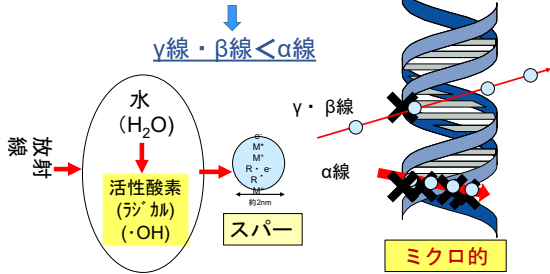


## 吸収線量と放射線の種類

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]

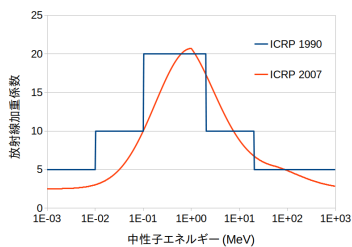
ICRP (1990年勧告、2007年勧告) 放射線加重係数 ( $w_R$ )

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, $\mu$ 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
$\alpha$ 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]

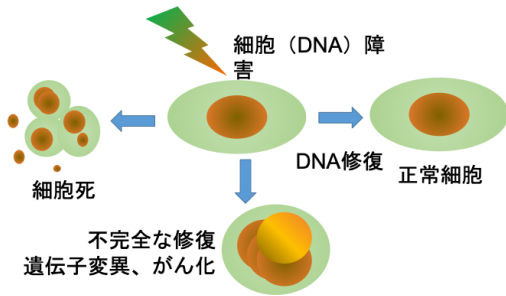
ICRP1990年勧告と2007年勧告の組織加重係数

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

下線がついている値は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

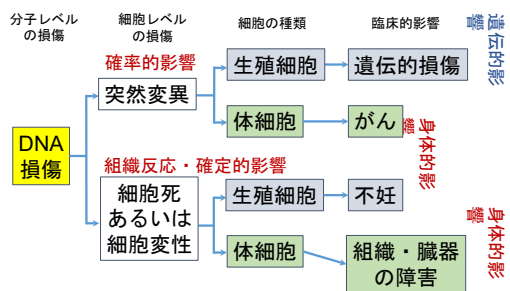
## 放射線被ばくした細胞の運命



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

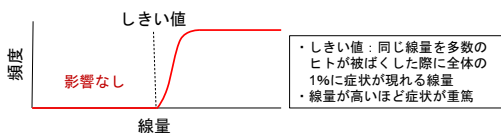
## 分子レベルから臨床的影響へ



日本放射線安全管理学会

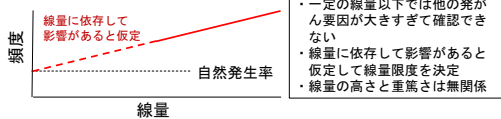
## 組織反応と確率的影響

### 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

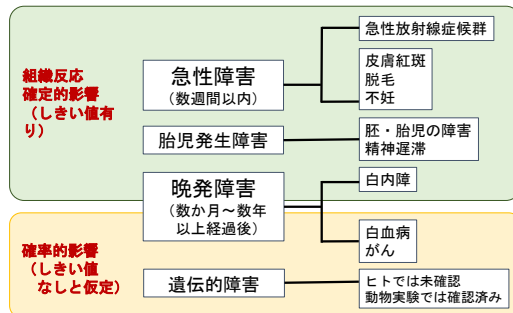
### 確率的影響



- 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

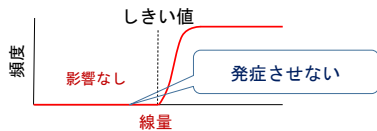
## 組織反応・確定的影響のしきい値

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

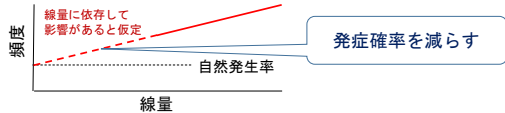
出典：ICRP Publ.103, 118

## 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

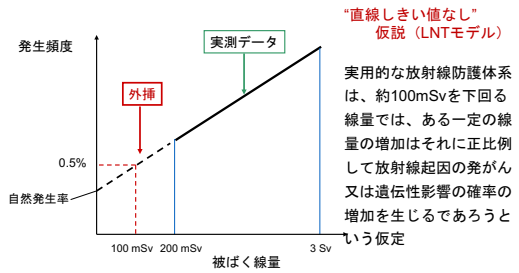


### 確率的影響



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

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 ( $^{211}\text{At}$ ・ $^{223}\text{Ra}$ ・ $^{225}\text{Ac}$ )
- 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



### 3) 最大使用数量

#### 最大使用数量を超えて使用できない

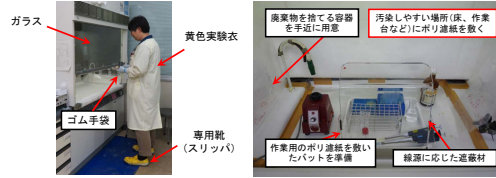
- ・法令で定められた項目：1日、3か月間、年間
- ・核種ごと(施設によっては群別)、作業室ごとに定められている。
- ・動物実験の最大使用数量は、動物実験以外よりも少ない場合が多く、注意する必要がある。
- ・最大使用数量をあらかじめ確認し、購入・実験計画を立てる。
- ・使用頻度が多い核種は、3か月間、年間最大使用数量を超えないよう計画を立てておく。
- ・RI使用記録を速やかに、正確に記載することが重要である。
- ・その他、使用量にあたっては各施設の指示に従う。

