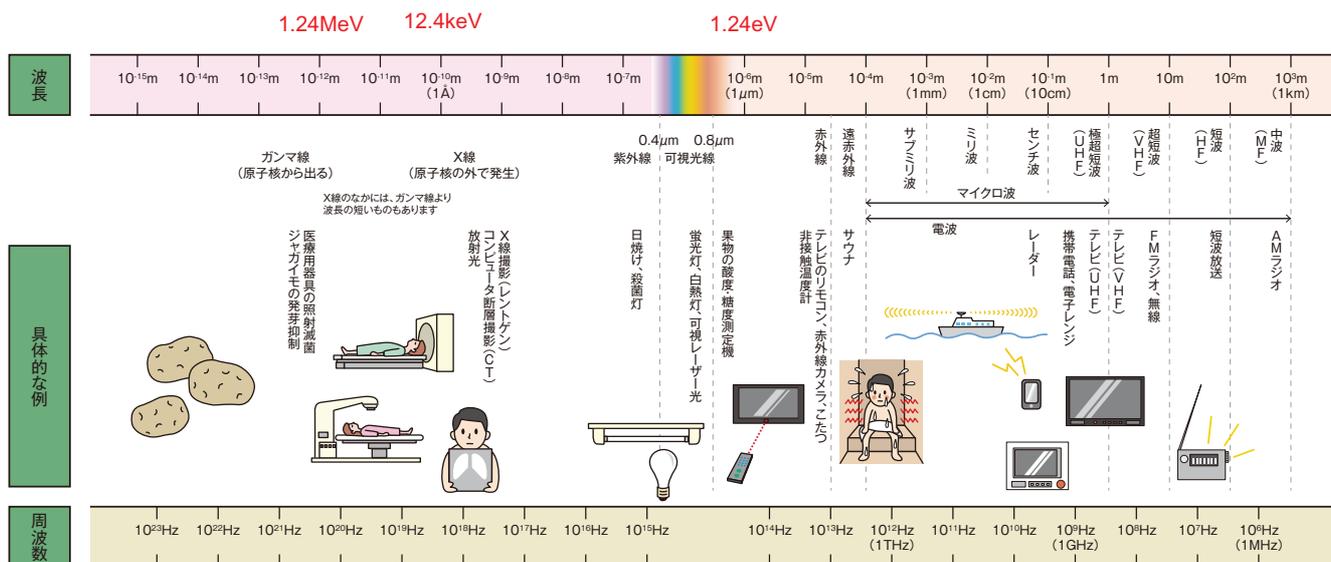


# 電磁波の仲間

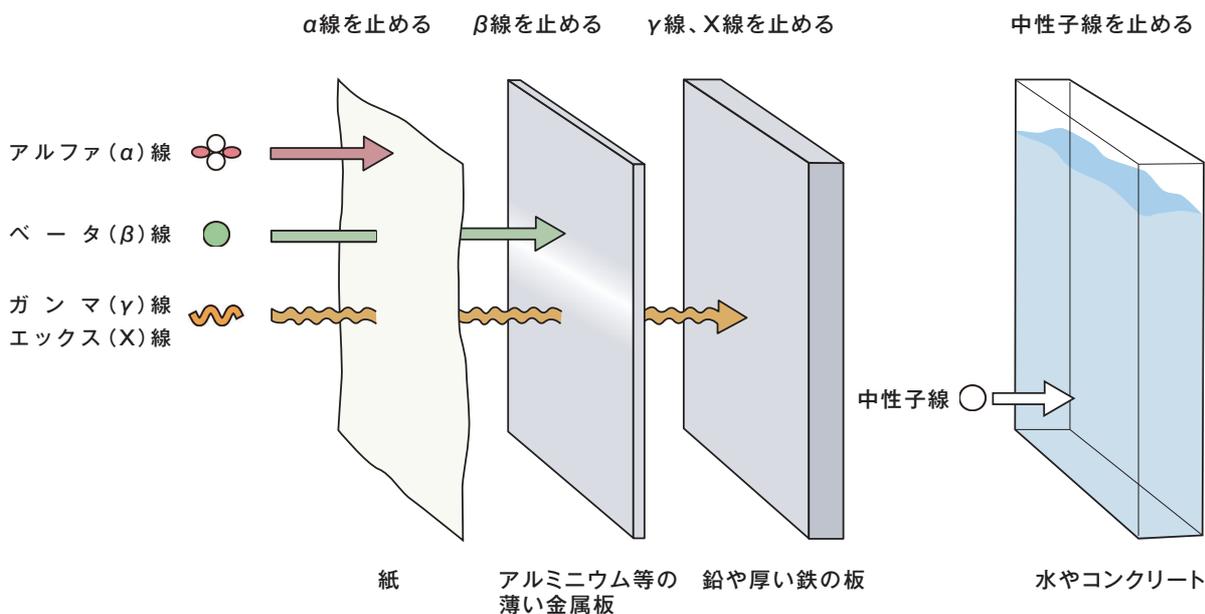
光子のエネルギー  $E \approx 1240/\lambda$  [eV],  $\lambda$ : 波長[nm]



