

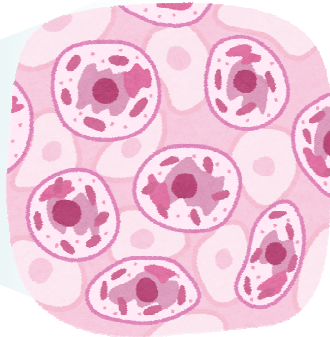
# 原子の大きさと構造

子供



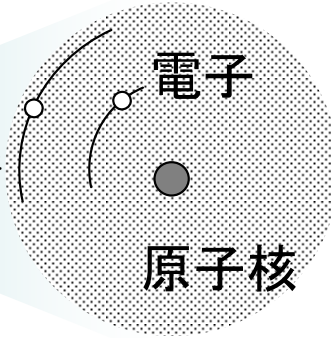
1m

細胞



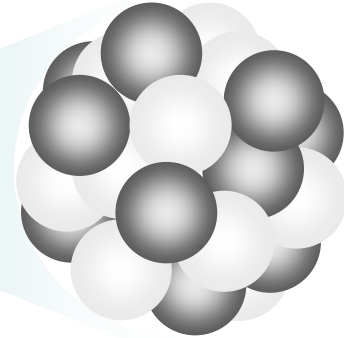
10万分の1m  
( $10^{-5}$ m, 10ミクロン)

原子



100億分の1 m  
( $10^{-10}$ m, 1オングストローム)

原子核



1000兆分の1m  
( $10^{-15}$  m, 1フェムトメートル)

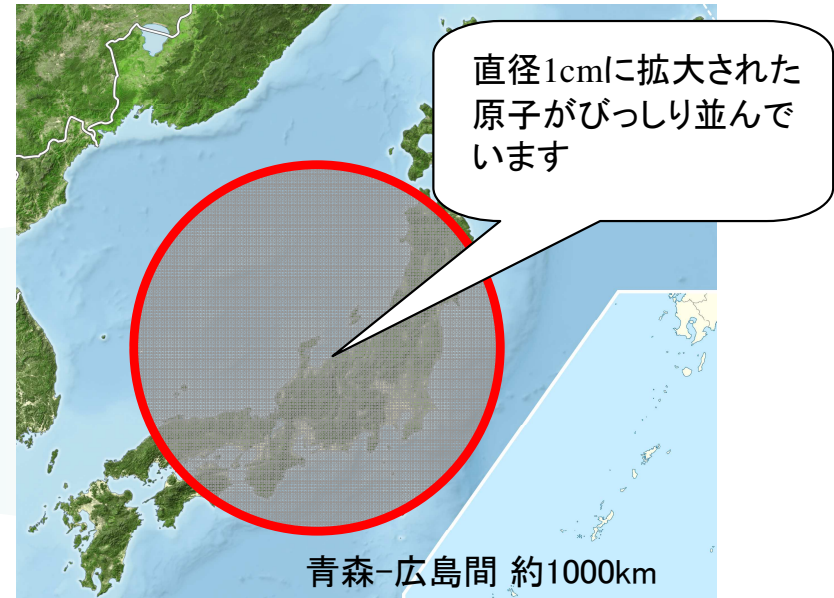
原子を直径1cmの大きさまで拡大すると...

1gの1円玉の中に、アルミニウムの原子が  $2 \times 10^{22}$ 個 (2百万個の一億倍のさらに一億倍) びっしりと詰まっています。



直径1cm

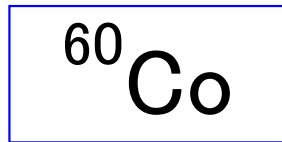
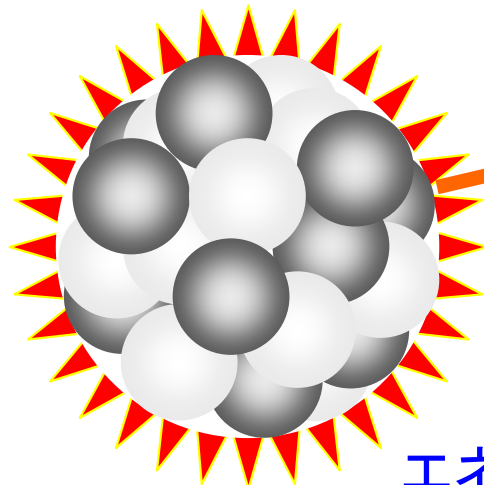
1億倍に拡大



1円玉は本州を覆うぐらいの大きさになる

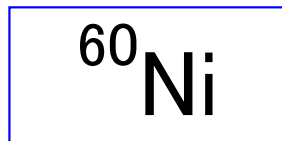
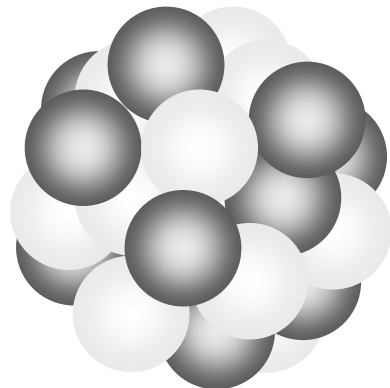
# 放射線の正体

不安定な原子核 (放射性同位元素)



エネルギーをはき出して  
安定になります

安定な原子核へ



別の元素に変化する!

錬金術師が煮ても焼いても変化  
しなかった原子が自然に変化する!

放射線(エネルギーの運び手)は  
粒子又は光の仲間です。

放射線



アルファ粒子  
(ヘリウムの原子核と同じ物)



アルファ線



電子



ベータ線



中性子



中性子線



光子  
(電磁波、光の仲間)

