

放射線の性質の単元における教材と使い方

中村琢（岐阜大学）

nakamura.taku.a5@f.gifu-u.ac.jp

1. はじめに

筆者はこれまで放射線の教材開発や教育活動に数多く従事してきた。多くの教員と放射線の内容や教材、それらを用いた授業などについて議論した経験から、多くの教員が放射線の内容に苦手意識を感じていることを実感した。加えて、この単元の授業で、座学が中心となり、実験や観察をほとんどしていないことを知った。原因の多くが、教員自身が放射線の内容を学習した経験に乏しいこと、勤務校に実験道具がない、または不足していることなどによることもわかった。

2017年告示の現行の中学校学習指導要領では、放射線の単元がこれまでの第3学年から第2学年に移行した。第3学年に設置されていたときは、教科書の最後の単元に掲載され、高校入試などが終わった卒業間近の時期に扱うことが通例であった。第2学年に移行した現在は、従前よりも重要度が増したように感じる。東日本大震災後の放射性物質による大地の汚染や、その後の除染活動、放射性廃棄物の問題、エネルギー政策の問題など、国が抱えているこれら多様な問題の理解や判断にも放射線の知識が不可欠である。学習指導要領における放射線の内容の変遷や教科書における扱いなどについては、中村（2015）にまとめてある。

本研修では中村（2017, 今回配布します）で紹介した、放射線の飛跡を可視化する高感度霧箱の作り方と使い方、それを用いた中学校の授業の展開例についてまとめる。高感度霧箱は放射性物質を線源として用いることなく、環境中の自然放射線の飛跡を可視化できる点が優れている。一方、この霧箱の授業における使用には、霧箱本体や光源の用意だけではなく、ドライアイスやエタノールなどの消耗品も用いる。霧箱の材料を用意し、授業中で観察させるための準備は、他の実験教材と比較して容易ではない。そこで、本稿では高感度霧箱で観察した放射線の飛跡を撮影した動画を授業で使用方法も提案する。

2. 教材の作成

（1）準備物

プラスチックダンボール A（横方向の平行線入り）、プラスチックダンボール B（縦方向の平行線入り）、発泡スチロール板、ドライアイス（2kg ブロック）、エタノール（500mL、純度 99% 以上の物がよい。大量に使う場合は、プロパノールで代替でき安価である。）、アルミ板（0.8~1.0mm 厚）、はさみ、カッターナイフ、軍手、定規（20cm~30cm）、スコッチテープ（透明セロハンテープ）、布製ガムテープ（黒色、幅~50mm）、ホッチキス、ペットボトル（500mL）、糸、ラップフィルム、ストレッチフィルム、黒厚紙（2枚）、黒画用紙（2枚）、輪ゴム（大 2 本、小 4 本）、注射器（シリンジ 50mL と注射針）、ガスランタン

