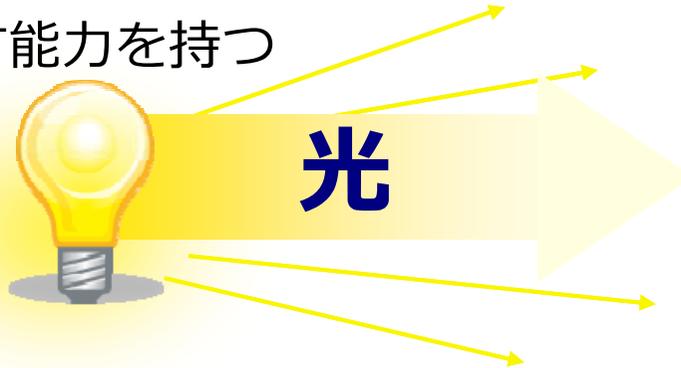


はじめに

# 放射線・放射能・放射性物質とは

- 電球 = 光を出す能力を持つ

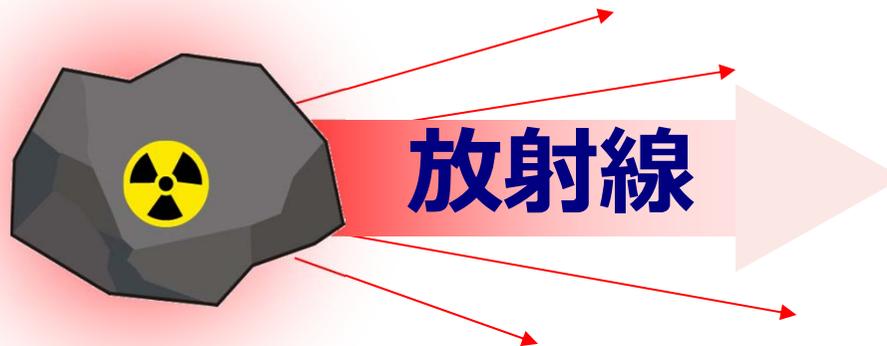
ワット (W)  
▶ 光の強さの単位



ルクス (lx)  
▶ 明るさの単位

- 放射性物質 = 放射線を出す能力 (放射能) を持つ

ベクレル (Bq)  
▶ 放射能の単位



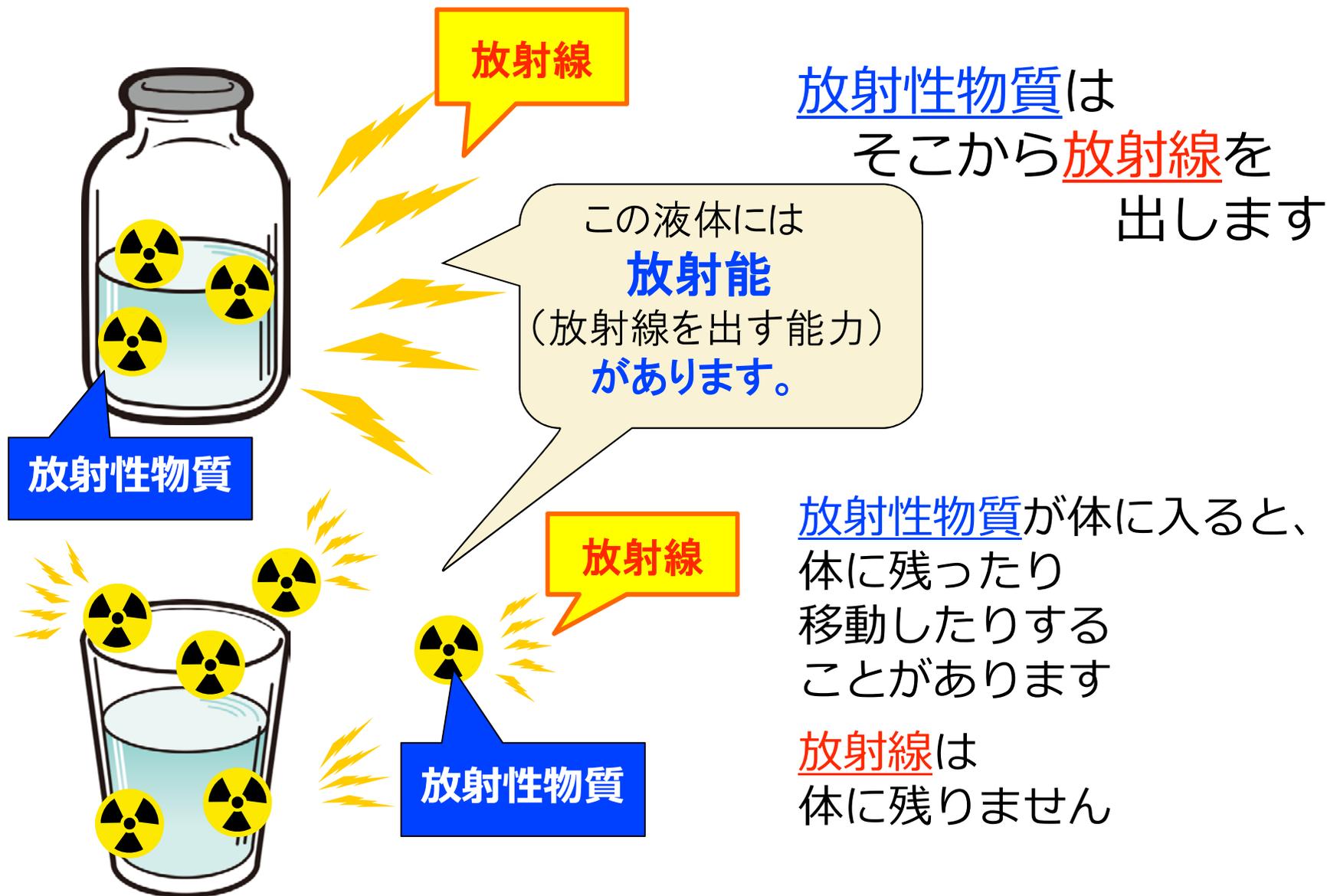
換算係数

シーベルト (Sv)  
▶ 人が受ける放射線被ばく線量の単位

※ シーベルトは放射線影響に関係付けられる。

はじめに

# 放射線と放射性物質の違い



はじめに

# 放射線と放射能の単位



## ベクレル (Bq)

放射能の強さの単位：  
1秒間に1個の割合で原子核が変化する  
(壊変する) = 1ベクレル

## シーベルト (Sv)

人が受ける放射線被ばく線量の単位：  
放射線影響に関係付けられる

# 被ばくの種類

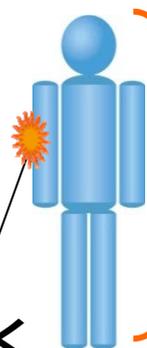
## 外部被ばく

体の外側からの被ばく

放射性物質  
などの線源

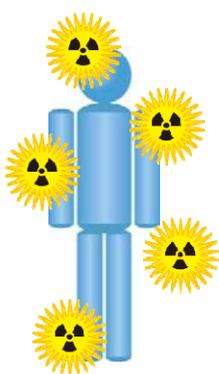


局所被ばく



全身被ばく

傷口



汚染された本人、  
および周囲の人々が  
被ばくする可能性が  
あります

体表面汚染

## 内部被ばく

体の内側からの被ばく

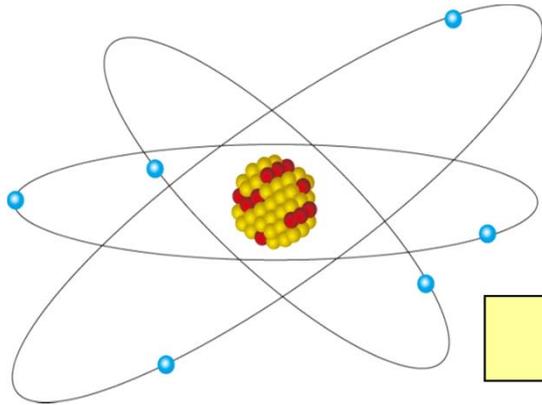
吸入  
飲食



放射性物質



# 原子の構造と周期律



原子	原子核	陽子		+
		中性子		0
	電子		-	

陽子の数（原子番号）で化学的性質が決まります

元素の周期律表

		族																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
周期	1	1 H 1.008																2 He 4.003	
	2	3 Li 6.941	4 Be 9.012											5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18
	3	11 Na 22.99	12 Mg 24.31											13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95
	4	19 K 39.1	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.88	23 V 50.94	24 Cr 52	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.39	31 Ga 69.72	32 Ge 72.61	33 As 74.92	34 Se 78.95	35 Br 79.9	36 Kr 83.8
	5	37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc (99)※	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3
	6	55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57-71 ランタノイド	72 Hf 178.5	73 Ta 180.9	74 W 183.8	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.1	79 Au 197.0	80 Hg 200.6	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209.0	84 Po (210)	85 At (210)	86 Rn (222)
	7	87 Fr (223)	88 Ra (226)	89-103 アクチノイド	104 Rf (261)	105 Db (262)	106 Sg (263)	107 Bh (264)	108 Hs (265)	109 Mt (268)	110 Ds (269)	111 Rg (272)	112 Cn (277)	113 Uut (278)					

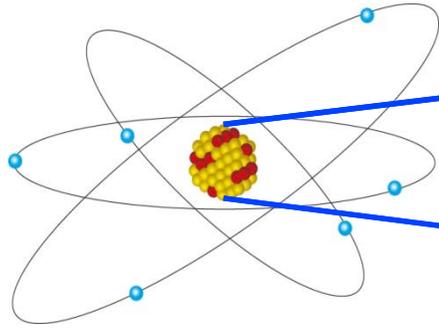
原子番号	元素記号
原子量	

典型非金属元素
典型金属元素
遷移金属元素

( ) をつけた値は、その元素の代表的な放射性同位体の質量数である (IUPAC)

文部科学省 「一家に一枚周期表第6版」

# 原子核の安定・不安定



**原子核**  
陽子と中性子の数のバランスにより、  
不安定な原子核が存在します  
= 放射性の原子核

		炭素11	炭素12	炭素13	炭素14	セシウム 133	セシウム 134	セシウム 137
原子核	陽子数	6	6	6	6	55	55	55
	中性子数	5	6	7	8	78	79	82
性質		放射性	安定	安定	放射性	安定	放射性	放射性
記載法		$^{11}\text{C}$	$^{12}\text{C}$	$^{13}\text{C}$	$^{14}\text{C}$	$^{133}\text{Cs}$	$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$
		$^{11}_{6}\text{C}$	$^{12}_{6}\text{C}$	$^{13}_{6}\text{C}$	$^{14}_{6}\text{C}$	$^{133}_{55}\text{Cs}$	$^{134}_{55}\text{Cs}$	$^{137}_{55}\text{Cs}$
		C-11	C-12	C-13	C-14	Cs-133	Cs-134	Cs-137

## さまざまな原子核

陽子数（原子番号）は同じで中性子数の異なる原子核（同位体）

元素	記号	陽子数	安定	放射性
水素	H	1	H-1, H-2※	H-3※
炭素	C	6	C-12, C-13	C-11, C-14, …
カリウム	K	19	K-39, K-41	K-40, K-42, …
ストロンチウム	Sr	38	Sr-88	Sr-89, Sr-90, …
ヨウ素	I	53	I-127	I-125, I-131, …
セシウム	Cs	55	Cs-133	Cs-134, Cs-137, …
ウラン	U	92	なし	U-235, U-238, …
プルトニウム	Pu	94	なし	Pu-238, Pu-239, …

※：H-2は重水素、H-3は三重水素または、トリチウムと呼ばれます。

・・・は、その他にも放射性物質があることを意味する。青字は自然に存在する放射性物質

## 自然由来・人工由来

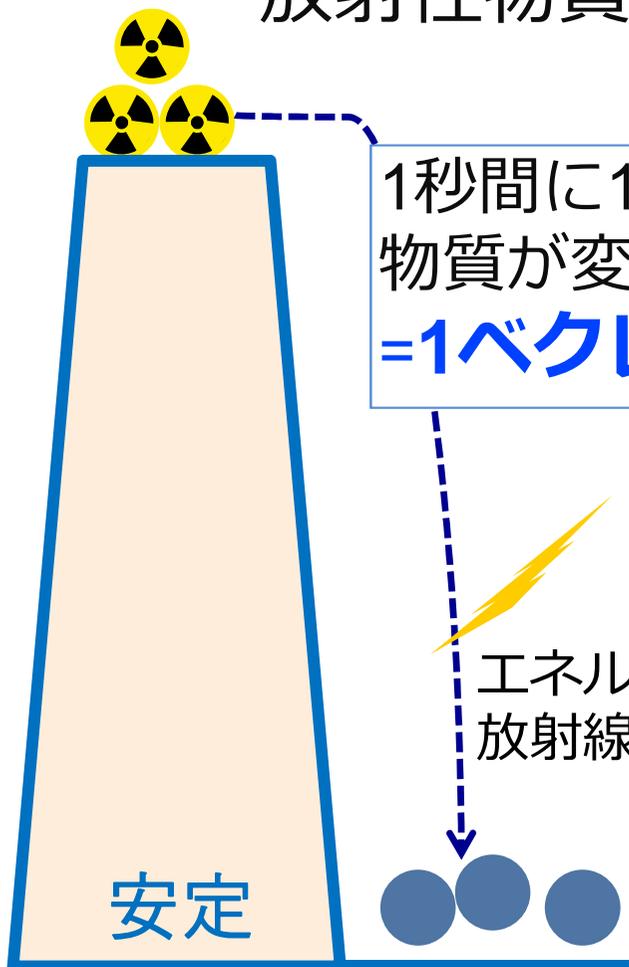
放射性物質	放出される放射線	半減期
トリウム系列	$\alpha, \beta, \gamma$	141億年
ウラン系列	$\alpha, \beta, \gamma$	45億年
カリウム40 (K-40)	$\beta, \gamma$	13億年
プルトニウム239 (Pu-239)	$\alpha, \gamma$	24,000年
炭素14 (C-14)	$\beta$	5,730年
セシウム137 (Cs-137)	$\beta, \gamma$	30年
ストロンチウム90 (Sr-90)	$\beta$	29年
セシウム134 (Cs-134)	$\beta, \gamma$	2.1年
ヨウ素131 (I-131)	$\beta, \gamma$	8日
ラドン222 (Rn-222)	$\alpha, \gamma$	3.8日

