

平成23年3月30日(水)

# 放射線とは何か？

～その安全と安心について～

東北地方太平洋沖地震で犠牲となられた方々のご冥福をお祈りするとともに、被災された方々にお見舞い申し上げます。

首都大学東京名誉教授  
片田 元己

エネルギー: 電子ボルト (eV)

# 放射線の単位



放射能の強さ(ベクレル、Bq)・・・  
1Bq = 1dps  
(1秒間に1個の原子核が壊変する壊変率(個/秒)。)

空気  
照射線量・・・ $\gamma$  (X) 線が空気をどれだけ電離できるか  
(C/kg)

物質  
吸収線量・・・放射線のエネルギーがどれだけ物質に吸収されたか  
(Gy) **グレイ**

等価線量: ある組織・臓器への影響はいくらか  
実効線量: 人体が受けるリスクの大きさはいくらか

人体  
線量当量・・・人体への影響はどのくらいか  
(Sv) **シーベルト**

$Sv = \text{放射線の種類による生物効果の定数} \times Gy$

$10^9$  (ギガ)、 $10^6$  (メガ)、 $10^3$  (キロ)、1、 $10^{-3}$  (ミリ)、 $10^{-6}$  (マイクロ)、 $10^{-9}$  (ナノ)

# 放射線の種類

放射線とは、X線、ガンマ線( $\gamma$ 線)などの電磁波やアルファ線( $\alpha$ 線)、ベータ線( $\beta$ 線)、中性子(線)の総称。

- 1)  $\alpha$  線………… アルファ壊変の際に放出されるヘリウムの原子核で、+2の電荷と高エネルギーをもつ。透過力は弱く、紙1枚で遮へいできる。
- 2)  $\beta$  線………… ベータ壊変の際に、原子核から放出される高速の電子のこと。透過力は中程度で、1cm厚のプラスチックで遮へいできる。
- 3)  $\gamma$  線(X線)…  $\gamma$  線はガンマ遷移(壊変)の際、放出される電磁波で、透過力が強い。  
X線は、X線発生装置等で作られるが、放射性同位元素から特性X線として放出されるものがある。性質は $\gamma$ 線とほぼ同じ。
- 4) 中性子(線)… 核分裂反応の際、放出される中性の粒子。質量が水素原子とほぼ同じなので、水素原子と弾性衝突してもっともよくエネルギーを失う。水やパラフィンなどで遮へいされる。  
原子炉で発生する高速の中性子線の減速材に、水が使用されるのはこのためである。  
中性子のエネルギーに応じて種々な核反応を起こすが、エネルギーが原子核の熱運動程度になった熱中性子捕獲反応が重要である。

# 放射線と物質との相互作用

ガンマ(X)線  
( $\alpha$ 、 $\beta$ )

