

2015/12/24 量子放射線の世界

放射線安全管理

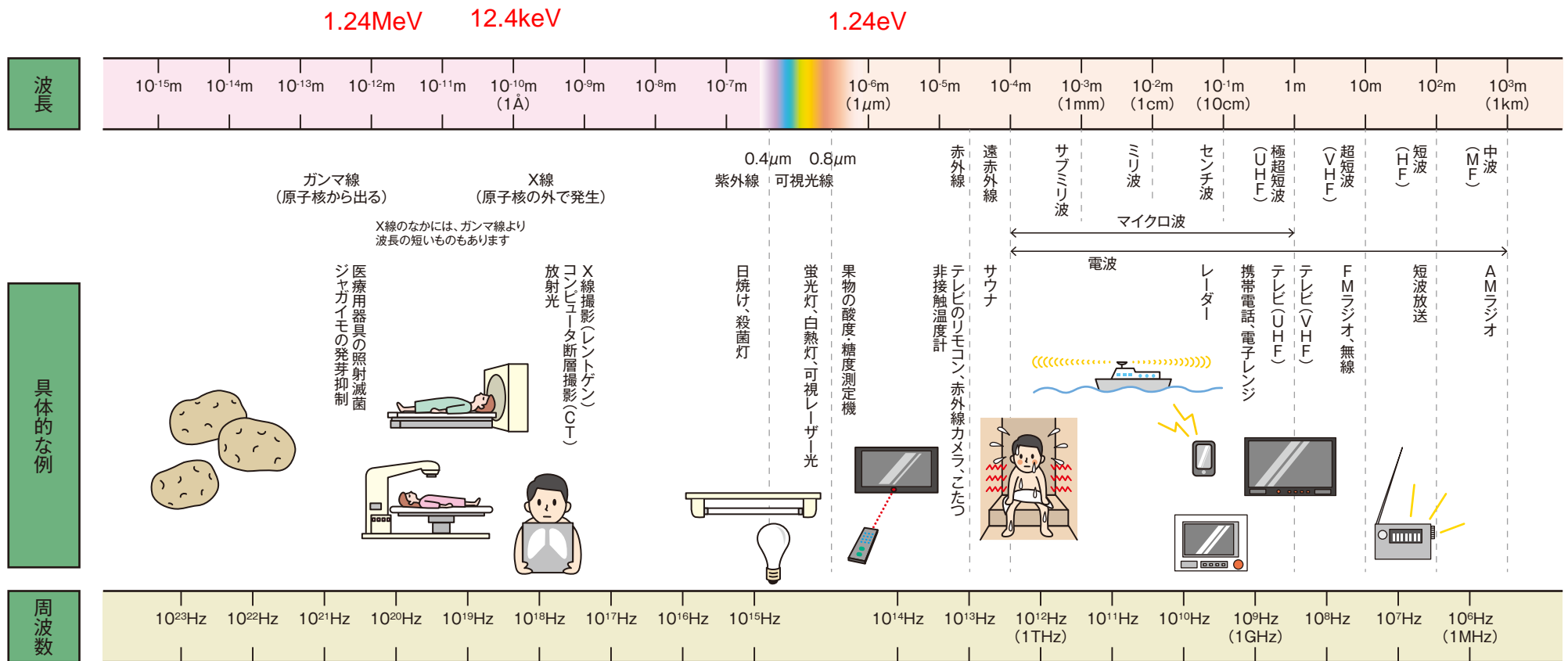
大阪府立大学 放射線研究センター
秋吉 優史

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
- 放射線研究センターについて

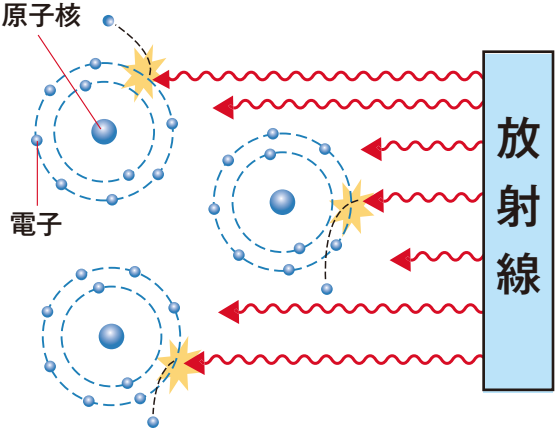
電磁波の仲間

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

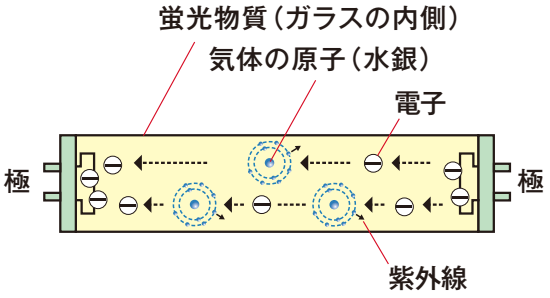


放射線の性質

電離作用

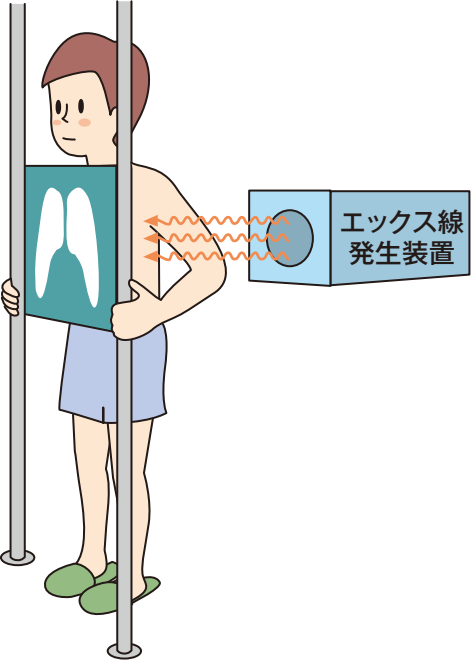


蛍光作用

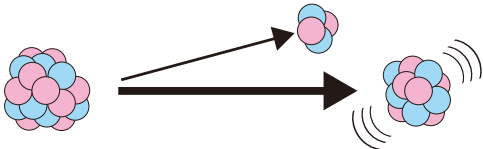
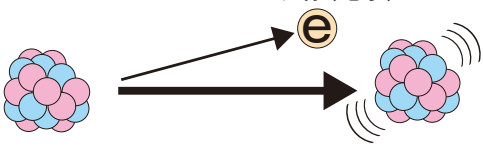
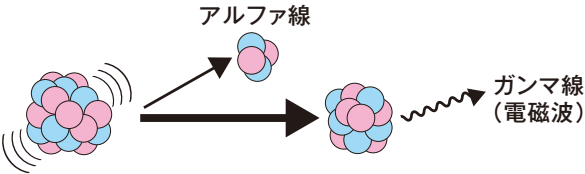


蛍光灯の仕組み
管の両端に電圧が加わると、極から極に電子が流れます。電子が管に封入された水銀に衝突すると、紫外線が発生します。紫外線は蛍光物質を光らせます。

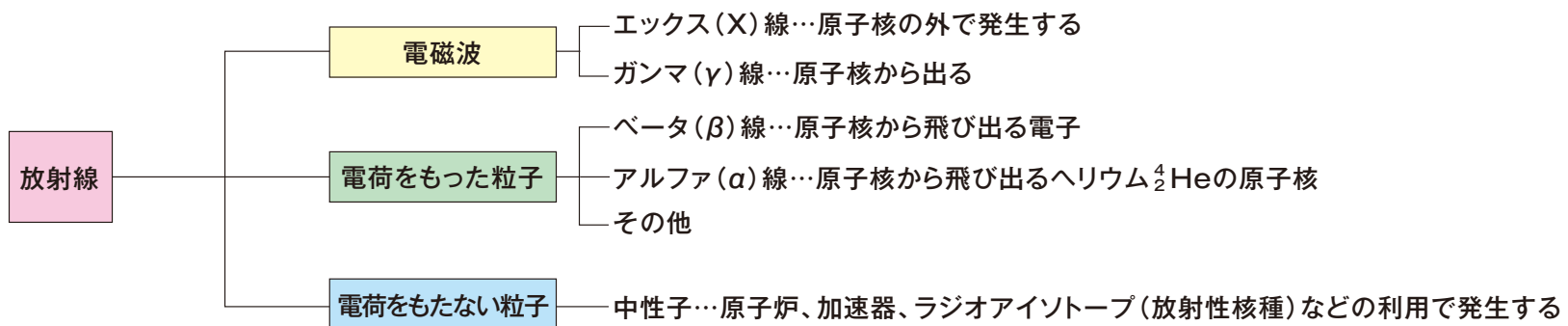
透過作用



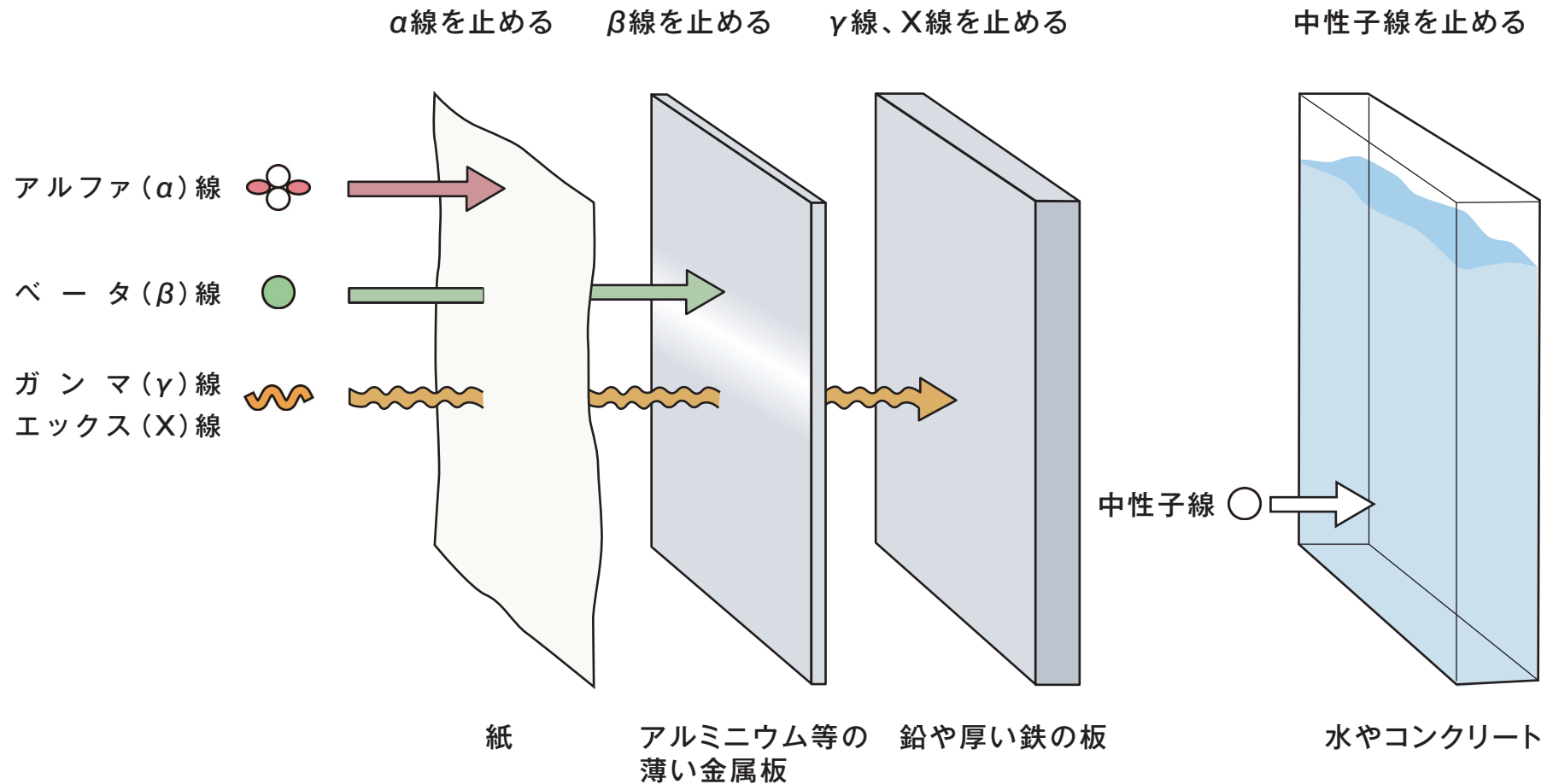
放射線の種類

<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>	

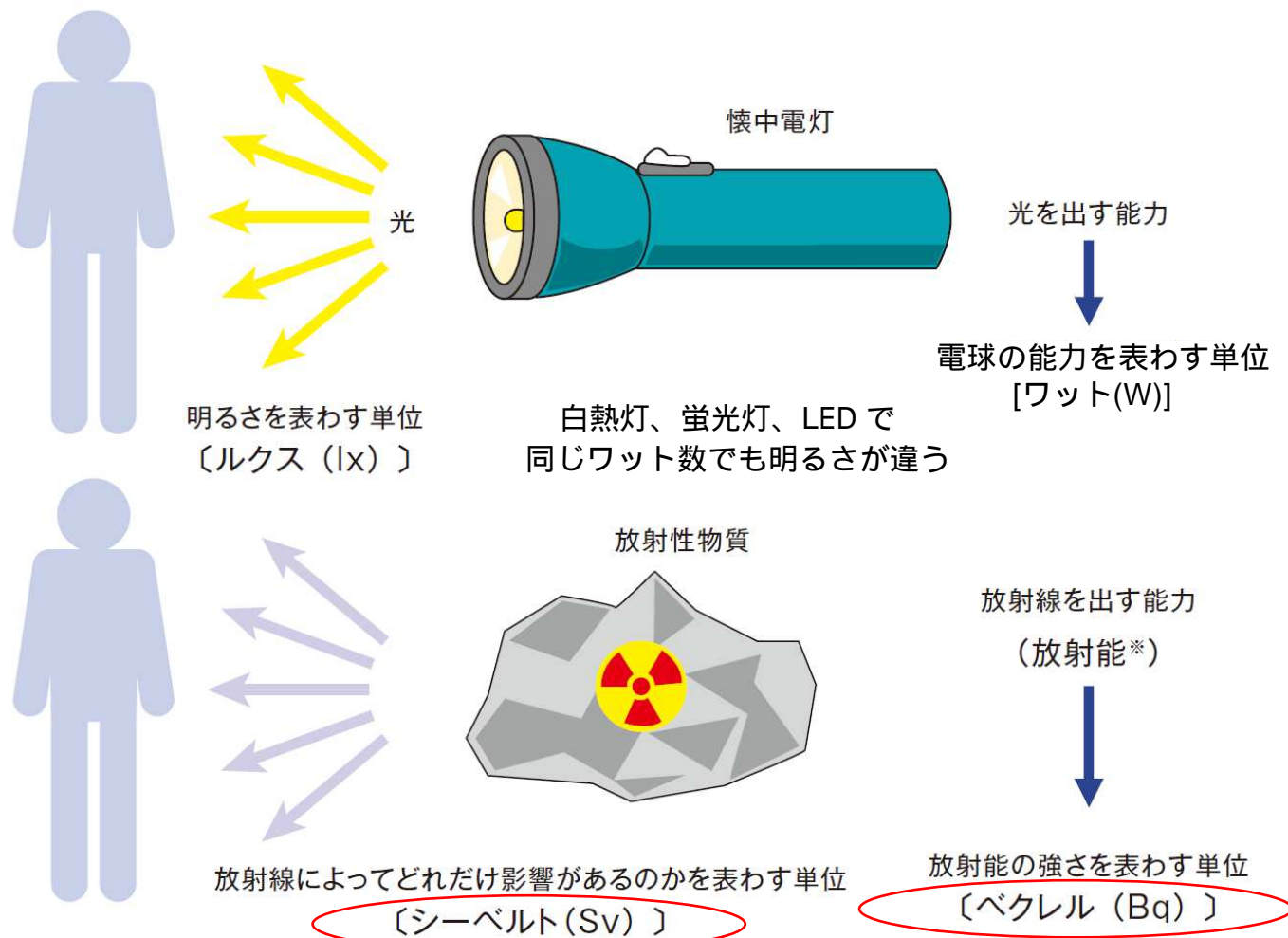
● 陽子 ● 中性子



放射線の種類と透過力



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
- 放射線研究センターについて

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)

