

『放射線』ってなに？



目次

寄稿	03
----	----

1 放射線を見てみよう	05
-------------	----

2 原子の構成はどのようなになっているの？

2-1 原子の構成	06
2-2 同位体とは？	06

3 放射線・放射能・放射性物質とは？

3-1 放射性物質と放射能、放射線の違いは？	07
3-2 放射線はどこから生まれるの？	07
コラム セシウム137が放射線を出すしくみ	08
3-3 放射線の単位は？	08
3-4 放射線の種類は？ その性質は？	09
3-5 放射能は時間とともに減っていく	10
コラム 原子力発電所で生まれる放射性物質	11

4 放射線はどこにあるの？

4-1 自然にある放射線	12
4-2 自然放射線の地域や生活環境による差	13
参考 放射線被ばく早見表	14

5 放射線被ばくってなに？

5-1 外部被ばくと内部被ばくの違い	15
5-2 外部被ばく	15
5-3 内部被ばく	16

6 放射線の人体への影響は？

6-1 放射線による電離作用と影響の種類	17
6-2 人体へ影響を及ぼすメカニズム	18
コラム DNAと放射線	19
コラム 放射線と生活習慣によるがんのリスク	20
6-3 環境中に放出された放射性物質はどうなるの？	21
コラム 原子力施設での区域区分と周辺環境放射線モニタリング	22

7 放射線はどんなところで利用されているの？

7-1 医療分野での放射線の利用	23
7-2 農業分野での放射線の利用	25
7-3 自然・人文科学分野での放射線の利用	25
7-4 工業分野での放射線の利用	26
7-5 先端技術分野での放射線の利用	26

8 付録

8-1 放射線にかかわる歴史	27
8-2 目に見えない現象に挑んできた科学者たち	27

放射線・放射能の理解に向けて



九州大学名誉教授
東北大学金属材料研究所特任教授

いでみつ かず や
出光 一哉 氏

1980年九州大学工学部応用原子核工学科卒業。1982年同大学大学院工学研究科応用原子核工学専攻修了。同年、動力炉・核燃料開発事業団(現・日本原子力研究開発機構)入社。1989年九州大学助手、1993年助教授、2002年九州大学大学院工学研究院教授を経て現職。専門は放射性廃棄物処理、核燃料開発など。経産省などの各種委員も務める。博士(工学)

皆さんは、放射線・放射能という言葉聞いて、どのように感じるでしょうか？ 怖い、危険、被ばく、非日常…といった負の感情でしょうか？ 日本は世界で唯一の被ばく国であるため、多くの国民は放射線・放射能に対して負の感情を抱きやすいと思います。多くの方は、自分達が放射線の存在しない世界に住んでいると誤解していて、少しの放射線が検出されても危険だと思いう傾向があります。しかし、放射線は日常に存在し、我々人類はその中で生活をしています。後ろのページで紹介がある霧箱という装置を使えば、今この時身の回りを飛び交っている放射線の様子を見ることができます。放射線そのものは見えませんが、どこを飛んだかという軌跡を可視化することができます。実際、一立方メートルの空気の中では、毎秒30個ほどのアルファ(α)線が発生しています。その他、ベータ(β)線、ガンマ(γ)線ももっと多く飛び交っていて、空からは宇宙放射線(宇宙線)が降り注いでいます。ウランやプルトニウムと聞いて危険と思う人もいます。でも、ウランはどこにでもある元素で、地面にも海水中にもあります。ウランは自然界で最も身近な放射性元素の一つです。この他、健康に良いとされるカリウムは放射性のものを必ず含んでいますし、我々の体を構成している炭素にも放射性のものがあります。これらの中で人類や他の全ての生物が生まれ、進化してきました。現在の地表の放射線量は、健康に影響を与えないレベルなので、安心してください。危険かそうでないかは、放射線の量や放射線を発生させる物質(放射性物質)の濃度の高低で決まります。日本の著名な物理学者である寺田寅彦の言葉に、「物事を必要以上に恐れたり、全く恐れを抱いたりしないことは容易いが、物事を正しく恐れることは難しい」とあります。この資料を読んだ皆さんが、正しく放射線を理解し、正しく恐ることができるようになることを願っています。

さて、放射線はただ危険で役に立たないものなのでしょうか？…否！ 現代社会は放射線に関する科学・技術無しには成り立ちません。前述の霧箱を発明したイギリスの科学者チャールズ・ウィルソンはノーベル物理学賞を受賞し、その後の放射線利用の礎になっています。

今、皆さんが使っている携帯電話(スマートフォン)やコンピュータの中にある電子回路は放射線の技術無しに作ることはできません。人類は放射線を自由に作り出すことで、半導体の超微細加工や、その観察(品質管理)を行っています。最高性能の電子顕微鏡は、固体中の原子一個一個の位置を見ることができ、それが何の元素であるかを知ることができます。加速器を使った放射光装置では、さらにその結合の状態も可視化できます。大型加速器実験では、原子の中にある原子核の構造について調べ、宇宙創世時期の火の玉状態の世界を創り出すこともできるようになりました。ドイツの科学者オットー・ハーンはウランの原子核が中性子を吸収して分裂することを発見し、ノーベル化学賞を受賞しました。彼は当初その発見が世の役に立つとは思っていませんでした。その後、エンリコ・フェルミをはじめとするノーベル賞受賞者達が核分裂エネルギーを連続して取り出せる装置(原子炉)を開発し、今では世界各地に400基ほどの原子炉が電気を生み出しています。ポーランドの科学者マリー・キュリーは鉱石の中から自然界にある放射性元素としてラジウムを初めて分離し、ノーベル物理学賞を夫婦で受賞し、夫ピエールの死後単独でポロニウムの発見によりノーベル化学賞も受賞しました。マリーの娘イレーヌもフレデリック・ジョリオと結婚、夫婦で人工放射性物質を初めて生成し、ノーベル化学賞を受賞しています。前述のフェルミは40種以上の人工放射性同位元素を作り出しています。現在、医療には多くの放射性同位元素が使われています。第一回ノーベル賞の受賞者ヴィルヘルム・レントゲンを知らない人はいないでしょう。その名を冠するレントゲン(X)線の発生とその性質を詳細に調べ、医療だけでなく、空港の手荷物検査や殺菌にも使われています。放射線・放射能は、この他、工業(製鉄、化学合成、分析など)、農業(品種改良、発芽防止、殺菌など)、宇宙(放射線天文学)、歴史(年代測定、遺跡調査)にも多く利用されています。

さあ、本書を足がかりに、放射線・放射能の世界を理解してみませんか。

(2023年10月)

病気の診断や治療に貢献している放射線



熊本大学大学院医学教育学部
造血・腫瘍制御学教授

おかだ せいじ
岡田 誠治 氏

1985年自治医科大学医学部医学科卒業、1985年から茨城県衛生部医務課技術吏員(医師)として11年間茨城県で地域医療に従事、1996年千葉大学医学部附属高次機能制御研究センター助手、2000年同大学大学院医学研究科発生医学講座分化制御学助教授、2002年熊本大学エイズ学センター教授、2006年アイソトープ総合施設長兼任、2019年同大学ヒトレトロウイルス学共同研究センター教授、博士(医学)

「人々の力になること、これは人類の共通の義務なのです」。「この発明は、病気の治療に使えるものです。病人の足元に付け込むなんて、私には出来ません」。放射線の研究で2度のノーベル賞を受賞したキュリー夫人(Madame Curie)の言葉です。放射能(Radioactivity)という用語を発案したのもキュリー夫人です。彼女は、発見当初から放射線の平和利用・有効利用への大きな期待を込めて放射能という言葉を考えていたのではないかと思います。ところが最近では、「放射線・放射能」は危険なもの、怖いものという負のイメージを抱く人が多くなりました。実際、核分裂反応は大きなエネルギーを生み出すため、原子力発電のように二酸化炭素を排出しないクリーンエネルギー源として使われていますが、一方で原子爆弾のような核兵器としても使われます。科学技術や知識の良し悪しは、結局のところ使う側の人間の問題になるのではないのでしょうか。

医療分野では、放射線は多くの場面で使われています。エックス線は、1895年にヴィルヘルム・コンラート・レントゲン(Wilhelm Conrad Röntgen)により発見されたものです。発見当初からX線には透過作用とフィルム感光作用があることがわかっており、すぐに診断に用いられるようになったため、「レントゲン写真」はなじみ深い言葉になっています。その後、コンピューターの発達で、CTスキャンが開発されましたが、CTスキャンでは体の内部の通常のレントゲン写真では見えにくい部分もはっきり見えますし、最近では体の内部を3次元で再現できるようになりました。日本のCTスキャン普及率は人口100万人当たり100台を超えており、その保有率は世界一位です。CTスキャンでは、外からは見えない体の中の異常(がんなど)がすぐにわかりますし、少し大きな病院はCTスキャンを保有していますので、病気の診断に大きく貢献しています。

治療の分野でも、放射線が癌細胞を殺すことがわかってから癌治療に大きく貢献しています。癌治療には大きく①外科的療法(手術)、②化学療法(抗がん剤)、③放射線療法、④免疫療法、がありますが、放射線は癌細胞を特異的に殺すことができますので、手術が困難な脳内や

体の深部の腫瘍や、副作用の強い化学療法が使えない場合に特に大きな効果を示します。以前は、皮膚障害などの副作用が問題になっていましたが、現在は癌細胞をピンポイントで殺すことができるリニアックや重粒子線・陽子線治療が普及してきており、体力のない患者さんでも無理なく治療を受けることができるようになりました。また、癌のある局所に放射性的のカプセルや針を埋め込んだ治療法や抗体に放射性物質をつけることで癌細胞に特異的に取り込まれて癌細胞のみを殺傷する免疫放射線療法が普及してきています。今や日本人の2人に1人が癌になり、4人に1人が癌で死亡する時代です。放射線診断・放射線療法の重要性は益々高まるものと考えられます。また、心筋梗塞や脳梗塞の際にも放射線を使った血管造影で緊急治療が行なわれています。

日本は、被ばく国でありながら放射線に関する詳しい教育は避けられてきましたが、東日本大震災に伴う福島第一原発事故の際の混乱の反省から、放射線教育の重要性が再認識されています。現在では、中学校の理科で放射線についての授業が行われ、医療関係者にも「放射線による健康影響」についての十分な教育が行われるようになりました。本書では、放射線についての基礎知識から、様々なヒトの生活への応用についてわかりやすく解説されています。本書を通して、放射線に対する正確な知識を学んでいただきたいと思います。

最後に私の好きなキュリー夫人の言葉を引用させていただきます。「私は科学には偉大な美が存在している人間の一人です。研究室にいる科学者というのは、ただの技術者ではありません。それはおとぎ話に感動する子供のように、自然現象を前にそこにたたずむ一人の子供でもあるのです。」

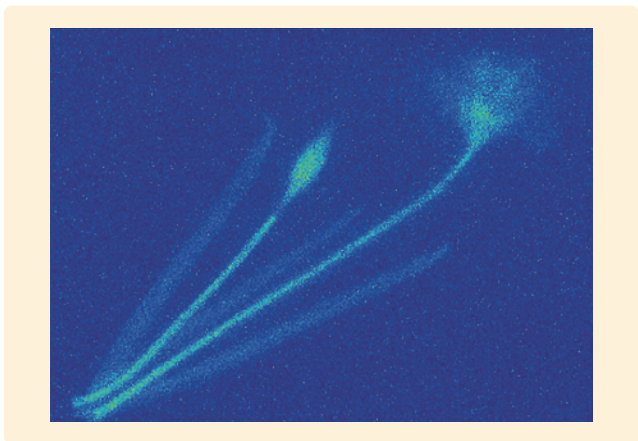
(2023年10月)

1

放射線を見てみよう

放射線は身の回りにあふれていますが、目には見えません。
放射線を見るためには、特殊な方法が必要です。

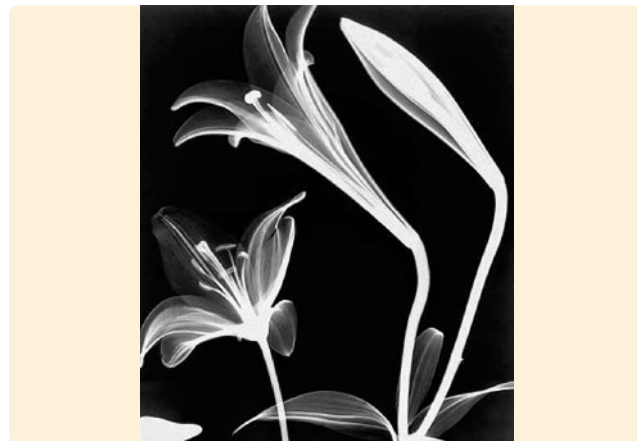
植物からの放射線



上の画像は、スイセンから出ている自然放射線を写したものです。色の明るい部分は、スイセンの中に含まれるカリウム40^(※)によるものです。色の明るい部分ほど放射線が多く出ています。

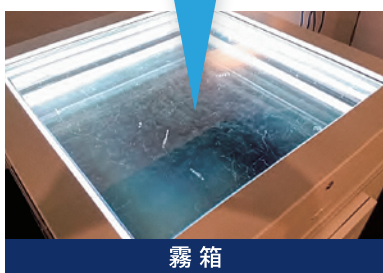
※カリウムの中には、放射線を出すカリウム40と呼ばれる物質が微量に含まれています。

文部科学省HP:「放射線等に関する副読本掲載データ、中学校生徒用」
https://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/attach/1314159.htm



上の写真は、ユリに中性子線を当てて写したもので、白い部分は、ユリの中に含まれている水を写しています。植物がどのように水を吸収して成長するかなどの研究や、エンジン内部の燃料や潤滑油の様子など金属管内の液体の動きやなどの研究に利用されています。