用マントル（放射線源として使用する。自然放射線の観察だけでなくとも良い）、LED 光源、AC アダプター、黒布、ライトカバー（黒色の小さな紙）。

(2) 高感度霧箱の作製

1. プラスチックダンボール A の線（横に平行な線）の上に定規を置き、図 1、図 2 のように直角に折り曲げる。蓋と底のない箱を作る。

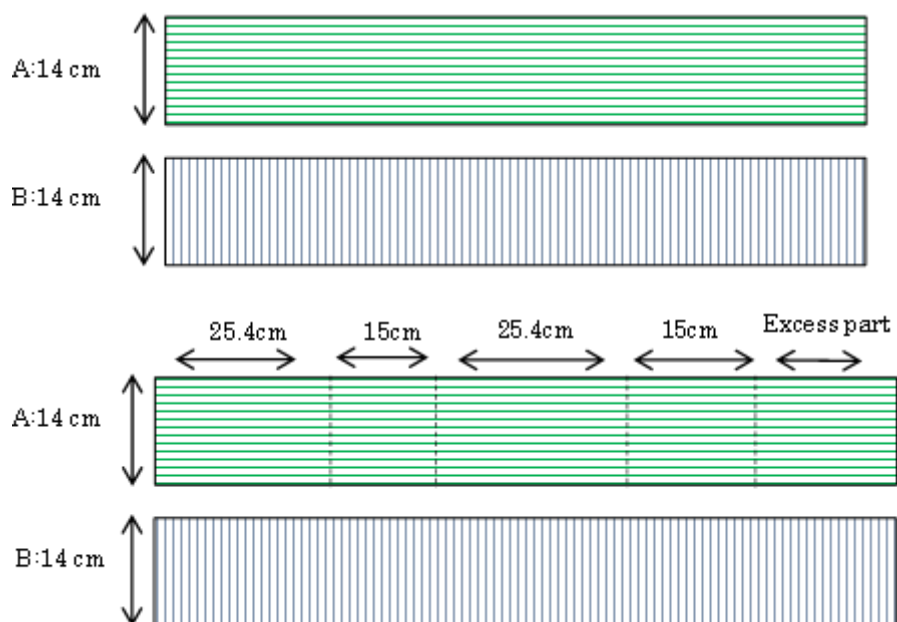
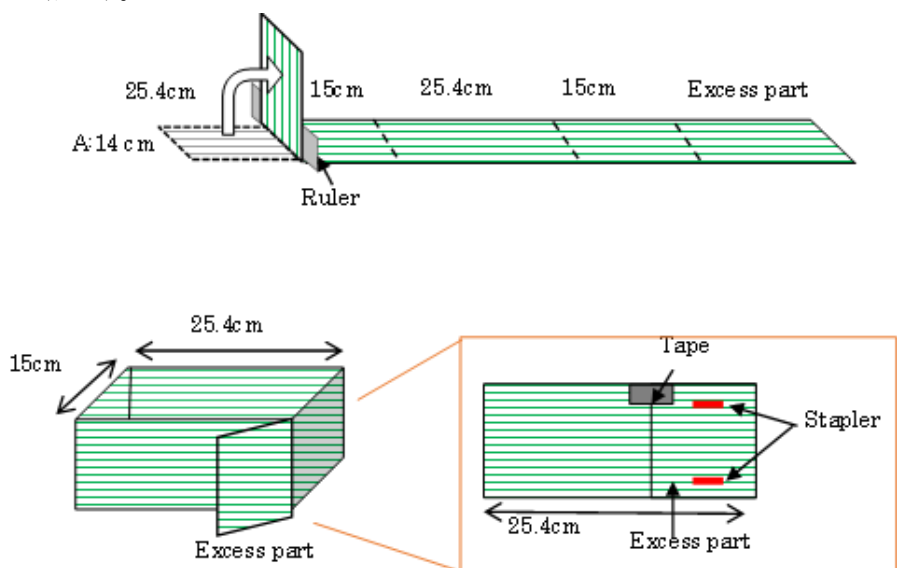


図 1

2. プラスチックダンボールの余分な部分を重ね合わせ、上部を梱包用テープで固定する（図 3）。



上：図 2， 下：図 3

3. プラスチックダンボール A の端からプラスチックダンボール B で箱の外側を覆い、構造物の四方を二重になるように重ねる (図 4)。

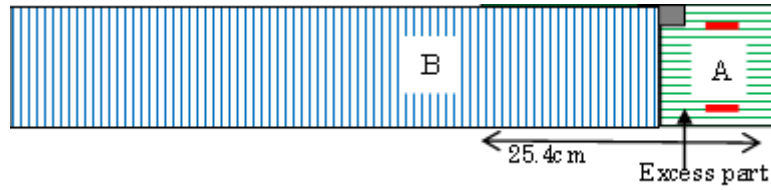


図 4

4. ホッチキスで上下の 2 点を四方に固定する (図 5 の赤い位置)。

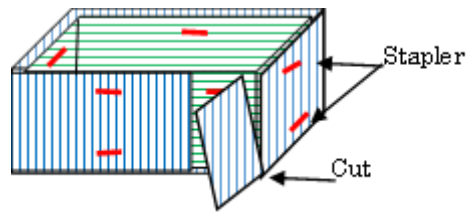


図 5

5. この箱の下側に黒い布をかぶせる。黒い面が内側になるように布を貼る。布を箱の中央に置いて伸ばし、梱包用テープで箱の四方に固定する (図 6, 図 7)。
6. 布の上から 120mm の小さな輪ゴムを 2 本、箱に巻き付けて固定する (図 8)。

