

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



光



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



放射線



ベクレル (Bq)

▶ 放射能の単位

換算係数

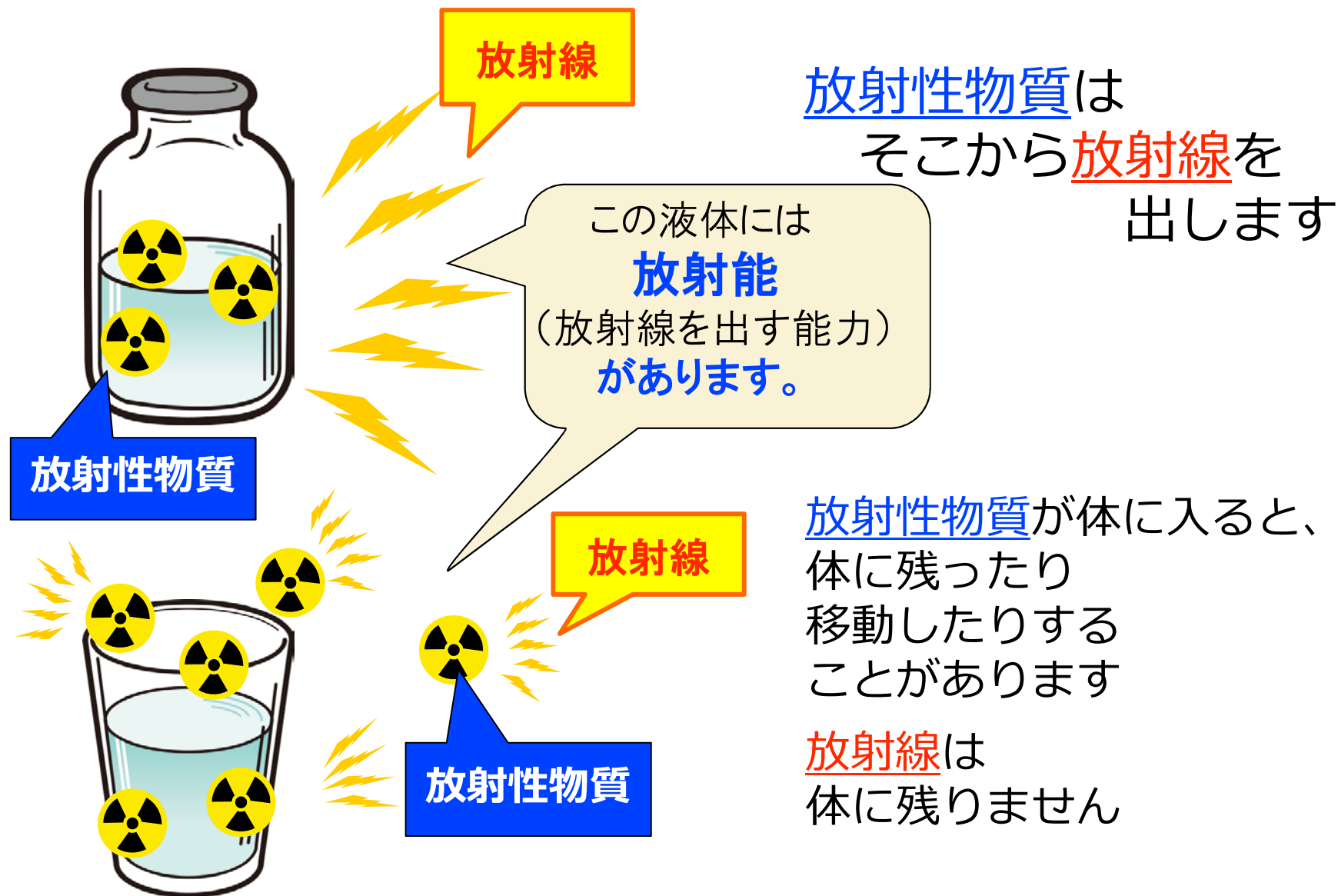
シーベルト (Sv)

▶ 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

はじめに

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

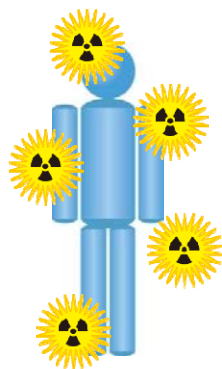


局所被ばく



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

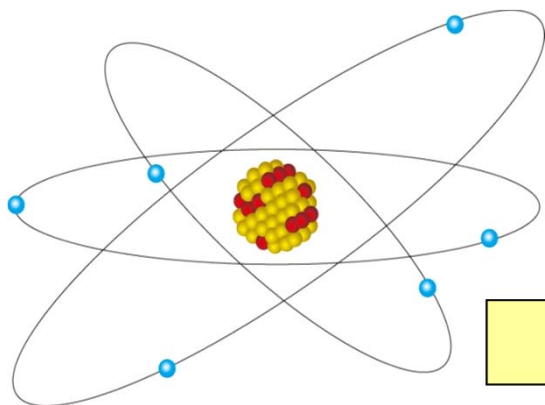
吸入
飲食



放射性物質



原子の構造と周期律



原子	原子核	陽子	電荷
		中性子	+
	電子		0
			-

陽子の数（原子番号）で化学的性質が決まります

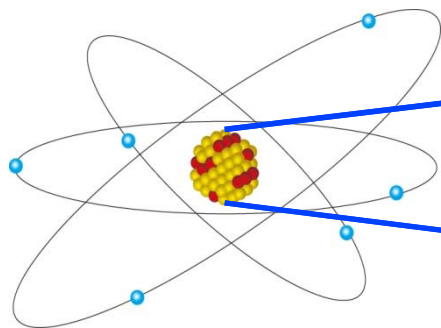
元素の周期律表

		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	<div>原子番号</div> <div>元素記号</div> <div>原子量</div> <div>典型非金属元素</div> <div>典型金属元素</div> <div>遷移金属元素</div>										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)					
		<div>57-71 ランタノイド</div> <div>57 La 138.9</div> <div>58 Ce 140.1</div> <div>59 Pr 140.9</div> <div>60 Nd 144.2</div> <div>61 Pm (145)</div> <div>62 Sm 150.4</div> <div>63 Eu 152.0</div> <div>64 Gd 157.3</div> <div>65 Tb 158.9</div> <div>66 Dy 162.5</div> <div>67 Ho 164.9</div> <div>68 Er 167.3</div> <div>69 Tm 168.9</div> <div>70 Yb 173.0</div> <div>71 Lu 175.0</div> <div>89-103 アクチノイド</div> <div>89 Ac (227)</div> <div>90 Th 232.0</div> <div>91 Pa 231.0</div> <div>92 U 238.0</div> <div>93 Np (237)</div> <div>94 Pu (239)</div> <div>95 Am (243)</div> <div>96 Cm (247)</div> <div>97 Bk (247)</div> <div>98 Cf (252)</div> <div>99 Es (252)</div> <div>100 Fm (257)</div> <div>101 Md (256)</div> <div>102 No (259)</div> <div>103 Lr (260)</div>																	

() 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}C	^{12}C	^{13}C	^{14}C	^{133}Cs	^{134}Cs	^{137}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

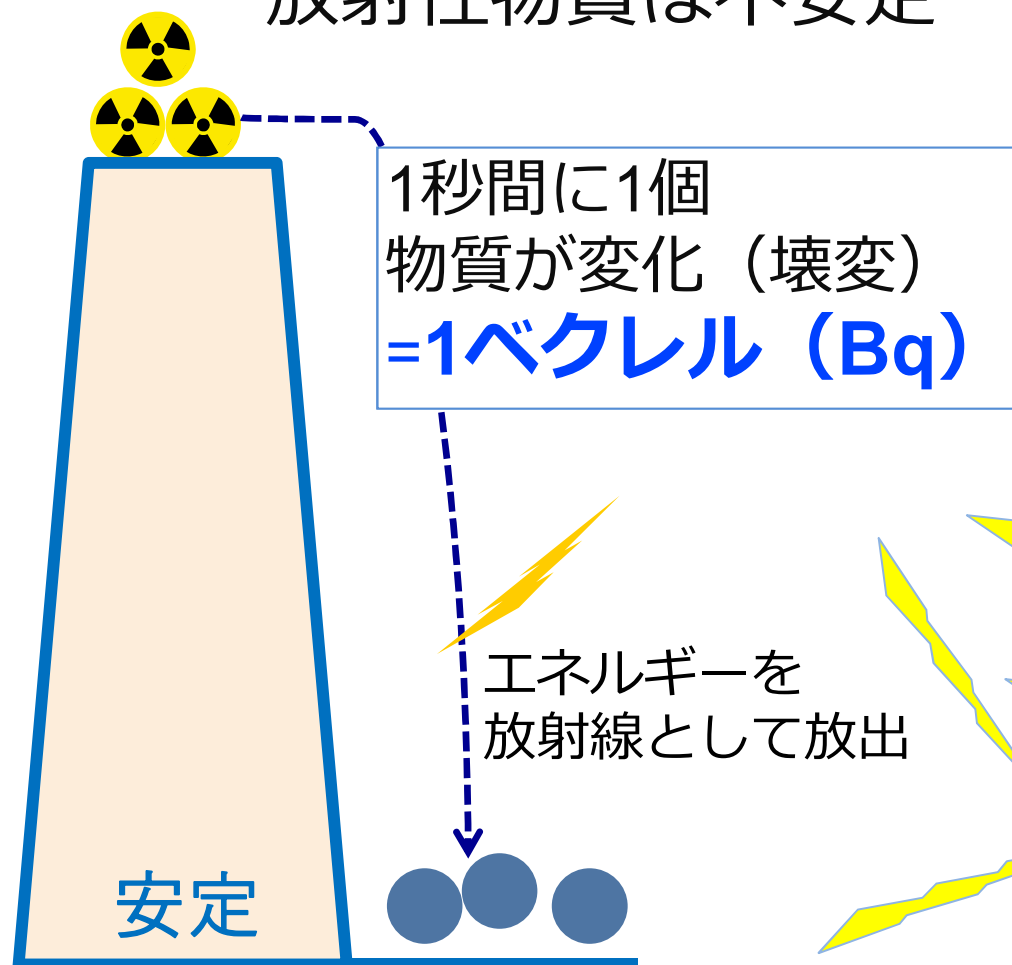
自然由来・人工由来

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

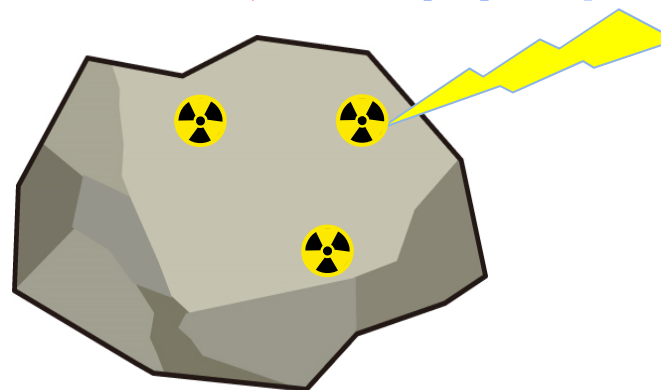
赤字は人工放射性物質 α : α (アルファ) 線、 β : β (ベータ) 線、 γ : γ (ガンマ) 線

壊変と放射線

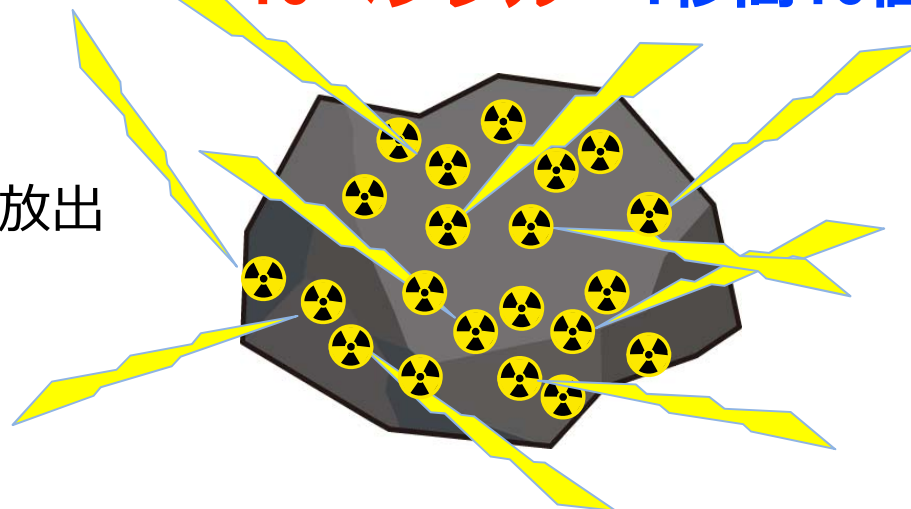
放射性物質は不安定



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

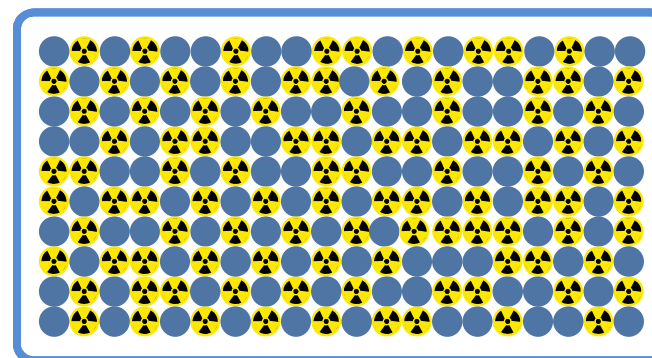
放射線を出す能力（放射能）の減り方

最初の状態
(不安定な原子核が並んでいる)



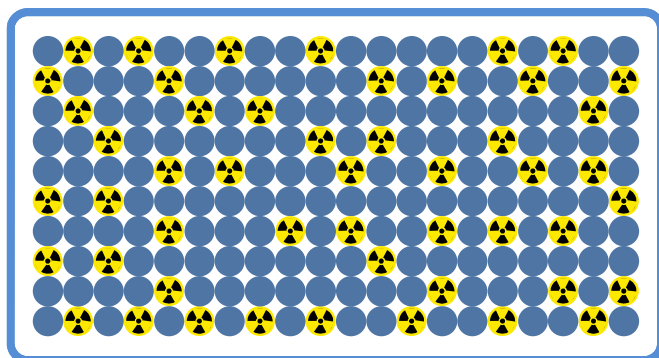
● は200個

半減期分の時間が経過



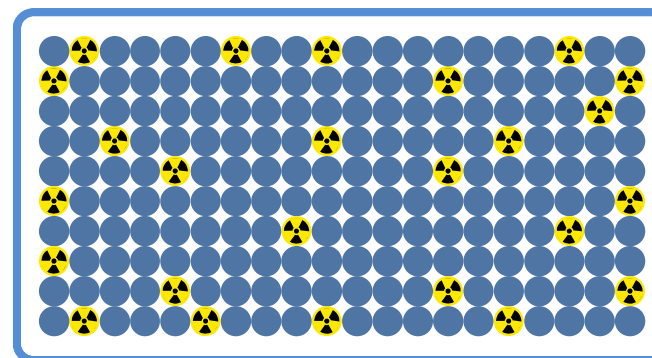
● は100個（最初の半分）

半減期の2倍の時間が経過



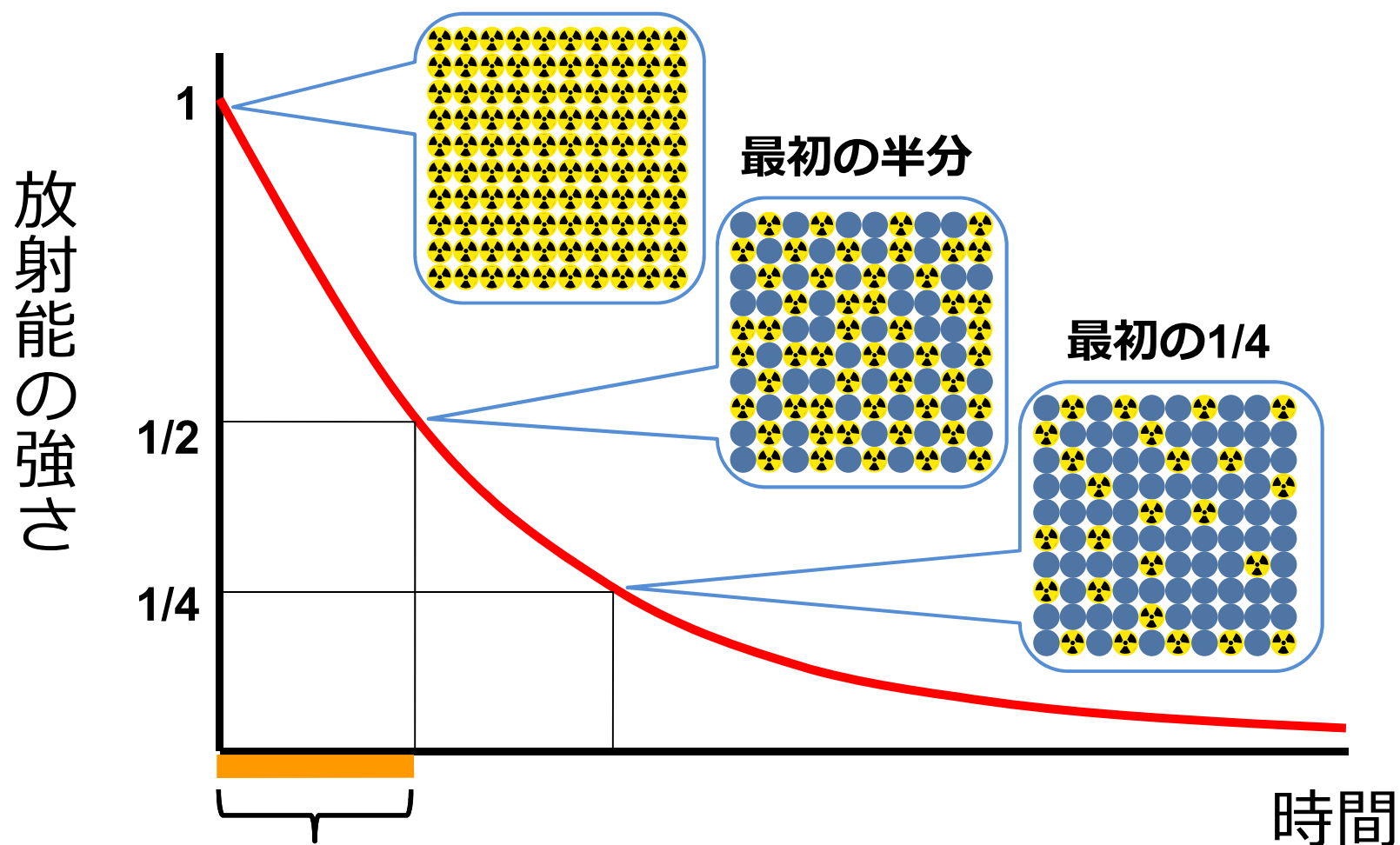
● は50個(最初の1/4)

半減期の3倍の時間が経過



● は25個（最初の1/8）

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
- ・ トリウム232
- ・ ウラン235

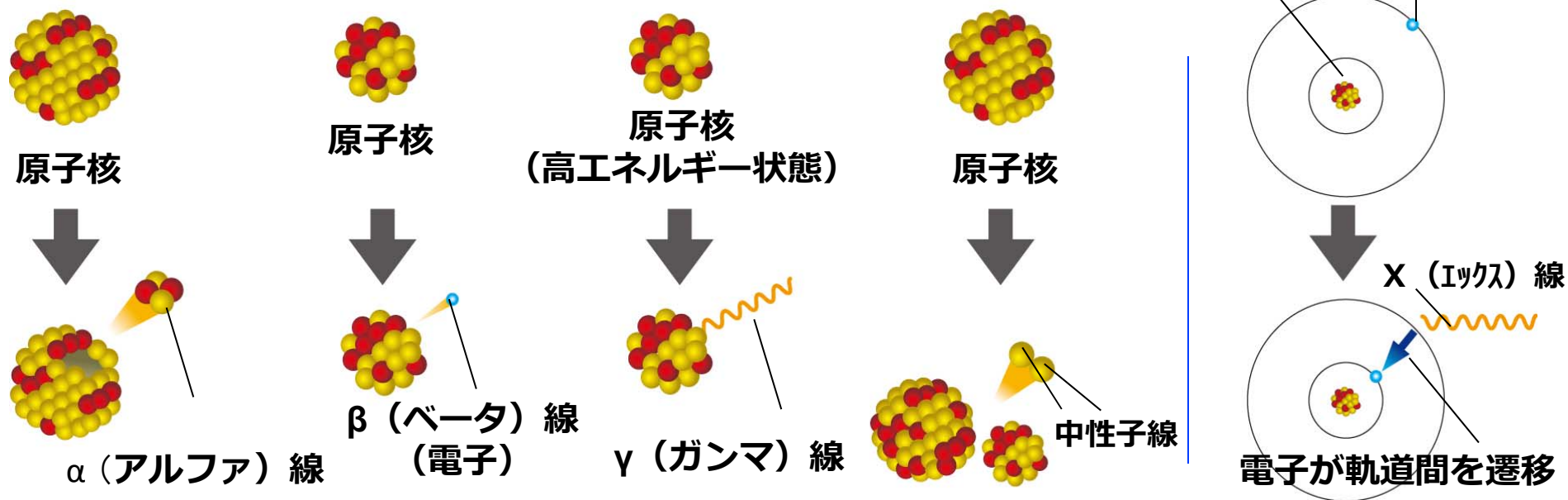
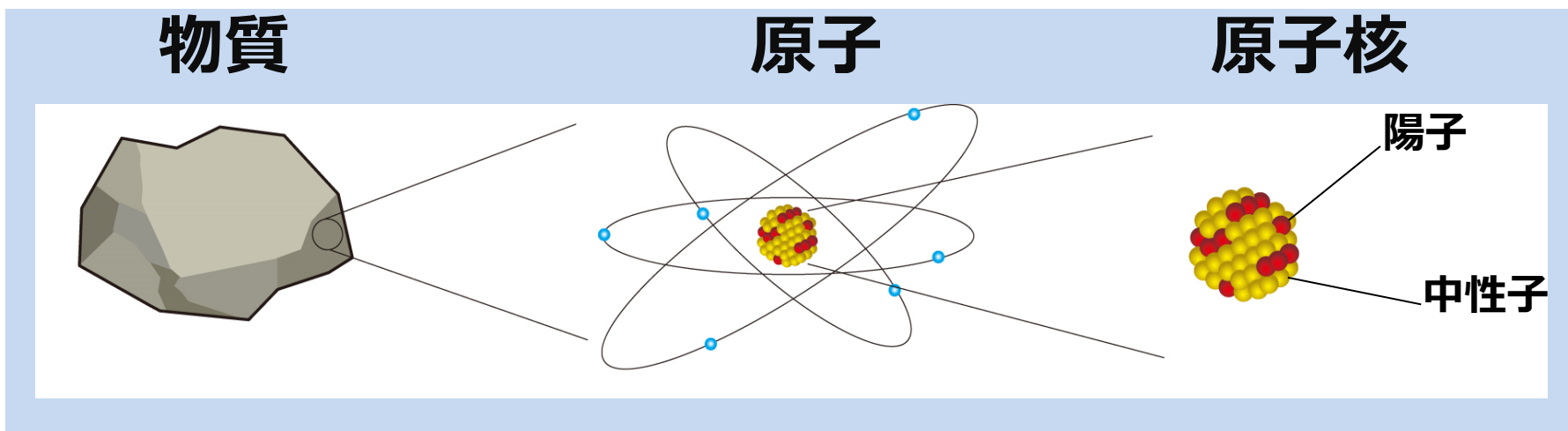
半減期：45億年

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
- ・ ルビジウム87 等

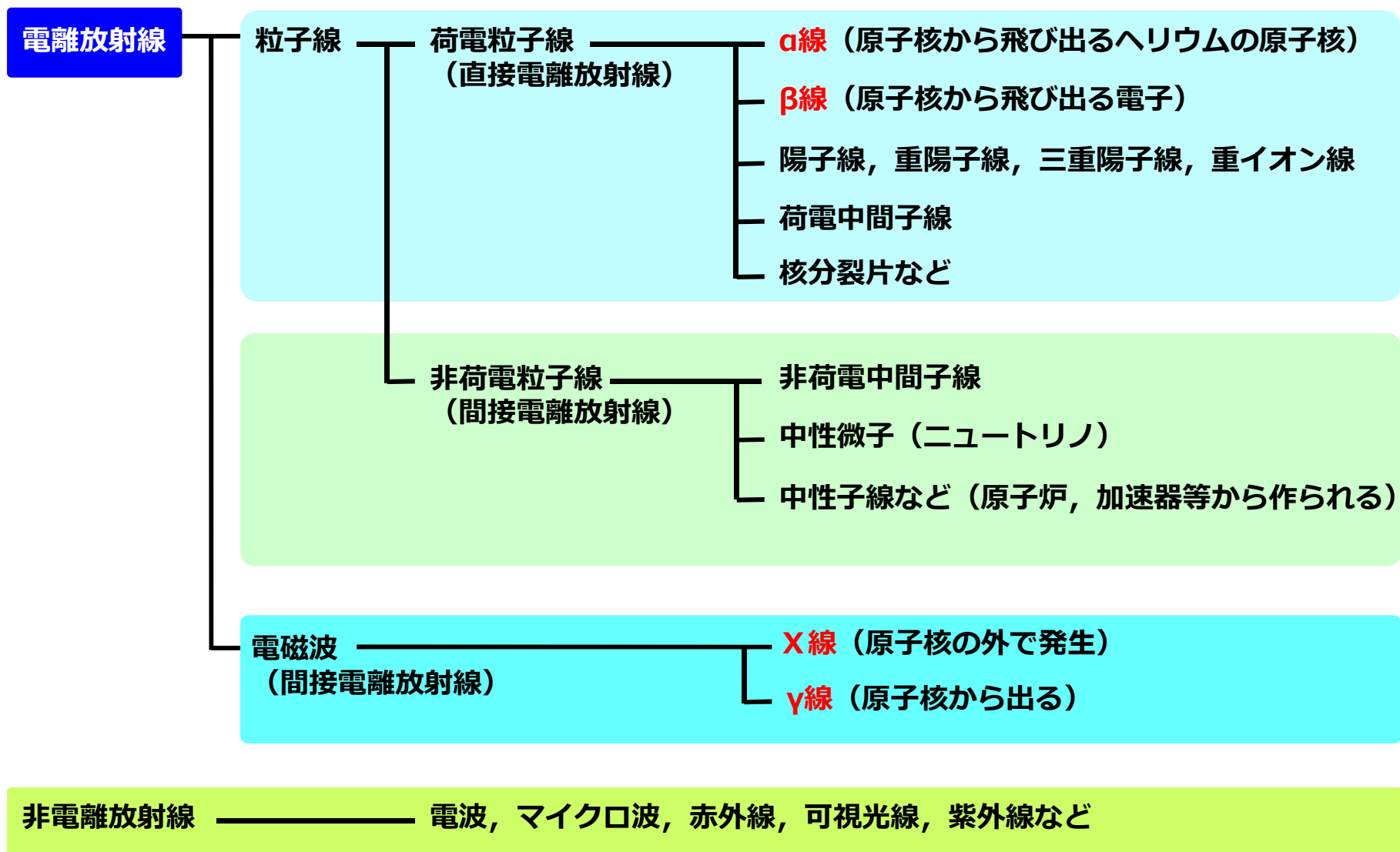
半減期：13億年

放射線はどこで生まれる？



放射線

放射線の種類



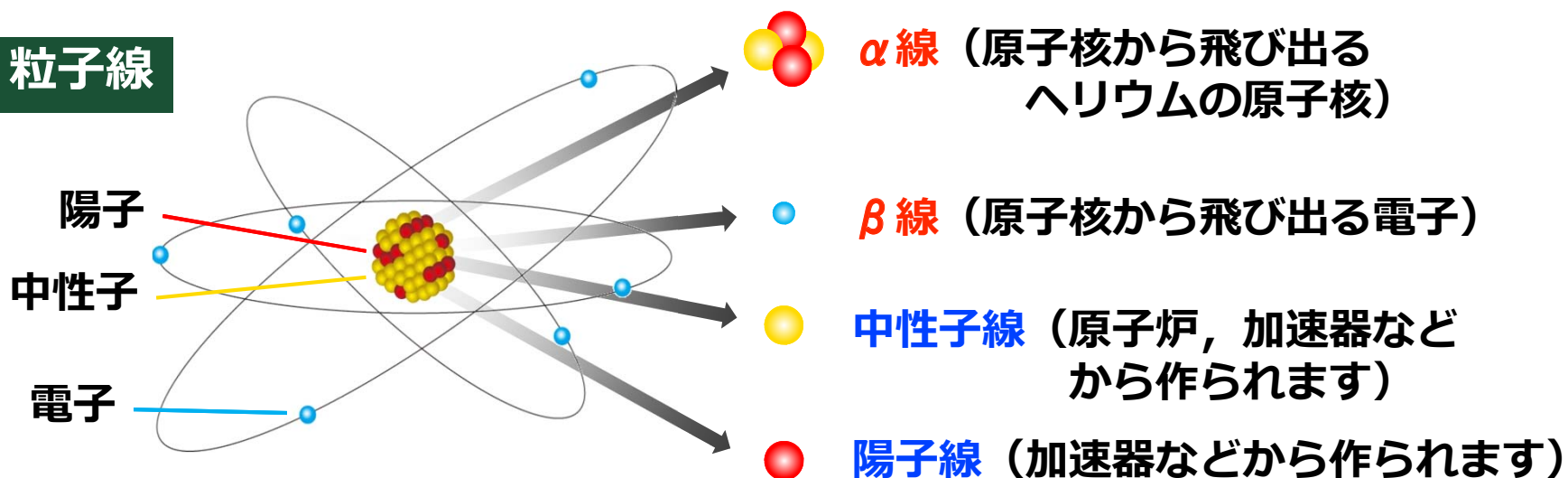
放射線には電離放射線と非電離放射線がありますが、通常放射線といった場合は、電離放射線のことをいいます。

放射性物質から放出される電離放射線

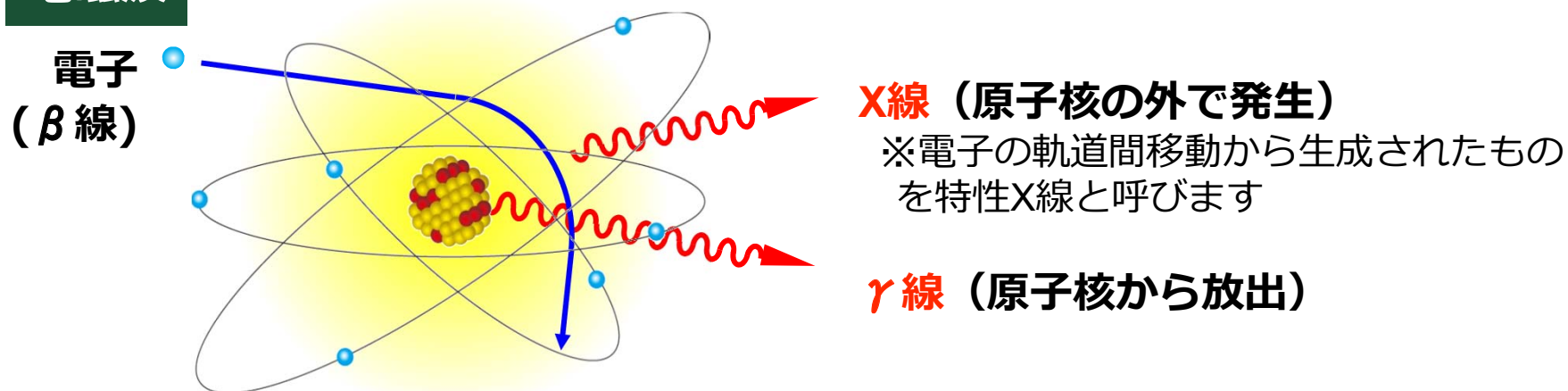
電離放射線

放射性物質から放出される粒子線あるいは電磁波

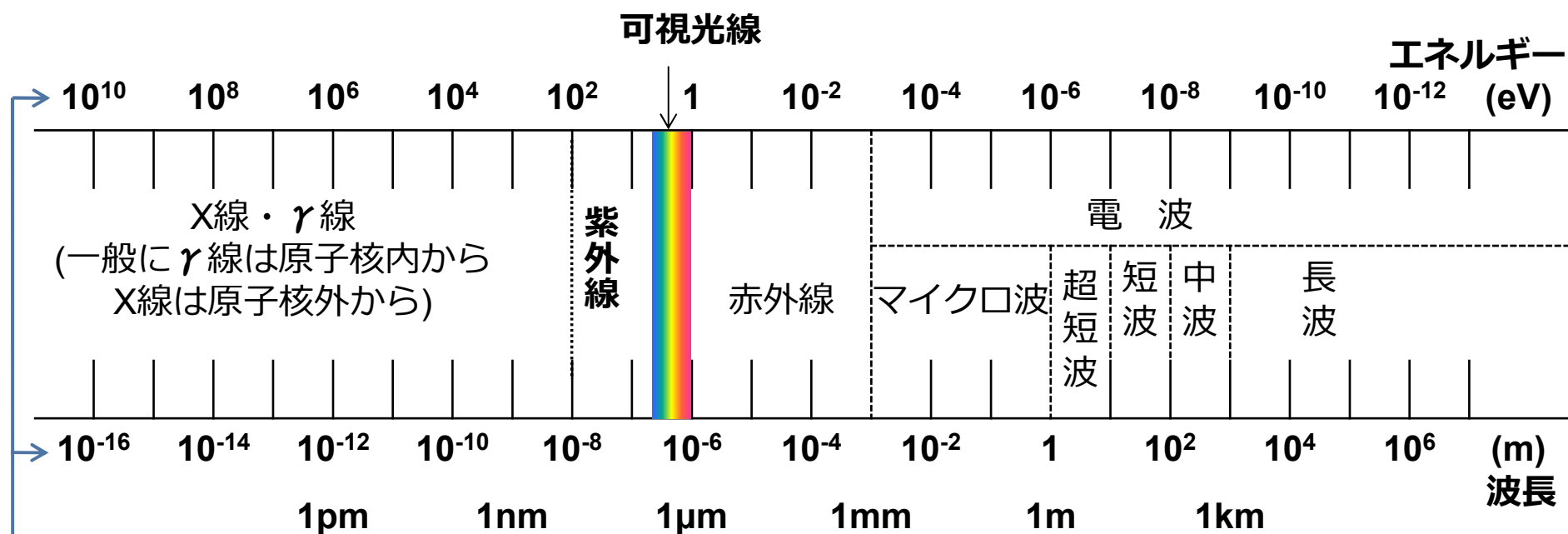
粒子線



電磁波

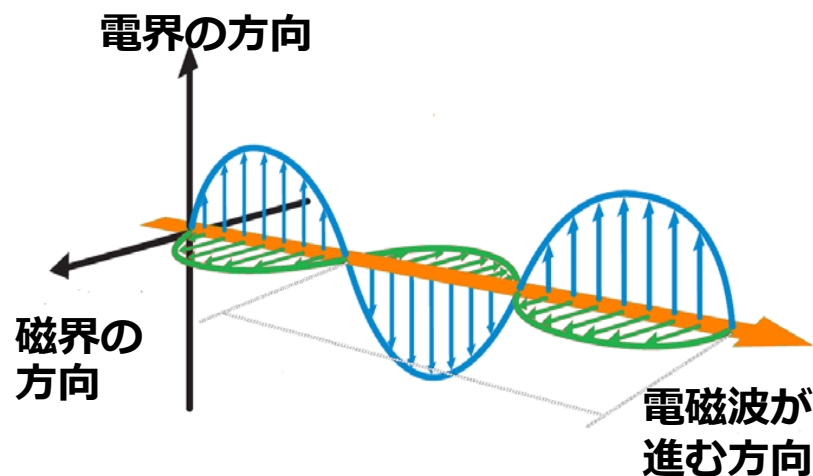


電磁波の仲間



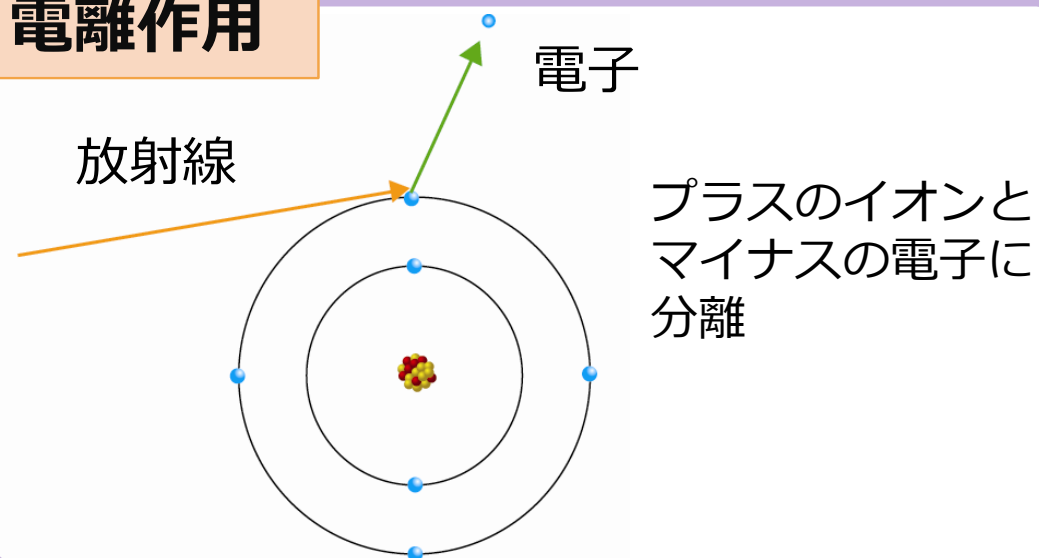
- ・ 光は波としての性質の他に粒子としての性質を持ちます
 - ・ 電磁波を粒子ととらえたときに「光子」と呼びます
- 上の数字は光子のエネルギー(eV)、
下の数字は波動としての波長(m)を示します

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

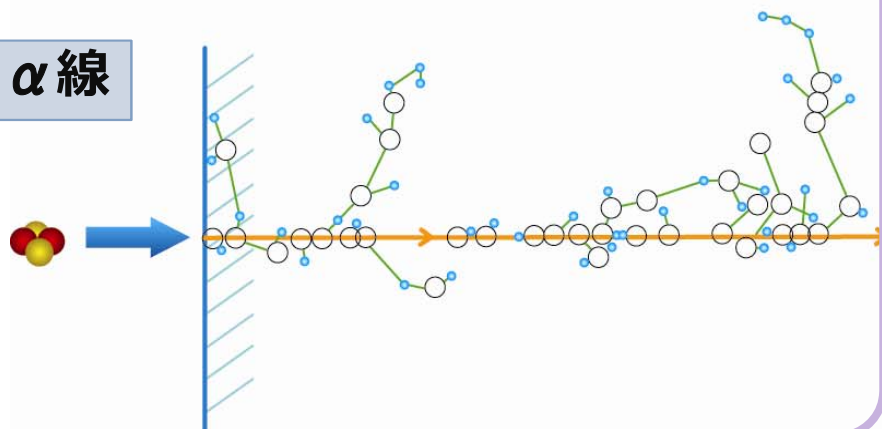


放射線の電離作用 – 電離放射線の性質

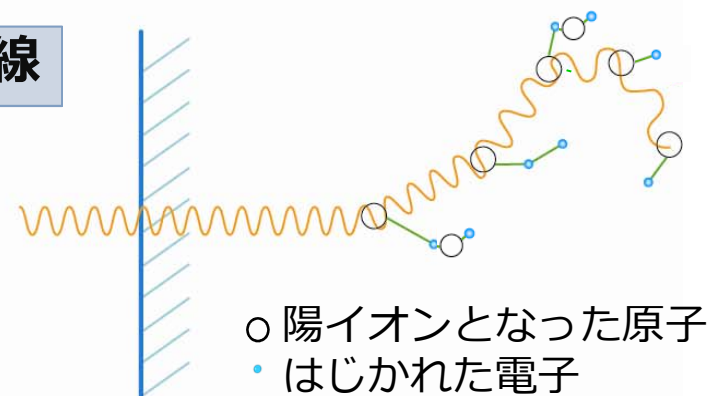
電離作用



α 線



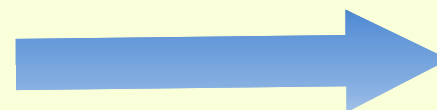
γ 線



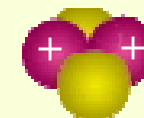
放射線の種類と生物への影響力

• α 線

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

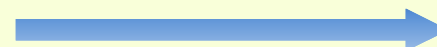


電離密度高

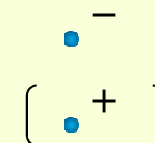


• β 線

- 電子 (あるいは陽電子)
- 荷電粒子 (-あるいは+)



電離密度低



• γ 線・X線

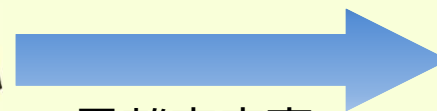
- 電磁波 (光子)



電離密度低・透過力大

• 中性子線

- 中性子
- 非荷電粒子

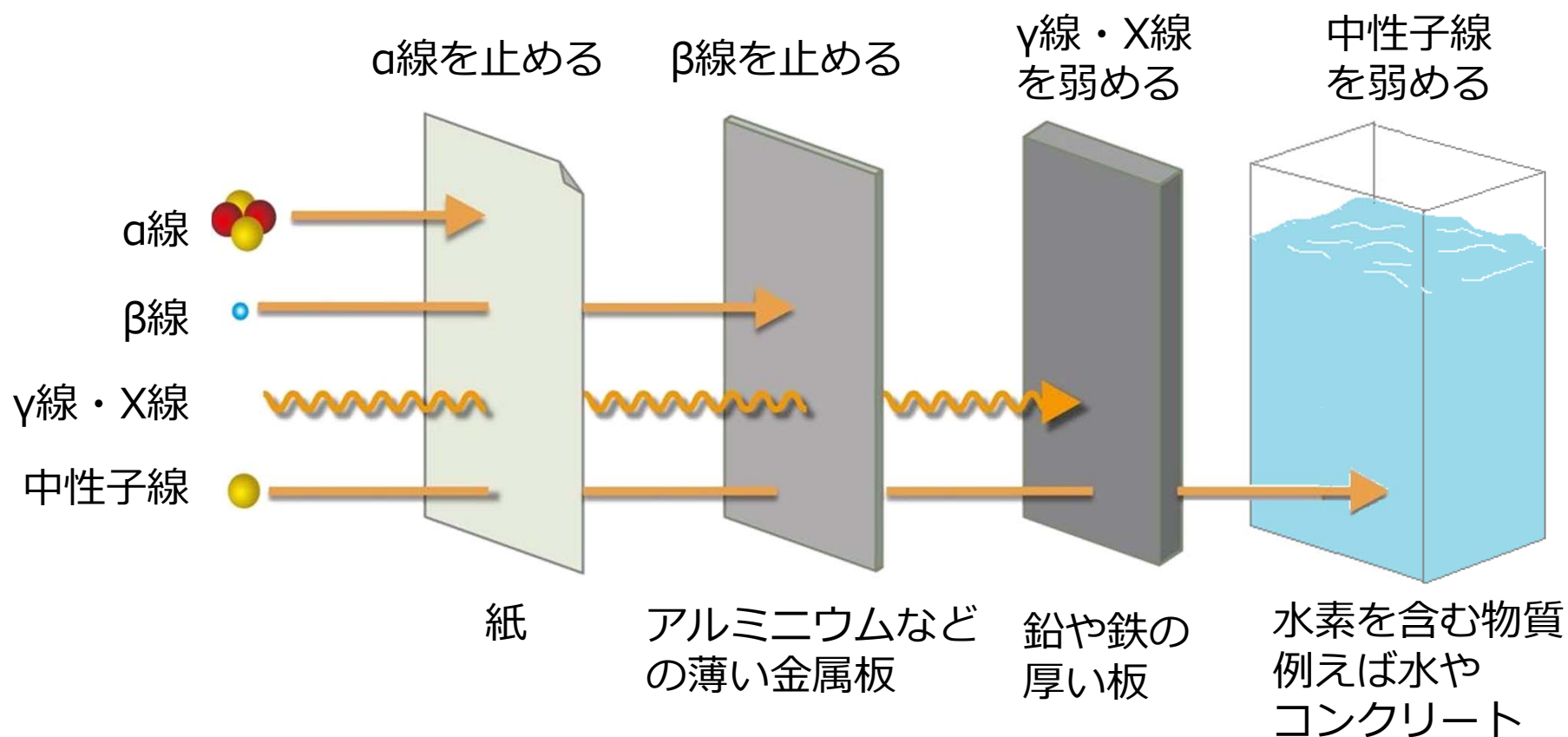


電離密度高



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)

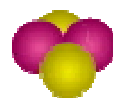


数10m～
(エネルギーによる)



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)

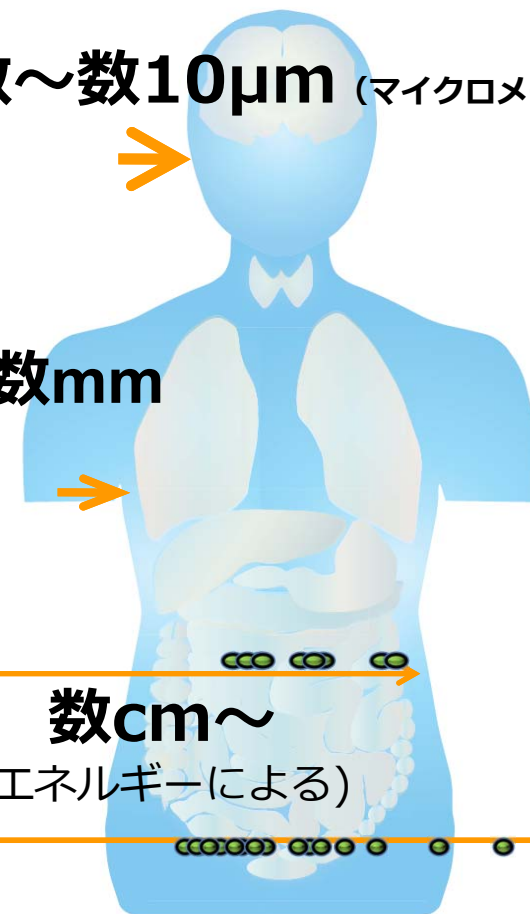


数mm



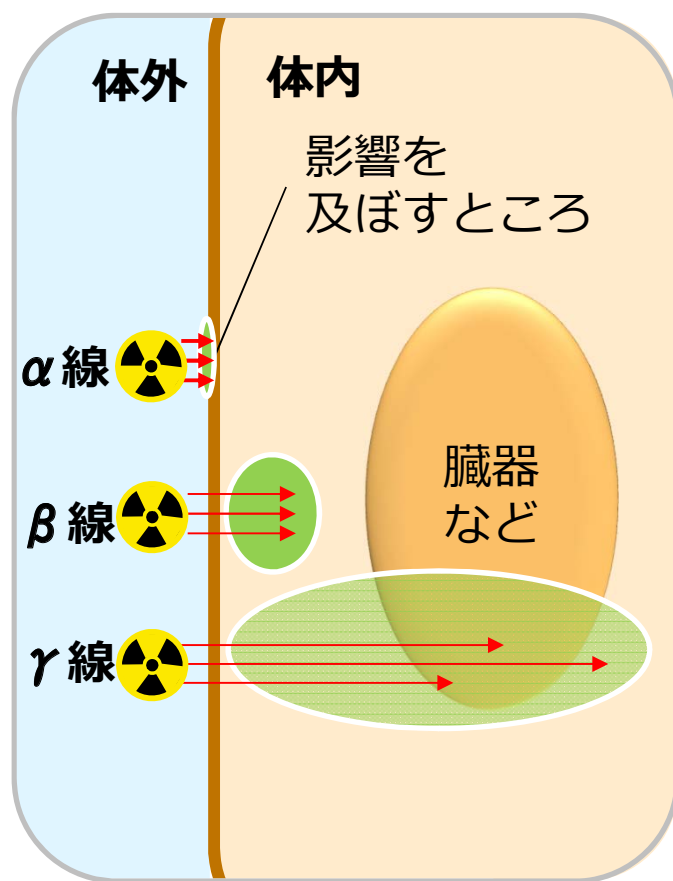
数cm～

(エネルギーによる)

