

2015.02.09

平成26年度第2回都東京健康安全研究センター
環境保健衛生講習会

放射線の測定値の見方、考え方

首都大学東京
福士 政広

1

放射線

放射線は目に見えず、耳に聞こえず、
味も臭いも感触もなく、五感に感じない。



我々人類は誕生してから放射線が無いところで生存した経験がない。

2

放射線発見の歴史

3

エックス線の発見



ウィルヘルム・レントゲン
(1845-1923)

「放射線」というものが存在することを初めて人類に知らせた人物は、ドイツのレントゲン博士である。今から120年前の1895年、レントゲン博士は真空放電の実験中に、写真乾板を感光させ蛍光物質を光らせる目には見えないものが出ているのに気づいた。この正体のわからない光をX線と名付けた。

<http://www.roentgen-museum.de>

4

放射能の発見



ヘンリー・ベクレル (1852-1908)

<http://www.nobel.se>

1896年、フランスのベクレル博士は、ウラン化合物が絶えずX線とは異なる透過力の強い放射線を放出していることを発見し、物質が放射線を出す性質を放射能と名付けた。放射能を発見したベクレル博士の名前は、現在放射能の単位として使われている。

5



マリ・キュリー (1867-1934)
ピエール・キュリー (1859-1906)

<http://musee.curie.fr>

ラジウムの発見

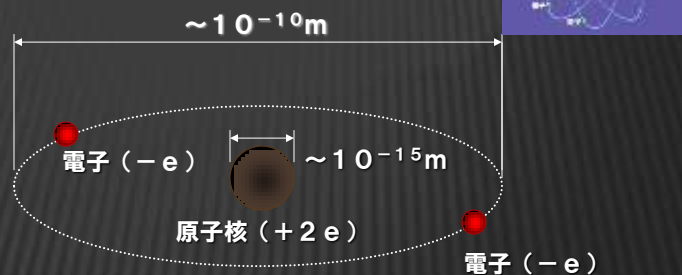
ポーランド出身のマリ・キュリー博士は、ウランの他にトリウムも放射線を出していることを突き止め、さらに夫のピエール・キュリー博士とともに、1898年、ウランの250万倍もの放射能を持つ新しい元素「ラジウム」を発見した。またキュリー夫妻は、これらの放射性元素が自然に消滅していき、一定時間毎（半減期）に原子数が元の半分に減少することを発見した。なお、ウラン、ラジウムなどのように放射線を出す元素を、ラジオアイソトープ（放射性同位元素：RI）と名付けた。

6

放射性物質、放射線、放射能とは

7

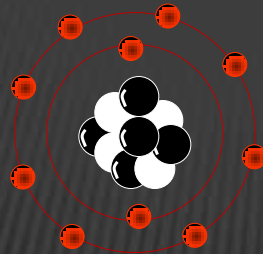
原子の構造



※原子核をテニスボールとすると電子軌道は原子核から約5 km離れたところをまわっていることになる。また、 10^{-15} は1千兆分の1である。

8

原子核の構造



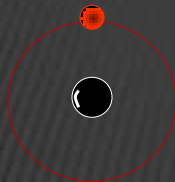
● 陽子

● 中性子

原子番号＝原子核の陽子の個数＝中性原子の軌道電子の個数

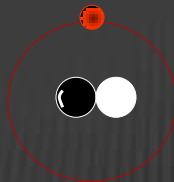
9

質量数〔質量数＝陽子の個数＋中性子の個数〕を用いて区別する。



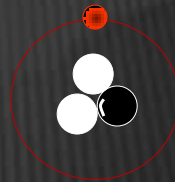
${}^1\text{H}$ { 陽子 1
中性子 0

水素
(プロトン)



${}^2\text{H}$ { 陽子 1
中性子 1

重水素
(デューテリウム)



${}^3\text{H}$ { 陽子 1
中性子 2

三重水素
(トリチウム) 

10

放射線の種類

放射線とは、X線、ガンマ線（ γ 線）などの電磁波やアルファ線（ α 線）、ベータ線（ β 線）、中性子線の総称。

11

放射線の種類

- ◆ X線
- ◆ α 線
- ◆ β^- 線
- ◆ β^+ 線
- ◆ γ 線
- ◆ 中性子線
- ◆ 電子線
- ◆ 陽子線
- ◆ 宇宙線

放射線

電磁放射線

- X線（制動X線、特性X線など、原子核外の現象に伴って出る）
- γ 線（原子核のエネルギー状態の変化に伴って出る）

電荷を持った粒子線

- β^- 線（原子核から放出される電子）
- β^+ 線（原子核から放出される陽電子）
- 電子線（加速器でつくられる）
- α 線（原子核から放出されるヘリウム原子核）
- 陽子線（加速器でつくられる）
- 重陽子線（加速器でつくられる）
- 種々の重イオンや中間子線（加速器でつくられる）