γ線、X線は光・電磁波の仲間ですが、とても波長が短く、エネルギーが高いため、物質を透過したり、原子の周りを回っている電子を弾き飛ばして様々な影響を与えます。

# 放射線の種類と透過力

α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α線を出されるととても影響が大きくなります。

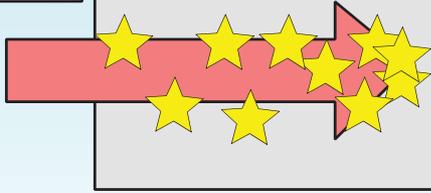


β線は水の中(=体の中)を最大で2mm弱進むことが出来、細胞から見ると比較的広い範囲にエネルギーを落としていき、また体の外から来た場合はほとんど皮膚で止まります。

γ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。

## α線

水中での最大飛程: 50 μm程

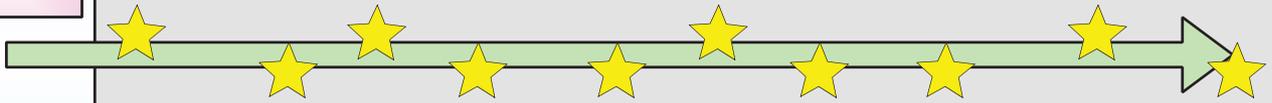


狭い範囲に一気に  
エネルギーを放出する

止まる直前は特に沢山エネルギーを落とす

## β線

水中での最大飛程: 1cm 程度



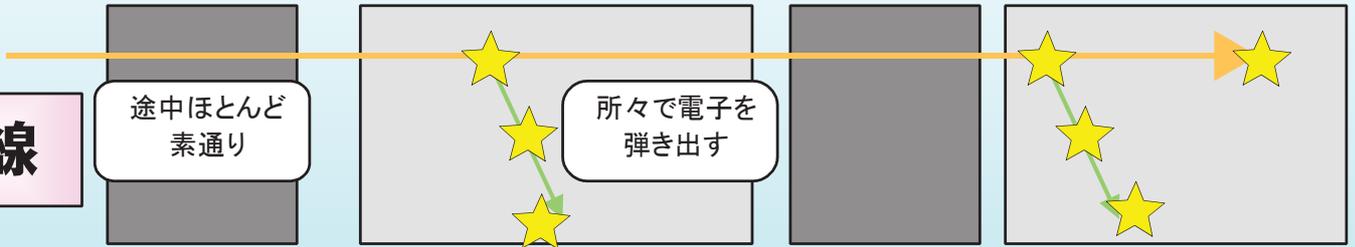
所々にぽつぽつとエネルギーを落とす

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

## γ線

途中ほとんど  
素通り

所々で電子を  
弾き出す



## 電子線(β線)とα線の比較

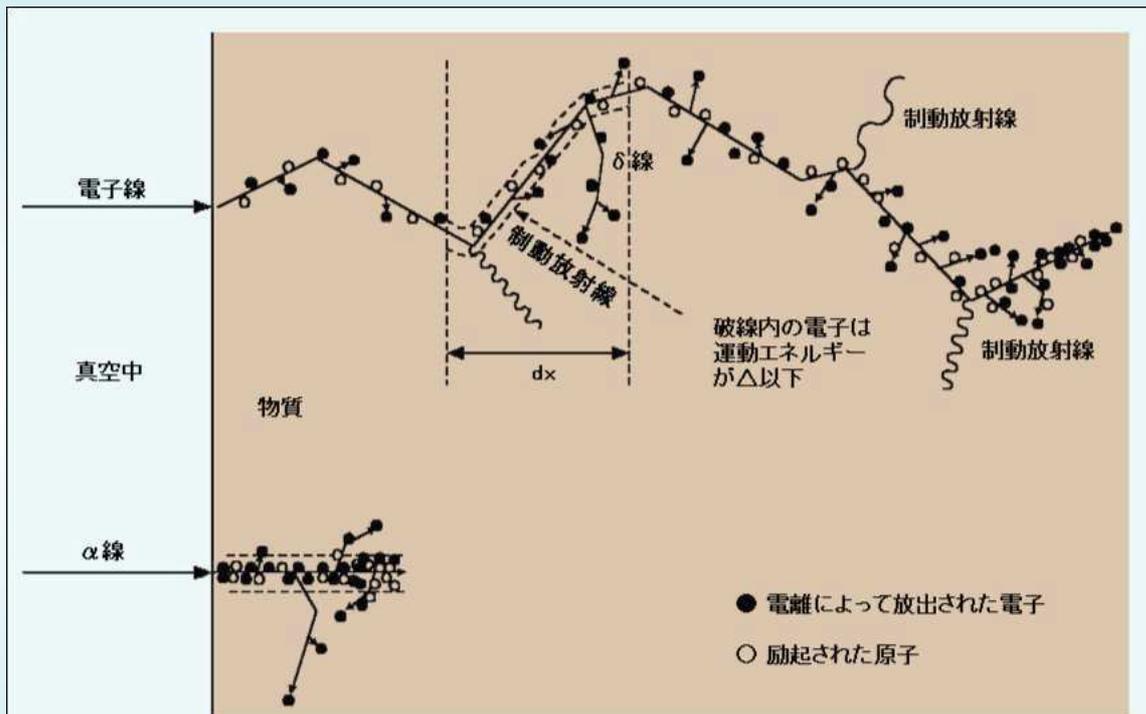
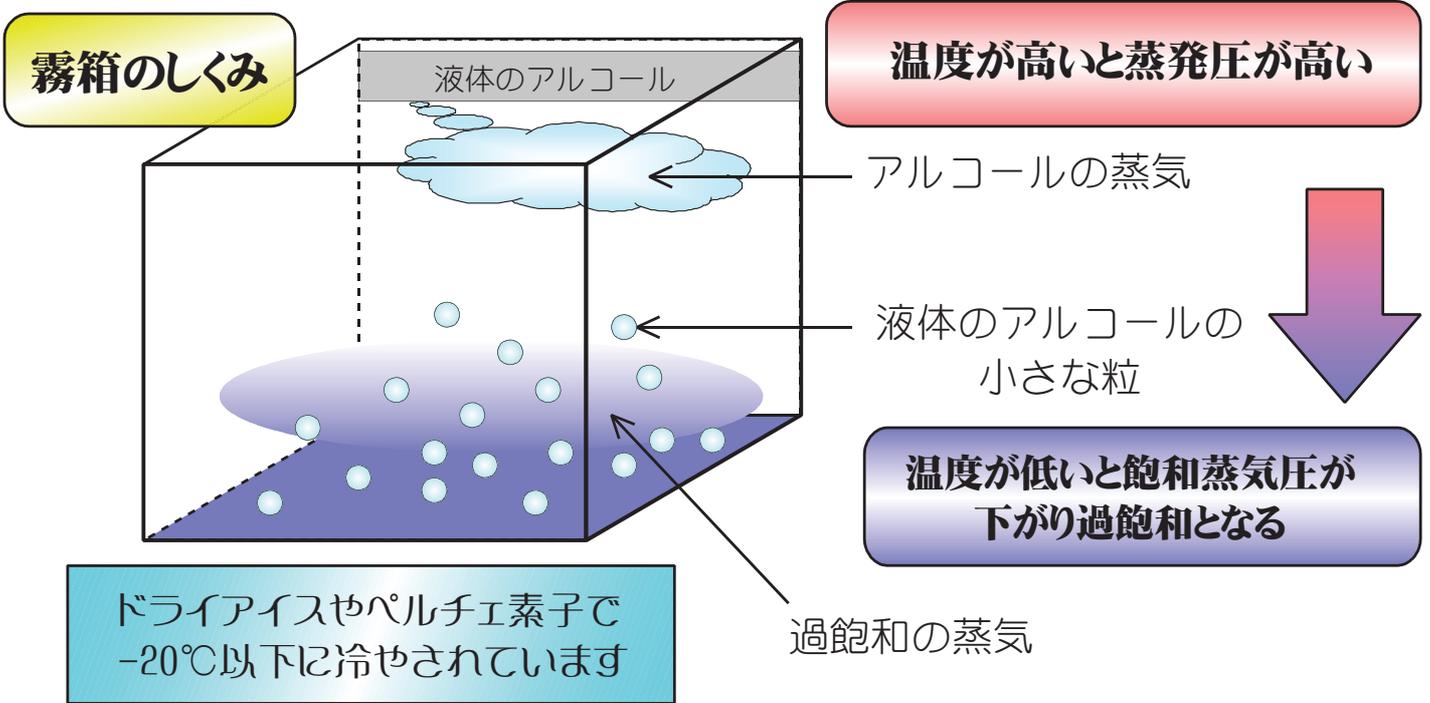


