

第二部 放射線実験の手引書

—放射線に関して未経験の先生にも容易にできる実験、 新しい世界へ生徒を導く実験—

1. はじめに

「放射線」という言葉を聞くと、びっくりなさる先生方が多いかもしれません。まして、その「放射線」を対象とした実験の指導を自分がする、となりますと少し気が重いかもしれません。しかし、次のような簡単な実験によって、生徒達の自然に対する理解を深めることの手助けができる、となると取り組んで頂けると思います。この手引書では、やや専門的な用語の解説はあとの章で行い、先ず全体像を理解して頂くことを優先しています。例えば、「放射線」についてのやや詳しい解説は、7. 章で行なっています。

実験1：放射線が飛ぶのを目で見える実験。

図1に漫画で示すように、放射線が空气中を飛んだときの飛跡を、霧箱を使って見る実験をします。霧箱は生徒一人一人が自分で作ることができます。



図1 放射線が飛ぶのを目で見る実験

実験2：自然放射線を測定する実験。

図2は、携帯電話程度の大きさの放射線測定器を使って、どこに行っても自然の放射線があること、自然の放射線は場所によってことなることなどを確認します。この測定器は生徒に一人一台借りることができます。



図2 自然の放射線を測定する実験

生物は太古から自然の放射線の恩恵を受けて、自然の環境の変化に適応して生きることができるように進化してきたと言われていています。今もその進化は続いています。しかし、人類が放射線を知ったのは、わずか120年余り前のことです。それ以来、自然の放射線のみならず、人工の放射線の発生とそれらの利用に関する目覚ましい発展があり、医療、工業、農業、等への極めて重要な利用がなされています。

このような状況のもとで、中学理科の指導要領が改訂され、理科の中で放射線を取り扱うことが記載されました。

このテキストは、先生方に、放射線に関する簡単ないくつかの実験をご紹介することによって、これはなかなか面白い、とお感じになって頂き、実際に先生方ご自身で取り組んで頂くこと、そして、授業に取り上げて頂くことを目的にしており、それが可能な実験のみを記述しています。

以下に、放射線実験は始めてという先生方を対象に、比較的簡単にできる放射線実験のいくつかをご紹介します。これらは、先生方が生徒の前でデモンストレーション実験として行なってもよく、また、生徒一人一人が実験を行なうことも可能です。

2. 霧箱を用いた放射線の飛跡の観察

この実験は、放射線が飛んだところに見える霧の線を目で見るといえる実験です。この装置を霧箱と言います。

最初に簡単に霧箱の原理を説明します。(原理の詳細は6. 章で説明)

図3に示すように、霧箱の中を放射線(ここでは荷電粒子であるアルファ線、放射線の詳細は7. 章で説明)が通過すると、空気の分子(N_2 、 O_2)をイオン化(電離)して、正の電荷を持つイオンと負の電荷を持つ電子ができる。負の電子のほとんどは酸素分子と結合して負のイオンになる。過飽和状態(詳細は6. 章で説明)にあるアルコール分子はこれらのイオンに付着して、アルコールの霧滴(液滴)ができる。これらに光をあてると光が反射して飛行機雲のようにアルファ線が通った跡が白い線として見える。

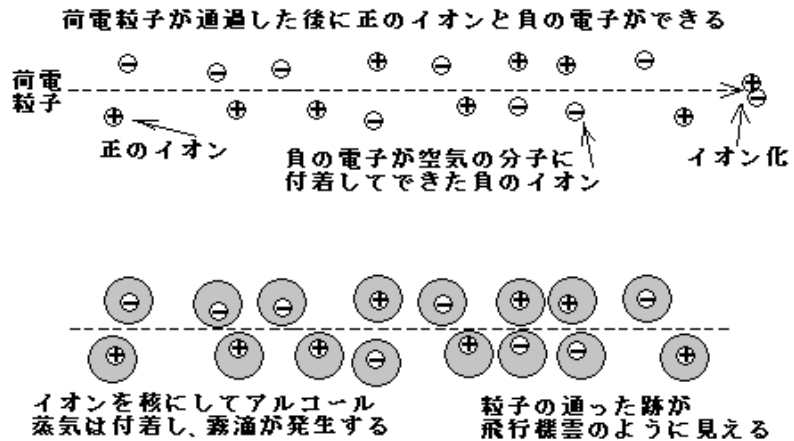


図3 霧箱の中を荷電粒子(アルファ線)が通過した跡が見えることの説明図

2. 1 自作霧箱を用いた実験(この実験は生徒一人または二、三人に一個程度の実験で、最も簡単かつ安価な方法で、初めての先生方にも容易に作れ、必ず成功します。この方法は、放射線計測協会、日本科学技術振興財団などで工夫された方法に中部原子力懇談会が改良を加えたものです。)

図4の部品図を御覧下さい。こんな簡単な実験装置で、放射線が見えるのです。必要な材料・道具を列記します。

- ① 透明なシャーレ(プラスチック製でもガラス製でもよい)、または百円均一のプラスチック容器(円形でも四角形でもよい)。プラスチックシャーレはまとめて購入すれば1個 10 円以下になる。
- ② シャーレのふた
- ③ 黒い紙(折り紙などを①に入るように切る)
- ④ すきま用スポンジ

