

2017/01/19 量子放射線の世界

放射線安全管理

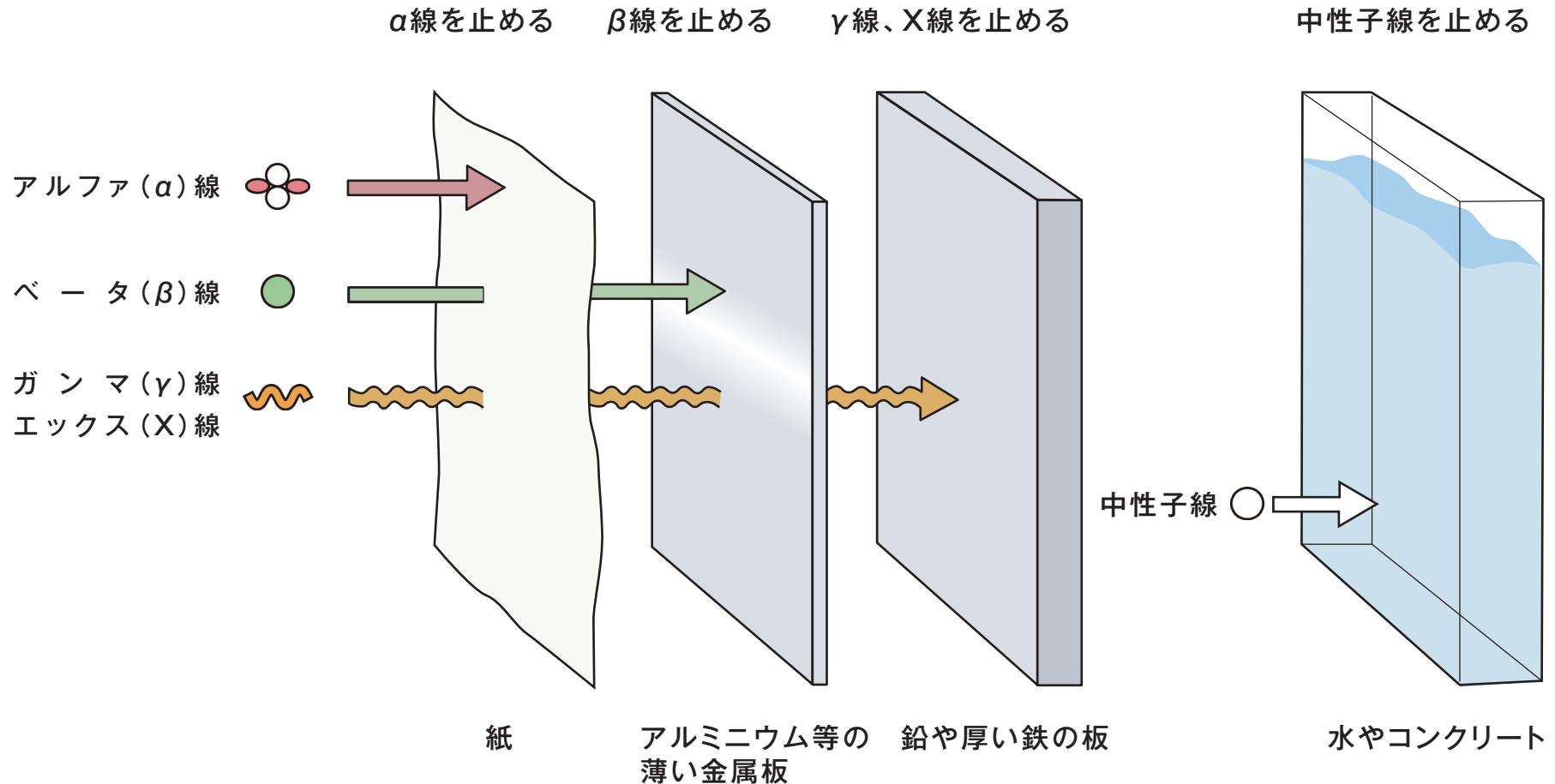
大阪府立大学 量子放射線系専攻
秋吉 優史

講義内容

- **放射線とは何か**
- 物質と放射線の相互作用
- 放射線の検出
- 天然の放射性核種と半減期
- 放射線の人体への影響
- 放射線の単位
- 放射線防護
- 量子放射線系専攻について

放射線の種類と透過力

線は紙一枚で止まってしましますが、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。

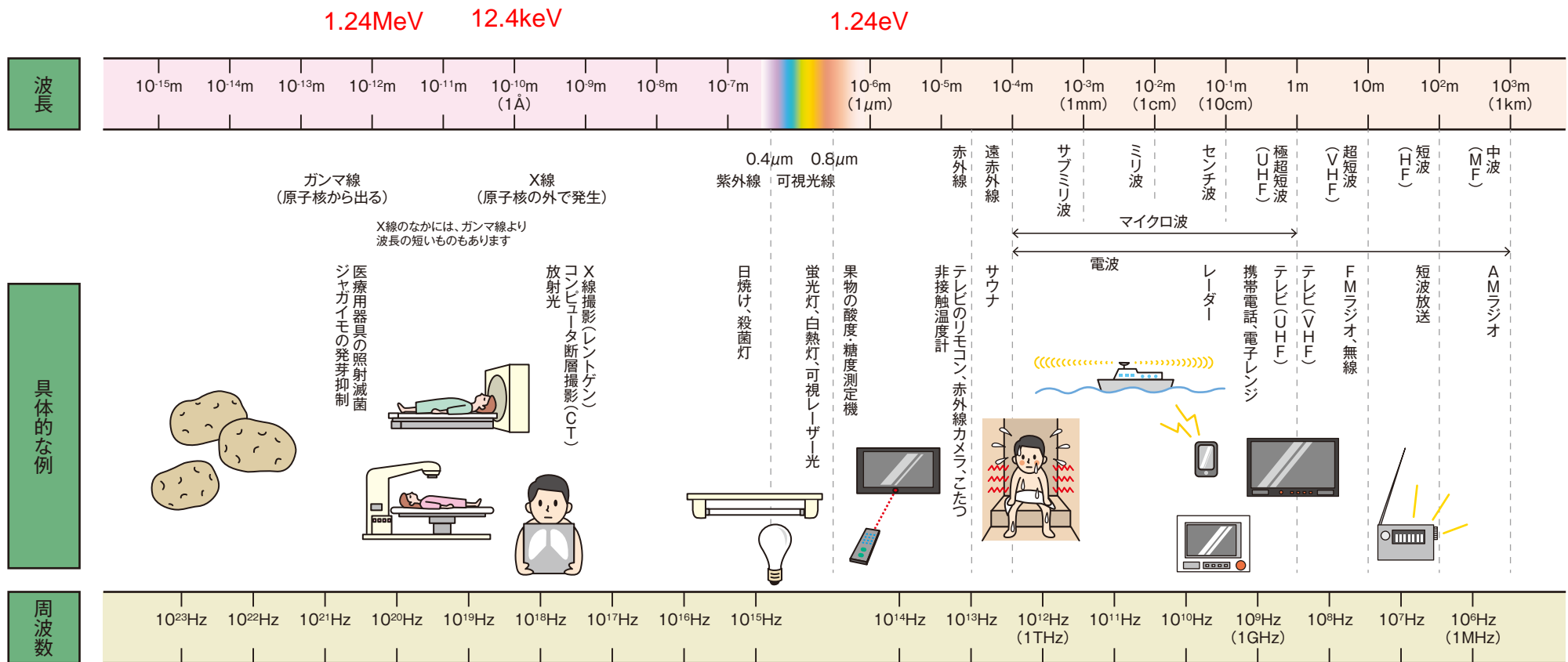


線は水の中(=体の中)を最大で2mm弱進むことが出来、細胞から見ると比較的広い範囲にエネルギーを落としていき、また体の外から来た場合はほとんど皮膚で止まります。

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。

電磁波の仲間

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



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？

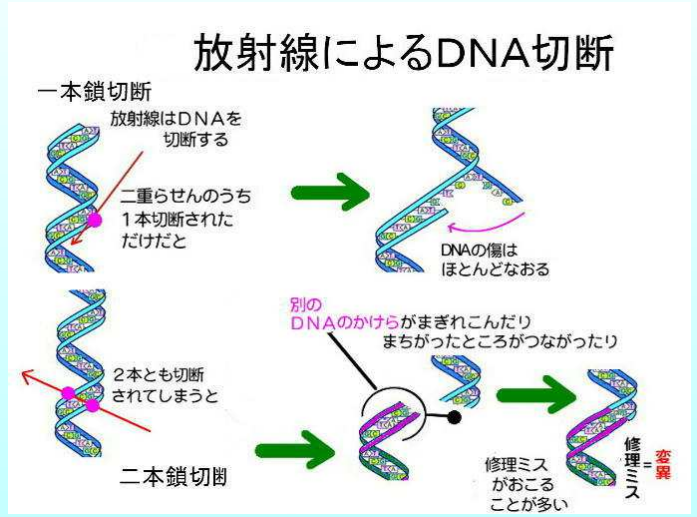
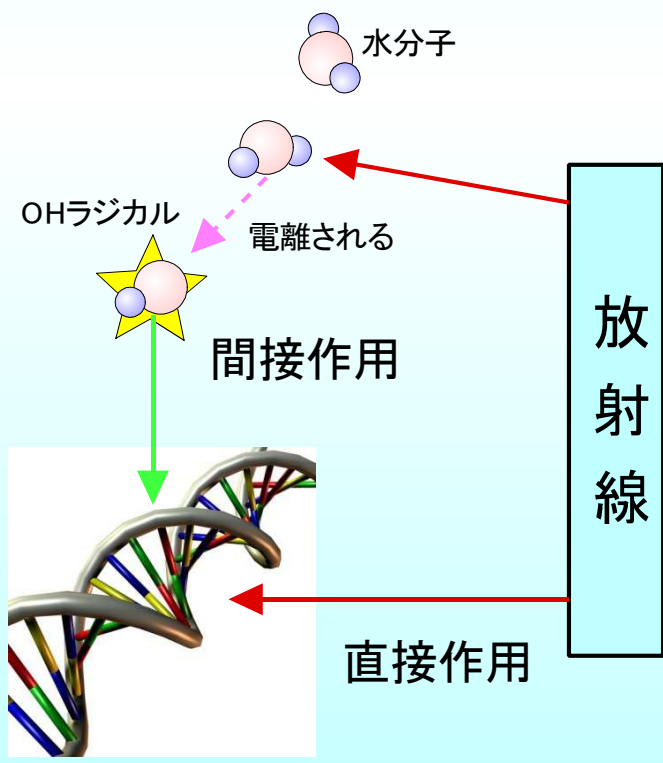
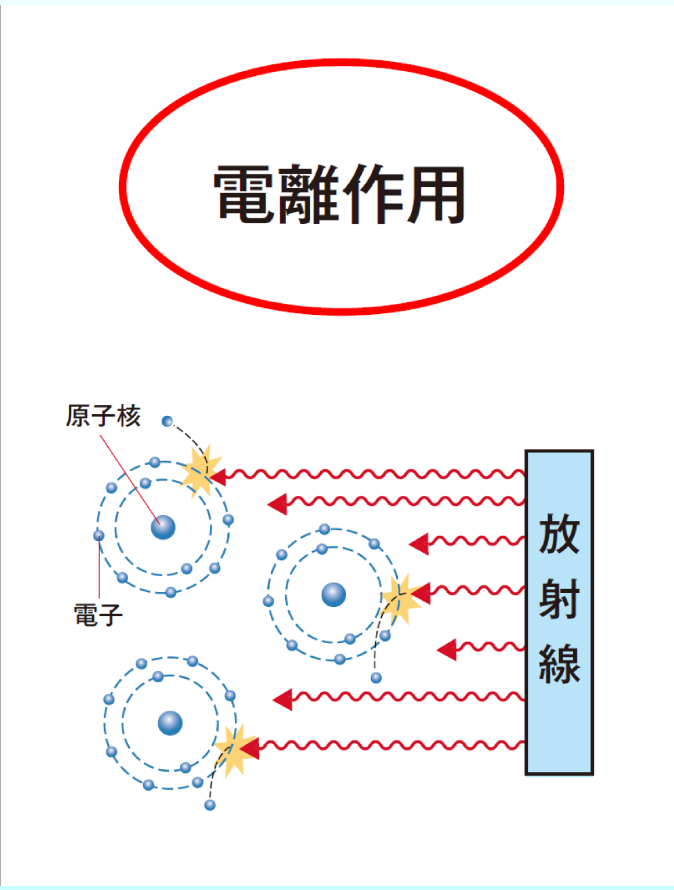
放射線は原子の周りの電子を弾き飛ばしてしまい、結合している手を切ってしまう「電離作用」を起こします。

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。

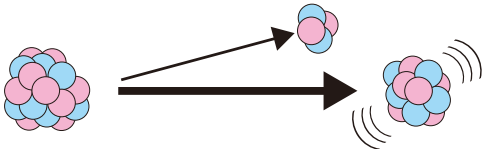
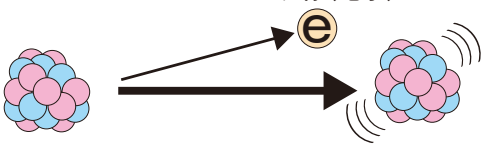
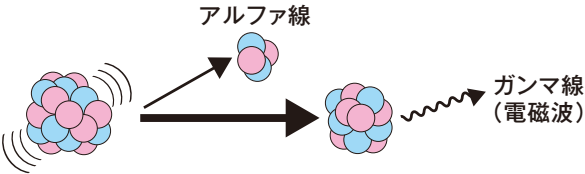
細胞のDNAは放射線以外にも呼吸により発生する活性酸素などで常に攻撃されています。

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しています。

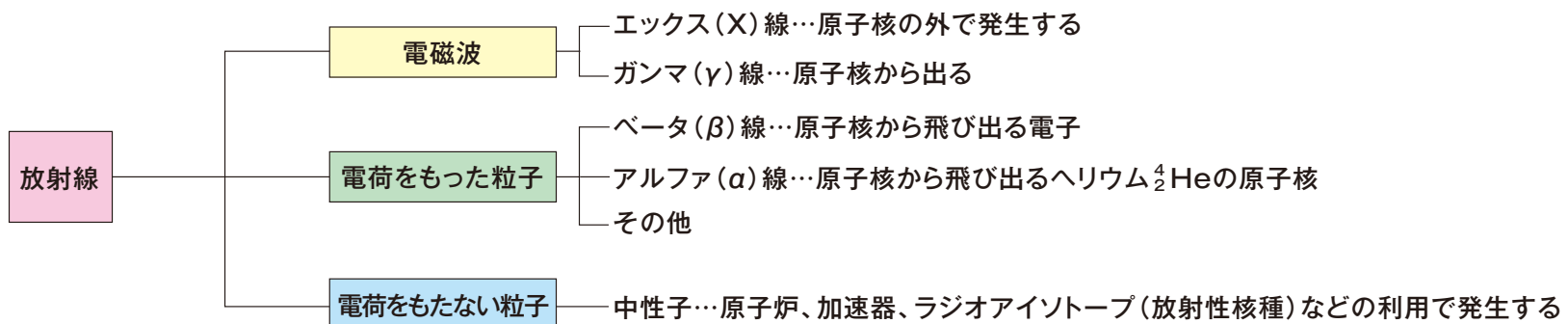
余りにも多くのダメージを受けると、修復しきれずにDNAが変異し、場合によっては発がんの原因となったりします。



放射線の種類

<p>アルファ (α) 壊変 (崩壊)</p>	<p>アルファ線 (${}^4_2\text{He}$原子核)</p> 	<p>(例)</p> ${}^{226}_{88}\text{Ra} \xrightarrow{\alpha} {}^{222}_{86}\text{Rn}$
<p>ベータ (β) 壊変 (崩壊)</p>	<p>ベータ線 (電子)</p> 	<p>(例)</p> ${}^{24}_{11}\text{Na} \xrightarrow{\beta} {}^{24}_{12}\text{Mg}$
<p>ガンマ (γ) 線の放出</p>	<p>アルファ線</p>  <p>ガンマ線 (電磁波)</p>	

● 陽子 ● 中性子



講義内容

- 放射線とは何か
- **物質と放射線の相互作用**
- 放射線の検出
- 天然の放射性核種と半減期
- 放射線の人体への影響
- 放射線の単位
- 放射線防護
- 量子放射線系専攻について

放射線と物質の相互作用

イオンビーム (α 線)

質量が電子に比べてはるかに重いため、電子との衝突によりほとんど曲げられず、少しずつエネルギーを失う。相互作用は電荷の二乗に比例、速度の二乗に反比例(エネルギーに反比例)し、ブラッグピークで急激にエネルギーを放出し、原子核の弾き出しを起こす。

電子線 (β 線)

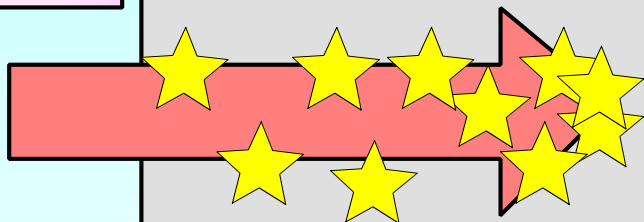
物質中の電子との衝突によって、簡単に方向やエネルギーが変化するため、まっすぐに進まず、広い範囲に広がる。このため、平均的な飛程という物は求めにくく、最大飛程で評価される。重元素に入射すると、原子核周辺の強い電場で急激に曲げられることにより、制動放射X線の発生割合が大きくなる。

γ 線、X線

物質を進むにつれて指数関数的に強度が弱くなっていくが、その際の線減弱係数は光子のエネルギーによって関与する素過程の違いが変化するため大きく異なる。数MeVの領域では高エネルギーの方が透過力は高い。光電効果、コンプトン効果により物質中で電子線を生成するため、高エネルギーの光子はごく僅かではあるが原子核の弾き出しも起こす。

α線

水中での最大飛程: 50 μm程

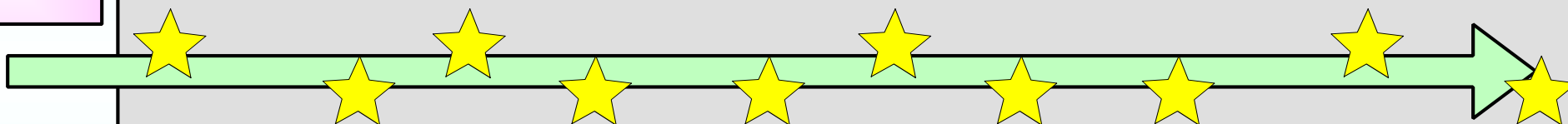


狭い範囲に一気に
エネルギーを放出する

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



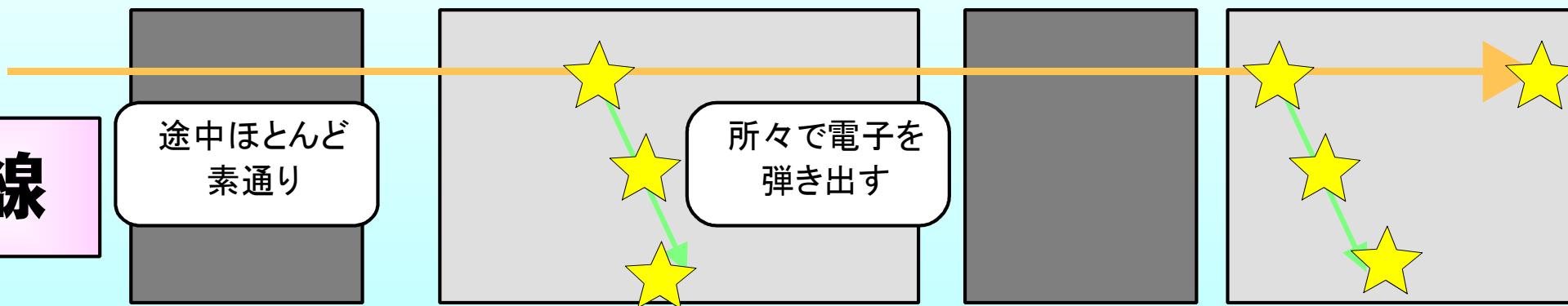
所々にぽつぽつとエネルギーを落とす

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

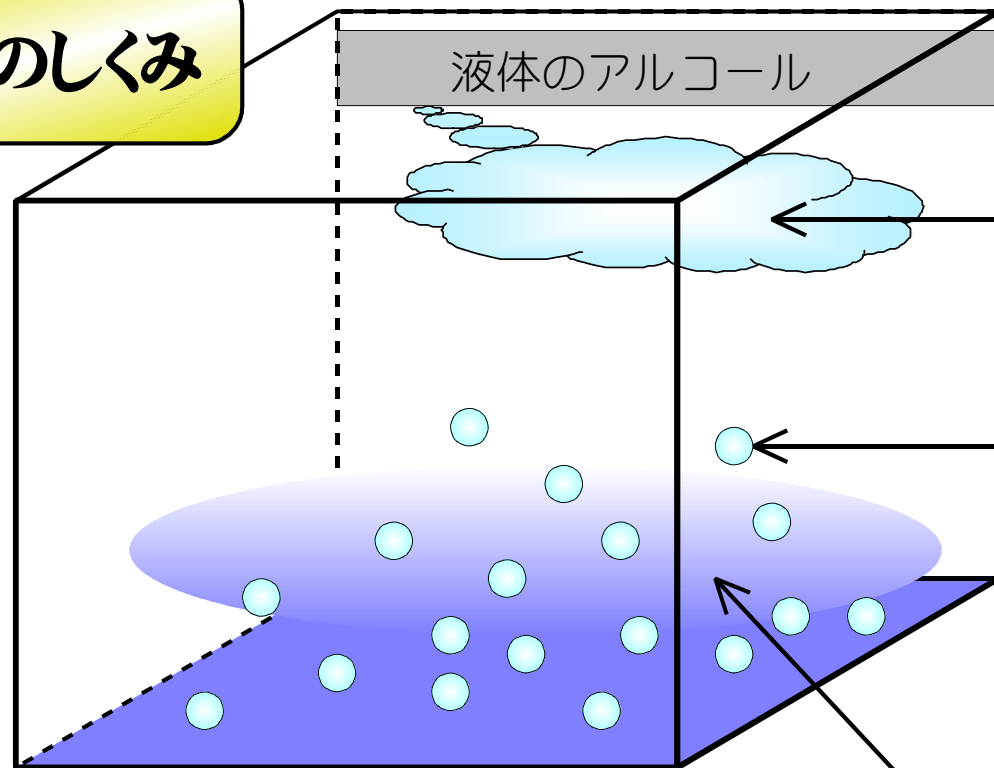
γ線

途中ほとんど
素通り

所々で電子を
弾き出す



霧箱のしくみ



温度が高いと蒸発圧が高い

アルコールの蒸気

液体のアルコールの
小さな粒

温度が低いと飽和蒸気圧が
下がり過飽和となる

ドライアイスやペルチエ素子で
-20℃以下に冷やされています

過飽和の蒸気

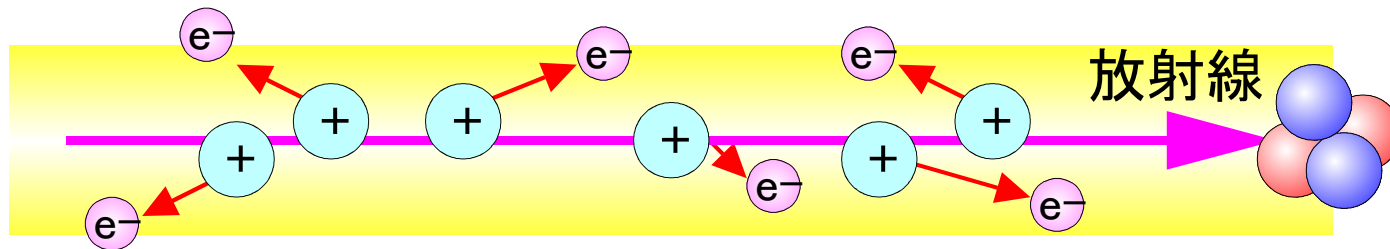
温度が低くなり飽和蒸気圧が低くなると、蒸発した気体のアルコールは液体に戻ろうとします。霧のように見える白い粒子は液体のアルコールの小さな粒です。しかし、温度が下がったのに液体の粒にならずに過飽和状態の気体も漂っています。そこに刺激を加えてやると、過飽和の蒸気は次々に液体の粒に変化していきます。

