

### 放射線とは

「放射線」とは、電磁波または粒子線のうち、直接又は間接に空気を電離する能力をもつもの（原子力基本法第3条）である（第2節参照）。また、放射線の電離能力に注目して「電離放射線」と呼ぶこともある（労働安全衛生法 電離放射線障害防止規則第2条）。

放射線は、物質を透過する性質や電離・励起する性質を特徴としており、医療や研究で広く利用されている。一方、人間の五感（視覚、嗅覚、味覚、聴覚、触覚）では放射線を感じるができないため、**十分な放射線安全取扱いの知識がないと被曝してしまう**という厄介な点がある。

放射性同位元素及び放射線発生装置から出る放射線は、それを利用することにより、学術の進歩や産業の発展に大きく寄与する反面、人体に対し放射線障害を引き起こす危険性を持っている（第1節参照）。このことは、平成11年9月30日に茨城県東海村の株式会社ジェー・シー・オーで起きた臨界事故の際に、犠牲者を出し、かつ広範な公衆が被曝するという、不幸な形で示された。また、平成23年3月11日の東北地方太平洋沖地震とこれに伴う津波によって損傷した東京電力株式会社 福島第一原子力発電所では国際原子力事象評価尺度(INES)レベル7のシビアアクシデントが発生した。放射線を用いた研究中に事故を引き起こさないことはもちろんであるが、災害発生時においても安全に対処することができるようになるためには、放射線の特徴、放射線と放射能の違い、放射線の検出法や障害の防止方法などについて、基本的な理解を持つことが重要である。

本学においては、学生実験や安全のための講義などにおいて、放射線に関する実験が行われているが、更に理解を深めたいと希望する者は、ラジオアイソトープセンター及び極限エネルギー密度工学センターにおいて進んだ教育を受けることも可能である。

### 誰が使用できるのか

本学において放射線を使用できるのは、「長岡技術科学大学放射線障害予防規程」（以下、「予防規程」という）に定める放射線業務従事者登録申請を行い、所定の教育訓練と特別健康診断を受けて、長岡技術科学大学放射線安全委員会で承認された者（**放射線業務従事者**）に限られている（第3節参照）。

### どこで使用できるのか

放射性同位元素や放射線発生装置を使用できる場所は、放射線利用による障害を防止するために、「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」（以下、「法律」という）によって

厳密にその取扱等が定められており、原則として、放射性同位元素等を取扱う目的で作られた施設以外では使用することができない。

本学では、**ラジオアイソトープセンターで「放射性同位元素」を、極限エネルギー密度工学研究センターでは「放射線発生装置」をそれぞれ使用することを文部科学省から承認されている。**これらの使用については、放射線障害防止法に定める放射性同位元素の種類によって、使用できる実験室や1日最大使用数量が決められており、放射線発生装置についても使用場所や使用回数等が決められている。**放射線業務に従事する場合は、あらかじめ実験計画を立て、他の研究グループと総合してこの使用数量、使用回数を超えないように調整する必要がある。**これらの規制は、放射線業務従事者及び管理区域外の一般公衆の安全を確保するためのものである。

### 何を使用できるのか

本学で使用できる放射性同位元素(密封、非密封とも)及び放射線発生装置は、文部科学省の承認を受けた種類、数量、形式のものだけである。平成24年9月21日に文部科学省より承認された放射性同位元素と放射線発生装置については表8-1の通りである。

表 8-1 長岡技術科学大学で使用できる放射性同位元素と放射線発生装置

放射 性 同 位 元 素	非密封線源	$^3\text{H}$ , $^{10}\text{Be}$ , $^{14}\text{C}$ , $^{31}\text{Si}$ , $^{32}\text{P}$ , $^{35}\text{S}$ , $^{51}\text{Cr}$ , $^{55}\text{Fe}$ , $^{57}\text{Co}$ , $^{59}\text{Fe}$ , $^{85}\text{Sr}$ , $^{99}\text{Tc}$ , $^{106}\text{Ru}$ , $^{125}\text{I}$ , $^{129}\text{I}$ , $^{131}\text{I}$ , $^{133}\text{Ba}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{139}\text{Ce}$ , $^{141}\text{Ce}$ , $^{144}\text{Ce}$ , $^{147}\text{Nd}$ , $^{152}\text{Eu}$ , $^{169}\text{Yb}$ , $^{237}\text{Np}$ , $^{241}\text{Am}$ , $^{242}\text{Cm}$ , $^{243}\text{Cm}$ , $^{243}\text{Am}$ , $^{244}\text{Cm}$ , $^{252}\text{Cf}$ (使用の目的 化学反応に関する研究)
	密封線源	$^{57}\text{Co}$ 370MBq, $^{57}\text{Co}$ 740MBq, $^{60}\text{Co}$ 37MBq, $^{109}\text{Cd}$ 370MBq, $^{113}\text{Sn}$ 1.11GBq, $^{137}\text{Cs}$ 370MBq, $^{144}\text{Ce}$ 370MBq, $^{170}\text{Tm}$ 370MBq, $^{204}\text{Tl}$ 185MBq, $^{241}\text{Am}$ 370MBq, $^{252}\text{Cf}$ 18.5MBq (使用の目的 計器機器及び化学反応に関する研究)
放射線発生装置	コッククロフト・ワルトン型加速装置 1台 (使用の目的 大強度パルス軽イオンビームの発生とその応用に関する基礎実験) コッククロフト・ワルトン型加速装置 1台 (使用の目的 大強度電子ビームの発生と応用に関する基礎実験) コッククロフト・ワルトン型加速装置 1台 (使用の目的 高エネルギーイオンビームを用いた材料分析及び材料開発)	

## 第1節 放射線の人体への影響

我々は、普段生活している環境において常に微量の放射線を受けている。この放射線は自然放射線とよばれるもので、宇宙線、中性子及びウラン 238、トリウム 232、ラジウム 226、ラドン 222、カリウム 40 などからの放射線がある。自然放射線による人体の被曝線量（実効線量）は地域により多少異なるが、1年間に約2ミリシーベルト（mSv）である。このほかに、X線撮影など主に医療行為の際に人工の放射線を受けることがある。これらの値をまとめて日常生活と放射線の関係を図8-1に示す。

