

考える力の育成を目指す実験活動

— 中学校理科における個別実験を含む授業展開 —

佐藤 美子・芝原 寛泰

(神戸大学附属中等教育学校住吉校舎・京都教育大学)

Activities in Experiments Aiming to Develop Thinking Ability of Students — A Coarse Plan of Individual Experiments in Science Education of Lower Secondary School —

Yoshiko SATO and Hiroyasu SHIBAHARA

2011年11月30日受理

抄録：中学校理科「電流とその利用」「生物の細胞と生殖」の単元を例に、考える力の育成を目指して、少人数による個別実験を含む様々な授業展開を試みた。個別実験を可能にするため、マイクロスケール化した実験器具の考案だけでなく、実験操作の簡略化による実験時間の短縮を念頭において教材開発を行った。「電流とその利用」の単元において、直列と並列の回路の学習では、ブラックボックス化した回路を外部の豆球の点灯の様子から推測する教材を、またフレミングの左手の法則の学習では、単線の銅ワイヤーと安全なUSB電源を使った電気ブランコの教材を開発した。「生物の細胞と生殖」の単元では、簡易なDNA抽出実験を取りあげた。授業実践では、いずれも個別実験だけでなく、グループ実験を主体とした討論による活動も含め考える力の育成を目指す実験活動を試みた。

キーワード：考える力の育成、中学校理科、科学リテラシー、マイクロスケール化、実験活動

I. はじめに

科学リテラシーに基づいた個々に求められる科学的能力の観点から、理科教育の果たすべき役割、特に実験活動の重要性をより強く認識し、そのあり方を模索してきた。科学的能力として具体的には、「科学的疑問を認識すること」「現象を科学的に説明すること」「科学的証拠を用いること」の3つをあげることができる。それらを達成するには、「考える力の育成」を目指した取り組みが重要と考え、すでに授業実践を含む報告をしてきた¹⁾²⁾。中学校理科の「水溶液の性質」¹⁾「だ液の働き」²⁾についての授業実践報告のうち、特に後者においては、実験プランニングを導入して、新学習指導要領³⁾で謳われている「問題を見だし、実験を計画する学習活動、結果を分析・解釈する学習活動の充実」を念頭に、実験の充実を目指した授業展開を紹介した。これらの報告では、実験廃液の削減および個別実験化というマイクロスケール実験⁴⁾の特徴を生かした取り組みについても言及した。すなわち、マイクロスケール実験では、自ら実験器具を手に取り実験を進め、積極的に実験に参加し、考える意欲と力を培うことができる。さらに生徒一人一人が自ら実験活動に責任をもって携わり、集中して取り組む機会を増すことで、科学的思考力・判断力を養い、科学リテラシーを獲得していく上でその可能性が飛躍するものと考え、通常実験と併用しながらマイクロスケール実験を取り入れてきた。今回は、化学分野の実験と異なり、物理・生物分野に該当するため、廃液量の削減ではなく、器具の小型化に伴う個別実験の実現に注目した。

次に理科の学習における個別実験の必要性について述べる。まず、生徒の「積極的な実験活動への参加」があげられる。マイクロスケール実験と同様に、器具が小さいので1つの実験テーブルで多くの器具を配置できる。したがって、4～5人で1つの実験という班活動中心の実験スタイルから、2人あるいは1人での個別実験も可能となる。班での実験活動では協力して実験を行うが、実験器具に触れる機会の少ない生徒も見られる。しかし実験を個別化することにより、自ら実験器具を手に取り実験を進め、積極的に実験に参加することで、その後のグループでの考察や討論を行うための考える意欲と力を培うことができる。

さらに、実験の個別化のために、実験器具のスケールを小さくすると、対照実験との比較やその他条件を変え

た結果も得ることが可能となる。また、操作の簡略化に伴い実験時間の短縮も実現する。その結果、限られた授業時間内での複数の実験を可能にし、実験結果を検討する時間的ゆとりも生じる。例えば、4人のグループ実験だけでなく、4人が各自、別々の実験を行い、それぞれ実験結果を比較検討し、考察することも可能である。このように、器具の小型化、実験の個別化により、様々な実験形態が可能となり、充実した実験活動を保証し、生徒に満足感を与える教育的効果は大きい。また、従来の実験では、限られた時間の中での再実験は不可能であったが、実験時間の短縮により、再度の実験も可能となった。生徒の意欲を失わせることなく、達成感を与え実験を充実させることができる。