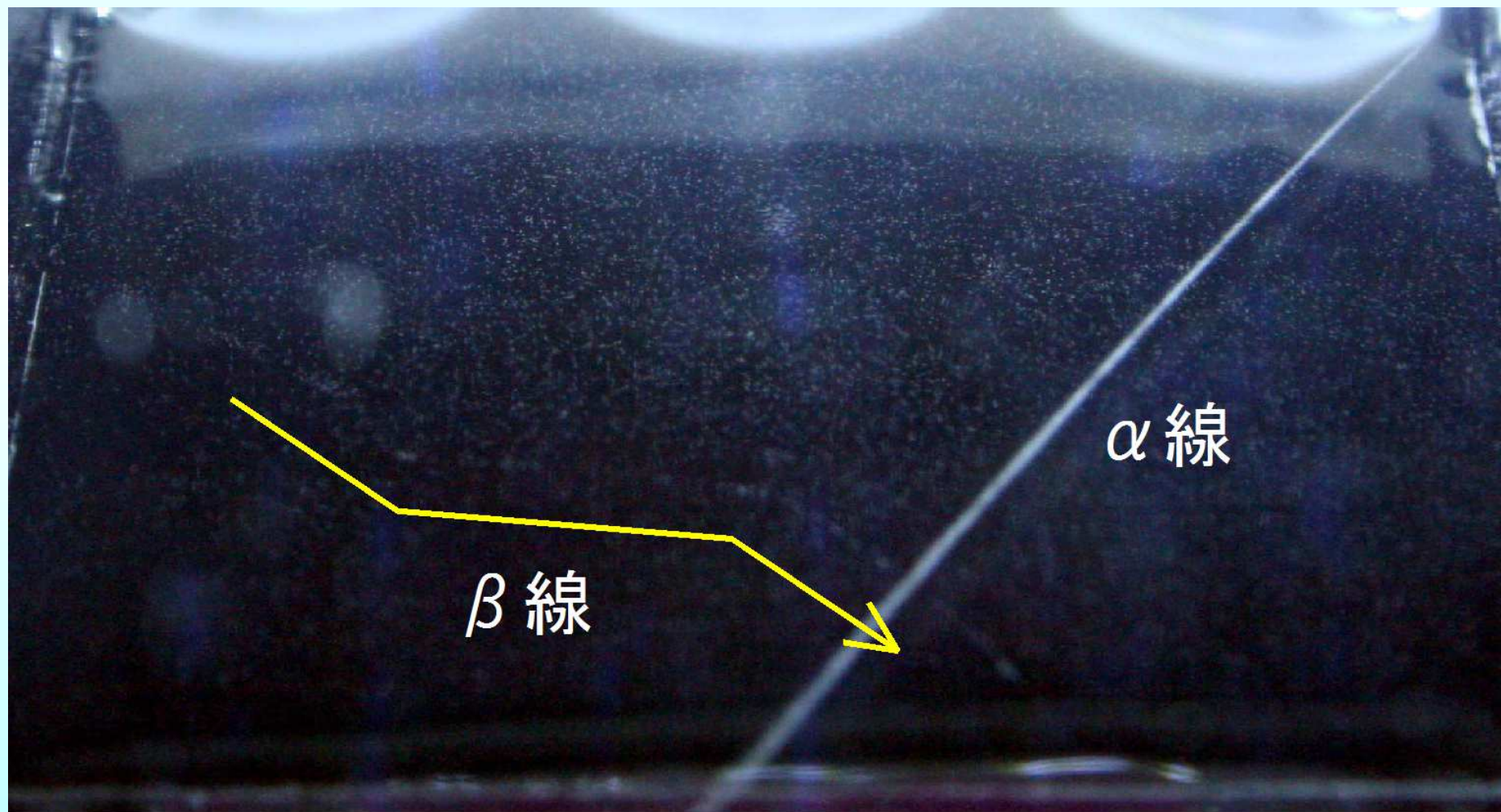
物質中の電子との衝突によって、簡単に方向やエネルギーが変化するため、まっすぐに進まず、広い範囲に広がる。このため、平均的な飛程という物は求めにくく、最大飛程で評価される。重元素に入射すると、原子核周辺の強い電場で急激に曲げられることにより、制動放射X線の発生割合が大きくなる。

γ 線、X線

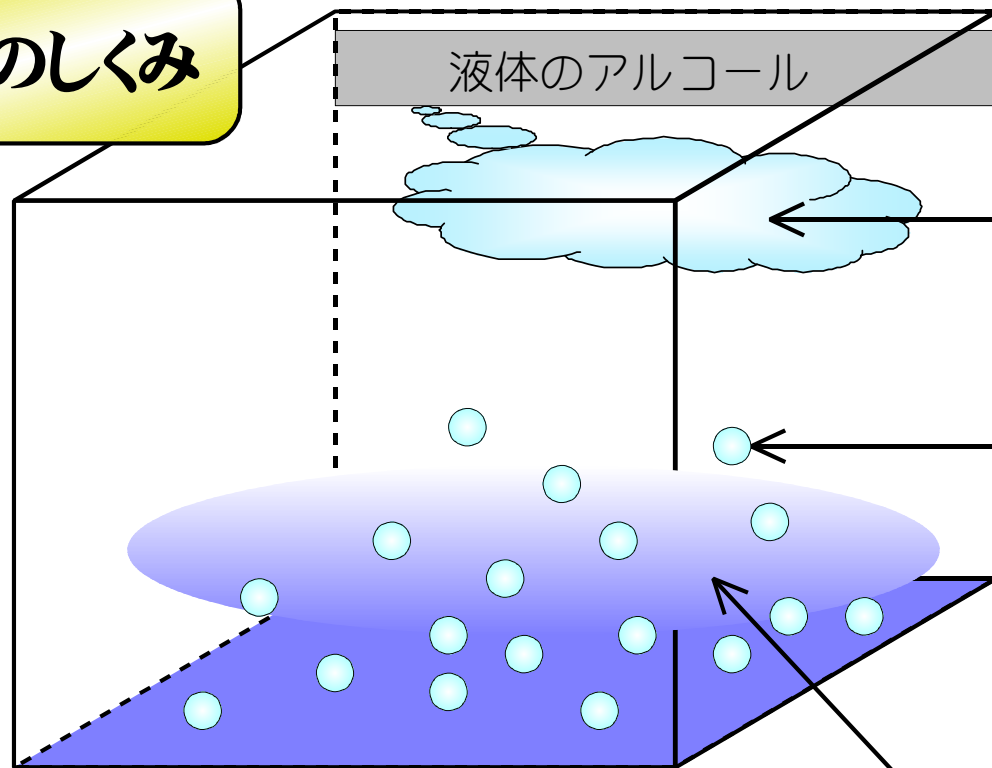
物質を進むにつれて指数関数的に強度が弱くなっていくが、その際の線減弱係数は光子のエネルギーによって関与する素過程の違いが変化するため大きく異なる。数MeVの領域では高エネルギーの方が透過力は高い。光電効果、コンプトン効果により物質中で電子線を生成するため、高エネルギーの光子はごく僅かではあるが原子核の弾き出しも起こす。

霧箱での飛跡の観察

トリウム含有マントルからの β 線の飛跡と
空气中ラドン由来核種からの α 線の飛跡の比較



霧箱のしくみ



温度が高いとたくさん蒸発します

アルコールの蒸気

液体のアルコールの
小さな粒

温度が低いと蒸気では居られません

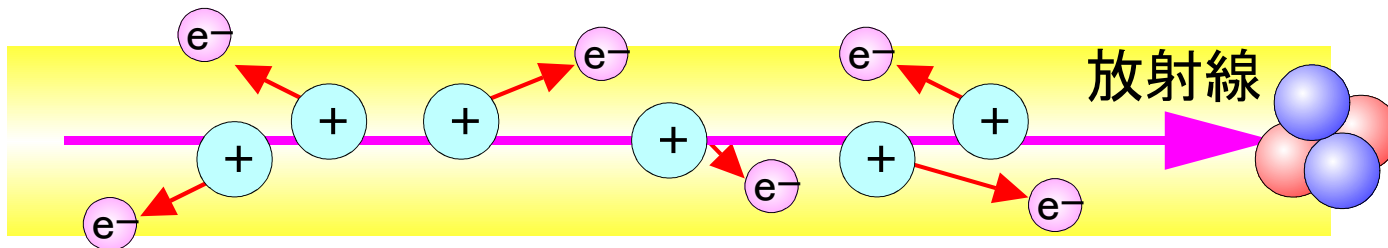
過飽和の蒸気

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）

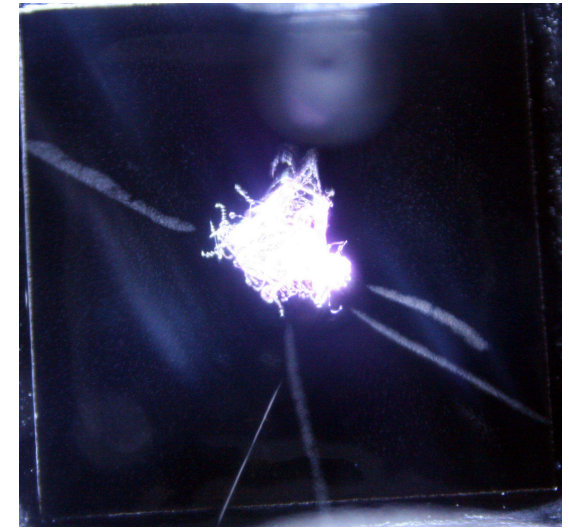


電離によるイオン対の生成

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。

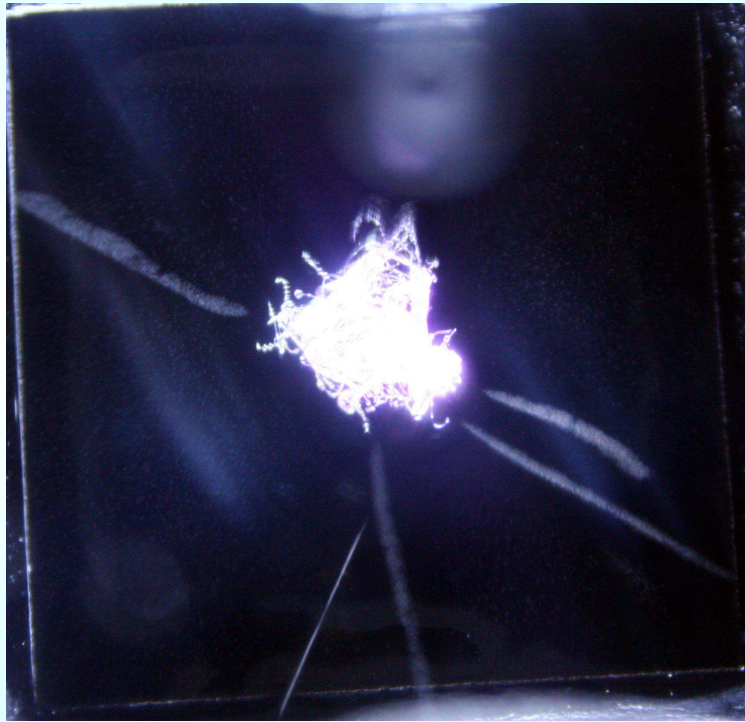


過飽和の蒸気は冷やされている容器の底に薄く広がっているだけなので、底に平行に走った放射線しか見ることができません。また液体の粒はすぐ蒸発してしまって、数秒で見えなくなってしまうのです。