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。

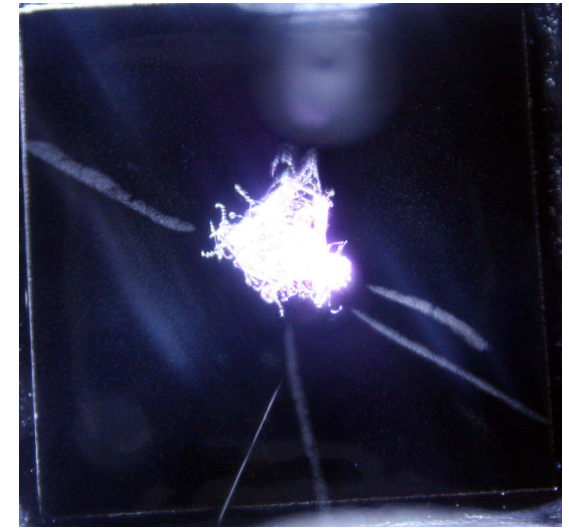


電離によるイオン対の生成

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。

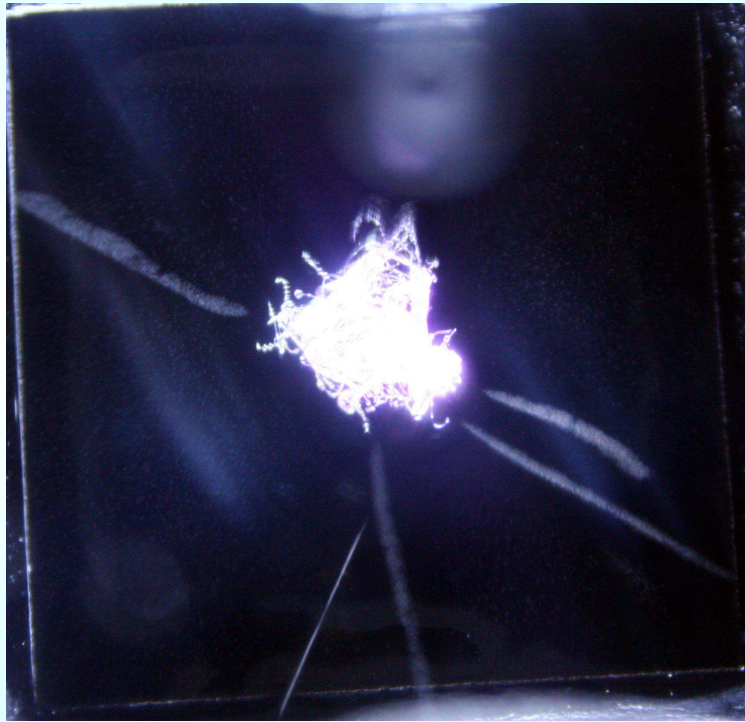


過飽和の蒸気は冷やされている容器の底に薄く広がっているだけなので、底に平行に走った放射線しか見ることができません。また液体の粒はすぐ蒸発してしまって、数秒で見えなくなってしまう。



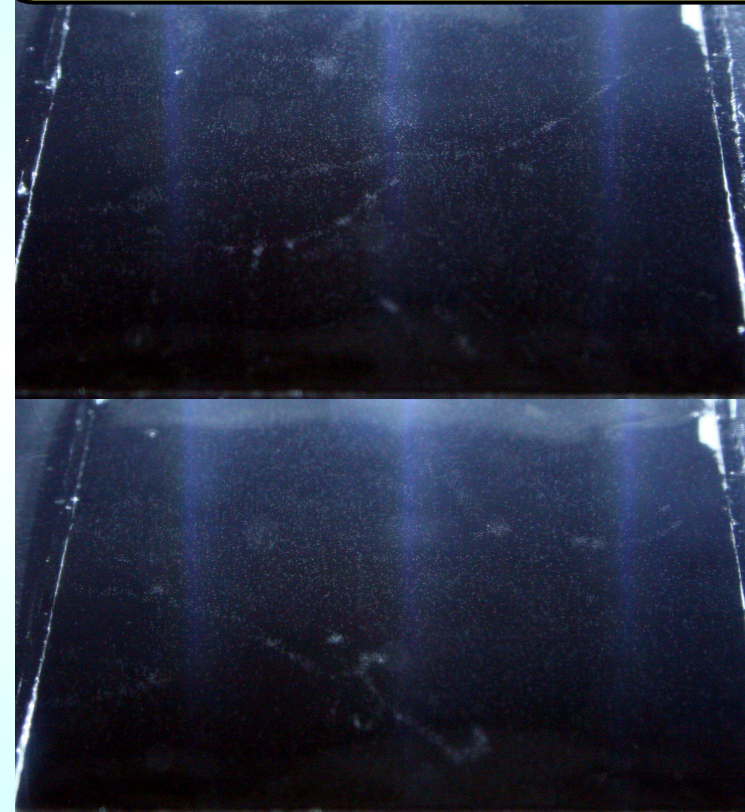
霧箱での飛跡の観察

α 線の飛跡



直線的ではっきりとした飛跡を示す。気流の関係で生成した霧がたなびく事で曲がって見えることがあるが、散乱や磁石による偏向ではない。

β 線の飛跡



霧の液滴の密度が低く、うっすらとした飛跡しか示さない。電子線の入射方向と関係なく様々な方向に飛び、空気中에서도散乱されている様子を確認できる。

電子線(β線)とα線の比較

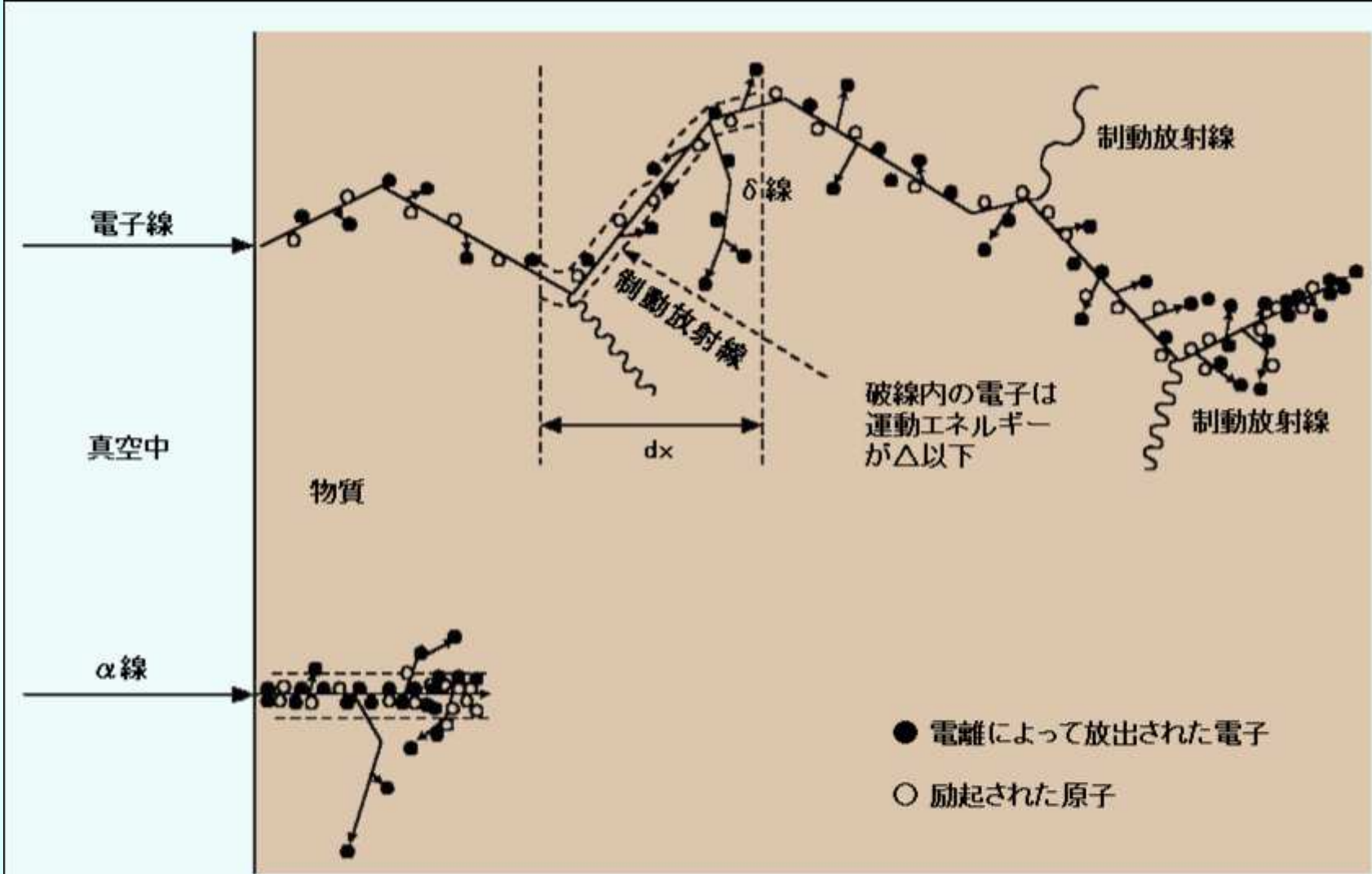


図1 荷電粒子と物質の相互作用

[出典]江藤秀雄(ほか):放射線防護、丸善(1982年12月)、p.54

電子線(β線)の飛程

β線は、そもそも放出される時点でエネルギーが一様ではない。これはベータ崩壊の際に反電子ニュートリノが絡む三体崩壊であり電子のエネルギーが決まらないためである。さらに物質に入射後は非常に複雑な散乱過程を示すのであるが、概ね物質の厚さの増加に伴い指数関数的に強度が減少する。なお、入射する物質が変わっても質量衝突阻止能はほとんど変わらない。数MeV程度のβ線では制動放射に伴う放射阻止能は衝突阻止能よりずっと小さいが、ターゲットの原子番号Zに比例して大きくなるため、遮蔽の際には低Zの材料を使用する。

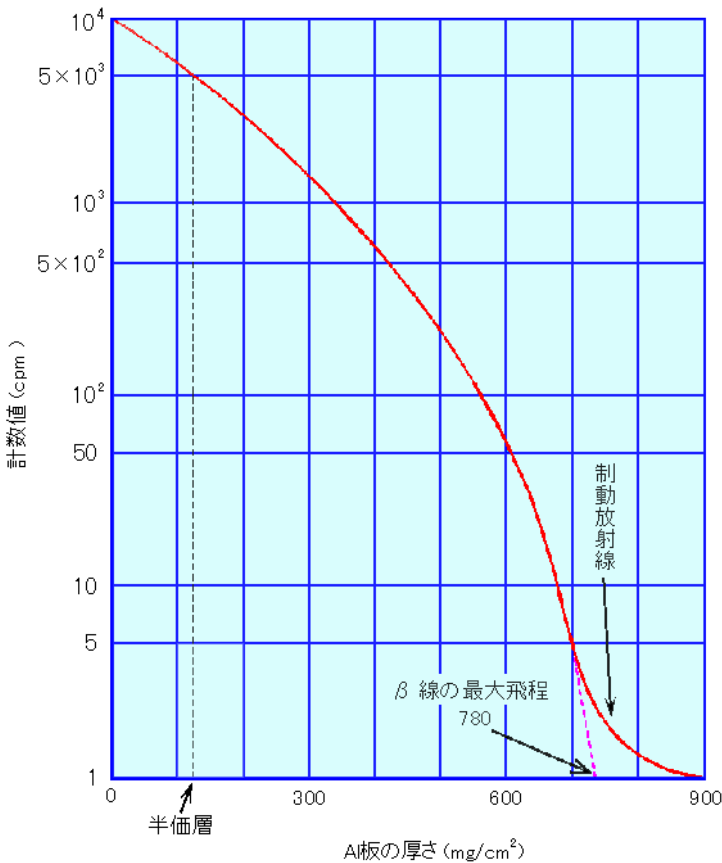


図3 ^{32}P のβ線のアルミニウムによる吸収曲線

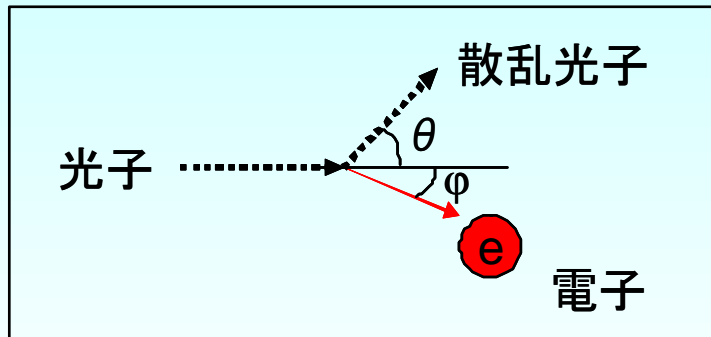
[出典] 江藤秀雄(ほか): 放射線の防護, 丸善(1982年12月), p.56

入射電子線のエネルギー E (MeV),
 最大飛程 R (g/cm^3) とすると、
 アルミ中での最大飛程は以下の様に与えられる

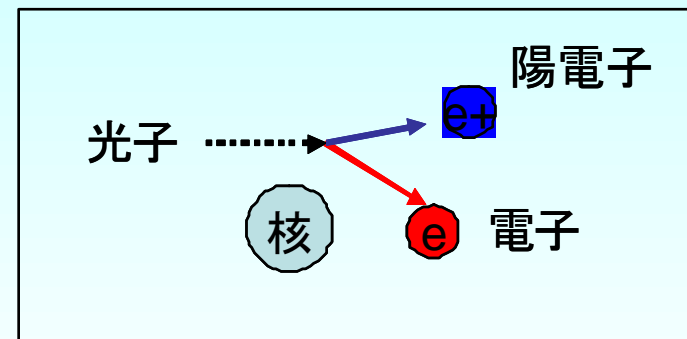
$$R = 0.542 E - 0.133 \quad (0.8 < E)$$

$$R = 0.407 E^{1.38} \quad (0.15 < E < 0.8)$$

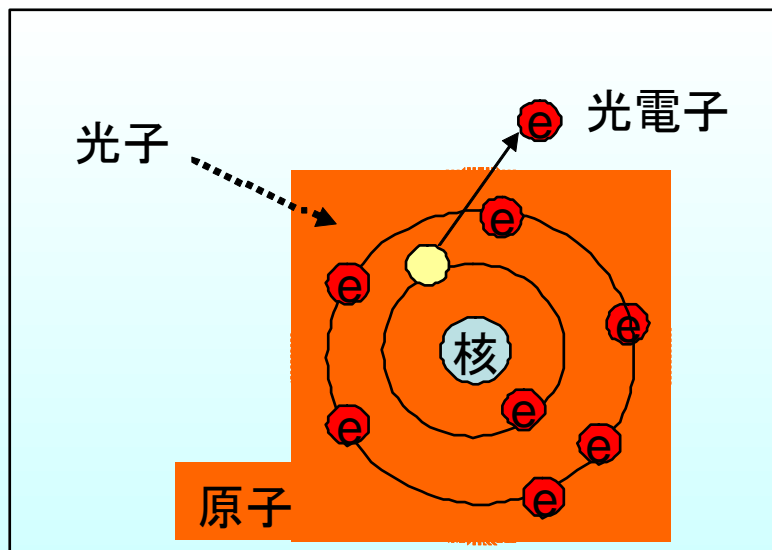
ガンマ線と電子・原子核・原子との反応



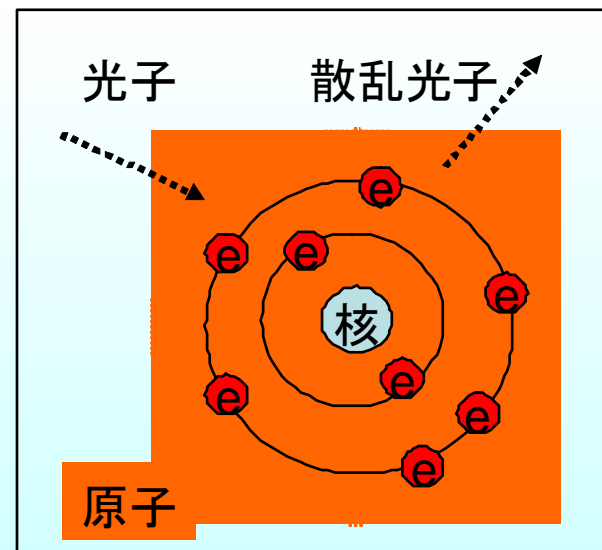
コンプトン散乱



電子対生成



光電効果



レイリー散乱

γ 線・X線と物質の相互作用

レイリー散乱

弾性散乱。入射光のエネルギーが変化しない散乱過程。

光電効果

軌道電子に入射光子のエネルギーを全て与えて、軌道エネルギーを差し引いたエネルギーを持つ高速電子(光電子)を生成する。断面積は入射光子のエネルギーの -3.2 乗に比例する。

コンプトン散乱

軌道電子に入射光子のエネルギーの一部を与えて、高速電子(コンプトン電子)を生成する。散乱後のエネルギーは散乱角に依存し、連続スペクトルとなる。

電子対生成

入射光子のエネルギーが 1.022MeV 以上の場合、原子核近傍のクーロン場中で電子と陽電子の対を生成する。入射光子は全エネルギーを失い消滅し、電子・陽電子の静止質量エネルギーの残りは運動エネルギーとして分配される。

光核反応

高エネルギーの光子が原子核と直接反応し、様々な素粒子が放出される。 $Z=50$ 程度の核種では中性子の結合エネルギーが 10MeV 程度であり、これ以上のエネルギーの光子の入射により (γ, n) 反応を起こして中性子が放出される。

γ線・X線の減衰

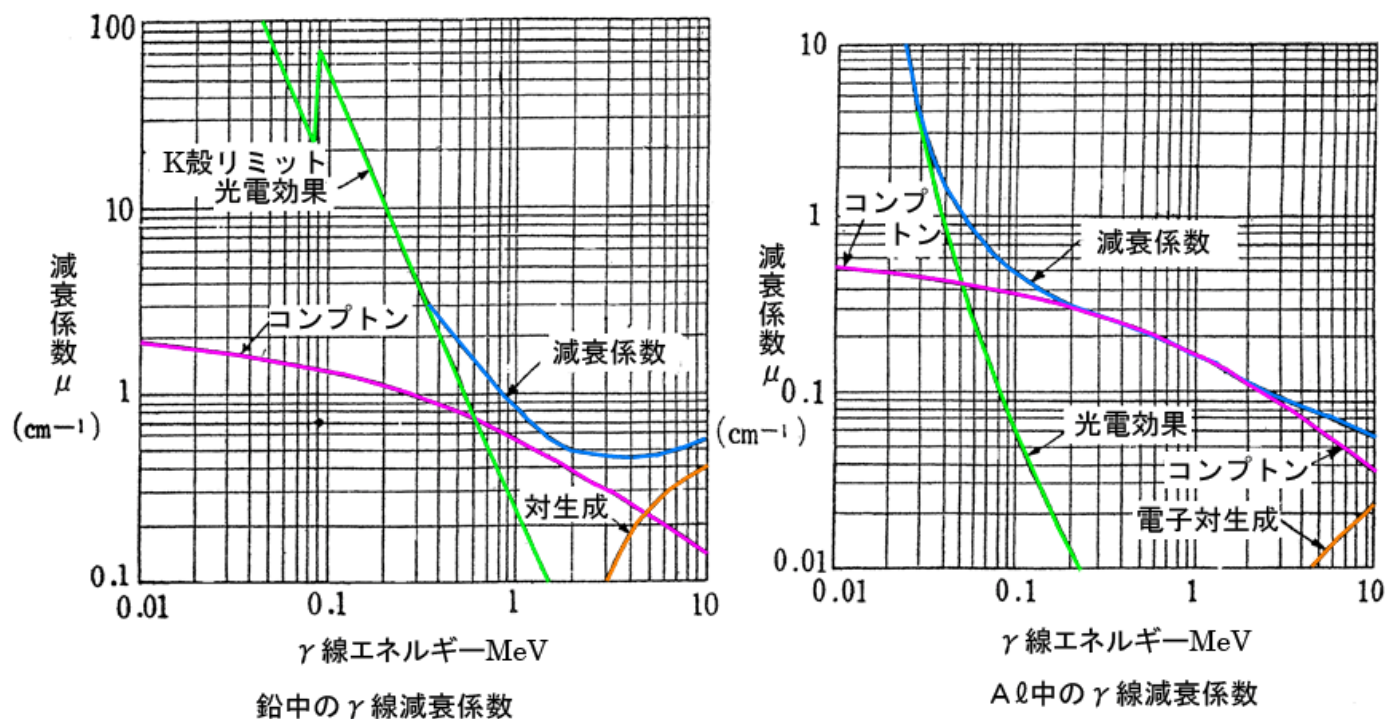
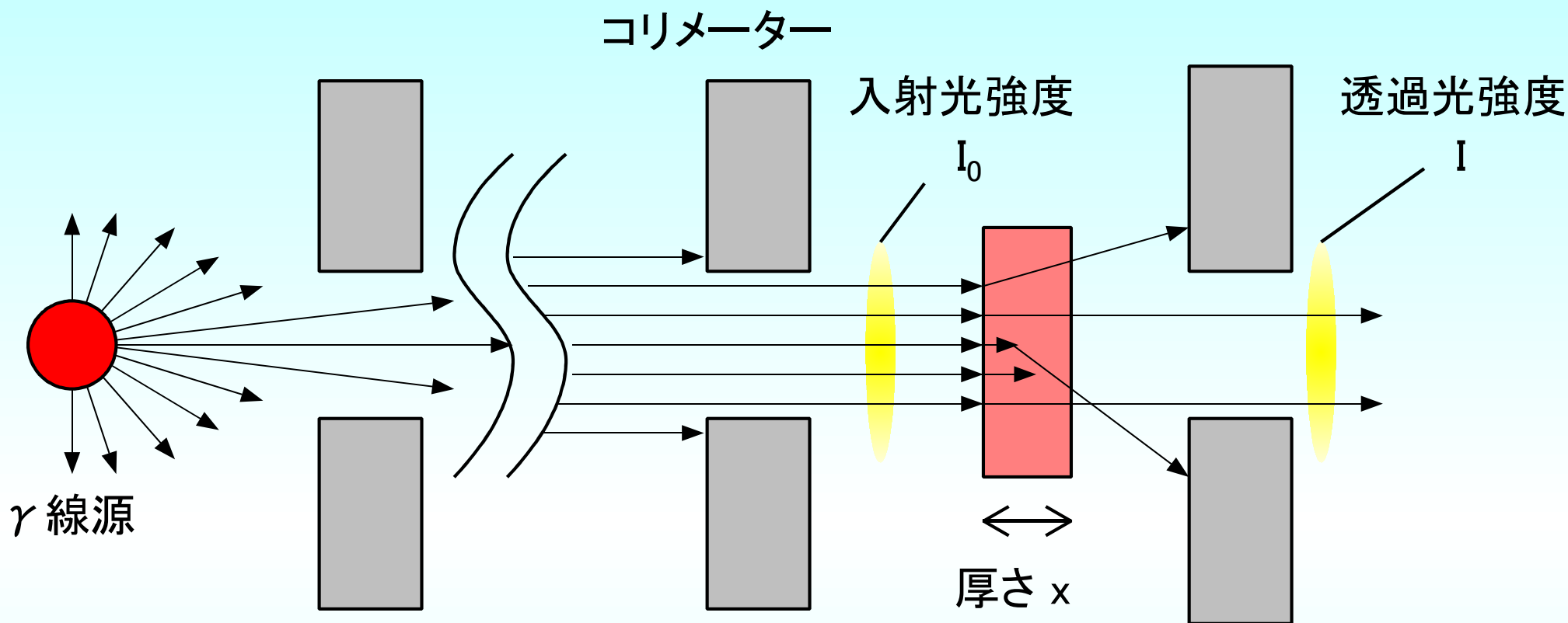


図3 γ線のコンプトン効果

[出典] 三浦 功、菅 浩一、俣野恒夫:「放射線計測学」、裳華房、p.21

ターゲットとなる物質の原子番号 Z の増加と共に、線源弱係数は
 光電効果 $Z^4 \sim 5$ に比例
 コンプトン効果 Z に比例
 電子対生成 $Z(Z+1)$ に比例
 となって Z が大きくなると急激に遮蔽能力が高くなる。