本稿では、「水溶液の性質」¹⁾「だ液の働き」²⁾に続いて、同じく中学校理科の「電流とその利用」「生物の細胞と生殖」の単元を例に、次に示す3種類の実験を取りあげた。

- ①「電流とその利用」の教材実験その1ーブラックボックス回路の作製ー
- ②「電流とその利用」の教材実験その2ー簡易電気ブランコによる観察ー
- ③「生物の細胞と生殖」の教材実験ー簡単に安全なDNAの抽出ー

本稿の教材実験は、前述のように理科実験の中で物理分野、生物分野に関係する内容で、化学分野の実験のように廃液処理で問題になるような試薬類の削減については、あまり考慮する必要がない。しかし、器具の小型化および実験操作の簡略化により、個別実験も可能になり、従来のグループ実験を併用した授業展開を試みた。物理分野の実験では、グループ（小集団と呼ぶ）どうしの交流と全体討論を組合せ、生物分野の実験では、1～2人の個別実験に重点をおいた授業展開を試みた。いずれも、実験器具の小型化による1～2人の個別実験と、協同的学習を意識したグループ実験を併用した。すなわち、実験をとおして、集団の中における協調性と自己責任能力および言語能力の育成をねらいとして授業展開を考えた。

Ⅱ. 教材開発

中学校理科第一分野「電流とその利用」、および第二分野「生物の細胞と生殖」の単元から、すでに述べたように3つの実験をとりあげ、1～2人の個別実験が可能になるように、実験器具の小型化を目指した教材開発と、個別実験化に伴う新しい授業展開を考案した⁶⁾。

1. 「電流とその利用」の教材実験その1ーブラックボックス回路の作製ー

「電流とその利用」の単元の中では、電気回路における直列と並列の違いについて学習する。回路の違いにより豆電球などの負荷にかかる電圧や流れる電流の違いに注目し、2つの回路の違いを学ぶ。

まずブラックボックスの扱いに慣れるため、図1のように、紙製の菓子箱の側面に穴をあけ、端子を通したゴム栓をさしこみ、箱の中で幾つかの種類の結線を行う。菓子箱のふたをしてブラックボックス化した後、電池につながる豆電球の点灯により、外から内部の回路の結線と断線を区別する。図2は、生徒らが電池をつなぎ、豆電球を点灯させ作製した回路の状態を確認している様子である。できたブラックボックスを他の班に渡し解答をもとめることになる。図3は、実際に生徒が、他の班の生徒がつくったブラックボックスを調べているところである。両端の端子は3～5ヶ所にして、ブラックボックスに慣れることに重点をおいた。

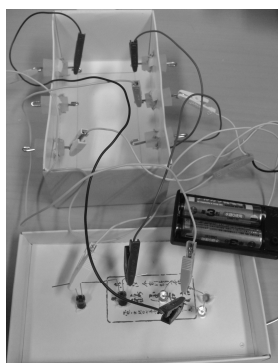


図1 紙製の菓子箱に穴をあけて作ったブラックボックス

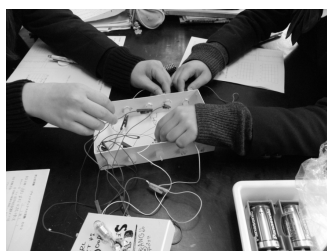


図2 ブラックボックスの配線を設定する様子



図3 ブラックボックスを調べる生徒の様子

次に、直列および並列の回路を含む結線において、配線された豆球の点灯の状態を、乾電池により回路の両端に電圧をかけて確かめる。その結果から、回路の結線の状態を推測する教材を考案した。すなわち回路の結線をブラックボックスとして箱に納め、生徒達はインプットとアウトプットの状態のみから推測する。直列・並列における電圧と電流の関係を的確に理解していないと、回路の結線について推測を誤ることになる。

