

理科実験の使命

井 藤 芳 喜

1. はじめに

近代科学の方法がガリレイによって創立されて以来、自然科学の研究には、実験が重要な役割を果たしている。

理科教育においては、現代までに蓄積されてきた科学知識を伝達する課題と、新しい文化を創造するために必要な科学の研究方法を体得せしめる課題とがあり、この二つの課題の解決に、理科実験が重要な役割を果たしている。

しかし、一般には、理科実験の意義や価値が徹底していないためか、適切な実験が行われず、生徒の能力に合わない高度の教材を課したり、時には、G. O. Blough氏が指摘しているように、終始実験書による実験を試みて、単なる作業に終わっていることもある。(1)

本稿では、理科教育に用いられる理科実験を、自然科学の研究に用いられる研究実験と比較して、実験の目的と、実験内容や意義の異なる点を明確にし、理科教育の目的に合致した指導の方法について、その一端を述べ、これにより、生徒の能力に応じた興味ある適切な実験が実施され、科学的思考力の育成を期待するものである。

2. 理科実験*の意義

2.1. 理科実験と研究実験

2.1.1 実験の目的

自然科学の研究における実験は、未知の真理の探求を目的としているのに対し、理科教育における実験は、科学的知識 (Information) の伝達を目的とすると共に、その間にあって、科学の研究方法を育成しようとの目的をもっている。両者とも、未知のものを研究することにおいては変りないが、後者は、実験結果が生徒自

* 金山広吉氏は理科実験を学校実験と称している。筆者は、理科の本質から考えて、理科実験と呼ぶことにする。(2)

身にとっては未知であっても、教師にとっては既知のことである。このように、目的の相違から、当然取扱われる内容や実験の方法は異っている筈である。

2.1.2 実験の内容

理科教育で取扱われる実験は、その方法、内容共に、多角的で、広範囲にわたっているが、研究実験においては、あらゆる方法が試みられ、さらに、内容はそれぞれの専門に分化された比較的狭い範囲に限られている。すなわち、理科実験は広範囲な文化遺産を伝達すると同時に、種々の方法を会得せしめる。一方、研究実験は、これらの豊富な知識や実験の方法を背景として、これらの中から、最も適切と思われる方法を、限られた分野に適用して、科学上の発見を行う。

また、研究実験はなんら時間の制約はなく、自由奔放に実施できるのに対し、理科実験においては、指導計画や時間の制約を受ける。従って、長時間を要する実験は不適當である。(3)

2.1.3 実験者の態度

理科実験も研究実験も、その目的、内容、方法は異っていても、生徒や研究者にとっては、未知の真理を探求するという点で同一であるから、共に研究者として、同一の態度を保つべきである。

2.2 実験と観察の関係

自然科学は、直接の観察または観測によって、自然物そのものの状態、または自然現象相互の関係を研究し、客観的、普遍的な原理・法則を導くものである。しかしながら、一般には、観察のみによって、直ちに原理・法則が導かれることは稀で、自然の上に人工的操作を加えて、その結果を観測し、数多くのデータを求めて、その間に存在すべき関係を予想し(仮

説を立て)、この予想(仮説)を推論その他の方法で実証して、原理・法則を導き出す。この一連の手順がすなわち実験である。従って、実験に際しては、結論を導くに必要な観察や観測を便ならしめるように、条件を単純化したり、統制したりする必要がある。

我々が通常、学校教育において、実験と称する場合には、しばしば上記実験の意味を拡大解釈して、観察をも含める場合があるが、単なる観察と実験による観察とは、はっきり区別しなくてはならない。単なる観察から法則を導き出そうと思えば、非常に多くの事象を観察する必要がある。

2.3 生徒実験と教示実験

理科実験は、これを行う主体によって区別するとき、生徒実験と教師実験とに分けられる。

教師実験の多くは教師が実験を計画し、生徒は実験の方法や結果を観察して、理解の補助的役割を果たす場合が多い。このような場合には、生徒自らが行う生徒実験(Experiment)に対して、これを教示実験(Demonstration)と呼ぶこともある。外国においては Experiment と Demonstration とを区別している場合があるが、わが国では、特にことわらない限り、どちらも実験と呼んでいる。

2.3.1 生徒実験(Experiment)

生徒実験が学校教育に取り入れられるようになったのは、H. E. Armstrong (1880~1910) が実験教授法を提唱したことに始る。(4)

かれは化学教育において、すべての中等学校に生徒実験室を設け、与えられた化学の大部分の時間に生徒実験を課し、生徒実験が授業の中心となって、化学上の原理・法則等を誘導発見することを目的とした。いわゆる発見的教授法(Heuristic method)がこれである。すなわち、実験はすべて、生徒自身によって計画され、また結論を導く。これによって、科学的知識、方法、態度を身につけようとするものである。この場合、教師は補助的役割を演ずるにすぎない。

しかし、今日実施されている生徒実験では教

師の果たす役割はかなり大きい。すなわち、生徒が行う実験計画に、教師も参加して、適切な助言を与え、これを綿密にする。しかし、実験の準備、実施はすべて生徒自身によってなされる。

