

理科教育における実験・観察活動の指導

—「思考の方向づけと話し合いを取り入れた授業」の効果—

小林 寛子

近年、子ども達の理科離れ現象、科学技術離れ現象が注目を集め、その克服が盛んに叫ばれている。これからの日本社会が高度な科学技術社会になることは疑う余地もなく、また物質的な資源をもたない日本が世界の中で生き抜き、かつ世界に貢献していくためには、科学技術系の人的資源が不可欠であるという認識は広く浸透している。そのため、未来を担う子ども達に、科学に興味をもってもらおうとする動きが、活発になっているのである。学校教育においては、以前から理科教育における実験・観察活動の重視が求められてきたし、より近年には、学校という枠を越え、大学や公的研究機関、民間企業等との連携により、先進的な科学技術・理科教育を実施する試みがなされている。しかしながら、それらの実施にあたって問題が生じてくることは必須であり、生じた問題にどう対処し、各実施を意味のあるものにしていくかが、今後重要となってくるであろう。

そうした状況を踏まえ、2002年「夏休み学習ゼミナール」の理科に関する研究は、上記の問題の1つである「理科教育における実験・観察活動の指導」を取り上げ、検討を進めることを目的とした。

1. 問題と目的

先述の通り、理科教育においては、実験・観察活動が重視される。中学校学習指導要領(平成12年12月)によれば、理科教育における目標は、自然の現象を科学的に解明する能力や態度(科学的問題解決力)を育成すること、自然の現象を説明する理論(科学的概念)を獲得することの2点であり、それらは実験・観察活動を通して達成されることが主張されている。この主張を受け、理科教育における実験・観察活動の時間は増加し、その有効性も古くから示されている(e.g. Renner et al., 1985)。

しかしながら、実験・観察活動と一言に言っても、

その指導は様々であろう。実際、理科教育の実践においても、大別して「教師の過干渉の授業」・「教師の無干渉の授業」・「仮説有り干渉の授業」と呼ぶべき、3つの指導が存在する(詳細は後述)。その上、3つそれぞれに長所・短所が指摘されていることから、「実験・観察活動をより効果的にするにはどのような指導がよいのか」に関する検討が、現在の課題であると言える。そこで、理科教育の実践において見られる3つの実験・観察活動の指導の概観から、それらの短所を踏まえた新たな指導を提案、他の指導と比較して有効性を示し、「実験・観察活動の指導」に関する課題へ1つの解答を示すことを、本研究の目的とした。

以下、比較する実験・観察活動の指導について述べる。まず、理科教育の実践において見られる3つの方法からであり、概要はTable1に示す。1つ目は、「教師の過干渉の授業」である。実験・観察すべき事柄や結果、解釈に至るまで全てを教師が与えるという方法であり、実験・観察活動を通じた問題解決(科学的問題解決)の模範的なあり方を示すことで、生徒全員に正しく問題解決させることが可能となる。しかし、生徒自身が思考する時間が少ないため、科学的概念の獲得が阻害され、また、新しい問題に出会った時に自ら働きかける姿勢、すなわち科学的問題解決力の育成も阻害されると憂慮されている(e.g. 板倉, 1966; 小川, 1998)。2つ目は、逆に「教師の無干渉の授業」と呼ばれる、生徒自身の科学的問題解決を重視して教師は何も教えないという方法である。この方法は、科学的問題解決を自力で正しく行える生徒にとっては、もてる力を発揮できる良い方法であり、自身で思考することから科学的概念の獲得や科学的問題解決力の育成も期待できる。しかし、実験・観察活動に対する知識が十分でない生徒も存在し、彼らにとっては、自分で考えて解決することが困難であるため、時間ばかりかかって何も達成されない事態が生じ得る(e.g. 市川, 2002)。3つ目は、理科教育研究において古くから主張されてきた、仮説を生成することの重視を取り入れ

た方法であり、「仮説有り干渉の授業」と名付ける。この方法に関しては、多くの研究が、仮説を立てて実験し、自分の間違いを思い知ることによって素朴概念から脱却、科学的概念の獲得が可能であると、その有効性を主張してきた (e.g. Kobayashi, 1994)。しかし、仮説生成段階以外は「教師の過干渉の授業」と同じであるが、実験した後の段階こそ子どもに任せるべきなのではないかとの見解 (e.g. 佐伯, 藤田, 佐藤, 1995) も存在する。