日本放射線安全管理学会



### 非密封RIの取扱い

- ・黄色実験衣、専用靴(スリッパ)、ゴム手袋、線量計等を装着する。
- ・原則2人以上(1人は補助)で実施する。
- ・サーベイメータを近くに置き、適宜汚染検査を実施する。
- ・非密封RIの入っている容器には「放射性」の表示をし、核種名・数量・日時・取扱者などを明示する。
- ・RI廃棄物は実験後、施設の指示に沿って直ちに処置する。



日本放射線安全管理学会



### 2) RIの使用記録

#### あらかじめ必要な記録事項を確認しておき 実験終了後速やかに記録する。

##### 法令上、必要となる記録内容

- ・放射性同位元素の購入・保管記録
- ・使用記録(核種・数量・年月日・目的など)
- ・譲渡譲受記録(譲渡書・譲受書)
- ・廃棄記録(核種・廃棄量・廃棄区分など)

##### 必要に応じて

- ・管理区域への入退出記録
- ・持出物品の汚染検査記録
- ・運搬記録(事業所内外)
- ・機器の使用記録 など

RI使用記録の例

日本放射線安全管理学会



### 最大使用数量

要求される項目	線量限度基準値	決定要因	決定される数量
業務従事者の実効線量	外部被ばく+吸入による内部被ばくで1mSv/週	人が常時立ち入る区域の外部放射線量+作業室の空気中濃度	1日最大使用数量(3月間使用数量) 行旅数量 保管廃棄量(年間使用数量)
人が常時立ち入る区域の外部放射線量	1mSv/週	遮蔽能力	1日最大使用数量
作業室の空気中濃度	空気中濃度限度(吸入による内部被ばくで1mSv/週)	排気設備の能力 フィルターの有無 動物の糞尿の回収	1日最大使用数量
排気中濃度	排気中濃度限度(公衆の吸入による被ばく250μSv/3月)	排気設備の能力 フィルターの有無 動物の糞尿の回収	3月間使用数量 最大廃却数量
排水中濃度	排水中濃度限度(公衆の経口による内部被ばく250μSv/3月)	排水設備の容量(10倍希釈まで) 動物の糞尿の回収	1日最大使用数量(3月間・年間使用数量) 最大廃却数量
管理区域境界(病室)の外部線量率	1.3mSv/3月	遮蔽能力 使用施設・貯蔵施設・保管廃棄施設からの距離	3月間使用数量 密封線源の使用時間 貯蔵数量 保管廃棄量
事業所境界(居住区域)の外部線量率	250μSv/3月	遮蔽能力 管理区域からの距離 法人内の施設の外部線量	3月間使用数量 密封線源の使用時間 貯蔵数量 保管廃棄量

法令基準を守るために、最大使用数量が定められる。

日本放射線安全管理学会



### 4) 作業環境

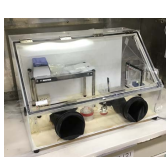
- ・非密封RIの取扱いはフード(ドラフトチェンバー)内で行う。
- ・揮発性・飛散性RIを取扱う時は、グローブボックスや簡易フードなどを使用することで飛散を防止できる。
- ・放射性医薬品取扱や細胞実験は安全キャビネット内で行う。
- ・作業の安全化、短時間化の観点から整理整頓に努める。



フード(ドラフトチェンバー)



安全キャビネット



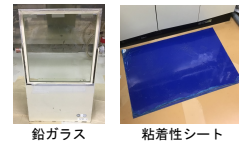
グローブボックス

日本放射線安全管理学会



### 5) 安全取扱器具

- ・被ばく低減  
トンク、鉗子など(遠隔操作)  
アクリル板・鉛ブロック(遮へい)  
鉛容器(一時保管)  
活性炭マスク(内部被ばく対策)



鉛ガラス

粘着性シート

##### ・汚染拡大防止

- ・マイクロビペット、安全ビペット、粘着性シート(フード前の汚染拡大防止)
- ・ループ付スクリーチューブ(キャップが一体のもの)



ループ付スクリーチューブ

チューブラック

##### ・転倒防止

- ・クランプ、チューブラックなど(片手で開閉できるものと汚染拡大防止にもなる)



### 6) 汚染防止策

#### 「汚染は起こるもの」との意識を持つ

- ・作業室入口などエリア毎に専用スリッパに履替えることで、汚染拡大を防止できる。
- ・取扱場所(フードやバットなど)、ドラフト前面等にポリエチレン紙などを敷く。
- ・特に汚染が予想される場所は二重に敷き、実験の都度表層側を交換する。
- ・マイクロビペットなどの実験器具は核種ごとに専用にする。



