



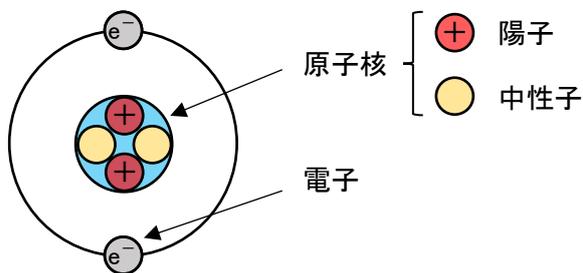
I.放射線と放射能



1 原子の構造と放射壊変

1) 原子の構造

全ての物質は原子からできており、原子は原子核と(陰)電子から構成される。さらに原子核は陽子と中性子から構成されており、陽子の個数を原子番号という。また、原子の質量数は、陽子数と中性子数の和と定義されている。



元素記号(W)

質量数(A) = 陽子数 + 中性子数

原子番号(Z) = 陽子数

2) 同位体

陽子数、質量数、エネルギー状態により決定される原子、原子核の種類を核種といい、原子番号が同じで、質量数の異なる核種を同位体(アイソトープ)という。同位体には安定同位体と不安定同位体がある。

- ・不安定同位体(放射性同位体: ラジオアイソトープ)

放射線を放出する不安定な核種 (^{11}C 、 ^{14}C など)

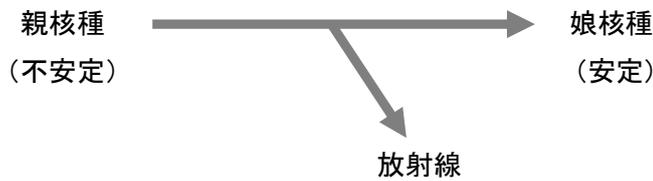
- ・安定同位体

放射線を放出しない安定な核種 (^{12}C 、 ^{13}C など)

	^{11}C	^{12}C	^{13}C	^{14}C
陽子数	6	6	6	6
中性子数	5	6	7	8

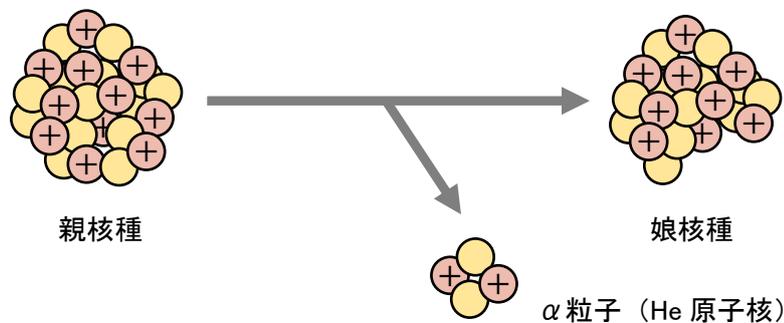
3) 放射壊変

放射壊変とは、親核種（エネルギー状態の高い核種）が娘核種（エネルギー状態の低い核種）になる際、放射線（ α 線、 β 線、 γ 線、X線）を放出する現象のことである。



(1) α 壊変

α 壊変は、質量数の大きな核種（ ^{222}Rn 、 ^{226}Ra 、 ^{238}U など）が、安定な核種になるために、陽子2個と中性子2個からなる α 粒子（He原子核）を放出する壊変である。 α 壊変の結果、原子番号は2減少、質量数は4減少する。



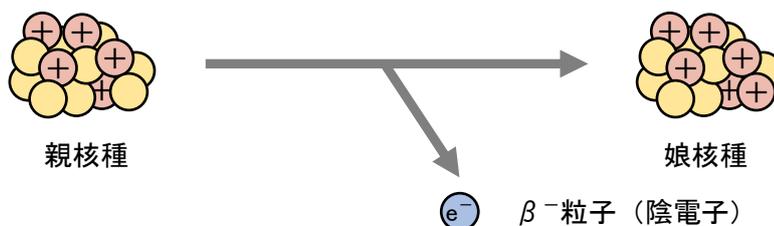
(2) β 壊変

β 壊変は、原子核内の陽子と中性子が相互変換する壊変のことであり、壊変により質量数は変化しない。 β 壊変には、陰電子の放出を伴う β^- 壊変、軌道電子を原子核に取り込む軌道電子捕獲、陽電子の放出を伴う β^+ 壊変がある。また、 β 壊変の際にはニュートリノ（中性微子）^{*}も放出される。

^{*}実質の質量はなく、エネルギーを有する粒子

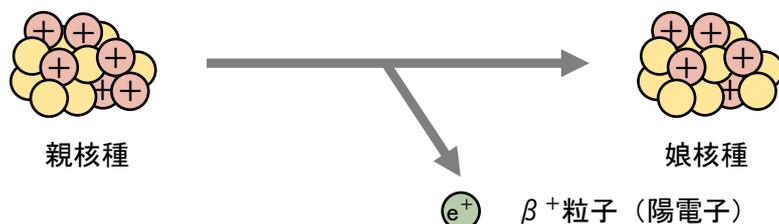
① β^- 壊変

β^- 壊変は中性子過剰の核種（ ^3H 、 ^{14}C 、 ^{90}Sr など）が、中性子1個を陽子1個に変換する際、 β^- 粒子（陰電子）を放出する壊変である。 β^- 壊変の結果、原子番号は1増加し、質量数は変化しない。



