

**2023/07/25 大阪公立大学★高専
小中高生サマーラボ（2023年度）**

**実は身近な放射線の
世界を体験してみよう！**

**大阪公立大学 放射線研究センター
秋吉 優史**

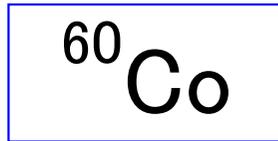
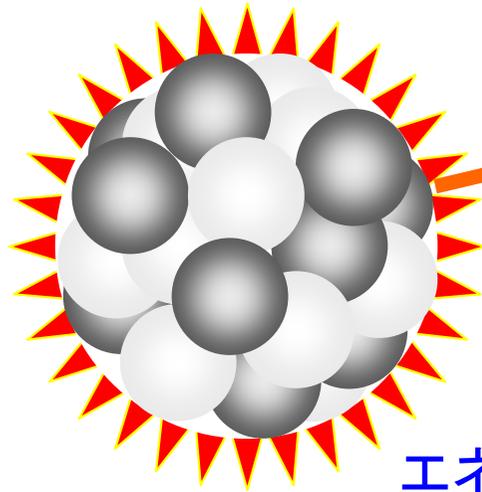


Mail: akiyoshi-masafumi@omu.ac.jp

資料: <http://bigbird.riast.osakafu-u.ac.jp/~akiyoshi/Lecture/>

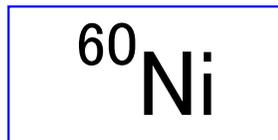
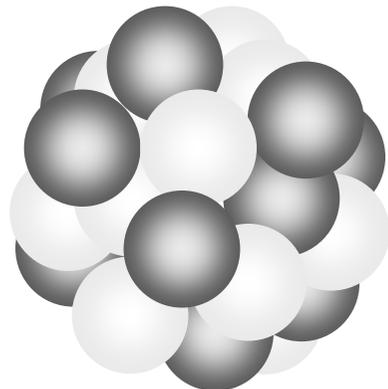
放射線の正体

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



アルファ線

アルファ粒子
(ヘリウムの原子核と同じ物)



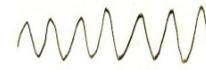
ベータ線

電子



中性子線

中性子



エックス線
ガンマ線

光子
(電磁波、光の仲間)



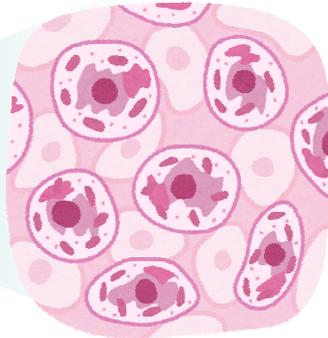
原子の大きさと構造

子供



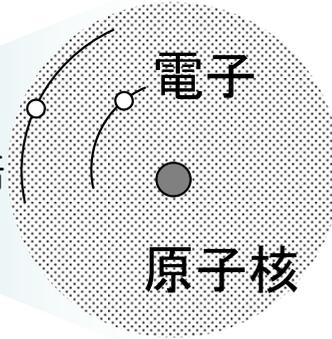
1m

細胞



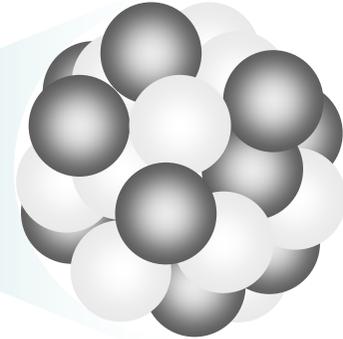
10万分の1m
(10^{-5} m, 10ミクロン)

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)

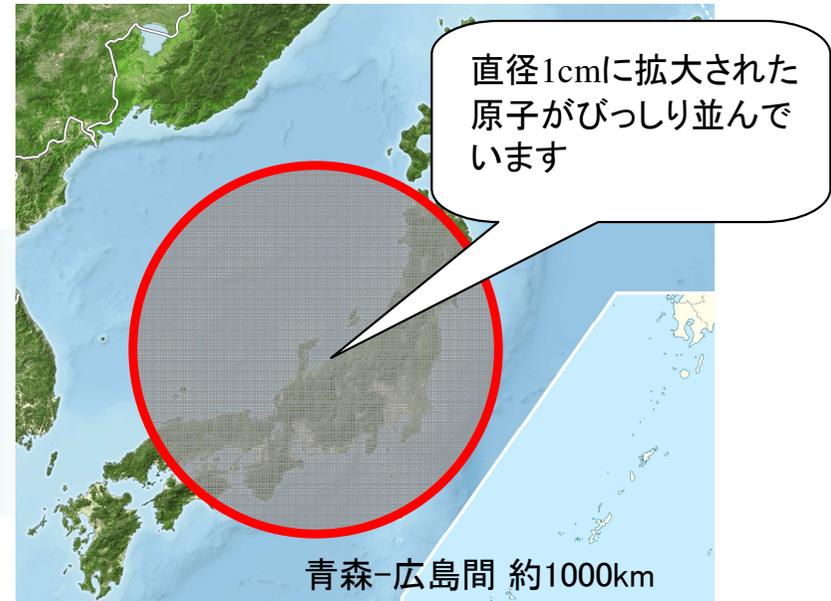
原子を直径1cmの大きさまで拡大すると...

1gの1円玉の中に、アルミニウムの原子が 2×10^{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

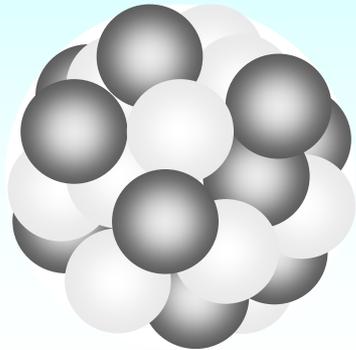
1億倍に拡大



1円玉は本州を覆うぐらいの大きさになる

原子の大きさと構造

原子核



陽子

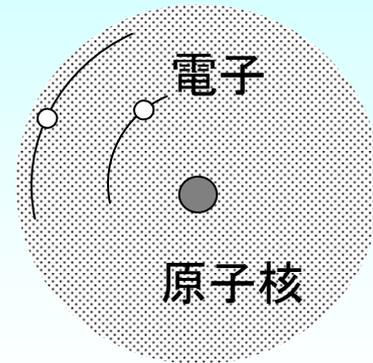


中性子

10^{-15} m (fm)

5×10^{-15} m

原子



$\sim 10^{-10}$ m
(1 Å)

原子核を1円玉の大きさまで
拡大すると...

原子は東京ドームぐらいの
大きさになる



1×10^{-2} m (1cm)

2×10^{12} 倍に拡大

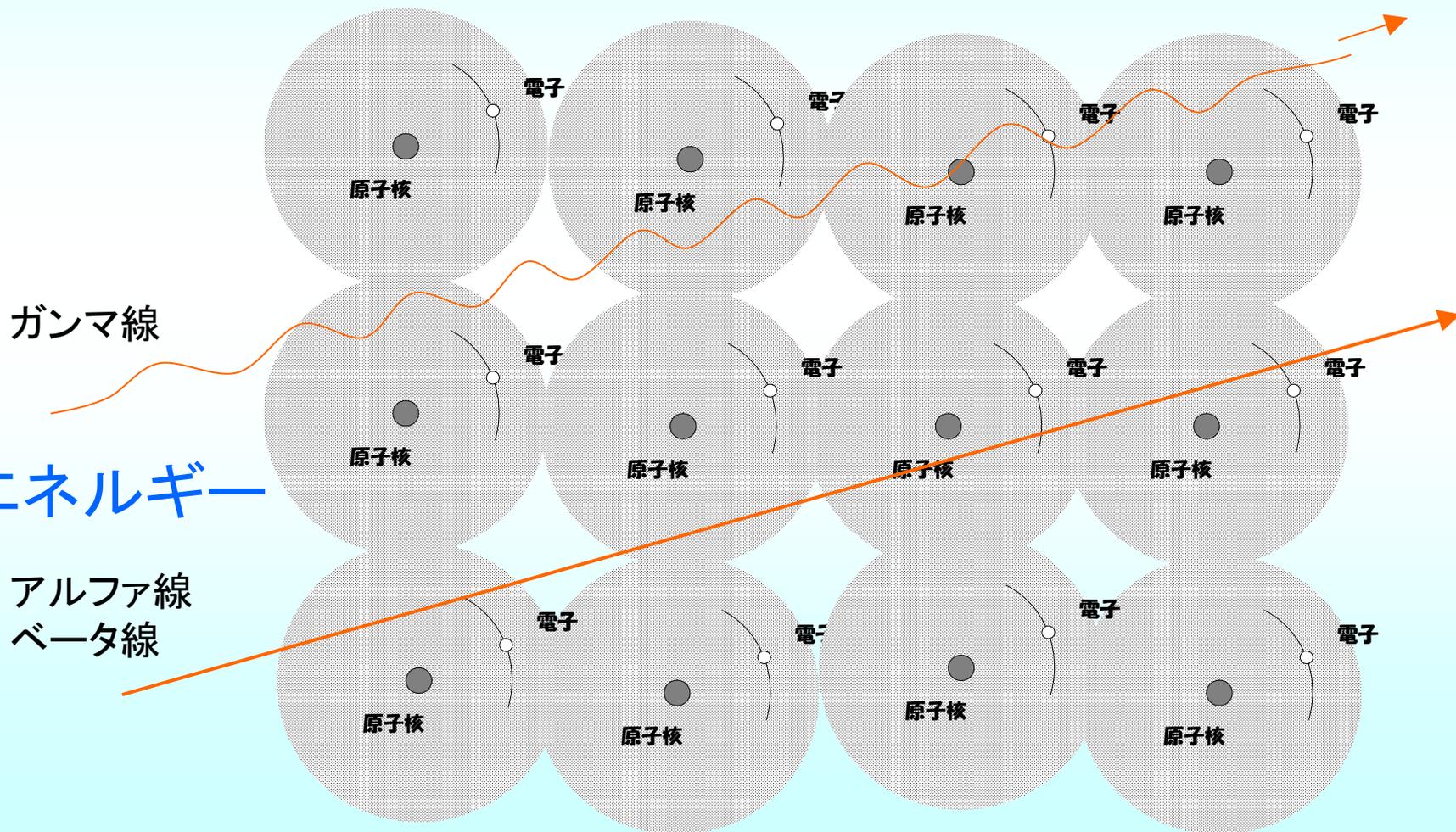


200m

1cmの一円玉は 2×10^7 kmとなり、
 1.4×10^6 kmの太陽より大きくなる

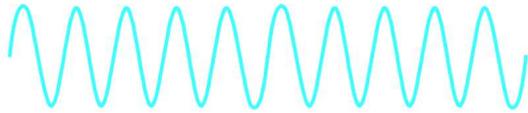
放射線の作用

ミクロな視点で



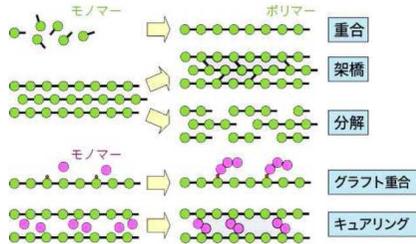
エネルギー 大

ガンマ線、エックス線



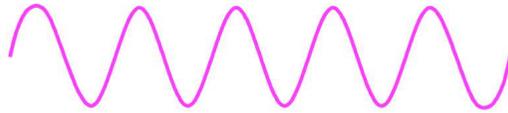
電離作用

原子核
電子
放射線



エネルギーの大きいガンマ線やエックス線は、物体の中を突き抜けていき、その途中の原子の周りの電子を弾き飛ばす働きがあります。この力を使って、注射器などの医療用の器具を滅菌したり、様々な機能を持った高分子化合物を作ったりすることが出来ます。