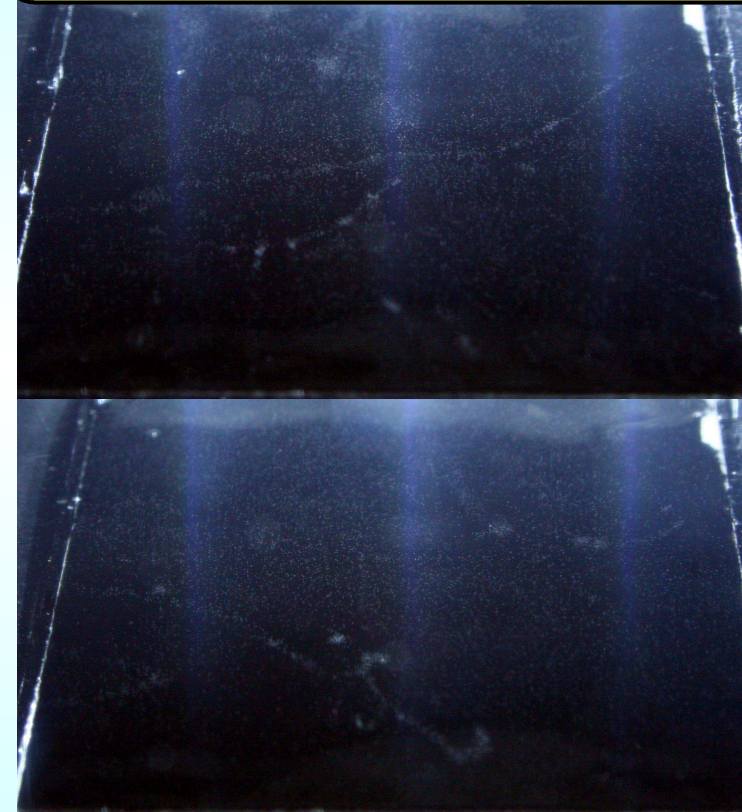
霧箱での飛跡の観察

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

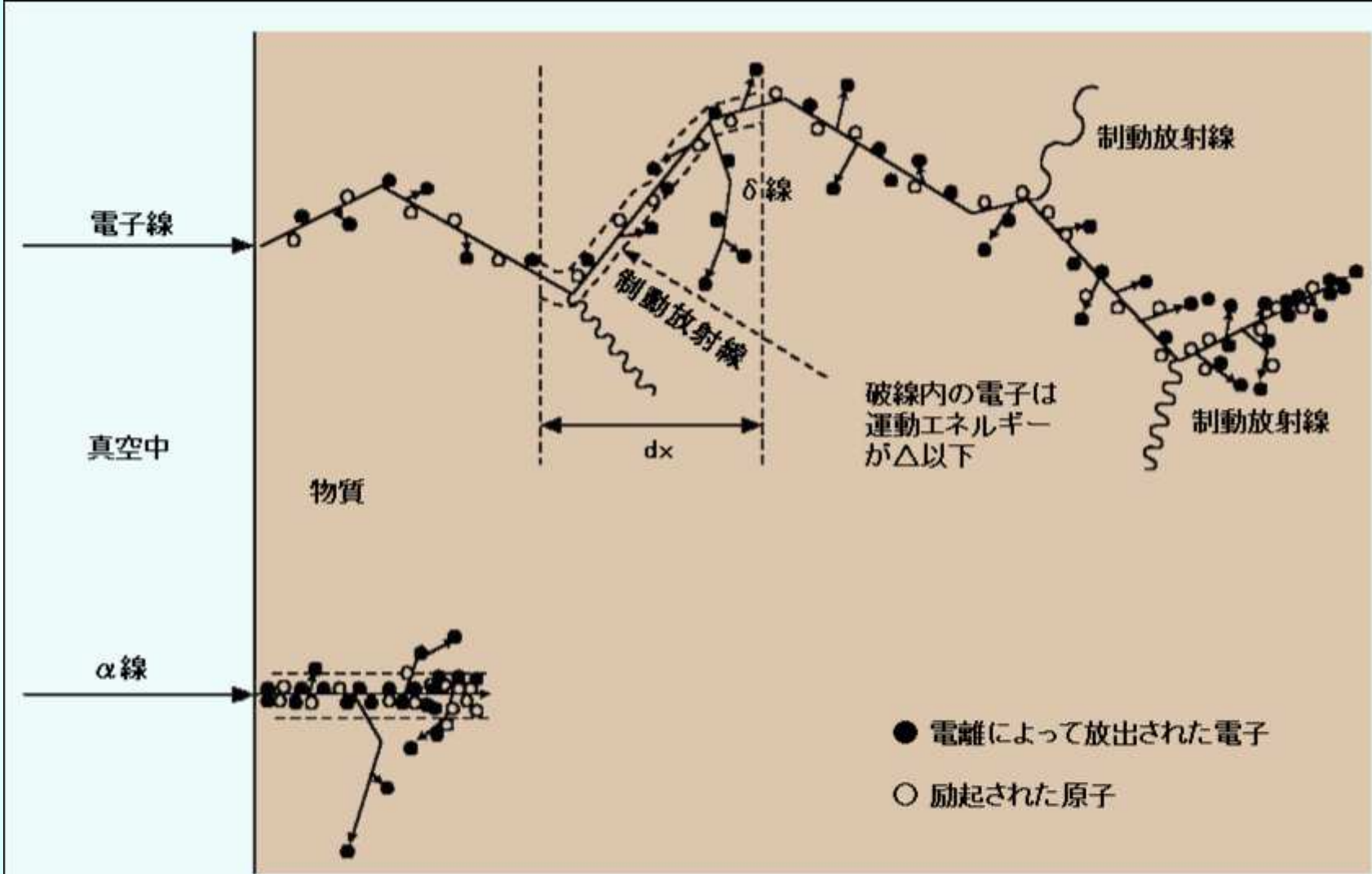


図1 荷電粒子と物質の相互作用

[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樣ではない。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。

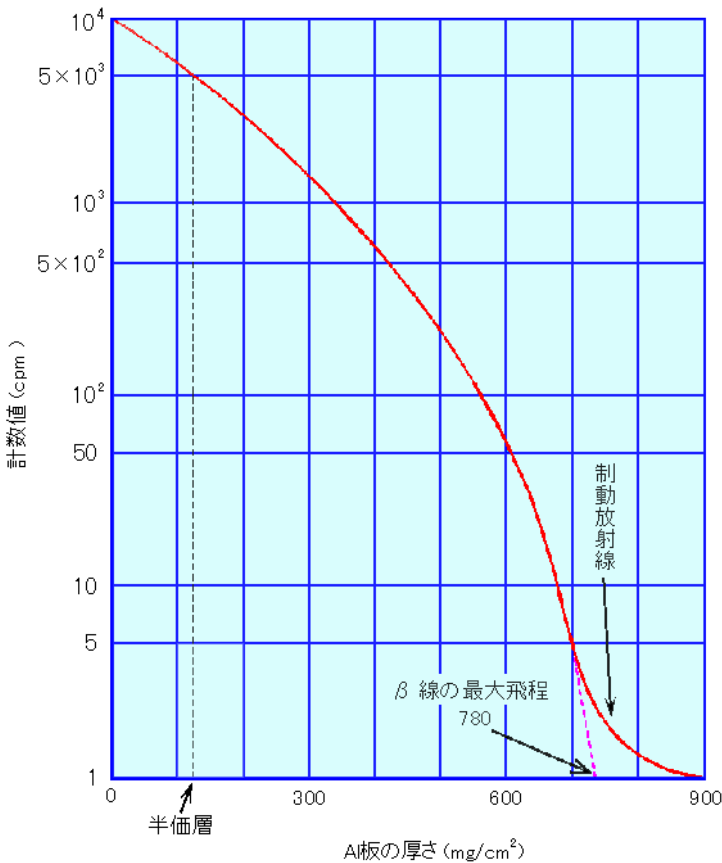


図3 ^{32}P のβ線のアルミニウムによる吸収曲線

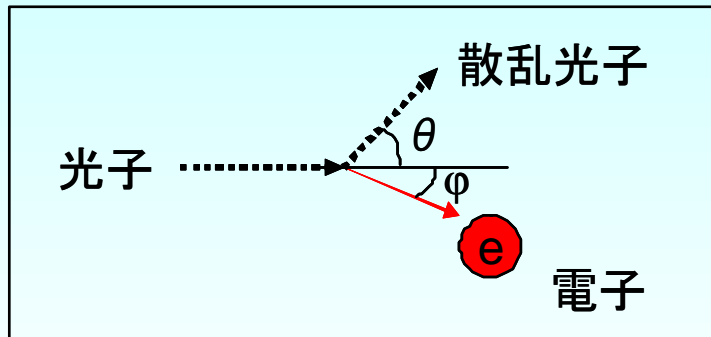
[出典] 江藤秀雄(ほか): 放射線の防護, 丸善(1982年12月), p.56

