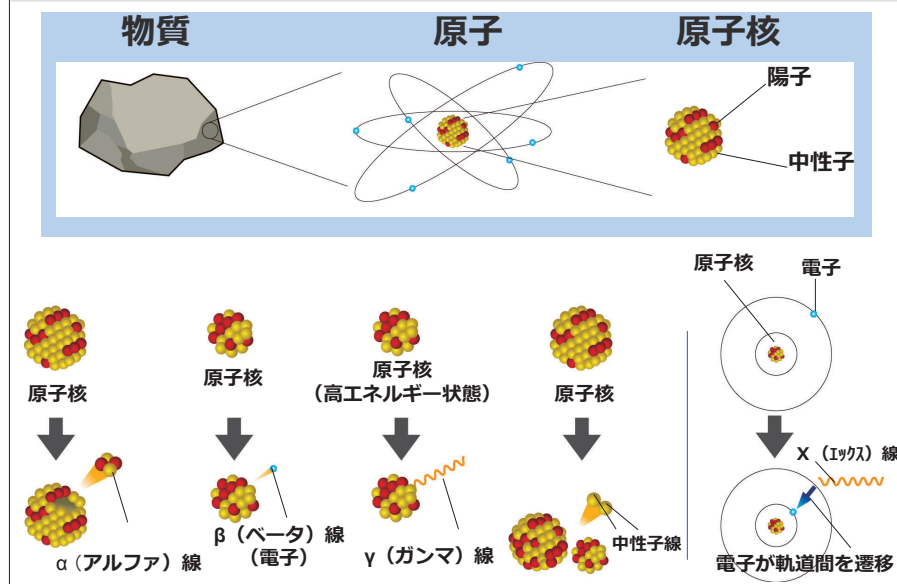


放射線はどこで生まれる？



α (アルファ) 線、β (ベータ) 線、γ (ガンマ) 線という名前は、これらの放射線が発見された当時、その実体がわからないために付けられた名称です。今では、α線とは、陽子2個と中性子2個からなるヘリウム原子核が高速で飛び出したものであることがわかっています。またβ線は原子核から飛び出した電子です。ヘリウム原子核は、電子の約7,300倍の重さです。α線やβ線を出した直後の原子核は、通常、まだエネルギーが高く、不安定な状態なので、γ線を出して、より安定した状態になろうとします。しかし中にはγ線を出さないものもあります。

α線、β線、γ線が原子核から放出されるのに対し、X (エックス) 線は原子核の外側で発生する電磁波です。X線のうち、高速の電子が核の近くで減速したときに放出されるものを制動X線、電子が軌道を変えたときに放出されるものを特性X線といいます。γ線は原子核から発生しますが、どちらも実体は同じ電磁波です。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など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。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日

放射線の種類

電離放射線

粒子線

荷電粒子線

(直接電離放射線)

 α 線 (原子核から飛び出るヘリウムの原子核) β 線 (原子核から飛び出る電子)

陽子線, 重陽子線, 三重陽子線, 重イオン線

荷電中間子線

核分裂片など

非荷電粒子線

(間接電離放射線)

非荷電中間子線

中性微子 (ニュートリノ)

中性子線など (原子炉, 加速器等から作られる)

電磁波

(間接電離放射線)

 X 線 (原子核の外で発生) γ 線 (原子核から出る)

非電離放射線

電波, マイクロ波, 赤外線, 可視光線, 紫外線など

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。

放射線と一般的にいう場合、電離放射線のことをいいます。電離放射線には、物質を構成する原子を電離（正電荷のイオンと負電荷の電子に分離）する能力を持つ粒子線と、電磁波があります。

粒子線の仲間には、 α （アルファ）線、 β （ベータ）線、中性子線などが含まれます。粒子線の内、電荷を持つ（イオン化した）ものを荷電粒子線、電荷を持たないものを非荷電粒子線と呼びます。 γ （ガンマ）線、 X （エックス）線は電磁波の一種です。電磁波でも、電波、赤外線、可視光線のように電離作用を持たないものがあり、それらを非電離放射線と呼びます。紫外線は一部に電離作用がありますが、一般的には非電離放射線に分類されます。

