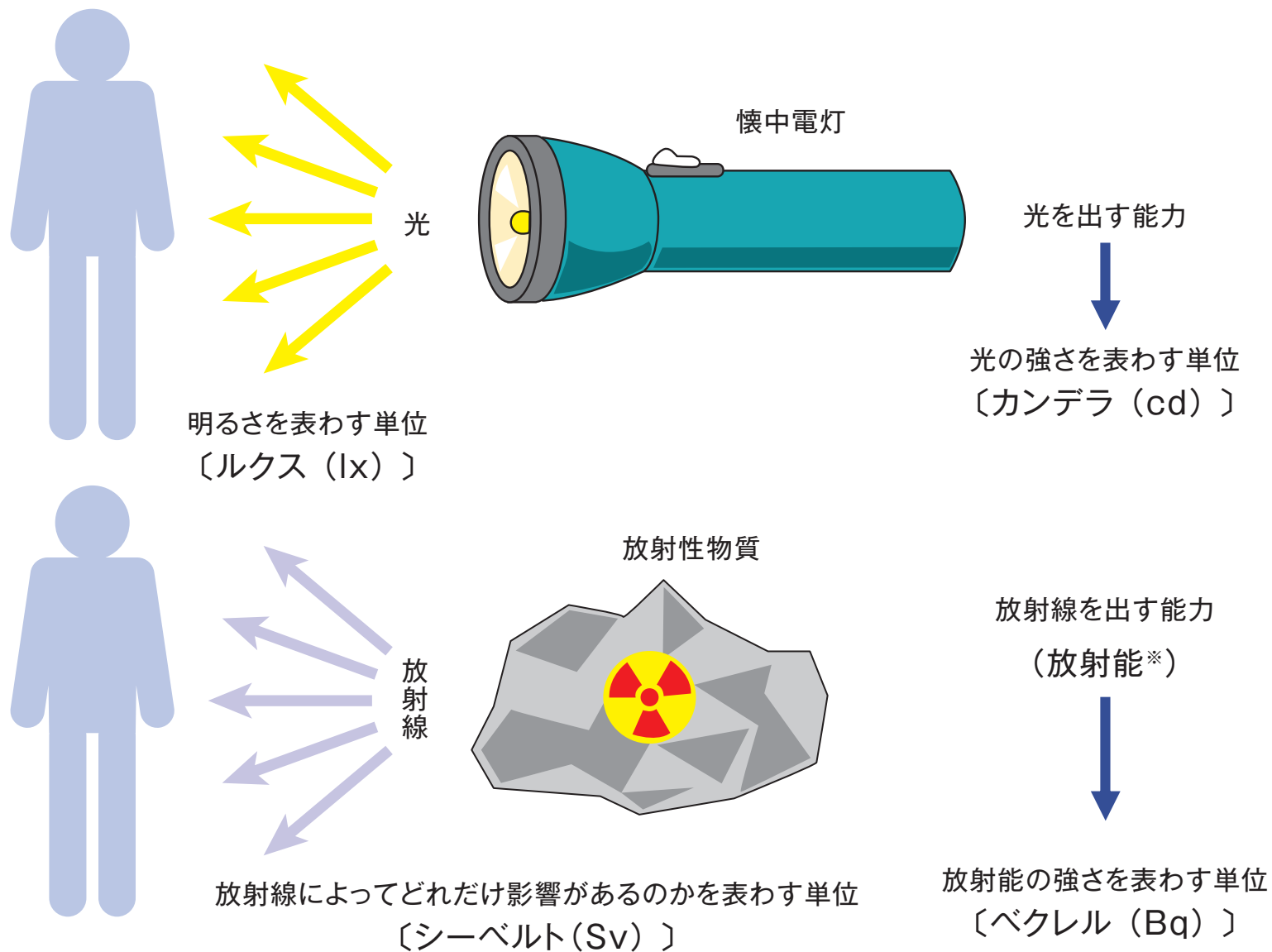


# 放射能と放射線

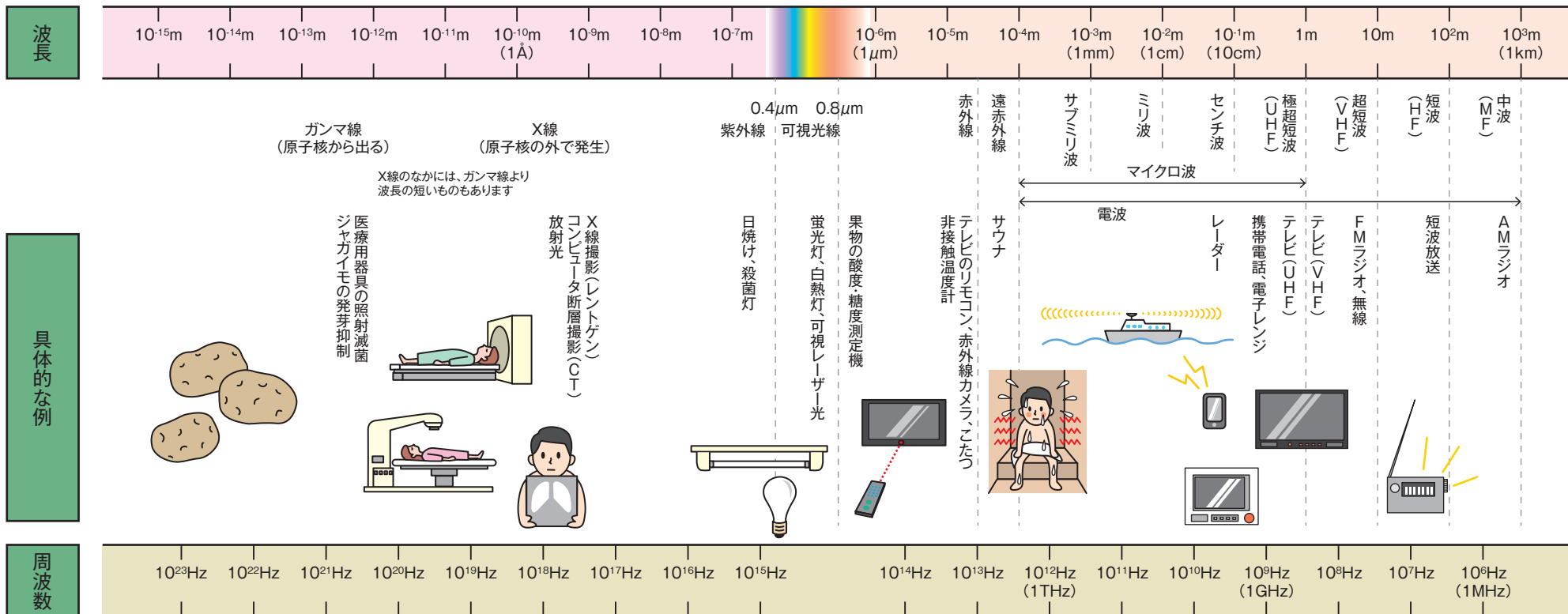


※放射能を持つ物質(放射性物質)のことを指して用いられる場合もある

# 放射線に関する単位

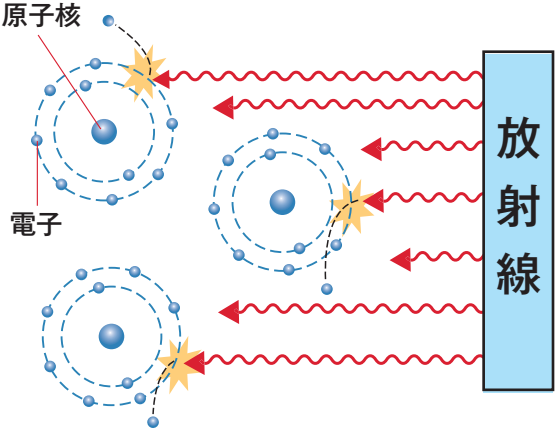
名 称	単 位 名 (記 号)	定 義
放射能の単位 国際単位系 (SI)		
放射能	ベクレル (Bq)	1秒間に原子核が壊変する数を表す単位
放射線量の単位 国際単位系 (SI)		
吸収線量	グレイ (Gy)	放射線が物や人に当たったときに、どれくらいのエネルギーを与えたのかを表す単位 1グレイは1キログラムあたり1ジュールのエネルギー吸収があったときの線量
線 量	シーベルト (Sv)	放射線が人に対して、がんや遺伝性影響のリスクをどれくらい与えるのかを評価するための単位 (1シーベルト=1000ミリシーベルト)
エネルギーの単位 国際単位系 (SI)		
エネルギー	ジュール (J)	放射線等のエネルギーを表す単位 (1J=6.2×10 <sup>18</sup> eV)

# 電磁波の仲間

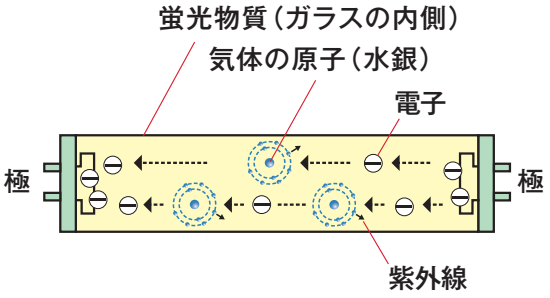


# 放射線の性質

## 電離作用

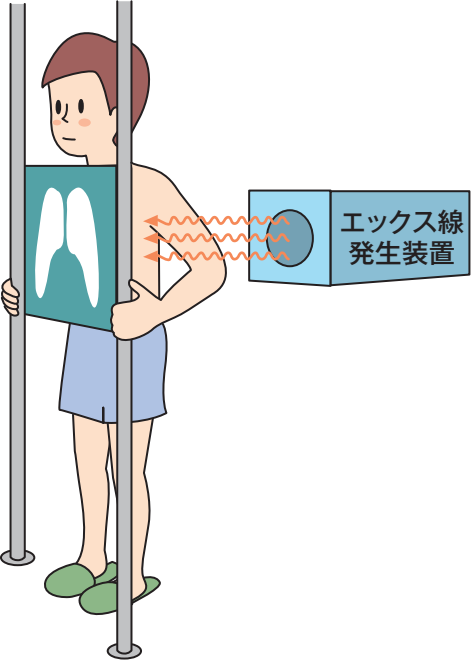


## 蛍光作用

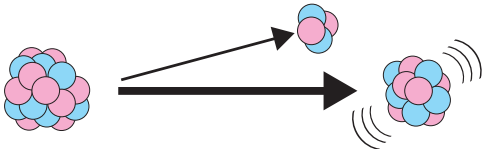
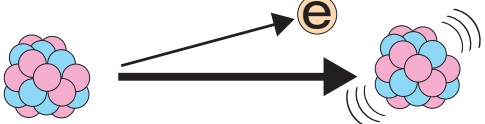