レントゲン撮影  
X線CT

写真作用

$\alpha$  線  
中性子  
ボロン  
リチウム  
原子核反応

蛍光作用

電離作用

中性子

放射性同位体の製造

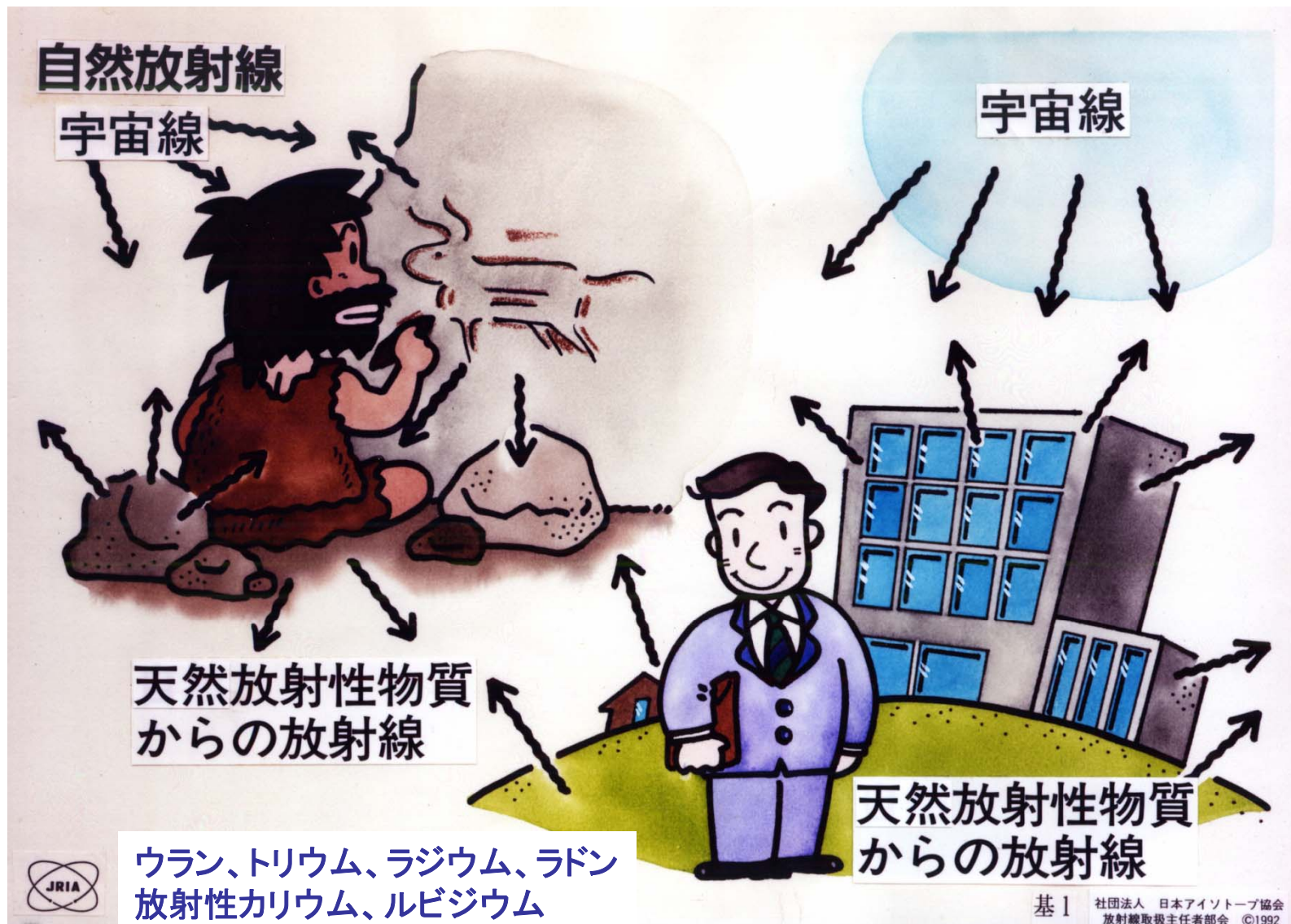
夜光時計、シンチレーションカウンタ

ベータ線、アルファ線

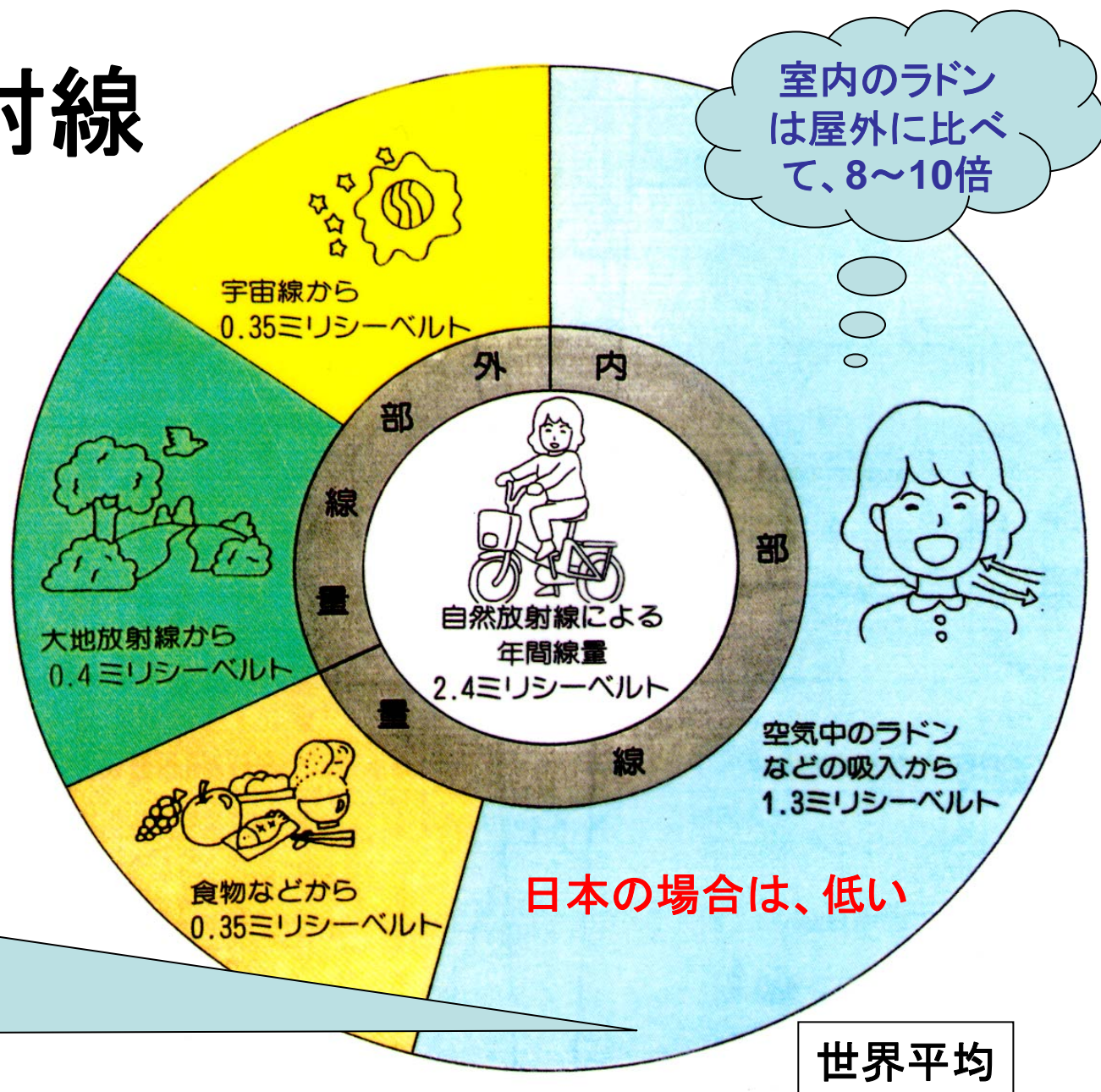
放電管、煙感知器



# 自然界にも放射線はあります



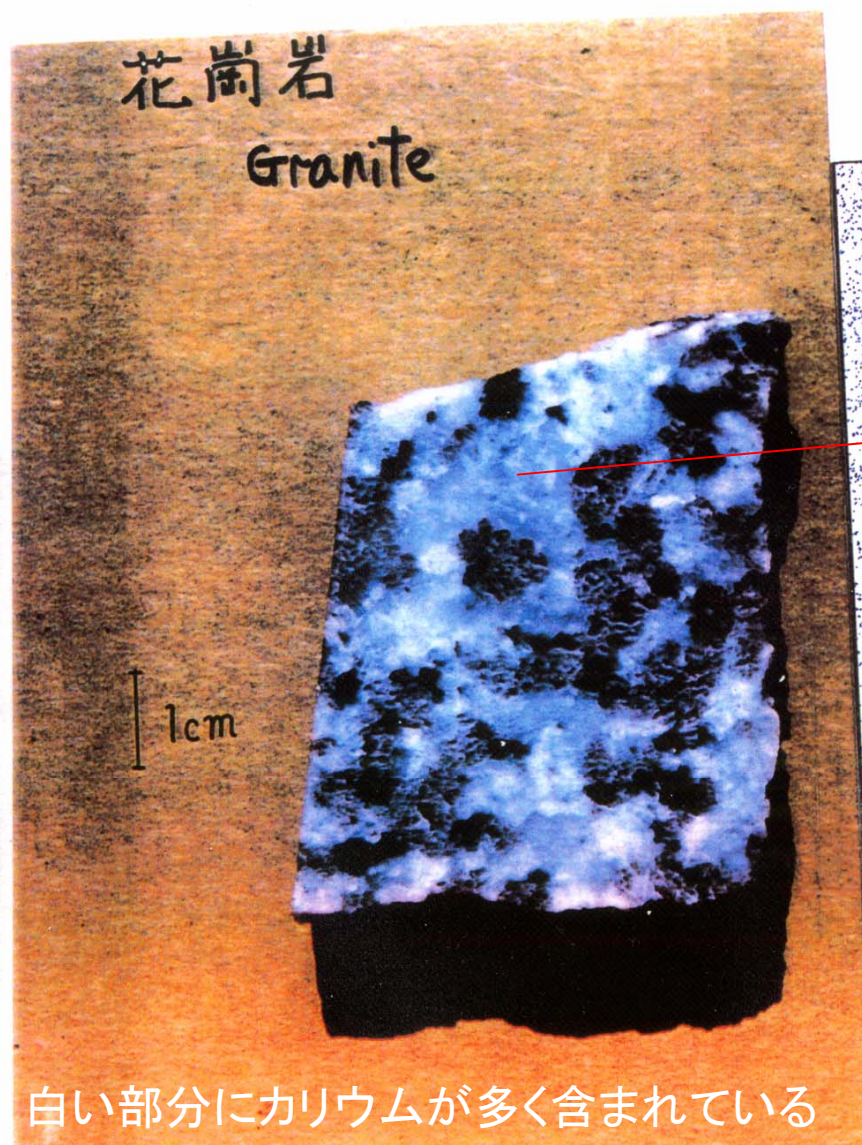
# 自然放射線の内訳



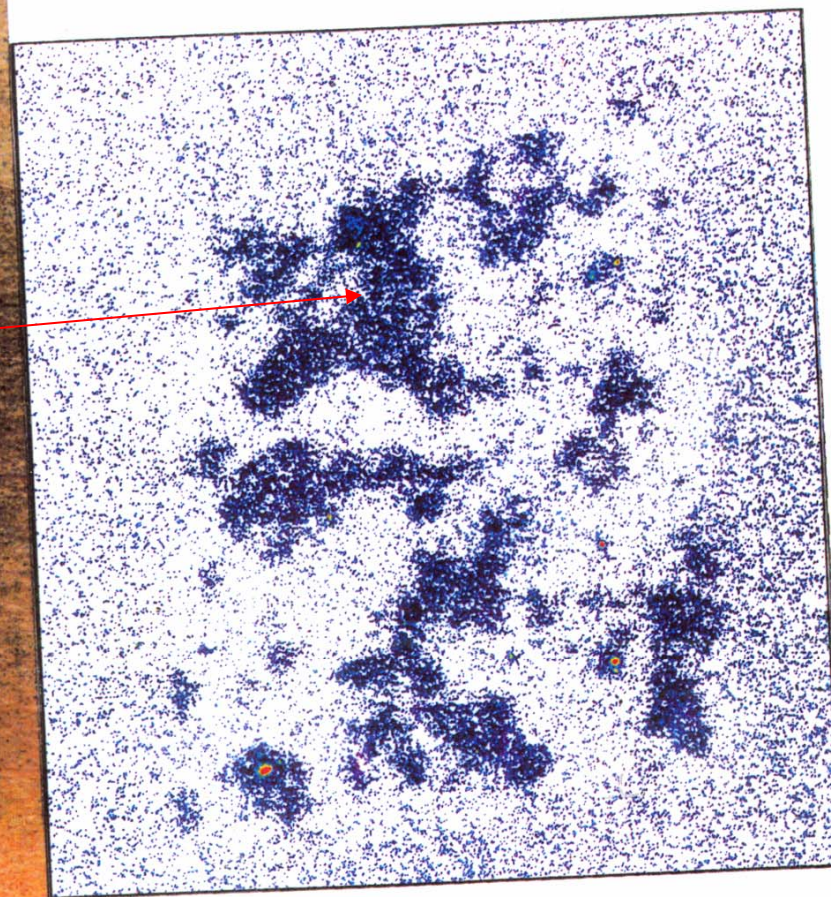
2.4ミリシーベルトの内、約半分は、空気中のラドンなどの吸入による体内被ばくです。



# 目で見える放射線（鉀物）



紺色の部分が $^{40}\text{K}$ の放射線による



体内にも4000Bq程度の $^{40}\text{K}$ がある



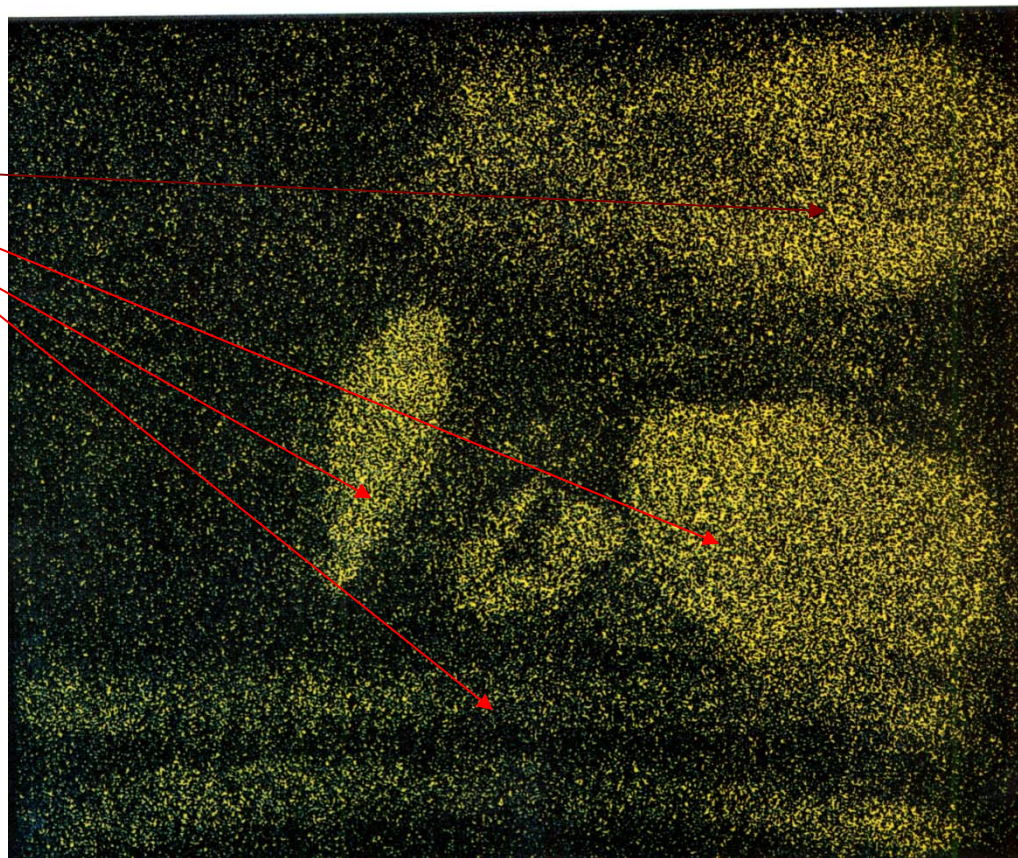
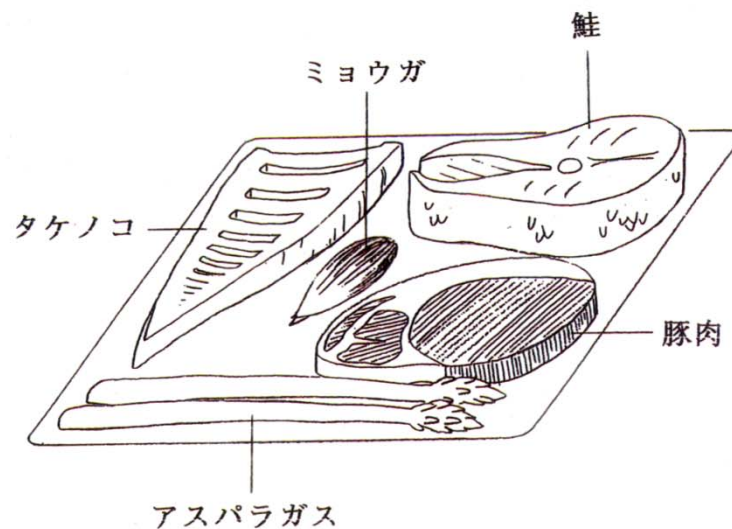
# 目で見る放射線 (植物・動物)

私たちの体内にも、  
 $^{40}\text{K}$ がある(大人の  
平均約4000ベクレル)

$^{40}\text{K}$

飲料水や野菜  
に含まれる  
ヨウ素-131や  
セシウム-137  
が問題となっ  
ている。

[暫定規制値]





# 植物中の自然放射性物質(ベクレル/kg)

< 食物中の自然放射性物質 (ベクレル/kg) >



天然におけるKの  
同位体比

$^{39}\text{K}$  (93.2851%)

