

# さまざまな測定機器

## 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

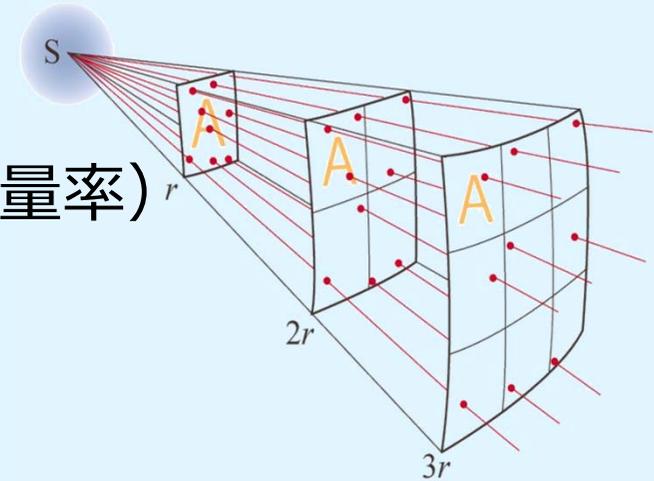
型	目 的		
GM計数管式 サーベイメータ		汚染の検出 線量率 (参考 程度)	$\beta$ 線を効率よく検出し、 汚染の検出に適している
電離箱型 サーベイメータ		ガンマ線 空間線量率	最も正確であるが、シン チレーション式ほど低い 線量率は計れない
NaI (TI) シンチレー ション式サーベイメータ		ガンマ線 空間線量率	正確で感度もよい (測定器によっては $\alpha$ 線 も測定可能)
個人線量計 (光刺激ルミネッセンス線量計 蛍光ガラス線量計 電子式線量計等)		個人線量 積算線量	大部分の線量計では線量 率を直接計れない

# 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



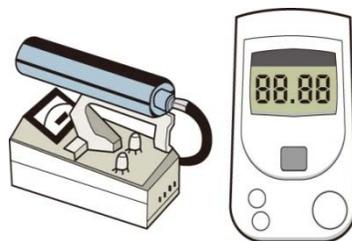
2) **時間** : 線量率が同じなら、浴びた時間に比例  
(総) 線量 (マイクロシーベルト) =  
線量率 (マイクロシーベルト/時) × 時間

# 外部被ばく (測定)

個人線量計で計る



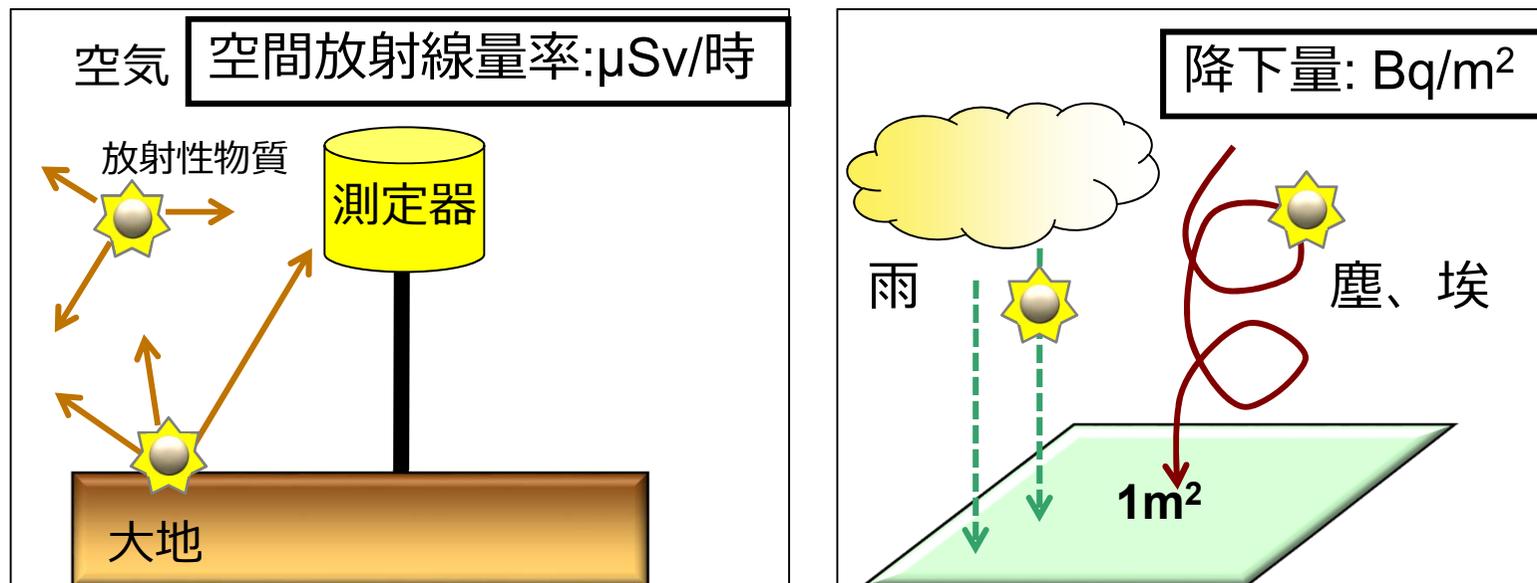
ベクレル  
(Bq)



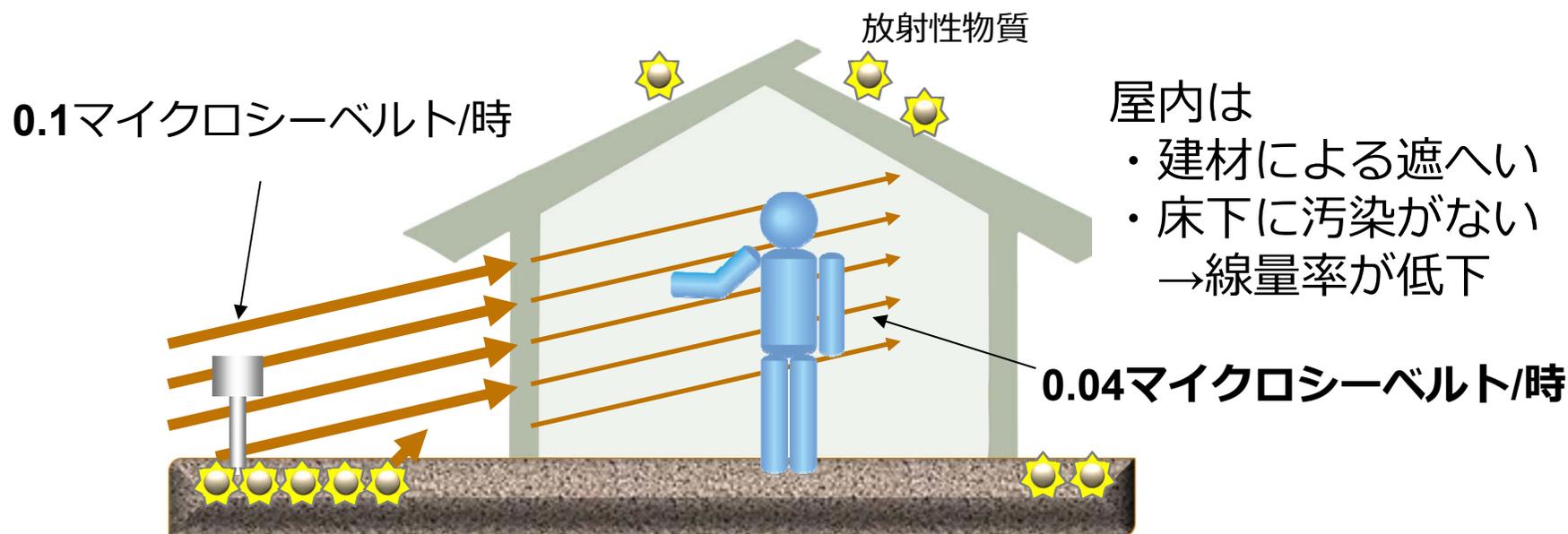
サーベイメータの計測値：  
空間放射線量率 (マイクロシーベルト/時)  
に滞在時間をかける

# 環境放射能の計測

- **空間放射線量率**は空間の $\gamma$  (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( $\text{Bq}/\text{m}^2$ )



# 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 <sup>2</sup> の建物（3～4階建て）の1～2階	0.05
各階900m <sup>2</sup> 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  
 $0.24 - 0.04$ （仮） =  $0.2$

