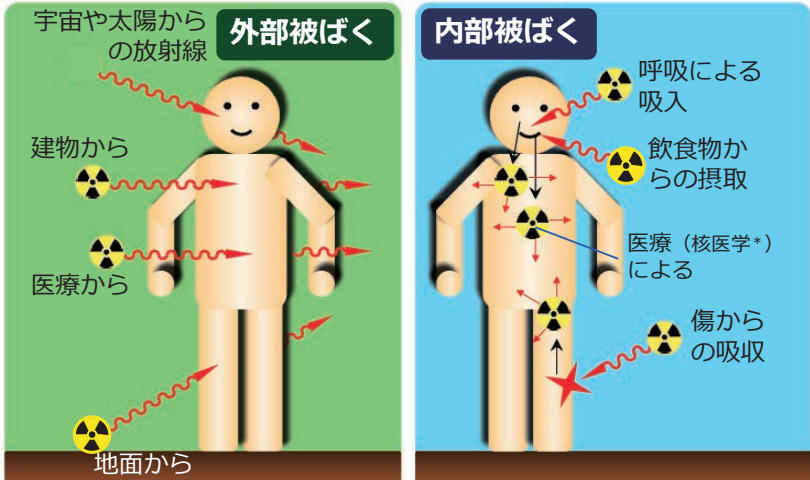


第2章

放射線による被ばく

被ばくの経路

外部被ばくと内部被ばく



▶放射性物質(線源)が体外にある場合

▶放射性物質(線源)が体内にある場合

*核医学とは、放射性同位元素(RI)を用いて診療や治療及び病気が起こる仕組み等の解明を行うことです。核医学検査で使用されている放射性医薬品は、人体に投与する影響等から、非常に半減期が短いRIが使用されています。
(国立研究開発法人 放射線医学総合研究所のウェブサイトより作成 <http://www.nirs.go.jp/usr/medical-imaging/ja/qa/q02/> 他)

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。

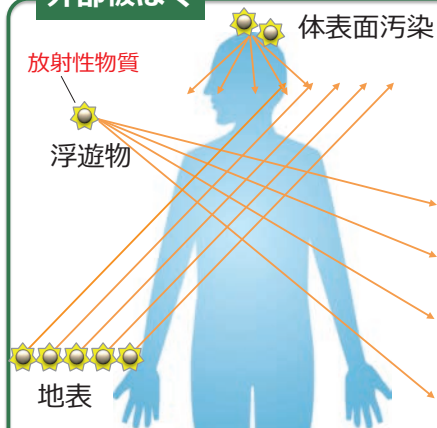
この区別は自然界からの放射線、事故由来の放射線、医療放射線といった区別とは関係なく用いられる言葉です(上巻 P58、「自然・人工放射線からの被ばく線量」)。

本資料への収録日:平成 25 年 3 月 31 日

改訂日:平成 28 年 3 月 31 日

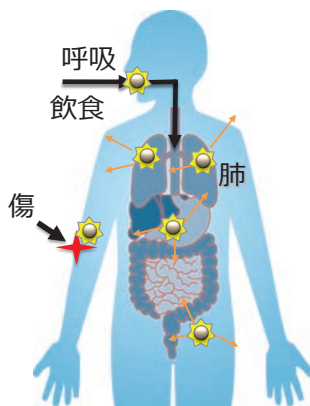
被ばくの経路 体外から・体内から

外部被ばく



●放射線は体外で発生

内部被ばく



●放射線が体内で発生

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等から放射線を受けることが外部被ばくです（上巻 P26、「外部被ばくと皮膚」）。

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）により起こります。一旦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（生物学的半減期）、時間の経過と共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（上巻 P27、「内部被ばく」）。

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（上巻 P25、「様々な被ばく形態」）。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

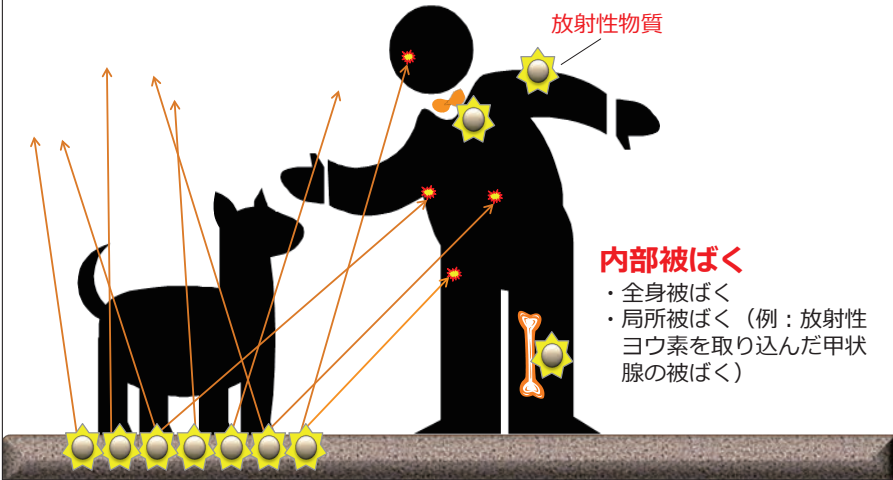
改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

