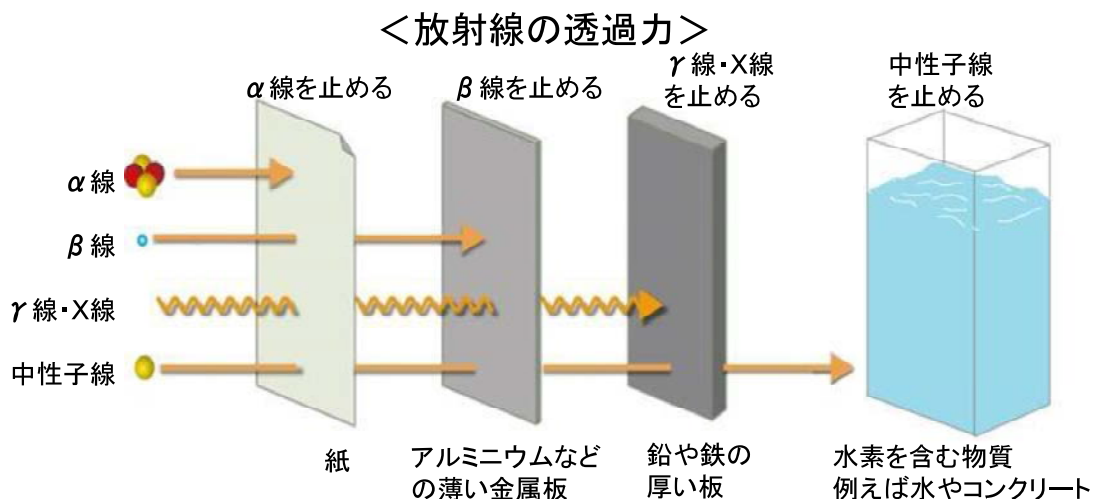


放射線の透過力

- 電荷を持つ粒子や電磁波は、電磁力で物質と相互作用し、エネルギーを失った結果、透過力が下がり、最終的には止まります。
- α (アルファ) 線は電離密度が高いので空気中で数cmしか飛ばず、紙1枚で止めることができます。 β (ベータ) 線は、エネルギーによりますが、大体空気中で数m、プラスチック1cm、アルミ板2-3mm 程度で止まります。 γ (ガンマ) 線・X線は α 線や β 線よりも透過力が高く、これもエネルギーにもよりますが、空気中を数10mから数100mまで透過することもあります。 γ 線は、鉛や鉄の厚い板など密度が高いもので遮へいでき、コンクリートや土、水などでも厚くすることなどにより遮へいできます。
- X線や γ 線と中性子の遮へいは質的に異なります。電荷を持たない中性子は、物質を構成する粒子と直接衝突することで運動エネルギーを失い、止まります。中性子の運動エネルギーを奪うためには、陽子(水素の原子核)と衝突させることが最も効果的です。



＜放射線を遮る効果＞
(セシウム137からの放射線の場合)

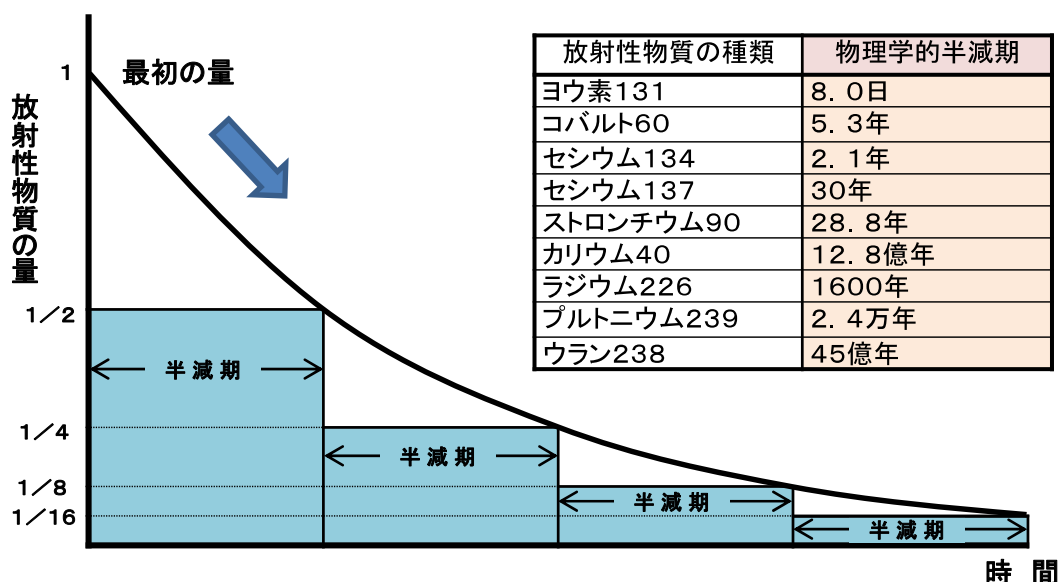


【出典データ】(独)日本原子力研究開発機構「埋設処分における濃度上限値評価のための外部被ばく線量換算係数」(2008年)