生徒実験はさらに、生徒が個々に実施する個人実験と、2人以上で実施するグループ実験とに分けられる。

a. 個人実験

学校教育では、ある一つの系統的な学習の流れがある。実験もこの流れに沿って取扱われるため、一斉に同一のテーマで実験が実施されることが多い。従って、生徒個々に同一の実験装置を与える必要がある。しかし実際には、実験実施の必要度、実験器具器材の不足、実験準備の複雑性等を考慮して、簡単な教示実験か、次に述べるグループ実験におきかえることが多い。

個人実験は他人に依存することなく、独自の考えと独自の速さで実施できる反面、誤った計画や方法のままに実施に移される欠点がある。

b. グループ実験

生徒実験は経済性、能率性を考慮して、グループ実験によることが多い。

グループ実験では、積極的な生徒のみが活躍して、消極的な生徒に依存心を助長すると共に、グループ内での学力の差がつき易い。

しかし、指導の方法によっては、消極的な生徒に作業や思考をする機会を与えることが可能である。

最近では、グループ学習による学習効果の研究がとみに盛んになり、グループ実験も、実験の計画や実施の方法等をグループで相談し合っ、各自が納得するまで討議して定める方法がとられている。この方法は誤った考え方を是正する利点のある反面、意見の統一ができず、結論の構成に長い時間を要するという弊害もまぬかれない。

このように、グループ実験は個人実験の代りとしての役割だけでなく、集団活動としての利点が考えられる。

2.3.2 教示実験(Demonstration)

ガリレイは「物体の落下」に関する一連の研

究の結果「物体の落下速度は重さに関係しない」という結論を導き、これを明確に伝達する方法として、ピサの斜塔における実験を試みた。

このように、自然科学者が新しい事実を発見すれば、次にこれを伝達する方法を考える。これが教示実験である。

学校教育における教示実験は

- (1) 既知の原理・法則を伝達する手段としての実験
- (2) 生徒実験の模範として、教師が綿密周到な実験計画、実験方法、実験結果の整理の方法等を示す実験
- (3) 生徒実験の代りとして、生徒の計画に従って、教師が能率よく実施する実験等が考えられる。

生徒実験は生徒の能力と時間的制約のため、実施できる内容に限度がある。しかし、教示実験は教師の能率のよい実施によって、短時間に広い内容の実験が可能である。

教示実験では、教示によって生徒が理解する時間は能率的であっても、その陰に教師による実験のくふうや準備に、多大の時間が費されていることを見逃がしてはならない。

自然科学の発達に伴って、伝達すべき内容も豊富になっている。そこで後述するように、視聴覚教材による教示実験も考慮する必要がある。

3. 理科実験の目的

3.1 自然科学の研究方法の習得

J. Dewey は、現代生活においては、科学自身の内容よりも、むしろその方法の方がより重要であると述べている。(5)

一体、科学の方法とはどんなものか、また、この方法をいかにして習得させることができるかを詳細に考究せねばならない。

3.1.1 科学の方法

a. 自然科学者の科学的方法 (6)

自然科学者が自己の問題を解決して、新知識を得た方法を広義に科学的方法とし、これをいくつかの心的、行動的活動の一連とみる取扱い方がある。

ガイレイは物体の自然落下に関し、幾何学的

推理と実験とによって研究した。かれの方法を概括すると次のようである。(7)

- (1) 現象の観察
- (2) 現象の本質に関する仮説の設定
- (3) 仮説よりの演繹的推理
- (4) 推理の結論を検証する実験の構想（この構想の中に別の仮定や予備実験が含まれる。）
- (5) 実験の実施により、仮説を肯定するか否定する。すなわち、自然の本質の認識。

また、E. R. Downing は多くの大科学者が科学の法則を発見した経過を分析し、共通な要素として、次のような7つの段階に分けている。(8)

- (1) 問題の設定
- (2) 問題の明確な把握
- (3) 問題を諸要素に分析
- (4) 諸要素に関係ある諸事実の収集
- (5) 仮説の設定
- (6) 観察、実験または推論による仮説の検証
- (7) 事実に基づいた判断

また、J. Dewey は、当惑する事実に直面したとき、これを解決する思考や行動を反省的思考 (Reflective thinking) と名づけ、5段階に分けている。(9)

この外、多くの教育学者の発表した段階を総合してみると、科学者の研究方法は多種、多様で、一定の形式に統括することが無理であることがわかる。

しかし、これらの科学的方法の中で共通して言えることは、実験に先立って、これまでの知識や経験を総合した推理がなされ、この論理的推理を体系化して仮説を設定しているということである。実験とはこの推理が正しいかどうか、すなわち、仮説が受入れられるか否かを、事実に照して検査し、実証する手段と考えられる。

b. 児童の科学的方法

児童は経験に乏しく、知識は浅い。従って推論の基礎となる資料や能力に乏しいため、しばしば受入れ難い仮説を立てる場合もある。しかし、さらに科学的知識がある程度蓄積され、科

