さまざまな分野で活躍する放射線

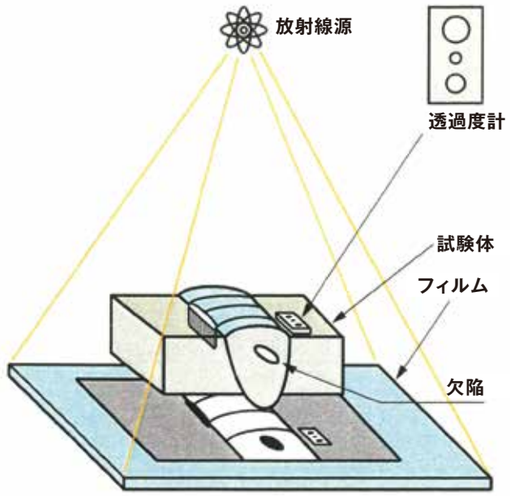
放射線のさまざまな性質が、物質の内部の調査などの工業分野、病気の診断や治療などの医療分野などで活用されています。

工業分野

工業分野では、放射線の透過力（物質を通り抜ける力）や分子構造を切断する力が身の回りのものに利用されています。

●非破壊検査

放射線は物質を通り抜ける際に、物質の密度に応じて透過率が変わります。非破壊検査ではこの特性を利用して、検査対象を撮影することで内部の厚さや密度の変化を調べることができます。検査対象（試験体）に欠陥などがある場合には、放射線がよく透過するため、フィルムに黒い像として検出されます。



画像提供:非破壊検査(株)

●滅菌

医療器具などに放射線を当てることで滅菌することができます。放射線照射による滅菌は、熱や化学物質による滅菌と比較して、以下のメリットがあります。

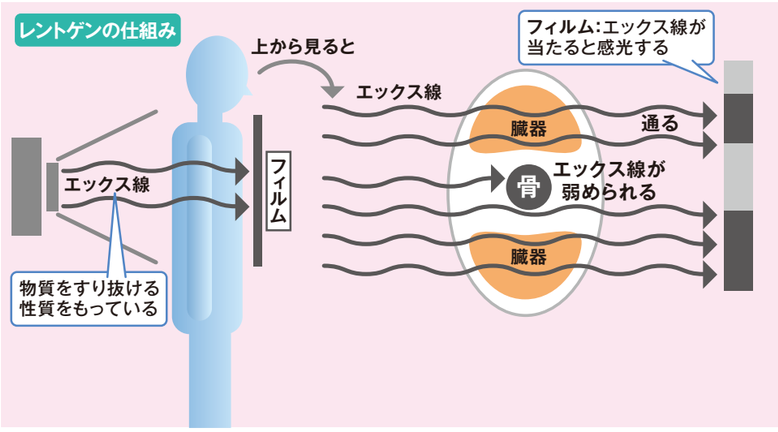
・密封された状態で滅菌処理ができる
・温度変化がほとんどないため、形態の変容がない
・有害物質の残留などがない

医療分野

健康診断で受けるレントゲン撮影や病院でのCTスキャン検査などで放射線が利用されています。

●レントゲン撮影

放射線の透過力を利用して撮影されます。エックス線やガンマ線のなどの放射線の透過力は、透過する物質の密度に応じて減弱します。そのため、人体の中でも比較的密度の高い骨では放射線の透過量が少なく、筋肉や肺などの臓器では透過量が多くなります。この透過量の差を生かして体内の様子を撮影します。



医療分野

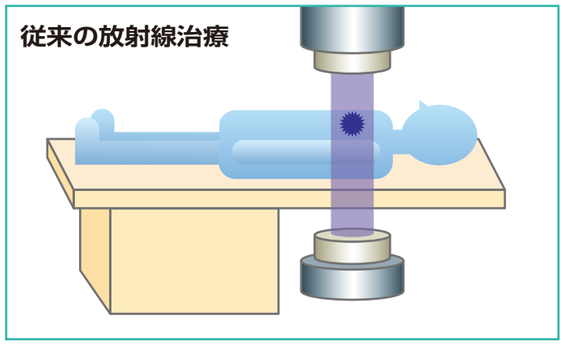
健康診断で受けるレントゲン撮影や病院でのCTスキャン検査、がん治療などで放射線が利用されています。

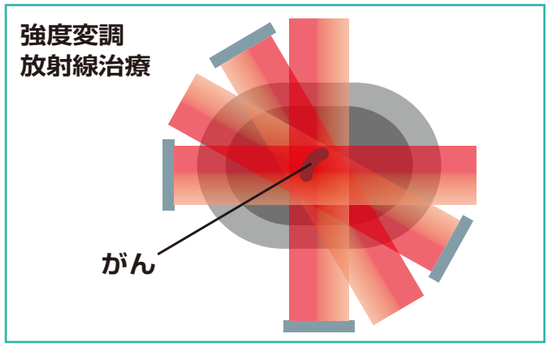
●CTスキャン

レントゲン撮影では平面の撮影を行いますが、CTスキャンでは放射線を発生する部分と検出する部分を回転させ、放射線の透過度からコンピュータ計算によって体のスライス像を再構成します。さらに、このスライスを組み合わせることにより、立体的な画像を再構成します。これによって、体の内部構造を詳細に知ることができます。

●外部からの照射

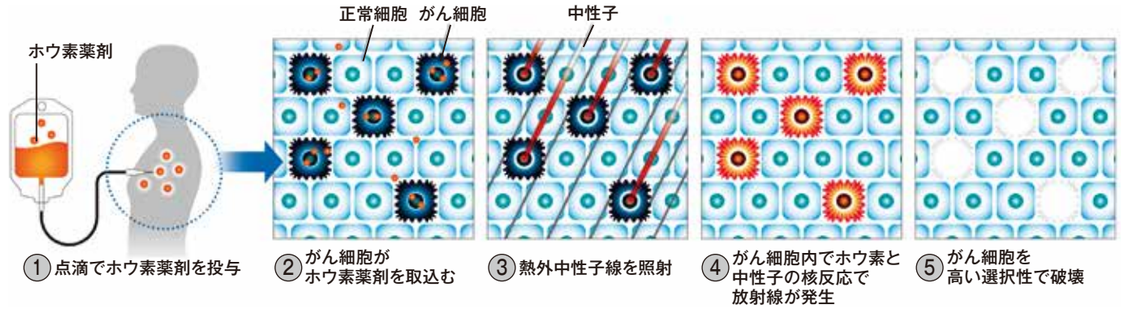
かつての放射線治療では、がんに対して、一方向あるいは二方向からの照射を行っていました。近年では、コンピュータ制御によって放射線源を動かしていろいろな方向から照射するとともに、遮へい材を自在に動かして強弱をつけることで、複雑ながん病巣の形に合わせて放射線を集中させ、正常組織へのダメージを最小化した治療（強度変調放射線治療）が行われています。





●ホウ素中性子捕捉療法

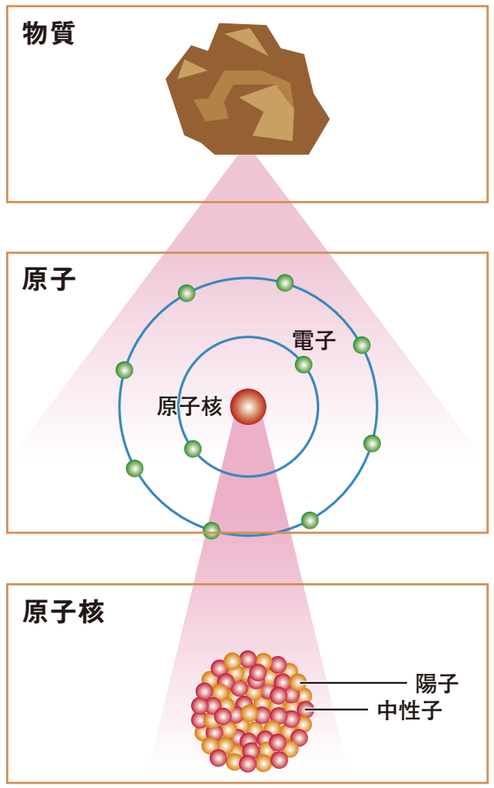
中性子とホウ素の高い反応性を利用して、がん細胞に選択的に放射線作用を与えることができる治療法です。がん細胞が取り込みやすいように加工したホウ素化合物（ホウ素薬剤）を投与したうえで中性子（熱中性子）をあてると、核反応を起こして飛距離の非常に短い放射線（アルファ線）とリチウム原子核が発生します。この放射線がホウ素薬剤を取り込んだ細胞に大きな作用を与えます。



