

放射線を安全・安価に視覚化する教材の開発

奥沢 誠 ・ 村岡泰崇 ・ 小柏洋輔

群馬大学教育実践研究 別刷

第 26 号 33～38 頁 2009

群馬大学教育学部 附属教育臨床総合センター

放射線を安全・安価に視覚化する教材の開発

奥 沢 誠 ・ 村 岡 泰 崇 ・ 小 柏 洋 輔

群馬大学教育学部理科教育講座物理学教室

(2008年10月31日受理)

1 はじめに

平成20年3月に告示された中学校学習指導要領は、平成24年4月1日から完全実施されることになっているが、理科の内容は移行措置として、数学等と共に平成21年4月1日から前倒して実施される。今回の改訂では理科の授業時間数が290時間から385時間と大幅に増加され、中でも第3学年は従前の80時間から140時間と倍増に近い。これに伴って多くの内容が追加された。公示から実施までの期間が1年と短く、多くの内容が追加されるため、教育現場では準備が整わないのではないかと危惧する声が多い。

第3学年の内容に追加されたものの一つに「放射線」があり、2で詳細に述べるが、これは約30年間内容に含まれることはなかった。「放射線」に関する教育が中学校で行われたのは、昭和55年度までである。それ以降は、「ゆとり教育」のため、高校でも「放射線」を履修せず、これまで全く「放射線」を学ぶ機会がなかった可能性が高い。

放射線は、地殻や大気中の自然の中に存在する身近なものだとどれだけの人認識しているのだろうか。放射線は、材質の改良、食物の品種改良、医療、蛍光材等に非常に役立っているが、原爆や原子力発電所の放射能漏れ等の負のイメージばかりが先行して、避けられる存在になっているのではないだろうか。如何程の中学校理科担当教員が「放射線」を学んだ経験なしに、「放射線」を教えざるを得なくなるのだろうか、大変危惧される。

本論文では、これらの懸念を払拭する一助として、**安全・安価かつ容易**に放射線を可視化できる教材を提案する。放射線を可視化できる装置には、霧箱、泡箱、

原子核乾板、放電箱などがあるが、リアルタイムで安全に観測できる教材としてはほぼ霧箱に限られる。霧箱は教材として市販されているが、簡易型のものでも3万円弱と高価である。手製の霧箱キットは高エネルギー加速器研究機構などの研究所の一般公開¹⁾の折、来訪者に無料で配布されているが、配布の期間が限定されているし、やや材料費が高価になりがちである。本研究では安全かつ容易に作製・使用でき、放射線を可視化できるこの霧箱を改良し、負担をできるだけ軽減した教材費で生徒一人ひとりに作製と観測を行わせて興味関心を惹き起こすための教材を示し、中学校第3学年の「放射線」教育の一助とすることを目的とする。

2 学習指導要領での放射線の取り扱い

第二次世界大戦後、教えるべき基準として学習指導要領(試案)が告示・実施されてきた²⁾。ここでは、最新の指導要領で内容に追加された「放射線」がこれまで告示・実施されてきた指導要領でどう取り扱われてきたか、を整理する。指導要領で「放射線」がどのように取り扱われてきたかを表1に示す。新指導要領まで含めると、指導要領での取り扱われ方は四期に分けられる。以下、順を追って記述する。

第1期：昭和22年(1947年)告示の学習指導要領(試案)では「宇宙線」、昭和26年(1951年)告示の要領(試案)では「X線」に限定されて、内容に取り入れられている。「宇宙線」も「X線」も放射線の形態あるいは一種と考えてよいが、直接「放射線」という言葉は現れてこない。「X線」はともかく「宇宙線」