本資料への収録日：2013年3月31日

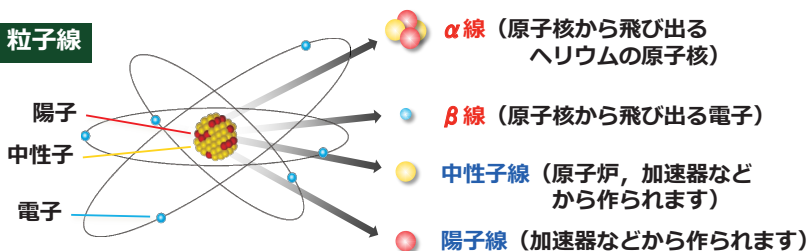
改訂日：2014年3月31日

：2015年3月31日

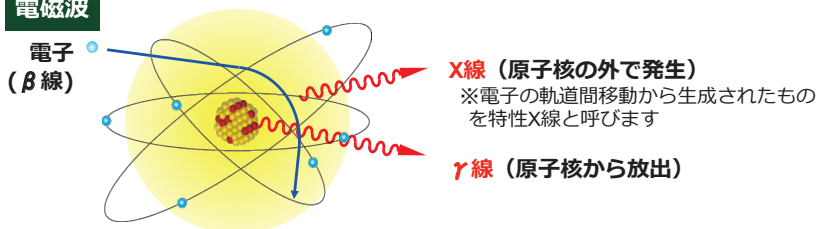
電離放射線

放射性物質から放出される粒子線あるいは電磁波

粒子線



電磁波

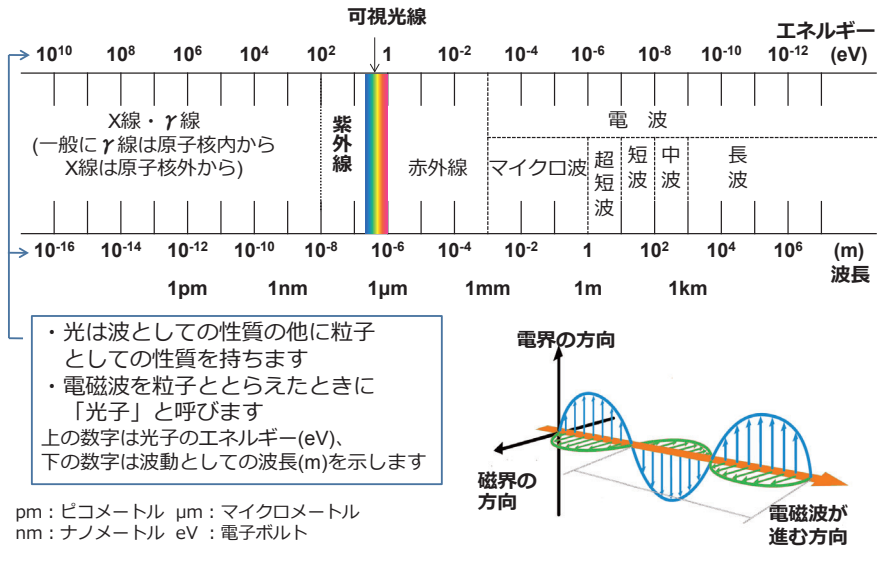


粒子線の仲間には、 α (アルファ) 線、 β (ベータ) 線、中性子線などが含まれます。 α 線とは、陽子 2 個と中性子 2 個からなるヘリウム原子核が高速で飛び出したもの、 β 線は原子核から飛び出した電子です。そのほかに中性子線や陽子線も粒子線の仲間です。

γ (ガンマ) 線と X (エックス) 線は電磁波の仲間です。 γ 線が原子核から放出されるのに対し、X 線は原子核の外側で発生する電磁波です。X 線のうち、電子が軌道間を移動したときに放出されるものを、特性 X 線と呼びます。

