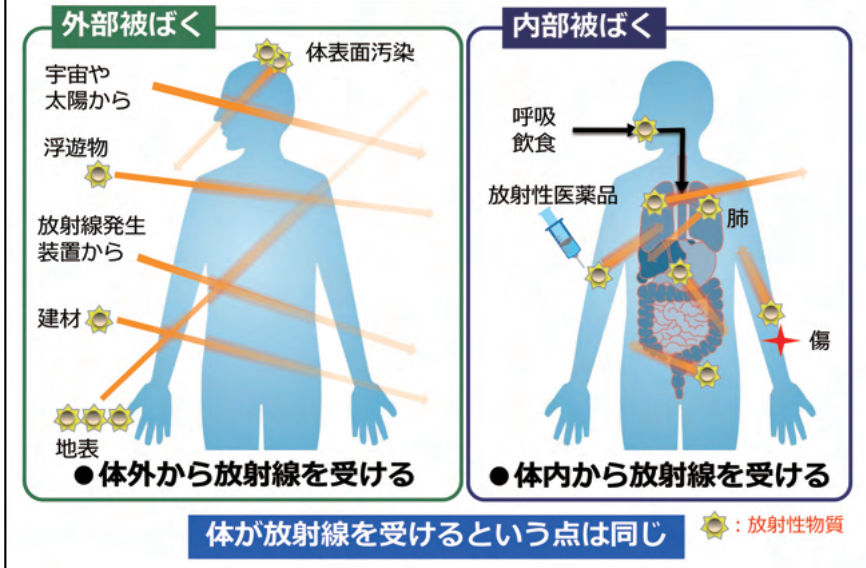


## 第2章

### 放射線による被ばく

放射線被ばくがどのようにして起こるのかや、被ばく線量の測定方法、計算方法について説明します。また、私たちの身の回りにある放射線や、原子力災害時の影響についても説明します。

放射線被ばくとはどのようなことか、どのような場面で、どの程度起こるのかといったことについての知識を身につけることができます。また、放射線量や被ばく線量といった数値について、どのような機器を用いて測定するのか、どのような計算方法で求められるのかの理解に役立てることができます。



放射線に身体がさらされることを「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。

地表にある放射性物質や空気中の放射性物質、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 P25 「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）、また、⑤診療のための放射性物質を含む放射性医薬品を体内に投与した場合に起こります。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、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となります（上巻 P26 「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 P24 「様々な被ばく形態」）。

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 P63 「自然・人工放射線からの被ばく線量」）。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019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。

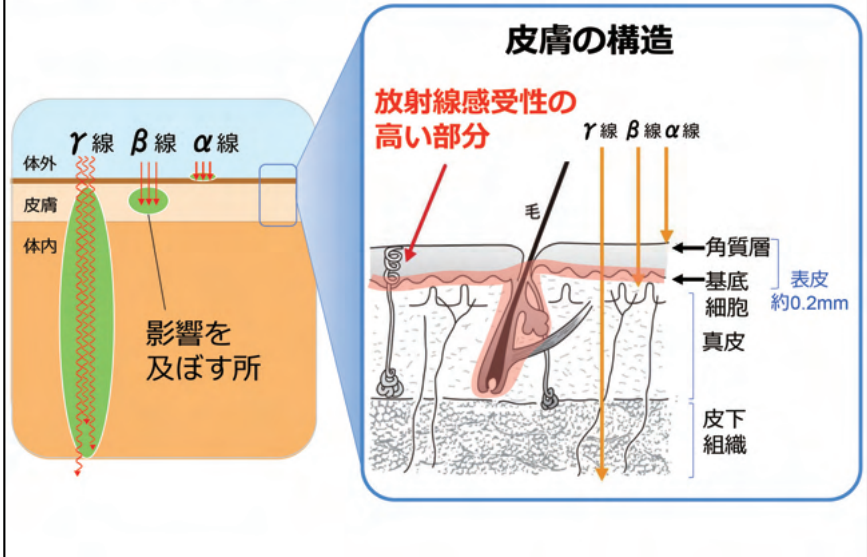
また、臓器によって放射線に対する感受性が異なります。このため、局所被ばくでは、被ばくした箇所に放射線感受性の高い臓器が含まれているかどうかで、影響の生じ方が大きく異なります。

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。

（関連ページ：上巻 P4「被ばくの種類」）

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019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。

（関連ページ：上巻 P21「放射線の体内での透過力」、上巻 P22「透過力と人体での影響範囲」）

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2021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

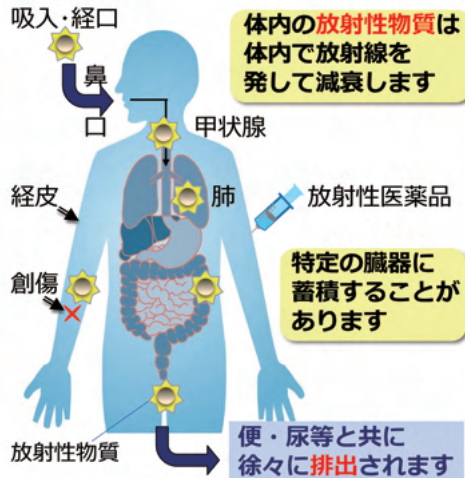
皮膚より吸収

## ④ 創傷侵入

傷口より侵入

## ⑤ 放射性医薬品の摂取

注射、経口投与（→①）  
ガスの吸入（→②）



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（経口摂取）、呼吸と共に取り込まれる（吸入摂取）、皮膚から吸収される（経皮摂取）、傷口から体内に入る（創傷侵入）と、注射等による放射線医薬品の摂取があります。

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。

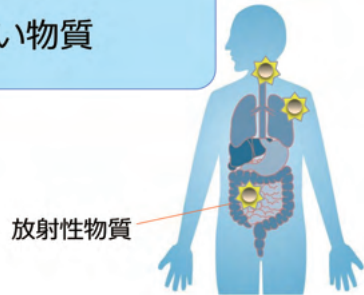
また、ヨウ素は甲状腺ホルモンの構成元素なので、放射性ヨウ素も安定ヨウ素も、甲状腺に蓄積する性質があります（上巻 P127「甲状腺について」）。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019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  $\alpha$ 線を出す物質 >  $\beta$ 線や $\gamma$ 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。

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

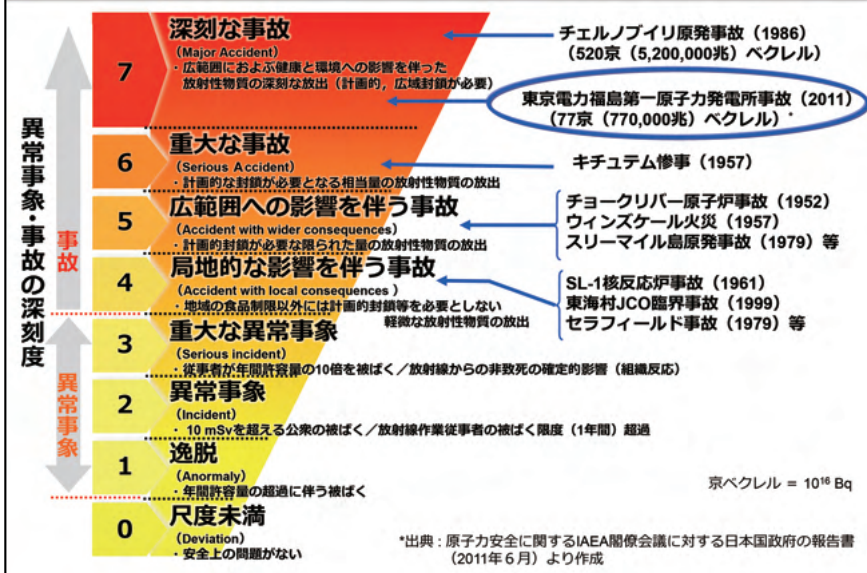
内部被ばくで特に問題になるのは、半減期が長く、 $\alpha$ （アルファ）線を出す放射性物質です。また、体内での挙動でいうと、取り込まれやすく排泄されにくい物質や、特定の組織に蓄積しやすい物質も、内部被ばくの線量が高くなるため問題になります。

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 $\alpha$ 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 P31 「原発事故由来の放射性物質」）。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2017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。

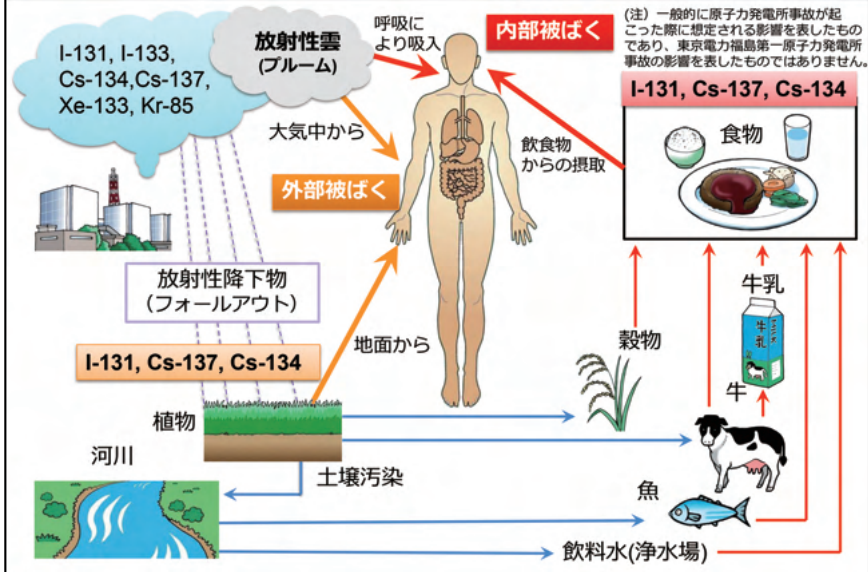
原子力施設等の異常事象や事故は、その深刻度に応じて7つのカテゴリーに分類されます。各国は、異常事象や事故の深刻度をこの尺度を使って判定し、発表します。

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 (暫定評価) 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：2013年3月31日

改訂日：2021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。この放射性雲には放射性希ガスや、放射性ヨウ素及び放射性セシウム等のエアロゾル（微小な液滴や粒子）が含まれています。

放射性雲が上空を通過する間、その付近の人は雲中の放射性物質からの放射線により外部被ばくを受けます。また、放射性雲中の放射性物質を吸入すると、内部被ばくを受けます。

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、放射性ヨウ素や放射性セシウム等のエアロゾルは、放射性雲が通過する間に少しずつ落ちてきて、地表面や植物等に沈着します。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るほか、汚染された飲料水や食物を摂取すると、内部被ばくを受けることになります。

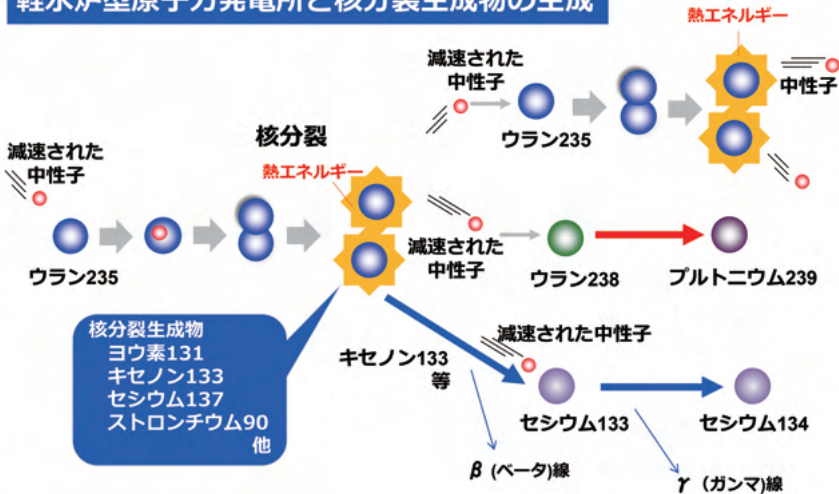
（関連ページ：上巻 P23 「外部被ばくと内部被ばく」、上巻 P30 「原子炉内の生成物」）

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019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、それらが全て機能しなくなると、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：2013年3月31日

