

からだの中で
何が起きるのか
被ばく

RADIATION EXPOSURE 放射線被ばく What's HIBAKU?

2011年3月の福島第一原子力発電所事故以降、「被ばく」ということばがあちこちで飛び交うようになりました。でも、被ばくするってどういうことなのでしょう？ 国の研究機関『独立行政法人 放射線医学総合研究所』のホームページには、放射線に被ばくするとは「放射線に暴露されること」と書かれています。これじゃあなんのこともさっぱりわかりません。

被ばくするということをきちんと理解するためには、からだのしくみから知ることが必要です。それは放射線被ばくの仕組みとからだの成り立ちが密接にかかわっているからです。そして、放射線被ばくの仕組みをきちんと理解しておく、放射線に被ばくすることの危険性もより深く理解できます。

そこで、今号の『TWO SCENE』では、からだの成り立ちを紐解きながら、放射線に被ばくする仕組みをとりあげてみました。

私たちは、これから長期間にわたって被ばくと向き合いながら生きていかなければなりません。でも、放射線被ばくにかんしては、今もよくわかっていないことがたくさんあるために、放射線に少しぐらい被ばくしたって安全だとか、むしろからだにいいといった説を唱える学者もいるのです。そういった議論にごまかされず、賢明な判断をしていきたいですね！

放射線被ばくについてのワンシーンをどうぞご覧ください。

からだのなりたち

被ばくするということ全体が一体どういうことなのかは、からだの成り立ちから知らなければ理解できません。からだは一体何でできているのでしょうか。

人間のからだは1kgあたり約1兆個の細胞で作られています。たとえば60kgの人なら60兆個の細胞が積み重なって作られていることとなります。でも、60兆個の細胞は全部同じものではありません。

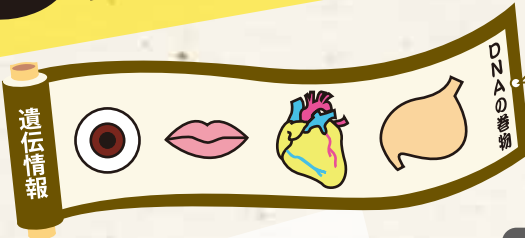
このようにたくさんある細胞は、もともとはひとつの受精卵でした。しかし、自分をコピーして増えていく中で、目、髪の毛、皮膚の細胞が違っていくように、生きるためにそれぞれが必要役割を果たす姿に変わっていきます。このひとつの細胞=受精卵から複雑なからだをつくりあげるための設計図のことをDNAといいます。

それでは「細胞」とは何でしょうか？

細胞は「生物の一番小さな構成単位」です。でも、これではなんのことかわかりにくいですね。鶏の卵はひとつの細胞ですし、イクラもつぶつぶの一つ一つが細胞です。

人間のからだの細胞の直径は10~30マイクロメートルほどです。細胞は70%ぐらいが水でできているのですが、それ以外に、大きく分けて、からだの設計図であるDNAがある細胞核と、細胞分裂などほとんどの細胞活動をおこなう細胞質、そして細胞の一番外側で周りの細胞と情報のやり取りをする小さな穴（チャンネル）が空いた膜——これを細胞膜といいます——があります。

DNAはらせん階段のような形をしています。そのらせん階段は、何種類かの分子——らせん階段の踏み面を作っている4つの塩基（アデニン（A）、チミン（T）、グアニン（G）、シトシン（C））と、階段の骨組みを作っている糖とリン酸——がつながり合っています。この中には、親から子へと引き継がれたからだの設計図である遺伝情報が、4つの塩基の組み合わせで作られた暗号で書き込まれています。



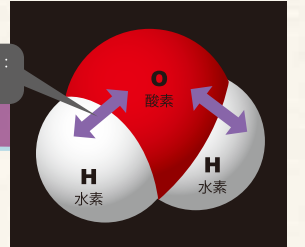
細胞核は直径6マイクロメートルほどしかありませんが、なんと総延長2メートルものDNAが折りたたまれてしまわれています。長いDNAがらせん階段のように小さく折りたたまれることで、ほんの小さな細胞核にたくさんの遺伝情報を記録しておくことができるのです。