紫外線

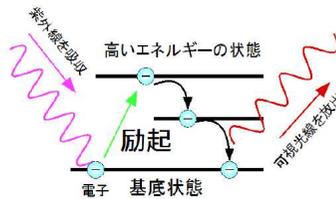


< 太陽光線の種類 >

UVC はオゾン層で吸収されるため地表には届かない。

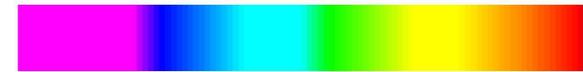
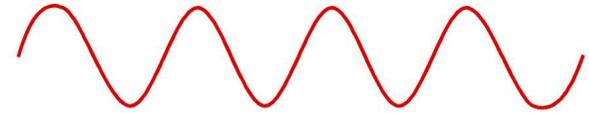
200 280 320 400 760 nm

1nm (ナノメートル)=100万分の1mm



可視光線よりも少しエネルギーの高い紫外線は、目には見えませんが、物体の中の電子に少しだけエネルギーを与えて「励起(れいき)」させることが出来、日焼けの原因になったり、「UVレジン」と言う接着剤を固めてアクセサリーを作ったり、ウランガラスなどの蛍光体を光らせることが出来ます。

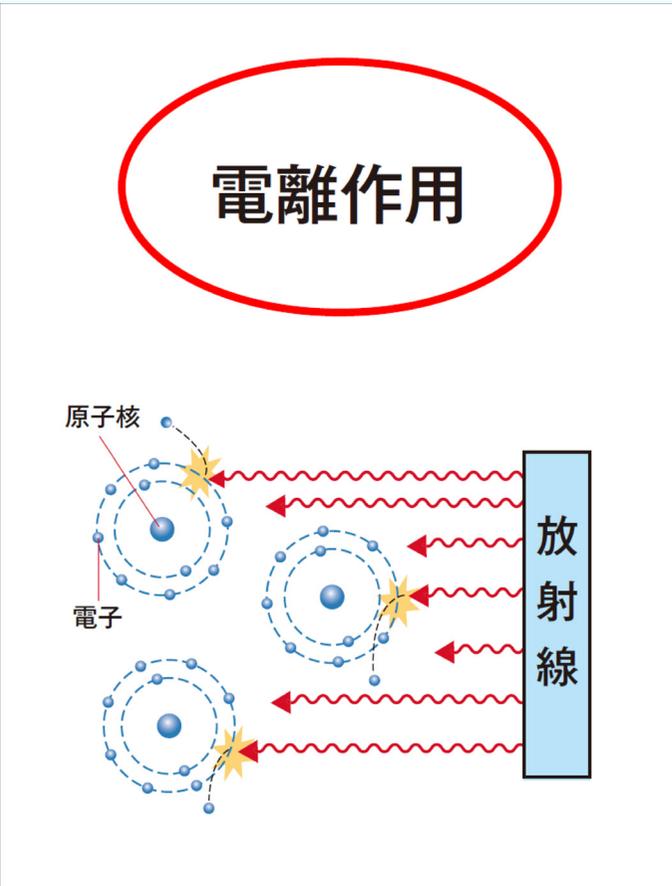
エネルギー 小 可視光線



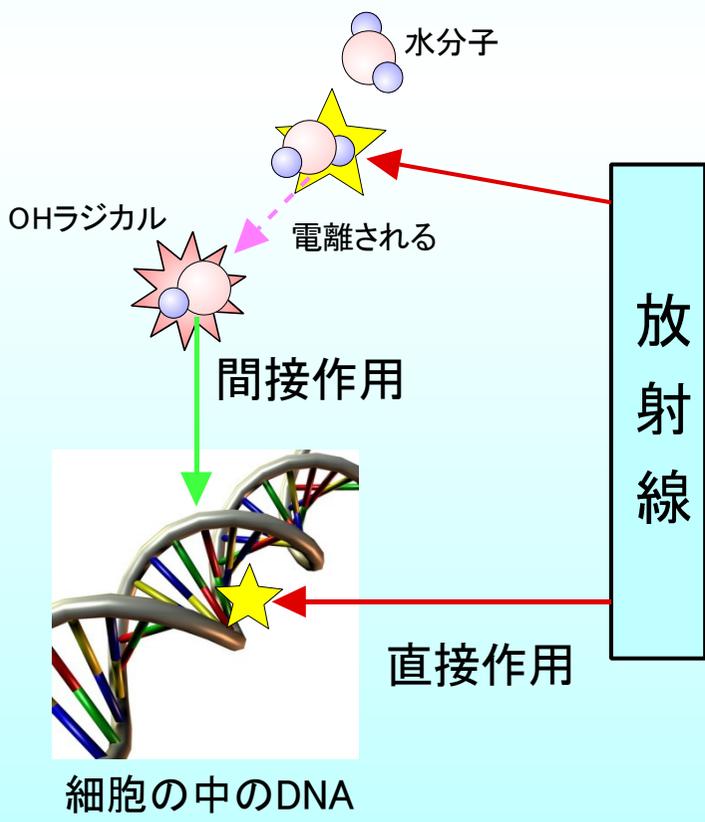
目で見える光、可視光線は波長が長くエネルギーの低い赤から、波長が短くエネルギーの高い紫までの間で、虹の七色のように見え方が異なります。光も電磁波の一種ですから少し電子を励起して、写真フィルムを感光させたり、太陽光発電を行ったり、植物の葉緑体の中で光合成を行うなどのパワーを持っています。波長(波の長さ)と位相(波の位置)の揃った光のことを、レーザー光線と言い、強度(波の高さ)がとても強く、遠くまでまっすぐ飛ぶなどの性質があります。

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」を示します。



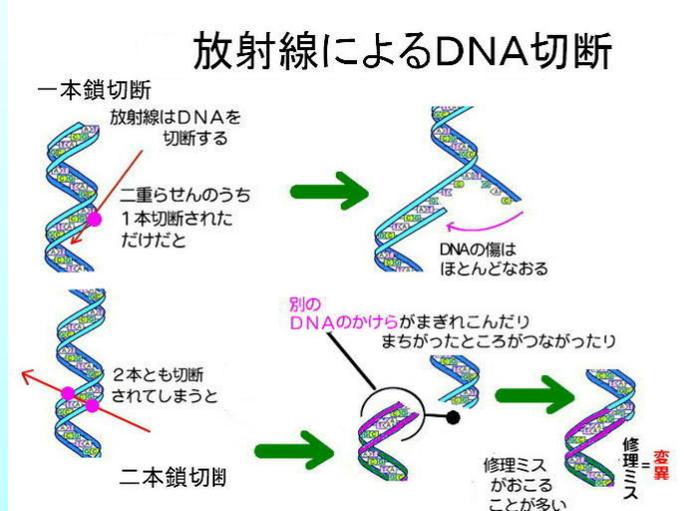
直接DNAを構成する原子を電離して切断するほかに、水を電離して、活性酸素のような化学的に活性なラジカルを作り出します。このラジカルが、間接的にDNAを切断します。



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。

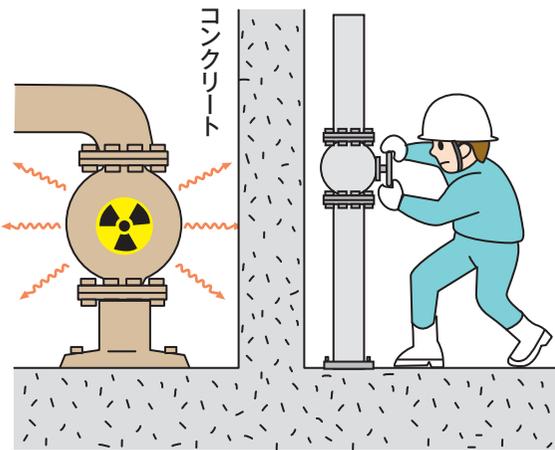
余りにもたくさんの攻撃を受けると、ごくまれに起こるDNA修復誤りによって遺伝子突然変異が起こり、発がんの原因になると考えられています。



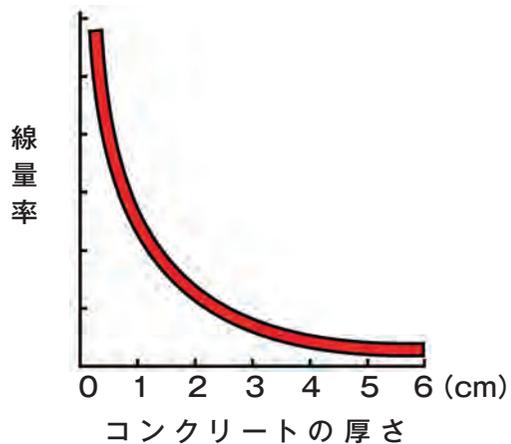
放射線防護の基本

1. 遮へいによる防護

(線量率) = 遮へい体が厚い程低下

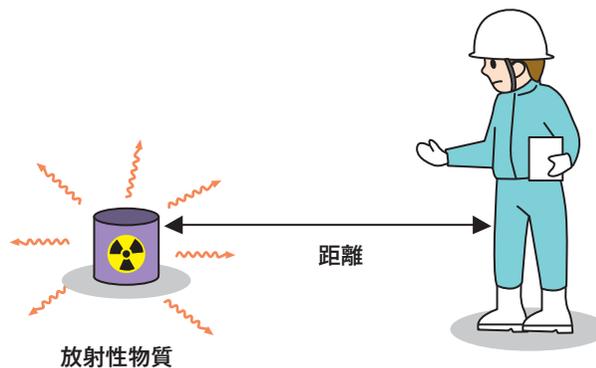


(mSv/h)

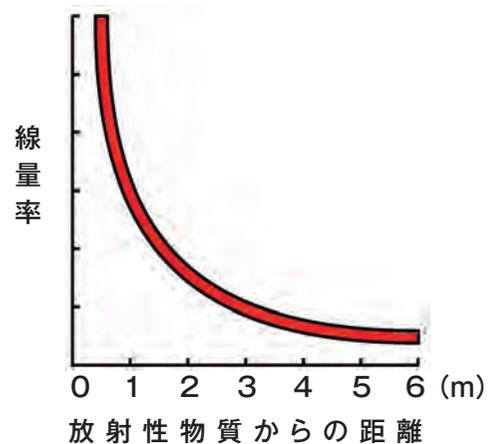


2. 距離による防護

(線量率) = 距離の二乗に反比例



(mSv/h)

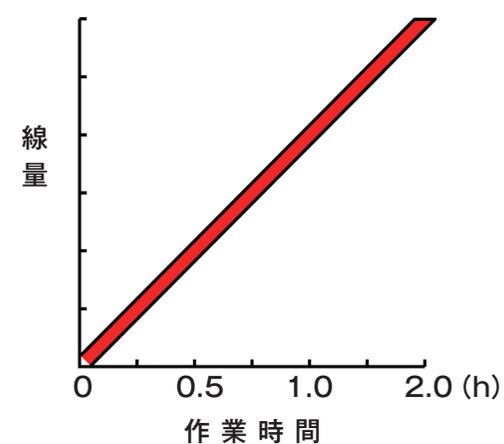


3. 時間による防護

(線量) = (作業場所の線量率) × (作業時間)



(mSv)



放射線の被ばく

酸素呼吸によるエネルギー生成、
紫外線や様々な化学物質

がんを防ぐ体のはたらき

放射線が直接DNA鎖を切ってしまう直接作用もありますが、6-7割程度が活性酸素による間接作用です。



偏った食事や過労などのストレスにより、体の防御機能が上手く働かなくなってしまいます。

活性酸素などの発生

放射線や紫外線、生きていく上で絶対に必要な酸素呼吸によるエネルギー生産の過程で、化学的な活性の高い、活性酸素などのラジカルが発生します

活性酸素などがDNAと反応すると、二重らせんの鎖を切断してしまいます。

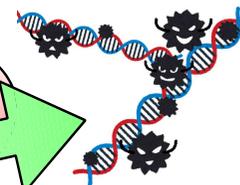
ビタミン、ポリフェノール
や酵素などによる還元

DNA損傷の生成



バックアップデータ
からの修復

DNA損傷の修復誤り



あまりにもダメージが大きいと、完全に修復しきれなくなり、修復の際にミスが起こることがあります。

修復ミスが残ると、一部の細胞はがん化してしまいます。毎日数千個のがん細胞が発生しており、長い時間をかけて増殖しがんに成長します。刺激物などによる炎症はがん化を促進します。



