

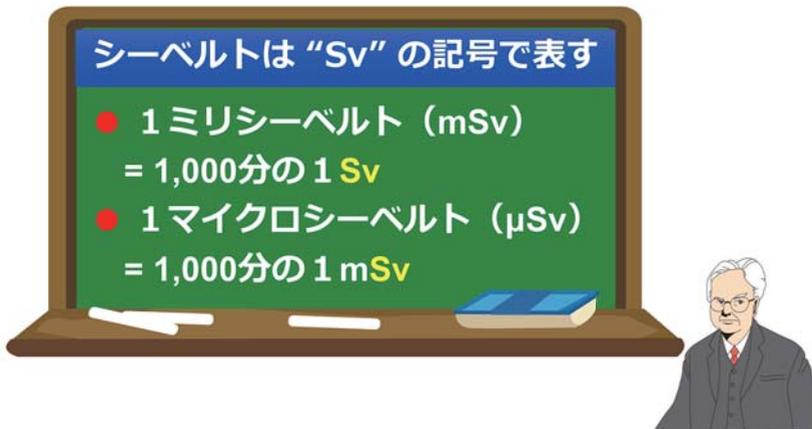
放射線の単位のうち、最もよく見聞きするものに、ベクレルとシーベルトがあります。ベクレルは放射能の単位で、放射線を出す側に着目したものです。土や食品、水道水等に含まれる放射性物質の量を表すときに使われ、ベクレルで表した数値が大きいほど、そこからたくさんの放射線が出ていることを意味します。一方、シーベルトは人が受ける被ばく線量の単位で、放射線を受ける側、すなわち人体に対して用いられます。シーベルトで表した数値が大きいほど、人体への放射線の影響が大きいことを意味します（上巻 P40「線量概念：物理量、防護量、実用量」）。

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形態の違い（詳しくは、上巻2.1節「被ばくの経路」を参照）や、放射線の種類の違い（詳しくは、上巻1.3節「放射線」を参照）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、人体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、人体への影響の大きさは同じとみなされます。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、ということが出来ます。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019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

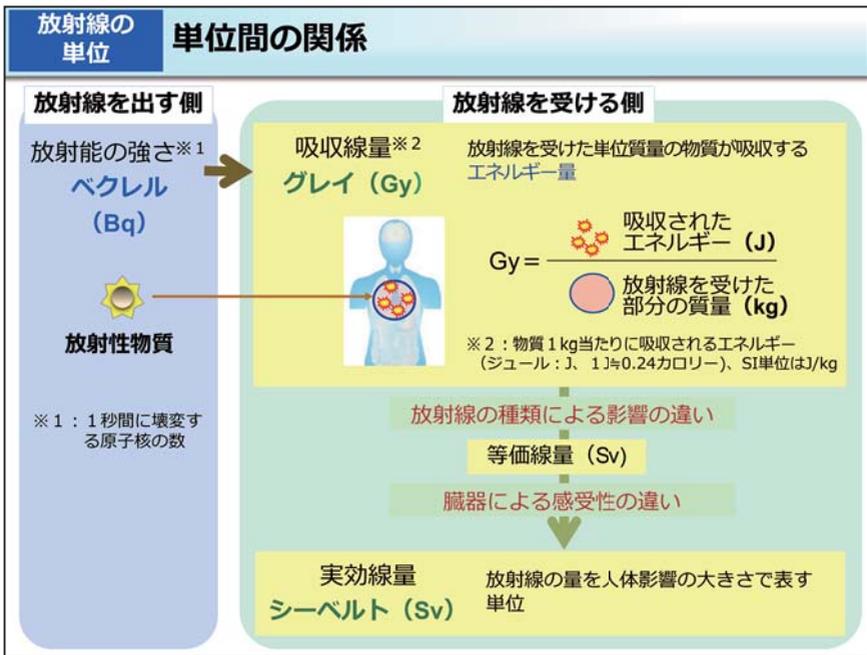
シーベルトという単位は、スウェーデンの放射線防護研究者である、ロルフ・シーベルトに由来しています。彼は、国際放射線防護委員会 (ICRP) の前身である国際X線・ラジウム防護委員会 (IXRPC) の議長を務め、ICRPの創設¹に参画しています。日常生活で受ける放射線の量を表す際には、シーベルトの1,000分の1であるミリシーベルトや、100万分の1であるマイクロシーベルトを使うことがほとんどです。

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。

1. 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。(出典：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



