

# 放射性物質が健康に及ぼす影響



放射線医学総合研究所  
明石 真言

# 寺田寅彦（地球物理学者）

ものを怖がらな過ぎたり、怖がり過ぎたり  
するのはやさしいが、正当に怖がること  
はなかなかむづかしい



（「小爆発二件」）  
寺田寅彦随筆集第六卷「雑想集」

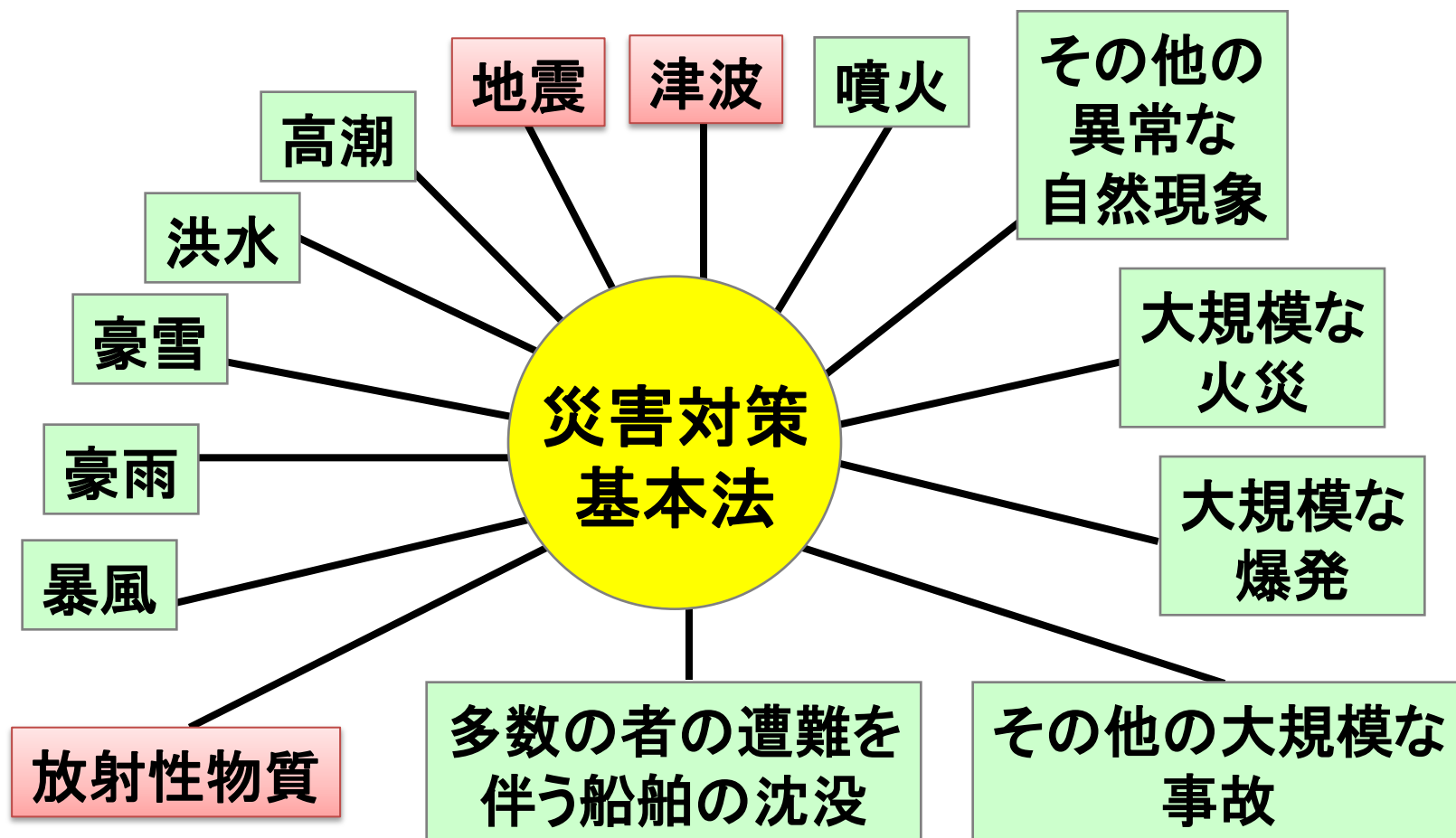
# 現代の災害への警鐘

「文明が進むほど天災による損害の程度も累進する傾向がある。」

寺田寅彦「天災と国防」

1964年11月 雑誌『経済往来』

# 災害対策基本法の対象となる災害



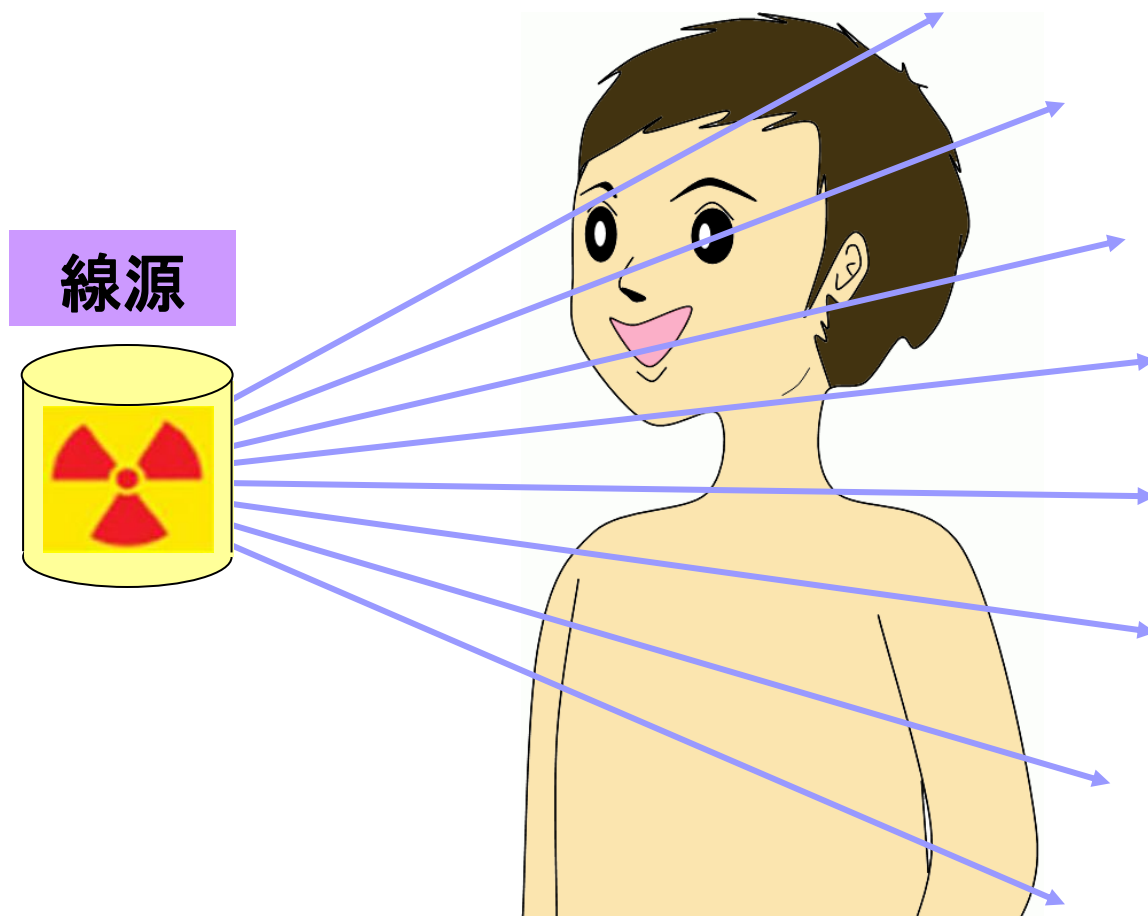
政令で定められた原因による事故

# 被ばくの特殊性

- (1) 低頻度の事象
- (2) 被ばくしたかどうかがわからない
- (3) 症状がでるまでに時間がかかる
- (4) 放射線に対する専門的知識が必要
- (5) 放射性物質や放射線に対する不安
- (6) 放射線による被ばくや汚染の測定が可能
- (7) 滅菌・殺菌、中和ができない
  - 微生物: 殺菌、滅菌、抗体など有効
  - 化学物質: 中和
- (8) 社会的な影響が大きい

# 外部被ばく

放射線を離れたところからあびる



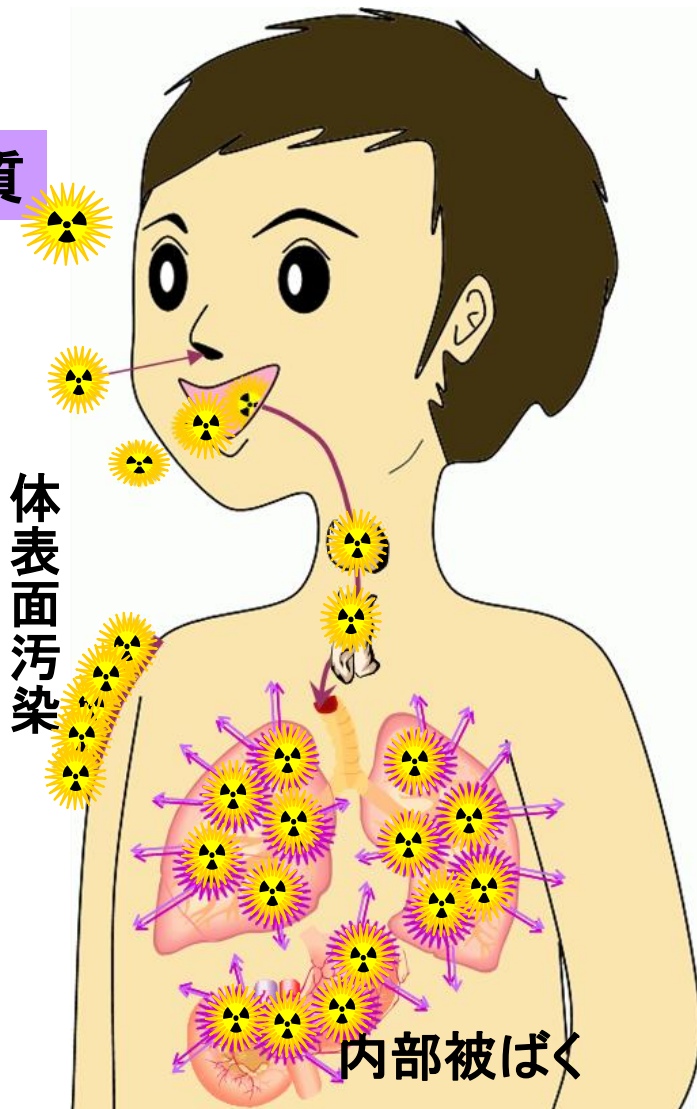
患者さんの体表面や体内に放射性物質がなく、**その患者さんから被ばくすることはない。**