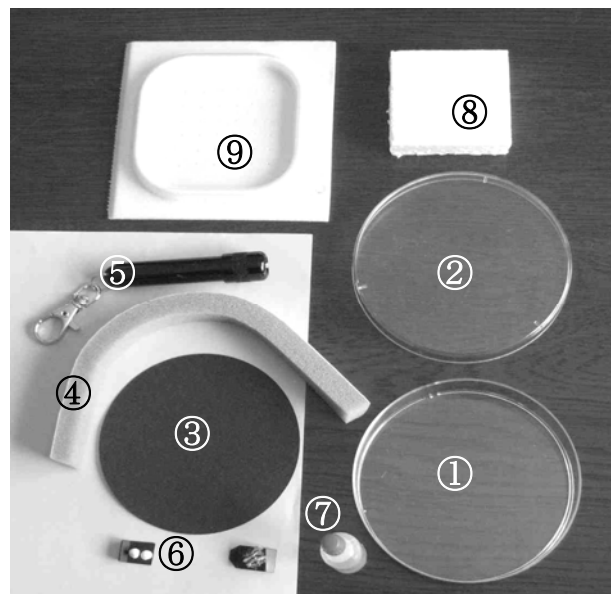


図4 シャーレを用いた最も簡単な霧箱の部品

- ⑤ 懐中電灯
- ⑥ 放射線源（放射線源については5. 章で説明しています）
- ⑦ エチルアルコールを入れた容器（お寿司のしょうゆ用の容器を使っています）
- ⑧ ドライアイス、⑨の中に入れる（軍手をはめて扱ってください）
- ⑨ 板状のスチロールフォーム（ここでは納豆を入れる容器のふたを使っています）または雑巾など、断熱性のあるものならば何でもよい。

⑤ 作り方

手順を以下に示す。霧箱がシャーレではなく、四角のプラスチック容器などの場合にもほとんど同じ手順である。

- 1) 図4の③のように黒い紙を容器の底に収まるようにハサミで切りシャーレの底に敷く。（雑な切り方で良い）
- 2) すきま用スポンジを切り、図5のようにシャーレの中に入れる。この場合に一周にしないで、懐中電灯の光を入れる場所を空ける（馬蹄形になる）。

シャーレよりも深い容器の場合には、容器の上部の内側に一周して貼り付ける（図6参照）。シャーレの場合には、浅いのでそのままに入れるが、うまく円形にならない場合には貼り付けてもよい。

- 3) 図4の⑦に示すエチルアルコール（薬用アルコールではなく、無水アルコールで、薬局で購入できる）を1～2cc スポンジにほぼ一様に垂らす。スポイトを使うのもよい。黒い紙の上にも1～2滴垂らすとよい。
- 4) 図5のように、放射線源（5. 章でやや詳しく説明しています）を中央に置き、シャーレのふたをする。

容器のふたが不透明な場合には、図6のように、食品用のラップフィルムで上部を覆い、輪ゴムで周辺を止める。ラップフィルムを引っ張ってフィルムのしわを伸ばす。容器の上部から放射線の飛跡に沿ってできる霧のスジ（線）を見るので、容器の蓋が透明であれば蓋をしめればよいが、そうでない場合には、このラップフィルム法が簡単であり効果的である。図6には、弁当箱型の少し深めの、矩形の

