

放射線の 基礎知識

環境科学技術研究所では、再処理工場から排出される放射性物質による青森県民への放射線被ばくに関して調査研究するとともに、そこで得られた成果を青森県民をはじめ全国の方々に伝える活動を行っています。

本パンフレットでは、調査研究成果の理解に資するため、放射性物質と放射線の基礎知識、調査研究の背景、調査研究の内容および基本的な成果を解説しています。

目次	ページ
放射性物質とは何か	1
放射線とは何か	2
環境中の放射性物質・放射線と人とのかかわり	3~4
放射線の単位	5
放射線の被ばく線量と影響などとの関係の概要	6
放射線の人体への影響	7~8
自然放射線	9~10
線量限度が年間1ミリシーベルトに設定された理由	11
がんの発症と防御の仕組み	12
食品中の放射性物質による内部被ばく	13
食品中の放射性セシウム濃度に関する基準値	14

公益財団法人

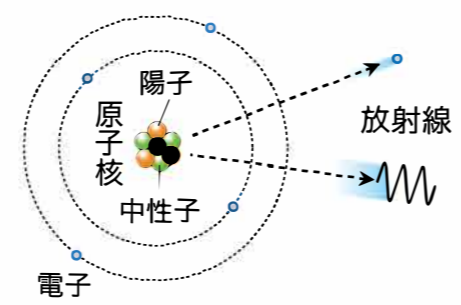
環境科学技術研究所

放射性物質とは何か

放射性物質は放射線を出す“能力”を持っている物質です。その能力を放射能と言います。

①放射性物質の正体は、放射能を持つ原子です。右の図は、その原子の模式図です。

放射性物質の原子



②この原子の中心にある原子核が不安定であるため、安定になろうとして変化する時に放射線が出ます。

③原子核が変化すると別の物質になるので、時間が経つと放射性物質の量（原子の数）は減っていきます。

例) ヨウ素131の減衰

	放射性物質の量	半減期ごとに減る量
0日	1	
8日経過	1/2	*1 最初の半分
16日経過	1/4	*2 *1の半分
24日経過	1/8	*3 *2の半分
32日経過	1/16	*3の半分
⋮	⋮	⋮

④放射性物質の量が半分に減る時間を、半減期といいます。半減期は、物質によって異なります。

物質名	半減期
ヨウ素131	8日
セシウム134	2.1年
セシウム137	30年

最初の量が半になる時間だけでなく、どの時点からでも半になる時間は同じです。

放射線とは何か

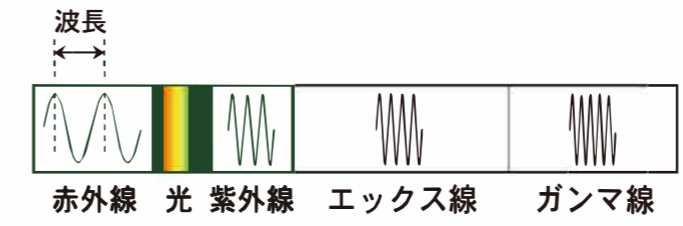
放射線には様々な種類がありますが、大きく分けると、以下の2つに分けられます。

①速く飛んでいる小さな粒(粒子線)

- ・アルファ線 中性子 陽子
- ・ベータ線 電子
- ・中性子線 中性子

- ・アルファ線は、早く飛んでいる陽子2個と中性子2個のかたまりです。
- ・ベータ線は速く飛んでいる電子です。
- ・中性子線は速く飛んでいる中性子です。

②光や紫外線より波長の短い波(電磁波)



- ・エックス線やガンマ線は、光(可視光線)や紫外線より波長の短い波です。

放射性物質から出る主な放射線は、アルファ線、ベータ線とガンマ線です。

もっと知ってみよう

線香花火で例えると

放射性物質と放射線の関係は線香花火に似ています。

線香花火の火の玉が放射性物質、火の玉から飛び出る火花が放射線に相当します。



放射性物質の名前についた数字は何?

セシウム134の数字は原子核の陽子数55と中性子数79の合計を表しており、質量数と呼ばれます。セシウム137はセシウム134と陽子数は同じですが、中性子数が3個多くなっています。

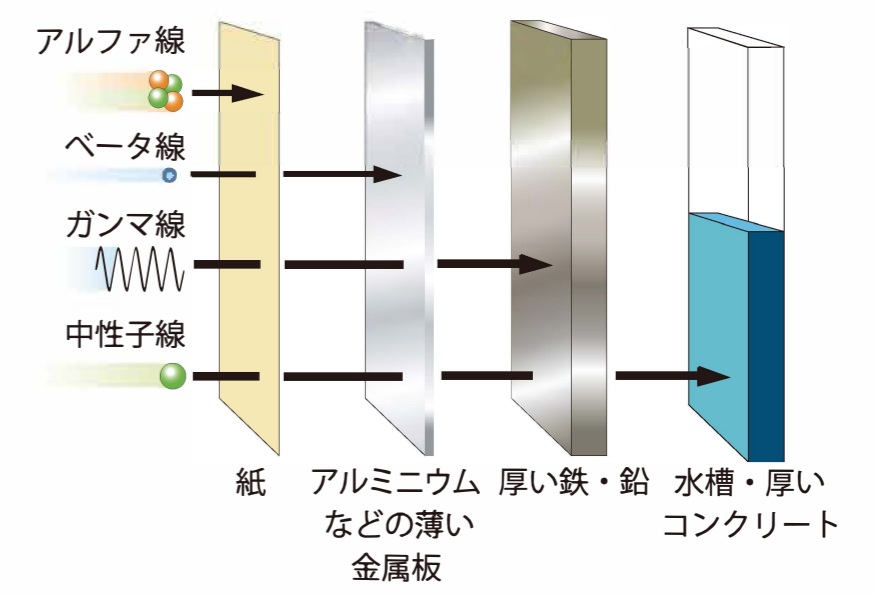
	陽子数	中性子数	
セシウム133	55	78	安定な物質
セシウム134	55	79	放射性物質
セシウム137	55	82	放射性物質