# 汚 染

放射性物質が身体に付着するか、体内に摂取する

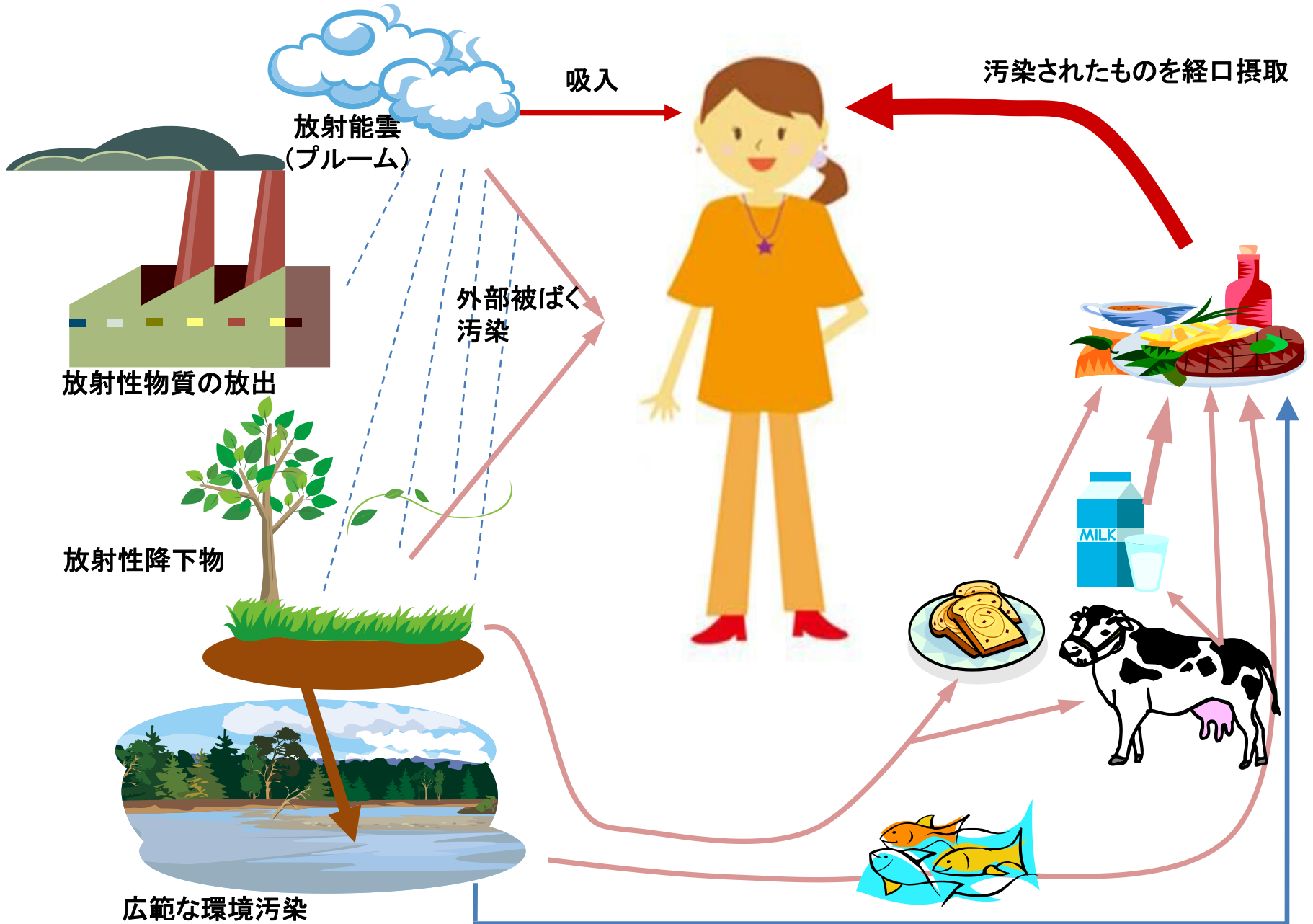


放射性物質



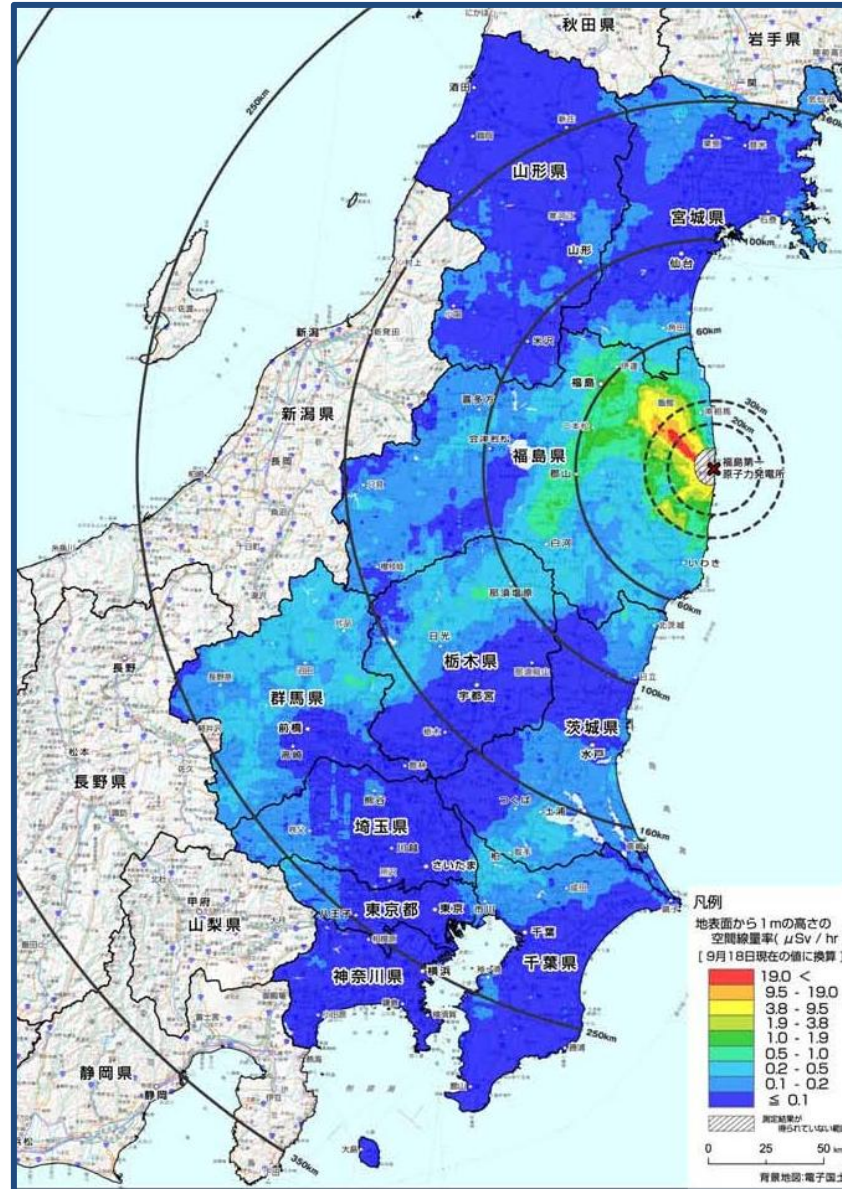
**患者さんが線源**で、放射線が出ている。汚染が広がらないようにする事が必要。口、鼻、手指に汚染がある時は体内の汚染を疑う。

# 福島原子力発電所の事故





# 文部科学省による東京都及び神奈川県 航空機モニタリングの測定結果



# 京都府環境放射線テレメータシステム

## 高浜発電所周辺の空間線量率(2011/10/7)

通常は0.01~0.2  $\mu\text{Sv/h}$ ですので、只今の測定値に異常はありません。

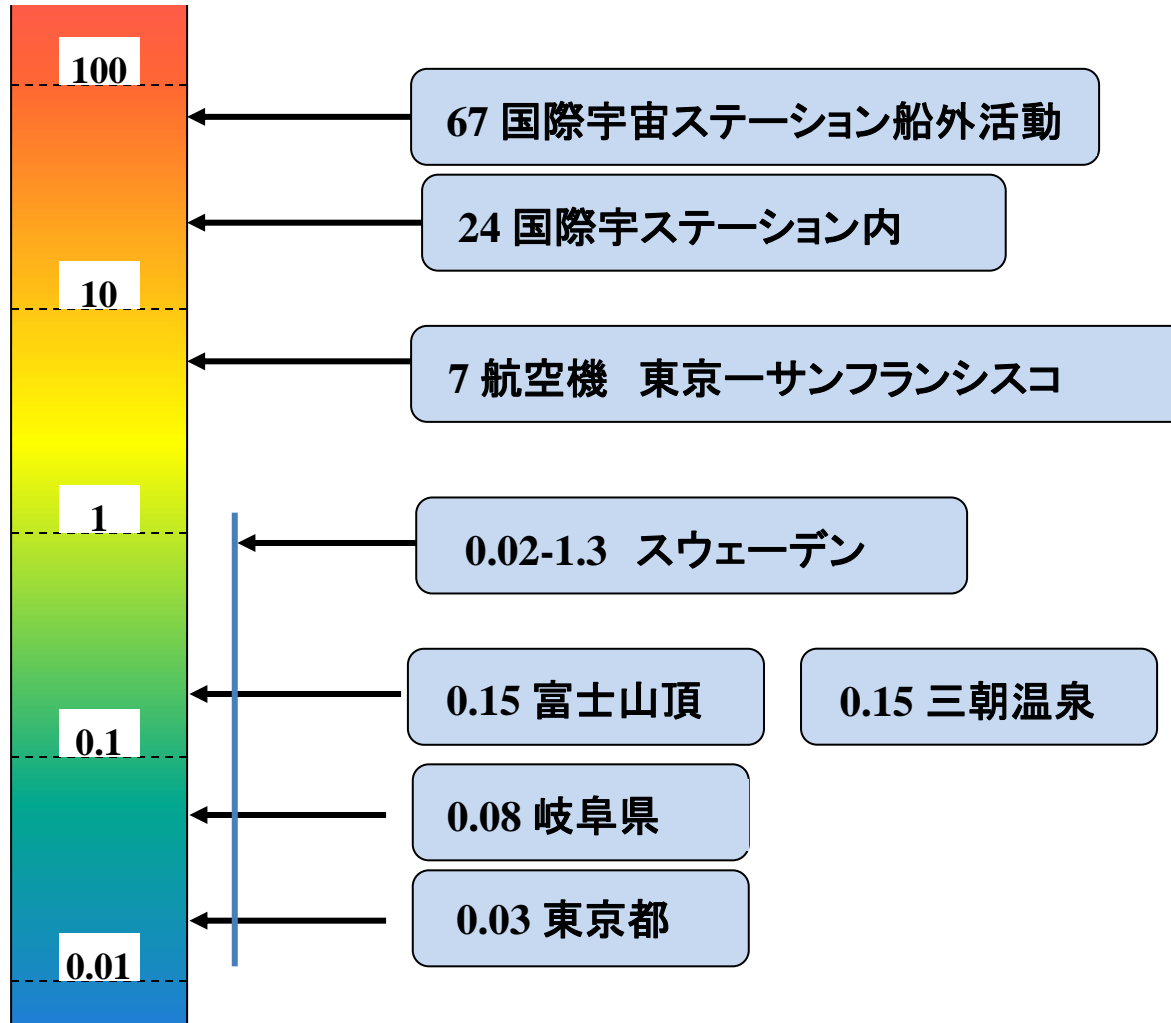
1.大山測定所	0.0317 $\mu\text{Sv/h}$
2.塩汲測定所	0.0366 $\mu\text{Sv/h}$
3.岡安測定所	0.0369 $\mu\text{Sv/h}$
4.吉坂測定所	0.0368 $\mu\text{Sv/h}$
5.倉梯測定所	0.0475 $\mu\text{Sv/h}$
6.老富測定所	0.0433 $\mu\text{Sv/h}$
7.京都測定所	0.0388 $\mu\text{Sv/h}$



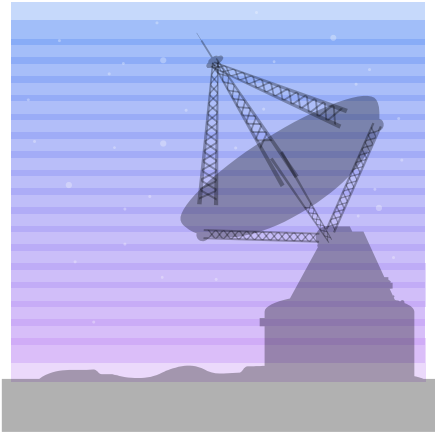
測定値は、1  $\mu\text{Gy/h}$ (マイクログレイ毎時) = 1  $\mu\text{Sv/h}$ (マイクロシーベルト毎時)と換算して算出しています。  
表示された値は速報値であり、修正する事があります。

# 身の回りの線量率

マイクロシーベルト／時



# 一年間に自然界から受ける放射線



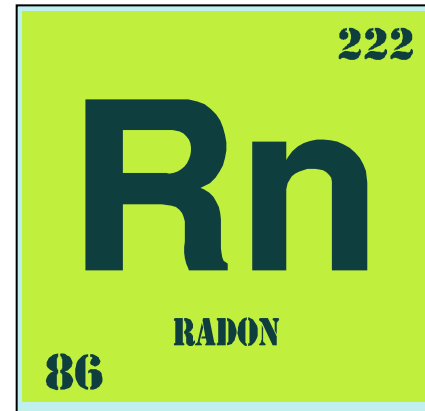
宇宙から  
0.39 mSv/年



大地等から  
0.48 mSv/年



食べ物から  
0.29 mSv/年



ラドンガス等  
吸入

1.26 mSv/年

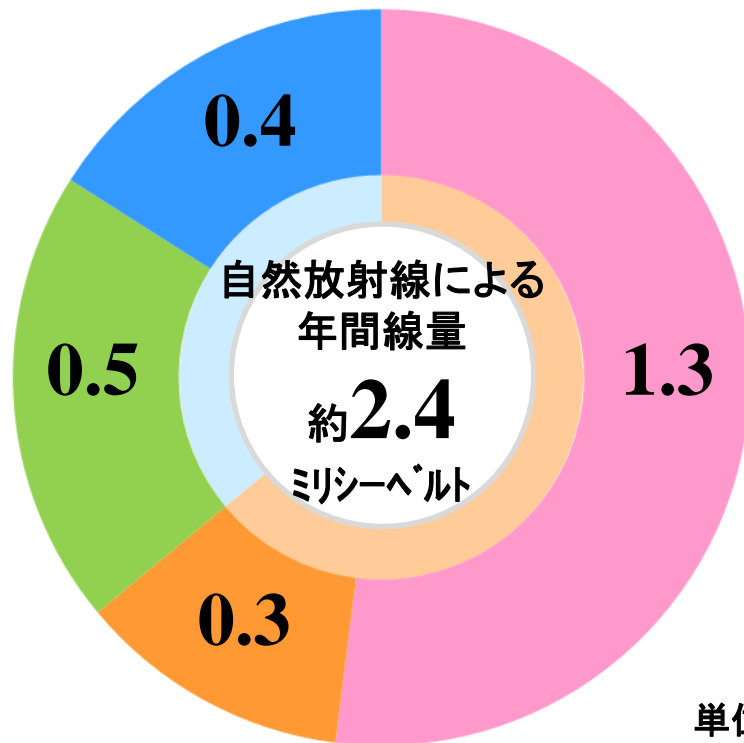
自然放射線の年間平均は2.4 mSv  
(1-10 mSv/年)

