

2017年度 初年次ゼミ（木1）

「放射線」をキーワードとした総合的学習

第2回

放射線と物質の相互作用、生体影響

工学研究科 量子放射線系専攻 /
研究推進機構 放射線研究センター
准教授 秋吉 優史

放射線が身体に入ると何が起こるの？

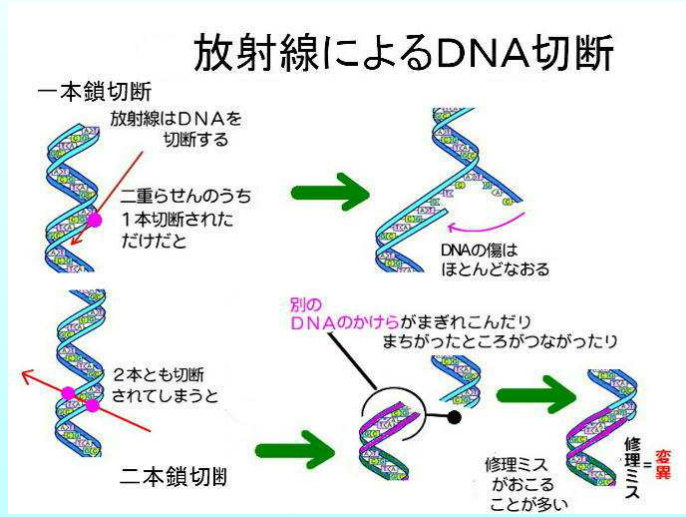
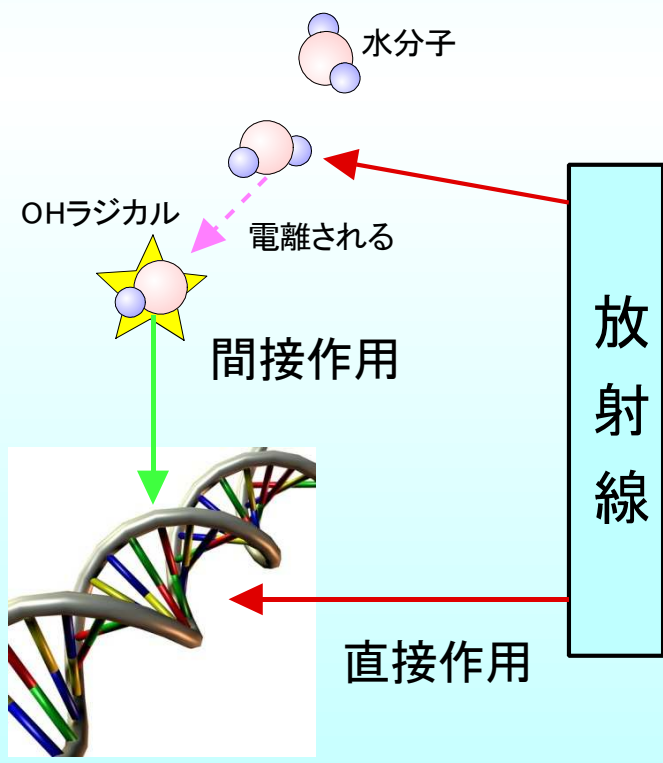
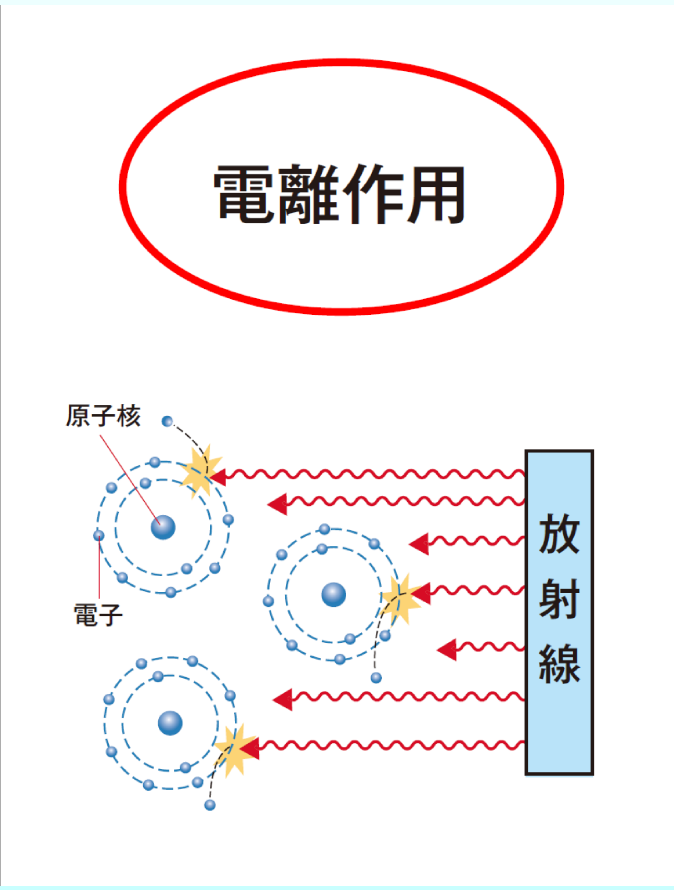
放射線は原子の周りの電子を弾き飛ばしてしまい、結合している手を切ってしまう「電離作用」を起こします。

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

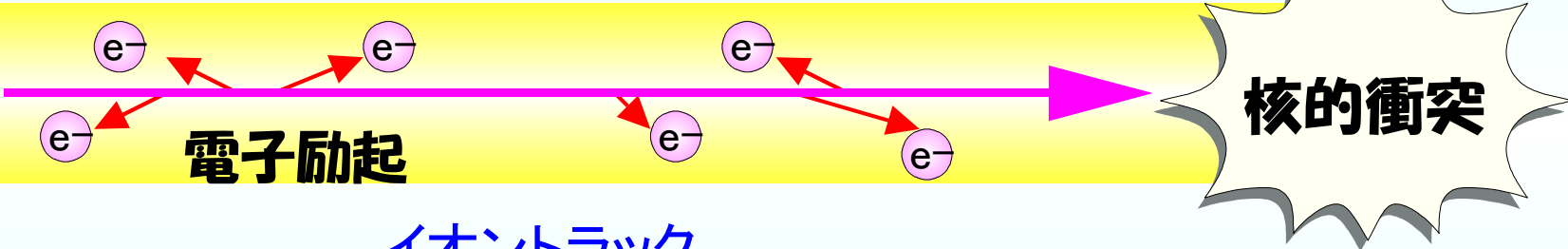
物質を進むにつれて指数関数的に強度が弱くなっていくが、その際の線減弱係数は光子のエネルギーによって関与する素過程の違いが変化するため大きく異なる。数MeVの領域では高エネルギーの方が透過力は高い。光電効果、コンプトン効果により物質中で電子線を生成するため、高エネルギーの光子はごく僅かではあるが原子核の弾き出しも起こす。

イオンビーム(α 線)の場合

物質に入射したイオンビームはそのほとんどのエネルギーを電子励起により徐々に失い、それに伴い阻止能が増加し(粒子の速度の二乗に反比例)、最終的に核的な衝突を起こす。弾性散乱された物質の原子はさらに他の原子をはじき飛ばしカスケードを形成する。

Primary Knock-on Atom (PKA)

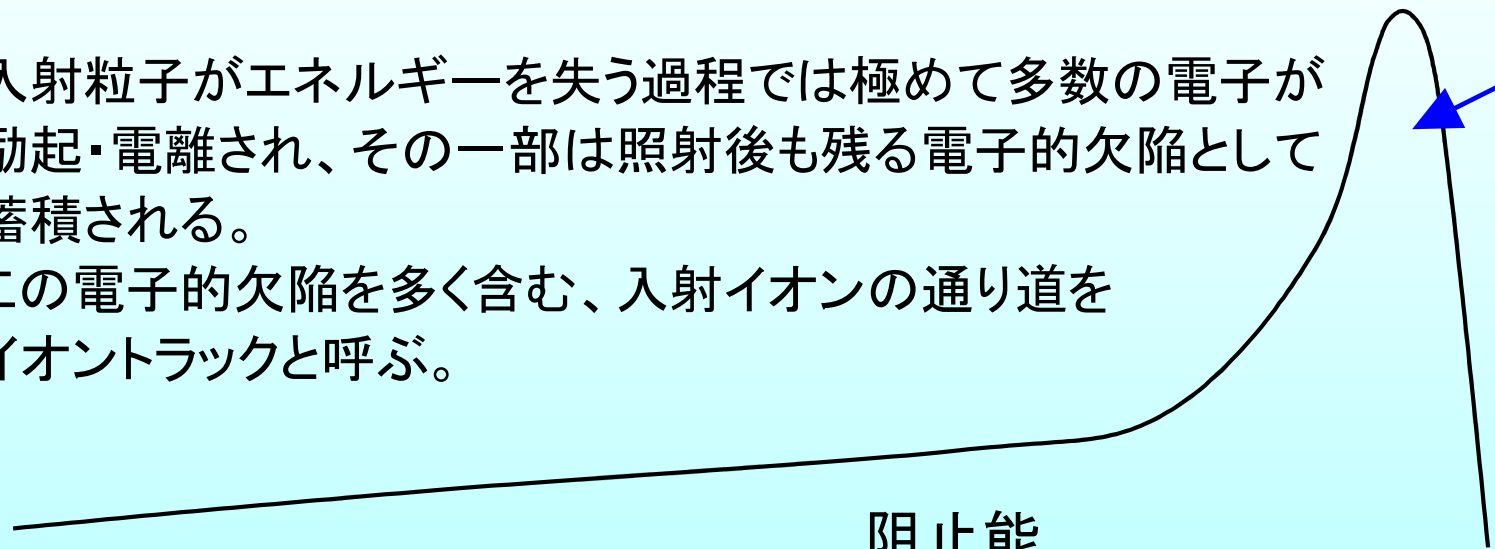
弾性散乱 (弾き出し)



入射粒子がエネルギーを失う過程では極めて多数の電子が励起・電離され、その一部は照射後も残る電子的欠陥として蓄積される。この電子的欠陥を多く含む、入射イオンの通り道をイオントラックと呼ぶ。

