

# 第1章

# 放射線の 基礎





# 放射線の種類と特徴

放射線にはさまざまな種類があり、それぞれ物を通り抜ける強さが違います。

放射線には、原子核から飛び出してくる粒子や電磁波の種類に応じてアルファ( $\alpha$ )線、ベータ( $\beta$ )線、ガンマ( $\gamma$ )線などがあります(※1)。他にもさまざまな放射線が知られており、中性子がそのまま飛んできてくる中性子線と呼ばれる放射線も存在します。

福島第一原子力発電所の事故で問題となっているのは、ほとんどが放射性セシウム(※2)から放出されるガンマ線です。

**放射線の種類と透過力**

α線を止める：紙

β線を止める：アルミニウム等の薄い金属板

γ線・X線を弱める：鉛や鉄の厚い板

中性子線を弱める：水素を含む物質 例えば水やコンクリート

放射線の種類と透過力

α線

β線

γ線・X線

中性子線

紙

アルミニウム等の薄い金属板

鉛や鉄の厚い板

水素を含む物質 例えば水やコンクリート

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一した基礎資料 令和元年度版」

## 放射線の種類と透過力等

種類	本質	透過力
アルファ線(α線)	陽子2個、中性子2個からなる粒子(ヘリウムの原子核)	極めて小さい。紙1枚で止まる。皮ふの角質層で止まる。空気中に飛び出してから4cm程度の距離で止まる。
ベータ線(β線)	電子	小さい。厚さ数mm程度のアルミニウムや1cm程度のプラスチックで止まる。空気中に飛び出してから5m程度の距離で止まる。
ガンマ線(γ線) エックス線(X線)	電磁波(光子)	大きい。鉛や鉄など密度の大きな物質で止まる。
中性子線(n線)	中性子	鉄や鉛などを突き抜けるほど大きい。厚いコンクリートや水などの水素の多い物質で止まる。

※1 放射線の「強さ」は、飛んできてくる一つひとつの粒子がどのくらいのエネルギーを持っているかと、そもそも何個くらいの粒子が飛んできてくるかで決まってくる。

※2 セシウムは、ドイツの2人の化学者により発見された元素で、原子番号は55、元素記号はCs。放射性セシウムについてはP.24を参照のこと。

# 「放射性物質」ってなに？

## 放射線を出す性質を持った物質のことです。

温泉に含まれるラドンやラジウム、動植物などにも放射性物質は含まれており<sup>(※3)</sup>、もともとは自然界に存在する物質のひとつです。また、過去に行われた核実験による人工の放射性物質もあります。

放射性物質は不安定な原子核<sup>(※4)</sup>を持っているために一定の割合で崩壊し、その時に放射線を出します。この「放射線を出す能力」のことを**放射能**といいます。

多くの放射性物質は放射線を出しながら「放射線を出さない別の物質」に変化するので、時間とともに量は減っていきます。

### 代表的な放射性物質

天然	ウラン238、ラジウム226、ラドン222、カリウム40、炭素14など
人工	セシウム137、ヨウ素131、ストロンチウム90、プルトニウム239など

### 物理学的半減期

放射性物質の量が半分になるまでの時間が半減期です。

**物理学的半減期**は、放射能が元の強さの半分まで減る時間の長さをいいます。

#### 核種別の物理学的半減期(例)

核種	半減期	核種	半減期
ラドン222	3.8日	プルトニウム239	2.4万年
ヨウ素131	8.0日	ウラン238	45億年
コバルト60	5.3年	カリウム40	12.5億年
トリチウム	12.3年	炭素14	5,700年
ストロンチウム90	28.8年	ルビジウム87	492億年
セシウム134	2.1年	鉛210	22.2年
セシウム137	30.1年	ポロニウム210	138.4日
ラジウム226	1,600年		

出典:(公社)日本アイソトープ協会「アイソトープ手帳(12版)」(2020年)

