

中学校理科の探究活動として利用可能な簡易な実験教材とその活用法

Simple Experimental Teaching Materials and Their Utilizations
for Research Activities in Lower Secondary Science

寺 島 幸 生

TERASHIMA Yukio

鳴門教育大学学校教育研究紀要

第 34 号

Bulletin of Center for Collaboration in Community

Naruto University of Education

No.34, Feb, 2020

中学校理科の探究活動として利用可能な簡易な実験教材とその活用法

Simple Experimental Teaching Materials and Their Utilizations for Research Activities in Lower Secondary Science

寺島 幸生

〒772-8502 鳴門市鳴門町高島字中島748番地 鳴門教育大学
TERASHIMA Yukio
Naruto University of Education
748 Nakashima, Takashima, Naruto-cho, Naruto-shi, 772-8502, Japan

抄録：理科における探究活動は、学習者が科学的に探究する能力や態度を養う上で重要であるが、その準備における教師の負担が大きく敬遠されがちである。この課題解決に向けて、本研究では、身近かつ簡単に入手できる材料だけで準備できるいくつかの実験教材を開発し、それらを用いた中学校理科の発展的な探究活動を実践した。参加した中学生は、仮説、観察・実験、その結果に基づく結論の導出に至る探究の過程を適切に実行することができた。今回開発した教材や探究活動は、費用対効果に優れ、科学的に探究する能力や態度を養う上で有用であることが明らかとなった。

キーワード：探究活動, 中学校理科, 実験教材

Abstract : Research activities in science education are useful to enhance learners' scientific inquiry abilities and attitudes. However, many teachers tend to omit such important activities in their classes because of their heavy burden in preparation. To solve this problem, we developed several simple experiments only with daily materials, and practiced advanced research activities for lower secondary students by using the teaching materials. The participants in the activities were able to perform reasonable scientific processes including hypotheses, observations, experiments and conclusions based on the obtained results. We found that the developed teaching materials and research activities are cost-effective and useful for students to improve their scientific inquiry abilities and attitudes.

Keywords : Research activity, Lower secondary science, Experimental teaching material

I. 研究の背景と目的

日本の理科教育が抱える課題として、幼少期からの自然体験が不足していることや、理科を学習する意義や科学技術の価値を実感する生徒の割合が諸外国に比べて低いことなどがあげられる。これらの課題解決に向けて、生徒が身近な自然事象への興味・関心を高めつつ、科学的に探究する態度や能力を育むことができる探究活動の充実が求められている。しかしながら、生徒主体の探究活動を実践するには、生徒用の実験器具や生徒の学習状況に応じた入念な指導計画が必要であり、教科書に即した通常の授業に比べて、教師の準備負担が大きい。したがって、多くの教師が探究活動の重要性を認識しながらも、現実には、生徒主体の探究活動の実践を敬遠しがちである。このような背景を踏まえて、筆者らは、簡単に実践できる探究活動として、カエデの翼果の落下実験とその落下運動を再現する模型作りを行う学習活動を高校

や中学校で実践し、この活動が科学的に探究する能力や翼果とその模型作りへの興味・関心を高める上で有用であることを実証した(寺島, 2014, 2017; 寺島・森, 2017)。

本研究では、身近で簡単に入手できる材料だけを用いて、中学校理科の発展的な探究活動に利用できる実験教材を開発し、それを用いた簡単な探究活動を実践した。その概略だけは別稿(寺島, 2019)で報告したが、本稿では、開発教材の特性と実践した活動の具体的内容を紹介し、生徒の実験結果や活動実態に基づいて、開発した教材および探究活動の教育的意義と今後の課題・展望について検討する。

II. 開発教材とそれを用いた探究活動の実際

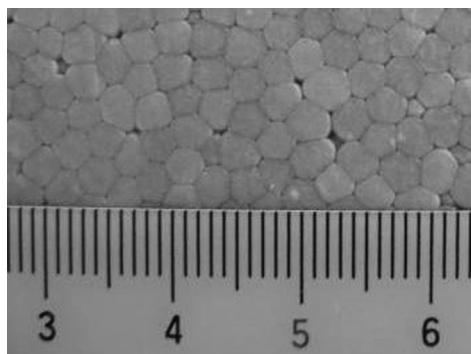
1. 探究活動の概要

2014年以降の毎年7月下旬、徳島県内の中高一貫A中

学校での夏期講座（夏季長期休業中の課外講義・演習）において、中学1、2年生約40名を対象に、以下の要領で出張講義および生徒主体の探究活動を実践してきた。この夏期講座は、主に中学1年生の希望者を対象に、科学的に探究する能力を養うことを意図して、夏休みの自由研究の進め方について学ぶという設定で例年実施されている。講座の前半（1コマ50分間）で、講師（著者）から、テーマ設定、実験・観察、結果の整理とグラフ表示、考察、まとめの各ノウハウについて解説している。続いて、2コマ連続100分間で、ミニ自由研究と題して、生徒主体の探究活動を実践している。2014年、2016年、2019年には「発泡スチロール素材の微細構造の観察」、2015年、2018年には「小型アルミカップの落下実験」、2017年には「ビンゴゲームによるパーコレーションのモデル実験」を行った。以下では、各探究活動で用いた教材の特性と生徒の活動の実際について紹介する。

