

# 理科における探究的な活動を取り入れた授業づくり

総合支援課高校 I 班・小中学校班  
(理科担当)

## I 研究の目的

平成 21 年度から 3 年間「中学校理科における探究的な活動を促す観察・実験について」を研究主題に、生徒の理科に対する関心を高め、学習意欲の向上を図り、創造性、知的好奇心・探究心を育成することをめざして研究を行ってきた。この研究は平成 20 年 3 月に告示された現中学校学習指導要領に対応したものである。中学校学習指導要領理科の目標では、① 自然の事物・現象に進んでかかわること。② 目的意識をもって観察、実験などを行うこと。③ 科学的に探究する能力の基礎と態度を育てること。④ 自然の事物・現象についての理解を深めること。⑤ 科学的な見方や考え方を養うことの五つを挙げており、言語活動の充実を通して理科の目標を達成し、思考力、判断力、表現力等を育成することを目指している。この研究では、理科の授業における観察・実験を通してこれらの力を育成するために効果的な教材開発、工夫に取り組んだ。研究成果は Web 上で公開し、研修等においても紹介し周知に努めた。

平成 24 年度からは、この研究を継続しつつ、学習指導要領が目指す理科授業の在り方について、新たに研究を始めた。中学校学習指導要領では探究的な活動を重視することが示されている。これを受けて本研究では、探究的な学習を取り入れた授業づくりに資する効果的な観察・実験等の教材・教具の開発、工夫を行った。本研究の実施及び成果を Web 上等で公開し、発信することにより、有用な資料を広く提供して授業改善を促していきたい。

## II 研究の方法

### 1 研究方法

本研究は、平成 15 年から始まった研究の成果を基に、現学習指導要領への対応を視野に入れて、平成 24 年度から平成 26 年度までの 3 年間に於いて実施された。『中学校学習指導要領解説 理科編』、『静岡県の授業づくり指針 理科』を基に、これまでの観察・実験を再検討し、本研究の目的に合った教材・教具を、次の方法で開発、工夫を行った。以下にその方途を示す。

- ・観察・実験の具体的方法、導入・展開例などは、当センターまたは、研究協力員で開発、工夫し提案した。
- ・研究協力員を公立中学校から毎年 4 人（平成 26 年度は 2 人）委嘱し、所属校での授業実践（試行）を依頼した。
- ・観察・実験の材料などは当センターまたは、研究協力員が用意し、実践前に授業担当者と打合せを行った。
- ・生徒の観察・実験レポートの記述、アンケート結果、授業参観、研究協力員の意見、研修、講座の感想などを基に、観察・実験方法及び導入・展開例を改良した。
- ・研究協力員との連携を密にして、所属校の理科授業を支援しながら、生徒の実態や学校のニーズの把握に努めた。

- ・研究担当者会を定期的で開催し、授業実践の報告と協議を通して開発した教材の情報交換や有効性を検討した。
- ・中学校理科観察・実験集 Web 版原稿（案）も並行して作成し、研究協力員の所属校で試用し、内容・構成・記述などを改善した。
- ・成果は当センターの研修（主に中学校理科教材づくり研修）で活用し、理科授業に役立つように配慮した。

## 2 研究内容

本研究で開発、工夫した教材・教具と中学校学習指導要領における各単元との関係を次に示す。なお、研究3は、全ての単元において活用できる教具であるため、単元名は記載していない。

- ・研究1「中学校における簡易霧箱を使った放射線教育の実践」単元：(7)科学技術と人間 ア エネルギー
- ・研究2「ペルチェ素子を利用した拡散型霧箱の教材化ー放射線の性質の理解を促すためにー」単元：(7)科学技術と人間 ア エネルギー
- ・研究3「能動的な学習を促すためのクリッカーシステムの開発ーピア・インストラクションの実践に向けてー」
- ・研究4「電子メトロノームを使った音速の測定」単元：(1)身近な物理現象 ア 光と音
- ・研究5「中学校理科遺伝の学習におけるショウジョウバエの教材化」単元：(5)生命の連続性 イ 遺伝の規則性と遺伝子

## III 「探究的な活動を取り入れた授業づくり」とするために

### 1 科学的に探究する学習過程の場面設定をする

平成21年度から行った研究において、中学校における探究的な活動を促す観察・実験について考察した。そこでは、自然の事象から調べたい問題を見つけ、科学の手法を用いて探究的な活動を行う方法として仮説演繹型の授業を説明している。科学的に探究する学習過程の例として、問題の発見、仮説の設定、実験の計画と実施、器具などの適切な操作、適切な記録の取り方、データの処理と解釈、モデルの形成、規則性の発見などの場面があり、それぞれの場面で探究の技法を扱う能力が求められ、適切に使いこなすことが必要とされる。すなわち科学的に探究する学習を行うためには、これらの探究の技法を身につける必要がある。探究の技法を身につけるためには、具体的にそれぞれの技法が必要な場面設定を行い、課題に取り組み、それを解決していく過程を経験することが必要である。

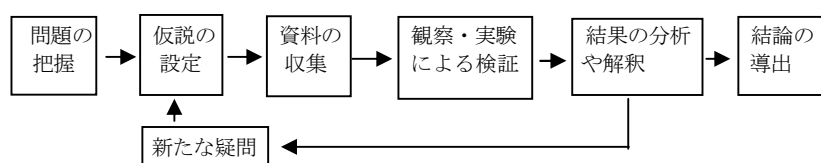


図1 科学的に探究する学習過程<sup>1)</sup>

小学校学習指導要領解説理科編では育成すべき問題解決の能力が各学年で記されている。3年生で比較，4年生で関係づけ，5年生で条件制御，6年生で推論の能力を身につけることになっている。これを受けて中学校理科では，これらの能力を総合的に活用し，観察・実験の結果を分析して解釈する能力を育成することが大切にされている。

このようにして，小学校において育成されてきた問題解決の能力を意識しつつ，科学的に探究する学習過程に沿う場面設定を行い，問題解決の能力を発揮させる場を授業展開に取り入れていく必要がある。このことを本研究の基盤として，以下の観点を意識して観察・実験などの教材の開発，工夫を行った。

## 2 探究的な活動を取り入れた授業づくりの観点を明確にする

### (1) 実感のわく具体的な教材の工夫

理科で扱う自然現象や身近にある現象が生徒の目の前でわれ，生徒が直接触れることにより，今まで気づかなかったことを意識するようになる。学習を始める動機付けが効果的に行われることで探究的な活動を促すと考え，実感のわく具体的な教材となるように工夫した。

### (2) 生徒の興味・関心の継続

生徒の興味・関心を継続させながら学習を続けることを目指した。興味・関心を高めるために，教材に対する理解が深まるにつれ，新たな視点や日常生活と関連させて事物・現象を捉え，新たな課題につながるようにした。

### (3) 生徒の主体的な学習活動

生徒が科学的な探究活動を主体的に行うために有効な手段として，個人や少人数での観察・実験などを行う場面で教材を使うことを想定した。

### (4) 小中高の系統性や他領域とのつながりを意識した教材

小学校理科や高等学校理科とのつながりを考慮したり，他領域の学習との関連を意識したりして，探究的な活動を促す観察・実験を開発，工夫した。そのために，発展的な観察・実験も積極的に取り入れ，一つの教材でも多面的に捉えられる教材開発を行った。

### (5) 「もっと調べてみたい」を引き出す

観察・実験を通して，自然の事物・現象を生徒が実感をもって捉えることにより，「さらに調べてみたい」という意欲につながる。授業実践(試行)において，教師は生徒の様子を観察し，生徒の意欲的な態度を教師が捉えるとともに，レポート中の「もっと調べてみたい」などの記述内容を読み取り，観察・実験の有用性を検証した。

## IV まとめ

この研究成果が活用され，本県の理科の授業が一層魅力あるものになるとともに，学習指導要領が大切にしている科学的に探究する過程が広く取り入れられ，生徒たちの科学的に探究する能力が向上することを期待している。

### 【参考文献】

- 1) 静岡県総合教育センター授業づくり支援課授業支援Ⅰ班『中学校理科における探究的な活動を促す観察・実験－新学習指導要領への対応－』静岡県総合教育センター 平成23年度 研

究紀要 第16号, p. 45-72, 2012

2) 文部科学省 『小学校学習指導要領解説 理科編(平成20年8月)』大日本図書, 2008

3) 文部科学省 『中学校学習指導要領解説 理科編(平成20年9月)』大日本図書, 2008

### 【研究組織】

研究協力員	三島市立北中学校	教諭	長谷川賢治 (平成24・25年度, 平成26年度三島市立郷西中学校)
	菊川市立菊川東中学校	教諭	水嶋志展
	川根本町立中川根中学校	教諭	土屋善之 (平成24・25年度)
	磐田市立城山中学校	教諭	田中誉也 (平成24年度, 平成25年度静岡大学教育学部附属浜松中学校)
研究担当所員	参事兼授業づくり支援課長		杉山洋一 (平成24年度)
			櫻井宏明 (平成25年度, 平成26年度参事兼総合支援課長)
	授業づくり支援課授業支援I班班長兼主任指導主事		神田不二彦 (平成24・25年度)
	総合支援課高校I班班長兼主任指導主事		石川芳恵 (平成26年度)
	総合支援課小学校班班長兼主任指導主事		操上俊樹 (平成26年度)
	授業づくり支援課授業支援I班 指導主事		後藤昌英 (平成24年度)
		指導主事	飯田寛志 (平成24・25年度)
		指導主事	新林章輝 (平成24・25年度, 平成26年度総合支援課高校I班)
		指導主事	中野志保 (平成25年度, 平成26年度総合支援課高校I班)
		指導主事	鈴木康浩 (平成24・25年度)
		実務研修員	丸山るみ子 (平成24・25年度, 平成26年度総合支援課高校I班)
	総合支援課高校I班	教授	松本 泉 (平成26年度)
	総合支援課小中学校班	指導主事	山崎健史 (平成26年度)

