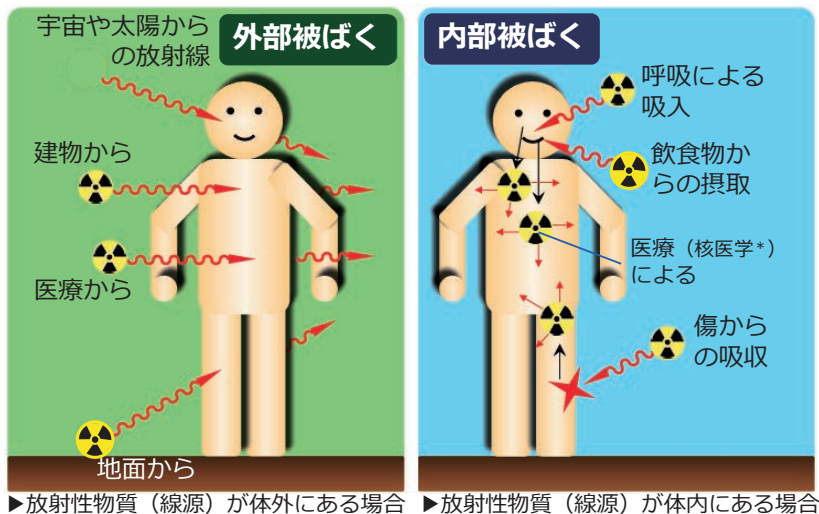


第 2 章

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



* 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説明を行うことです。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。

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」）。

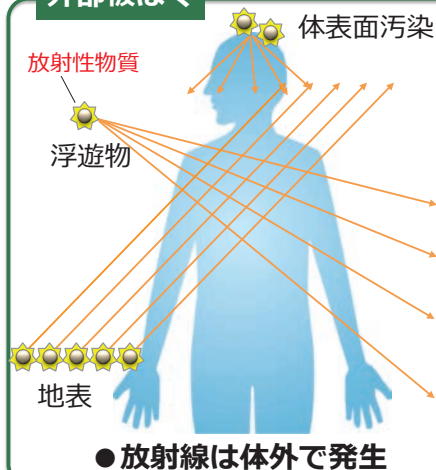
本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 28 年 3 月 31 日

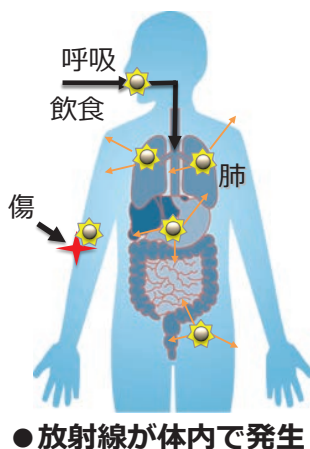
被ばくの経路

体外から・体内から

外部被ばく



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。

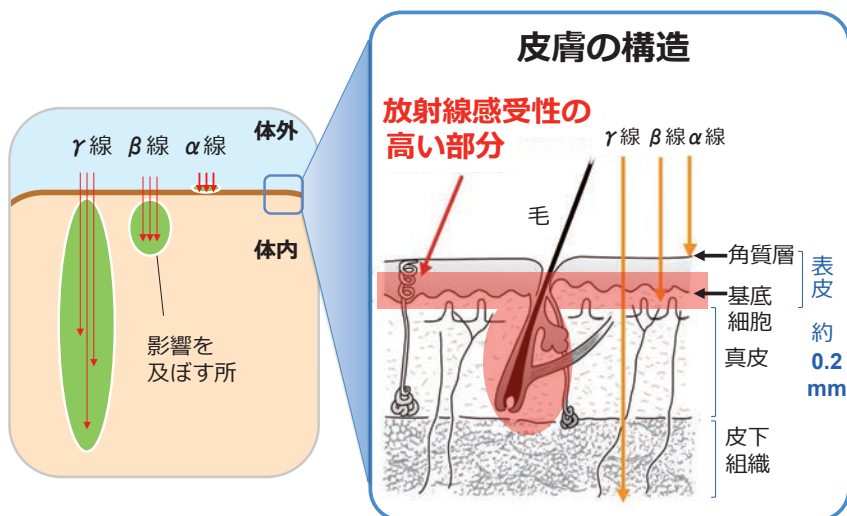
内部被ばくの場合、放射性物質が蓄積しやすい臓器・組織では被ばく線量が高くなります。この蓄積しやすい臓器・組織の放射線感受性が高い場合、放射線による影響が出る可能性が高くなります。チェルノブイリ原発事故の後、ベラルーシやウクライナでは、子供の甲状腺がんの発症数が増加しましたが、これは、放射性ヨウ素が甲状腺に蓄積しやすいこと、子供の甲状腺が大人より放射線感受性が高いことの両方の原因によります。

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

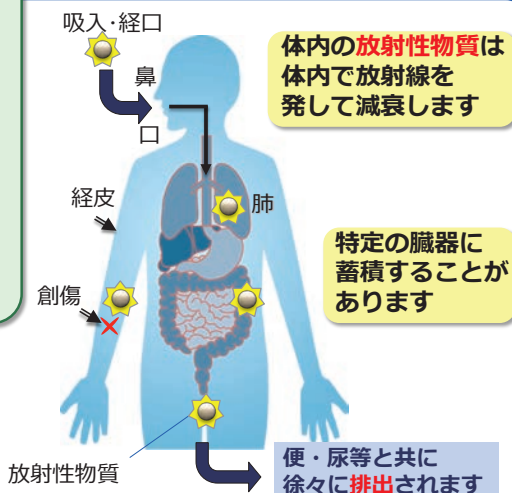
呼吸気道から侵入
肺・気道表面から吸収

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。

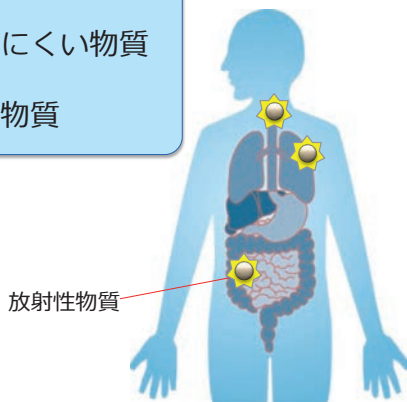
本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

内部被ばくと放射性物質

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。

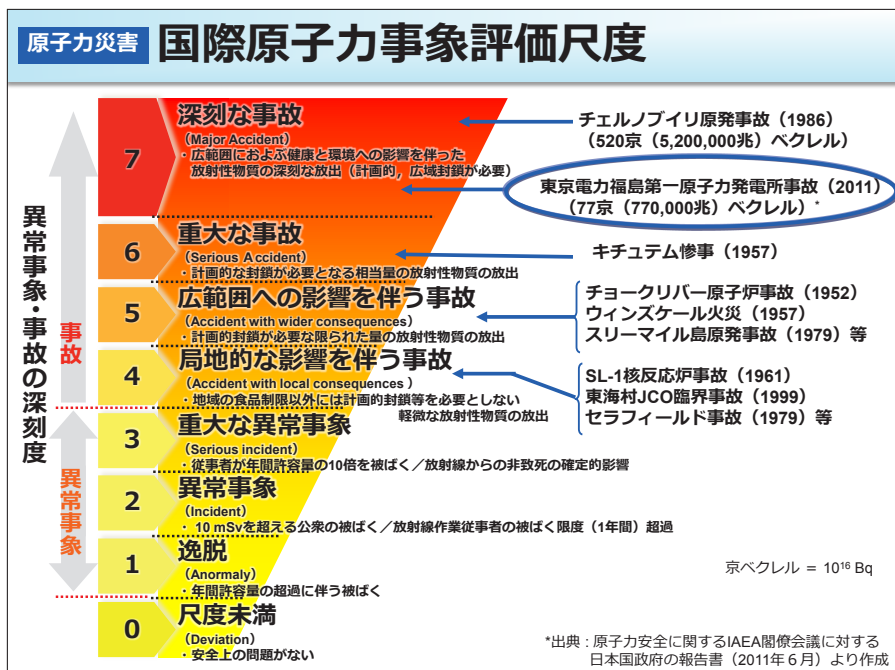
例えばプルトニウムは、消化管では吸収されにくいので、食べ物を介して体内へ取り込まれるよりも、呼吸と共に肺から取り込まれた場合に問題となります。その後、肺から血管に入り血流によって移動し、骨や肝臓に沈着します。プルトニウムはこうした器官内で α 線を出すため、肺がん・白血病・骨腫瘍・肝がんを引き起こす可能性があります。

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 (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告されました。

