

科学の方法と理科教育

石 田 美 雄

は し が き

今日の理科教育は、いわゆる、生活主義に立つ実践理科である。これは、生活環境からの問題の発見、およびその処理を通して、科学の方法を会得させ、この方法を応用して自分自身の生活を改善向上し、ひいては社会の進歩に貢献できるようになることであるとされている。従って、「科学の方法とはいかなるものであるか」ということの究明は、理科教育にとって本質的に重要なことである。

第一節 近代科学の成立と科学の方法

近代の科学はガリレイによつて成立したとされている。彼の研究を考察することによつて、科学の方法の一面を明らかにすることができ

る。
彼の重い物体の自然落下運動の研究は有名である。重い落体の自然運動は連続的に加速されるというような表面的な観察はそれまでにもなされた。しかし、「静止状態から落下する物体の、等しい時間間隔ごとに通過する距離は、1に始まる奇数の比をなす」ということを実験によつて確証したのは彼が最初であった。ここで彼は、落下の原因が何であれ、まずその現象に含まれる因子の間の関係（ここでは距離

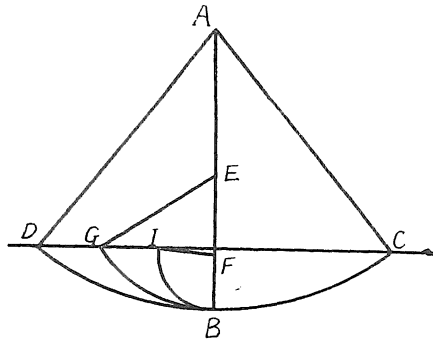
と時間）を確定しようとした。最初に彼は「落体の自然運動は、等しい時間内に等しい速さの増加を得べき運動（等加速度運動）である」と仮定する。

このような仮定を採用したことは、彼の弁明によれば、自然というものは本来非常に単純なものであるはずだから、落下運動が加速度運動であるならば、等加速度運動とするのが一番よいというにある。ここには、自然の本質に関する一種の洞察がある。

さて、この仮定から出発して、幾何学的推理によつて、つぎつぎに定理を導き出しに行く。今の問題に関係のある命題は「静止から等加速度をもつて落下する一つの物体によつて通過さるべき距離は、それらの距離を経過するに要する時間間隔の平方に比例する」というのであつて、これを幾何学的に証明した。ここまでは、仮定にもとづく演繹的な推理の段階といえる。

しかし、この命題の元は仮定であるから、その正しさはそれを実験によつて検証しなければならない。その難点は、いうまでもなく、自然落下運動は速くて、普通の測定にかからないことである。そこで彼は垂直の落下運動の代りに、ゆるやかな斜面に沿う落下運動について測定を行おうとした。そのためには、さらにもう一つの仮定を設けな

ればならなかった。すなわち、「同一の物体が、種種なる傾斜の平面を下降する際に得る速度の大きさは、これらの斜面の高さが等しいときは互に相等しい」。この仮定の正しさの裏付けをするために、彼は予め次のような振子の実験を行ったのである。(第1図参照)



第 1 図

鉛直の壁面に一本のくぎAを打ち、長さ一米ばかりの細い糸によって鉛球をつるす。糸をACの位置から離すと、鉛球はBをすぎてDの近くまで登る。Eに別のくぎを打つて、糸をACから離すと、鉛球はGの近くまで登る。同様にFに第三のくぎを打つと、Iの近くまで登る。逆に鉛球をD、G、Iから離すと、すべてCの近くまで登る。このことは、DB、GB、IBという弧に沿って落下した鉛球は、Bにおいて等しい速度を持つということを示す。糸が十分に長ければ、DB、GB、IBという円弧はその弦に一致するといつてもよいから、前の仮定の正しさは、実験的な裏付けを得たといえる。このような予備実験を行つてから、いよいよ本実験にかかると。

長さ約十二キュービッド(一キュービッドは約四五センチ)、巾二分の一キュービッド、厚さ三指巾の角材に、巾一指巾のみぞを切る。こ

のみぞはきわめて真直に作られ、平滑にみがかれ、内側につるつるした羊皮紙がはつてあり、棒の一端は他端より一乃至二キュービッドあけてある。真ちゅうの球のみぞに沿つてころがし、一定の距離を落下する時間を水時計の原理によつて測定する。距離をいろいろに変えて、測定を一〇〇回ほど繰返し、常に経過距離が時間の自乗に比例すること、又それが棒の傾斜にかかわらず真であることを見出した。

以上がガリレイの物体の自然落下の研究経過である。これから彼の方法を概括すると次のようになる。

- 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(この構想の中には、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。