UNSCEAR 2000 より; 世界平均

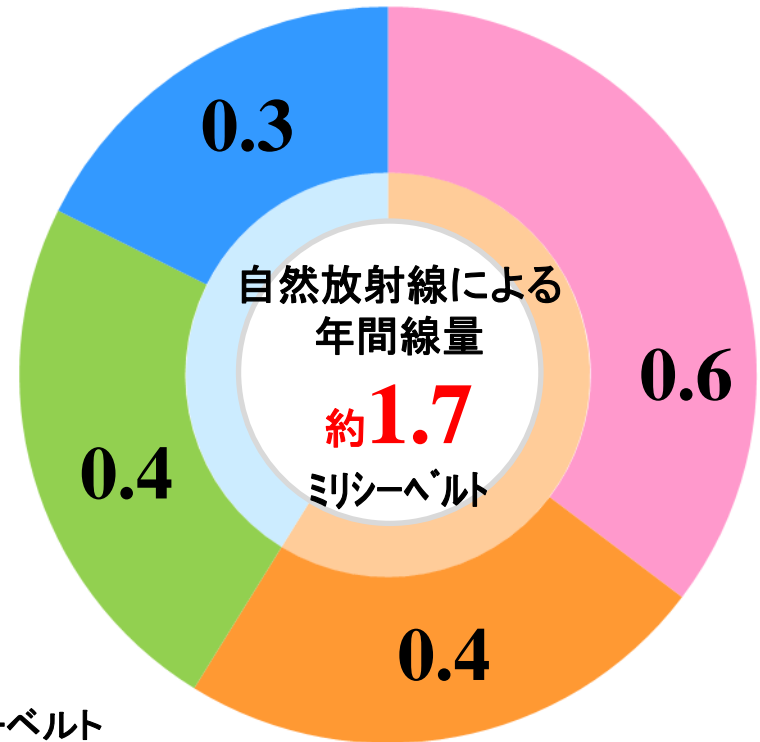
# 自然放射線から受ける線量

## 1人当たりの年間線量

### 世界平均



### 日本平均



単位:ミリシーベルト

#### 内部線量

- 吸入により (主にラドン)
- 食物などから

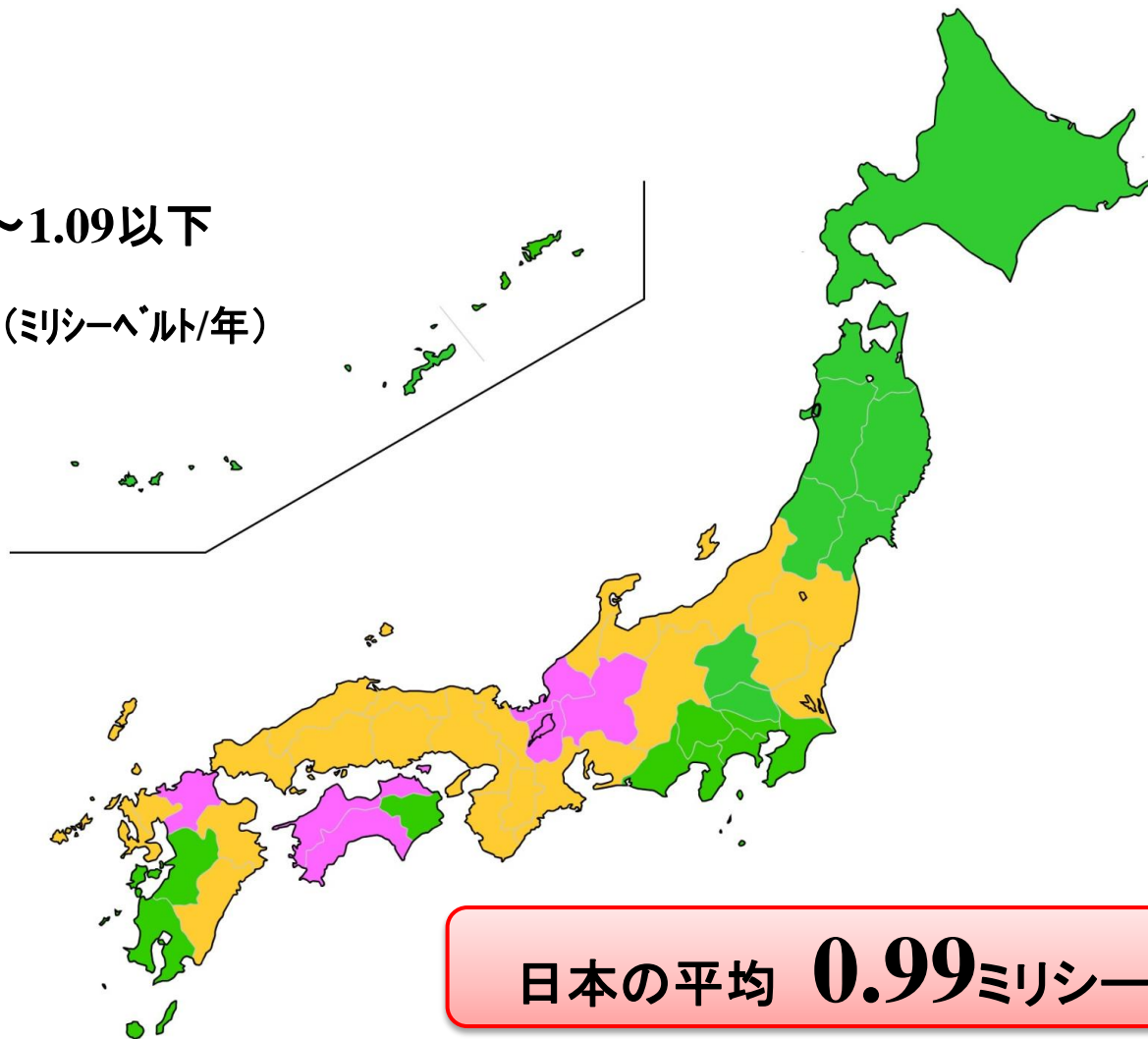
#### 外部線量

- 大地から
- 宇宙線から

# 日本国内の年間自然放射線の量

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

- 0.99以下
- 1.00以上～1.09以下
- 1.10以上 (ミリシーベルト/年)



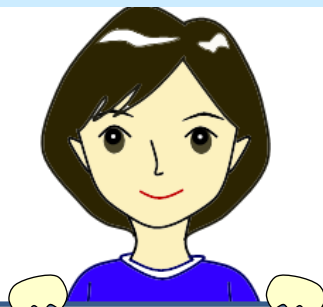
日本の平均 **0.99**ミリシーベルト/年



# 世界の高自然放射線地域

国名	都市	要因	平均	最高
			(mSv/年)	
中国	広東省 陽江県	トリウムを含む砂	3.5	5.4
インド	ケララ州	//	3.8	35
ブラジル	ガラパリ	//	5.5	35
イラン	ラムサール	温泉の噴出による ラジウム	10.2	260

# 体内の放射性物質(1)



食べものに含まれるカリウム40の量

Bq / kg or L



食パン  
30



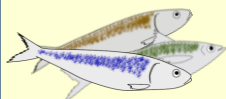
米  
30



ホウレンソウ  
200



干しいたけ  
700



魚  
100



ポテトチップ  
400



干しコンブ  
2,000



牛乳  
50



ビール  
10



体内の放射性物質の量  
(カリウム40)

体重60kgの  
日本人の場合

4,000

ベクレル



# 体内の放射性物質(2)

カリウム40 ※1	4000 Bq
炭素14 ※2	2500 Bq
ルビジウム87 ※1	500 Bq
鉛・ポロニウム ※3	20 Bq

---

(Bq : ベクレル)  
(体重60kg、日本人の場合)

※1 : 地球起源の核種

※2 : 宇宙線起源の核種

※3 : 地球起源のウラン系列の核種

# 放射線の人体への影響

身体的影響  
(本人のみ)

急性障害

急性放射線症

骨髄障害

消化管障害

神経障害

皮膚の紅斑

脱毛

不妊など

晩発性  
障害

白内障

がん(固形がん、白血病など)

遺伝的影響  
(子孫に現れる)

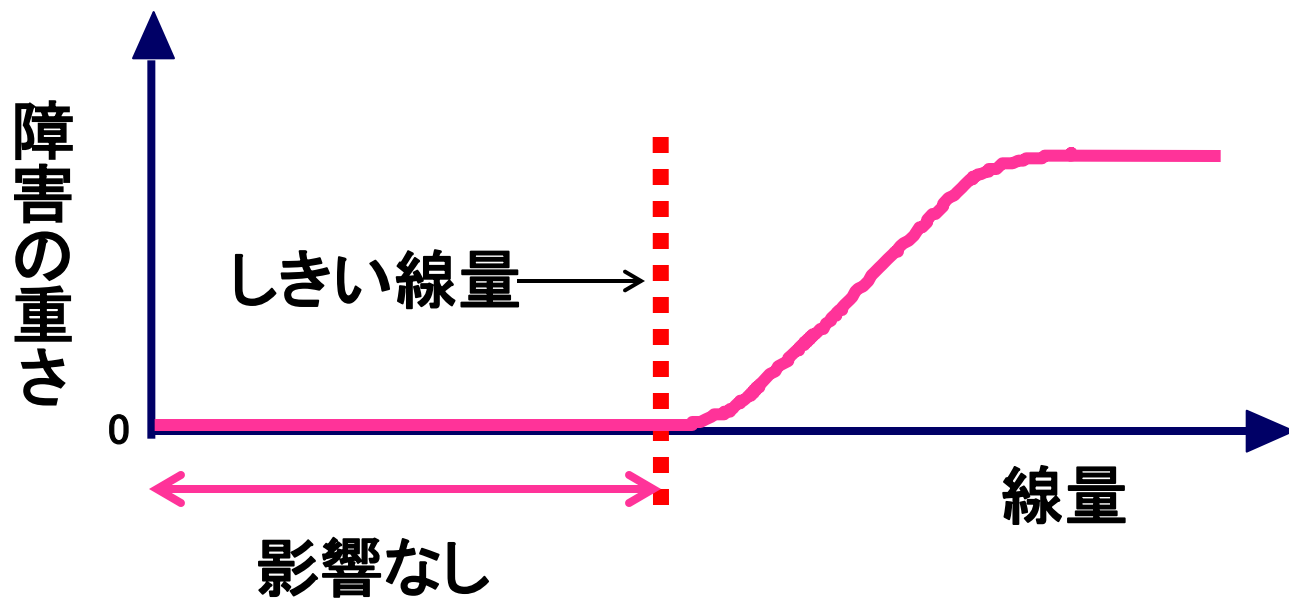
遺伝病

(人では観察されていない)

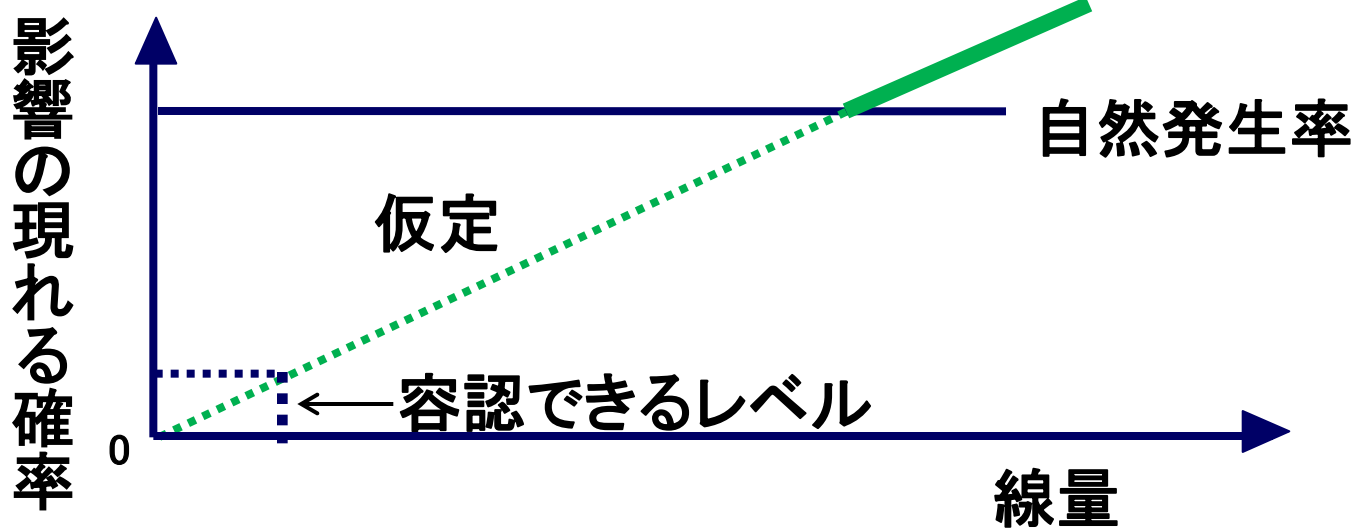
確定的影響

確率的影響

## 確定的影響



## 確率的影響



# どうして線量が低いと「影響なし」と言えるの？

放射線

DNA



あ！  
壊れてる！

監視



壊れた所を切り  
取って直そう！

修復



やあ！  
元通りに直せたぞ  
バンザイ！

確認



Volume 37 Nos. 2-4 2007

ISSN 0146-6453  
ISBN 978-0-7020-3048-2

# ICRP

## Annals of the ICRP

ICRP Publication 103

The 2007 Recommendations of the International  
Commission on Radiological Protection



# 国際放射線防護委員会

International Commission on Radiation Protection  
(ICRP)