放射性物質の半減期

○「物理学的半減期」とは、ある放射性物質の原子核が、放射線を放出して別の原子核に変化し、元の放射性物質が半分に減るまでの時間のことです。物理学的半減期は放射性物質の種類によって異なります。

<物理学的半減期>



○「生物学的半減期」とは、体内に取り込まれた放射性物質が、代謝などにより体外に排出され、半分に減るまでの時間のことです。放射性物質の種類等によって異なり、また年齢によっても異なります。

<生物学的半減期>

	ヨウ素 131	セシウム 137
生物学的半減期	乳児: 11日 5歳児: 23日 成人: 80日	1歳まで: 9日 9歳まで: 38日 30歳まで: 70日 50歳まで: 90日

【出典データ】アルゴンヌ国立研究所(米国)「Human Health Fact Sheet」(2005年8月)
V.N.Korzum et al., 「チェルノブイリ:放射能と栄養」(1994年)

○「実効半減期」とは、物理学的半減期と生物学的半減期の両方が関与し、体内の実際の放射性物質の量が半分になるまでに要する時間のことです。

外部被ばくと内部被ばく

- 外部被ばくとは、地表にある放射性物質や空気中に浮遊する放射性物質、あるいは衣服や体表面についた放射性物質などにより、体外から放射線を受けることです。

この放射線被ばくの大きさは、人と放射線源との距離が遠いほど(γ(ガンマ)線の場合、線源からの距離の2乗に反比例。)、また、そこでの滞在時間が短いほど小さくなります(滞在時間に比例)。人と放射性物質との間に、放射線をさえぎる遮へい物があればさらに減少します。

＜γ線による外部被ばくの特徴＞

個人積算線量計で計測
(各個人が長時間に受ける放射線の積算量が表示される。)

放射性物質

遠くでは低い

放射性物質の近くでは線量率は高い

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

例えば、1つの線源から1cmと1mの地点での放射線の強さは1万倍違う。(実際に、いろいろな場所に複数の線源がある場合には単純には計算できない。)

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/時間) × 時間

サーベイメータで計測
(その場の空間線量率(マイクロシーベルト/時間)が表示されるため、これに滞在時間を掛ける。)

📏 「シーベルトを用いる様々な量(空間線量と個人線量)」

- 内部被ばくとは、放射性物質が体の内部にあり、体内から放射線を受けることです。内部被ばくは、

- ①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、
- ②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、
- ③傷口から放射性物質を体内に取り込んだ場合

に起こります。

放射性物質が体内に入ると、時間の経過とともに放射線は減りますが、排泄物と一緒に体外に排泄されるか又は壊変によりほとんど無くなるまで、人体は放射線を受けることとなります(※1)。

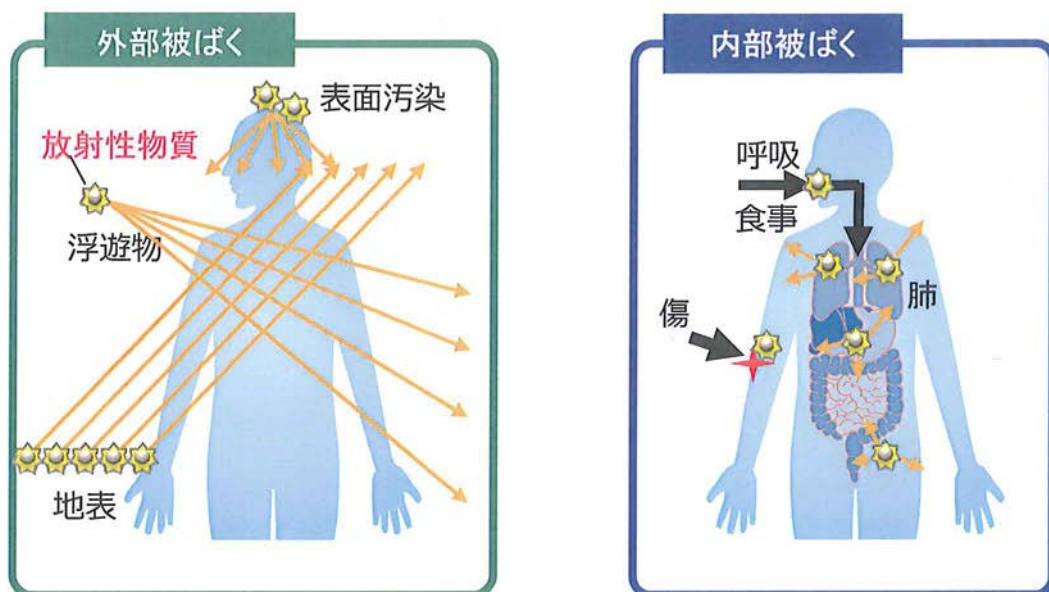
※1 放射性ヨウ素は甲状腺に、ストロンチウムは骨に蓄積しやすい性質がある。セシウムには特定の臓器に蓄積する性質はない。