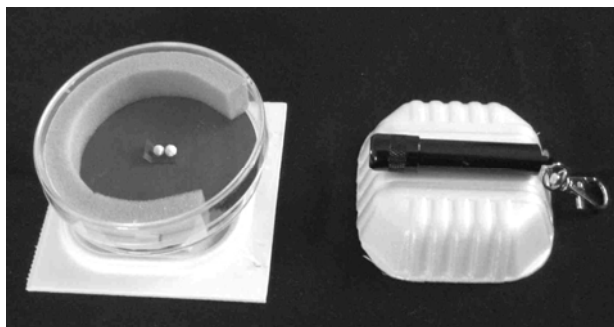


図5 シャーレ型霧箱の完成図

懐中電灯は図では写真のために台に置いているが通常は手に持ってシャーレの横から中を照らす

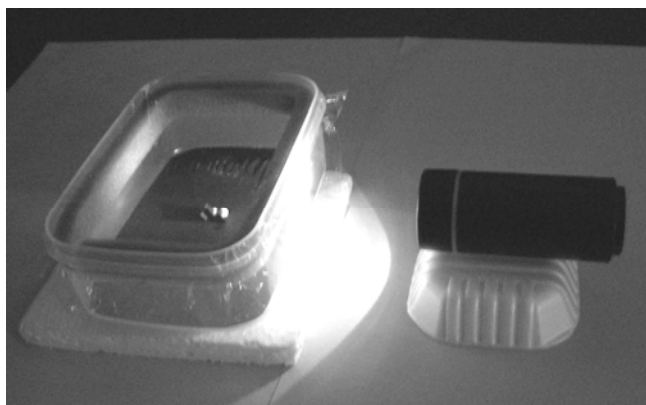


図6 市販のプラスチック容器を使った霧箱 上面は食品用ラップフィルムを輪ゴムで止めている。

プラスチック容器の場合を示す。ふたが不透明だったので、ラップフィルムを上部に被せている。

- 5) 板状のスチロールフォームの上に板状のドライアイス(粉状のドライアイスでも良い)を置き、その上に図5、あるいは、図6、ないし、図7の霧箱を乗せる。容器をほぼ水平に置く(スチロールフォームの場合には、その下に紙を折って調整すると良い)。ドライアイスの取扱は軍手などの手袋をして扱うこと。

シャーレの底やプラスチック容器の底には小さな出っ張りがあるのが普通である。この場合にドライアイスを小さくして、ドライアイスが容器の底の出っ張りに当たらないようにし、容器の底面に直接接触するようにする。このことは極めて重要で、容器の底の温度をより下げることには有効であり、これが大きなポイントである。容器の底とドライアイスの間に隙間があれば温度が下がらず、霧ができにくい。

- 6) 暗幕等を利用して部屋を若干暗くし(暗幕が無ければ、みかん箱などを利用して暗い場所を作るとよい)、シャーレあるいは容器の横から中を照らす。図5、図6、および図7では、懐中電灯を台の上に置いているが、手に持って、底と底から3cmの空間を照らす。数分のうちにアルファ線の飛跡(霧状)が見える。底が薄いシャーレの場合には10~20秒で見える。生徒にゆっくりと鑑賞する時間を与える。
- 7) 実験の終了に際しては、ガーゼなどを用意しておき、生徒に容器をきれいにさせて、後始末をさせ、回収すると、次の実験に容易に再利用できる。
- 8) 飛跡が見えない場合に対するアドバイス

- ① アルコールが少なすぎると過飽和状態になり難いので、また過飽和度が十分でないので、蓋を外してアルコールを追加し蓋を閉めて再び観察する。
- ② 容器の中に雑イオンやゴミなどがあると、飛跡を観察しにくい。定規や塩ビのパイプなどをティッシュペーパーなどでこすって、静電気を起こし、容器の上で動かすと、雑イオンやゴミなどが取り除かれ、飛跡が明瞭に見える。
- ③ 容器をあまり長い時間(容器にもよるが、ほぼ10分以上)ドライアイスの上に置くと、容器全体が冷えて、アルコールが蒸発しなくなる場合がある。その場合には、一旦ドライアイスから容器を外し、温かくなってから、アルコールを補給し、再びドライアイスの上に置いて観察する。
- ④ 飛跡が観察できる領域は、容器にもよるが容器の底からほぼ2センチメートル以内であるから、線源の位置が高すぎる場合には、線源をこの領域に移す。懐中電灯の光を照らす位置もこの領域である。
- ⑤ ドライアイスが容器の底に密着しているかどうかを確認する。前述したように、これは極めて重要なことで、容器の底に突起物などがあるとよくない。ドライアイスを小さくするなどして、密着させる。プラスチック容器の底があまり厚いと、霧箱の内部が冷えないのでよくない。

これまで述べてきた方法は、理科教室にあるシャーレや百円均一などで購入できるプラスチック容器あるいは家庭にある小さな食品用の透明なプラスチック容器(ガラスでもよい)を利用した自作の霧箱であり、極めて安価である。しかし、以下に述べるような霧箱キットが市販されている。

2. 2 市販の簡易霧箱キットを用いた実験

(問い合わせ先：(財)放射線利用振興協会)

キットの購入価格(2000円~3000円)の点で、1~2個を購入して、先生がデモンストレーションとして行う実験、または数名のグループで行なう実験に適している。もしもキットの使用後に、先生が若干のメンテナンスをして、キットを繰り返し使用する場合には、購入価格はあまり問題

にはならず、1個で2～3名が実験し、かつ毎年使うことができると思われる。この霧箱は底が平らなアルミニウム板で、ドライアイスと密着し、かつアルミニウムの熱伝導性が良いので、霧箱の内部がよく冷えて、きれいな霧が比較的できやすい。組立てに少し時間がかかる。

容器の底がアルミニウム板で突起物が無いので、容器よりも大きなドライアイスを用いることができるが、2. 1の5)で述べたように、突起物があれば、大きなドライアイスは却ってよくない。

実験の手順はキットに付属した説明書に従えば比較的容易に組立てることができる。

組立てたあと、次のような手順で実験を進める。

- a. スポンジのある側を下にし、容器の側面の穴から、付属のアルコール入りのスポイトを使って、アルコールをスポンジにしみ込ませる。
- b. 次に、容器のアルミニウム円板側を下にしてドライアイスの上に乗せる。この時容器が水平になるように若干調整する（水平でないと飛跡が斜めに流れる）。(スチロールフォームの場合には、紙を折ってその下に入れて調整するとよい。)
- c. 容器の側面にある栓をとり、放射線源がついた栓に交換する。先端の薄片（線源）の位置は容器の底から約2cm 以下になるように、しっかりとめ込む。
- d. 図7に示すように、室内を暗くし、懐中電灯の光を横から当てると、アルファ線の飛跡に沿って生じる霧の線が観察できる。時間が経過すると線源の表面がアルコールで濡れて、アルファ線が出難くなるので、観察は手際よく行う。