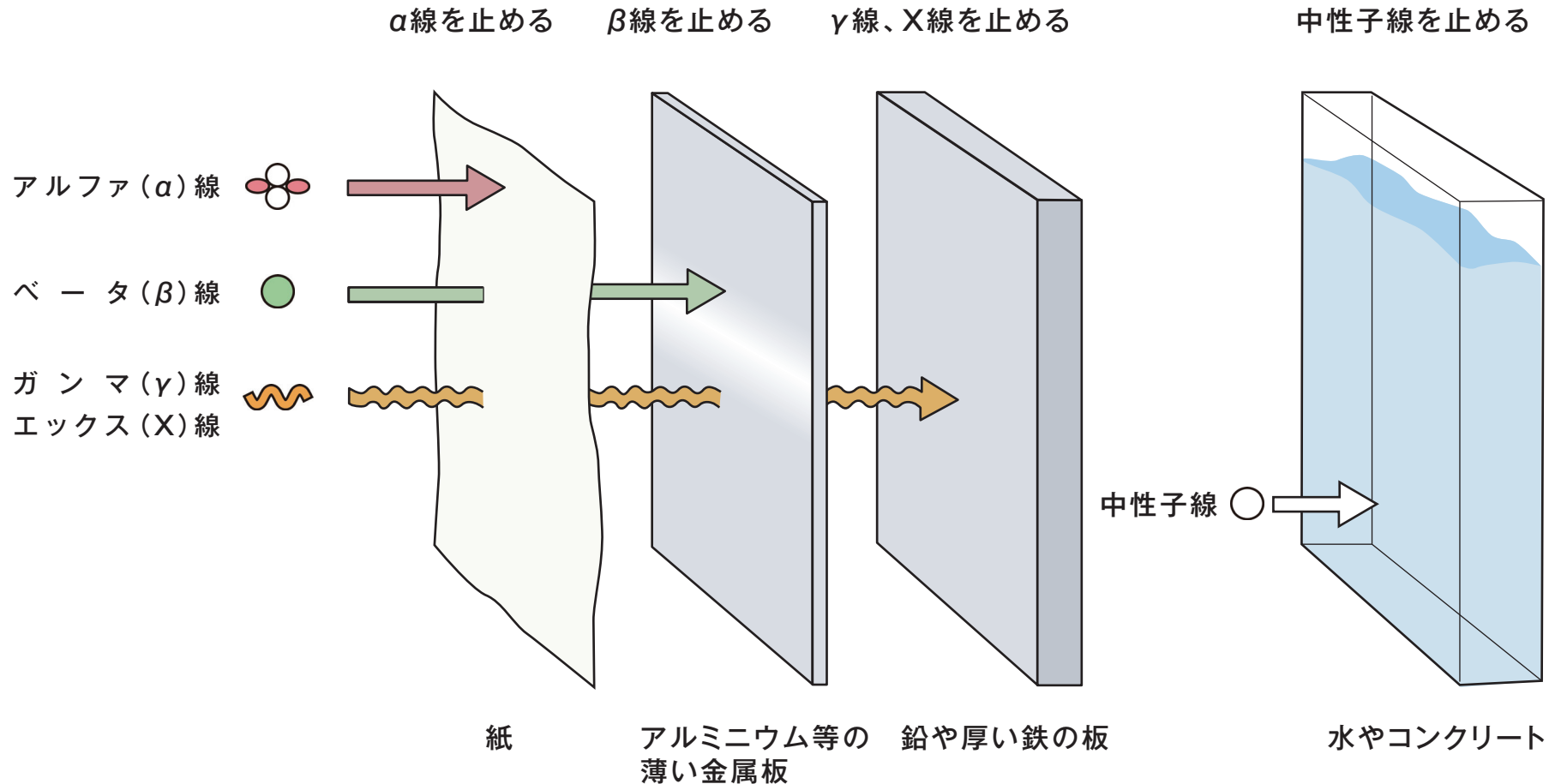


エックス線  
ガンマ線



# 放射線の種類と透過力

線は紙一枚で止まってしまうますが、逆に言うと紙一枚の厚さの範囲に持っているエネルギーを全部一気に放出してしまうため、体の中で線を出されるととても影響が大きくなります。



線は水の中(=体の中)を最大で2mm弱進むことが出来、細胞から見ると比較的広い範囲にエネルギーを落としていき、また体の外から来た場合はほとんど皮膚で止まります。

線は透過能力は高く、遠くから飛んできて体の中までやってきますが、逆に体内で放出されてもほとんど素通りしていきます。

# 自然放射線から受ける線量

一人あたりの年間線量(日本平均)

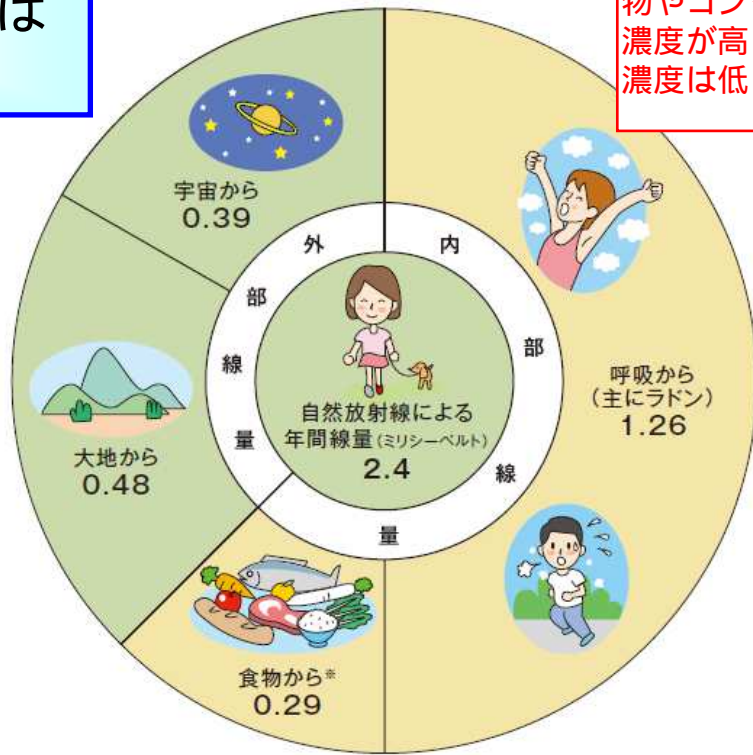
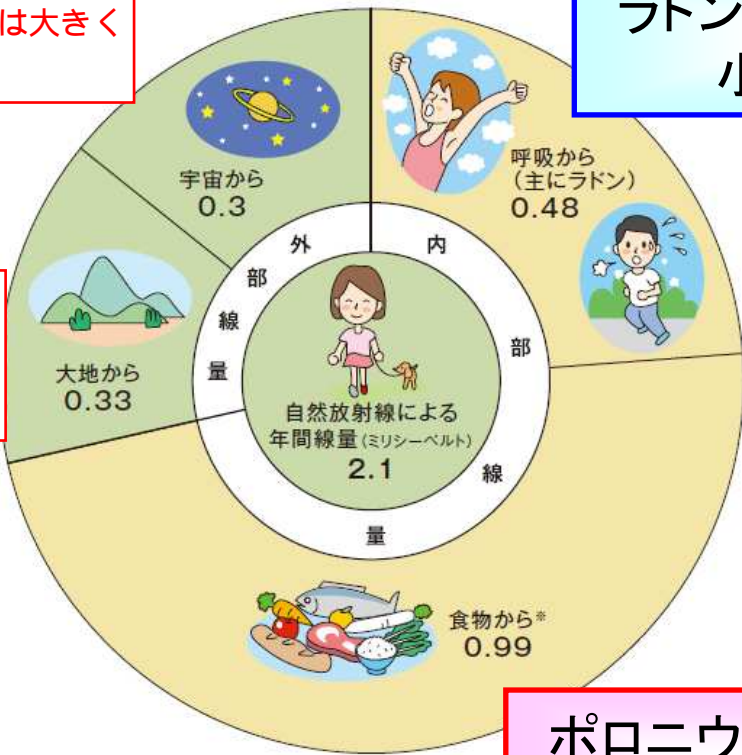
一人あたりの年間線量(世界平均)

緯度が高いほど、また標高が高いほど、宇宙線の量は大きくなります

地域によって大地からの放射線量も大きく異なります。

ラドンの影響は小さい

ラドンは、岩石に含まれるウランやトリウムが崩壊して出来るので、石造りの建物やコンクリートの建物で濃度が高く、木造建築では濃度は低くなります。



ポロニウムの影響が大きい

小魚の骨などに多く含まれるポロニウム-210を日本人は20ベクレルだけ持っています。たった20ベクレルが年間0.8ミリシーベルトにもなります。

※欧米諸国に比べ、日本人は魚介類の摂取量が多く、ポロニウム210による実効線量が大きい

# 宇宙からの放射線

大気で地球上の生物は守られている

太陽から帯電した粒子が大量に放出されています。  
地球の磁場に捉えられた一部がオーロラとして観測されます。

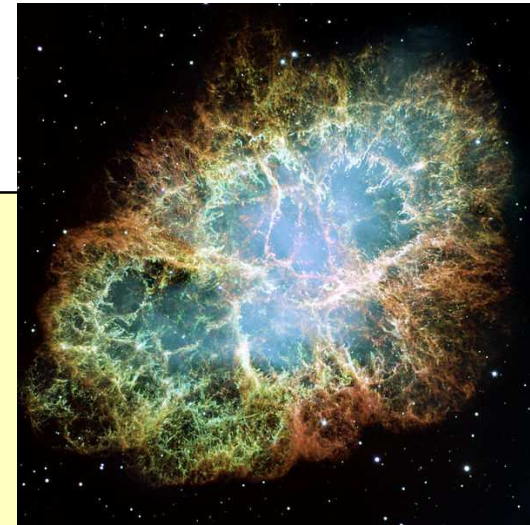


アラスカ、フェアバンクスで観察されたオーロラ

CERN の LHC 加速器でも数 TeV( $10^{12}$  eV)程度。

超新星爆発などで発生した非常にエネルギーの高い ( $\sim 10^{20}$  eV) **銀河宇宙線**も飛んできています。上空で大気とぶつかって核反応により**放射性核種の生成**が起きています。

(一年間に C-14:  $10^{15}$  Bq(1PBq), **H-3 (トリチウム)**:  $7 \times 10^{16}$  Bq(70PBq) 程度が生成されています)



おうし座のかに星雲。  
超新星爆発の残骸。



国際宇宙ステーション ISS の完成予想図

大気で遮蔽されていない上空では放射線量が増加します。  
**欧米への飛行機での往復で100~200  $\mu$  Sv程度被ばく**します。  
宇宙ステーション (ISS: 高度400km) では、1日当たり0.5~1mSv程度にもなります。