作製方法を次に述べる。別の菓子箱を用意し、この中でケーブルとミノムシクリップおよび豆球を使い、直列と並列の結線を行う。この時、菓子箱にあけた穴に豆球を固定し、豆球の点滅を外から確認できるようにする。ブラックボックスの中の配線が複雑にならないよう、次のような条件を設定した。①菓子箱の側面からのインプット・アウトプットの数はそれぞれ5個とする。②豆球の数、直列および並列の組合せには4種類に限定した。③探索に使う外部の端子はプラスとマイナスを合わせ4ヶ所とする。④外部からのインプットは乾電池2個（直列3V）のみとし豆球の性能は同じと仮定した。



図4a：菓子箱の中の配線

b：ふたをして豆球を点灯

c：別の端子につないでいるところ

図4a、b、cは、菓子箱の中で直列、並列などの回路を構成したところである。図4aは箱の中の結線の様子を、b、cは、ふたをしてブラックボックスにしてつなげた豆球の点灯の様子を示している。外部の4か所の端子を、乾電池につながっているミノムシクリップではさみ、豆球の点灯の様子を確かめる。つなぐ端子により点灯の仕方が異なっていることから、中の配線を推定する。以上の実験をとおして、生徒は、科学的な探究方法である推測・仮説・検証の手順を学ぶことになる。

2. 「電流とその利用」の教材実験その2—簡易電気ブランコによる観察—

フレミングの左手の法則を学ぶ応用的な実験として「電気ブランコ」は、中学校理科の重要なテーマであり、電流と磁界の関係、さらに生じる力の方向との関係を、簡単に確認できる実験である。従来の電気ブランコの実験を改良し、さらに装置を単純化することにより実験スペースを小さくして生徒が一人ひとりで操作できるよう工夫を行った。また電源としてUSBハブからの直流5Vを使い、安全性を優先した。

図5は、作製した電気ブランコの実験の様子を示す。電源はスイッチ付きUSBハブを利用し、直流5Vをかける。コイルは銅線を用いた単線で、電流の流れる方向をわかりやすくしている。器具全体はストローで固定し、そのストローは96セルプレートの穴に差し込み安定化させている。さらに簡単には、図6のように発泡ポリスチレンの台に固定する方法もある。U型磁石の上下を反対にすることで、電流に対して磁力の方向を変えることができ、ブランコの振れを制御できる。

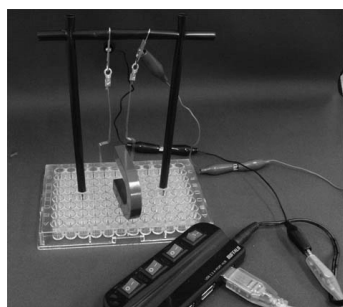


図5 単線による電気ブランコ

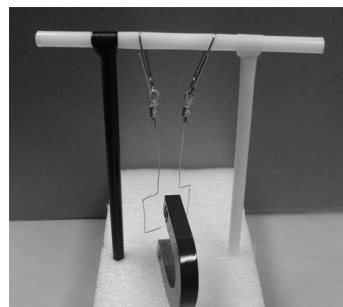


図6 発泡ポリスチレンの台にのせた場合

今回、開発した電気ブランコの実験教材としての特徴をまとめると、次の4点となる。1) コイルを単線にすることにより、装置が小型になり、また低電圧、低電流で動作するので安全に行える。2) USB ハブにより簡単に安定した直流電源が得られ、同時に4ヶ所のポートを利用できる。3) コイルを単線にすることにより、U型磁石の間に生じる磁力線と電流の方向の関係がわりやすくなる。4) 2人による個別実験が可能となり、電流と磁場の方向を変えて、結果をひとつひとつ確認しながらの学習が可能となる。