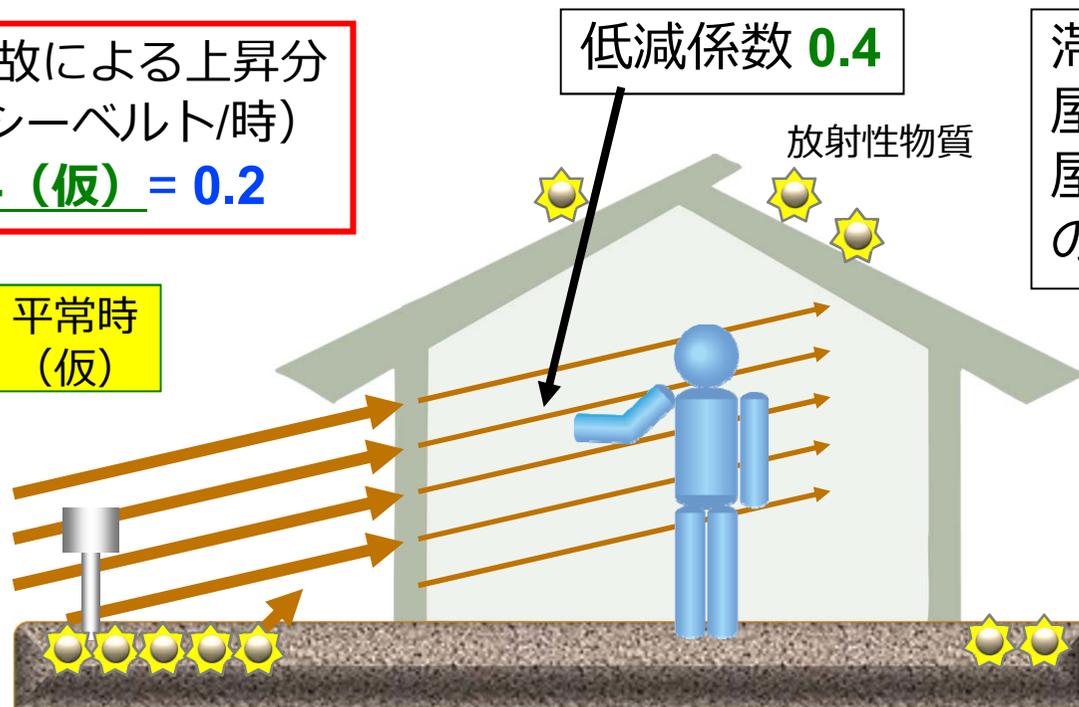
実測値  
（例）

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

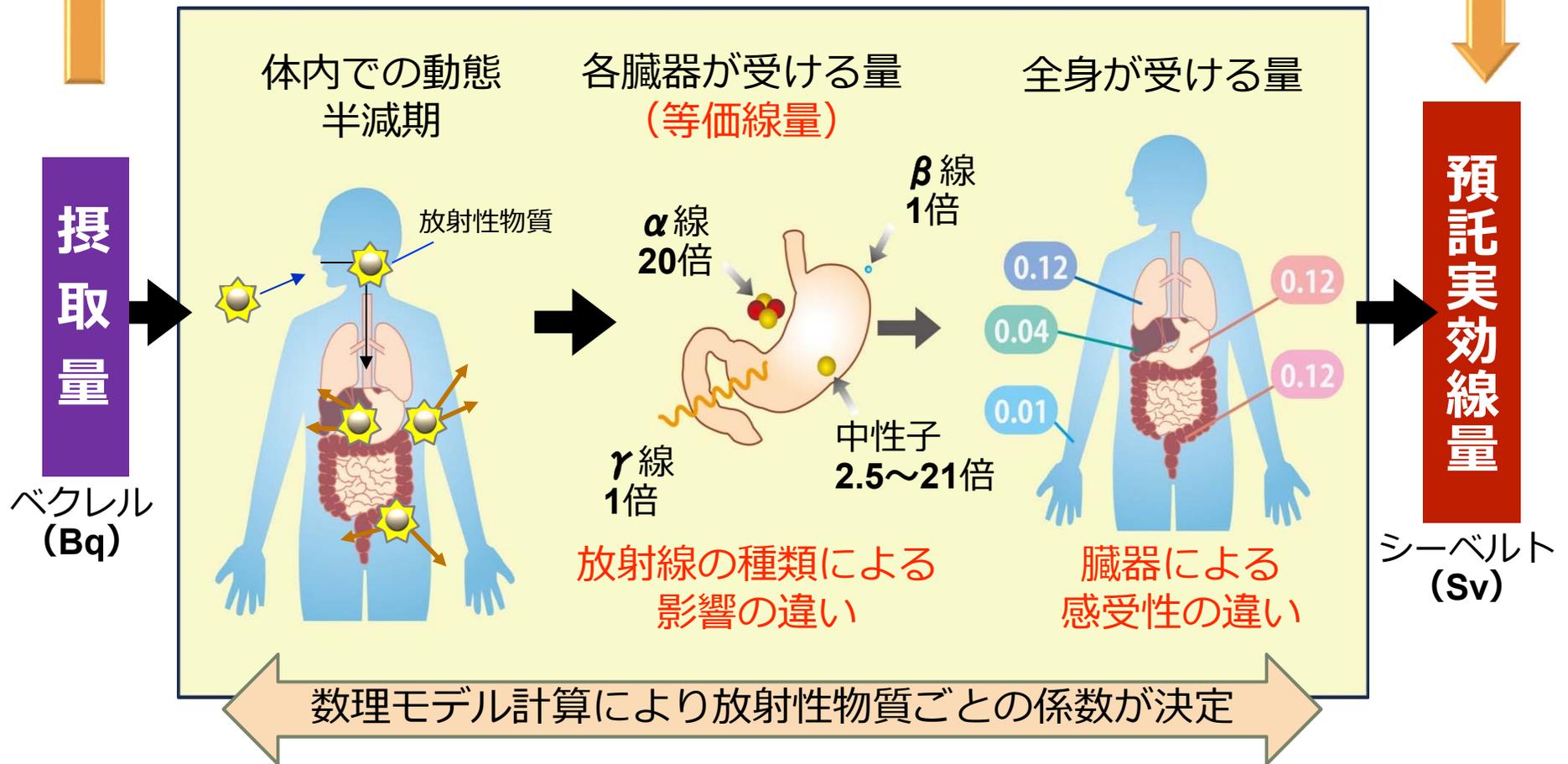
$$\begin{aligned} &0.2 \times 8 \text{時間} \text{（屋外の方）} \\ &+ \\ &0.2 \times 0.4 \times 16 \text{時間} \text{（屋内の方）} \\ &\text{（マイクロシーベルト/日）} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\times 365 \text{日} \doteq 1,100 \text{マイクロシーベルト/年} \\ &\doteq \underline{1.1 \text{ミリシーベルト/年}} \end{aligned}$$

# 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



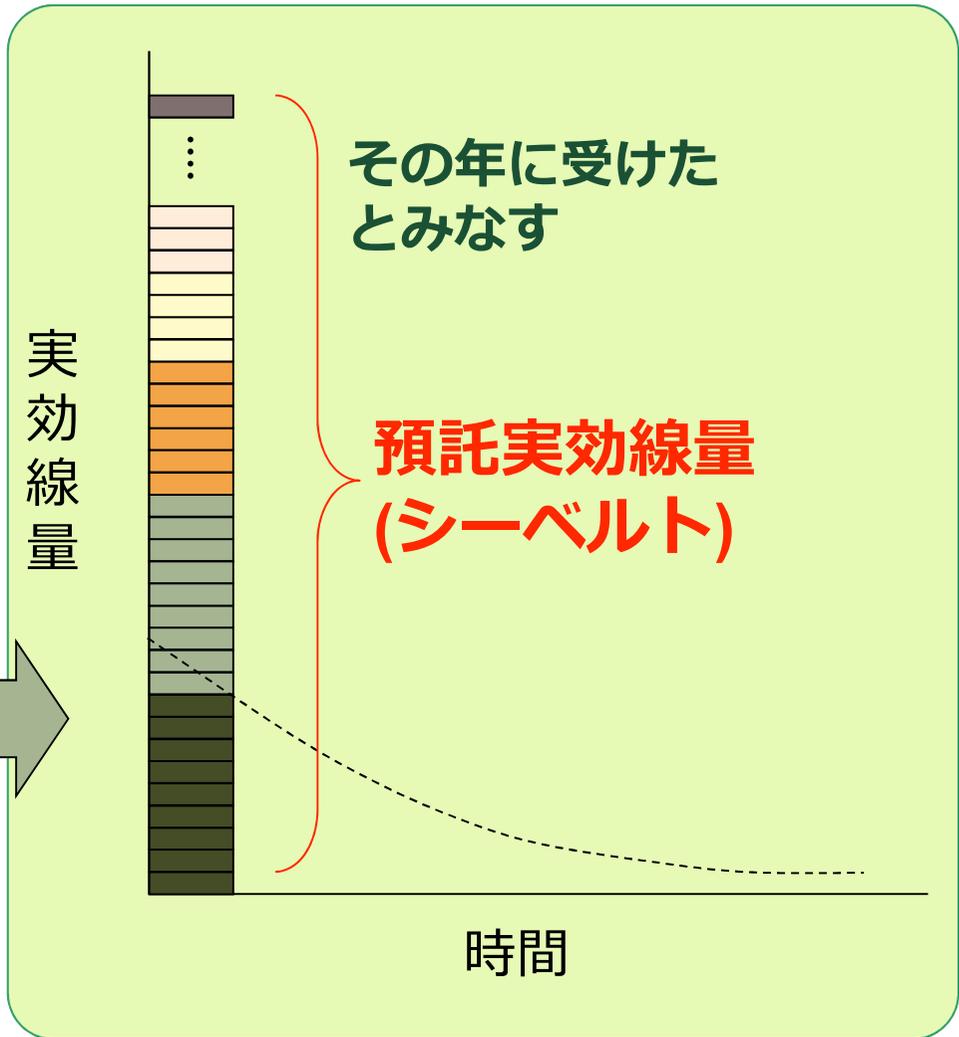
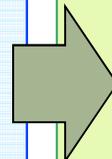
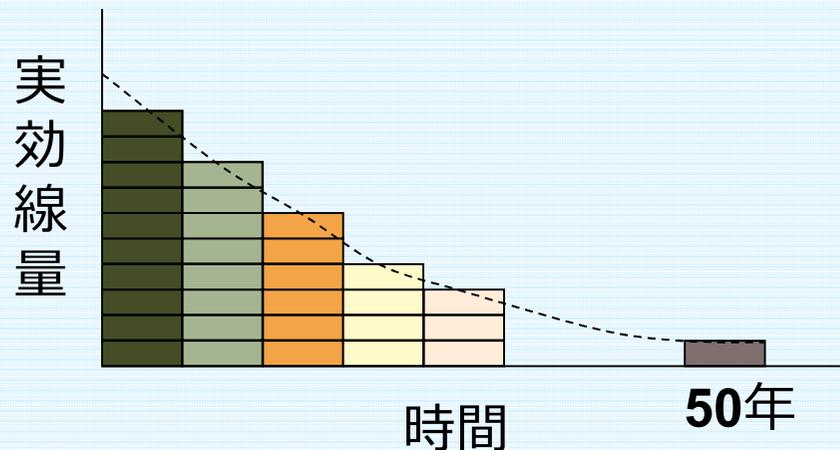
# 預託実効線量