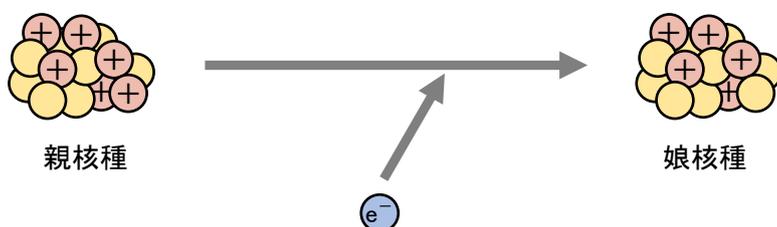
② β^+ 壊変

β^+ 壊変は陽子過剰の核種 (^{11}C 、 ^{15}O 、 ^{18}F など) が、陽子 1 個を中性子 1 個に変換する際、 β^+ 粒子 (陽電子) を放出する壊変である。 β^+ 壊変の結果、原子番号は 1 減少し、質量数は変化しない。



③ 軌道電子捕獲 (EC)

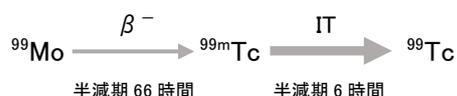
軌道電子捕獲は、陽子過剰の原子核内の陽子 1 個が陰電子 1 個を捕獲して、中性子 1 個に変換する壊変である。軌道電子捕獲の結果、原子番号は 1 減少し、質量数は変化しない。



(3) γ 転移

γ 転移は、 α 、 β 壊変後に娘核種がまだ励起状態 (不安定)* の場合、余分なエネルギーを原子核内から γ 線 (波長の短い電磁波) として放出し基底状態 (安定) に転移することである。 γ 転移は、電磁波が放出されるだけであるため、原子番号も質量数も変化しない。

* 励起状態が長く保たれた状態 (準安定状態) の原子核を核異性体といい、この準安定状態の原子核が γ 線を放出して安定な状態になることを核異性体転移という。核異性体は、基底状態の原子核と区別して、質量数の後ろに「m」を付けて表す ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ など)。



・放射壊変のまとめ

壊変の形式	壊変の特徴	質量数	原子番号
α 壊変	α 線 (He 原子核) を放出	4 減少	2 減少
β^- 壊変	中性子 1 個を陽子 1 個に変換後、 β^- 線を放出	変化しない	1 増加
β^+ 壊変	陽子 1 個を中性子 1 個に変換後、 β^+ 線を放出	変化しない	1 減少
軌道電子捕獲	陽子 1 個が陰電子 1 個を捕獲後、中性子 1 個に変換	変化しない	1 減少
γ 転移	壊変後に娘核種が γ 線を放出	変化しない	変化しない
核異性体転移	核異性体が γ 線を放出	変化しない	変化しない

2 放射線の分類と性質及び物質との相互作用

1) 放射線の分類

放射線は、電離放射線（ α 線、 β 線、 γ 線、X線）と非電離放射線（紫外線、可視光線、赤外線、ラジオ波）に大別される。ただし、一般に放射線という場合は電離放射線を指す。電離放射線のうち、 α 線と β 線は粒子線、 γ 線とX線は電磁波に分類される。

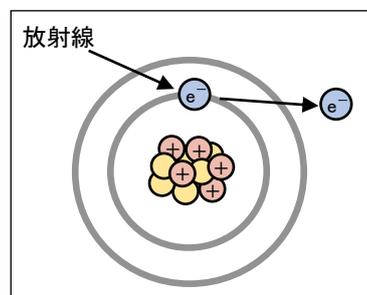


2) 放射線の性質

放射線の性質には、電離作用、励起作用、透過作用などがある。

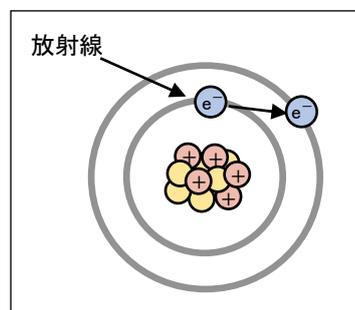
(1) 電離作用

電離作用とは、軌道電子が軌道外に弾き出され、電子と陽イオンを生成させる作用のことである。電離作用の大小関係は、 α 線 $>$ β 線 $>$ γ 線の順である。