Table1 理科教育の実践において見られる
実験・観察活動の指導

	長所	短所
教師の過干渉の授業	生徒全員が正しく科学的問題解決可能	自力の科学的問題解決でない ←科学的概念の獲得× 科学的問題解決力の育成×
教師の無干渉の授業	能力の高い生徒自力で正しく科学的問題解決 ←科学的概念の獲得○ 科学的問題解決力の育成○	能力の低い生徒自力で科学的問題解決不可能 ←科学的概念の獲得× 科学的問題解決力の育成×
仮説有り干渉の授業	科学的概念の獲得○	科学的問題解決力の育成× ←仮説生成以外の段階の考慮無し

最後に、理科教育の実践において見られる3つの実験・観察活動の指導の短所を克服する、新たな方法として「思考の方向づけと話し合いを取り入れた授業」を提案する。思考の方向づけとは、科学的問題解決に必要なプロセスを教示することを指す。思考を方向づけられた上で、話し合いながら問題解決することにより、『生徒の大半がほぼ自力で正しく問題解決できる』ことを目指す授業法である。これは、「教師の過干渉の授業」の『自力の科学的問題解決でない』という短所を補い、科学的概念の獲得と科学的問題解決力の育成を促進すると考える。「教師の無干渉の授業」で問題とされた『能力の低い生徒』への支援ともなる。また、教示される科学的問題解決に必要なプロセスは、仮説生成段階に限定せず、仮説生成以外の段階を考慮しなかった「仮説有り干渉の授業」に対抗するものである。

なお、思考の方向づけと話し合いを併せて行うことは、科学的問題解決研究における先行研究を踏まえて提案した。思考の方向づけ単独では、方向づけられた個人がその方向に沿って正しく思考できているかをメタ認知することが困難であるため、効果がないと言わ

れている (e.g. Siegler & Liebert, 1975)。そこで、話し合いでメタ的な視点が増加する (e.g. Miyake, 1986) という知見に注目し、思考を方向づけた上で話し合いながら問題解決させる、すなわち従来の方法を改善したものを提案したのである。

提案する「思考の方向づけと話し合いを取り入れた授業」は、理科教育の実践において見られる他の3つの授業と比較し、有効であろうか。先述の通り、その比較・検討から、「実験・観察活動の指導」に関する課題への1つの解答を得ることを目的に、本研究は実施された。

2. 方法

〈対象者〉

東京大学大学院教育学研究科で行われた2002年度「夏休み学習ゼミナール」の募集に応じた中学2年生139名。対象者の理数系成績の自己報告を元に、全クラス均等な成績となるよう注意して、「思考の方向づけと話し合いを取り入れた授業」クラスに36名、「教師の過干渉の授業」クラスに36名、「教師の無干渉の授業」クラスに33名、「仮説有り干渉の授業」クラスに34名と、割り当てた。

〈条件〉

クラスごとに「思考の方向づけと話し合いを取り入れた授業」・「教師の過干渉の授業」・「教師の無干渉の授業」・「仮説有り干渉の授業」と、授業形態が異なった。その概要をTable2に示す。

Table2 4つの授業の概要

思考の方向づけ +話し合い	過干渉	無干渉	仮説有り干渉
課題の提示	課題の提示	課題の提示	課題の提示
↓	↓	↓	↓
話し合いながら 仮説生成			話し合いながら 仮説生成
↓	↓	↓	↓
話し合いながら 実験計画	教師による 実験計画	グループで 自由な 課題解決	教師による 実験計画
↓	↓	↓	↓
グループで実験	グループで実験		グループで実験
↓	↓	↓	↓
話し合いながら 実験結果 からの検討	教師による 実験結果 からの検討		教師による 実験結果 からの検討
↓	↓	↓	↓
教師による概念 説明	教師による概念 説明	教師による 概念説明	教師による概念 説明