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

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

## 実効線量係数（μSv/Bq）

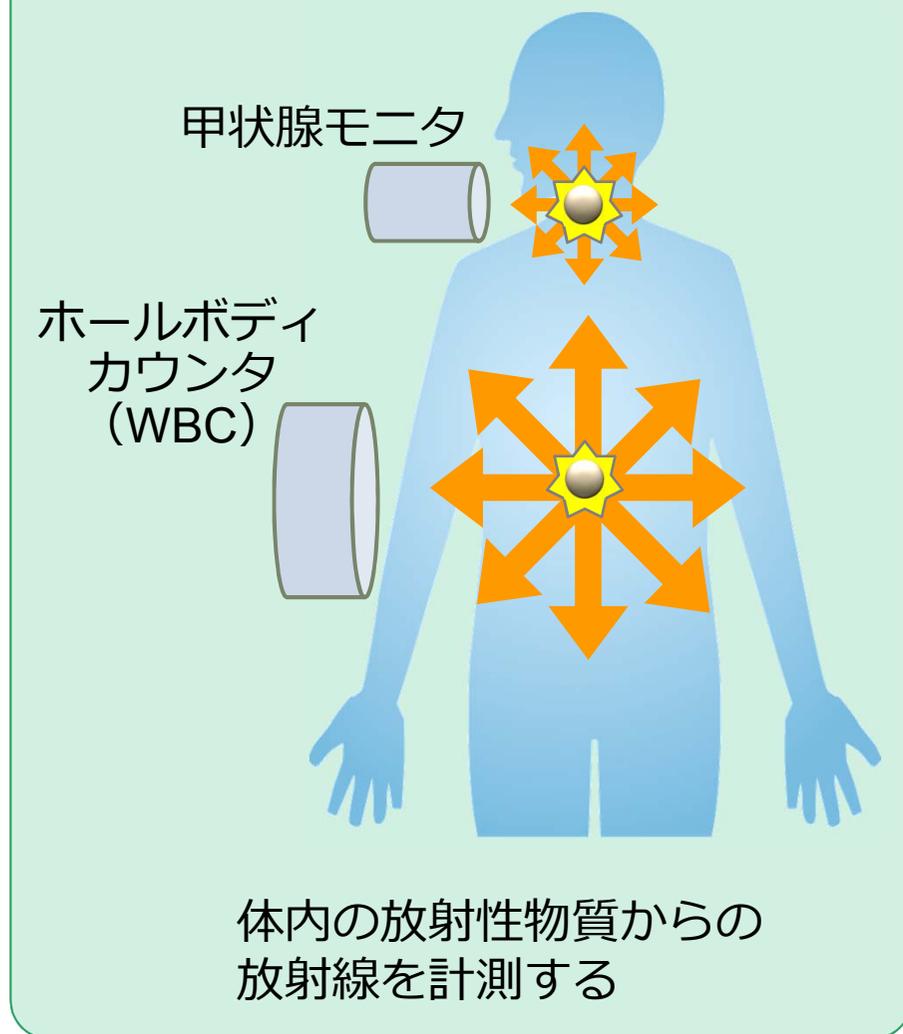


	ヨウ素131	セシウム137
3か月児	0.18	0.021
1歳児	0.18	0.012
5歳児	0.10	0.0096
成人	0.022	0.013

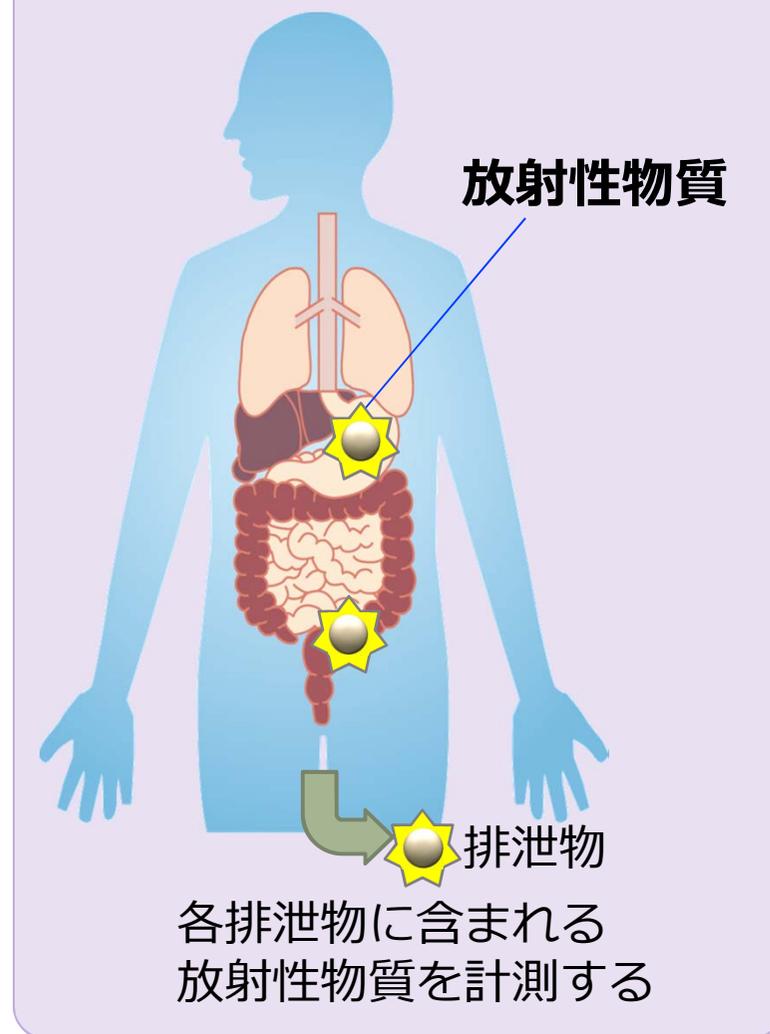
出典：国際放射線防護委員会（ICRP）Database of Dose Coefficients CD-ROM, 1998