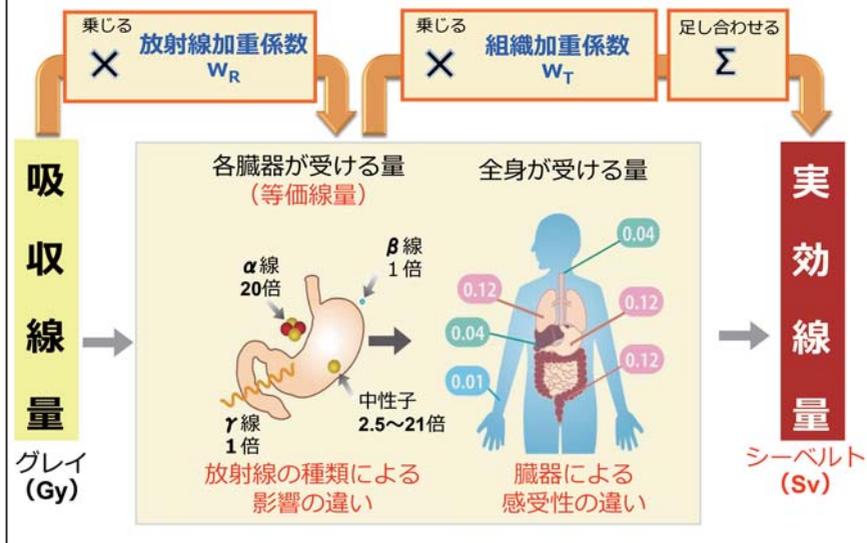
放射線に関する単位は、放射線を出す側の単位と受ける側の単位に大別できます。放射能の強さの単位であるベクレルは放射線を出す側の単位です。一方、放射線を受ける側の単位には、グレイとシーベルトがあります。

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：2013年3月31日

改訂日：2019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 P38 「様々な係数」)

本資料への収録日: 2013年3月31日

改訂日: 2019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年勧告より作成

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 P37 「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 (上巻 P114 「放射線感受性の高い組織・臓器」)。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 (上巻 P109 「被爆二世における染色体異常」)。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: 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 × 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) 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、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。

(関連ページ：上巻 P36 「単位間の関係」)

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
放射線粒子密度 ($s^{-1}m^{-2}$ ：フルエンス)
単位面積に入射する粒子の数

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
照射線量 (X線、γ線対象) (C/kg)
空気1kgに与えられるエネルギー

人の被ばく影響を表す線量：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)
方向性線量当量 (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ために、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（上巻P41「線量当量：実効線量を導く、測定可能な実用量」）。

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

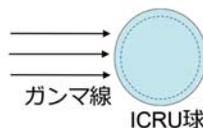
改訂日：2017年3月31日

線量当量 = 条件を満たす基準点の吸収線量 × 線質係数

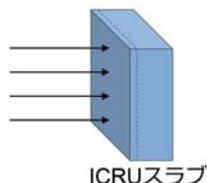
実際には測定できない「実効線量」の代わりに、一定の条件のもと、実効線量とほぼ同じ値か保守的な値が測定で得られる「実用量」として、周辺線量当量や個人線量当量などが定義されている。

周辺線量当量（1cm線量当量）

放射線が一方から来る場に、人体の組織を模した30cmのICRU球を置き、球の表面から深さ1cmで生じる線量当量。サーベイメータなどで空間の線量測定を行うときは、この値になる。

**個人線量当量（1cm線量当量）**

人体のある指定された点における深さ1cmの線量当量。測定器を体につけて測定するため、均等な方向からの被ばくでは、常に自己遮蔽効果が働いた状態で評価される。
⇒ **サーベイメータの値より、常に少なめの値となる！**



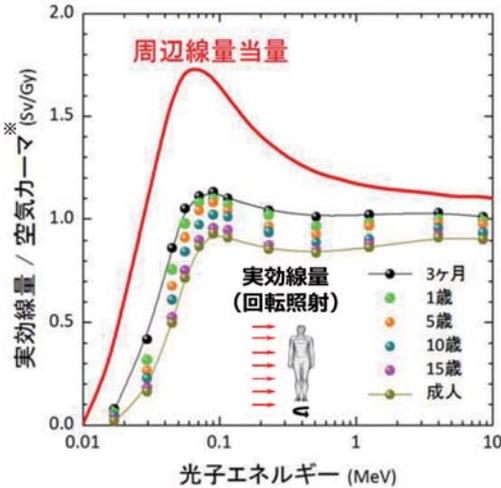
実際には測定できない実効線量を推定するための実用量として（上巻 P40「線量概念：物理量、防護量、実用量」）、作業環境などの空間の線量を評価する周辺線量当量 $H^*(d)$ （ d は深さ）、個人の被ばくを評価する個人線量当量 $H_p(d)$ 、さらに、 β 線や軟 X 線による目の水晶体などの被ばくなど、深さや入射方向についても評価する必要がある場合の量として方向性線量当量 $H'(d, \alpha)$ （ α は入射角度）が定義されています。