野菜や果物に含まれるビタミンやポリフェノールや体内で作られる酵素には、活性酸素を還元し無害にする働きがあります。



修復を断念して死を選ぶ

がん細胞の発生



免疫細胞による攻撃

がん細胞の悪性化

DNAはお互いペアとなる分子が1組となり2重のらせん構造を持っているため、片方の鎖が切れてももう片方のデータをコピーすることで修復することができます。また、2本とも切れてしまった場合でもほとんどの場合で修復できる働きがあります。



あまりにもダメージが大きいと、完全に修復しきれなくなり、修復が無理だと判断した細胞は自ら死を選ぶことで、間違った遺伝情報が残らないようにします(アポトーシス)。人の体は37兆個といわれる沢山の細胞で出来ていて、毎日沢山の細胞が死んで、また新しく生まれて機能を維持しています。



がん細胞

NK細胞(ナチュラルキラー細胞)
全身をパトロールし、がん細胞やウイルス感染細胞などをみつけ攻撃する。

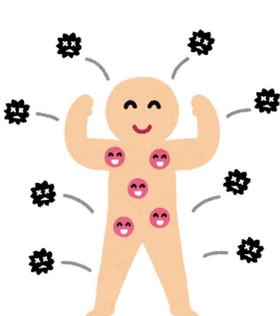
体の中には病原菌やウイルス、がんを攻撃する様々な免疫細胞がはたらいています。その中の一つナチュラルキラー細胞(NK細胞)はがん細胞を狙い撃ちすることが出来る細胞です。笑うことによって活性化する一方、ストレスに弱いことが知られています。免疫細胞の働きで、体内で発生した変異細胞のほとんどが摘み取られています。

放射線治療



逆に、大量の放射線のがんに集中的に照射することで、がん細胞を殺してしまう治療法があります。

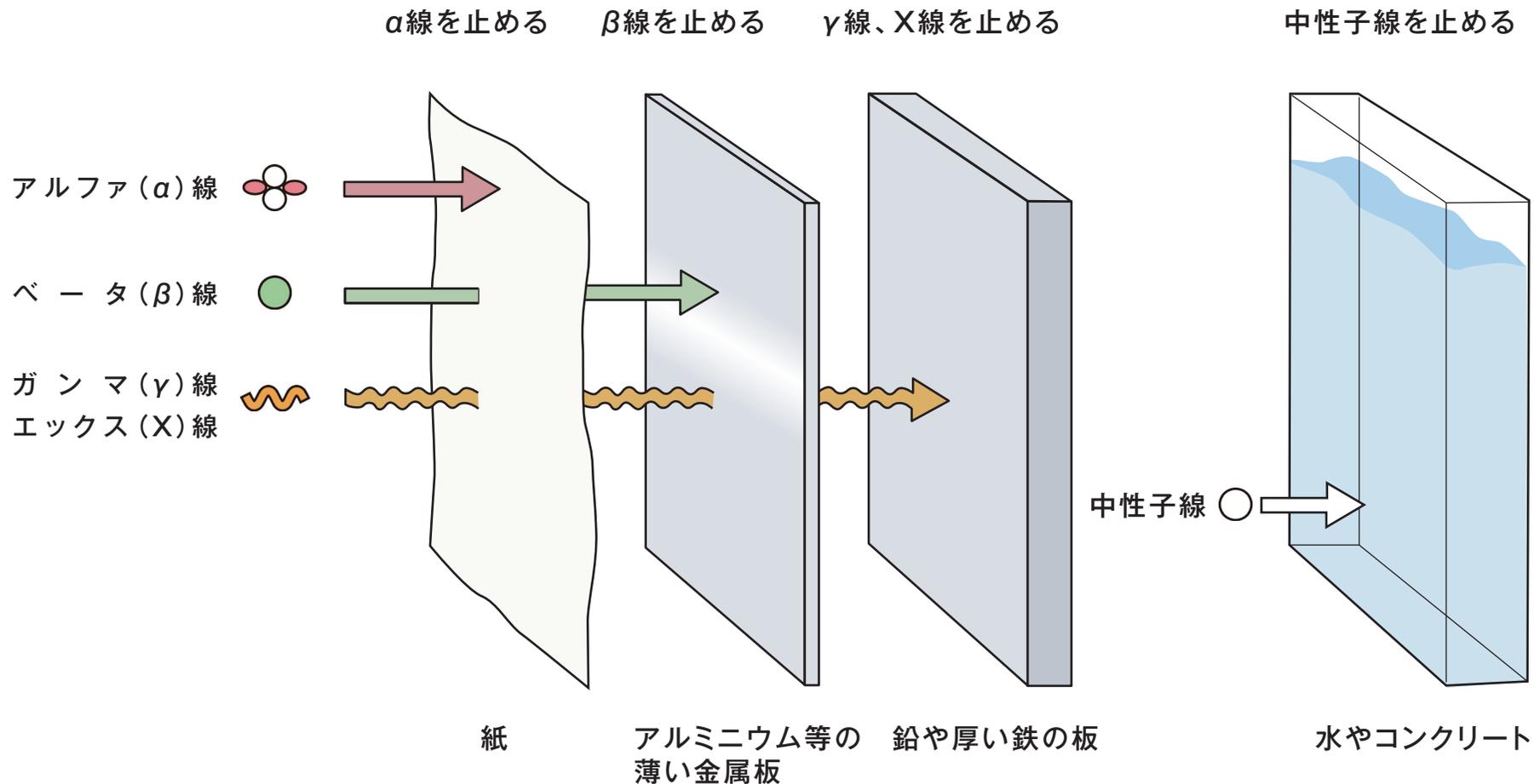
バランスの取れた楽しい食事
健康な体を保ちましょう!



→ 医療のコーナーをチェック!

放射線の種類と透過力

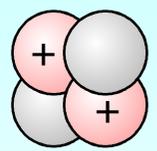
線は紙一枚で止まってしまいますが、逆に言うと紙一枚の厚さの範囲に持っているエネルギーを全部一気に放出してしまうため、体の中で線を出されるととても影響が大きくなります。



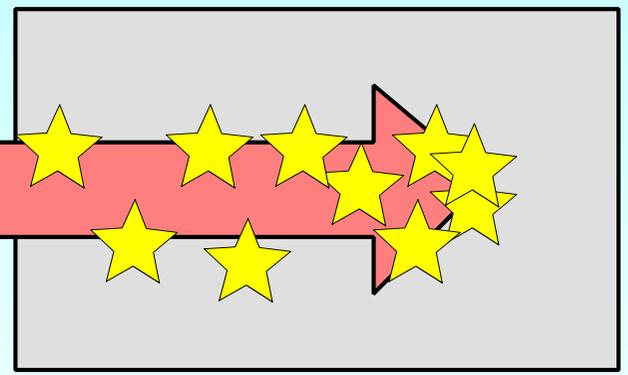
線は水の中(=体の中)を最大で2mm弱進むことが出来、細胞から見ると比較的広い範囲にエネルギーを落としていき、また体の外から来た場合はほとんど皮膚で止まります。

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。

アルファ
α線



ヘリウムの
原子核



狭い範囲に一気に
エネルギーを放出します

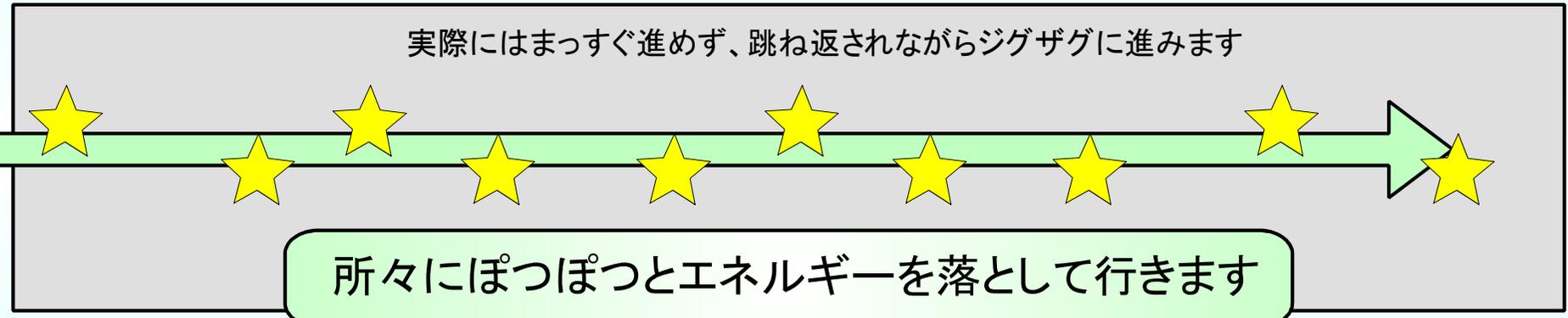
★
放射線がエネルギーを
物質に与えたところ
(電離、励起など)