学的態度や方法を習得するに従って、次第に創造的研究能力を身につけることができると信ずる。この確信がなければ、理科教育の推進はあり得ない。

3.1.2 科学的方法の要素と理科実験

科学的思考は一応創造的思考 (Creative thinking) と批判的思考 (Critical thinking) に大別されるが、後者のみが客観的テストによって評価される。M. A. Burmester は批判的思考の能力をテストするための客観テスト問題を作成しようとして、まずこの思考力の中に含まれると思われる要素を分析している。それは次のようである。(10)

- (1) 問題を認識する能力
- (2) 問題を限定する能力
- (3) 問題解決に関係ある諸事実を認め、かつ収集する能力
- (4) 仮説を認識する能力
- (5) 仮説を検証するための実験を計画する能力
- (6) 実験を実施する能力
- (7) データーを理解する能力
- (8) 結論を新場面に適用する能力

これらの分析によって、問題解決の手段としての実験の役割が明確になる。

この分析はさらに79の小要素に分析されているが、このうち、実験に直接関係ある部分は次のとおりである。

末尾の()はさらに細かい小項目の数を示す。

- (5.1) 検査するのに最も適切な仮説を選択する能力
- (5.2) コントロールを含まない対象(群)とコントロールを含んだ実験(群)とを区別する能力
- (5.3) 実験は変化し得る1つの因子をもっていることを認識する能力(7)
- (5.4) 実験に含まれている実験的、技術的問題を認識する能力
- (5.5) 誤った実験を批判する能力(7)
- (6.1) 測定に伴う誤差の存在を認識する能力
- (6.2) 測定の精度が与えられたときは問題の種類によっては正しく扱われることを認識する能力
- (6.3) 正確な観察をする能力(2)
- (6.4) 解釈し易いように、表やグラフを作成する能力

(7.1) データーを解釈するに必要な基礎的技術を使用する能力(2)

(7.2) データーの適切性を評価する能力(5)

(7.3) 事実と推論を区別する能力(4)

(7.4) データーの限界を認識する能力(4)

(7.5) データーに基づいて、起り得る事実や起りそうな事実を推論する能力(4)

(7.6) データー内の関係を感じ取る能力(5)

(7.7) 事実を認識する能力(5)

(7.8) 仮説や結論の中に含まれている仮定を認識する能力(4)

理科実験は科学的方法の習得の一翼として重要な役割を演じているが、実際には上記の能力の要素の一部分が断片的に実施されている場合が多い。例えば実験結果の整理の段階で、実験データーの導出の過程に非常な時間を要するから、場合によっては実験結果のデーターのみを示し、これに基づいて結論を導く能力を習得せしめることさえもある。

このような各能力の断片的取扱いも、教師の周到な計画的指導のもとでは、種々の場面の積重ねの長期にわたる総合によって、望ましい状態に導かれるものである。

3.1.3 科学者の業績に関する事例研究 (11)

科学的方法は先に述べたように、一定の形式のものはない。そこで、過去の学者が、いかにして、新しい原理・法則を発見したか、その方法を研究することは大切である。

実験の方法についても、例えばガリレイが、「振子の等時性」や「落体の運動の法則」などの発見に際して、いかに周到に実験を計画し、どのような実験器具を使って計測し、結論を導き出しているか、生徒にとって、興味ある研究といえよう。

3.2 科学的知識の伝達

3.2.1 科学的知識

理科実験の第2の目的は科学的知識の伝達にある。

科学知識とは、客観的、普遍的知識であり、未知の場面を予測し、制御し得るもので、単なる知識ではない。とかく、この科学的知識の意

味をはき違えて、実験に伴う道具や方法の名称を記憶することに重点が置かれることを見受ける。この知識も必要なことに違いないが、理科教育の本質的なものとは異なる。

3.2.2 学習効果の転移 (12)

理科教育ではなぜ自然科学の知識を授け、その方法を指導できるのか。それは現在および将来の実生活において、現実遭遇する問題を、能率よく解決させるために、理科の学習が有効な効果（学習効果の転移）をもたらすことを期待しているからである。広い知識を有する人が、そうでない人に比べて、日常遭遇する問題を、より適切に解決できることは確かである。しかし、知識さえあれば、自動的に、それが有効に転移するとは限らない。転移が有効にはたらくためには、前後する2つの経験の間に共通な要素が存在し、学習者がその要素を明確に認識し、積極的に転移させようとする意欲がなければならない。不幸にして、いかなる要素が理科の学習効果の転移に有効であるかを、客観的に研究した例が少ない。

3.2.3 伝達の方法

科学的知識を伝達するためには、直接経験による観察や実験、すなわち生徒実験の場合が最も効果的である。しかし生徒実験で扱われる内容には限度があるから、教示実験によって行われている。また視聴覚的方法が使用されることもある。

2.3 その他の教育効果

理科実験は理科教育自身の教育効果の外に、次のような教育効果を見のがす事はできない。

3.3.1 整理整頓の習慣の育成

理科実験を能率よく有効に実施するためには、実験室はもちろん、実験器具器材に至るまで、常にきちんと整理されていなければならない。これによって、整理整頓の態度、習慣が自然に育成される。