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。

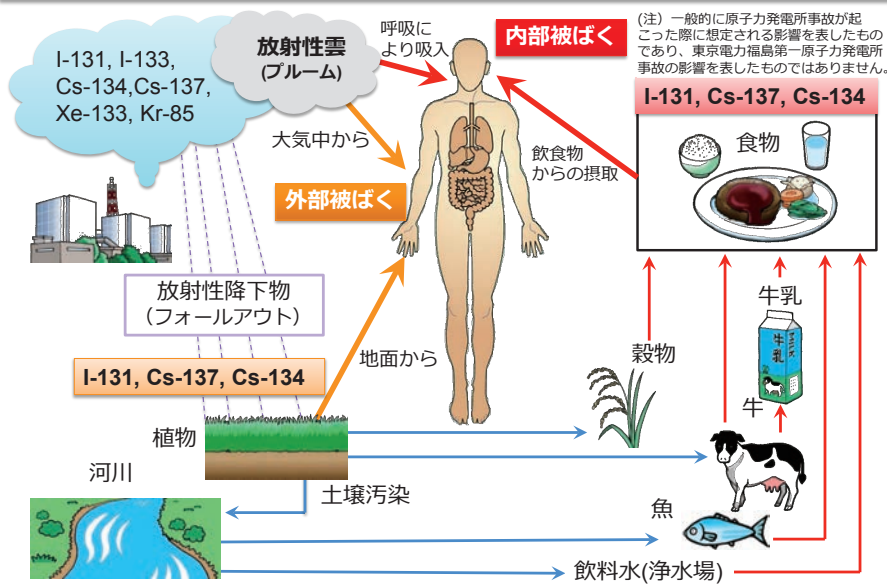
東京電力福島第一原子力発電所事故はその放射性物質の放出量から最も深刻な事故であることを示すレベル7と判断されています。

(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

原子力災害 原子炉事故による影響



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」）。

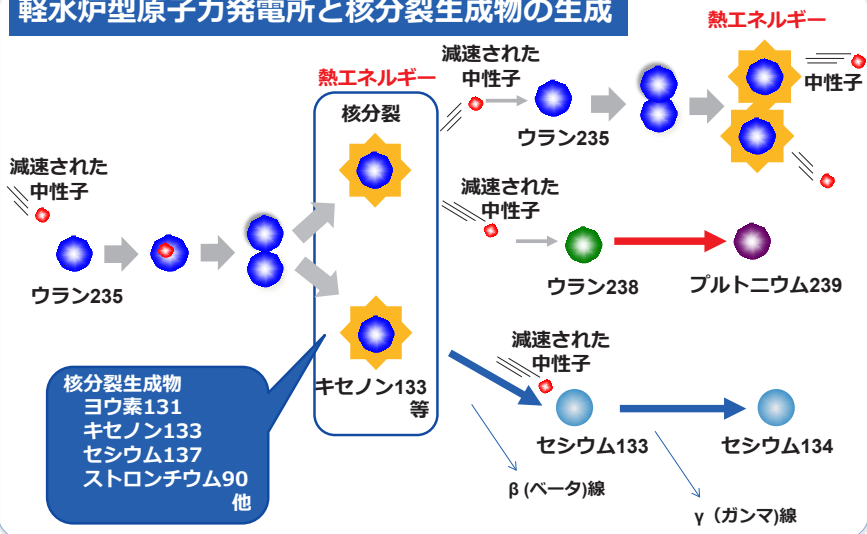
また、放射性雲の通過中の放射性物質を直接吸入すること及び放射性物質の沈着により汚染した飲料水や食物を摂取することによっても放射性物質を体内に取り込み、内部被ばくを受けることになります。

（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になります。

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。そうすると甲状腺は、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。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

ベクレル (Bq)

放射能の量を表す単位

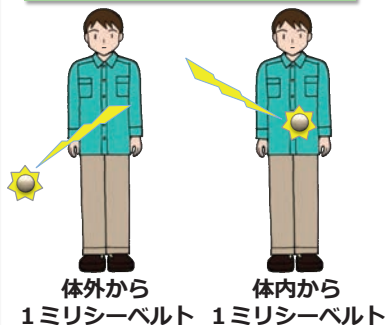
1 秒間に 1 個原子核が変化 =
1 ベクレル (Bq)

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



人体影響の大きさは同じ程度

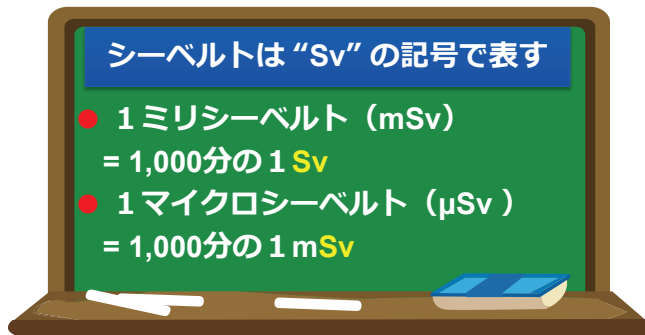
放射線の単位のうち、最もよく見聞きするものに、ベクレルとシーベルトがあります。ベクレルは放射能の単位で、放射線を出す側に着目したものです。土や食品、水道水等に含まれる放射性物質の量を表すときに使われ、ベクレルで表した数値が大きいほど、そこからたくさんの放射線が出ていることを意味します。一方、シーベルトは人が受ける被ばく線量の単位で、放射線を受ける側、すなわち人体に対して用いられます。シーベルトで表した数値が大きいほど、人体が受ける放射線の影響が大きいことを意味します（上巻 P39、「線量概念：物理量、防護量、実用量」）。

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れば、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

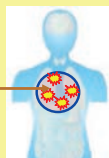
ベクレル
(Bq)

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

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当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。

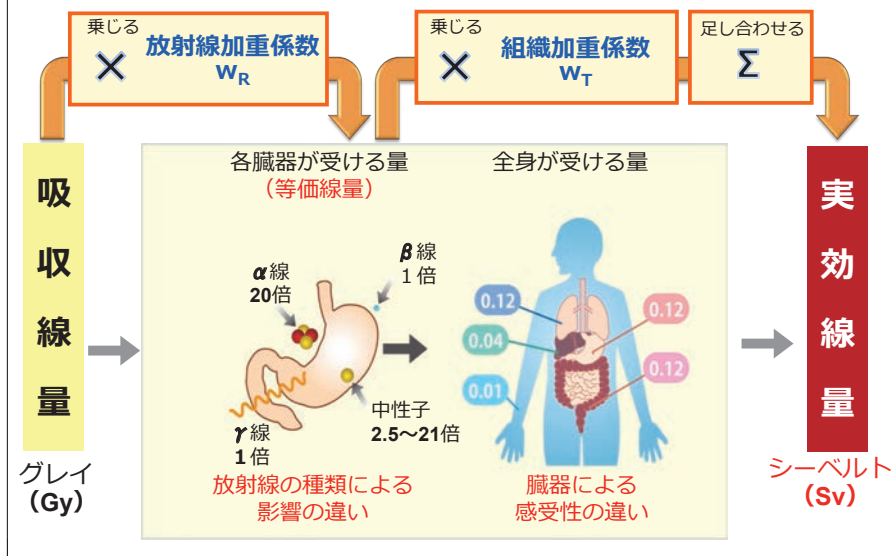
本資料への収録日：平成25年3月31日

改訂日：平成27年3月31日

グレイからシーベルトへの換算

2.3

放射線の単位



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_r) 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

放射線の単位 様々な係数

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



$$\begin{aligned} \text{実効線量} &= \\ &+ 0.12 \times 1 (\text{ミリシーベルト}) \text{ 骨髄} \\ &+ 0.12 \times 1 (\text{ミリシーベルト}) \text{ 結腸} \\ &+ 0.12 \times 1 (\text{ミリシーベルト}) \text{ 肺} \\ &+ 0.12 \times 1 (\text{ミリシーベルト}) \text{ 胃} \\ &\vdots \\ &+ 0.01 \times 1 (\text{ミリシーベルト}) \text{ 皮膚} \\ &= 1.00 \times 1 (\text{ミリシーベルト}) \\ &= \mathbf{1 \text{ ミリシーベルト (mSv)}} \end{aligned}$$

頭部だけに均等に γ 線が
1ミリグレイ (mGy)
当たった場合



$$\begin{aligned} \text{実効線量} &= \\ &+ 0.04 \times 1 (\text{ミリシーベルト}) \text{ 甲状腺} \\ &+ 0.01 \times 1 (\text{ミリシーベルト}) \text{ 脳} \\ &+ 0.01 \times 1 (\text{ミリシーベルト}) \text{ 唾液腺} \\ &+ 0.12 \times 1 (\text{ミリシーベルト}) \times 0.1 \text{ 骨髄 (10\%)} \\ &+ 0.01 \times 1 (\text{ミリシーベルト}) \times 0.15 \text{ 皮膚 (15\%)} \\ &\vdots \\ &= \mathbf{0.07 \text{ ミリシーベルト (mSv)}} \end{aligned}$$

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。

(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：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、1 cm の深さにおける線量（1 cm 線量当量）で表されます。臓器の多くは人体の表面から 1 cm 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付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。

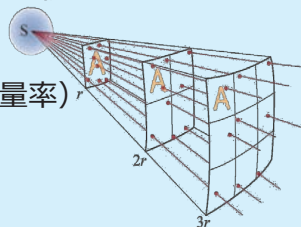
本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

- 1) **距離** : 線量率は距離の2乗に反比例

$$I = \frac{k}{r^2}$$

I : 放射線の強さ (線量率)
 r : 距離
 k : 定数



- 2) **時間** : 線量率が同じなら、浴びた時間に比例
 (総) 線量 (マイクロシーベルト) =
 線量率 (マイクロシーベルト/時) × 時間

同じ量だけ放射性物質があったとしても、放射線の強さは、放射線を出しているものから近ければ強く、遠ければ弱くなります。放射性物質が1箇所にあるのであれば、距離の2乗に反比例して放射線量は弱くなります。

