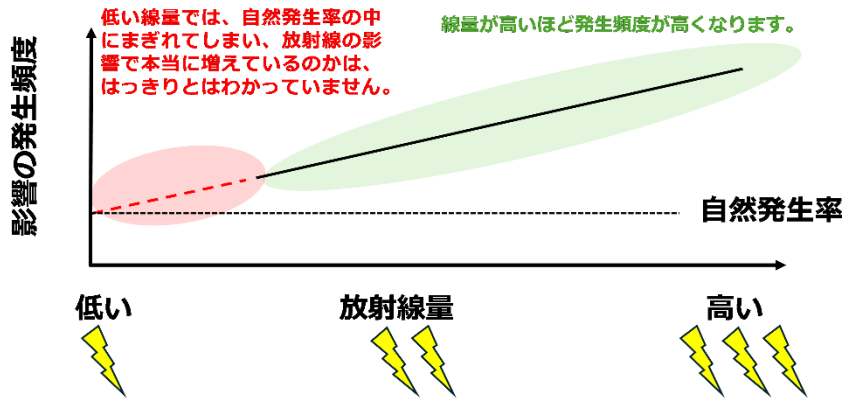


図 19: 確率的影響

2-2. 急性放射線障害、皮膚障害、不妊、白内障、胎児影響

2-2-1. 急性放射線障害

一度にたくさんの放射線をあびると、数時間から数週間のうちに体に不調が現れることがあります。このように、短い期間で現れる障害を「急性放射線障害」といいます。

代表的な症状としては、放射線宿酔と呼ばれるはきけ・下痢・だるさ・発熱など、風邪のような症状があります(図 20)。他にも、皮膚障害や不妊、胎児の影響などがあります。

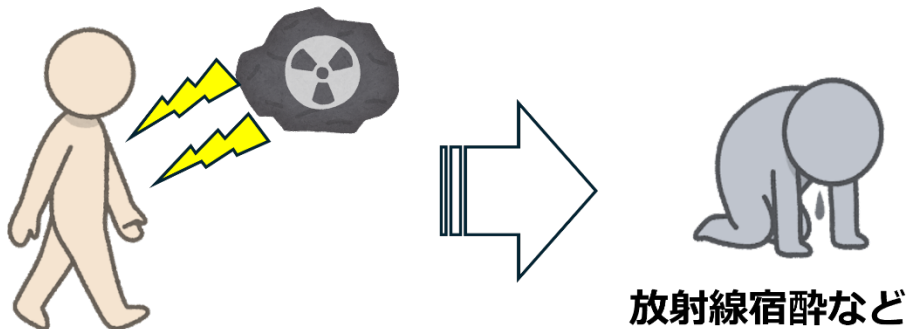


図 20: 急性放射線障害

2-2-2. 皮膚障害

放射線が皮膚にあたると、赤みやただれなど、やけどに似た症状が出る場合があります。これを放射線皮膚障害といいます(図 21)。皮膚におよそ 3~6 Gy の放射線をあびると、数日から 1 週間ほどで皮膚が赤くなる(紅斑:こうはん)ことがあります。この赤みは、時間がたてば自然に治ることが多いです。もっと多くの放射線をあびると、症状は重くなり、皮膚がやけどのようになり(熱傷)、はがれたり(落屑:らくせつ)、ひどいときはただれてしまう(潰瘍:かいよう)こともあります。こうした傷は治ってもあとが残ることもあります。

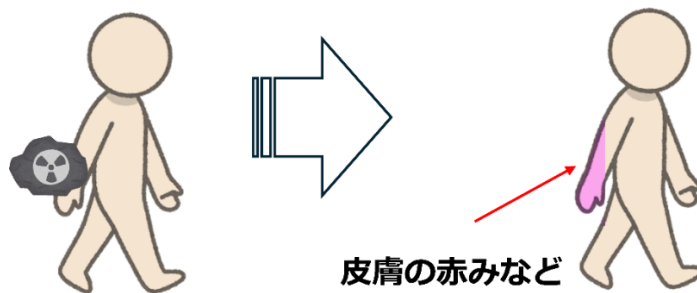


図 21: 放射線皮膚障害

2-2-3. 不妊

精巣や卵巣などの生殖腺は放射線に敏感で、強い放射線をあびると、不妊(赤ちゃんができにくくなる)になることがあります。放射線の量によって影響の重症度が変わってきます。少ない量であれば、一時的に不妊になるだけで、時間がたてば回復することがあります。多い量をあびると、回復せずに永久的に不妊になる可能性があります。男性でも女性でも不妊は起こります。

□ 男性の場合

精子を作る精巣の細胞がダメージを受け、精子が作れなくなります。0.15 Gy くらいで一時的に精子が作れなくなることがありますが、時間がたてば回復します。3.5 Gy 以上になると、永久に精子が作れなくなる可能性があります。

□ 女性の場合

卵子は、卵巣にある卵胞という袋の中で育ちます。卵胞は放射線に弱く、数が減ったり、うまく育たなくなったりします。女性は、生まれたときから卵子の数が決まっているため、一度失われると元には戻りません。年齢によってしきい値は変わりますが、0.65~1.5 Gy 程度で一時的な不妊に、2.5~6 Gy で永久的な不妊になる可能性があります。

2-2-4. 白内障

白内障は、目の中にある水晶体と呼ばれるレンズが白くにごり、物が見えにくくなる病気です。加齢によって起こることが多いですが、大量の放射線を浴びたことが原因で発症することがあります(図 22)。放射線によって起こる白内障は、すぐに症状が出るのではなく、数か月から数年たってから現れるのが特徴です。このような長い時間がたってから現れる放射線の影響を「晩発影響」といいます。白内障のしきい値は、0.5 Gy とされています。

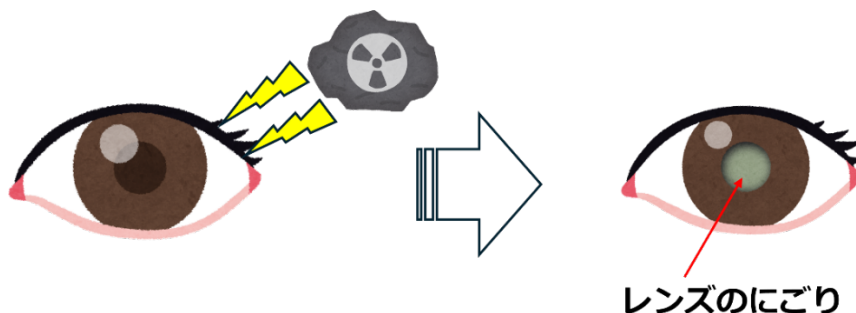


図 22: 放射線による白内障

2-2-5. 胎児への影響

胎児とは、お母さんのお腹の中で成長している赤ちゃんのことです。胎児は体のいろいろな部分が急速に発達しているため、**放射線の影響をととも受けやすい**です。

胎児は、妊娠の時期によって成長している体の部分が違うため、放射線による影響の出方も「**時期によって異なる**」という特徴があります。これを「**時期特異性**」といいます(図 23)。つまり、**放射線をあびた時期によって、どこにどんな影響が出るかが変わってくる**ということです。

□ 0～2 週ごろ(妊娠初期)

放射線を 0.1 Gy 以上あびると、まれに流産が起こることがあります。

□ 妊娠 2～8 週ごろ(器官が作られる時期)

体の器官がつくられる時期で、0.1 Gy 以上で形の異常(奇形)が出ることがあります。

□ 妊娠 8～25 週ごろ(脳の発達が活発な時期)

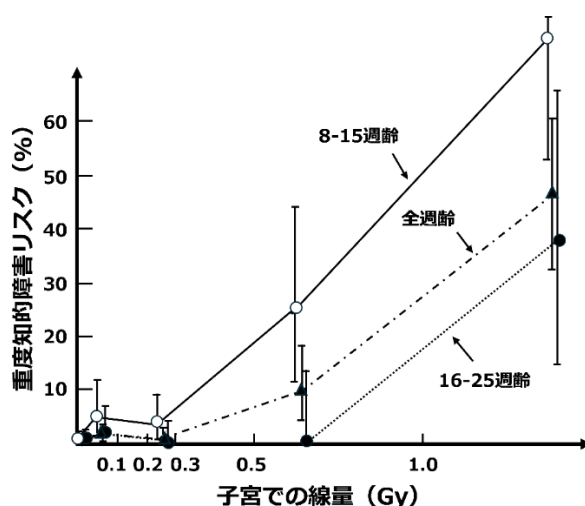
この時期は特に脳の発達がさかんな時期で、放射線をあびると脳の発達に影響(精神発達遅滞)が出る可能性があります。精神発達遅滞のしきい値は妊娠 8～15 週齢でおおよそ 0.1～0.2 Gy、妊娠 16～25 週齢ではやや高く 0.5 Gy を上回ると報告されています(図 24)。

□ 妊娠 8～40 週ごろ

この時期に 0.5～1.0 Gy 以上の放射線を受けると、赤ちゃんの発育が遅れる可能性があります。



図 23: 胎児に対する放射線の影響



放射線影響研究所ウェブサイト「胎内被ばく者の身体的・精神的発育と成長」

(https://www.rerf.or.jp/programs/roadmap/health_effects/uteroexp/physment/)を参照

図 24: 被ばく線量と胎内週齢別の重度知的障害

2-3. 発がん、非がん疾患、遺伝性影響

2-3-1. 放射線発がん

(i) がんについて

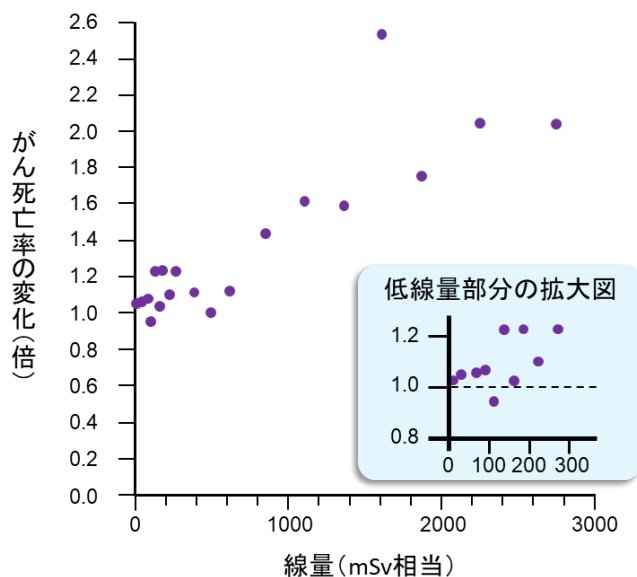
がんは、放射線被ばくとは関係なしに、日本人の半数以上(男性で約 6 割、女性で約5割)が一生に少なくとも一度はかかる病気であり、日本人の死因の約 2 割を占めています¹。がんは体の様々な部位に発生する病気ですが、その発生のしやすさは部位によって異なっています。大腸、肺、胃、女性の乳房などは、がんの特に発生しやすい部位です²。がんの発生には、喫煙、飲酒、食生活、運動不足、太りすぎと痩せすぎ、ある種の病原体への感染などが関係しています¹。

(ii) 被ばくの量とがんの確率

放射線に被ばくすると、被ばくした線量に応じて、がんのかかりやすさ(確率)が増加することが知られています。線量が低ければ、その増加の程度も小さくなります。がんになる確率やがんが死亡する確率は、1000 mSv 相当ごとに、自然発生率の 0.5 倍分くらい増えます(図 25)。

ある程度より低い線量(100 mSv 未満)で、がんの確率がまったく増加しないかどうかは、はっきりとはわかっていません。その理由の一つは、先に述べたように、もともとがんがありふれた病気であることです。すなわち、がんの発生は確率的であるため、データにある程度の確率的なばらつきがあります。図 25 の点がきれいに並んでいないのも、そのようなばらつきの一例と考えられます。このばらつきがあるため、数十 mSv 程度の低い線量に被ばくした人々の集団と被ばくしていない一般の人々の集団の間でがんになる確率を比較しても、違いを見極めることができないのです。

この点については、今もさまざまな研究が進められています。



読者の便のため原典の 1 Gy を 1000 mSv 相当とした。

(Ozasa et al. Radiation Research 2012;177(3):229-243 を元に作成)

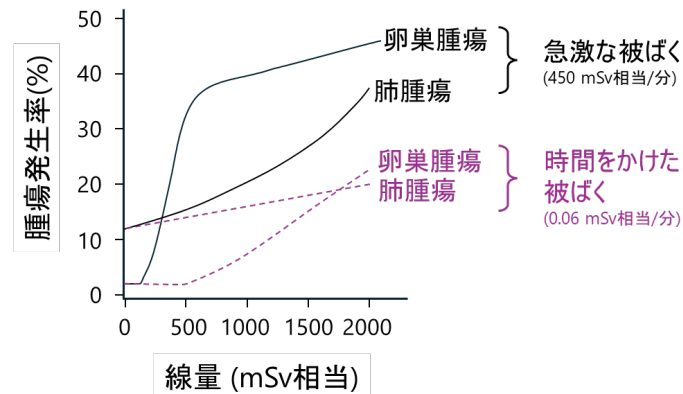
図 25: 原爆被爆者におけるがん死亡率の変化と放射線量の関係

(iii) 時間当たりの被ばく量とがんの確率

合計では同じ量になる放射線を、短い時間で急激に被ばくする場合と、長い時間をかけて少しずつ被ばくする場合では、後者の方が放射線の影響が少なくなるのが一般的です。これ

は、被ばくしている間にも、傷ついた DNA を細胞が修復しているためだと考えられます(第4章「線量・線量率」を参照)。

動物を用いた実験では、長い時間をかけた方が、がんの確率も少なくなることが認められています(図 26)。一方、被ばくした人々の集団を調べた研究では、その違いはよくわかっていません。様々なデータを総合した解析により、長い時間をかけた低い線量の被ばくでは、急激な高い線量の被ばくと比べて、がんの確率の増加のしかた(図 25 のようなグラフの傾きに相当)は半分程度になると推定されています。



読者の便のため原典の 1 rad を 10 mSv 相当とした。

(Ullrich and Storer, Radiation Research 1979;80:325-342 を参照)

図 26: マウスの発がんに対する急激な被ばくと時間をかけた被ばくの影響

(iv) 体の部位、年齢による影響の違い

体の部位によって、放射線被ばくによるがんの確率の増加しやすさは異なっています。もとごとがんの発生しやすい大腸、肺、胃、女性の乳房などは、他の臓器と比べ、放射線による増加も大きいことが知られています。一方、皮膚がんの一種であるメラノーマや、子宮頸がんなどは、放射線被ばくによる増加が認められていないがんの例です。

被ばくした時の年齢によっても、放射線被ばくによるがんの確率の増加のしやすさは異なります。被ばく量が同じである場合の全身のがん確率の増加は、被ばく時の年齢が 10 歳若くなるごとに約 1.2 倍となることが知られます³。胎児が被ばくした場合の影響はまだ研究途上ですが、現在までの結果によると、少なくとも、成人と比べて影響が非常に大きいということはありません⁴。

(v) 被ばくによってがんになる仕組み

放射線は、細胞の中の DNA に傷をつけます。細胞がこの傷を修復しようとする際、完璧に戻ることができず、DNA に書かれた情報を変化させてしまう可能性が、多少ながらあります。DNA に書かれた情報のうち、重要なものは数パーセント程度だと考えられています。そのため、DNA の情報が変化しても、多くの場合、影響はありません。しかし、がんの原因となるような情報変化が起こってしまう可能性が、わずかながらあります。このようにして変化した細胞ができることが、放射線によってがんの確率が増えるメカニズムだと考えられています。

注意しておきたいのは、これによってワンステップでがんが生じるとは考えにくいということです。上に述べた喫煙、飲酒や、その他の要因がさらに作用することで、数年から数十年かけて、がんが生じると考えられます。放射線によるがん発生の仕組みについては、今も研究が進められています。