放射線が飛ぶ様子



霧箱

- 身の回りを飛んでいる放射線は目に見えませんが、霧箱という実験装置を使うと放射線が通過した跡(飛跡)を観察できます。
- これは、雲の上の飛行機雲と同じです。飛行機雲は空の上の寒いところで過飽和になった水蒸気が、飛行機のエンジンから出てきた排気ガスなどが刺激になって小さな液体の水の粒、つまり雲になった物です。
- 霧箱中の飛跡の見え方は放射線の種類によって異なります。
- アルファ(α)線の正体であるヘリウム原子核は他の放射線と比較して大きいため、太いはっきりとした飛跡を作りだします。霧箱中で見える飛跡は数cm程度です。
- ベータ(β)線の飛跡はアルファ線と比較して細く、気体分子にたびたび衝突するため、曲がりくねった飛跡となります。
- ガンマ(γ)線は直接飛跡の観測はできませんが、ガンマ線が弾き飛ばしたベータ線の飛跡を見ることができます。

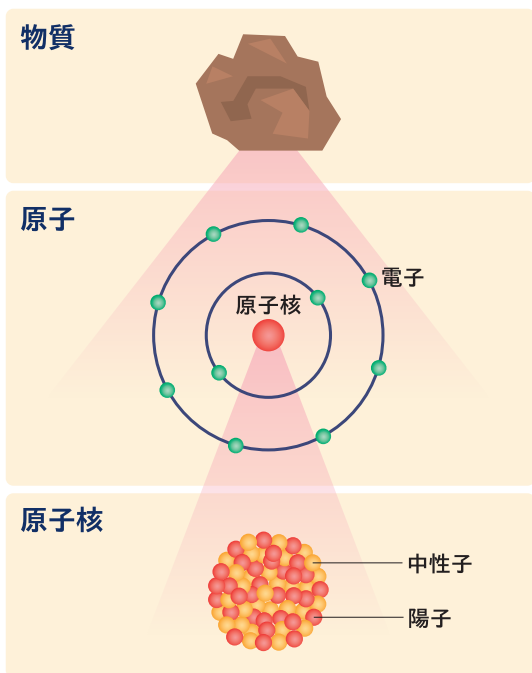
文部科学省HP:「中学生・高校生のための放射線副読本」を基に作成
https://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/attach/_icsFiles/file/20200306_mxt_kouhou02_02.pdf

2

原子の構成は どのようなになっているの？

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。

2-1 原子の構成



原子は原子核とその周りを回る電子から構成されています。**原子核は、陽子と中性子で構成されます。**質量は、陽子と中性子がほぼ同じで、電子はその約1,800分の1です。

電 子	マイナスの電荷をもっている
陽 子	電子と同じ大きさのプラスの電荷をもっている
中 性 子	電荷をもっていない
原子番号	原子の持つ陽子の数
質 量 数	原子の持つ陽子の数と中性子の数の合計
元 素	陽子の数が同じものでまとめたもの

【参考1】

原子の化学的性質は「原子番号」で決まります。例えば、水素は陽子が1個の元素ですが、中性子がそれぞれ0個、1個、2個の水素が存在していますが、いずれも化学的性質は同じです。

【参考2】

世の中には、およそ110種類ほどの元素があります。水素(原子番号1)からウラン(原子番号92)までの92種類は、ほとんどが自然界で発見されましたが、ネプツニウム(原子番号93)以降は人工的に作り出された元素です。

原子力文化財団HP:「原子力総合パンフレット2022」を基に作成 <https://www.jaero.or.jp/sogo/detail/cat-03-02.html>

2-2 同位体とは？

- 陽子の数が同一(同じ元素)で、中性子の数が異なる原子を「**同位体**」といいます。
- 同位体の中でもエネルギー的に安定な原子を「**安定同位体**」といいます。
- 高いエネルギーを持った不安定な状態のものを「**放射性同位体(ラジオアイソトープ(RI: Radioisotope))**」といいます。

	水 素	重水素 (デューテリウム)	3重水素 (トリチウム)	備 考
原子構成				<ul style="list-style-type: none"> ○水素は、水素(陽子1個、中性子0個)、重水素(陽子1個、中性子1個)、3重水素(陽子1個、中性子2個)の3種類があります。 ○水素、重水素が「安定同位体」で、3重水素が「放射性同位体」です。 ○それぞれ、水素1(H1)、水素2(H2)、水素3(H3)のように、元素名の後に質量数を記載して区別します。
陽子の数	1	1	1	
中性子の数	0	1	2	
質量数	1	2	3	
存在比	99.98%	0.02%	ごく微量	
性質	安定	安定	放射性	

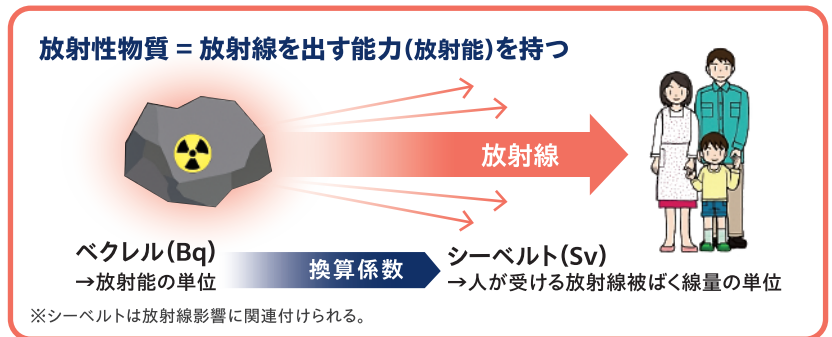
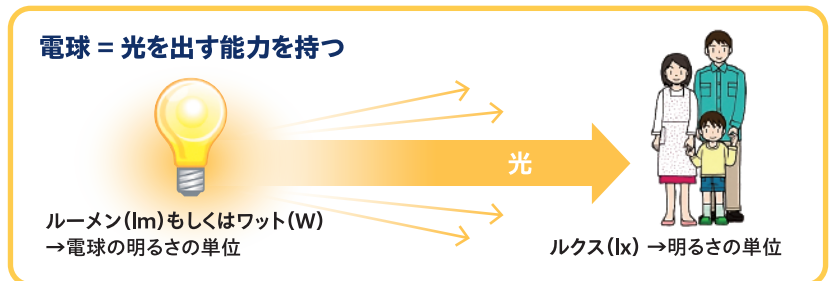
日本科学技術振興財団HP:「放射線教育支援サイト“らでい”」を基に作成 <https://www.radi-edu.jp/2023/04/15/6676>

3

放射線・放射能・放射性物質とは？

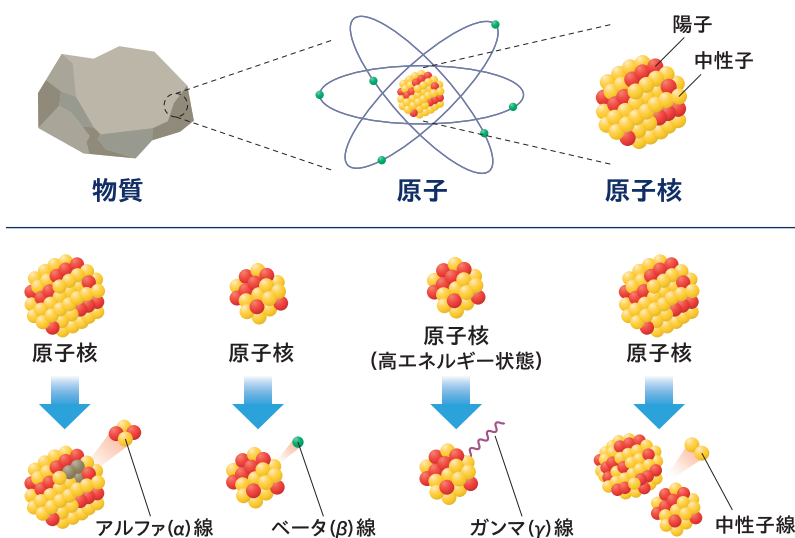
3-1 放射性物質と放射能、放射線の違いは？

- 高いエネルギーをもった不安定な状態の「放射性同位体(RI)」は、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。この高速の粒子や電磁波が「放射線」です。
- 放射能は放射線を出す能力のことをいい、放射線を出す能力をもった物質のことを放射性物質といいます。
- 懐中電灯にたとえると懐中電灯=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。



環境省HP:「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4年度版)」を基に作成 <https://www.env.go.jp/chemi/rhm/r4kisoshiryō/r4kiso-01-01-01.html>

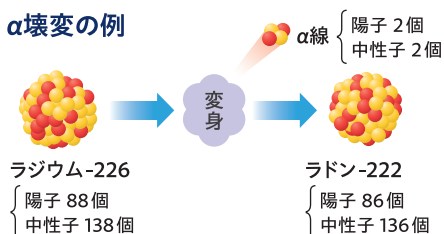
3-2 放射線はどこから生まれるの？



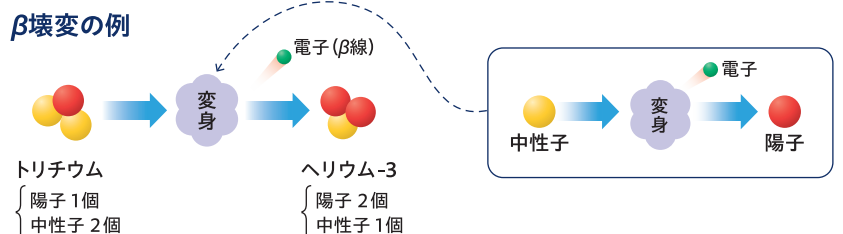
※エックス(X)線は原子核の外側で発生

- 放射性同位体(RI)は、不安定で自然に放射線を出して別の原子核に変わっていきませんが、その際に、アルファ(α)線、ベータ(β)線を放出します。
- α線やβ線を出した直後の原子核は、通常、まだ不安定な状態(励起状態)なため、それらが安定な状態になる時にガンマ(γ)線が放出されます。
- エックス(X)線は原子核の外側で発生する電磁波です。
- 中性子は、原子核を構成する粒子の一つです。原子核が核分裂する等の際に運動エネルギーを持って原子核の外へ飛び出す中性子のことを中性子線といいます。

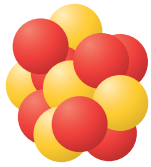
α壊変の例



β壊変の例



環境省HP:「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4年度版)」を基に作成 <https://www.env.go.jp/chemi/rhm/r4kisoshiryō/r4kiso-01-03-01.html>

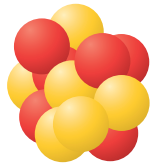


セシウム137

{ 陽子 55個
中性子 82個

中性子が過剰なので不安定
→電子を1個放出して中性子が1個陽子に変わろうとする

これがベータ(β)線の正体

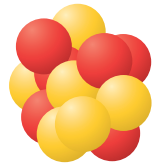


バリウム137m

{ 陽子 56個
中性子 81個

まだエネルギーが高く不安定な状態が続く
→エネルギーを電磁波として放出して安定な状態になろうとする

これがガンマ(γ)線の正体



バリウム137

{ 陽子 56個
中性子 81個

安定な原子、もう放射線は出さない
“安定同位体”

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。

※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：東京工業大学 松本義久氏 資料より作成

原子力文化財団HP：「原子力総合パンフレット2022」を基に作成 <https://www.jaero.or.jp/sogo/detail/cat-03-02.html>

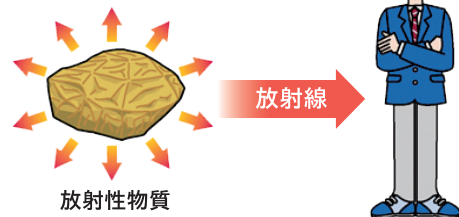
3-3 放射線の単位は？

壊変と放射線

- 原子核がエネルギー的に不安定な放射性物質では、余分なエネルギー(放射線)を出して、安定な状態に変わろうとします。これを壊変(崩壊)といいます。
- 放射性物質の原子核が変化し放射線を出してエネルギー的に安定になれば、放射線を出さなくなります。

放射能・放射線の単位

放射能の強さや、放射線を受けた物資が吸収するエネルギー量、放射線を受けた人体への影響など、調べる目的に合わせて使われる単位にはいくつかの種類があります。



ベクレル(Bq : Becquerel)

放射性物質が放射線を出す能力(放射能)の大きさを表す単位。

1ベクレルとは、1秒間に一つの原子核が壊変(崩壊)※することを表します。例えば、370ベクレルの放射性カリウムは、毎秒370個の原子核が壊変して放射線を出してカルシウムに変わります。

※壊変(崩壊)とは原子核が放射線を出して別の原子核になる現象のことです。

グレイ(Gy : Gray)

放射線のエネルギーが物質や人体の組織に吸収された量を表す単位。

放射線が物質や人体に当たると、もっているエネルギーを物質に与えます。1グレイとは、1キログラムの物質が放射線により1ジュール※のエネルギーを受けることを表します。