研究の目的で放射線を使用する放射線業務従事者の被曝線量は、放射線障害防止法によりその実効線量限度を100mSv/5年かつ50mSv/年としている。これは自然放射線の約10~25倍である。

放射線の人体への影響は一般的には障害であり、原子、分子、細胞、組織、臓器及び個体の各レベルへの影響が進展し、その総体として障害が現れる。したがって、放射線の人体に与える影響は放射線障害と考えてよいことになり、さらに、放射線による障害の一部は、子孫に影響をおよぼすこともある。

本節では、放射線の人体への影響について、被曝線量や被曝の仕方、その影響にどのような差が生じるかについて述べる。

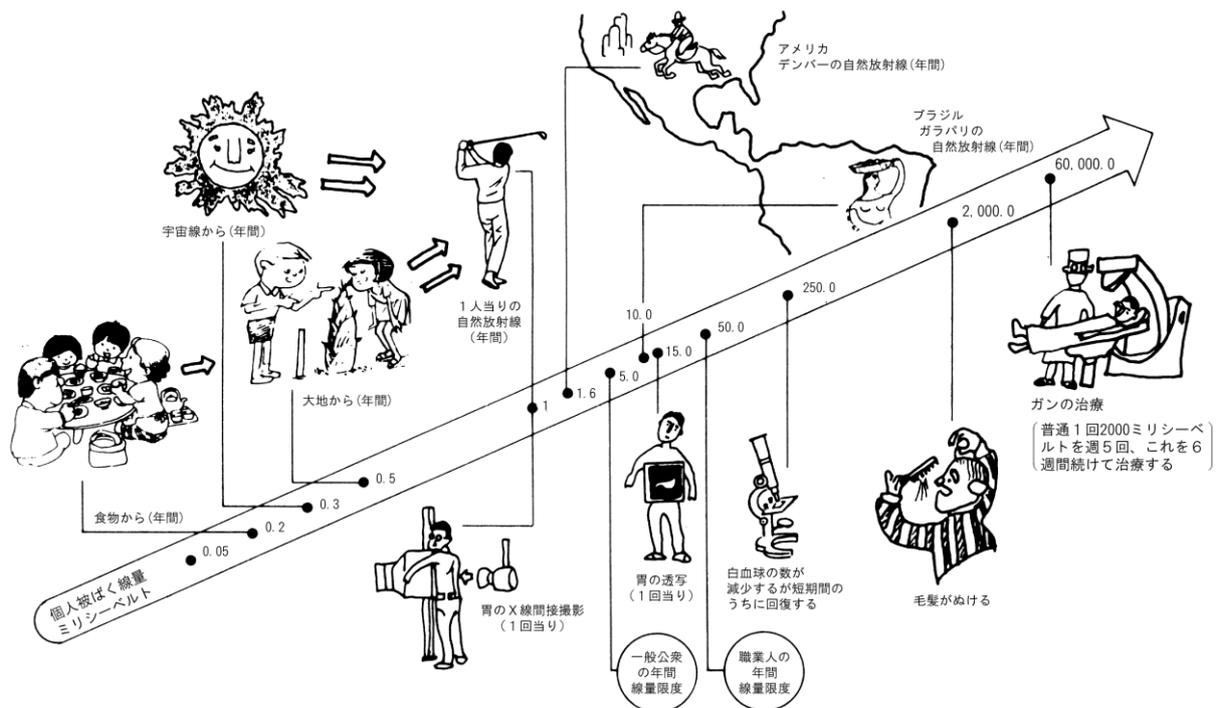


図 8-1 日常生活と放射線の関係

## 1 放射線障害の発症時期による分類

放射線障害が、いつ誰に現れるのかの点から分類すると、**身体的影響**と**遺伝的影響**の2つに大別される(図8-2)。身体的影響は被曝者自身に現れるもので、さらに身体的影響は被曝直後から2~3ヶ月以内に発現する**早期影響**と、十数ヶ月から数年以上の長期間を経て発現する**晩発影響**に分類される。遺伝的影響は被曝した本人ではなく、子や孫に現れるもので、遺伝子に起こった変異が子孫に伝わり、発現した段階で身体的影響として現れる。

- 早期影響：大量の放射線を短時間に被曝した場合に出現する。身体の広範囲に被曝した場合、発熱、出血、白血球の減少、下痢、嘔吐、脱水症状、皮膚紅斑・潰瘍、脱毛などの症状が現れる。
- 晩発影響：最も問題になるのは発癌。放射線発癌として人間で認められている主なものは、白血病、皮膚癌、甲状腺癌、乳癌、骨腫瘍などである。その他の障害としては白内障があげられる。

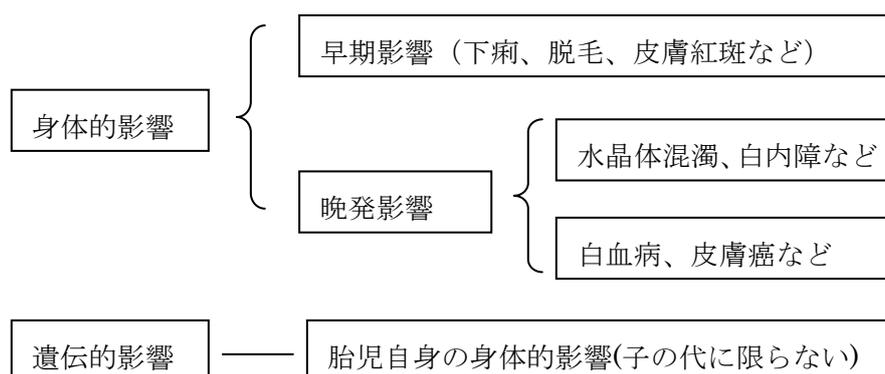


図 8-2 身体的影響(早期影響・晩発影響)と遺伝的影響

## 2 被曝の仕方による分類

### (1) 外部被曝と内部被曝

放射線被曝は放射線源が体の中にあるか外にあるかで分類されている。線源が体内にある場合は体の内部から放射線を被曝する**内部被曝**と呼ばれ、体外にある線源からの放射線被曝を**外部被曝**と呼ぶ。その障害の程度は放射線の種類により異なるが、アルファ線放出核種による内部被曝はほぼ全ての放射線エネルギーが障害に寄与し強度の障害となるため、注意が必要である。また、内部被曝では、線源が体外に排泄されない限り常時被曝し続けることになり、特に