## <研究1>

# 中学校における簡易霧箱を使った放射線教育の実践

## I はじめに

平成24年度より完全実施となった中学校学習指導要領では、その解説において放射線の性質と利用にも触れることが記されており、中学校では約30年ぶりに放射線を扱うことになった。教科書においてもその取扱い方が教科書会社によって大変違っている。また、学校現場の多くの先生は放射線を教えた経験がない状態である。一方、東日本大震災時の原子力発電所の事故などもあり、社会的にも放射線に対する興味や関心は高い状況にあることから、放射線の性質や利用についての正しい知識を得て、判断力を身につけることは喫緊の課題の一つである。

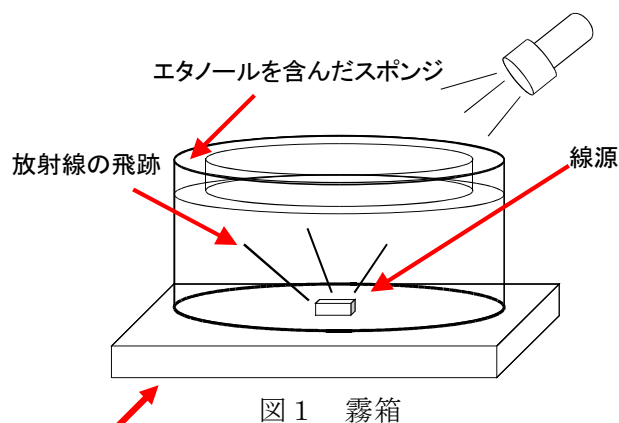
そこで、本研究では、簡易霧箱を用いた放射線についての授業を、現行の学習指導要領で示されている言語活動を通して、学習指導要領の趣旨の1つである思考力や表現力を育成することを目的とした展開を試み、実践を行った。

## II 簡易霧箱とは

霧箱とは、放射線の飛跡を目で観察する装置のことである。霧箱には、拡散型と呼ばれるものと膨脹型と呼ばれるものの2種類がある。今回使用した霧箱は拡散型である。膨脹型の霧箱は一瞬だけ観察が可能であるのに対し、拡散型は、長時間の観察が可能であるため、飛跡の様子をじっくり観察するためには適している。

拡散型霧箱（以下、霧箱と言う）は図1に示したようなものである。次のような仕組みで放射線が通った跡（飛跡）を観察することができる。<sup>註1</sup>

- ① 箱の上部にエタノールを含んだスポンジから、エタノールの蒸気が放出される。
- ② エタノールの蒸気が箱の下部に拡散する。
- ③ 下部はドライアイス等で温度が大変低くなっているため、箱の中に大きな温度差が生じ、その中をエタノールの蒸気が満ちる。そのため、霧箱の中にエタノールの過飽和状態が生じる。
- ④ 過飽和状態になったエタノールに、 $\alpha$ 線などの放射線が通ると空気を構成する分子等が放射線の電離作用によりイオン化する。
- ⑤ イオン化した分子等は静電気力によりエタノールの分子を引き寄せる。
- ⑥ エタノールの分子が次第に集まって凝縮し液化する。放射線が通った跡に液化したエ



タノールが残り，白い筋状になる。

以上のように，放射線が，過飽和状態になったエタノールを通過すると，通った跡（飛跡）が白い筋状になっていることを観察することができる。図2は，実践で使用した霧箱である。

### III 中学校学習指導要領における放射線の学習

中学校学習指導要領の第4節理科では，各分野の目標及び内容の中の「(7)科学技術と人間 ア エネルギー (イ) エネルギー資源」の内容の取り扱いにおいて「アの(イ)については，放射線の性質と利用にも触れること。」と書かれている。また，中学校学習指導要領解説理科編にはこの部分の解説として「核燃料は放射線を出していることや放射線は自然界にも存在すること，放射線は透過性などをもち，医療や製造業などで利用されていることなどにも触れる。」と書かれている。今回の実験は，この単元において放射線の性質の理解を深めることをねらいとしている。

### IV 霧箱を利用した授業の実践例

#### 1 放射線とはどのようなものだろうか

霧箱による放射線の飛跡の観察を行う前に，放射線とはどのようなものか考えさせ，知っていることや聞いたことがあること，知りたいことなどをグループの中で発表し合い，共有した。放射線についての興味・関心を高めるなどの効果をねらい，この活動を行った。共有した知識などは，更にクラス全体で共有した。下記の例は，県内の中学校の実践で発表された内容である。実践を行ったクラスの中で7つのグループをつくり，自由に話し合いをさせた。図3は話し合いをしている様子である。話し合いにおいて各グループでまとめられた，知っていることや聞いたことがあること，知りたいことの主なものと，グループ数を下の表1に示す。



図3 話し合いをしている様子

表1 知っていることや聞いたことがあること，知りたいことの主なものと，グループ数

放射線について知っていること，聞いたことがあること，知りたいこと	グループ数
原子力発電所（以下「原発」と言う。）	7
有害である（以下「有害」と言う。）	6
シーベルト・ベクレル	6
目に見えない	5
レントゲン	4
宇宙にある	3
太陽から出る	2
放射線と放射能の違いは？	2

この中には放射線がどのように飛んでいるのかということについては挙げられていない。よって霧箱によって飛跡を観察することにより，放射線のイメージを得ることが期待

できる。また、知りたいことについては、「放射線と放射能の違いは？」だけが挙げられており、疑問点が少ないことは、放射線についての理解が浅いことが推測できる。

次に、これらの語句等について関連性が見られるかどうか、数量化理論第Ⅲ類によって分析し、第1軸と第2軸を示した分布図を下の図4に示す。数量化理論第Ⅲ類の分布図とは、回答項目の中で、類似した特徴を持つ項目や関連する項目が近隣の位置にプロットされるものであり、項目の位置関係から回答に対する特徴を概観することができるものである。

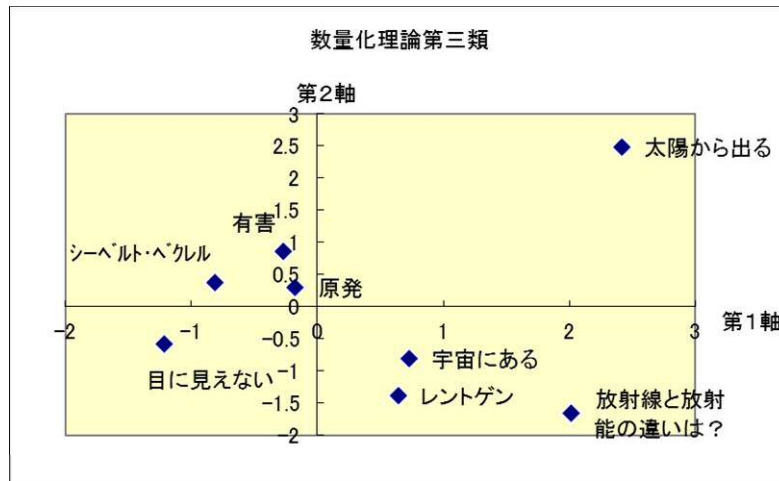


図4 第1軸と第2軸を示した分布図

図4では、「原発」「有害」「シーベルト・ベクレル」「目に見えない」が近隣にあることが確認できる。これらの集まりをクラスターという。また、「宇宙にある」「レントゲン」にもクラスターが確認できる。

このような質的データの分析でよく用いられるクラスター分析（最短距離法）を行った。クラスター分析とはサンプル（回答者）間で類似する回答項目を集めて数組にグループ化するデータ処理法で、サンプルまたは変数をまとめたグループはクラスター（集落）と呼ばれている。クラスター分析の結果は図5のようなデンドログラムと呼ばれる図で表され、類似性が高い回答ほど最初につなげられている樹形上の図である。

