

平成29年度放射線業務従事者のための  
新規教育訓練講習会

# 放射線安全取扱いの基礎

大阪府立大学 放射線研究センター  
秋吉 優史

# 放射線が身体に入ると何が起こるの？

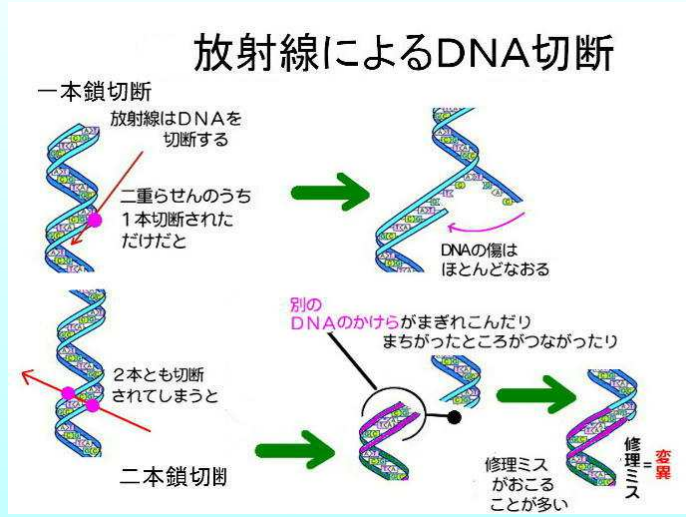
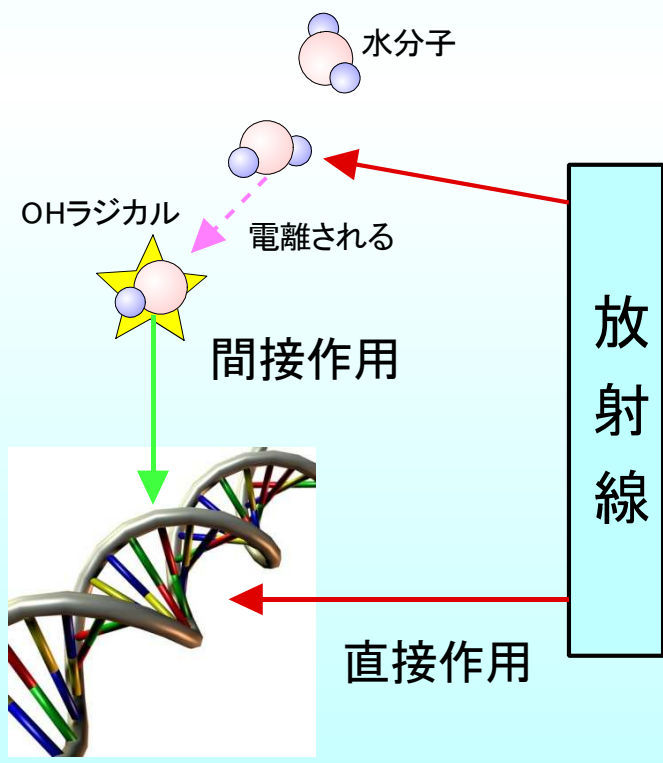
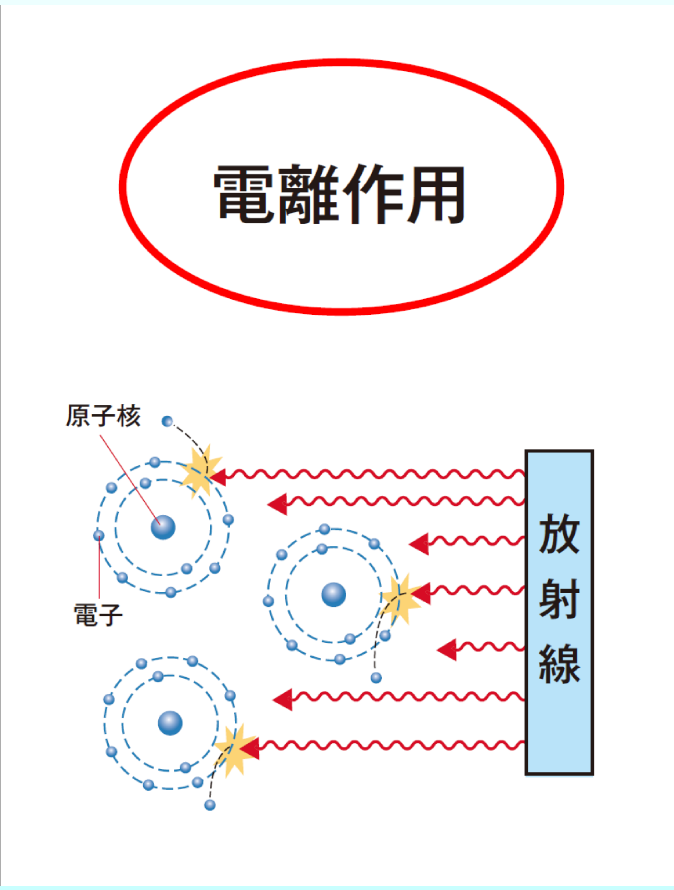
放射線は原子の周りの電子を弾き飛ばしてしまい、結合している手を切ってしまう「電離作用」を起こします。

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。

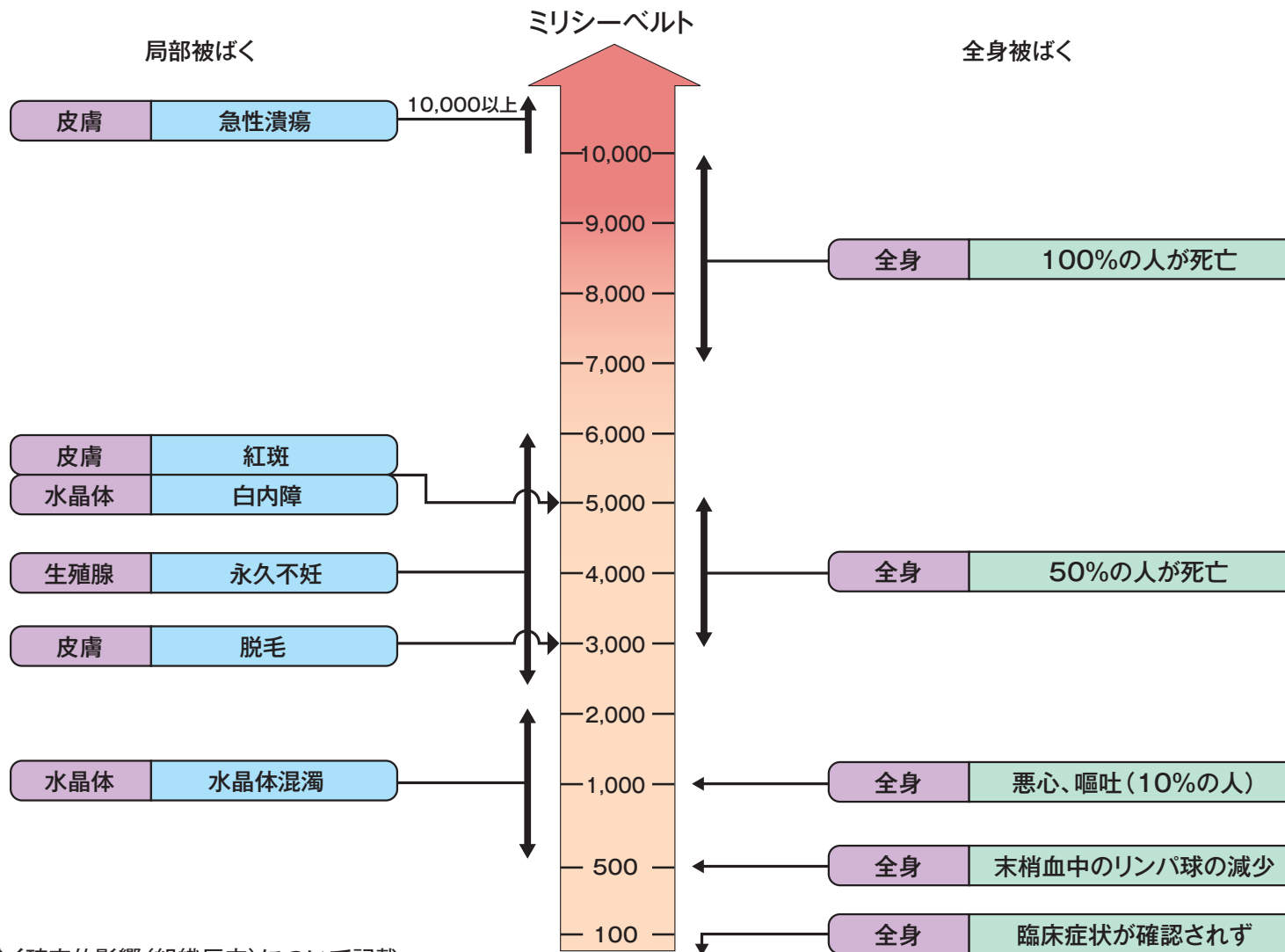
細胞は切断されたDNAを修復したり、修復しきれないと自殺してしまったりして、間違った情報が残らないようにしています。