改訂日：2019年3月31日

| 原子力災害                              |              | 原発事故由来の放射性物質           |                 |                   |                   |                         |
|------------------------------------|--------------|------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------------|
|                                    | H-3<br>トリチウム | Sr-90<br>ストロンチウム<br>90 | I-131<br>ヨウ素131 | Cs-134<br>セシウム134 | Cs-137<br>セシウム137 | Pu-239<br>プルトニウム<br>239 |
| 出す放射線の種類                           | $\beta$      | $\beta$                | $\beta, \gamma$ | $\beta, \gamma$   | $\beta, \gamma$   | $\alpha, \gamma$        |
| 生物学的半減期                            | 10日<br>*1 *2 | 50年*3                  | 80日*2           | 70日～<br>100日*4    | 70日～<br>100日*3    | 肝臓:20年<br>*5            |
| 物理学的半減期                            | 12.3年        | 29年                    | 8日              | 2.1年              | 30年               | 24,000年                 |
| 実効半減期<br>(生物学的半減期と<br>物理学的半減期から計算) | 10日          | 18年                    | 7日              | 64日<br>～88日       | 70日<br>～99日       | 20年                     |
| 蓄積する<br>器官・組織                      | 全身           | 骨                      | 甲状腺             | 全身                | 全身                | 肝臓、骨                    |

実効半減期：(関連ページ上巻P27「内部被ばくと放射性物質」)  
 実効半減期は、生物学的半減期の表中に記載した蓄積する器官・組織の数値から計算。  
 \*1：トリチウム水、\*2：ICRP Publication 78、\*3：JAEA技術解説,2011年11月、\*4：セシウム137と同じと仮定、  
 \*5：ICRP Publication 48

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(上巻P32「チェルノブイリ原子力発電所事故と東京電力福島第一原子力発電所事故の放射性核種の推定放出量の比較」)。

ヨウ素131は、物理学的半減期が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(上巻P124「甲状腺について」)。そうすると甲状腺は、しばらくの間、 $\beta$ (ベータ)線と $\gamma$ (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の物理学的半減期は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。セシウムやヨウ素の生物学的半減期は年齢によって変わり、若いほど短くなることが知られています。

ストロンチウム90は物理学的半減期が長く、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。 $\gamma$ 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(下巻P43「プルトニウム(福島県)」)。

(関連ページ：上巻P11「半減期と放射能の減衰」、上巻P30「原子炉内の生成物」)

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2021年3月31日

| 核種              | 半減期 <sup>a</sup> | 沸点 <sup>b</sup><br>℃ | 融点 <sup>c</sup><br>℃ | 環境への放出量 PBq <sup>*</sup>       |                                 | 東京電力福島第一<br>原子力発電所/<br>チェルノブイリ<br>原子力発電所 |
|-----------------|------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------|--|
|                 |                  |                      |                      | チェルノブイリ<br>原子力発電所 <sup>d</sup> | 東京電力福島第一<br>原子力発電所 <sup>e</sup> |  |
| キセノン (Xe) 133   | 5日               | -108                 | -112                 | 6500                           | 11000                           | 1.69                                     |
| ヨウ素 (I) 131     | 8日               | 184                  | 114                  | ~1760                          | 160                             | 0.09                                     |
| セシウム (Cs) 134   | 2年               | 678                  | 28                   | ~47                            | 18                              | 0.38                                     |
| セシウム (Cs) 137   | 30年              | 678                  | 28                   | ~85                            | 15                              | 0.18                                     |
| ストロンチウム (Sr) 90 | 29年              | 1380                 | 769                  | ~10                            | 0.14                            | 0.01                                     |
| プルトニウム (Pu) 238 | 88年              | 3235                 | 640                  | $1.5 \times 10^{-2}$           | $1.9 \times 10^{-5}$            | 0.0012                                   |
| プルトニウム (Pu) 239 | 24100年           | 3235                 | 640                  | $1.3 \times 10^{-2}$           | $3.2 \times 10^{-6}$            | 0.00024                                  |
| プルトニウム (Pu) 240 | 6540年            | 3235                 | 640                  | $1.8 \times 10^{-2}$           | $3.2 \times 10^{-6}$            | 0.00018                                  |

## 事故発生時に炉心に蓄積されていた放射性核種の環境へ放出された割合

| 核種            | チェルノブイリ<br>原子力発電所 <sup>f</sup> | 東京電力福島第一<br>原子力発電所 <sup>g</sup> |
|---------------|--------------------------------|---------------------------------|
| キセノン (Xe) 133 | ほぼ100%                         | 約60%                            |
| ヨウ素 (I) 131   | 約50%                           | 約2-8%                           |
| セシウム (Cs) 137 | 約30%                           | 約1-3%                           |

\* : PBqは  $\times 10^{15}$  Bq。

出典 : a ; ICRP Publication 72 (1996年), b,c ; 理化学辞典第5版 (1998年), d ; UNSCEAR 2008 Report, Scientific Annexes C,D and E, e ; 原子力安全に関する I A E A 閣僚会議に対する日本国政府の報告書 (2011年6月), f, UNSCEAR 2000 Report, ANNEX J, g ; UNSCEAR 2013 Report, ANNEX A

この表は、チェルノブイリ原子力発電所事故及び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のうち、代表的なものを比較して示したものです。

これらのうち、セシウム134とセシウム137は人の健康影響上考慮すべき放射性核種の代表とされています。表にはそれぞれの核種の融点と沸点が示されています。

セシウムは沸点が678℃のため、核燃料が熔融（融点は2,850℃）した状態では気体になります。気体状のセシウムが大気中に放出されると温度が下がり沸点以下になったところで液体状、さらに温度が融点の28℃以下になると粒子状になります。このため、大気中でセシウムの多くは微少な粒子状になり、風に乗って遠くまで拡散することになります。これが、放射性セシウムが遠方まで拡散した大きなメカニズムです。

チェルノブイリ原子力発電所と東京電力福島第一原子力発電所の放出量を単純に比較、評価することはできませんが、チェルノブイリの場合の放出量が多いのは、爆発した炉心が直接大気にさらされる状態になったことも影響していると思われます。一方、東京電力福島第一原子力発電所では格納容器の大規模な破壊がなかったため、放射性物質の放出抑制につながったと考えられます。

しかし、一部キセノン133など大気へ放出されやすい希ガスは、東京電力福島第一原子力発電所でも高い割合（東京電力福島第一原子力発電所：約60%、チェルノブイリ原子力発電所：最大100%）で原子炉から放出されたと評価されています。そのため、発電所の出力規模（東京電力福島第一原子力発電所：合計約200万kW、チェルノブイリ原子力発電所：100万kW）が大きき事故当時炉心に溜まっていた希ガスの量が多かった東京電力福島第一原子力発電所では希ガスの放出量が多くなったと考えられます。

本資料への収録日：2017年3月31日

改訂日：2021年3月31日

# チェルノブイリ原子力発電所事故と 東京電力福島第一原子力発電所事故の規模の比較



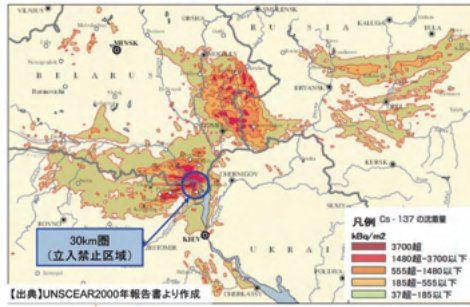
東京電力福島第一原子力発電所事故による汚染 (2011年11月時点)



【出典】文部科学省発表資料 (2011年11月) より作成

2つの図を  
同じ縮尺で  
記載

チェルノブイリ原子力発電所事故による汚染 (1989年12月時点)



| 汚染濃度 (kBq/m <sup>2</sup> ) | 汚染地域の面積 (km <sup>2</sup> ) |                  | チェルノブイリ原子力発電所事故と比較した東京電力福島第一原子力発電所事故の規模 |
|----------------------------|----------------------------|------------------|---|
|                            | チェルノブイリ原子力発電所事故            | 東京電力福島第一原子力発電所事故 |   |
| > 1,480                    | 3,100                      | 200              | 6%                                      |
| 555 - 1,480                | 7,200                      | 400              | 6%                                      |
| 185 - 555                  | 18,900                     | 1,400            | 7%                                      |
| 37 - 185                   | 116,900                    | 6,900            | 6%                                      |
| 合計面積                       | 146,100                    | 8,900            | 6%                                      |

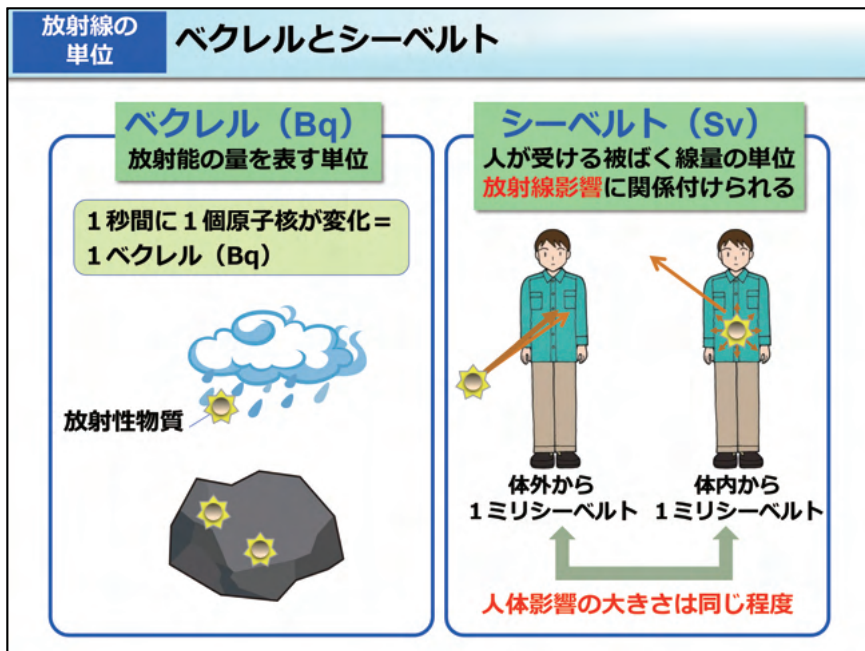
出典：原子力被災者生活支援チーム「年間20ミリシーベルトの基準について」(2013年3月)より作成

上図は、1989年12月時点のチェルノブイリ原子力発電所事故による汚染と2011年11月時点の東京電力福島第一原子力発電所事故による汚染を、同じ縮尺で掲載しています。また、表ではそれぞれの図における汚染地域の面積を示しています。

東京電力福島第一原子力発電所事故は、チェルノブイリ原子力発電所事故に比べると、セシウム137による汚染地域面積は約6%、放出距離は約1/10の規模となっています。

(関連ページ：上巻 P32 「チェルノブイリ原子力発電所事故と東京電力福島第一原子力発電所事故の放射性核種の推定放出量の比較」)。

本資料への収録日：2019年3月31日



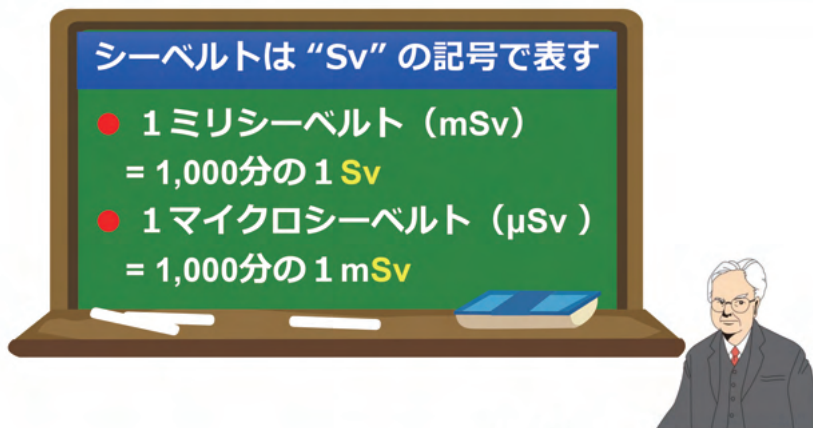
放射線の単位のうち、最もよく見聞きするものに、ベクレルとシーベルトがあります。ベクレルは放射能の単位で、放射線を出す側に着目したものです。土や食品、水道水等に含まれる放射性物質の量を表すときに使われ、ベクレルで表した数値が大きいほど、そこからたくさんの放射線が出ていることを意味します。一方、シーベルトは人が受ける被ばく線量の単位で、放射線を受ける側、すなわち人体に対して用いられます。シーベルトで表した数値が大きいほど、人体への放射線の影響が大きいことを意味します（上巻 P40「線量概念：物理量、防護量、実用量」）。