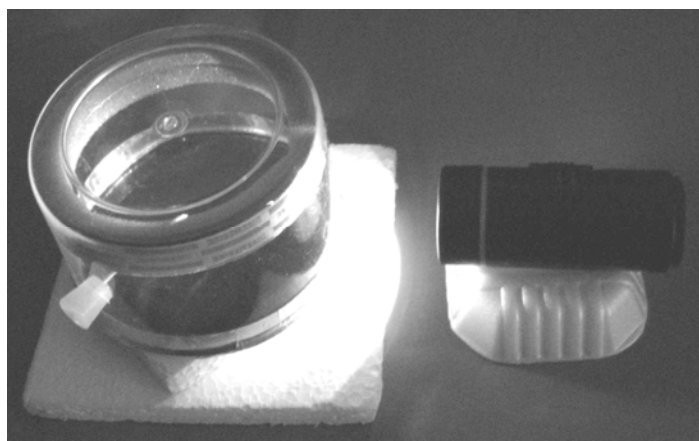


図7 市販の霧箱セットを使用して作った霧箱

2. 3 ガラス容器を用いた霧箱実験セット

(問合せ先：(有)ラド
<http://www.kiribako-rado.co.jp>)

セットの価格(3万円)はやや高価であるが、この霧箱は放射線源を使わずに、自然の放射線(空気中のラドンからのアルファ線、およびベータ線、ガンマ線)を観測することができ、上述してきた霧箱よりも、より鮮明に飛跡を観察できる。

図8に示すように、内径180mm、深さ60mm程度のパイレックスガラ

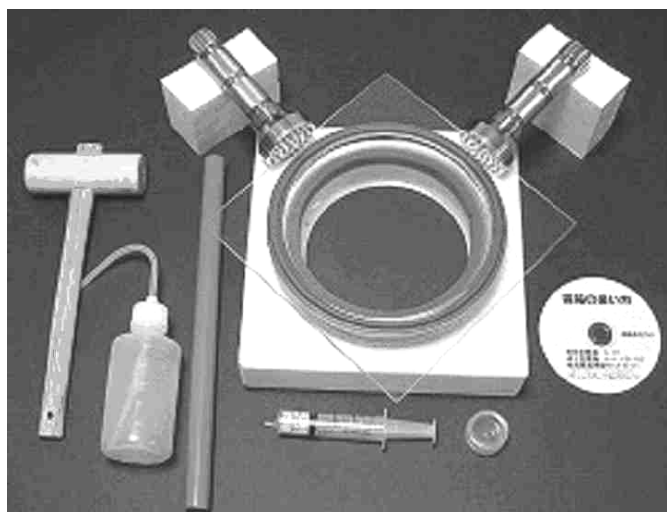


図8 市販のガラス容器霧箱実験セット

ス容器と、52 灯 LED ライト 2 個を使っている。やや大型の懐中電灯でもよい。ドライアイスを細かく砕き、すぐにその上に容器を強く押し付け、ドライアイスとガラス容器との密着性をよくする。ドライアイスを砕いてから容器を押し付けるまでの時間が長いと、砕いたドライアイスの表面に、氷が付着し、ドライアイスが昇華しなくなり、温度が下がらない。セットおよび使用法の詳細はセット付属の資料を参照されたい。

手元に適当なガラス容器（パイレックスガラス製が望ましい。電子レンジ用のガラス容器はほとんどパイレックスガラスである）があれば、自作で同等の実験は可能である。

上記の（有）ラド では、このセットよりも高級な霧箱も販売している。

2. 4 液体窒素を使った霧箱

これまで述べてきた方法は、いずれもアルコールの過飽和蒸気を得るための冷却剤として、ドライアイス（昇華温度 -78.5°C ）を使用する方法である。しかし、場合によってはドライアイスよりも、液体窒素のほうが入手しやすい場合があるかもしれない。そのような場合には、液体窒素を使う方法が有効である。しかし、液体窒素は温度が -195.8°C で極めて低いいため、霧箱を直接冷却すれば動作しない。そのため、霧箱を間接的に冷却する。ドライアイスよりもより低い温度に冷却するので、過飽和度が大きく、ベータ線が見えるなど感度が高い。（以下、インターネット：東京都立西高等学校 森 雄児 氏 の記述による）

準備するもの：

1)液体窒素、保存容器、2)霧箱（電子レンジ用パイレックスガラス）、3)トランジスター冷却用フィン、4)黒っぽい布、5)サランラップ、6)エチルアルコール、7)放射線源（ユークセン石）、9)塩ビ棒