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



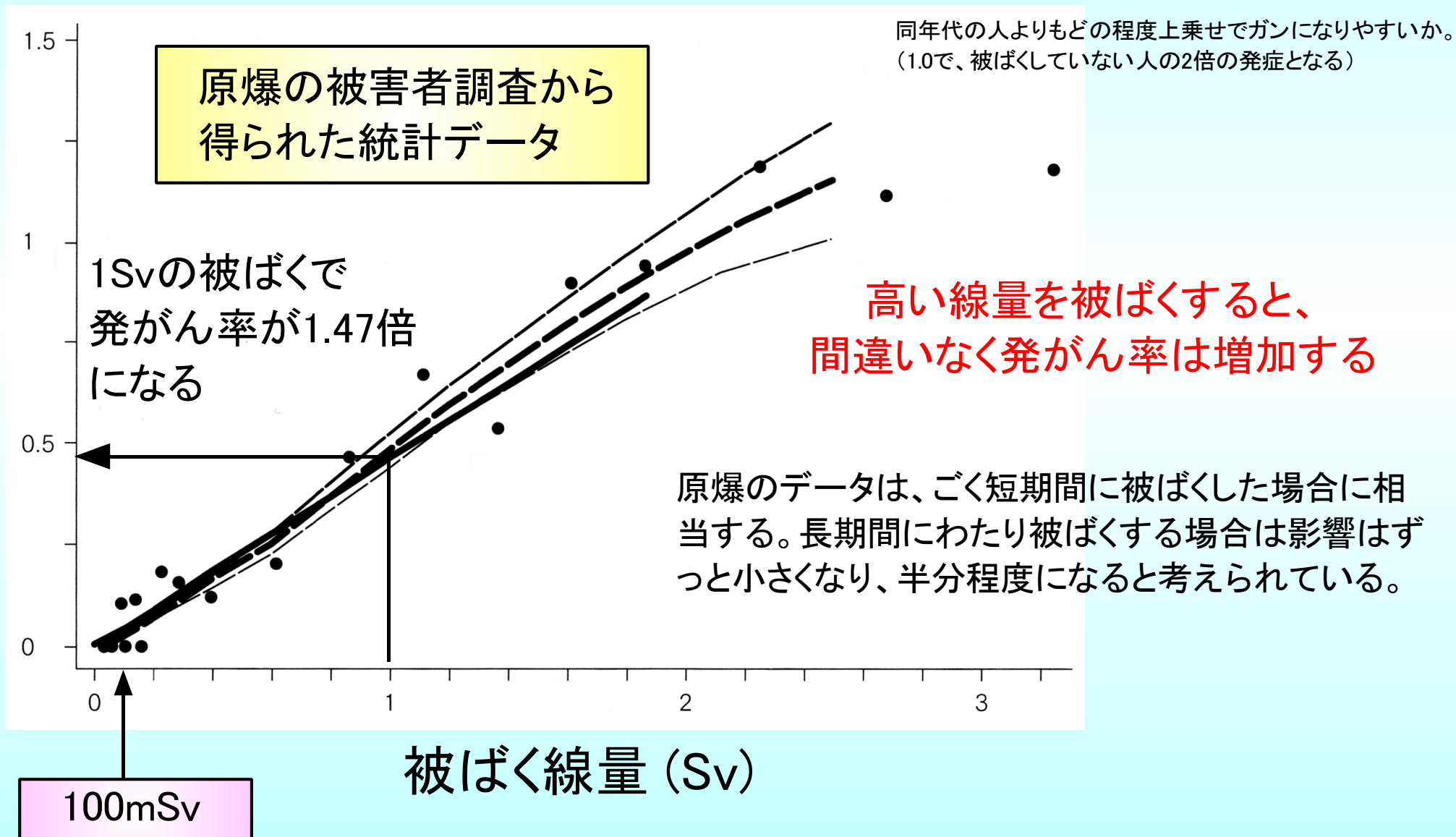
(注1) がんや遺伝性影響を除く確定的影響(組織反応)について記載

(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

# 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



# 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

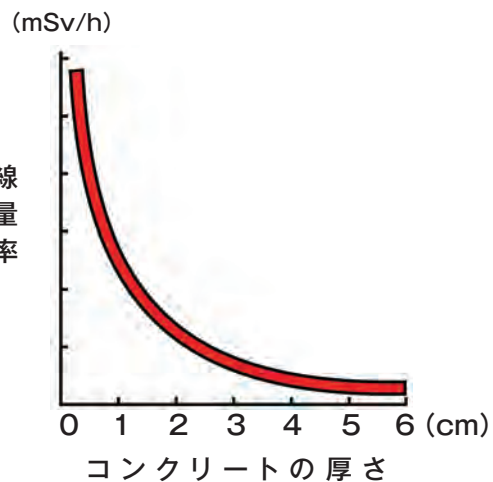
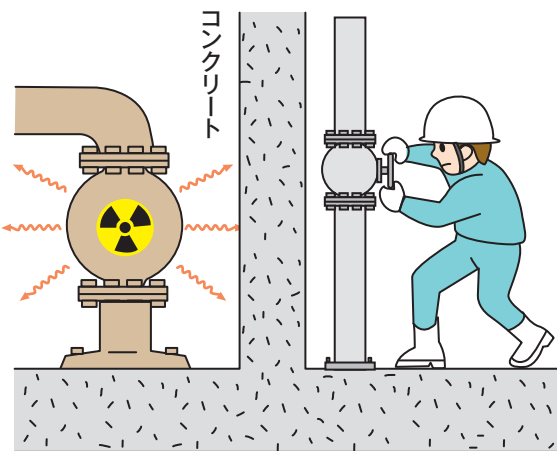
**線量限度** Dose Limit

線量限度を超えてはならない(緊急時と医療を除く)

# 放射線防護の基本

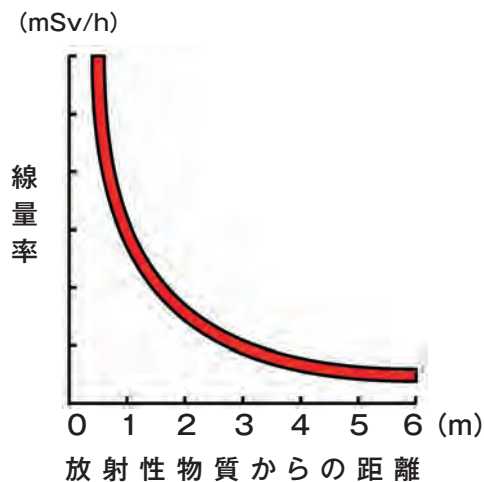
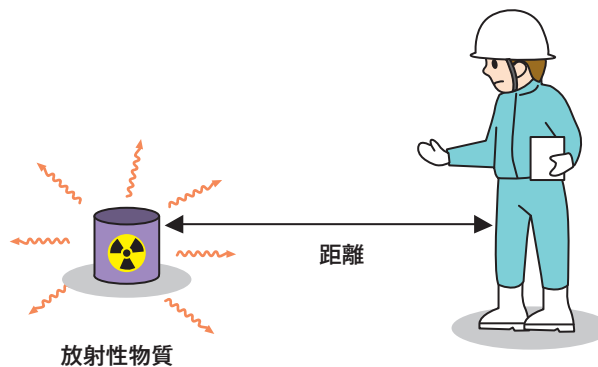
## 1. 遮へいによる防護