水の中では数十μm程度、空気の中でも数cmしか飛ばず、紙一枚で止まってしまいますが、その範囲に一気にエネルギーを放出します。

ベータ
β線



電子
ヘリウムの原子核の7000分の1の重さしか有りません



実際にはまっすぐ進めず、跳ね返されながらジグザグに進みます

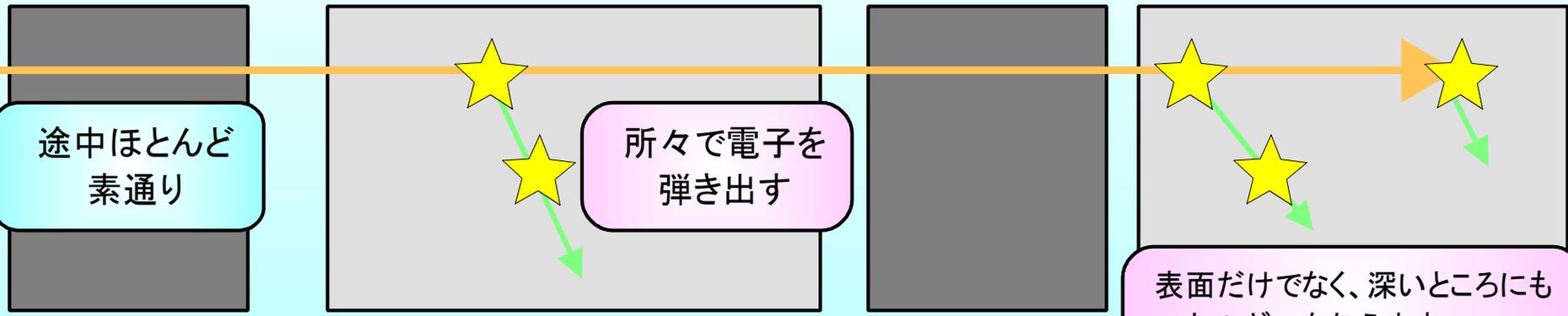
所々にぽつぽつとエネルギーを落として行きます

水の中でも1cm程度、空気の中では数m飛んでいき、少しずつしかエネルギーを落としません。

ガンマ
γ線

波長の短い
光の仲間

プラスやマイナスの電気を
持っていないため、ほとんど
素通りしていきます



途中ほとんど
素通り

所々で電子を
弾き出す

表面だけでなく、深いところにも
エネルギーを与えます。

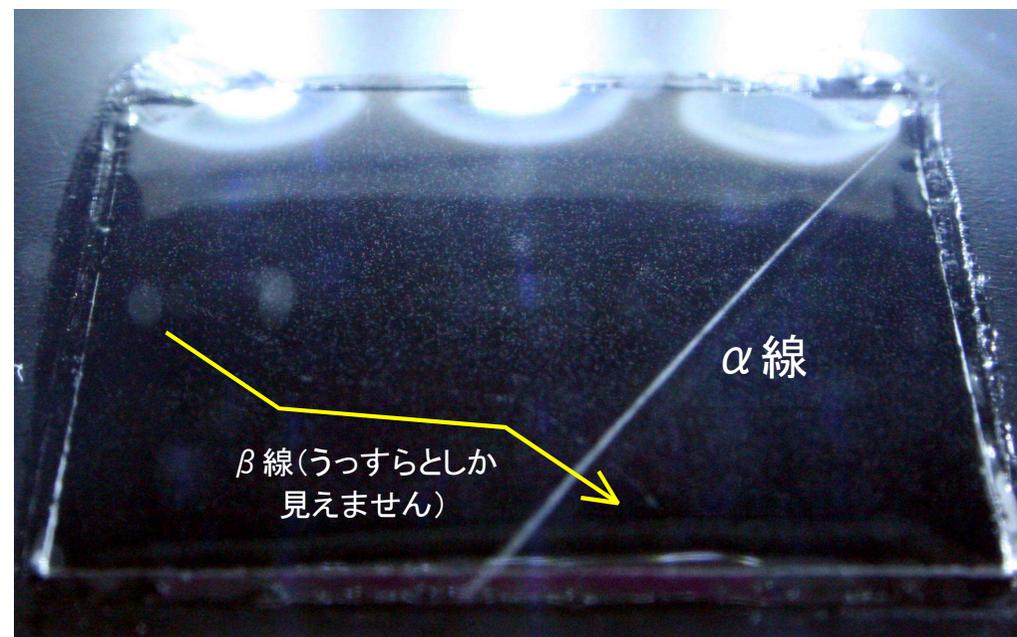
弾き出された電子は、β線と同じように振る舞います

「霧箱」を使って放射線 を見てみよう!

放射線は普通目に見えませんが、音も聞こえず人間には感じ取ることが出来ないため、どんなものなのか良く分かりませんよね。

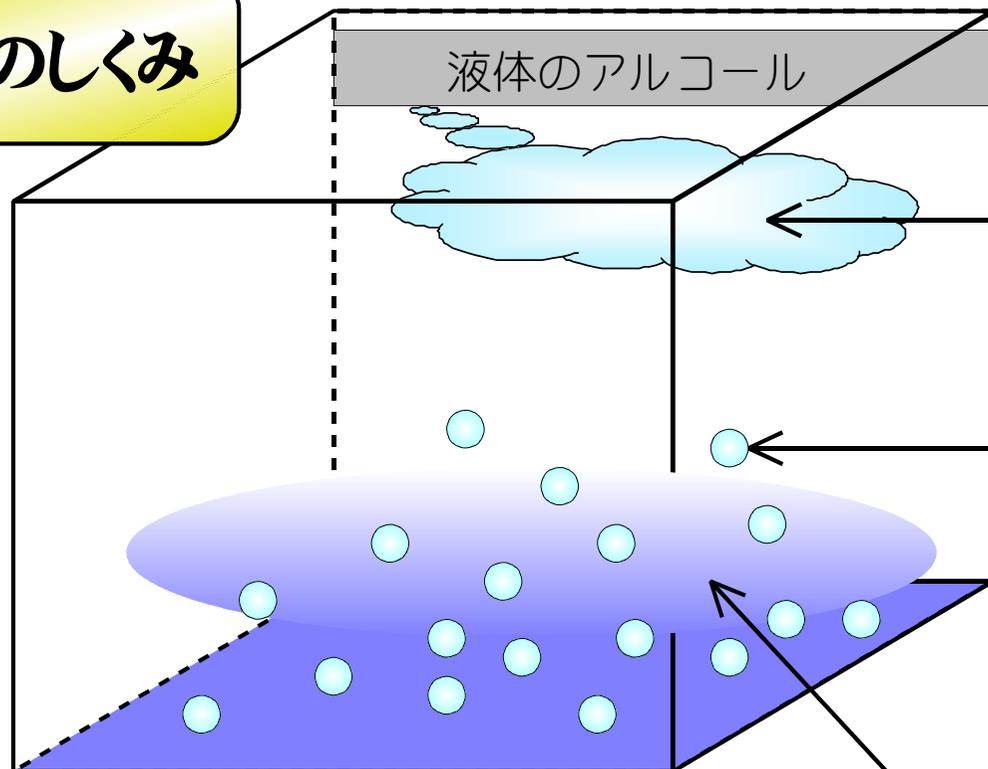
そこで、100年ほど前に発明された「霧箱」という装置を使って放射線が通った後を目で見えてみましょう!

普段、何もないと思っていた空気の中にも、放射線はたくさん飛び交っているんですよ。



放射線にも色々種類があって、その種類によって飛び方が違うんですよ。

霧箱のしくみ



温度が高いとたくさん蒸発します

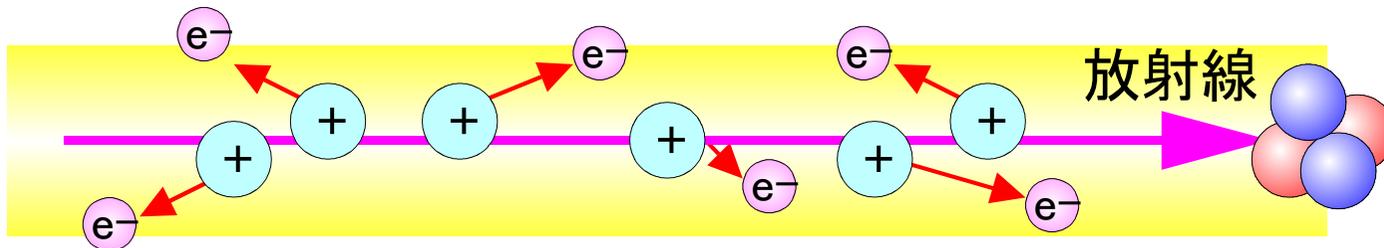
温度が低いと蒸気では居られません

ドライアイスやペルチエ素子でとても冷たく冷やされています

温度が低くなると、蒸発した気体のアルコールは液体に戻ろうとします。霧のように見える白い点々は液体のアルコールの小さな粒です。でも、温度が下がったのに液体の粒を作らずにためらっている蒸気も漂っています（過飽和状態と言います）。そこにちょっとした刺激を加えてやると、過飽和の蒸気は次々に液体の粒に変化していきます。

どうして白い筋の様に見えるの？

放射線が空気中を走ると、たくさんの電子を弾き飛ばしてプラスとマイナスのイオンのペアを作ります。このイオンが過飽和の蒸気の中に出来ると、そこを中心核にして小さな液体の粒になります。この液体の粒が放射線が通った後にたくさん出来るので、白い筋の様に見えるのです。（放射線の飛跡と言います）

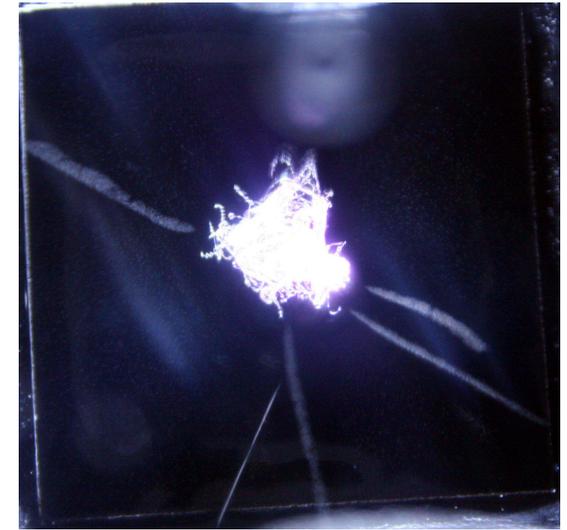


電離によるイオン対の生成

放射線として飛んで行っている原子核や電子は小さすぎてとても目では見られませんし、とても素早いので超スピードのカメラでも追いつきません。

でも、飛んでいった跡が残って、目で見えるのです。

これは、空の上の飛行機雲と同じです。飛行機が飛んでいった後にもしばらく飛行機雲が残っているのを見ることができます。飛行機雲は、空の上の寒いところで過飽和になった水蒸気が、飛行機のエンジンから出てきた排気ガスなどが刺激になって小さな液体の水の粒、つまり雲になった物です。



過飽和の蒸気は冷やされている容器の底に薄く広がっているだけなので、底に平行に走った放射線しか見ることができません。また液体の粒はすぐ蒸発してしまって、数秒で見えなくなってしまうのです。



宇宙からの放射線

大気で地球上の生物は守られている



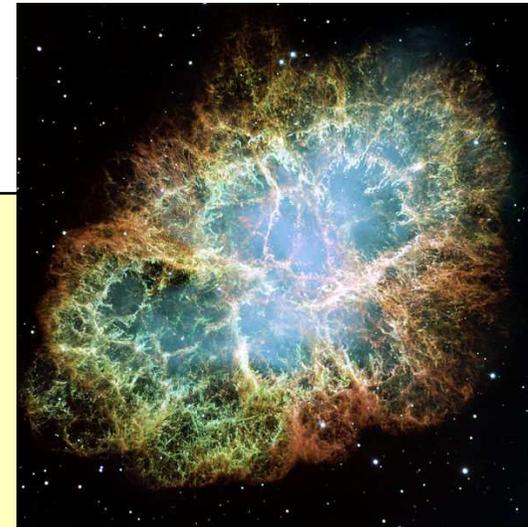
アラスカ、フェアバンクスで観察されたオーロラ

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。

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) : 7×10^{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。

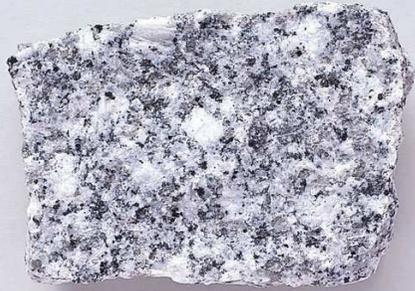


国際宇宙ステーション ISS の完成予想図

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 μ 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。

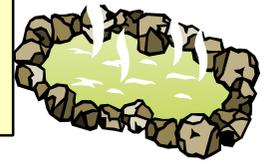
大地からの放射線

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。



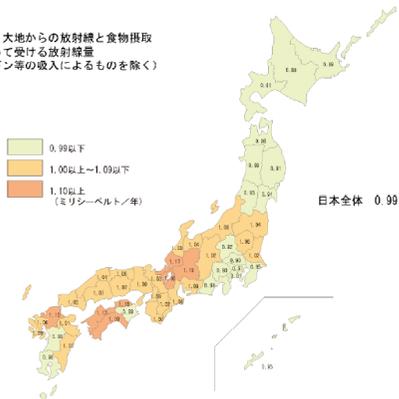
トンネルの中は周囲を岩石に囲まれてるため地表よりも放射線量が高くなります。

(東名高速の日本坂トンネルで0.13 μ 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 α 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 μ Sv程度異なります。

