

**ペルチェ冷却高性能霧箱 付属資料**

**放射線の基礎、利用、人体影響**

**大阪府立大学 放射線研究センター  
秋吉 優史**

# 内容

- **放射線とは何か**
- **霧箱で放射線の性質を知ろう**
- **天然の放射性物質と半減期**
- **放射線と放射能の違い**
- **身の回りの放射線**
- **放射線の人体への影響**
- **放射線の利用**

- **放射線とは何か**

- 霧箱で放射線の性質を知ろう

- 天然の放射性物質と半減期

- 放射線と放射能の違い

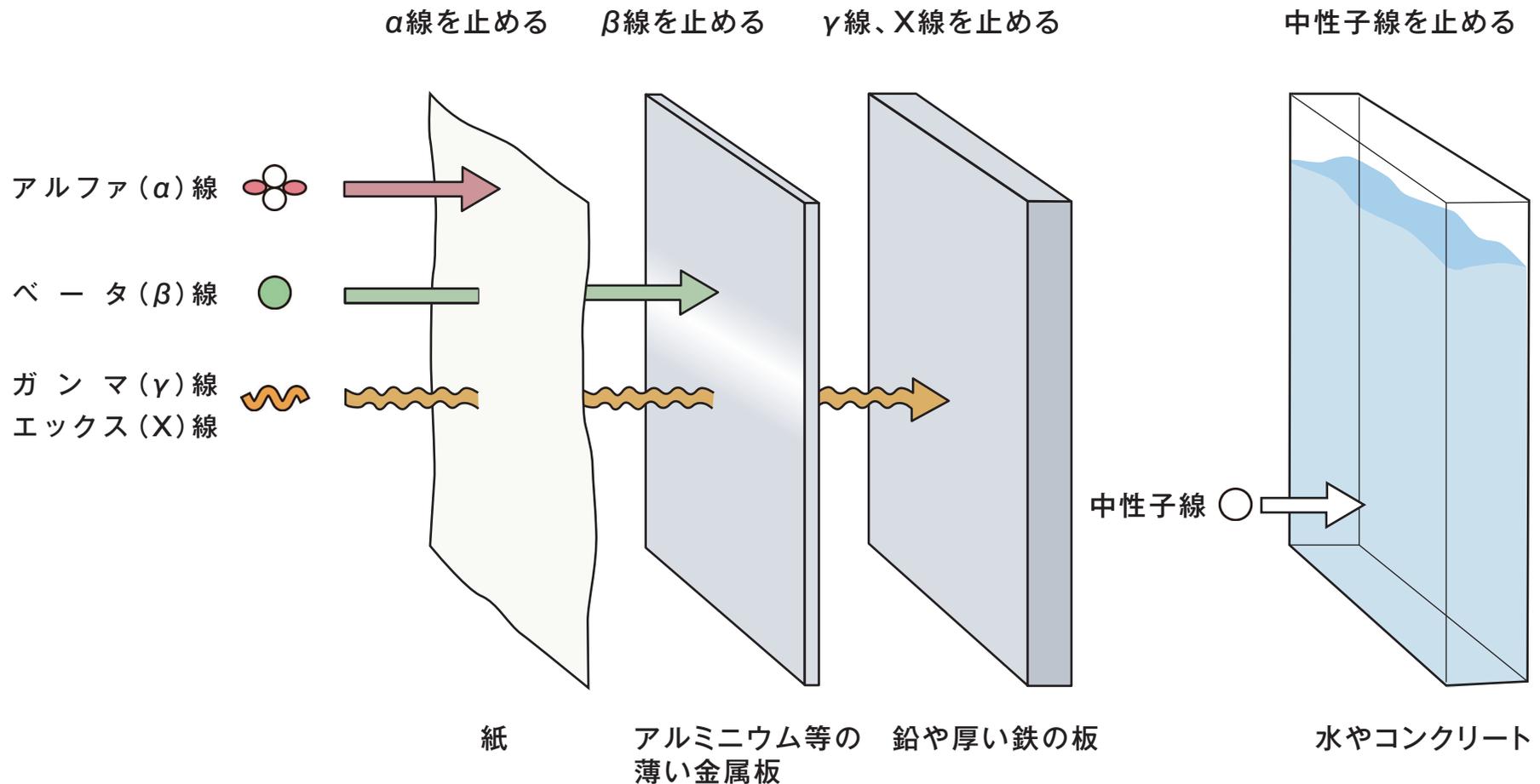
- 身の回りの放射線

- 放射線の人体への影響

- 放射線の利用

# 放射線の種類と透過力

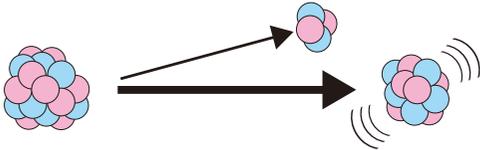
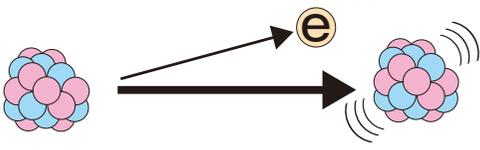
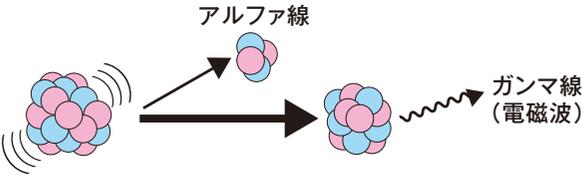
線は紙一枚で止まってしまいますが、逆に言うと紙一枚の厚さの範囲に持っているエネルギーを全部一気に放出してしまうため、体の中で線を出されるととても影響が大きくなります。



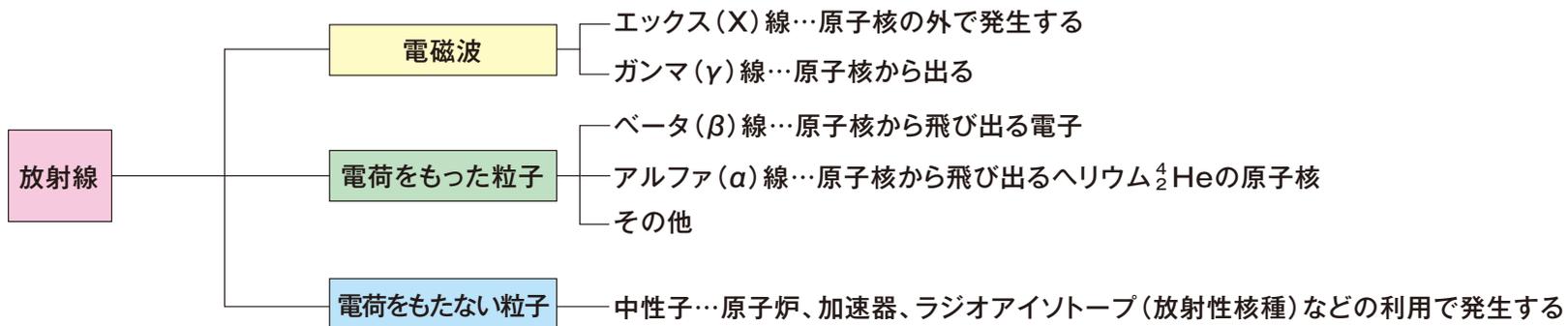
線は水の中(=体の中)を最大で2mm弱進むことが出来、細胞から見ると比較的広い範囲にエネルギーを落としていき、また体の外から来た場合はほとんど皮膚で止まります。

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。

# 放射線の種類

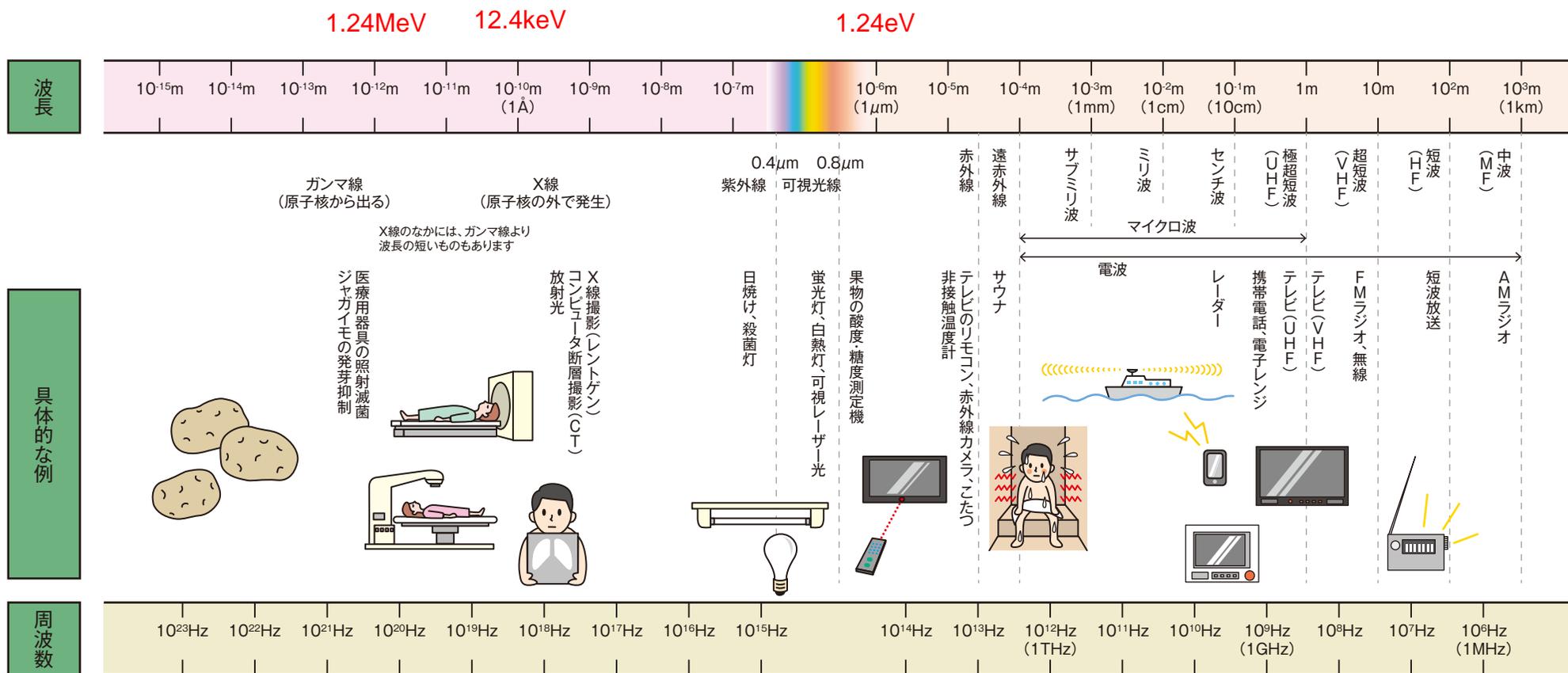
<p>アルファ (<math>\alpha</math>) 壊変 (崩壊)</p>	<p>アルファ線 (<math>{}^4_2\text{He}</math>原子核)</p> 	<p>(例)</p> ${}^{226}_{88}\text{Ra} \xrightarrow{\alpha} {}^{222}_{86}\text{Rn}$
<p>ベータ (<math>\beta</math>) 壊変 (崩壊)</p>	<p>ベータ線 (電子)</p> 	<p>(例)</p> ${}^{24}_{11}\text{Na} \xrightarrow{\beta} {}^{24}_{12}\text{Mg}$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



# 電磁波の仲間

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

# 放射線と物質の相互作用

## イオンビーム ( $\alpha$ 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 ( $\beta$ 線)

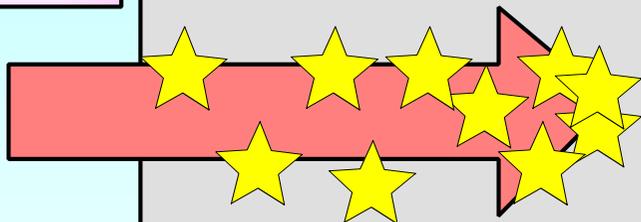
物質中の電子との衝突によって、簡単に方向やエネルギーが変化するため、まっすぐに進まず、広い範囲に広がる。このため、平均的な飛程という物は求めにくく、最大飛程で評価される。重元素に入射すると、原子核周辺の強い電場で急激に曲げられることにより、制動放射X線の発生割合が大きくなる。

## $\gamma$ 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

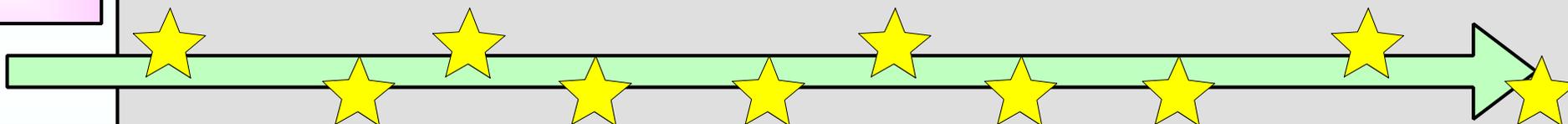


狭い範囲に一気に  
エネルギーを放出する

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



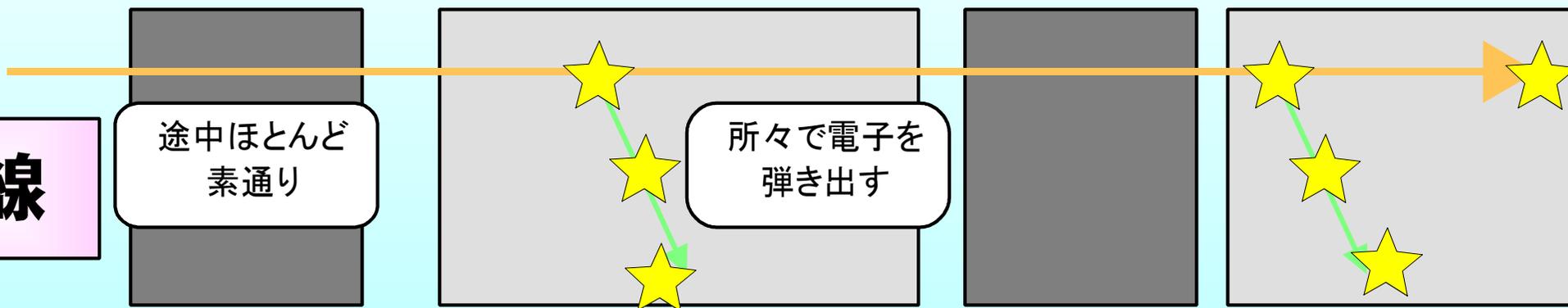
所々にぽつぽつとエネルギーを落とす

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

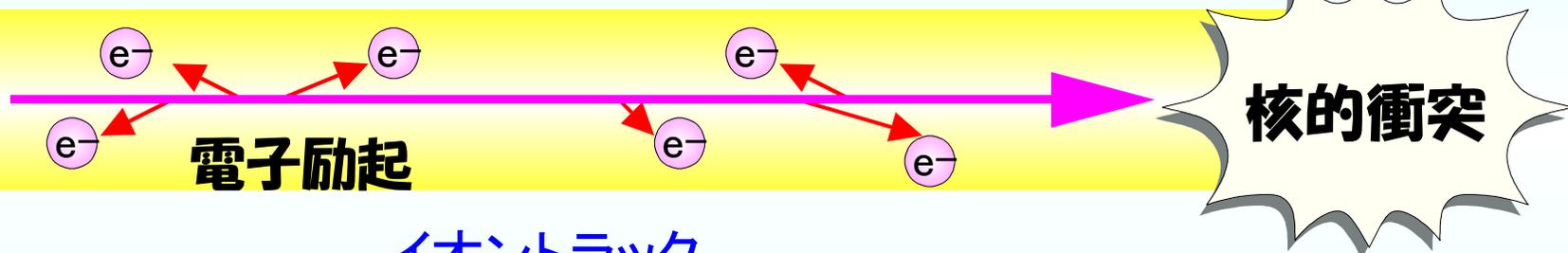


# イオンビーム( $\alpha$ 線)の場合

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)