電荷を持たない粒子線

- 中性子線（原子炉、加速器、RIなど）

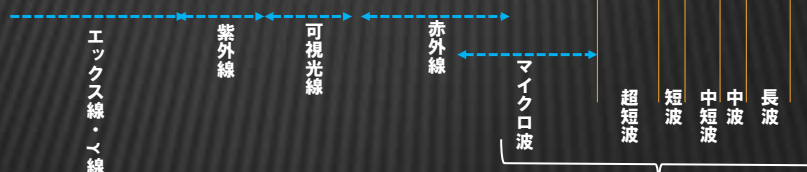
宇宙線は地球外から飛来する一次宇宙線と大気で生成される二次宇宙線がある。一次宇宙線の成分は大部分が高速の陽子である。二次宇宙線は、一次宇宙線が大気中の窒素、酸素などの原子核と衝突してきた高エネルギーの原子核、中性子、中間子、電子、 γ 線などからなる。

12

電磁波

波長

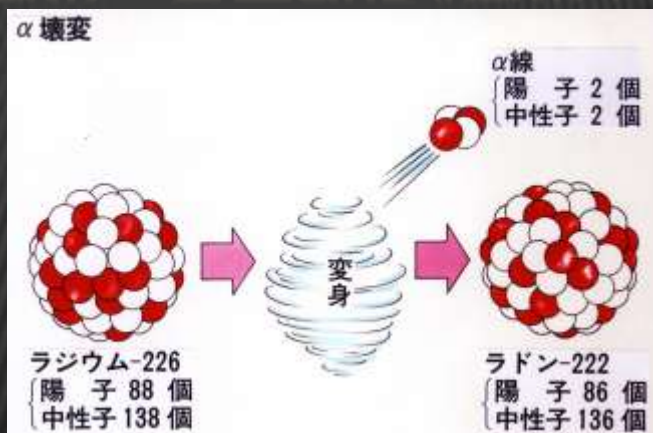
10^{-12} 10^{-11} 10^{-10} 10^{-9} 10^{-8} 10^{-7} 4×10^{-7} 8×10^{-7} 10^{-6} 10^{-5} 10^{-4} 10^{-3} 10^{-2} 10^{-1} 1 10 10^2 10^3 10^4 [m]



X線、γ線は電波、赤外線、可視光線、紫外線と同様に電磁波であるが、波長がきわめて短い。電磁波を粒子の流れと見たとき、それを光子とよぶ。電磁波の波長が短いほど光子のエネルギーは大きく、粒子としての性質が強く現れる。

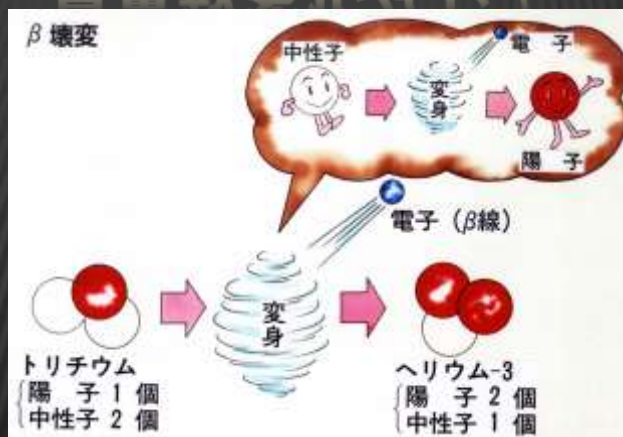
13

アルファ壊変 (原子番号2減少、質量数は4減少)



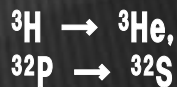
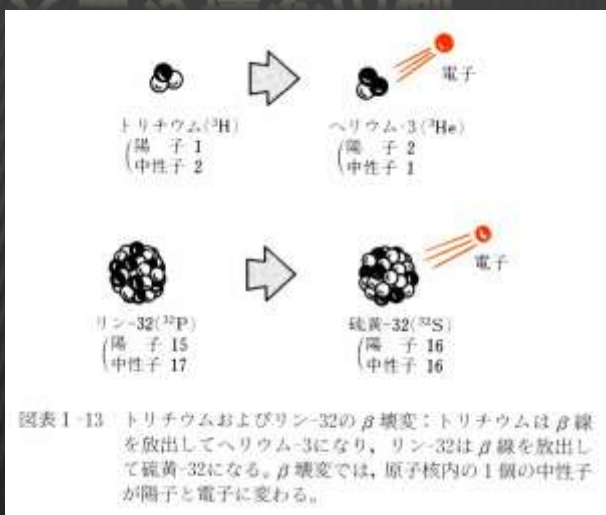
α線：アルファ壊変の際に放出されるヘリウムの原子核で、+2の電荷と高エネルギーをもつ。透過力は弱く、紙1枚で遮蔽できる。

