

放射線測定実験要領書－高校生を対象として－*

1. まえがき

NPO 法人放射線線量解析ネットワークと NPO 法人放射線教育フォーラムの会員有志は、共同して学校教育における放射線測定実習を正しく、適切に行うため、(財)日本科学技術振興財団(以下、財団と略記する)から貸し出される放射線測定器「はかるくん」と「実習キット」を用いた実験と解析を行うと共に、教育現場での指導のあり方について検討を行い、高校生を対象としたガンマ線測定実験に限定した4～6時間程度の指導要領書を検討したので、報告する。なお、具体的な検討内容については、NPO 法人放射線教育フォーラム発行の「放射線教育」Vol.11 no.1(2007)に報告書(放射線測定実験要領書の検討－高校生を対象として－)として掲載されている。

2. 指導要領書の概要

指導要領書は、下記の3項目より構成されている。

指導要領書(1) 放射線(ガンマ線)に関する基本的な事項

放射線に関する基本的な事項を下記の5項目に分けて分かり易い言葉で解説したもので、(財)日本科学技術振興財団から出されている『「はかるくん」を活用するために(副読本)』を補足するものである。

- i. 原子、原子核の成り立ち、放射線の種類、放射線と放射能の違い
- ii. 放射線の性質と違い
- iii. 放射能と放射線に対する単位
- iv. 私達の身の回りの放射線
- v. 放射線の影響を少なくするためには

指導要領書(2) 放射線の強さ(線量率)の測定

財団の実習キットを使用した放射線の強さ(線量率)の測定実習手引きで、測定で準備するもの、測定手順と注意事項、測定データのまとめ方等が示され、記録用紙がエクセルシートで用意されている。また、線源や「はかるくん」の配置状況を写真で示し、実習が順調に行えるよう配慮した。なお、指導要領書(2)には、線源が1個の場合と2個の場合の指導要領が示されている。前者は、点線源を模擬し、逆2乗則の確認のための実習を、後者は、線源の大きさが小さくなければ(広がりがある場合)、線源に近いところでは逆2乗則が成り立たなくなることを確認する実習がそれぞれ提案されている。時間に余裕があれば、是非、後者も実施していただきたい。

指導要領書(3) ガンマ線の物質による遮へい測定

遮蔽材料の種類や厚さによってガンマ線の強さ(線量率)が弱まる(これを遮へいという)ことを確認する実習で、線源と「はかるくん」の位置を固定し、中間に置かれた実習キットに遮へい体を順次挿入して、透過線量を測定するもので、指導要領書(2)

と同様、測定で準備するもの、測定手順と注意事項、測定データのまとめ方等が示され、記録用紙がエクセルシートで用意されている。また、線源、「はかるくん」等の配置を写真で示し、実習が順調に行えるよう配慮した。測定手順は指導要領書（2）とほぼ同じである。

指導に当たっての注意事項については、「教育フォーラム」掲載の報告書に記載されているが、参考までに、以下に当該部分を抜粋する。

（1）実習結果のまとめ方

それぞれの実習は、測定に1時間、測定結果のまとめと考察に1時間、計2時間を予定している。

2時間目の測定結果のまとめ方と考察では、なぜ何回も測定して平均を取らなければならないのか、バックグラウンドの測定をなぜ行うのか、測定結果をグラフに描くとき、なぜ両対数グラフあるいは片対数グラフを使うと便利なのか、点線源の場合、線量率の減衰はなぜ距離の2乗に反比例するのか、遮へい体の材質（密度）によって遮蔽効果がどのように変わるのか等々、指導要領書（1）に記載されている内容を参考に、生徒に考えさせる指導がなされることが望ましい。

（2）指導要領書に基づく実習所要時間

指導要領書（2）、（3）とも、用意するものが全て準備されていることを確認した後、手順①から手順⑧までの作業を順次行いそれぞれの所要時間を計測した。「はかるくん」によるバックグラウンドの測定は1分毎に5回測定した。また（2）の実習では「はかるくん」の位置を変える毎に、また（3）の実習では遮へい体を追加する毎に、「はかるくんの」指示値が安定するまで2分間の待ち時間を置き、その後、1分毎に6回の測定を行い、平均値を取った。

いずれの指導要領書も記載内容に落ちがないことが確認できたが、所要時間は30～35分とかなりの時間がかかった。多数の生徒を指導しながら1時間と言う短い時間で実習を行うためには、かなりの準備が必要である。

（3）生徒に対する安全対策

財団から貸し出されている実習キットの放射線源は線源強度が740kBqと十分小さく、線量率は線源から100cmの位置で約 $0.05 \mu\text{Sv/h}$ であり、自然放射線による外部被ばく線量約 $0.086 \mu\text{Sv/h}$ ⁸⁾とほぼ同じであり、被ばくの恐れはほとんどないが、放射線源をいたずらにもてあそばないように指導する必要がある（なお、作業するときは線源に50cm程度まで近づくことがあるが、この位置での線量率は約 $0.22 \mu\text{Sv/h}$ で、自然放射線量の約4倍程度である）。

また、隣接する測定グループからの影響の排除（バックグラウンドの増加と生徒に対する不必要な被ばく）に留意しなければならない。

*) 宮坂駿一^{1,2)}、播磨良子^{1,2)}、石塚龍雄²⁾、植木紘太郎²⁾、松本誠弘²⁾、中井優²⁾、山野直樹²⁾、菊池文誠¹⁾、畠山正恒¹⁾

1)NPO 法人放射線教育フォーラム 2)NPO 法人放射線線量解析ネットワーク

指導要領書（1）

放射線と放射能*1

1. 放射線、放射能とは？

放射線は私たちのまわりのどこにでもあります。約 137 億年前に宇宙が誕生してから現在にいたるまで常に自然界に存在しています。しかし、電波と同じように目に見えない、聞こえない、触れない、においもないので、その存在が発見されたのは 1895 年、ほんの 112 年ほど前でした。発見したのは、ドイツの物理学者レントゲンでした。今でも健康診断でエックス線（X 線）による身体の透過写真を「レントゲン」と呼んでいるのはその名前に由来しています。

自然界にある特別な物質から放射線が出ることを発見したのは、フランスの物理学者ベクレルという人で、1896 年のことでした。ベクレルの名前もあとで説明する放射線の単位の名前となっています。このように放射線を出す能力のある物質を放射能（あるいは放射性物質）と言います。

放射線の正体は何か？というのを理解するためには、まず物質は何で出来ているかを知る必要があります。物質は、**図 1** に示すように原子で構成されており、その原子は原子核と電子とからできています。

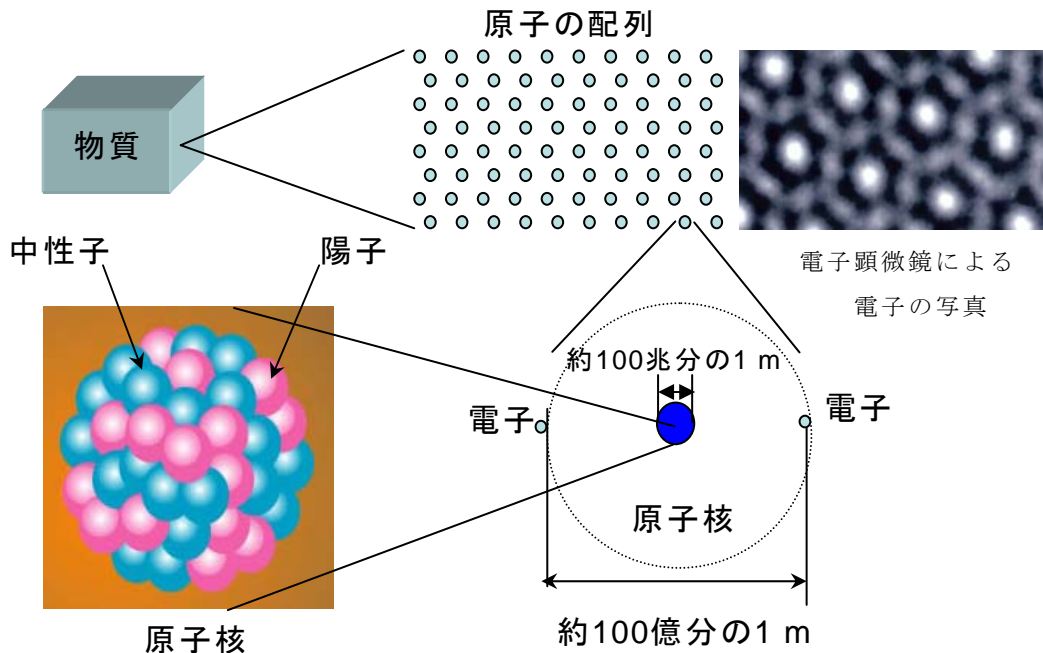


図 1 物質の構成要素

*1 本稿は日本原子力学会編「原子力がひらく世紀」を大いに参考・引用しています。

原子核は陽子と中性子とからできています。陽子の個数をZで表し（これを原子番号といいます）、中性子の個数をNで表した時に、 $Z + N$ を質量数といいます。ZとNで決まる原子核の特定の種類を核種といいます。元素の名前はZだけで決まるので、同じ元素でも中性子の数が異なるものがあります。これをたがいに同位体と呼びます。核種はZと $Z + N$ で決まり、それを表すときは元素記号と質量数を使います。陽子 11 個から成る元素はナトリウムですが、そのうち中性子 13 個を含む同位体は、ナトリウム 24 といひ、 ^{24}Na と表します。つまり同位体は同じ元素のなかの異なった核種ということになります。