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様態の違い（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ミリシーベルトを受けた、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

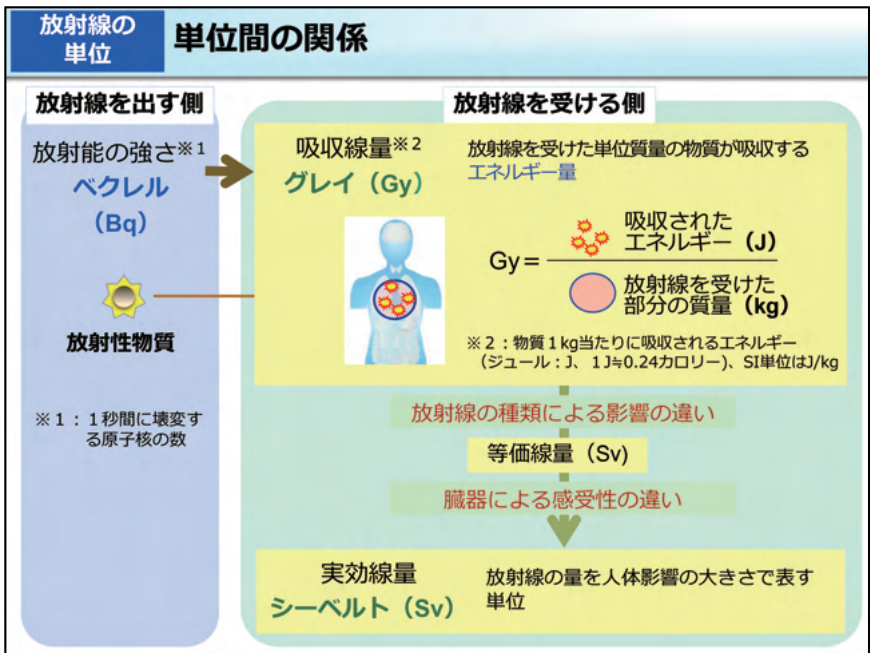
シーベルトという単位は、スウェーデンの放射線防護研究者である、ロルフ・シーベルトに由来しています。彼は、国際放射線防護委員会 (ICRP) の前身である国際X線・ラジウム防護委員会 (IXRPC) の議長を務め、ICRPの創設<sup>1</sup>に参画しています。日常生活で受ける放射線の量を表す際には、シーベルトの1,000分の1であるミリシーベルトや、100万分の1であるマイクロシーベルトを使うことがほとんどです。

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



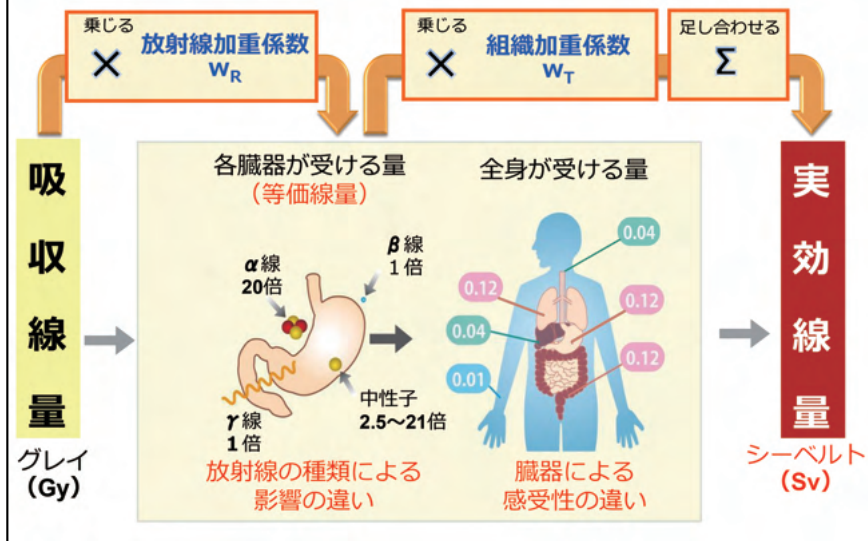
放射線に関する単位は、放射線を出す側の単位と受ける側の単位に大別できます。放射能の強さの単位であるベクレルは放射線を出す側の単位です。一方、放射線を受ける側の単位には、グレイとシーベルトがあります。

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 ( $\alpha$  (アルファ) 線: 20、 $\beta$  (ベータ) 線と  $\gamma$  (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



$$\text{等価線量 (Sv)} = \text{放射線加重係数 } w_R \times \text{吸収線量 (Gy)}$$

| 放射線の種類                   | 放射線加重係数 $w_R$ |
|--------------------------|---------------|
| $\gamma$ 線、X線、 $\beta$ 線 | 1             |
| 陽子線                      | 2             |
| $\alpha$ 線、重イオン          | 20            |
| 中性子線                     | 2.5~21        |

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

| 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、 $\alpha$ （アルファ）線は、同じ吸収線量の $\gamma$ （ガンマ）線や $\beta$ （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 $\gamma$ 線や $\beta$ 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。

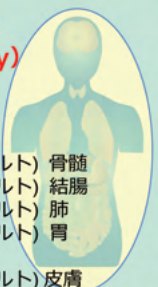
また、原爆被爆者の二世、三世についても健康影響が調査されていますが、遺伝性影響は観察されていません（上巻P109「被爆二世における染色体異常」）。そのため、1990年勧告で発表された生殖腺の組織加重係数（0.2）に比べ、2007年勧告では値が引き下げられています（0.08）。このように実効線量を算出するために使われる係数は、新たな知見が得られれば見直しが行われています。

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 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 当たりに吸収されるエネルギー  
照射線量 (X線、 $\gamma$ 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

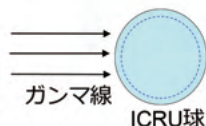
改訂日：2017年3月31日

**線量当量 = 条件を満たす基準点の吸収線量×線質係数**

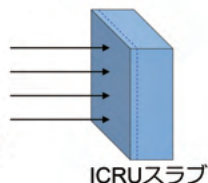
実際には測定できない「実効線量」の代わりに、一定の条件のもと、実効線量とほぼ同じ値か保守的な値が測定で得られる「実用量」として、周辺線量当量や個人線量当量などが定義されている。

**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！**



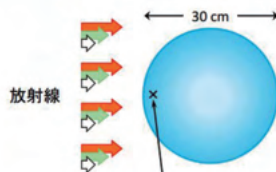
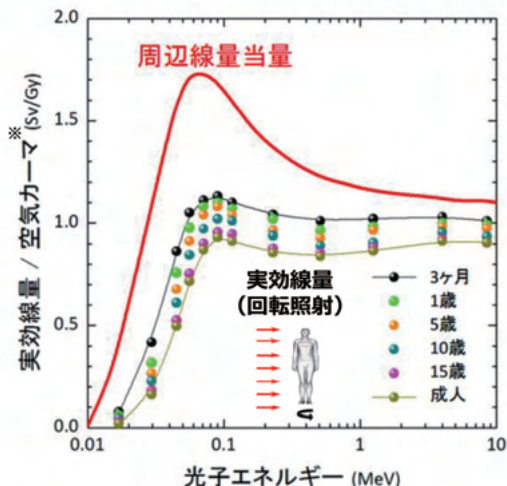
実際には測定できない実効線量を概算するための実用量として（上巻 P40「線量概念：物理量、防護量、実用量」）、作業環境などの空間の線量を評価する周辺線量当量  $H^*(d)$ （ $d$  は深さ）、個人の被ばくを評価する個人線量当量  $H_p(d)$ 、さらに、 $\beta$  線や軟 X 線による目の水晶体などの被ばくなど、深さや入射方向についても評価する必要がある場合の量として方向性線量当量  $H'(d, \alpha)$ （ $\alpha$  は入射角度）が定義されています。

一般に、周辺線量当量も個人線量当量も、 $\gamma$  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



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

※ 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、常にも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

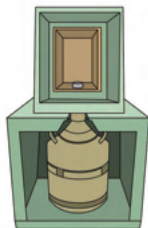


シーベルトは、①全身が受ける放射線の量（実効線量）（上巻 P42 「実効線量と線量当量の値の違い」）、②内部被ばくによって受ける放射線の量（預託実効線量）（上巻 P56 「預託実効線量」）、③ある場所だけ放射線を受ける局所被ばくの量（等価線量）、の単位として用いられています。どれも被ばくした個人や組織におけるがん、遺伝性影響の発生リスクを考慮して表されている点は共通です。

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



**Ge半導体検出器**

食品や土壌の放射能測定に用いられる。低レベルの放射能濃度測定に効果的。



**Nal(Tl)食品モニタ**

食品等の効率的な放射能測定に適している。



**ホールボディ・カウンタ**

多数のシンチレーションカウンタなどを用いて、 $\gamma$ 線核種の体内放射能蓄積を評価する。



**積算型個人線量計**

1か月～3か月間体幹部に装着し、その間に被ばくした積算の線量を測定する。



**電子式個人線量計**

線量率や一定時間の積算線量を示す表示装置があり、放射線取扱施設への一時立ち入り者の被ばく線量測定・管理などに便利。



放射線は目に見えませんが、電離作用や励起作用などが知られており（上巻 P45「放射線測定の原理」）、それらを利用して様々な測定機器が目的と用途に応じて作られています。上記の様々な測定機器は全て励起作用を利用しています。

食品や土壌の放射能濃度を測定するためには、 $\gamma$ 線のスペクトルを測定できる Ge 検出器や Nal(Tl) 検出器を鉛の遮蔽体の中に設置した測定装置が用いられます。Ge 検出器は、 $\gamma$ 線のエネルギー分解能に優れており、微量な放射能の定量に適しています。一方、Nal(Tl) 検出器は、エネルギー分解能は Ge 検出器に及びませんが、取扱いが簡単で、また検出効率も比較的大きいことから、食品の検査に多く使用されています。

この他にも、多数のシンチレーションカウンタや Ge 検出器などを装着して、 $\gamma$ 線核種の体内放射能蓄積を評価するホールボディ・カウンタや、個人の被ばくを管理するための積算型個人線量計や電子式個人線量計などが市販されています。特に、福島事故以降、様々な電子式個人線量計が考案され、一定時間ごとの被ばく情報が簡単にモニタできるようになってきました。

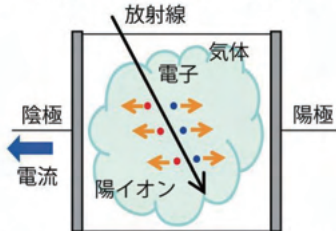
（関連ページ：上巻 P60「内部被ばく測定用の機器」）

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2017年3月31日

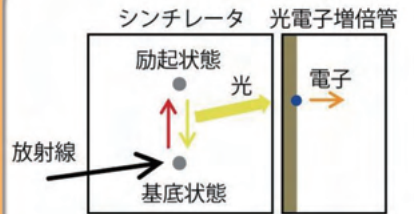
## 放射線と物質との相互作用を利用して測定する。

## (気体との) 電離作用



- ▶ 検出器には不活性ガスや空気などの気体が充填。
  - ▶ 放射線が気体中を通過すると分子が電離して陽イオンと電子を生成。
  - ▶ 陽イオンと電子が電極に引き寄せられ電気信号に変換して測定する。
- GM計数管式サーベイメータ、  
電離箱など

## 励起作用



- ▶ 放射線がシンチレータを通過すると、分子が励起されるが再び元の状態（基底状態）に戻る。
- ▶ その過程で光を放出し、放出された光を増幅・電流に変換して測定する。

NaI (TI) シンチレーション式  
サーベイメータなど

放射線は物質中を通過する時に、物質と相互作用することが知られています。放射線と物質との相互作用を利用して放射線の量を測定します。

GM 計数管式サーベイメータや電離箱では、放射線と気体との電離作用を利用します。電離作用とは放射線が物質中の原子核の電子を外に弾き飛ばす作用です。GM 計数管式サーベイメータや電離箱の検出器の中には、ガスが充填されています。検出器の中を放射線が通過すると、放射線が気体原子に対して電離作用を起し、原子が陽イオンと電子に分離します。分離した電子と陽イオンは、それぞれ電極に引き寄せられ電流が流れます。これを電気信号に変換して放射線の量として測定します。