ベータ壊変（原子番号1増加、質量数変化なし）



β 線：ベータ壊変の際に、原子核から放出される電子のこと。透過力は中程度で、1 cm厚のプラスチックで遮へいできる

ベータ壊変の例



ベータプラス壊変

β^+ 壊変
原子番号は1減少、
質量数は変化なし

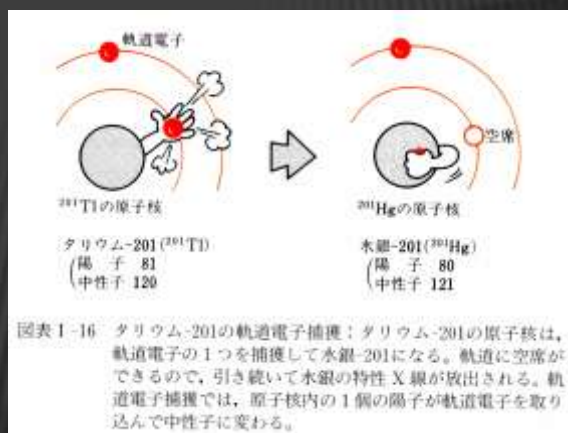


消滅放射線は
PETに用いられる

17

軌道電子捕獲 (EC壊変)

原子番号1減少
質量数変化なし



18

ガンマ線



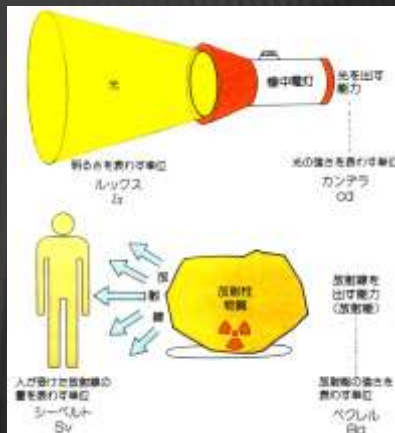
γ線（X線）：γ線はガンマ遷移（壊変）の際、放出される電磁波で、透過力が強い。

X線には、X線発生装置で作られるものと、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γ線とほぼ同じ。

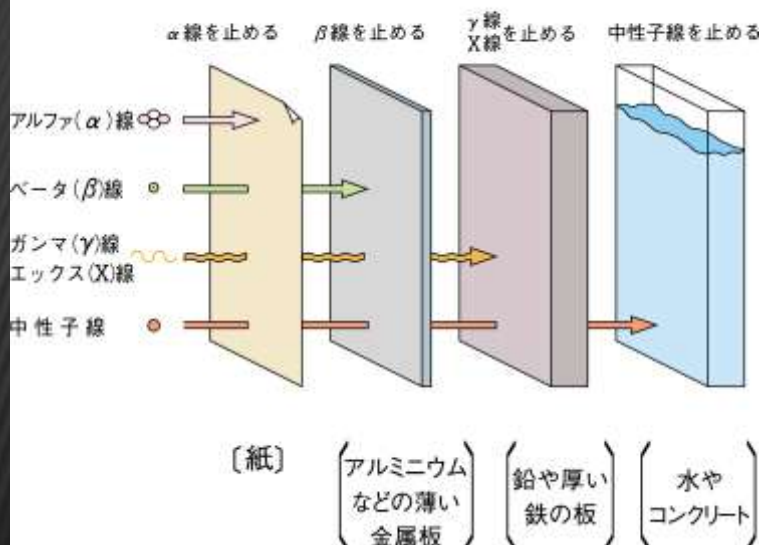
放射線と放射能

放射線漏れ：放射線が漏れることで簡単に遮蔽できる。

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。

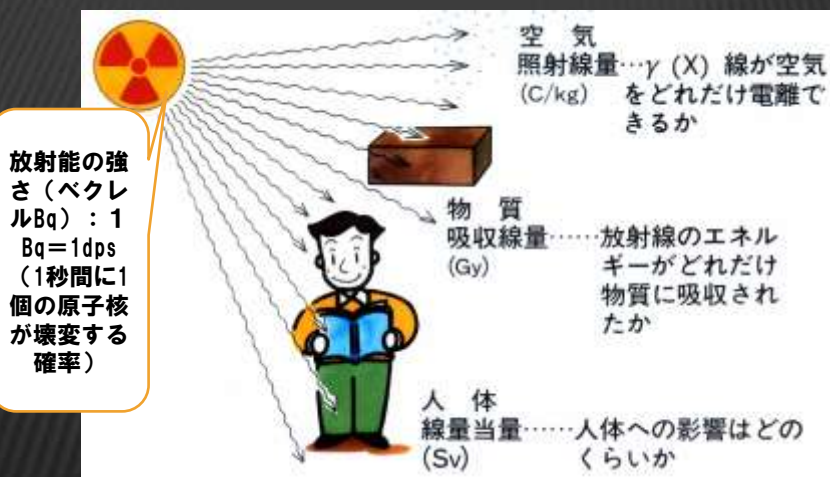


放射線の種類と透過力



放射線の単位

エネルギー：エレクトロンボルト (eV)