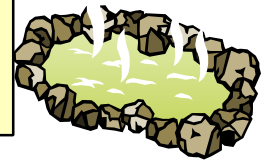
# 大地からの放射線

ウランは地殻中でありふれた元素



花崗岩

地中の岩石の中には少しずつウランが含まれていて、平均で1トンあたり2.4g、花崗岩には11gも含まれていて、140kBqに相当します。ウランの娘核種もまた放射線を出して別の放射性核種となる、壊変系列を形成しています。



ラドン温泉

地球の内部が暖かく、温泉が出るのも、地球の内部の放射性物質の崩壊によるエネルギーだと言われています。



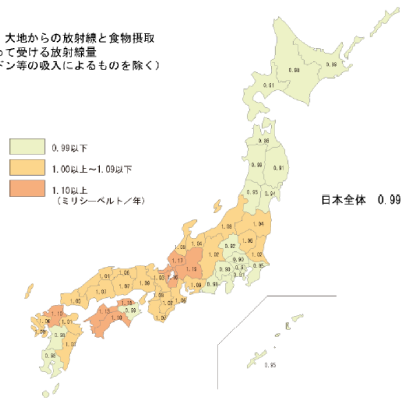
トンネルの中は周囲を岩石に囲まれてるため地表よりも放射線量が高くなります。

(東名高速の日本坂トンネルで0.13  $\mu$ Sv/h など地表の倍程度)

壊変系列の中に気体の放射性核種、ラドンが含まれていて、石の中から出てきて空気中を飛んでいます。これが肺の中で $\alpha$ 線を放出して内部被曝を起こします。

## 全国自然放射線量

宇宙、大地からの放射線と食物摂取によって受ける放射線量(ラドン等の吸入によるものを除く)



世界には日本よりはるかに自然放射線量が高い(年間10mSv以上)地域があります。国内でも岩盤が多く露出している地域では比較的放射線量が高く、火山灰で覆われている地域などは低く、県単位の比較でも年間で300  $\mu$ Sv程度異なります。



ピサの斜塔

イタリア・ピサの大聖堂

# 食品からの放射線

福島事故以前から  
含まれる放射能



カリ肥料

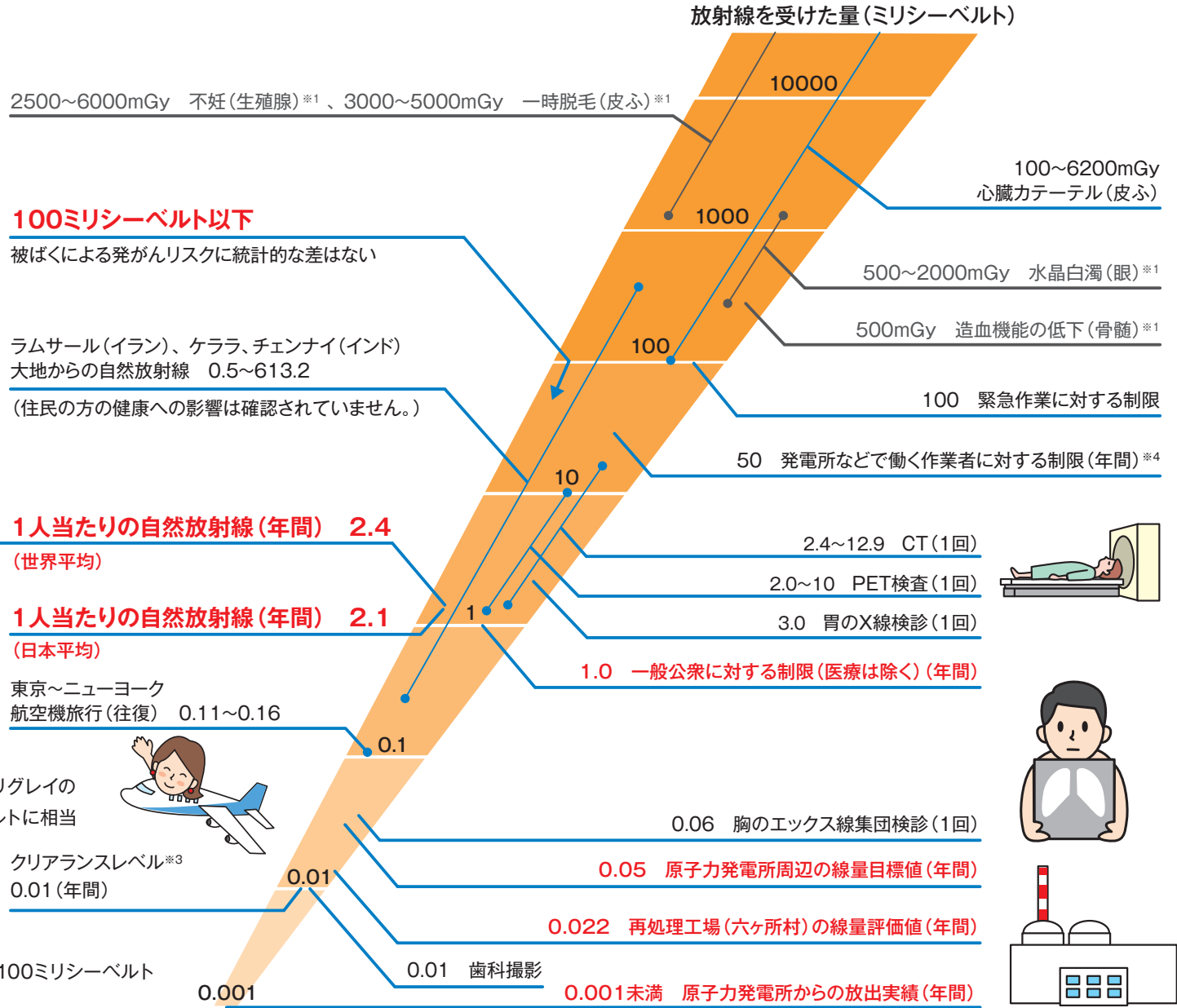
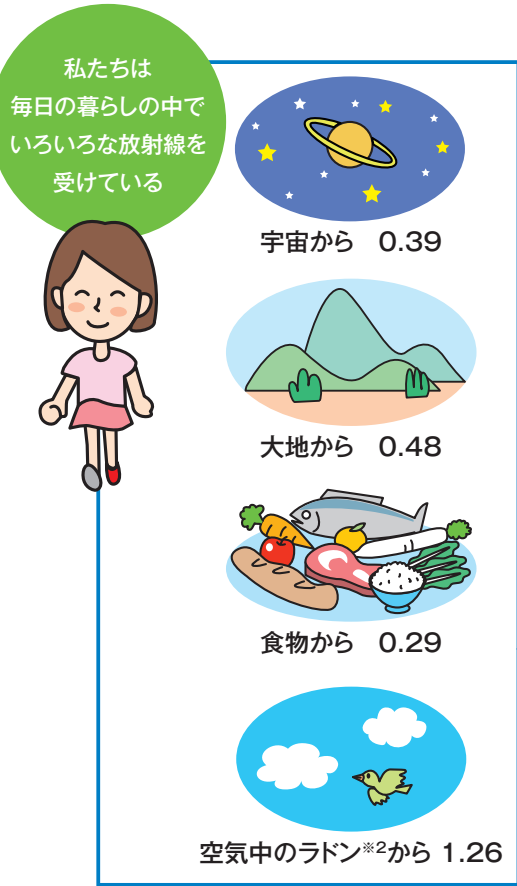
天然のカリウム1gには30BqのK-40が入っています。カリウムは作物に、そして人間にとっても必須の元素の一つです。昆布や椎茸、キュウリなどに沢山含まれており、人間の体の中にも体重60kgで4000BqのK-40が含まれていて一年間で170 $\mu$ Sv被曝しています。

60kgの日本人の体の中にはおよそ20BqのPo（ポロニウム）-210と言う放射性核種が含まれています。K-40が $\beta$ 線/ $\gamma$ 線を放出するのに対して、このPo-210は $\alpha$ 線を放出するため、内部被曝量は年間で800 $\mu$ Svにもなります。