もっと知ってみよう

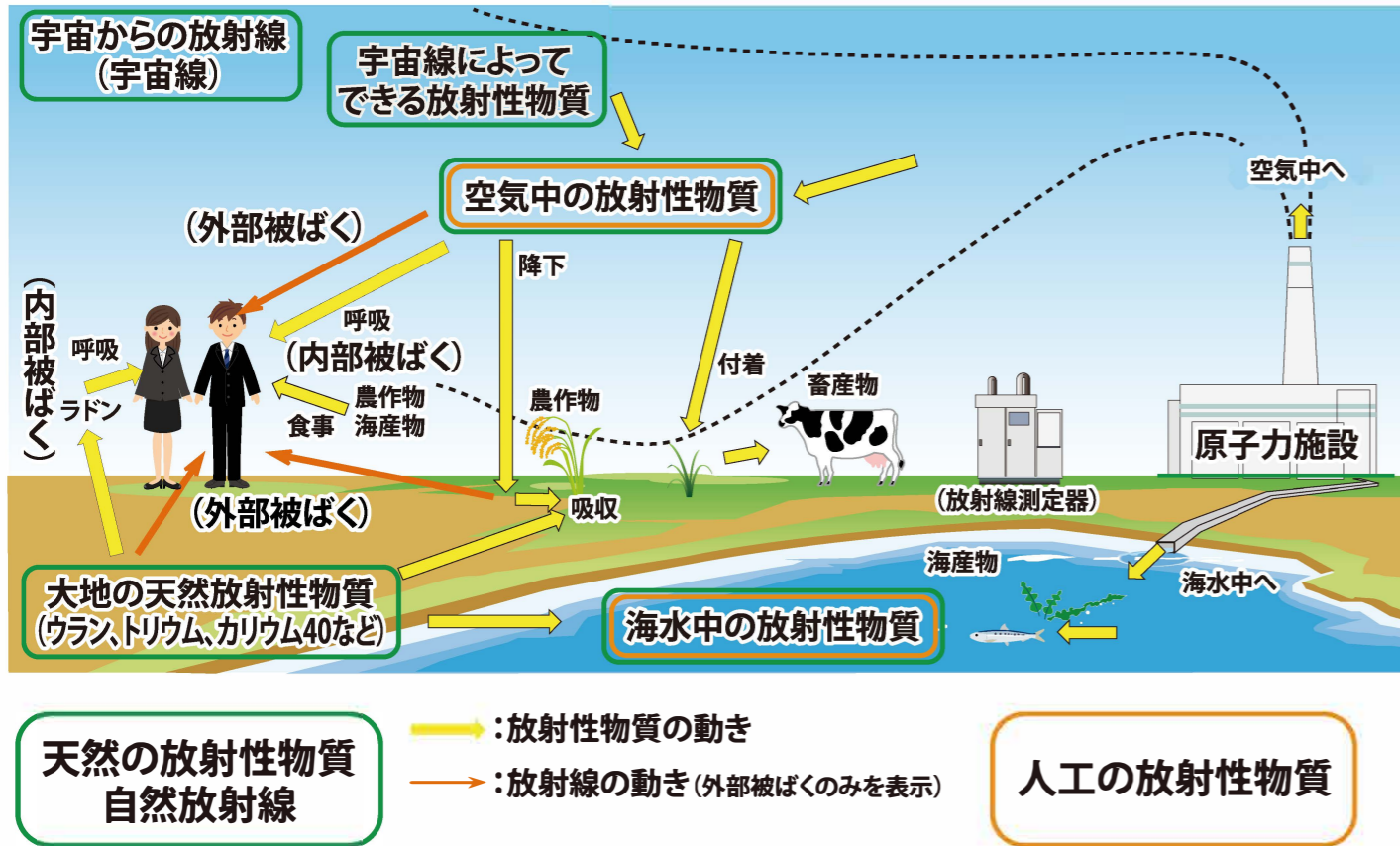
放射線の透過力

放射線は種類によって性質が異なり、物を透過する力も異なります。

- ・アルファ線は、紙1枚や空気5cm程度で止まります。
- ・ベータ線は、薄い金属板で止まります。
- ・ガンマ線は透過力が強く、厚い鉄などによって止まります。
- ・中性子線は透過力がさらに強く、水槽や厚いコンクリートなどによって止まります。



環境中の放射性物質・放射線と人とのかかわり



環境中には天然・人工由来の放射線や放射性物質が存在しています。

- ①天然由来の放射線・放射性物質
 - ・大地にはどこでも天然由来の放射性物質が含まれ、放射線を出しています。
 - ・宇宙からも常に放射線（宇宙線）が来ています。
 - ・宇宙線と空気中に含まれる元素との反応により、放射性物質が常に作られています。
 - ・大地の天然放射性物質の一部は農作物に吸収されているほか、海に流れ出て海産物にも取り込まれています。
- ②人工由来の放射性物質
 - ・原子力関連施設から放射性物質が放出されます。
 - ・過去に行われた大気中核実験や原子力関連の事故により放出された放射性物質が存在しています。

人が放射線を受けることを被ばくといいます。被ばくは、下記の2つに分けられます。

- ①外部被ばく
 空気中や大地の放射性物質が発する放射線や宇宙線を体の外側から受けること。
- ②内部被ばく
 呼吸や食事をする事で放射性物質が体内に入り、体の内側から放射線を受けること。

放射線の被ばくによって体に小さな傷ができますが、私たちの体にはその傷を治す生体防御の機能が備わっています。自然放射線のように少量の放射線を被ばくしても健康でいられるのは、そのお陰です。

もっと知ってみよう

天然の放射性物質の代表例

放射性物質名	放出放射線	半減期	特徴
ウラン238	アルファ線	45億年	天然に存在する最も質量数が高い物質
トリウム232	アルファ線	141億年	ウランと同様に質量数が高い物質
カリウム40	ベータ線とガンマ線	13億年	カリウムの中に約0.01%含まれている。農作物や海産物にも取り込まれるため含まれている。
ラドン222	アルファ線	3.8日	ウラン238が変化してできる（9頁下欄参照）。気体であり、地中から空気中に出ている。
ポロニウム210	アルファ線	138日	ウラン238が変化してできる（9頁下欄参照）。魚介類に比較的多く含まれている。
炭素14 (注)	ベータ線	5730年	空気中の窒素が宇宙線と反応してできる。光合成によって、農作物に取り込まれている。
トリチウム (注)	ベータ線	12年	空気中の窒素や酸素が宇宙線と反応してできる。水素の同位体であるので、水にも含まれている。