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

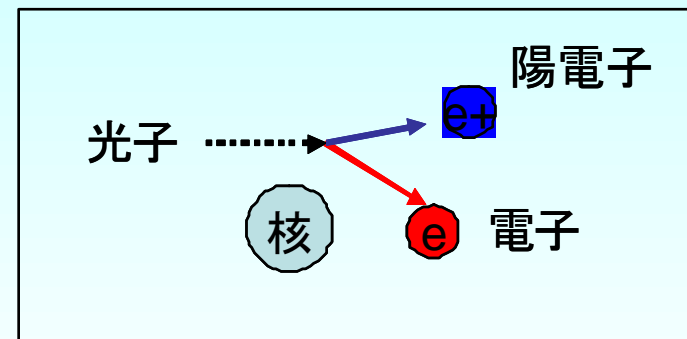
$$R = 0.542 E - 0.133 \quad (0.8 < E)$$

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

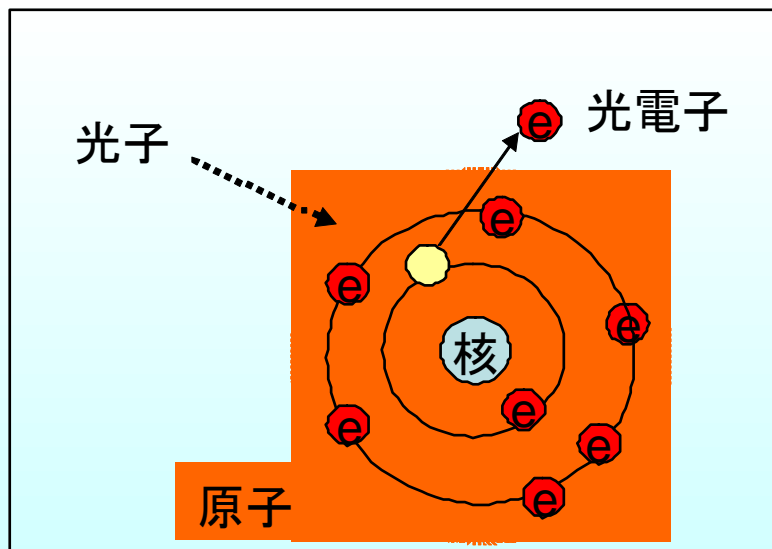
ガンマ線と電子・原子核・原子との反応



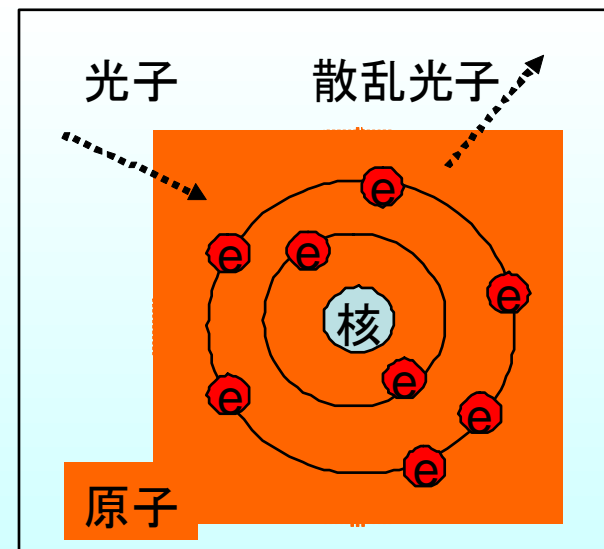
コンプトン散乱



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

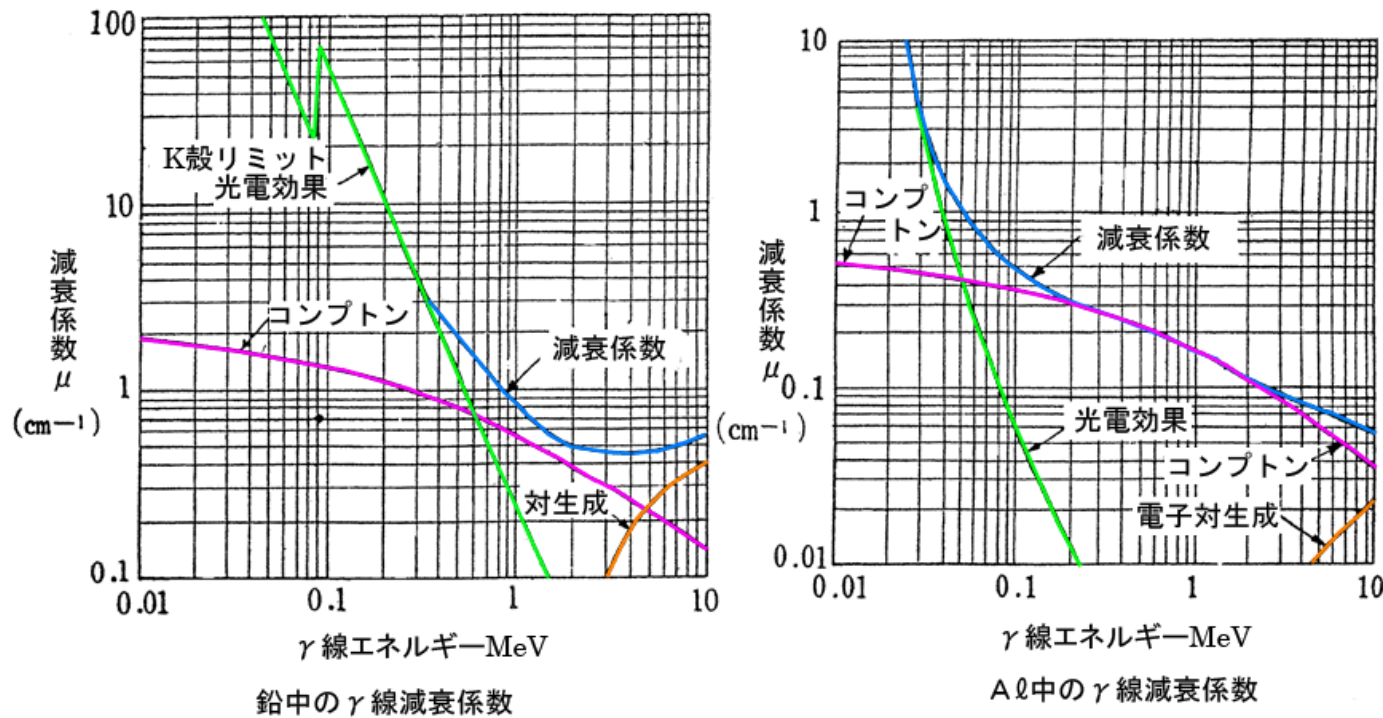


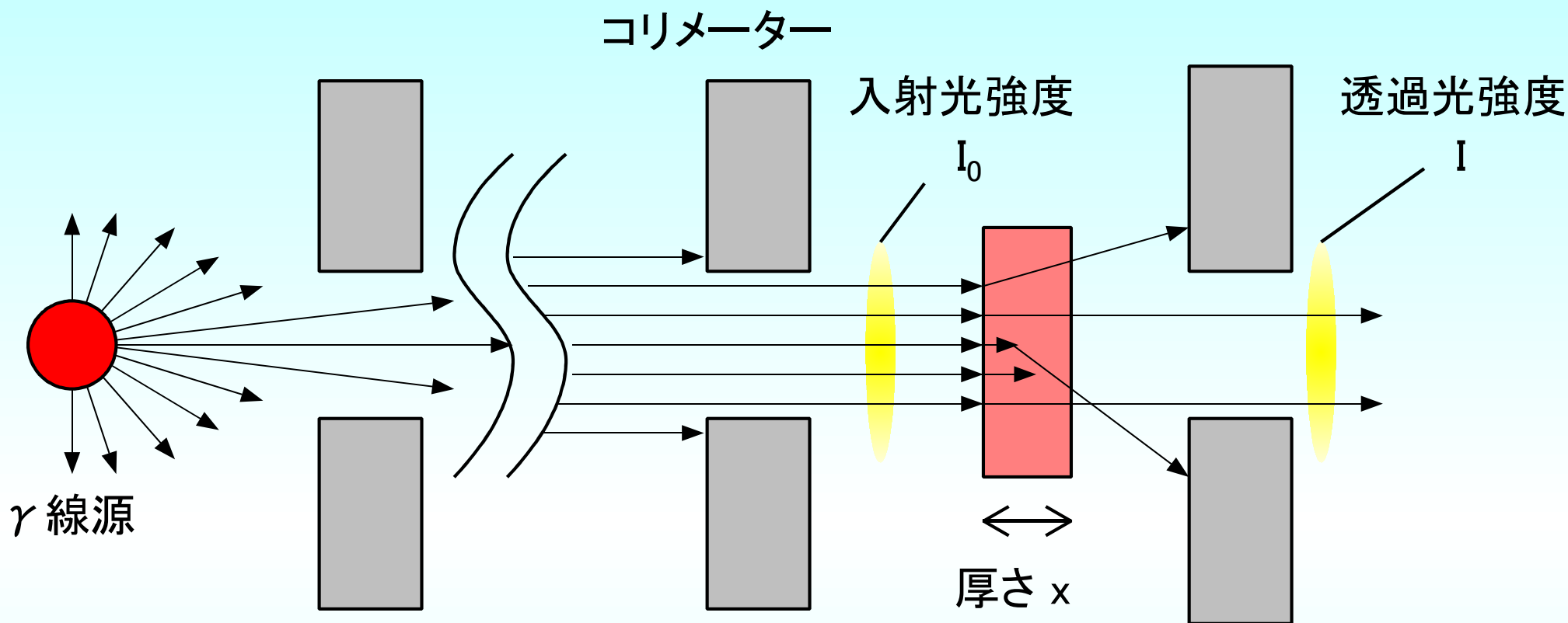
図3 γ線のコンプトン効果

[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
- 放射線研究センターについて

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

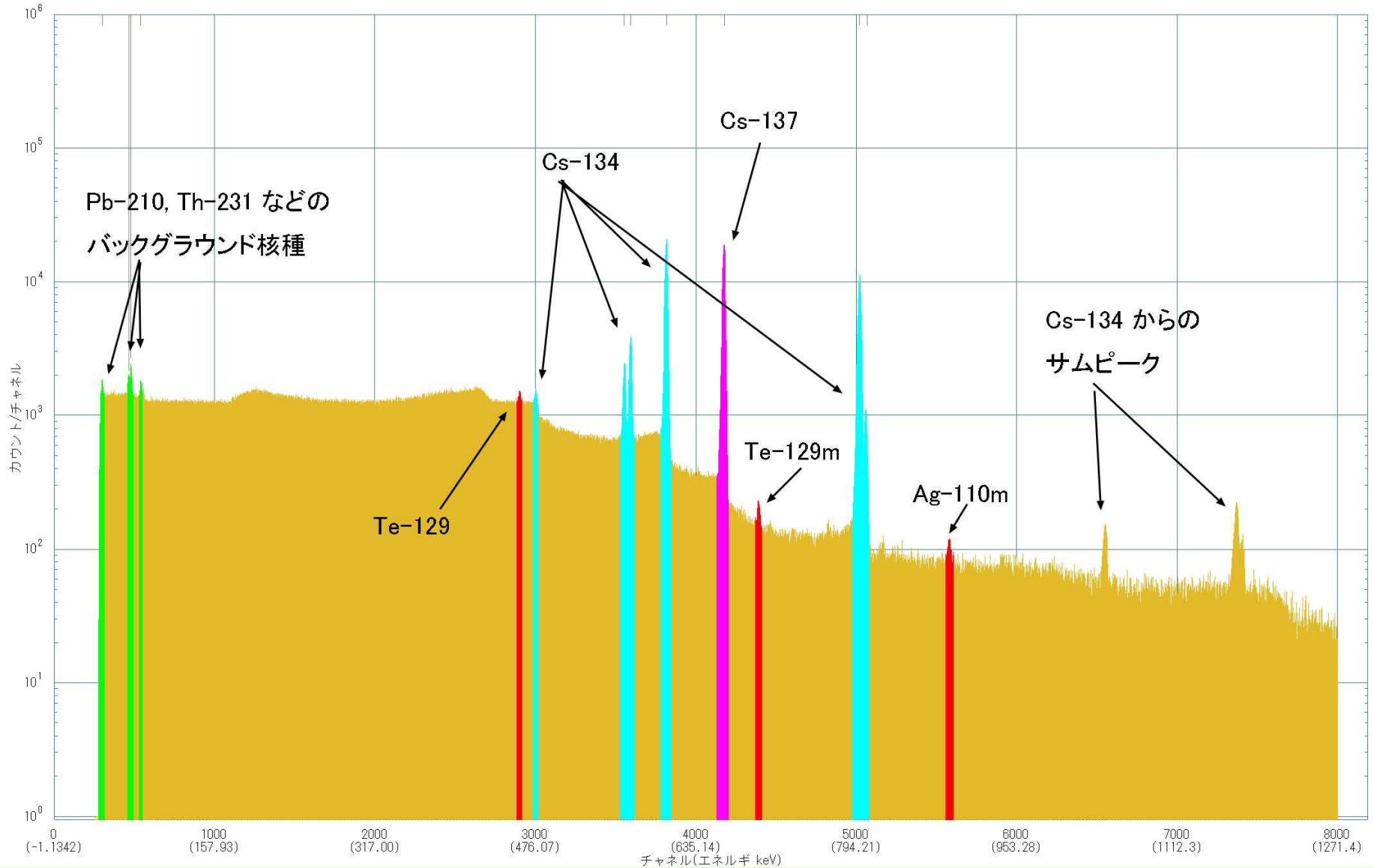
- 放射性物質はそれぞれの核種に固有のエネルギーを持った γ 線を放出するため、その γ 線のエネルギーを測定することにより未知試料中に含まれる核種を同定することが可能である
- Ge半導体検出器はp層/空乏層/n層から構成されており、p-n 接合部の空乏層に電荷のキャリアがほとんど存在しないため、逆電圧を印加してもほとんど電流が流れないが、空乏層結晶中に高速の荷電粒子が入射すると、価電子帯にある電子は伝導帯におしあげられ、多数の電子-正孔対が生成される。
- ただし、 β 線は(もちろん α 線も)検出器を覆うステンレス製のハウジングを透過できないため、検出することは出来ない → γ 線が結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

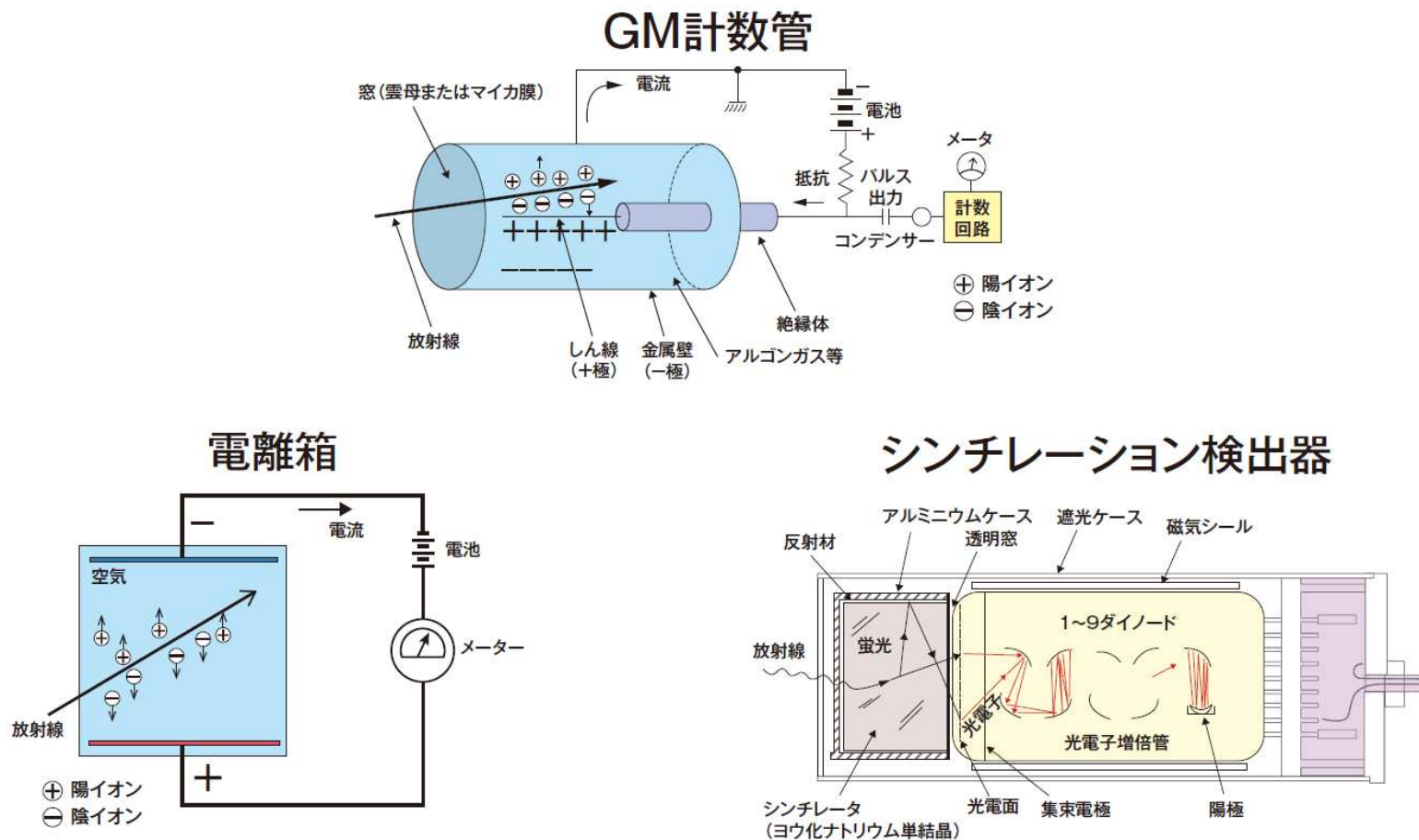
γ線スペクトル測定の一例

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)



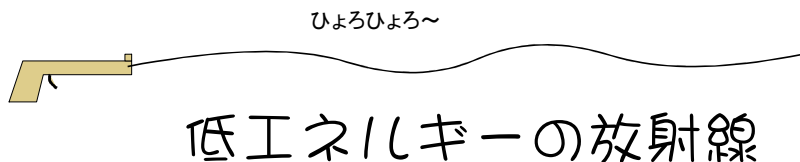
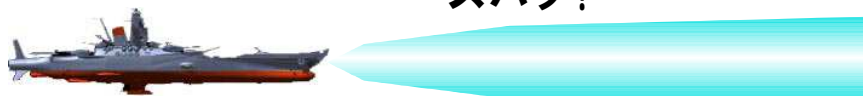
放射線計測器の測定原理



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

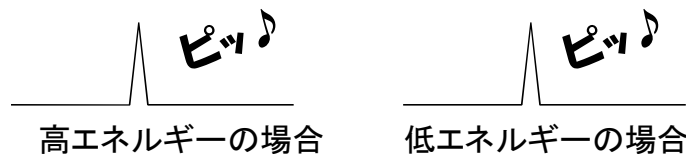
シンチレーション検出器では、蛍光が光電面に当たると光電子が飛び出し、これがダイノード(増倍電極)で増倍されて、大きな電気信号が得られる

高エネルギーの放射線



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言うことができます。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できます。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。