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

線量計・測定器では何を測っているの？

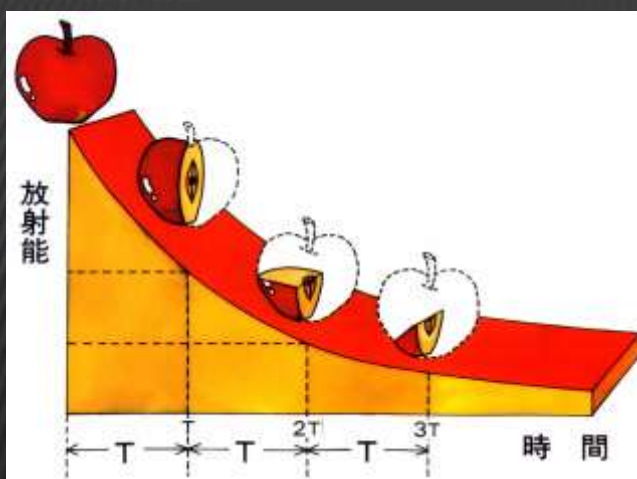
まずは、外部被ばく線量評価で考えてみよう
今、**空気吸収線量 1 Gy (グレイ)**であった。
これは、実効線量では**0.7 Sv (シーベルト)**となる。国連化学委員会の係数**0.7** (環境放射線の放出エネルギー分布) を乗じる。

サーベイメータ等の表示値は、1cm線量当量を表し、**線量 1 Gy (グレイ)**のときは、**1.224 Sv**の表示値となる。

だから、1cm線量当量 (表示値) は実効線量の**1.75倍 (1.224/0.7)** 大きい。

23

半減期



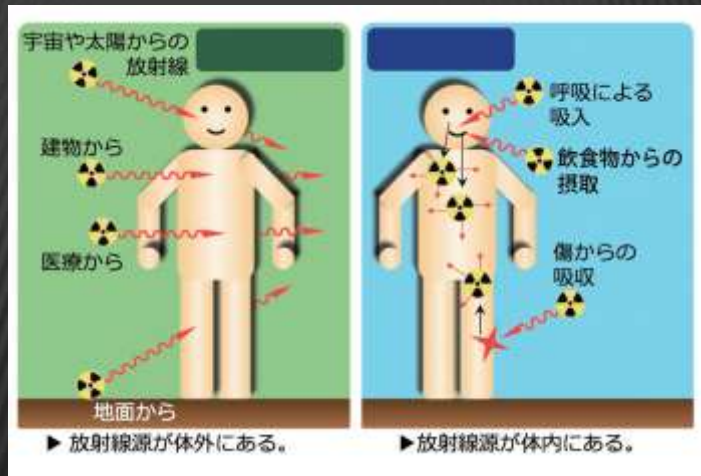
$$\begin{aligned} A &= -(dN/dt) = -\lambda N \\ N &= N_0 e^{-\lambda t} \\ &= N_0 (1/2)^{t/T} \\ T &= (\ln 2) / \lambda \\ &= 0.693 / \lambda \end{aligned}$$

放射能の単位
(Bq、ベクレル)
1 Bq = 1 dps (壊変率)

半減期：放射能の強さが半分になる時間

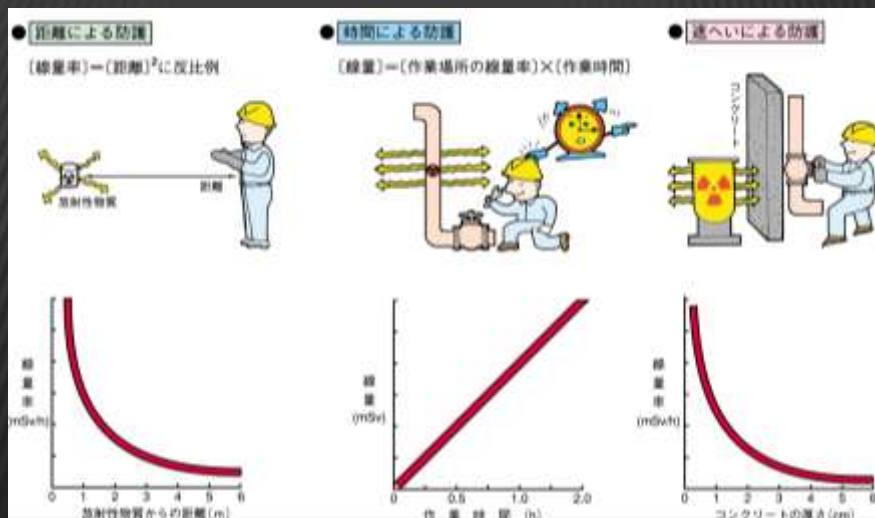
24

放射線による影響



25

外部被ばく防護の3原則



内部被ばく防護の5原則

Dilute : 希釈

(可能な限り低濃度にする)