原子核のなかには、エネルギー的にみて不安定で、時間の経過とともに、より安定な他の原子核に変わっていくものがあります。原子核が自然に変化することを、崩壊または壊変といいます。このとき、放射線が放出されます。このように、自然に放射線を出す核種を放射性同位体といいます。

人工的に放射線を発生させる装置としては X 線管や電子銃、加速器と呼ばれるものがあります。放射線は自然界に存在するものも、人工的に発生させたものも同じ性質をもちます。また、医療診断などで使われる放射性同位体は、そのほとんどが原子炉や加速器を用いて人工的に作られたものですが、これについても自然界の放射性同位体と同じ性質をもちます。

放射性同位体の崩壊の仕方はいろいろな種類があります（図 2 参照）*2。

(a) 安定な原子核と比べて中性子が多すぎる場合

原子核が電子を放出することによって、中性子が陽子に変わり、より安定な原子核になります。このとき放出される電子をベータ (β) 線といいます。

(β^- 崩壊)

(b) 安定な原子核と比べて中性子が少なすぎる場合

原子核が陽電子を放出することによって、陽子が中性子に変わり、より安定な原子核になります。このとき放出される電子をベータ・プラス線といいます。

(β^+ 崩壊)

ここで、陽電子とは、正 (+) の電荷を持つ電子と同じ質量をもつ粒子です。

(c) ウランのように原子核が大きすぎる場合

原子核がその一部（アルファ (α) 粒子）を放出する (α 崩壊)、あるいは原子核が2つの原子核に分裂します。（自発核分裂）

ここで、アルファ粒子とは、ヘリウムの原子核のことをいいます。

(d) 原子核が不安定な励起状態れいきにある場合

多くの原子核には、エネルギー的にみて不安定な励起状態というものが存在します。とくにベータ崩壊またはアルファ崩壊で生じた原子核は一般にきわめて不安定なので、より安定な状態に移行します。これに伴って余ったエネルギーが電磁波として放出される場合には、その放出される電磁波をガンマ (γ) 線

* 2 原子核の崩壊（壊変）形式については巻末の [参考] でもう少し詳しく説明しています。興味のある人はそちらも読んでみてください。

とよびます。また、原子核の周囲にとじこめられている（束縛）電子が、この励起状態のエネルギーをもらって、束縛状態から解放されて放出されることがあります。この電子を内部転換電子とよびます。

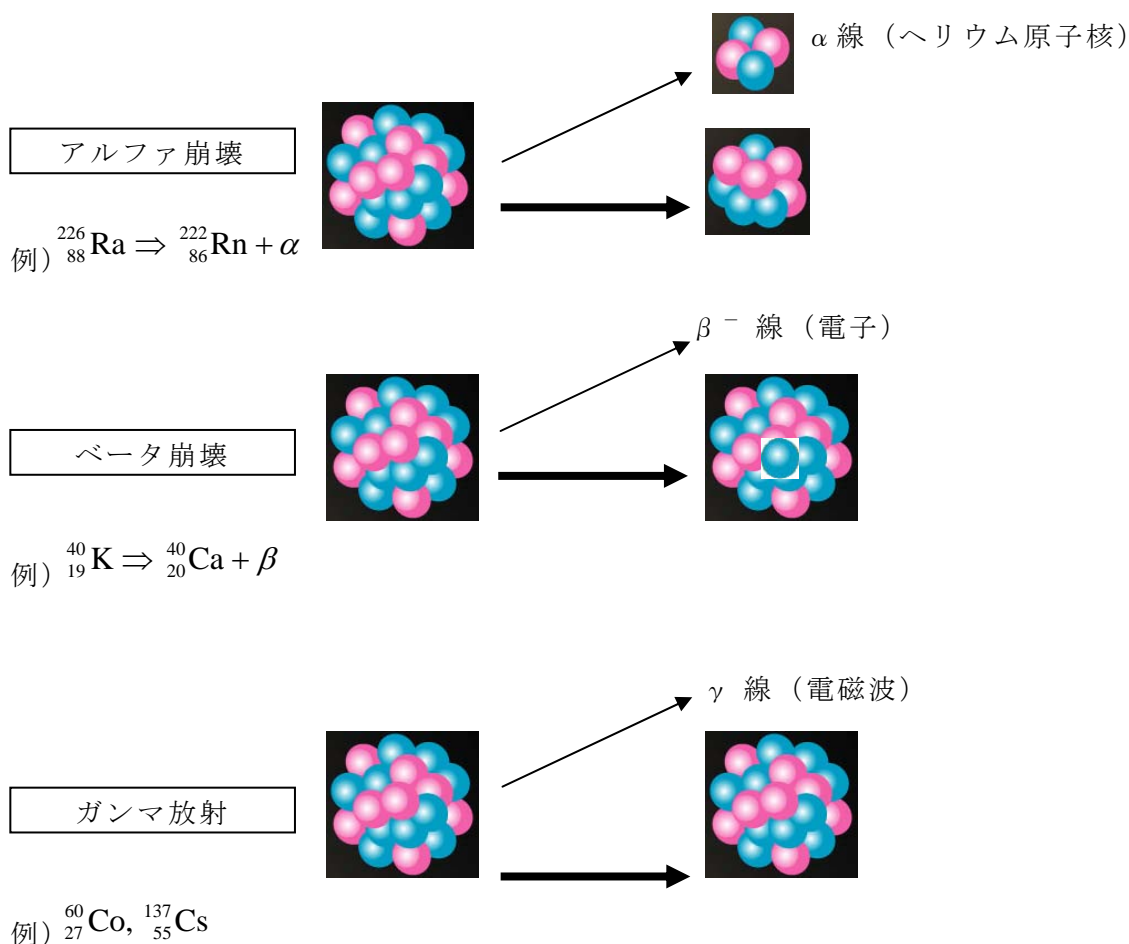


図 2 さまざまな崩壊形式

原子核は上記の崩壊のほかに、他の粒子の衝突によって変化する（壊れる）ことがあります。これを核反応といい、その際に放出される放射線としてアルファ線やガンマ線のほかに陽子や中性子などがあります。

放射線と放射能は、しばしば混同されがちですが、意味はまったく違います。放射線とは、上記のように、原子核が崩壊するときなどに放出される高速の粒子（ α 線、 β 線、陽子線、中性子線など）や、高いエネルギーを持った電磁波（波長が100億分の1m程度より短い、X線や γ 線）のことをいいます。光や電波は低いエネルギーを持った電磁波で、X線や γ 線より波長はずっと長くなります。放射線は原子を電離させる能力を持つことが特徴です。（ふつう電離というと、水溶液中での電離を思い浮かべますが、水がなくてもイオンの状態になります）

これに対して、放射能とは、放射線を出す性質（能力）のことであり、放射能をも

っている物質を放射性物質とといいます。また、放射線を照射された物質が放射能を持つ放射性同位体になるのは、一般に中性子や非常に高いエネルギーのガンマ線などを受けた場合で、このような効果が起きた場合を放射化とといいます。放射線を利用して物質の機械的・化学的な性質を変えたり滅菌や殺虫を行う場合は、この放射化が起こらないように低いエネルギーのガンマ線や電子線を用います。放射能と放射線の違いを懐中電灯と対比させて図3に示します。