$^{40}\text{K}$  ( 0.0117%)

$^{41}\text{K}$  ( 6.7302%)

なぜ、 $^{40}\text{K}$   
があるの？

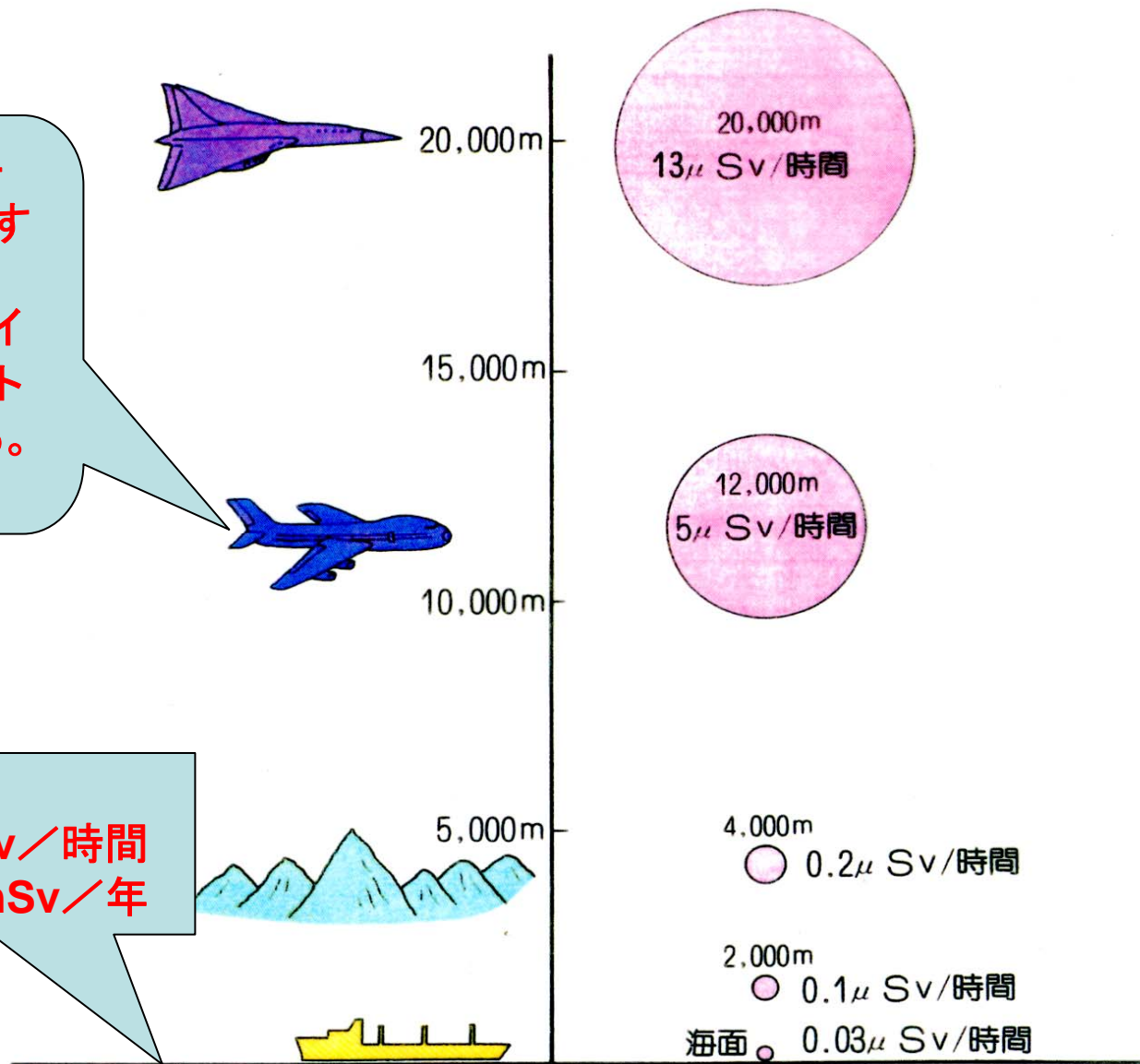
半減期が長  
いため  
(12.7億年)

日本アイソトープ協会HPより

# 宇宙線の高度変化

東京ーニュー  
ヨークを往復す  
ると、  
およそ200マイ  
クロシーベルト  
の線量になる。

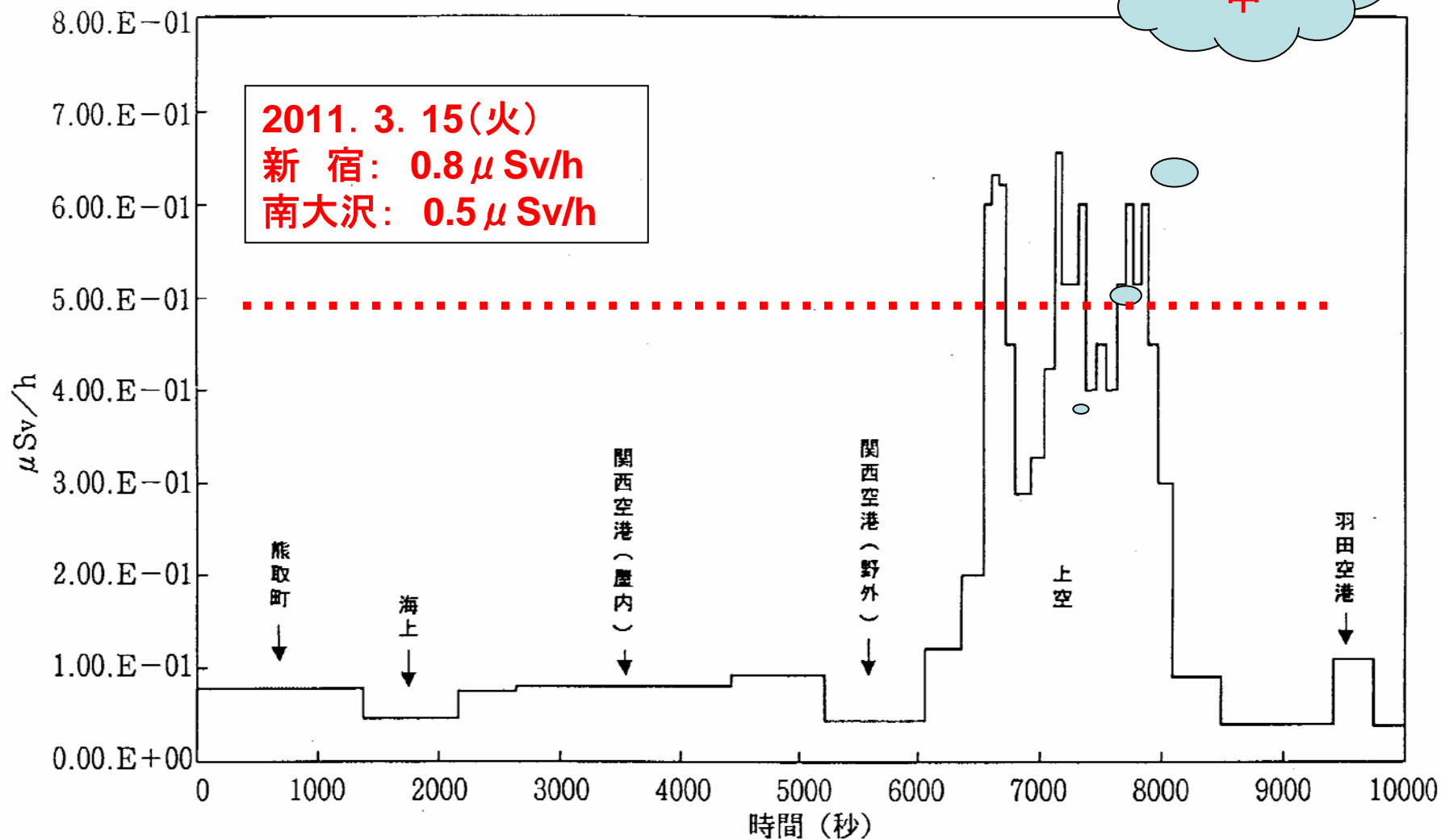
地上では、  
 $0.03 \sim 0.1 \mu\text{Sv}/\text{時間}$   
年間: $0.3 \sim 1\text{mSv}/\text{年}$