表1 中学校学習指導要領における「放射線」の取扱い
記載欄の○は取扱いあり、△は限定的、×はなしを示す。

告示 (施行)	記載	記載内容
昭和22年(試案)	△	宇宙線とは何のことかを書物によって調べる。
昭和26年(試案)	△	X線によってどのようなことが分かってきたか
昭和33年 (昭和33年10月)	○	放射性元素は、放射線を出すことを知る。
昭和44年 (昭和47年4月)	○	放射性元素の原子は、放射線を出して、ほかの元素の原子に変わることを。
昭和52年 (昭和56年4月)	×	陰極線は、負の電気を帯びた粒子(電子)の流れであること。
平成元年 (平成 5年4月)	×	真空放電などを観察し、空間にも電流が流れる場合のあることを確かめる
平成10年 (平成14年4月)	×	
平成20年 (平成24年4月)	○	放射線の性質と利用にも触れること。

は「放射線」よりも一般的に普及している術語ではないと考えられるので、難易度というより当時の国民感情が内容に反映された結果かも知れない。世論の理科内容への影響の例として非常に興味深い。

第2期：「放射線」は昭和33年実施の要領に初めて取り上げられ、昭和47年(1972年)実施の学習指導要領にも含まれていた。約23年間学習内容に含まれていた。

第3期：1977年(昭和52年)に告示され、昭和56年(1981年)度から実施された中学校の学習指導要領から平成14年実施までの学習指導要領には「放射線」が指導内容に含まれることはなかった。

この放射線に対する取り扱いの変化は、スプートニク・ショックに起因して大幅に増量された内容(昭和47年(1972年)実施の学習指導要領)から、これに付いて行けない生徒を生んだ反省により内容が大幅に削減されたゆとりのカリキュラム(昭和56年(1981年)実施の学習指導要領)への流れの一環である。

第4期：OECD(経済協力開発機構)のPISA2006の結果を受けて、平成20年3月に告示された中学校学習指導要領では、ゆとり教育が見直され理数教育の充実が盛り込まれた。理科の時間数が大幅に増加したのに伴い、「放射線」も中学第3学年の内容に追加され、約30年ぶりに復活した。この指導要領において「放射線」は、第1分野の内容「(7) 科学技術と人間、ア エネルギー、(イ) エネルギー資源」で、その性質

と利用にも触れることとされている。

3 放射線

3-1 放射線の種類と性質

放射線は、もともと自然放射線元素から放出される α 線、 β 線、 γ 線のことであったが、現在では、これらと同程度以上のエネルギーをもって運動している素粒子、原子核、光子などを総称している。線とよばれるのは、粒子の流れに方向性がみとめられるのが普通だからである³⁾。

自然界には、地殻の放射線元素から放出される α 線、 β 線、 γ 線などの放射線のほか、大空から降り注いでいる宇宙線(一時宇宙線の大部分は陽子で、そのほかHeなどの軽い原子核が含まれている)が大気中の空気と衝突して生じる各種の粒子、そのうち特に地下深くまで進入する μ 粒子などが存在する。人工的にはX線はX線発生装置で、また粒子線は加速器でつくられる。中性子は加速器でつくられるほか、原子炉においても多量に発生する³⁾。

α 線、 β 線、および γ 線は、放射線の空気その他の物質に対する透過度、電場(電界)および磁場(磁界)による湾曲の度合いおよび方向の違いなどにより区分された。これらの放射線の性質と本体を列記する。

α 線：空気数cmで簡単に阻止される。電場および磁場による湾曲の度合から電荷と質量の比(比電荷)が決定された。ヘリウムHeの原子核(正電荷をもつ)である。

β 線：空気では1m程度、アルミニウムで数mmの透過力をもつ。電場および磁場による湾曲の方向の違いから、負電荷をもつことが分かった。高速度の電子である。

γ 線：鉛数cmの透過力をもつ。電場でも磁場でも曲げられない。電磁波である。

3-2 放射線検出の原理

検出器で直接測定できるものは、荷電粒子に限られる。中性で、電荷を帯びていない粒子(中性粒子)は他の物質と衝突して二次電子を放出しない限り検出は不可能である。荷電粒子の検出器は、利用する原理により分類すると、次の三種類に大別される：電氣的検