(線量率) = 遮へい体が厚い程低下



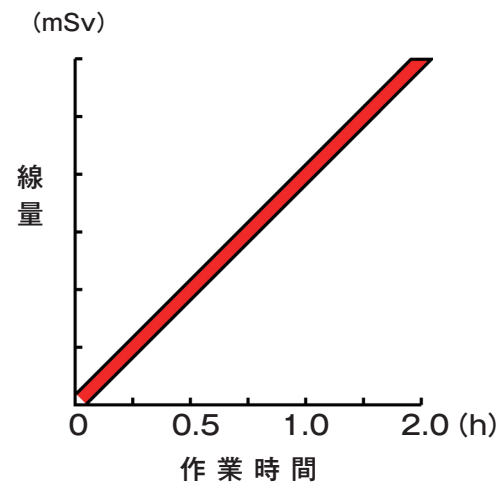
## 2. 距離による防護

(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

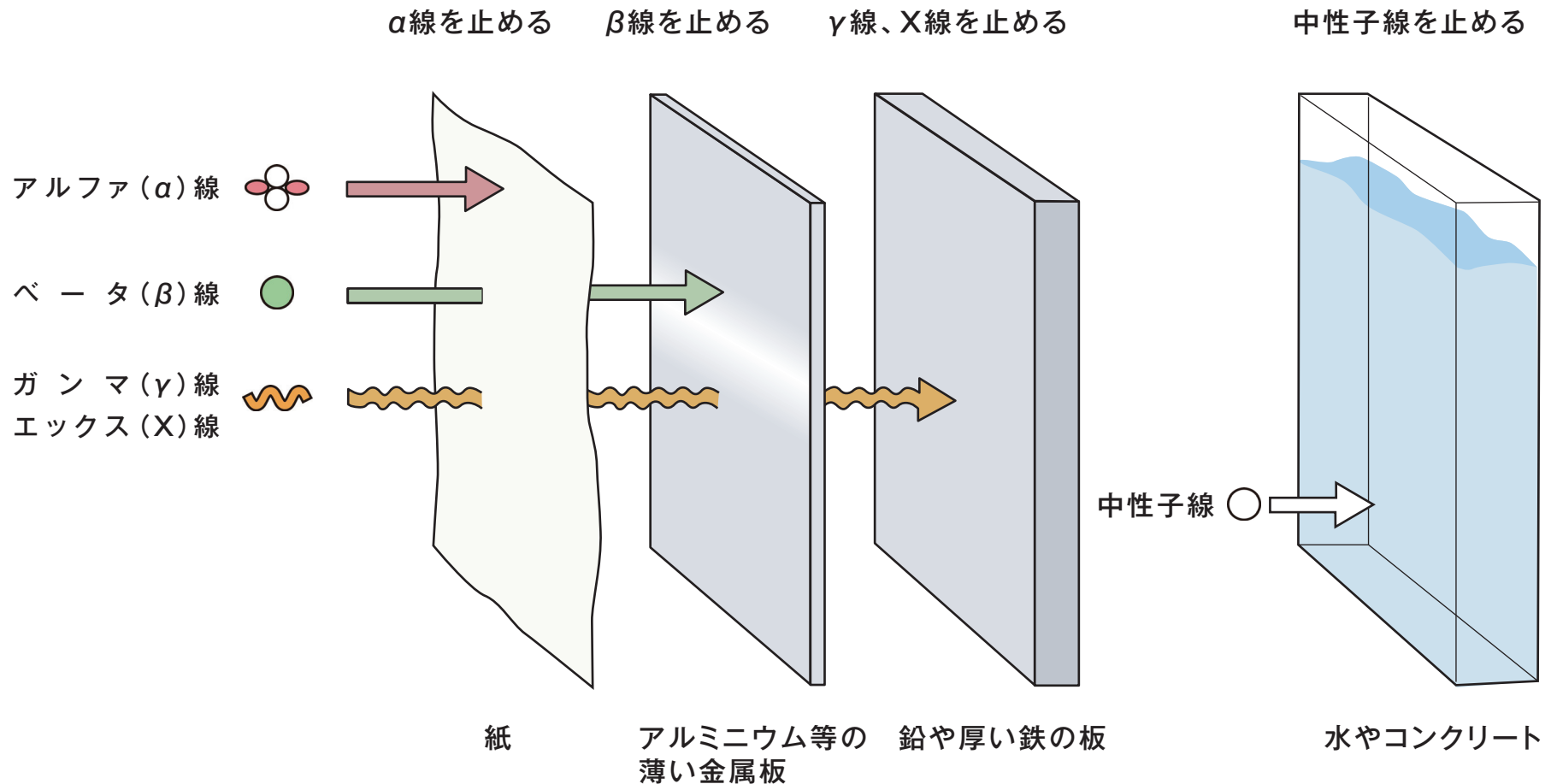
RIと作業者の間に適切な遮蔽を行い、被曝線量を可能な限り低減する。

→ 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

# 放射線の種類と透過力

線は紙一枚で止まってしまうますが、逆に言うと紙一枚の厚さの範囲に持っているエネルギーを全部一気に放出してしまうため、体の中で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。



# 遮蔽

## $\alpha$ 線

空気中の  $\alpha$  線の飛程 =  $3.18E^{3/2}$  (  $E(\text{MeV})$  ) mm

→たかだか数cm程度、0.25mmのゴム手袋で止まる

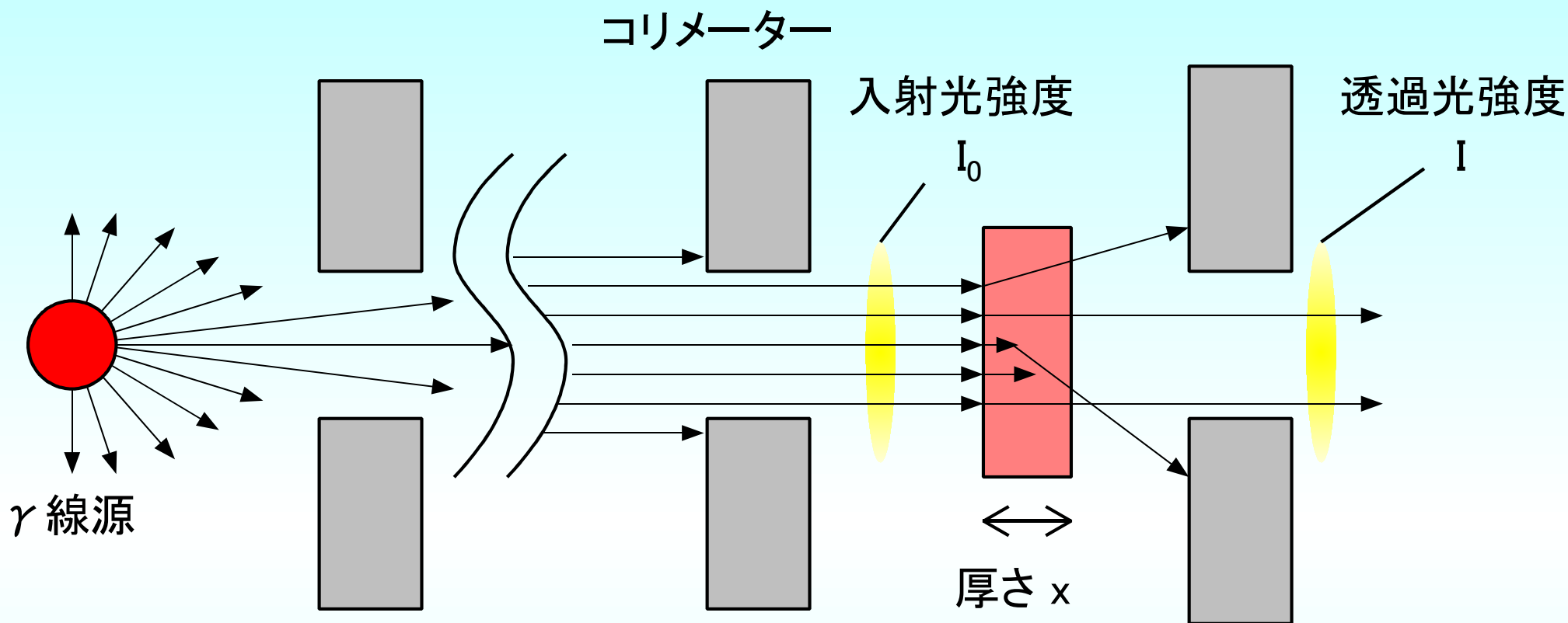
## $\beta$ 線

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

$R=0.542E-0.133$  ( $0.8\text{MeV} < E$ )