# 高さによる被ばく線量の変化

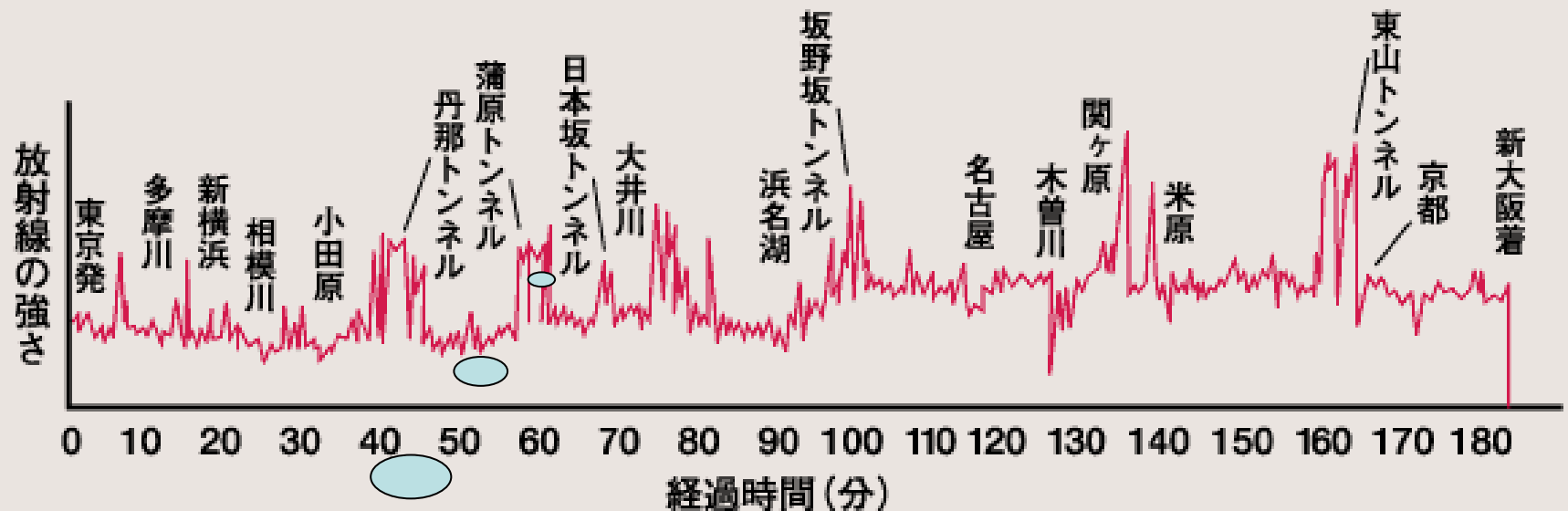
飛行機の中



# 東海道新幹線内における放射線強度の変化

トンネルは周囲を岩盤やコンクリートで囲まれているので、高くなります。

## ●東京-新大阪間新幹線内における放射線強度の変動



トンネル内で  
高くなるの  
は？

日本アイソトープ協会HPより



# 全国の 自然放射線

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の量（ラドン  
などの吸入によるものを除く）

## 被ばく線量限度値

## ○一般の人

## 1ミリシーベルト／年

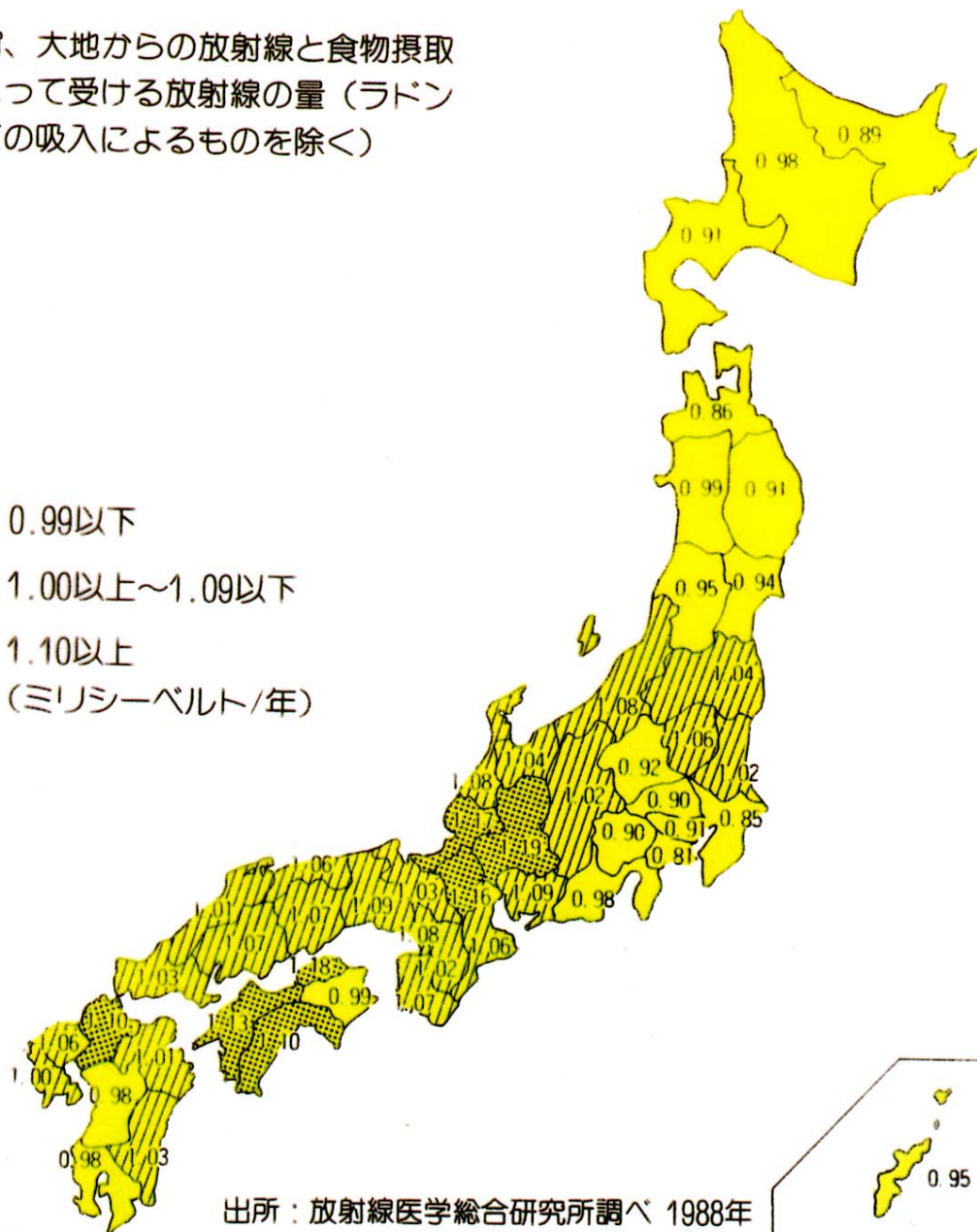
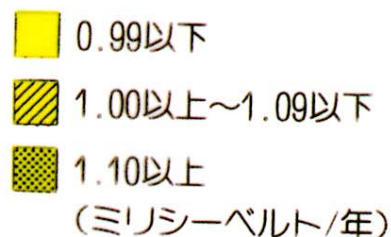
## ○職業被ばく

## 50ミリシーベルト/年

(100ミリシーベルト/5年)

## ○緊急時

## 100ミリシーベルト

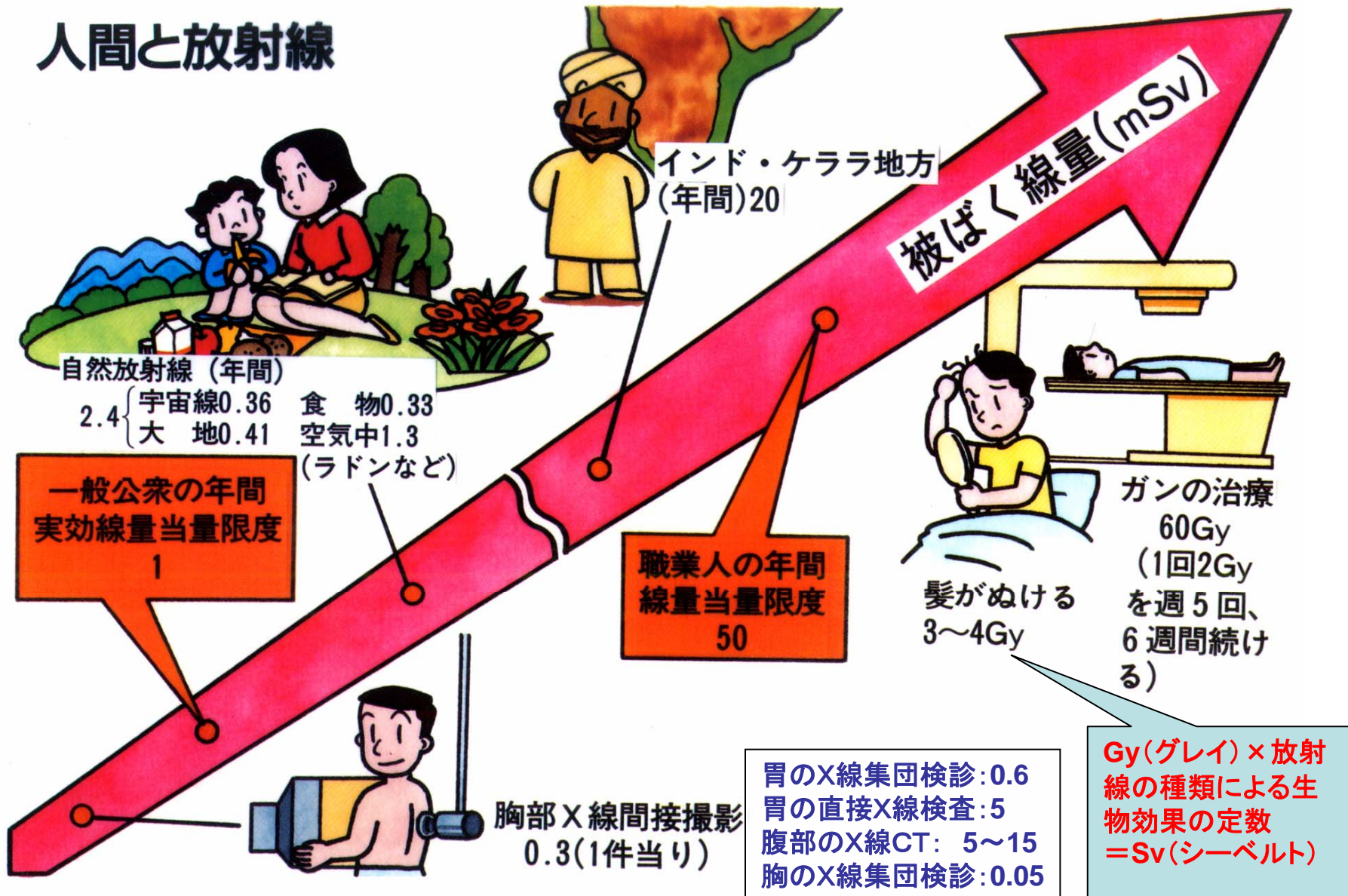


# 西高東低

出所：放射線医学総合研究所調べ 1988年

# 人と放射線

## 人間と放射線







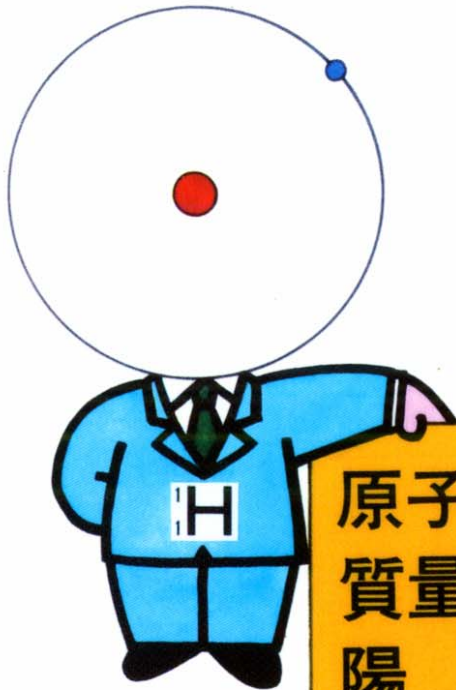
# アイソトープ(同位元素、同位体)

放射性の同位体: 放射性同位体  
ラジオアイソトープ(RI)

水 素 (H)