注意する必要がある。これら内部被曝、外部被曝を防護する手段としては、**外部被曝では時間、距離、遮蔽を3原則として防護し、内部被曝では吸入、経口摂取、経皮侵入の3つを防護することが重要である。**

## (2) 部分被曝と全身被曝

**部分被曝(局所被曝)**とは、身体の一部が被曝することであり、**全身被曝**とは全身あるいは身体の広い部分が被曝することである。被曝した面積と容積によって、影響の現れ方が異なる。例えば手掌が10Gy被曝した場合には、皮膚紅斑などが生じるが回復する。しかし、10Gy全身被曝した場合には死亡する。

これは、部分被曝で影響が現れるのは放射線を受けた組織や臓器だけであるのに対し、全身被曝の場合は受けた線量に応じて放射線感受性(表8-2)の高い組織・臓器から影響が現れ始め、線量が高くなるとすべての組織・臓器に放射線の影響が発現するからである。

表 8-2 組織の放射線感受性

感受性の程度	組織
最も高い	リンパ組織(胸腺、脾臓)、骨髄、生殖腺(精巣、卵巣)
高い	小腸、皮膚、毛細血管、水晶体
中程度	肝臓、唾液腺
低い	甲状腺、筋肉、結合組織
最も低い	脳、骨、神経細胞

(放射線概論より)

細胞が放射線に対し最も敏感な状態は、胎児の未分化細胞が、大人の特別な組織細胞になっていく分化過程である。ある種の胎児細胞は成人になっても存在し、成人の生活の間に分化を続けていく。たとえば骨髄、リンパ腺、表皮、生殖腺の細胞などであり、これらの細胞は放射線感受性が高い。すなわち**放射線感受性については、細胞分裂が盛んで代謝の多い組織や器官は感受性が高い。**造血臓器、リンパ組織、生殖腺などは最も敏感なものであり、その中で根幹細胞の感受性が高い。血管、皮膚、中枢神経の細胞は中程度、筋肉、骨、末梢神経は一般に放射線に抵抗力があるものと考えられている。

### ● 妊娠中の被曝と胎児への影響

成体において細胞非再生系に属するものでも、発生途上では細胞分裂をしているから、**胎児期の組織は高感受性である(表8-3)。**

表 8-3 胎児の放射線影響

胎生期の区分	期間	発生する影響	しきい線量<Gy>
着床前期	受精8日まで	胚死亡	0.1
器官形成期	受精9日～受精8週	奇形	0.15
胎児期	受精8週～受精25週	精神発達遅滞	0.2～0.4
	受精8週～受精40週	発育遅延	0.5～1.0
全期間	—	発癌と遺伝的影響	—

(放射線概論より)

### (3) 急性被曝と慢性被曝

**急性被曝**とは短時間の被曝であり、**慢性被曝**とは長時間にわたる被曝である。人体が一時に大量の放射線を被曝する（急性被曝）とその線量と障害との関係は、図8-3の通りである。

同じ線量を照射された場合でも、急性被曝と慢性被曝では放射線障害の程度に違いが生じることがある。これは、細胞や組織のもつ損傷回復力が放射線による障害の発生を上まわって働くため、放射線防護の分野において吸収線量率(放射線が単位時間当たりに組織に与えるエネルギー量:Gy)が毎時0.1Gy以下である低線量率被曝では、放射線障害が現れることなく回復するとされている。

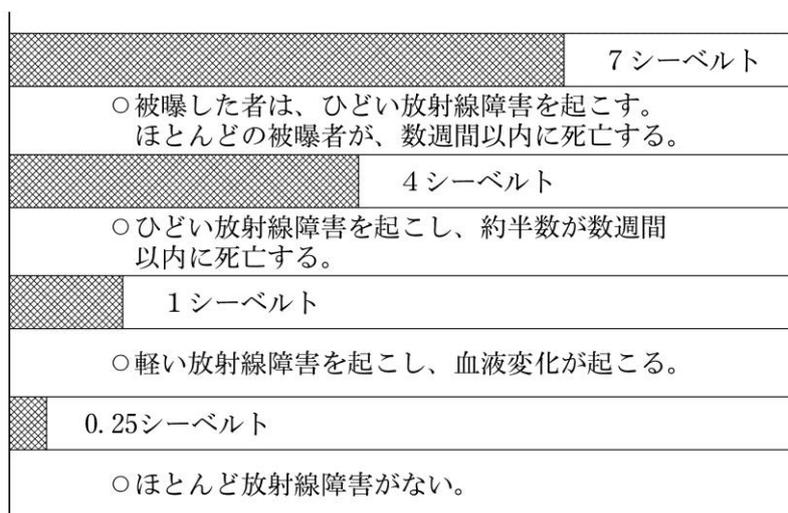


図 8-3 被曝線量とそれによる障害の関係

### 3 しきい値による分類

放射線障害が発生する頻度や確率は被曝した線量に関係し、放射線の影響が現れる最小線量をしきい値という。国際放射線防護委員会(International Commission on Radiological

Protection: ICRP)では放射線防護の立場から、しきい値の有無によって放射線の影響を確率的影響と、非確率的影響（確定的影響または決定論的影響と呼ぶこともある）の2つに区分している(表8-4、図8-4)。放射線業務従事者の被曝線量限度は、非確率的影響の発生を防止し確率的影響の発生を容認できるレベルに制限する方針で設定されている。

表 8-4 放射線防護の観点からの放射線影響の分類

種類	放射線防護の目標	しきい線量	線量増加によって変化するもの	例示
確率的影響	発生を容認できるレベルに制限する	存在しない	発生確率 (頻度)	発がん 遺伝的影響
非確率的影響 (確定的影響)	発生を防止する	存在する	重症度	白内障 皮膚の紅斑 脱毛・不妊

(ICRP No.26 より)