出典:大阪医科薬科大学関西BNCT共同医療センターHPより

放射線と放射能の性質

■原子の構成



動画
「原子の構造」
電気事業連合会

			電荷
原子	原子核	陽子	＋
		中性子	0
	電子		ー

■安定同位体と放射性同位体

		水素1	水素2	水素3（トリチウム）	炭素12	炭素13	炭素14	セシウム133	セシウム134	セシウム137
原子核	陽子数	1	1	1	6	6	6	55	55	55
	中性子数	0	1	2	6	7	8	78	79	82
性質		安定	安定	放射性	安定	安定	放射性	安定	放射性	放射性

1. 放射線と放射性物質

地球や宇宙にあるすべての物質は、「原子」からできています。原子は、原子核とそのまわりを回る電子から構成され、原子核は、陽子と中性子で構成されます。電子は、マイナスの電荷をもっています。一方、陽子は、電子と同じ大きさのプラスの電荷をもっています。中性子は、電荷をもっていません。

原子が電気的な中性を維持するため、電子の数と陽子の数は基本的に同じです。原子の化学的な性質は、電子の数と配置によって決まることから、電子の数と基本的に同数となる陽子の数によって決まることになります。そこで、原子核のもつ陽子の数を「原子番号」といいます。また、陽子の数が同じもの同士でまとめたものを「元素」といいます。

陽子と中性子の質量は、ほぼ同じです。一方で、電子の質量は、陽子や中性子の質量の約1,800分の1です。したがって、原子の質量は、原子核に陽子と中性子が合計何個あるかでほぼ決まります。このことから陽子と中性子の数の合計を「質量数」といいます。陽子の数が同一（同じ元素）でありながら、中性子の数が異なる原子を「同位体」といいます。

エネルギー的に安定で、地球や宇宙の年齢程度の時間では変化しない原子を「安定同位体」といいます。一方、原子には高いエネルギーをもった不安定な状態のものがあります。時間の経過とともにその中心にある原子核が、高速の粒子や電磁波を出して、安定な状態になっていきます。こうして放出される高速の粒子や電磁波が「放射線」です。放射線を出す能力を「放射能」といい、放射能をもつ原子を「放射性同位元素」あるいは「放射性同位体（RI、Radioisotope）」といいます。RIは、放射線を出すことで別の原子になります。RIを含む物質が「放射性物質」です。

例えば、水素原子の場合、水素1、水素2、水素3が自然界に存在します。このうち、水素1と水素2が安定同位体、水素3がRIです。炭素原子の場合、炭素12、炭素13、炭素14が存在し、炭素12と炭素13が安定同位体、炭素14がRIです。また、セシウムの場合、セシウム133が安定同位体、セシウム134、セシウム137はRIです。

2. 放射線の種類

放射性物質には、地球の誕生時から自然界に存在するものと、宇宙線の作用でつくられるもの、原子炉などで人工的につくられるものがあります。しかし、それらの放射性物質から出る放射線の物理的性質や生体への作用は、放射線の種類とエネルギーによって決まり、天然か人工かによる違いはありません。

放射線には、アルファ線、ベータ線、ガンマ線、エックス線、中性子線などの種類があります。セシウム137の場合、中性子が過剰で不安定な状態のため、中性子のうち1個が電子を放出し、陽子に変わりバリウム137mとなります。このときに放出される電子がベータ線です。バリウム137mは、まだエネルギーが高く、不安定な状態のため、エネルギーを電磁波として放出し、放射線を出さない安定同位体のバリウム137になります。このときに放出される電磁波がガンマ線です。

1901年に第1回ノーベル物理学賞を受賞したドイツのレントゲンが、1895年、真空管の一種である放電管を使った実験中にエックス線を発見しました。エックス線は、人工の放射線でガンマ線と同じ電磁波の一種です。

3. 放射線の性質

放射線は、物質を通り抜ける力（透過力）をもっています。しかし、その力は放射線の種類によって違い、適切な材料や厚さなどを選ぶことによって、さえぎることができます。

例えば、最も透過力の低いアルファ線は、紙1枚でとめることができます。ベータ線は、アルミニウムなどの薄い金属板やプラスチック板、ガンマ線やエックス線は、鉛や厚い鉄の板、さらに中性子線は、水やコンクリートによってさえぎることができます。

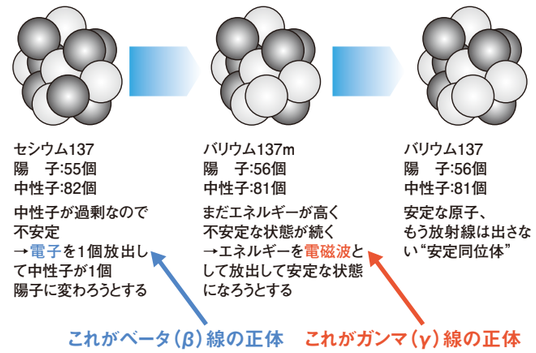
また放射線には、透過力だけではなく、電離作用、蛍光作用といった性質もあり、各特性は医療や工業、農業などのさまざまな分野で応用されています。

4. 放射能の減衰

RIの放射能は、時間がたつにつれて弱まる性質があり、これを減衰といいます。また、放射能が半分に減るまでにかかる時間を「半減期」あるいは、「物理学的半減期」といいます。RIの種類によって半減期は異なり、数秒以下の短いものから、100億年を超える長いものまであります。半減期を2回、3回経過すると、放射能はそれぞれ最初の4分の1、8分の1になります。

なお、体内に取り込まれた放射性物質は、臓器や組織に取り込まれた後、排泄されます。排泄によって体内の放射性物質の量が半分になる時間を「生物学的半減期」（P.79参照）といいます。

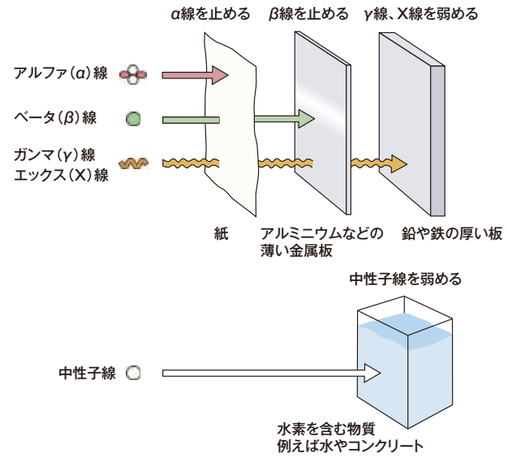
■セシウム137が放射線を出すしくみ



※バリウム137mは「エネルギーの高い状態のバリウム137」を表し、同じ種類の原子でも違う構造をしているため、バリウム137に「m（metastable、メタステーブル）」を付けて区別します。

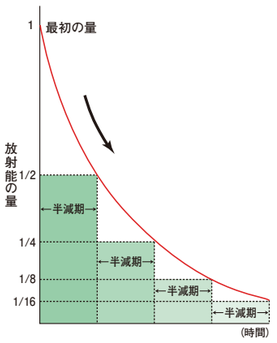
出典:東京科学大学 松本義久氏 資料より作成

■放射線の種類と透過力



出典:原子力・エネルギー図面集

■放射能の減り方



■物理学的半減期

放射性同位元素	放出される放射線※	半減期
ヨウ素131	β・γ	8日
セシウム134	β・γ	2.1年
コバルト60	β・γ	5.3年
トリチウム	β	12.3年
ストロンチウム90	β	28.8年
セシウム137	β・γ	30.2年
ラジウム226	α・γ	1,600年
プルトニウム239	α・γ	2.4万年
カリウム40	β・γ	13億年
ウラン238	α・β・γ	45億年

