

平成26年12月10日

放射線による人体影響

独立行政法人 放射線医学総合研究所
江口-笠井 清美

放射線生物学
ガンの放射線治療の基礎研究
DNAの切断と再結合 ¹

正しいと思いますか？



- 内部被ばくは外部被ばくよりも危険？
- 自然放射線は安全で人工放射線は危険？
- 子どもは大人よりも放射線に弱い？

本日お話しする内容

◎自分で考える

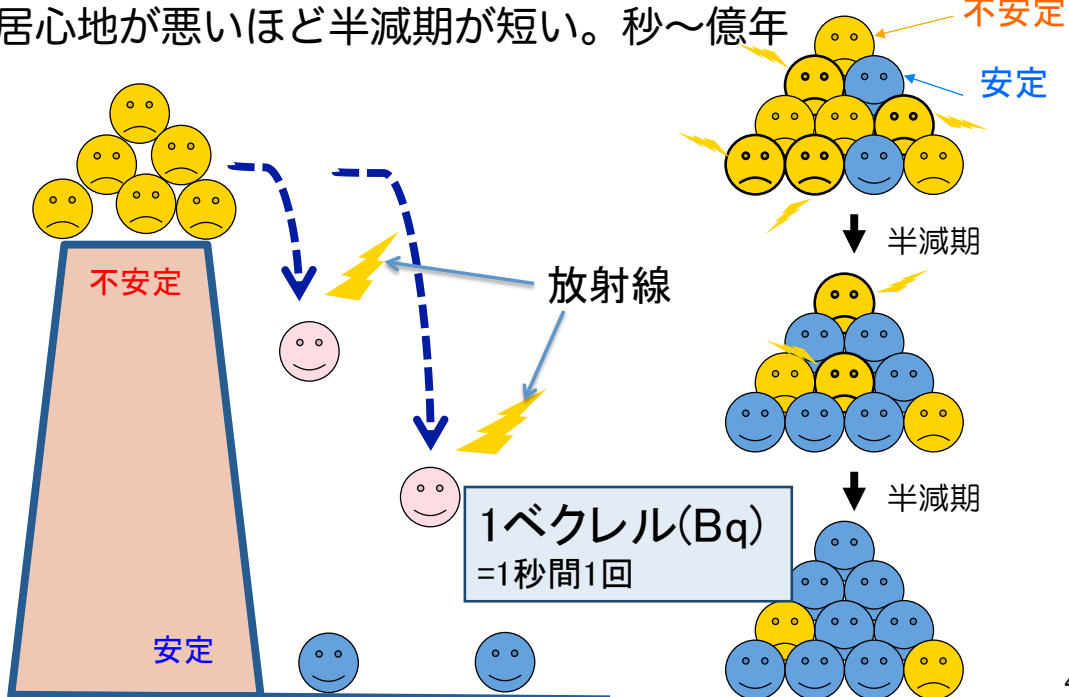
- ・ 放射線とは
- ・ 内部被ばく
内部被ばくを減らすには
- ・ 被ばくの影響
- ・ 外部被ばくを減らすには

