

平成30年4月20日 静岡大学
放射線施設に立ち入る者に対する教育訓練

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？

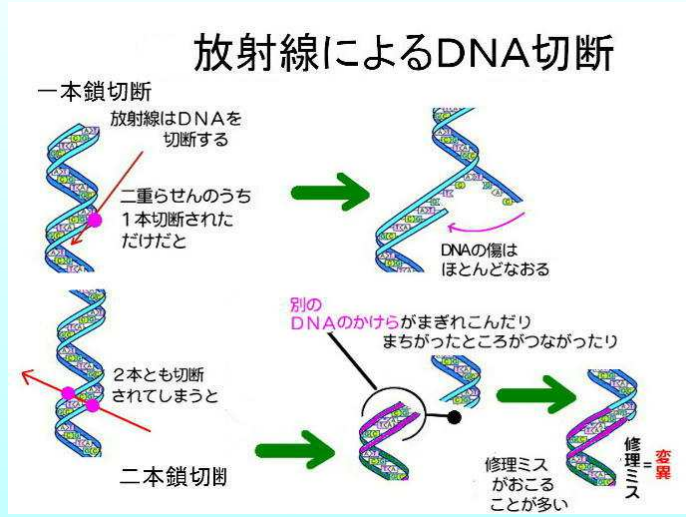
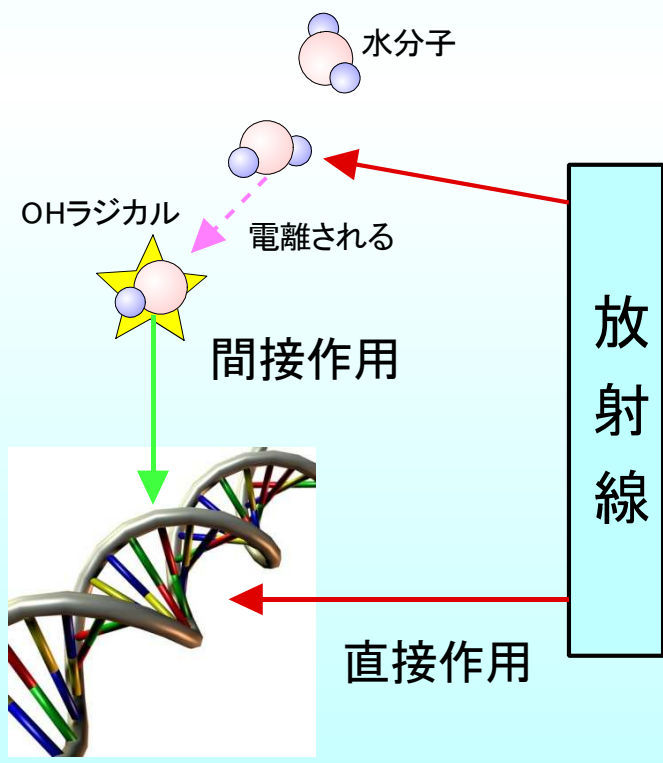
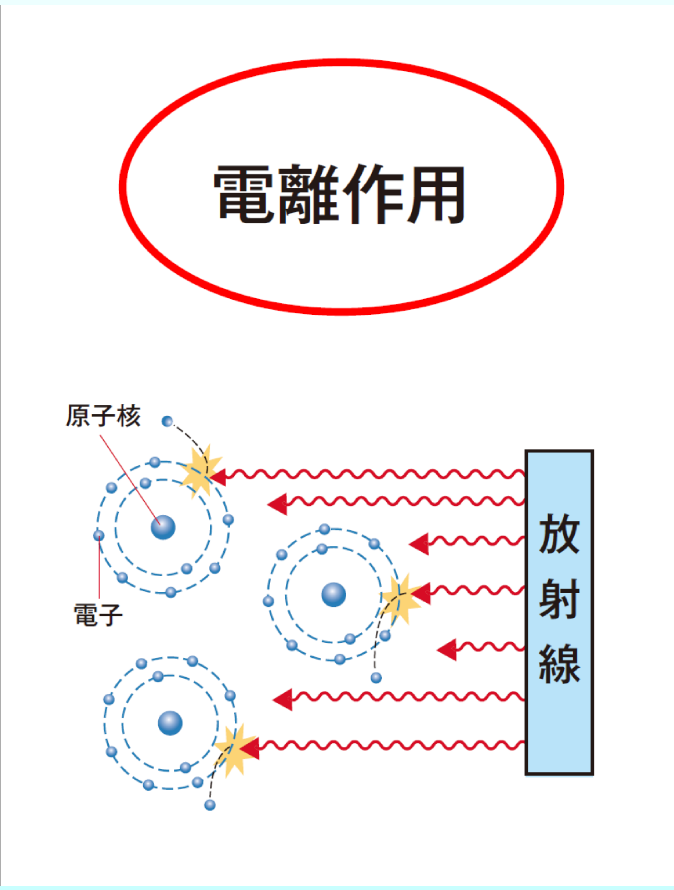
放射線は原子の周りの電子を弾き飛ばしてしまい、結合している手を切ってしまう「電離作用」を起こします。