フード前、バットにPEを敷く

日本放射線安全管理学会



### 汚染防止策

- ・専用実験着・手袋(袖も覆い隠すように)・保護メガネを装着する。
- ・RIの特性に応じてマスク・腕カバーなどを装着。
- ・特に汚染の可能性が高い作業は二重手袋で行う。
- ・線源をバットの上に置き、転倒しやすきものには転倒防止対策を講じる。
- ・作業中は随時汚染検査を行い、早期発見に努める。
- ・手袋をしたまま触れる時は、ペーパータオル等を介在させる。
- ・作業終了後も作業場所とその周辺、身体の汚染検査を行う。



実験着の袖をしっかりと伸ばして、袖部についている紐を親指にかける。手袋の裾はなるべく伸ばし、実験着の袖の部分なるべく覆い隠すようにする。

日本放射線安全管理学会



## 7) α核種の取扱い

**α線の人体に与える影響を考慮して注意しながら使用する。特に内部被ばくの防止に十分留意。**

- 使用量ができる限り少なくなるよう特に工夫する。
- 使用場所を限定し、使用しない人に配慮する。
- 実験専用着に加え、活性炭入りマスク、腕カバー、二重手袋の着用を推奨。また、特性に応じてヘアキャップなども活用する。
- フード内で取扱い、フード外に持出す場合は飛散防止対策を行う。  
(チャック付きの袋に入れる、など)
- 他の核種に混入しないよう注意を払う。(廃棄物は回収しないため)
- 線量に応じて適切な遮へいを用いる。

日本放射線安全管理学会



## 8) α核種の汚染検査

- αサーベイメータを用いて頻りに汚染検査を行う。
- 特に指の汚染が起こりやすいので、注意。
- 器具等の汚染検査にはスマヤ法も活用する。
- αサーベイメータの取扱いに注意。



薄い箔になっているので、破らないように注意。サーベイメータ自身の汚染に注意すること。検出面をビニール袋等で覆わないこと。



使用終了後は、検出面保護のために、カバー等をつけておくことが望ましい。

日本放射線安全管理学会



## 10) <sup>211</sup>At使用上の注意

- <sup>211</sup>Atは、**溶液の種類やpHによって揮発性が変わるため**、フード内等の汚染に注意しながら作業する。
- 水溶液で開放系で置いておくと飛散の可能性がある。  
→ **容器は必ず細口のキャップ付きのものを使用する。**
- 酸性の溶液中でテフロンに吸着しやすい。  
→ **ディスポーザル容器、ガラス容器等を使用すること。**  
**水溶液で取り扱う場合は、アスコルビン酸が飛散防止剤**になるので、必要に応じて使用を検討すること

### 器具の洗浄

吸着がみられた場合は、無理に取り除くことはせず、減衰を待つ。  
器具の洗浄は最低2回は洗浄し、全てRI廃液とすること。  
**洗浄液は流しに流さない。**

日本放射線安全管理学会



## 225Ac使用上の注意

- <sup>225</sup>Acおよびその子孫核種には、飛散性も核種はほぼない。従って、通常の非密封RIの使用と同じような点を気をつけて実験を行えばよい。

### 器具の洗浄

器具の洗浄は最低2回は洗浄し、全てRI廃液とすること。  
**洗浄液は流しに流さない。**  
吸着がみられた場合は、無理に取り除くことはせず、減衰を待つことも検討すること。

日本放射線安全管理学会



## α核種の取扱い



**活性炭入りマスク**  
内部被ばくの防護



**腕カバー、二重手袋**  
手、袖口、肘周辺の汚染対策



**実験中は常にサーベイメータをそばに置き、手や実験スペースの汚染を確認**

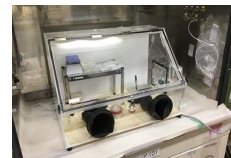


## 9) α核種の作業環境

- 非密封RIを取扱う作業環境に加え、チャコールフィルター付簡易フードやグローブボックスの中で取扱うとよい。
- 必要に応じて移動型α線ダストモニタなども活用する。



チャコールフィルター付簡易フード



グローブボックス

日本放射線安全管理学会



## <sup>223</sup>Ra使用上の注意

- <sup>223</sup>Raに揮発性は無いが、娘核種に**揮発性の<sup>219</sup>Rn**がある。溶液中では、空気中への飛散の割合は大きくは無いが、フード内等の汚染が起こらない様に対応が必要。  
(汚染の場合は<sup>219</sup>Rnが壊変した<sup>211</sup>Pb ( $T_{1/2} = 36.1 \text{ min}$ )、<sup>211</sup>Bi ( $T_{1/2} = 2.14 \text{ min}$ )を検出)  
→ **容器は必ずキャップ付きのものを使用すること。**  
容器とキャップの間にパラフィルムやテフロンシールを巻いたほうが良い。

### 器具の洗浄

器具の洗浄は最低2回は洗浄し、全てRI廃液とすること。  
**洗浄液は流しに流さない。**  
吸着がみられた場合は、無理に取り除くことはせず、減衰を待つことも検討すること。

