

義務教育段階の理科実験授業に関わる教材研究

辻井 宏之・酒寄 淳史・川幡 佳一・井原 良訓

Development of experimental learning materials for science education in elementary and junior high school

Hiroyuki TSUJII, Atsushi SAKAYORI, Keiichi KAWABATA and Yoshinori IHARA

1. はじめに

義務教育段階の理科実験授業においては、体験活動を含めた観察・実験などを通じた基礎的・基本的な知識及び技能の習得が重視される。そこで著者らは、物理・化学・生物・地学各分野の観察・実験の指導力向上を目的とし、これに必要となる専門的知識や技能を習得するための教材研究を行った。また、これを実践的に検証するために、金沢大学と石川県教育委員会との連携ゼミナールにおいて石川県学校教員に対する講習を行った。

本稿は、平成22年度から平成23年度にわたって行われた「小・中学校理科ゼミ」の活動内容をベースに、①提案した教材についてのゼミ生の評価^{1,2)}をもとに改善を試み、②現場教員の理科に対する展開力・応用力をさらに養う視点で、教員研修メニューとして改めて再考し提案するものである。以下、物理・化学・生物・地学の4分野に分けて記述する。

2. 物理分野

(1) 目的

小学校第5学年の「電流の働き」および中学校第2学年の「電流と磁界」の各単元においては、導線で作製した電磁石に電流を流し、電磁石の強さの変化やコイルのまわりの磁界の観察を通して、電流の働きについて学習する。

導線をらせん状に巻いた円筒形のコイルでは、その内側にコイルの軸に平行な磁界ができる。

磁界を強くするには、巻き数を多くすること、流す電流を大きくすること、鉄芯を入れることなどが考えられる。有限の長さのコイルでは、磁界の大きさは単位長さあたりの巻き数に比例し、中心の磁界が強く、コイルの端から離れると磁界が弱くなる。このため、小学校理科での電磁石の実験で磁界の強さをクリップの数で比べる方法は、巻き方、巻き数、コイルからの距離などの影響で、比例関係にならないなどあいまいな結果になりやすい。

電磁石と永久磁石の間の反発力を上皿天秤で測定³⁾することによって、コイルの巻き数や電流の大きさと電磁石の強さの関係を理解することを目的とした。

(2) 方法

上皿天秤の片側に永久磁石をのせ、他方に磁石と等しい質量のワッシャーなどのおもりを乗せてつりあいの位置になるように調節する。コイルを磁石の中央に位置するようにしながら磁石から1 mm程度まで近づけて固定する。

コイルと磁石が乗った皿と反対の皿に分銅を乗せて、これにつり合うようにコイルに流す電流を調節する。電流の調整には、コイルに接続した乾電池と可変抵抗を用いる。

分銅を0.1 gずつ増加させて、反発力と電流の関係を調べると、比例関係になることが分かる。導線の太さやコイルの層数を変えて、単位長さあたりの巻き数に比例する電磁石の性質がよく理解できる。

(3) 成果と課題

電磁石の強さの測定方法は、磁石の特性である同極での反発力を応用し、電流の強さを導き出すことが可能で、反発力と電流の強さの比例関係を実感することができる。

上皿天秤を用いた実験は、第5学年の児童にとっては緻密な作業・実験であるため、教師による演示実験による一斉指導に適している。上皿天秤の代わりに電子天秤を用いることで、実験操作を簡略化できる。この場合には児童生徒の参加も可能であろう。

3. 化学分野

(1) 目的

物理量の変化や化学変化を瞬時に色変化で確認できる試薬・材料は、観察・実験の手助けとなり、大きな教育的効果を生むことが期待される。特に、物質が外部の刺激(熱, 光, 電気など)に反応して色が変わる現象(クロモトロピズム)は格好の教材対象となり、例えば、小学校の「ものの温まり方」や「熱伝導」の単元では、感温変色剤が学校教材として広く普及している。