外部被ばく線量を計算するときには、放射能の強さを表すベクレルからではなく、人体が受けた放射線の量 (グレイあるいはシーベルト) から計算します。

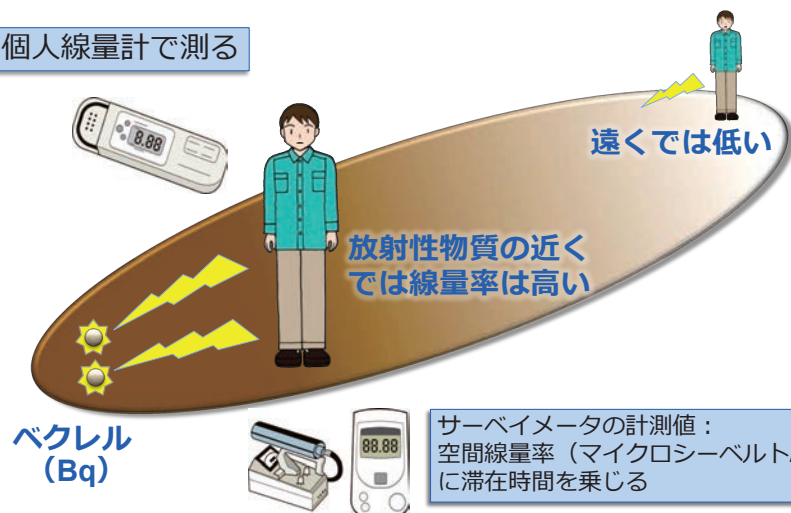
線量率が一定であるならば、その線量率に放射線を浴びていた時間を乗じることで被ばく量を計算することができます。

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

外部被ばく（測定）

個人線量計で測る



外部被ばくによる線量を計測するには2つの方法があります。

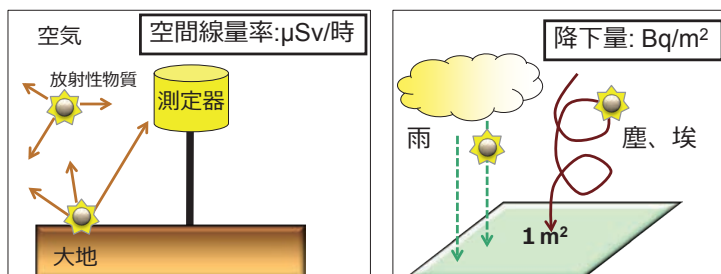
一つ目は計測器で作業する場の空間放射線量率を計測する方法です。空間線量率は、その場に人がいたらどのくらい γ （ガンマ）線による被ばくを受けるかを測った値です。体の外からの α （アルファ）線や β （ベータ）線は体内にまでは届きませんので（上巻 P22、「透過力と人体での影響範囲」）、外部被ばくの線量測定としては γ 線を測定します。最近の計測機器は、1時間当たりのマイクロシーベルトで表示されるものが多いので、この測定値にその場にいた時間乗じて、被ばく量を計算します。ただし NaI（TI）シンチレーション式サーベイメータのように適切な性能を持ち、校正されている機器を用いるようにします。

もう一つの方法は、個人線量計を装着して計測する方法です。個人線量計では、長時間に受ける放射線の積算量の計測が可能です。

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

- **空間線量率**は空間の γ （ガンマ）線を測定。
1時間当たりのマイクロシーベルト($\mu\text{Sv}/\text{時}$)で表示。
- **降下量**は、一定期間の間に単位面積当たりに沈着した(あるいは降下した)放射性物質の量。
例えばベクレル／平方メートル(Bq/m^2)



空間線量率というのは、空間中の γ （ガンマ）線量を測定したもので、1時間当たりのマイクロシーベルトで表示されています。空気中に漂っている放射性物質からの γ 線も検出していますし、大地に落ちた放射性物質からの γ 線も検出しています。また計測しているのは事故由来の放射線ではありません。大地に含まれている自然由来の放射性物質からの γ 線や宇宙からの γ 線も含まれた値です。

空間線量率は、人間がその場所に1時間立っていた場合に、 γ 線をどれくらい被ばくするかを表しています。通常、測定器は地上1 mくらいの高さに置かれることが多いのですが、これは大人の場合この高さに重要な臓器があるからです。

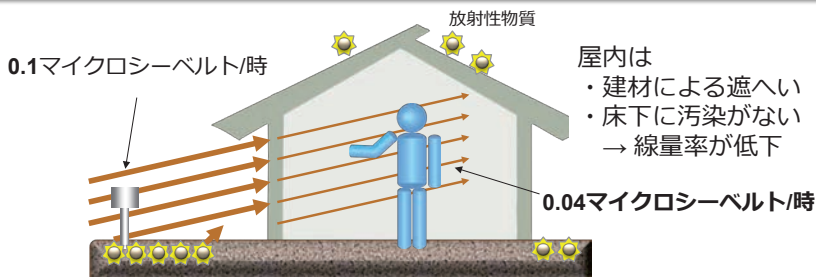
降下物中の放射エネルギーは、単位面積当たりに落ちてきた放射性物質の量で表します。

放射性物質の種類ごとに、1日当たりあるいは1か月当たりといった期間ごとの数値で示され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

遮へいと低減係数



場所	低減係数※
木造家屋（1～2階建て）	0.4
ブロックあるいはレンガ家屋（1～2階建て）	0.2
各階450～900m ² の建物（3～4階建て）の1～2階	0.05
各階900m ² 以上の建物（多層）の上層	0.01

※建物から十分離れた屋外での線量を1としたときの、建物内の線量の比

出典：原子力安全委員会「原子力施設等の防災対策について」（昭和55年6月（平成22年8月一部改訂））

空間線量率を測定する適切なサーベイメータ（上巻P43、「外部被ばく測定用の機器」）がない場合は、国や地方自治体等が発表している空間線量率を基に計算することができます。屋外で受ける放射線量は、近くで計測された実測値を使います。屋内での線量率を求める場合は、建築物による遮へいや床下に汚染がないことを考慮し、近くの屋外線量率の値に低減係数を乗じて、屋内の空間線量率を推定します。

低減係数は建築の種類によって違います。例えば、木造家屋は外からの放射線の約6割を低減します。ブロックやレンガの家屋、鉄筋コンクリート家屋では、より遮へい効果が高まり、木造家屋に比べ放射線量は低くなります。また放射性物質が主に土壌表面上にある場合は、高層階になるに従い、土壌からの距離が離れるので、放射線量も少なくなります。

本資料への収録日：平成25年3月31日

改訂日：平成27年3月31日

平常時の値を差し引く事が重要

線量率（事故による上昇分）：
マイクロシーベルト/時
 $0.24 - 0.04 \text{ (仮)} = 0.2$

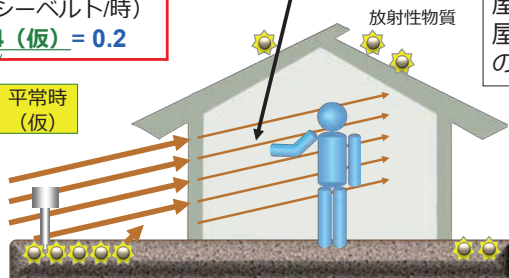
実測値
(例)

平常時
(仮)

低減係数 0.4

放射性物質

滞在時間
屋外 8時間
屋内 16時間
の場合



事故由来

$$\begin{aligned} &0.2 \times 8 \text{ 時間 (屋外の方)} \\ &+ \\ &0.2 \times 0.4 \times 16 \text{ 時間 (屋内の方)} \\ &\text{———} \\ &\text{(マイクロシーベルト/日)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\times 365 \text{ 日} \div 1,100 \text{ マイクロシーベルト/年} \\ &\div 1.1 \text{ ミリシーベルト/年} \end{aligned}$$

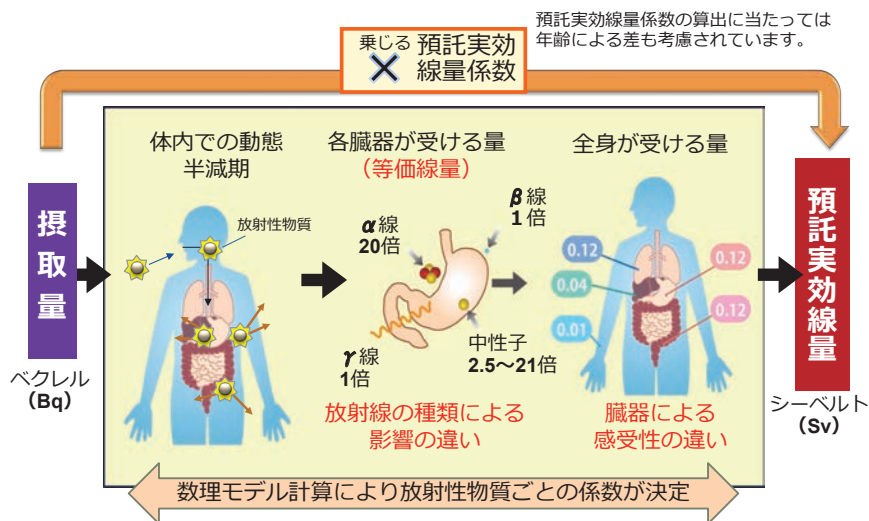
サーベイメータで計測される空間線量率には、自然界からのγ（ガンマ）線も含まれています。もし東京電力福島第一原子力発電所事故による放射線量のみを算出する場合は、今実測される空間線量率から、東京電力福島第一原子力発電所事故前の計測値（バックグラウンド値）を引き、事故による上昇分を求めます。事故前の値は、ウェブサイト「日本の環境放射能と放射線（<http://www.kankyo-hoshano.go.jp>）」で調べることができます。