ブラッグピーク

阻止能



電子線(β線)とα線の比較

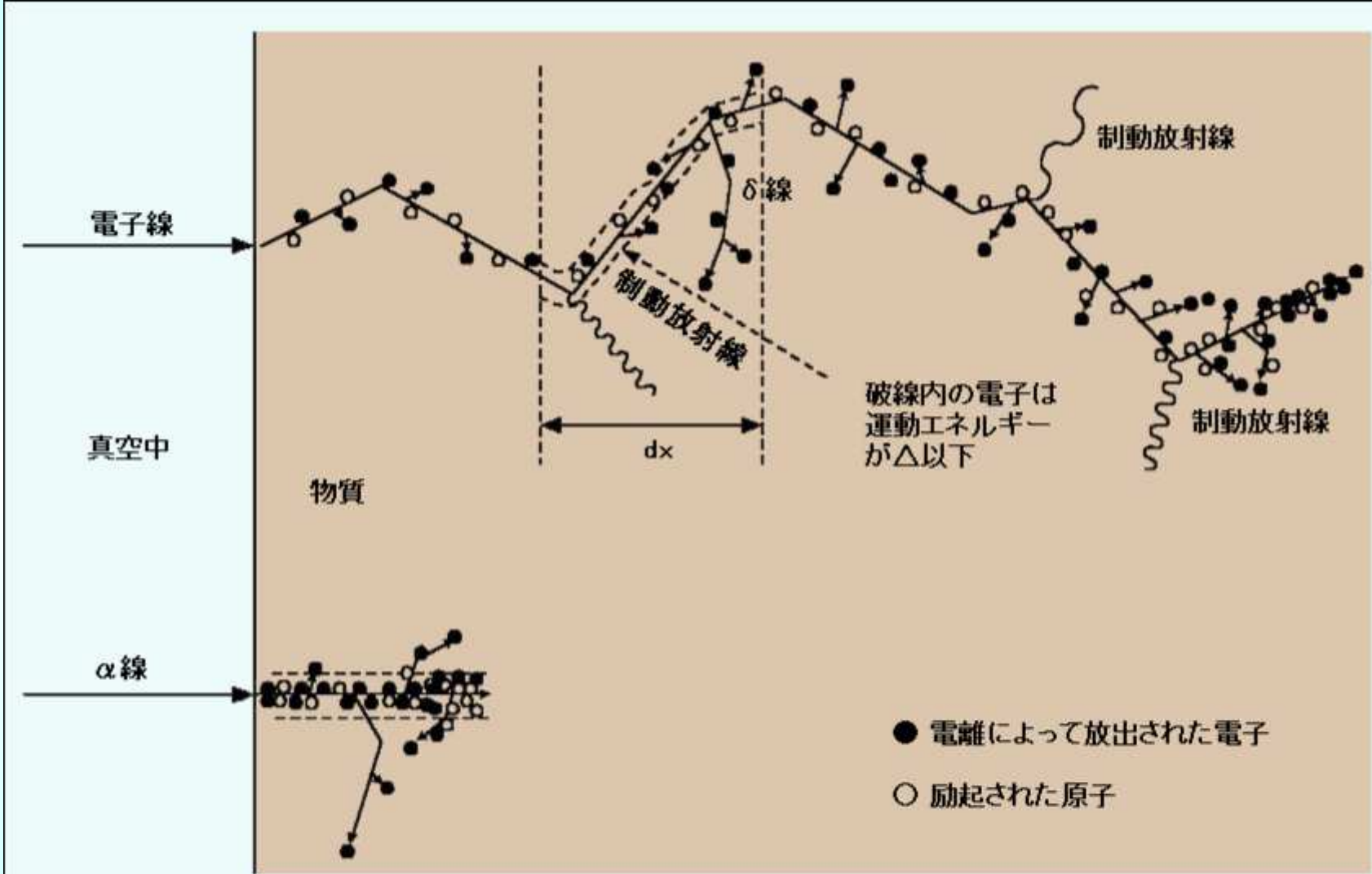


図1 荷電粒子と物質の相互作用

[出典]江藤秀雄(ほか):放射線防護、丸善(1982年12月)、p.54

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。

放射線を当てると放射性物質ができるか

普通は、放射線を当てても放射線を出す物質はできない

例外：加速器や原子炉

γ線・X線の減衰

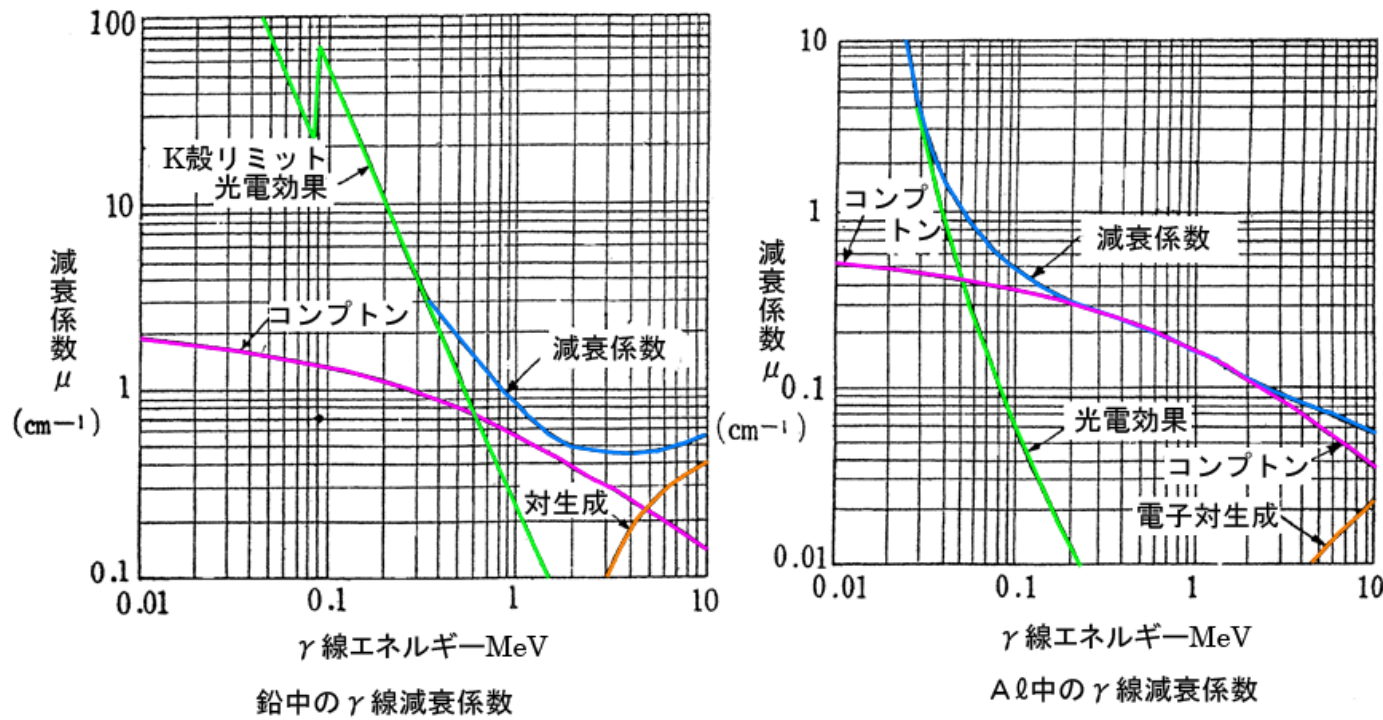


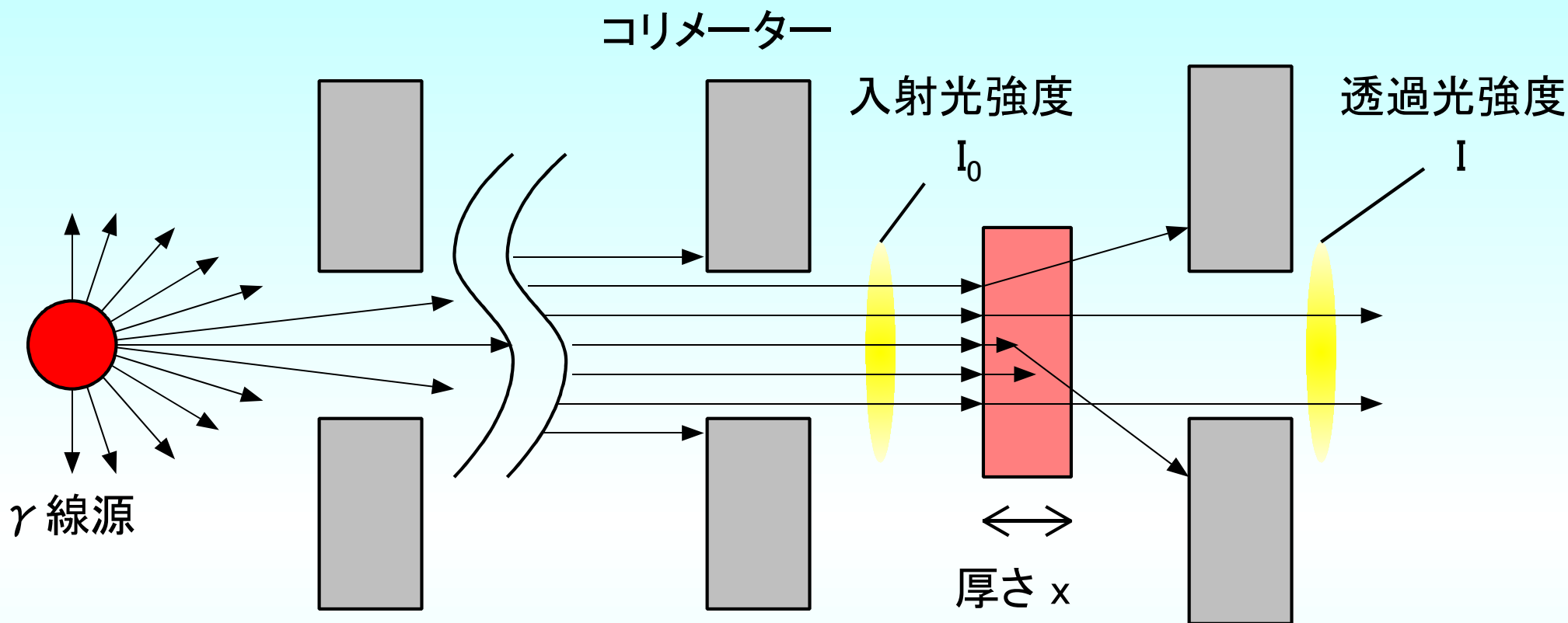
図3 γ線のコンプトン効果

[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、

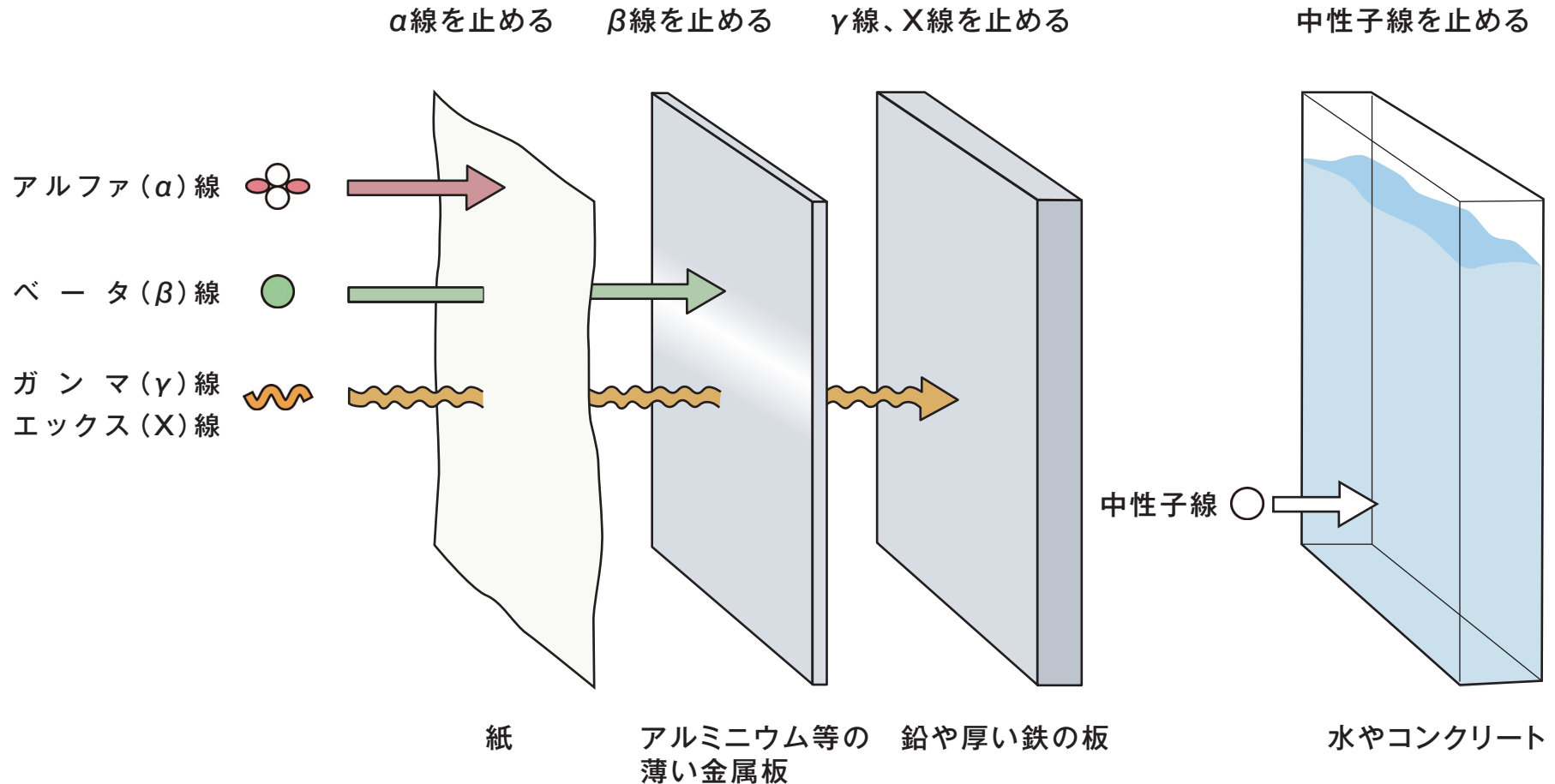
散乱、吸収により試料の厚さ x に伴って指数関数的に減衰していく。

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。

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。

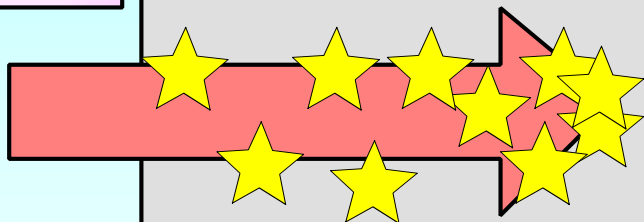


線は水の中(=体の中)を最大で2mm弱進むことが出来、細胞から見ると比較的広い範囲にエネルギーを落としていき、また体の外から来た場合はほとんど皮膚で止まります。

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。

α 線

水中での最大飛程: $50 \mu\text{m}$ 程

