

診断に利用される主な放射性核種

核種	半減期	壊変形式	エネルギー(keV)
^{11}C	20 m	β^+	511
^{13}N	10 m	β^+	511
^{15}O	2 m	β^+	511
^{18}F	110 m	β^+	511
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6 h	IT	141
^{111}In	2.8 d	EC	171, 245
^{123}I	13 h	EC	159
^{201}Tl	72.9 h	EC	70, 80

※ エネルギーは主なものを記す

日本放射線安全管理学会

治療に利用可能な放射性核種

核種	半減期	壊変形式	エネルギー(keV)
^{60}Co	5.3 y	β^-	1173, 1333
^{90}Y	64 h	β^-	2280 (β)
^{125}I	59 d	EC	27
^{131}I	8 d	β^-	364 248, 334, 606 (β)
^{137}Cs	30 y	β^-	662*
^{192}Ir	73.8 d	β^-	317, 468
^{198}Au	2.7 d	β^-	412 961 (β)
^{211}At	7.2 h	α	5870
^{223}Ra	11.4 d	α	5716
^{225}Ac	10.0 d	α	5830

※ エネルギーは主なものを記す * ^{137}Ba から放出される光子エネルギー

日本放射線安全管理学会

4. 放射線被ばく防護

目次

- 1) 放射線の特徴と被ばくの種類
- 2) 防護の方法
- 3) 放射線による影響の発生原因
- 4) α 線核種の防護

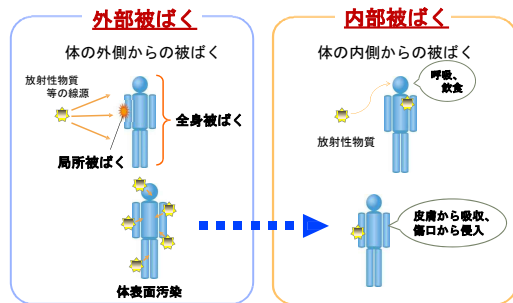
日本放射線安全管理学会

1) 放射線の特徴 (使用する側の立場から)

- **無色、無臭**
人間の五感では感知できない
- **人体に障害を引き起こす**
急性障害 晩発性障害
- **感知できない危険に対する人々の反応**
無視する or 極度に不安になる