被ばくの経路

様々な被ばく形態

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。

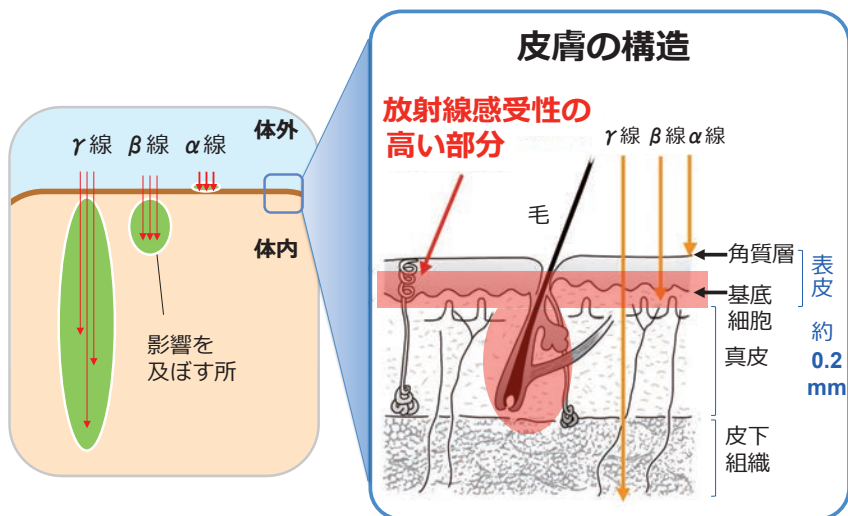
また、臓器によって放射線への感受性が異なります。このため、局所被ばくでは、被ばくした箇所に放射線感受性の高い臓器が含まれているかどうかで、影響の生じ方が大きく異なります。

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、子供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、子供の甲状腺が大人より放射線感受性が高いことの両方の原因によります。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

被ばくの経路 外部被ばくと皮膚



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等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によるものです。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

被ばくの経路

内部被ばく

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

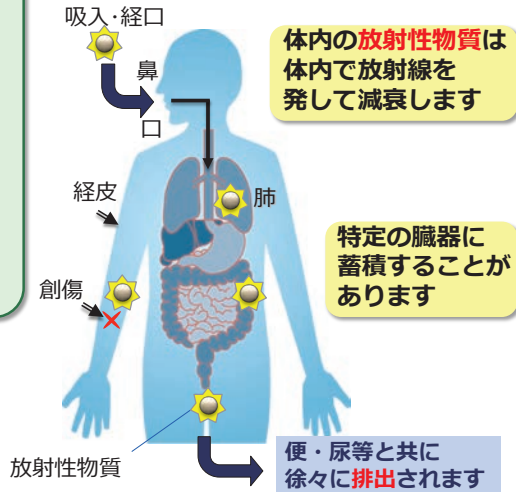
呼吸気道から侵入
肺・気道表面から吸収

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、呼吸と共に取り込まれる、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、骨等カルシウムのある所に蓄積する性質を、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。

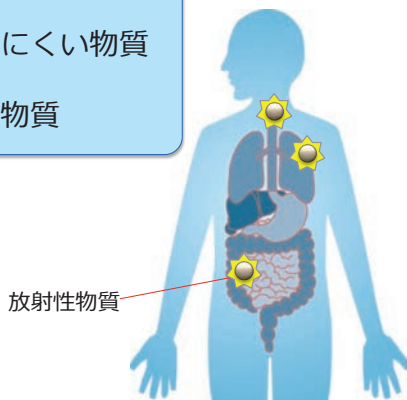
また、ヨウ素は甲状腺ホルモンの構成元素なので、放射性ヨウ素も安定ヨウ素も、甲状腺に蓄積する性質があります。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 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



体の中の放射性物質は、壊変により他の元素に変わっていくと共に、代謝により便・尿等と共に徐々に排泄されます。壊変により放射性物質が半分になるのに要する時間を物理学的半減期 (T_p)、代謝により体内の放射性物質が半減する時間を生物学的半減期 (T_b) といいます。体内に入った放射性物質は、物理学的半減期と生物学的半減期の両方により減少していきます。その半減する時間を実効半減期 (T_e) といい、 T_p 、 T_b との間に以下の関係があります。

$$1/T_e = 1/T_p + 1/T_b$$

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るため問題になります。

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、呼吸と共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。

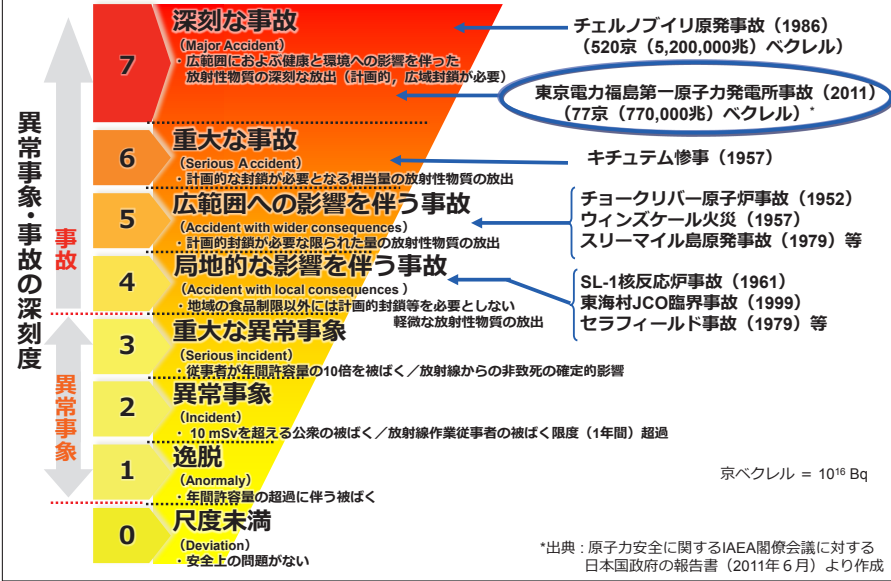
一方、放射性セシウムは、カリウムと似た性質のため、体内に取り込まれやすいのですが、同時に排泄されやすい性質も持っています。特定の組織には蓄積しませんが、筋肉を中心に取り込まれます。大人の場合、取り込まれた放射性セシウムの量が半分になるのに掛かる日数は約70日だといわれています(上巻P32、「原発事故由来の放射性物質」)。