R は  $\text{g}/\text{cm}^2$  の単位で、遮蔽体の密度で割って飛程を求める

・エネルギーが大きい  $\beta$  線を、重元素で遮蔽する場合は、制動放射X線が出やすいので注意する(転換率はエネルギーと原子番号に比例)。



単一エネルギーで狭い平行線束  $\gamma$  線・X線の減衰は、

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

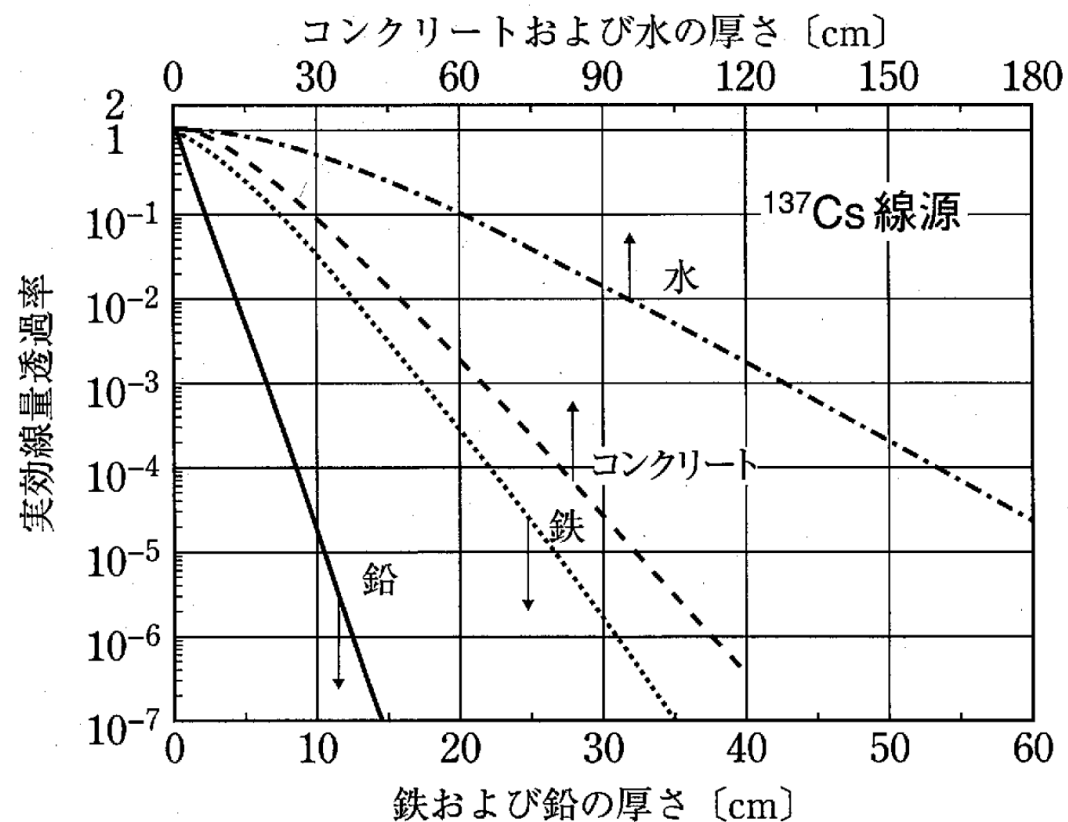
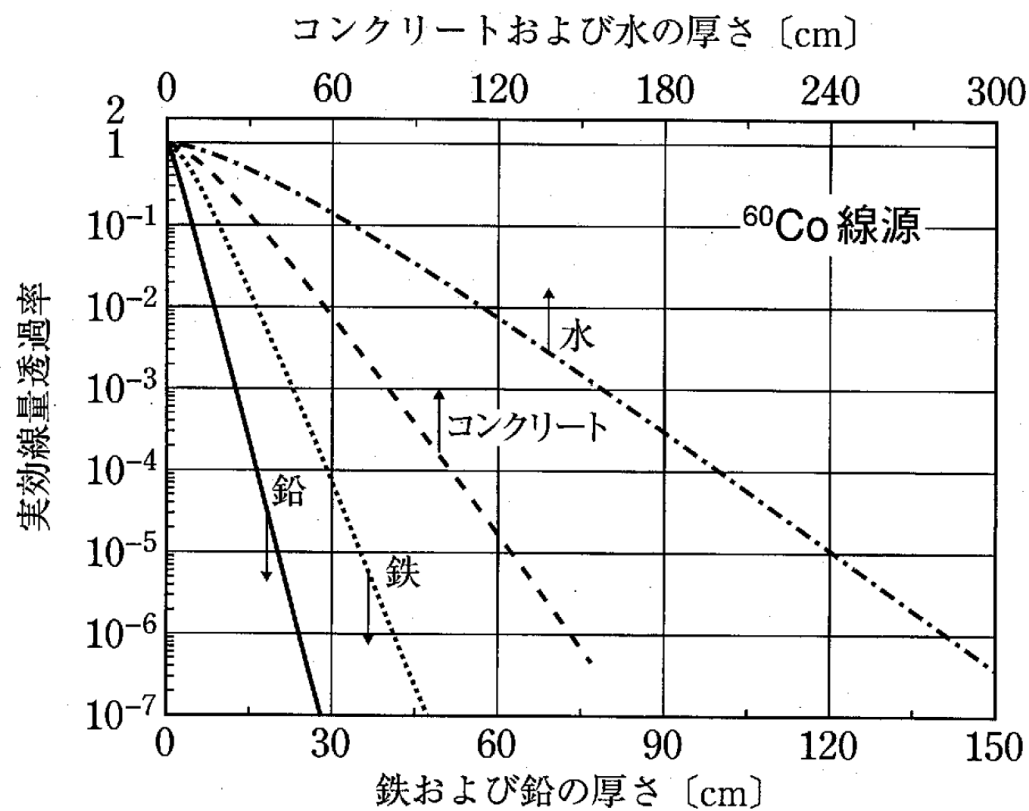
で表わされる。ここで  $I, I_0$  は光子のフラックスであり、

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  $\mu$  の単位は  $m^{-1}$  などで、密度で除した  $\mu_m$  が様々な物質、

エネルギーに対して与えられている。

# 代表的な $\gamma$ 線源の実効線量透過率



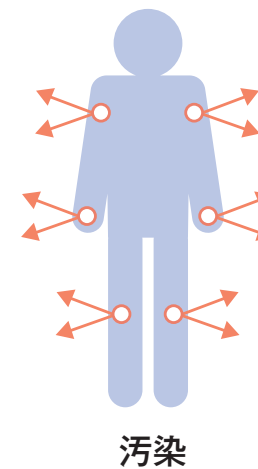
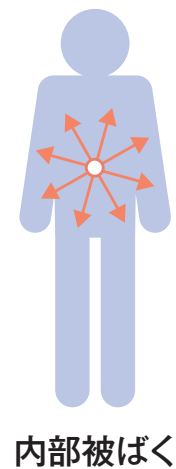
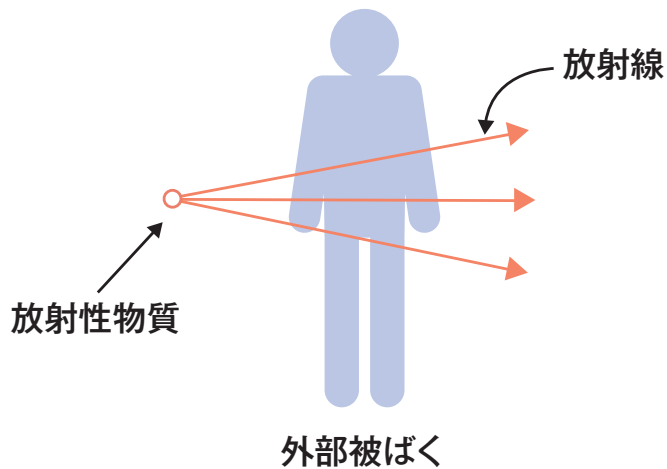
# 被ばくと汚染の違い