(注) 炭素14とトリチウムは、原子力発電所の中でも人工的にできます。

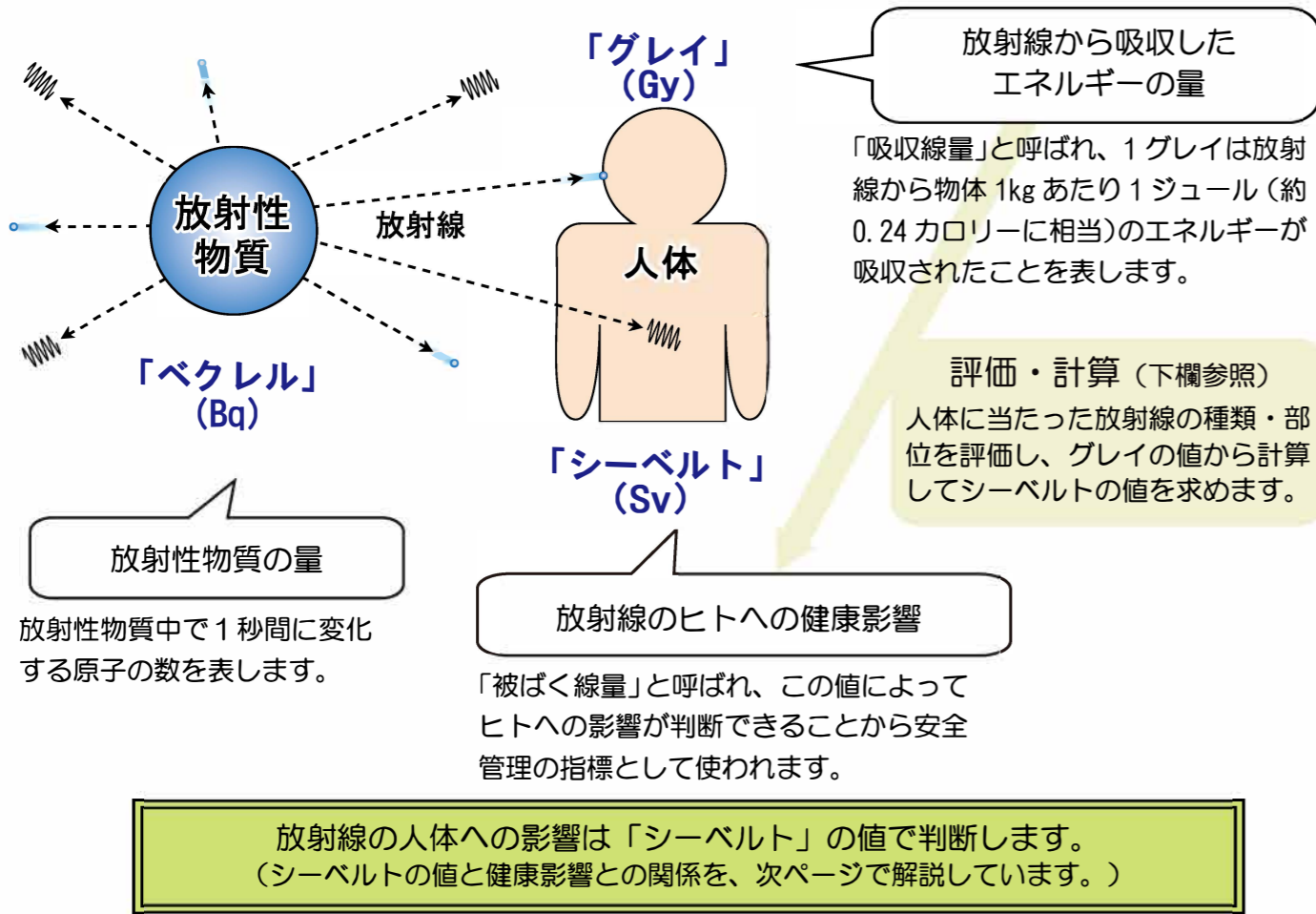
もっと知ってみよう

人工の放射性物質のうちこれまで環境に放出されたものの代表例

放射性物質名	放出放射線	半減期	特徴
セシウム137	ベータ線	30年	カリウムと似た化学的性質を有する。人体に入った場合、全身に分布し特に筋肉に集まりやすい。
セシウム134	ベータ線とガンマ線	2.1年	(セシウム137と同じ特徴がある。)
ヨウ素131	ベータ線とガンマ線	8日	人体に入った場合、甲状腺に集まりやすい。
ヨウ素129	ベータ線とガンマ線	1570万年	(ヨウ素131と同じ特徴がある。)
クリプトン85	ベータ線とガンマ線	11年	他の物質と結合しない希ガスなので、人体には吸収されない。
炭素14	ベータ線	5730年	人体に入った場合、全身に分布する。
トリチウム	ベータ線	12年	人体に入った場合、全身に分布する。

放射線の単位

放射線と放射性物質の量を表すために使われる単位を解説します。



もっと知ってみよう

シーベルトとグレイの関係

被ばく線量(シーベルトの値)は、正式には「実効線量」と呼ばれ、下の式で表されます。

$$\text{実効線量 (シーベルト)} = \text{組織の吸収線量 (グレイ)} \times \text{放射線加重係数} \times \text{組織加重係数}$$

を全身の組織で合計

人体の各組織1kgあたりに吸収される放射線エネルギー
・1グレイ=1ジュール/kg
=0.24カロリー/kg

がん等の発生し易さをガンマ線を基準にして表した係数*
・ガンマ線とベータ線が1
・アルファ線が20
・中性子線が2.5~21

臓器などの組織別の放射線感受性の違いを表す係数*
・骨髄、肺、胃、結腸、乳房、その他の組織が各0.12
・生殖腺が0.08
・甲状腺、食道、肝臓、膀胱が各0.04
・皮膚、骨表面、脳、唾液腺が各0.01
(全ての組織の加重係数の合計が1になるように、決められた。)