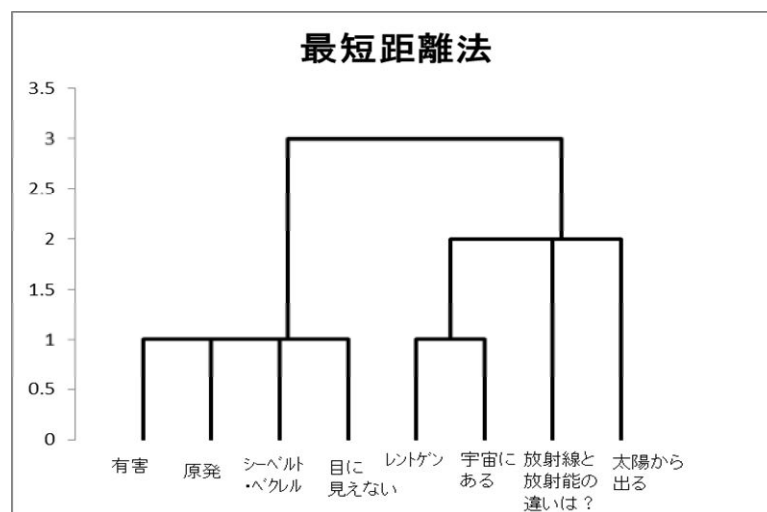


図5 デンドログラム

図5はクラスター分析の中で最短距離法という計算方法で計算したものである。図5においても図4と同様のクラスターが確認できる。よって、図4, 5からは「宇宙にある」と「太陽から出る」の類似度が低いことがわかる。放射線は宇宙に存在し、その起源の1つとして、太陽のような恒星から放出されることが、知識として別々に覚えていると推測できる。これらのことから放射線についての知識が断片的であることが類推され、この単元を通して正しい理解が得られることを期待される。

## 2 霧箱による観察

次に、霧箱により観察を行った。放射線は目に見えないということを知っている生徒は少なくなく、放射線を実際に肉眼で見る体験をすることで、より放射線の性質を実感して理解することが期待できる。

生徒個人で観察を始める前に、大型ディスプレイを使って、霧箱に生じている飛跡を表示し、飛跡がどのようなものであるか説明し、生徒に理解させた。飛行機雲のように白い筋が見えて消えていく様子を見せることによって、飛跡がどのようなものであるかがわかり飛跡を見付けやすくすることがねらいである。

その後、2人あたり1個ずつ生徒用実験テーブル上にあらかじめ設置しておいた霧箱を観察させた。図6はそのときの様子である。ドライアイスに触れないなどの注意点を確認し、観察を行った。線源は、キャンプ用品のランタン用のマントルを使用した。



図6 観察している様子

霧箱によっては、飛跡が発見しにくいものもあったが、わかりづらい場合は隣のグループの霧箱を観察するように指示しながら、観察しやすい霧箱の様子を大型ディスプレイで示すことによりほぼ生徒全員が観察できた。

下の表2は授業実践後の生徒の感想、気づいたことをまとめたものである。

表2 授業実践後の生徒の感想、気づいたこと

感想, 気づいたこと	%
流れ星のようだった。	56
白い煙のようだった。	33
すぐに消える。	31
不規則に出たり出なかったりしていた。	15
いろいろな方向に出る。	13
線状であった。	12
一定の距離より長くない。	6
霧で飛跡が動いていた。	6
白い霧が出てから見え始める。	6
飛跡の長さがバラバラであった。	2



放射線の飛跡を見て、生徒なりにその様子を表現している。また、観察を続けるとどのように光を当てればよいかなど、観察の技能についても試行錯誤をしながら身につけている様子がみられた。さらに、観察技能を身につけた上で観察結果を表現する活動を試みることができた。

気づいたことの中に、「いろいろな方向に出る。」「飛跡の長さがバラバラであった。」「不規則に出たり出なかったりしていた。」「線状であった。」がある。これらは、放射線の特徴を表している現象であり、これらの感想を取り上げて、発展的な学習内容として扱うことなどが考えられる。このことについては次節で説明する。

### 3 発展的な学習内容

上記の実践例では、飛跡を観察することで、放射線が飛んでいる様子を実感するところで終わっているが、飛跡の様子をきれいに見ることができる状態の時は、霧箱の観察から多くの放射線の性質を知ることができる。次に観察される現象とその原因となる放射線の性質との関係をまとめた。

- ・飛跡が直線であること（磁場等がない場合） → 放射線の直進性
- ・放射線が不定期に放射されていること → 崩壊が確率的である
- ・放射線が放射される方向が決まっていないこと → 放射状に放射される
- ・放射線の軌跡が数cm程度であるが、長さも決まっていないこと  
→ 放射線のエネルギーに幅があるが大きくは変わらない
- ・紙などをおくと $\alpha$ 線が止められること → 放射線の遮蔽について

上記を踏まえて、観察の際にいくつかの質問を用意し、生徒に思考させるということが考えられる。例えば「放射線の放射している様子で気付いた点を挙げてみよう。」という質問から、「飛跡は直線である。」など、上記の性質に気付かせる。その後、その理由を調べさせたり、考えさせたりしてレポートにする、などの学習活動が考えられる。飛跡を観察することで、放射線が飛んでいる様子を実感することができるが、上記の点に気付くとさらに理解を深めることが期待できる。

## V おわりに

放射線の学習は、中学校理科の最後のエネルギー領域である。それまでの様々な探究的な活動を経験した上で、この実験に臨むことで、放射線に対する正しい理解が深まり、生徒個人による観察を行うことにより学習意欲が増し、今後、高等学校における「物理」への興味・関心を抱き続けていくことが期待できる。このためにも、生徒一人一人にこのような観察・実験を体験させたい。

特に、放射線に対する正しい理解が求められる現在、どのようなものから放射線が出るのかという疑問が生じれば、高校への学習のつながりが期待できると考えられる。

**【註】**

- ・大野新一『霧箱による $\alpha$ 線飛跡観察からわかること』放射線教育Vol. 10, NO. 1, p. 15-22, 2006

**【参考文献】**

- ・公益財団法人 環境科学技術研究所『霧箱のはなしー放射線の軌跡が見える装置』  
[http://www.ies.or.jp/publicity\\_j/mini/2006-07.pdf](http://www.ies.or.jp/publicity_j/mini/2006-07.pdf)（最終閲覧2015年2月12日）

## <研究2>

# ペルチェ素子を利用した拡散型霧箱の教材化

## －放射線の性質の理解を促すために－

### I はじめに

中学校学習指導要領が平成24年度より全面実施された。理科では、学習内容について、科学の基本的な見方や概念を柱として構成し、内容の系統性を確保するよう改善され、新しく学習する内容も加えられている。中学校学習指導要領解説理科編には、「(7)科学技術と人間 エネルギー (イ) エネルギー資源」の内容の取り扱いについては「核燃料は放射線を出していることや放射線は自然界にも存在すること、放射線は透過性などをもち、医療や製造業などで利用されていることなどにも触れる。」とあり、放射線についての授業が始まっている。放射線の飛跡の観察として用いられている教材の一つとして拡散型霧箱がある。(以下、霧箱という。)特にドライアイスとエタノールを使用した霧箱は装置が安価で、安定的に放射線の飛跡を観察することができるので、静岡県内においても霧箱を利用した授業実践の事例がみられる。しかしドライアイスの入手が難しい地域や環境では、実践することが難しい。ドライアイスを使わずに低温状態にする方法として、ペルチェ素子を利用することが考えられ、市販もされており、自作した例<sup>1)2)3)</sup>もある。当センターで開発した安価に作成できるペルチェ素子を利用した霧箱を紹介する。

### II ペルチェ素子

前稿「中学校における簡易霧箱を使った放射線教育の実践」にあるように、霧箱で放射線の飛跡を確認するためには、一般には霧箱の中でエタノール等の過飽和状態が実現されることが必要である。松井,赤木,貸谷によるとエタノールの過飽和状態を実現するためには、常温では、箱の底面で $-20^{\circ}\text{C}$ 以下を実現することが必要である<sup>4)</sup>。ドライアイスは1気圧のもとでは $-79^{\circ}\text{C}$ で昇華するため<sup>5)</sup>、ドライアイスがあれば、過飽和状態を実現することができるが、手軽に入手することができるわけではない。そこで入手しやすい氷とペルチェ素子を利用して $-20^{\circ}\text{C}$ 以下を実現することを試みた。

ペルチェ素子(図1)とは、ペルチェモジュール、熱電変換素子、サーモモジュール、TECなどとも呼ばれ、異なる2種類の金属または半導体を接合したもので、直流電流を流すことにより、一方の面から他方の面に熱を移動させる効果を持つ素子のことである。この効果を一般にペルチェ効果といい、熱電効果の一つである。ペルチェ素子は図2のようにp型半導体とn型半導体を銅電極で接合し、n型半導体からp型半導体に向けて直流電流を流すと、半導体どうしの接合面から、各半導体の多端に向けて熱が移動する。この時に放熱を十分に行うと、接合面から吸熱作用を連続的に得ることができる。

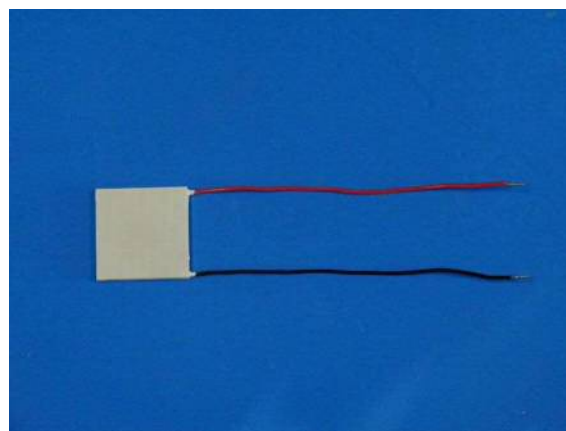


図1 ペルチェ素子

特に半導体材料を用いることで電気伝導度が高く、熱電導度が低い素子を作ることができ、コンプレッサーと冷媒を用いた一般的な冷却装置に比べ、小型・軽量で、加熱もできる。そのため温度制御が可能で、温度応答性も良く、冷媒を使わないことからクリーンな冷却素子としてコンピュータのCPUの冷却や小型冷蔵庫、食品ショーケースの冷却など幅広い分野で利用されている。