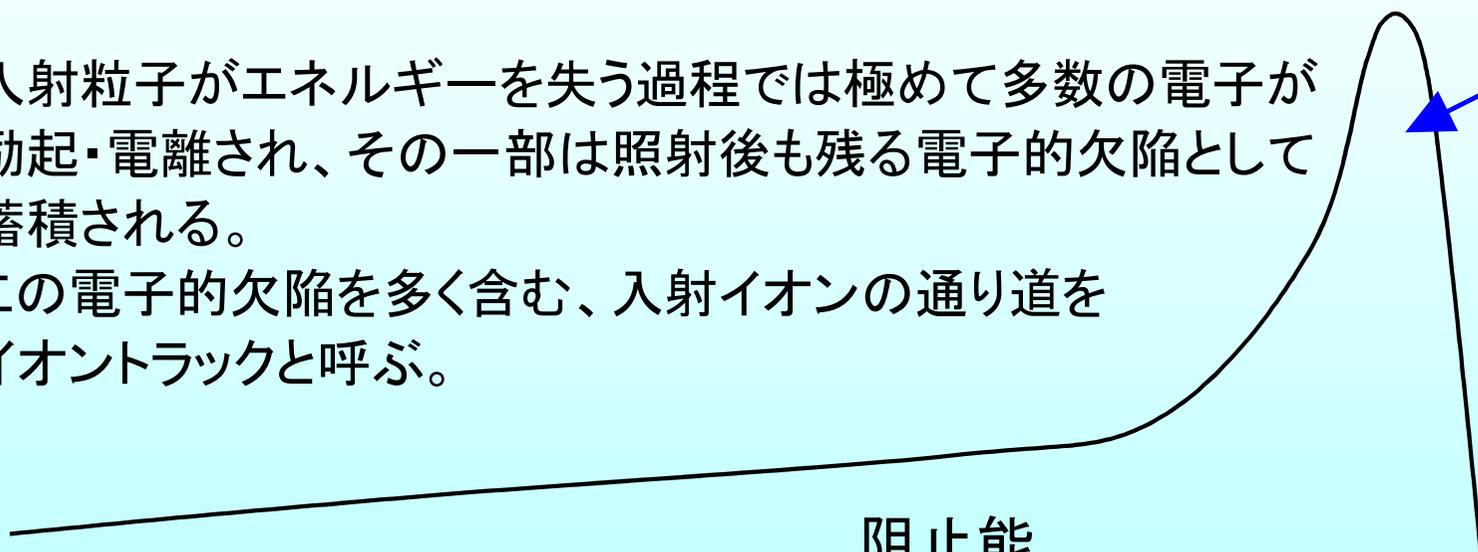
イオントラック

核的衝突

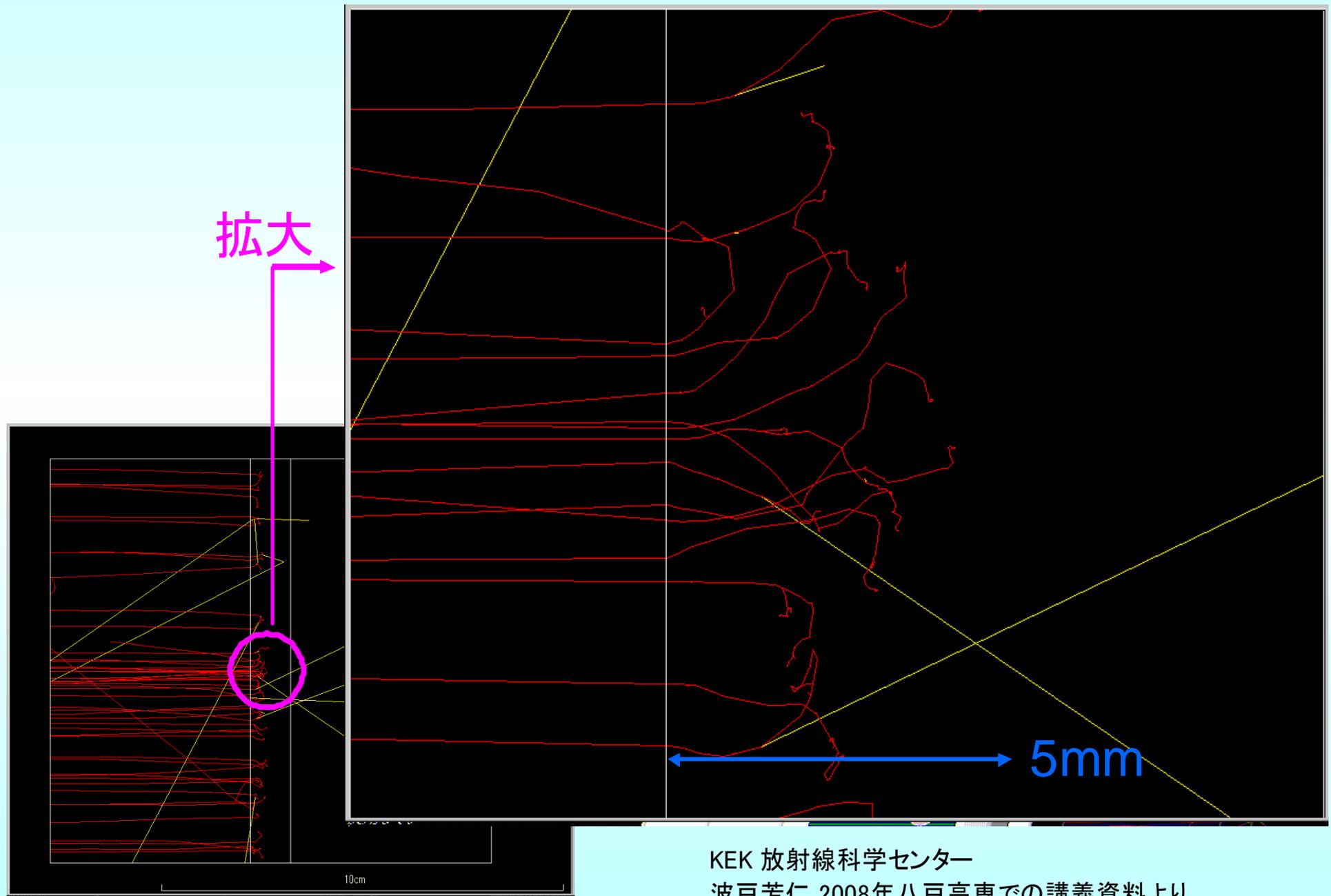
入射粒子がエネルギーを失う過程では極めて多数の電子が励起・電離され、その一部は照射後も残る電子的欠陥として蓄積される。この電子的欠陥を多く含む、入射イオンの通り道をイオントラックと呼ぶ。

ブラッグピーク

阻止能



# ベータ線と物質の相互作用



KEK 放射線科学センター  
波戸芳仁 2008年八戸高専での講義資料より

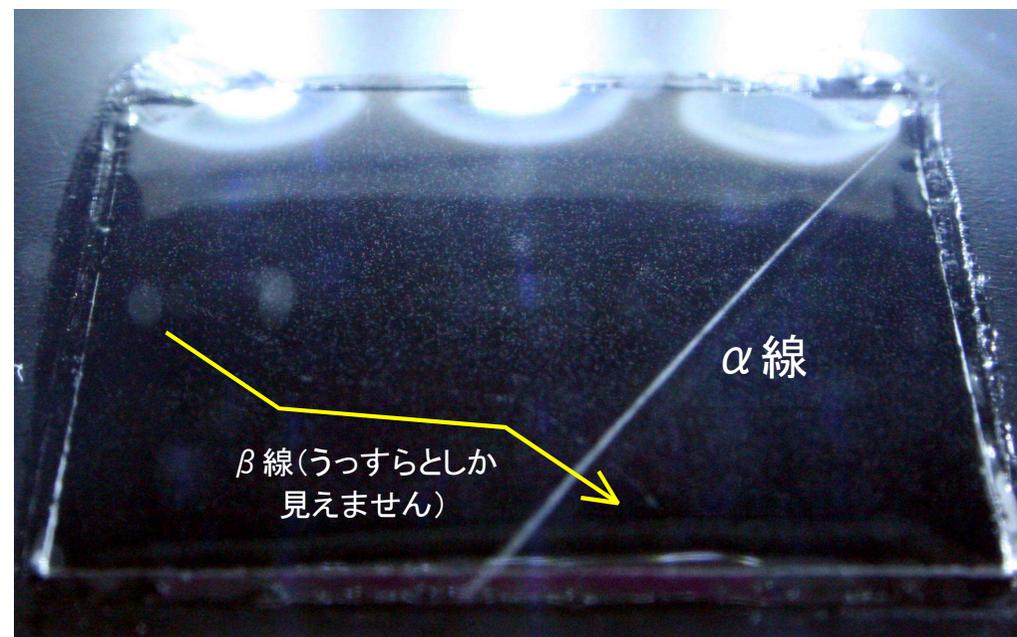
- 放射線とは何か
- **霧箱で放射線の性質を知ろう**
- 天然の放射性物質と半減期
- 放射線と放射能の違い
- 身の回りの放射線
- 放射線の人体への影響
- 放射線の利用

# 「霧箱」を使って放射線 を見てみよう!

放射線は普通目に見えませんが、音も聞こえず人間には感じ取ることが出来ないため、どんなものなのか良く分かりませんよね。

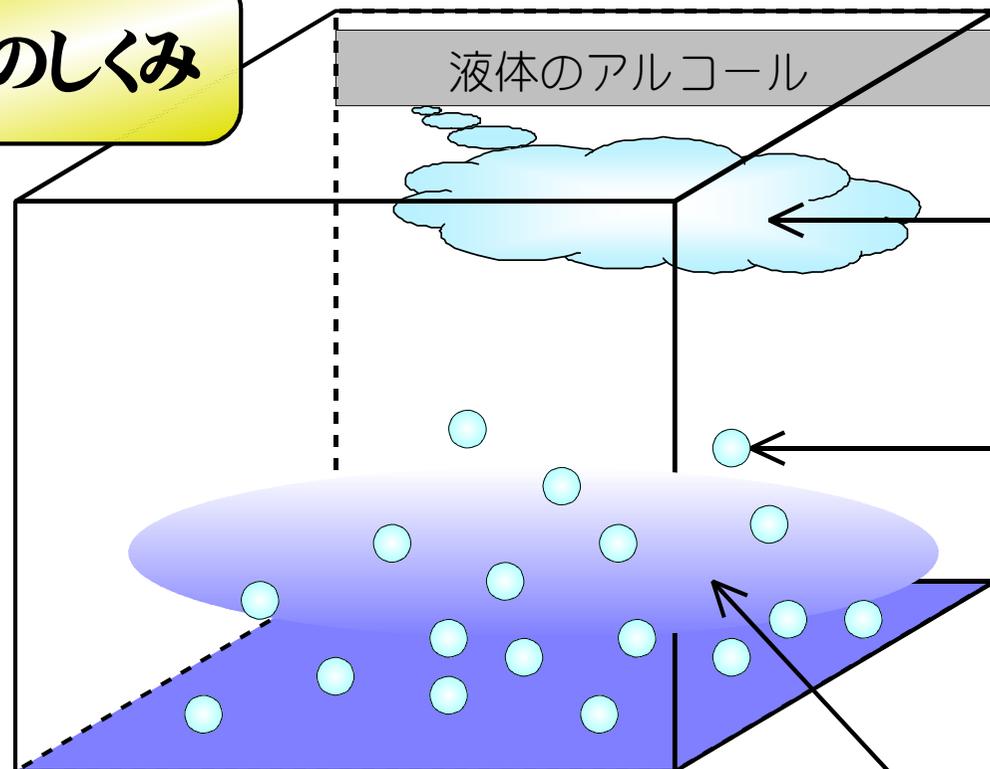
そこで、100年ほど前に発明された「霧箱」という装置を使って放射線が通った後を目で見えてみましょう!

普段、何もないと思っていた空気の中にも、放射線はたくさん飛び交っているんですよ。



放射線にも色々種類があって、その種類によって飛び方が違うんですよ。

## 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

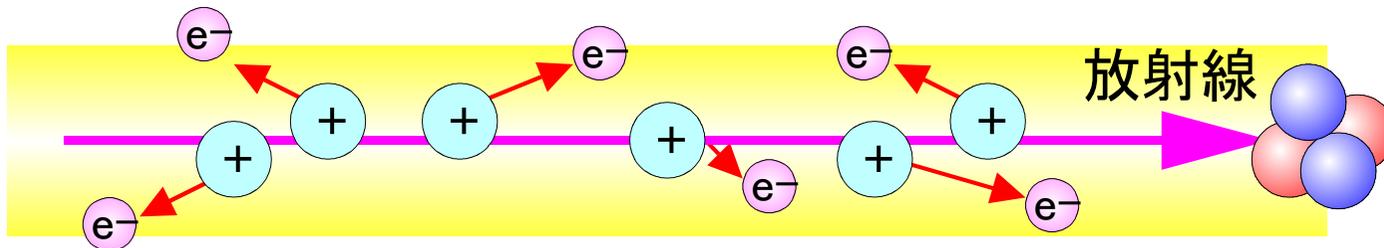
ドライアイスやペルチエ素子で  
とても冷たく冷やされています

過飽和の蒸気

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）

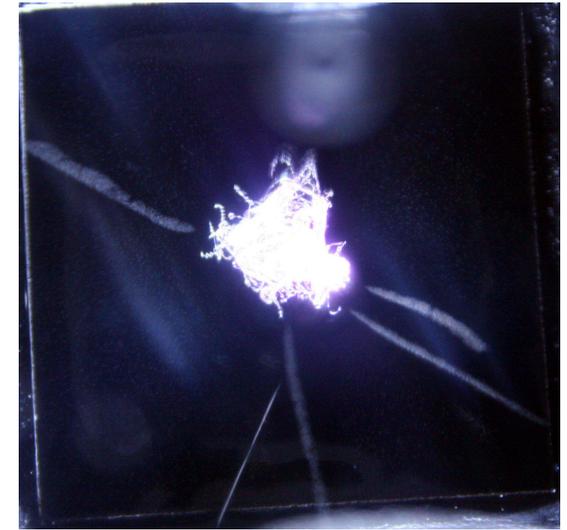


### 電離によるイオン対の生成

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。



# 電子線(β線)とα線の比較

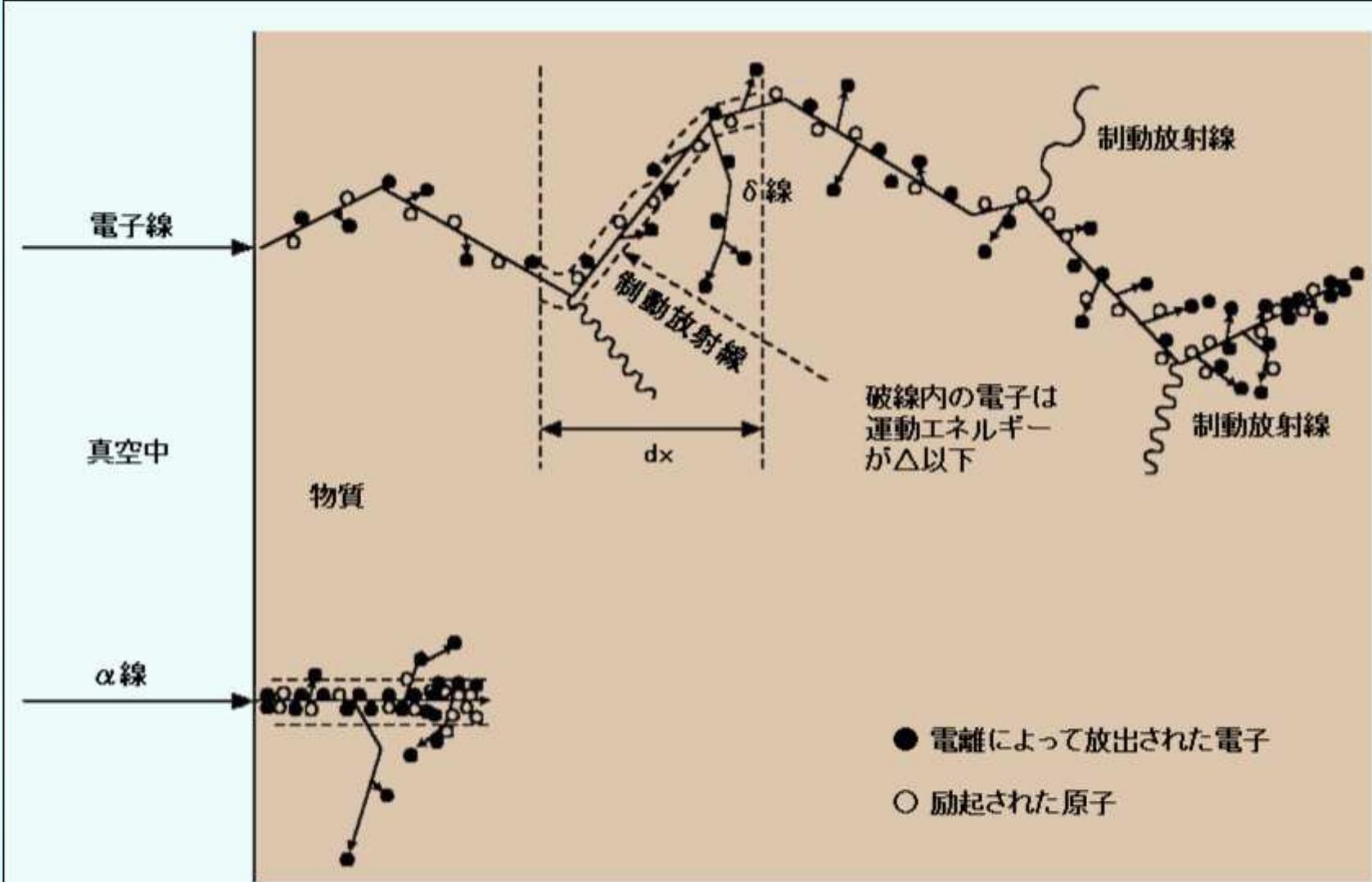
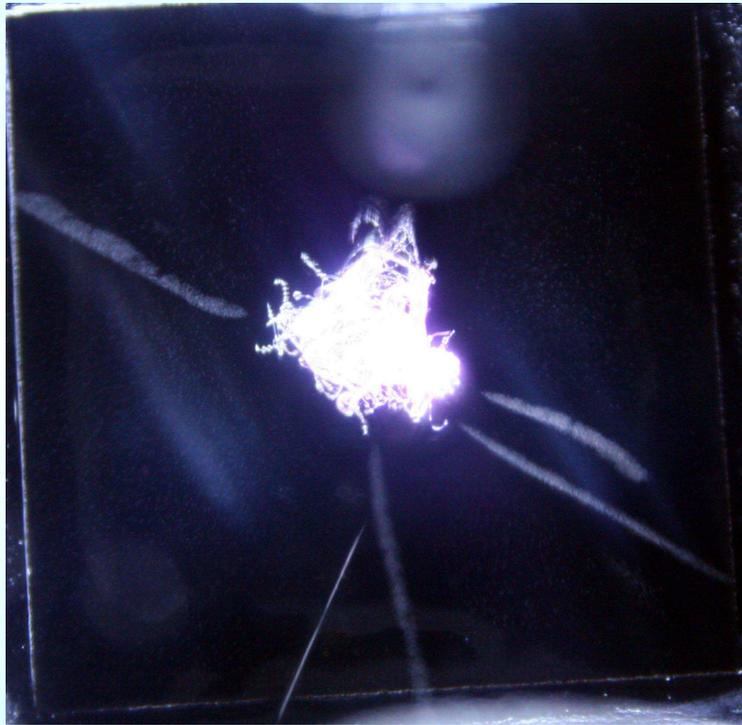