- ◆ **非政府組織 (NGO)**
- ◆ **多くの勧告を出版**
  - 1928年に設立
  - 主委員会の下に専門分野を話し合う5つの委員会を持つ

# しきい値（閾値）

臨床的に異常が明らかかな症状の  
しきい線量

（1%の人々に影響を生ずる線量）

# 確定的影響のしきい値の推定値 (1)

影響	器官/組織	発症までの期間	受けた線量 (シーベルト)
<b>罹患率:</b>			1%の人に生じる
一時的な不妊	精巣	3-9週間	~0.1 <sup>a,b</sup>
永久不妊	精巣	3週間	~6 <sup>a,b</sup>
永久不妊	卵巣	< 1週間	~3 <sup>a,b</sup>
造血能低下	骨髄	3-7日間	~0.5 <sup>a,b</sup>
皮膚の発赤	皮膚 (広範囲)	1-4 週間	<3-6 <sup>b</sup>
放射線熱傷	皮膚 (広範囲)	2-3 週間	5-10 <sup>b</sup>
一時的な脱毛	皮膚	2-3 週間	~4 <sup>b</sup>
白内障 (視力障害)	水晶体	数年	~1.5 <sup>a,c</sup>

a ICRP(1984)

b UNSCEAR(1988)

c Edwards and Lloyd(1996)



# 確定的影響のしきい値の推定値 (2)

影響	器官/組織	発症までの期間	受けた線量 (シーベルト)
<b>罹患率:</b>			1%の人に生じる
<b>骨髄症候群:</b>			
- 治療なし	骨髄	30-60 日間	~1 <sup>b</sup>
- 適切な治療	骨髄	30-60日間	2-3 <sup>b,d</sup>
<b>胃腸の障害:</b>			
- 治療なし	小腸	6-9日間	~6 <sup>d</sup>
- 適切な治療	小腸	6-9日間	>6 <sup>b,c,d</sup>
<b>肺臓炎:</b>	肺	1-7 ヶ月	6 <sup>b,c,d</sup>

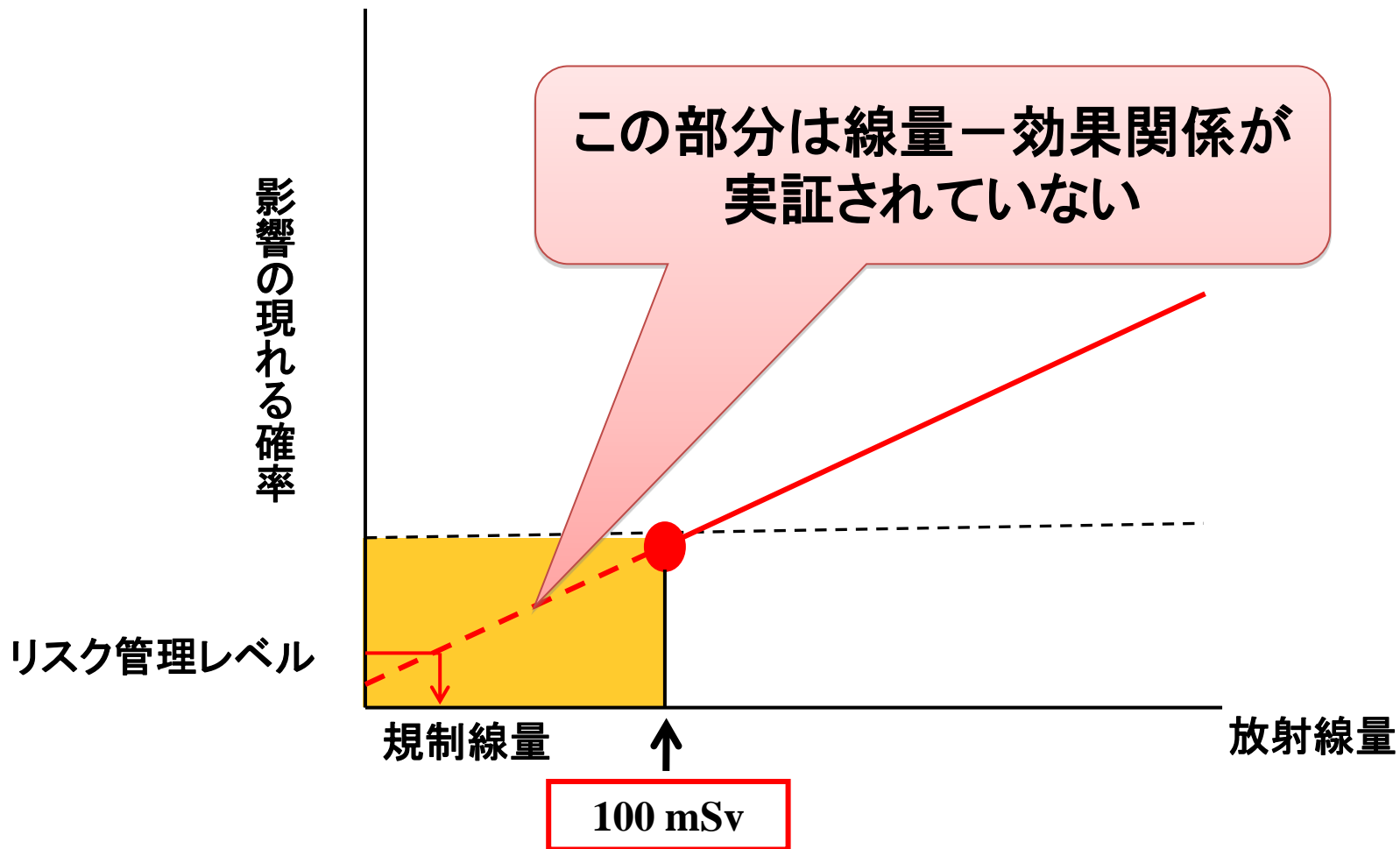
a ICRP(1984)

b UNSCEAR(1988)

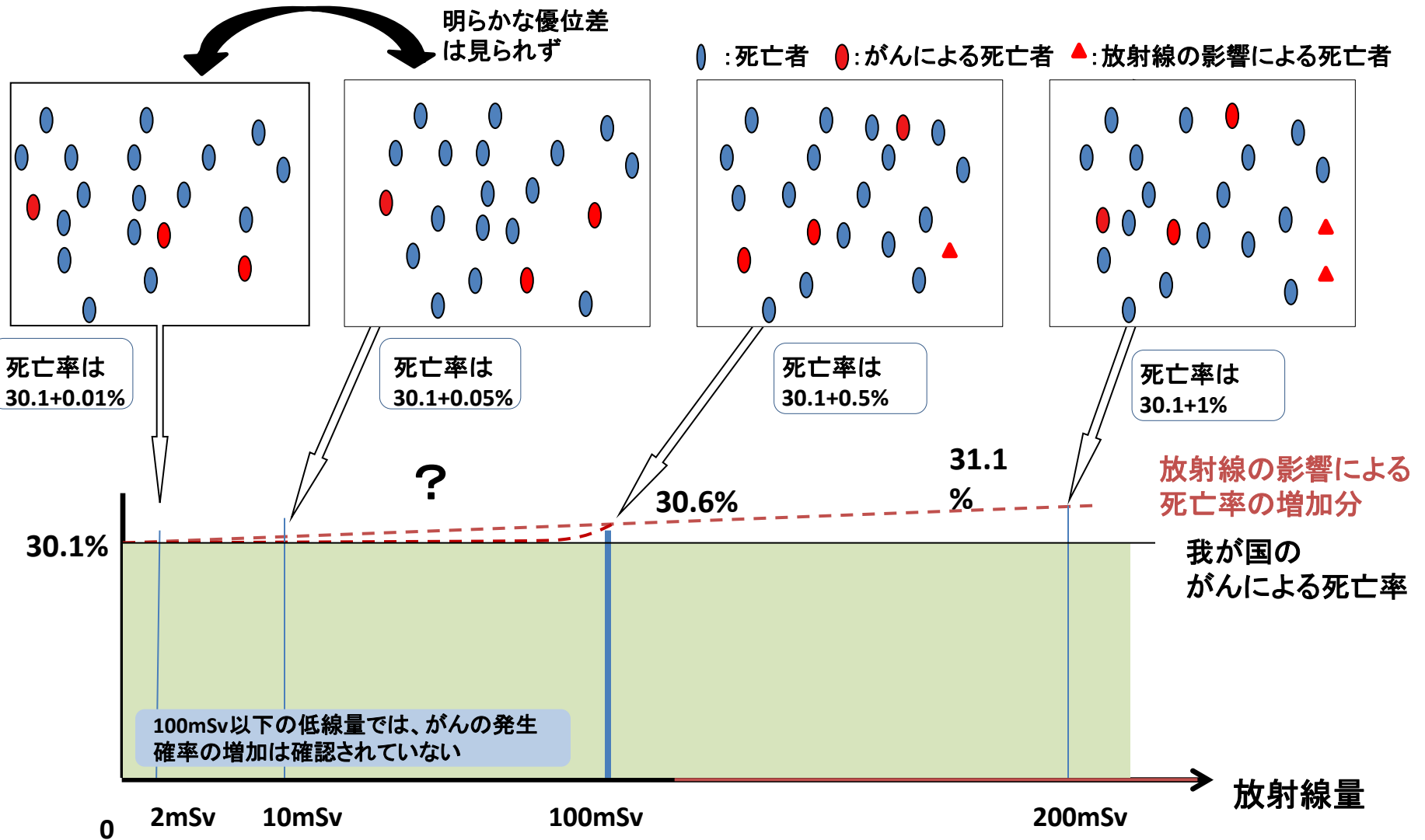
c Edwards and Lloyd(1996)

d Scott and Hahn (1989), Scott (1993)

# 放射線による確率的影響



# 放射線によるがんの増加等



我が国の悪性新生物による死亡は、死因の30.1%(平成21年(2009)人口動態統計(確定数))  
 = 死亡者1000人中301人が悪性新生物で死亡

# 100mSvの被ばくによるがん死亡率の増加

我が国の悪性新生物による死亡率：30.1%

(平成21年(2009)人口動態統計(確定数))