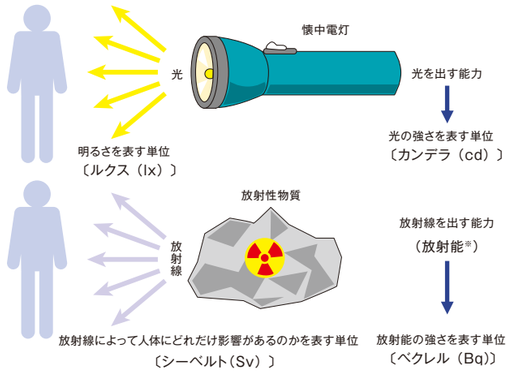
※壊変生成物（原子核が放射線を出して別の原子核になったもの）からの放射線も含む

出典:（公社）日本アイソトープ協会「アイソトープ手帳11版」より作成

放射能・放射線の単位と測定

■放射能と放射線

懐中電灯に例えると、懐中電灯=放射性物質、懐中電灯から出る光=放射線、懐中電灯の光の強さ=放射能の強さとなります。



※放射能をもつ物質（放射性物質）のことを指して用いられる場合もある

出典:原子力・エネルギー図面集

ワンポイント情報

◆単位の前につく接頭辞「ミリ」、「マイクロ」◆

ミリは、長さの単位であるメートルの前につくミリと同じく、1,000分の1を表します。同じように、マイクロは、ミリの1,000分の1を表します。したがって、1マイクロシーベルトの1,000倍が1ミリシーベルト、1ミリシーベルトの1,000倍が1シーベルトです。

0.001シーベルト=1ミリシーベルト=1,000マイクロシーベルト

1. 放射能・放射線の単位

【ベクレル（Bq、Becquerel）】

放射性物質の量や放射能の強さを表します。1ベクレルは、1秒間に1個の原子核が壊れることです。このときに放射線が放出されます。

放射性物質を発見したフランスの科学者アンリ・ベクレルの名前が単位に使われています。

【グレイ（Gy、Gray）】

放射線が物質や私たちの体の組織に与えたエネルギーの量（吸収線量）を表します。1グレイは、1キログラムあたり1ジュール※のエネルギー吸収をもたらす放射線量です。

イギリスの物理学者ルイス・ハロルド・グレイの名前が単位に使われています。

※エネルギーの量を表す単位。広く一般に使われているものにカロリー（cal）がありますが、1ジュールは約0.24カロリーで、普通の大気圧（1気圧）で、20℃の水1グラムを約0.24℃上昇させるエネルギーに相当します。

【シーベルト（Sv、Sievert）】

放射線の種類や強さを考慮して、私たちの体が放射線によってどれだけ影響を受けるかを表すのに、シーベルトという単位が用いられます。

放射線防護に貢献したスウェーデンの科学者ロルフ・マキシミリアン・シーベルトの名前が単位に使われています。

■放射線の測定

私たちは放射線の存在を五感で認識することができないため、放射線測定器を利用し、知りたい放射線の情報を得ることになります。放射線測定器には、さまざまな種類がありますが、放射線に関するすべての情報が同時に得られ、すべての環境条件下で動作するような万能の測定器はありません。そのため、放射線を測る目的をはっきりさせ、さまざまな放射線測定器の特徴をよく理解したうえで、適切な測定器を選ぶことが重要です。

型		目的	
◆GM計数管式 サーベイメータ（電離）		汚染の検出	薄い入射窓をもち、β線を効率よく検出可能である。表面汚染の検出に適している。
◆電離箱型 サーベイメータ（電離）		γ線 空間線量率	正確であるが、シンチレーション式ほど低い線量率は測れない。
◆NaI（Tl）シンチレーション式 サーベイメータ（励起）		γ線 空間線量率	正確で感度もよい。環境レベルから10μSv/h程度のγ線空間線量測定に適している。
◆個人線量計 （光刺激ルミネッセンス線量計、蛍光ガラス線量計、電子式線量計など）（励起）		個人線量 積算線量	体幹部に装着し、被ばくした個人線量当量を測定する。直読式や警報機能をもつタイプもある。

出典: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より作成

2. シーベルトの使い方

シーベルトの単位を使うときに、気をつけなければならないことがあります。シーベルトは、二種類の意味で使われます。一つは、皮膚や甲状腺、眼の水晶体など組織・臓器ごとの確率的影響（P.77参照）を表す「等価線量」の単位として使われます。もう一つは、全身への確率的影響を表す「実効線量」の単位としても使われます。

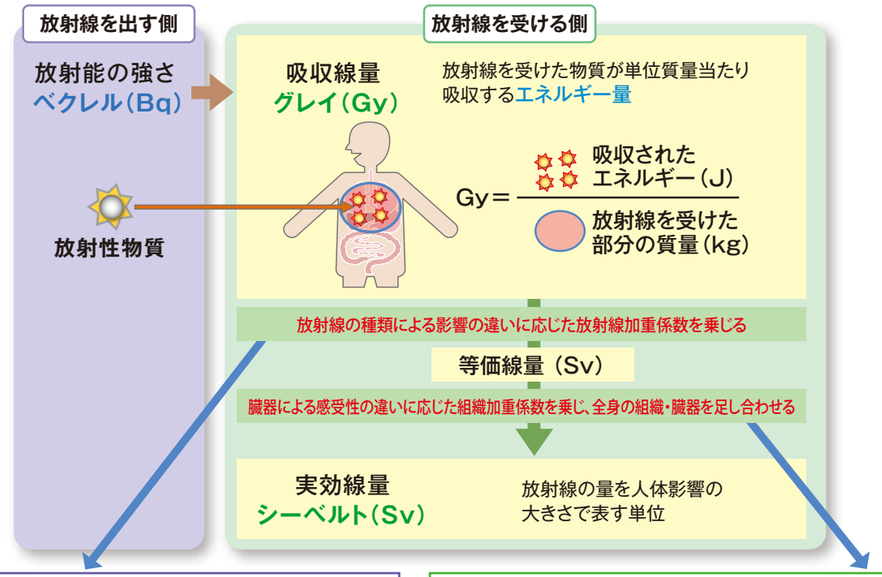
放射線による吸収線量（グレイ）が同じであっても、放射線の種類や放射線を受けた体の部位によって、体への影響が異なります。

吸収線量に「放射線の種類ごとの影響の違いに応じて重み付けした係数（放射線加重係数）」をかけたものを「等価線量」といいます。また、組織・臓器ごとに、等価線量に「体の組織や臓器ごとの影響の違いに応じて重み付けした係数（組織加重係数）」をかけ、すべての組織・臓器の値を足し合わせたものを「実効線量」といいます。

このように、同じシーベルトという単位でも、等価線量は「組織・臓器ごとの影響の程度」を表すために使用し、実効線量は「一人ひとりが受けるすべての確率的影響の程度」を表すために使用します。

実効線量のシーベルトで表された数値が同じであれば、自然放射線でも人工放射線でも、また、外部被ばくであっても内部被ばくであっても、私たちの体への確率的影響の度合いは同じです。

■実効線量（防護量）の計算例（外部被ばくの場合）



■放射線加重係数

（放射線の種類やエネルギーによる影響の大きさの違いを表した係数）

放射線の種類	放射線加重係数
光子（ガンマ線、エックス線）	1
電子（ベータ線）	1
陽子	2
アルファ粒子、核分裂片、重い原子核	20
中性子線（エネルギーに応じて）	2.5～20

■組織加重係数

（組織・臓器ごとの発がんの起こりやすさを表した係数）

組織・臓器	組織加重係数
赤色骨髄・肺・胃・結腸・乳房	各0.12
生殖腺	0.08
膀胱・食道・肝臓・甲状腺	各0.04
骨表面・脳・唾液腺・皮膚	各0.01
残りの組織・臓器	0.12
合計	1.00

■実効線量の計算例

実効線量〔シーベルト（Sv）〕＝Σ〔組織加重係数×等価線量〕

●全身に均等にガンマ線が1ミリグレイ当たった場合

実効線量=0.12×1（骨髄）+0.12×1（結腸）+0.12×1（肺）
+0.12×1（胃）‥‥+0.01×1（皮膚）
=1.00×1
=1ミリシーベルト

●頭部だけに均等にエックス線が50ミリグレイ当たった場合

実効線量=0.04×50（甲状腺）+0.01×50（脳）
+0.01×50（唾液腺）+0.12×50×0.1（骨髄（10%※））
+0.01×50×0.15（皮膚（15%※））= 約3.7ミリシーベルト