タバコ1本には0.024BqのPo-210が含まれており、一日一箱の喫煙で年に100 $\mu$ Sv被曝します。

# 日常生活と放射線



※1 放射線障害については、各部位が均等に吸収線量1ミリグレイのガンマ線を全身に受けた場合、実効線量1ミリシーベルトに相当するものとして表記

※2 空気中に存在する天然の放射性物質

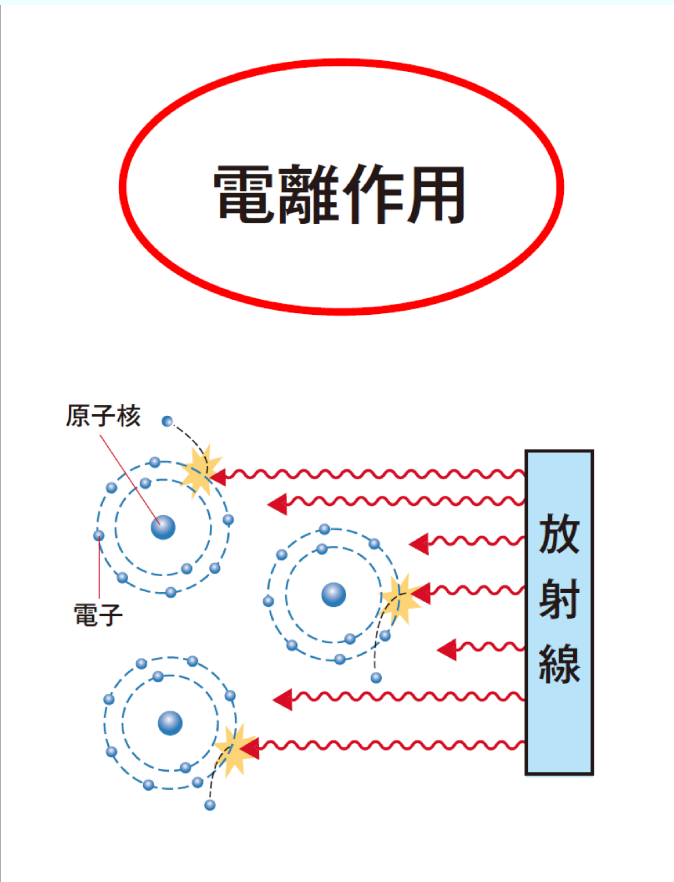
※3 自然界の放射線レベルと比較して十分小さく、安全上放射性物質として扱う必要のない放射線の量

※4 発電所などで働く作業員に対する線量は5年間につき100ミリシーベルトかつ1年間につき50ミリシーベルトを超えない

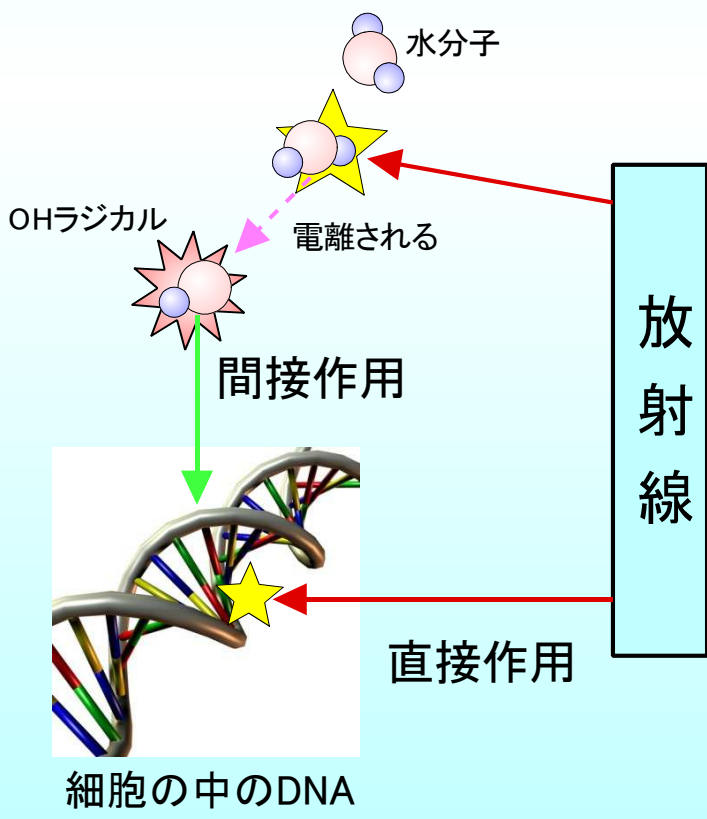


# 放射線を身体に受けると何が起こるの

放射線は原子の周りの電子を弾き飛ばしてしまい、結合している手を切ってしまう「電離作用」を起こします。

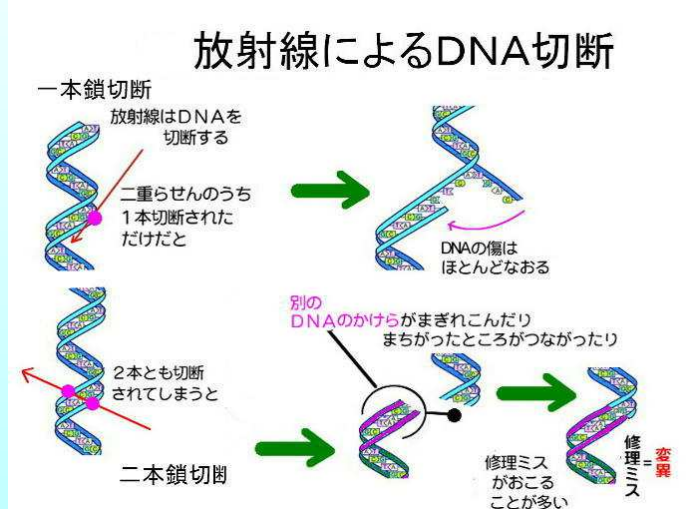


直接DNAを構成する原子を電離して切断するほかに、水を電離して、活性酸素のような化学的に活性なラジカルを作り出します。このラジカルが、間接的にDNAを切断します。