2. 発泡スチロール素材の微細構造の観察

発泡体は、一定体積下で表面エネルギーを最小にしようとする液体や固体に取り囲まれた気泡の集合体である。軽量性、緩衝性、断熱性に優れているため、今日では多くの製品に応用され日常的に使用されている。例えば、発泡スチロール製の保冷容器（クーラーボックス）やクッション材などは、発泡体の特長を利用した代表的な製品・



(a)



(b)

図1 (a)発泡スチロール素材表面に並ぶ多角形ビーズの様子(下部の定規の数値はcm単位)と、(b)各多角形ビーズを色分けしながら計測する生徒の様子

素材である。高校の教科書（例えば、齋藤ほか20名、2016）でも、身近なプラスチック素材として紹介されているが、素材の特性をその微視的構造と関係付けて学ぶ教材や授業は、未だ十分開発、実践されていない。

発泡スチロールの保冷容器表面を注視すると、図1(a)に示すような微小な多角形のビーズ（固形の泡）の集まりでできていることがわかる（Terashima & Tamura, 2014）。一般に、空間中に多数の点が分散しているとき、隣り合った点の垂直二等分面を作ることにより全空間を多面体に分割することができ、この多面体をポロノイ多面体、この分割をポロノイ分割とよぶ。平面上の点の集合からも、ポロノイ分割によって平面をポロノイ多角形に分割でき、その平面は6角形、5角形を中心とした多角形構造となる。この多角形構造は、空間や平面上の点の縄張りを表しており、生物の縄張りや人口密度に関する研究にも応用される他、石鹼の泡など発泡体の多角形構造もポロノイ多角形で概ね説明できる。

2014、2016、2019年度の夏期講座では、「発泡スチロール素材表面には何角形が多いか調べよう」という課題を設定し、図1(b)に示すように、生徒一人ひとりが、多角形ビーズの個数を計測し、全員の結果を集計して、その多角形構造を明らかにする探究活動を実施した。生徒は自身が持参した素材表面の見た目から、4、5、6角形が比較的多いという仮説を立てた。2016年度には、各生徒が70～80個程度の多角形を数え、参加生徒30名で総計2305個のビーズを計測した。その結果、各多角形（個数）は、3角形（17個）、4角形（193個）、5角形（619個）、6角形（1248個）、7角形（204個）、8角形（24個）、9角形以降（0個）であった。生徒は、無作為に点が描画されたワークシートを用いて、ポロノイ分割・多角形を作図し、こちらでも、6角形、5角形中心の多角形で構成されることを確認した。これらの結果を踏まえて、生徒は、発泡スチロール素材表面のビーズの多角形構造がポロノイ多角形で概ね説明できることを見出した。

以上の実験から、発泡スチロール表面の多角形構造は、石鹼泡（Flyvbjerg, 1993）に類似して6角形を中心とした多角形構造を示すことが確認された。本教材は、液体の石鹼泡よりも準備・作製・保存が容易であり、2次元的な泡構造を簡単かつ明瞭に観察できるため、発泡体の物理的性質を微視的な構造と関連付けて探究的に学習する教材として有用だと言える。

3. 小型アルミカップの落下実験

中学校理科第1分野や高等学校の物理基礎では、落体の運動として、空気抵抗などの摩擦を考慮せず重力だけを受けて加速しながら落下する自由落下運動について学習する。実際の多くの落下運動では、落下方向とは逆向

きにはたらく抵抗力が無視できず、その落体の形状や密度、流体の粘性等を考慮する必要がある。これらの抵抗力は落下速度とともに大きくなり、やがて重力と抵抗力がつり合うと物体は等速（終端速度）で落下するようになる。これまでに、寺島ら（2013）は、翼が付いたカエデなどの植物種子（翼果）は、翼の部分にはたらく空気抵抗によって、はじめ自由落下に近い運動をするが、やがてほぼ一定の速さで回転しながら緩慢に落下することを明らかにした。また、翼果を中学校や高校の探究活動の教材として利用し、その教育的効果について報告した（寺島，2014，2017；寺島・森，2017）。