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
- 放射線研究センターについて

宇宙からの放射線

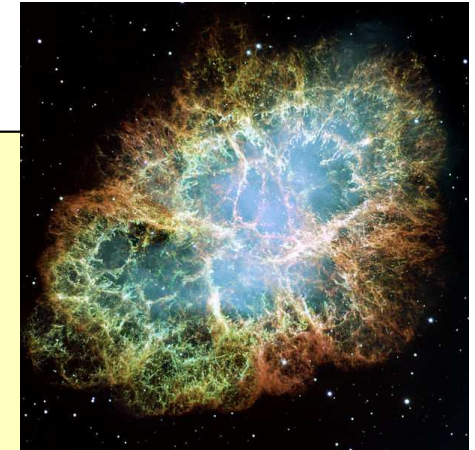
大気で地球上の生物は守られている



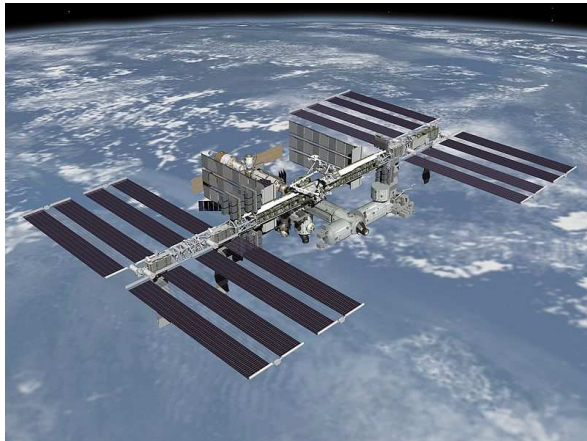
アラスカ、フェアバンクスで観察されたオーロラ

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。

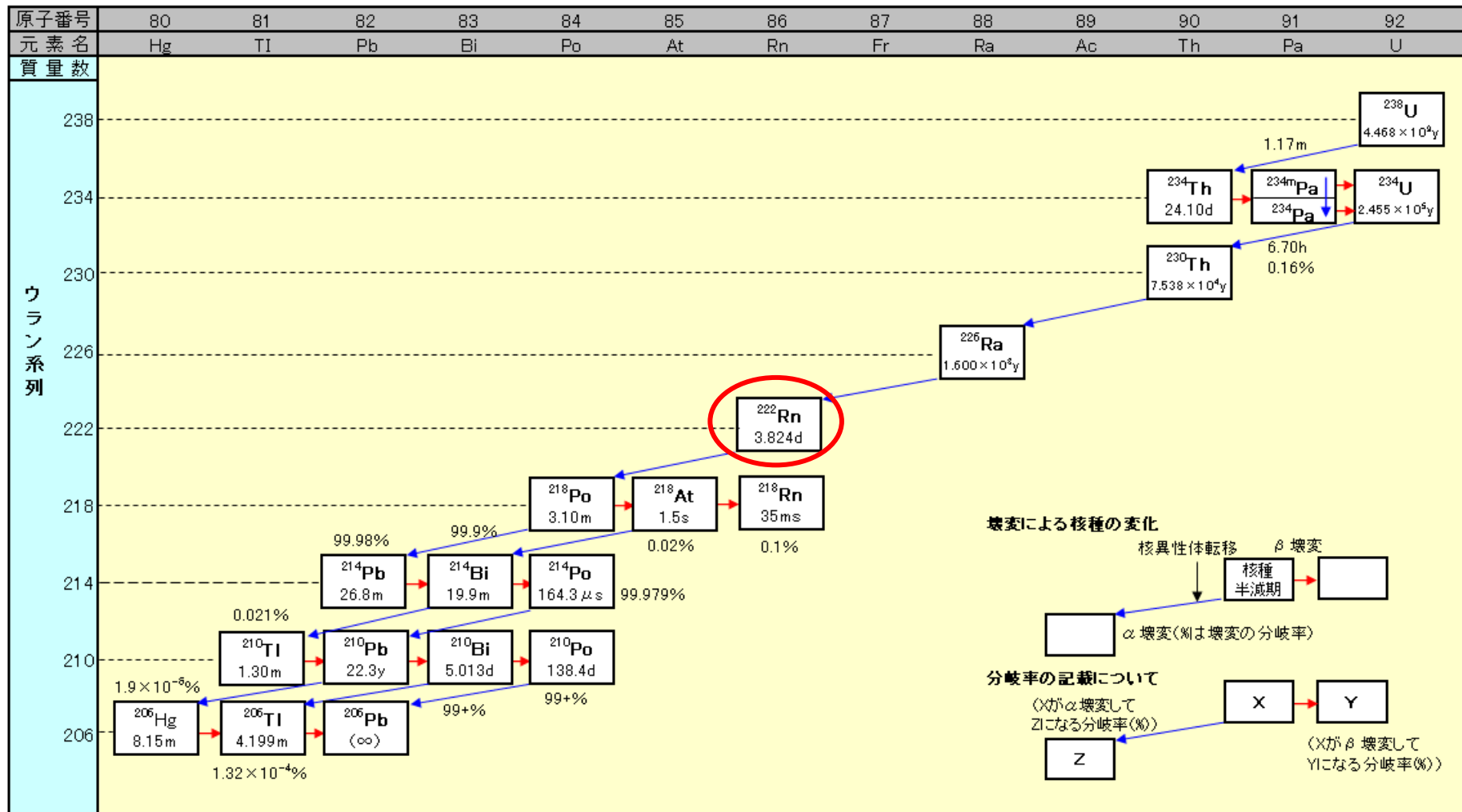
^3H は半減期12.3年、 ^{14}C は5730年と短い。

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

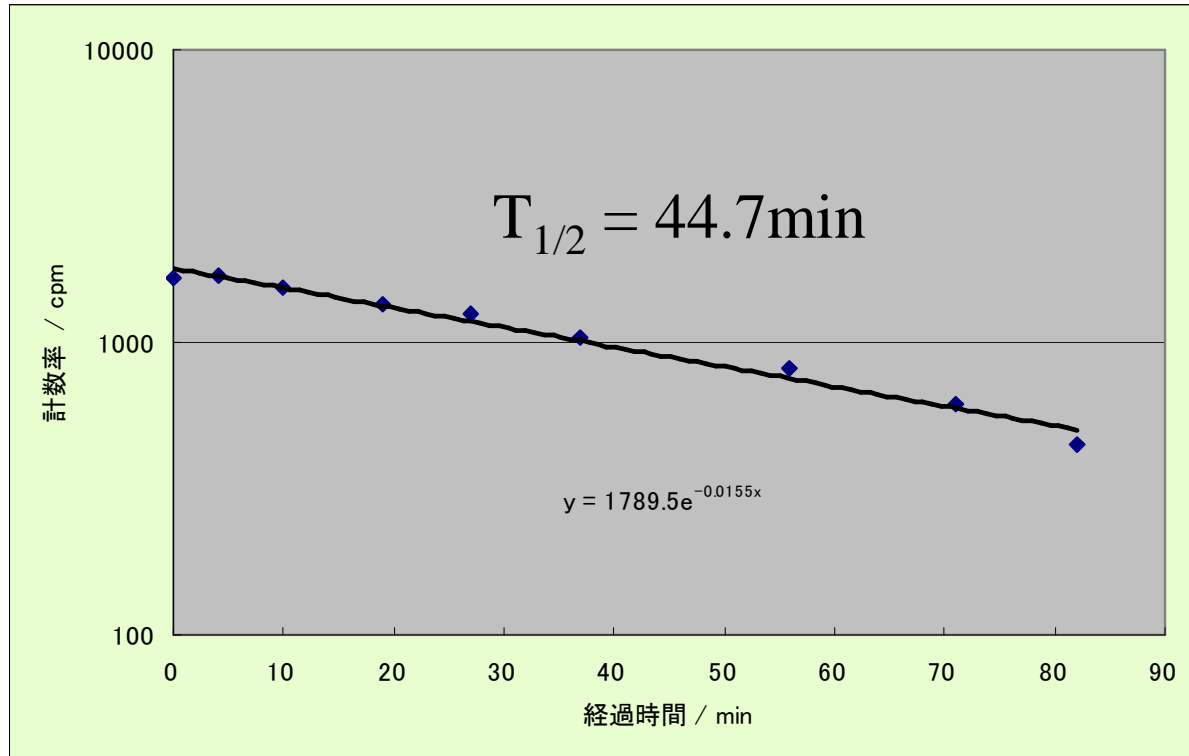


半減期の記号;s(秒), ms(10⁻³秒), μs(10⁻⁶秒), m(分), h(時), d(日), y(年)

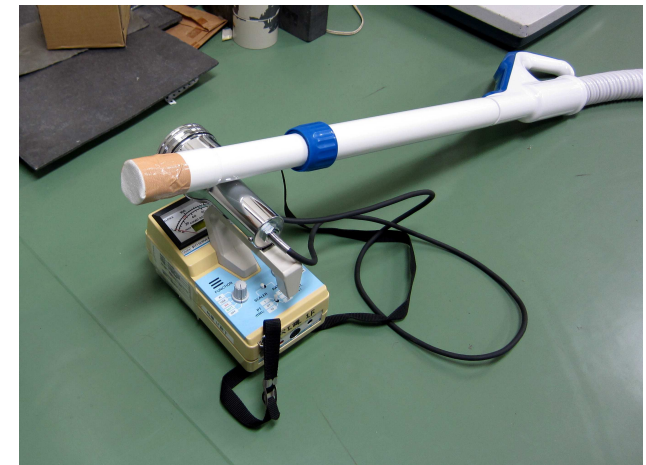
図1-1 天然放射性核種の壊変系列図(ウラン系列)(1/4)

[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



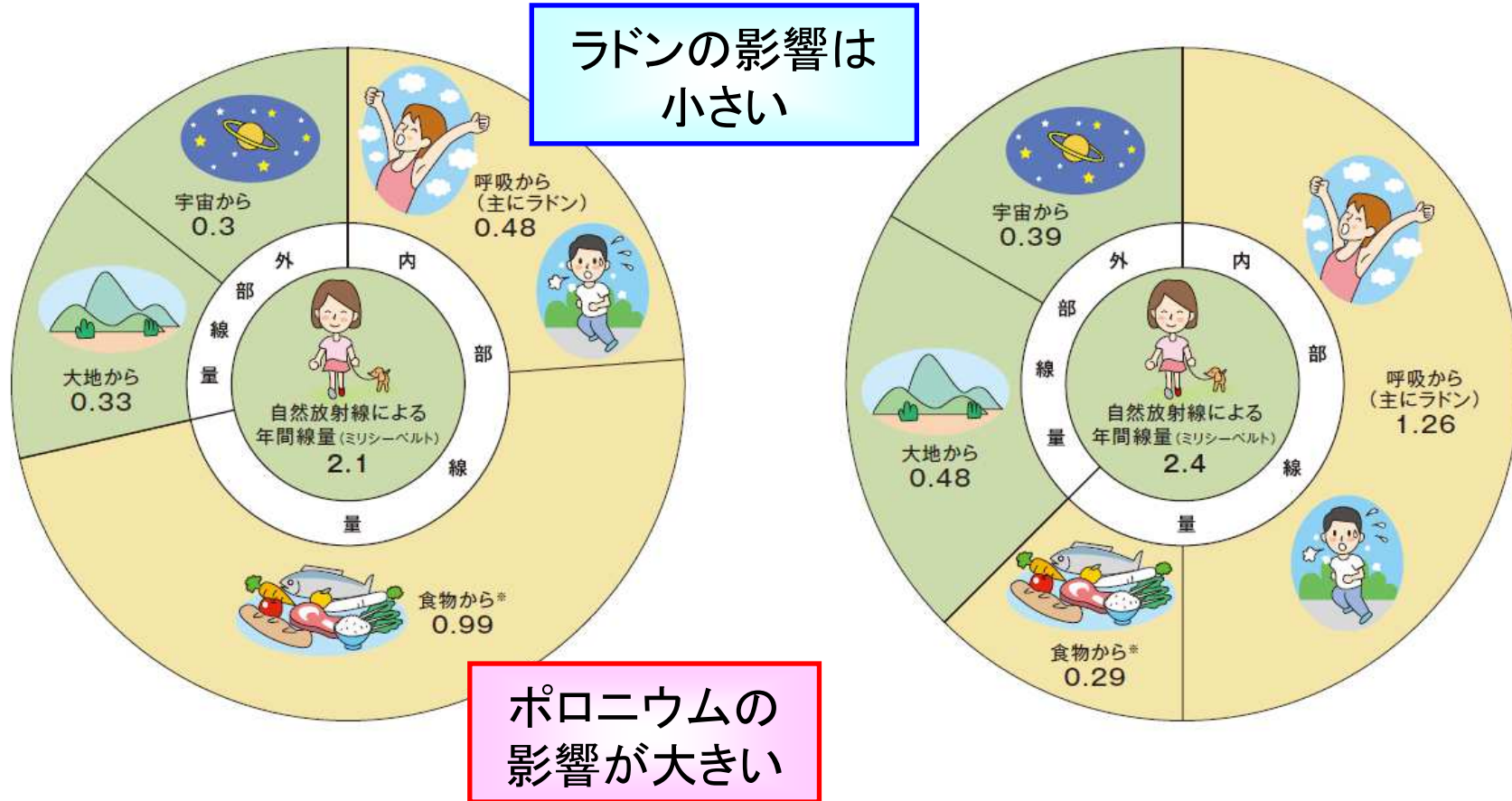
市販の掃除機吸入口先端にガーゼ(ベンコット)をかぶせて5分ほど吸引し、広窓型GMサーベイメータ TGS-136 のスケーラーモードで1分間計数した



自然放射線から受ける線量

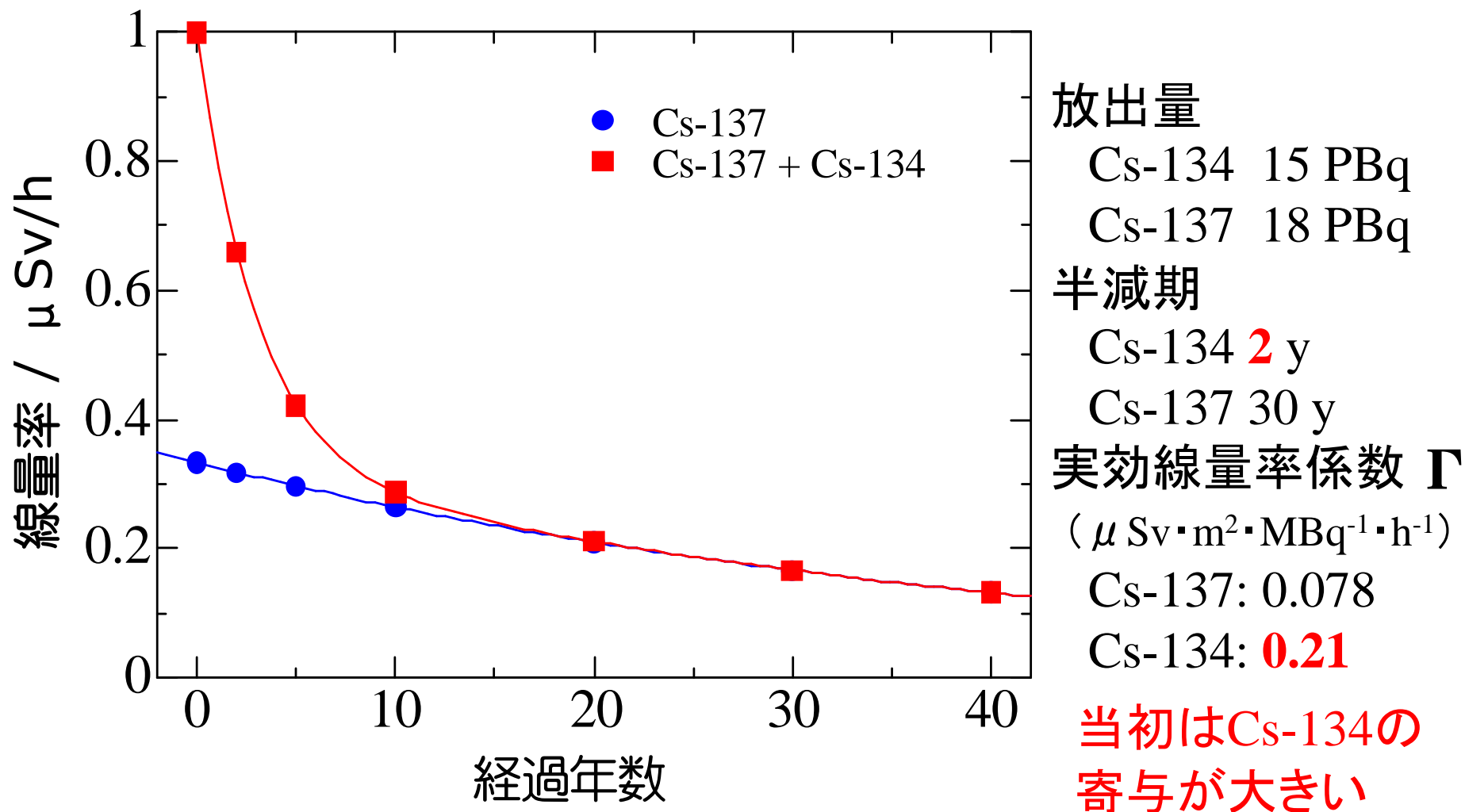
一人あたりの年間線量(日本平均)

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

Cs-137 と Cs-134 から放出される放射線の実効線量率の経過年数に伴う減少

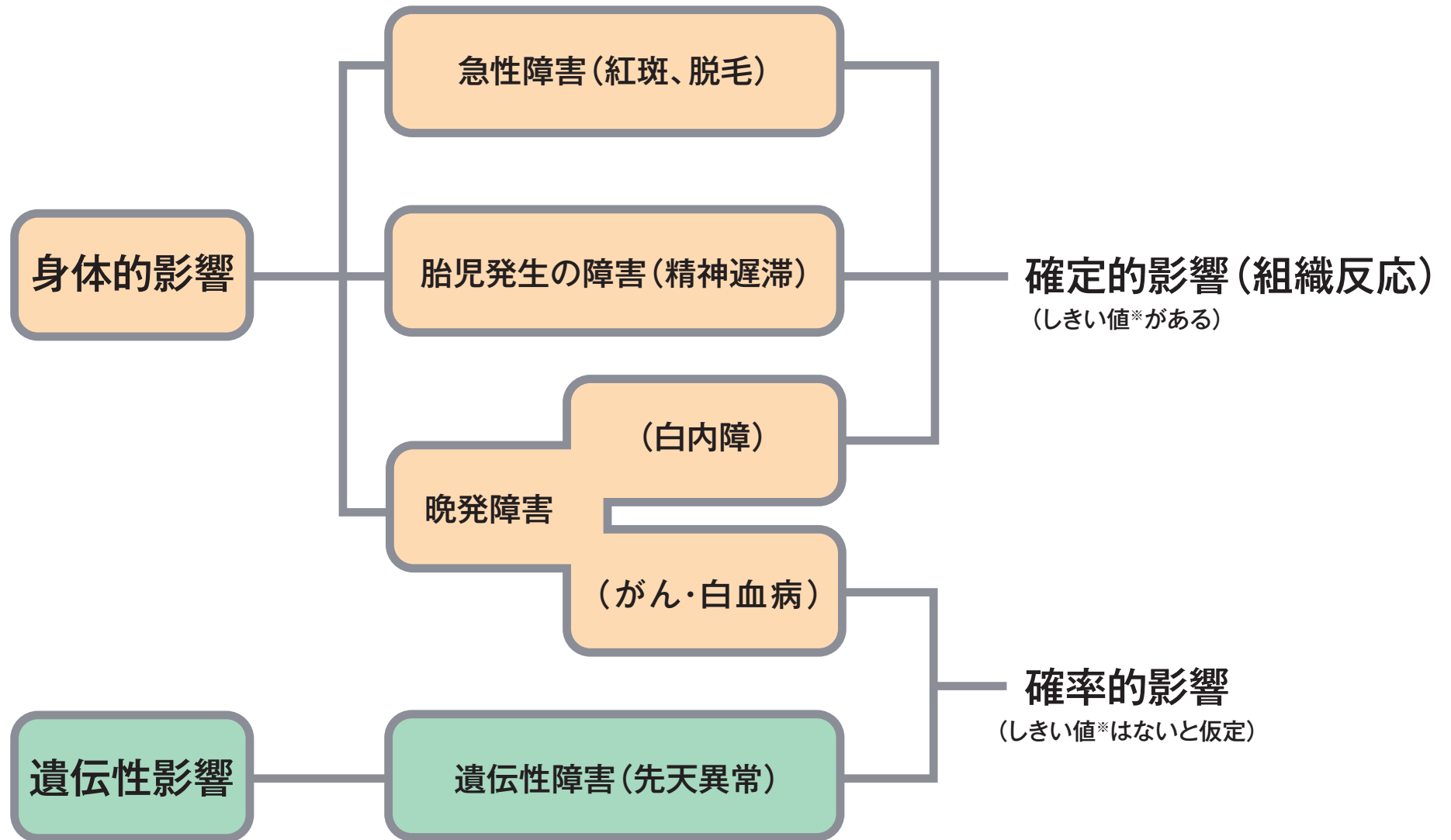


事故当初の合計の線量率を $1 \mu\text{Sv/h}$ として規格化。
実際には、2011年6月の福島市街地で $0.4 \mu\text{Sv/h}$ 程度。