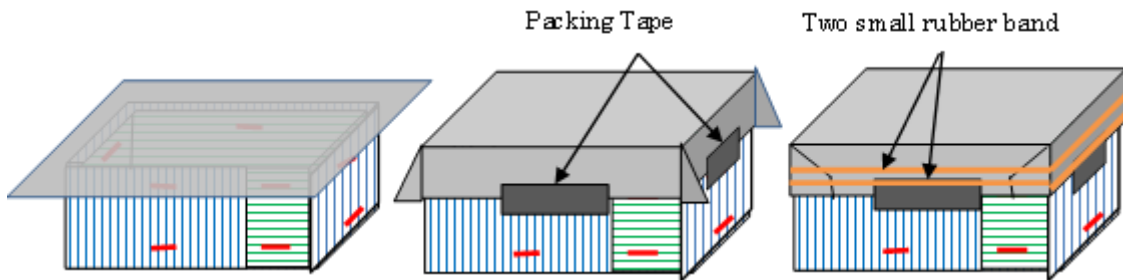


図 6

図 7

図 8

7. 布の上からストレッチフィルムをかぶせ、さらに輪ゴムを巻きつける (図 9, 図 10)。ストレッチフィルムはサランラップよりも強度があり穴があきにくい。

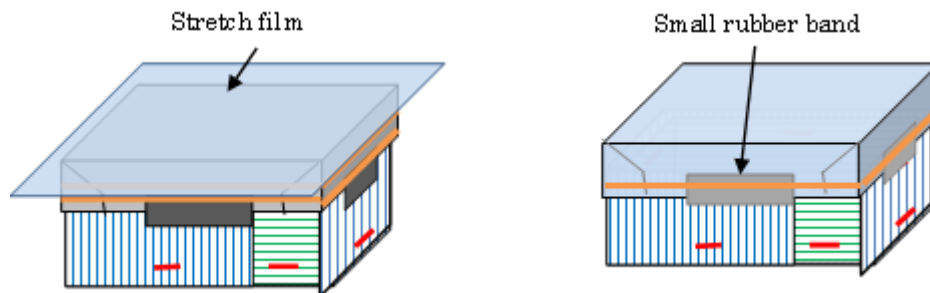


図 9

図 10

8. プラスチックダンボールの箱の四方の布がかかっていない部分に梱包用テープを貼る（図 11）。箱の内側底面が布で覆われるようにして固定する。

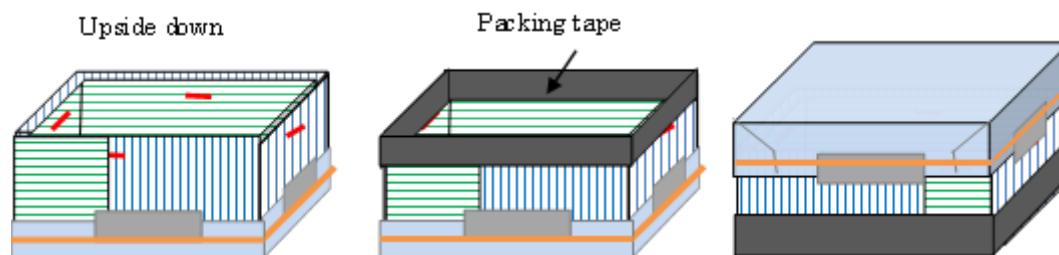


図 11

9. 図 12 のように発泡スチロールのパーツをガムテープで接着し、ドライアイスの台座を作る。箱の外側のみガムテープで固定する。

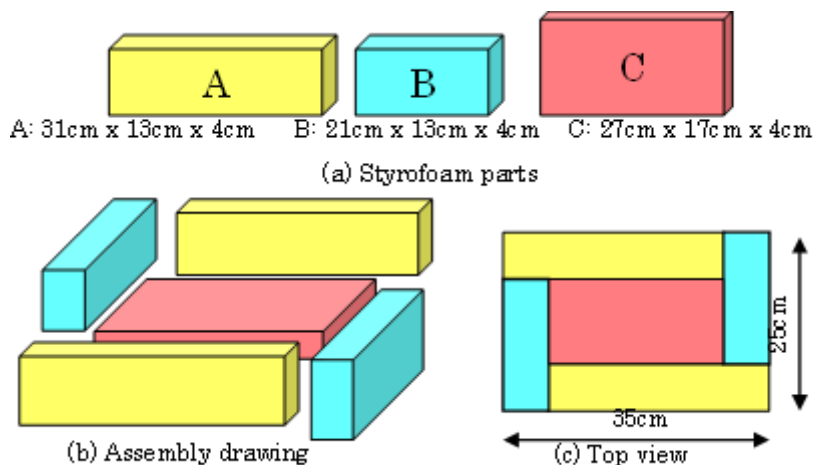


図 12

(3) 高感度霧箱のセットアップと観察

1. 発泡スチロールの台座に 2kg のドライアイスブロックを入れる（図 13, 14）。

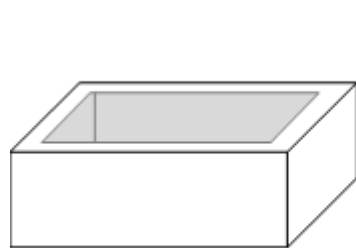


図 13

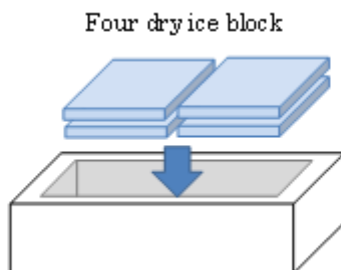