※ジュール：エネルギーの大きさを表す単位

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単位。

放射線を安全に管理するための指標として用いられます。

3-4 放射線の種類は？ その性質は？

放射線の種類と透過力

①アルファ(α)線

原子核から放出される粒子(陽子2個・中性子2個からなるヘリウムの原子核)です。 α 線は紙1枚でさえぎることができます。

②ベータ(β)線

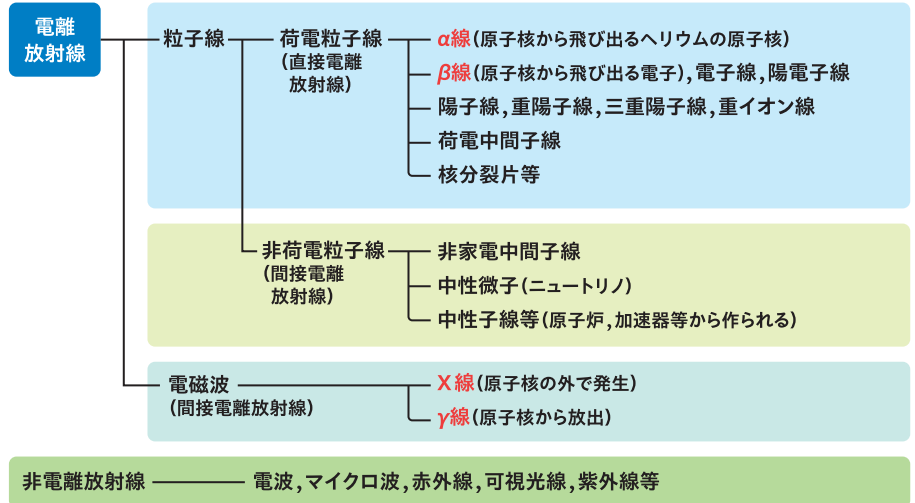
原子核から放出される電子です。 β 線は空気中では数m程度飛び、アルミニウムなどの金属板でさえぎることができます。

③ガンマ(γ)線、エックス(X)線

γ 線は不安定な状態にある原子核が、より安定な状態に移る時に発生する電磁波です。X線は、原子核の外側から発生する電磁波です。どちらも空気中を数十mから数百m飛び、密度の高い鉛などでさえぎることができます。

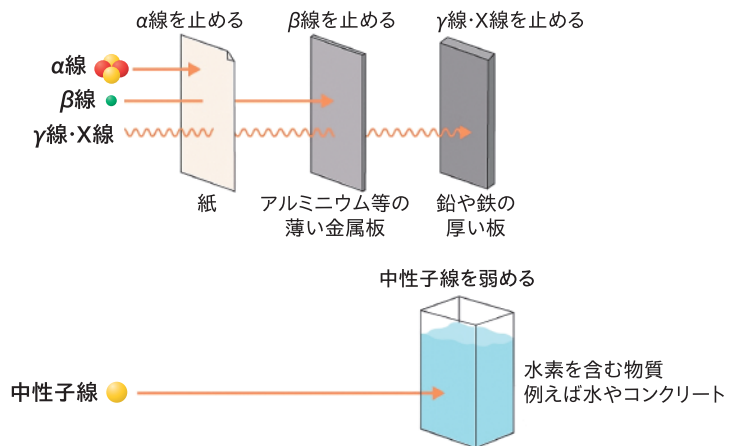
④中性子線

中性子は原子核を構成する粒子の一つです。質量がほぼ同じ陽子(水素の原子核)と衝突する場合に最も効果的にエネルギーを失います。水・コンクリートのように、水素をたくさん含む物質でさえぎることができます。



放射線には電離放射線と非電離放射線がありますが、通常放射線といった場合は、電離放射線のことをいいます。
出典: 高度情報科学技術研究機構/原子力百科事典ATOMICA「電離放射線」を改変

放射線は、いろいろな物質で遮ることができます

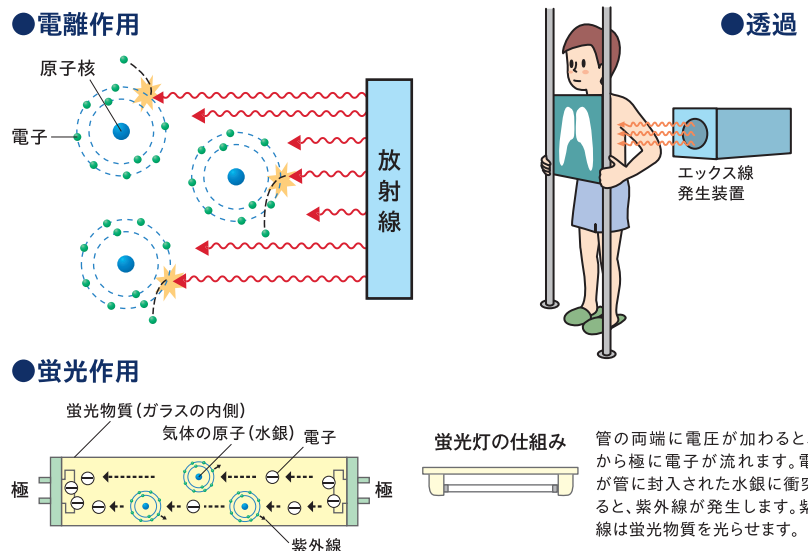


環境省HP:「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料(令和4年版)」を基に作成
<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/r4kisoshiryu/r4kiso-01-03-02.html> <https://www.env.go.jp/chemi/rhm/r4kisoshiryu/r4kiso-01-03-08.html>

放射線の性質

放射線には、電離作用、蛍光作用、透過といった性質があり、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。

- 電離作用は、放射線が物質を通過する時、もっているエネルギーを原子や分子に与え、電子をはじき出す働きです。
- 蛍光作用は、紫外線や放射線などが物質にあたった時、その物質から光を出させる働きのことです。
- 透過は、放射線が物質を通り抜ける性質のことです。

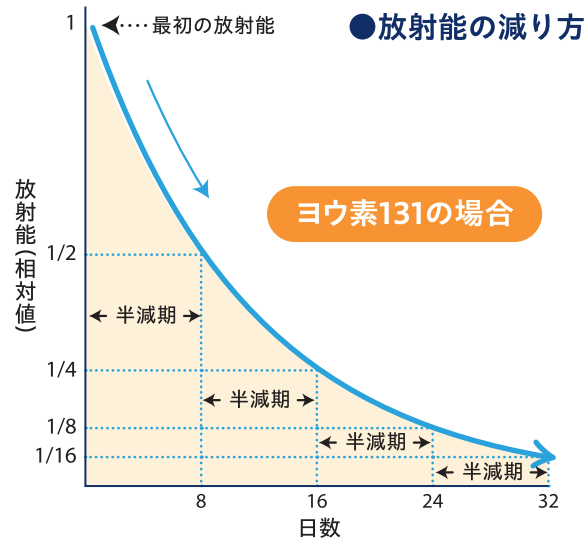


原子力文化財団HP:「原子力・エネルギー図面集」を基に作成 <https://www.ene100.jp/zumen/6-1-4>

3-5 放射能は時間とともに減っていく

(物理学的)半減期

- 放射性物質は放射線を放出しながら、時間の経過とともに放射線を放出しない安定した物質になっていきます。したがって、**放射性物質はだんだん放射能が減っていきます。**
- 放射能が半分になる時間を「(物理学的)半減期」といいます。
- たとえば、ヨウ素131は半減期が約8日なので、放射能は約8日で最初の放射能の半分に、約16日で1/4に、約24日で1/8に減少します。



放射性物質と半減期

	原子の種類	半減期
人工の放射性物質	ヨウ素131(ウランの核分裂で生まれる核分裂生成物)	約8日
	コバルト60(原子炉の鋼材などに中性子が当たって生まれる腐食生成物)	約5年
	セシウム137(ウランの核分裂で生まれる核分裂生成物)	約30年
	プルトニウム239(ウランが中性子を吸収して生まれる超ウラン元素)	約24,000年
自然界に存在する放射性物質	ラドン222	約4日
	ラジウム226	1,600年
	カリウム40	約13億年
	ウラン238	約45億年

電気事業連合会HP:「放射線Q&A」を基に作成 https://www.fepc.or.jp/library/pamphlet/pdf/05_housyasen_qa.pdf

生物学的半減期と実効半減期

- 呼吸や飲食などで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。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。
- 「物理学的半減期」や「生物学的半減期」などにより、体内にあるRIが半分に減るまでにかかる時間を「実効半減期」といいます。

●原発事故由来の放射性物質の半減期

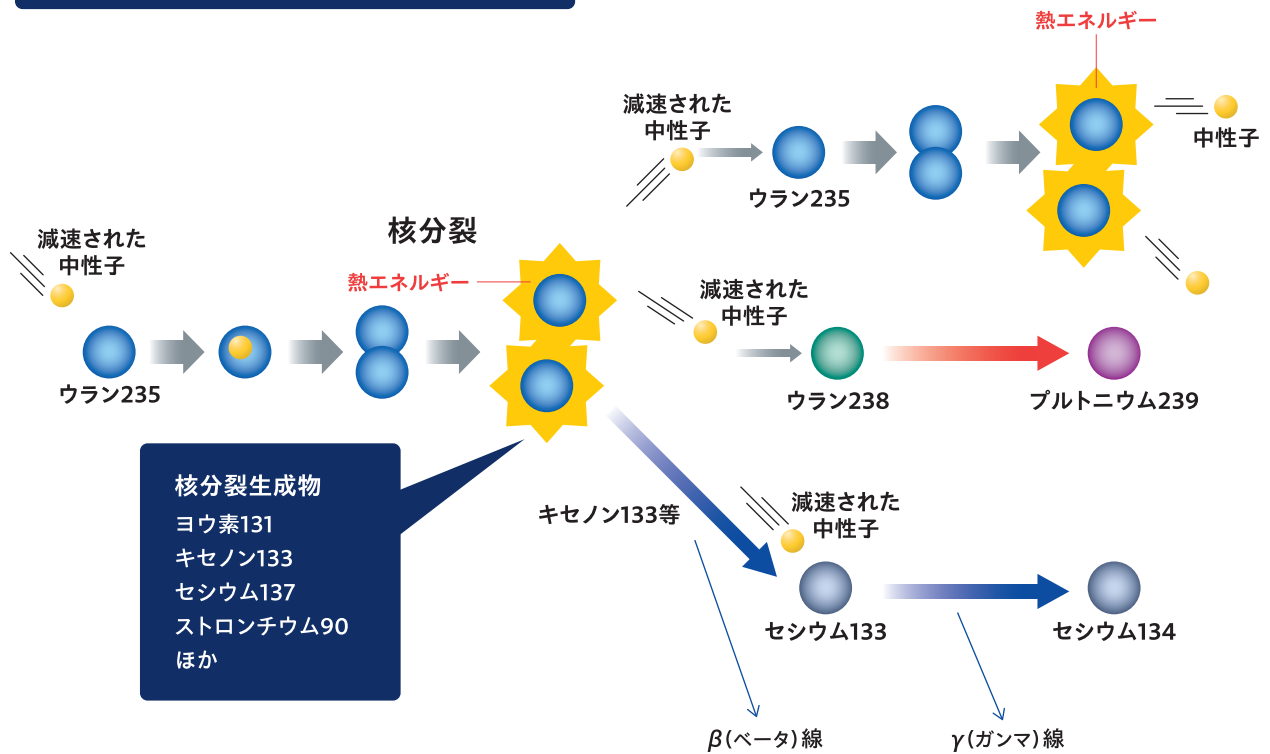
	H-3 トリチウム	Sr-90 ストロンチウム90	I-131 ヨウ素131	Cs-134 セシウム134	Cs-137 セシウム137	Pu-239 プルトニウム239
出す放射線の種類	β	β	β, γ	β, γ	β, γ	α, γ
生物学的半減期	10日 ^{*1} *2	50年 ^{*3}	80日 ^{*2}	70日~100日 ^{*4}	70日~100日 ^{*3}	肝臓:20年 ^{*5}
物理学的半減期	12.3年	29年	8日	2.1年	30年	24,000年
実効半減期 <small>生物学的半減期と物理学的半減期から計算</small>	10日	18年	7日	64日~88日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

実効半減期は、生物学的半減期の表中に記載した蓄積する器官・組織の数値から計算。

*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

環境省HP:「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4年度版)」を基に作成 <https://www.env.go.jp/chemi/rhm/r4kisoshiryo/r4kiso-02-02-04.html>

軽水炉型原子力発電所と核分裂生成物の生成



○原子力発電所では、燃料の濃縮ウラン(ウラン235：3～5%、ウラン238：95～97%)に中性子を当てると、核分裂が起こります。

○そのとき、ヨウ素131、セシウム137、ストロンチウム90などの放射性の核分裂生成物が作られます。また、ウラン238に中性子が当たると、プルトニウム239が作られます。

○核分裂生成物が壊変したり、中性子を捕獲して発生する放射性物質もあります。

○通常は、これらの生成物は燃料棒の中にとどまり、原子炉から外へは漏れ出しません。

○原子力施設には放射性物質を外に出さないようにする様々な仕組みがありますが、それらがすべて機能しなくなると、放射性物質が漏れ出すことになります。

環境省HP:「放射線による健康影響等に関する統一した基礎資料(令和4年度版)」を基に作成
<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/r4kisoshiryo/r4kiso-02-02-03.html>

4

放射線はどこにあるの？

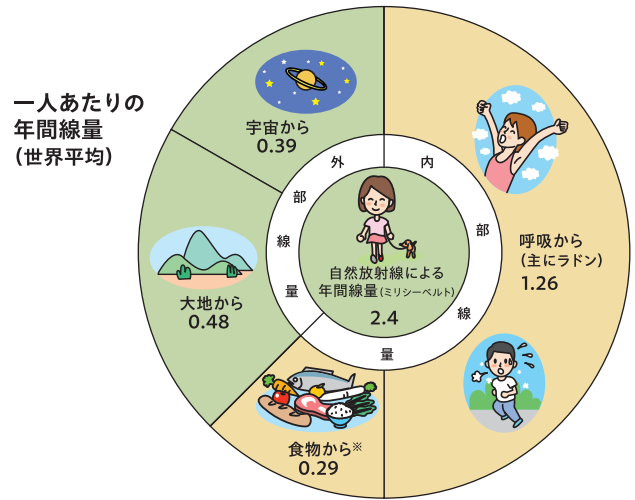
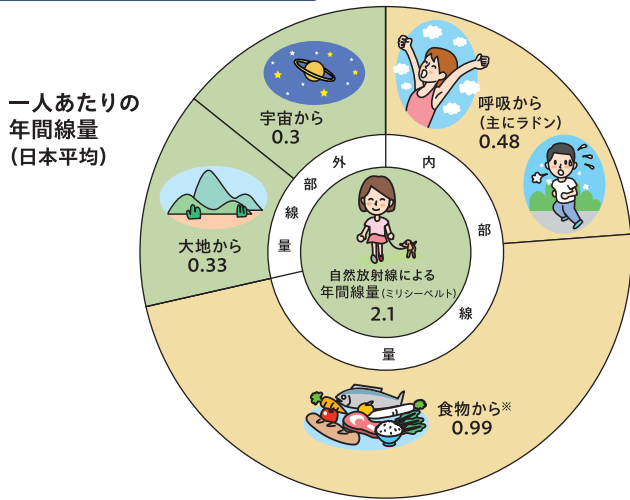
放射線は、目には見えず、においもなく、音もありませんが、私たちの身のまわりに存在しています。