外部被ばくと内部被ばく

(続き)

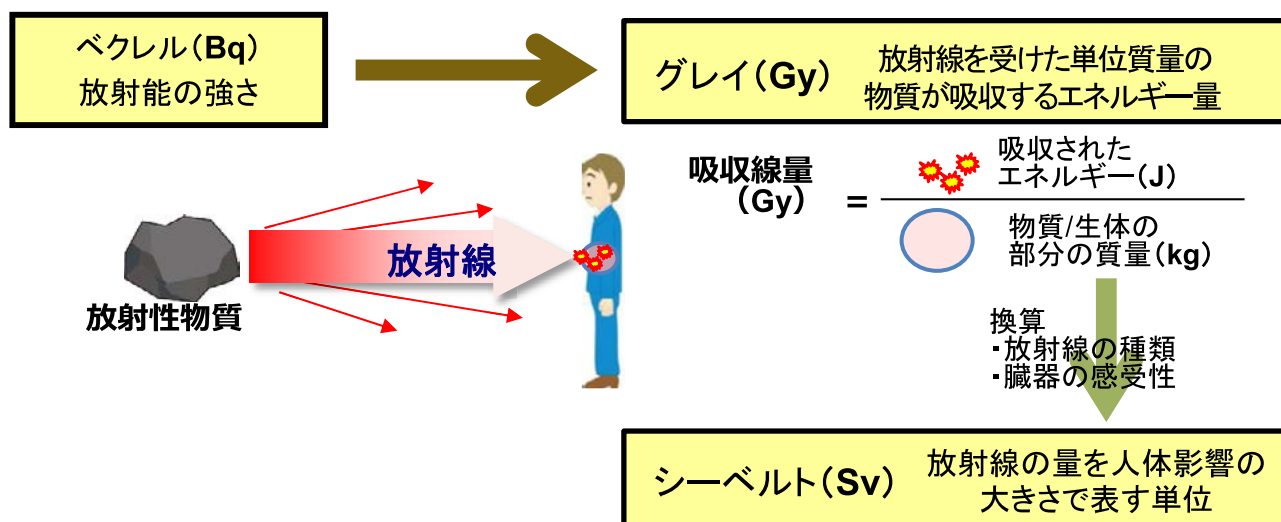
- 外部被ばくと内部被ばくの違いは、放射線を発する線源が存在する場所の違いであり、体が放射線を受けるという点では同じです。
- また、同じ値の実効線量であれば、受ける影響も同じですが、外部被ばくでは透過力の大きい γ 線、 X 線が、内部被ばくでは透過力の小さい α 線、 β 線の寄与が大きくなります。

<外部被ばくと内部被ばく>



放射線に関する単位 (ベクレル、グレイ、シーベルト)

- 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することができます。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」(吸収線量に用いる)と「シーベルト」(等価線量、実効線量、周辺空間線量等に用いる)があります。
- 「ベクレル」は土や食品、水道水などに含まれる放射性物質の量（放射能の強さ）を表す時に使われます。放射性物質の原子核が1秒間に1壊変する量が1ベクレルです。
- 「グレイ」は放射線が通ったところの物質が吸収するエネルギー量（吸収線量）を表します。物質1kgに1ジュールのエネルギーが吸収された場合の吸収線量が1グレイです。
- 「シーベルト」は人が受ける被ばく線量(人体への確率的影響)を表すときに使われます。被ばくの様態(外部、内部、全身、局所など)や放射線の種類の違いなどにより、影響は異なるため、影響の大きさの比較ができるように考えられたものです。
- 「ベクレル」と「グレイ」で表されるものは物理的な量であり、測定可能です。一方、「シーベルト」で表されるものは標準人についてモデル計算で求められ、直接測定することは出来ないため、不確かさはありますが、被ばくレベルを把握する目的には有用なものです（注：サーバイメータや個人線量計等に「シーベルト」という単位で表示されるものは、測定可能な量(放射線によって生じるイオンの量や光の強さ等)から換算されたもの）。