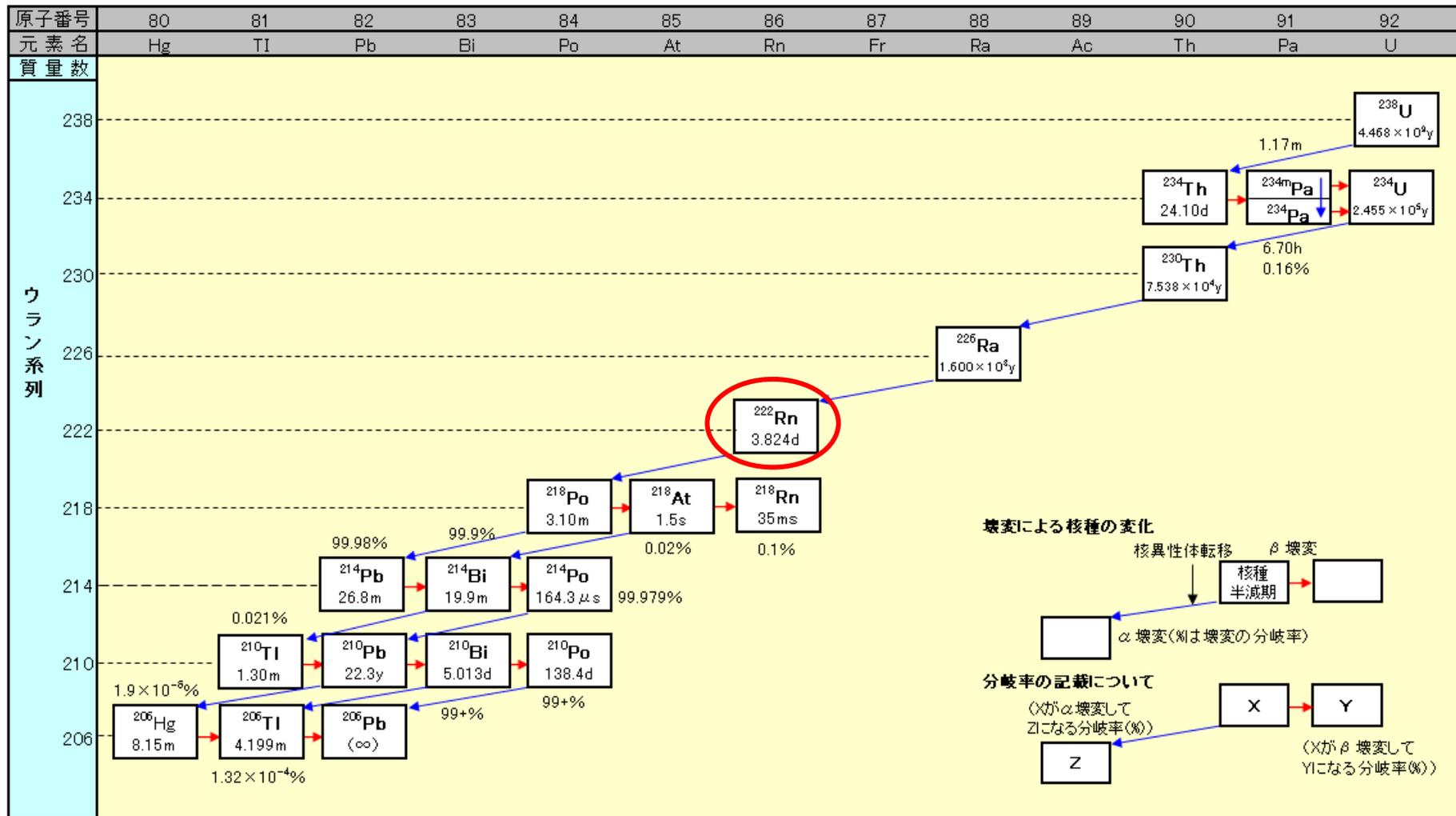


ピサの斜塔

イタリア・ピサの大聖堂

放射壊変系列 1: ウラン系列 (4n+2)

親核種: U-238



半減期の記号;s(秒), ms(10⁻³秒), μs(10⁻⁶秒), m(分), h(時), d(日), y(年)

図1-1 天然放射性核種の壊変系列図(ウラン系列)(1/4)

[出典] 国立天文台(編):理科年表 2010年版、丸善(2009年10月)、p.468-469

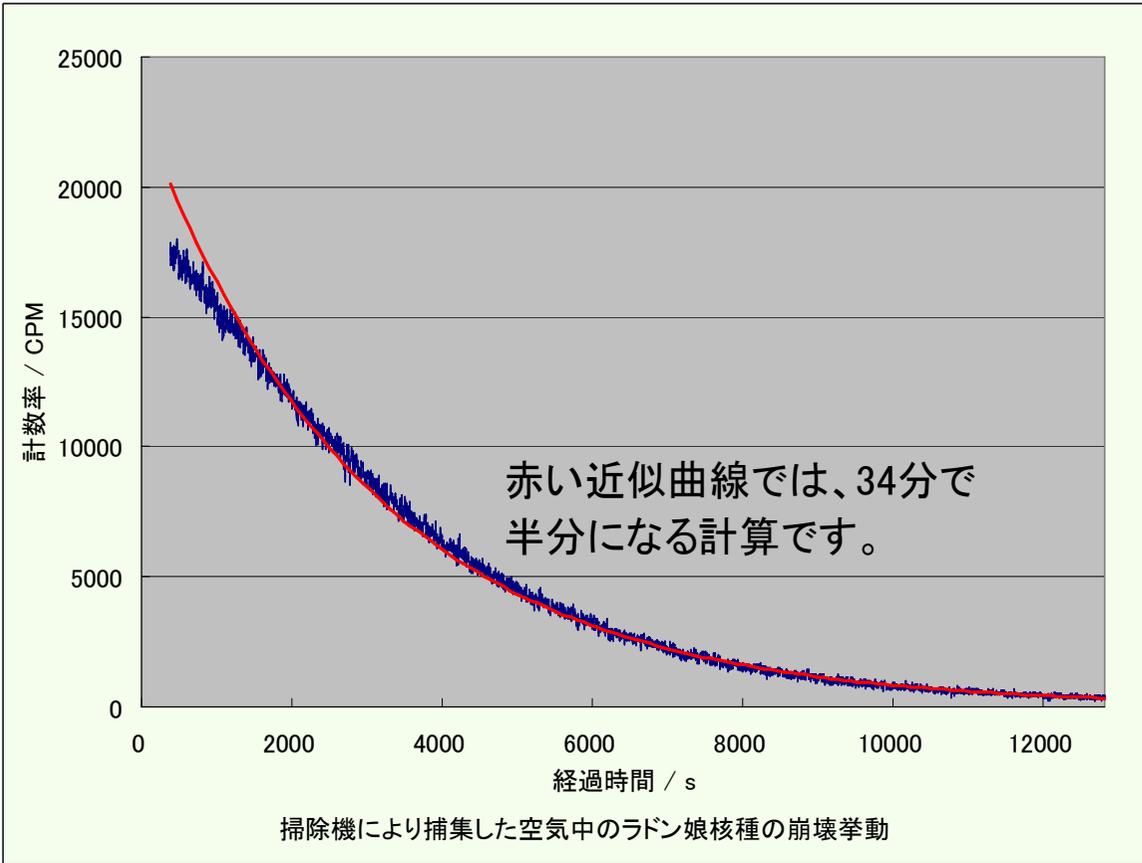
空気中を飛んでいるラドンとその娘たちからの放射線



ラドン温泉



石の中から少しずつ出てきます



地球上の石の中には少しずつウランが含まれています。ウランが放射線を出して他の放射性物質になり、またその娘も放射線を出して別の・・・を繰り返す途中に、「ラドン」という気体の元素があります。このラドン自体は気体なので集められませんが、さらにその娘達は埃に静電気でくっついていてのを掃除機とガーゼで集める事が出来ます。

じゃあ掃除機の中が放射線を出す物だらけになってしまうかという、40分程度で半分になってしまうため、一日も経てば無くなってしまいます。

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 μ 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 β 線/ γ 線を放出するのに対して、このPo-210は α 線を放出するため、内部被曝量は年間で800 μ Svにもなります。

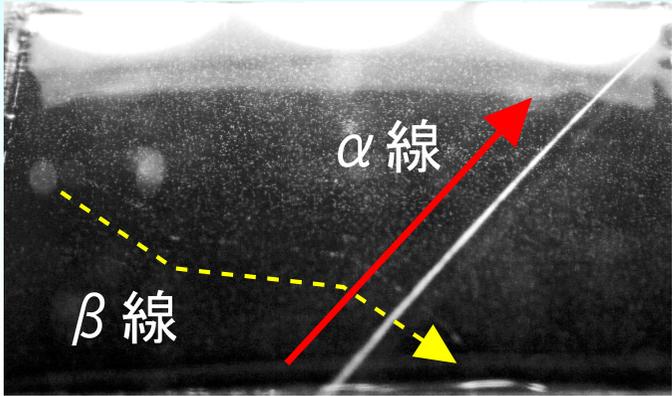
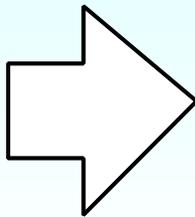


タバコ1本には 0.024Bq のPo-210が含まれており、一日一箱の喫煙で年に100 μ Sv 被曝します。

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



*体重60kgの日本人

体内の放射能

1年間に被ばくする実効線量

カリウム
K-40: 4,000Bq

0.17 ミリシーベルト

β・γ線のみ

ポロニウム
Po-210: 20Bq

0.80 ミリシーベルト

α線を放出

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	1万分の 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

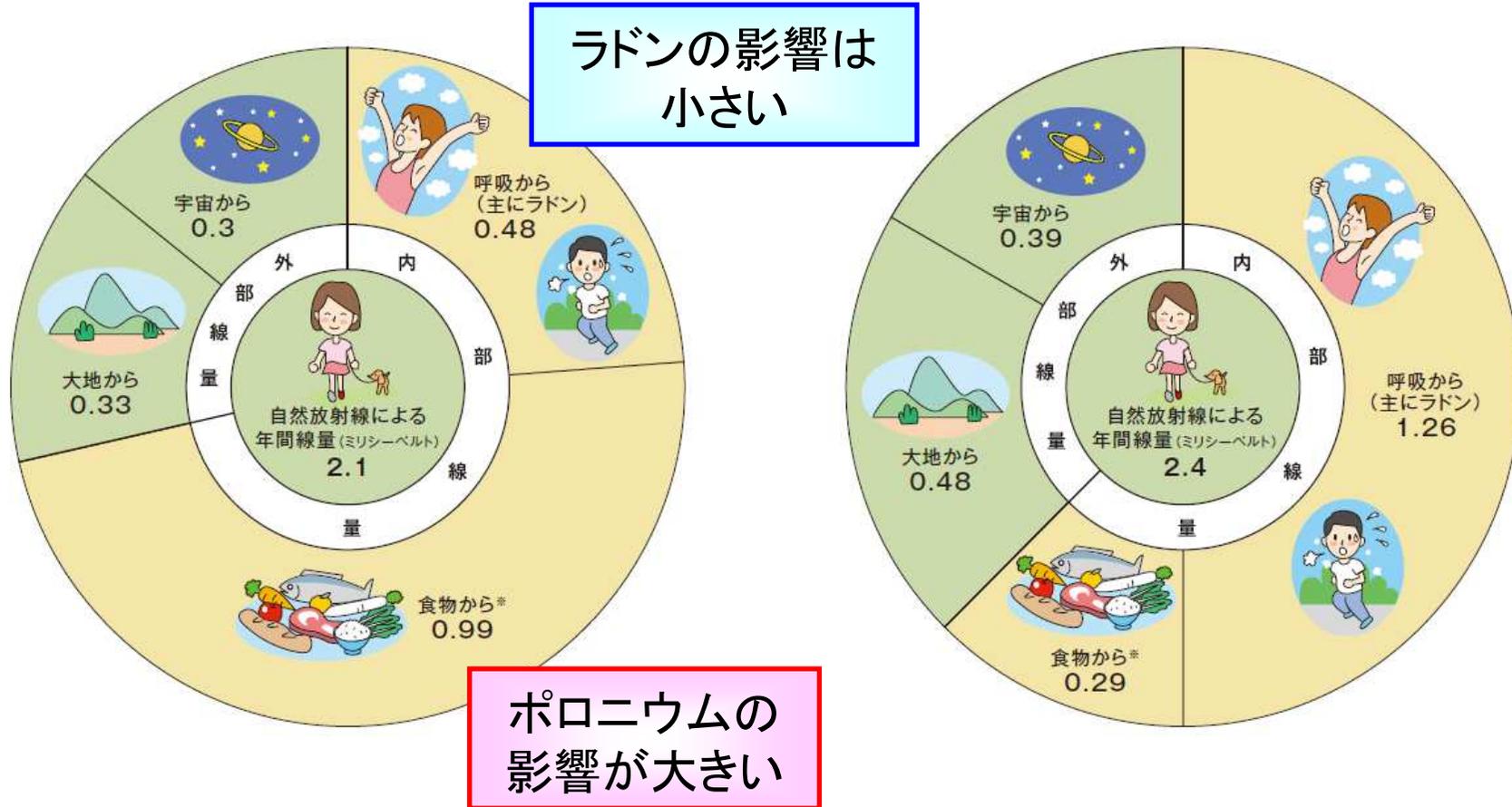
**同じベクレルの放射能でも
体に与える影響は全く異なります!**

プルトニウム-239: 5.1MeV の α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 β線と 662keVの γ線、半減期 30年、カリウムなどとともに体外に排出
トリチウム(H-3): 18.6keV の β線、半減期 12.3年、水と共に体外に排出