4-1 自然にある放射線

○自然放射線は、宇宙から地球に降り注いだり、地球上の岩石・食物などから出ており、人類は誕生以来、常に自然放射線を受けています。

○自然放射線には、宇宙、大地等の体外(外部)から受ける放射線と、食物摂取や空気中のラドン等の吸入によって体内(内部)から受ける放射線があります。

自然放射線から受ける線量



※欧米諸国に比べ、日本人は魚介類の摂取量が多く、ポロニウム210による実効線量が大きい

出典：国連科学委員会 (UNSCEAR) 2008年報告書、(公財)原子力安全研究協会「新版生活環境放射線(平成23年)」より作成

食物からの放射性物質の取り込み

私たちは食物に含まれる放射性物質からも放射線を受けています。

○食物に含まれる主な放射性物質はカリウム40、炭素14などで、すべて自然に存在するものです。

○食物摂取により体内に取り込まれた放射性物質からの放射線の量は、1年間に約0.99ミリシーベルト程度です。

○食物を通して取り込まれた放射性物質は、時間とともにだんだん少なくなっていく上に新陳代謝されるため、体内でほぼ一定の割合に保たれ、それ以上増えることはありません。

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60キログラムの日本人の場合)

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/キログラム)



原子力文化財団HP:「原子力・エネルギー図面集」を基に作成
<https://www.ene100.jp/zumen/6-2-4>

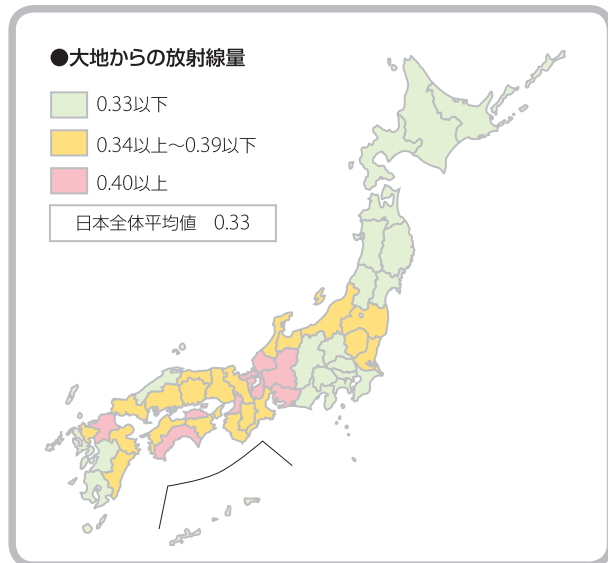
出典：(公財)原子力安全研究協会「生活環境放射線データに関する研究(1983)」,
「新版生活環境放射線(平成23年)」より作成

4-2 自然放射線の地域や生活環境による差

日本国内でも地域によって放射線の量は違います。

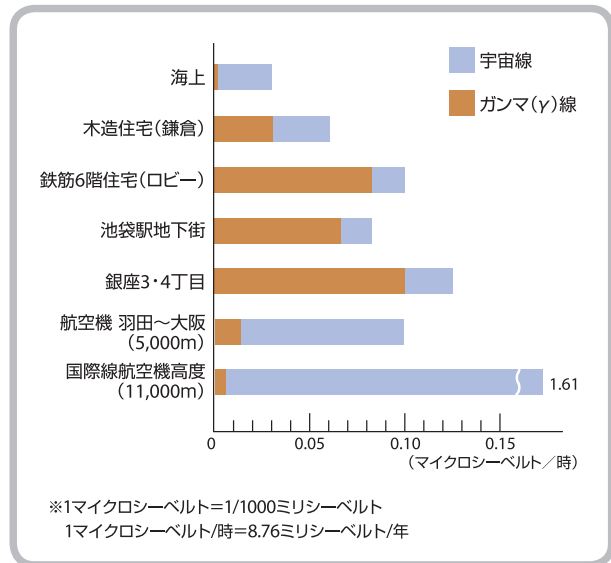
- 大地に含まれる岩石の種類に差があるため、放射性物質を含む花崗岩が多い西日本の方が、放射線の量は多くなります。
- 生活環境の違いも大きく影響します。コンクリートの建物は放射線をさえぎる力が大きい反面、木造建築より建物自体から発生する放射線の量は多くなります。
- 飛行機に乗った場合は、高度が高いほど宇宙から受ける放射線の量が多くなります。

大地からの自然放射線の量(ミリシーベルト/年)



出典: (公財)原子力安全研究協会「生活環境放射線(国民線量の算定) 第3版」

自然放射線レベルの違い



出典: 高エネルギー加速器研究機構放射線科学センター「放射線の豆知識 暮らしの中の放射線(2013年)」

電気事業連合会HP:「放射線Q&A」 https://www.fepc.or.jp/library/pamphlet/pdf/05_housyasen_qa.pdf

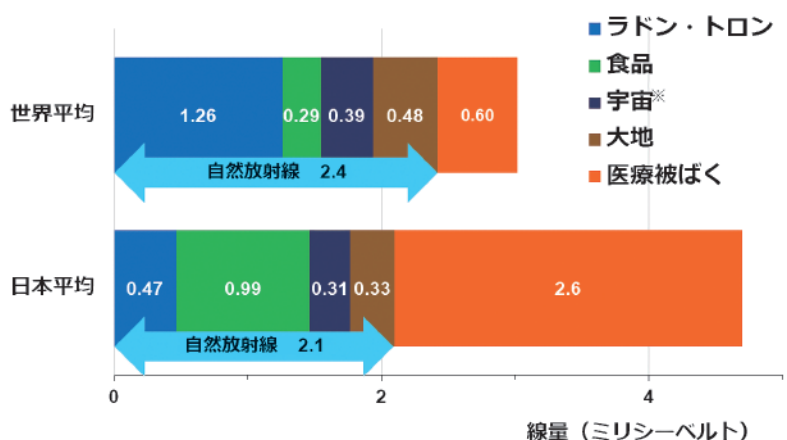
4 放射線はどこにあるの？

日常生活における被ばく量の比較

日本と世界の日常生活における被ばく量を比較すると、

- 日本はラドン及びトリロンからの被ばくが少なく、食品からの被ばくが多いという特徴があります。
- 日本人は魚介類の摂取量が多いため、食品中の鉛210やポロニウム210からの被ばくが世界平均と比較して多くなっています。
- 放射線検査による医療被ばく線量は個人差が大きいのですが、平均すると日本人の被ばく量は極めて多いことが知られています。特にCT検査が占める割合が大きくなっています。

日常生活における被ばく (年間)



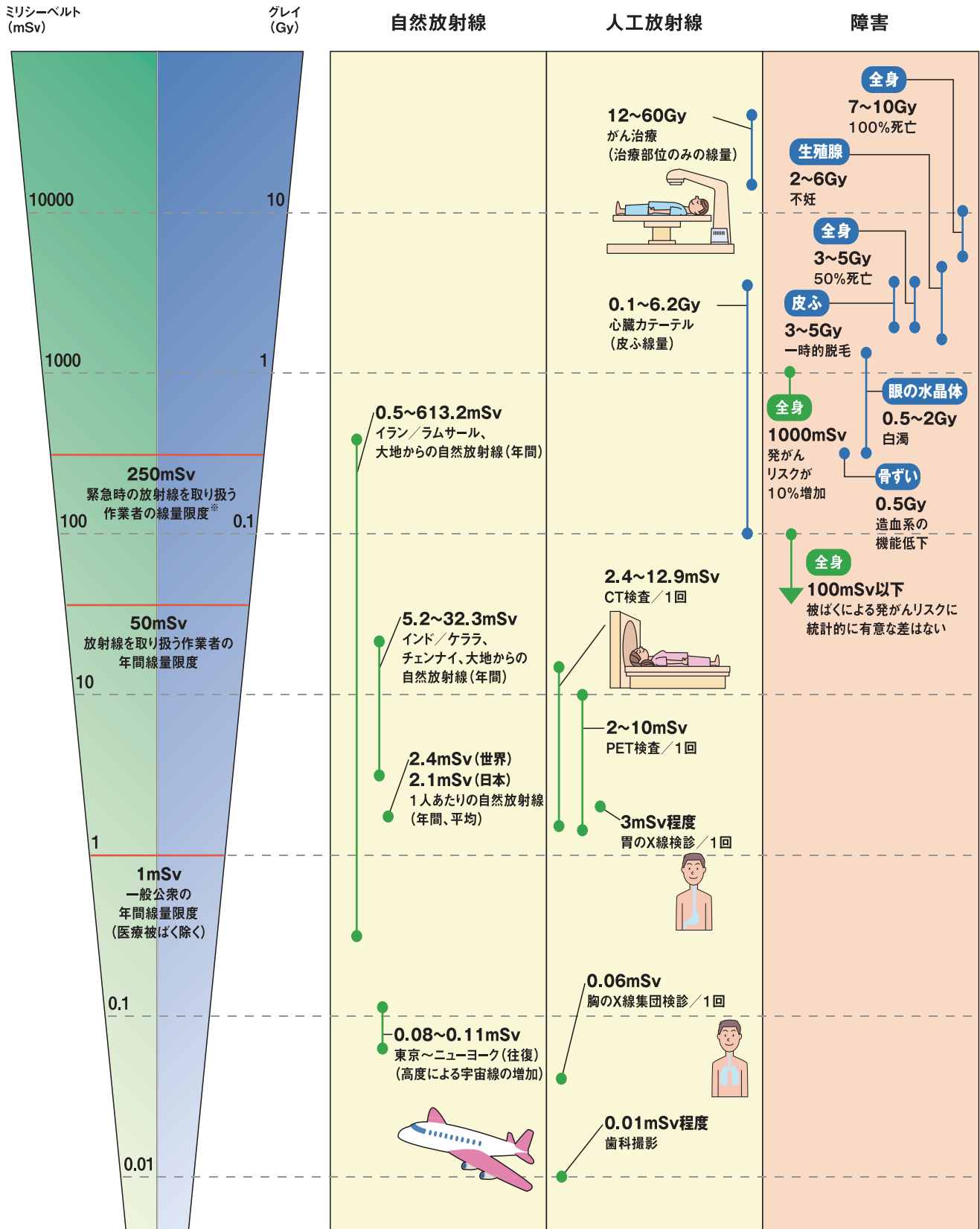
※宇宙線からの被ばくと航空機利用に伴う被ばくの合計値。

出典: 国連科学委員会(UNSCEAR)2008年報告。

(公財)原子力安全研究協会「生活環境放射線(国民線量の算定) 第3版」(2020年)より作成

環境省HP:「放射線による健康影響等に関する統一した基礎資料(令和4年度版)」
<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/r4kisoshiryo/r4kiso-02-05-03.html>

参考 放射線被ばく早見表



※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員の線量限度を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「新版生活環境放射線(2011年)」などより作成

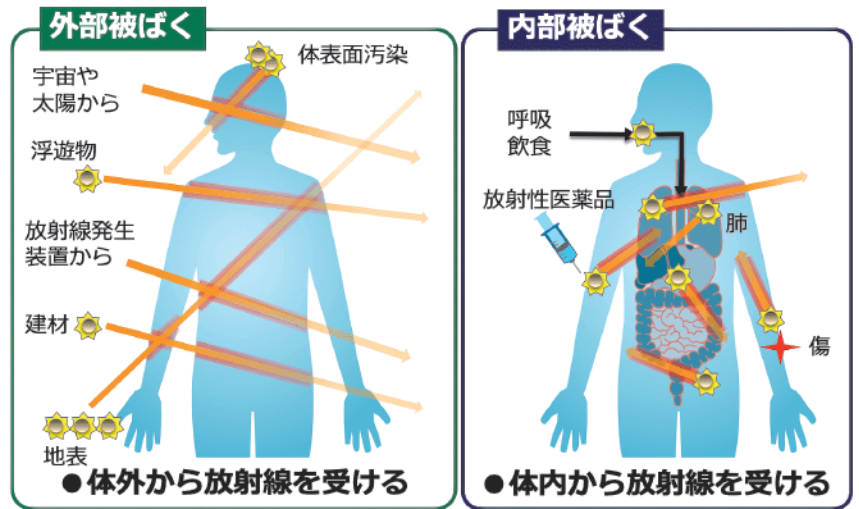
5

放射線被ばくってなに？

放射線を体に浴びることを「放射線被ばく」といいます。

5-1 外部被ばくと内部被ばくの違い

- 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、放射性物質が体の中に入ってしまった場合、体の中に放射線源があるので、体内で被ばくすることになります。これを「内部被ばく」といいます。