シーベルトを用いる様々な量 (等価線量と実効線量)

- 人が受ける被ばく線量(人体への確率的影響)を表すときに「シーベルト」という単位が使われます。
- 放射線が臓器や組織を通過するとき、放射線のエネルギーの一部が吸収されます。臓器や組織、あるいは人体1kg当りの吸収エネルギー量(熱量)[単位:ジュール]を吸収線量[単位:グレイ]と言います。
吸収線量が同じでも、放射線の種類によって、受ける影響は異なります。そこで、こうした影響の大きさに応じた重みづけをして、臓器や組織が受ける線量として変換したものが「等価線量」[単位:シーベルト]です。
 γ (ガンマ)線の場合、変換係数^(※1)は1であり、吸収線量の値と等価線量の値は同じになります。
- 全身の臓器や組織について、それぞれの臓器や組織のがん又は遺伝性影響(生殖細胞が変異して子孫に伝わる遺伝的な影響のこと)に対する感受性の違いを重み付け(組織加重係数)した上で、全てについて足し合わせたものが「実効線量」[単位:シーベルト]です。
- 内部被ばくも外部被ばくも実効線量の数値が同じであれば、体への影響も同じです。また、実効線量は足し合わせることができ、体への影響を評価する際には、内部被ばくと外部被ばくの実効線量を足し合わせて考えます。実効線量を用いると、被ばくした部位が異なっても同じ物差しで被ばくによる影響の大小を比較することができます。

(混同しがちな例)

被ばく箇所が皮膚のみであり、その被ばく量が50ミリシーベルト(等価線量)である場合、実効線量は、皮膚の組織加重係数(0.01)をかけて、0.5ミリシーベルトとなります。一方、全身が被ばくし、全身の臓器や組織それぞれが50ミリシーベルト(等価線量)である場合、実効線量は50ミリシーベルトとなります。同じシーベルトという単位を使っているにもかかわらず、等価線量なのか実効線量なのかで内容が異なります。

● 実効線量(シーベルト) = Σ (組織加重係数 × 等価線量(シーベルト))

組織	組織加重係数(A)	組織数(B)	Σ 組織加重係数(A × B)
骨髄(赤色)、結腸、肺、胃、乳房、残りの組織*	0.12	6	0.72
生殖腺	0.08	1	0.08
膀胱、食道、肝臓、甲状腺	0.04	4	0.16
骨表面、脳、唾液腺、皮膚	0.01	4	0.04
合計			1.00

* 14 臓器(副腎、胸郭外気道、胆嚢、心臓、腎臓、リンパ節、筋肉、口腔粘膜、膀胱、前立腺(♂)、小腸、脾臓、胸腺および子宮/子宮頸(♀))の平均線量に対して0.12を与える。

【出典】国際放射線防護委員会2007年勧告

※1 γ 線、X線、 β 線は1、陽子線は2、 α 線は20、中性子線はエネルギーにより2.5~21を用いる。

シーベルトを用いる様々な量 (空間線量と個人線量)

- 実効線量は直接測定できないため、外部被ばく管理のためには、実際に測定できる「周辺線量当量(空間線量)」が用いられています。この単位もシーベルトです。放射線管理用のサーベイメータ等では、単位時間当たりの周辺線量当量(空間線量)である周辺線量当量率(空間線量率)が表示され、その場の放射線の強さを表しています。
- 空間線量率から個人の年間外部被ばく線量を推計することもできますが、1日の屋内外の滞在時間や、家屋の遮へい効果による被ばく低減率、放射性物質の物理減衰やウェザリング効果を考慮するか否かの前提の置き方により推計値は異なります。
- 個人線量計では、ある期間に被ばくした個人線量当量(単位:シーベルト)が表示されます。個人線量計を常に携帯することで、各個人の行動等を反映した外部被ばく線量の積算値が把握でき、個人毎の外部被ばく管理が可能になります。

(参考1)