3

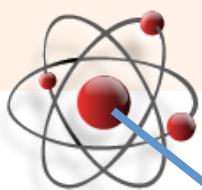
放射線を出す物質



- ・ 居心地の悪い状態から良い状態に移る時に放射線を出す。
- ・ 居心地が悪いほど半減期が短い。秒～億年



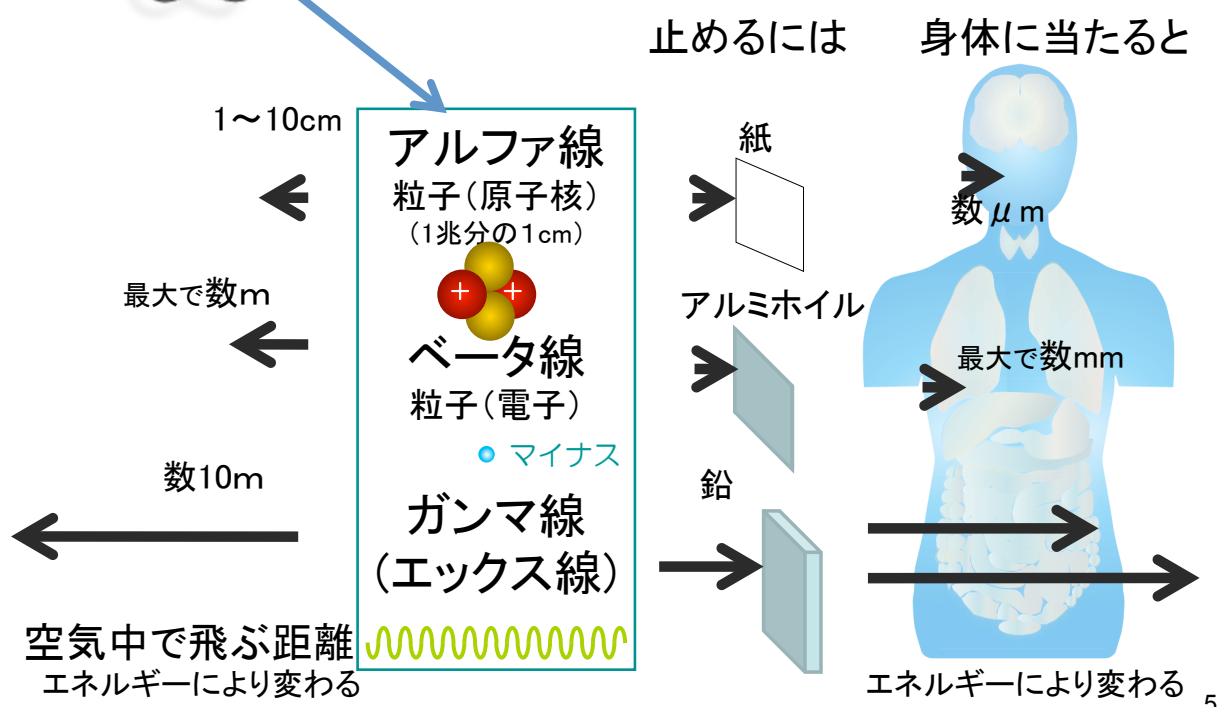
4



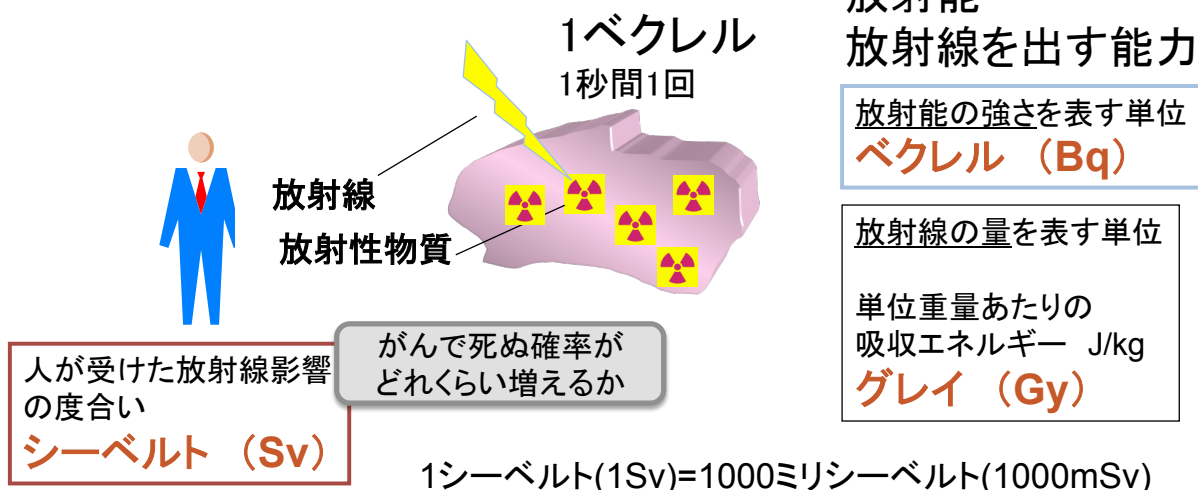
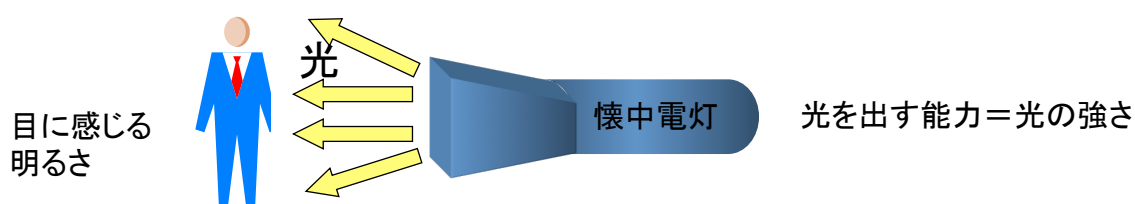
放射線の透過力



放射性物質



放射線の単位 シーベルト(Sv)とベクレル(Bq)



本日お話しする内容

◎自分で考える

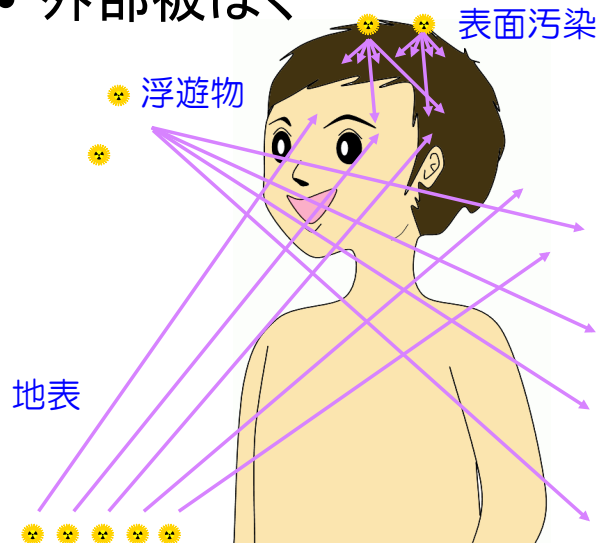
- ・放射線とは
- ・内部被ばく
内部被ばくを減らすには
- ・被ばくの影響
- ・暮らしの中の放射線
- ・外部被ばくを減らすには

7

被ばくの種類

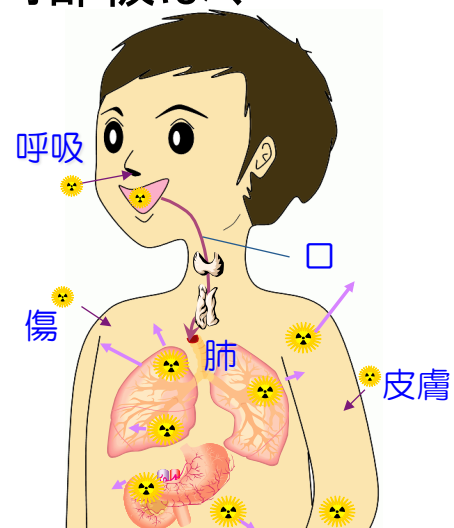


・外部被ばく



放射線は体外で発生
主にガンマ線
外から1ミリシーベルト

・内部被ばく



放射線が体内で発生
ベータ線（アルファ線）が主。ガンマ線も。
体内から1ミリシーベルト

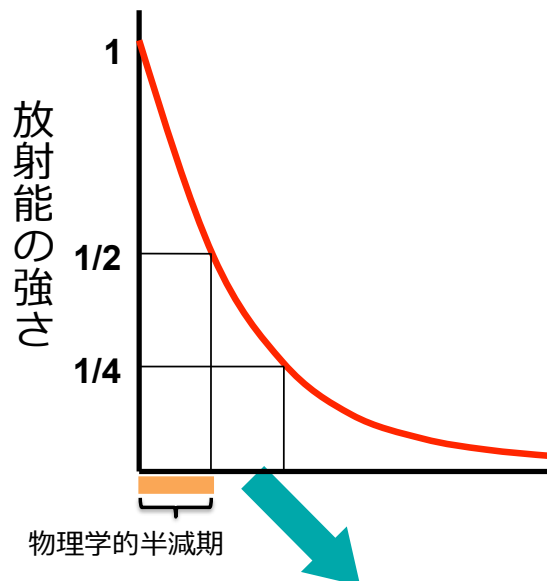
人体影響の大きさは同じ。足し算する

8

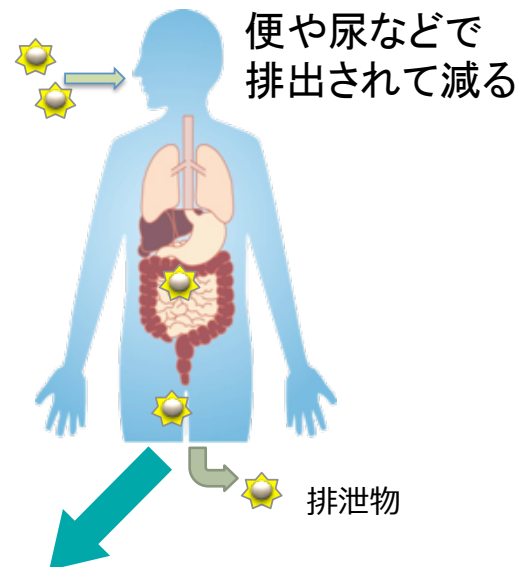
体内放射性物質の減少



物理学的半減期



生物学的半減期



実効半減期

9

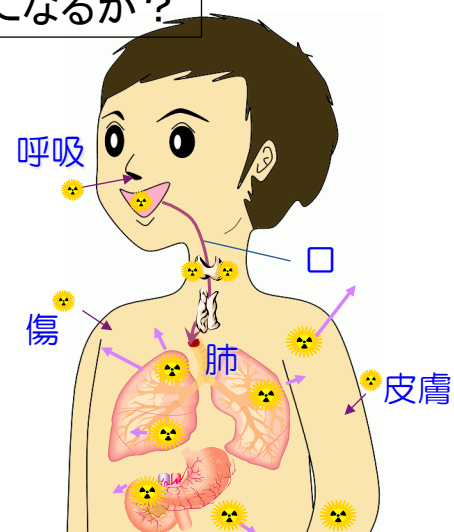
ベクレルからシーベルトへ



1ベクレルの摂取で一生に何シーベルトになるか？

- 放射線の種類(α線、ベータ線、γ線)、エネルギー(どのくらい飛ぶか)、物理的半減期、
- 分布しやすい臓器、体内に留まる期間、年齢

などを考慮して決めた係数を用いて計算。



放射線が体内で発生
ベータ線(アルファ線)が主。ガンマ線も。

蓄積しやすい臓器のある放射性物質で注意が必要

ヨウ素-131(現在は環境中に無い)