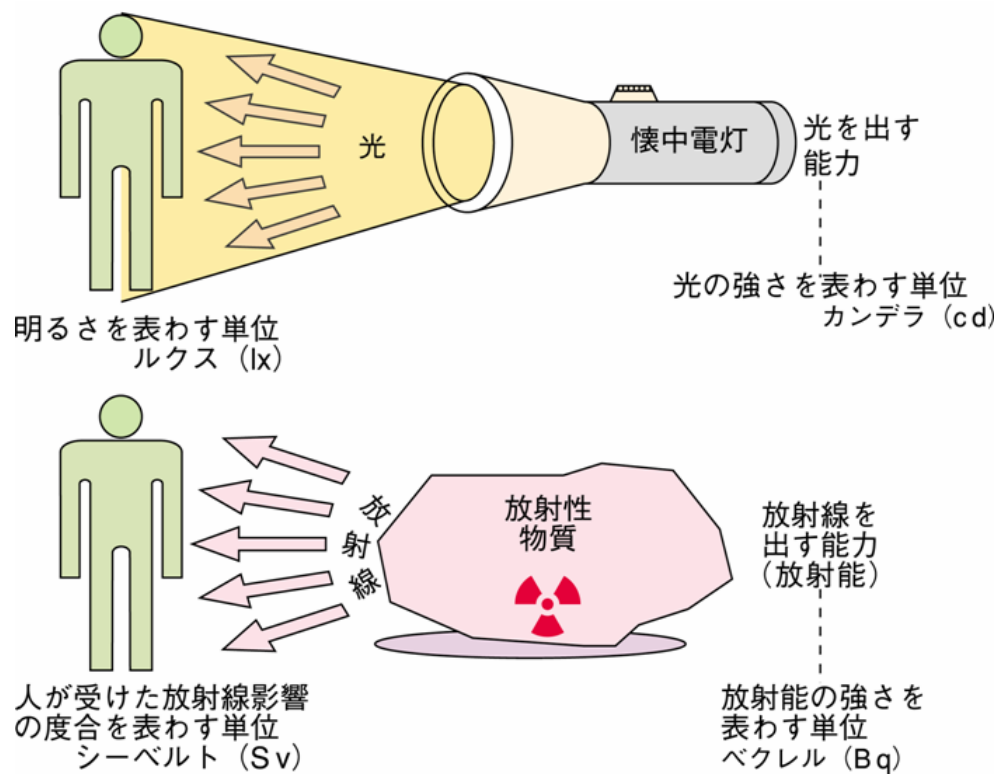


図3 放射線と放射能の違い¹⁾

放射性の物質は、どのようなものであれ、その中の原子核は次々と崩壊してその量が減ります。どの原子核がいつ崩壊するかはランダムな確率現象ですが、時間とともに崩壊する原子核の数は減少し、一定の時間内に放出される放射線の数も減少します。これは、毒性を持つ化学物質と違うところで、毒性を持つ化学物質は人為的に分解されない限りいつまでたっても毒物のままです。

放射能がもとの強さの半分になるまでの時間を半減期とといいます。この放射性物質の壊れる速さは放射性同位体によって異なります。たとえば、自然界に広く存在しているウラン238やカリウム40の半減期は、それぞれ45億年と13億年であり、人工的に作られるセシウム137では約30年です。図4に半減期の考え方と放射性

核種とその半減期の例を示します。

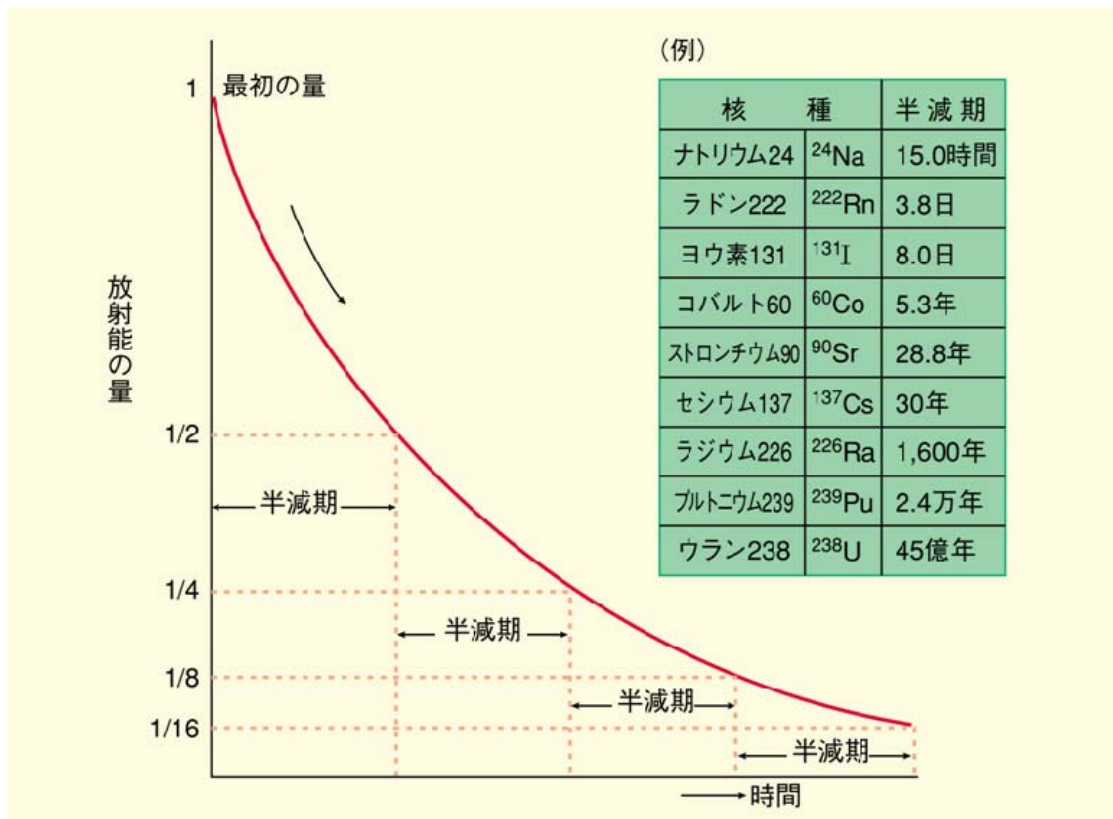


図4 放射能の減衰と半減期の関係¹⁾

2. 放射線の性質と特徴

代表的な放射線である、アルファ線、ベータ線、ガンマ線および中性子の物質の透過力を図5に示します。

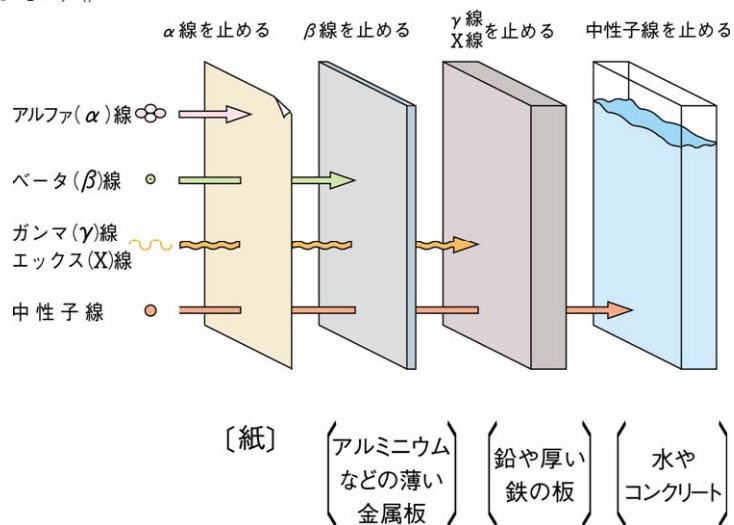


図5 放射線の種類と透過力の関係¹⁾

人間が放射線を受ける（被ばくという）場合に、その受け方によって外部被ばくと

内部被ばくに分けられます。人体の外側にある放射性物質（放射線源）から放射線を受けることを外部被ばくといいます。これに対し、体内に取り込まれた放射性物質からの放射線を受けることを内部被ばくといいます。

アルファ線はヘリウムの原子核であり、水中で数 10 マイクロ（数十万分の 1）m（人体組織でもほぼ同じ）、空気中では数 cm で止まってしまいます。人体の場合には、外部からアルファ線を受けても皮膚の表面で止まってしまうため、人体への影響はありません（表皮は生きた細胞ではないので放射線に対する感受性はありません）。しかし、体内にアルファ線を放出する放射性物質（たとえば、ポロニウム 210：ロシアの元スパイのリトビネンコ氏の事件が有名）を摂取した場合、その放射性物質の付着した人体組織の部位が集中してアルファ線の全エネルギーを受け取ることになり、その組織を破壊してしまいます。

ベータ線は、電子であり、アルファ線に比べると物質を透過しやすいのですが、水中では数 mm、空気中では数 m で止まってしまいます。外部からベータ線を受けた場合、大部分のベータ線は皮膚で止まってしまうため、主に皮膚の被ばくが問題となります。体内にベータ線を放出する放射性物質（たとえば、カリウム 40）を摂取した場合、その放射性物質の付着した人体組織やまわりの器官にエネルギーが吸収されることとなります。テレビのブラウン管は、内部の電子銃で電子を発生させて、電子が当たると光る蛍光物質をガラス表面に塗布していますが、ガラス表面で電子は止まってしまう、外部に放出されることはありません。

