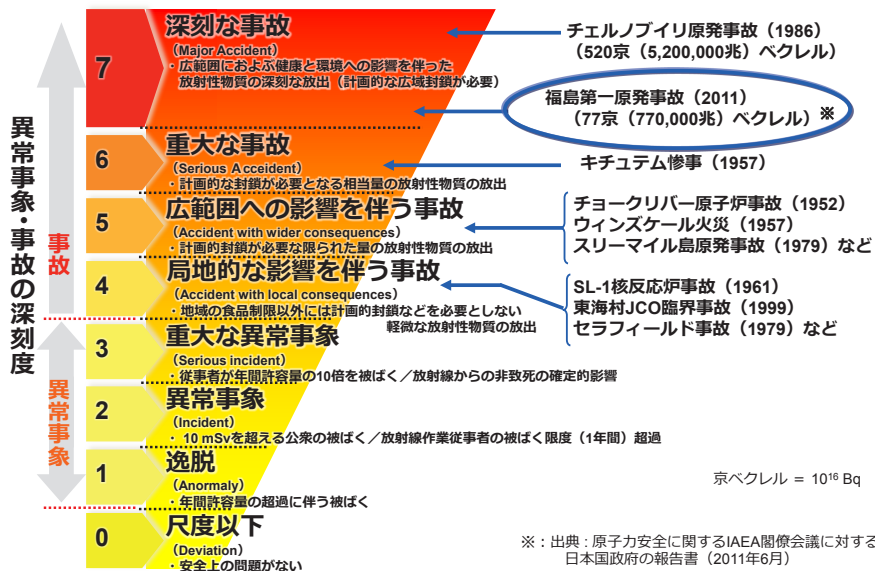




原子力施設などの異常事象や事故は、その深刻度に応じて7つのカテゴリーに分類されます。

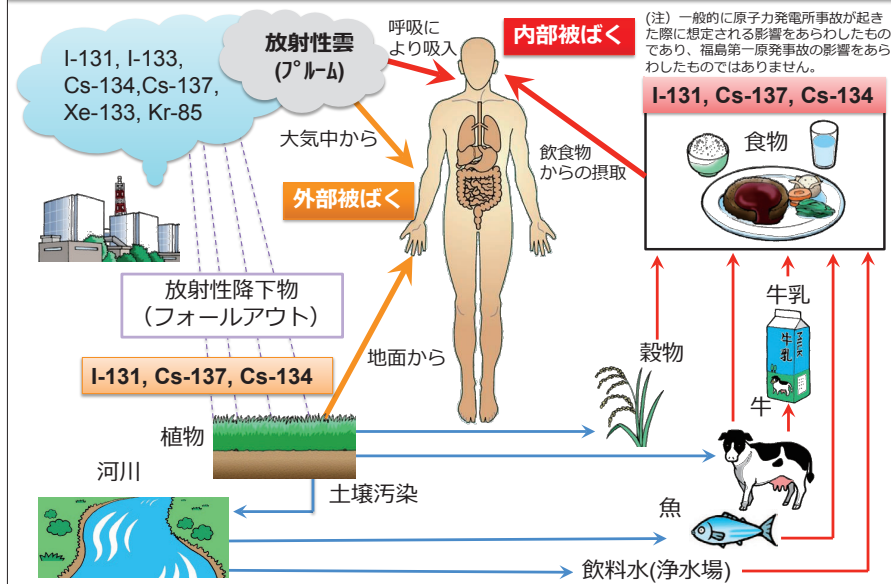
福島第一原発事故はその放射性物質の放出量から最も深刻な事故であることを示すレベル7と判断されています。

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

放射能汚染の態様



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、放射性ヨウ素およびセシウム 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留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などに沈着します。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。