※大人その割合

出典:ICRP Publication 103.2007・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より作成

被ばくと健康影響

1. 身体的影響と遺伝性影響

人体への放射線による影響は、放射線を受けた本人だけに出る「身体的影響」と子供や子孫に出る「遺伝性影響」に分けられます。

2. 確定的影響と確率的影響

放射線の影響が生じるメカニズムの違いによって以下の二種類に分けられます。

【確定的影響】

ある一定の線量以上の放射線による被ばくをしたときに現れる影響を確定的影響といいます。

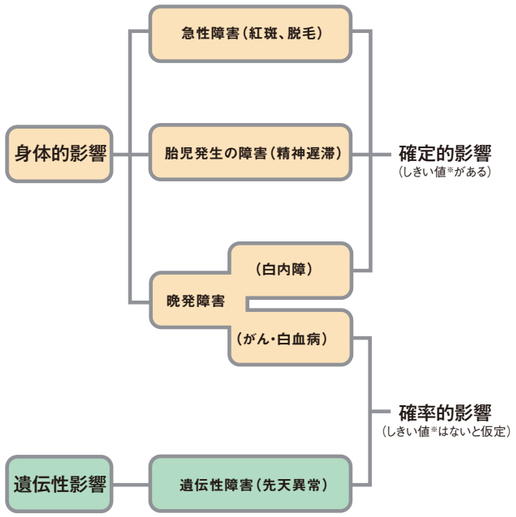
高い線量の放射線によって多数の細胞が死ぬことにより、組織や臓器の働きが悪くなることが原因です。不妊、脱毛、紅斑、白血球減少などの症状が現れます。受けた放射線量が高いほど、症状が重篤になります。

このある一定の線量を「しきい値」といい、症状によってそれぞれ発症のしきい値が異なります。しきい値以下の被ばくでは発症しません。

【確率的影響】

確率的影響とは、高い線量でも低い線量でも、被ばくから数年以上たってから現れる可能性がある、発がんと遺伝性影響を指します。

■放射線の人体への影響



※しきい値:ある作用が反応を起こすか起こさないかの境の値のこと

出典:原子力・エネルギー図面集

3. 放射線の影響が現れるメカニズム

私たちの体は、数十兆個の細胞が集まってつくられています。細胞の中には細胞核があり、その中にDNA（デオキシリボ核酸）があります。脳の細胞のようにずっと同じものもありますが、ほとんどの細胞は、細胞分裂によって新しく生まれ変わります。このとき、元どおりの働きをするための情報を新しい細胞に伝えるのがDNAの役目です。

DNAは、タバコや酒、食事、化学物質、放射線などによって傷つけられていますが、細胞のもつ能力で治されています。これをDNA修復といいます。一つの細胞で1日に1万個以上のDNAの傷ができて、それを修復することがくり返されていると考えられています。DNAに傷がついたとしても、正しく修復が行われれば、体への障害や子孫への影響は現れません。DNAの傷が正しく修復できなかったときに、影響が起こることがあります。つまり、体への障害は、細胞の遺伝子に傷がつくと必ず発生するものではありません。

がんの発生に至るまでには、遺伝子の傷が完全に修復されないまま細胞が生き続け、何段階にもわたる変異が重なることなどによって細胞のがん化が起きます。そのため、ある確率でがんが発生し、受けた放射線量が多いほどがんが発生する確率が高くなります。

遺伝性影響は、放射線によって精子や卵子などの生殖細胞の遺伝子に傷がつき、完全な修復がされずに変異が残り、そのために子供や孫に異常が現れることを指します。遺伝性影響は、動物実験では確認されていますが、これまで人においては確認されていません。

放射線によって生じたがん、遺伝性影響は、個人の検査ではそれ以外の要因によって生じたものと区別できません。したがって、がん、遺伝性影響は、多数の被ばく者集団と非被ばく者集団を比較することによって判断しなければなりません。

4. 全身被ばくと局所被ばく 急性被ばくと慢性被ばく

被ばくは全身に放射線を被ばくする（全身被ばく）か、特定の組織や臓器などに被ばくする（局所被ばく）か、また同じ被ばく線量であっても、瞬時もしくは短時間で被ばくする（急性被ばく）か、長期間にわたって繰り返し被ばくする（慢性被ばく）かによっても影響に違いがあります。

5. 放射線の健康影響についての研究

がんや白血病の原因が放射線の影響であるかどうかは、個人の検査では識別できません。それは、喫煙や食生活など、がんにはさまざまな要因があり、それらが長年にわたり作用することで起こると考えられているためです。そのため、疫学調査によって、被ばくした人のグループと被ばくしていない人のグループの発がん率を比較し、これをもとに影響の有無を判断することになります。

多くの人々のグループについて調査をすることによって、低線量の放射線が健康に与える影響を明らかにしようとする研究が進められています。

【原爆による放射線の影響】

今日の放射線の健康影響などの科学的な知見は、広島と長崎の約12万人の寿命調査集団における疫学調査が基礎となっています。この集団には、爆心地から10km以内で被ばくした9万3,741人と、原爆が投下されたときに市内に不在だった2万6,580人が含まれています。

その結果では、放射線による発がんのリスクは、1,000ミリシーベルトあたり、約50%増加し（相対リスクで1.5※）、被ばく線量におおむね比例する傾向があります。

しかし、100ミリシーベルト以下の低線量被ばくでは、被ばくによる発がんが、ほかの発がん要因や生活習慣、地域差による発がんに隠れてしまって区別ができないため、被ばく線量が100ミリシーベルト程度では、被ばくのリスクの増加に統計学的に有意な差が認められません。

※相対リスクとは、被ばくしていない人を1としたとき、被ばくした人のがんリスクが何倍になるかを表す値。

【放射線と生活習慣によるがんのリスク】

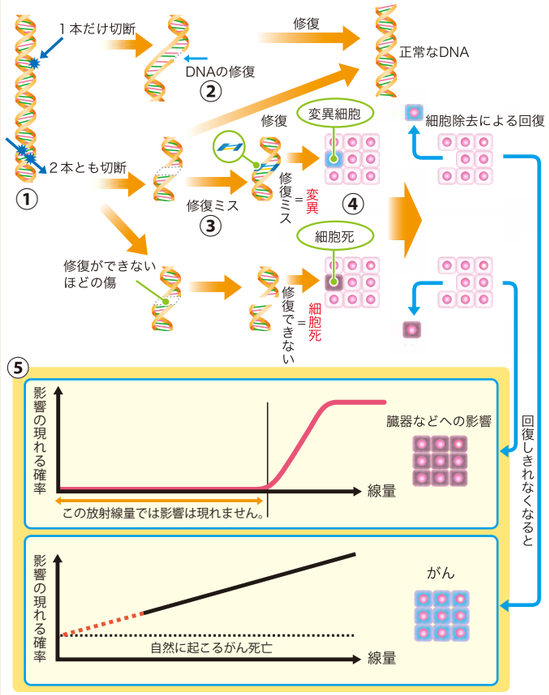
国立がん研究センターの研究によると、継続した喫煙は、1,000～2,000ミリシーベルト、運動不足は、200～500ミリシーベルト、野菜不足は、100～200ミリシーベルトの被ばくのリスクと同等とされています。

監修者 コメント

放射線被ばくでがんなどの増加を示すのに「リスク」という言葉があります。リスクには、増加を「比」で表す「相対リスク」と「差」で表す「絶対リスク」があります。例えば、ある放射線に被ばくした集団でのあるがんの発生率が3%、放射線に被ばくしていない対象集団（人種、年齢、性別などの分布ができるだけ近い集団）でのそのがんの発生率が2%の場合には、相対リスクは3%を2%で割って1.5となります。一方、絶対リスクは、3%から2%を引いて1%、つまり100人当たり1人の増加となります。今回の解説では、主に相対リスクで表現をしています。