**蛍光灯の仕組み**  
管の両端に電圧が加わると、極から極に電子が流れます。電子が管に封入された水銀に衝突すると、紫外線が発生します。紫外線は蛍光物質を光らせます。

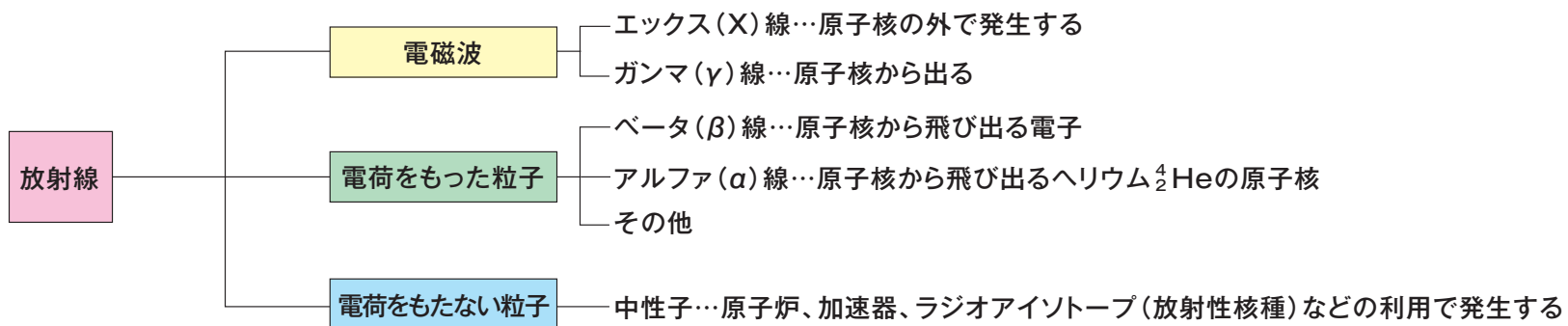
## 透過



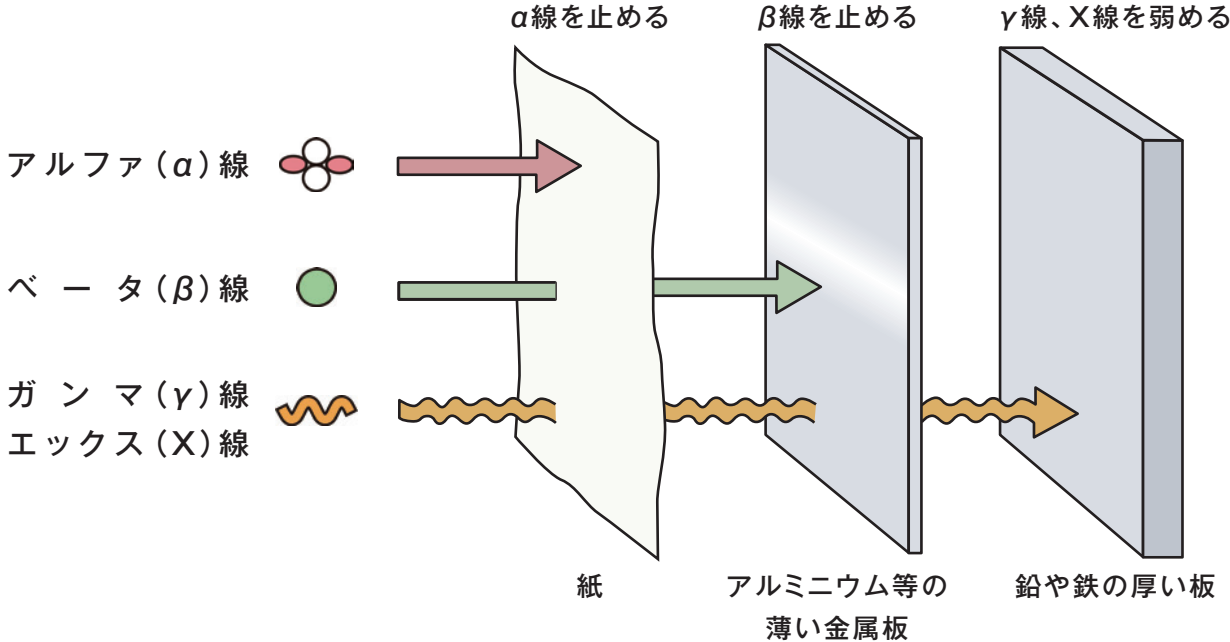
# 放射線の種類

<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>ガンマ線 (電磁波)</p>	

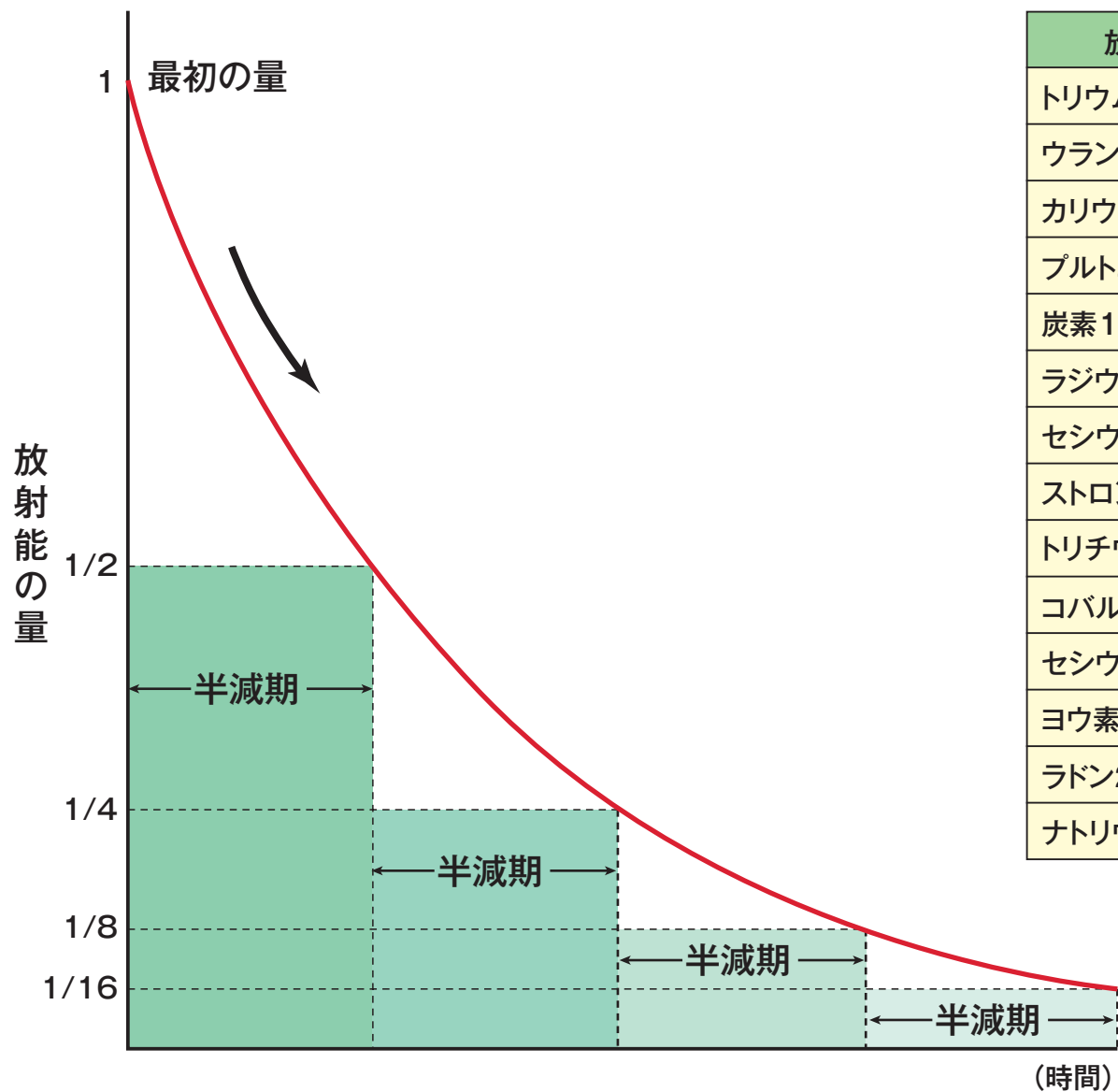
● 陽子 ● 中性子



# 放射線の種類と透過力



# 放射能の減り方



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	$\beta$	5,700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	$\beta$	28.8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

# 日常生活と放射線



私たちは  
毎日の暮らしの中で  
いろいろな放射線を受け  
ている



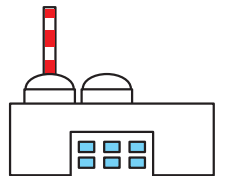
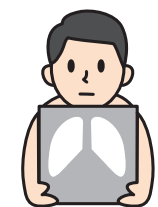
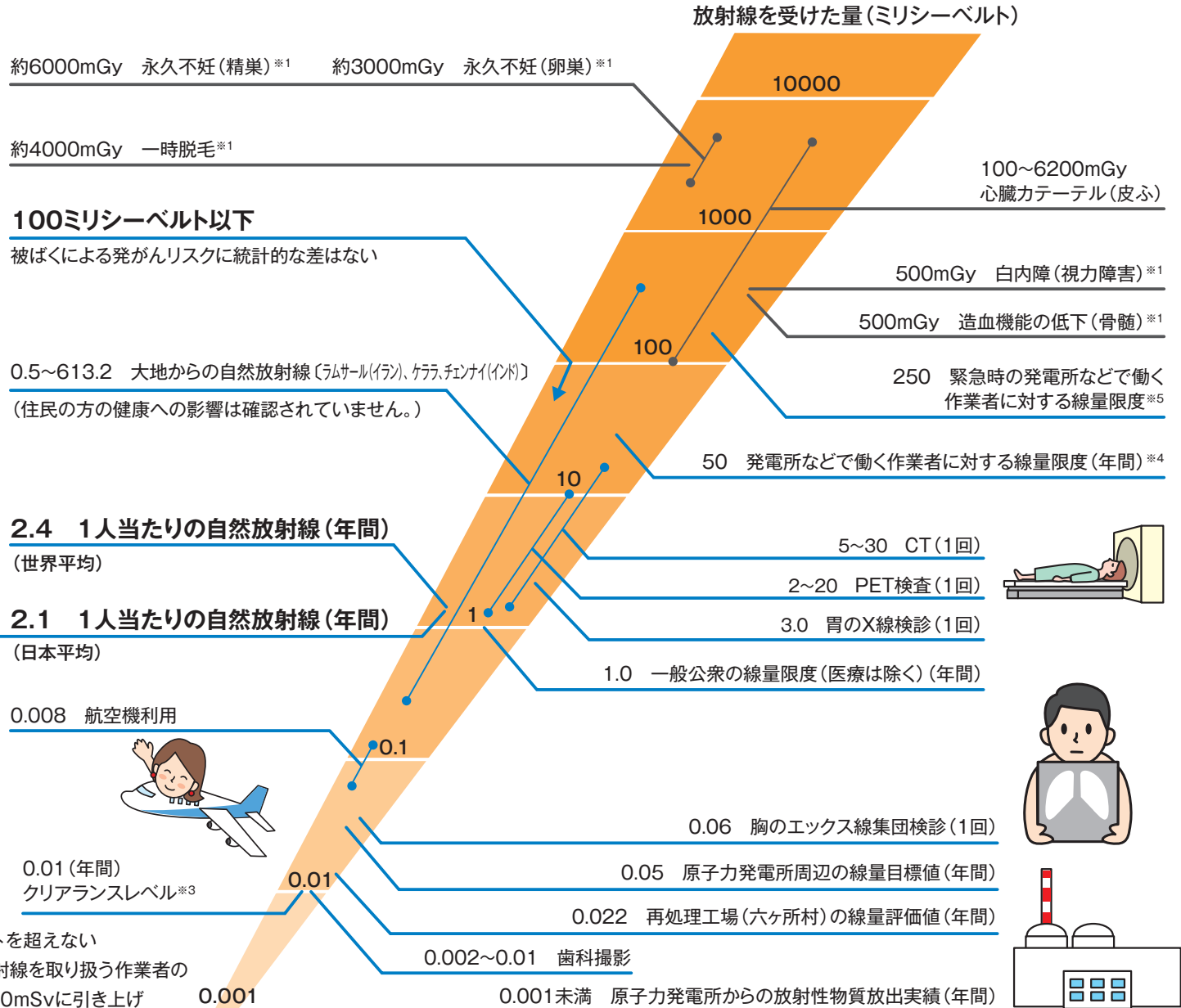
※1 放射線障害については、各部位が均等に吸収線量1ミリグレイのガンマ線を全身に受けた場合、実効線量1ミリシーベルトに相当するものとして表記

※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

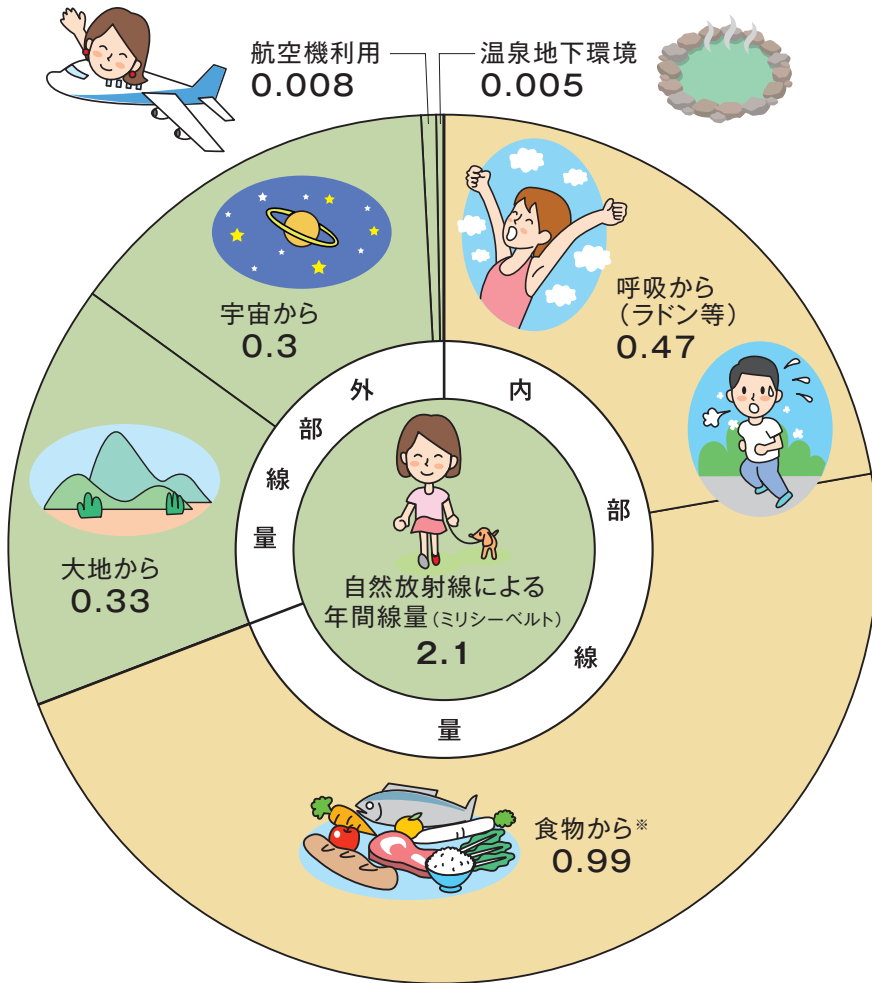
※5 電離放射線障害防止規制等の改正により、緊急時の放射線を取り扱う作業員の緊急作業従事期間中の線量限度を2016年4月より250mSvに引き上げ



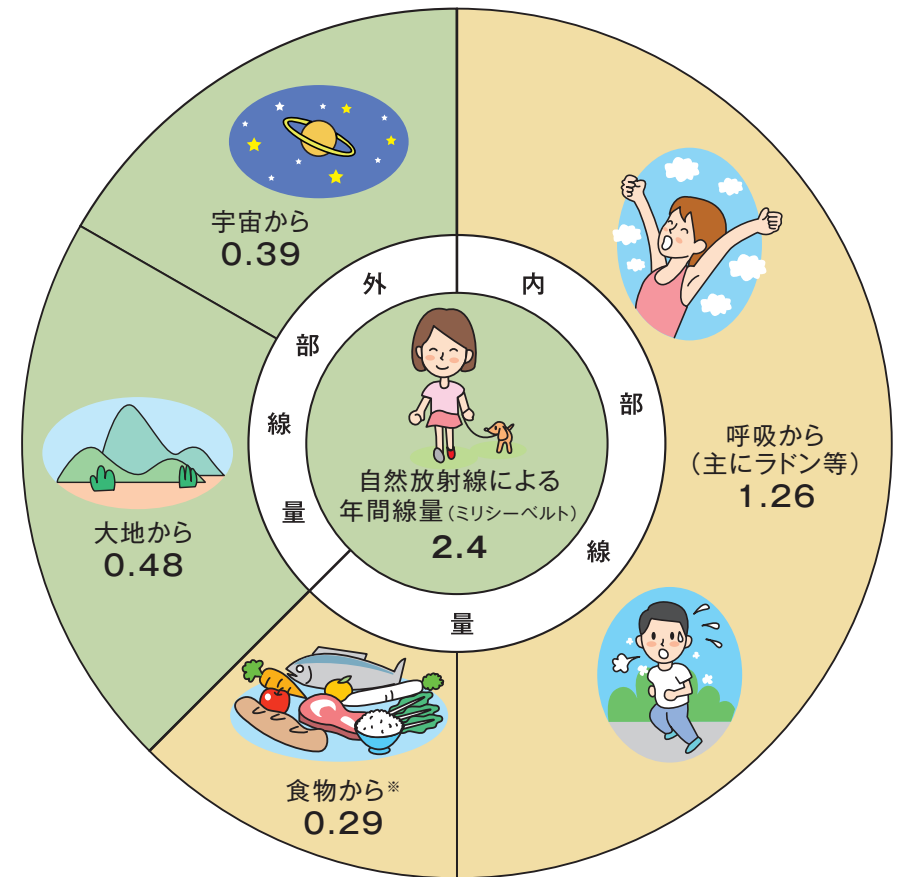


# 自然放射線から受ける線量

一人あたりの年間線量(日本平均)