一般に、周辺線量当量も個人線量当量も、 γ 線被ばくの場合は 1 cm の深さを用いることから、1 cm 線量当量とも呼ばれています。

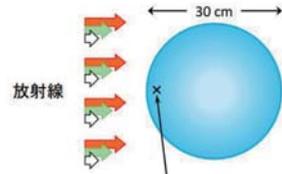
しかし、周辺線量当量の測定には据え置き型の電離箱やサーベイメータ等、方向性の影響が少ない測定機器が用いられるのに対し、個人線量当量は人体の体幹部に小型の個人線量計を装着して測定されるため、背面からの入射に対しては常に自己遮蔽効果が働いた状態で評価されます。このため、実験室などでの被ばくのように、常に正面方向からだけの被ばくにおいては、周辺線量当量と個人線量当量は一致しますが、均等な方向からの被ばくにおいては、常にサーベイメータ等の値よりも小さい値を示します。ちなみに、実効線量を計算する場合、均等方向の入射においては、人体を回転させる「回転照射」の条件で計算されますが、これはまさに個人線量当量と一致する値となります。つまり、計算された値は一般的には実効線量より大きい値となります。

本資料への収録日：2017年3月31日

改訂日：2021年3月31日



※ 空気カーマとは物理量の単位です



サーベイメータで測定される周辺線量当量は、直径30cmのICRU球の深さ1cmにおける線量当量で定義される。1cm線量当量とも言う。

出典：2012年第9回原子力委員会資料第一号
(JAEA遠藤 章氏の報告) より改変

サーベイメータで測定される周辺線量当量は、常に実効線量よりも大きな値になるように値付けされています。

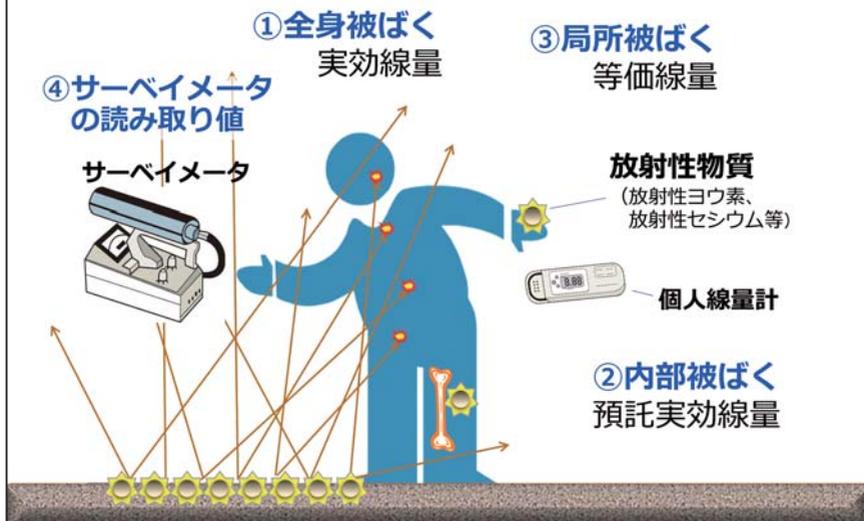
一方、個人線量計も正面だけからの入射の場合はサーベイメータと同じです。しかし個人線量計を身体に装着して、線源が一様に分布しているような環境では、人体の背中等の自己遮蔽効果により、「実効線量」に近い値を示します。

上図は、入射γ線のエネルギーに対する実効線量（回転による均等照射で背中等の自己遮蔽効果も含む）と周辺線量当量の違いが示されています。人の年齢に応じた体格差から、自己遮蔽の度合いが多少変化していますが、662keVのCs-137γ線の場合、サーベイメータで測定した値（周辺線量当量）は約30%程、成人の実効線量や個人線量計の値（個人線量当量）より大きな数値となる結果が示されています。

（関連ページ：上巻 P41 「線量当量：実効線量を導く、測定可能な実用量」）

本資料への収録日：2017年3月31日

改訂日：2019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 P42 「実効線量と線量当量の値の違い」）、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 P56 「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。これは周辺線量当量に換算した値を表示しているものです（上巻 P44 「様々な測定機器」）。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019年3月31日