お弁当の総菜入れや製菓などに使用するアルミカップを空気中で静かに落下させると、空気抵抗を受けて自由落下の場合よりも緩慢に落下する。このカップを小さく丸めて落下させると、底面積が小さくなり、底面が受ける空気抵抗がほぼ無視できるようになるため、その運動はほぼ自由落下とみなすことができる。アルミカップを何枚か重ねて落下させる場合、重ねる枚数が増えると、その落下運動は、次第に自由落下に近づいていく。

2015，2018年の夏期講座では、「アルミカップを何枚以上重ねると、小さく丸めたアルミカップ（小球）と同

じような運動（自由落下）をするか？」という課題を設定した。参加生徒は、グループ別の実験計画を立てて、重ねる枚数を変えてアルミカップを落とし、その滞空時間を計測する実験を行った（図2(a)）。実験後、各グループは実験結果をグラフ化し、そのグラフを提示しながら導き出した結論を発表した。図2(b)に例示する生徒は、重ねるアルミカップの枚数を横、それを2 mの高さから落下させたときの滞空時間を縦軸とするグラフを提示している。生徒は、重ねる枚数を増やすと、滞空時間が漸近して減少することを見出し、グラフを補外することで、小さく丸めたアルミカップの滞空時間とほぼ等しくなる場合の重ねる枚数を推測することができていた。以上の結果から、アルミカップの落下実験は、生徒が実験結果に見られる規則性を見出し、科学的に推論しながら探究する能力を養う教材として有用だと言える。

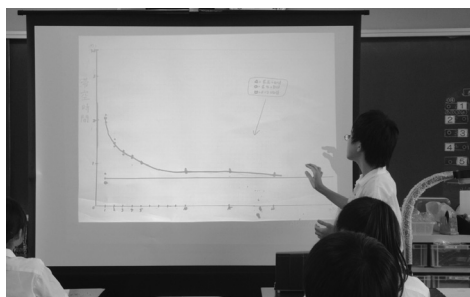
4. ビンゴゲームによるパーコレーションのモデル実験

パーコレーション（浸透）理論は、局所的な要素間のつながりというミクロな立場から、全体または部分のマクロな性質を理解する考え方である。岩石のすきまに液体が浸透する現象や森林火災の伝播、伝染病の蔓延などの浸透現象だけでなく、非磁性成分混合による強磁性の希薄現象や、金属—非金属転移など、多様な自然現象を数理的に説明するモデルとして広く導入されている（小田垣，1993，2000）。

パーコレーション理論では、格子点にある要素を置き、隣り合った要素同士がつながると考え、全体に対する要



(a)



(b)

図2 (a)グループ別にアルミカップの落下実験を行う生徒の様子と、(b)得られた結果をグラフに表示して発表する生徒の様子



(a)



(b)

図3 (a)カードに開いた穴の数を確認しながらビンゴゲームの実験に参加する生徒の様子と、(b)ビンゴゲームの実験結果を黒板と教卓上で共有した様子（ビンゴカードはビンゴ時に開いた穴の数で分別されて教卓上に置かれている）

素の割合を増すと、次第に要素同士が集まったかたまり（クラスター）が大きく成長する。無限大の系を考えた場合、要素の割合がある値に達すると、そのクラスターが無限大につながるようになる。このときの要素の割合（確率）を浸透閾値（臨界浸透確率）という。

要素が浸透する挙動は、系の次元や格子の種類によって異なる。2次元正方格子のパーコレーションに関する身近な事例として、碁盤に基石を置く囲碁やビンゴゲームなどが紹介されている。ビンゴゲームでは、1～75の数字から約40個の数字が出されたとき、5×5マスのビンゴカードに穴が約15個開いたときにビンゴになる人数が最も多くなることが紹介されている（小田垣, 2000）。

2017年の夏期講座では、「ビンゴが急に増え出すのはどんなときか？」という課題を設定し、以下の要領で探究活動を実践した。参加生徒42名に4枚ずつ合計168枚のビンゴカードを配り、講師が進行役として、ビンゴボール（1～75のいずれかの自然数が記された75個の玉）を無作為に1個ずつ順々に抽出し、各ボールの数字を黒板に記しながらゲームを進行した。ボールを引くたびに、生徒に手持ちカードの状態を確認させ、ビンゴとなった場合は、その時点で挙手させて、そのカードに開いた穴の数を発表させ、教卓に並べた。講師は、ビンゴになったカード上の穴の数とそのカードの枚数を黒板に記録し、生徒は、その結果を集計用紙に記録した。活動の様子を図3に示す。