※3 例えばカリウム40などは食事を通してカラダに摂り込まれる。P.15を参照のこと。

※4 原子の中心にある陽子と中性子の粒子のかたまり。この原子核が別の原子核になってしまうのが崩壊である。P.21を参照のこと。

# 放射能の単位「ベクレル」

ある時間内に、どれだけの放射性物質が放射線を出して崩壊していくかを表す単位です。

言い方を変えるなら「放射性物質の放射能の量<sup>(※5)</sup>を示す単位がベクレル(記号はBq)」です。学問的な定義は「1ベクレルの放射性物質があれば、平均で1秒間に1個の不安定な原子核が崩壊すること」なので、本当は放射性物質の量を示す単位ではありません。しかし、放射能と放射性物質の量とは比例しているため、放射性物質の量を示す単位として使用され、定義のベクレルそのものより、ベクレルを含んだ別の単位を耳にする機会の方が多いでしょう。

たとえば食品や水の場合は、「ベクレル毎キログラム(Bq/kg)」という単位を用います。これは食品や水1kg当りに何ベクレルの放射性物質が入っているかを表しています(▶P.43)。

**例) 食品中の放射性セシウムの濃度が100Bq/kg**  
→食品1kgに100ベクレルの放射性セシウムが入っている。

## 放射線量、放射能の単位

**0.001シーベルト(Sv) = 1ミリシーベルト(mSv) = 1,000マイクロシーベルト( $\mu$ Sv)**

	単位	記号	解説
放射線量に関する単位	グレイ	Gy	放射線が物質に当たったとき、その物質や人体にどれだけのエネルギーが吸収されたかを表す単位。
	シーベルト	Sv	人体が放射線を受けたとき、その影響の度合を表す単位。
放射能(放射性物質が放射線を出す能力)に関する単位	ベクレル	Bq	1秒間に何個の原子核が壊れるかを表す単位。

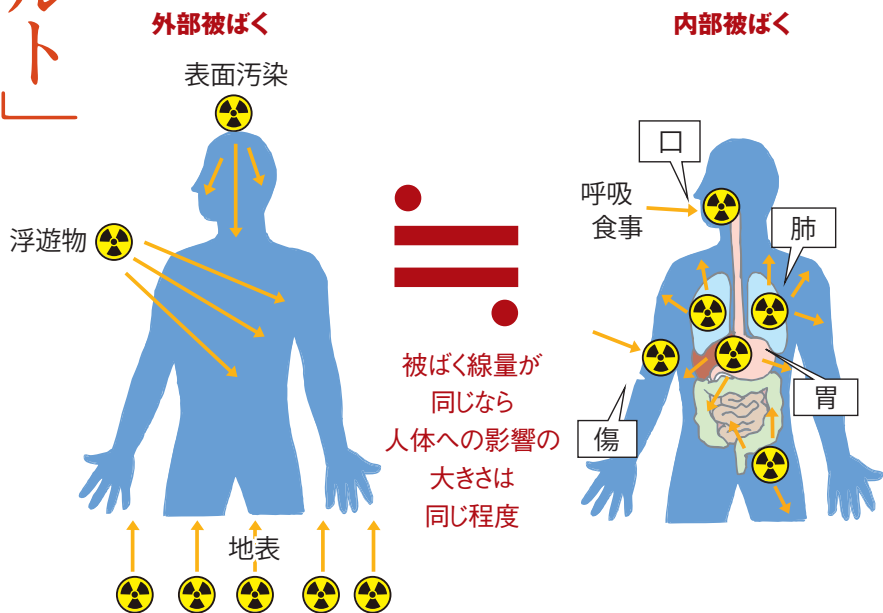
※5 量を知るには、たとえば重さを測ってもいいし、体積を測ってもいいが、ベクレルを使って測る際には「放射線を出してどのくらい崩壊していくか」に注目する。

# 被ばくの単位「シーベルト」

被ばくによって、人間がどのくらい影響を受けた可能性があるかを表す単位です。

これも別の言い方をすれば「人間が浴びる放射線の影響力を表す単位がシーベルト(記号はSv)」。ですから「〇〇シーベルトの被ばく」というときには、「〇〇」の数字に応じた影響を体が受けた(かもしれない)と考えればいいでしょう。外部被ばく(▶P.13)の場合にも、内部被ばく(▶P.14)の場合にも用いられる単位です。