= 1000人中301人が悪性新生物で死亡



100mSvの被ばく：「悪性新生物による死亡率が0.5%増加」

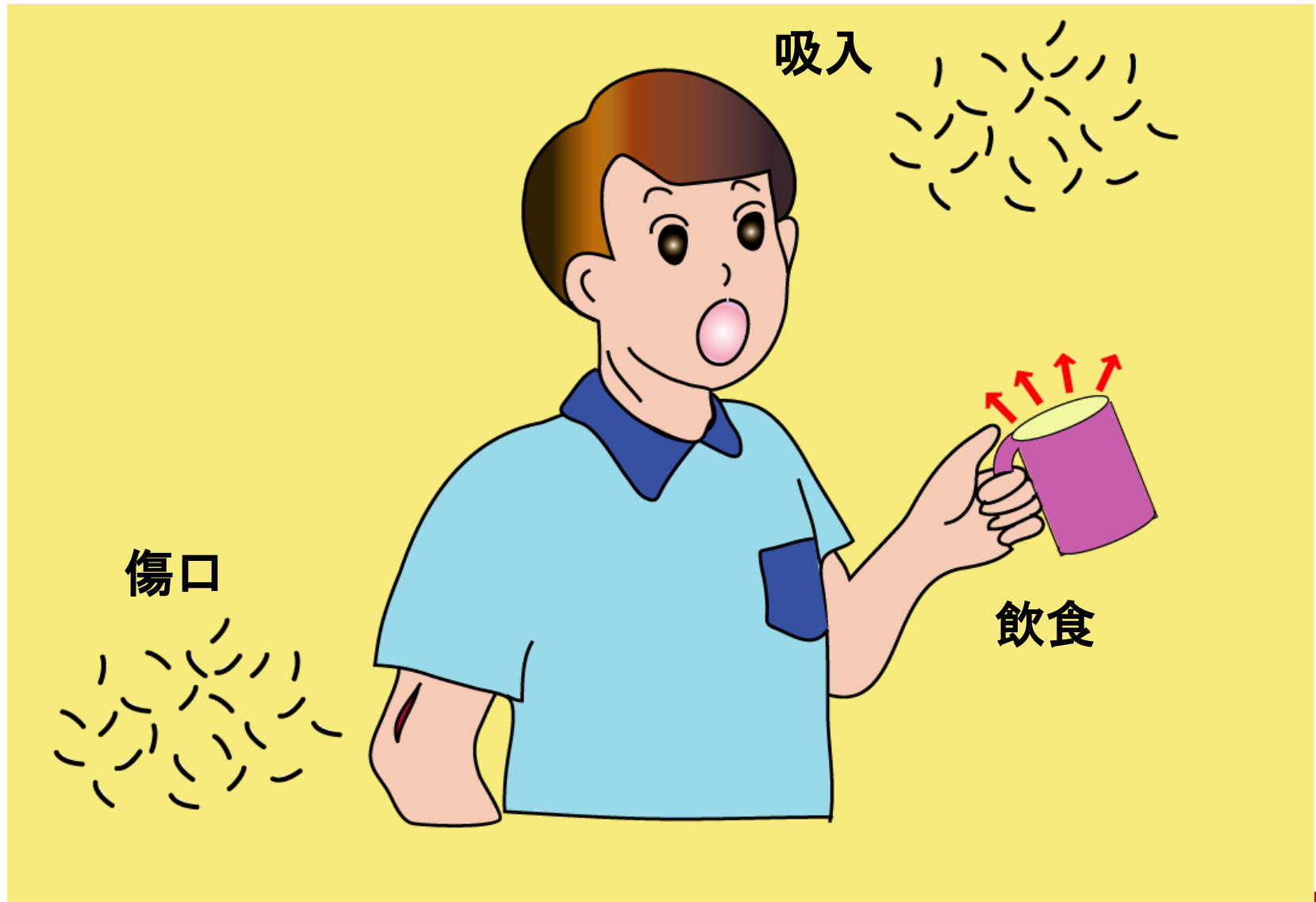
= 1000人につき悪性新生物による死亡が5人増加



1000人中  $301 + 5 = 306$ 人が悪性新生物で死亡

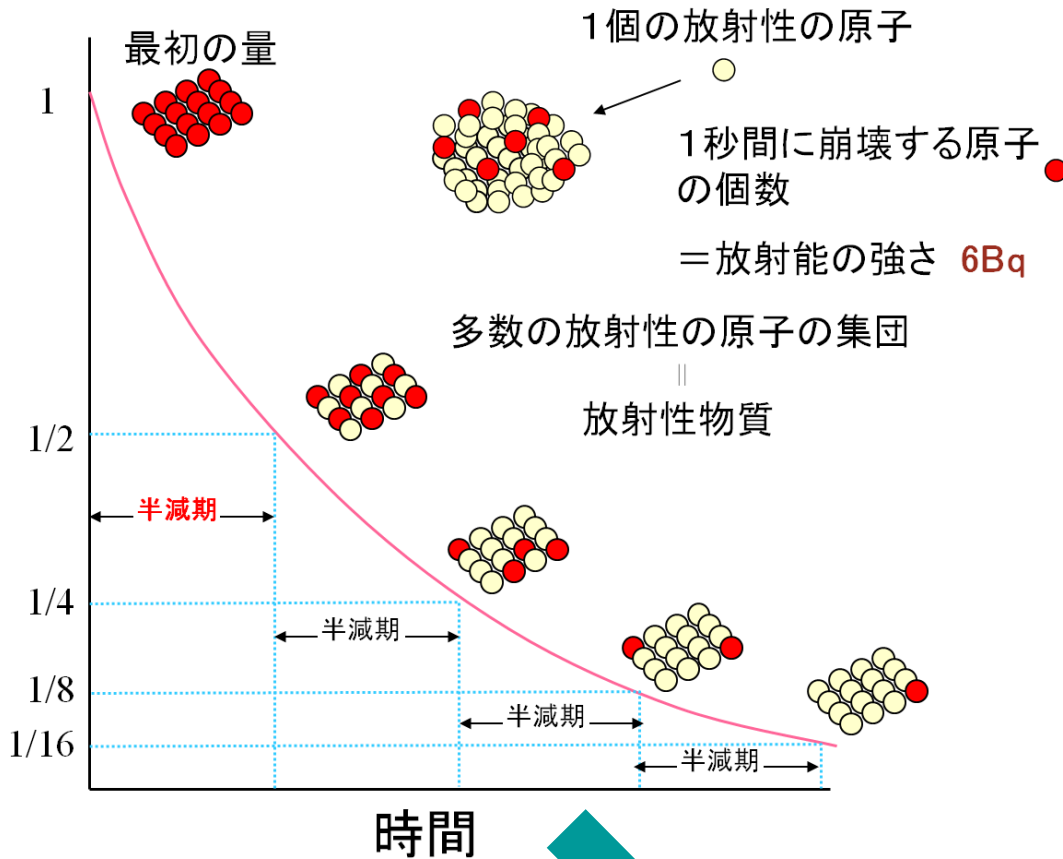
**内部被ばく**

# 内部被ばくの経路

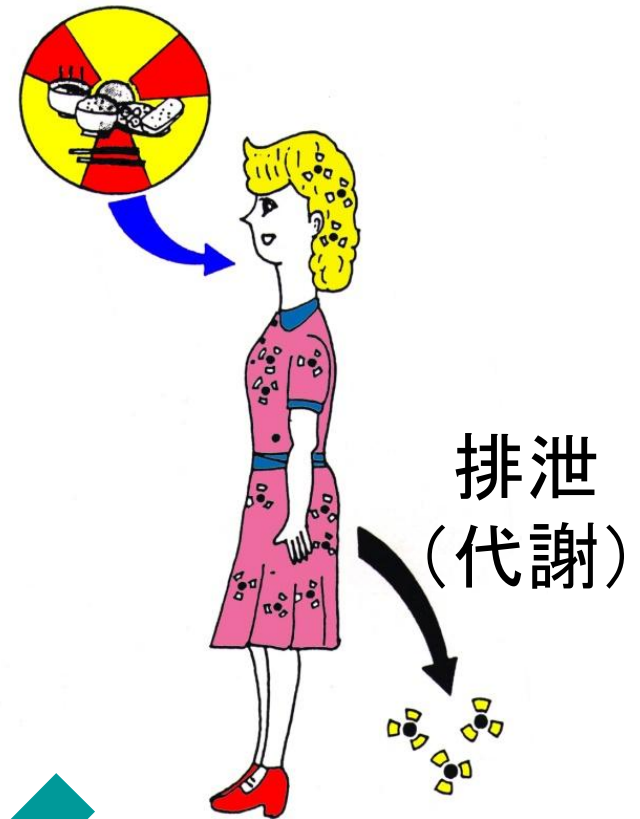


# 内部被ばくで考えるべきこと

## 物理学的半減期



## 生物学的半減期



影響 (実効半減期)

# 内部被ばくの特徴

- ◆ 症状が出ない
- ◆ 線量は預託線量
- ◆ 線量は治療により減少



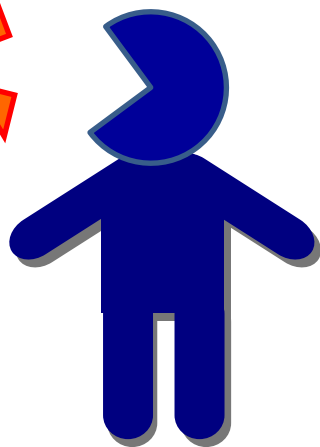
# 食品を介した健康影響

# 内部被ばく線量計算



プルーム

吸入  
経口



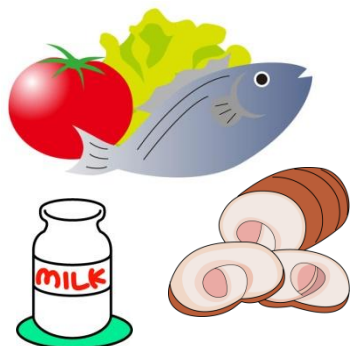
実効線量係数  
(Sv/Bq)



□□ Sv

被ばく線量

〇〇 Bq / kg



△△Bq  
摂取

# 飲食物摂取制限に関する指標について

平成10年3月6日

原子力安全委員会  
原子力発電所等周辺防災対策専門部会  
環境ワーキンググループ

# 単位経口摂取量当りの線量 (mSv/Bq)

		成人	幼児(5歳)	乳児
<sup>89</sup> Sr	(実効線量)	$2.6 \times 10^{-6}$	$8.9 \times 10^{-6}$	$3.6 \times 10^{-5}$
<sup>90</sup> Sr	( // )	$2.8 \times 10^{-5}$	$4.7 \times 10^{-5}$	$2.3 \times 10^{-4}$
<sup>132</sup> Te	(甲状腺等価線量)	$2.9 \times 10^{-5}$	$1.6 \times 10^{-4}$	$6.2 \times 10^{-4}$
<sup>131</sup> I	( // )	$4.3 \times 10^{-4}$	$2.1 \times 10^{-3}$	$3.7 \times 10^{-3}$
<sup>132</sup> I	( // )	$3.4 \times 10^{-6}$	$1.9 \times 10^{-5}$	$4.0 \times 10^{-5}$
<sup>133</sup> I	( // )	$8.3 \times 10^{-5}$	<u><math>4.6 \times 10^{-4}</math></u>	<u><math>9.8 \times 10^{-4}</math></u>
<sup>134</sup> I	( // )	$5.5 \times 10^{-7}$	<u><math>3.1 \times 10^{-6}</math></u>	<u><math>6.5 \times 10^{-6}</math></u>
<sup>135</sup> I	( // )	$1.6 \times 10^{-5}$	<u><math>8.9 \times 10^{-5}</math></u>	<u><math>1.9 \times 10^{-4}</math></u>
<sup>134</sup> Cs	(実効線量)	$1.9 \times 10^{-5}$	$1.3 \times 10^{-5}$	$2.6 \times 10^{-5}$
<sup>137</sup> Cs	( // )	$1.4 \times 10^{-5}$	$9.7 \times 10^{-6}$	$2.1 \times 10^{-5}$
<sup>238</sup> Pu	( // )	$2.3 \times 10^{-4}$	$3.1 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-3}$
<sup>239</sup> Pu	( // )	$2.5 \times 10^{-4}$	$3.3 \times 10^{-4}$	$4.2 \times 10^{-3}$
<sup>240</sup> Pu	( // )	$2.5 \times 10^{-4}$	$3.3 \times 10^{-4}$	$4.2 \times 10^{-3}$
<sup>241</sup> Pu	( // )	$4.8 \times 10^{-6}$	$5.5 \times 10^{-6}$	$5.7 \times 10^{-5}$
<sup>241</sup> Am	( // )	$2.1 \times 10^{-4}$	$2.8 \times 10^{-4}$	$3.7 \times 10^{-3}$

# 年齢層1日当りの飲食物摂取量

(kg またはリットル)

飲食物の種類	成人	幼児	乳児
飲料水	1.65 <sup>1)</sup>	1.0 <sup>2)</sup>	0.71 <sup>3)</sup>
牛乳、乳製品 <sup>4)</sup>	0.2	0.5	0.6
野菜類 <sup>5), 6)</sup>	0.6	0.25	0.105
穀類 <sup>6), 8)</sup>	0.3	0.11	0.055
肉、卵、魚介類、その他 <sup>7), 8)</sup>	0.5	0.105	0.05
全食品(飲料水を除く)	1.6 <sup>9)</sup>	0.965	0.81 <sup>10)</sup>

- 1) ICRP Publ. 23による、一日当り総水摂取量3000 ml から、牛乳300 ml を除いた数字。結局、水道水150 ml とその他1500 ml の和である。
- 2) 幼児についての値は、“原子力発電所周辺の防災対策について”(昭和55年6月、平成元年3月改定、原子力安全委員会) p.43 の幼児の1日当り飲料水摂取量によった。
- 3) IAEA SS 81の1年当り260リットル(p.63 のWater and beverages)を用いた。
- 4) “発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針”(原子力安全委員会)第5表によった。
- 5) 葉菜、果花菜、きのこ、果実、海藻、及び、根菜、芋類。
- 6) 米、豆類等、可食部が地上部にあつて殻で覆われている食品群として一括。
- 7) 牛乳を除く動物蛋白質食品、牛肉以外の汚染レベルは低いと考えられる。
- 8) 付表3.2 及び付表3.3 によった。
- 9) 厚生省「国民栄養調査」昭和59年と60年の平均は、1.35 kg である(参考値)。
- 10) WHO、“Derived Intervention Levels for Radionuclides in Food”(1988)で乳児は、1年に275 kg の牛乳と275 kg の水を摂取するとしている。その牛乳の275 kg を1日当りにすると0.75 kg となる。

# 食品衛生法の暫定規制値

核種	食品衛生法(昭和22年法律第233号)の規定に基づく食品中の放射性物質に関する暫定規制値(Bq/Kg)	
放射性ヨウ素	飲料水	300
	牛乳・乳製品 注)	
	野菜類(根菜、芋類を除く)	2,000
魚介類		
放射性セシウム	飲料水	200
	牛乳・乳製品	
	野菜類	500
	穀類	
	肉・卵・魚・その他	
ウラン	乳幼児用食品	20
	飲料水	
	牛乳・乳製品	
	野菜類	100
	穀類	
	肉・卵・魚・その他	
プルトニウム及び超ウラン 元素のアルファ核種	乳幼児用食品	1
	飲料水	
	牛乳・乳製品	
	野菜類	10
	穀類	
	肉・卵・魚・その他	

注) 100Bq/Kgを超えるものは、乳児用調整粉及び直接飲用に供する乳に使用しないよう指導すること。

# 飲食物摂取制限における指標

- 放射性ヨウ素 50 mSv / 年 (甲状腺等価線量)  
2 mSv / 年 (実効線量)
- セシウム 5 mSv / 年 (実効線量)