入射光子のエネルギー増加と共に、物質との相互作用を起こす効果が変わっていく。比較的低エネルギーではレイリー散乱、光電効果が主であり、次第にコンプトン散乱が支配的となる。高エネルギーでは電子対生成が主となる。光核反応は12-24MeV 付近で最大断面積となるが μ への寄与は5%程度である。また、低エネルギーではK殻電子やL殻電子の電離エネルギー以上になると光電効果を起こせるがそれ以下では起こせないため、光電効果の効率が不連続に変化する。これをK吸収端、L吸収端と呼ぶ。



単一エネルギーで狭い平行線束 γ 線・X線の減衰は、

$$I = I_0 \exp(-\mu x)$$

で表わされる。ここで I, I_0 は光子のフラックスであり、

散乱、吸収により試料の厚さ x に伴って指数関数的に減衰していく。

線減弱係数 μ の単位は m^{-1} などで、密度で除した μ_m が様々な物質、

エネルギーに対して与えられている。

講義内容

- 放射線とは何か
- 物質と放射線の相互作用
- **放射線の検出**
- 天然の放射性核種と半減期
- 放射線の人体への影響
- 放射線の単位
- 放射線防護
- 量子放射線系専攻について

様々な検出器による測定

- 放射性同位元素を用いた実験を行うにあたり、自分が使用する核種に合わせた測定器を用いて、空間線量と汚染の測定を行う必要がある。
- 線種やエネルギーの違いによる検出器の応答の違いを理解していないと、正しく評価できなかつたり、全く測定することが出来ない場合がある。

Ge半導体検出器

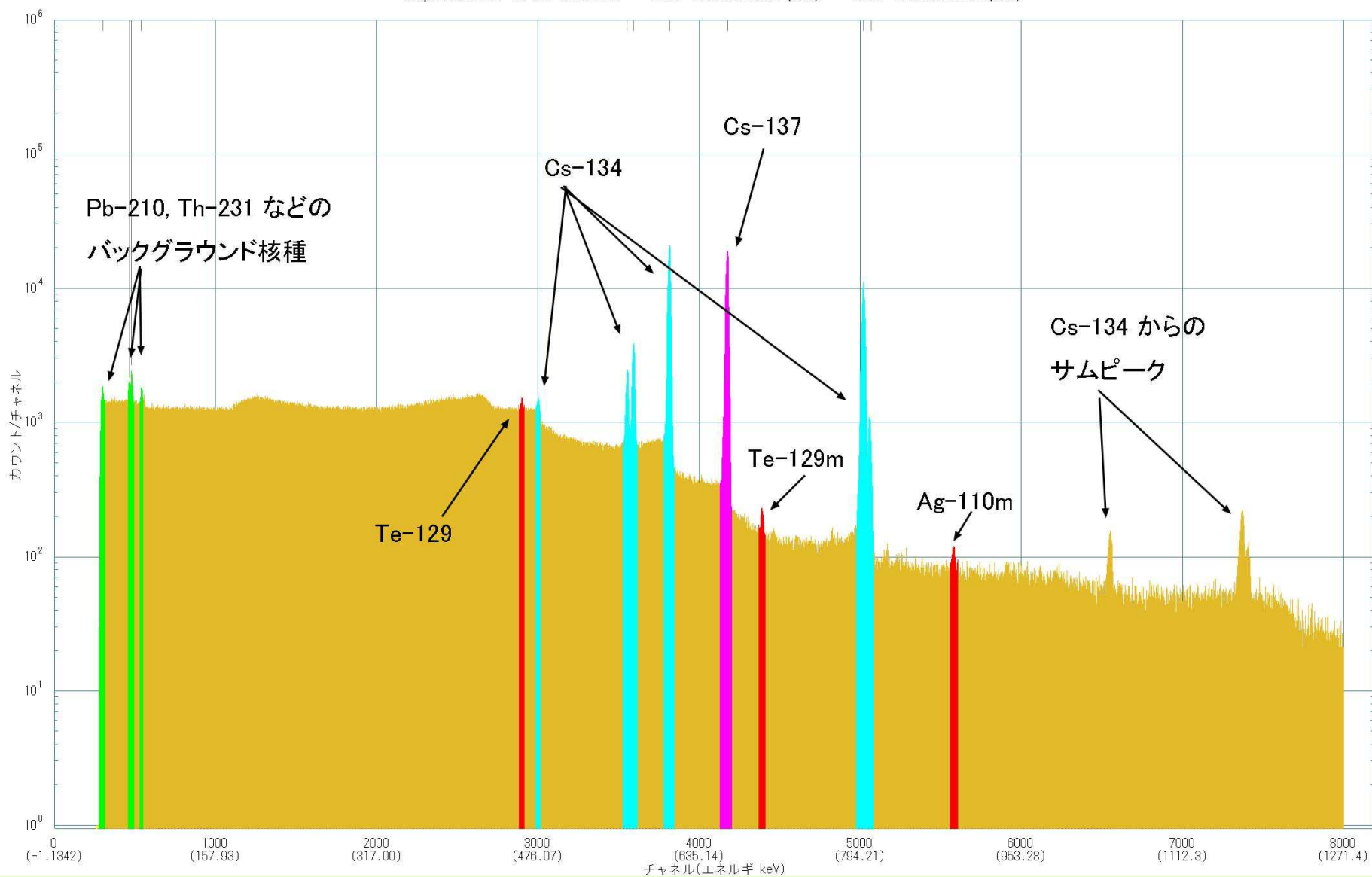
- 放射性物質はそれぞれの核種に固有のエネルギーを持った γ 線を放出するため、その γ 線のエネルギーを測定することにより未知試料中に含まれる核種を同定することが可能である
- Ge半導体検出器はp層/空乏層/n層から構成されており、p-n 接合部の空乏層に電荷のキャリアがほとんど存在しないため、逆電圧を印加してもほとんど電流が流れないが、空乏層結晶中に高速の荷電粒子が入射すると、価電子帯にある電子は伝導帯におしあげられ、多数の電子-正孔対が生成される。
- ただし、 β 線は(もちろん α 線も)検出器を覆うステンレス製のハウジングを透過できないため、検出することは出来ない → γ 線が結晶中に入射した後に発生する光電子などを検出する。
- 一組の電子-正孔対を作るのに要するエネルギーはGe の場合 2.96eV であり、これがエネルギー分解能となる。

非常に高価だが詳細なスペクトルを得ることが出来る

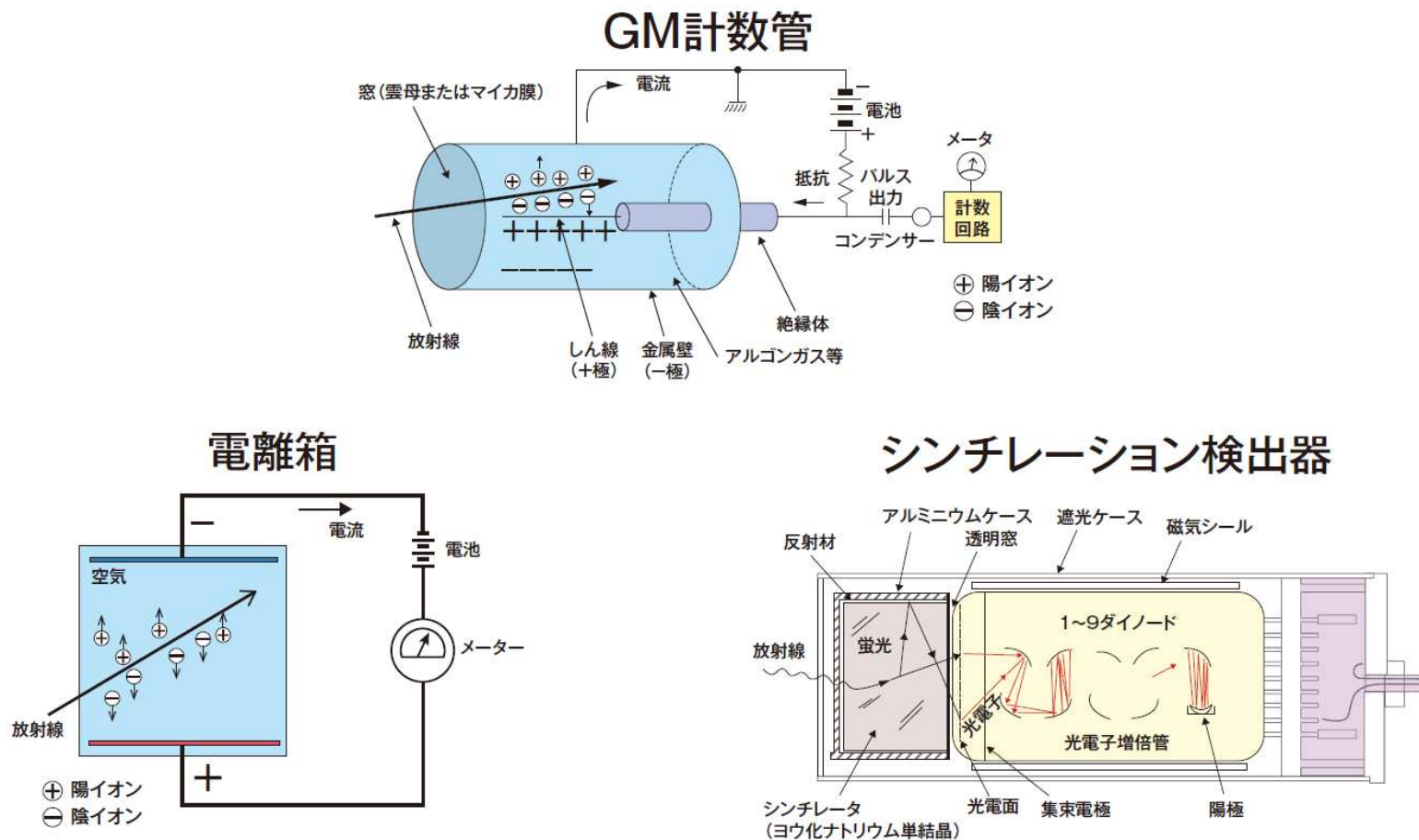
γ線スペクトル測定の一例

20110608_南相馬市馬事公苑-土_110620.CHN

Acquired:2011-06-20 12:30:07 Real Time:30068.1(sec) Live Time:30000.0(sec)



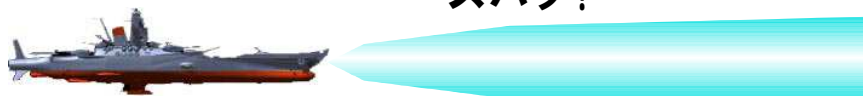
放射線計測器の測定原理



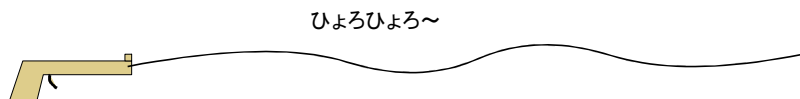
(注) 電離箱では、 $10^{-9} \sim 10^{-14}$ A程度の微電流を測定する必要がある

シンチレーション検出器では、蛍光が光電面に当たると光電子が飛び出し、これがダイノード(増倍電極)で増倍されて、大きな電気信号が得られる

高エネルギーの放射線



ズバッ!

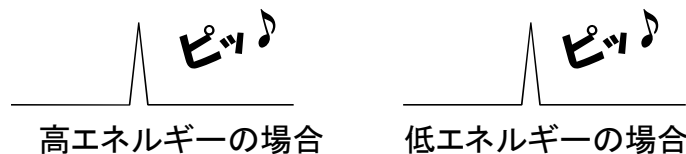


ひよろひよろ~

低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、粒子が飛んでくる放射線の場合はその粒子のスピードと違って頂け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線は光の仲間で、エネルギーはその光の波長とすることが出来ます。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。



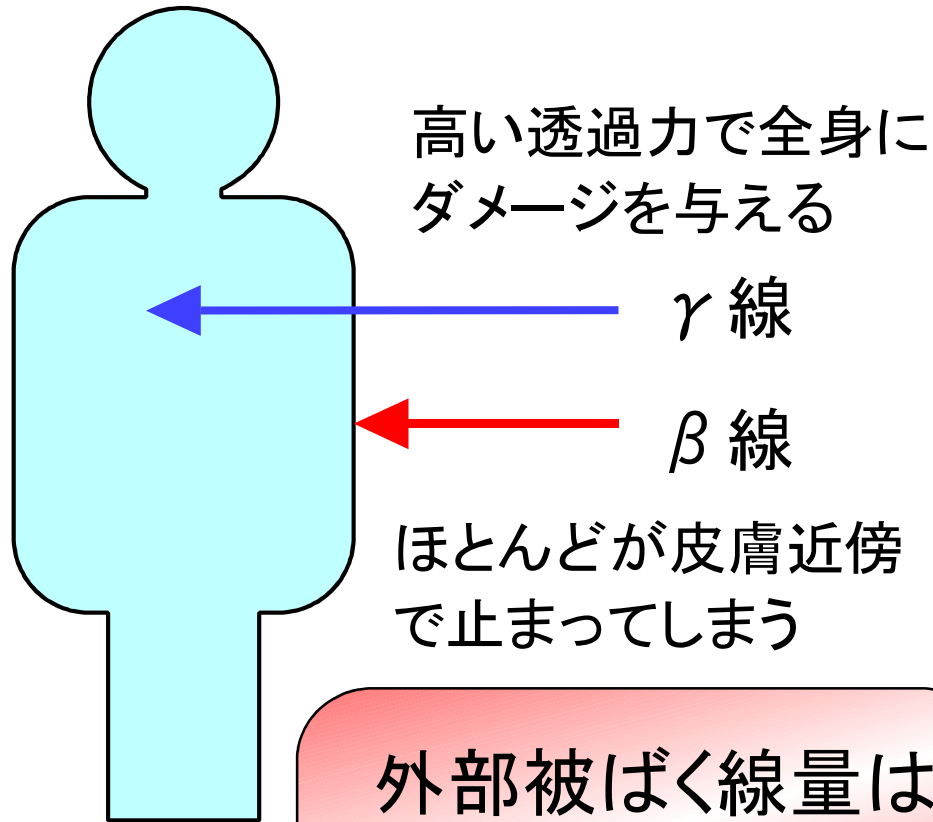
シンチレーターや、Ge半導体検出器

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。

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

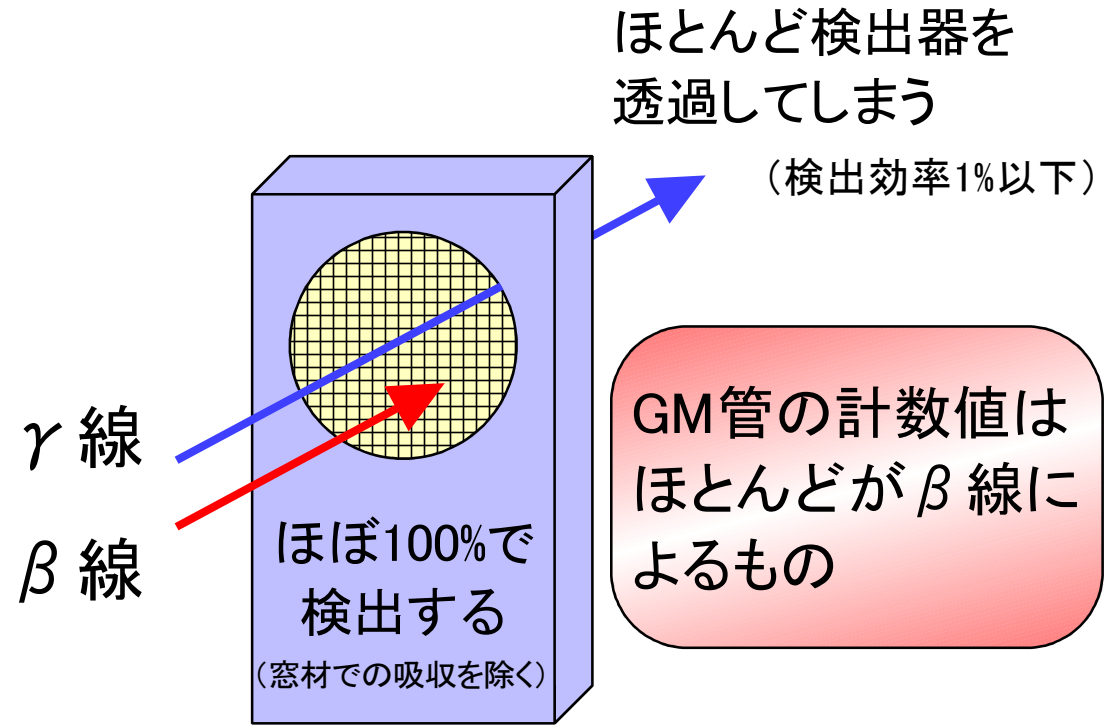


外部被ばく線量は
γ線によるもの

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)



GM管の計数値は
ほとんどがβ線によるもの

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

直接測定法とスミヤ法

- 汚染検査を行いたい場所の空間線量率が高かったり、通常のサーベイメーターでは測定できないトリチウムなどを測定したい場合、その場で対象物を測定する直接測定ではなく、スミヤろ紙で表面をぬぐって、バックグラウンドの低い場所で測定を行う、スミヤ法が用いられる。
- 対象物の表面汚染密度を求める場合には、拭き取る面積と、どの程度の効率で表面の汚染を拭き取ることが出来るかという拭き取り効率を知る必要がある。

Radiation?

空間線量率が問題か、

or

表面汚染が問題か？

Contamination?

非密封の RI を使用する実験で、
GM サーベイメーターや、NaI シンチレーションカウンターなどで
空間線量率を測定して大した値でなければ問題無い、というのは

大間違い!

表面が少しぐらい汚染されていても空間線量率は大して変わらないが、
汚染によって内部被ばくの危険があり、RIを「管理」して使用する施設で
有ってはいけないところに汚染が広がると、大問題!

講義内容

- 放射線とは何か
- 物質と放射線の相互作用
- 放射線の検出
- **天然の放射性核種と半減期**
- 放射線の人体への影響
- 放射線の単位
- 放射線防護
- 量子放射線系専攻について

宇宙からの放射線

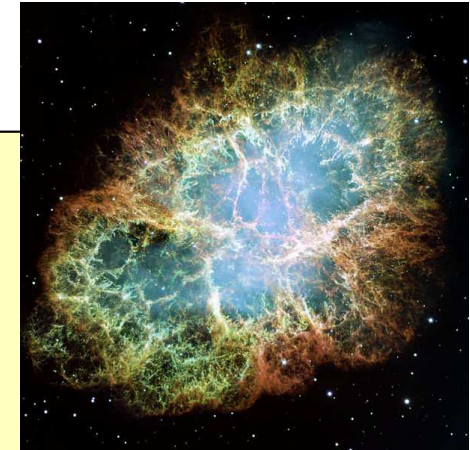
大気で地球上の生物は守られている



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}Bq/y , H-3: 10^{18}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 400km) 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

ウランは地殻中でありふれた元素



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、140kBq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。



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

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 $170\mu\text{Sv}$ 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 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 $800\mu\text{Sv}$ 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 $100\mu\text{Sv}$ 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。

天然の放射性核種

地球が誕生して約50億年、未だに天然の放射性核種が残る。

放射性核種の半減期則より

10半減期の後では元の1024分の1、

40半減期では1兆分の1 となるため、半減期の短い核種は既に消滅している。

壊変系列をつくる放射性核種

親となる核種の寿命が長く (U-238 45億年, Th-232 140億年)、
 α 崩壊に伴って質量数が親核種から4ずつ小さくなる。

系列を作らない核種

大気上層で宇宙線により ^3H (10^{18}Bq/y)、 ^{14}C ($1.3 \times 10^{15}\text{Bq/y}$) が生成される。

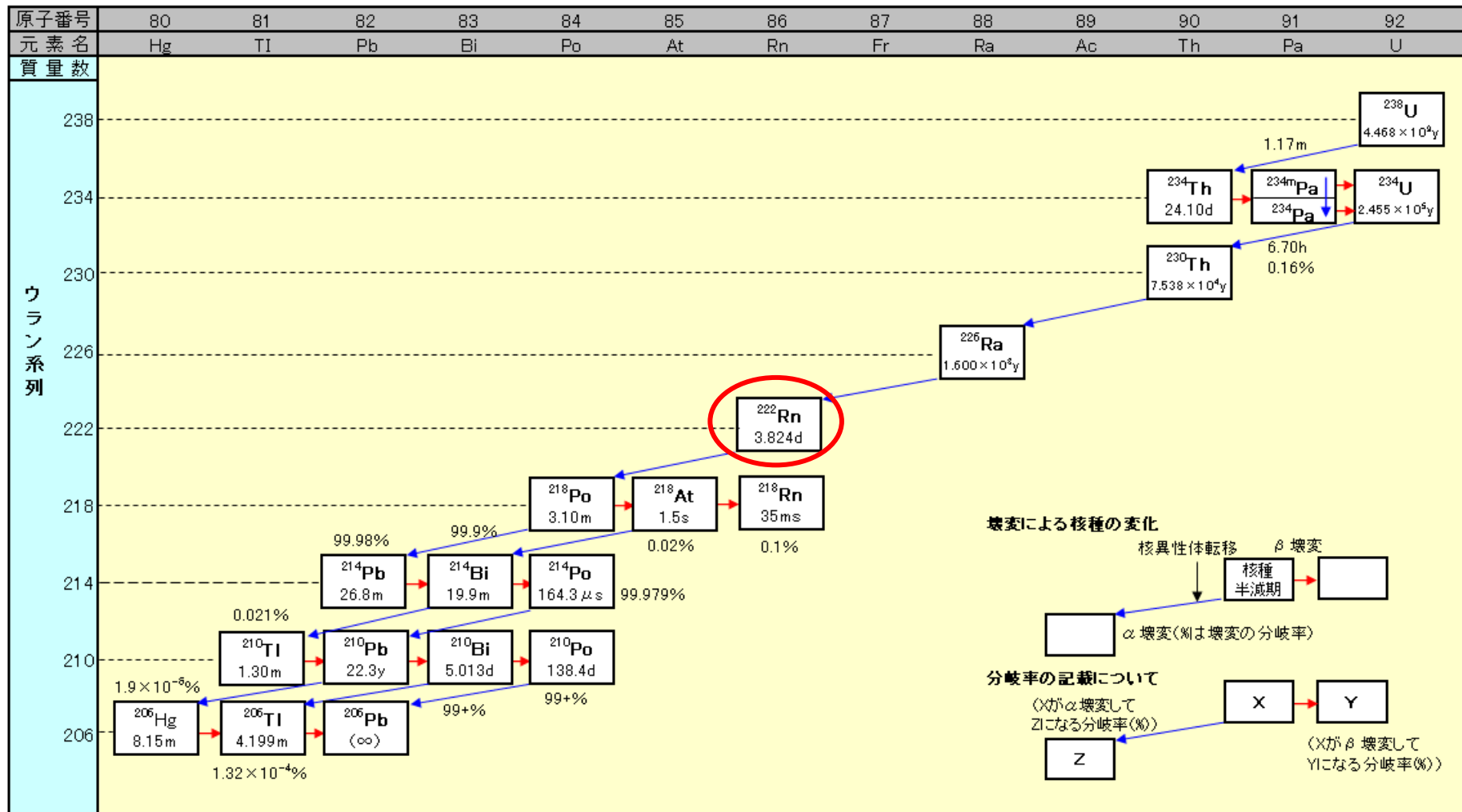
^3H は半減期12.3年、 ^{14}C は5730年と短い。

一方、地球誕生時から存在したものとして以下の核種などが知られている。

^{40}K	(半減期12.8億年, 天然のK中の存在比 0.0117%)、
^{87}Rb	(480億年、27.8%)
^{147}Sm	(1060億年, 15.1%)
^{148}Sm	(8000兆年, 11.3%)
^{115}In	(510兆年, 95.7%)
^{113}Cd	(9000兆年, 12.2%)
^{187}Re	(400億年, 62.6%)
^{144}Nd	(2100兆年, 23.8%)

放射壊変系列 1: ウラン系列 (4n+2)