図 14

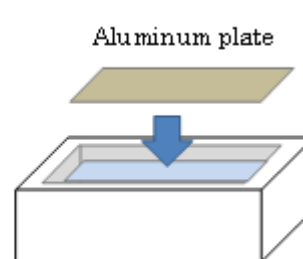


図 15

2. アルミ板をドライアイスの上に置く（図 15）。

3. アルミ板の上に霧箱を置く。霧箱の布面を下向きにする（図 16、図 17）。

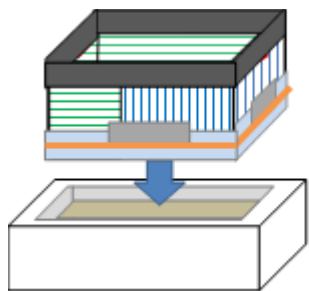


図 16

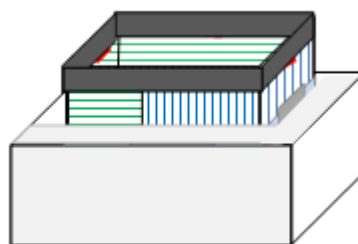


図 17

4. 霧箱にエタノール 500mL を注ぐ（図 18）。

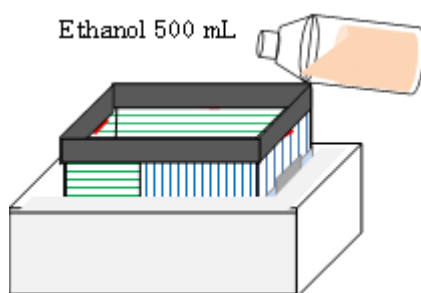


図 18

5. 黒い厚紙をエタノールで十分に濡らし，霧箱の内側の側面に貼り付ける（図 19）。

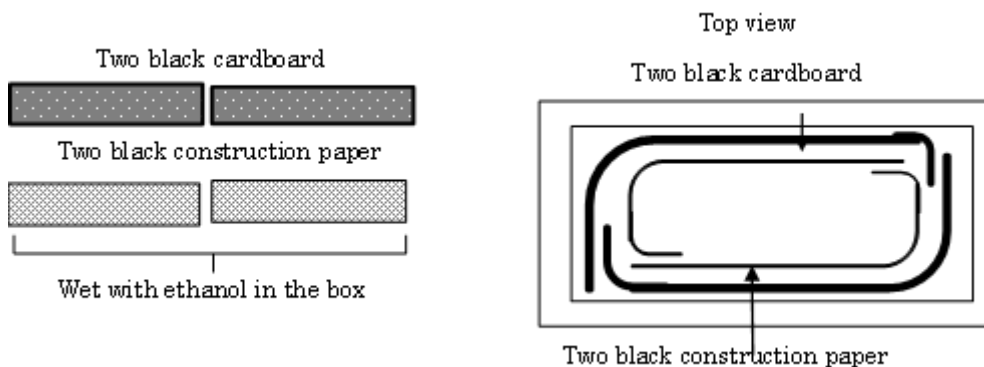


図 19

6. 同様に黒い画用紙をエタノールで濡らし，厚紙の内側に貼り付ける（図 19）。
7. ラミネート定規を霧箱内の厚紙の上に引っ掛けるように置く（図 20）。これは放射線の飛跡の長さを測って放射線の種類と放射性核種の種類を同定する高等学校の探究活動などに用いる。中学校理科では定規は不要である。アルコールの液滴で濡れるため，印刷した定規の目盛りをラミネートフィルムでコーティングするとよい。