3.3.2 細かい注意力の育成

実験により正確なデータを得るためには綿密な計画が必要であり、また観察や観測に際し

ては細心の注意が必要である。粗雑な観察のもとでは、肝心な要点を見落したり、観測値に大きな誤差を生じたりする。実験者は観察や観測に現われるすべての変化に対して、寸時も注意を怠ることはできない。

このように、実験の実施により、生徒は注意力を育成することができる。

3.3.3 社会性・自発性の育成

生徒実験の多くはグループ実験によってなされる。実験の計画や結果の整理などはグループで討議される。その際、各自は卒直に意見を述べると共に、よく他人の意見に耳をかすというように、自発性と協力性が育成される。実験は準備から整理までが共同作業で行われ、各々分担して達成される。ここに社会性が強調される。

3.3.4 独立自存心の育成

個々に生徒実験を行う場合は、他人に相談することなく、自ら実験を計画し、実施しなくてはならない。また、途中で困難に出会っても、自ら解決の方法を考えなければならない。ここに独立心が育成される。なお、科学の方法の習得は、進んで問題を解決しようとする意欲をかきたてることができる。

3.3.5 寛容・忍耐の精神の育成

正確で豊富なデータに基づく判断は厳格な態度で主張し得るが、不正確なデータや不十分なデータでは強い主張はできない。また、これまで得られたデータによる判断が新しいデータによって、誤りであることに気付くことがある。このような場合には、潔く古い考えを捨てるという態度を育成しなければならない。このように、実験を遂行することによって、常に他人の意見を聞き、進んでこれを受けようとする寛容の態度が養われる。

また、実験によっては連続したデータを得るために、緊張した実験の繰返しが必要であり、失敗に失敗を重ねて実験を繰返すこともある。すなわち、心身共に忍耐力が必要である。

4. 理科実験の指導

理科実験は、理科という教科の枠内にあって、定められた指導計画や時間によって制約を

うける。従って、理科教育ないし理科実験の目的に合致して、能率的に計画、実施されねばならない。

4.1 生徒実験の指導

4.1.1 実験教材の選択

理科実験の結果は教師にとっては既知のものであるから、教師は実験の困難性を見きわめることができる。従って、教師は生徒の発達段階や能力、経験等を考慮して、適当な教材を選択し、実験実施に際しても、適切な指示を与える必要がある。

実験教材の選択に当っては、次のような配慮が必要である。教材の点からは、

- (1) 取扱いが簡単であること。
- (2) 入手し易く、親しみ易いこと。
- (3) 安価であること。
- (4) 丈夫であること。

等である。さらに、内容の点からは

- (5) 生徒の能力に適していること。
- (6) かなりの精度が期待できること。
- (7) 変化の要因が簡単で、たやすく条件をコントロールできること。
- (8) 一時的価値だけでなく、多方面に利用の価値があること。

4.1.2 実験の計画

到達し得た仮説や推論に基づいて、生徒自身により、実験は計画されねばならない。実験の成否の鍵は、その計画にあるといっても過言ではない。中でも、条件の統制が大切である。(10)

一般の現象の因果関係は複雑であるが、実験では条件の統制を行って、因果関係を単純にする必要がある。例えば「発芽には水分が必要である」という仮説を実験で検証するためには、この仮説から出発して、「水分を与えなければ発芽しない」と推論し、これを実験で実証するようになる。従って、この実験を計画するに際しては、次のような条件統制を行う。まず発芽に必要なすべての条件を備えたもの (Control) と、水分のみが十分でないもの (Experiment) とを用意し、両者を比較する。すなわち、同じ大きさの鉢を二つ用意し、同じ場所からの土を、

等しい量だけ入れ、同じ形、大きさとと思われる種をまき、同じ場所に置く。この外考えられる条件はできる限り同じに保って、一方には時間を定めて水を与えるが、他方には水を与えないようにする。前者が発芽するのに、後者が発芽しなければ上記の仮説が実証されたことになる。

実験により比較観察または観測を行うには、1つの因子を除く他のすべての因子(変化し得る要素)を全部同じに保って、1つの因子(原因)のみを変化し、これによって生ずる結果を比較せねばならない。

上の発芽の例では、実験の途中で原因となる因子を自由に變化して結果を観察することはできないが、実験の内容によっては実験者が自由に因子を變化することができる場合がある。例えば「振り子」の実験で、振幅、おもりの種類、糸の種類等を一定に保ち、糸の長さ(独立変数)と周期(従属変数)との関係を調べる場合、糸の長さは自由に變えて実験できる。この場合も、他の因子は固定して、因果関係を調べる。このように条件を揃えることを条件統制といい、このような実験を「統制実験」という。

実験計画の指導に際しては、この条件の統制の必要性および方法を具体的に明示する必要がある。

4.1.3 実験の実施

(a) 実験装置のくふう

実験装置はなるべく簡易なものを用いる。可能ならば生徒自身で自作できるものが望ましい。これは生徒に実験に対する近親感を与える。止むを得ず既製の装置を使う場合には取扱いが簡単で、構造が単純、丈夫なものがよい。