赤字は人工放射性物質

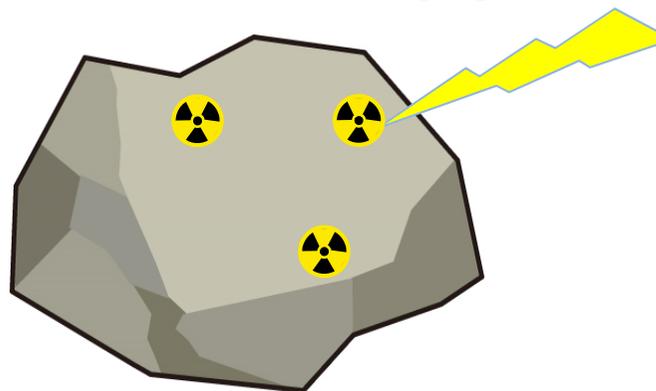
 $\alpha$  :  $\alpha$  (アルファ) 線、 $\beta$  :  $\beta$  (ベータ) 線、 $\gamma$  :  $\gamma$  (ガンマ) 線

# 壊変と放射線

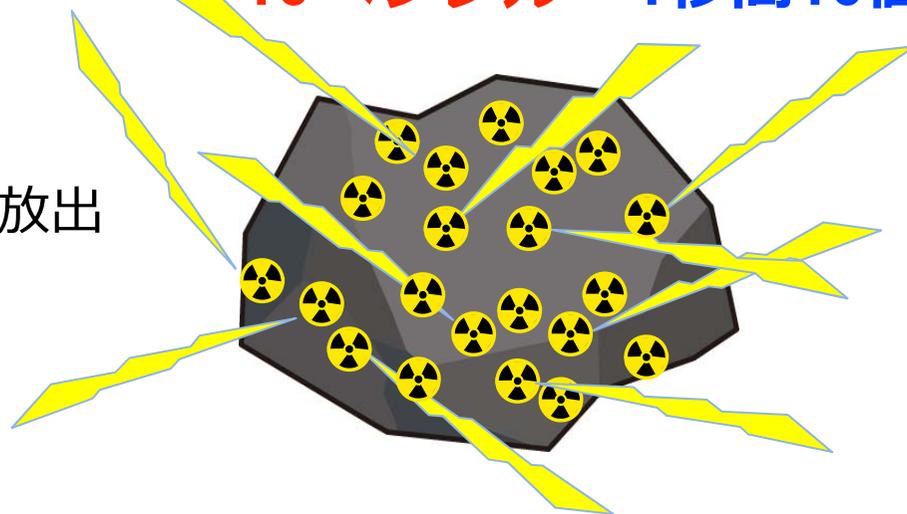
放射性物質は不安定



1ベクレル 1秒間1個壊変

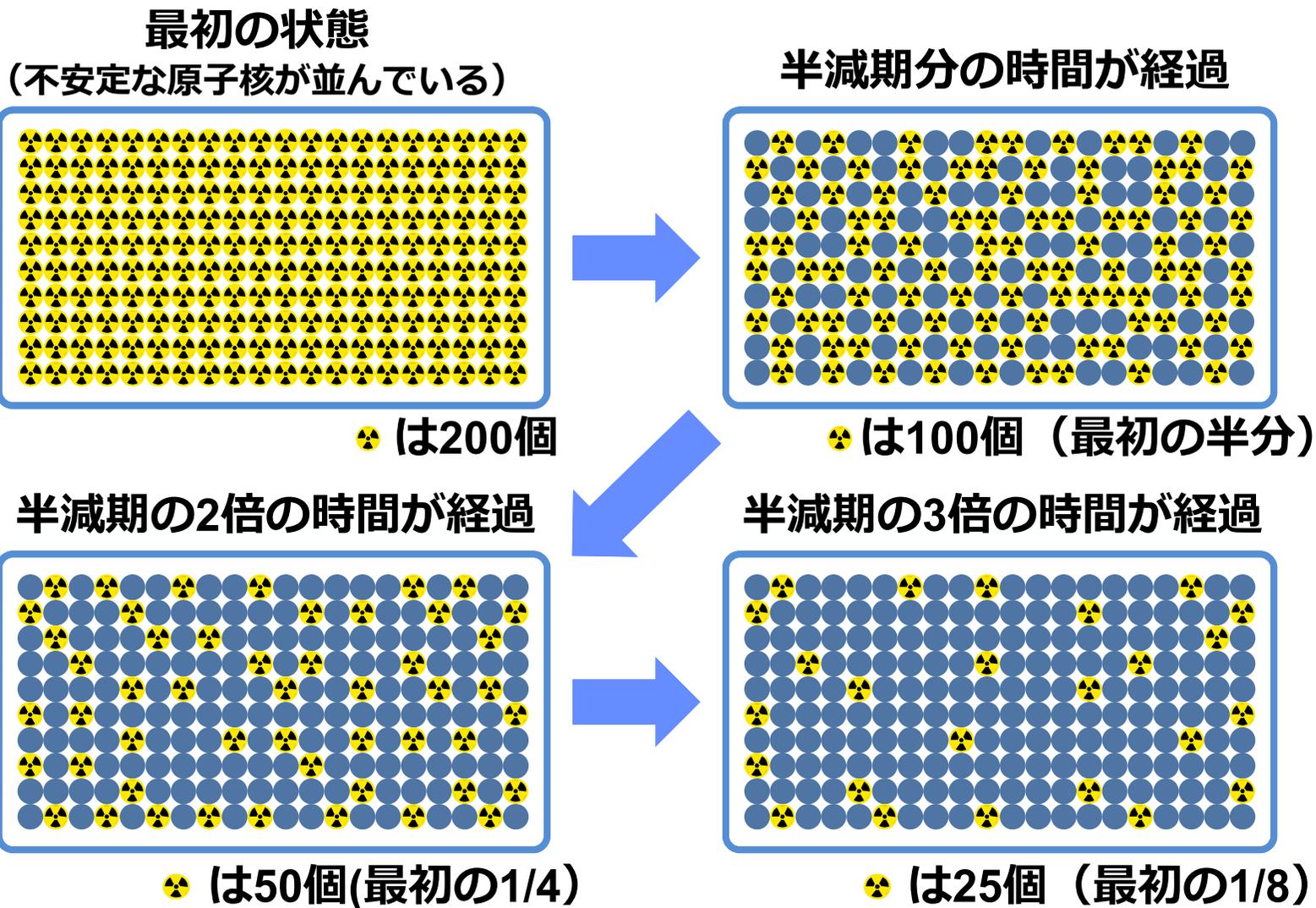


10ベクレル 1秒間10個壊変

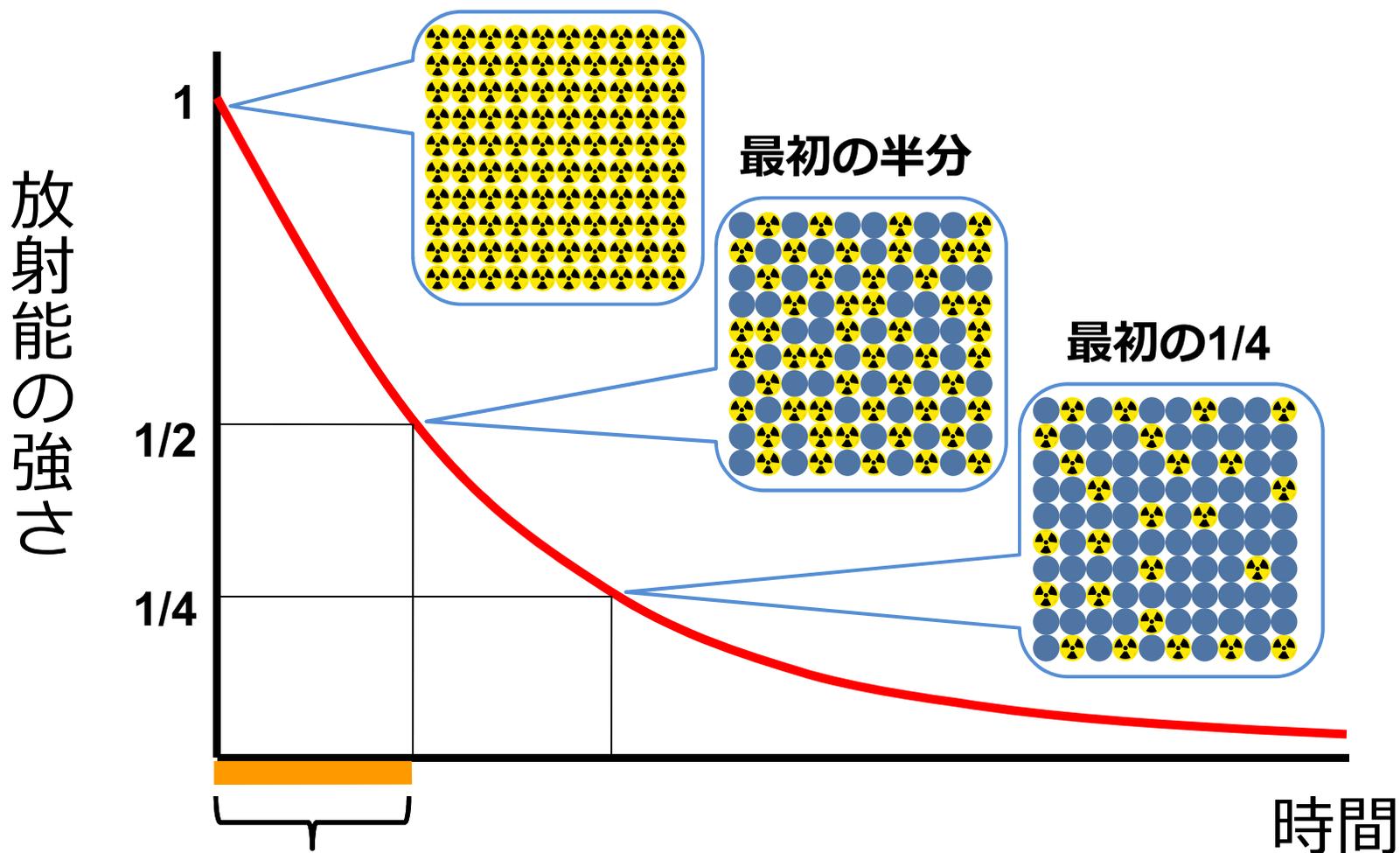


# 半減期

## 放射線を出す能力（放射能）の減り方



# 半減期と放射能の減衰



放射性物質の量が半分になる時間  
= (物理学的) 半減期

# 長い半減期の原子核

**例** 宇宙の誕生と共に放射性物質が存在し、地球が生まれた時に取り込まれた放射性物質

地球誕生から  
46億年



**系列** 放射性の原子核から安定な原子核になるまで、次々に核種が変化しながら壊変する

・ウラン238

半減期：45億年

・トリウム232

・ウラン235

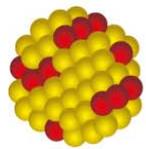
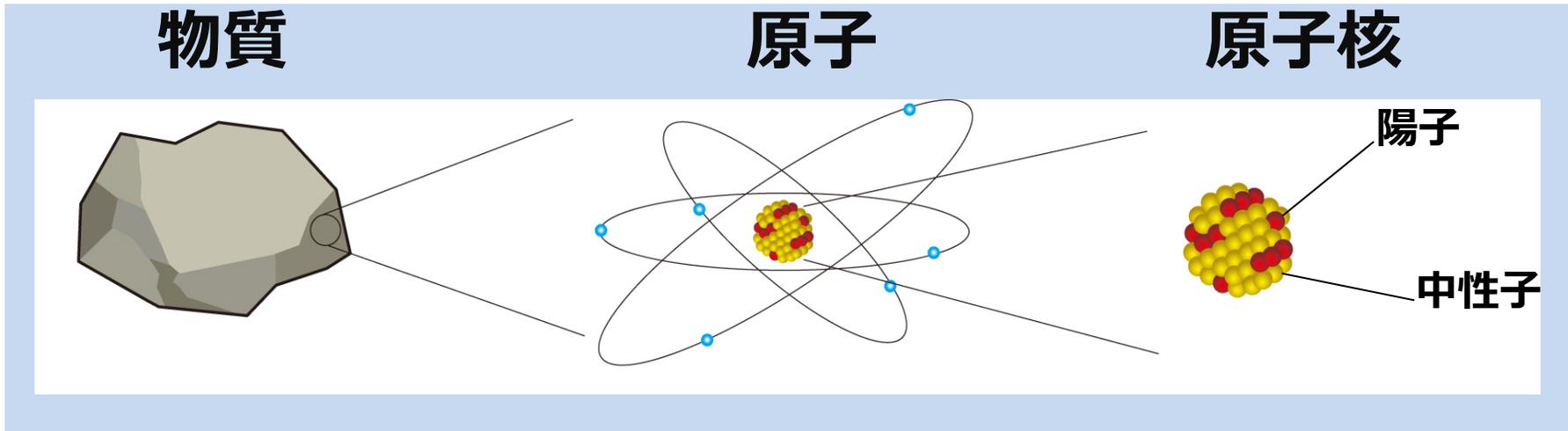
**非系列** 放射性の原子核から直接安定な原子核に壊変する

・カリウム40

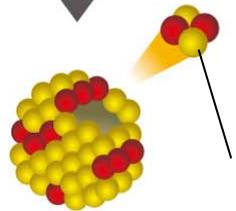
半減期：13億年

・ルビジウム87 等

# 放射線はどこで生まれる？



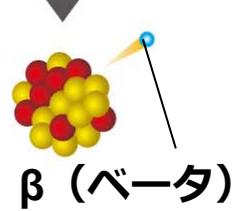
原子核



$\alpha$  (アルファ) 線



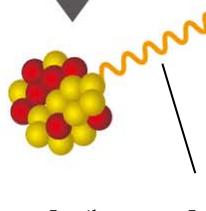
原子核



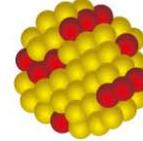
$\beta$  (ベータ) 線  
(電子)



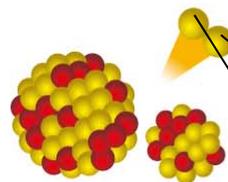
原子核  
(高エネルギー状態)