4つの授業全てにおいて、実験・観察活動が取り入れられ、それを行うグループ (男2名・女2名の計4

名。クラス人数の都合から、男2名・女3名の計5名、また男3名のみというグループもあるが構成された。授業により異なったのは、実験・観察活動の指導である。「思考の方向づけと話し合いを取り入れた授業」では、実験・観察活動に必要な段階（仮説生成・実験計画・実験結果からの検討）に沿って、グループで話し合いながら実験・観察活動を行った。「教師の過干渉の授業」では、仮説生成は行わず、実験計画・実験結果からの検討段階における活動の模範が教師によって与えられた。「教師の無干渉の授業」では、実験・観察活動は対象者の自由に任され、教師は何もしなかった。「仮説有り干渉の授業」では、仮説生成段階を取り入れた以外は「教師の過干渉の授業」と同じであった。

〈材料・手続き〉

「力のはたらきと物体の運動」を単元に、全5回の授業を実施した。当単元は、中学2年生にとって未習単元であるが、単元内容の学習に必要な知識は既習という単元である。授業初回はこれからの授業に関するイントロダクションであり、2～4時間目に実験・観察活動のある授業を行った。実験・観察活動の指導はクラスによって異なり、その詳細は先述〈条件〉の通りである。内容は、2時間目が「力のはたらく方向と摩擦力の存在」、3時間目が「力がはたらいている時の運動」、4時間目が「力がはたらいていない時の運動」であった。最後5時間目には、テストが実施された。授業で学習した内容に関する「科学的概念の獲得測定テスト」と、授業を通して自然の現象を科学的に解明する能力や態度が育成されたかを測定する「科学的問題解決力の育成測定テスト」である。後者においては、特に、実験結果からの検討段階に焦点を当て、仮説を反証する結果が得られた場合に仮説を棄却し、新仮説を生成するという点の測定を試みている。その点が、実験・観察活動に必要な科学的問題解決力のうち、本研究の対象となった中学2年生にとって最も困難であると考えられるからである (e.g. Kuhn et al., 1988)。

3. 結果

〈テスト成績〉

科学的概念の獲得測定テストと科学的問題解決力の育成測定テストの成績において、「思考の方向づけと話し合いを取り入れた授業」と他の3つの授業との違い

を検討する、直交対比 (Rosenthal & Rosnow, 1985 ; 高橋・大橋・芳賀, 1989) を用いた分析を行った。具体的には、「思考の方向づけと話し合いを取り入れた授業」・「教師の過干渉の授業」・「教師の無干渉の授業」・「仮説有り干渉の授業」各々に、3, -1, -1, -1 という係数を割り当てた。結果を Figure1, Figure2 に示す。