図1 荷電粒子と物質の相互作用

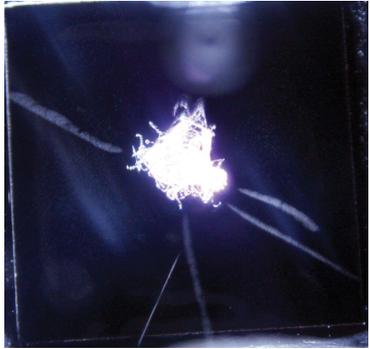
[出典]江藤秀雄(ほか):放射線防護、丸善(1982年12月)、p.54



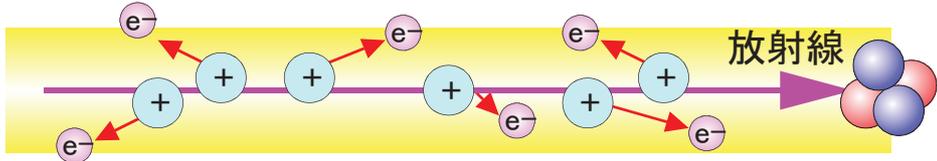
温度が低くなり飽和蒸気圧が低くなると、蒸発した気体のアルコールは液体に戻ろうとします。霧のように見える白い粒子は液体のアルコールの小さな粒です。しかし、温度が下がったのに液体の粒にならずに過飽和状態の気体も漂っています。そこに刺激を加えてやると、過飽和の蒸気は次々に液体の粒に変化していきます。

### どうして白い筋の様に見えるのか？

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（電離作用）。このイオンが過飽和のアルコール蒸気の中に出ると、そこを中心核にして小さな液体の粒になります。（アルコールは極性を持つ分子です）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、白い筋として放射線の飛跡が観察されます。