ガンマ線は、X線と同じ仲間で、電荷をもたない電磁波なので、物質を透過する性質を持っています。コンクリートや鉄、鉛などの重い物質は、ガンマ線を吸収する能力が大きいので、透過する力を弱めることができます。外部からガンマ線を受けた場合、ガンマ線は皮膚を透過して、体内の組織や器官にまで到達するので、ガンマ線が大量の場合には、人体内の組織や器官にダメージを与えます。体内にガンマ線を放出する放射性物質（たとえば、コバルト 60）を摂取した場合、ガンマ線は、エネルギーの一部を人体組織に与えて外に飛び出してしまいます。そのため、アルファ線やベータ線に比べると人体への影響は小さくなります。

中性子は、ガンマ線と同じように電荷を持たない粒子であり、質量が水素の原子核（陽子）よりほんの少しだけ重いため、衝突した相手の原子核をはじき飛ばしたり、核反応を起したりします。また、電荷をもたないため、ガンマ線と同じように透過力が強く、人体の外部から中性子を受けると皮膚、組織や器官に大きな影響を与えます。中性子は、ガンマ線と異なり、軽い原子核と衝突してそのエネルギーを失います。そのため、水やポリエチレン、コンクリートなどで透過する力を弱めることができます。

3. 放射能と放射線に対する単位

(a) 放射能の単位

放射能の単位は、「ベクレル(Bq)」とよばれる、1秒間に崩壊する原子核の数で表されます。つまり、1秒間に原子核が1個崩壊するときは、放射能は1ベクレルとなります。放射能は次の式で求められます。

$$\text{放射能 (Bq)} = \text{崩壊定数} \times \text{原子数}$$

ここで、原子数は、物質を構成する放射性同位体の量で決まります。崩壊定数は1秒間に原子核が崩壊する数で、放射性同位体によって決まり、第1章で説明した半減期とは次の関係があります。

$$\text{崩壊定数} = 0.693 \div \text{半減期 (秒単位)}$$

ベクレルで表される放射能の数は同じでも、放射性同位体の種類が異なると、放出される放射線の種類や本数、エネルギーの大きさは異なります。また、1つの崩壊で1種類の放射線しか放出しないということは少なく、何種類かのエネルギーを持つ放射線を何本か出す場合が多いのです。

(b) 放射線の単位

放射線の単位は、「線量」という単位が用いられます。与えたエネルギーやその影響によって、「線量」の前に、「照射」とか「吸収」や「実効」という言葉をつけて表します。

照射線量とは、放射線の量を、その放射線が空気を電離した量で表すもので、ガンマ線やX線に用いられます。1kgの空気をどれだけ電離したかをその電荷量で示します。単位はクーロン (C) / Kg です。1クーロン / Kg は、放射線の電離作用によって、空気1Kg (約770リットル) 中に1クーロンの電荷量が生ずることを意味します。なお、1秒間に1クーロンの電荷が流れるときの電流は1アンペア (A) です。

吸収線量とは、放射線が物体を透過したときに、その物体の単位質量当たり吸収したエネルギーを示します。単位はグレイ (Gy) で、イギリスの放射線測定で有名な学者の名前に由来しています。放射線が透過した物体の1Kgが1ジュール (J) のエネルギーを吸収する場合を1グレイといいます。1Gy = 1J/Kg で、この単位は放射線や物質が何であってもあてはまるもので、放射線が物質 (人体を含む) に与える影響を表す基本的な量となります。

実効線量とは、放射線が人体に与える影響を表す尺度で、単位はシーベルト (Sv) とよばれます。放射線が人体に入射した場合、吸収した線量 (吸収線量) が同じであっても、放射線の種類やエネルギーの大小や入射した組織や器官によって放射線に対する感受性が異なります。そのため、これらを補正した線量の単位として実効線量が定義されています。実効線量は放射線の種類や被ばくのかた (外部被ばくか内部被

ばく)にかかわらず、人体への影響の程度を示します。たとえば、実効線量が同じ 1 mSv であれば、人工の放射性同位体であるセシウム 137 で被ばくした場合でも、自然界に存在するカリウム 40 で被ばくした場合でも、人体への影響は同じです。

これらの単位の 1000 分の 1 は m (ミリ)、100 万分の 1 は μ (マイクロ)、10 億分の 1 は n (ナノ) を前につけて表します。たとえば、1 μ Sv は 100 万分の 1 Sv (シーベルト) を意味します。

4. 私たちの身のまわりの放射線

私たちの生活している環境には、自然放射線と人工放射線があります。自然放射線は地球が誕生したときに宇宙から集まって構成された元素のうち、岩石や土に含まれている放射性同位体からの放射線や、宇宙や太陽から日夜降りそそいでいる放射線(宇宙線や太陽風)のように自然界に存在する放射線のことをいいます。

自然放射線の種類とその放射線の被ばくはおおむね次の通りです。

- (1) 宇宙線やその核反応で生成される二次的な放射線(外部被ばく)
- (2) 宇宙線で生成される放射性物質を体内に摂取することによる放射線(内部被ばく)
- (3) 天然に存在する放射性物質からの放射線(外部被ばく)
- (4) 食物摂取により体内に摂取された天然の放射性物質(主にカリウム 40)から受ける放射線(内部被ばく)
- (5) 空気中に存在するラドンとその崩壊系列の放射性物質を体内に吸入することにより受ける放射線(内部被ばく)

このように、私たちは宇宙線と大地に存在する放射性物質による放射線を体の外から、また食べ物や呼吸することにより体内に取り込んだ放射性物質による放射線を体の中から、絶えず受けています。これらの自然放射線による実効線量は、世界で平均すると、**図 6**に示すように、1年間で宇宙線から 0.39 mSv、大地から 0.48 mSv、食

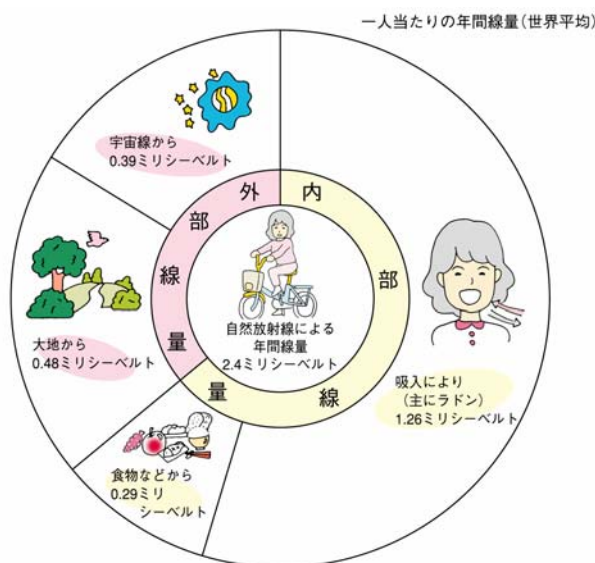


図 6 自然放射線から受ける年間の実効線量¹⁾

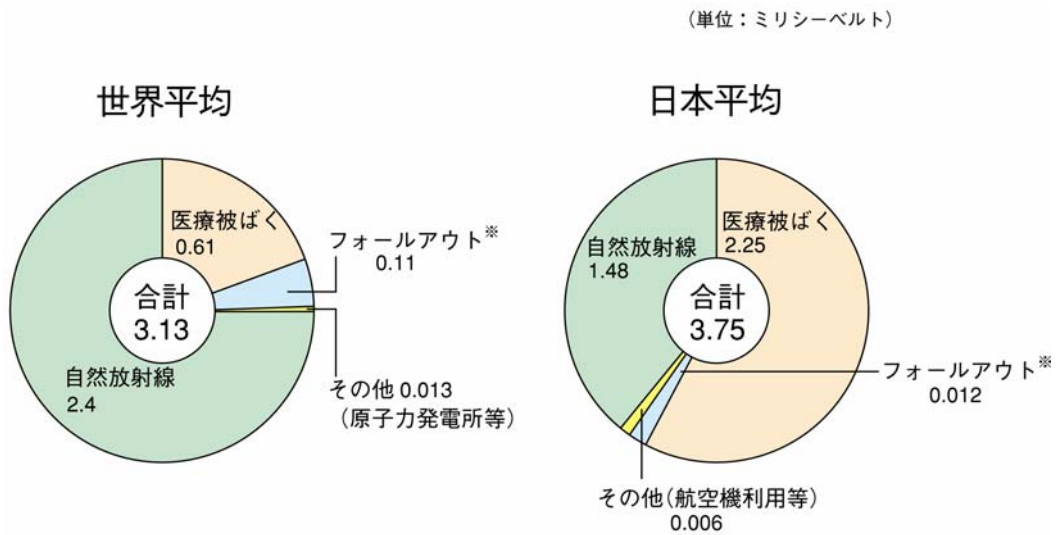
食べ物から 0.29 mSv、呼吸から 1.26 mSv、合計約 2.4 mSv を 1 年間に受けています。