彼の研究過程の特徴は、まず仮説的理論があり、それに対する判定実験を行うことにある。これは普通、科学の方法と考えられているところの、まず実験を行い、それから法則を帰納するという方法の逆である。しかし、よく考えて見ると、実験がまず行なわれるということはありません。実験はなんらかの仮定や見通しを試すために行なわれるものである。

デューイーは、人間が困難を克服するときにとる思考や行動の過程を反省的思惟と名付け、その側面として、

- 1、暗示
- 2、知性的整理
- 3、指導的観念、すなわち、仮説
- 4、(狭義における) 推理作用
- 5、行動による仮説の検証
の五つをあげている。

ガリレイの方法とデューリーの反省的思惟は一見して非常によく似ている。このことは、われわれが日常生活において困難を克服したり新しいものを発見したりする際にとる方法が、連続的に進化して科学の方法となったことを意味している。各段を比較対照すると、第一段においては、自然を観察することによって、自然の環境が問題を暗示するのである。第二段の知性的整理をガリレイの研究についていえば、自然落下運動を構成する因子を分析し、それを他の運動のそれと比較し、不必要な因子を捨てて理想化して、最初ぼんやりしていた問題をはつきりした問題に変える。すなわち、知性的整理の中には、分析、比較、理想化といった知的操作が含まれている。第三段では指導的観念、すなわち、仮説を設定することに両者が一致している。デューリーの第四段、(狭義における) 推理作用は、ガリレイでは二段に分れ、仮説よりの演繹的推理と、推理の結論を実証する実験の構想に分れている。後者の中には、さらに、演繹的な推理や帰納的な推理、新しい仮定や予備的行動が複雑にまじりあっている。第五段では、実験の実施、すなわち、行動による仮説の検証がくる。ここで異なる点は、デューリーでは行動そのものに価値があるに反し、ガリレイでは

自然の本質の認識に価値があるとする。これにつき、デューリーの言葉を借用すれば「プラグマチズムの特色は、環境を有目的に変更する活動と認識的活動との連続的一貫を主張する点にある」から、このことは本質的な相違ではない。

以上のことから科学の成立を概括して見よう。ここに経験から生れた、ぼんやりした、大規模の指導的観念がまず存在する。その中から演繹的な推論が生れて一つの結論を出す。その結論が実験によつて検証せられる。このような検証がいくつも行なわれる。すなわち、大規模の指導的観念は多くの実験を生む。そして、大規模の指導的観念自身は大規模な概念体系へと進化してゆく。このような大規模の概念体系はしばらくの間生命を保っているが、やがて廃棄せられるか、又は他のより大きな概念体系の一部として包摂せられる。

第二節 科学的技術的方法の側面

前節では唯一つの科学的研究を例として取りあげ、それによつて科学的方法の側面を考察したのであつたが、ここではより広い分野にわたつて、科学的技術的な方法の側面を考察することにする。

ここで考える科学・技術の分野とは、原始的生産技術、臨床医学、自然科学一般および近代的生产技術の四つを意味する。これらの諸分野はそれぞれ連続的につながっており、一つの分野における思考と行動は他の分野にも持ち込まれるが、しかし、各分野にはそれぞれ特徴的な思考と行動の型が存在すると思えられる。それはつぎの通りである。

イ、原始的生産技術……………模倣と再生

ロ、臨 床 医 学……………診断と処置

ハ、自然科学一般……………実験と推理

ニ、近代的生産技術……………設計と生産

これらは、われわれが自然力を制御し、これを利用する過程の四つの側面であるとも考えられる。以下、この四つの側面につき、やや詳しく考えてみる。

一、模倣と再生

道具の製作、火の制御、栽培、飼育などの原始的な技術に用いられた思考と行動は、自然そのものの模倣とその再生であると考えられる。例えば、かまは、非常に有効な草刈り器である羊のあごの模倣であると見なされる。

ある目的に導かれて、自然を分析的に見る（観察する）ことに始まり、それを再現しようとする過程において、指導的観念の役割を果すものは、知覚表象（物のイメージ）である。道具の製作における原始的な発明も、知覚に関連して起ることは心理学の認める処である。いろいろの自然物に関する知覚表象が分解され総合されて、新しい表象、すなわち、観念を生むのであると考えられる。その観念が行動によって検証されたとき、新しい道具が生れる。この場合に注意すべきことは、再生は本来の自然よりも縮小した規模で行なわれることである。模型を作ると、いうことが再生の本質である。

II、診断と処置

診断とは、一般的にいって、ある異常事態に直面したとき、その原

因を探すことをいう。身体の異常の他に、機械・装置の故障、自然の異常現象に対する診断もあるが、ここでは代表として、医者が患者に對するときの思考と行動の型を考えて見よう。