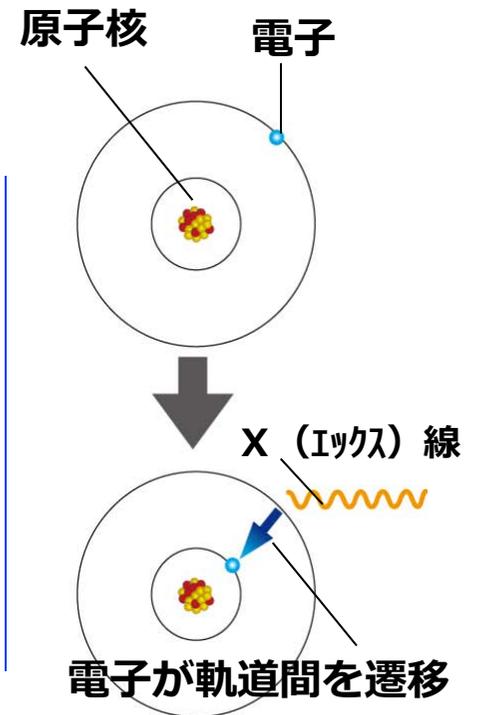
$\gamma$  (ガンマ) 線



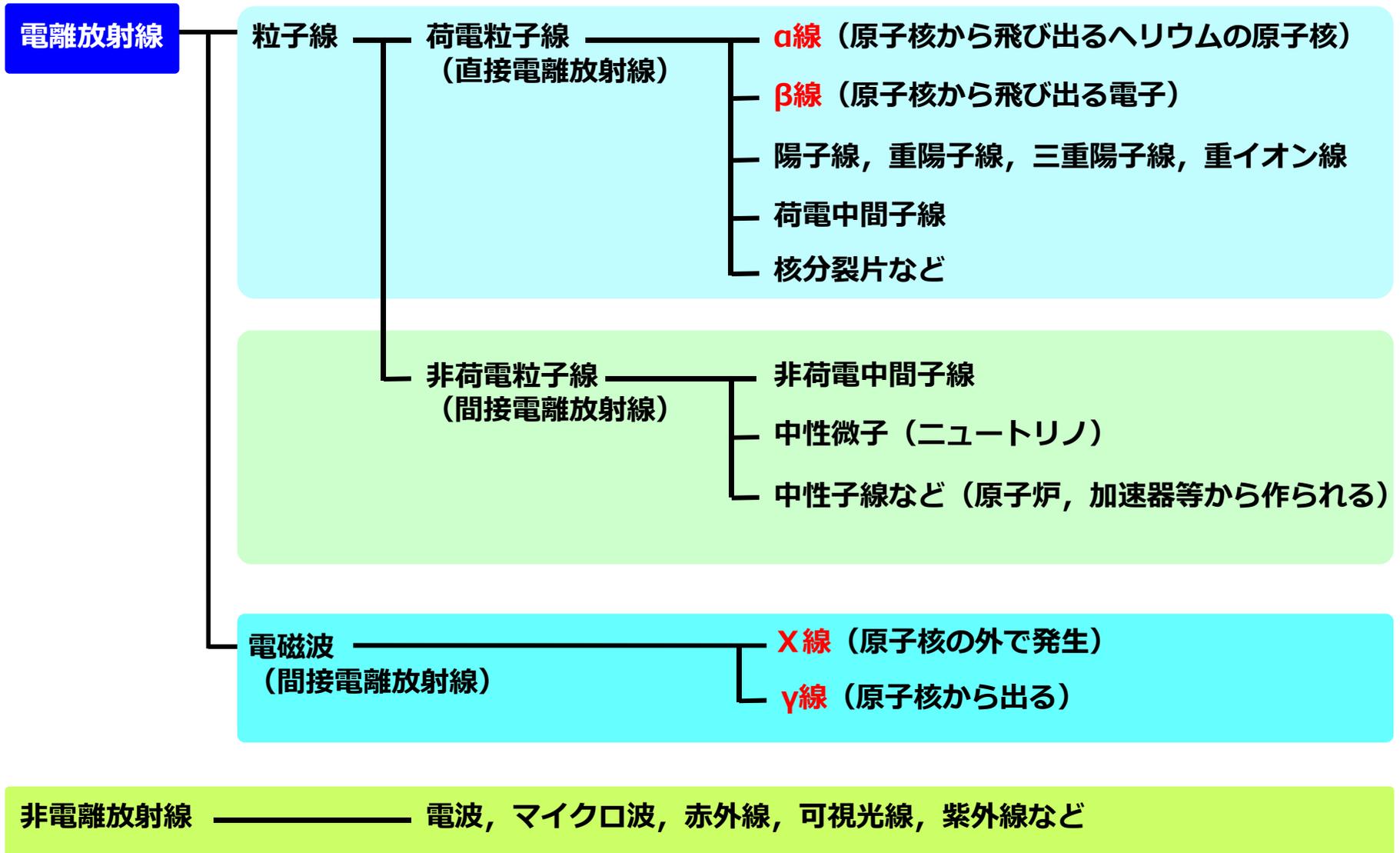
原子核



中性子線



# 放射線の種類



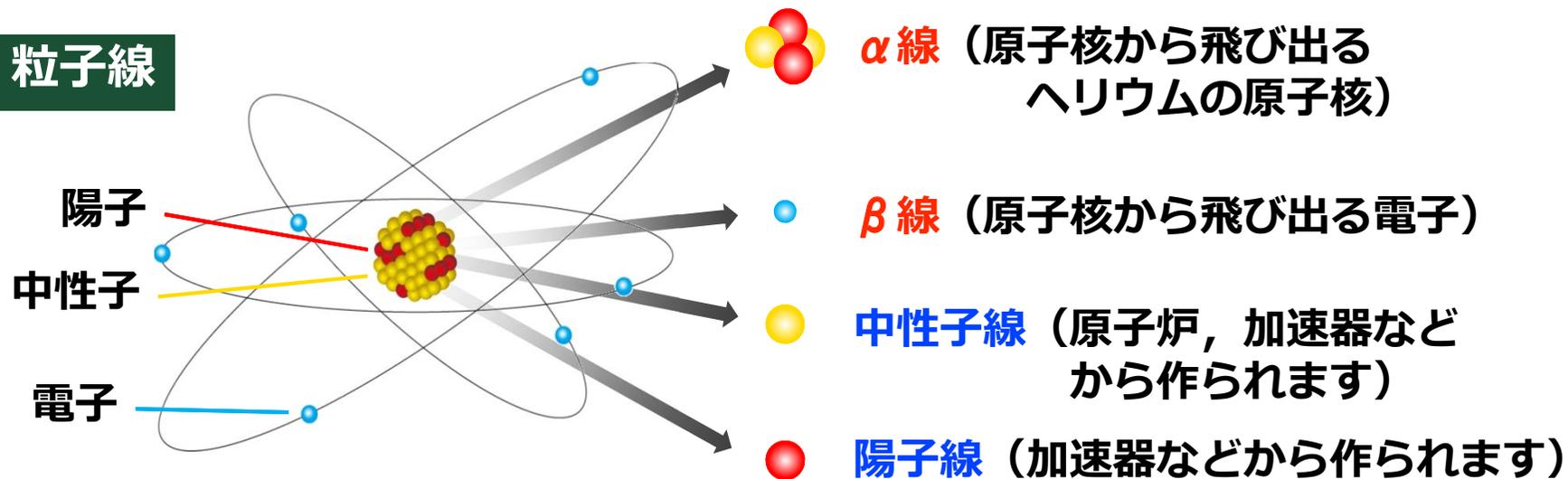
放射線には電離放射線と非電離放射線がありますが、通常放射線といった場合は、電離放射線のことをいいます。