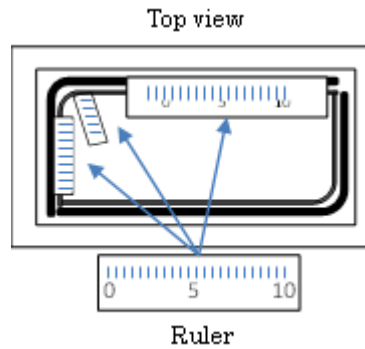


図 20

8. 霧箱の上面をラップフィルムで覆い、しわが寄らないように伸ばす (図 21)。

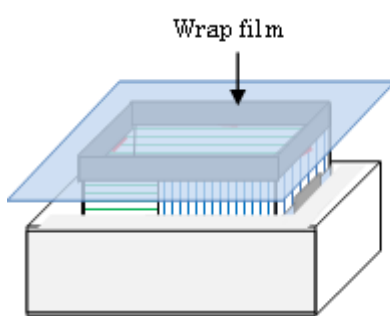


図 21

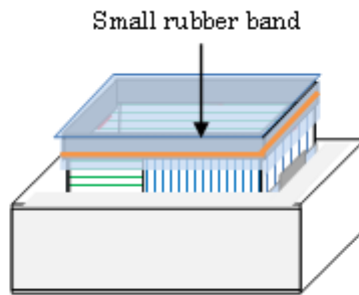


図 22

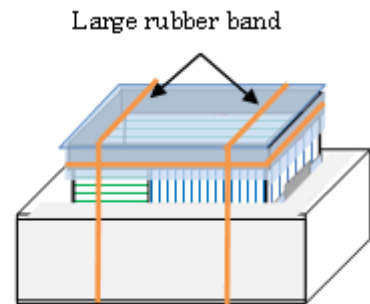


図 23

9. 霧箱のラップフィルムの上に小さな輪ゴムをかける (図 22)。
 10. 霧箱と発泡スチロールの箱が一体となるように、大きな輪ゴムで左右を固定する (図 23)。
 11. LED 照明を雲箱表面近くのラップフィルム上に配置する (図 24)。LED ケーブルを AC アダプターに接続し、AC100V の電源を接続する。ライトガードを LED の上に置く (図 25)。ライトガードは光源の光が直接目に入れないために用いる。

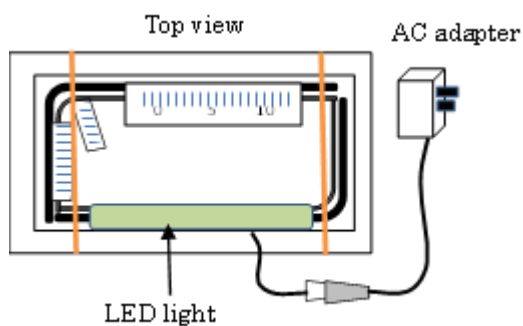


図 24

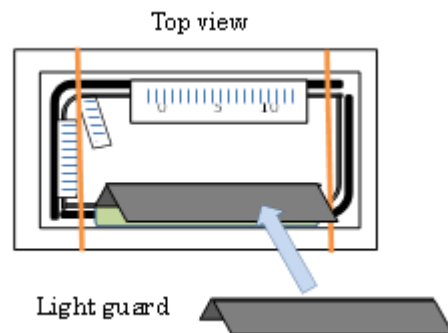


図 25

12. この状態を維持し、15 分間待つ。霧箱内部に一様な温度勾配ができ、上部で 8 cm 程度の過飽和層ができるまでに 15 分くらいかかる。

3. 霧箱の使い方と動画教材

霧箱の用意が難しい場合には、それに代わる方法として観察動画を用いて放射線の性質を学ぶ方法を提案する。小中学校理科だけでなく、高等学校の物理基礎、物理、大学の放射線教育教材としても使用できる。主な使用例は中村(2017)に示した。これをもとに次の3種類の動画教材を作成した。

動画情報

動画1 放射線の観察 <https://www.youtube.com/watch?v=DXMznlv-74>



動画2 霧箱で見る放射線の性質 https://www.youtube.com/watch?v=X_8XTCN_nio



動画3 α 線 <https://www.youtube.com/watch?v=APX0JLwGJZc>



動画を観察するだけでも、放射線のふるまいを思考することができる。例えば高校の物理までの内容で展開するなら、次のような流れが考えられる。以下では、学習者に提示する課題の形式でまとめた。

観察 1 次の動画1は室内に霧箱を置いたときに得られた動画である。室内には放射線を出す放射性物質を使用していません。放射線の飛跡はどのように観察できますか。絵と言葉で現象を記述してください。観察した後に、近くの学習者と気づいたことを共有して、それが正しいかどうかを、再び動画で確認してください。(動画1)

観察 2

- (1) 霧箱を用いた環境中の放射線の飛跡を観察すると、図 26 のような飛跡が観察された。(a)～(d)は何の放射線の飛跡と考えられますか。またそのように考える根拠を説明してみよう。