生徒実験の欠点は実験装置の組立てに非常に時間を費すことで、場合によっては教師がある程度まで手伝ってやるか、予め装置を用意しておく必要がある。

(b) 結論の導き方

適切な教材が与えられ、条件統制ができれば因果関係の発見ができる。実験による因果関係の認識について、生徒の能力に照らし合せて、次のような段階が考えられる。

実験者が自由に变化できる因子を x (独立変数) これに従って变化する因子を y (従属変数) とする。

- (1) 不完全な関係の認識
- (2) 完全な関係の認識
- (3) 関数関係の認識
 - (3.1) x が増加 (減少) すれば、これに伴って、 y が増加 (減少) する。
- (4) 不完全な比例 (反比例) 関係の認識
 - (4.1) x が 2 倍 ($\frac{1}{2}$ 倍) になれば、 y は 2 倍 ($\frac{1}{2}$ 倍) になる。
 - (4.2) x が 2 倍 ($\frac{1}{2}$ 倍) になれば、 y はいつも 2 倍 ($\frac{1}{2}$ 倍) になる。
- (5) 完全な比例 (反比例) 関係の認識
 - (5.1) x が 2 倍、3 倍… ($\frac{1}{2}$ 倍、 $\frac{1}{3}$ 倍…) とになれば y は 2 倍、3 倍… ($\frac{1}{2}$ 倍、 $\frac{1}{3}$ 倍…) となる。
 - (5.2) x 、 y のグラフは直線となる。
 - (5.3) x 、 y の関係は比例である。

2 次以上の変化に対しては、グラフをかき、曲線の型によって推論する。

これらの段階は学年が進むにつれて、高次の段階に発展せしめるべきであり、従って、教材も生徒の段階に合せて 選択すべきである。また、同じ教材でも生徒の段階に応じて、認識の段階が変ってくる。例えば、電池につなぐ豆球の数と明るさ(電流)との関係で、小学校では(3)または(4)の段階であるが、中学校では(5)の段階まで指導できる。

なお、次のような場合は結果が単純すぎて、認識を誤ることがあるから注意が肝要である。

(1) 因果関係の無いとき

「発芽には光は不要である」「落下の速度は物体の重さに関係しない」「振子の周期はおもりに関係しない」これらは推論がごくありふれているので関心が薄い、重要な結論である。ごく普通の常識からは、光が生育に必要であるから、「発芽にも必要である」し、アリストレスのごとく、「落下速度が重さに比例する」と考えることがあるからである。

自然現象の中には、おとなの世界では当然と思われても、子供の世界の常識は異っているから、この点から、実験によって変化しなかった

ことを、もっと確認させる必要がある。

(2) 因果関係が単純であるとき

因果関係が比例である場合も、とかく法則の認識を忘れ勝ちである。特に時間に比例する場合が著しい。例えば、水の電気分解で、 H_2 と O_2 の比が2:1であることにのみ注意して、電解量が電流や時間に比例することに注目することが少い。

4.1.4 実験結果の処理

実験結果は単純な場合には観察によって結論が導かれる。しかし、測定実験の多くは、適当な処理が必要である。

(a) グラフに表わす

簡単な比例の場合は数値のみで判断できるが、複雑な場合はグラフによって判断するのが能率的である。そこで簡単な比例の場合でも、つとめてグラフを書かせ、これに基づいて判断するよう指導し、しだいに高次の段階に進むことが望ましい。グラフによる推理の方法については、中野栗夫氏によって詳しく述べられている。(14)

(b) 誤差の取扱い

測定には必ず誤差を伴う。従って、原則的には、測定実験が始まると同時に、誤差の存在を認識させ、これが結果に及ぼす影響をも推測させる。その上、測定を慎重にして、誤差をできるだけ小さくするよう心掛けさせねばならない。

測定技術が不十分な小学校では、誤差の小さい実験教材や実験方法を用いて、実験を単純化する必要がある。しかし、学年が進むにつれて精度の高い測定器具や実験装置をくふうしたり測定範囲を広げるくふうをしたりして、誤差を小さくすると同時に、数度の測定値の平均値を求めたり、測定値の統計的処理を行って、誤差の取扱法を習得させることが必要である。

前記のグラフを書くことは、誤差の程度の確認にも役立つ。

(c) 統計的な結論

自然現象は条件が揃えば、同じ原因に対して

唯一の結果をもたらす。しかし、条件が完全に同一にできない場合は、多数の実験結果を総合して、統計的に結論を導く場合がしばしば生ずる。生物実験には特にこの種のものが多い。例えば発芽の実験で、条件が揃えば全部の種子が発芽する筈であるが、実際には必ずしも全部発芽するとは限らない。もちろん、揃えた筈の条件が揃っていないためである。種子が死んでいるような予測できない条件の外に、種子自身に個性があって、ある種には適温適湿であっても、他の種には必ずしもそうでないこともある。このような場合には、統計的に結論を導く必要がある。物理学の方面でも、ミクロ的取扱いの実験には統計的取扱いが必要である。