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
- 放射線研究センターについて

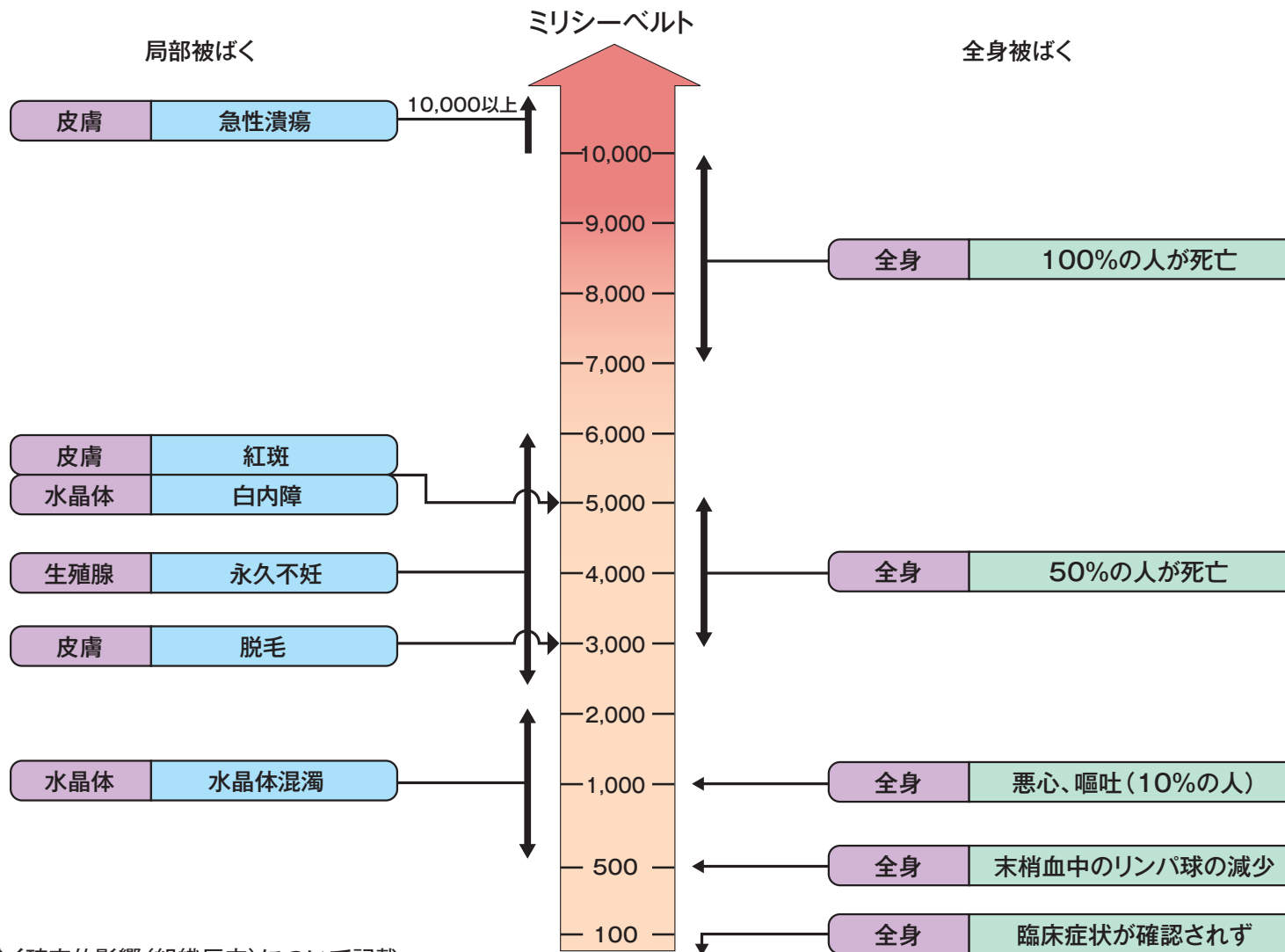
放射線の人体への影響



※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

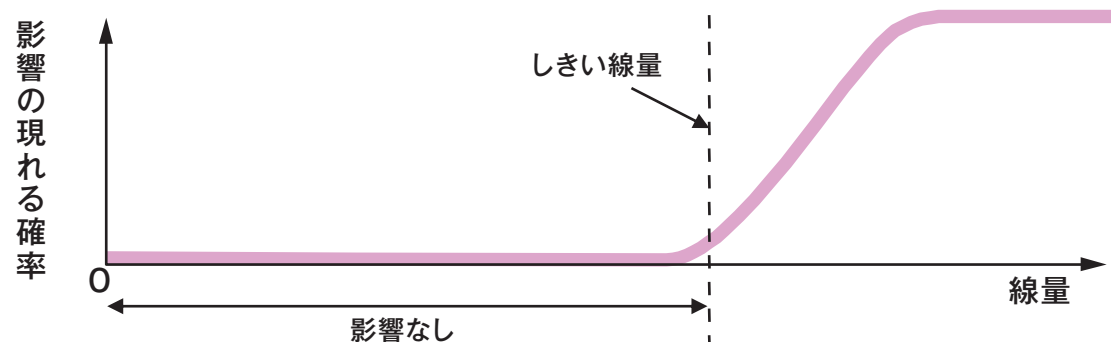
(注2) 一般の人の線量限度1.0 mSv/年、原子力発電所周辺の線量目標0.05 mSv/年

放射線防護の考え方

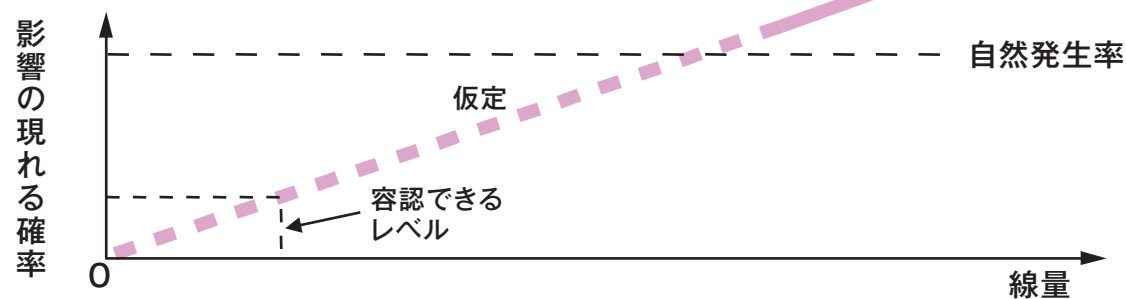
確定的影響（組織反応）は、しきい線量※以下に抑えることで影響をなくす。

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

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 μ Sv(マイクロシーベルト)

放射性ヨウ素による内部被爆

原子炉事故時、気体になりやすいヨウ素が広がり、食物や呼吸を通して体内に。

^{131}I ($t_{1/2}=8\text{d}$), ^{132}I (2.3h), ^{133}I (20.8h)

特に甲状腺に集まる。

体の中のヨウ素の量が少ないほどその割合が大きくなる。→昆布などを日頃から食べることである程度の予防が可能

甲状腺への集中を防ぐための対策：

妊婦および小児への安定ヨウ素剤(ヨウ化カリウム)投与が重要。一方、成人では甲状腺がんの**リスク**は小さく、特に40歳以上の成人に対する安定ヨウ素剤投与の必要性はない。

逆に、過剰摂取による害が知られており、公衆に対するヨウ素剤の投与には**リスク**が存在する。

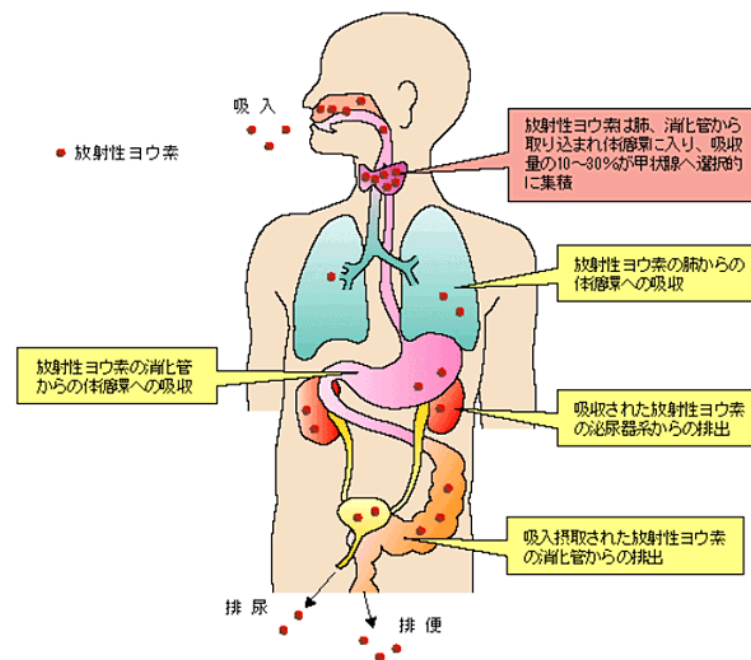
ヨウ素131を用いた治療

バセドウ病などの甲状腺機能亢進症や、一部の甲状腺癌の治療に用いられる

数GBqの I-131

→等価線量数10Sv

→ 甲状腺細胞の死滅



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
- 放射線研究センターについて

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

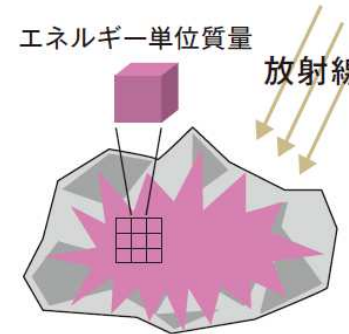
$$\text{シーベルトの値} = \text{グレイの値} \times \text{放射線加重係数}^{\ast 1} \times \text{組織加重係数}^{\ast 2}$$

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

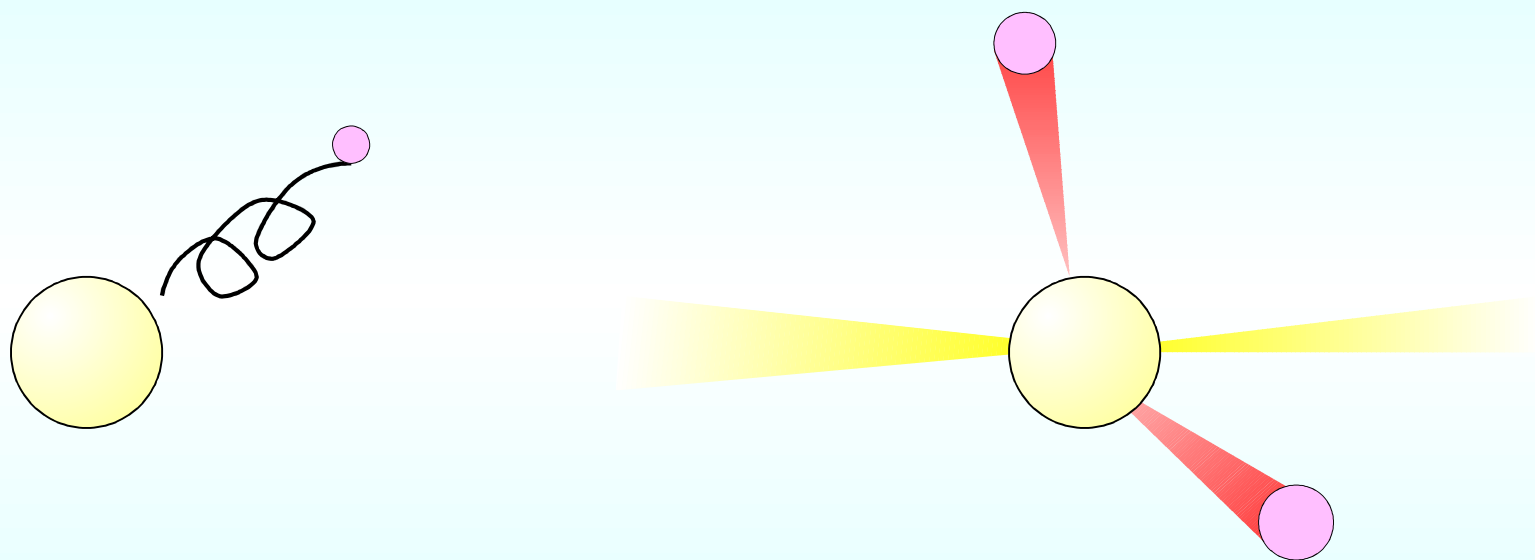
実効線量率定数が Γ である核種の放射能を Q (MBq)としたとき、距離 r (m) における実効線量率 \dot{E} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$) を以下の様に求められる。

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

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ま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。

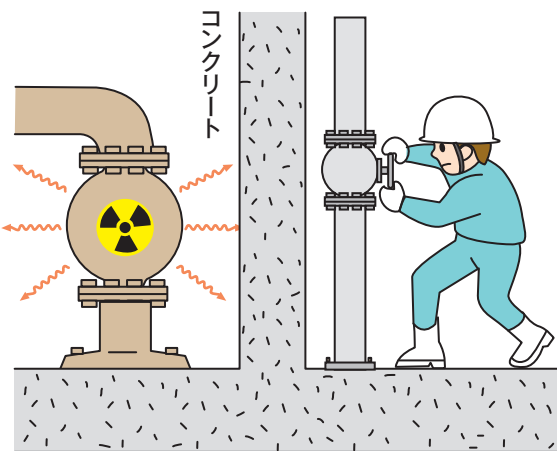
講義内容

- 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**
- 放射線研究センターについて

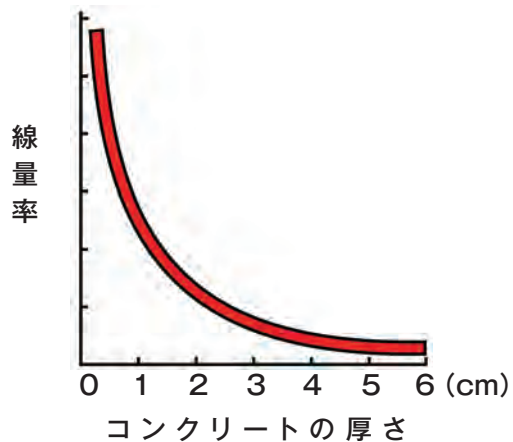
放射線防護の基本

1. 遮へいによる防護

(線量率) = 遮へい体が厚い程低下

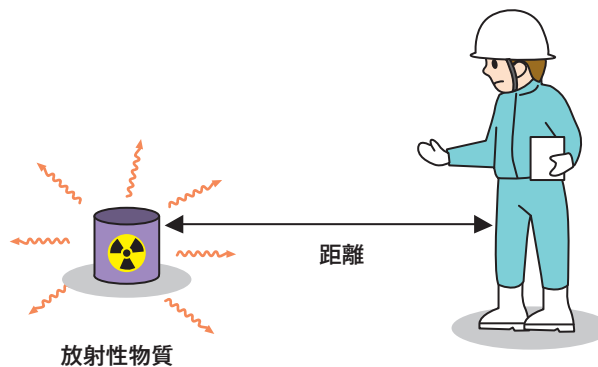


(mSv/h)