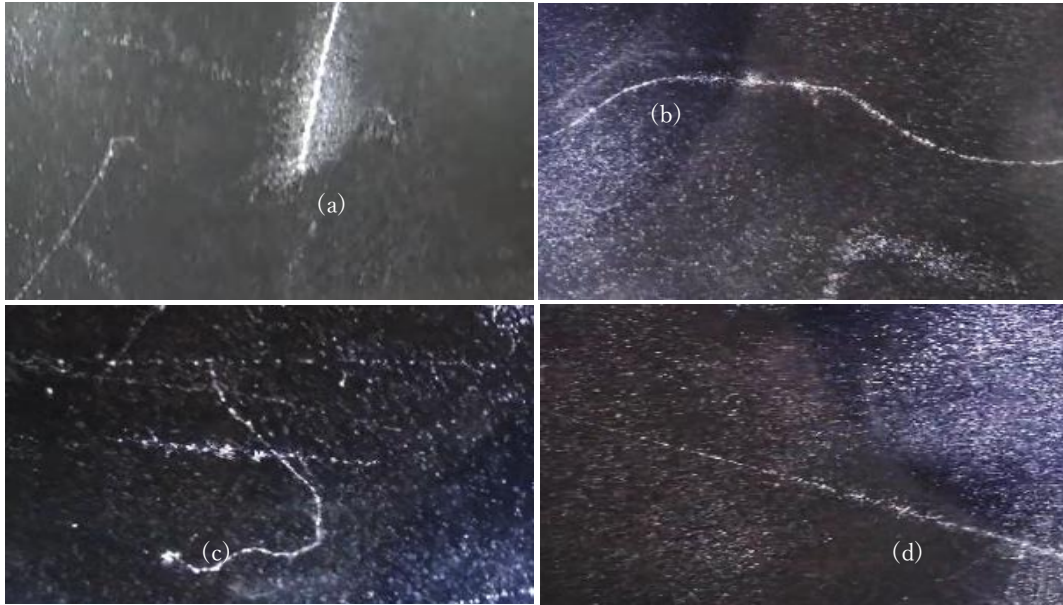


図 26 霧箱で観察された放射線の飛跡

- (2) 観察された放射線の飛跡はどの種類が多いですか。再度観察し、発生頻度が高い放射線、頻度が低い放射線は何でしょうか。その理由も予想してみよう。周りの学習者と議論してみよう。(動画 1)

観察 3 (動画 2)

- (1) 霧箱の上面や側面に花崗岩、マントルを近づけたときに観察される飛跡の特徴を絵と言葉で説明してください。
- (2) 花崗岩、マントルの間に間隔を取ったとき、観察される放射線の種類や数、見え方などはどのようになりますか。またそのようになるのは、どのように説明すれば良いでしょうか。言葉で説明してください。
- (3) 花崗岩、マントルと霧箱の間に、1 mm厚のアルミニウム板を1枚ずつ挿入すると、観察される放射線の種類や数、見え方などはどのようになりますか。アルミニウム板の代わりに1 cm厚の鉄板を挿入した場合はどうでしょうか。言葉で説明してください。
- (4) これらの観察から放射線の種類と透過力について説明してください。
- (5) 霧箱による放射線の観察から、 α 線の飛跡はほとんど観察できませんでした。この理由は何でしょうか。

- 観察 4** α 線は透過力が弱いために、霧箱内でその飛跡を観察するのは困難でした。それでは、放射線源として使用しているマントルをシリンジ(注射器)に詰めたものを、

シリンジ内の空気と一緒に直接、霧箱の本体の中に入れてみましょう。このマントルには、 α 線のほか β 線、 γ 線を放射する放射性物質が含まれています。観察できた放射線の飛跡を絵と言葉で説明してください。観察後に、近くの学習者と情報を共有し、それらが正しいか検証してください。(動画3)

観察5 マントルに含まれる放射性核種のうち、 α 線を放出する放射性核種の寿命を調べてみましょう。 α 線の飛跡数を一定時間(たとえば10秒間など)ごと数えて、飛跡数が時間経過とともにどのように変化するか調べます。結果をグラフにかいて、およその半減期を求めてみましょう。(動画3)

参考文献

- 1) 中村琢, 中学校教員のための放射線教育, 教師教育研究, pp.53-62, 岐阜大学教育学部, 2015.
- 2) 中村琢, 理科の「見方・考え方」を働かせ資質・能力を育てる 中学校 エネルギー領域の授業「放射線の性質と利用」小学校・高等学校の実践比較から, 理科の教育, 2017.

理科の「見方・考え方」を働かせ資質・能力を育てる中学校エネルギー領域の授業
「放射線の性質と利用」 小学校・高等学校の実践比較から

中村 琢

1. はじめに

新学習指導要領では、児童生徒に身につけさせる資質・能力を具体的に示し、理科の見方・考え方を、「自然の事物・現象を、質的・量的な関係や時間的・空間的な関係などの科学的な視点で捉え、比較したり、関係付けたりするなどの科学的に探究する方法を用いて考えること」と整理した。

その中で中学校のエネルギー領域では、「放射線の性質と利用」が大きく変更され、これまでの第3学年に加えて、第2学年でも放射線を扱うこととなった。背景には2011年の原発事故の影響も関係していると考えられる。さらに、東日本大震災以降の人々の放射線に対する不安や、関心の高まりのある中、理科では放射線について科学的に理解することが重要であるとし、学習を通して、生徒たちが自ら思考し、判断する力の育成や、他教科との関連の可能性などにも言及している¹⁾。