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。

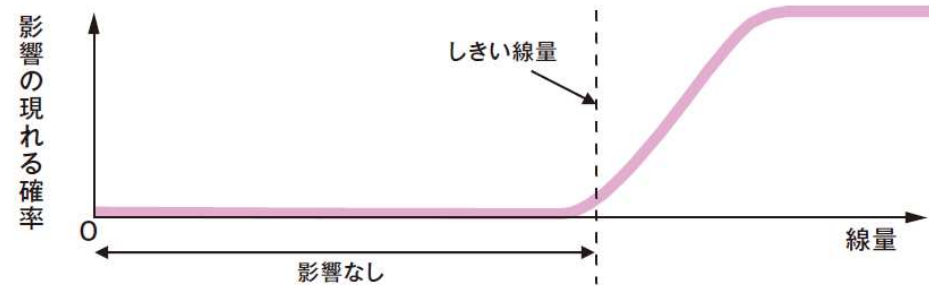


放射線防護の考え方

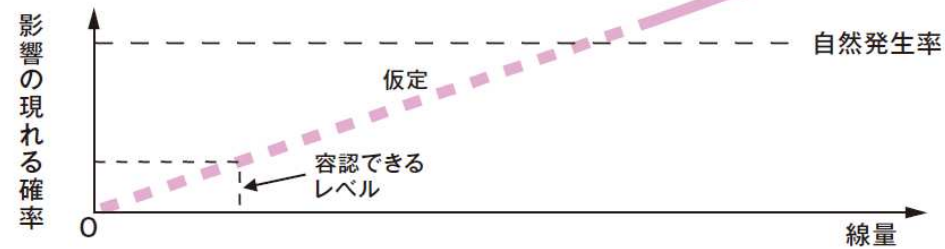
確定的影響は、しきい線量※以下に抑えることで影響をなくす。

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を抑える。

〔確定的影響（脱毛・白内障等）〕



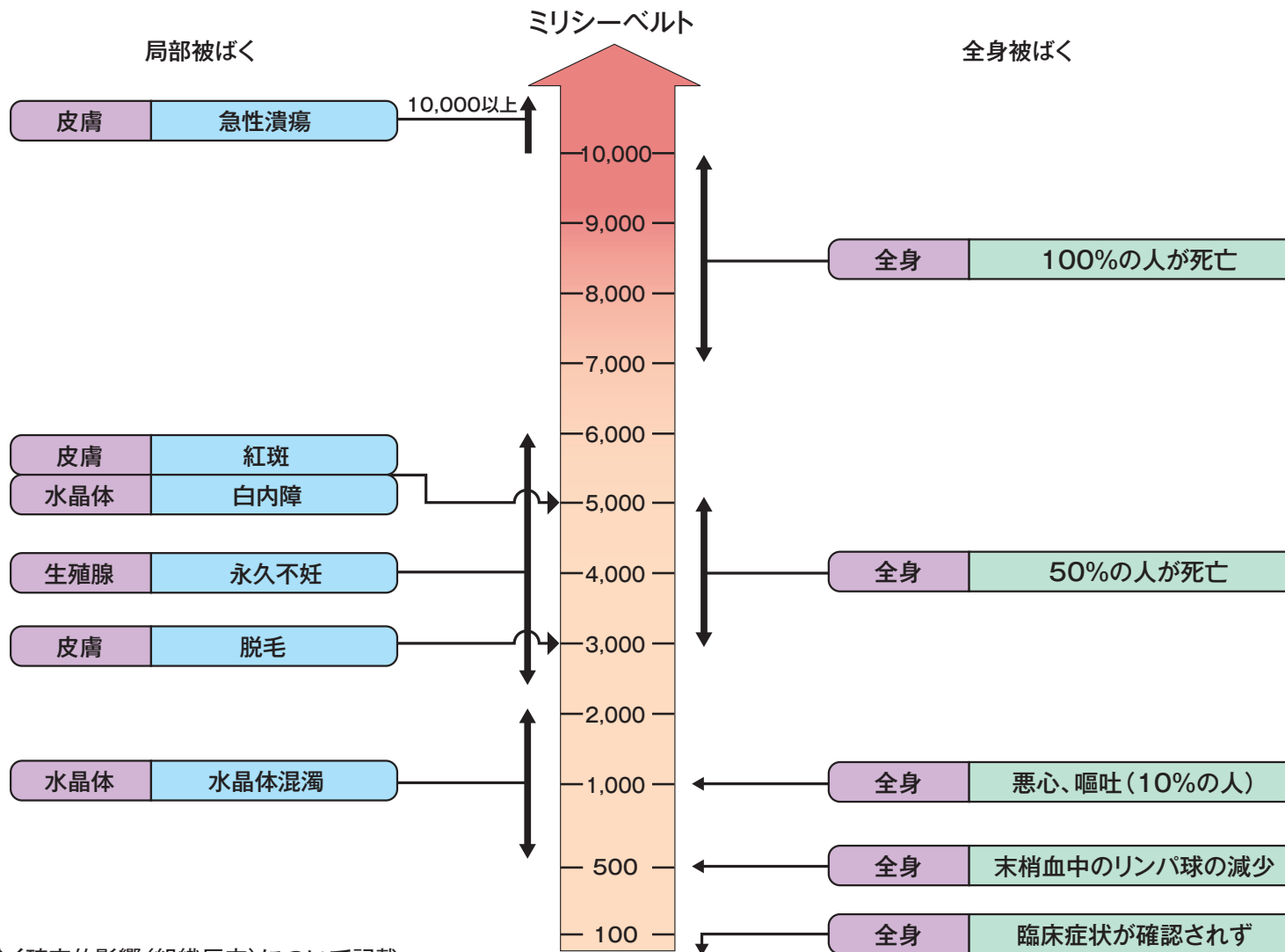
〔確率的影響（がん・白血病等）〕



※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

放射線を一度に受けたときの症状

凡例 部位 症状



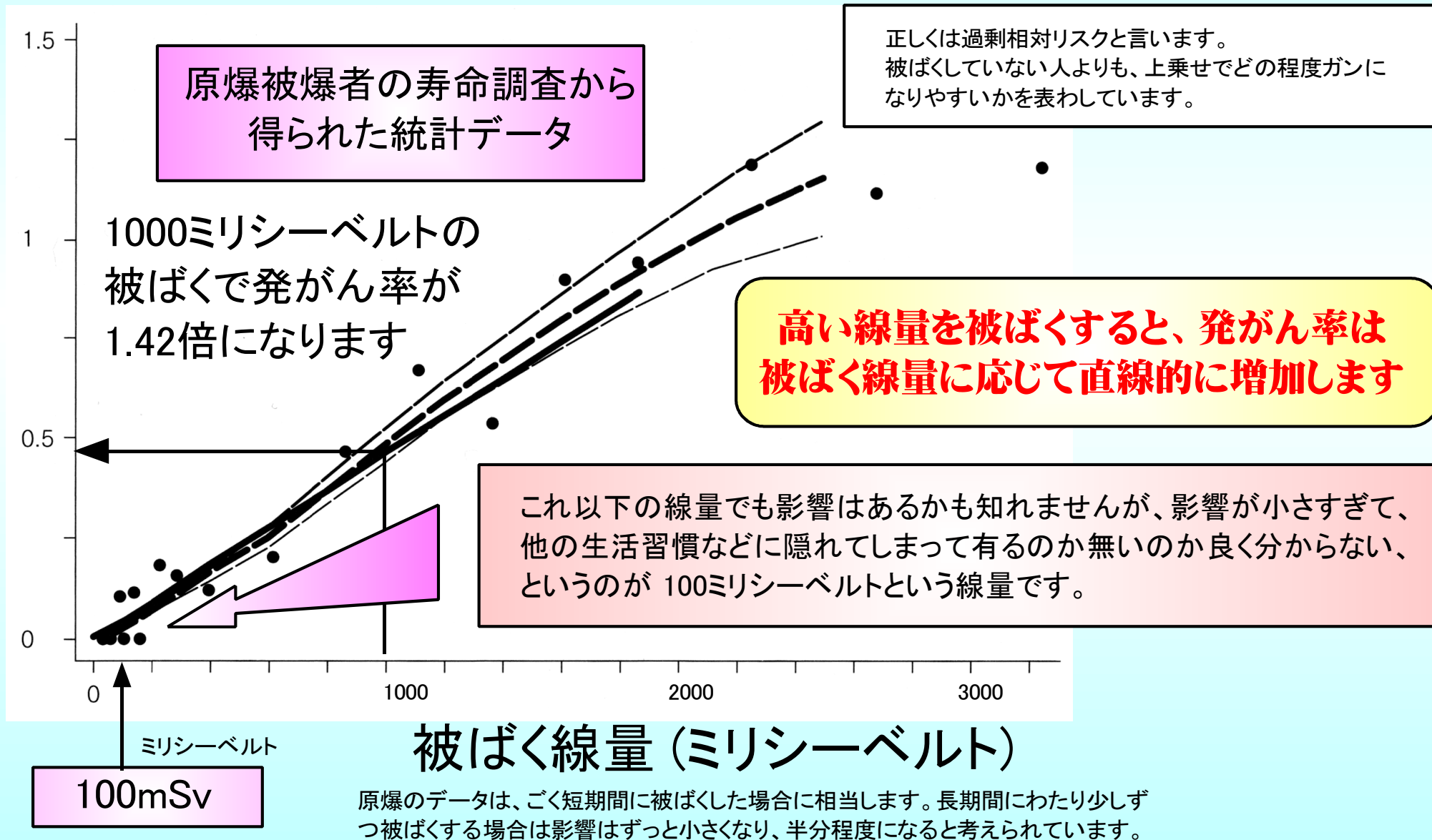
(注1) がんや遺伝性影響を除く確定的影響(組織反応)について記載

(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歳になったときの上乗せのリスク

固形ガン発症の上乗せのリスク



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)

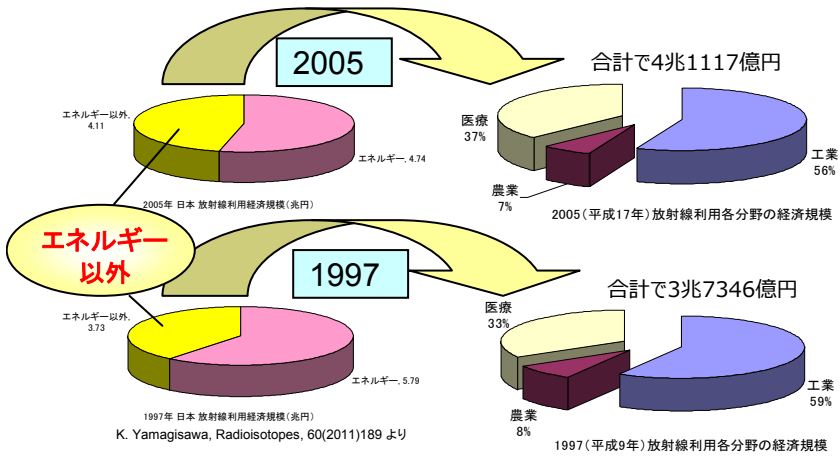
ALARA(as low as reasonably achievable)の原則

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)

暮らしの中の放射線

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



工業利用

材料改質、微細加工、非破壊検査、元素分析



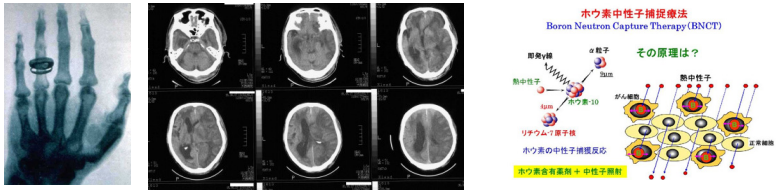
農業利用

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

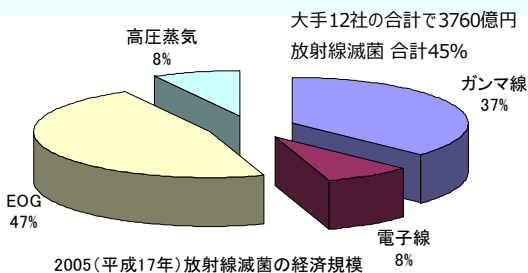
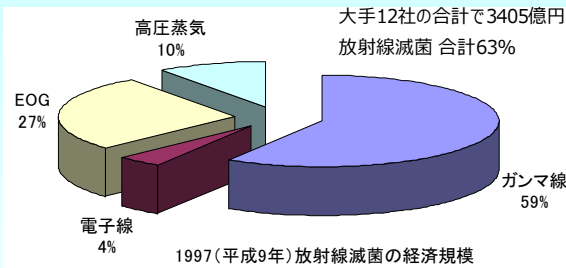


年代測定

C-14 年代測定法などによる考古学・文化財の評価



放射線による滅菌



ガンマ線は電子線よりも透過力が大きく、より大きな物、密度の高い物に適しています。
電子線は処理スピードが速く、短時間にたくさん照射するのに適しています。
EOGは酸化エチレンというガスで、表面の滅菌に適していますが、有毒な残留物の除去が必要です。
高温蒸気は、水に溶ける物には使えず、温度上昇による変質の恐れがあります。

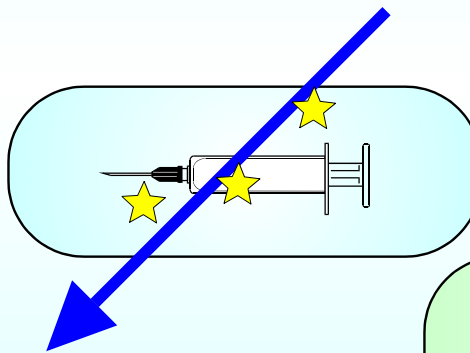
1万~2万グレイ^{*}という非常に高い線量の放射線を照射することで、様々なバイ菌を殺してしまうことができます。

^{*}グレイとは、人間以外の物体が放射線を吸収した量のことです。ガンマ線、電子線では同じ線量を人間が吸収した場合、シーベルトに等しくなります。

密封したパッケージの中に透過して、
中身を滅菌できます

照射が終わると後に有毒ガスや
水が残らず後処理が不要です

均一に全体を照射でき、どの程度照射するか
のコントロールが容易です



医薬品



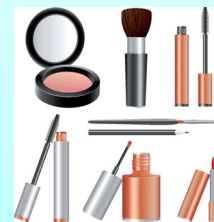
医療機器



食品包装材



化粧品



食品

海外では食肉や香辛料などの食品への照射が行われていますが、日本ではジャガイモの芽止めにし
か用いられていません。

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

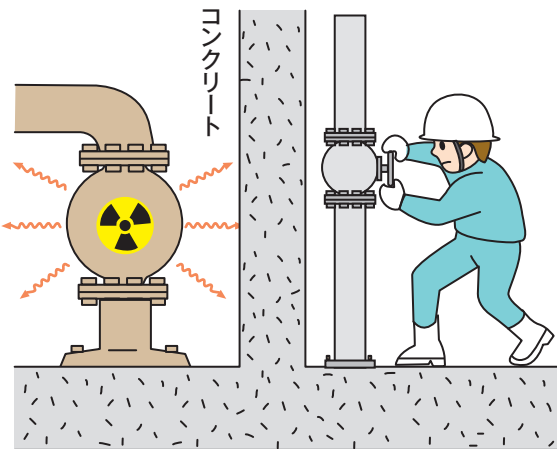
※4 平成23年3月14日に福島第一原子力発電所の緊急作業に従事する者は、250mSvに引き上げられた(平成23年12月16日廃止)

※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)

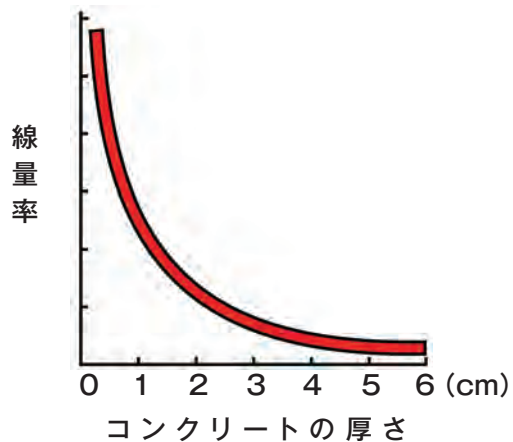
放射線防護の基本

1. 遮へいによる防護

(線量率) = 遮へい体が厚い程低下

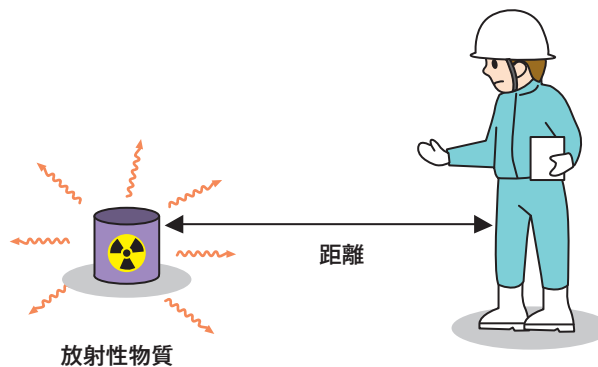


(mSv/h)

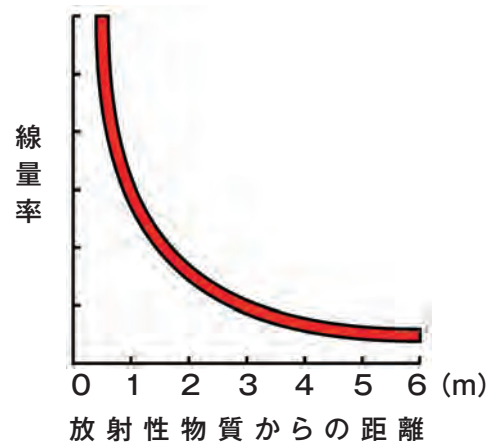


2. 距離による防護

(線量率) = 距離の二乗に反比例

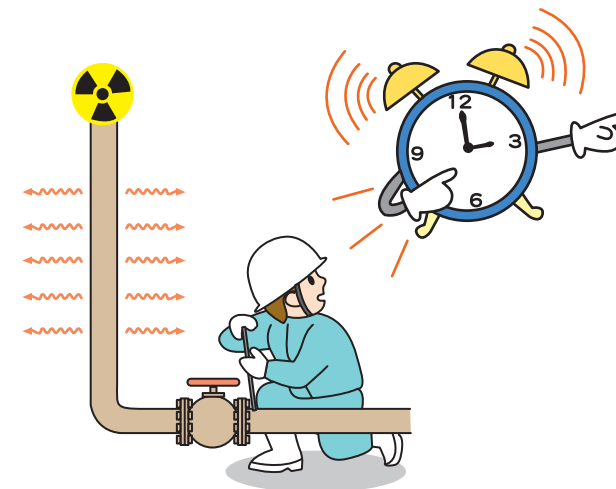


(mSv/h)