本資料への収録日：2013 年 3 月 31 日

改訂日：2015 年 3 月 31 日



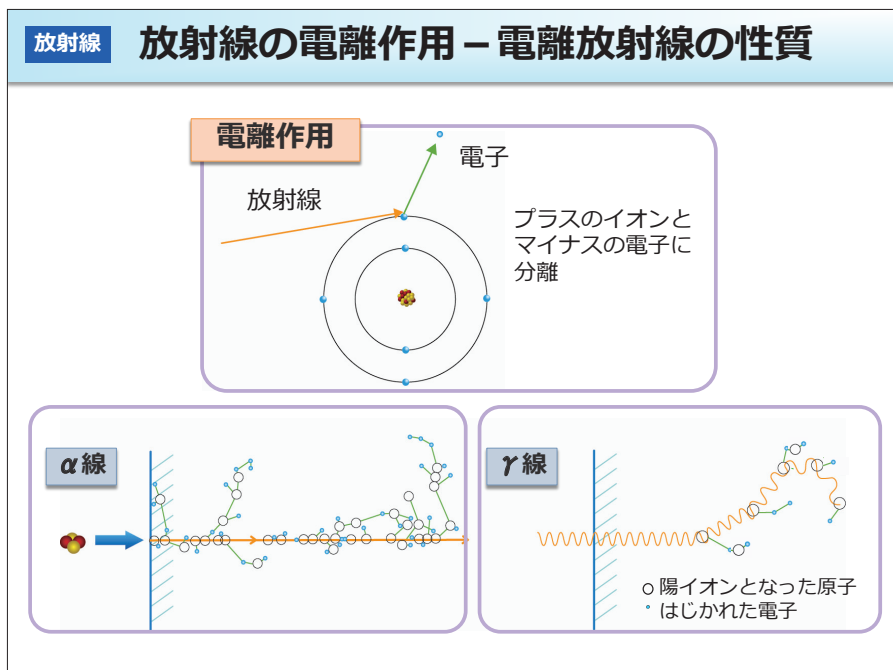
電磁波とは、電界（電場）と磁界（磁場）が相互に作用しながら空間を伝播する波のことです。波長が短くなる（周波数が高くなる）ほど、電磁波のエネルギーは高くなります。また放射線のエネルギーは電子ボルト（eV）で表されます。1eVは 1.6×10^{-19} ジュール（J）です。

X（エックス）線とγ（ガンマ）線は、発生のメカニズムの違いがありますが、どちらもエネルギーの高い電磁波です。

このように電磁波は、文字通り波としての振る舞いをするところから、図に示すように電磁波が進む方向に対し直角な波型に表すことがあります。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日



放射線が物質中を通過する場合、持っているエネルギーにより、物質を構成している原子が持つ軌道電子をはじき出して、陽電荷を帯びた状態の原子（または陽イオンの分子）と自由な電子とに分離します。これを電離作用といいます。

電離作用を持つ電離放射線の中には、物質を直接電離するものと、間接的に電離するものがあります。

α （アルファ）線、 β （ベータ）線などの電荷を持った粒子線は、物質を直接電離します。特に α 線は、電離密度が高く、 β 線などの数百倍の密度の電離を引き起こします。

γ （ガンマ）線、X（エックス）線は、物質との相互作用によって発生した二次電子によって、物質を間接的に電離します。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日

・ α 線

- 陽子2個 + 中性子2個
- ヘリウム (He) の原子核
- 荷電粒子 (2+)

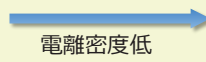


電離密度高



・ β 線

- 電子 (あるいは陽電子)
- 荷電粒子 (-あるいは+)

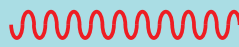


電離密度低



・ γ 線・X線

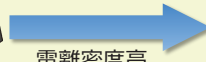
- 電磁波 (光子)



電離密度低・透過力大

・ 中性子線

- 中性子
- 非荷電粒子



電離密度高



α (アルファ) 線は、皮膚の角質層 (皮膚表面の死んだ細胞の層) を透過できないため、外部被ばくは問題になりません。しかし、内部被ばくの場合は、組織内で局所的にたくさんの電離、すなわち高密度の電離を起こし、集中的にエネルギーを与えます。そのため、DNA に大きな損傷を与え、生物への強い影響を引き起こします。