## 被ばく

放射線を受けること

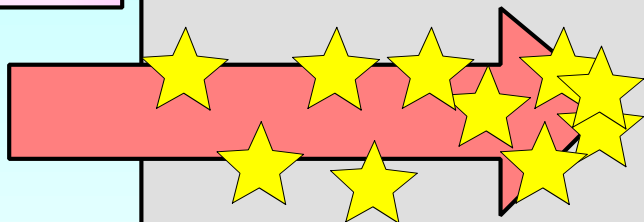
## 汚染

放射性物質が皮膚や衣服に付着した状態



# α線

水中での最大飛程: 50 μm程

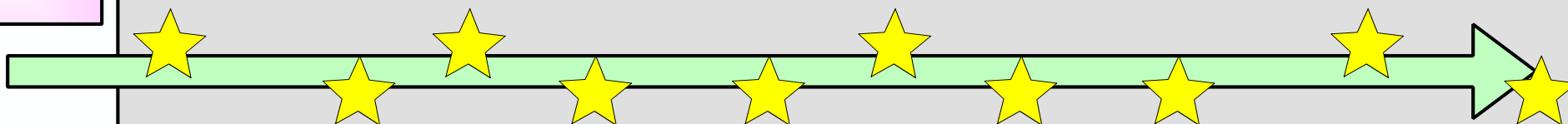


狭い範囲に一気に  
エネルギーを放出する

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



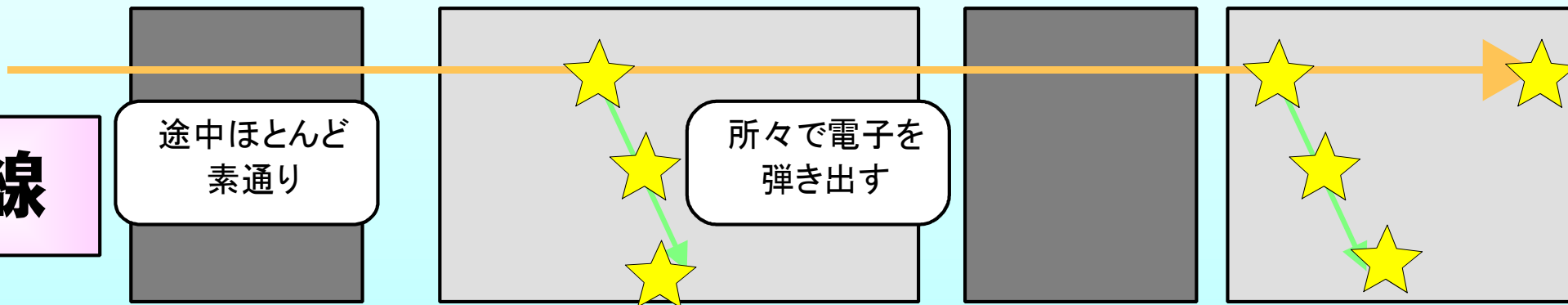
所々にぽつぽつとエネルギーを落とす

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

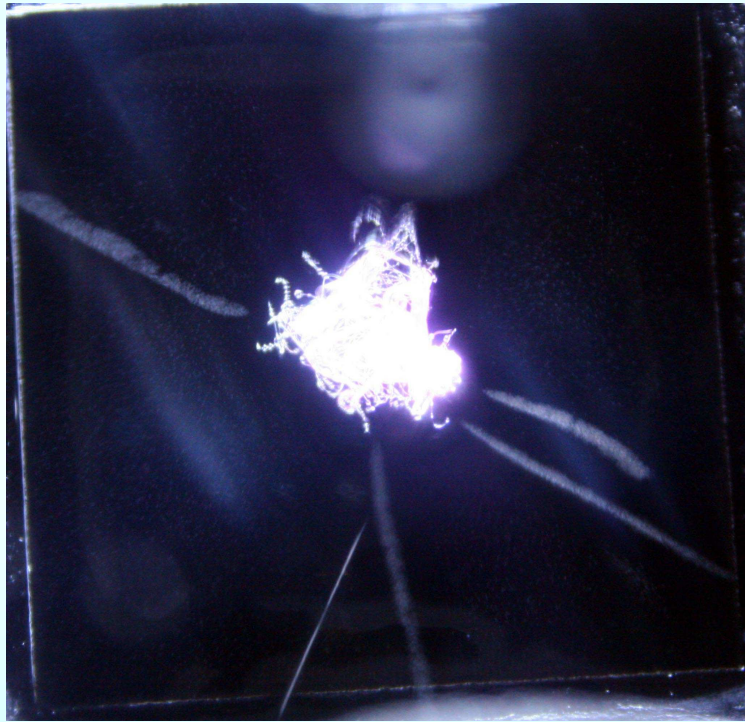
途中ほとんど  
素通り

所々で電子を  
弾き出す



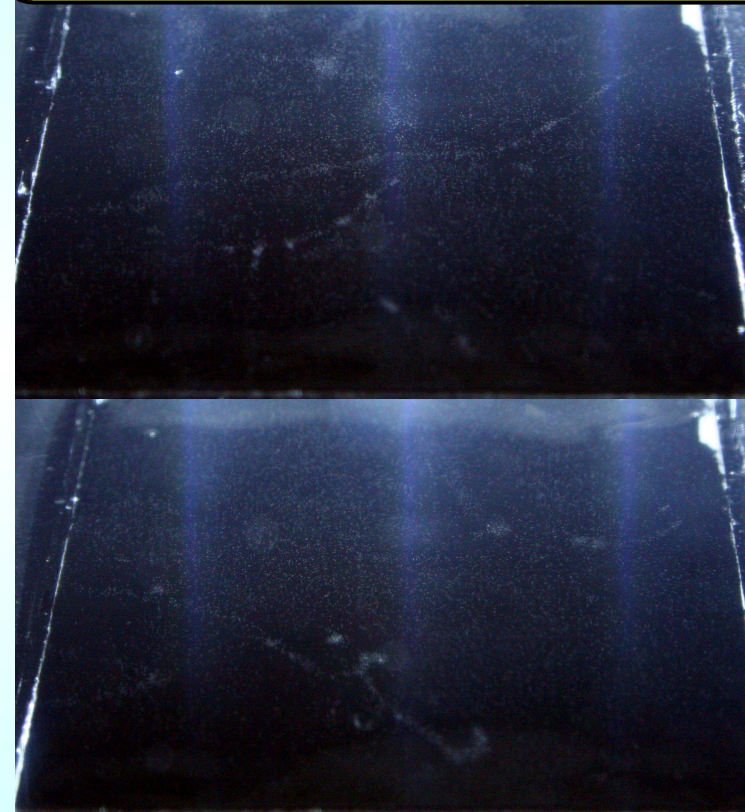
## 霧箱での飛跡の観察

### $\alpha$ 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。

### $\beta$ 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。

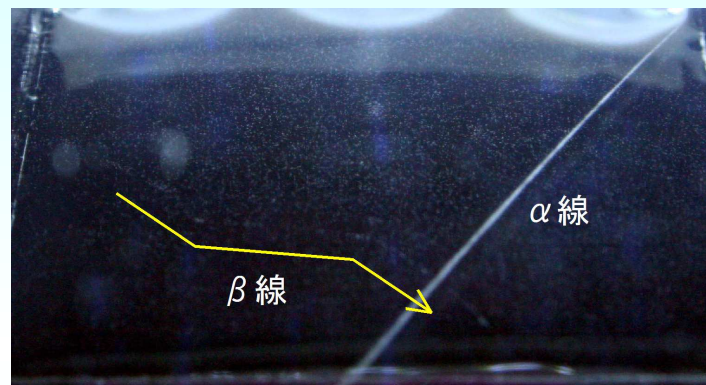


# 放射線加重係数の説明

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

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

相互作用の違いを反映



体内の放射能 \*体重60kgの日本人 年間に被ばくする実効線量

K-40: 4,000Bq

170  $\mu$  Sv/年

$\beta$ ・ $\gamma$ 線のみ

Po-210: 20Bq

800  $\mu$  Sv/年

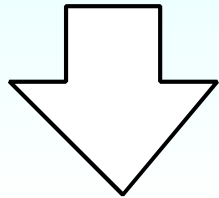
$\alpha$ 線を放出

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

\*そもそもの吸収線量、  
組織加重係数  
なども異なる

# 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 ( $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ )
- ・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)