日本放射線安全管理学会

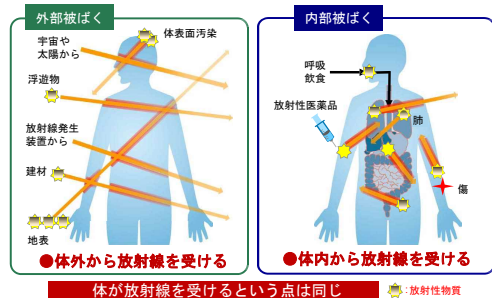
放射能と放射線 被ばくの種類



環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料(平成30年度版)」第2章 放射線による被ばく

日本放射線安全管理学会

被ばくの経路 外部被ばくと内部被ばく



環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料(平成30年度版)」第2章 放射線による被ばく

日本放射線安全管理学会

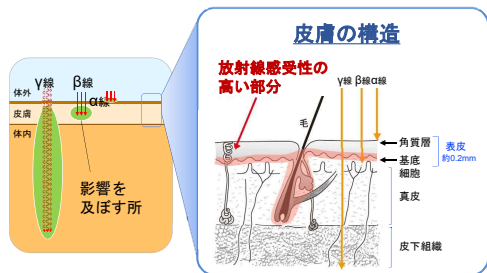
被ばくの経路 様々な被ばく形態



環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料(平成30年度版)」第2章 放射線による被ばく

日本放射線安全管理学会

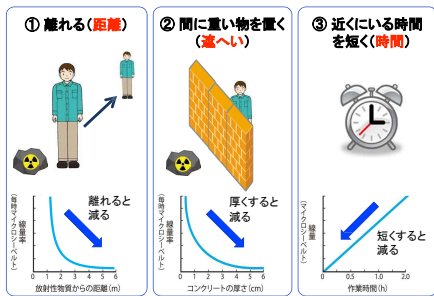
被ばくの経路 外部被ばくと皮膚



環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料(平成20年度版)」第2章 放射線による被ばく

日本放射線安全管理学会

徹底低減 外部被ばくの低減三原則



環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料(平成20年度版)」第2章 放射線による被ばく

日本放射線安全管理学会

遮へい体を選ぶポイント

- X線
 - ・鉛ガラス
 - ・鉛エプロン
- γ線・消滅放射線(PET)
 - ・鉛ガラス
 - ・鉛板、鉛ブロック
- β線
 - ・アクリル板
 - ・鉛は禁忌

日本放射線安全管理学会

半価層

・放射線の強度が半分になるまで必要な厚さ

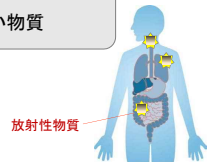
物質	密度(Z)	100keV X線の半価層(mm)	1MeV γ線の半価層(mm)
水	1	41	102
アルミニウム	2.7(13)	15	45
鉄	7.85(26)	2.4	16
鉛	11.35(82)	0.11	0.87

日本放射線安全管理学会

被ばくの経路 内部被ばくと放射性物質

内部被ばくで特に問題となる放射性物質の特徴

- ① α線を出す物質>β線やγ線を出す物質
- ② 取り込まれやすく、排泄されにくい物質
- ③ 特定の組織に蓄積されやすい物質



環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料(平成20年度版)」第2章 放射線による被ばく

日本放射線安全管理学会

2) 適切な防護をするためには

- ・放射能・放射線の本質
 - ・放射線が発生する原因
- 熟知する必要があります

外部被ばく防護の3原則

1. 距離をとりましょう・・・放射線の強度は距離の2乗に反比例します
2. 遮蔽しましょう・・・放射線の強度をできるだけ弱めましょう
3. 時間を短くしましょう・・・効率よく短時間で作業を終えましょう

医療関係者にとっては、この3原則はあまり現実的ではないかも知れませんが、鉛エプロンを着用するなどの工夫をして下さい。

日本放射線安全管理学会

高エネルギーγ線の遮へい体の例



日本放射線安全管理学会

遮へい体を選ぶポイント

- 自己遮へい型の放射線発生装置の場合は不要
 - ・X線発生装置
 - ・γ線発生装置
 - ・蛍光X線回折装置
- 自己遮へい型の見分け方
 - ・装置表面の「放射線管理区域」標識の有無

日本放射線安全管理学会



外部被ばく

外部被ばく・・・体外からの放射線による被ばく

γ線やX線に注意

個人被ばく線量計により正確に測定可能。
放射線測定器によりリアルタイムに測定可能



日本放射線安全管理学会



外部被ばく線量

■ 蛍光ガラス線量計、OSL線量計

- ・ 1ヶ月間の累積線量が報告される



■ ポケット線量計

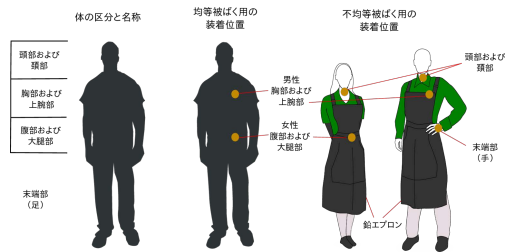
- ・ 測定中の累積線量を読みとる



日本放射線安全管理学会



個人被ばく線量計装着位置



日本放射線安全管理学会



NaIシンチレータ



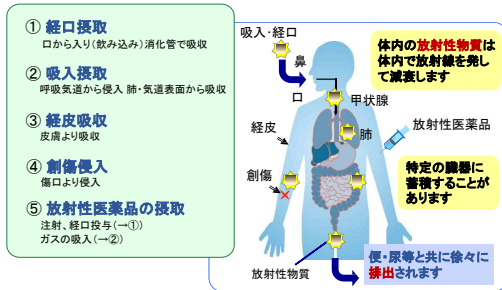
- X・γ線の検出に優れるが、β線の検出効率率は低い。
- 衝撃で結晶が破損することがある。
- エネルギー測定も可能。
- 結晶は水に触れると融解するため、高気密性の維持が重要。**潮解性**