松本 義久（東京科学大学 総合研究院 ゼロカーボンエネルギー研究所 教授）

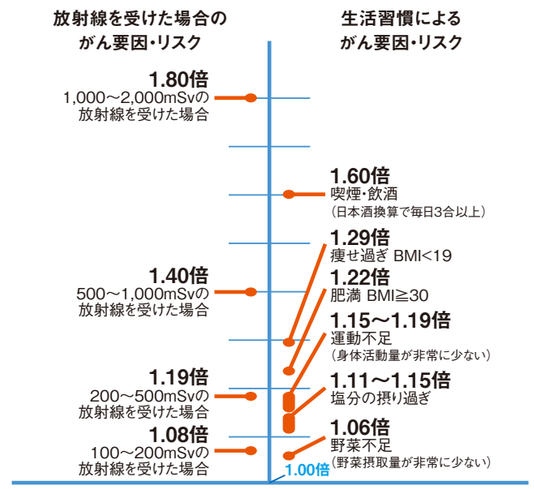
■DNAと放射線



①放射線の影響によりDNAの鎖が1本または2本切断されます。
②鎖が切断されても、DNAの傷が修復します。
③切断されたところに、他のDNAがまぎれこんだり、誤った箇所でつながってしまい、修復ミスが起こることがあります。
④修復ミスが起こった場合、変異細胞が生まれて治らないと、がんになることがあります。
⑤細胞が死ぬことによってその臓器が働かなくなるのは、放射線の量が一定の量以上になると起こります（上のグラフ）。変異細胞が増えてがんになる割合は、放射線の量に比例して増えると考えられています（下のグラフ）。

出典:国立がん研究センター資料より作成

■がんになるリスクとその要因



●放射線は、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ない
●そのほかは、国立がん研究センターの分析したデータである
※対象:40～69歳の日本人
※相対リスク（リスクがないグループと比べて、何倍がんになるリスクが増加するか）で示している

出典:国立がん研究センター資料より作成

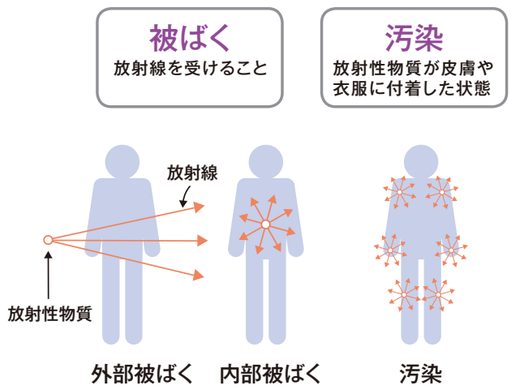
外部被ばくと内部被ばく

1. 外部被ばくと内部被ばく

放射線を受けることを「被ばく」といいます。そして、放射性物質などの放射線の発生源（線源）が、体の外にあり、体外から放射線を受けることを「外部被ばく」といいます。

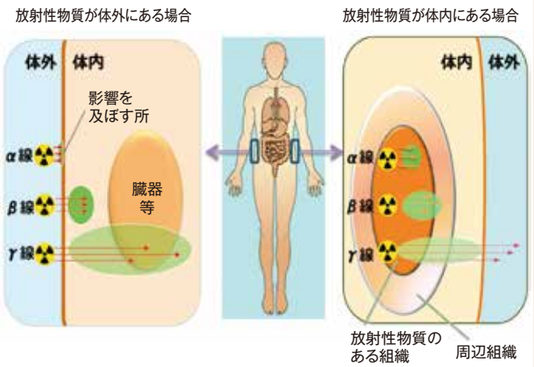
一方、呼吸や飲食によって放射性物質を体内に取り込んだり、皮膚に付着した放射性物質が傷口から体に入ったりすることによって、体の中に取り込まれた線源から放射線を受けることを「内部被ばく」といいます。内部被ばくには、主に放射性物質が食べ物と一緒に取り込まれる「経口摂取」、呼吸によって取り込まれる「吸入摂取」、皮膚から吸収される「経皮吸収」、傷口から入る「創傷侵入」という四つの経路があります。

■被ばくと汚染の違い



出典:原子力・エネルギー図面集

■透過力と人体での影響範囲



出典: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

2. 外部・内部被ばくの低減

外部被ばくの線量を少なくするためには、三つの方法があります。

一つ目は放射線源から「離れる」という方法です。二つ目は「遮へい」です。放射線をさえぎる建物に避難することです。三つ目は放射線源の近くにいる「時間を短くする」ことです。

内部被ばく線量を減らすためには、空気や飲み物、食べ物とともに取り込む放射性物質を減らすことが重要となります。また、放射性物質が体内に入った場合は、体外への排出を増やしたり早めたりする処置をとります。

原子力施設の事故などで放射性物質が放出された場合、建物の中に退避する屋内退避は、外部被ばくと内部被ばくを低減させるための有効な手段とされています。

3. 放射線の種類による影響の違い

外部被ばくでは、アルファ線は空気中で飛ぶ距離が数cmしかないため体表に到達することも少なく、また、到達しても皮膚の角質層で止まってしまいます。そのため、人体に影響が現れることはまずありません。ベータ線は、エネルギーが高いものは皮膚を透過でき、線量が相当高ければ、やけどのような症状を引き起こしますが、体の奥深くまで届くことはありません。ガンマ線は体の深部まで到達するため、注意が必要です。

また内部被ばくでは、アルファ線、ベータ線は飛ぶ距離が短いため、影響は放射性物質が存在する組織内に限定されますが、特にアルファ線は生物への影響が大きいため気を付ける必要があります。ガンマ線は飛ぶ距離が長いため、広範囲にわたって影響を及ぼす可能性があります。

4. 生物学的半減期

放射性同位元素（RI）の放射能は時間とともに減少します。RIの放射能が半分になるのにかかる時間を「物理学的半減期」といいます。また、呼吸や飲食を通じて私たちの体内に取り込まれたRIは、体の代謝や排泄によって体外に排出されますが、体に取り込んだ量が排出によって半分に減るまでにかかる時間を「生物学的半減期」といいます。生物学的半減期は、RIの化学的な性質や、体内に取り込んだ人の年齢など、生理的な要因によって異なります。

例えば、セシウム137の生物学的半減期は、30歳の成人で70日程度、9歳までの小児で40日程度、1歳までの乳児では10日程度とされています。

そして、体内にあるRIが、物理学的半減期や生物学的半減期などにより、半分に減るまでにかかる時間を「実効半減期」といいます。実効半減期は、物理学的半減期や生物学的半減期より短くなります。生物学的半減期は、RIがどのような化学的状態で存在するかによって異なります。トリチウムは、水分子としての生物学的半減期は10日程度、有機分子に取り込まれたものでは短いものが40日程度、長いものが1年程度とされています。

5. 放射性物質の臓器への蓄積

体に取り込まれた放射性物質は、種類によって特定の臓器に蓄積することがあります。例えば、カルシウムに似た性質のストロンチウム、ラジウムは、骨などカルシウムの多いところに蓄積します。また、ヨウ素は甲状腺ホルモンの構成元素であるため、放射性ヨウ素も甲状腺に蓄積する性質があります。カリウムに似た性質のセシウムは全身に分布しますが、特に、筋肉に多く分布するとされています。内部被ばくで特に問題になるのは、透過力が小さいアルファ線やベータ線を出すRIです。また、体内に取り込まれやすく、排出されにくいものや、特定の臓器に蓄積されやすいものです。例えば、プルトニウムは消化管では吸収されにくいため、経口摂取より吸入摂取の場合に問題となります。プルトニウムは肺から血流によって移動し、骨や肝臓に沈着し、アルファ線を出すため、肺がん、白血病、骨腫瘍、肝がんなどを引き起こす可能性があります。

6. 預託実効線量

放射性物質は、体内に摂取された後、一定期間体内にとどまります。その間、人体は放射線を受け続けることになります。そのため内部被ばくによる線量としては、1回に摂取した放射性物質の量から、将来にわたって受ける放射線の総量を考えます。これを預託線量（単位はシーベルト）といいます。

体内に取り込んだ放射性物質は、時間とともに減少します。その原因の一つは、放射性物質の壊変によるもので、もう一つは、体外への排出によるものです。また、放射性物質にはほぼ全身に均等に分布するもの、特定の臓器や組織に蓄積するものがあります。体内での分布や、体外への排出速度は、元素の種類やその化学形態、年齢によって異なります。預託線量はこのような違いを考慮して、ある放射性物質により人体が受ける放射線量の一生分を積算した量を、その年に受けたものとみなします。特に実効線量に着目して一生分を積算した線量を「預託実効線量」とよびます。