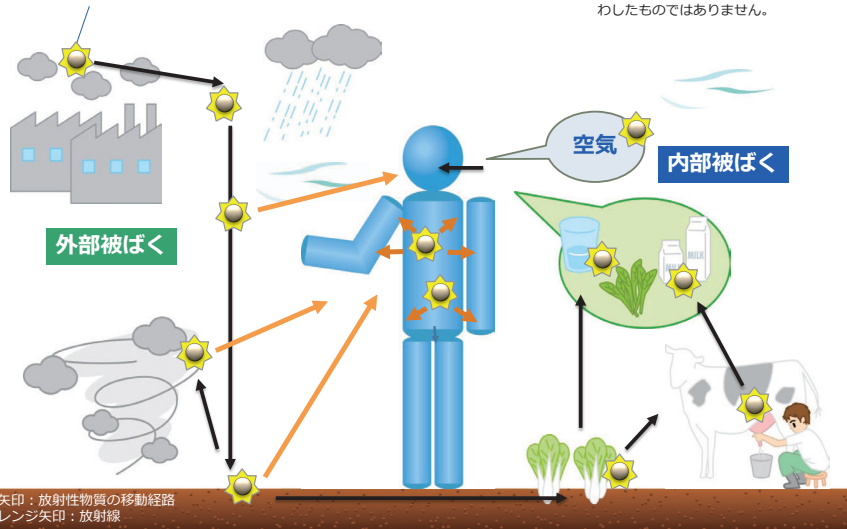
また、放射性雲の通過中の放射性物質を直接吸入すること及び放射性物質の沈着により汚染した飲料水や食物を摂取することによっても放射性物質を体内に取り込み、内部被ばくを受けることになります。

本資料への収録日：2013 年 3 月 31 日

改訂日：2015 年 3 月 31 日

放射性物質（放射性ヨウ素、放射性セシウムなど）

(注) 一般的に原子力発電所事故が起きた際に想定される影響をあらわしたものであり、福島第一原発事故の影響をあらわしたものではありません。



福島第一原発事故のように、原子力発電所が大きな事故を起こすと大量の放射性物質が原子炉から漏れ出ることがあります。放射性ヨウ素や放射性セシウムなどがその代表です。

この放射性物質が、大気中をふわふわと拡散していきますが、その間に少しずつ地表に落ちてきます。特に雨が降ると、雨と一緒に放射性物質が地面に落ちます。放射性物質が体の表面に付くこともあります。このように、空気、土壌、そして体表にある放射性物質から放射線を受けることがあります。これが外部被ばくです。

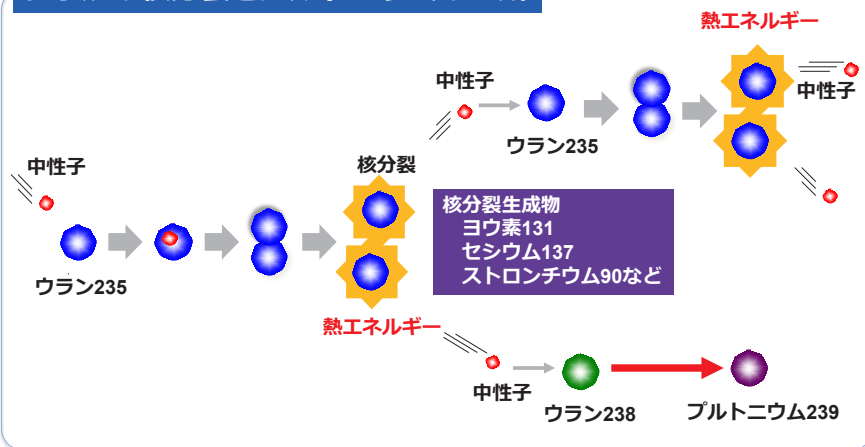
一方、空気中や土壌の放射性物質が、水や食べ物に入って、それを口にしたたり、空気中の放射性物質を呼吸と一緒に体の中に取り込んだりして、体の中から放射線を受けることがあります。これが内部被ばくです。

外部被ばくや内部被ばくという言葉はどちらも「放射線を受けている」ことをさし、影響のあるなしを意味するものではありません。また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なく用いられる言葉です。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日

軽水炉の核分裂とプルトニウムの生成



軽水炉型原子力発電所（福島第一原子力発電所も含む）は現在、世界でもっとも広く使われているタイプの原子炉です。燃料の濃縮ウランに（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。その時、ヨウ素 131、セシウム 137、ストロンチウム 90 などの放射性的核分裂生成物ができます。また、ウラン 238 に中性子が当たると、プルトニウム 239 ができます。