こうして屋外と屋内の空間線量率が分かれば、それぞれに、屋外で過ごす時間や屋内で過ごす時間を乗じて、1日分の被ばく線量や1年分の被ばく線量を求めることができます。

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

内部被ばく線量の算出



2.4

線量測定と計算

内部被ばくの実効線量を求める方法も、基本は外部被ばくの場合と同じです。ただし臓器や組織の吸収線量の求め方が異なります。

放射性物質が体のどの部分に蓄積するのかが放射性物質ごとに異なります。また呼吸により呼吸器経由で放射性物質が体内に入った場合と、飲食物と一緒に消化管経由で体内に入った場合では、同じ放射性物質であっても体の中での代謝や蓄積といった挙動が違います。さらに大人か、子供か、赤ちゃんかによっても、放射性物質がどれだけ体の中にとどまっているかが違います。

こうした条件の違いごとに、数理モデル計算を行い、どのくらいの放射性物質を摂取したら、各臓器や組織がどれだけの吸収線量を受けるかを求めます。次に、外部被ばくの被ばく線量計算と同様に、放射線の種類や臓器による感受性の違いを考慮します。こうして算出した内部被ばくの被ばく線量を、預託実効線量（単位はシーベルト）と呼びます（上巻 P50、「預託実効線量」）。

実際には、摂取量（単位はベクレル）に預託実効線量係数を乗じることで、内部被ばく線量を求めることができます。預託実効線量係数は、放射性核種の種類や年齢ごとに細かく定められています。

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

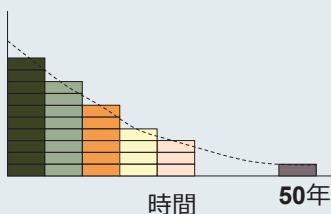
放射性物質を一回だけ摂取した場合に、それ以後の生涯にどれだけの放射線を被ばくすることになるかを推定した被ばく線量

内部被ばくの計算

将来にわたる線量を積算

- 公衆（大人）：摂取後50年間
- 子供：摂取後70歳まで

実効線量



実効線量

その年に受けたとみなす

預託実効線量
(Sv : シーベルト)

時間

放射性物質は、体内に摂取された後、一定期間体内にとどまります。その間、人体は放射線を受け続けることになります。そのため内部被ばくによる線量としては、1回に摂取した放射性物質の量から、将来にわたって受ける放射線の総量を考えます。これを預託線量（単位はシーベルト）といいます。

体内に取り込んだ放射性物質は、時間と共に体内から減少します。その原因の一つは放射性物質の壊変によるものです。もう一つは、尿や便等により排泄されることによるものです。体からの排泄の速度は、元素の種類やその化学形態、年齢によって異なります。預託線量はこのような違いを考慮して、ある放射性物質により人体が受ける放射線量の一生分を積算した量を、その年に受けたものとみなします。

特に実効線量に着目して一生分を積算した線量を「預託実効線量」と呼びます。このときの一生分とは、大人は50年、子供は70歳になるまでの年数です。放射性セシウムの場合、体外へ排出される速度が早いことから（実効半減期がセシウム134で64日、セシウム137で70日（上巻P32、「原発事故由来の放射性物質」）、摂取後2～3年の間に、預託線量のほとんどの被ばくを受けるとしています。

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

預託実効線量係数（ $\mu\text{Sv/Bq}$ ）（経口摂取の場合）

	ヨウ素 131	セシウム 134	セシウム 137	ストロンチウム 90	プルトニウム 239
3か月児	0.48	0.026	0.011	0.13	5.2
1歳児	0.18	0.016	0.012	0.073	0.42
5歳児	0.10	0.013	0.0096	0.047	0.33
10歳児	0.052	0.014	0.01	0.06	0.27
15歳児	0.034	0.019	0.013	0.08	0.24
成人	0.022	0.019	0.013	0.028	0.25

$\mu\text{Sv/Bq}$ ：マイクロシーベルト/ベクレル

出典：国際放射線防護委員会（ICRP），ICRP Publication 119，Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60，2012

内部被ばくの線量評価では、核種・化学形ごとに摂取量を推定し、それに線量係数を乗じて線量を計算します。線量係数とは、1ベクレルを摂取したときの預託等価線量又は預託実効線量のことで、国際放射線防護委員会（ICRP）によって、核種、化学形、摂取経路（経口あるいは吸入）、年齢ごとに具体的な値が与えられています。

預託の期間、すなわち線量の積算期間は、成人で50年、子供では摂取した年齢から70歳までとなっています。

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

食品からの被ばく線量（計算例）

（例）成人がセシウム137を100Bq/kg含む食品を0.5kg摂取

$$100 \text{ (Bq/kg)} \times 0.5 \text{ (kg)} \times 0.013 \text{ (}\mu\text{Sv/Bq)} = 0.65 \text{ }\mu\text{Sv}$$

$$= 0.00065 \text{ mSv}$$

実効線量係数（ $\mu\text{Sv/Bq}$ ）

	ヨウ素131	セシウム137
3か月児	0.18	0.021
1歳児	0.18	0.012
5歳児	0.10	0.0096
成人	0.022	0.013

Bq：ベクレル μSv ：マイクロシーベルト mSv：ミリシーベルト

出典：国際放射線防護委員会（ICRP）
Database of Dose Coefficients CD-ROM, 1998

例えば大人がセシウム 137 を含んだ飲食物を摂取した場合の線量を計算してみます。

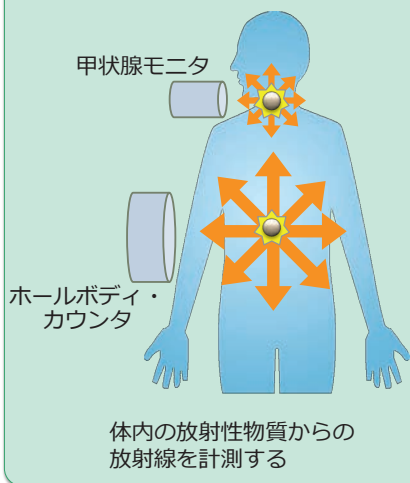
1 kg 当たり 100 ベクレルのセシウム 137 を含んだ食品を 0.5kg 食べたとします。実際に口に入ったセシウム 137 の量は、50 ベクレルになります。この量に実効線量係数を乗じることで、預託実効線量（上巻 P50、「預託実効線量」）を求めることができます。

実効線量係数は、放射性物質の種類ごと、経路ごと（吸入摂取か経口摂取か）、年齢ごとによって、細かく定められています。

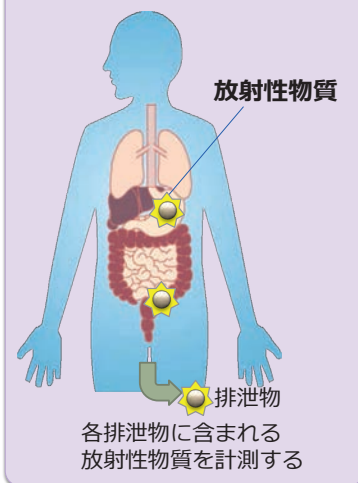
本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

体外測定法



バイオアッセイ

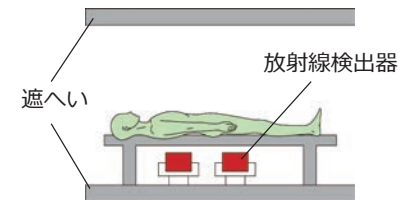



内部被ばく線量の計算に必要な摂取量の推定には、体の中から出てくる γ （ガンマ）線を直接測る体外計測法と、尿や便の中にある放射性物質の量を測るバイオアッセイを用いる方法があります。

これらの方法で得られた結果から、放射性核種の摂取時期、化学形、摂取経路（吸入、経口）等を勘案し、どのくらいの割合の放射性物質が体に残っているか、排泄物中にあるかを数理モデル（上巻 P49、「内部被ばく線量の算出」）から計算し、摂取量を求めます。

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

体外計測法	バイオアッセイ
人体を直接測定	間接測定
直接測定のため測定時間を拘束される	試料（尿、便等）を提供
主に γ 線を放出する物質が対象	全部の放射性物質が測定可
装置内での計測時間は短い	化学分析に時間が掛かる
線量評価の精度が高い	線量評価結果の誤差が大きい
	

体外計測法では、測定時間が長ければ長いほど正確な値が得られます。しかし体外計測器は、人体からの放射線と同時に、環境からの放射線も計測するので、空間線量率が高い場所で測定する際には、環境からの放射線の遮へいを十分に考慮する必要があります。また γ （ガンマ）線を出さない放射性物質については計測することはできません。

バイオアッセイでは、あらゆる放射性物質を測定することができますが、1回の試料採取では正確な数値を得ることができず、数日間分の試料（尿・便等）をためる必要があります。放射性物質の排出量が、個人によって、また体調や飲食量等でも変動することを考えると、体外計測法よりも誤差は大きくなると考えられます。

どちらの方法も、検出された放射性物質をいつ取り込んだか判断が難しい場合には、割り出された被ばく量の誤差が大きくなります。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日