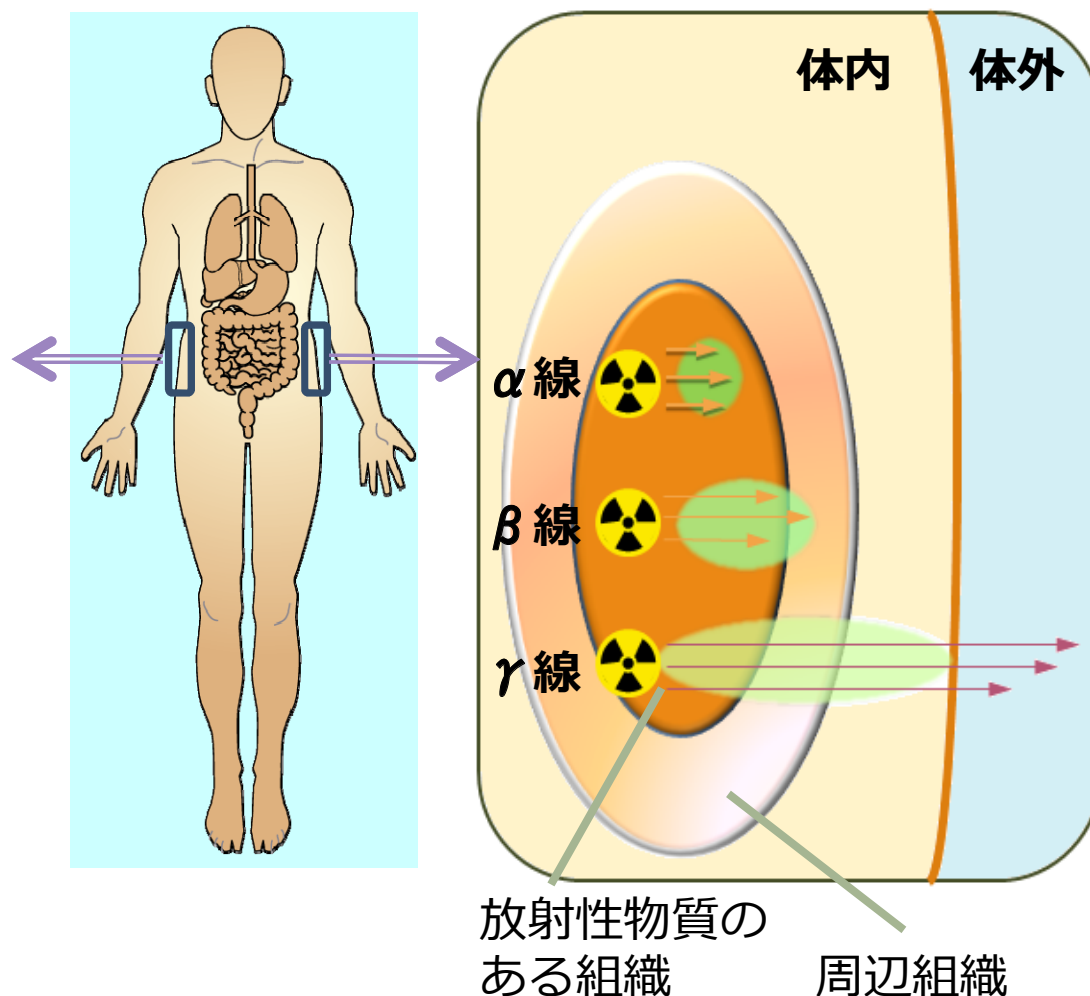


透過力と人体での影響範囲

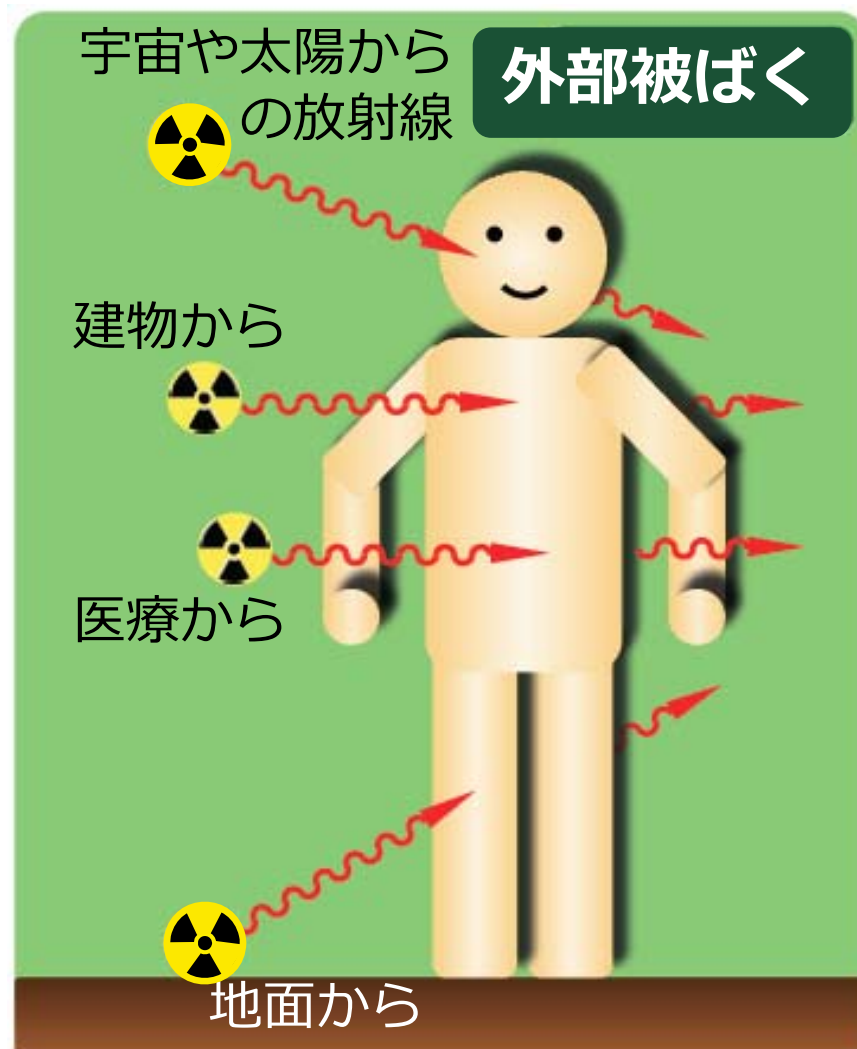
放射性物質が体外にある場合



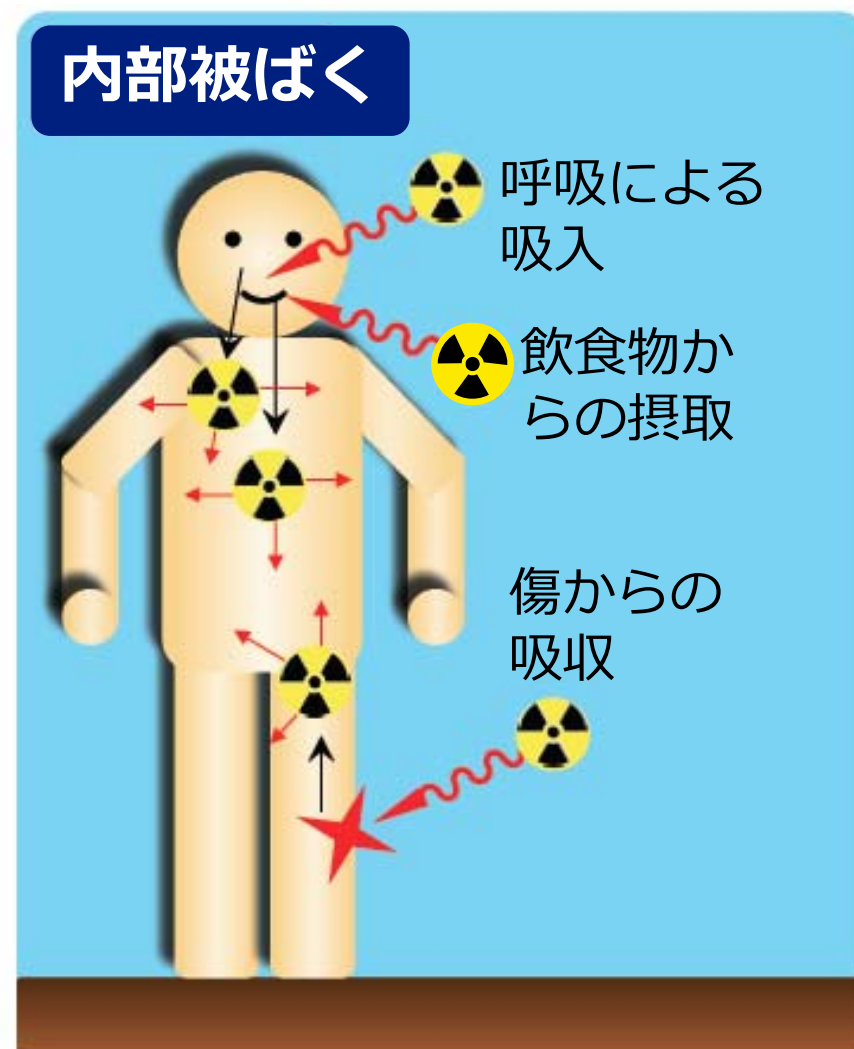
放射性物質が体内にある場合



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

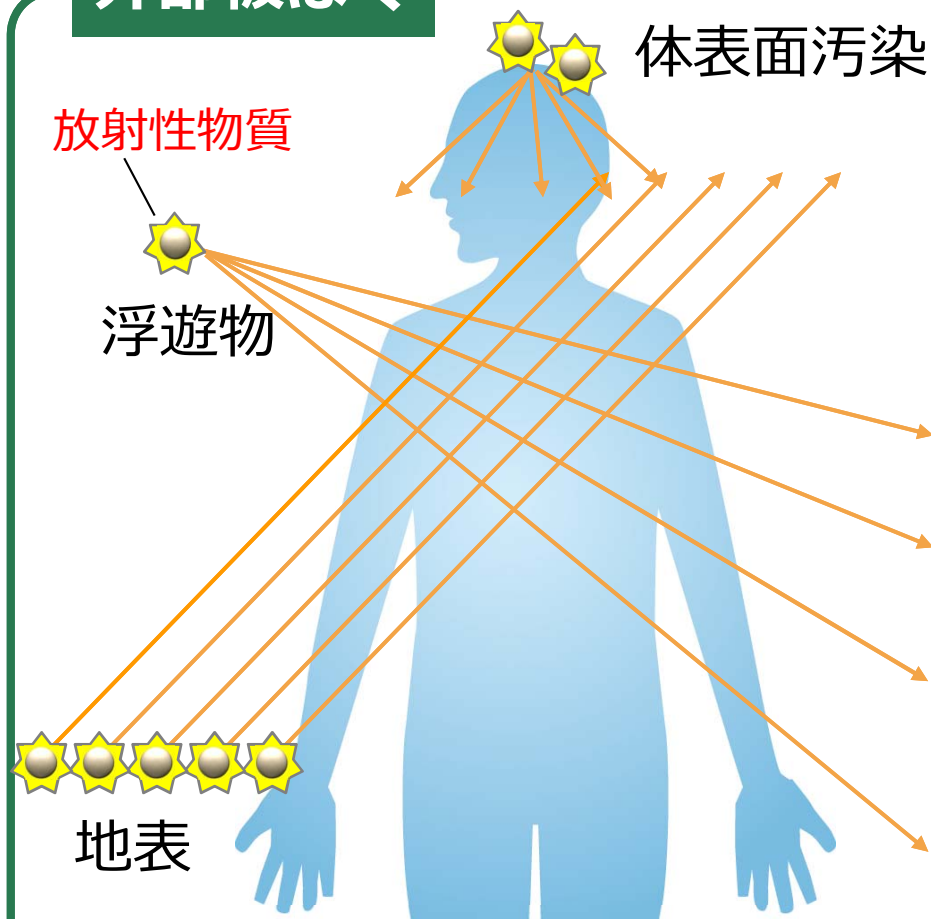


▶ 放射性物質（線源）が体内にある場合

被ばくの経路

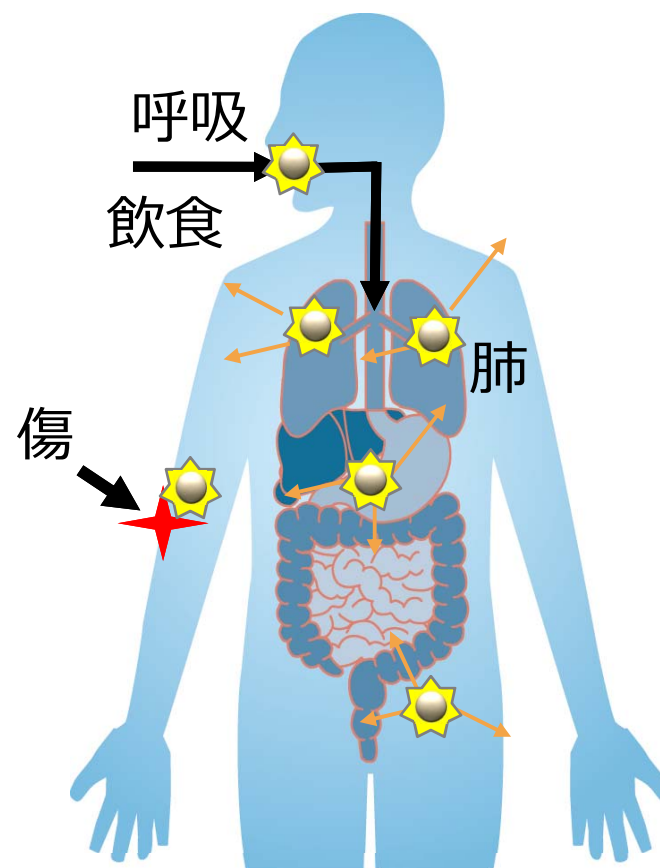
体外から・体内から

外部被ばく



●放射線は体外で発生

内部被ばく



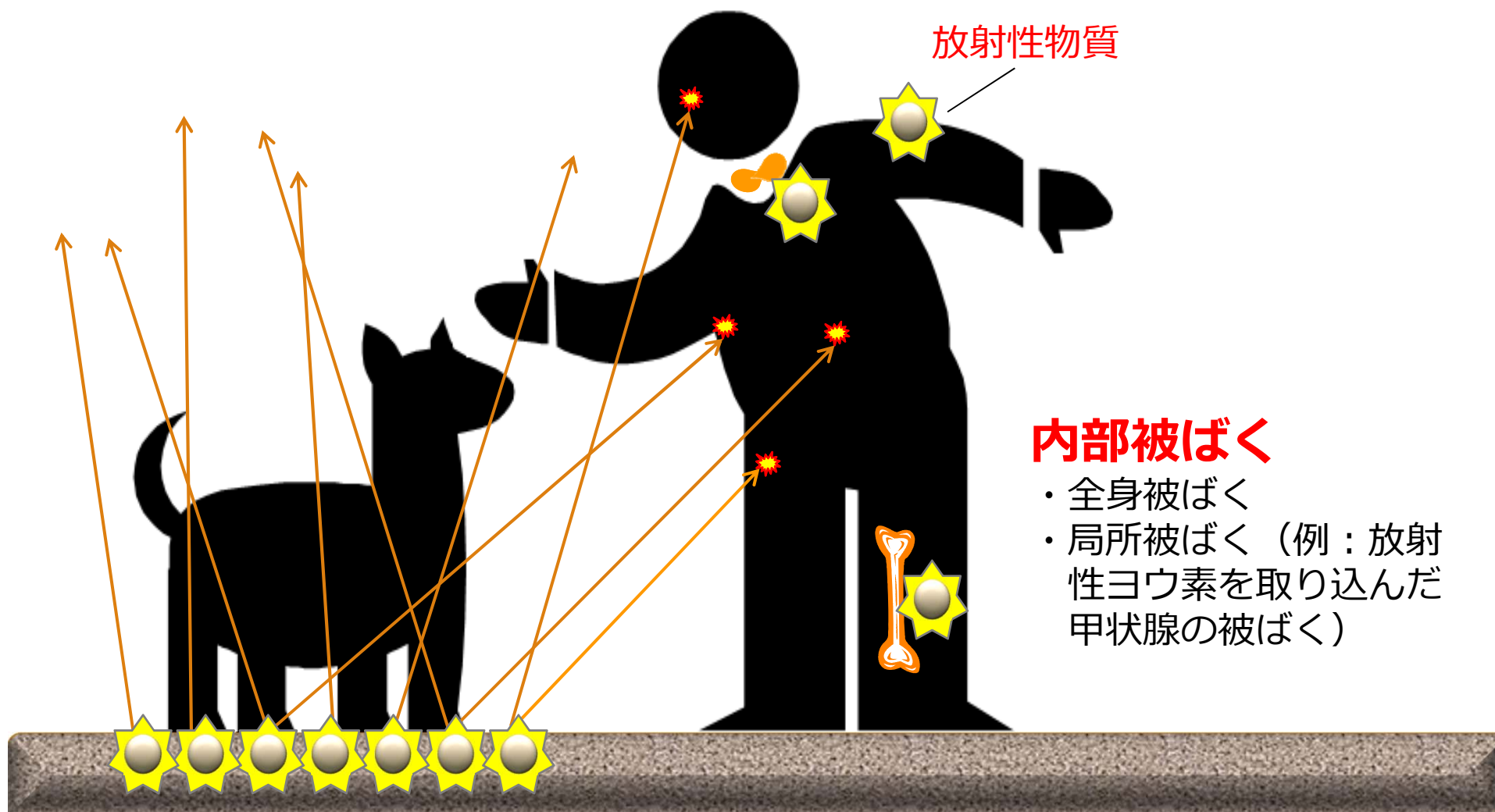
●放射線が体内で発生

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

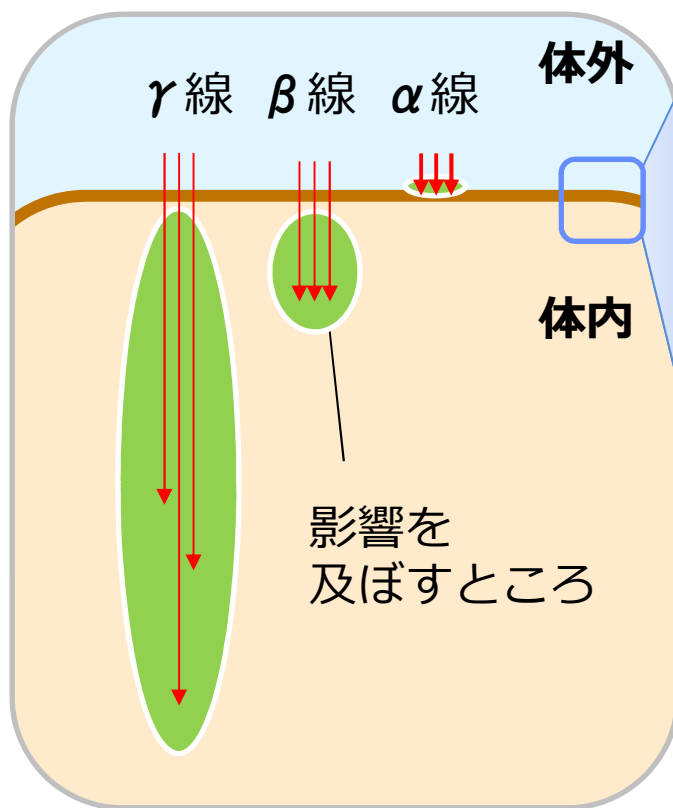
- ・ 全身被ばく
- ・ 局所被ばく（例：X線検査や部分的な体表面汚染による被ばく）



内部被ばく

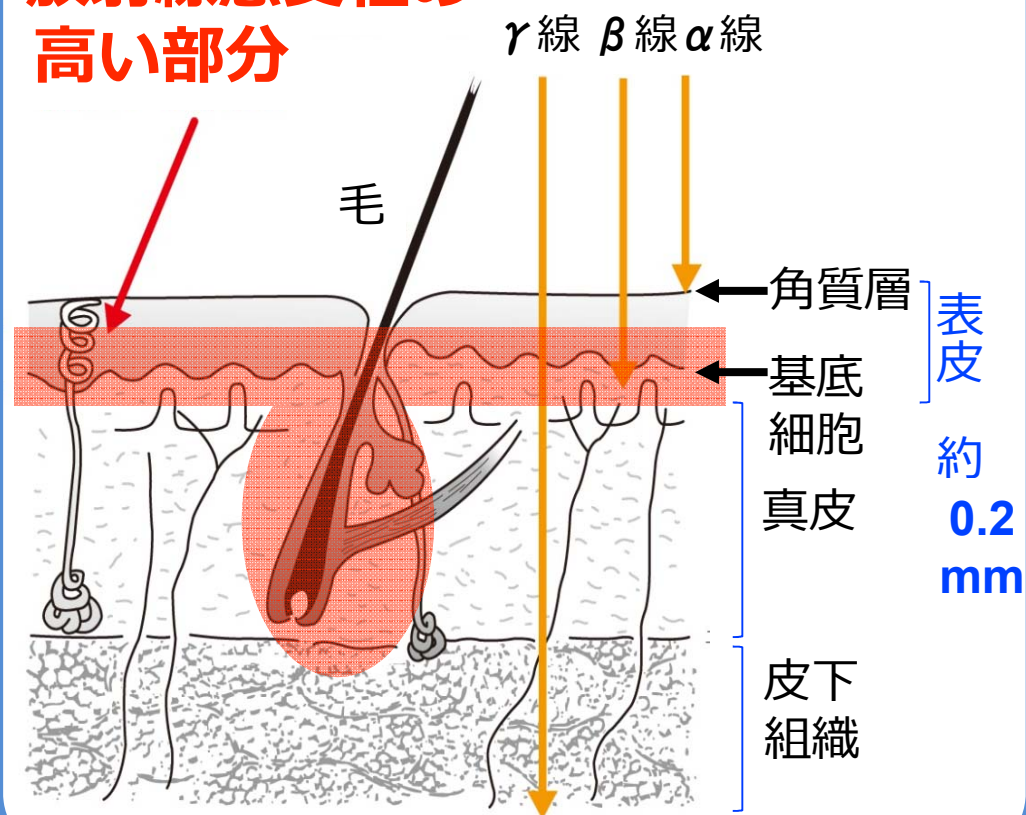
- ・ 全身被ばく
- ・ 局所被ばく（例：放射性ヨウ素を取り込んだ甲状腺の被ばく）

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

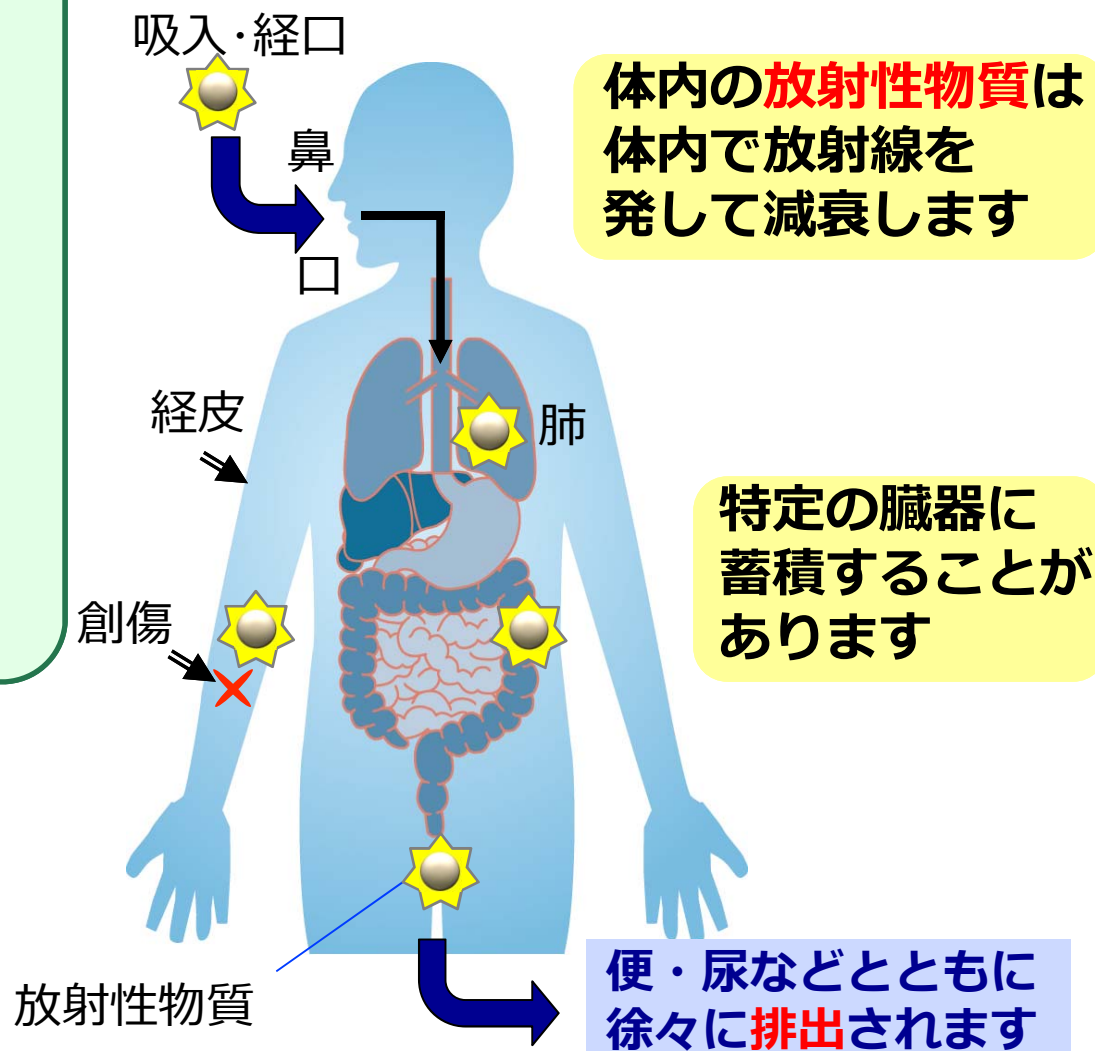
呼吸気道から侵入
肺・気道表面から吸収

③ 経皮吸収

皮膚より吸収

④ 創傷侵入

傷口より侵入

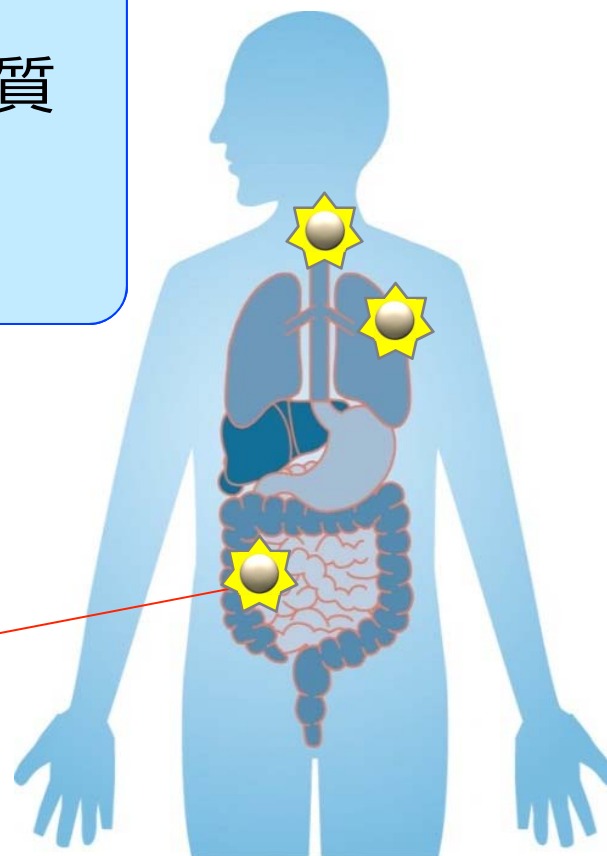


内部被ばくと放射性物質

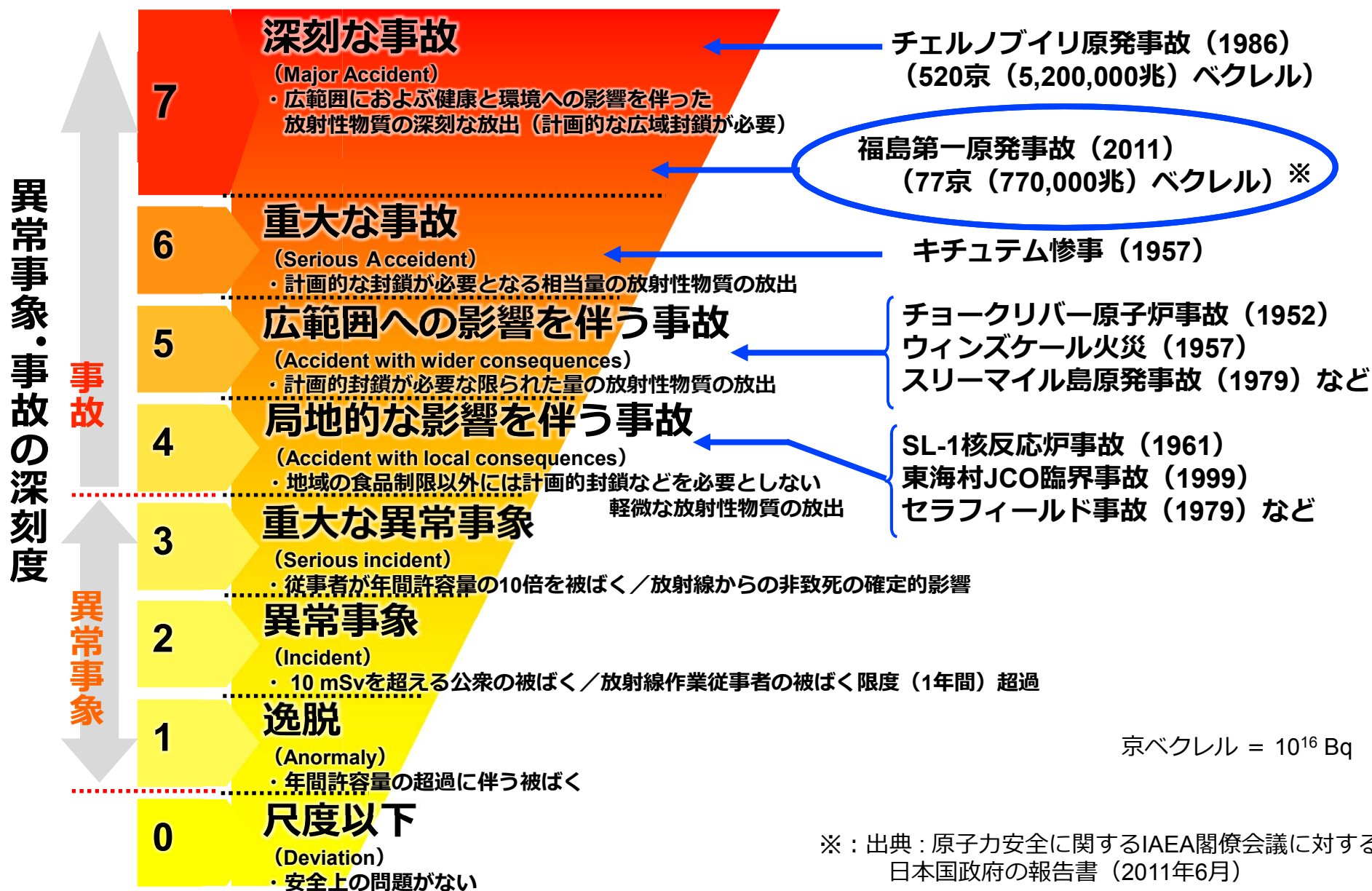
内部被ばくで特に問題となる放射性物質の特徴

- ① α 線を出す物質 > β 線や γ 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

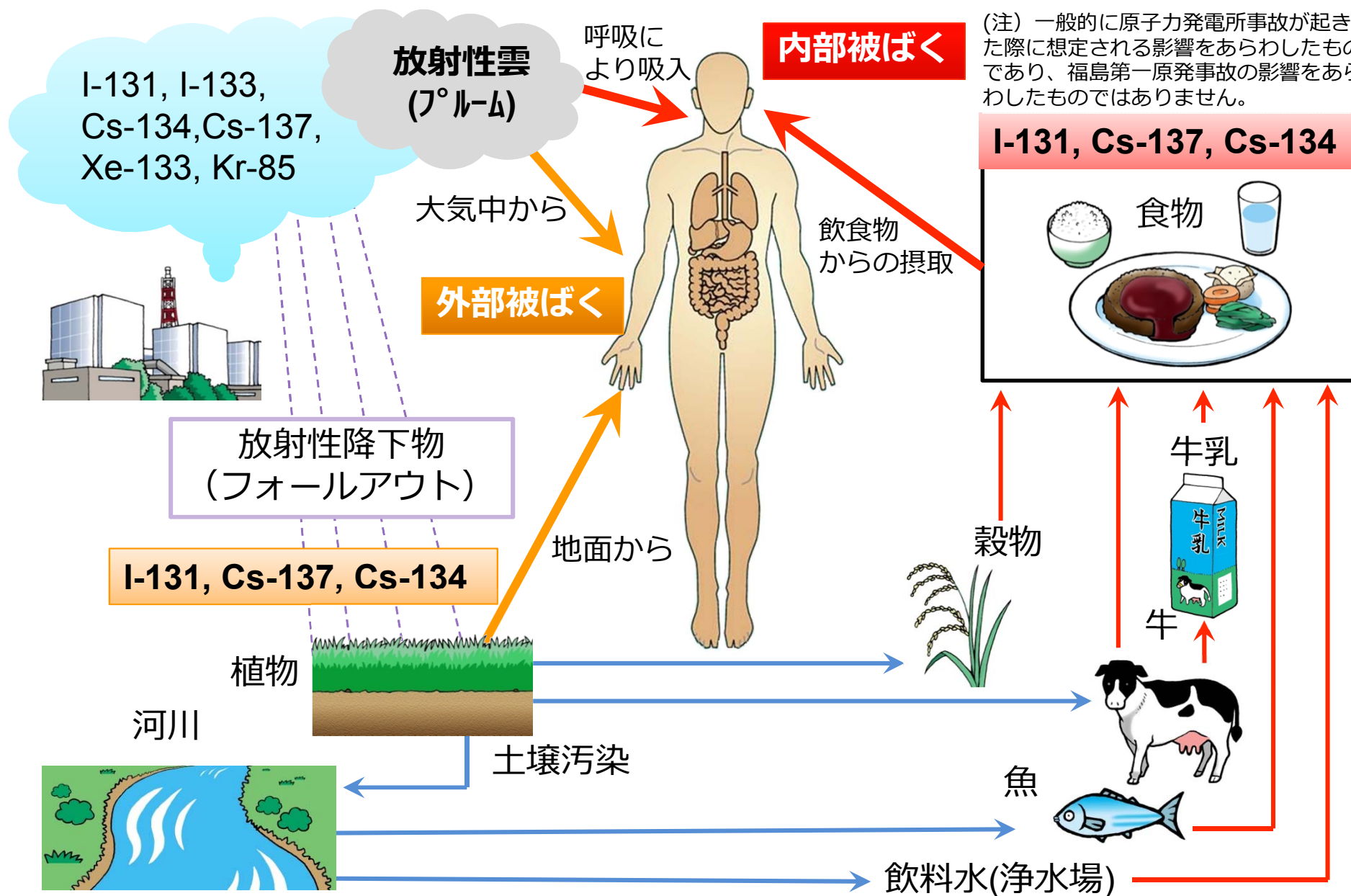
放射性物質



国際原子力事象評価尺度



放射能汚染の態様

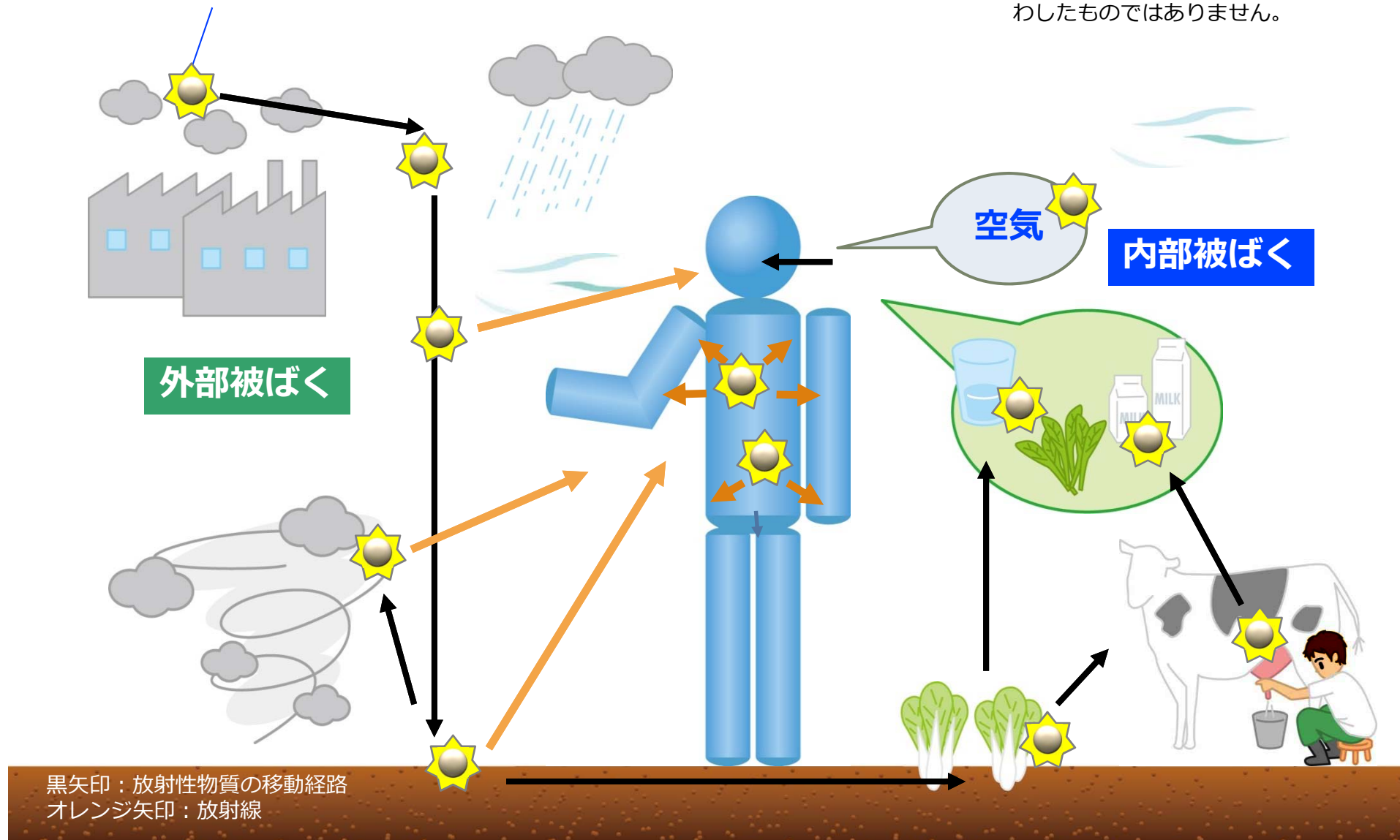


(注) 一般的に原子力発電所事故が起きた際に想定される影響をあらわしたものであり、福島第一原発事故の影響をあらわしたものではありません。

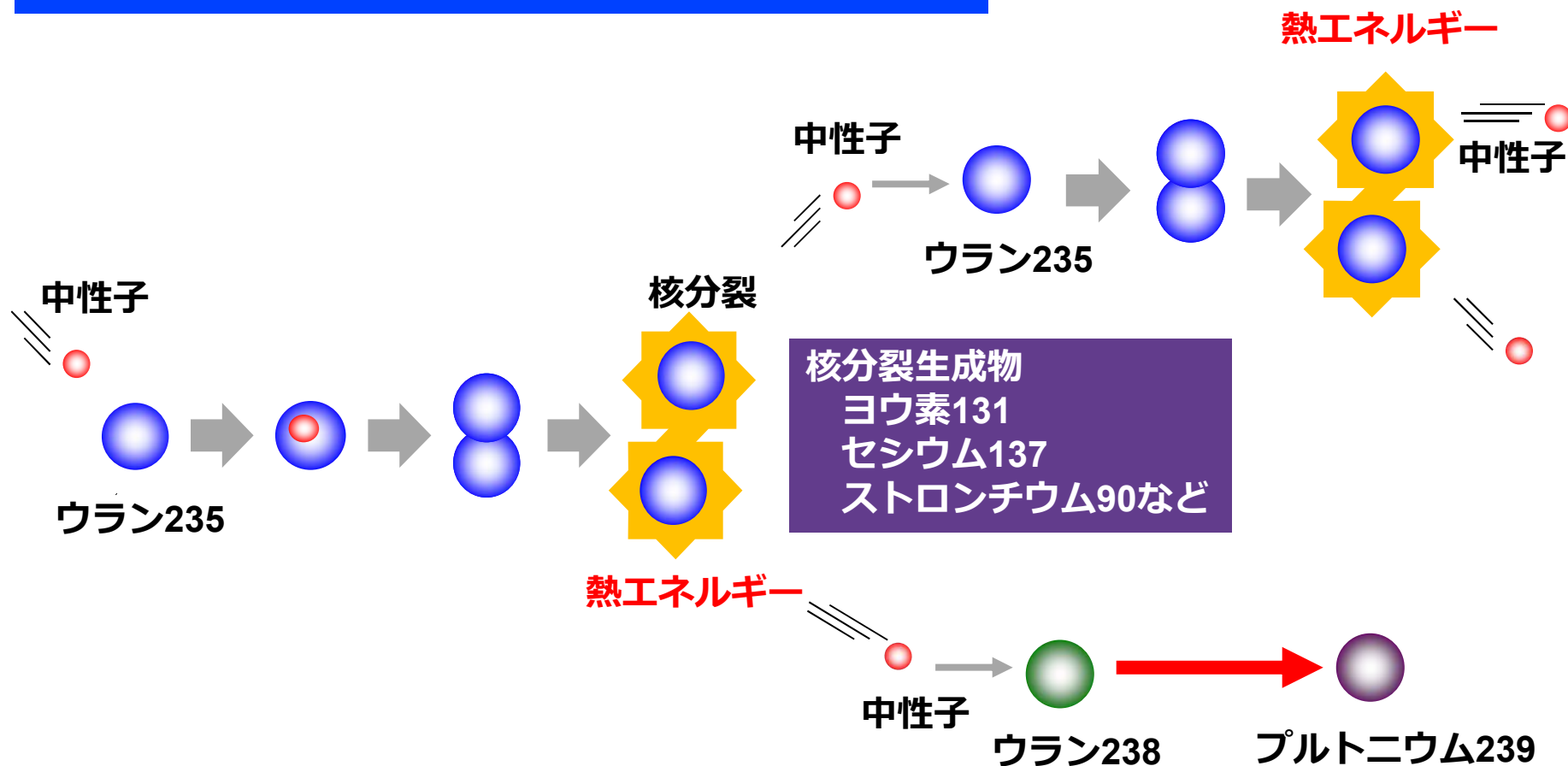
原子炉事故による影響

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。



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	β, γ	β, γ	β, γ	β	α, γ
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

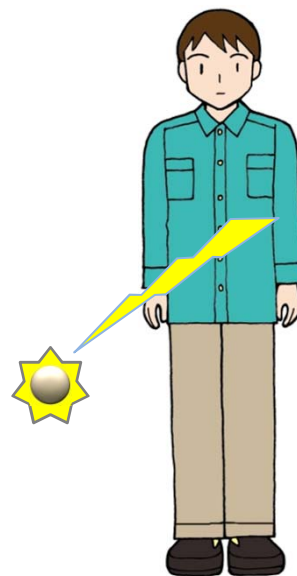
1秒間に1個原子核が変化 =
1ベクレル (Bq)

放射性物質

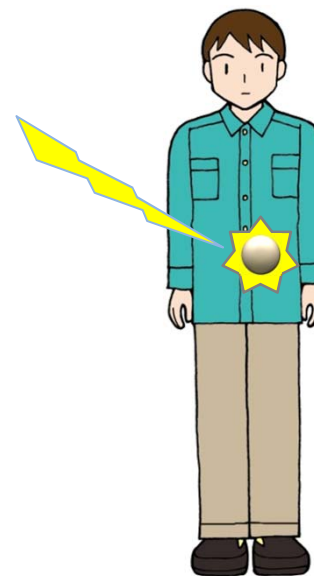


シーベルト (Sv)

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 (μ 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)**

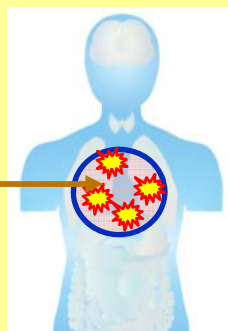


放射性物質

※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

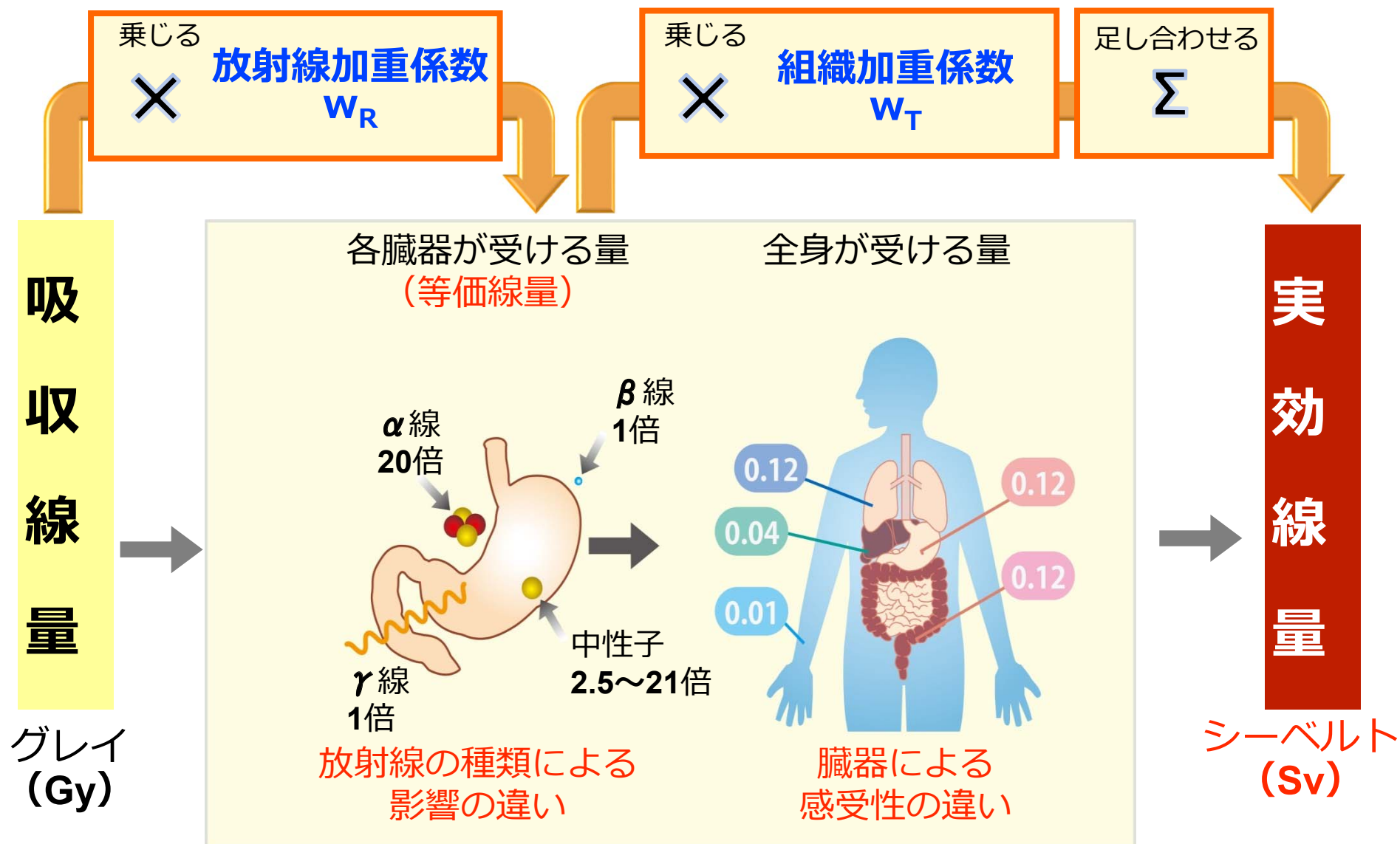
等価線量 (Sv)

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
γ 線、X線、 β 線	1
陽子線	2
α 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

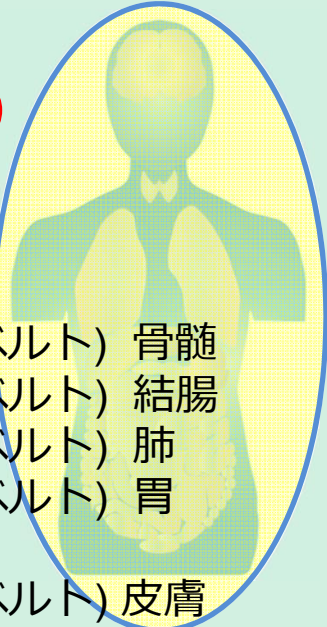
等価線量と実効線量の計算

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

全身に均等に γ 線が
1ミリグレイ (mGy)
当たった場合

実効線量 =

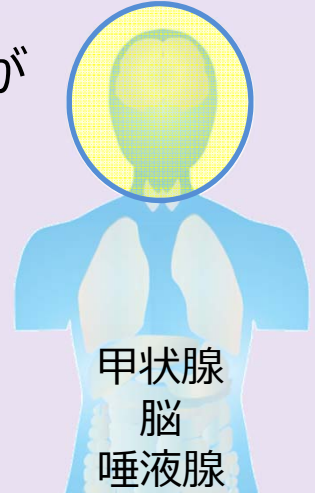
0.12	×	1 (ミリシーベルト)	骨髄
+	0.12	×	1 (ミリシーベルト) 結腸
+	0.12	×	1 (ミリシーベルト) 肺
+	0.12	×	1 (ミリシーベルト) 胃
:			
+	0.01	×	1 (ミリシーベルト) 皮膚
= 1.00 × 1 (ミリシーベルト)			
= 1ミリシーベルト (mSv)			



頭部だけに均等に γ 線が
1ミリグレイ (mGy)
当たった場合

実効線量 =

0.04	×	1 (ミリシーベルト)	
+	0.01	×	1 (ミリシーベルト)
+	0.01	×	1 (ミリシーベルト)
+	0.12	×	1 (ミリシーベルト) × 0.1 骨髄 (10%)
+	0.01	×	1 (ミリシーベルト) × 0.15 皮膚 (15%)
:			
= 0.07ミリシーベルト (mSv)			



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）

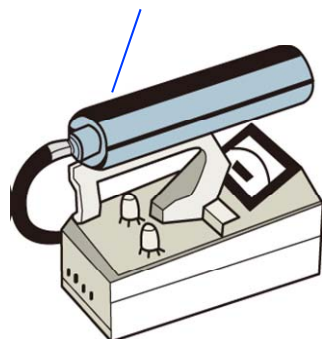
個人モニタリングにおいて用いられる。

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 μ 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