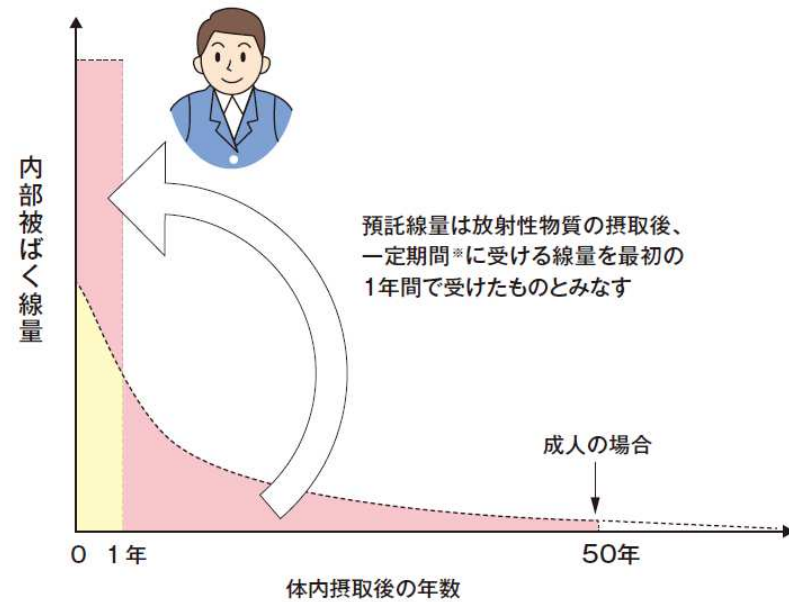
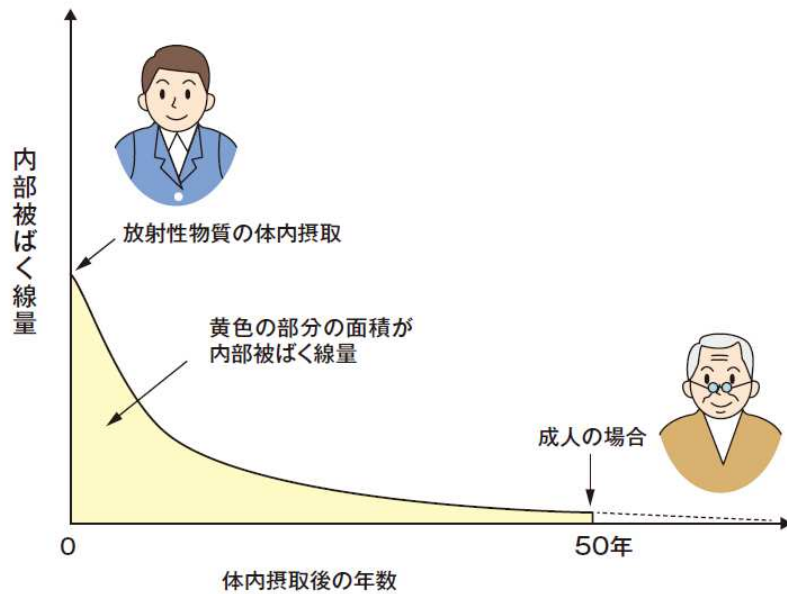
実際には、少しずつ長い期間に被ばくするのと、同じ量をいっぺんに被ばくするのでは、損傷修復のメカニズムがあるため、ゆっくり被ばくした方が影響は小さい。

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  $1.3 \times 10^{-5}$  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