日本放射線安全管理学会



被ばくの経路

内部被ばく



環境省「放射線による健康影響等に関する統一科学的調査資料(平成30年度版)」第2巻 放射線による被ばく

日本放射線安全管理学会



内部被ばくの可能性

- 非密封放射性同位元素使用時
- 放射性ヨウ素(123I・125I・131I)、アスタチン(211At)、フッ素(18F)
 - ・ 揮発性が高い
 - ・ 浸透性が高い
- ガス状放射性物質(15O・11C)

日本放射線安全管理学会



内部被ばく線量

- 直接測定
ホールボディカウンタ(WBC)
- 間接測定
バイオアッセイ法(尿、便、唾液)
- 計算による推定

日本放射線安全管理学会



内部被ばくの防護

- 吸入
 - ・ 作業室内の換気
 - ・ 局所排気装置の使用
 - ・ チャコールマスクの使用
- 経口
 - ・ 飲食、喫煙、化粧の厳禁
- 経皮
 - ・ 手袋、防護めがね、ピンセットの使用

日本放射線安全管理学会

非密封放射性同位元素の使用後

- 手の洗淨
- 汚染検査
ハンドフットクロスモニタ
手、足、衣服、持ち出し物

日本放射線安全管理学会

経口・経皮からのRI摂取の危険性

経口・経皮からのRI摂取の危険性

対策

1. 液体及び粉末状のRIの飛び散り
 - ・ RI実験操作の未熟及び不用意な取扱 (ピペット操作、運搬、小分け、機器操作等)
2. 動物実験
 - ・ はさみ、メス、注射等の操作ミス
 - ・ 血液の飛び散り
 - ・ 糞尿の飛び散り
3. 喫煙、飲食、化粧等

1. 実験操作の習熟 (コールドラン)
2. RIの取扱の心構え
 - ① 不必要に恐れすぎない
 - ② あわてない
 - ③ あなどってはいけない
3. 実験衣、ゴム手袋、マスク、めがね
4. サーベイメータによる汚染チェック

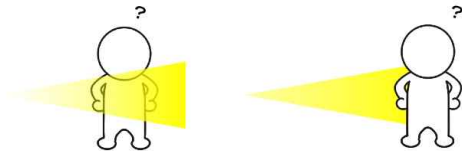
日本放射線安全管理学会

3) 放射線による影響の発生原因

どっちが危険？

「人体を透過する放射線」

「人体を透過しない放射線」



放射線を浴びていても普通は気づきません

日本放射線安全管理学会

正解は・・・

- ・ 「人体を透過しない放射線」です。

「放射線が人体=物質に当たって止まる」



「放射線の持つエネルギーがすべて人体=物質に移動した」

線エネルギー付与 (LET : Line Energy Transfer)

放射線が単位長さあたりに損失するエネルギー: $J/m \cdot keV/m$

日本放射線安全管理学会

放射線の種類とLET

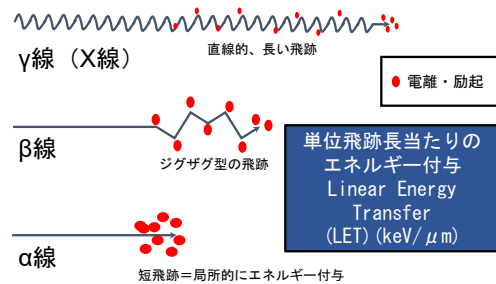
LET	放射線の種類
高LET	中性子線、α線、陽子線、重粒子線
低LET	ガンマ線、X線、β線