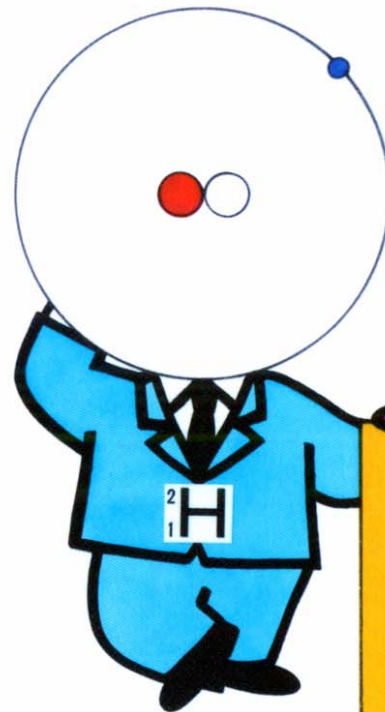
重水素 (D) トリチウム (T)

三重水素



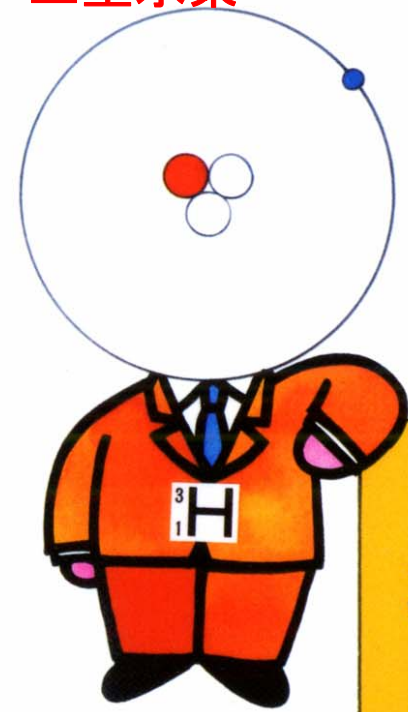
(<sup>1</sup>H)

原子番号	1
質量数	1
陽 子	1
中性子	0



(<sup>2</sup>H)

1
2
1
1



(<sup>3</sup>H)

1
3
1
2

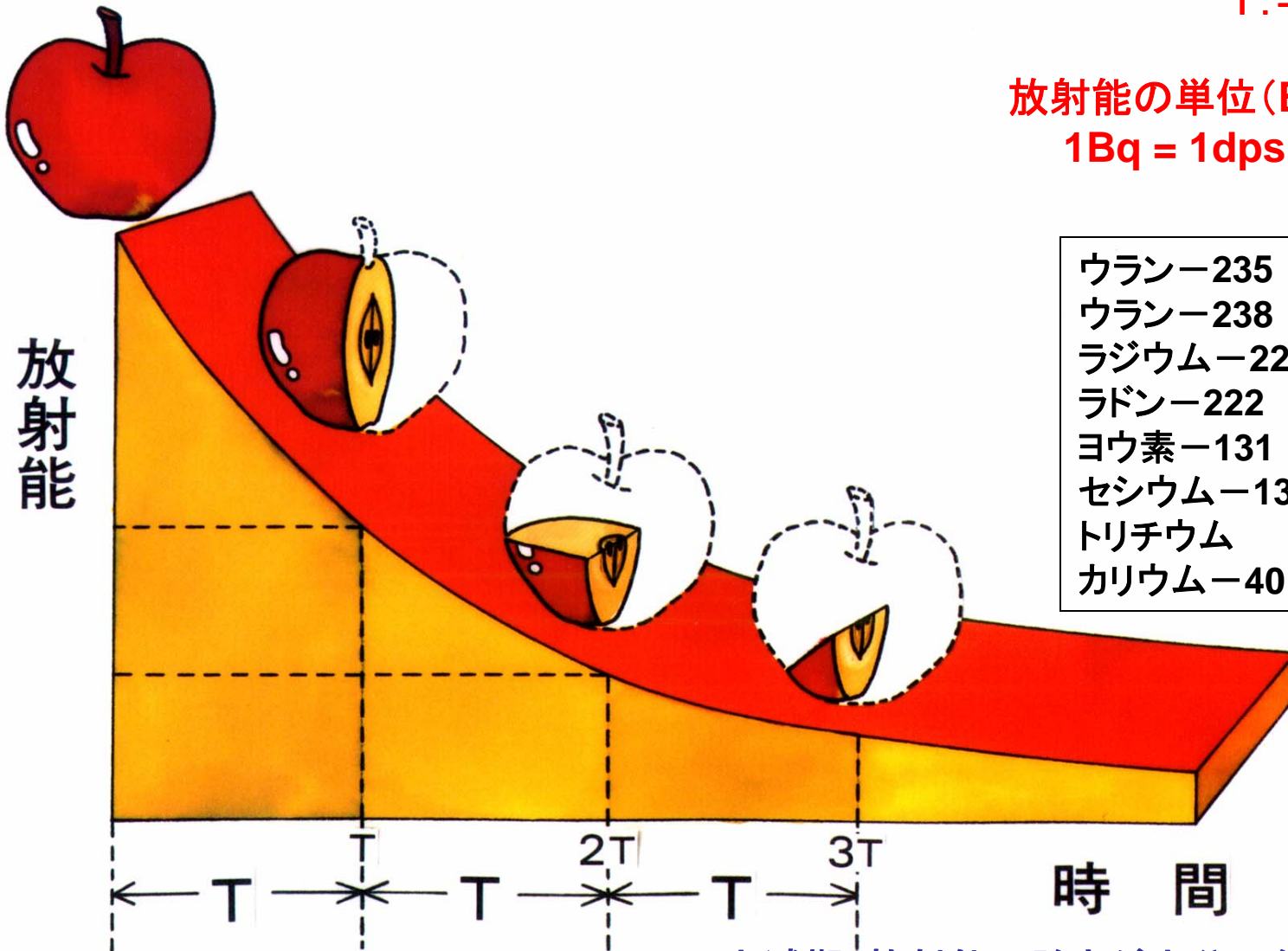
# ラジオアイソトープの半減期

$$N = N_0(1/2)^{t/T}$$

T: 半減期

放射能の単位(Bq、ベクレル)

1Bq = 1dps (壊変率)



ウラン-235	7億年
ウラン-238	45億年
ラジウム-226	1600年
ラドン-222	3.8日
ヨウ素-131	8日
セシウム-137	30年
トリチウム	12.3年
カリウム-40	13億年

半減期: 放射能の強さが半分になる時間

# 放射線と放射能の違い

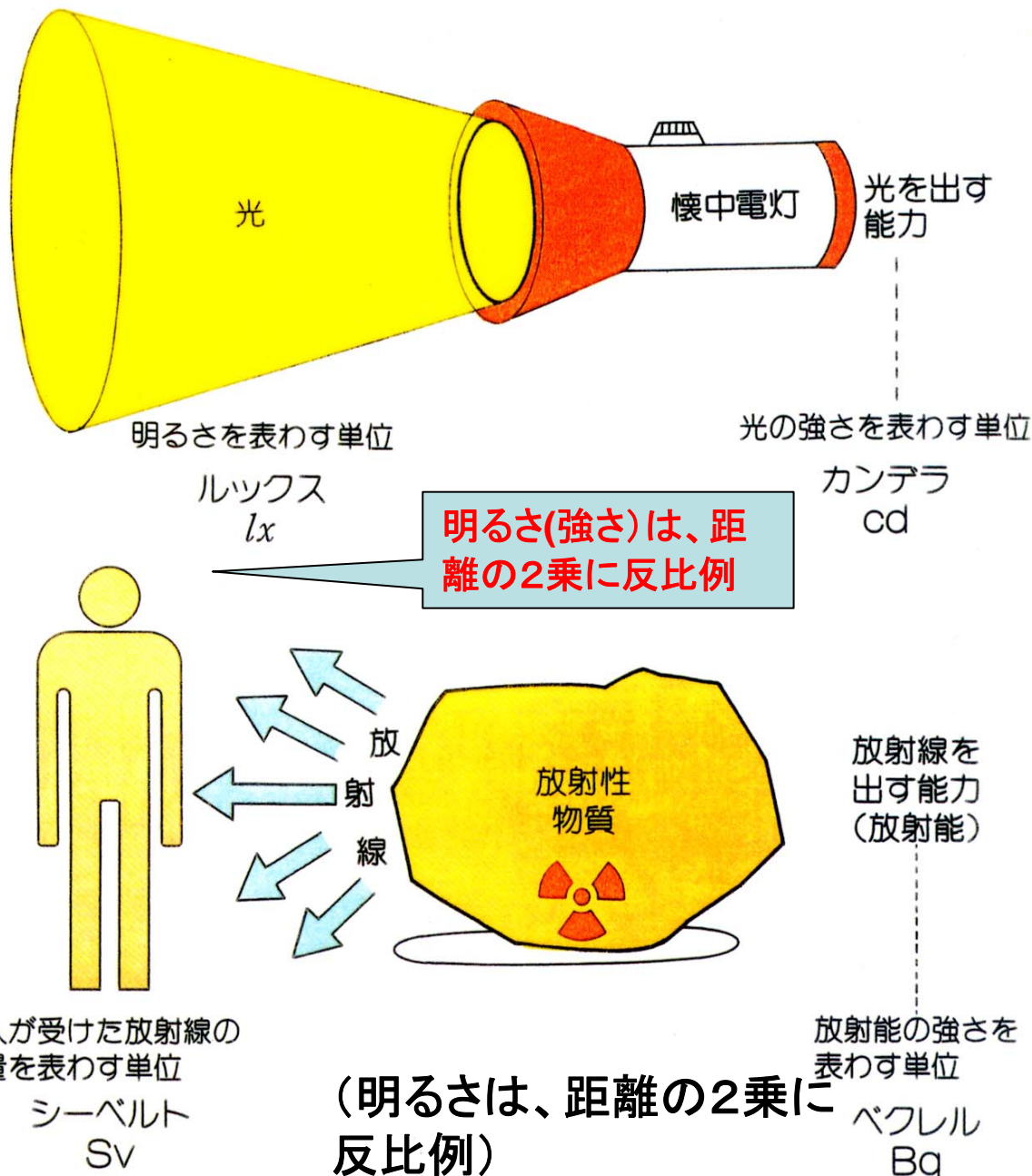
放射線漏れ:放射線が漏れることで、簡単に遮へいできる

放射能漏れ:放射性物質が漏れることで、密閉すれば、防ぐことができる

福島原発では、放射性物質が飛散しており、東京にも飛んできている。

ヨウ素-131、セシウム-137

→ 放射性物質の拡散を防ぐため、原子炉建屋を特殊布で覆う案あり





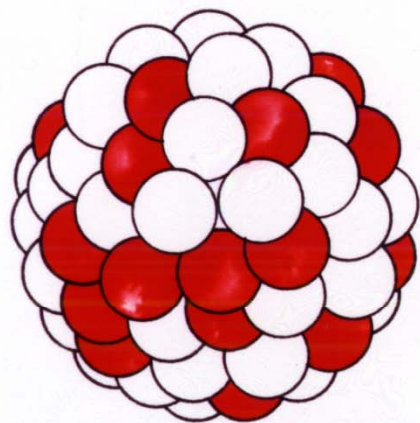
# $\alpha$ 壊変

原子番号は2減少、  
質量数は4減少

$\alpha$  壊変

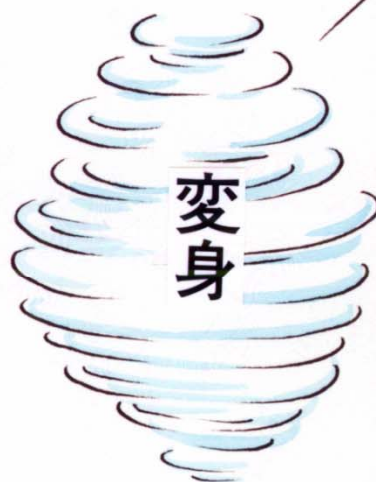
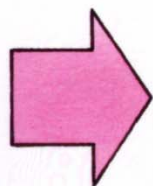
$\alpha$ 線