分子？原子？

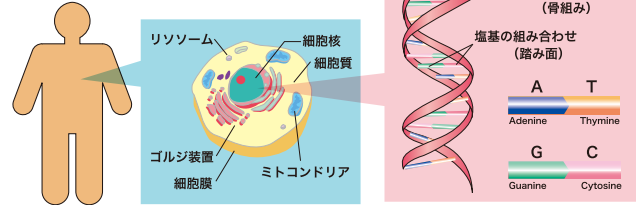
ここで「分子」という新しいことばが出てきました。「分子」とは一体何でしょう？ それは「同じ性質を持ったもの」の一番小さな単位のことです。たとえば、水を細かく見てみると、1つの水分子(H₂O)は2つの水素原子(H)と1つの酸素原子(O)がくっついたものです。水分子をこれ以上細かく分けてしまうと、水は水素と酸素という別の性質をもった「ものの材料」に変わってしまいます。とても大切なつながりなのに、分子を構成する原子同士がつながる力はだいたい5~7電子ボルトです。これらは放射線が持つエネルギーの数万分の1~数十万分の1ぐらいでしかありません。

放射線に被ばくしたときは、放射線の大きなエネルギーによってからだの分子の中にある原子同士のつながりが引きちぎられ、別の性質を持つ分子に変わってしまいます。放射線の持つエネルギーはとても大きいので、たとえ、わずか1本の放射線に被ばくした場合であっても、理論的にはなんと数万~数十万個もの原子同士のつながりが切断されてしまうのです。

酸素原子と水素原子のつながる力：約5電子ボルト



DNAの構成物質



DNAはらせん階段のような形をしています。そのらせん階段は、何種類かの分子——らせん階段の踏み面を作っている4つの塩基、アデニン(A)、チミン(T)、グアニン(G)、シトシン(C)と、階段の骨組みを作っている糖とリン酸——がつながり合っています。

傷つくDNA

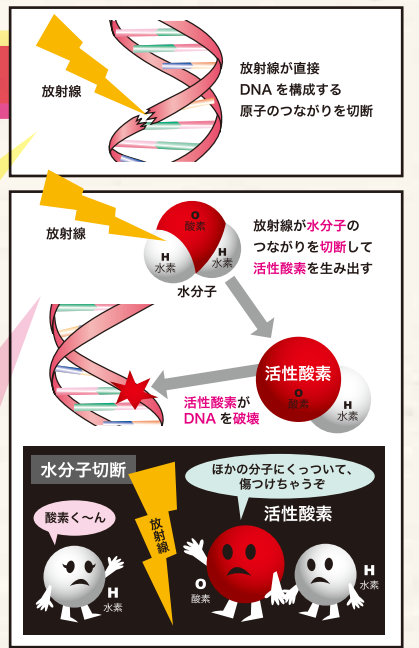
人間が放射線に被ばくすると、細胞のなかの原子のつながりが切断され、傷つきます。ではからだの細胞が傷つけられると、いったいなにが起きるのでしょうか。

細胞が放射線に傷つけられる場合、大きく**2つのケース**に分けることができます。

1つは、放射線がDNAにあたって、DNAにある原子のつながりが直接切断される場合です。この時、DNAの組み合わせが壊れてしまいます。

もう1つは、放射線が細胞の中にある水にあたって、水分子のなかにある原子のつながりが切断される場合です。水はからだの約70%を占めるので放射線があたりやすいのです。放射線によって水分子(H₂O)が切断される場合、1つの水素(H)と、水素(H)と酸素(O)が1つずつ組み合わせた活性酸素などが生み出されます。

ここで生み出された活性酸素は、ほかの分子ととてもくっつきやすいので、その活性酸素がDNAにくっついた場合、DNAを傷つけてしまいます。細胞の他の場所にもくっつきやすいので、くっついた場所を傷つけてしまうこともあります。放射線は細胞の他の場所にあたって傷つけることもあります。



そして、たちなおるDNA

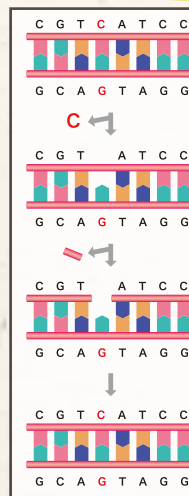
DNAはからだにとってとても大切な機能ですから、傷ついた場合も優秀な自己修復機能を持っています。

DNAは二重のらせん構造になっていて、そのあいだは塩基同士がくっついています。かならず決まった塩基同士——アデニン(A)はチミン(T)、シトシン(C)はグアニン(G)——としかくつきません。ですから、二重のらせんのうち、片方だけが切断されたなら、もう一方の塩基がなにかわかるので、DNAは問題なく修復されます。

しかし、DNAを修復できない場合もあります。たとえば、自分をコピーする時、一度、DNAの二重らせんを一重らせんに解きますが、このタイミングで放射線に被ばくすると、