LETが高い → エネルギーを失うのが早い

→ 物質に与える影響が大きい

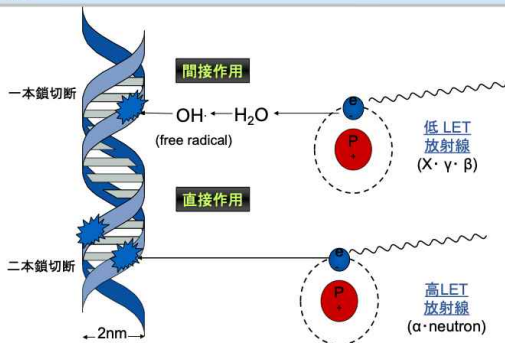
日本放射線安全管理学会

各種放射線と物質の相互作用



日本放射線安全管理学会

直接作用と間接作用



日本放射線安全管理学会

吸収線量

電離放射線によって物質に付与された平均エネルギー [J/kg]

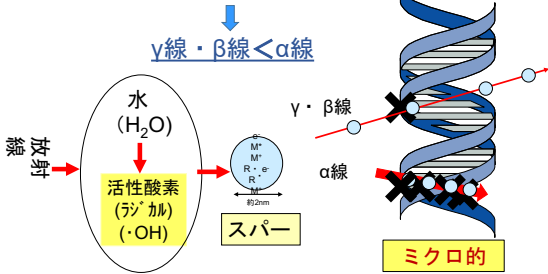
$$\text{吸収線量 } D = \frac{d\varepsilon}{dm} \text{ [J/kg]}$$

吸収線量の特別な単位は **グレイ [Gy]**

日本放射線安全管理学会

吸収線量と放射線の種類

同じ吸収線量であっても、放射線の種類によって、人体への影響が違ふ。



日本放射線安全管理学会

組織反応 (等価線量)

$$\text{組織反応 [J/kg]} = \text{放射線荷重係数} \times \text{吸収線量 [J/kg]}$$

組織反応の特別な単位はシーベルト [Sv]

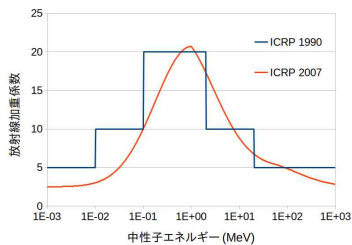
ICRP (1990年勧告、2007年勧告) 放射線加重係数 (w_R)

放射線の種類, エネルギー	1990年 w_R	2007年 w_R
光子 (全てのエネルギー)	1	1
電子, μ粒子 (全てのエネルギー)	1	1
中性子 (E < 10 keV)	5	連続関数
(10 keV < E < 100 keV)	10	
(100 keV < E < 2 MeV)	20	
(2 MeV < E < 20 MeV)	10	
(20 MeV < E)	5	
陽子と荷電パイ中間子	5(陽子のみ)	2
α粒子, 核分裂片, 重粒子	20	20

* ICRP 1990年勧告の日本語訳では「放射線荷重係数」と表記

日本放射線安全管理学会

中性子の放射線加重係数



$$2.5 + 18.2 \exp\{-\ln(E)^2/6\} \quad E < 1 \text{ MeV}$$

$$5.0 + 17.0 \exp\{-\ln(2E)^2/6\} \quad 1 \text{ MeV} \leq E \leq 50 \text{ MeV}$$

$$2.5 + 3.25 \exp\{-\ln(0.04E)^2/6\} \quad 50 \text{ MeV} < E$$

日本放射線安全管理学会

実効線量

$$\text{実効線量 [J/kg]} = \text{組織加重係数} \times \text{組織反応 [J/kg]}$$

実効線量の特別な単位はシーベルト [Sv]