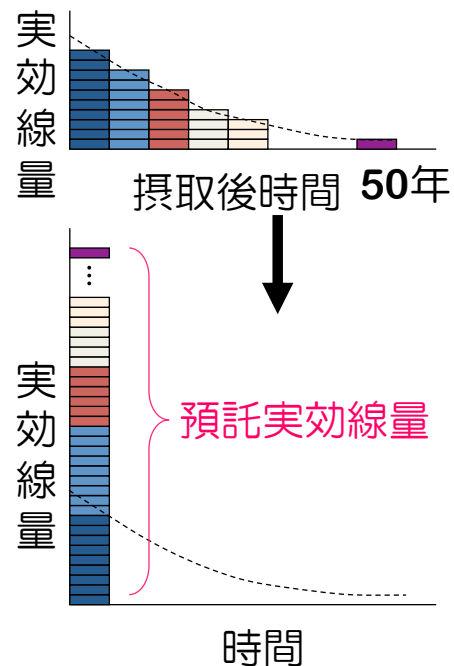
10

内部被ばくで受ける放射線量は？



「預託実効線量」(Sv)

- 放射性物質の摂取後、**一生分**の被ばくを計算する。
 - 成人: 摂取後50年間
 - 子供: 摂取後70歳まで。
- 1ベクレルで何シーベルトになるか = **実効線量係数**



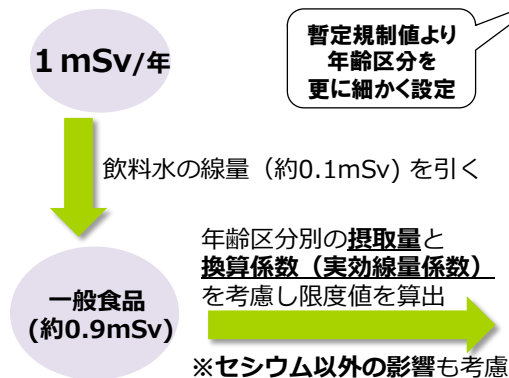
$$\text{摂取量} \times \text{実効線量係数} = \text{預託実効線量}$$

11

基準値の計算の考え方



年齢区分ごとに限度値を計算



年齢区分	摂取量	限度値(ベクレル/kg)
1歳未満	男女平均	460
1歳～6歳	男	310
	女	320
7歳～12歳	男	190
	女	210
13歳～18歳	男	120
	女	150
19歳以上	男	130
	女	160
妊婦	女	160
最小値		120

基準値
100ベクレル/kg

すべての年齢区分における限度値のうち、最も厳しい(小さい)値から基準値を設定

●乳幼児にとっては、限度値と比べて大きな余裕がある。

牛乳・乳児用食品の基準値について

子どもへの配慮。万が一、これらの食品のすべてが基準値レベルであっても影響のない値を基準値とする。

→ **50 ベクレル/kgを基準値とする。**



12

内部被ばくで受ける量は？

ベクレル(Bq)とシーベルト(Sv)

成人がセシウム137を50 Bq/kg含む食品を0.5 kg摂取

実効線量係数 (μSv/Bq)

	ヨウ素131	セシウム134	セシウム137
乳児 3ヶ月	0.180	0.026	0.021
1歳	0.180	0.016	0.012
幼児	0.100	0.013	0.0096
小学生	0.052	0.014	0.010
成人	0.022	0.019	0.013

1000マイクロシーベルト
(1000μSv)は
1ミリシーベルト(1mSv)

計算例： 簡単なかけ算です。食べた分から受ける一生分の被ばく線量(預託実効線量)を計算します。

$$0.013 \times 50 \text{ Bq/kg} \times 0.5 \text{ kg} = 0.325 \mu\text{Sv}$$

係数 × セシウム137濃度 × 食べた量 = 実効線量(一生分)

13

出荷制限の地域がある品目リストの例

分類	品目	傾向
きのこ	原木シイタケ(露地&施設)	セシウムを蓄積しやすいものが多い
	原木クリタケ(露地)	
	原木ナメコ(露地)	
	キノコ類(野生)	
した植物	こごみ(野生)	セシウムを蓄積しやすいものがある セシウムは生長中の若い部分に集まる
	ぜんまい(野生)	
	わらび(野生)	
その他	タケノコ	セシウムを蓄積しやすいものがある？ セシウムは生長中の若い部分に集まる
	こしあぶら(野生)	
	たらめのめ(野生)	
	さんしょう(野生)	
	クリ	
肉	牛の肉(全頭検査)	食物連鎖による移行
	イノシシの肉	
	シカの肉	
水産物	イワナ(養殖を除く)	海水魚に比べて蓄積しやすい

・地域により制限は異なる
・神奈川県では出荷制限無し
(基準を超えた品目無し)

2014年

14

セシウムを蓄積しやすいもの ——野生きのこと山菜



山では貴重なミネラルが循環→新芽に集まる

野生のシダ、山菜

野生きのこ



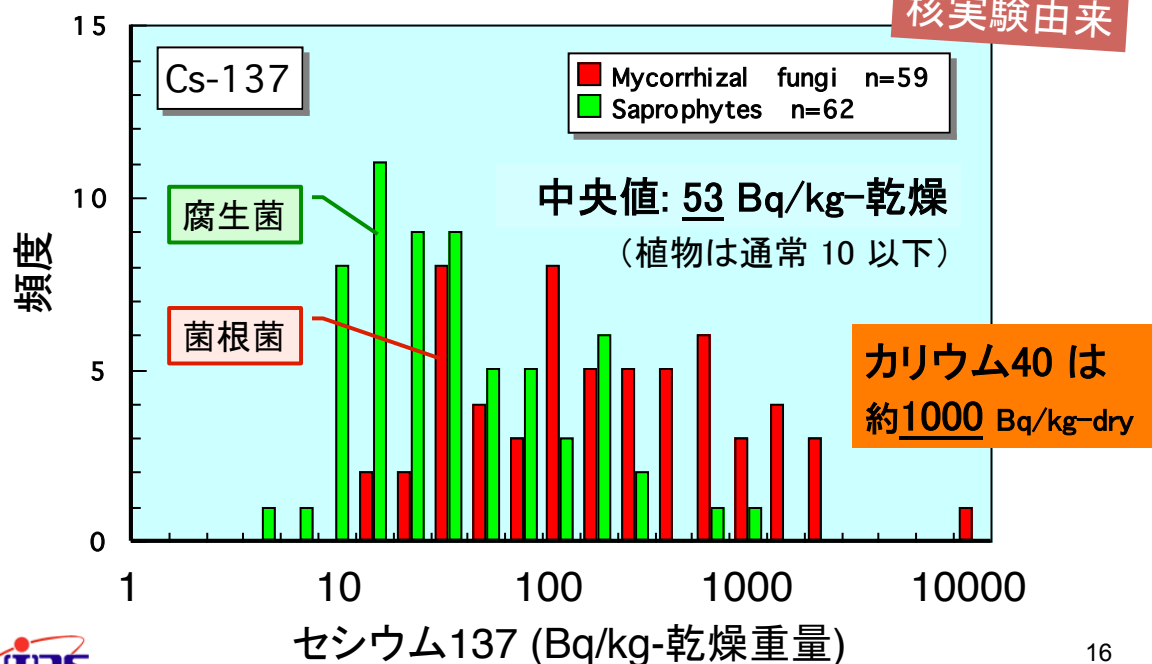
15

日本産キノコ中のセシウム137

(非食用を含む野生キノコ中心)