医者は患者から今までの経過を聞き（調査）、身体の諸部分を組織的に観察し、検診する。（この場合の観察とは眼で見る以外に打診、触診を含む。検診とは簡単な器具を用うる観察で、聴診や体温計による体温の測定など。）これらによつて、彼はある徴候に気付く。そして「チブスではあるまいか」という観念が浮ぶ。この観念に指導されて、それを裏付けるに充分な客観的な事実を発見する行動が企画される。これを検証という。この場合には、排泄物の検鏡などがこれに当らう。その結果、チブス菌が発見されたならば、彼の観念は具体的な事実によつて裏付けられ、ここに判断が成立する。診断の過程をまとめると、

- 1、徴候を模索する。分析的に見る。過去の経験との比較が行なわれる。
- 2、持っている経験や知識に関連して、指導的観念が生れる。
- 3、指導的観念によつて、状況が更に分析されて、検証行動が企画される。
- 4、検証が実行されて、観念が確認されるか、否認される。これが繰返されて判断が生れる。

それ故に、診断とは観念に指導された分析の過程である。観念が行動によつて確認されると、それは概念に進化する。今まで原因不明の患者であつたものが、チブス患者という概念の中に包摂せられる。そ

れに対する処置は、チブスという病気の概念の規定する処に従って行われる。よつて、処置は概念に指導された総合の過程であるということが出来る。従つて、診断と処置とを思考活動の立場から見ると、分析と総合との完結した過程となる。

自然の異常に対する診断を自然診断ということにしよう。自然の異常とは、今まで知られなかつたもの、あるいは、珍しいものと解釈する。自然診断の学の一つに分類学がある。珍しい個体を発見したときに、それを既存の概念体系の中に納めようとする試みだからである。分類学の方法は

- 1、個体を収集する
- 2、個体を比較・観察して、仮の分類が生れる。これが指導的観念となる。
- 3、仮の分類に指導されて、個体の特徴的部分の詳細な観察・検診が行なわれ、キメ手が発見される。
- 4、その個体は全体の中の部分としての位置を占める。すなわち、総合が完成する。

このように、分類学は観念に指導されて分析を進め、最後に総合的な体系を完成するという意味において、診断と処置という範疇にいられた。

自然診断の過程では、自然をあるがままの姿でとらえるだけで、対象の条件を変化するようなことはしないのである。それはつぎの実験を待つて行なわれる。

Ⅲ、実験と推理

実験は人間が自然を制御しようとする努力から生れたと考えてよい。最初、ある観念に指導されて装置を作る。ところが、その観念が自然の法則に従うものでないと、装置はうまく働かないことを知る。そして、次には自然の法則を探るための装置を作るようになった。このような装置を使って自然を観察することを、**実験的観察**といい、これによつて新しい現象が発見される。ついで、新しい現象を支配する因子が分析され、その因子を測定することが企てられる。これが**実験的測定**である。さらに進んで、現象を支配する二つの因子を選び、そのおのにおに測定を適用することによつて、二つの因子の間の関係を確定しようとする。すなわち、法則を帰納することが企てられる。これを**(定量的な)制御実験**と呼ぼう。実験的観察、実験的測定および**(定量的な)制御実験**は、実験の三つの段階であると考えられる。ここに、**(定量的な)**と断つたのは、実験はすべて広い意味では**制御実験**であるのみでなく、生物学などでは**(定性的な)制御実験**が行われるからである。つぎに、実験の各段階がどのようにして企画されるかをくわしく考えて見たい。それには前にガリレイの実験について行つたごとく代表的な実験について、その過程を調べ、そこから帰納するのがもつともよい方法である。

第一例 空気の圧力に関する一連の実験

十七世紀の初めには、人は依然として、「自然は真空をいむ」といひ、空気は重さを持たず、軽さを持つといったアリストテレスの影響を脱していなかつた。もつとも、アリストテレスの真空嫌悪説によつても、吸上ポンプの理を説明することはできた。しかし、深い井戸で