NaI (TI) シンチレーション式サーベイメータでは、物質との励起作用を利用します。放射線が原子核の電子にエネルギーを与え、その電子が外側の軌道に飛び移る場合を励起と呼びます。この状態の原子は不安定な状態（励起状態）で、再び安定な状態（基底状態）に戻る際、エネルギーを光として放出します。これが励起作用です。シンチレータとは放射線が入射して光を発生する物質です。シンチレータから発せられる微弱な光を光電子増倍管で増幅し電気信号に変換して放射線を計測します。NaI (TI) シンチレーション式サーベイメータ以外にもゲルマニウム半導体検出器が同じ励起作用を利用しています。

（関連ページ：上巻 P18 「放射線の電離作用－電離放射線の性質」）

本資料への収録日：2017年3月31日



「ND」：「Not Detected」の略

不検出（ND）＝ 測定値が検出限界値未満

✖ 測定値がゼロ

測定結果が「不検出（ND）」となっている場合には、  
測定値が検出限界値未満であったことを示しています。検出限界値は測定時間や試料の量などによって変化します。  
測定の目的に応じて、分析機関において設定されています。◆ 測定時間が長いほど、  
検出限界値は小さくなります。測定時間を $X$ 倍 → 検出限界値は $\frac{1}{\sqrt{X}}$ 倍例 1：測定時間を2倍にすると、検出限界値は $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 例 2：検出限界値を60 Bq/kgから30 Bq/kgに  
しようとする、4倍の測定時間が必要◆ 試料の量が多いほど、  
検出限界値は小さくなります。例：試料の量が0.2 kgのときの  
検出限界値が200 Bq/kgのとき、  
試料の量を1 kgに増やすと  
検出限界値は40 Bq/kgになります。

農林水産省 放射性物質の分析について（2011年12月）より作成

[https://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/data\\_reliance/maff\\_torikumi/pdf/rad\\_kensyu.pdf](https://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/data_reliance/maff_torikumi/pdf/rad_kensyu.pdf)

放射能や線量率の測定結果が「不検出（ND）」となることがあります。

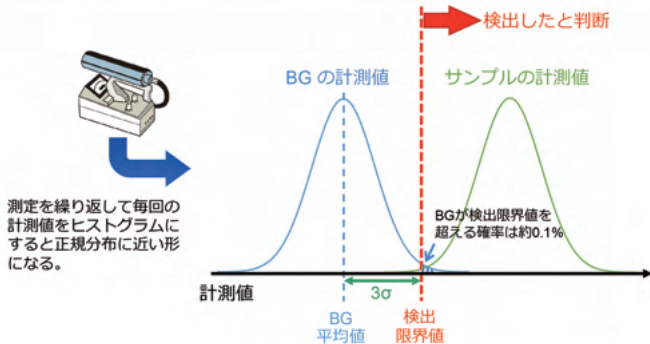
これは放射性物質が全く存在しないことを意味するのではなく、測定上は検出限界未満の濃度であるということを示しています。

検出限界値は測定時間や試料の量などによって変化し、一般的には測定時間が長ければ長いほど、試料の量が多ければ多いほど、小さい値になります。検出限界値を低く設定するとわずかな量でも検出することができますが、時間や経費を要することになり検査できる試料数の減少につながります。そのため、測定の目的に応じて分析機関において設定されています。

本資料への収録日：2019年3月31日

改訂日：2021年3月31日

- 線量測定では、測定条件のわずかな変化が計測値に影響を与えるとともに、サンプル以外を由来とするバックグラウンド (BG) が存在するため、統計的な信頼性を確保するため検出限界値を考慮する必要があります。
- 代表的な検出限界値の考え方として、3 $\sigma$ 法があります。3 $\sigma$ 法ではバックグラウンド計測値の平均値に標準偏差の3倍を加えた値として検出限界値を定義し、この値を超える場合にはサンプルからの信号 (放射能や線量率等) を検出したと判断します。



一般的にサーベイメータ等でバックグラウンドの放射能や線量率を測定する場合、測定条件のわずかな変化が計測値に影響を与えます。そのため信頼できる計測結果を得るためには、何回か繰り返し測定を行う必要があります。

繰り返し計測した値をヒストグラムにすると、正規分布に近い形となります。こうしたバックグラウンド計測値の揺らぎの中で試料を測定した際に、統計的に有意な計測値として検出する最低量のことを検出限界値 (検出下限値) といいます。



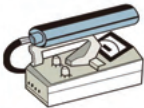

代表的な検出限界値の考え方である3 $\sigma$ 法では、バックグラウンド計測値の平均値に標準偏差の3倍を加えた値を検出限界値と定義します。これは、計測値が3 $\sigma$ よりも大きいとき、バックグラウンド計測値がゆらぎによって3 $\sigma$ を超える確率が約0.1%であることによります。

3 $\sigma$ 法のほかに Currie 法という考え方もあります。この考え方では、検出限界値付近の値を持つサンプルを不検出と判定する確率を減らすため、サンプルの計測値のゆらぎも考慮して 検出限界値を定義しています。

#### 参考資料

- Gordon Gilmore, John D.Hemingway (著), 米沢 伸四郎 訳, 実用 $\gamma$ 線測定ハンドブック, 日刊工業新聞社 (2002)
- 上本道久, 検出限界と定量下限の考え方, ぶんせき, 2010 5, 216-221 (2010)

本資料への収録日：2019年3月31日

| 型  |   | 目的  |
|--|---|---|
| GM計数管式<br>サーベイメータ (電離)                             |  | 汚染の検出<br>薄い入射窓を持ち、 $\beta$ 線を効率よく検出可能である。表面汚染の検出に適している。                         |
| 電離箱型<br>サーベイメータ (電離)                               |  | $\gamma$ 線<br>空間線量率<br>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 (励起)                     |  | $\gamma$ 線<br>空間線量率<br>正確で感度もよい。環境レベルから10 $\mu$ Sv/h程度の $\gamma$ 線空間線量測定に適している。 |
| 個人線量計<br>(光刺激ルミネッセンス線量計、<br>蛍光ガラス線量計、電子式線量計等) (励起) |  | 個人線量<br>積算線量<br>体幹部に装着し、その間に被ばくした個人線量当量を測定する。直読式や警報機能を持つタイプもある。                 |

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 $\beta$ （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。比較的安価で、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。

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は、放射能の強さを計測することが可能ですが、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：2013年3月31日

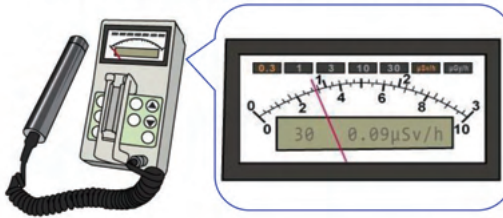
改訂日：2019年3月31日

**例：NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータ (TCS-171)****① バックグラウンドの測定****② 現場での測定**

- ・レンジ（指示値が目盛の中央付近に）
- ・時定数（時定数の3倍の時間が経過して値を読む）の調整

**③ 線量の計算**

- ・指示値 × 校正定数 = 線量 (μSv/h)

**指示値の読み方**

0.3, 3, 30 μSv/hは上段  
1, 10 μSv/hは下段

- ・写真は0.3 μSv/hのレンジ
- ・上段の数値を読む
- ・針は0.92の目盛り

指示値は0.092 μSv/h

例えば、校正定数が0.95の場合  
線量 = 0.092 × 0.95 = 0.087 μSv/h

首相官邸ホームページ「サーベイメータの取扱方法」より作成

線量の測定方法の例として、NaI シンチレーション式サーベイメータを用いたγ（ガンマ）線空間線量率の測定方法を図示してあります。

測定前に機器の健全性（外観、電源、高圧）のチェックをし、その後バックグラウンドの測定をします（〔0.3 μSv/h〕レンジ、〔30sec〕時定数に設定）。通常、バックグラウンド値は0.1 μSv/h 程度を指示します。

現場での測定は、通常地上約1 mの高さで測定します。測定計数レンジを調整してメータの指示値が目盛の中央付近になるよう調整します。時定数は測定の目的に合わせて調整します。粗く広範囲の測定や高線量の場合は、時定数を少なくし、精度の良い測定や低線量の場合は、時定数を大きくします。その場所での測定を開始し、時定数の3倍程度の時間が経過してから、指示値の平均を読み取ります（例えば30秒の場合は、1分30秒後に値を読みます）。

指示値を測定条件ごとに決まっている校正定数で掛けることにより、線量当量率（μSv/h）を求めることができます。

測定器の使用上の注意点として、使用前に動作が正常かどうか確認すること、精密機器のため丁寧に扱うこと、雨天時や汚染レベルの高い区域での測定では測定器をポリエチレンシートで被うことなどがあります。

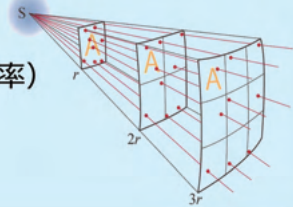
本資料への収録日：2017年3月31日

改訂日：2019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（線量率）は、放射線を出しているもの（線源）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（点線源）のであれば、距離の2乗に反比例して線量率は低くなります。また、大気等の影響によっても線量率は低くなります。

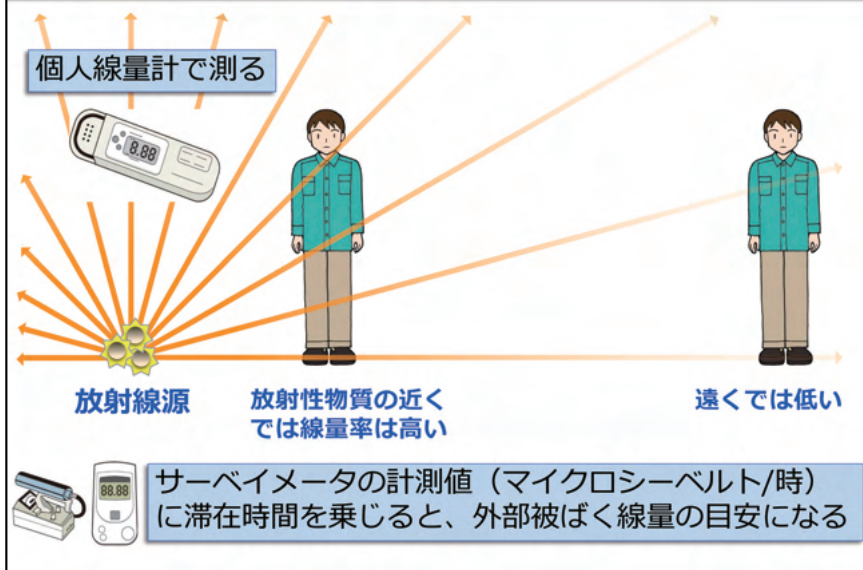
放射性物質が広い平面上に一樣分布している場合、距離と線量率の関係を表す式は複雑になりますが、点線源の場合と同様に、地面からの高さが高くなるほど線量率は低くなります。ただし、実際には分布は一樣ではなく不均一であること、滑らかな平面ではないこと、空気などによる減衰などから、必ずしも関係式で得られる値になるとは限りません。

外部被ばく線量を計算するときには、放射線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：2013年3月31日

改訂日：2019年3月31日



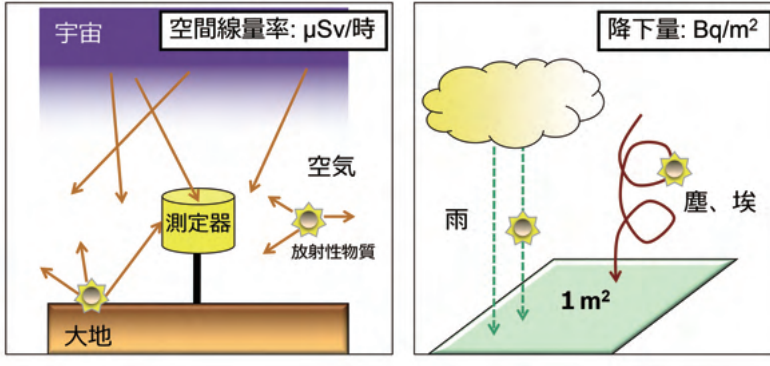
外部被ばくによる線量を計測する方法として、個人線量計を装着する方法があります。個人線量計では、一定時間に受けた放射線の積算量の計測や、線量率の読み取りが可能です。