1990年頃

大気中
核実験由来



16

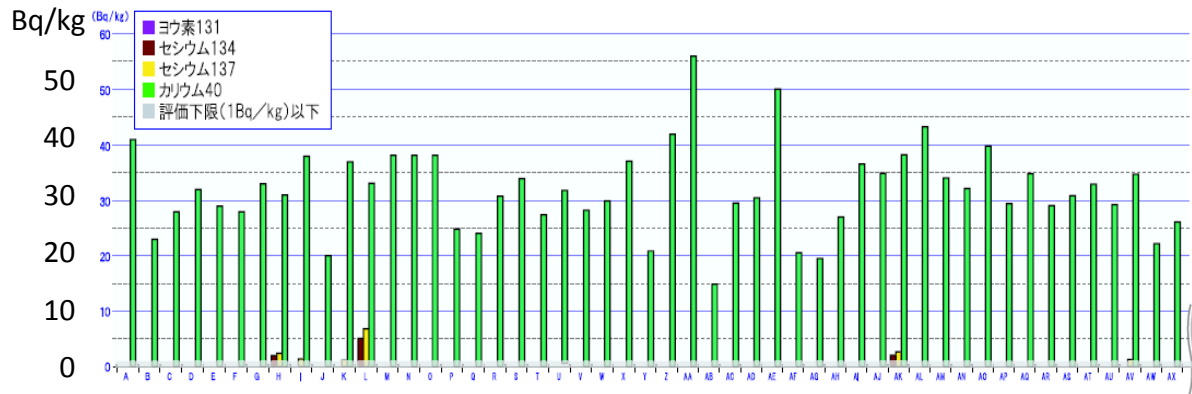


食品を介した内部被ばく

測定方法：陰膳方式

毎食家族人数より1人分余計に食事を作り、それを2日分(6食+おやつや飲料)保存して検査センターに送り、検査センターでミキサーで均一に混ぜ、そのうち1キログラムを検査資料として測定する。

陰膳方式放射能調査結果 (2012年4月12日 更新)



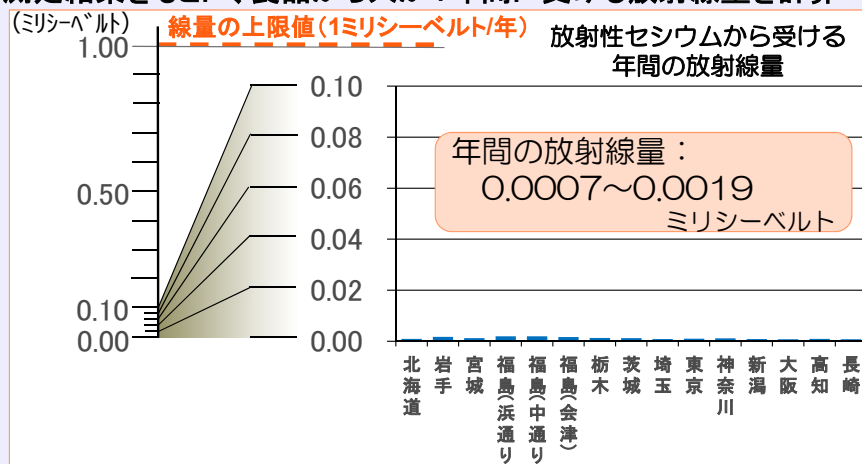
http://www.fukushima.coop/kagezen_news/kagezen/index.html から図を抜粋

17

食品による年間放射線量 (2014年)

■ 流通食品での調査 (マーケットバスケット調査)

- 平成26年2・3月に、各地で流通する食品を購入し、放射性セシウムを精密に測定
国民の食品摂取量(国民健康・栄養調査)の、地域別平均に基づいて購入し、混合して測定
 - ◆ 通常の食事の形態に従った、簡単な調理をして測定
 - ◆ 生鮮食品はできるだけ地元産・近隣産のものを購入
- この測定結果をもとに、食品から人が1年間に受ける放射線量を計算



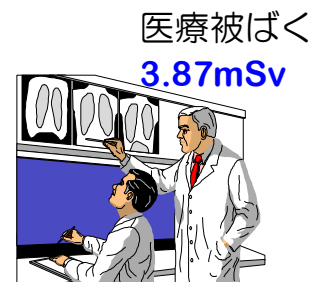
実際の線量は、基準値の設定根拠である年間1ミリシーベルトの1%以下



Ministry of Health, Labour and Welfare

18

くらしの中の放射線



自然放射線全体で

約2.1mSv/年

宇宙

0.3 mSv / 年間

大地から

0.33 mSv / 年間

ラドンなどの吸入

0.48mSv / 年間

食品から (カリウムなど)

0.99mSv / 年間

新版生活環境放射線(国民線量の算定)

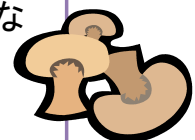
原子力安全研究協会(平成23年12月)より

19

内部被ばくを減らすには



- ①出荷されている食物は大丈夫
- ②出荷されているもの以外を食べるときの留意点(高汚染地域)
汚染が不明の野生のキノコ、わらびなどを大量に食べない
- ③いろいろの産地、品目を食べる
- ④放射性セシウムを減らす調理法(茹でこぼす、焼く、漬け物など、水を出すこと。ただし乾燥は効果無し)
- ⑤土を落とす(10万ベクレル/kgの土を1kg食べる→約1mSv)
- ⑥うがい、手洗い(土を食べない)
- ⑦放射性物質の放出があるときはマスク(今は不必要)
今は窓開け、洗濯物の外乾しOK
- ⑧水道水も大丈夫



2014年12月8日現在

間違っって食べてしまっても、自然に体外に出て行く。
くよくよしない！ 次から気をつけましょう。

本日お話しする内容

◎自分で考える

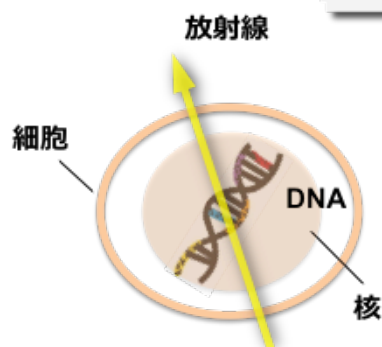
- ・放射線とは
- ・内部被ばく
内部被ばくを減らすには
- ・被ばくの影響
- ・外部被ばくを減らすには

21

DNAの損傷と修復



X線 1 ミリグレイ当たりの損傷(1細胞当たり)