(vi) 直線・しきい値なし(LNT)モデル

放射線の影響から人々を守るためには、慎重な考え方が必要です。現状では、数十 mSv のレベルで統計学的に有意かつ多くの研究に一貫した影響があるという結論は、得られていません。そこで、非常に低い線量の放射線に被ばくした場合であっても、高い線量における「がんにかかる確率と線量との関係式」を当てはめて、非常にわずかながらがんの確率が増えると仮定されます(図 27)。この考え方を、直線・しきい値なしモデル(英語の linear no threshold の頭文字をとって LNT モデル)と呼びます。

LNT モデルは、被ばくによってがんになる仕組みとも関係があります。被ばくする放射線の量が極端に少ない場合、たとえば放射線1本(光子1個)が細胞に当たる場合を考えてみます。その場合も、DNA が傷つく可能性はゼロではなく、DNA に書かれた情報が変化してがんの原因となる可能性もゼロではないと考えることもできます。これも LNT モデルという慎重な考え方の基礎になっています。

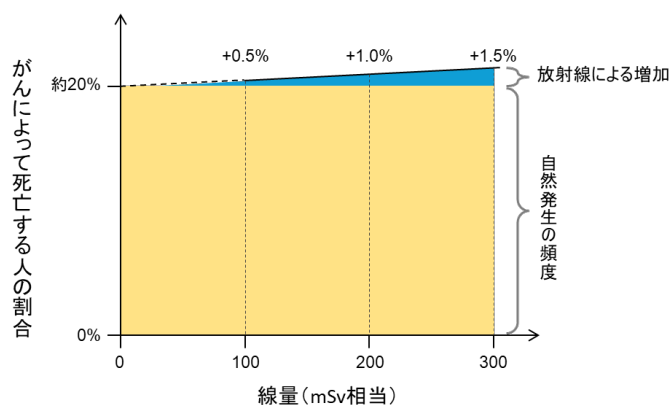


図 27: LNT モデルの考え方

2-3-2. 放射線による非がん疾患

(i) 放射線と、がん以外の疾患

放射線被ばくによって、がん以外のいくつかの病気が長期的に増加することが知られています。例として、白内障、循環器疾患、消化器疾患、呼吸器疾患などがあります⁵。

(ii) 白内障

白内障については第 2 章 2-2-4 をご覧下さい。

(iii) 循環器疾患

循環器疾患は、日本人の死因の 2 割を占める病気です⁶。その発生には、糖尿病、喫煙、高血圧、高コレステロール、肥満などが関わっています。

心臓や大きな動脈に 5,000 mSv 相当を超える放射線被ばくを受けると、循環器疾患の確率が高まることが、古くから知られていました。さらに最近になると、500 mSv 相当を超える放射線被ばくによっても、線量に応じて循環器疾患が増えることがわかってきました⁷。500 mSv 相当未満の影響については、被ばくがない状態の発生率と大きく変わっていませんが、今も研究が進められているところです。

(iv) その他

消化器疾患や呼吸器疾患による死亡率も、原爆被爆者において被ばく線量に応じて増えていることが知られています。その割合は、循環器疾患よりもかなり低くなっています。

2-3-3. 遺伝性影響

(i) 遺伝について

遺伝は、親が持つ性質が子孫に引き継がれる現象です。精子や卵によって DNA が親から子に世代を超えて伝わることで、遺伝が起こります。DNA の変化によって、先祖が持たなかった遺伝的な性質が子孫に現れることを、突然変異(あるいは単に変異)と呼びます。

(ii) 自然に起こっている突然変異

DNA レベルで見ると、突然変異は常に起こっています。人が両親から受け継ぐゲノム(DNA 全体)には約 60 億の文字に相当する情報が入っています。ここでは、A, C, G, T という4種類の塩基が文字に相当します。1 世代で、約 60 億のうち約 70 文字分が自然に変化(=突然変異)していると推定されています⁸。DNA に書かれた情報のうち、重要なものは数パーセント程度だと考えられています。そのため、突然変異の大部分は何の影響も生み出しませんが、一部が病気の原因になる可能性はあります。また、突然変異には、生物進化の原動力となるという側面もあります。

(iii) 生殖細胞の被ばくと突然変異

精子や卵など次世代を生み出す細胞や、それらの元になる細胞を、生殖細胞と呼びます。放射線は DNA に傷をつけるため、生殖細胞がそれを直そうとする際に誤って遺伝情報を変化させてしまい、突然変異を起こす可能性が考えられます。実際、作物などに多くの放射線を当てて、品種改良を行うことがあります。これは、放射線が生殖細胞の DNA に傷をつけることで、自然に起こるよりも多くの突然変異が得られることを利用したものです。

なお、生殖細胞以外の細胞を体細胞といいます。体細胞が放射線に被ばくしても、将来生まれてくる次世代の突然変異にはつながりません(図 28)。

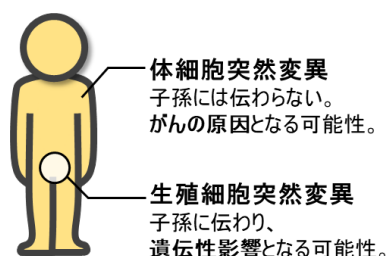


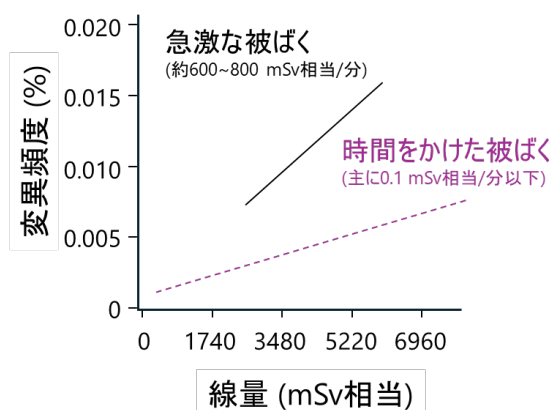
図 28: 体細胞と生殖細胞

(iv) 実験動物での遺伝性影響

1920 年代に、数千～数万 mSv に相当する強い放射線をハエに当てて、生まれてくる 2 代目以降を観察する実験が行われました。この研究では、羽の長さや眼の色といった変異体の出現率が放射線の量に応じて増えていることが報告されました⁹。

1950～70 年代には、米国で実施されたマウスを用いた実験の結果が報告されました。この研究では、マウスに数千 mSv に相当する強い放射線を当てると、その次世代で毛の色などの突然変異率が線量に応じて高まりました(図 29)。最近では、やはり数千 mSv に相当する放射線を当てたマウスの次世代のゲノム全体を調べ、放射線に関連すると考えられる変異の増加が確認されています。

このように動物を用いた実験では、非常に強い放射線を使用して、次世代に遺伝するような影響が観察されています。



読者の便のため原典の1 Rを8.7 mSv 相当とした。

(Russell and Kelly, Proc Natl Acad Sci U S A 1982;79:542-544 を元に作成)

図 29: 雄マウスにおける放射線の量と次世代の突然変異頻度の関係

(v) 人への遺伝性影響

人についても、放射線が次世代の突然変異に及ぼす影響が研究されてきました。これらは数百 mSv 相当の、上記の動物実験と比較すると少ない量の放射線に被ばくした人々の集団を対象にしたものです。

原爆に直接被爆した人々の子どもを対象に実施された初期の調査では、出生時の奇形や新生児死亡、死産、性比などの影響は確認されませんでした¹⁰。平均年齢 47 歳までの原爆被爆2世を対象にした調査でも、放射線によるがんおよび非がん疾患による死亡率に放射線の影響は認められていません¹¹。また、現ウクライナ(旧ソ連)のチヨルノービリ原子力発電所事故の緊急作業に従事した人々の次世代のゲノムを調べた研究の第1報では、放射線による突然変異の増加は見つかりませんでした(表3)。このような研究は現在も進行中です。

このように、人において放射線の遺伝性影響は確認されていません。人以外の生物で見られる遺伝性影響が人で見られていない理由は、よくわかっていません。放射線による遺伝性影響が人でも起こると仮定しても、動物の実験結果から推測される数百 mSv 相当の遺伝性影響は非常に小さいものです。確率的なばらつきも考慮すると、自然に発生する頻度と区別できないだろうと考えられます¹²。

なお、人の遺伝性影響に関しても、上述の LNT モデルの考え方が取り入れられています。

表 3: チヨルノービリ事故後 15 年間に生まれた 130 人とその両親(平均線量 365 mSv)の全ゲノムを調べ、子の突然変異を解析した結果(Yeager et al. Science 2021;372:725-729)

| 条件 | | 子の突然変異の数の増加 (95%信頼区間) | 結果 |
|--------------|--------------------|--------------------------|-----|
| 放射線と 関係なく | 母親の年齢が1歳増えるごとに | +0.46 個 (-0.02~0.93) | 非有意 |
| | 父親の年齢が1歳増えるごとに | +1.94 個 (1.51~2.36) | 有意 |
| 放射線と 関連して | 母親の線量が1 mSv 増えるごとに | -0.02 個 (-0.04~0.007) | 非有意 |
| | 父親の線量が1 mSv 増えるごとに | -0.0007 個 (-0.003~0.002) | 非有意 |

※読者の便のため原典の mGy を mSv に置き換えた。プラスの突然変異数は増加、マイナスの突然変異数は減少を示す。95%信頼区間は、確率的なばらつきの範囲を表す指標であり、これが0を含まない場合、結果は有意と判定される。

参考文献

- 1 [最新がん統計、国立がん研究センター](#)

- 2 [それぞれのがんの発生要因、国立がん研究センターがん情報サービス](#)
- 3 Grant et al. Radiation Research 187: 513-537, 2017
- 4 [胎内被爆者のがん発生率、公益財団法人放射線影響研究所](#)
- 5 [がん以外の疾患による死亡、公益財団法人放射線影響研究所](#)
- 6 [循環器病は防ぐことができる、一般社団法人日本循環器協会](#)
- 7 [Little et al. International Journal of Radiation Biology 97: 782-803, 2021](#)
- 8 Kong et al. Nature 488: 471-475, 2012
- 9 Muller. Science 66: 84-87, 1927、[放射線の影響がわかる本\(2020 改訂版\) 第7章 遺伝・妊娠・出産と放射線との関係、公益財団法人放射線影響協会](#)
- 10 [原爆被爆者の子供における放射線の遺伝的影響、公益財団法人放射線影響研究所](#)
- 11 [被爆者の子供における死亡率およびがん罹患率、公益財団法人放射線影響研究所](#)
- 12 [日本保健物理学会・日本放射線影響学会 低線量リスク委員会 低線量リスクに関するコンセンサスと課題、放射線生物研究 55: 85-172, 2020](#)

2-4. 放射線影響の変わる要因

2-4-1. 線量と線量率

これまでに放射線の影響はどれだけ被ばくしたか、つまり線量によって決まることを説明しました。また、線量には、生体が単位質量あたり吸収するエネルギーである吸収線量(単位: Gy)、それに重み付けをした等価線量および実効線量(単位: Sv)で表すことを説明しました。単位時間あたりに被ばくする線量を「線量率」といいます。「線量」と「線量率」をきちんと区別することが重要です。

たとえば、一般的ながん治療では1分あたり1Gy(1 Gy/minと書きます)程度の線量率で患部を照射します。また、放射線影響研究の多くも1 Gy/min程度の線量率で行われてきました。一方、私たちが日常大地や宇宙から受けている放射線は、日本平均で1時間あたり0.07マイクロシーベルト(0.07 μ Sv/hと書きます)程度です。

1回で被ばくした場合と2回以上に分けて被ばくした場合の影響

一般に、同じ線量であっても、1回で被ばくした場合に比べて、2回以上に分けて被ばくした場合には、影響が小さくなる傾向があります。これは1回目の照射で受けた損傷の中には、そのままでは影響が現れないものの、蓄積すると影響が現れる損傷があり、そのような損傷が2回目の照射の前に修復されるからです。(コラム参照)

短時間に被ばくした場合と長期にわたり連続的に少しずつ被ばくした場合の影響

一般に、同じ線量であっても、短時間に被ばくした場合に比べて、長期にわたり連続的に少しずつ被ばくした場合には、影響が小さくなる傾向があります。これは2回以上に分けて被ばくした場合と同じように考えることができます。すなわち、少しずつ被ばくして、そのままでは影響が現れない損傷が生じて、蓄積する前に修復されるからです。(コラム参照)

コラム 分割照射と線量率の効果を野球で理解する

ある野球の試合で10本のヒットを打たれたとします。いずれもシングルヒットで、走者は一つずつ先の塁に進むとします。そのほかは、ツーベース、スリーベース、ホームラン、フォアボール、デッドボール、それからエラー、振り逃げ、盗塁、犠打もなかったとします。何点取られるでしょうか。

まず、1つのインニングで10本打たれ、あとのインニングはヒットを打たれなかった(つまり、残り8インニングはパーフェクトだったということだ)場合はどうなるでしょう。最初の3本のヒッ

トで満塁になりますが、まだ点は取られません。4本目で初めて点を取られ、10本目までで7点取られることとなります。

次に、2つのイニングで5本ずつ打たれた場合、いずれも4本目、5本目のヒットで1点ずつ、合計4点取られることとなります。1イニングで10本打たれるより、失点は少なくなります。

では、1回から8回まで1本ずつ、9回だけ2本打たれたらどうでしょう。これもヒットは合計10本です。しかし、取られる点は0点です。

放射線の影響もこれに似ています。1つ目の場合が1回、短時間で被ばくした場合、2つ目の場合が2回に分けて被ばくした場合、3つ目の場合が長期間にわたって少しずつ被ばくした場合に対応しています。

2-4-2. 外部被ばくと内部被ばく

体の外にある放射線源(放射性物質、放射線発生装置など放射線を出すもの)から放射線を浴びることを「外部被ばく」、体の中に入った放射線源から放射線を浴びることを「内部被ばく」と言います(図30)。

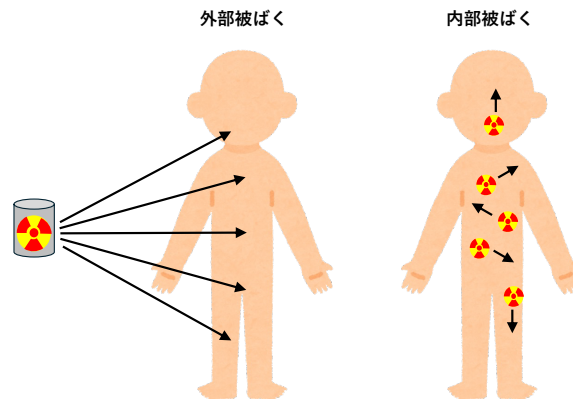


図30: 外部被ばくと内部被ばく

(i) 外部被ばく

外部被ばくには、大地や建物の材料から出てくる放射線、宇宙から来る放射線の被ばく、X線検査やCT検査などでの医療被ばくなどがあります。外部被ばくでは、放射線源の近くにいる間、あるいは放射線源から放射線が出ている間だけ被ばくします。また、放射線源から離れると時間あたりの被ばく量は少なくなります(単一の小さなX線やγ線の線源では距離の2乗に反比例します)。さらに、放射線源と体の間に適切な物質をおいて遮へいすることで、被ばく量を少なくすることができます(図31)。