図1 荷電粒子と物質の相互作用

[出典]江藤秀雄(ほか):放射線防護、丸善(1982年12月)、p.54

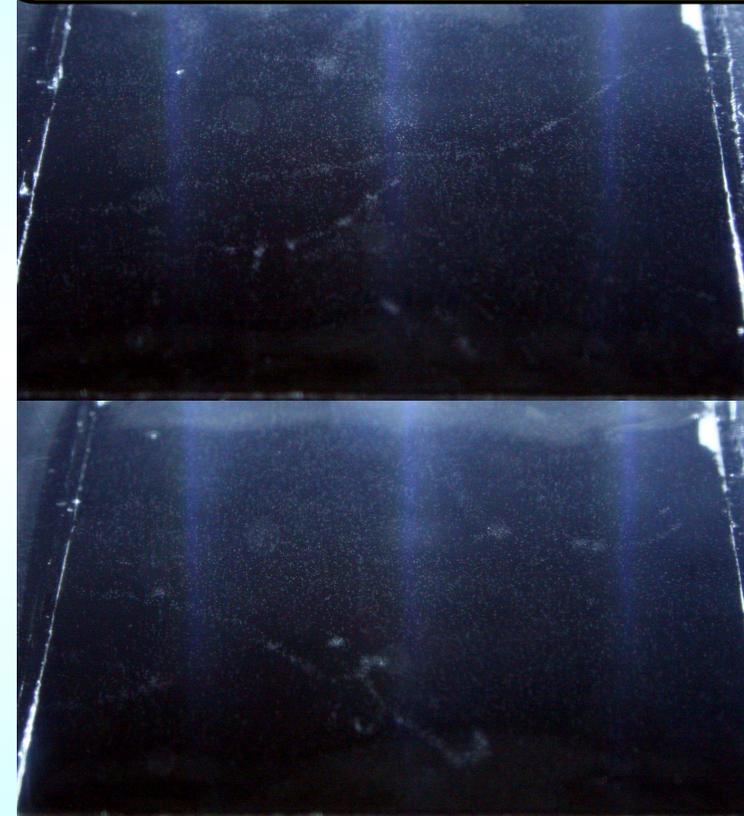
## 霧箱での飛跡の観察

### $\alpha$ 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

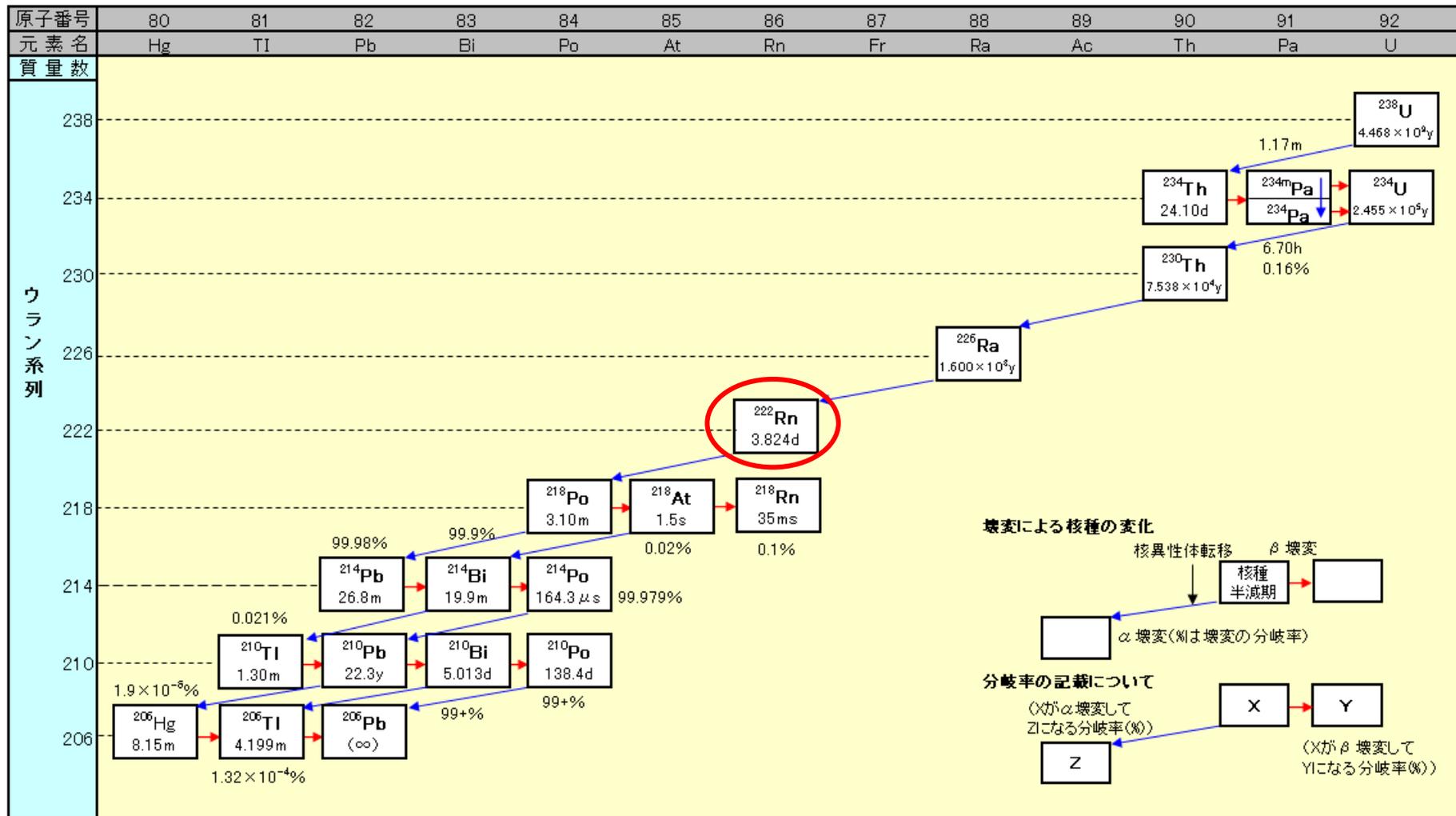


霧の液滴の密度が低く、うっすらとした飛跡しか示さない。電子線の入射方向と関係なく様々な方向に飛び、空気中에서도散乱されている様子を確認できる。

- 放射線とは何か
- 霧箱で放射線の性質を知ろう
- **天然の放射性物質と半減期**
- 放射線と放射能の違い
- 身の回りの放射線
- 放射線の人体への影響
- 放射線の利用

# 放射壊変系列 1: ウラン系列 (4n+2)

親核種: U-238

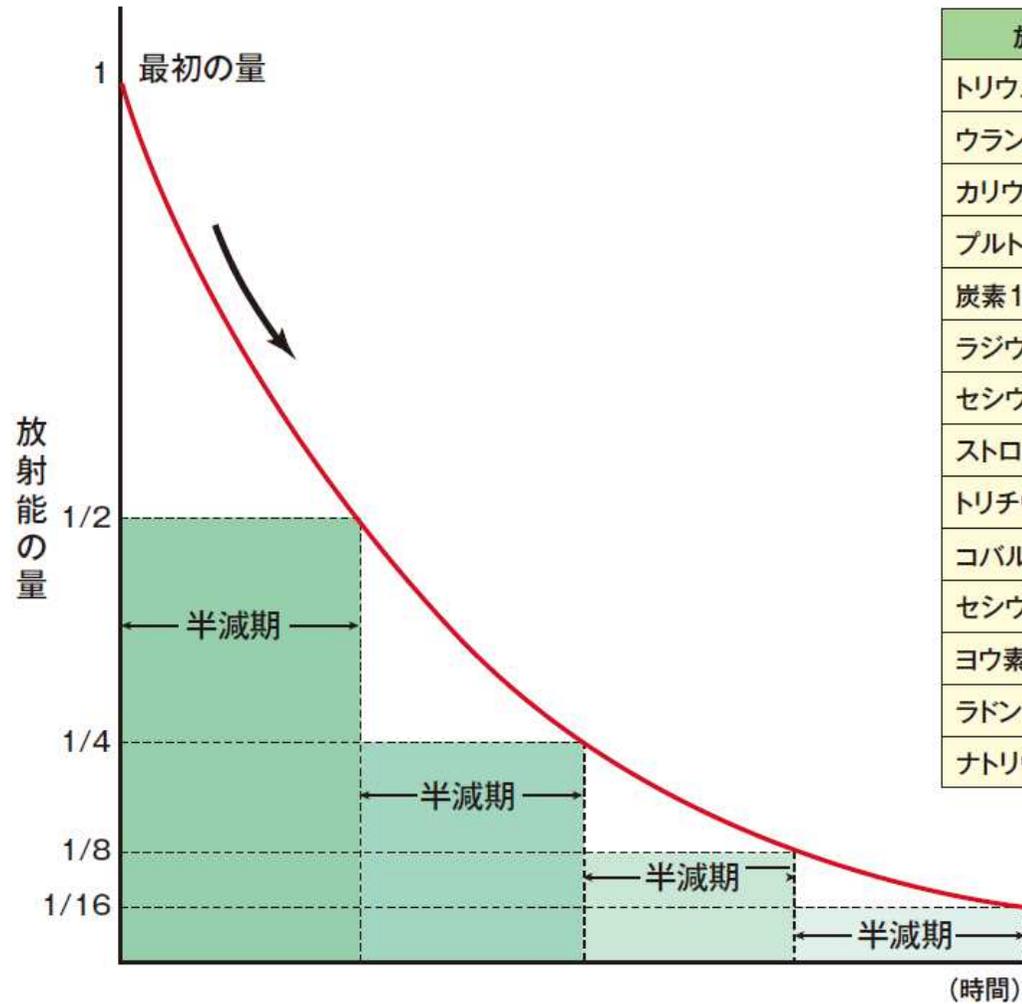


半減期の記号;s(秒), ms(10<sup>-3</sup>秒), μs(10<sup>-6</sup>秒), m(分), h(時), d(日), y(年)

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

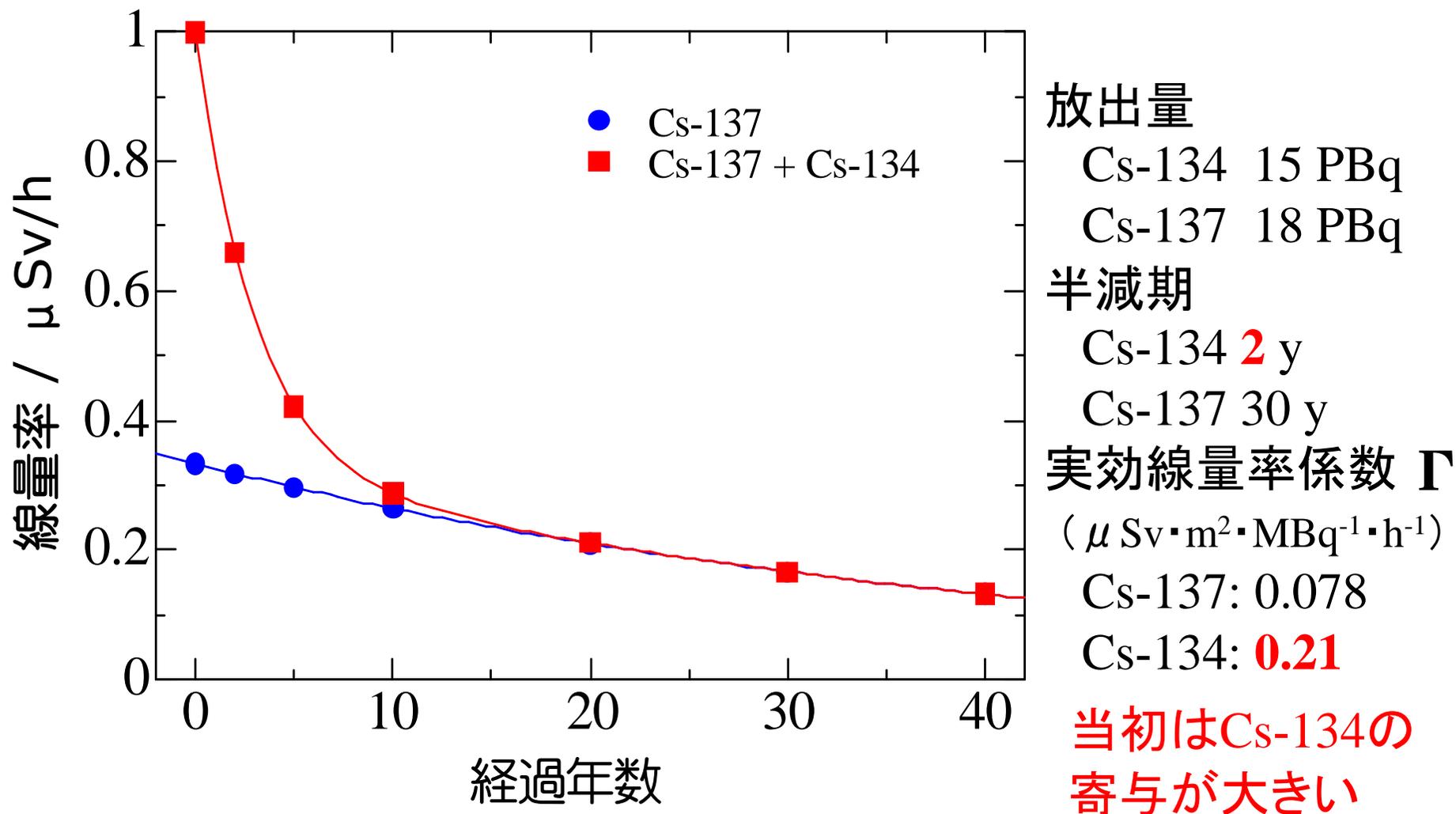
# 放射能の減り方



放射性物質	放出される放射線*	半減期
トリウム232	$\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$	141億年
ウラン238	$\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$	45億年
カリウム40	$\beta \cdot \gamma$	13億年
プルトニウム239	$\alpha \cdot \gamma$	2.4万年
炭素14	$\beta$	5,730年
ラジウム226	$\alpha \cdot \gamma$	1,600年
セシウム137	$\beta \cdot \gamma$	30年
ストロンチウム90	$\beta$	28.7年
トリチウム	$\beta$	12.3年
コバルト60	$\beta \cdot \gamma$	5.3年
セシウム134	$\beta \cdot \gamma$	2.1年
ヨウ素131	$\beta \cdot \gamma$	8日
ラドン222	$\alpha \cdot \gamma$	3.8日
ナトリウム24	$\beta \cdot \gamma$	15時間

\*壊変生成物(原子核が放射線を出して別の原子核になったもの)からの放射線も含む

## 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。

# 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)、  
 $\alpha$ 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  $^3\text{H}$  ( $10^{18}\text{Bq/y}$ )、 $^{14}\text{C}$  ( $1.3 \times 10^{15}\text{Bq/y}$ ) が生成される。

$^3\text{H}$  は半減期12.3年、 $^{14}\text{C}$ 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。