なお、体の中の放射性物質は便・尿等と共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：平成25年3月31日

改訂日：平成28年3月31日

国際原子力事象評価尺度



2.2 原子力災害

国際原子力事象評価尺度 (INES) は、国際原子力機関 (IAEA) と経済協力開発機構原子力機関 (OECD/NEA) が定めた尺度で、1992年に各国に採用が勧められました。

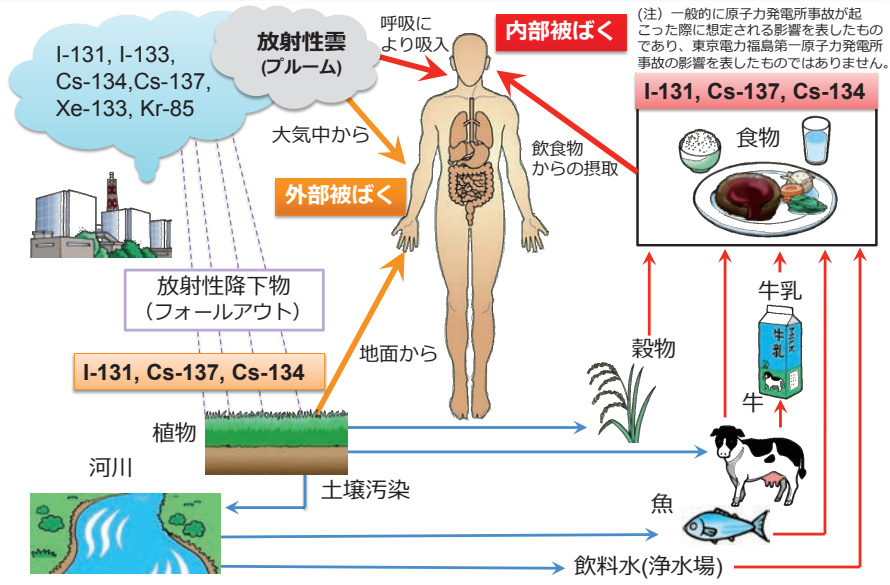
原子力施設等の異常事象や事故は、その深刻度に応じて7つのカテゴリーに分類されます。各国は、異常事象や事故をこの尺度を使って深刻度を判定し、発表します。

東京電力福島第一原子力発電所事故はその放射性物質の放出量から最も深刻な事故であることを示すレベル7と判断されています。

(関連ページ：下巻 P8、「INES (国際原子力・放射線事象評価尺度) 評価」)

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 28 年 3 月 31 日



原子力施設で緊急事態が発生し、気体状の放射性物質が漏れると、放射性雲（ブルーム）と呼ばれる状態で大気中を流れていきます。

放射性雲には放射性希ガスや、放射性ヨウ素及びセシウム 137 のような粒子状物質が含まれることがあります。

放射性希ガス（クリプトン、キセノン）は、地面に沈着せず、呼吸により体内に取り込まれても体内にとどまることはありません。しかし、放射性雲が上空を通過中に、この中の放射性物質から出される放射線を人は受けます。これは「外部被ばく」になります。放射性ヨウ素や放射性セシウムは、放射性雲が通過する間に地表面等に沈着します。このため、通過後も沈着した放射性物質からの外部被ばくがあります（上巻 P23、「外部被ばくと内部被ばく」）。

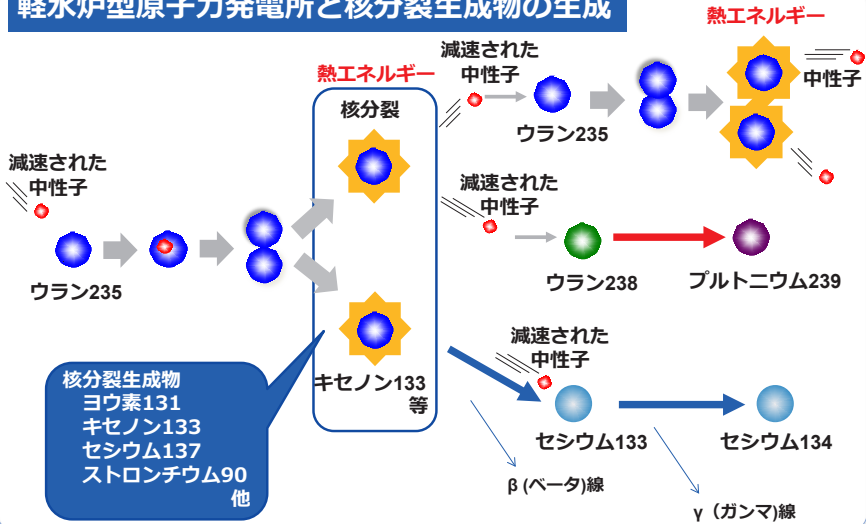
また、放射性雲の通過中の放射性物質を直接吸入すること及び放射性物質の沈着により汚染した飲料水や食物を摂取することによっても放射性物質を体内に取り込み、内部被ばくを受けることになります。