Disperse : 分散

(換気、廃液の希釈により、低濃度にする)

Decontaminate : 除去

(汚染除去により、放射性物質を取り除く)

Contain : 閉じ込め

(容器への収納、フード内使用により、放射性物質の拡散を防ぐ)

Concentrate : 集中化

(線源の集中保管などにより、管理の分散により放射性物質の不明などがないようにする)

線量限度

職業人

実効線量限度 (全身)

100mSv / 5年

等価線量限度 (組織・臓器)

眼の水晶体 **150mSv / 年**

皮膚 **500mSv / 年**

妊娠中である女子の腹部表面

2mSv

緊急時 100mSv

一般人

実効線量限度 (全身)

1mSv / 年

等価線量限度 (組織・臓器)

眼の水晶体 **15mSv / 年**

皮膚 **50mSv / 年**

新たな規制値（2012年4月～）

旧

食品区分	放射性セシウムの規制値 (Bq/kg)
飲料水	200
牛乳・乳製品	200
野菜類	500
穀類	500
肉・卵・魚・その他	500

放射性セシウムからの被曝線量
0.051mSv



現基準

食品区分	放射性セシウムの基準値 (Bq/kg)
飲料水	10
乳児用食品	50
牛乳	50
一般食品	100

放射性セシウムからの被曝線量
0.043mSv

差0.008mSv

29

他国基準との比較のまとめ

単位：Bq/kg

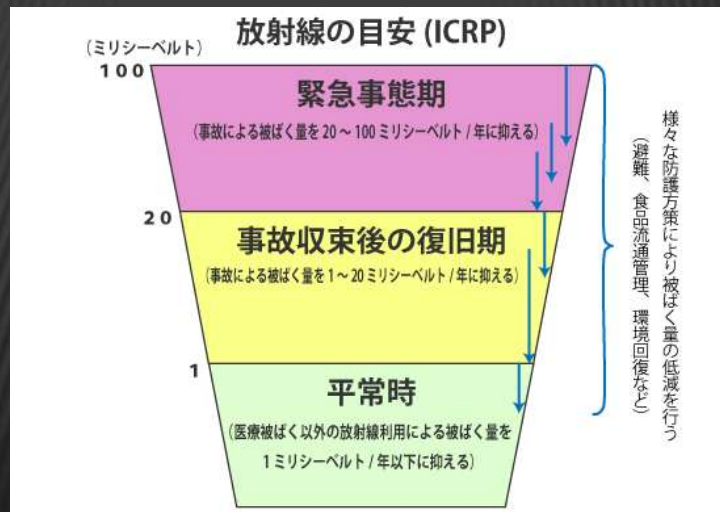
	日本	EU	米国	Codex
一般食品	100	1,250	1,200	1,000
水	10	100	1,200	1,000
牛乳	50	100	1,200	1,000
乳幼児用乳製品	50	400	1,200	1,000

Codex:FAO, WHOが関与する政府間の国際委員会
(国際食品規格を策定)