# 放射性物質から放出される電離放射線

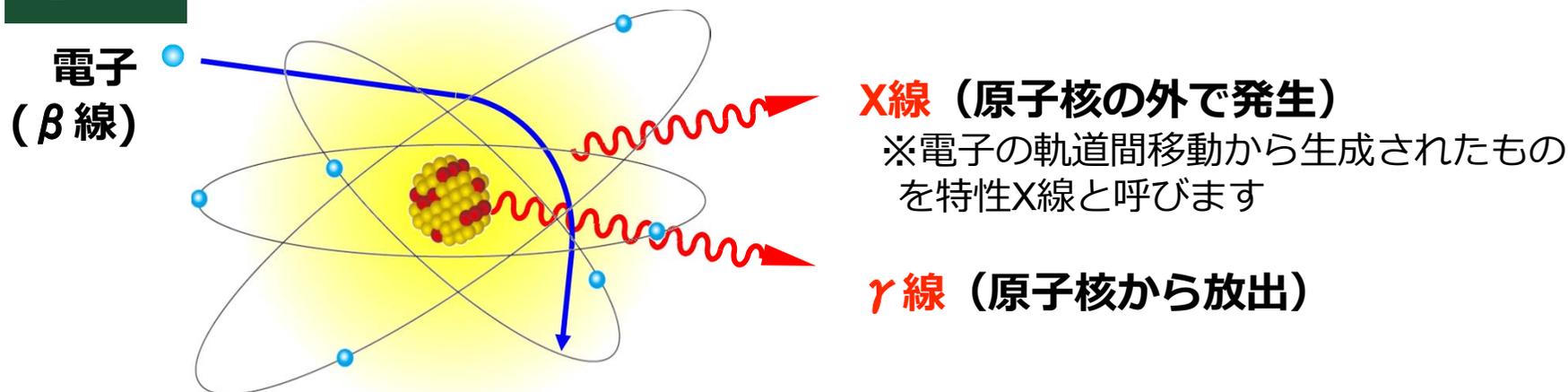
## 電離放射線

放射性物質から放出される粒子線あるいは電磁波

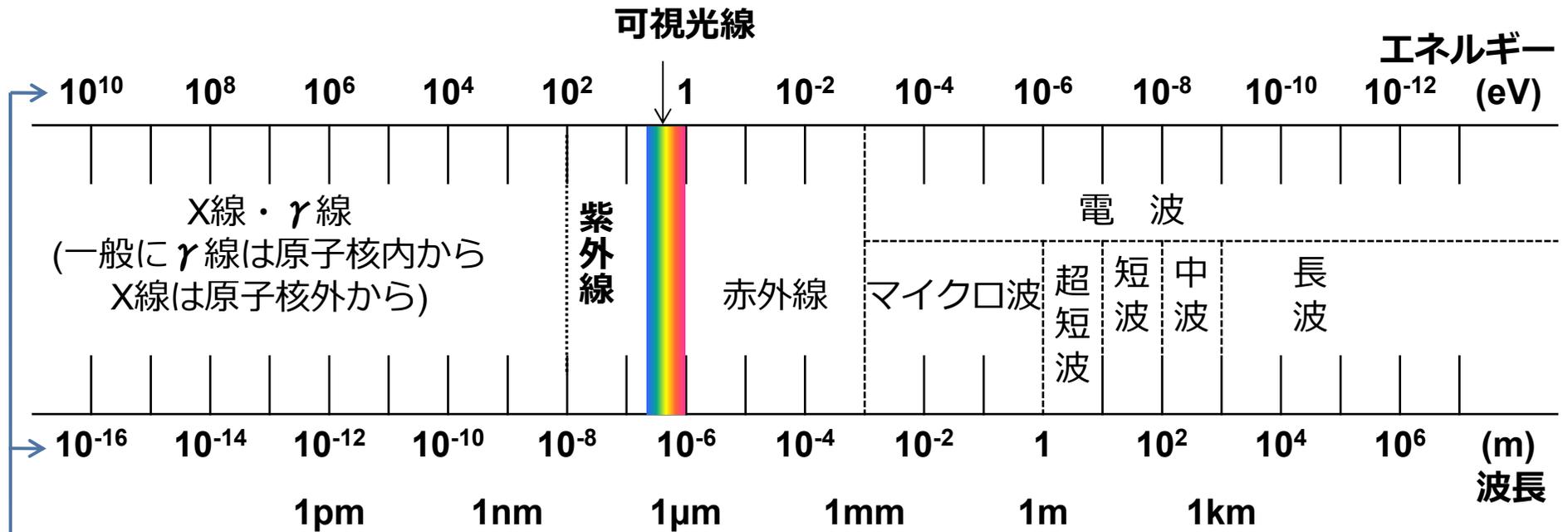
### 粒子線



### 電磁波

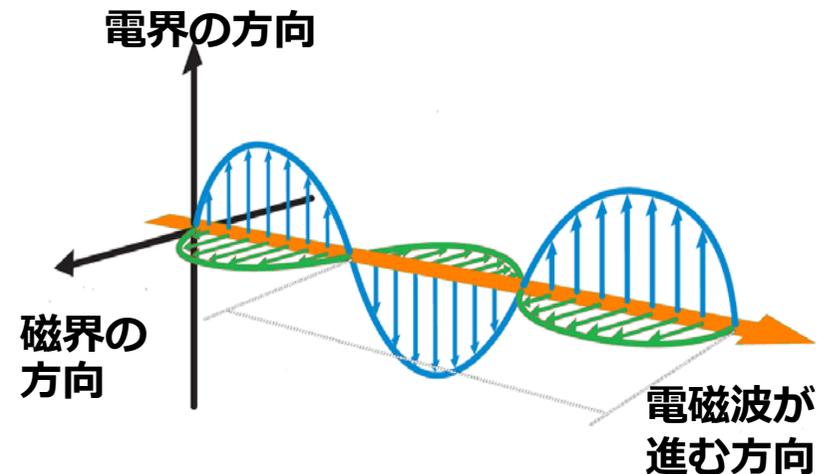


## 電磁波の仲間

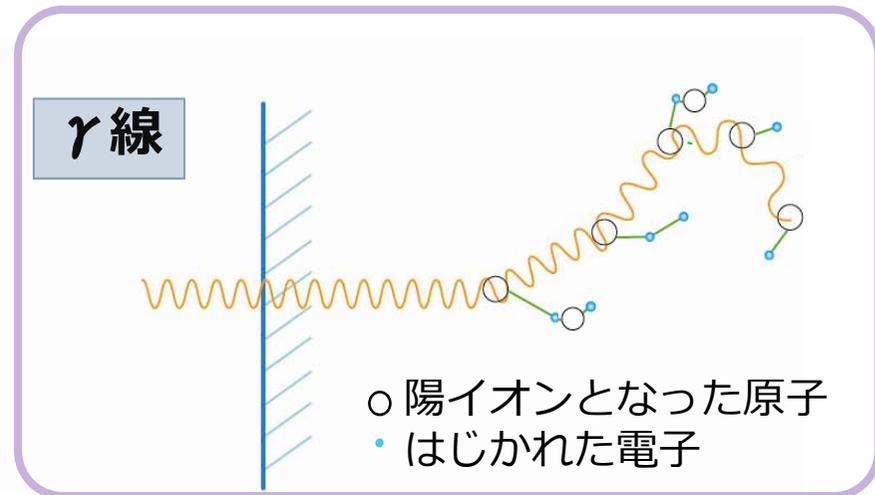
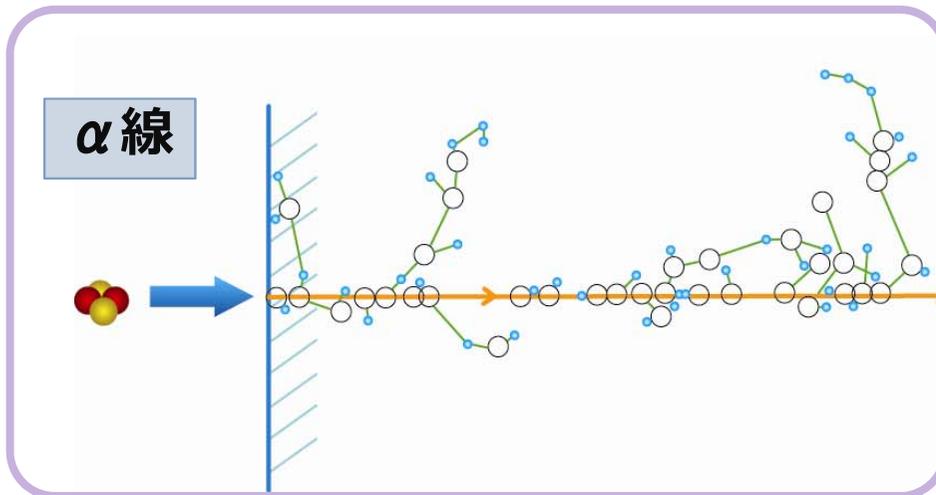
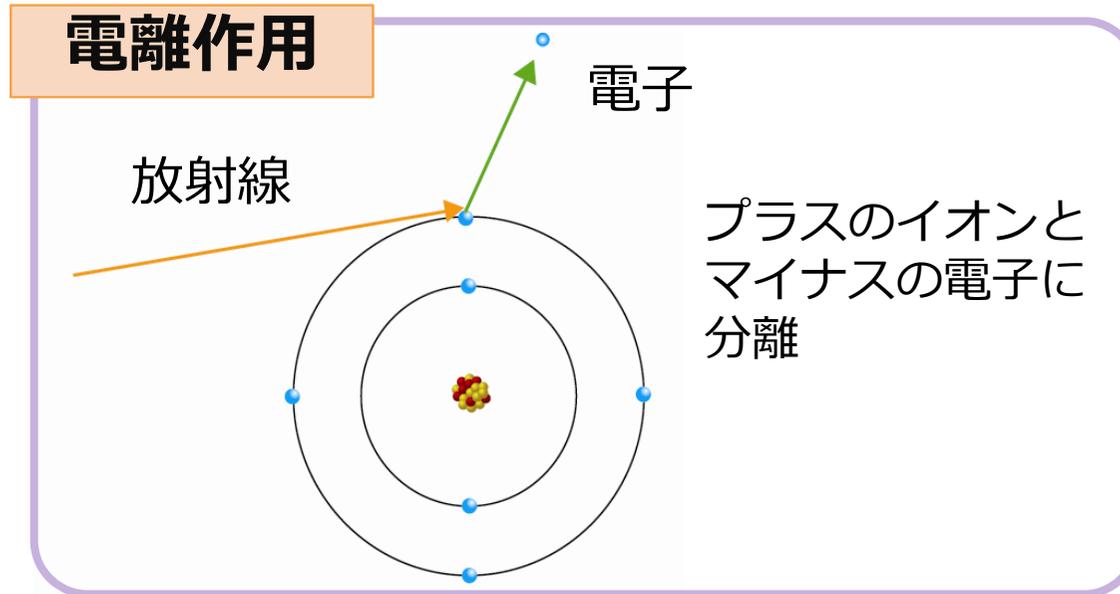


- ・ 光は波としての性質の他に粒子としての性質を持ちます
  - ・ 電磁波を粒子ととらえたときに「光子」と呼びます
- 上の数字は光子のエネルギー(eV)、  
下の数字は波動としての波長(m)を示します

pm : ピコメートル μm : マイクロメートル  
nm : ナノメートル eV : 電子ボルト



# 放射線の電離作用 – 電離放射線の性質



## 放射線の種類と生物への影響力

•  $\alpha$  線

- 陽子2個 + 中性子2個
- ヘリウム (He) の原子核
- 荷電粒子 (2+)



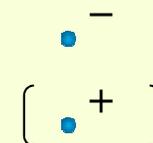
電離密度高

•  $\beta$  線

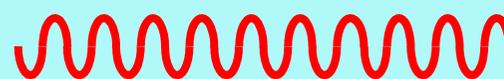
- 電子 (あるいは陽電子)
- 荷電粒子 (-あるいは+)



電離密度低

•  $\gamma$  線・X線

- 電磁波 (光子)



電離密度低・透過力大

## • 中性子線

- 中性子
- 非荷電粒子

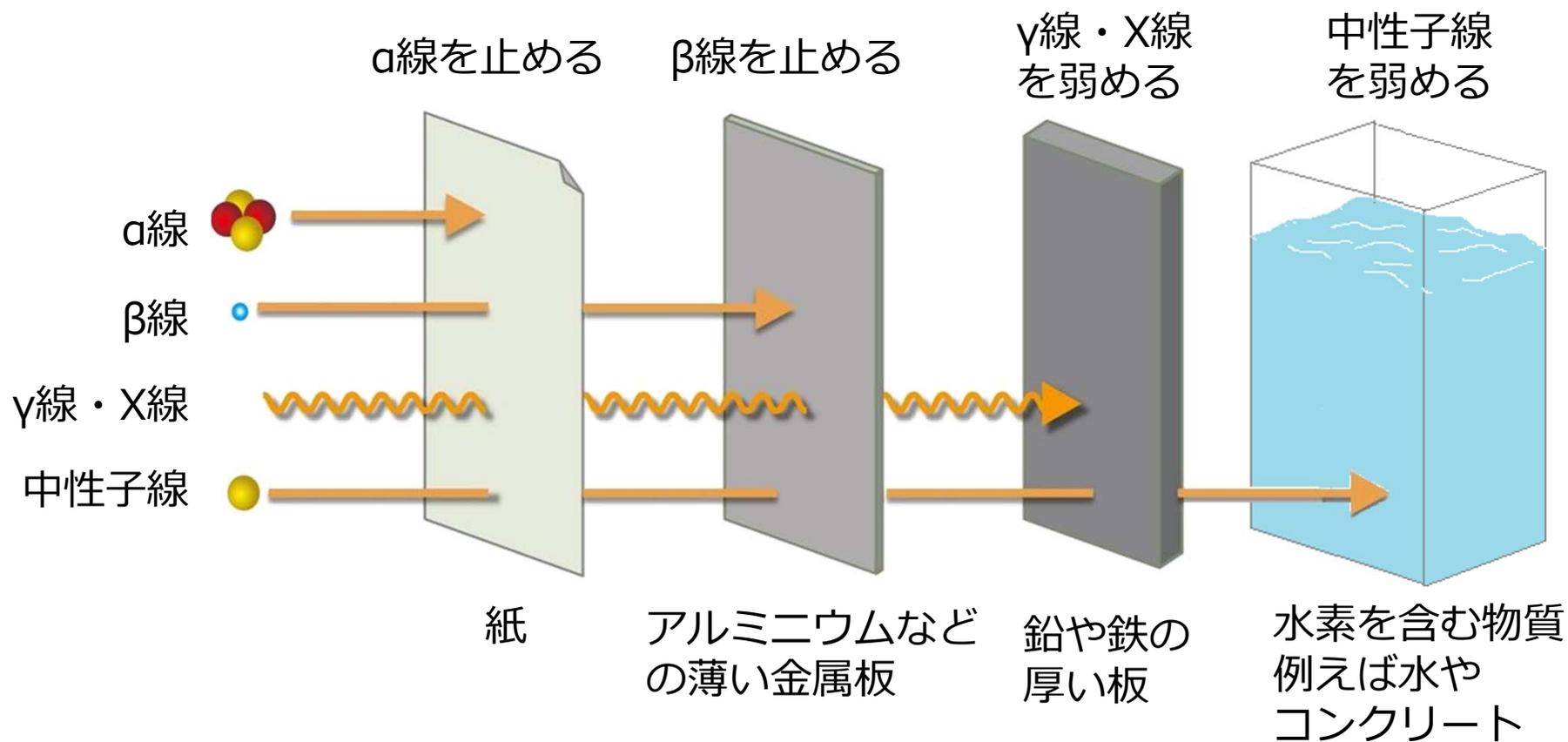


電離密度高



# 放射線の透過力

放射線は、いろいろな物質でさえぎることができます



# 放射線の体内での透過力

空気中で飛ぶ距離

1~10cm



数m  
(エネルギーによる)



数10m~  
(エネルギーによる)



**α線**  
粒子 (ヘリウム原子核)  
(1兆分の1cm)

**β線**  
粒子 (電子)

**γ線**  
**X線**

体に当たると

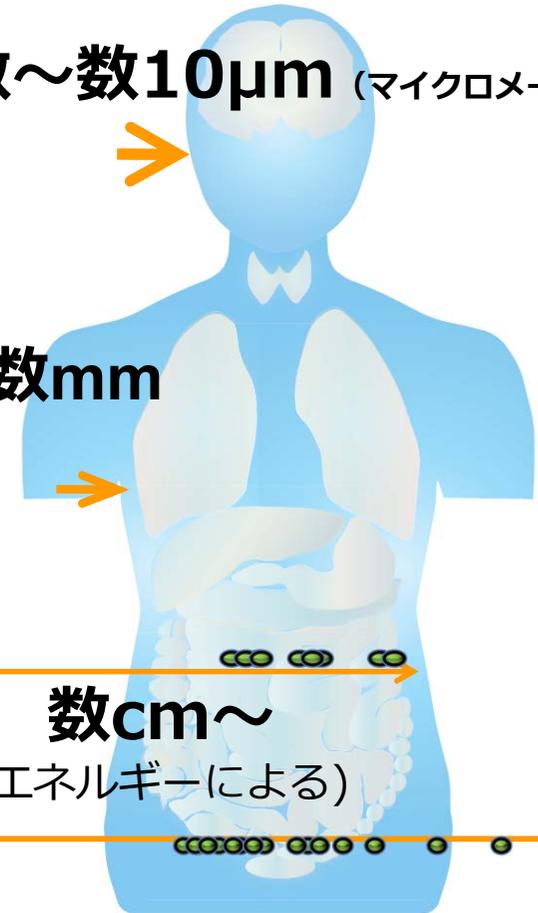
数~数10μm (マイクロメートル)



数mm

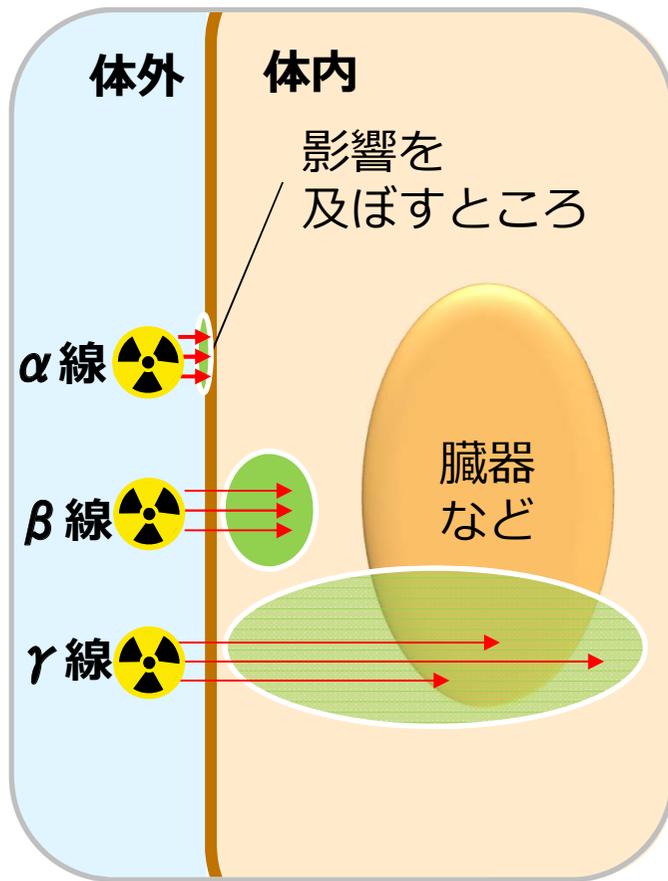


数cm~  
(エネルギーによる)