β (ベータ) 線は α 線同様、通ったところの物質に直接電離を引き起こしますが、電離の密度は低く、生物に及ぼす影響力は α 線ほど強くありません。体外からの被ばくでは、皮膚や皮下組織に影響を与える可能性があります。

γ (ガンマ) 線・X (エックス) 線は透過力が強く、深部の臓器・組織にまで到達しますが、やはり電離密度は高くありません。生物への影響力は β 線と同程度です。

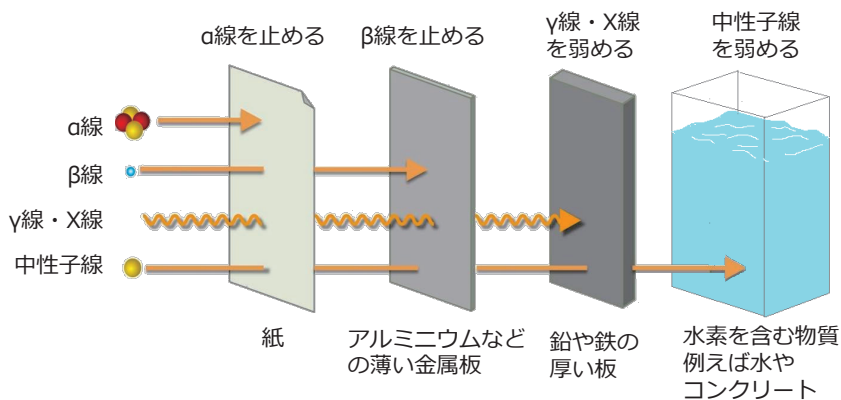
中性子は陽子と質量がほぼ同じであるため、中性子線は、陽子と衝突すると効率よく止まります。人体は水分を多く含んでいるため、中性子は水分子を構成する水素の原子核 (陽子) とぶつかりながら、エネルギーを失っていきます。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2014年3月31日

：2015年3月31日

放射線は、いろいろな物質でさえぎることができます



電荷を持つ粒子や電磁波は、物質と相互作用し、エネルギー（速度）を失い、最終的には止まります。

α（アルファ）線は電離する量が極めて多いので、紙1枚で止まります。β（ベータ）線は、エネルギーによりますが、空気中では数m程度飛び、プラスチック1cm、アルミ板2～4mm程度で止まります。γ（ガンマ）線・X（エックス）線はα線やβ線よりも透過力が高く、これもエネルギーにより、空気中の原子と衝突しながら次第にエネルギーを失い、空気中を数10mから数100m飛びます。一方、密度の高い鉛や鉄の厚い板によって止めることができるため、放射線発生装置からのγ線やX線は、鉄などを用いて遮へいすることができます。

電荷を持たない中性子は、衝突によりエネルギーを失い、その後、物質との相互作用等で吸収されます。すなわち、中性子は、物質を構成する原子核と直接衝突することで運動エネルギー（速度）を失います。質量がほぼ同じである陽子（水素の原子核）と衝突する場合に最も効果的に運動エネルギーを失います。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2014年3月31日

：2015年3月31日

空気中で飛ぶ距離

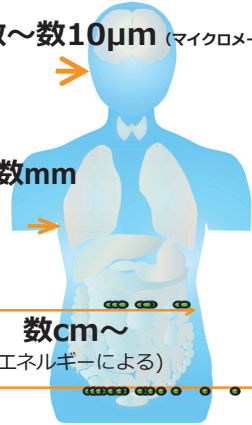
1~10cm

数m
(エネルギーによる)数10m~
(エネルギーによる)α線
粒子 (ヘリウム原子核)
(1兆分の1cm)β線
粒子 (電子)γ線
X線

体に当たると

数~数10μm (マイクロメートル)

数mm

数cm~
(エネルギーによる)

放射線はその種類によって、空気中や人体中の通りやすさが違います。そのため、外部被ばくと内部被ばくでは、問題となる放射線（α（アルファ）線、β（ベータ）線、γ（ガンマ）線）や放射性物質（核種）が異なります。