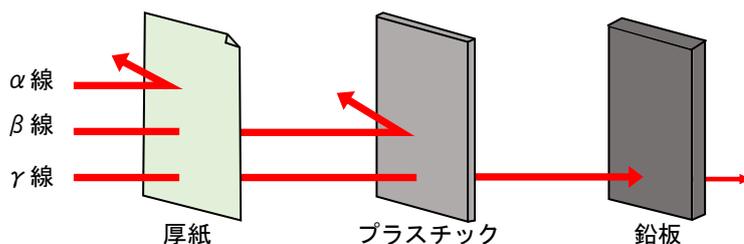
(2) 励起作用

励起作用とは、軌道電子の配置を変化させ、高エネルギー状態にする作用のことである。励起状態にある原子は、時間が経過すると基底状態に戻る際に蛍光発光現象を起こすことがある。（この現象をシンチレーションという）。



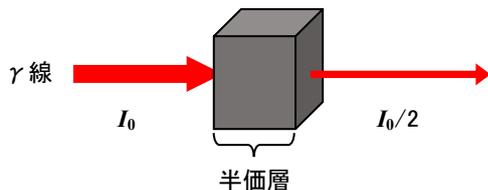
(3) 透過作用

α 線は、ダンボール、厚紙などで遮へいすることができ、 β 線は、ガラス板、プラスチックなどで遮へいすることができる。 γ 線は、透過力が大きいため、密度の大きい金属（鉛など）の厚い板で遮へいできるが、完全に遮へいすることはできない。



< γ 線と遮蔽体の厚さの関係 >

γ 線は遮蔽物の厚さに応じて指数関数的に低減する。そのため、 γ 線の遮断と遮蔽体の厚さについては、半価層（入射した γ 線を半分にすることができる遮蔽体の厚さ）を用いて表すことができる。

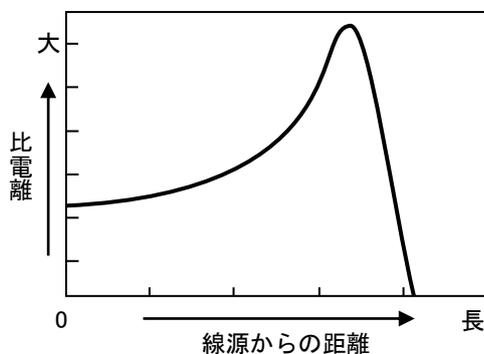


3) α 線

α 粒子の本体はヘリウム原子核で重いため、物質中を通過するときの飛跡は、直線状となる。また、+2の電荷をもつため、電離作用は大きい。そのため、エネルギーは失いやすく、透過力、飛程は小さく、静止直前に大きくエネルギーを失う*特徴を有する。

本体	ヘリウム原子核
相互作用	大きい
透過力	小さい（厚紙やダンボールで遮蔽）
飛程	直線状の飛跡
スペクトル	線スペクトル

* α 線が物質中を透過する際に示す比電離（単位長さあたりの電離数）の変化を表したものを、Bragg 曲線という。線源より距離が増加するに伴い、比電離は増加し、静止直前に急激に増加する。このピークを Bragg ピークという。



4) β 線

β 線の本体は、 β^- 粒子と β^+ 粒子があり、 α 線より電離作用は弱く、透過力、飛程は大きい。

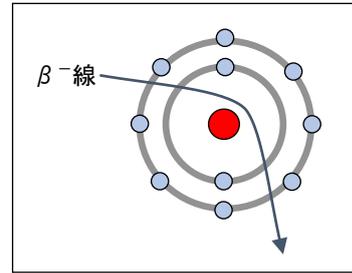
本体	β^- 線：陰電子、 β^+ 線：陽電子（ポジトロン）
相互作用	α 線より小さい
透過力	α 線より大きい（厚いプラスチック板で遮蔽）
飛程	ジグザグ状の飛跡
スペクトル	連続スペクトル

(1) β^- 線と物質の相互作用

β^- 線の物質との相互作用には、弾性散乱、非弾性散乱、制動放射がある。

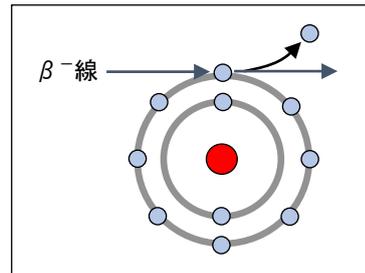
① 弾性散乱

β^- 線が原子核のそばを通過するとき、原子核の正電荷により進行方向のみが変化する現象のことであり、**運動エネルギーの減少はない**。弾性散乱を起こした β^- 線は、飛跡がジグザグ状となる。また、弾性散乱のうち、 β^- 線の進行方向が入射方向へ変化する現象を**後方散乱**という。