一方、人工的に発生させた放射線や、原子炉や加速器で人工的に作られた放射性同位体からの放射線を人工放射線といいます。人工放射線の代表的なものは、病気の診断に用いられる X 線や CT スキャン装置です。人工放射線からの放射線の被ばくはおおむね次の通りです。

- (1) 医療放射線 (X 線や CT スキャン装置など)
- (2) 大気圏核実験による放射性降下物 (フォールアウト) からの放射線
- (3) 原子力の利用および放射性物質の利用にともなう放射線

これらの人工放射線はいずれも体の内外から受けることになります。

日常生活において 1 人あたり 1 年間に受ける実効線量の平均的な値を図 7 に示します。



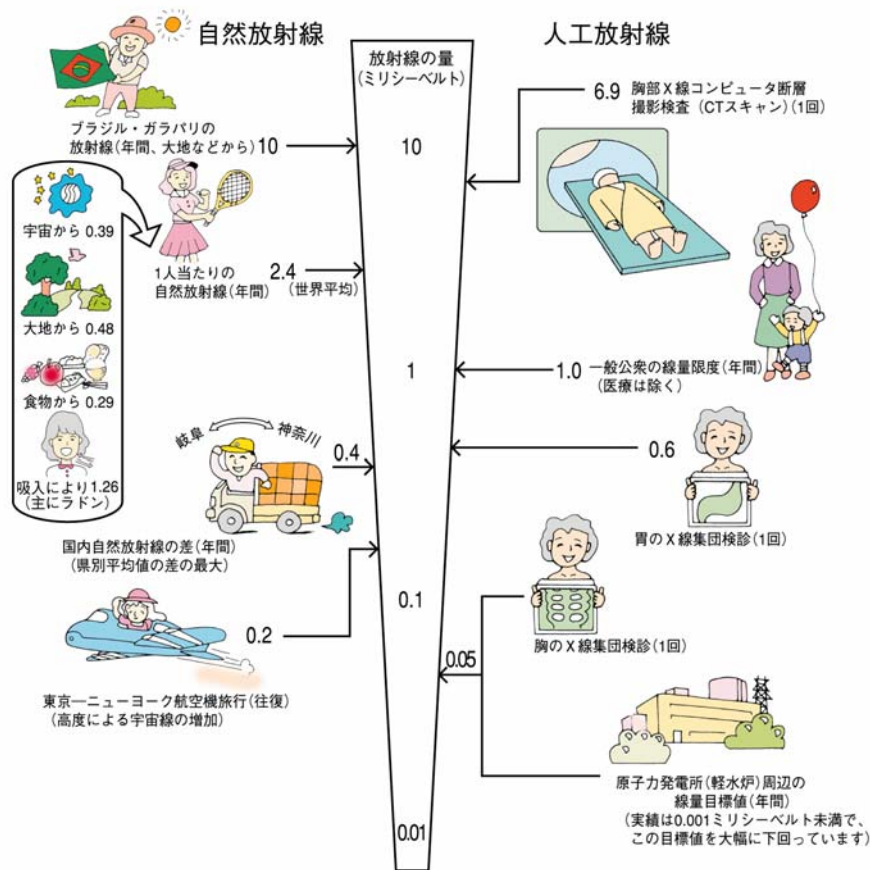
※フォールアウトとは、核実験による放射性降下物

出典：国連科学委員会(UNSCEAR)1992年報告書、旧科学技術庁「生活環境放射線」

図 7 自然放射線および人工放射線による年間の実効線量¹⁾

この図より、世界平均では自然放射線が最も大きいのですが、日本平均では、世界平均より、自然放射線がやや少なく、医療放射線による被ばくが大きいことがわかります。過去には大気圏における核実験が頻繁に行われていましたが、現在ではほとんど行われず、一部の国による地下核実験のみが行われているので、フォールアウトの影響は少なくなっています。日本では、発展途上国と比べて病気の診断に X 線や CT スキャン装置を頻繁に用いることが影響していると思われます。しかしながら、合計線量では世界平均と大差ないと考えられます。図 8 に自然放射線および人工放射線による実効線量の大きさの比較を示します。

このように、私たちは自然や人工であるかにかかわらず、ある程度の放射線を浴びることになります。放射線が体に当たった場合、細胞の遺伝子 (DNA) を切断したり、生体を構成する水に作用してフリーラジカル³を生成し、そのフリーラジカルがDNAを破壊したり、細胞に損傷を与えることが考えられます。しかしながら、この影響は化学物質の摂取や呼吸により吸収された (放射性でない) 酸素が細胞に運ばれること



出典：資源エネルギー庁「原子力2003」他

図 8 自然放射線および人工放射線による実効線量の比較¹⁾

³ 原子核のまわりには電子がまわっています。電子の中には、いつもペアになりたがる変わった性格のもの (シングル電子とよびます) があります。約 100 種類ある原子の大部分はシングル電子をもち、水素は一つ、酸素は二つというようにその数もはじめから決まっています。原子はふつう、このシングル電子同士がペアをすることにより結合しています。たとえば、水素がもつシングルの電子 1 個を、パートナーを求めている 1 本の腕と考えます。同じように酸素にこの腕が 2 本あると考えると、酸素の両手に水素が一つずつつながった時に、全部が落ち着いた関係になります。これが H₂O、つまり水の分子です。この H₂O からむりやり水素電子をひとつはぎとると、パートナーのいない手が 1 本残されます。これがフリーラジカルの一例です。つまりフリーラジカルを一言で言うと、「ペアになっていない電子を抱え、非常に反応しやすくなっている原子や分子」のことです。フリーラジカルの中には、電子のペアを作るために、他の分子から強引に電子を奪う過激分子もいて、その代表格が「活性酸素」です。

によっても、同じフリーラジカルが発生します。私たちの体には、DNA 損傷の影響を修復したりフリーラジカルの影響を低減するための修復機能が備わっています。太古の昔は、自然放射線は現在より強く、地球上の生物はその環境下でも生命を維持する機能を獲得してきたと考えられています。日常生活では、特に心配したり不安に思ったりすることはありません。

5. 放射線の影響を少なくするためには

いままでに、自然界には人工的なものと同様に放射線が存在していることがわかったと思います。身のまわりにも日常的に存在していて、特に不安に考える必要はないことを知りました。しかし、人体に有害な化学物質と同じように、不要なものは避けるのが賢明といえるでしょう。ここでは、放射線の影響を少なくするための3つの方法を説明します。図9に放射線の影響を少なくするための3つの原則を示します。放射性物質の大きさが十分小さい場合には、放射線は点状の発生源（点線源といいます）から放出されると考えて差し支えありません。その場合は、放射線の強さは距離の二乗に反比例して弱くなります。線源が点でない場合（線とか面の場合）には、距離の二乗に反比例しませんが、距離を離すことによって、被ばく線量は少なくなります。従って、第1の原則は、「線源から離れること」です。

第2の原則は、放射線を受ける時間を少なくすることです。同じ強さの放射線を浴びるときは、受ける線量は時間に比例します。従って、第2の原則は、「浴びる時間を減らすこと」です。

第3の原則は、放射線の強さを弱くしたり吸収する物質の後ろにいて、受ける放射線をさえぎることです。このような物質を「遮へい材」といいます。放射線の種類や強さによって、用いる「遮へい材」の材質や厚さは異なってきます。

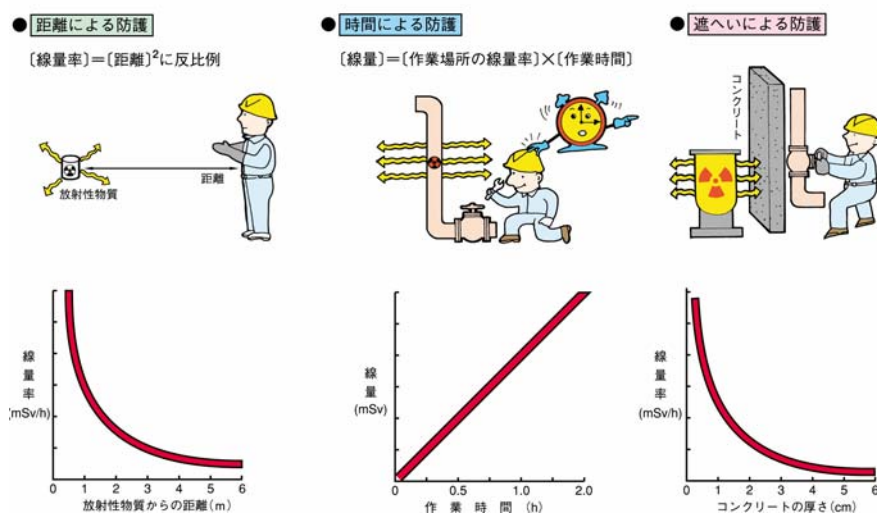


図9 放射線の影響を少なくするための3つの原則¹⁾

「はかるくん」実験キットでは、ごく弱い放射線源（セシウム 137）と簡易放射線測

定器「はかるくん」を使って、これらの「距離の二乗に反比例」することや、鉛などの「遮へい材」を使って「遮へい」効果を実験によって実際に確かめることができるようになっています。