α線は空気中を数cm程度しか飛ぶことができず、紙一枚で止めることができます。外部被ばくでは、皮膚表面の死んだ細胞の層（角質層）より深く到達しないので、影響が現れることはありません。しかし、体内に入った場合には、近傍にある細胞に集中的にエネルギーを与えます。

β線が空気中で飛ぶ距離は数mなので、線源が体から離れたところにある場合には、β線はほとんど被ばくに寄与しません。体表面に付いた場合は皮膚と皮下組織に、体内に入った場合は、周囲数mmの範囲にエネルギーを与えます。

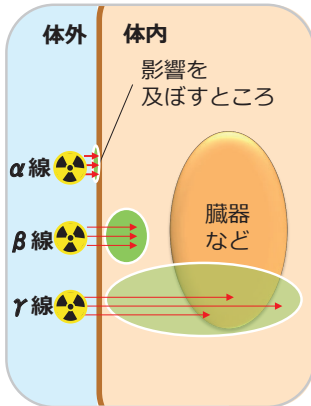
γ線・X（エックス）線は透過力が強く、空気中を数10mから数100mまで飛びます。体に当たった場合は、体の奥深くまで到達し、通り抜けてしまうこともあります。この通り道にエネルギーを与えます。X線検査では、X線が通り抜けやすい部分（肺など）は黒く映り、通り抜けにくい部分（骨など）は白く映ります。

本資料への収録日：2013年3月31日

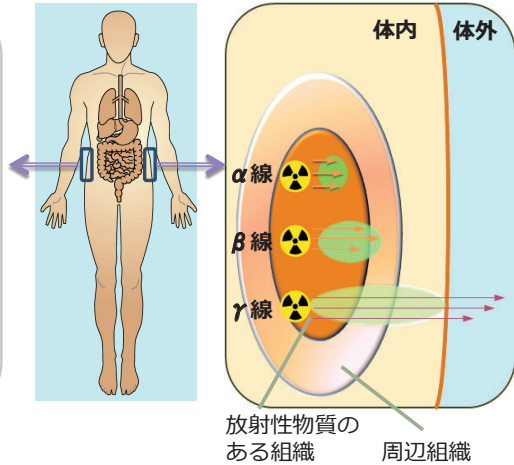
改訂日：2015年3月31日

透過力と人体での影響範囲

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



外部被ばくでは、 α （アルファ）線に被ばくした場合、体表の角質層で止まってしまうこと（ α 線の透過距離はおよそ数 $10 \mu\text{m}$ （マイクロメートル））から、影響が現れることはありません。 β （ベータ）線は皮膚を通過すること（透過距離はおよそ数 mm （ミリメートル））から、線量が相当高い場合には熱傷（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。 γ （ガンマ）線は体の奥の重要な臓器まで到達します。こうしたことから、外部被ばくで問題になるのは主に γ 線です。

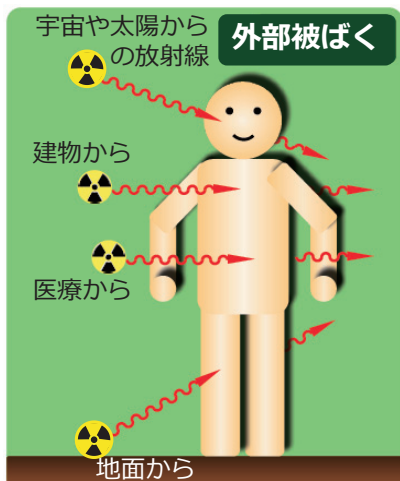
一方、内部被ばくでは、 α 線、 β 線、 γ 線を放出する全ての放射性物質が体内の細胞に影響を及ぼす可能性があります。 α 線の場合は、飛ぶ距離から考えても、その影響は放射性物質が存在する組織内に限定されますが、生物への影響力は強く、内部被ばくに関しては特に気をつける必要があります。 γ 線の場合は、飛ぶ距離が長いので、全身に影響を及ぼす可能性があります。

なお、ウランやプルトニウムなど放射性物質の種類によっては、体内に取り込まれた場合、内部被ばくの影響だけでなく、化学的な金属毒性などにおいても他方影響を受ける場合があります。