サーベイメータや個人線量計の読み値にもシーベルトが使われ、等価線量や実効線量(これらを防護量という)のシーベルトの近似値として使われている(これを実用量という)。防護量は人体の臓器や組織の線量から計算される量であり、測定器を使って容易に直接測定できるものではないが、実用量は線量測定のために定義された量であり、実際に遭遇する多くの外部被ばく形態において、防護量の保守的な(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になっている。

(参考2)

周辺線量当量(空間線量)は、人体の代わりとなる直径30cmの球(ICRU球と呼ばれる)の表面から1cm深さ位置における線量(1cm線量当量)で表され、実効線量の評価対象となる臓器の多くは人体表面から1cmより深く位置していることから、 γ (ガンマ)線の場合には結果的に周辺線量当量(空間線量)は常に実効線量より高い値となる。これにより、安全側に被ばく管理ができるようになっている。

(サーベイメータ)



NaIシンチレーションサーベイメータ



GM型サーベイメータ

(個人線量計)



OSL線量計



ガラス線量計



ポケット線量計

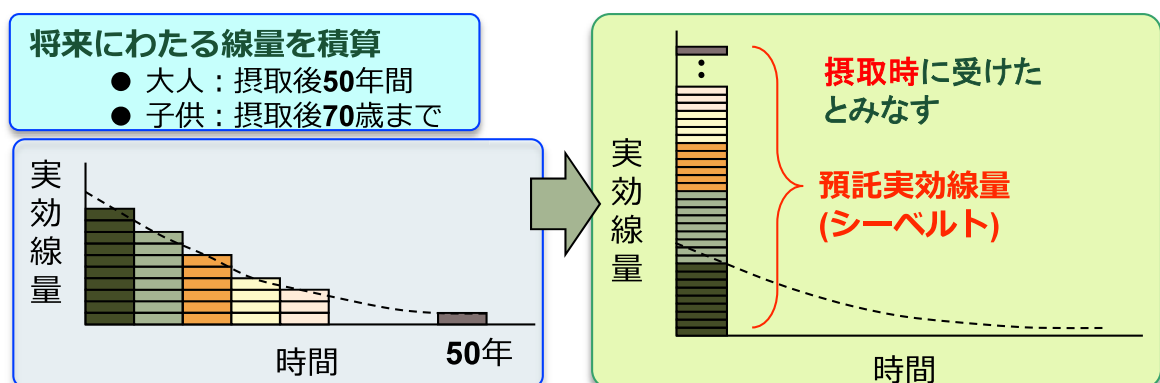
シーベルトを用いる様々な量 (預託実効線量)

- 放射性物質が体内に摂取された場合、長期間体内に留まります。その間、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:シーベルト]と言います。
- 取り込んだ放射性物質は、時間とともに体内から減少します。その要因の一つは放射性物質の「物理学的半減期」に従った壊変によるものです。もう一つは、尿や便などにより排泄されることによるものであり、放射性物質が半分に減るまでの時間を「生物学的半減期」と呼びます。
- 体からの排泄の速度は、元素の種類やその化学形態によって異なり、また年齢によっても異なります。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「大凡一生分^(※1)」を積算した量です。実際には、実効半減期の比較的短い核種では、早期にほとんどの線量を受けてしまう事になります。
- 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」[単位:シーベルト]と呼びます。

(参考)

例えば、セシウム137を1,000ベクレル一度に経口摂取した場合、最初の1年で預託実効線量(約0.013ミリシーベルト)の約9割を被ばく。(成人の場合)

<内部被ばくの計算>



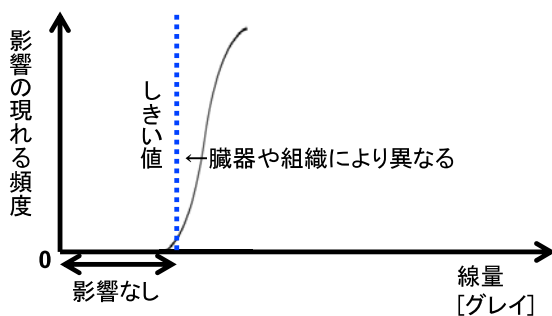
※1 この時の一生分とは、計算上大人は50年、子どもは70歳になるまでの年数で平均的なモデルを使って算出。