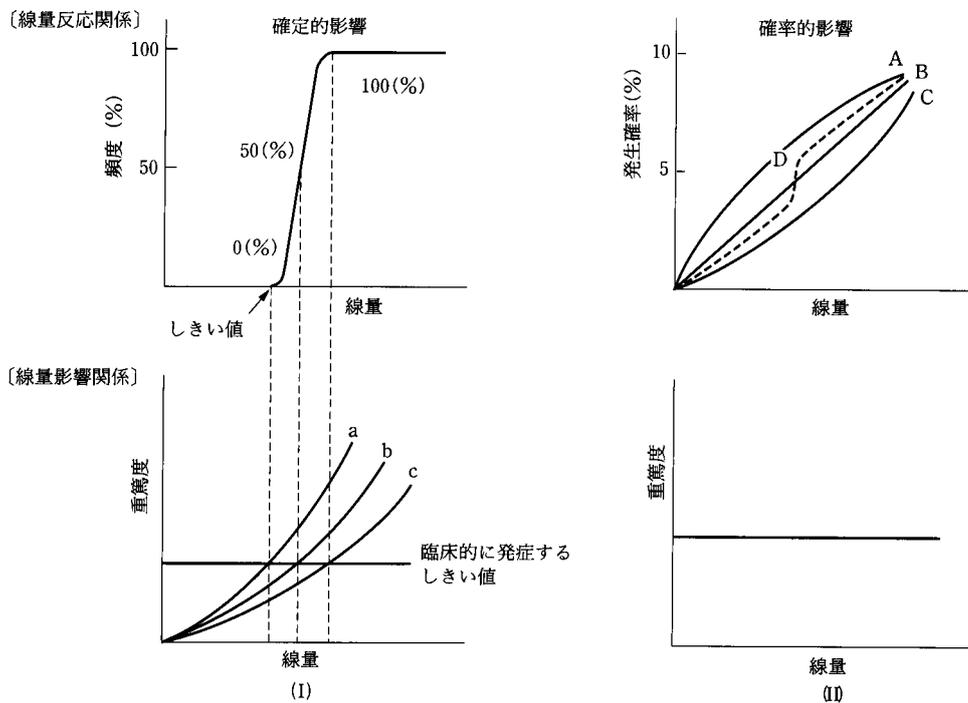


図 8-4 被ばく線量と確率的影響、確定的影響の関係

(放射線安全取扱の基礎より)

## 4 放射線の種類による分類

放射線が生物の中を通過する場合、放射線と物質との相互作用によって生体にエネルギーを与える。前述した通り放射線の人体への影響はほとんど全てが障害であり、その程度は放射線の種類によって著しく異なる。放射線の飛跡に沿って物質に与える単位距離あたりのエネルギーのことを LET (線エネルギー付与) と呼び、同一エネルギーの放射線では、ベータ線やガンマ線よりもアルファ線のほうが LET は大きくなる。一般的に、ガンマ線(エックス線)、ベータ線は低 LET 放射線、中性子線、アルファ線、陽子線、重粒子線は高 LET 放射線とされている。

## 第2節 放射線と R I、放射線発生装置

### 1 放射線

法律で規制されている放射線とは、電磁波又は粒子線のうち、直接又は間接に空気を電離する能力を持つもので、次に掲げるものとされている。

- (1) アルファ線、重陽子線、陽子線その他の重荷電粒子線及びベータ線
- (2) 中性子線
- (3) ガンマ線及び特性エックス線(軌道電子捕獲に伴って発生する特性エックス線に限る。)
- (4) 1メガ電子ボルト以上のエネルギーを有する電子線及びエックス線

注)1メガ電子ボルト未満のエネルギーを有する電子線及びエックス線については、電離放射線障害防止規則の対象となっており、やはり放射線防護の措置等が必要であるから注意すること。

以下に代表的な放射線(アルファ線、ベータ線、ガンマ線(エックス線)、中性子線)と物質との相互作用について簡単に説明する。

#### ① アルファ線

アルファ線は、陽子2個、中性子2個からなる粒子で、ヘリウムの原子核と同じ粒子が飛んでいるものである。これは同じ荷電粒子であるベータ線と比べて非常に大きな粒子であるため、電子との相互作用による制動放射損失が少なく、ほぼ直線的に飛ぶ。そして、速度の減少とともに比電離が増加し、370keV のエネルギーのところで最大の比電離を示して停止する。放射線が通り抜けられる物質の厚さ(飛程)は放射線の種類やエネルギー、

物質の種類によって違い、普通の放射性同位元素から放出されるアルファ線の飛程は空気中で数 cm しかない。アルファ線の飛程が短いことから、遮蔽は紙 1 枚で十分であり、外部被曝の危険性は極めて少ない。しかし、体内へアルファ線放出核種を取込んだ場合、生体中のアルファ線の飛程は空気中より短く数十  $\mu\text{m}$  程度となることから、生体細胞は非常に狭い領域に莫大なエネルギーを与えられる。このため局所的に重篤な障害が現れる危険性がある。このようなことから、**アルファ線放出核種の体内への取り込みは大変危険であり、安全管理上も厳しい措置がとられている。**

## ② ベータ線

ベータ線は、原子核から放出される電子線である。ベータ線には陽電子の  $\beta^+$  と陰電子の  $\beta^-$  があり、どちらも荷電粒子という点では同じであるが、電荷だけが異なる。ベータ線と物質との主な相互作用は①クーロン力による原子の励起や電離、②原子核との相互作用による**制動エックス線**の放射、である。物質との相互作用によりエネルギーを失った陽電子は、陰電子と**電子対消滅**を起こし、2本の光子を放出する。また、ベータ線は励起や電離、散乱を繰り返して入射方向へ戻ってくる**後方散乱**という現象も起こるため、散乱線の遮蔽にも注意が必要である。

ベータ線の遮蔽物を選択する際は、②の制動エックス線放射を考慮しなければならない。**エネルギーの高いベータ線を遮蔽するには、原子番号の小さい物質(アクリルやアルミニウム)で遮蔽し、その外側を鉄や鉛で遮蔽し制動X線を遮蔽するというのが適当である。**

## ③ ガンマ線(エックス線)

ガンマ線は、励起状態にある原子核がよりエネルギーの低い基準状態に遷移するとき放出される光子である。光子は電荷を持たないため、物質中を通過するときの相互作用はアルファ線やベータ線などの荷電粒子とは異なる。光子の物質との相互作用には、トムソン散乱、光電効果、コンプトン効果、電子対生成などがある。