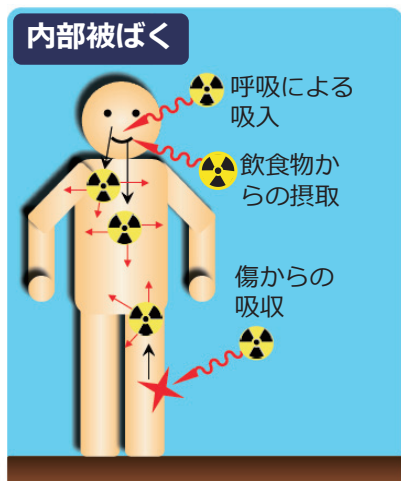
本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日

被ばくの経路 外部被ばくと内部被ばく



▶放射線物質（線源）が体外にある場合



▶放射線物質（線源）が体内にある場合

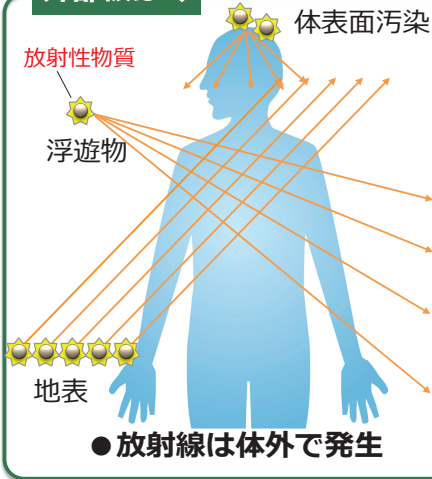
放射線を体に浴びることを「放射線被ばく」といいます。
放射線被ばくには「外部被ばく」と「内部被ばく」の2種類があります。
体の外に放射性物質（放射線源あるいは単に線源ともいいます）があって、そこから被ばくすることを「外部被ばく」といいます。
一方、放射性物質が体の中に入った場合、体の中に放射線源があるので、体内で被ばくすることになります。これを「内部被ばく」といいます。

本資料への収録日：2013年3月31日

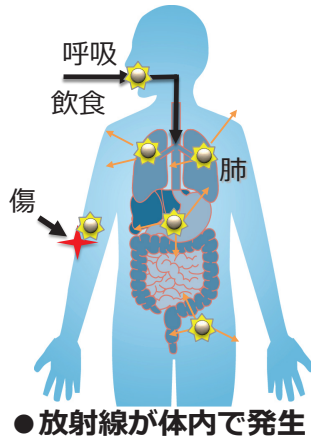
改訂日：2014年3月31日

：2015年3月31日

外部被ばく



内部被ばく



体が放射線を受けるという点は同じ

地表にある放射性物質や空気中に浮遊する放射性物質、あるいは衣服や体表面に付いた放射性物質などから放射線を受けるのが外部被ばくです。

一方、内部被ばくは、①食事により飲食物中の放射性物質を体内に取り込んだ場合（経口摂取）、②呼吸により空気中の放射性物質を体内に吸い込んだ場合（吸入摂取）、③皮膚から吸収された場合（経皮吸収）、④傷口から放射性物質を体内に取り込んだ場合（創傷侵入）に起こります。いったん放射性物質が体内に入ると、排泄物と一緒に体外に排泄されたり、時間の経過とともに放射能が弱まるまで、人体は放射線を受けることになります。