■主な放射性物質の半減期と影響

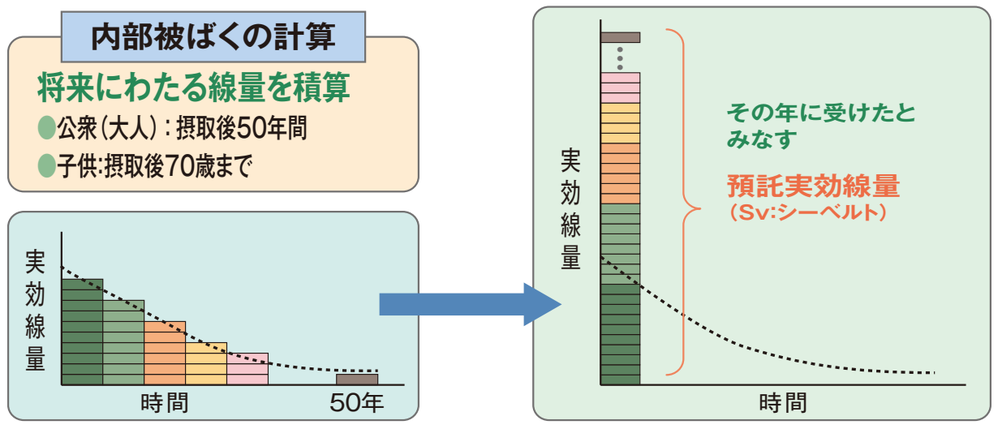
	H-3 トリチウム	Sr-90 ストロンチウム90	I-131 ヨウ素131	Cs-134 セシウム134	Cs-137 セシウム137	Pu-239 プルトニウム239
出す放射線の種類	β	β	β, γ	β, γ	β, γ	α, γ
生物学的半減期	10日 *1 *2	50年 *3	80日 *2	70日～100日 *4	70日～100日 *3	肝臓:20年 *5
物理学的半減期	12.3年	29年	8日	2.1年	30年	24,000年
実効半減期（生物学的半減期と物理学的半減期から計算）	10日	18年	7日	64日～88日	70日～99日	20年
蓄積する器官・組織	全身	骨	甲状腺	全身	全身	肝臓、骨

*1：トリチウム水
*2：ICRP Publication 78
*3：JAEA技術解説,2011年11月
*4：セシウム137と同じと仮定
*5：ICRP Publication 48

出典: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

■預託実効線量

放射性物質を一回だけ摂取した場合に、それ以降の生涯にどれだけの放射線を被ばくすることになるかを推定した被ばく線量



出典: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

身のまわりの放射線

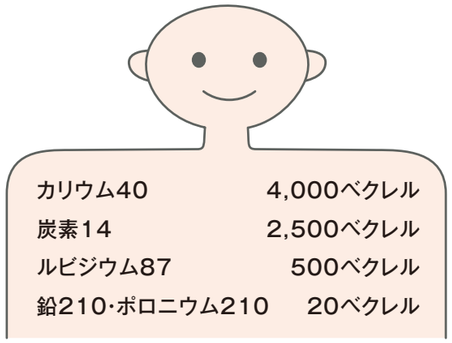
■一人あたりの自然放射線の内訳

ミリシーベルト／年	宇宙等から	大地等から	ラドンなどの吸入	食物から
2.4（世界）	0.39	0.48	1.26	0.29
2.1（日本）	0.31	0.33	0.47	0.99

出典：（公財）原子力安全研究協会「生活環境放射線第3版（2020年）」より作成

■体内、食物中の自然放射性物質

●体内の放射性物質の量
（体重60kgの日本人の場合）



カリウム40	4,000ベクレル
炭素14	2,500ベクレル
ルビジウム87	500ベクレル
鉛210・ポロニウム210	20ベクレル

●食物中のカリウム40の放射性物質の量（日本）
（単位：ベクレル／kg）

出典：（公財）原子力安全研究協会「生活環境放射線データに関する研究（1983年）」より作成

■全国の放射線モニタリング情報

原子力規制委員会のホームページで、国内の空間放射線モニタリング結果を確認することができます。

https://www.erms.nsr.go.jp/nra-ramis-webg/

※モニタリング…放射線の量や放射性物質の濃度を連続的に、または、一定の頻度で測定し、監視すること（P.84参照）

1. 身のまわりにある放射線

放射線は、目には見えず、においもなく、音もありませんが、私たちの身のまわりに存在しています。大地や空気、食べ物や飲み物に含まれる放射性物質から放射線が出ています。さらに、宇宙からも常に放射線が降り注いでいます。日本人は、1年間に一人あたり平均約2.1ミリシーベルトの自然放射線を受けています。

地球が誕生した約46億年前から放射性物質は存在し、大地の中に含まれる自然の放射性物質から放射線が出ています。大地からの放射線の量は、地域によって差があります。例えば、関西地方は、比較的多くの放射性物質を含む花崗岩が分布しているため、関東地方より放射線量が2～3割高くなっています。

空気や食べ物、飲み物の中にも、自然の放射性物質が含まれています。主なものは、カリウム40という放射性物質で、自然界にあるカリウムに0.012%含まれています。カリウムは、私たちの体に欠かせない栄養素であり、体重の約0.2%を占めています。

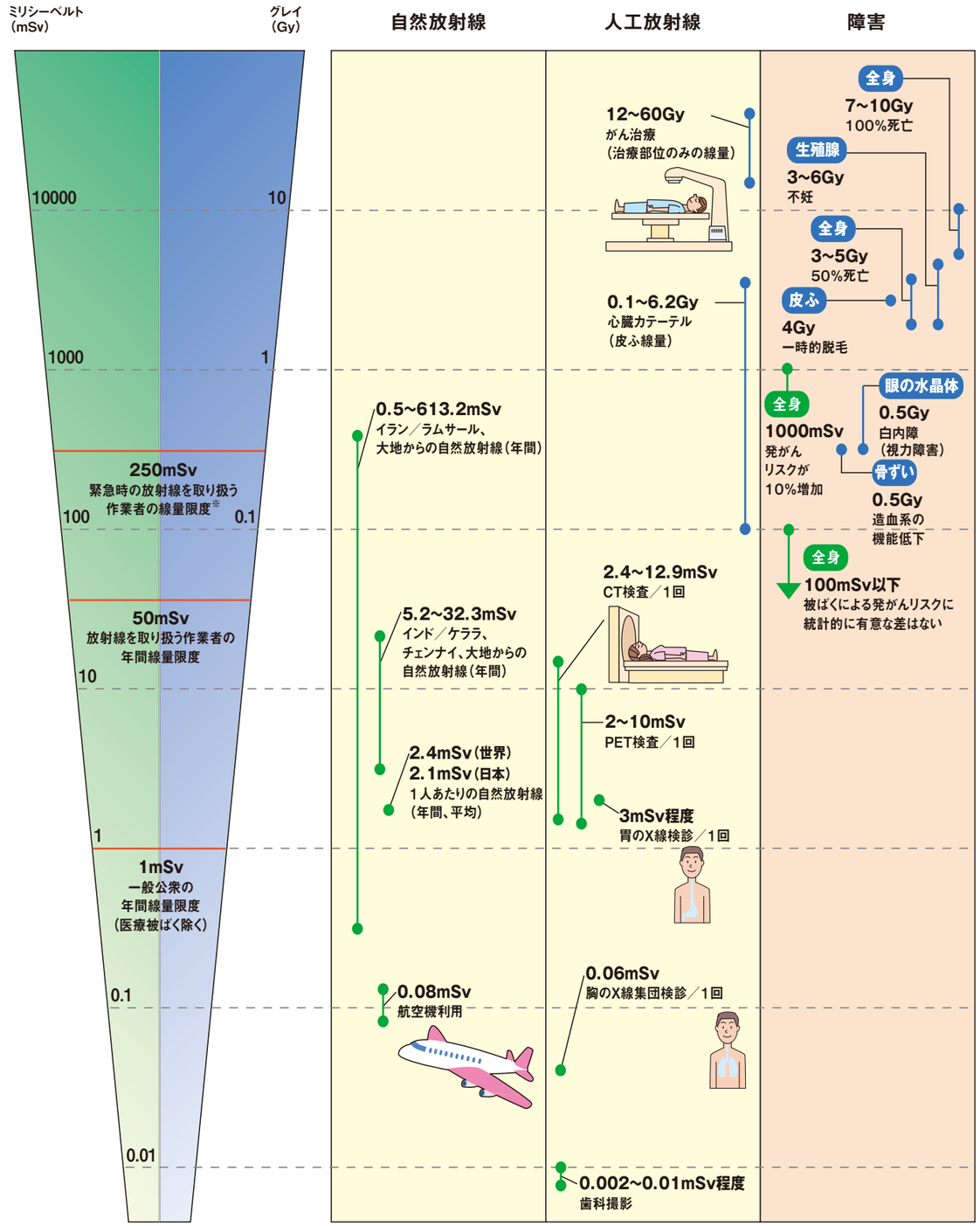
地球には、銀河系や太陽から放射線（宇宙線）が降り注いでいます。地球の大気や磁場にさえぎられ、地上に届く放射線の量はわずかとなりますが、高い場所の方が低い場所よりも宇宙線による被ばく量が多くなります。