他にもサーベイメータを用いて、作業する場所の放射線量を計測することで、その場に人がいたらどのくらい被ばくするかを推計することができます。体の外からの $\alpha$ （アルファ）線や $\beta$ （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 $\gamma$ 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を乗じて、外部被ばくによる線量を概算します。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。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2021年3月31日

- **空間線量率**は空間の $\gamma$ （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( $\text{Bq}/\text{m}^2$ )



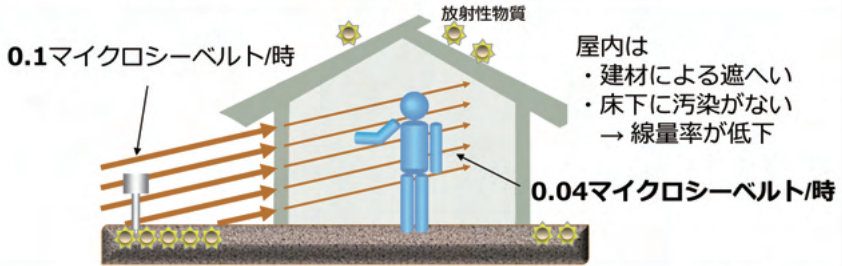
空間線量率というのは、空間中の $\gamma$ （ガンマ）線量を測定したもので、1時間当たりのマイクロシーベルトで表示されています。空気中に漂っている放射性物質からの $\gamma$ 線も検出していますし、大地に落ちた放射性物質からの $\gamma$ 線も検出しています。また計測しているのは事故由来の放射線だけではありません。自然放射線としては、主に大地からの放射線と宇宙線が挙げられます。

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。学校や幼稚園など主に子供が生活する場所では、測定器の高さを地上50cmとする場合もあります。

降下物中の放射能量は、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：2013年3月31日

改訂日：2019年3月31日



| 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 <sup>2</sup> の建物（3～4階建て）の1～2階 | 0.05  |
| 各階900m <sup>2</sup> 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」（1980年6月（2010年8月一部改訂））より作成

空間線量率を測定する適切なサーベイメータ（上巻 P48「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、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、建物による遮へいや床下に汚染がないことなどを考慮したもので、建物の種類や放射性物質が浮遊しているか、沈着しているかによって値が異なります。例えば、放射性物質が土壌や建物に沈着している場合、木造家屋は外からの放射線を約4割に低減します。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。

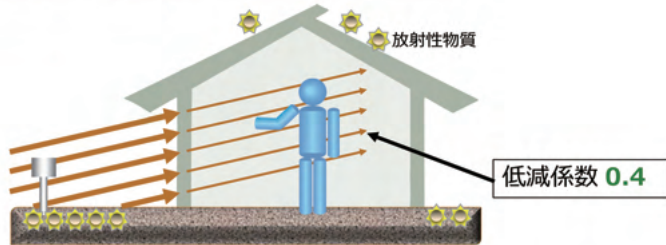
本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019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）  
実測値 - 平常時の値 = 事故時の線量率



事故時の線量率 × 1日の屋外滞在時間  
+  
事故時の線量率 × 0.4 × 1日の屋内滞在時間  
× 365日 = 年間の追加被ばく線量

1日の被ばく線量

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（[https://www.kankyo-hoshano.go.jp/kl\\_db/servlet/com\\_s\\_index](https://www.kankyo-hoshano.go.jp/kl_db/servlet/com_s_index)）」で調べることができます。

こうして求めた屋外と屋内の線量率の上昇分に、それぞれで過ごす時間を乗じたものが、平常時から増加した被ばく線量（追加被ばく線量）の目安になります。

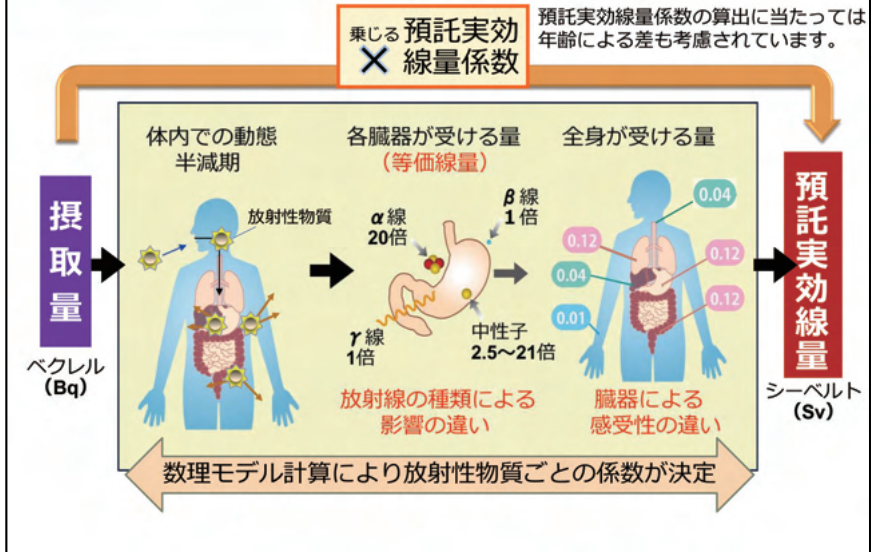
事故後の追加被ばく線量を求める計算例では、滞在時間を屋外8時間、低減係数0.4の典型的な日本家屋に16時間滞在すると仮定して1日の追加被ばく線量を計算しています。さらに、1日の追加被ばく線量に1年間の日数の365を掛けることで、年間の追加被ばく線量を推計しています。

事故後に市町村が中心となって除染を行う汚染状況重点調査地域を指定する際の基準となった毎時0.23マイクロシーベルトは、追加被ばく線量年間1ミリシーベルトに由来します（上記の計算例と同じ安全側の仮定の計算で、年間の追加被ばく線量が1ミリシーベルトとなる1時間当たりの被ばく線量0.19マイクロシーベルトに、自然放射線由来被ばく線量0.04マイクロシーベルトを加えたもの）。

この計算例は、東京電力福島第一原子力発電所の事故対応において、保守的な仮定の下で設けられた簡易的な推計方法です。そのため、実際の生活の中で個人が受ける外部被ばく線量は計算結果より低くなりうると考えられています。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2021年3月31日



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は放射性物質ごとに異なります。また呼吸により呼吸器経路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路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、大人が、子供が、赤ちゃんがによっても、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 P56 「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（上巻 P57 「実効線量への換算係数」）。

本資料への収録日：2013年3月31日

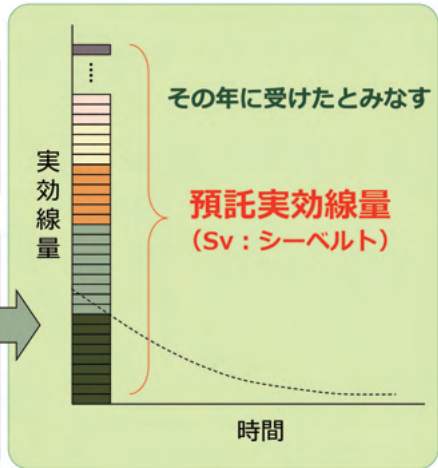
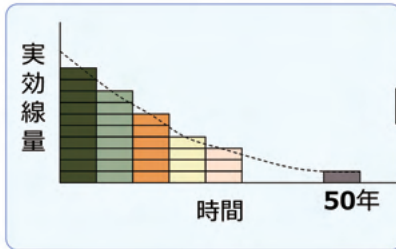
改訂日：2019年3月31日

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



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となります。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 P31「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：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日

### 預託実効線量係数 (μSv/Bq) (経口摂取の場合)

|      | ストロンチウム<br>90 | ヨウ素<br>131 | セシウム<br>134 | セシウム<br>137 | プルトニウム<br>239 | トリチウム※   |
|------|---------------|------------|-------------|-------------|---------------|----------|
| 3か月児 | 0.23          | 0.18       | 0.026       | 0.021       | 4.2           | 0.000064 |
| 1歳児  | 0.073         | 0.18       | 0.016       | 0.012       | 0.42          | 0.000048 |
| 5歳児  | 0.047         | 0.10       | 0.013       | 0.0096      | 0.33          | 0.000031 |
| 10歳児 | 0.06          | 0.052      | 0.014       | 0.01        | 0.27          | 0.000023 |
| 15歳児 | 0.08          | 0.034      | 0.019       | 0.013       | 0.24          | 0.000018 |
| 成人   | 0.028         | 0.022      | 0.019       | 0.013       | 0.25          | 0.000018 |

μSv/Bq : マイクロシーベルト/ベクレル

※自由水型トリチウム

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より作成

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す。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 : 2013年3月31日

改訂日 : 2018年2月28日

（例）成人がセシウム137を100Bq/kg含む食品を0.5kg摂取

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

$$= 0.00065 \text{ mSv}$$



預託実効線量係数（μSv/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）、ICRP Publication 119、Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60、2012より作成

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。

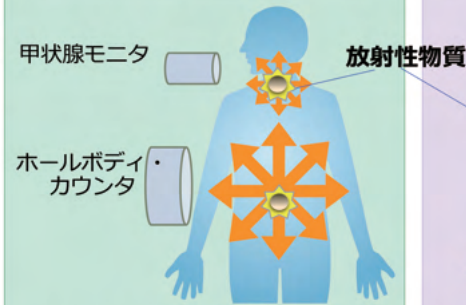
実際に口に入ったセシウム137の量は、50ベクレルになります。この量に預託実効線量係数を乗じることで、預託実効線量（上巻 P56「預託実効線量」）を求めることができます。

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、細かく定められています（上巻 P57「実効線量への換算係数」）。

本資料への収録日：2013年3月31日

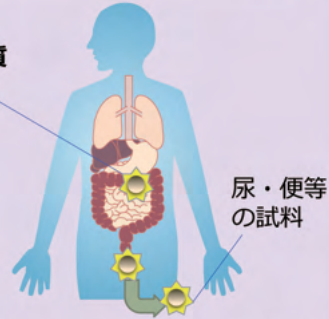
改訂日：2015年3月31日

## 体外測定法



- 体内の放射性物質からの放射線を計測
- 直接測定のため測定時間を拘束される
- 主に $\gamma$ 線を放出する物質が対象
- 計測時間は短い
- 線量評価の精度が高い

## バイオアッセイ



- 排泄物等に含まれる放射性物質を計測
- 試料（尿、便等）を提供
- 全部の放射性物質が測定可
- 化学分析に時間が掛かる
- 線量評価結果の誤差が大きい

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 $\gamma$ （ガンマ）線等を直接測る体外計測法と、尿や便等の試料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。

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 $\gamma$ （ガンマ）線や $X$ 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。

これらの方法で得られた結果から、放射性核種の摂取シナリオ、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 P55 「内部被ばく線量の算出」）から計算し、摂取量を求めます。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：2013年3月31日

改訂日：2021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

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 $\gamma$ （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（上巻P127「甲状腺について」）、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 $\gamma$ 線を測るものです。

測定にかかる時間は、簡易型全身カウンタで1～5分、精密型全身カウンタで10～30分、また甲状腺モニタで2～5分程度です。

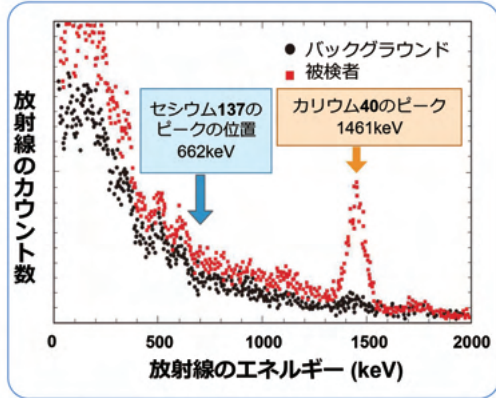
（関連ページ：下巻 P157「ホールボディ・カウンタによる内部被ばく検査」）

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2018年2月28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。