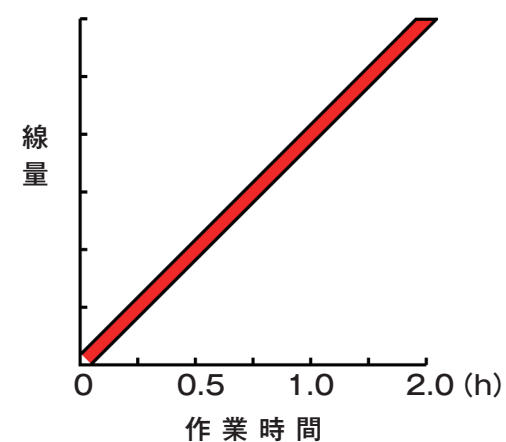


3. 時間による防護

(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

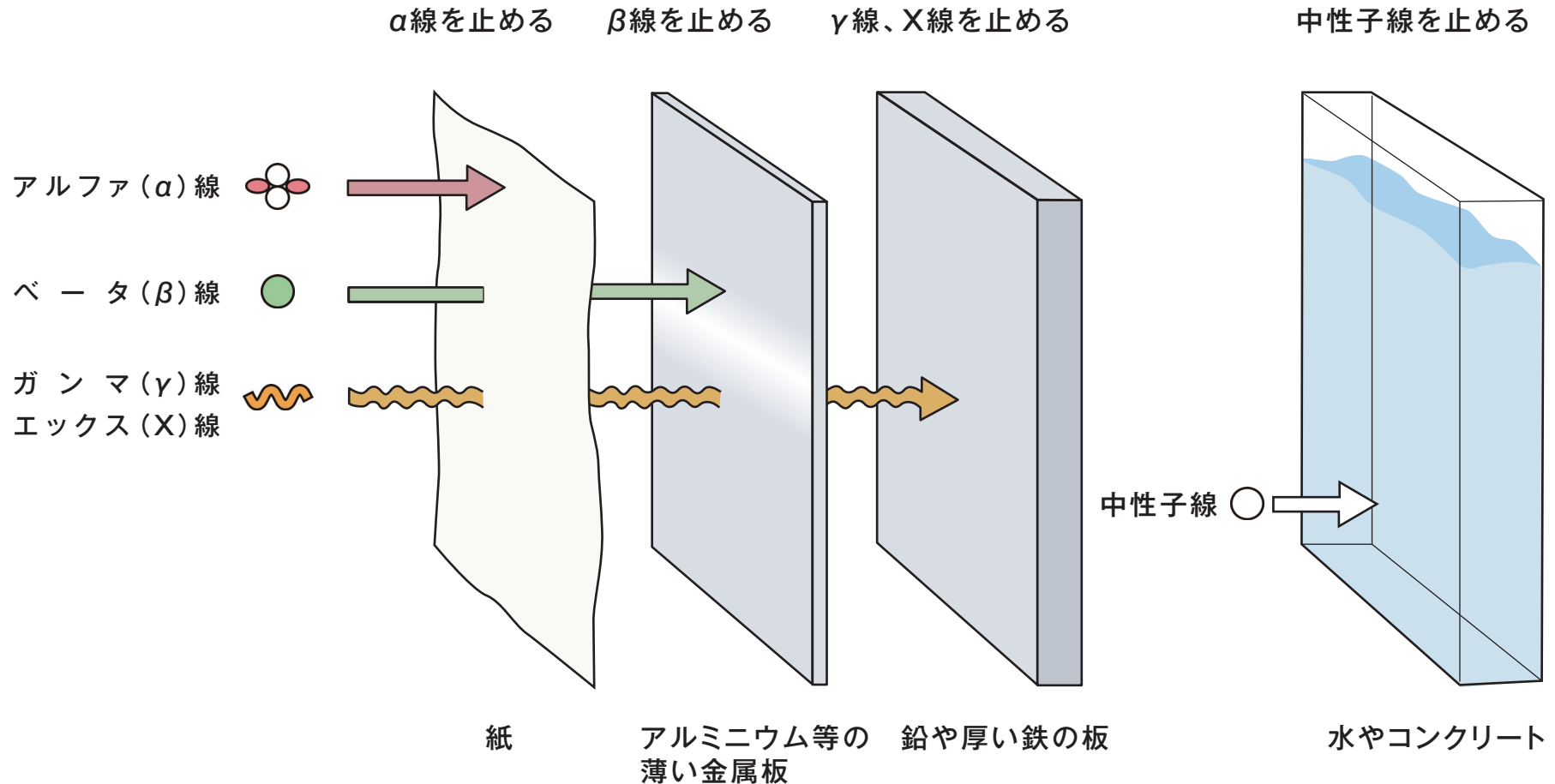
RIと作業者の間に適切な遮蔽を行い、被曝線量を可能な限り低減する。

→ 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

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。

遮蔽

α 線

空気中の α 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

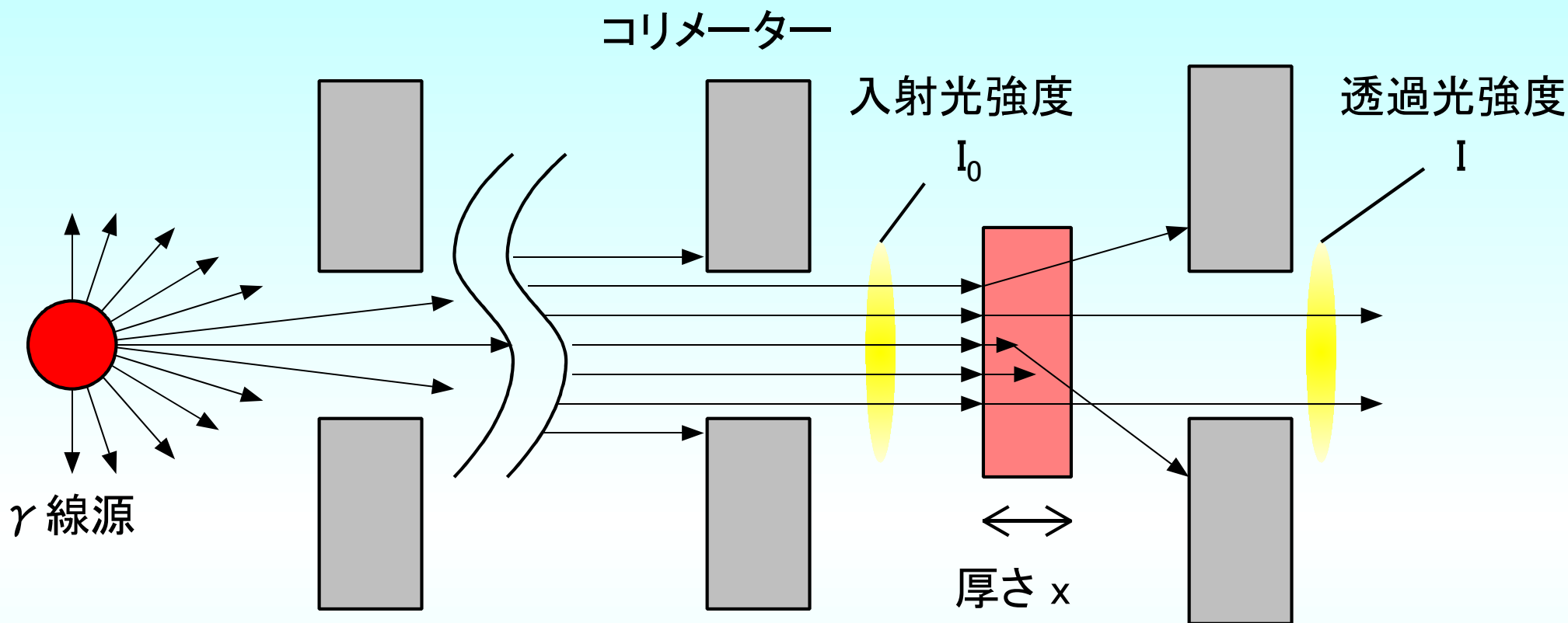
β 線

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

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

R は g/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 β 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 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。

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,
 $\mu\text{ Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$

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} ($\mu\text{ Sv/h}$) 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。

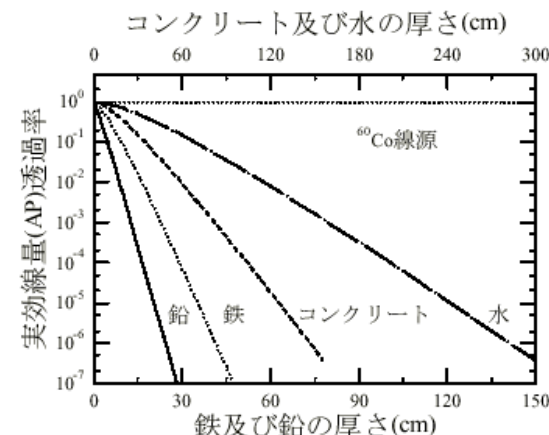
しゃへい計算

○ 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)。



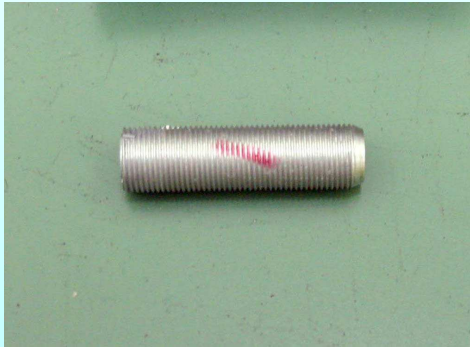
密封RIの安全取扱・管理

密封線源とは

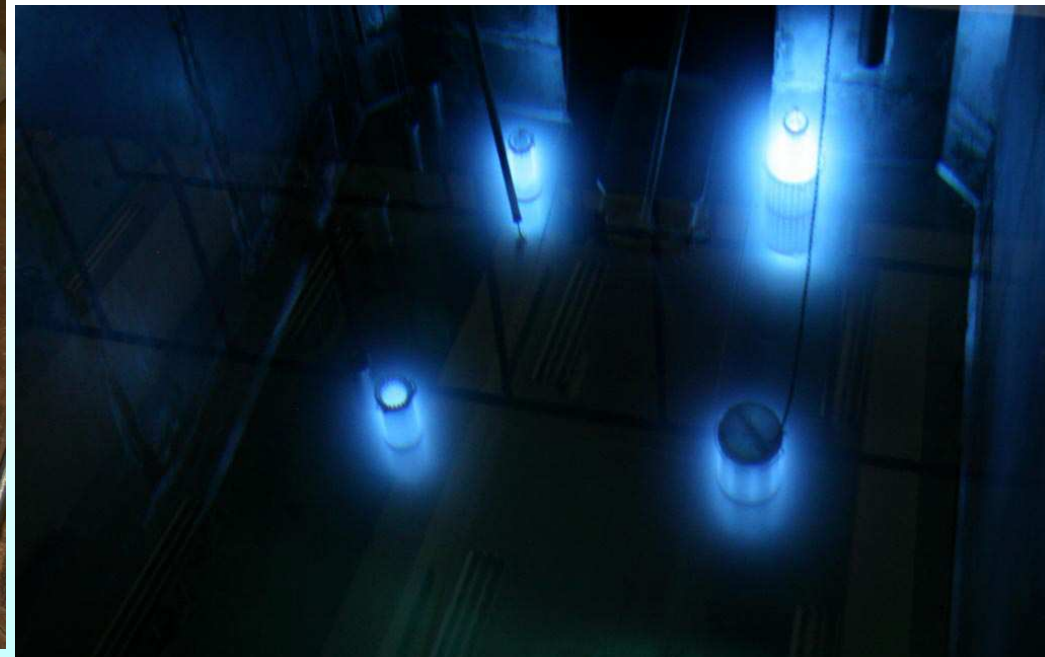
- ・正常な使用状態では、開封または破壊される恐れがない
- ・密封された放射性同位元素が漏えい、浸透等により逸散して汚染する恐れがない

線源であるが、 α 線源や低エネルギーの β 線源などは、容器に密封すると α 線を取り出せないため、極薄い金属箔で覆ったり、表面に電着してあるだけであり、取扱を誤ると放射性同位元素が漏出する恐れがあるため注意する。