ここでは、主に、中学校の化学分野に焦点を絞り、サーモクロミズムやソルヴァトロミズム(溶かす溶媒によって溶液の色が異なる現象)が利用可能な単元を探るとともに、生徒の化学への興味を高めるための演示実験としての有効性を検証した。

(2) 教材の内容と原理

①ソルヴァトロミズムの利用

‘溶解’という現象の理解の手助けに、2種類の錯体, $[\text{Ni}(\text{trop})(\text{tmen})]\text{B}(\text{C}_6\text{H}_5)_4$ ⁴⁾ および $[\text{Cu}(\text{trop})(\text{tmen})]\text{B}(\text{C}_6\text{H}_5)_4$ ⁵⁾ (trop = トロポロン; tmen = N,N,N',N'-テトラメチルエチレンジアミン) を合成し、種々の溶媒(ニトロメタン, アセトニトリル, アセトン, エタノール, メタノールなど)に溶かして、ソルヴァトロミズムの様子を観察する。

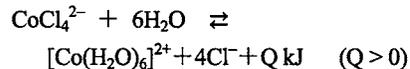
ニッケル(II)錯体では、赤～橙～緑色に、銅(II)

錯体では赤～赤紫～青～緑色に呈色する。これは、溶媒のドナー性・アクセプター性の違いによるものと理解できる。

②サーモクロミズムとソルヴァトロミズムの併用

塩化コバルト温度計⁶⁾の原理を水とエタノールの混合物の蒸留に利用する。

ヘキサアコバルト(II)イオンは赤紫色、テトラクロロコバルト(II)イオンは青色で、次の平衡で示される。



エタノール溶液中では、クロロ錯体となり青色となるが、水を加えることにより、平衡が右に移動し、赤紫色の錯体を生じる。この反応は、右向きが発熱反応であるため、温度が高くなると平衡が左に進み、低くなると右に進む。

実際の蒸留は次の手順で行う。

- ・塩化コバルトの2%エチルアルコール溶液をつくり、水と4:1の割合で混合する。全体で10 ml程度調整する。
- ・蒸留装置を組み、蒸留を始める。
- ・ピンク色(室温) → 赤紫色(50°C) → 青紫色(60°C) → 青色(エタノールの沸点)と変化し、エタノールが除かれるにしたがって、また元のピンク色に戻る。示温の変域を示したカードを用意しておけば、色変化と温度変化の関係が分かりやすくなる。

(3) 成果と課題

①ソルヴァトロミズムを示す錯体は、溶解という現象が溶媒和(溶媒-溶質相互作用)であることを理解する上で有効であり、溶媒の極性を示す格好の視覚教材となる。

ただし、現場では錯体の合成に手間取ることが予想されるため、要望があれば、適宜提供する用意がある。

②蒸留における塩化コバルト温度計の利用は、混合物が分離されていく過程が色変化として確認できる有益な教材と考えられ、実際の単元に組み込む事も可能である。

ただし、エタノールの量比が高いことから、直火での加熱に注意が必要となり、演示実験として行うのが適当であろう。より低沸点のメタノールやアセトンを経たエタノールの代替とすれば、電気式ウォーターバス上で安全に行えるようになると思われる。

また、①も②も、その原理の解説は難しいが、多少でも関連する単元で、演示実験などで活用すれば、化学への興味・関心を誘う一助となる。

4. 生物分野

(1) 目的

小学校生物分野に関わる教材研究としては、定期的に採集した小学校周辺の水生生物を観察・分類した。これは、学習指導要領の「身近な自然の観察」(第3学年)、「季節と生物」(第4学年)、「動物の誕生(水中の小さな生物)」(第5学年)、「生物と環境(食べ物による生物の関係)」(第6学年)の各項目に関係する内容である。