体が放射線を受けるという点は同じ

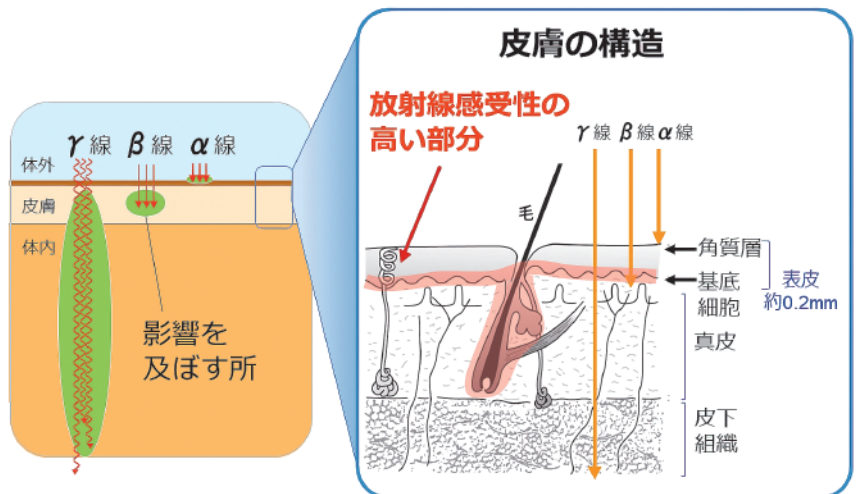
★：放射性物質

環境省HP:「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4年度版)」 <https://www.env.go.jp/chemi/rhm/r4kisoshiryo/r4kiso-02-01-01.html>

5-2 外部被ばく

外部被ばくでは

- α 線は透過力が弱く表皮で止まってしまうので影響を及ぼすことはありません。
- β 線を出す放射性物質が大量に体表面に付着し、長く放置された場合には、まれに皮膚が赤色に変化する皮膚紅斑や脱毛等が起こることがあります。
- 外部被ばくで問題になるのは、体の内部まで影響を及ぼす、 γ 線を出す放射性物質によるものです。



環境省HP:「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4年度版)」 <https://www.env.go.jp/chemi/rhm/r4kisoshiryo/r4kiso-02-01-03.html>

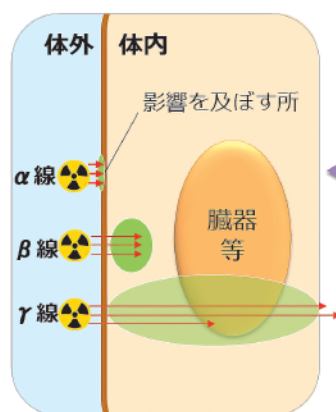
5-3 内部被ばく

放射線の透過力と影響の範囲

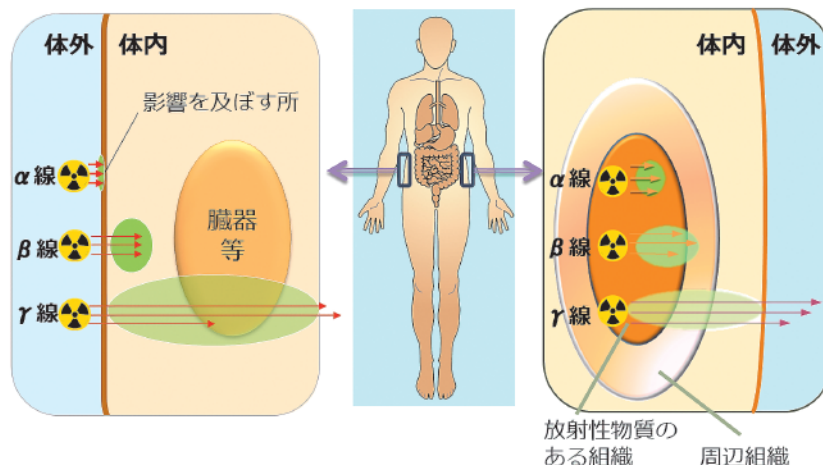
外部被ばくの影響範囲は、5-2で説明した通りですが、内部被ばくでは、

- α 線、 β 線、 γ 線を放出する全ての放射性物質が体内の細胞に影響を及ぼす可能性があります。
- α 線の場合は、飛ぶ距離から考えても、その影響は放射性物質が存在する組織内に限定されますが、**生物への影響力は強く**、内部被ばくに関しては特に気を付ける必要があります。
- γ 線の場合は、**飛ぶ距離が長い**ため、全身に影響を及ぼす可能性があります。

放射性物質が体外にある場合



放射性物質が体内にある場合



環境省HP:「放射線による健康影響等に関する統一な基礎資料(令和4年度版)」 <https://www.env.go.jp/chemi/rhm/r4kisoshiryo/r4kiso-01-03-10.html>

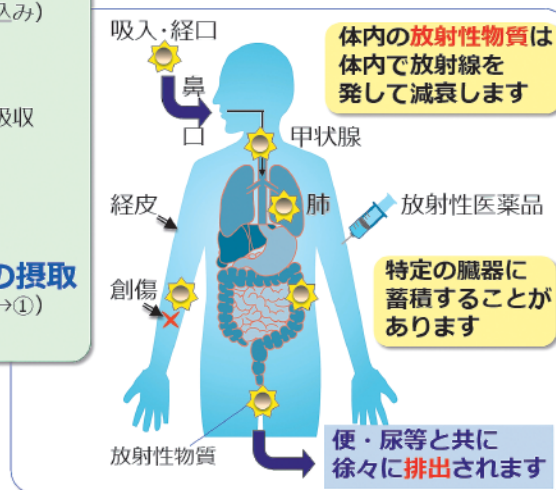
内部被ばくと放射性物質の蓄積

体に取り込まれた放射性物質は体内で放射線を放出します。**放射性物質の種類によっては、特定の臓器に蓄積することがあります**。これは放射性物質の化学的性質によるものです。

【参考：10ページ下表参照】

- ストロンチウム**はカルシウムに似た性質があり、体内に入ると、**骨などのカルシウムのある所に蓄積する**性質があります。
- セシウム**はカリウムに似た性質があり、体内に入ると**全身に分布する**性質があります。
- ヨウ素**は甲状腺ホルモンの構成元素なので、放射性ヨウ素も安定ヨウ素も、**甲状腺に蓄積する**性質があります。

- ① **経口摂取**
口から入り(飲み込み)
消化管で吸収
- ② **吸入摂取**
呼吸気道から侵入
肺・気道表面から吸収
- ③ **経皮摂取**
皮膚より吸収
- ④ **創傷侵入**
傷口より侵入
- ⑤ **放射性医薬品の摂取**
注射、経口投与(→①)
ガスの吸入(→②)



環境省HP:「放射線による健康影響等に関する統一な基礎資料(令和4年度版)」 <https://www.env.go.jp/chemi/rhm/r4kisoshiryo/r4kiso-02-01-04.html>

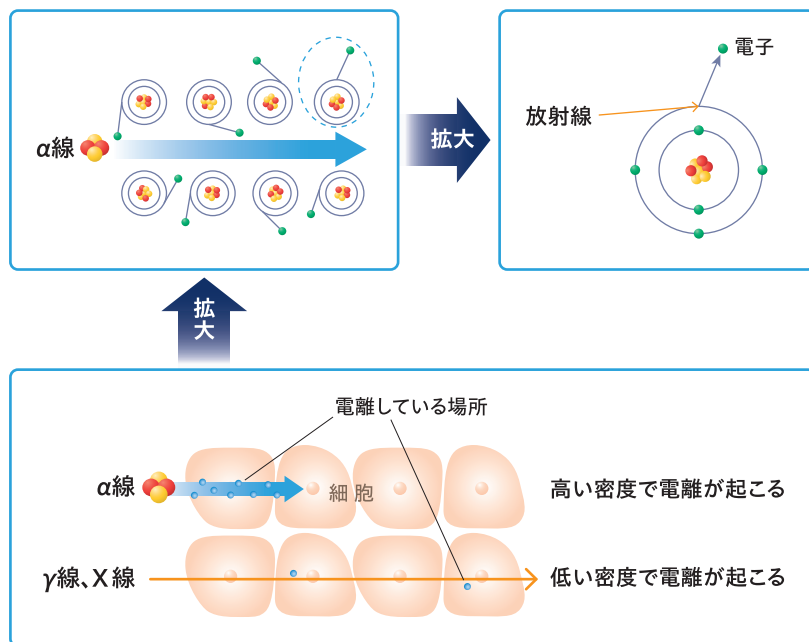
放射線の人体への影響は？

X線が発見された当初は、放射線が人体に影響を及ぼすことは知られていませんでした。しかしそれからまもなく多くの障害が出るようになり、生物への影響などの研究が進められました。

6-1 放射線による電離作用と影響の種類

壊変と放射線

- 放射線はその通り道の物質にエネルギーを与えていきます。与えられたエネルギーにより、通り道の物質の電子が弾き飛ばされます。これが**電離作用**です。
- 物質にエネルギーを与える密度は、放射線の種類によって異なりますが、**β線やγ線に比べ、α線はごく狭い範囲の物質に集中的にエネルギーを与えます。**
- 電離作用の密度の違いにより、同じ吸収線量(Gy: グレイ)であっても細胞が受ける損傷の大きさが異なります。



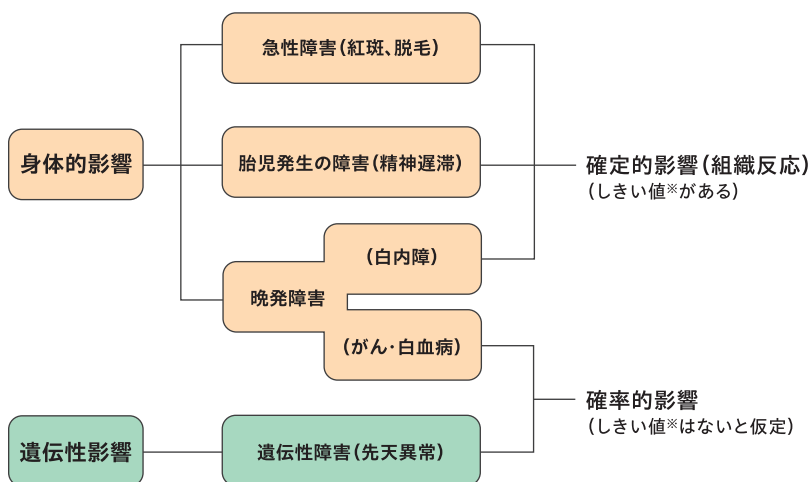
環境省HP:「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料(令和4年度版)」を基に作成 <https://www.env.go.jp/chemi/rhm/r4kisoshiryu/r4kiso-03-02-01.html>

放射線影響の種類

- 放射線による影響には、放射線を受けた人の身体に出る「**身体的影響**」と、放射線を受けた人の子孫に現れる「**遺伝的影響**」(*)があります。
- 放射線による影響は「**確定的影響(組織反応)**」と「**確率的影響**」に分けられます。
- 確定的影響**とは一定以上の放射線を受けた場合でなければ出ないとされる影響です。
- 確率的影響**とは放射線の量に比例して発生する確率が高くなると考えられている影響です。

※ショウジョウバエを用いた動物実験で突然変異が起きることが発見されています。しかし、人については広島・長崎の被ばく者の調査でも、遺伝への影響は確認されていません。

放射線の人体への影響



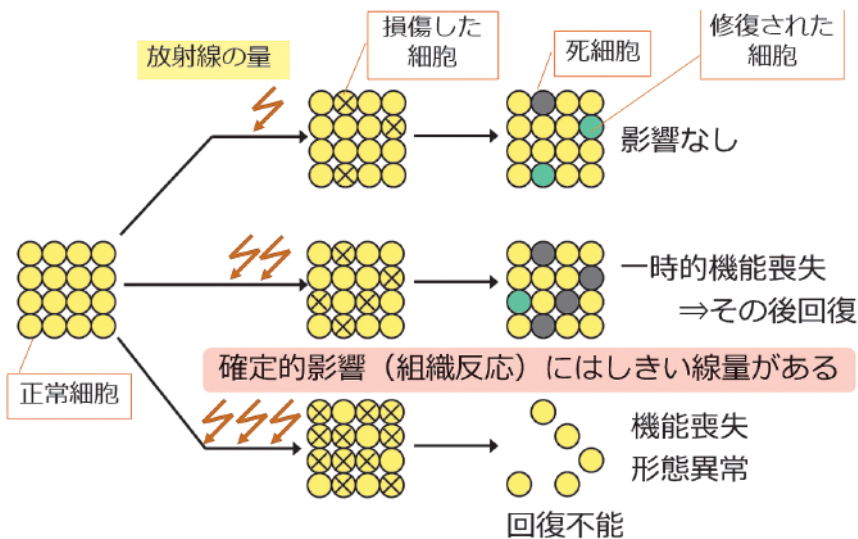
※しきい値:ある作用が反応を起こすか起こさないかの境の値のこと

日本原子力文化財団HP:「原子力・エネルギー図面集」を基に作成 <https://www.ene100.jp/zumen/6-3-2>

6-2 人体へ影響を及ぼすメカニズム

細胞死と確定的影響(組織反応)