正しい科学概念の獲得には、観察・実験などの体験を通して、手を動かして学ぶことが不可欠である。観察・実験および探究的要素を伴い、かつ、理科の見方・考え方を働かせて資質・能力を育てる理科授業について考えたい。本稿では「放射線の性質と利用」を取り上げ、生徒同士の主体的な学習を促進させる教材と、中学校での実践例を示すとともに、社会的な問題等への発展について論じる。

2. 教材とねらい

放射線の単元の指導が中学校の教員にとっても難しく感じる要因の一つに、放射線が目に見えない存在であることが挙げられる²⁾。GMサーベイメーターや「はかるくん」などの放射線測定器には、放射線の飛来を数値や音で知らせるものもあるが、何といても存在を肉眼で観察し、放射線の飛跡

を空間的に捉えられる教材が勝る。

本稿で紹介する霧箱は、ドライアイスとアルコールを使って過飽和層を作る拡散霧箱である(図1)。霧箱の感度を決めるのは過飽和層の厚みであり、厚いほど放射線の飛跡の視認性が高い。ドライアイスと霧箱の筐体との密着を良くして断熱性を向上させると過飽和層は5cmほど確保できる。このくらいあると放射線源を使わなくても、環境中の自然放射線の飛跡を観察できる。加えて、飛跡の太さ、長さ、折れ曲がりや直線性などから、 α 線、 β 線、 γ 線など放射線の種類の弁別が可能である(図2)。材料はいずれも安価であり、ホームセンター等で手に入るものである。

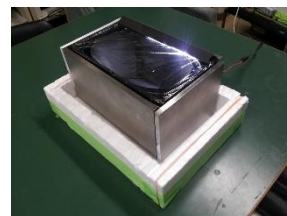


図1 高感度霧箱



図2 霧箱で観察した放射線の飛跡
(左上： α 線，右上： β 線，左下：コンプトン電子，右下：宇宙線)

授業では生徒一人ひとりが放射線のふるまいを十分に観察できるように、2~4人に1セットの霧箱を用意することが望ましい。光源用LEDの半田付けを除いては、小学生でも簡単に作れるので、ものづくりを含めた実践にも利用可能である。

3. 中学校での実践例

ここでは中学校3年の標準的な授業数である2時間で、この単元の授業を提案する。教師が一方向的に生徒に情報を伝えることをできるだけ避けた。複数の実験・観察および対話を通して、生徒集団が思考を積み上げられるようにしてある。事象を空間的に捉え、比較するなど、定量的に扱うことにより、正しい科学概念の獲得を目指す。

(1) 授業デザイン

1 時間目	
導入 5分	GMサーベイメーターを使って見えな い放射線を音で感じる。
観察 5分	霧箱で自然放射線の飛跡観察。飛跡の 種類があることに気付かせる。
探究 10分	生徒の意見を基に放射線の種類の説 明。自然放射線の種類の分析、再観察。
演示 5分	花崗岩・マンテルをGMサーベイメ ーターで測定。
探究 15分	霧箱で放射線の種類と透過力・遮蔽の 実験。 α 線の観察、放射性物質の寿命。
5分	まとめ

放射線の種類と性質の実験では、放射線源として花崗岩と、ランタン用のマンテルを使用する。これらを霧箱に近づけると線源から出る放射線の種類の違いと出現頻度を観察できる。霧箱と線源の距離を変えたり、間に遮へい材を挟んだりして、放射線が物体で止められ、数が少なくなる様子を飛跡の種類と数により数量的に測定できる。遮蔽体として紙、1mm厚のアルミ板、1cm厚の鉄板などを組み合わせて用いると、放射線の種類によって透過力が異なることを確認できる。

β 線、 γ 線は霧箱筐体の壁面を貫通して入り込んでくる。電荷を持たない γ 線は、コンプトン効果の際にはじかれた電子の出現により間接的に補足できる。

透過力の弱い α 線は、霧箱の筐体で止まってしまふ。そのことを説明した上で、 α 線を観察するにはどうすればよいか、考えさせる。マンテルをシリンジに入れ、ラップの上から霧箱の内部に射出する方法で実際にやってみると、太くて短い典型的な α 線の飛跡を観察できる。5分ほどの観察後に、 α 線の出現数の変化を問いかける。線源の投入直後に比べて、数が減少していることを発見させ、放射性物質が放射能には、物質固有の寿命があることに繋げる。

2 時間目	
導入 10分	霧箱動画を見ながら復習。 放射能の単位 Sv と Bq の説明。
観察 15分	環境放射線モニタで校内の環境放射 能測定し、放射能マップ作成。
5分	放射能の減り方、寿命の解説。
グルー プ活動 20分	原発事故の問題を考える。福島で撮影 した霧箱の動画を見ながら、グルー プで考える。
5分	放射線の工業、医療への利用の説明。