今回のゲームでは、20番目のボールを引く前後からビンゴになるカードの枚数が徐々に増加し始め、40～50番目にビンゴとなる頻度がピークを示し、64番目のボールを引いた時点で全168枚のカードがビンゴとなった。また、15個穴が開いてビンゴとなるカードが最多となった。理論的には、75個のビンゴボールでは44個目、 $5 \times 5 = 25$ マスのビンゴカードでは15マスがそれぞれ浸透閾値に相当することから、今回のゲームでもパーコレーション現象を概ね再現している。実際に、このビンゴゲームにおいて、生徒自身が実験結果を整理、考察し、ビンゴが急激に出現し始める閾値について、妥当な結論を導出することができた。本活動は、中学生がパーコレーションの基本的な考え方について探究的に学ぶ上で有用だと考えられる。

III. これまでの成果のまとめと今後の課題・展望

上述のように、夏期講座を受講した生徒は、各探究活動に主体的に取り組み、仮説を立てて検証するという探究のプロセスを実体験しながら、合理的な結論を導き出すことができた。受講生の感想文の一例を抜粋して以下に紹介する。『僕はこの夏期講座を通じて2つのことを学んだ。1つ目は、仮定と結果が対応するように、筋道を

立てて研究するということが大切だということだ。（中略）2つ目は、日常の中で「不思議」を見つけようと常にメモを取ることである。（中略）この講座は、僕の探究精神を高め、物事に対して「なぜこうなるのか。こうなったのには何が関係しているのか。」考えなければならぬということを知るいい経験になった。』

受講生個々の学習効果については詳細に分析できていないが、例年、多くの受講生から上記のように肯定的な感想が得られており、生徒自身が本活動の学習効果を実感し、その有用感を認識していると言える。

本稿で紹介した各探究活動では、誰もが触れたことがあると想定される発泡スチロール素材、アルミカップ、ビンゴゲームを題材にして、仮説を立てて、実験、観察によってそれを検証するという科学的プロセスを生徒が無理なく体験できるように工夫した。その結果、いずれの活動においても、生徒自身で実験結果を整理、考察し、仮説を検証して合理的な結論を導出することができた。本活動は、中学生が科学的に探究する能力や態度を体験的に養う上で、一定の効果があつたと評価できる。

各活動に必要な材料は、100円ショップで安価に購入することができ、教材準備における教師の負担が少ない。高価な実験機器を一切必要とせず、家庭でも気軽に組み組めるため、例えば夏休みの自由研究などの題材としても利用可能であり、比較的低年齢層の学習者でも探究的に学びやすいことも利点である。

今後は、これまでの活動をさらに効果的な内容に改善するとともに、新規の題材を開発して、探究活動のリソースを拡げていくことが課題である。今回のように準備の負担が小さく、簡単に組み組める探究活動であれば、多くの教師が敬遠せずに実践しやすくなる。探究活動の機会が確保されることにより、主体的・対話的で深い学びの実現につながっていくと期待される。

参考文献

- Flyvbjerg H. (1993), Model for coarsening froths and foams, *Physical Review E*, 47, pp. 4037-4054.
- 小田垣孝 (1993), パーコレーションの科学, 裳華房.
- 小田垣孝 (2000), つながりの科学—パーコレーション—, 裳華房.
- 齋藤烈, 藤嶋昭ほか 20名 (2016), 『化学基礎 改訂版』, 啓林館.
- Terashima Y., Tamura K. (2014), Laminated Specimens of Polystyrene Foams for Microscopic Observation of Two - Dimensional Structure, *JPS Conference Proceedings* 1, 017017.
- 寺島幸生 (2014), カエデの翼果の落下実験とその模型作り, *理科授業研究*, 55(2), pp.201 - 208.

寺島幸生 (2017), 身近な生物材料を物理実験やものづくりの活動に生かした探究学習, 理科の教育, 66(775), pp.120 - 121.

寺島幸生・森愛実 (2017), カエデの翼果の落下実験と翼果の模型作りを行う探究活動, 鳴門教育大学学校教育研究紀要, 31, pp.87 - 91.

寺島幸生, 渡邊佳浩, 武田清, 本田亮 (2013), ビデオカメラを用いた翼果の落下運動の観察, 応用物理教育, 37(1), pp.1 - 4.

寺島幸生 (2019), 抵抗感・負担感なく誰でも取り組める探究のための理科教材, 理科の教育, 68(808), pp.790 - 792.

謝辞

本研究に御協力いただきました徳島県立城ノ内中学校の三橋延世教諭および生徒の皆様には感謝申し上げます。