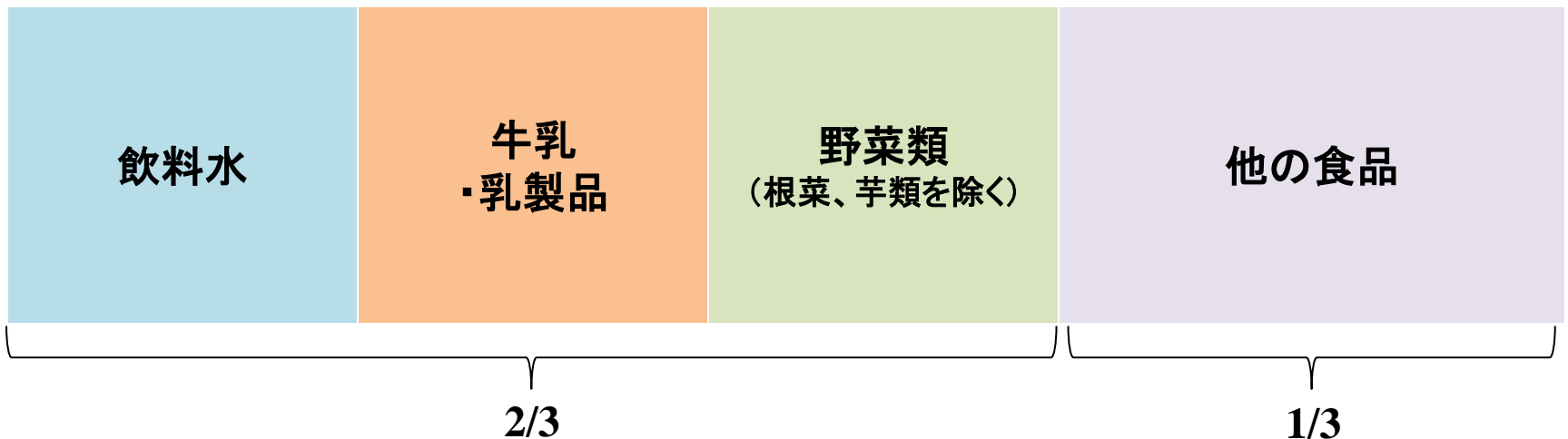
# 原子力安全委員会による 飲食物摂取制限に関する指標の考え方(1)

## 放射性ヨウ素

- ・1988年に、WHOは、甲状腺照射後の非致死性がんの発生や、ヨウ素131 が潜在的に甲状腺だけを照射する能力から、甲状腺等価線量として50mSv という制限値を取ることにしたとの見解

\* 食品安全委員会「放射性物質に関する緊急とりまとめ」から抜粋

- ・甲状腺(等価)線量に相当する各食品カテゴリー毎の摂取制限指標(単位摂取量当たりの放射能)を算出

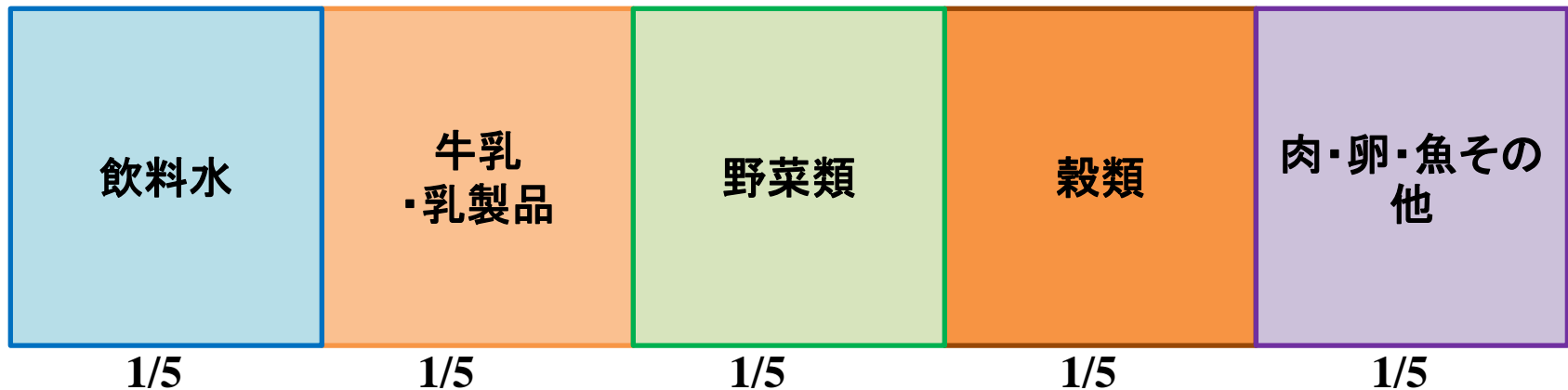




# 原子力安全委員会による 飲食物摂取制限に関する指標の考え方(2)

## 放射性セシウム

- ・自然環境下においても 10mSv 程度の被ばくが認められている地域が存在。10～20mSv までなら特段の健康影響は考えられないことから、食品由来の放射線被ばくを防ぐ上でかなり安全側に立ち、年間 5mSv と評価
- ・実効線量5mSv／年を各食品カテゴリーに均等に1/5ずつ割り当て、各食品カテゴリー毎に<sup>134</sup>Cs及び<sup>137</sup>Csについての摂取制限指標を算出



# 線量の計算例 成人(1)

## 放射性セシウム ( $^{137}\text{Cs}$ ) の場合

### — 規制値 —

飲料水

$$200 \text{ Bq / リットル} \times 1.65 \text{ リットル / 日} = 330 \text{ Bq / 日}$$

$^{137}\text{Cs}$  (セシウム) の場合:  $1.4 \times 10^{-5} \text{ mSv / Bq}$

$$\underbrace{330 \text{ Bq} \times 1.4 \times 10^{-5} \text{ mSv / Bq}}_{462} = 0.0046 \text{ mSv}$$

$$= 4.6 \mu\text{Sv}$$

実効線量

# 線量の計算例 成人(2)

## 放射性ヨウ素 ( $^{131}\text{I}$ ) の場合

### — 規制値 —

飲料水

$$300 \text{ Bq / ㍓} \times 1.65 \text{ ㍓ / 日} = 495 \text{ Bq / 日}$$

$^{131}\text{I}$  (ヨウ素) の場合:  $4.3 \times 10^{-4} \text{ mSv / Bq}$

$$495 \text{ Bq} \times 4.3 \times 10^{-4} \text{ mSv / Bq}$$

2128.5

$$= 0.21 \text{ mSv}$$

甲状腺等価線量

# 線量の計算例 5歳の幼児(1)

## 放射性セシウム( $^{137}\text{Cs}$ )の場合

### — 規制値 —

飲料水

$$200 \text{ Bq / ㍓} \times 1.0 \text{ ㍓ / 日} = 200 \text{ Bq / 日}$$

$^{137}\text{Cs}$  (セシウム)の場合:  $9.7 \times 10^{-6} \text{ mSv / Bq}$

$$\underbrace{200 \text{ Bq}}_{1940} \times 9.7 \times 10^{-6} \text{ mSv / Bq} = 0.0019 \text{ mSv}$$

$$= 1.9 \mu\text{Sv}$$

実効線量

# 線量の計算例 5歳の幼児(2)

## 放射性ヨウ素 ( $^{131}\text{I}$ ) の場合

### — 規制値 —

飲料水

$$300 \text{ Bq} / \text{リットル} \times 1.0 \text{ リットル} / \text{日} = 300 \text{ Bq} / \text{日}$$

$^{131}\text{I}$  (ヨウ素) の場合:  $2.1 \times 10^{-3} \text{ mSv} / \text{Bq}$

$$\underbrace{300 \text{ Bq}} \times 2.1 \times 10^{-3} \text{ mSv} / \text{Bq}$$

630

$$= 0.63 \text{ mSv}$$

甲状腺等価線量

# 線量の計算例 乳児(1)

## 放射性セシウム( $^{137}\text{Cs}$ )の場合

### — 規制値 —

飲料水

$$200 \text{ Bq / ㍓} \times 0.71 \text{ ㍓ / 日} = 142 \text{ Bq / 日}$$

$^{137}\text{Cs}$  (セシウム)の場合:  $2.1 \times 10^{-5} \text{ mSv / Bq}$

$$\underbrace{142 \text{ Bq} \times 2.1 \times 10^{-5} \text{ mSv / Bq}}_{298.2} = 0.0029 \text{ mSv}$$

$$= 2.9 \mu\text{Sv}$$

実効線量

# 線量の計算例 乳児(2)

## 放射性ヨウ素 ( $^{131}\text{I}$ ) の場合

### — 規制値 —

飲料水

$$100 \text{ Bq / ㍓} \times 0.71 \text{ ㍓ / 日} = 71 \text{ Bq / 日}$$

$^{131}\text{I}$  (ヨウ素) の場合:  $3.7 \times 10^{-3} \text{ mSv / Bq}$

$$\underbrace{71 \text{ Bq} \times 3.7 \times 10^{-3} \text{ mSv / Bq}}_{262.7}$$

$$= 0.26 \text{ mSv}$$

甲状腺等価線量

# 線量の計算例 成人

## 放射性セシウム ( $^{137}\text{Cs}$ ) の場合

### — 汚染牛肉 —

$$\begin{array}{l} \text{牛肉} \\ 5,000 \text{ Bq / kg} \end{array} \times 0.2 \text{ kg / 日} = 1,000 \text{ Bq / 日}$$

$^{137}\text{Cs}$  (セシウム) の場合:  $1.4 \times 10^{-5} \text{ mSv / Bq}$

$$1,000 \text{ Bq} \times 1.4 \times 10^{-5} \text{ mSv / Bq} = 0.014 \text{ mSv}$$

$$= 14 \mu\text{Sv}$$

実効線量



# 線量の計算例 5歳の幼児

## 放射性セシウム ( $^{137}\text{Cs}$ ) の場合

### — 汚染牛肉 —

$$\begin{array}{l} \text{牛肉} \\ 5,000 \text{ Bq / kg} \end{array} \times 0.1 \text{ kg / 日} = 500 \text{ Bq / 日}$$

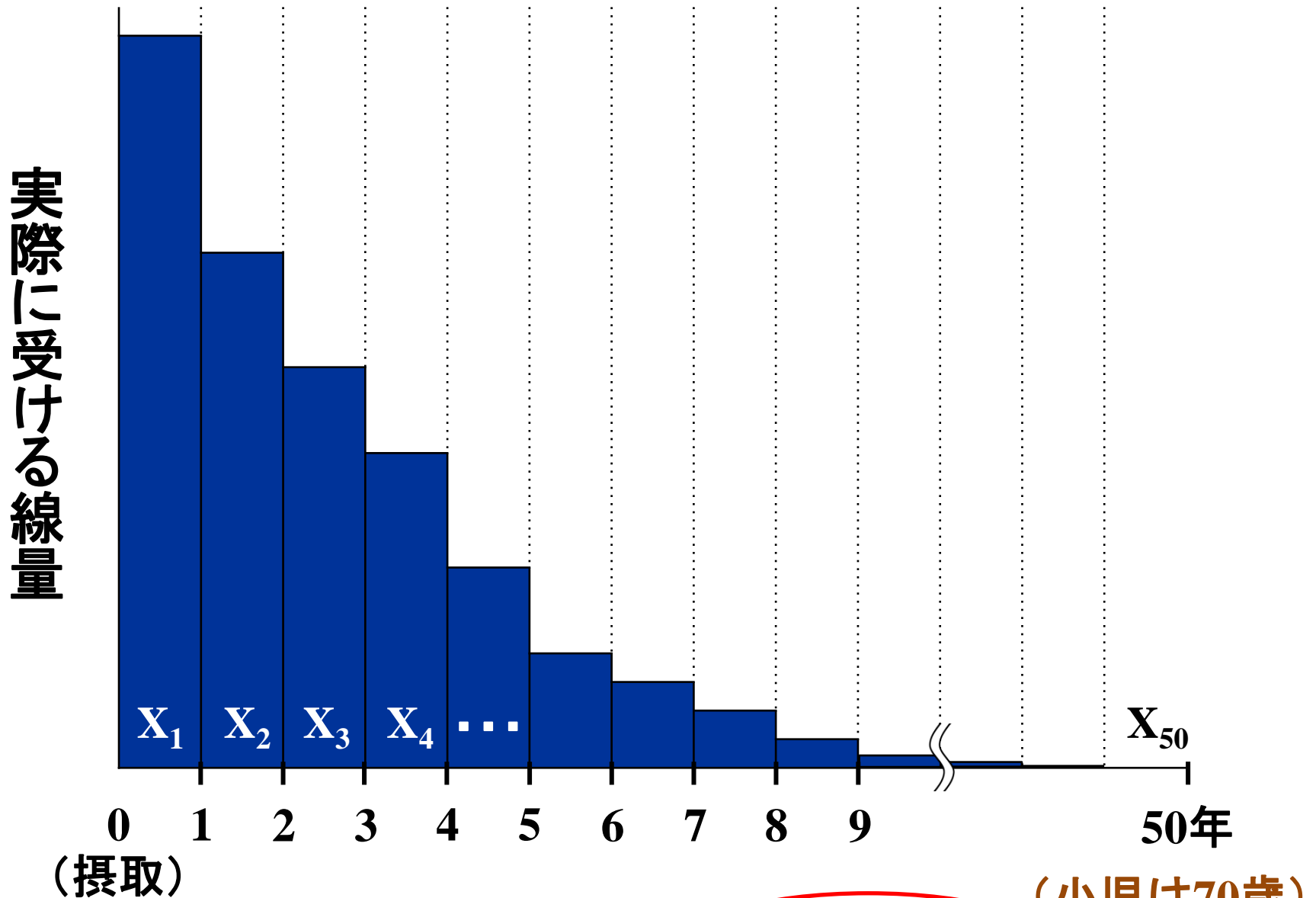
$^{137}\text{Cs}$  (セシウム) の場合:  $9.7 \times 10^{-6} \text{ mSv / Bq}$

$$\begin{aligned} 500 \text{ Bq} \times 9.7 \times 10^{-6} \text{ mSv / Bq} \\ = 0.0049 \text{ mSv} \\ = 4.9 \mu\text{Sv} \end{aligned}$$