全身立位型
ホールボディ・
カウンタ



全身臥位型
ホールボディ・
カウンタ

全身いす型
ホールボディ・
カウンタ



甲状腺モニタ



○ 検出器

2.4

線量測定と計算

体内の放射能を直接測定するためには、全身から出てくる γ （ガンマ）線を測定するホールボディ・カウンタという機器を使います。ホールボディ・カウンタには、立って測る、寝て測る、座って測るタイプがあります。

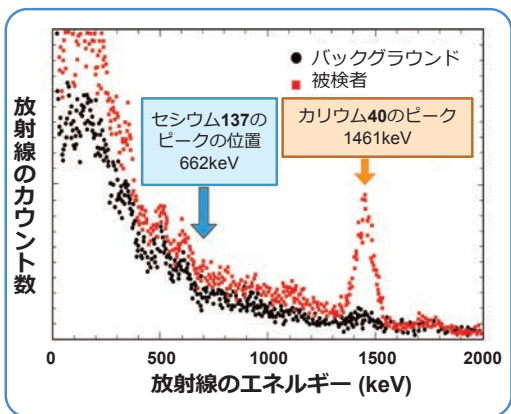
放射性セシウムは、体の至る所に分布しますので、体内量の計測にはホールボディ・カウンタが使われます。一方、放射性ヨウ素による内部被ばくが疑われる場合には、甲状腺モニタが用いられます。これは、ヨウ素は甲状腺に蓄積するため、首の甲状腺のある部分に放射線検出器を当てて、そこから出てくる γ 線を測るものです。

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



ホールボディ・カウンタ



体内から出てくる放射線を測定 ⇒ 体内の放射能を物質別に求める

体内にあるカリウムの量は体重 **1 kg** 当たり **2 g** 程度、
そのうち約**0.01%**が放射性のカリウム40

keV : キロ電子ボルト

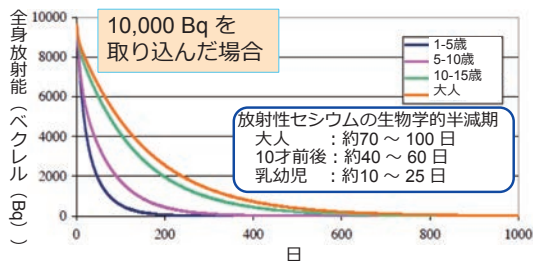
ホールボディ・カウンタで体内から出てくる放射線を測定すると、核種ごとに放射能を定量評価することができます。

グラフの黒い●は誰もベッドに乗らず空の状態（バックグラウンド）で測定した値です。人が寝て測定すると、赤い■のように放射線のピークが見えます。γ（ガンマ）線は放射性物質ごとに固有のエネルギーを持っているので、特定のエネルギー、例えば、放射性カリウム（カリウム 40）のγ線のエネルギーである 1,461 キロ電子ボルト（keV）に着目すると、体内の放射性カリウムからのγ線であることが分かります。なお、セシウム 137 のγ線エネルギーは 662 キロ電子ボルト（keV）です。

カリウムは生物に必須な元素ですが、全体のカリウムのうちの約 0.01%が放射性のカリウムです。放射性カリウムは主に細胞の水分の中に含まれていて、筋肉中には存在しますが、水分をほとんど持たない脂肪細胞にはほとんど含まれていません（上巻 P8、「自然由来・人工由来」）。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

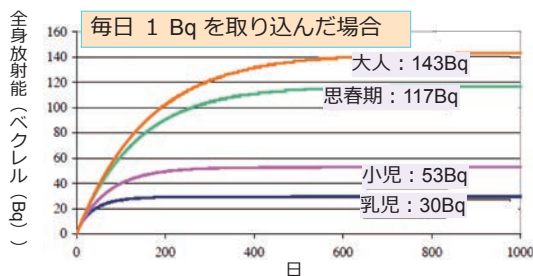
改訂日：平成 27 年 3 月 31 日



若年のほうが代謝が早い

初期被ばく量推定は

- ・大人でも1年程度が限界
- ・子供は半年程度まで



若年のほうが滞留量が少ない

経口追加被ばくの推定は

- ・子供では有限値が出にくい
- ・微量な摂取を検出するためには大人の検査を行うほうが合理的

出典：宮崎、日本放射線安全管理学会シンポジウム（平成24年6月29日）発表資料より改変

ホールボディ・カウンタでは、測定日当日の体内放射エネルギーを測ることが可能ですが、他の測定機器同様、機械の性能や測定時間によって検出限界が決まっています。

放射性セシウムの生物学的半減期（上巻 P11、「半減期と放射能の減衰」）は成人で 70 ~ 100 日のため、初期被ばく量の推定は原発事故後 1 年程度が限界です。図に示されているように、体内に取り込まれたセシウムの放射能は、実効半減期により 1 年程度を過ぎると 0 ベクレルに近づいていくため、体内の放射能は以前の数値に戻っていきます。それ以降のホールボディ・カウンタ測定は、主に食品からの慢性被ばくを推定する目的で行われます（上巻 P56、「内部被ばく量の体外計測のデータ」）。

一方、子供は代謝が早いことから、微量な摂取では初期被ばく量の推定は半年程度、慢性的内部被ばくの推定も滞留量が少ないため検出限界以下となることが多くなります。このような場合、預託実効線量係数が、代謝の早い子供と遅い大人ではあまり変わらないことを踏まえ、大人を検査して被ばく量推定を行うほうが合理的と考えられています。

体内放射能の測定結果から預託実効線量を予測するためには、急性か慢性か、吸入か経口か、いつ摂取したのか等を踏まえて、適切な仮定とモデルを選ぶことが必要となります。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

自然放射線
(日本)宇宙から
0.3mSv食物から
0.99mSv空気中の
ラドンから
0.48mSv大地から
0.33mSv

自然放射線による年間線量（日本平均）2.1mSv
 自然放射線による年間線量（世界平均）2.4mSv



東京～ニューヨーク
 航空機旅行（往復）
 0.11～
 0.16mSv

人工
放射線

胸部CT検査
 （1回）
 2.4～
 12.9mSv



胸部X線検査（1回）
 0.06mSv

mSv：ミリシーベルト

出典：国連科学委員会（UNSCEAR）2008年報告、
 原子力安全研究協会「新生活環境放射線（平成23年）」、ICRP103 他より作成

日常生活をする中で、私たちは知らず知らずのうちに放射線を受けています。

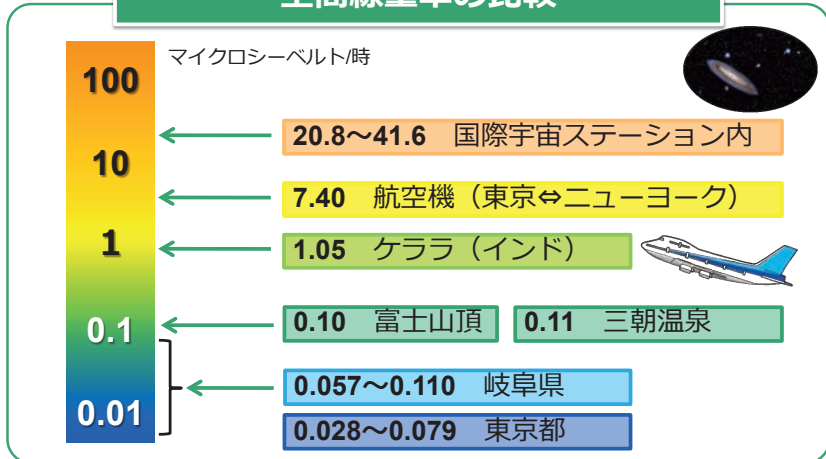
宇宙から、そして大地から受ける自然放射線による外部被ばくや、食物や空気中のラドン等、自然由来の放射性物質から受ける内部被ばくは、合計すると年間で世界平均では2.4ミリシーベルト、日本平均では2.1ミリシーベルトになります（上巻P60、「年間当たりの被ばく線量の比較」）。

また日本では放射線検査等で受ける医療被ばくの割合が大きいことが知られています。これは一回の検査当たりの被ばく量が多いCT検査が広く普及していることや胃がん検診で上部消化管検査が行われているためと考えられています。

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

空間線量率の比較



出典：JAXA宇宙ステーションきぼう広報・情報センターサイト「放射線被ばく管理」2013、放射線医学総合研究所ウェブサイト「航路線量計算システム（JISCARD）」、放射線医学総合研究所ウェブサイト「環境中の空間ガンマ線線量調査」、古野、岡山大学温泉研究所報告、51号、P25-33、1981、原子力規制委員会放射線モニタリング情報（モニタリングポストの過去の平常値の範囲）より作成

宇宙空間や航空機内では、銀河や太陽からの宇宙線により、空間線量率が高くなります。また富士山のような標高が高い所でも、標高の低い所に比べると宇宙線の影響を強く受けるので、空間線量率が高くなります。標高の低い所では、大気に含まれる酸素原子や窒素原子と宇宙線（放射線）が相互作用を起こしてエネルギーを失い、地表に到達する放射線の量が少なくなるため、空間線量率は低くなります。