出器、光を利用する検出器、飛跡による検出器。これらの原理と主な検出器を列記する⁴⁾。

電気的検出器：荷電粒子が気体の中を通過すると、原子あるいは分子が電離して正イオンと電子が生じる。生じた電子は中性の原子や分子に付着し負のイオンができる。電極によって適切な電圧をかけておけば正負のイオンは気体中を移動して電流が流れる。固体の場合は、放射線の電離作用により空孔と電子の対が固体中に発生し、これらが電極に集められて電流が流れる。電極を増幅回路につなげば電気パルスとして放射線が検出される。

検出器の例：検電気・GM計数管・比例計数管・電離箱・スパーク計数管・結晶計数器

光を利用する検出器：次の二つに大別される：①荷電粒子が気体や固体の中を通過すると、原子または分子を励起する。励起され原子や分子が基底状態に落ちる時に光が放出される。これをシンチレーションといい、光電管に電子増倍管をつけて検出する。②透明な気体、液体、あるいは固体中を荷電粒子が一定以上の速さで移動したときに放出する光を検出する。

検出器の例：①光電増幅管②チェレンコフ検出器

飛跡による検出器：電離によって物理現象を起こさせ放射線が飛んだあと（飛跡）を写真にとり、検出する。

検出器の例：霧箱・泡箱・原子核乾板・放電箱

3-3 中学校での利用可能な教具

3-2で示したように多くの種類の放射線検出器があるが、教育現場の実験で比較的に利用しやすく、教材として入手が容易なのは、霧箱とGM計数管に限られるようだ。いずれも簡易型であれば教材会社から1台数万円で購入できる。市販のGM計数管はハンディタイプであり、様々な鉋物や身の回りの物体からの放射線を計数する教具として利用できる。しかし、メーターの針の振れやデジタルカウンターの数値の増加を通して放射線量を検知するため、放射線に対する実体感を持たせるにはやや難がある。これに対して、霧箱は放射線の飛跡を直接観測できるので、放射線を視覚的に捕らえさせるには適した教具といえる。

3-4 霧箱の構造と原理

霧箱は、過飽和状態の気体中を荷電粒子が通過するときに生ずる霧滴の列（飛跡）を観測する装置であり、ウィルソンによって発明された⁵⁾。適当な照明の下では飛跡を目で確認することができる。過飽和状態を得る方法には、断熱膨張を利用する方法と温度勾配を利用する方法がある⁶⁾。前者を利用したものを、膨張霧箱（ウィルソンが用いたのでまたはウィルソン霧箱とも呼ばれる）、後者を利用したものを拡散霧箱という。膨張霧箱は、過飽和状態を保持できるのはピストンで気体を断熱膨張させた瞬間のみであるため、飛跡を観測できる時間が限られることが欠点である。一方、拡散霧箱は、常に過飽和状態を箱内に保ち、この領域（有感領域）を粒子が通過するといつでも飛跡を観測できるような構造になっている。

図1に拡散霧箱の構造を示す。箱の下部を静かに冷却すると、箱の上下方向に大きい温度勾配が生じる。箱の上部の溝にアルコールなどの液体入れておくとこれが蒸発して気体となり下方に拡散しながら冷やされる。箱の下部をドライアイスで冷やし、上部を常温に保てば中央部では過飽和状態になるので、この領域を荷電粒子が通過すれば飛跡が観測されることになる。

荷電粒子の飛跡が観測されるのは、最初観察するには十分な大きさでない液滴でも、それらが観測できる大きさまで成長するためである。この液滴の成長は、荷電粒子により電離・帯電した小さな液滴が周りにある極性液分子を静電引力により引きつけることで起こる。

