

中間評価論文要旨

理科における実験活動の指導法に関する研究

— 変数の制御を中心に —

大 鷲 竜 午*

1. 研究の目的と方法

現行の学習指導要領における小・中学校の理科の目標には、それぞれ「見通しをもって」、「目的意識をもって」実験を行うという文言が新たに加えられた。これらの文言は表現こそ異なるものの、江田が指摘するように、子どもが観察、実験を単に受動的に行うのではなく、目的や自分なりの仮説や予想をもって観察、実験に臨むことの大切さが強調されたものである。子どもが知識を記憶する能力よりも、自ら考え、自ら問題を解決していく能力を育成することが求められているのである。

一方、平成15年度小・中学校教育課程実施状況調査によると、自分の考えで、予想をして実験や観察をしているという中学生は、約半数に過ぎないことが明らかにされた。生徒は必ずしも見通しをもって観察、実験をしたり、主体的に取り組んだりしていないことが推察される。中学校理科教師と生徒の予想場面に関する実態調査を行った綱川によると、教師と生徒はともに、実験活動における予想の重要性を感じているものの、生徒はどのように予想を立てたらよいのか分からず、予想を立てることに困難を抱いているのである。また、この生徒の現状に関する教師の問題点として、生徒が予想に論拠をもてる最低限の知識を教師は提供していないこと、そして教師は予想させることを実験活動への興味・関心を高めることとして捉え、単に予想場面を提供するだけで、生徒の予想を促すための具体的な手立てを講じていないことを指摘した。

自然現象は多くの特徴や側面があり、生徒は観察すべきことや無視すべきことを決定することから、実験活動を始める必要がある。なぜなら、様々な要因の中から明らかにしたい関係のみに焦点を当てて、実験を行うためである。しかしながら、実験において何が重要なものであり、何が周辺部にあるものなのかを、

*理科教育学

生徒が決定することは困難である。ゴットら (Gott, et al.) は、様々な要因の中から2つの変数を決定することが、実験活動を進める上で重要であることを指摘している。この2つの変数とは、独立変数と従属変数である。教師がこれらの変数を生徒に同定させることによって、生徒は独立変数と従属変数の関係に焦点を当てて、見通しをもって実験活動に取り組むことが期待できる。

そこで、本研究では、生徒が見通しをもって実験活動に取り組むことができるための指導法を検討するための一助として、変数の制御に関する指導法を提案することを目的とする。この目的を達成するために、第一に、先行研究の知見を手がかりに、理科授業における実験活動の意義及び構成を整理する。第二に、中学校の理科授業における実験活動をフィールドワーク調査することによって、実験指導法の問題点を明らかにする。第三に、先行研究やイギリスの“*Hodder Science*”という教科書をもとに、変数の制御に関する指導法の特徴を明らかにする。そして第四に、第二で明らかになった実験活動における指導法の問題点と、第三の指導法をもとにして、実験指導法の改善案を提案する。