例えば、飛行機などに乗ると、宇宙線による被ばくが大きくなります。また、国際宇宙ステーションなどに滞在する宇宙飛行士の被ばく量は、1日で0.5～1ミリシーベルト程度になります。しかしながら、航空機の操縦士や客室乗務員、宇宙飛行士などで、がんの増加などの健康影響が出ているということはありません。

また、アメリカや旧ソ連などによる大気圏内での核実験が1950～60年代に行われたことにより、日本の国土にも現在の約1,000～10,000倍のセシウム137が約10年間にわたり降下していました。このような核実験などが原因で降下してくる核分裂生成物を放射性降下物（フォールアウト）といいます。

世界には、インドのケララやイランのラムサールなど、世界平均の倍以上の自然放射線を受けている地域があります。インドのケララは、砂にトリウムという放射性物質が含まれているため、大地からの放射線が多くなっています。イランのラムサールは、温泉の噴出によってたまったラジウムが原因で、大地から受ける放射線が高い地域です。この地域の住民に、これらの自然放射線による健康影響はみられていません。

■放射線被ばくの早見表



※放射線障害については、各部位が均等にガンマ線1Gyの吸収線量を全身に受けた場合、実効線量1,000mSvに相当するものとして表記
※空気中吸収線量率から実効線量への換算には0.7Sv/Gyを係数として使用
※電離放射線障害防止規則等の改正により、緊急作業従事期間中の放射線を取り扱う作業者の線量限度を2016年4月より250mSvに引き上げ
※上記の早見表は、対数表示になっていない

出典：UNSCEAR 2008年報告書ICRP Publication 103, 2007（公財）原子力安全研究協会「生活環境放射線第3版（2020年）」などより作成

放射線被ばくによるリスク低減とモニタリング

1. 放射線防護の考え方

がんや遺伝性影響は、どんなに低い線量でも現れる可能性があると考えられていることから、安全と危険の境界を明確に区分することはできません。そこで、国際放射線防護委員会（ICRP）では、世界中の専門家が集まって放射線防護の基本的な考え方を議論し、勧告をまとめています。

【正当化】

放射線の利用によって得られる便益が、放射線被ばくによる損害を上回る場合にのみ、放射線の利用が容認されるとしています。例えば、医療における被ばくがこれにあたります。病気を治療したり、診断によって病気を予防したりすることができる利益の方が放射線による健康影響よりも優先されるときに放射線の利用が認められます。また、逆に、放射線被ばく量を少なくするために避難指示などの措置をとる場合（介入といいます）においても、それによって得られる便益が損害を上回る場合にのみ正当化されます。

【防護の最適化】

社会･経済的なバランスも考慮しつつ、合理的に達成可能な範囲でできるだけ被ばくを少なくすべきであるとしています。英語の”As low as reasonably achievable”の頭文字をとって、ALARAの原則ともよばれます。

【線量限度の適用】

線量限度は、管理の対象となる放射線源からの被ばくの合計が、その値を超えないように管理しなければならないという値で、職業上の被ばく、公衆の被ばくに関して定められています。線量限度は、そこまで被ばくして良いという値ではなく、安全と危険の境界を示す線量でもありません。線量限度は、被ばくが生じる前に放射線防護を計画できる状況（計画被ばく状況）にのみ適用されます。事故などの緊急時やその復旧段階における被ばくに関しては、線量限度ではなく、参考レベルが適用され、防護の最適化を行う際の目安や目標になります。

これらを達成するためにICRPは、線量限度や参考レベルの適用法や具体的な数値あるいはその範囲について勧告しており、日本においても、この勧告の多くを法律に取り入れています。

■線量限度の適用

線量限度は計画被ばく状況に適用される

○職業人　（実効線量）
　1年間　50ミリシーベルト　かつ
　5年間　100ミリシーベルト

○一般公衆（実効線量）
　1年間　1ミリシーベルト

（例外）医療被ばくには適用しない
　・個々のケースで正当化
　・防護の最適化が重要

出典:ICRP Publication 103「国際放射線防護委員会の2007年勧告」
The International Commission on Radiological Protection
（国際放射線防護委員会）2007より作成

2. 原子力施設で働く人たちの放射線管理

原子力施設で作業する放射線業務従事者が、日常の点検や定期検査などの作業で受ける放射線の量を低く抑えることが大変重要です。このため、放射線業務従事者の線量を法令で定められた限度（5年間で100ミリシーベルトかつ1年間で50ミリシーベルト）以下にするよう厳しい放射線管理が行われています。

原子力施設では、放射線管理を行うため、「管理区域」を定めています。これは、原子炉のある建物や放射性廃棄物を処理･貯蔵する建物の中で、放射線業務従事者が放射線を受けたり、放射性物質で衣服などが汚染される可能性のある場所です。

管理区域内で働くためには、すべての放射線業務従事者が業務開始前および開始後一定期間ごとに、法令で定められた健康診断、教育訓練、受けた放射線の量の確認などを受けなければなりません。

作業にあたっては、警報装置付き個人線量計、ガラスバッジなどの測定器により、常に放射線業務従事者が受けた放射線の量を測定しています。また、内部被ばくについてもホールボディカウンターを用いて測定しています。

一方で、作業内容の改善や補修などの作業の効率化を図るための自動点検装置（ロボット）などによる自動化、遠隔化技術の開発を進めることにより、放射線業務従事者が受ける放射線量を低く抑える努力がなされています。

また、管理区域内の放射性物質を外部へ持ち出さないようにするために、区域内においては必要に応じ、専用の衣服や靴などに替えたり、退出の際に退出モニターやサーベイメータなどの測定器で放射性物質による汚染の有無を確認しています。そして、手などに放射性物質が付着していた場合は、よく手洗いをするなど、徹底した管理が実施されています。

いくつもの原子力施設で働く放射線業務従事者の放射線管理を一元化するため、放射線業務従事者の受けた放射線の量は、被ばく線量登録管理制度により、（公財）放射線影響協会の放射線従事者中央登録センターへ登録されます。

さらに、放射線管理に万全を期すため、放射線業務従事者は、同センターが発行する総線量が記載された放射線管理手帳を所持することになっています。

このような放射線管理は、放射性物質を取り扱う研究施設や医療機関、工場などでも適用されています。

3. 原子力施設で働く人たちの被ばくリスク調査

日本の原子力施設で働く放射線業務従事者を対象に、低線量の放射線のがんによる死亡に対して、どのような影響を及ぼすのかについて調査が行われました。この調査は、20万人以上について、1990年度からほぼ5年ごとに5回実施されています。

これまでの調査結果では、肝がん、肺がん、食道がんについて、日本人男性の平均の死亡率より有意に死亡率が高くなりました。しかし、これらのがんは、喫煙や飲酒などとの因果関係が強いことが分かっています。そこで、喫煙に関連するがんを除いたがん（白血病を含む）について調べてみると、死亡率には、有意な差は現れませんでした。