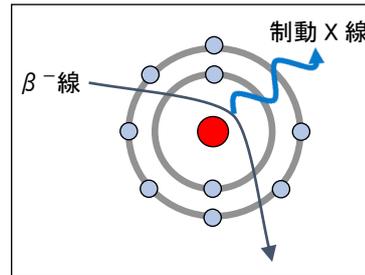
② 非弾性散乱

β^- 線が軌道電子などと相互作用を起こし、電離、励起を繰り返すことにより進行方向が変化する現象のことであり、**運動エネルギーの減少が認められる**。



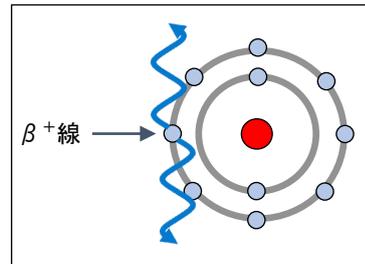
③ 制動放射

β^- 線が原子核のそばを通過するとき、原子核の正電荷により進行方向が変化するとともに**X線が放出される**現象のことである。この現象により放出されるX線を**制動X線**という。



(2) β^+ 線と物質の相互作用

β^+ 線は励起、電離によりエネルギーを失うが、運動エネルギーを失った状態ですぐに**周囲の陰電子と結合して互いに正反対の方向に出る2本の消滅放射線(消滅 γ 線)**を放射する。



5) γ 線

γ 線の本体は電磁波であり、透過力が非常に大きい、電離作用、励起作用は α 線、 β 線に比べ非常に小さい。

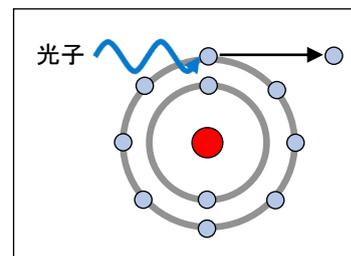
本体	電磁波
相互作用	α 線、 β 線に比べ非常に小さい
透過力	極めて大きい(鉛板やコンクリートで一部遮蔽)
スペクトル	線スペクトル

(1) γ 線と物質の相互作用

γ 線の物質との相互作用には、光電効果、コンプトン効果、電子対生成がある。

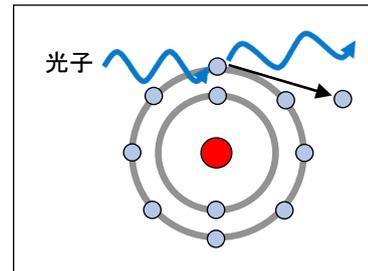
① 光電効果

光子が軌道電子の1つに全エネルギーを与えて、原子から軌道電子を光電子として放出させる現象のことである。



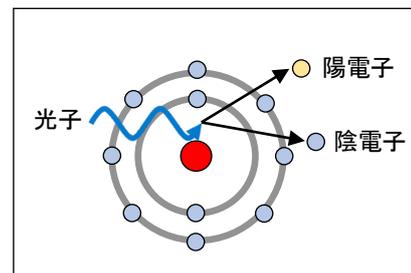
② コンプトン効果

光子がエネルギーの一部を軌道電子に与え、自身は長波長へとエネルギー減少した光子となって散乱する現象のことである。



③ 電子対生成

高エネルギーの γ 線が原子核の近くを通過すると、電子対(陽電子、陰電子)を生成し、 γ 線が消滅する現象のことである。



β^- 線と γ 線相互作用「非男性のビーナス、合コンで頑張る」

非: 非弾性散乱、男: 弾性散乱、性: 制動放射、ビーナス: β^- 線

合: 光電効果、コン: コンプトン散乱、で: 電子対効果、頑張る: γ 線

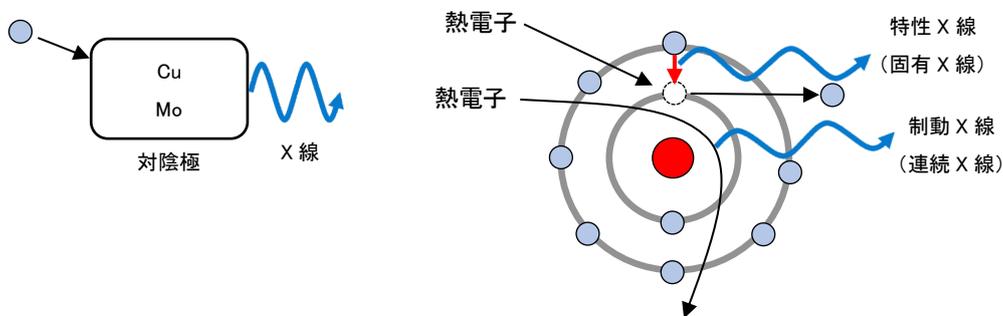
6) X線

X線は γ 線と同様、電磁波の一種であり、 γ 線は原子核内から放出されるのに対し、原子核外で発生するものをX線という。X線は γ 線より波長が長く、電離作用、励起作用は α 線、 β 線に比べ非常に小さい。

本体	電磁波 (γ 線より長波長)
相互作用	α 線、 β 線に比べ非常に小さい
透過力	極めて大きい
スペクトル	制動X線：連続スペクトル 特性X線：線スペクトル