正常に原子炉が働けば、これらの生成物は燃料棒の中に留まり、原子炉から外へは漏れ出ません。

原子力施設には放射性物質を外に出さないようにするさまざまな仕組みがありますが、それらが全て機能なくなると、漏れ出すことになります。

本資料への収録日：2013 年 3 月 31 日

改訂日：2015 年 3 月 31 日

	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。

福島第一原発事故により、環境中に放出された放射性物質で、健康や環境影響上、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。その他にもさまざま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、放射能が小さいことがわかっています。

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。そうすると甲状腺は、しばらくの間、 β （ベータ）線と γ （ガンマ）線の被ばくを受けることになります。

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。福島第一原発事故由来のプルトニウム 239 など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。

本資料への収録日：2013 年 3 月 31 日

改訂日：2015 年 3 月 31 日

ベクレル (Bq)

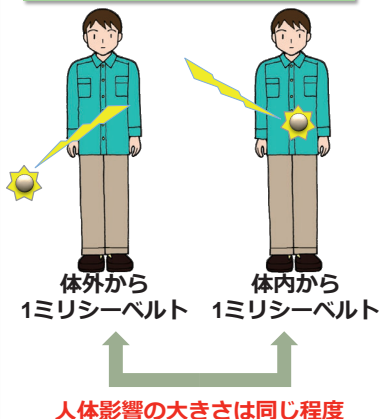
放射能の量を表す単位

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

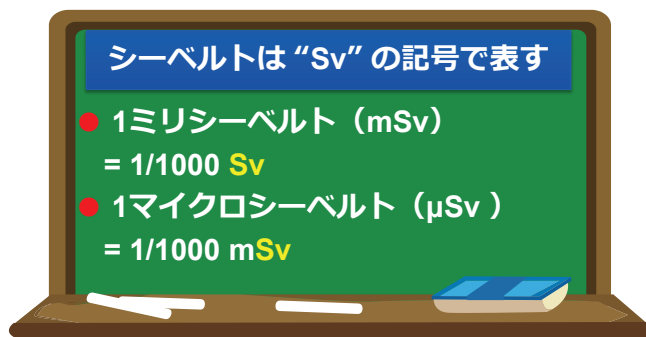
放射線の単位のうち、最もよく見聞きするものに、ベクレルとシーベルトがあります。ベクレルは放射能の単位で、放射線を出す側に着目したものです。土や食品、水道水などに含まれる放射性物質の量を表す時に使われ、ベクレルで表した数値が大きいほど、そこからたくさんの放射線が出ていることを意味します。一方、シーベルトは人が受ける被ばく線量の単位で、放射線を受ける側、すなわち人体に対して用いられます。シーベルトで表した数値が大きいほど、人体が受ける放射線の影響が大きいことを意味します。

放射線を受けた人体にどのような影響が表れるかは、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（詳しくは「4. 被ばくの経路」を参照）や、放射線の種類の違い（詳しくは「3. 放射線」を参照）など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、影響の大きさの比較ができるように考えられています。

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、影響の大きさはほぼ同じになります。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：2013年3月31日

改訂日：2015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 の創設にあたっては、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：2013年3月31日

改訂日：2015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

放射線を受けた単位質量の物質が吸収する
エネルギー量吸収線量※2
グレイ (Gy)

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

※2：物質1kgあ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を表す
単位

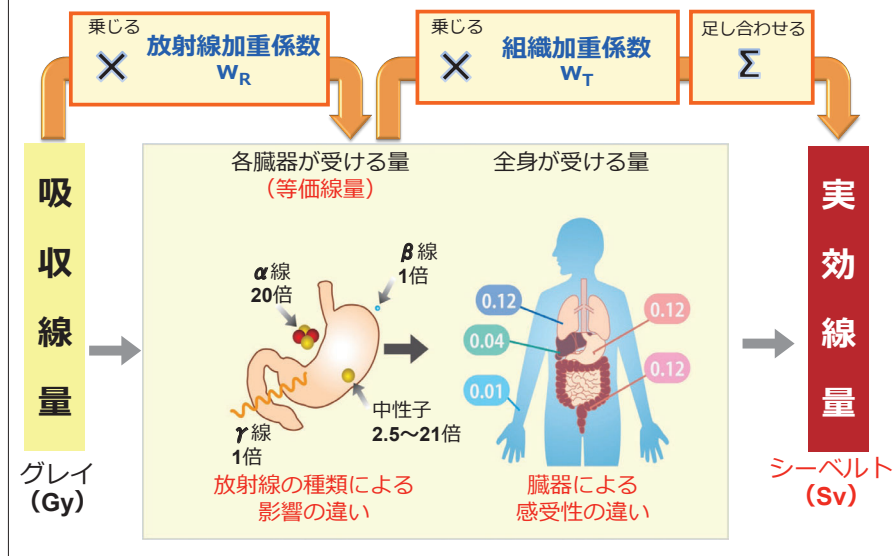
放射線に関する単位は、放射線を出す側の単位と受ける側の単位に大別できます。放射能の強さの単位であるベクレルは放射線を出す側の単位です。一方、放射線を受ける側の単位には、グレイとシーベルトがあります。