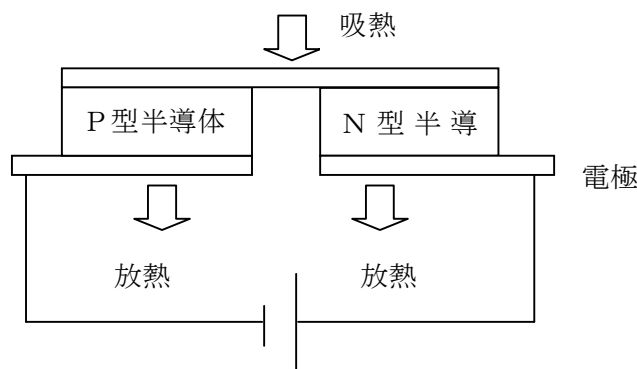


図2 ペルチェ素子の働き

ペルチェ素子はTEC1-12706 (12V用, 6 A max, 4cm×4cm) を使用した。一般にペルチェ効果による吸熱量 $Q_{in}$ は、吸熱側の温度を $T_i$ とし、ペルチェ係数を $\pi$ としたとき、

$$Q_{in} = \pi I \quad \text{と書くことができる。}$$

ただし、 $I$ は電流値である。

もしくは、トムソンの関係式よりゼーベック係数 $\alpha$ を用いて

$$Q_{in} = \alpha T_i I \quad \text{と書くことができる。}$$

しかし、実際は、ペルチェ素子自体が発するジュール熱 $\frac{1}{2}R I^2$ と、( $R$ :ペルチェ素子の抵抗)、放熱側との温度差によって流入する熱量 $K \Delta T$ があるため( $K$ :ペルチェ素子の熱コンダクタンス、 $\Delta T = T_o - T_i$ ,  $T_o$ :放熱側の温度)

$$Q_{in} = \alpha T_i I - \frac{1}{2}R I^2 - K \Delta T \quad \dots (1)$$

と書くことができる。 $\alpha$ は一般に電流値に依存するため、電流値が大きければ多くの熱量を吸収するわけではなく、最適の電流値があることがわかる。

次に、最大温度差について考察する。素子の抵抗 $R$ はデータシートより一定と考えられ、熱コンダクタンスを定数とすると、(1)式より $Q_{in} = 0$ とおくことにより、

$$\Delta T = \frac{1}{K} \left( \alpha T_i I - \frac{1}{2}R I^2 \right)$$

となり、最大温度差も電流値に依存する。

データシートによると、高温側温度が $25^\circ\text{C}$ の場合、最大温度差が $65^\circ\text{C}$ となっている。放熱側を氷水で $0^\circ\text{C}$ とした場合を考えると、吸熱側を $-20^\circ\text{C}$ 以下になり、観察が可能となることが期待できる。

### III ペルチェ素子を利用した霧箱の開発

#### 1 ペルチェ素子を利用した霧箱の製作

霧箱の作成にあたって、放熱側はパソコンのCPUを冷却するヒートシンクを付け、氷水で冷却し、吸熱側を霧箱の底面とするように箱を作成した。材料は下記のとおりである。

[材料]

- ・ プラスチック製シャーレ(蓋付き, 外径90mm×高さ20mm)
- ・ スポンジテープ (10mm×5mm×270mm)
- ・ 線源 (マントルなど)
- ・ ペルチェ素子 (12V用, 6 A max, 4cm×4cm)
- ・ ヒートシンク (8 cm× 5 cm×2.5cm)
- ・ 熱伝導両面テープ (4 cm× 4 cm)
- ・ 接着剤
- ・ 黒板塗料

[作成方法]

- ① プラスチック製シャーレの底にペルチェ素子の大きさよりやや小さい正方形の形を削りぬき (図3), 接着剤で, ペルチェ素子とプラスチック製シャーレを接着する (図4)。
- ② 飛跡を観察しやすくするために, 黒板塗料でプラスチック製シャーレの底を黒く塗る。
- ③ ペルチェ素子の下部とヒートシンクを熱伝導両面テープで接着する。
- ④ プラスチック製シャーレの上部をスポンジテープで内周に張る。

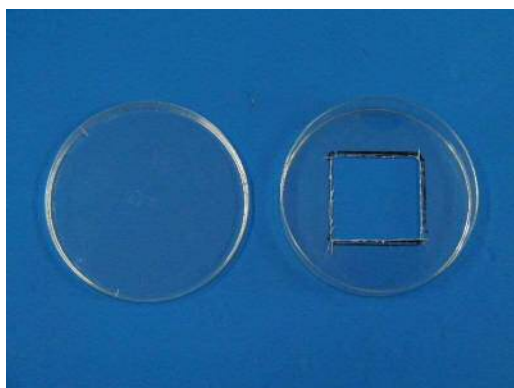


図3 プラスチック製シャーレ

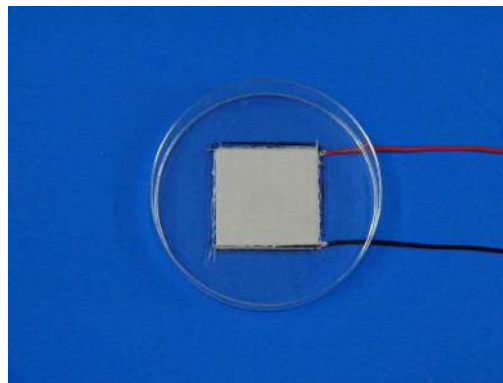


図4 ペルチェ素子とプラスチック製シャーレ

作成したペルチェ素子を利用した霧箱を図5に示す。また, 図6は霧箱を横から見た図である。

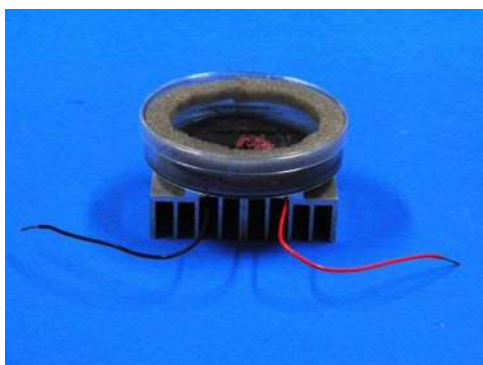


図5 ペルチェ素子を利用した霧箱

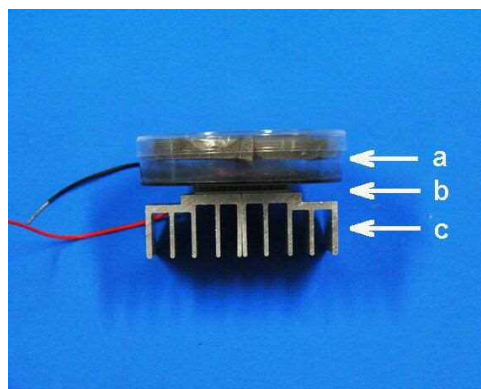


図6 霧箱を横から見た図

- a プラスチックシャーレ
- b ペルチェ素子
- c ヒートシンク

## 2 放射線の飛跡の観察

放射線の飛跡を観察する手順は以下のとおりである。

- ① ペルチェ素子の上に放射線源を置き、スポンジテープにエタノールを十分染みこませてシャーレの蓋をする。
- ② ヒートシンクを氷水に浸し、ペルチェ素子に電圧をかける。(図7)このとき、10V以上の電圧で、飛跡を確認することができた。
- ③ 霧箱の周りを暗くして、シャーレの上から懐中電灯等で照らして観察をする。



図7 電圧をかけている様子

ペルチェ素子の働きにより、霧箱の底面が低温になるが、この装置で電圧をかけた直後からの底面の温度変化は次のようになった。ペルチェ素子のデータシートを参考にして、13V、4Aに設定して測定を行った。

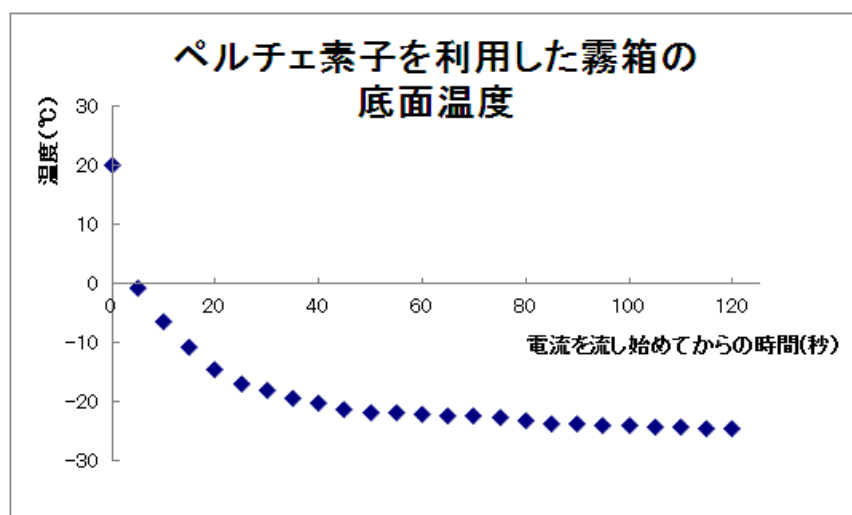


図8 ペルチェ素子を利用した霧箱の底面温度変換

電流を流し始めてから60秒程度で $-20^{\circ}\text{C}$ 以下になり安定する。実際の観察では、電流を流し始めてから20秒程度から飛跡を確認することができた。図9は飛跡が見えている様子であり、赤い四角の枠の中に見える2本の白い筋が飛跡である。