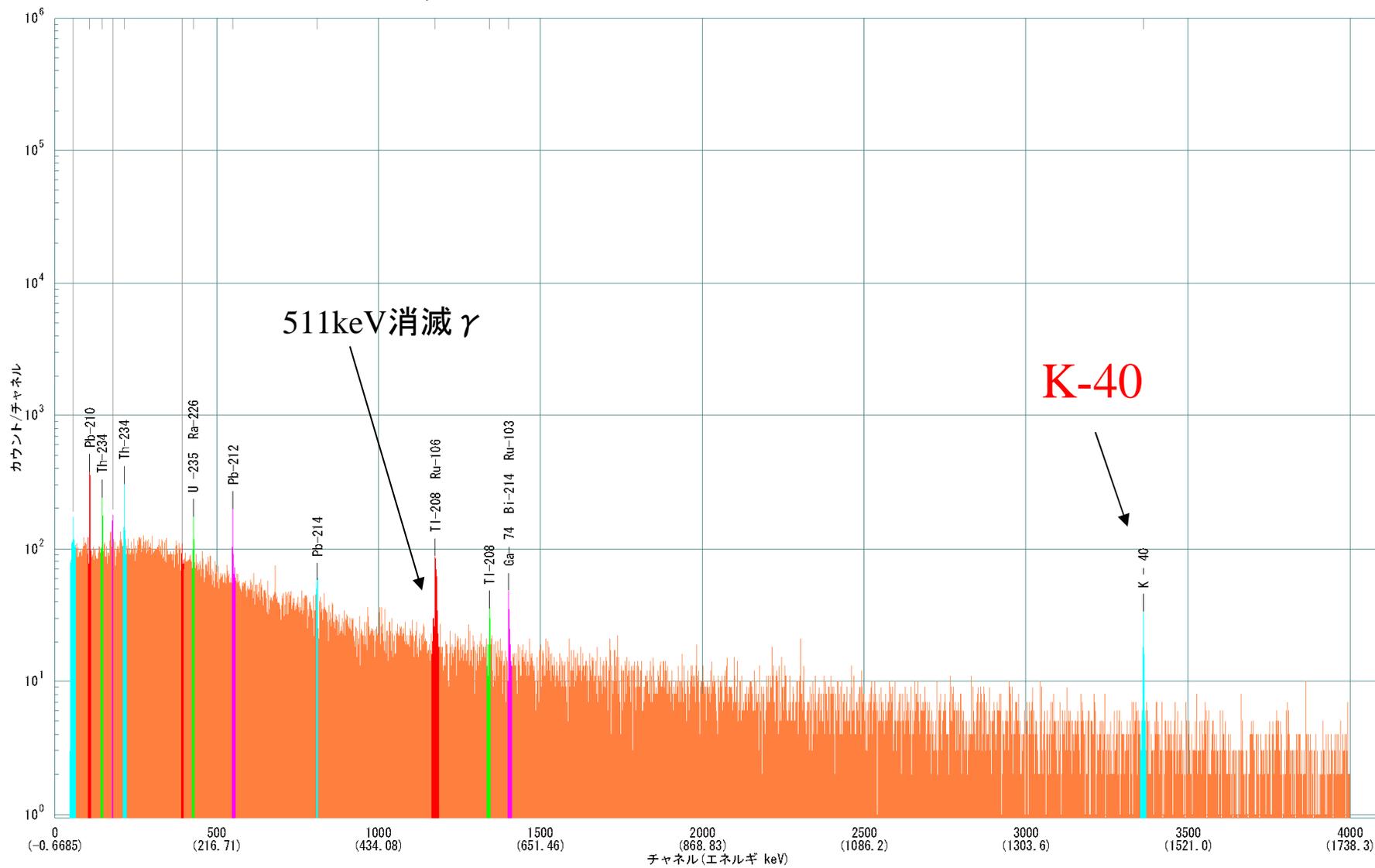
$^{40}\text{K}$	(半減期12.8億年, 天然のK中の存在比 0.0117%)、
$^{87}\text{Rb}$	(480億年、27.8%)
$^{147}\text{Sm}$	(1060億年, 15.1%)
$^{148}\text{Sm}$	(8000兆年, 11.3%)
$^{115}\text{In}$	(510兆年, 95.7%)
$^{113}\text{Cd}$	(9000兆年, 12.2%)
$^{187}\text{Re}$	(400億年, 62.6%)
$^{144}\text{Nd}$	(2100兆年、23.8%)

# バックグラウンド放射線のスペクトル

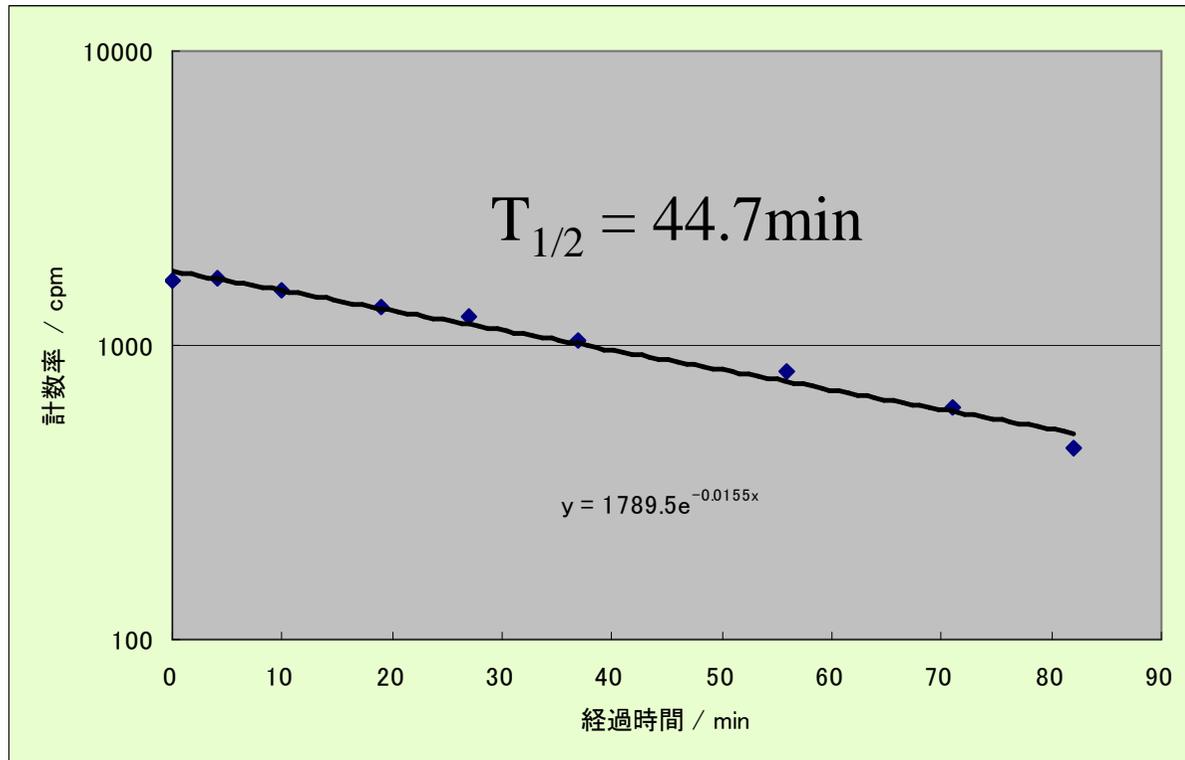
131126\_BackGround.CHN

(5~10cmの鉛で遮蔽)

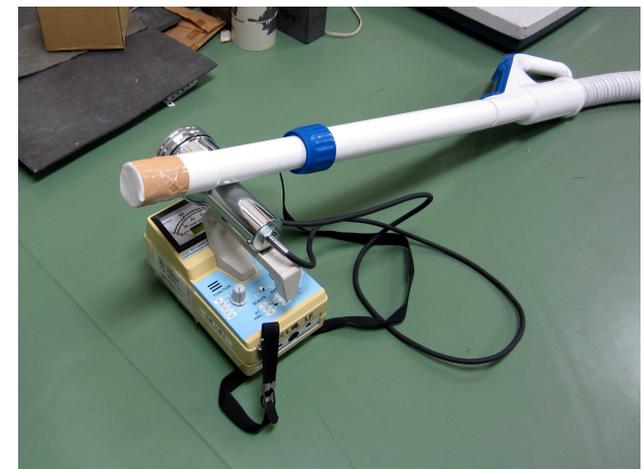
Acquired:2013-11-26 01:11:53 Real Time:60006.5(sec) Live Time:60000.0(sec)



## 空気中のラドンの娘核種の捕集と崩壊曲線

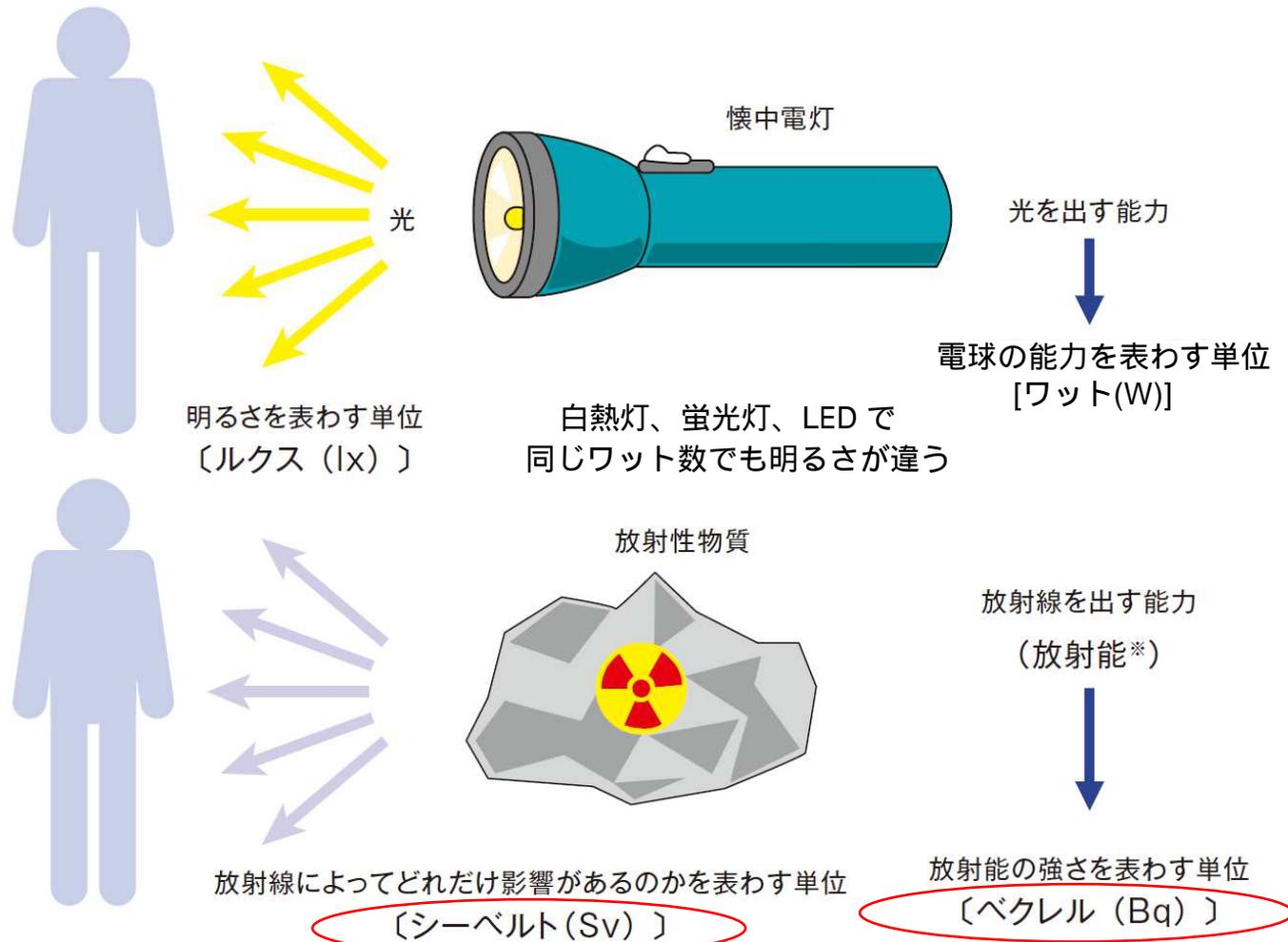


市販の掃除機吸入口先端にガーゼ(ベンコット)をかぶせて5分ほど吸引し、広窓型GMサーベイメータ TGS-136 のスケーラーモードで1分間計数した



- 放射線とは何か
- 霧箱で放射線の性質を知ろう
- 天然の放射性物質と半減期
- **放射線と放射能の違い**
- 身の回りの放射線
- 放射線の人体への影響
- 放射線の利用

# 放射能と放射線



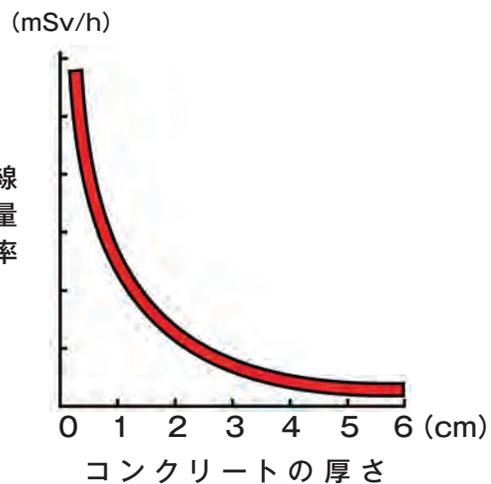
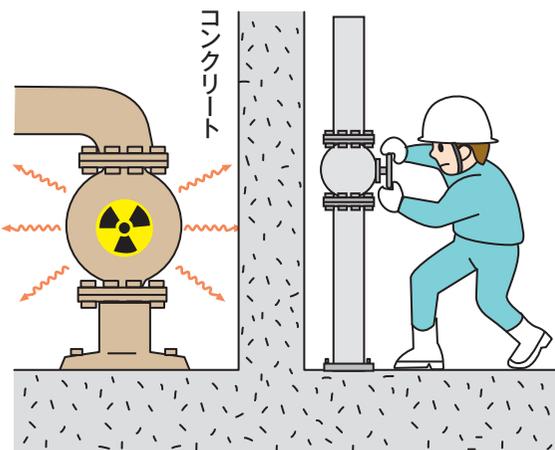
※放射能を持つ物質(放射性物質)のことを指して用いられる場合もある

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

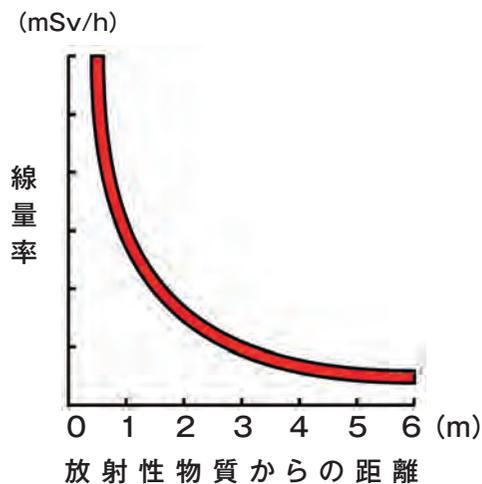
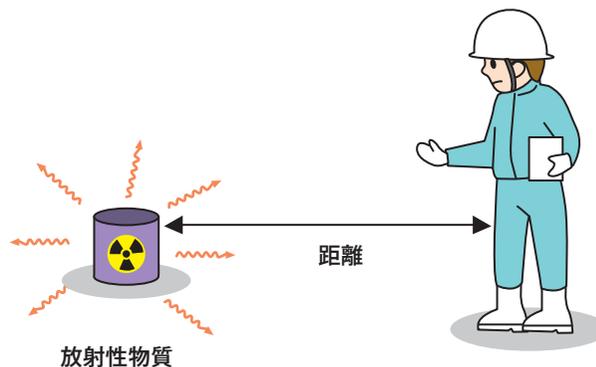
## 1. 遮へいによる防護

(線量率) = 遮へい体が厚い程低下



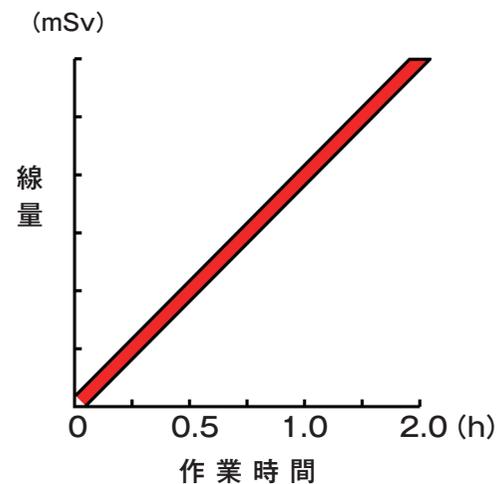
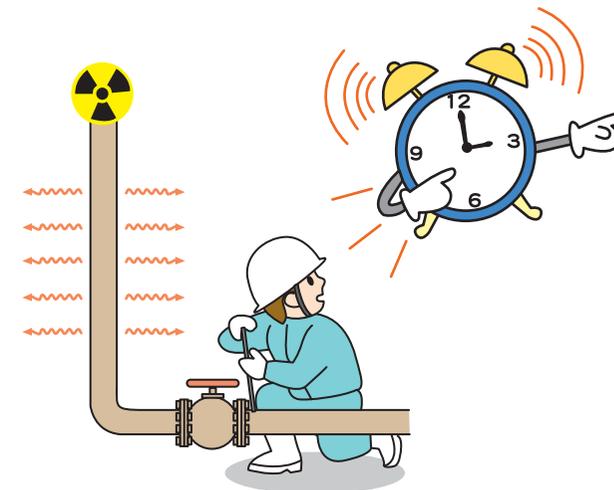
## 2. 距離による防護

(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)



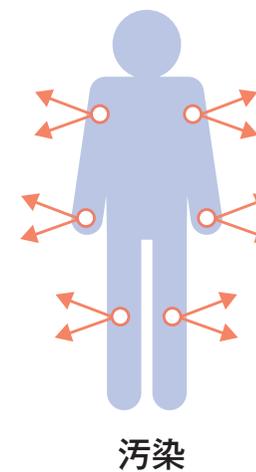
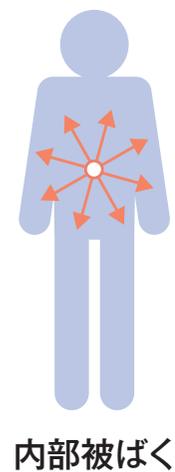
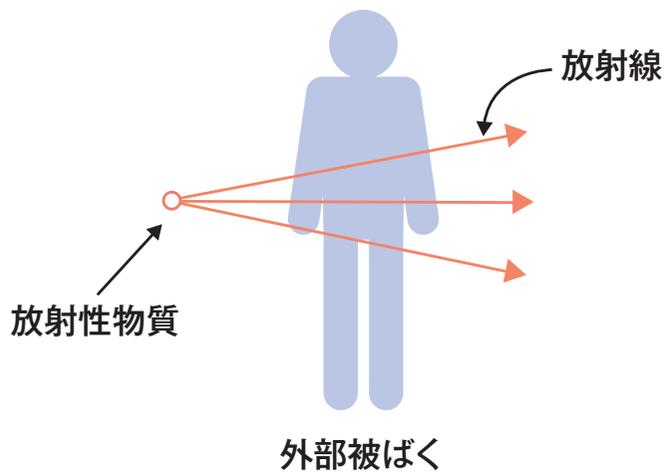
# 被ばくと汚染の違い