被ばくの原因が違っていても、シーベルトで表した数値が同じなら、体への影響はだいたい同じと考えられています<sup>(※6)</sup>。



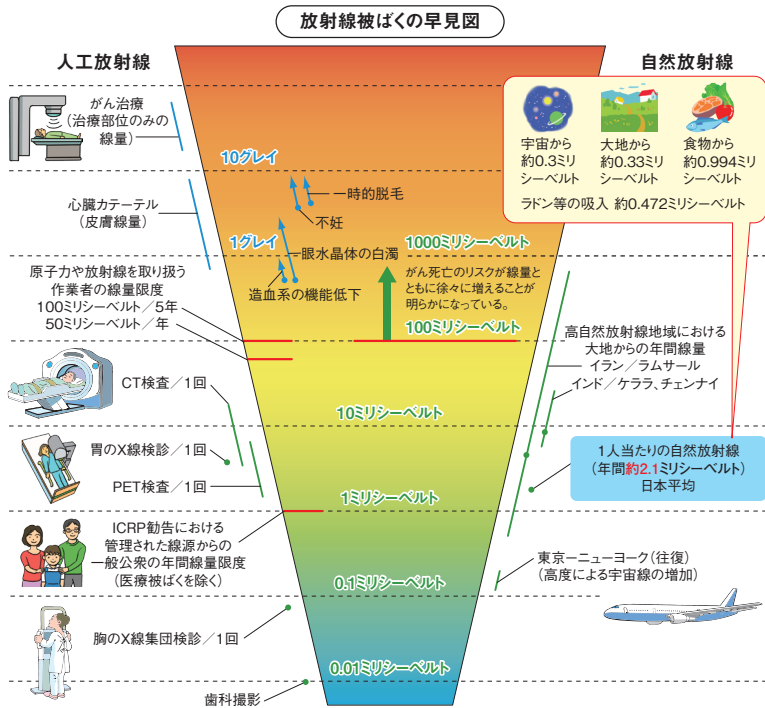
※6 厳密に言えば、シーベルトには組織に対して用いる「等価線量」及び「1cm線量当量」と、全身に対して用いる「実効線量」及び「預託実効線量」の4つの区分があるが、影響に基づく考え方は共通である。

# 放射線と健康の関係

一般の人の被ばくの上限1ミリシーベルト／年は、安全と危険の境目を表す数値ではありません。

下の図で見るように、放射線には医療などに用いられる人工放射線と大地や宇宙などからの自然放射線(▶P.12)があり、事故のない普通の場合では、一般の人の自然放射線と医療に用いられる人工放射線を差し引いた年間の被ばくの上限は1ミリシーベルトとされています。ただし、ICRP(国際放射線防護委員会<sup>(※7)</sup>)の定めたこの1ミリシーベルトという数値は、〈安全〉と〈危険〉の境目を表す数値ではなく、あくまでも社会的な規範=「目安」として決めたものです。

## 日常生活で受ける放射線<sup>(※8)</sup>の量



出典:(国研)量研放射研HP「放射線被ばくの見易図」UNSCEAR2008年報告書、ICRP2007年勧告、日本放射線技師会医療被ばくガイドライン、新版・生活環境放射線(国民線量の算定)などにより、放医研が作成(2013年5月)(2018年5月改訂版引用改変)〈自然放射線〉出典:原子放射線の影響に関する国連科学委員会(UNSCEAR)2008年報告書、(公財)原子力安全研究協会「生活環境放射線(国民線量の算定)第3版」(2020年)

※7 ICRP(国際放射線防護委員会)は、専門家の立場から放射線防護に関する勧告を行う国際組織。公の機関ではないが、ICRPの勧告は実質的な国際基準になっており、日本でも放射線関連の基準や法律の基礎になっている。

※8 放射線量の単位については、P.8を参照のこと。

# 体に影響が出るのはどのくらい？

100ミリシーベルト以上の被ばく線量では、がん死亡のリスクが線量とともに徐々に増えることが明らかとなっています<sup>(※9)</sup>。

放射線が体に与える影響には、「身体的影響」と「遺伝的影響」の2種類があり、身体的影響には被ばく後数日から症状が現れる**急性障害**と数年～数十年後に発症する**晩発障害**があります。遺伝的影響とは、被ばくした人の子孫に影響の現われるものをいいますが、人体に対する遺伝的影響と放射線の因果関係については、(研究は進んでいるものの)具体的な事例は見つかっていません。

## 被ばく線量と健康への影響の関係について

健康への影響は、障害の現れる時期により、急性障害と晩発障害に分類されます。それぞれの特徴は次のとおりです。

### 急性障害

被ばくから数日～数ヶ月の間に症状が現れます。

- ① 被ばく線量がある線量以上でないとは現れることはありません。

1,000ミリシーベルト以上

一時的な脱毛、皮膚の障害

- ② 致死線量(何も医療行為をしなければ)