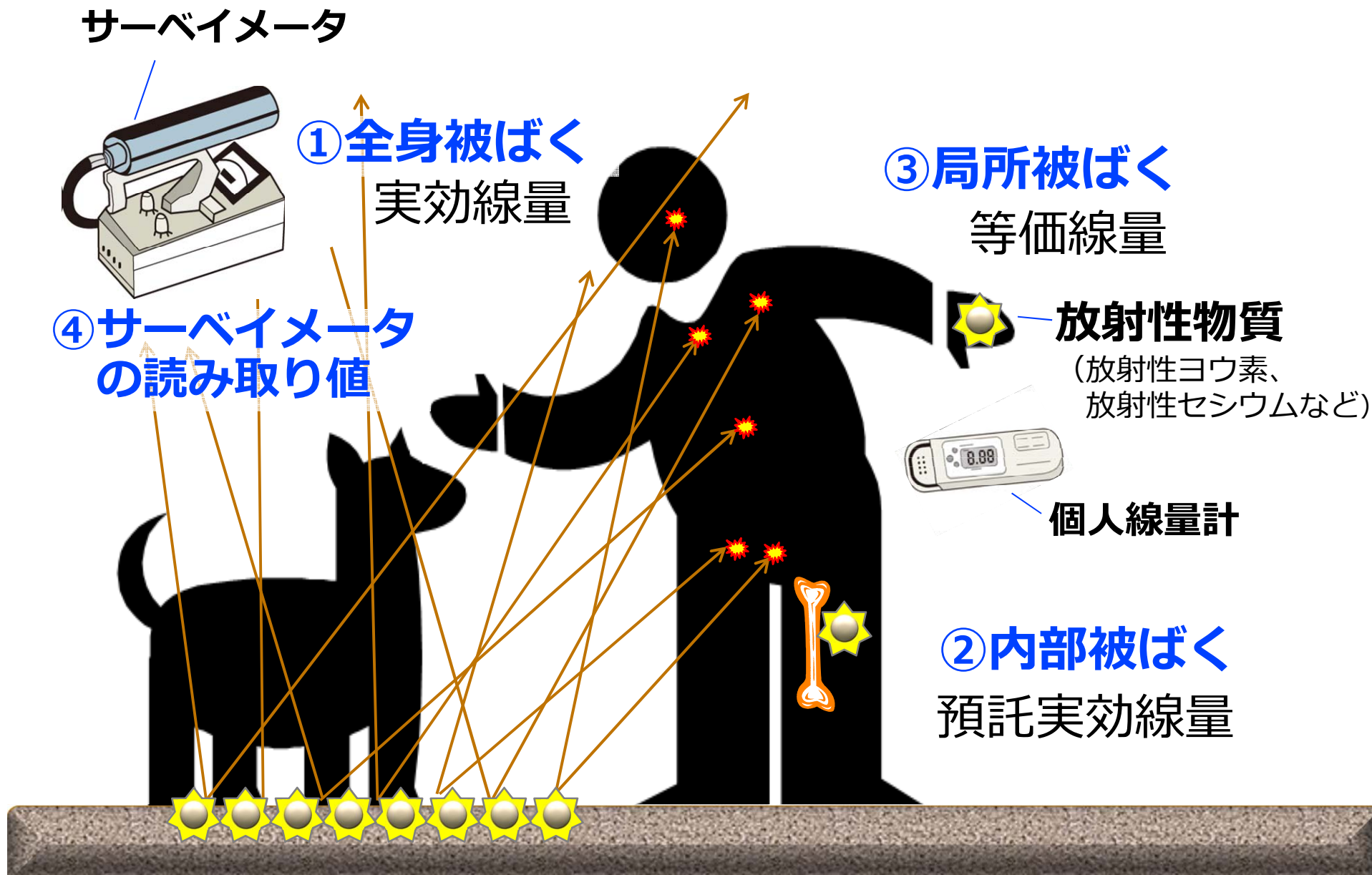
④ サーベイメータ
の読み取り値

放射性物質
(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



測定機器



ゲルマニウム
半導体検出器



NaI (TI) シンチレーション式
サーベイメータ



GM計数管式
サーベイメータ

個人線量計



光刺激ルミネッセンス
線量計 (OSL)



蛍光ガラス線量計



電子式線量計

外部被ばく測定用の機器

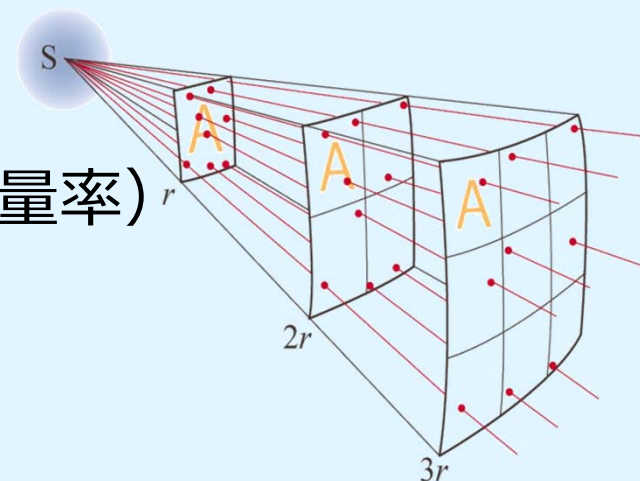
型		目 的
GM計数管式 サーベイメータ		汚染の検出 線量率（参考 程度） β 線を効率よく検出し、 汚染の検出に適している
電離箱型 サーベイメータ		ガンマ線 空間線量率 最も正確であるが、シン チレーション式ほど低い 線量率は計れない
NaI (TI) シンチレー ション式サーベイメータ		ガンマ線 空間線量率 正確で感度もよい (測定器によっては α 線 も測定可能)
個人線量計 (光刺激ルミネッセンス線量計 蛍光ガラス線量計 電子式線量計等)		個人線量 積算線量 大部分の線量計では線量 率を直接計れない

外部被ばく線量の特徴

1) **距離** : 線量率は距離の2乗に反比例

$$I = \frac{k}{r^2}$$

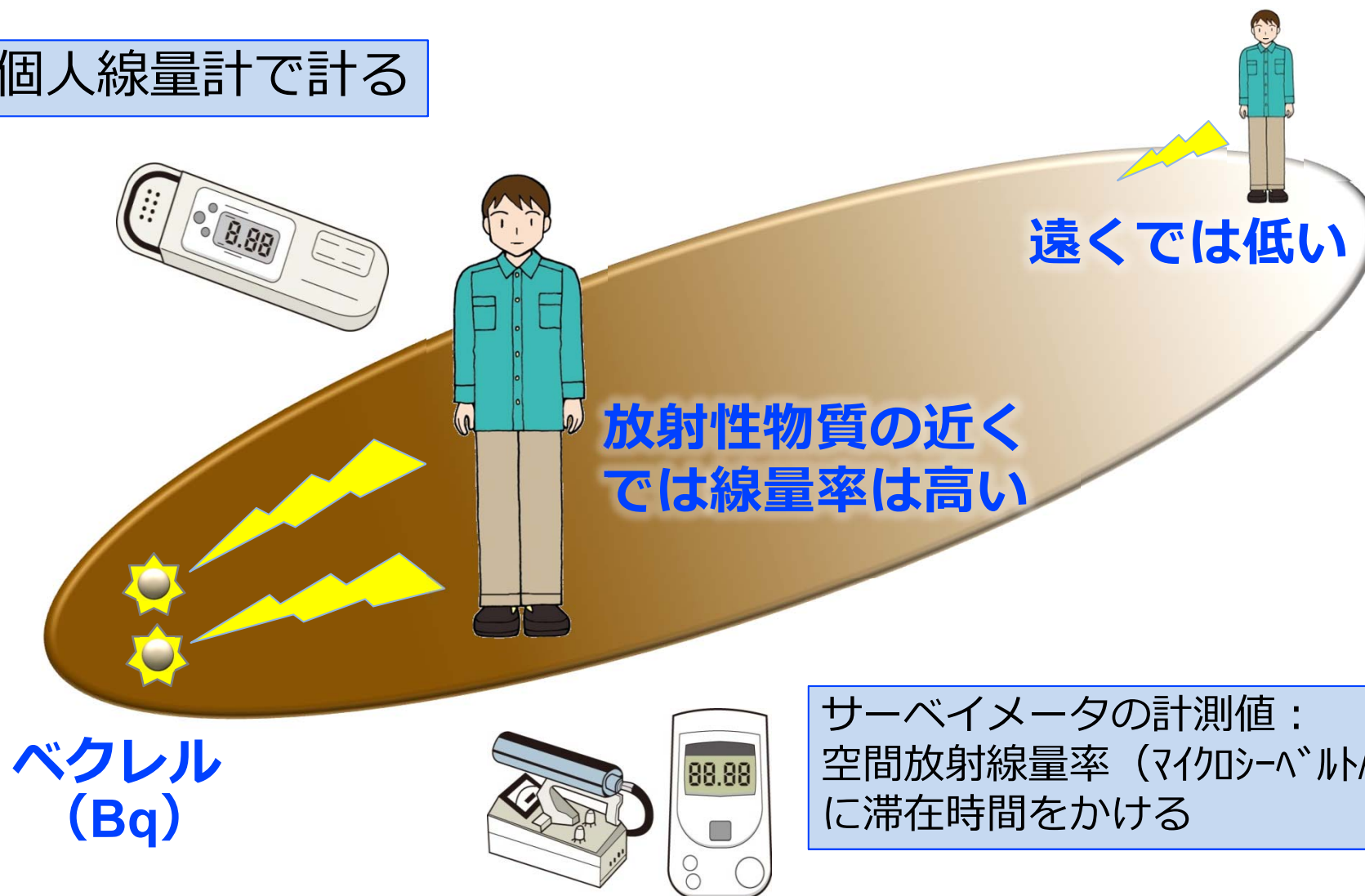
I : 放射線の強さ (線量率)
 r : 距離
 k : 定数



2) **時間** : 線量率が同じなら、浴びた時間に比例
(総) 線量 (マイクロシーベルト) =
線量率 (マイクロシーベルト/時) × 時間

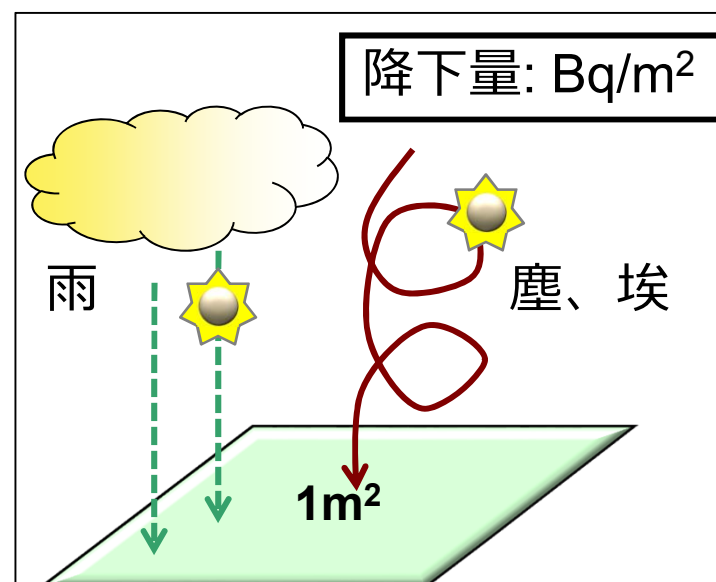
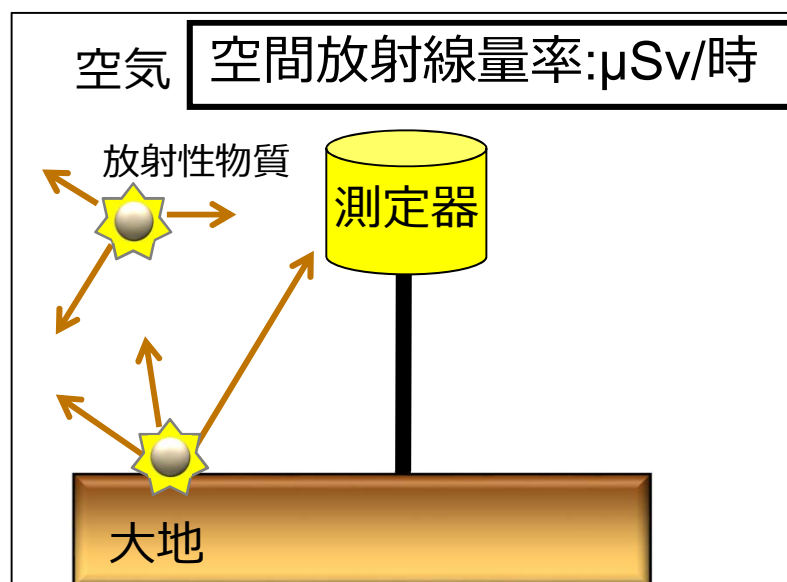
外部被ばく（測定）

個人線量計で計る

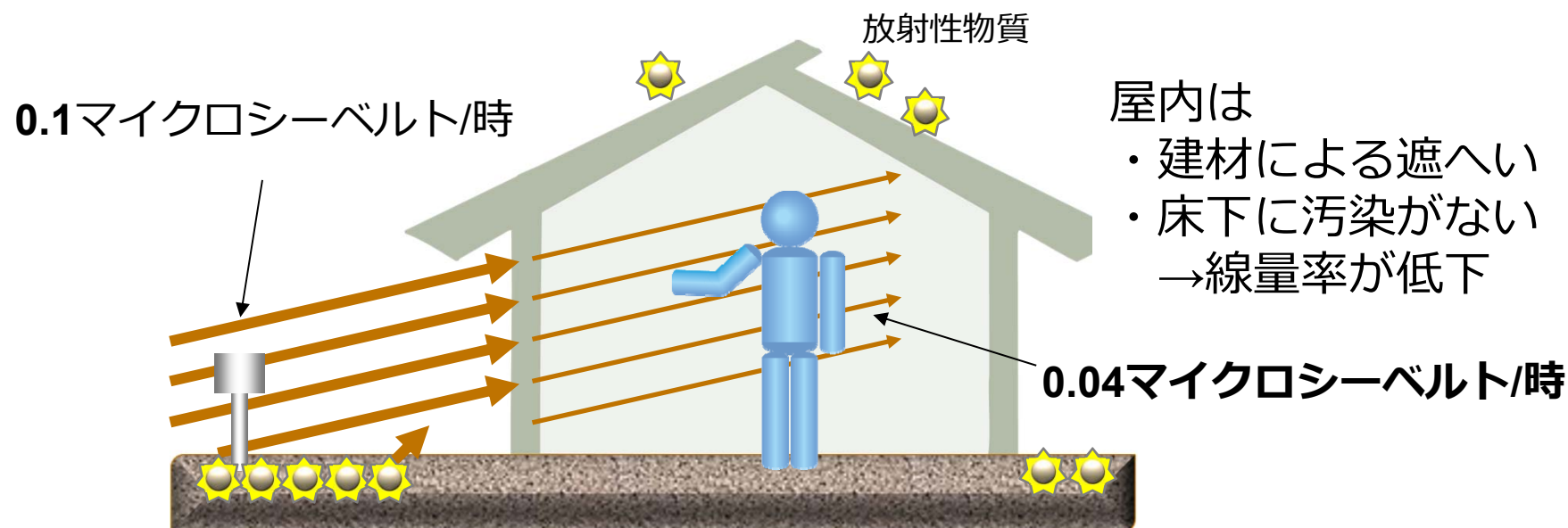


環境放射能の計測

- **空間放射線量率**は空間の γ （ガンマ）線を測定。
1時間当たりのマイクロシーベルト($\mu\text{Sv}/\text{時}$)で表示。
- **降下量**は、一定期間の間に単位面積あたりに沈着した(あるいは降下した)放射性物質の量。
例えばベクレル／平方メートル(Bq/m^2)



遮へいと低減係数



場所	低減係数※
木造家屋（1～2階建て）	0.4
ブロックあるいはレンガ家屋（1～2階建て）	0.2
各階450～900m ² の建物（3～4階建て）の1～2階	0.05
各階900m ² 以上の建物（多層）の上層	0.01

※建物から十分離れた屋外での線量を1としたときの、建物内の線量の比

出典：原子力安全委員会「原子力施設等の防災対策について」（昭和55年6月（平成22年8月一部改訂））

事故後の追加被ばく線量（計算例）

平常時の値を差し引く事が重要

線量率（事故による上昇分）：
マイクロシーベルト/時
 $0.24 - 0.04 \text{ (仮)} = 0.2$

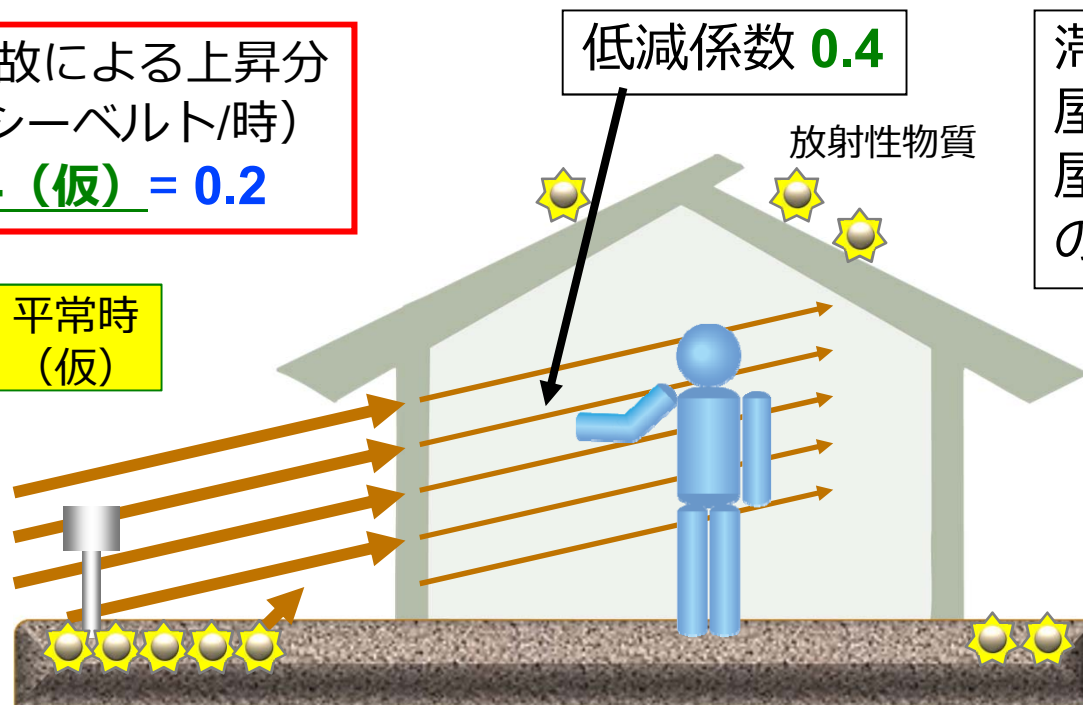
実測値
(例)

平常時
(仮)

低減係数 **0.4**

放射性物質

滞在時間
屋外 **8時間**
屋内 **16時間**
の場合



事故由来

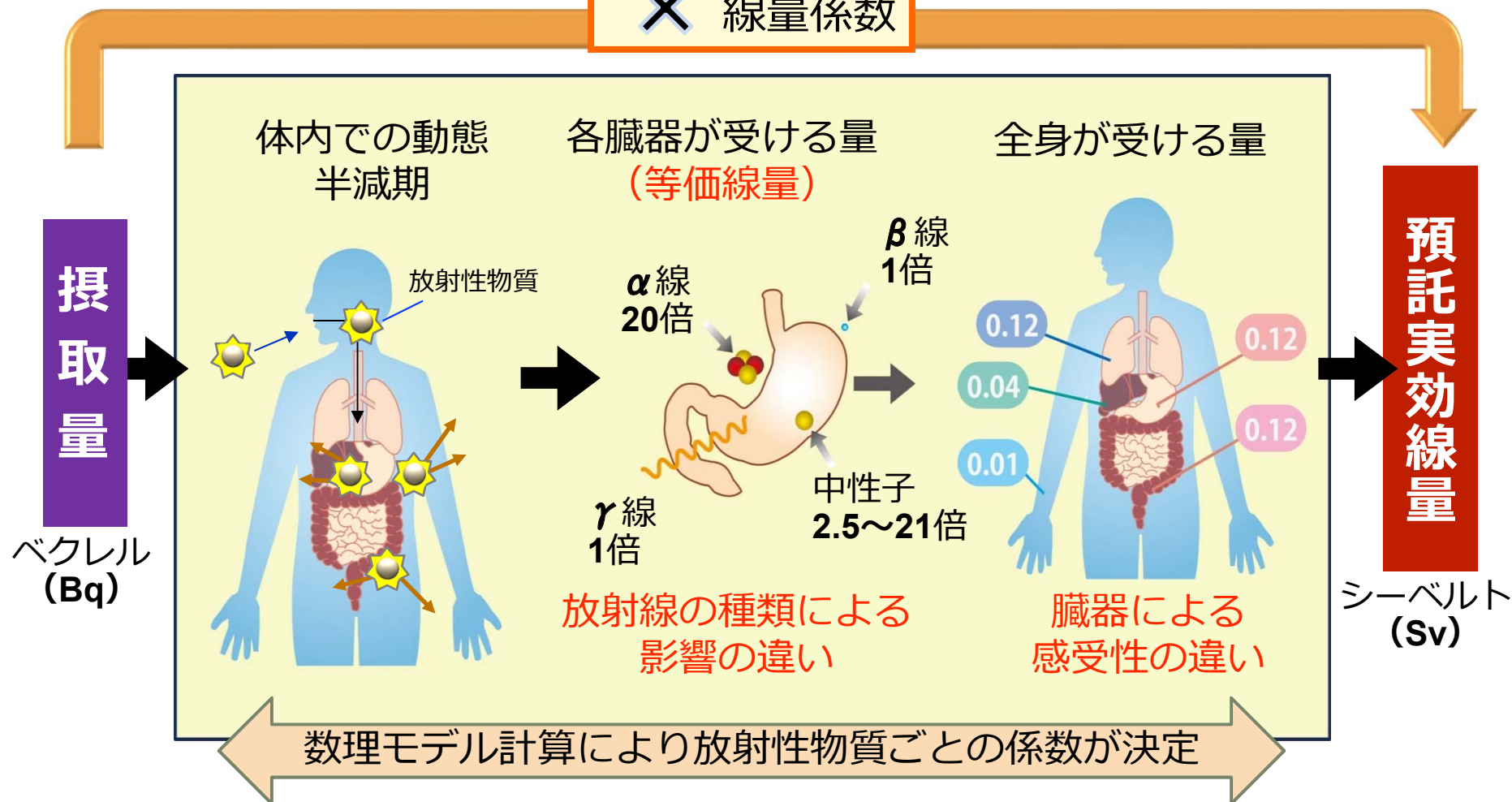
$0.2 \times 8 \text{時間 (屋外の方)}$
+
 $0.2 \times 0.4 \times 16 \text{時間 (屋内の方)}$
(マイクロシーベルト/日)

$\times 365 \text{日} \div 1,100 \text{マイクロシーベルト/年}$
 $\div 1.1 \text{ミリシーベルト/年}$

内部被ばく線量の算出

預託実効線量係数の算出にあたっては年齢による差も考慮されています。

乗じる 預託実効
× 線量係数



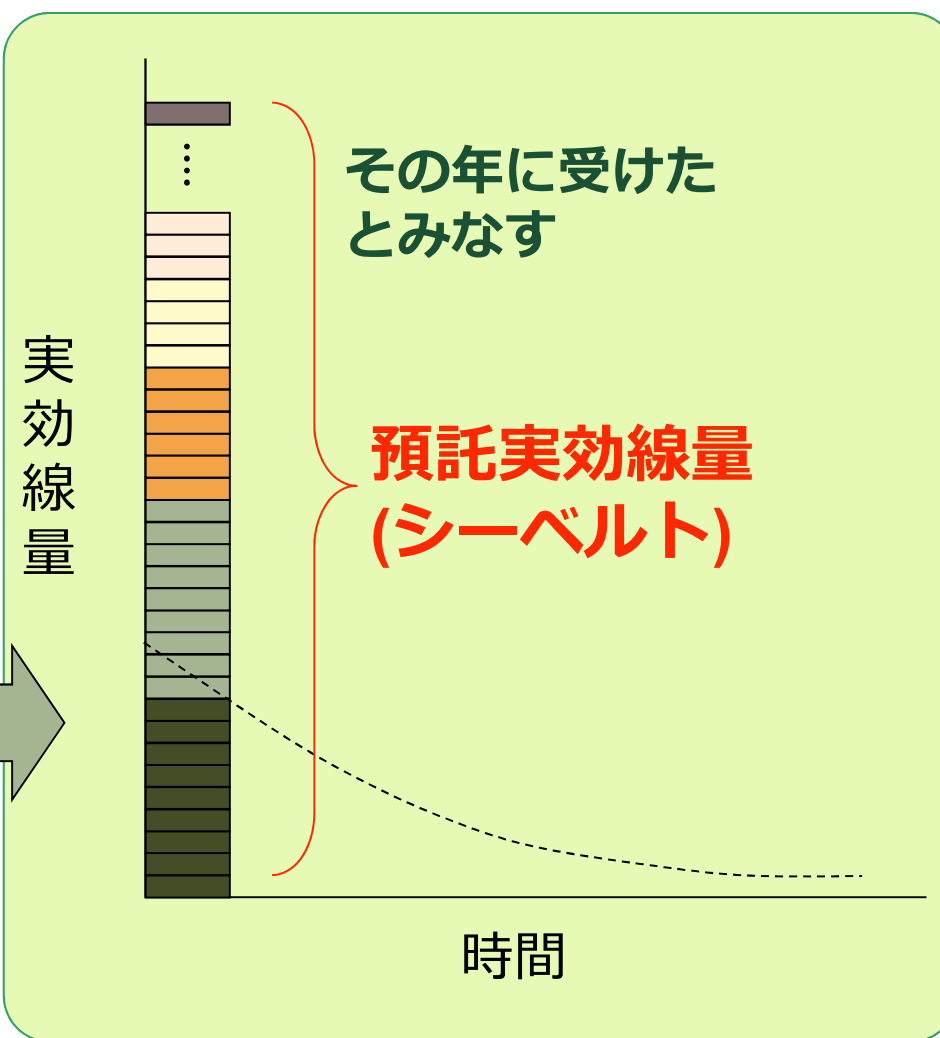
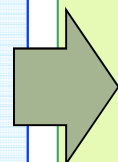
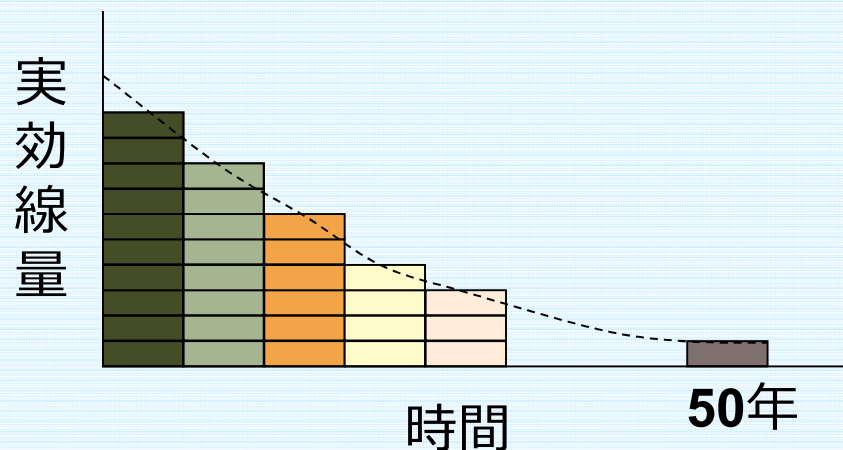
預託実効線量

放射性物質を一回だけ摂取した場合に、それ以後の生涯にどれだけの放射線を被ばくすることになるかを推定した被ばく線量

内部被ばくの計算

将来にわたる線量を積算

- 公衆（大人）：摂取後**50**年間
- 子ども：摂取後**70**歳まで



実効線量への換算係数

預託実効線量係数 ($\mu\text{Sv/Bq}$) (経口摂取の場合)

	ヨウ素 131	セシウム 134	セシウム 137	ストロンチウム 90	プルトニウム 239
3か月児	0.48	0.026	0.011	0.13	5.2
1歳児	0.18	0.016	0.012	0.073	0.42
5歳児	0.10	0.013	0.0096	0.047	0.33
10歳児	0.052	0.014	0.01	0.06	0.27
15歳児	0.034	0.019	0.013	0.08	0.24
成人	0.022	0.019	0.013	0.028	0.25

$\mu\text{Sv/Bq}$: マイクロシーベルト/ベクレル

出典：国際放射線防護委員会 (ICRP) , ICRP Publication 119 , Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60, 2012

食品からの被ばく線量（計算例）

（例）成人がセシウム137を100Bq/kg含む食品を0.5kg摂取

$$\begin{array}{ccccccc} 100 & \times & 0.5 & \times & 0.013 & = & 0.65 \mu\text{Sv} \\ (\text{Bq/kg}) & & (\text{kg}) & & (\mu\text{Sv/Bq}) & & \\ & & & & & & = 0.00065 \text{ mSv} \end{array}$$

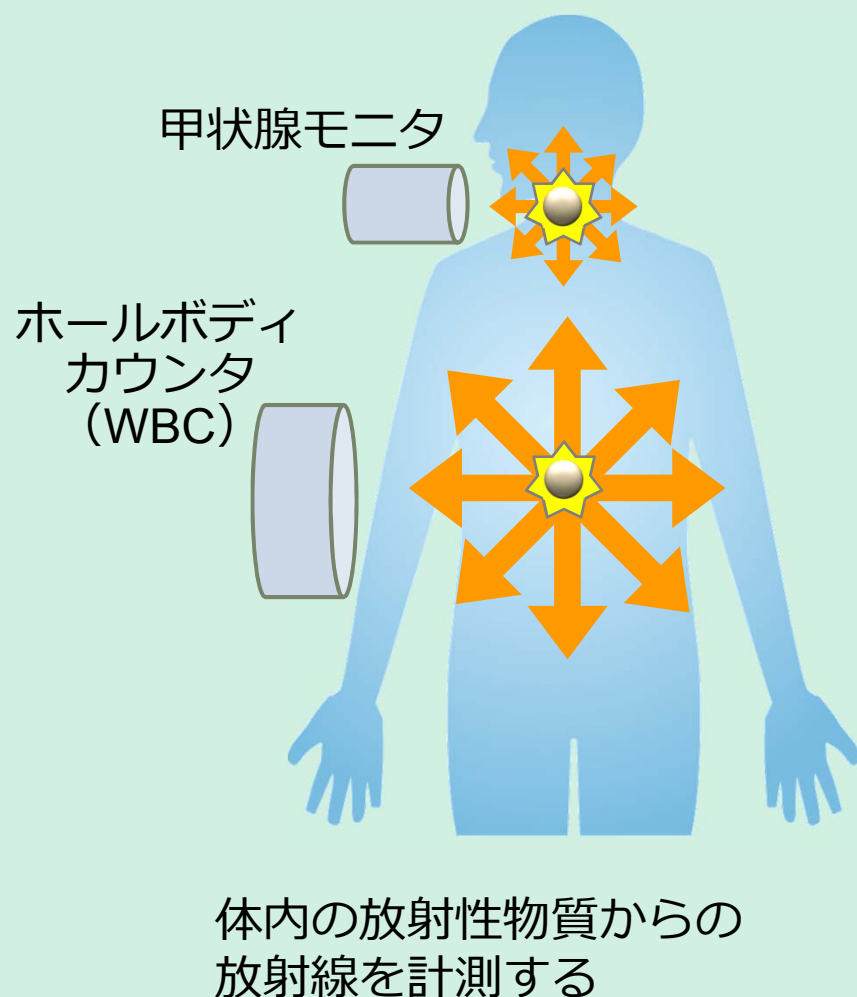
実効線量係数（ $\mu\text{Sv/Bq}$ ）

	ヨウ素131	セシウム137
3か月児	0.18	0.021
1歳児	0.18	0.012
5歳児	0.10	0.0096
成人	0.022	0.013

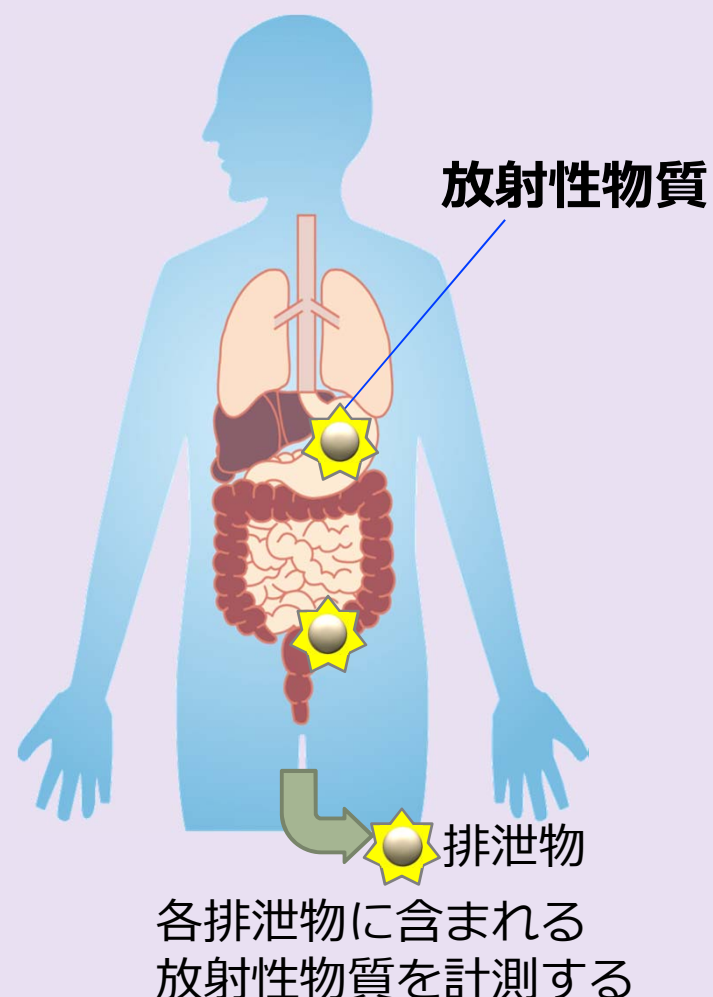
出典：国際放射線防護委員会（ICRP）Database of Dose Coefficients CD-ROM, 1998

Bq：ベクレル μSv ：マイクロシーベルト mSv：ミリシーベルト

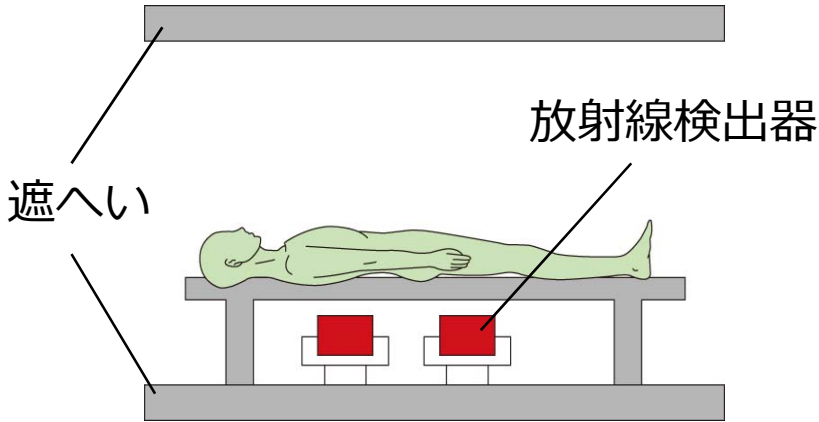
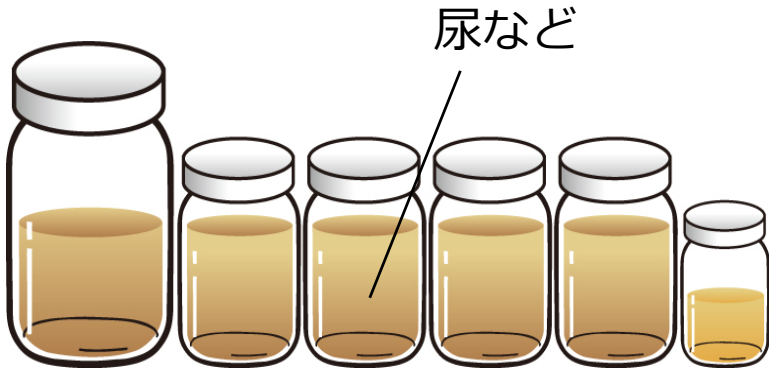
体外測定法



バイオアッセイ



体内放射能の評価法の比較

体外計測法	バイオアッセイ
人体を直接測定	間接測定
直接測定のため測定時間を拘束される	試料（尿、便など）を提供
主に γ 線を放出する物質が対象	全部の放射性物質が測定可
装置内での計測時間は短い	化学分析に時間がかかる
線量評価の精度が高い	線量評価結果の誤差が大きい
	

内部被ばく測定用の機器



全身立位型
ホールボディ
カウンタ



全身臥位型
ホールボディ
カウンタ

全身いす型
ホールボディ
カウンタ



甲状腺モニタ

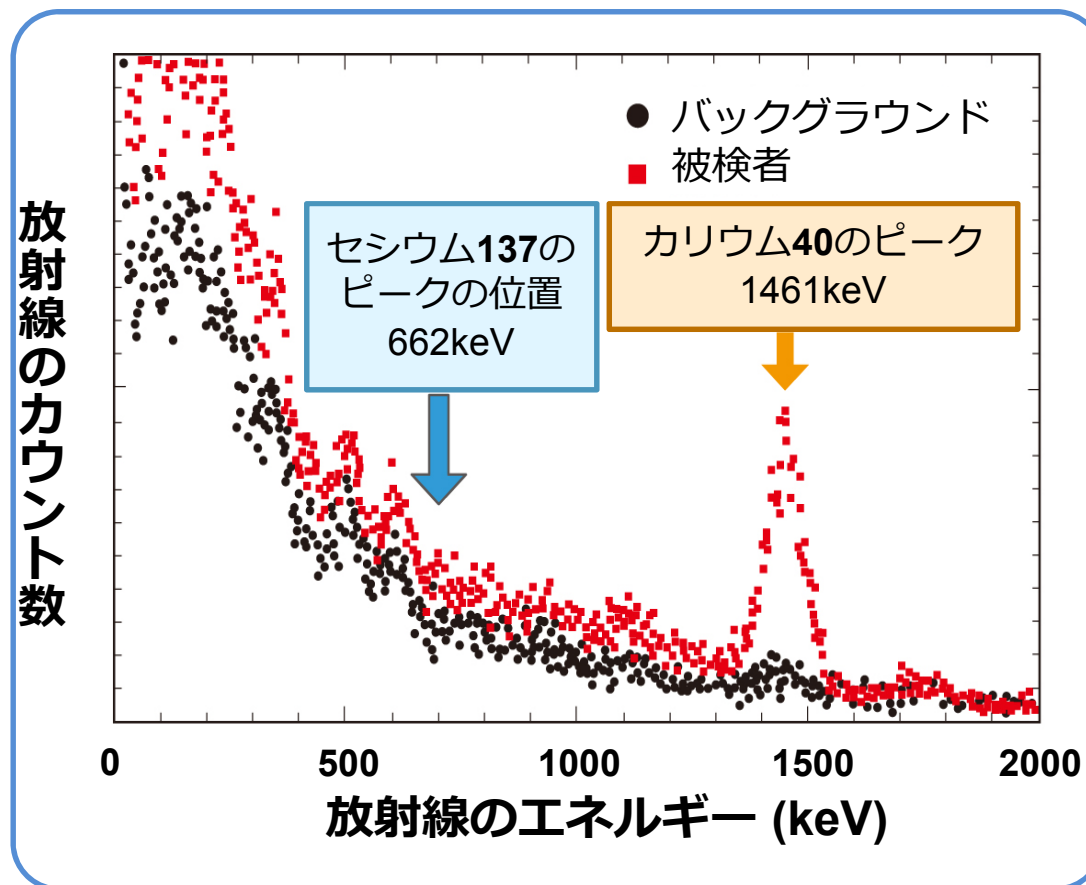


○ 検出器

内部被ばく量の体外計測のデータ



ホールボディカウンタ

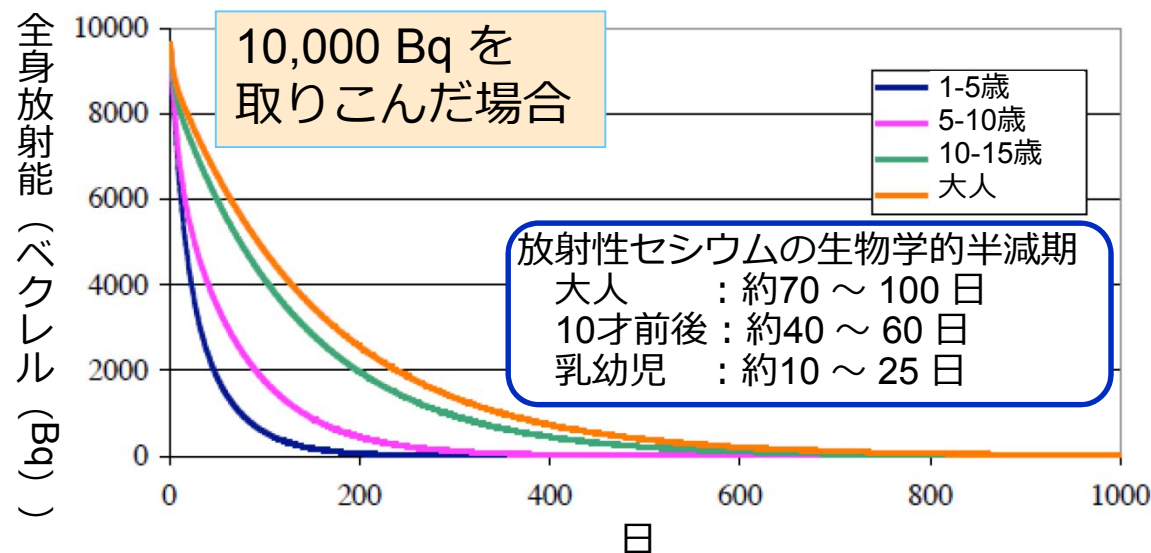


体内から出てくる放射線を測定 ⇒ 体内の放射能を物質別に求める

体内にあるカリウムの量は体重**1kg**あたり**2g**程度、
そのうち約**0.01%**が放射性のカリウム**40**

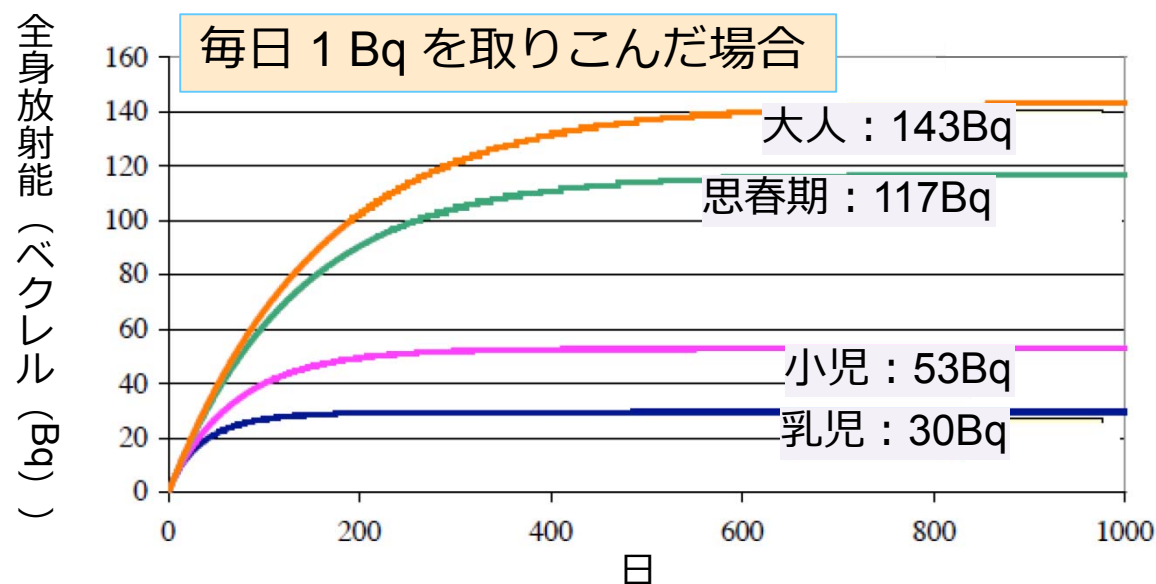
keV : キロ電子ボルト

体内放射能と線量評価



若年のほうが代謝が早い

↓
 初期被ばく量推定は
 ・ 大人でも1年程度が限界
 ・ 子どもは半年程度まで



若年のほうが滞留量が少ない

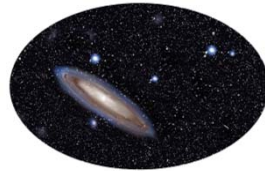
↓
 経口追加被ばくの推定は
 ・ 子どもでは有限値が出にくい
 ・ 微量な摂取を検出するためには大人の検査を行う方が合理的

出典：宮崎、日本放射線安全管理学会シンポジウム（平成24年（2012年）6月29日）発表資料より改変

自然・人工放射線からの被ばく線量

自然放射線 (日本)

宇宙から
0.3mSv



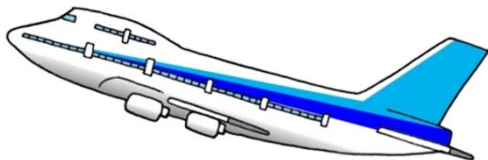
食物から
0.99mSv



空気中の
ラドンから
0.48mSv

大地から
0.33mSv

自然放射線による年間線量 (日本平均) 2.1mSv
自然放射線による年間線量 (世界平均) 2.4mSv

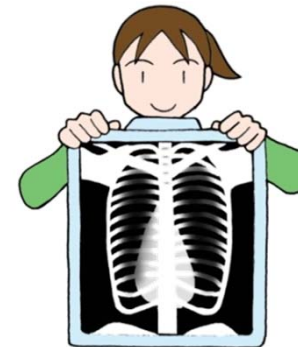


東京～ニューヨーク
航空機旅行 (往復) **0.11～
0.16mSv**

人工 放射線



胸部CTスキャン
(1回) **2.4～
12.9mSv**



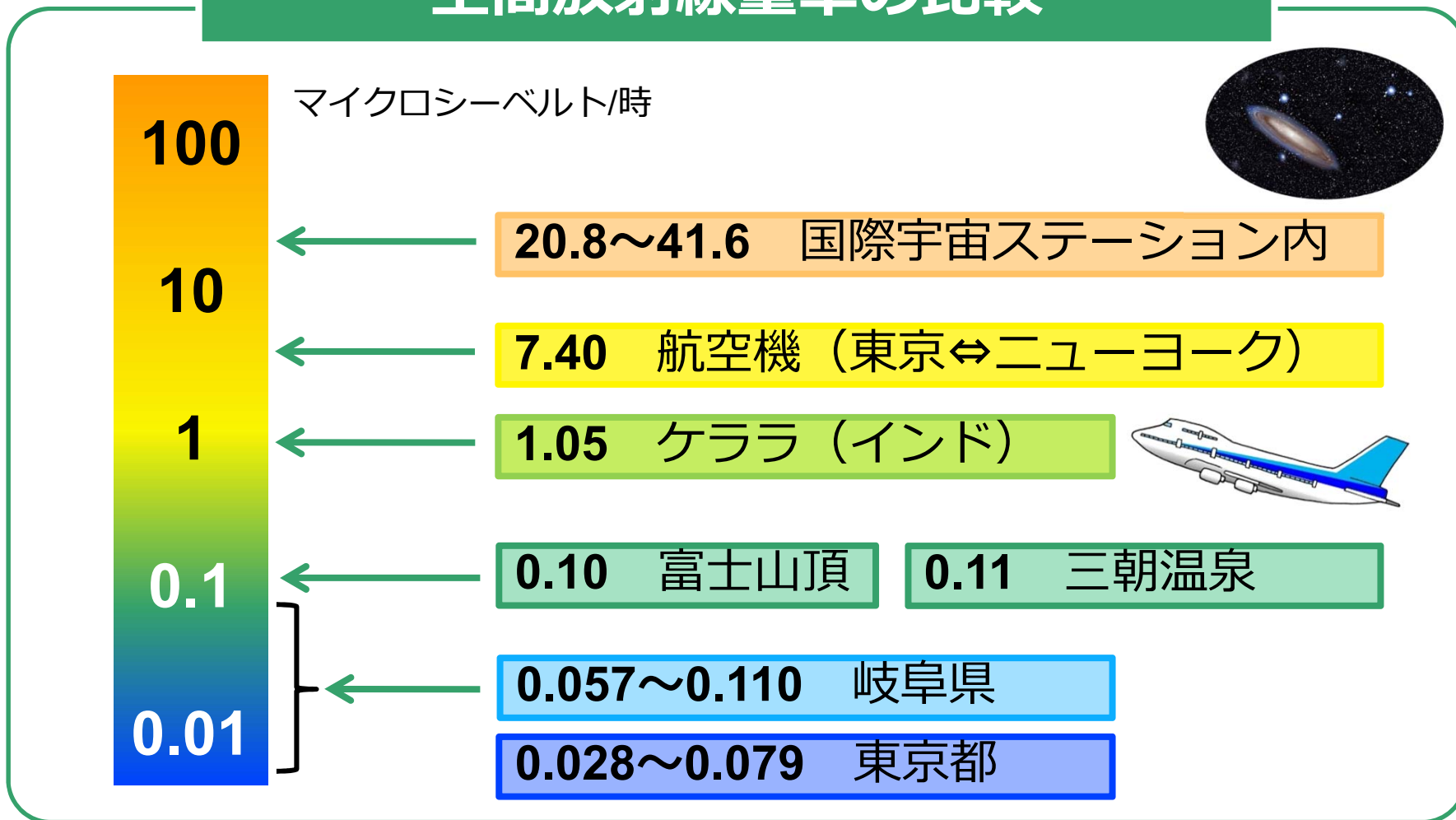
胸部X線検査 (1回) **0.06mSv**

mSv : ミリシーベルト

出典 : 国連科学委員会 (UNSCEAR) 2008年報告、
原子力安全研究協会「新生活環境放射線 (平成23年 (2011年))」、ICRP103他

時間当たりの被ばく線量の比較

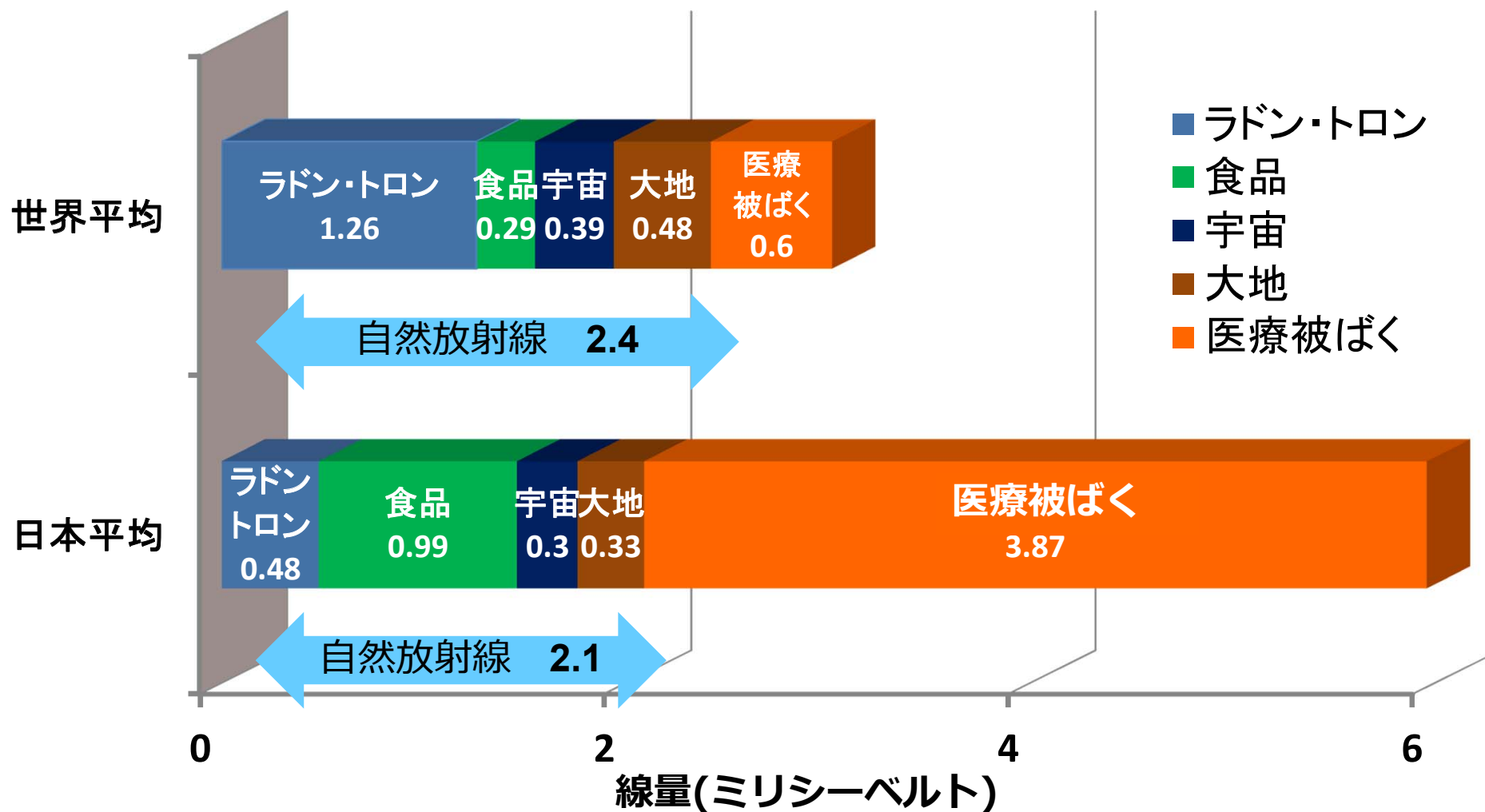
空間放射線量率の比較



出典：JAXA宇宙ステーションきぼう広報・情報センターサイト「放射線被ばく管理」2013、放射線医学総合研究所ホームページ「航路線量計算システム（JISCARD）」、放射線医学総合研究所ホームページ「環境中の空間ガンマ線線量調査」、古野. 岡山大学温泉研究所報告. 51号. p.25-33. 1981、原子力規制委員会放射線モニタリング情報（モニタリングポストの過去の平常値の範囲）より作成