様々な密封線源



放射線研究センターの Co-60 密封線源

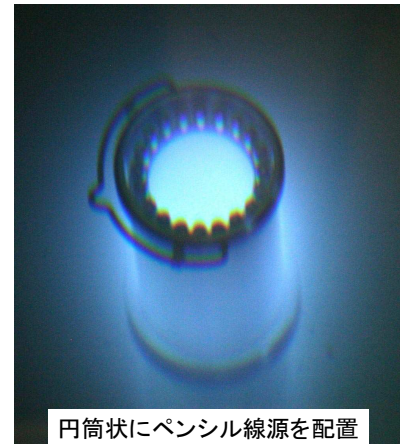


放射線研究センターのγ線照射装置

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

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



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。

密封線源取扱の特徴

被曝管理

線源の取扱

線源の廃棄

密封線源

線源の強度が高く、取扱を誤ると大線量の被曝になる

適切な遮蔽を行い、十分距離を取る事が必要

線源が破損しない限り取扱は容易であるが、線源を移動して用いる場合など紛失してしまう事があり得るので、徹底した数量管理が必要。

専門の業者に引き取ってもらう。下限値以下の小線源も同様。装置内蔵の校正用線源に注意。

非密封線源

線源の強度は低いが、内部被ばくのリスクがあるのでマスク、手袋などの保護具が必要

液体や粉末状の試料をこぼしたり飛散させたりしないように、取扱に細心の注意が必要。下限数量以下のRIの管理区域外取扱は予防規程に従う。

可燃、不燃などの分類をしてアイソトープ協会に引き取ってもらう。薄めてRI廃水に流したりしない事。

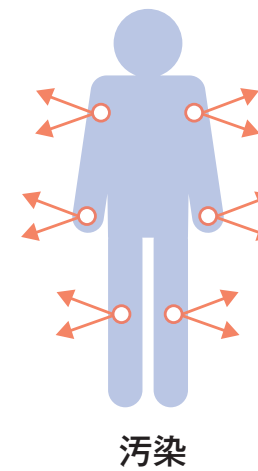
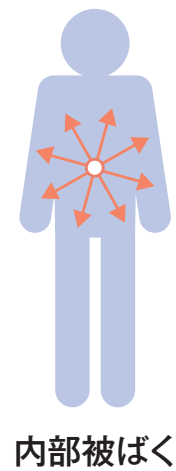
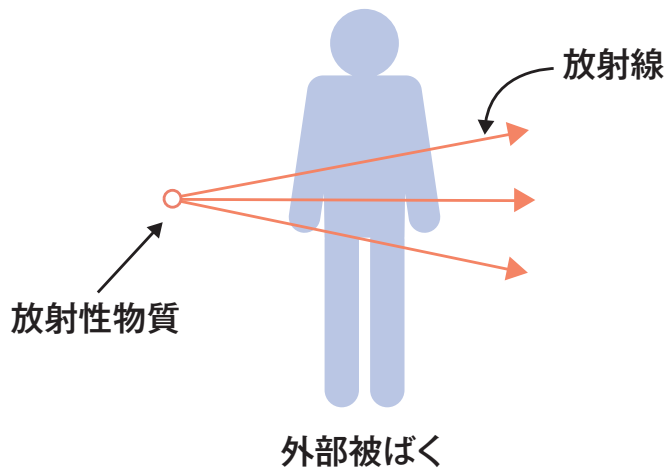
被ばくと汚染の違い

被ばく

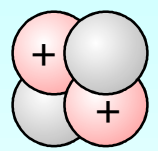
放射線を受けること

汚染

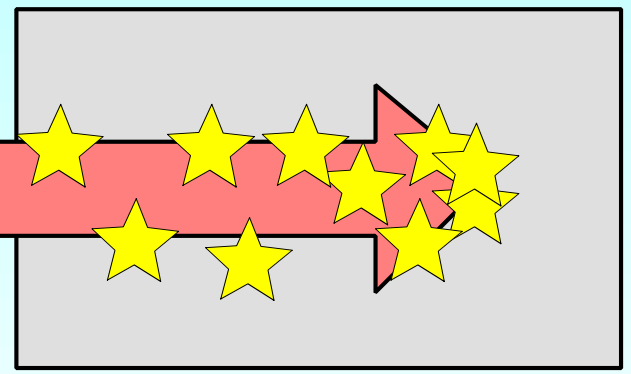
放射性物質が皮膚や衣服に付着した状態



アルファ
α線



ヘリウムの
原子核



狭い範囲に一気に
エネルギーを放出します

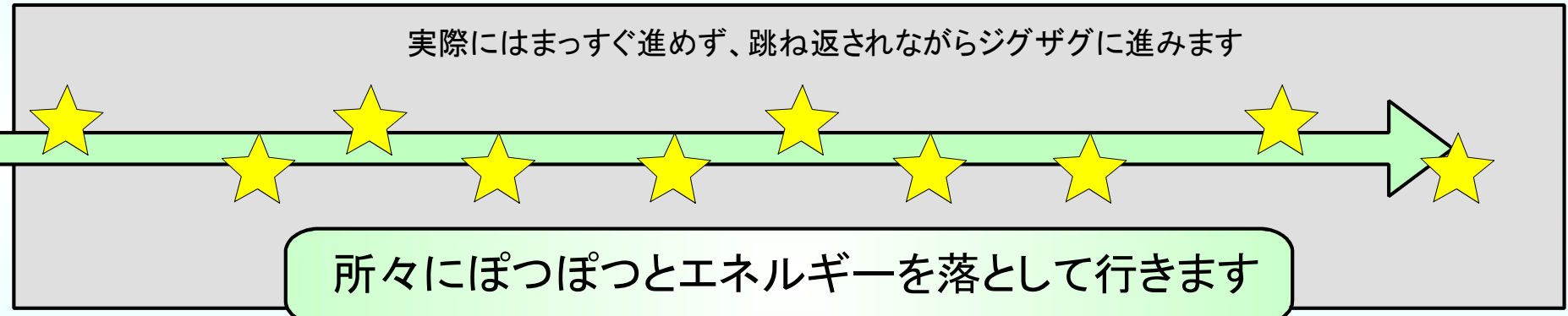
★
放射線がエネルギーを
物質に与えたところ
(電離、励起など)