は水は上まで登らず、約十米のところまで止まることは知られていたが、これは自然が真空を嫌悪する限界を示すものだと考えられた。ガリレイの弟子、トリチェリは、この事実こそ「空気には重さがある」ことを示すものであり、かつこれは大気圧の測定となるかも知れぬと考えた。これが大規模の指導的観念で、これからの演繹により彼は一つの装置を工夫した。水の代りに密度が約十三倍もある水銀を使つたので、十三分の一の長さの管で仕事をすることができた。実験の本質的な特徴の一つは、現実を縮小した規模で再現すること、すなわち、模型実験にあることは前にも述べた。トリチェリは吸上ポンプの模型実験を行つたともいえる。彼は一方の端をとじた長さ一米ばかりの管に水銀をみだし、開いている方の端を指でおさえ、水銀のはいつている鉢にそれを倒立させ、管の開いている端を水銀の表面より下にいれて指を放した。水銀は少し管から流れ出し、約七六糎の高さにとどまつた。そこで彼は管の上部の水銀のない部分は真空になっていると結論した。これは今日、トリチェリの真空と呼ばれている部分である。これでアリストテレスの真空嫌悪説は破れたわけで、彼の観念の正しさが立証された。(一六四三年)。この実験には、実験的観察と実験的測定とが含まれている。その指導的観念は、当時の学界を支配する学説に対する批判、その時まで知られている事実、および自然に対する洞察より生じた。しかし、彼の指導的観念が、彼の実験より先であつたことを立証する記録はない。従つて、以上の説明は、「指導的観念なしに実験はありえない」という立場にもとづく一つ解釈である。

「空気には重さがある」という大規模の指導的観念は、パスカルに

おいて、「堆積した空気の重さ(気圧)は高さによつて異なるであらう」という狭い指導的観念を産んだ。この観念に指導されて、彼はトリチェリの実験を山頂で試みたところ、水銀柱は著しく低くなつた。こうして、パスカルは気圧が高度と共に減少することを立証した。(一六四八年)。パスカルの実験は、高さと気圧の二つの因子間の関係を求めたのであるから、これは(定量的な)制御実験である。

この系列の実験として、ボイルの実験を逸つするわけにはいかない。ボイルの法則の名によつて、今日、いかなる物理学教科書にものつてある法則を帰納した実験の指導的観念は、彼の一、二の友人が「空気の持つバネの力は容積に対して簡単な関係を持つだろう」ことを暗示したことに始まるといわれる。⁽⁵⁾この検証は、よく知られているJ字管の実験によつて、「気体の容積と圧力とは、同一温度において逆比例する」ことが見出された。(一六六〇年)。しかし、このJ字管の実験はそれ以前に、彼がアリストテレス派の学者リナスの奇妙な仮説を打破るために考案していたものであつた。リナスの仮説は「空気に重さがある」という仮説への反対であつたから、ボイルの実験もこの指導的観念が産んだものである。とにかく、ボイルの実験は(定量的な)制御実験の代表的のものである。

第二例 酸素の発見に関する二つの実験

一七七四年、英国の牧師プリーストリーは酸素を発見した。⁽⁷⁾彼は水銀溜の上に倒立させた管の中の水銀の上に、いろいろの物質を浮ばせ、これを熱していた。熱する方法は直径一フィートのレンズで太陽光線を集めたのである。赤い灰化水銀(酸化水銀のこと)の粉末を熱した

とき、ガスが発生した。木片は空气中よりもそのガスの中で輝しく燃え、ねずみはその中で活発に動きまわった。彼はこのガスを脱フロギストン空気と名付けた。

この実験は明らかに実験的観察に属するものである。一つの装置が組立られ、それによつて新しい現象の観察が引き起されたからである。問題は彼が何故にこのような装置を工夫するに至つたか、特に物質を熱するのに火を用いずにレンズを用いたかということである。装置の構造上火では不便であるということもあつたかも知れぬ。しかし、もつと本質的な理由として、当時の化学界はフロギストン説（燃素説）が支配的であつた。この仮説によれば、火で物を熱すれば、フロギストンがガラスを通して物質の中にはいると考えられる。（ボイルもこのように考えていた）。プリーストリの意図した処は、物質の中にフロギストンをいれずに、その温度を高めれば、どのような現象が起るかということであつたと推測できる。当時、密閉した容器の中で火が間もなく消えるのは、その空気がフロギストンによつて飽和されるためと考えられていた。つまりフロギストン空気の中では物は燃えない。反対に、その中で物がよく燃える空気は脱フロギストン空気である。プリーストリはフロギストンをさえぎつた装置で得たガス中で物がよく燃えることから、フロギストン説の一つの実証が得られたとしたのだろう。彼はこの説の信奉者であつたから。

ラボアジエはプリーストリの実験を知ると、このガスは空气中にもあるに違いないという観念を抱いた。この観念に指導されて、彼は一つの装置を作つた。⁽⁸⁾それは水銀をいれたレトルトの首を曲げて、その

先端を別の水銀溜の上に倒立した管の中に導いたものである。レトルトの中の水銀を十二日間熱して（恐らく炭火で）、水銀の表面に赤い粉末を認めた。同時に、水銀溜における水銀面の上昇によつて、レトルト中の空気は最初の五分の一程減少していることを認めたのである。こうして彼の観念は確かめられた。注意すべきことは、彼の実験の過程はプリーストリのその逆を行っていることである。