（関連ページ：上巻 P31、「原子炉内の生成物」）

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

軽水炉型原子力発電所と核分裂生成物の生成



軽水炉型原子力発電所（東京電力福島第一原子力発電所も含む）は現在、世界で最も広く使われているタイプの原子炉です。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等の放射性的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。

なお、セシウム134はウラン235の核分裂によって直接生成するものではありません。核分裂生成物であるヨウ素131やキセノン133等が順次ベータ壊変してセシウム133になり、さらに、セシウム133に、減速された中性子が捕獲されてセシウム134になります。

正常に原子炉が働けば、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、それらが全て機能なくなると、放射性物質が漏れ出すこととなります。

本資料への収録日：平成25年3月31日

改訂日：平成28年3月31日

| | I-131 ヨウ素131 | Cs-134 セシウム134 | Cs-137 セシウム137 | Sr-90 ストロンチウム90 | Pu-239 プルトニウム239 |
|-----------|-----------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| 出す放射線の種類 | β, γ | β, γ | β, γ | β | α, γ |
| 物理学的半減期 | 8日 | 2.1年 | 30年 | 29年 | 24,000年 |
| 実効半減期 | 8日 | 64日 | 70日 | 15年 | 197年 |
| 蓄積する器官・組織 | 甲状腺 | 全身 | 全身 | 骨 | 骨、肝臓 |

実効半減期：体内に取り込まれた放射性物質の量が、生物学的排泄作用（生物学的半減期）及び放射性物質の物理的壊変（物理学的半減期）の両者によって減少し半分になるまでの時間。緊急被ばく医療テキスト（医療科学社）の値を引用しました。

東京電力福島第一原子力発電所事故により、環境中に放出された放射性物質で、健康や環境への影響において、主に問題となるものは、ヨウ素131、セシウム134、セシウム137、ストロンチウム90の4種類です。そのほかにも様々な物質が放出されましたが、いずれもこの4種に比べると半減期が短いか、放出量が小さいことが分かっています。

ヨウ素131は、半減期が8日と短いのですが、体内に入ると10～30%は甲状腺に蓄積されます。そうなると甲状腺は、しばらくの間、 β （ベータ）線と γ （ガンマ）線による被ばくを受けることとなります。

原子力発電所の事故による汚染の場合、問題になる放射性セシウムにはセシウム134とセシウム137の2種類があります。セシウム137の半減期は30年と長く、環境汚染が長く続きます。放射性セシウムは化学的性質がカリウムとよく似ているため、体に入った場合は、カリウム同様ほぼ全身に分布します。

ストロンチウム90は半減期が長く、化学的性質がカルシウムに似ているため、体に入ると骨に蓄積します。 γ 線を出さないため、セシウム134及び137ほど簡単にどこにどれだけあるかを調べることはできません。原子力発電所事故の場合セシウム134及び137よりも量は少ないながら、核分裂によって発生したストロンチウム90も存在すると考えられています。東京電力福島第一原子力発電所事故由来のプルトニウム239等も検出されていますが、量的には事故発生前に全国で観測された測定値と同程度です。

（関連ページ：上巻 P31、「原子炉内の生成物」）

本資料への収録日：平成25年3月31日

改訂日：平成27年3月31日

放射線の単位 ベクレルとシーベルト

ベクレル (Bq)

放射能の量を表す単位

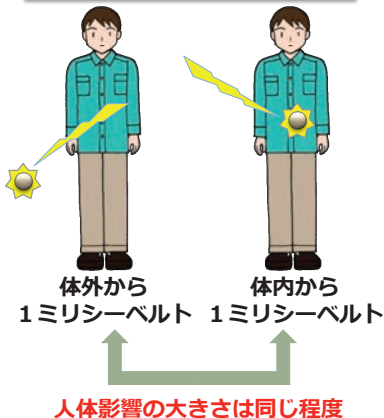
1 秒間に 1 個原子核が変化 =
1 ベクレル (Bq)

放射性物質



シーベルト (Sv)

人が受ける被ばく線量の単位
放射線影響に関係付けられる



2.3

放射線の単位

放射線の単位のうち、最もよく聞きするものに、ベクレルとシーベルトがあります。ベクレルは放射能の単位で、放射線を出す側に着目したものです。土や食品、水道水等に含まれる放射性物質の量を表すときに使われ、ベクレルで表した数値が大きいほど、そこからたくさんの放射線が出ていることを意味します。一方、シーベルトは人が受ける被ばく線量の単位で、放射線を受ける側、すなわち人体に対して用いられます。シーベルトで表した数値が大きいほど、人体が受ける放射線の影響が大きいことを意味します（上巻 P39、「線量概念：物理量、防護量、実用量」）。