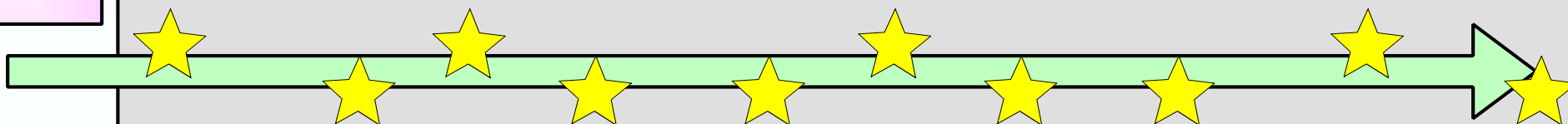


狭い範囲に一気に
エネルギーを放出する

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



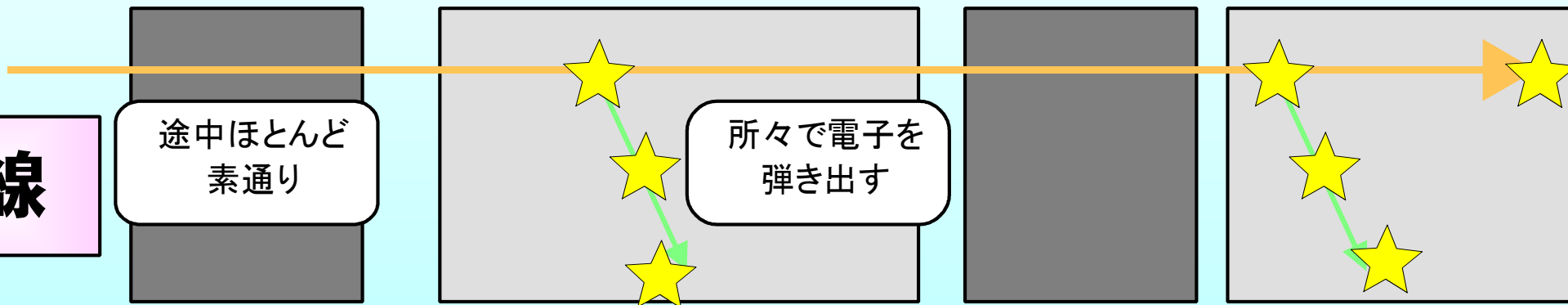
所々にぽつぽつとエネルギーを落とす

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

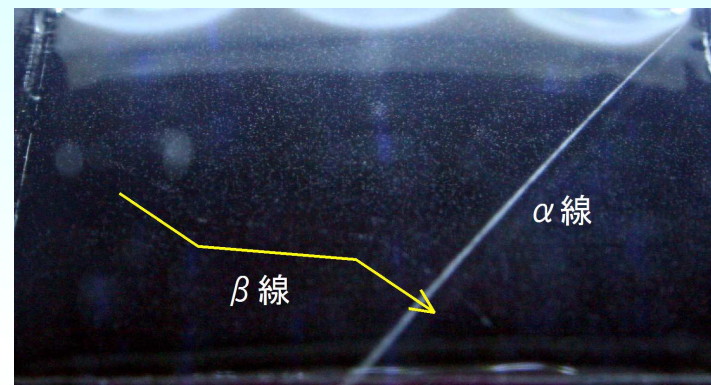
所々で電子を
弾き出す



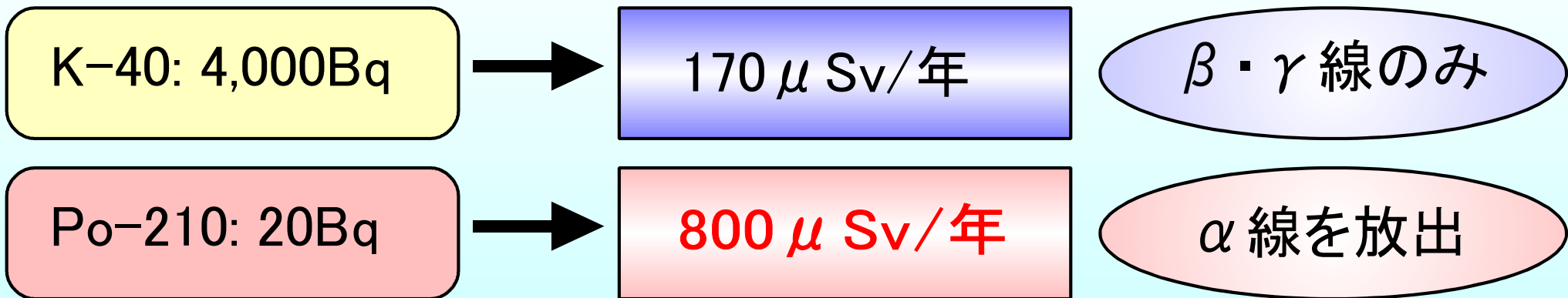
放射線加重係数の説明

実効線量(Sv) = 吸収線量(Gy) × **放射線加重係数** × 組織加重係数
→ **α線: 20, β、γ線: 1**

相互作用の違いを反映



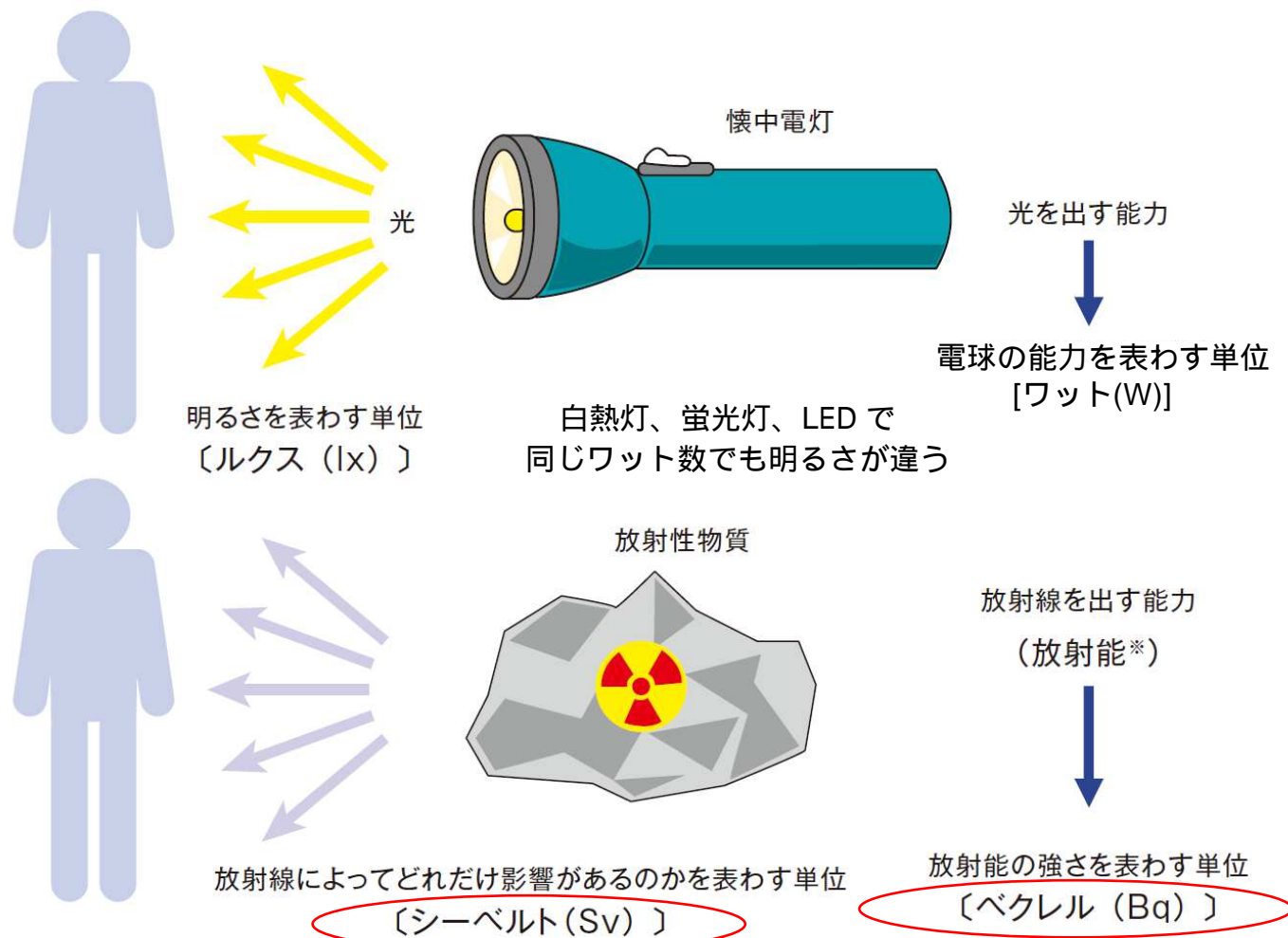
体内の放射能 *体重60kgの日本人 年間に被ばくする実効線量



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

放射能と放射線

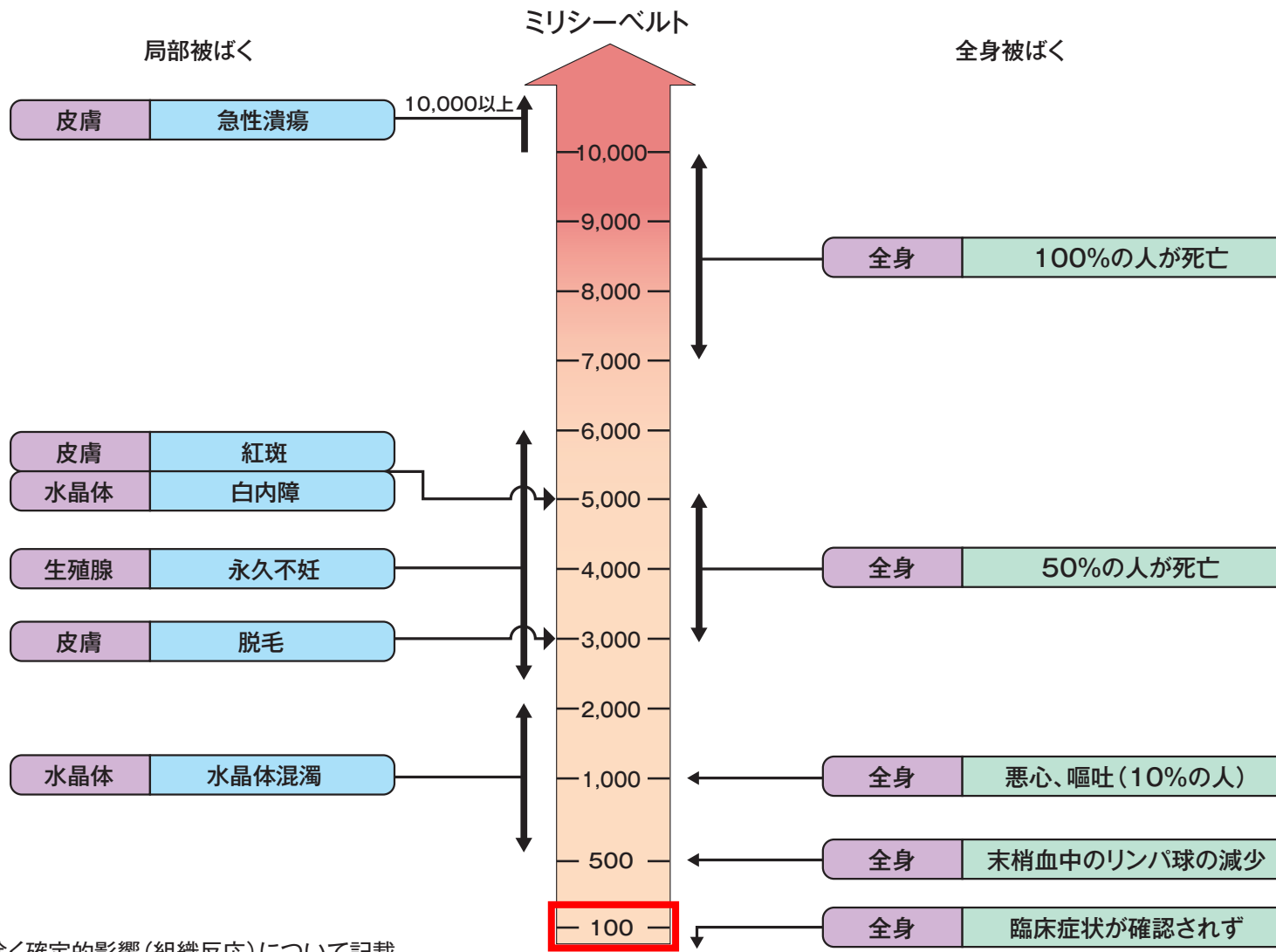


※放射能を持つ物質(放射性物質)のことを指して用いられる場合もある

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

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

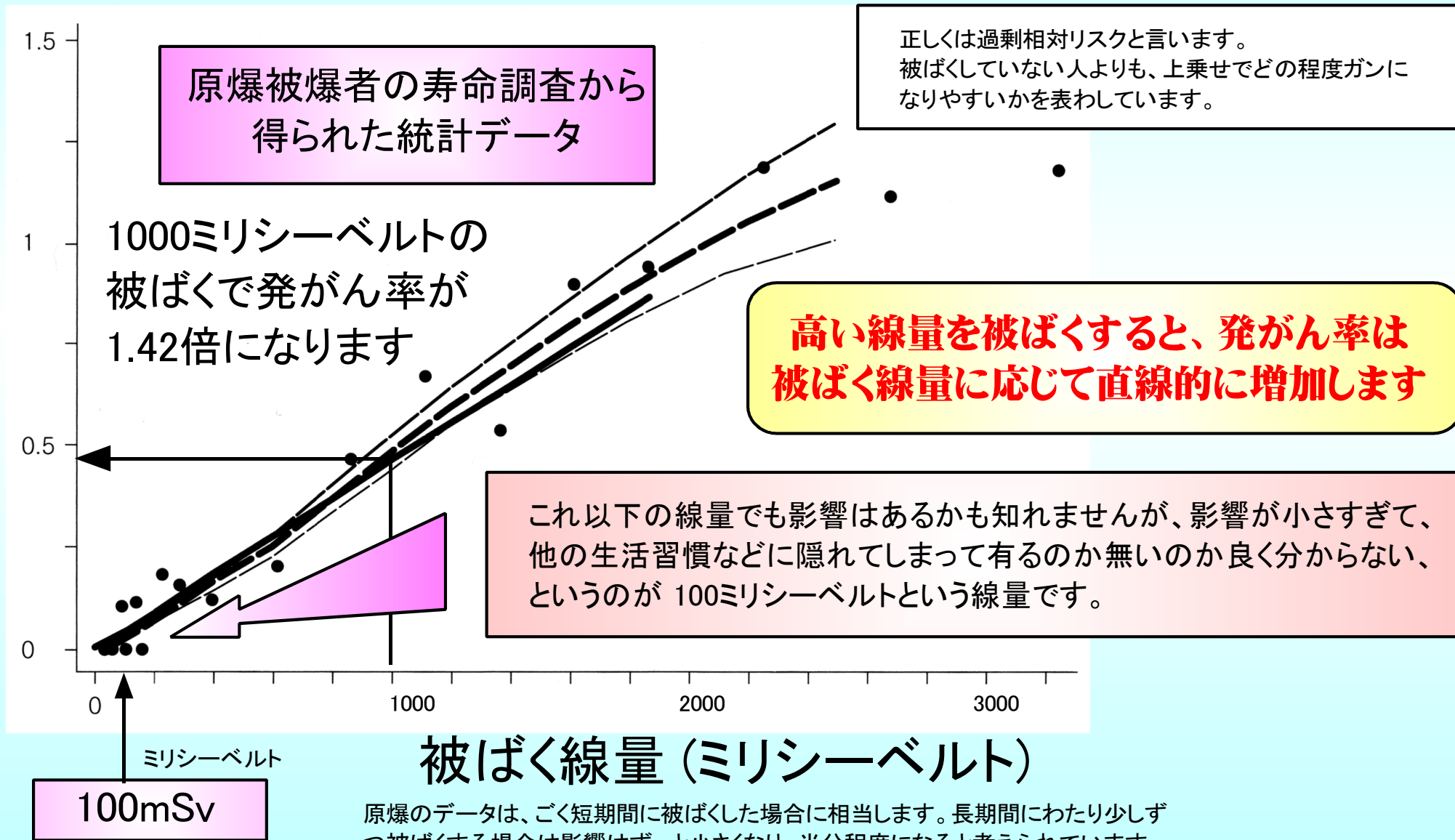
(注2) 一般の人の線量限度1.0 mSv/年、原子力発電所周辺の線量目標0.05 mSv/年