親核種: U-238

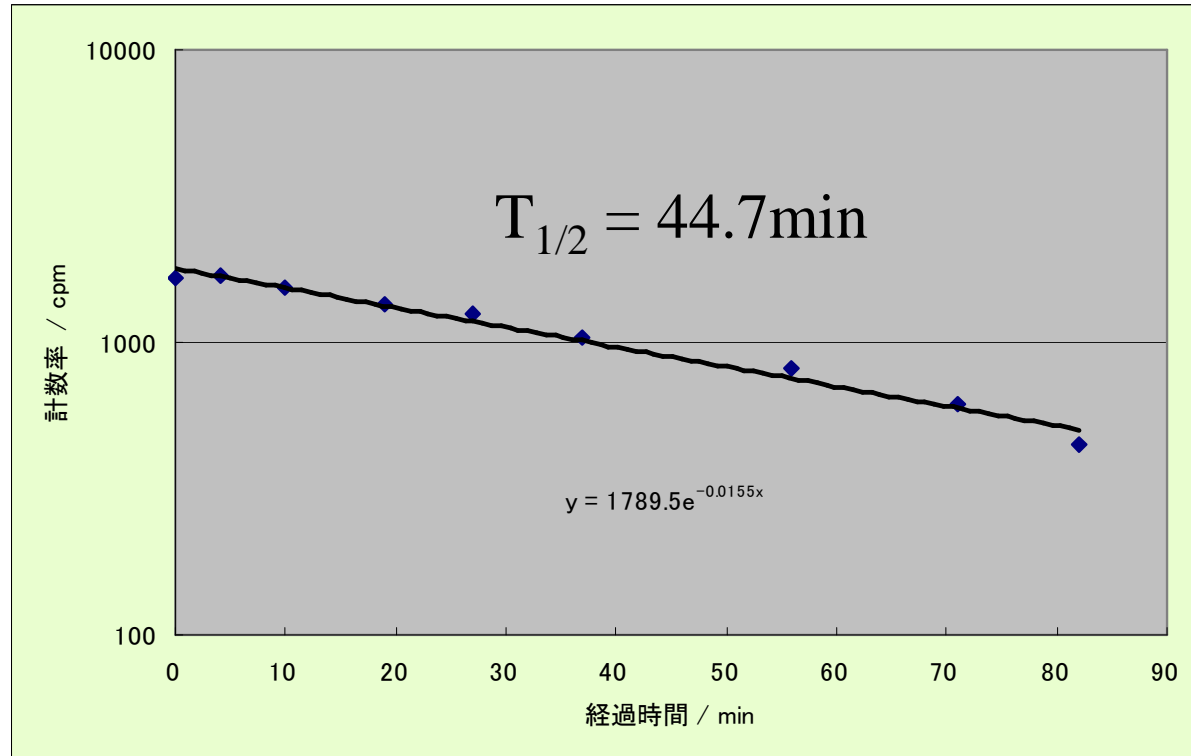


半減期の記号;s(秒), ms(10⁻³秒), μs(10⁻⁶秒), m(分), h(時), d(日), y(年)

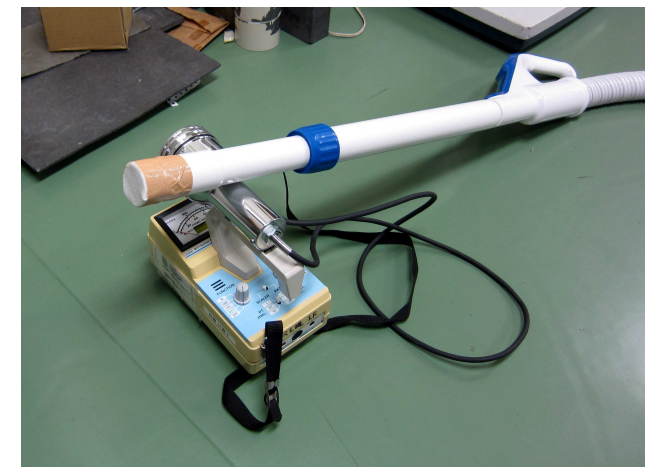
図1-1 天然放射性核種の壊変系列図(ウラン系列)(1/4)

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

空気中のラドンの娘核種の捕集と崩壊曲線



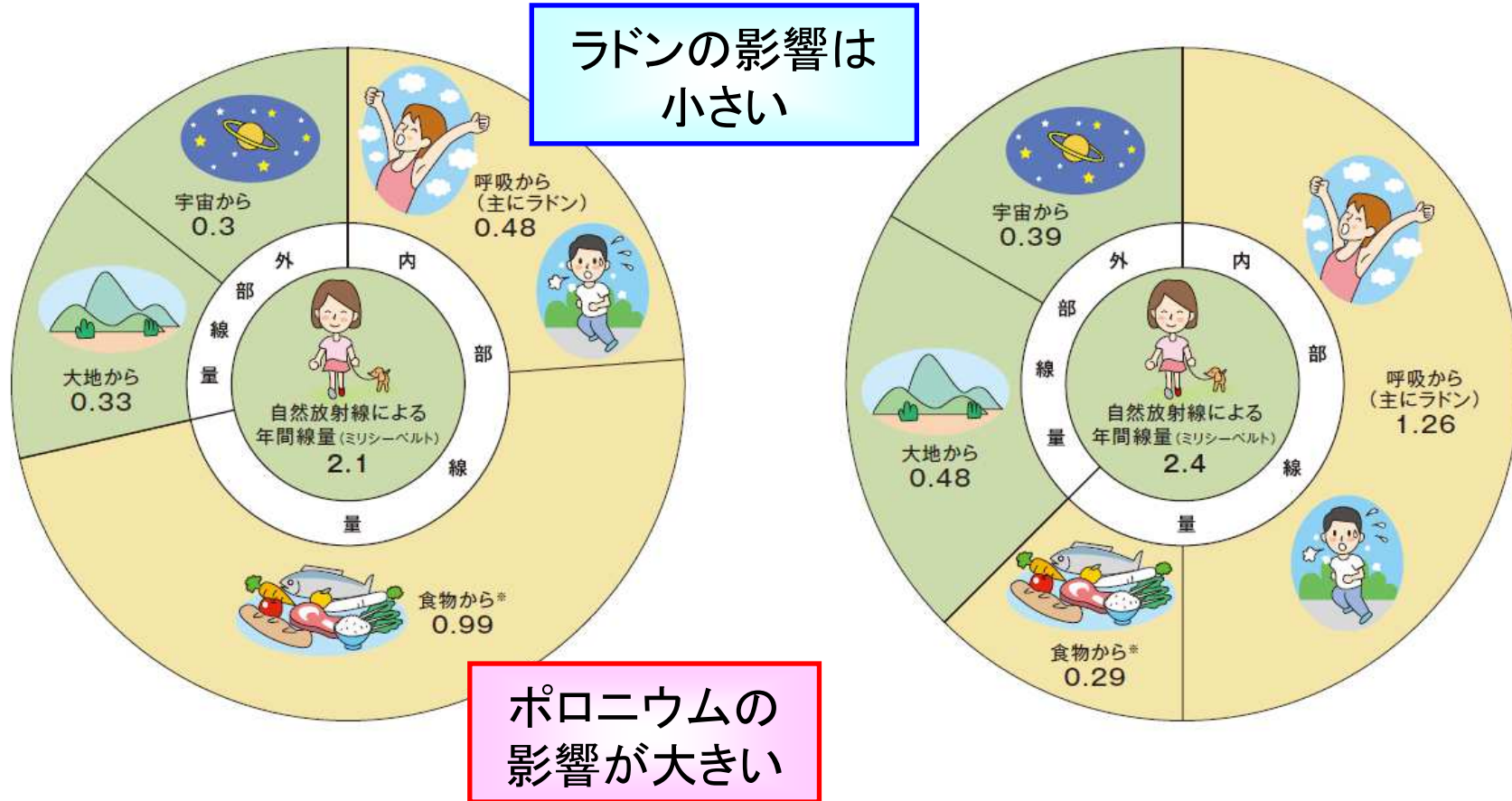
市販の掃除機吸入口先端にガーゼ(ベンコット)をかぶせて5分ほど吸引し、広窓型GMサーベイメータ TGS-136のスケーラーモードで1分間計数した



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)



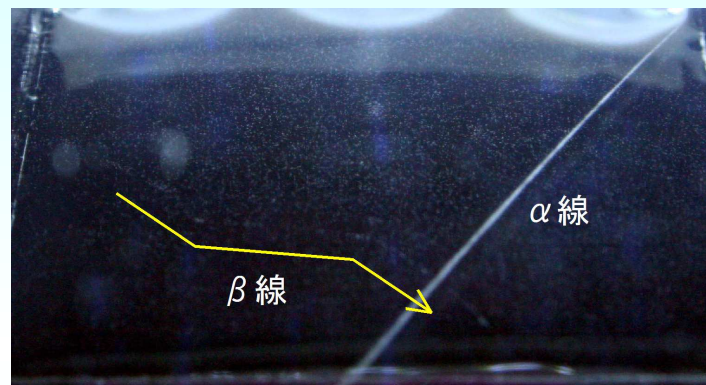
※欧米諸国に比べ、日本人は魚介類の摂取量が多く、ポロニウム210による実効線量が多い

放射線加重係数の説明

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

→ α 線: **20**, β 、 γ 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 μ Sv/年

β ・ γ 線のみ

Po-210: 20Bq

800 μ Sv/年

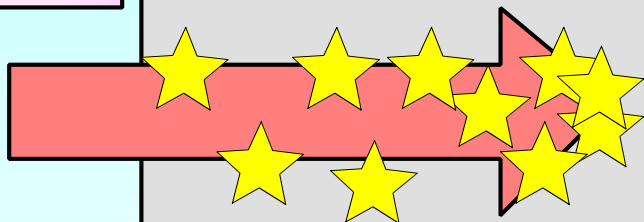
α 線を放出

空気中のラドントロンも α 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

α 線

水中での最大飛程: $50 \mu\text{m}$ 程

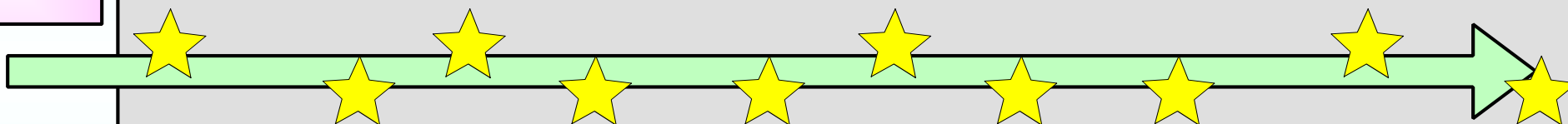


狭い範囲に一気に
エネルギーを放出する

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



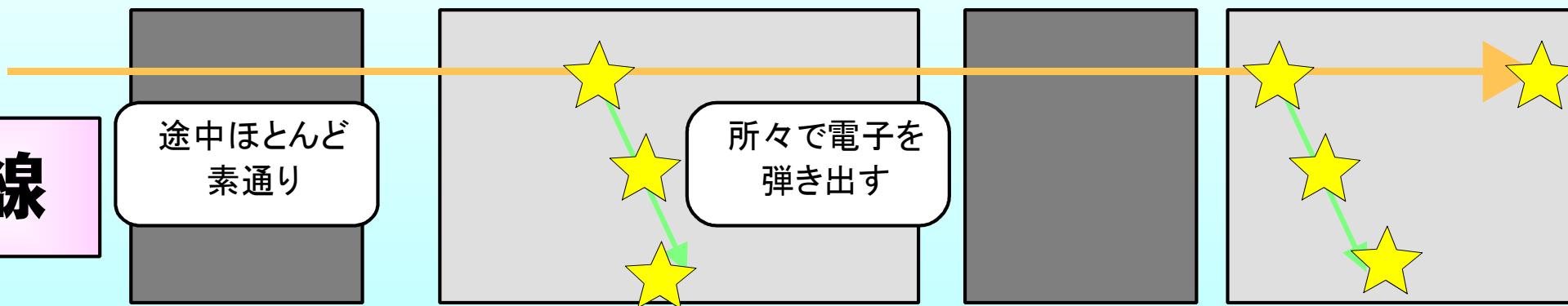
所々にぽつぽつとエネルギーを落とす

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

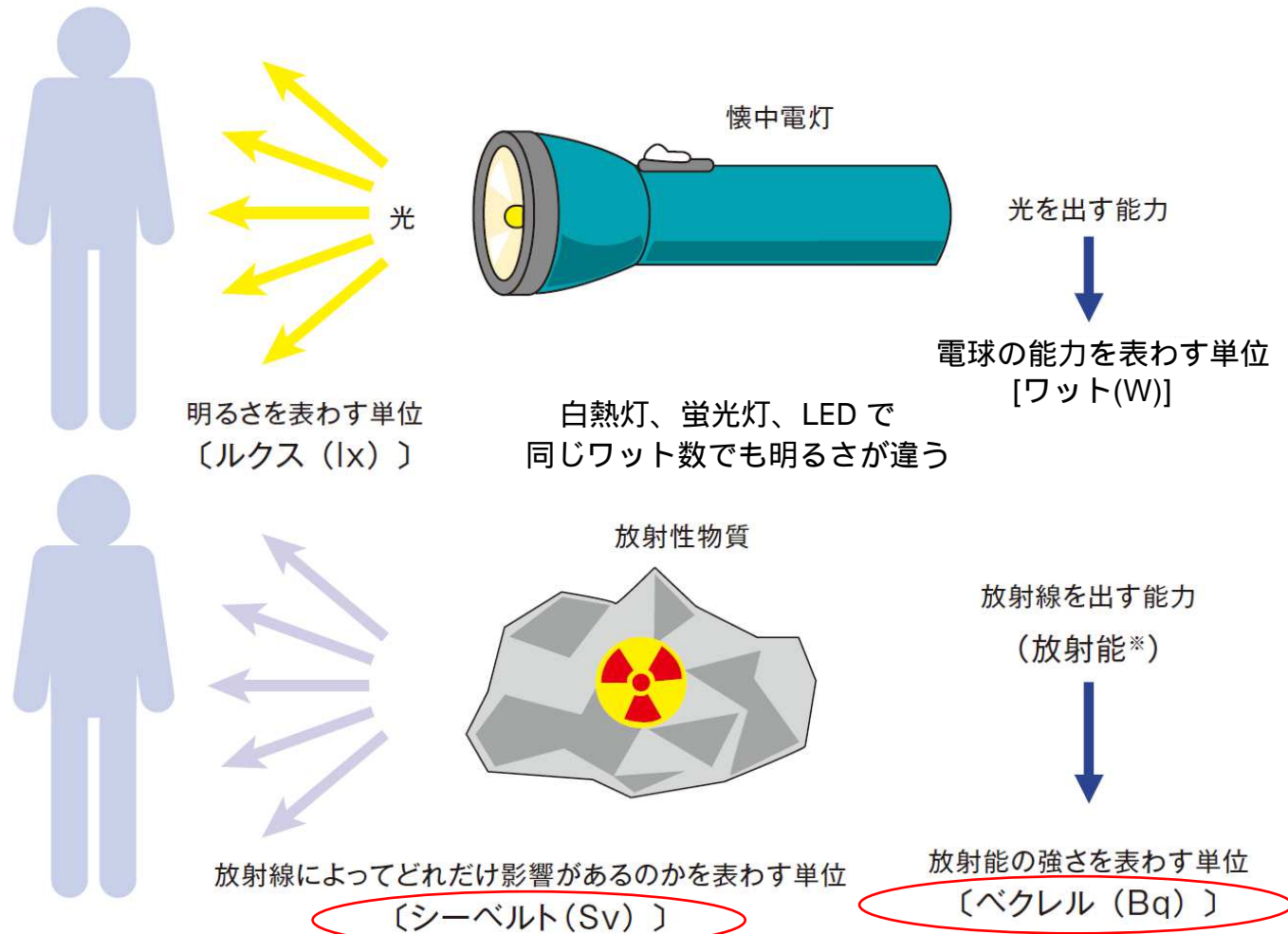
γ 線

途中ほとんど
素通り

所々で電子を
弾き出す



放射能と放射線



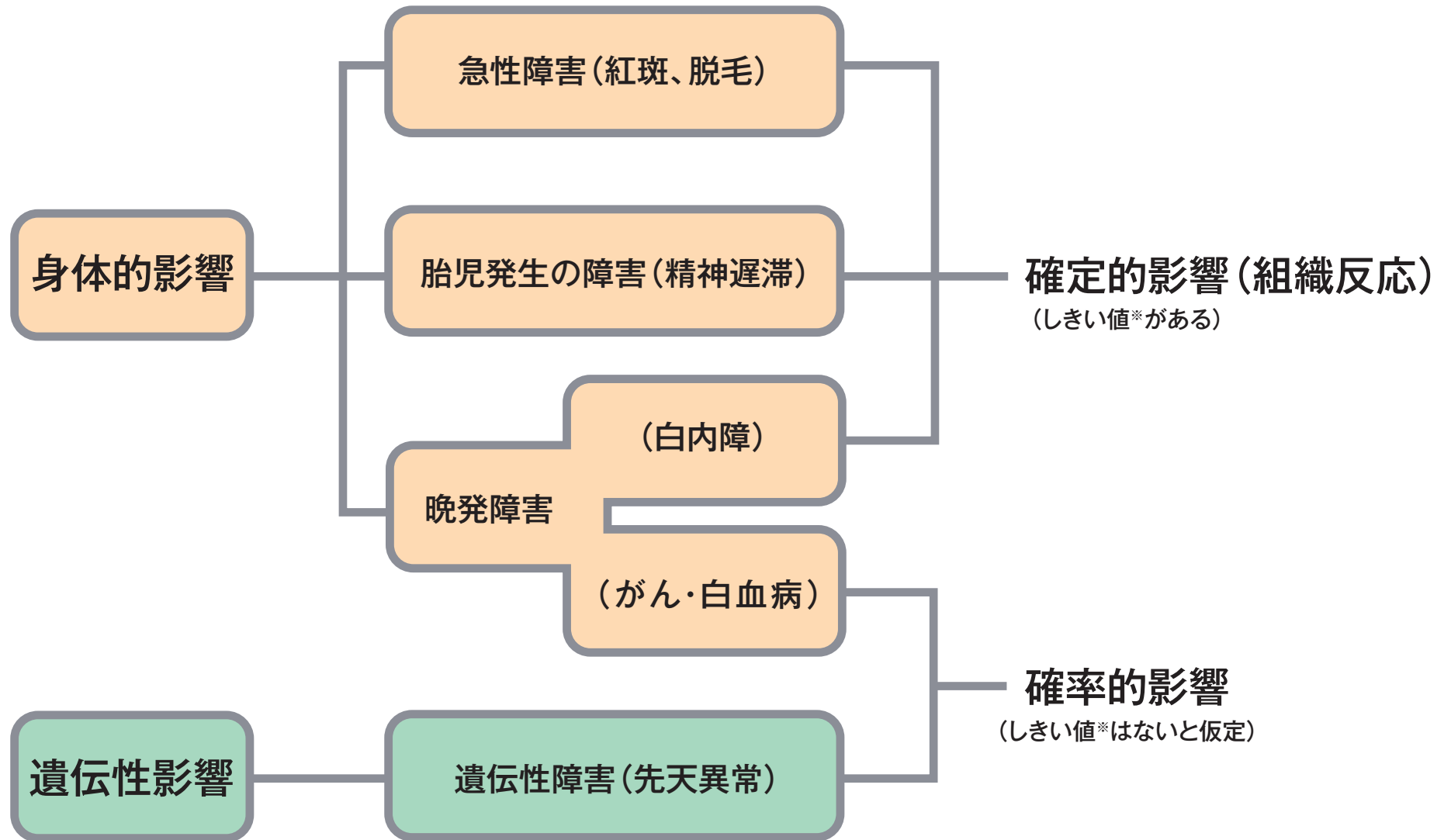
※放射能を持つ物質(放射性物質)のことを指して用いられる場合もある

核種によって同じベクレル数でも
人体に対する影響が違う

講義内容

- 放射線とは何か
- 物質と放射線の相互作用
- 放射線の検出
- 天然の放射性核種と半減期
- **放射線の人体への影響**
- 放射線の単位
- 放射線防護
- 量子放射線系専攻について

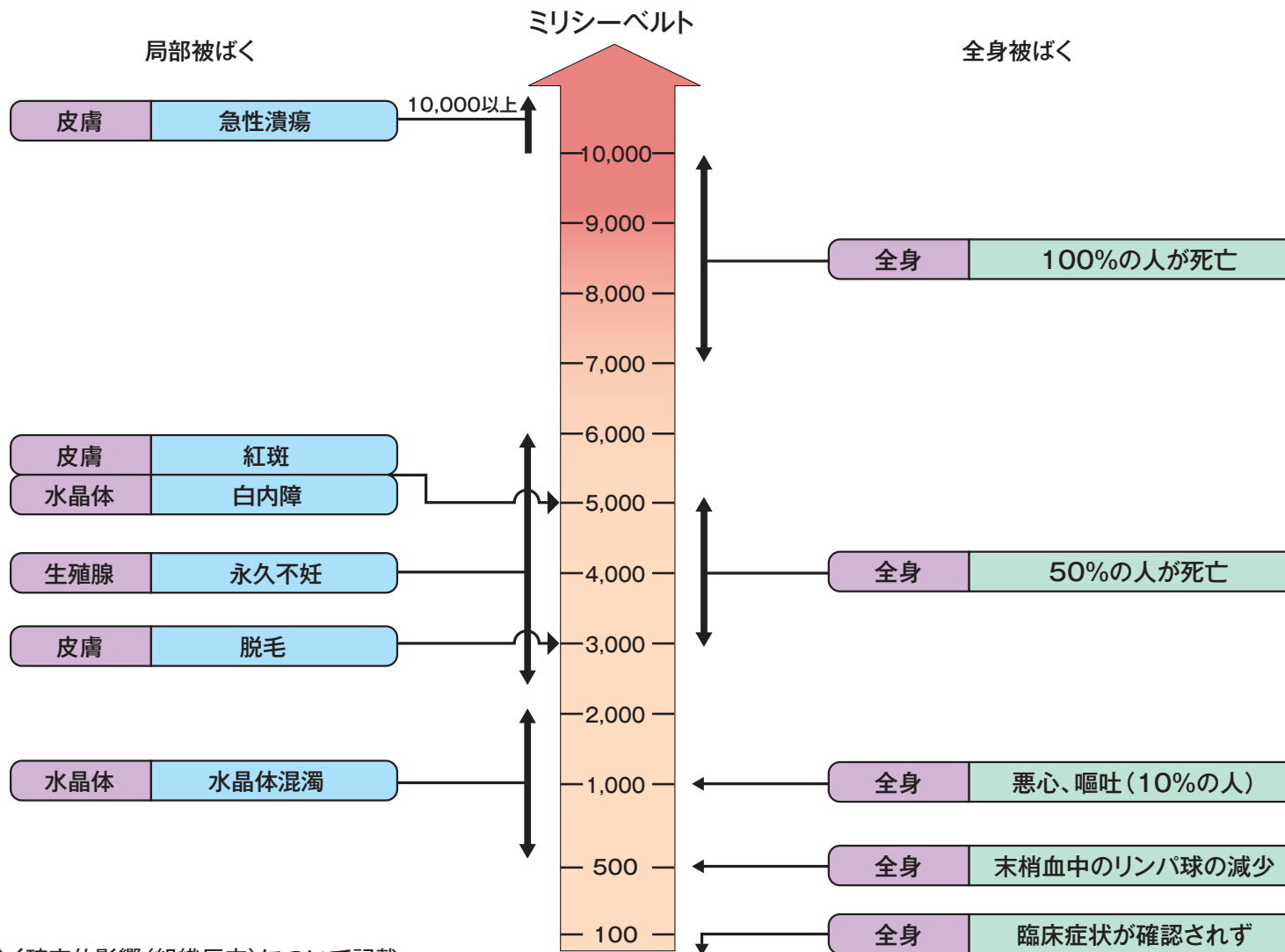
放射線の人体への影響



※しきい値:ある作用が反応を起こすか起こさないかの境の値のこと

放射線を一度に受けたときの症状

凡例 部位 症状



(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

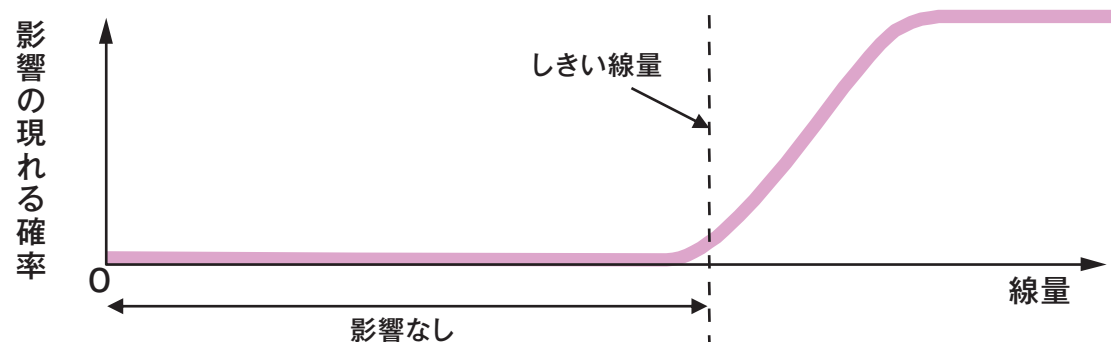
(注2) 一般の人の線量限度1.0 mSv/年、原子力発電所周辺の線量目標0.05 mSv/年