水の中では数十μm程度、空気の中でも数cmしか飛ばず、紙一枚で止まってしまいますが、その範囲に一気にエネルギーを放出します。

ベータ
β線



電子
ヘリウムの原子核の7000分の1の重さしか有りません



実際にはまっすぐ進めず、跳ね返されながらジグザグに進みます

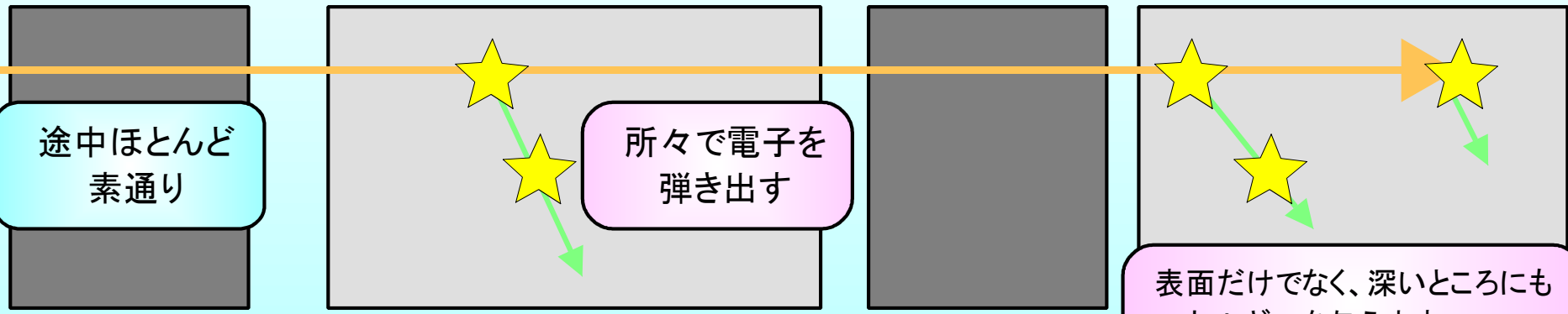
所々にぽつぽつとエネルギーを落として行きます

水の中でも1cm程度、空気の中では数m飛んでいき、少しずつしかエネルギーを落としません。

ガンマ
γ線

波長の短い
光の仲間

プラスやマイナスの電気を
持っていないため、ほとんど
素通りしていきます



途中ほとんど
素通り

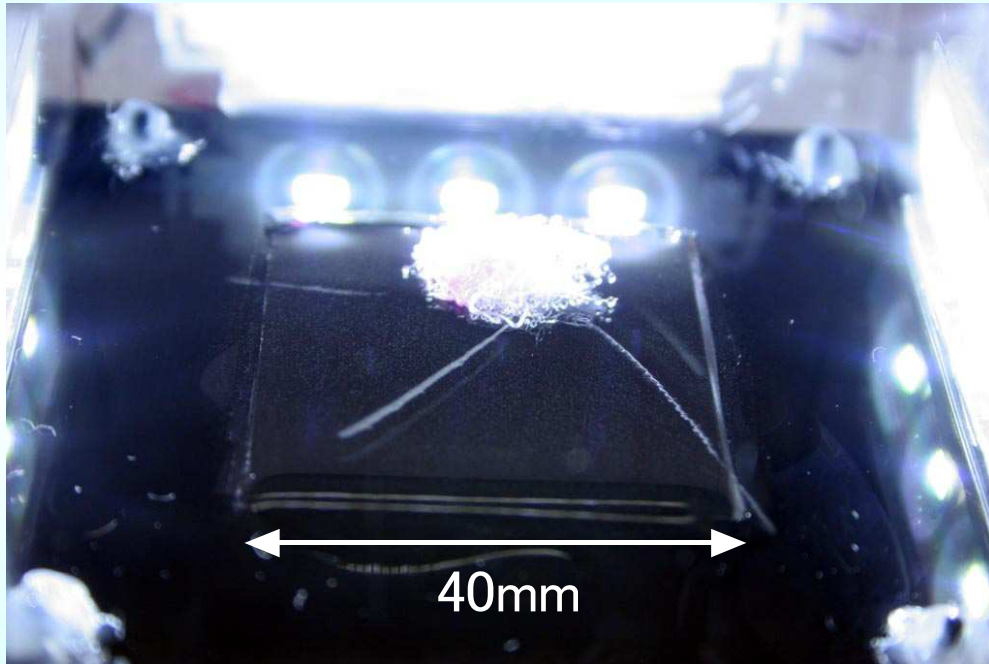
所々で電子を
弾き出す

表面だけでなく、深いところにも
エネルギーを与えます。

弾き出された電子は、β線と同じように振る舞います

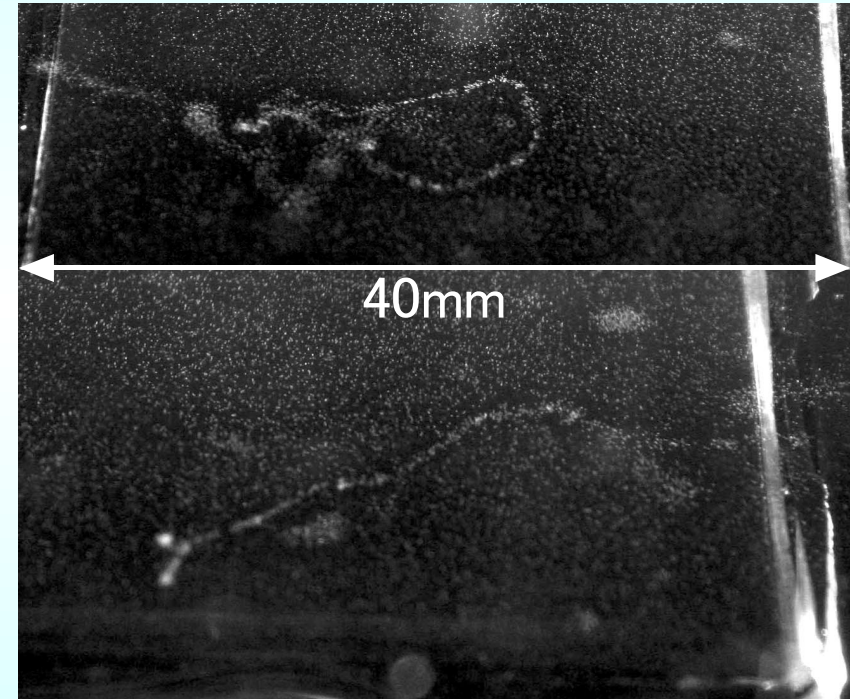
霧箱での飛跡の観察

α 線の飛跡



真っ直ぐで、はっきりとしています。
空気中を数cm飛んだだけで
止まってしまいます。

β 線の飛跡

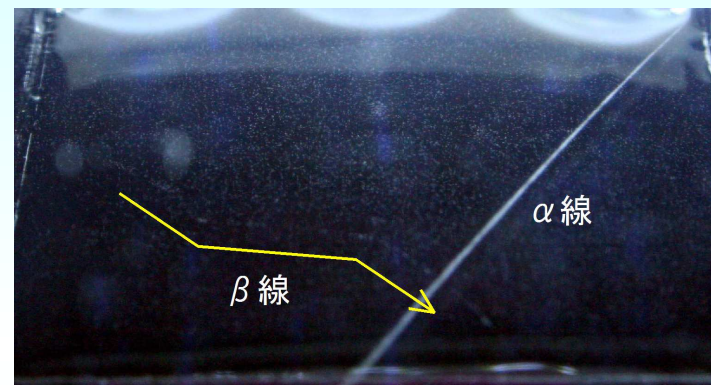


糸くずのよううっすらとした、
曲がりくねった跡を残します。
よく見ないと、見るできません。

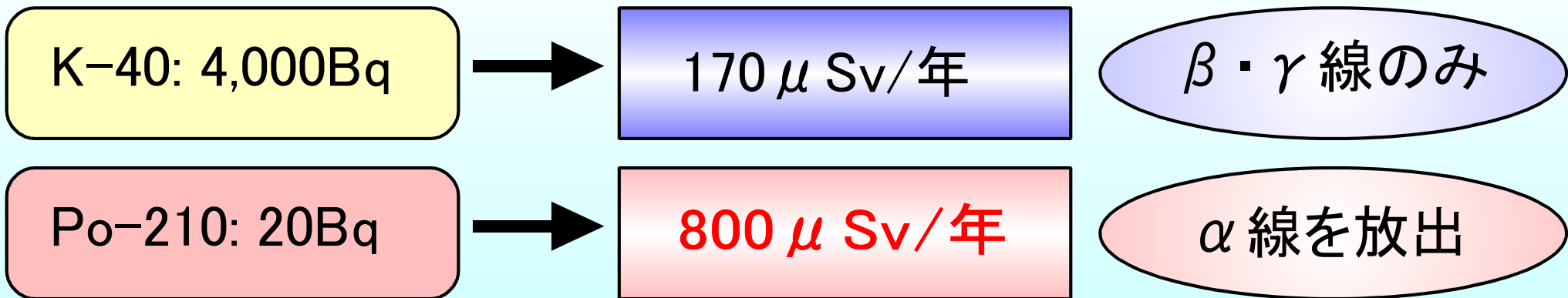
放射線加重係数の説明

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

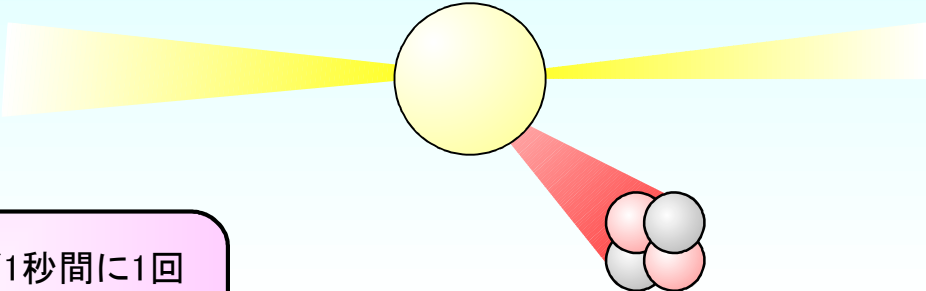
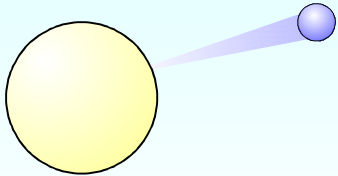


空気中のラドントロンもα線を放出 → 世界平均で 1.26mSv/年
日本は木造建築が多く比較的被ばく量は少ない → 0.48mSv/年

*そもそもの吸収線量、
組織加重係数
なども異なる

放射性物質の種類による違い

同じ1ベクレルでも放射性物質の種類によって人体に与える影響（シーベルト）は全く異なります。



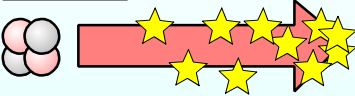
1ベクレルとは、ある原子が1秒間に1回別の原子に変化する、という量で、原子の種類によって出てくる放射線の種類(α 、 β 、 γ)、エネルギー、本数がそれぞれ違います。

100ベクレルを肺に吸入したときの被ばく線量	
プルトニウム-239	3.2 ミリシーベルト
セシウム-137	一万分の 6.7 ミリシーベルト
トリチウム(H-3)	百万分の 4.1 ミリシーベルト

同じベクレルの放射能でも体に与える影響は全く異なります!

プルトニウム-239: 5.1MeV の α 線、半減期 2.4万年、肺や肝臓などに沈着
 セシウム-137: 0.51MeV の β 線と 662keV の γ 線、半減期 30年、カリウムなどともに体外に排出
 トリチウム(H-3): 18.6keV の β 線、半減期 12.3年、水と共に体外に排出

α 線 ヘリウムの原子核が正体

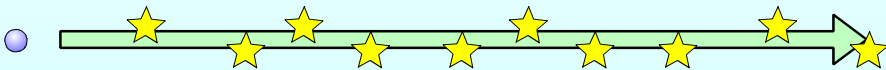


狭い範囲に一気にエネルギーを放出する

集中的に細胞のDNAを傷つける

β 線

高速で飛ぶ電子



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

波長の短い光の仲間



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？

クイズ: 1kg あたりセシウム-137 を 100 Bq 含む米を、一食あたり1合(精米で150g、炊きあがりでは330g)、一日三食、365日食べつづけたとして、そのあと50年間で被ばくする線量はどの程度になるでしょう？

答え: 0.21ミリシーベルト

現在一般食品中の放射能濃度の基準値は、放射性セシウムで 100ベクレル/kg となっており、この設定は基準値の上限値の場合となっています。現在も福島県産の米については全量検査が続けられていますがほぼ全てのサンプルで検出できないぐらい放射能は少なくなっています。ですので、今回のクイズは有り得ないぐらい高い濃度の食品だけをずっと摂取し続けた場合、と言う極端な例だとお考え下さい。



欧米に飛行機で旅行すると、宇宙線の増加により0.2ミリシーベルト程度被ばくします。

「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

全部考慮して評価しています

その後 50年間にわたる影響を、取込んだ時点でいっぺんに被ばくしたとして被ばく線量(シーベルト)の計算をします。

このようにして求められた**内部被ばくの線量**と、**外部被ばくの線量**とは、**同じリスク**になります。

実際には、**同じ量**を**少しずつ長い期間にゆっくり**被ばくするのと、**いっぺん**に被ばくするのとでは、DNA修復のメカニズムがあるため、**ゆっくりの方が影響は小さくなります**。

被ばく管理に用いられる量(内部被ばく)