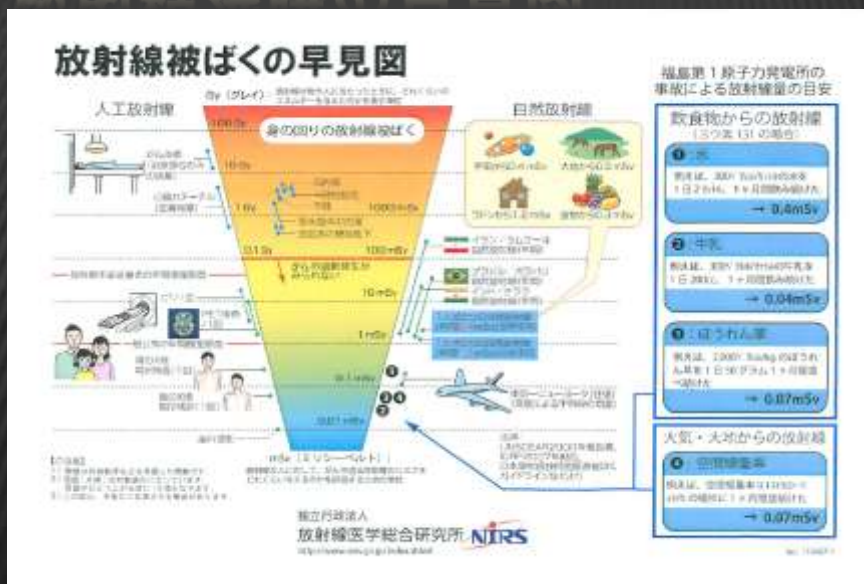
日本は欧米よりかなり厳しい

30

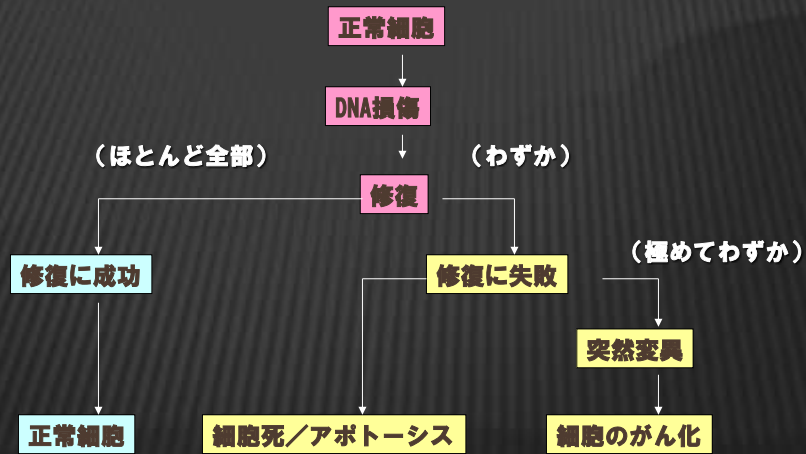
国際放射線防護委員会 (ICRP) の防護体系



放射線被曝の早見図



放射線による細胞への影響



基礎的事項 - DNA損傷と修復 -

発がんとはDNA損傷

- ◆ がんは遺伝子の病気である。
- ◆ 遺伝子の実体はDNAの塩基配列である。
- ◆ DNA修復に問題のある遺伝病は、概して発がんリスクが高い。
- ◆ 放射線はDNAを損傷する。

さまざまなDNA損傷

- ◆ 塩基損傷 (base damage)
- ◆ 架橋形成 (cross link)
- ◆ 単鎖切断 (single strand break: SSB)
- ◆ 二重鎖切断 (double strand break: DSB)

二重鎖切斷

(DSB : DOUBLE STRAND BREAK)



二重鎖切斷（DSB）の主要な修復様式

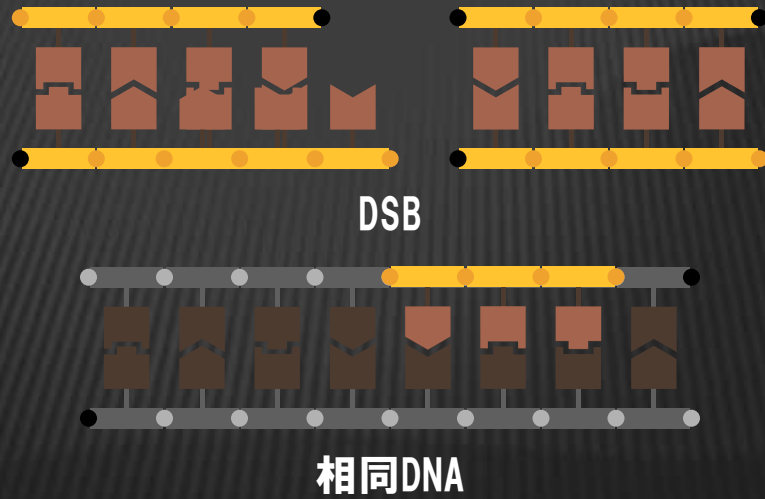
◆ 相同組換え

(homologous recombination: HR)

◆ 非相同末端結合

(nonhomologous end joining: NHEJ)