図9

## 3 研修における試行

希望研修の「中学校理科教材づくり研修」において、今回の教具の製作と、完成したペルチェ素子の霧箱による放射線の飛跡の観察を行った。研修を受講した教員から、

霧箱の製作や授業への導入などについて次のような感想を得た。

- ・今回の霧箱は身近な材料で用意できる点が良かった。
- ・自作の教材を用いることで生徒が実感を味わうことができると感じた。
- ・ドライアイスを使用する霧箱は準備が大変だと思っていたが、今回の霧箱は手頃なので、早速授業に取り入れたい。

#### 4 おわりに

放射線については、東日本大震災における原子力発電所の事故により、国民の間に放射線についての関心が高まり、中学校理科教員にも放射線に関する広く深い知識や指導力を持つことが要求されている。今回は、簡単に自作でき、準備も煩雑ではない霧箱について紹介したが、研修員の感想から、授業への導入などについて好意的な評価を得たことで、この霧箱を利用することによって、放射線の飛跡の観察が実際の授業で行いやすくなることが期待される。教材としての課題は、観察がより安定的に行うことができること、霧箱自体を大きくして観察しやすくすることなどが挙げられる。今後は授業における試行を行うことにより、手軽で確実な観察ができるかどうか検証を行っていききたい。また、高等学校の学習における利用についても検討していききたい。今後も適切な放射線教育に資する教材・教具の開発をすすめていききたいと考える。

#### 【註】

- 1) 高辻舞華, 芝原寛泰『ペルチェ素子を用いた簡易な霧箱の教材化』日本理科教育学会近畿支部大会(大阪大会)発表要旨集, 2013, p. 98
- 2) 渡邊晋太郎『ペルチェ素子と氷水を用いた放射線観測用霧箱の製作法』千葉大学教育学部東崎研究室, 2012
- 3) 小田部荘志, 谷太郎『可搬型ペルチェ式霧箱の製作』久留米工業高等専門学校紀要, 第28号, 第1号, 平成24年9月, p. 1-5
- 4) 松井榮一, 赤木幸恵, 貸谷愛子『拡散霧函の研究に関する予備実験』京都學藝大學學報B No. 7, 1955
- 5) 辰巳 敬 他『文部科学省検定済教科書 高等学校理科用 化学』数研出版, 2012

## <研究3>

# 能動的な学習を促すためのクリッカーシステムの開発

## ーピア・インストラクションの実践に向けてー

### I はじめに

平成26年11月に文部科学大臣が中央教育審議会において「初等中等教育における教育課程の基準等の在り方について」（諮問）を行った。この中に「何を教えるか」という知識の質や量の改善はもちろんのこと、「どのように学ぶか」という、学びの質や深まりを重視することが必要であり、課題の発見と解決に向けて主体的・協働的に学ぶ学習（いわゆる「アクティブ・ラーニング」）や、そのための指導の方法等を充実させていく必要があります。」<sup>1)</sup>と記されている。これは、今後、授業における指導方法等においてアクティブ・ラーニングが推進されることを示唆している。

Redishは、伝統的な講義中心で教員中心の授業に比べて、認知構成主義的な学習理論に基づいたアクティブ・ラーニングの授業は学習者が深く理解し大きな成果が得られたという事例を紹介しており<sup>2) 3)</sup>、これまでもさまざまなアクティブ・ラーニングの手法が開発されている<sup>2)</sup>。このように教育現場においてもアクティブ・ラーニングが広く研究されており、実践報告がなされている。

本研究は、生徒の理科に対する関心を高め、学習意欲の向上を図り、創造性、知的好奇心・探究心を育成するために、探究的な学習を促す観察・実験等の教材開発をねらいの一つとしている。このような能力の基礎と態度を育てるためにはアクティブ・ラーニングが有効であると考え、本稿ではアクティブ・ラーニングの一つの手法であるピア・インストラクションに着目し、ピア・インストラクションにおいて活用するために開発したクリッカーシステムについて報告する。

### II ピア・インストラクション

#### 1 ピア・インストラクションとは

ピア・インストラクションとは、Mazur<sup>4) 5)</sup>によって開発された授業手法であり、学習者同士の協議が組み込まれたアクティブ・ラーニングの一つである。ピア・インストラクションは10分～15分程度を一つの部分として構成される。各部分では、講義を行った後、基本概念の理解を問う多肢選択式の「ConcepTest」という問題を出題し、問題について近隣の学習者同士で協議をさせるという活動が設定されている。また、ピア・インストラクションでは、学習者が回答する際に、Audience Response Systemを使用する場合が一般的であり、“クリッカーシステム”または“クリッカー”と呼ばれているものや、Learning Catalytics<sup>6)</sup>というシステムが使用されている。クリッカーでは学習者一人一人にリモコンが必要であり、Learning Catalyticsではリモコンの代わりにインターネットにつながるデバイスが必要となる。ここでは、クリッカーについて説明する。

#### 2 クリッカーとは

クリッカーとは一般に、学習者が個別に用いるリモコンと、その受信部である本体、本体からデータを受け取るパソコン用のソフトウェアで構成されている。本体は授業者が使



用するパソコンに接続され、学習者がリモコンを操作してConcepTestを解答し、その結果がその場で集計されパソコンを通じてプロジェクターにより学習者全員が確認することができる。クリッカーを市販しているメーカーもあるが、高価であるため<sup>7)</sup> 安価で利用可能なクリッカーを開発した。

### 3 クリッカーを用いたピア・インストラクション

次に、クリッカーを用いたピア・インストラクションについて説明する。

- (1) 目標となる理解させたい概念等についての講義を行う。
- (2) ConcepTestを多肢選択式で出題する。

次の問題がConcepTestの例である。<sup>4)</sup> 筆者訳

問題：大きさが同じである球形の物体が2つある。一方の物体の質量はもう一方の物体の質量の2倍である。この2つの物体をある建物の屋上から同時に静かに落とした。この時、落とした高さは同じである。地上にぶつかる直前の2つの物体の運動エネルギーについて、次のうち正しいものを1つ選びなさい。空気抵抗は同じように働くものとする。

- ① 2つの物体の運動エネルギーは等しい。
- ② 重い物体の運動エネルギーは、軽い物体の運動エネルギーの2倍である。
- ③ 重い物体の運動エネルギーは、軽い物体の運動エネルギーの半分である。
- ④ 重い物体の運動エネルギーは、軽い物体の運動エネルギーの4倍である。
- ⑤ これだけでは決められない。

- (3) 学習者が個で考え、リモコンで回答する。
- (4) 回答分布をプロジェクターで表示する。
- (5) 近隣の学習者同士で協議をさせる。互いに選択肢が異なる場合は、相手を説得することを試みさせる。
- (6) 再び同じ問題に対して回答をさせる。
- (7) 回答分布をプロジェクターで表示する。
- (8) 授業者が解答を示し、解説を行う。実験で検証可能な問題の場合はその場で実験を行う場合も考えられる。

### 4 クリッカーを用いたピア・インストラクションの効果

Mazurはピア・インストラクションを実施する際にクリッカーを用いる必要はなく、リモコンの代わりにボードを与え、ConcepTestの回答をボードに手書きして表示させる方法も提案している。<sup>4)</sup> しかし、クリッカーを用いたピア・インストラクションの効果がいくつ報告されているので、ここで紹介する。<sup>8)</sup>

- (1) 学習者の短期記憶を長期記憶に受け渡す作用をすると同時に、短期記憶のスペースを解放し、新たな短期記憶を受け入れることを可能とする。

学習者は授業において、様々な新しい知識や概念を短期記憶として記憶する。短期記憶について、学習者が自ら考えたり、活用したりする能動的なプロセスを行うことによって長期記憶として定着する。このプロセスが授業展開の仕組みとして組み入れられているのがピア・インストラクションである。