放射線防護の考え方

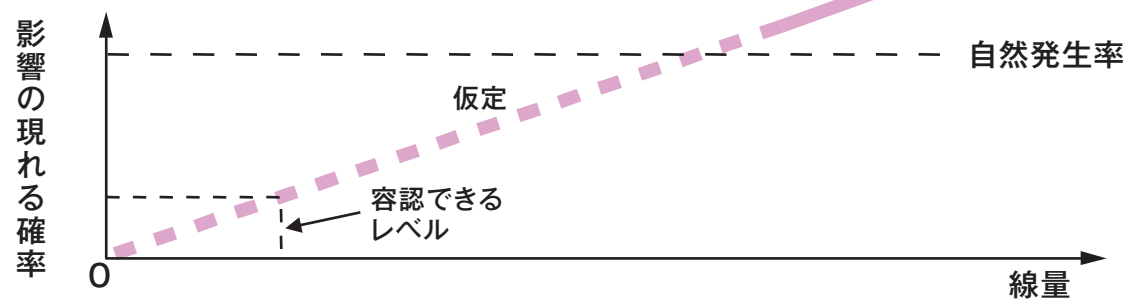
確定的影響（組織反応）は、しきい線量※以下に抑えることで影響をなくす。

確率的影響は、しきい線量は無いと仮定し、影響の現れる確率が容認できるレベル以下の線量に抑える。

〔確定的影響（組織反応）：脱毛・白内障等〕

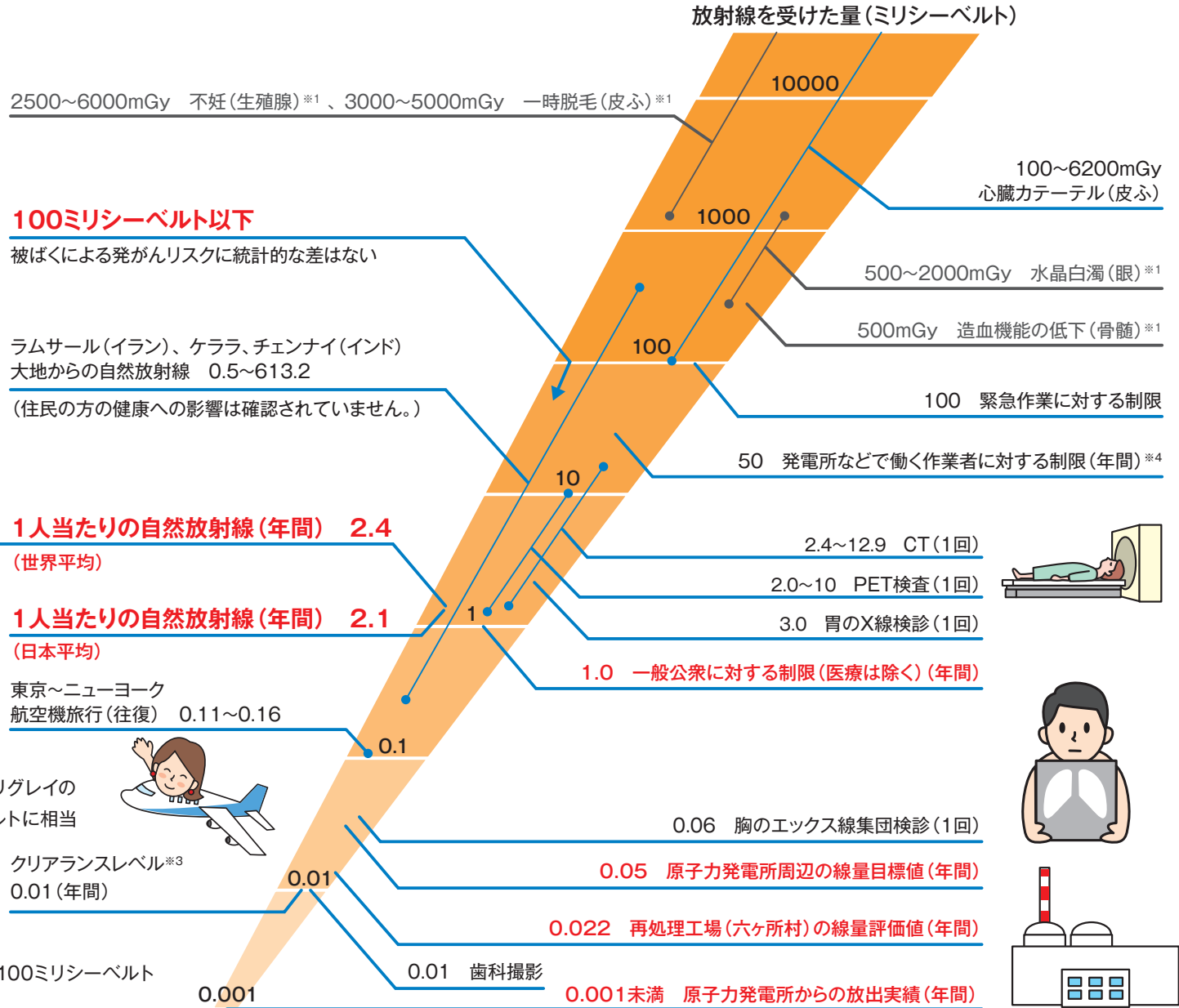
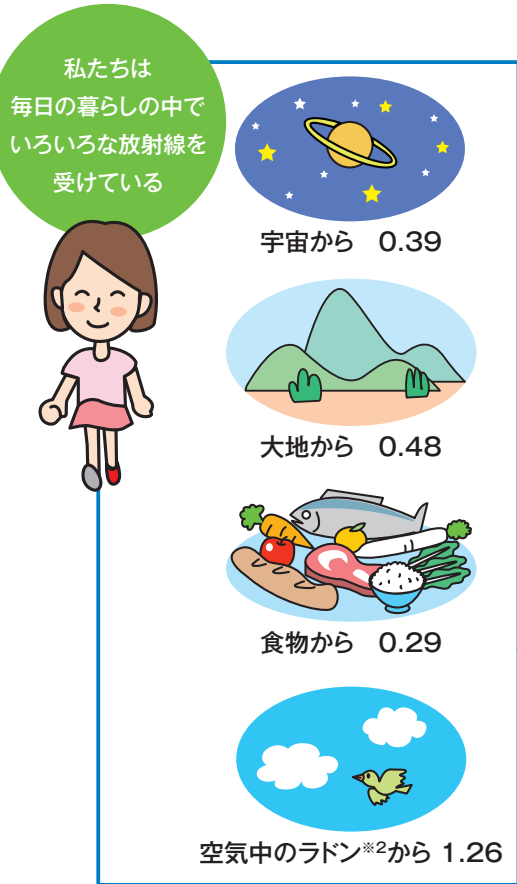


〔確率的影響：がん・白血病等〕



※しきい線量：ある作用が反応を起こすか起こさないかの境の値のこと

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

ICRPの放射線防護体系

国際放射線防護委員会 ICRP の勧告

放射線防護の基準を決める三つの原則

正当化 Justification

リスクを上回る利益がなければならない

防護の最適化 Optimization

できるだけ被ばくを抑える(経済、社会的な要因の考慮)

ALARA(as low as reasonably achievable)の原則

線量限度 Dose Limit

線量限度を超えてはならない(緊急時と医療を除く)

線量限度について

区分		実効線量限度(全身)	等価線量限度(組織・臓器)
放射線業務従事者	平常時	100mSv/5年 ^{※1} 50mSv/年 ^{※2} 女子 5mSv/3月間 ^{※3} 妊娠中の女子 1mSv (出産までの間の内部被ばく)	眼の水晶体 150mSv/年 ^{※2} 皮膚 500mSv/年 ^{※2} 妊娠中の女子 2mSv (出産までの間の腹部表面)
	緊急時	100mSv ^{※4}	眼の水晶体 300mSv 皮膚 1Sv ^{※5}
一般公衆	平常時	1mSv/年 ^{※2}	眼の水晶体 15mSv/年 ^{※2} 皮膚 50mSv/年 ^{※2}

(注) 上記表の数値は、外部被ばくと内部被ばくの合計線量
自然放射線による被ばくと医療行為による被ばくは含まない

※1 平成13年4月1日以後5年ごとに区分

※2 4月1日を始期とする1年間

※3 4月1日、7月1日、10月1日、1月1日を始期とする各3月間

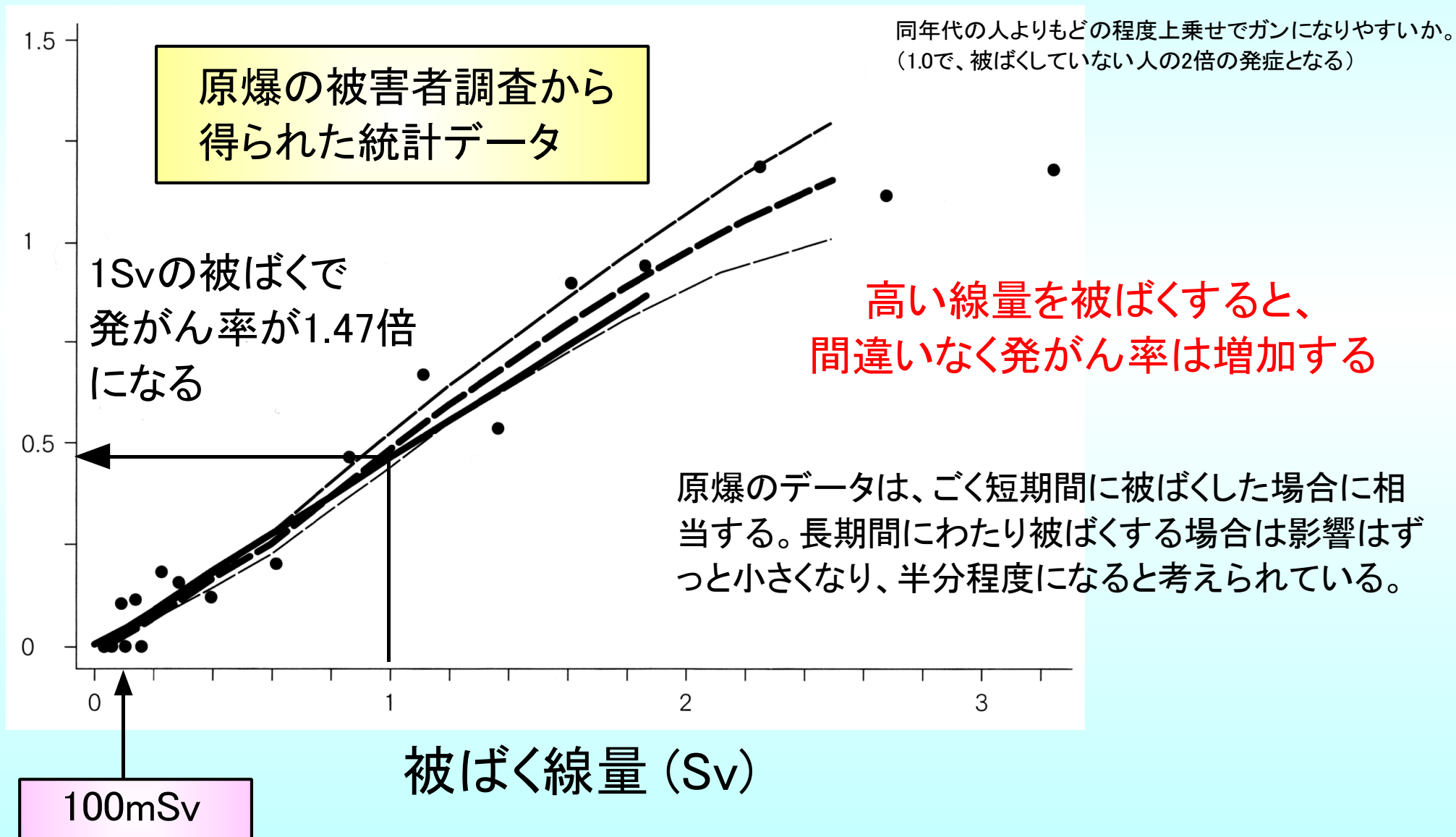
※4 平成23年3月14日に福島第一原子力発電所の緊急作業に従事する者は、250mSvに引き上げられた(平成23年12月16日廃止)

※5 1Sv(シーベルト) = 1,000 mSv(ミリシーベルト) = 1,000,000 μSv(マイクロシーベルト)

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

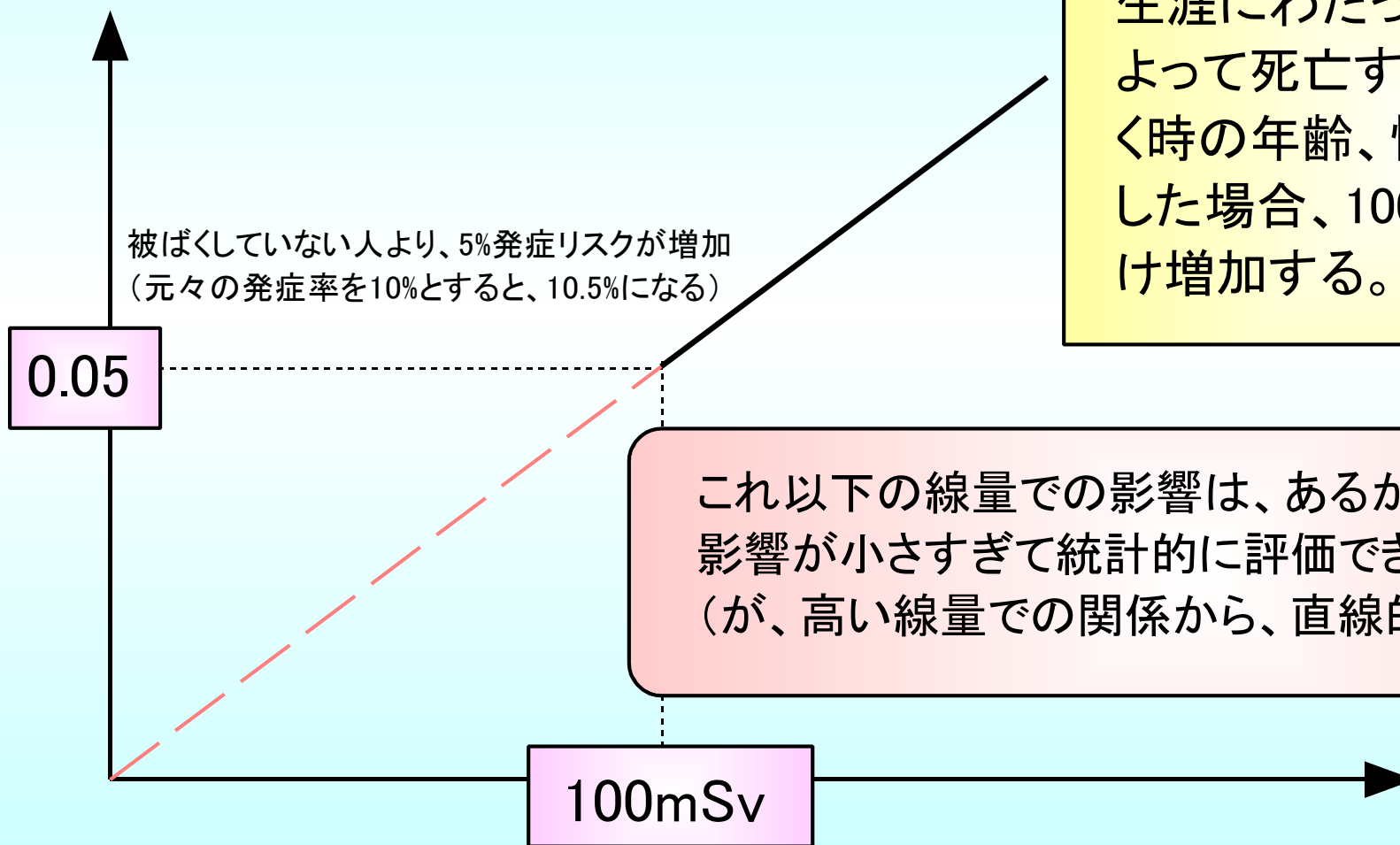
固形ガン発症の過剰相対リスク



低線量放射線の影響はどのぐらいなの？

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

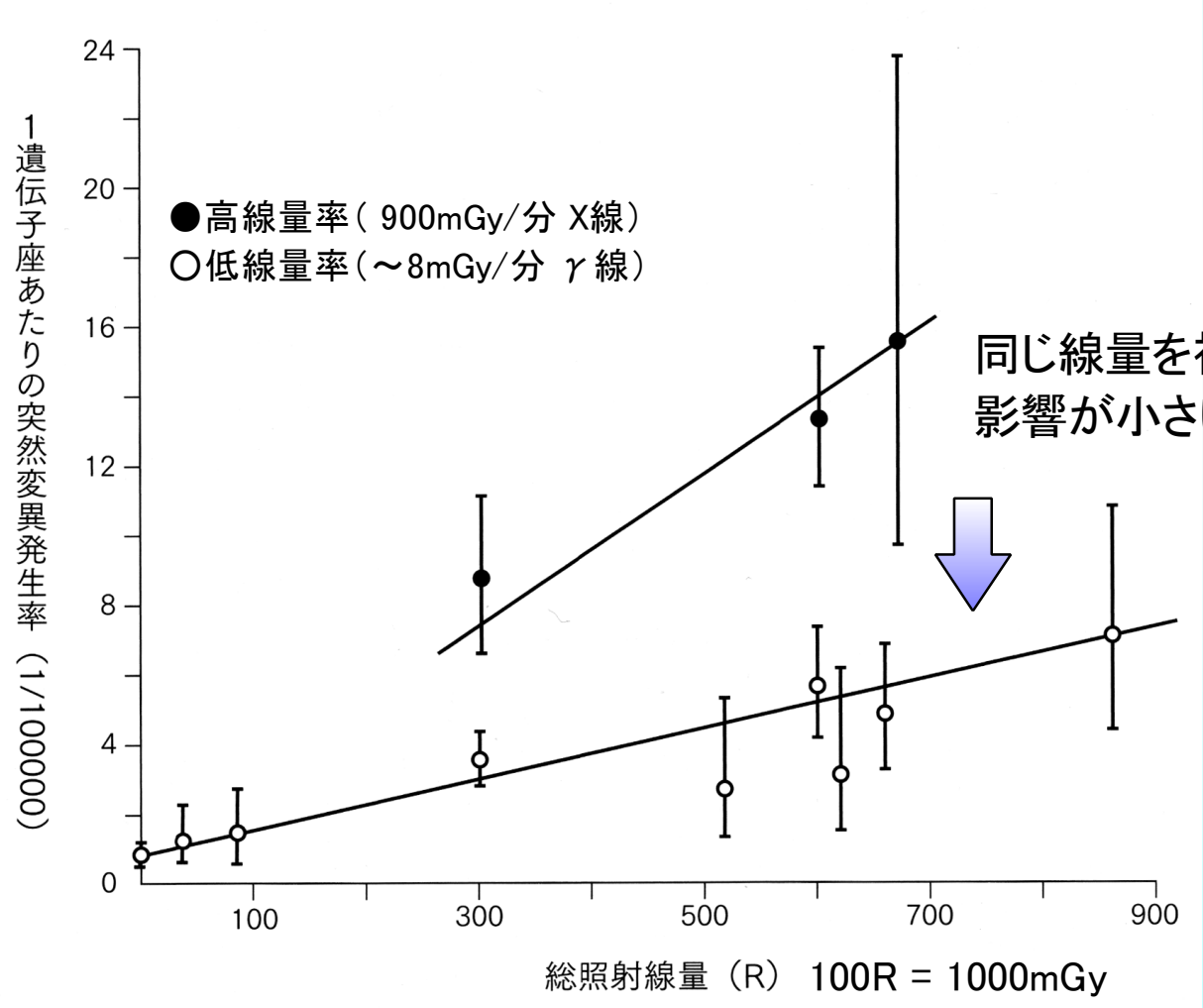


生涯にわたってどこかでガンによって死亡するリスクは、被ばく時の年齢、性別などを平均化した場合、100mSvで0.5%だけ増加する。

これ以下の線量での影響は、あるかも知れないが、影響が小さすぎて統計的に評価できない。
(が、高い線量での関係から、直線的だと推定)

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、
時間をかけた方が影響は少ない



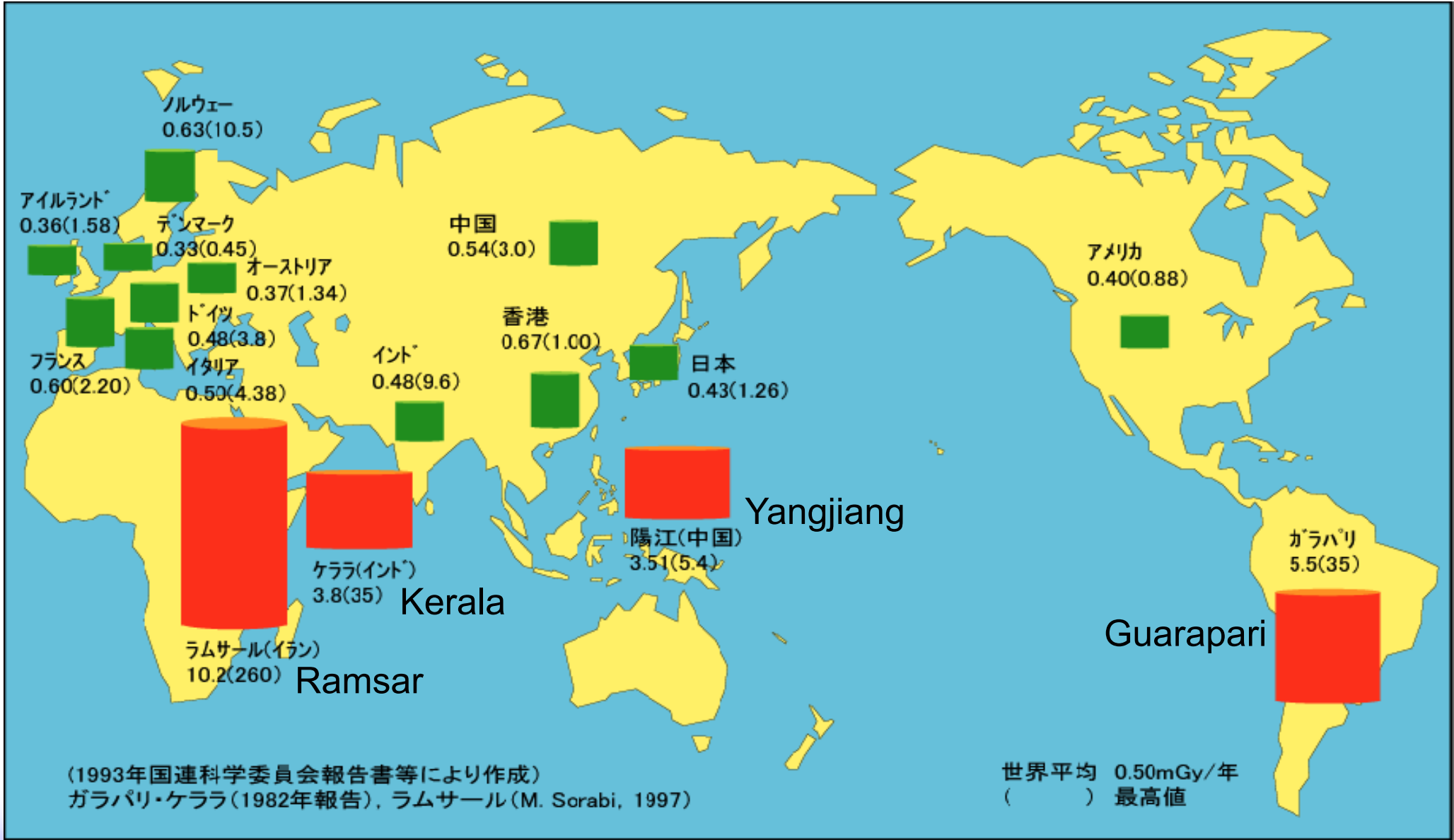
1950年代に行われた、700万匹にも及ぶマウスを用いた、「メガマウスプロジェクト」からのデータ。