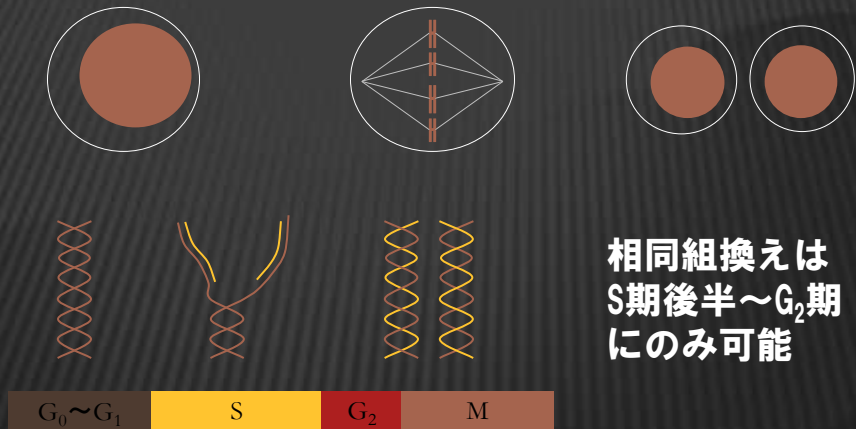
相同組換え（HR）



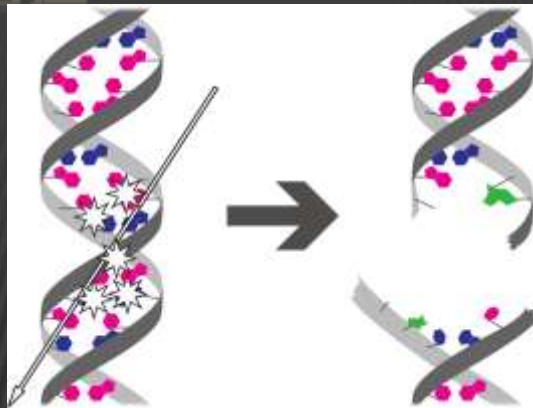
非相同末端結合（NHEJ）



細胞分裂とDNA複製

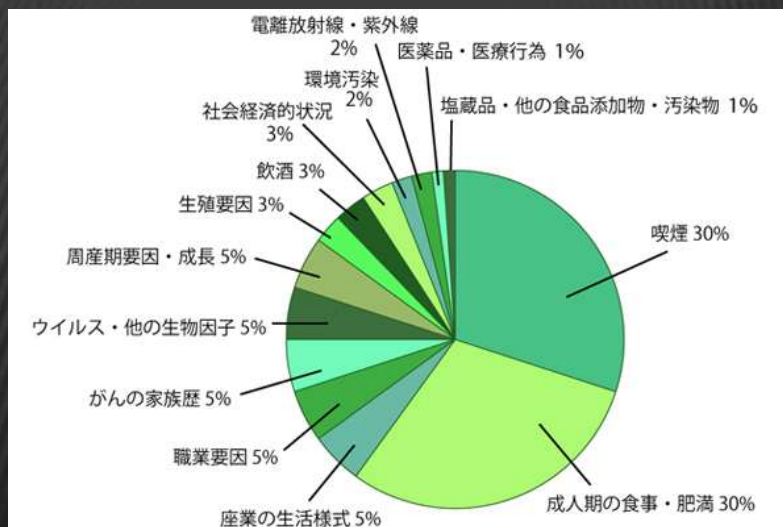


複合損傷



複数の損傷が複合し、修復が極めて困難

がん因子のがん死亡への寄与率



Harvard Center for Cancer Prevention: Harvard Report on Cancer Prevention, Volume 1: Causes of Human Cancer, Cancer Causes Control 1996 ;7:S3-S59

43

発癌リスク：放射線被曝リスクと他の要因によるリスク比較

(国立がん研究センター調べ)

要因	対象	比較対象	リスク倍率
喫煙(男性)	喫煙者	非喫煙者	1.6
受動喫煙(女性)	夫が喫煙者	夫が非喫煙者	1.02~1.03
広島・長崎での放射線被曝 ⁴⁾	1000 ミリシーベルト	被曝なし	1.5
	100 ミリシーベルト	被曝なし	1.05
ICRP ⁴⁾	100 ミリシーベルト/年	被曝なし	1.005
大量飲酒 ²⁾ (男性)	アルコール(300-500g/週)	ときどき飲む	1.4
やせ形(男性)	BMI ¹⁾ = 14~19	BMI ¹⁾ = 23~25	1.29
肥満(男性)	BMI ¹⁾ = 30~40	BMI ¹⁾ = 23~25	1.22
運動不足	METs = 26/日 (男女)	METs = 43/日 (男女)	1.15~1.19
高塩分食品摂取	干物等 43g/日、たらこ等 43 g/日	干物等 0.5g/日、たらこ等 0 g/日	1.11~1.15
野菜不足	110 g/日	420 g/日	1.06

1) BMI = 体重(kg)/身長(m)²
2) METs = 運動によるエネルギー消費量/安静時のエネルギー消費量
3) ビール大瓶では 13~20 本/週、ワインでは 26~39 杯/週
4) 原爆では短時間・高線量率の被曝であるが、ICRP(国際放射線防護委員会)の値は長期間・低線量率の被曝であり、人体の回復効果のためリスク倍率は大きく低下する。