(2) 学習者の理解度のリアルタイムなフィードバック

クリッカーにより学習者の理解度がリアルタイムにフィードバックされるため、その場で授業者が教授法や展開を修正することができる。

(3) 集中力の維持

学習者が能動的に授業に参加しているという意識が生まれ、集中力の維持に効果があるとされている。

(4) 成績への効果

クリッカーを使用した場合としない場合で成績を比べて、使用した場合の方が成績がより上昇したという報告がある。

(5) 導入のしやすさ

必要な時間が短く、通常の授業に大きな変更を及ぼすこと無く導入することができる。

(6) 大規模の集団で行いやすい。

学習者全員にリモコンをもたせることにより、大規模の集団でもフィードバックを得ることができ、導入しやすい。

(7) 回答の匿名性

学習者は自分の回答を他に見られること無く回答することが出来るため、他人を意識することなく自分の意見を表現しやすい。

### Ⅲ 自作クリッカー

#### 1 シリアル端子用クリッカー

今回は2種類のクリッカーを紹介する。1種類目は山田の報告<sup>7)</sup>を参考にして製作したもので、パソコンのシリアル端子に接続するタイプのクリッカーである。生徒用リモコンはテレビに使用する赤外線リモコンを用いた。赤外線式のリモコンは無線式に比べて受信可能距離が短く、受信部までの障害物などによる信号の不受心の心配もあるが、リモコンが安価に入手可能であると思われるため使用した。

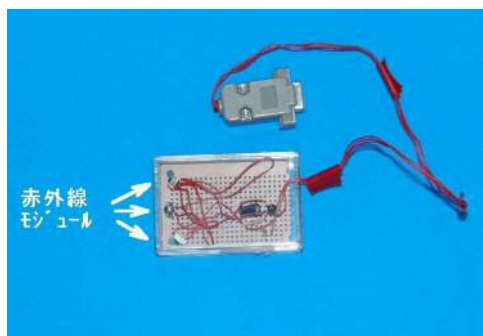


図1 受信部

受信部はフリーソフトウェアの「WinLIRC」を利用した。シリアル端子に接続する受信部を図1に示した。また、図2に回路図を示した。

受信部の製作材料は以下のものを使用した。

- ・赤外線モジュール (IRM0101)
- ・電解コンデンサ(4.7μF)
- ・3端子レギュレーター(78L05)
- ・1/4W カーボン抵抗 (4.7kΩ)
- ・小信号用ダイオード(1N4148)
- ・Dsub 9ピン メスコネクタ
- ・基板

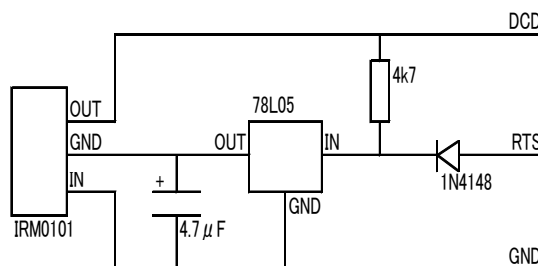


図2 受信部の回路図

また、広範囲の赤外線を受信するため、実際に製作した回路は赤外線モジュールを三つなぎ、3方向に向かせて製作した。次に、WinLIRCで識別した赤外線信号をパソコンのキーボードのキーに対応させるためにフリーソフトウェアの「IREx」を利用した。これを利用することで、生徒用リモコンのボタンを押すことと、受信部に接続したパソコンのソフト上で、キーボードのキーを押すことと同じ状態にすることができる。

ピア・インストラクションでは、PowerPointに代表されるプレゼンテーション用ソフトウェアを利用し、その場で、生徒の回答を集計して画面上に出力する必要がある。ここではPowerPointと同時に使用する簡易なソフトウェアをC++言語を使って製作した。生徒がリモコンのボタンを押した回数をPowerPointの画面に重ねて表示するものである。図3はその実施例である。

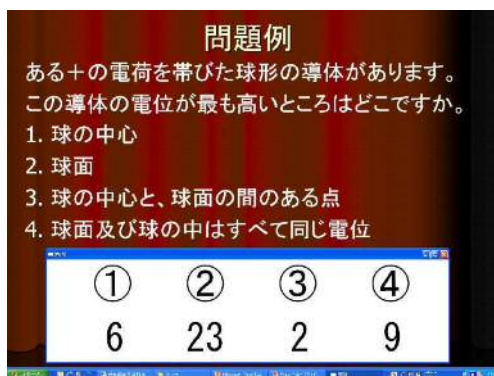


図3 実施例

## 2 USB用クリッカー

2種類目はパソコンのUSB端子に受信部を接続するクリッカーである。シリアル端子用のクリッカーを市販のUSBシリアル変換アダプタでUSB端子に接続をした場合、動作が不安定で使用できなかったため、受信部をUSB端子に接続することが可能なものを探したところ、赤外線リモコンでパソコンを操作するキットが市販されているため、それを利用した。このキットの赤外線モジュール部分を三つに増やして結合し、クリッカーとして利用した。生徒の回答を画面上に出力するソフトは前述のものをそのまま利用できる。図4はその受信部である。



図4 受信部

## IV おわりに

今回は2種類のクリッカーを紹介した。課題として、以下のような点が挙げられる。まず、使用に適するリモコンを生徒数だけ入手する必要がある。今回は家電のテレビ用のものを入手したが、使用可能距離を実測したところ40m程度であり、使用するのに十分な距離であった。リモコンによっては使用距離が短く、不適切な場合も考えられる。次に、赤外線を利用するため、前の席の人などの障害物で受信が妨げられることある。また、生徒が自分の送信が正しく受信できたかどうかを確認する手段が必要と考えられる。その他に、市販のクリッカーシステムでは、受信できた信号をリモコンごとに識別可能なものもあり、評価に反映することも考えられるが、このような機能がないことも課題である。ソフトウェアの使いやすさも課題の一つである。以上の課題を踏まえて、今後改良を行い、研修等により試行を行っていきたい。

## 【註】

- 1) 中央教育審議会『初等中等教育における教育課程の基準等の在り方について』（諮問），2014年11月20日
- 2) エドワード・レディッシュ著 日本物理教育学会 監訳『科学をどう教えるか アメリカにおける新しい物理教育の実践』2012, 丸善出版  
E. Redish “Teaching Physics with the Physics Suite” 2003, John Wiley & Sons
- 3) R. Hake “Interactive-engagement versus traditional methods : A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses ” Am J. Phys. 66, 1998, p. 64-74
- 4) E. Mazur “Peer Instruction A User’s Manual” 1997, Pearson-prentice Hall
- 5) 第84回京都大学高等教育研究開発推進センター公開研究会『ピア・インストラクションによるアクティブ・ラーニングの深化』資料 2012年10月10日
- 6) Harvard University “Technology for Teaching, Learning & Research Faculty of Arts and Sciences”  
<http://atg.fas.harvard.edu/learning-catalytics> （最終閲覧2015年2月12日）
- 7) 山田邦雄『自作クリッカーシステムによる授業』高等教育ジャーナルー高等教育と生涯学習ー16, 2008, p. 19-29
- 8) 鈴木久男 他『授業応答システム“クリッカー”による能動的学習授業ー北大物理教育での1年間の実践報告ー』高等教育ジャーナルー高等教育と生涯学習ー16, 2008, p. 1-17

## 【参考文献】

- 1) E. Caldwell “Clickers in the Large Classroom: Current Research and Best-Practice Tips” CBE-Life Sciences Education 7, 2007, p. 9-20
  - 2) 友野伸一郎『ハーバード大学とMITのアクティブラーニング視察報告』Kawaijuku Guideline, 2013. 7-8, p. 32-35
  - 3) 鈴木久男, 細川敏幸, 山田邦雄, 前田展希, 小野寺彰 1 『初等物理教育における能動的学習システムの構築』高等教育ジャーナル, 14, 2006, p89-97
  - 4) 兼田真之, 新田英雄『クリッカーを用いたピア・インストラクションの授業実践』物理教育 第57巻 第2号, 2009, p. 103-107
  - 5) 高橋春美・新田英雄『ピア・インストラクションを導入した力学授業』物理教育 第57号 第4号, 2009, p297-302
  - 6) J. L. Rosenberg, M. Lorenzo and E. Mazur “Peer Instruction: Making Science Engaging” in Handbook of College Science Teaching, Ed. J. J. Mintzes and W. H. Leonard, NSTA Press, Arlington, VA, 2006, p. 77-85
  - 7) 山田邦雄『クリッカーの有効性と効果拡大に向けた開発』物理教育 第59号 第1号, 2011, p. 40-43
  - 8) 新田英雄, 松浦執, 工藤知草『ピア・インストラクションを導入した物理入門講義の実践と分析』科学教育研究, Vol. 38 No. 1, 2014, p. 12-19
  - 9) 新田英雄『ピア・インストラクションとは何か』日本物理学会誌, 66(8), 2011a, p. 629-632
- 参考資料
- ・株式会社ヒット・トレッド・ワツ:USB接続赤外線リモコンKIT(2012)

## <研究4>

# 電子メトロノームを使った音速の測定

## I はじめに

現行学習指導要領における中学校理科物理領域の目標は、「物理的な事物・現象についての観察、実験を行い、観察・実験技能を習得させ、観察、実験の結果を分析して解釈し表現する能力を育てるとともに、身近な物理現象、電流とその利用、運動とエネルギーなどについて理解させ、これらの事物・現象に対する科学的な見方や考え方を養う」となっている。

「音の性質」は、「身近な物理現象」の一つとして学習し、音についての観察・実験を通して、「音は物体の振動によって生じ、その振動が空気中などを伝わること、音の大小や高低は、発音体の振動の仕方に関係すること」を見出させることがねらいである。