同じ線量を被ばくしても、
影響が小さい

細胞にはDNAを修復する力があるが、一気に被ばくすると修復が間に合わない。

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)

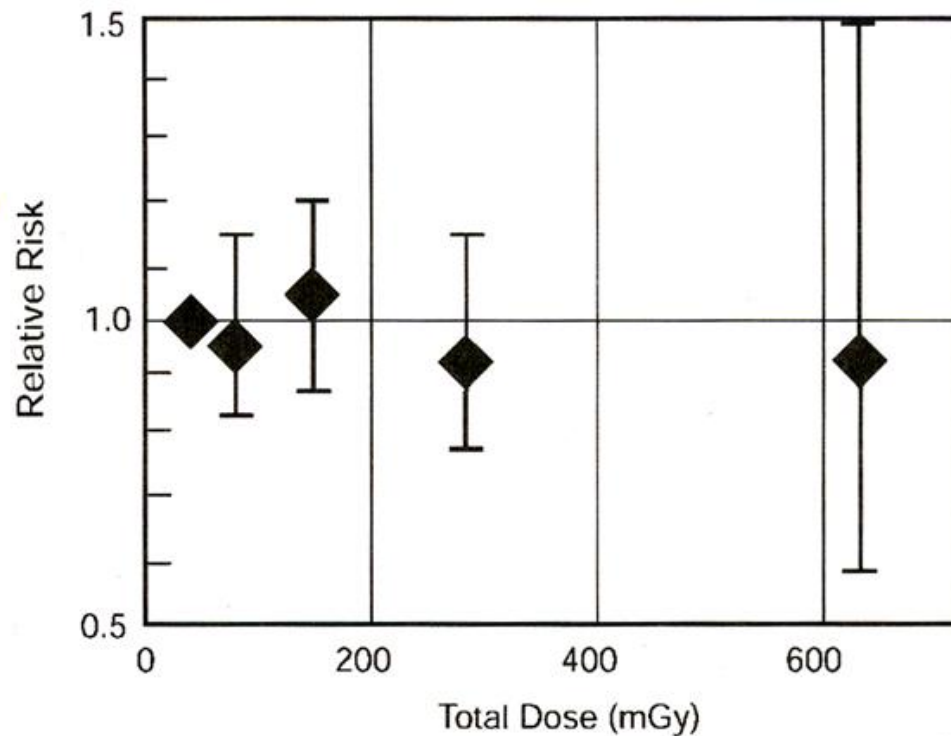
世界の自然放射線



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

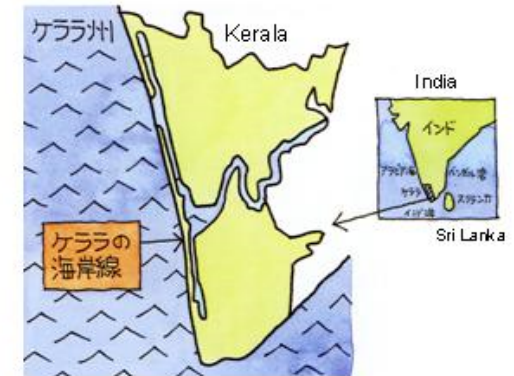
全がん(白血病を除く)の相対リスク



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

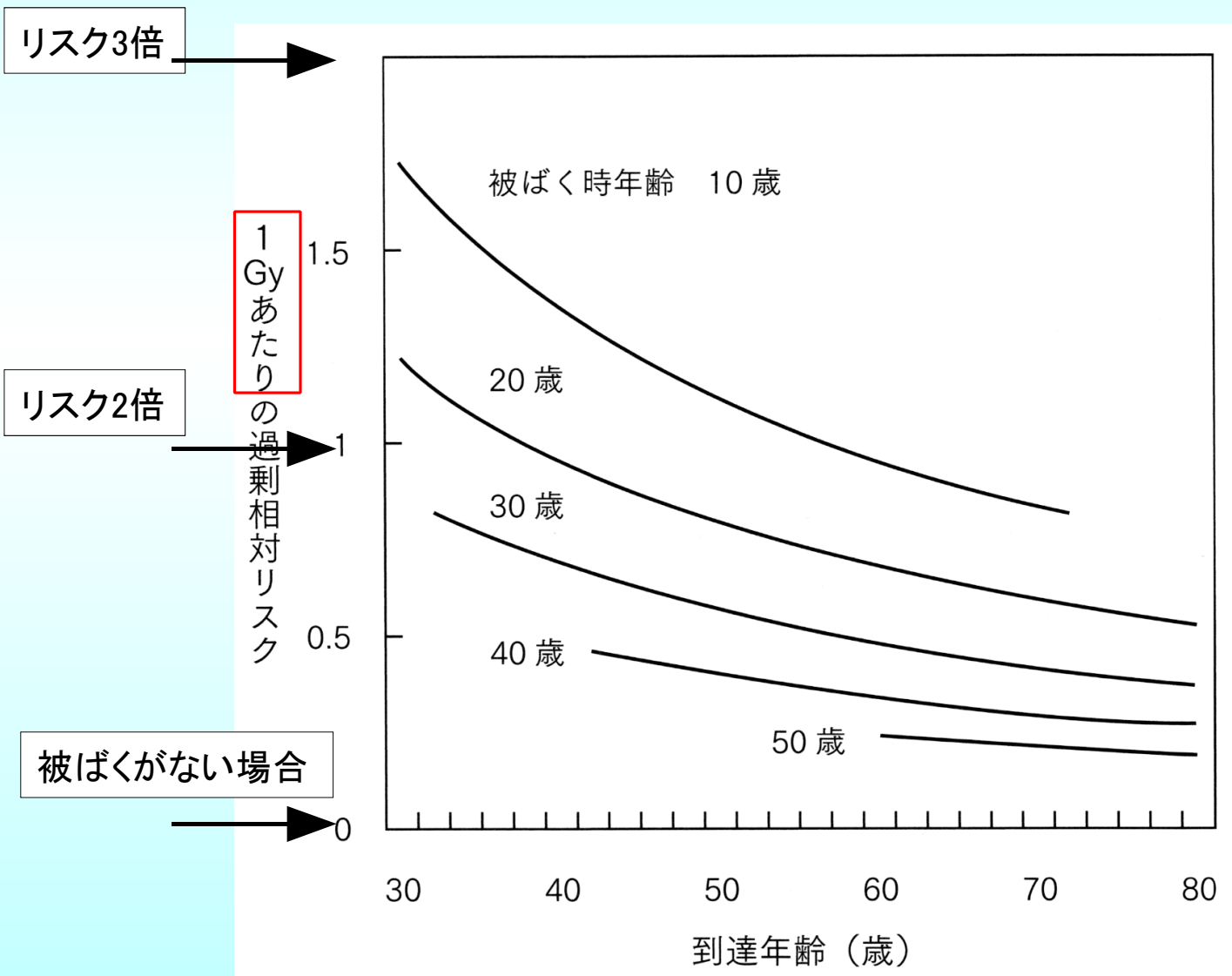


(「世界の大地放射線」放射線照射利用促進協議会)

(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



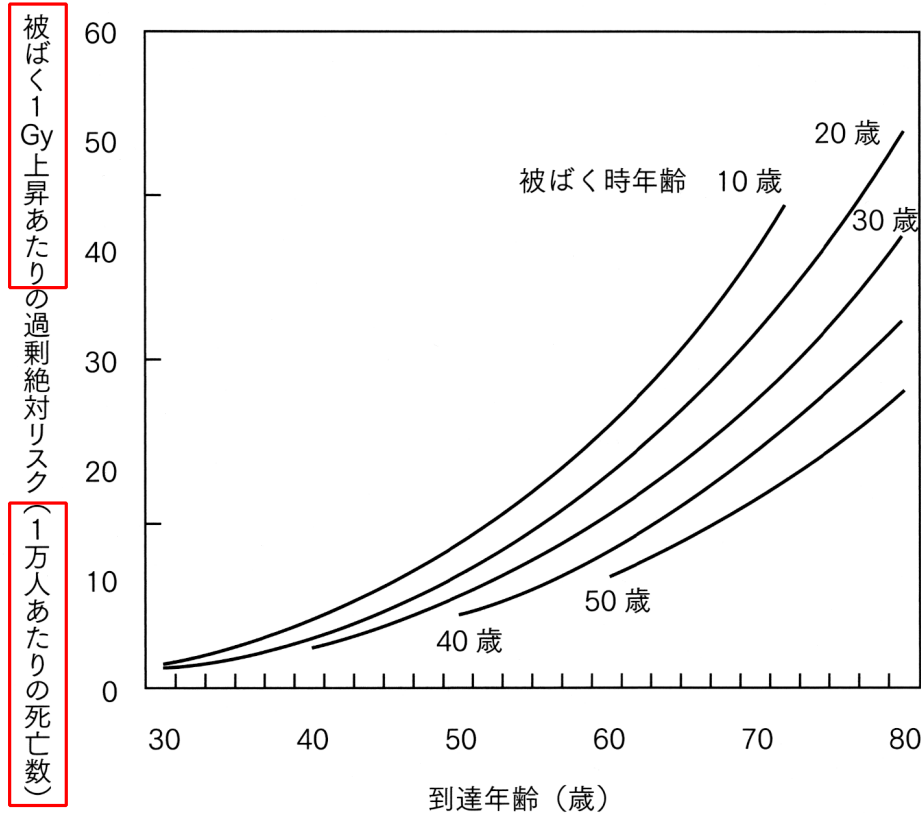
1000mGy 被ばくした場合のガンによる過剰相対死亡リスクを、被ばく時の年齢、およびその後生存していった場合の各年齢で整理したグラフ。

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。

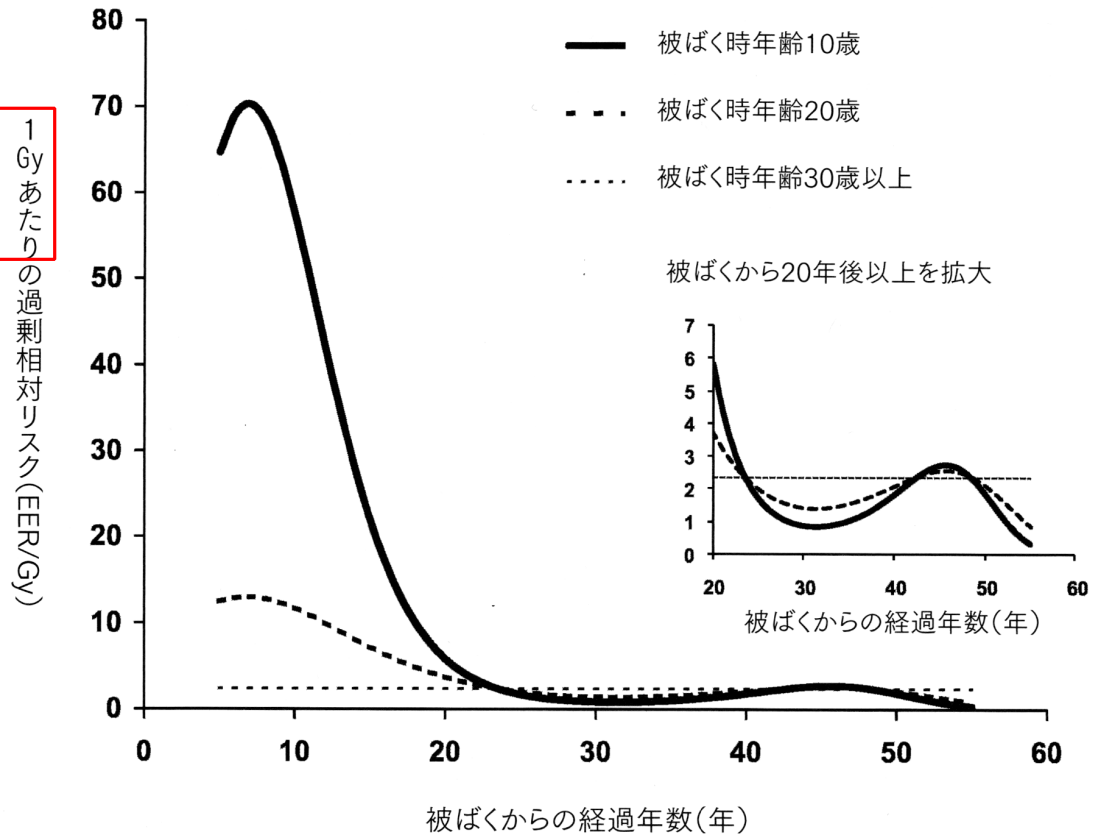
子供は被ばくの影響が大きいんじゃないの？

原爆被爆者の被ばく時年齢による
全固形ガンによる過剰死亡絶対リスクの比較



絶対的な死亡者数は、高齢になってからの方が多い。
ただし、被ばく年齢が低いほどその後も継続的に高い。

白血病の死亡過剰相対リスク



子供が被ばくした場合の白血病による死亡相対リスクは非常に高い。
ただし、そもそも白血病による死亡者は固形ガンの1/40以下で、
20歳程度までの若年時の死亡率は非常に低い(10万人中1人程度)。

講義内容

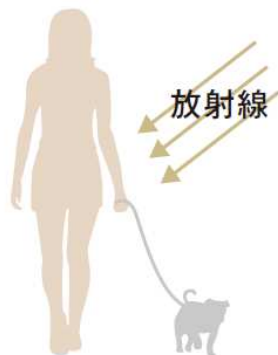
- 放射線とは何か
- 物質と放射線の相互作用
- 放射線の検出
- 天然の放射性核種と半減期
- 放射線の人体への影響
- **放射線の単位**
- 放射線防護
- 量子放射線系専攻について

この場合は実効線量を表わす

グレイとシーベルトの関係

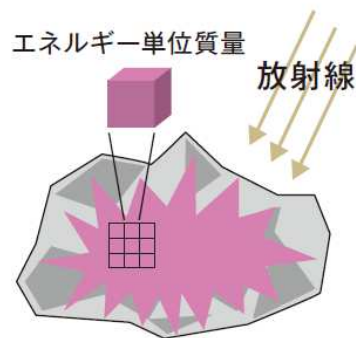
$$\text{シーベルトの値} = \text{グレイの値} \times \text{放射線加重係数}^{\ast 1} \times \text{組織加重係数}^{\ast 2}$$

シーベルトにも色々あることに注意!



シーベルト (Sv)

放射線が人に対して、がんや遺伝性影響のリスクをどれくらい与えるのかを評価するための単位
(1シーベルト=1000ミリシーベルト)



グレイ (Gy)

放射線が物や人に当たったときに、どれくらいのエネルギーを与えたのかを表す単位
1グレイは1キログラムあたり1ジュールのエネルギー吸収があったときの線量

◆放射線加重係数

放射線の種類	放射線加重係数
光子(ガンマ線、エックス線)	1
電子(ベータ線)	1
陽子	2
アルファ粒子、核分裂片、重い原子核	20
中性子線	2.5 ~ 20 (エネルギーの連続関数で設定)

◆組織加重係数

組織・臓器	組織加重係数	組織・臓器	組織加重係数
乳房	0.12	食道	0.04
赤色骨髄	0.12	甲状腺	0.04
結腸	0.12	唾液腺	0.01
肺	0.12	皮膚	0.01
胃	0.12	骨表面	0.01
生殖腺	0.08	脳	0.01
膀胱	0.04	残りの組織・臓器	0.12
肝臓	0.04		

- ※1 放射線の種類による影響の違いを表す
 ※2 臓器等の組織別の影響の受けやすさを表す

被ばく管理に用いられる量(防護量)

等価線量 equivalent dose, Sv

放射線加重係数 × 吸収線量(Gy) (組織、臓器で平均)

放射線加重係数: (≠生物学的効果比 RBE、線質係数→空間のある一点)

X線、 γ 線、電子線 → 1

中性子 → 5~20(エネルギーにより異なる)

α 線、重イオン → 20

実効線量 effective dose, Sv

組織加重係数 × 等価線量(Sv)

組織加重係数: 全身被ばくの場合を1とし、

各組織単体での被ばくの影響を相対評価

被ばく管理に用いられる量(実用量)

等価線量や実効線量は実際には
直接測定することが出来ない

周辺線量当量 ambient dose equivalent, Sv

ある放射線場の中に置いたICRU球の深さ 1cm, 70 μ m での
線量当量 → 1cm線量当量、70 μ m線量当量

線量当量(Sv) = **線質係数** × 吸収線量(Gy) (空間の一点)

線質係数: 放射線の水中における衝突阻止能
= 線エネルギー付与 LTE の関数

被ばく管理に用いられる量(外部被ばく)

実効線量率定数 Γ effective dose rate constant,
 $\text{mSv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$

γ 線源 実効線量率定数 Γ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	^{241}Am	^{137}Cs	^{192}Ir	^{226}Ra	^{60}Co
	0.00576	0.0779	0.117	0.217 娘核種を含む	0.305

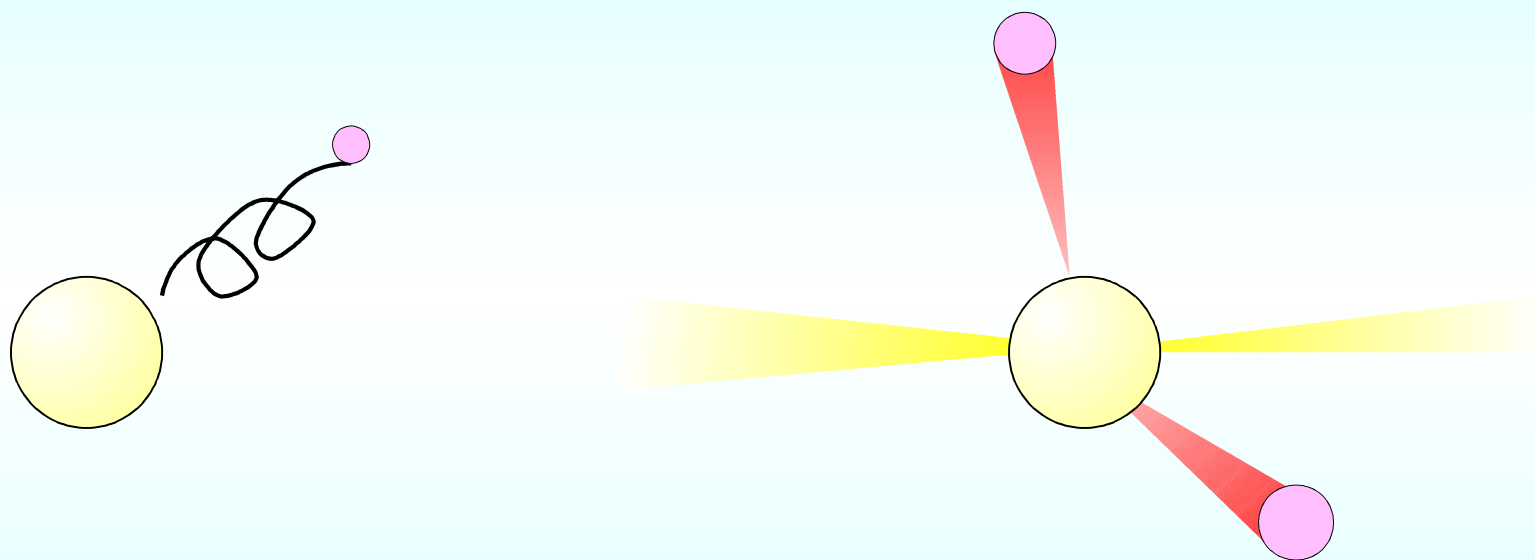
実効線量率定数が Γ である核種の放射能を Q (MBq)としたとき、距離 r (m) における実効線量率 \dot{E} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) を以下の様に求められる。

$$\dot{E} = \Gamma \times Q / r^2$$

Γ は、線源が放出する γ 線のエネルギー、本数、放出確率を加味している。
 γ 線のエネルギーと線束が求めれば実効線量率は一義的に求められる。
Bq とは、一秒間の壊変数であり放射線の放出回数ではないことに注意。

核種による違い

同じ 1 Bq でも核種によって人体に与える影響 (Sv)
は全く異なる!