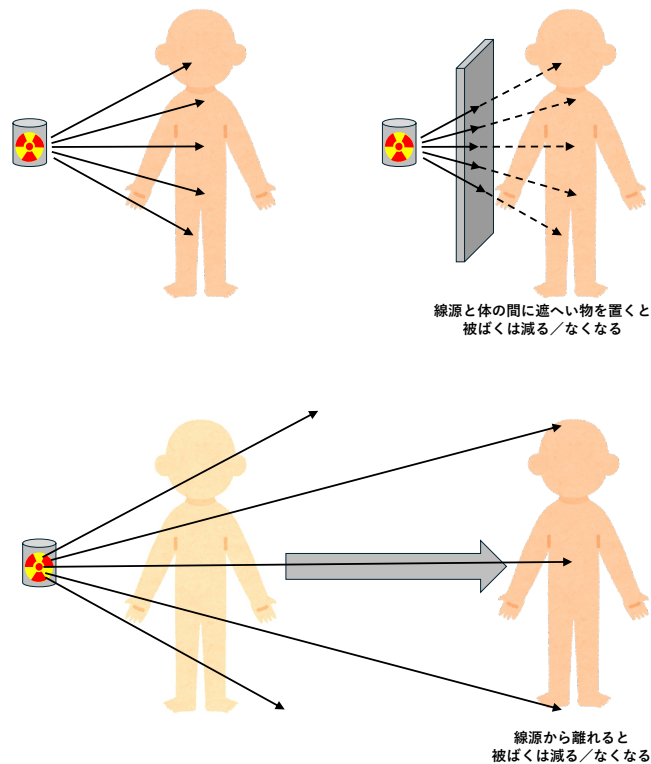


図 31: 外部被ばくを減らすには？

(ii) 内部被ばく

内部被ばくは放射性物質が体の中に入ることによって起こります。入り方(経路)には、主に①呼吸の際に吸い込む(吸入あるいは経気道摂取)、②食べ物、飲み物と一緒に飲み込む(経口摂取)、③皮膚から吸収される(経皮摂取)、④傷口から侵入する(創傷侵入)の4つがあります(図 32)。

内部被ばくは、放射性物質が体内から尿、便などによって排出されるか、減衰によってなくなるまで続きます。また、放射性物質の種類によっては、特定の組織や臓器に集まりやすい性質があります。たとえば、放射性ヨウ素は甲状腺に集まりやすく、放射性ストロンチウム、ラジウムなどは骨に集まりやすい性質を持っています。外部被ばくの場合、到達距離(飛程)が短く、透過力が小さい α 線の影響はほとんど考慮する必要がなく、 β 線の影響も線源に近い部分の皮膚などに限定されますが、内部被ばくの場合、 α 線、 β 線の影響に注意が必要になります。

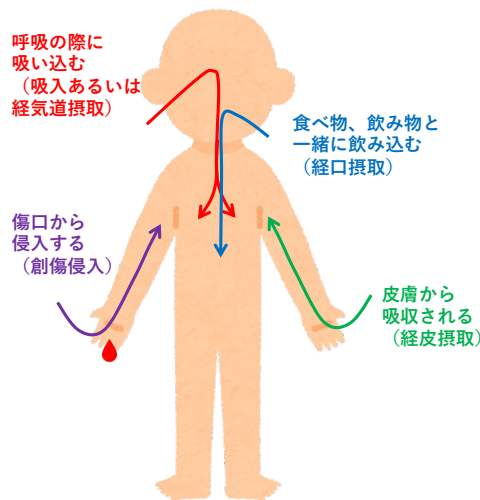


図 32: 放射性物質はどのようにして体の中に入る？

(iii) 外部被ばくの線量

v 線量計はある場所にいるとどれだけ被ばくするかを示します。一般によく用いられる線量計は、そこにいると時間あたりどれだけ被ばくするかという空間線量率を示していますから、「線量率計」と呼ぶのがふさわしいかも知れません。たとえば、家の中での空間線量率を測定したときに $0.05 \mu\text{Sv/h}$ であったとすると、1 年あたり $0.05 \times 24 \times 365 = 438 (\mu\text{Sv})$ 、すなわち約 0.4 mSv 被ばくしていることとなります。

(iv) 内部被ばくの線量

内部被ばくの線量を求めるのは、外部被ばくの場合と比べて複雑です。上で説明したように、内部被ばくは放射性物質が体内から排出されるか、減衰によってなくなるまで続きます。また、放射性物質の種類によって集まりやすい組織や臓器が異なり、組織や臓器によって影響の受けやすさが異なるためです。このようなことを考慮して、1 ベクレル (Bq) 摂取した場合に、子どもであれば摂取時から 70 歳に到達するまで、成人であれば摂取時から 50 年の間に、どれだけ被ばくするかという値が、放射性同位元素と化合物の種類ごとに計算されています。なお、子どもの場合 70 歳に到達するまで、成人であれば摂取時から 50 年の間に被ばくする実効線量を「預託実効線量」といいます。また、1 ベクレルあたりの預託実効線量を「預託実効線量係数」といいます。したがって、内部被ばくの預託実効線量は、摂取した放射性物質の放射能に預託実効線量係数をかけることで、コラムの例のように簡単に計算することができます。

コラム 食物摂取による内部被ばくを計算する

例1) 成人が 1000 ベクレルのセシウム 137 を経口摂取した場合
 預託実効線量係数は $0.019 \mu\text{Sv/Bq}$ となっています。ですから、
 $0.019 \times 1000 = 19 (\mu\text{Sv})$ となります。自然に存在しているカリウム 40 の経口摂取による内部被ばくは年間 0.2 mSv なので、その約 10 分の 1 となります。

例2) 5 歳児が 1kg あたり 300 ベクレルのヨウ素 131 を含む食品を 5kg 経口摂取した場合、
 預託実効線量係数は $0.10 \mu\text{Sv/Bq}$ となっています。ですから、
 $0.10 \times 300 \times 5 = 150 (\mu\text{Sv})$ 、つまり 0.15 mSv となります。

2-5. 放射線から受ける人体の健康リスク比較

Sv という単位を用いることで他のリスクとの比較が可能となります。化学物質や病原微生物などではこのような比較をおこなうことは容易ではありません。上記が可能になったことは、放射線リスクが Sv という単位で表現出来るようになったことと関連しています(他稿参照部位提示)。

2-5-1. がんによる死亡リスク比を用いた健康リスク比較 (表 4)

一定量の放射線被ばくによる生涯がん死亡リスク(確率)は、喫煙などの他の有害因子や生活行動による生涯がん死亡リスク(確率)と比較することができます。例えば 100~200mSv 被ばくにおけるがん発生の相対リスク(1.08)は、野菜不足のそれ(1.06)と同程度のリスクと考えられます。このように、リスク比を用いたリスク比較を行うことが可能です。

ただし、両者のリスクはいくつかの点で性質が異なるため、両者を単純に比較することができないことには注意が必要です。例えば、野菜不足であることは目に見えて把握でき、制御可能で、自らの意思で自発的に摂取量を調整できると考えられるのに対して、放射線のリスクは目に見えず、制御できず、非自発的にリスクにさらされると考えられるからです(参考文献 村上道夫、リスクコミュニケーションにおいて専門家に求められる 7 のエッセンス、イルシー、130, 3-10, 2017)。

表 4: がんによる死亡リスクを用いた健康リスク比較

| リスク がんのリスク(放射線) | | リスク がんのリスク(生活習慣) | |
|---------------------|--------------------------------|---|--|
| 放射線の線量 (ミリシーベルト) | がんの相対リスク※ | 生活習慣因子 | がんの相対リスク※1 |
| 1,000~2,000 | 1.8 【1,000mSv 当たり 1.5 倍と推計】 | 喫煙者 大量飲酒(450g 以上/週)※2 | 1.6 1.6 |
| 500~1,000 | 1.4 | 大量飲酒(300~449g 以上/週)※2 | 1.4 |
| 200~500 | 1.19 | 肥満(BMI ≥ 30) やせ(BMI < 19) 運動不足 高塩分食品 | 1.22 1.29 1.15~1.19 1.11~1.15 |
| 100~200 | 1.08 | 野菜不足 受動喫煙(非喫煙女性) | 1.06 1.02~1.03 |
| 100 未満 | 検出困難 | | |

※放射線の発がんリスクは広島・長崎の原爆による瞬間的な被ばくを分析したデータ(固形がんのみ)であり長期にわたる被ばくの影響を観察したものではありません。
※相対リスクとは、ある原因(ここでは被ばく)により、それを受けた個人のリスクが何倍になるかを表す値です。

出典: 国立がん研究センターウェブサイトより作成

※1 相対リスクとは、ある原因(ここでは生活習慣)により、それを受けた個人のリスクが何倍になるかを表す値です。

※2 飲酒については、エタノール換算量を示しています。

改変環境省「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)」

2-5-2. 寿命短縮日数を用いたリスク比較 (表 5)

損失余命(LLE: Loss of Life Expectancy)とは、特定の健康リスクによりその時点以降残っている寿命が何日減少するかを示した値です。損失余命が大きいことは、そのリスクによって寿命が短くなることを示します。

さて、喫煙、飲酒などの生活行為と、生活の中で受ける放射線被ばくとのリスクの大きさが損失余命を用いて示されています(表 5)。この表で損失余命が大きいということは、生活行動を行った時点以降の余命が短くなること、すなわち健康影響が大きいことを示しています。この表からは、米国・日本双方において自然放射線と比較して、喫煙、飲酒などの有害因子や生活行動の方が、損失余命が大きいことがわかります。

ここでは、自然放射線による年間被ばく線量について、小川氏は、「1.2mSv/年」、Cohen氏は「1mSv/年」と仮定して、それぞれ「損失余命」を計算しました。その結果、一生のうち日常生活における被ばくによって失われる日数をそれぞれ「8日」および「12日」と推測しています。

このように、Svで示された被ばく線量をリスク比や損失余命に換算することで、他のリスクとの比較が試みられています。

表 5: 日本と米国それぞれにおける生活行為のリスク比較の中の放射線影響

| | 日本(2004年) ¹⁾ (日) | 米国(1979年) ²⁾ (日) |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 喫煙 | 2208 | 2250 |
| 肥満 | 1412 | 1300 |
| がん | 1137 | 980 |
| 独身(男性) | 948 | 3500 |
| 心臓病 | 618 | 2100 |
| 独身(女性) | 607 | 1600 |
| 脳卒中 | 515 | 520 |
| 肺炎/インフルエンザ | 308 | 141 |
| 自殺 | 195 | 95 |
| 自動車事故 | 91 | 207 |
| 飲酒 | 77 | 130 |
| 大気汚染 | 26 | 80 |
| 自然放射線 | 12 | 8 |
| 火事/火傷 | 9 | 27 |
| 殺人(他殺) | 7 | 90 |
| 航空機事故 | 0.4 | 1 |
| エイズ | 0.26 | 70 |
| 原子力産業 | 0.012 | 0.02 |
| 地層処分 | 0.006 | 0.007 |
| 屋内煙検知器 | -6 | -10 |
| エアバッグ | -22 | -50 |

1)小川順ほか 日本における生活行為のリスク比較. 日本原子力学会 年会・大会予稿集.2004;2004f:5-

2)Cohen BL, Catalog of risks extended and updated, Health Phys. 61(3),1991

コラム 損失余命を用いたリスク比較の例: 福島第一原子力発電所事故(表 6)

損失余命を用いて、緊急避難と放射線被ばくのリスクを比較した研究を紹介します。2011年に発生した福島第1原子力発電所事故時の緊急避難(Rapid evacuation)と、シミュレーションした待機的避難(90-day delayed evacuation)、100mSvの急性1回被ばく(100-mSv exposure)などとの損失余命日数を比較した報告です。結果からは、緊急避難の損失余命は、待機的避難の400倍以上(11000≧27)、100mSvの急性1回被ばくの1.9倍(11000≧5800)大きかったことが伺われます。このように、放射線リスクと他のリスクを比較することで、我々の施策や避難行動を考えるきっかけが得られる可能性があります。

表 6: 損失余命を用いたリスク比較の例: 福島第一原子力発電所事故

| | Rapid evacuation | 90-day delayed evacuation | 20-mSv exposure | 100-mSv exposure |
|------------------------|--|---------------------------|-----------------|------------------|
| Evacuation-related | | | | |
| Nursing home residents | 11000 (10000-13000)[880 (730-1200)] ^a | Unknown | - | - |
| Nursing home staff | Not observed | Unknown | - | - |
| Radiation-related | | | | |
| Nursing home residents | 0.01 | 1.7 | 100 | 530 |
| Nursing home staff | 0.1 | 26 | 1000 | 5300 |
| Total | 11000+ (10000+-13000+) | 27+ | 1100 | 5800 |

^a LLEs due to non-evacuation-related effects (e.g. disaster-shock), as estimated from the data from Nursing home group B.

doi:10.1371/journal.pone.0137906.t005

Murakami M, et. Al., PLoS One 2015;10:e0137906.

2-5-3. 100mSv 未満のリスク

(i) 保守的に仮定する

100mSv 未満の放射線影響を調査した研究では、人体の健康に良い影響がある(がん死亡率が低下する)報告と、悪い影響がある(がん死亡率が上昇する)報告との両方が認められます。そのため杓子定規に表現すれば「100mSv 未満の健康影響が科学的には証明出来ない」と解釈されます。ですが、これでは社会で生きる我々が 100mSv 未満のリスクにどのように対応してよいか判りません。そこで、最悪の状況を想定しておき、少なくともその状況よりは影響は低いだらうとする考え方(保守的の評価)を適用して、100mSv 以下であっても放射線リスクが存在すると仮定して防護対策を講じています(LNT 仮説部分の記載場所を提示)。ここでのポイントは、100mSv 未満の放射線リスクが科学的研究結果に基づくのではなく、あくまで防護の為の仮説であるという点です。ですが、その方が、以下の様な利点があると国際社会は考えたのです。

(ii) ALARA というポリシー

上記のような理由から、国際社会では 100mSv 未満であっても、幾何かの健康リスクが存在すると仮定して、放射線簿防護対策を講じています。そしてそのための基本的な考え方として、無用無益な被ばく・汚染は極力低減すること(As Low As Achievable)が推奨されています。ただし、無理なきように(Reasonably)低減するという条件付きです。放射線リスクを低減する為に、結果として健康リスクを上昇させないように合理的に低減するという条件付きです。このような考え方を ALARA(As low As Reasonably Achievable)と呼びます。視点を変えれば、100mSv 以下の健康リスクはサイエンス(科学的事実に基づく防護体系)ではなくポリシー(政策や文化的背景に基づく防護体系)に基づくと考えられます。

2-5-4. 福島第一原子力発電所や医療機関における汚染拡大防止対策の変化

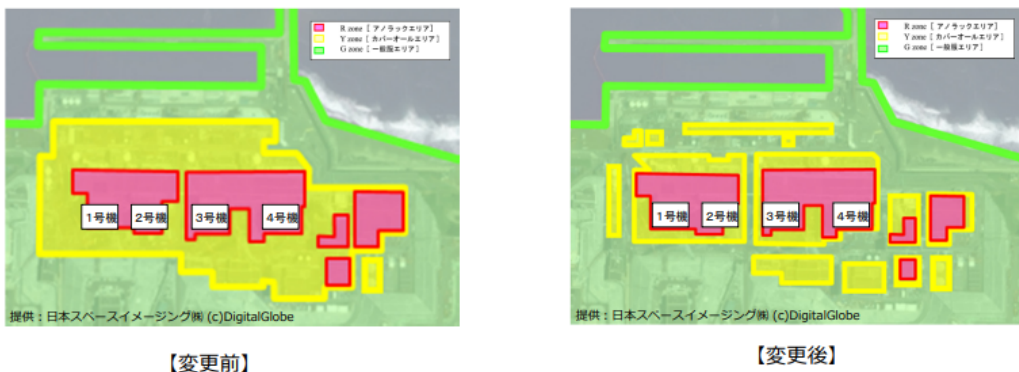
(i) 最適な防護装備 ≠ 嚴重な防護装備

廃炉作業中の原子力発電所では、作業員の皆さんが白い上下つなぎの防護衣を装着し、顔前面をマスクで覆っている光景をご覧になったことがあるでしょう。現在、福島第一原子力発電所では、防護装備を装着すべきエリアを可能な限り縮小しようと考えています。その理由は、構内の除染が進み防護装備が不要になってきたためです。もう一つの理由は、嚴重な汚染拡大防止対策を講じれば講じるほど、作業員の身体負担が上昇し、結果的には作業環境が悪化するからです。