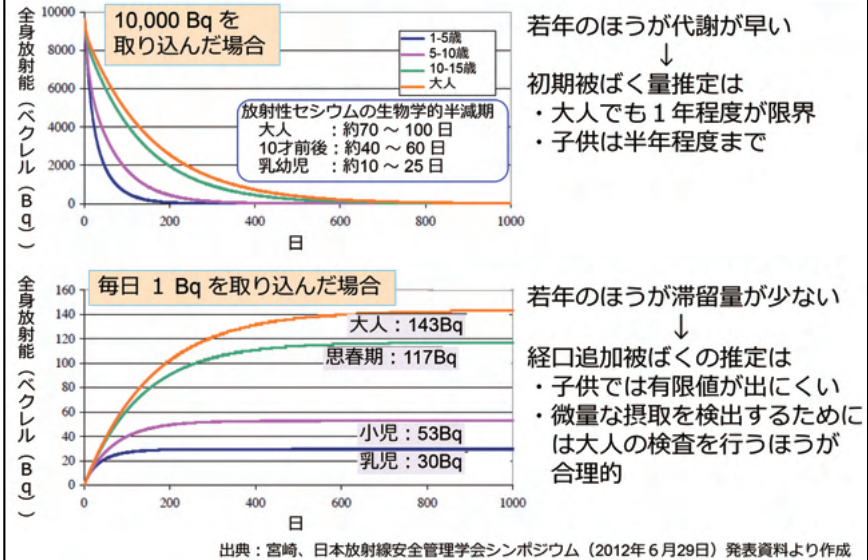
グラフの黒い●は誰もベッドに乗らず空の状態（バックグラウンド）で測定した値です。人が寝て測定すると、赤い■のように放射線のピークが見えます。γ（ガンマ）線は放射性物質ごとに固有のエネルギーを持っているので、特定のエネルギー、例えば、放射性カリウム（カリウム40）のγ線のエネルギーである1,461キロ電子ボルト（keV）に着目すると、体内の放射性カリウムからのγ線であることが分かります。なお、セシウム137のγ線エネルギーは662キロ電子ボルト（keV）です。

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：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日





ホールボディ・カウンタでは、測定日当日の体内放射能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 P61 「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方が、内部被ばく状況の詳細を把握するには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（上巻 P56 「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。

なお、ヨウ素131のように半減期が短い放射性核種は、時間経過により減衰してしまっ後は検出することができません。また、ストロンチウム90はβ（ベータ）線を出し、γ（ガンマ）線は出しませんので、ホールボディ・カウンタでは測ることができません。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2021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・トロン  
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

mSv : ミリシーベルト

人工  
放射線



CT検査 (1回) 2.4～12.9mSv



胸部X線検査 (1回) 0.06mSv

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 (2011年)」、ICRP103 他 より作成

私たちの身の回りには日常的に放射線が存在し、知らず知らずのうちに放射線を受けています。日常生活において放射線被ばくをゼロにすることはできません。

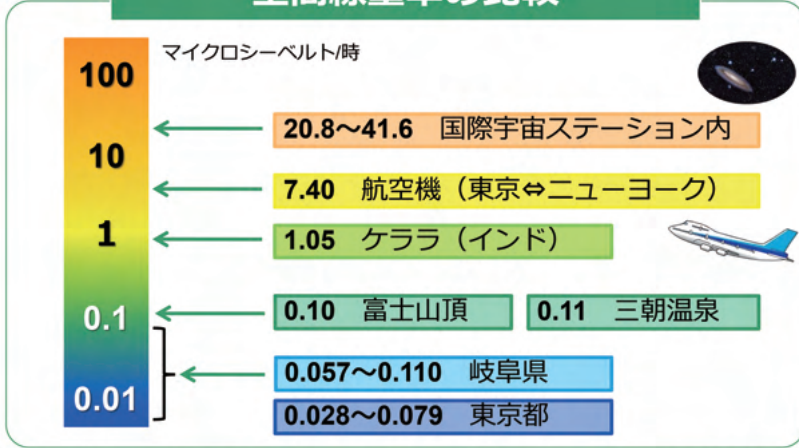
宇宙から、そして大地から受ける自然放射線による外部被ばくや、食物や空気中のラドン等、自然由来の放射性物質から受ける内部被ばくは、合計すると年間で世界平均では2.4ミリシーベルト、日本平均では2.1ミリシーベルトになります (上巻 P65 「年間当たりの被ばく線量の比較」)。

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 (上巻 P76 「診断で受ける放射線量」)。

本資料への収録日 : 2013年3月31日

改訂日 : 2019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。

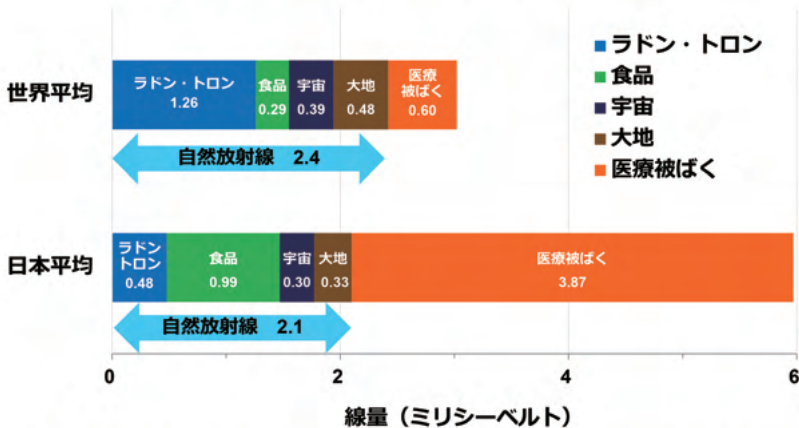
人間の生活空間のほとんどの場所の空間線量率は、1時間に0.01から1マイクロシーベルトの範囲ですが、中には、土壌にラジウムやトリウムといった放射性物質を多く含むため、自然放射線レベルが高い地域があります。こうした地域を高自然放射線地域と呼びます (上巻 P67「大地の放射線 (世界)」)。

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、土壌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 (上巻 P68「大地の放射線 (日本)」)。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019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」（2011年）より作成

2011年12月に、公益財団法人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5.98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 P66「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（上巻 P76「診断で受ける放射線量」）。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019年3月31日

| 被ばくの種類          | 線源の内訳              | 実効線量<br>(ミリシーベルト/年) |
|-----------------|--------------------|---------------------|
| 外部被ばく           | 宇宙線                | 0.3                 |
|                 | 大地放射線              | 0.33                |
| 内部被ばく<br>(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<br>(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」（2011年）より作成

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 $1.6 \times 10^{-4}$ 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P71「ラドン及びトロンの吸入による内部被ばく」で説明します。

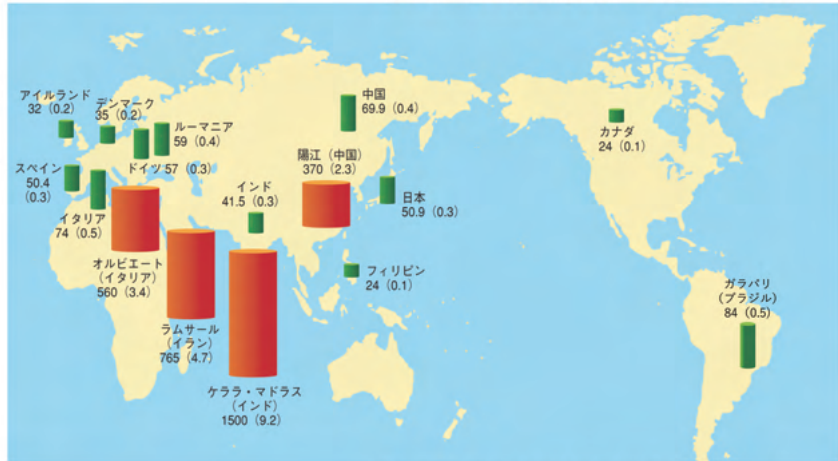
なお、トリチウムについては他の核種と比較して人体に与える影響が小さく、相対的に自然からの被ばく線量も小さくなっています（上巻P57「実効線量への換算係数」）。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2018年2月18日

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」（2011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。

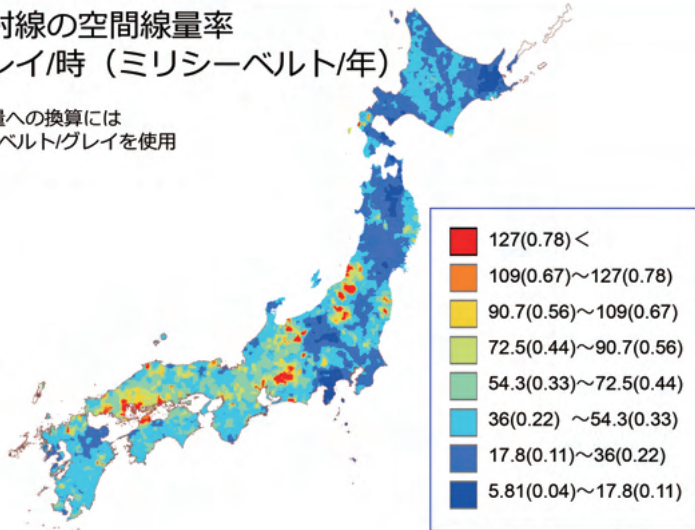
中国やインドにおける疫学調査等から、これまでのところ、これらの地域では、がんの死亡率や発症率の顕著な増加は報告されていません（上巻P124「低線量率長期被ばくの影響」）。ラムサルでは、がんリスクに関する解析が現在進められています。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019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



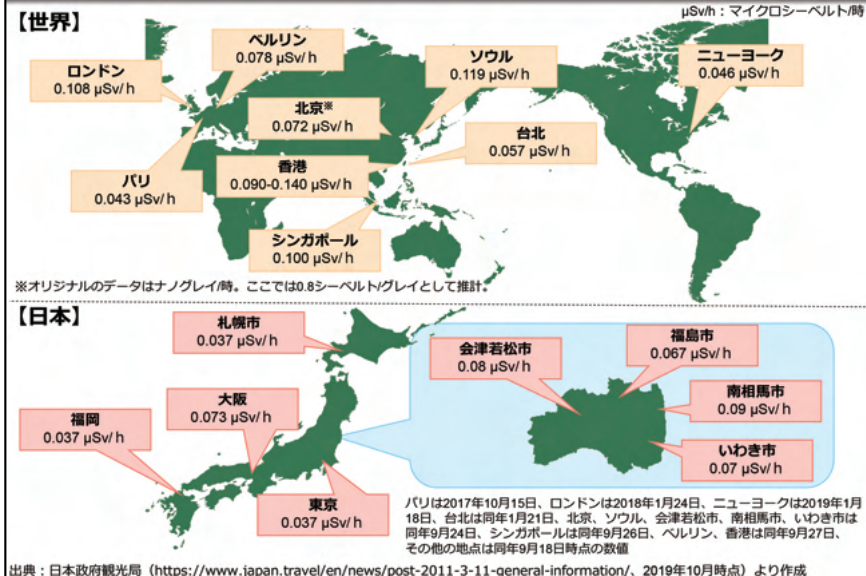
出典：日本地質学会ウェブサイトより作成

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。

関東平野では地質に含まれる放射性核種が少なく、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：2013年3月31日

改訂日：2019年3月31日



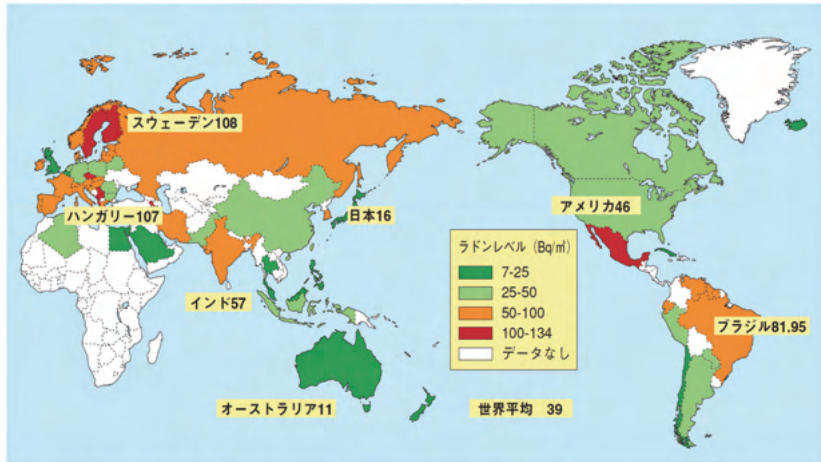
この図では、世界及び日本の主要都市の空間線量率の測定結果を示しています。図に示した都市の放射線量はおよそ0.03 μSv/h から0.14 μSv/h となっており、放射線量は地域によって異なることが分かります。これは、主に大地の土壌や岩石の違い等により大地からの放射線量が異なるからです。