2時間目の授業では、霧箱動画を用いて復習し、結果を交流するとともに、福島の問題に触れた。事故後の福島にこの霧箱を持って行き、飛跡を撮影した動画を見せる。 $0.1\mu\text{Sv/h}$ や $0.5\mu\text{Sv/h}$ 、 $1.0\mu\text{Sv/h}$ といった数値の違いは何なのか、思考させた。同じ霧箱を用いた動画は、飛跡数の比較が容易であり、インパクトも大きい。これまで観察・実験により学んだ事実や知識をもとに、福島の問題をどうとらえるのか、自分たちにできることは何か、グループで考えさせた。

(2) 授業実践

生徒は主に次の3点にまとめた。①具体的な対策について：「放射線防護の三原則」放射性物質から離れる、作業の時間を短くする、コンクリートなどで遮るべきだ。②差別・偏見について：福島の土だけではなく、岐阜の土や花崗岩からも放射線が出ている、差別や偏見は無意味である、震災から6年経った今でも福島の被害は続いている、他人事ではなく日本全体の問題と考えるべきだ。③エネ

ルギー政策について：再生可能エネルギーの追求や、原発に依存しない新エネルギーの開発などを考えるべきだ。



図3 放射能測定結果をマップに貼り付ける

(3) 生徒の変容

概念調査の結果から、授業後に正しい科学概念が獲得されていることを確認できた。放射線を絵で描かせてみると、授業前は、粒子、指向性を持った直線、原子力発電所等の施設、無回答、が大半であったが、授業後には、飛跡の詳細なスケッチや、それに種類の違いの解説を加えたものなど、自然放射線の様子を記録していた。放射線について知っていることの記述では、授業前は、無回答や、福島の問題、病気になること、が多かったのに対し、授業後には、放射線の種類や性質の違い、それを利用した工業、医療の技術などのほか、福島の問題にどう関わるのかといった内容も含まれていた。

4. 高等学校での実践例

本稿で紹介した教材は、高等学校の物理基礎および物理の授業にも最適である。放射線の性質では、霧箱内部に紙や薄いアルミ板などで縦に仕切りを作り、放射線源を外から近づけたり、 α 線源を内部に封入したりして、放射線が物を透過したり遮蔽されたりする様子の定量化が可能である。

また、放射性核種の寿命測定と核種同定ができる。 α 線源に使用するマントルは、トリウム232から始まるトリウム系列の放射性核種が含まれている。放射性壊変系列の図を見せ、放射性核種の半減期と崩壊様式に着目しながら探究活動としての実施も考えられる²⁾。ラドン220は、 α 崩壊してポロニウム216になり、0.145秒の半減期ですぐ鉛212に α 崩壊する。これら一連の崩壊は、霧箱では空間の1点から2回の α 線がほぼ同時に見られ、V字型の飛跡として観察できる。この2本の α 線の出現頻度を測定すれば、ラドン220の寿命が求まる。

5分間程度測定し、グラフにプロットするとラドン220の半減期が求まる。ウラン系列の崩壊図も併せて提示し、探究活動で実施したところ、約3分の1の生徒が20分くらいで正解に到達した。放射線の性質を理解した上での探究になるので、座学で知識を獲得していく過程と比べてより深い学びが実現できると考えられる。

放射線源が手に入らない場合には、空間中の塵を線源として利用できる。家庭用掃除機の吸気口にティッシュペーパーで蓋をして30分程度吸気し、集めた塵を霧箱内部に吊り下げると塵から出る飛跡を観察できる。

5. 小学校での実践例

小学校理科では放射線の取り扱いはない。しかし、原発事故後、「放射線」という言葉は小学生にも広く浸透しており、不安や関心が高まっている。これらの関心の高まりや、小学生用の放射線副読本³⁾で扱っている放射線の性質の理解にも、霧箱教材が適している。先述したように、小学校では霧箱の製作から実施すれば、簡単な工作で見えない放射線の飛跡を見る、という感動が得られる。放射線源を使わず、自然放射線で十分である。

6. おわりに

理科の見方・考え方を働かせ資質・能力を育成するエネルギーの授業について、放射線の性質と利用の単元を例に論じた。事象を量的に扱える教材が、理科の見方・考え方の養成と、深い学びの実現に不可欠であり、理科の楽しさに繋がるものと考ええる。また本単元は社会科など他教科と融合した実践にも効果があると考えられる。

引用・参考文献

- 1) 文部科学省、中学校学習指導要領解説理科編、2017。
- 2) 中村琢、中学校教員のための放射線教育、教師教育研究、pp.53-62、岐阜大学教育学部、2015。
- 3) 文部科学省、放射線について考えてみよう、小学生のための放射線副読本、2011。
- 4) 文部科学省、小学生のための放射線副読本、2013。

なかむらたく(岐阜大学教育学部)