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)



※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による実効線量が多い

生活の中でどれくらい被ばくしているの？

歯科レントゲン撮影1回:
10 μ Sv



0.01mSv
(10 μ Sv)

胸部レントゲン撮影1回:
50 μ Sv



0.1mSv
(100 μ Sv)

胃がん検診1回:
600 μ Sv



ICRP 1990/2007年勧告
一般公衆への追加線量限度
年間 1mSv

CTスキャン1回:
数mSv



1mSv



国内線の飛行機1回:
3 μ Sv程度

国際的な免除レベル:
10 μ Sv/年

無視可能個人線量とも呼ばれ、これ以下となる発生源の管理を免除するという考え方。クルックス管からの被ばく線量はこの値以下とする事を目標としている。

自然放射線による
1ヶ月の 外部被ばく線量:
50 μ Sv(全国平均)
(0.07 μ Sv/h 程度)



国際線の飛行機での
欧米への旅行1回:
100-200 μ Sv



日本人が特有に持っている20Bqのポロニウム210による年間被ばく線量: 800 μ Sv

イランのラムサール地方やインドのケララ地方などでの大地からの年間被ばく線量:
~10mSv

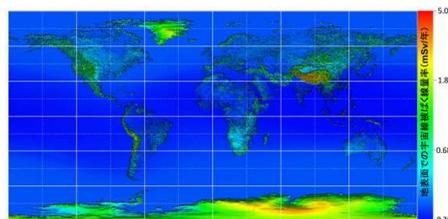
排水濃度限度
(60,000 Bq/L) の
トリチウムを含む水を
1L 飲んだときの
預託線量: 1.1 μ Sv



*トリチウムの
実効線量係数(経口):
1.8 $\times 10^{-8}$ mSv/Bq

ランタンのマントル* を
1時間体に貼付ける:
全身 1 μ Sv (γ 線)
皮膚 10 μ Sv (β 線 + γ 線)

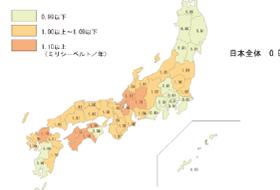
*トリウム使用のサウスフィールド ハイパワー-DXマントル



年間の宇宙線量の世界平均と
日本平均の差:
50 μ Sv(日本の方が小さい)

全国自然放射線量

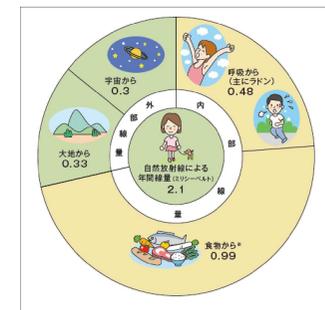
宇宙、大地からの放射線と食物摂取によって受ける放射線量(ラドン等の吸入によるものを除く)



年間の平均外部線量が最も
高い岐阜県と最も低い神奈
川県の差: 380 μ Sv



世界平均と日本平均での
ラドンによる年間被
ばく量の差:
800 μ Sv
(日本の方が小さい)



自然放射線による
年間の被ばく線量
日本平均 2.1mSv
世界平均 2.4mSv

内部被ばくはずっと体内で放射線を出すから危ないんじゃないの？

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(α 、 β 、 γ)
- ・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

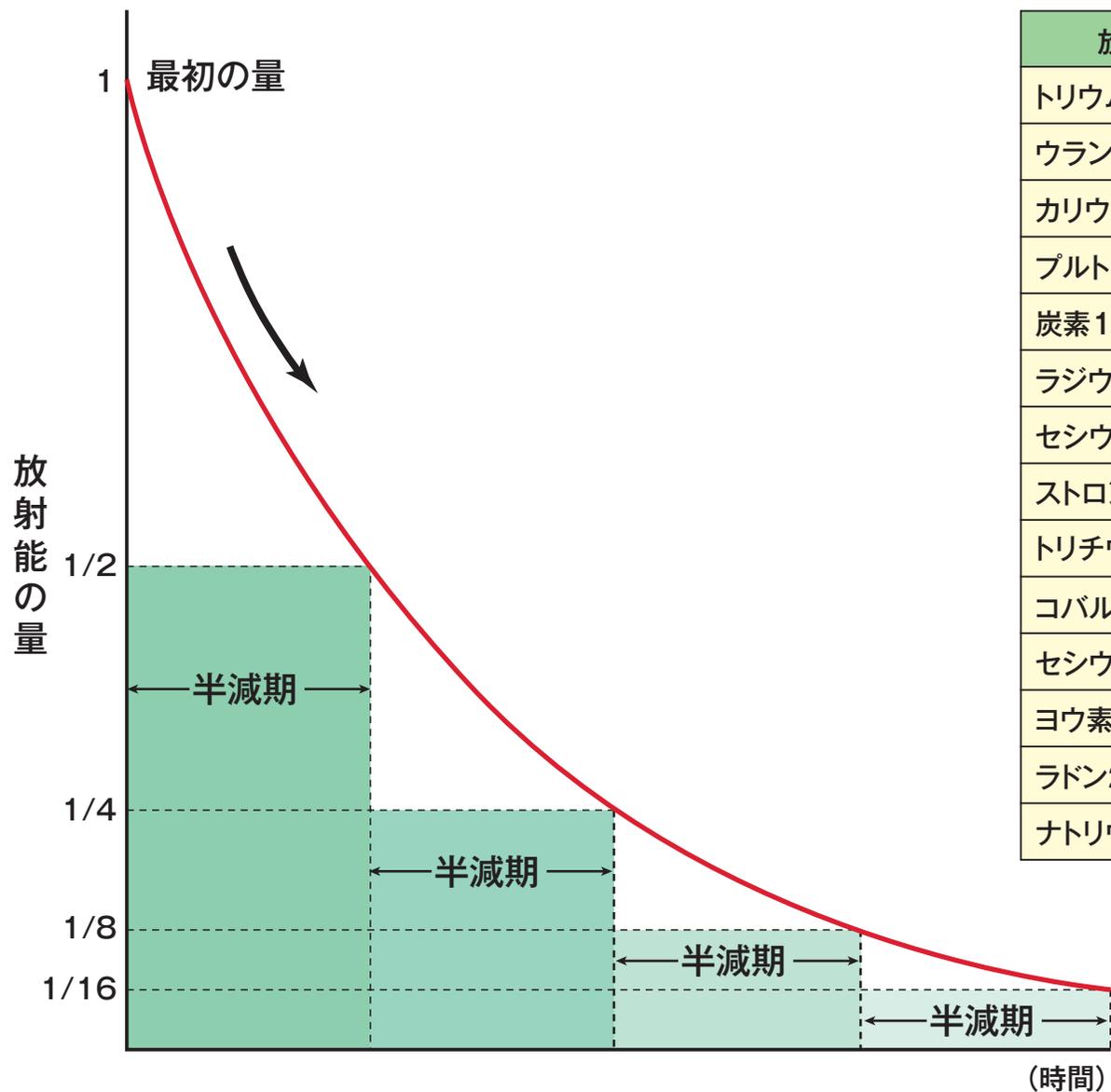
全部考慮して評価しています

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**。

放射能の減り方

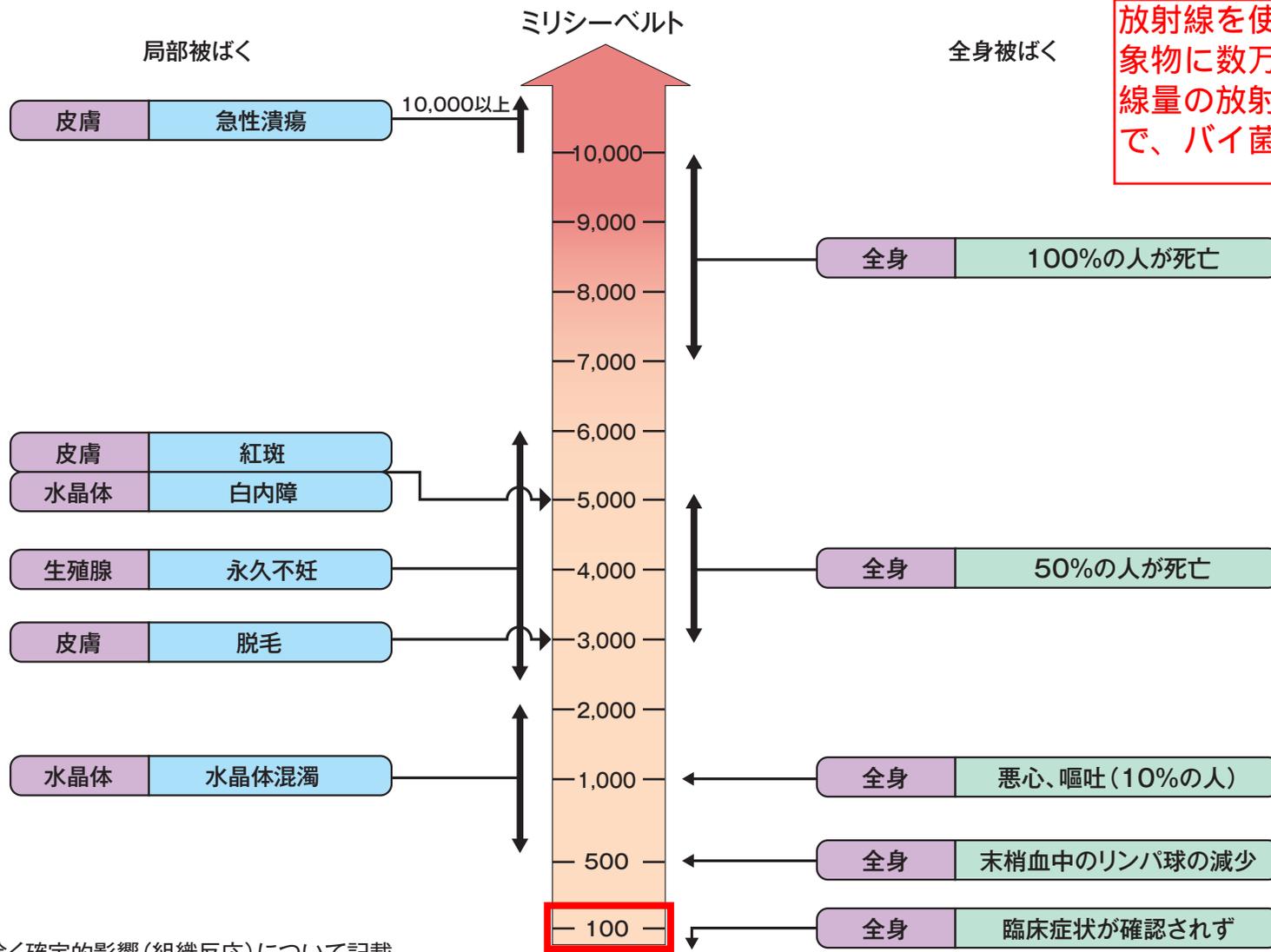


放射性物質	放出される放射線※	半減期
トリウム232	$\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$	141億年
ウラン238	$\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$	45億年
カリウム40	$\beta \cdot \gamma$	13億年
プルトニウム239	$\alpha \cdot \gamma$	2.4万年
炭素14	β	5,700年
ラジウム226	$\alpha \cdot \gamma$	1,600年
セシウム137	$\beta \cdot \gamma$	30年
ストロンチウム90	β	28.8年
トリチウム	β	12.3年
コバルト60	$\beta \cdot \gamma$	5.3年
セシウム134	$\beta \cdot \gamma$	2.1年
ヨウ素131	$\beta \cdot \gamma$	8日
ラドン222	$\alpha \cdot \gamma$	3.8日
ナトリウム24	$\beta \cdot \gamma$	15時間