Bq：ベクレル　μSv：マイクロシーベルト　mSv：ミリシーベルト

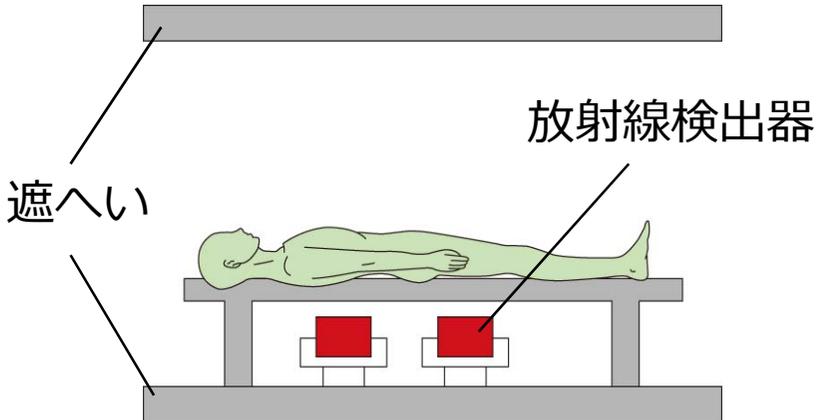
## 体外測定法



## 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 $\gamma$ 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

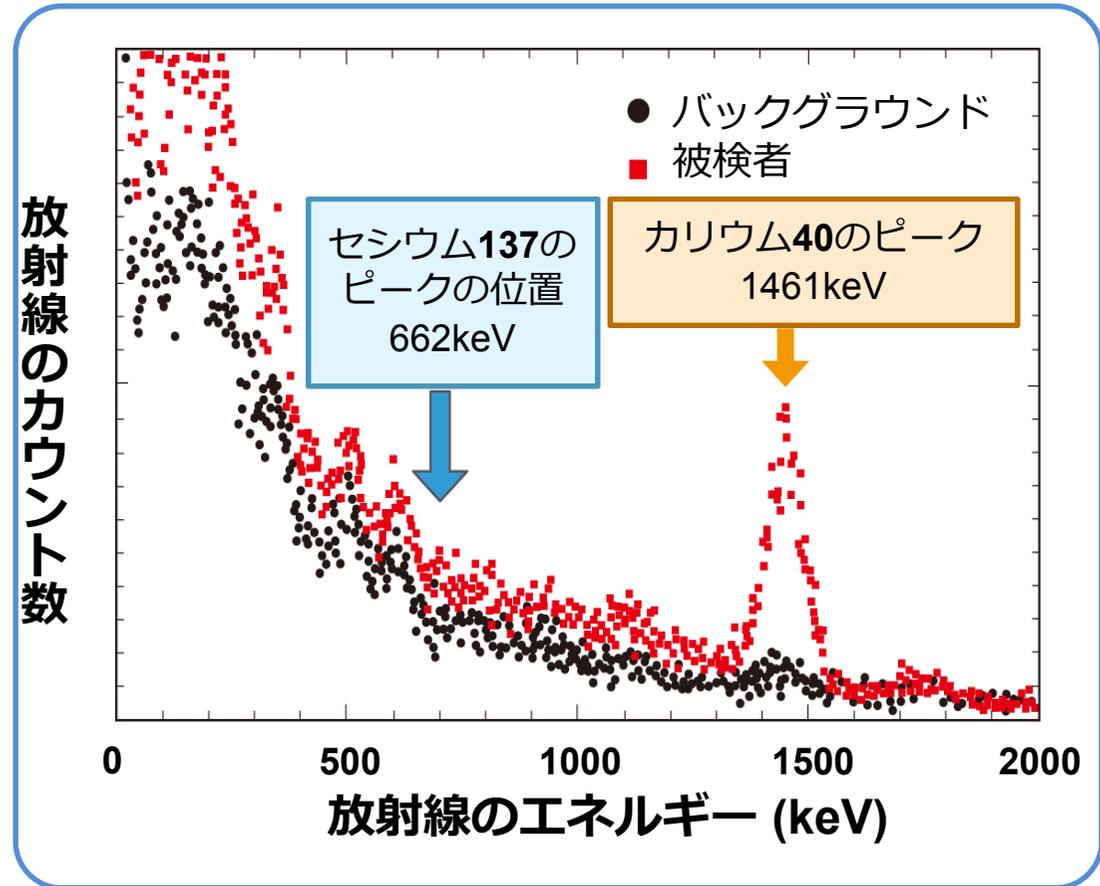


○ 検出器

# 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

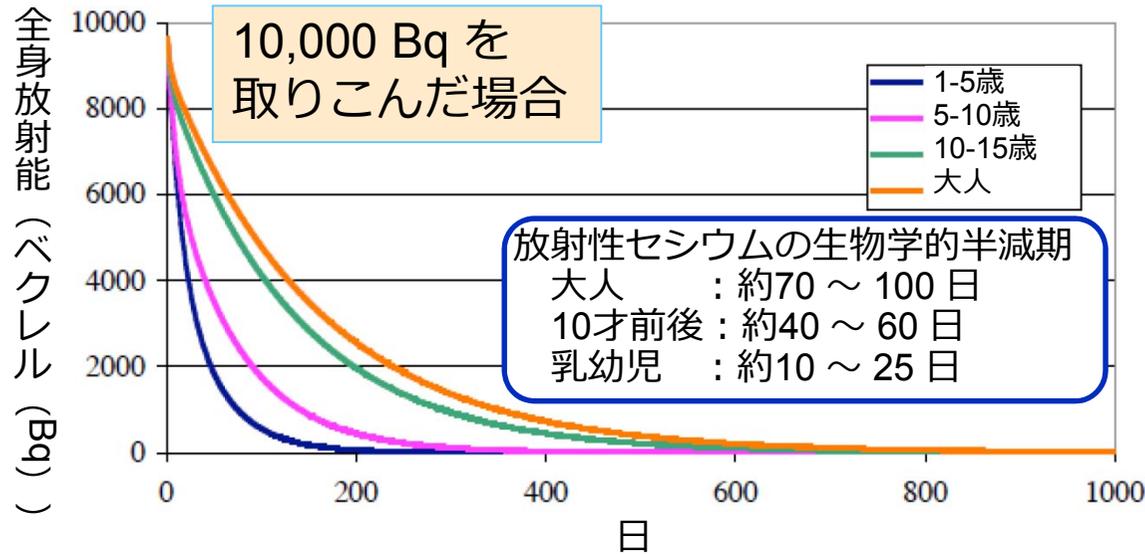


体内から出てくる放射線を測定 ⇒ 体内の放射能を物質別に求める

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

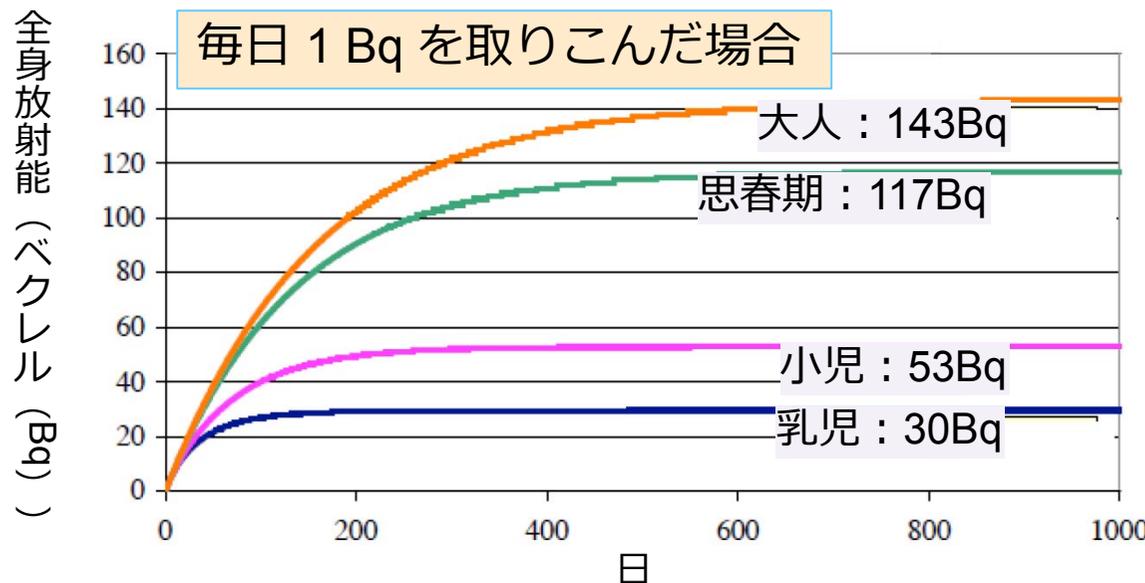
# 体内放射能と線量評価



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



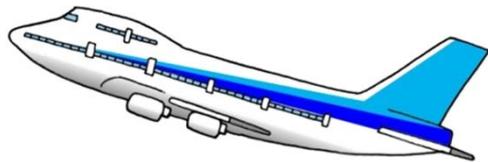
食物から  
0.99mSv



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



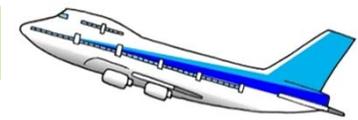
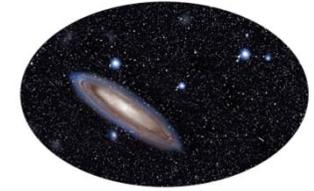
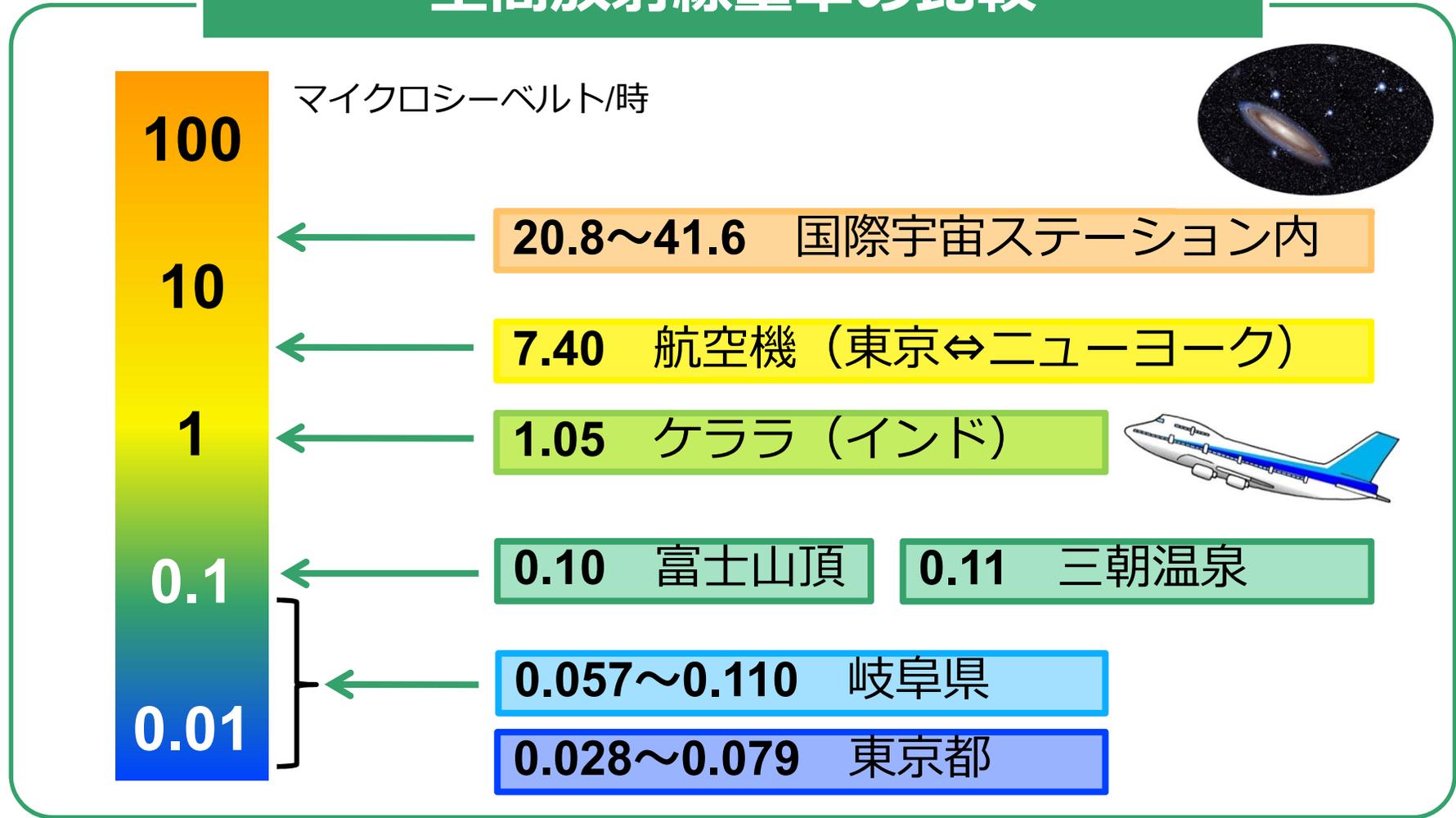
胸部X線検査 (1回) 0.06mSv