確定的影響と確率的影響

- 放射線の人体への影響には、影響が生じるメカニズムの違いにより、「確定的影響」(※1)と「確率的影響」があります。
- 確定的影響は、臓器や組織を構成する細胞が大量に死んだり、変性したりすることで起こる症状で、脱毛、白内障、皮膚障害などがこれにあたります。細胞死があるレベルに達するまでは、生存している細胞が臓器や組織の機能を代替するため、症状が現れませんが、そのレベルを超えると影響が生じることから確定的影響と呼ばれています。
- 確定的影響の特徴は、これ以下なら影響が生じない、これ以上なら影響が生じるという「しきい値」が存在することです。このしきい値は臓器や組織によって異なります。
- 確率的影響は、細胞の遺伝子に変異することで起こる影響で、がんや遺伝性影響(生殖細胞が変異して子孫に伝わる遺伝的な影響のこと。)といった障害がこれにあたります。理論的には、例え1つの細胞に変異が起きただけでも将来、がんや遺伝性影響が現れる確率が増加することから確率的影響と呼ばれています。
- 国際放射線防護委員会(ICRP)は、確率的影響に着目し、「どんなに低い線量でもリスクはあり(「しきい値」はない)、そのリスクは放射線量の増加に比例する」と仮定して、放射線防護を考えるよう勧告しています。

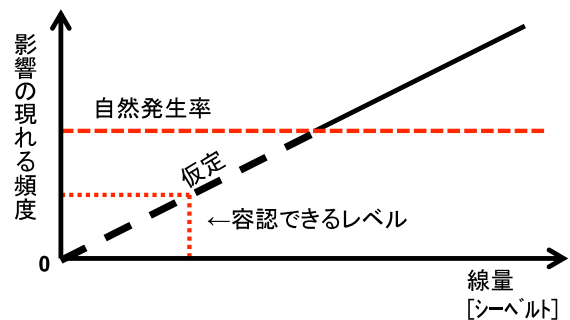
確定的影響

放射線を受けた人のうち最も放射線に対して感受性が高い1%の人が発症する線量を「しきい値」としている。(ICRP2007年勧告)



確率的影響

一定の線量以下では、喫煙や飲酒と言った他の要因による発がんの影響に隠れてしまうが、ICRPなどではそれ以下の線量でも影響はあると仮定して、放射線防護の基準を定めることとしている。



※1 確定的影響(deterministic effect)は、組織反応(tissue reaction)とも呼ばれている。

放射線によるDNAの損傷と修復

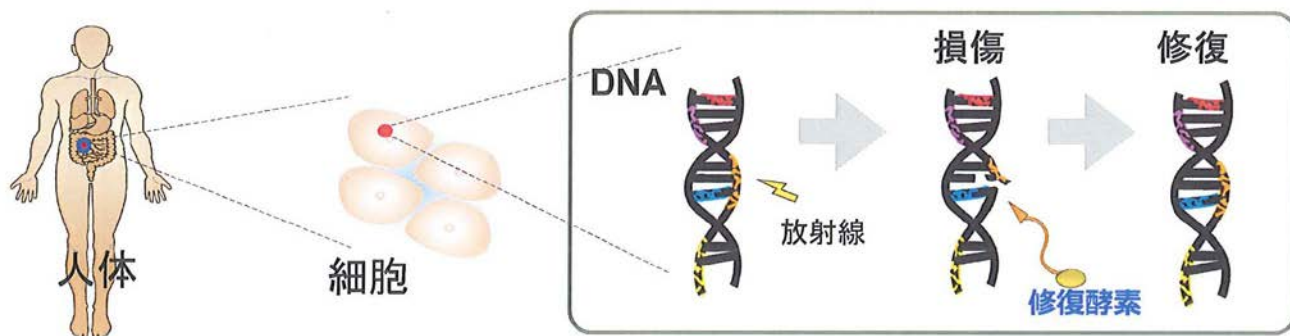
- 細胞の中の核には生命の設計図であるDNAが収められています。DNAは4種類の異なる「塩基」が鎖のように幾つも繋ぎ合わされていて、その並び方が固有の遺伝情報になっています。DNAの鎖は通常、2本が互いに結びつき、縄のように編まれています。このDNA鎖に放射線が当たると、線量に応じてDNAの一部が傷つきます。

(参考)