※壊変生成物(原子核が放射線を出して別の原子核になったもの)からの放射線も含む

放射線を一度に受けたときの症状

凡例 部位 症状



放射線を使った滅菌では、対象物に数万グレイもの物凄い線量の放射線を照射することで、バイ菌を殺しています。

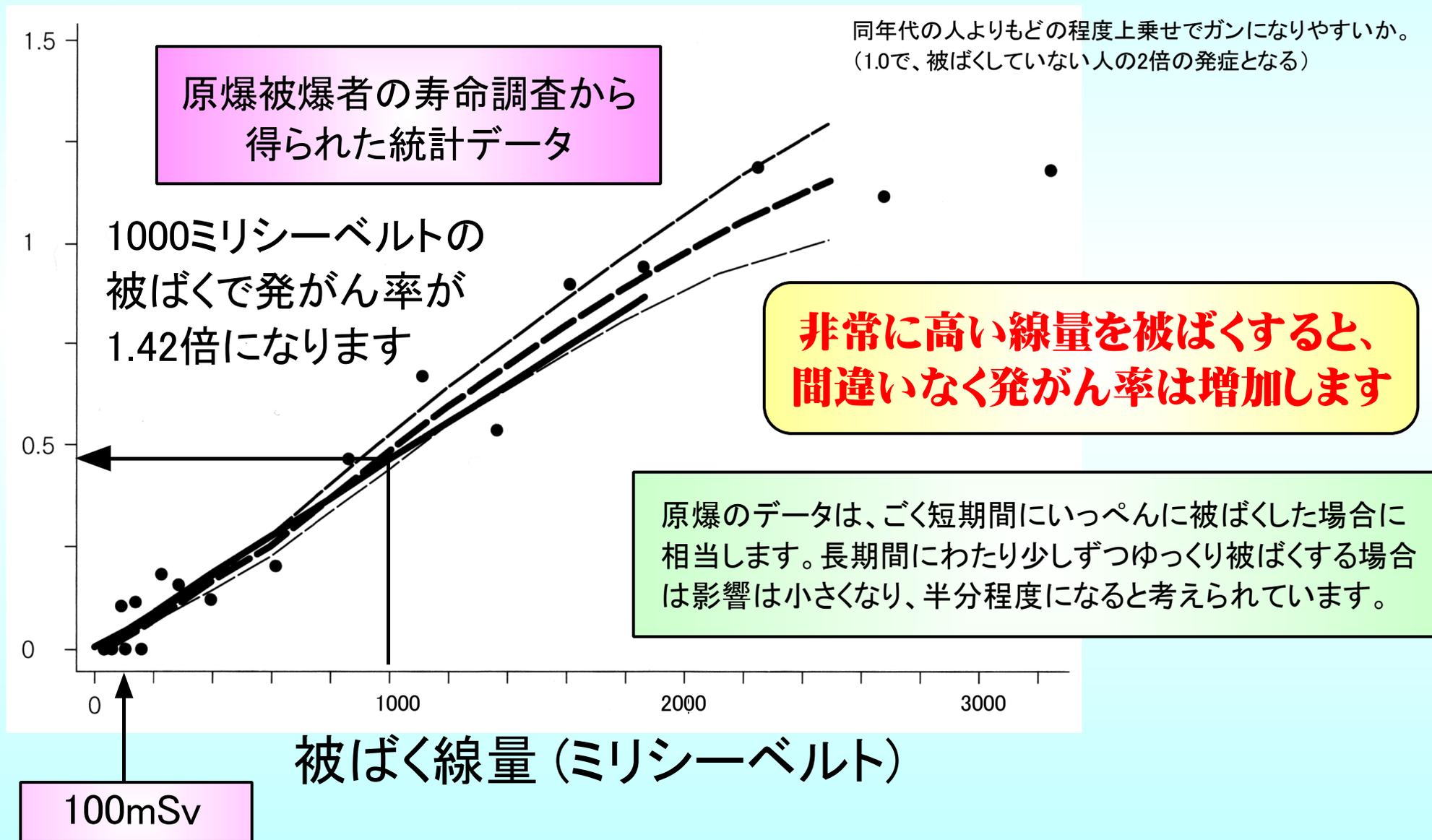
(注1) がんや遺伝性影響を除く確定的影響(組織反応)について記載
 (注2) 一般の人の線量限度1.0 mSv/年、原子力発電所周辺の線量目標0.05 mSv/年

染色体の転座などのミクロな変化は観察されています

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歳になったときの過剰相対リスク

固形ガン発症の過剰相対リスク



低線量放射線の影響はどのぐらいなの？

生涯にわたってどこかでガンによって死亡するリスクは、被ばく時の年齢、性別などを全世界で平均化した場合、慢性被ばく100mSvで0.5ポイントだけ「**上乗せ**」されます。

高い線量での関係から、直線的だと考えて管理・規制しています

高い線量での発がん率から計算すると、100mSvを短時間に被ばくすることにより、被ばくしていない人より、ガンの発症リスクが1.05倍に増加となります*。
(被ばくしていない人の発症率を20%とすると、21%になります)

* 30歳で被ばくした人が70歳になったときの値で、被ばくしたときの年齢、その時の年齢で上乗せのリスクは変わってきます。

これ以下の線量でも影響はあるかも知れませんが、影響が小さすぎて、他の生活習慣などに隠れてしまっているのか無いのか良く分からない、というのが100ミリシーベルトという線量です。