中学校生物分野に関わる教材研究としては、イカ標本を解剖し、その形態を観察した。これは、学習指導要領の「動物の体のつくりと働き」と「動物の仲間」(第2学年)に関係すると同時に、軟体動物と脊椎動物の比較形態は「生物の変遷と進化」(第2学年)に通じる内容である。児童生徒は動物の解剖に抵抗を示す場合があるが、食材となる動物を用いることでこれを回避できる。

(2) 方法

水生生物の採集には、各種ネットやストッキング生地などを利用した。標本中の個体数密度が低い場合は、沈殿させた後に顕微鏡を用いて観察した。その際グリセリンを滴下することにより、標本を安定化でき観察が容易になった。同時に観察中の乾燥を防ぐこともできた。

解剖標本には、冷凍スルメイカを準備した。イカは比較的安価であり、冷凍・解凍による損傷も少なかった。具体的な手順は以下の通りである。

- 1 スルメイカの外観を観察し、各器官を確認する(腕8本、触腕2本、口、くちばし、漏斗など)。
- 2 腹面から外套膜にハサミを入れ、内臓を露出させ、諸器官を確認する(肝臓、直腸、えら、心臓、胃、すみぶくろ、生殖腺など)。
- 3 外套膜をはずし、各器官を解剖して観察する(食道、胃、脳、生殖腺など)。
- 4 器官の細部の確認を行う(心臓の大きさ、胃や直腸の内容物、えらのつくりなど)。
- 5 口から食道、食道から胃、そして直腸へと消化管のつながりを確認する。
- 6 消化管全体をとり出す。
- 7 口から墨汁を流し、食道や胃を通過して直腸、肛門へ流れることを確認する。

(3) 成果と課題

・水生生物

各小学校の標本は以下のものであった。授業で観察する前に採集場所・時期・方法を検討して行う必要があることを実感することができた。

- 1 前庭の池の底の沈殿物を採取：動物、植物プランクトンが見られた。
- 2 鯉が住んでいる池の水：沈殿物の中には生き物の死骸が見えたが、採取の方法が悪かったのか、他には見えなかった。鯉の糞の中にはいたかもしれない。
- 3 学校裏のビオトープ(6年前に作成)の土も合わせて採取：動物プランクトンの死骸の一部と思われるものが見つかった。
- 4 理科室横にある観察池から採取：水生植物の葉の裏の水に動物プランクトンが見えた。

独立栄養生物から従属栄養生物への物質循環に加えて、生物の死骸や排出物などの有機炭素の利用による回帰もあることを前提にして現象を解釈することが有効である。

・イカの形態

「イカのからだの解剖」は、新指導要領から取り入れられているが、実施率は低いようである。生徒のナマモノ忌避への配慮に加えて、教員の知識・技量不足もその原因であると想像で

きる。しかし、理科は実際に体験してみることが重要な教科である。嫌な思いをする生徒もいるだろうが、実習をすることにより生徒の記憶にも残るし、さらに高い興味・関心へとつながるケースもあるだろう。本研修において、教員が生物の構造と機能を具体的に実感し、これを生徒に伝えていくことが重要であることが明らかになった。

5. 地学分野

(1) 目的

地学で扱う対象は時間的にも空間的にもスケールが大きな場合が多いため、他の分野に比べると地学分野の実験・実習教材は少ない。しかしながら、実験や実習を適切に取り入れた授業は、児童生徒の興味を喚起し、地学的事象を理解する上でも有効であると考えられる。ゆえに、地学分野においても新たな実験・実習教材の開発が望まれるとともに、先人が開発したすぐれた教材を見出し、それらを活用すべく評価や検討を加えることも重要であると考えられる。ここでは、既存の実習教材である寒天を使った地層模型のボーリングを取り上げ、教材としての有用性や製作・使用に際して留意すべき事について検討を行った。

(2) 方法

本教材については、浅井(1995)⁷⁾が「寒天地層モデルを用いた「ボーリングごっこ」」の名称で、小学校6年の「土地のつくり」の授業における実践報告を行っている。この報告の中では、本教材が中学校や高等学校の地学分野においても活用できる可能性を述べている。中学校理科では「大地の成り立ちと変化」の教材として適しており、この教材を通して地層の広がり方の規則性やボーリング調査の方法について学ぶことができる。実際に石川県の中学校教員の中には、浅井(1995)の教材に改良を加え、理科の授業において積極的に活用しているものもある⁸⁾。