実効線量

# 内部被ばくの評価

# 内部被ばくの線量



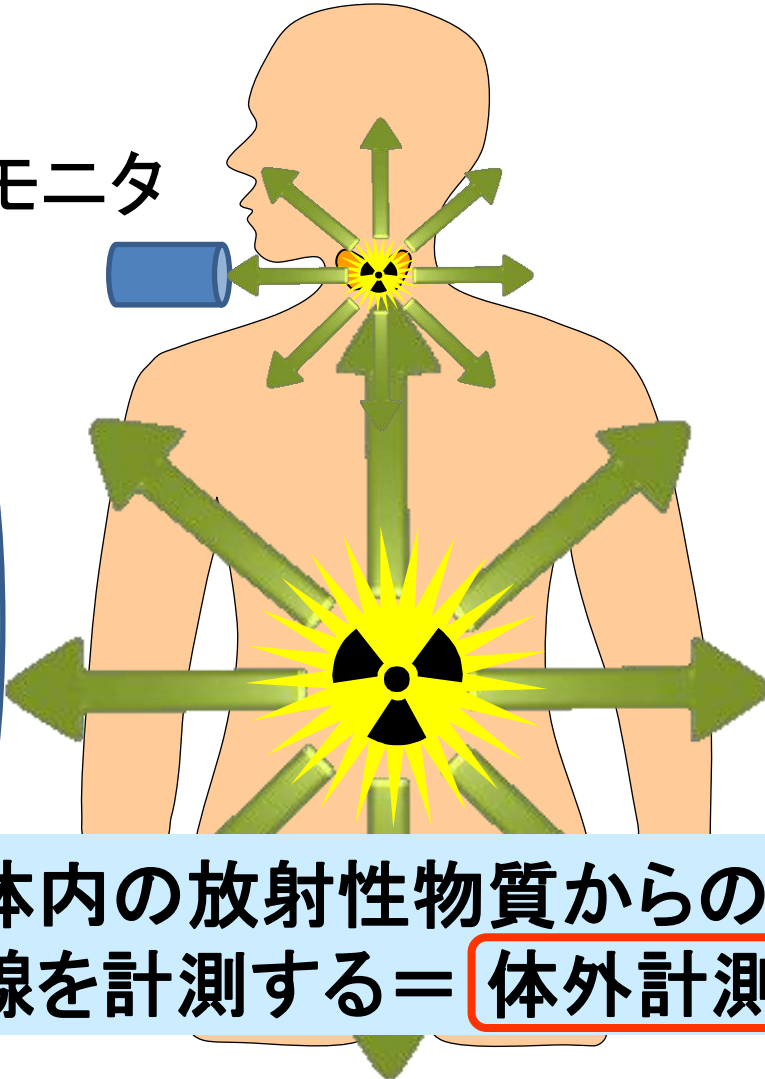
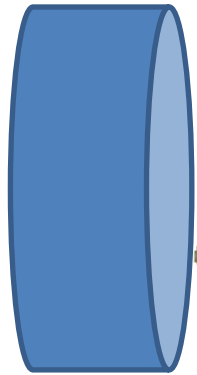
$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \cdots X_{50} = \text{預託実効線量}$$