2. 論文の構成

序章 研究の目的と方法

第1節 問題の所在と研究の目的

第2節 研究の方法

第1章 理科授業における実験活動の意義と構成

第1節 理科授業における実験活動の意義

第2節 理科授業における実験活動の構成

第2章 日本の中学校理科授業における実験活動の実態

第1節 調査の目的と方法

第2節 実験活動における指導と学習の実態

第3節 実験活動における指導の問題点

第3章 実験活動における指導法—変数の制御を中心に—

第1節 独立変数と従属変数の同定に関する指導

第2節 制御変数の同定に関する指導

第3節 変数の種類に関する指導

第4章 実験活動の指導法に関する改善案

終章 本研究のまとめと今後の課題

第1節 本研究のまとめ

第2節 今後の課題

3. 論文の概要

まず、第1章では、理科授業における実験活動の意義及び構成を整理した。実験活動は、理科授業において不可欠な存在として認められている。ベネット (Bennett) が行った理科授業における実験活動の意義に関する研究のレビューから、第1に、概念的な理解を促すものとしての意義、第2に、実験方法の性質に関する理解や実験スキルに関する能力を高めるものとしての意義、そして第3に、情意面や感覚面に訴えかけるものとしての意義を導き出した。ただし、実験活動を行うことで、これらの意義が達成されることは必ずしも保証されるわけではない。それらを達成するためには、個々の授業において実験活動をするもののねらいを明確にする必要性があり、そのねらいに応じて、実験活動は様々なタイプに分類される。たとえば、スキル操作 (Skills)、オブザーベーション (Observation)、イラストレーション (Illustration)、インクワイアリー (Enquiry)、インベスティゲーション (Investigation) などである。これらの内、本研究では、インクワイアリーやインベスティゲーションなどの、より探究的な実験活動に焦点を当てる。これらの実験活動を、実験前の段階、実験の段階、そして実験後の段階の3つに分類すると、実験前の段階には、問題の発見、仮説の設定、実験の計画というプロセス、実験の段階には、実験の遂行、結果の記録というプロセス、そして実験後の段階には、データの処理と解釈、規則性の発見というプロセスなどが含まれる。実験は、実験活動におけるプロセスの1つであり、すべてのプロセスにかかわる非常に複雑なものである。そのため、生徒が実験をよりよく遂行するために、実験前の段階における指導が重要な役割を果たすことを述べた。

第2章では、中学校の実験活動をフィールドワーク調査し、その分析から浮かび上がってきた中学校における実験指導法の問題点を2点挙げた。調査した授業における課題は、物質に関する既知の性質を元に、4種類の白い物質 (食塩、砂糖、デンプン、ベーキングパウダー) を同定することである。この課題を解決するために実験計画を立て、実験を行い、その結果から物質を同定することが、生徒に求められた。この実験における質的な独立変数は物質の種類であり、質的な

従属変数は物質の性質である。たとえば、砂糖という独立変数の値に対して、水に溶けることや、加熱すると焦げることが従属変数の値である。生徒は、独立変数と従属変数の関係という解釈の枠組みを用いて実験に臨むことになる。この授業における指導法の問題点は、第1に、根拠のある実験方法を生徒に考えさせることができなかつた点である。生徒らは、実験方法を考える際、それらの実験方法をとる理由を検討せずに、羅列しただけであった。すなわち、生徒は、課題を解決するために実験において見出すべき従属変数を同定することができなかつたため、従属変数である物質の性質をもとに実験方法を考えられなかつたのである。第2に、実験結果を解釈するための科学的な枠組みを、生徒にもたせることができなかつた点である。あるグループの生徒は、間違つた従属変数の値を記録したにもかかわらず、正しい独立変数の値を導いた。このことは、生徒が、実験結果という従属変数と物質の種類という独立変数を、関係付けることができなかつたことを示している。またあるグループの生徒は、2つの物質に関して同じ従属変数の値を得たにもかかわらず、それぞれ異なる独立変数の値を同定した。このことは、生徒が、独立変数と従属変数の関係という解釈の枠組みを用いて、推論することができなかつたことを示している。

第3章では、変数の制御に関する実験指導法について論じた。第1に、独立変数と従属変数の同定に関する指導の特徴を示した。生徒は、独立変数や従属変数という概念自体に慣れていないため、それらを説明することから始める必要がある。教師は課題を与え、その課題において明らかにすべき従属変数と、それに対して影響を与えうる複数の変数を生徒に示す。そして生徒には、その複数の変数から1つの変数を選択させる形で、独立変数を同定させる。そして、この独立変数と従属変数を組み合わせることによって、これらの変数の関係を見出せる検証可能な問いを作らせる。これらのプロセスを通して、独立変数や従属変数を同定する方法と、その意義を教えることができる。課題から独立変数や従属変数を同定させる場合は、生徒にそれらの変数をブレインストーミングさせる必要がある。たとえば、「どの燃料が最も良いか」という課題では、燃料として「最も良い」ことを生徒らに議論させる必要がある。「最も良い燃料」として考えられるのは、燃焼時間が長いこと、熱量が大きいことなどであり、それらがこの課題における従属変数として同定できる。このように、ブレインストーミングさせることによって、生徒自身で実験の観点を決めることができるため、課題に対する生徒のコミ