全身に約4,000ミリシーベルト

半数の人が数ヶ月以内に死亡

### 晩発障害

被ばくから長期間たってから発症します。(例:発がん、白内障)

- ① 数百ミリシーベルトを超える被ばくを受けた集団では、被ばく線量に応じて発がん頻度が増えることがわかっています。

- ② 100ミリシーベルトを超える被ばくにより、がん死亡のリスクが線量とともに徐々に増えることが明らかになっています。

- ③ 低い線量を長期間被ばくする場合は、同じ総線量を短時間に被ばくする場合よりも影響が小さくなることがわかっています。

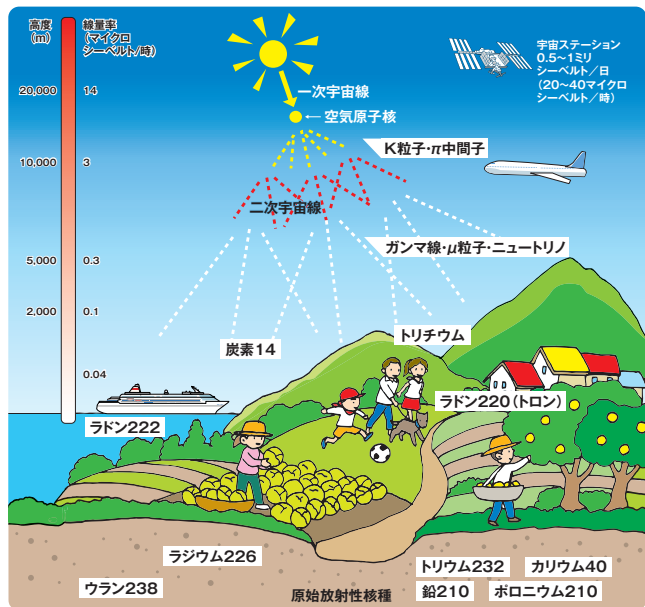
※9 生涯でおよそ30%のがん死亡率の集団の全員が、10ミリシーベルト余分に被ばくすると30.05%、100ミリシーベルトでは30.5%と、がん死亡率が上昇する。



# 日常生活で受ける放射線はどのくらい？

私たちは、宇宙や大気や大地からの放射線を受けて暮らしています。年間被ばく線量は約2.1ミリシーベルトです。

原子力とはまったく関係なく、人間は空からの放射線(宇宙線)、大地からの放射線によって外部被ばく(▶P.13)し、食物(カリウム40など)の摂取(▶P.15)や空気(ラドンなど)の吸入によって内部被ばく(▶P.14)しています。こうした自然界から受ける被ばく線量は、日本人の場合、年間約2.1ミリシーベルト(▶P.10)です。ただし、自然被ばくの量は住んでいる地域の環境によって変わります(※10)。



出典:文部科学省「放射線等に関する副読本教師用解説書」(2011年10月)などを引用、改編して作成

## ●自然放射線による1人当たりの年間実効線量(日本平均/単位:ミリシーベルト)

内部被ばく(約1.47)		外部被ばく(0.63)	
<b>空気から 0.472</b>	<b>飲食物から 0.994</b>	<b>大地から 0.33</b>	<b>宇宙から 0.3</b>
ラドン(屋内・屋外)0.37 トロン(屋内・屋外)0.09 喫煙(鉛210・ポロニウム210など)0.006 その他(ウランなど)0.006	主に鉛210・ポロニウム210など0.80 トリチウム 0.0000082 炭素14 0.014 カリウム40 0.18	大地放射線0.33	宇宙線0.3

← 約2.1ミリシーベルト →

日本の自然放射線による被ばく線量は年間約2.1ミリシーベルトです。

出典:原子放射線の影響に関する国連科学委員会(UNSCEAR)2008年報告書、(公財)原子力安全研究協会「生活環境放射線(国民線量の算定)第3版」(2020年)

※10 P.10の図にあるようにケララ(インド)、ラムサル(イラン)など世界には高線量地域と呼ばれる自然放射線が高い地域がある。こうした地域で暮らす人たちががんなどの病気にかかる率は変わらないことが報告されている。