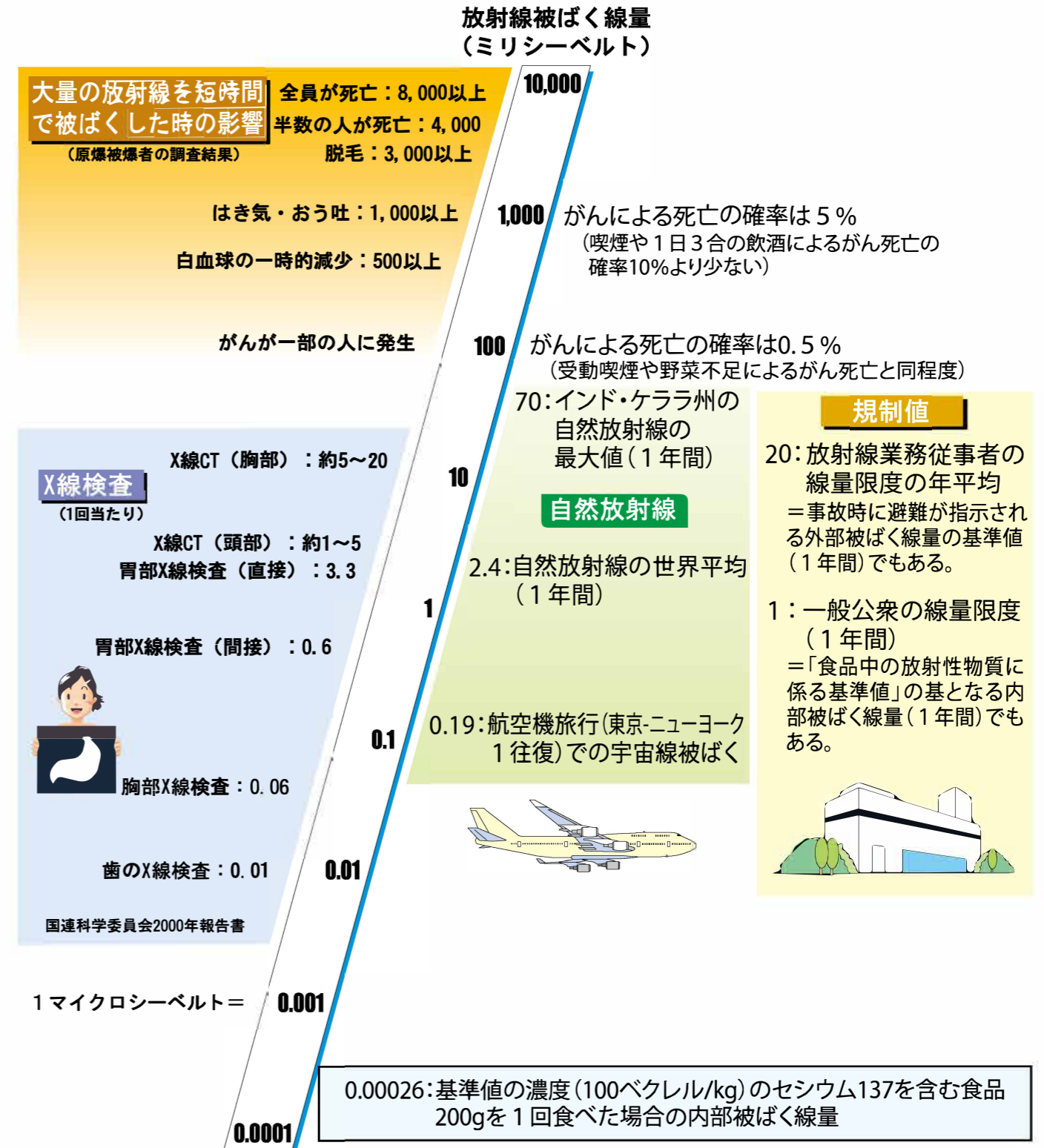
* 国際放射線防護委員会2007年勧告

- ガンマ線のエネルギーが全身に均等に吸収された場合には、シーベルトの値はグレイの値に等しくなります。
- グレイは人以外の動物や、測定器などに吸収される放射線エネルギーの単位としても使われます。
- 甲状腺など一つの組織のみへの放射線被ばく線量は、**組織の吸収線量(グレイ) × 放射線加重係数**で通常表され、等価線量と呼ばれます。(この単位にもシーベルトが使われています。)

放射線の被ばく線量と影響などとの関係の概要

大量の放射線を短時間で被ばくした場合には様々な影響が現れます。被ばく線量が少なくなるとともに影響も少なくなり、約100ミリシーベルト以下の放射線ではがんが発生するかどうか問題となります。一方、私たちは自然放射線を長期間被ばくし続けています。

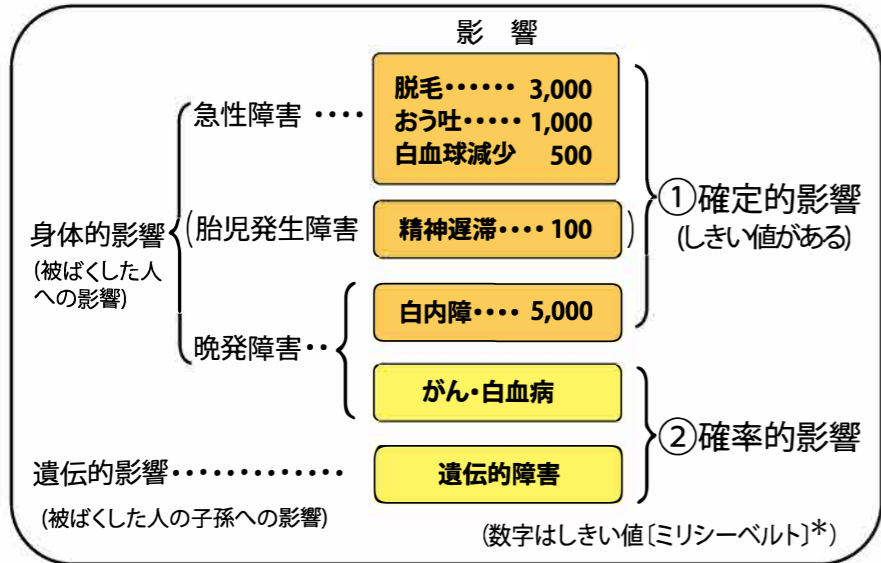
これらに基づき、原子力施設に由来する放射線被ばく線量の規制値が設定されています。それらの詳しい解説を、次ページ以降に記載しました。



放射線の人体への影響

高線量率・高線量放射線

大量（高線量）の放射線を短時間に被ばくした場合（高線量率）の影響は、原爆被爆者の調査などから次の通り明らかにされています。



*出典「放射線の影響がわかる本」 放射線影響協会

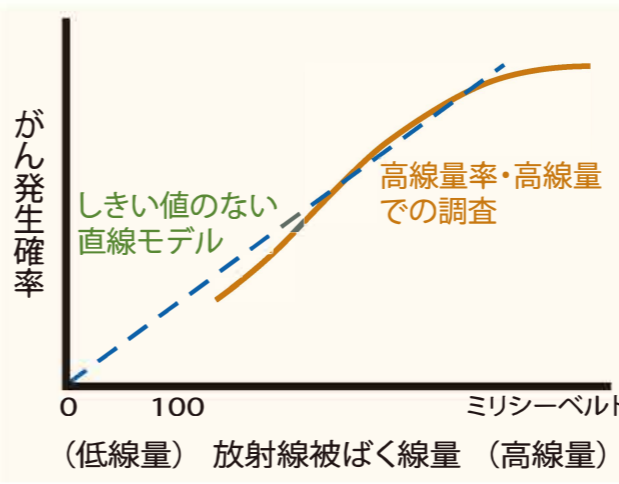
①確定的影響とは、左に示した数値（しきい値）以上の量の放射線を被ばくしたときに、ほとんどの人に現れる影響のことです。

②確率的影響とは、被ばくする放射線の量が増えるとともに、影響が現れる人の割合（確率）が増えるような影響のことです。がんが代表的なものです。

遺伝的影響は、原爆被爆者の調査では見られていませんが、動物実験では高線量放射線の場合に観察されています。そのため、放射線の安全管理では人体にも遺伝的影響が発生すると仮定して規制が行われています。環境科学技術研究所では、放射線による遺伝的影響についてマウスを用いて詳しく研究しています。

低線量率・低線量放射線

少量（低線量）の放射線を長時間にわたって被ばくした場合（低線量率）の影響は、確率的影響である晩発障害（主にかん・白血病、左ページ図）の発生であり、被ばく線量が少なくなるとともに発生確率が低くなることが予想されます。ただし、原爆被爆者の調査やその他に行われた調査においても約100ミリシーベルトよりも低い低線量域での影響は分かっていません。