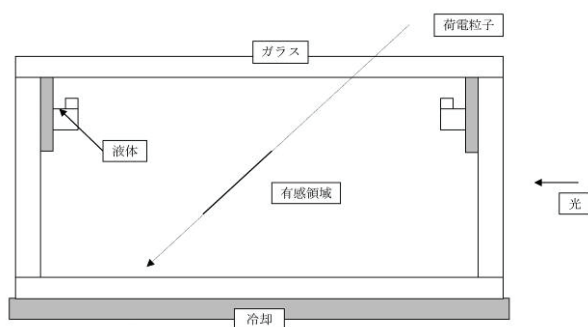


図1 霧箱の概念図

4 教材開発

本章では、これまで述べてきたことを踏まえ開発した「放射線」教材—近隣のホームセンターで買える材料のみを用いて、安価で、手間がかからず子供でも簡単に作れて、放射線を観測できる霧箱—について述べる。「放射線」が中学校学習指導要領に第3学年の内容として加えられたのは約30年ぶりである。このような状況下で現在のところ適当な教材が見当たらないため、「放射線」を理解するための新しい教材を提案し新指導要領に対する対応の一助とすることが開発の動機となっている。教材の開発に当っては、次の諸点を念頭においた：①放射線の視覚化、②低価格、③材料の入手が容易なこと、④生徒各自の製作が可能なこと、⑤安全性。

自然現象を視覚化するという手法は一般的によく用いられている。放射線の存在を身近なものとして捕えさせるために、本研究でもこの手法を取り、霧箱に着目した。霧箱は飛跡による検出器の中で唯一上記②以下の条件にも合致する。

3-3で述べたように霧箱は教材会社から購入できるが、自作でも割と頑丈な装置を作製でき¹⁾、演示実験に用いることができよう。しかし、教室で生徒に作製させるには、準備段階で容器の加工などに手間がかかるし、頑丈な装置であるためやや高価になりがちである。

ここでは、近隣にあるホームセンターで買えるものを用いて、安価で、手間がかからず子供でも簡単に作れて、放射線を観測できる霧箱の作製法を述べる。この作製法に従えば、学校現場や持ち帰って自宅でも放射線(α 線)を手軽に確認できるようになる。

表2に霧箱の材料、価格および購入場所と1個当りの価格を示す。ほとんどがホームセンターで揃えることができるし、そうでなくても近所の店で手に入れられる物である。ランタン用マントルは放射線源として用いる(マントルは、ガソリンやガスタイプの照明器具の炎の部分に置かれ、光を放つようにするために用いる合成繊維である。ランタンのマントルにはトリウムがわずかに含まれていて α 線を放射しているが、口に入れたりしなければ人体には無害である。製品によっては放射線を放出しないマントルがある)。冷却用ドライアイスを入れる容器には発泡スチロールを再利用

表2 霧箱の材料、価格および購入場所

材料	価格(円)	商品1個で 賄える個数	価格(円)/1個	購入場所
透明容器(10個)	198	10	19.8	ホームセンター
隙間テープ(4m)	78	16	4.9	ホームセンター
ランタン用マントル	698	50	14.0	ホームセンター
針金(0.90×17m)	88	250	0.3	ホームセンター
ビニールテープ	105	100	1.1	ホームセンター
色紙(黒30枚)	70	30	2.3	ホームセンター
発泡スチロール			0.0	(再利用)
アルコール(500ml)	798	50	16.0	薬局
ドライアイス	104	4	26.0	食品売場

できる。工具道具はハサミとラジオペンチだけでいい。使用するアルコールとしては市販のエタノールを用いれば、十分飛跡を確認することができる。この表から霧箱1個当りの単価は約84円となり、100円硬貨1枚で簡単に霧箱が作製できることになるので、一人1台作製するとしても生徒の負担も軽く抑えることができる。

図2に簡易霧箱の作り方と放射線の観察の仕方の説明図を示す。これは霧箱を作製する高校生に実際に配付した資料「霧箱を作ってみよう—放射線(α 線)を目で確かめてみよう—」の一部で、具体的に簡易霧箱の作り方と放射線の観察の仕方を説明した部分である。マントル(線源)はふたからテープで吊り下げても、側面から刺し通した針金の先端に挟み込んでもよいが、ここではクリップを台状に変形してその上端に挟み込んだ。アルコールを隙間テープにしみ込ませてからふたをし、容器をドライアイス上に数分間静置しておけば飛跡が線源から放射状に描かれる様子が観測される。