4.1.5 実験書 (Guide book or Direction) の取扱い

生徒実験に使われる実験書には、次のような内容が盛り込まれている。

- (1) 実験の背景となる理論とその解説
- (2) 実験に必要な器具、材料
- (3) 実験装置の解説
- (4) 実験実施上の細かい注意
- (5) 実験実施の手順
- (6) 実験結果の処理法

多くの実験書は各実験ごとに非常に細かい指示事項が掲げてあり、中には実験の観察項目だけを空欄に記入すればよいようなものもある。生徒実験は本来、生徒自身によって計画実施すべきで、実験の器材や装置を示すことさえ、実験内容の暗示を与えて好ましいことではない。まして、細かい指示を与えることは生徒をして主体性を失わせ、実験書の命ずるままに作業をするモルモットにならせるのみで、思考力の育成は期待できない。

しかし、生徒実験の二三の例について、モデル的に細かい計画や実験の手順を示すことは必要なことである。また、実験書にみられる実験装置や実験器具の解説や実験上の注意等に関しては、教師がそのつど説明するよりは便利にできている。

このような点で実験書は、実験に関する知識(科学的知識でなくて、単なる知識)を伝達す

るためにはつごうがよい。

以上を総合すれば、実験書はできるだけ使用しないで、教師が生徒の能力に応じた指導の要点のみを記したものを必要に応じて与える方が効果的である。また、実験の項目や注意事項を記した程度の簡略なものを使用するのはさしつかえない。

4.2 教示実験による指導

4.2.1 実験教材のくふう

教示実験で取扱う実験教材は次のような特徴がある。

- (1) 一台だけの実験装置でよい。
- (2) 精巧な装置でも使用できる。
- (3) 教師が操作するため、装置の構造や操作が複雑であってもさしつかえない。
- (4) 実験準備に長時間を要する内容でもさしつかえない。

しかし、実験実施にあたっては、次のような注意が必要である。

- (1) 現われる現象は単純で理解し易いこと。
- (2) 実験装置は大規模で見易いこと。
- (3) 実験結果が明確に判断できること
- (4) 短時間に要領よく実施できること。

上記の条件に合わない実験は、教示実験として不適当であるから、実験の方法や装置または観察の方法等をくふうする必要がある。

4.2.2 指導の内容

装置の単純、複雑に関係なく、実験の結果が単純な場合には、教示実験の方が能率的である。大部分の教示実験はこのような内容である。

実験方法の習熟や科学的思考法の育成の面では、当然生徒実験が適しているにもかかわらず、次のような教材は教師によって実施されることが多い。

1. 操作の不手際によって、長時間を要するとき。
2. 危険を伴うとき。
3. 実験装置が高価で生徒にゆきわたらないとき。
4. 実験に多大の経費がかかるとき。
5. 装置の取扱いが複雑か破損し易いとき。

また、生徒実験の内容を、時には教師のモデル実験として取上げ、実験の計画、実施の方法、実験結果の処理法等を教示する場合がある。

教示実験は時には古典的な実験を再現して、偉大な学者の発見に至るまでの研究方法を、事例研究として示すこともある。

興味ある実験は時には科学に対する興味を深め、単元の導入等に利用することができる。

2.2.3 指導の方法

(a) 効果的な実験

教示実験は実験効果が顕著であるよう、教師によってくふうすべきである。

実験の興味は我々のごく普通の常識と考えられる事柄と全く異った結果を観察（観測）することにある。例えば物体の落下運動で、鉛玉と羽毛とは決して同時に落下しないが、空気の抵抗を無視した場合（真空中）には同時に落下する。この事実は日常生活では経験できないが、実験をおして始めて知る現象である。

今日のように、簡単に真空が得られる時代では、鉛玉と羽毛のような極端な材料を使って効果を顕著にし、観察を便にした上で深い興味を与えることができる。しかし、ガリレイの時代の真空技術は進んでいなかったもので、かれは空気抵抗を無視できる二つの砲丸を使って実験した。それでもアリストテレスの説をくつがえすには十分な実験であった。

以上の例に示すように、教示実験の効果を高めるには、極端な実験結果を比較するようくふうすべきである。また、通常見難い現象や光や音を伴う実験も興味深い。さらに実験の規模は大きい程効果的で、爆鳴気体の爆発は試験管よりも太い集気円筒で行う方が印象的である。

一方生徒実験では、観察の要点が明確になるよう必要に応じて観察の要点を指示する方がよい。(9) また、実験の方法や手順、結果などを子細に観察する能力、態度を養成するため、時には I. C. Davis が示すような「無言の実験」(Silent Demonstration) を行うことも有効である。(10)

(b) 実験の位置づけ

教示実験は教師が実験し、生徒は直接手を下さないで、とかく表面に現われる現象のみに興味があって、実験の意義や目的等をおろそかにしがちである。そこで、次のことに注意して指導する必要がある。

教師は実験に先立って、実験の意義、目的を明確にし、実験装置の簡単な説明（詳細な説明は実験の核心をぼかす心配がある）をすること。

これまでの経験や知識に基づいて推論を行い実験結果を予測すること。（実験には推論が先行するから当然必要なことである。予測や推論なしでは、実験といえない。）

実験結果を整理し、結論を導き、これを新しい場面に応用できるようにすること。

(c) 問題提示の実験

教示実験は問題の解決ばかりでなく、新しい次の問題を提起する役割もある。また、興味ある実験の中には、導かれた結論の意義よりも、科学への興味や関心を深め、自然に対する感得を得さしめることに意義があるものがある。このような実験では、必要に応じて実験を完全に実施しないで適当に疑問を残しておくことも必要である。