ガンマ線とエックス線との違いは、その発生プロセスにある。ガンマ線は原子核反応や素粒子反応により静止エネルギーが光子として放出されたもので、エックス線は荷電粒子の運動状態や束縛状態の変化により生じた余分のエネルギーが光子として放出されたものである。光子のエネルギーで分類されているものではない。

**ガンマ線(エックス線)の遮蔽には、光子のエネルギーに応じて適当な物質を用いる。一般的には密度の高い物質がガンマ線(エックス線)との相互作用が大きいことから、鉛等を用いるのが適当である。**

④ 中性子線

中性子は電氣的に中性の素粒子である。半減期 10 数分の不安定な粒子で、陽子と電子に分解してしまえば、これまでに述べたβ線やα線と同じような相互作用が起こる。また、中性子の物質との相互作用には、①弾性散乱、②非弾性散乱、③荷電粒子放出反応、④捕獲反応、⑤原子核分裂などがある。このうち、①の弾性散乱では衝突する相手の原子核が小さいほど多くのエネルギーを失う事が知られており、このことから**中性子の遮蔽には水素原子を多く含むパラフィンやコンクリート、水などが適している。**

②③④⑤等の相互作用では、相手の原子核が陽子やγ線等を放出することや、ウランなどの重い原子核が核分裂を起こすことがあるので、中性子の遮蔽にはこれらの相互作用も考慮する必要がある。

## 2 R I (Radio Isotope:放射性同位元素)

法律で規制されているR Iとは、りん 32、コバルト 60 等放射線を放出する同位元素及びその化合物並びにこれらの含有物であって、放射線を放出する同位元素の数量及び濃度が、その種類ごとに文部科学大臣が定める数量(表 8-5、以下「下限数量」という)及び濃度を超えるものをいう。

### (1) 密封されたもの(密封R I)

放射線を放出する同位元素を密封した物 1 個に含まれている放射線を放出する同位元素の数量及び濃度について、下限数量及び濃度を超えるもの。

### (2) 密封されていないもの(非密封R I)

事業所に存する放射線を放出する同位元素の数量及び容器 1 個に入っている放射線を放出する同位元素の濃度について、下限数量及び濃度を超えるもの。

※放射線を放出する同位元素の種類が 2 種類以上の場合 その種類ごとの数量及び濃度の下限数量及び濃度に対する割合の合計が 1 を超えるもの。

表 8-5 放射線を放出する同位元素の数量及び濃度の例

第 1 欄		第 2 欄	第 3 欄
放射線を放出する同位元素の種類		数量 (Bq)	濃度 (Bq/g)
核種	化学形等		
<sup>3</sup> H		1 × 10 <sup>9</sup>	1 × 10 <sup>6</sup>
<sup>7</sup> Be		1 × 10 <sup>7</sup>	1 × 10 <sup>3</sup>
<sup>10</sup> Be		1 × 10 <sup>6</sup>	1 × 10 <sup>4</sup>
<sup>11</sup> C	一酸化物及び二酸化物	1 × 10 <sup>9</sup>	1 × 10 <sup>1</sup>
<sup>11</sup> C	一酸化物及び二酸化物以外のもの	1 × 10 <sup>6</sup>	1 × 10 <sup>1</sup>

### 3 放射線発生装置

法律で規制されている放射線発生装置は、次に掲げる装置（その表面から 10 センチメートル離れた位置における最大線量当量率が、1 センチメートル線量当量率について 600 ナノシーベルト毎時以下であるものを除く。）をいう。

- (1) サイクロトロン
- (2) シンクロトロン
- (3) シンクロサイクロトロン
- (4) 直線加速装置
- (5) ベータトロン
- (6) ファン・デ・グラーフ型加速装置
- (7) コッククロフト・ワルトン型加速装置
- (8) その他文部科学大臣が指定するもの。

### 4 放射線の単位

- 放射能

放射線の単位としてよく耳にするのは「放射能」である。これは、R I が単位時間に崩壊する原子数をさすものであって、その単位はベクレル (Bq) である。この事からわかる通り、「放射能」とは、「速さ」や「明るさ」などと同じ“能力”を示すものであり“R I”や“放射線”そのものを直接指し示すものではない。新聞等で「原子力発電所からの放射能漏れ」といった表現があるが、混同しないよう注意が必要である。なお、放射能を示す単位 Bq は、旧単位ではキュリー (Ci) が用いられていた。1 Ci=37GBq である。

- 線量

物質 1 k g に放射線を照射し、物質に与えた放射線のエネルギー量を吸収線量といい、グレイ Gy (=J/kg) であらわす。

放射線が人体に与える影響は放射線の L E T により異なる。各種放射線による人体への影響を同じ尺度で計算し、放射線防護のために比較したり加え合わせたりできるようにする目的で、線量が考え出された。

$$\text{線量} = \text{吸収線量} \times \text{線質係数} \times \text{修正係数}$$

放射線防護の目的においてはこの線量を使い、単位をシーベルト Sv (=J/kg) であらわす。

さらに人体組織による放射線感受性の違いを考慮して等価線量が、また、それらを加え合せ

て実効線量が算出されている。単位はシーベルト Sv である。

- 電子ボルト

法令で定める放射線には、「1メガ電子ボルト以上のエネルギーを有する電子線及びエックス線」がある。電子が1Vの電位差間を動いて得る運動エネルギーを1電子ボルト(eV)とし、

$$1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

である。1メガ電子ボルト(1MeV)は100万電子ボルトと等しい。

## 第3節 RI、放射線発生装置の安全取扱いと利用手続

### 1 安全取扱い

RI及び放射線発生装置を安全に取扱うために、予防規程及び教育訓練テキストがあり、その手引書となっている。

また、RI及び放射線発生装置を使用するためには、放射線業務従事者登録、健康診断、教育訓練が必要である。使用においては、線源の厳重な管理と受入れ及び払出し・使用・保管・運搬・廃棄等の記録が義務づけられており、実験を行う際には作業前後に使用する器具、作業台及び床面の汚染検査を行い、作業中の空間線量計測などを行なうことが、汚染・被曝の防止において重要である。