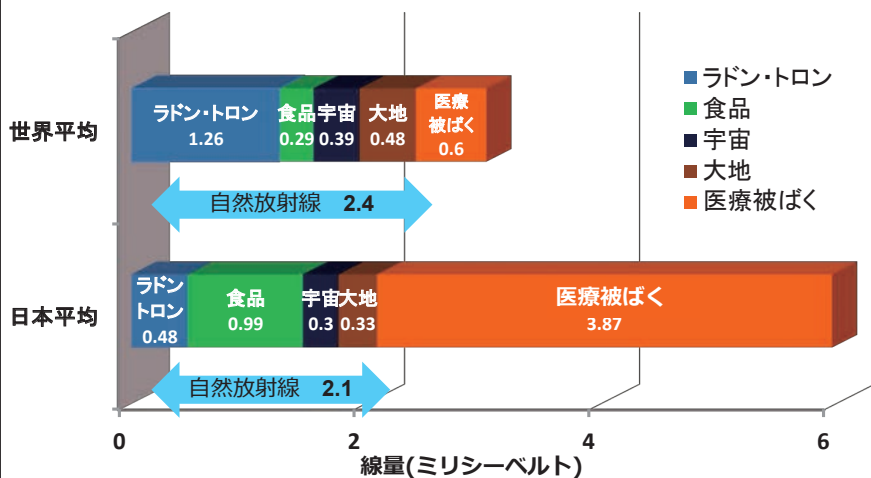
人間の生活空間のほとんどの場所の空間線量率は、1時間に0.01から1マイクロシーベルトの範囲ですが、中には、土壤にラジウムやトリウムといった放射性物質を多く含むため、自然放射線レベルが高い地域があります。こうした地域を高自然放射線地域と呼びます（上巻 P62、「大地の放射線（世界）」）。

日本には高自然放射線地域と呼ばれる場所はありませんが、ラドン温泉で有名な三朝温泉のように、土壤にラジウムを多く含んでいる場所では、若干空間線量率が高くなっています。逆に、関東ローマ層で覆われた関東平野では、大地からの放射線が遮へいされ、空間線量率は低い傾向にあります（上巻 P63、「大地の放射線（日本）」）。

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

日常生活における被ばく（年間）



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」（平成23年）より作成

平成 23 年 12 月に、（公財）原子力安全研究協会は 20 年ぶりに、日本人の国民線量を発表しました。調査の結果、1 年間に受ける日本人の平均被ばく線量は 5.97 ミリシーベルトであり、そのうち 2.1 ミリシーベルトが自然放射線からの被ばくであると推定されています。

自然放射線の内訳を世界平均と比較すると、ラドン 222 及びラドン 220（トロン）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。今回の取りまとめにより、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 0.80 ミリシーベルトと世界平均と比較して多いことが明らかにされました（上巻 P61、「自然からの被ばく線量の内訳（日本人）」）。

放射線検査による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。

なお、上記の国民線量の算定では、東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所事故の影響は考慮されていません。今後は、これまでの平常時の被ばく線量に、東京電力福島第一原子力発電所事故による被ばく線量が加算されることになると考えられます。

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

身の回りの放射線

自然からの被ばく線量の内訳（日本人）

被ばくの種類	線源の内訳	実効線量 (ミリヘルト/年)
外部被ばく	宇宙線	0.3
	大地放射線	0.33
内部被ばく (吸入摂取)	ラドン222（屋内、屋外）	0.37
	ラドン220（トロン）（屋内、屋外）	0.09
	喫煙（鉛210、ポロニウム210等）	0.01
	その他（ウラン等）	0.006
内部被ばく (経口摂取)	主に鉛210、ポロニウム210	0.80
	トリチウム	0.0000082
	炭素14	0.01
	カリウム40	0.18
合 計		2.1

出典：（公財）原子力安全研究協会「生活環境放射線」（平成23年）

この表では、鉛 210 とポロニウム 210 による経口摂取が日本人の内部被ばくの大きな割合を占めることを示しています。鉛 210 とポロニウム 210 は、大気中のラドン 222 が次の過程を経て生成されます。それらが地表に沈着あるいは河川や海洋に沈降して食物を通じて人間の体内に取り込まれることになります。

ラドン 222（半減期約 3.8 日）→ ポロニウム 218（半減期約 3 分）→ 鉛 214（半減期約 27 分）→ ビスマス 214（半減期約 20 分）→ ポロニウム 214（半減期約 1.6×10^{-4} 秒）→ 鉛 210（半減期約 22 年）→ ビスマス 210（半減期約 5 日）→ ポロニウム 210（半減期約 138 日）

日本人が欧米諸国に比べて食品からの被ばく線量が高い理由としては、魚介類を多く摂取する日本人の食生活が関係しています。魚介類にはポロニウム 210 が多く含まれているため、その分、実効線量が大きくなっています。

一方、日本人でラドン 222 及びラドン 220（トロン）による被ばくが少ない理由としては、日本家屋は通気性が良く、地中から屋内に侵入したラドン 222 及びラドン 220（トロン）が速やかに屋外に拡散するためと考えられています。

ラドン 222 及びラドン 220（トロン）の吸入摂取による内部被ばくについては上巻 P65、「ラドン及びトロンの吸入における内部被ばく」で説明します。

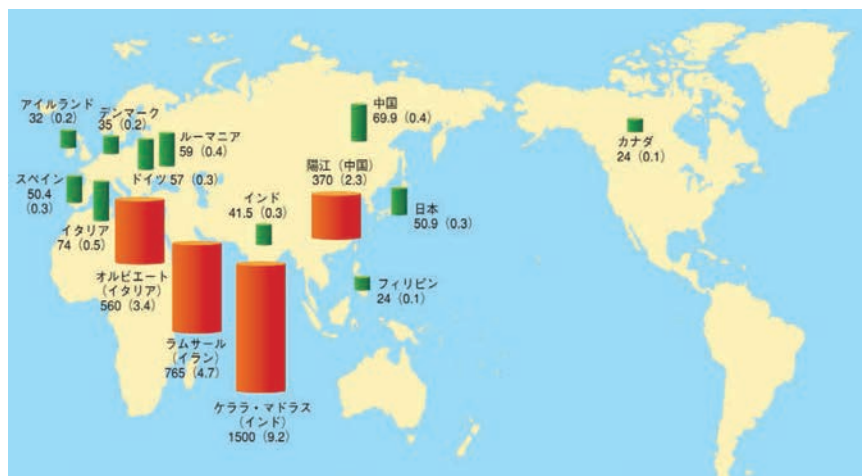
本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

大地の放射線（世界）

ナノグレイ/時（ミリシーベルト/年）

実効線量への換算には0.7シーベルト/グレイを使用



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「生活環境放射線」（平成23年）より作成

世界には、中国の陽江（ヤンジャン）、インドのケララ、イランのラムサル等、日本より2倍から10倍程度自然放射線が高い地域があります。こうした地域で自然放射線レベルが高い原因は、ラジウムやトリウム、ウラン等の放射性物質が土壤中に多く含まれることが挙げられます。

これまで高自然放射線地域として有名であったブラジルのガラパリは都市化によるアスファルト舗装の結果、空間線量率が減少したと報告されています。

中国やインドにおける疫学調査等から、これまでのところ、これらの地域では、がんの死亡率や発症率の顕著な増加は報告されていません（上巻 P106、「低線量率長期被ばくの影響」）。ラムサルでは、がんリスクに関する解析が現在進められています。

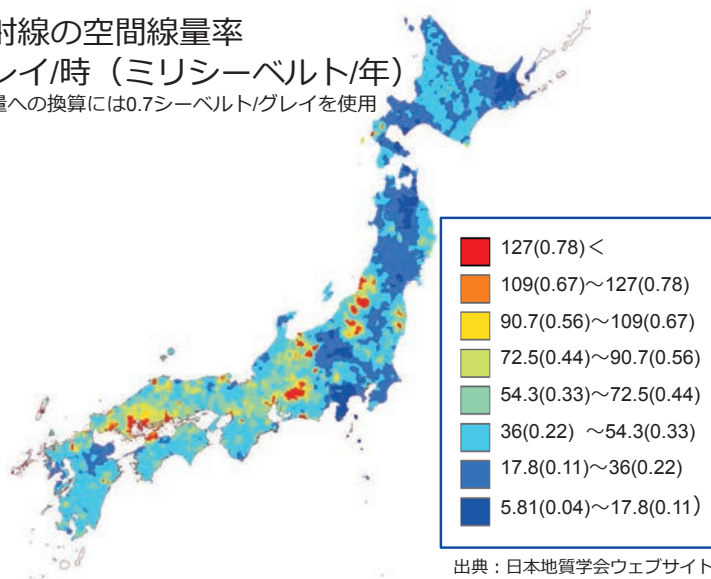
本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