(ii) 風化ではなく最適化・進化

事故直後は、発電所構内全域で全面マスクと防護服の着用が必要でした。しかし全面マスクを装着することにより息苦しいばかりでなく作業時に同僚の声が聞こえづらくなるため緊急時の情報を作業員が検知しにくくなります。また上下つなぎの防護服を装着すると動きづらく熱がこもるといった課題がありました。これらは、作業時の大きな負担になるとともに、一部の労務災害の一因とも考えられていました。

そのため福島第一原子力発電所では、除染、フェーシング作業による環境線量低減対策を行うことで、全面マスクと防護服の着用が不要なエリアは、現在構内面積の 96%まで拡大しました(図 33)。



https://www.tepco.co.jp/decommission/information/committee/roadmap_progress/pdf/2018/d180426_12-j.pdf

図 33: 福島第一原子力発電所における防護衣装着エリアの縮小

被ばく・汚染を伴う傷病者を受け入れる医療機関でも、同様の変化が起きています。事故直後は放射性物質に関する情報の信頼性と職員の知識・技術の双方が必ずしも担保されなかったために、嚴重な防護装備が講じられてきました。一方で、防護装備を嚴重にすることで医療の質が低下しないように常に配慮がなされてきました。その後、医療担当者の知識・技術が向上するとともに、事業所との連携構築を図り提供される情報の質と信頼度が高まりました。現在では、被ばく・汚染を伴う傷病者であっても、事前に放射線に関する情報が提供されれば、これまでのような嚴重な防護装備を装着しなくとも医療を提供できるようになりました(図 34)。

これらは、福島事故後の意識の風化ではなく、放射線防護の最適化、いいかえれば進化と言えるかもしれません。



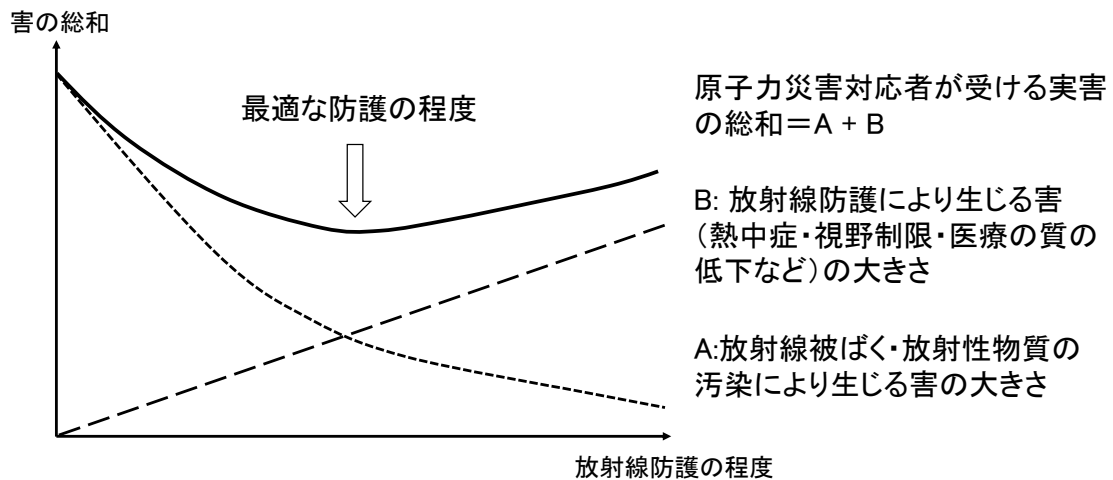
図 34: 医療機関における防護衣の変化

(iii) 目的と手段をとりちがえない

これまで放射線被ばくによる健康リスクを具体的に皆さんと考えてきました。ここで敢えて皆さんと考えたいのは、同じリスクであってもそれを皆さん個人がどの程度恐ろしいと捉えるか(リスク認知)の大きさは多様であるという現実です。

例えば「一日寿命が短縮する」ことについて考えると、それがどの程度恐ろしいことと捉えられるかは、受け手の性格・年齢・状況などにより千差万別であることは容易に想像が付くでしょう。

誤解を恐れずに極言すれば、放射線リスクを低減することは、あくまでも手段でしかありません。真の目的は、1人1人か価値ある人生を納得して生きることではないでしょうか。例えば原子力災害対応者の放射線防護装備の例を挙げれば、防護装備が嚴重であればあるほど作業員の全体としての健康が向上するわけではありません。嚴重過ぎる防護はむしろ健康に害が生ずるということ覚えていてください(図 35)。



Health Phys. 111(2):218-222; 2016 の図 1. をもとに筆者が改変作成

図 35: 放射線防護の程度と防護により生じる害の関係(イメージ)

翻って福島事故後現在まで様々な社会混乱が発生してきました。その一因として、事故直後に私たちが、上記の目的と手段を必ずしもただしく区別して対応できなかった点が挙げられるのではないかと考え反省しています。

本項で考えてきた放射線リスクの大きさや他の要因との比較が、もし皆さんが将来放射線危機に直面した際に、皆さん自身の人生の目的とその手段を考える参考になればと願っています。

福島第一原発事故時(2011年)の Q&A アーカイブ

2011 年当時に Q&A グループ(本委員会の前身)による対応記録として、2025 年まで本学会 HP に公開しておりました Q&A について、2025 年 6 月に関連する項目ごとに組み直し整理したものです。整理に際しては、2025 年 6 月時点でアクセスできなくなっていた情報源の URL 等は削除し、該当部分の文面についての改訂を行っております。本アーカイブは当時の記録を残すためのものであり、最新情報を反映した知見を提供するものではありません。

なお、記録とする観点から、Q&A 各項目の当初掲載日および改訂日は残してあります(地名や単位の表記等の軽微な変更は改訂に含めておりません)。

【1. 放射線の基本知識・用語】

1-1. 体表面汚染と放射線被ばくはどちらがうのですか？

「放射線体表汚染」とは、放射性物質(ヨウ素 131 やセシウム 137 など)が身体の表面に付着することです。今回のような原発事故の際に、高熱により核燃料棒の破損が生じた場合、気体となって飛んでいく核分裂生成物のうち、半減期 8 日のヨウ素 131 や半減期 30 年のセシウム 137 等の放射性物質が、気流とともに拡散し地表に降下してきます。このような時に人が屋外にいと、衣服や頭髮や露出している皮膚等にヨウ素 131 やセシウム 137 等の放射性物質が付着することになります。「放射線被ばく」には大きく分けて「外部被ばく」と「内部被ばく」があります。外部被ばくは、体の外にある放射線源からの被ばくです。内部被ばくは、体内に取り込んだ放射性物質によって身体の内側から放射線を浴びることをいいます。放射性物質は、気体の放射性物質を吸い込む、あるいは、放射性物質を含んだ飲料水や食物を飲食することによって体内に取込まれます。また、創傷面が露出していると、そこから放射性物質が体内に侵入する可能性が高まります。従って、放射性物質で身体を汚染させない、放射性物質を体内に取り込まないようにすることが被ばくの機会を減らすために有効です。今回の福島第一原発事故では、屋内退避地域や局所的に著しく高い放射線、放射能が検出された地域を除けば、特別な対策をとらなくても、健康に影響が出る心配はありません。しかし、無用な被ばくを避けるために日頃から以下のようなことに心がけてください。まず、屋外から家の中に放射性物質を持ち込まないために、

(1)不要・不急の外出を控える。

(2)不必要に雨にあたらぬ。

(3)帰宅時に上着を脱ぎ、付着している微粒子を払い落とす。

[掲載日] 2011-03-27

[改訂日] 2011 年 04 月 07 日改訂

1-2. 線量と線量率のちがいは何でしょうか？

トータルとしてどれだけ放射線を受けた(被ばくした)か、積算した量が「線量」です。「線量率」とは、単位時間当たりの線量(放射線の量)のことです。例えば、空間の線量率が 1 マイクロシーベルト/時間の場所に 1 時間滞在すると、1 マイクロシーベルトの線量を被ばくすることとなります。

今回の原子力発電所の事故に伴う放射線の数値は、時間あたりのマイクロシーベルト(マイクロシーベルト毎時、マイクロシーベルト/時間、マイクロシーベルト/h)と表現されているのに、この「時間あたり」を飛ばして議論されることが見受けられますので、注意してください。放射線の健康影響は、一定時間当りの線量(線量率)がどれくらいかによって現れ方が違ってき

ます。総被ばく線量が同じでも、短時間で一度に被ばくする場合と長い時間かかってじわじわと被ばくする場合では、後者の方が影響の程度が低いことが突然変異の誘発などの実験で報告されています。

[掲載日] 2011-03-24

[改訂日] 2011年12月28日改訂

1-3. 放射線量や放射性物質での汚染情報で使われる単位、シーベルトとベクレルはどう違うのですか？

ベクレルは、放射能の強さを示す単位で、放射性物質が1秒間に1回放射性壊変をする量を表します。放射性壊変が起きると放射線が放出されます。通常、ベクレル(Bq)は、単独で使われることは少なく、単位体積当たり又は単位重量当たりの放射能の強さを表すベクレル/リットル、ベクレル/kgなどがよく使われます。一方のシーベルトは、放射線の物理量(物質に与えたエネルギーに基づく「グレイ」という単位)を元に、放射線の種類などによる違いを補正してヒトの健康への影響を換算した値です。

[掲載日] 2011-03-27

1-4. 広島・長崎で起きた原爆と福島第一原発で起きている事故は同じなのですか？

広島・長崎の原爆は核分裂反応が空中で起き、なにもさえぎるものがない状態で、大量の放射性物質が地上に降り注ぎました。チェルノブイリの事故では、核分裂反応が暴走して原子炉が爆発し、最終的には火災によって、原爆を上回る量の放射性物質がまき散らされました。これに対して、今回の福島原子力発電所では地震直後に原子炉が自動停止し、核分裂反応はその時点で止まっています。ただ、原子炉と燃料貯蔵プールの冷却機能が失われたために核燃料が過熱して一部損傷し、放射性物質の放出が起きているのです。各地で観察されている環境放射線量(大気中や降下物の放射線量)の測定結果の推移より、最初の数回の水素爆発で放射性物質が環境に放出された直後に放射線量が急激に増加し、その後は徐々に減少(降雨により一時的に増加している場合もあります)していることから、原爆からの放射性物質の大気への放出はほぼ止まっていると考えられます。原子力発電所周辺の土地の利用を制限するかどうかは、その場所に降った放射性物質の種類と量によって決まりません。福島第一原発事故の場合、これ以上の放出がなければ、制限が必要になったとしても、チェルノブイリのように広範囲・長期間に及ぶことはないと思われませんが、今後の事故収束まで状況を注視する必要があります。

[掲載日] 2011-03-22

[改訂日] 2011年04月10日改訂

【2. 放射線・放射性物質の健康への影響】

2-1. 体内に取り込まれた放射性物質によって人体に影響が出る線量はどのくらいですか？

10万マイクロシーベルト(=100ミリシーベルト)程度以下の被ばくでは健康影響の有無は明らかでないといわれています。放射性物質は、放射線を出しながら放射性のない物質に変わっていきます。そのときに発生する放射線が体に影響します。放射性物質には、あっという間に放射線を出さなくなる物質と長い間放射線を出し続ける物質があります。最初にあった放射性物質が半分になる時間を物理的半減期といって放射性物質の寿命を表していますが、実

際には、体内に取り込まれた放射性物質は、体に備わっている排泄装置によって体外へ排出されます。従って、体内に取り込まれた放射性物質の人体影響の程度は、どれくらいの放射性物質が体内に残存するかで決まります。報道でヨウ素 131 やセシウム 137 が問題と説明される理由は、それらの物質が比較的体内に残りやすい性質を持っているからです(次の項目の説明を参照下さい)。しかし、今回の事故で観察された放射線量から計算すると、たとえば放射性物質が体内に取り込まれたとしても僅かですから、被ばく量は少なく、重篤な健康被害が現れるレベルの汚染は起こりにくいと判断されます。

[掲載日] 2011-03-15

[改訂日] 2011年03月19日改訂 2011年12月28日改訂

2-2. ごく微量でも長期間体内に留まることが不安です。時間が経てば、放射性物質はすべて体外に排出されるのでしょうか？

今回のような原子力発電所事故の場合、ウラン 235 が核分裂して様々な元素に分解し、その中に放射性を示す物質が含まれます。多くの物質は、体内にとり込まれても、通常、体外へ排出されますが、なかには体の中の特定の臓器の成分に取り込まれて長期間生体内に残留する放射性物質もあります。そうした放射性物質の代表例に、甲状腺に集積する放射線ヨウ素 131 や筋肉に滞留するセシウム 137、骨に集積するストロンチウム 90 などがあります。放射性物質は、崩壊して非放射性になっていきますが、最初の量の半分になる時間は、放射性ヨウ素 131 でおおよそ約 8 日、セシウム 137 で約 30 年、ストロンチウム 90 で約 29 年です。しかも、こうした物質も糞尿などとして体内から排出されていきます。ヨウ素 131 の場合は約 80 日、セシウム 137 の場合はおおよそ 100-200 日、ストロンチウム 90 の場合は数年から数十年です。ですからもし放射性物質を体内に取り込んだ場合、次第になくなっていくものとそうでないものがあります。今回の事故で報告された放射線量から予想される放射性物質の量は、3月22日時点においてでさえ少なかったもので、2011年11月に至っては残量放射性物質の影響を心配する段階ではありません。しかしながら福島県内では土壌に付着しているセシウム 137 による被ばくを出来る限り避ける様な配慮は必要です。

[掲載日] 2011-03-15

[改訂日] 2011年03月19日改訂 2011年03月22日改訂 2011年12月28日改訂

2-3. 被ばくすると人に影響を及ぼす放射線量はどのくらいですか？

短時間での被ばくでは 100~200 ミリシーベルト以上、長期間にわたる少しずつの被ばくではその 2 倍量以上と考えられます。最も感受性の高い健康影響は、染色体異常の誘導といわれていますが、それでも 100 ミリシーベルト以下では自然レベルとの違いが観測されません。発がんでも 100 ミリシーベルト程度の被ばくでは統計的に有意な差は検出されていません。

[掲載日] 2011-03-16

[改訂日] 2011年03月22日改訂 2011年03月24日改訂 2011年03月29日改訂 2011年12月28日改訂

2-4. 被ばくによる身体的影響の特徴はなにですか？

放射線を被ばくしたことによって、身体を構成する細胞が大量に死んだ場合、その細胞が関係する部位に異常が現れます。例えば、骨髄には血液成分を作り出すおもとの細胞(造血幹細胞)がありますが、放射線被ばくによりこれらの細胞が死に絶えると、結果として白血

球や血小板、赤血球が作られなくなり、減少します。同じように毛髪の根元にある毛根の細胞が死ねば、髪の毛が抜けます。しかし、死ぬ細胞が少なければ問題にはならないため、ある程度以上の被ばくでない限り症状は現れません。最も敏感な影響とされる白血球の減少でも、50 万マイクロシーベルト(=500 ミリシーベルト)という線量が必要です。これに対して、がんと遺伝性影響は、細胞の突然変異が原因であり、低い線量でも発生確率はゼロではないとされています。しかし、10 万マイクロシーベルト(=100 ミリシーベルト)以下の被ばくでこれらの影響が人間に実際に生じるという結果は現在まで得られていません。

[掲載日] 2011-03-16

[改訂日] 2011 年 03 月 24 日改訂

2-5. 放射線による発がんリスクはどの程度ですか？

放射線を被ばくした場合の発がんリスクには、被ばく線量、被ばく時の年齢、性別など様々な要因が影響します。2003 年の放射線影響研究所の論文には、広島・長崎の原爆被ばく者の発がん疫学調査結果から推測される生涯がんリスクが示されています。原爆被爆者の疫学情報に基づいた生涯リスクの計算には、被ばく時に若かった人の追跡が終わっていないので、将来予測をおこなって推測しています。例えば、原爆投下時に 30 歳であった男性で被ばくしなかった人の集団は、その 25%の人ががんで死亡しましたが、100 ミリシーベルトを被ばくした人の集団は、その 25.9%のがんで死亡したということになります。被ばく時 30 歳であった人と比べると、50 歳であった人の生涯がん死亡リスクは 1/3 くらい低く、逆に 10 歳であった人では 2 倍くらい高いことがわかります。100 ミリシーベルトより線量が低くなると、疫学調査では、放射線を被ばくした人々と放射線を被ばくしていない人々の発がんリスクの差を検出できなくなります。