(1) X線の発生

X線は、加熱により加速させた熱電子を、対陰極にある金属 (Cu、Mo) に衝突させることで発生する。発生するX線は、連続的なスペクトルを示す制動X線 (連続X線) と対陰極の金属原子に固有の特性X線 (固有X線) からなる。



※X線源として、広い波長領域 (連続スペクトル) をもつシンクロトロン放射光も利用されている。

・電離放射線のまとめ

分類	粒子線			電磁波
	α 線	β^- 線	β^+ 線	γ 線、X線
本体	ヘリウム原子核	陰電子	陽電子	電磁波
相互作用	大 ←————— 小			
透過力	小さい (厚紙で遮蔽)	α 線より大きい (厚いプラスチック板で遮蔽)	極めて大きい (鉛板やコンクリートで一部遮蔽)	
	小 —————→ 大			
飛程	小さい (直線)	α 線より大きい (ジグザグ)		
スペクトル	線スペクトル	連続スペクトル	γ 線、特性X線：線スペクトル 制動X線：連続スペクトル	

線スペクトル「センスがあると得」

センス：線スペクトル、が： γ 線、ある： α 線、得：特性X線

3 放射能に関する計算

1) 放射性核種の壊変速度

放射能(A)は、時間(t)あたりに減少する原子の個数(N)の変化であり、核種に固有の壊変定数(λ)を用いて、以下の式で表すことができる。

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

物理学的半減期は、以下の式で表すことができる。

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

2) 放射性核種の有効(実効)半減期

内部被曝を生じる放射性物質は、体内に取り込まれたあと、放射壊変による物理学的な減少と代謝、排泄による生物学的な減少の2つに要因によって減少する。両者を考慮した有効(実効)半減期($T_{\text{有効}}$)は、物理学的半減期($T_{\text{物理}}$)と生物学的半減期($T_{\text{生物}}$)を用いて以下の式で表される。

$$\frac{1}{T_{\text{有効}}} = \frac{1}{T_{\text{物理}}} + \frac{1}{T_{\text{生物}}}$$

$$T_{\text{有効}} = \frac{T_{\text{物理}} \times T_{\text{生物}}}{T_{\text{物理}} + T_{\text{生物}}}$$

※一般に、細胞分裂の頻度が高い乳児や幼児における生物学的半減期は、成人より短い。

4 放射平衡

放射平衡とは、 $A \rightarrow B \rightarrow C$ の逐次（連続）壊変において、親核種 A と娘核種 B が常に同時に存在し、それらの放射能が釣り合った状態のことである。

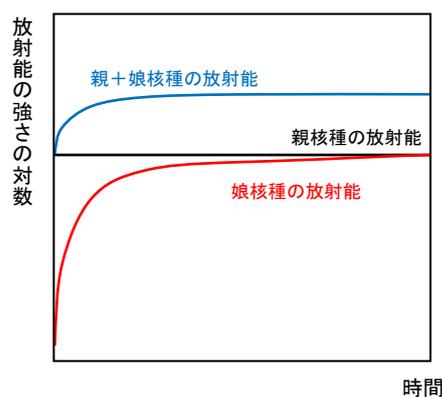
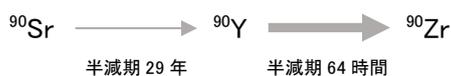
1) 過渡平衡と永続平衡

放射平衡には、親核種と娘核種の半減期の大きさにより、過渡平衡と永続平衡がある。

(1) 永続平衡

親核種の半減期 ($t_{1/2A}$) が娘核種の半減期 ($t_{1/2B}$) より 1000 倍以上長い ($t_{1/2A} \gg t_{1/2B}$) とき、永続平衡が成り立つ。

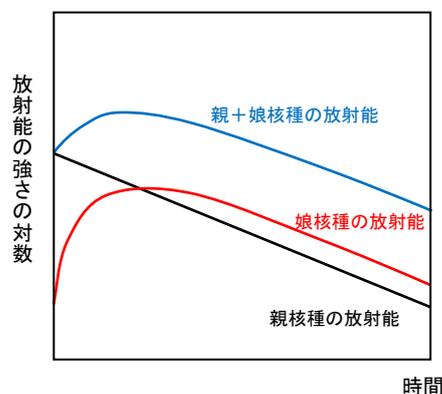
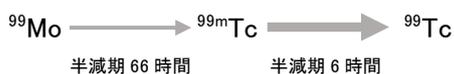
例)



(2) 過渡平衡

親核種の半減期 ($t_{1/2A}$) が娘核種の半減期 ($t_{1/2B}$) より 10 倍以上長い ($t_{1/2A} > t_{1/2B}$) とき、過渡平衡が成り立つ。

例)



・放射平衡のまとめ

	永続平衡	過渡平衡
条件	$t_{1/2A} \gg t_{1/2B}$	$t_{1/2A} > t_{1/2B}$
親核種の放射能	半減期が長すぎるため、時間が経過してもほとんど変化しない	時間とともに減少
娘核種の放射能	時間の経過とともに親核種のグラフに近づき最終的には親核種と同じになる	親核種の壊変とともに増加するが、時間の経過とともに親核種と同様に減少