福島県内の4自治体の空間線量率は、東京電力福島第一原子力発電所の事故後、時間の経過とともに大幅に低下し、国内外の主要都市と変わらない程度になっています。

本資料への収録日：2019年3月31日

改訂日：2021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/m<sup>3</sup>)Bq/m<sup>3</sup> ; ベクレル/立方メートル

出典 : 国連科学委員会(UNSCEAR) 2006報告書より作成

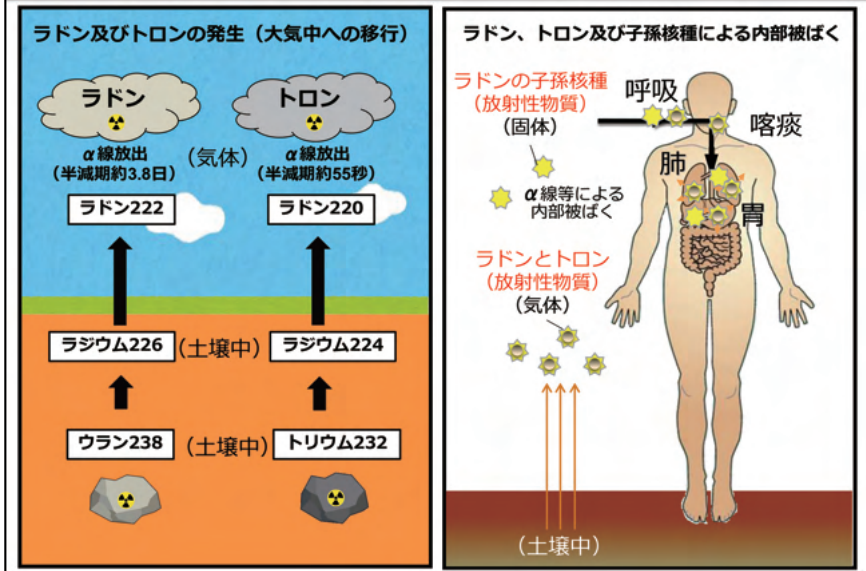
ラドンは、地下に広く存在するラジウムがアルファ壊変することにより発生する放射線の希ガスです。気体であることから、地中から出て家屋の中にも入り込みます(上巻 P71 「ラドン及びトロン」の吸入による内部被ばく)。

ヨーロッパのような石造りの家で生活する地域では、屋内ラドン濃度が高くなり、その結果、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 : 2013年3月31日

改訂日 : 2015年3月31日



ラドン（ラドン222）及びトロン（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が壊変したもので、トロンはトリウム232から始まる壊変（トリウム系列）で生成されたラジウム226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、トロンは約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。

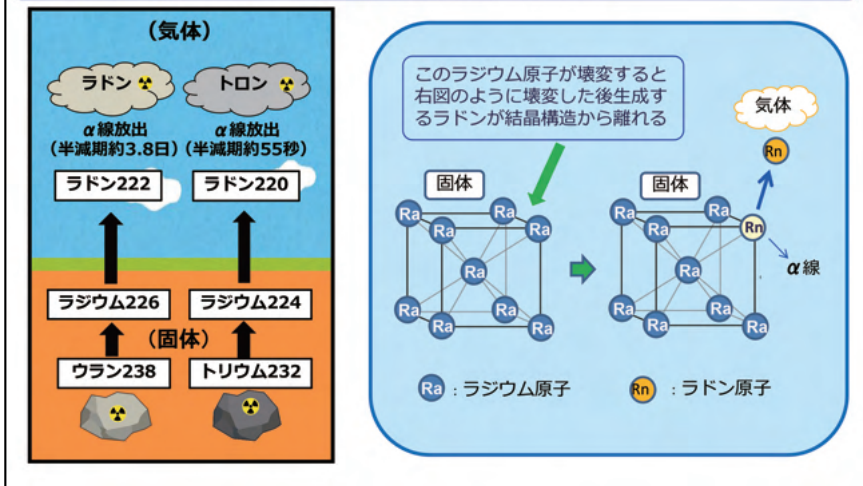
ラドン及びトロンは地面や建材等から空气中に拡散するため（上巻 P72 「固体のラジウムから気体のラドンの生成」）、私たちは普段の生活において日常的にラドン及びトロンを吸い込んでいます。呼吸によって吸い込まれたラドンは肺に到達し、α（アルファ）線を放出するため、肺への内部被ばくが問題となります。体内に吸い込まれたラドンはさらに壊変して子孫核種となり、肺や、喀痰と共に食道から消化器官に移行して内部被ばくをもたらします。

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、ラドンの娘核種である放射性的ポロニウム218やさらに壊変した鉛214等は固体状であるため、一旦吸い込むと、肺胞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：2015年3月31日

改訂日：2021年3月31日

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が、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、 $\alpha$  (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 $-71^{\circ}\text{C}$ 、沸点が約 $-62^{\circ}\text{C}$ 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変わ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中に出てきます。

本資料への収録日：2016年3月31日

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   |
| トリチウム   | ※2 | 100Bq   |
| 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等由来の核種
- ※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

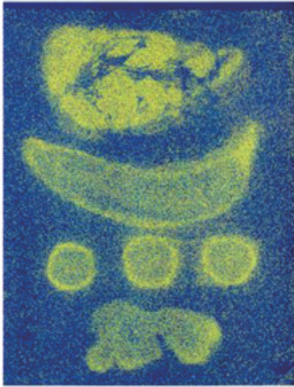
出典 : (公財) 原子力安全研究協会「生活環境放射線データに関する研究」(1983年)より作成

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 $\beta$ （ベータ）線と $\gamma$ （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P74「目で見る放射線」）。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：2013年3月31日

改訂日：2018年2月28日



豚肉、バナナ（縦切り及び横切り）、  
ショウガの放射能像

## 食品からの放射線

- ・主にカリウム40の $\beta$ （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 **$1.26 \times 10^9$** 年

※天然に存在するカリウムのうちカリウム40の割合

出典：応用物理 第67巻 第6号（1998）

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

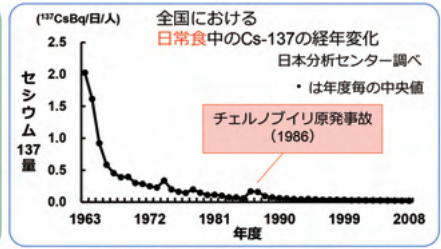
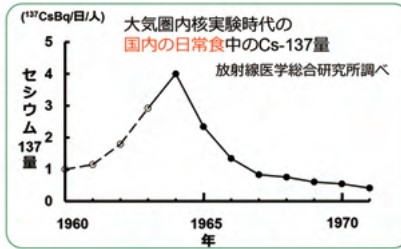
イメージングプレート<sup>1</sup>を利用すると、カリウム40からの $\beta$ 線によってカリウムの分布を調べることができます。

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した状態で25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。

1. イメージングプレートとは、プラスチック板等の支持体に、放射線に反応する蛍光物質が塗布されたものです。放射性物質が含まれる試料をプレートの上に一定時間置くことで、試料の放射能の二次元分布が調べられます。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019年3月31日



※ 2つの研究では試料採取の時期や場所が異なります。



- ・ 1960年代の食事を成人が1年間食べ続けた場合セシウム137からの内部被ばく線量は

$$4.0 \times 365 \times 0.013 = 19 \mu\text{Sv/年}$$

$$(\text{Bq/日}) (\text{日/年}) (\mu\text{Sv/Bq}) = \underline{0.019 \text{ mSv/年}}$$

- ・ (日本平均)  
食品中の自然放射線による年間の内部被ばく線量は **0.99 mSv/年\***

出典：(公財)原子力安全研究協会「生活環境放射線」(2011年)より作成

1945年から1980年まで世界各地で大気圏核実験が行われました。その結果、大量の人工放射性核種が大気中に放出され、日本にも降下しました(上巻P78「大気圏核実験による放射性降下物の影響」)。放出された人工放射性核種がどのように健康に影響するか調べるため、日本全国で日常食中の放射能測定がなされてきました。

日常食中の放射能測定は、実際に摂取している食事を測定試料としており、食事に伴う内部被ばく線量の推定・評価に有用です。

日常食中のセシウム137の量は、特に大気圏内での核実験が禁止される1963年前後に最も高くなりました。その後は急速に減少し、1975年にはピーク時の10分の1程度にまで減少しました。1986年にはチェルノブイリ原発事故の影響で少し増えましたが、その後も2000年代まで緩やかに減少する傾向が見られます。

仮に、最もセシウム137濃度が高い1960年代の食事を成人が1年間食べ続けた場合、セシウム137からの内部被ばく線量は

$4.0(\text{Bq/日}) \times 365(\text{日/年}) \times 0.013(\mu\text{Sv/Bq}) = 19 \mu\text{Sv/年} = 0.019 \text{ mSv/年}$   
となります。この値は日本人が食品中の自然放射線から受ける内部被ばく線量(0.99 mSv/年)の約2%程度となります。

上記2つの研究では、測定試料(日常食)の採取地点及び数が異なるため、数値に違いが見られます。

(全国における日常食中のセシウム137の経年変化のグラフ中の黒い点は、年度ごとの中央値です)

本資料への収録日：2017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           | 0.4 mGy（100kV未満）  | 0.06 mSv                                    | 実効線量           |
| マンモグラフィ<br>（平均乳腺線量） | 2.4 mGy   | 2 mGy程度                                     | 等価線量<br>（乳腺線量） |
| 透視                  | IVR：装置基準透視線量率<br>17 mGy/分   | 胃の透視：10 mSv/分<br>（25秒～190秒 術者や被検者により差がある）*3 | 実効線量           |
| 歯科撮影<br>（口内法X線撮影）   | 下顎 前歯部 1.0 mGy から<br>上顎 大臼歯部 2.0 mGy まで<br>（いずれも入射空気カーマ (Ka,i) [mGy]） | 2 -10 μSv程度                                 | 実効線量           |
| X線CT検査              | 成人頭部単純ルーチン 77 mGy<br>(CTDIvol)  | 5 -30 mSv程度                                 | 実効線量           |
|                     | 小児（5～9歳）頭部 55 mGy<br>(CTDIvol)  |   |                |
| 核医学検査               | 放射性医薬品ごとの値  | 0.5-15 mSv程度                                | 実効線量           |
| PET検査               | 放射性医薬品ごとの値  | 2 -20 mSv程度                                 | 実効線量           |

\*1：医療被ばく研究情報ネットワーク「日本の診断参考レベル（2020年版）(Japan DRLs 2020)」2020年7月3日（2020年8月31日一部修正）（<http://www.radher.jp/J-RIME/>）

\*2：量子科学技術研究開発機構「CT検査など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」（<https://www.qst.go.jp/site/qms/1889.html>）