要日誌 GLOBE 6/19

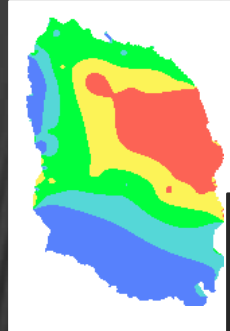
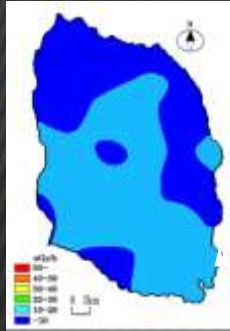
44

伊豆大島の空間線量率の差異

2005

2011

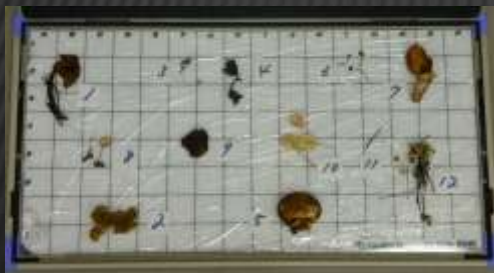
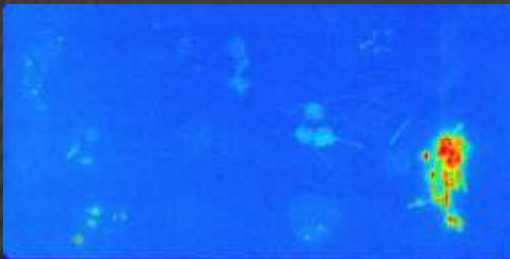
2012



[nGy/h]
~20
20~30
30~40
40~50
50~60
60~

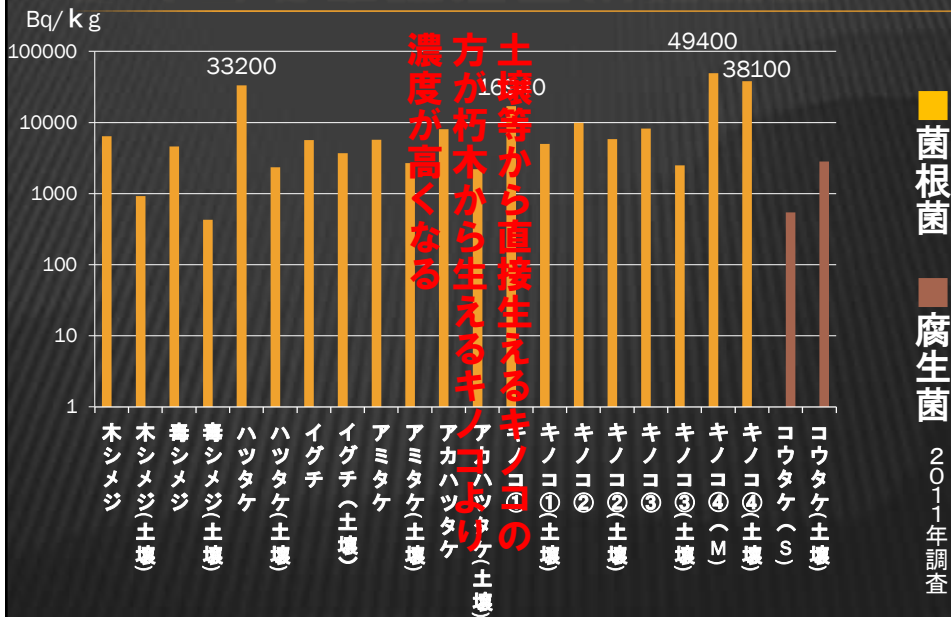
45

キノコの放射性セシウム



放射性セシウム
はキノコの軸部
分より傘により
多く含まれる

キノコと土壌濃度の相関性



キノコ中の放射性セシウム

キノコ名	Bq/kg
アカヤマドリダケ	2,120
カラカサダケ	32,600
カワリハツタケ	236
シロオニタケ	563
シロハツモドキ	996
シロヤマイグチ	5,000
タマゴダケ	5,420
ナメコ	6,610
ハナホウキダケ	2,560
ムラサキシメジ	120,000

2011年9月 伊達市内の山で採取

村松ら(学習院大)

キノコ(子実体)中の放射性セシウムは菌糸の分布深さに対応して増加傾向にある。

トピックス：第5回放射能の農畜産物等への影響についての研究報告会より
果樹について福島県農業総合センター 佐藤研究員から、樹皮上の放射性セシウムを主な供給源とする果樹の汚染は、今後、経年的に低下すると予想される一方、少量ではあるが土壌中の放射性セシウムも供給源になり得ることから、現在、福島県内の果樹園では水田や畑を耕さない不耕作を徹底し、土壌の表層3cmに集中する放射性セシウムの根への接触を防いでいる。

部位による放射性セシウム濃度の違い



先端部分がセシウム濃度が高い



葉の部分がセシウム濃度が高い

49

ご静聴有り難うございました。

50