年間当たりの被ばく線量の比較

日常生活における被ばく（年間）



出典：国連科学委員会（UNSCEAR）2008年報告、
（公財）原子力安全研究協会「生活環境放射線」（2011年）より作成

自然からの被ばく線量の内訳（日本人）

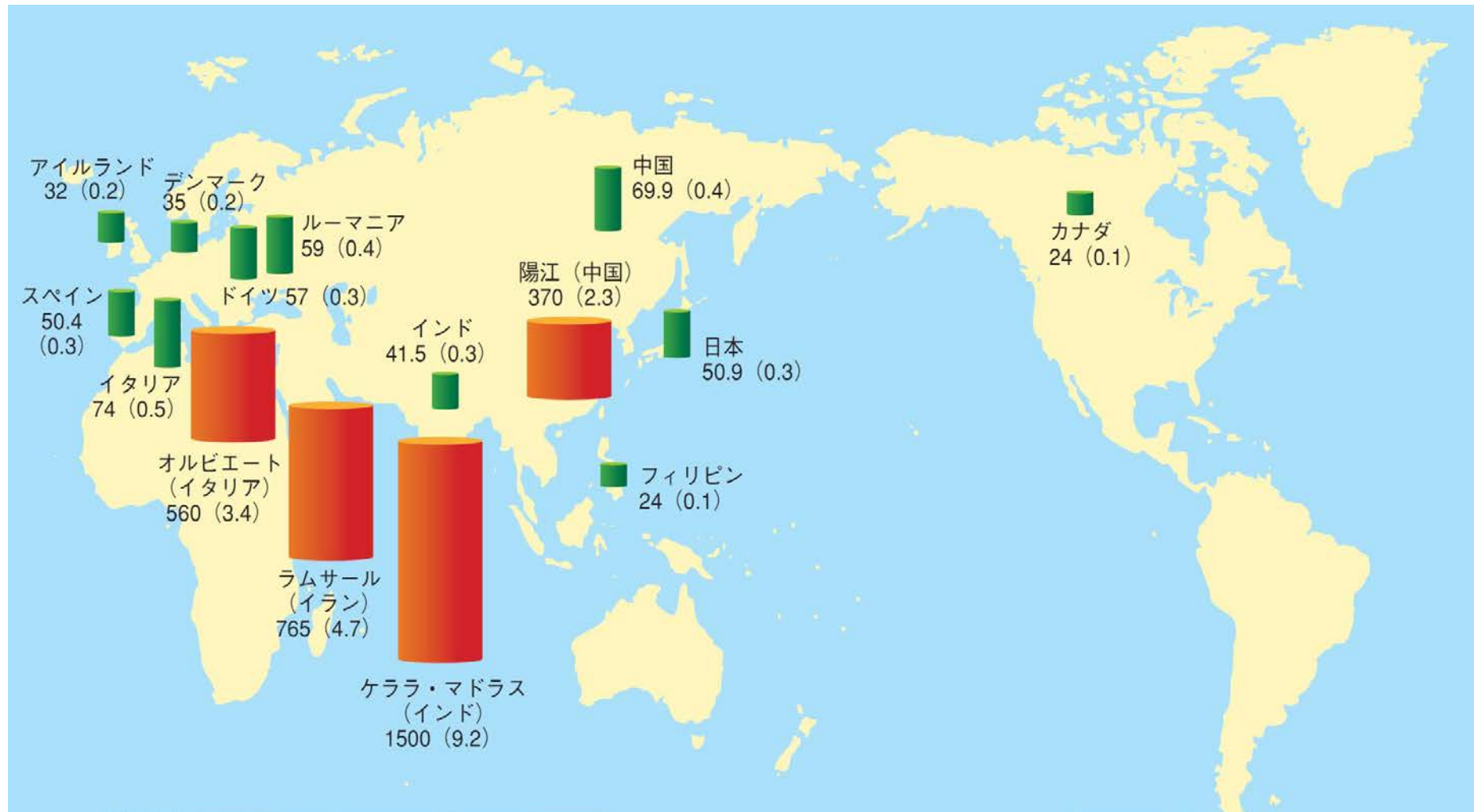
被ばくの種類	線源の内訳	実効線量 (ミリシーベルト/年)
外部被ばく	宇宙線	0.3
	大地放射線	0.33
内部被ばく (吸入摂取)	ラドン222（屋内、屋外）	0.37
	ラドン220（トロン）（屋内、屋外）	0.09
	喫煙（鉛210、ポロニウム210など）	0.01
	その他（ウランなど）	0.006
内部被ばく (経口摂取)	主に鉛210、ポロニウム210	0.80
	トリチウム	0.0000082
	炭素14	0.01
	カリウム40	0.18
合 計		2.1

出典：（公財）原子力安全研究協会「生活環境放射線」（2011）

大地の放射線（世界）

ナノグレイ/時 （ミリシーベルト/年）

実効線量への換算には**0.7**シーベルト/グレイを使用

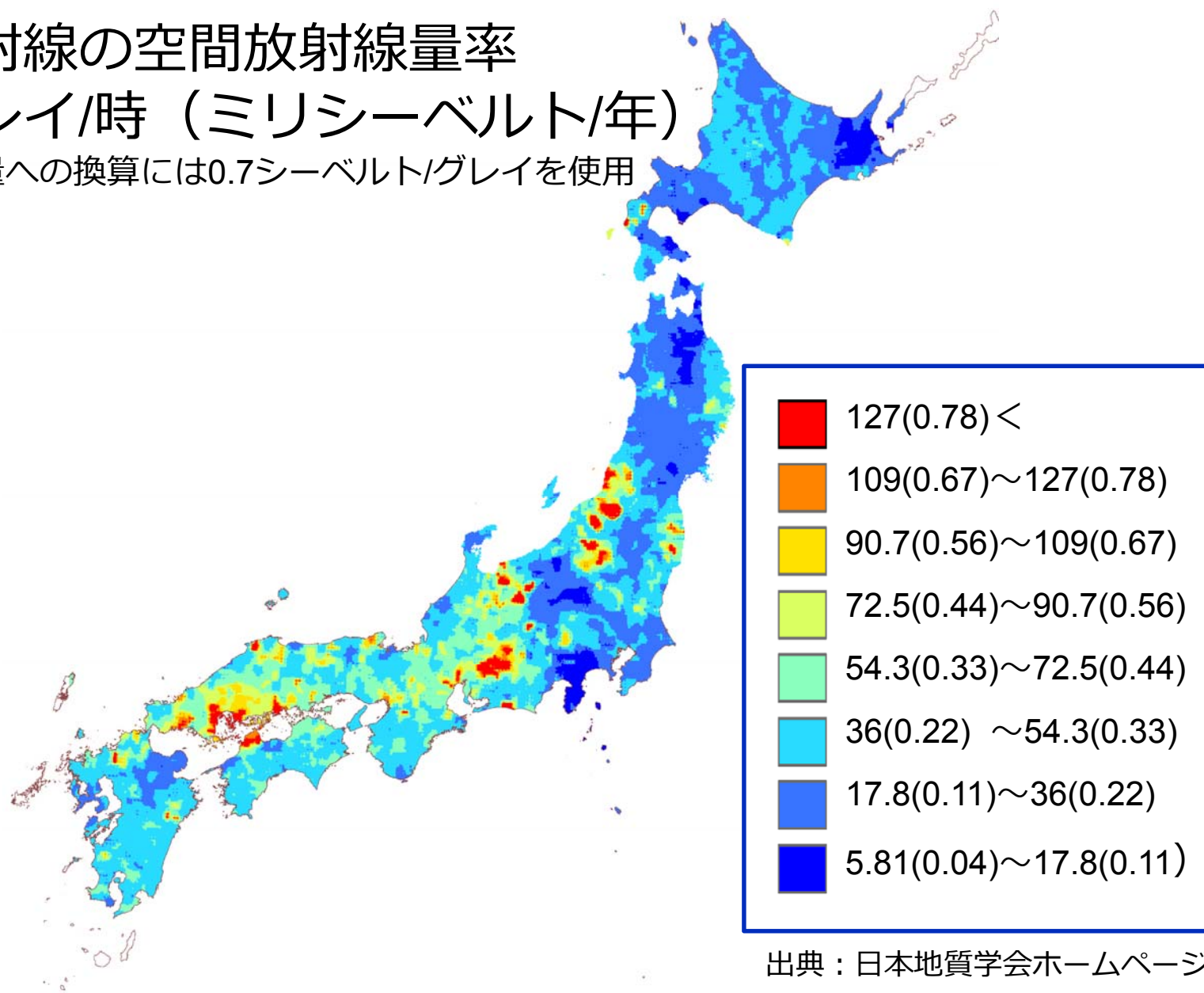


出典：国連科学委員会（UNSCEAR）2008年報告書、
（公財）原子力安全研究協会「生活環境放射線」（2011年）より作成

大地の放射線（日本）

自然放射線の空間放射線量率
ナノグレイ/時（ミリシーベルト/年）

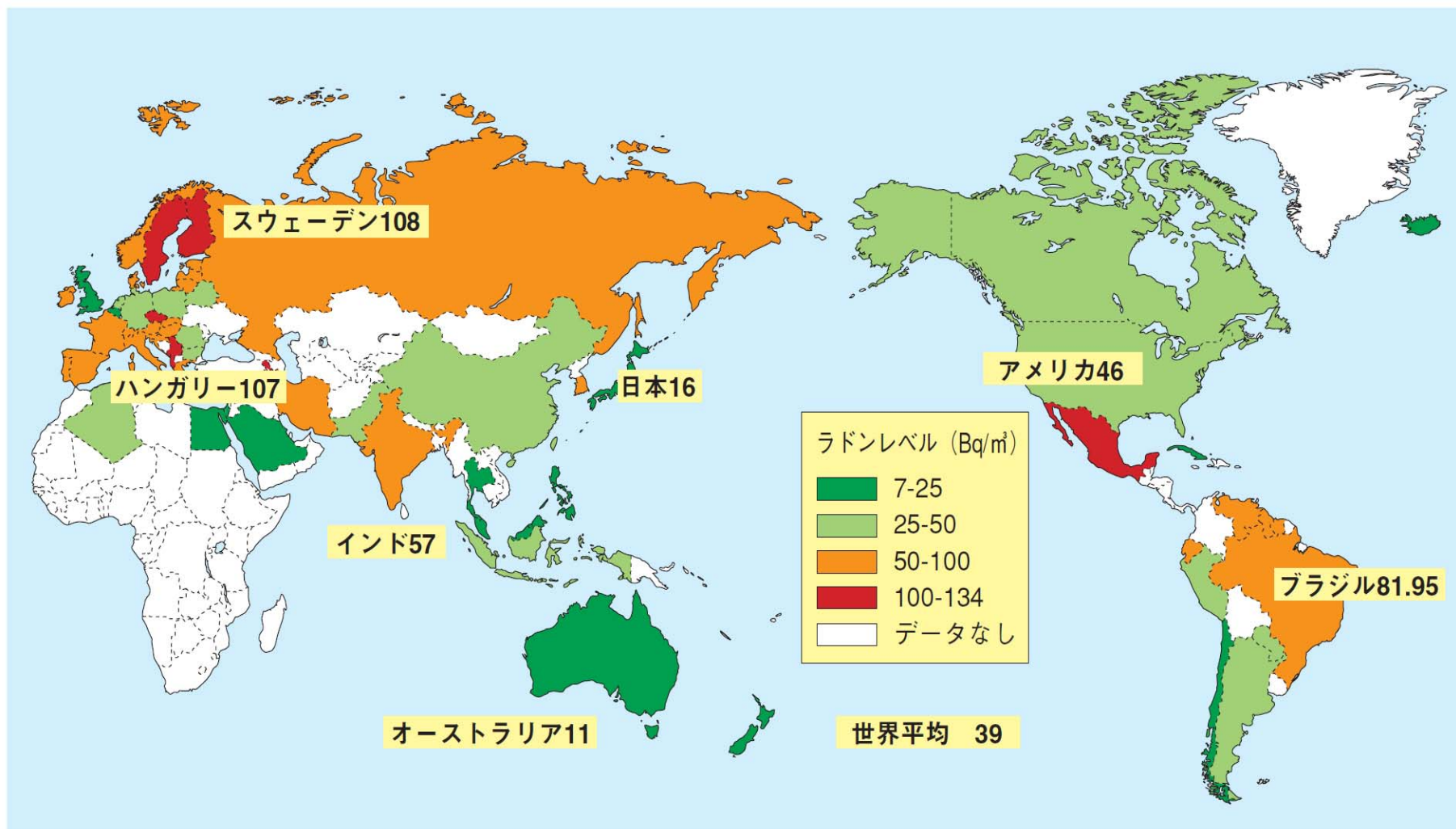
・実効線量への換算には0.7シーベルト/グレイを使用



出典：日本地質学会ホームページより

屋内ラドン

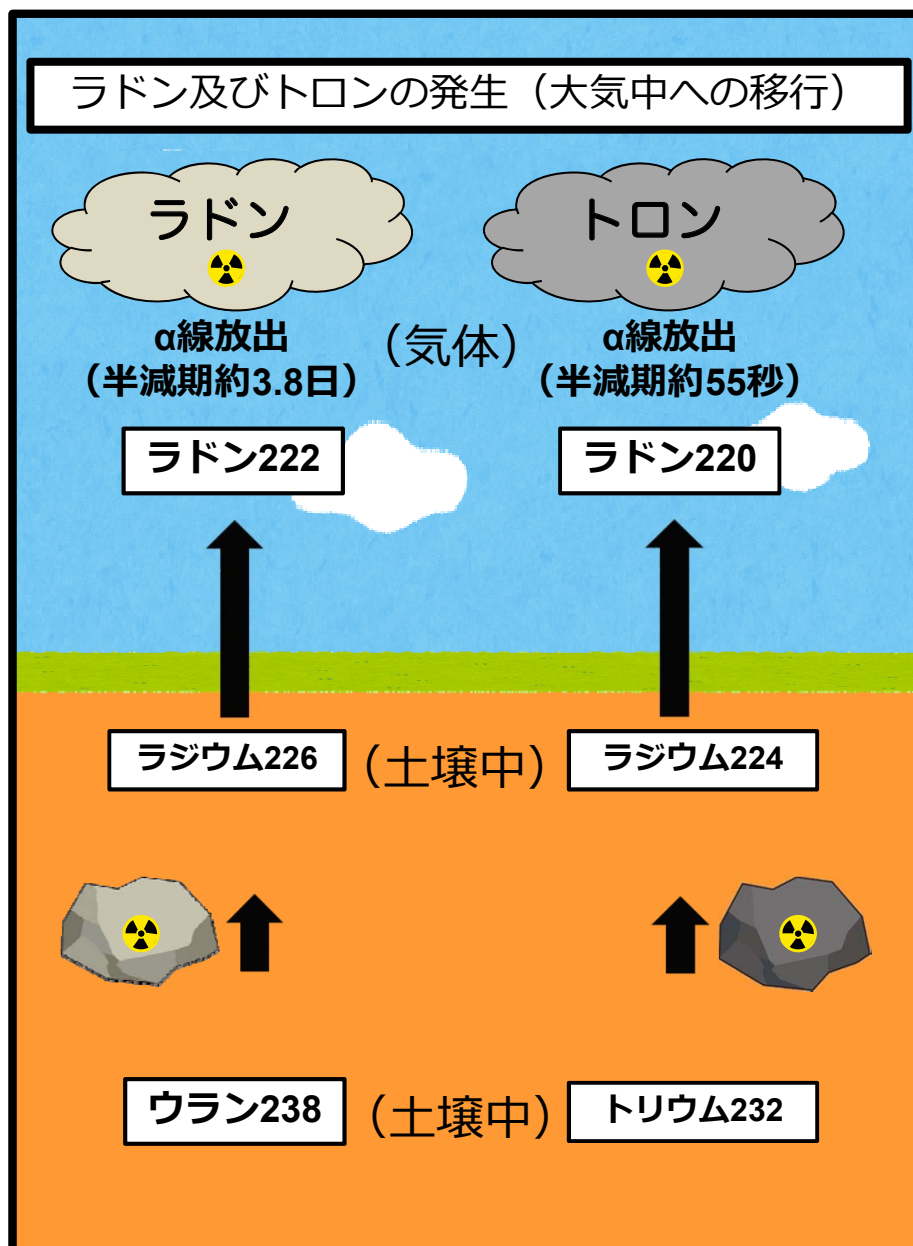
屋内ラドンからの被ばくの地域差（算術平均 Bq/m^3 ）



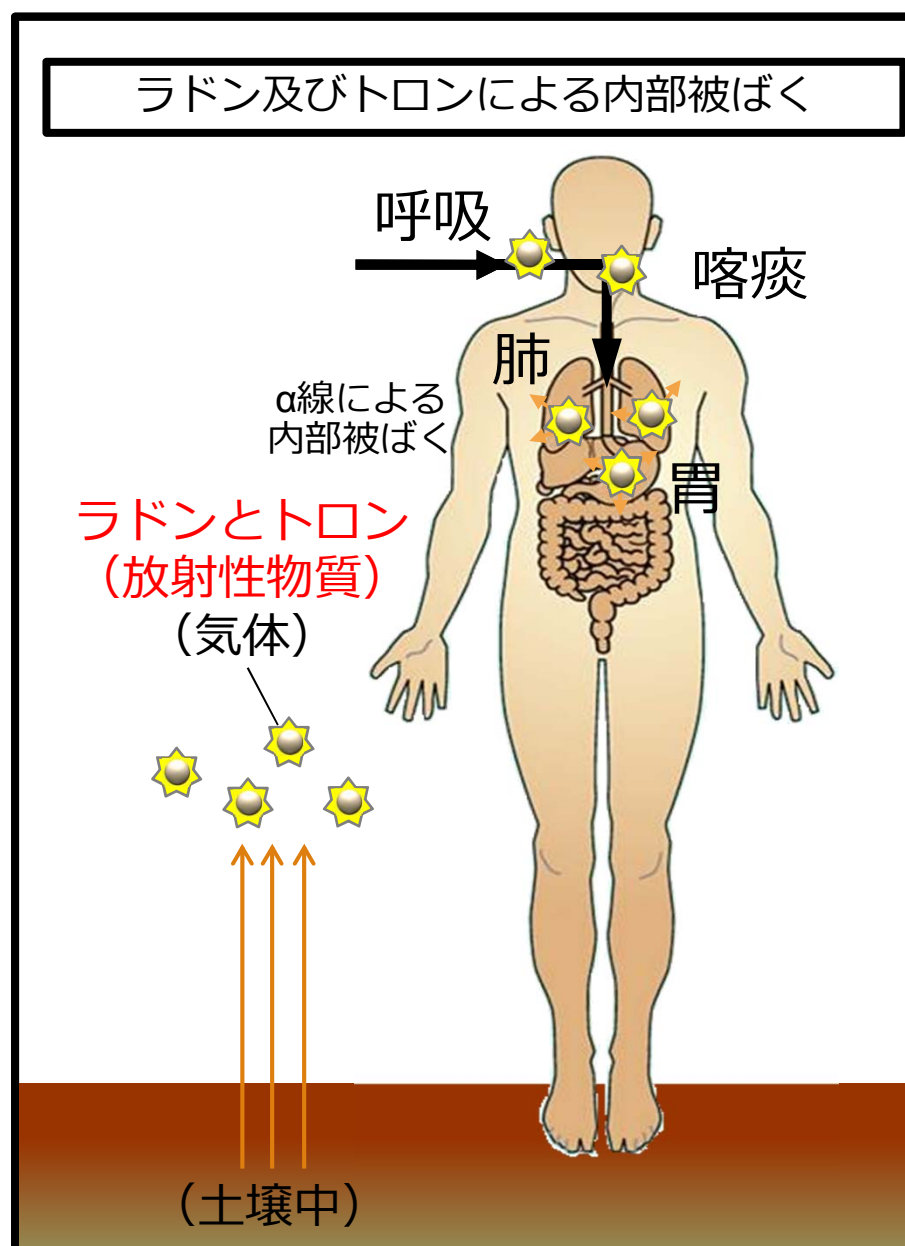
Bq/m^3 : ベクレル/立方メートル

出典 : 国連科学委員会(UNSCEAR) 報告書より

ラドン及びトリウムの発生（大気中への移行）



ラドン及びトリウムの吸入による内部被ばく



体内、食品中の自然放射性物質

体内の放射性物質



体重60kgの場合

カリウム40	※1	4,000Bq
炭素14	※2	2,500Bq
ルビジウム87	※1	500Bq
鉛・ポロニウム	※3	20Bq

- ※1 地球起源の核種
- ※2 宇宙線起源のN-14由来の核種
- ※3 地球起源ウラン系列の核種

食品中の放射性物質（カリウム40）の濃度



米 30 牛乳 50 牛肉 100 魚 100 ドライミルク 200 ほうれん草 200
 ポテトチップス 400 お茶 600 干しいたけ 700 干し昆布 2,000 (Bq/kg)

Bq : ベクレル Bq/kg : ベクレル/キログラム

出典 : (公財) 原子力安全研究協会「生活環境放射線データに関する研究」(1983年)より作成

放射線検査による被ばく線量

各放射線診療の診断参考レベルと被ばく線量

		被ばく線量（およその値）		診断参考レベル		
		線量	線量の種類	IAEA ガイダンスレベル	日本診療放射線技師会 ガイドライン	線量の種類
検査の種類	胸部X線撮影	0.06mSv	実効線量	0.4mGy	0.3mGy	入射表面線量
	上部消化管検査 (バリウム検査)	3mSv	実効線量		直接 100mGy 間接 50mGy	入射表面線量
	CT撮影	5～30mSv	実効線量	頭部 50mGy 腹部 25mGy	頭部 65mGy 腹部 20mGy	CTDI (CT 線量指標)
	核医学検査	0.5～15mSv	実効線量	放射性医薬品毎の 値	放射性医薬品毎の 値	投与放射能
	PET検査	2～10mSv	実効線量	〃	〃	〃
	乳房撮影 (マンモグラフィ)	2mGy	乳腺線量	3mGy	2mGy	乳腺線量
	歯科撮影	0.002～0.01mSv	実効線量	(なし)	(なし)	

mSv：ミリシーベルト　mGy：ミリグレイ

出典：赤羽, Innervision, 25, 46-49, 2010

診断で受ける放射線量

	診断部位	実効線量 (mSv)
X線診断	頭 部 (直接撮影)	0.1 ※1
	胸 部 (直接撮影)	0.4 ※1
	胃 部 (バリウム)	3.3 ※1
X線CT検査	頭 部	2.4 ※2
	胸 部	9.1 ※2
	上腹部	12.9 ※2
	下腹部	10.5 ※2
集団検診	胃 部 (透視)	0.6 ※3
	胃 部 (撮影)	0.07 ※3
	胸 部 (撮影)	0.06 ※4

※1：丸山隆司、岩井一男、西沢かな枝、野田豊、隈元芳一；X線診断による臓器・組織線量、実効線量および集団実効線量 RADIOISOTOPES, Vol. 45, No. 12, 23-34, 1996

※2：西沢かな枝、松本雅紀、岩井一男、丸山隆司；CT検査件数及びCT検査による集団実効線量の推定 日本医学放射線学会雑誌 64, 67-74, 2004

※3：国民線量推定のための基礎調査(XXIII) 平成12年（2000年）3月 放射線影響協会

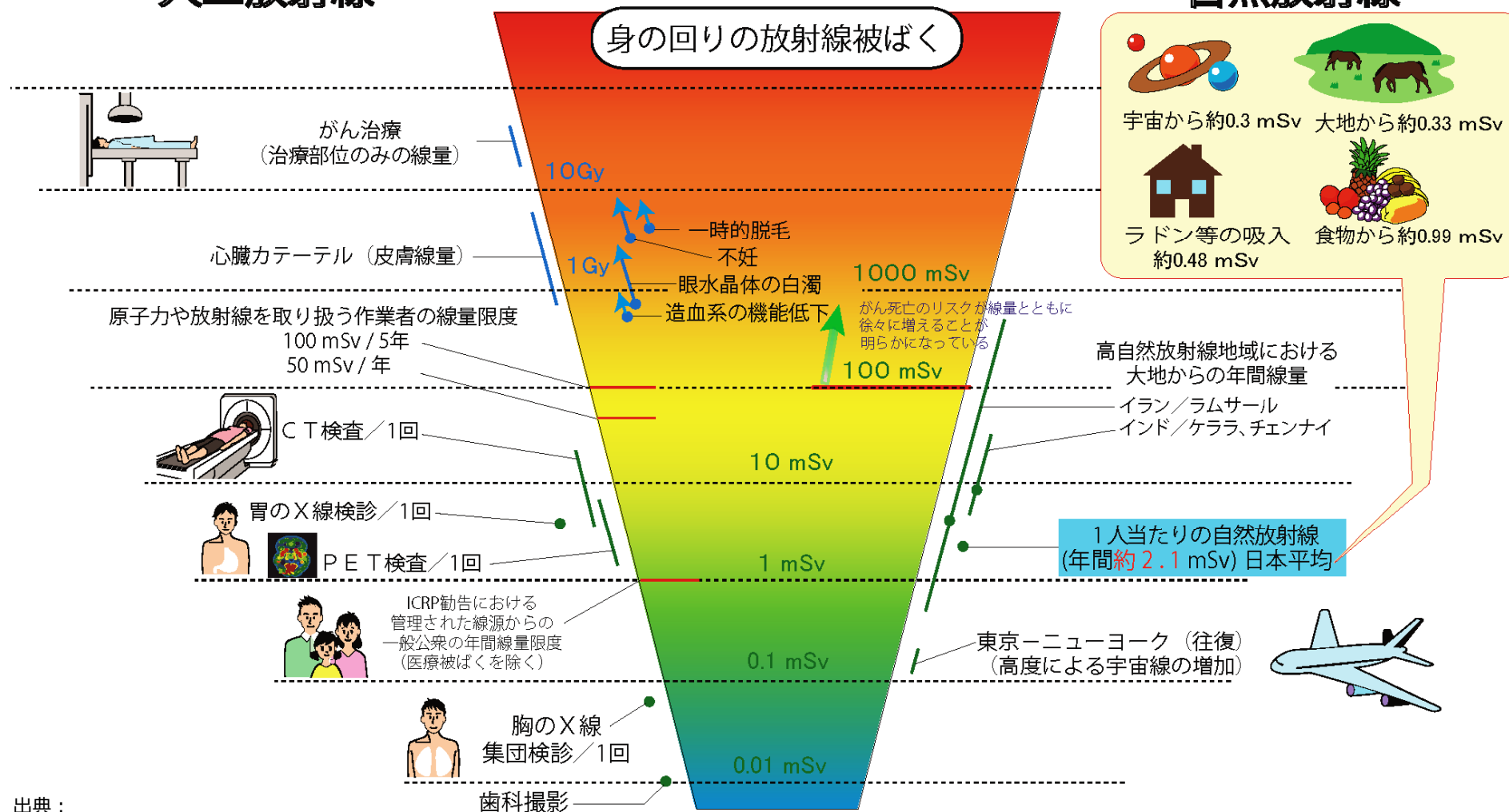
※4：丸山隆司；Radiat. Prot. Dosimetry, 43, 213-216, 1992

mSv：ミリシーベルト

被ばく線量の比較（早見図）

人工放射線

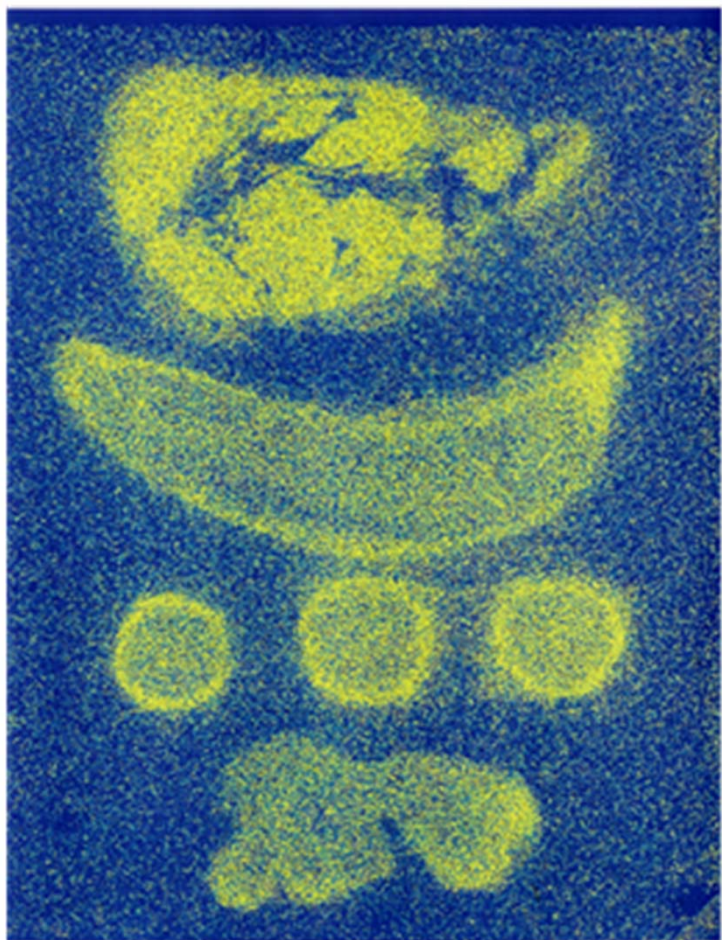
自然放射線



出典:

- ・国連科学委員会（UNSCERA）2008年報告書
- ・国際放射線防護委員会（ICRP）2007年勧告
- ・日本放射線技師会医療被ばくガイドライン
- ・新版 生活環境放射線（国民線量の算定）などに
より、放射線医学総合研究所が作成（2013年5月）

mSv : ミリシーベルト



豚肉、バナナ（縦切りおよび横切り）、
ショウガの放射能像

食品からの放射線

- ・主にカリウム40の β （ベータ）線
- ・カリウム40の天然存在比※は**0.012%**
- ・カリウム40の半減期は **1.26×10^9 年**

※天然に存在するカリウムの内カリウム40の割合

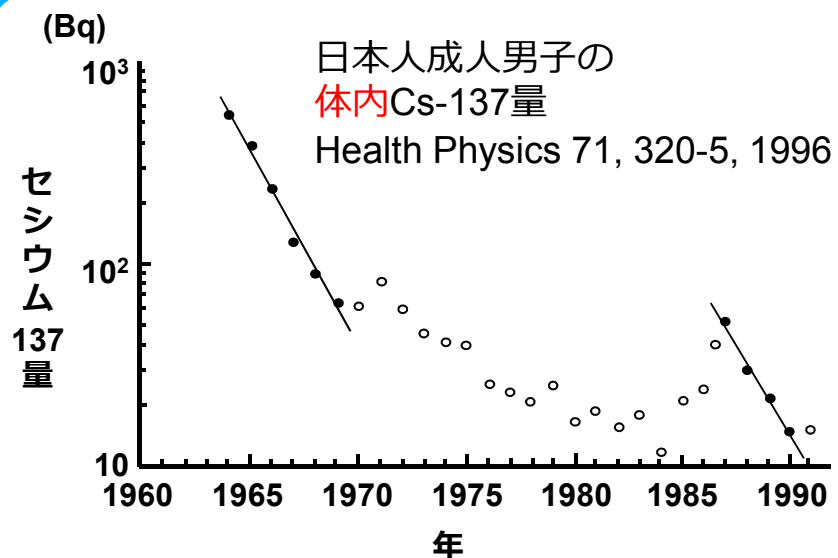
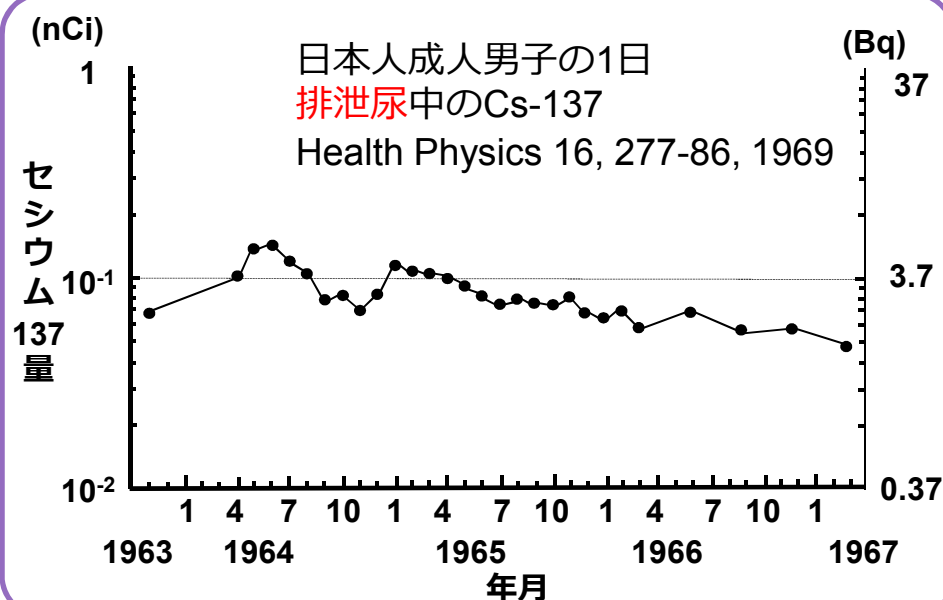
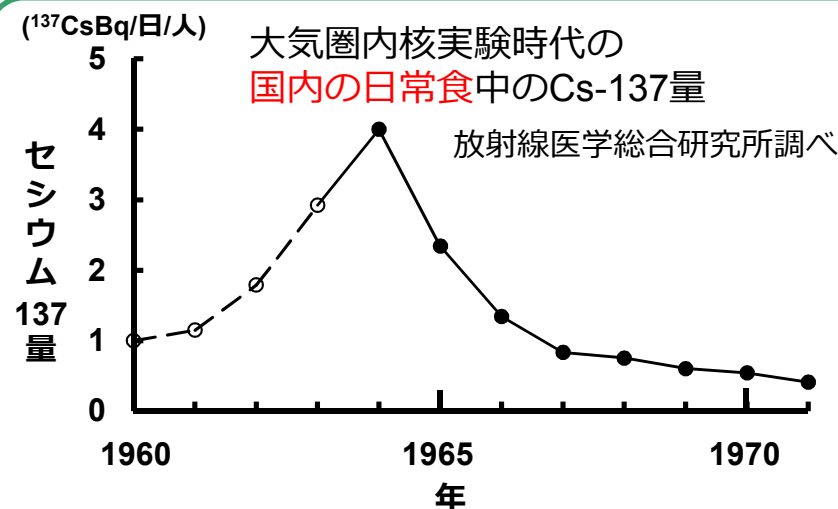
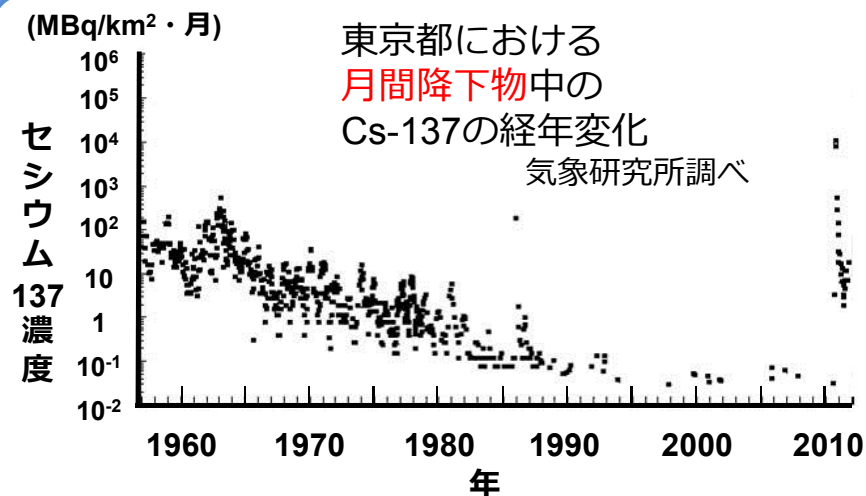
出典：森, 応用物理, 97, No.6, 1998

体内放射能：体重60kg

カリウム40：4,000 Bq (ベクレル)

炭素14：2,500 Bq

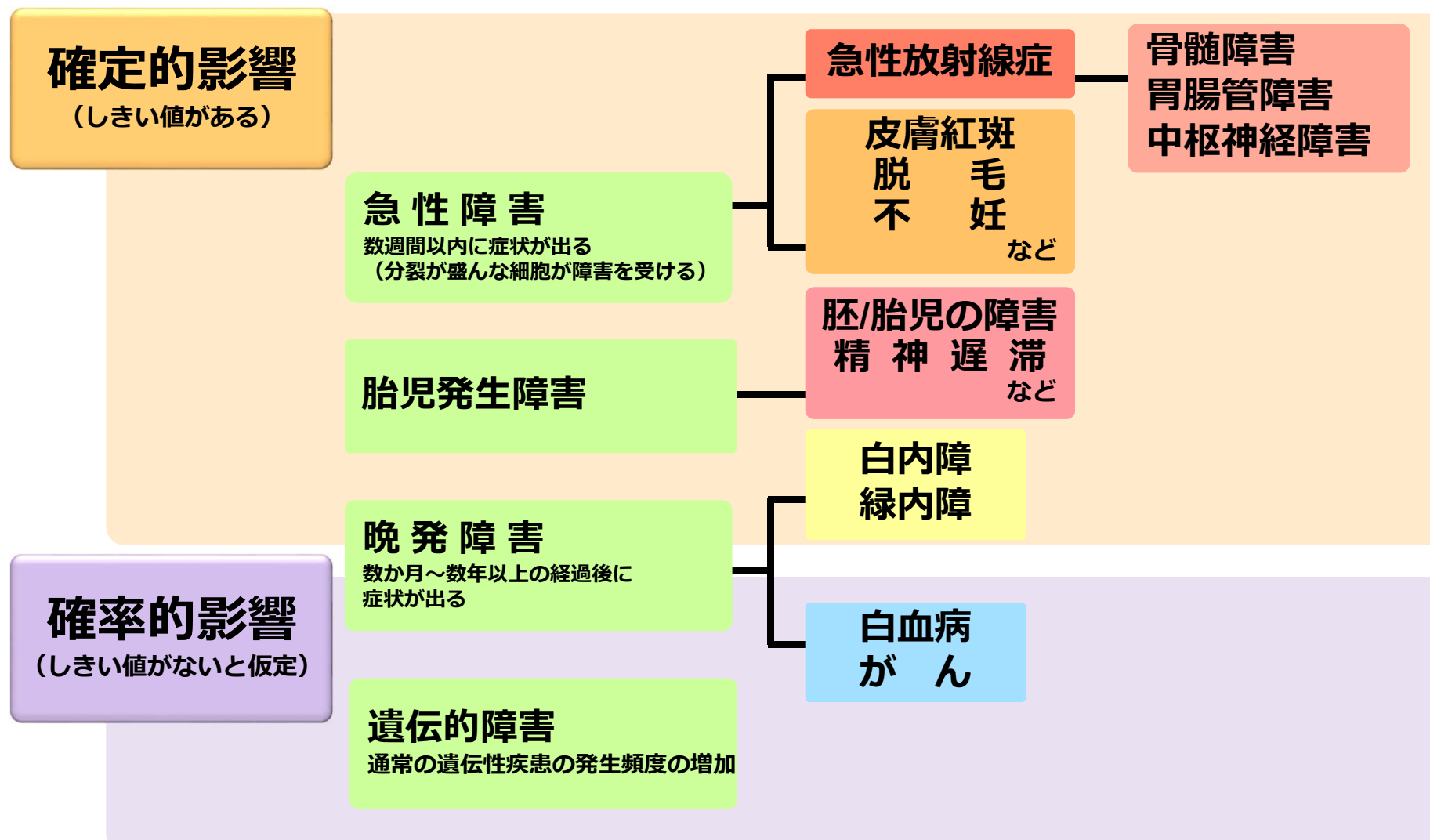
セシウム137：520 Bq



MBq：メガベクレル nCi：ナノキュリー

影響の種類

- ▶ 放射線を受けた後にどのような健康影響が生じるか、生じないか、受けた放射線の量、受けた場所（全身、局所）、時間的経過（被ばくの様式）を考慮する



被ばくの形態と影響

高線量被ばく

(大量の放射線を受けた)

低線量被ばく

(少量の放射線を受けた)

急性被ばく

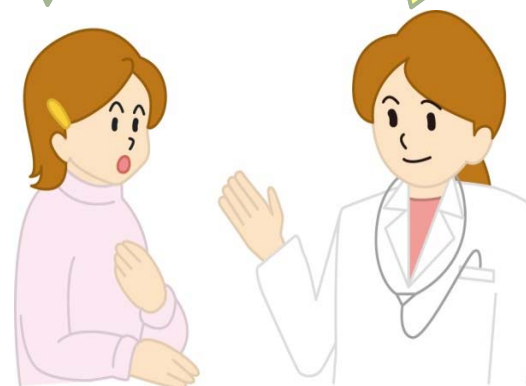
(大量の放射線を短時間に受けた)

慢性被ばく


(少量の放射線を長期間にわたって受けた)

皮膚障害
吐き気
脱毛？

急性障害は
大量の放射線を
短時間に受ける
と起こります



放射線影響の分類

		潜伏期間	例	線量反応関係※2
影響の出現	身体的影響	数週間以内 = 急性影響 (早期影響)	急性放射線症※1 急性皮膚障害	細胞死/細胞変性 で起こる 確定的影響 
		数か月以降 = 晩発影響	胎児の発生・発達異常(奇形)	
			水晶体の混濁	突然変異で起こる 確率的影響 
	遺伝性影響		がん・白血病	
			遺伝性疾患	

※1：主な症状としては、被ばく後数時間以内に認められる嘔吐、数日から数週間にかけて生じる下痢、血液細胞数の減少、出血、脱毛、男性の一過性不妊症等。

※2：一定量以上の被ばくがないと発生しない。

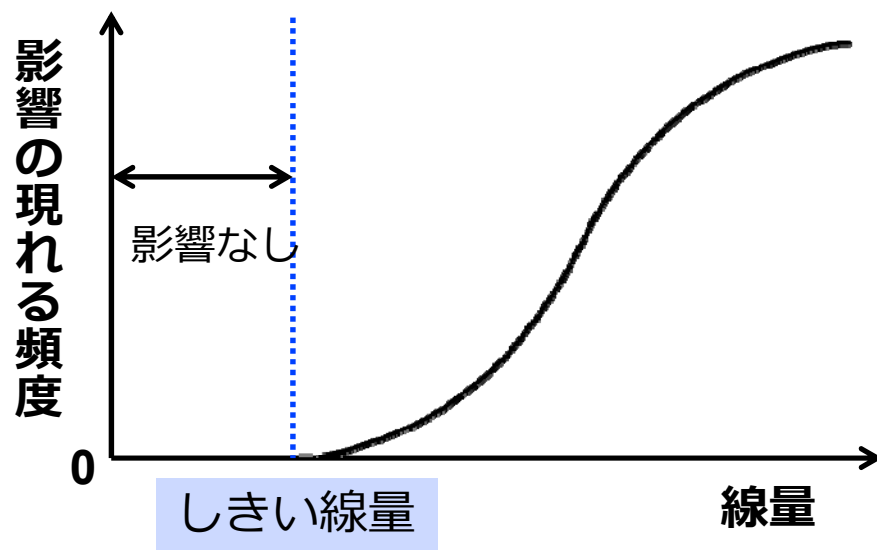
確定的影響と確率的影響

確定的影響

(脱毛・白内障・皮膚障害等)

同じ線量を多数の人が被ばくしたとき、全体の1%の人に症状が現れる線量を「しきい線量」としている。

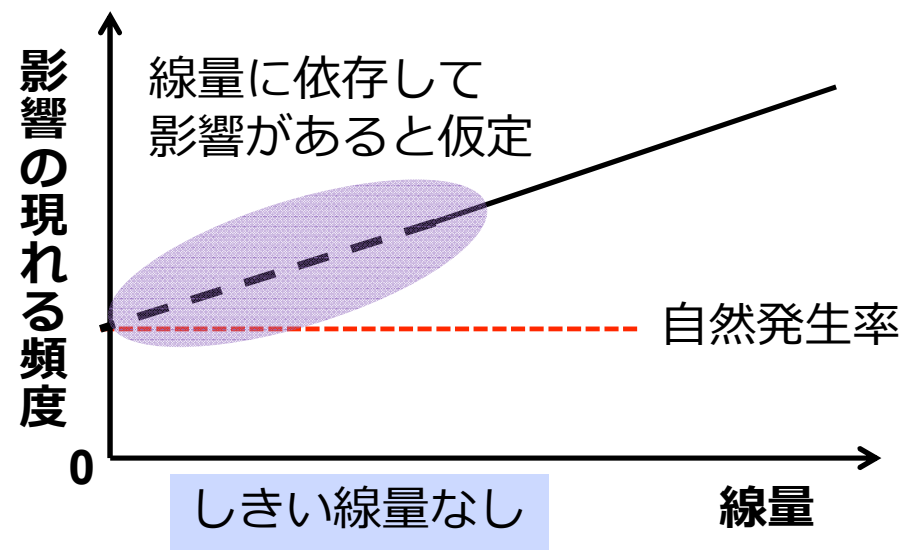
(国際放射線防護委員会 (ICRP) 2007年勧告)



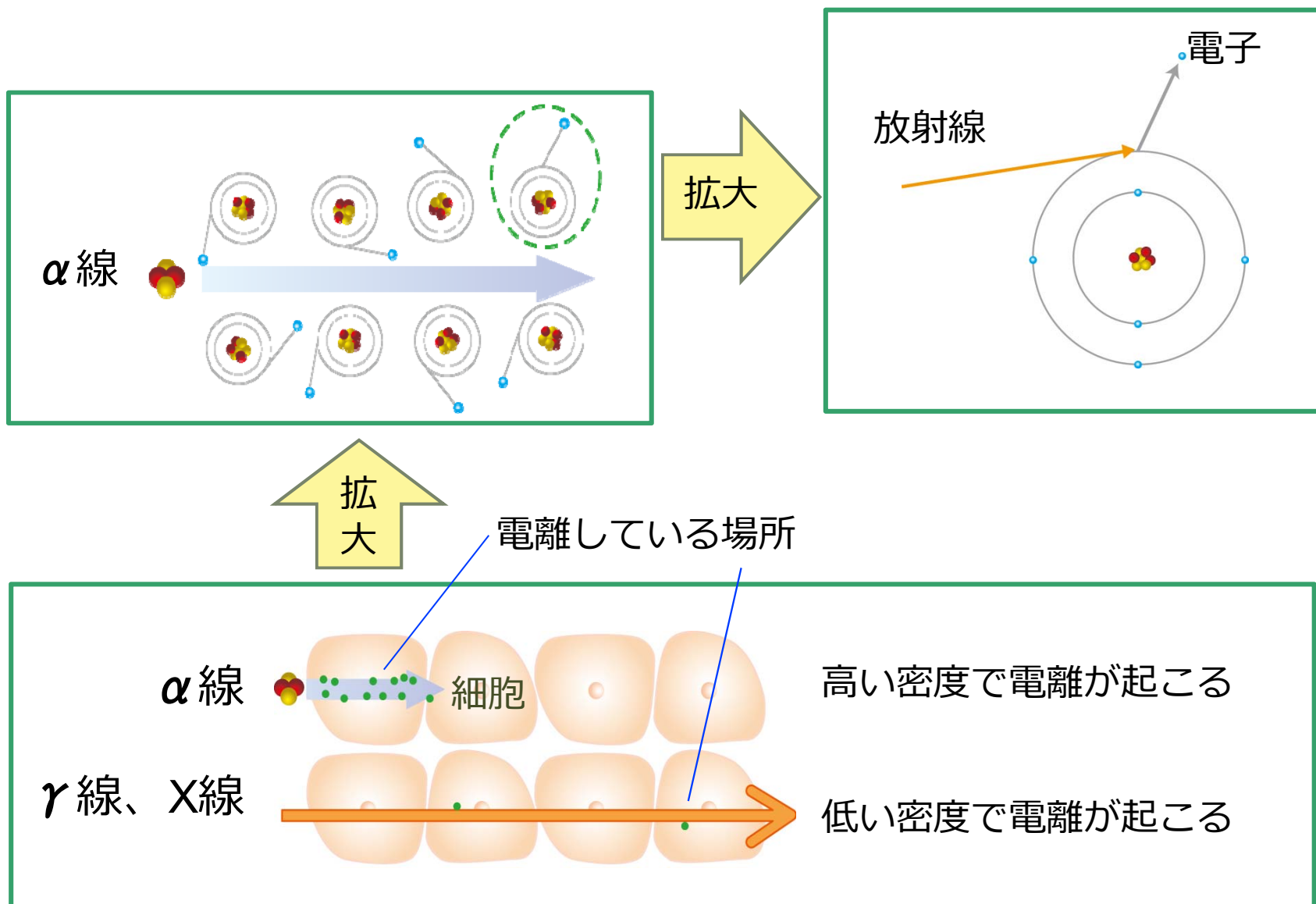
確率的影響

(がん・白血病・遺伝性影響等)