# 「きちんと知りたく 外部被ばく」

体の外にある放射性物質から出ている放射線を浴びることです。

外部被ばくの主な特徴は、

1. 大地放射線やエックス線検診なども外部被ばくに含まれます。
2. 放射線に当たっている時だけ被ばくします。
3. 放射線のうちアルファ線とベータ線(▶P.6)は空気中を進むだけで弱くなり(実質的には)消えてしましますが、ガンマ線は人体内部組織まで透過するため、外部被ばくを評価する主な対象となります(※11)。
4. ガンマ線による被ばく線量は、放射線測定器で測定できます。

## 生物学的半減期

体内に入った放射性物質の量が、物理学的半減期(▶P.7)を加味しない場合に、排泄や代謝により、初めの量の1/2にまで減少する時間。

元素	物理学的半減期	生物学的半減期 (データの一例)
ヨウ素 (I)	ヨウ素131の場合 8.0日	乳児… 11日 5歳児… 23日 成人… 80日
セシウム (Cs)	セシウム137の場合 30.1年	乳児… 9日 5歳児… 38日 成人…110日

## 内部被ばく線量の計算の仕方

食べ物からの内部被ばくは、摂取した放射性物質の放射能の量(ベクレル)がわかれば、次の式に当てはめることで被ばく線量(シーベルト)が計算できます。

$$\text{内部被ばく線量 (マイクロシーベルト)} = \text{摂取した放射性物質の放射能の量} \times \text{実効線量係数}^{*a}$$

放射能による全身被ばくの 預託実効線量係数 (マイクロシーベルト/ベクレル)	摂取時の年齢	セシウム137	セシウム134
	乳児(3カ月)	0.021	0.026
	幼児(1歳)	0.012	0.016
	子供(2~7歳)	0.0096	0.013
	成人	0.013	0.019

※11 福島第一原子力発電所の事故により放出された放射性セシウムが地表に沈着した地域は、放射性セシウムから放出されるガンマ線のため放射線量が他の地域と比べて比較的高くなる。

# 「内部被ばく」 きちんと知りたい

食べ物や呼吸などによって体内に取り込んだ放射性物質から出る放射線を浴びることで。

内部被ばくの主な特徴は、

1. 体内に入った放射性物質には特定の臓器に定着するものがあり、沈着した部位が特に多く被ばくします。
2. 放射性物質が体外へ排出されるまでの期間、被ばくが続きます。
3. 内部被ばくにはすべての種類の放射線が関わってきます。放射性セシウムを体内に取り込んでしまうと、ガンマ線とベータ線両方からの内部被ばくを受けます。また、アルファ線を出す放射性物質では、沈着した細胞をアルファ線が激しく傷つけてしまいます。
4. 内部被ばくを測るには、放射性物質が含まれる食物をどれだけ食べたかや、空気中のガス状や粒子状の放射性物質を呼吸によってどれだけ取り込んだかを測定し、被ばく線量を計算します。

## 核種の身体への沈着部位

体内に取り込んだ放射性物質は、核種（※12）によって蓄積する臓器等が異なります。

肝臓、腎臓、骨  
ウラン238

甲状腺

ヨウ素125、131

全身（筋肉、骨）  
セシウム137

骨

プルトニウム239  
ストロンチウム90  
ラジウム226

肺（呼吸により）  
ラドン222

全身

カリウム40

肝臓、脾臓  
コバルト60

## 【福島第一原子力発電所事故の計算例】

放射性セシウムの基準値（100ベクレル/kg）の食物を大人が1kg摂取した場合にうける内部被ばく線量

$$20.0(\text{ベクレル})^{*b} \times 0.019^{*c} + 80.0(\text{ベクレル})^{*b} \times 0.013^{*c} = 1.4 \text{ マイクロシーベルト}$$

※a 実効線量係数……預託実効線量係数（マイクロシーベルト/ベクレル）を用いる。1ベクレルを摂取したときの預託実効線量のこと、預託の期間、すなわち、線量の積算期間を、成人では50年、子供では摂取した年齢から70歳までとした値である。

※b 福島第一原子力発電所事故発生時のセシウム134とセシウム137の放出割合を1:1と仮定し、13年経過後の減衰を考慮すると、総量100ベクレルあたり、セシウム134の放射能が20.0ベクレル、セシウム137の放射能が80.0ベクレルとなる。