しかし、放射線の安全管理では低線量であっても影響があると仮定し、次のようなモデルに基づき規制が行われています。

「しきい値のない直線モデル」
①原爆被爆者の調査などから得られた高線量率・高線量被ばくでの被ばく線量とがん発生確率の関係を求めました。

②その関係を低線量域まで直線的に延長し、低線量放射線でも影響があると仮定しました。

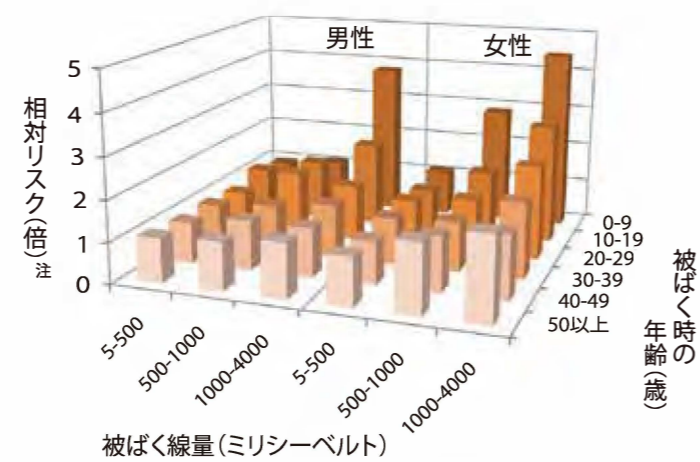
低線量・低線量率放射線の小さな影響を検出するためには、性質が均一の多数の個体を同じ環境のもとで調べる必要があることから、環境科学技術研究所ではマウスを用いた研究を行いました（下欄を参照）

もっと知ってみよう

原爆被爆者の調査で分かったこと

- 原爆被爆後の最初の10年間は、血液のがんである白血病が増加。それ以降は、肺がん、胃がん、肝臓がん、乳がん、大腸がん、膀胱がん、甲状腺の良性腫瘍などの固形がんが増加。
- 小児被ばくによるがんのリスクは、500ミリシーベルト以上の被ばく線量で、成人被ばくによるがんのリスクより2~3倍高い（右図）。
- 胎児被ばくによるがんのリスクは、小児被ばくによるがんのリスクより高くはない。
- 女性のがんリスクは、500ミリシーベルト以上の被ばく線量で、男性より高い（右図）。
- がん以外の病気（白内障、心臓病、脳梗塞など）が、高線量被ばくで増加。

原爆被爆者の被ばく時年齢、性別、被ばく線量毎の固形がん発症率の相対リスク



注：5ミリシーベルト以下の被ばく者の固形がん発症率に対する比 D.L.Preston, et al., Radiat. Res. 168, 1-64 (2007)より作成

もっと知ってみよう

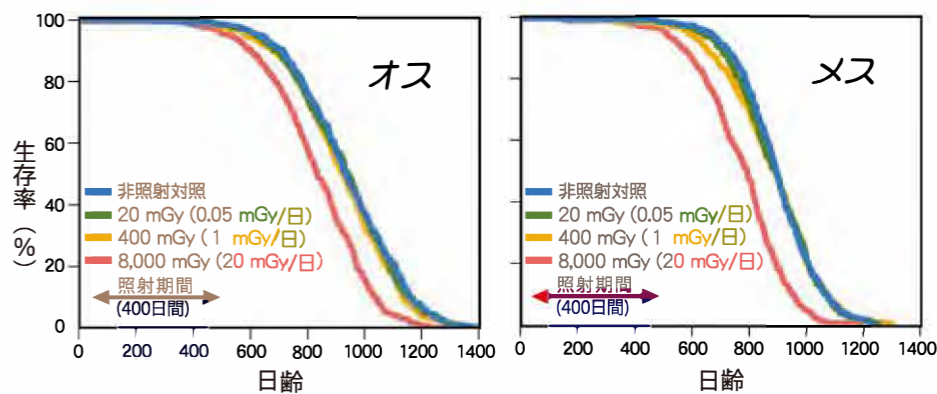
環境科学技術研究所では、低線量率・低線量放射線の影響を明らかにするため、マウスを用いた動物実験を行いました。

マウスに放射線（ガンマ線）を400日間照射し、照射しないマウスと寿命などを比較しました。

- ・最も低い線量率（0.05ミリグレイ/日）で総線量20ミリグレイ（20ミリシーベルトに相当）の低線量の放射線を照射したマウス（下図の緑線）の寿命は、照射しないマウス（青線）とほぼ同じでした。
- ・1日あたり20ミリグレイで総線量8000ミリグレイ（8000ミリシーベルトに相当）の放射線を照射したマウス（下図の赤線）の寿命はオス、メスともに短くなりました。



マウスに放射線を照射する実験施設



mGy：ミリグレイ（グレイの説明は5頁参照）

自然放射線

私たちは、どこにいても、いつでも自然放射線を被ばくしており、その被ばく線量は低線量率・低線量です。

青森県民が受けている自然放射線の量を、環境科学技術研究所で調査しました。

①大地からのガンマ線

岩石や土に含まれているウラン、トリウム、カリウム40などの放射性物質から出るガンマ線によって、外部被ばくを受けています。

ウランやトリウムが変化すると別の放射性物質になり(注)、それらも大地に含まれています。

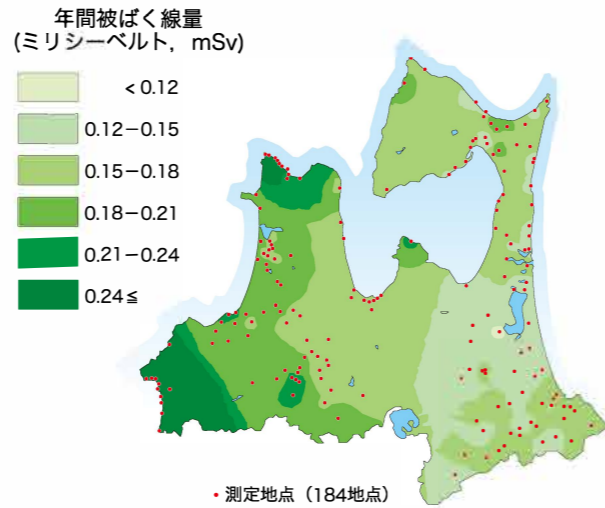
青森県内の測定結果の平均は、1年間で0.17ミリシーベルトです。

②ラドン(注)