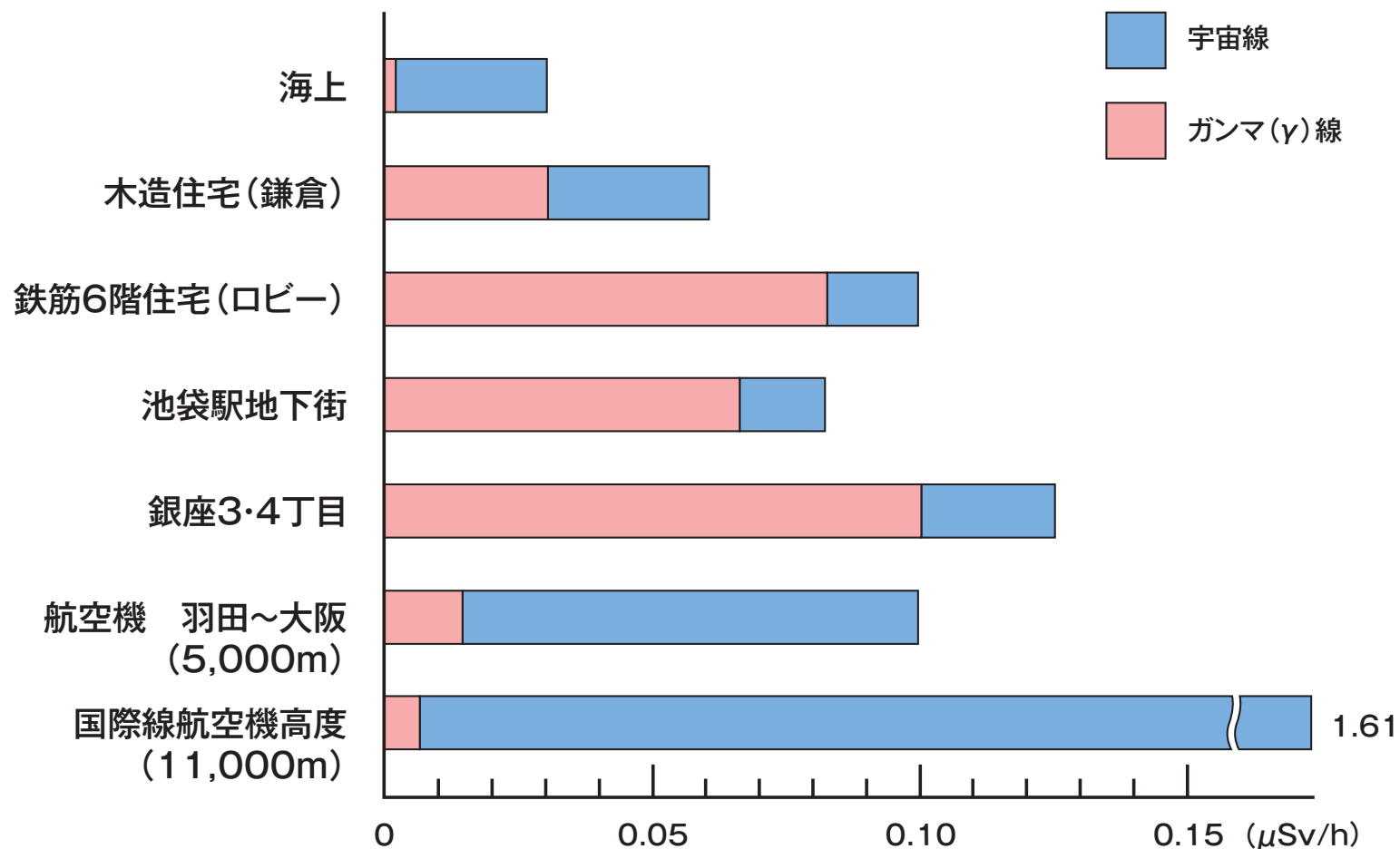


一人あたりの年間線量(世界平均)



※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

# 自然放射線レベルの違い

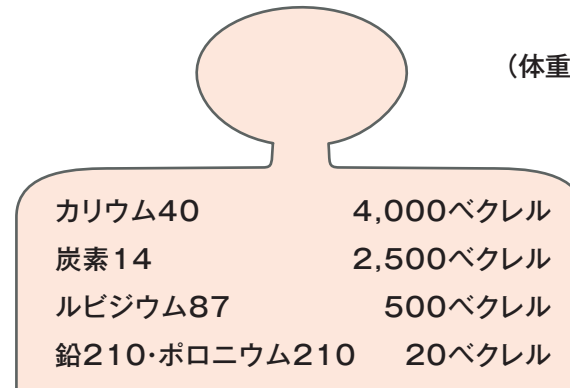


※ $1\mu\text{Sv}=1/1000\text{ mSv}$   
 $1\mu\text{Sv/h}=365\text{日}\times 24\text{時間}\times 1/1000=8.76\text{ mSv/年}$

# 体内、食物中の自然放射性物質

## ●体内の放射性物質の量

(体重60キログラムの日本人の場合)

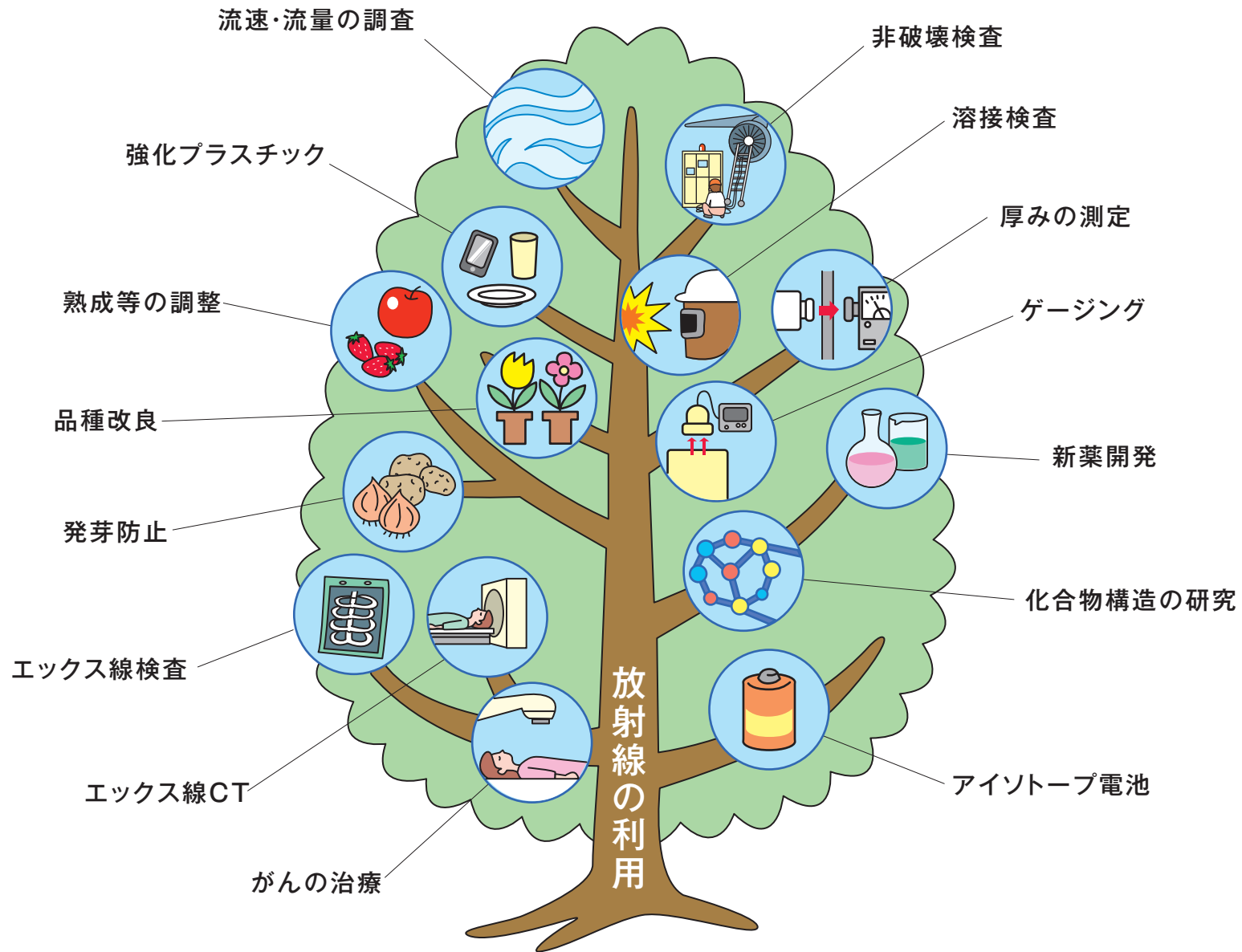


## ●食物中のカリウム40の放射性物質の量(日本)

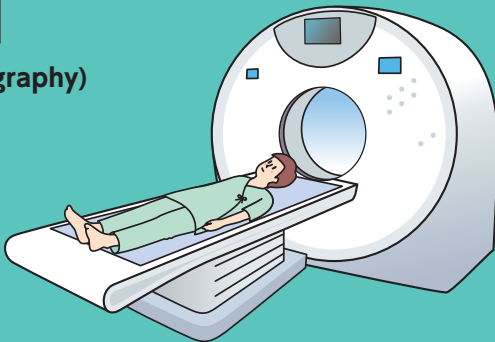
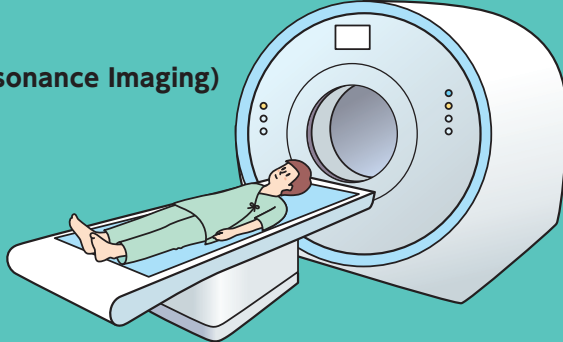
(単位:ベクレル/キログラム)



# 放射線のいろいろな利用



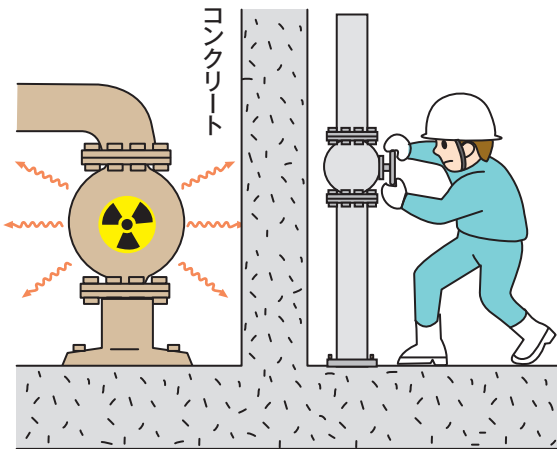
# 医療用検査 X線CTとMRIの違い

	<h2>X線CT</h2> <p>(Computed Tomography)</p> 	<h2>MRI</h2> <p>(Magnetic Resonance Imaging)</p> 
仕組み	放射線 (X線) を利用	磁力と電波を利用
時間と患者の動き	検査時間は短い (1部位:10分程度)	検査時間は長く (1部位:20分~60分程度)、患者の動きに弱い
音	小さい	大きい
放射線被ばく	ある	ない
組織のコントラスト	MRIに劣る部位がある	非常に鮮明
細かい描写	可能 (MRIより優れる)	可能
骨に囲まれた部位	画像の乱れが多い	画像の乱れが少ない
出血の状態の撮影	可能	可能 (X線CTより優れる)
血管の状態の撮影	不可能 (造影剤を用いることで可能)	可能
体内に金属がある場合	撮影可能 (ペースメーカー等機器の場合は、撮影できないことがある)	撮影できない (体内にある金属が磁石に反応しない場合は、撮影できることがある)

# 放射線防護の基本

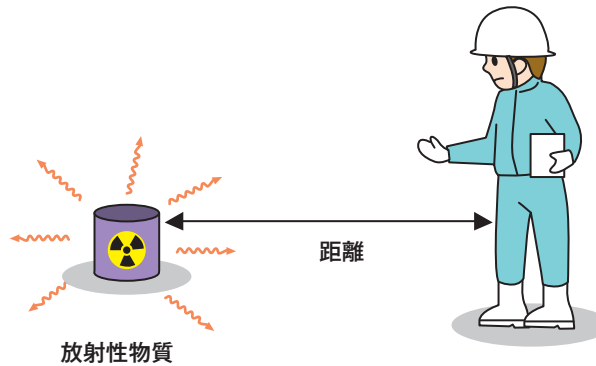
## 1. 遮へいによる防護

(線量率) = 遮へい体が厚い程低下



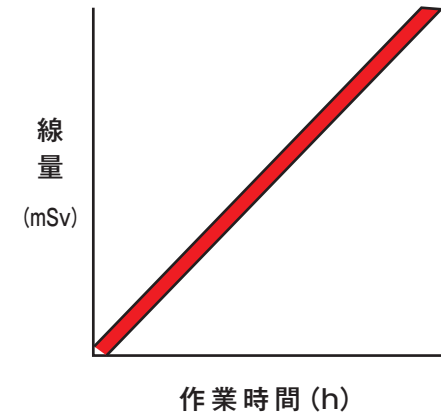
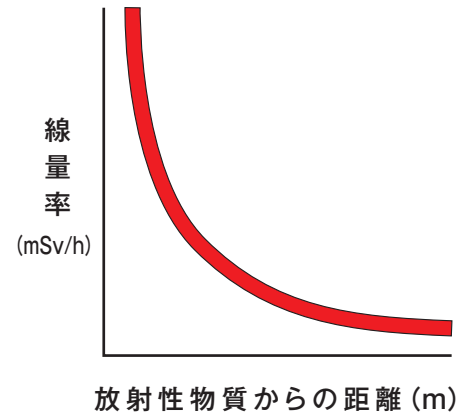
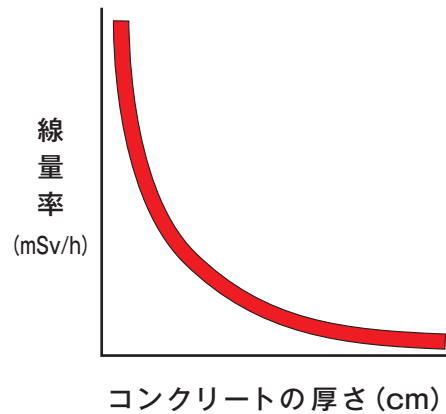
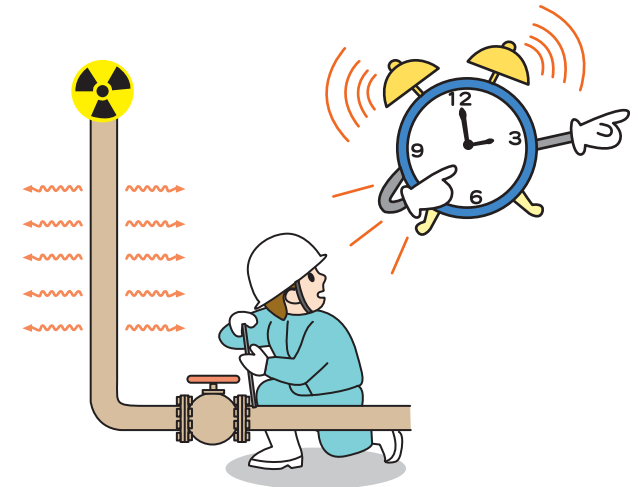
## 2. 距離による防護