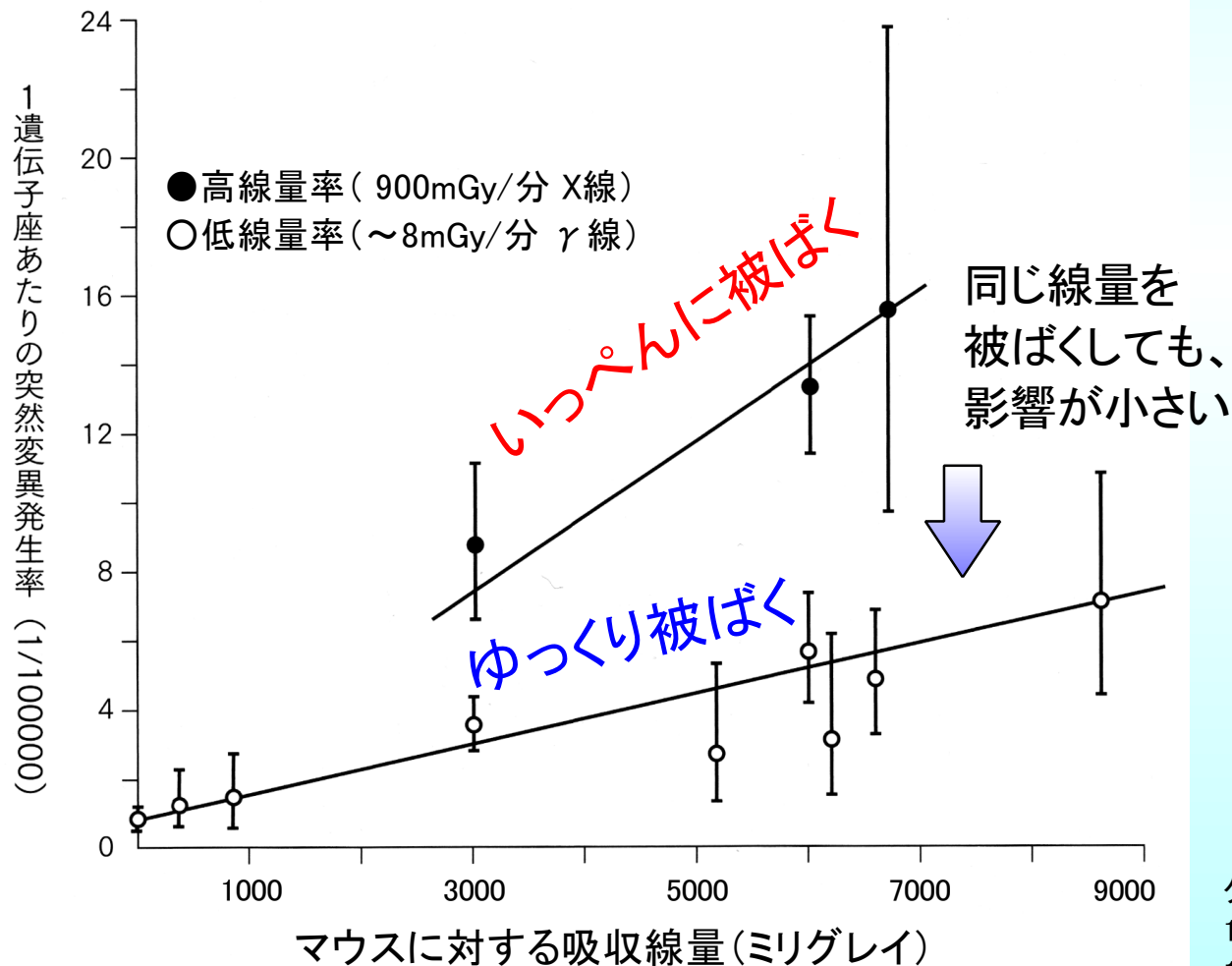
預託線量 committed dose, Sv

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。

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！

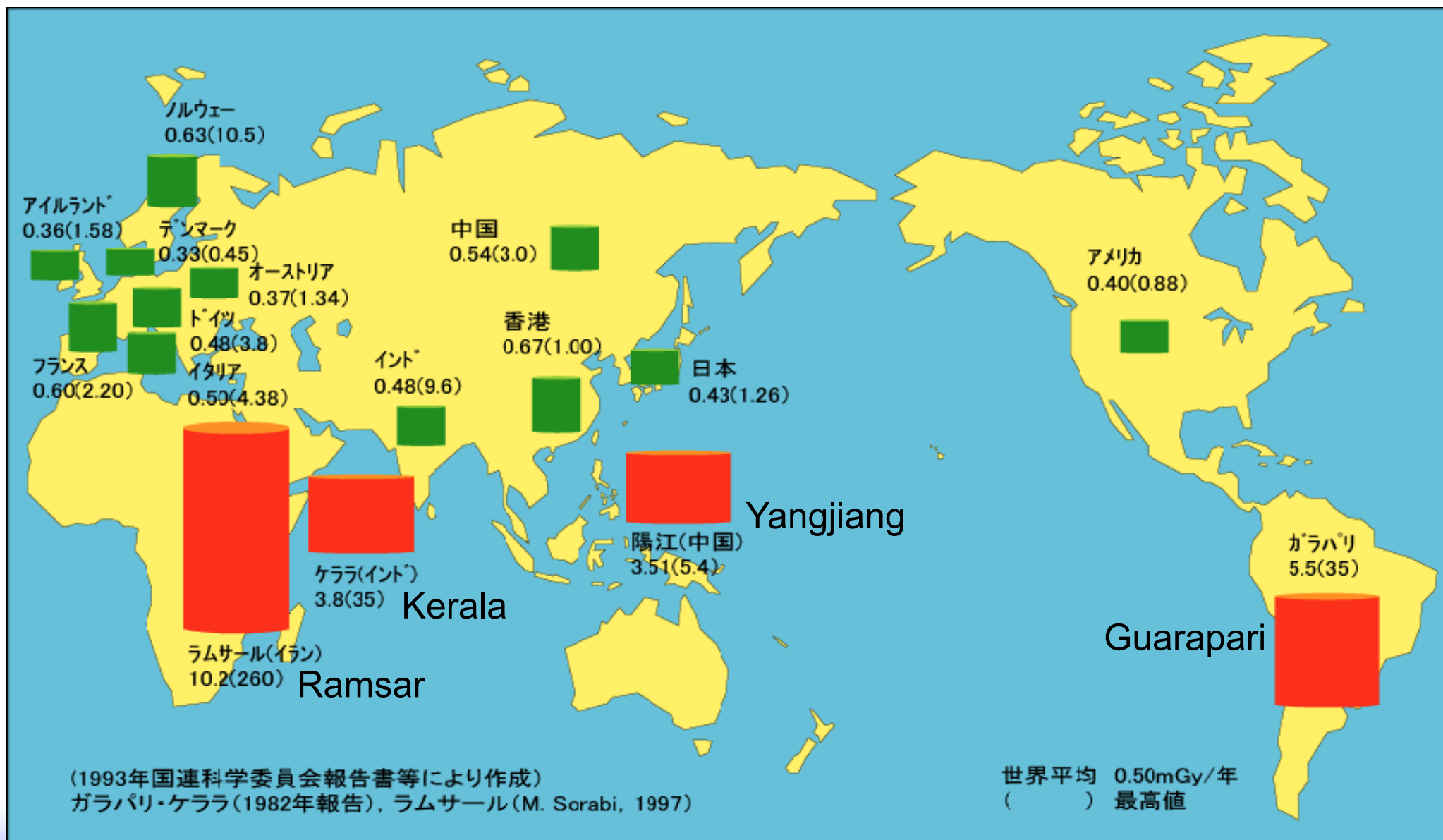


細胞にはDNAを
修復する力が
あります

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。

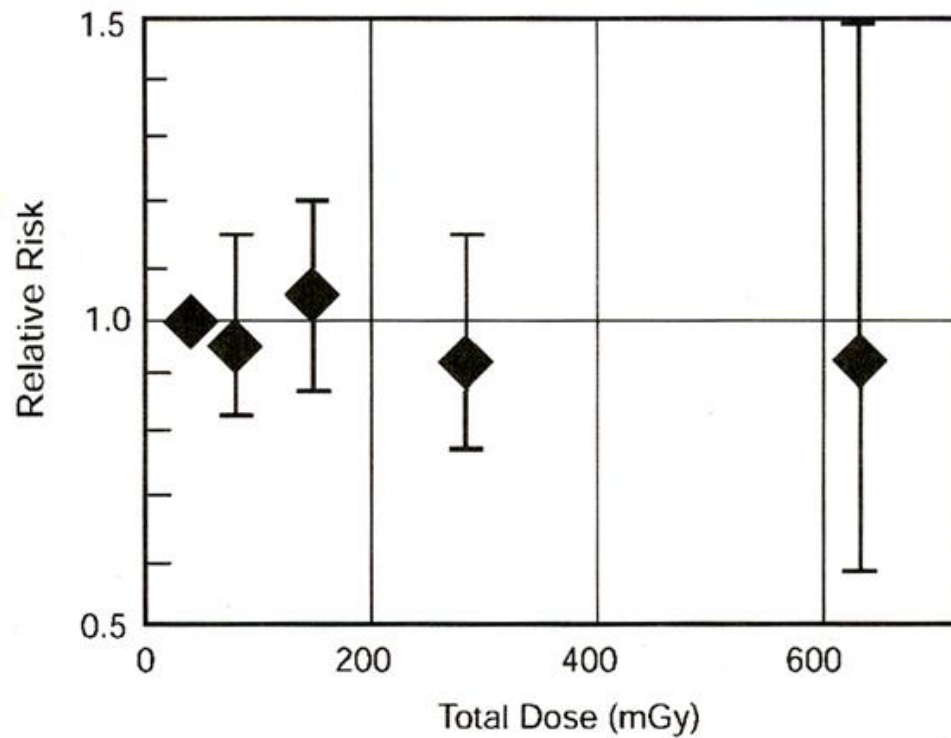
世界の自然放射線



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



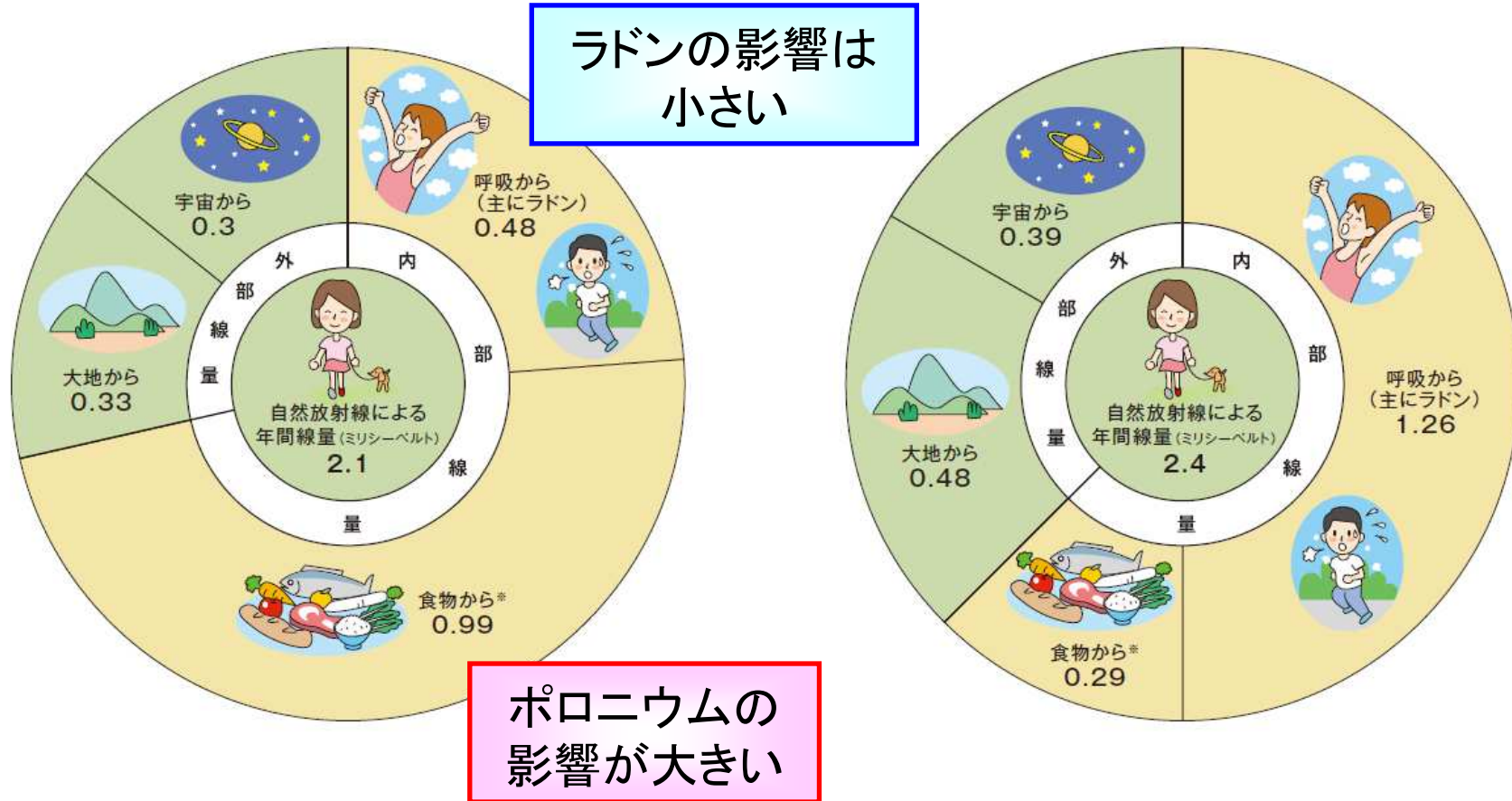
(「世界の大地放射線」放射線照射利用促進協議会)

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

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による実効線量が大きい

宇宙からの放射線

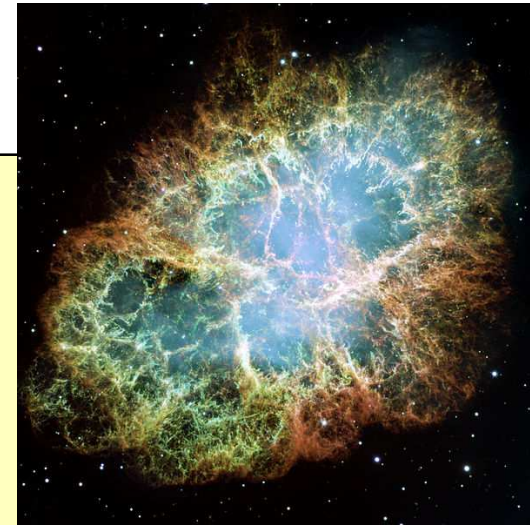
大気で地球上の
生物は守られている



アラスカ、フェアバンクスで観察されたオーロラ

太陽から帯電した粒子が大量に放出されています。
地球の磁場に捉えられた一部がオーロラとして観測されます。

超新星爆発などで発生した非常にエネルギーの高い ($\sim 10^{20}$ eV) **銀河宇宙線**も飛んできています。
上空で大気とぶつかって核反応により**放射性核種の生成**が起きています。
(一年間に C-14: 10^{15} Bq, H-3 (トリチウム): 10^{18} Bq 程度が生成されています)



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

大気で遮蔽されていない上空では放射線量が増加します。
欧米への飛行機での往復で100~200 μ Sv程度被ばくします。
宇宙ステーション (ISS: 高度400km) では、1日当たり0.5~1mSv程度にもなります。

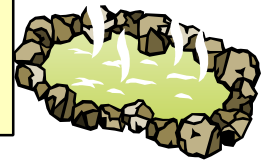
大地からの放射線

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少しずつウランが含まれていて、平均で1トンあたり2.4g、花崗岩には11gも含まれていて、140kBqに相当します。ウランの娘核種もまた放射線を出して別の放射性核種となる、壊変系列を形成しています。



ラドン温泉

地球の内部が暖かく、温泉が出るのも、地球の内部の放射性物質の崩壊によるエネルギーだと言われています。



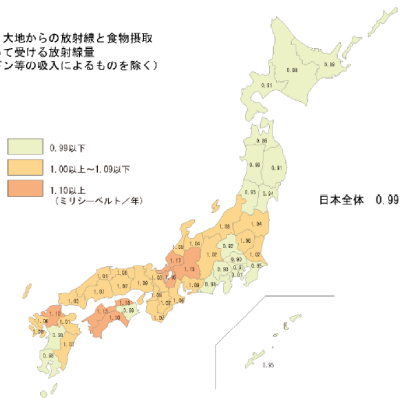
トンネルの中は周囲を岩石に囲まれてるため地表よりも放射線量が高くなります。

(東名高速の日本坂トンネルで0.13 μ Sv/h など地表の倍程度)