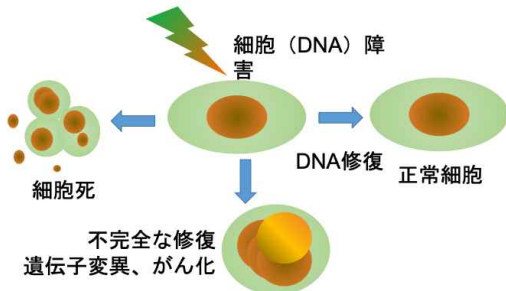
ICRP1990年勧告と2007年勧告の組織加重係数

組織・臓器	$w_T(1990)$	$w_T(2007)$
生殖腺	0.20	0.08
骨髄 (赤色)	0.12	0.12
組織	0.12	0.12
肺	0.12	0.12
胃	0.12	0.12
膀胱	0.05	0.04
乳房	0.05	0.12
肝臓	0.05	0.04
食道	0.05	0.04
甲状腺	0.05	0.04
皮膚	0.01	0.01
骨表面	0.01	0.01
脳	-	0.01
唾液腺	-	0.01
残りの組織・臓器	0.05	0.12

下線がついている数は1990年と2007年勧告で変更された加重係数

日本放射線安全管理学会

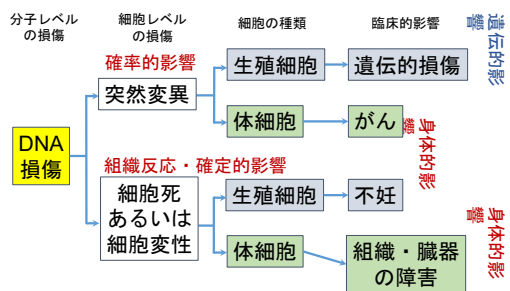
放射線被ばくした細胞の運命



DNA損傷とDNA修復とのバランスで細胞の運命が決まる

日本放射線安全管理学会

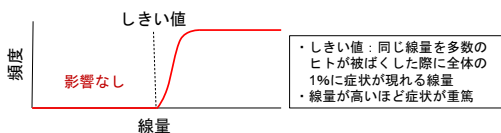
分子レベルから臨床的影響へ



日本放射線安全管理学会

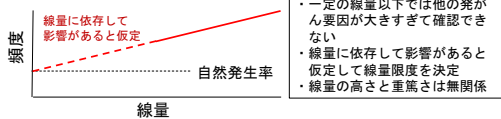
組織反応と確率的影響

組織反応・確定的影響



- しきい値: 同じ線量を多数のヒトが被ばくした際に全体の1%に症状が現れる線量
- 線量が高いほど症状が重篤

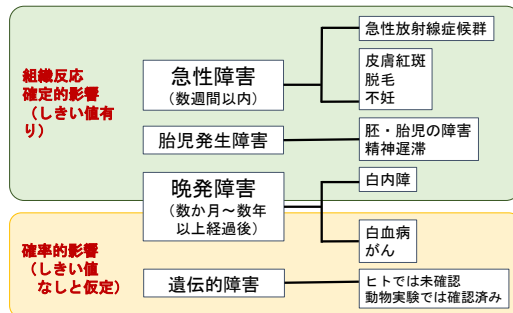
確率的影響



- 一定の線量以下では他の発がん要因が大きすぎて確認できない
- 線量に依存して影響があると仮定して線量限度を決定
- 線量の高さと重篤さは無関係

日本放射線安全管理学会

影響の種類



日本放射線安全管理学会

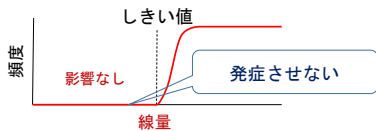
組織反応・確定的影響のしきい値

障害	臓器・組織	潜伏期	しきい値 (1回照射、Gy)
一時的不妊	精巣	3~9週	0.1
永久不妊	精巣	3週	6
	卵巣	1週以内	3
造血能低下	骨髄	3~7日	0.5
皮膚発赤	皮膚	1~4週	3~6以下
皮膚熱傷	皮膚	2~3週	5~10
一時的脱毛	皮膚	2~3週	4
白内障	眼	20年以上	0.5