(線量率) = 距離の二乗に反比例

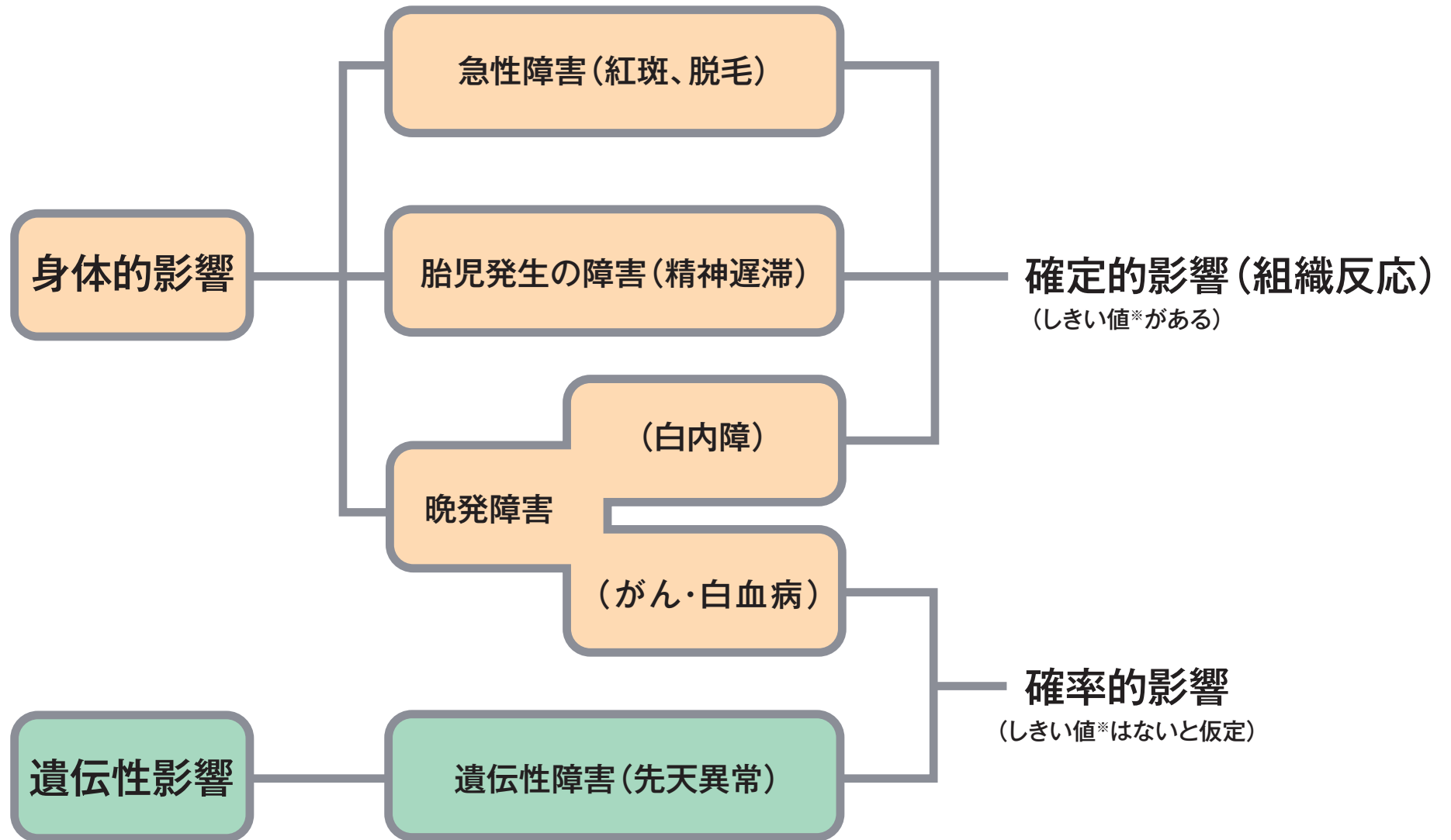


## 3. 時間による防護

(線量) = (作業場所の線量率) × (作業時間)