## 被ばく

放射線を受けること

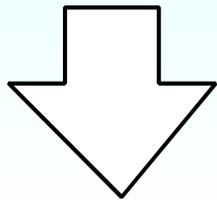
## 汚染

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

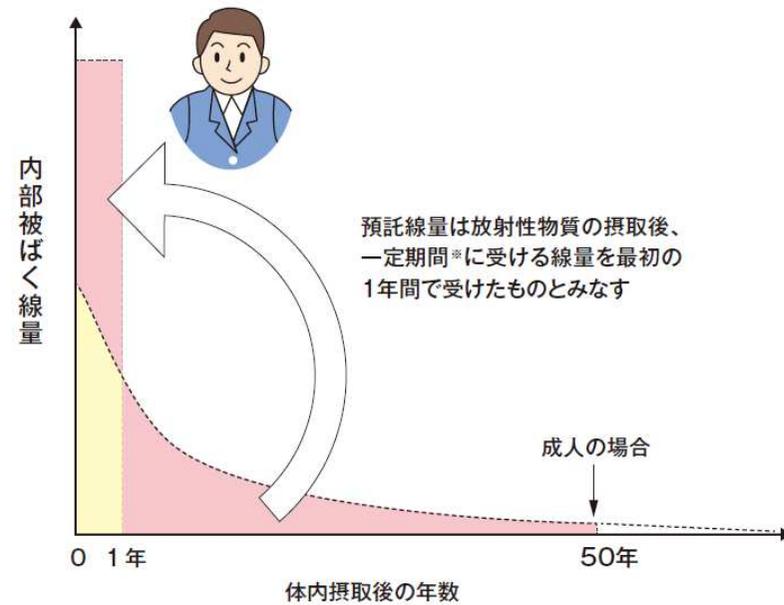
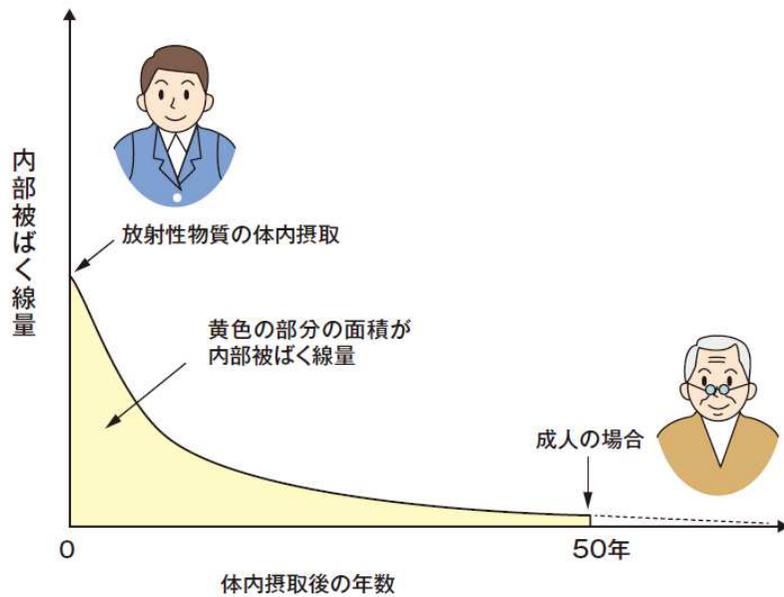
# 被ばく管理に用いられる量(内部被ばく)

## 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。

# 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

# 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

# 被ばく管理に用いられる量(外部被ばく)

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

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

実効線量率定数が  $\Gamma$  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。

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

$\Gamma$  は、線源が放出する  $\gamma$  線のエネルギー、本数、放出確率を加味している。  
 $\gamma$  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。

## 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	$2.5 \times 10^{-4}$	$1.2 \times 10^{-1}$
セシウム137	30年	$1.3 \times 10^{-5}$	$3.9 \times 10^{-5}$
ヨウ素131	8日	$2.2 \times 10^{-5}$	$7.4 \times 10^{-6}$
ストロンチウム90	28.8年	$2.8 \times 10^{-5}$	$1.6 \times 10^{-4}$
トリチウム	12.3年	$4.2 \times 10^{-11}$	$2.6 \times 10^{-10}$

(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:

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

# 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 <sup>※1</sup> 50mSv/年 <sup>※2</sup> 女子 5mSv/3月間 <sup>※3</sup> 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 <sup>※2</sup> 皮膚 500mSv/年 <sup>※2</sup> 妊娠中の女子 2mSv (出産までの間の腹部表面)
	緊急時	100mSv <sup>※4</sup>	眼の水晶体 300mSv 皮膚 1Sv <sup>※5</sup>
一般公衆	平常時	1mSv/年 <sup>※2</sup>	眼の水晶体 15mSv/年 <sup>※2</sup> 皮膚 50mSv/年 <sup>※2</sup>

(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)

- 放射線とは何か
- 霧箱で放射線の性質を知ろう
- 天然の放射性物質と半減期
- 放射線と放射能の違い
- **身の回りの放射線**
- 放射線の人体への影響
- 放射線の利用

# 宇宙からの放射線

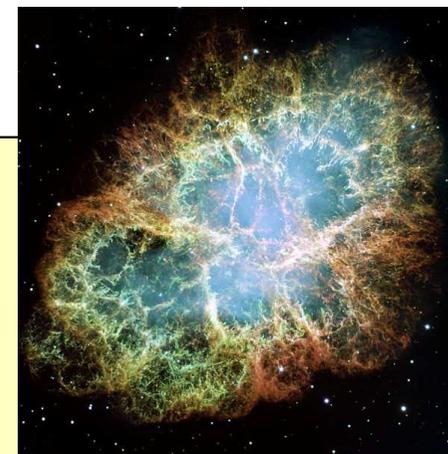
大気で地球上の  
生物は守られている



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 ( $\text{C-14}: 10^{15}\text{Bq/y}$ ,  $\text{H-3}: 10^{18}\text{Bq/y}$ )。



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  $400\text{km}$ ）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。

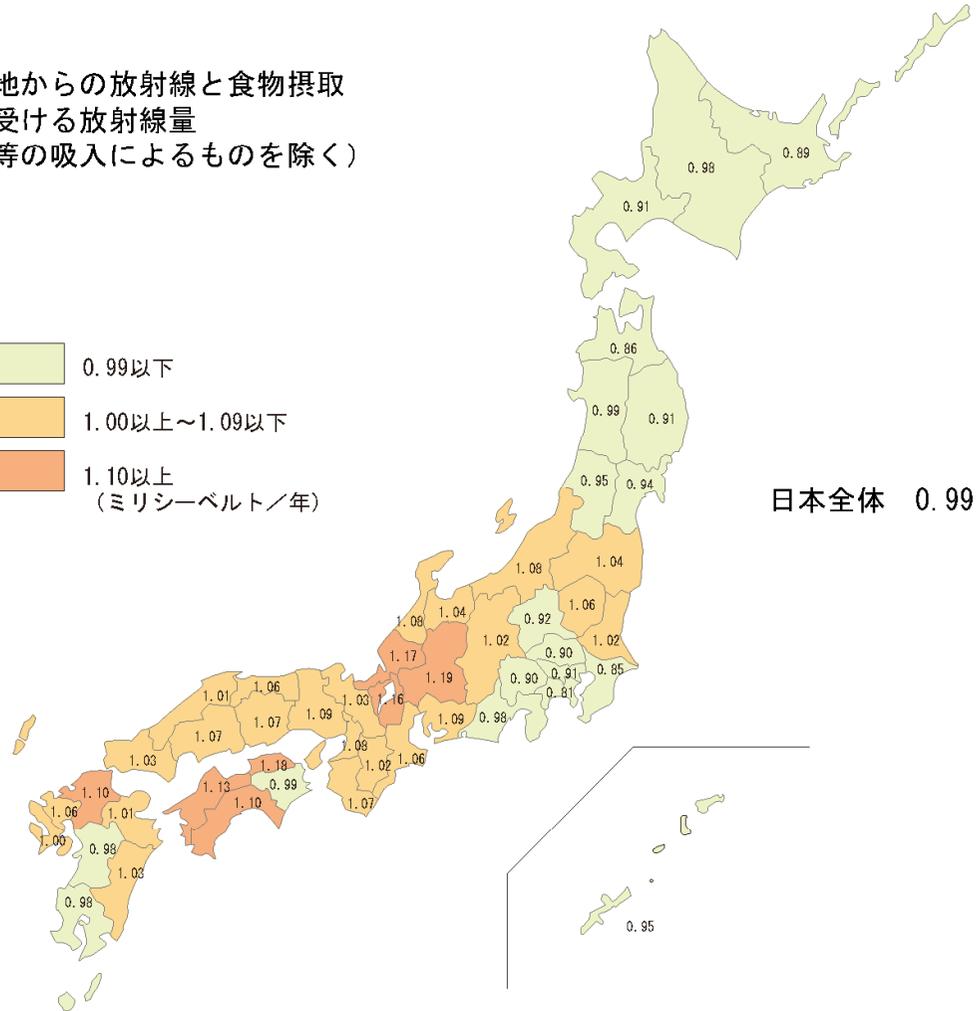


ピサの斜塔

イタリア・ピサの大聖堂

# 全国の自然放射線量

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)



## 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 $\mu$ 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 $\beta$ 線/ $\gamma$ 線を放出するのに対して、このPo-210は $\alpha$ 線を放出するため、内部被曝量は年間で800 $\mu$ 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 $\mu$ 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。

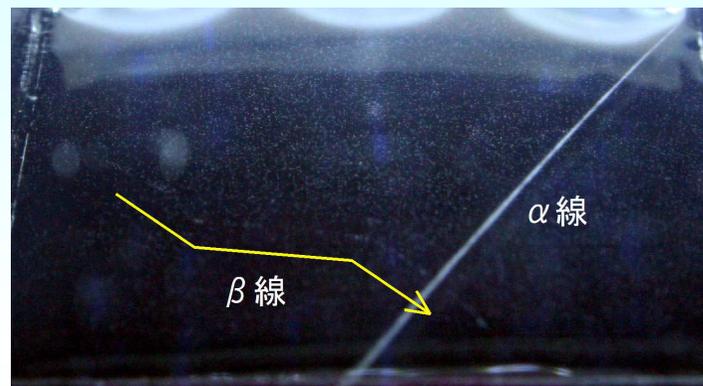
実際に被曝する線量は、放射能の物理的半減期に加え、代謝による排泄で体内の量が減る生物学的半減期も加味して実効線量係数が算出される。

# 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

$\beta \cdot \gamma$  線のみ

Po-210: 20Bq

800  $\mu$  Sv/年

$\alpha$  線を放出

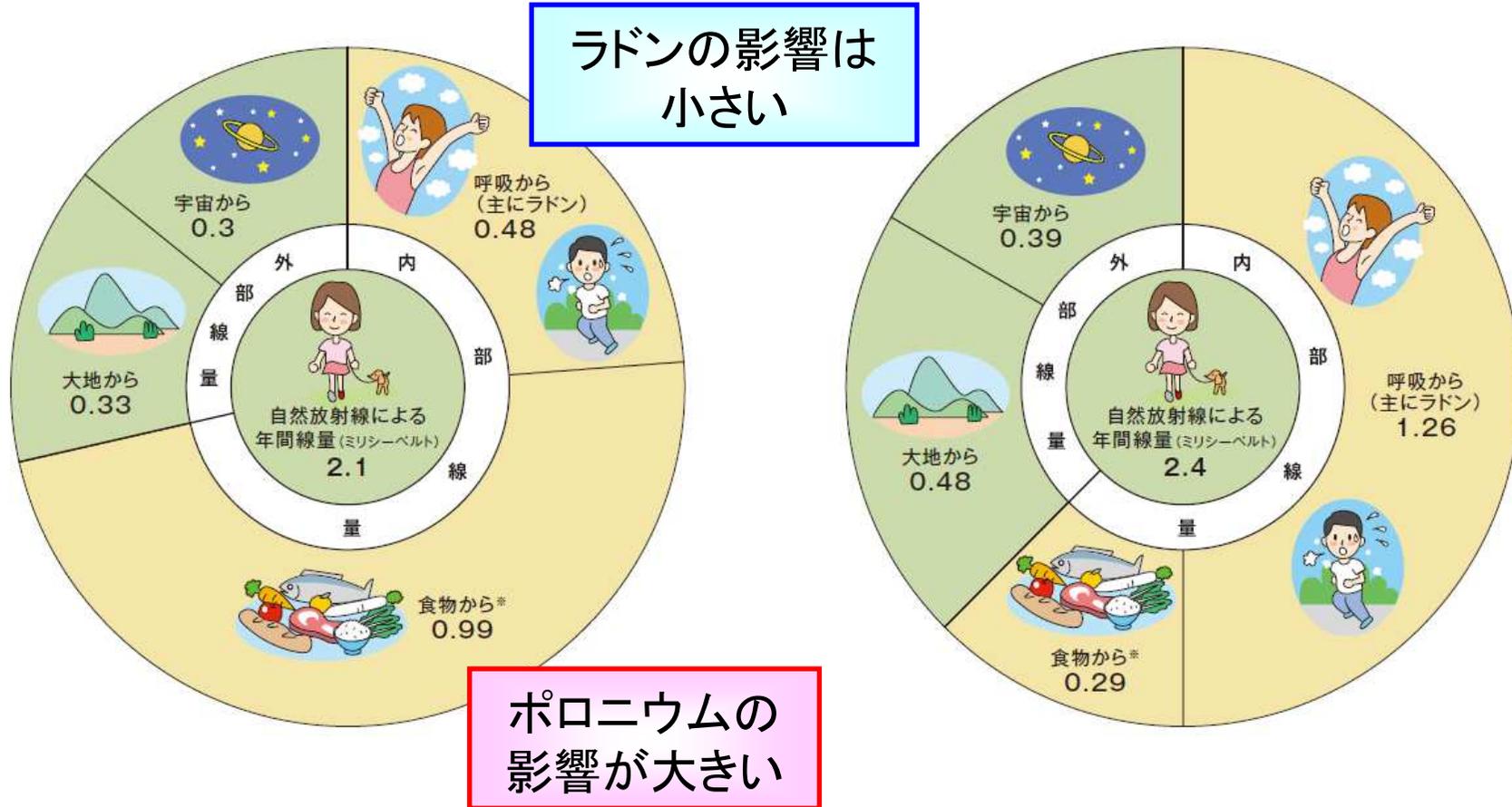
空気中のラドントロンも  $\alpha$  線を放出 → 世界平均で 1.26mSv/年  
日本は木造建築が多く比較的被ばく量は少ない → 0.48mSv/年

\*そもそもの吸収線量、  
組織加重係数  
なども異なる

# 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)

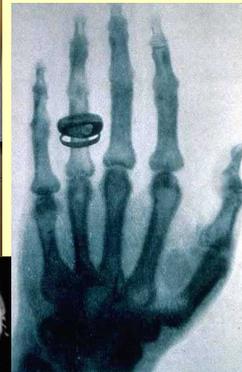
一人あたりの年間線量(世界平均)



※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

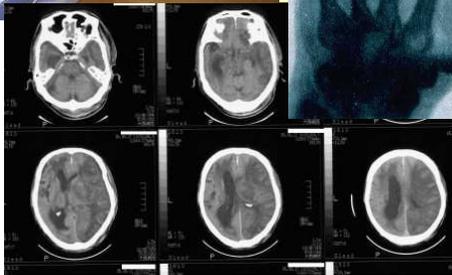
# 医療での放射線

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  $600 \mu\text{Sv}$ 、  
CT スキャンでは 数mSv

これらの被曝による健康への影響は、ゼロではない  
→ 検査をせずに命を失うリスクよりもずっと小さい  
→ トータルでメリットがある  
★ 100mSv でガンによる死亡率 0.5% 上昇



より積極的に、放射線による治療も行われている。  
いかに患部に集中的に放射線を当てるかがポイント

基本は正常細胞と癌細胞の放射線感受性の違いを利用

- ・ 高精度放射線治療：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：3.7~7.4GBqの大量のヨウ素-131を投与

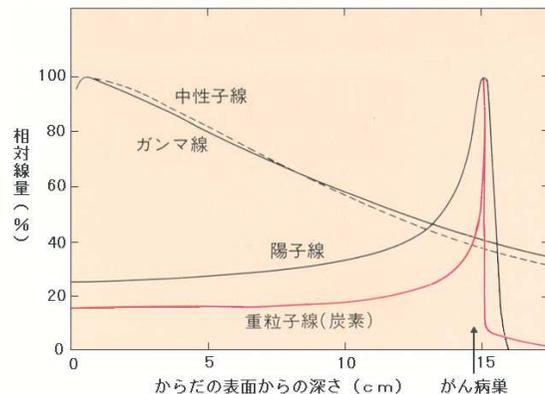
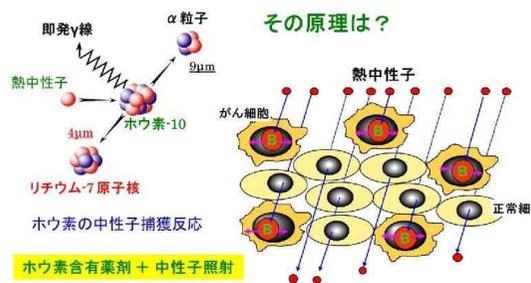


図2 重粒子線照射治療の利点(2)