日本放射線安全管理学会



## 11) ヒヤリハット事例 ①

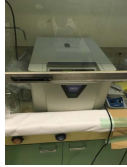
- ✓ <sup>211</sup>Atの取扱い後、肘のあたりまで汚染していた。
- ✓ <sup>211</sup>At溶液をエッペンチューブで保管した際、液体部分に触れていない。蓋に触れただけで手袋が汚染した。  
→ <sup>211</sup>Atが飛散したためと考えられた。  
(Atは塩基性でも化学形によっては飛散が起こる。)
- キャップ付のチューブを使用する。ただしチューブ開封時の汚染にも十分注意する。
- 思わぬ飛散に備え、必要に応じて肘まで覆う長手袋、ヘアキャップなどを使用する。

日本放射線安全管理学会



## ヒヤリハット事例 ②

- ✓ プレートリーダーを用いて測定を行ったところ、試料台付近で汚染が発見された。
  - ・プレートリーダー自体をグローブバッグに入れて使用する。
- ✓  $^{211}\text{At}$ を吸着させた樹脂を遠心分離させたところ、遠心分離機の排気口付近のカウン트가高くなった。
  - ・大量に取扱う場合、遠心分離機をフード内に設置する。



日本放射線安全管理学会



## ヒヤリハット事例 ③

- ✓  $^{211}\text{At}$ を取扱い後、手袋が破損していた。
- ✓ 大量の $^{211}\text{At}$ をグローブボックス内で取扱い後、手袋が汚染していた。
  - 大量の $^{211}\text{At}$ を長時間使用するとゴム手袋を浸透する可能性がある。
  - ・常に汚染の可能性を考え手袋は二重で使用し、適宜汚染検査を実施する。
- ✓  $^{223}\text{Ra}$ を使用中、サーベイメータを汚染させてしまった。
  - 揮発性の $^{219}\text{Rn}$  (希ガス)が飛散した結果汚染したと考えられた。
  - ・壊変系列中に希ガスが生じる核種では飛散に注意する。

日本放射線安全管理学会



## 目次

- 1) 動物へのRI投与
- 2) RI動物の飼育
- 3) 動物実験の諸注意
- 4) RI動物の解剖
- 5) RI動物の臓器の測定・保管
- 6) 動物実験のヒヤリハット

日本放射線安全管理学会



## 動物へのRI投与

### ✓ 針刺し事故の防止



針とキャップを手で持つ



台に置いたキャップを針で引っかける

日本放射線安全管理学会



## 1) 動物へのRI投与

### ✓ 針の種類

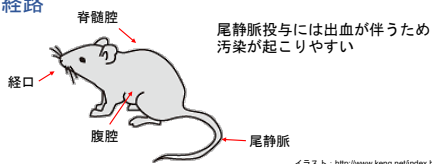


針とシリンジが着脱式のもの



針とシリンジが一体式のもの

### ✓ 投与経路



尾静脈投与には出血が伴うため汚染が起こりやすい

日本放射線安全管理学会

イラスト：http://www.kanq.net/index.html



## 2) RI動物の飼育

### ✓ 被ばくの低減

- ・シールドを利用する
- ・換気を行い、放射性物質の滞留を防ぐ
- ・使用量を厳守する

### ✓ 床敷き・餌・水の交換

- ・すべて放射性として扱うこと！

### ✓ 糞尿などの回収

- ・施設の指示に従う
- ※ 放射性物質の飛散率に関係する



例) 飼育ケージを鉛製の扉で囲う

日本放射線安全管理学会



## 3) 動物実験の諸注意

### ✓ 動物実験には「慣れ」が必要

→ Cold Runを行って作業の所要時間や流れを把握する。

### ✓ 比較的時間がかかる作業 = 被ばくする作業

- ・解剖
- ・薬剤の分注～放射能測定
- ・薬剤の投与
- ・イメージング装置上でのセッティング

これらを短時間で行うには熟練を要する。

### ✓ 実験開始前に必要な物が揃っているか確認する

- 特に動物ケージは1つ多めに。
- すぐに使用できる場所に置き、緊急時に備える。
- 手に届く範囲に脱脂綿を。
- 急な出血や失禁の際にすぐ対応する。

日本放射線安全管理学会



## 動物実験の諸注意

### ✓RI飛散への対処

- 動物実験中は、**失禁・排泄・出血によるRI飛散**が特が多い。
- ・これらは必ず生じるため、素早く適切な処置をすることが重要。
- ・失禁に対しては、あらかじめ尿道口に脱脂綿を置くことで、RIの飛散を防止できる。
- ・出血は注射時に頻発するが、手技の習熟によって低減できる。

### ✓脱走の防止

- 動物は常に逃げようとする。
- 動物を正しく持つ、固定する、麻酔深度を確認する。
- ・動物を持ったまま他の作業をしない。  
→ 面倒でも逐一ケージに戻す。
- ・動物から目を離さない。

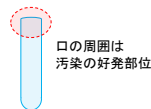
日本放射線安全管理学会



## 5) RI動物の臓器の測定・保管

### ✓臓器の測定

- ・測定器に合致した容器に臓器を封入する。
- ・容器の外側を汚染させない。
- 容器の汚染は測定機器の汚染につながる！



### ✓臓器の保管

- ・内容物に含まれる核種および保管開始年月日を明記する。
- ・廃棄の際は通常の動物と同様に処理する。
- ・容器にはフタをし、内容物の漏出を防ぐ。
- ・保管場所、保管期間などは施設の方針に従う。