### 2 利用手続

RI及び放射線発生装置を取扱う場合には、予防規程に規定する放射線業務従事者として登録を行わなければならない。

登録は、健康診断及び教育訓練の結果により放射線安全委員会の議に基づいて学長が行い、登録後は、毎月被曝線量測定（ガラスバッジを使用）及び6か月を超えない期間毎に1回の健康診断を受けなければならない。

### 3 RIの入手

RIを購入等により入手しようとする場合は、放射線取扱主任者の許可が必要となるので、購入等申込書をラジオアイソトープセンター管理室に提出すること。放射線取扱主任者の許可なく財団法人日本アイソトープ協会等からRIを購入する事はできない。また、RIを受入れた場合には、管理室で確認後申込者に通知し、記録簿を受取った後に使用すること。

RIは容器の中身を使いきったり、放射能がほぼ減衰した場合でも、法律上は保有状態であるため、廃棄手続きが完了するまでは記帳・記録の義務があるので注意すること。

## 4 教育及び訓練

R I 及び放射線発生装置を安全に取扱うために、法律で毎年度放射線障害防止のための教育および訓練を受けなければならない。

## 5 放射線使用施設内の注意事項

放射線使用施設内で放射線業務に従事する場合には、予防規程等を熟知のうえ、放射線障害の防止を図ること。また、放射線使用施設内の見学及び修繕等を行う場合には、次のことに注意をすること。

- (1) 見学等を行う場合には、放射線管理者の許可を得て、放射線業務従事者の案内のもとに行うこと。
- (2) 放射線使用施設内に掲示してある「注意事項」及び見学等に必要な知識について、説明を受けた後に見学等を行うこと。
- (3) 管理区域内での飲食、喫煙や化粧をしないこと。
- (4) 見学等の場合に不要な物品を持込まないこと。特に携帯電話は個人線量計の誤作動を招く恐れがあるので、電源を切ること。
- (5) 汚染検査室にて用意された上履に履きかえ、指定の実験衣を着用すること。管理区域内での被曝線量を計測するための**個人線量計(図8-5)**は、**男性は胸部、女性は腹部に装着**すること。また、床面と接触するような衣類を着用している場合は、裾を上げること。
- (6) 管理区域内から持出す物品は表面汚染密度を測定し、汚染のないことを確認すること。
- (7) 退室の前には必ず手足衣服の汚染検査を行い、汚染が見つかったときは適切な除染を行なうこと。

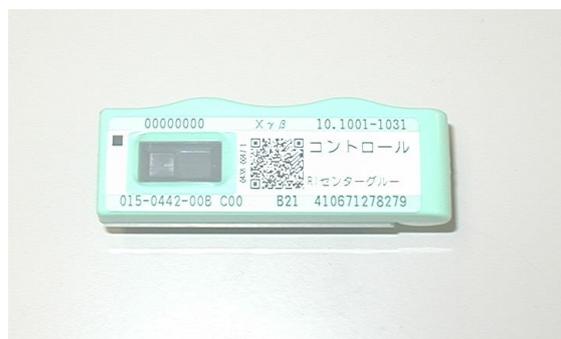


図 8 - 5 個人線量計

## 6 放射線の検出

使用器具、作業台等の汚染検査や、作業中の空間線量計測には、使用する放射線に適したものを選択しなければならない。

放射線の計測機器としては、持ち運びの容易な電離箱式サーベイメータ(図8-6)、Na Iシンチレーション式サーベイメータ、GM管式サーベイメータが一般的である。



図 8 - 6 電離箱式サーベイメータ

アルファ線や軟ベータ線(エネルギーの弱いベータ線)などは、サーベイメータでは検出できない場合があるため、これらの放射線放出核種による使用器具や作業台等の汚染検査にはスミア測定法を用いると良い。この計測に用いられる計測機器としては、液体シンチレーションカウンタ(図8-7)、ガスフローカウンタが一般的である。



図 8-7 液体シンチレーションカウンタ

また、汚染箇所のRIを同定するなどの目的には、NaI(Tl)検出器やGe検出器が用いられる。図8-8に半導体放射線検出器・波高分析システムによる $^{60}\text{Co}$ (主な光子のエネルギーと放出割合 1.173MeV-100%、1.333MeV-100% : アイソトープ手帳より)のスペクトルを示す。