本研究ではこの教材を用いて、教員免許状更新講習(予備講習)を受講の小・中・高等学校の現職教員の方々や、SPP事業講座を受講の高崎健康福祉大学附属高崎高校2年生に対して、各個人が実験・観察を行うプログラムを実行した。対象者は知識に大きな差異があったものの、一様に興味深く、熱心に取り組んでいた。観測できたときには驚嘆の声すら上がったし、観測できない場合は目で飛跡を捉えられるまで線源付近を凝視する姿もみられた。また、ある高等学校理科教員からは教材として利用したい旨の話があったので、試していただくことにした。

簡易霧箱の作り方と放射線の観察の仕方

必要なもの

透明容器(直径 100mm×高さ 44 mm)、隙間テープ(約 25cm)、針金(約 10cm)、黒の色紙、弁当容器、ランタン用マントル、アルコール(市販用エタノール 約 10ml)、ライト、ハサミ、コンパス、ラジオペンチ、ドライアイス(約 50g)、

手順

- (1) 黒の色紙を透明容器の底に合わせて丸く切り(直径 7.2cm)、黒の部分を上に向けて透明容器の底に置く。
- (2) 隙間テープを約 25cm に切って、透明容器の内側の側面上部に貼る。
- (3) 針金を約 10cm に切って、下図のように形を作る。(親指に一巻き巻きつけて輪を作り、そこにランタンを刺し込み、巻きつける。



- (4) 透明容器の底の真ん中くらいに(3)で作ったものを置く。ランタンが隙間テープや透明容器の底に着かないように注意する。



- (5) 隙間テープに染み込ませるようにアルコールを適量たらし、透明容器のふたをする。細かく砕いたドライアイスを弁当容器の底に入れて、その上に霧箱本体を置いて冷やす。十分冷えたらライトで照らしながら観察する。

- ・中が霧の様になれば見えるはず。ライトや見る角度を変えたりしてよく見てみよう。
- ・飛跡が見えなくなったら、一度ふたを開けて少し温めてからアルコールを入れ、冷やし、観察を行うとよい。(アルコールが飛ぶので換気をする。)
- ・ランタンが湿っていたら、取り出して乾かしてからやり直す。

放射線は確認できただろうか。

α 線はランタンから放射状に出ています。

図2 簡易霧箱の作り方と放射線の観察の仕方の説明図

5 おわりに

平成20年に告示された中学校学習指導要領に「放射線」が追加されたが、約30年ぶりの復活のため、この分野の教材が十分整っていないように見える。本研究ではこの状況を改善する一助となるように、手ごろな教材として簡易霧箱を提案した。簡易霧箱は、①放射線を視覚化できる、②100円以下の低価格、③材料を近隣の店から容易に入手できる、④生徒各自の製作が可能、⑤安全である、という条件を満たしている、またとない教材であろう。また、試験的に行った講義・実験での反応も非常によく、中学校理科での利用が期待される。

今後、更なる改良と教育現場での実践を行うことが課題である⁷⁾。

参考文献

- 1) 例えば、暮らしの放射線（高エネルギー加速器研究機構）
(<http://rcwww.kek.jp/~sanami/kiribako/>).
- 2) 過去の学習指導要領
(<http://www.nicer.go.jp/guideline/old/>)
- 3) 物理学辞典編集委員会編：「物理学辞典縮刷版」培風館、1969(1984).
- 4) 例えば、三浦功、菅浩一、俣野恒夫：放射線計測学、裳華房、13(1984).
- 5) 霧箱の発明は1897年であったが、飛跡の写真撮影に成功したのは1911年であった。
C.T.R.Wilson : Proc. Roy. Soc. 85, 285(1911).
- 6) 例えば、前掲書3)、497(1984).
- 7) 詳しい内容、実践結果などは下記URLのホームページに掲載予定。質問などはホームページの掲示板に書き込むか、ホームページに記載のメールアドレス宛に送付して下さい。
(<http://www.edu.gunma-u.ac.jp/~okusawa/Welcome.html>).

(おくさわ まこと・むらおか やすたか・おがしわ ようすけ)