自然放射線の空間線量率

ナノグレイ/時（ミリシーベルト/年）

・実効線量への換算には0.7シーベルト/グレイを使用



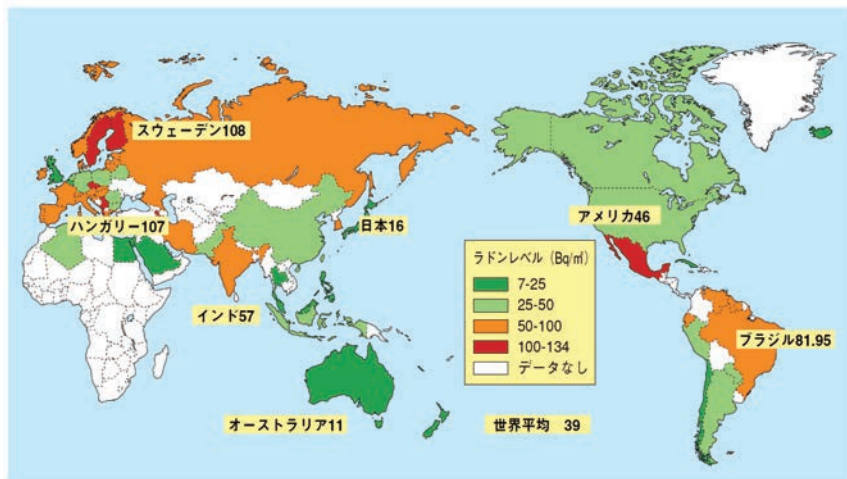
出典：日本地質学会ウェブサイトより

日本国内でも、大地からの放射線量が高い所と低い所があります。県単位で比較すると空間線量率は、最も高い岐阜と最も低い神奈川では年間 0.4 ミリシーベルトの差があるといわれています。

関東ローム層が大地からの放射線を遮へいする関東平野では、概して大地からの放射線量は少なくなっています。一方、花崗岩には、ウラン、トリウム、カリウム等の放射性核種が比較的多く含まれていることから、花崗岩が直接地表に露出している場所が多い西日本では、東日本より 1.5 倍ほど大地からの放射線量が高い傾向があります。

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

屋内ラドンからの被ばくの地域差（算術平均Bq/m³）Bq/m³：ベクレル/立方メートル

出典：国連科学委員会(UNSCEAR) 報告書より

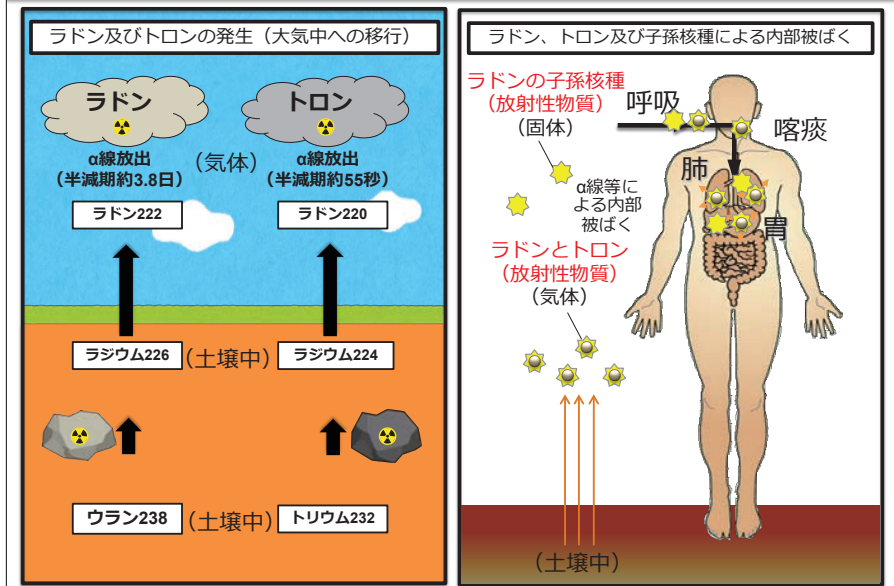
ラドンは、地下に広く存在するラジウムがアルファ壊変することにより発生する放射性的希ガスです。気体であることから、地中から出て家屋の中にも入り込みます（上巻 P65、「ラドン及びトリンの吸入による内部被ばく」）。

ヨーロッパのような石作りの家で生活する地域では、屋内ラドン濃度が高くなり、結果、被ばく線量が高くなる傾向にあります。

屋内ラドン濃度の世界平均は、1 立方メートル当たり 39 ベクレルですが、日本では 16 ベクレルです。屋内ラドンからの内部被ばく量にも、大きな地域差が存在しています。

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



ラドン（ラドン 222）及びトリウム（ラドン 220）はラジウム鉱石が放射性壊変をした際に発生する気体状の放射性物質で、呼吸によって人体に取り込まれます。ラドンは、ウランから始まる壊変（ウラン系列）で生成したラジウム 226 が壊変したもの、トリウムはトリウム 232 から始まる壊変（トリウム系列）で生成されたラジウム 224 が壊変したものです。半減期はそれぞれ、ラドンが約 3.8 日、トリウムは約 55 秒です。

また、天然に存在する放射線による被ばくの中では、ラドン及びその子孫核種による被ばくの割合が一番大きいといわれています。

ラドン及びトリウムは地面や建材等から空気中に拡散するため、私たちは普段の生活において日常的にラドン及びトリウムを吸い込んでいます。呼吸によって吸い込まれたラドンは肺に到達し、α（アルファ）線を放出するため、肺への内部被ばくが問題となります。体内に吸い込まれたラドンは更に壊変して子孫核種となり、肺や、喀痰と共に食道から消化器官に移行して内部被ばくをもたらします。

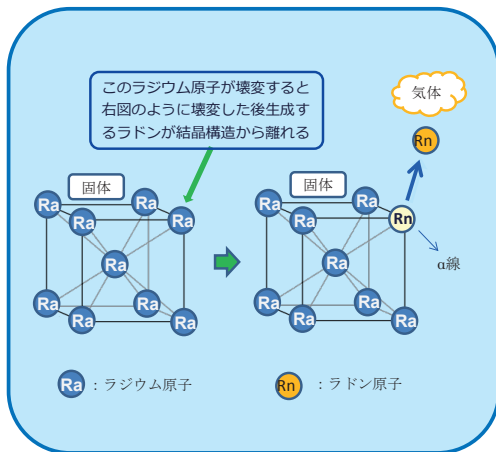
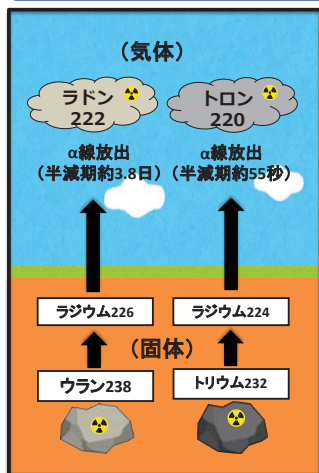
ラドンとその子孫核種では、内部被ばくの寄与はラドンからは小さく、ラドンから壊変した子孫核種のほうが大きくなります。これは、ラドンは気体であるため、吸い込んだとしてもすぐ呼吸と共に排出されやすいのに対し、ラドンの子孫核種である放射性のポロニウム 218 や更に壊変した鉛 214 等は固体状であるため、一旦吸い込むと、肺泡や気管支壁面に付着し、体外に排出されにくいことが原因です。

本資料への収録日：平成 27 年 3 月 31 日

改訂日：平成 28 年 3 月 31 日

身の回りの放射線 固体のラジウムから気体のラドンの生成

固体のラジウムがいきなり気体のラドンになるのは不思議な感じがするかもしれません。それは、原子核反応によって原子が変わるために起こることです。



放射性物質であるラジウムは常温常圧下で右図に示すような体心立方という結晶構造で固体として存在しています。

ラジウムが壊変すると、 α （アルファ）線を放出し、ラドンに変わります。

ラドンはヘリウムやネオンと同じように化学的には安定な元素です。化学的に安定しているということは、他の元素と反応して化合物を作ることがなく、ラドンのまま安定して存在するということを意味しています（不活性元素）。またラドンは、融点が約 -71°C 、沸点が約 -62°C であるため通常の状態では気体として存在します。そこで、結晶構造を作っていたラジウム原子が壊変でラドン原子になると結晶構造から離れて（結晶として結合・束縛されていた力がなくなるため）気体として存在することになります。さらに、ラドンは不活性な気体であるため、地中の物質と反応することなく地面に移行して大気に出てきます。

本資料への収録日：平成 28 年 3 月 31 日

体内、食品中の自然放射性物質

体内の放射性物質



体重60kgの場合

カリウム40	※ 1	4,000Bq
炭素14	※ 2	2,500Bq
ルビジウム87	※ 1	500Bq
鉛・ポロニウム	※ 3	20Bq

- ※ 1 地球起源の核種
 ※ 2 宇宙線起源のN-14由来の核種
 ※ 3 地球起源ウラン系列の核種

食品中の放射性物質（カリウム40）の濃度



米 30 牛乳 50 牛肉 100 魚 100 ドライミルク 200 (ほうれん草 200
 ポテトチップス 400 お茶 600 干しいたけ 700 干し昆布 2,000 (Bq/kg)

Bq : ベクレル Bq/kg : ベクレル/キログラム

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」(昭和58年)より作成

カリウムは生物に必要な元素であり、ほとんどの食品に含まれています。カリウムの0.01%は放射性カリウムであるため、ほとんどの食品には放射性カリウムが含まれています。放射性カリウムは β （ベータ）線と γ （ガンマ）線を放出するため、食品を摂取することで内部被ばくをすることになります（上巻 P70、「目で見える放射線」）。体内のカリウム濃度は一定になるように保たれているため、食品のカリウムからの被ばく量は体格によって決まり、食生活による影響は受けないと考えられています（上巻 P8、「自然由来・人工由来」）。

乾物は、製品の状態で分析された値であり、乾燥による濃度上昇の効果も含まれます。例えば、乾燥により重量が10分の1になれば、濃度は10倍になります。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