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？

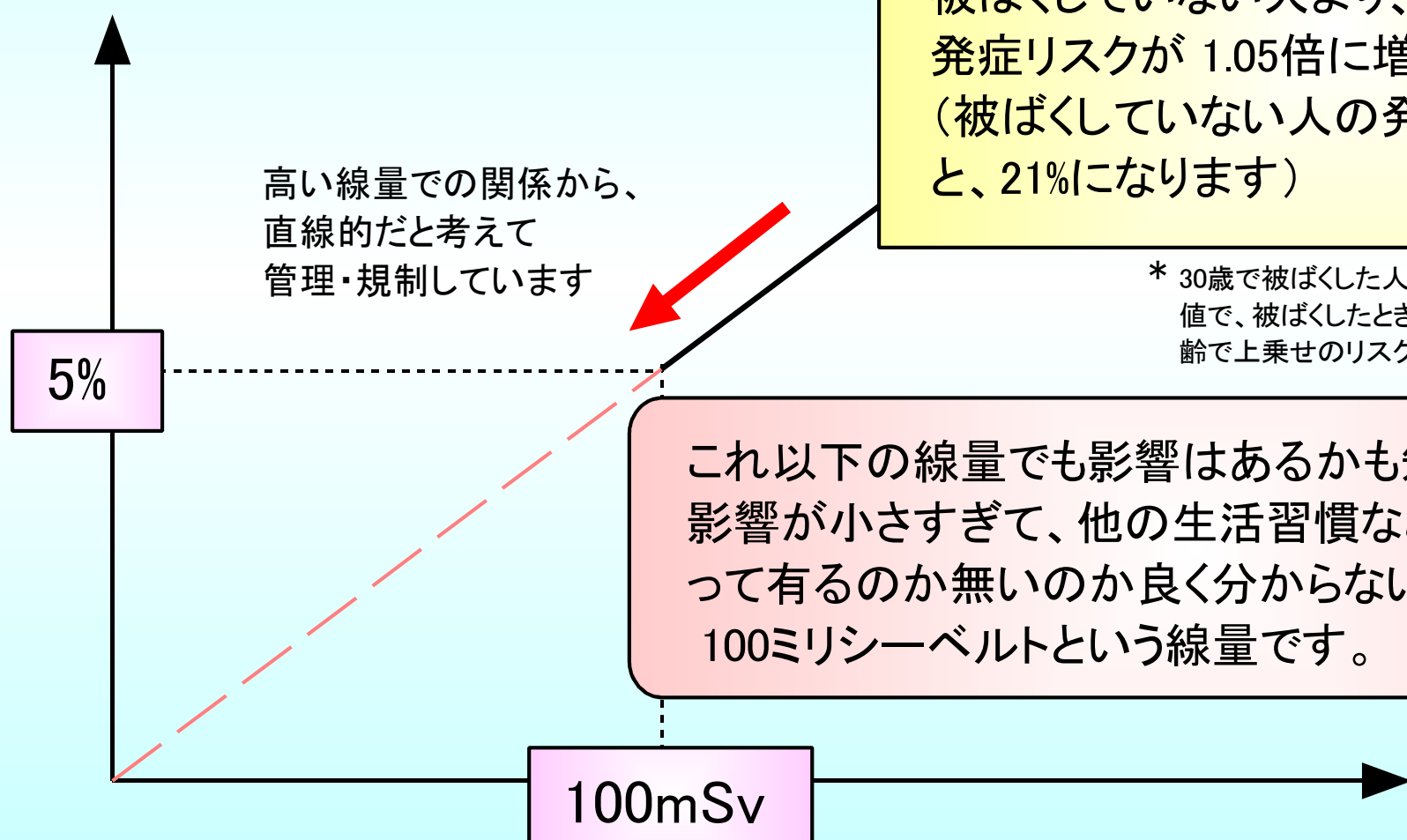
30歳の時に被ばくした人が、70歳になったときの上乘せのリスク

固形ガン発症の上乘せのリスク



低線量放射線の影響はどのぐらいなの？

固形ガン発症の上乗せのリスク



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

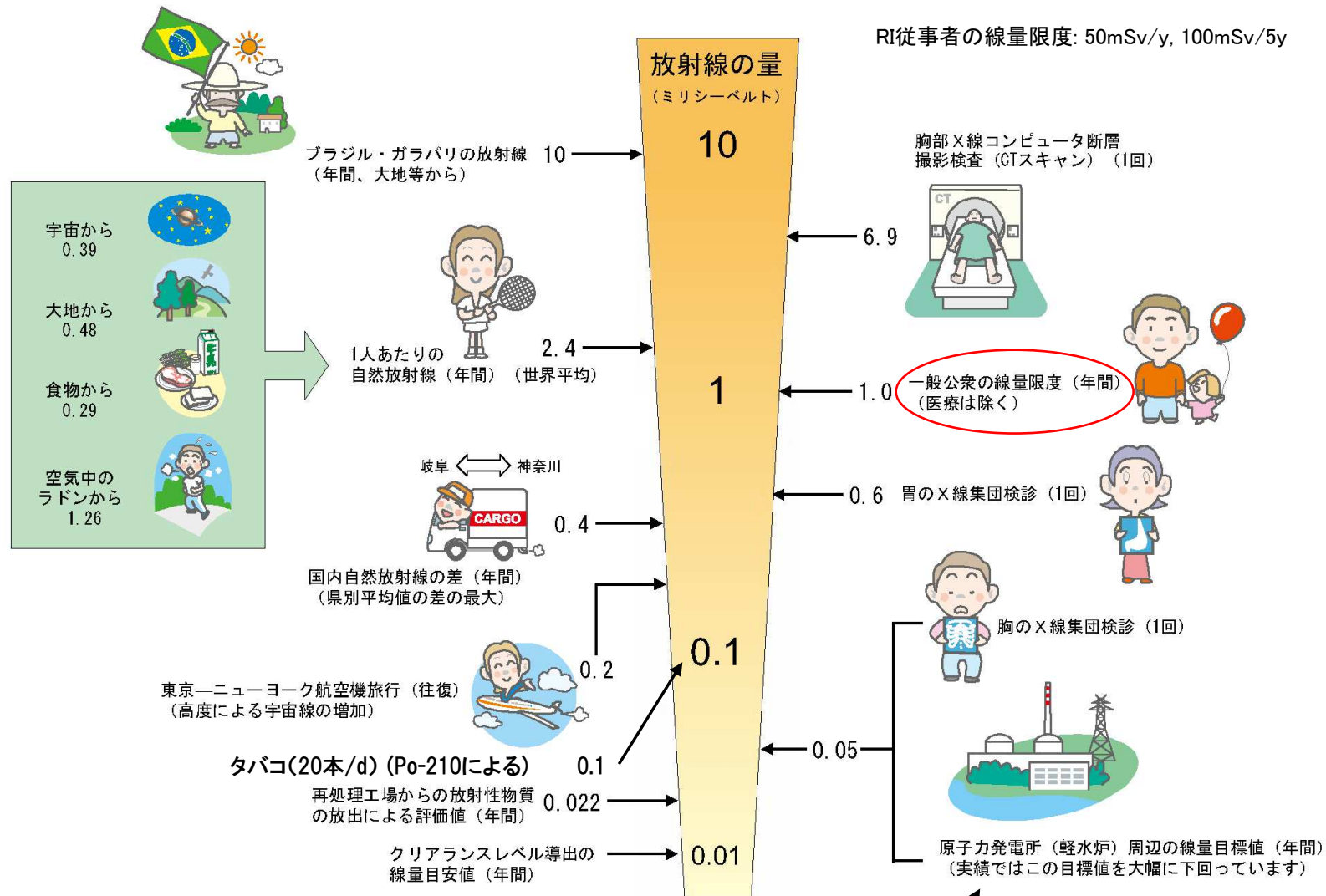
高い線量での発がん率から計算すると、
100mSvを短時間に被ばくすることにより、
被ばくしていない人より、ガンの
発症リスクが 1.05倍に増加となります*
(被ばくしていない人の発症率を20%とする
と、21%になります)

* 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
って有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。

被ばく線量 (短時間での被ばくの場合)

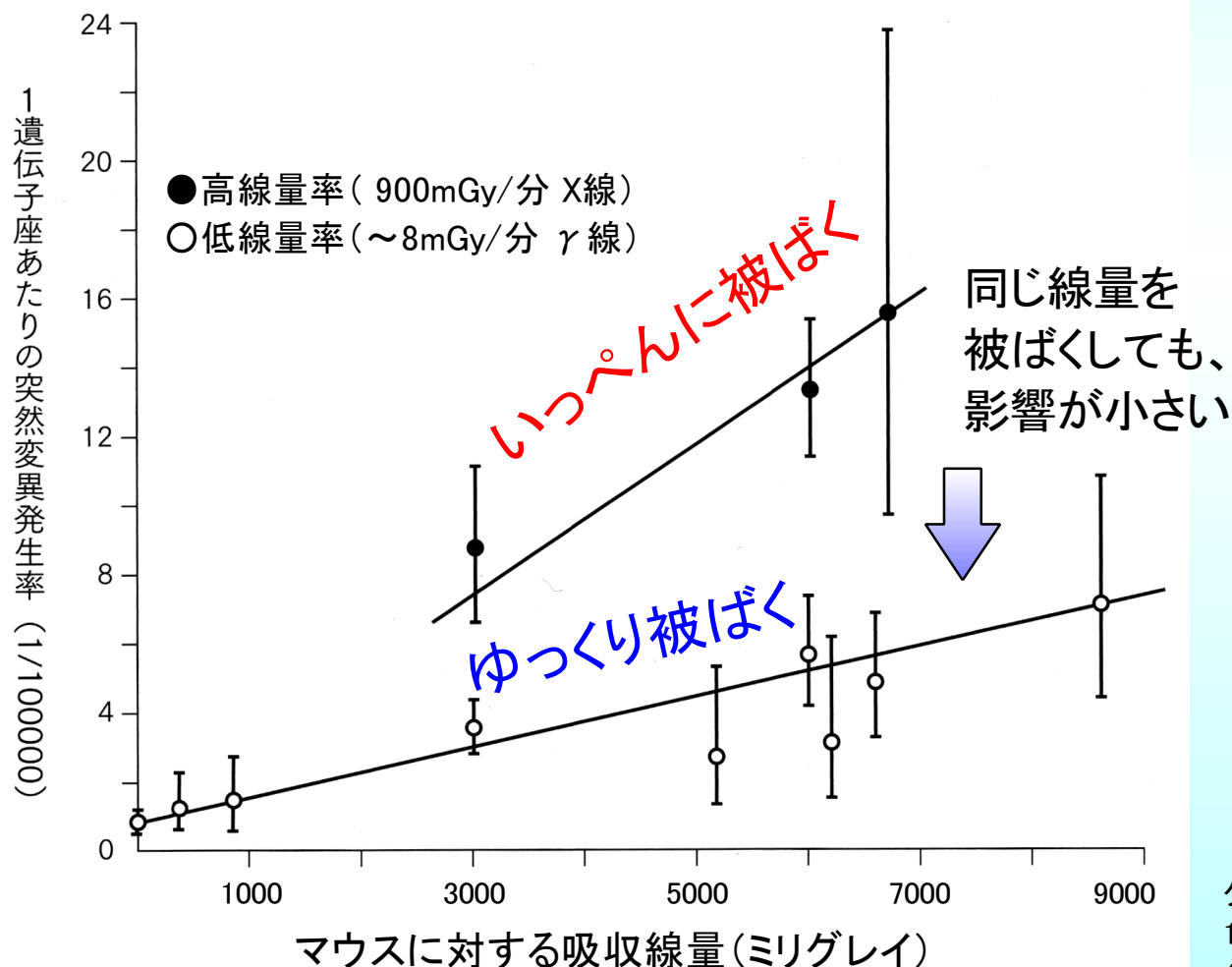
日常生活と放射線



平常時の値

長期間の被ばくの方が健康に影響が有るの？

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

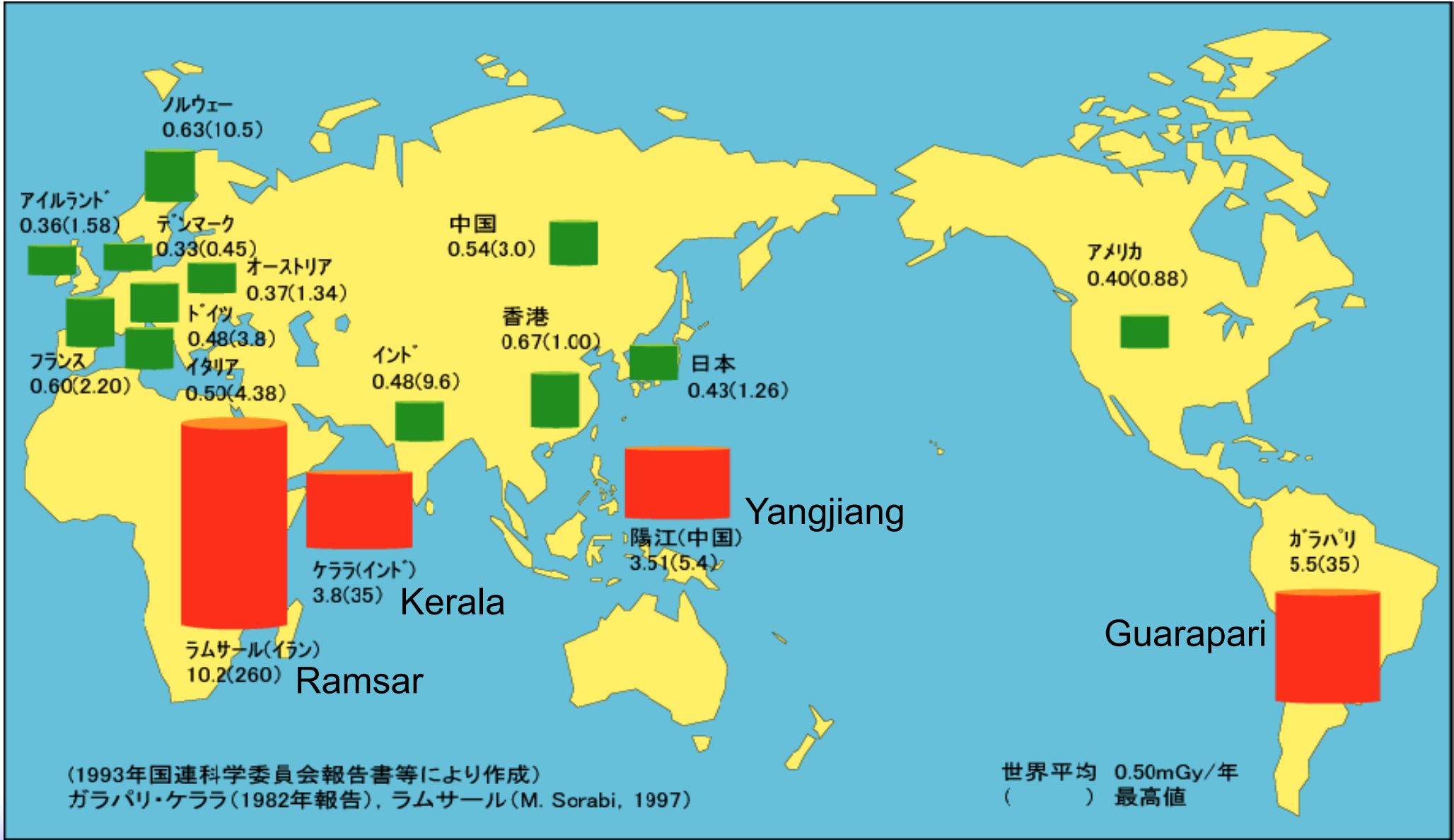


細胞にはDNAを
修復する力が
あります

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

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

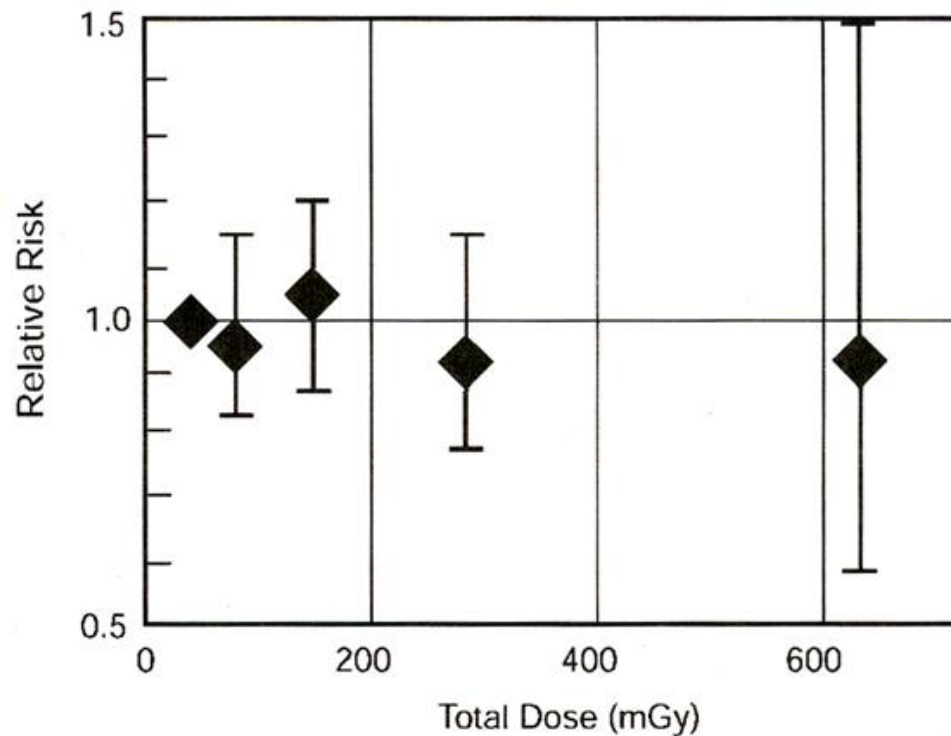
世界の自然放射線



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

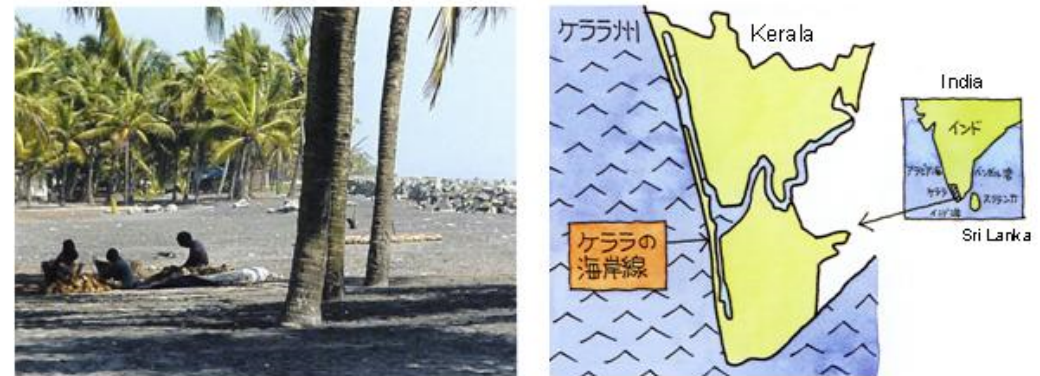
全がん(白血病を除く)の相対リスク



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

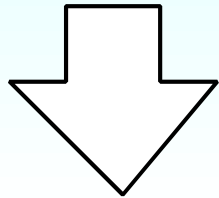


(「世界の大地放射線」放射線照射利用促進協議会)