日本放射線安全管理学会



## 4) RI動物の解剖

### ✓作業場所の準備

- ・作業台にポリろ紙を貼る。(既に貼ってある場合が多い)
- ・さらに使用する作業スペースにポリろ紙を敷き、2重にする。  
→ 汚染時の紙交換を簡便にするため。
- ・器具洗浄用にビーカー等の容器に水を入れておく。

### ✓作業中の注意

- ・作業はポリろ紙を敷いたバット内で行うのが望ましい。
- ・血液や尿、洗浄用生食が跳ねることがあるので防護メガネを着用する。
- ・RIの揮発が予想される場合は、活性炭マスク、場合によってはヘアキャップの着用を推奨する。
- ・退出基準が厳しいα核種の取扱いは、より厳重な身体汚染防止処置が望ましい。(エプロン、腕カバーの着用や手袋を二重にするなど)
- ・解剖器具を手放す時はビーカー等の器具洗浄用容器に入れる。  
→ バット内や作業台上に直に置かない。

日本放射線安全管理学会



## 6) 動物実験のヒヤリハット

- ✓ RIを投与したマウスに触れた際、体表面に付着していたRIに気付かず手袋が汚染した。  
→ マウスの体表面は糞尿等で汚染されやすいため、投与した動物に触れた際には必ず手をサーベイスする。
- ✓ RIを投与したマウスを撮像装置まで移動する際、マウスが失禁し汚染が発生した。  
→ 投与後の生体の取り扱いには十分に注意を払う。
- ✓ RI投与中マウスが暴れて注射針が尻尾から抜けた結果、注射液が飛び散って汚染した。  
→ 投与中は動物が暴れることが多いのでしっかり固定する。
- ✓ RI投与後にマウスを保定する際にマウスに噛まれた。  
→ 動物を正しく持つ。対象がラットの場合は噛み付き防止の手袋を使用も検討する。
- ✓ イメージング中に麻酔チューブが外れ、マウスが機械内に脱走した。  
→ 麻酔深度は常に確認する。  
吸入器の固定、麻酔チューブの捻れなどはイメージング開始前に必ず確認する。

日本放射線安全管理学会



## 目次

### 1) 放射線の測定

- ・実験中の放射線モニタリングに用いられる検出器
- ・ハンドフットクロスモニター
- ・測定器使用時の諸注意

### 2) α線核種の測定

- ・α線測定の注意点
- ・α線測定可能な検出器
- ・γ線等を利用したα線核種の測定
- ・その他のα線測定器

### 3) 短寿命核種測定の注意点

日本放射線安全管理学会



## 実験中の放射線モニタリングに用いられる検出器

- ・GMサーベイメータ…β線、γ線測定  
バックグラウンド計数率：50-100 cpm
- ・NaIシンチレーションサーベイメータ…γ線測定  
バックグラウンド線量率：0.1 μSv/h程度
- ・ZnS(Ag)シンチレーションサーベイメータ…α線測定  
バックグラウンド計数率：ほぼゼロ  
(空気中のラドンに時折反応)

- ・被ばく低減のための実験環境中の放射線量のチェック
- ・作業中の放射能汚染のチェック
- 有意な計数があればすぐに除染

日本放射線安全管理学会

## 7. 放射線の測定

放射線は人間の五官では検知できない。



物質との相互作用を利用して測定する。

- ◆電離効果・・・GM計数管、半導体検出器等
- ◆発光現象・・・シンチレーションカウンタ等
- ◆照射効果・・・飛跡検出器、化学線量計等

測定したい放射線、測定したい物理量、測定目的等に合わせて検出器を選択。

日本放射線安全管理学会



## ハンドフットクロスモニタ

管理区域からの退出時に

- Hand
- Foot
- Cloth

の汚染がないことをチェックする。  
(使用時にスリッパを着用するか  
どうかは施設に確認する事)