※c 成人の預託実効線量係数（乳児の場合は、セシウム134が0.026、セシウム137が0.021となり、内部被ばく線量は2.2マイクロシーベルトとなる。）

※12 原子核の種類。P.21を参照のこと。

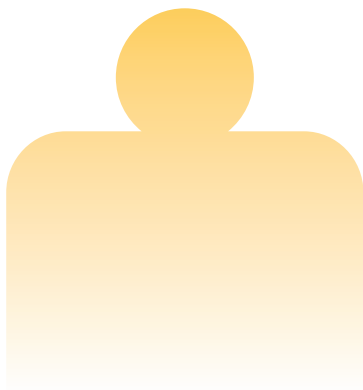
# 体の中にも 放射性物質がある

体の中には一定量の放射性物質が存在していて、  
私たちは体内からの放射線も受けています。

天然の食物には、もともと自然放射性物質が含まれています。たとえばカリウムは、自然界に存在するミネラル成分のひとつで、神経の情報伝達など生き物が生きていくためには欠かせない元素です。私たちの体の中には、体重のおよそ0.18%（成人の場合。子どもは0.2%）のカリウムがあるとされており、量はだいたい一定量に調整されています。天然カリウムには、もともと放射性のカリウム40がごくわずかに含まれており、体重60kgの成人の場合、約3,400ベクレル<sup>(※13)</sup>のカリウム40が存在する計算です。

私たちは、カリウム40が体内で出す放射線<sup>(※14)</sup>を常に受けて暮らしているのです。

## 体内の主な放射性物質から受ける内部被ばく（経口摂取）線量



主に鉛210、ポロニウム210

……0.80ミリシーベルト/年

トリチウム

（1日の食物及び飲料水からの水の摂取量を2.5Lとした場合）

……0.0000082ミリシーベルト/年

炭素14

（1日の摂取量を0.3kgとした場合）

……0.014ミリシーベルト/年

カリウム40

……0.18ミリシーベルト/年

出典：(公財)原子力安全研究協会「生活環境放射線(国民線量の算定)第3版」(2020年)

※13 天然のカリウム1gには、カリウム40が31.9ベクレル存在するから、60kg×0.18%×31.9ベクレル≒3,445ベクレル。

※14 カリウム40の平均的な摂取量と体内での平衡状態を考慮して計算すると、日本人の平均的な年間実効線量は約0.18ミリシーベルトになる。出典：(公財)原子力安全研究協会「生活環境放射線(国民線量の算定)第3版」(2020年)

# がんの要因は色々ある

「やせている」ことも「年をとる」ことも、  
がんを引き起こす要因のひとつとされています。

〈日本人の約2人に1人<sup>※15</sup>は一生のうちにかんになる〉と推計されています。がんは40代から発生のリスクが上がり始め60代以降急増しますが、年をとると誰にでもがんが発生するわけではありません。

同じ年代の人でも喫煙や飲酒の有無、肥満ややせ、運動不足、偏った食生活(野菜・果物の不足、塩分の取りすぎ、熱い飲食物を好むなど)など、生活に潜むさまざまな要因が発がんリスクを高めるのです。また住んでいる環境やウイルス、そして自然放射線(▶P.12)などもがんを引き起こす要因のひとつと考えられています。

## がんなどの病気を引き起こす原因



出典：(公社)日本アイントープ協会「改訂版放射線のABC」(2011年)

※15 がんは昭和56年(1981年)から日本人の死因の第1位で、2021年には38万1,505人が死亡。生涯のうちにかんにかかる可能性は男性が66%、女性が51%と推定されている。出典：(公財)がん研究振興財団「がんの統計(2023年版)」(2023年3月)

# 「発がん」のような 放射線の「確率的影響」

「被ばく線量で影響があるかどうかわかる場合」を  
〈確定的影響〉、  
「被ばく線量がいくらであっても影響が出るかもしれない場合」を  
〈確率的影響〉といいます。  
発がんは〈確率的影響〉です。