大地から空気中に出ているラドンという気体の放射性物質が、呼吸によって肺に入ることによって、内部被ばくを受けています。

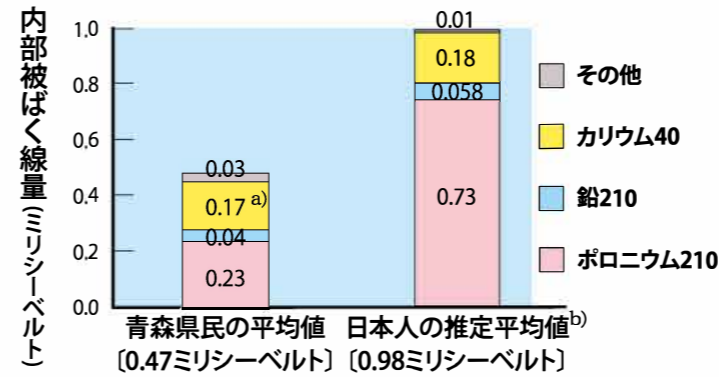
青森県内の測定結果の平均は、1年間で0.39ミリシーベルトです。

大地からのガンマ線による被ばく線量の分布

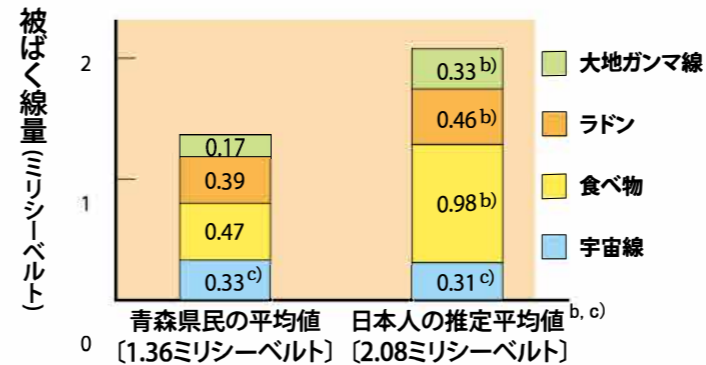


(注)下欄「ウランが変化してできる放射性物質」を参照

食事による年間内部被ばく線量



自然放射線の年間被ばく線量



③食べ物からの放射性物質

食物中にも天然由来の放射性物質が含まれています。それらを食事によって体内に取り込むことで、内部被ばくを受けています。

青森県内の測定結果の平均は、1年間で0.47ミリシーベルトです。

④宇宙線

宇宙線によって、外部被ばくを受けています。

被ばく線量は計算で得たものですが、青森県内の計算結果は、1年間で0.33ミリシーベルトです。

a) Uchiyama ら (1996), Health Phys.,71(3),pp.320-325.
 b) (公財)原子力安全研究協会、「新版 生活環境放射線(国民線量の算定)」
 c) 藤元、O'Brien(2002), 保健物理 37,pp.325-334.

青森県民の自然放射線の年間平均被ばく線量は約1.36ミリシーベルトでした。

もっと知ってみよう

ウランが変化してできる放射性物質

ウラン238が変化してできる元素も放射性物質です。それが変化してできる元素もまた放射性物質です。このように次々と元素が変化し、最後に鉛206になって安定します。これらをウラン壊変系列といいます。ウランが含まれる土壌や海水中には、これらの放射性物質も含まれています。



ラドンは気体であるため、その一部が大地から出て空気中を漂っています。ラドン222から変化したポロニウム218、鉛214、ビスマス214及びポロニウム214も一緒に空気中を漂っています。

→ アルファ線を出す壊変
 → ベータ線を出す壊変
 ● ガンマ線放出率の高い壊変
 ● ガンマ線放出率の低い壊変 (放出率が数%以下)

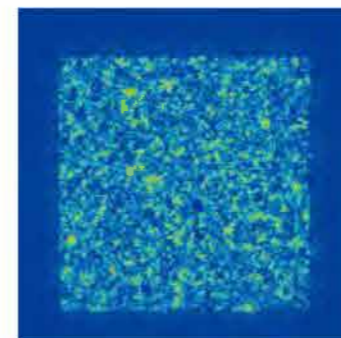
元素名 質量数 半減期

ポロニウム210は、魚介類に比較的多く含まれています。

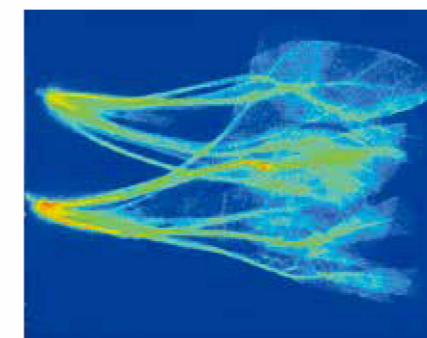
もっと知ってみよう

天然放射性物質の分布画像

岩石や食べ物に含まれている天然放射性物質からの放射線を、特殊なフィルム(イメージングプレート)で1ヶ月かけて撮影した画像です。



花崗岩(御影石)に含まれる天然放射性物質(ウラン、トリウム、カリウム40など)の分布



ほうれん草に含まれるカリウム40の分布



宇宙線の飛跡

装置(スパークチェンバー)の中で光っている赤い線は、宇宙から飛んできた放射線が通った跡です。1秒間に約100個程の宇宙線が私たちの体に当たっています。

線量限度が年間1ミリシーベルトに設定された理由

原子力施設に由来する放射線による一般公衆の被ばくを規制する線量限度を設定するため、以下の2つの根拠が国際放射線防護委員会で検討されました。*

①がんによる死亡の確率を推定

- ・しきい値のない直線モデル（8頁参照）から、低線量率・低線量でのがん死亡の確率を計算しました。例えば、100ミリシーベルトの被ばくでのがん死亡の確率は、0.5%程度でした。この確率は、受動喫煙や野菜嫌いの人のがん死亡の確率と同程度です。
- ・毎年1ミリシーベルトを被ばくした場合に推定されるがんリスクは十分に小さいと評価されています。

②自然放射線の地域差を考慮

- ・平均値：ラドンを除く自然放射線の被ばく線量の世界平均は、年間約1ミリシーベルトです。（例えば、青森県民はラドンを除いて年間0.97ミリシーベルトの自然放射線を被ばくしています。）
- ・地域差：世界には、宇宙線の多い高地や天然放射性物質の多い地域があり、それら地域の住民の自然放射線による外部被ばく線量は平均値の少なくとも2倍はあります。（つまり毎年1ミリシーベルト以上を余分に被ばくしています。）〔下欄参照〕

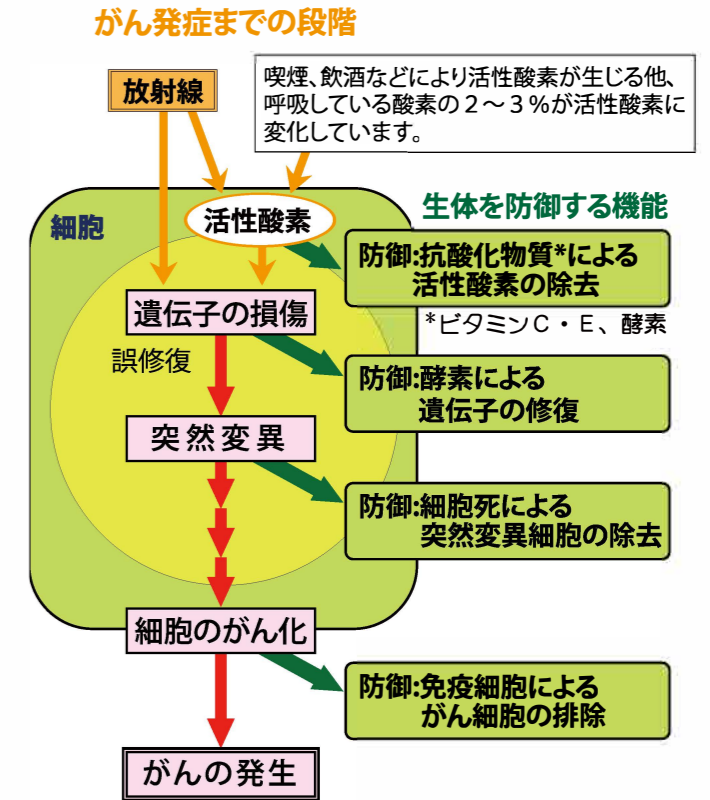
これらの根拠に基づき、社会的に容認できる放射線被ばく線量として、年間1ミリシーベルトが一般公衆の線量限度に設定されました。