**汚染が発覚した場合は、施設の  
管理者の指示に従い、除染  
など適切な対応をとること。**



日本放射線安全管理学会



## 測定器使用時の諸注意

- ・使用する核種の放出放射線に対応した測定器を使用

α線・・・ZnS(Ag)サーベイ、Si検出器等  
β線・・・GMサーベイ、液体シンチレーションカウンタ等  
γ線・・・GM、NaIサーベイ、Ge検出器等



- ・線源の強さに応じた適切な測定距離等を考慮

→ 例: GMサーベイメータは線源が強すぎる場合、  
窒息現象により計数値が急にゼロになる

日本放射線安全管理学会



## 測定器使用時の諸注意

- ・使用する測定器のバックグラウンド計数値の把握

→

- ・線源のない状態での計数値はどれくらいか
- ・測定を妨害する天然由来の放射線はないか
- ・思わぬところに線源が置かれていないか、等

- ・測定値のばらつきを考慮

→

- ・放射壊変は確率現象
- ・安定した測定結果を得るため、適切な測定時間、  
必要なカウント数等を念頭に置く。

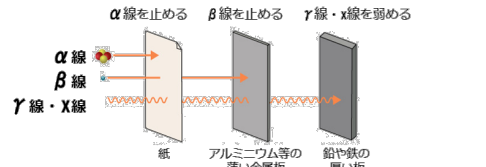
- ・検出器の汚染防止

→ 例: GMサーベイメータの検出面をポリ袋やラップで保護  
汚染してもラップ等の取り換えて済むように。

日本放射線安全管理学会



## 2) α線核種の測定・α線測定 of 注意点



**α線・・・非常に透過力が弱い**

→

- ・紙一枚で止まる
- ・空气中で数cm程度の飛程

→

- ・検出器を線源に密着させる
- ・真空中での測定を行う
- ・自己吸収に注意する、等の工夫が必要

環境省「放射線による健康影響等に関する統一した基礎資料  
(平成30年度版)」より

日本放射線安全管理学会



## α線測定可能な検出器

### ZnS(Ag)シンチレーション式サーベイメータ



- ・α線測定専用のサーベイメータ  
バックグラウンド計数はほぼゼロであり、  
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)

→

- ・非常に高感度で極微量の汚染でも  
検出可能。
- ・弱くとも継続的なカウントは汚染  
を意味する。



- ・検出面は、硫化亜鉛の微粉末が透明な基板上  
に塗布されて薄膜で遮光されている。

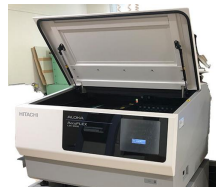
→ 薄膜は非常に破れやすいため、  
取り扱いに注意すること。

日本放射線安全管理学会



## α線測定可能な検出器

### 液体シンチレーションカウンター



- ・測定試料を液体シンチレータに  
溶解して測定
- ・4π検出により非常に高効率
- ・試料による自己吸収がない
- ・共存物によりクエンチングが  
起こり、検出効率が低下する  
ことがあることに注意。

日本放射線安全管理学会



## α線測定可能な検出器

### αスペクトロメータ



- ・Si検出器を用いて真空中で測定を行うこと  
でα線のスペクトロメトリーを行う測定器
- ・高効率、高エネルギー分解能、低バックグ  
ラウンドでのα線測定が可能。
- ・固体サンプルが測定に用いられ、蒸発乾固  
試料や電着試料等が用いられる。

→ α線は透過力が弱いため、サンプル  
の自己吸収に気を付け、薄い線源を  
作製する必要がある。

日本放射線安全管理学会



## α線測定可能な検出器

### イメージングアナライザ

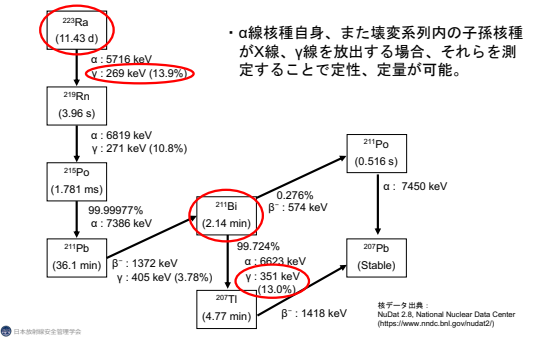


- ・輝尽蛍光体 (BaFX(X:Cl,Br,I);Eu<sup>2+</sup>)の粉  
末を塗布したイメージングプレート(IP)  
を利用。
- ・IP上で放射線が照射された部分が(一次)  
励起し、場所や放射線強度が記憶される。
- ・可視光により再度励起すると一次励起の  
強さに応じた発光(蛍光)を生じること  
から放射能分布等の画像を読み取るこ  
とができる。
- ・α線、β線、γ線等、種々の放射線に感度  
があり、α線核種を用いた画像の取得も  
可能。

<sup>211</sup>Atの薄層クロマトグラフィ画像

日本放射線安全管理学会

## γ線等を利用したα線核種の測定



## 放射平衡

親核種の半減期が子孫核種に比べて長い場合、一定時間経過後に親核種と子孫核種の放射能の比が一定になり、平衡状態となる。

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1 \quad \text{または} \quad \lambda_2 N_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \lambda_1 N_1$$

上式が成立する状態を過渡平衡と呼ぶ。

永続平衡

親核種の半減期が子孫核種により非常に長い場合、

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_1 \quad \text{または} \quad \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_1$$

となり、子孫核種と親核種の放射能が等しくなる。

放射平衡が成立していれば、子孫核種の放射能測定により親核種の放射能を求めることが可能。

## 放射平衡

衰変系列を作る場合、系列のn番目の核種の原子数 $N_n$ は以下の式で計算される。

$$N_n = C_1 e^{-\lambda_1 t} + C_2 e^{-\lambda_2 t} + \dots + C_n e^{-\lambda_n t}$$