この実験は実験的観察から実験的測定へと移行しかけている。その指導的観念は当時の学説への批判、および先行する実験から得られ、現象の本質への洞察を含んでいる。

第三例 生物学におけるコントロール実験

いままで（定量的の）制御実験とよんでいたものは、生物学では定性的なものが多く、普通コントロール実験といわれている。その一例として、レデイの「肉のうじ虫の生成」⁽⁹⁾についての研究（一六六八年）をあげることができる。当時は、肉のうじ虫は自然に発生するという説が支配的であつた。彼はまず開いた箱の中においた肉をくわしく観察する。そして肉の表面にうじ虫や卵（さなぎ）を見、又そこからは、いが生れるのを見た。そして「うじ虫はいが肉に産みつけたものから生ずる」という指導的観念を抱いた。この観念を検証するために、一つの実験を計画した。すなわち、七月、フライレンツェにおいて一つのフラスコに肉を封じておき、同時に他のフラスコに肉をいれて口を開いておいた。口を封じたフラスコの肉には幾日たつてもうじ虫は発生しなかつたが、口を開いた方のフラスコの肉には間もなくうじ虫が発生した。なお、うじ虫が発生しなかつたのは、空気の流通がなかつ

たからだという反論を防ぐために、フラスコの口を、空気は通るがはいは通れない、目のこまかい布でふさいだが、やはり、うじ虫は発生しなかつた。こうして彼の観念は確認された。これは代表的なコントロール実験である。

コントロール実験とは、その現象を支配すると思われる因子を分析して、その中のただ一つの因子だけが異なり、他は全部同じという、二つのグループの実験を計画して、その結果を比較することである。生物学におけるコントロール実験も、ポイルの実験のような(定量的な)制御実験と、その本質は同じことであるが、因子が複雑であり、かつ、測定を適用することが困難な場合が多いので、見かけ上異なっているように思える。

以上の諸例を総括して、「実験と推理」の特徴を述べると次のようになる。

- 1、まず、指導的観念(あるいは、作業仮説)とそれに基づく推理が存在し、それを検証する行動が実験である。
 - 2、指導的観念は、自然の観察(偶然の観察であることもある)その時代を支配する学説の援護や批判、および先行する実験から得られる。それはしばしば自然についての洞察を含んでいる。
 - 3、指導的観念には質料と形式の二面がある。質料とはその実質的内容で、「空気には重さがある」とか、「うじ虫はいの生んだものから生ずる」とかいうものである。形式とは思考乃至行動の様式で次の五つを提示したい。
- イ、模型(自然を縮小した規模で再現する)

ロ、逆行(先行の実験に逆行する)

ヘ、比較(コントロール実験)

ニ、破壊(神経の一部を切断してその機能を見るところといった生理学上の実験や原子核破壊の実験に見られる)

ホ、制御された自然力の利用(熱を加えたり、振動を与えたりすること)

4、大規模な指導的観念から多くの実験が生れる。それは実験的観察、実験的測定および制御実験へと進む。

5、実験には装置が必要である。実験装置とは、われわれの感覚を拡大したり鋭敏にしたりするものか、又は、手の操作を延長したり微細にしたりして、自然力の制御を容易にするものである。一つの装置が完成すると、それが新しい指導的観念を産むことは、(3のホ)に述べた。手段が目的を産むともいえる。

Ⅲ、設計と生産

近代的な生産技術が原始的なそれと異なる処は、後者が全く経験的であつたのに反し、前者は科学と結びついた点にある。又、原始的發明が知覚型であるのに反し、近代的技術における發明は多く概念型である。概念的發明家は自然の法則に従つて機械や装置を想像の中で組立て、それを紙の上にスケッチすることができるといわれる。

A、設計

一つの機械を作るためには図面がなければならぬ。われわれが自分で物を作るときには、図面なしでも物は作れる。しかし、製作を他人に委すときには、自分の観念を具体的に表現しなければならぬ。それ

が図面である。自分で作る場合でも、自分の観念をはつきりさすためには図面を作った方がよい。図面を作るまでの操作を設計という。以下、設計の過程を考えよう。

1、観察と把握

自然や人工の物に対する観察と把握が設計の基礎になる。観察とはすでに述べたように分析的に見ることであり、従って全体より部分を精細に見る。把握とは全体に対する部分の關係を見ることである。

2、法則の適用

いかなる機械も自然の法則に従わねばならぬから、技術家は自分の観念が実現できるかどうかを、自然の法則や概念に照らして検討しなければならぬ。自然科学における新しい法則の発見が、新しい技術を生む例はきわめて多い。