3. 「生物の細胞と生殖」の教材実験—簡単に安全なDNAの抽出—⁷⁾

染色体の中で遺伝情報をもつDNAを簡便な方法で、動物体と植物体から抽出し、遺伝の仕組みについて考える機会を与える教材実験である。研究レベルの機器を使わず、中学校理科で体験できるように操作の簡略化を図っている。

鳥レバーとブロッコリーの小片をすり潰して、サンプルチューブ内でハードコンタクトレンズ洗浄液と食塩水を混ぜて細胞を溶解し、セラミックヒーターによる湯浴で加熱後、注射器で濾過し余分なタンパク質を除く。冷却したエタノールで不溶化すると白い糸状のDNAが得られる。サンプルチューブの利用と簡易な加熱方法により短時間の個別実験が可能になった。

実験操作の手順について述べる。

1) できるだけ新鮮な鳥レバーの2~3gを、乳鉢などで約1分間すり潰す。冷凍と解凍を繰り返したレバーは適さない。ブロッコリーの成長の著しい先端部分1~2gをカッターナイフ等で切り落とし、同様にすり潰す。十分に冷凍したブロッコリーであれば、先端部分は簡単に切り落とすことができる。図7は、乳鉢ですり潰した鳥レバーの試料の様子を示している。図8はさらに簡単にするため、ジブロック付きビニール袋の中で、試験管の底を使ってすり潰した2種類の試料（鳥レバーとブロッコリー）を示す。

2) DNA抽出液を準備する。DNA抽出液は食塩水（ほぼ飽和溶液に近い）約1mLに対して、ハードコンタクトレンズ洗浄液0.5mLを加えて調整する。用いたハードコンタクトレンズ洗浄液（メニコン社製）の主な成分は、陰イオン界面活性剤と非イオン界面活性剤およびタンパク質分解酵素である。食塩水は浸透圧を大きくするためである。

3) すり潰した試料に、DNA抽出液を約1.5mL加え、さらに約3分間、すり潰す。

4) セラミックヒーターでビーカーの水を、70~80℃まで加熱しておき、すり潰した試料液を蓋付きサンプルチューブにいれ約10分間、浮かべ湯浴する。このときサンプルチューブをフローターに差し込んで浮かせる。あるいは身近な気泡緩衝材を使ってフローターの代わりにしてもよい。またできるだけ70~80℃に保つように蓋などをして保温する。図9は気泡緩衝材をフローターの代わりに使って湯煎しているところである。

5) 綿をいれた注射器に加熱した試料をいれ、シリンジを押し別サンプルチューブにろ液をいれる（図10）。

6) サンプルチューブにいれたろ液の1~2滴を、冷却しておいた約80%エタノールをいれた別のサンプルチューブにいれ、蓋をして上下によく振る。

7) 振った後、しばらく静置すると、エタノールに溶けきれなかった糸状の物質が観察される。



図7 乳鉢ですり潰した鳥レバーの試料



図8 ビニール袋の中ですり潰した試料



図9 DNA抽出液入りの試料を湯浴で加熱

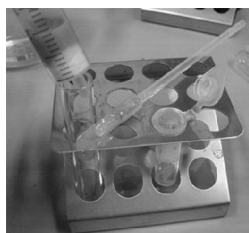


図 10 注射器でろ過

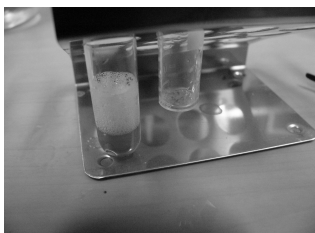


図 11 エタノールで抽出
(ブロッコリー)

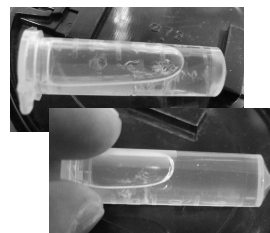


図 12 抽出したDNA・鳥レバー (上)・
ブロッコリー (下)

最終的に得られた抽出物には、多くの不純物が残っていると考えられる。今回は、中学校理科における実験をとおして、遺伝の仕組みに関心を持ち、また動植物について遺伝子レベルで考えるきっかけとなることを主眼においた。