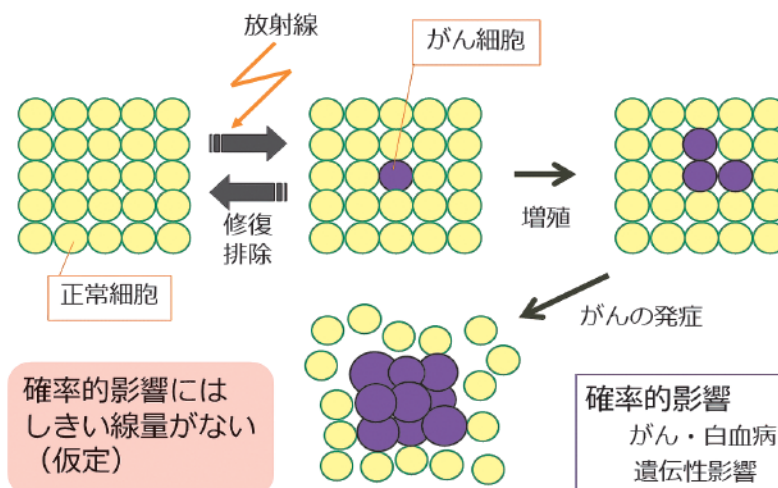
- 放射線が少し当たって、多少細胞が死んでも、残りの細胞だけで十分に組織や臓器が機能すれば、臨床症状(病気によって引き起こされる症状)は現れません。
- 放射線の量が増え、死亡する細胞が増加すると、その組織や臓器の機能が一時的に衰え、臨床症状が出る場合があります。しかし、その後、正常な細胞が増殖すれば、症状は回復します。
- さらに大量の放射線を浴び、組織や臓器の細胞の損傷が大きい場合には、永久に機能喪失や形態異常が起こる可能性があります。



環境省HP:「放射線による健康影響等に関する統一な基礎資料(令和4年度版)」<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/r4kisoshiryo/r4kiso-03-02-05.html>

細胞の突然変異と確率的影響

- 細胞の突然変異で起こる影響は、一つの細胞に突然変異が起こったとしてもそのリスクが増加すると考えられています。
- 突然変異を起こした細胞は、ほとんどが修復されたり排除されたりしますが、一部が生き残り、その子孫細胞に複数の遺伝子突然変異などが追加的に起こると、がん細胞が生じる可能性が高まります。



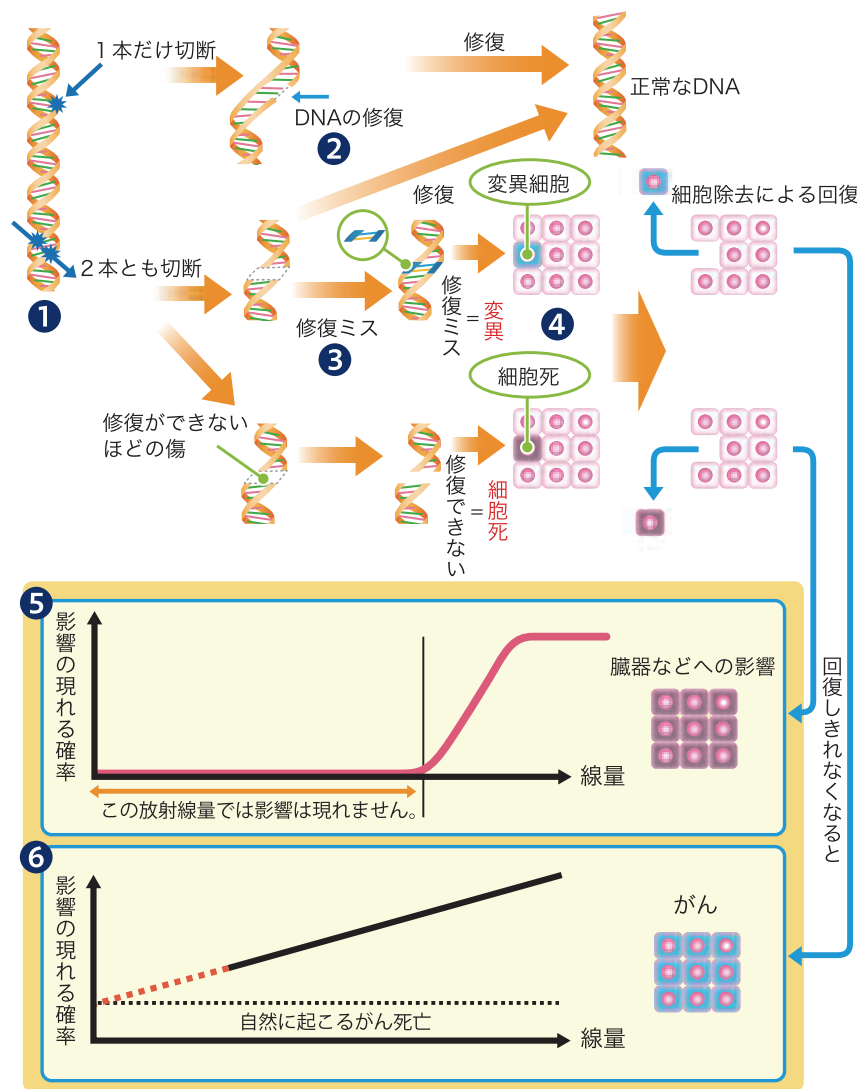
環境省HP:「放射線による健康影響等に関する統一な基礎資料(令和4年度版)」<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/r4kisoshiryo/r4kiso-03-02-07.html>

○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。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が、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。

○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。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。



- 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、誤った箇所の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動かなくなるのは、放射線の量が一定の量以上になると起こります(「確定的影響(組織反応)」)。(上のグラフ)
- ⑥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(「確率的影響」)。(下のグラフ)

出典:国立がん研究センター資料より作成

原子力文化財団HP:「原子力総合パンフレット2022」を基に作成 <https://www.jaero.or.jp/sogo/detail/cat-03-04.html>

国立がん研究センターの研究によると、放射線被ばく線量によって相対リスクがどの程度高くなるかを比べると、放射線被ばく線量が、

- ・ 1,000～2,000ミリシーベルトで1.8倍
- ・ 500～1,000ミリシーベルトで1.4倍
- ・ 200～500ミリシーベルトで1.19倍
- ・ 100ミリシーベルト以下では発がんリスクを検出することが極めて難しいと予測されています。

生活習慣とがんの相対リスクを比べると、

- ・ 喫煙や大量飲酒の習慣がある人は、1.6倍
- ・ 肥満では、1.22倍
- ・ 運動不足では、1.15～1.19倍
- ・ 野菜不足では、1.06倍

がんの相対リスクが高くなると推計されています。

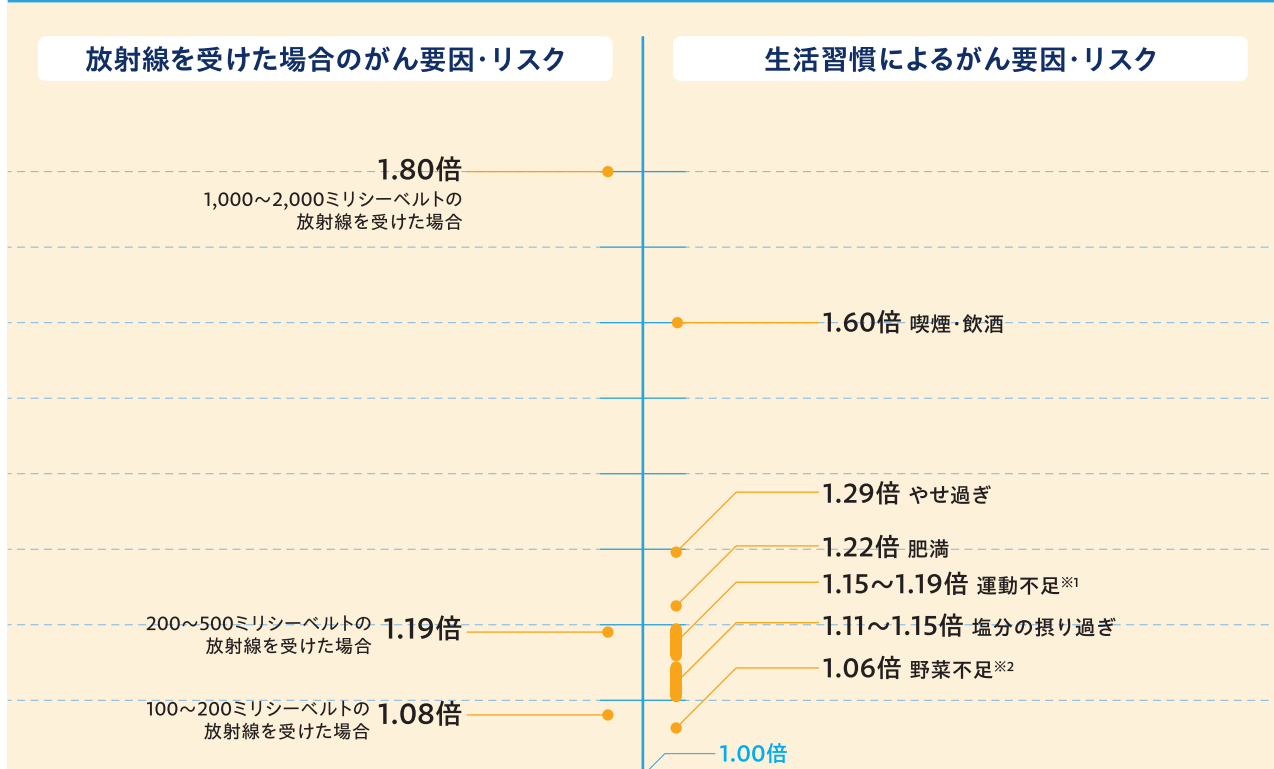
放射線被ばくと生活習慣によるがんのリスク比較を比較すると、

- ・ 継続した喫煙や大量飲酒は1,000～2,000ミリシーベルト程度
- ・ 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。

放射線と生活習慣によってがんになる相対リスク

(対象:40～69歳の日本人)



(注) 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

※1 運動不足:身体活動の量が非常に少ない ※2 野菜不足:野菜摂取量が非常に少ない

出典:(独)国立がん研究センター調べのデータより作成

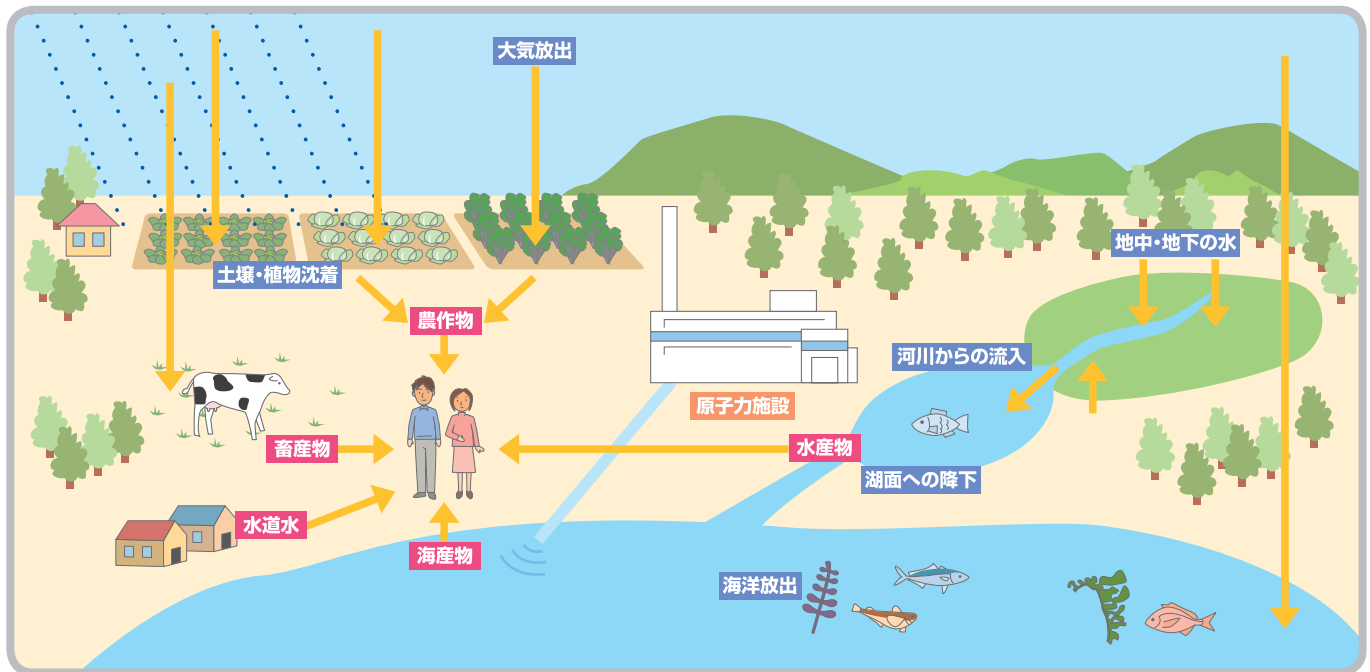
6-3 環境中に放出された放射性物質はどうなるの？

環境中に放出された放射性物質は、大気・土壌・河川・湖沼・海洋などの環境中を移行します。放射性物質を含む食物を食べることで、人は放射線を受けます。

放射性物質は、さまざまな経路から食物中に取り込まれます。

- 原子力施設から放出された気体や液体の放射性物質は、環境中を拡散しながら移動し、その一部が土壌・河川・湖沼・海洋に移行します。
- 放射性物質を含む水道水や農作物、放射性物質を取り込んだ畜産物・水産物・海産物などを飲食することで、放射性物質が体内に取り込まれます。

●放射性物質の環境における移行



電気事業連合会HP:「放射線Q&A」 https://www.fepc.or.jp/library/pamphlet/pdf/05_housyasen_qa.pdf

食品中の放射性物質の基準値

- 2012年4月から、より一層、食品の安全と安心を確保するために、食品摂取による線量の上限が年間5ミリシーベルトから年間1ミリシーベルトに引き下げられ、これをもとに放射性セシウムの新たな基準値が設定されました。
- 新基準では、牛乳と乳児用食品の基準値は、子どもへの配慮から、一般食品の半分の50ベクレル/kgとされています。また、飲料水の基準値はWHO(世界保健機関)が示している基準を踏まえて10ベクレル/kgに設定されています。なお、日本の食品中の放射性物質の新しい基準値は、アメリカ・EUに比べて低く設定されています。