細胞のDNAは放射線以外にも呼吸により発生する活性酸素などで常に攻撃されています。

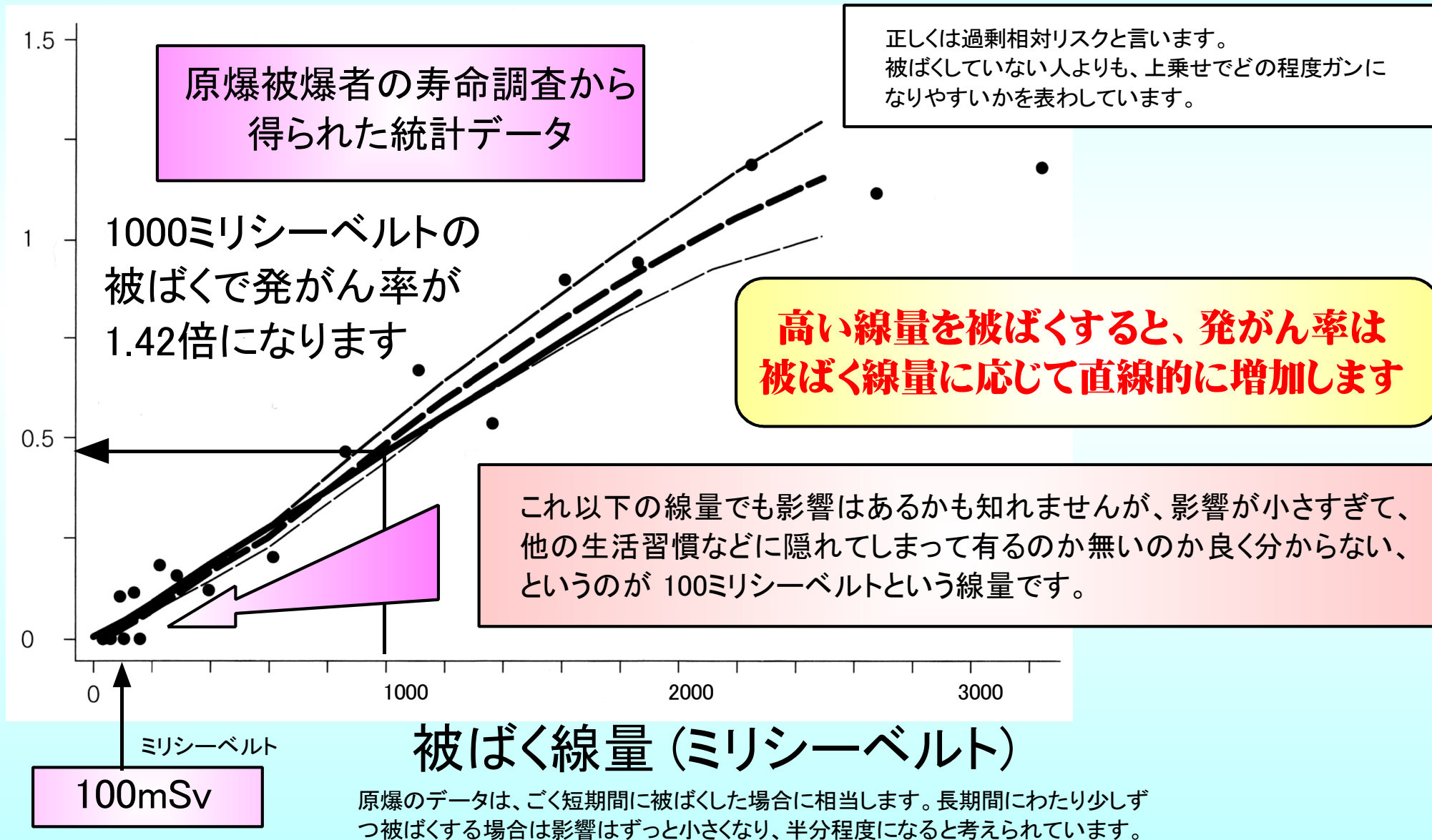
このため、細胞は切断されたDNAを元通りに修復しています。修復できないほどDNA切断が多い場合には、アポトーシス(自分のDNAを細かく切り刻む現象)によって細胞は自ら死んでしまい影響を後に残しません。余りにもたくさんの攻撃を受けると、ごくまれに起こるDNA修復誤りによって遺伝子突然変異が起こり、発がんの原因になると考えられています。



# 発がんへの影響はどのぐらいなの？

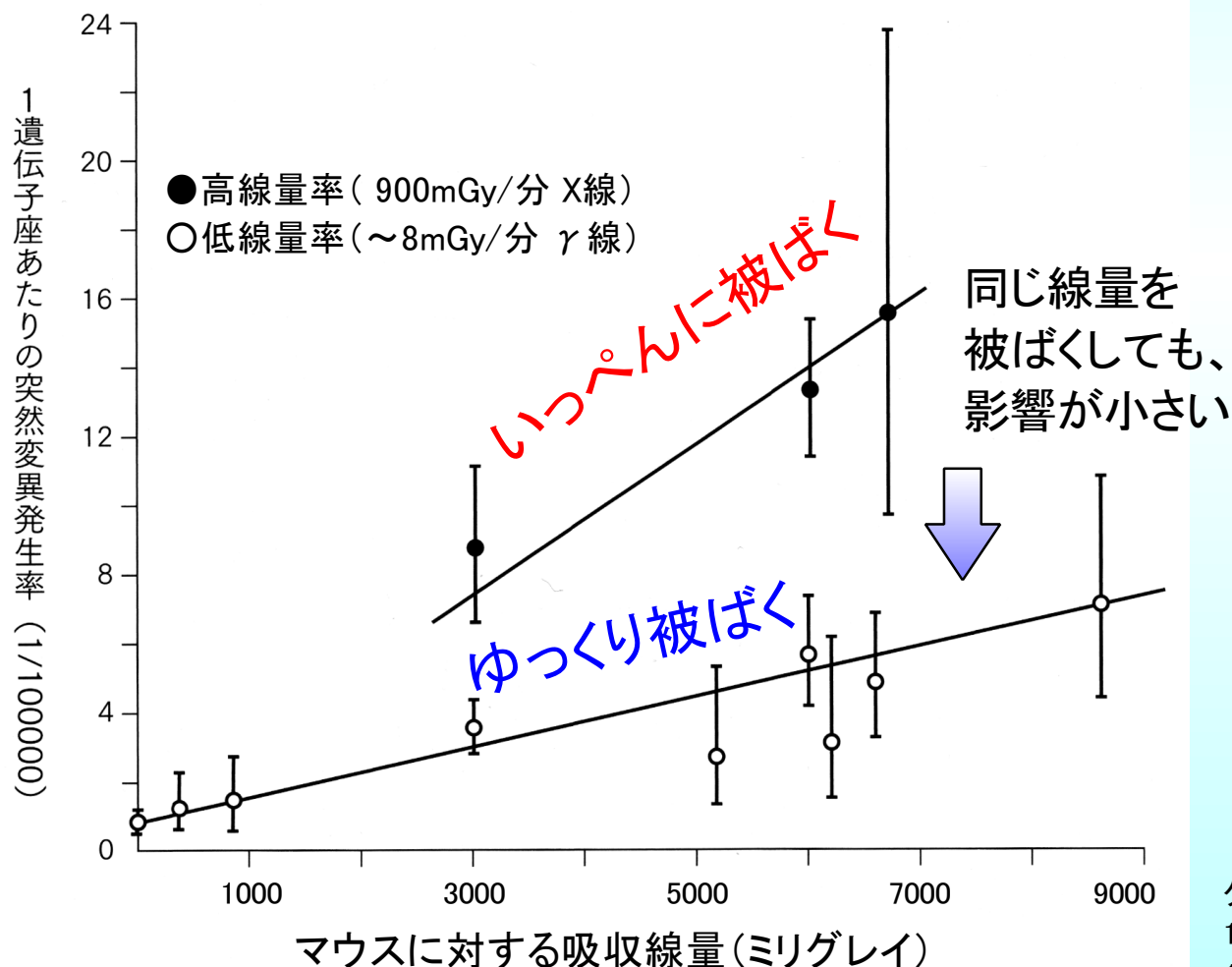
30歳の時に被ばくした人が、70歳になったときの上乗せのリスク

固形ガン発症の上乗せのリスク



# 長期間の被ばくの方が健康に影響が有るの？

合計で同じ線量を被ばくするなら、  
時間あたりの線量が小さい方が影響は少ない！



細胞にはDNAを  
修復する力が  
あります

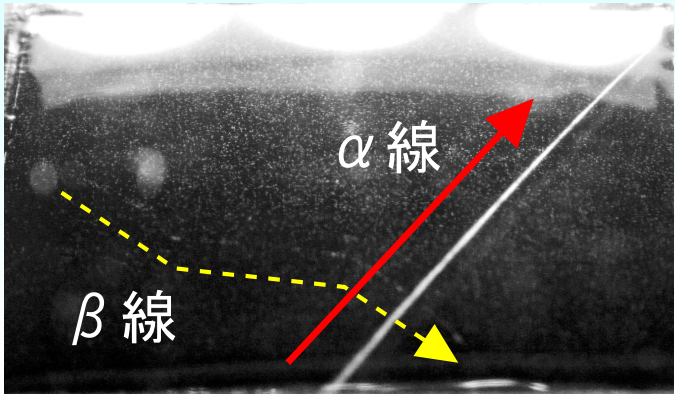
1950年代に行われた、700万匹にも及ぶマウスを用いた、「メガマウスプロジェクト」からのデータです。これほど大規模な実験は現在では国家レベルでも不可能です。