放射線を受けた人体にどのような影響が現れるかは、外部被ばく、内部被ばく、全身被ばく、局所被ばくといった被ばくの様態の違い（上巻 P23～28、「2.1 被ばくの経路」）や、放射線の種類の違い（上巻 P13～22、「1.3 放射線」）等によって異なります。そこで、いかなる被ばくも同じシーベルトという単位で表すことで、人の健康への影響の大きさの比較ができるようになります。

外部被ばくで1ミリシーベルト受けた、ということと、内部被ばくで1ミリシーベルトを受けた、ということは、健康への影響の大きさは同じになります。また体外から1ミリシーベルト、体内から1ミリシーベルトを受けたら、合わせて2ミリシーベルトの放射線を受けた、ということができます。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日



ロルフ・シーベルト (1896-1966)

スウェーデン国立放射線防護研究所創設者
国際放射線防護委員会 (ICRP) 創設に参画

シーベルトという単位は、スウェーデンの放射線防護研究者である、ロルフ・シーベルトに由来しています。彼は、国際放射線防護委員会 (ICRP) の前身である国際X線・ラジウム防護委員会 (IXRPC) の議長を務め、ICRPの創設^{*}に参画しています。日常生活で受ける放射線の量を表す際には、シーベルトの1,000分の1であるミリシーベルトや、100万分の1であるマイクロシーベルトを使うことがほとんどです。

なお、ベクレル (放射能の単位)、キュリー (かつての放射能の単位)、グレイ (吸収線量の単位) は、どれも放射線の研究で大きな業績を残した研究者の名前に由来しています。

※ ICRPの創設に当たっては、英国国立物理学研究所のジョージ・ケイ (George Kaye) が中心的役割を果たしたといわれています。

(参考文献: ICRP Publication 109, The History of ICRP and the Evolution of its Policies, ICRP, 2009)

本資料への収録日: 平成25年3月31日

改訂日: 平成27年3月31日

放射線を出す側

放射能の強さ※1

ベクレル
(Bq)

放射性物質

※1：1秒間に壊変する原子核の数

放射線を受ける側

吸収線量※2

グレイ (Gy)



放射線を受けた単位質量の物質が吸収するエネルギー量

$$\text{Gy} = \frac{\text{吸収されたエネルギー (J)}}{\text{放射線を受けた部分の質量 (kg)}}$$

※2：物質1kg当たりに吸収されるエネルギー
(ジュール：J、1J≒4.2カロリー)、SI単位はJ/kg

放射線の種類による影響の違い

等価線量 (Sv)

臓器による感受性の違い

実効線量

シーベルト (Sv)

放射線の量を人体影響の大きさと表す単位

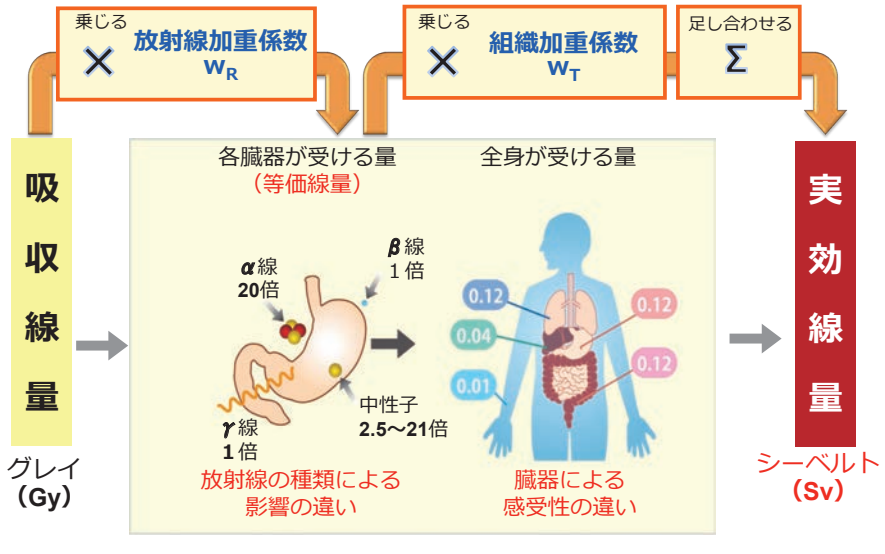
放射線に関する単位は、放射線を出す側の単位と受ける側の単位に大別できます。放射能の強さの単位であるベクレルは放射線を出す側の単位です。一方、放射線を受ける側の単位には、グレイとシーベルトがあります。

放射線が通った所では、放射線のエネルギーを吸収します。この吸収線量の単位がグレイです。

放射線の種類やエネルギーによって、吸収線量が同じでも人体への影響の大きさが変わります。そこで、放射線の種類ごとに影響の大きさに応じた重み付けをした線量が等価線量（単位はシーベルト）です。実効線量は、放射線防護における被ばく管理のために考案されたもの（単位はシーベルト）です。等価線量に対して、臓器や組織ごとの感受性の違いによる重み付けをして、それらを合計することで全身への影響を表します。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日