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

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)

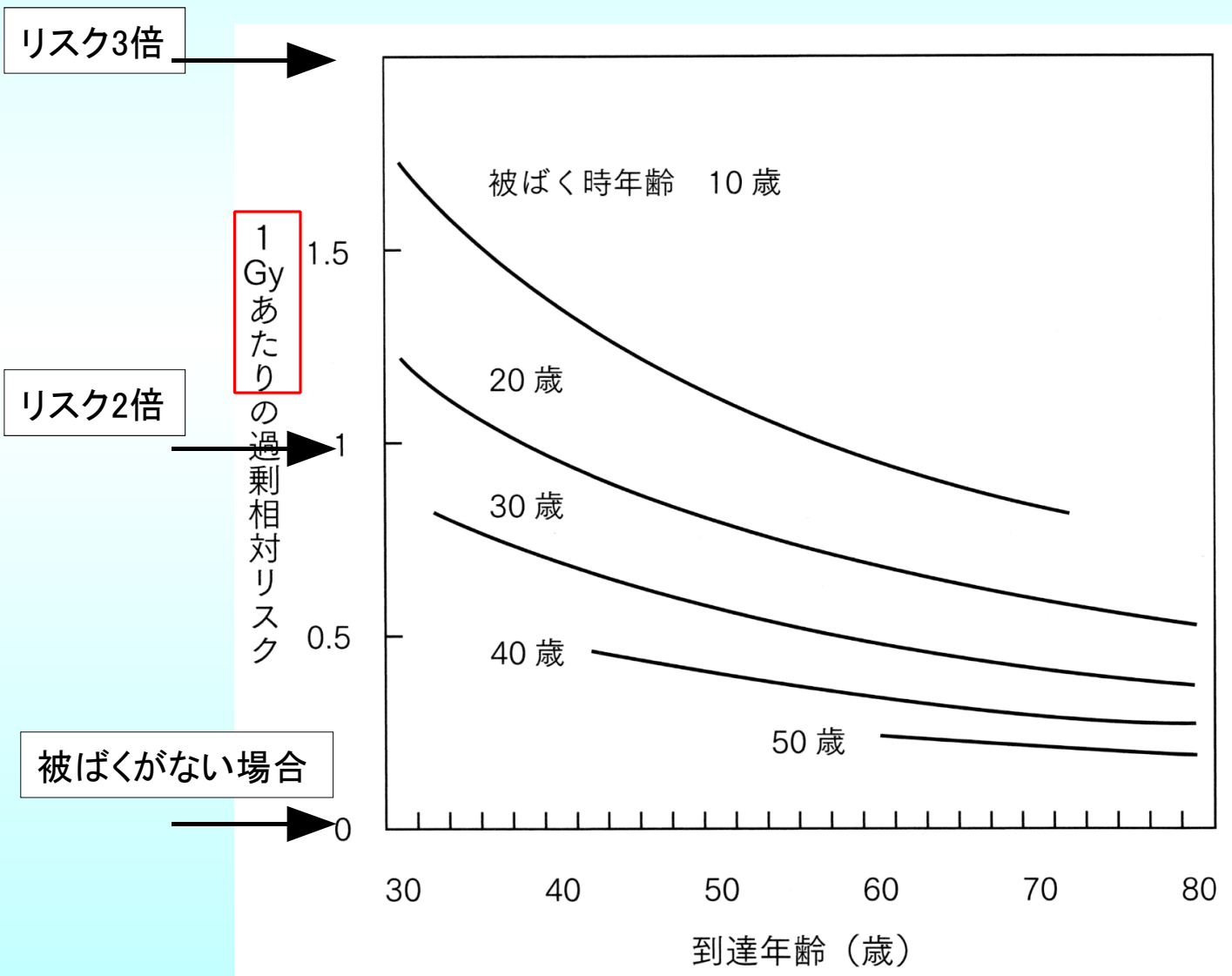
実際には、少しずつ長い期間に被ばくするのと、同じ量をいっぺんに被ばくするのでは、損傷修復のメカニズムがあるため、ゆっくり被ばくした方が影響は小さい。

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

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



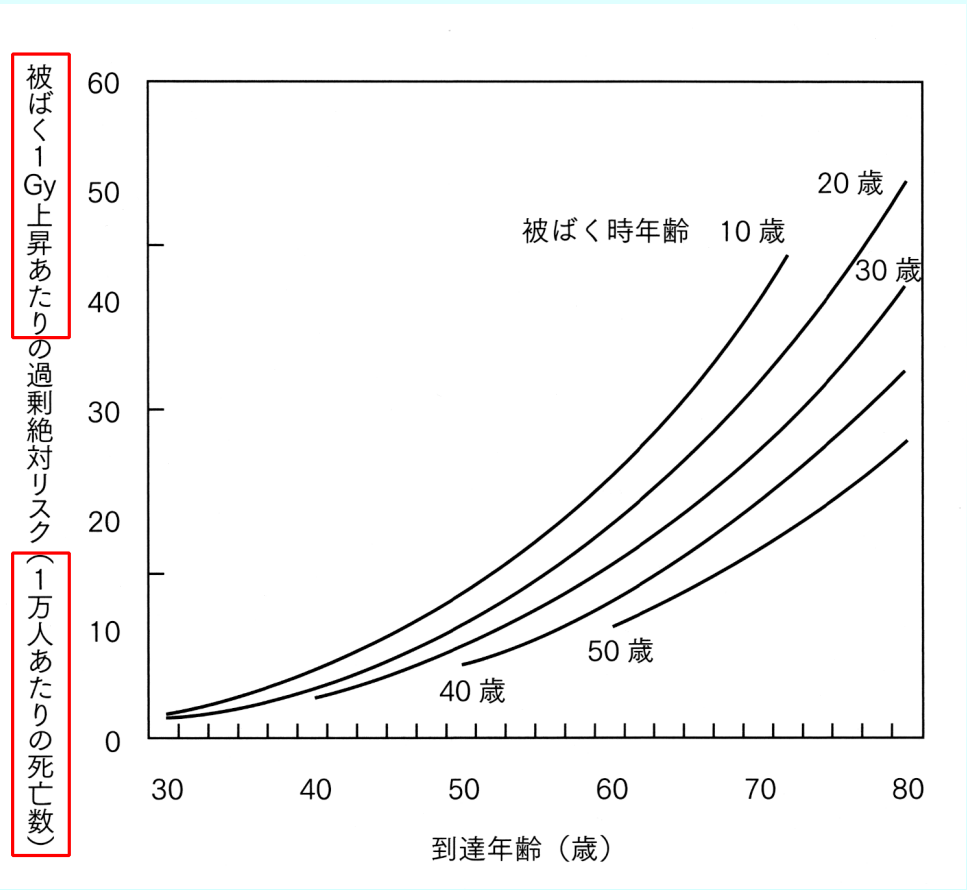
1000mGy 被ばくした場合のガンによる過剰相対死亡リスクを、被ばく時の年齢、およびその後生存していった場合の各年齢で整理したグラフ。

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。

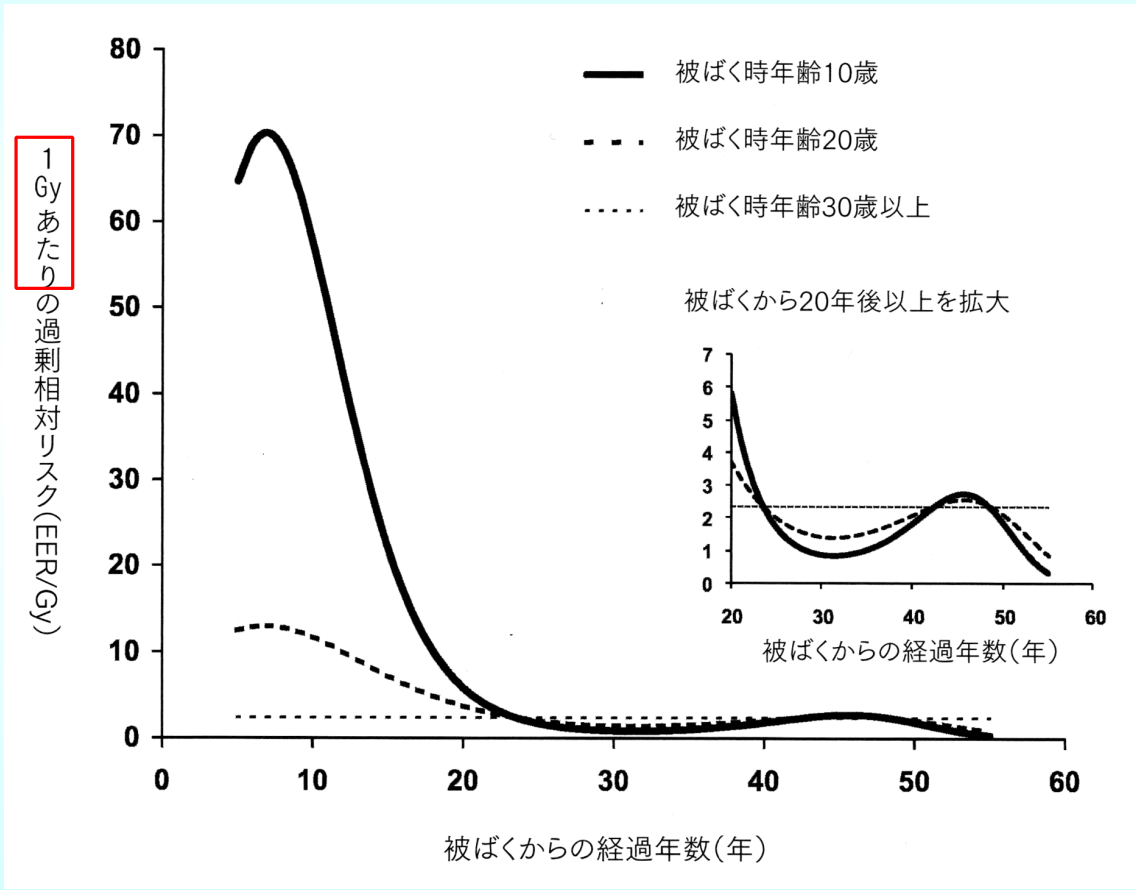
子供は被ばくの影響が大きいんじゃないの？

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し。
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

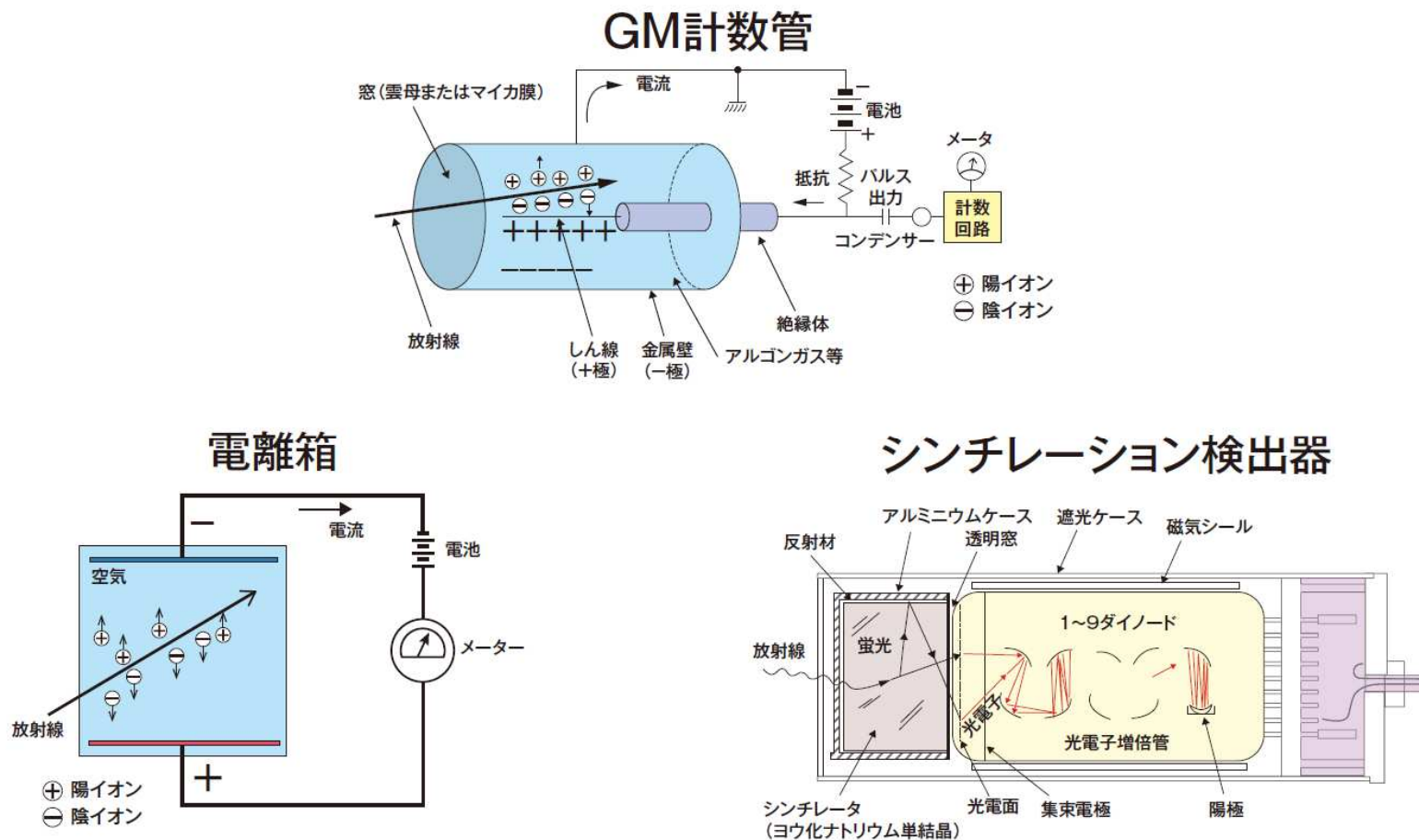


子供が被ばくした場合の白血病による死亡相対リスクは非常に高い。
ただし、そもそも白血病による死亡者は固形ガンの1/40以下で、
20歳程度までの若年時の死亡率は非常に低い(10万人中1人程度)。