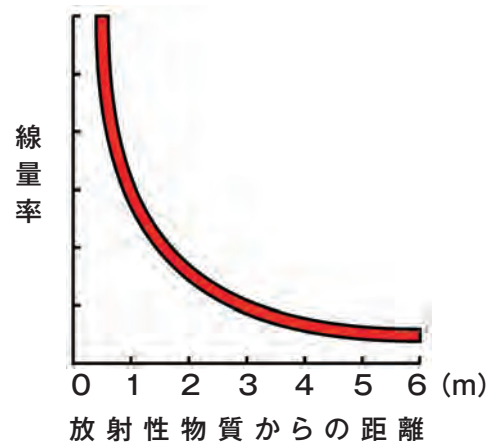


2. 距離による防護

(線量率) = 距離の二乗に反比例

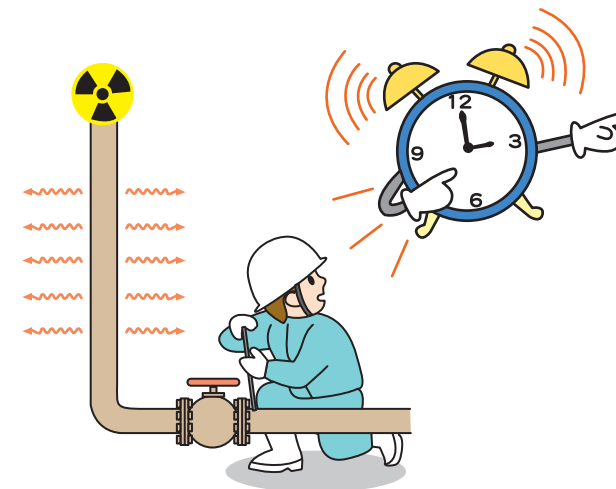


(mSv/h)

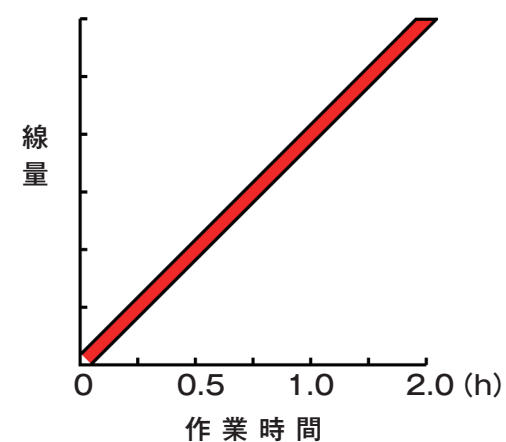


3. 時間による防護

(線量) = (作業場所の線量率) × (作業時間)



(mSv)



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

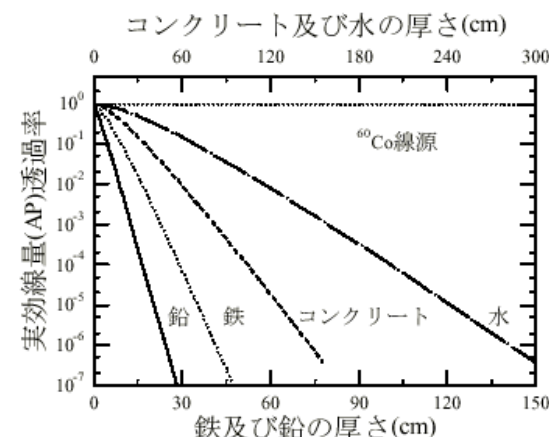
しゃへい計算

○ 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)。



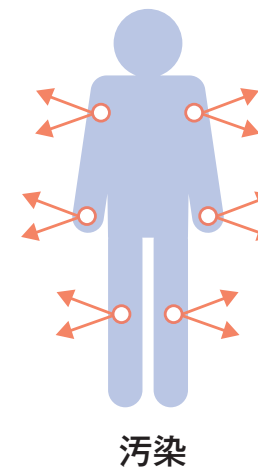
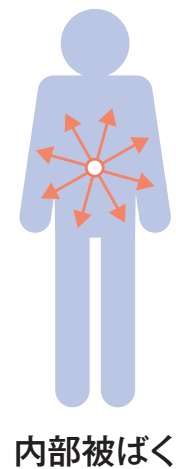
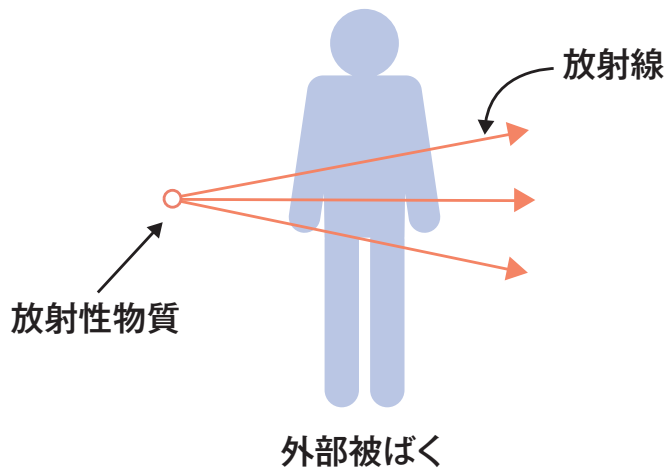
被ばくと汚染の違い

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



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ぺんに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

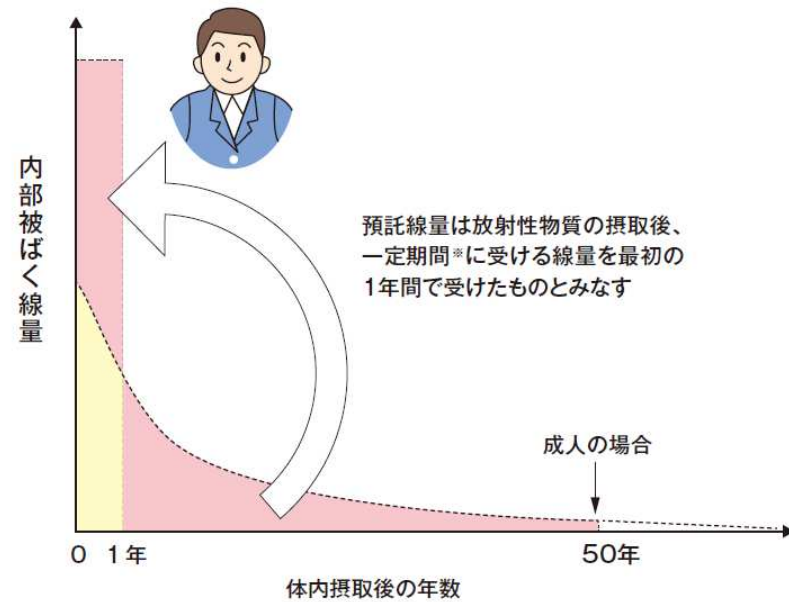
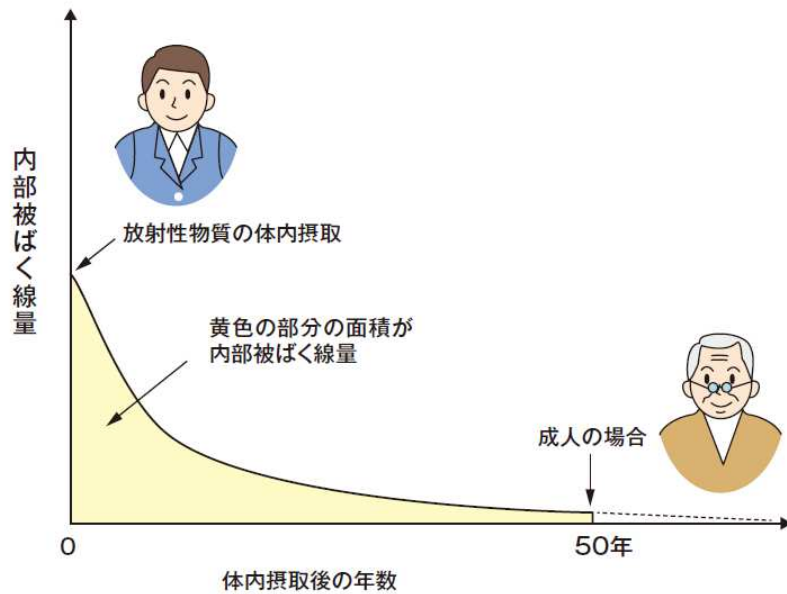
実効線量係数 effective dose coefficient

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。

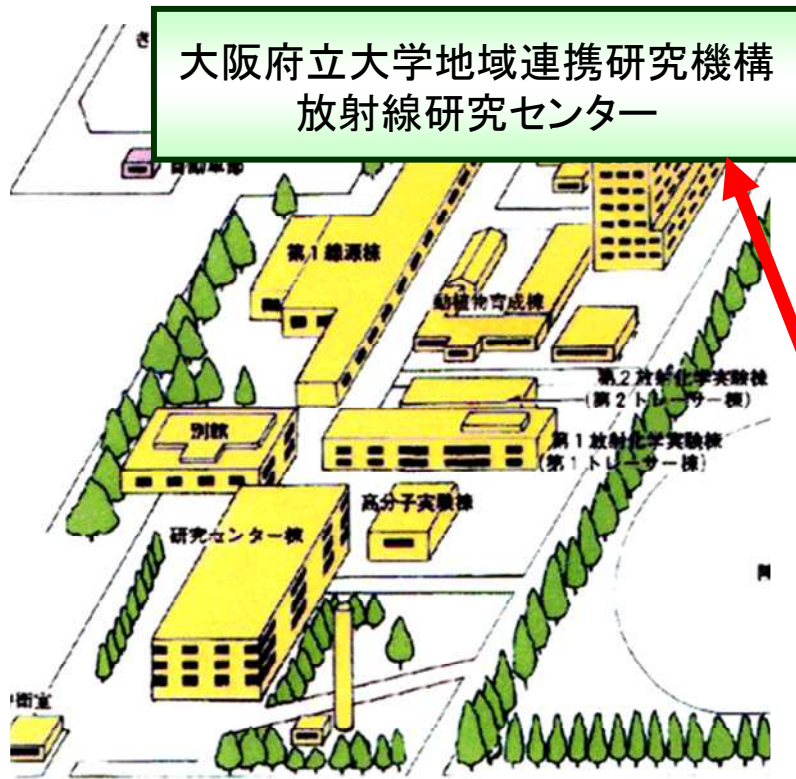
A:

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

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
- **放射線研究センターについて**

放射線研究センターと活動



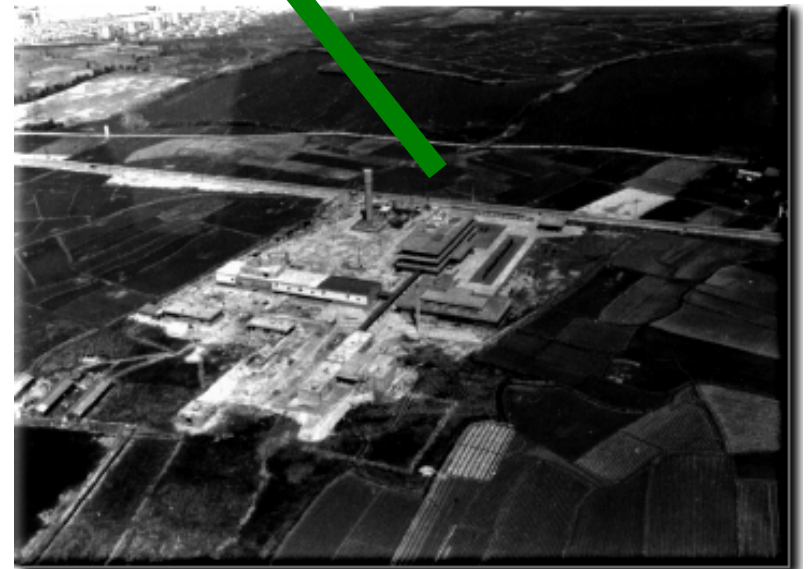
2009

センター今昔

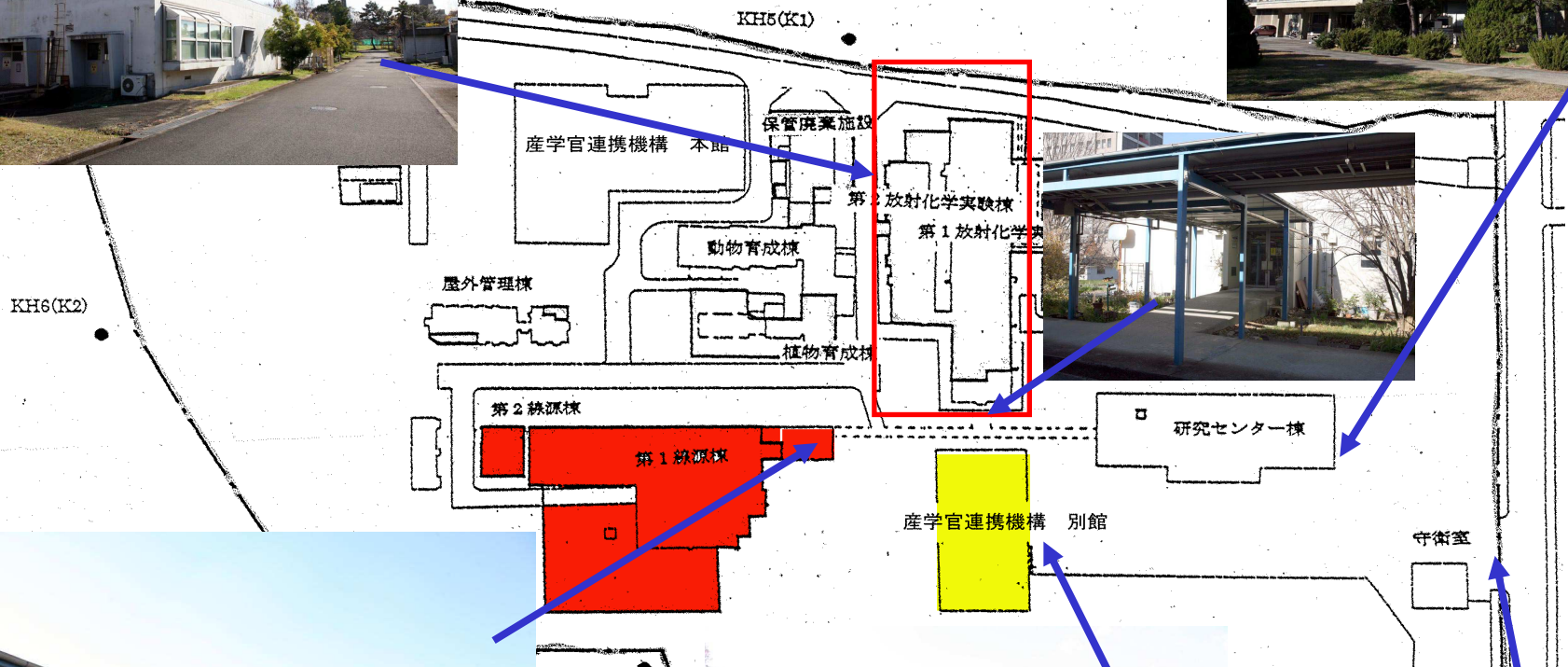


- 1959年 大阪府立放射線中央研究所（大放研）発足
- 1962年 大放研電子ライナック設置
- 1990年 附属研究所発足（大阪府立大学に統合）
- 1995年 先端科学研究所（先端研）発足
- 2000年 放射線総合科学研究センター発足
- 2005年 大阪府立大学の法人化 産学官連携機構
放射線研究センター発足
- 2011年 地域連携研究機構 放射線研究センター発足
- 2013年 大阪府立大学工学研究科量子放射線系専攻新設
(放射線研究センター教員担当)