α線を観測する場合の手順：

1)黒い布を丸く切ってガラス容器の底に敷く。布に軽くアルコールをかける。
2)ティッシュペーパーを容器の内面の回りに敷き、アルコールをかける。
3)放射線源をいれ、サランラップでふたをする。
4)発泡スチロールの容器の中に冷却用フィンを置き、液体窒素を入れる。
5)冷却用フィンの上にガラス容器を置く。
6)雑イオンを取り除くために、塩ビ棒をティッシュペーパーでこすり、塩ビ棒を近づける。これは静電気による電界をかけるためである。

これで2、3分すると放射線の軌跡が見える。横からスライドプロジェクターで光を当てると飛跡がさらによく見える。冷えすぎると、霧箱の底に白い霧が立ちこめる。この時はフィンを逆に置く。

3. 簡易放射線測定器（「はかるくん」）を用いた自然放射線の測定

図9に示すような携帯型簡易放射線測定器が、文部科学省の委託事業として、日本科学技術振興財団（東京）から無料で貸し出されている（ホームページ参照）。図9に示す「DX-200」、「DX-300」、「はかるくんメモリー」は、いずれもガンマ線を測定するが、充電式、電池式、持続時間、などにおいて異なる。「はかるくんⅡ」はベータ線の測定が可能である。放射線の種類については、7.1を参照されたい。

使い方の概略は次の通りである。

①電源スイッチを押す。

電源が入って、表示部に待ち時間の表示が点灯し、約35秒で消え、動作状態に入る。

②数字は10秒毎□に表示され、その場所の放射線の強さを表す。「1時間当り何マイクロシーベルト、 $\mu\text{Sv/h}$ 」という単位（この単位については、9.章で説明している）で表示される。

□ 表示は、過去60秒間の測定値を平均し、10秒毎に更新される。従って、測定場所において、約1分待ってから、表示を読み取り、そのまま30秒以上経過してから、再び読み取る。同様に3回目を読み取り、合計3回の値の平均値を求めるのがよい。

③放射線の入射を知らせる音を聞きたいときには、ブザースイッチを押す。表示部にブザー表示が出て、ピッ、ピッという音が聞こえる。

④電源を消したいときは、電源スイッチをもう一度押すと表示が消える。



図9 簡易放射線測定器「はかるくん」 左から、DX-200、DX-300、はかるくんメモリー、はかるくんII

生徒一人一人にこのような測定器を持たせて、自然環境の放射線の強さを測ることができる。

屋内では、木造やコンクリートの建屋、測定階（地上何階、地下何階）、教室内の場所（中央、窓際、壁際）などを測り、屋外では、校庭、特徴のある地面、水の上、銅像の台座などの御影石の上、などを測り、下表のような適当な測定表をあらかじめ作って、それに記入する。

カリ肥料、湯の花、カリウム化合物試料などからは放射線が比較的多く放出されているのでこれらの試料を用意しておくのもよい。

測定表

測定場所 (測定条件を書く) (例)	1回目の測定 ($\mu\text{Sv/h}$)	2回目の測定 ($\mu\text{Sv/h}$)	3回目の測定 ($\mu\text{Sv/h}$)	合計 ($\mu\text{Sv/h}$)	平均値 ($\mu\text{Sv/h}$)
教室の中央					
教室の窓際					
教室の壁際					
校庭の土の上					
校庭の林の中					
御影石の上					
プールの水の上					
感想・考察点					

私達の身の回りのどこにでも自然の放射線があること、場所によって異なること、などが実験を通じて実感できる。また、図 12 で述べるカンテラの芯（マントル）の線源など、適当な放射線源を使えば、図 11 のような放射線の吸収・遮蔽の実験なども可能である。

4. 可搬型放射線測定器（サーベイメータ）による放射線の測定

放射線の性質や放射線の利用などを教えるに際しては、霧箱や「はかるくん」の活用とともに、できれば次に述べる可搬型の放射線測定器（放射線サーベイメータと呼ばれ、市販されている）を、一校に一台備えられることをお勧めします。しかし、比較的高価なので、せいぜい一台程度しか備えることが出来ないと思われるので、それを使って先生が生徒の前でデモンストレーション的に行なう実験、あるいは興味を持った生徒が少人数で行なう実験に限られる。多人数の生徒に対しては、放射線計数の音で放射線の強弱を知ってもらうことになる。このような放射線測定器は各社から販売されているが、「放射線測定器、サーベイメータ」などの用語で、インターネットから情報を得ることができる。

場合によっては、大学や研究所あるいは会社などから測定器を借用することも可能である。

4. 1 GMサーベイメータ

（GM計数管を検出器とした測定器、主としてガンマ線用であるが、キャップを外せば、ベータ線も検出できる）

図 10 に、一例としてアロカ（株）の製品を示す。価格はタイプやメーカーにもよるが、約 25 万円（これは市販価格で教育用はより安価）である。測定目盛として、計数率 CPS（1 秒間の計数）または CPM（1 分間の計数）の目盛と、線量率 $\mu\text{Sv/h}$ （マイクロシーベルト・パー・アワーと読むが 1 時間あたりの放射線量のことである）の目盛の両方があるのが望ましい。