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。

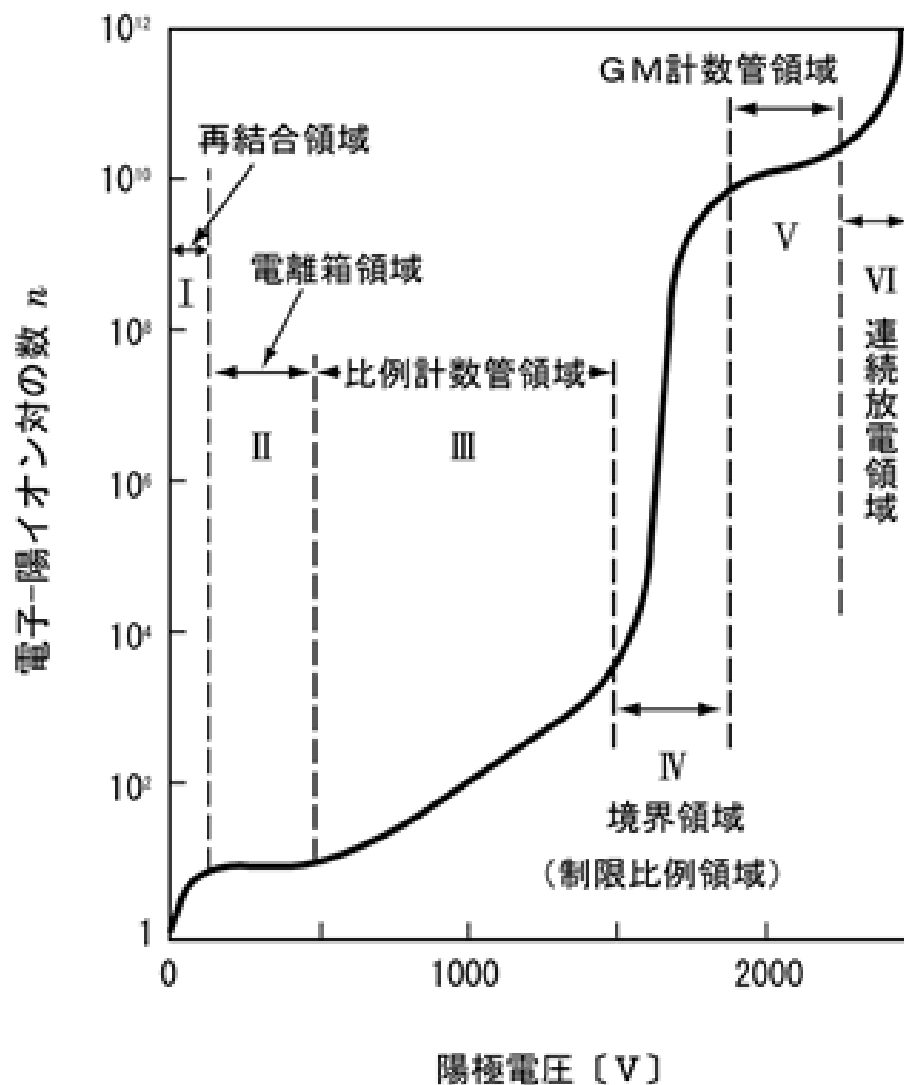
放射線計測器の測定原理



(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

印加電圧とイオン電流の関係



GMサーベイメーター



GMサーベイメーター

最も一般的に用いられるサーベイメーターであり、GM管からの出力パルスをものまま計数する。 β 線と γ 線の両方に対して用いることが出来るが、検出器の前面を覆っている雲母の膜を透過することが出来ないような低エネルギーの β 線や α 線は検出することが出来ない。さらに、50keV以下の γ /X線に関しては急激に感度が落ちる。

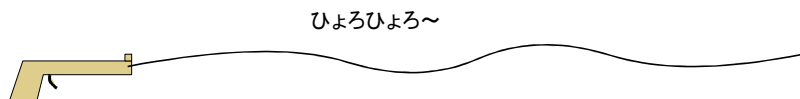
計測を行う単位は、放射線を何発検出したかを示す count であり、機器により count/s (CPS) の場合と、count/m (CPM) の場合がある。放射線がどれだけエネルギーを持っていたのかにはほとんど関係が無く、検出器が何発検出したか、だけの計測であるため、空間線量などの定量的な測定には向いていない。 μ Sv/h の単位が書いてあるサーベイメーターも存在するが、良く見ると (^{137}Cs) とあり、目盛値は ^{137}Cs からの662keV γ 線を使った校正値であるため、それ以外の場合では目安程度にしかならない点に注意する必要がある。

また、検出を行った後の不感時間が $100\mu\text{s}$ 程度有るため、比較的低い計数率でも数え落としが起こり、せいぜい数100cps 程度までしか正しく計数出来ない。さらに強い放射線場では GM 管の中の芯線の周りに発生したイオンのさやが取り除かれる暇が無くなり、計数率が逆に下がってしまうという窒息現象を起こすため、注意を要する。

高エネルギーの放射線



ズバツ!

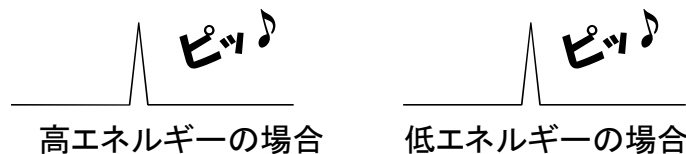


ひよろひよろ~

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、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。



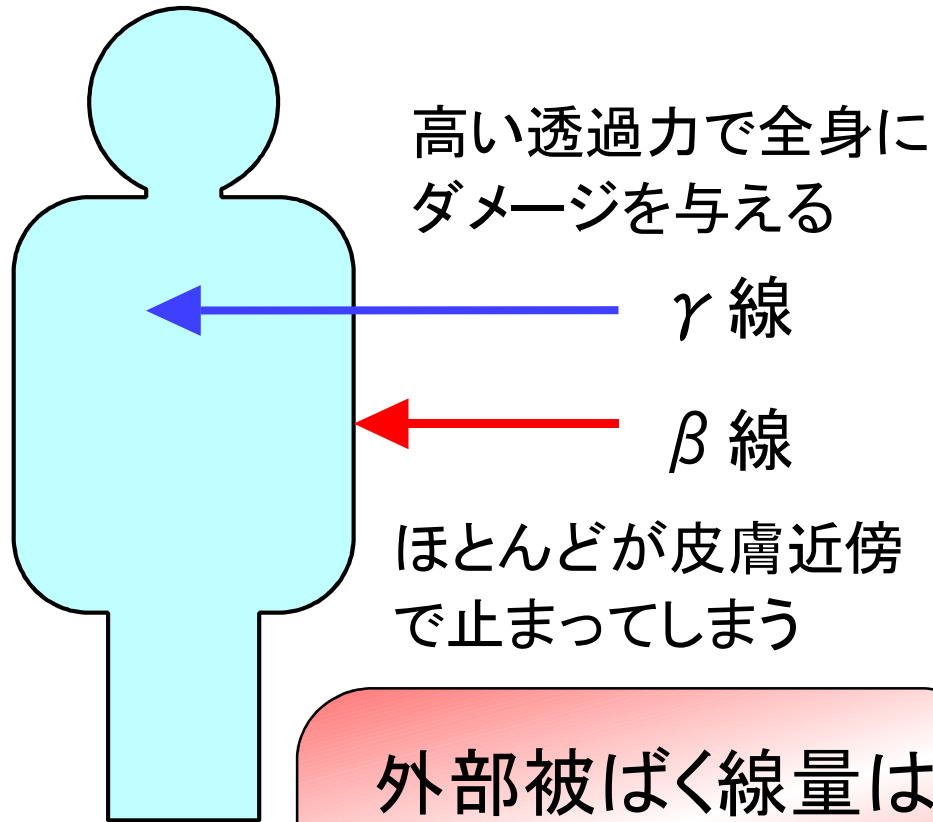
シンチレーターや、Ge半導体検出器

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

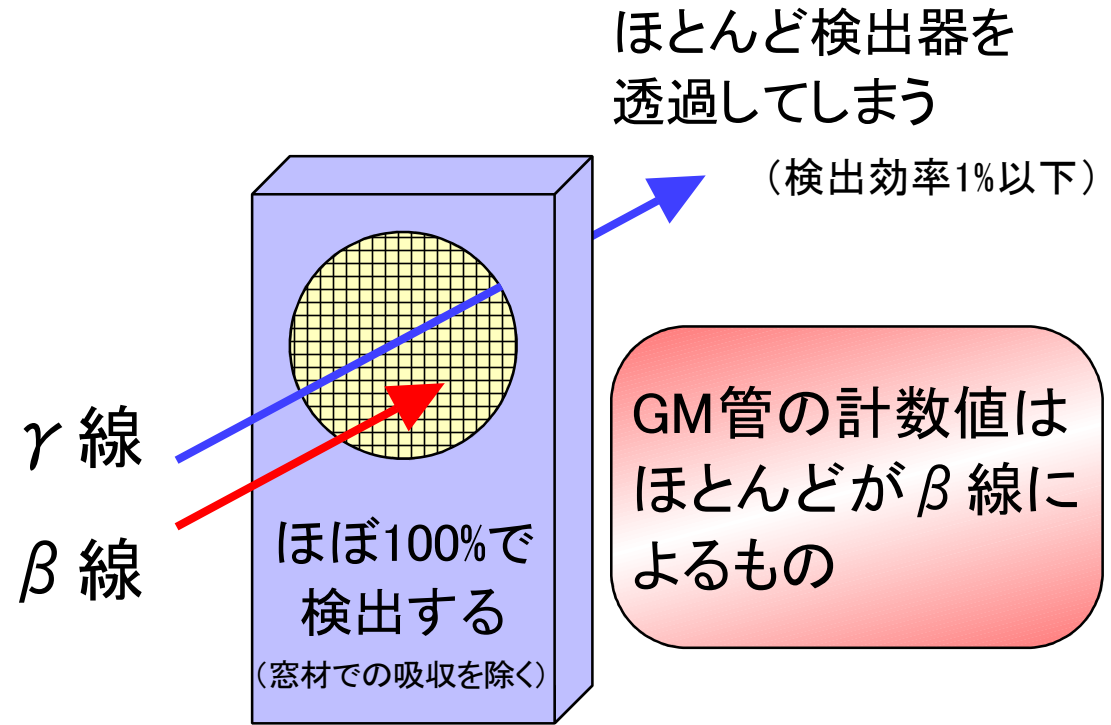


外部被ばく線量は
γ線によるもの

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

電離箱サーベイメーター

原理的には最も単純な、気体電離箱式のサーベイメーターは、放射線により気体が電離した量を電流としてそのまま取り出すため、良好なエネルギー特性と、均一な方向特性、各種サーベイメーターのうちで**最も強い放射線場でも用いることができる**という特徴を持つ。

しかし、感度が比較的低く、 $1 \mu\text{Sv/h}$ 程度が測定限界であるため、バックグラウンドレベル ($0.05 \mu\text{Sv/h}$ 程度) の測定を行うことは出来ない。

また、回路が安定するまでやや時間を要し、使用する10分程度前には電源を入れる必要がある。

NaI シンチレーションサーベイメーター

NaI(Tl) シンチレーターに光電子増倍管(フォトマル)を組み込んで、その出力パルスを計数するサーベイメーターで、**感度が高く、エネルギー特性がよい**ことが特徴としてあげられる。

比較的重元素のヨウ素を含んでおり感度が高く、バックグラウンドレベル(0.05 μ Sv/h 程度)でも測定可能である。

もともと NaI シンチレーター自体はエネルギー依存性(入射 γ 線エネルギーに対する検出効率の依存性)はフラットではないのだが、出力波高から検出した γ 線のエネルギーを求められるため、電子回路を用いて**線量等量率(Sv/h)を求めることができる**。このため、空間線量の測定に適している。

しかし、NaI 結晶は吸湿性があるため密閉する必要があるため、ステンレスハウジングを β 線は通過できず、また 50keV 以下の γ 線も補償回路によりカットされてしまうため測定することは出来ない。このため、強度が強くてもエネルギーの低い X線や、遮蔽体による散乱線は測定することが出来ないため、注意を要する(そのような場合は電離箱を用いる)。

ZnSシンチレーションサーベイメーター

ZnSシンチレーターは透過型電子顕微鏡やイオンビーム加速器で蛍光板として多用されているが、多結晶の粉末としてしか利用できないため、透明度が低く、薄い膜としてしか利用できない。

しかし、高い検出効率を持ち、バックグラウンド計数が殆ど無いなどの特徴から、 **α 線用のサーベイメーター**として用いられている。測定はパルス波高が閾値を超えるかどうか0か1のカウントのみであり、CPMなどの単位で出力される。

シンチレーター表面は薄いアルミ箔で覆われており、光を通さないようにしているが、容易に破れるため、突起物等に注意して使用する必要がある。

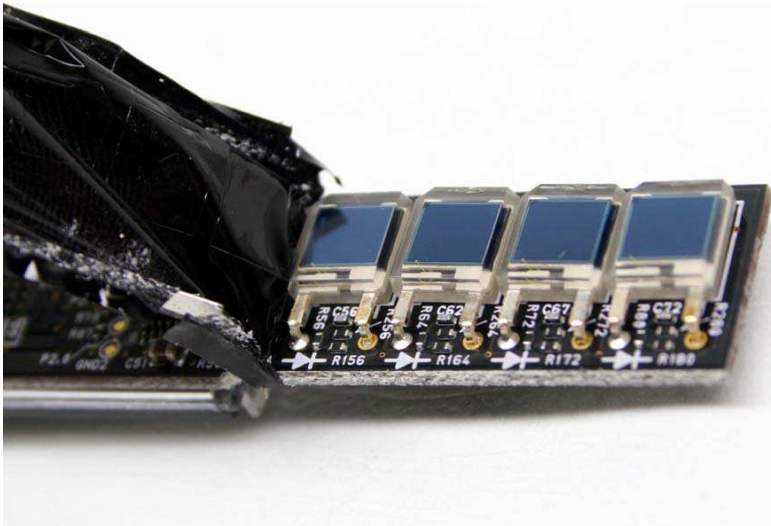
なお、ZnS粉末をシート状に形成しているため、線エネルギー付与(LET)の低い β 線や、 γ 線はほとんど素通りして発光しないため検出することが出来ない。(弱く発光したとしても内部のパルス波高弁別回路によりカットされる)
→このためバックグラウンドが殆ど無い。