III. 授業実践

開発した実験教材を用いて第一分野「電流とその利用」および第二分野「生物の細胞と生殖」の単元の学習において、授業実践を行った。中学3年生 115名 (3クラス、男子 50名、女子 65名) を主に対象として、2010年2月および9月に授業を実施した。

1. 「電流とその利用」の授業実践

2つのテーマに分けて、次の内容を学習目標に授業を行った。各50分の授業で実施した。

- 1) ブラックボックスにより、直列・並列における電流と電圧の関係を考える。
- 2) 小型電気ブランコ実験により、電流がつくる磁界について考える

まず1) では、ブラックボックスとみなした紙箱の中の回路の配線を、穴の部分の端子を使い、外部からの電流の流れ方により推測する。単純な導通テストで練習後、次に複雑な直列・並列を含む配線を、豆球の点灯の様子より推測する。ブラックボックス内の配線と回路をグループで議論しながら設定し、それを別グループと交換する。その配線を測定結果から考察することにより、実験に対する興味付けと、協調性の涵養をねらいとした。

前半の練習として行った導通テストの実験の様子は図2および3に示した。各班の結果を黒板で発表している様子を図13に示す。次の直列と並列を含むブラックボックス内の配線を推定する実験の様子を図14に示す。乾電池2個を電源として箱の横側にある端子に、クリップを順につなぎ豆球の点灯の様子を観察している。図15は、ブラックボックスの中の配線を調べた結果を、各班毎に発表しているところである。自分たちで設定した回路が、他の班のメンバーにより正しく解答されているかを確認している場面である。

次に2) の学習では、電流がつくる磁界と力の関係について考える実験として図5、6に示したように、単線の銅線とストロー等を用いて、小型化した電気ブランコ装置を用いた。この器具を用いると2人による個別実験が可能となり、電流と磁界の方向を変えて、結果をひとつひとつ確認しながらの学習が可能となった。また小型化した装置により電流、電圧も小さく安全性も向上した。