{ 陽 子 2 個  
中性子 2 個

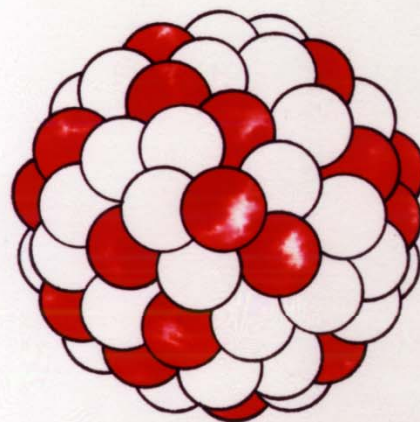
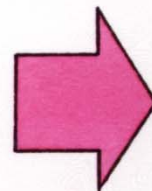


ラジウム-226

{ 陽 子 88 個  
中性子 138 個



変身



ラドン-222

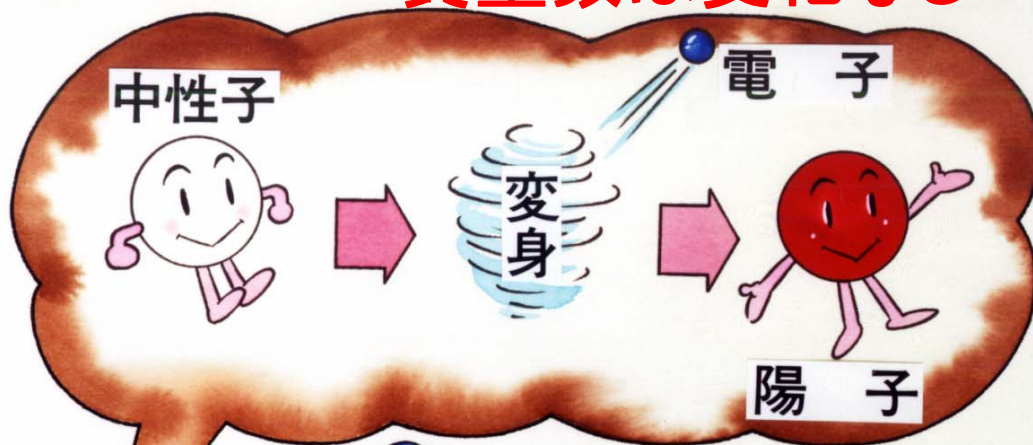
{ 陽 子 86 個  
中性子 136 個

# $\beta^-$ 壊変

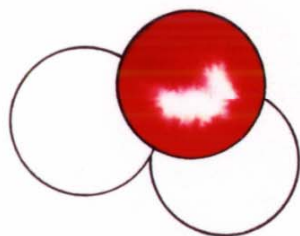
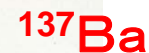
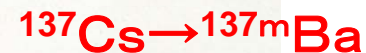
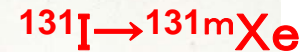
原子番号は1増加、  
質量数は変化なし

## $\beta^-$ 壊変

$\beta^-$ 壊変には、  
 $\beta^-$ 壊変、  
 $\beta^+$ 壊変、  
EC壊変の  
3種類の  
壊変様式  
がある。

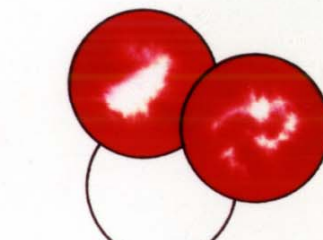


電子 ( $\beta$ 線)



トリチウム

{ 陽子 1 個  
中性子 2 個

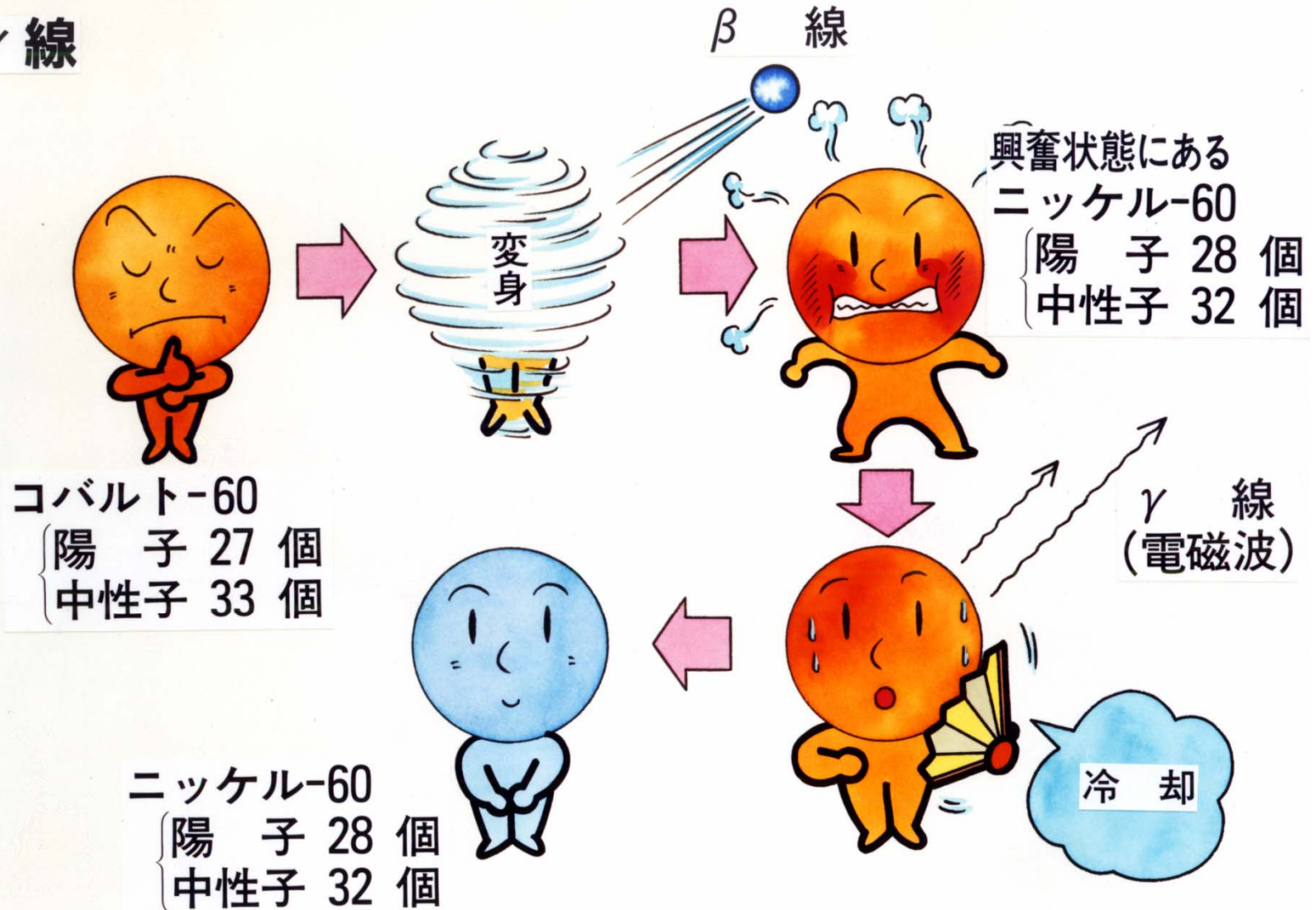


ヘリウム-3

{ 陽子 2 個  
中性子 1 個

# $\gamma$ 線の放出

$\gamma$  線

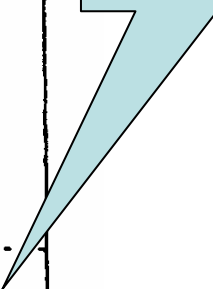




# 放射線の種類による放射線荷重係数(影響の程度)

表 4.1 放射線の種類による放射線荷重係数( $w_R$ )

放射線の種類	$w_R$
光子 (全てのエネルギー)	1
電子および $\mu$ 粒子 (全てのエネルギー)	1
中性子線 エネルギーが10 keV 未満	5
10 keV を超え100 keV まで	10
100 keV を超え 2 MeV まで	20
2 MeV を超え20 MeV まで	10
20 MeV を超えるもの	5
反跳陽子以外の陽子線 (2 MeV を超えるもの)	5
$\alpha$ 線, 核分裂片, 重原子核	20

放射線の種類やエネルギーにより人体への影響の程度は異なり、荷電粒子のほうが影響が大きい。) 