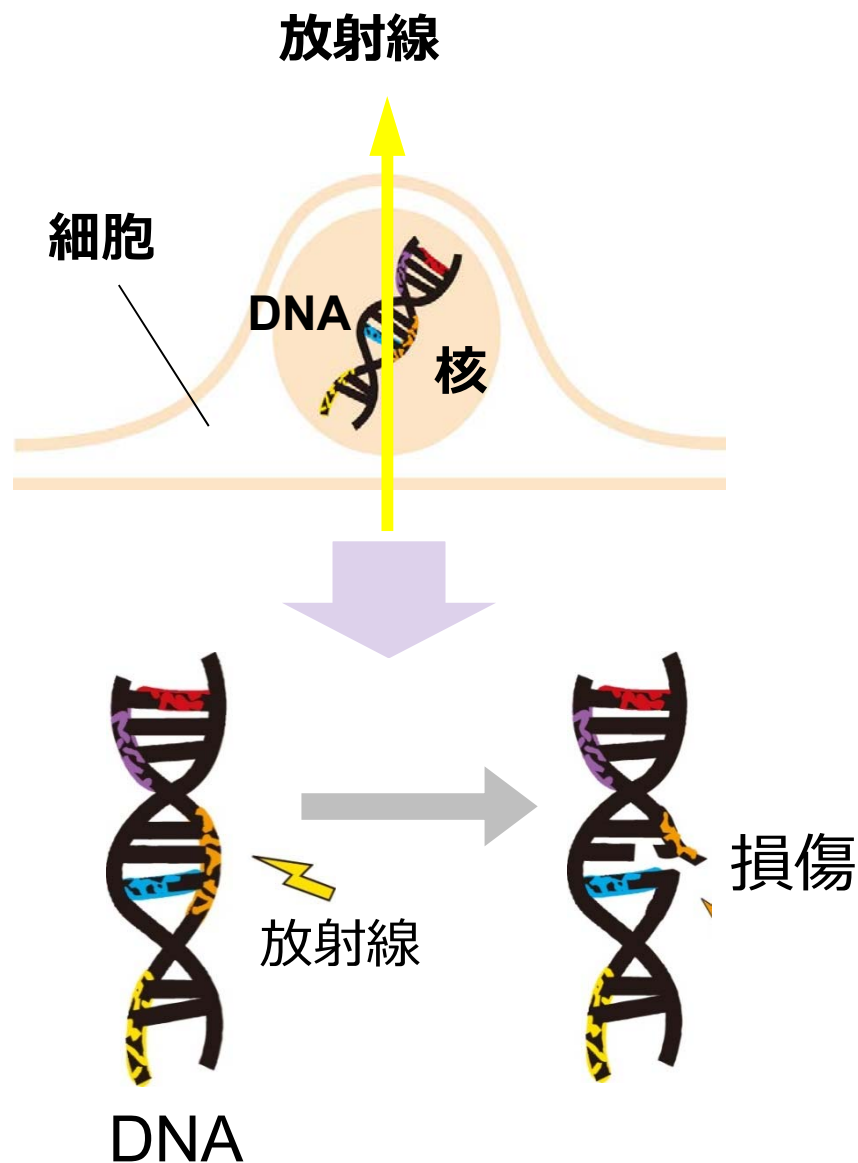
一定の線量以下では、喫煙や飲酒といった他の発がん影響が大きすぎて見えないが、ICRPなどではそれ以下の線量でも影響はあると仮定して、放射線防護の基準を定めることとしている。



放射線による電離作用



放射線によるDNAの損傷



**X線1ミリグレイ当たりの損傷
(1細胞当たり)**

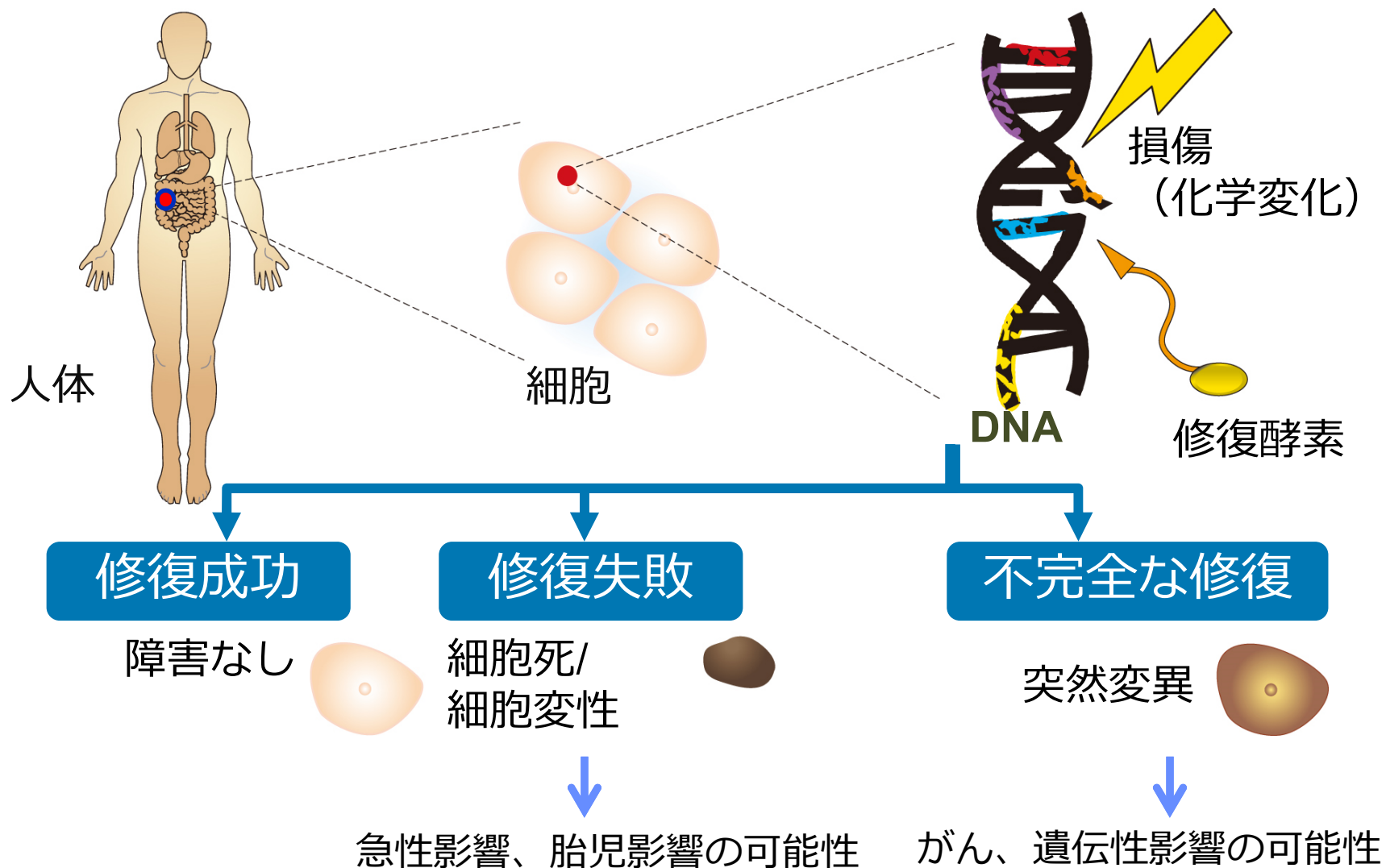
塩基損傷 2.5 か所

一本鎖切断 1 か所

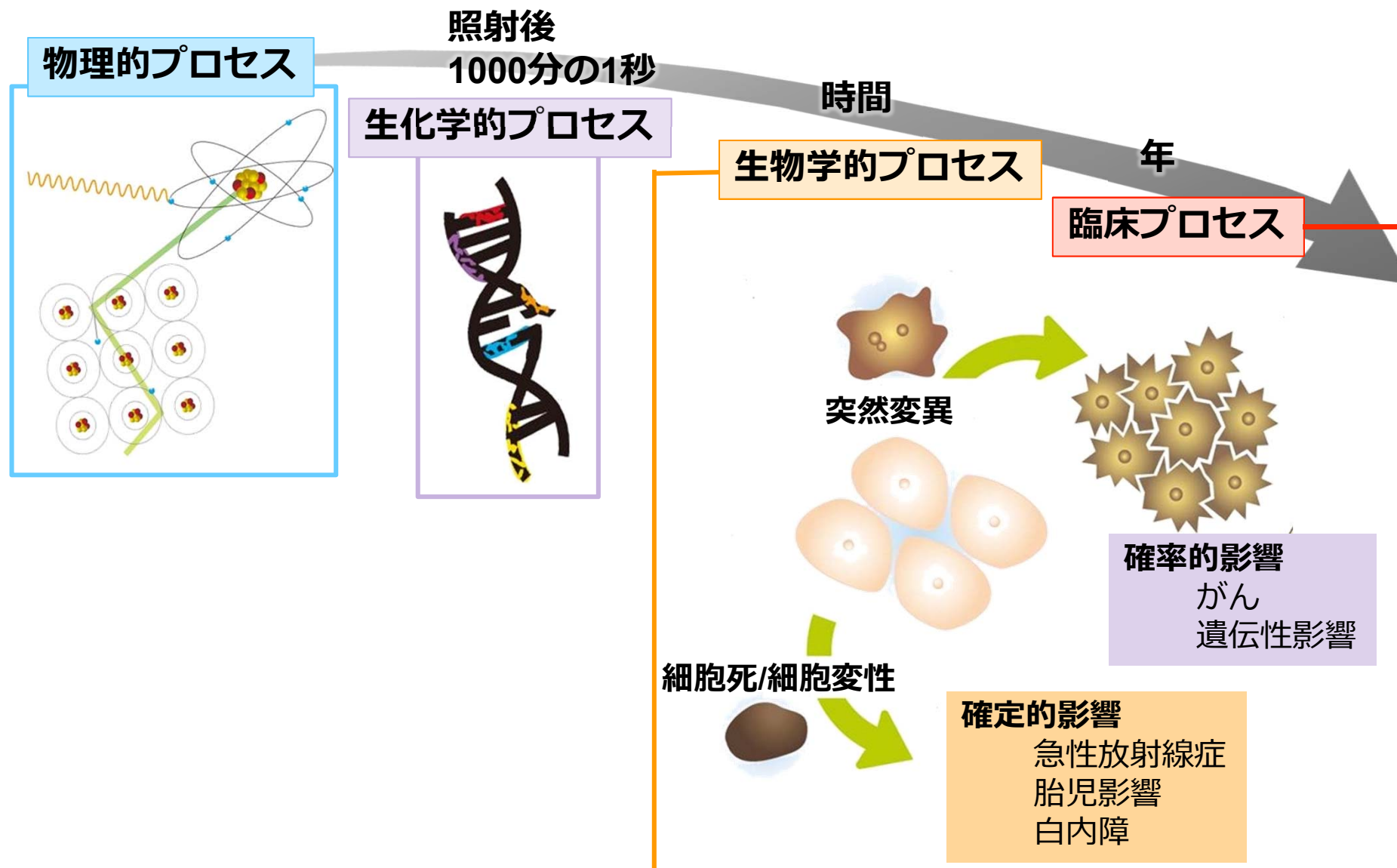
二本鎖切断 0.04 か所

出典：Morgan, 米国放射線防護委員会（NCRP）
年次総会(第44回、2009)

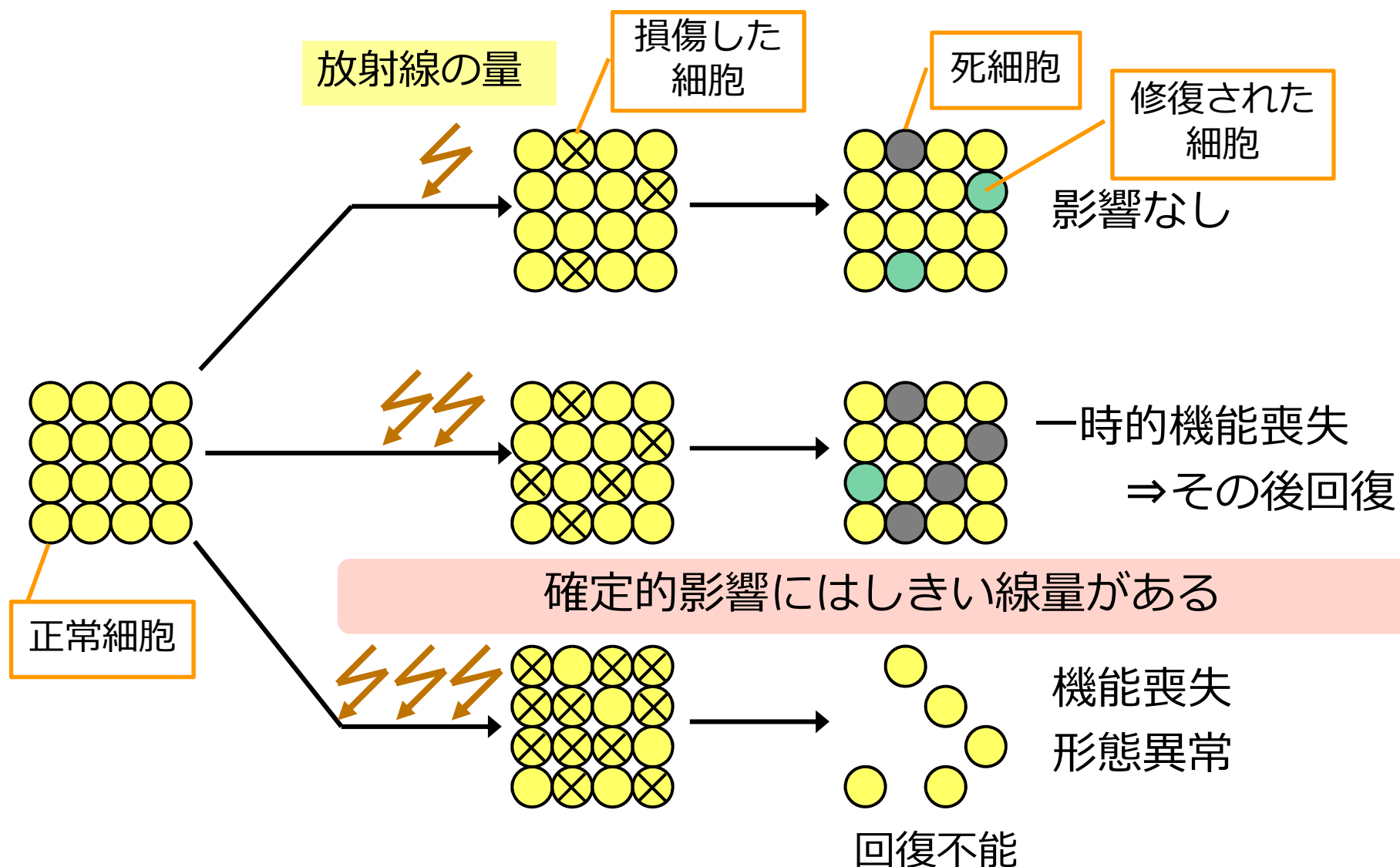
DNA→細胞→人体



被ばく後の時間経過と影響



確定的影響



臓器・組織の放射線感受性

分裂が盛ん

感受性が高い

造血系：骨髓、リンパ組織（脾臓、胸腺、リンパ節）

生殖器系：精巣、卵巣

消化器系：粘膜、小腸絨毛

表皮、眼：毛嚢、汗腺、皮膚、水晶体

その他：肺、腎臓、肝臓、甲状腺

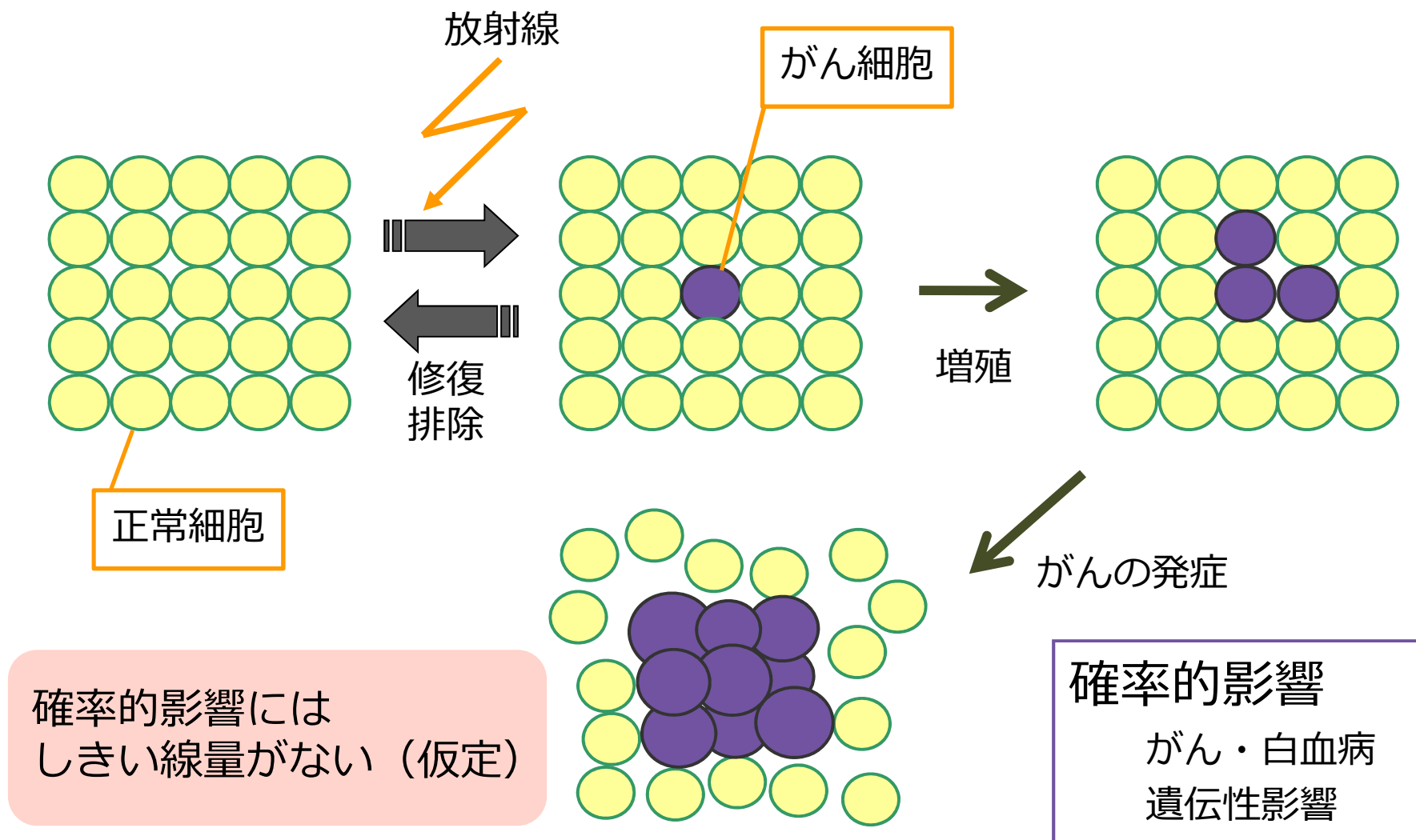
支持系：血管、筋肉、骨

伝達系：神経

分裂しない

感受性が低い

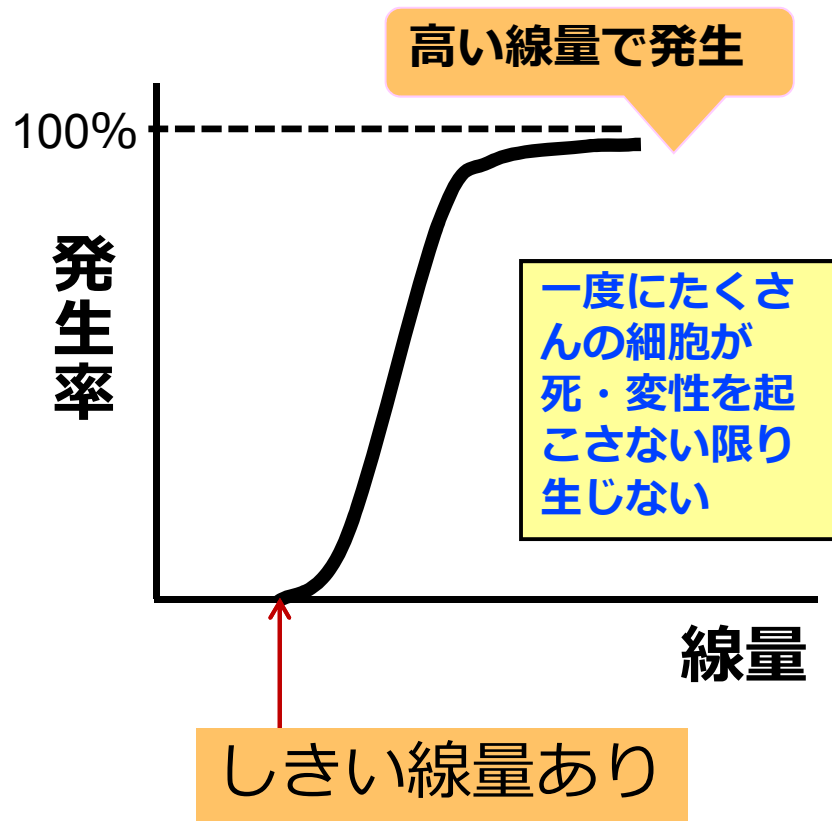
確率的影響



線量反応関係

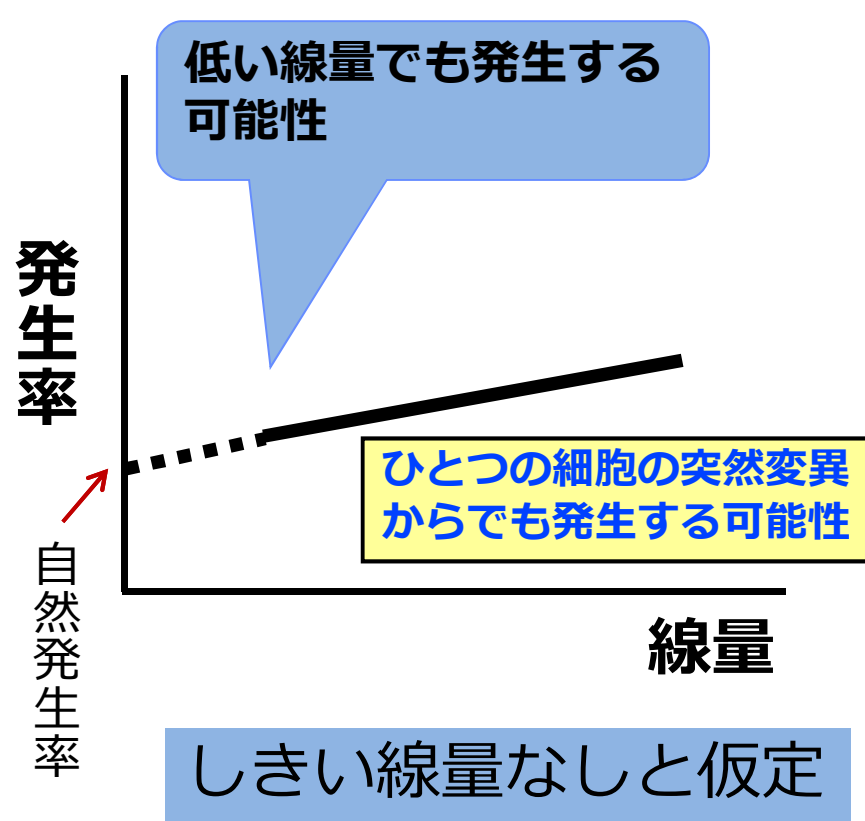
確定的影響

(細胞死／細胞変性が引き金)



確率的影響

(突然変異が引き金)



確定的影響

全身被ばくと局所被ばく

全身

下痢

頭痛、発熱

悪心、嘔吐

末梢血中のリンパ球減少

200 1,000

5,000

10,000 (ミリグレイ)

局所

一時的精子数減少

永久不妊 (男女共通)

水晶体混濁

白内障、緑内障

(皮膚) 一時的紅斑

紅斑

潰瘍

(皮膚) 一時的脱毛

永久脱毛

出典：原子力安全委員会健康管理検討委員会報告平成12年(2000年)、他より改変

確定的影響

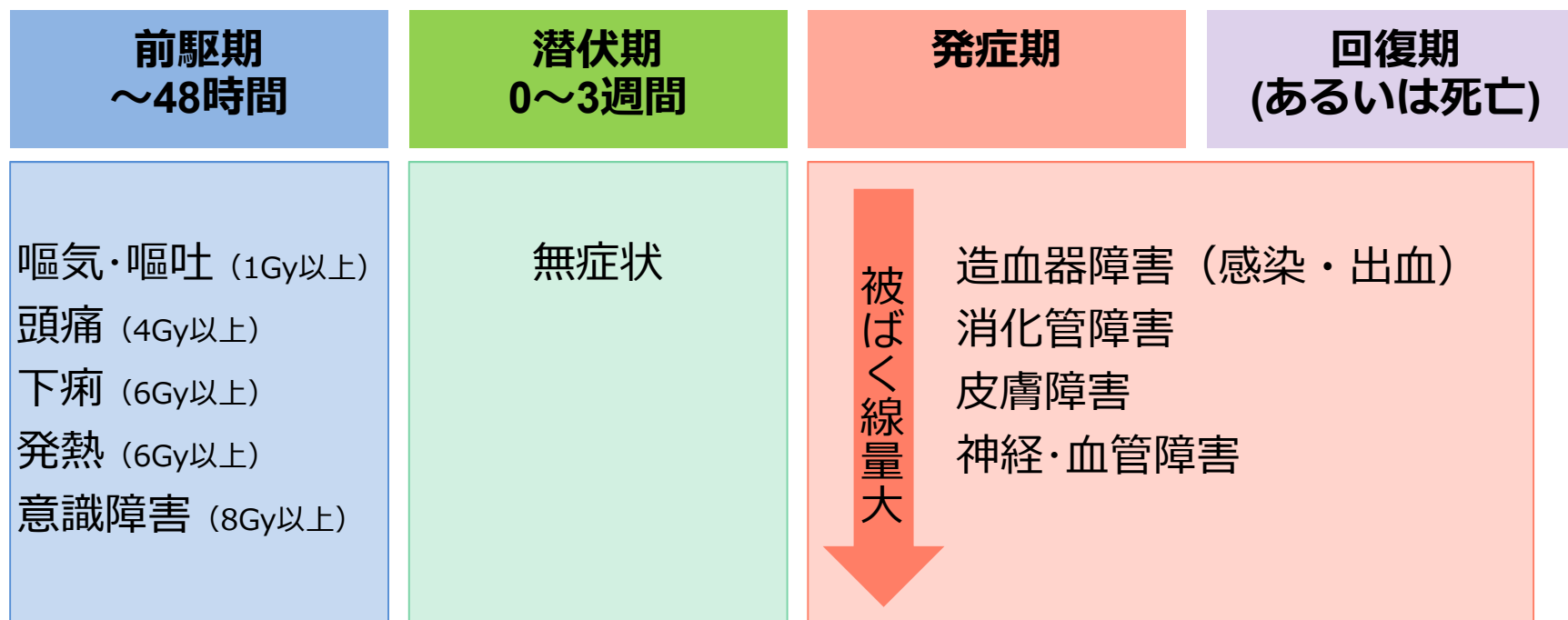
急性放射線症

急性放射線症の病期

被ばく時



時間経過



※全身に1グレイ（1,000ミリグレイ）以上の放射線を一度に受けた場合に見られる急性放射線症

Gy：グレイ

出典：（公財）原子力安全研究協会 緊急被ばく医療研修テキスト「放射線の基礎知識」

さまざまな影響のしきい値

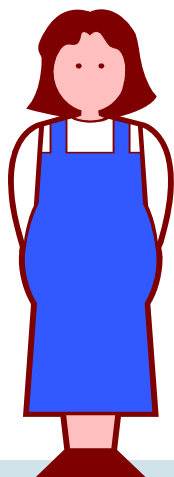
γ （ガンマ）線急性吸収線量のしきい値

障害	臓器／組織	潜伏期	しきい値 (グレイ)※
一時的不妊	精巣	3～9週	約0.1
永久不妊	精巣	3週	約6
	卵巣	1週以内	約3
造血能低下	骨髄	3～7日	約0.5
皮膚発赤	皮膚（広い範囲）	1～4週	3～6以下
皮膚熱傷	皮膚（広い範囲）	2～3週	5～10
一時的脱毛	皮膚	2～3週	約4
白内障（視力低下）	眼	数年	0.5

※臨床的な異常が明らかな症状のしきい線量（1%の人々に影響を生じる線量）

出典：国際放射線防護委員会（ICRP）2007年勧告、国際放射線防護委員会報告書118(2012)

確定的影響と時期特異性



重要な器官が形成される時期
= 薬の使用に気をつける時期
= 放射線にも弱い時期



着床前期
受胎0-2週
・ 流産

器官形成期
受胎2-8週
・ 器官形成異常
（奇形）

胎児前期
受胎8-15週
・ 精神発達
遅滞

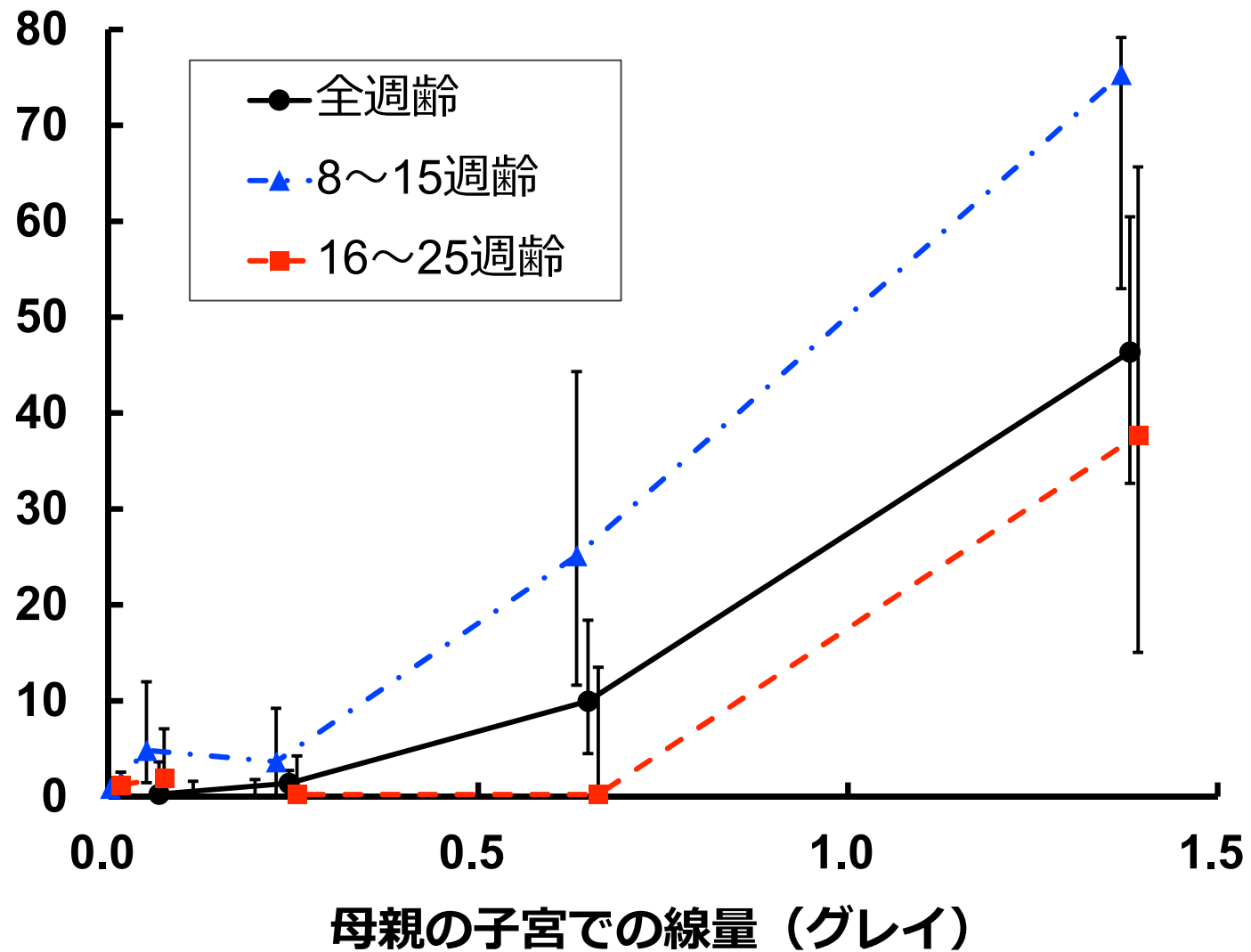
胎児後期
受胎15週
～出産

しきい値は0.1グレイ 以上

※一般的に妊娠2週目と呼ばれている時期は、妊娠直後の受胎0週(齡)に相当します。



重度知的障害リスク (%)

出典：放射線影響研究所ホームページより作成 <http://www.rerf.or.jp/>

被爆二世における染色体異常



原爆被爆者の子どもにおける安定型染色体異常

異常の起源	染色体異常を持った子どもの数 (割合)	
	対照群 (7,976人)	被ばく群 (8,322人) 平均線量は0.6グレイ
両親のどちらかに由来	15 (0.19%)	10 (0.12%)
新たに生じた例	1 (0.01%)	1 (0.01%)
不明 (両親の検査ができなかった)	9 (0.11%)	7 (0.08%)
合 計	25 (0.31%)	18 (0.22%)

出典：放射線影響研究所ホームページ <http://www.rerf.or.jp/>

ヒトでの遺伝性影響のリスク

■ 放射線による生殖腺（生殖細胞）への影響

◎ 遺伝子突然変異

DNAの遺伝情報の変化（点突然変異）

◎ 染色体異常

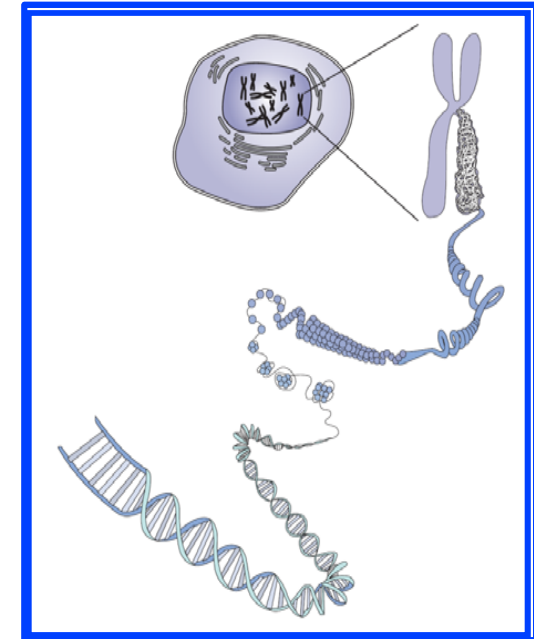
染色体の構造異常

※ヒトでは子孫の遺伝病の増加は証明されていません

■ 遺伝性影響のリスク(子と孫の世代まで)

= 約0.2%/グレイ(1グレイあたり1,000人中2人)

(国際放射線防護委員会(ICRP) 2007年勧告)



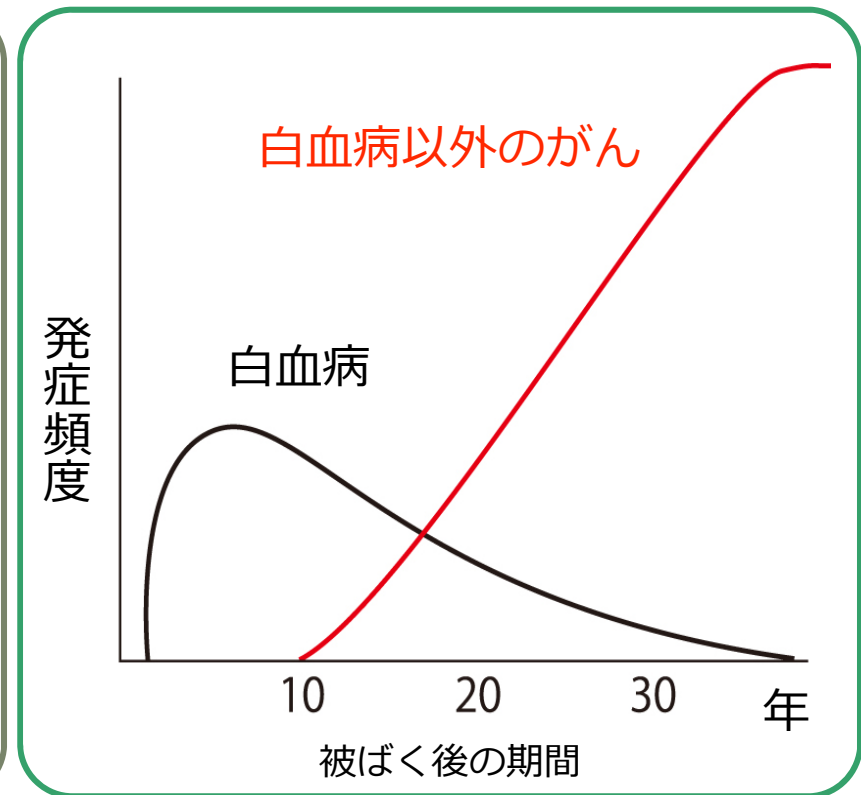
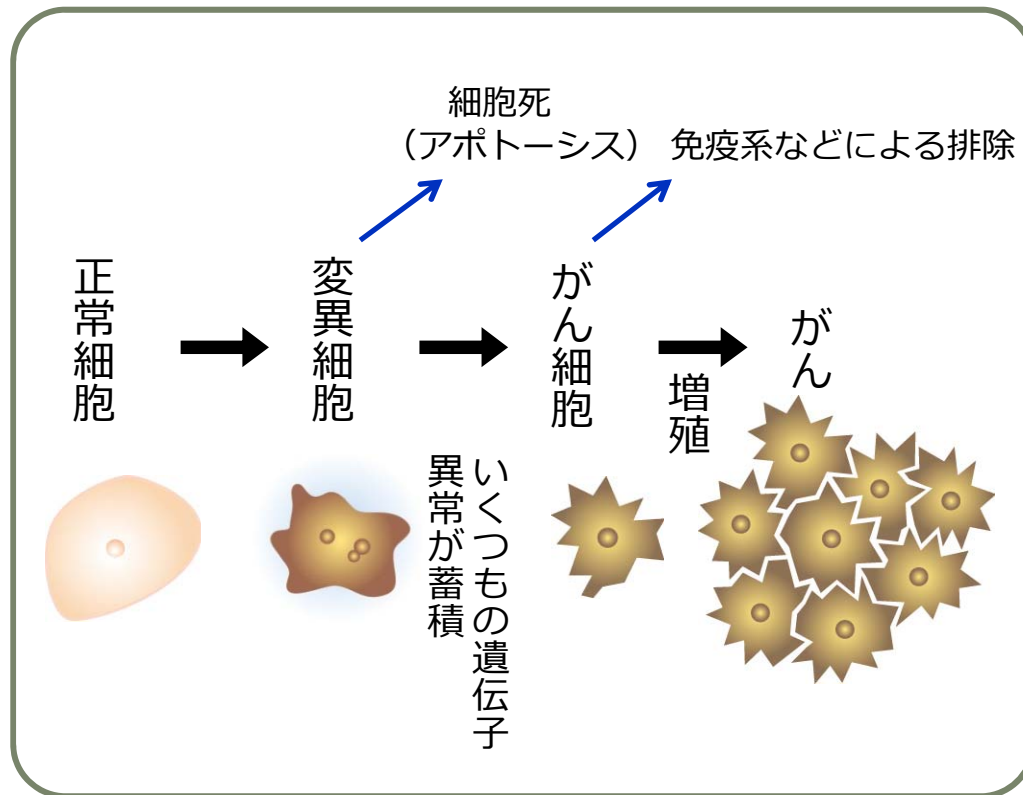
この値は、以下のデータを用いて間接的に推定されている

- ・ ヒト集団での各遺伝性疾患の自然発生頻度
- ・ 遺伝子の平均自然突然変異率（ヒト）、平均放射線誘発突然変異率（マウス）
- ・ マウスの放射線誘発突然変異からヒト誘発遺伝性疾患の潜在的リスクを外挿する補正係数

■ 生殖腺の組織加重係数（国際放射線防護委員会(ICRP)勧告)

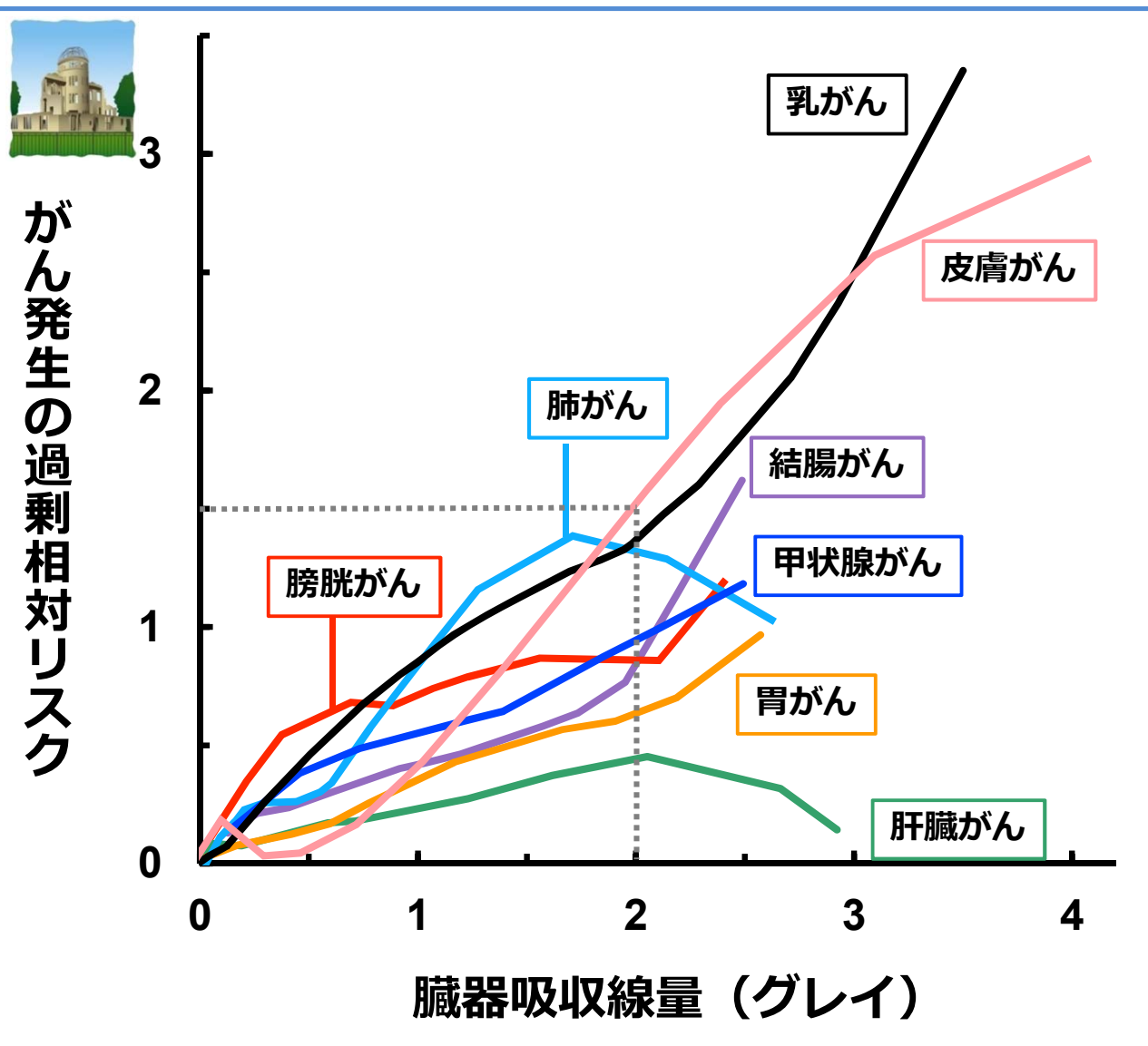
0.25(1977年)→0.20(1990年)→0.08(2007年)

発がんのしくみ



- ・放射線はがんを起こすさまざまなきっかけの一つ
- ・変異細胞ががんになるまでには、いろいろなプロセスが必要
→数年～数十年かかる

放射線感受性の高い組織・臓器



組織	組織加重係数 w_T ※
骨髄(赤色)、胃、肺、結腸、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

出典：国際放射線防護委員会 (ICRP) 2007年勧告

※放射線による影響のリスクが大きい臓器・組織ほど大きい値になる。

出典：Preston et al., Radiat Res, 168, 1, 2007より作成

年齢による感受性の差

子どもは小さな大人ではない

	ヨウ素131の 預託実効線量係数※1 ($\mu\text{Sv/Bq}$)	ヨウ131を100Bq 摂取したときの 預託実効線量(μSv)	ヨウ131を100Bq 摂取したときの 甲状腺等価線量※2(μSv)
3か月児	0.48	48	1,200
1歳児	0.18	18	450
5歳児	0.10	10	250
大人	0.022	2.2	55

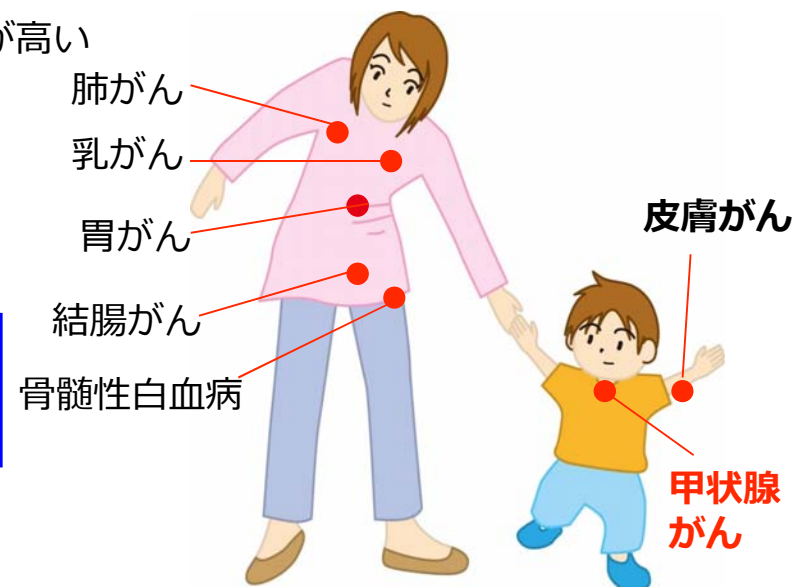
※1：代謝や体格の違いから、子どもは預託実効線量係数が高い

※2：甲状腺の組織加重係数は0.04から算出

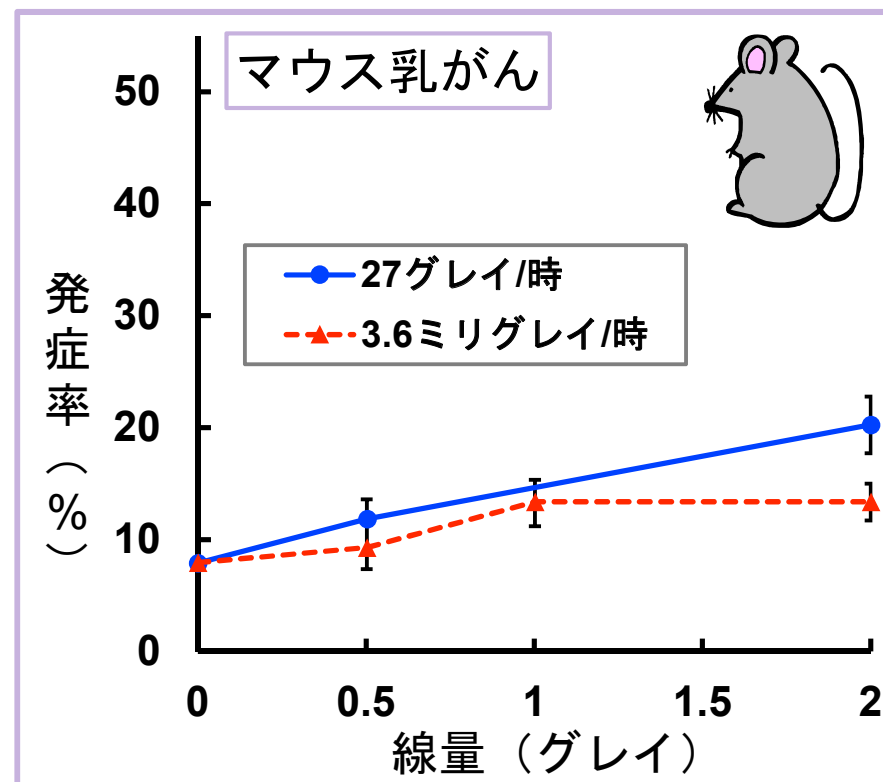
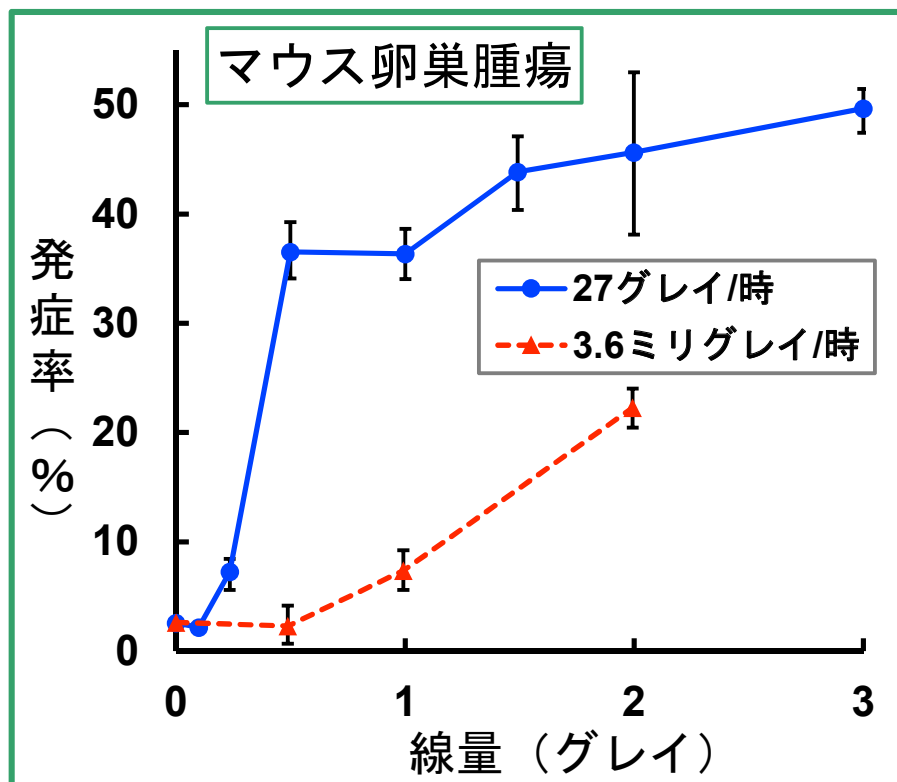
出典：国際放射線防護委員会（ICRP），ICRP Publication 119，Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60，2012