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。

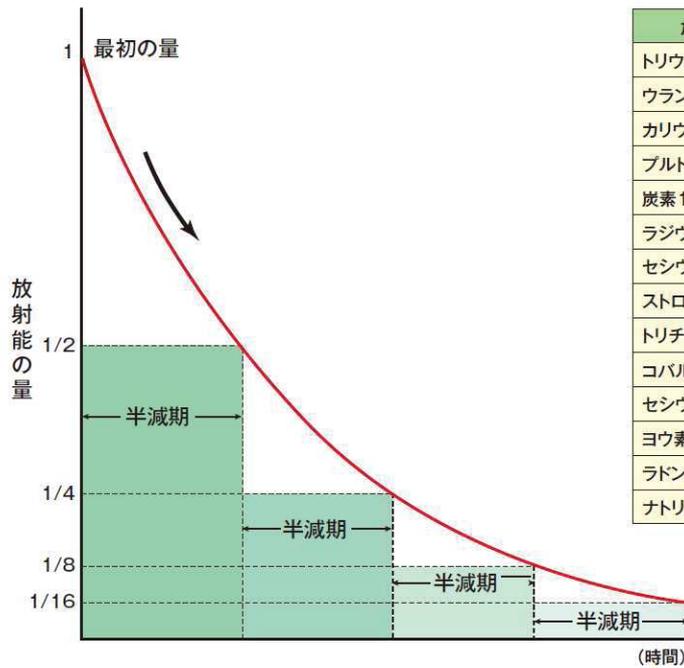


### 電離によるイオン対の生成

放射線として飛んで行っているα粒子や電子は小さすぎてとても目では見られませんし、MeVエネルギーの粒子の速度は超高速カメラでも追いつきません。しかし、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。



# 放射能の減り方



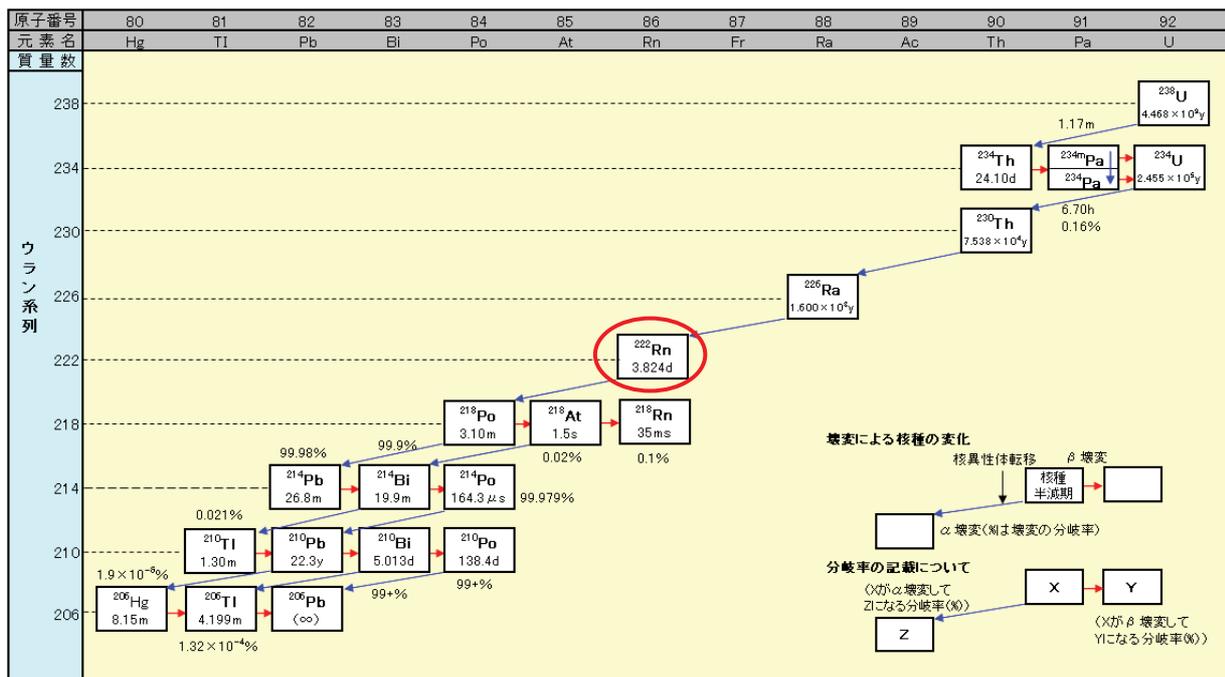
放射性物質	放出される放射線*	半減期
トリウム232	$\alpha$ ・ $\beta$ ・ $\gamma$	141億年
ウラン238	$\alpha$ ・ $\beta$ ・ $\gamma$	45億年
カリウム40	$\beta$ ・ $\gamma$	13億年
プルトニウム239	$\alpha$ ・ $\gamma$	2.4万年
炭素14	$\beta$	5,730年
ラジウム226	$\alpha$ ・ $\gamma$	1,600年
セシウム137	$\beta$ ・ $\gamma$	30年
ストロンチウム90	$\beta$	28.7年
トリチウム	$\beta$	12.3年
コバルト60	$\beta$ ・ $\gamma$	5.3年
セシウム134	$\beta$ ・ $\gamma$	2.1年
ヨウ素131	$\beta$ ・ $\gamma$	8日
ラドン222	$\alpha$ ・ $\gamma$	3.8日
ナトリウム24	$\beta$ ・ $\gamma$	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