グレイは物質に吸収される放射線のエネルギーです。100ミリグレイのX線やガンマ線を人間が吸収した場合、100ミリシーベルトと同じ数値になります。

# 放射線の種類によって影響が違います

同じエネルギーの放射線を吸収した場合でも、**アルファ線**と、**ベータ線**、**ガンマ線**とでは、**20倍**も影響の大きさが違います。

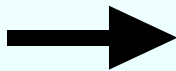
相互作用の違いを反映



体内の放射能  
\*体重60kgの日本人

1年間に被ばくする実効線量

カリウム-40:  
4,000 ベクレル



**0.17** ミリシーベルト

β・γ線のみ

ポロニウム-210:  
20 ベクレル



**0.80** ミリシーベルト

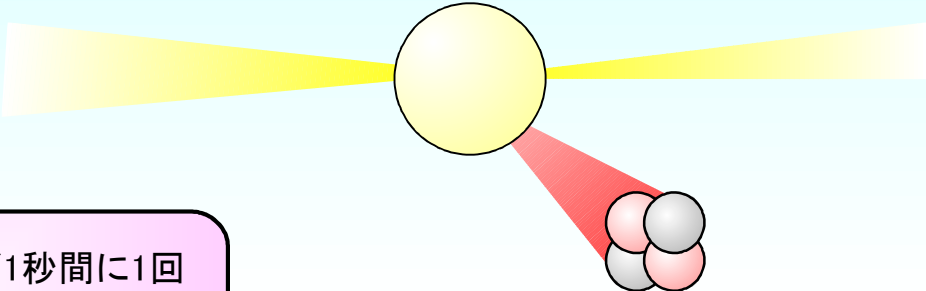
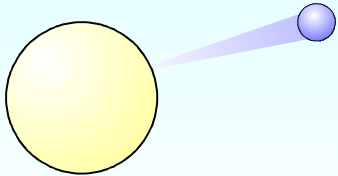
α線を放出

体の中に放射性物質を取込む「内部被ばく」の場合は、化学的性質による排出のされやすさ、どの臓器に溜まりやすいかなどの危険性も加味されます。

非常に怖いと言われる  
プルトニウム-239は  
α線を放出します

# 放射性物質の種類による違い

同じ1ベクレルでも放射性物質の種類によって人体に与える影響（シーベルト）は全く異なります。



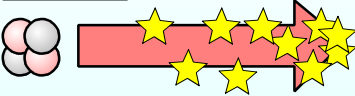
1ベクレルとは、ある原子が1秒間に1回別の原子に変化する、という量で、原子の種類によって出てくる放射線の種類( $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ )、エネルギー、本数がそれぞれ違います。

100ベクレルを肺に吸入したときの被ばく線量	
プルトニウム-239	3.2 ミリシーベルト
セシウム-137	一万分の 6.7 ミリシーベルト
トリチウム(H-3)	百万分の 4.1 ミリシーベルト

同じベクレルの放射能でも体に与える影響は全く異なります!

プルトニウム-239: 5.1MeV の  $\alpha$  線、半減期 2.4万年、肺や肝臓などに沈着  
 セシウム-137: 0.51MeV の  $\beta$  線と 662keV の  $\gamma$  線、半減期 30年、カリウムなどともに体外に排出  
 トリチウム(H-3): 18.6keV の  $\beta$  線、半減期 12.3年、水と共に体外に排出

**$\alpha$  線** ヘリウムの原子核が正体

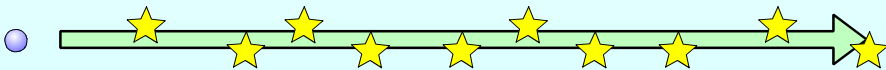


狭い範囲に一気にエネルギーを放出する

集中的に細胞のDNAを傷つける

**$\beta$  線**

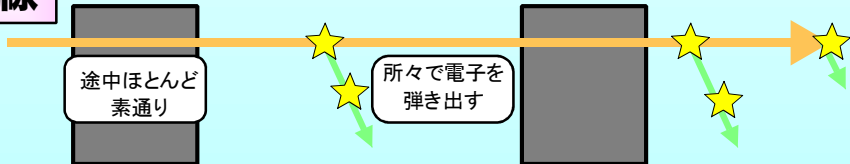
高速で飛ぶ電子



所々にぽつぽつとエネルギーを落とす  
 実際にはまっすぐ進まず跳ね返されながらジグザグに進む

**$\gamma$  線**

波長の短い光の仲間



# 内部被ばくはずっと体内で放射線を出しているけど大丈夫？

クイズ: 1kg あたりセシウム-137 を 100 Bq 含む米を、一食あたり1合(精米で150g、炊きあがりでは330g)、一日三食、365日食べつづけたとして、そのあと50年間で被ばくする線量はどの程度になるでしょう？

答え: 0.21ミリシーベルト

現在一般食品中の放射能濃度の基準値は、放射性セシウムで 100ベクレル/kg となっており、この設定は基準値の上限値の場合となっています。現在も福島県産の米については全量検査が続けられていますがほぼ全てのサンプルで検出できないぐらい放射能は少なくなっています。ですので、今回のクイズは有り得ないぐらい高い濃度の食品だけをずっと摂取し続けた場合、と言う極端な例だとお考え下さい。



欧米に飛行機で旅行すると、宇宙線の増加により0.2ミリシーベルト程度被ばくします。

## 「内部被ばく」による影響

- ・どんな放射線の種類か( $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ )
- ・どのぐらいのエネルギーか
- ・物理的な半減期
- ・排出されやすさ(生物学的半減期)
- ・どんな臓器に蓄積されやすいか
- ・蓄積される臓器の感受性

全部考慮して評価しています

その後 50年間にわたる影響を、取込んだ時点でいっぺんに被ばくしたとして被ばく線量(シーベルト)の計算をします。

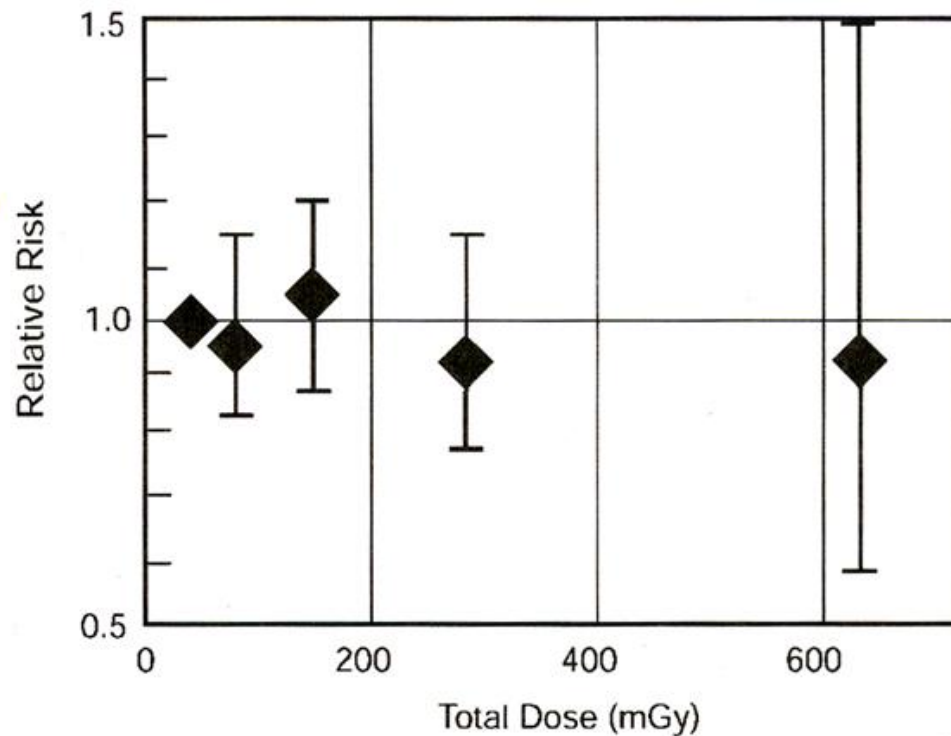
このようにして求められた**内部被ばくの線量**と、**外部被ばくの線量**とは、**同じリスク**になります。

実際には、**同じ量**を**少しずつ長い期間にゆっくり**被ばくするのと、**いっぺん**に被ばくするのとでは、DNA修復のメカニズムがあるため、**ゆっくりの方が影響は小さくなります**。