1Bq とは、ある核種が1秒間に1回別の核種に壊変する、という量で、核種によって放出する放射線の種類(α 、 β 、 γ)、エネルギー、本数が異なり、さらにそれぞれの放射線を放出する確率も異なっている。

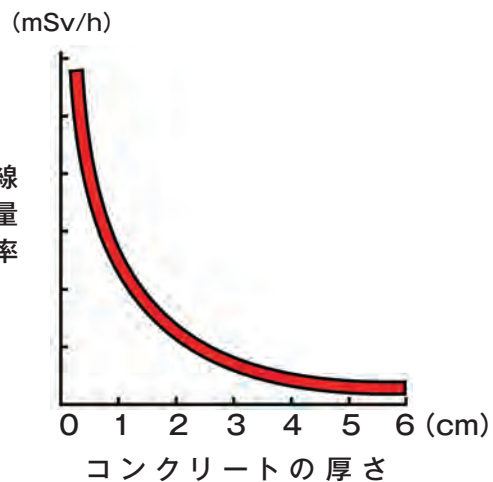
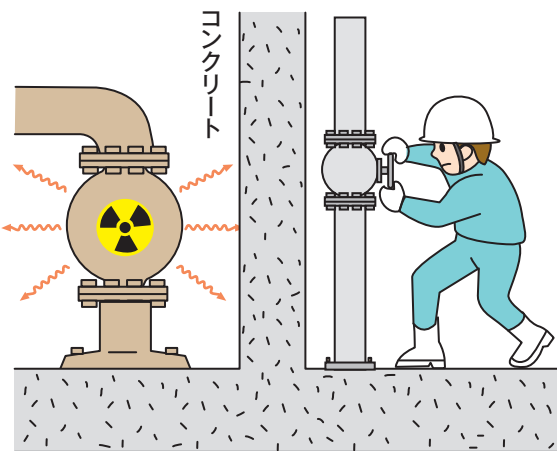
講義内容

- 放射線とは何か
- 物質と放射線の相互作用
- 放射線の検出
- 天然の放射性核種と半減期
- 放射線の人体への影響
- 放射線の単位
- **放射線防護**
- 量子放射線系専攻について

放射線防護の基本

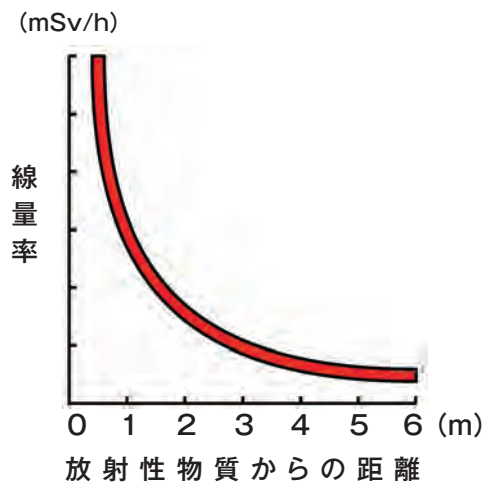
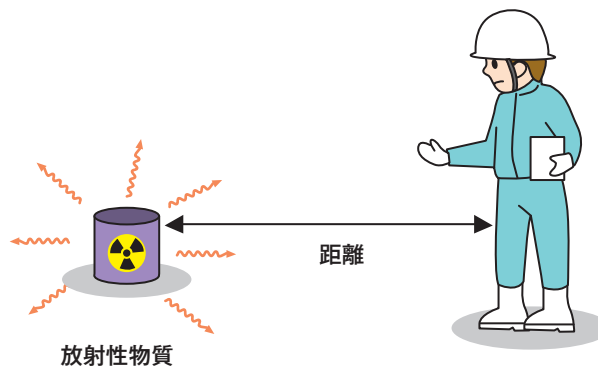
1. 遮へいによる防護

(線量率) = 遮へい体が厚い程低下



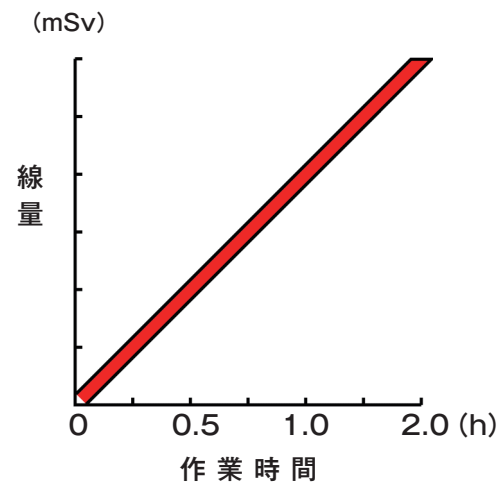
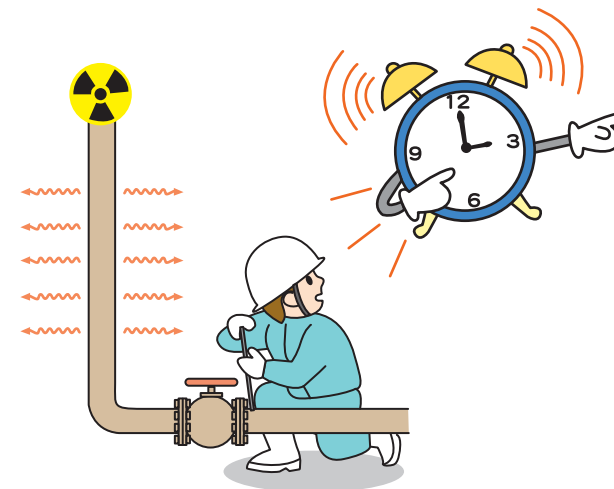
2. 距離による防護

(線量率) = 距離の二乗に反比例



3. 時間による防護

(線量) = (作業場所の線量率) × (作業時間)



RI取扱時の遮蔽



鉛ブロック



鉛ガラス

RIと作業者の間に適切な遮蔽を行い、被曝線量を可能な限り低減する。

→ 作業時間が多少長くかかっても、遮蔽による低減を行った方が有効な場合が多い

→ 事前に作業内容を良く確認して適切な遮蔽体の配置を検討する

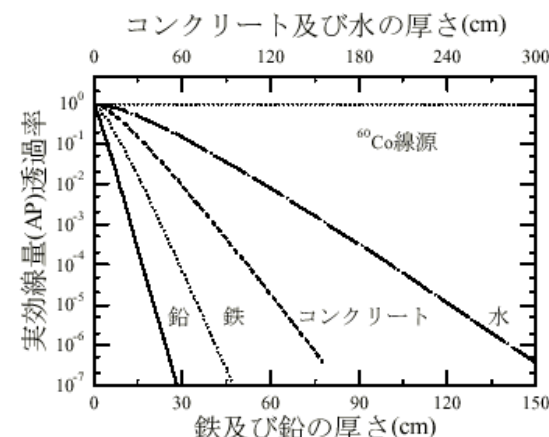
しゃへい計算

○ γ 線・X線 → それぞれの核種に対して実効線量率定数が与えられている。これで求めた実効線量率に、**実効線量透過率**(effective dose transmission) をかけて求めるが、実効線量透過率は放射線の**エネルギー**、しゃへい体の**原子番号**、しゃへい体の**厚さ**によって異なるため、主要な核種ごとに鉛、鉄、コンクリート、水の厚さに対する実効線量透過率のグラフが与えられている。

光電効果などの光子と物質の相互作用はエネルギー、Zで大きく変化する!

○ α 線 → 考慮する必要なし

○ β 線 → アクリル容器で囲んだ場合に発生する制動放射X線に対する実効線量率定数が与えられており、さらに代表的な β 核種に対してしゃへい体ごとの透過率が数表で与えられている(遮蔽計算実務マニュアルなど)。



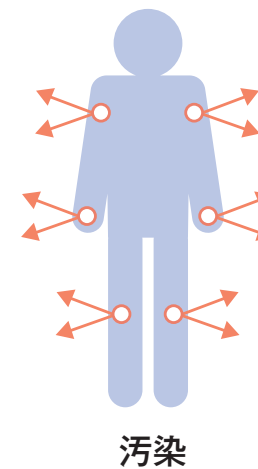
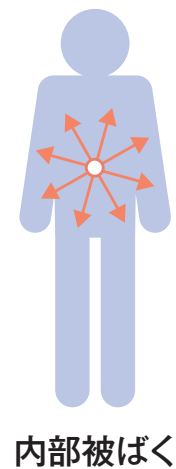
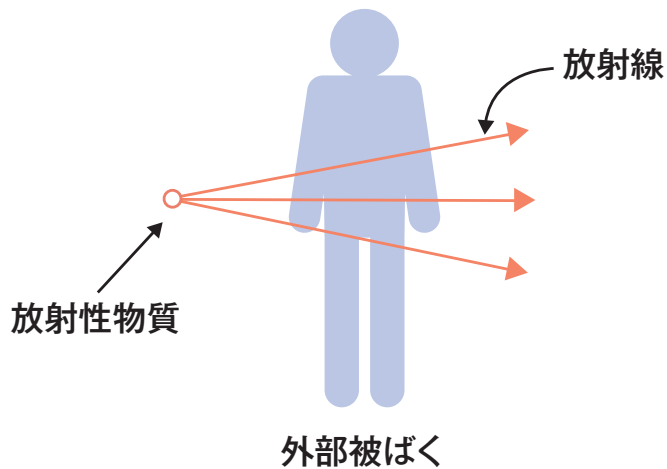
被ばくと汚染の違い

被ばく

放射線を受けること

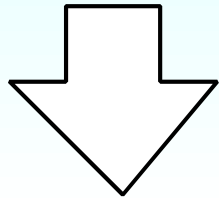
汚染

放射性物質が皮膚や衣服に付着した状態



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？

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

50年間にわたる影響を積算して、
摂取した時点でいっぺんに被ばく
した物として管理する(預託線量)

実際には、少しずつ長い期間に被ばくするのと、同じ量をいっぺんに被ばくするのでは、損傷修復のメカニズムがあるため、ゆっくり被ばくした方が影響は小さい。

様々な放射性核種(Sr-90, Cs-137, Pu-239 など)に対して、1Bq 摂取すると何mSv内部被ばくするかという、実効線量係数が求められている。(Cs-137 では 1.3×10^{-5} mSv/Bq)

精米された状態で1kg あたりCs-137 を100Bq 含む米を、一食あたり1合(精米で150g、炊きあがりでは330g)食べるものとし、一日三食、365日毎日食べたとして1年間でどの程度内部被ばくするでしょうか? → 答えは 0.21mSv

被ばく管理に用いられる量(内部被ばく)

預託線量 committed dose, Sv

体内に取込んだ放射性物質により内部被曝する場合、取込んでから50年間(子供に対しては70年間)先まで被ばくする線量を時間積分して、取込んだ時点にいったん被ばくしたとして被ばく管理を行う。線量として等価線量を用いると預託等価線量、実効線量を用いると預託実効線量である。

ここで被ばくする線量は、物理的な壊変や生物学的な排泄などにより時間と共に減少していき、簡単に求めることが出来ない。放射する線質、壊変速度や化学的性質から、核種ごとに**実効線量係数**(Sv/Bq)が求められており、取込んだ放射能から預託実効線量を求めることが出来る。経口及び吸入摂取についてそれぞれ定められている。

被ばく管理に用いられる量(内部被ばく)

ベクレルからシーベルトへの変換

実効線量率定数 effective dose rate constant

- ・放出される放射線の種類と、エネルギー
- ・放出確率

外部
被ばく

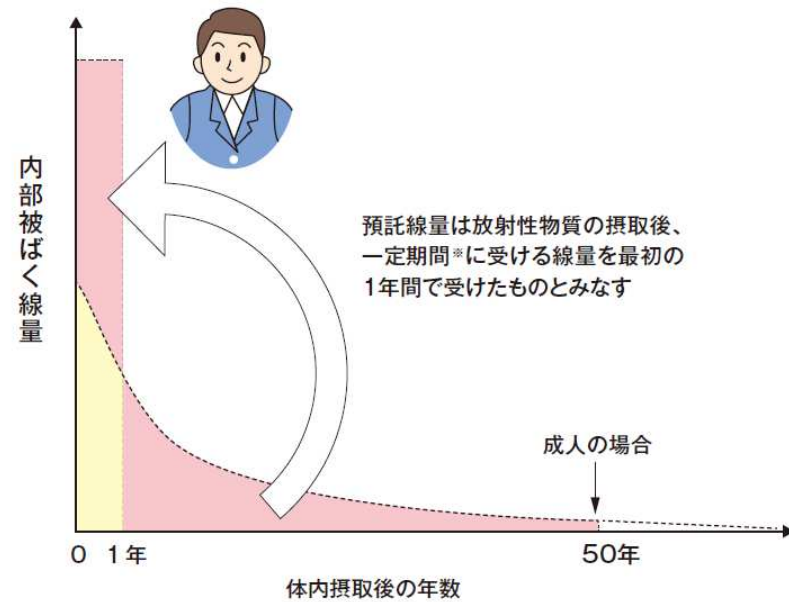
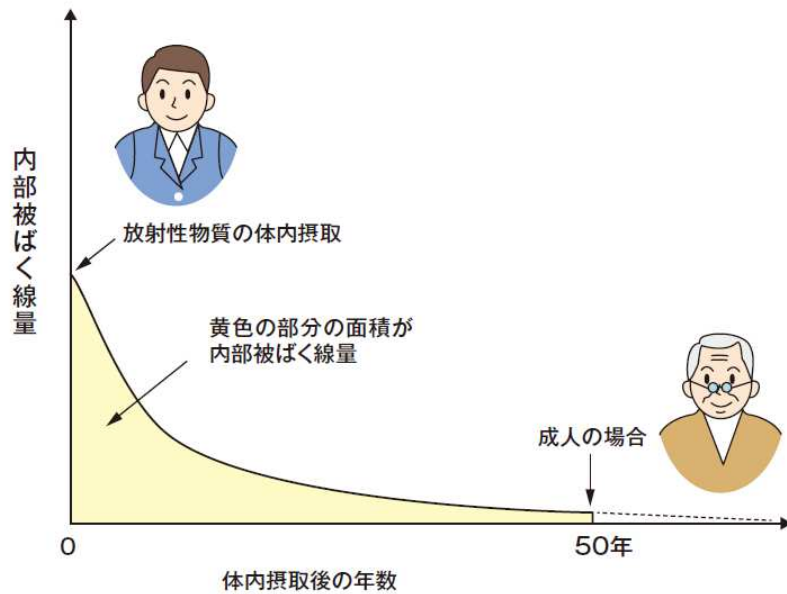
実効線量係数 effective dose coefficient

上記二つに加えて、

- ・物理的半減期
- ・生物的半減期
- ・特異臓器集積と組織加重係数

内部
被ばく

内部被ばくの評価（預託線量の概念図）



※成人:50年間、子供:取り込み時から70歳まで

内部被ばく線量（預託線量）への換算方法

$$\text{預託線量 (mSv)} = \text{飲食物摂取量 (kg/日)} \times \text{摂取日数 (日)} \times \text{実効線量係数 (mSv/Bq)} \times \text{放射性核種の濃度 (Bq/kg)}$$

放射性核種	半減期	1Bqを経口または吸入摂取した場合の成人の実効線量係数 (mSv/Bq)	
		経口摂取した場合	吸入摂取した場合
プルトニウム239	2.4万年	2.5×10^{-4}	1.2×10^{-1}
セシウム137	30年	1.3×10^{-5}	3.9×10^{-5}
ヨウ素131	8日	2.2×10^{-5}	7.4×10^{-6}
ストロンチウム90	28.8年	2.8×10^{-5}	1.6×10^{-4}
トリチウム	12.3年	4.2×10^{-11}	2.6×10^{-10}

(注) 市場希釈係数（評価対象者の当該食品摂取量に対する汚染された食品の摂取割合）および調理等による減少補正については1としている
化学形等により複数の値が示されている核種については最も大きい実効線量係数を示す

例題(内部被曝量の評価)

・精米された状態で1kg あたり Cs-137 を 100Bq 含む米を毎日食べた場合、1年間でどれだけ内部被ばくすることになるか計算せよ。

ただし、一食あたり1合(精米で150g、炊きあがりでは330g)食べるものとし、一日三食、365日毎日食べたとして計算せよ。

A:

$$0.15\text{kg} \times 3 \times 365 \times 100\text{Bq/kg} \times 1.3 \times 10^{-5} \text{ mSv/Bq} \\ = 0.21\text{mSv}$$

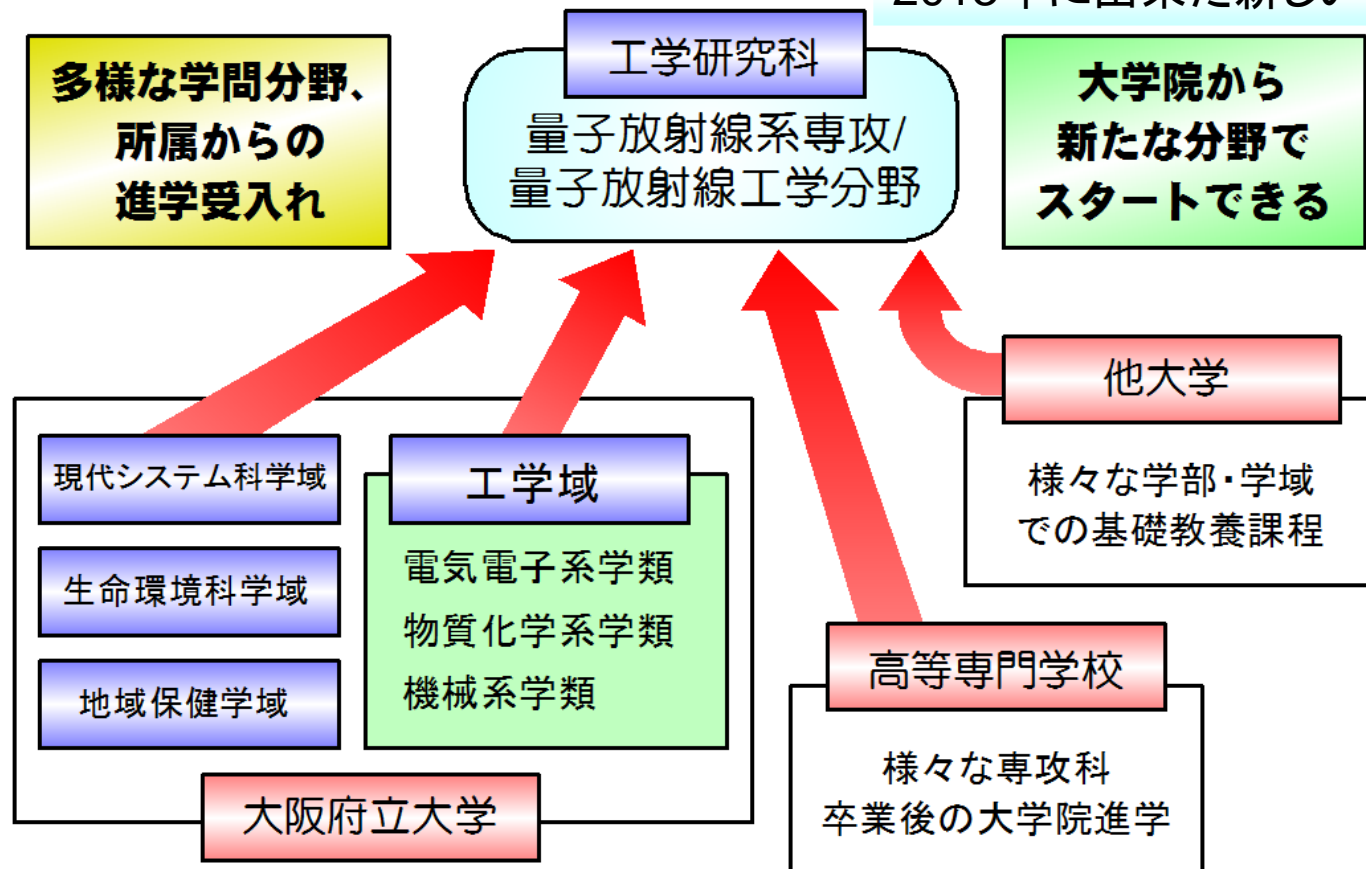
講義内容

- 放射線とは何か
- 物質と放射線の相互作用
- 放射線の検出
- 天然の放射性核種と半減期
- 放射線の人体への影響
- 放射線の単位
- 放射線防護
- **量子放射線系専攻について**

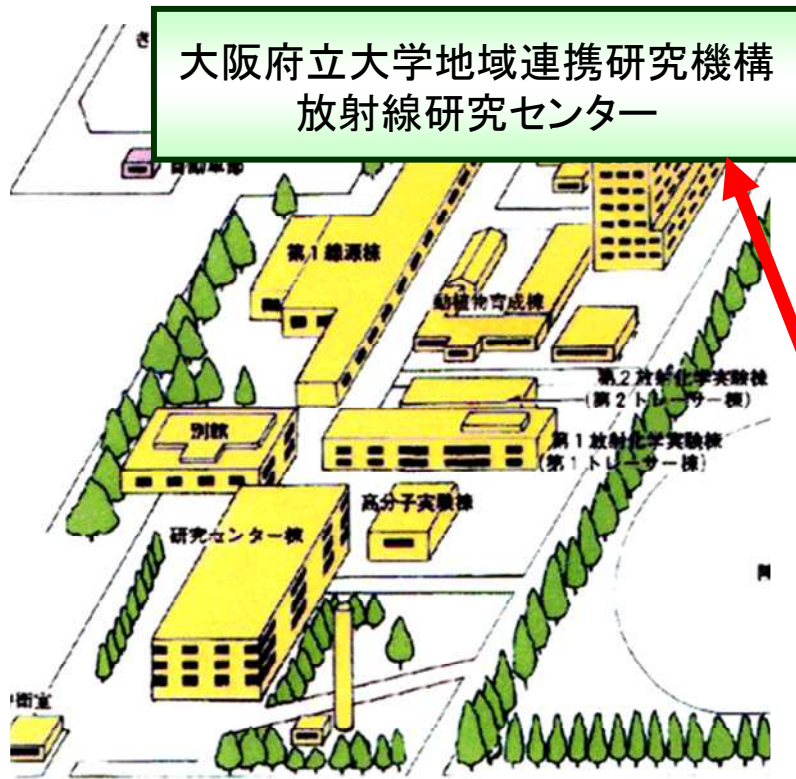
どの分野から量子放射線系専攻に入れるの？

大学院からの幅広い教育を行う独立的な専攻として設置されていますので、様々な学部・学域における基礎教育を生かして、学問の枠を超えた研究・勉強が可能です。このため、現在の所属(学域・学類)や専門にこだわらず、学内外からの進学者を広く募集しています。

2013年に出来た新しい専攻です



放射線研究センターと活動



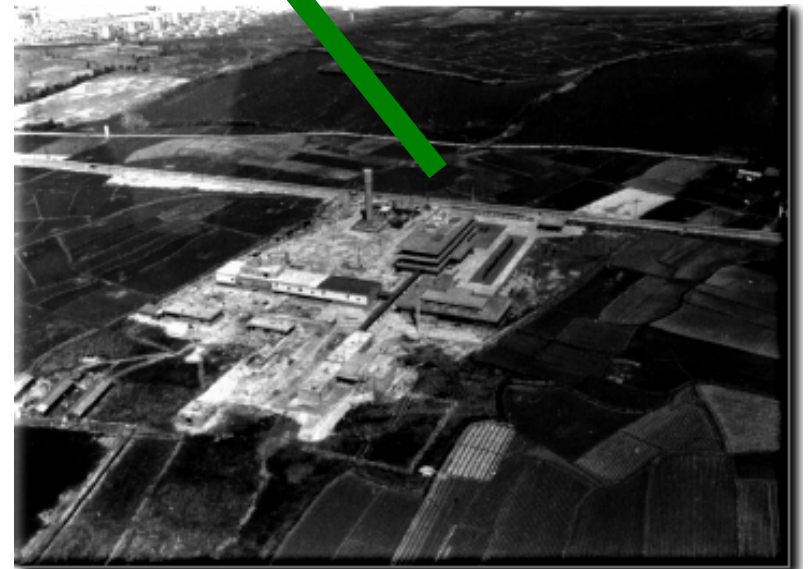
2009

センター今昔



- 1959年 大阪府立放射線中央研究所（大放研）発足
- 1962年 大放研電子ライナック設置
- 1990年 附属研究所発足（大阪府立大学に統合）
- 1995年 先端科学研究所（先端研）発足
- 2000年 放射線総合科学研究センター発足
- 2005年 大阪府立大学の法人化 産学官連携機構
放射線研究センター発足
- 2011年 地域連携研究機構 放射線研究センター発足
- 2013年 大阪府立大学工学研究科量子放射線系専攻新設
(放射線研究センター教員担当)

1959

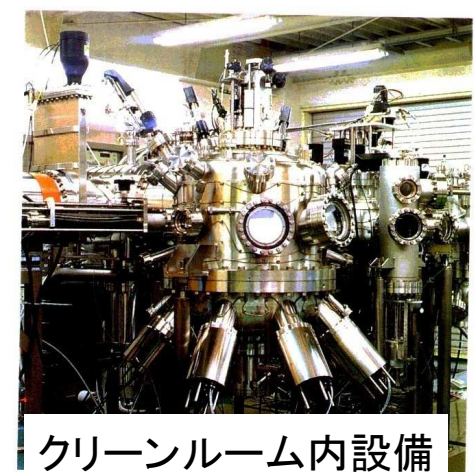
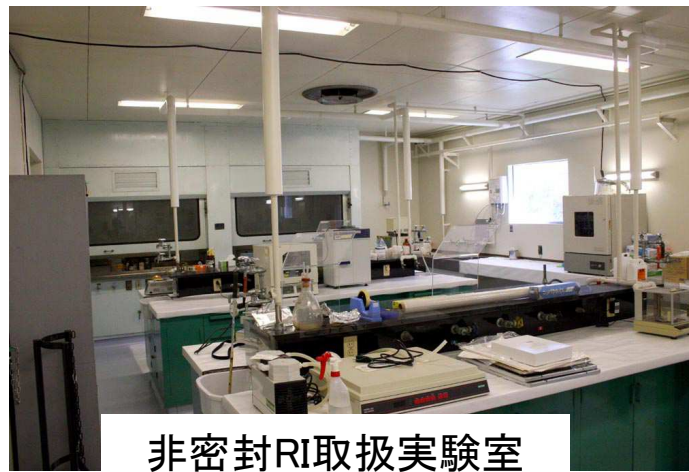


研究施設としてどんな位置づけなの？

→ 日本原子力学会 第1回 原子力歴史構築賞 受賞(平成20年度)

前身である 大阪府立 放射線中央研究所 は1959年発足で、半世紀以上の歴史を持っています

- ・ **コバルト60 ガンマ線照射施設 (1.8PBq, 50kGy/h)**
 - ・ 非密封RIの取扱施設の規模(600m²以上)
 - ・ クリーンルームの性能(クラス10)
- いずれも**国内の大学では最高クラス**