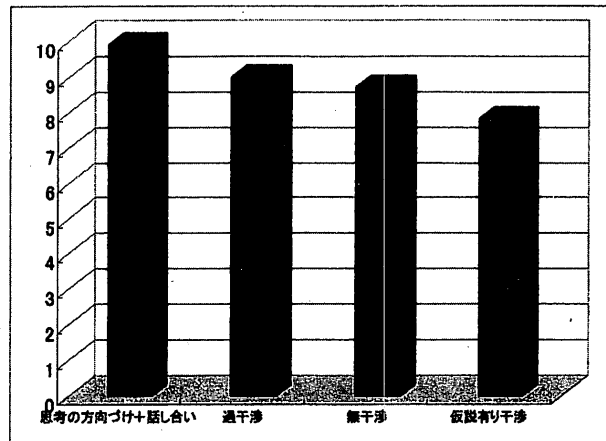


Figure1 科学的概念の獲得測定テスト成績

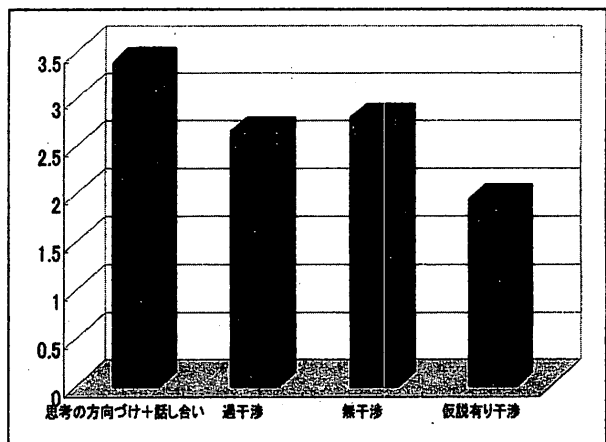


Figure2 科学的問題解決力の育成測定テスト成績

科学的概念の獲得測定テスト成績において、「思考の方向づけと話し合いを取り入れた授業」と他の3つの授業との対比は、5%水準で有意であった。また、科学的問題解決力の育成測定テスト成績において、「思考の方向づけと話し合いを取り入れた授業」とその他3つの授業との対比は、10%水準で有意傾向であった。従って、「思考の方向づけと話し合いを取り入れた授業」は他の授業に比べ、科学的概念の獲得と科学的問題解決力の育成を促進することが示された。

〈実験・観察活動過程〉

テスト成績における、「思考の方向づけと話し合いを取り入れた授業」の効果は、何故見られたのであろうか。「第1章問題と目的」で述べたように、当授業は、「科学的問題解決に必要なプロセスを教示した上で話し合いながら問題解決させることにより、『生徒の大半がほぼ自力で正しく問題解決できる』こと」を目指した。理科教育の実践において見られる3つの実験・観察活動の指導の長所・短所を概観し、『ほぼ自力で正しく問題解決』できれば、科学的概念が獲得され、科学的問題解決力が育成されるのではないかと考えたためである。それでは、「思考の方向づけと話し合いを取り入れた授業」は、『生徒の大半がほぼ自力で正しく問題解決できる』ことを促したであろうか。この点に関し、授業風景を撮影したビデオ、授業中の対象者の発話を録音したテープ、対象者が授業中に使用したノートを用いて、対象者の実験・観察活動過程の分析を行い、検討した。

結果、「思考の方向づけと話し合いを取り入れた授業」における対象者の大半は、仮説生成段階では、学習単元領域の知識が未だないことから誤った仮説を生成するが、実験計画段階において、仮説を検証するために必要な実験を計画し、実験結果からの検討段階で、実験結果から仮説を棄却、正解できることが明らかとなった。実験計画段階、実験結果からの検討段階において、「実験を計画しなさい」、「実験結果を書き留めなさい。そこからどのようなことがわかるか考えなさい」と、科学的問題解決に必要なプロセスを教示しても、個人では正しく実験計画したり検討したりすることができない対象者も存在したが、グループで全員が納得するまで話し合うことにより、次第に正解が生成されるようであった。

また、比較のために、他の3つの授業における実験・観察活動過程についても分析を行ったところ、以下の2点が明らかとなった。第1に、「思考の方向づけと話し合いを取り入れた授業」においては、実験計画段階、実験結果からの検討段階における対象者の正しい活動

が見られたが、「教師の無干渉の授業」の対象者は、実験計画段階では正しく活動できたものの、実験したことに満足してしまい、実験結果からの検討段階を省略してしまう傾向がみられたということである。

従って、「思考の方向づけと話し合いを取り入れた授業」の最も特徴的な点は、実験結果からの検討段階にあると推察される。第2に、「教師の過干渉の授業」、「仮説有り干渉の授業」においても、実験計画段階、実験結果からの検討段階において正しい活動が行われたが、それが教師主導だったことが挙げられる。その点を考慮すると、「思考の方向づけと話し合いを取り入れた授業」においては、対象者自身の力による正しい活動が行われたことが特徴と考えられる。

以上のことから、「思考の方向づけと話し合いを取り入れた授業」では、対象者が自身の力で、実験結果からの検討段階において、実験結果から仮説を棄却し、正解を導くことが可能となる。そしてその結果、科学的概念の獲得と科学的問題解決力の育成が促進されたのではないかと推察された (Figure3 参照)。

4. 考察

本研究を通して、「思考の方向づけと話し合いを取り入れた授業」が、他の3つの授業と比較して、科学的概念の獲得・科学的問題解決力の育成を促進することが示され、有効性が明らかとなった。また、その効果は、思考の方向づけと話し合いの導入が、対象者自身の力で実験・観察活動において実験結果から仮説を棄却し正解を導く、すなわち『ほぼ自力で正しく科学的問題解決できる』ことを通して見られることが推察された。「第1章問題と目的」において、理科教育では、「実験・観察活動をより効果的にするにはどのような指導がよいのか」に関する検討が、現在の課題であると述べたが、本研究は、その課題に対し、1つの方法を示せたことから、教育実践に貢献する研究と言える。