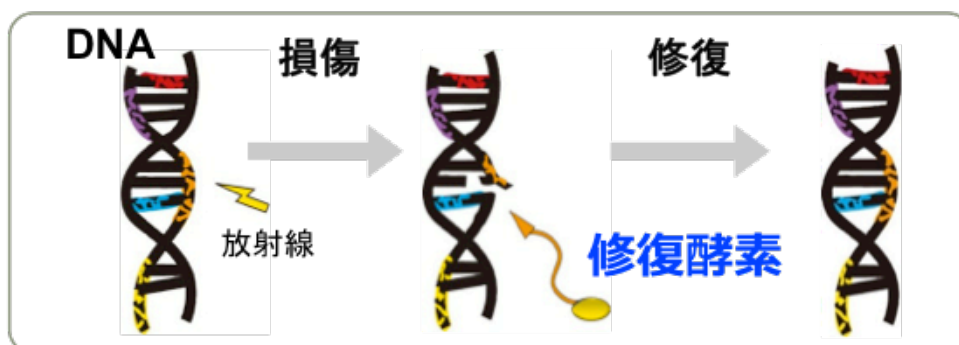


塩基損傷 2.5 箇所

一本鎖切断 1 箇所

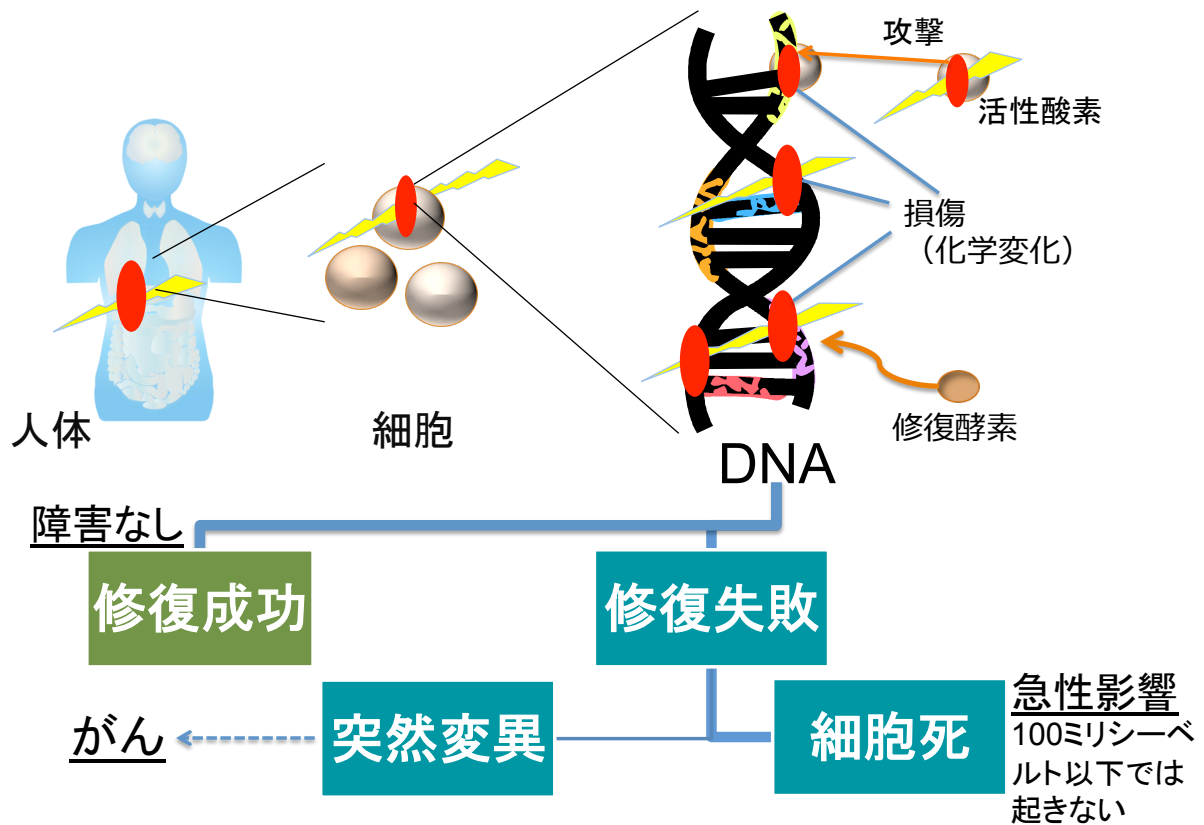
二本鎖切断 0.04 箇所

Morgan、米国放射線防護委員会
年次総会(第44回、2009)