子どもでは大人と比較して、甲状腺や皮膚のがんリスクが高くなる

$\mu\text{Sv/Bq}$: マイクロシーベルト/ベクレル



低線量率被ばくが発がんへの影響



出典：国連科学委員会 (UNSCEAR) 1993

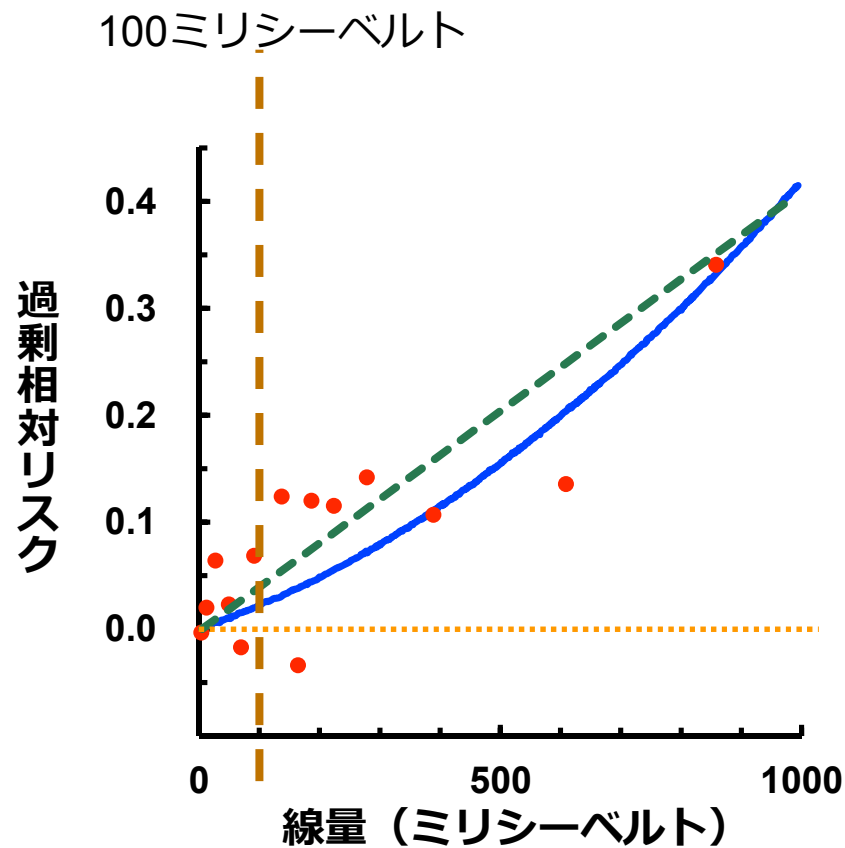
低線量・低線量率のリスク

$$= \frac{\text{高線量・高線量率のリスク}}{\text{線量・線量率効果係数}}$$

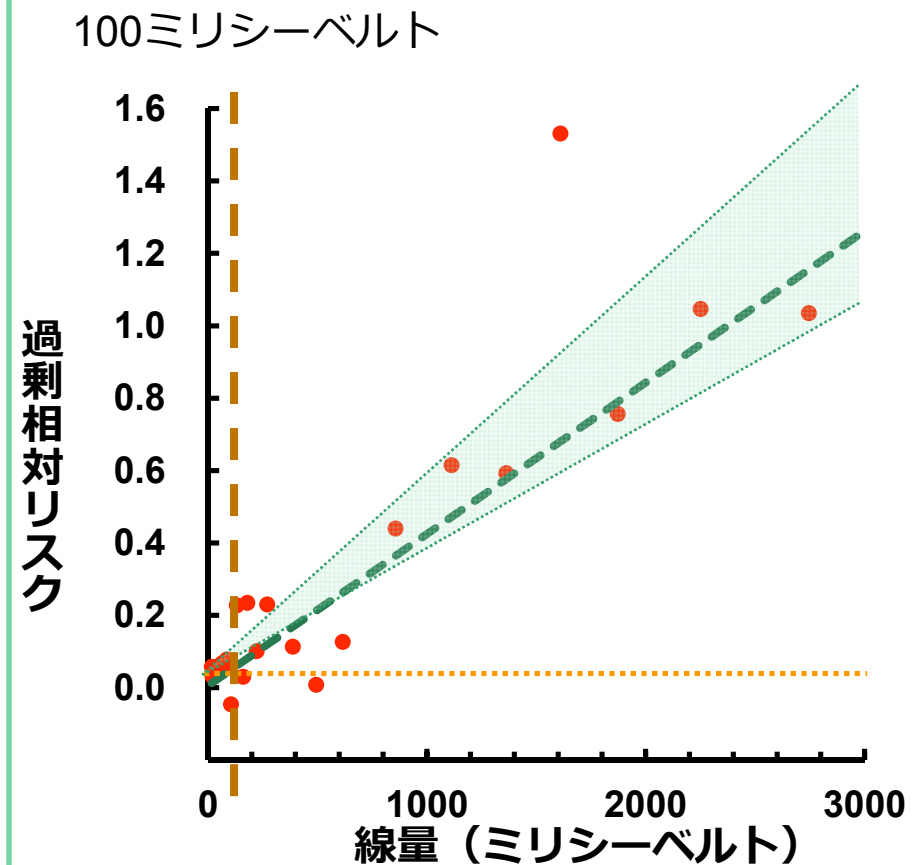
機関	線量・線量率効果係数
国連科学委員会(UNSCEAR)1993	3より小さい (1~10)
全米科学アカデミー(NAS)2005	1.5
国際放射線防護委員会(ICRP)1990,2007	2



固形がんによる死亡（原爆被爆者データ）



出典：Preston *et al.*, Radiat Res, 162, 377, 2004より作成



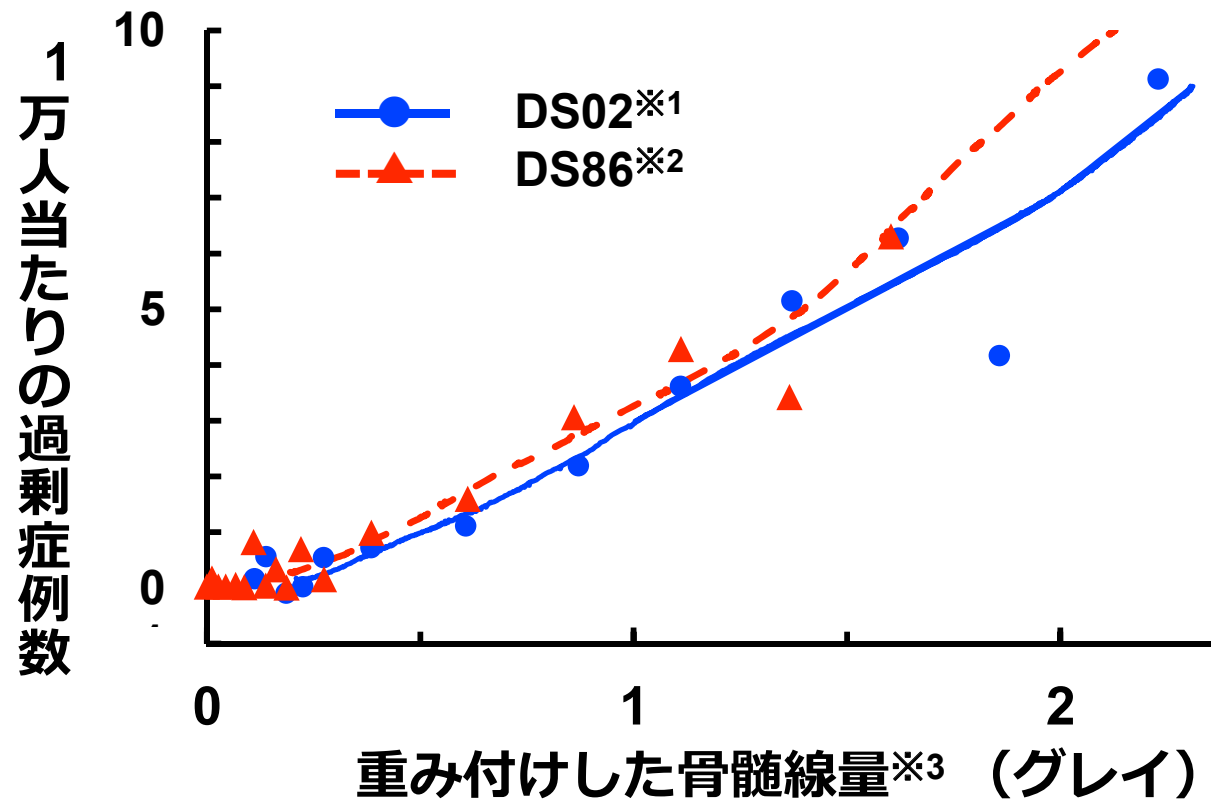
出典：Ozasa *et al.*, Radiat Res, 177, 229, 2012より作成

過剰相対リスク：放射線を受けなかった集団に比べ、放射線を受けた集団ではどのくらいがん発生のリスクが増加したかを調べたもの

白血病と線量反応相関



広島・長崎原爆被爆者における白血病の線量反応



出典：DS02とDS86による白血病のノンパラメトリックな線量反応（1950－2000年）
Preston et al., Radiat Res, 162, 377, 2004より作成

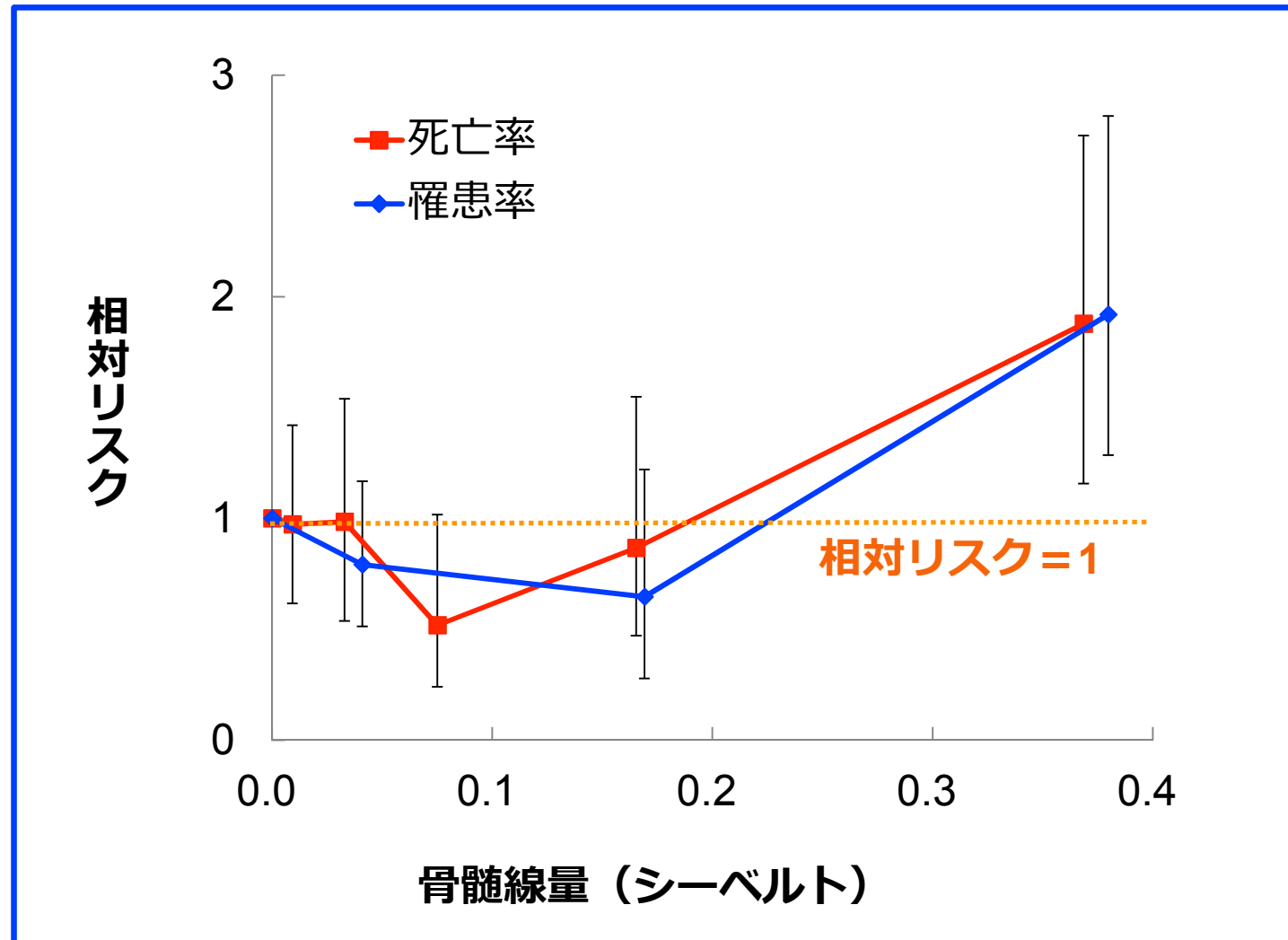
※1：（公財）放射線影響研究所が1986年に確立した、原爆被爆者の被ばく線量推定方式

※2：DS86に代わり、2002年新しく確立した線量推定方式

※3：白血病の場合、重み付けした骨髄線量（中性子線量を10倍したものとγ（ガンマ）線量の和）を使用



原爆被爆者における発がんのリスク（白血病）



出典：国連科学委員会（UNSCEAR）2006年報告書より作成



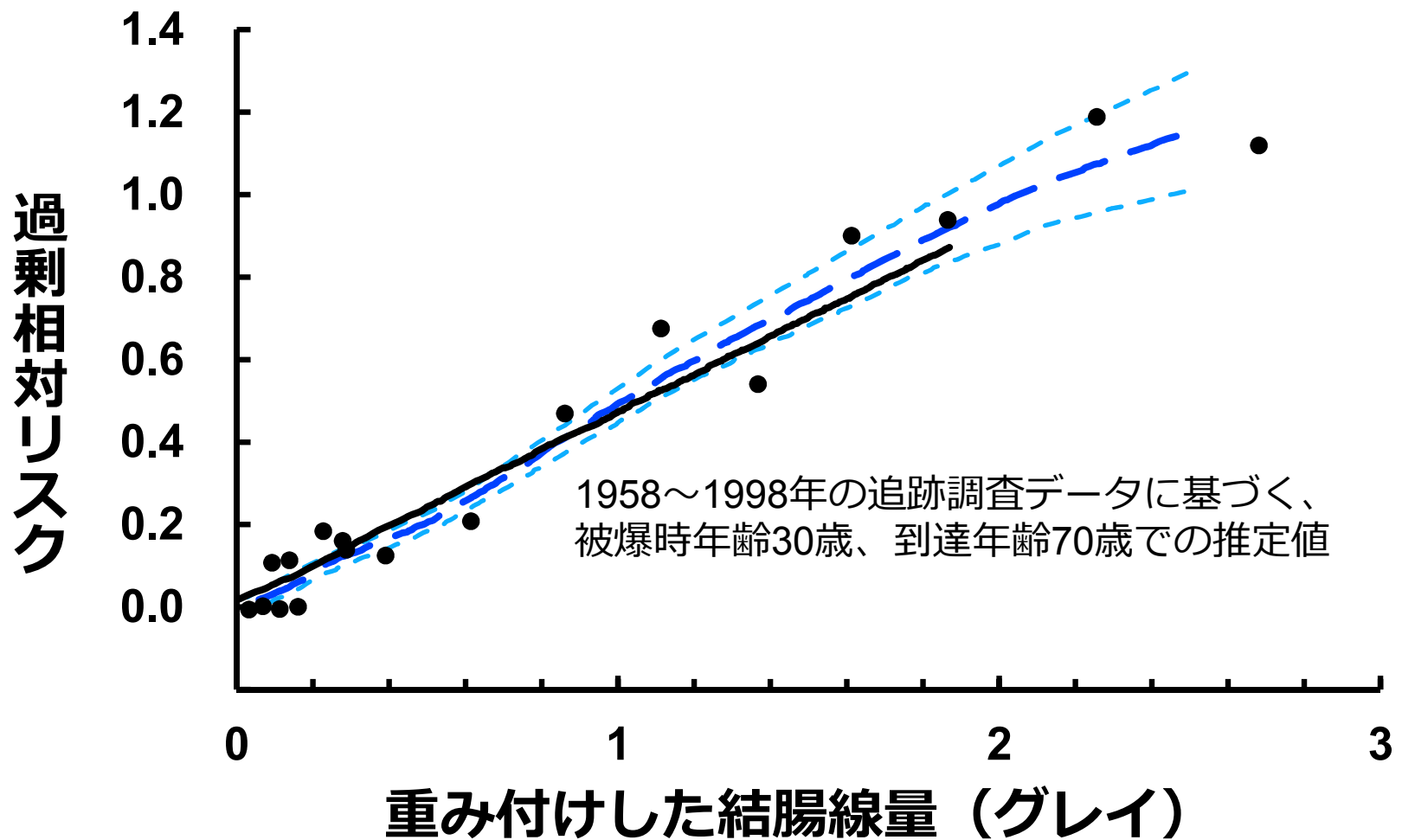
原爆被爆者の被ばく時年齢別相対リスク

		男性(ミリシーベルト)			女性(ミリシーベルト)		
		5～ 500	500～ 1,000	1,000～ 4,000	5～ 500	500～ 1,000	1,000～ 4,000
年齢	0～9歳	0.96	1.10	3.80	1.12	2.87	4.46
	10～19歳	1.14	1.48	2.07	1.01	1.61	2.91
	20～29歳	0.91	1.57	1.37	1.15	1.32	2.30
	30～39歳	1.00	1.14	1.31	1.14	1.21	1.84
	40～49歳	0.99	1.21	1.20	1.05	1.35	1.56
	50歳以上	1.08	1.17	1.33	1.18	1.68	2.03

出典：Preston *et al.*, Radiat Res, 168,1, 2007



広島・長崎原爆被爆者における固形がんの線量反応



出典：Preston *et al.*, Radiat Res, 168,1, 2007より作成

被ばく年齢ごとの生涯リスク



広島長崎の原爆生存者の調査結果

100ミリシーベルト（mSv）での急性被ばくによる推定

被ばく時 年齢	性	被ばくがない時の 発がんリスク (A) (%)	被ばくによる 過剰な生涯リスク※ (B) (%)	被ばくがある時 の発がんリスク (A+B) (%)
10歳	男	30	2.1	32.1
	女	20	2.2	22.2
30歳	男	25	0.9	25.9
	女	19	1.1	20.1
50歳	男	20	0.3	20.3
	女	16	0.4	16.4

※被ばくした集団と被ばくしていない集団における生涯の間にがんで死亡する確率の差

10歳の男性が、被ばくしないときにはその後の生涯で**30%**の発がんの可能性があるが、100mSv被ばくすると、被ばくにより**2.1%**増加し、**32.1%**になると推定される。

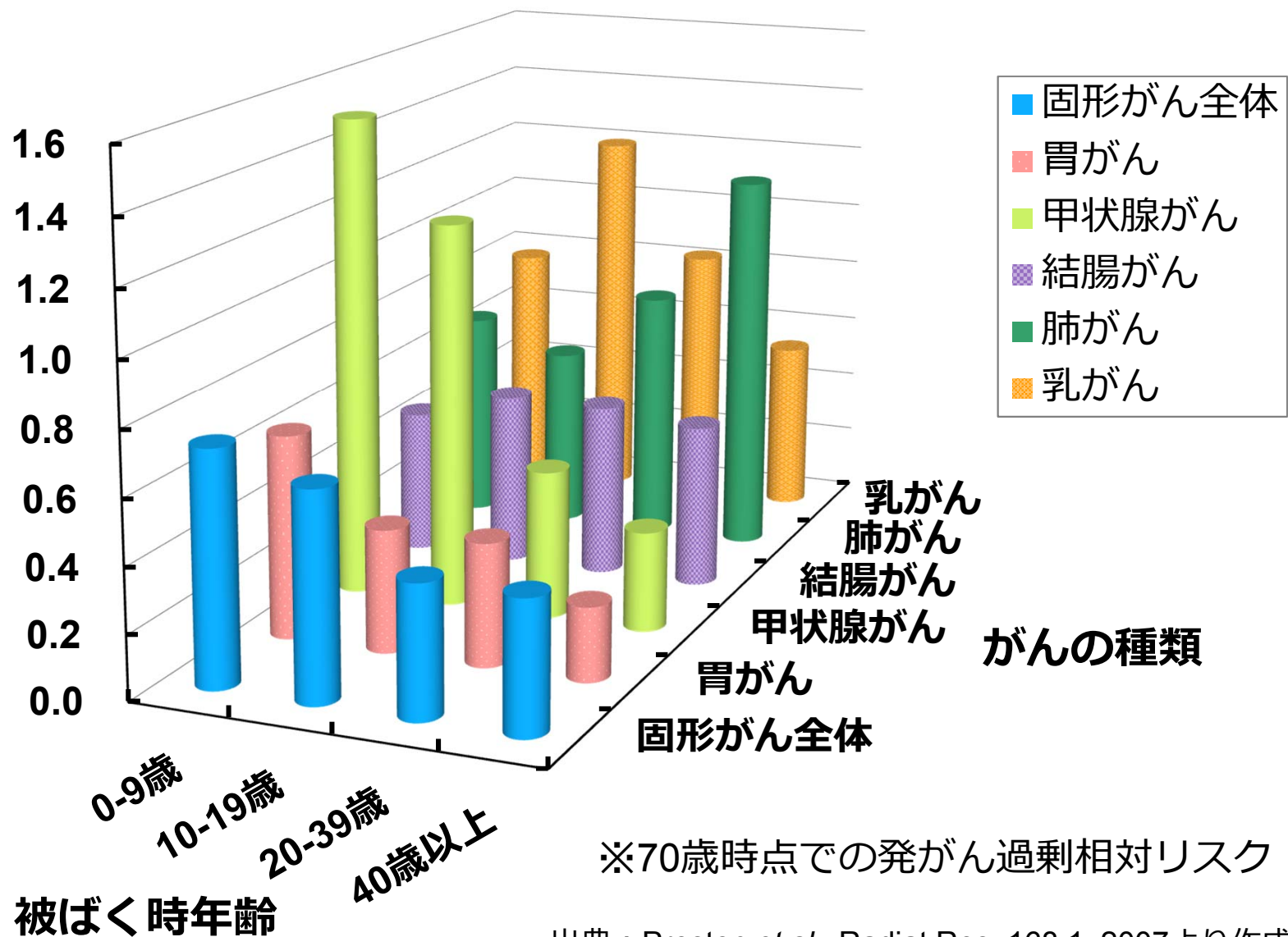
出典：Preston *et al.*, Radiat Res, 160, 381, 2003

被ばく時年齢とがんの種類



過剰相対リスク※
(1グレイあたり)

被ばく時年齢ごとの発がん過剰相対リスク



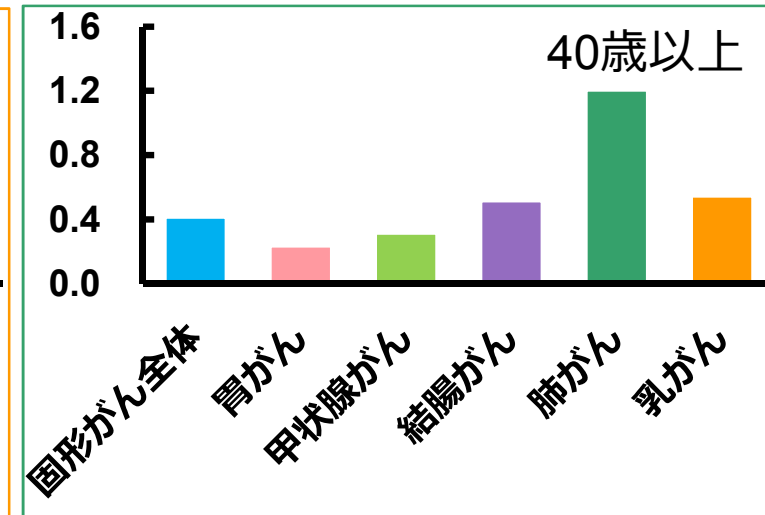
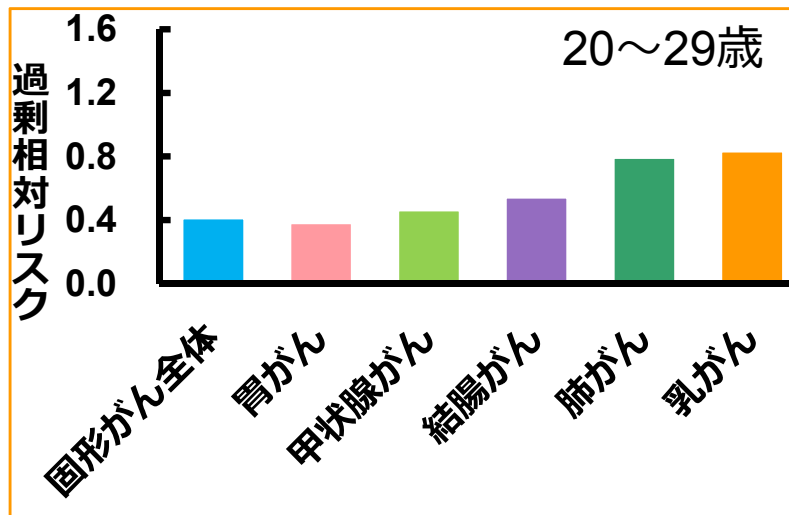
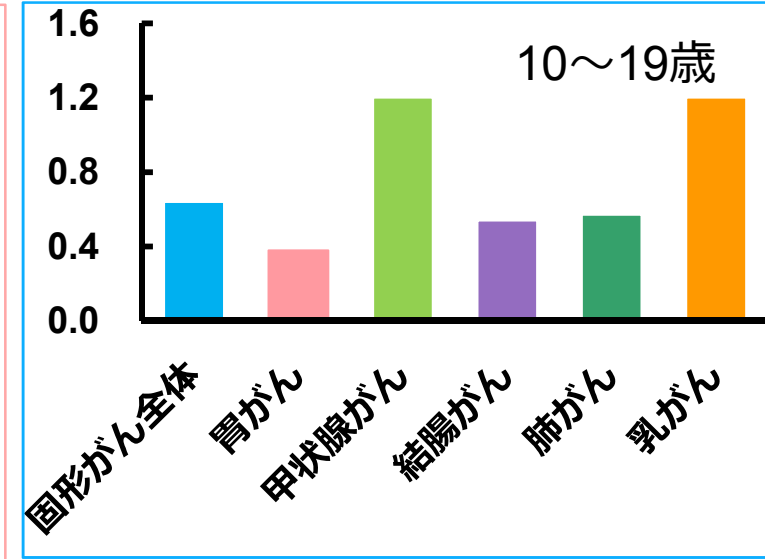
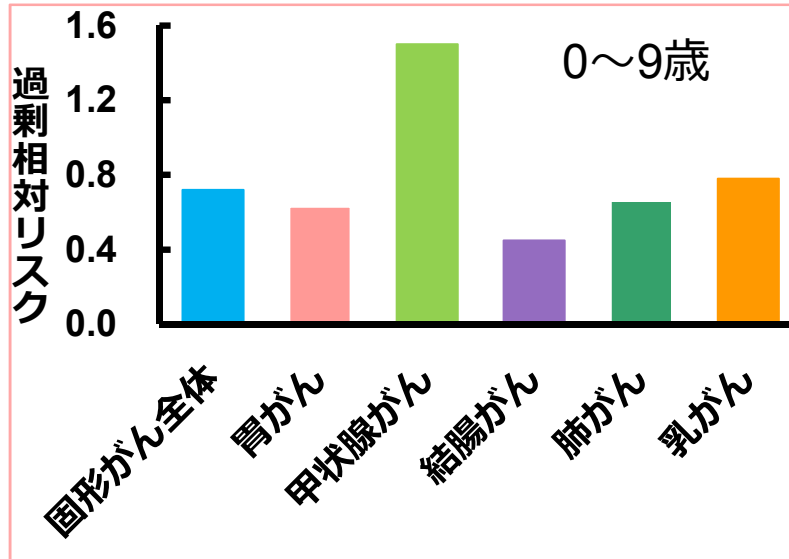
出典：Preston et al., Radiat Res, 168,1, 2007より作成

被ばく時年齢別発がんリスク



被ばく時年齢ごとの発がん過剰相対リスク

※70歳時点での発がん過剰相対リスク（1グレイあたり）

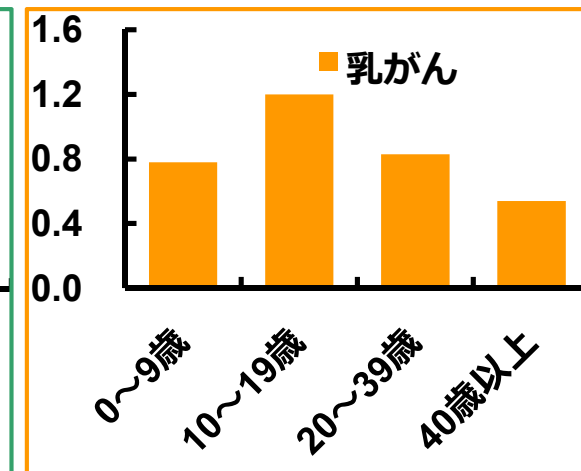
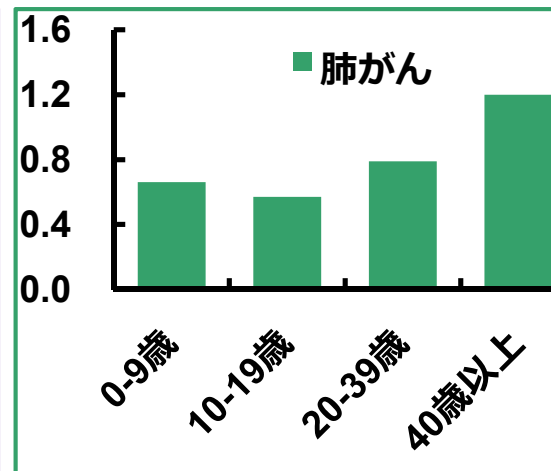
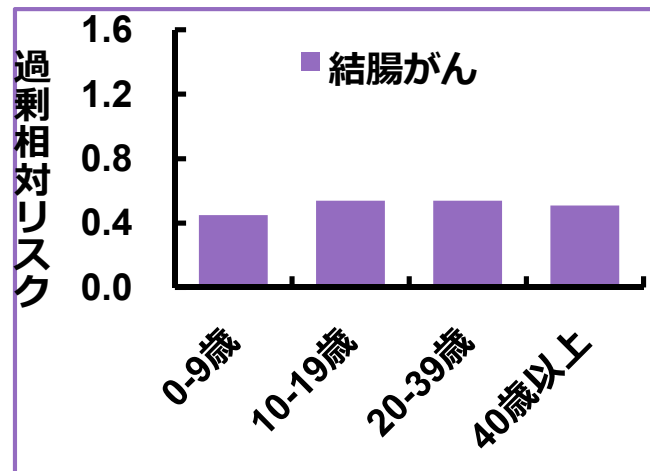
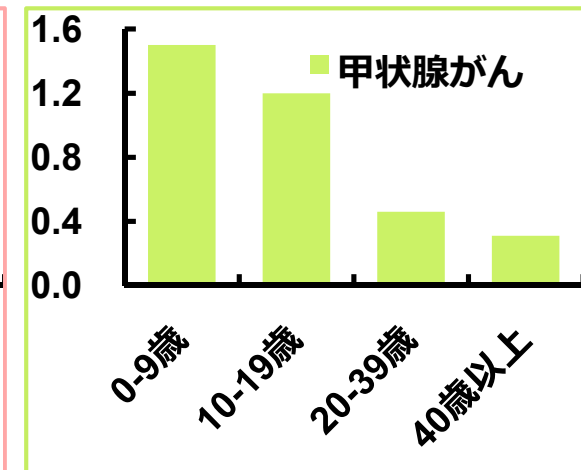
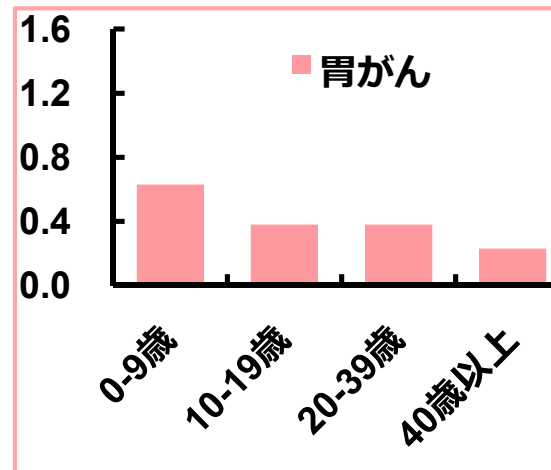
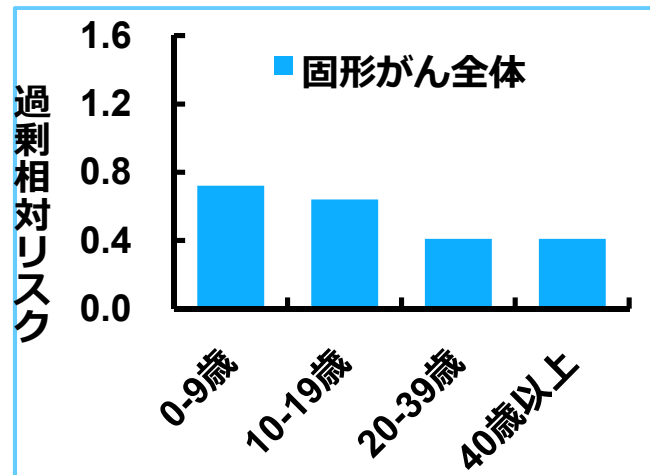


出典：Preston et al., Radiat Res, 168,1, 2007より作成



がんの種類ごとの年齢による発がん過剰相対リスク

※70歳時点での発がん過剰相対リスク（1グレイあたり）



出典：Preston *et al.*, Radiat Res, 168,1, 2007より作成

急性外部被ばくの発がん

原爆被爆者における甲状腺がんの発症

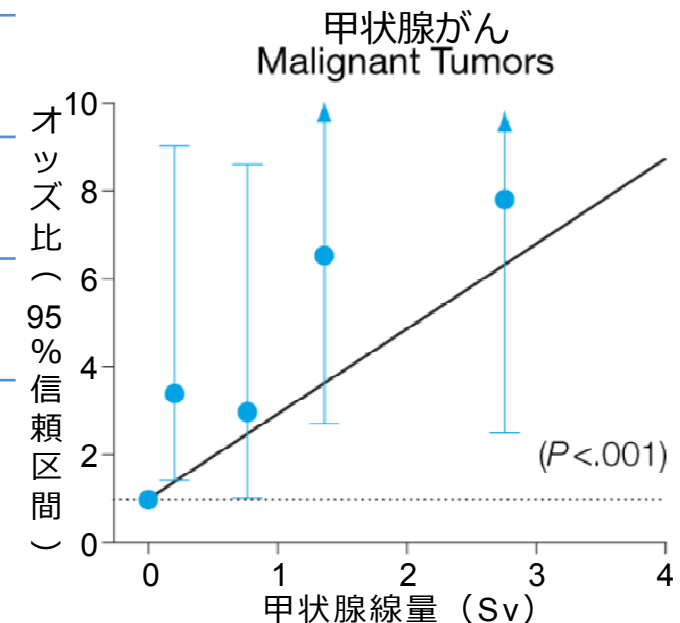


原爆被爆者
データ

mSv : ミリシーベルト

甲状腺線量	平均線量 (mSv)	対象 (人)	患者 (人)	オッズ比※ (95%信頼区間)
<5mSv	—	755	33	1
5~100mSv	32	936	36	0.85 (0.52~1.39)
100~500mSv	241	445	22	1.12 (0.64~1.95)
500mSv<	1237	236	15	1.44 (0.75~2.67)

出典 : Hayashi et al., Cancer, 116, 1646, 2010



出典 : (公財) 放射線影響研究所, JAMA 2006;295(9):1011-1022

※オッズ比 : ある事象の起こりやすさを2つの集団で比較したときの、統計学的な尺度。
オッズ比が1より大きいとき、対象とする事象が起こりやすいことを示します。
それぞれの集団である事象が起こる確率をp (第1集団)、q (第2集団) としたとき、
オッズ比は次の式で与えられます。

$$p \text{ のオッズ } \div q \text{ のオッズ } = p / (1 - p) \div q / (1 - q)$$

95%信頼区間が1を含んでいなければ、統計学的に有意であるといえます。

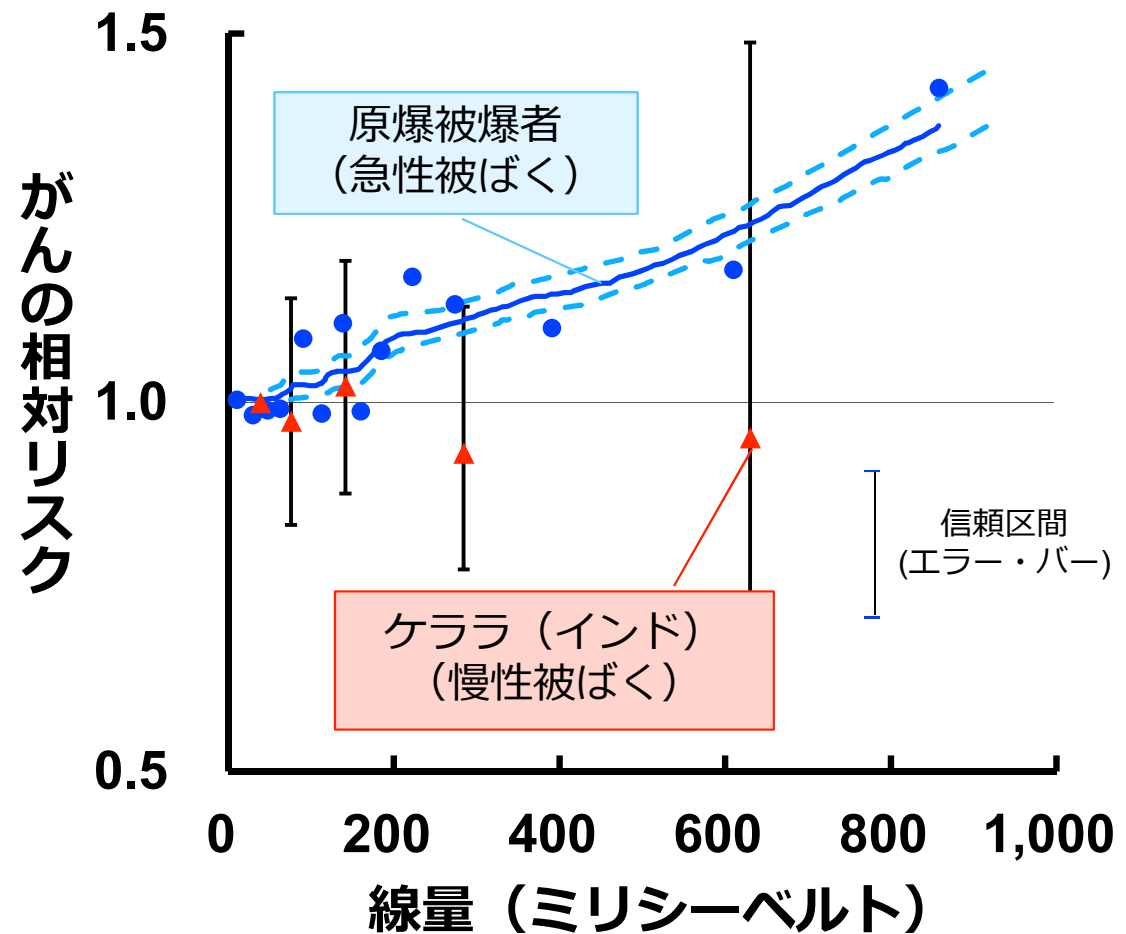
低線量率長期被ばくの影響

インド高自然放射線地域住民の発がん



ケララ（インド）
戸外平均線量4mSv/年以上
高い地域では～70mSv/年

mSv：ミリシーベルト



出典：Nair *et al.*, Health Phys 96, 55, 2009;Preston *et al.*, Radiat.Res.168,1, 2007より作成

原発事故由来の
内部被ばくによる発がん

チェルノブイリ原発事故による セシウム137の内部被ばく

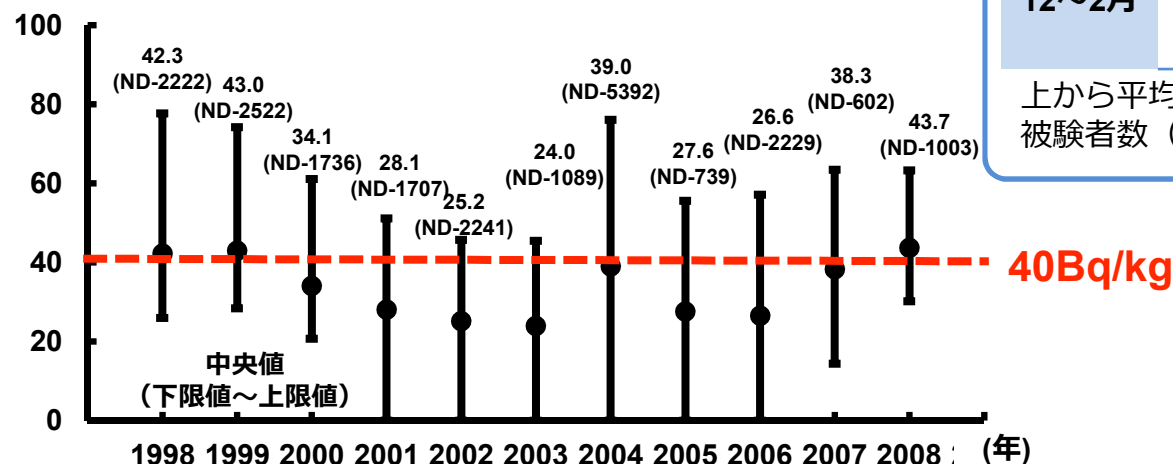


体内のセシウム137濃度の
季節ごとの変化 (Bq/kg) と被験者数

	1998~2001年	2002~2005年	2006~2008年
3~5月	<u>34.6</u> (ND-2154.9) 10,993	<u>27.3</u> (ND-5392.2) 18,722	<u>32.0</u> (ND-1757.1) 9,284
6~8月	<u>71.5</u> (ND-399.0) 265	<u>32.2</u> (ND-393.0) 268	<u>21.2</u> (ND-271.1) 451
9~11月	<u>40.9</u> (ND-2521.7) 9,590	<u>33.5</u> (ND-1089.3) 8,999	<u>44.2</u> (ND-2229.3) 4,080
12~2月	<u>33.5</u> (ND-1735.8) 8,971	<u>20.6</u> (ND-607.0) 6,603	<u>39.8</u> (ND-1454.3) 6,404

上から平均値 (Bq/kg)、(検出下限値~検出上限値)、
被験者数 (人)。NDは検出限界以下。

(Bq/kg) ホールボディカウンタで計測された体内セシウム137濃度



ブリヤンスク州では、
1998 ~ 2008年の間、
平均40Bq/kgの
内部被ばくを認めた

Bq/kg : ベクレル/キログラム

出典 : Sekitani et al., Radiat Prot Dosimetry, 141, 1, 2010より作成

原発事故由来の
内部被ばくによる発がん

チェルノブイリ原発事故 避難集団の被ばく

国	人数 (千人)	平均実効線量 (mSv)		平均甲状腺 線量 (mGy)
		外部	内部 (甲状腺以外)	
ベラルーシ	25	30	6	1,100
ロシア	0.19	25	10	440
ウクライナ	90	20	10	330
合計	115	22	9	490

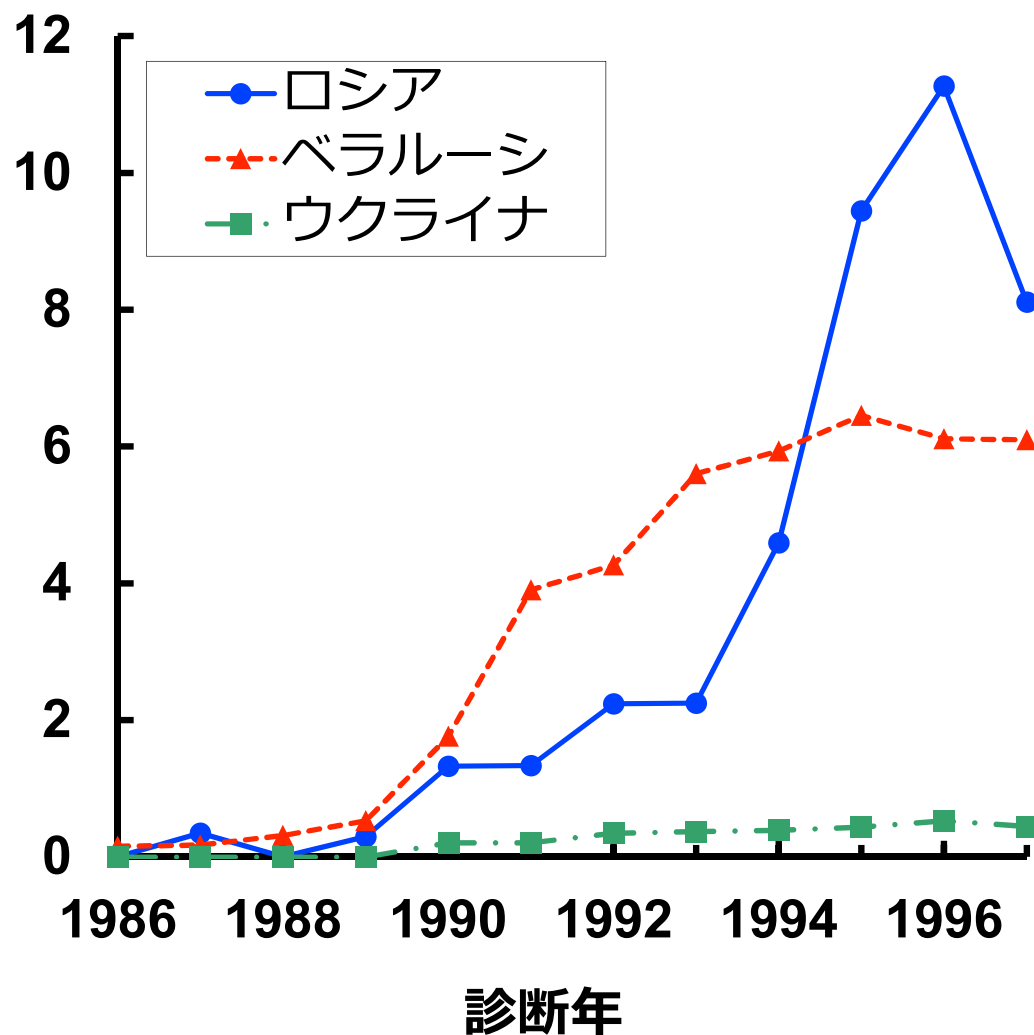
mSv : ミリシーベルト mGy : ミリグレイ

出典 : 国連科学委員会 (UNSCEAR) 2008年報告より

小児甲状腺がんの発症時期

小児甲状腺がん（チェルノブイリ原発事故）

小児
10
万人あたりの
甲状腺がん発生数



甲状腺

ヨウ素は甲状腺ホルモンの材料

事故の4～5年後に
小児甲状腺がんが発生し始め、
10年後には10倍以上に増加

出典：国連科学委員会（UNSCEAR）
2000年報告書より作成

原発事故由来の 内部被ばくによる発がん

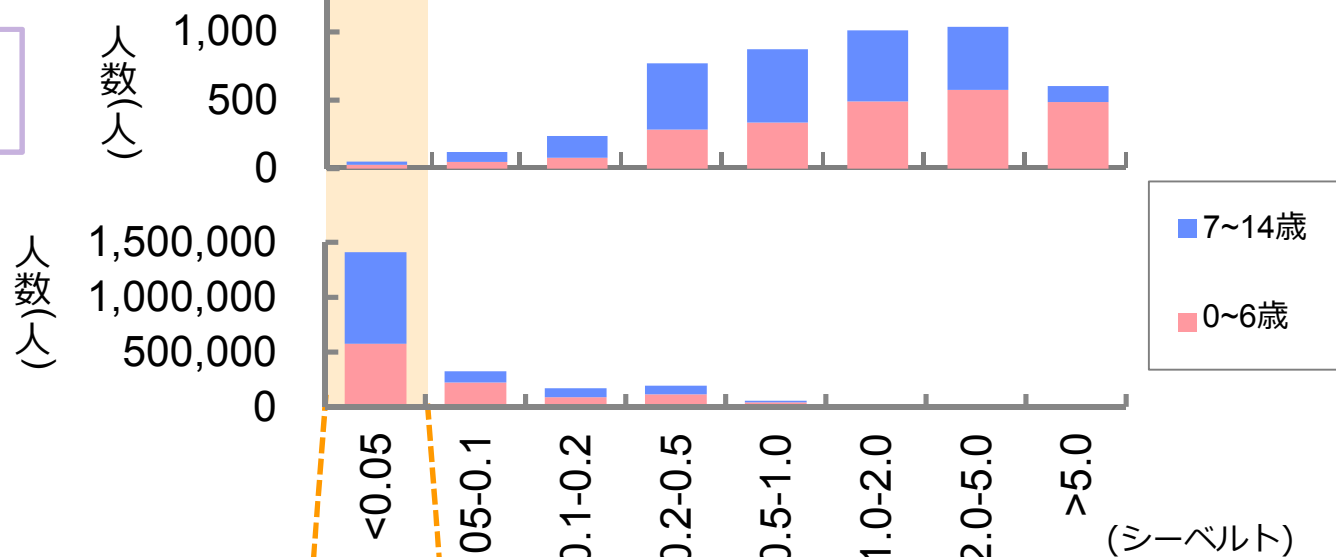
甲状腺線量の比較

小児の甲状腺被ばく線量

チェルノブイリ原発事故

ベラルーシで1986年
に避難した集団

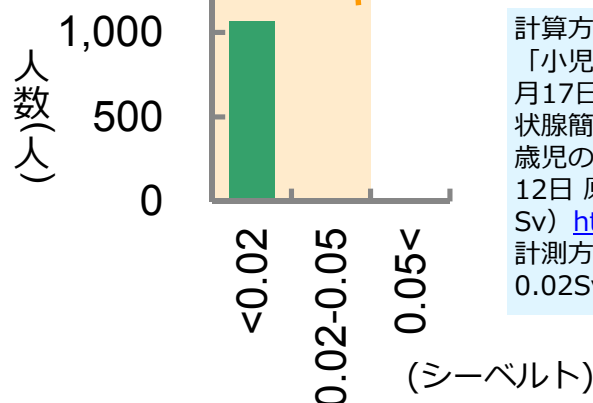
ベラルーシ全体
(避難者を除く)