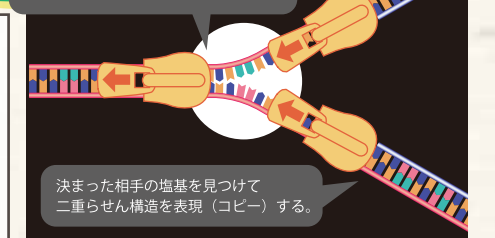
相手の塩基がわからなくなるため、DNAの修復に失敗しやすくなります。また、放射線が二重らせんを2本とも同時に切断した場合もそこにいた塩基がわからず修復に失敗しやすくなります。

このようにうまく修復できない傷を受けた細胞は、だいたい死んでしまうのですが、まれにDNAをまちがって修復した状態で生き残る場合があります。



二重らせんを一重らせんに解く

このタイミングで放射線に被ばくすると相手の塩基が分からなくなり、修復に失敗しやすくなります。



塩基は決まった相手としかペアにならない

君しかない！生まれ変わってもまた一緒にいるからね
 アナタだけよ



がんへのプロセス

細胞の種類や年齢によって違いはありますが、だいたい 24 時間に 1 回、細胞は分裂して自分のコピーを作ります。基本的にまったく同じものが作られるので、修復に失敗している細胞は、間違っただけの DNA をもったままの自分自身のコピーを作ります。

でも、これだけでからだに問題が発生するわけではありません。たとえば、間違っただけの DNA をもった細胞が、放射線を浴びたり、活性酸素が DNA にくっつくことで、DNA が傷つき、再度、修復に失敗することがあります。

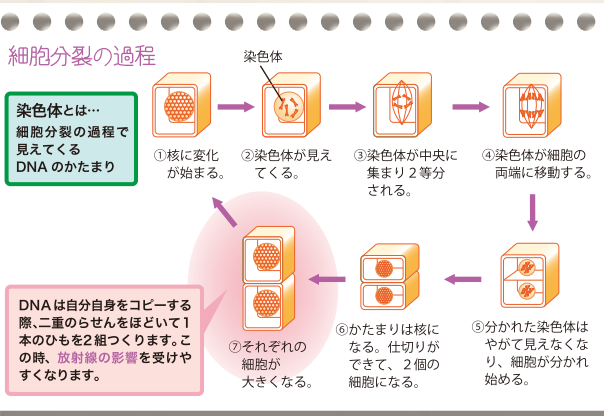
また、一度放射線を浴びたけれども上手く修復できた細胞は、傷が治っているはずなのですが、数回コピーを繰り返したあとで細胞が変異することがあることがわかっています（ゲノム不安定性）。自分自身は放射線を浴びていないのに、放射線を浴びた周りの細胞の影響を受けて、傷ついてしまう細胞があることもわかっています（バイスタンダー効果）。

細胞は、こういった影響を受けながらコピーを繰り返すなかで、更に変異を繰り返して、がんになってしまうのです（がんの多段階発生説）。

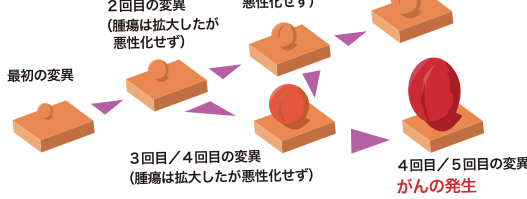
どんなに低い被ばくでも、そのことによる発病リスクは被ばくしなかった場合に比べて高くなります。たとえば死んでしまうような重症のがんの場合、どんなに低い放射線量での被ばくでも、被ばくしなかった場合に比べて、がんが死亡する可能性は高くなるということ、さまざまな国際的な研究機関も認めています。

がんの一種である白血病では、被ばくして 2～3 年後から症状が出る人が増え始め、6～7 年目にピークを迎えると言われていました。また、その他のがんは、がんが起きやすくなる年齢になってから発がんするので、発病するまでの時間は、被ばくした年齢が若ければ若いほど長くなります。こういった発病するまでに長い時間がかかる放射線障害を「晩発性障害」と呼びます。

活発な細胞分裂が行われている器官や、成長段階にある子どもは特に被ばくの影響を受けやすくなっています。



がんの多段階発生説

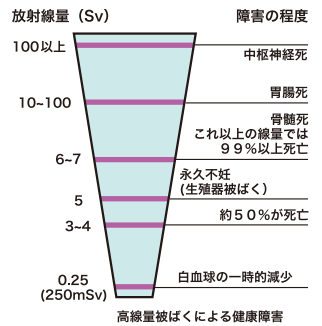


大量に被ばくするとどうなるの？

250 ミリシーベルト以上被ばくすると「急性放射線障害」と呼ばれる、脱毛、白内障、皮膚の損傷、造血器障害、受胎能力の減退などがおきます。そして、一度に 6～7 シーベルト以上被ばくすると、99% 以上の人が死亡しますが、死に至る過程は被ばくした線量によって異なります。