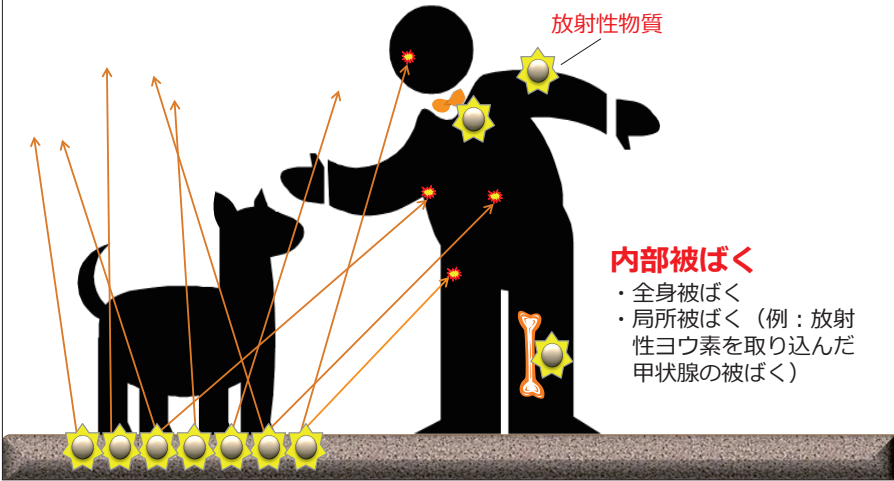
外部被ばくと内部被ばくの違いは、放射線を発するものが体外にあるか、体内にあるかの違いであり、体が放射線を受けるという点では同じです。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日

外部被ばく

- ・全身被ばく
- ・局所被ばく（例：X線検査や部分的な体表面汚染による被ばく）



内部被ばく

- ・全身被ばく
- ・局所被ばく（例：放射性ヨウ素を取り込んだ甲状腺の被ばく）

人体が放射線を受けたことにより、身体に影響を及ぼすかどうかは、どこに、どれだけ放射線を受けたかによって異なります。

全身に放射線を受けることを全身被ばく、部分的に受ける場合を局所被ばくと呼びます。

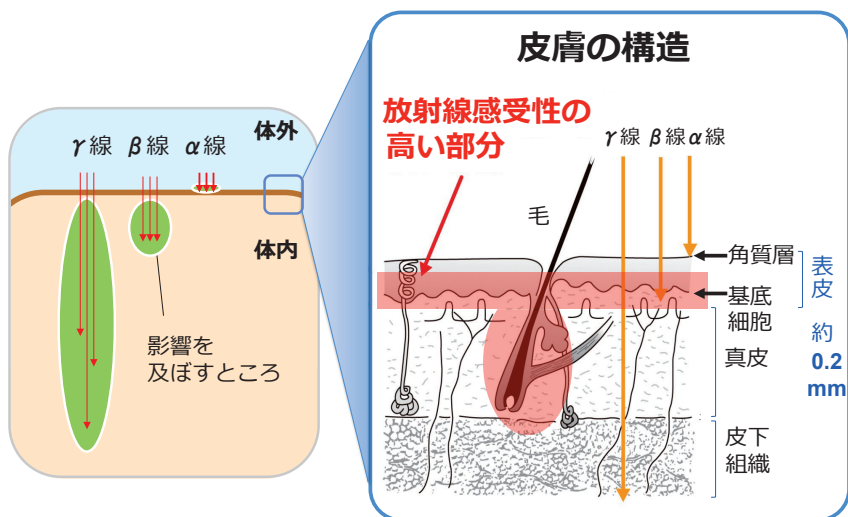
全身被ばくでは全ての臓器・組織で放射線の影響が現れる可能性があります。局所被ばくでは、原則として被ばくした臓器・組織のみに影響が現れます。被ばくした部位に免疫系や内分泌系の器官が含まれる場合には、離れた臓器・組織に間接的に影響が現れることがあり得ますが、基本的には被ばくした臓器・組織の影響が問題となります。

また、臓器によって放射線への感受性が異なります。このため、局所被ばくでは、被ばくした箇所に放射線感受性の高い臓器が含まれているかどうかで、影響の生じ方が大きく異なります。

内部被ばくの場合、放射性物質が蓄積しやすい臓器・組織では被ばく線量が高くなります。この蓄積しやすい臓器・組織の放射線感受性が高い場合、放射線による影響が出る可能性が高くなります。チェルノブイリ原発事故の後、ベラルーシやウクライナでは、子どもの甲状腺がんの発症数が増加しましたが、これは、放射性ヨウ素が甲状腺に蓄積しやすいこと、子どもの甲状腺が大人より放射線感受性が高いことこの両方の原因によります。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日