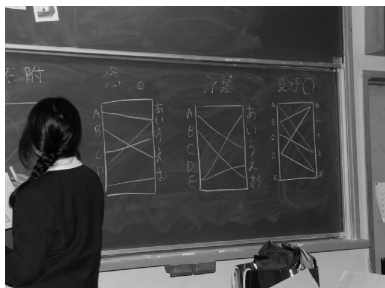


図 13 導通テストの結果発表

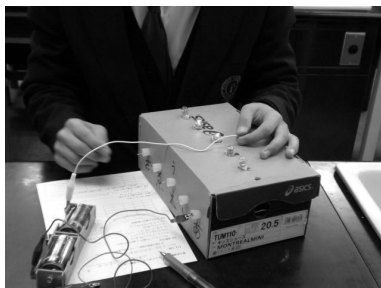


図 14 直列・並列の配線を推測

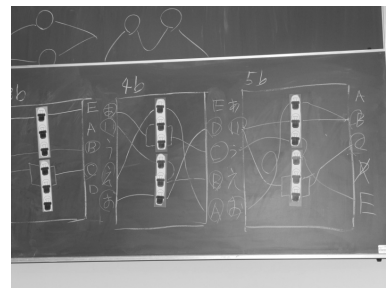


図 15 各班による結果を発表

図16は2人一組の個別実験により、電気ブランコの実験を行っているところで、電流の方向、磁界の向きを変え確認しながらコイルの向きを調べている。

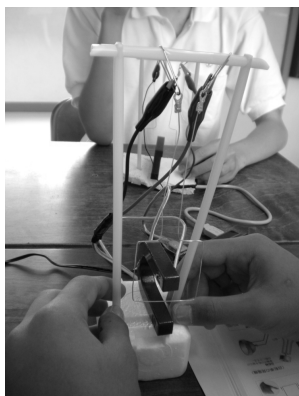


図16 個別実験による
電気ブランコの実験



図17 抽出したDNAを観察する生徒

2. 「生物の細胞と生殖」の授業実践

発展的な内容として実施した「DNAの抽出実験」の実践例について紹介する。授業は2人一組による個別実験で行い、実験操作の各段階を詳細に観察するように指導した。図17は、最終段階で抽出したDNAの試料を観察している生徒の様子である。ミニ試験管をZ型試験管立てに並べて、比較して観察がしやすいようにしている。実験操作は加熱に10分程度必要とするが、その他の操作は非常に簡略化され短時間で完了する。従って、糸状の抽出物が無事に得られない場合は、エタノール液による溶解の操作以降であれば、非常に短時間に再度の実験を行うことができる。得られた抽出物を顕微鏡で詳細を観察することも可能であるが、本時の授業では省略した。



IV. おわりに

2つのテーマについての授業実践をとおして、実験器具の小型化による個別実験を含む授業形態の多様化が実現できたこと、すなわち1～2人の個別実験、4人の小集団によるグループ実験と討論、さらにクラス全体による結果発表と討論が、授業時間内に実施できることがわかった。図18および図19に、生徒による授業後の感想を示す。図18では、条件を変えながらの自らの実験により「フレミングの左手の法則」を立証できたことに満足し、勉強意欲への向上が率直に述べられている。理科授業における個別実験の大切さを端的に表している。図19では、個別実験による責任の重さを感じながらも、協力して完成させたことの喜びが述べられている。集団の中における協調性と自己責任能力の育成が、実験活動をとおして図られたことをうかがわせる内容である。従来の教卓での演示実験やグループ実験などの実験形態だけでなく、個別実験も含めた授業の展開が、「考える力の育成」につながる積極的な実験活動の基礎になっている。個人の力を高めることが、グループでの考察や討論を活発させる要因になっていることがわかる。

今まで化学分野に限定されていたマイクロスケール実験の基本的な考え方—個別実験による実験活動の多様化—に基づいた授業展開が、他の物理分野、生物分野においても、十分に応用できることがわかった。今後も、多くの実験教材を対象に、教材開発と授業実践を継続的に行うこと、また客観的な評価方法の検討も含め課題としたい。

問題を解く時は紙上だけなので「動く」という実感はなかった。
けれどこの実験を通して、ルミナの左の法則は本当だということを実証できた
のでよかった。これから、問題をとく時、自信をもて書けると思う。

図18 電気ブランコの実験を行った生徒の感想

 実験について 


授業でも、回路はやっていましたが、上手につくれる
自信はありませんでした。でも、なんとか  こんとすかか
して、自分たちの回路を完成させることができました。
しかし、回路を交換した木目手の人がついたら回路が
とてもむずかしくて、悪戦苦闘しました。
なので、もっと勉強して力をつけていきたいです。

図19 回路の作製を行った生徒の感想

本研究は科研費（基盤研究（C）、課題番号23501016、代表者 芝原寛泰）により実施された。

参考文献

- 1) 佐藤美子、芝原寛泰、「環境にやさしい理科教育実験—中学校理科におけるマイクロスケール実験の実践例—」京都教育大学環境教育研究年報、第17号、pp.15-27、2009年
- 2) 佐藤美子、芝原寛泰、「考える力の育成を目指す生徒による実験プランニング」、京都教育大学教育実研究紀要、第10号 pp.71-80、2010年
- 3) 文部科学省「中学校学習指導要領解説 理科編」2008年
- 4) 芝原寛泰、佐藤美子、「マイクロスケール実験—環境にやさしい理科実験」131pp、オーム社、2011年
- 5) 佐藤美子、芝原寛泰、「中学校理科における酸とアルカリの中和反応に関する授業実践例—マイクロスケール実験を用いて—」日本理科教育学会近畿支部大会発表論文集、p48、2008年
- 6) 佐藤美子、「考える力の育成を目指す実験活動—中学校理科「電流とその利用」「生物の細胞と生殖」の単元を例に—」日本理科教育学会全国大会発表論文集、p.435、2010年
- 7) 例えば、「DNA抽出キット」日本科学未来館 実験工房、2010年