壊変系列の中に気体の放射性核種、ラドンが含まれていて、石の中から出てきて空気中を飛んでいます。これが肺の中で α 線を放出して内部被曝を起こします。

全国自然放射線量

宇宙、大地からの放射線と食物摂取によって受ける放射線量(ラドン等の吸入によるものを除く)



世界には日本よりはるかに自然放射線量が高い(年間10mSv以上)地域があります。国内でも岩盤が多く露出している地域では比較的放射線量が高く、火山灰で覆われている地域などは低く、県単位の比較でも年間で300 μ Sv程度異なります。



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

天然のカリウム1gには30BqのK-40が入っています。カリウムは作物に、そして人間にとっても必須の元素の一つです。昆布や椎茸、キュウリなどに沢山含まれており、人間の体の中にも体重60kgで4000BqのK-40が含まれていて一年間で170 μ Sv 被曝しています。

60kgの日本人の体の中にはおよそ 20BqのPo (ポロニウム) -210と言う放射性核種が含まれています。K-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 μ Svにもなります。



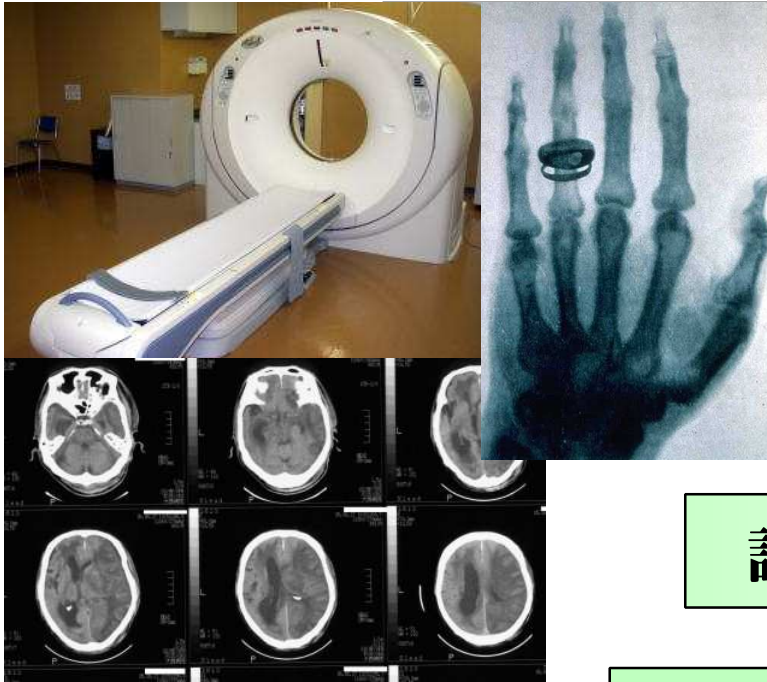
タバコ1本には 0.024Bq のPo-210が含まれており、一日一箱の喫煙で年に100 μ Sv 被曝します。

医療での放射線

先進医療により
被曝線量は増える

胸のX線検診で $50 \mu\text{Sv}$
胃のX線検診で $600 \mu\text{S}$ 、
CT スキャンでは **数mSv**

被曝によるリスク \leftrightarrow ケガ 病気のリスク
どちらが大きいかをよく考える必要があります。
★100mSv でガンによる死亡率 0.5% 上乗せ



診察だけでなく、「治療」にも放射線が使われています

多方向からの照射や画像誘導でのピンポイントの照射
甲状腺ガン: $3.7 \sim 7.4 \text{GBq}$ の大量のヨウ素-131を投与

体の奥の手術が難しいガン:
加速器からの**イオンビーム**で
特定の深さを集中攻撃

広範囲に分散したガン:
ホウ素を取込ませた癌細胞に
中性子をあてる

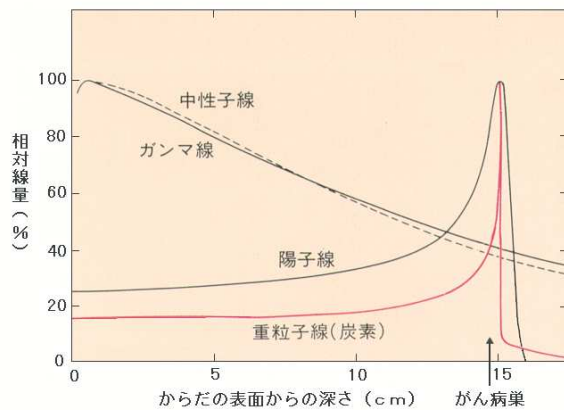
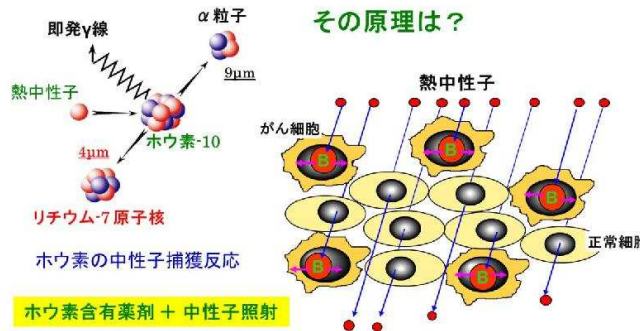


図2 重粒子線照射治療の利点(2)

この図では深さ約15cmのところにおいて最大線量となり、がん病巣に大きな線量を与えることができる。深さは調節できる。

[出典]放射線医学総合研究所: 重粒子線がん治療装置HIMAC、1995年8月

ホウ素中性子捕捉療法
Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)

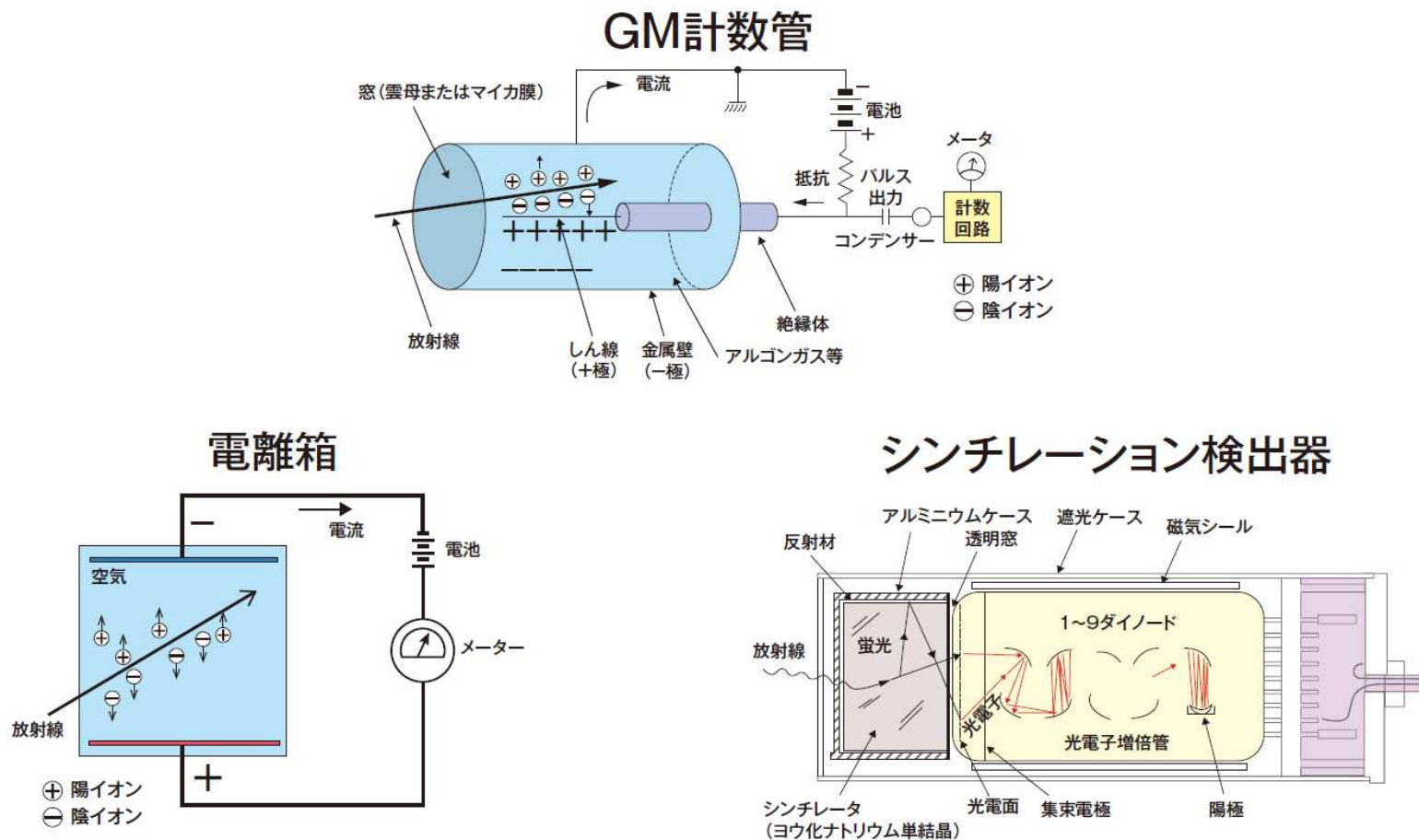


ホウ素含有薬剤 + 中性子照射

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。

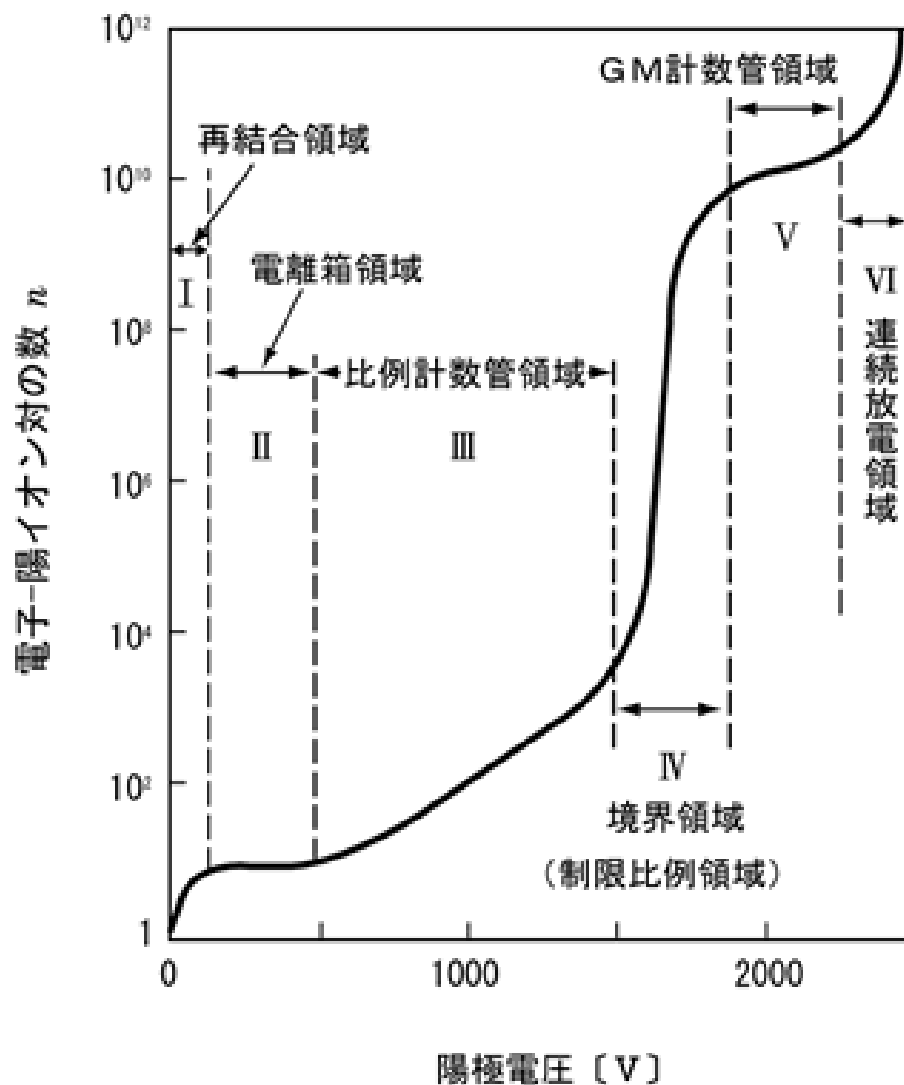
放射線計測器の測定原理



(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

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。

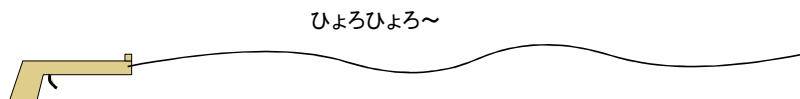
計測を行う単位は、放射線を何発検出したかを示す count であり、機器により count/s (CPS) の場合と、count/m (CPM) の場合がある。放射線がどれだけエネルギーを持っていたのかにはほとんど関係が無く、検出器が何発検出したか、だけの計測であるため、空間線量などの定量的な測定には向いていない。 μ Sv/h の単位が書いてあるサーベイメーターも存在するが、良く見ると (^{137}Cs) とあり、目盛値は ^{137}Cs からの662keV γ 線を使った校正値であるため、それ以外の場合では目安程度にしかならない点に注意する必要がある。

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!