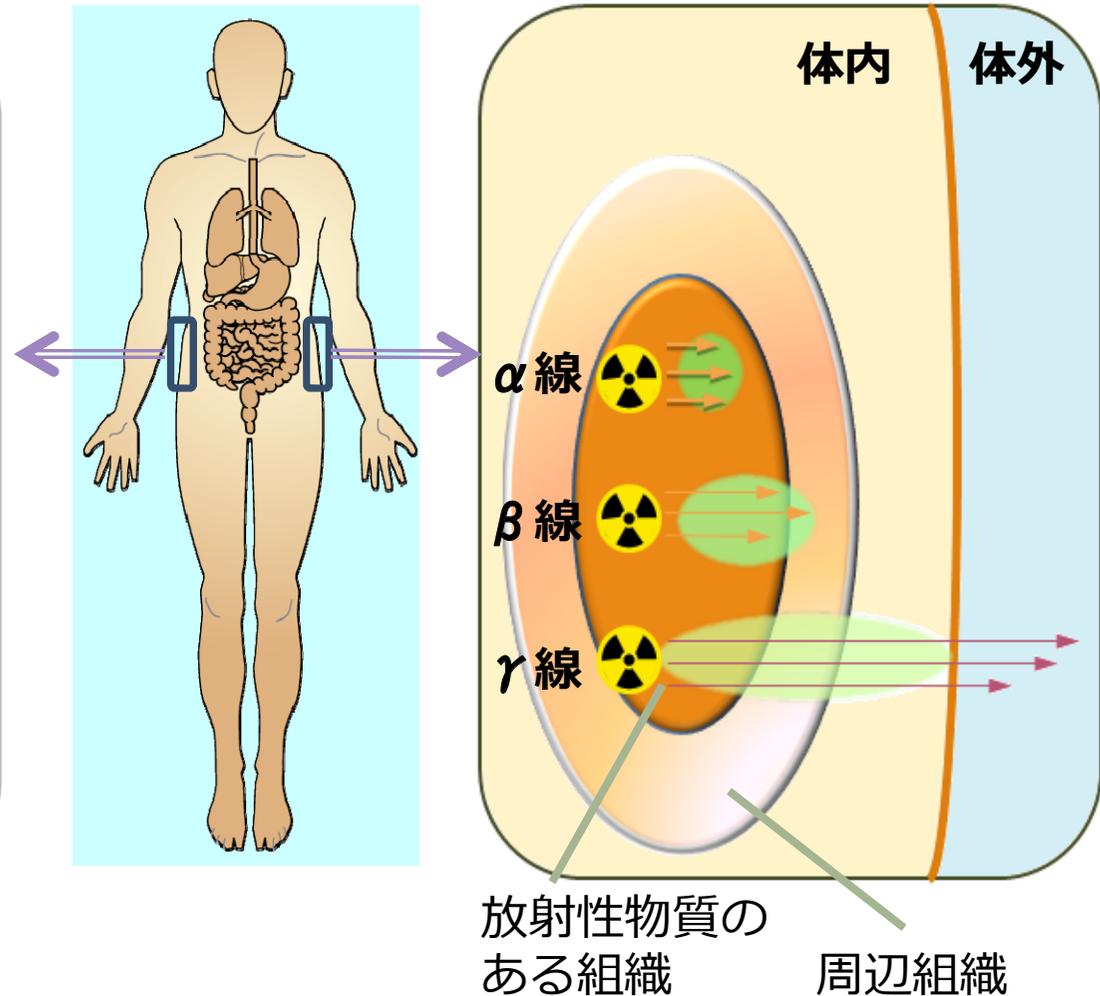


# 透過力と人体での影響範囲

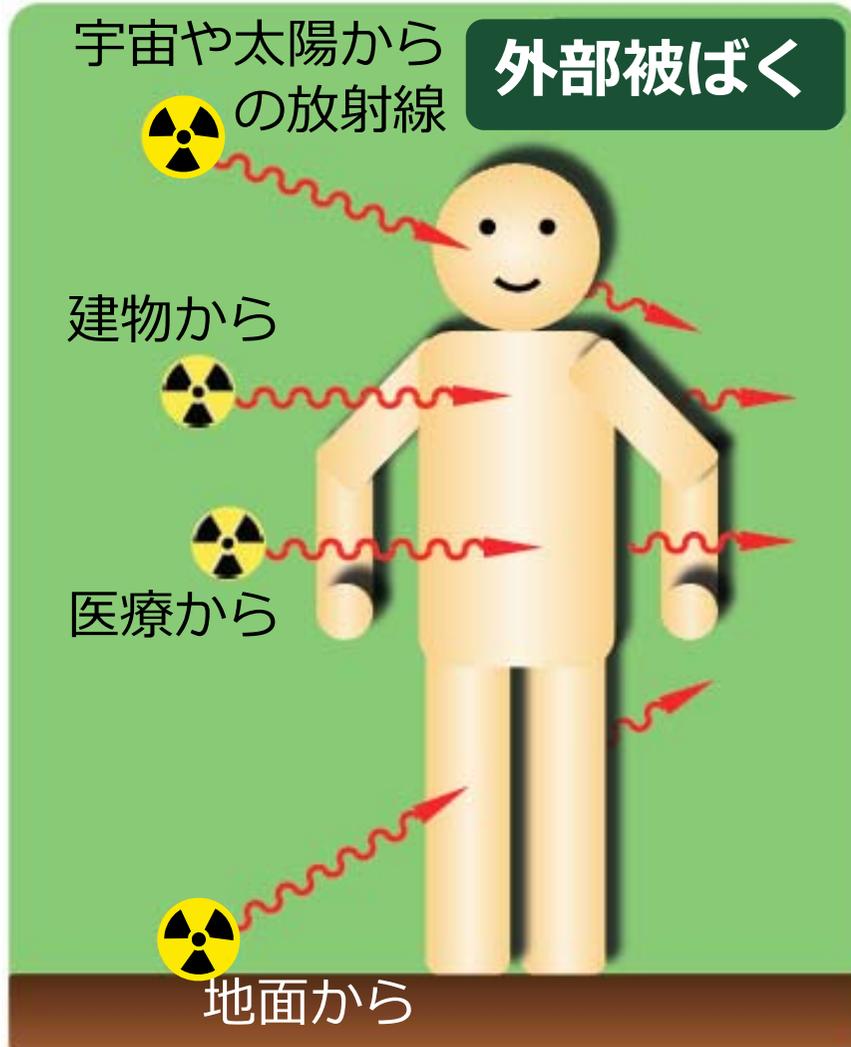
放射性物質が体外にある場合



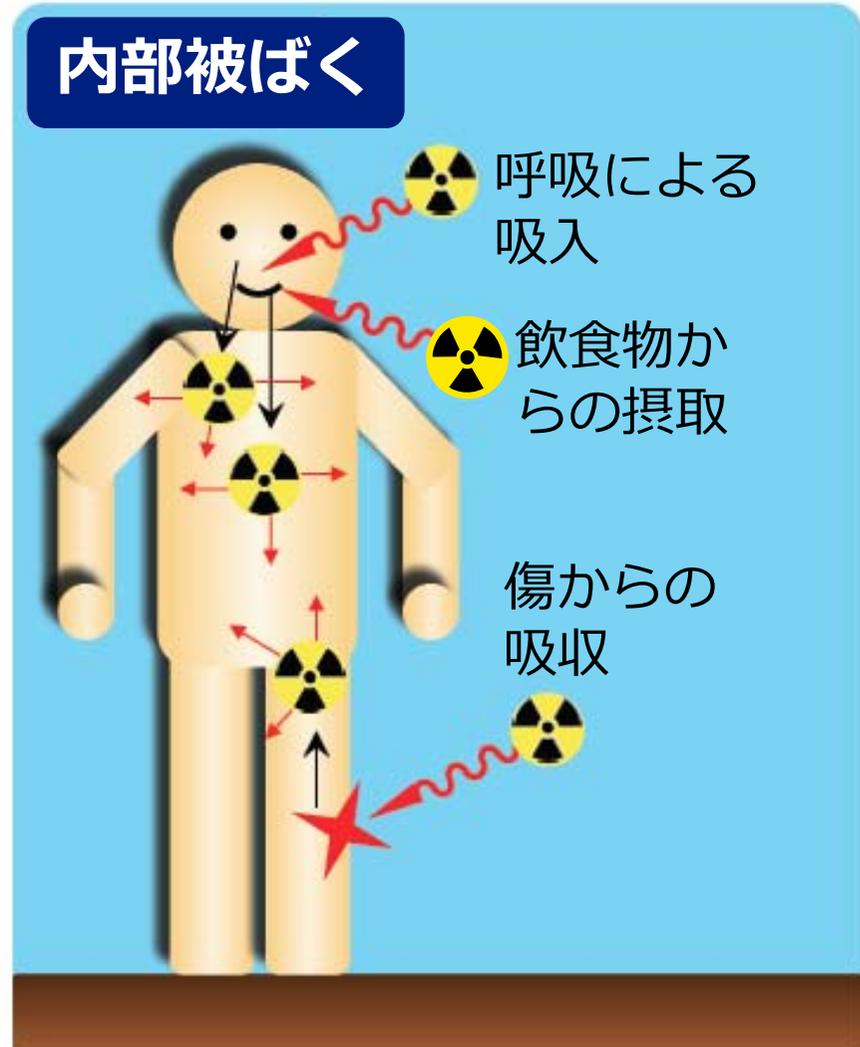
放射性物質が体内にある場合



# 外部被ばくと内部被ばく



▶放射性物質（線源）が体外にある場合

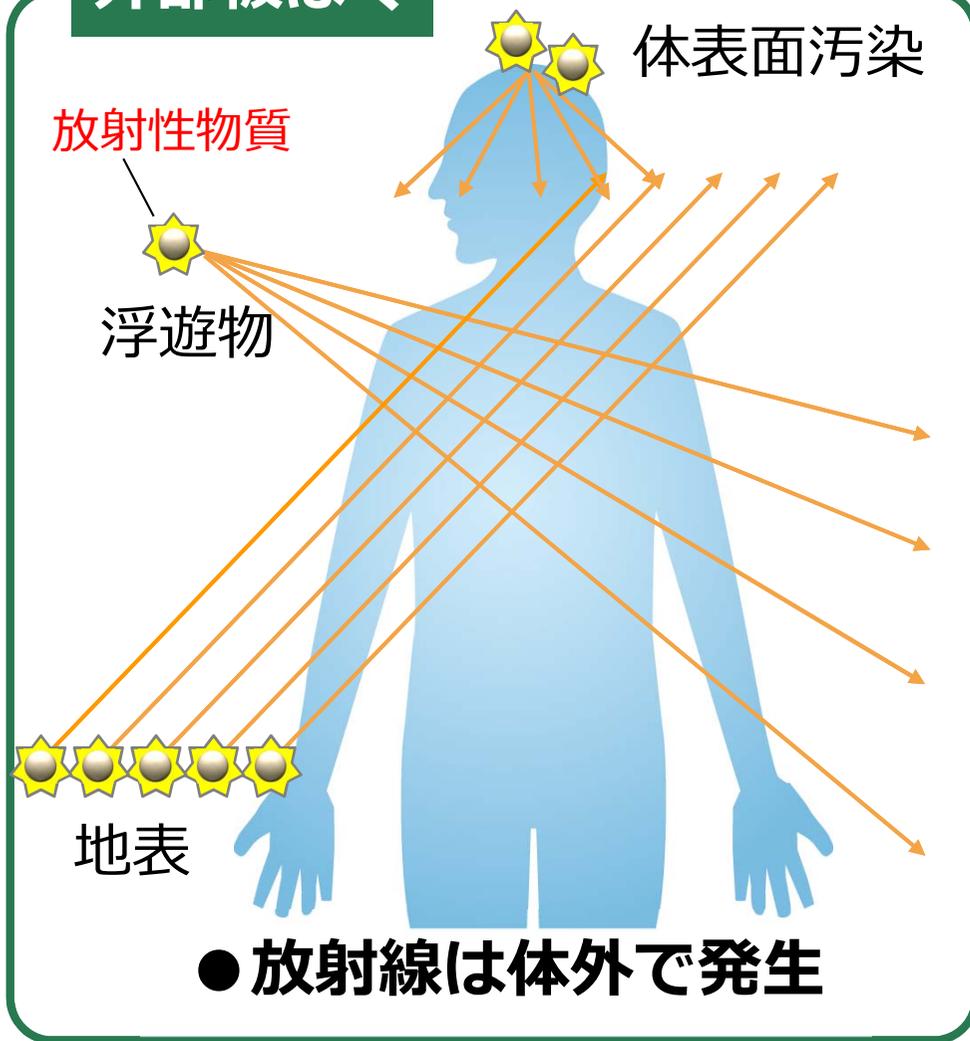


▶放射性物質（線源）が体内にある場合

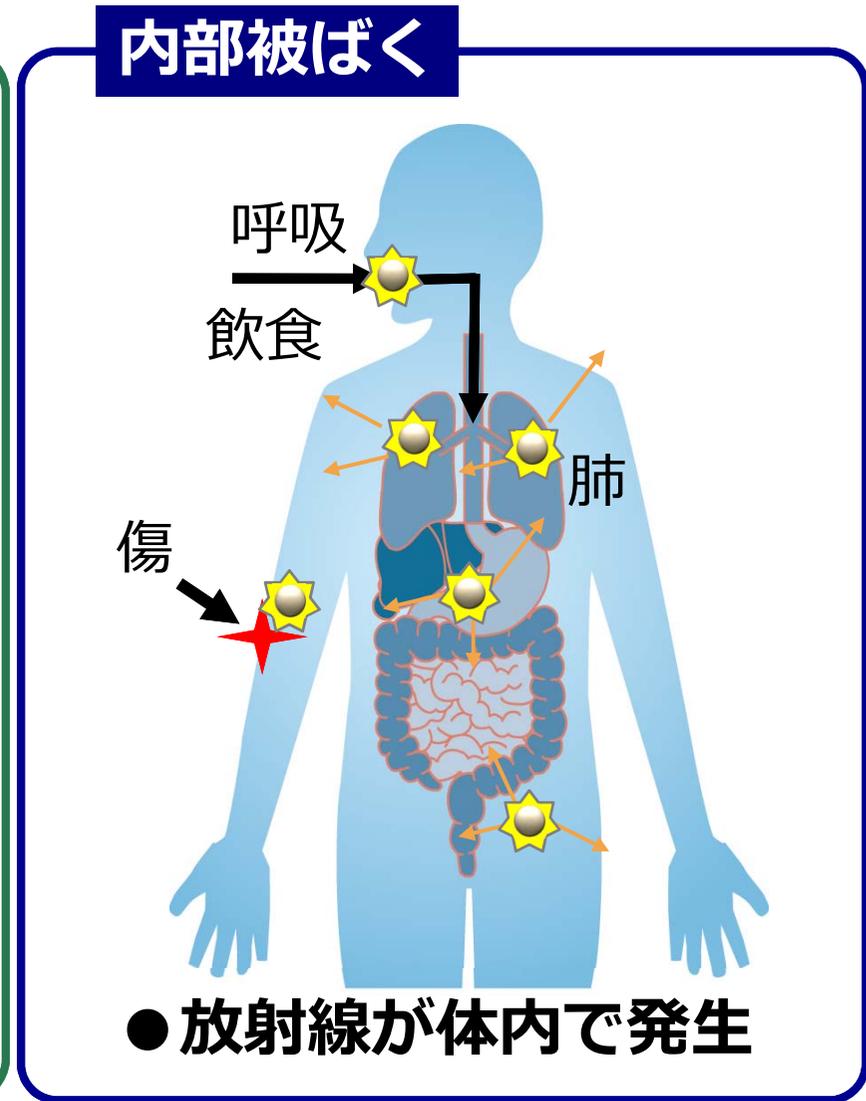