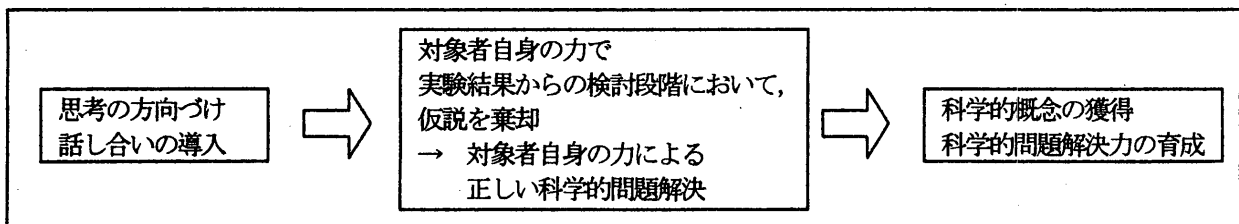


Figure3 「思考の方向づけと話し合いを取り入れた授業」の効果が生じる過程

なお、思考の方向づけと話し合いを併せて行うことは、科学的問題解決研究において従来検討されてきた方法を改善したものであり、科学的問題解決研究の流れを一步進めたとも言える。

また、その効果の示し方として、他の授業法との比較を行ったことも、本研究の1つの特徴である。従来、理科教育に関する研究の多くは学校を舞台に行われてきたため、倫理的問題から授業法比較を行いにくく、授業法の効果を授業前後の状態の比較によって示してきた。それに対し、本研究は、「夏休みに、大学で、教官または大学院生が行う授業」への参加呼びかけに応じた者を対象に行われたため、主催者である研究者の希望が反映しやすく、授業法比較を行うことが可能という利点があった。

最後に、授業法比較に関して誤解を生じないように注意しておく。本研究で行われた比較は、「実験・観察活動を導入した授業は良い」という前提に立ち、「全クラスとも、実験・観察活動を導入した良い授業をするが、中でも良いのはどれか」という比較であった。従って、比較により効果が少ないとされたクラスでも、「実験・観察活動を導入した授業」を受けた効果は得られたことになる。また、どの対象者にとっても、「夏休み学習ゼミナール」は学校でも塾でもない学びの場としての意味を持っていたと考えられよう。大学という馴染みのない場で、大学の教官・大学院生という馴染みのない者と学習したことにより、学習観の変化や将来の選択の可能性の増加等、何かしら正の変化が生じたのではないか。「夏休み学習ゼミナール」は、主催者側にとっては研究の場の意味合いが強かった。しかし、対象者にとっても学習の場として意味があったと言える。そして、本研究の対象であった理科に関しても、実験・観察活動を通して学ぶことの面白さ、引いては科学的なものの方の見方・考え方の面白さに気付く、1つの機会となったのであればと願う。

【引用文献】

- 市川伸一 2002 学力低下論争 ちくま新書
板倉聖宣 1966 未来の科学教育 国土社
Kobayashi, Y 1994 Conceptual acquisition and change through social interaction. *Human Development*, 34, 233-241
Kuhn, Amsel & O'loughlin 1988 *The development of scientific thinking skills*. Academic Press,

INC

小川正賢 1998 『理科』の再発見 - 異文化としての西洋科学 - 人間選書 222

Renner, Abraham & Birnie 1985 The importance of the form of student acquisition of data in

physics learning cycles. *Journal of Research in Science Teaching*, 22 (4), 303 - 325

Rosenthal, R. & Rosnow, R. L. 1985 *Focused comparisons in the analysis of variance*.

Cambridge University Press

佐伯胖 藤田英典 佐藤学 1995 科学する文化 東京大学出版

Siegler, R. S. & R. M. Liebert 1975 Acquisition of formal scientific reasoning by 10- nad

13-year-olds: designing a factorial experiment.

Developmental Psychology, 11, 401-402

高橋行雄 大橋靖雄 芳賀敏郎 1989 SAS による実験データの解析 東京大学出版会