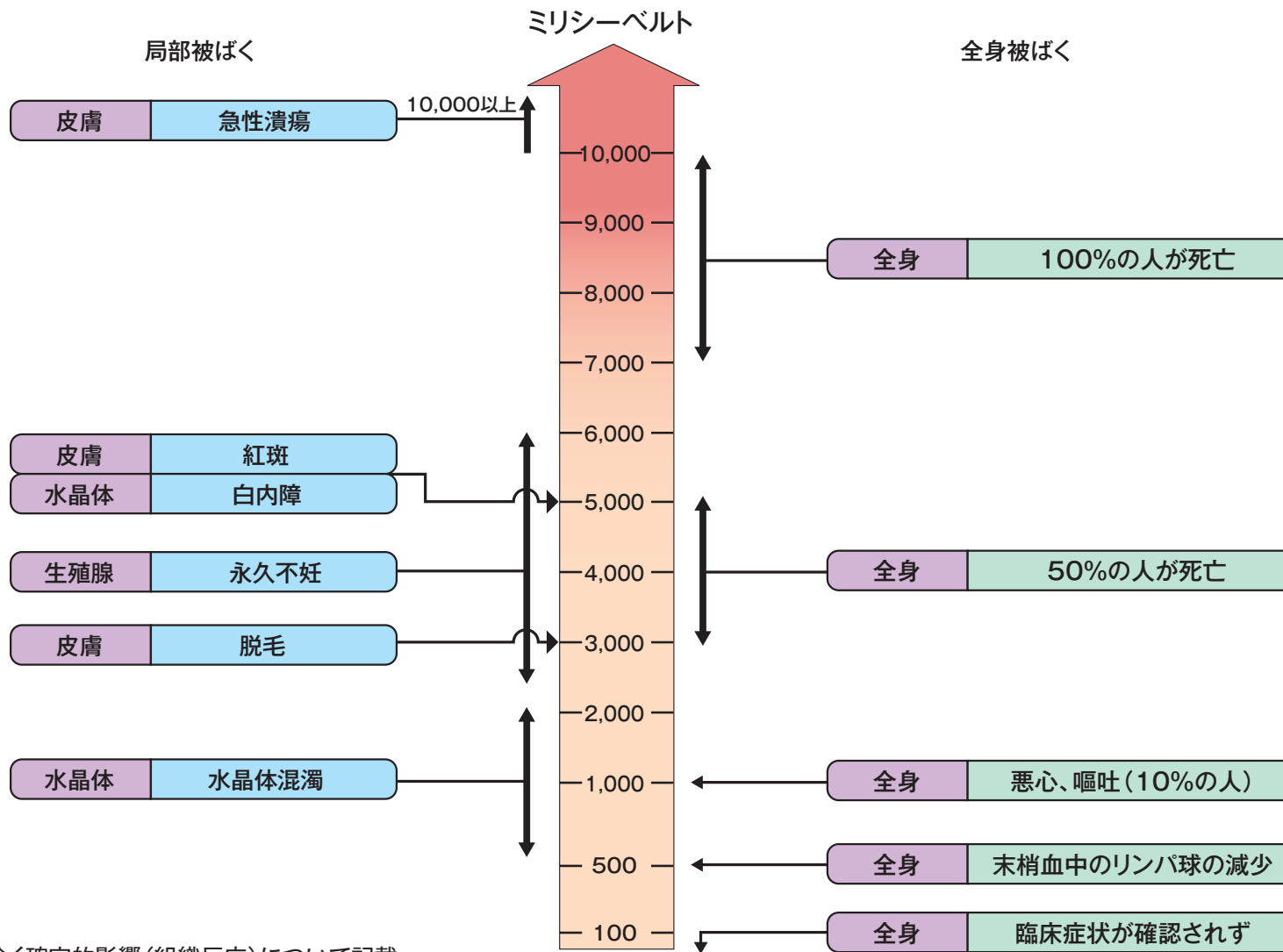
# 放射線の人体への影響



※しきい値:ある作用が反応を起こすか起こさないかの境の値のこと

# 放射線を一度に受けたときの症状

凡例 部位 症状



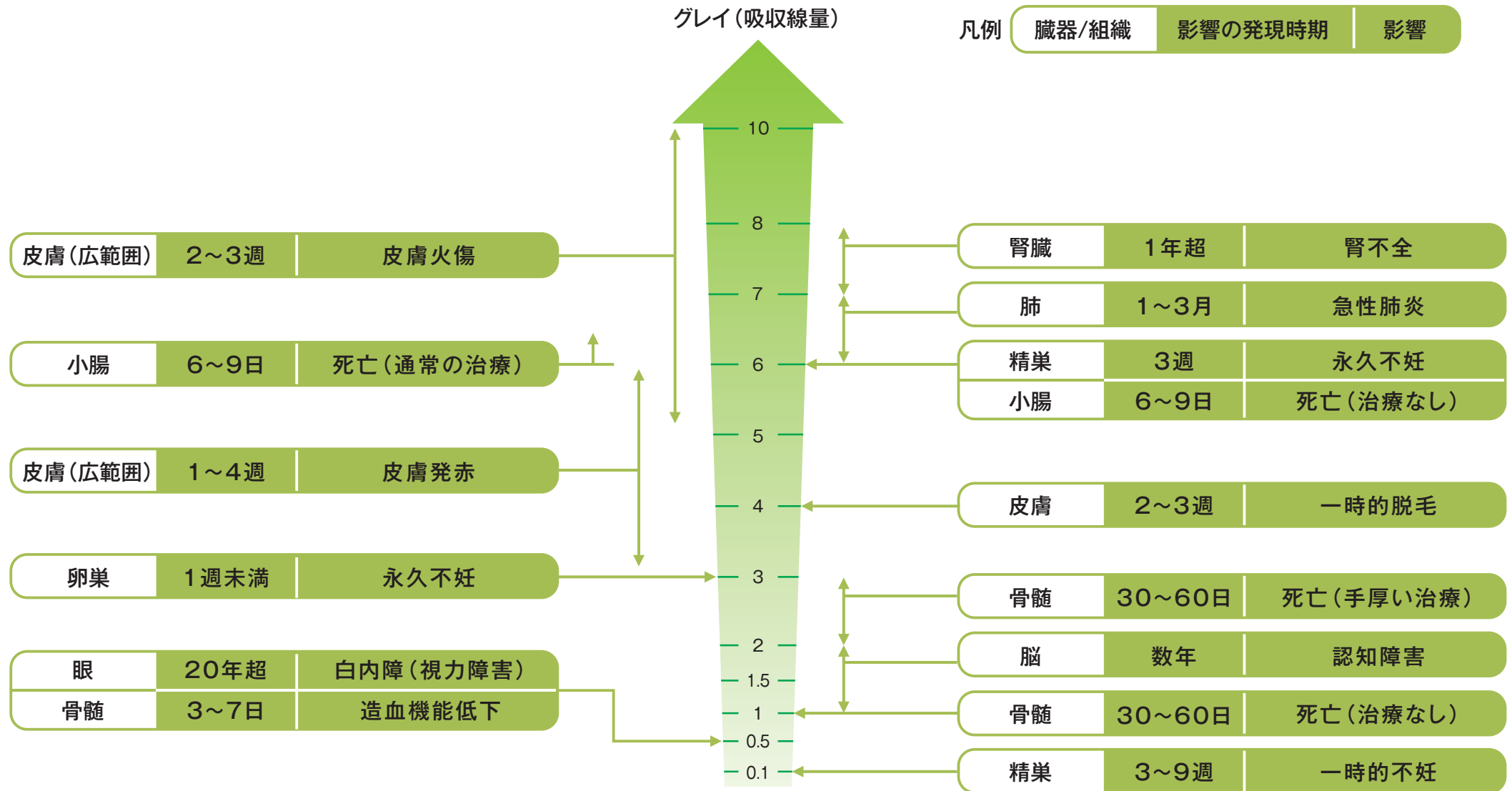
(注1) がんや遺伝性影響を除く確定的影響(組織反応)について記載

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



# 放射線を受けたときの人体への影響

ガンマ線急性被ばく後の主な罹病の1%発生率と死亡に対するしきい値※



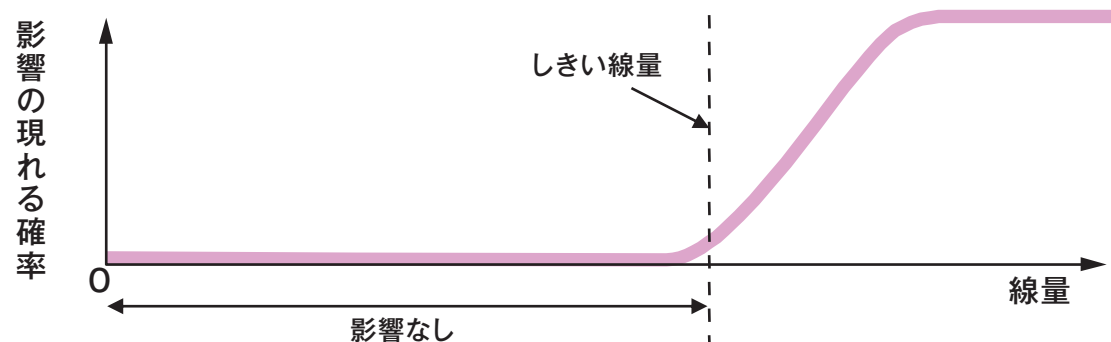
※しきい値:ある作用が反応を起こすか起こさないかの境の値のこと

# 放射線防護の考え方

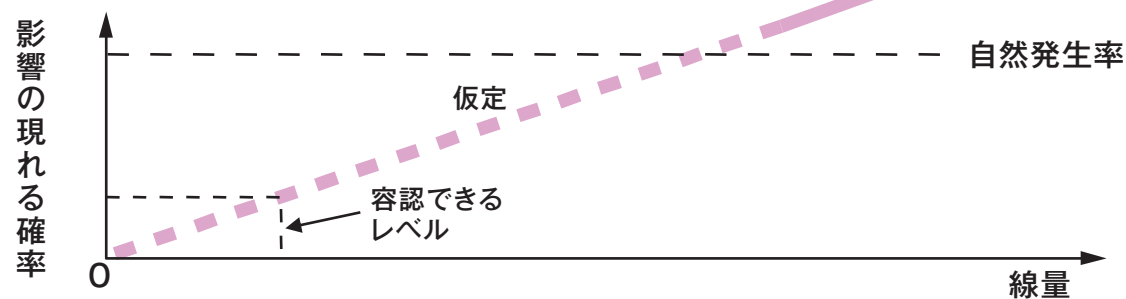
確定的影響（組織反応）は、しきい線量※以下に抑えることで影響をなくす。

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〕

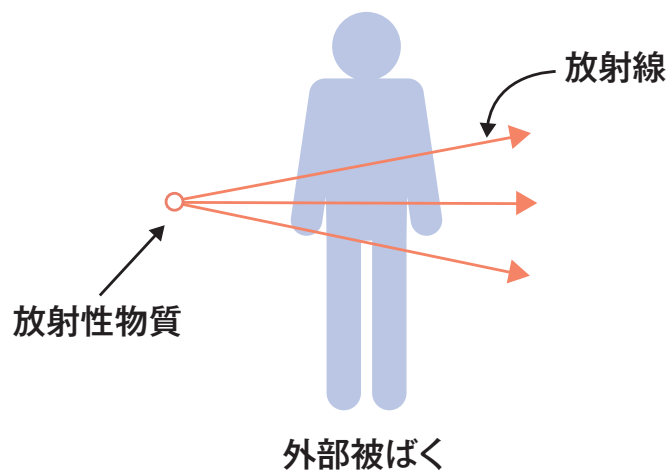


※しきい線量：ある作用が反応を起こすか起こさないかの境の値のこと

# 被ばくと汚染の違い

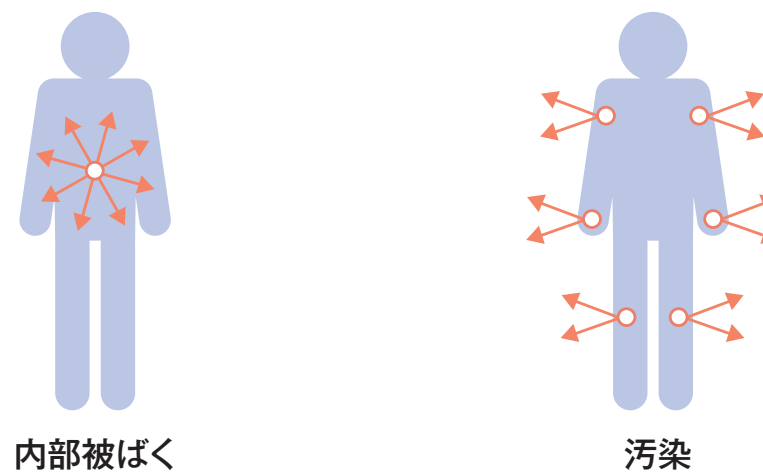
## 被ばく

放射線を受けること



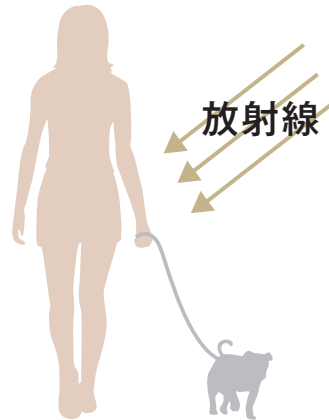
## 汚染

放射性物質が皮膚や衣服に付着した状態



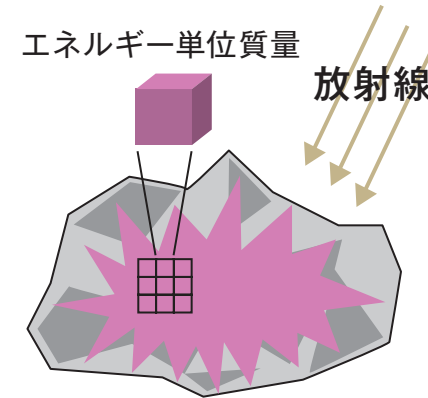
# グレイとシーベルトの関係

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



シーベルト (Sv)

放射線が人に対して、がんや遺伝性影響のリスクをどれくらい与えるのかを評価するための単位  
(1シーベルト=1000ミリシーベルト)



グレイ (Gy)

放射線が物や人に当たったときに、どれくらいのエネルギーを与えたのかを表す単位  
1グレイは1キログラムあたり1ジュールのエネルギー吸収があったときの線量

## ◆放射線加重係数

放射線の種類	放射線加重係数
光子(ガンマ線、エックス線)	1
電子(ベータ線)	1
陽子	2
アルファ粒子、核分裂片、重い原子核	20
中性子線	2.5 ~ 20 (エネルギーの連続関数で設定)

## ◆組織加重係数

組織・臓器	組織加重係数	組織・臓器	組織加重係数
乳房	0.12	食道	0.04
赤色骨髄	0.12	甲状腺	0.04
結腸	0.12	唾液腺	0.01
肺	0.12	皮膚	0.01
胃	0.12	骨表面	0.01
生殖腺	0.08	脳	0.01
膀胱	0.04	残りの組織・臓器	0.12
肝臓	0.04		

※1 放射線の種類による影響の違いを表す  
※2 臓器等の組織別の影響の受けやすさを表す

# 内部被ばく線量（預託線量）への換算方法

預託線量  
(mSv)

=

飲食物摂取量  
(kg/日)

×

摂取日数  
(日)

×

実効線量係数  
(mSv/Bq)

×

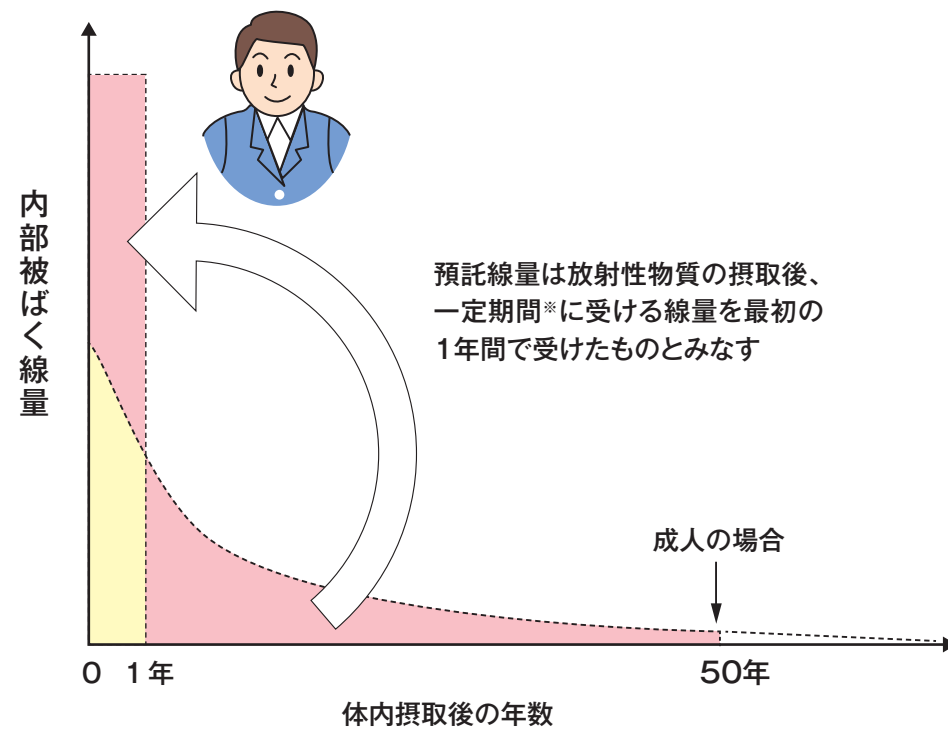
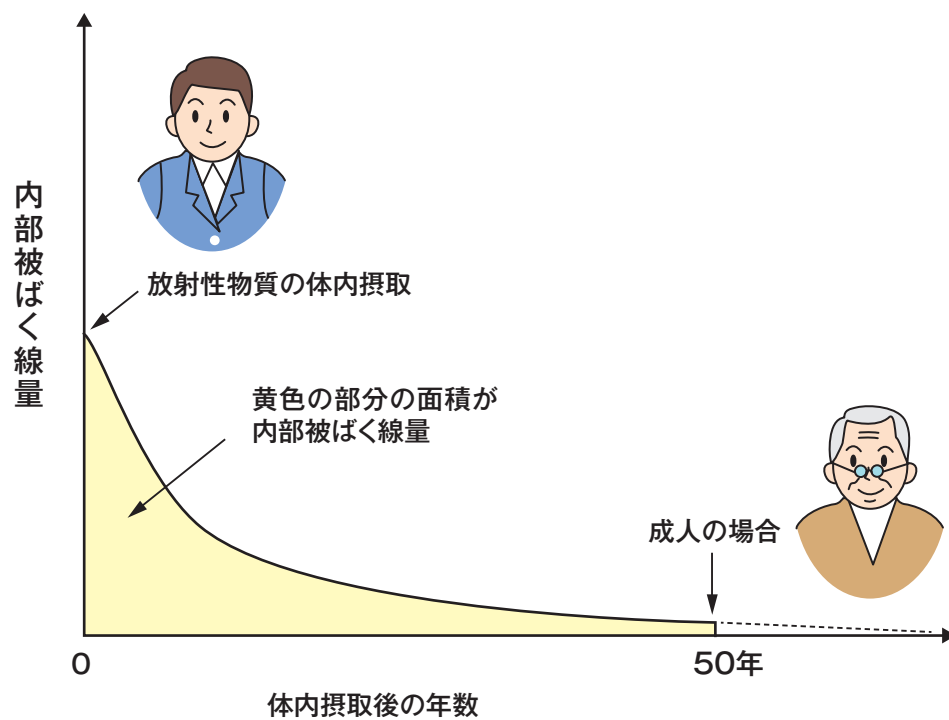
放射性核種の濃度  
(Bq/kg)

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	29.1年	$2.8 \times 10^{-5}$	$1.6 \times 10^{-4}$
トリチウム*	12.3年	$4.2 \times 10^{-8}$	$2.6 \times 10^{-7}$

※トリチウムの実効線量係数は、生体に吸収されやすく生物学的半減期が長いため、線量評価上重要とされるOBT（有機結合型トリチウム）のものを示している

（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

# 内部被ばくの評価（預託線量の概念図）



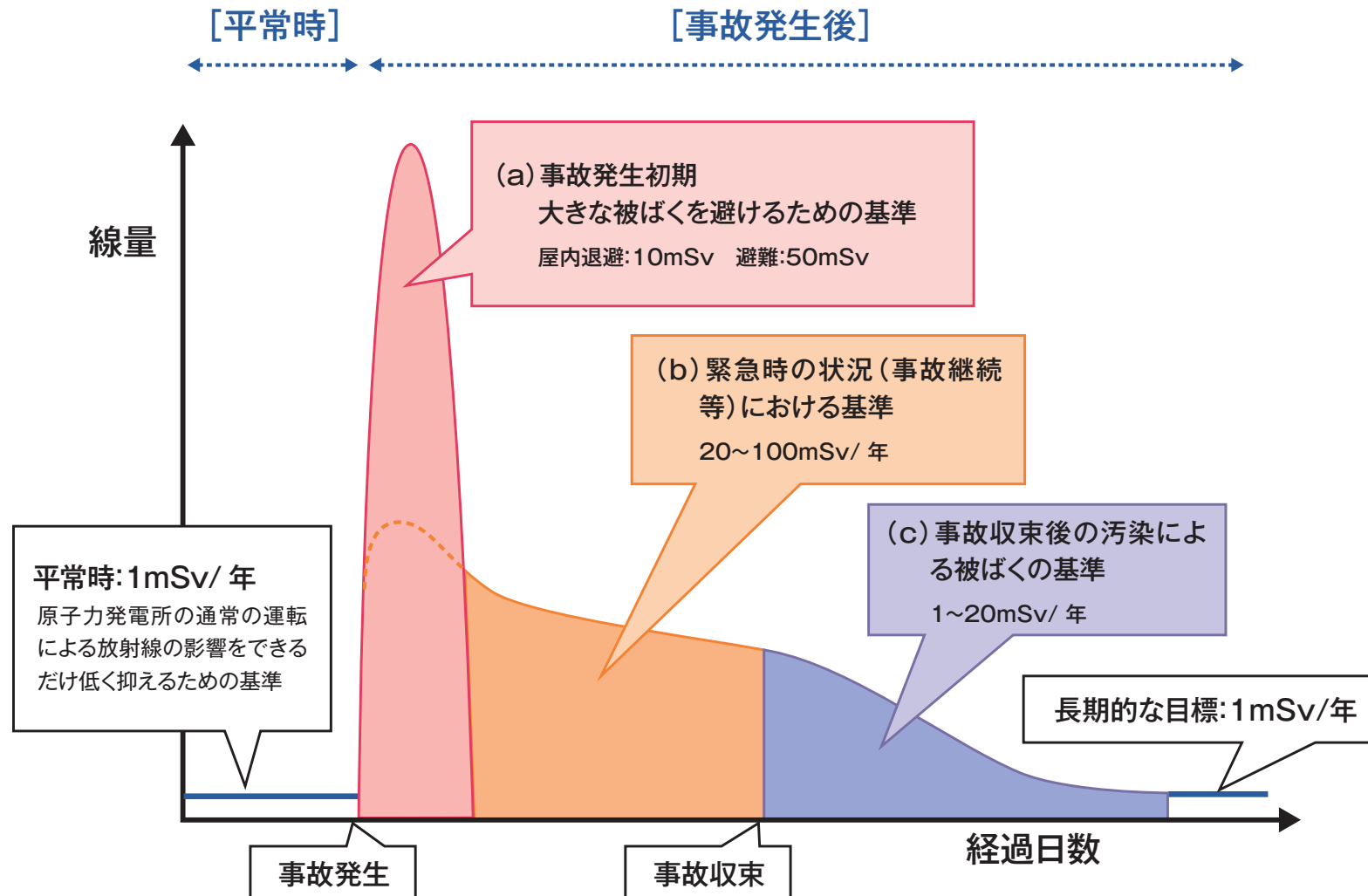
※成人:50年間、子供:取り込み時から70歳まで

# 食品基準値の国際比較

(単位:ベクレル / キログラム)