出典：国連科学委員会（UNSCEAR）報告書2008年報告

福島第一原発事故

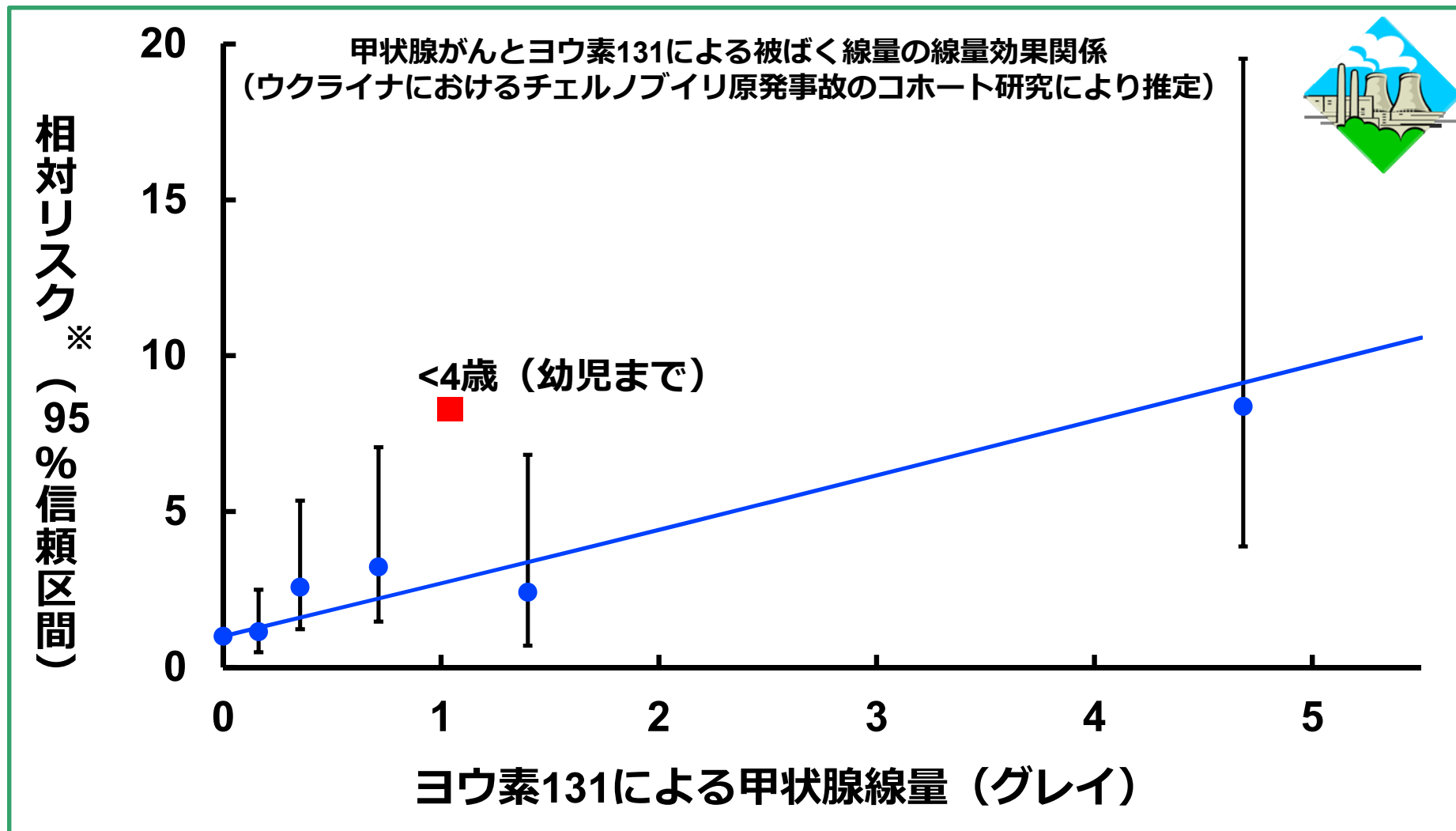
※このデータは、限られた
住民に対して行われた調査
によるものであり、全体を
反映するものではない。



計算方法

「小児甲状腺簡易測定調査結果の概要について」（平成23年8月17日 原子力被災者生活支援チーム医療班）にある「小児甲状腺簡易測定結果」を、「スクリーニングレベル0.2μSv/h（1歳児の甲状腺等価線量として100mSvに相当）」（平成23年5月12日 原子力安全委員会）」を用いて比較のために改編（Gy = Sv）
http://www.kantei.go.jp/saigai/senmonka_g31.html
計測方法や測定地の空間線量率から判断して検出限界は0.02Sv程度

甲状腺がんと線量との関係



出典：Brenner *et al.*, Environ Health Perspect 119, 933, 2011より作成

※相対リスクとは、被ばくしていない人を1とした時、被ばくした人のがんリスクが何倍になるかを表す値です。

甲状腺がんとヨウ素摂取

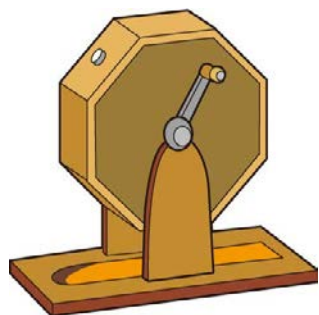
安定ヨウ素剤	1グレイ（Gy）での相対リスク※ （95%信頼区間）	
	土壌中ヨウ素 濃度が高い地域	土壌中ヨウ素 濃度が低い地域
投与なし	3.5 (1.8-7.0)	10.8 (5.6-20.8)
投与あり	1.1 (0.3-3.6)	3.3 (1.0-10.6)

出典：Cardis *et al.*, JNCI, 97, 724, 2005

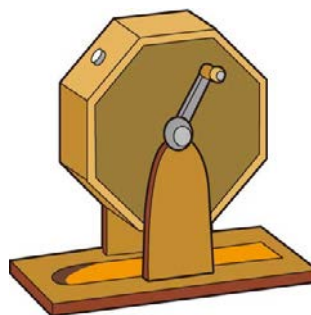
※相対リスクとは、被ばくしていない人を1とした時、被ばくした人のがんリスクが何倍になるかを表す値です。

確率的影響のリスク

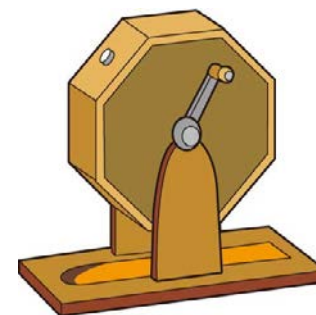
被ばく無し※



少し被ばく



たくさん被ばく



※実際には、放射線被ばくのない日本人集団でも、生涯約50%の人ががんになります。

同じように放射線を浴びても
がんになる人とならない人がいる

相対リスクと寄与リスク

要因	罹 患		計
	あ り	な し	
ばく露群	A	B	A+B
非ばく露群	C	D	C+D

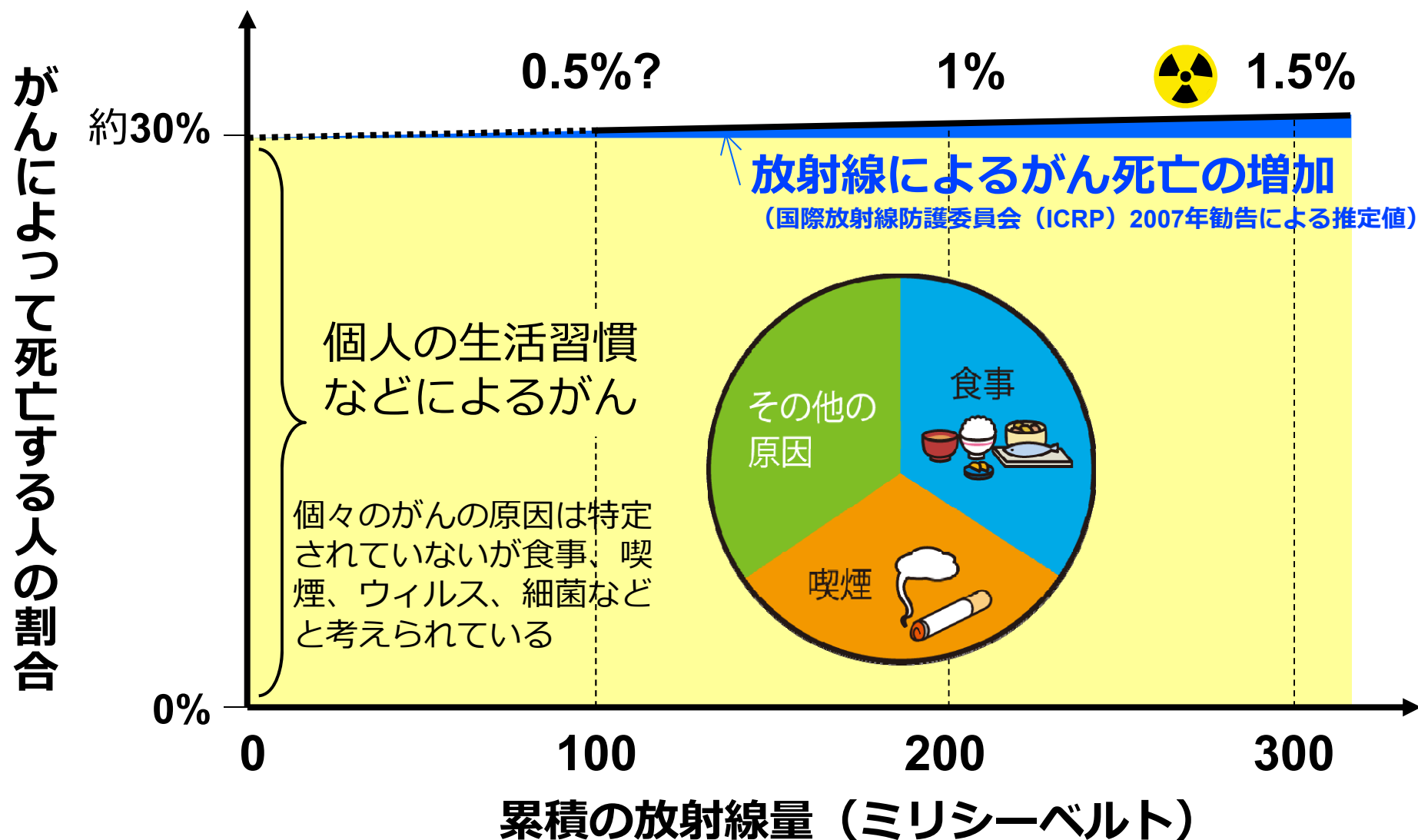
要因ばく露によってその個人が何倍罹患しやすくなるか

$$\text{相対リスク} = \frac{\text{要因ばく露群の罹患リスク}}{\text{要因非ばく露群の罹患リスク}} = \frac{\frac{A}{A+B}}{\frac{C}{C+D}}$$

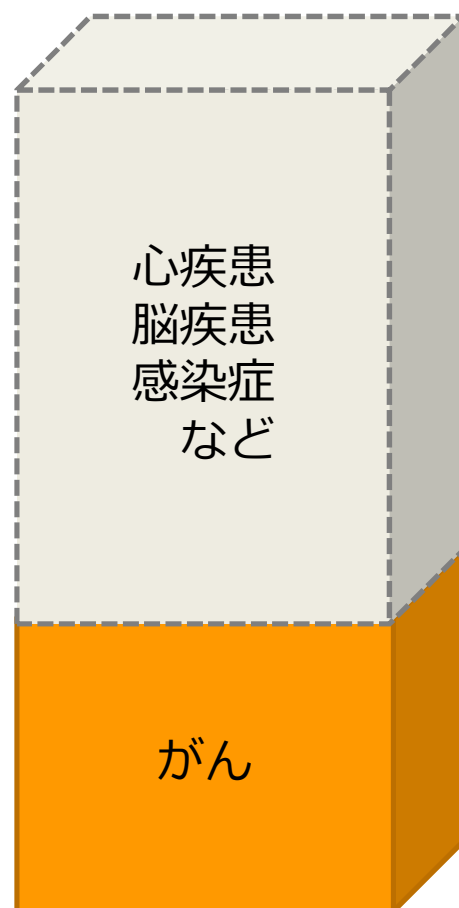
要因ばく露によってその集団の罹患率がどれだけふえるのか

$$\begin{aligned} \text{寄与リスク} &= \text{要因ばく露群の罹患リスク} - \text{要因非ばく露群の罹患リスク} \\ &= \frac{A}{A+B} - \frac{C}{C+D} \end{aligned}$$

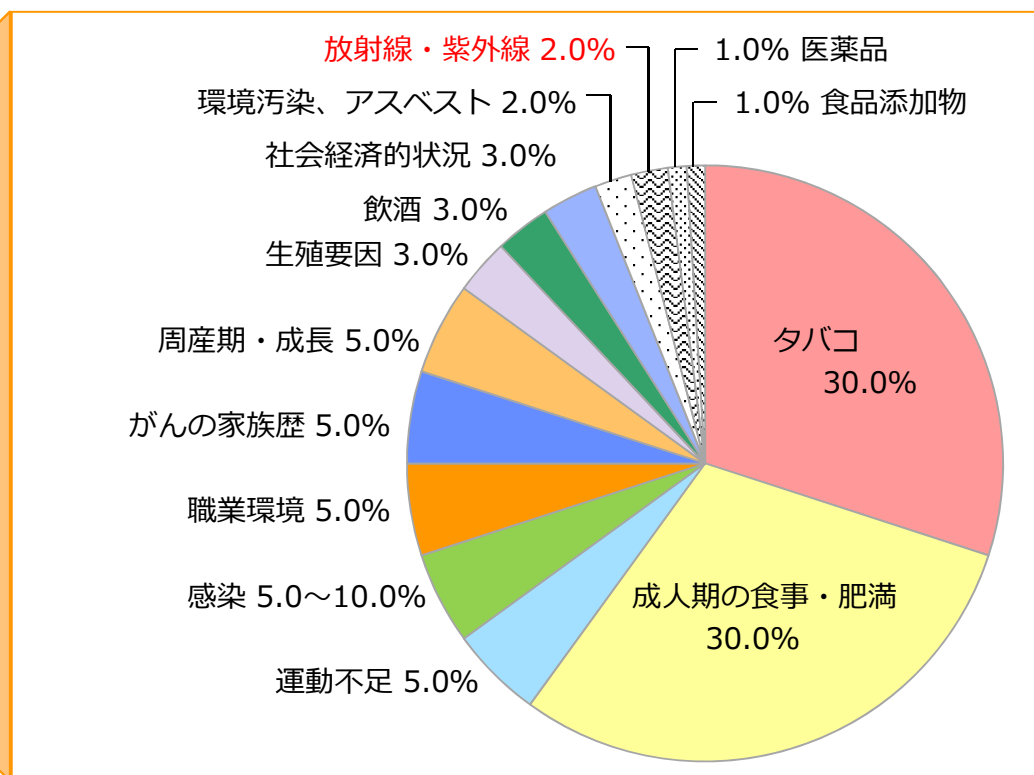
低線量率被ばくによるがん死亡リスク



発がんに関連する因子



ヒトのがんの原因と関連のある因子



出典：Cancer Causes Control 7: 55-58 (1996) より作成

がんのリスク（放射線と生活習慣）

放射線の線量 (ミリシーベルト)	がんの 相対リスク※	生活習慣因子
1,000 ~ 2,000	1.8 1.6 1.6	喫煙者 大量飲酒（毎日3合以上）
500 ~ 1,000	1.4 1.4	大量飲酒（毎日2合以上）
200 ~ 500	1.22 1.29 1.19 1.15 ~ 1.19 1.11 ~ 1.15	肥満（BMI \geq 30） やせ（BMI<19） 運動不足 高塩分食品
100 ~ 200	1.08 1.06 1.02 ~ 1.03	野菜不足 受動喫煙（非喫煙女性）
100 未満	検出困難	

出典：国立がん研究センターホームページ

※放射線の発がんリスクは広島・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ありません。

※相対リスクとは、被ばくしていない人を1とした時、被ばくした人のがんリスクが何倍になるかを表す値です。

災害被災者のストレス要因

- ・ 将来の不確実性
- ・ 住居及び職場の安全の不確実性
- ・ 社会の偏見
- ・ 執拗な報道
- ・ 避難先の習慣の違い

放射線災害特有



- ・ 災害予告ができない
- ・ 被害の範囲の把握が困難
- ・ 将来出現するかもしれない放射線影響

出典：原子力規制委員会（旧原子力安全委員会）被ばく医療分科会 心のケア及び健康不安対策検討会
第3回会合資料3-2号「チェルノブイリ事故時の心のケアについて」より作成
<http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/senmon/shidai/kokoro/kokoro003/kokoro-si003.htm>

放射線事故と健康不安

放射線事故によって生じる不安

- ・「放射線」による健康影響への不安
- ・子どもの現在及び将来における健康影響への不安

不安の長期化によるこころへの影響

- ・メンタルヘルスが悪化する可能性
- ・母親の不安が子どもの精神状態に影響を及ぼす可能性

不安を増大させる要因

- ・信頼できる情報を入手できない
- ・科学的に正確ではない情報による混乱
- ・烙印（スティグマ）と差別

放射線問題が精神面に与える影響について

- ・ 放射線に対して親が不安になるのは子育てに熱心である証拠
- ・ 放射線のことを過剰に心配すると、親の不安が子どもの心身に影響を与えることがある

チェルノブイリ原発事故による胎児被ばくと神経心理学的障害

- ・ 事故時に胎児であった子どもへの神経心理学的障害については、研究結果が一致していない。
- ・ 胎児被ばくした子ども達のIQの平均が低いという報告もあるが、甲状腺の被ばく線量とIQの間に相関はなかった。

出典：Kolominsky Y et al., J Child Psychol Psychiatry, 40（2）:299-305, 1999

住民との対話からの結論 1（国際放射線防護委員会（ICRP）の見解）

- 住民が事故の影響に関する情報を理解、評価でき、また放射線被ばくを減らすために周知された対策が行えるには、放射線防護の文化を醸成することが重要である、とのことが参加者の間で認識された。

Participants recognized the importance of developing radiation protection culture to allow inhabitants to understand and evaluate the information on the consequences of the accident and to take informed actions for reducing radiological exposure.

- 住民自身がどこでいつどのように放射線に被ばくするかを知ることができるように、放射線状況についてのより詳しい把握が必要であることが認識された。

They recognized the need for a more detailed characterisation of the radiological situation to allow people to know where, when and how they are exposed.

- 若い世代の県外避難と農業放棄の加速がもたらす将来の人口動態に対する強い危機意識が、参加者により強調された。

They underlined their concern about the future demographic pattern due to an acceleration in the younger generations leaving the prefecture and abandoning farming activities.

- 参加者は、汚染地域の人々、とりわけ結婚適齢期の人々が結婚し、子どもを持つことに対する差別の問題について、強く語った。

They discussed with great emotion the issue of discrimination of people in the affected areas, especially for those of pre-marital age to marry and have children.

- 伝統的でありかつ一般的に行われている山菜の採集は、福島のコミュニティーの絆を維持する上で文化的に重要である、と位置づけられた。

The preservation of the traditional and popular activity of gathering wild vegetables (sansai) was identified as culturally important in maintaining the cohesion of the Fukushima community.

出典：Lochard, J (2012) 第27回原安協シンポジウム資料より

住民との対話からの結論 2（国際放射線防護委員会（ICRP）の見解）

- 地域コミュニティと住民から提案されている生活環境改善のためのプロジェクトを支援する仕組みを確立する。

Develop a mechanism to support projects proposed by local communities and residents to improve living conditions.

- 復興のための活動を決定するにあたってコミュニティの優先度が考慮されるよう支援し、地域事情に関する彼らの認識を踏まえて、現在と将来の利益をサポートする。

Support community expectations that decisions on recovery actions reflect their priorities, be based on their knowledge of the local context, and support their current and future interests.

- 人々が自ら判断することができるように、個人の内部被ばくと外部被ばくを測定すること、さらにその情報と機器を供与することの努力を継続する。

Continue efforts to monitor individual internal and external exposures, and to provide information and tools in order to help people to make their own judgments.

- 食品問題に関与するすべての関係者（生産者、流通関係者、消費者）の間で対話を恒久的に継続するためのフォーラムを創る。

Create a forum for a permanent dialogue between all concerned parties (producers, distributors and consumers) on the issue of foodstuff.

- 子どもたちの間で放射線防護の文化を形成することに対し、父母、祖父母そして教師の関わりを促す。

Promote the involvement of parents, grand-parents and teachers to develop radiation protection culture among children.

- 国内外の利害関係者との協力関係と対話を強化する。

Strengthen dialogue and cooperation with stakeholders elsewhere in Japan and abroad.

出典：Lochard, J (2012) 第27回原安協シンポジウム資料より

メンタルヘルスへの影響



2006年にチェルノブイリ原発事故20周年に出された世界保健機関（WHO）のレポート

- 被災者の集団ストレス関連疾患として、うつ状態、心的外傷後ストレス障害（PTSD）を含む不安、医学的に説明されない身体症状が、対照群に比較して増えている
- メンタルヘルスへの衝撃は、チェルノブイリ原発事故で引き起こされた、もっとも大きな地域保健の問題である

出典：World Health Organization: Mental, psychological and central nervous system effects. Health effects of the UN Chernobyl accident and special health care programmes: report of the UN Chernobyl forum expert group “Health”(eds. Bennett B., et al), 93-97, WHO, Geneva 2006.

世界保健機関 (WHO) 2006年報告書のまとめ



- ① ストレス関連症状
- ② 発生中の放射線の影響についての不安
(胎児影響)
- ③ 脳機能への放射線の影響
(汚染除去作業への影響)
- ④ 汚染除去作業者の高い自殺率

出典 : World Health Organization: Mental, psychological and central nervous system effects. Health effects of the UN Chernobyl accident and special health care programmes: report of the UN Chernobyl forum expert group "Health"(eds. Bennett B., et al), WHO, Geneva 2006.

Brometら（2011）によるまとめ



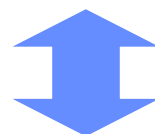
- (1) 事故直後の処理や汚染除去に参加した作業者は、事故から20年経過してもまだ抑うつと心的外傷後ストレス障害（PTSD）の割合が高い。
- (2) 高汚染地域住民の子どもの精神医学的影響については研究によって結果はさまざま。
- (3) 一般集団についての研究では、自己申告による健康状態の不調、臨床的あるいは前臨床的な抑うつ、不安、および、PTSDの割合が高い。
- (4) 子どもたちの母親は、主に家族の健康のことがいつまでも気になっていて、精神医学的な高リスクグループに留まっている。

出典：Bromet EJ, JM Havenaar, LT Guey. A 25 year retrospective review of the psychological consequences of the Chernobyl accident. Clin Oncol 23, 297-305, 2011

世界保健機関 (WHO) 2006年報告書：
不安などのメンタルヘルスが、地域保健上の最大の問題



これに対し



WHO 2006年報告書以降、国際的な調査の減少に対する懸念も

- ①WHO報告書の見解よりも、チェルノブイリ原発事故による身体的影響被害は大きい可能性があり、今後も国際的な調査が必要であるとの指摘※1
- ②WHOの見解が、汚染地域由来の食品への警戒を弱め、今後の調査研究を妨げる原因になっているという批判※2

※1：根拠となっているのは、ウクライナのRivne州で、神経管欠損の発生率が、10,000人出生当たり22.2人と、ヨーロッパで最大となっている点である。(Wertelecki, Pediatrics, 125, e836, 2010)
しかし、この原因については今のところ明らかではない。

※2：Holt, Lancet, 375, 1424 - 1425, 2010

チェルノブイリ原発事故によって奇形は増加したか？

チェルノブイリ原発事故前後における、欧州奇形児・双子登録データベースの比較



欧州先天異常監視機構（EUROCAT）9カ国18地域：
事故前後で奇形発生頻度の**変化なし**

フィンランド、ノルウェー、スウェーデン：
事故前後で奇形発生頻度の**変化なし**

ベラルーシ：
汚染地域かどうかに関わらず流産児の**奇形登録増加**
報告者バイアスの可能性あり※1

ウクライナ： 今世紀にEUROCAT参加
Rivne州のポーランド系孤立集落で**神経管欠損増加**
放射線に加え、葉酸欠乏、アルコール依存症、近親婚などの影響を評価する必要あり※2

※1: Stem Cells 15 (supple 2): 255, 1997 ※2 : Pediatrics 125:e836, 2010

子どもへの影響－チェルノブイリ原発事故－

チェルノブイリ原発事故の際、妊娠中だった母親から生まれた子どもに関する調査



調査対象

- ①胎内被ばくした子ども138人と親（胎内被ばく群：被ばくした集団）
- ②ベラルーシの非汚染地域の子ども122人と親
（対照群：被ばくしていない集団）

子どもの 精神発達	6～7歳時点		10～11歳時点	
	①胎内被ばく群	②対照群	①胎内被ばく群	②対照群
言語障害	18.1%	8.2%	10.1%	3.3%
情緒障害	20.3%	7.4%	18.1%	7.4%
IQ=70～79	15.9%	5.7%	10.1%	3.3%

- 精神発達において、胎内被ばく群と対照群との間に有意な差がみられたが、被ばくした線量と知能指数の間に相関がなかったことから、避難に伴う社会的要因が原因と考えられた
- 親の極度の不安と子どもの情緒障害の間には相関が見られた



妊娠中の放射線被ばくは、胎児及び成長後の小児の知能指数に直接影響しない

出典：Kolominsky Y et al., J Child Psychol Psychiatry, 40（2）:299-305, 1999

こころへの影響

欧州での人工流産の増加

－チェルノブイリ原発事故－

チェルノブイリ原発事故発生：1986年4月26日



遠隔地での人工流産の増加

ギリシャ：1987年1月の出生率が激減

⇒1986年5月に妊娠初期の胎児の23%が人工流産と推定

**イタリア：事故後5か月間は1日当たり約28～52件の不必要な
中絶があったと推定**

デンマーク：少しあった

スウェーデン、ノルウェー、ハンガリー：なかった

出典：Proceedings of the Symposium on the effects on pregnancy outcome in Europe following the Chernobyl accident. Biomedicine & Pharmacotherapy 45/No 6, 1991

こころのケア対応

一般的なこころのケアに関する参考資料（1/3） こころのケアに関する全般的な情報

	タイトル	発行機関	発行年月	掲載URL
①	心理的応急処置（PFA） フィールド・ガイド	世界保健機関（WHO） 日本語版翻訳：国立精神・ 神経医療研究センター、ケ ア宮城、（公財）プラン・ ジャパン	2011（平成 23）年	http://saigai-kokoro.ncnp.go.jp/pdf/who_pfa_guide.pdf
②	災害時地域精神保健医療活動のガイド ライン（平成26年度現在、改訂中）	厚生労働省厚生科学研究費 補助金厚生科学特別研究事 業	2003（平成 15）年1月	http://saigai-kokoro.ncnp.go.jp/document/medical_personnel_05.html
③	災害時地域精神保健医療活動ロード マップ	国立精神・神経医療研究セ ンター災害時こころの情報 支援センター	2011（平成 23）年3月 更新	http://saigai-kokoro.ncnp.go.jp/document/pdf/mental_info_map.pdf
④	災害救援者・支援者メンタルヘルス・ マニュアル	国立精神・神経医療研究セ ンター災害時こころの情報 支援センター	2011（平成 23）年3月 更新	http://saigai-kokoro.ncnp.go.jp/document/pdf/mental_info_saigai_manual.pdf
⑤	原子力災害時における心のケア対応の 手引き－周辺住民にどう応えるか－	（公財）原子力安全研究協 会（文部科学省委託事業）	2009（平成 21）年3月	http://saigai-kokoro.ncnp.go.jp/document/pdf/mental_info_nuclear.pdf

こころのケア対応

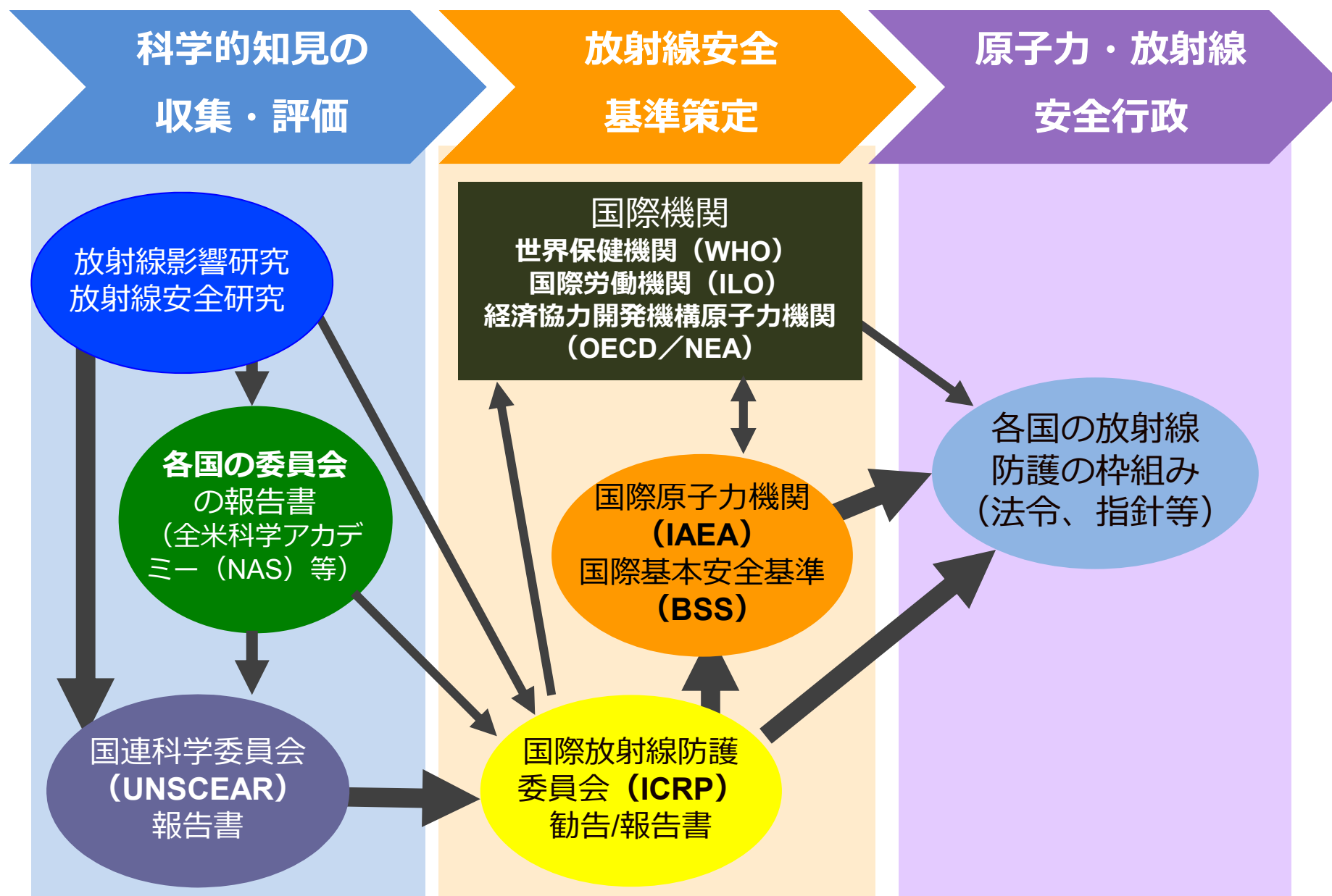
一般的なこころのケアに関する参考資料（2/3） 災害時における子どものケア

	タイトル	用途及び対象	発行機関	発行年月	掲載URL
①	子どもにやさしい空間ガイドブック 第1部（理念編）	<ul style="list-style-type: none"> ・用途：緊急時に子どもが安心して、安全に過ごすことのできる空間を作る ・支援対象：子ども 	（公財）日本ユニセフ協会 国立精神・神経医療研究センター 精神保健研究所災害時こころの情報支援センター	2013（平成25）年11月	http://saigai-kokoro.ncnp.go.jp/pdf/cfs_20130614_1.pdf
②	子どもにやさしい空間ガイドブック 第2部（実践編）	<ul style="list-style-type: none"> ・用途：第1部（理念編）の内容を実践するために必要な準備や実際の手続きの説明 ・支援対象：子ども 	（公財）日本ユニセフ協会 国立精神・神経医療研究センター 精神保健研究所災害時こころの情報支援センター	2013（平成25）年11月	http://saigai-kokoro.ncnp.go.jp/pdf/cfs_20130614_2.pdf
③	被災した子どもの支援をする方々へ～急性期の心理的なサポートについて～	<ul style="list-style-type: none"> ・用途：被災した直後の子どもの心のケア ・支援対象：子ども 	日本児童青年精神医学会・災害対策委員会	2011（平成23）年3月	http://saigai-kokoro.ncnp.go.jp/document/pdf/mental_info_childrens_02.pdf
④	被災した子どもの支援をする方々へ～中長期的心理的なサポートについて～	<ul style="list-style-type: none"> ・用途：被災した子どもの中長期的な支援 ・支援対象：子ども 	日本児童青年精神医学会・災害対策委員会	2011（平成23）年7月	http://child-adolesc.jp/pdf/tebiki_chuuchouki.pdf
⑤	支援者のみなさまへ 災害時の障害児への対応のための手引き	<ul style="list-style-type: none"> ・用途：被災時に障害児を支援する際の身体面そして心理・行動面の問題への対処 ・支援対象：障害児、保護者 	日本児童青年精神医学会	2011（平成23）年3月	http://saigai-kokoro.ncnp.go.jp/document/pdf/mental_info_handicapped_child.pdf

災害時における疾患毎のこころのケア

	タイトル	用途及び対象	発行機関	発行年月	掲載URL
①	うつ対策推進方策 マニュアルー都道 府県・市町村職員 のためにー	・用途：うつ病への適切な対処 ・支援対象：地域住民	厚生労働省 地域におけるうつ対策 検討会	2004（平成 16）年1月	http://www.mhlw.go.jp/shingi/2004/01/s0126-5.html#1
②	うつ対応マニュアルー保健医療従事者のためにー	・用途：うつ病への適切な対処 ・支援対象：地域住民	厚生労働省 地域におけるうつ対策 検討会	2004（平成 16）年1月	http://www.mhlw.go.jp/shingi/2004/01/s0126-5.html#2
③	被災時の飲酒問題	・用途：飲酒により心身を害している人への対処 ・支援対象：被災によりアルコールに依存してしまう人	国立精神・神経医療研究センター災害時こころの情報支援センター	2011（平成 23）年4月 更新	http://saigai-kokoro.ncnp.go.jp/document/pdf/mental_info_alcohol.pdf
④	自殺に傾いた人を支えるためにー相談担当者のための指針ー	・用途：相談と支援活動に必要な基本的な知識や行動指針の確認 ・支援対象：自殺未遂者、自傷を繰り返す人及び自殺を考えている人を含む「自殺に傾いた人」	厚生労働省厚生労働科学研究費補助金こころの健康科学研究事業	2009（平成 21）年1月	http://www.mhlw.go.jp/bunya/shougaihoken/jisatsu/dl/02.pdf
⑤	ひきこもりの評価・支援に関するガイドライン	・用途：「ひきこもり」の評価と支援の実践的なガイドラインとして作成されています。 ・支援対象：ひきこもり事例に当たる人	厚生労働省厚生労働科学研究費補助金こころの健康科学研究事業	2010（平成 22）年5月	http://www.ncgmkohndai.go.jp/pdf/jidouiseishin/22ncgm_hikikomori.pdf
⑥	被災認知症支援マニュアル（医療用）	・用途：医療用 ・支援対象：避難所などで生活されている認知症の人と家族	日本認知症学会	2011（平成 23）年4月	http://dementia.umin.jp/iryou419.pdf
⑦	被災認知症支援マニュアル（介護用）	・用途：介護用 ・支援対象：避難所などで生活されている認知症の人と家族及び介護職の人	日本認知症学会	2011（平成 23）年4月	http://dementia.umin.jp/kaigo419.pdf

放射線防護体系



国際放射線防護委員会（ICRP）

国際放射線防護委員会（ICRP）

放射線防護の基本的な枠組みと防護基準を勧告することを目的とする。主委員会と5つの専門委員会（放射線影響、線量概念、医療被ばくに対する防護、勧告の適用、環境の放射線防護）で構成されている。

（参考）ICRPの勧告より、線量限度について抜粋

	1977年 勧告	1990年 勧告	2007年 勧告
線量限度 (職業人)	50mSv/年	100mSv/5年 かつ 50mSv/年	100mSv/5年 かつ 50mSv/年
線量限度 (一般公衆)	5mSv/年	1mSv/年	1mSv/年

mSv : ミリシーベルト



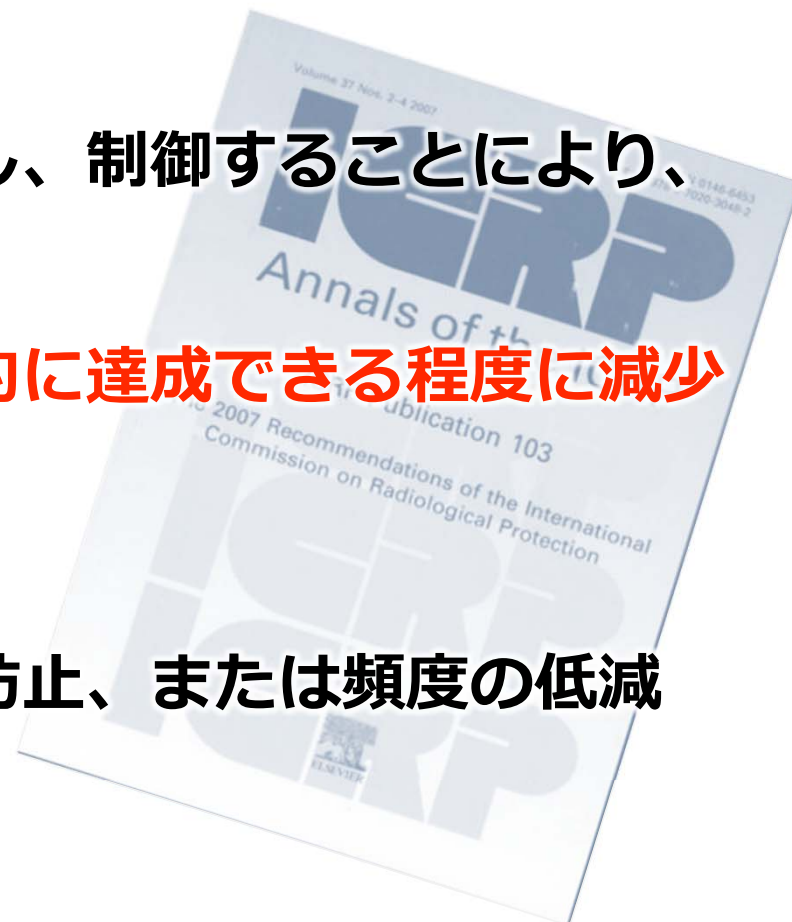
勧告の目的（国際放射線防護委員会（ICRP） 2007年勧告）

1)人の健康を防護する

- ・ 放射線による被ばくを管理し、制御することにより、
**確定的影響を防止し、
確率的影響のリスクを合理的に達成できる程度に減少
させる**

2)環境を防護する

- ・ 有害な放射線影響の発生の防止、または頻度の低減



被ばく状況と防護対策

放射線による人の被ばく状況

計画被ばく状況

被ばくが生じる前に防護対策を計画でき、被ばくの大きさと範囲を合理的に予測できる状況

線量限度

(一般公衆) 1mSv/年
(職業人) 100mSv/5年
かつ50mSv/年

対策

放射性廃棄物処分、長寿命放射性廃棄物処分の管理等

現存被ばく状況

管理についての決定がなされる時点ですでに被ばくが発生している状況

参考レベル

1～20mSv/年のうち低線量域、
長期目標は1mSv/年

対策

自助努力による放射線防護や放射線防護の文化の形成等

緊急時被ばく状況

急を要するかつ、長期的な防護対策も要求されるかもしれない不測の状況

参考レベル

20～100mSv/年の範囲

対策

避難、屋外退避、放射線状況の分析・把握、モニタリングの整備、健康調査、食品管理等

mSv : ミリシーベルト

放射線の健康影響には、確定的影響と確率的影響がある

- ・ 約100ミリグレイまでの吸収線量域では、どの組織も臨床的に意味のある機能障害を示すとは判断されない
- ・ 約100ミリシーベルトを下回る線量域では、確率的影響の発生率は臓器や組織の等価線量の増加に比例して増加すると仮定する
(直線しきい値なしモデル=LNTモデルの採用)
- ・ 固形がんに対する線量・線量率効果係数は「2」
- ・ 低線量において、直線的反応を仮定すると、がんと遺伝性影響による致死リスクは1シーベルト当たり約5%

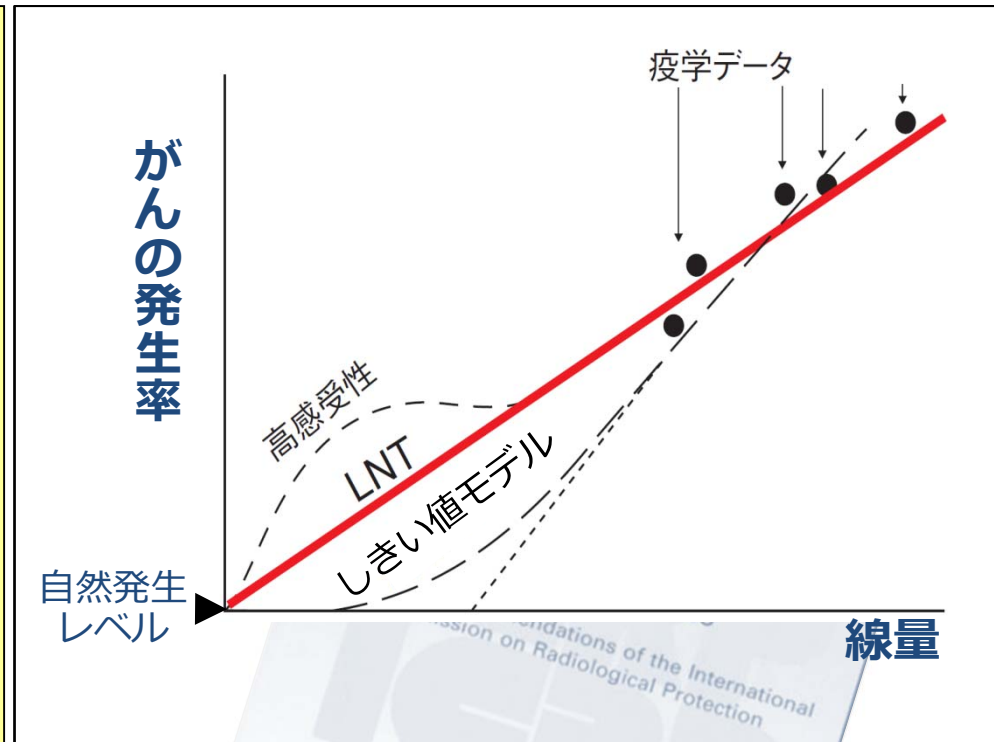
LNTモデルをめぐる論争

◎ 支持：

全米科学アカデミー（2006）
放射線被ばくには「これ以下なら安全」と言える量はない

◎ 批判的：

フランス医学・科学アカデミー（2005）
一定の線量より低い放射線被ばくでは、がん、白血病などは実際には生じず、LNTモデルは現実には合わない過大評価



⇒ 国際放射線防護委員会（ICRP）は、放射線防護の目的上、単純かつ合理的な仮定として、直線しきい値なし（LNT）モデルを採用

防護の三原則

国際放射線防護委員会（ICRP）の防護の三原則

- 正当化
- 防護の最適化
- 線量限度の適用



防護の正当化

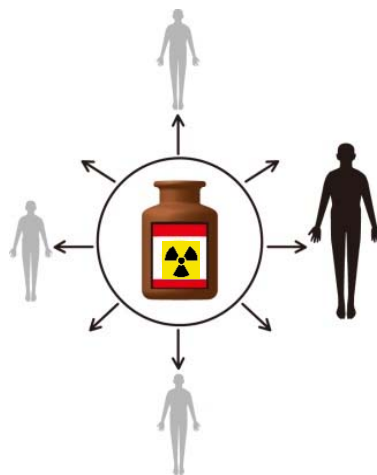
正当化とは



防護の最適化

個人の被ばく線量や人数を、
経済的及び社会的要因を考慮に入れたうえ、
合理的に達成できるかぎり低く保つことである。

この原則を**ALARA** (**A**s **L**ow **A**s **R**easonably **A**chievable)
アララの原則という



- ・線量拘束値
- ・参考レベル



参考レベルを用いた被ばくの低減

参考レベルを用いた防護の最適化

最初の状態

参考レベル
の設定

被ばくした人数

参考
レベル

個人の線量

線量低減が
進んだ状態

新たな参考レベル
を設定

新たな参考
レベル

線量限度の適用

線量限度は計画被ばく状況に適用される

○職業人（実効線量）

1年間 50 ミリシーベルト かつ

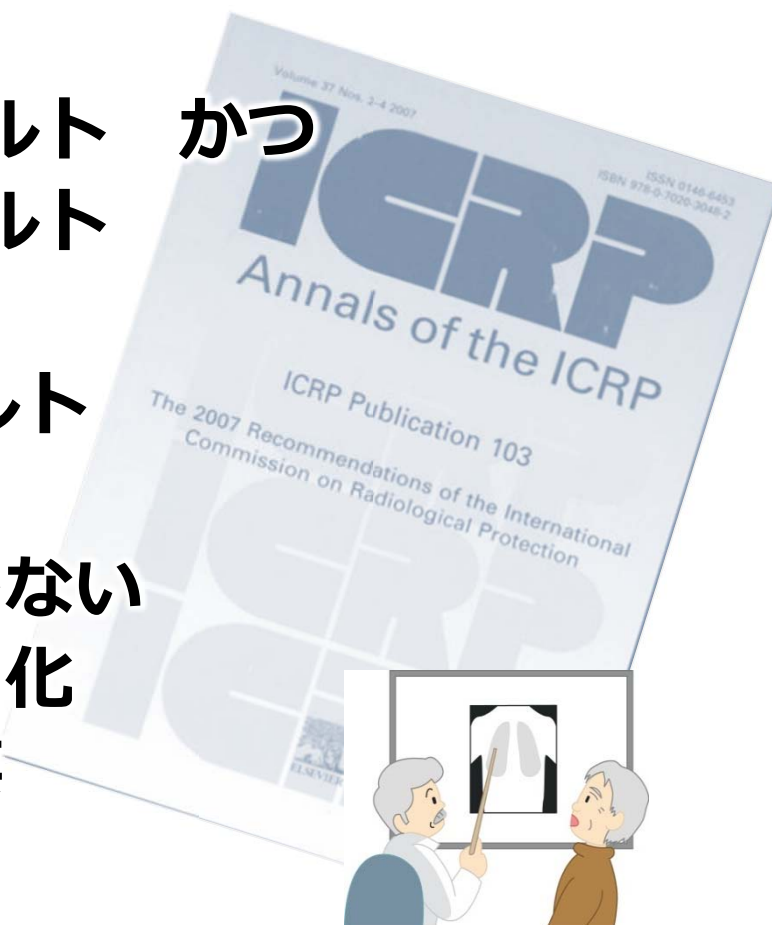
5年間 100 ミリシーベルト

○一般公衆（実効線量）

1年間 1 ミリシーベルト

（例外）医療被ばくには適用しない

- ・ 個々のケースで正当化
- ・ 防護の最適化が重要



線量限度

国際放射線防護委員会（ICRP）勧告と国内法令の比較

		職業被ばく		公衆被ばく	
		国際放射線 防護委員会 （ICRP） 2007年勧告	放射線障害の防止に 関する法令 （日本） 平成24年3月時点	国際放射線 防護委員会 （ICRP） 2007年勧告	放射線障害の防 止に関する法令 （日本） 平成24年3月時点
実効線量の 線量限度		定められた 5年間の 平均が20mSv いかなる 1年 も 50mSv を超えるべき でない	勧告に同じ	1mSv/年（例外的 に5年間の平均が年 あたり1mSvを超え なければ、単一年 に限度を超えるこ とが許される場合 がある）	線量限度の規定 はない（事業所 境界の線量限度、 排気排水の基準 は1mSv/年を基 に設定してい る）
等 価 線 量 限 度 の	眼水晶体	150mSv/年	150mSv/年	15mSv/年	—
	皮膚	500mSv/年	500mSv/年	50mSv/年	—
	手先、 足先	500mSv/年	—	—	—
職業人 （女子の場合） の線量限度		妊娠の申告以降の妊 娠期間に胎児の等価 線量（子宮内被ば く）が1mSvを越え ないようにする	5mSv/3月 妊娠の事実を知った 後、出産まで 腹部表面の等価線量 限度2mSv 内部被ばく1mSv	—	—

mSv：ミリシーベルト

	国際放射線防護委員会（ICRP） 2007年勧告		福島第一原発事故での対応
職業被ばく	救命活動 （情報を知らされた志願者）	他の者への利益が救命者のリスクを上回る場合は線量制限なし	厚生労働省電離放射線障害防止規則の特例 従来の 100mSv から 250mSv に引き上げ ※2011年11月1日以降、原則 100mSvに戻すこと が決められた。
	他の緊急救助活動	～500mSv	
公衆被ばく	緊急被ばく状況	20～100mSv/年の範囲で決める	例 計画避難地域での避難の基準： 20mSv/年
	復旧時 （現存被ばく状況）	1～20mSv/年の範囲で決める	例 土壌の除染のための基準： 1mSv/年

mSv：ミリシーベルト

食品の暫定規制値と基準値

- 暫定規制値に適合している食品は、健康への影響はないと一般的に評価され、安全は確保されていたが、
より一層、食品の安全と安心を確保する観点から、暫定規制値で許容していた年間線量 5 ミリシーベルトから年間 1 ミリシーベルトに基づく基準値に引き下げた。