このような実験は学習の動機づけとして、また「単元の導入」等に利用できる。

4.3 視聴覚的方法による指導法

科学の発達に伴って、教育内容も次第に広範囲になり、実験方法や装置も高度化し、複雑化してきた。そこで、視聴覚教材を使った、能率ある方法がくふうされている。

視聴覚教育で有名な E. Dale 氏の三角錐によると、生徒実験は底面の直接的、目的的经验に属して、伝達効果は最も優れており、教示実験も底面に近く、伝達の効果は大きい。実験は広義の視聴覚的方法であるが、これを映画、ラジオ、テレビ等のいわゆる視聴覚的教具におきかえて指導することもできる。このとき、次のような特徴が考えられる。

- (1) 高価な実験器具を必要としない。
- (2) 複雑な実験を指導のつど繰返す必要がな

い。

- (3) 複雑な実験の要点だけを明確に強調できる。
- (4) 実験では簡単にみられない内容を図によって詳細に説明できる。
- (5) 短時間に多量の内容を伝達できる。
- (6) 多数の生徒が一斉に観察できる。

視聴覚的方法は限られた時間に能率よく実施できるので実験の代用として利用されるが、さらに、実験への導入として、モデルの実験を示すのに利用される。

また、教室や実験室では実現できないような大規模な実験、説明に長時間を要する実験、高速度撮影等によって時間を延長したり短縮したりした観察等は視聴覚的教材でなくては伝達できない内容である。

最近ではPSSCにみられるように、積極的に視聴覚的実験教材が利用されている。

5. 実験能力の評価

実験に関する能力としては、3.1.2で述べたように、計画する能力、実施する能力、データを整理する能力等が考えられる。実験に関する能力の評価はペーパーテストのみでは評価し難く、種々の方法が考えられる。

5.1 面接による評価

生徒に一定の実験を実施させ、実験実施の動作を観察して評価する。

この方法は被験者1人を検査者1人以上で、実施するというように極めて能率の悪い方法である。しかし確実な方法である。

5.2 チェックリスト法

教師が前もって、実験の要点と思われる項目を設定し、生徒が一斉に実施する状態を観察して、項目にその状態を記入する方法である。1人の検査者が数人の被験者を検査することができるが多数の場合は無理である。

5.3 レポートによる評価

レポートは実施後に書かれるので多くの場合始めの計画の過程や途中の実施の状態は評価し

難い。しかし、実験結果の処理方法に関しては評価の価値が高い。他の提出物による評価も同様な欠点がある。

5.4 ペーパーテスト

実験の計画、データの整理についての評価はある程度ペーパーテストで可能であるが、実験実施の能力をペーパーテストで評価することは困難である。しかし決して不可能ではない。例えば実験によって得られた観察項目を子細に記録提出させ、教師が前もって用意した項目と比較して、実験の方法や観察力の評価ができる。

このテストの特徴は多数の検査が一度にできることである。また、実験に関する適切なペーパーテストを作成し、実施することは、実験を有効、適切に遂行するのに、非常に効果がある。

6. 教師の研究課題

6.1 能率的実験方法の研究

6.1.1 環境の整備

能率よく実験を実施するために、実験室は常に整備されなくてはならない。このために次の点に留意する必要がある。

- (1) 実験室の机等の配置
- (2) 実験室の採光、照明(実験に必要な照度)、換気
- (3) 熱源、電源等の供給方法
- (4) 実験装置の保管の方法
- (5) 実験器材(薬品、試験管等)の整理の方法

6.1.2 実験装置、器材

実験の道具は使用目的に応じた適切な簡易さと大きさが必要である。セミマイクロ化学実験法はこの目的に適した生徒実験といえるが、化学以外の他の分野でも、また教示実験についても同様な研究が考えられる。

6.2.3 視聴覚的教材

実験に代るべき、また実験の補助となるべき教材の利用の効果の研究の分野も今後の研究にまっところが多い。

6.2 実験グループ編成の研究

2.3.1(b)で述べたように実験グループの編成と指導法によって学習効果は変わる。

グループを能力別にするか等質にするか、またはその他の方法によって分けるか、構成人員はどの程度が適切であるか等は学年やクラスの状態によって異なる筈である。またこれに伴う教師の指導の方法等を研究する必要がある。

6.3 実験方法の研究

従来の教師は生徒に「いかにして法則を理解せしめるか」に実験方法のくふうの重点があった。例えば水の電解において、 H_2 と O_2 の比が2:1で発生するよう実験をくふうし、このために事実をまげても理解を便にするようになされた。—この実験は白金電極によるとたやすく2:1に発生するが、白金以外では2:1にならない。(Pb-Pb極に硫酸、またはNi-Ni極にアルカリ性るとき、試験管1本分(約30cc)の H_2 の発生した結果が、偶然2:1になっても発生過程では2:1ではない。)この電解では発生量が極の種類によって異なるから、生徒にこの事実を認識させ推論によって、極板の酸化・還元を防ぐ方法を考えさせ、特殊な実験法を計画させる方が適切である。すなわち、教師は「いかにして自然を理解させ、法則を発見せしめるか」に実験の方法のくふうがなされるべきである。