[掲載日] 2011-03-17

[改訂日] 2011 年 05 月 10 日改訂 2011 年 07 月 07 日改訂

2-6. プルトニウムから放出される放射線の生物影響はどんなものですか？

プルトニウム(Pu)には、代表的なものとして、Pu-238、Pu-239、Pu-240 があります。Pu-238、Pu-239、Pu-240 の半減期は 87.7 年、24,000 年、6,560 年ですから、減衰はあまり期待できません。いずれも、アルファ(α)線を放出します。 α 線というのは、X線やガンマ線のような電磁波ではなく、粒子が加速され、エネルギーを得て飛んでくる放射線で、 α 粒子とも言います。 α 粒子とは、ヘリウム元素の原子核に相当するものです。 α 線は大きなエネルギーを持っていますが、物質の中で飛ぶ距離(飛程といいます)が短いのが特色です。空気中でも数センチしか飛びませんし、紙1枚で遮へいすることができます。つまり、プルトニウムがあったとしても、身体から 10 センチも離れていれば、 α 線を被ばくすることはなく、身体との間に紙が1枚あれば α 線は遮へいされ、身体には届かないということです。ですから、プルトニウムが身体の外にあるときには、 α 線の被ばくを心配する必要はほとんどありません。しかし、一方、プルトニウムを口や鼻、傷口などから体内に取り込んでしまうと状況が変わります。体内では α 線は数 μm しか飛ぶことができませんが、その間に大きなエネルギーを全て放出します。そのため、近くの細胞は大きな影響を受けます。したがって、プルトニウム(他の α 線を放出する放射性物質も同じです)については、体内に取り込まないことが重要で、一般的には、外出からの帰宅時に、手洗い、洗顔、うがいなどの励行により体内への摂取を防ぐことができます。

今回、発表された福島第一原発敷地内での数値は 1.2 ベクレル/kg でした。もし仮にこの数値のプルトニウムが水道水に混入したとすると、水道水の摂取制限が行われます(飲料水

に対するプルトニウムの暫定規制値は1ベクレル/kg)。しかしながら、成人がこの水道水を 2.2 リットル飲んでも約 0.7 マイクロシーベルトの被ばくにしかなりません(プルトニウム 239 が混入したとして、実効線量係数 2.5×10^{-4} を使用して算出)。プルトニウムは非常に重い元素で、大気中へは拡散しにくいものですが、もし雨などで川から海へ流れて行っても、大量の海水で希釈されます。従って、原子力発電所のすぐそばで捕獲・養殖しない限り、魚介類、海藻類に取り込まれるプルトニウムはごく微量で食べても健康への影響はないと思われます。

[掲載日] 2011-04-04

[改訂日] 2011年04月06日改訂 2011年12月28日改訂

【3. 福島第一原発事故：放射線の測定値・避難基準】

3-1. 各地の放射線量が文科省のホームページで公表されていますがこれらは危険な値ではないでしょうか？

2011年3月11日に地震を受けた福島原子力発電所は、核分裂反応を緊急に停止させ、原子炉を安定にするための冷却をおこなっていましたが、引き続き津波の影響で冷却装置が破壊されました。そのため、福島原子力発電所では、原子炉内の冷却が行えず、冷却水から燃料管が露出し高温になって一部が破損されました。その際、発生した水素が2011年3月15日前後に爆発を起こしたことによって、燃料管内に閉じ込められていた核反応生成物(放射性物質)が大気中へ放出され各地に飛散しました。2011年5月2日には福島原子力発電所の事故原子炉は、まだ完全に安定状態になったとはいえませんでした。観測値の推移から、放射性物質の放出は、原発周辺の限られた地域以外、少ない状態に保たれていました。原発事故後毎日全国各地の放射線量と放射性物質降下量は(当時の)文部科学省ホームページに公表されていきましたので、その結果によれば、2011年4月以降、福島県以外に関東地区の都県で、時々、過去の平常値の変動範囲を僅かに上回る値が観測されたものの、12月には過去の平常値範囲を顕著に上回っているのは福島県のみで、宮城県および茨城県で過去の平常値範囲を僅かに上回っている状況です。福島県福島市では、2011年3月16日が18マイクロシーベルト毎時、2011年6月16日が1.1マイクロシーベルト毎時、2011年9月16日が0.6マイクロシーベルト毎時、そして2011年11月現在は0.5~0.6マイクロシーベルト毎時で推移しています。この放射線量を1年間被ばくしても総線量は、およそ5ミリシーベルトで、国が緊急時に一般人に適用すると定めた年間20ミリシーベルト以下であり、重篤な健康影響が現れる線量ではありません。今回の原発事故発生当時には、国(政府)は国民の健康を守るために一刻も早く事故を収束させ、国民の被ばくをできる限り少なくするための防護策をまとめ実施する必要がありました。そのために汚染状況のきめ細かい測定をおこない、現在に至っています。事故を起こした4基の原子炉が12月には100℃以下に冷却され、ほぼ安定な状態が保たれていることから、今後は速やかに土壌の入れ替え等の除染処理を施し、できる限り元の状態に戻すことが重要です。

[掲載日] 2011-03-15

[改訂日] 2011年03月22日改訂 2011年05月12日改訂 2011年12月28日改訂

3-2. 今回の福島第一原発事故の影響で東京より西の地域で人体に影響が出るのでしょうか？

福島原発の事故に由来する放射線あるいは放射性物質によって、2011年3月末時点では、東京より西の地域では全く健康影響は表れないと判断されました。東京都では、2011年3月に観測された線量率が0.16マイクロシーベルト/時間程度でしたので1年間このレベルが

続いて年間 1,500 マイクロシーベルト(=1.5 ミリシーベルト)程度で日本各地の自然放射線量と同じ程度でした。大阪府では、さらに低い 0.05 マイクロシーベルト/時間程度で推移していました。自然放射線レベルは、地域によってかなり変動があり、概ね東日本より西日本の方が高くなっています。今回の原発事故により放出された放射性物質による空間線量の地域差も、現在では自然放射線レベルの変動の幅の中に入る程度で問題ありません。なお、東京より以西は安全だから関係ないということではなく、今回の原発事故に被災された福島県民の方々の不安に寄り添い、復興へ向けた協力をお願いしたいと思います。

[掲載日] 2011-03-15

[改訂日] 2011年03月22日改訂 2011年12月17日改訂

3-3. 仮に事故が拡大して放射線の影響がチェルノブイリ原発事故級まで広がった場合、大阪や東京での生活に影響はありますか？

2011年3月15日頃から東京でも短時間の放射線レベルの上昇が見られましたが、新聞報道等にもあるとおり、それによる被ばく線量は少なく、健康への影響はありません。外出を控える必要もありません。ご質問のように、事故が進展してさらに深刻な事態になった場合にどうなるかですが、ある程度極端な状況を想定して、過去の事例から学ぶしかありません。このような観点からはっきりしているのは、これまでの原子力事故において、一般住民の間で白血球が減る、髪の毛が抜けるといった急性症状は、観察されていないことです。史上最悪と言われたチェルノブイリの事故でも、2008年に発行された UNSCEAR の報告(Sources and Effects of Ionizing radiation, UNSCEAR 2008 Report Annex D: Health effects due to radiation from the Chernobyl accident, United Nations, New York, 2011。(国連科学委員会 2008年報告書附属書 D: チェルノブイリ事故の放射線による健康影響))で見ると、一般住民に確認されている放射線影響は、高濃度に汚染した地域における子どもの甲状腺がんだけです。それも、事故の後、放射性ヨウ素で汚染した牛乳を飲み続けたことが主な原因と言われています。当初、旧ソビエトが事故の存在を認めず、早い段階での避難や食品の摂取制限等が適切に行われなかったのです。したがって、これまでの原子力事故の経験に照らし合わせる限り、東京が人の住めないような場所になるとは考えにくい状況です。むしろ、人々がパニックに陥って西へ移動し始めた場合の混乱の方が懸念されます。大阪に関しては、どのような状況を想定したとしても全く問題ありません。2011年11月の時点では、福島原発からの放射性物質の放出は大きく減少しており、殆ど問題のないレベルです。チェルノブイリ事故ほど大量の放射性物質が放出されておらず、しかも食品や水については高濃度汚染のあったものについては当初から出荷停止などの措置がとられましたので、被ばくなどの影響は極めて小さく、現在では生活に影響はないと言えます。

[掲載日] 2011-03-18

[改訂日] 2011年03月22日改訂 2011年03月24日改訂 2011年12月28日改訂

3-4. 累積放射線量が屋内避難の目安の 1 万マイクロシーベルトを超える地域が報告されていますが避難する必要はないでしょうか？

文部科学省が 2011年4月5日発表した福島第一原発の 20 km 以遠の積算線量結果によると、2011年4月4日午前中までの空間線量が一般人に許される規制基準値(1,000 マイクロシーベルト(1 ミリシーベルト)/年)を超える 2,000~11,000 マイクロシーベルト)地域が数ヶ所出始めていました。この規制基準値は、生物学的見地からいけばまだ健康影響が憂慮される線量(10 万マイクロシーベルト(100 ミリシーベルト))になるまでに 10 倍程度の余裕がありますが、このままの状態が続くことは好ましくありません。この目安は、国民の安全を守るた

めに国が自ら制定したものですから、国と地方自治体はデータを遅滞なく発表するに留まらず、速やかにその内容を説明し、住民に対して避難・屋内退避などの具体的な行動を指示する責任があると思います。現在は、原発事故現場からの放射性物質の大量な飛散はないものの福島第一原発の 20 km 以遠の各地でも、地域によっては積算線量が 2 万マイクロシーベルト(20 ミリシーベルト)/年を超える地域が出る可能性が出てきました。これは、風向きや地形などの違いで放射性物質の飛散状況が違うからです。そこで、政府は、2011 年 4 月 11 日に新たな「計画的避難区域」を設定するという考え方を公表し、4 月 22 日に政府は「計画的避難区域」および「緊急時避難準備区域」の設定を発表しました(以下に一部掲載)。

【計画的避難区域】

1. 基本的考え方:

事故発生から 1 年間の期間内に積算線量が 2 万マイクロシーベルト(20 ミリシーベルト)に達するおそれのあるため、住民等に概ね 1 ヶ月を目途に避難を求める。

国際放射線防護委員会(ICRP)と国際原子力機関(IAEA)の緊急時被ばく状況における放射線防護の基準値(年間 2 万マイクロシーベルト～10 万マイクロシーベルト)を考慮する。

2. 区域の範囲:

飯舘村(全域)、川俣町の一部、葛尾村(20 km 圏内を除く全域)、浪江町(20 km 圏内を除く全域)、南相馬市の一部

【緊急時避難準備区域】

1. 基本的考え方:

福島第一原子力発電所の事故の状況がまだ安定していないため、今後なお、緊急時に屋内退避や避難の対応が求められる可能性が否定できない状況にある。このため、緊急避難準備区域においては、住民に対して常に緊急的に屋内退避や自力での避難ができるようにすることが求められます。

2. 区域の範囲

広野町・楢葉町(20 km 圏内を除く全域)・川村町(20 km 圏内を除く全域)・田村市の一部・南相馬市の一部 と発表されています。つまり、屋内退避区域で「計画的避難区域」でない地域の住民に「緊急時退避準備区域」とした上で「自主避難」を求めています。しかし、これまでの被ばく事故等の経験から健康影響がでないと言われていた許容線量値(2 万マイクロシーベルト(20 ミリシーベルト)/年)に達するまでにまだ余裕がありますから、住民の皆様は落ち着いて行動してください。2011 年 6 月 16 日、現地対策本部は、計画的避難区域および警戒区域の外の一部地域で、事故発生後 1 年間の積算線量が 20 ミリシーベルトを越えると推定される地点が存在していることを受け、これらを、特定避難勧奨地点としました。これらの地点では、計画的避難区域と違って、地域全面に線量の高い地域が広がっているわけではないため、住民に対し避難を指示することはありませんが、妊婦や子供のいる家庭等に対しては避難を促すよう自治体と相談していくとしています。さらに、2011 年 9 月 30 日には、緊急時避難準備区域を解除し、各市町村の復旧計画を最大限支援し、住民の帰還に向けて除染など万全の対応をすとしてしています。したがって、現時点までに避難指示が出ていない地域では、避難の必要はありません。

また、2011 年 12 月 6 日、今後の警戒区域・計画的避難区域の見直し基準が政府から発表されました。それによると、

1. 【解除準備区域】年間推定放射線量が 20 ミリシーベルト未満の区域。区域に指定後、早ければ来春にも指定解除。
2. 【居住制限区域】年間推定放射線量が 20～50 ミリシーベルト程度の区域。20 ミリシーベルト未満への減衰が数年程度見込まれる区域。

3. 【長期期間困難区域】年間推定放射線量が 50 ミリシーベルト以上の区域。20 ミリシーベルト未満への減衰が 5 年以上見込まれる区域。

[掲載日] 2011-04-06

[改訂日] 2011 年 04 月 12 日改訂 2011 年 04 月 26 日改訂 2011 年 12 月 28 日改訂

3-5. どの程度の線量から影響がでるのですか？

放射線の生体に対する危険度は、原爆被爆者の疫学調査の結果をはじめ、多くの動物実験や生物学的実験で積み重ねられた研究成果から推測されています。積み重ねられた研究成果は、世界保健機関(WHO)の科学委員会、国際連合科学委員会(UNSCEAR)や国際放射線防護委員会(ICRP)で定期的に調査され、その結果を総合的に検討して危険度が推測され、放射線の影響が出ない放射線被ばく限度が提案されます。その結果を受けて、放射線の危険を避けるための規則が作られています。現在、一般人の被ばく限度は、年間 1,000 マイクロシーベルト(=1ミリシーベルト)ですが、この値には自然の放射線被ばくと、医療で受ける放射線被ばくは含まれません。ちなみに日本人が受ける平均自然放射線量は年間 1,500 マイクロシーベルト(=1.5ミリシーベルト)程度です。また、放射線業務に従事する人では年間 2 万マイクロシーベルト(=20 ミリシーベルト)という被ばく限度が採用されています。放射線業務に従事する時は、その規定にしたがって、年間の被ばく量をそれ以下にするように厳密に管理されていますが、そのレベルの被ばくで明らかな健康への影響は認められていません。なお、これまでの様々な解析でも、年間 10 万マイクロシーベルト(=100 ミリシーベルト)以下の被ばくでは健康影響の有無は明らかでないといわれています。

*「年間 100 ミリシーベルト」について：短時間に大量の被ばくをした原爆被爆者において、100 ミリシーベルト以下では「がん」の有意な増加が見られないこと、および、同じ総線量でも線量率が低ければ生体への影響は小さくなるという事実に基づいて、「1年間に 100 ミリシーベルトの低線量率長期被ばくでも影響の有無は明らかでない」という表現をしています。なお、年間 100 ミリシーベルトが複数年続く場合については、影響の有無を判断するのに十分な根拠データはありません。ただし、例えばインドのケララ地方の住民調査では、何十年にもわたる被ばくで、積算線量が 600 ミリシーベルトを超えても、がんの増加が見られなかったという報告もあります(Health Physics 96, 55-66, 2009)。

(追記:2011 年 4 月 23 日)

[掲載日] 2011-03-15

[改訂日] 2011 年 03 月 22 日改訂 2011 年 03 月 24 日改訂 2011 年 04 月 10 日改訂 2011 年 12 月 28 日改訂