1959

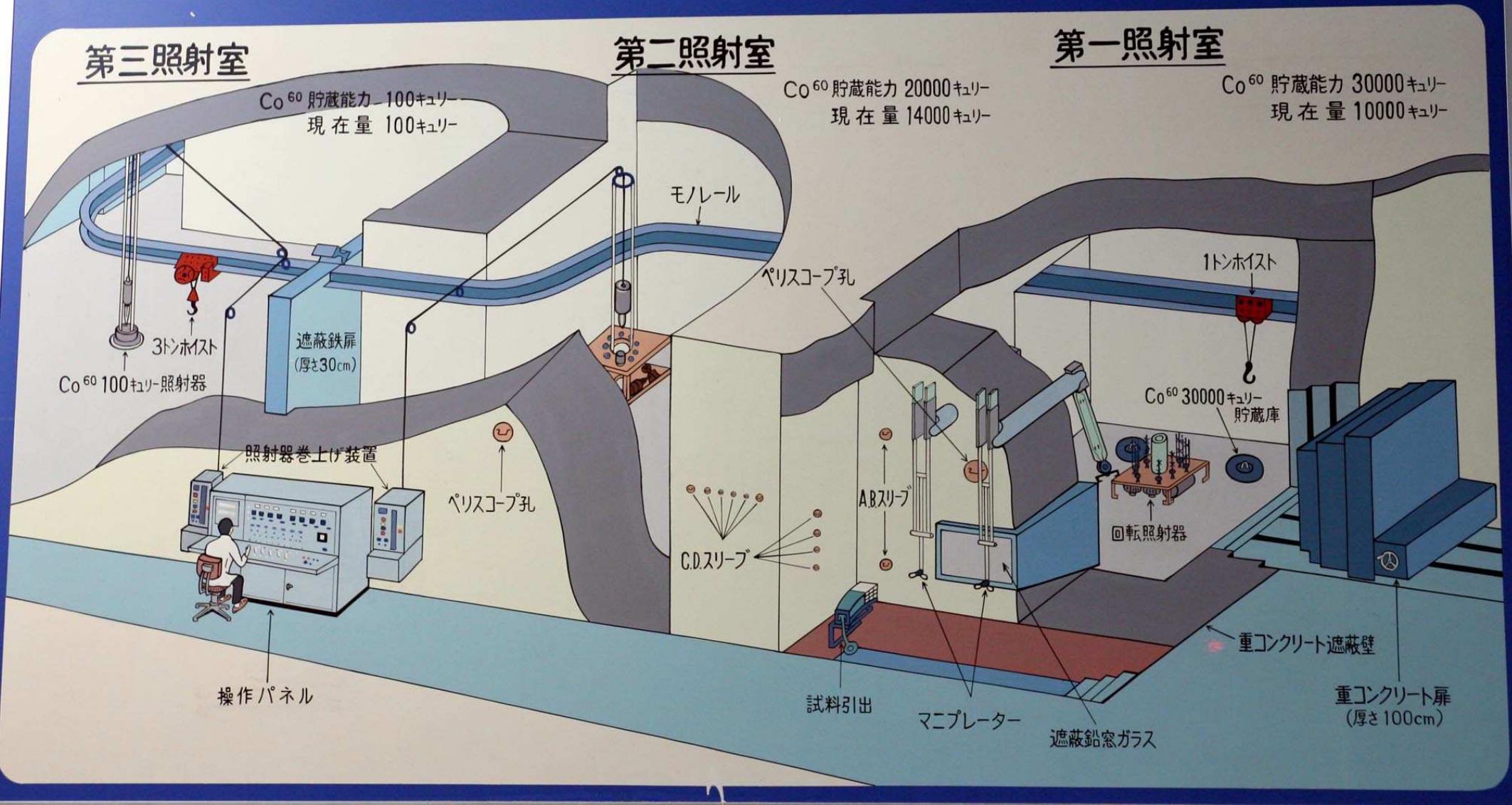


線源棟とトレーサー棟

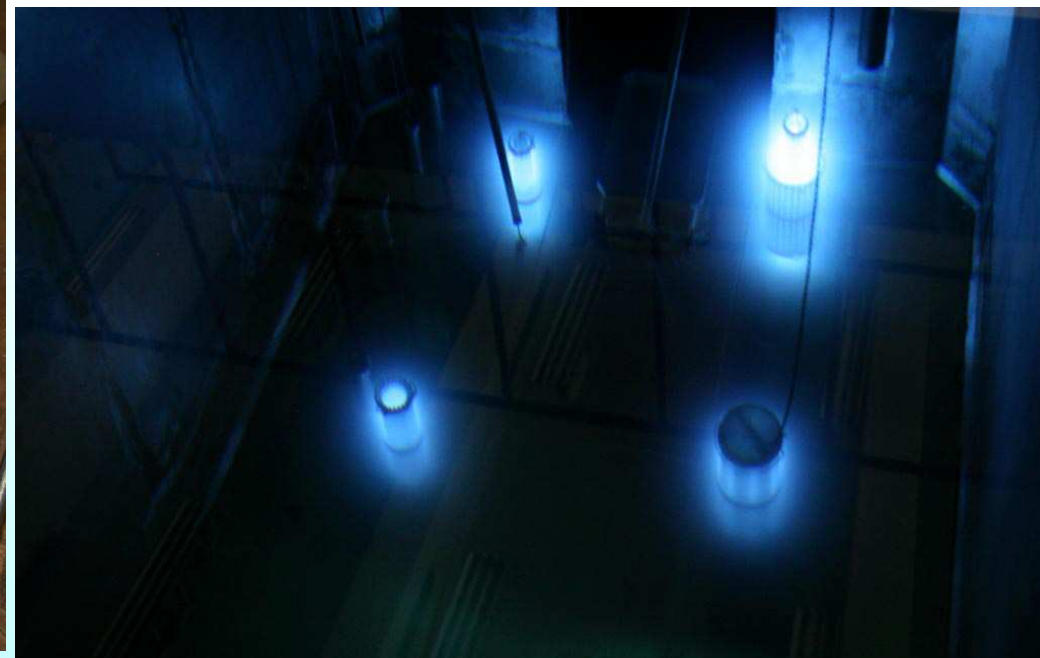
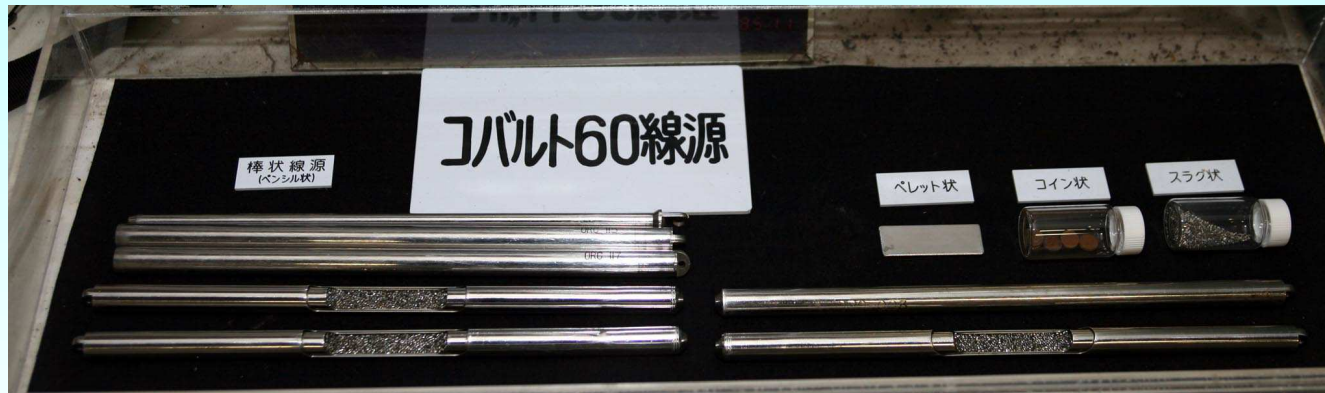


放射線研究センターの γ 線照射装置

線源棟 Co^{60} 照射室



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 γ 線照射装置

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
	0.7	1		第3照射室
	1623	1000		第4照射室
	50000			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	10453	5000	Co-60	コバルト1棟 第1照射室
		15000		コバルト1棟 第2照射室
		5000		コバルト1棟 第3照射室
	10145	15000		コバルト2棟 第6照射室
		5000		コバルト2棟 第7照射室
	2206	30		食品棟 第1照射室
5000		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	45	1427	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
	4.2	177		
	0.3	8		
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	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)
	34	(公開情報無)	Cs-137	185GBq以下3個、Cs-137 222GBq以下3個)
名古屋大学 コバルト60照射室		1937	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	2447	Co-60	照射室は1つ
長崎大学 先端生命科学研究支援センター アイソトープ実験施設 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。

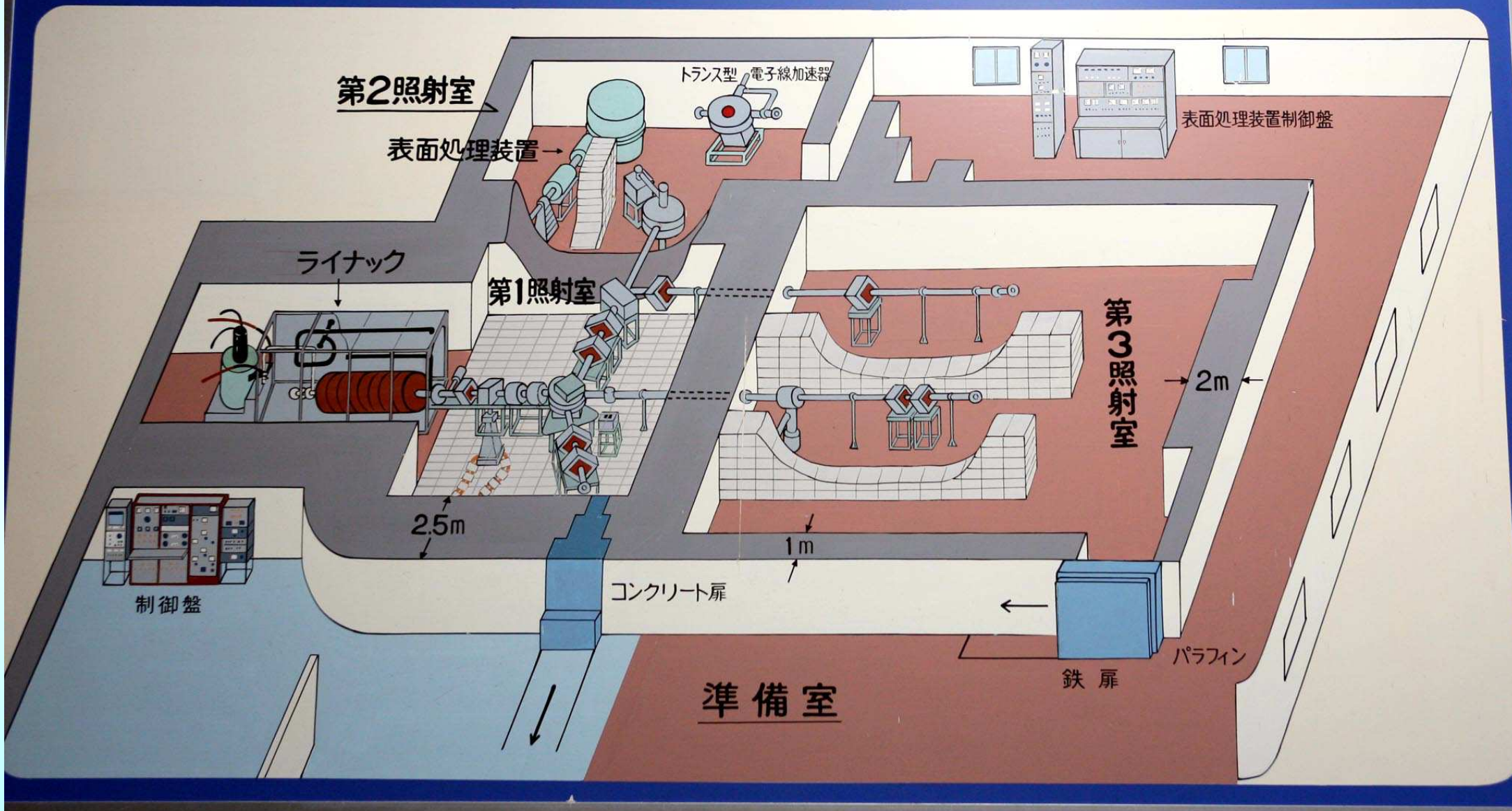
ただし、JAEA高崎の線量率は放射線利用振興協会のサイトを参照し、減衰補正していない。

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。

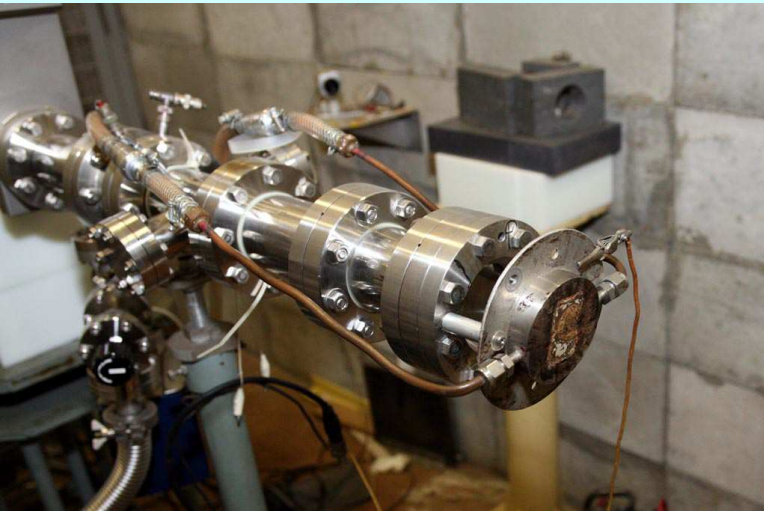
全体の規模としては西日本最大で、大学としては群を抜いた最大の照射施設である。

放射線研究センターの電子線加速器

ライナック及び表面処理装置 照射室



放射線研究センターの電子線加速器



講義資料の配布

[http://bigbird.riast.osakafu-u.ac.jp
/~akiyoshi/Temp/](http://bigbird.riast.osakafu-u.ac.jp/~akiyoshi/Temp/)