核種	各国			
	食品群	日本	米国	EU
放射性セシウム	乳児用食品	50	1,200	400
	牛乳	50		1,000
	飲料水	10		1,000
	一般食品	100		1,250
食品基準値の考え方		被ばく線量が年間1ミリシーベルト以内になるように設定。 一般食品は50%、飲料水と牛乳、乳児用食品は100%が汚染されていると仮定して算出。	被ばく線量が年間5ミリシーベルト以内になるように設定。 食品中の30%が汚染されていると仮定して算出。	被ばく線量が年間1ミリシーベルト以内になるように設定。 食品中の10%が汚染されていると仮定して算出。

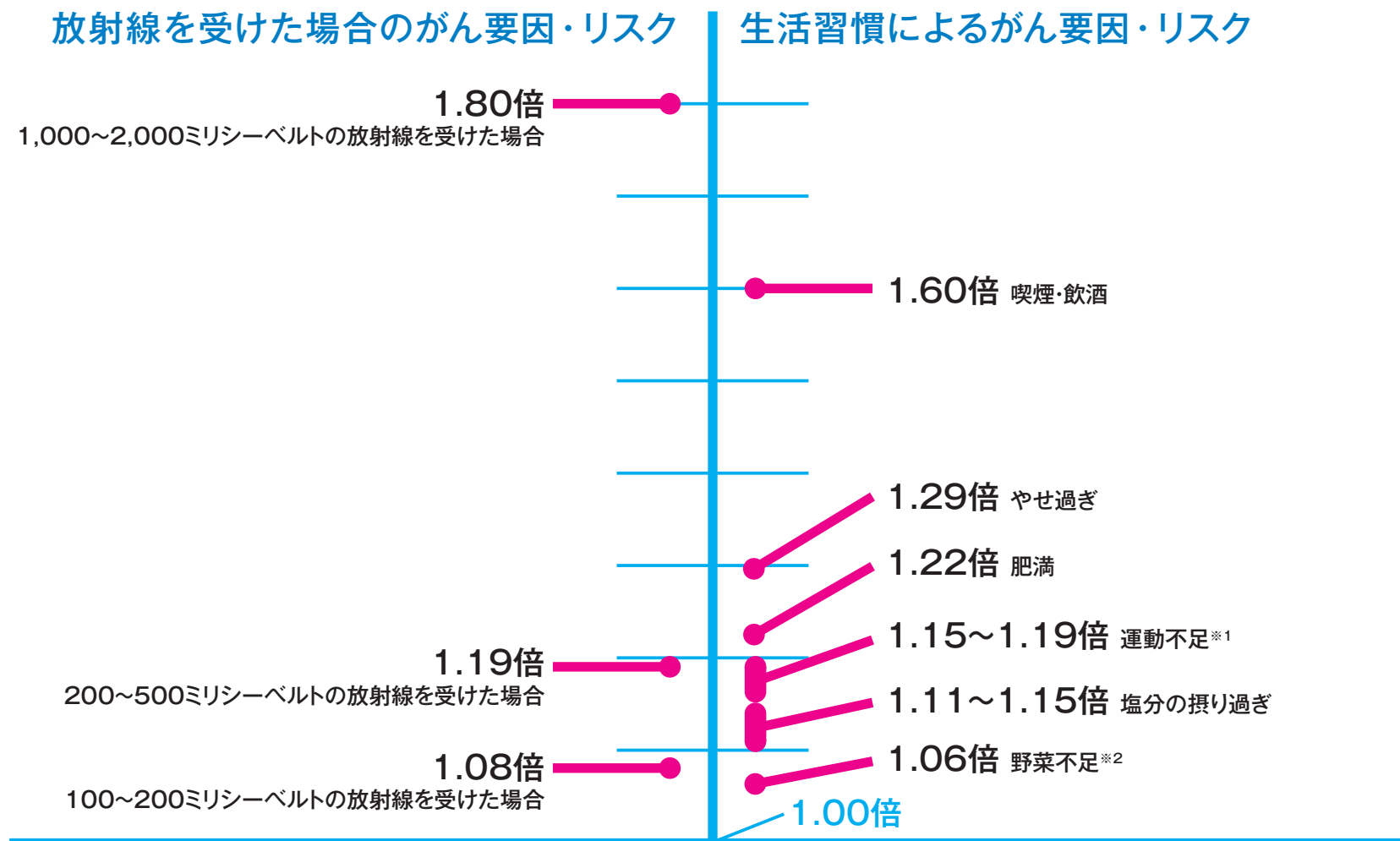
# 放射線防護における線量の基準の考え方





# 放射線と生活習慣によってがんになる相対リスク

(対象:40～69歳の日本人)

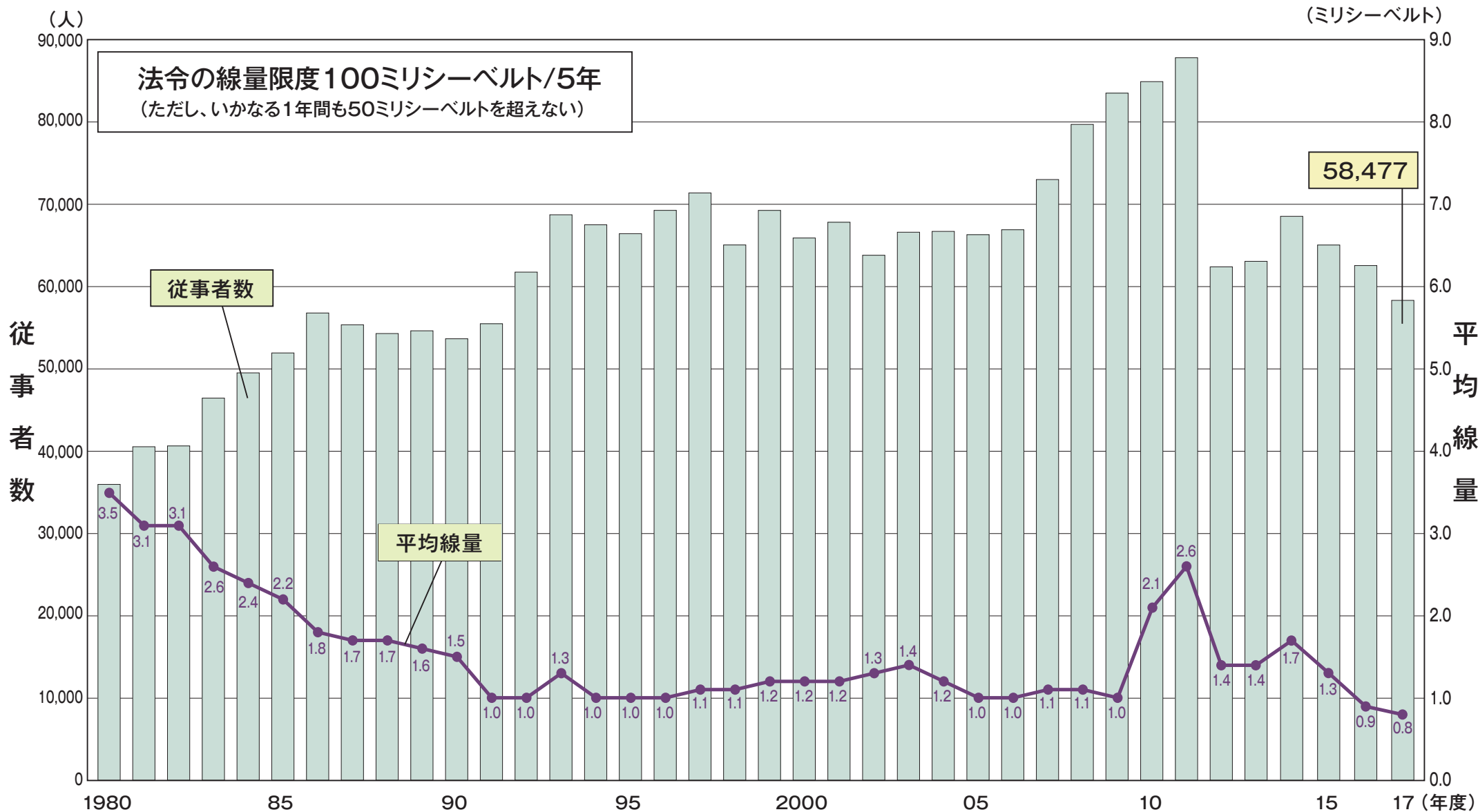


(注) 放射線は、広島・長崎の原爆による瞬間的な被ばくを分析したデータ(固形がんのみ)であり、長期にわたる被ばくの影響を観察したものではない

※1 運動不足:身体活動の量が非常に少ない

※2 野菜不足:野菜摂取量が非常に少ない

# 放射線業務従事者が受けている放射線量

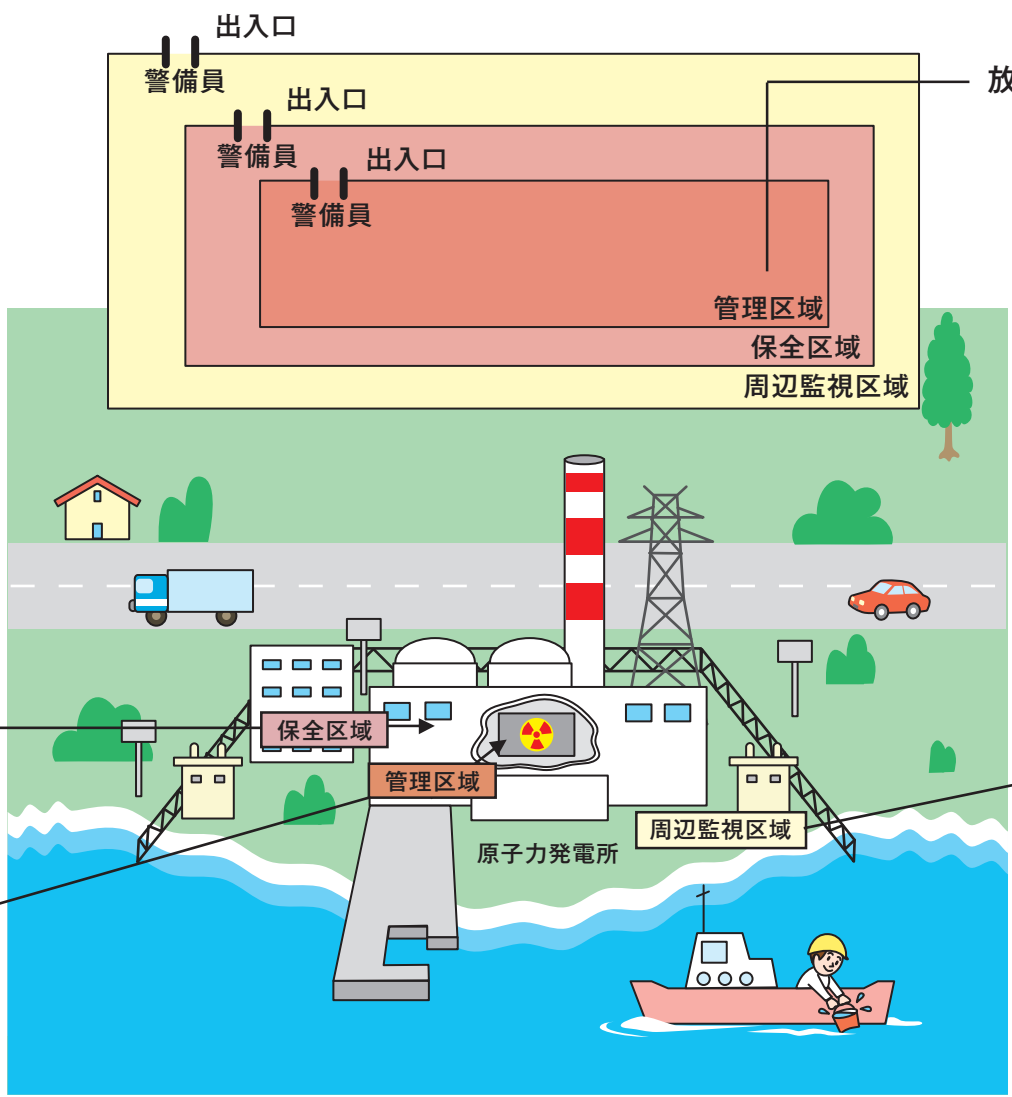


※実用発電用原子炉施設に関する放射線業務従事者

# 原子力発電所の区域区分

原子力発電所の保全のために、特に管理を必要とする場所で、管理区域以外の場所

原子力発電所において放射線、放射性物質による放射線障害を防止するため、人の立ち入りを制限している区域

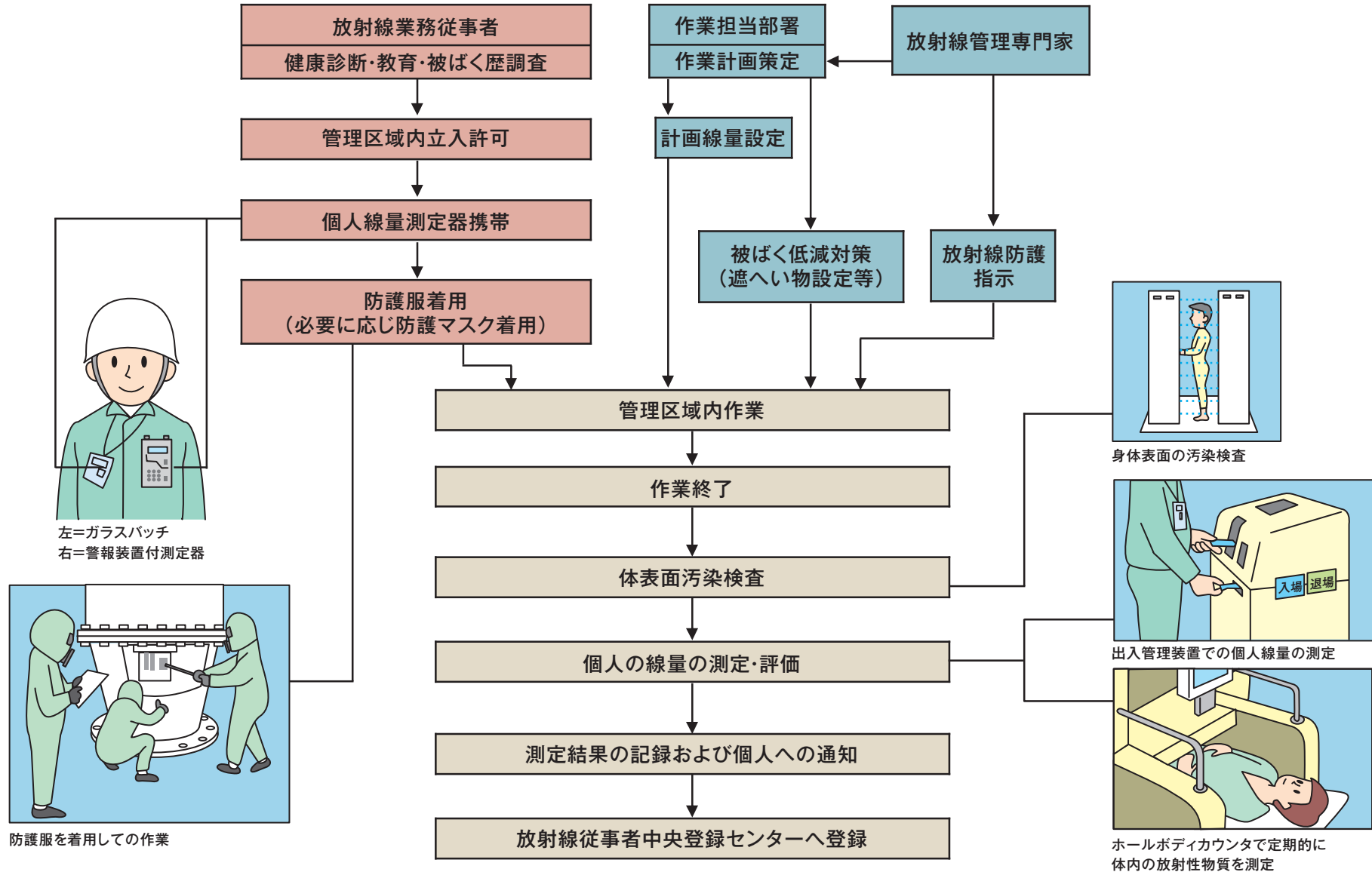


放射線や汚染の程度に応じ細区分

原子力施設に起因する一般公衆の被ばく線量が、法律に定められる値を超えないよう一般公衆の不要な立ち入りを制限する区域

# 放射線業務従事者の放射線管理

## 放射線管理の手順



# 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 100mSv/5年 <sup>※1</sup> 及び50mSv/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 <sup>※4</sup>	①100mSv ②250mSv	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