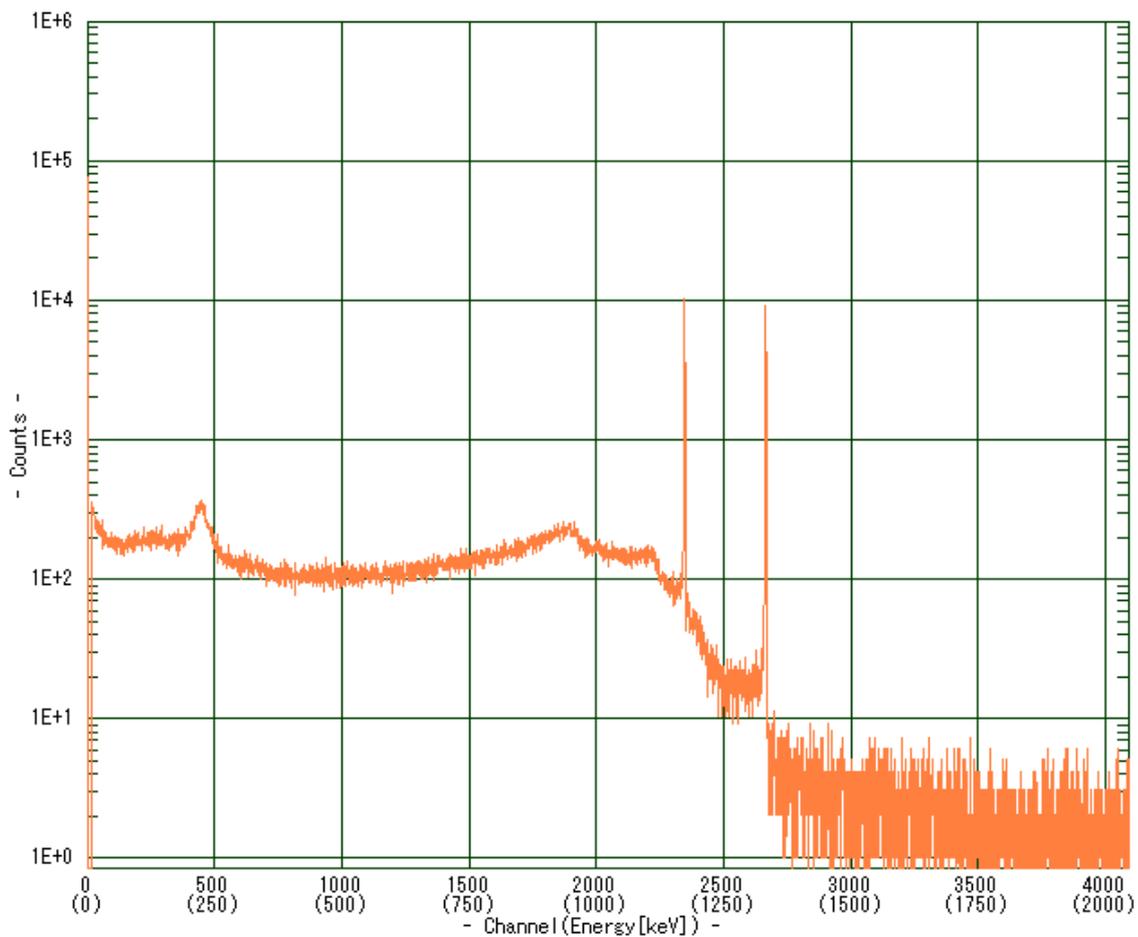


図 8-8  $^{60}\text{Co}$  のスペクトル(半導体放射線検出器・波高分析システムにて計測)

## 7 放射線の防護

放射線の防護の基本としては、

- 実験計画を立て、十分な予備実験(コールド実験)をする。
- 外部被曝を防止する。
- 内部被曝を防止する。
- 一人では作業しない。
- 作業前後の汚染検査と作業中の線量測定をする。

があげられる。このうち、外部被曝と内部被曝の防止について以下に述べる。

### 外部被曝防止

放射線による外部被曝防止には、**遮蔽**、**距離**、**時間**の3原則がある。

#### A) 遮蔽による防護

放射線は、その種類及びエネルギーによって物質を透過する距離が異なるから、遮蔽物を利用し、できるだけ被曝線量を少なくするように注意をしなければならない。

特にベータ線は制動エックス線放出するため、アクリル板での遮蔽が必要となる。放射線の種類による遮蔽の例を図8-9に示す。

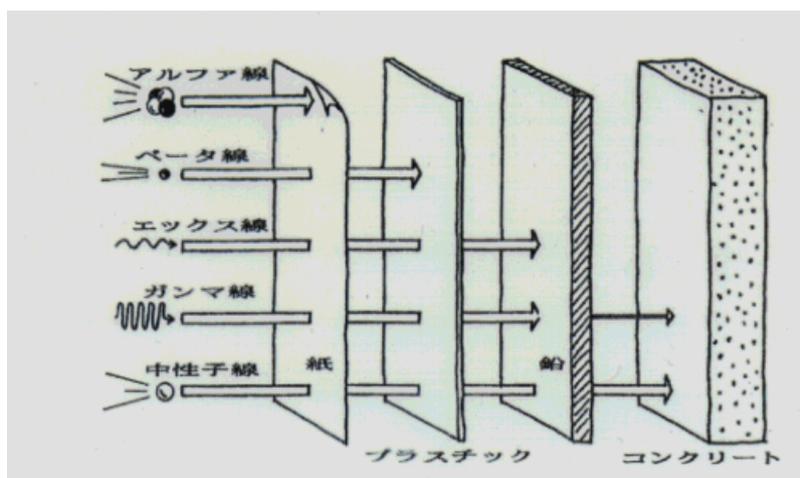


図 8-9 放射線の遮蔽の例

#### B) 距離による防護

放射線の強さは距離の2乗に反比例するため、線源からの距離が増すにつれて、急激に減少するので、必要な場合はできるだけ柄の長い道具やピンセットなどで距離をとって取扱う。

### C) 時間による防護

被曝線量は被曝時間に比例して大きくなるため、作業前に実験計画を立て、十分に予備実験(コールド実験)をすることにより、作業時間を短縮する。

### 内部被曝防止

内部被曝を防ぐには、**経口、経気道、経皮膚**の3つの経路に注意する。放射性同位元素の化学的、物理的性質にもよるが、これらの経路から放射性同位元素が体内に入らないようにするためには、R I が皮膚や傷口を通して体内に侵入しないようにゴム手袋等を着用し、吸入等により体内に入らないようにフード・ドラフト内で取り扱う。R I 試薬の誤飲を防ぐために、安全ピペッター等を使用する。**管理区域内では飲食、喫煙、化粧など放射性同位元素を体内に取込む危険性のある行為をしないこと。**

## 8 ウラン、トリウム等の取扱い

原子力基本法に規定する核燃料物質（ウラン・トリウム等原子核分裂の過程において高エネルギーを放出する物質）及び核原料物質（ウラン鉱、トリウム鉱その他核燃料物質の原料となるもの）は、法律からは除外され、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」の規制対象となり、放射能濃度が  $74\text{Bq/g}$ （固体状の核原料物質にあつては、 $370\text{Bq/g}$ ）を超える量を使用する場合には、文部科学省に届け出が必要なので注意すること。現在、承認されている量は、ウラン（天然、劣化） $300\text{g}$  までである。

## 9 長岡技術科学大学にある原子力安全教育機器と実験例

本学には、原子力安全教育の目的で、ラジオアイソトープセンターに以下の機器を保管している。これらの機器を用いることで、放射線に対する基礎的な知識を習得することができる。本学で試用することのできる機器一覧を以下に、これら機器を使用した実験例を次頁に示す。

- ・ ベーシックスケーラ、アロカ TDC-105、1 台
- ・ GM管、アロカ GM-5004、1 台
- ・ 測定台、アロカ PS-202、1 台
- ・ ベータちゃん、千代田テクノル、5 台、鉛板・鉄板・アクリル板付
- ・ シンチレーションサーベイメータ、アロカ TCS-171、5 台、チェックソース( $^{137}\text{Cs}$ )付
- ・ 鉛ブロック、PBBLOCK2B、10 個、放射線遮蔽材
- ・ 低温拡散型霧箱、島津 WH-50、1 台、CCD カメラ付