2) ミルキング

放射平衡を利用して、親核種と娘核種の混合物から娘核種だけを繰り返し分離する操作を**ミルキング**という。ミルキングを行う装置を**ジェネレーター**といい、親核種をカラムなどに保持させ、娘核種だけを溶離させることが可能である。

<⁹⁹Mo-^{99m}Tc ジェネレーターによるミルキング>

半減期 66 時間の ⁹⁹Mo (⁹⁹MoO₄²⁻) をアルミナカラムに吸着させ、生理食塩水で洗うと、半減期 6 時間の ^{99m}Tc (^{99m}TcO₄²⁻) だけを溶離することが可能となる。このようにして、必要時に ^{99m}Tc だけを溶離することができる装置を ⁹⁹Mo-^{99m}Tc ジェネレーターという。また、このように雌牛からミルクを搾るように、放射平衡を利用して娘核種を得る方法をミルキングという。

5 放射能の単位

放射能量	1 秒間当たりの崩壊数が 1 個であるときの放射能の量であり、単位はベクレル (Bq) で表される。										
吸収線量	物質が放射線のエネルギーをどれだけ吸収したかを表したものであり、単位はグレイ (Gy) である。1Gy は、1 kg あたり 1 J のエネルギーを吸収したときの線量である。										
等価線量	放射線が生体に与える影響の程度を表す線量であり、単位はシーベルト (Sv) である。等価線量については以下の式より表される。 等価線量 = 放射線荷重係数 × 組織・臓器の平均吸収線量 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th colspan="2">放射線荷重係数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>α 線</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>中性子線</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>γ 線、X 線、β 線</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	放射線荷重係数		α 線	20	中性子線	5	γ 線、X 線、β 線	1		
放射線荷重係数											
α 線	20										
中性子線	5										
γ 線、X 線、β 線	1										
実効線量	各組織・臓器における等価線量に組織荷重係数を乗じ、これを全身について換算した総和の線量のことであり、単位はシーベルト (Sv) である。実効線量とは、放射線による確率的影響（発がんや遺伝的影響）を評価するために用いられる線量である。 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th colspan="2">組織荷重係数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>骨髄、結腸、肺、胃、乳房</td> <td>0.12</td> </tr> <tr> <td>生殖腺</td> <td>0.08</td> </tr> <tr> <td>膀胱、肝臓、食道、甲状腺</td> <td>0.04</td> </tr> <tr> <td>皮膚、骨表面、脳、唾液腺</td> <td>0.01</td> </tr> </tbody> </table>	組織荷重係数		骨髄、結腸、肺、胃、乳房	0.12	生殖腺	0.08	膀胱、肝臓、食道、甲状腺	0.04	皮膚、骨表面、脳、唾液腺	0.01
組織荷重係数											
骨髄、結腸、肺、胃、乳房	0.12										
生殖腺	0.08										
膀胱、肝臓、食道、甲状腺	0.04										
皮膚、骨表面、脳、唾液腺	0.01										

放射能の単位「当日はシルベスターとグレイが九州で BBQ 放送」

当日：等価線量、実効線量、シルベスター：シーベルト (Sv)

グレイ：グレイ (Gy)、九州：吸収線量

BBQ：ベクレル (Bq)、放送：放射能量

6 放射線の測定

原理	放射線の測定器		放射線の種類
電離作用	気体	電離箱	高線量の放射線
		比例計数管	α、β、γ、X 線
		GM (ガイガーミュラー) 計数管*	高エネルギー β 線、γ、X
	固体	高純度 Ge 半導体検出器	γ 線
励起作用	液体	液体シンチレーションカウンター	低エネルギー β 線
	固体	NaI シンチレーションカウンター	γ 線
		ZnS シンチレーションカウンター	α 線

※ガイガー・ミュラー (GM) 計数管は、アルゴンなどの不活性気体が放射線により電離することを利用して放射線を検出する。

測定器のゴロ「ナイスガールな外人と交尾、ベッドが引くほど液まみれ」

ナイ：NaI、ガール：γ 線

外人：GM 計数管、交尾：高エネルギー β 線

ベッドが引くほど：低エネルギー β 線、液：液体シンチレーションカウンター

7 放射線被曝

自然放射線による被曝は、宇宙放射線、土壌からの放射線、空気中のラドンなどからの被曝などがある。ヒトは1年間に約2.4 mSvの自然放射線による被曝を受けている。

1) 放射線の作用

(1) 直接作用と間接作用

① 直接作用

放射線が直接作用することにより、生体高分子の分子構造が変化し、損傷が起こる。

② 間接作用

放射線が生体成分である水分子を電離や励起することにより生じた遊離基（OHラジカルなど）が生体高分子（DNAなど）と反応し、分子構造が変化し、損傷が起こる。

※酸素効果：酸素が存在すると過酸化ラジカルを生じて障害作用が増強される。

(2) LET(線エネルギー付与)