強い放射線を短い間<sup>(※16)</sup>に受けたときに、髪の毛が抜ける、死亡する(▶P.11)といった**確定的影響**は、ある被ばく線量を超えた場合、確実にその症状が出ます。これとは異なり、発がんのような**確率的影響**の場合は、放射線による影響が何年か何十年後に顔を出し、がんにかかる人の割合が少し高くなります。ただし、被ばくした人に必ず現れるわけではなく、同じように被ばくした人でもがんにならない人がいるため、「何人中何人が病気にかかる可能性があるか」という確率で表現されるのです。

ICRP(▶P.10)の公式な考え方は「(自然被ばく以外に)生涯で通算100ミリシーベルトを被ばくするとがんで死亡するリスク(確率)が0.5%上乘せられる」というものです(▶P.11<sup>※9</sup>)。なお、子どもの場合、甲状腺がん<sup>(※17)</sup>の発症率が高くなることが、チヨルノービリ(チェルノブイリ)事故(▶P.61)の調査などからわかっています。

※16 短い間とは、細胞がダメージを修復できないくらいの時間なので、大ざっぱには1時間ほど。

※17 あらかじめ服用することで、甲状腺がんの発症を低減させる役割を果たすのが安定ヨウ素剤である。P.55を参照のこと。

# 生活習慣や放射線の「発がん」リスク

放射線と他の要因によるリスクを比較することは、発がんリスクの程度を理解する上で役に立ちます。

私たちの健康にとって大切なことのひとつが、がんのリスクを減らす生活習慣の改善です。もちろん放射線も、受ける量を可能な限り少なくすることが望まれます。

下の表は、さまざまな要因で「がんのリスクが高まる」場合の、健康への影響の大きさを把握するためのひとつの目安です。

ひとつの要因に気を取られすぎると、他の要因によるリスクが大幅に増えることのないよう、バランスを取ることも大切です。

## 発がんの相対リスク比較

放射線量 (ミリシーベルト)	発がん 相対リスク	生活習慣
1,000~2,000ミリシーベルトを 浴びる	1.8倍	
	1.6倍	喫煙 毎日3合以上の飲酒
500~1,000ミリシーベルトを 浴びる	1.4倍	毎日2合程度の飲酒
	1.29倍	やせ (BMI<19)
	1.22倍	肥満 (BMI≥30)
200~500ミリシーベルトを 浴びる	1.19倍	
	1.15~1.19倍	運動不足
	1.11~1.15倍	塩分の取りすぎ
100~200ミリシーベルトを 浴びる	1.08倍	
	1.06倍	野菜不足
	1.02~1.03倍	受動喫煙 (非喫煙女性)

上記表は(国研)国立がん研究センターHP「わかりやすい放射線とがんのリスク」(2014年)より引用(2014年11月25日)して改編、作成したものを。

※放射線の発がんリスクは広島・長崎の原爆による瞬間的な被ばくを分析したデータ(固形がんのみ)であり、長期にわたる被ばくの影響を観察したものではない。

※相対リスクは、例えば喫煙者と非喫煙者のがんの頻度を比較した数字

※この表は、「発がんの確率が何倍になるか」という意味の「相対リスク」を示している。

一方、P.17の「100ミリシーベルトでがん死亡率が0.5%上昇する」というのは、実際に推定される確率(絶対リスク)であるから、意味が異なる。

# 放射線や放射能を測る

「何を測るのか」という使用目的によって、放射線測定器は選ばれます。

## 放射性物質による汚染の程度を測る



### GMサーベイメータ

身体や物品の表面に放射性物質が付着しているかどうかを調べる測定器です。

## 空間の放射線量率を測る



### NaIシンチレーションサーベイメータ

放射線が当たると光る物質の性質を利用して空間放射線量率を調べる測定器です。

## 飲食物中の放射能を測る



### ゲルマニウム半導体検出器

食べ物などに含まれる放射性物質の種類ごとの放射能を調べる装置です。

## 体内にある放射性物質の量を測る



### ホールボディカウンター

内部被ばく線量を調べるために、人間の体内に摂取され沈着した放射性物質の量を体外から測定する装置です。

## 環境中の放射線を測る

### 環境放射線測定局

県内68ヵ所(ガンマ線:63局、中性子線:7局)の環境放射線測定局(▶P.42)で環境放射線等の自動測定を行っています。

測定項目は、測定局により異なりますが、ガンマ線や中性子線の放射線量率などの放射線の情報とともに、気象要素として、感雨雪、風向風速、大気安定度なども測定しています。