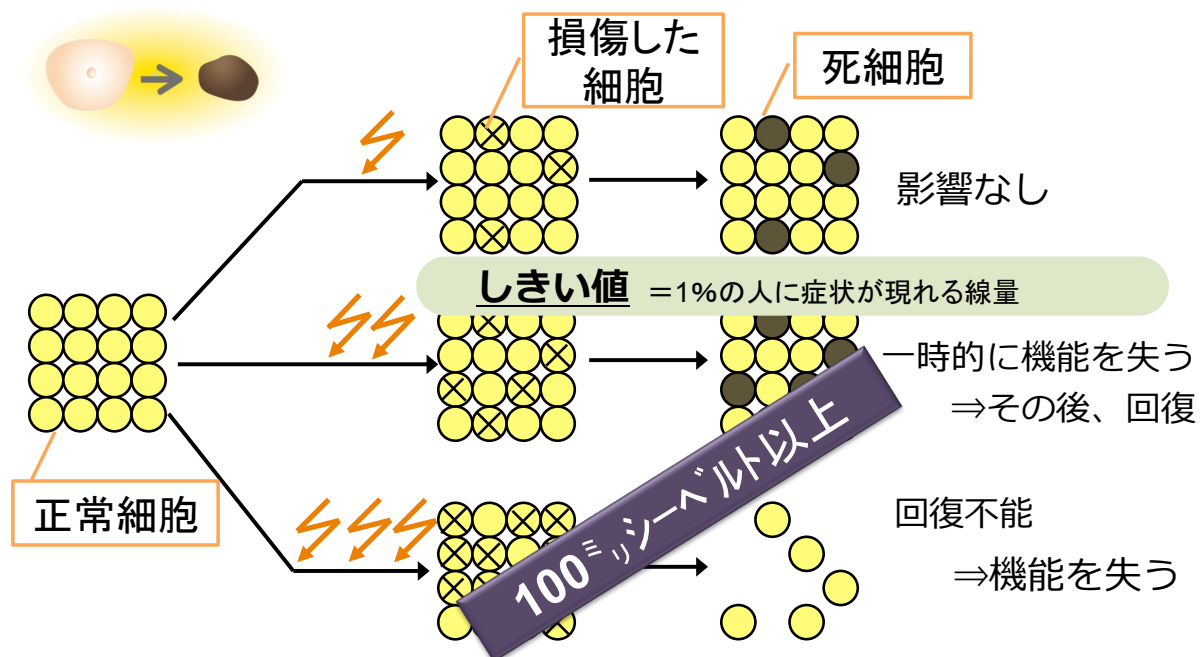


22

放射線の人体への影響の仕組み



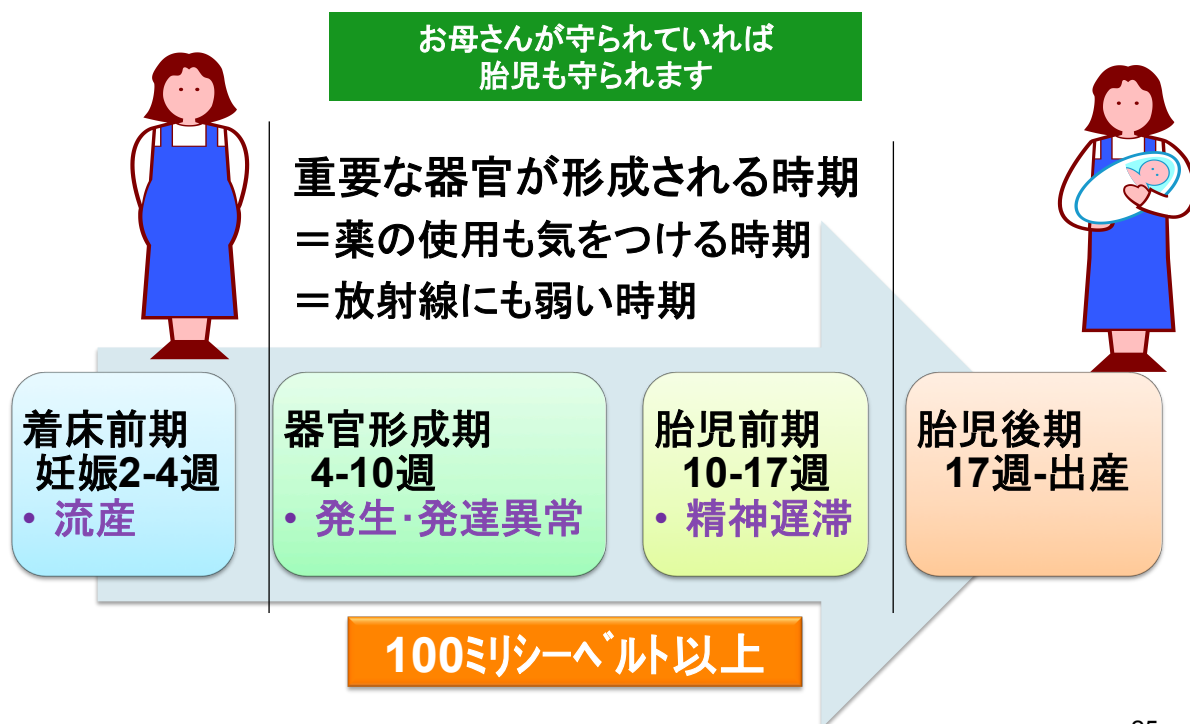
線量に応じて症状が重くなるタイプ



- ・ある程度の線量まで症状が現れない
- ・線量が多いほど症状が重い
- ・症状は数週間から数ヶ月後

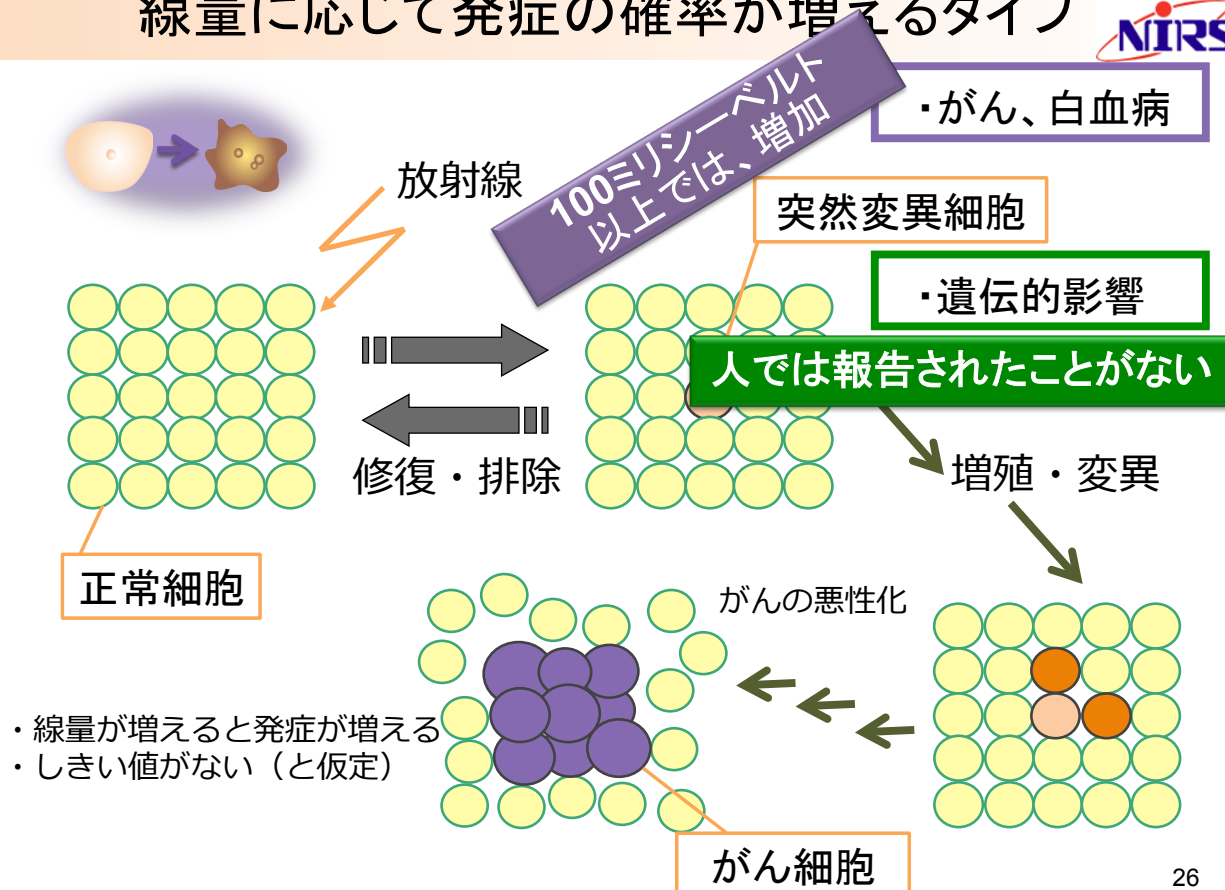
白内障、造血機能低下、脱毛、不妊、胎児影響など

胎児への影響と妊娠時期



25

線量に応じて発症の確率が増えるタイプ



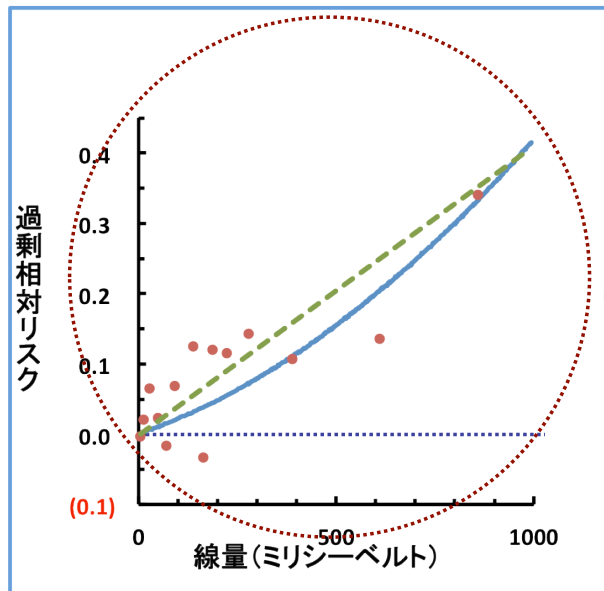
26

固形がんによる死亡と線量との関係

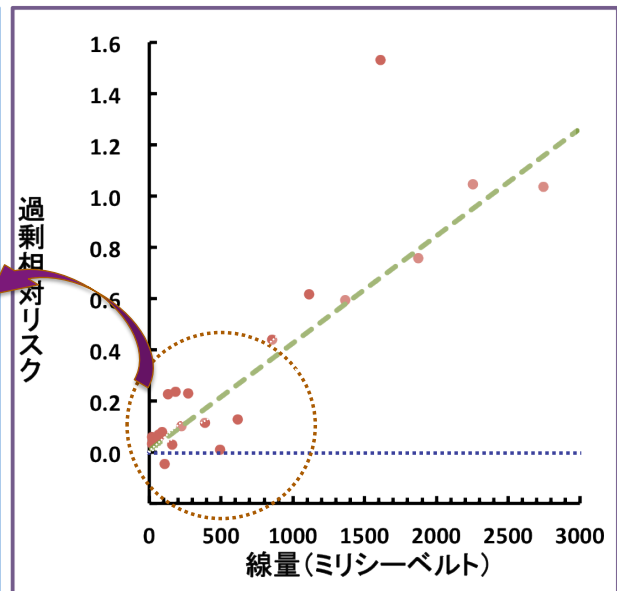


固形がんによる死亡(原爆被爆者データ)

100mSv以下では、増加しているかどうか分からない。



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



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

27

被爆二世における染色体異常



原爆被爆者の子供における安定染色体異常

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%)