# 内部被ばくの診断

甲状腺モニタ

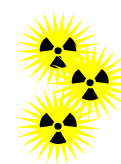


WBC



排泄物に含まれる放射性物質を計測する  
= **バイオアッセイ**

体内の放射性物質からの放射線を計測する = **体外計測法**

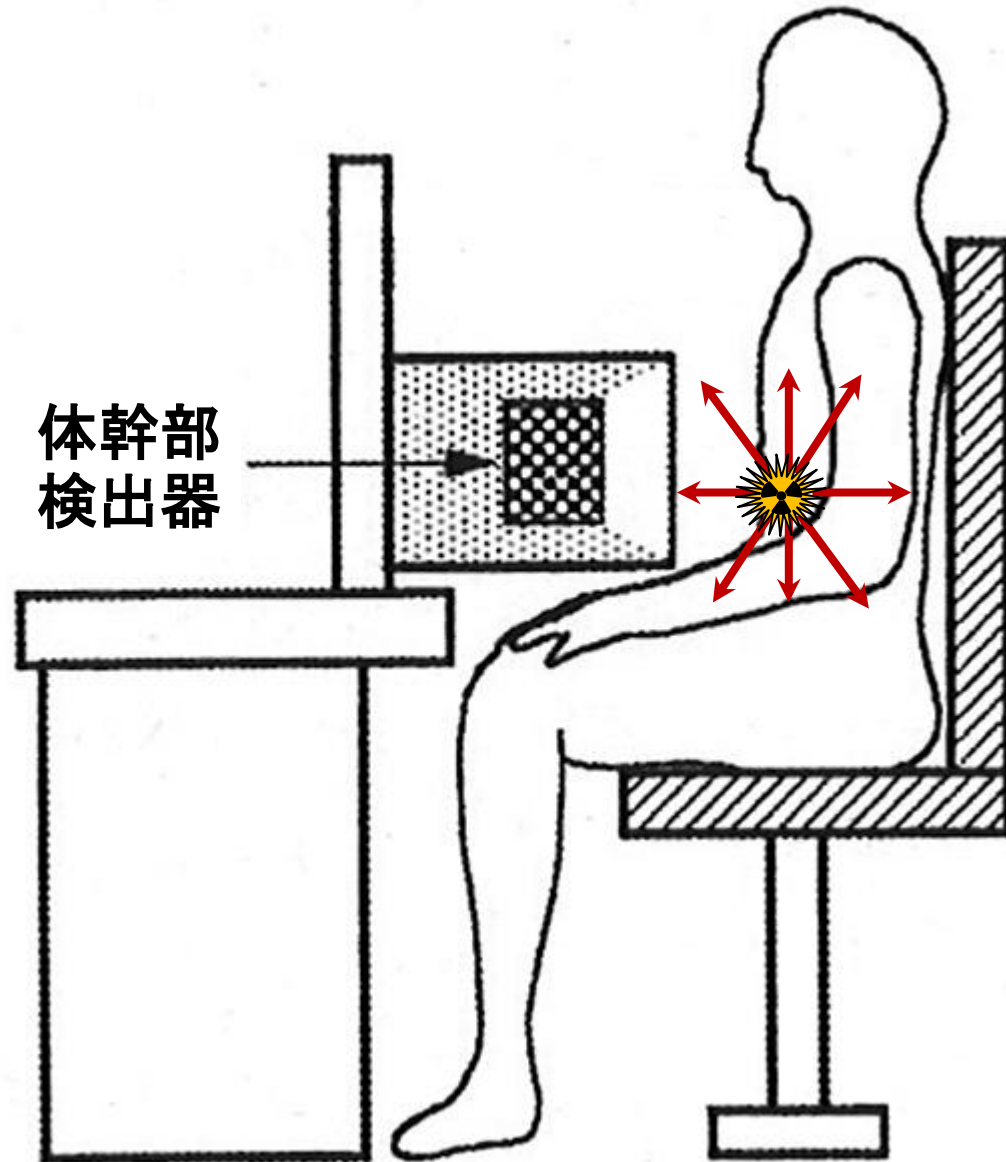


排泄物

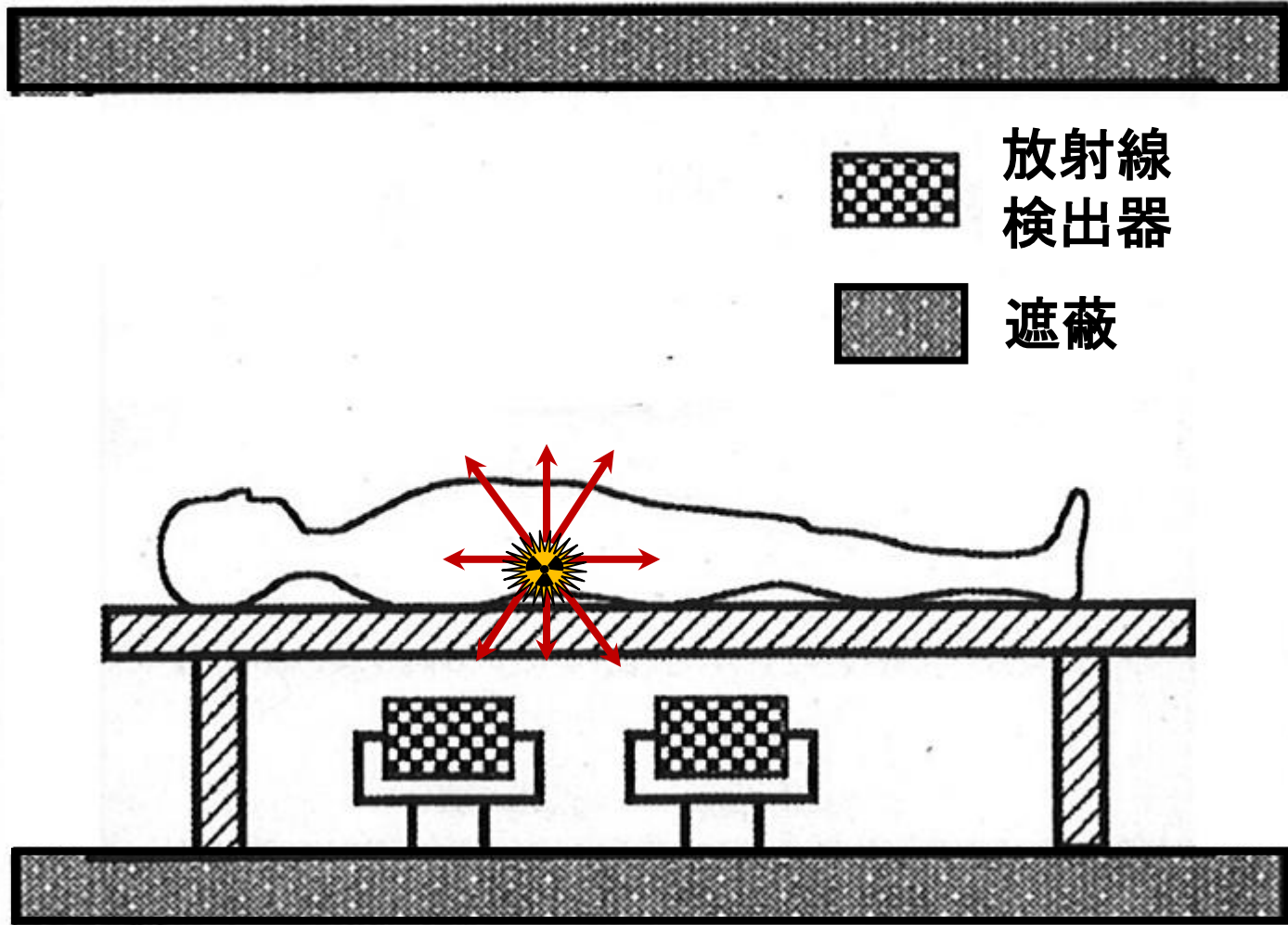
# 体外計測法

- ◆ **Whole body counter (WBC)**  
**全身カウンター**
- ◆ **肺モニター**
- ◆ **甲状腺モニター**

# ホールボディカウンター(WBC)



# ホールボディカウンター(WBC)

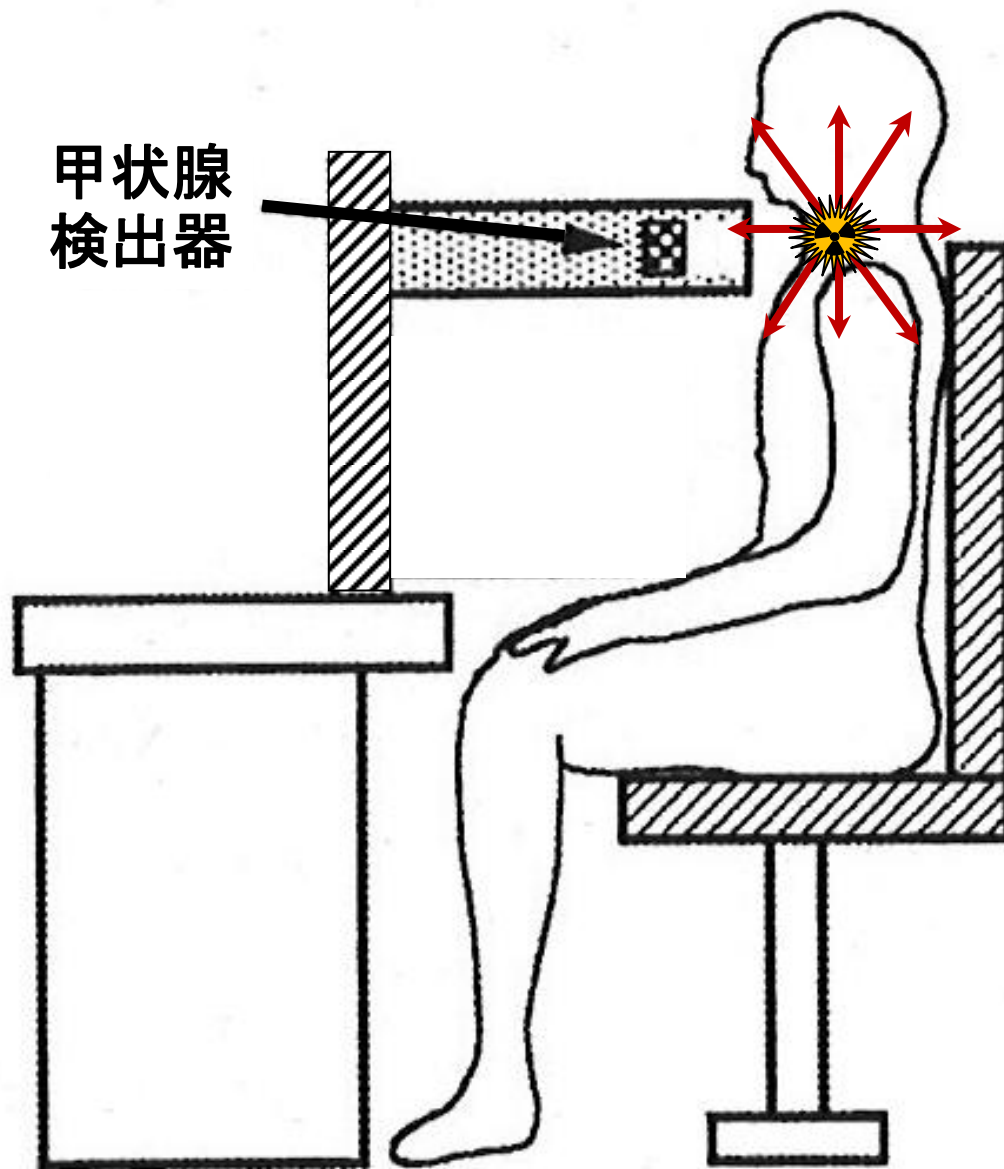


# ホールボディカウンター (WBC)





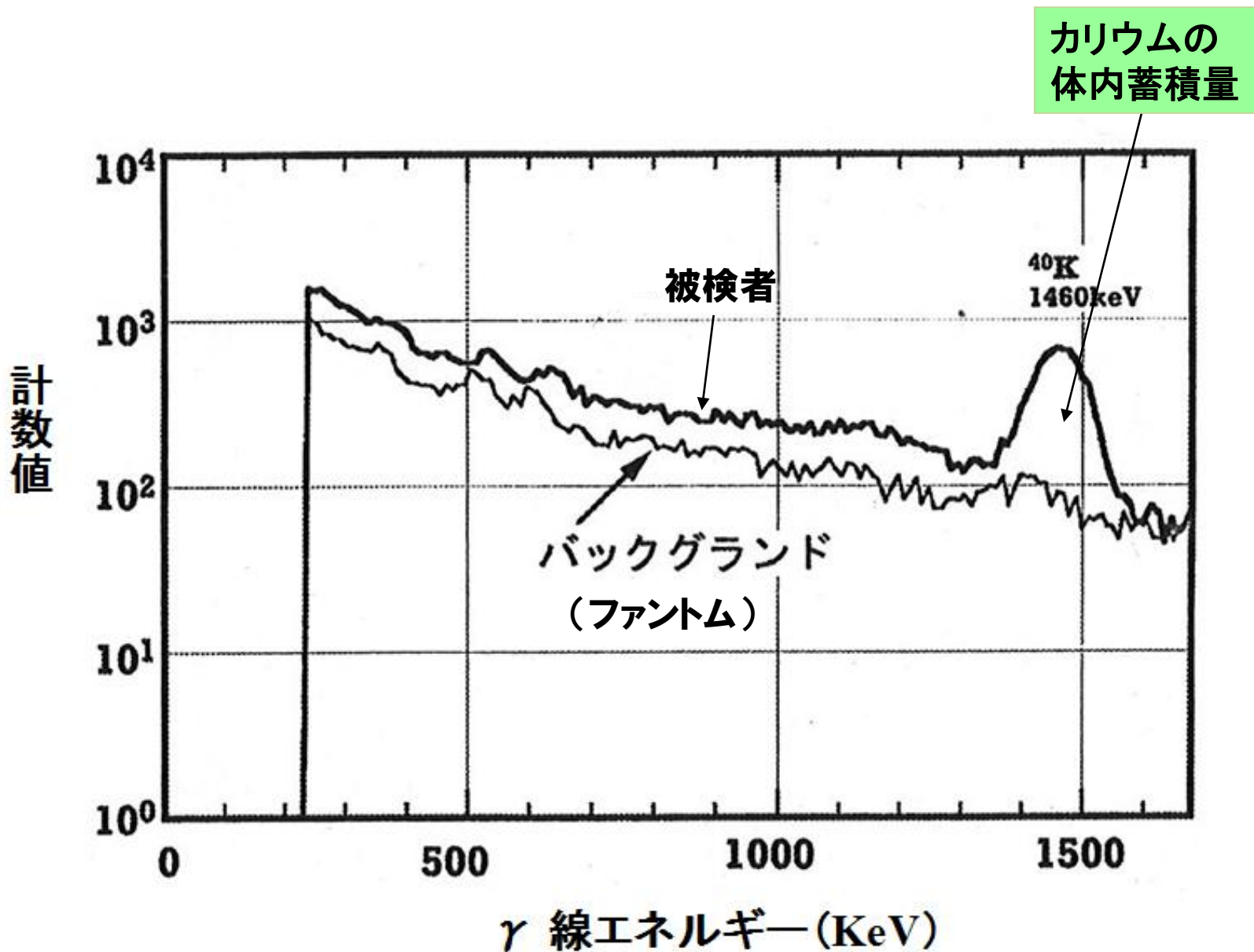
# 甲状腺モ二夕



# 甲状腺モニタ



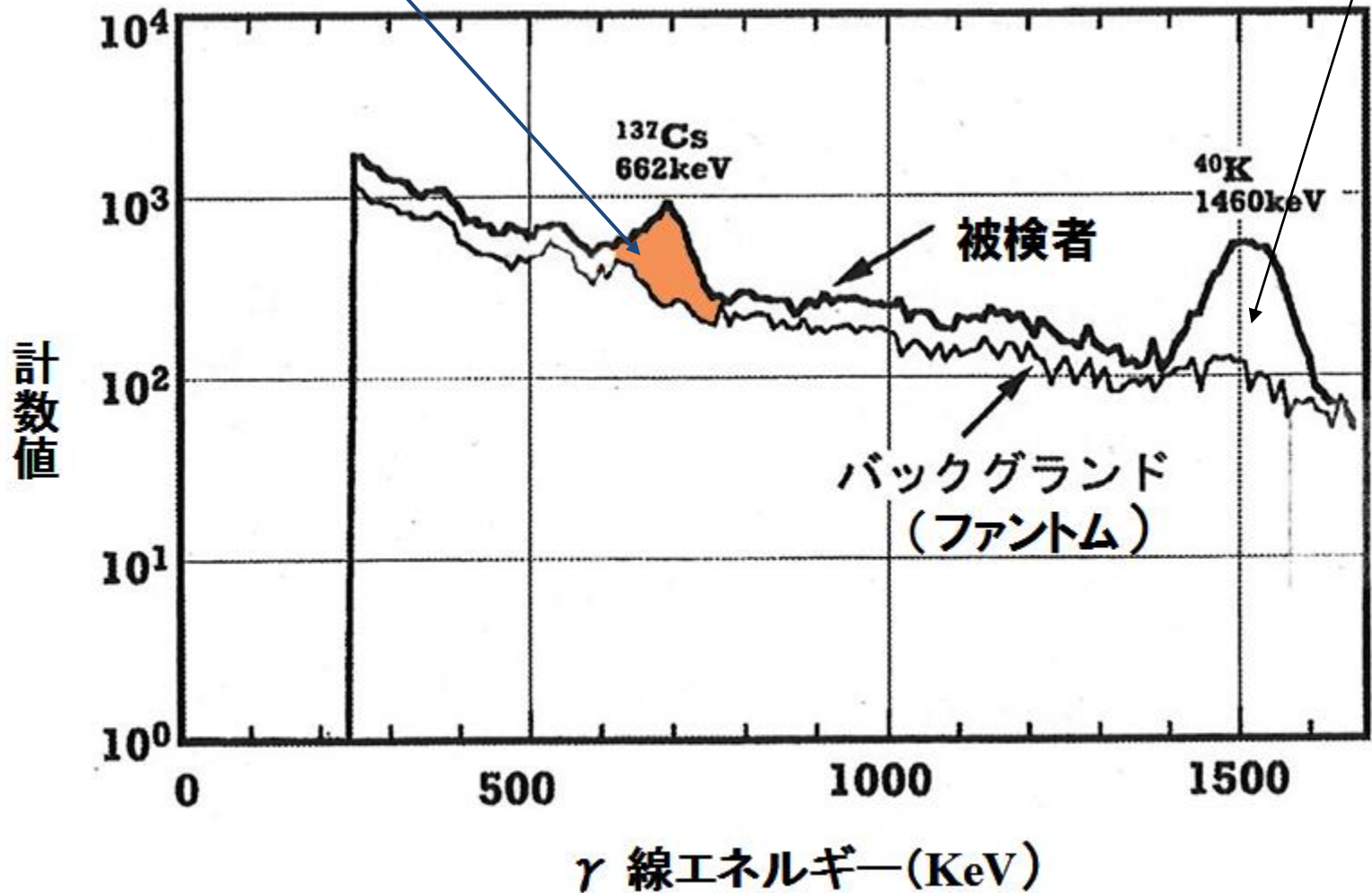
# 体内に放射性物質の取り込みが無い場合



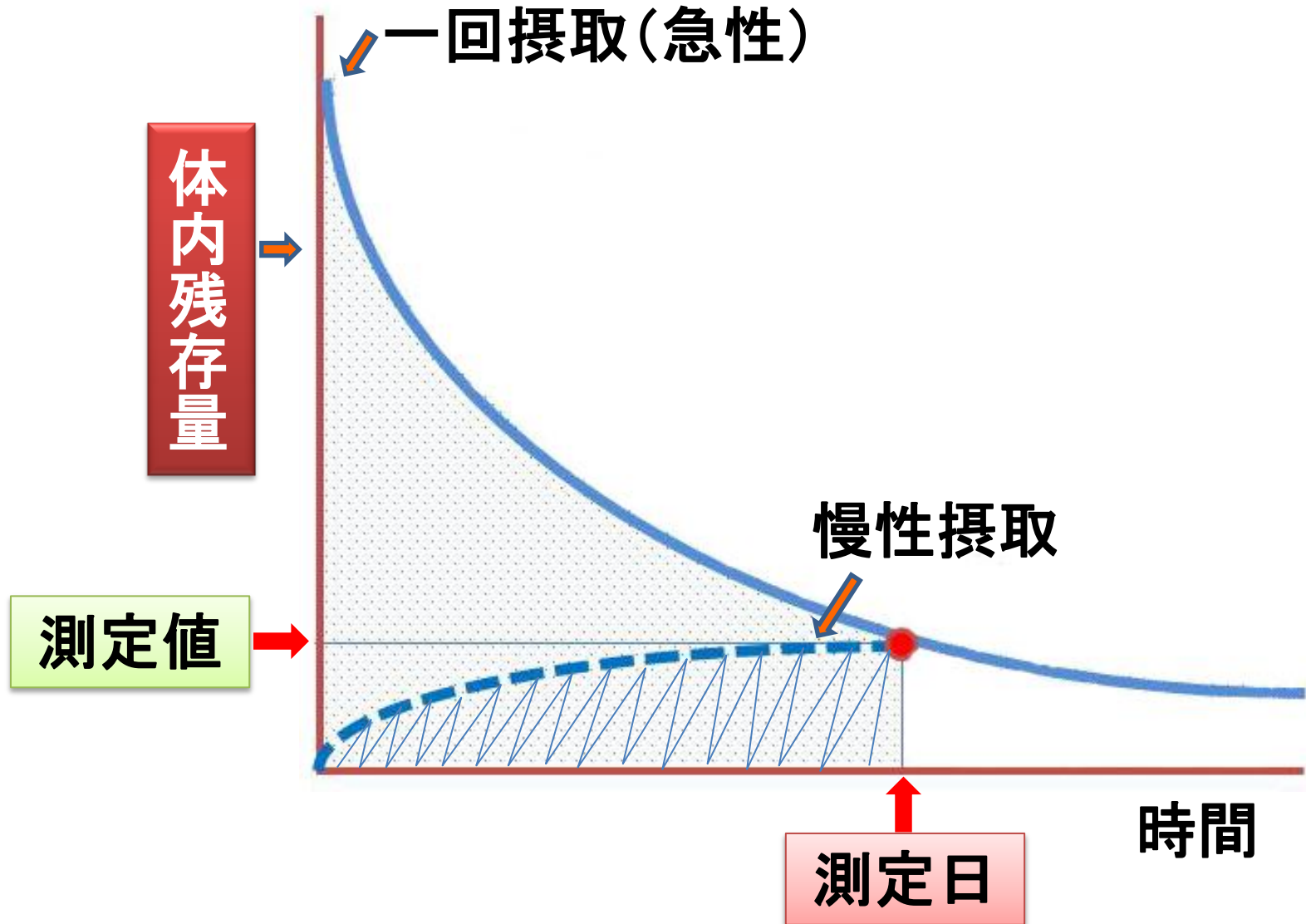
# 体内に放射性物質の取り込みが有る場合

セシウムの  
体内蓄積量

カリウムの  
体内蓄積量



# WBCの計測値



# 計測値から被ばく量へ

計測値 (CPM)



- 換算係数
- 核種(エネルギー)
  - 機器効率

放射能 (Bq)



- 行動  
聞き取り
- いつ
  - どのくらいの期間
  - 体内への経路

体内動態モデル



実効線量係数  
等価線量係数

被ばく線量 (mSv)

計測値



現在の  
放射性物質の量



体内に取り込んだ  
放射性物質の量



被ばく線量の  
評価・推測



放射線医学総合研究所