# 高自然放射線地域でのがん罹患率

## インドケララ州高自然放射線地域

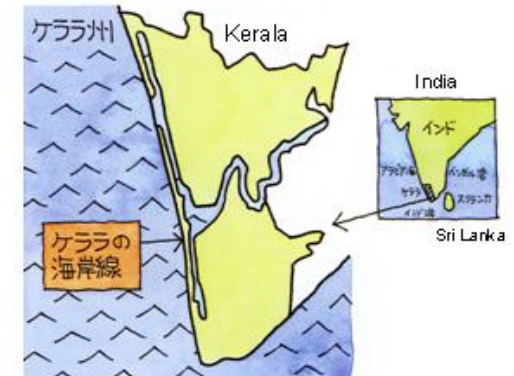
全がん(白血病を除く)の相対リスク



推定累積線量

地域住民の発がんリスクは  
高くない

トリウムを含む黒い砂浜で暮らす漁民

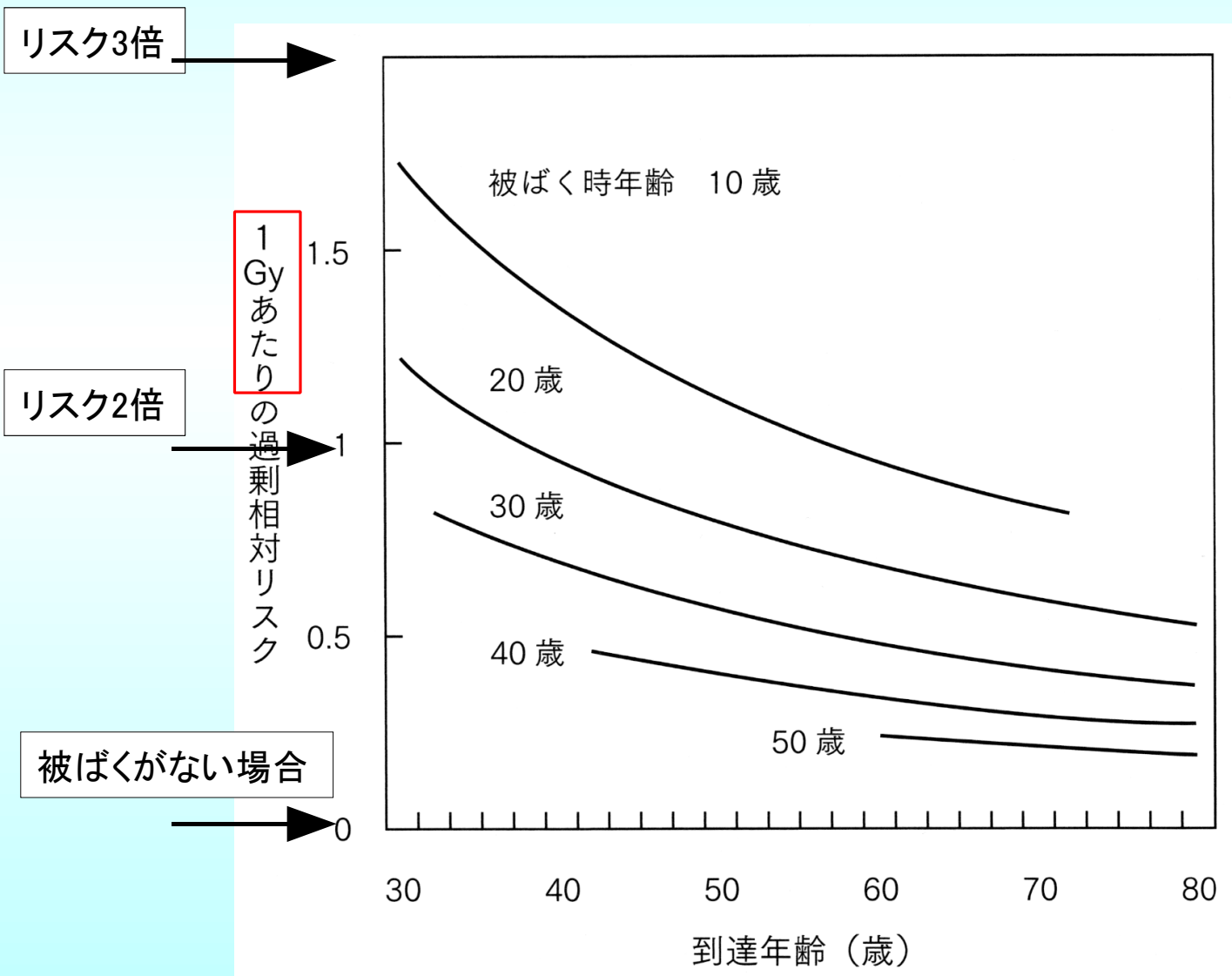


(「世界の大地放射線」放射線照射利用促進協議会)

(Nair, R. R. K. et al., *Health Phys.*, 96, 55-66, 2009)

# 子供は被ばくの影響が大きいんじゃないの？

原爆被爆者の被ばく時年齢による  
全固形ガンによる死亡リスクの比較 \*白血病は除外



1000mGy 被ばくした場合のガンによる過剰相対死亡リスクを、被ばく時の年齢、およびその後生存していった場合の各年齢で整理したグラフ。

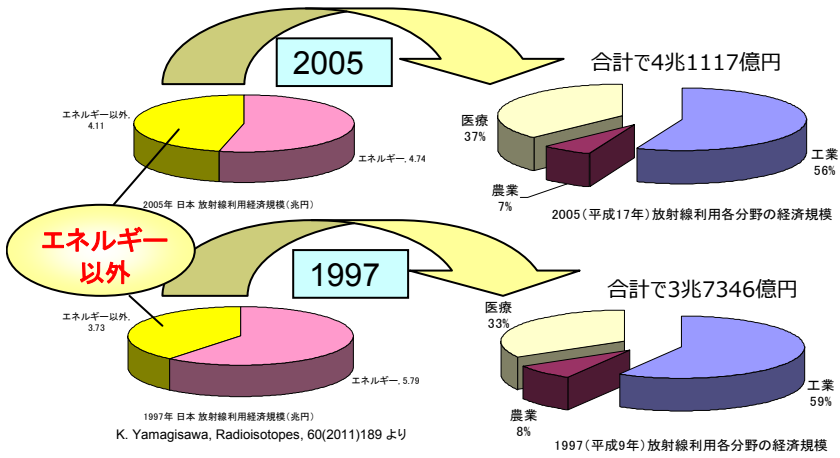
被ばく時に若いほどその後の影響は大きく、また若い時点ほど相対的なリスクは大きい。

ただし、被ばくがない場合のそもそものリスクは年齢が上がるほど大きくなるため、絶対的なリスクは高齢者ほど上昇している。



# 暮らしの中の放射線

様々な分野での放射線応用の経済規模は、エネルギー利用(原子力発電)と同程度の巨大な産業



## 工業利用

材料改質、微細加工、非破壊検査、元素分析



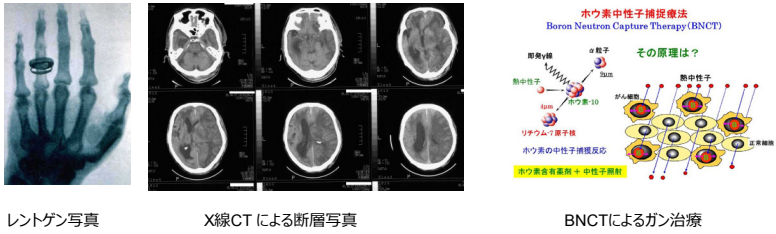
## 農業利用

品種改良、食品照射



## 医療(診断、治療)

レントゲン撮影、CT、PET  
ガンマ線・重粒子線治療、BNCT



## 滅菌

手術器具、医薬品原料、食品包装材

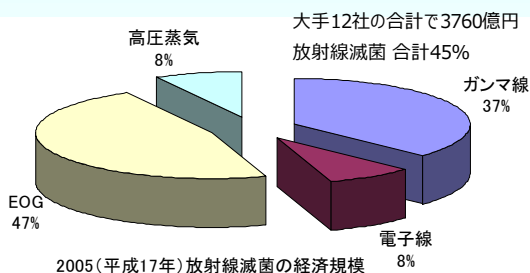
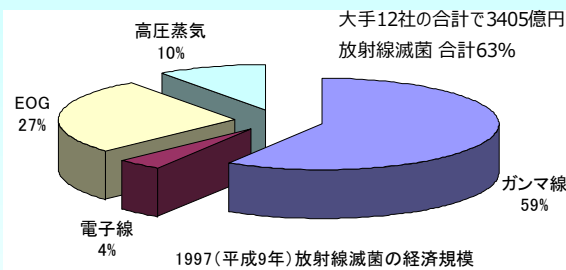