6-1-7

出典：(公社)日本アイソトープ協会「アイソトープ手帳(2011年)」

## 放射壊変系列 1: ウラン系列 ( $4n+2$ ) 親核種: U-238



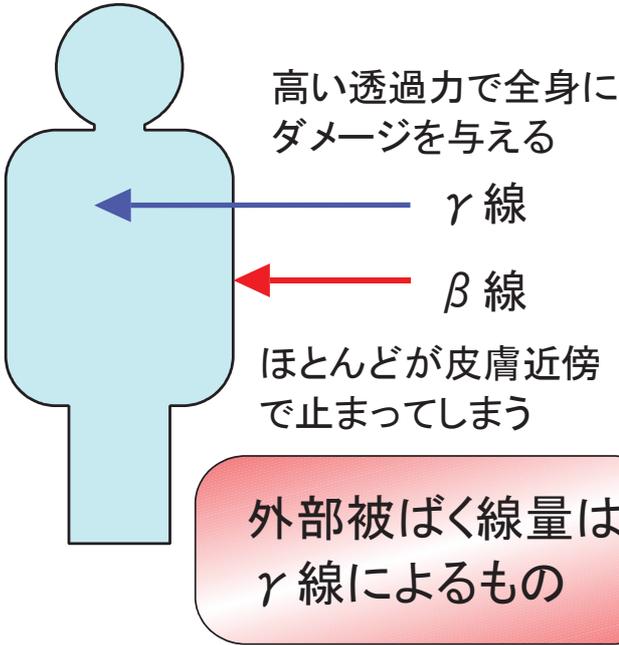
半減期の記号:s(秒), ms( $10^{-3}$ 秒),  $\mu$ s( $10^{-6}$ 秒), m(分), h(時), d(日), y(年)

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

## 実効線量 [Sv]

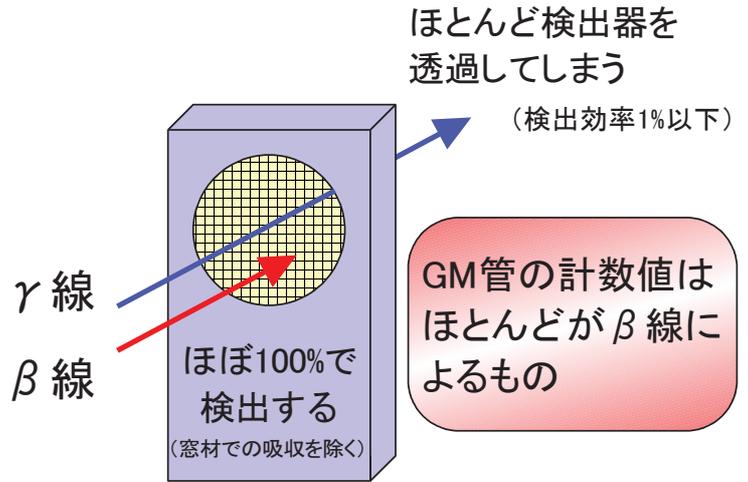
人体に与えられたダメージ  
→ 各臓器へのダメージを合計



皮膚自体へのダメージは、別途、等価線量[Sv] (組織ごとのダメージ)として管理されている

## GM管の計数値 [count]

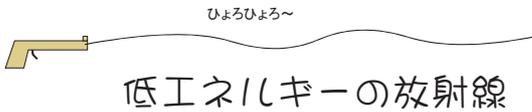
検出器が捕捉した放射線の数  
(種類やエネルギーは分からない)



実効線量率を表示する検出器 → Cs-137のγ線の検出効率から逆算して計数値から実効線量を計算している

β線は遮蔽されていることが前提

## 高エネルギーの放射線



## 放射線のエネルギーって何?

α線やβ線など、粒子が飛んできた放射線の場合はその粒子のスピードと想像すれば理解しやすいと思います。もちろんスピードが速いほどエネルギーは高くなります。γ線、X線は光の仲間、エネルギーはその光の波長と関係が出来ます。赤外線、可視光線、紫外線とだんだん波長が短くなるに従ってエネルギーが高くなります。ここで光の強さ(明るさ)と、エネルギーの大きさは違います。光の強さは放射線の本数に相当します。低いエネルギーの光が何本集まっても、高いエネルギーの光になることはありません。高いエネルギーの放射線ほど、物質を突き抜ける透過力が強くなります。



GM管や、シリコン半導体検出器  
(フォトダイオード)

**一発は一発!**

入射する放射線のエネルギーによらず、同じ大きさのパルスを出します。一定時間内に何発放射線が飛んできたか、と言う情報だけを知ることが出来ます。一部の製品は、Cs-137の661keVのγ線が飛んできた、と言うことにより線量を評価しています。



シンチレーターや、Ge半導体検出器

きちんとエネルギーを区別

入射する放射線のエネルギーによって、出力するパルスの大きさが異なります。どのぐらいのエネルギーの放射線が何発来たかという情報を合わせて、線量を評価します。

## 宇宙からの放射線

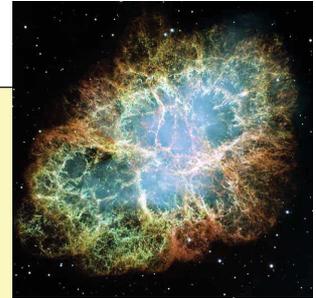
大気で地球上の生物は守られている



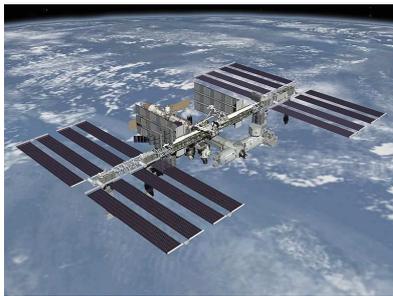
アラスカ、フェアバンクスで観察されたオーロラ

太陽から放出された帯電した粒子は地球の磁場に捉えられて、その一部は北極や南極の近くで大気にぶつかってオーロラとして観測される。

超新星爆発などで発生した非常にエネルギーの高い ( $\sim 10^{20}\text{eV}$ ) 宇宙線も飛んできており、大気とぶつかって二次的な放射線のシャワーを降らせる。また、核反応により放射性核種の生成が起こる (C-14:  $10^{15}\text{Bq/y}$ , H-3:  $10^{18}\text{Bq/y}$ )。