7. おわりに

実験は推論による予測や仮説なしでは成立しない。理科実験も、目的を明確にして、学習効果を予想しなければ適切な指導方法は確立できない。理科実験が単なる学者の模倣に終わったり、興味本位におちいらぬよう指導法の研究を重ね、有意義な実験となることを望んでいる。

本稿では理科実験と科学的方法に関して、先覚者の研究を参考にし、これまでの研究や私見を加えて概括したつもりであるが不備の点も多いと思われる。諸賢の御批評を仰ぎたい。

今後はこの研究をさらに深めると共に、ここで述べることのできなかつた具体的指導法に関しては、これまでの研究と今後の研究とをまとめて発表できる機会を得たいと思う。

要 約

1. 理科教育で行う理科実験と、自然科学の研究のために行う研究実験とはその目的を異にしている。従って、取扱われる内容や方法も当然異っている筈である。

本稿ではこの両者を比較し、理科実験の意義を明確にすると共に、生徒実験と教示実験の特徴を検討した。

2. 理科実験をとおして、科学的知識が伝達され、その間に自然科学の研究方法を育成しようとしているがこの科学的知識や科学的方法とはなにかを明確にし、理科実験をとおして育成し得る種々な能力について、やゝ具体的に説明を加えた。

3. 理科実験の指導に際しては、実験の目的に従って、実験を計画し、この計画に従って、実験を実施し、さらに実験の結果を処理し、応用する能力を育成しなければならぬ。そこで、これら実験に必要な諸要素を、生徒実験と教示実験とに分けて分析し適切な指導の方法について詳しく述べた。

4. 実験に関する各種の能力の適切な評価の方法を内容別に考察し、理科実験を有効適切に実施するために必要で、かつ教師の今後の研究にまつべき二三の課題を示した。

Summary

Objective of the Science Experiment

1. The experiments performed in science education differ in their aims from experiments performed in the study of natural science. Consequently, in carrying out the respective experiments, their contents and methods are not the same.

In this study, we have compared these two cases of experiments and tried to clarify the significance of science experiments, at the same time, investigating the characteristic and the role of the experiment and its formation when they are performed by the students.

2. Through the performance of science experiments we are able to impose upon the students scientific information. Also, at the same time, to develop a study method for natural science. However, we must define and

clarify the fundamental meaning of “scientific information” and “scientific method”. We have outlined and explained some of the potentialities developed in the students through the performance of these experiments.

3. The students must have a mature understanding of the purposes of the experiment when the teacher guide the classroom for science experiments. The plan to have experiment having been formed, they could be performed the experiment according to the plan, and directed the principles and the laws in nature, and then applied it for the further problems to be solved. In this way they are able to help the develop the student’s knowledge and science methods for the future problems to be solved. We have analyzed the necessary elements for these experiments under two separate categories, “experiments performed by students”; and “demonstrations performed by the teacher”. They are studied carefully with the objectives in mind as to their effectiveness on the students.

4. We have studied under each category, the experiments in science education, and how they are evaluated in their various potentialities. We list several themes concerning the experiments, for further research on the part of the science teacher to carrying out of the experiments effectively.

参考文献

1. G. O. Blough “Elementary Science Objective” *School Life* 1946. (p. 27)
2. 金山広吉 物理実験の再検討 (p. 9)
3. E. Grimsehl *Didactik und Methodik der Physik* (s. 63—70)
4. 棚橋源太郎 新理科教授法 (p. 242—247)
5. E. R. Downing “Improved Science Teaching” *School Sci. and Math.* 1934. (p. 591)
6. 樋渡憲治郎 「科学的方法の教育」佐賀大学教育学部研究論文集第7集 1957. (p. 37)
7. 石田美雄 「科学の方法と理科教育」島根大学論集(教育科学)第6号 1956. (p. 1)
8. E. R. Downing “Teaching Scientific Scientific Method” *School Sci. and Math.* 1934. (p. 400)
9. J. Dewey. (植田清次訳) 思考の方法 (p. 109)
10. M. A. Burmester “Behavior Involved in the Critical Aspects of Scientific Thinking” *Sci. Education* 1952. (p. 259)
11. J. B. Conant *On Understanding Science*
12. 中野栗夫 理科教育法概説 (p. 44)
13. I. C. Davis “Is This the Scientific Method?” *School Sci. and Math.* 1934. (p. 84)
14. 中野栗夫 理科における科学的思考力の育成法 (p. 63—66)
15. 高野恒雄 「理科教育における観察の機能に関する実験的研究」茨城大学教育学部紀要 第6号 1957. (p. 86)
16. I. C. Davis “Problem and Technique in General Science” *School Sci. and Math.* 1936. (p. 173)