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

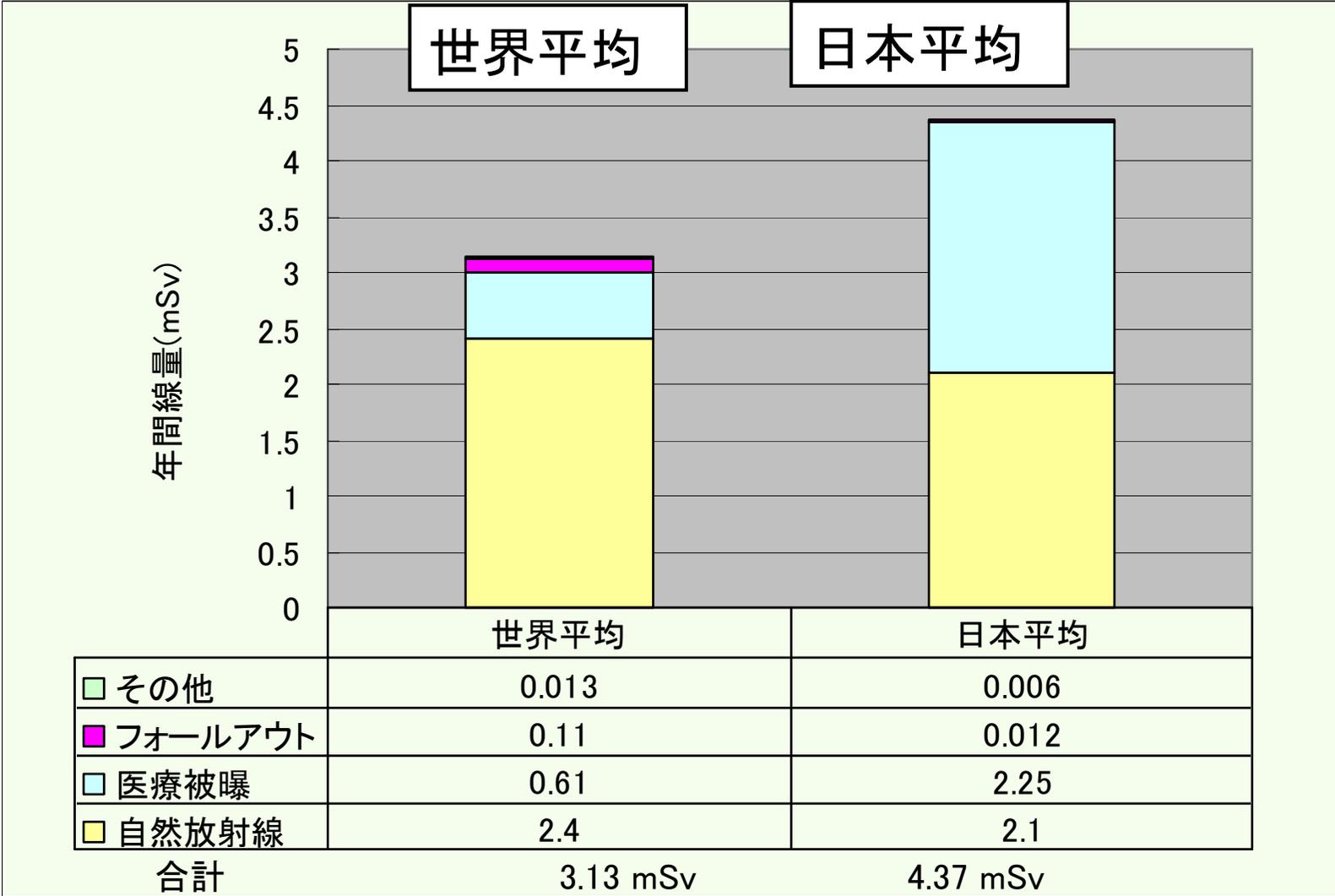
ホウ素中性子捕捉療法  
Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)



- ・ 体の奥の手術が難しいガン：  
加速器からの粒子線の  
ブラッグピークを利用
- ・ 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

熊取町ウェブサイトより

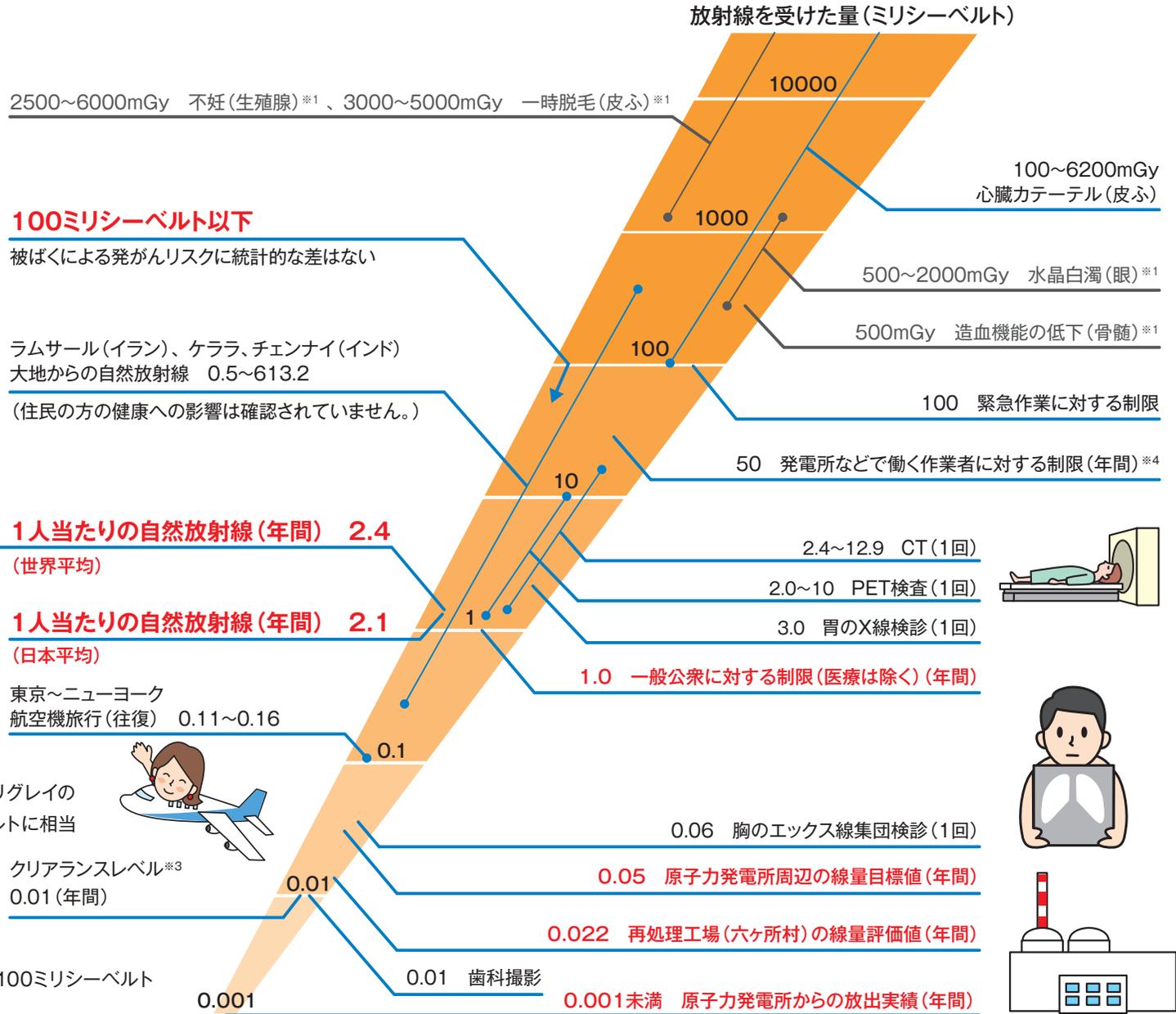
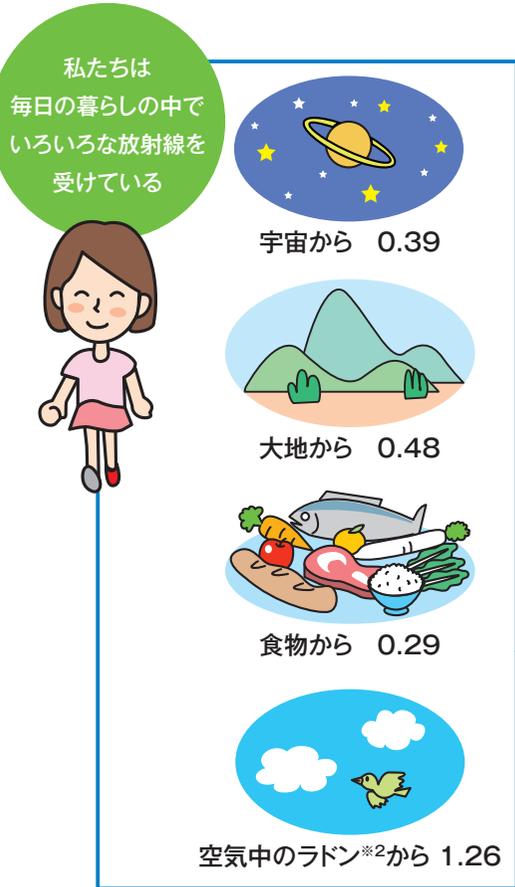
# 一人あたりの年間被曝線量の比較



**\* 福島の影響は加味されていません**

中学生以下を対象に、平成24年11月から平成25年1月までの3ヶ月間、個人線量計(ガラスバッジ)により外部被ばく線量の測定を行った結果、98%が0.5mSv 以下 (81%が0.1~0.5mSv)。

# 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

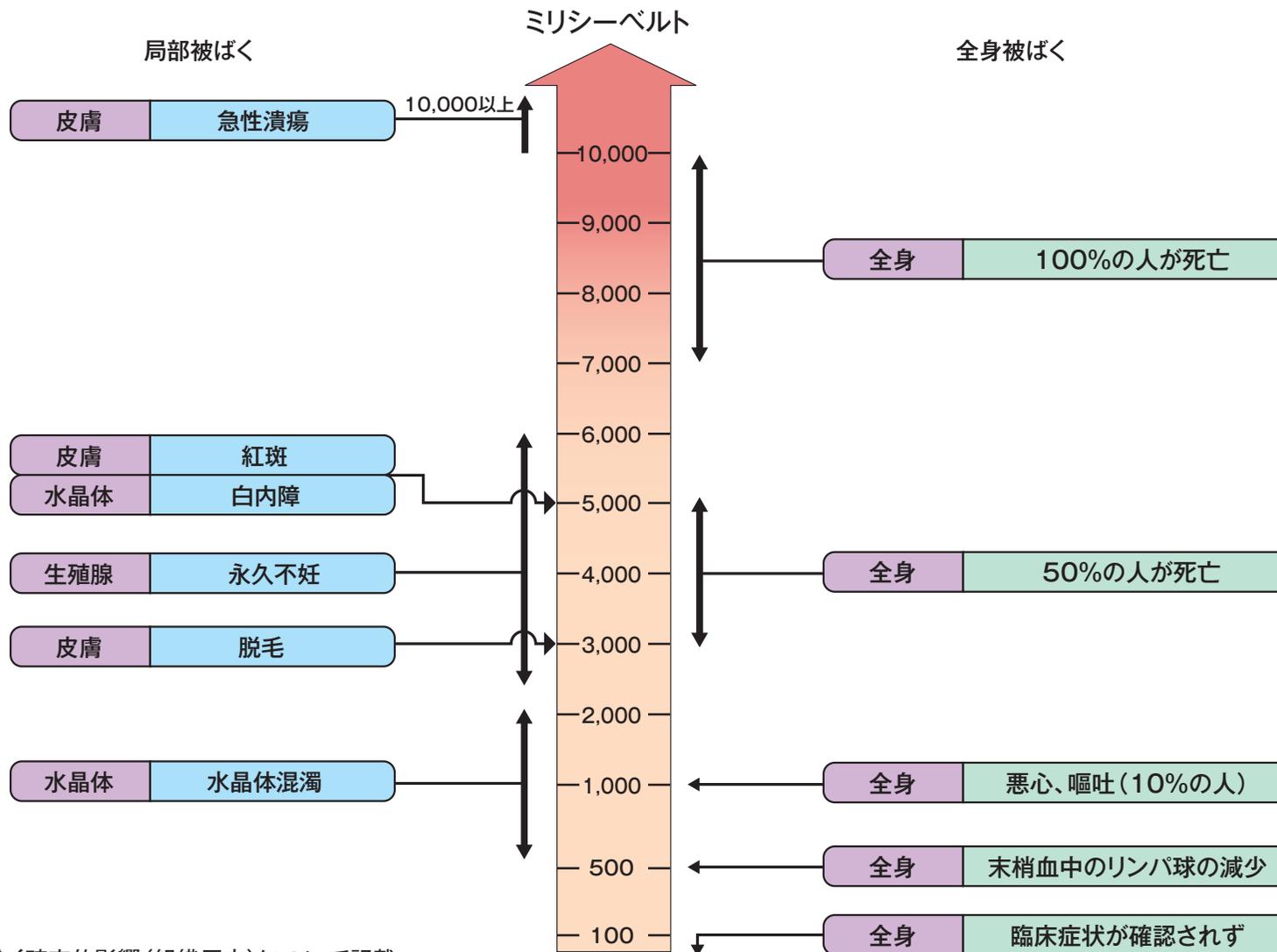
※3 自然界の放射線レベルと比較して十分小さく、安全上放射性物質として扱う必要のない放射線の量

※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

- 放射線とは何か
- 霧箱で放射線の性質を知ろう
- 天然の放射性物質と半減期
- 放射線と放射能の違い
- 身の回りの放射線
- **放射線の人体への影響**
- 放射線の利用