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

上空では、まだ十分に宇宙線が弱くなっていないので、飛行機に乗ると放射線量が増加する (ヨーロッパへの往復で  $100\sim 200\mu\text{Sv}$  程度)。宇宙ステーション (ISS: 高度  $400\text{km}$ ) 滞在中の宇宙飛行士の被ばく線量は、1日当たり  $0.5\sim 1\text{mSv}$  程度にもなる。

## 大地からの放射線

ウランは地殻中にありふれた元素



花崗岩

地中の岩石の中にはU-238とその娘核種などから沢山の放射線が出ている。地殻全体の平均で1tあたりウランは2.4g含まれている。花崗岩には11gも含まれていて、 $140\text{kBq}$  に相当する。U-238の娘核種もまた放射能を出して別の核種となる、壊変系列を形成している。岩石中にはこれらの系列核種も一緒に含まれているので、実際の放射能はずっと大きな値となる。



トンネルの中は周囲を岩石に囲まれているため地表よりも放射線量が高い。(東名高速の日本坂トンネルで  $0.13\mu\text{Sv/h}$  など地表の倍程度)

壊変系列の中には、気体元素のラドンが含まれており、肺の中で内部被曝を起こす。またラドンの娘核種は気体ではないが、埃などに付着して漂っており、地下室などでは高い濃度になっている。



パリ・シャンゼリゼ通りの石畳 ( $0.389\mu\text{Sv/h}$ )

ヨーロッパは岩盤で覆われており日本よりはるかに (10倍以上) 自然放射能が高い地域が多い。国内でも岩盤が多く露出している岐阜県などでは比較的放射線量が高く、富士山の火山灰で覆われている関東は比較的低い。



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

K-40は半減期12.5億年、同位体比0.012%の放射性核種であり、天然のカリウム1gに30BqのK-40が入っている。畑にまく肥料の一つにカリ肥料があり、カリウムは作物に、そして人間にも必須の元素の一つである。昆布や椎茸、キュウリなどに沢山含まれており、これらの食物を通して人間の体の中にはおよそ4000BqのK-40が存在しており一年間で170 $\mu$ Sv被曝する。

Po-210はU-238系列に属する放射性物質で魚介類に多く含まれ、日本人は特に多く摂取しており、60kgの人間の体の中にはおよそ20Bq存在する。カリウム-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にもなる。



タバコ1本には24mBqのポロニウム-210が含まれており、一日一箱の喫煙で年に100 $\mu$ Sv被曝する

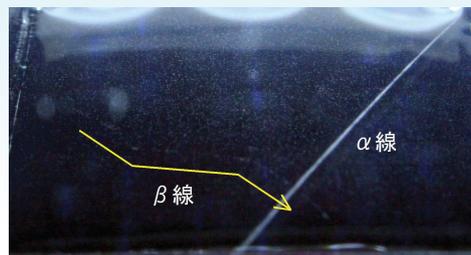
内部被曝の実効線量を求める際は、対象となる放射能を摂取した瞬間に成人の場合今後50年間、子供は70歳までに体内に放射能が存在することによって被曝するであろう線量を積算して、いっぺんに被曝した物として線量評価を行う、預託線量という考え方が取り入れられている。実際に被曝する線量は、放射能の物理的半減期に加え、代謝による排泄で体内の量が減る生物学的半減期も加味して実効線量係数が算出される。

## 放射線加重係数の説明

$$\text{実効線量(Sv)} = \text{吸収線量(Gy)} \times \text{放射線加重係数} \times \text{組織加重係数}$$

→  $\alpha$ 線: 20,  $\beta$ 、 $\gamma$ 線: 1

相互作用の違いを反映



体内の放射能 \*体重60kgの日本人 年間に被ばくする実効線量

K-40: 4,000Bq

170 $\mu$ Sv/年

$\beta$ ・ $\gamma$ 線のみ

Po-210: 20Bq

800 $\mu$ Sv/年

$\alpha$ 線を放出

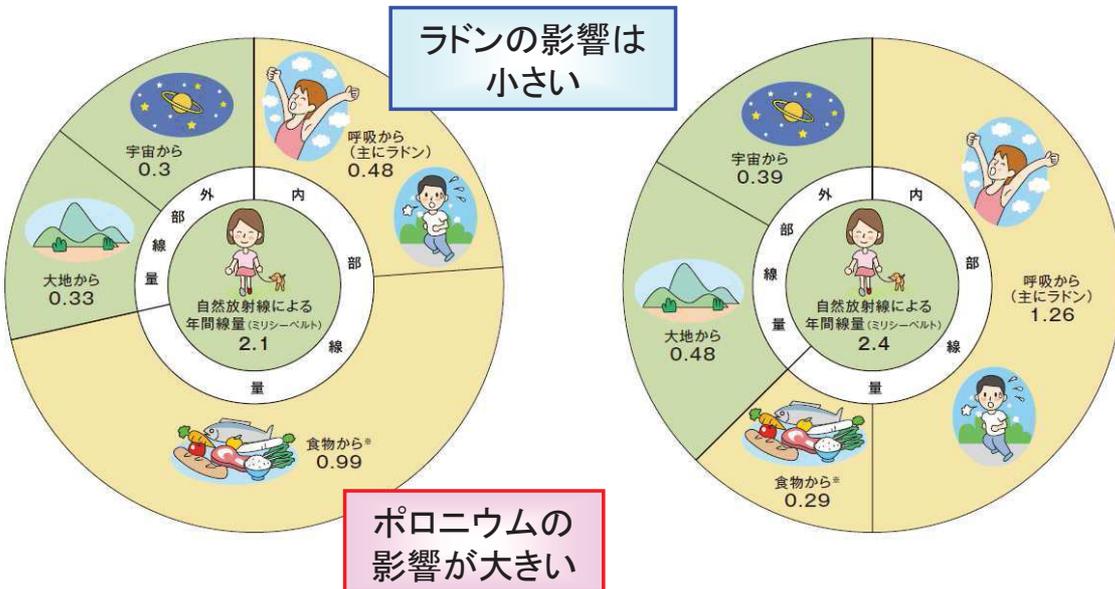
空気中のラドンも $\alpha$ 線を放出 → 世界平均で 1.26mSv/年  
日本は木造建築が多く比較的被ばく量は少ない → 0.48mSv/年