3、実験と実測によるデータの収集

自分の観念が可能かどうか検討するには法則による計算以外に、模型的に施工して確かめることが必要なこともある。それによって設計に必要なデータが集められる。又、設計の基礎になる実測も必要である。

4、想像

想像とは、以上の過程によって確実となった自分の観念を、頭の中の三次元の空間に思い浮べることである。むしろ、想像は今までの過程において指導的の役割を果し、各段階を追うてますますはつきりする。

5、実際のな考慮

実験や実測、法則による計算だけでは、機械の全部を決めるに充分

でない。残りは製作の容易さ、使用者の便利、製作費の安価なこと、材料の都合、全体の調和などによって決定される。

6、製図

今までに述べた段階によって明らかとなった観念は、製図によって具体的に表現される。製図は数学、音楽と共に三つの国際語とされている。製図は技術家の言葉である。

7、試作

でき上った図面によって、試作が行われる。試作によって図面は訂正される。量産用の図面が完成するまでには、数回の試作を経ることもある。

B、生産

生産とは単に図面に従って物を作るといふ技術的行動であるだけでなく、経済的、社会的な行動である。それをここで分析する意図はないが、生産行動の中に含まれる人と人との關係について、フォイエールの企業管理法を参照する。彼は企業の分析研究の結果、企業経営において作業を最良条件で実施するためには、各人に**予測・組織・命令・協力・統制**の五つの機能が必要なことを指摘した。

予測 … 将来を予測して実施計画を作ること

組織 … 企業内において物的・人的両面を持った機構を作ること

命令 … 各人の機能を完遂させること

協力 … すべての行為、努力を結合し、統一し、調和させる

統制 … 定められた原則および与えられた命令に順応して、作業が

実施されているかどうかを監督すること

これはすべての集団活動を行う場合、各人が心得ていなければならぬ原則である。

V、総括

以上述べた科学的・技術的方法を通観して、その特徴をつかむと、第一に重要な点は、「指導的観念」である。その大規模なものは仮設的理論であるが、限られたものは、ある場合には単なる「イメージ」であり、「見通し」であり、「可能な原因についての推測」であり、「作業仮説」であり、又、「概念的空想」であることもある。第二に重要なことは、この「指導的観念」を「行動(実験)」で検証することである。

第三節 理科教育への適用

前節において考えた科学的・技術的方法を理科における学習指導の原理として適用することができる。ここでは、理科における「問題解決の学習」を組織的に計画することを考えている。大単元の主題は、前述の大規模の指導的観念であり、ここから演繹がなされ、実験その他の行動が企画される。そして単元を終るときには、大規模な概念体系となっていなければならぬ。さて、「基本的な学習活動の範疇」として、「模倣と再生」「診断と処置」「実験と推理」「設計と生産」という四つを持つてくる。以下、これらが学習活動として持つ意義、そこに含まれる具体的学習活動の種類、これらに関連して発達させられる能力と態度、および学習(指導)の段階について考察する。

1、「模倣と再生」による学習活動

A、意義

原始人類における発明は、すべて自然を模倣することから起つたとされている。ここでは、児童に自然を模倣させることによつて、自然への興味を揚げ、自然についてのイメージを豊富にさせることに努める。

B、具体的な学習活動の種類

- 1、動植物を生きたまま採集してきて、それを飼育、栽培する。
- 2、動物の飼育場を見学して、自分で動物を飼育する。
- 3、見学して来た乗物や機械を、絵で表現したり、模型に作つたりする。

- 4、機械を分解してその仕組みを理解し、再び組立てる(自転車の分解と組立など)。

C、発達させられる能力と態度

- 1、自然の環境に興味を持つ態度
 - 2、自然を分析的に見る能力
 - 3、自然を絵や模型で表現する能力
 - 4、追試する能力
 - 5、関連する技術的能力(資料・材料を集める能力、飼育、栽培する能力、道具を使う能力、材料を使う能力など)
 - 6、自然に親しむ態度
 - 7、動植物を愛護する態度
- D、学習(指導)の段階
- 動物を採集して、飼育するという学習活動を例とする。

- 1、動物のすんでいる場所を予想し、それを捕える方法を話し合う。
- 2、動物を生きのまま採集する（死なないように注意する）。
- 3、動物がすんでいた場所の様子をよく観察し、記録する。できれば、動物が自然にすんでいる状態を観察する。
- 4、その動物が何を食べていたかを研究する。（本を読んだり、人に聞いてもよい）。
- 5、教室で採集して来た動物を育てる。飼育箱はどのようにすればよいかを考える。そのとき、できるだけとすんでいた様子に似せるようにする。