ガンマ線に対する検出効率（検出器に入射した放射線のうち、実際に検出される割合）は 1 %程度、ベータ線に対してはGM管のキャップを外した状態でほぼ 100%、アルファ線は、キャップを外したGM計数管の先端を線源によほど近づけなければ検出できない。

自然放射線計数率は約 20~30CPM であるが、場所によって放射線の強さが異なるので、校庭の御影石の上（やや多い）やプールの水の上（やや少ない）などの環境放射線を測定することができる。塩化カリウムの 500 g 試薬瓶を近づけると 50 ~100CPM（K-40 からのガンマ線を計数している）、キャップを取った状態で後述のカンテラのマントル線源（図 13 の左側の円形の線源）を近づけると線源にもよるが約 1500CPM（主としてベータ線を計数している）である。

図 11 に示すように、マントル線源などを使い、線源と計数管の間に、紙、プラスチック、アルミニウム、銅、錫、鉛などの薄い板を置くことによって、放射線の吸収の実験ができる。これは、紙



図 10 ガイガー・ミュラー計数管（GM 計数管）式の可搬形放射線測定器



図 11 マントル線源とGMサーベイメータを使ったベータ線の吸収実験

産業や、鉄鋼産業において使用されている放射線の厚さ計の原理を教えることにもなる。

4. 2 シンチレーションサーベイメータ

(主としてガンマ線用であるが、ややエネルギーの高いX線も測定できる)

図 10 のGM計数管の部分、NaI(Tl)などのシンチレーション検出器で置き換えたものといってもよい。目盛は、計数率表示と線量率表示の両方あるのが望ましい。価格は 50 万円程度である。ガンマ線に対する検出効率は数 10%で、自然放射線計数率はタイプにもよるが、約 100CPM である。ベータ線、アルファ線は検出しない。前述のマントル線源を近づけると計数率は 1000CPM 程度になるので、ガンマ線に対する放射線吸収実験ができる。

4. 3 電離箱サーベイメータ

(X線、ガンマ線用であるが、電離箱のキャップを外せばベータ線も測定できる)

電離箱式のサーベイメータには、目盛に線量率 $\mu\text{Sv/h}$ の表示と積分型の線量 μSv (または mSv) の表示の両方があり、必要に応じて切替えて使うタイプがあるが、このタイプを選ぶのがよいと思われる。価格は約 35 万円である。放射線に対する感度は低く、自然放射線強度は線量率表示ではほとんど指示しない。しかしこのような場合においても、線量率表示から線量表示に切替えて積分型にし、時間をかけて測定すれば可能である。電離箱式は放射線を一個一個数えるのではなく、微小な電流を測定しているので、実験内容は限られる。先端のキャップを外して前述のマントル線源を近づければ、ベータ線が検出され $5\mu\text{Sv/h}$ 程度を示す。

その他、いろんなタイプの測定器があるが、いずれにしても比較的高価なので、購入に際しては経験者の助言を得るのが望ましい。

また、いずれも電池で動作するので、学校で一年に一回程度使用した後、長期にわたって使用しない場合には、電池を外しておくのがよい。

5. 放射線源 (単に線源と呼ばれることが多い)

(参考：(財)放射線利用振興協会：原子力体験セミナー「霧箱による放射線飛跡の観察」

(有) ラド<http://www.kiribako-rado.co.jp/play/play1.html>)

放射線を扱う実験において、先生方が気にされるのは放射線源の入手や取扱ではないかと思われる。実験で用いる放射線源は、ほとんどすべて自然界に存在するものや、一般に市販が認められている製品です。

(a) モナザイト

希土類元素を主成分とし、酸化トリウムを 4～10%程度含むリン酸塩鉱物

(Ce,La,Nd) $\text{PO}_4(\text{ThO}_2)$ で、風呂に入れてラドン温泉的に使用されたり、健康グッズに使用されたりしている。直径 2mm程度に焼成されたものが、少量は市販されている。図 12 は、直径 1～3mmに焼成されたモナザイトの顆粒とそのうちの直径 2mm程度の顆粒 2 個をプラスチックの台に接着した線源を示す。この線源で、 α 線の飛跡が 1 秒間に約 2 個観測できる。この線源はモナザイトを購入して



図 12 モナザイトの顆粒とそれを用いて作製した小線源

自作できるが、ご要望に応じて線源の形でご協力することを考えている。なお、この線源は中部原子力懇談会の考案による。

(b) アウトドア用ランタンのマントル（芯）

キャンプなどで用いる照明器具のランタンの芯に相当するマントルには、一部の製品に輝度を高めるために、ごく微量の酸化トリウムを含浸させているものがある、図 13 参照。これを小分けし、プラスチック片などに接着すれば線源として使用できる。ただし、この小分けの作業は、できれば私共の専門集団にご相談ください。