* 国際放射線防護委員会 1990年勧告

がんの発症と防御の仕組み

低線量率・低線量放射線の影響を明らかにするため、環境科学技術研究所ではがんの発症する仕組みを、遺伝子や細胞のレベルで調べています。

- ①放射線の被ばく後、がんを発症するまでには様々な段階を経ます。その出発段階は、細胞増殖などに関係する遺伝子の損傷です。
- ②放射線は遺伝子を直接損傷させるほか、細胞内の水を活性酸素に変え、それが間接的に遺伝子を損傷させます。
- ③生物には自分を防御する機能が備わっているため、低線量率・低線量放射線によってできた傷は、ほとんど修復されると考えられます。
- ④遺伝子の損傷が誤って修復されると、突然変異が生じます。細胞増殖などに関係する遺伝子が数個変異すると細胞が無秩序に増殖します。これが細胞のがん化の一段階と考えられています。



損傷した遺伝子を修復する機能やがん化した細胞を排除する免疫機能について、環境科学技術研究所で調べています。

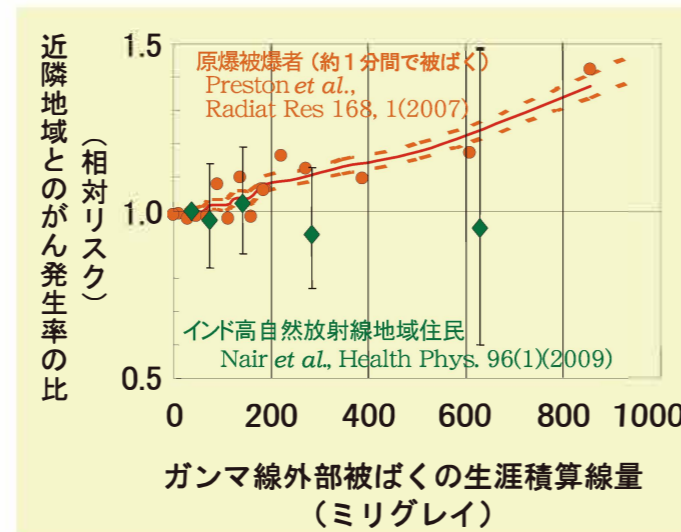
もっと知ってみよう

高自然放射線地域住民の健康調査

インド南部のケララ州には、砂に天然の放射性物質のトリウムが多く含まれるため、屋外のガンマ線が平均で毎年4ミリグレイ以上の地域があり、中には毎年70ミリグレイの場所もあります。

その地域の住民を対象に、がんの発生について約10年間にわたり調査が行われました。その結果、自然放射線が通常レベルにある近隣地域の住民と比較して、過剰ながん発生はみられなかったと報告されています（右図の◆印）。

比較のため、瞬間的に被ばくした原爆被爆者のリスクを●印で示しました。なお、両者の違いは、放射線をゆっくり（低線量率で）受けたか、短時間で（高線量率で）受けたかの違いです。その他に、人種や生活習慣の違いもあります。

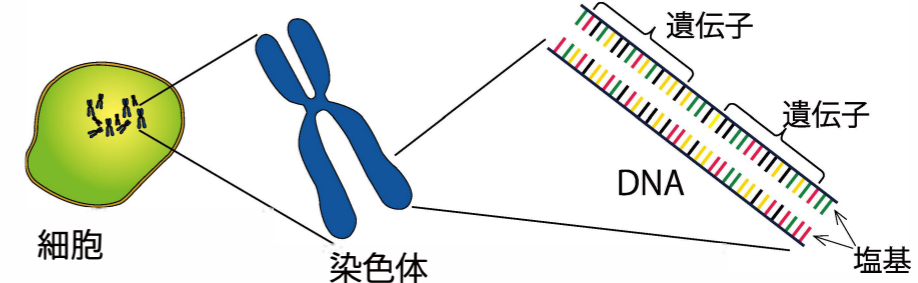


放射線医学総合研究所 酒井一夫氏 講演資料より作成

もっと知ってみよう

遺伝子とは

細胞内のDNA上には塩基という4種類の化合物が並んでいて、その塩基の並び方がアミノ酸からタンパク質を合成するための情報になっています。このDNAが遺伝子です。合成されたタンパク質は、生物の体の一部になるほか、化学反応を進める酵素、脳などからの命令を伝えるホルモンとしての働きなどを担っています。



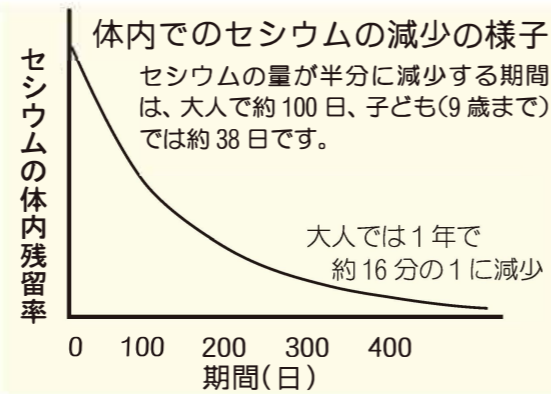
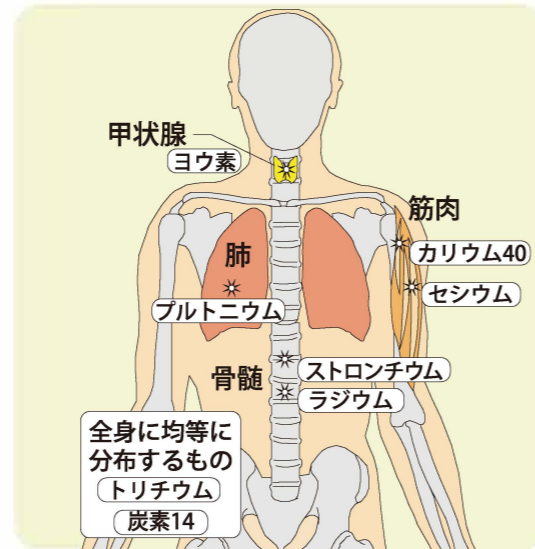
環境科学技術研究所では、放射線による遺伝子の損傷、損傷した遺伝子の修復、染色体の異常、がん細胞を排除する免疫細胞などについて調査し、がんの発症する仕組みについて研究しています。その結果から、低線量率・低線量放射線の人への影響を推定することを目指しています。