検査の種類	診断参考レベル*1	実際の被ばく線量*2	
		線量	線量の種類
一般撮影：胸部正面	0.3mGy	0.06mSv	実効線量
マンモグラフィ (平均乳腺線量)	2.4mGy	2 mGy程度	乳腺線量
透視	透視線量率 25mGy/分	手技により異なる	
歯科撮影	下顎 前歯部1.1mGy から 上顎 大臼歯部2.3mGy まで	2-10μSv程度	実効線量
X線CT検査	成人頭部単純ルーチン85mGy	5-30mSv程度	実効線量
	小児(6~10歳)頭部60mGy		
核医学検査	放射性医薬品ごとの値	0.5-15mSv程度	実効線量
PET検査	放射性医薬品ごとの値	2-20mSv程度	実効線量

*1：医療被ばく研究情報ネットワーク他「最新の国内実態調査結果に基づく診断参考レベル」平成27年6月7日(平成27年8月11日一部修正) (<http://www.radher.jp/J-RIME/>)

*2：放射線医学総合研究所「CT検査等医療被ばくの疑問に答える医療被ばくリスクとその防護についての考え方Q&A」(http://www.nirs.go.jp/rd/faq/medical.shtml#anchor_01)
上記資料*1及び*2に基づき作成

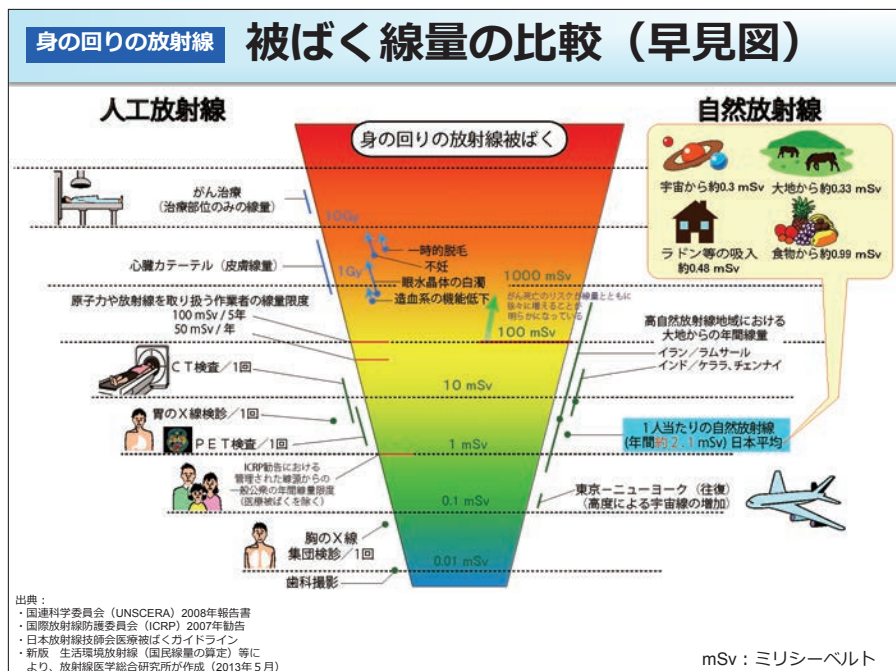
放射線検査による被ばく線量は、検査の種類によって異なります。歯科撮影のように局所的にごく僅かな被ばくをするものもありますし、X線CTや核医学検査等、被ばく線量が比較的高めの検査もあります。また、同一の検査の種類でも、線量は医療機関によって大きな違いがあり得ます。そこで、診断にとって線量が高すぎるかどうかを判断する目安として、診断参考レベルの利用が推奨されています。その医療機関の平均的な放射線量が診断参考レベルと大きくかけ離れている場合、検査における照射条件の見直しを国際放射線防護委員会(ICRP)は考慮すべきとしています。

欧米等の諸外国では、診断参考レベルを既に利用している国もあります。日本では日本診療放射線技師会が、診断参考レベル相当の値を独自に取りまとめ平成12年に「医療被ばくガイドライン(低減目標値)」を発行しました。その後、平成18年に、「医療被ばくガイドライン2006」として改訂されています。さらに、医療被ばく研究情報ネットワーク(J-RIME)*は、参加団体が実施した実態調査の結果に基づいて、日本で初めて診断参考レベルを策定しました。(医療放射線防護連絡協議会他「最新の国内実態調査結果に基づく診断参考レベル」平成27年6月7日(平成27年8月11日一部修正))

注*：医療被ばく研究情報ネットワーク(Japan Network for Research and Information on Medical Exposures: J-RIME)は、学協会等の協力を得て多くの専門家の力を結集し、医療被ばくに関する国内外の研究情報を収集・共有して、わが国の事情に合致した医療被ばくの防護体系を確立するための活動母体として平成22年に発足しました。J-RIMEの活動目的は、放射線診療における被ばく線量・リスク評価等医療被ばくに関するデータを収集し、我が国の医療被ばくの実態把握を行うと共に、国際的な動向を踏まえて医療被ばくの適切な防護体制を国内に構築する点にあります。(出典：国立研究開発法人 放射線医学総合研究所ウェブサイト、<http://www.nirs.go.jp/rd/structure/merp/j-rime.html>)

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

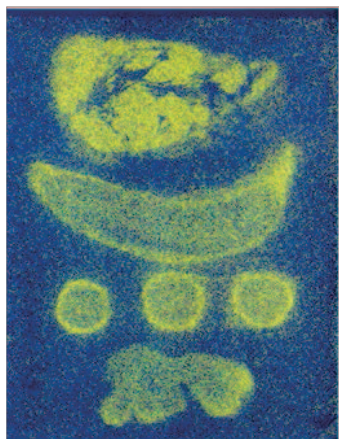


日常生活で受ける放射線の量を比較すると、放射線治療のような特殊なケースを除き、一回の行為当たりの線量や年間当たりの線量は、ミリシーベルト程度のものがほとんどです（上巻 P68、「診断で受ける放射線量」）。

なお、人への健康影響が確認されている被ばく線量は、100 ミリシーベルト以上であると考えられています。

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



食品からの放射線

- ・主にカリウム40の β （ベータ）線
- ・カリウム40の天然存在比※は**0.012%**
- ・カリウム40の半減期は **1.26×10^9 年**

※天然に存在するカリウムのうちカリウム40の割合

豚肉、バナナ（縦切り及び横切り）、
ショウガの放射能像

出典：森，応用物理，97，No.6，平成10年

食品に含まれるカリウム 40 からは β （ベータ）線と γ （ガンマ）線が放出されています。

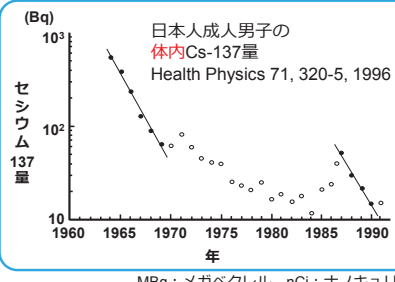
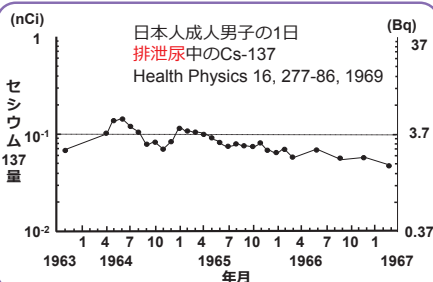
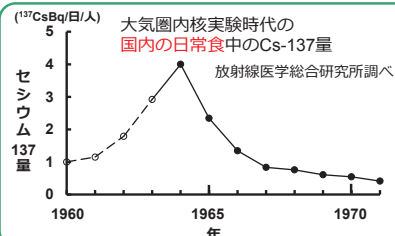
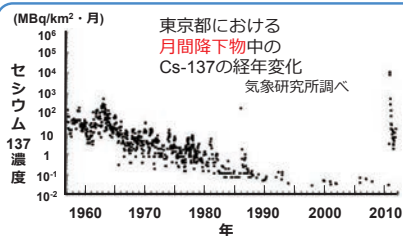
イメージングプレートを利用すると、カリウム 40 からの β 線によってカリウムの分布を調べることができます。

スライドの図は、豚肉、バナナ、ショウガをイメージングプレートの上に置き、外部からの放射線を遮へいた状態で 24 日間露出して得た画像です。豚肉の蛋白質の部分、バナナの皮の部分、ショウガの芽の部分等にかリウムは比較的多く含まれています。豚肉の脂肪の部分にはカリウムがほとんど含まれていないことが分かります。

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

体内放射能：体重60kg カリウム40：4,000 Bq (ベクレル) 炭素14：2,500 Bq 銩152：520 Bq



大気圏核実験が行われていた時代には大量の人工放射性核種が環境中に放出されました。これらの人工放射性核種は気流に運ばれて全世界を取り巻き、大気圏から地球表面に向けて徐々に降下してきました。このような放射性降下物をフォールアウトと呼びます。フォールアウトの量は大気圏核実験が禁止される直前の1963年が最も高く、それ以降減少傾向を示しています。

食品へのセシウム移行や消費等の時間的すれがあるため、日常食中の放射性セシウムの量は1964年で最大となり、その後1967年までに急速に低下し、それ以降は比較的緩慢に減少してきました。

日常食のセシウムの量と連動して、尿中や体内のセシウム137の量も1964年が最大でした。なお、チェルノブイリ原発事故による影響の結果、日本人の体内からもセシウムの増加が確認されています。

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