被ばくの経路

# 体外から・体内から

## 外部被ばく



## 内部被ばく

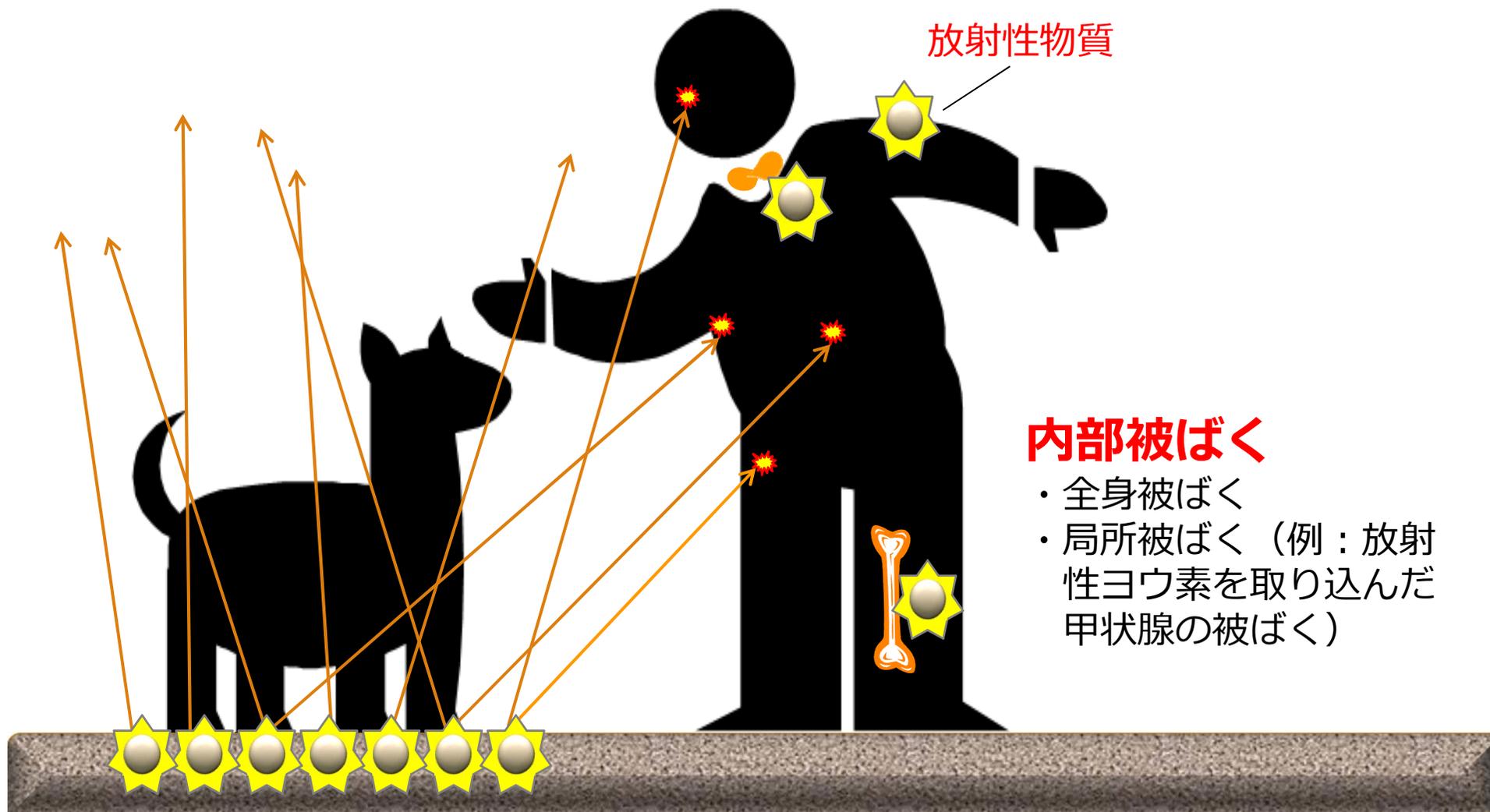


体が放射線を受けるという点は同じ

# さまざまな被ばく形態

## 外部被ばく

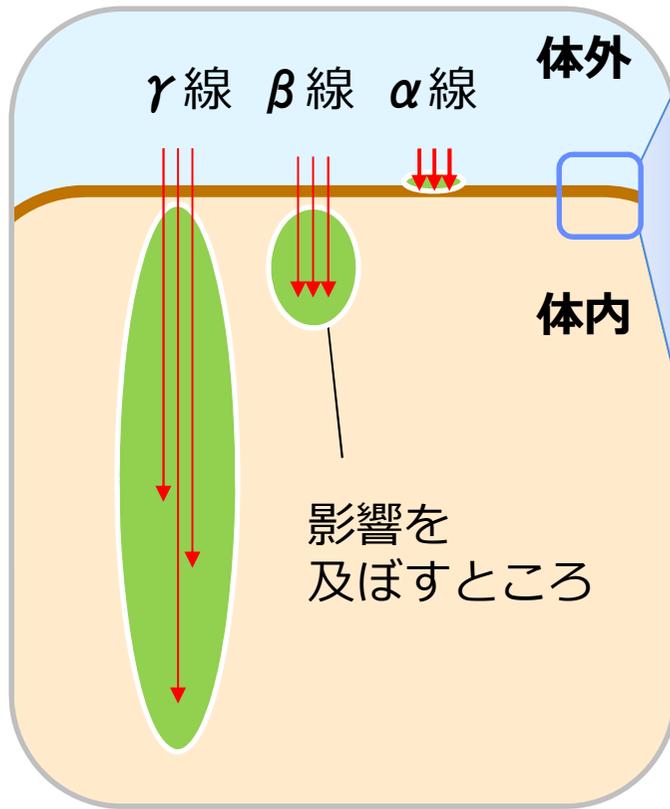
- ・全身被ばく
- ・局所被ばく（例：X線検査や部分的な体表面汚染による被ばく）



## 内部被ばく

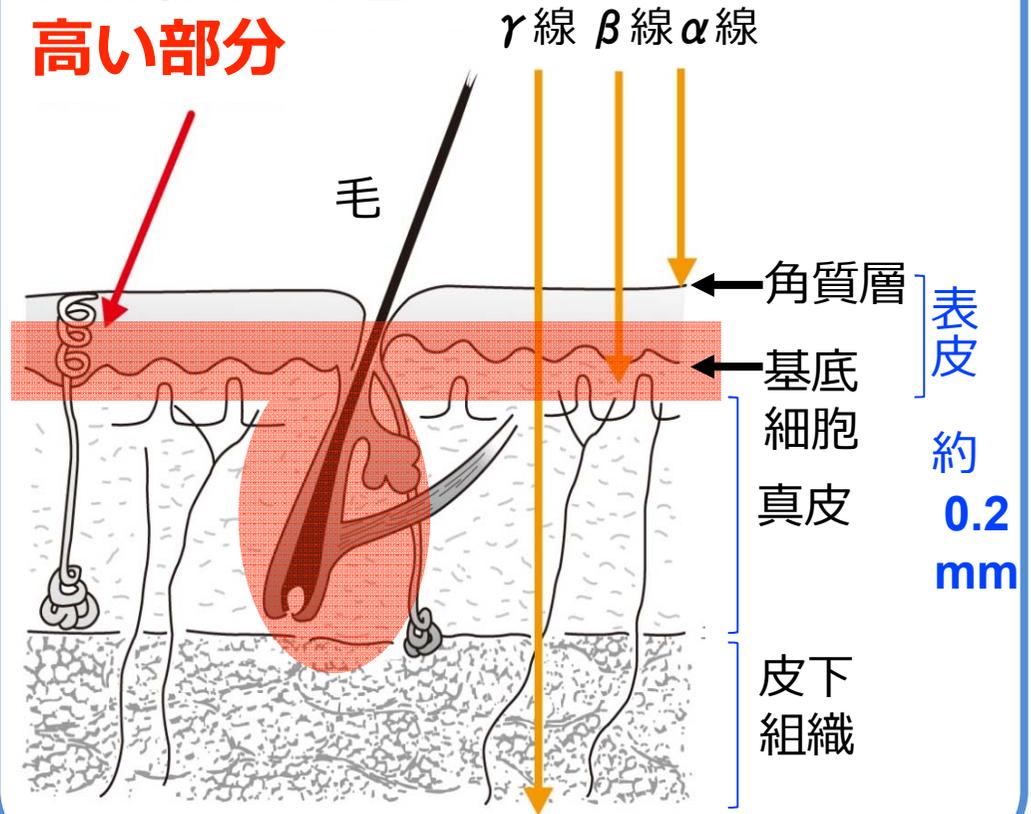
- ・全身被ばく
- ・局所被ばく（例：放射性ヨウ素を取り込んだ甲状腺の被ばく）