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

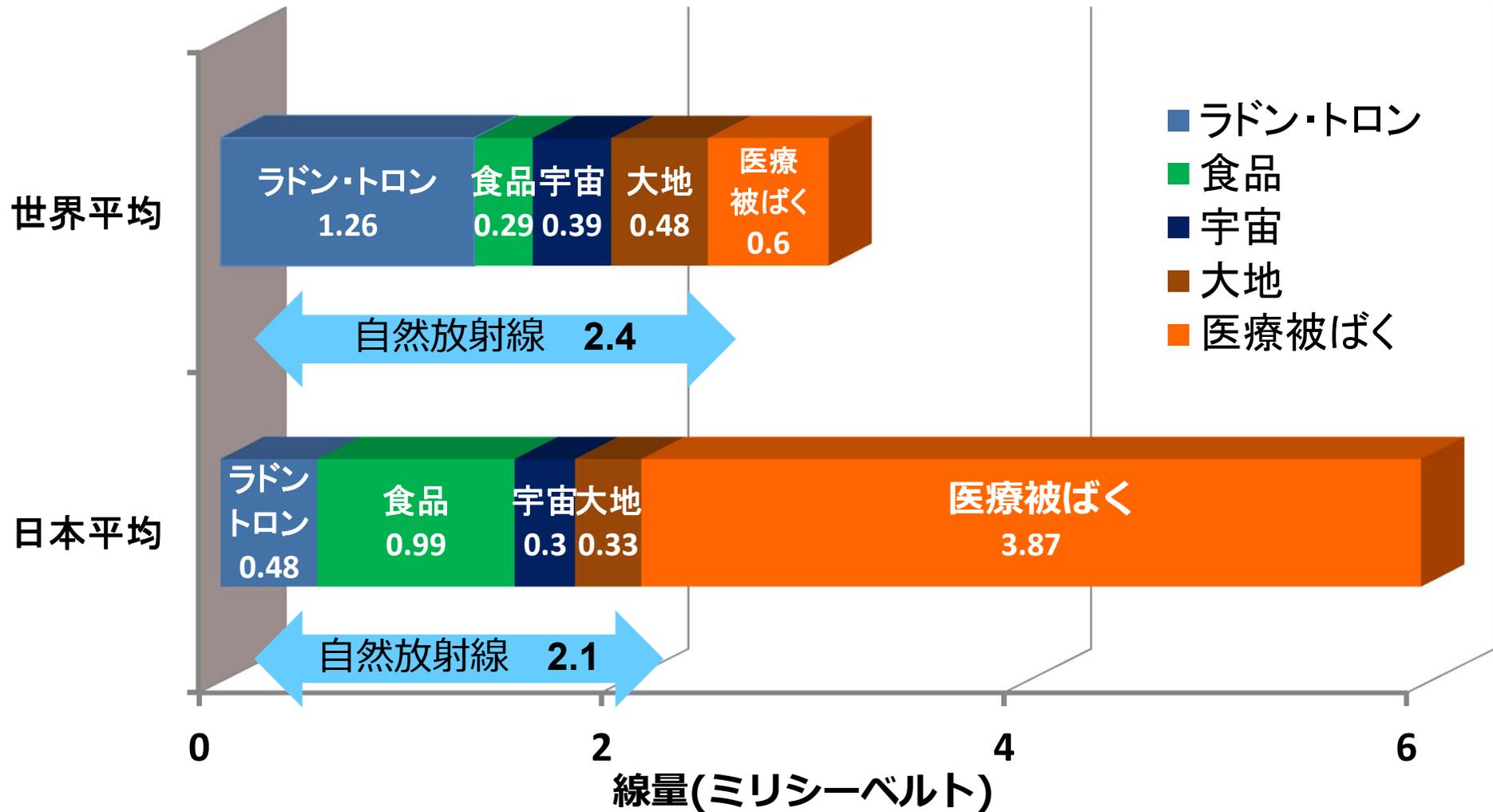
## 空間放射線量率の比較



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

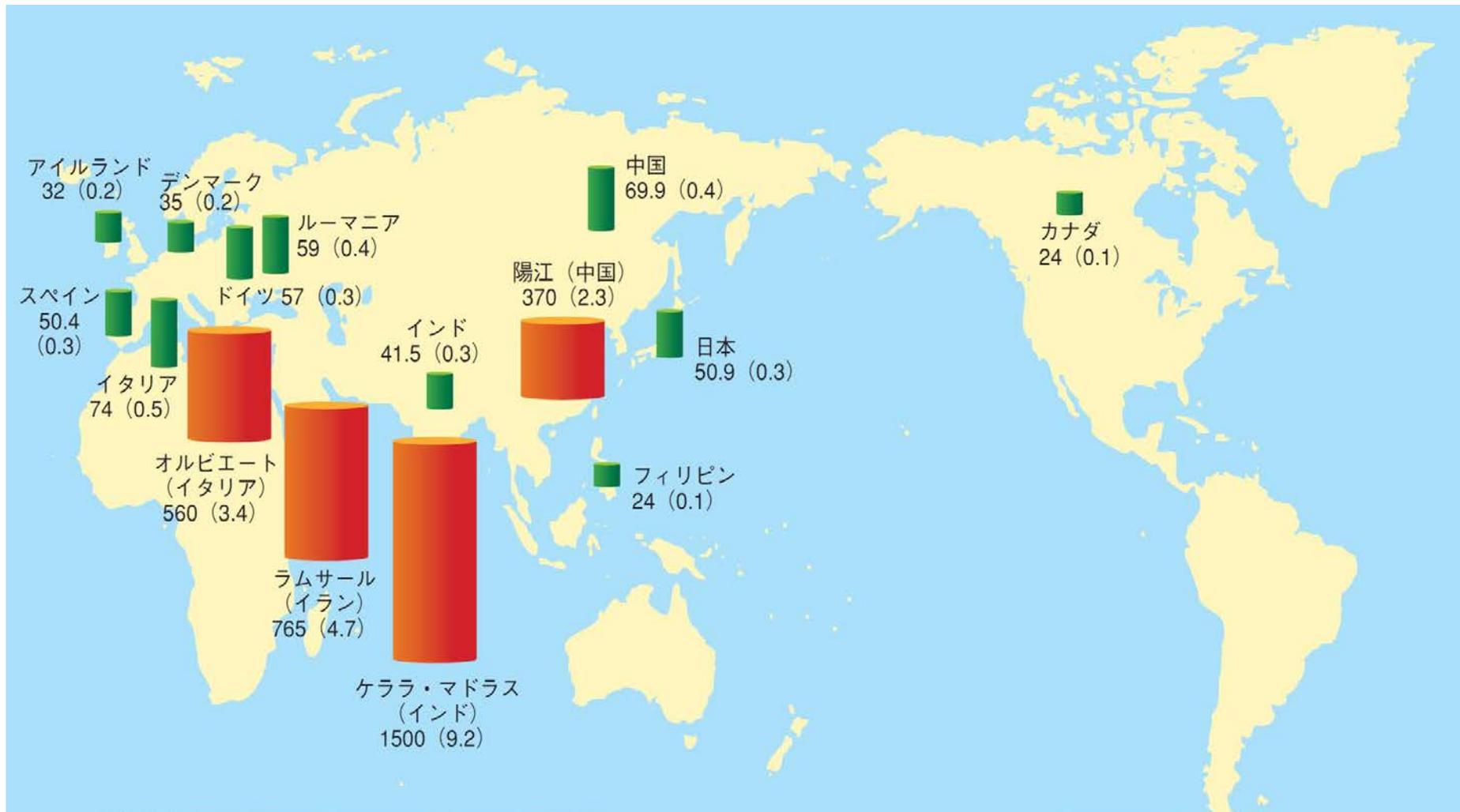
## 自然からの被ばく線量の内訳（日本人）

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

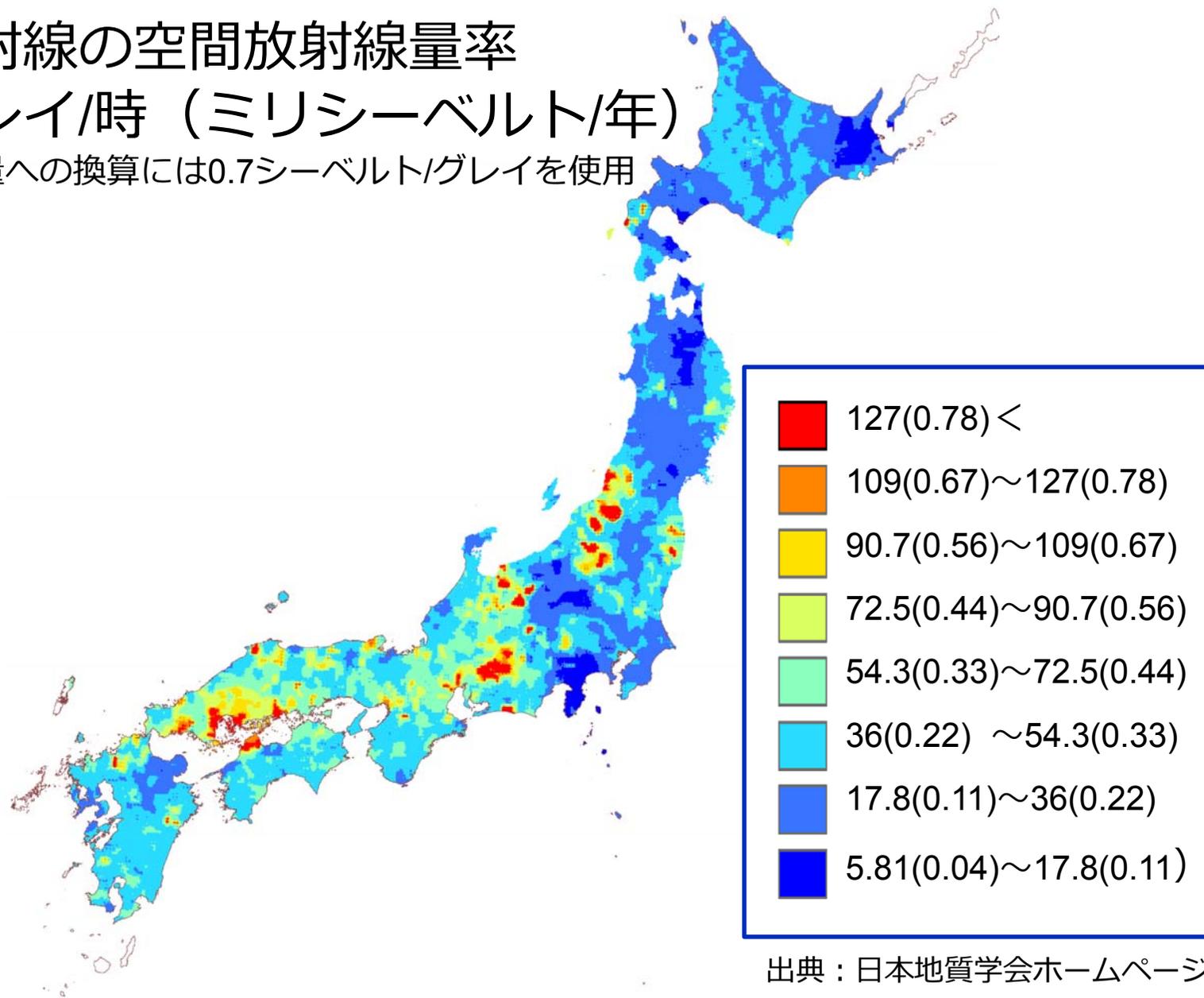