3-6. 福島第一原発事故に伴う人への放射線リスクはどのくらいと推測されるのですか？

福島第一原発の近辺を除けば、放射線リスクは放出された核分裂生成物の降下物による汚染に起因します。今回の福島第一原発事故のリスクを推測する参考事例としてチヨルノービリとスリーマイル島の事故を引用していますが、核分裂生成物による汚染は、実はそれより以前の方がかなりひどいということも思い起こす必要があるかと思えます。1950-60 年代、米国などの国連の安全保障理事会常任理事国が大気圏内核実験をくり返し行ったため世界中の大気が汚染され、世界平均で 1 平方メートルあたり 74 キロベクレル(UNSCEAR2000 A NNEX C)の放射性セシウム(セシウム 137)が降下していました。また、日本の国土にも福島第一原発事故以前の通常検知されていた量(1 平方メートルあたりおおよそ 0.02~0.2 ベクレル)の約 1,000~1 万倍(1 平方メートル当たり 200~2000 ベクレル)の放射性セシウムが降下

していました。しかもその汚染は核実験が禁止されるまで 10 年位続いていました(参考資料: Igarashi Y et al, J Environ Radioactivity, 31:157-169, 1996.)。この過去の事実を広く知ってもらうことも不安を和らげるために役立つのではないかと思います。ちなみにチヨルノーベリ事故の時も短期間ですが、福島第一原発事故以前の通常検知されていた量の約 1,000 倍の放射性セシウムが降下していました。現在 50-60 歳代以上の人は皆これらの被ばくを経験していることとなります。この人達にこれらのことによって健康影響がでていたということはありません。くり返しますが、核分裂による放射性同位元素の世界規模での汚染は、福島第一原発事故以前の通常検知されていた量の 1,000 倍程度の放射性セシウムによる汚染を 10 年間、すでに経験済みなのです。勿論、このことが安全性を確約するものではありませんが、もし、影響があったとしても、そのリスクは非常に少ないと思われます。どのくらい少ないのかを正確に理解するためには低線量放射線の生体影響研究の今後の進展を待たなければなりません。

[掲載日] 2011-03-27

[改訂日] 2011 年 04 月 06 日改訂

3-7. 放射線量の安全規制値はどのようにして決められているのですか？

放射線安全規制値は、過去 50 年以上にわたって科学者がおこなった原爆被ばく者などの疫学調査および放射線の生体影響研究で得られた膨大な研究成果を、国連(UN)および国際放射線防護委員会(ICRP)などの専門家が収集して解析し、定期的(およそ 10 年ごと)におこなわれる放射線の人体への影響に関する勧告をもとに導きだされます。この勧告を受けて国際原子力機関(IAEA)等が、さらに検討して、安全のための規制値を国際的に提言します。その提言を受けて各国が自国の判断で規制値を定め法制化しています。我が国もこの勧告を受け入れ安全規制値を作成しています。その安全規制値は、一般人に対して年間 1,000 マイクロシーベルト(=1 ミリシーベルト)、放射線業務従事者に対して年間 2 万マイクロシーベルト(=20 ミリシーベルト)とされています。放射線の影響は、ある一定の線量以上を浴びたときにだけに現れる「確定的影響」と、どんなに低い線量の被ばくであっても被ばく線量に比例して影響が現れると仮定されている「確率的影響」に分けられています。確定的影響が 10 万マイクロシーベルト(=100 ミリシーベルト)以下では現れるという報告はありません。一方、発がんや遺伝的影響は確率的影響といわれ「どんなに低い線量の被ばくであっても被ばく線量に比例して影響が現れる」と仮定されています。しかし、実際は、疫学研究でも実験研究でも、10 万マイクロシーベルト(=100 ミリシーベルト)以下の被ばくで、統計的に有意な影響が観察されたことはありません。したがって、この 10 万マイクロシーベルトが人に健康影響を及ぼさない最少の放射線量として安全の目安とされています。この規制値が疫学調査研究や実験の結果で人体に影響が現れない 10 万マイクロシーベルト(=100 ミリシーベルト)より小さい値なのは、より一層安全側にたって規制するという厳しい考えを採用しているからです。一般人に対する規制値である年間 1,000 マイクロシーベルト(=1 ミリシーベルト)は自然放射線量とほぼ同じレベルです。自然放射線とは、宇宙線、大地、空気、および食品や水に由来する放射線で、その量は、地域や標高などによって異なりますが、日本での平均はおよそ 1,400 マイクロシーベルト(=1.4 ミリシーベルト)です。標高が高い地域では宇宙線により、花崗岩が多い地域では大地からの放射線により自然放射線量が高くなります。したがって、一般人に対する規制値である年間 1,000 マイクロシーベルト(=1 ミリシーベルト)というのは、「放射線事業者に対して放射線業務を行なうにあたっては、一般人の生活地域に対して放射線量が自然放射線レベルをこえないように保ちなさい」という意味であると言い直すことができます。

[掲載日] 2011-03-27

[改訂日] 2011年03月30日改訂 2011年04月10日改訂 2011年12月28日改訂

3-8. 避難地域から移動する場合、どの段階からスクリーニングや制限が必要になるのですか？

事故直後、避難区域から避難された住民について、福島県内の避難所や保健所では、身体表面に放射性物質が付着していないかどうか、住民の方々の測定が行われました。その結果、3月17日までに測定された約4万2千人全員がガイガーカウンターで毎分10万カウントを下回り、全身をシャワーで洗い流す「全身除染」は必要ないと判定されました（毎分10万カウントというのは、測定器が検出した放射線の本数が、1分間あたり10万本という意味です。）実際には、毎分10万カウントを多少上回ったとしても、それによってご本人や他の人に健康影響が生じるわけではありません（詳しくは放射線医学総合研究所のページを参照してください）。しかし、無用な被ばくはしないにこしたことはありませんし、また、近くで他の対象者や物を検査する際に余計な放射線が混入する原因になっても困るので、このような基準が設けられているのです。住民の方々に対する放射線測定の実施範囲は、現在、避難区域への一次立ち入りのあとに実施されています。避難対象地域の方は、避難担当者等に測定の必要性をお尋ねください。それ以外の方について、測定は必要ありません。まして、福島近郊に滞在したという理由で、医学検査等を行う意味は全くありません。

[掲載日] 2011-03-15

[改訂日] 2011年03月20日改訂 2011年12月28日改訂

【4. 福島第一原発事故：生活での注意点と不安】

4-1. 福島第一原発から50 km離れたところに住んでいますが、家で窓を開けたり、エアコンを使ったりしても大丈夫ですか？

窓を開けたり換気扇を使って換気をしたりすることにより、屋外で浮遊している放射性物質（放射能）が屋内に流入し、それによって内部被ばくが生じる可能性はありますが、2011年4月26日文科省発表のデータ「ダストサンプリング、環境試料及び土壌モニタリングの測定結果」によれば、空気中の放射能濃度の最大値は、I-131の場合、約40 kmの小野町、小野新町における 1.33 Bq/m^3 、同様にCs-137の場合、約35 kmの川俣町山木屋における 0.73 Bq/m^3 です。Cs-134は検出されていません。これらの濃度に基づき内部被ばく線量を計算（呼吸量はICRP71、実効線量係数はICRP72に基づく）しますと、大人は $0.85 \mu\text{Sv}$ 、乳幼児は $0.50 \mu\text{Sv}$ となり、自然放射線による内部被ばく線量 1.55 mSv/年 （国連科学委員会2008年報告）の約1800分の1です。また、通常の換気率の建物の中でも内部被ばくは屋外の $1/4 \sim 1/10$ に低減することが知られています。したがって、現在の放射線環境から考えますと、家で窓を開けたり、エアコンを使ったりしても問題はなりません。特に家庭用エアコンの場合、外気を直接取り入れない循環式が圧倒的に多いですから安全に使用できます。お使いのエアコンがどのようなタイプであるかをお確かめください。しかし、気象条件によっては30 km圏外でも放射線量が高くなる場所がある可能性がありますので、自治体や政府からの指示があればそれに従って下さい。2011年11月現在、新たな放射性物質の放出は殆どありませんので、空気中に浮遊する放射性物質はありません。問題となるのは土に付着したセシウムなどが土埃として舞い上がった場合ではないかと思われます。福島原発から北西方向は現在でも空間線量率が高く、ある程度の注意が必要かもしれません。しかしそれ以外の方向では空間線量率は低下しているところが多く、余り心配する必要はない状況であると思われます。ご承知のように距離や方向だけでは放射線量の分布を一般化できない状況ですので、福島県や自治体の測定結果を基に、各自治体の指示に従って下さい。

[掲載日] 2011-03-20

[改訂日] 2011年04月23日改訂 2011年12月28日改訂

4-2. 福島第一原発事故後、事故後半年以上たった現時点で、外出時に放射性物質の付着や内部被ばくにどこまで気をつけるべきですか？

2011年11月現在、警戒区域以外では、観測されている放射能汚染の状況では、通常の外出で放射性物質の衣服への付着や内部被ばくにほとんど注意する必要ありません。理由は、原発からの大量放出は4月以降起きていませんので、警戒区域より外では大気中に飛散する放射性物質はごくわずかとなっており、それらの吸入による内部被ばくはほとんどなく、皮膚に付着することもまずないからです。従って、夏以降、この質問にあるような考慮は基本的に不要となっていますから、帰宅時の手洗いうがいを励行することで十分です。なお、3月に降下した放射性セシウムは、土壌の表面にある粘土質に吸着されていますので、どうしても気になる場合は、土埃が舞っているようなときに外出する際はマスクをするなどの対策をすれば良いでしょう。

[掲載日] 2011-03-15

[改訂日] 2011年03月21日改訂 2011年12月28日改訂

4-3. 首都圏に住んでいますが、事故から数日後に雨に濡れました。健康に影響はないでしょうか？

雨の中にも事故によって放出された放射性物質が含まれますが、その量はわずかです。東京都の放射線モニタリングデータ(環境中の放射性物質から放出されている放射線の時間あたり線量の測定結果、文部科学省発表)では、2011年3月末には0.110~0.120マイクロシーベルト毎時で推移しています。お住まいの地域の情報は、文科省あるいは各地方自治体のホームページに公開されていますのでそこから入手して応用してください。仮に1年間現状の大気に曝されたとすると約1ミリシーベルトの被ばくを受けることとなりますが、これは国が定めた一般の人の被ばく限度の値に相当します。全く健康に影響を与える量ではありません。雨に濡れて放射性物質が皮膚についたとしても、健康に影響を与えるような量ではありませんので心配ありません。しかし、この時期ですから不用意に雨にぬれ続けることは控え、ぬれたら帰宅後に拭き取るようにしてください。

降雨によって地表に降下した放射性物質の量は、「定時降下物モニタリング」(当時の文部科学省ホームページに掲載)が参考になります。関東地方では、2011年3月21日に事故後初めてまとまった雨が降り、大気中の放射性物質が雨とともに地表に落ちました。この時の雨には放射性物質が含まれていたため、2011年3月20日9時~21日9時の24時間に採取した降下物の量は急激に増加しています。たとえば、この期間に1時間、外に立っていて雨に濡れ続けたとしたら、茨城県ひたちなか市では約400ベクレルのヨウ素131、50ベクレルのセシウム137が降下しています(上から見た人間の断面積を0.1m²と仮定、24時間分のデータを単純に24で割って1時間分とした)。降った分がすべて身体の中に入ったとしても、被ばく量は10マイクロシーベルト(0.01ミリシーベルト)未満であり、年間の自然放射線による被ばく量(日本平均で1.4ミリシーベルト)に比べても非常にわずかです。

[掲載日] 2011-03-20

[改訂日] 2011年03月29日改訂 2011年04月10日改訂 2011年11月24日改訂 2011年12月28日改訂

4-4. 今回の事故によって受けた放射線や放射能が蓄積した地域に1年も住み続けると被ばく線量が安全な量を超えてしまうことが心配ですが大丈夫でしょうか？

政府は、2011年4月22日に、事故発生から1年間の積算線量が20ミリシーベルトに達することが予想される地域を「計画的避難区域」と設定し、その地域に居住する住民は5月中に避難する指示を出しました。この指示は、私達が通常一日のうち8時間を屋外で、残りの16時間を屋内(木造建物)で過ごすと考え、屋内における被ばく線量が屋外の40%(*注1)であると仮定した際に、積算線量が年間20ミリシーベルトに達すると予想される地域に適用されています。実際には、屋外で毎時3.8マイクロシーベルト以上の放射線が観察された地域が対象になったこととなります。

事故の後、5月12日までの放射線線量のデータ(文科省HP“全国の放射線モニタリング状況“)の時間経過を解析すると、事故後、多量の放射性物質の放出があったのは3月中旬の数日間に限られており、放射性ヨウ素など半減期の短い放射性物質の減少などによって放射線量レベルは次第に減少していることがわかります。今後、事故が収束するにつれ、さらに、そのレベルが下がってゆくと予想できます(追記:事故から半年以上経った現在では半減期30年のセシウム137の寄与が大きいので、最初の頃のように空間放射線量が急激に減少することはなくなりましたが、原発からの新たな放射性物質の放出はほとんどありません)。こうしたことを考えると、年間20ミリシーベルト以上の被ばくをする人はいないと予想されます。

*注1:原子力安全委員会が公表した「屋内退避等の有効性について」によれば、屋内での生活によって、外部被ばくおよび内部被ばく量が4分の1から100分の1程度まで低減するとされています。

[掲載日] 2011-03-20

[改訂日] 2011年03月22日改訂 2011年04月10日改訂 2011年05月10日改訂 2011年12月28日改訂

4-5. 関東地方に住んでいます。雨の降る屋外で子供にスポーツなどをさせるのが心配です。本当に安全なのでしょうか？

茨城県水戸市の例をあげると、雨水中のヨウ素131の濃度は、最も濃かった時(2011年3月23日)が約5,000ベクレル/kgで、2011年3月末の雨は約500ベクレル/kg程度でした。雨の中での被ばく線量の評価は難しいのですが、仮に1,000ベクレル/kgの濃度のヨウ素131が含まれる雨の中でスポーツをする場合を考えてみます。ここでは、成人よりも被ばく線量が大きくなる子供(1~4才の幼児)を想定します。土砂降りの雨が降っていて、その雨(比重を1と想定)をコップ一杯(200ミリリットル、0.2kg)飲んだ子供(幼児)の甲状腺等価線量(内部被ばく線量)は、 $1,000(\text{ベクレル/kg}) \times 0.2(\text{kg}) \times 1.5/1,000(\text{ミリシーベルト/ベクレル})$ 、原子力安全委員会環境放射線モニタリング指針2008) = 0.30ミリシーベルト(=300マイクロシーベルト)になります。実際はこんなに雨水を飲むこともないでしょうから、これよりはるかに小さな値となります。さらに、外部被ばくについて考えると、その濃度の水中に1時間ドブプリ浸かっても0.1マイクロシーベルト以下の被ばくですので問題になりません。「発がん」自体は放射線を浴びなくても起きうることなので、「絶対に影響が出ない」とは言い切れないのですが、科学的見地から、上記のように極端な仮定でも放射線被ばくが甲状腺がんの原因となるとは考えられません。

[掲載日] 2011-04-06

[改訂日] 2011年12月28日改訂

4-6. 洗濯物を外に干していいですか？

計画的避難区域では、洗濯物を外に干さないでください。緊急時避難準備区域は、通常の生活が可能状況では、外へ干して大丈夫ですが、事故現場で緊急的な事態悪化があると放射性物質が短時間で飛来する可能性がありますので、できるだけ外に干すのを控える方が良いでしょう。