これまでに実施された結果を総合すると、低線量の放射線が、がんによる死亡率に影響を及ぼしている証拠は現れていません。

4. 原子力施設のまわりの放射線管理

原子力施設内で発生した放射性物質が外部に放出されると、この放射性物質から出る放射線により、周辺環境へ影響を与えることになります。このため、放射性物質の放出について厳しく管理する必要があります。

原子力発電所の運転中には、微量の放射性物質が周辺の環境に放出されます。この放射性物質による実効線量については、年間0.05ミリシーベルトを目標値として設定しています。このようにして一般の人の線量限度である年間1ミリシーベルトに比べ十分低い値に管理されています。

5. 放射線や放射性物質を監視するモニタリング

モニタリングとは、放射線の量や放射性物質の濃度を連続的に、または、一定の頻度で測定し、監視することをいいます。事業者などは、原子力施設周辺にモニタリングポストやモニタリングステーションを設置し、大気中の放射線量を24時間測定･監視し、ホームページなどで公表しています。

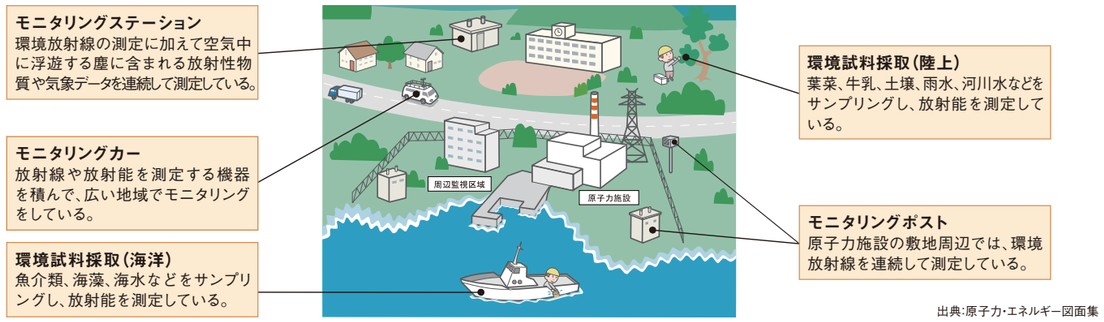
ガンマ線の測定を目的とするときは、「シンチレーション式検出器」や「電離箱式検出器」が用いられます。携帯用の放射線測定器には、シンチレーション式や電離箱式のサーベイメータのほかにも、中性子線を測定するサーベイメータがあり、測定する放射線の種類により異なった測定器を用いています。

また、周辺の雨水や地下水、海水、海底土、土壌、農作物、水産物、畜産物などについても、放出された放射性物質が周辺に影響を与えていないかどうかを確認しています。

■原子力発電所の区域区分

出典:原子力･エネルギー図面集

■原子力施設周辺の環境放射線モニタリング



出典:原子力･エネルギー図面集

◆5章（放射線と放射線防護）のポイント◆

この章では、放射線や放射性物質の性質、人体への影響とそのメカニズム、放射線から身を守るための注意点などに加え、私たちのくらしをよくするための放射線の利用についても解説したいと考えました。そのために、放射線が工業、医療分野等でどのように活用されているかを、できるだけわかりやすくイメージがわくように写真やイラストを用いながら、冒頭の見開き2ページにまとめました。特に、がん放射線治療は日々進歩しています。がん放射線治療では、「いかに多くの線量をがんに集中させ、正常組織に当てないか」が重要となります。1990年代以降、陽子線や重イオン線の物理的な性質、すなわち止まる直前に大きな線量を与える性質を利用してがんに線量を集中させる粒子線治療施設が多く作られています。また、線源と遮へい材のコンピュータによる精密な制御によってがんに線量を集中させる強度変調治療が普及しています。近年、到達距離が細胞のサイズ程度で、大きなエネルギーをもつアルファ線を用いて、細胞レベルでがんを狙い撃ちする標的内用療法が注目を集め、特に転移がんへの有効性が期待されています。

このような医療分野、産業分野での放射線の有効利用のためには、安全管理の基本となる放射線防護が重要です。国際放射線防護委員会（ICRP）では、これまでの科学的知見に基づいて、低線量・低線量率放射線の影響がどのようになっているかを整理し、放射線防護に関する法令などの基本となる勧告を出しています。その中でも重要な主勧告は2007年のものが最新となっていますが、ICRPは2021年に今後数年間をかけてこの再検討と改訂を行うという内容の論文を発表しています。この論文の中で、放射線影響とリスクに関するポイントとして、放射線感受性の個人差、遺伝性影響などが挙げられています。これらに関して、生物学・医学に関わる近年の科学的進歩を取り入れた改訂が行われる見込みです。

監修者からのメッセージ

この章で説明したように、放射線を多量に被ばくすると、がん、不妊などさまざまな健康影響が引き起こされます。一方で、私たちは常に自然界からの放射線を少しずつ浴びながら生活しています。また、放射線は医療や幅広い産業で利用されています。放射線の有効利用のためには、放射線の性質や生体への影響を理解し、これに基づいて安全や安心を確保することが必要です。

私たち専門家には、研究によって放射線の生体影響を科学的に解明していくことや、より有効かつ安全に放射線を利用する方法や装置などの開発が求められています。また、放射線利用によって得られる健康や豊かさを一般の方々に安心して享受していただくためには、放射線の性質や生体への影響の基本となることや研究・開発の成果を分かりやすく伝えることが必要と考えています。本パンフレットが放射線の性質、健康影響や利用法を理解し、放射線との向き合い方を考える一助となれば幸いです。

■**松本 義久**（東京科学大学 総合研究院 ゼロカーボンエネルギー研究所 教授）

◆6章（原子力防災）のポイント◆

2024年4月、原子力規制委員会において「原子力災害時の屋内退避の運用に関する検討チーム」が設立されました。このチームでは、「屋内退避の位置づけ」や「屋内退避実施の判断に関する論点」として対象範囲や開始タイミング、「屋内退避実施後の判断に関する論点」として、屋内退避後に見込まれる防護措置の基本的な考え方、屋内退避の解除、継続、または避難への切り替えの判断などが議論されてきました。そして、10月には中間まとめが公開されました。

具体的な内容として、以下のような方針が示されています。

- **屋内退避の開始時期および対象範囲**:全面緊急事態時には従来どおりUPZ全域で屋内退避を実施する。
- **屋内退避の解除**:重大事故等対策が奏功していることに加え、プルーム（放射性物質の雲）が滞留していないことを確認できれば解除可能とする。
- **屋内退避の実施継続期間**:3日間の継続を一つの目安とし、その後の継続の可否を判断する。
- **屋内退避中の行動に関する考慮事項**:生活維持のために最低限必要な一時的な外出は可能とする。

これまで、原子力発電所立地地域の多くの住民は「屋内退避中は一切外出してはならない」と認識しており、屋内退避の長期継続に困難さを感じていました。その点を考慮すると、今回の合意は、災害時に実際に屋内退避行動を取る住民に寄り添った形での方針策定といえるでしょう。

今後は、「屋内退避のイメージ」を地域住民と共有することが課題です。地方自治体職員による説明を想定した具体的な内容の策定や、他の災害対応と同様に、子どもたちが自発的に「命を守る行動」を取れるようにするための学校教育を通じた啓発活動が重要となります。

監修者からのメッセージ

この章では、行政上の原子力防災のしくみと、放射線防護措置として住民が原子力災害時に取るべき行動およびその原理について概説します。前者については、東日本大震災後の東京電力福島第一原子力発電所事故を契機に刷新された原子力防災のしくみを説明します。具体的には、原子力発電所からの距離と事故の進展状況という二つの軸に基づき、行政の指示に従って住民が取るべき行動を解説します。後者については、住民が平時から備えておくべき事項として、放射線に関する基本的な知識をもつことや、普段の放射線量(空間線量率)を意識する重要性について述べます。また、有事において被ばくを避けるための具体的な行動として、「屋内退避」と「避難」の原理とその重要性について解説します。本章が、防災担当者にとっては住民への説明の手助けとなり、原子力発電所の立地地域に住む住民にとっては「備え」の一助となることを期待しています。

■**安田 仲宏**（福井大学 附属国際原子力工学研究所 教授）