出典：国連科学委員会（UNSCEAR）2008年報告書、  
（公財）原子力安全研究協会「生活環境放射線」（2011年）より作成

# 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）

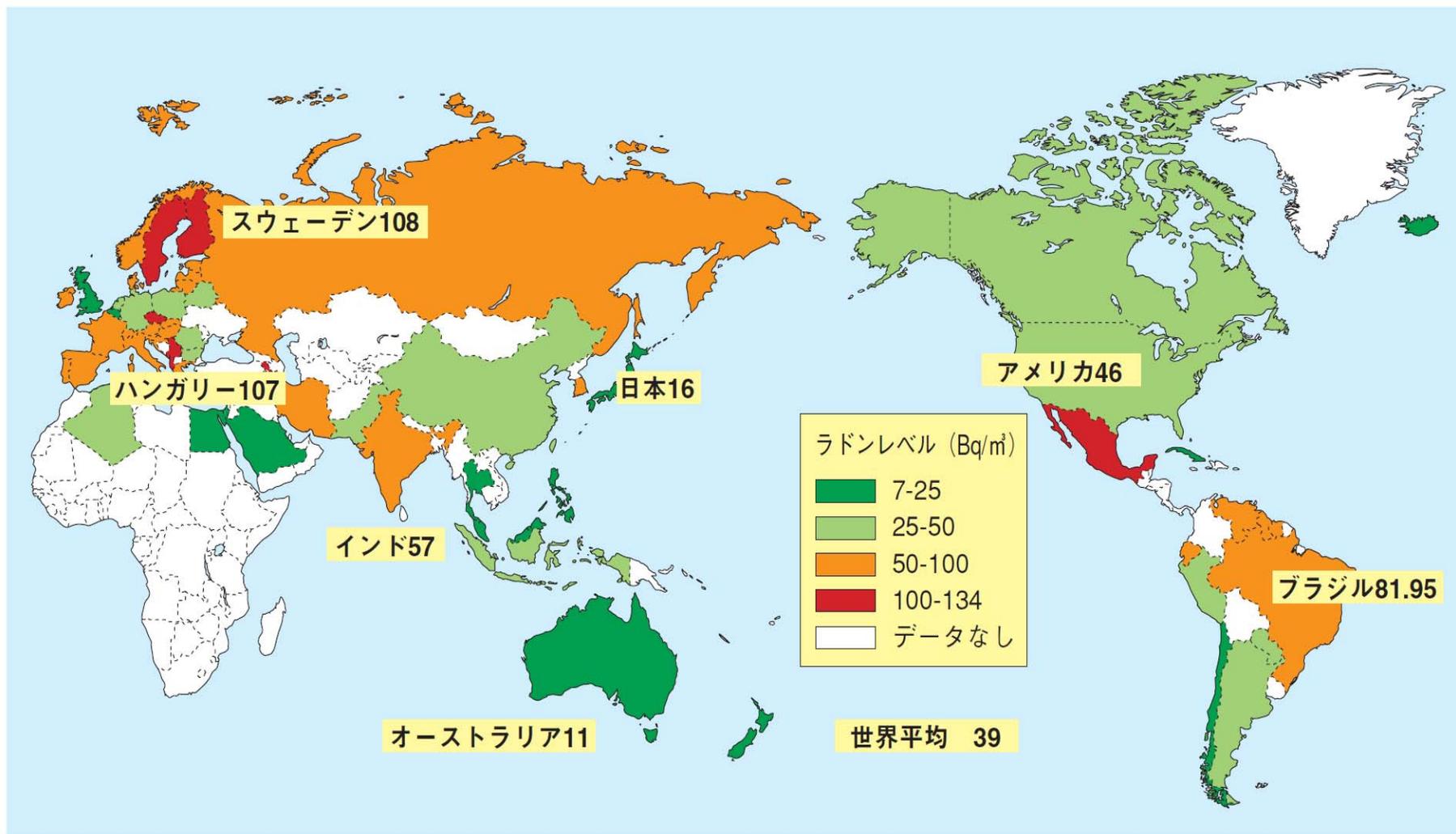
・実効線量への換算には0.7シーベルト/グレイを使用



出典：日本地質学会ホームページより

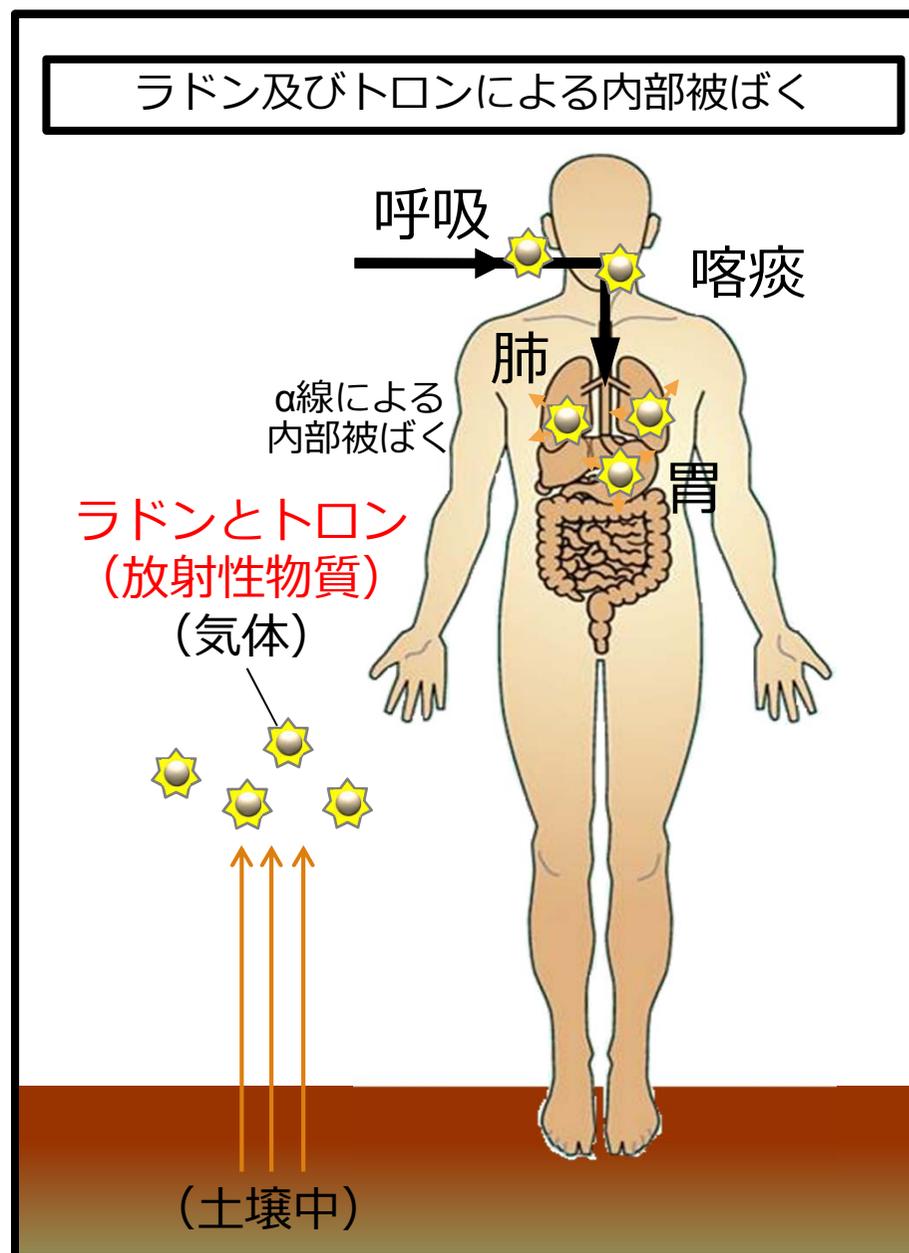
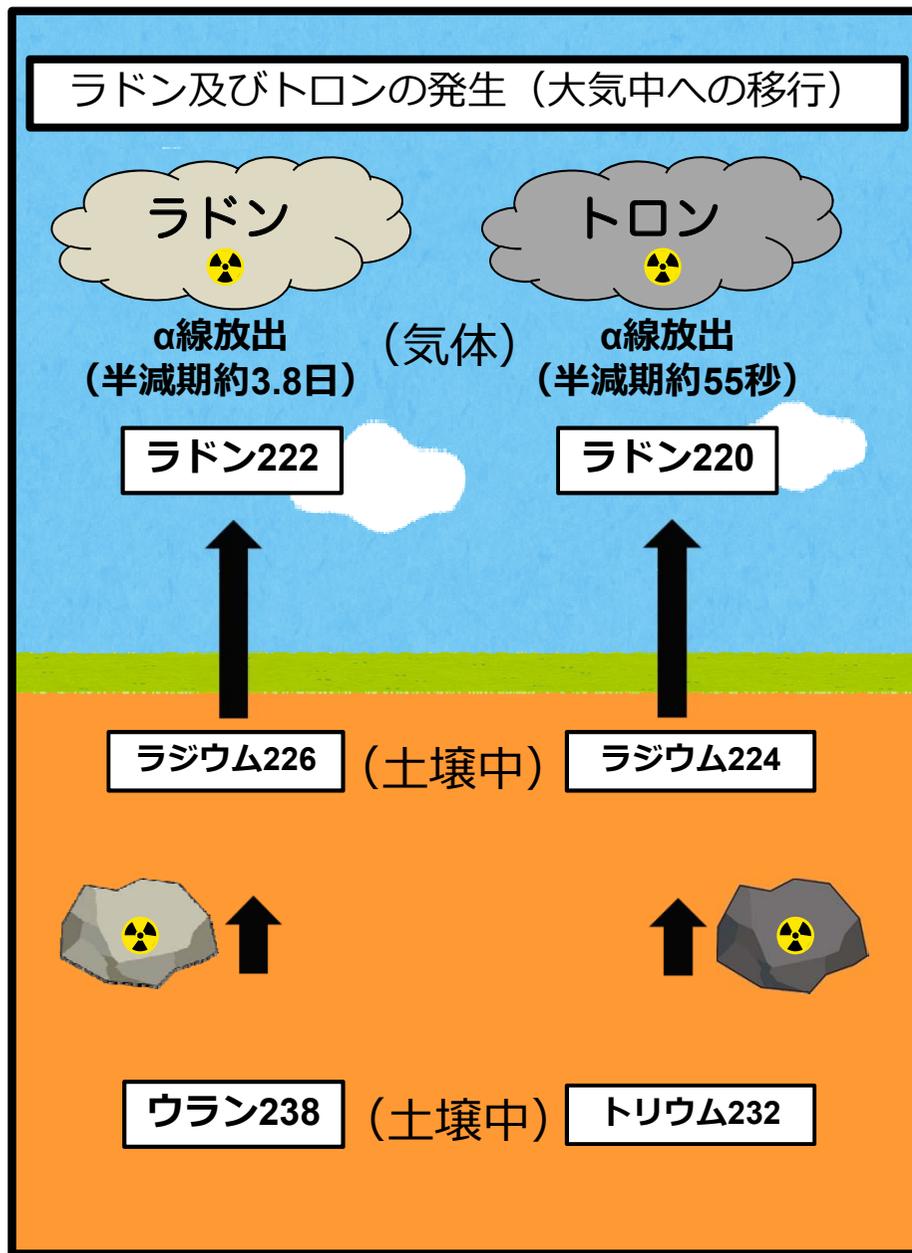
# 屋内ラドン