計画的避難区域や緊急時避難準備区域以外で、放射線量が通常レベルよりも高くなっていて、放射性物質が土壌などから検出されている地域では、以下に挙げるような理由で洗濯物を外に干しても大きな問題はないと思われます。まず、公表されている空中における放射性物質量(ダストサンプラーでの測定)の観測値によると、現在は、福島原発から大気中への新たな放射性物質の大量放出は起きておらず降下する放射性物質は減りつつあります。その一方で、土壌の表層には、2011年3月中旬の水素爆発で飛散した放射性物質が降下し留まっています。このうち、半減期が8日と短いヨウ素131は急速に減少していますが、半減期が30年と長い放射性セシウムが残留しています。そのため、乾燥した日に強い風が吹けば、表面の放射性物質を含む土が舞い上がる可能性があります。目に見えるほど大量の土が洗濯物に付着することはないでしょうから、外に干したからといって、健康に影響が出るほどの被ばくにつながることはありません。しかし、室内に放射性物質をなるべく持ち込まないようにするために、風の強い日は、外に干すのを避けるようにする、洗濯物を室内に取り込む前によく払うようにするといった花粉対策と同じ対処法を心がけるとより安心です。

[掲載日] 2011-03-20

[改訂日] 2011年04月10日改訂 2011年04月28日改訂

【5. 福島第一原発事故：食品・水の安全性】

5-1. 今後、東北・北関東地域の農産物や海産物を食べ続けて、健康への影響はありますか？

福島原発での事故が収束に向かう限り問題はありません。特に土壌の放射性セシウムは、粘土質に吸着されて植物に吸い上げられにくくなっているため、農畜産物が汚染されることはまれになってきています。ただし、野生のキノコは、チェルノブイリ(チェルノブイリ)事故の時も高いレベルの汚染が長期に亘り検出されましたので注意が必要です。魚介類についても、2011年11月現在、水揚げ時のサンプル調査が続けられており、その結果で出荷の適否の判断が行われています。従って、市場に流通している農産物・海産物は暫定基準値以下のものです。(ですから、ご自身やご家族が食するかどうかは、そのような測定結果を見て判断すべきです。)なお、福島原発の排水口付近や沖合での海水ならびに海底土中の放射能濃度も定期的に発表されていますので、その推移も参考になります。チェルノブイリ事故のときの我が国の輸入制限は370ベクレル/kg(放射能単位)でしたが、欧州ではこの10倍のレベルの食品も食されていましたが健康影響は出ませんでした。ただし、そのことが今の安全を保証するものではありません。放射線は、目に見えないものですが、放射線ほど少ない量を敏感に測定することができるものはないといえます。ですから、食品等に汚染の可能性が考えられるときは、その放射線量や放射能を測りさえすれば、人体に影響を与えるような汚染があるかどうかは容易に知ることができます。今後のきめ細かい測定に加えて、私たち自身がその数値を適切に判断できるようになることが大切です。

[掲載日] 2011-03-15

[改訂日] 2011年12月28日改訂

5-2. 野菜および魚介類から基準を数倍上回る放射性物質が検出されたようですが食べても大丈夫ですか？

野菜および魚介類などは、放射性物質による汚染検査をしていますので放射性物質を含むものは市場に出回りません。しかし、もし、その検査をすり抜けて放射性物質が基準を数倍上回る野菜などを通常の量を何回か食べたとしても健康への影響があらわれるとは考えられません。基準を上回る濃度の放射性物質を含む野菜を大量に取り続けることがなければ、健康への影響は心配しなくても大丈夫です。一つのもを食べ続けられないように心がければより安全です。さらに詳細をお知りになりたい方は、食品安全委員会が発表している情報(http://www.fsc.go.jp/sonota/emerg/emerg_genshiro_20110316.pdf)をご参照下さい。

2011年7月に、放射性セシウムに汚染された稲わらを給餌された牛の肉が出荷され、最高1kgあたり4350ベクレルの放射性セシウムが検出されました。この牛肉を200g食べてしまった場合の生涯の被ばく線量は約14マイクロシーベルトです(放射性セシウムの経口摂取による換算係数は、セシウム137とセシウム134が等量含まれると仮定すると、0.016マイクロシーベルト/ベクレル)。食品にはカリウム40などの天然の放射性物質が含まれていて、私たちは食べ物から年間約400マイクロシーベルトの被ばくをしています。上記の肉を1回食べたことにより、この被ばく線量が数パーセント上乘せになったことにはなりますが、これは個人の食事量のばらつきの範囲と考えられます。

[掲載日] 2011-03-20

[改訂日] 2011年03月29日改訂 2011年04月12日改訂 2011年11月18日改訂 2011年12月28日改訂

5-3. 原乳から基準を数倍上回る放射能が検出されたようですが飲んで大丈夫ですか？

原乳からは牛乳や乳製品が作られますが、市場に流通している牛乳や乳製品は放射能の濃度が基準を上回らないように管理されていますので市場に出回ることとはほとんどありません。(当時の)首相官邸災害対策ページに農作物の放射性物質汚染量測定結果と、それに基づいた規制についての情報が公表されていました。それでも、汚染した牛乳が市場に出回ってしまっ、仮に放射性物質の濃度がいま報告されている基準を数倍上回る牛乳を1年間飲み続けたとしても、受ける放射線量は、私たちが1年間に自然から受ける放射線の数倍程度の量です。現在のところ牛乳を飲むことによる健康への影響を心配する必要はありません。

[掲載日] 2011-03-20

5-4. 水道水から放射性物質が検出されたと聞きましたが飲んで大丈夫ですか？また、その水を食器洗いや風呂用に使っても大丈夫ですか？

2011年3月22日に東京都水道局金町浄水場(葛飾区)で水道水のヨウ素131濃度が210ベクレル/kgであることが報告されました。この値は、我が国の飲料水中の放射性物質の濃度に関する暫定基準で定められている成人に対する基準値の300ベクレル/kgを下回ったものの、幼児に対する基準値の100ベクレル/kgを超えていたため東京都23区、武蔵野市、三鷹市、町田市、多摩市、稲城市において水道水の摂取制限が行われ、乳児がいる家庭にペットボトルの配布が行われました。飲料水を介して放射性物質を体内に取り込むと取り込まれた放射性物質から発生する放射線で組織や臓器が被ばくし健康影響が出る可能性がありますので、摂取した放射性物質の量から被ばく線量を推測せねばなりません。その際、摂取した放射性物質の質と量、組織や臓器の種類などの違いによる被ばく線量の違いを補正す

るために実効線量係数がもちいられます。国際放射線防護委員会(ICRP)は、放射性ヨウ素 131 の実効線量係数を、成人の場合は 0.022 マイクロシーベルト/ベクレル、乳児の場合は、ヨウ素 131 の影響を受けやすいことを考慮しておよそ8倍の 0.18 マイクロシーベルト/ベクレルと定めています。一方、原子力安全委員会は、原子力施設等の安全審査時に、日本人の1日あたりの水分摂取量を、成人は2.2リットル、乳児が1リットルとしていますので、これらの値を使って、金町浄水場で観測された 210 ベクレル/kg のヨウ素 131 が検出された水道水を飲んだときに受ける放射線量を計算すると成人は約 10 マイクロシーベルト、乳児は約 38 マイクロシーベルトを被ばくすることになります。これまで、100ミリシーベルト(10万マイクロシーベルト)以下の被ばくでは人体に対する影響が認められていませんが、乳児でも、その 1/2,600 以下の値です。そして、2011年3月31日現在すべての地域の水道水で乳児の摂取基準値を下回っていますので、飲んだとしても成人も乳児も健康への影響を心配しなくても大丈夫です。ただし、暫くの間は、お住まいの市町村の指示が出ていないかどうかを確かめて、出ればその指示に従って下さい。仮に基準を数倍程度上回る放射性物質が水道水から検出されそれを長期間にわたって飲み続けたとしても、健康への影響を心配するレベルではありません。また、そのような水を食器洗いや風呂に使うことに関しては、規制の対象になっていません。実際に、飲む場合よりも被ばくする放射線量が更に低くなるので健康への影響を心配する必要はありません。尚、水道水中の放射性物質に関する調査の結果は、(当時の)厚生労働省のホームページに公表されていて、2011年11月のデータでは、福島県を含むすべての検査箇所検出限界以下となっています。

[掲載日] 2011-03-20

[改訂日] 2011年03月24日改訂 2011年04月04日改訂 2011年04月10日改訂 2011年12月28日改訂

5-5. 赤ちゃんに母乳を与えても大丈夫ですか？

お母さんが食品や飲料の摂取、また空気中のものを吸入することによって放射性物質を体に取り込むと、そのごく一部は母乳に移行します。しかし、基準を上回っても、いま報告されている程度の濃度なら、それを含む食品や飲料を大量に連続して取り続けなければ、授乳による放射性物質の赤ちゃんへの影響は心配しなくても大丈夫です。お母さんがどうしても心配なら粉ミルクに変えることも一つの方法ですが今の状況ではその心配には及びません。また粉ミルクを与えるとなると、水道水の問題となってきます。妊娠中および授乳中の女性への水道水に関するご案内が日本産婦人科学会から発表されていますのでご参照下さい(http://www.jsog.or.jp/news/pdf/announce_20110324.pdf)。2011年6月に、国立保健医療科学院から、「母乳中の放射性物質濃度等に関する調査について」という報道発表がされました(http://www.niph.go.jp/soshiki/seikatsu/bonyuu_results.pdf)。これによると、調査対象者108人中101人は不検出、福島県内の7人より微量の放射性セシウムが検出されました(最高値は、セシウム134が6.4ベクレル、セシウム137が6.7ベクレル)。この値は非常に微量で、この母乳を赤ちゃんが1年にわたって摂取したとしても健康影響が出るような値ではありません。詳細は、日本医学放射線学会をはじめとする6学会が合同で発表した、上記調査に関するQ&A資料の最後の文章を以下に引用します。「今回の基準値以下の放射線量は、あなたや、あなたの大切なお子さんの健康に悪影響を及ぼす放射線量よりもはるかに少量です。そして、このわずかな放射線量よりも、母乳に含まれる様々な子どもの成長に役立つ成分のほうが、はるかにお子さんの成長にとって重要であることをご理解いただければと思います」

[掲載日] 2011-03-20

[改訂日] 2011年03月29日改訂

5-6. 福島第一原発からの汚染水問題でトリチウムが注目されています。魚介類を介して摂取され、DNAに影響する可能性はありますか？

ご存知かと思いますが、ご質問のトリチウムはベータ線を出す放射性物質で、もともと宇宙線の関与などで生成されて自然界に存在しています。自然界の地球環境中の平衡量は 1.5×10^{18} ベクレル程度と見積もられていますが、実は、そこに地上核実験などによって人工的に作られたトリチウムの残存分が、いまだに環境中に 2×10^{19} ベクレル近く追加されているのが現実です。

良いかどうかは別として、これと比べれば、今回の福島原発汚染水で問題になっているトリチウムの総量は桁違いに少ないのも事実です。しかし、濃度が高ければ被ばくが多くなりますから、局所的な濃度には注意が必要です。なお、ご質問にあるとおり、トリチウムのベータ線はエネルギーが弱く透過性が低いので、考えなくてはならないのは内部被ばくです。これまでの研究から、数百ミリシーベルトを越えるような被ばくとなる高濃度のトリチウムを摂取すれば、他の放射性物質と同様にがんや寿命短縮が起きることが知られています。

トリチウムは、通常、環境中で HTO(水の H の一つがトリチウムになっている)となり、一部は生物の体内で有機物分子の水素と置き換わります(これを「有機結合型トリチウム」と言います)。HTO の体内半減期が 1~2 週間(文献により 4~18 日)とされるのに対し、有機結合型の体内半減期は 40 日程度(ごく一部はもっと長い場合がある)とされ、有機結合型の方が体内の半減期が長いのは事実ですが、他の放射性物質と比べて特別に長いわけではありませんし、「同位体置換反応」や代謝があるために、そこにとどまり続けるということもありません。

体内に取り込まれれば、HTO でも有機結合型でも(たとえ1分子でも)、トリチウムからの β 線が DNA に損傷を与える可能性はあります。トリチウムが崩壊してヘリウムになったとして、そのまま、存在し続けて生体影響が残るかどうかが、良くわかりません。ただし、「二重の害」という主張の「真に科学的な」根拠は聞いたことがありません。

結局のところ、トリチウムでも問題になるのは、他の放射性物質や放射線と同じく摂取量(この場合は濃度)であるという事です。ちなみに、放出濃度限度である「6 万ベクレル/L」は、その濃度のトリチウムを含む水を 1 年間飲み続けた時に 1 ミリシーベルトの被ばくが想定される濃度です。ちなみに、経口で取り込んだ時の実効線量係数は、影響が大きい有機結合型で 4.2×10^{-8} ミリシーベルト/ベクレルで、この値は Cs137 の 1.3×10^{-5} ミリシーベルト/ベクレルに比べて 1/300 以下であり、同じベクレルであればセシウムよりも生物影響ははるかに小さいと考えることができます。

[掲載日] 2013-09-17

5-7. 野菜や魚介類など飲食品の汚染で使われる暫定基準値とは何ですか？

我が国には、これまで野菜や水などの飲食物に対する放射性物質による汚染の明確な規制基準値がありませんでした。そのため、厚生労働省は、2011年3月17日に、食品衛生法の観点から飲食物として摂取することが許される放射性物質濃度について暫定規制値を定めました(2011年4月5日に改訂)。この値は、国際放射線防護委員会(ICRP)の勧告を受けて原子力安全委員会が策定した原子力防災指針の「飲食物の摂取制限に関する指標」(参考資料)を参考にして作られたものです。この規制値は、「1年間その放射能濃度の水や食物を摂取し続けたときに全身が被ばくする線量(正確には実効線量)が 5 mSv 以下、ヨウ素の場合は甲状腺が被ばくする線量(正確には等価線量)が 50 mSv 以下」という考え方に基いて決められています。また、単一の食物ではなく、さまざまな食物を食べたときの合計値として

この規制値以下になるように決められています。具体的には、摂取制限すべき放射性物質として、放射性ヨウ素、放射性セシウム(137 および 134)、ウランおよびプルトニウムの4種をえらび、対象とする食品として、放射性ヨウ素については、(1)飲料水、(2)牛乳・乳製品、(3)野菜類(根菜と芋類を除く)および(4)魚介類(4月5日追加)の4品目、放射性セシウムについては、(1)飲料水、(2)牛乳・乳製品、(3)野菜類、(4)穀類、(5)肉・卵・魚・その他の5品目、ウランとプルトニウムに関しては、(1)飲料水、(2)牛乳・乳製品、(3)野菜類、(4)穀類、(5)肉・卵・魚・その他に(6)乳幼児用食品を加えた6品目について定められています。

放射性ヨウ素の場合、(1)飲料水と(2)牛乳・乳製品の規制値は、1キログラムあたり 300 ベクレル、(3)野菜類と(4)魚介類の規制値は1キログラムあたり 2,000 ベクレルです。但し、(2)牛乳・乳製品については 1 キログラムあたり 100 ベクレルを超えるものは乳児用調整粉乳および直接飲用する乳として使用しないこととされています。

放射性セシウムの場合、(1)飲料水と(2)牛乳・乳製品に対する規制値は 1 キログラムあたり 200 ベクレル、(3)野菜類、(4)穀類、および(5)肉・卵・魚・その他、に対しては 1 キログラムあたり 500 ベクレルです。

(アーカイブ時の注) 2012年4月1日からは現行の基準値が施行されており、暫定基準値より低い値になっています。

[掲載日] 2011-03-27

[改訂日] 2011年04月04日改訂 2011年04月08日改訂 2011年12月28日改訂

【6. 福島第一原発事故:教育現場・子供の健康】

6-1. 福島県の教員です。福島市、郡山市などでの学校再開に伴い、外での体育やクラブ活動は大丈夫でしょうか？ また、グラウンドの土などに対しても何らかの注意が必要でしょうか？