## 年代測定

C-14 年代測定法などによる考古学・文化財の評価



# 放射線による滅菌



ガンマ線は電子線よりも透過力が大きく、より大きな物、密度の高い物に適しています。  
電子線は処理スピードが速く、短時間にたくさん照射するのに適しています。  
EOGは酸化エチレンというガスで、表面の滅菌に適していますが、有毒な残留物の除去が必要です。  
高温蒸気は、水に溶ける物には使えず、温度上昇による変質の恐れがあります。

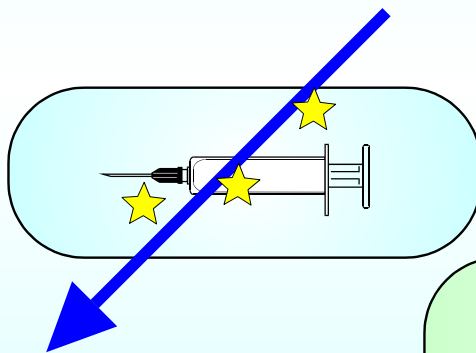
1万~2万グレイ<sup>\*</sup>という非常に高い線量の放射線を照射することで、様々なバイ菌を殺してしまうことができます。

<sup>\*</sup>グレイとは、人間以外の物体が放射線を吸収した量のことです。ガンマ線、電子線では同じ線量を人間が吸収した場合、シーベルトに等しくなります。

密封したパッケージの中に透過して、  
中身を滅菌できます

照射が終わると後に有毒ガスや  
水が残らず後処理が不要です

均一に全体を照射でき、どの程度照  
射するかコントロールが容易です



医薬品



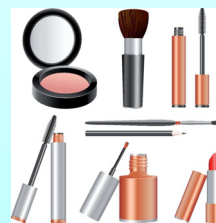
医療機器



食品包装材



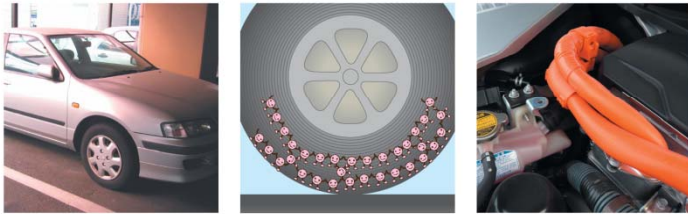
化粧品



食品

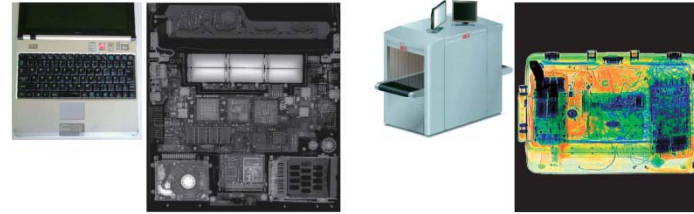
海外では食肉や香辛料などの食品への照射が行われていますが、日本ではジャガイモの芽止めにしか用いられていません。

## 車で使われる放射線技術



車のさまざまなパーツには放射線による加工技術が使われています。  
 高速回転により地面と擦れるタイヤは放射線をあてて強くなったゴムで作られています。  
 また、エンジンルーム等高温になるところのコードも  
 放射線によって熱に強くしたコードが使われています。

## 壊さないで中を調べる



放射線を使って撮影すると物を壊さずに中身を調べる事ができます。  
 この技術は、空港で行われている手荷物検査や、  
 金属に欠陥がないかを調べる検査にも利用されています。

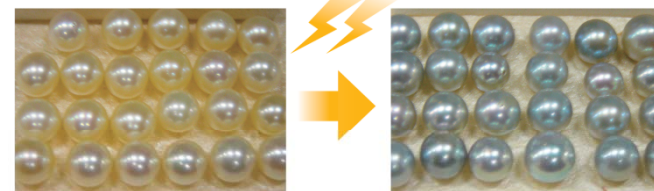
## 放射線で変化する繊維



電子線(放射線)を繊維(服の生地)にあてて、  
 機能を高める技術が開発されています。  
 抗菌・消臭・防炎などの機能を天然繊維にもたせることができます。

## 色を変えて美しくする

放射線をあてると



【照射前】

【照射後】

真珠やダイヤモンドに放射線をあてて色を変えたり、美しくする事ができます

※放射線は物を通り抜けるため、放射線をあてた真珠やダイヤモンドに放射線が残ることも、  
 真珠やダイヤモンドそのものから放射線を出すようになることもありません。

## 食品を殺菌する

放射線を照射することによって、食品を健全な状態で長い期間保存できる技術を**食品照射**といいます。

昔から人々は、食品を長く貯えるために、塩漬けや干物などの工夫を行ってきました。最近では保存料などの薬剤も広く使用されています。しかし、それらの中には私たちの健康に害を与えたりするものもあってきました。そこで人の健康に害がない方法として食品に放射線をあてる「食品照射」が世界各国で使われるようになっていきます。

※現在、日本ではジャガイモへの照射のみが認可されています。



冷凍や生のまま、O157、サルモネラ菌など大部分の食中毒菌を殺菌できます。

※照射された放射線は食品を通り抜けてしまうため、照射した食品に放射線が残ることはありません。

## 新しい品種を生み出す

農作物に放射線を照射してできた突然変異種を利用することで、有用な品種の改良を行うことができます。



「レイメイ」

耐寒性があり寒い所で育つのに適していたが、育が高く、少しの風で倒れちゃう品種「フジミノリ」に放射線を照射して、本来の耐寒性に加えて背の低い倒れにくい品種「レイメイ」を作り出しました。



「ゴールド二十世紀」

鳥取県産の「二十世紀ナシ」はナシ黒斑病という病気にとってもかかりやすく、予防に多くの費用がかかっていましたが、放射線を照射した子孫の中から病気に強い新品種が誕生し、産地で急速に生産が普及しています。



「カーネーションの新種」

ピンク色のカーネーション「ビタル」に放射線を照射して、黄色、淡ピンク、濃紅色などの花色や花弁の形と数などで、変わった品種が得られています。

※照射された放射線は作物を通り抜けてしまうため、照射した作物やその子孫に放射線が残ることはありません。

## 農作物の害虫防除

南西諸島で大きな農業被害を与えていたウリミバエを根絶するために放射線がつかわれました。



ウリミバエ

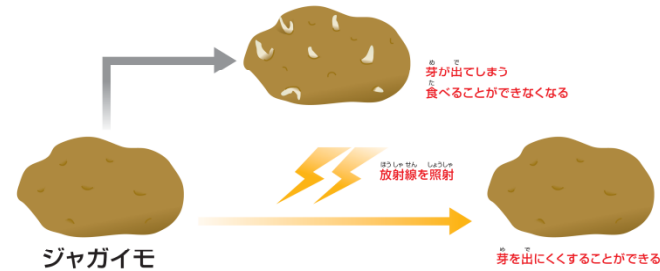


ゴーヤ・マンゴーなど

人口飼料で飼育したウリミバエを産卵させ、卵から幼虫を経て変身した何百万匹ものさなぎに放射線を照射して、不妊化(子供ができないようにすること)します。こうしてつくられた不妊虫を地上に放し、野生のウリミバエのメスと交尾させます。そのようにして生まれた卵はふ化しないので次の世代が育たず、ついに根絶します。

この結果、ゴーヤなど南西諸島の農作物が本土で食べられるようになりました。

## ジャガイモの芽止め



日本では北海道・士幌町でジャガイモへの照射が実施されています。ジャガイモは収穫後、しばらくすると芽が出て食べられなくなります。発芽前のジャガイモに放射線を照射することで発芽を抑え、新鮮でおいしく食べられる期間を何ヶ月も伸ばすことができます。

※照射された放射線はジャガイモを通り抜けてしまうため、照射したジャガイモに放射線が残ることはありません。