空気中を音が伝わる速さについては、例えば、雷鳴や打ち上げ花火などの体験と関連させて考えさせたり、スタート合図の時に、ピストルの白煙が見えてから音が聞こえるまでの時間のずれを測ったりして、おおまかな音の速さを求めることが考えられる。

本研究では、電子メトロノームを使用し、空気中を音が伝わる速さを、より正確に測定する実験を提案する。

## II 授業構想

空気中の音の速さを測定するため、スタート合図のピストルの音を音源として、音源を背にして生徒が一直線に等間隔に並び、音が聞こえた生徒から旗を揚げる実験を行った。その様子をビデオで撮影したもので確認すると、生徒が持った旗がほぼ一定の時間間隔で揚がっていくことから、音は空気中をある一定の速さで伝わるが見出される。しかし、この実験では、音が空気中を伝わる速さを求めるには、誤差が大きく適さない。

電子メトロノームを使用することで、簡単な原理で、かつ、比較的小さな誤差で空気中を音が伝わる速さを測定することができる。音の速さを数値化してとらえさせ、空気中をおよそ 340m/s で伝わることを実験から導くことが可能となる。また、生徒が電子メトロノームを持って音源から遠ざかるとき、距離が遠くなるほど、音源のメトロノームと自分たちが持っているメトロノームの音がずれていくことを体感することができる。そこで生じた「なぜ？」という疑問から、学習意欲に結び付くことも期待される。

## III 実験

### 1 準備

- ・電子メトロノーム（班の数+1台）
  - ・スピーカー（運動場の端からメトロノームの音を出すため）
  - ・巻尺など、音源からの距離が測定できるもの
- \*あらかじめ、運動場に目安の距離にラインを引いておくのもよい。

### 2 実験手順

- (1) 運動場など、広い場所を使用する。運動場の端に、音源となる電子メトロノームの音を出すためのスピーカーを設置する。

(2) 運動場の端に設置したスピーカーから出る電子メトロノームの音と、各グループの電子メトロノームの音を一致させる。

\*メトロノームの音は、「ピン ポン ピン ポン」と、1拍ずつ音が違うほうが測定しやすい。また、測定しやすい音の間隔があるため、事前に確認しておく。測定するには、音の間隔がある程度広い必要があるが、広すぎると、広大な運動場が必要となる。

(3) 生徒は、各班の電子メトロノームを持ち、運動場の端に設置したスピーカーから徐々に遠ざかっていく。その際、班ごとに別々の方向に音源から同心円状に広がると、他班のメトロノームの音と区別しやすい。

(4) メトロノームの音が徐々にずれていくことを体感する。

(5) メトロノームの音が半打点ずれる位置，1打点ずれる位置を確認し，その距離を測定する。

(6) メトロノームの音の間隔と音源のメトロノームと半拍及び1拍ずれた距離から，音速を計算する。

### Ⅲ まとめ

実験結果の一例を示す。メトロノーム記号を150にしてメトロノームを使用したとき，0.4秒間隔で音が発せられる。このとき，1打点分のずれが確認できた距離が120mであったことから，音速＝距離/時間＝120m/0.4s＝300m/sという結果が得られた。気温15℃，1気圧の空气中を伝わる時の音速は，およそ340m/sであるため，ほぼ満足できる値が得られた。

課題は，広くて他に音を発するものが無い静かな場所で行う必要があることと，同じ機種メトロノームを準備し，音を一致させることである。場所については，グラウンドの他，十分な広さがある場所であれば候補として考えられる。しかし，周囲が山や建物で囲まれている環境では，音が反射してくるため，実験場所には向かないことがある。

電子メトロノームについては，異なる機種では微妙に誤差が生じることがあるため，同じ機種を班の数＋1台準備することが望ましい。しかし，あらかじめメトロノームの音を録音したものを用意することで，同様に実験することが可能である。また，フリーで使用できるスマートフォンアプリ（Metronome Beatsなど）を使用することも可能である。さらなる工夫で汎用的な実験となると考えている。

この実験の魅力は，音源から離れていくと，リズムを一致させておいた班のメトロノームの音が，音源のメトロノームの音と，徐々にずれていくことを体感することができる点である。知識で理解していても，体験することにより，学習意欲を持たせ，探究心を高めることや，知識の定着につながることを期待できる。

## <研究5>

# 中学校理科遺伝の学習におけるショウジョウバエの教材化

## I はじめに

現行学習指導要領における中学校理科生物領域の目標は、「生物や生物現象についての観察・実験を行い、観察・実験技能を習得させ、観察・実験の結果を分析して解釈し表現する能力を育てるとともに、生物の生活と種類、生命の連続性などについて理解させ、これらの事物・現象に対する科学的な見方や考え方を養う。」となっている。

「生命の連続性」では、身近な生物についての観察、実験を通して生物の成長と殖え方、遺伝現象について理解させるとともに、生命の連続性について認識を深めることが求められている。細胞分裂などの観察を行い、生物の成長や生殖を細胞のレベルでとらえさせるとともに、遺伝現象にも目を向けさせ、親から子へ形質が伝わることによって生命の連続性が保たれることを理解させることが主なねらいである。

「遺伝の規則性と遺伝子」は、「生物の成長と殖え方」で細胞は分裂によって増えること、有性生殖では両親から染色体を受け継ぐことを減数分裂と関連付けて学習したことをもとに、染色体にある遺伝子を介して親から子へ形質が伝わること、及び分離の法則について理解させることがねらいである。ここでは、交配実験の結果などに基づいて、親の形質が子に伝わる時の規則性を見出させることが求められている。

しかし、遺伝の実験は、結果がでるまでの時間がかかることや、複雑な要因がからんでいるものが多く、実際には、メンデルが行ったエンドウの実験結果をもとに授業を進めることが一般的である。分離比を調べる実験には、ピーターコーン粒の色を調べるものや、発芽したマツバボタンの花色を調べるものがあるが、自分たちで交配実験を行うことは難しいため、この単元において、理科の目標にある、「観察、実験の結果を分析して解釈し表現する」という点で、実感を伴った学習とすることは難しい。

そこで、本研究では、遺伝の研究において一般的に使われるショウジョウバエを、中学校の学習に取り入れ、交配実験をもとにして遺伝の規則性を見出す授業を提案する。ショウジョウバエは、大学や研究所の協力をもとに純系を入手する必要があるが、短期間で簡単に交配結果を観察することができる。自分たちが育てた生物で遺伝の規則性を考えることにより、実感を伴った理解ができると考えられる。ここでは、交配実験による子や孫の分離比から規則性を見出し、既習事項である減数分裂から、親から子へ形質が伝わるしくみについて、染色体上にある遺伝子と関連させて考えさせたい。さらに、他の形質についての実験を加えることにより、発展した探究学習につなげることも可能である。

## II ショウジョウバエの教材化

### 1 キイロショウジョウバエとは

キイロショウジョウバエ (*Drosophila melanogaster* : 以後ショウジョウバエと記す) は双翅目ショウジョウバエ科に属し、通称コバエとよばれることもある。ショウジョウバエの名前は、猩々(しょうじょう)というサルに似た架空の動物に由来し、果物の他、アルコールを好み、赤い眼をしているためである。

飼育に適した温度は、18～25℃であり、春や秋の気候の良い時期には、定温恒温器を使用しなくても室温で飼育可能である。25℃で飼育した場合、卵が生まれてから約220時間(10日弱)で成虫になる。成虫になった翌日には卵を産み始め、1匹の雌が1日に数十個の卵を産み、条件が良いと3週間位は産み続けるため、一生の間に1000匹以上の子を残すことが可能である。ショウジョウバエは、簡単に短期間で多量の個体を獲得できるため、遺伝の研究に大変適した生物である。

雌雄を区別する方法は、雄は一般に雌より小さく、腹部の背中側(腹部背板)の末端の2節の全体が黒く、前肢に性瘤とよばれる剛毛が生えていることで区別できる。また、区別するためには、腹部末端の外部生殖器の構造の違いを見る方法があり、雌は、先端に産卵管があり、尖っているのに対し、雄は、把握器とよばれるアーチ形の構造がみられ、多数の短い剛毛が生えている。はじめは、双眼実体顕微鏡で観察すると良いが、慣れると肉眼で判別することも可能である。しかし、羽化したばかりの成虫は区別が難しいため、雄の前肢にある性瘤とよばれる黒い器官を指標とするとよい。性瘤は、羽化直後が一番見やすく、徐々に見分けにくくなる。

## 2 飼育方法

ショウジョウバエ採集には発酵させたバナナを使うことが多い。餌は、ドライイースト、トウモロコシ粉(コーンミール)、ブドウ糖を寒天で固めた飼料を使用することが多いが、最近では、水を加えて3分で作成できるインスタント飼料(例:オリエントイースト(オリエンタル酵母株式会社))があるため、これを使用すれば簡単である。飼育には、直径約3cm×12cmの管ビン(または直径約2cmのガラス管やプラスチックチューブ)を滅菌して使用する。安価で軽量の使い捨てのプラスチック製容器(ディスプレイアル)も使用できる。管ビンに入れる飼料の量は、2～3cm位が適量である。また、スポンジ栓をして、ハエの逃亡や乾燥を防ぐ必要がある。突然変異体は、一般に、自然界では生育できないが、雑種との交雑を避けるため、逃がさないように注意する。