\*そもそもの吸収線量、  
組織加重係数  
なども異なる

# 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)

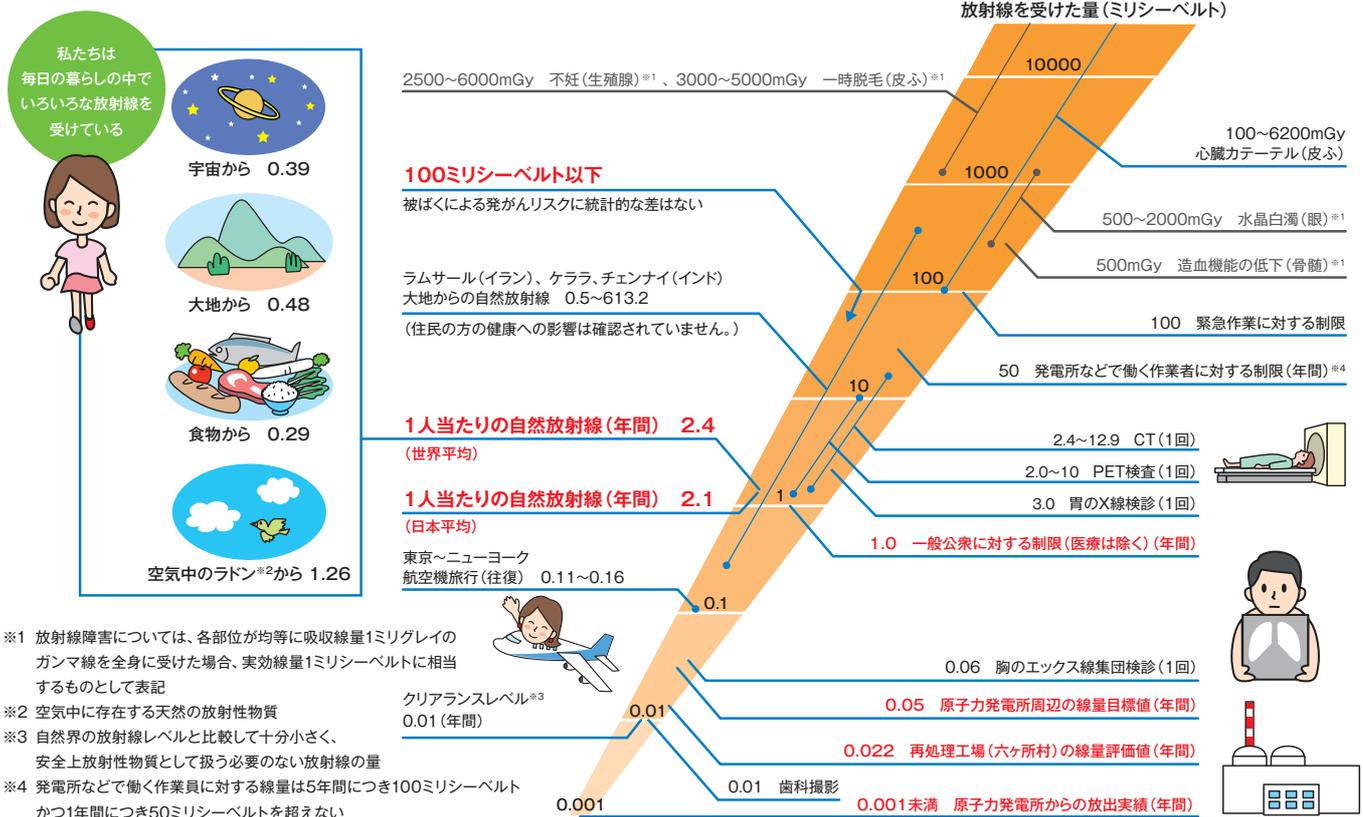


※欧米諸国に比べ、日本人は魚介類の摂取量が多く、ポロニウム210による実効線量が多い

出典：国連科学委員会 (UNSCEAR) 2008年報告書、(公財) 原子力安全研究協会「新版生活環境放射線(平成23年)」

6-2-2

# 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年につき100ミリシーベルトかつ1年につき50ミリシーベルトを超えない

出典：国連科学委員会 (UNSCEAR) 2008年報告書、(公財) 原子力安全研究協会「新版生活環境放射線(平成23年)」、ICRP「Publication103」、他