子どもは大人より放射線に弱い？



たくさん被ばくした場合の発がん

★放射性ヨウ素の内部被ばく: 1歳児は大人の8倍以上。
甲状腺に集まるので甲状腺の等価線量で規制
(今回の事故では、結果としてそこまでの被ばくは無かった)

★外部被ばくと放射性セシウムによる内部被ばくの場合、
2-3倍

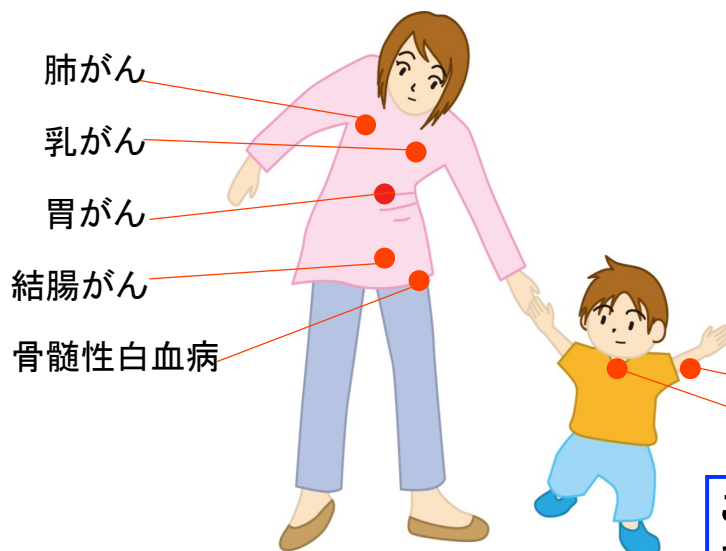
その意味は？

29

年齢による感受性の差



こどもは小さなおとなではない



実効線量係数 ($\mu\text{Sv/Bq}$)

ヨウ素131

3ヶ月児	0.18
1歳児	0.18
5歳児	0.10
成人	0.022

$\mu\text{Sv/Bq}$: マイクロシーベルト/ベクレル

こどもでは甲状腺や皮膚の
がんリスクも高くなる

※代謝や体格の違いから、こどもは実効線量係数が高くなっている。

30

被ばく時年齢と発がんリスクの関係

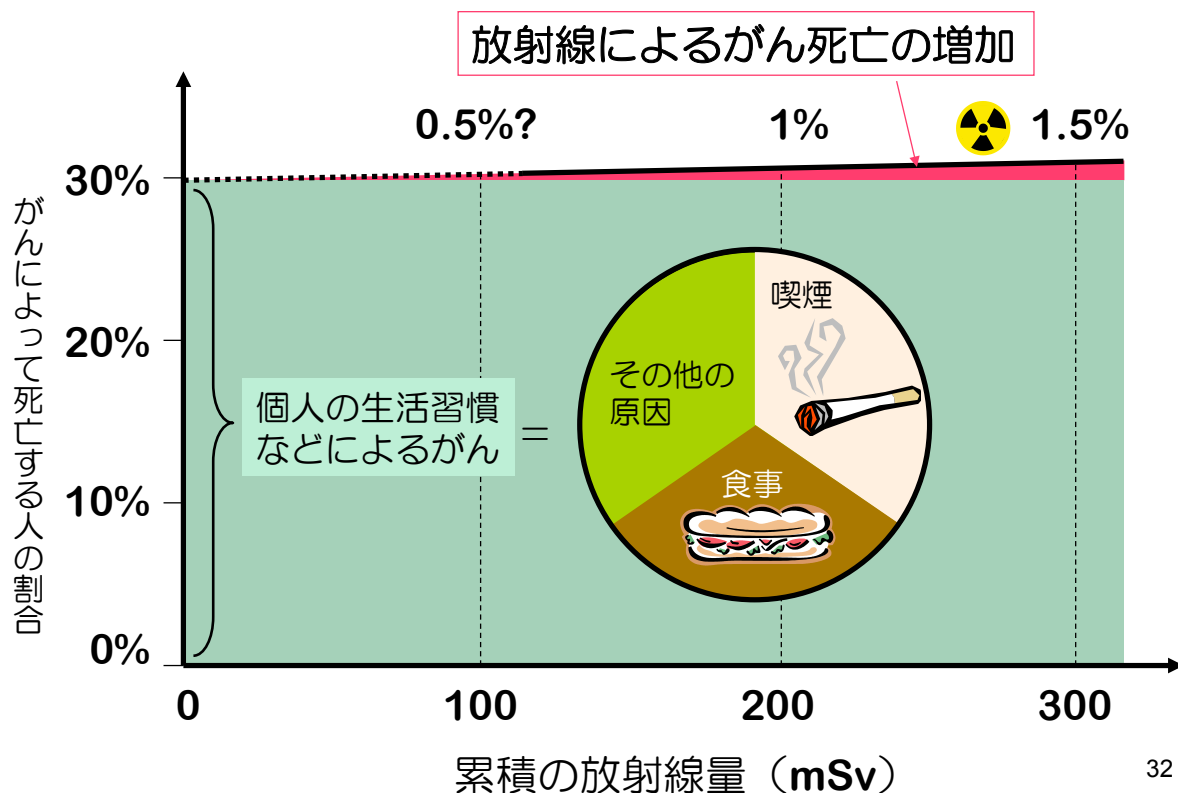


原爆被爆者の被爆時年齢別相対リスク

		男性(ミリシーベルト)			女性(ミリシーベルト)		
		5～ 500	500～ 1000	1000～ 4000	5～ 500	500～ 1000	1000～ 4000
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