●放射性セシウムの基準値

(単位：ベクレル/kg)

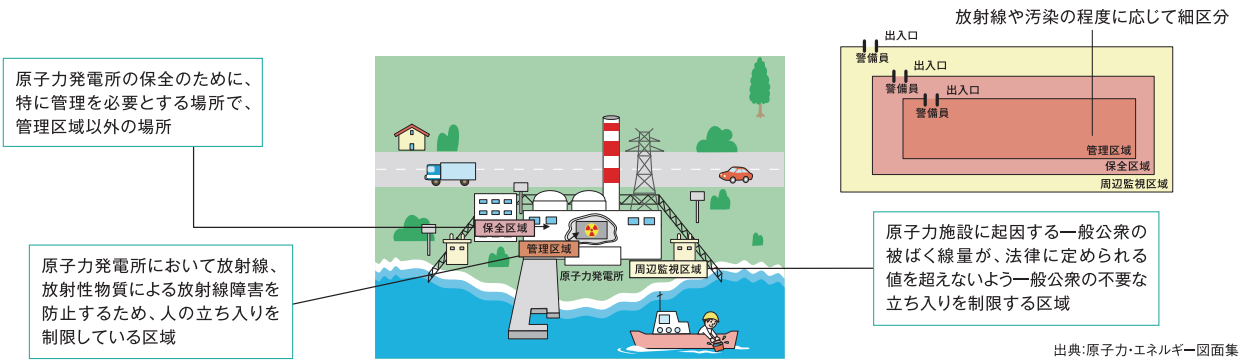
食品群	日本(※)	アメリカ	EU
飲料水	10	1,200	1,000
牛乳	50		1,250
一般食品	100		400
乳児用食品	50		

※放射性ストロンチウム、プルトニウムなどを含めて基準値を設定(2012年4月1日から)

原子力発電所での区域管理区分

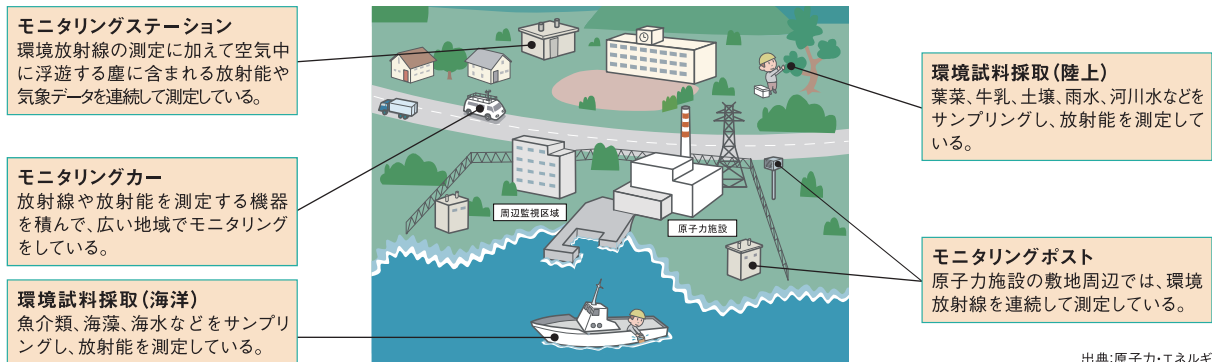
原子力施設では施設エリアを目的別に大きく3つに区域区分しています。

- 「管理区域」は原子力施設において放射線、放射性物質による放射線障害を防止するため人の出入りを制限している区域。
- 「保安区域」は放射線の管理は必要ないが施設の保安を必要とする場所で「管理区域」以外の区域。
- 「周辺監視区域」は原子力施設に起因する一般公衆の被ばく線量を法令に定める値を超えないよう一般の方々の不要な立ち入りを制限する区域。



原子力施設周辺の環境放射線モニタリング

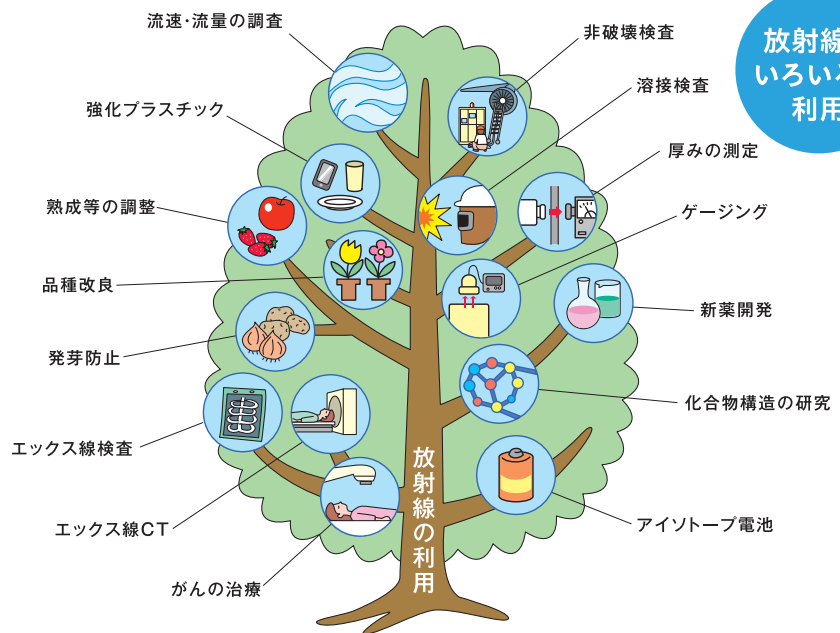
- 原子力施設内で発生した放射性物質が外部に放出されると、周辺環境へ影響を与えることになります。このため、**放射性物質の放出について厳しく管理する必要があります。**
- 原子力発電所の運転中には、微量の放射性物質が周辺の環境に放出されます。この放射性物質による実効線量については、年間0.05ミリシーベルトを目標値として設定し、**一般の人の線量限度である年間1ミリシーベルトに比べ十分低い値に管理されています。**



放射線はどんなところで利用されているの？

放射線はガン等の病気の治療(放射線治療)や、病気を見つけるためのレントゲン写真・CTスキャンなどの医療分野で利用されています。また、自動車のゴムタイヤを硬くする、プラスチックの容器を熱に耐えられるようにする、テニスラケットのガットをボールがよく飛ぶように弾力を強くするなどの工業分野、その他農業分野でも広く利用されています。放射線の利用には被ばくによるリスクを考え、必ずメリットが上回るような配慮が必要となります。

原子力文化財団HP:「原子力・エネルギー図面集」
<https://www.ene100.jp/zumen/6-2-5>



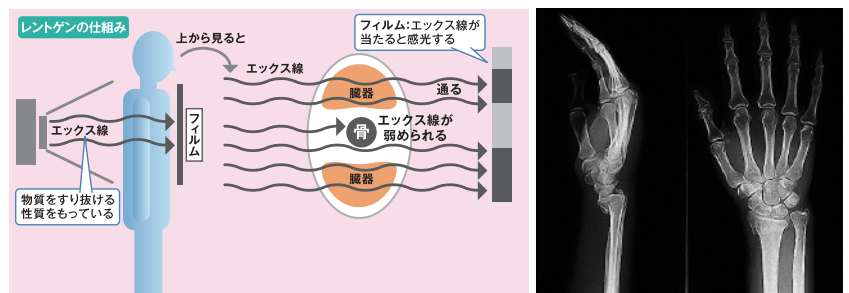
放射線の
いろいろな
利用

7-1 医療分野での放射線の利用

① 放射線診断

レントゲン撮影

放射線の透過性を利用して撮影されます。エックス線やガンマ線などの放射線の透過性は、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が減弱し、筋肉や臓器など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。



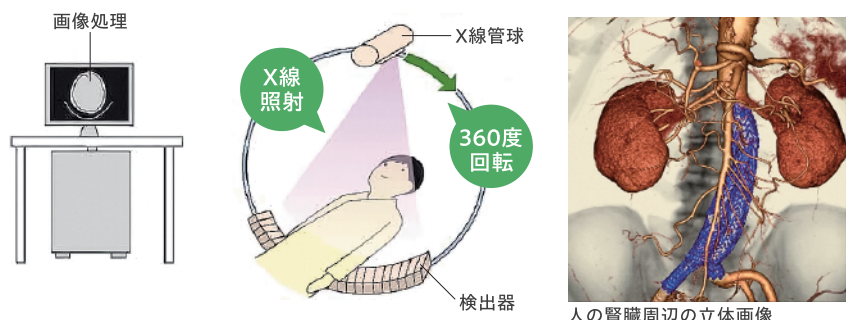
手のエックス(X)線写真

原子力文化財団HP:「原子力総合パンフレット2022」 <https://www.jaero.or.jp/sogo/detail/cat-03-01.html>
 文部科学書HP:「放射線等に関する副読本掲載データ、高等学校生徒用」
https://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/attach/1314239.htm

CTスキャン

レントゲン撮影では平面の撮影を行います。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。

右の写真の青い部分は、人工血管を表しています。立体的な画像を見ることにより、人工血管の様子を確認することができます。



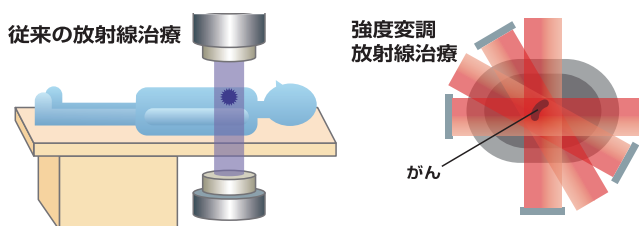
原子力文化財団HP:「原子力総合パンフレット2022」 <https://www.jaero.or.jp/sogo/detail/cat-03-01.html>
 文部科学書HP:「放射線等に関する副読本掲載データ、高等学校生徒用」
https://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/attach/1314239.htm

②放射線治療

放射線の細胞致死作用を利用したがんの治療です。手術や化学療法と比較して、体への負担が少なく、組織や臓器の機能や形態を温存できる特徴があります。外部からの照射や、放射線を出す物質が入ったカプセルを体内に入れる照射方法など、さまざまな治療法があります。

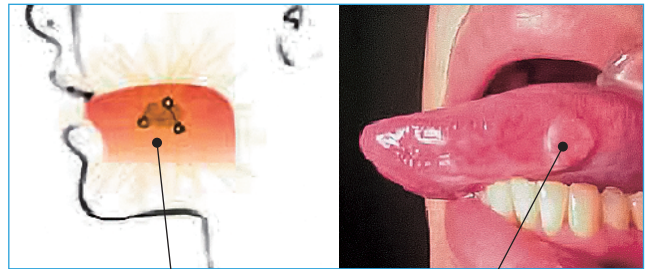
外部からの照射

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、コンピューター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。



密封小線源放射線治療

放射線源を密封した小さなカプセルをがん組織に埋め込むなどして、ピンポイントで放射線を照射することで、がんを治療する方法です。



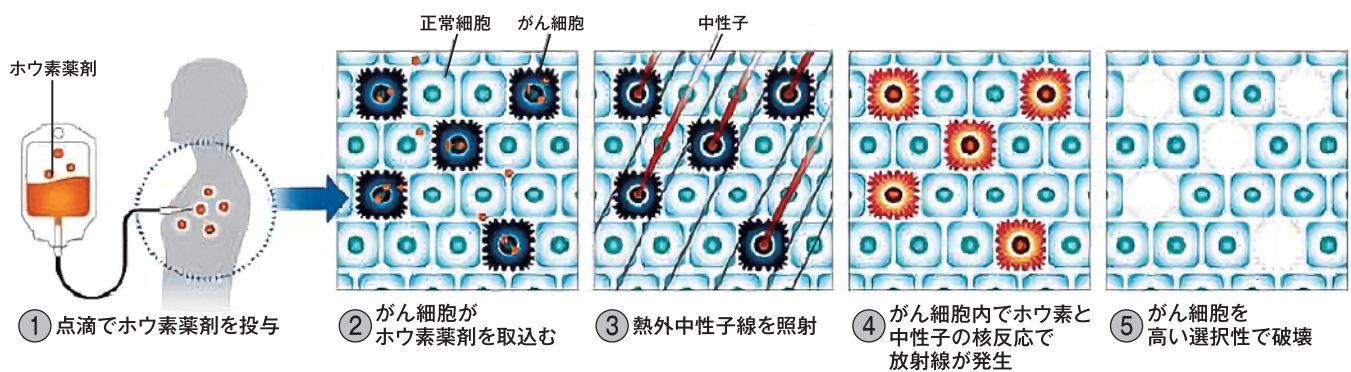
舌癌・口腔底癌・頬粘膜癌などに対して、放射線を出す小さい線源を直接病巣に刺入して治療します。最大の利点は、舌等を温存できることです。

治療前(舌癌)

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

③医療器具の滅菌

注射医療器具は、使用する前に細菌などの微生物を完全に死滅させる必要があります。滅菌の方法は幾つかありますが、煮沸滅菌では加熱により材質が劣化、薬品による滅菌処理では薬品の微量の残留汚染というリスクがあります。

放射線滅菌は、材質の劣化や汚染がほとんど無く、また、包装したまま滅菌できるという利点があります。



医療品の滅菌

7-4 工業分野での放射線の利用

新しい材料

現代の工業製品には、化学繊維類や合成樹脂などの高分子化合物が天然・人工を問わず多く用いられています。高分子化合物(ゴムやプラスチックなど)の成型加工において、放射線を当てると分子間の結合がより強固になり、力学的特性や耐熱性を向上させることができます。例えば、強度を高めた自動車のタイヤなどが開発されています。