\*3：北里大学病院放射線部「医療の中の放射線基礎知識」の「健康診断のX線検査」の「胃（透視）」上記資料\*1、\*2及び\*3より作成

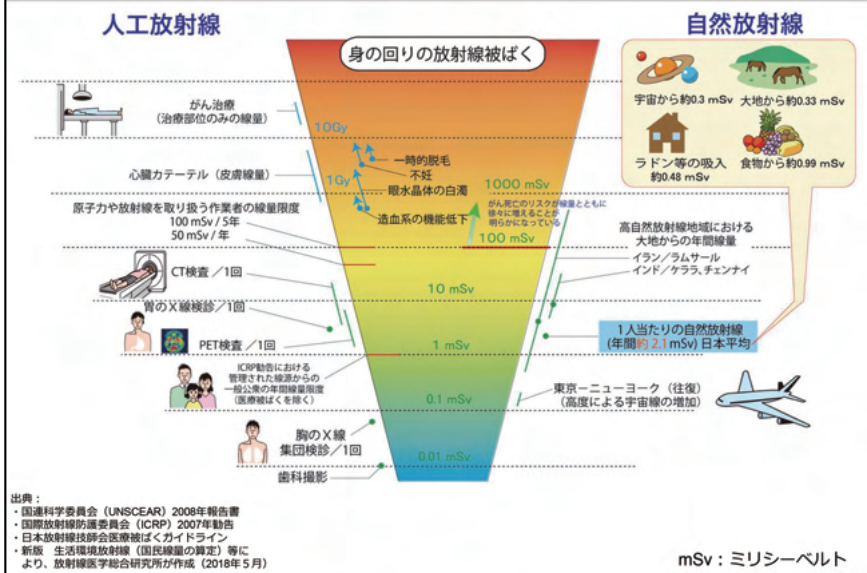
放射線検査による被ばく線量は、検査の種類によって異なります。歯科撮影のように局所的にごく僅かな被ばくをするものもありますし、X線CTや核医学検査等、被ばく線量が比較的高めの検査もあります。また、同一の検査の種類でも、線量は医療機関によって大きな違いがあり得ます。そこで、診断にとって線量が高すぎるかどうかを判断する目安として、診断参考レベルの利用が推奨されています。その医療機関の平均的な放射線量が診断参考レベルと大きくかけ離れている場合、検査における照射条件の見直しを国際放射線防護委員会（ICRP）は考慮すべきとしています。

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、2000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、2006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）<sup>1</sup>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。最新の診断参考レベルは「日本の診断参考レベル（2020年版）」が2020年7月3日に公開されています（2020年8月31日に一部修正）。

1. 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、我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2010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：<http://www.radher.jp/J-RIME/index.html>より作成）

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2021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、1回の行為当たりの線量や年間当たりの線量は、ミリシーベルト単位のものほとんどです（上巻P76「診断で受ける放射線量」）。

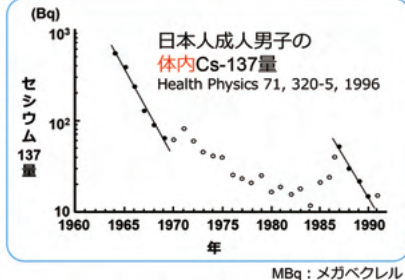
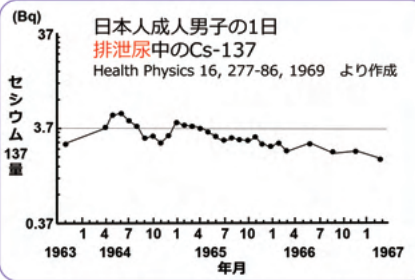
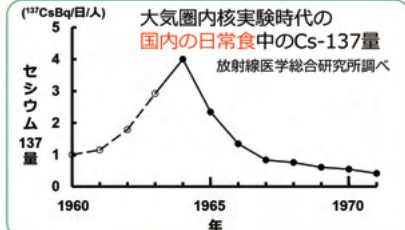
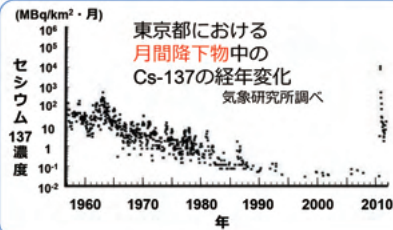
なお、人への健康影響が確認されている被ばく線量は、100ミリシーベルト以上であると考えられています。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019年3月31日



体内放射能：体重60kg 加<sup>60</sup>Ca40：4,000 Bq(ベクレル) 炭素14：2,500 Bq 肌<sup>232</sup>Th87：520 Bq 骨<sup>238</sup>U：100Bq



MBq：メガベクレル

大気圏核実験が盛んに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ずれがあるため、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。

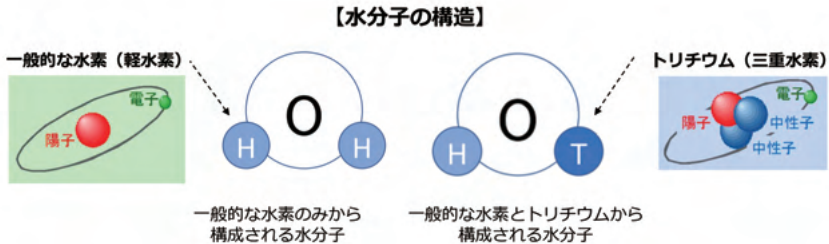
日常食のセシウムの量と連動して、尿中や体内のセシウム137の量も1964年が最大でした。なお、チェルノブイリ原発事故による影響の結果、日本人の体内からもセシウムの増加が確認されています。

また、大気圏核実験によって、放射性セシウムだけでなくプルトニウムやストロンチウム90等も環境中に放出されました。これらの放射性核種は、現在でも土壌にわずかながら残存しています。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019年3月31日

トリチウムは「三重水素」と呼ばれる水素の放射性同位体。



出典：経済産業省資源エネルギー庁「廃炉の大切な話2018」、  
トリチウム水タスクフォース「トリチウム水タスクフォース報告書」（2016年）、  
多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会事務局「トリチウムの性質等について（案）」より作成



東京電力福島第一原子力発電所において多核種除去設備等で浄化処理した水の中には、放射性物質のトリチウムが含まれています。

トリチウムとは、日本語で「三重水素」と呼ばれる水素の放射性同位体です。一般的な水素と同じように酸素と化合して水分子を構成することから、身の回りでは水分子に含まれるかたちで存在するものが多く、大気中の水蒸気、雨水、海水、水道水にも含まれています。トリチウムは水分子の一部になって存在しているため、多核種除去設備等での除去は困難です。トリチウムは、原子力発電所を運転することで人工的に生成される以外にも、自然界で宇宙線により生成されます。

トリチウムは放射線の一種である $\beta$ （ベータ）線を出します。ただしトリチウムの出す $\beta$ 線はエネルギーが小さく、紙一枚で遮蔽が可能です。そのため外部被ばくによる人体への影響は考えられません。また、トリチウムを含む水は、生物学的半減期が10日で、体内に取り込んだ場合も速やかに体外に排出され、特定の臓器に蓄積することはありません（上巻 P31「原発事故由来の放射性物質」）。トリチウムを経口摂取した場合の預託実効線量係数は $0.000018 \mu\text{Sv/Bq}$ であり、他の核種と比較して小さい値となっています（上巻 P57「実効線量への換算係数」）。

多核種除去設備等で浄化処理した水の取扱いについては、技術的な観点のみならず、風評などの社会的な影響等も含めた総合的な検討が進められています。

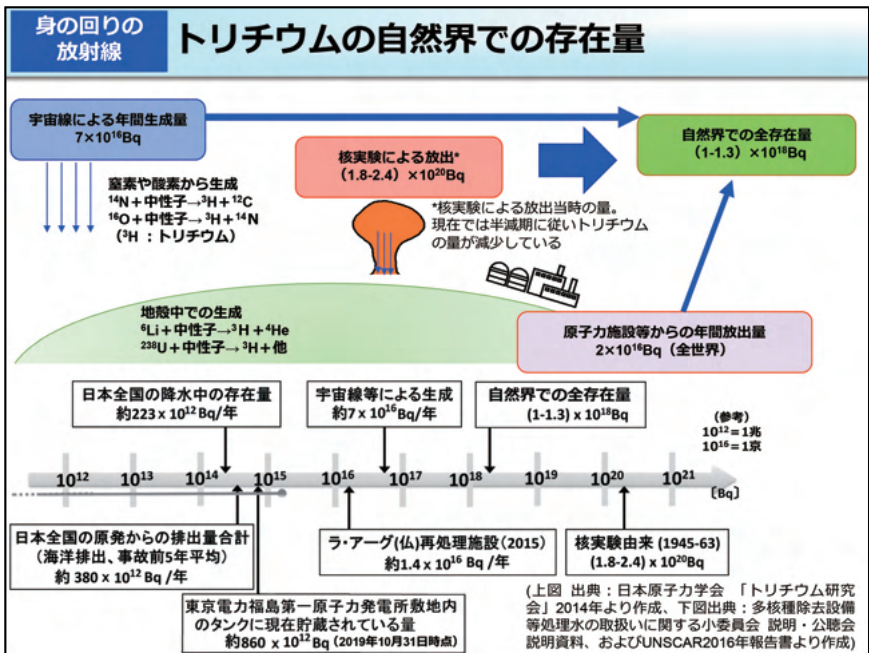
#### 【参考資料】

トリチウムの基礎知識について：

- 安全・安心を第一に取り組む、福島「汚染水」対策②「トリチウム」とはいったい何？  
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyoku/osensuitaisaku02.html>
- トリチウムが人体に与える影響について：
- 安全・安心を第一に取り組む、福島「汚染水」対策③トリチウムと「被ばく」を考える  
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyoku/osensuitaisaku03.html>
- 廃炉・汚染水対策ポータルサイト：
- ALPS 処理水  
[https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/hairo\\_osensui/alps.html](https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/hairo_osensui/alps.html)

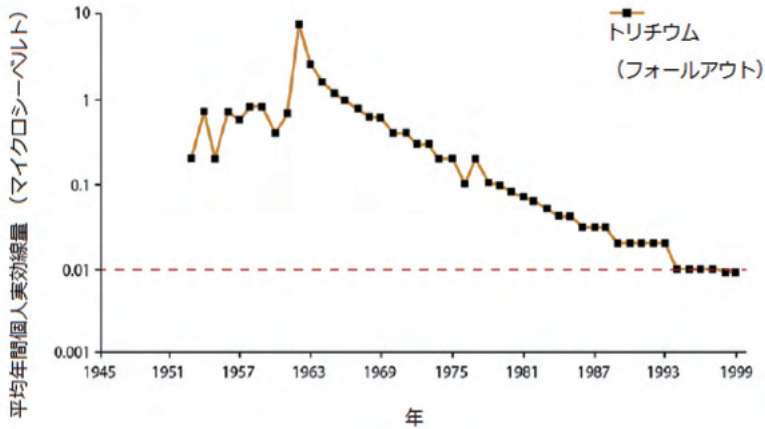
本資料への収録日：2019年3月31日

改訂日：2021年3月31日



トリチウムは、水素の放射性同位体（半減期は約12.3年）で、弱い放射線（ベータ線）を出しています（上巻 P79 「トリチウムの性質」）。自然界では宇宙線等により地球上で年間約7京（ $7 \times 10^{16}$ ）Bq 程度のトリチウムが生成されています。また、過去の核実験（1945～1963年）により、トリチウムが $1.8 \sim 2.4 \times 10^{20}$ Bq 放出されました。このほか全世界の原子力発電所等の施設からも日常的にトリチウムが排出されており、全世界の原子力発電所からの年間放出量は $2 \times 10^{16}$ Bq、事故前の日本全国からの原子力発電所からの排出量は年間 $380 \times 10^{12}$ Bq（海洋排出、事故前5年平均）でした。自然界でのトリチウムの全存在量は $1 \sim 1.3 \times 10^{18}$ Bqと推定されています。放出されるトリチウムの量は水分子を構成する水素として存在するものが多く、大気中の水蒸気、雨水、海水、水道水にも含まれています。日本における降水中のトリチウム量を試算すると、年間約 $223 \times 10^{12}$ Bqとなります。

本資料への収録日：2021年3月31日



出典：UNSCEAR2016年報告書Annex C-Biological effects of selected internal emitters-Tritium

核実験が行われた1950～1963年には、これに起因する放射性降下物（フォールアウト）が地球全域に降り注ぎました。これによってトリチウムによる年間の平均個人線量が増大し、1962年にピークの $7.2 \mu\text{Sv}$ に達しました。その後は半減期に伴ってトリチウム量が減少するため、個人線量への寄与は少なくなり、1999年にはピーク時の700分の1程度、 $0.01 \mu\text{Sv}$ となっています。

核実験ではトリチウムのほか、セシウムやプルトニウム、ストロンチウム90も環境中に放出されました

原子放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）の報告によれば、トリチウムの公衆被ばくの影響に関して、これまでの疫学研究からは、トリチウム特有のリスクは確認されていません。また、1960年代前半の核実験が盛んな時期以降においても小児白血病の増加が認められていないことより、トリチウムの健康リスクが過小評価されている可能性は低いとされています。

（関連ページ：上巻 P78 「大気圏核実験による放射性降下物の影響」）

本資料への収録日：2021年3月31日