# 外部被ばくと皮膚



## 皮膚の構造

放射線感受性の高い部分



## ① 経口摂取

口から入り（飲み込み）  
消化管で吸収

## ② 吸入摂取

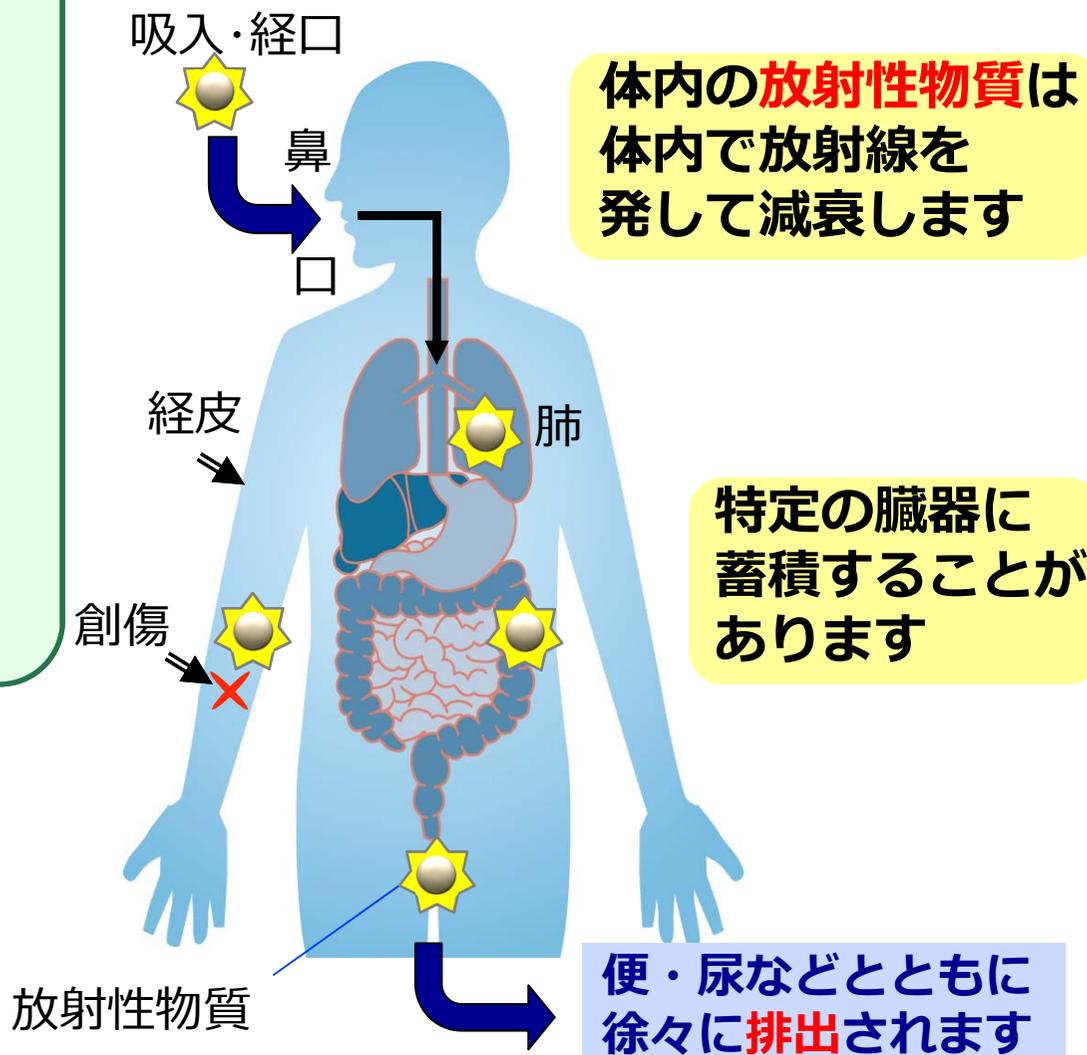
呼吸気道から侵入  
肺・気道表面から吸収

## ③ 経皮吸収

皮膚より吸収

## ④ 創傷侵入

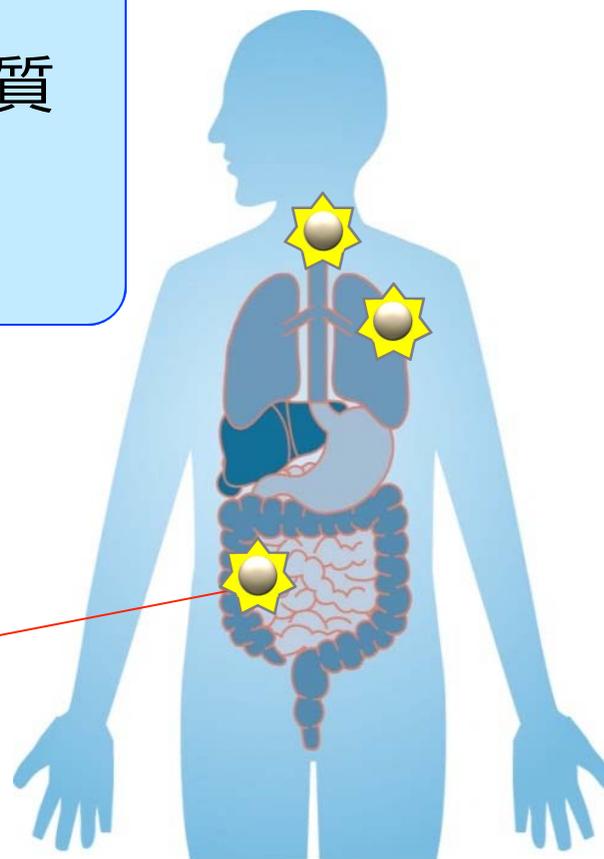
傷口より侵入



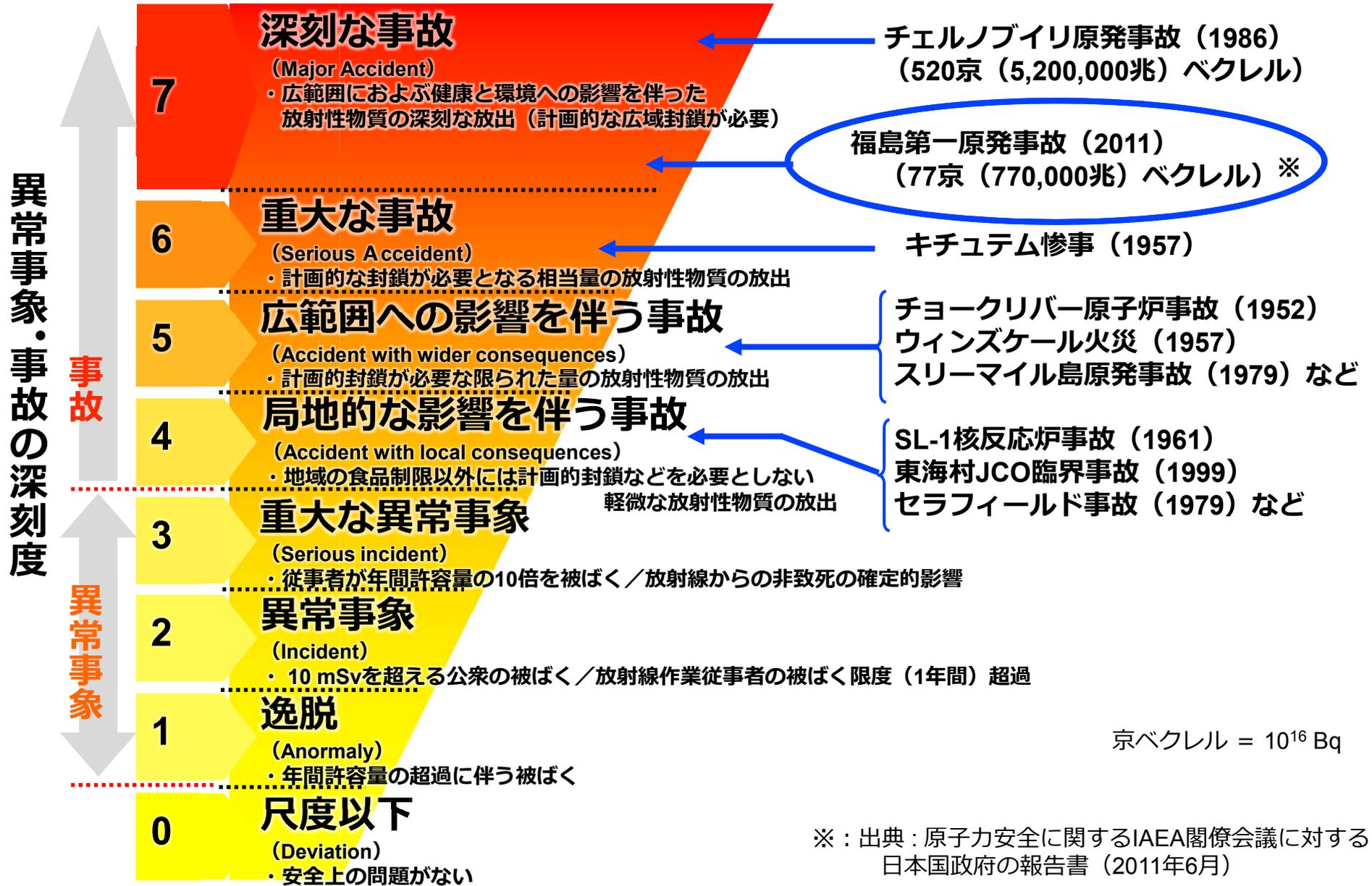
## 内部被ばくで特に問題となる放射性物質の特徴

- ①  $\alpha$ 線を出す物質 >  $\beta$ 線や $\gamma$ 線を出す物質
- ② 取り込まれやすく、排泄されにくい物質
- ③ 特定の組織に蓄積されやすい物質

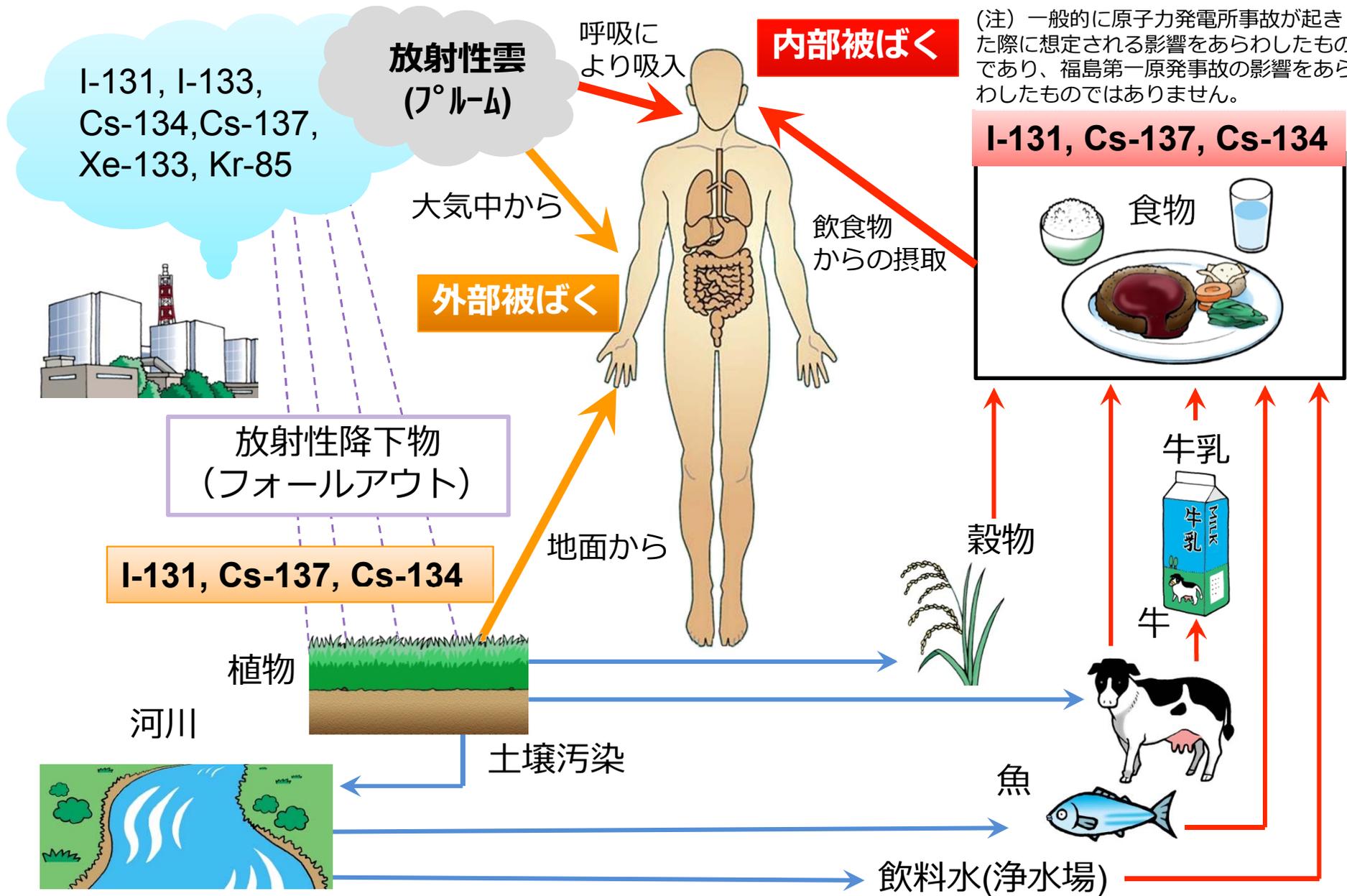
放射性物質



# 国際原子力事象評価尺度



# 放射能汚染の態様



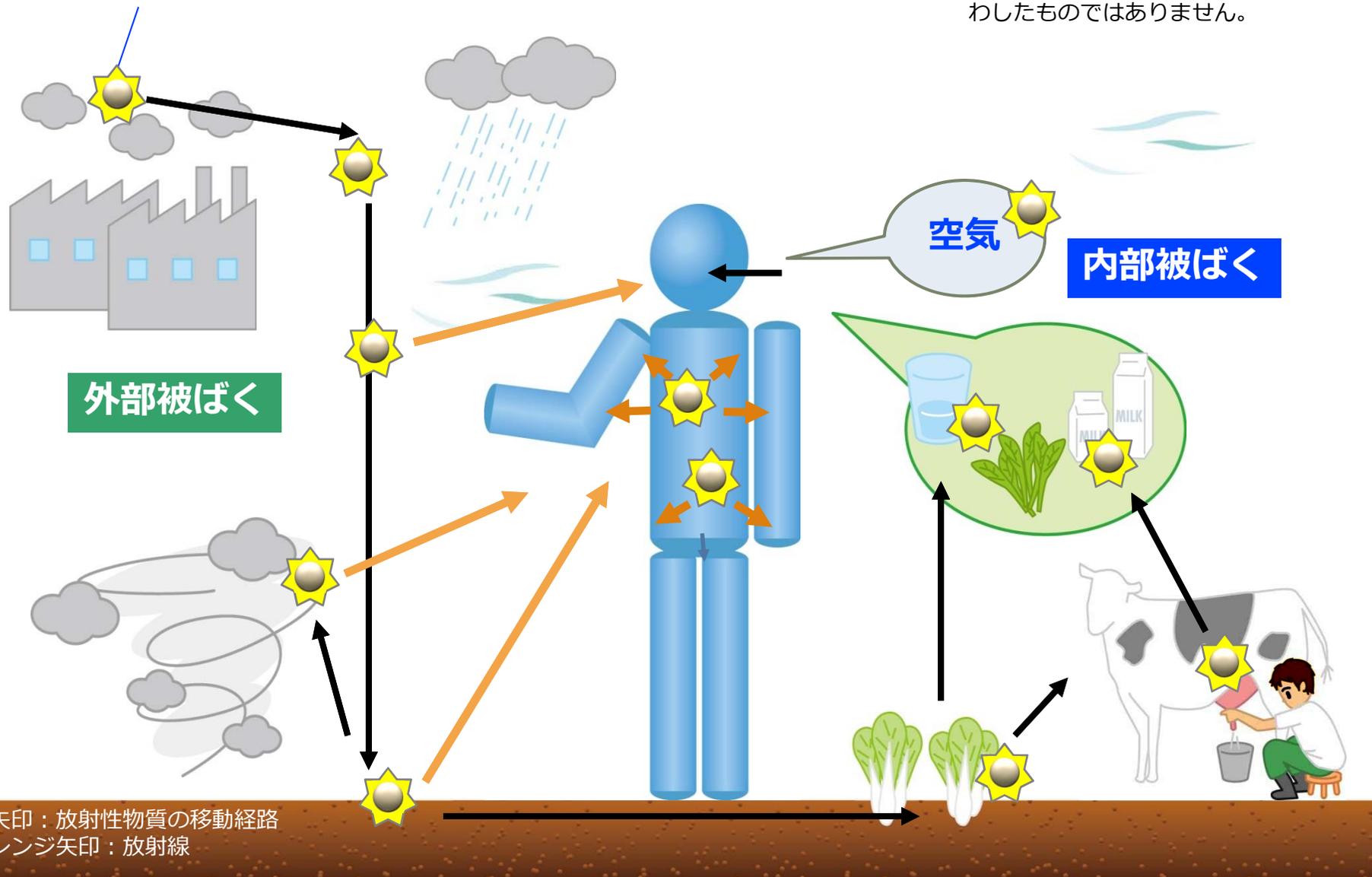
(注) 一般的に原子力発電所事故が起きた際に想定される影響をあらわしたものであり、福島第一原発事故の影響をあらわしたものではありません。



# 原子炉事故による影響

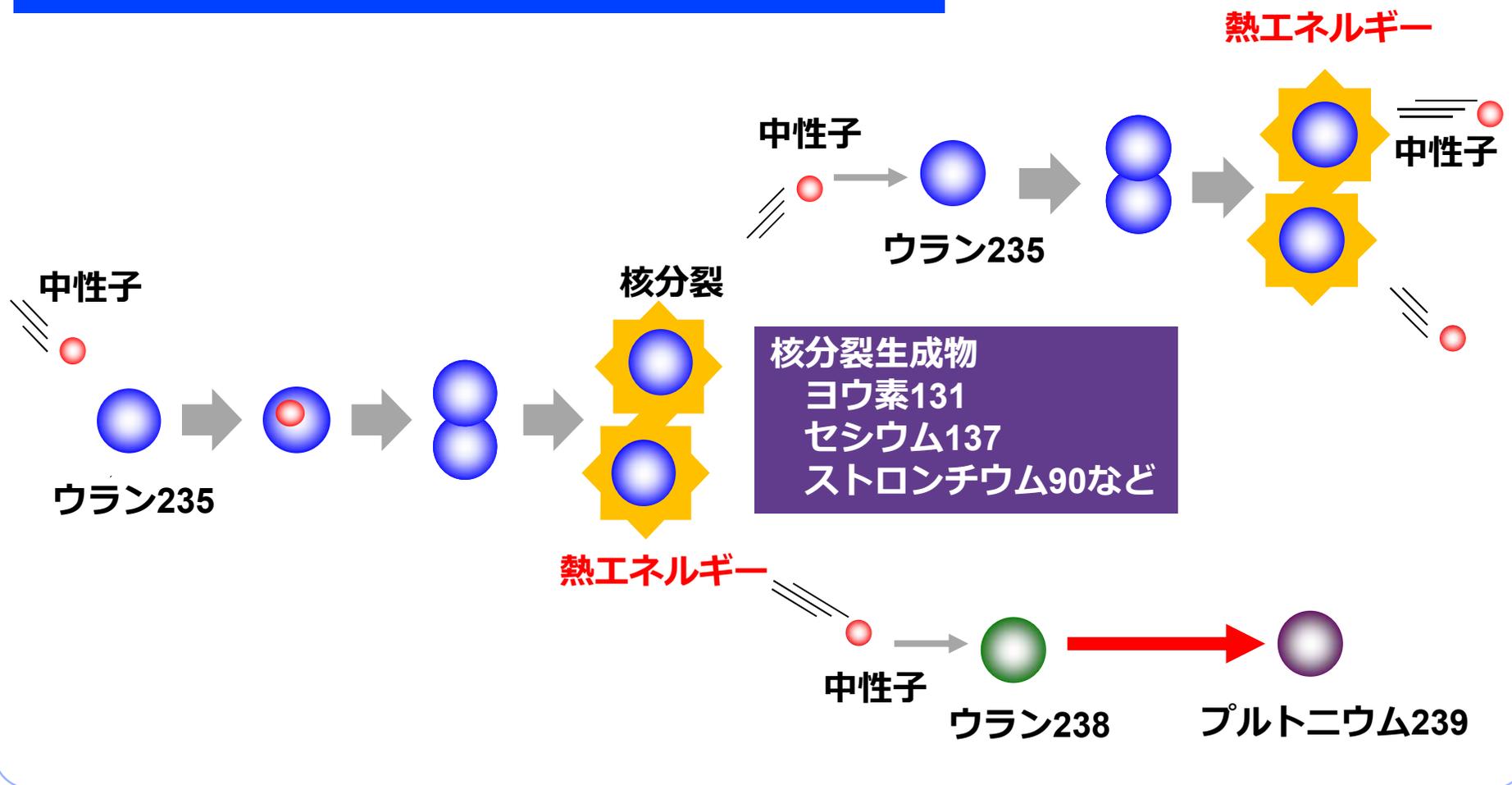
## 放射性物質 (放射性ヨウ素、放射性セシウムなど)