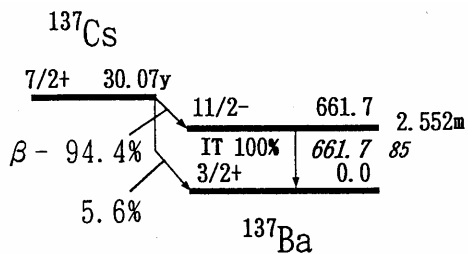
参考文献 1 「原子力・エネルギー」図面集 2003-2004 (財)日本原子力文化振興財団 < <http://www.jaero.or.jp/> >

参考

放射性同位体の崩壊形式

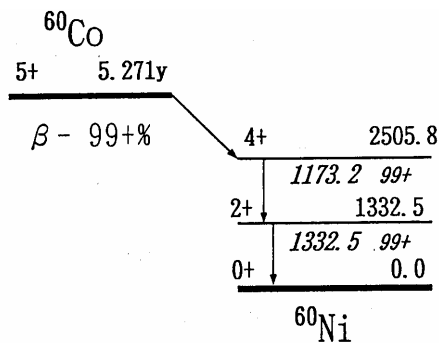
放射性同位体の崩壊には、いろいろな形式があります。それをわかりやすい図で表したものがあります。参考図 1 は、日本アイソトープ協会⁴が発行している「アイソトープ手帳」に載っているセシウム 137 の崩壊を表したものです。

この図の読み方は、セシウム 137 は、あるエネルギー準位（レベルという）から、半減期 30.07 y（年）で β^- 崩壊して、エネルギー的に安定なバリウム 137 という別の核種に変わりますが、そのうち 94.4% の確率で、エネルギー的に不安定な励起準位になります。不安定な励起準位にある原子核は（ある状態から別の状態に飛び移るように）安定な準位に移ります。その時に、661.7 キロ電子ボルト⁵ (keV) のエネルギーのガンマ線を放出することを示しています。不安定な励起準位から安定な準位に移る半減期は 2.552 m（分）です。安定な準位になると、バリウム 137 は放射能を持たない（放射線を出さない）物質となります。



参考図 1 セシウム 137 の崩壊形式

同様に、コバルト 60 の崩壊は参考図 2 のように表すことができます。



参考図 2 コバルト 60 の崩壊形式

この図から、コバルト 60 は半減期 5.271 y（年）で β^- 崩壊して、ニッケル 60 という別の核種に変わりますが、 4^+ という励起準位から 2^+ という励起準位に変わるときに 1173.2 keV のエネルギーのガンマ線を放出し、さらに 2^+ という励起準位から安定な準位に変わるときに 1332.5 keV のエネルギーのガンマ線を放出します。つまり、それ以上放射線を出さない安定なニッケル 60 になるまでに、異なったエネルギーのガンマ線を 2 本出すこととなります。

⁴ 日本アイソトープ協会 < <http://www.jrias.or.jp/> >

⁵ 電子ボルト（英語では electron volt（エレクトロン・ボルト）： eV）は、電位差が 1 ボルトの間に電子が得るエネルギーの単位です。1 eV はおよそ 1.602×10^{-19} ジュールに相当します。エネルギーと質量はアインシュタインの特殊相対性理論によると同じものなので、質量に換算すると 1.783×10^{-36} kg となります。

指導要領書（2－1）

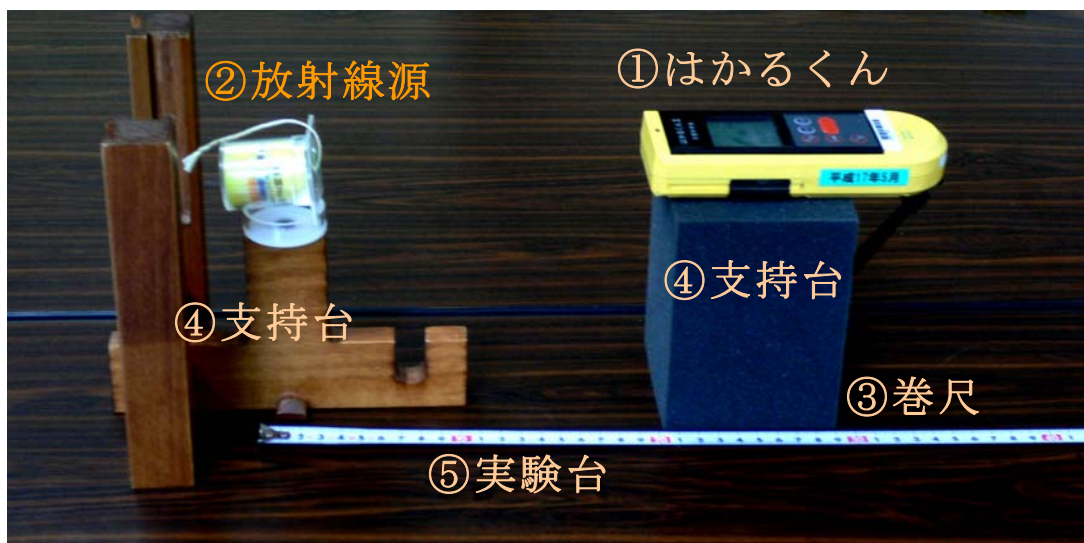
放射線の強さ（線量率）の測定（距離の逆2乗則）

1. 目的

測定点からみた放射線源の大きさが十分に小さければ、放射線の強さ（線量率）は、放射線源からの距離の逆2乗で小さくなることを測定により確認する。

2. 用意するもの

- ① はかるくん（簡易型ガンマ線測定器）
- ② 放射線源1個（実験用キットに付属）
- ③ 巻尺（実験用キットに付属）
- ④ 支持台2台（実験用キットに付属）
- ⑤ 実験台（長方形、なければ正方形のテーブルを二つ並べる）
- ⑥ 記録用紙（別紙）
- ⑦ 時計（ストップウォッチ）
- ⑧ 両対数方眼紙
- ⑨ 筆記用具（鉛筆、消しゴム、定規）



3. 手順

- ① 実験台の中央に、放射線源を除いて、上の写真のように実験機材をセットする。巻尺は実験台の短い辺の中央から長い辺と平行に伸ばしてとめる。
- ② 支持台の上に置いた「はかるくん」の電源スイッチを入れ安定するまで1分間待つ。
- ③ 放射線源のない場合の自然放射線による線量率（バックグラウンド）を5回、1分毎に測定し、記録用紙に記録する。バックグラウンドは5回の測定した値の平均値とする。
- ④ 支持台の上に放射線源1個を置き、もうひとつの支持台に乗せた「はかるくん」

を巻尺のすぐ近くに置く。このとき、「はかるくん」の位置は、バックグラウンドの3倍程度の測定値が得られるように、放射線源からの距離（目安として約1 m）を調整する。（放射線源の中心を距離のゼロ点（原点）に取り、ゼロ点からの距離は「はかるくん」の「+」マークまでとする）この点をB点とする。

- ⑤ 放射線源から10cmの位置をA点とする。
- ⑥ A点とB点の間を4等分して測定位置を決め、放射線源から測定位置までの距離を記録用紙に記録する。（測定点は全部で5点）
- ⑦ B点、各分割点、A点の順番でそれぞれ測定し、記録用紙に記録する。「はかるくん」の移動後は2分間待ってから測定を開始し、各測定点ではそれぞれ3回、1分毎に測定する。
- ⑧ それぞれの測定終了後に3回の測定値の平均を求める。次に平均値からバックグラウンドを差し引いて正味の線量率を求め、それぞれ記録用紙に記録する。

注意 1) 測定中は測定に専念する。

注意 2) 「はかるくん」の数値は10秒ごとに変わるが、これは過去60秒間の測定値を平均した値で、10秒毎に更新される。同じ数値が出た場合でも、その数値を記録する。