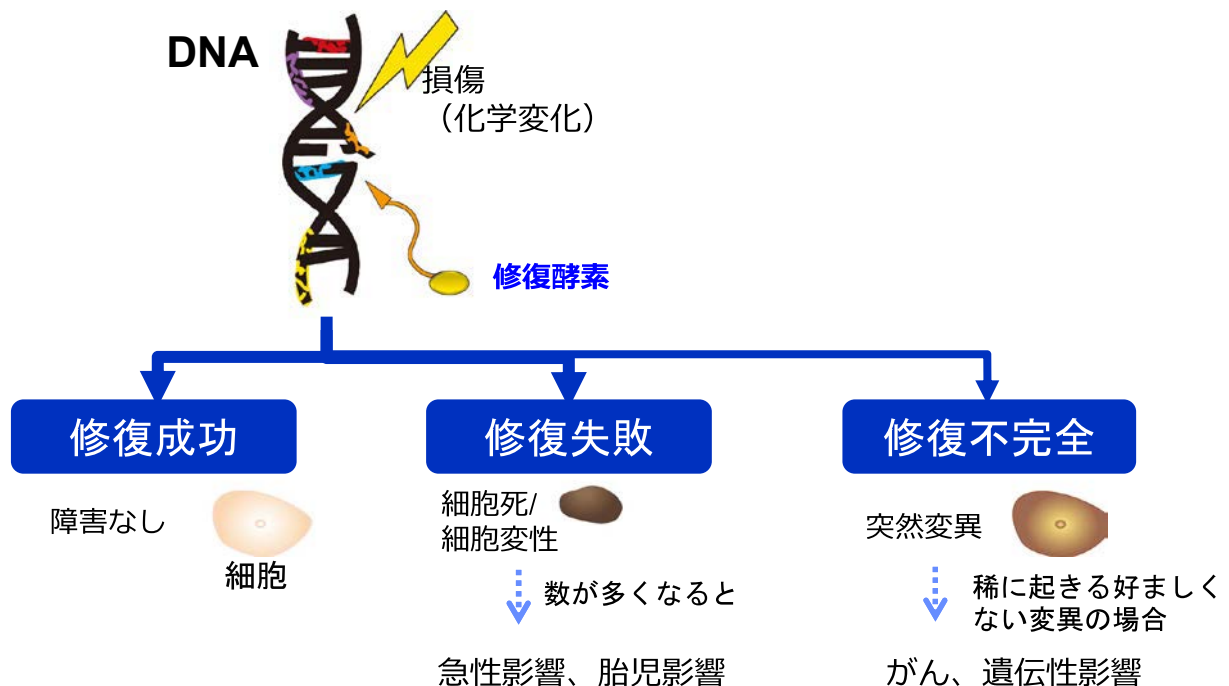
仮に、1ミリグレイのX線で細胞が被ばくした場合、1つの細胞の中で、DNAの一本鎖の切断が起こるのは平均1か所、DNAの二本鎖の切断が起こるのは、これより少なく、平均0.04か所であると言われている。これは、100個の細胞が均一に1ミリグレイのX線を被ばくした場合、そのうち4個の細胞に1つのDNA二本鎖切断が起こる計算になる。

- DNAを傷つける原因は、放射線以外にも私たちの日常にごく当たり前に存在します。例えば、食物中の発がん物質、タバコや環境中の化学物質、活性酸素などがあります。また、細胞が分裂して増える過程においても、DNA鎖の損傷が起きます。こうしたDNAの損傷は、全ての種類の損傷を足し合わせると、1日1細胞当たり、1万から100万個の頻度で起こっているとされています。
- こうしたDNAの損傷に対して、細胞にはDNA損傷を修復する機能(修復システム)が備わっています。DNAが損傷すると、その修復に関わる幾つもの修復酵素が損傷部位に集まり、DNAを迅速に修復します。

<DNA修復システム>



- 修復システムが対応出来る範囲の少しの傷であれば修復が可能で、基本的には元通りに戻ります。
- 傷が多すぎると修復システムの能力では対応しきれず、細胞自体が死んでしまいます。少しの細胞が死んだ場合には、周りの他の細胞が補い合って、その臓器や組織の機能障害を未然に食い止めることが出来ますが、細胞レベルで起こる甚大な細胞死が、個体レベルでは急性影響や胎児影響として現れることとなります
- 一方、修復の際にエラーが起こり、細胞が不完全な遺伝子を持ったまま生き長らえる場合もあります。こうした遺伝子の突然変異が、がんや遺伝性影響^(※1)の原因になると考えられています。
- しかし、細胞死が起これば必ず急性影響がおこるというものではありません。同様に、突然変異が起これば必ずがんが起これるというものでもありません。DNA損傷の量や質、さらには個人の資質など、多くの要因が複合的に急性影響や発がんに関係しています。