○放射性セシウムの暫定規制値※1

食品	規制値
飲料水	200
牛乳・乳製品	200
野菜類	500
穀類	
肉・卵・魚・その他	

※1 放射性ストロンチウムを含めて規制値を設定

○放射性セシウムの基準値※2

食品群	基準値
飲料水	10
牛乳	50
一般食品	100
乳児用食品	50

(単位：ベクレル/kg)

※2 放射性ストロンチウム、プルトニウム等を含めて基準値を設定

食品の規制値の比較

食品中の放射性セシウム濃度の規制値

	日本 基準値 (2012. 4～)	コーデック 委員会※	EU(域内の 流通品)	アメリカ	韓国
飲料水	10	1,000	1,000	1,200	370
牛乳	50	1,000	1,000	1,200	370
一般食品	100	1,000	1,250	1,200	370
乳児用食品	50	1,000	400	1,200	370

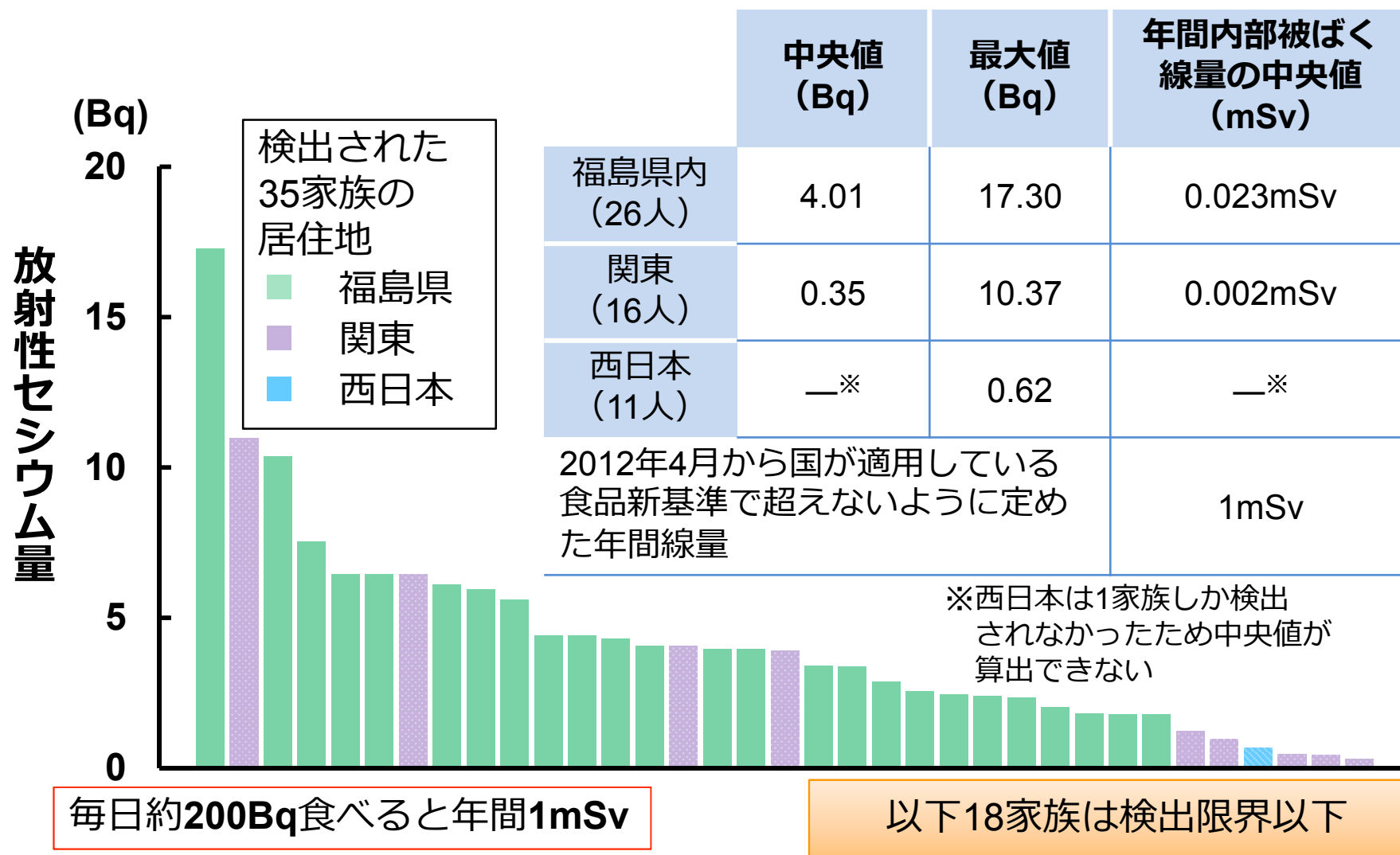
単位はベクレル/kg

※消費者の健康の保護、食品の公正な貿易の確保等を目的として、1963年に国際連合食糧農業機関（FAO）及び世界保健機関（WHO）により設置された国際的な政府間機関であり、国際食品規格の策定等を行っています。

線量限度

流通食品の摂取による被ばく線量

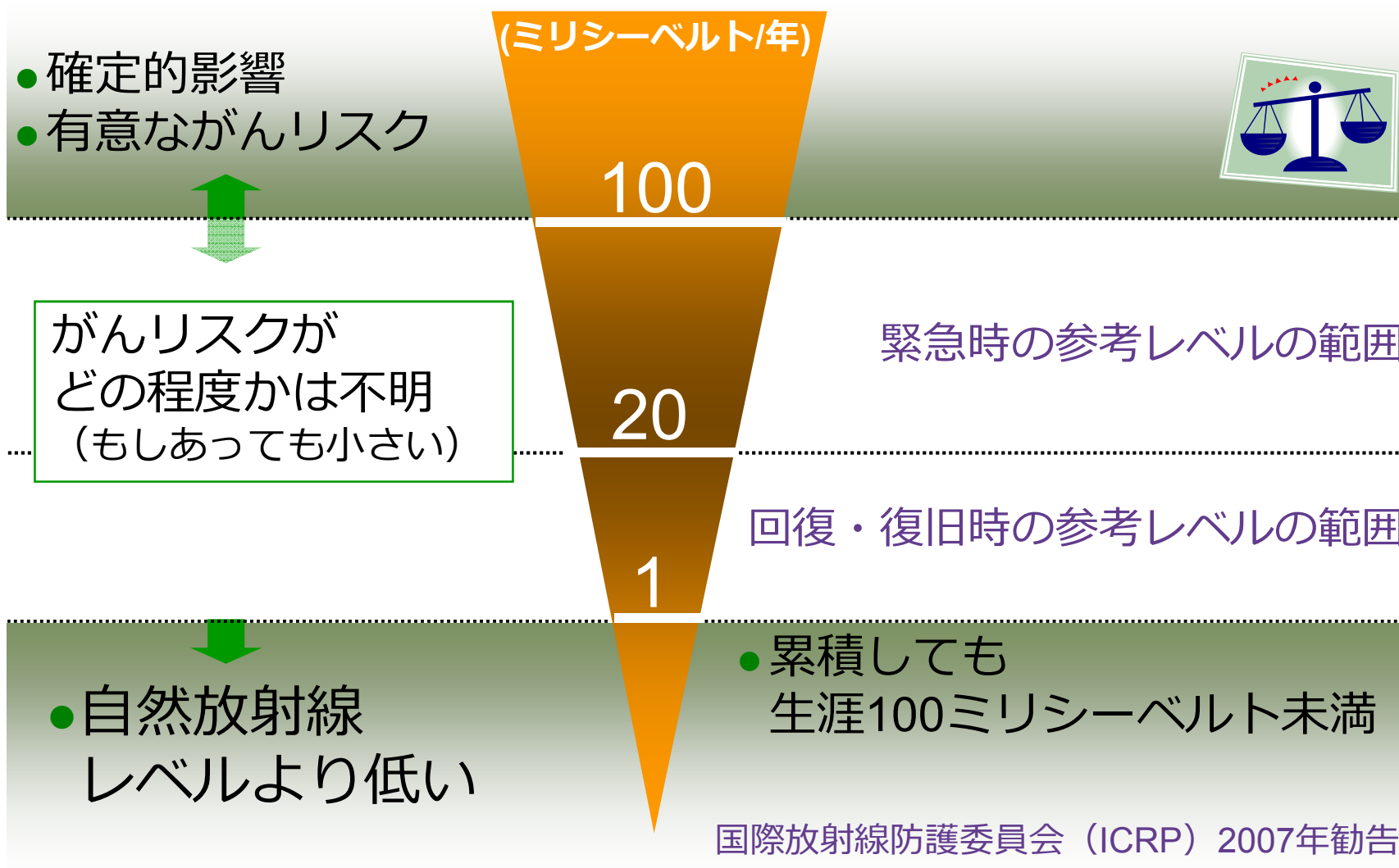
家族1人当たりの1日の食事に含まれていた放射性セシウムの量



Bq : ベクレル mSv : ミリシーベルト

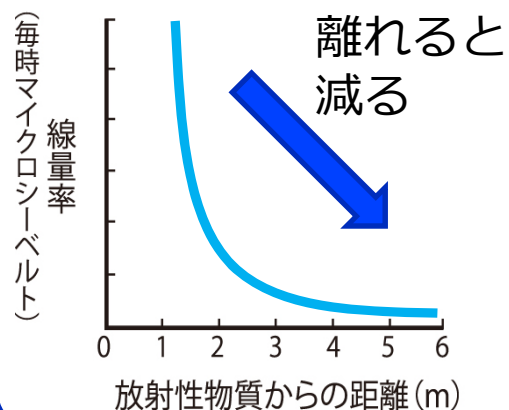
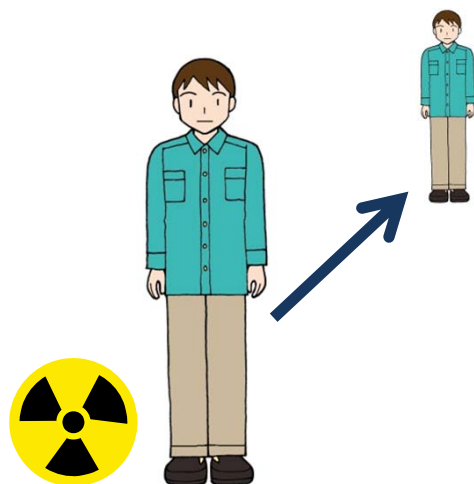
出典 : Koizumi *et al.*, Environ Health Prev Med, 2011より

被ばく線量と健康リスクとの関係

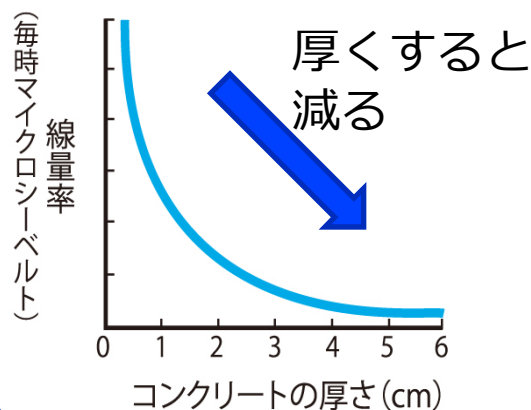
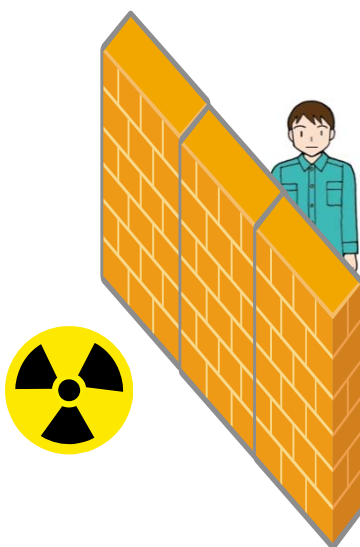


外部被ばくの低減三原則

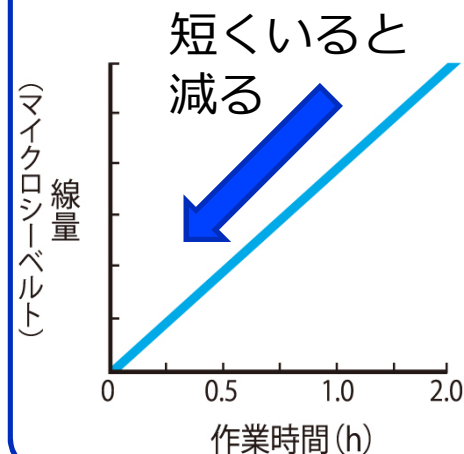
① 離れる (距離)



② 間に重い物を置く (遮へい)



③ 近くにいる時間を短く (時間)



内部被ばく—原子力災害直後の対応—

- 原則は口、鼻、傷口から入らないように
- 基準値以下の微量の放射性物質を過剰に心配して、
食物の栄養バランスを崩さないように
- 放射性物質の放出の情報に気をつける
- 土が身体、靴、服に付けばすぐに洗う



調理の過程で放射性物質の低減が可能



野菜／果実／きのこ：洗浄、ゆでる（煮汁は捨てる）

例）野菜／果実を洗浄：0～40% 除去

野菜／果実をゆでる：10～60% 除去



肉／魚：塩焼き等で肉汁を落とす

例）肉をゆでる(ゆで汁に移行)：30～80% 除去

肉を焼く(肉汁に移行)：20～50% 除去

●野生のものは大量に食べない

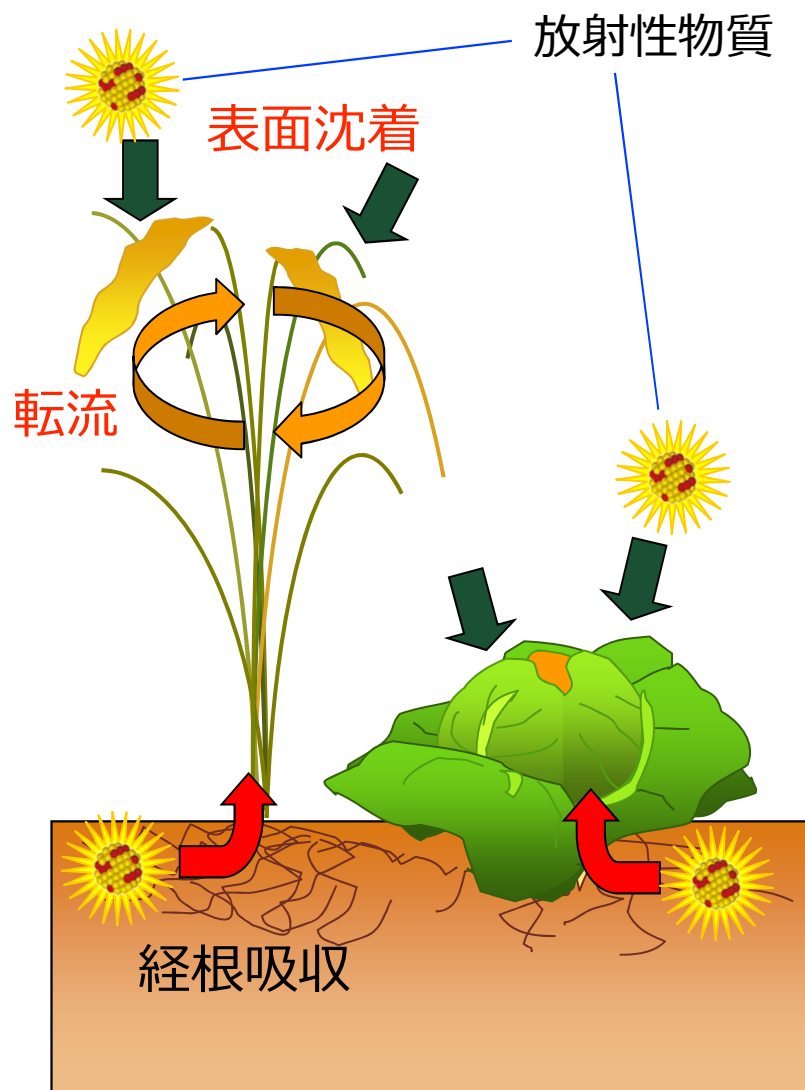
●いろいろな品目、いろいろな産地のものを食べる

栄養の偏りに注意

出典：国際原子力機関（IAEA）TRS472

植物への移行

初期の影響



直接経路

(大気中から直接葉面に)
大気への放出直後に
主要な経路

転流による経路

(植物内での移動)
葉や樹皮が吸収して新芽や
実などに移行

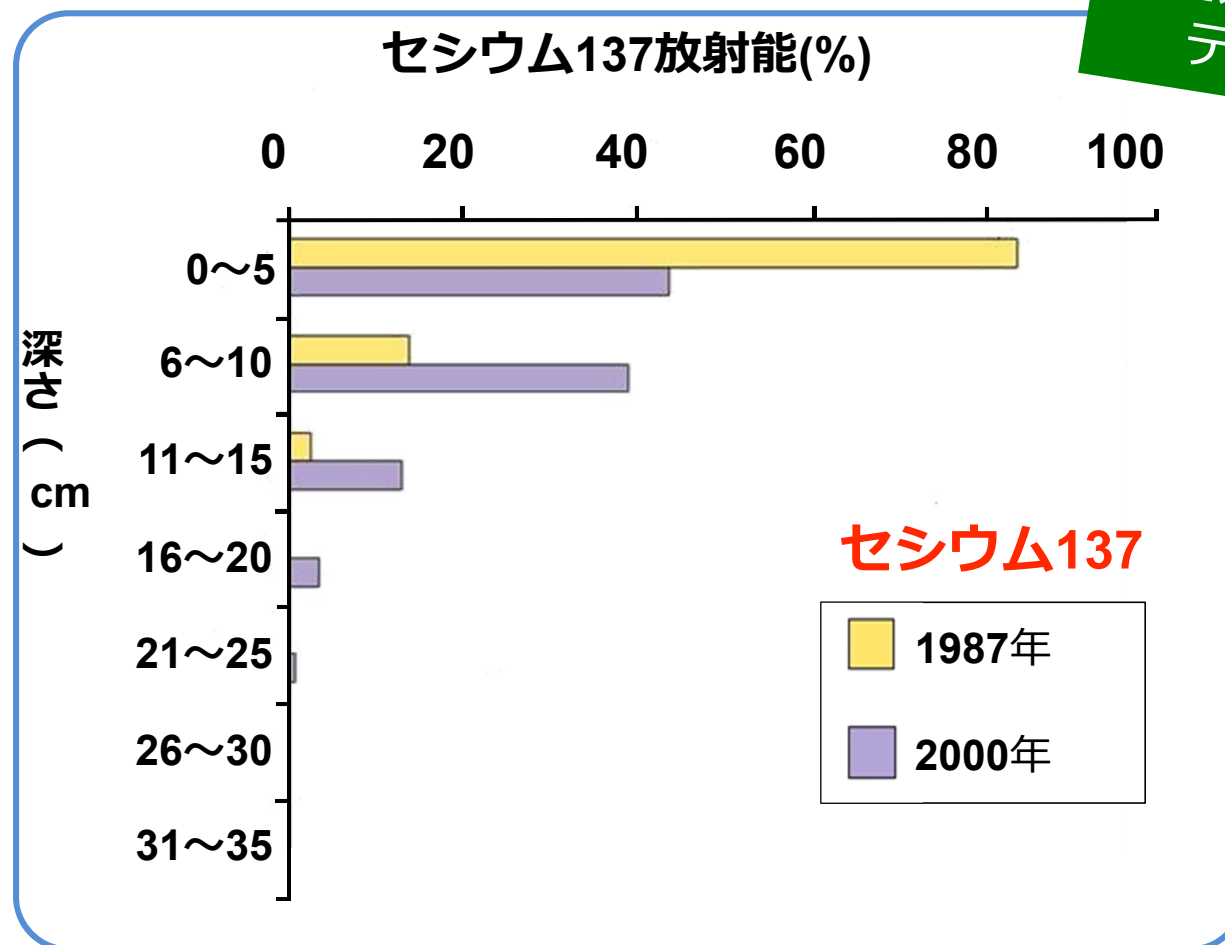
経根吸収経路

(土壌から根による吸収)
事故後、中・長期に
わたる移行経路

長期的影響

土壌中の分布

土壌中深度分布の経年変化 (全量を100%)

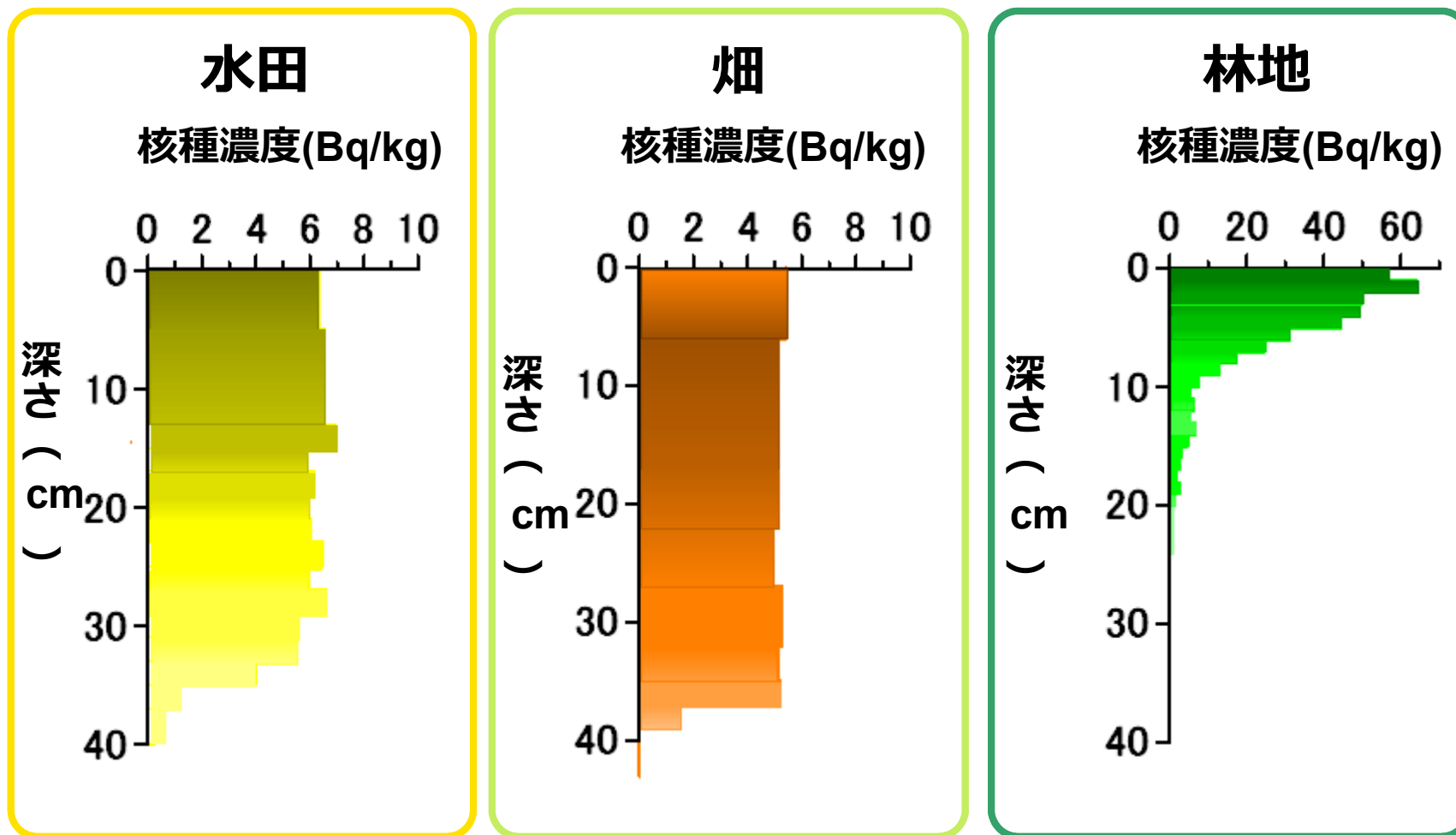


セシウム137は土壌に固定されて表層に長期間留まるため、農作物に吸収されにくい特性があります

出典：国際原子力機関（IAEA）国際チェルノブイリフォーラム報告書（2006年）より作成

核実験フォールアウトの影響（日本）

2009年10月に北海道で採取した土壌のセシウム137濃度の深度分布



Bq/kg : ベクレル/キログラム

出典：木方ら、第52回環境放射能調査成果抄録集（2010年）他より作成

森林中の分布

分布は時間（年）とともに変化します。

森林中で大きく動く

大気からの沈着直後：

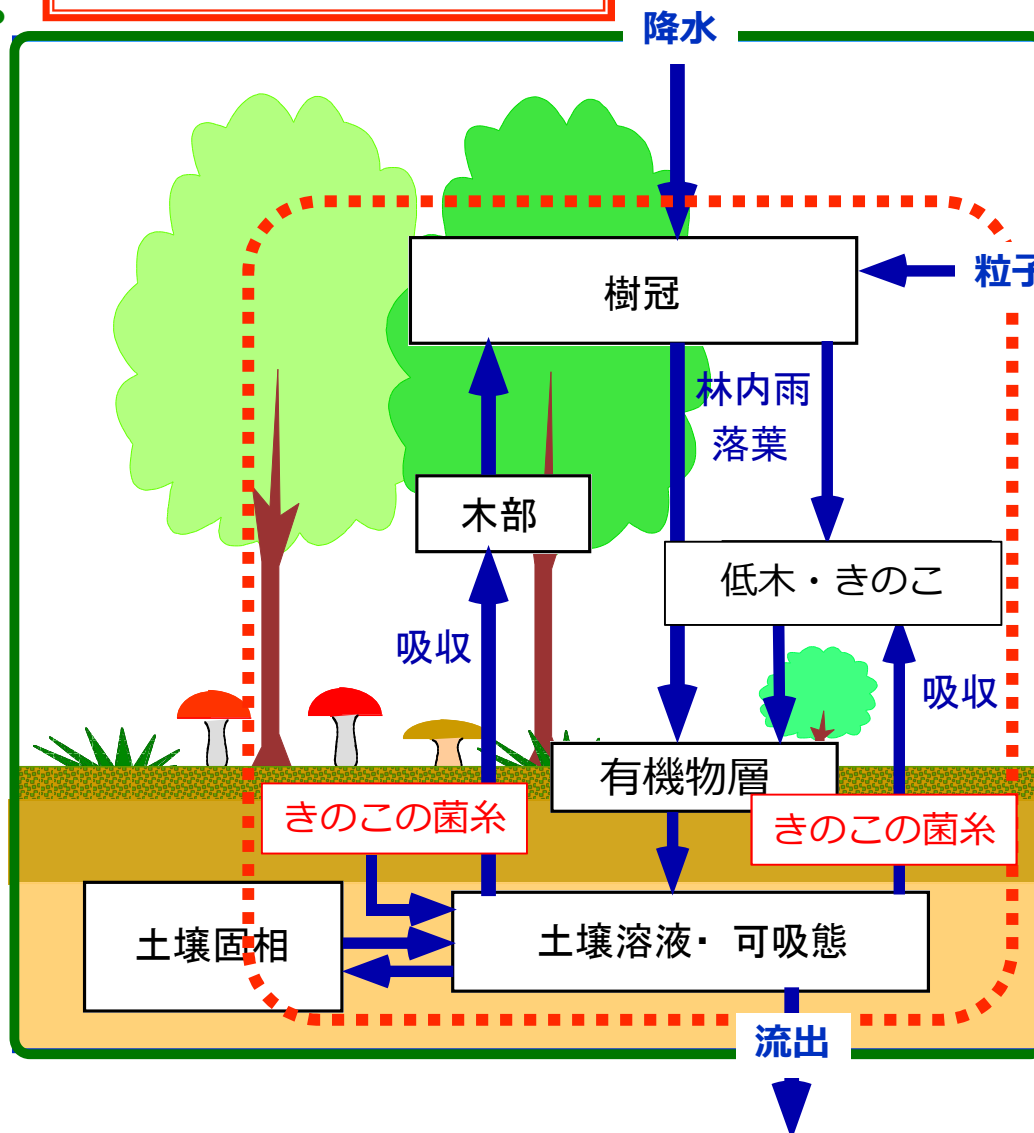
- ・ 樹冠の葉・枝（一部表面吸収&転流）
- ・ 土壌有機物層(腐葉土層等)の表面付近

その後：

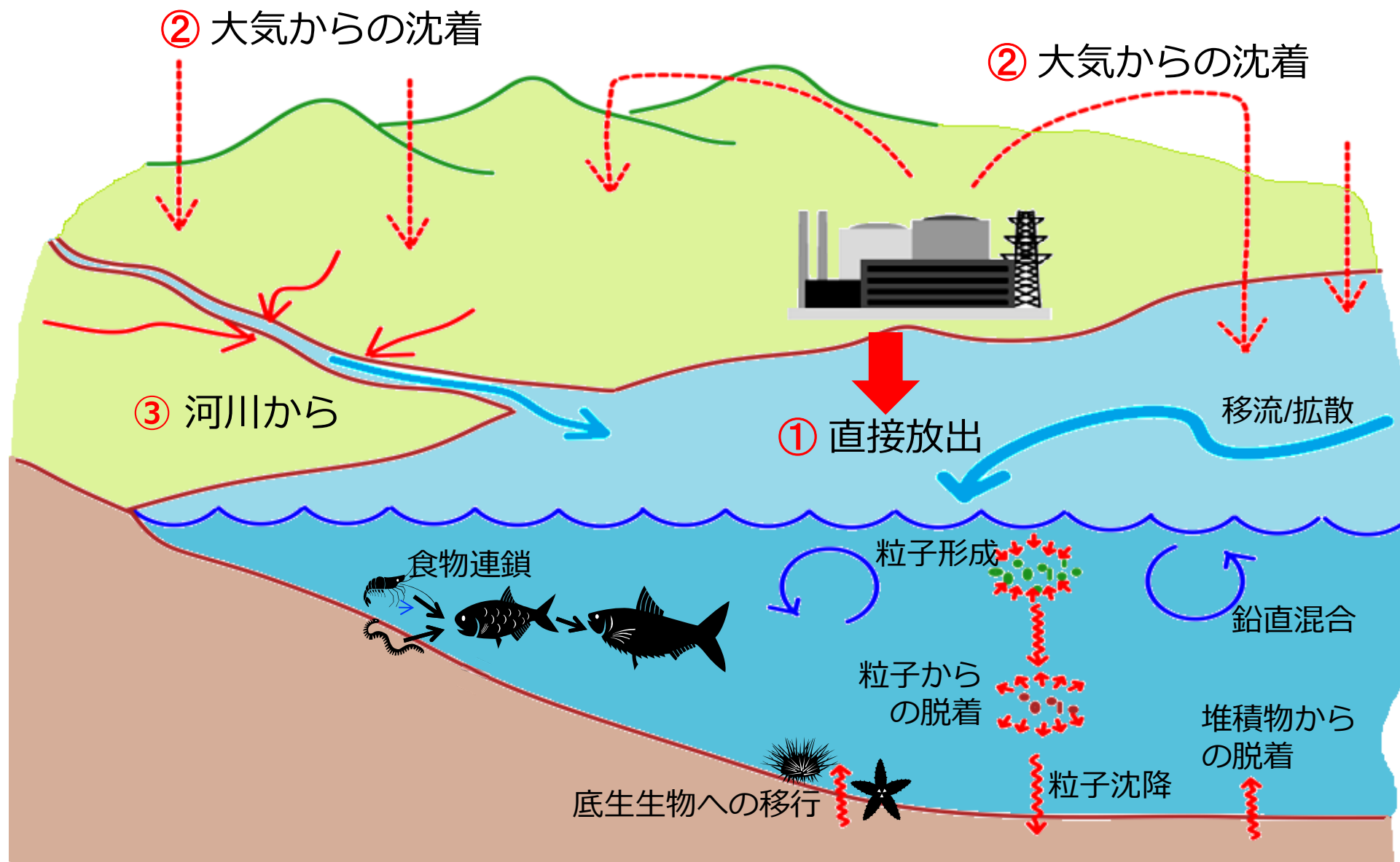
- ・ 樹冠から土壌有機物層へ
- ・ 有機物層からその下の土壌へ
- ・ 植物の経根吸収

最終的には：

- ・ 大部分が土壌有機物層を含めた土壌表層部に蓄積



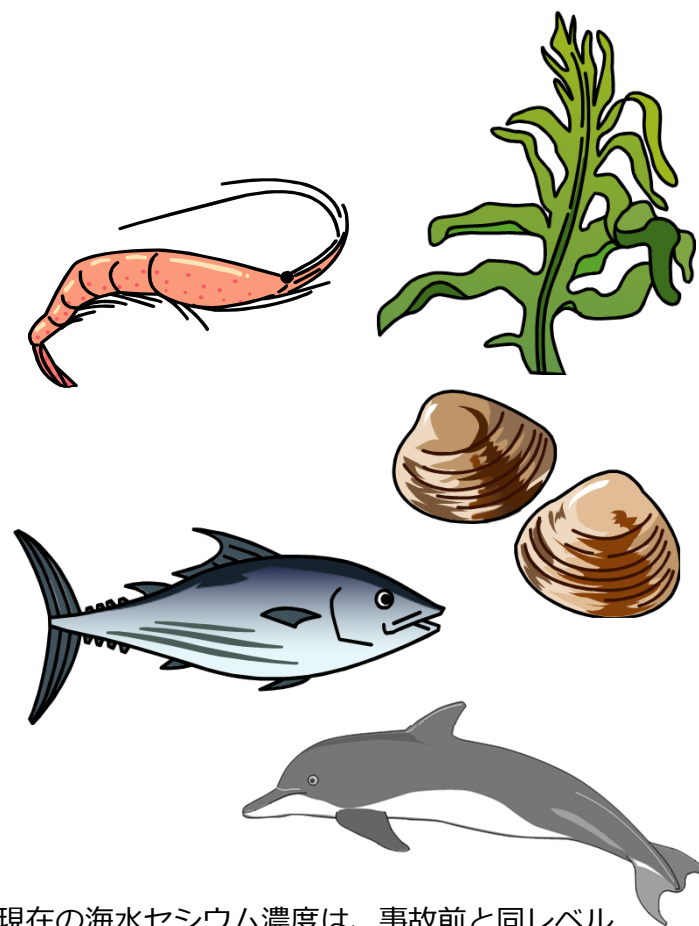
海洋中の分布



海産生物の濃縮係数

$$\text{濃縮係数} = (\text{海産生物中の濃度}) / (\text{海水中の濃度})$$

生物の種類	濃縮係数※ (セシウム)
イカ・タコ	9
植物プランクトン	20
動物プランクトン	40
藻類	50
エビ・カニ	50
貝類	60
魚	100
イルカ	300
トド	400



現在の海水セシウム濃度は、事故前と同レベル
(0.001~0.01ベクレル/リットル) である。

※：濃縮係数は、下記IAEA文献による推奨値

出典：国際原子力機関（IAEA）Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment, 2004

WHO福島報告書とUNSCEAR2013年報告書（1/3） 評価の比較（1/2）全体概要

	WHO	UNSCEAR
目的	事故後1年間の住民の被ばくによる健康リスクを見積もる（保守的評価）	<ul style="list-style-type: none"> • これまでに得た情報を集約し、評価する • 科学的な知見を提供する（現実的評価）
内容	<ul style="list-style-type: none"> • 被ばく線量推計 • 健康リスク評価 	<ul style="list-style-type: none"> • 原発事故の時系列的展開 • 放射性物質の放出と拡散状況 • 公衆の被ばく線量 • 作業員の被ばく線量 • 健康影響 • ヒト以外の生物の被ばく線量とリスク評価
評価時期	事故発生直後 （2011年9月までのデータ） 事故直後は精度の低い情報も多い	事故からある程度の時間が経過（2012年9月までのデータ） 一部のさらに新しい情報は特に適切であった場合は考慮に入れた。
公表時期	線量評価：2012年5月 健康リスク評価：2013年2月	2014年4月
結論	今回の事故による放射線によって、疾患の罹患の増加が確認される可能性は小さく、福島県のいくつかの地域以外や、日本近隣諸国ではリスク増加は無視できる水準である。	事故により日本人が生涯に受ける被ばく線量は少なく、その結果として今後日本人について放射線による健康影響が確認される可能性は小さい。

	WHO	UNSCEAR
事故後1年間の実効線量推計結果 (単位はミリシーベルト)	<p>20歳（成人） 1歳（乳児）</p> <p>① 福島県： 1～50 1～50</p> <p>② 福島近隣県： 0.1～10 0.1～10</p> <p>③ その他の： 0.1～1 0.1～1 都道府県</p>	<p>20歳（成人） 1歳（乳児）</p> <p>① 予防的避難区域： 1.1-5.7 1.6-9.3</p> <p>② 計画的避難区域： 4.8-9.3 7.1-13</p> <p>③ 避難区域外の福島県： 1.0-4.3 2.0-7.5</p> <p>④ 近隣県： 0.2-1.4 0.3-2.5</p> <p>⑤ その他の都道府県： 0.1-0.3 0.2-0.5</p>
不確かさ	大きい（評価の迅速性を優先）	WHOの報告書に比べて、現実的な評価を指向しているが、依然として不確かさは残る。
線量評価の不確かさの主な原因	<ul style="list-style-type: none"> ・地表面沈着の測定値に基づく大気中放射性物質濃度の推定 ・放射性物質の放出に関する情報（ソースターム）と拡散シミュレーション ・放射性核種の組成と化学形 ・建物の遮へい効果 ・食物摂取による線量推計の仮定 ・食習慣による線量係数の変動 	<ul style="list-style-type: none"> ・地表に沈着した短半減期放射性核種の測定値 ・時間の経過に伴う放射性核種の放出率の推移と放出時の気象情報についての知見 ・大気中の粒子状及びガス状I-131の組成 ・食品モニタリングにおける試料選定の偏り（汚染の高いものが優先されている） ・日本人のヨウ素代謝（甲状腺へのヨウ素の取り込み率）

注：WHOの推計線量は、UNSCEARに比較すると保守的な（過大な）評価結果になっている。

用語の説明：

- ・ソースタームとは、線量評価に必要とされる放射性物質の種類、化学形、放出量の総称。
- ・拡散シミュレーションとは、気象状況や風向きなどのデータとソースタームのデータを合わせて、放射性物質の拡散の傾向を計算すること。

「保守的な評価」と「現実的な評価」

保守的な評価

- 原子力災害直後の緊急時の対応においては、不確かな情報について過小とはならないような仮定（「保守的な仮定」）をおき、被ばく線量及び健康リスクを高めに見積もる。
- 「保守的な」評価を行うと、実際の被ばく線量よりも高い値が算出される。
- その線量に基づいてリスクを評価すると、健康影響の予測は実際より過大となる。

現実的な評価

原子力災害後の回復期では、その時点で得られている情報や測定データをもとに、できるだけ現実に近い仮定をおいて、被ばく及び将来の健康影響の可能性について評価する。

WHO線量評価の概要

目的

- 福島第一原発事故による緊急対応が必要な地域・集団を特定する
- そのために事故後1年間の被ばく線量を推計する
- 線量推計の結果をもとに、日本及び世界の住民の健康リスクを評価する

評価方法

- 線量推計には、保守的な条件を設定し被ばく線量を評価
- 外部被ばく及び内部被ばくからの線量を推計
- 年齢別（1歳（乳児）、10歳（小児）、20歳（成人））及び地域別に被ばく線量を推計

実効線量推計のポイント

- 外部被ばく及び吸入摂取による内部被ばく線量は、地表面沈着の測定データから算出
- 経口摂取による内部被ばく線量は、食品の測定データから算出
- 20km圏内は推計対象外
- 計画的避難区域は、事故後4か月間滞在と仮定

被ばくの経路

全ての主要な被ばく経路を仮定

- グラウンドシャイン※¹からの外部被ばく
- クラウドシャイン※²からの外部被ばく
- 吸入摂取による内部被ばく
- 経口摂取による内部被ばく

住民の健康リスク評価のまとめ

リスク評価の前提

- 放射線発がんにはしきい線量がないものとし、固形がんについては直線型、白血病については直線-二次曲線型の線量反応を採用
- 線量・線量率効果係数（DDREF）は、適用せず

結果

- 住民の被ばく線量は、あらゆる確定的影響のしきい値を下回っている
- 被ばく線量が最も高かった地域においても、小児甲状腺がんを含む、がん・白血病のリスクの増加は小さく、自然のばらつきを越える発生は予想されない
- 被ばくによる遺伝性影響のリスクは、がんのリスクよりもはるかに小さい
- 結果として、放射線に関連する疾患の過剰発症を検出できるレベルではない

まとめ

- 本報告書にあるリスクの数値は、リスクの程度を大まかに把握するためのものであり、将来の健康影響を予測するものではない

- 地表面沈着の測定値に基づく大気中放射性物質濃度の推定に関する不確かさ
- 放射性核種の組成と化学形に関する不確かさ
- 建物の遮へい効果を低く想定したことによる不確かさ
- 食習慣による線量係数の変動に伴う不確かさ
- 放射性物質の放出に関する情報（ソースターム）と拡散シミュレーションの不確かさ
- 食物摂取による線量推計の仮定に伴う不確かさ

目的

- 原子力事故がもたらした放射線被ばくのレベル、及びその健康影響とリスク、さらにヒト以外の生物相への影響に関する知見の提示。
- 線量の推定値を提示し、UNSCEARがこれまで行ってきた科学的評価に照らして、日本国内に加え、近隣諸国でのさまざまな集団の健康との関連を含めて議論。
- 将来実施される可能性のある追跡調査や研究のために、どのような知識が不足しているかを挙げる。

公衆の被ばく線量評価の概要

1. 評価はできるかぎり測定データに基づいて行った
2. 事故後1年間に公衆が受けた被ばく線量进行评估。対象は、20歳（成人）、10歳（小児）、1歳（乳児）
3. 事故後10年間及び80歳までに被ばくする線量を予測
4. 実測値に基づいて状況を客観的に評価するため、できるだけ現実に即したモデルを使用
5. 最初の1年間に講じられた防護措置により回避された線量も推定

利用した測定値等

1. 外部被ばく及び吸入による内部被ばく

- ① 地上で、及び航空機により測定された放射性物質の地表面の沈着密度
- ② 事故炉から放出された放射性物質の種類と量の推定値と大気中拡散シミュレーションにより推定された大気中および地表面の放射性物質濃度

2. 経口摂取による内部被ばく

・食品及び飲料水中の放射性物質濃度

- ① 1年目：市場に流通した食品及び飲料水中の放射性核種濃度の測定データ
- ② 2年目以降：土壌汚染濃度データからシミュレーションにより推定した食品中の放射性物質濃度。海産物については福島県沖海域での測定データ及び放射性核種拡散シミュレーションにより推定した海水中の放射性物質濃度。

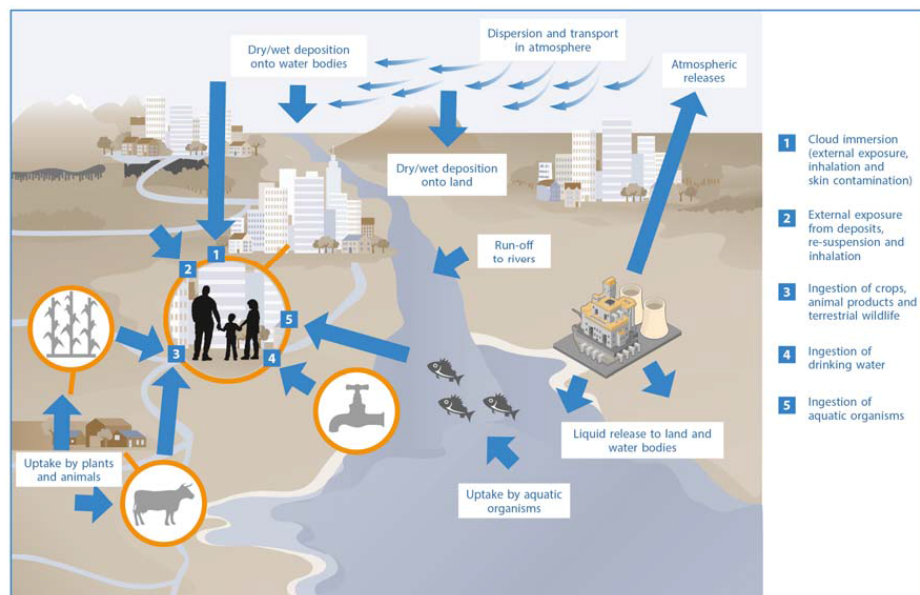
・日本人の食品摂取量（国民健康・栄養調査）

4グループ毎に公衆の線量を推定

線量評価のための地域区分

グループ	地 域	公衆の線量評価における空間解像度
1	人々が事故後、数日から数か月の単位で避難した福島県の地区	18の避難シナリオで特定された各地区における典型的な場所を使用
2	避難が行われなかった福島県の行政区画	外部経路及び吸入経路については行政区画レベル（各1km格子点で推定値に基づき行政区画レベルでの平均値を算出） 経口摂取経路については県レベル
3	福島県の隣接県（宮城県、栃木県、群馬県、茨城県）または福島県に近い県（岩手県と千葉県）	外部経路及び吸入経路については行政区画レベル（各1km格子点で推定値に基づき行政区画レベルでの平均値を算出） 岩手県における経口摂取による推定被ばく線量はグループ4と同じ、他の5つの県については、5つの県の平均に基づいた
4	その他の都道府県全て	外部経路及び吸入経路は県レベル 摂取経路についてはその他全ての都道府県平均

Figure V. Exposure pathways from releases of radioactive material to the environment



1. 放射性プルームの大気中移動
 ✓ 外部被ばく
 ✓ 内部被ばく（吸入）
2. 地表沈着
 ✓ 外部被ばく
 ✓ 内部被ばく（再浮遊、吸入）
3. 地表等沈着
 ✓ 内部被ばく（飲食物移行）

主な評価対象の被ばく経路

- ① プルーム中放射性物質による外部被ばくと吸入による内部被ばく
- ② 地表沈着放射性物質からの外部被ばく及び飲食物移行放射性核種の摂取による内部被ばく
- ③ 海産物へ移行した放射性物質の摂取による内部被ばく

UNSCEAR2013年報告書（6/9）

公衆の被ばく線量評価 線量評価の結果

表1. 事故後1年間の地域平均の実効線量及び甲状腺吸収線量の推定値※1

避難をした地区					
グループ		実効線量（mSv）		甲状腺の吸収線量（mGy）	
		20歳（成人）※2	1歳（乳児）	20歳（成人）※2	1歳（乳児）
1 ^a	予防的避難区域 ^b	1.1-5.7	1.6-9.3	7.2-34	15-82
	計画的避難区域 ^c	4.8-9.3	7.1-13	16-35	47-83
避難をしていない地域					
2	福島県（避難区域外）	1.0-4.3	2.0-7.5	7.8-17	33-52
3	近隣県 ^d	0.2-1.4	0.3-2.5	0.6-5.1	2.7-15
4	その他の都道府県	0.1-0.3	0.2-0.5	0.5-0.9	2.6-3.3
^a 18の避難シナリオを用いて避難者の線量を推計					
^b 高度の被ばくを防止するための緊急時防護措置として2011年3月12日から2011年3月15日にかけて避難を指示された地区					
^c 2011年3月末から同年6月にかけて避難を指示された地区					
^d 岩手県，宮城県，茨城県，栃木県，群馬県，千葉県					

※1：日本の避難地区及び避難区域外の典型的な住民における線量推定 mSv：ミリシーベルト mGy：ミリグレイ

※2：10歳の推定値は省略

参考：日本の近隣諸国及び世界の他地域における公衆の線量評価について：UNSCEARは、日本国外に居住する住民の事故直後1年間における事故による平均実効線量を0.01mSvより小さかったと結論した。

- 将来のがん統計において、事故による放射線被ばく起因し得る有意な変化がみられるとは予測していない。
- 最も高い被ばくを受けたと推定される小児の集団について、甲状腺がんのリスクが理論上増加する可能性がある。そのため、今後、状況を綿密に追跡・評価する必要がある。
- 先天性異常/遺伝的影響はみられない。

出典：国際連合広報誌「UNSCEAR：福島第一原子力発電所事故（情報に基づく意思決定のための放射線に関する科学的情報の評価）」に基づき作成

1. 地表に沈着した短半減期放射性核種の測定レベルと地域による空間的な分布
2. 時間の経過に伴う放射性核種の放出率の推移と放出時の気象情報
3. 放射性ヨウ素の粒子径・化学形
4. 食品中の放射性核種濃度の設定
5. 日本人の甲状腺への放射性ヨウ素の取り込み率

二つの放射性核種の測定情報が、公衆の被ばくを評価するための情報源となった。

- ① 甲状腺、特に小児の甲状腺におけるヨウ素131 (I-131) の測定値
- ② セシウム134 (Cs-134) とセシウム137 (Cs-137) の全身モニタリング結果

1. 国連科学委員会(UNSCEAR)が内部被ばくによる甲状腺の地区平均吸収線量を推定した結果は、同じ対象グループの直接のモニタリングから導き出された甲状腺の地区平均吸収線量より最大で約5倍高かった。
2. 福島県において10万6,000人以上の住民を対象にしたホールボディカウンタ検査結果は、UNSCEARが推定したCs-134とCs-137の吸入と経口摂取による平均的実効線量値よりもかなり低かった。