100 シーベルト以上被ばくした場合には、脳細胞が破壊され無気力状態になったり、昏睡に陥ったり、全身の筋肉がけいれんを起こして数時間から数日以内に亡くなります。

1999 年、茨城県東海村にある核燃料加工会社 JCO で臨界事故が起き、たくさんの人が被ばくしました。その中に作業員 O さん（被ばく線量：16～20 シーベルト）がいました。当初、O さんには放射線やけなどはみられましたが、意識ははっきりしていました。しかし実際は、すでに DNA がずたずたに切断されていたため、細胞はコピーができなくなっていたのです。2 週間後には毛が抜け始め、体中の皮膚が剥がれ落ち、体液が持続する状況になりました。また骨髄死の症状も出て、血小板や赤血球、白血球なども再生されなくなりました。皮膚移植や輸血、造血幹細胞移植などが行われましたが、83 日後多臓器不全で亡くなりました。



外部被ばく 内部被ばく

どちらがうの？

被ばくには 2 種類あります。

健康診断でよく行われる X 線* 検査や、大地や宇宙から降り注ぐ自然放射線などで、からだの外から放射線を浴びること起こる「外部被ばく」、放射性物質を、食べたり、飲んだり、吸い込んだりして、からだの中に取り込むことで起こる「内部被ばく」です。

放射線は大きく 4 種類—アルファ線、ベータ線、ガンマ線、中性子線—に分けることができます。アルファ線やベータ線、ガンマ線は不安定な放射性物質が壊れて別の物質に変わるときに放出され、中性子線はウランやプルトニウムが原子がなどで核分裂するとき放出されます。放射線は空気中だと、アルファ線は数 cm 程度、ベータ線が 1～10m 程度しか飛ばないのに対して、ガンマ線と中性子線はかなり遠くまで飛んでいきます。そのため、外部被ばくではガンマ線やベータ線による影響が、内部被ばくではアルファ線やベータ線による影響が大きくなります。被ばくを避けるためには、外部被ばく、内部被ばくそれぞれの性質を考える必要があります。

外部被ばくの量を減らすには、放射性物質から遠ざかる、放射線が通り抜けられない鉛や厚いコンクリートなどで遮蔽するなどの方法があります。

しかし、内部被ばくではそうはいきません。放射性物質はからだのなかで、放射性物質それぞれの化学的性質によってからだの組織のいろいろな場所にたまりまます。そして、尿などによりからだの外に出ていか、放射性物質が安定な元素になるまでは、からだの中で放射線を出し続け、周辺の組織を傷つけ続けるのです。一旦放射性物質を取り込んでしまうと、外部被ばくと違って避けることはできません。ですから、放射性物質をからだに取り込まないように気をつける必要があります。

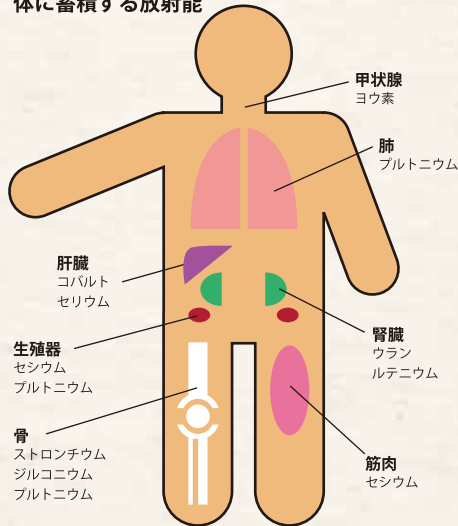
被ばくのからだへの影響は蓄積していきます。そしていつかは発病してしまうかもしれません。

自然放射線は避ける事ができないので、食べ物に含まれる放射性物質の量や身近な空間の放射線量を調査するなどして、避けられる被ばくはなるべく避けて発症する可能性を減らしたほうがよいでしょう。

*X 線は紫外線やガンマ線と同じ光(電磁波)の仲間です。比較的高いエネルギーがありますが、ガンマ線よりは弱く、また発生過程もガンマ線とは異なります。

核種	半減期	放出量 (10 億ベクレル)
キセノン-133	5.2 日	11,000,000,000
ヨウ素-131	8 日	160,000,000
テルル-132	78.2 時間	88,000,000
ヨウ素-133	20.8 時間	42,000,000
セシウム-134	2.1 年	18,000,000
セシウム-137	30 年	15,000,000
ヨウ素-135	6.6 時間	2,300,000
ストロンチウム-89	50.5 日	2,000,000
ストロンチウム-90	29.1 年	140,000
ネプツニウム-239	2.4 日	76,000
ジルコニウム-95	64 日	17,000
ヨウ素-132	2.3 時間	13,000
プルトニウム-241	14.4 年	1,200
プルトニウム-238	87.7 年	19
ルテニウム-103	39.3 日	8
プルトニウム-239	24065 年	3
プルトニウム-240	6537 年	3
ルテニウム-106	368.2 日	2
その他		19,178,207