※1 生殖細胞(精子と卵子)の遺伝子変異が残った場合に子孫に遺伝的な影響が及ぶこと。遺伝性影響は人では認められていない。また、遺伝性影響の可能性は以前考えられていたものより低いことがわかってきており、そのためICRPは生殖線の組織加重係数を0.12(1990年勧告)から0.08(2007年勧告)へと下げている。

放射線に関する海外の機関

○原子放射線の影響に関する国連科学委員会

(United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR)

UNSCEARは、1955年第10回国連総会決議に基づいて設置された国連の組織に属する委員会であり、放射線及び放射性物質の観測値、放射線の環境及び人の健康への影響を調査し、国連加盟国に対して報告書の形で提供することを目的としており、2013年時点で27ヶ国が参加している。

UNSCEARの報告書は、国連加盟各国における放射線防護・安全に関する様々な検討の基礎データとなっており、ICRP勧告等においても活用されている。

○国際原子力機関

(International Atomic Energy Agency : IAEA)

IAEAは1953年の国際連合第8回総会において米国大統領により提唱され、1957年にIAEA憲章が発効した。2012年時点の加盟国は154ヶ国である。

IAEAの目的は、IAEA憲章の第2条において、「(1)全世界の平和、健康及び繁栄のため、原子力の貢献を促進、増大する。(2)IAEAにより、又はIAEAを通じて提供された援助が軍事目的に転用されないことを確保する。」と規定されている。また、IAEAは経済協力開発機構原子力機関(OECD/NEA)と共同して「国際原子力事象評価尺度(INES, International Nuclear Event Scale)の運用に当たっている。

○国際放射線防護委員会

(International Commission on Radiological Protection : ICRP)

ICRPは、公衆の利益のために科学としての放射線防護を推進し、放射線防護に関する勧告と指針を提供することを目的に、放射線影響に関する科学的データや、放射線防護・安全に関する技術的水準、社会の価値基準等を考慮して、放射線防護の理念や概念に関する基本的考え方、線量限度等の基準値を含めた規制の考え方等を検討し、その結果を委員会勧告、あるいは委員会報告書として、ICRP刊行物(ICRP Publication)の形で公表している。

これらの勧告や報告書は、放射線防護の専門家や各国の規制当局に読まれることを意図しており、世界各国の放射線安全基準を作成するための基礎として取り扱われている。

○世界保健機関

(World Health Organization : WHO)

WHOは、1946年、ニューヨークで開かれた国際保健会議が採択した世界保健憲章(1948年4月7日発効)によって設立された。「すべての人々が可能な最高の健康水準に到達すること」(憲章第1条)を目的に掲げている。

【出典】原子力安全委員会放射線障害防止基本専門部会資料(2002年7月)、外務省HP等より抜粋

<ご確認やご助言をお願いした専門家・有識者の皆様>

本資料は、下記の専門家・有識者の皆様に「情報の正確性や妥当性」、「内容が最新の知見・情報を反映できているか」という視点でのご確認やご助言をお願いして、作成しています。

専門家・有識者から寄せられた助言は、可能な限り反映し、また直ちに資料に反映できないような内容でも、今後、本資料の更新をする機会に見直していくことも含めて、有効活用させていただく予定です。

専門家・有識者の皆様

青木 芳 朗	明石 真 言	赤羽 恵 一	飯本 武 志
石口 恒 男	石 樽 信 人	稲 葉 次 郎	岩 崎 民 子
遠藤 啓 吾	大塚 泰 正	大津留 晶	大野 和 子
大山 ハルミ	甲斐 倫 明	柿 沼 志 津 子	笠 井 清 美
神谷 研 二	唐 木 英 明	神 田 玲 子	熊 谷 敦 史
黒田 佑次郎	児 玉 和 紀	酒 井 一 夫	作 美 明
佐々木 康 人	柴 田 義 貞	島 田 義 也	杉 浦 紳 之
鈴木 元	祖父江 友 孝	高 橋 千 太 郎	高 村 昇
立崎 英 夫	坪 倉 正 治	中 川 恵 一	長 瀧 重 信
中西 準 子	中 西 友 子	中 村 典	西 美 和
丹羽 太 貫	林 田 直 美	伴 信 彦	藤 原 佐 枝 子
細野 眞	堀 口 逸 子	前 川 和 彦	松 井 史 郎
松田 尚 樹	村 松 康 行	安 田 仲 宏	山 下 俊 一
吉田 光 明	吉 永 信 治	米 原 英 典	渡 辺 雄 一 郎

(敬称略・五十音順)