2011年4月19日に文部科学省から福島県および教育委員会に対して、「福島県内の学校の校舎・校庭等の利用判断における暫定的考え方について」(参考資料)という通知が出されました。学校での授業やクラブ活動などは、この通知に従って頂けば問題ありません。この通知では、校庭・園庭における放射線量(空間線量率)が3.8マイクロシーベルト毎時以下であれば、校舎・校庭等を平常通り利用して差し支えない、それ以上の場合には校庭・園庭での活動を1日あたり1時間程度に制限することが適当されています。この「3.8 マイクロシーベルト毎時」は、学童、生徒の校庭・園庭等屋外での活動時間を8時間、屋内での活動時間を16時間と考え、また、屋内(正確には木造家屋の1階または2階)では放射線量が40%になるという仮定に基づいて計算したときに、年間被ばく線量が20ミリシーベルト以下になる線量です(*注1)。この線量は、国際放射線防護委員会(ICRP)勧告に記載されている「非常事態が収束した後の一般公衆における参考レベルとして、年間1~20ミリシーベルトの範囲とすることが適切」という勧告に基づいて設定された値です。この値が設定された理由は、これまで長年にわたる疫学調査や実験の結果で、発がんなど何らかの健康影響が認められるのは100ミリシーベルト以上の線量を被ばくした場合で、20ミリシーベルトの被ばくで健康影響が現れることは確認されていないからです。ただし、ICRPの勧告でも、事態が収拾したら速やかに一般人の被ばく規制値1ミリシーベルトに近づける努力をすることが示されています。その意味で文部科学省は、その通知の中で、「この措置は夏季休業終了(おおむね8月下旬)までの期間を対象とした暫定的なものとする」と明記するとともに、文部科学省、首相、内閣官房なども「長期的に線量を下げる対策を行なう」と公言していますが、その対策が遅滞なく実施されることが重要です。

なお、同じ通知の中に「児童生徒等が受ける線量をできるだけ低く抑えるために取り得る学校等における生活上の留意事項」が示されていますので、少しでも被ばく量を下げることが参考になるとよいでしょう。いずれの行動も必ずおこなわなければ放射線の健康影響が生じるということではありませんが、

(1)手洗い、洗顔、うがい

(2)土や砂を口に入れない注意(乳幼児の砂場などの利用を控える)

(3)登校・登園時、帰宅時に靴の土を落とす、衣服に付着した細かな土、埃などを払いおとす

(4)風が強いときや土埃が多い時は窓を閉めるなどに気がけることで被ばく線量をさらに下げることができます。また、土ほこりの飛散の対処法としては、水撒きや防塵剤である塩化カルシウムやキープウエット(日本銀砂(株))などの散布も有効と考えられます。

*注 1: $3.8 \times 8 \times 365 + 3.8 \times 0.4 \times 16 \times 365 = 11.1 + 8.8 = 19.9$ (ミリシーベルト)

[掲載日] 2011-04-06

[改訂日] 2011年04月28日改訂 2011年12月28日改訂

【7. 福島第一原発事故:環境汚染と除染】

7-1. 放射性物質は、除染すればすべて問題ないのですか？

放射性物質は、除染すれば、それ以後は、被ばくの影響はできません。もっとも、汚染されていたときに受けた放射線の影響は現れますので、長期間汚染されたままになっていたことが予想される場合は、医療関係者、自治体の担当者などに相談してください。除染という言葉は難しそうに聞こえますが、実際は衣服を着替えてシャワーを浴びるなど通常の入浴と変わりありません。このとき着替えた洋服は洗濯してから着れば問題ありません。洗濯できないときはビニールのゴミ袋などに入れて洗濯できるまで屋外で保管してください。

[掲載日] 2011-03-15

[改訂日] 2011年03月22日改訂 2011年12月28日改訂

7-2. 福島第一原発から放射性物質が飛散し、地面を汚染していると聞きますが、井戸水や水道水にどのくらい混入するのですか？

雨水が地下に浸透することによって地下水となります。その際、雨水が地下に浸透して地下水面に達するまでに移動する地下空間を通気層(*注1)といい、また、地下水面下で地下水が流れている空間を帯水層と呼びます。従って、雨水中の放射性物質が地下水に混入するまでの時間は、通気層を構成する土壌と放射性物質の相互作用の程度によって決まることとなります。放出された放射性物質のうちで水に溶けて陽イオンとなるセシウム 137 は、土壌に強く吸着され地表の土壌に留まりますので地下水に混入することはほとんどありません。一方、水に溶けて陰イオンとなるヨウ素 131 などは、雨水と一緒に土中に染み込みますが、核種が地表から地下水面まで移動するにはかなり時間がかかります。その間に半減期が 8 日間と短いヨウ素 131 は減衰してしまい地下水に混入する量はごくわずかとなります。このように、地下水では土壌への吸着と移動時間の長さが雨水中の放射性物質の低減に作用します。したがって、河川水を原水としている水道水よりも、地下水の方が安全と言えます。また、水道水は、原水が何であるかによって異なりますが、地下水を原水としていけば、前述したように安全ですし、河川水を原水としている場合でも浄水場で一般的に使われている砂ろ過処理が行われていけば、セシウム 137 のような陽イオン核種はほとんど除去されます。ヨウ素 1

31 のような陰イオンは、砂ろ過では除去されませんので、原水が取水されてから水道水として給水されるまでの時間の長さによって放射性物質量が異なることとなります。水を砂ろ過の後、活性炭処理するとヨウ素 131 の 50%程度は除去されます。さらに、心配であれば、市販されている陰イオン交換樹脂を含むフィルターがついた浄水器を通すとほぼ全量が除去できるようです。ただし、陰イオン交換樹脂がヨウ素で飽和してしまえば除去はできなくなりますので注意してください。ゼオライトも効果があります。なお現実には、県あるいは市町村の水道水供給組織によって厳密な放射能モニタリングが行われており、多くの場合その結果も公表されています。現在は検出下限値に近い値が報告されており、水道水中の放射性物質に関し特段の心配は必要ありません。家庭用の井戸を利用している場合、水道水のモニタリング結果も参考になると考えます。

*注 1: 通気層は地下水面よりも上方に位置する地下空間で空気と土壤水が混在した層ですが、帯水層は土壤や岩盤の空間が地下水で満たされた層です。

[掲載日] 2011-04-12

[改訂日] 2011年05月10日改訂 2011年12月28日改訂

7-3. 福島第一原発事故での土壤汚染とチェルノブイリ原発事故による居住制限地域の土壤汚染は中身が違っていると聞きました。どのように違うのでしょうか？

2つの事故では原子炉の破壊具合が異なるため、飛散した放射性物質の種類と量(割合)は大きく違っています。チェルノブイリ(チェルノブイリ)事故では原子炉が完全に破壊され、内容物が爆発的に大気中へ飛散しました。一方、福島では原子炉格納容器そのものは何とか原形を留めましたので、内容物が直接大気に触れることはありませんでした。原子炉内で核分裂によってできる放射性物質は、それぞれ気化する温度が異なりますので、数百℃程度といった比較的低温で気化する物質(ヨウ素やセシウム)はどちらもほぼ同様な割合で大気中に放出されましたが、高温でないと気化しない物質(ストロンチウムやプルトニウムなど)はチェルノブイリの方がはるかに多く放出されています。放射性ストロンチウムやプルトニウムは、内部被ばくの生体影響が大きい放射性物質ですから、その量の違いは被ばく影響に大きな差を生じさせる可能性があり、単純に放射性セシウムによる汚染濃度だけでチェルノブイリと福島が同じだとは言えません。参考までに、チェルノブイリ事故で移住の目安とされた濃度のセシウム 137(1平方メートル当たり185キロボクレル)で汚染された土壤について、他の放射性物質の降下量がどのくらいになるかを試算して比較していますので、以下を参照して下さい。

[掲載日] 2013-09-17

福島とチェルノブイリ：同じ濃度のセシウム 137 (185kBq/m²) で汚染された土壌における他の放射性物質の汚染状況比較 (公表データに基づく試算)

日本放射線影響学会 Q&A 対応グループ

本来は公的な研究組織がこのような比較をするべきですが、地下部分の漏出量が不明なこともあって、事故の翌年に土壌分析結果のまとめが報告されて以降、いまだに十分なまとめと説明はなされていないという現状があります。一方で、現実には人が生活している場所の土壌汚染は地上降下量で決まり、その降下量はこれまでに公表された報告から知ることができます。ここでは、国連科学委員会のチェルノブイリ事故調査報告 (2008) および文部科学省による土壌分析公表値をもとに、チェルノブイリと福島の土壌汚染について、セシウム 137 の濃度を揃えた条件で他の放射性物質 (放射性核種) の存在割合を概算して比較しています。

この表は、セシウム 137 による土壌汚染 185kBq/m² (チェルノブイリ事故で移住の目安となった汚染濃度) を想定し、2011 年の降下・沈着時点で考えられる最大の汚染割合から概算したものです。その精度については最終的な公的報告書を待つ必要がありますが、この試算が実際の降下量から何桁もずれることはないはずですが、なお、事故から 2 年が過ぎて、特に半減期が短い放射性物質は大幅に低下していますので、その点にもご留意下さい。チェルノブイリで汚染濃度が赤になっているのは、福島よりも明らかに汚染が多い核種 (放射性物質) です。

| 核種 | 物理的半減期 | 汚染濃度 (Bq/m ²) | | 壊変形式 |
|-----------------|--------|---------------------------|-------------------|--|
| | | チェルノブイリ事故 | 福島原発事故 | |
| I-131 | 8 日 | 3,800,000 | 3,200,000 | $\beta(\gamma)$ |
| Cs-134 | 2.1 年 | 102,000 | 170,000 | $\beta(\gamma)$ |
| Cs-136 | 13 日 | 74,000 | 24,000 | $\beta(\gamma)$ |
| Cs-137 | 30 年 | 185,000 | 185,000 | $\beta(\gamma)$ |
| Sr-89 | 50 日 | 250,000 | 200 (~500) | $\beta \rightarrow \beta(\gamma)$: Y-89 |
| Sr-90 | 28.8 年 | 20,000 | 75 (~150) | β |
| Te-129m | 33 日 | 520,000 | 12,000 (~500,000) | $\beta, IT(\gamma)$ |
| Pu-238 | 87.7 年 | 33 | なし (~0.84) | α |
| Pu-239+Pu-240 | 6564 年 | 66 | なし (~10) | α |
| Pu-241 (Am-241) | 14.3 年 | 6,200 | なし | $\beta(\rightarrow\alpha)$ |
| Ag-110m | 250 日 | 不明 | 690 | $\beta, IT(\gamma)$ |
| Cm-244 | 18.1 年 | 900 | なし | α |
| Ru-103 | 39 日 | 360,000 | 微量(?) | $\beta(\gamma)$ |
| Ru-106 | 373 日 | 159,000 | ? | β |
| Ba-140 | 12.7 日 | 520,000 | 微量(?) | $\beta(\gamma)$ |

注: Am-241 の半減期は 432 年

試算に用いたデータ根拠について

チェルノブイリ：国連科学委員会 (UNSCEAR) 報告書 (2008 年) に示された放出割合をそのまま使用しております。実際のチェルノブイリでは、事故の進行状況と風向きとの関係で飛散方向によって濃度比が変わっていますから、平均的な割合とお考え下さい。

福島県：浪江町周辺の土壌分析結果 (文部科学省 2011 年 3 月 29 日採取分) および文部科学省の報告書 2012 年 3 月 13 日付 (6 月 15 日修正) の「最高値が検出された箇所での濃度」に基づいて算出しています。そのため、セシウム 137 に対する割合は高めの評価になっています。また、プルトニウム (Pu238、Pu239+240) は、多くの場所で原発事故由来は不検出ですが、ここでは検出された地点の値を使っております (2012 年 8 月 21 日の文科省の結果公表を受けて修正)。「~」の数値は検出された試料の最大値の場合です。

7-4. 飯館村で農業をしていますが、農地が高濃度の放射性セシウムで汚染されています。農業を続けることは可能でしょうか？

ヨウ素 131 は、半減期が短いので放射性物質が飛来しなくなったあと、数ヶ月後には壊変して影響はなくなります。セシウム 137 は、半減期が 30 年と長いのですが、土壌に強く吸着されます。そして、その結合は、ほとんど離れない強固なものですから、ある程度時間がたてば、セシウムは土壌と結合することで徐々に植物へも移行しにくくなります。したがって、飯館村に限らず、外部被ばくを少なくするとともに、セシウム 137 で汚染されたちり・ほこりなどを体内に取り込んで内部被ばくをしないために表層 5 cm 程度を削って土を入れ替えることが安全に農業を続けるために必要です。いずれにしても、削った土を安全に処分する必要があります

ので、原発からの放射能の放出が収束した後に、政府は専門家の意見を取り入れて被ばく防護処置を速やかに実施する必要があります。

[掲載日] 2011-04-12

[改訂日] 2011年12月28日改訂

【8. 安定ヨウ素剤の服用】

8-1. チョルノービリ原発事故では安定ヨウ素剤の服用が求められましたが、福島第一原発事故では服用の必要性はありますか(ました)か？

安定ヨウ素剤は甲状腺の被ばくを少なくするために用いられますが、かなり高い甲状腺被ばく(10万マイクロシーベルト以上)が見込まれない限り使用するべきではありません。安定ヨウ素剤には副作用があるため一般家庭には配布されませんでした。どのようなタイミングで安定ヨウ素剤を使用するかは、予測される線量に基づいて、専門家が判断することになっています。今回、安定ヨウ素剤が配られた地域においても服用の指示は出ませんでした。

ヨウ素は微量必須元素であり、甲状腺に集まり身体の成長、知能の発達に必要な甲状腺ホルモンの生成に必須です。従って、ヨウ素が欠乏すると甲状腺ホルモンが欠乏状態となります。そのために子供や妊婦には成人よりも必要とされます。そこで、放射性ヨウ素が体内に入る可能性がある時に、予め安定ヨウ素剤を服用して、甲状腺を安定ヨウ素(放射線を出さないヨウ素)で満たしておけば、放射性ヨウ素が体内に入っても吸収されにくくなります。例えば、放射性ヨウ素による甲状腺の被ばく線量が10万マイクロシーベルトと予測される場合、放射性ヨウ素の体内摂取前又は直後に安定ヨウ素剤を服用すると、甲状腺への集積を90%以上抑制できるので、甲状腺の被ばく線量を1万マイクロシーベルト(=10ミリシーベルト)以下にすることができます。

甲状腺の放射線影響としては、甲状腺がんが問題になります。しかし、甲状腺がんの発生確率は被ばく時年齢で異なり、乳幼児の被ばくでは増加しますが、40歳以上では増加しません。そのため、安定ヨウ素剤の服用対象は原則40歳以下とされています。原子力安全委員会・原子力施設等防災専門部会は2002年4月に「原子力災害時における安定ヨウ素剤予防服用の考え方について」を発表し、安定ヨウ素剤予防服用に当たっては、服用対象者を40歳未満とし、全ての対象者に対し、放射性ヨウ素による小児甲状腺等価線量の予測線量を10万マイクロシーベルト(=100ミリシーベルト)とするとしています。また、市販のうがい薬や消毒薬にヨウ素が含まれることから、これを飲むとよいという誤った情報が流布していましたが、決してそのようなことはしないでください。これらの薬剤に含まれるのはポビドンヨード(1-ビニル-2-ピロリドンの重合体(ポリビニルピロリドン)とヨウ素の複合体)と呼ばれるもので、安定ヨウ素剤として製剤されているヨウ化カリウムやヨウ素酸カリウムとは異なるものであり、効果を期待できないばかりか、そもそも経口薬でなく、外用消毒薬のため、飲み込むと消化管などに対して毒性を示す可能性があります。

[掲載日] 2011-03-15

[改訂日] 2011年03月19日改訂 2011年03月22日改訂 2011年12月28日改訂

令和7年10月24日

一般社団法人 日本放射線影響学 理事長
田代 聡(広島大学)

放射線災害対応委員会 委員長
岡崎 龍史(産業医科大学)

放射線災害対応委員会 委員(五十音順)
今岡 達彦(量子科学技術研究開発機構)
宇佐美 徳子(高エネルギー加速器研究機構)
島田 幹男(放射線影響研究所)
田内 広(茨城大学)
長谷川 有史(福島県立医科大学)
松本 義久(東京科学大学)
吉野 浩教(弘前大学)

一般社団法人

日本放射線影響学会

THE JAPANESE RADIATION RESEARCH SOCIETY