³¹
Preston *et al.*, Radiat Res, 168,1, 2007

生涯がん死亡リスク



がんのリスク比較～放射線と生活習慣

生活習慣・放射線	被ばく量	相対リスク(放射線は固形癌:広島・長崎)
喫煙者		1.6
放射線	500-1000 mSv	1.4
肥満	(BMI \geq 30 男性)	1.22
やせ	(BMI<19 男性)	1.29
放射線	200-500 mSv	1.19
運動不足		1.15-1.19
放射線	100-200 mSv	1.08
受動喫煙(非喫煙女性)		1.02-1.03

国立がんセンター「わかりやすい放射線とがんのリスク」

33

本日お話しする内容

◎自分で考える

- ・放射線とは
- ・内部被ばく
内部被ばくを減らすには
- ・被ばくの影響
- ・外部被ばくを減らすには

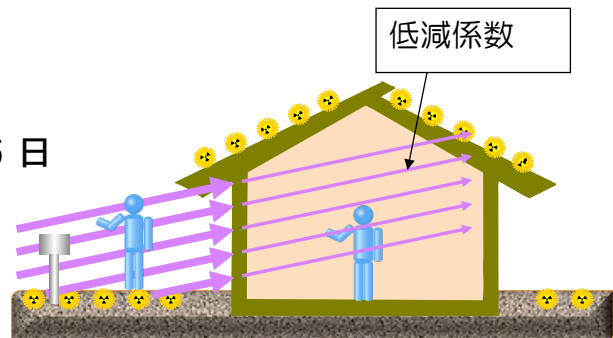
34

(例) 屋外(地上1 mで $0.23 \mu\text{Sv/h}$)で8時間、屋内で16時間過ごす
 平常時は 1mで $0.04 \mu\text{Sv/h}$ →増加分は $0.23-0.04=0.19 \mu\text{Sv/h}$

増加分

$$\begin{aligned}
 &0.19 \mu\text{Sv/h} \times 8 \text{ 時間} \times 365 \text{ 日} \\
 &+ 0.19 \mu\text{Sv/h} \times 0.4 \times 16 \text{ 時間} \times 365 \text{ 日} \\
 &= 999 \mu\text{Sv} \\
 &\approx 1 \text{ mSv}
 \end{aligned}$$

現在は地表からの放射線が主



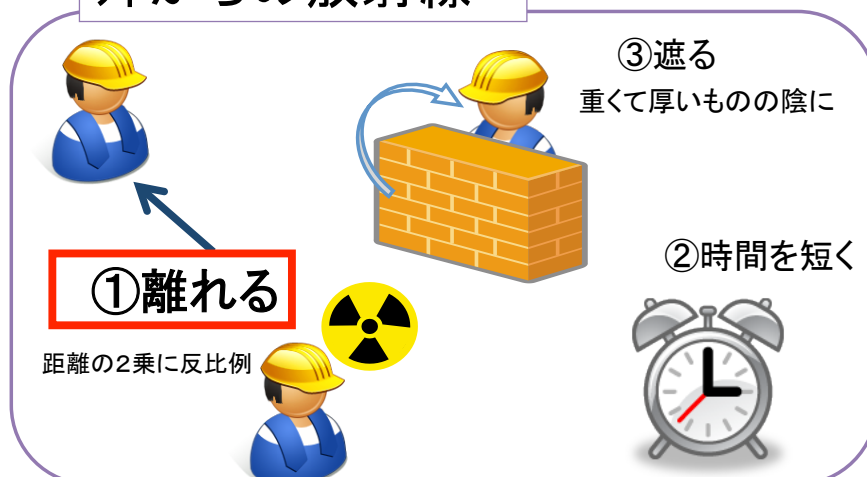
場所	低減係数
木造家屋（1～2階建て）	0.4
ブロックあるいはレンガ家屋（1～2階建て）	0.2
各階 $450 \sim 900\text{m}^2$ の建物（3～4階建て）の1～2階	0.05
各階 900m^2 以上の建物（多層）の上層	0.01

35

（原子力安全委員会防災指針より抜粋）

外部被ばくを減らすには

外からの放射線



ホットスポットがあったら
 ・高濃度汚染の場所を知る
 ・それから距離をとる
 ・長時間滞在しない

現在は
 ・雨には原発由来の放射能は、検出されない

放射線障害の予防



- ・余計な被ばくは避けるただし無理のない範囲で（食品中の放射性物質を減らそうとするあまり、栄養が偏り、そのせいで体調を崩してしまわないように）

- ・自分で考える

- ・私たちはすでに環境中の放射線と共存しています。むやみに怖がらず、放射線に関する正しい知識を得て、正しく怖がることが、今後の私たちの生活に必要です。

37



ご静聴ありがとうございました。



放射線医学総合研究所

重粒子線治療HIMAC



昭和32年創立
放射線と人々の健康に関わる総合的な研究
開発に取り組む国内で唯一の研究機関
ホームページ <http://www.nirs.go.jp>
千葉市稲毛区

38

	ヨウ素 ^{131}I	セシウム ^{134}Cs	セシウム ^{137}Cs	ストロンチウム ^{90}Sr	カリウム ^{40}K
出す放射線	β, γ 線	β, γ 線	β, γ 線	β 線	β, γ 線
物理的に放射能が半分になる期間	8日	2年	30年	29年	12.8億年
体内の放射能が半分になる期間	約7日	約80日	約100日	約18年	約30日
蓄積する器官・組織	甲状腺	全身	全身	骨	全身

↑自然放射線

39

物理的量グレイ(Gy)と人への影響の度合いシーベルト(Sv)

吸収された放射線のエネルギー

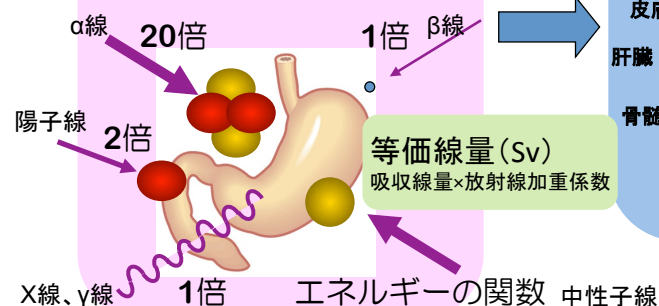
吸収線量(Gy)
=J/kg

実効線量(Sv)

吸収線量×放射線加重係数
×組織加重係数

放射線の種類による影響の違い

放射線加重係数



臓器による影響の違い

組織加重係数

唾液腺	0.01	0.01	脳
甲状腺	0.04	0.04	食道
肺	0.12	0.12	乳房
皮膚	0.01	0.12	胃
肝臓	0.04	0.01	骨表面
骨髄	0.12	0.12	結腸
膀胱	0.04	0.12	残りの組織・臓器 0.12
生殖腺	0.08	合計 1.00	

ICRP2007勧告

40