屋内ラドンからの被ばくの地域差 (算術平均 $Bq/m^3$ )



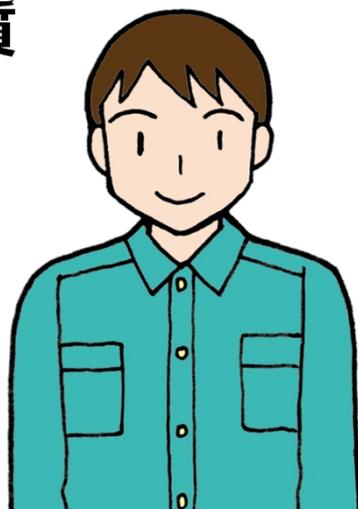
$Bq/m^3$  : ベクレル/立方メートル

出典 : 国連科学委員会(UNSCEAR) 報告書より



# 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

## 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

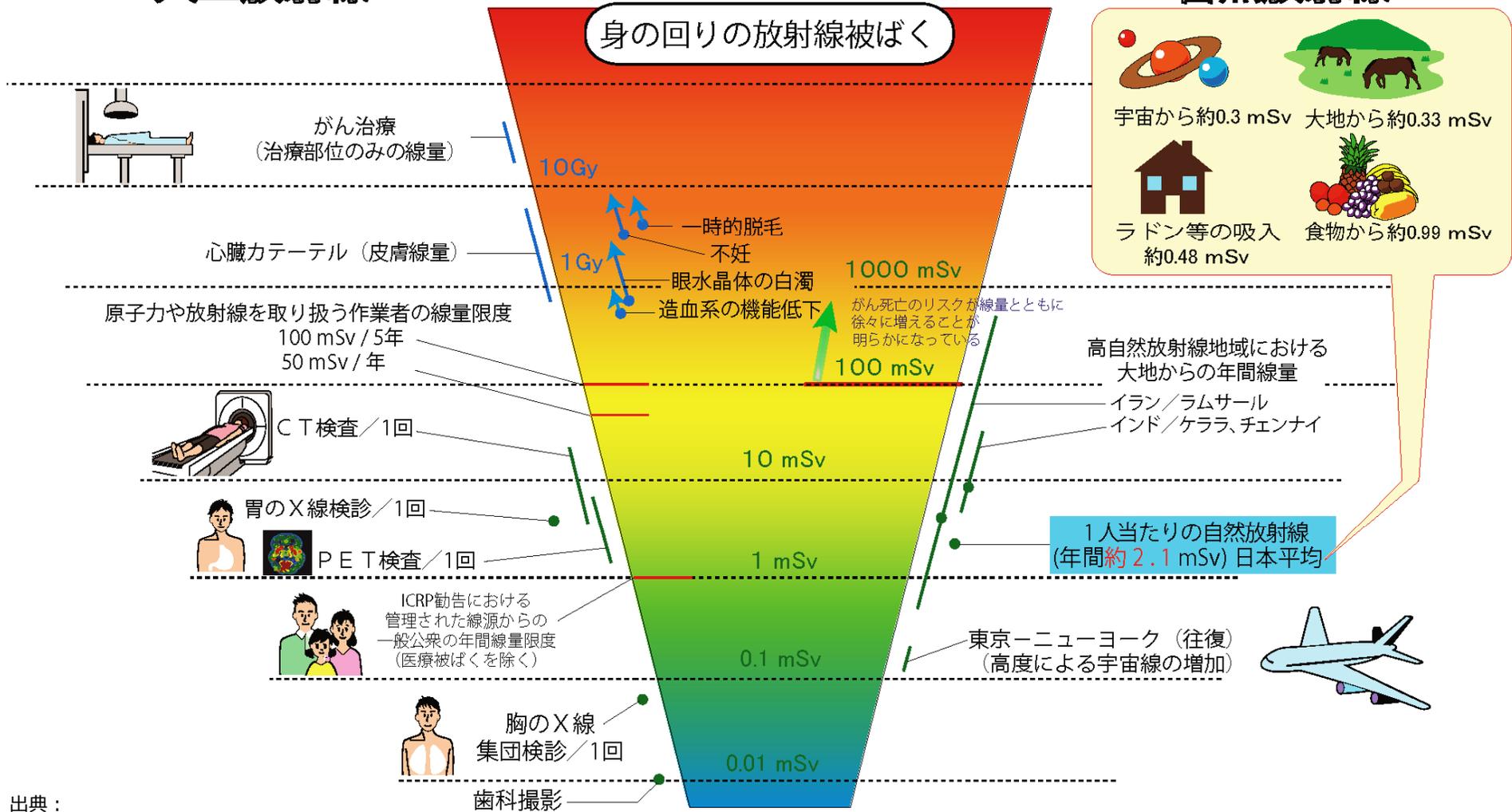
※4：丸山隆司；Radiat. Prot. Dosimetry, 43, 213-216, 1992

mSv：ミリシーベルト

# 被ばく線量の比較 (早見図)

## 人工放射線

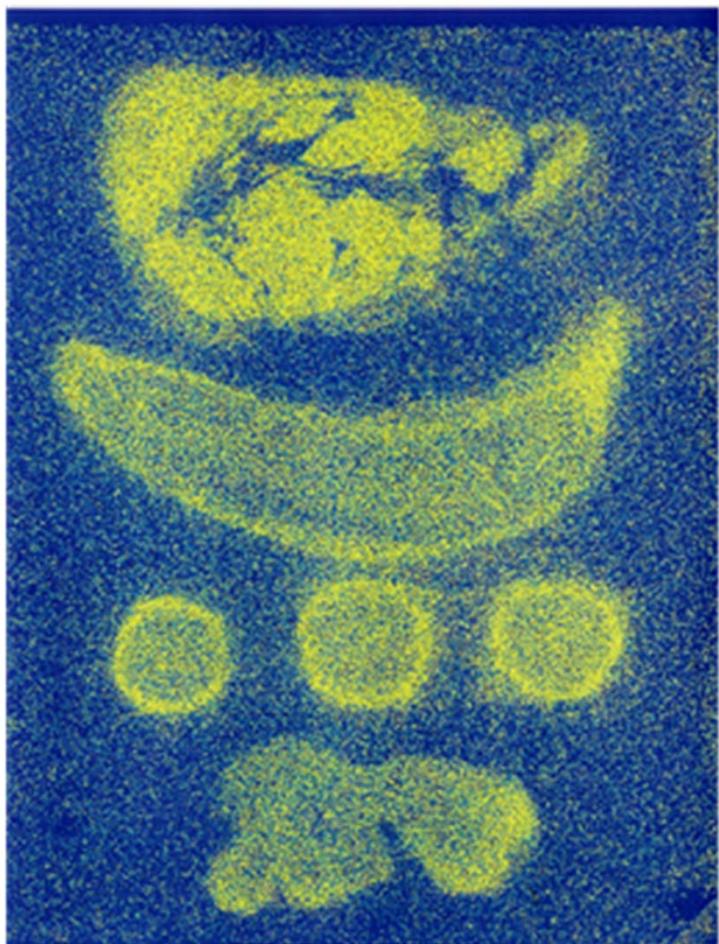
## 自然放射線



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 $\beta$ （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 **$1.26 \times 10^9$** 年