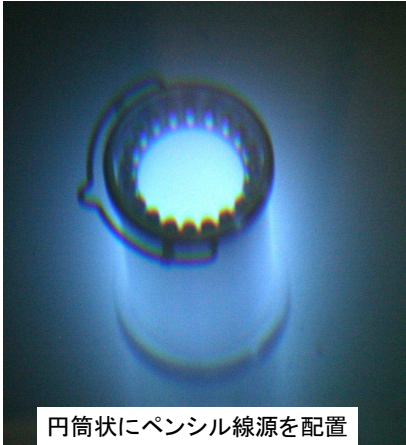
放射線研究センターのγ線照射装置

日本国内における研究用ガンマ線照射施設一覧				
施設	線源強度 (TBq)	最大線量率 (Gy/h)	核種	照射室
大阪府立大学 地域連携研究機構 放射線研究センター コバルト60ガンマ線照射施設	98	100	Co-60	第1照射室
	79	100		第2照射室
	1	1		第3照射室
	1,623	1,000		第4照射室
		50,000		照射プール
独立行政法人 日本原子力研究開発機構 高崎量子応用研究所 コバルト60照射施設	10,453	5,000	Co-60	コバルト1棟 第1照射室
		15,000		コバルト1棟 第2照射室
		5,000		コバルト1棟 第3照射室
	10,145	15,000		コバルト2棟 第6照射室
		5,000		コバルト2棟 第7照射室
	2,206	30		食品棟 第1照射室
	5,000	食品棟 第2照射室		
大阪大学産業科学研究所 附属放射線実験所 コバルト60ガンマ線照射装置	179	55	Co-60	A照射室(6m ²)、B照射室(10m ²)および貯蔵兼照射用プール。線量率は距離1mでの値。
	45	14		
	4	1		
東京工業大学 放射線総合センター コバルト照射施設	94	6,704	Co-60	12本のペンシル線源を円筒状に配置
京都大学原子炉実験所 コバルト60 ガンマ線照射装置	140	12,271	Co-60	照射室は30 m ² 程度1室
国立研究開発法人 産業技術総合研究所 放射線標準研究グループ γ線照射施設	121	(公開情報無)	Co-60	大γ線源照射室と小γ線源照射室(Co-60 185GBq以下3個、Cs-137 222GBq以下3個)
	34	(公開情報無)	Cs-137	
名古屋大学 コバルト60照射室		1,937	Co-60	照射室は1つ
九州大学 加速器・ビーム応用科学センター コバルト60ガンマ線照射装置	34	2,447	Co-60	照射室は1つ
長崎大学 先端生命科学支援センター アイトープ実験施設 ガンマ線照射装置	148 (基準日不明)	(公開情報無)	Cs-137	照射室は1つ
国立研究開発法人 農業生物資源研究放射線育種場 ガンマフィールド	88	(公開情報無)	Co-60	ガンマーフィールド(半径100 mの円形圃場)照射塔
	44	(公開情報無)		ガンマールーム

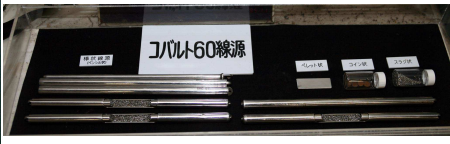
線源強度、線量率は公開情報を基に2016/4/1時点の値に補正している。
ただし、JAEA高崎の線量率は放射線利用振興協会のサイトを参照し、減衰補正していない。

日本国内の研究用照射施設としては最高の線量率を得ることが出来る。

原研高崎に次いで西日本最大で、大学としては群を抜いた最大の照射施設である。

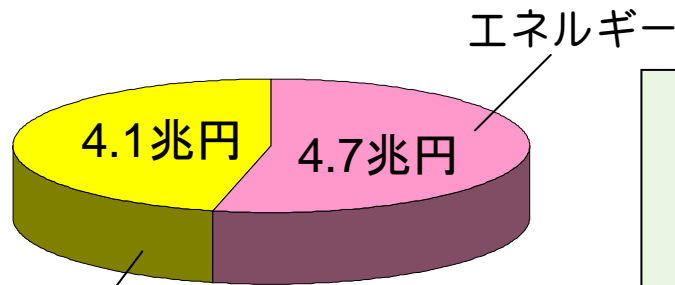


円筒状にペンシル線源を配置することで均一な照射が可能



放射線利用の学術分野で どのような需要があるの？

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



エネルギー以外 2005年実績。H19内閣府委託事業
放射線利用の経済規模に関する調査報告書より

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

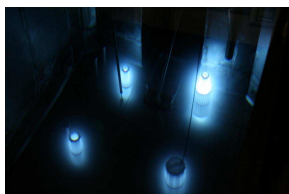
C-14年代測定法など
による考古学・文化財
の評価

H24 内閣府「放射線利用の現状と今後のあり方」にまとめられている

Co-60 ガンマ線照射施設

最大の特徴は、**日本国内の研究施設で最高の線量率(50kGy/h)**を誇る、Co-60 ガンマ線照射施設で、合計 1.8 PBq (2016/4/1 現在)もの線源を用いて、**照射プールを用いた水中での高線量率照射**や、様々な線量率、雰囲気、温度などの条件で、オンラインで計測を行いながら、またコンピューターで操作を行いながらのガンマ線照射を行う事が出来ます。

このガンマ線照射施設を用いて、材料の改質、耐放射線性試験、滅菌などが行われており、新しい研究としては、固体表面活性による反応促進、太陽電池などの人工衛星搭載機器への照射効果が注目を浴びています。

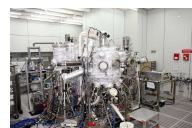


非密封 RI 取扱施設

広大な面積(16 室合計 600m² 以上)の実験室から成る非密封 RI 取扱施設において、代表的な 23 核種の取扱が可能です。また、遺伝子組換え生物を扱える P1 実験室や、暗室があり、実験室の多くが安全フードを備えています。

この非密封 RI 取扱施設を用いて、トレーサー実験や、中性子照射後試料の物性測定、Na-22 を用いた陽電子消滅法による材料評価など、生物学・化学・物理学・材料工学などの様々な研究を実施することができます。

さらに、実際の RI 取扱を行う前に、実際の取扱施設と同等の施設を用いて、コールドでのトレーニングを行う事も可能です。



クリーンルーム

日本の大学では最高レベルのクラス 10 クリーンルームをはじめとして、クラス 100、クラス 1000 の広大なクリーンルームに、電子線描画装置、成膜装置などの最先端の試料調整装置を導入しています。

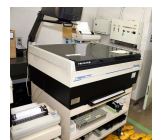
清浄度を保てる垂直層流方式(ダウンフロー方式)を採用しており、空調設備のある天井、全面グレーティングの作業室、ガスや純水の配管のある床の3層構造となっています。

ここでは、超純水や各種の高純度ガスが使用できるようになっており、電子・光デバイスの革新のために半導体などの材料の開発など独自の研究を行い、様々な分野の研究者とも共同研究が行われています。電子デバイスの開発・放射線照射・特性評価などを一箇所の施設で行えるのは他に例がなく、耐放射線デバイスの開発などへの活用が期待されています。

電子線 イオンビーム加速器

高エネルギー(~10MeV)及び低エネルギー(60~600keV)の電子線加速器と、イオンビーム加速器(~1MeV)により、様々なエネルギー、線量率での照射と、中性子応用、イオンビーム分析(RBS, PIXE など)が可能です。

電子線加速器を用いて、材料の照射効果の研究、パルス励起した物質の過渡的な変化を調べる研究、超微弱ビームの発生と利用、新しいラジオグラフィ法の開発研究などが行われています。

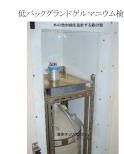


放射線測定装置

多数の高純度 Ge 半導体検出器、液体シンチレーションカウンター、2π ガスフローカウンター、NaI シンチレーションカウンター、イメージングプレートなどにより、微量の放射性物質の同定、定量、分布の評価が可能です。

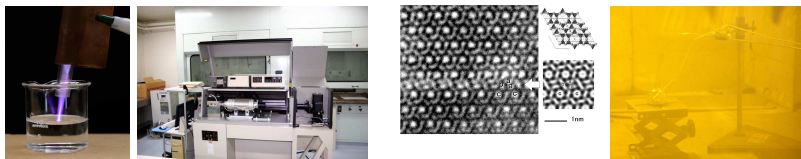
また、トリチウム用ガスフローサーベイメーターを含む各種のサーベイメーターや、イメージングプレートにより、非密封 RI 取扱時の作業環境の測定、汚染の確認などが可能であり、安全な実験を保証します。

東京電力福島第一原発事故以降、食品や工業製品の放射能汚染測定依頼があり、低バックグラウンド Ge 半導体検出器で測定を行っています。事故のあった 2011 年は約 300 件の依頼があり、現在も海外輸出用に検査を行っています。



主な研究内容

物質と放射線の相互作用

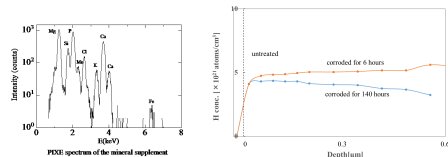


図の説明 左から
大気圧プラズマの水中への導入
レーザーフラッシュ熱定数測定装置
 β -S₃N₄ 中の中性子照射欠陥構造
 γ 線照射時のZr金属材料腐食試験

国内最高強度のガンマ線、加速器からの高エネルギー電子線、イオンビーム、各種プラズマ源などの、量子線と物質との相互作用について研究を行っています。核融合炉や原子炉、宇宙環境などの放射線環境に耐える材料開発を行うと共に、量子線が物質と相互作用する素過程を探求し、その相互作用を利用して新しい高機能マテリアルを開発しています。

最近の研究では、宇宙衛星関連半導体材料や、核融合炉ダイバータ材料への放射線照射試験及び照射後の物性測定、放射線照射下での金属の腐食挙動評価、超微弱電子線の照射利用、放射線化学反応の高時間分解解析、さらには核融合ダイバータープラズマや大気圧放電プラズマの熱流束解析などが注目されています。

放射線を使った計測



図の説明 左から
微小試験片測定用陽電子消滅寿命測定系
PIXEによるステンレス中の元素分析の例
ERDAによるZr合金表面の水素分布評価

放射能、放射線を用いて、物質や生物の中の様子を様々な測定手法を用いて知ることが出来ます。古くは、X線を用いたレントゲン撮影に始まり、CT や PET 等での診断技術が開発されており、中性子ラジオグラフィなどの放射線画像測定法による非破壊検査への応用、その検出器の開発やデジタル信号処理に関する研究を行っています。

また、自然レベル以下の極微量の放射線測定法や、イオンビーム加速器を用いた元素分析、中性子放射化分析法や蛍光X線法を用いて、環境物質や高純度材料中の不純物分析などを行っています。近年では、Na-22 などの陽電子を放出する放射性物質を利用して、材料中の格子欠陥構造を評価する「陽電子消滅測定法」を用いた研究が行われています。

生物への放射線影響

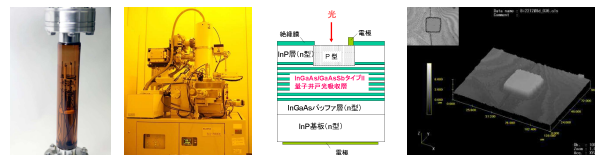


照射例：香辛料（芽胞形成菌による汚染が問題）

生物に対して量子放射線を照射することで起こるDNA塩基の化学変化や、DNA鎖の切断などの放射線影響について研究しています。発がん、老化や、突然変異の仕組みを分子レベルで解明し、さらに有用生物の利用、有害生物の制御に取り組んでいます。

特に、量子放射線による滅菌、殺菌について幅広く研究が行われており、現在は、芽胞やカビ胞子に対する放射線の作用メカニズムについて、その作用要因の追求を行っています。また、それら基礎的知見をもとに、他の処理との併用による最適な処理条件の導出を図ります。さらに量子放射線による殺菌メカニズムの解析を通じて生物の環境ストレスの防御機構に迫ろうとしています。

高性能電子デバイスの開発



図の説明 左から
耐放射線性の撮像管の開発
クリーンルームに設置されたEB描画装置
次世代光デバイスの開発
Bi系酸化物高温超伝導体単結晶の3次元

福島第一原子力発電所事故の収束に向けて様々な試みが行われています。その中で、遠隔操作のロボットやカメラなどの電子デバイスの耐放射線性が問題となっており、素子単位に加えてデバイス全体の信頼性確率が急務となっています。高線量率のCo-60線源を利用した電子デバイス全体の照射、炉心環境を模擬した水中での照射などの研究が行われています。

また、国内大学最高峰のClass10までを備えたクリーンルーム設備と、様々な成膜装置、微細加工装置により、極めて清浄な環境での半導体作成と加工を行う事が出来、これにより、次世代光デバイスの開発などを行っています。さらに、作成したデバイスに対して量子放射線照射、物性評価を放射線研究センターの中だけで完結することが出来ます。

福島第一原子力発電所事故収束へ技術開発の必要性

放射線が物性に及ぼす
影響の評価



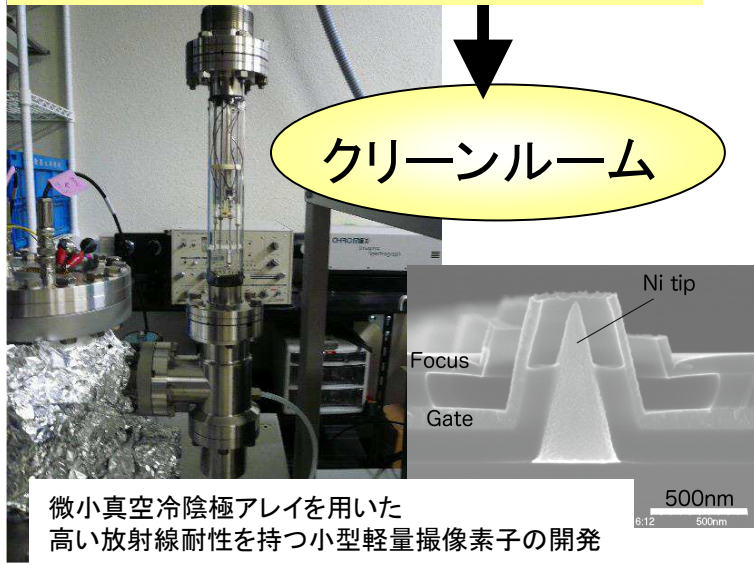
放射性核種の
化学的挙動の研究



非密封RI取扱施設

Co-60 照射施設

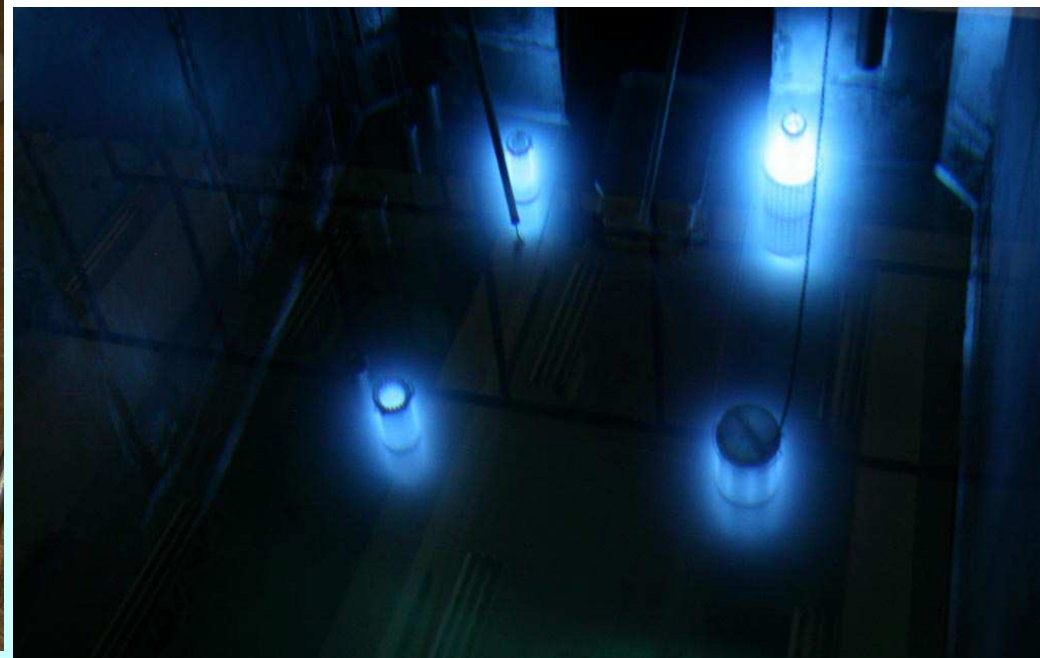
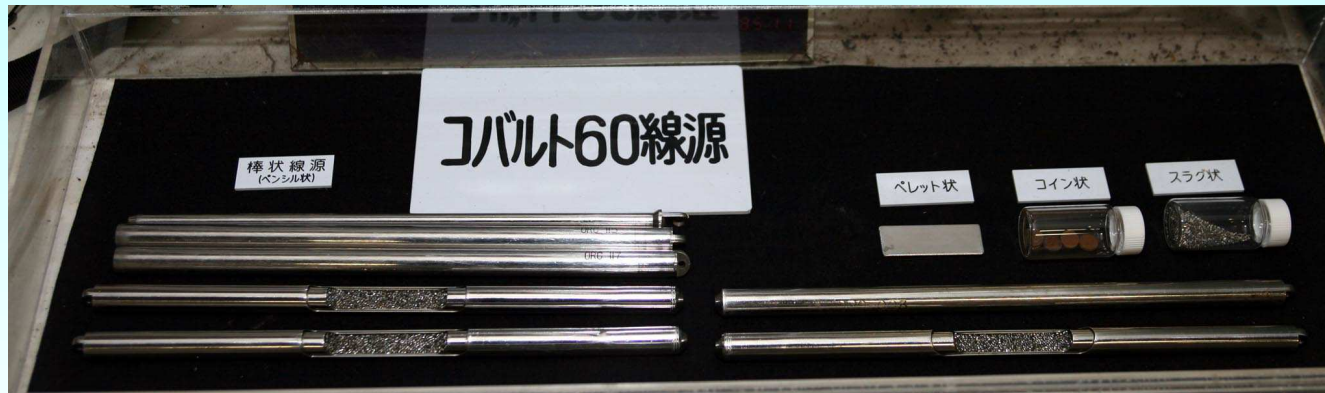
高線量率の放射線環境に
耐える電子デバイスの開発



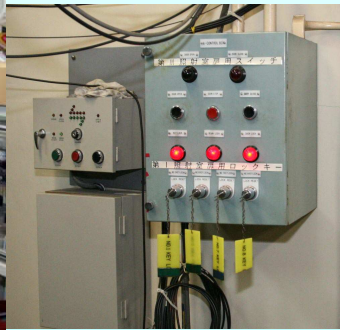
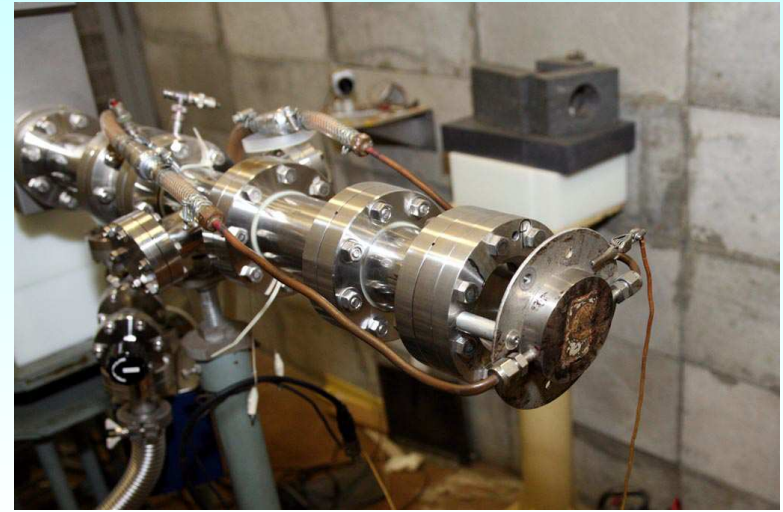
炉内環境を模擬した高線量率の
水中での機器開発



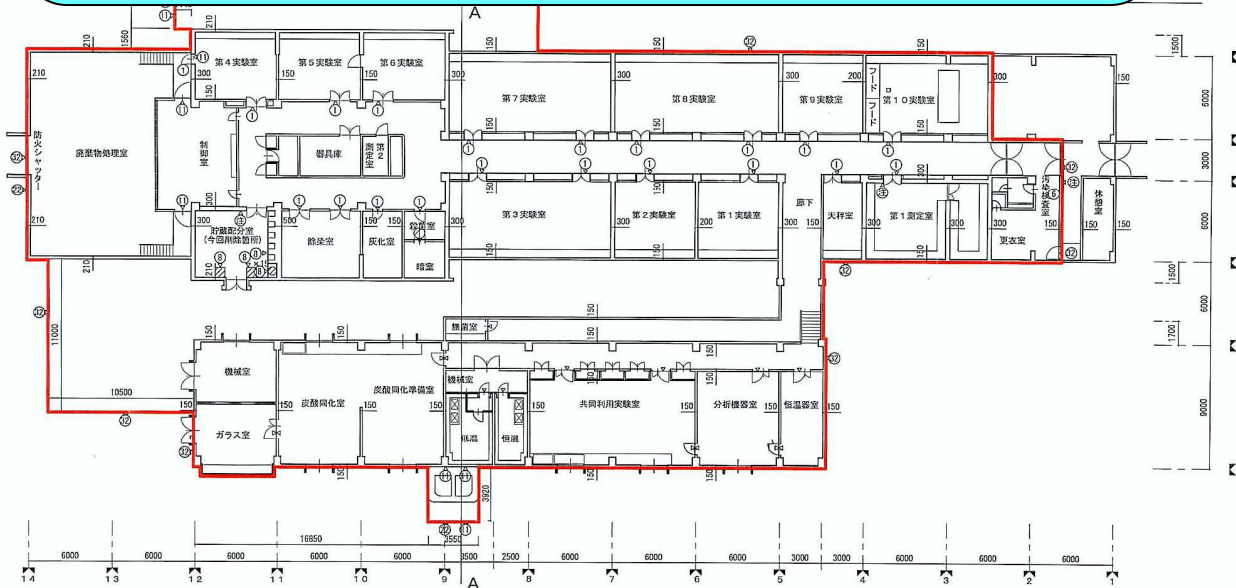
放射線研究センターの Co-60 密封線源



放射線研究センターの電子線加速器



多数の実験室を備える広大な 非密封RI取扱実験室



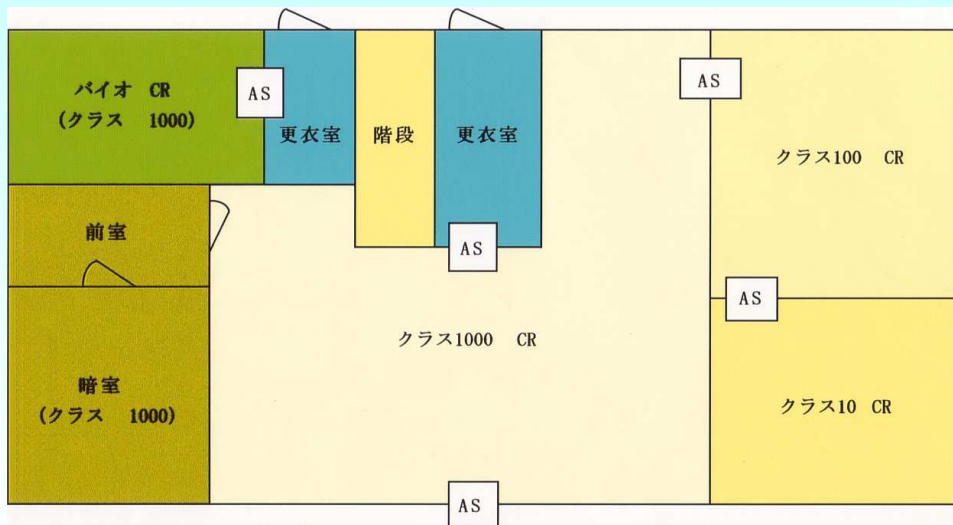
図面3-1 放射化学実験棟 1階平面図 1:356 (変更後)

放射化学実験棟 非密封放射性同位元素 取扱室一覧

室名	床面積 (m ²)	室の容積 (m ³)
第1測定室	59	158.2
天秤室	18	48.6
第1実験室	36	97.2
第2実験室	36	97.2
第3実験室	72	194.4
第4実験室	30	66
第5実験室	30	66
第6実験室	36	79.2
第7実験室	72	194.4
第8実験室	72	194.4
第9実験室	36	97.2
第10実験室	54	145.8
殺菌室	6	16.2
暗室	9	24.3
灰化室	15	40.5
除染室	30	66
合計	611	1585.6



放射線研究センターのクリーンルーム



国内の大学では最高レベルの
クラス10の清浄度のクリーンルーム



クラス1000の広大なクリーンルーム



各クラス境界にあるエアシャワー



垂直層流方式のための
床下ダクト

量子放射線系専攻 ホームページ

<http://www.riast.osakafu-u.ac.jp/index2.html>

秋吉 ホームページ

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

講義資料の配布

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