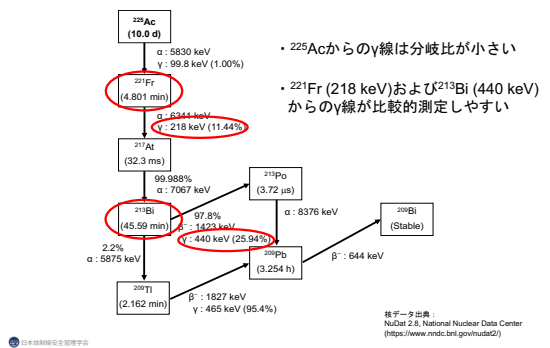
$$C_1 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \dots \lambda_{n-1}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1) \dots (\lambda_n - \lambda_1)} N_{1,0}$$

$$C_2 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \dots \lambda_{n-1}}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2) \dots (\lambda_n - \lambda_2)} N_{1,0}$$

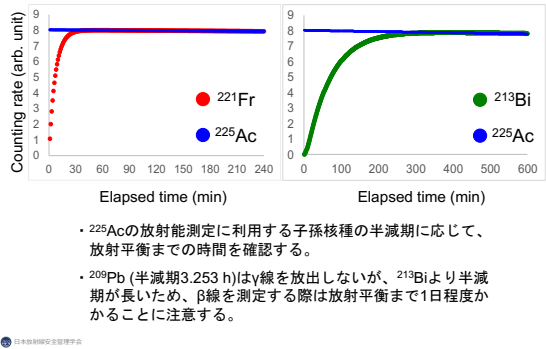
$$C_n = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \dots \lambda_{n-1}}{(\lambda_1 - \lambda_n)(\lambda_2 - \lambda_n) \dots (\lambda_{n-1} - \lambda_n)} N_{1,0}$$

t ... 時間  
 $\lambda_n$  ... 系列n番目の核種の衰変定数  
 $N_{n,0}$  ... 系列n番目の核種のt=0における原子数  
 但し $N_{2,0} = N_{3,0} = \dots = N_{n,0} = 0$ とする

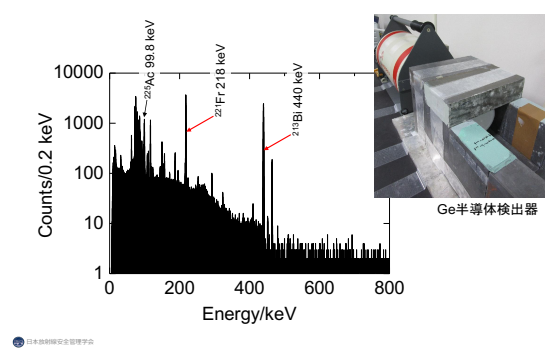
## <sup>225</sup>Acの放射線測定



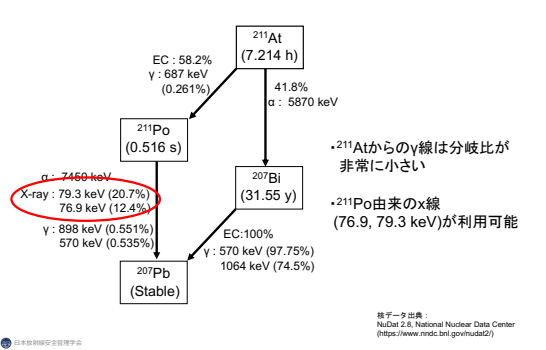
## <sup>225</sup>Acと<sup>221</sup>Fr および<sup>213</sup>Biの放射平衡



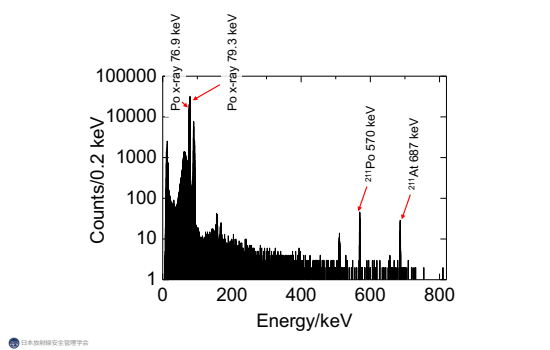
## Ge検出器で測定した<sup>225</sup>Acのγ線スペクトル



## <sup>211</sup>Atの放射線測定

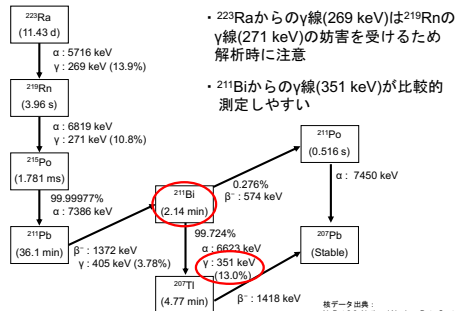


## Ge検出器で測定した<sup>211</sup>Atのγ線スペクトル



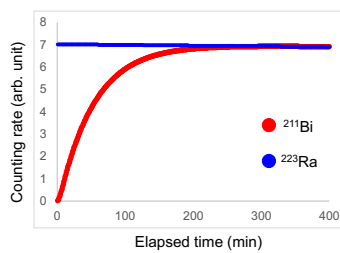


## 223Raの放射線測定



日本放射線安全管理学会

## 223Raと211Biの放射平衡



・<sup>211</sup>Biの放射線から<sup>223</sup>Raの放射能を測定する場合、放射平衡が成立しているかを確認する。

日本放射線安全管理学会

## ガンマカウンターでのα線核種の測定

### ガンマカウンター



- ・NaI検出器を用いて多数の測定サンプルを自動で測定可能。
- ・α線核種自身、または系列核種がX線、γ線を放出する場合、α線核種の定量に利用可能。
- 系列核種の放射線を利用する場合は放射平衡到達を確認する。
- ・機種によっては一度に複数サンプルの測定を行うものもあり、高エネルギーγ線(約500keV以上)の放出を伴う核種の測定では、遮蔽を貫通して互いの測定を妨害する可能性に注意する。