強度を高めた自動車のタイヤ

厚さ計

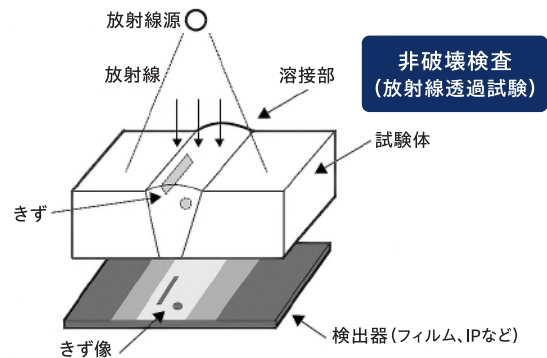
物質に放射線を照射した時の透過作用を利用した厚さ計が用いられています。これは、食品包装用のラッピングフィルムや紙、アルミはくなど厚さを均一に保たなければならないような工業製品の工程管理において、厚さを正確に測定するために利用されています。



アルミはくの厚さの測定

非破壊検査

材料内部の欠陥や表面の微小な傷などを、物品(材料、機器、建造物など)を分解しないで調べる検査方法を非破壊検査といいます。機器や構造物あるいは金属の溶接部分、また、金銅仏や重要な美術工芸品などの細かい傷やひび割れその他内部の欠陥状況を知るため、エックス(X)線やガンマ(γ)線を使って検査することが広く行われています(病院のエックス線撮影と同じ原理)。その他、空港での手荷物検査でも使われています。



非破壊検査(放射線透過試験)

文部科学書HP:「放射線等に関する副読本掲載データ、中学校生徒用、高等学校生徒用」
https://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/attach/1314159.htm https://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/attach/1314239.htm
神鋼検査サービス(株)HP:「非破壊検査 放射線透過試験(RT)」<https://www.sisco.kobelco.com/act/nondestructiveness/rt.html>

7-5 先端技術分野での放射線の利用

粒子線治療

放射線治療では、メスを使わず、臓器の機能や身体の形を保ったまま治療を行うことができます。特に重粒子線治療では、がんの位置や大きさ、形状に合わせ、がん病巣に重粒子線を集中的に当てて、がん細胞を消滅させます。正常な臓器への影響をより少なくすることができる最先端治療として注目されています。



重粒子線がん治療照射室

大強度陽子加速器施設(J-PARC)

茨城県にある大強度陽子加速器施設 J-PARC は、陽子を利用した加速器施設で、加速された陽子を原子核に衝突させて発生した中性子やミュー粒子(ミューオン)、ニュートリノなどの粒子を使って、素粒子物理や物質科学などの最先端の研究を行う施設です。



J-PARC

大型放射光施設 SPring-8

兵庫県にある大型放射光施設 SPring-8 は、「放射光」と呼ばれる強力な電磁波を発生させて利用することにより、物質構造や化学反応の時間的変化などを原子・分子という超微細なレベルで調べることができる研究施設です。ナノテクノロジーをはじめとした材料科学、さらには生命科学や医学などといった幅広い研究分野に利用されています。



SPring-8

文部科学書HP:「放射線等に関する副読本掲載データ、中学校生徒用、高等学校生徒用」
https://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/attach/1314159.htm https://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/attach/1314239.htm

放射線が初めて発見されたのはおよそ130年前の1895年です。
これ以降、放射線研究は科学の一分野となっています。
その歴史を振り返ります。

8-1 放射線にかかわる歴史

年号	放射線にかかわる出来事
1895年	レントゲンがエックス線を発見
1896年	ベクレルがウランから不思議な光線が出ていることを発見
1897年	J・J・トムソンが電子の存在を確認
1898年	キュリー夫妻がポロニウムとラジウムを発見 ラザフォードがアルファ線、ベータ線を発見
1900年	ヴィラールがガンマ線を発見
1902年	ラザフォード、ソディが放射性元素の壊変説を発表
1911年	ウィルソンが放射線を観察する霧箱を発明
1919年	ラザフォードが陽子を発見
1932年	チャドウィックが中性子を発見
1934年	ジョリオ=キュリー夫妻が人工放射性同位体を発見(α線照射で)
1938年	ハーン、マイトナーがウランの核分裂を発見
1946年	リビーが炭素14による年代測定を開発
1952年	チャールスビーが放射線照射によるポリエチレンの架橋現象を発見
1954年	放射線を使った厚さ計、密度計、けむり感知器など多数開発
1972年	コーマックとハウズフィールドがCTを開発

8-2 目に見えない現象に挑んできた科学者たち

最初の放射線

「X線」の発見

ヴィルヘルム・レントゲン (ドイツ、1845~1923)

1895年真空放電管を使った実験をしている時、黒い紙で管を覆っていても蛍光板が光ることを発見した。光らせたのは、真空放電管の中から見えない光が出ているためと考え、これを不思議な線という意味でエックス線と名付けた。これが放射線研究のはじまり。

1901年第1回ノーベル物理学賞(X線の発見)を受賞。

天然のウラン鉱石から

放射線を発見

アンリ・ベクレル (フランス、1852~1908)

1896年ウラン塩の蛍光を研究中に、ウランが放出した放射線が写真乾板を露光させることを発見し、物質が自然に放射線を発する能力(放射能)を持つことが初めて確認された。放射能の大きさを表す単位の「ベクレル」は、1秒間に放射性物質が壊れる数を表し、この人の名前からとったもの。

1903年ノーベル物理学賞(放射能の発見)を受賞。

放射性物質の発見

マリー・キュリー (ポーランド出身、フランス、1867~1934) ピエール・キュリー (フランス、1859~1906)

ウラン以外の放射性物質の研究を行い、1898年に新しい放射性の元素ポロニウム、続いてラジウムを発見した。ラジウムは病気の治療や時計の夜光塗料などにも利用された。

1903年に夫妻でノーベル物理学賞(放射の研究)を受賞。

電子の発見

ジョゼフ・ジョン・トムソン (イギリス、1856~1940)

かつて物質の最小構成要素である原子はそれ以上分割できないと信じられていたが、1897年陰極線の特性を調べる過程で、陰極線の正体が負電荷を持つ未知の粒子であることを示し、この粒子が後に「電子」と呼ばれるようになった。

1906年ノーベル物理学賞(気体の電気伝導に関する研究)を受賞。

α 線、 β 線の発見

アーネスト・ラザフォード (ニュージーランド出身、イギリス、1871~1937)

1898年ウランから α 線と β 線の2種類の放射線が生じていることを発見し、翌年には α 線と β 線の分離に成功した。1908年 α 線がヘリウム原子核であることを発見した。また、1919年アルファ粒子を窒素ガスに打ち込むと、水素の原子核固有の反応が検出されたことにより、水素の原子核は窒素に含まれていると推測し陽子を発見した。原子核の発見や放射性元素に関する研究・貢献から「原子物理学の父」とも呼ばれている。

1908年ノーベル化学賞(元素の崩壊および放射性物質の化学に関する研究)を受賞。

X線回折による 物質構造の研究

マックス・フォン・ラウエ (ドイツ、1879年~1960年)

X線を結晶に当ててラウエ斑点(回折干渉)の写真を撮り、X線が電磁波であることを示し、X線結晶学、X線分光学への道を開いた。

1914年ノーベル物理学賞(結晶によるX線の回折の発見)。

ヘンリー・ブラッグ (イギリス、1862年~1942年)

ローレンス・ブラッグ (オーストラリア出身、イギリス、1890年~1971年)

X線回折による結晶構造解析を研究する方法を確立した。この過程でX線分光器を考案。

1915年親子でノーベル物理学賞(X線を用いた結晶構造の研究)を受賞。

γ 線の発見

ポール・ヴィラール (フランス、1860~1934)

1900年ウランから放出される放射線を研究している時に、X線に似て透過力が高く、電荷を持たない未知の放射線を発見した。ラザフォードがヴィラールの放射線はそれまでに名付けられていた放射線とは根本的に異なるものであると認知し、1903年アルファ線とベータ線からの類推でヴィラールの放射線を「ガンマ線」と名付けた。

原子核崩壊の研究

フレデリック・ソディ (イギリス、1877年~1956年)

放射性元素の研究で、アルファ壊変(崩壊)・ベータ壊変(崩壊)などを見出した。同位元素(アイソトープ)の命名者でもある。

1921年ノーベル化学賞(放射性物質の研究、同位体の起源と性質の研究)を受賞。

霧箱の発明

チャールズ・ウィルソン (イギリス、1869年~1959年)

1895年から人工的に雲を発生させる実験を重ね、その実験装置はイオンを可視化する装置として改良され、Cloud Chamber(霧箱)と名付けられた。1911年にはX線やα線などの放射線の飛跡を可視化し、写真撮影することに成功した。霧箱はその後多くの研究者によって初期の原子物理学の研究、特に宇宙線の研究に大いに役立てられた。

1927年ノーベル物理学賞(ウィルソン霧箱の発明及び期待電離の研究)を受賞。

中性子の発見

ジェームズ・チャドウィック (イギリス、1891年~1974年)

1932年透過力の強い放射線をいろいろな物質に衝突させると陽子をはじき出されることを確認し、この放射線が陽子とほぼ同じ質量をもつが電荷をもたない中性の粒子「中性子」であることを実証した。1920年代を通して原子は陽子と電子から構成されていると考えられていたが、原子の構造をうまく説明できない矛盾点を抱えていた。中性子の発見により、その矛盾が解決された。

1935年ノーベル物理学賞(中性子の発見)を受賞。

放射性同位元素の 作出

ジャン・フレデリック・ジョリオ=キュリー (フランス、1900年~1958年)

イレーヌ・ジョリオ=キュリー (キュリー夫妻の長女) (フランス、1897年~1956年)

アルミニウムへアルファ線を照射することによって世界初の人工放射性同位元素であるリン30(P30)の合成に成功した。

1935年に夫婦でノーベル化学賞(新種の放射性同位元素の作出)を受賞した。

核分裂の発見

オットー・ハーン (ドイツ、1879~1968)

リーゼ・マイトナー (オーストリア、1878~1968)

1938年 ハーンは、ウラン原子に中性子を吸収させたときに、核は大きくなり、より小さい原子(バリウム)に分裂することを発見した(核分裂の発見)。マイトナーは「核分裂」の概念の確立者で、この現象を「核分裂」によるものと解釈・命名した。

ハーンは1944年ノーベル化学賞(原子核分裂の発見)を受賞。

X線照射による 突然変異の発見

ハーマン・マラー (アメリカ、1890年~1967年)

1927年にX線によって突然変異が誘導できること(人為突然変異)を発見し、遺伝子が物質からできていることの証拠となり、その後の分子生物学の誕生にも影響を与えた。

1946年ノーベル生理学・医学賞(X線照射による突然変異体発生の発見)を受賞。

プルトニウムや 超ウラン元素の発見

グレン・シーボーグ (アメリカ、1912年～1999年)
エドウィン・マクミラン (アメリカ、1907年～1991年)

マクミランは1936年C-14を発見、1940年ネプツニウムを発見。その後、シーボーグとの共同研究で、プルトニウムを発見。1945年シンクロサイクロトロンを公表した。共に1951年ノーベル化学賞(超ウラン諸元素の発見)を受賞。

原子核変換

ジョン・コッククロフト (イギリス、1897年～1967年)
アーネスト・ウォルトン (アイルランド、1903年～1995年)

1932年直流高電圧により加速した陽子をリチウムの原子核に衝突させて、原子核を壊すことに成功し、核変換を初めて実現した。

共に1951年ノーベル物理学賞(原子核変換についての先駆的研究)を受賞。

炭素年代法の確立

ウィラード・リビー (アメリカ、1908年～1980年)

天然に存在する炭素14の半減期を精密に測定し、新しい年代測定法を確立した。この方法は考古学における年代決定に大きな進歩をもたらした。

1960年のノーベル化学賞(放射性炭素による年代決定法)を受賞。

X線断層撮影法の 開発

アラン・コーマック (南アフリカ出身、アメリカ、1924年～1998年)
ゴッドフリー・ハウズフィールド (イギリス、1919年～2004年)

コーマックは1963年～1964年にX線の組織吸収分布の数学的解析法を確立し、X線CTの理論的基礎を与え、1972年ハウズフィールドはX線CTスキャナーとして具体化した。

共に1979年ノーベル生理学・医学賞(コンピュータを用いたX線断層撮影法の開発)を受賞。

電子顕微鏡の開発

エルンスト・ルスカ (ドイツ、1906年～1988年)
マックス・クノール (ドイツ、1897年～1969年)

2人は1931年に光(波)の代わりに電子線(波)を用いた電子顕微鏡を開発した。

クノールが没してから17年後、最初の開発から55年後の1986年に、ルスカはノーベル物理学賞(電子顕微鏡に関する基礎研究と開発)を受賞。

リチャード・ヘンダーソン (イギリス、1945年～)
ヨアヒム・フランク (ドイツ出身、アメリカ、1940年～)
ジャック・デュボシェ (スイス、1942年～)

ヘンダーソンは、電子顕微鏡を使って生体分子を原子の大きさと3次元画像撮影することに初めて成功。フランクは、2次元画像から鮮明な3次元画像を再現する方法などを考案。デュボシェは、試料が入った溶液を急速に冷却することにより、タンパク質などの生体分子試料の立体画像を正確かつ鮮明に観察できる手法を考案した。3人の研究により、生体の分子を本来の自然な状態で電子顕微鏡観察ができるようになった。共に2017年ノーベル化学賞(低温(クライオ)電子顕微鏡法の開発)を受賞。

一般社団法人 九州経済連合会
九州エネルギー問題懇話会



〒810-0004 福岡市中央区渡辺通2丁目1-82 電気ビル共創館6階
TEL 092-714-2318 FAX 092-714-2678
<http://www.q-enecon.org/>

(2023年12月)