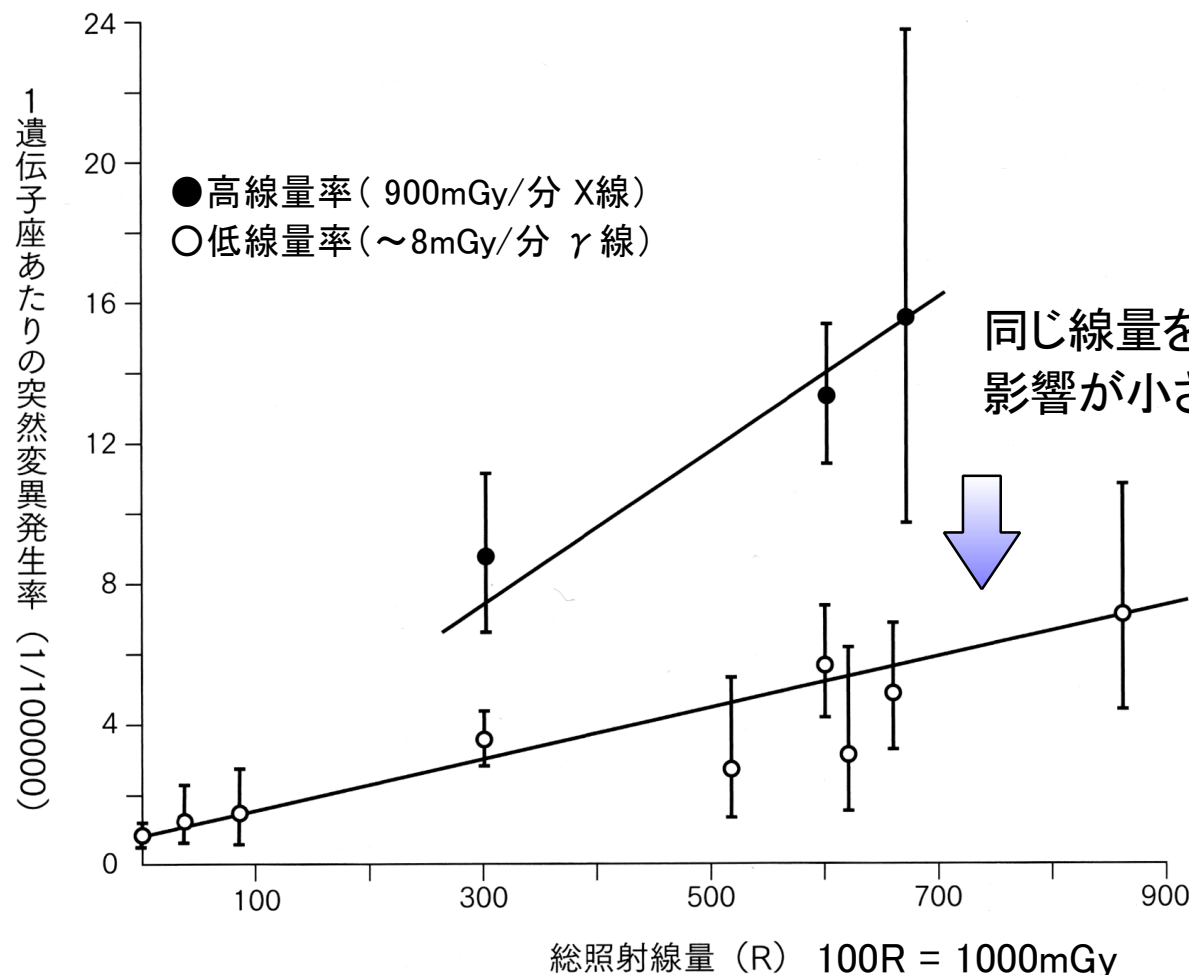
# 内部被ばくの評価（預託線量の概念図）



※成人:50年間、子供:取り込み時から70歳まで

# 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。

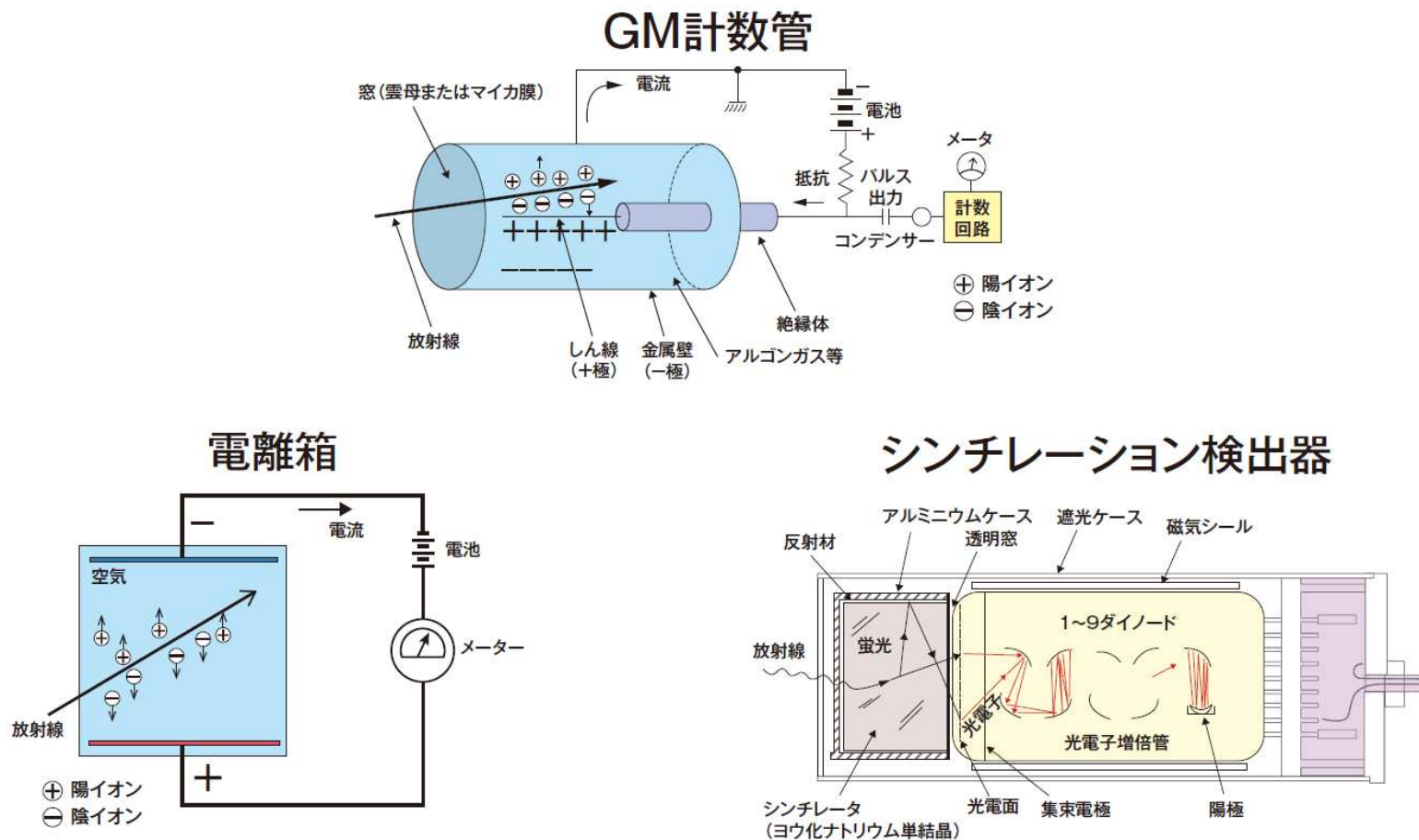
同じ線量を被ばくしても、  
影響が小さい

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。

# 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、 $10^{-9}$ ~ $10^{-14}$ 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

# GMサーベイメーター



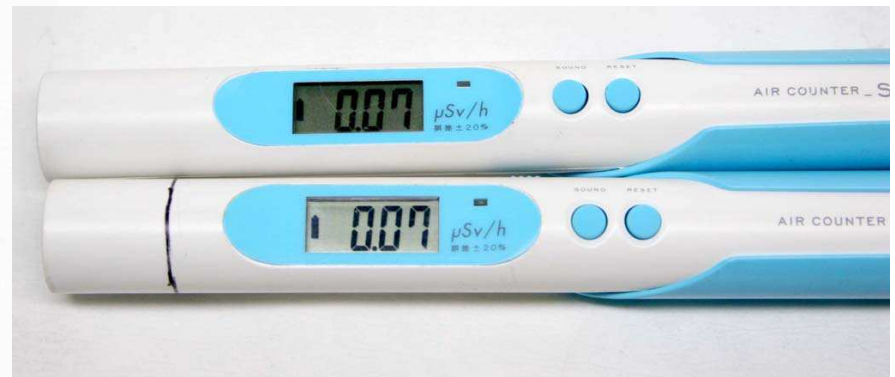
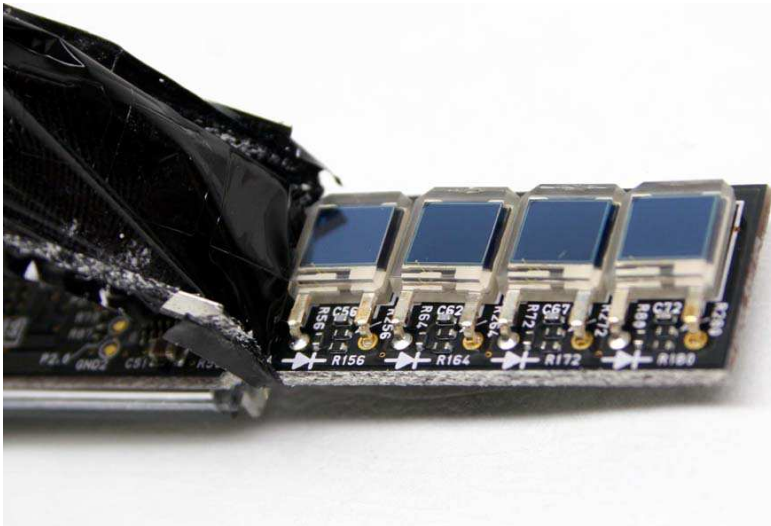


# 一般人向けのサーベイメーター

## ・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。

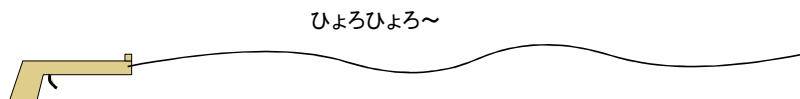
エステーが発売しているエアカウンターSはその代表格で、3000円程度と非常に安価であるが、複数の核種を用いた実験で、理論値及びNaIシンチレーションサーベイメーターと比較してほぼ同じ値を示しており、かなり優秀である。ただし、正確な測定には数分を要する。



## 高エネルギーの放射線



ズバツ!

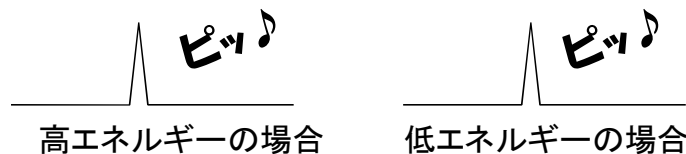


ひよろひよろ~

低エネルギーの放射線

## 放射線のエネルギーって何?

$\alpha$ 線や $\beta$ 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。 $\gamma$ 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 $\gamma$ 線が飛んできた、と言うことにして線量を評価しています。