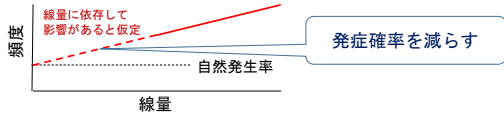
出典：ICRP Publ.103, 118

放射線防護における考え方のまとめ

組織反応・確定的影響

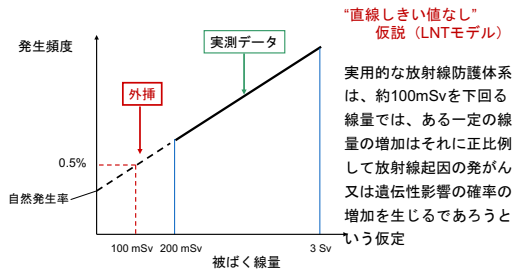


確率的影響



日本放射線安全管理学会

致死がんに対するリスクの考え方 (確率的影響)



日本放射線安全管理学会

短寿命アルファ核種の防護

指が一番汚染が起こりやすいため、頻繁にαサーベイメータを用いて汚染検査を行う。
 > αサーベイメータのバックグラウンド値はほぼゼロ。
 ・ 時折空気中のラドンに反応する程度
 ・ バックグラウンド計数率は把握しておくこと
 > 弱くても継続的なカウントは汚染を意味している



- 吸入
 - ・ 作業室内の換気
 - ・ 局所排気装置の使用
 - ・ 実験時にはチャコールマスクの使用
 - ・ 動物実験以外の非密封の作業はフード内で行う
 - ・ フード外に試料を持ち出す場合は、飛散しないように対策を講ずる。
- 経口
 - ・ 飲食、喫煙、化粧の厳禁
- 経皮
 - ・ 手袋、防護めがね、ピンセットの使用
- X線、γ線を放出するα核種の場合
 - ・ 線量が大きい場合は、適切な遮蔽を用いる(外部被ばくもゼロではない)

日本放射線安全管理学会

4) 短寿命アルファ核種の防護

一般的な非密封RI使用時の安全取扱の方法が基本

α線の飛程
生体組織内で約30μm程度
↓
皮膚の角質層で止まるため、外部被ばくに寄与しない。
適切な防護器具を使用すれば、外部被ばくする可能性は低い。
内部被ばくに、より注意が必要

内部被ばくの主な原因

- ・ 経気道
- ・ 経口
- ・ 経皮

1. 液体及び粉末状のRIの飛び散り
 - ・ RI実験操作の未熟及び不意な取扱 (ピペット操作、運搬、小分け、機器操作等)
2. 動物実験
 - ・ はさみ、メス、注射等の操作ミス
 - ・ 血液の飛び散り
 - ・ 糞尿の飛び散り
3. 喫煙、飲食、化粧等

日本放射線安全管理学会

目次

- 1) 非密封RIの取扱い
- 2) RIの使用記録
- 3) 最大使用数量
- 4) 作業環境
- 5) 安全取扱器具
- 6) 汚染防止策
- 7) α核種の取扱い
- 8) α核種の汚染検査
- 9) 核種の作業環境
- 10) 使用上の注意 (^{211}At ・ ^{223}Ra ・ ^{225}Ac)
- 11) ヒヤリハット事例

日本放射線安全管理学会

1) 非密封RIの取扱い

被ばく防止・汚染拡大防止に最大限努める

- ・ 作業場所の使用許可、最大使用数量を確認する。
- ・ 非密封RIの性質・特性を踏まえ、被ばく防護・汚染拡大防止の手段、線量の監視方法、廃棄物の取扱い、等事前に検討する。
- ・ 取扱量が必要最小限になるよう計画を立てる。
- ・ コールドランを十分に行い、手順を習熟してから本番に臨む。
- ・ 実験前後の作業場所の線量を確認しておく。



日本放射線安全管理学会