一般人向けのサーベイメーター

・シリコン半導体センサー(フォトダイオード)を用いた計測器

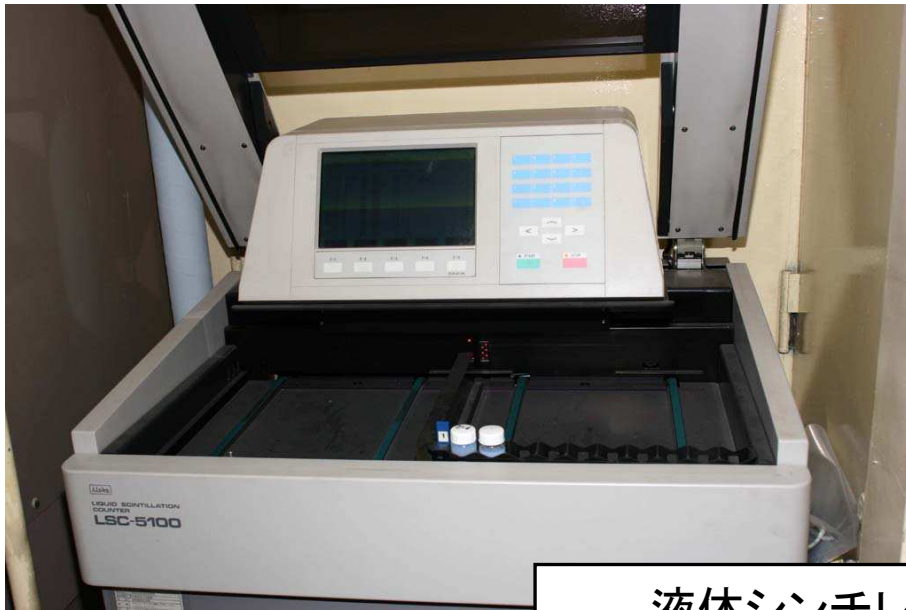
フォトダイオードは、本来逆電圧をかけると電流が流れないダイオードに、光が当たると電流が流れるという、太陽電池と同様の効果を利用してフォトンを検出するセンサーである。これを光を通さない膜で包み、放射線を検出するようにしたもので、安価なサーベイメーターはほとんどこれを使用している。

エステーが発売しているエアカウンターSはその代表格で、3000円程度と非常に安価であるが、複数の核種を用いた実験で、理論値及びNaIシンチレーションサーベイメーターと比較してほぼ同じ値を示しており、かなり優秀である。ただし、正確な測定には数分を要する。

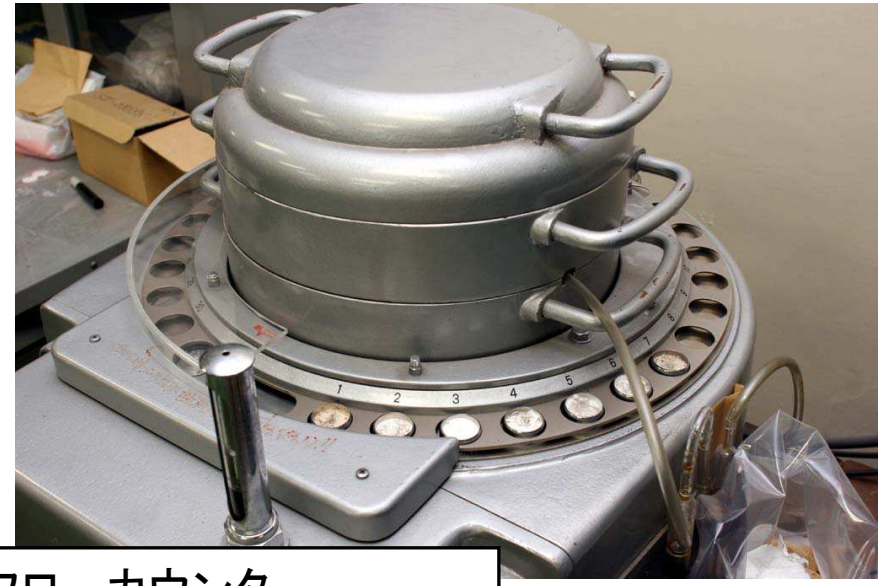


直接測定法とスミヤ法

- 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。



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

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!

大阪府立大学 工学研究科
量子放射線系専攻/
量子放射線工学分野のご紹介



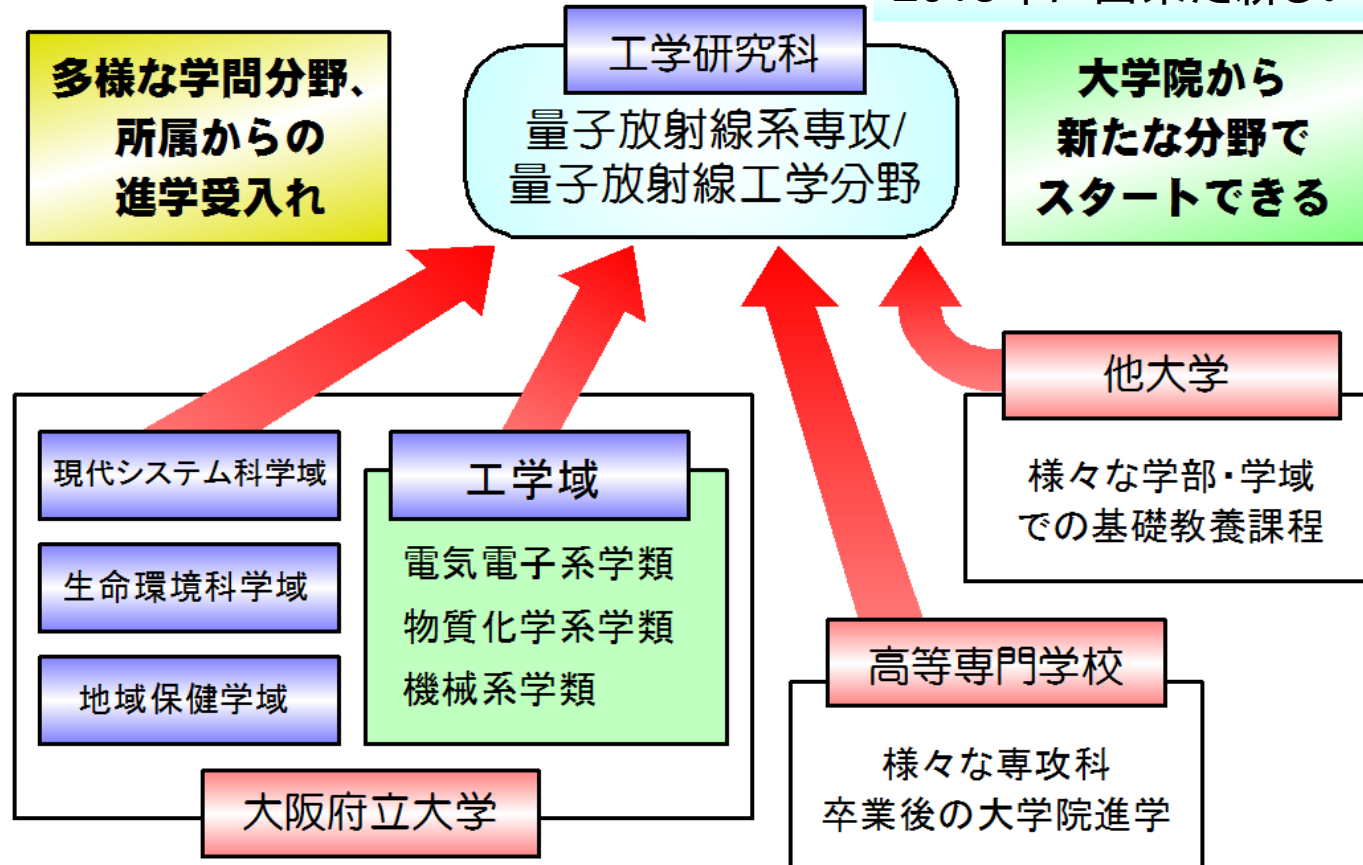
2018年度版

研究推進機構 放射線研究センター

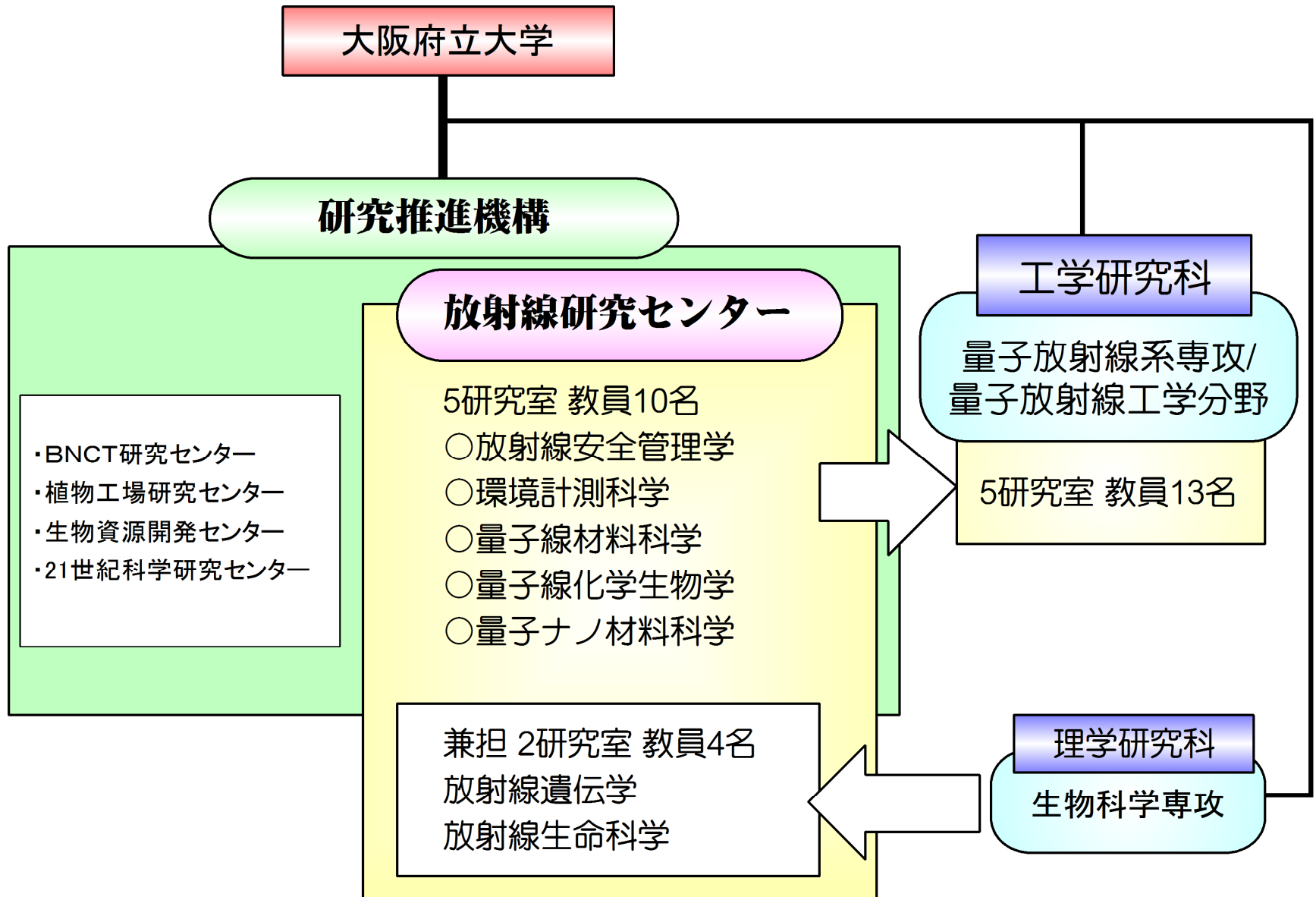
どの分野から量子放射線系専攻に入れるの？

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・勉学が可能です。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



本センターの組織について

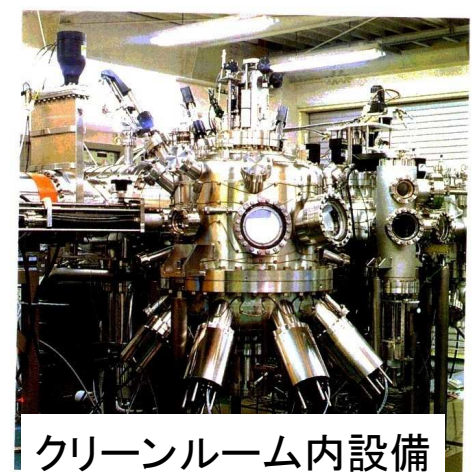
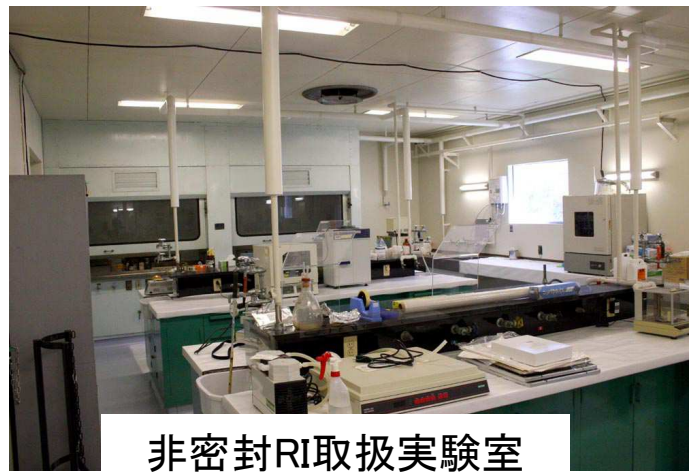


研究施設としてどんな位置づけなの？

→ 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 アイントープ実験施設 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。