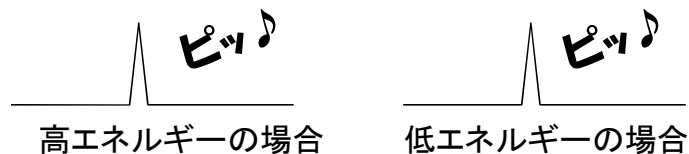


ひよろひよろ~

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。



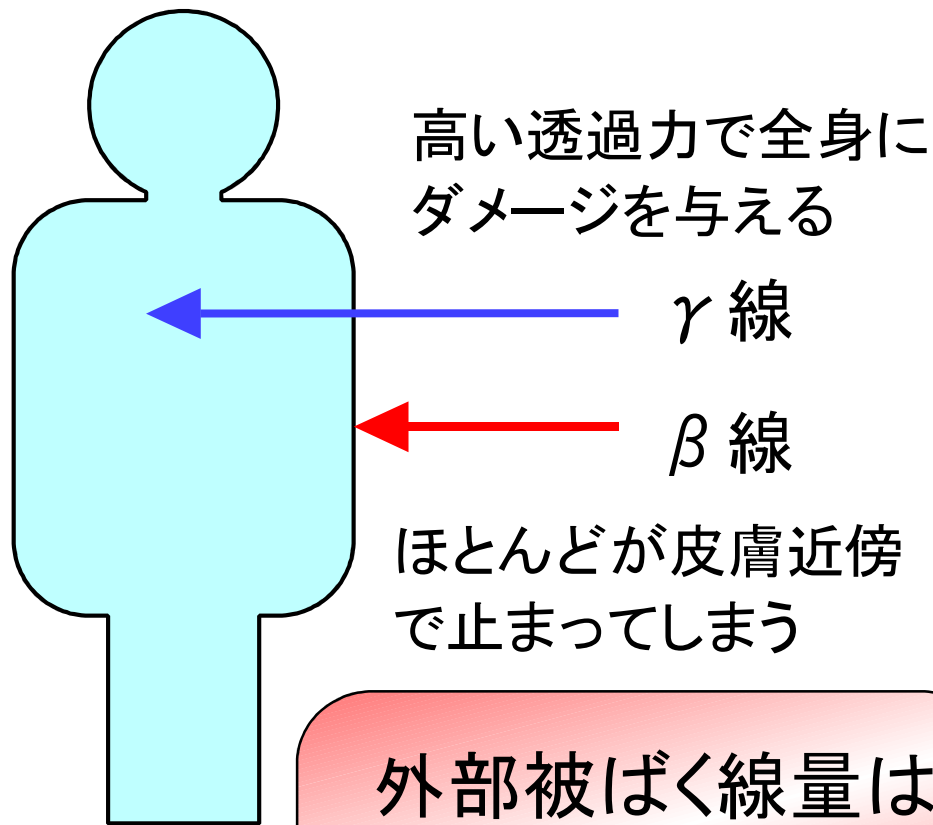
シンチレーターや、Ge半導体検出器

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

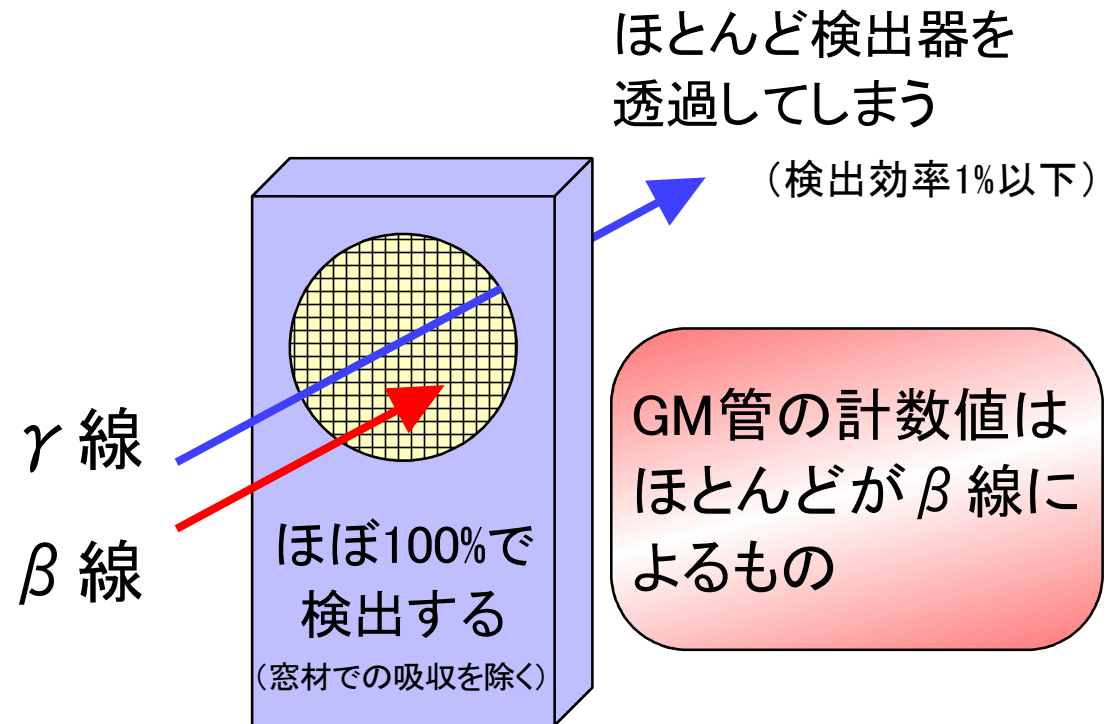


外部被ばく線量は
γ線によるもの

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

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。

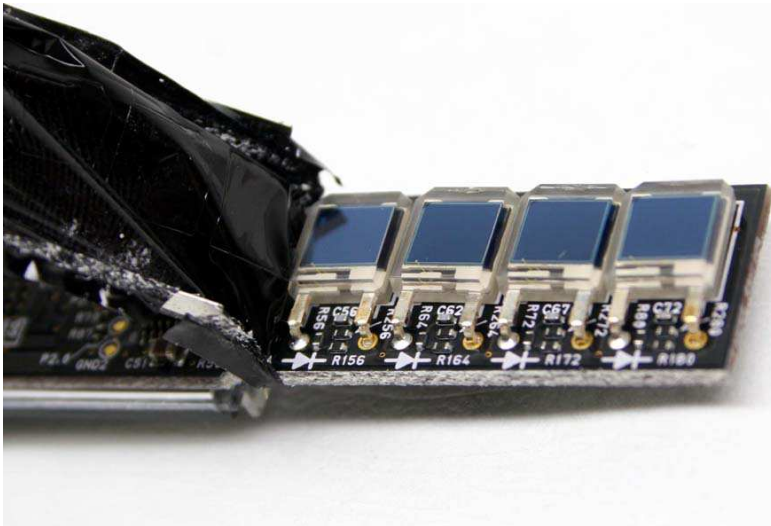
なお、ZnS粉末をシート状に形成しているため、線エネルギー付与(LET)の低い β 線や、 γ 線はほとんど素通りして発光しないため検出することが出来ない。(弱く発光したとしても内部のパルス波高弁別回路によりカットされる)
→このためバックグラウンドが殆ど無い。

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

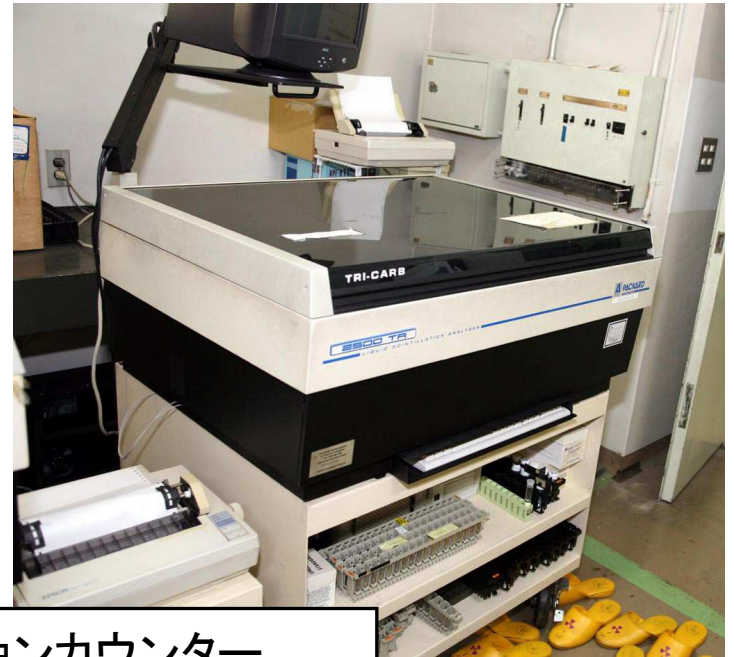
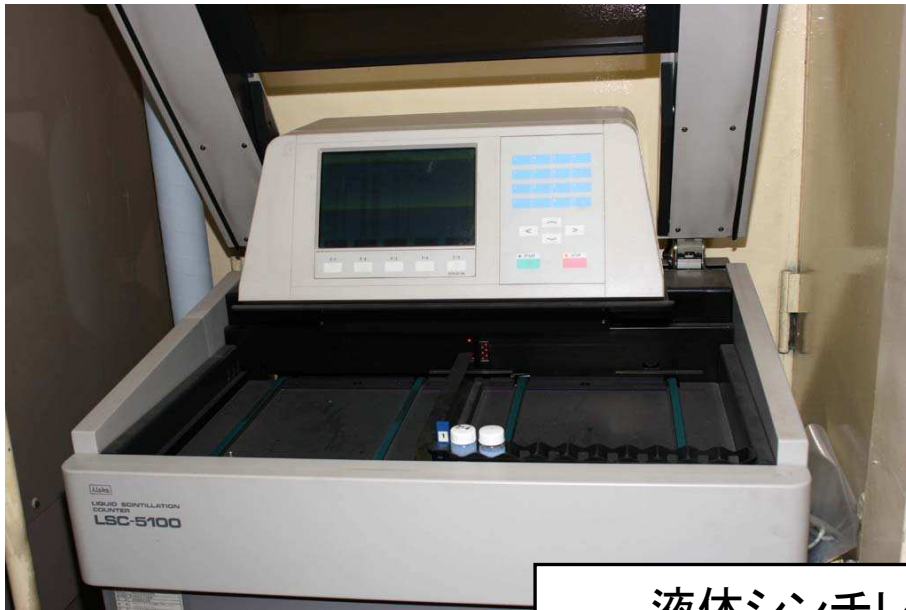
フォトダイオードは、本来逆電圧をかけると電流が流れないダイオードに、光が当たると電流が流れるという、太陽電池と同様の効果を利用してフォトンを検出するセンサーである。これを光を通さない膜で包み、放射線を検出するようにしたもので、安価なサーベイメーターはほとんどこれを使用している。

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!