このマントルを中に入れた注射器のピストンを 1~2cm 引き、中の空気を霧箱の中に入れると、ラドン（トロンとも呼ばれる、Rn-220）ガスからのアルファ線と、娘核種 Po-216 からほとんど同時に放出されるアルファ線を観測することができる。Rn-220 の半減期は 55.6 秒なので、アルファ線の飛跡の数が急に少なくなっていくことも観測できる。

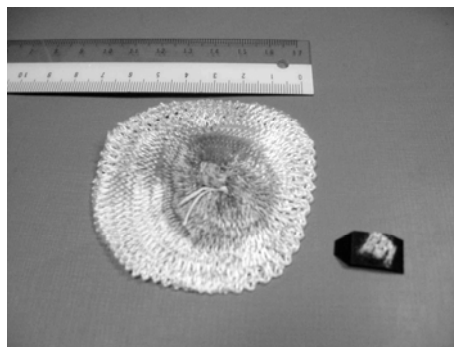


図 13 ランタンのマントルと、それを小分けして作った小線源

(c) 鉱石

- ユークセン石（ウラン 238 を 7~8%、トリウム 232 を 4~5%含む）
- 放射性鉱物標本：閃ウラン鉱、燐灰ウラン鉱、燐銅ウラン鉱

これらの鉱石を中心とした自然放射線源のセットが高価ではあるが市販されている。

(d) 化学実験用の試薬 KCl や KOH などからは、あまり強くはないが、K-40 からの放射線が出ている。

(e) 温泉の湯の花からも放射線が出ており、高価ではあるが入手できる。

(f) 空気中のゴミを集塵機あるいは掃除機でフィルタの上に集めた線源

コンクリートで囲まれた部屋の空気中には、ラドンガスがコンクリート壁から放出され、その娘核種がエアロゾルやゴミなどに付着して漂っている。これを、集塵機などでフィルタ上に 2~3 時間かけて集め、小さく切って、クリップなどに挟んで霧箱の中に入れるとアルファ線による飛跡が観測できる。ただし、家庭用の掃除機を使用する場合には、フィルタの負荷と長時間使用による掃除機の過熱に注意する必要がある。

(g) 岡山県の人形峠の土や過燐酸石灰を洗淨瓶に入れて密封しておき、中に溜まったラドンガスを活性炭に吹き付けて線源として用いる。或いは霧箱の中へ直接注入する。注 1) 鳥取大学工学部の中村麻利子教授の方法で、放射線教育フォーラムにおいてもこのような誰でも容易に行うことができる方法の提供について、より詳細に検討中である。

これらはいずれも法律による規制値以下の微量の放射能レベルなので、安心して使用できる。しかしながら、先生ご自身であっても、図 12 のモナザイトの顆粒や、図 13 のマントルそのものを扱う場合には専門家に相談の上、行なって下さい。小分けのために、ランタンマントルを切り刻んだり、鉱石を砕いたりすると微細片が飛散します。このような行為はできるだけ避けて下さい。

小分けした線源は、素手で扱ってもよいができればピンセットなどを使うのが良い。学校への持込に関しては、先生方は、小さな線源であっても個数を確認し、実験以外の時の保管に際しては、それが何であることを明記したラベルを貼り、鍵のかかる棚などに、化学薬品と同等の管理をしていれば完全である。

不要になった場合には、各自治体で定めるゴミ収集の方法（可燃、不燃等）に従って、通常のゴミ

ミとして廃棄して問題ありません。図 12、図 13 における小分けした線源は不燃物です。詳細は、放射線教育フォーラム、放射線利用振興協会など、専門機関にご相談下さい。

先生方への線源の配布については現在検討中です。

6. 霧箱における放射線の飛跡の形成原理の説明

2. 1 の始めに述べたように、アルファ線やベータ線のように電荷を持った放射線が通ると、その通り道に沿って原子や分子を電離する。電離が起きますと、原子や分子はイオンになる。今まで述べてきた霧箱の中はほとんどが窒素分子と酸素分子で、過飽和になっている少量のアルコール分子がある。この中をアルファ線が通ると、その道筋に沿って、主として窒素分子や酸素分子のイオンができる。このイオンが中心核になって過飽和のアルコール分子が集まり液滴ができる。そして、放射線が飛んだ跡（飛跡と言う）が白い線になって目に見える。これが霧箱です。

ちなみに、霧箱は、ウイルソン（英）が発明し（膨張霧箱）、1927 年にノーベル物理学賞を受賞している。霧箱には、大きく分けて膨張霧箱と拡散霧箱があるが、今まで述べてきた霧箱は拡散霧箱（以後、単に霧箱と呼ぶ）であり、以下でもこの霧箱について述べる。