筆者が担当した「小・中学校理科ゼミ(地学)」では、上述の改良した教材を用いて実習を行っ

た。その手順は次の通りである。①不透明な容器(縦=約9cm,横=約12cm,高さ=約4cm)に、絵の具を混ぜて着色した寒天溶液を順次流し込み、色の異なる寒天で層状構造を作る。②完成した地層模型の表面に4本の毛細管を一直線上に並ぶように刺し、それらを引き抜くことで、寒天の柱状試料を採取する。③柱状試料に基づき、容器内の寒天の断面図を描く。④一つの地層模型について、平行な断面図を複数作成することで、容器内の3次元的な地層の広がり方を推定する。⑤容器から地層模型を取り出して、断面線に沿って切断し、予想した断面図や3次元構造との答え合わせをする。

(3) 成果と課題

実際の授業では、3~4人の班ごとに一つの地層模型が与えられ、各自が断面図をそれぞれ作成し、それらの断面図から地層模型の立体構造を推定する状況が想定される。ここで、各自がどこをボーリングするかの作業計画を、児童生徒たちに自由に考えさせるのも一つ方法である。しかし、ボーリング調査の方法を学ぶという観点に立てば、平行な断面図を複数作成することで立体的な地質構造を推測するという実際の手順は押さえておく必要があるだろう。また、各断面図が同じ構造を示すよりも、断面図ごとに系統的な違いがみられた方が、地層模型の立体構造を推定する際に興味がわくと思われる。そのため、容器を傾けて傾斜した寒天層を作り、その上に水平な寒天層を重ねるなど、地層模型を作る際に工夫があるとより教材として魅力が増すと思われる。ただし、過度に複雑な地層模型を作ることは、教材の本来の目的を見失うことになりかねないので注意が必要である。

寒天を使った地層模型のボーリングを、中学校の授業で実践した教員によると、普段はほとんど授業に参加しない生徒も熱中する「強力な教材」とのことであった。毛細管のボーリングデータから、2次元の断面図、さらには3次元構造を予想するのは、ゲームに似た面白さをもたらし、最後に容器から寒天を取り出して答え

合わせをする際には、児童生徒たちは期待感で盛り上がる。それだけに本教材を用いる際には、単なる遊びに終わらないよう、教員は地層との関連づけを意識して、授業の中で適切に活用することが重要である。

参考文献

- 1) 小学校理科ゼミ 金沢大学連携研修の成果 紀要 第6号 51-64 (2011).
- 2) 中学校理科ゼミ 金沢大学連携研修の成果 紀要 第7号 49-60 (2012).
- 3) 山口昇：「上皿天秤を使って行う電磁石の磁力測定」, 理科の教育 44, 590-59 (1995).
- 4) Y. Ihara, *et al*, Preparation and Spectral Study of Mixed-ligand Nickel(II) Chelates Containing N- or N,N'-Methylated Ethylenediamines and Tropolonate or Hinokitiolate Ligands, *Polyhedron*, 17, 3247-3253 (1998).
- 5) Y. Ihara, *et al*, Solvatochromic Mixed-Ligand Copper(II) Chelates with N- or N,N'-Methylated Ethylenediamines and Tropolonate or Hinokitiolate Ligands, *Polyhedron*, 15, 3643-3646 (1996).
- 6) L. R. Summerlin and E. J. Laly：「実験による化学への招待」, 87-88, 丸善, (1987).
- 7) 浅井孝一：「寒地層モデルを用いた「ボーリングごっこ」」, 理科の教育 44, 14-15 (1995).
- 8) 中高地学ゼミ 金沢大学連携研修の成果 紀要第1号 69-81 (2006).