# 組織荷重係数(組織によって影響は異なる)

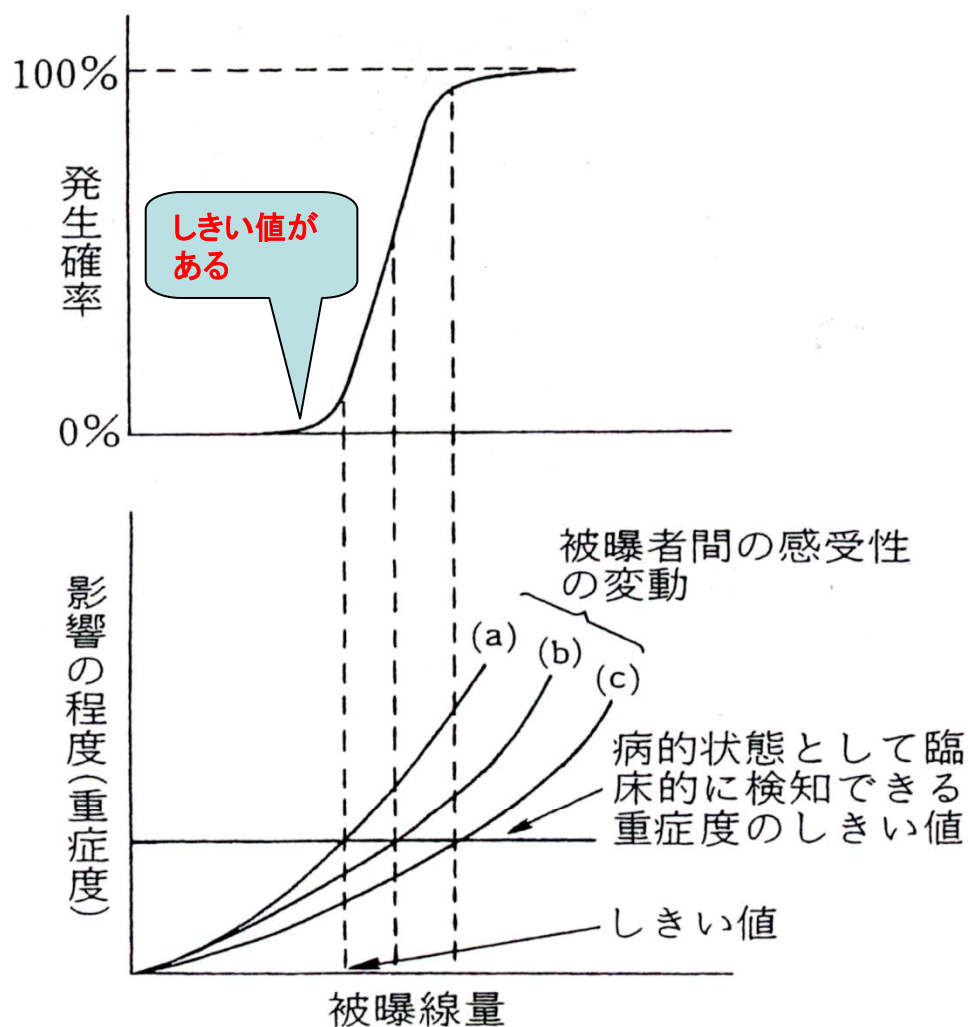
表 3.9 組織荷重係数 (国際放射線防護委員会1990年勧告)

組織・臓器	組織荷重係数
生殖腺	0.20
赤色骨髄	0.12
結腸	0.12
肺	0.12
胃	0.12
膀胱	0.05
乳房	0.05
肝臓	0.05
食道	0.05
甲状腺	0.05
皮膚	0.01
骨表面	0.01
残りの組織	0.05
計	1.00

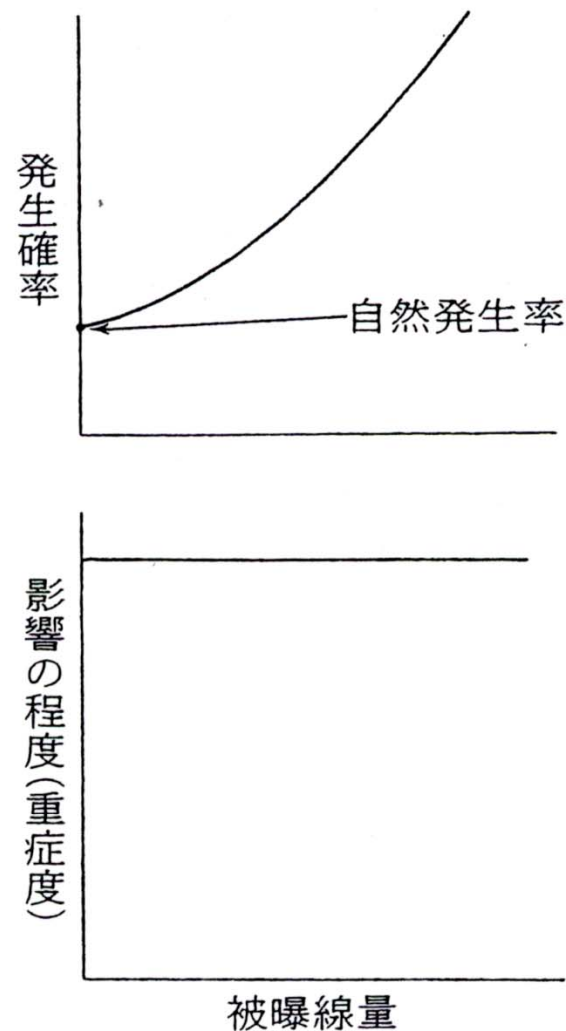
放射線の影響は、人体の組織によって影響の程度は、異なり、生殖腺が最も影響を受ける。

皮膚は影響を受けにくい

# 確定的影響と確率的影響



図表 68 確定的影響の現れ方  
と被曝線量との関係



図表69 確率的影響の現れ方  
と被曝線量との関係



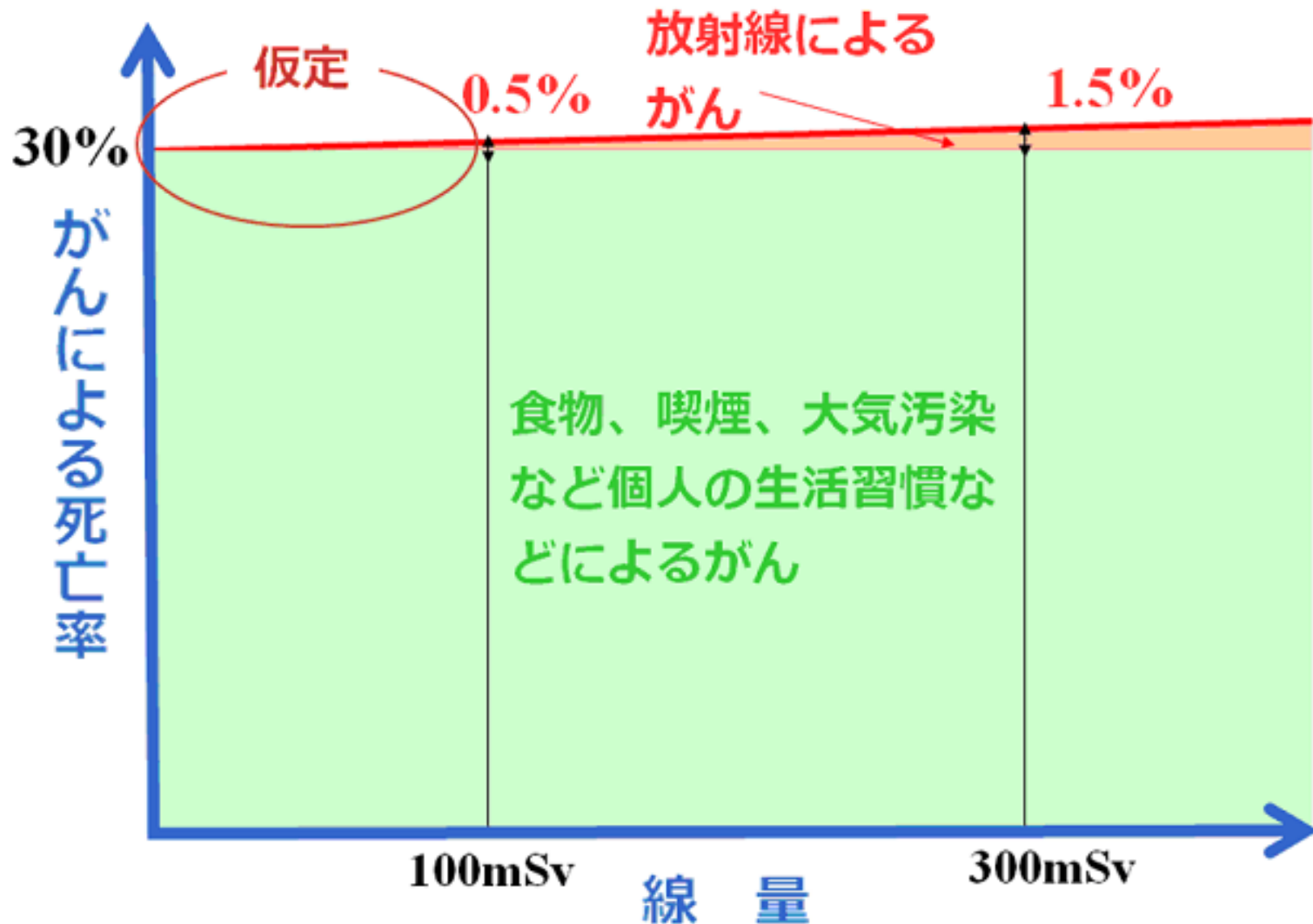
# 放射線影響の分類

放射線影響	身体的影響	急性影響	皮膚の紅斑 脱 毛 白血球減少 不 妊 など	確定的影響 (影響が現れる被ばく量(しきい値)がわかっている。)
		晩発影響	白 内 障 胎児の影響 など	
			白 血 病 が ん	確率的影響 (しきい値がなく、被ばく量に比例して影響の現れる確率が増加する。)
	遺 伝 的 影 響 人体での影響は確認されていない		代謝異常 軟骨異状 など(動物実験)	

# 急性影響の症状と被ばく線量との関係

被ばく線量 (グレイ)	症 状
0.25以下	ほとんど臨床的症状なし
0.5	白血球(リンパ球)一時減少
1	吐き気、嘔吐、全身倦怠、リンパ球著しく減少
1.5	50%の人に放射性宿酔
2	5%の人が死亡
4	30日間に50%の人が死亡
6	14日間に90%の人が死亡
7	100%の人が死亡

# がんによる死亡率と線量の関係





# 被ばく線量の上限值

【一般の人】.....1mSv/年

【仕事で放射線などを取り扱う人】  
(放射線業務従事者)

.....50mSv/年  
ただし、100mSv/5年(50年で1Sv)

【緊急時】.....100mSv  
ただし、引き上げ後は250mSv  
(放射線審議会2011.1月答申)

【医療被ばく】.....制限なし

# 放射線量と線量率

○放射線量：吸収された放射線の総量

○放射線量率：単位時間あたりに吸収された線量  
(秒、分、時間、年あたり)