# 放射線を一度に受けたときの症状

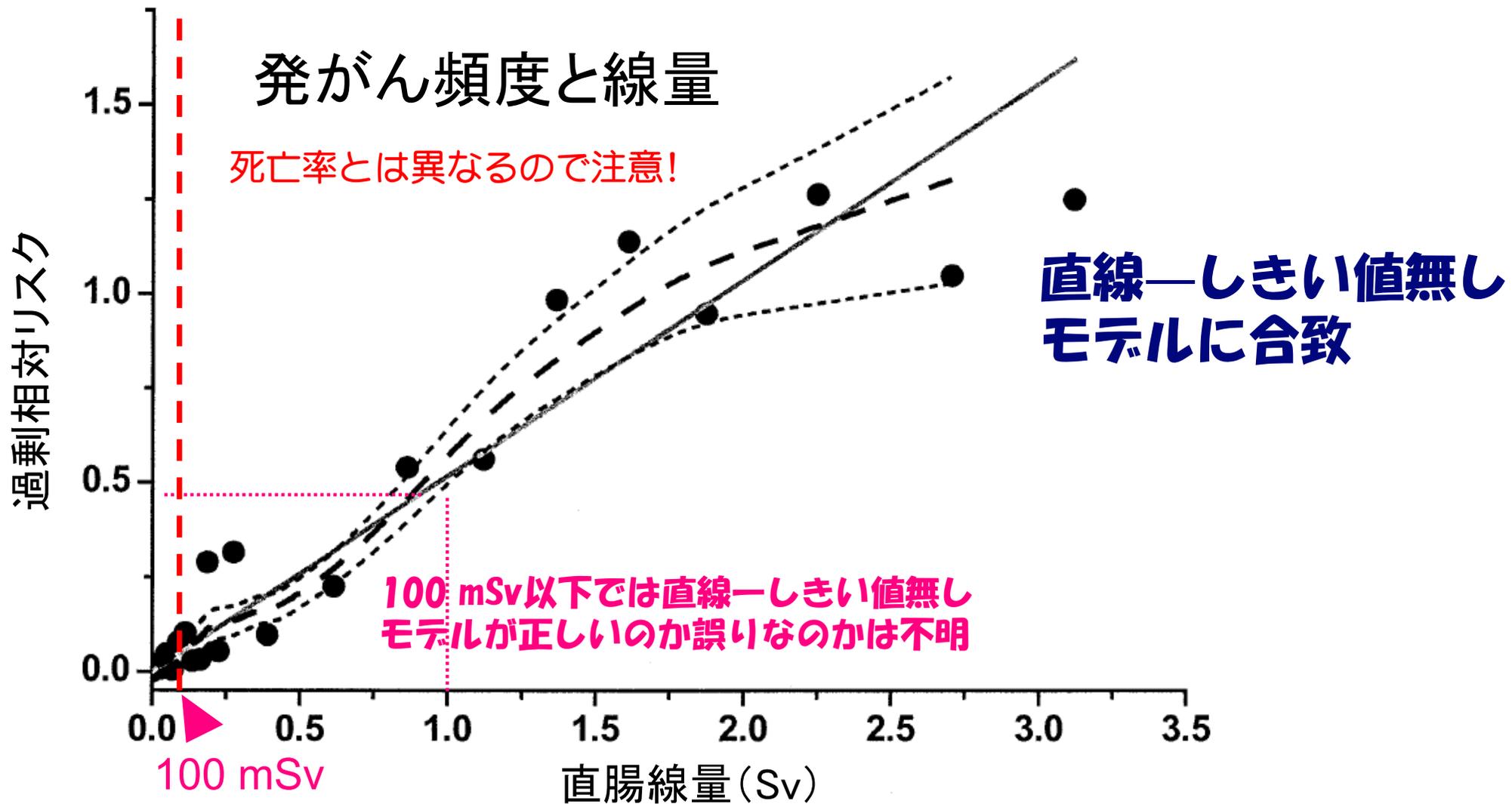
凡例 部位 症状



(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

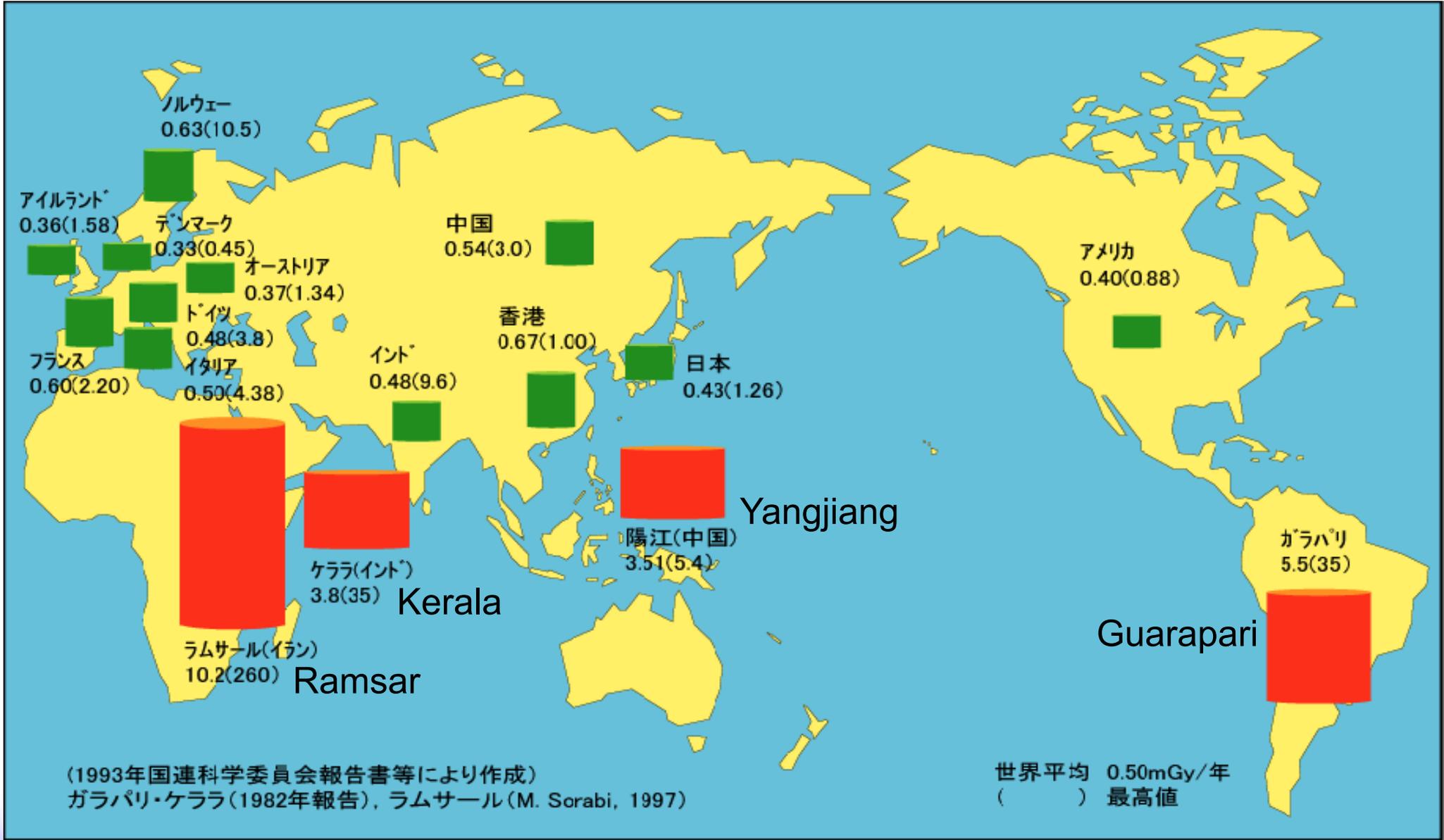
# 原爆被爆者の疫学調査



(Preston, D. L. et al., *Radiat. Res.*, 160, 381-407, 2003)

1Sv被ばくすると発がん率が1.47倍になる

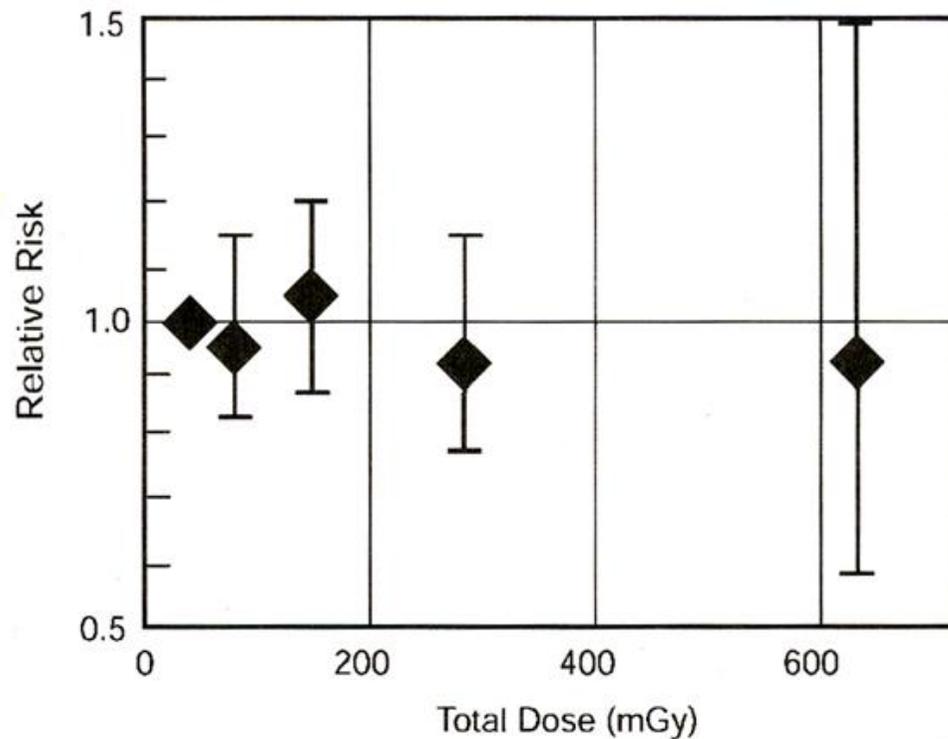
# 世界の自然放射線



# 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

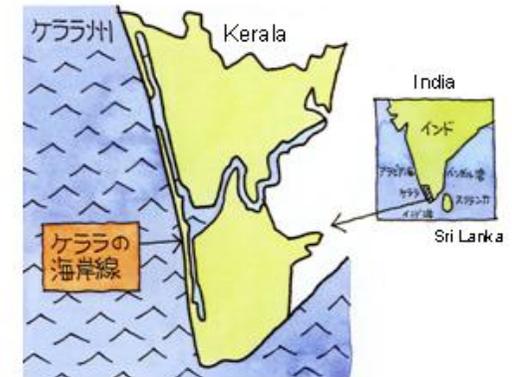
全がん(白血病を除く)の相対リスク



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)

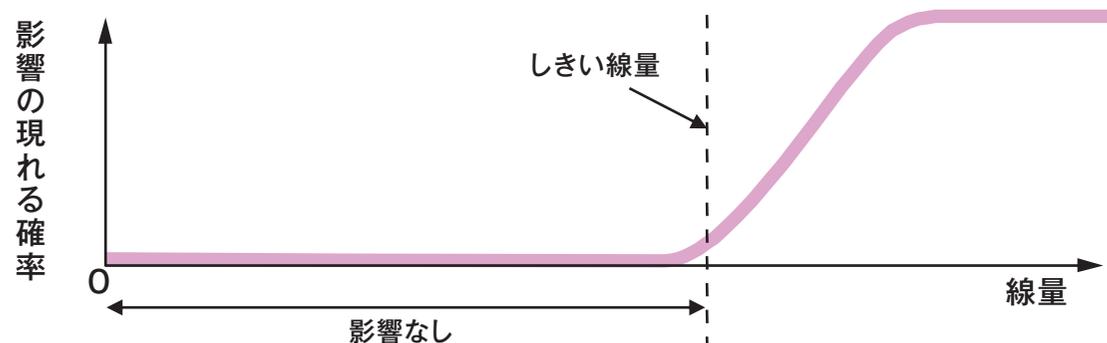
(Nair, R. R. K. et al., *Health Phys.*, 96, 55-66, 2009)

# 放射線防護の考え方

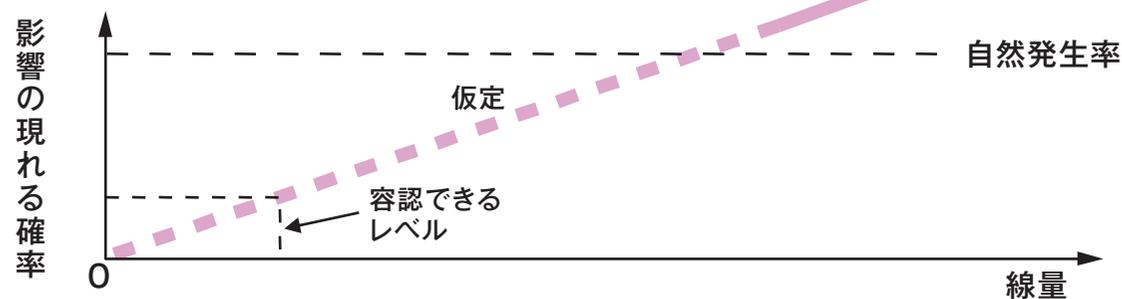
確定的影響（組織反応）は、しきい線量※以下に抑えることで影響をなくす。

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〕



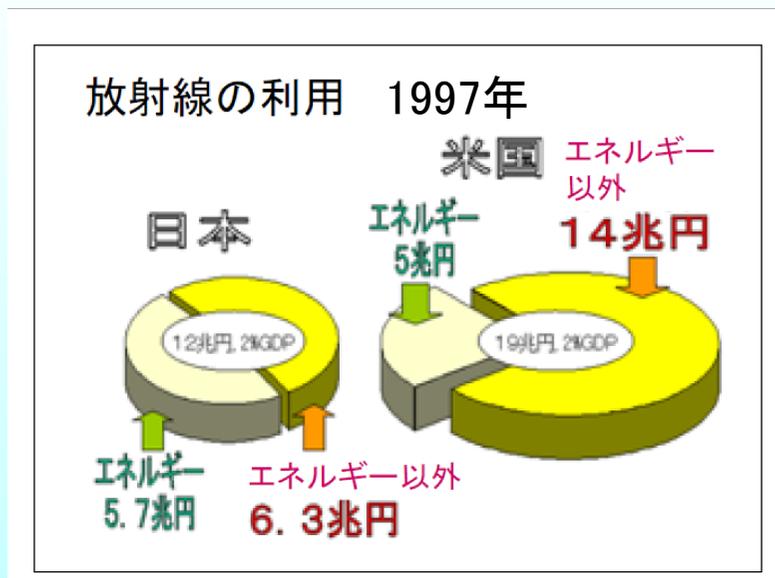
※しきい線量:ある作用が反応を起こすか起こさないかの境の値のこと

- 放射線とは何か
- 霧箱で放射線の性質を知ろう
- 天然の放射性物質と半減期
- 放射線と放射能の違い
- 身の回りの放射線
- 放射線の人体への影響
- **放射線の利用**

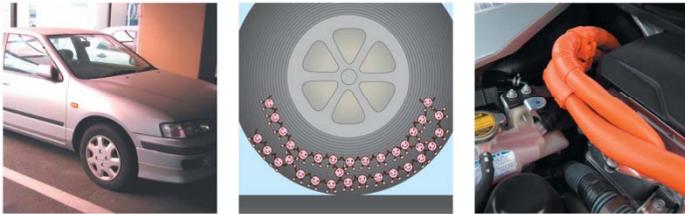
# 発電以外の原子力利用

1997年に行われた調査では、原子力の発電としての利用の経済規模は5.7兆円なのに対して、工業・農業・医療での放射線利用の経済規模は6.3兆円となり、発電の経済規模を上回っていた。

その後、2005年頃に再度調査が行われたが、やはり発電以外の利用は発電と同等かそれ以上であった。

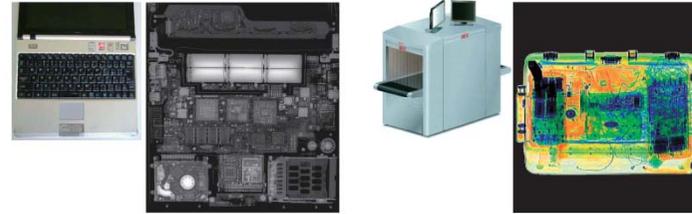


## 車で使われる放射線技術



車のさまざまなパーツには放射線による加工技術が使われています。  
 高速回転により地面と擦れるタイヤは放射線をあてて強くなったゴムで作られています。  
 また、エンジンルーム等高温になるところのコードも  
 放射線によって熱に強くしたコードが使われています。

## 壊さないで中を調べる



放射線を使って撮影すると物を壊さずに中身を調べる事ができます。  
 この技術は、空港で行われている手荷物検査や、  
 金属に欠陥がないかを調べる検査にも利用されています。

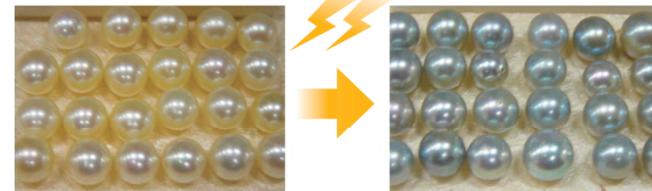
## 放射線に変化する繊維



電子線(放射線)を繊維(服の生地)にあてて、  
 機能を高める技術が開発されています。  
 抗菌・消臭・防炎などの機能を天然繊維にもたせることができます。

## 色を変えて美しくする

放射線をあてると



【照射前】

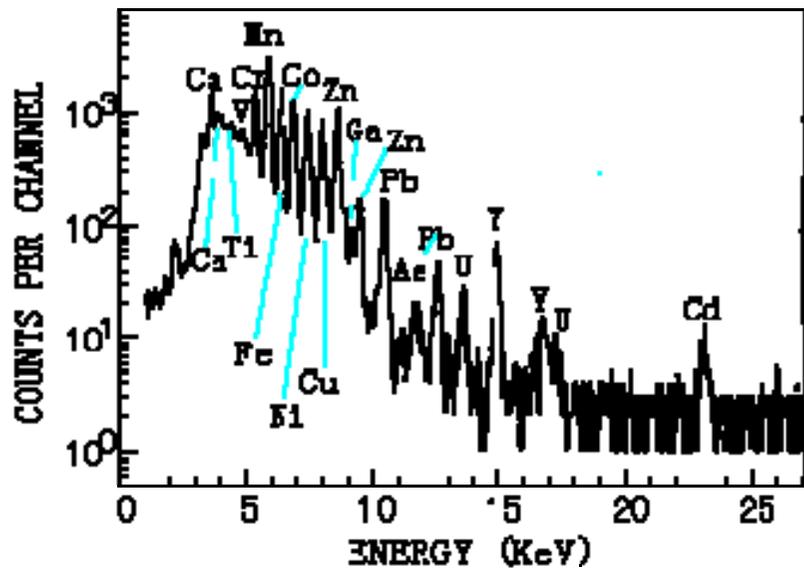
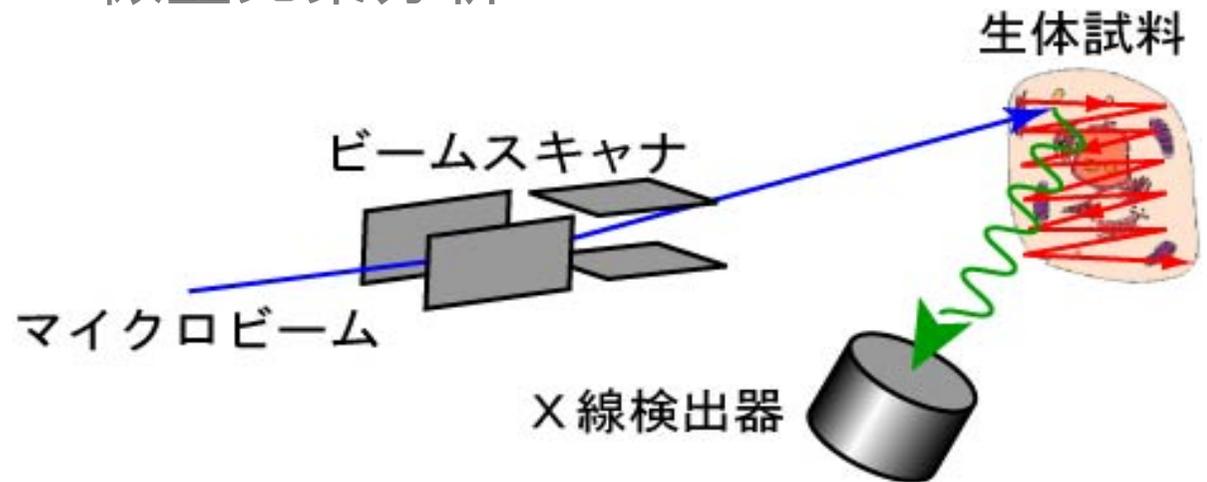
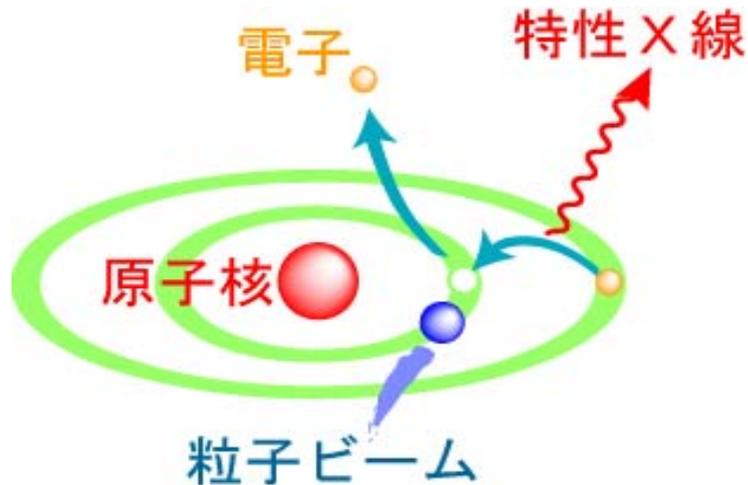
【照射後】