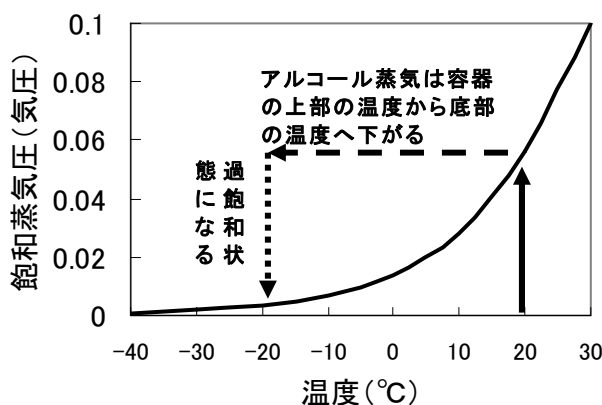


図 14 エチルアルコールの温度と飽和蒸気圧の関係

過飽和の気体を作るには、空気の中に水蒸気を発生させる方法もあるが、エチルアルコール（消毒用のアルコールではなく、無水エタノール：試薬販売店や薬局で購入できる）は常温でも早く蒸発し、飽和蒸気圧が高いので好適である。したがって、空気の中にエチルアルコールを蒸発させる方法がよく用いられている。図 14 にエチルアルコールの温度と飽和蒸気圧の関係を実線で示す。

実線の下部では飽和蒸気圧以下なので、エチルアルコールは気体の状態です。実線の上部では飽和蒸気圧以上なので基本的には液体の状態です。

今、霧箱の上部のスポンジに沁みこませたエチルアルコールの温度が 20°C であるとし、盛んに蒸発して飽和蒸気圧（0.0580 気圧）近くになっているとする（実線の矢印）。容器の底部はドライアイスで冷却されているので、このエチルアルコール含む空気は下降し、たとえば -20°C のような低い温度になる（粗い点線の矢印）。この温度での飽和蒸気圧は 0.0036 気圧と非常に低いので、その差 0.0544 気圧（0.0580-0.0036）のアルコールの蒸気は余ることになり、いわゆる過飽和状態という不安定な状態になる。

この過飽和の不安定な気体の状態は本来ならば液体の状態なので、何かのきっかけがあれば気体は凝結して安定な液体になろうとする。そこへアルファ線などが走ると、その道筋に沿って窒素分子や酸素分子のイオンができ、そのイオンに、過飽和の余ったアルコール分子が付着してアルコールの液滴ができ、光を反射して白い線として見える。しかし液滴になるには、飽和蒸気圧の数倍の過飽和蒸気圧が必要なので、このような領域は容器にもよるが、容器の底から 2 cm 程度以下に限られる。凝結させるには、このような過飽和度の大きな領域を作ることがポイントである。空気中

のイオンと同じようにチリなどもアルコール蒸気の凝結のきっかけになる。

寒い冬の朝に、外で息を吐くと白くなることは誰もが経験している。これは何故でしょうか？ この現象は霧箱の原理を理解して頂くのに好適な身近な現象です。

肺の中の空気には水蒸気が、ほとんど湿度 100% で含まれている。「ほとんど 100% で」という意味は、「ほとんど飽和水蒸気圧で」という意味です。肺の中の温度 35°C の飽和水蒸気圧は 0.056 気圧です。しかし、外気が低くて 5°C の場合には、そのときの飽和蒸気圧は 0.008 気圧です。

息を吐くと、肺の中の高い温度において飽和水蒸気圧になっている空気が、急に外気の低い温度（例えば 5°C ）にさらされる。すると、過飽和の状態になる。すなわち、 0.058 気圧 $- 0.008$ 気圧 $= 0.050$ 気圧の水蒸気は余ることになる。そのときに、もし外気の中に小さなほこりやイオンなどがあると、それを中心核としてその周りに、余っている水蒸気が集まり、多くの水滴ができることになる。これが白い息です。

もし、小さなほこりなど（エアロゾルと呼ばれる）がなければ水滴はできない。空気中にはイオンもあるが、あまり多くはない。南極ではほこりが殆んどないので息は白くならないと言われています。

飛行機雲は、エンジンの排気の中の多量の水蒸気が急に冷やされ過飽和状態になり、排気の中の多量のイオンやほこりが核になって水滴ができ、線状の雲となったものです。寒い冬の朝、窓ガラスの内側に水滴ができるのも同じ現象です。

身近な現象を通じて、原理を理解することは生徒達にとってもとても重要であると考えます。

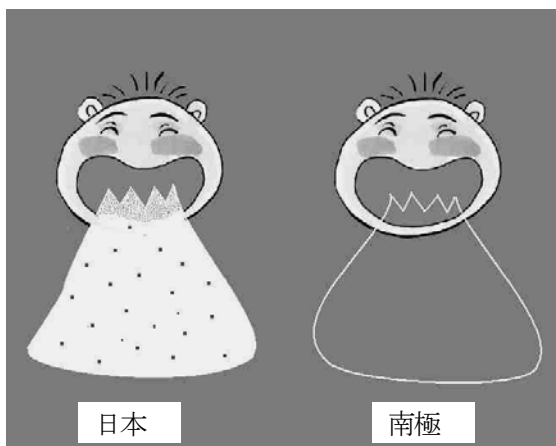


図 15 日本では冬の寒い日に、外で吐く息は白くなるが、南極では白くならない。大気中にほこりがないからである。