固形ガン発症の過剰相対リスク

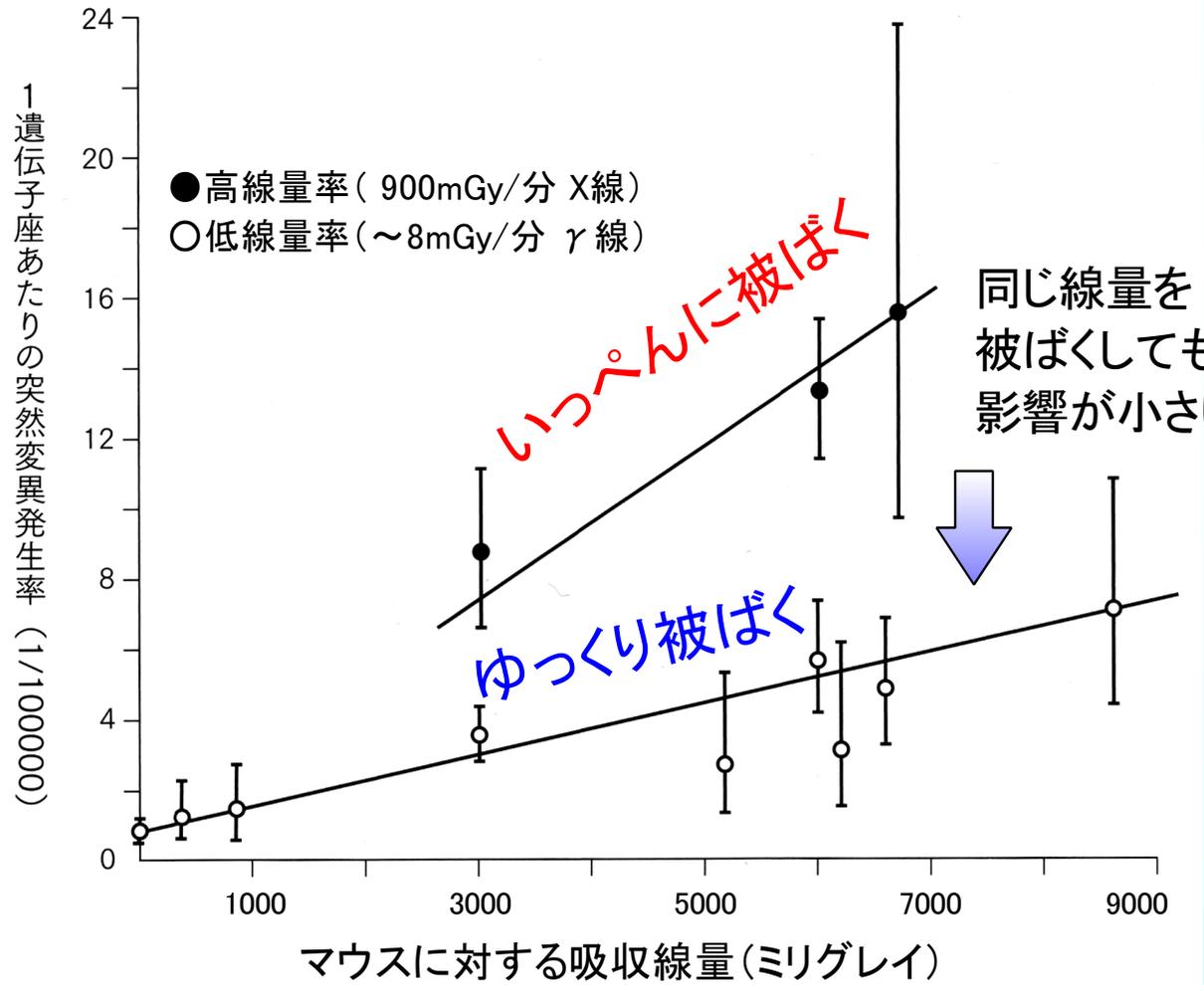
0.05

100mSv

被ばく線量（短時間での被ばくの場合）

長期間の被ばくの方が危険じゃないの？

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！



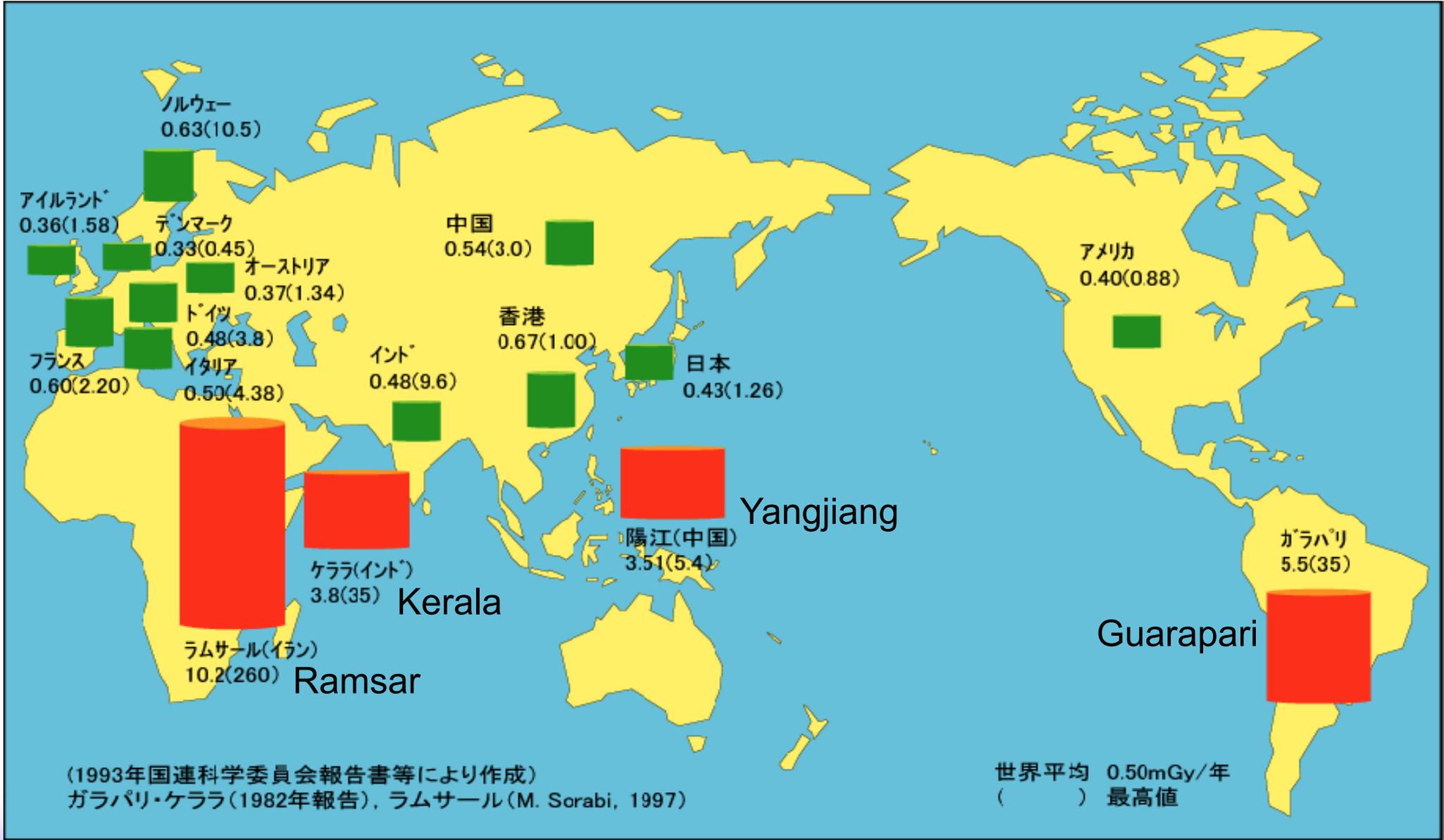
細胞にはDNAを修復する力があります

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。

放射線必須データ32、創元社、p.20。(メガマウスプロジェクトの論文より引用、原典では横軸単位はレントゲン)

世界の自然放射線



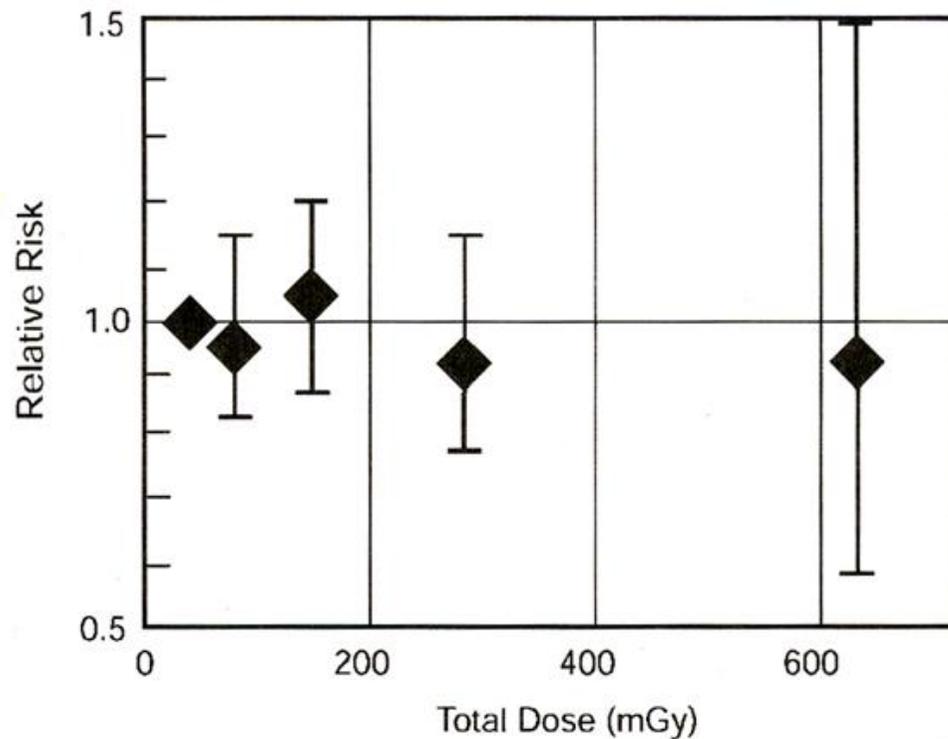
(1993年国連科学委員会報告書等により作成)
 ガラパリ・ケララ(1982年報告), ラムサール(M. Sorabi, 1997)

世界平均 0.50mGy/年
 () 最高値

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)

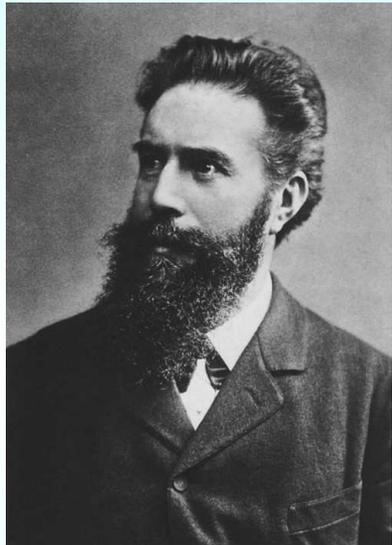
クルックス管とは？

Wilhelm Konrad Rontgen

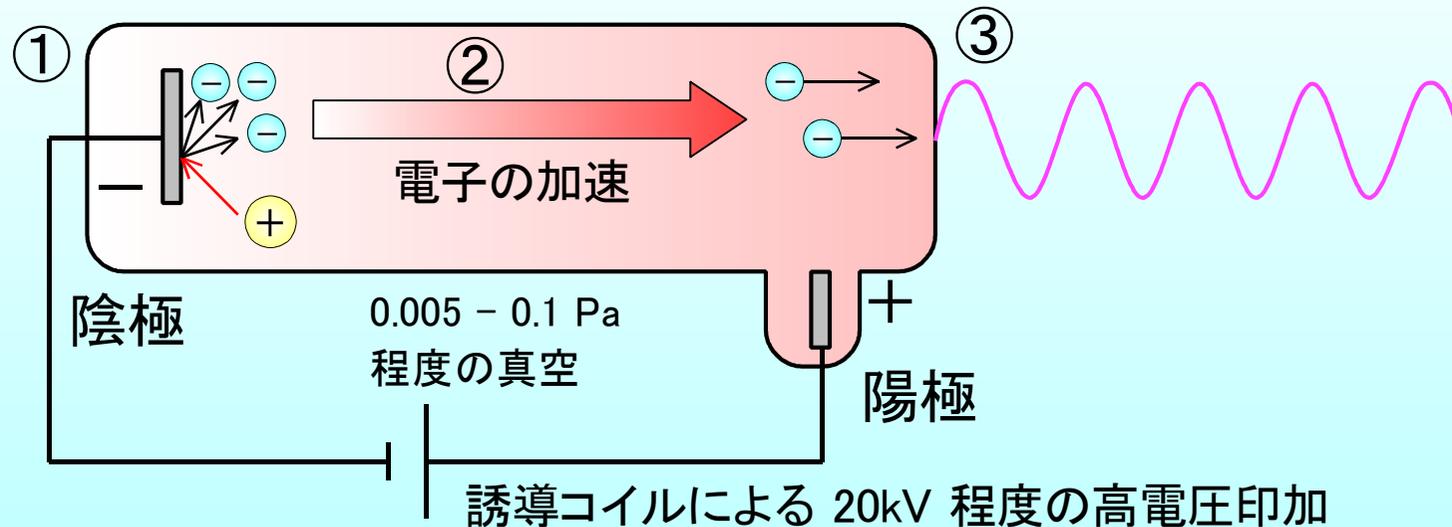
1895, 真空放電管の研究中にX線を発見

1901, 第一回ノーベル物理学賞を受賞

その後の放射線研究の先駆けとなった歴史的に極めて重要な装置



William Crookes



- ① 管内の気体が電離されて出来た + のイオンが一極に引きつけられて電子を叩き出す (二次電子放出)
- ② 印加電圧に従ったエネルギーに加速される
- ③ ガラス管壁に電子がぶつかり制動放射X線を放出する。20keV程度の電子はガラス管を透過できず、特性X線もエネルギーが低いとため遮蔽される。

霧箱によるクルックス管からのX線の観察

①

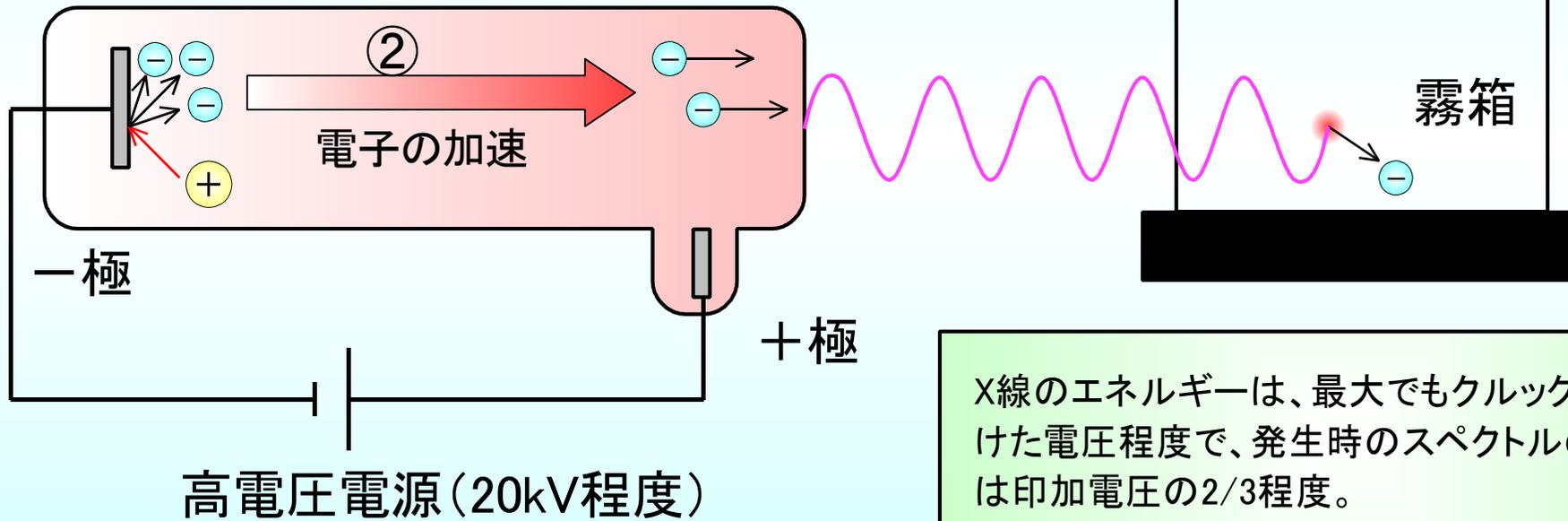
＋のイオンが－極に引きつけられて電子を叩き出す
(二次電子放出)

③

電子がガラス管の壁に衝突するときに、制動放射X線を放出する

④

X線は最終的に原子の周りを回る電子を光電効果などで弾き飛ばして(電離作用)、弾き飛ばされた高速の光電子はβ線と同じように振る舞う。



X線のエネルギーは、最大でもクルックス管にかけた電圧程度で、発生時のスペクトルのピークは印加電圧の2/3程度。

電子を弾き出すという放射線の本質を直感的に理解できる。また、エネルギーの違いを弾き出された電子の飛跡の長さという形で理解できる。