LETとは、放射線が物質を通過する際、単位長さあたりに与えるエネルギーの平均のことである。

LETが高い放射線ほど生体への影響が大きい。

	エネルギー付与	放射線	主な作用
高LET放射線	大きい	α 線、中性子線	直接作用
低LET放射線	小さい	β 線、 γ 線、X線	間接作用

2) 内部被曝と外部被曝

内部（体内）被曝	<p>内部被曝とは、放射性核種を体内に取り込んだ時に起こる被曝のことである。内部被曝の大きさは、電離作用の大きい放射線（α線、β線など）ほど大きい。</p> <p>内部被曝による生体影響の大きさ：α線$>$$\beta$線$>$$\gamma$線</p>
外部（体外）被曝	<p>外部被曝とは、体外から放射線を浴びた時に起こる被曝のことである。外部被曝の大きさは、透過性の大きい放射線（γ線）ほど大きい。</p> <p>外部被曝による生体影響の大きさ：α線$<$$\beta$線$<$$\gamma$線</p> <p><外部被曝防護の三原則></p> <ul style="list-style-type: none"> ・距離：放射線源からはできるだけ離れる ・時間：線源に触れる時間を短くする ・遮蔽：線源との間に適切な遮蔽物を設ける

3) 組織集積性

集積組織	放射性核種
骨	^{32}P 、 ^{45}Ca 、 ^{90}Sr 、 ^{226}Ra 、 ^{239}Pu
甲状腺	^{131}I 、 ^{125}I 、 ^{123}I
全身	^{14}C 、 ^{40}K 、 ^{137}Cs (特に筋肉)

※安定ヨウ素剤を予防的に摂取することで、甲状腺への ^{131}I の蓄積を防ぐことができる。

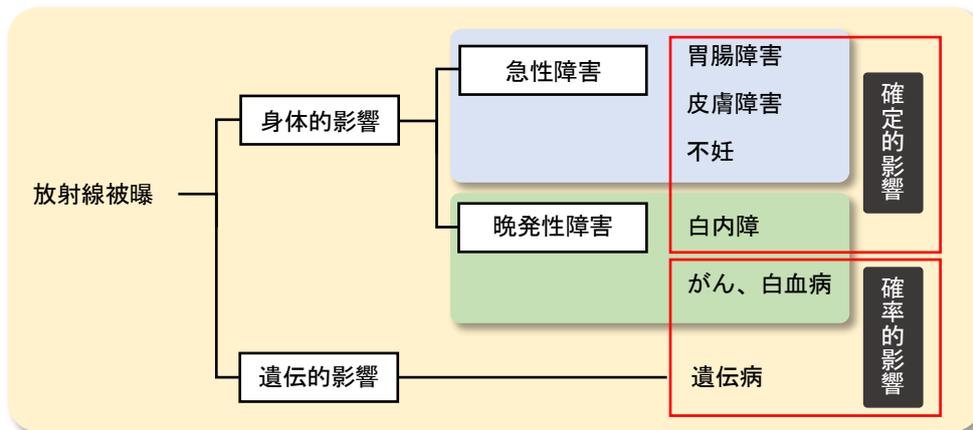
4) 放射線感受性

細胞分裂が盛んな細胞ほど、未分化である細胞ほど放射線感受性は高い。

感受性	組織・臓器
高感受性	造血組織（リンパ組織、骨髄）、生殖腺（精巣、卵巣）など
中感受性	肝臓、腎臓、皮膚など
低感受性	筋肉、脂肪組織、神経など

5) 放射線の影響

放射線障害は、被曝したヒトに現れる身体的障害と、被曝したヒトの子孫に生じる遺伝的影響に大別される。身体的障害には、被曝後数週間以内に出現する急性障害と、長い潜伏期を経て出現する晩発性障害がある。また、放射線障害は確定的影響と確率的影響に分けられる。



・ 確定的影響と確率的影響

確定的影響	確率的影響
<p>影響が現れる最低線量（しきい値）が存在し、しきい値の線量で障害が発生する。線量の増加に伴い、障害の大きさと発生率が増加する。</p>	<p>影響が現れる最低線量（しきい値）が存在せず、吸収線量の増加にともない、発生率が増加する。</p>
<p>急性障害：胃腸障害、皮膚障害、不妊など 晩発性障害：白内障</p>	<p>がん、遺伝病</p>

8 代表的な放射性核種の物理的性質

放射線同位元素には、天然に存在する天然放射性核種と、人工的に産生される人工放射性核種がある。

1) 天然放射性核種

天然に存在する放射性同位元素には、以下の2つが存在する。

- ① 半減期が長く地球創生時から存在するもの(^{222}Rn 、 ^{40}K など)。
- ② 宇宙線と大気低層の主成分原子との核反応で生成されているもの(^3H 、 ^{14}C など)。