ットメントを高めることができるのである。第2に、制御変数の同定に関する指導の特徴を示した。実験では、1組の独立変数と従属変数の関係のみを見出すために、従属変数に影響を与える独立変数以外のすべての変数を制御する必要がある。この制御されるべき変数を制御変数と呼んでいる。制御変数を一定にすることによって、実験の妥当性を確保できるのである。このような妥当性が確保された実験を「的確な試験」(fair test)という。この制御変数を指導する際に、制御変数として同定されるべき変数は、目に見えないものほど同定されにくいこと、そして制御変数を同定する意義が生徒にとって分かりにくいことが指摘されている。これらの点を、生徒に気付かせる手段として、競争的要素を組み込んだ探究活動に取り組ませることが考えられる。たとえば、エネルギーの変換や保存を学習させる「風車課題」では、生徒に風車のモデルを作らせ、どのグループの風車が最も良いのか比較させる。この課題において、生徒は競争するためのルールを検討することが求められる。たとえば、ルールとして「風の強さを一定にすること」があり、このようなルールが制御変数となるのである。生徒を競争の中におくことによって、制御変数を同定することが生徒にとって意味のあるものとなり、それらを制御することの意味を理解させることが期待できるのである。第3に、変数の種類の選択に関する指導の特徴を示した。変数は、連続的なものとして扱うのか、それともラベルとして扱うのかという観点から、いくつかの種類に分類することができる。一般的に、可能ならば変数を連続的に扱う方が良いとされている。なぜなら、その方が、独立変数と従属変数の関係を明確にみることができからである。しかしながら、生徒は、変数を連続的なものとして扱わない傾向にある。そこで、実験を行う前に表を作成させることによって、変数を連続的に扱うことを気付かせることが提案されている。表は、測定回数などによってその構造を変える必要があるため、表を作成させることは、独立変数や従属変数をどのような性質のデータとして扱うのかを、生徒に検討させる機会となるのである。

第4章では、第3章で示した変数の制御に関する指導法をもとに、第2章で明らかになった実験指導法の問題点の改善案を提案した。第1に、根拠のある実験方法を生徒に考えさせるために、2点提案した。1点目は、独立変数と従属変数を同定する機会を、意図的に指導に盛り込むことである。2点目は、課題を解決するために実験で観察すべき項目を、生徒に挙げさせることである。そして、第

2に、実験結果を解釈するための科学的な枠組みを、実験前の段階で生徒に明確に認識させるために、2点提案した。1点目は、妥当な解釈を促すために、独立変数、従属変数、そして制御変数を明確にさせることによって、「的確な試験」を組み立てさせることである。2点目は、実験を行う前に生徒に表を作成させることである。この表は、獲得すべき変数の種類に応じて構成されるため、科学的な解釈の枠組みを明示するものとなりうるのである。

4. 今後の課題

第1に、生徒が見通しをもって実験を行うためには、変数を制御する能力だけでは不十分であると考えられるため、その他の要因を検討することである。第2に、今回は実験活動の前半部分に関する指導法を検討したため、実験活動の後半部分に関する指導法に焦点を当て検討することである。第3に、調査のサンプル数が少ないため、調査数を増やしたり、様々な単元を調査したりすることである。

5. 主要参考文献

- Bennett, J. : *Teaching and learning science : a guide to recent research and its applications*, Continuum, 2003, pp. 73-98.
- Gott, R., Duggan, S. : *Investigative work in the science curriculum*, Open University Press, 1995.
- Hodson, D. : Re-thinking old ways : Towards a more critical approach to practical work in school science, *Studies in Science Education*, Vol. 22, 1993, pp. 85-142.