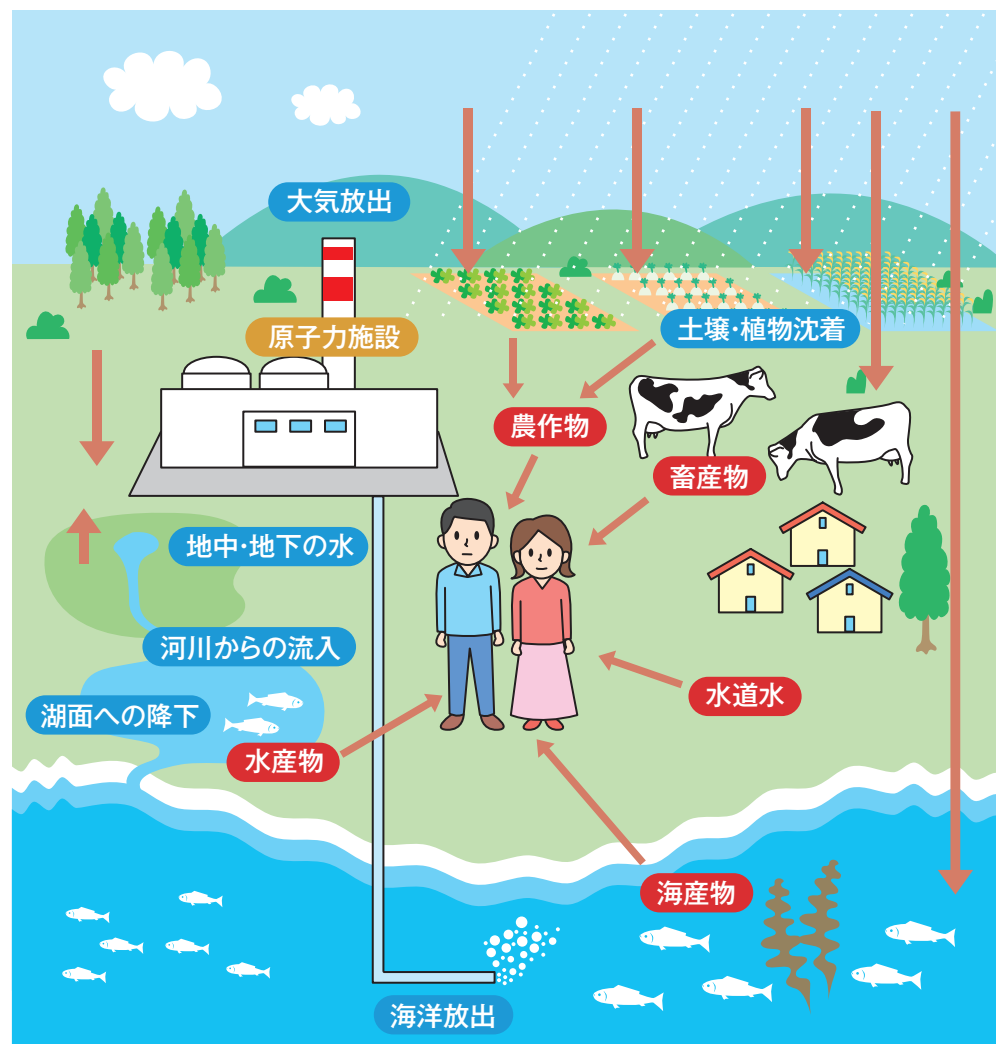
※2 4月1日を始期とする1年間

※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

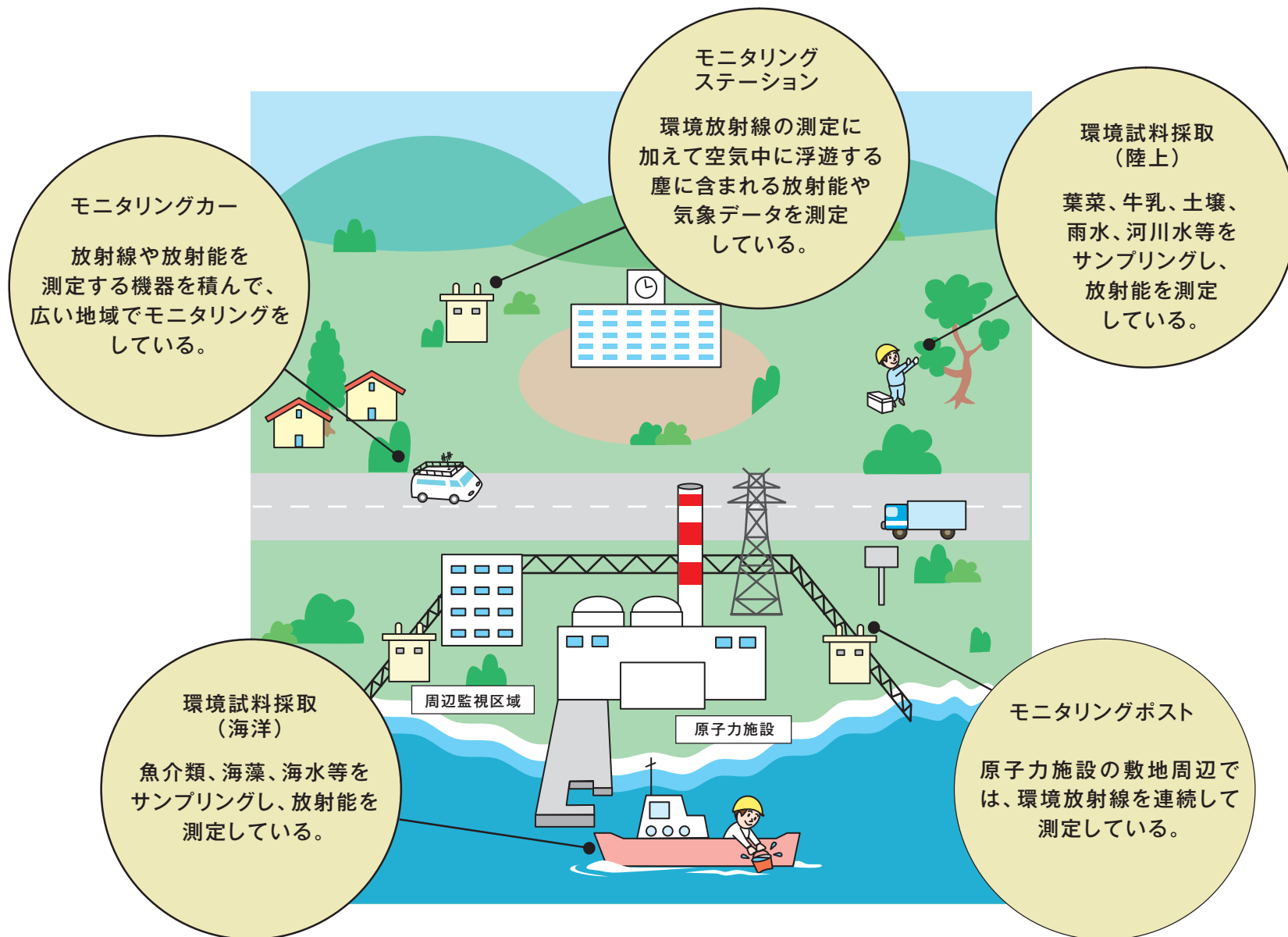
※4 ・原子力災害対策特別措置法の対象施設等における緊急作業への従事は、被ばくに関する情報提供を予め受けた上で、参加の意思を表明し、必要な訓練を受けた放射線業務従事者に限る  
・被ばく線量限度は、①従来の実効線量100mSvに加え、②放射性物質の敷地外等への放出の蓋然性が高い場合の実効線量250mSv、の2段階

※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)

# 放射性物質の環境における移行



# 原子力施設周辺の環境放射線モニタリング



# 環境放射線モニタリング(例)



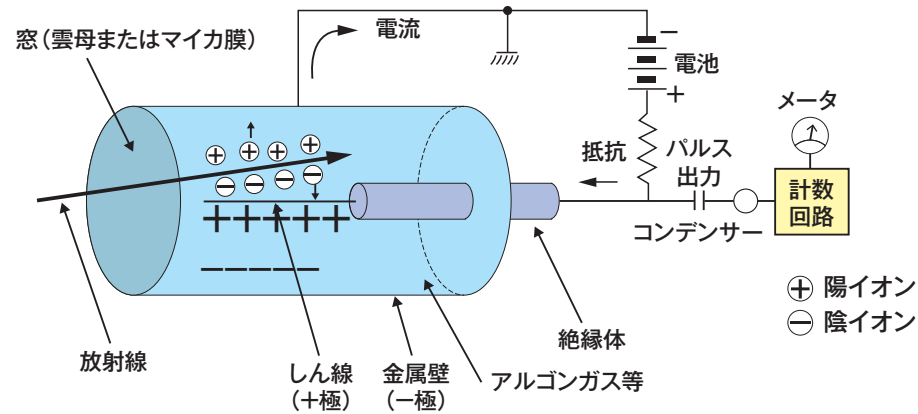
- モニタリングポストおよびTLDポスト
- TLD\*ポスト
- ★ 気象観測所
- △ 海水放射能モニタ
- モニタリングステーション