放射線が通ったところでは、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：2013年3月31日

改訂日：2015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 など、詳細は 37 頁「さまざまな係数」を参照)。

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 (37 頁「さまざまな係数」を参照)。

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。

本資料への収録日: 2013 年 3 月 31 日

改訂日: 2015 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、 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 倍に及ぼしています。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。

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 年に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のに使われる係数は、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

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

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
 $+ 0.12 \times 1$ (ミリシーベルト) 結腸
 $+ 0.12 \times 1$ (ミリシーベルト) 肺
 $+ 0.12 \times 1$ (ミリシーベルト) 胃
 $\vdots$
 $+ 0.01 \times 1$ (ミリシーベルト) 皮膚
 $= 1.00 \times 1$ (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)
 $+ 0.01 \times 1$ (ミリシーベルト)
 $+ 0.01 \times 1$ (ミリシーベルト)
 $+ 0.12 \times 1$ (ミリシーベルト) $\times 0.1$ 骨髄 (10%)
 $+ 0.01 \times 1$ (ミリシーベルト) $\times 0.15$ 皮膚 (15%)
 $\vdots$
= 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 ($1 \text{ グレイ} \times 1 (w_R) = 1 \text{ ミリシーベルト}$) を受けていることを意味します。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。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015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秒間に变化する原子核の数

吸収線量 (Gy：グレイ)

物質1kgあ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、複数の箇所に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：2013年3月31日

改訂日：2015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 ：1cmの場合は実効線量、3mm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。

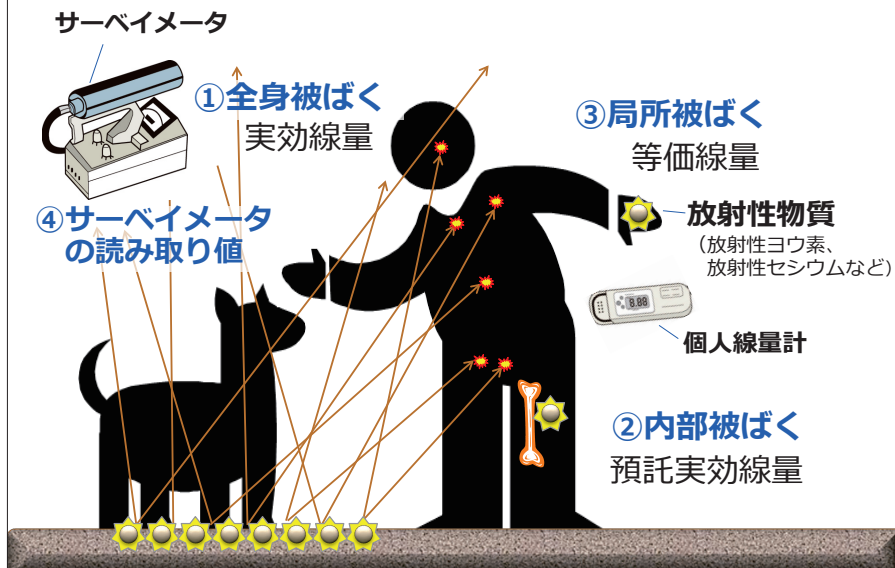
原子力規制委員会が公表している放射線モニタリング情報でも、周辺線量当量が用いられています。

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（一方向か全方位かなど）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0.55～0.85倍程度になります。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日



シーベルトは、①全身が受ける放射線の量（実効線量）、②内部被ばくによって受ける放射線の量（預託実効線量）、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）にある係数をかけ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。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日