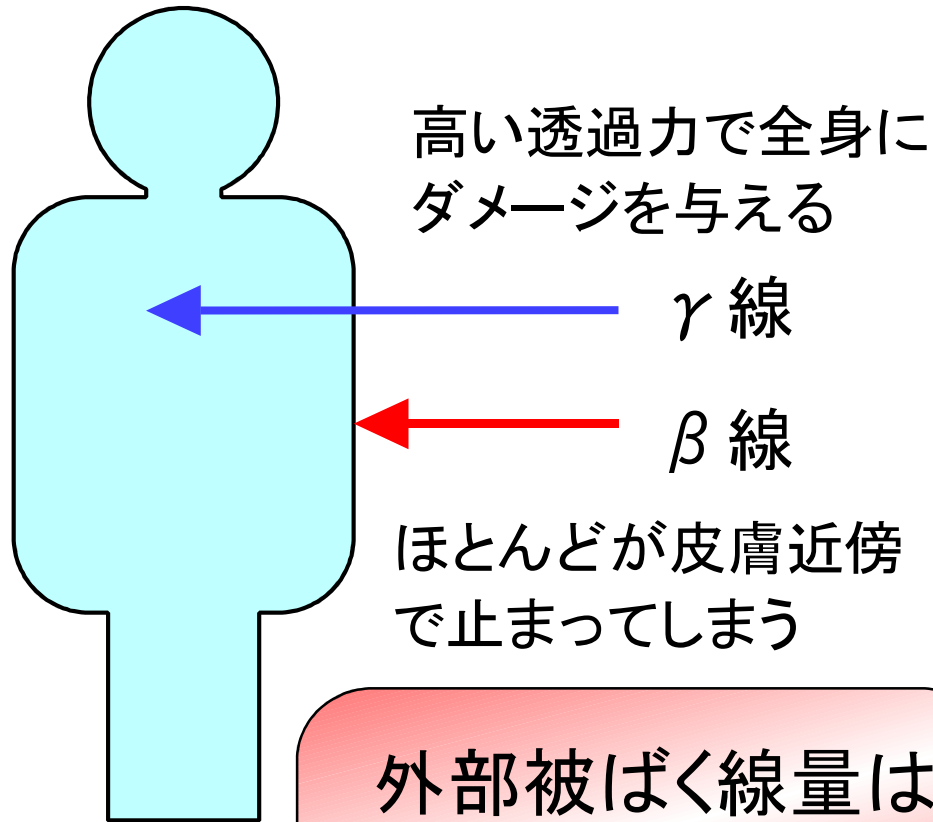
シンチレーターや、Ge半導体検出器

**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

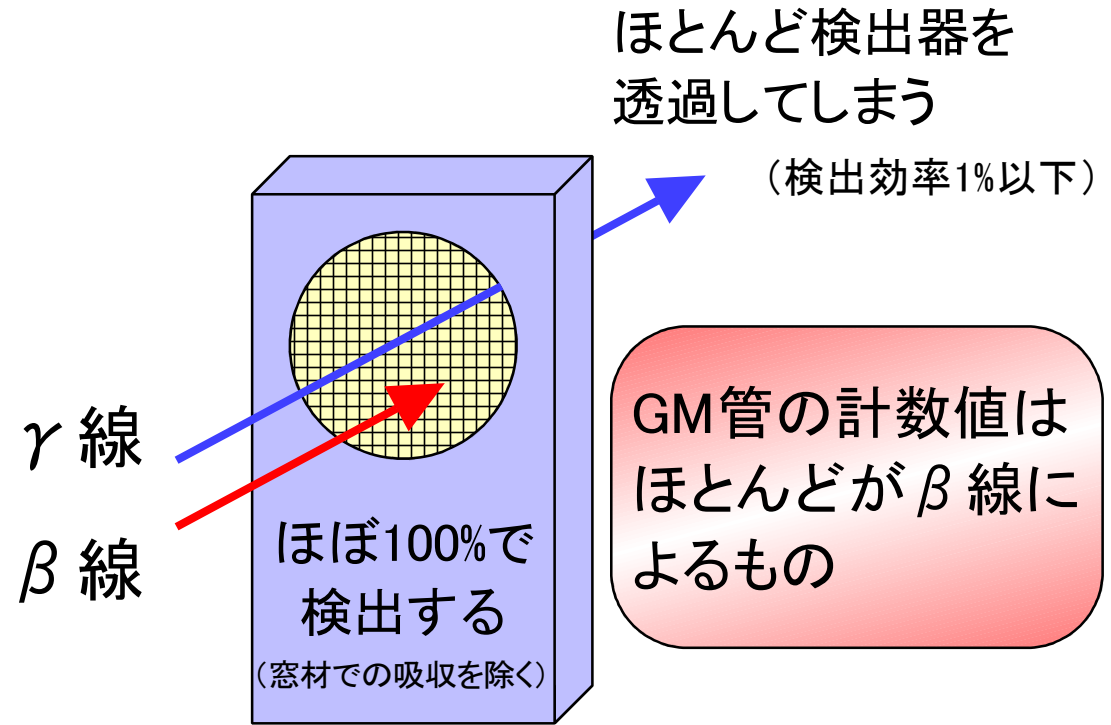


外部被ばく線量は  
γ線によるもの

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)



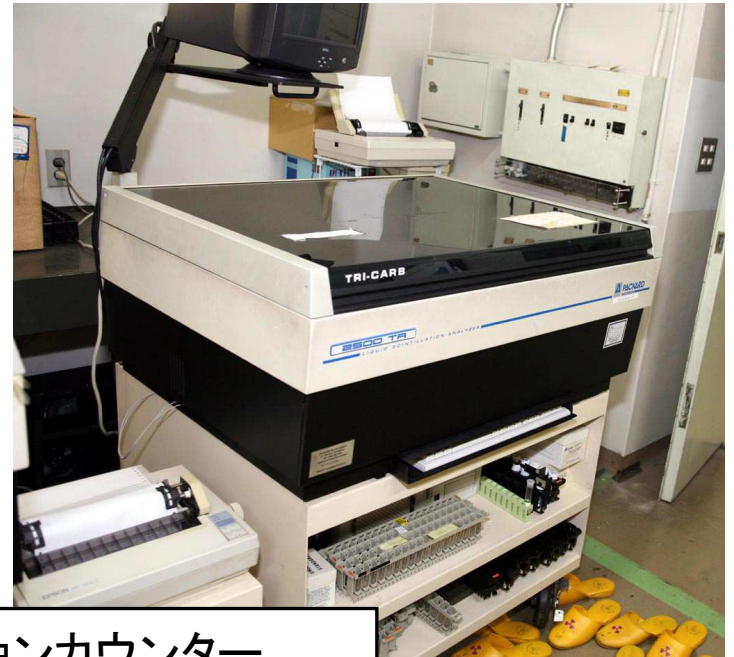
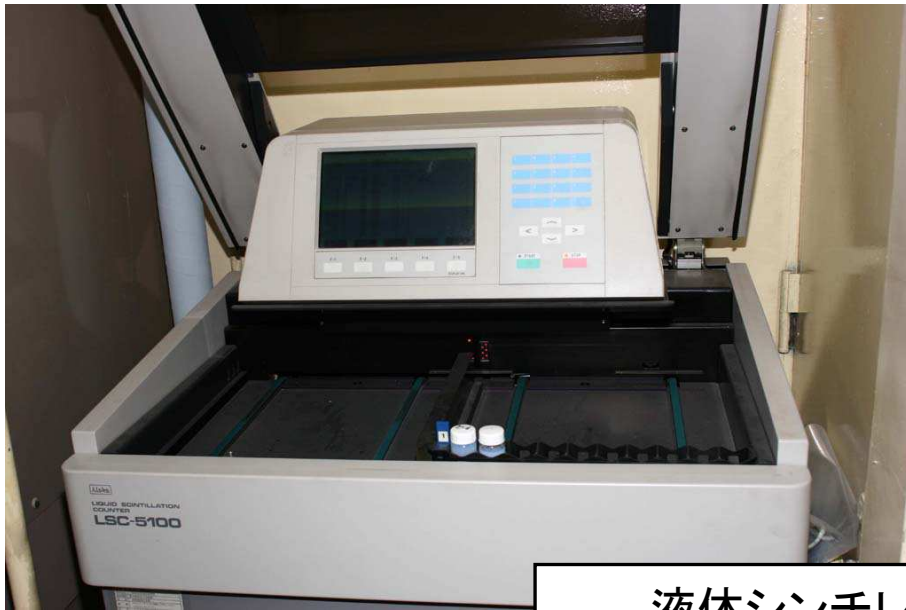
実効線量率を表示する検出器 →  
Cs-137のγ線の検出効率から逆算して  
計数値から実効線量を計算している

β線は遮蔽されていることが前提

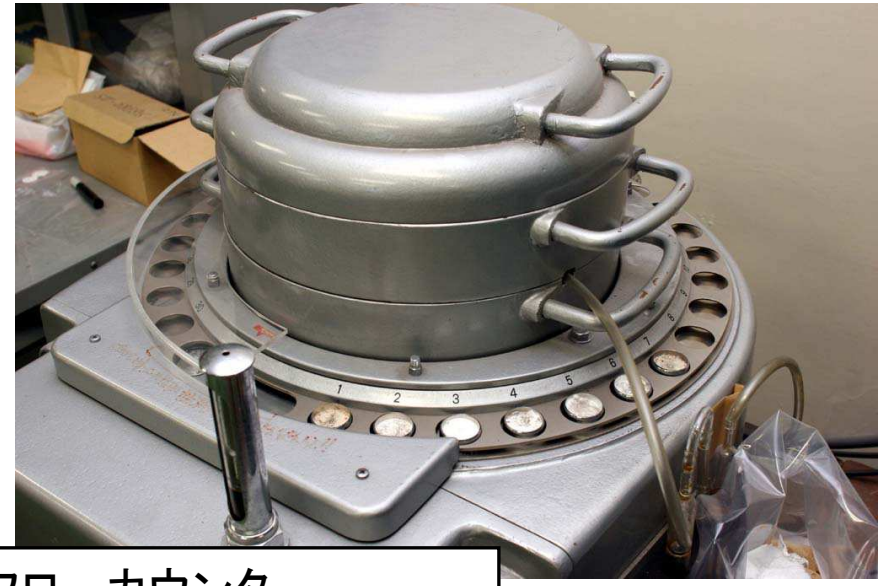


# 直接測定法とスミヤ法

- 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。



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!