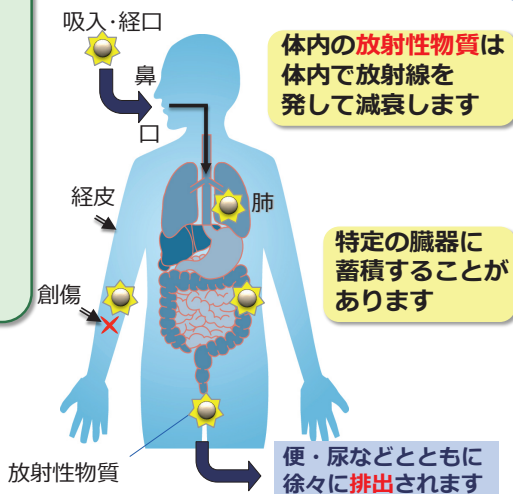


外部被ばくでは、透過力の弱い α （アルファ）線は表皮で止まってしまうので影響を及ぼすことはありませんが、 β （ベータ）線を出す放射性物質が大量に体表面に付着し、長く放置された場合には、皮膚の放射線感受性の高い基底細胞や毛根細胞に影響を及ぼし、皮膚が赤色に変化する皮膚紅斑や脱毛などが起こることがあります。しかし、こうした被ばくは大変まれで、外部被ばくで問題になるのは、体の内部まで影響を及ぼす、 γ （ガンマ）線を出す放射性物質です。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日

- 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 **経皮吸収**
皮膚より吸収
- ④ **創傷侵入**
傷口より侵入



内部被ばくには、放射性物質が食べ物と一緒に取り込まれる、呼吸とともに取り込まれる、皮膚から吸収される、傷口から体内に入るといった、4つの経路があります。

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ところが大きく、例えば、ストロンチウムはカルシウムに似た性質を持っているため、体内に入ると、骨などカルシウムのあるところに蓄積する性質を、セシウムはカリウムに似た性質を持っているため、体内に入ると全身に分布する性質を持っています。

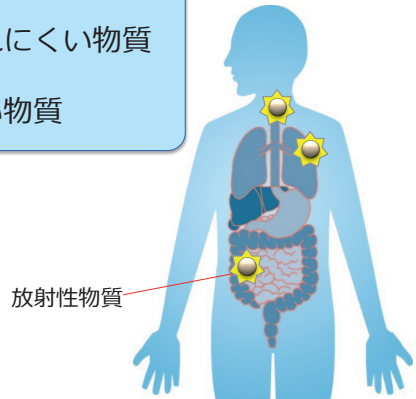
また、ヨウ素は甲状腺ホルモンの構成元素なので、放射性ヨウ素も安定ヨウ素も、甲状腺に蓄積する性質があります。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日

内部被ばくで特に問題となる放射性物質の特徴

- ① α 線を出す物質 > β 線や γ 線を出す物質
- ② 取り込まれやすく、排泄されにくい物質
- ③ 特定の組織に蓄積されやすい物質



内部被ばくで特に問題になるのは、半減期が長く、 α （アルファ）線を出す放射性物質です。また、体内での挙動でいうと、取り込まれやすく排泄されにくい物質や、特定の組織に蓄積しやすい物質も、内部被ばくの線量が高くなります。

例えばプルトニウムは、消化管では吸収されにくいので、食べ物を介して体内へ取り込まれるよりも、呼吸とともに肺から取り込まれた場合に問題となります。その後、肺から血管に入り血流によって移動し、骨や肝臓に沈着します。プルトニウムはこうした器官内で α 線を出すため、肺がん・白血病・骨腫瘍・肝がんを引き起こす可能性があります。

一方、放射性セシウムは、カリウムと似た性質のため、体内に取り込まれやすいのですが、同時に排泄されやすい性質も持っています。特定の組織には蓄積せず、脂肪細胞を除く全ての細胞に取り込まれます。大人の場合、取り込まれた放射性セシウムの量が半分になるのにかかる日数は約100日だといわれています。

なお、体の中の放射性物質は便・尿などとともに徐々に排泄されます。物理学的半減期に対し、体内の放射性物質の量が半減するまでの時間を、生物学的半減期といいます。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日