体に蓄積する放射能



晩発性障害ってがんだけなの？

晩発性障害ではがんだけがよく取り上げられますが、それ以外の病気にもなります。広島・長崎の被ばく者とチェルノブイリ原発事故の作業員の調査によれば、いろいろな病気の発症率が被ばくしなかった人と比べて増加していますが、中でも、特に心臓血管系、呼吸器系、消化器系、泌尿器系、内分泌系、神経・感覚器系、循環器系の病気は発症率がとても高くなっています。またチェルノブイリ原発事故作業員には同時に 4～5 種類の病気になることや 10～15 歳程度老化が進むなどの特徴が見られています。

ラドン温泉はからだに良いの？

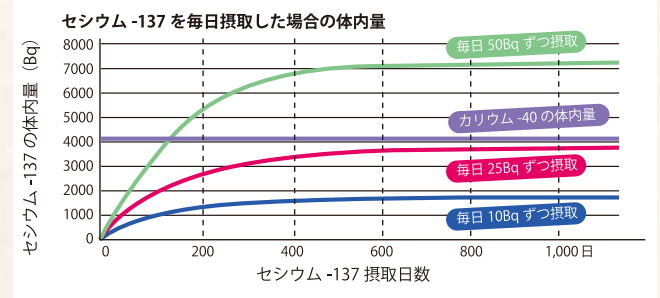
私たちの身近にある放射性物質に温泉でよく見られるラドンやラジウムがありますが、こういった放射性物質がとけだした温泉の効能として、低い線量の放射線を浴びるとからだに良いという説(放射線ホルミシス)があります。放射線を浴びると細胞が傷つくので、細胞は活性化し、いろいろな酵素を出してその傷を修復します。ですから、この酵素が残っている間に何らかの理由でその細胞が傷つければ、こくこくわずかに傷の治りが早くなったりするかもしれません。ですが、被ばくが長期化すると、細胞が炎症化し、様々な病気の原因になることもわかっています。米国科学アカデミーの低線量放射線被ばくの影響を調査した報告書「BEIR VII」は、ホルミシス効果は不当な仮説だと結論づけています。

けっこうあるのよ 身の回りの放射性物質

私たちの周りにはつねに放射線があります。たとえば、雨が降ったら私たちの周りの放射線量は高くなります。これは空気中にチリ状になって浮かんでいたラドン-222 という放射性物質が雨にくっついて地上に落ちてくるからです。他にもいろいろな放射線源があるので、日本国内の空間放射線量＝外部被ばく量は、何もなければ年間 1 ミリシーベルトぐらいになります。こうした人間の手によらない放射線は自然界にもともとあるので自然放射線ともいいます。

食物にも自然の放射線が含まれています。たとえば、バナナやほうれん草に豊富に含まれるカリウムは人間が生きていく上で必ず必要となる物質ですが、カリウムの中には、カリウム-40 という放射線を出す物質が 0.01% ぐらい含まれています。おとなの体重に占めるカリウムの量は、おおそ 0.2% ですから、おとなの体内にはおおそ年間 0.2 ミリシーベルト分の放射性物質がたまりにたまっていきます。ですから、福島原発事故前は、私たちは日常生活の中で、外部被ばく・内部被ばくをあわせて大体年間 1.2 ミリシーベルト程度被ばくしていたということになります。

しかし、2011 年 3 月 11 日以後は、セシウム、ヨウ素に代表される、福島第一原子力発電所から放出された人工の放射性物質による影響が、外部被ばく・内部被ばくの双方に上乗せされるようになってしまいました。



自然の放射性物質と人工の放射性物質は、被ばくという点では特に違いはないのですが、人工の放射性物質の特徴は、特に内部被ばくにおいて現れます。

体内にある自然の放射性物質の量はつねに一定の量に保たれていて、からだの中の放射線量もこれ以上増えたりするものではないのです。しかし、人工の放射性物質がからだにある量は増減します。食べ物に含まれる人工の放射性物質の量は、事故などの影響によって異なりますし、食べる量も人によって変わってくるからです。だから人工の放射性物質による内部被ばくの量は増減するのです。