注意 3) 放射線源、「はかるくん」の周りには、放射線源から放出されたガンマ線が散乱して、「はかるくん」に入らないよう、不要なものを置かないこと。

注意 4) 「はかるくん」の表示値は、x.xxxのように小数点以下3桁なので、平均値も小数点以下3桁の数字に四捨五入する。

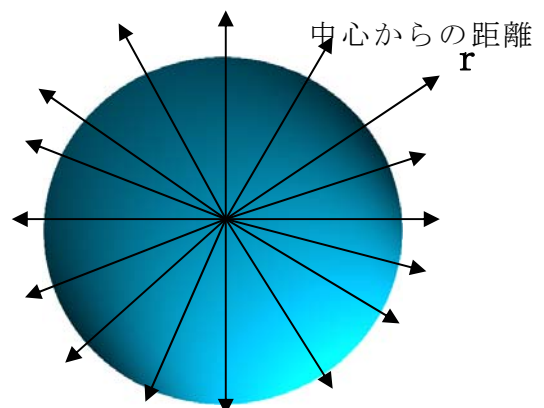
4. データのまとめ方

- ① バックグラウンドと測定値を記録用紙に記入する。
- ② 測定値をグラフ化するが、両対数グラフとするのが望ましい。横軸に放射線源からの距離を、縦軸に正味の線量率をとってグラフ化する。このとき、各測定点を結んだ線が直線上にあり、その傾きが -2 であれば、逆2乗則が成り立っていることを確認できる。
- ③ 両対数グラフが使えないときには、「放射線の強さ（線量率）は、距離が大きくなるに従い、急速に小さくなる」のがわかるだけとなる。

参考

光は光源から離れるにつれて明るさが暗くなるように、放射線の強さ（線量率）も光と同じように距離が離れるにしたがって弱くなります。

右図は、球の中心に点状の放射線源があり、線源からの放射線はすべての方向



に均等に放出されている様子を示しています。この線源を点等方線源と言います。球体を構成する物質内で放射線が散乱されたり、吸収されたりしない場合、放射線は矢印の方向に均等に拡がっていきます。中心からの距離 r の点における球面の単位表面積上では、放射線の強さは球の表面積 ($4 \pi r^2$) 分の1の強さとなります。つまり、放射線の強さは、距離 r の逆2乗に比例して小さくなります。これを逆2乗則と言います。

5. データシート

距離の逆2乗則の測定

記録用紙 (別紙)

測定月日	年	月	日	記録者名
測定場所				

バックグラウンド(BG)測定

回数	測定値 (μ Sv/h)
1	0.000
2	0.000
3	0.000
4	0.000
5	0.000
平均値	0.000

各測定点の測定

測定位置	測定点A	分割点1	分割点2	分割点3	測定点B
線源からの距離(cm)					10.00
回数	測定値 (μ Sv/h)				
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
平均値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
線量率-BG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

注) 表をダブルクリックすると、エクセルを編集状態に切り替えることができます。

指導要領書（2－2）

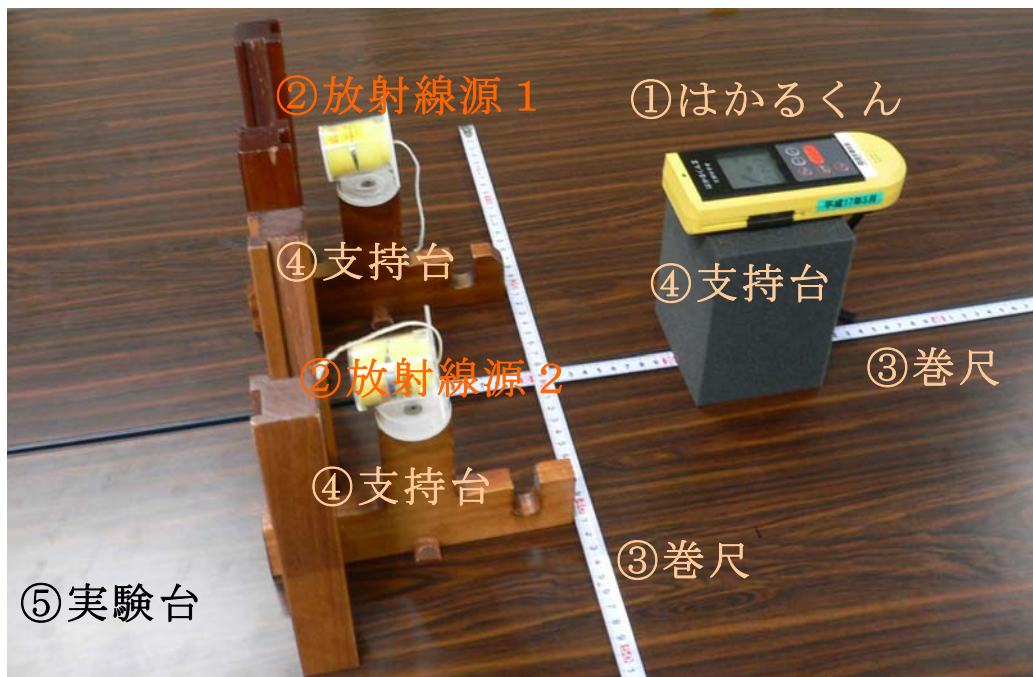
放射線の強さ（線量率）の測定（その2）

1. 目的

放射線源の大きさが十分に小さければ、放射線の強さ（線量率）は、放射線源からの距離の逆2乗で小さくなることを測定により確認したが、放射線源の大きさが小さくなければ、逆2乗則は成り立たないことを確認する。

2. 用意するもの

- ① はかるくん（簡易型ガンマ線測定器）
- ② 放射線源 2 個（実験用キットに付属）
- ③ 巻尺 2 個（実験用キットに付属）
- ④ 支持台 3 台（実験用キットに付属）
- ⑤ 実験台（長方形、なければ正方形のテーブルを二つ並べる）
- ⑥ 記録用紙（別紙）
- ⑦ 時計（ストップウォッチ）
- ⑧ 両対数方眼紙
- ⑨ 筆記用具（鉛筆、消しゴム、定規）



3. 手順

- ① 実験台の中央に、放射線源を除いて、上の写真のように実験機材をセットする。巻尺の1本は実験台の短い辺の中央から長い辺と平行に伸ばしてとめる。巻尺のもう1本はそれと直角にとめる。放射線源を乗せる支持台は、長辺方向の巻

尺と直角の線上にそれぞれ 10 cm 離して置く。

- ② 支持台の上の「はかるくん」の電源スイッチを入れ安定するまで 1 分間待つ。
- ③ 放射線源のない場合の自然放射線による線量率（バックグラウンド）を 5 回、1 分毎に測定し、記録用紙に記録する。バックグラウンドは 5 回の測定した値の平均値とする。
- ④ 支持台の上に放射線源をそれぞれ置き、もうひとつの支持台に乗せた「はかるくん」を巻尺のすぐ近くに置く。このとき、「はかるくん」の位置は、バックグラウンドの 3 倍程度の測定値が得られるように、放射線源からの距離（目安として約 1 m）を調整する。（放射線源からの距離は「はかるくん」の「+」マークまでとする）この点を B 点とする。
- ⑤ 2 個の放射線源の中心から 10cm の位置を A 点とする。
- ⑥ A 点と B 点の間を 4 等分して測定位置を決め、放射線源から測定位置までの距離を記録用紙に記録する。（測定点は全部で 5 点）
- ⑦ B 点、各分割点、A 点の順番でそれぞれ測定し、記録用紙に記録する。「はかるくん」の移動後は 2 分間待ってから測定を開始し、各測定点ではそれぞれ 3 回、1 分毎に測定する。
- ⑧ それぞれの測定終了後に 3 回の測定値の平均を求め、次に平均値からバックグラウンドを差し引いて正味の線量率を求め、それぞれ記録用紙に記録する。

注意 1) 測定中は測定に専念する。

注意 2) 「はかるくん」の数値は 10 秒ごとに変わるが、これは過去 60 秒間の測定値を平均した値で、10 秒毎に更新される。同じ数値が出た場合でも、その数値を記録する。

注意 3) 放射線源、「はかるくん」の周りには、放射線源から放出されたガンマ線が散乱して、「はかるくん」に入らないよう、不用なものを置かないこと。

注意 4) 「はかるくん」の表示値は、x.xxx のように小数点以下 3 桁なので、平均値も小数点以下 3 桁の数字に四捨五入する。

4. データのまとめ方

- ① バックグラウンドと測定値を記録用紙に記入する。
- ② 測定値をグラフ化するが、両対数グラフとするのが望ましい。横軸に 2 つの放射線源の中心からの距離を、縦軸に正味の線量率をとってグラフ化する。距離による減衰が（距離の逆 2 乗則の測定）のときよりも小さいことを確認する。
- ③ 距離を放射線源からの実際の距離（放射線源から測定点までの直線距離）に変えてグラフ化する。このとき、各測定点を結んだ線が直線上にあり、その傾きが -2 であれば、逆 2 乗則が成り立っていることを確認できる。
また、その結果より、2 つの放射線源からの線量率は重ね合わせの原理が成り立っていることがわかる。
- ④ 両対数グラフが使えないときには、「放射線の強さ（線量率）は、距離が大きくなるに従い、急速に小さくなる」のがわかるだけとなる。