Ⅱ、「診断と処置」による学習活動

A、意義

日常生活における異常の原因を知り、それを避ける工夫をしたり、それに処置できることは必要なことである。又、異常の追究は新しい問題を提起する。

B、具体的な学習活動の種類

この範疇に属する学習には、第一に、異常の原因をさぐり、それに処置するもの（対策学習）と、第二に、異常を契機として、その筋道を理解するもの（系統学習）とがある。

- 1、動植物を飼育しているうちに、いろいろの異常が観察される。こん虫の変態、種子の発芽、動物が子を産むことなどは系統学習を引き起し、動植物の発育不良、病虫害などは対策学習を引き起す。
- 2、自分や友達の身体の異常、すなわち、病気、けが、毒虫にさらされること、体重の減少などに直面したときの対策学習。

- 3、機械・装置の故障に面したときの対策学習
- 4、天然現象の異常、すなわち、日食、月食、噴火、暴風雨、落雷などに直面したとき、それを追求する系統学習
- 5、人間社会における異常、すなわち、火災、交通事故、伝染病などについての対策学習

C、発達させられる能力と態度

- 1、異常に対して敏感な態度
- 2、異常を積極的に追求する態度
- 3、比較観察する能力
- 4、徴候をさぐる能力
- 5、原因について見通しをつける能力
- 6、自分の見通しを事実によつて確認する態度（事実によつて自分の見通しが否認されたときには、自分の考えにこだわらない態度）
- 7、異常の原因を知つて処置を考える能力
- 8、異常事態に対し急速に処置する能力
- 9、関連する技術的能力

D、学習（指導）の段階

機械や装置の故障（ラジオの故障）を例とする。

- 1、故障の状況を確かめる（故障の起つていないものとくらべる）。
- 2、故障がどの場所にあるかを組織的に調べる。
- 3、故障の起つている場所について見当をつけ、その場所をよく調べる。
- 4、故障していると思われる部品を一つずつ良いものと交換してその

効果をしらべる。

Ⅲ、「実験と推理」による学習

A、意義

われわれは日常生活において実験に類することをやっている。それが連続的に進化して科学における実験となった。その間に断絶があるわけでない。日常生活を改善するには、近代科学の方法である実験の方法を学び、それを適用するのが最善の手段であることを知らせる。

B、具体的な学習活動の種類

あらゆる学習分野に存在する。

1、実験的観察（低学年）。磁石あそび、シャボン玉、鏡あそび、影あそび、虫眼鏡、など。

2、実験的測定。温度しらべ、気象観測、太陽高度の測定、体温、呼吸、脈膊の測定、速度しらべ、レンズの焦点距離の測定など。

3、定量的な制御実験。振子の長さとの往復の時間との関係。水の温度と溶解度の関係、電流・電圧・抵抗の間の関係、光源からの距離と照度の関係、弦の長さや張力と音の高さの関係など。

4、生物の領域におけるコントロール実験。温床の中と戸外との植物の育ち方の違い、水に浸した種と水に浸さない種との芽の出方の違い、は、い、の発生についての実験、微生物の発生についての実験など。

実験学習の動機となるものは、教師のデモンストレーション実験、映画や幻灯からの暗示、書物で知った事柄の実証、異常の追求中に得る暗示、実際場面からの暗示などである。

C、発達させられる能力と態度

- 1、対象から暗示を得る能力
- 2、着想を育てる能力
- 3、着想に従って起るべきことを予測する能力
- 4、実験を構想する能力
- 5、実験を実現する技術的能力
- 6、実験結果から推論する能力
- 7、積極的に探究する態度
- 8、予想や推論を事実によって検証する態度

D、学習（指導）の段階

音の研究を例にとる。

1、いろいろな楽器の構造をしらべる。そして音のどの仕組みを考える。

2、その中から問題をつかみだして、はっきりと文章で表現する。

3、この問題について考えられるだけの答を作って見る。

（例…糸の種類によって違う、糸の長さによって違う、糸の太さによって違う、糸の重さによって違う、など考えられることはすべて数え上げる）

4、どの答が正しいかをためすために、どのような装置を作ったらよいかを考える。このとき前に考えた、いろいろの因子のうち一つだけを変化させ、あとは同じにしておいてその結果を比較する。グループによって、長さを変えたり、張り加減を変えたり、糸の太さを変えたりする。