※天然に存在するカリウムの内カリウム40の割合

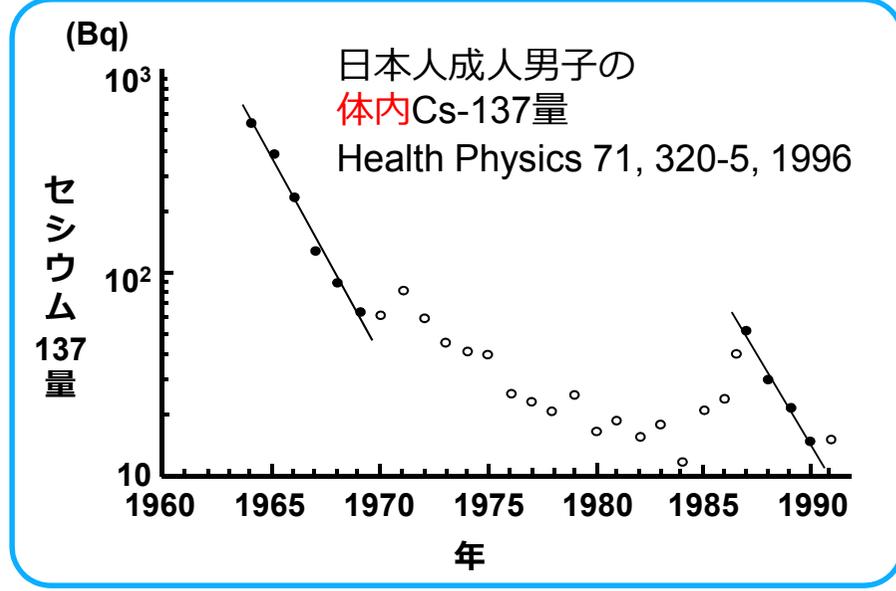
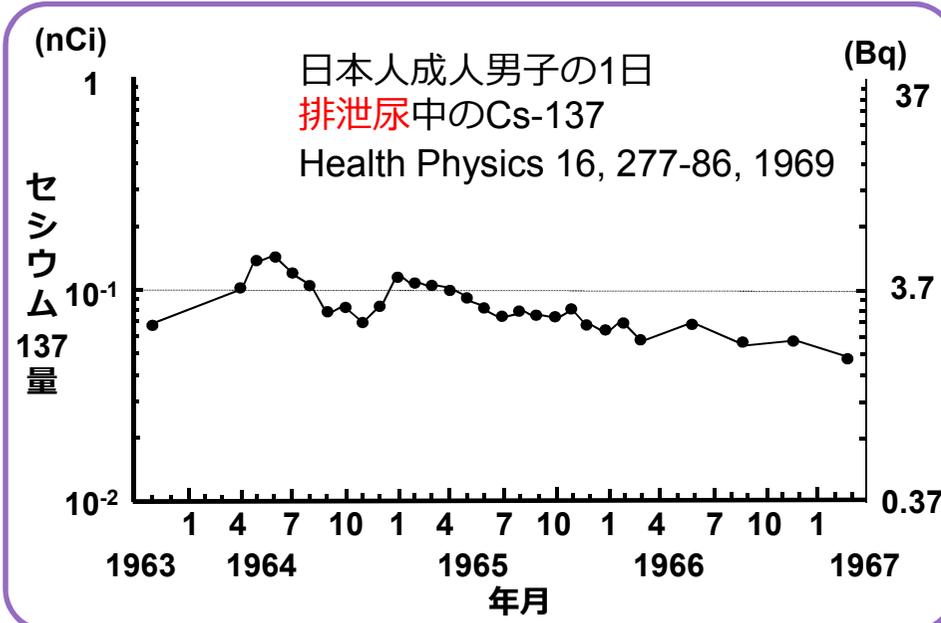
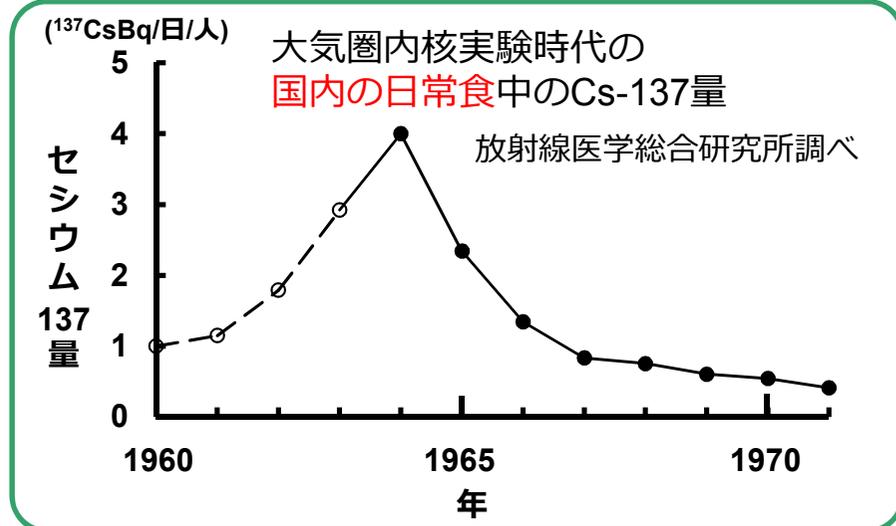
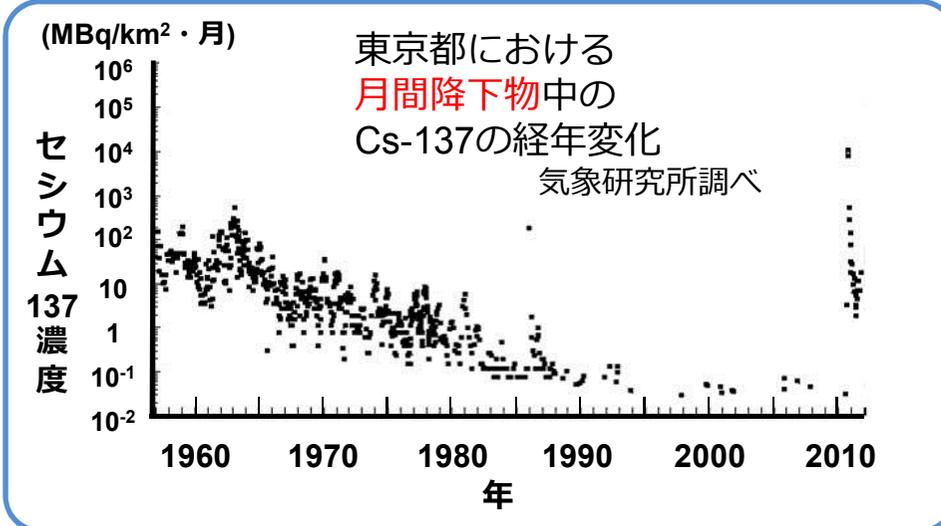
出典：森, 応用物理, 97, No.6, 1998

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

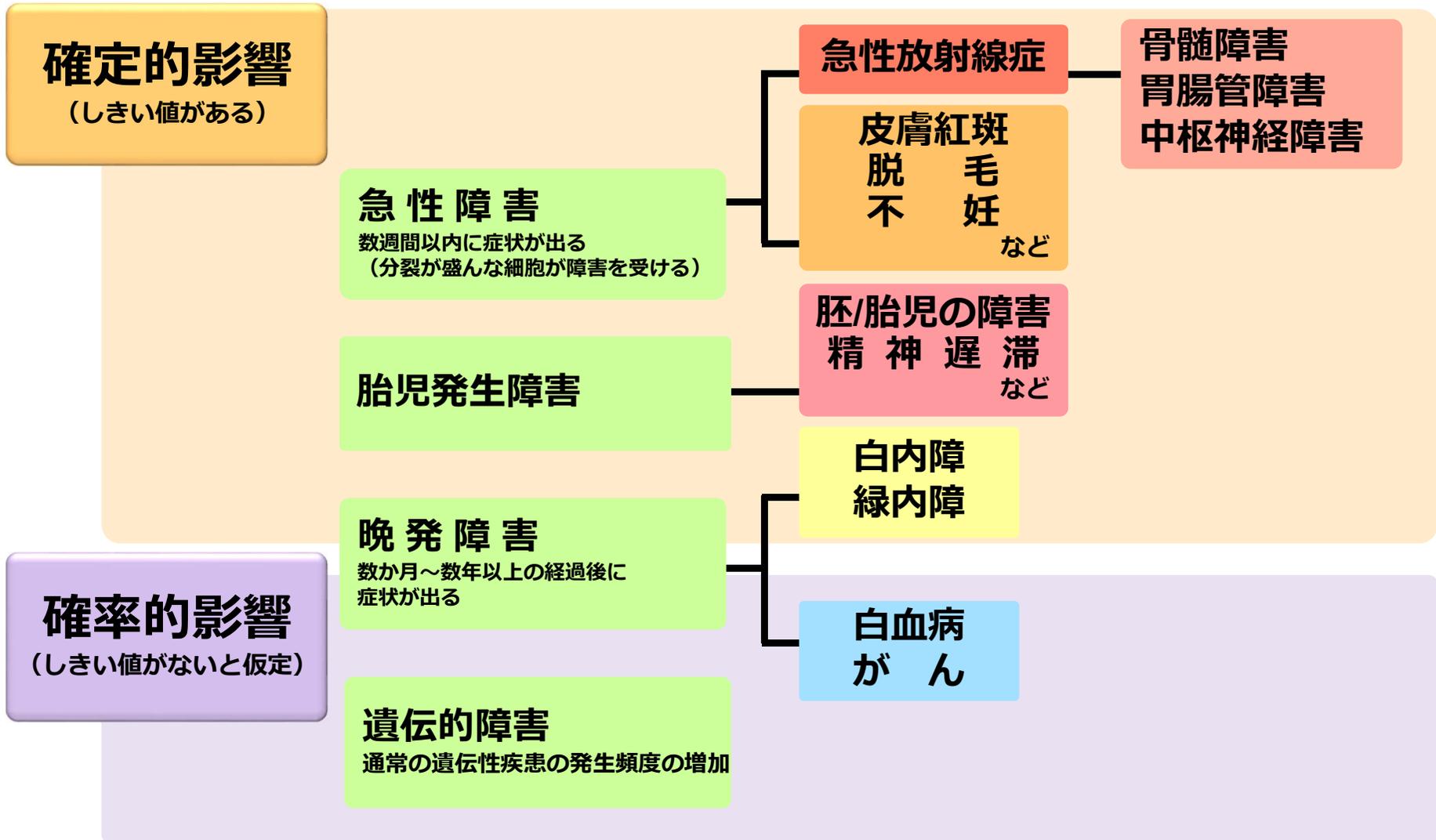
セシウム137：520 Bq



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

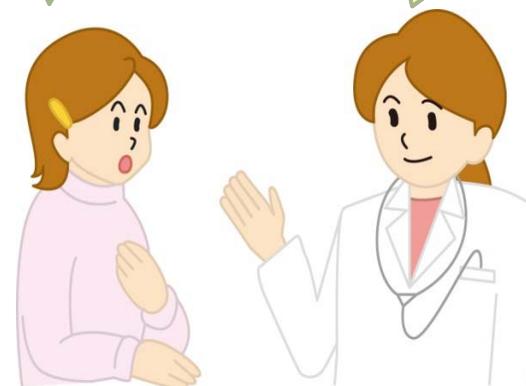
(大量の放射線を短時間に受けた)

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			
	がん・白血病		突然変異で起こる 確率的影響	
遺伝性影響	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。

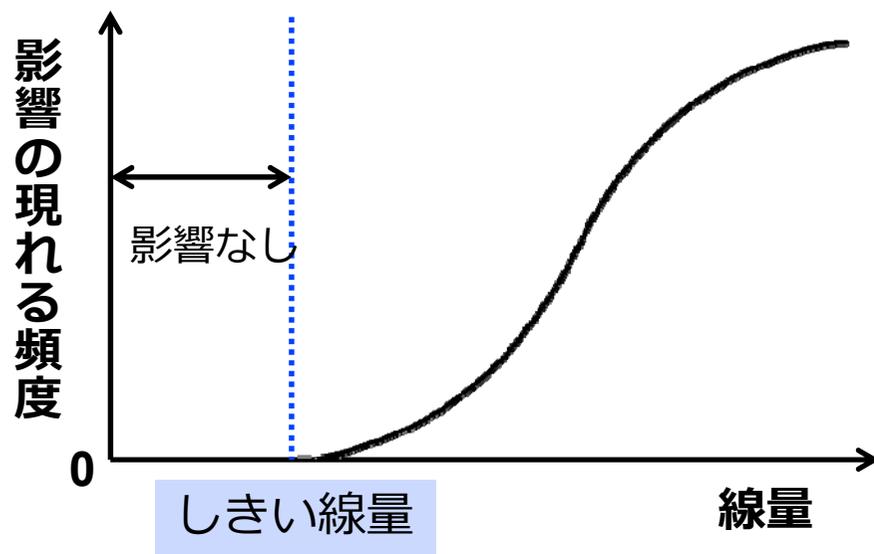
# 確定的影響と確率的影響

## 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。