- ・胃のX線集団検診で $600 \mu\text{Sv}$ /回(一回当たり総線量)の被ばくがあるとすると、  
検査時間が5分だと、線量率は $120 \mu\text{Sv/m}$   
 $7200 \mu\text{Sv/h}$ 。
- ・空間線量率が $0.1 \mu\text{Sv/h}$ だと、  
一日の線量は、 $0.1 \times 24 = 2.4 \mu\text{Sv}$ 。一年だと、  
 $876 \mu\text{Sv}$ になる。

# 放射線を正しく怖がる

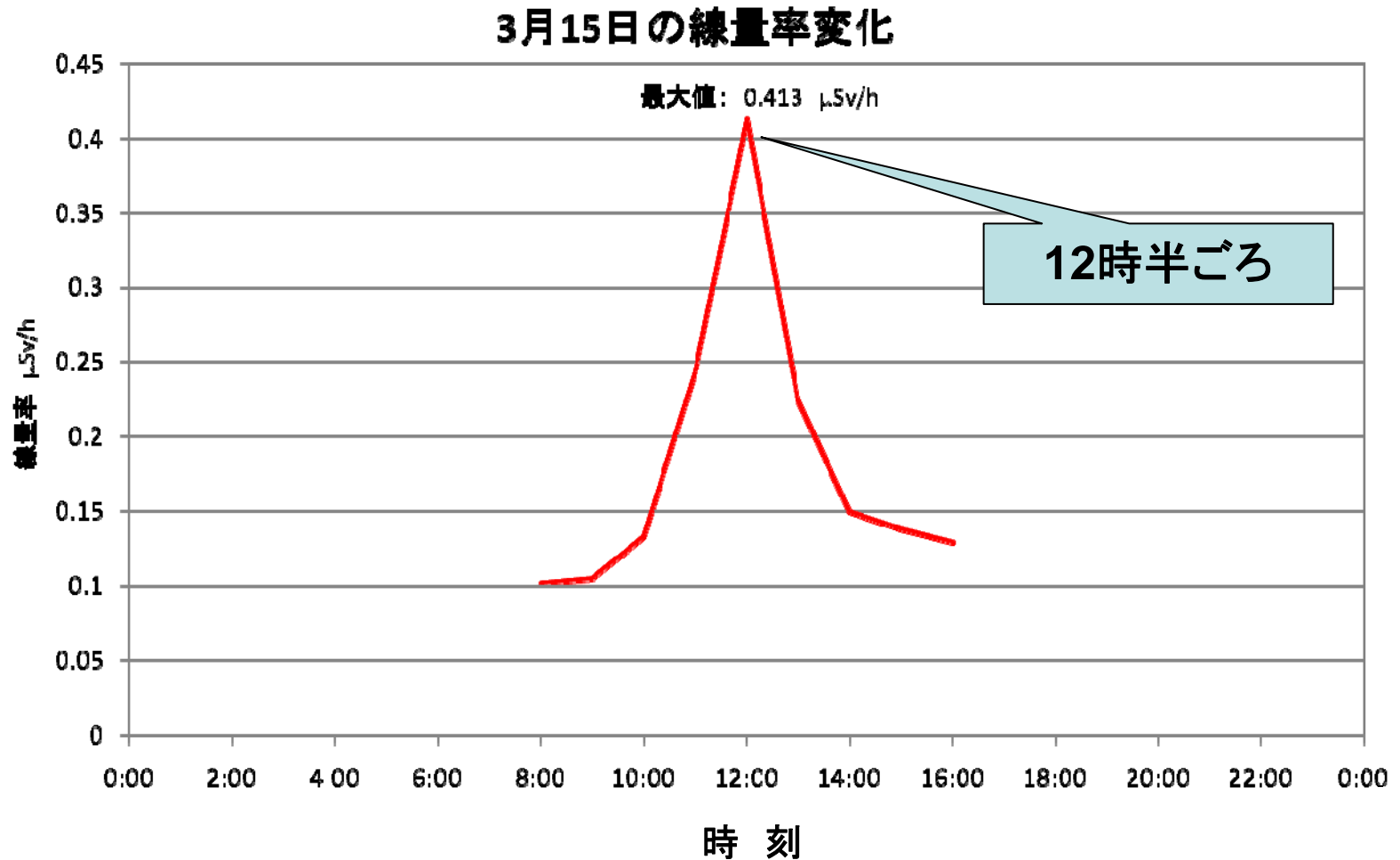
放射線・放射能に対する基本的態度は、正しい知識と情報のもとに、侮ることなく、かといってむやみに怖がることもなく、「正しく怖がる」ことだと思います。

それが、安心につながります。

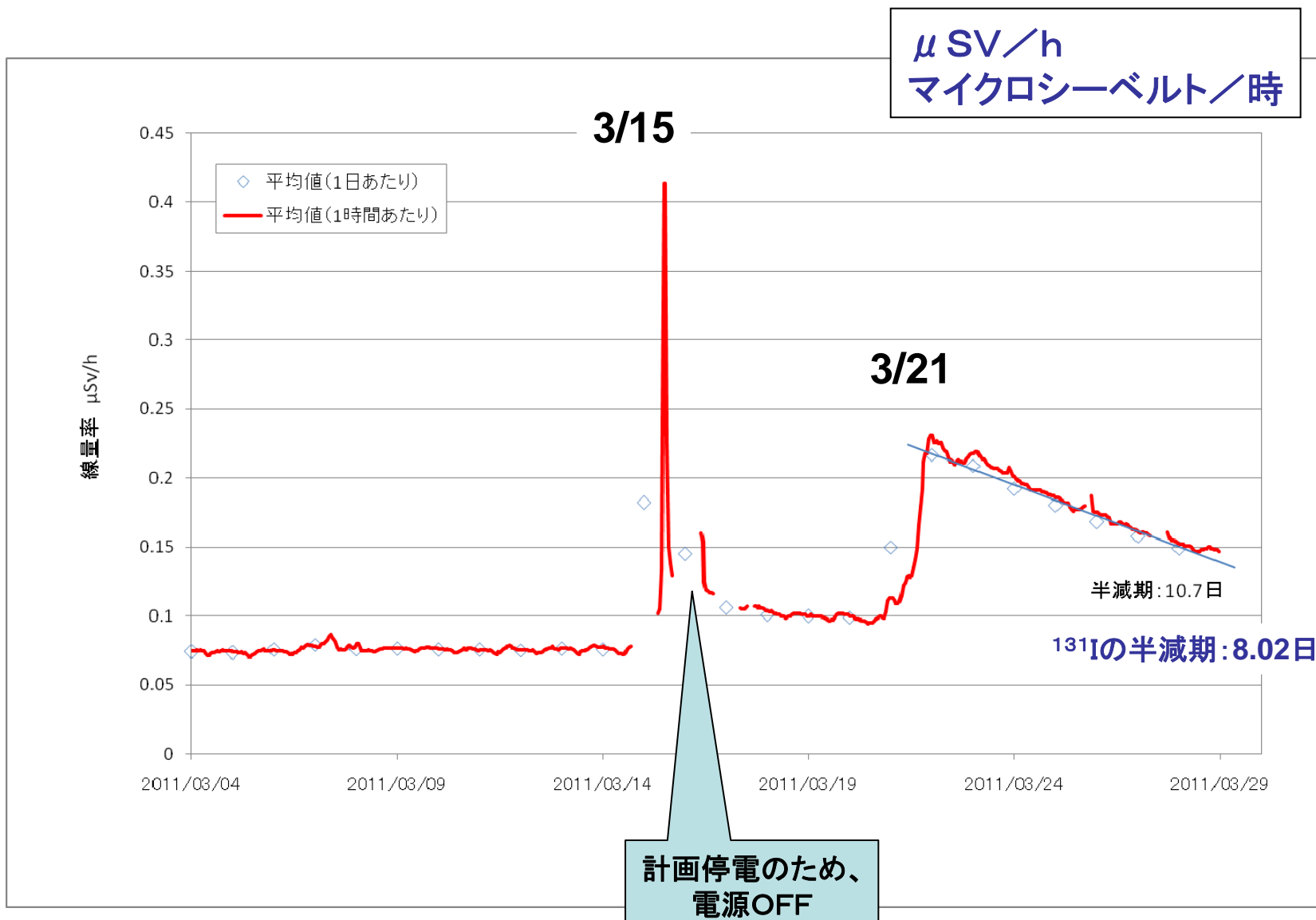
# 參考資料



# 3月15日の空間線量率変化(南大沢キャンパス)



# 空間線量率の変化 (南大沢キャンパスモニタリングポスト)



# 飲食物摂取制限に関する指標 (Bq/kg) (原子力安全委員会)

## [放射性ヨウ素]

- ・飲料水、牛乳・乳製品<sup>注)</sup>: 300
- ・野菜類(根菜、芋類を除く。): 2000

## [放射性セシウム]

- ・飲料水、牛乳・乳製品: 200
- ・野菜類、穀類、肉・卵・魚・その他: 500

注) 乳児の飲む乳類は100Bq/kgを超えてはいけない

○食品衛生法で放射能で汚染された食品が出回らないように販売を規制した基準、「暫定規制値」と同じ値

(1年間摂取した場合、ヨウ素の甲状腺での等価線量が50mSv(実効線量への寄与は2.5mSv)、セシウムの全身の線量(実効線量)が5mSvを超えないように算出されている。)

# 体内に含まれている $^{40}\text{K}$ からの寄与

【(ヒューマンボディカウンタによる実測)】

○大人:2400~6000ベクレル

○1年間での被ばく総線量、  
0.12~0.22ミリシーベルト

草間朋子著、「放射能目に見えない危険」  
(読売科学選書、1990年)より

【計算値】

○大人:6660ベクレル

- ・体重60kg、人体に平均して0.35%のカリウムが含まれてるとして計算(計算式省略)。
- ・カリウム元素の同位体存在度:  
 $^{39}\text{K}$ (93.2851%)、 $^{40}\text{K}$ ( 0.0117%)、 $^{41}\text{K}$ ( 6.7302%)



# 物理的半減期と生物学的半減期

核 種	半減期		主に沈着する臓器
	物理的	生物学的	
ヨウ素－131	8.0日	12日(全身)、120日(甲状腺)	甲状腺
セシウム－134	2.1年	2日(0.5)、110日(0.5)	全身
セシウム－137	30.2年	2日(0.5)、110日(0.5)	全身
セリウム－144	284日	3, 500日	肝臓、骨
プルトニウム－239	24, 000年	20年(肝)、50年(骨)	肝臓、骨

※かっこ内の数値0.5は、血液に入ったものの半分が、それぞれの半減期で減少していくことを示す。草間朋子著、「放射能目に見えない危険」（読売科学選書、1990年）より