放射線被ばくによる全身影響を表す実効線量を求めるに当たっては、まず被ばくした箇所の組織・臓器ごとの吸収線量を知る必要があります。各組織と臓器の吸収線量に、放射線の種類を考慮するための放射線加重係数 (w_R) を乗じて、導き出されるのが等価線量 (単位はシーベルト) です。放射線加重係数は人体への影響が大きい放射線ほど、大きな値になります (α (アルファ) 線: 20、 β (ベータ) 線と γ (ガンマ) 線: 1)。

放射線を受けた組織や臓器ごとの等価線量を求めたら、等価線量に臓器の感受性の違いを考慮するための組織加重係数 (w_T) を乗じて足し合わせます。この組織加重係数は、組織や臓器ごとの放射線感受性により重み付けをするための係数です。放射線により、致死がんが誘発されやすい臓器や組織に高い値の係数が割り振られています。

組織加重係数の合計は1になるように決められています。したがって、実効線量は全身の臓器や組織の等価線量について、重み付け平均をとったものと考えることができます。また、実効線量は、外部被ばくも、内部被ばくも同様に計算することができます。

(関連ページ：上巻 P37、「様々な係数」)

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

等価線量 (Sv) = 放射線加重係数 w_R × 吸収線量 (Gy)

| 放射線の種類 | 放射線加重係数 w_R |
|--------------------------|---------------|
| γ 線、X線、 β 線 | 1 |
| 陽子線 | 2 |
| α 線、重イオン | 20 |
| 中性子線 | 2.5~21 |

実効線量 (Sv) = Σ (組織加重係数 w_T × 等価線量)

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

Sv : シーベルト Gy : グレイ

出典 : 国際放射線防護委員会 (ICRP) 2007年勧告

国際放射線防護委員会 (ICRP) が 2007 年に発表した勧告では、新たな放射線加重係数と組織加重係数が提示されています。その中では、 α (アルファ) 線は、同じ吸収線量の γ (ガンマ) 線や β (ベータ) 線に比べ、人体に及ぼす影響は 20 倍に及ぶとされています。また中性子線の放射線加重係数も高く、エネルギーによって γ 線や β 線の 2.5 ~ 21 倍もの人体影響を見込んでいます (上巻 P36、「グレイからシーベルトへの換算」)。

原爆被爆者の健康影響調査の結果、放射線により発がん影響が大きく出る臓器や組織が明らかになっています。こうした組織には、組織加重係数として大きな数値が割り当てられています。

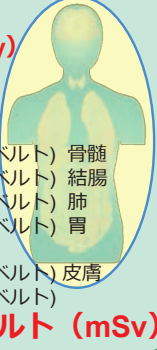
また原爆被爆者の二世、三世についても健康影響が調査されていますが、遺伝性影響は観察されていません。そのため、1990 年勧告で発表された生殖腺の組織加重係数 (0.2) に比べ、2007 年勧告では値が引き下げられています (0.08)。このように実効線量を算出するために使われる係数は、新たな知見が得られれば見直しが行われています。

本資料への収録日 : 平成 25 年 3 月 31 日

改訂日 : 平成 27 年 3 月 31 日

$$\text{実効線量 (シーベルト (Sv))} = \Sigma (\text{組織加重係数} \times \text{等価線量})$$

全身に均等に γ 線が
1ミリグレイ (mGy)
当たった場合



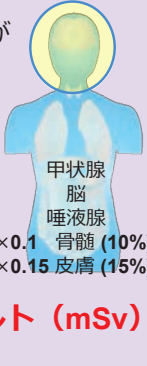
実効線量 =

- 0.12 × 1 (ミリシーベルト) 骨髄
- + 0.12 × 1 (ミリシーベルト) 結腸
- + 0.12 × 1 (ミリシーベルト) 肺
- + 0.12 × 1 (ミリシーベルト) 胃
- ⋮
- + 0.01 × 1 (ミリシーベルト) 皮膚

= 1.00 × 1 (ミリシーベルト)

= 1 ミリシーベルト (mSv)

頭部だけに均等に γ 線が
1ミリグレイ (mGy)
当たった場合



実効線量 =

- 0.04 × 1 (ミリシーベルト)
- + 0.01 × 1 (ミリシーベルト) 甲状腺
- + 0.01 × 1 (ミリシーベルト) 脳
- + 0.01 × 1 (ミリシーベルト) 唾液腺
- + 0.12 × 1 (ミリシーベルト) × 0.1 骨髄 (10%)
- + 0.01 × 1 (ミリシーベルト) × 0.15 皮膚 (15%)
- ⋮

= 0.07 ミリシーベルト (mSv)

全身に均等に γ (ガンマ) 線が1ミリグレイ当たった場合の実効線量と、頭部だけに1ミリグレイ当たった場合の実効線量の計算方法を比較してみます。

γ 線の放射線加重係数 (w_R) は1なので、全身に均等に1ミリグレイを浴びたということは、均等に1ミリシーベルト (1グレイ × 1 (w_R) = 1ミリシーベルト) を受けていたことを意味します。つまり、等価線量はどの臓器・組織でも1ミリシーベルトです。ここから実効線量を求めるには、組織ごとの等価線量に組織加重係数を乗じて足し合わせます。骨髄、結腸、肺、胃、乳房は、放射線により致死がんを誘発するリスクが高い組織なので、0.12という高い係数が、また、皮膚には全身分の皮膚に0.01という係数が割り当てられています。このように全臓器・組織の等価線量に組織加重係数を乗じて足し合わせると、実効線量は1ミリシーベルトになります。