< ^{40}K について>

^{40}K は半減期が約13億年であり、天然に最も多く存在する天然放射性核種である。

2) 人工放射性核種

人工放射性核種は、核反応により生成した放射性核種であり、原子炉や加速器を利用して生成される。

原子炉を利用	原子炉から発生する中性子を照射して製造する方法と、核分裂した生成物から目的核種を取り出す方法
加速器を利用	加速器に用いられるサイクロトロンは、荷電粒子を電場や交流磁場で加速して、それらに運動エネルギーを与える装置である。 サイクロトロンは、SPECTに用いる ^{201}Tl 、 ^{123}I 、 ^{67}Ga やPETに用いる ^{15}O や ^{18}F の製造に用いられている。

薬学領域において、人工放射性核種を利用してトレーサー法^{*}や核医学診断(PET、SPECT)、病気の治療、滅菌に用いられている。

^{*}注目する物質と同じ挙動をする放射性同位元素で標識された物質を体内に入れ、放射線を目印に、その物質の挙動を追跡する方法のことである。

<天然放射性核種と人工放射性核種>

天然放射性核種のみ食品から検出された場合には、その食品には放射線汚染はないと判断することができる。一方、人工放射性核種が食品より検出された場合には、その食品については放射性降下物などによる放射線汚染を受けていると判断する。特に ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 、 ^{131}I による食品汚染が問題となっている。

3) 代表的な放射性核種の物理的性質

核種	放射線	半減期	集積性	特徴
^3H	β^-	約 12.3 年	全身	トレーサー実験に利用
^{14}C	β^-	約 5730 年	全身	トレーサー実験に利用
^{32}P	β^-	約 14.3 日	骨	トレーサー実験に利用
^{90}Sr	β^-	約 29 年	骨	永続平衡が成立 $^{90}\text{Sr} \xrightarrow{29 \text{ 年}} ^{90}\text{Y} \xrightarrow{64 \text{ 時間}} ^{90}\text{Zr}$
^{11}C	β^+	約 20 分	—	PET に利用
^{13}N	β^+	約 10 分	—	PET に利用
^{15}O	β^+	約 2 分	—	PET に利用
^{18}F	β^+	約 1.8 時間	—	PET に利用
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	γ	約 6 時間	—	ミルキングで得られる。 診断用医薬品 (SPECT) に利用 過渡平衡が成立 $^{99}\text{Mo} \xrightarrow{66 \text{ 時間}} ^{99\text{m}}\text{Tc} \xrightarrow{6 \text{ 時間}} ^{99}\text{Tc}$
^{123}I	γ	約 13.2 時間	甲状腺	診断用医薬品 (SPECT) に利用
^{125}I	γ	約 60.1 日	甲状腺	ラジオイムノアッセイに利用
^{131}I	β^-, γ	約 8 日	甲状腺	甲状腺機能亢進症や甲状腺癌の治療
^{40}K	β^-, γ	約 13 億年	—	天然放射性核種 (天然に最も多く存在する)
^{137}Cs	β^-, γ	約 30 年	筋肉 (全身)	永続平衡が成立 $^{137}\text{Cs} \xrightarrow{30 \text{ 年}} ^{137\text{m}}\text{Ba} \xrightarrow{2.5 \text{ 分}} ^{137}\text{Ba}$
^{60}Co	β^-, γ	約 5 年	—	核反応生成物 γ 線はジャガイモの発芽防止に利用。
^{226}Ra	α, γ	約 1600 年	骨	永続平衡が成立 $^{226}\text{Ra} \xrightarrow{\text{(地殻)}} ^{222}\text{Rn} \xrightarrow{\text{(大気)}} ^{218}\text{Po}$ 娘核種の ^{222}Rn は気体元素であるため、地殻から大気中に飛散し呼吸により肺へ沈着

β^+ 線「VIP ないい古墳」

VIP : β^+ 線、**いい古墳** : ^{11}C 、 ^{15}O 、 ^{18}F 、 ^{13}N

β^- 線「ビーチでスイカにスリップ、ジューシー〜」

ビー : β^- 線、**チ** : ^{14}C 、 ^3H 、**スイカ** : ^{35}S 、 ^{90}Y 、 ^{40}K 、**に** : ^{63}Ni 、**スリップ** : ^{90}Sr 、 ^{32}P 、**ジューシー** : ^{14}C

骨、筋肉に集積「スリップして落馬骨折、筋肉死す」

スリップ : ^{90}Sr 、 ^{32}P 、**落馬** : ^{226}Ra 、 ^{139}Ba 、**骨折** : 骨に集積

筋肉 : 筋肉に集積、**死す** : ^{137}Cs

^{123}I 、 ^{131}I の半減期「(アントニオ) 猪木、半日採用」

猪木 : ^{123}I (1、2、3! ダー!)、**半日** : 約 12hr、**探** : ^{131}I 、**用** : 約 8 日

^{90}Sr 、 ^{137}Cs の半減期「三十路、そろそろ臭い」

三十路 : 約 30 年、**そろ** : ^{90}Sr 、**臭い** : ^{137}Cs