5. データシート

2個の放射線源を用いた測定

記録用紙 (別紙)

測定月日	年	月	日	記録者名
測定場所				

バックグラウンド(BG)測定

回数	測定値($\mu\text{Sv/h}$)
1	.xls
2	0.000
3	0.000
4	0.000
5	0.000
平均値	0.000

各測定点の測定

測定位置	測定点A	分割点1	分割点2	分割点3	測定点B
線源からの距離(cm)					10.00
線源からの実際の距離(cm)					14.14
回数	測定値($\mu\text{Sv/h}$)				
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
平均値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
線量率-BG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

指導要領書（3）

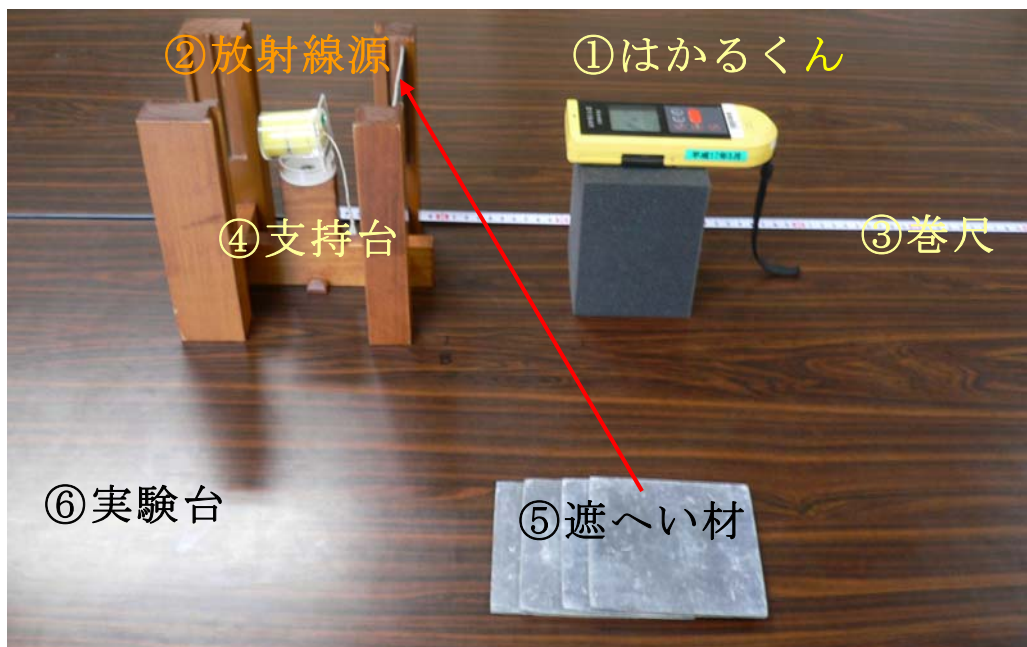
ガンマ線の物質による遮へい測定

1. 目的

ガンマ線は物質を透過するときに、その物質中で散乱してエネルギーが低くなったり、吸収されて放射線の強さ（線量率）が弱まる。これを物質による遮へいという。その弱まり方が物質の種類や厚さによって違うことを調べる。

2. 用意するもの

- ① はかるくん（簡易型ガンマ線測定器）
- ② 放射線源 1 個（実験用キットに付属）
- ③ 巻尺 1 個（実験用キットに付属）
- ④ 支持台 1 台（実験用キットに付属）
- ⑤ 遮へい材 [鉛（2 mm 厚さ 5 枚）、鉄（2 mm 厚さ 5 枚）、アルミニウム（5 mm 厚さ 5 枚）、アクリル合成樹脂（9 mm 厚さ 1 枚）]
- ⑥ 実験台（長方形、なければ正方形のテーブルを二つ並べる）
- ⑦ 記録用紙（別紙）
- ⑧ 時計（ストップウォッチ）
- ⑨ 片対数方眼紙
- ⑩ 筆記用具（鉛筆、消しゴム、定規）



3. 手順

- ① 準備された遮へい材の種類、厚さ、および枚数を確認する。
- ② 実験台の中央に、放射線源と遮へい材を除いて、上の写真のように実験機材をセットする。巻尺は実験台の短い辺の中央から長い辺と平行に伸ばしてとめる。

- ③ 支持台の上に置いた「はかるくん」の電源スイッチを入れ安定するまで1分間待つ。
- ④ 放射線源のない場合の自然放射線による線量率（バックグラウンド）を5回、1分毎に測定し、記録用紙に記録する。バックグラウンドは5回の測定した値の平均値とする。
- ⑤ 支持台の上に放射線源1個を置き、もうひとつの支持台に乗せた「はかるくん」を巻尺のすぐ近くに置く。このとき、「はかるくん」の位置は、放射線源から20cm離れたところに置く（放射線源からの距離は「はかるくん」の‘+’マークまでとする）ここで、遮へい材の中心が放射線源と「はかるくん」を結ぶ軸上になるようにする。
- ⑥ 遮へい材を置かずに、放射線源から出るガンマ線の強さ（線量率）を3回、1分毎に測定し、記録用紙に記録する。
- ⑦ 放射線源と「はかるくん」の間に遮へい材（鉛板1枚）を垂直に立てる。このとき遮へい材は放射線源と「はかるくん」を結ぶ軸と直角になるようにする。この状態で、ガンマ線の強さを3回、1分毎に測定し、記録用紙に記録する。
- ⑧ 次に遮へい材の板を1枚ずつ加えて厚さを増し、そのつど、上と同様3回、1分毎に測定し、記録用紙に記録する。この間、放射線源と「はかるくん」の位置は動かさない。
- ⑨ 鉛板についての測定が終了したら、順次遮へい材の種類を変えて同様の測定を行う。鉄、アルミニウムについては遮へい材の枚数を1、3、5とする。また、アクリル合成樹脂については1枚のみとする。
- ⑩ それぞれの測定終了後に3回の測定値の平均を求める。次に平均値からバックグラウンドを差し引いて正味の線量率を求め、それぞれ記録用紙に記録する。

注意 1) 測定中は測定に専念する。

注意 2) 「はかるくん」の数値は10秒ごとに変わるが、これは過去60秒間の測定値を平均した値で、10秒毎に更新される。同じ数値が出た場合でも、その数値を記録する。

注意 3) 放射線源、「はかるくん」の周りには、放射線源から放出されたガンマ線が散乱して、「はかるくん」に入らないよう、不用なものを置かないこと。

注意 4) 「はかるくん」の表示値は、x.xxxのように小数点以下3桁なので、平均値も小数点以下3桁の数字に四捨五入する。

4. データのまとめ方

- ① バックグラウンドと測定値を記録用紙に記入する。
- ② 測定値をグラフ化するが、片対数グラフとするのが望ましい。横軸に遮へい材の厚さを、縦軸に正味の線量率をとってグラフ化する。
- ③ 同じ遮へい材のデータが直線上に並ぶことを確認する。また、同じ厚さに対して、放射線の強さの減衰率が遮へい材によって異なることを確認する。また、重い遮へい体の方が遮へい効果の大きいことを確認する。

遮へい材（アルミ）を用いた測定

記録用紙（別紙）

測定月日	年	月	日	記録者名
測定場所				

バックグラウンド(BG)測定

回数	測定値(μSv/h)
1	0.000
2	0.000
3	0.000
4	0.000
5	0.000
平均値	0.000

各測定点の測定

測定位置	遮へいなし	アルミ板1枚	アルミ板2枚	アルミ板3枚	アルミ板4枚	アルミ板5枚
遮へい材の厚さ(mm)	0.00	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00
回数	測定値(μSv/h)					
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000		0.000		0.000
3	0.000	0.000		0.000		0.000
平均値	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
線量率-BG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

遮へい材（アクリル）を用いた測定

記録用紙（別紙）

測定月日	年	月	日	記録者名
測定場所				

バックグラウンド(BG)測定

回数	測定値(μSv/h)
1	0.000
2	0.000
3	0.000
4	0.000
5	0.000
平均値	0.000

各測定点の測定

測定位置	遮へいなし	アクリル板1枚
遮へい材の厚さ(mm)	0.00	9.00
回数	測定値(μSv/h)	
1	0.000	0.000
2	0.000	0.000
3	0.000	0.000
平均値	0.000	0.000
線量率-BG	0.000	0.000