一方、放射線検査で頭だけ1ミリグレイを受けたような場合では、甲状腺、脳、唾液腺といった頭部に存在する臓器や組織では、全体が放射線を受けるため、組織ごとの等価線量は1ミリシーベルトになります。それに対して、骨髄や皮膚のように頭部に全体の一部分が存在する組織や臓器は、放射線を受けた部分の割合 (骨髄:10%、皮膚:15%) を乗じて等価線量を求めます。それぞれの等価線量と組織加重係数を乗じて、足し合わせると、実効線量は0.07ミリシーベルトになります。
(関連ページ: 上巻 P35、「単位間の関係」)

本資料への収録日: 平成 25 年 3 月 31 日

改訂日: 平成 27 年 3 月 31 日

物理量：直接計測できる

放射能の強さ (Bq：ベクレル)
1秒間に変化する原子核の数

吸収線量 (Gy：グレイ)
物質 1 kg 当たりに吸収されるエネルギー

人体の被ばく線量：直接計測できない

物理量から
定義

防護量

等価線量 (Sv：シーベルト)
人の臓器や組織が個々に受ける影響を表す

実効線量 (Sv：シーベルト)
個々の臓器や組織が受ける影響を総合して全身への影響を表す

実用量

周辺線量当量 (Sv：シーベルト)
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 (Sv：シーベルト)
個人モニタリングにおいて用いられる防護量の近似値

放射線の人体への影響を管理するに当たり、複数の箇所を受けた放射線の影響を足したり、過去に受けた放射線による影響を足したりして考える必要があります。このために考えられたのが等価線量と実効線量です。

等価線量は、人の臓器や組織が個々に受けた影響を、放射線の種類によって重み付けしたものです。

実効線量は、組織が受けた影響を全身分に換算しています。臓器ごとに受けた等価線量の単純平均ではなく、臓器ごとの放射線の感受性の違いで重み付けをしています。

個々の臓器への影響の大きさを重み付けする係数を組織加重係数といいます。

このように、防護量は人体の臓器や組織の線量から計算される量です。そのため、放射能の強さ(単位：ベクレル)や吸収線量(単位：グレイ)のような物理量とは異なり、測定器を使って容易に直接測定することができません。そこで、人体への影響を表すために定義されたものが実用量です。

サーベイメータの読み値にシーベルトが使われているものがあります。これは防護量を直接計測しているのではなく、計測した物理量から定義される近似値、すなわち実用量が示されています。実用量には、環境モニタリングにおいて用いられる周辺線量当量と、個人モニタリングにおいて用いられる個人線量当量があります。実用量は、防護量に対して保守的な(安全側の)評価を与えるように、防護量より少し大きな数値が出るよう定義されています。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

実効線量

放射線被ばくによる全身影響を表す。人体の臓器と組織の等価線量に組織加重係数を乗じたものを合計して算出するが、直接測定できない。

被ばく管理のために、実効線量の代わりに実際に測定できる線量当量を用いる

線量当量

人体の被ばく線量を表す線量概念の一つ。被ばく管理（環境モニタリング・個人モニタリング等）のために、実際に測定できる量（実用量）として用いられる。

周辺線量当量（空間線量）（Sv：シーベルト）

環境モニタリングにおいて用いられる。

人体の組織を模した直径30cmの球の表面から深さ d *で生じる線量当量。

個人線量当量（Sv：シーベルト）

個人モニタリングにおいて用いられる。

人体のある指定された点における深さ d *の線量当量。

*深さ d : 1 cmの場合は実効線量、3 mmの場合は目の水晶体の等価線量、70 μ mの場合は皮膚の等価線量に相当

実効線量は人体の臓器や組織の線量から計算される量で、測定器を使って直接測定することはできません。そこで、被ばく管理のために、実際に測定できる量（実用量）として、周辺線量当量（空間線量）と個人線量当量が用いられています。サーベイメータのように空間の測定を行う機器では周辺線量当量を、個人線量計では個人線量当量を表示するように調整されています。

原子力規制委員会が公表している放射線モニタリング情報でも、周辺線量当量が用いられています。

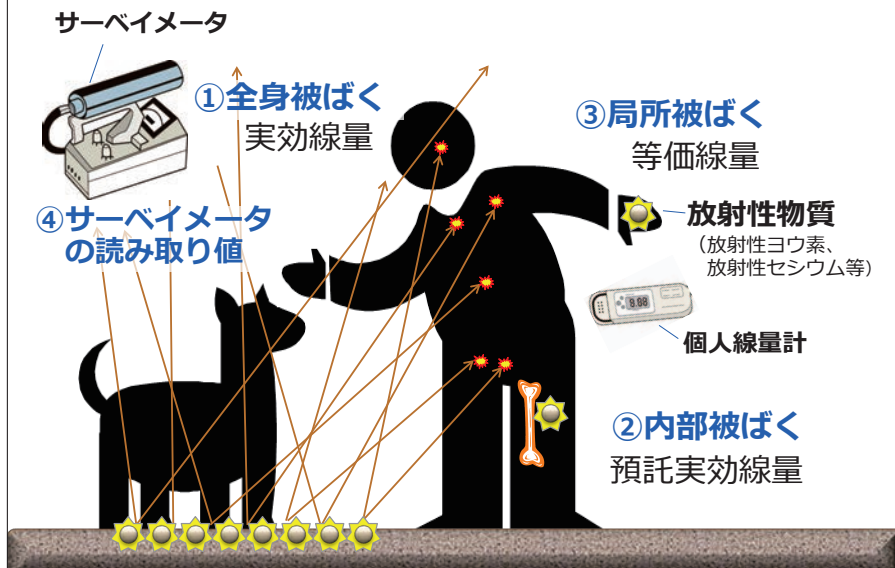
周辺線量当量は、人体の組織を模した直径30cmの球の表面から、1cmの深さにおける線量（1cm線量当量）で表されます。臓器の多くは人体の表面から1cmより深い場所にあるので、結果的に周辺線量当量は常に実効線量よりも高い値に見積もられることになります。これにより、実用量として周辺線量当量を用いれば、安全側に立った被ばく管理ができるようになっていきます。