真珠やダイヤモンドに放射線をあてて色を変えたり、美しくする事ができます

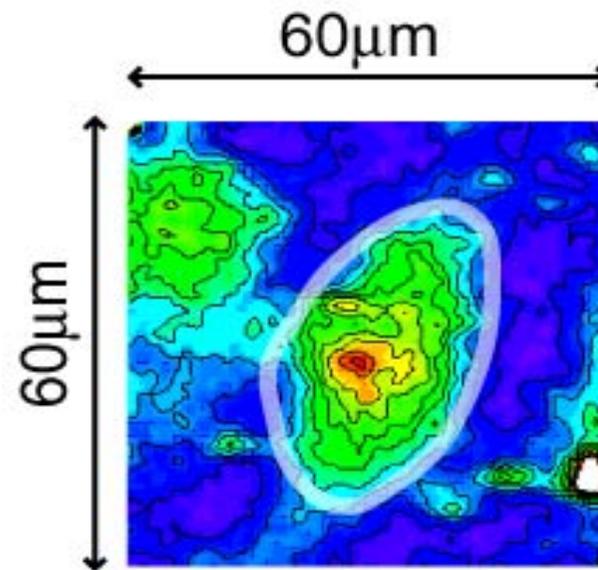
※放射線は物を通り抜けるため、放射線をあてた真珠やダイヤモンドに放射線が残ることも、  
 真珠やダイヤモンドそのものから放射線を出すようになることもありません。

# PIXE (Particle Induced X-ray Emission)

## 粒子線励起X線分析法 微量元素分析



Solution Containing 200 ng of Various Elements



細胞中のリンの分布

# 放射線を用いた診断



1896年に撮影された  
レントゲン氏の奥さん  
の手の透過写真

光子と物質の相互  
作用の強さによっ  
て濃淡が得られる

## コンピュータ断層撮影(Computed Tomography)

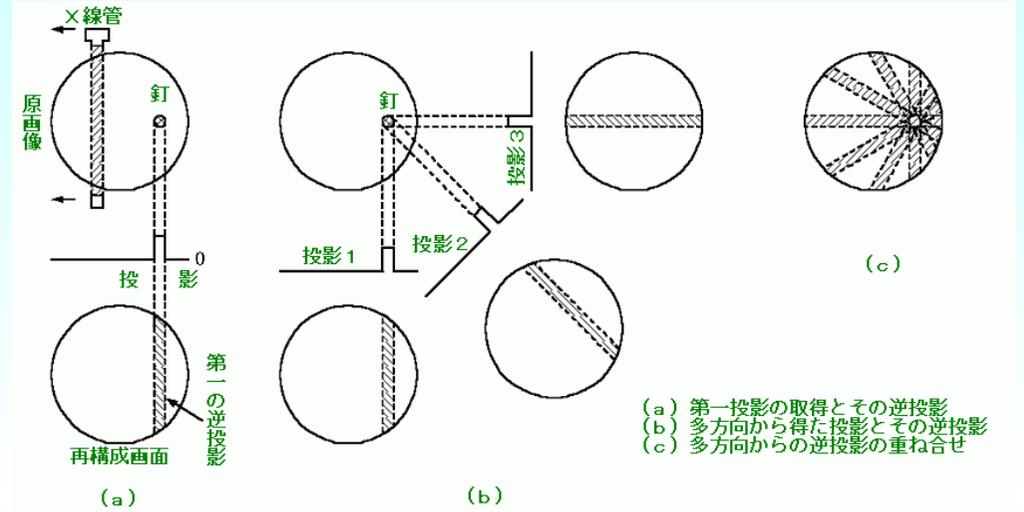
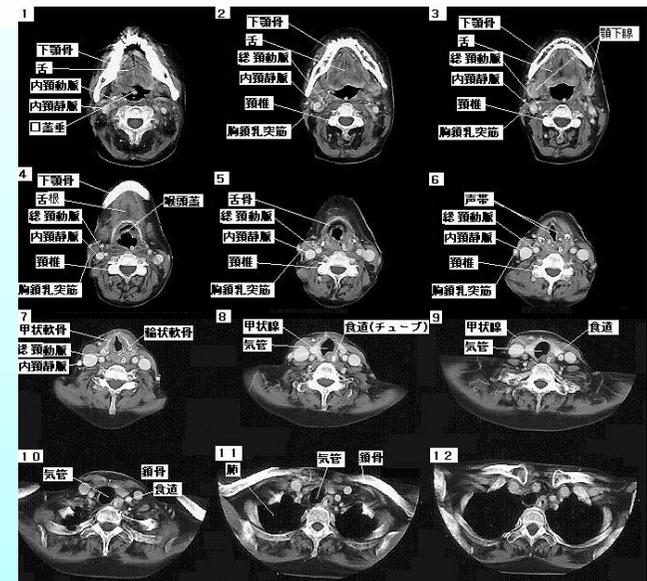
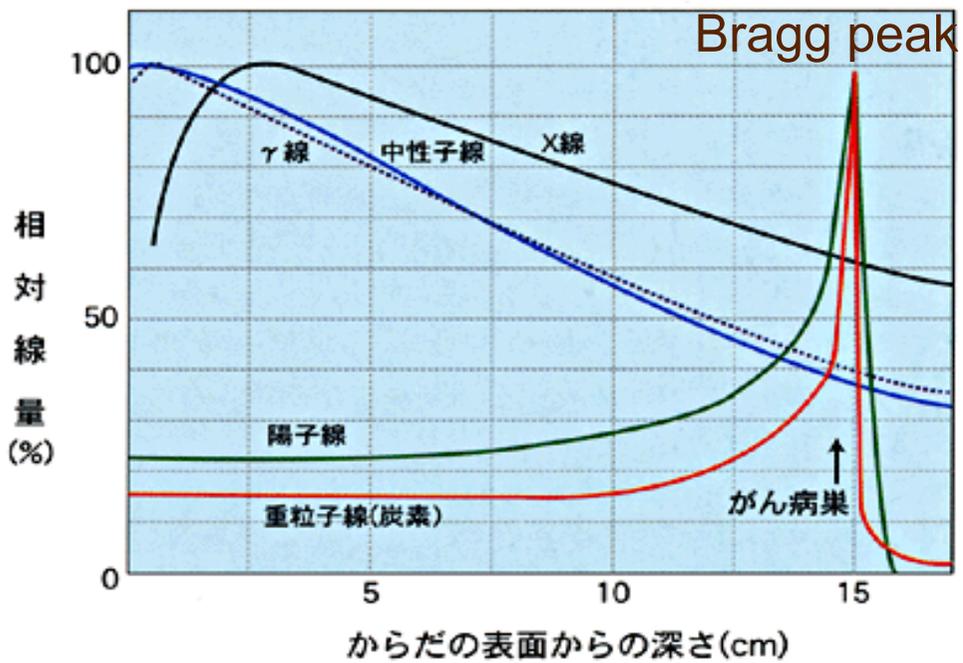


図1 X線CTにおける画像計算の原理(その1)

[出典] 舘野 之男、飯沼 武: 画像診断-基礎と臨床、コロナ社(1987年), p39

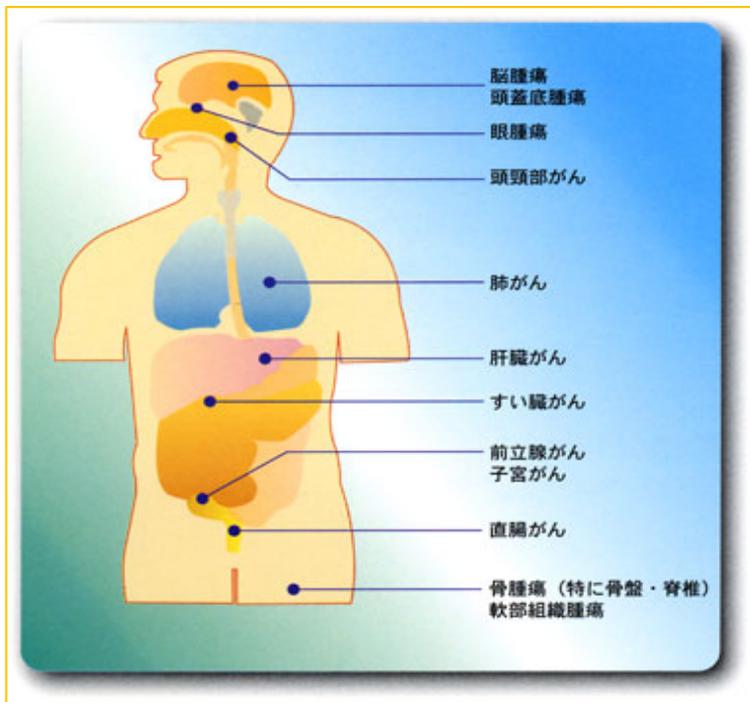
多方向から撮影したX線透過  
像から立体的配置を再構成  
するのがX線CT。  
核磁気共鳴を用いたMRIと  
は全く原理が異なる。



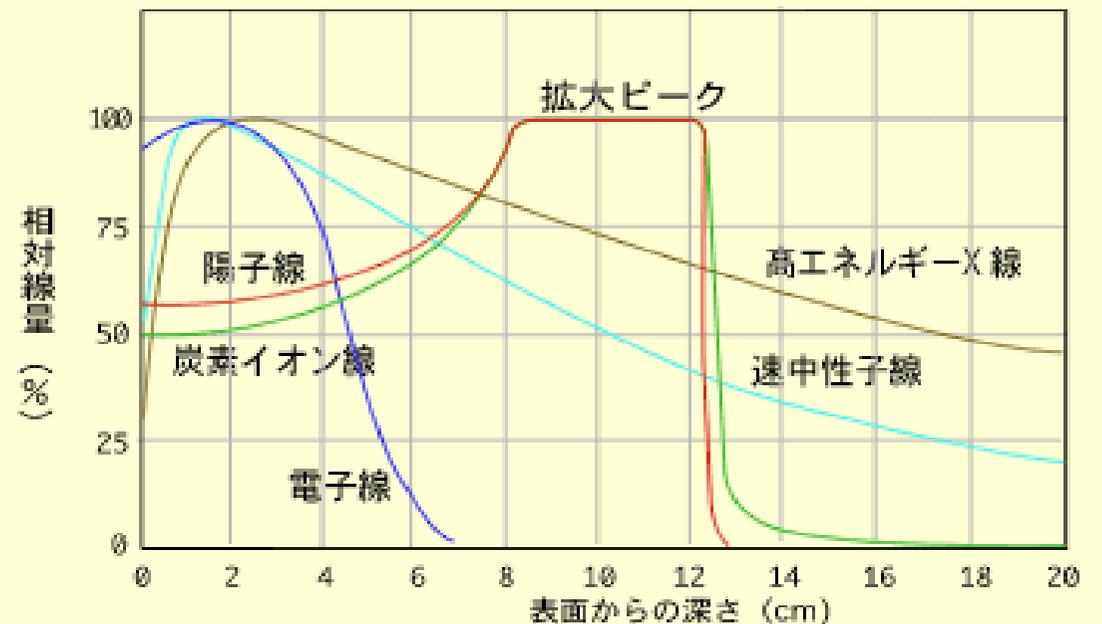


# 各種放射線の生体内における線量分布

(放医研 HPより)



## 各種放射線の線量分布



# 放射線を用いた滅菌



	ガンマ線	電子線	エチレンオキシド	高压蒸気
設備	大型	大型	小～大型	小～中型
透過力	大（梱包可）	小（梱包可）	密閉不可	密閉不可
材料選択	耐放射線性	耐放射線性	耐圧性	耐熱・耐水性
滅菌温度	常温	常温	40～60℃	121℃
処理方法	連続式	連続式	バッチ式	バッチ式
処理時間	数時間	数十分	数時間	数時間
後処理	不要	不要	ガス抜き	乾燥
残留物	なし	なし	残留ガス	なし
滅菌確認	線量確認	線量確認	BI無菌試験	BI無菌試験

表1 滅菌法の特性比較

特性	滅菌法			
	γ線	電子線	EO(エチレンオキシド)	高压蒸気
放射線エネルギー	電子線より小	γ線より大	-	-
放射線透過力	電子線より大	γ線より小	-	-
処理量/時	電子線より小	γ線より大	-	-
対象の材質	プラスチック, 繊維, 金属	プラスチック, 繊維	プラスチック, 繊維, 金属	耐熱性(～130℃)プラスチック, 繊維, 金属
対象の適合性	寡品目, 大量処理	寡品目, 大量処理 多品目, 少数処理	寡品目, 大量処理	寡品目, 大量処理
包装形態	最終包装状態で滅菌操作可能	最終包装状態で滅菌操作可能	EOガスの脱出が必要で、その後包装を完了する	蒸気の脱出が必要で、その後包装を完了する
制御要因	線量(コンベア速度に依存)	線量(コンベア速度, 電圧などに依存)	温度, 時間, 湿度, 濃度, 圧力	湿度, 圧力, 時間
工程保守管理	容易	γ線より容易	複雑	EOガスより容易
製品の安全性	残留物なく安全	残留物なく安全	EOガス残留の可能性あり	残留物なく安全
滅菌コスト	高価	γ線より安価	蒸気より高価	最も高価
設備コスト	最も高価	高価	かなり高価	比較的安価
対外関係	施設周辺の理解に幅がある	施設周辺の理解が得やすい	施設周辺の理解に幅がある	とくに問題はない



## カネソン独自のインフレーション製法が、大切な母乳をしっかりと守ります。

カネソン母乳バッグは製造過程において、内部を一度も外気に触れさせない独自のインフレーション製法で製造しています。さらに、母乳を衛生的に保てるようガンマ線滅菌を施し、徹底した安全性を追求。この安全性のこだわりこそが、「冷凍母乳といえばカネソン母乳バッグ」の高い評価をいただいています。

フィルム素材を筒状に成型し、直後に外気に触れることなく真空状態に圧着。2枚重ね製法に比べ、内部を外気にさらすことがないので、異物や雑菌が入りにくいカネソン独自の製造方法です。



【出典】(社)日本アイントップ協会(編集、発行):放射線滅菌の現状と展望、1998年9月25日、p10

## 食品を殺菌する

放射線を照射することによって、食品を健全な状態で長い期間保存できる技術を**食品照射**といいます。

昔から人々は、食品を長く貯えるために、塩漬けや干物などの工夫を行ってきました。最近では保存料などの薬剤も広く使用されています。しかし、それらの中には私たちの健康に害を与えたりするものもあってきました。そこで人の健康に害がない方法として食品に放射線をあてる「食品照射」が世界各国で使われるようになっていきます。

※現在、日本ではジャガイモへの照射のみが認可されています。



冷凍のまま、O157、サルモネラ菌など大部分の食中毒菌を殺菌できます。

※照射された放射線は食品を通り抜けてしまうため、照射した食品に放射線が残ることはありません。

## 新しい品種を生み出す

農作物に放射線を照射してできた突然変異種を利用することで、有用な品種の改良を行うことができます。



「レイメイ」

耐寒性があり寒い所で育つのに適していたが、育が高く、少しの風で倒れちゃう品種「フジミノリ」に放射線を照射して、本来の耐寒性に加えて背の低い倒れにくい品種「レイメイ」を作り出しました。



「ゴールド二十世紀」

鳥取県産の「二十世紀ナシ」はナシ黒斑病という病気にとまかりやすく、予防に多くの費用がかかっていましたが、放射線を照射した子孫の中から病気に強い新品種が誕生し、産地で急速に生産が普及しています。



「カーネーションの新種」

ピンク色のカーネーション「ビタル」に放射線を照射して、黄色、淡ピンク、濃紅色などの花色や花弁の形と数などで、変わった品種が得られています。

※照射された放射線は作物を通り抜けてしまうため、照射した作物やその子孫に放射線が残ることはありません。

## 農作物の害虫防除

南西諸島で大きな農業被害を与えていたウリミバエを根絶するために放射線がつかわれました。



ウリミバエ

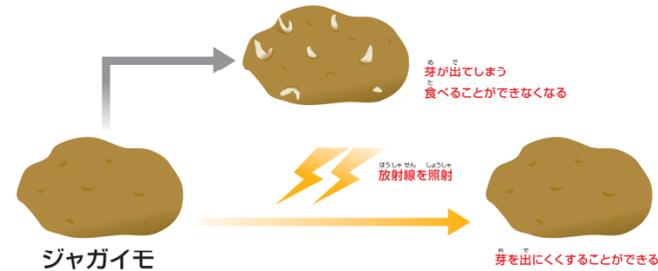


ゴーヤ・マンゴーなど

人口飼料で飼育したウリミバエを産卵させ、卵から幼虫を経て変身した何百万匹ものさなぎに放射線を照射して、不妊化(子供ができないようにすること)します。こうしてつくられた不妊虫を地上に放し、野生のウリミバエのメスと交尾させます。そのようにして生まれた卵はふ化しないので次の世代が育たず、ついに根絶します。

この結果、ゴーヤなど南西諸島の農作物が本土で食べられるようになりました。

## ジャガイモの芽止め



日本では北海道・士幌町でジャガイモへの照射が実施されています。ジャガイモは収穫後、しばらくすると芽が出て食べられなくなります。発芽前のジャガイモに放射線を照射することで発芽を抑え、新鮮でおいしく食べられる期間を何ヶ月も伸ばすことができます。

※照射された放射線はジャガイモを通り抜けてしまうため、照射したジャガイモに放射線が残ることはありません。