## A. 目に見えない放射線を観測する

実験目的：

放射線は五感で感じる事ができないが、霧箱を用いて実験を行なうことにより実際に放射されている事を観測する。

教育項目：

放射線は五感で感じられない。線源からは放射状に放射線が放出される(図8-10)。α線の飛程は短く、紙で完全に遮蔽されるくらいに物質を透過する力は弱いですが、それだけにエネルギーをすべて物質に与えるので危険である。

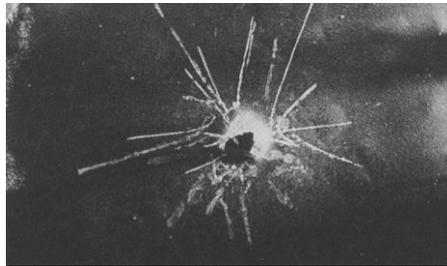


図 8-10 α線の飛跡

実験材料：

低温拡散型霧箱、氷、氷水容器、氷水循環用ポンプとホース、エタノール(10ml)、スポイト(1本)、ビーカー(50ml)、紙キャップ(α線遮蔽用、手製)、CCDカメラ、カメラ支持台(クランプまたは三脚)、モニタ(各系実験室のものを使用)、カメラ-モニタ接続ケーブル

手順：低温拡散型霧箱を使用する場合

- 1、低温拡散型霧箱、CCDカメラ、モニタ、氷水、循環用ポンプをセットする。
- 2、霧箱用のα線源を取り出し、放射線放出スリットから出ている放射線が目には見えないことを学生に確認させる。
- 3、霧箱内のフェルトにエタノールを染み込ませてα線源を霧箱に装着し、霧箱の電源と氷水循環用ポンプの電源を入れる。
- 4、霧箱窓内に放射線の飛跡が見えたら CCDカメラとモニタをセットして学生に観察させる。
- 5、α線の放出過程と性質及び遮蔽物質の選択について説明し、霧箱からα線源を抜き出す。
- 6、α線源の先端に紙製のキャップを装着し、霧箱に戻す。
- 7、しばらくして霧箱窓から放射線の飛跡が見えたら紙での遮蔽が可能なことを観察させ、説明する。

## B.放射線の安全管理について

実験目的：

ガンマ線源(チェックソース)とシンチレーションサーベイメータを用いて放射線の遮蔽及び距離によるカウント数の変化を確認し、放射線を取り扱う際の時間・遮蔽・距離による安全管理を学習する。

教育項目：

ガンマ線源の性質(物質を透過する力が強い)、遮蔽材料の選択について。放射性同位元素を安全に使用するための「放射線源からの距離」、「放射線源との間に設ける遮蔽」「放射線源を取り扱う時間」について。

実験材料：

シンチレーションサーベイメータ、チェックソース、鉛板、アクリル板、鉄板

注：シンチレーションサーベイメータの表示部をカメラ、OHP などを用いてスクリーンに表示できる場合はカウント音以外にカウント数を映写する。

手順：

- 1、シンチレーションサーベイメータの押しボタンスイッチを押して、計測可能な状態にする。
- 2、チェックソースを用意し、放射線をカウントしながらγ線の性質および遮蔽物質の選択、安全管理の際の時間・遮蔽・距離の必要性について説明する。
- 3、実際にチェックソースとサーベイメータの間にアクリル板を置き、カウント音がどの程度減るか確認させる。ガンマ線ではアクリル板は簡単に透過する。
- 4、次にアクリル板の代わりに鉄板、鉛板を置き、各々のカウント音を聞く。鉛板はガンマ線の遮蔽に十分な厚みを持っていないので、実際の遮蔽効果を見せるには鉛ブロックが必要。
- 5、放射線の「物質を通過する性質」を確認し、鉛遮蔽の効果とともに説明する。
- 6、次にチェックソースとシンチレーションサーベイメータとの距離を2、3、4倍に伸ばす。
- 7、おのおのの距離でのカウント音を聞き、距離が離れるにつれて放射線が当たる確率が低くなることを確認する。
- 8、放射性同位元素からの距離と被曝量との関係(距離の2乗)を理論的に説明する。ただし、この実験では点線源を用いていないので、理論どおりの減少は見られない。

## C.自然放射線の観測

実験目的：

自然界に存在するいくつかの物質中にも放射性同位元素が含まれていることを確認し、自然放射線及びその年間被曝量について学習する。

教育項目：

自然放射線の存在と、ベータ線の性質(カリウム肥料など)。

実験材料：

ベータちゃんを含む測定実験キット

実験方法：

- 1、ベータちゃんの電源を確認し、実験キット内の各測定試料(花崗岩：80～100cpm、乾燥コンブ：100～120cpm、塩化加里肥料：バックグランドの10倍程度、リン酸加里肥料：塩化加里よりは低い値、湯の花：バックグランドの20倍程度、目覚し時計の夜光塗料：バックグランドの20倍程度)を測定してみる。
- 2、測定試料とベータちゃんの間には鉄板を入れ、遮蔽の効果について確認する。
- 3、測定試料とベータちゃんとの距離を2、3、4倍にしてカウント数の減少を確認し、距離をとることの意味を確認する。

---

以上の他にも、放射性同位元素の半減期や遮蔽材厚さの効果に関する実験(GM計数装置)や放射性同位元素の計測分析による核種同定(放射線波高分析システム)などの原子力安全教育が可能である。

参考図書

1. 放射線安全取扱の基礎、西澤邦秀編、名古屋大学出版会(2001)
2. 放射能と人体、渡利一夫・稲葉次郎編、研成社(1999)
3. 見て学ぶ放射線、赤羽利昭著、通商産業研究社(1999)
4. 放射線のやさしい知識、飯田博美・安齋育郎、オーム社(1984)
5. 放射線概論、飯田博美、通商産業研究社(2004)
6. アイソトープ手帳、社団法人アイソトープ協会(2011)
7. 2010年版 アイソトープ法令集(I)、社団法人日本アイソトープ協会(2011)
8. わかりやすい放射線物理学、多田順一郎、オーム社(1997)