実効線量と周辺線量当量の比率は、核種の違い（放出される γ （ガンマ）線エネルギーの違い）や照射条件（一方方向か全方位か等）により異なりますが、成人の場合、実効線量は、概ね周辺線量当量の0.55倍～0.85倍程度になります。

（関連ページ：上巻 P41、「シーベルト」を単位とする線量）

本資料への収録日：平成25年3月31日

改訂日：平成27年3月31日



シーベルトは、①全身が受ける放射線の量（実効線量）（上巻 P40、「実効線量と線量当量」）、②内部被ばくによって受ける放射線の量（預託実効線量）（上巻 P50、「預託実効線量」）、③ある場所だけ放射線を受ける局所被ばくの量（等価線量）、の単位として用いられています。どれも被ばくした個人や組織におけるがん、遺伝性影響の発生リスクを考慮して表されている点は共通です。

また、④サーベイメータの読み取り値にもシーベルトが使われているものもあります。これは空気の吸収線量（グレイ）にある係数を乗じてシーベルト換算し、人間が受ける実効線量の大きめの近似値として表示されているものです。全身均等被ばくの場合の実効線量シーベルトの近似値と考えてよいでしょう（上巻 P42、「様々な測定機器」）。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

測定機器

ゲルマニウム
半導体検出器NaI (TI) シンチレーション式
サーベイメータGM計数管式
サーベイメータ

個人線量計

光刺激ルミネッセンス
線量計 (OSL)

蛍光ガラス線量計



電子式線量計

どのような目的で放射線を測定するかによって、用いる測定機器を選ぶ必要があります。

放射性物質の種類と量を調べるには、ゲルマニウム半導体検出器や NaI (TI) シンチレーション式検出器等を備えた γ (ガンマ) 線のエネルギーが識別できる装置を用います。ゲルマニウム半導体検出器は、主に水、食品等の汚染状況を調べる際にも用いられる装置で、放射性物質の種類ごとの量を正確に測定する際に用いられます。しかし γ 線を出さない放射性物質を調べることはできません。

外部被ばく線量を計算するには、空間線量率を正確に測定する必要があります。空間線量率の測定には電離箱式やエネルギー補償型のサーベイメータが最も適しています。GM 計数管式サーベイメータを利用する場合は、空間線量率が実際よりも高めに出ることが多いので気を付ける必要があります。

個人線量計としては、光刺激ルミネッセンス線量計 (OSL)、蛍光ガラス線量計、電子式線量計等、いろいろなタイプがあります。男性は胸に、女性は妊娠の可能性も考慮し腹部に着けることが一般的です。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

| 型 | | 目的 | |
|---|---|------------------------|--|
| GM計数管式 サーベイメータ |  | 汚染の検出 線量率（参考 程度） | β 線を効率よく検出し、 汚染の検出に適している |
| 電離箱型 サーベイメータ |  | γ 線 空間線量率 | 最も正確であるが、シン チレーション式ほど低い 線量率は測れない |
| Nal (TI) シンチレー ション式サーベイメータ |  | γ 線 空間線量率 | 正確で感度もよい (測定器によっては α 線 も測定可能) |
| 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 電子式線量計等) |  | 個人線量 積算線量 | 大部分の線量計では線量 率を直接測れない |

サーベイメータには、体表面汚染検査用と空間線量率測定用があります。GM計数管式サーベイメータは β （ベータ）線に対する感度が高く、体表面汚染検査に適しています。安価で求めやすく、汚染されている場の特定や除染の効果を確認するのに有用です。しかし空間線量率は、実際よりも高めの値が出ることが多いことに気をつける必要があります。

電離箱は高レベルの空間線量率の測定に最も適していますが、あまり低い線量率の測定はできません。そこで一般環境の空間線量率の測定にはシンチレーション式が最も適しています。

Nal (TI) シンチレーション式サーベイメータを用いて、放射能の強さ（ベクレル）を計測することは可能ですが、測定する場の放射線レベルや測り方によって測定値が変わります。また測定値からベクレルへの換算をするためには、事前に基準となる放射線源を備えた施設での校正が必要になるので、実施に当たっては専門家の協力が必要です。

個人線量計を用いると、被ばくの積算線量を知ることができます。電子式の直読式のものであれば、一定期間ごと、あるいは作業ごとに、被ばくの程度を自分で確認することができます。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日