食品中の放射性物質による内部被ばく

放射性物質を含む食品を食べた場合の影響はどうなのでしょう。

- ①放射性物質は消化管で吸収され、臓器などの各組織に運ばれて蓄積した後、代謝によって排泄され減少していきます。
- ②放射性物質が体内に残留している間に発生した放射線が、内部被ばくを与えます。
- ③放射性物質1ベクレルあたりの内部被ばくする放射線の量を線量換算係数といいます。線量換算係数は放射性物質の種類によって異なります。〔下欄参照〕
- ④体内に取り込まれた放射性物質の量（ベクレル）に線量換算係数を掛けることにより、内部被ばくする放射線の量（ミリシーベルト）を計算でき、その値から影響を判断できます。

放射性物質が蓄積しやすい組織



食品中の放射性セシウム濃度に関する基準値

食品に含まれる放射性セシウムの濃度（セシウム134とセシウム137の合計）に関する基準値が、平成24年4月に表のように改正されました。

食品中の放射性セシウムに係る基準値（平成24年4月改正）（厚生労働省）

食品	基準値 (ベクレル/kg)
飲料水(飲用茶を含む)	10
牛乳	50
乳児用食品	50
一般食品	100

- ①基準値程度の濃度の放射性物質を含む食べ物を1回食べても、人体への影響はありません。

例えば、100ベクレル/kgのセシウム137を含む食品を200g食べた場合の内部被ばく線量は、左頁の線量換算係数を用いて、0.00026ミリシーベルトと計算できます。（この値は、歯のX線検査による被ばく線量の40分の1程度です。）

- ②基準値の濃度の放射性セシウムを含む食品を、以下のような条件で1年間にわたり飲食し続けたとしても、年間の内部被ばく線量が1ミリシーベルトより低くなるよう基準値が定められました。
 - ・一般食品については1年間に飲食する量の半分
 - ・その他の食品（飲料水、牛乳、乳児用食品）については1年間に飲食する全量

この基準値は、食品の出荷制限や摂取制限を実施する基準です。

もっと知ってみよう

線量換算係数（線量係数とも呼ばれています。）

各種の放射性物質1ベクレルを経口摂取した場合の内部被ばく線量です。

放射性物質	線量換算係数 (ミリシーベルト/ベクレル)	放射性物質	線量換算係数 (ミリシーベルト/ベクレル)
トリチウム*	100万分の0.042	ポロニウム210	100万分の1200
炭素14	100万分の0.58	ラジウム226	100万分の280
ストロンチウム90	100万分の28	トリウム232	100万分の230
ヨウ素129	100万分の110	ウラン235	100万分の47
ヨウ素131	100万分の22	ウラン238	100万分の45
セシウム134	100万分の19	プルトニウム239	100万分の250
セシウム137	100万分の13	アメリシウム241	100万分の200

* 有機物として経口摂取した場合

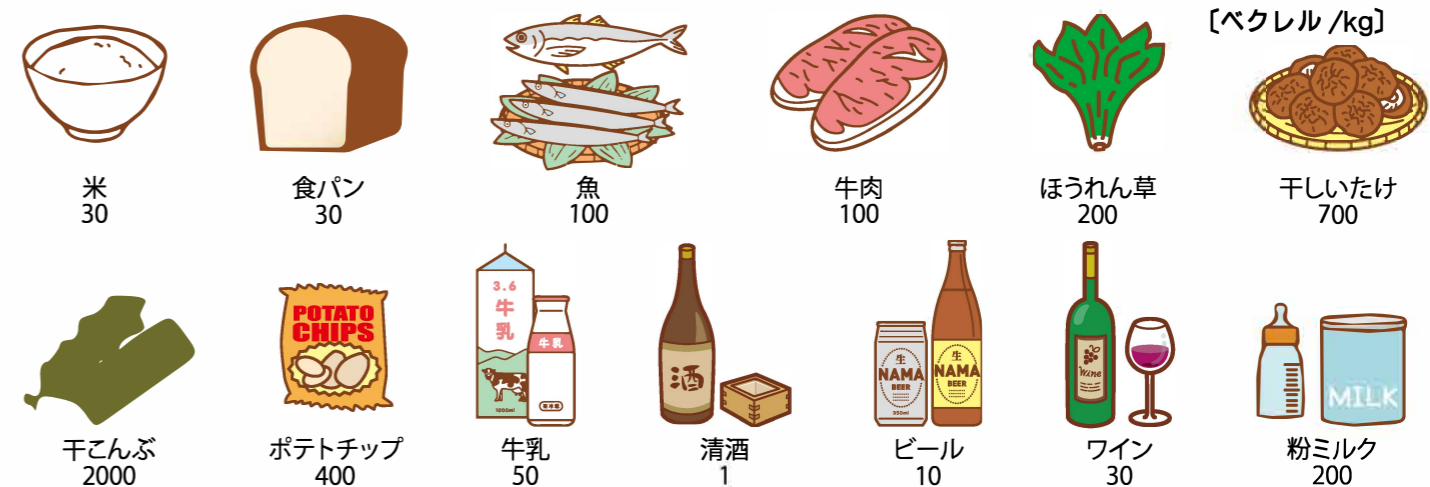
国際放射線防護委員会(ICRP)Publ.72より引用

上記の線量換算係数の中には、実際よりは大きな値のものもあっていわれています。より正確な線量換算係数を求めるため、環境科学技術研究所ではトリチウムと炭素14の体内残留率について実験で詳しく調べています。

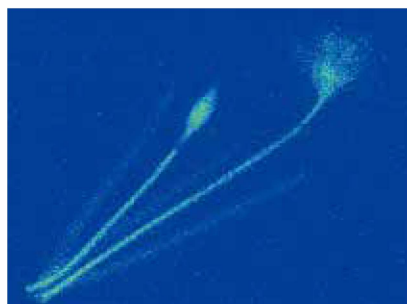
参考資料

食品中の天然放射性物質カリウム40の濃度

食品に含まれている天然放射性物質カリウム40の濃度の例を、以下に示しました。放射性セシウムの基準値と同程度か、それ以上の濃度のカリウム40を含む食品もあります。



出典：(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



水仙の中の天然放射性物質

水仙に含まれる天然放射性物質カリウム40から放出された放射線を特殊なフィルム(イメージングプレート)で撮影した画像(右図)

このパンフレットは青森県の委託により作成したものです。
以下のホームページもご覧ください。

<http://www.aomori-hb.jp/>



このパンフレットに関するお問い合わせ先

公益財団法人 **環境科学技術研究所** 総務部 企画・広報課

〒039-3212 青森県上北郡六ヶ所村大字尾駮字家ノ前1番7
TEL:0175-71-1200(代表) 0175-71-1240(企画・広報課)
E-mail : kanken@ies.or.jp