量研機構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



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 照射施設と、 本センターとの役割分担について



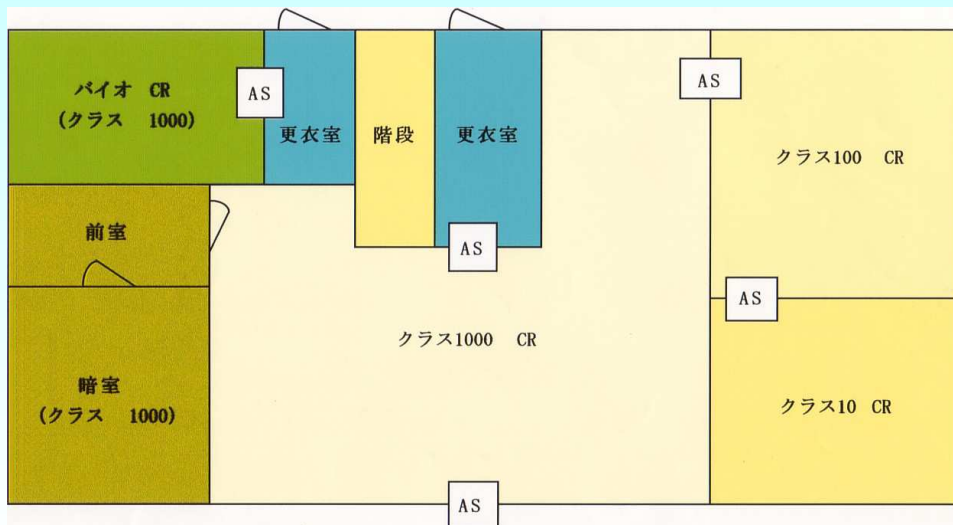
項目	大阪府立大学 放射線研究センター	日本原子力機構 高崎量子応用研究所
Co-60 数量	1.8 PBq	22.8 PBq
最大線量率	50 kGy/h	15 kGy/h
プール照射	○	×
立地	大阪府堺市 多数の大学との ネットワーク	群馬県高崎市
その他の施設	非密封RI取扱施設 クリーンルーム	4台のイオン加速器 大電流電子線加速器
背景	公立大学法人 基礎研究・人材育成	国立研究開発法人 産業応用

高崎量子応用研究所の2014年度実験計画申込42件中、25件が研究所員
単独、17件が共同研究（12件は東日本の研究者）

残りの5件のうち3件は本学からの
イオンビーム加速器利用

本センターは西日本の拠点として放射線利用者をカバーする

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

放射線研究センターのクリーンルーム

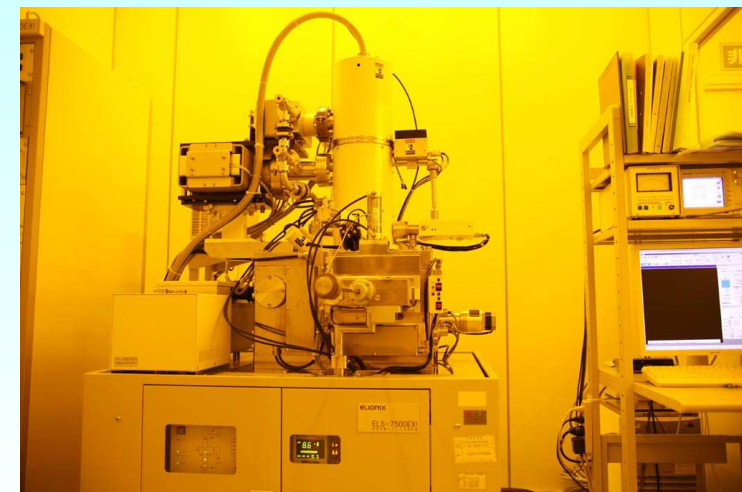
クラス1000
FIB装置 日立ハイテクノロジー FB-2100
イオンミリング装置
ナノサーチ顕微鏡 オリンパス ALS3500
レーザ膜製造装置 日本真空 ULP-1000
有機金属気相成長装置 EMC
高真空蒸着装置 日本真空 EX-200
超高真空蒸着装置 コスモロン CT-2000
スパッタリング装置 バキュームプロダクツ SF-100
真空蒸着装置 富士理研 FVS-400S
光スペクトラム・アナライザ
アドバンテス Q8381A
アニール炉 京都タカオシン製 THC-1型
SiC薄膜製造装置
GaN薄膜製造装置

クラス100
分子線成長装置 エピクエスト RC-2100

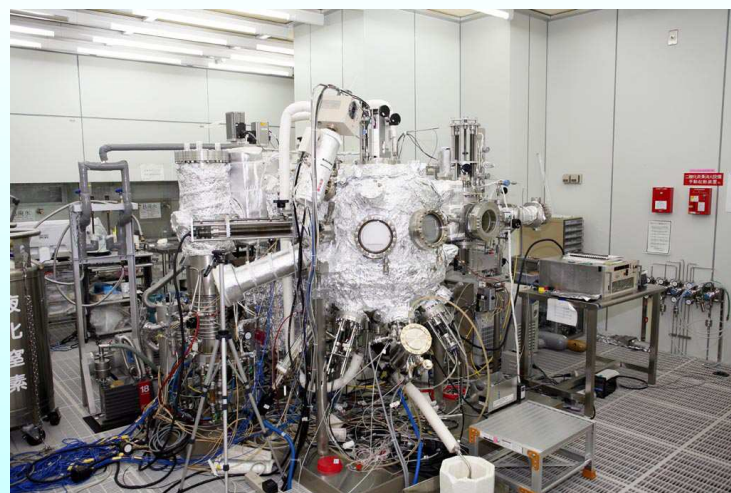
クラス10
EB描画装置 エリオニクス ELS-7500EXI
マスクアライナー SUSS MJB4
マスクアライナー ミカサ M-2Li
ウェッジボンダー マーペットエンタープライズ社
MEI 1204W-JA
プラズマリアクター ヤマト科学 PR31
表面段差計 日本真空 DEKTAK3ST
セミコンダクターワークベンチ
ソニーテクトロ 372型



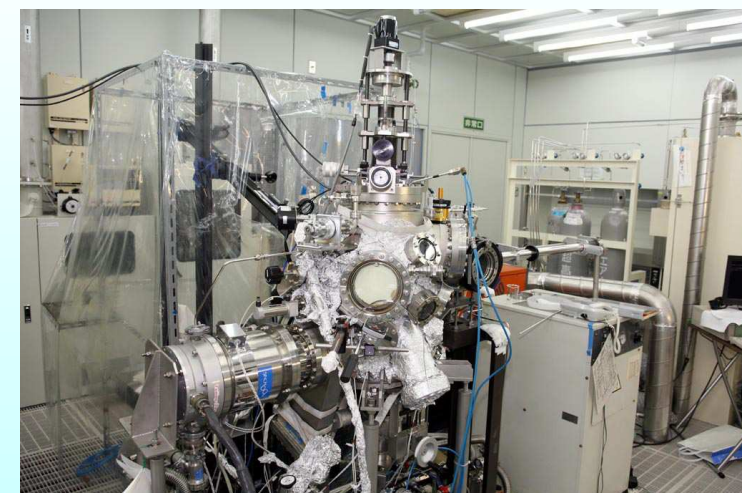
FIB装置



EB描画装置



分子線成長装置



高真空蒸着装置

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



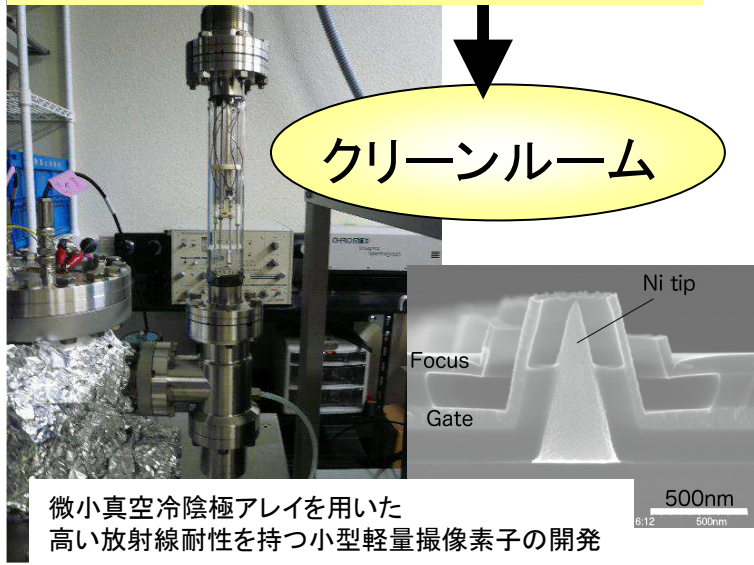
放射性核種の化学的挙動の研究



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



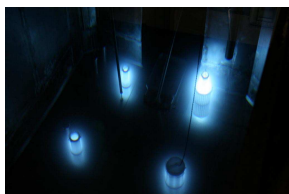
炉内環境を模擬した高線量率の水中での機器開発



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。

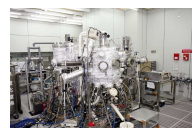


非密封 RI 取扱施設

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。

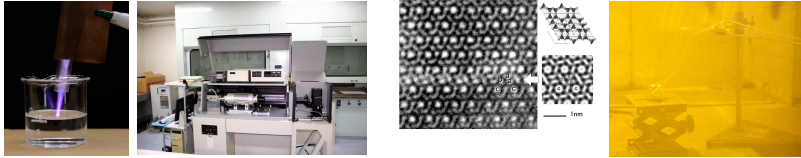
また、トリチウム用ガスフローサーベイメーターを含む各種のサーベイメーターや、イメージングプレートにより、非密封 RI 取扱時の作業環境の測定、汚染の確認などが可能であり、安全な実験を保証します。

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

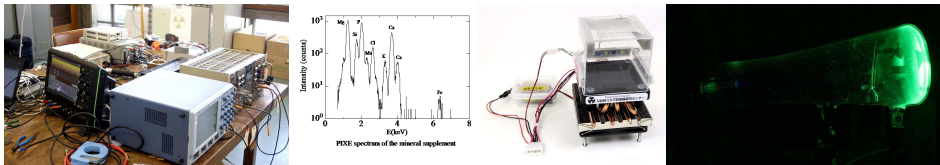


図の説明 左から
大気圧プラズマの水中への導入
レーザーフラッシュ熱測定装置
 β -Si₃N₄ 中の中性子照射欠陥構造
 γ 線照射時のZn金属材料腐食試験

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
高性能ペルチェ冷却式霧箱
十字板入りのクルックス管

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。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。

さらに、放射線教育で用いられるクルックス管からは高い強度のX線が放出されていますが、エネルギーが低いため一般に用いられている検出器では検出できません。当専攻で開発した高性能のペルチェ冷却式の霧箱を用いたエネルギースペクトル評価など、学校教育現場で放射線安全管理を行うための評価手法を開発しています。

生物への放射線影響

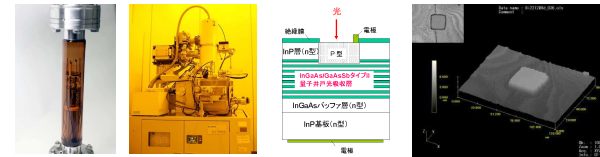


照射例：香辛料（芽胞形成菌による汚染が問題）

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、芽胞やカビ孢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

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おり、高線量率のCo-60線源を利用した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。一方で太陽電池に用いられている素子が放射線照射にどの程度耐えられるかを実際の照射と理論モデルを用いて予測し、その成果を応用して極めて高い線量の環境で太陽電池を放射線計測デバイスとして活用するための研究なども行われています。

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、超伝導電子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。

量子放射線系専攻教員一覧

2018/04/01 現在

教員名	職位	HP	研究室	キーワード
宮丸 広幸	教授		環境計測科学	先端放射線検出器開発、放射線シミュレーション、加速器による極微量元素分析、中性子工学
伊藤 憲男	助教			放射線計測科学、環境放射線学
松浦 寛人	教授	○	放射線安全管理学	プラズマ理工学、核融合、原子力工学
秋吉 優史	准教授	○		核融合炉ダイバータ材料、照射損傷、照射時熱物性評価、ペルチェ冷却高性能霧箱、放射線教育
古田 雅一	教授		量子線化学生物学	量子線殺菌工学、微生物制御、食品衛生、量子線応用生命科学、放射線生物学
田中 良晴	准教授			放射線影響、放射線防護、分子遺伝学
清田 俊治	助教			多核錯体の合成
谷口 良一	教授			宇宙放射線、非破壊検査、加速器ビーム工学、放射線画像工学、放射線損傷
梅澤 憲司	教授	○	量子線材料科学	表面物理、イオンビーム散乱、電子分光、原子散乱、STM
堀 史説	准教授	○		格子欠陥、ナノ構造体、アモルファス金属、照射効果、材料機能改質、金属、半導体、陽電子
小嶋 崇夫	助教			原子カプラント工学、放射線プロセス工学
川又 修一	教授		量子ナノ材料科学	超伝導体、磁性体、化合物半導体、磁気測定、電気伝導測定、微細加工
津久井 茂樹	准教授			量子物性化学、エネルギー変換材料(燃料電池、熱電材料、太陽電池)、水素吸蔵合金



谷口良一



松浦 寛人



古田 雅一



川又 修一



宮丸 広幸



梅澤 憲司



秋吉 優史



田中 良晴



堀 史説



津久井 茂樹



伊藤 憲男



清田 俊治



小嶋 崇夫

多数の施設による研究ネットワーク

大阪大学 産業科学研究所
付属放射線実験所

京都大学 宇治地区
放射線実験室、
エネルギー理工学研究所

神戸大学
海事科学研究科

近畿大学
原子力研究所

大阪府立大学
放射線研究センター

京都大学 原子炉実験所

関西近隣の量子放射線関連 共同利用施設

京都大学 放射線実験室

- ・3台のイオン加速器、1台の電子加速器
- ・非密封RI・核燃料取扱施設

京都大学 エネルギー理工学研究所

- ・ヘリトリオンJ (核融合プラズマ実験装置)
- ・DuET (複合ビーム材料照射装置)
- ・MUSTER (マルチスケール材料評価基盤設備)
最新型電子顕微鏡、材料評価装置群

京都大学 原子炉実験所

- ・KUR (研究用原子炉)
- ・KUCA (臨界集合体実験装置)
- ・KURRI-LINAC (パルス中性子発生装置)
- ・Co-60ガンマ線発生装置 (140 TBq)
- ・非密封RI・核燃料取扱施設

近畿大学 原子力研究所

- ・UTR-KINKI (1W極低出力炉)
- ・非密封RI取扱施設

神戸大学 海事科学研究科

- ・タンデム型イオンビーム加速器

大阪大学 産業科学研究所 付属放射線実験所

- ・Co-60ガンマ線発生装置 (228 TBq)
- ・極超短パルス放射線発生装置 (電子ライナック)
- ・150MeV S-バンド電子ライナック

アクセス



なかもず駅からは、バスでお越し頂くのが便利です。南海中百舌鳥駅南口にありますが、**中もず駅前バス停 4番乗り場**にて、南海バス31番または32番の北野田駅前行きに乗って7分ほどで「**府大研究所前**」でお降りください。（「府立大学前」は通り過ぎてください。その次になります。）道路を渡って反対側に**東門**がございませう。入り口に守衛がおりますので、受付をお願いします。