(注) 一般的に原子力発電所事故が起きた際に想定される影響をあらわしたものであり、福島第一原発事故の影響をあらわしたものではありません。



# 原子炉内の生成物

## 軽水炉の核分裂とプルトニウムの生成



# 原発事故由来の放射性物質

	I-131 ヨウ素131	Cs-134 セシウム134	Cs-137 セシウム137	Sr-90 ストロンチウム90	Pu-239 プルトニウム239
出す放射線の種類	$\beta, \gamma$	$\beta, \gamma$	$\beta, \gamma$	$\beta$	$\alpha, \gamma$
物理学的半減期	8日	2.1年	30年	29年	24,000年
実効半減期	8日	64日	70日	15年	197年
蓄積する器官・組織	甲状腺	全身	全身	骨	骨、肝臓

実効半減期：体内に取り込まれた放射性物質の量が、生物学的排泄作用（生物学的半減期）及び放射性物質の物理的壊変（物理学的半減期）の両者によって減少し半分になるまでの時間。緊急被ばく医療テキスト（医療科学社）の値を引用しました。

# ベクレルとシーベルト

## ベクレル (Bq)

放射能の量を表す単位

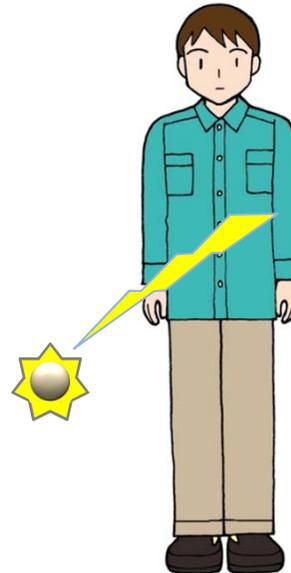
1秒間に1個原子核が変化 =  
1ベクレル (Bq)

放射性物質



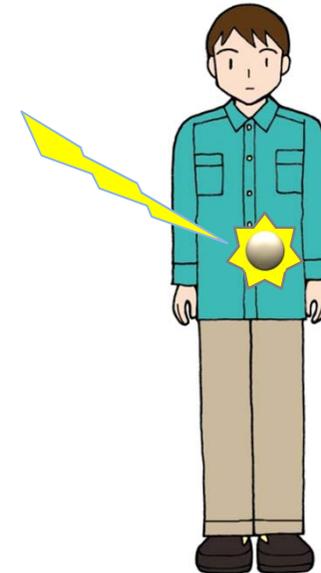
## シーベルト (Sv)

人が受ける被ばく線量の単位。  
放射線影響に関係付けられる



体外から

1ミリシーベルト



体内から

1ミリシーベルト

人体影響の大きさは同じ程度

# シーベルトの由来

シーベルトは“Sv”の記号で表す

- 1ミリシーベルト (mSv)  
= 1/1000 Sv
- 1マイクロシーベルト ( $\mu$ Sv)  
= 1/1000 mSv



**ロルフ・シーベルト** (1896-1966)

スウェーデン国立放射線防護研究所創設者  
国際放射線防護委員会 (ICRP) 創設に参画

# 単位間の関係

## 放射線を出す側

放射能の強さ※1

ベクレル  
(Bq)

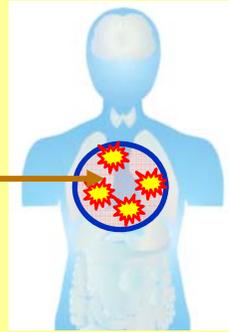


放射性物質

※1：1秒間に壊変する  
原子核の数

## 放射線を受ける側

吸収線量※2  
グレイ (Gy)



放射線を受けた単位質量の物質が吸収する  
エネルギー量

$$\text{Gy} = \frac{\text{吸収されたエネルギー (J)}}{\text{放射線を受けた部分の質量 (kg)}}$$

※2：物質1kgあたりに吸収されるエネルギー  
(ジュール：J、1J≒4.2カロリー)、SI単位はJ/kg

放射線の種類による影響の違い

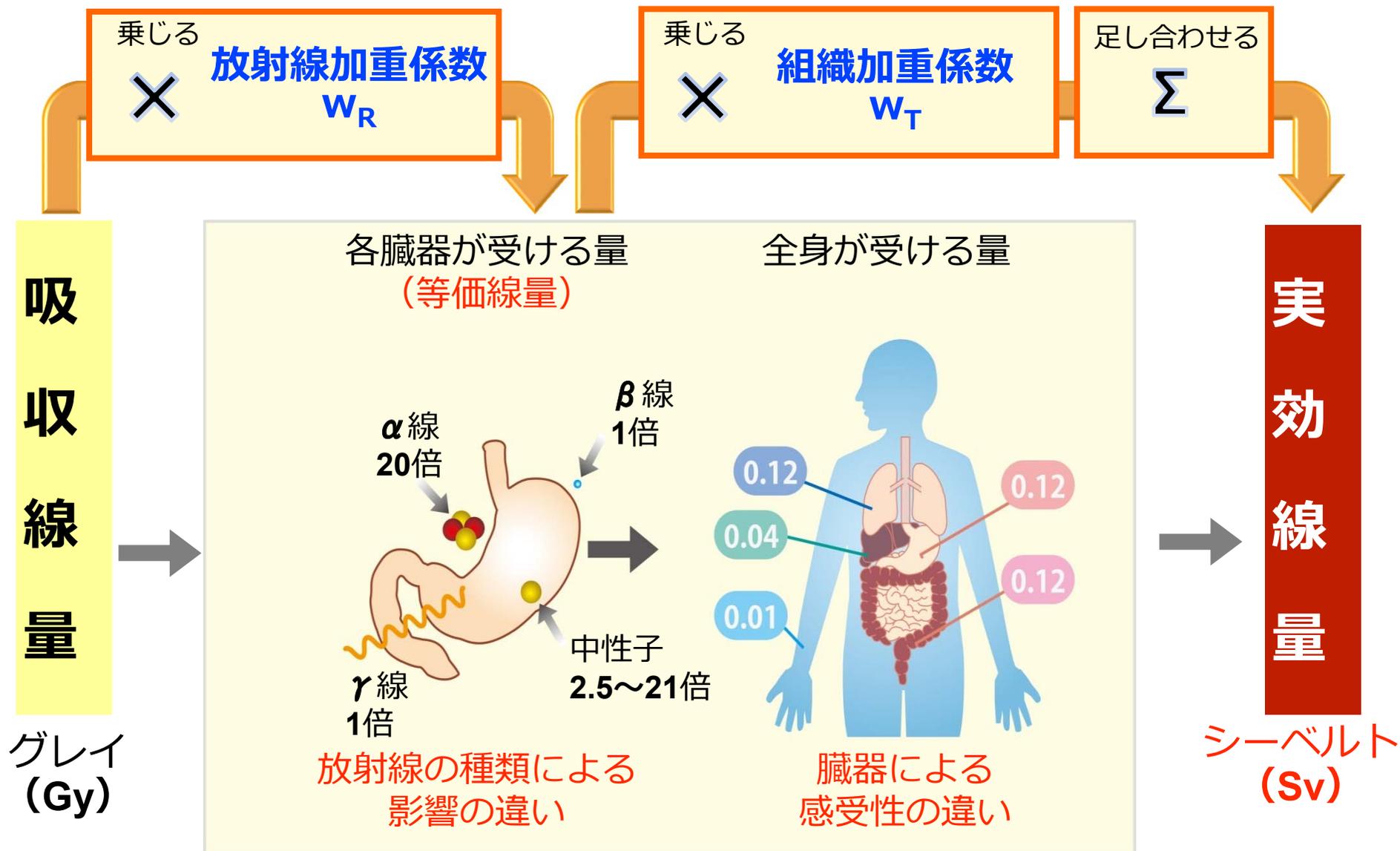
等価線量 (Sv)

臓器による感受性の違い

実効線量  
シーベルト (Sv)

放射線の量を人体影響の大きさを表す  
単位

# グレイからシーベルトへの換算



## さまざまな係数

$$\text{等価線量 (Sv)} = \text{放射線加重係数 } w_R \times \text{吸収線量 (Gy)}$$

放射線の種類	放射線加重係数 $w_R$
$\gamma$ 線、X線、 $\beta$ 線	1
陽子線	2
$\alpha$ 線、重イオン	20
中性子線	2.5~21

$$\text{実効線量 (Sv)} = \sum (\text{組織加重係数 } w_T \times \text{等価線量})$$

組織	組織加重係数 $w_T$
骨髄（赤色）、結腸、肺、胃、乳房	0.12
生殖腺	0.08
膀胱、食道、肝臓、甲状腺	0.04
骨表面、脳、唾液腺、皮膚	0.01
残りの組織の合計	0.12

Sv : シーベルト Gy : グレイ

出典 : 国際放射線防護委員会 (ICRP) 2007年勧告

# 等価線量と実効線量の計算

$$\text{実効線量 (シーベルト (Sv))} = \Sigma (\text{組織加重係数} \times \text{等価線量})$$

全身に均等に  $\gamma$  線が  
**1ミリグレイ (mGy)**  
当たった場合



$$\begin{aligned} \text{実効線量} &= \\ &0.12 \times 1 \text{ (ミリシーベルト)} \text{ 骨髄} \\ &+ 0.12 \times 1 \text{ (ミリシーベルト)} \text{ 結腸} \\ &+ 0.12 \times 1 \text{ (ミリシーベルト)} \text{ 肺} \\ &+ 0.12 \times 1 \text{ (ミリシーベルト)} \text{ 胃} \\ &\quad \vdots \\ &+ 0.01 \times 1 \text{ (ミリシーベルト)} \text{ 皮膚} \\ &= 1.00 \times 1 \text{ (ミリシーベルト)} \\ &= \mathbf{1 \text{ ミリシーベルト (mSv)}} \end{aligned}$$

頭部だけに均等に  $\gamma$  線が  
**1ミリグレイ (mGy)**  
当たった場合



$$\begin{aligned} \text{実効線量} &= \\ &0.04 \times 1 \text{ (ミリシーベルト)} \text{ 甲状腺} \\ &+ 0.01 \times 1 \text{ (ミリシーベルト)} \text{ 脳} \\ &+ 0.01 \times 1 \text{ (ミリシーベルト)} \text{ 唾液腺} \\ &+ 0.12 \times 1 \text{ (ミリシーベルト)} \times 0.1 \text{ 骨髄 (10\%)} \\ &+ 0.01 \times 1 \text{ (ミリシーベルト)} \times 0.15 \text{ 皮膚 (15\%)} \\ &\quad \vdots \\ &= \mathbf{0.07 \text{ ミリシーベルト (mSv)}} \end{aligned}$$

# 放射線の単位 線量概念：物理量、防護量、実用量

## 物理量：直接計測できる

**放射能の強さ (Bq : ベクレル)**  
1秒間に変化する原子核の数

**吸収線量 (Gy : グレイ)**  
物質1kgあたりに吸収されるエネルギー

## 人体の被ばく線量：直接計測できない

物理量から  
定義

### 防護量

**等価線量 (Sv : シーベルト)**  
人の臓器や組織が個々に受ける  
影響を表す

**実効線量 (Sv : シーベルト)**  
個々の臓器や組織が受ける影響  
を総合して全身への影響を表す

### 実用量

**周辺線量当量 (Sv : シーベルト)**  
環境モニタリングにおいて  
用いられる防護量の近似値

**個人線量当量 (Sv : シーベルト)**  
個人モニタリングにおいて  
用いられる防護量の近似値

# 実効線量と線量当量

## 実効線量

放射線被ばくによる全身影響を表す。人体の臓器と組織の等価線量に組織加重係数を乗じたものを合計して算出するが、直接測定できない。

被ばく管理のために、実効線量の代わりに実際に測定できる線量当量を用いる

## 線量当量

人体の被ばく線量を表す線量概念の一つ。被ばく管理（環境モニタリング・個人モニタリング等）のために、実際に測定できる量（実用量）として用いられる。

### 周辺線量当量（空間線量）（Sv：シーベルト）

環境モニタリングにおいて用いられる。

人体の組織を模した直径30cmの球の表面から深さ  $d$  \* で生じる線量当量。

### 個人線量当量（Sv：シーベルト）

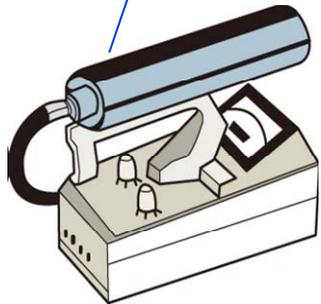
個人モニタリングにおいて用いられる。

人体のある指定された点における深さ  $d$  \* の線量当量。

※深さ  $d$  : 1cmの場合は実効線量、3mmの場合は目の水晶体の等価線量、70 $\mu$ mの場合は皮膚の等価線量に相当

# “シーベルト”を単位とする線量

サーベイメータ



① 全身被ばく  
実効線量

③ 局所被ばく  
等価線量

④ サーベイメータ  
の読み取り値

放射線物質  
(放射性ヨウ素、  
放射性セシウムなど)



個人線量計

② 内部被ばく  
預託実効線量