継代は、羽化後2～3日の成虫を雌雄ほぼ同数で10～20個体ほど新しい管ビンに移すと、2～3日後には培地中で幼虫が動き回るのを確認することができる。継代の際、成虫を他の管ビンに移し変えるときは、成虫が入った容器を机上で軽くたたくと、成虫が管ビンの下部に落ちるため、すばやく管ビンの蓋を取り、蓋を取った新しい管ビンを逆さまにして上にかぶせる。二つの管ビンをつなげたまま、新しい管ビンが下にくるよう逆さにし、再び管ビンを経上でたたくと、成虫が下部に落ちるため、すばやく蓋をすると移し変えることができる。また、吸虫管を利用して移し変える方法もある。実験で使用するショウジョウバエは、絶対に逃がさないように注意する。

雌の体内には精子を貯蔵する器官があり、交尾の際に雌に入った精子はその器官で長期間生き、必要に応じて受精に使われるため、交雑には、未交尾の雌(処女雌)を用意する必要がある。25℃の飼育環境下では、ショウジョウバエの雄は、羽化後8時間は交尾することができないため、羽化後8時間以内に、雌雄に分けてそれぞれ別の管ビンに移し変え、処女雌を用意する。

ショウジョウバエを雌雄に分けるときのや、実体顕微鏡で観察するときは、麻酔をかける必要がある。一般的な麻酔薬としては、ジエチルエーテルを使用する。ポリエチレン製の



洗浄瓶の中に綿を入れ、綿に麻酔薬を染み込ませる。洗浄瓶の先端をスポンジ栓の脇から管ビンに差し込み、気化した麻酔薬を流しこめば管ビン内で麻酔ができる。ジエチルエーテルは、人を含めて哺乳類にも作用するため、注意が必要である。また、引火性もあるため、十分換気をする必要がある。この他に、トリエチルアミンや炭酸ガスを使用する方法もあるが、ジエチルエーテルを使用する方法が一番簡単である。

### 3 実験

#### (1) 事前準備

系統の異なる雌雄を準備する。今回は、黄体色（正常）と黒体色（*ebony*）を使用する。黄体色の雌と黒体色の雄をそれぞれ3匹ずつ管ビンに入れて交配させる。（雌雄は逆でも可。）ここで生まれた子（ $F_1$ ）をさらに、雌雄3匹ずつ別の管ビンに入れて交配させ、孫（ $F_2$ ）を準備する。継代の段階から生徒に実験させ、班ごとに子と孫を育てる準備の段階から行わせるとよい。また、この段階から、雌雄の区別や体色の区別を教えておくとよい。

#### (2) 実験器具

子が入った管ビンと孫が入った管ビン（自分の班のもの）、柄付き針、シャーレ、ピペット、ろ紙、70%エタノール（ショウジョウバエを固定）、ルーペまたは実体顕微鏡

#### (3) 実験

- ア 班ごとに飼育した、子が入った管ビンと孫が入った管ビンを準備する。
- イ 子と孫、それぞれの管ビンにピペットを用いてエタノールを加え、ショウジョウバエが動かなくなったことを確認してから、別々のシャーレに移す。
- ウ 黄体色と黒体色の個体数を、子と孫それぞれで柄付き針を使って分けながら数え、記録する。ろ紙の上でルーペを使って観察すると、観察しやすい。
- エ 各班の結果を黒板にまとめ、実験結果から遺伝の規則性を考える。また、規則性について、染色体上にある遺伝子と関連させて考える。（マグネット式の染色体模型をホワイトボードに貼り付けながら考える。）

#### (4) 結果

表1 子と孫の分離比

班	子 黄色	子 黒色	孫 黄色	孫 黒色
1	20	0	159	49
2	16	0	176	73
3	22	0	89	45
4	38	0	53	38
5	52	0	78	36
6	41	0	103	22
7	21	0	69	18
8	44	0	60	9
9	15	0	115	22
10	36	0	10	3
計	305	0	912	315

子では、  
黄色：黒色 = 1 : 0  
孫では、  
黄色：黒色 = 3 : 1  
となった。

【参考】体色の他に、翅の形についても同様に実験を行った。翅の形は、カールしたもの（反り翅 *curled*）や退化したもの（痕跡翅 *vestigial*）を使用。孫では、体色と同様に、正常：変異（反り翅または反り翅）＝3：1となる。

#### 4 考察

ショウジョウバエの体色の遺伝についての実践法において、子では、黄体色：黒体色＝1：0、孫では、黄体色：黒体色＝3：1となった。メンデルが行ったエンドウの実験結果と同じになり、遺伝を実際の生物で体験することができた。遺伝の仕組みについては、体細胞に2本ずつある染色体が、減数分裂により、そのうちの1本ずつが親から子へ受け継がれ、受精によって、子は両親の染色体（遺伝子）を受け継ぐことは既習事項である。この実験観察により、現れた形質は、黄体色の個体と黒体色の個体の交雑実験では、黄体色の個体のみが生じることから、黄体色の遺伝子と黒体色の遺伝子のように、異なる両親の遺伝子が受け継がれた場合、どちらか片方の形質が発現することが分かる。（優性の法則）更に、この仕組みについて、染色体模型を使って考えさせることができる。

#### 5 発展

発展として、体色の遺伝と翅の形についての二遺伝子雑種について考察させることも可能である。二遺伝子雑種は、中学校では学習しないが、一遺伝子雑種の知識をもとにして、考察させることも考えられる。例えば、黄体色・正常翅×黒体色・痕跡翅のF<sub>2</sub>の分離比は、黄体色・正常翅：黄体色・痕跡翅：黒体色・正常翅：黒体色・痕跡翅＝9：3：3：1となる。これは、1つの形質に着目して考えれば、黄体色：黒体色＝3：1と正常翅：痕跡翅＝3：1を掛け合わせただけであることが分かる。

体色を黄色にするか黒色にするかに関わる遺伝子は、痕跡翅に関わる遺伝子とは異なる染色体に存在（独立）しているのに対し、反り翅に関わる遺伝子とは同じ染色体上に存在（連鎖）する。その結果、黄体色・正常翅×黒体色・反り翅のF<sub>2</sub>の分離比は、痕跡翅の結果とは明らかな違いが生じ、9：3：3：1にはならない。この結果を考察させることは困難であるが、生徒の好奇心を引き出す興味深い実験となると考えられる。

### IV おわりに

昆虫（ショウジョウバエ）を扱うことで、嫌悪感を持つ生徒がいると思われたが、自分たちで育てたということもあり、ほとんどの生徒が積極的に授業に参加している姿が見られた。実験結果から分析することが困難である遺伝の単元において、実感を伴った授業であり、生徒たちにとって有意義な実験であることがうかがえた。

今回の実践は、遺伝の学習の導入として単元の1時間目となる授業であり、メンデルの遺伝を学習する前であったが、一部の生徒は、メンデルの遺伝の法則を知っていた。しかし、1つ1つの班の結果だけでは、分離比は3：1とはならず、全班の結果を合計することで規則性が導かれることから、統計的な視点を持たせることができたと思われる。

中学校では、ショウジョウバエを飼育することが難しいため、どの学校でも可能な実験ではないと考える。しかし、以前に比べ、餌となる飼料や実験器具が改良されているため、飼育方法はずいぶん簡単になっている。この単元のときだけショウジョウバエを入手することができれば、難しい技術を必要とせずに実験を行うことが可能である。何より、学習指導

要領の理科の目標である「生物や生物現象についての観察，実験を行い，観察・実験技能を習得させ，観察，実験の結果を分析して解釈し表現する能力を育てる」ことを，遺伝の単元でも実践できることは，大変魅力的である。

最後に，今回の実験を行うにあたり，大学共同利用機関法人自然科学研究機構基礎生物学研究所の小林悟教授（現 筑波大学教授）には，実験方法について指導・助言及びキイロシヨウジヨウバエ等材料の提供をしていただいた。この場を借りて，お礼申し上げる。

#### 【参考文献】

- 1) 初見真知子, 澤正実 『シヨウジヨウバエの基礎遺伝実習』 愛知教育大学出版会, 2007
- 2) 『研究を支える生きものたち』 自然科学研究機構 基礎生物学研究所, 2007
- 3) 『シヨウジヨウバエ実験法（入門編）』 首都大学東京理工学研究科  
<http://www.biol.se.tmu.ac.jp/fly/index.html>（最終閲覧2015年2月12日）
- 4) 『科学の道具箱 遺伝子の実験とシヨウジヨウバエ 科学者・実務家のミニレクチャー』  
<http://www.rikanet.jst.go.jp/contents/cp0530/contents/02-09-01.html>  
（最終閲覧2015年2月12日）
- 5) 川崎陽久, 萱嶋泰成, 小野裕剛 『学生用実験教材としてのシヨウジヨウバエの取り扱い』  
慶應義塾大学, 2007
- 6) 太田次郎, 山崎和夫 他 『文部科学省検定済教科書 高等学校 理科総合B』 啓林館, 2005
- 7) 文部科学省 『中学校学習指導要領解説 理科編(平成20年9月)』 大日本図書, 2008