日本放射線安全管理学会

## ドーズキャリブレータでのα線核種の測定

### ドーズキャリブレータ

- ・X線やγ線により放射能を測定する井戸型電離箱測定器
- ・種々の核種が登録されており、測定したい核種を選択することで簡単に放射能測定が可能
- ・<sup>223</sup>Ra等は登録されていないことがあるが、換算定数の入力により、子孫核種などの放出γ線からα線核種の放射能測定が可能



日本放射線安全管理学会

## ドーズキャリブレータでのα線核種の測定

### ドーズキャリブレータ

・換算定数の決定には、Ge検出器等により放射能を決定した<sup>223</sup>Ra等の線源が必要。



線源をドーズキャリブレータに入れ、表示される放射能がGe検出器等による測定放射能に合うように換算定数を入力。



日本放射線安全管理学会

## ドーズキャリブレータでのα線核種の測定

### ドーズキャリブレータでの測定の注意点

- ・弱い放射能の測定精度が低く、数百kBq程度の線源の測定には注意を要する。
- ・検出部に入手するすべてのX線、γ線が検出対象であることから、α線核種が放射平衡に達しているかどうか、他の核種が混入していないかどうかを確認する事。



日本放射線安全管理学会

## その他のα線測定器



ガスフロー型比例計数管

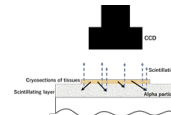
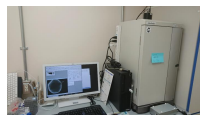


ホスウィッチ型シンチレーション検出器

日本放射線安全管理学会

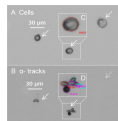
## その他のα線測定器

### アルファカメラ



福島県立医科大学鷲山先生より提供

### CR-39



Kodaira et al. PLoS One. 2017 Jun 28;12(6):e0178472

日本放射線安全管理学会



### 3) 短寿命核種測定の見点

- ・短い時間で減衰していく
  - ・取り扱い開始から終了までを迅速に行う必要がある。
  - ・コールドランにより実験手順をよく確認しておくことが重要。

- ・測定中も顕著に減衰していく
  - ・十分な放射能があれば、測定を短時間で済ませる。
  - ・測定時間を半減期に対して長くする必要がある場合は、測定中の減衰を考慮する。<sup>1)</sup>

$$A_0 = \frac{\lambda t_m}{1 - e^{-\lambda t_m}} \cdot A \cdot e^{\lambda t}$$

$A_0$ ・・・基準時間における放射能  
 $A$ ・・・測定時における放射能  
 $t$ ・・・基準時間から測定開始までの時間  
 $t_m$ ・・・測定時間     $\lambda$ ・・・壊変定数

<sup>1)</sup>放射能測定法シリーズ7「ガリウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」平成4年改訂 文部科学省

日本放射線安全管理学会



### 目次

- 1) 廃棄物の取り扱い
- 2) 可燃・難燃・不燃の区別
- 3) RI液体の処理（量ごとに）
- 4) RI針
- 5) RI動物の臓器
- 6) RI動物の死体
- 7) RI動物の排泄物
- 8) 敷き藁／床敷き
- 9) オートクレーブの使い方
- 10) PET 4 核種の扱い（7日間ルール）
- 11)  $\alpha$ 核種の廃棄（他核種との混入防止について）

日本放射線安全管理学会



### 引き渡せないRI廃棄物

－「RI廃棄物の廃棄委託規約」から抜粋－

- ① 揮発油、アルコール、二硫化炭素等の可燃性液体
- ② 爆発物及び自然発火するおそれのある物
- ③ 腐敗した物及び腐敗のおそれのある物
- ④ 多量の気体を発生するおそれのある物
- ⑤  $^3\text{H}$ ガス、 $^{85}\text{Kr}$ ガス等の気体状の放射性同位元素
- ⑥ 人体からの排泄物、臓器、組織等、血液、血清及び病原体の付着した物
- ⑦ 以下の核種を除くアルファ線を放出する放射性同位元素を含む物  
 $^{223}\text{Ra}$
- ⑧ 液体シンチレータ廃液以外の有機液体、機械オイル等
- ⑨ 劇毒物、ダイオキシン類、有害物質等
- ⑩ 破碎、圧縮、焼却、乾留、熔融等の減容処理等を行った物
- ⑪ 十分に乾燥されていない物及び液体の残ったバイアル等
- ⑫ 密封線源
- ⑬ 核種、放射能が不明の物
- ⑭ その他、法令により禁止されている物

日本放射線安全管理学会



### RI廃棄物の分類