5、装置を作る。

6、実験は何度も繰返して行う。その結果からいって、自分達のどの答が正しかったかを推論する。

7、いろいろの実験の結果を総合して結論を出す。

Ⅲ、「設計と生産」による学習

A、意義

われわれの生活を直接に豊かにするものは「物を作ること」によって得られる。児童にとつてもつとも強い有目的活動を提供する。

B、具体的な学習活動

模型の製作、実験装置の製作、飼育箱の製作、ラジオ、幻燈器の組立など。

C、発達させられ能力と態度

- 1、機械や装置を観察・把握する能力
- 2、原理を適用する能力
- 3、設計に必要なデータを集める能力
- 4、作るべきものを想像する能力
- 5、設計図を引く能力
- 6、物を作る場合にまず図面で考える態度
- 7、総合的な実施計画を作る能力
- 8、組織する能力
- 9、協力する態度
- 10、定められた原則を守る態度

D、学習（指導）の段階

実物幻燈の製作を例にとる。

1 学校にある幻燈器をよく見てその構造をしらべる。

2、レンズのはたらきについての知識をはつきりさせる。レンズの焦点距離を測定する。

3、光源と映写される物体とレンズと映写幕との関係がどうなればよいかについて推理する。

4、装置全体の構造がどのようになるかを想像し、これを紙にスケッチで現わし、ぼんやりしている個処をはつきりさせる。

5、全体の平面図、立面図、側面図を書いて見る。別に重要な部分を大きく精しく書く。必要ならば展開図も書く。

6、図面に寸法をいれる。計算だけで決らない処は、取扱が容易なように定める。予め与えられているレンズや電球の大きさを測って、それに応じて寸法をきめる。

7、図面ができ上ったら、実際に製作するに必要ないろいろなことを考えて計画を立てる。

(1) 必要な材料の予測と準備

(2) 工具の準備など

8、学級を係、グループに組織する。係とは材料係、工具係、一つしかないような装置を扱う係などである。

9、グループ内の協力、係とグループの連絡をよくする。

10、定められた原則を守るよう注意する（現に危険予防に留意する）。

むすび

理科教育のあるべき姿としてここに主張したことを一言に要約するならば「児童・生徒の抱く指導的観念を重視せよ」ということになる。これはフランシス・ベーコン以来、科学の方法の一つの定説となつてゐる単純な帰納法に反対するものである。ベーコンによれば、⁽¹²⁾ 科学者は事実を、知られてゐる事柄のすべてを、単なる歴史として、なんらの予想を抱かずに収集すべきだと述べた。その事実から法則が帰納される⁽¹³⁾と主張する。しかし、なんらの予想も抱かずに事実を集めるといふことが果してできるだろうか。この考えを理科教育に適用するとして、「なんらの予想も抱かせずに」児童を野外観察につれていつたとせよ。児童は無数の自然現象に直面したとき、一体、何を基準として事物を選択し収集することができるかというのであろうか。ふな、⁽¹⁴⁾ ほんな処にすんでゐるかにについて予想しなければ、それを捕えることはできない。

フランスの偉大な生理学者クロード・ベルナルの言葉⁽¹⁵⁾を引用してこの稿を終る。

「……実験的方法において、仮定又は予想の使用を非難した人達は、不幸にして実験の工夫と結果の検証とを混同する過誤を犯したのであつた。実験の結果を検証するに當つては、仮定や予想から全く離れた精神をもつてしなければならぬといふことは真理である。しかし、実験を工夫するとき、あるいは、観察方法を予想するときは、仮定や構想の使用をさまざまに自由によく注意しなければならぬ。むしろ反対に空想を自由に飛躍させなければならぬ。……」

参考文献

- | | | | |
|------|---|---------|--------|
| (1) | ガリレオ・ガリレイ | 今野武雄 | 日田節次 訳 |
| | 「新科学対話」下巻 | 岩波文庫 | |
| (2) | ジョン・デューイー | 植田清次 訳 | |
| | 「思考の方法」 | 春秋社 | |
| (3) | ジョン・デューイー | 帆足理一郎 訳 | |
| | 「民主主義と教育」 | 春秋社 | |
| (4) | (5)(6)(9)、ジェームス・B・コナント | | |
| | 佐々木申二 伏見康治 訳「常識から科学へ」 | 白楊社 | |
| (7) | H. N. Holmes: General chemistry (Macmillan Co., 1923) | | |
| (8) | オイゲン・テイーゼル | 大沢峯雄 訳 | |
| (10) | 「技術論」 | 天然社 | |
| (11) | パレウスキー | 岡野真 訳 | |
| | 「科学的管理法」 | 文庫クセジュ | |
| (12) | D・M・ターナー | 加藤謙二 訳 | |
| | 「発明と発見の歴史」 | 東晃社 | |
| (13) | クロード・ベルナル | 三浦岱栄 訳 | |
| | 「実験医学序説」上巻 | 創元文庫 | |