※TLD: 熱ルミネッセンス線量計  
放射線が当たった後に熱を加えると光を発する物質がある。これを放射線の測定に応用した線量計。

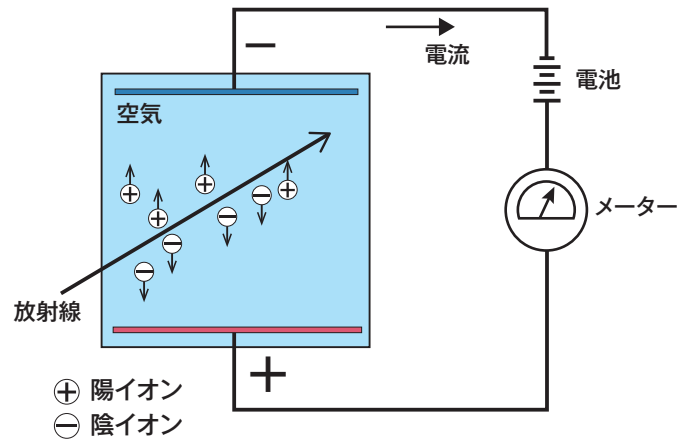


# 放射線計測器の測定原理

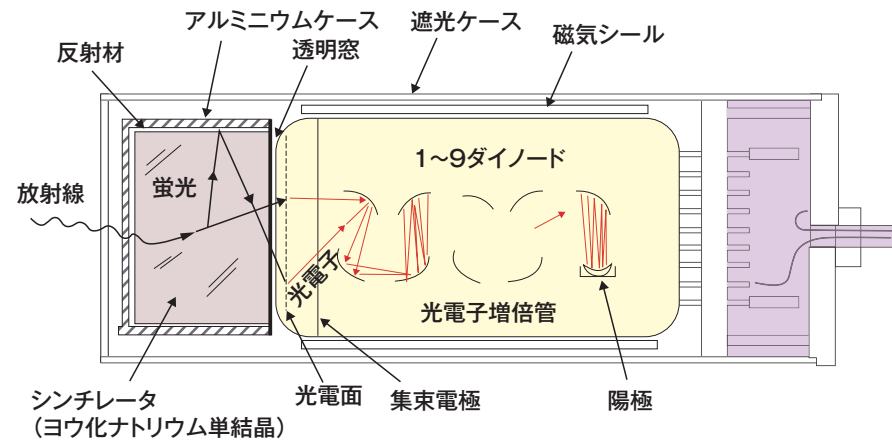
## GM計数管



## 電離箱



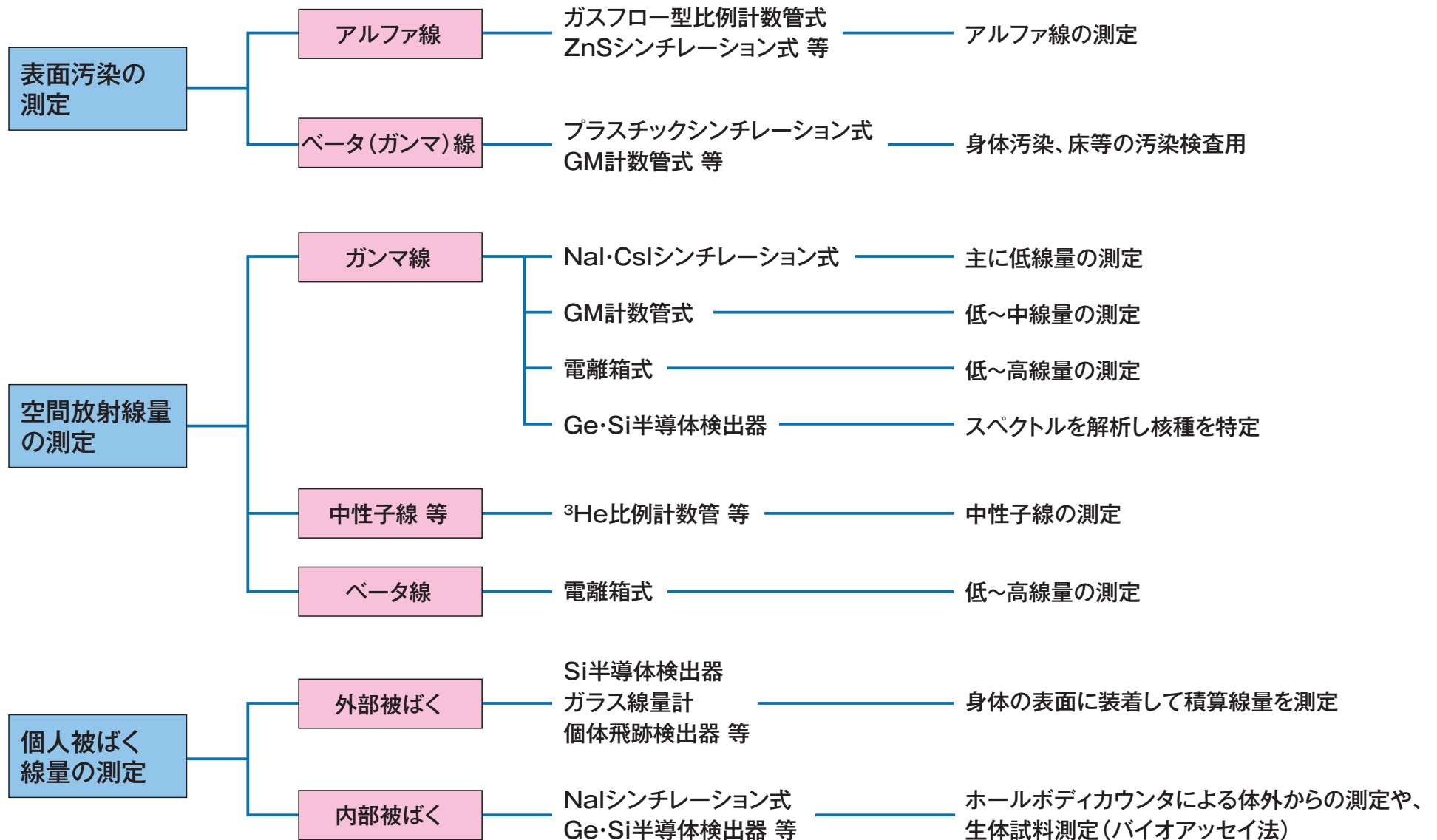
## シンチレーション検出器



(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

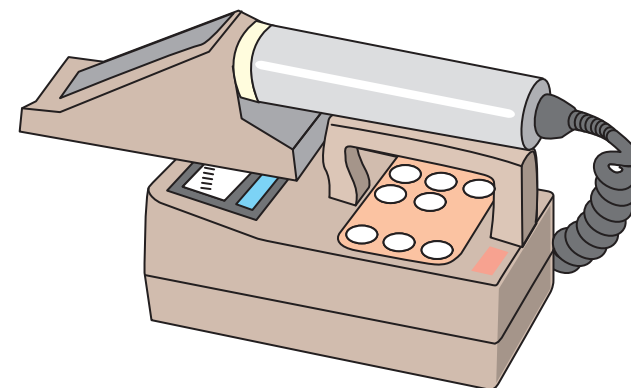
# 放射線測定の種類



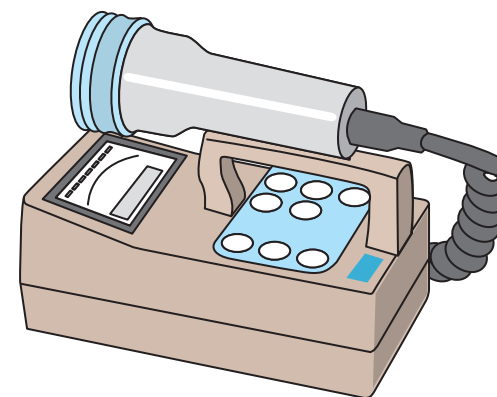
# 表面汚染の測定



スクリーニング検査



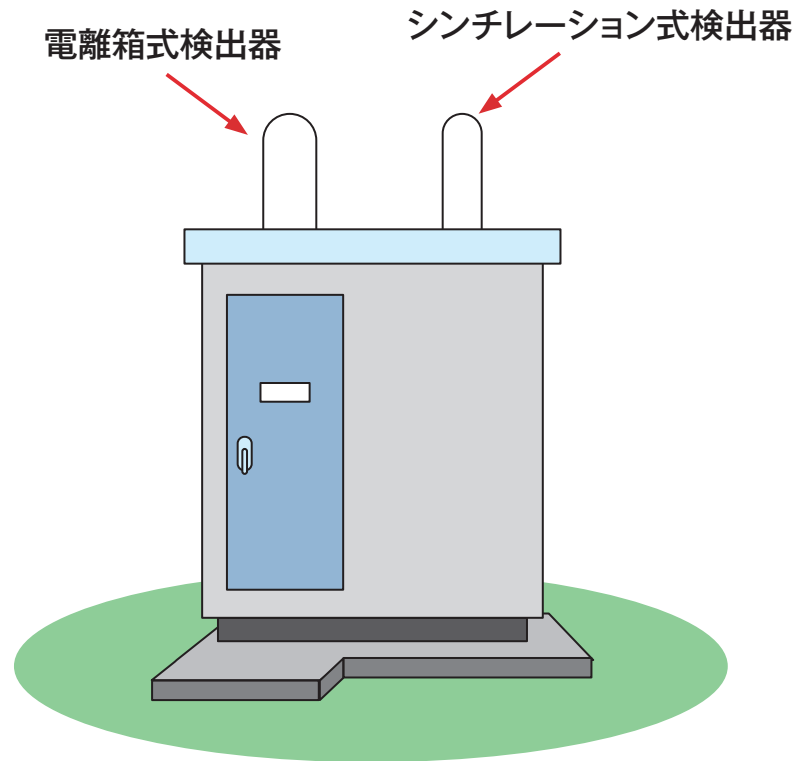
ZnS シンチレーション式  
(アルファ線の測定)



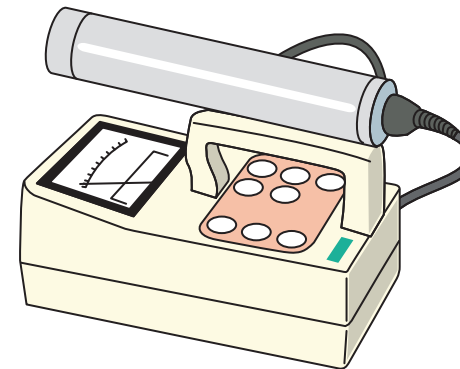
GM 計数管式  
(ベータ線の測定)

# 空間放射線量の測定

## モニタリングポスト



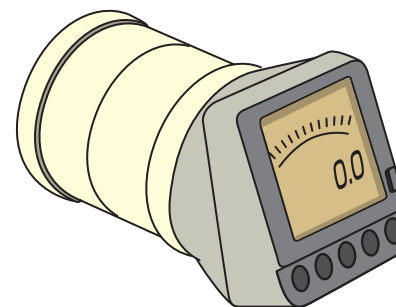
## サーベイメータ



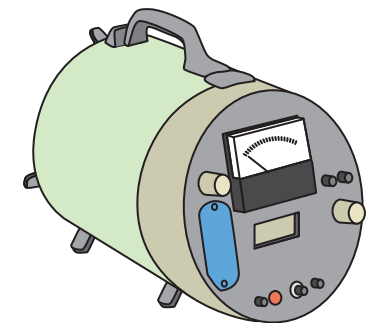
NaI シンチレーション式  
(主に低線量の測定)



CsI シンチレーション式  
(主に低線量の測定)



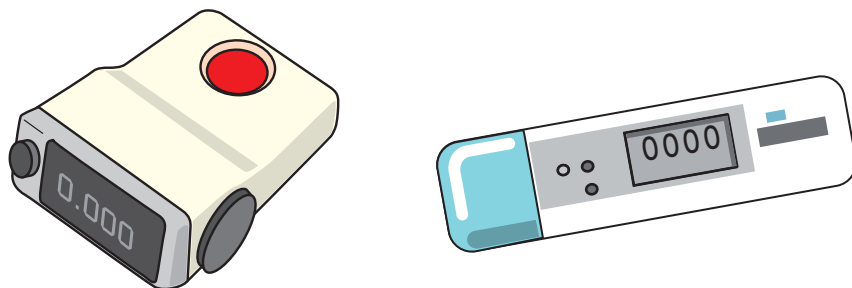
電離箱式  
(低～高線量の測定)



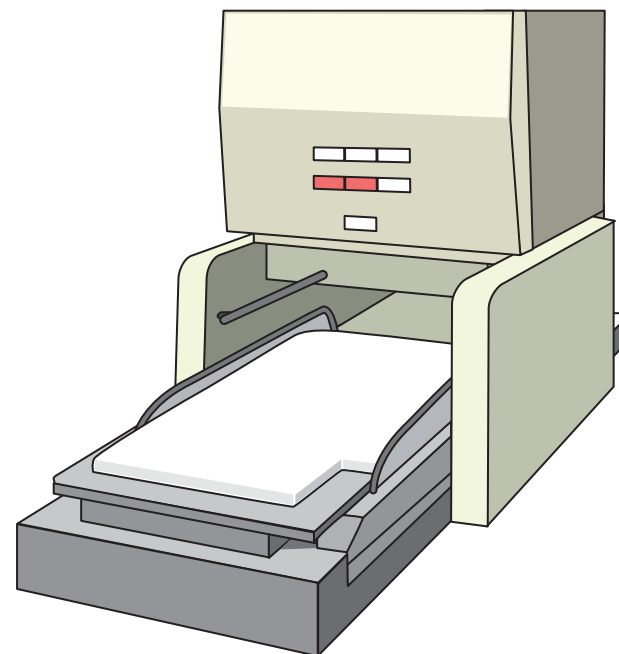
$^3\text{He}$  計数管式  
(中性子線の測定)

# 個人被ばく線量の測定

## 外部被ばくの測定



## 内部被ばくの測定



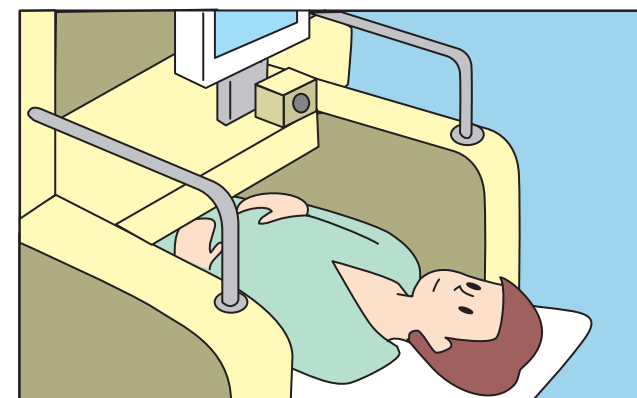
## 電子式線量計 (個人線量計)

【使用例】



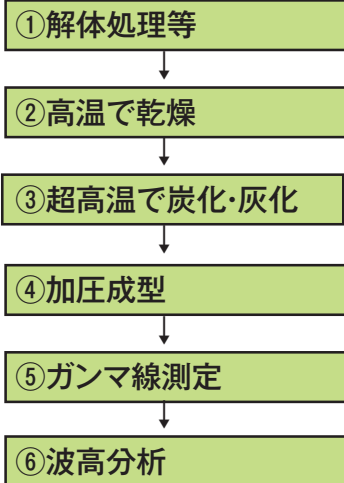
## ホールボディカウンタ (体外計測法)

【使用例】

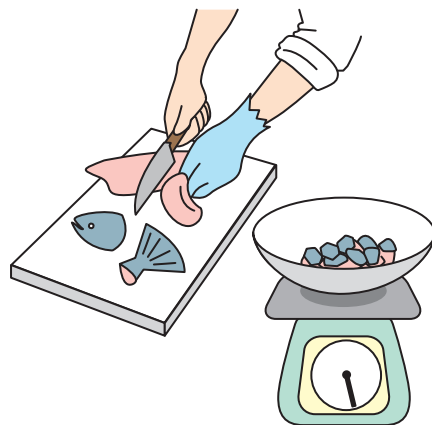


# 食物等に含まれる放射能の測定

ゲルマニウム半導体検出器による  
測定の流れ



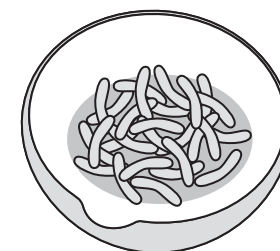
①解体処理等



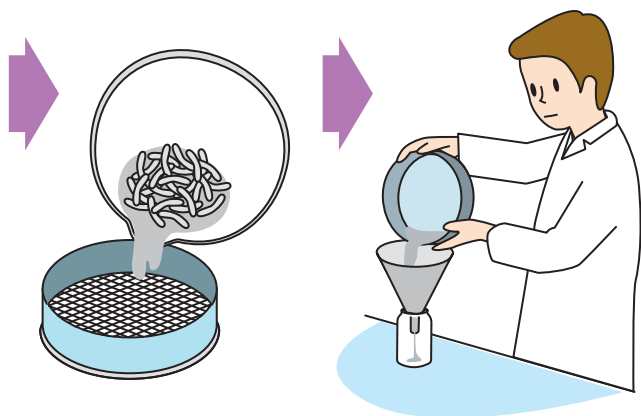
②高温で乾燥



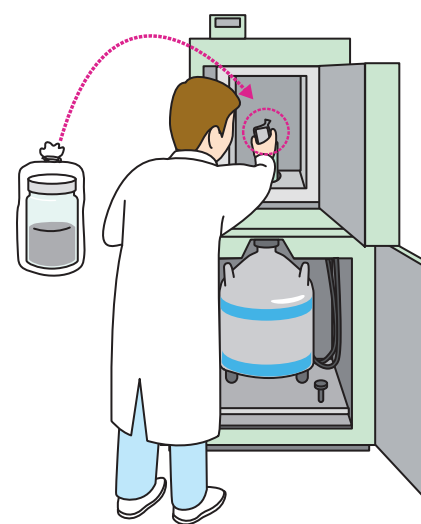
③超高温で炭化・灰化



④加圧成型



⑤ガンマ線測定



⑥波高分析