6-2-1

# 放射線が身体に入ると何が起こるの？

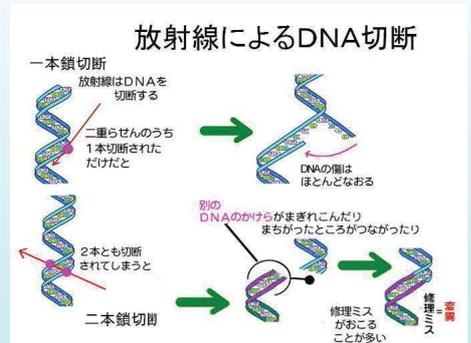
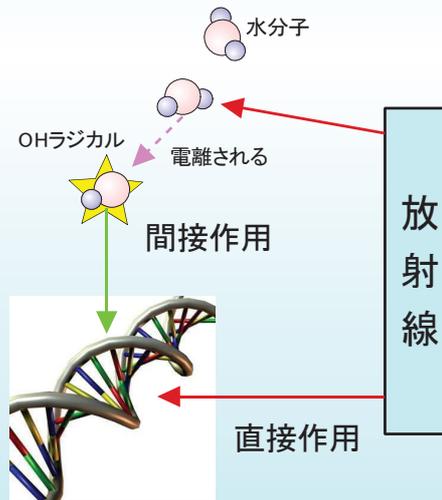
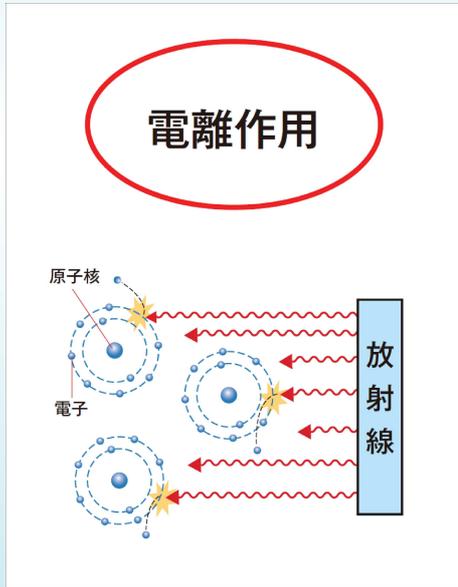
放射線は原子の周りの電子を弾き飛ばしてしまい、結合している手を切ってしまう「電離作用」を起こします。

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。

細胞は切断されたDNAを修復したり、修復しきれないと自殺してしまったりして、間違った情報が残らないようになっています。

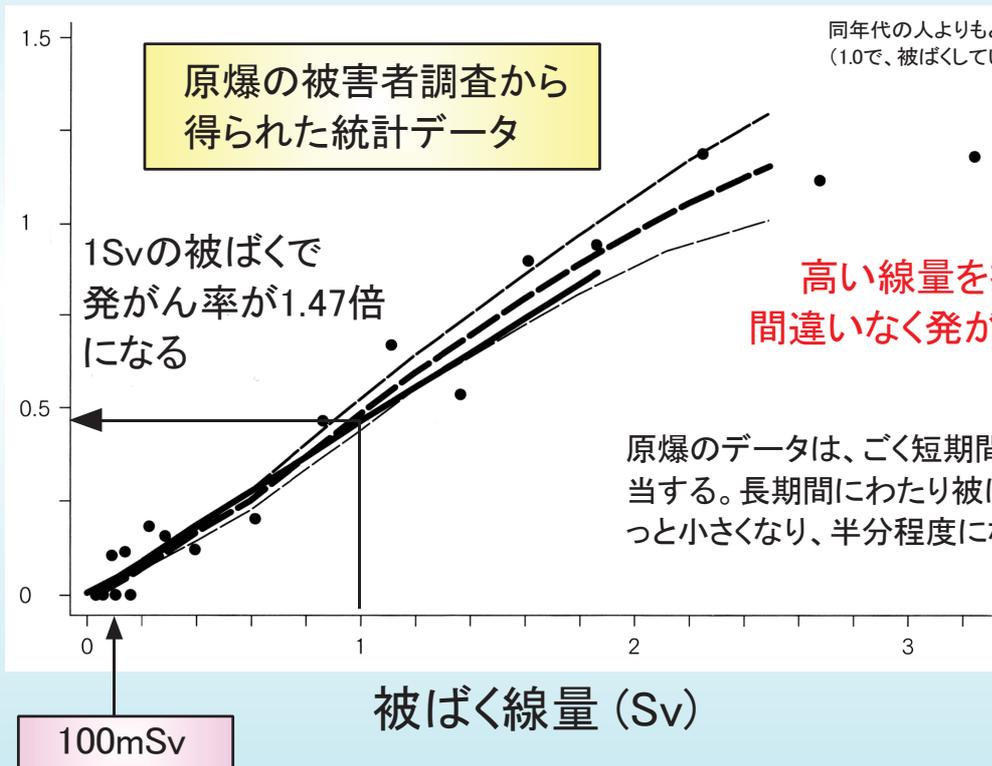
余りにも多くのダメージを受けると、修復しきれずにDNAが変異し、場合によっては発がんの原因となったりします。



# 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



同年代の人よりもどの程度上乗せてガンになりやすいか。(1.0で、被ばくしていない人の2倍の発症となる)

高い線量を被ばくすると、間違いなく発がん率は増加する

原爆のデータは、ごく短期間に被ばくした場合に相当する。長期間にわたり被ばくする場合は影響はずっと小さくなり、半分程度になると考えられている。