



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	認知心理学に基づく学習理論の批判的検討：認識と対象の関係を中心に
Author(s)	松井, 伸一
Citation	北海道大學教育學部紀要, 63, 91-113
Issue Date	1994-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/29427
Type	departmental bulletin paper
File Information	63_P91-113.pdf



認知心理学に基づく学習理論の批判的検討

—— 認識と対象の関係を中心に ——

松 井 伸 一

A Critical Examination of the Learning Theory that is Based on Cognitive Psychology : Centering on the Relationship between Cognition and Its Object

Shinichi MATSUI

はじめに

一般に、学習者が何かを学ぶ際には「わからない」、「理解できない」などという問題が生じてしまう。自然科学教育においては、このような問題を解決するためのアプローチとして次の二つの基本的立場がある。一つは、この問題の解決を人間の意識のなかに見いだそうとする立場であり、東京大学の佐伯胖は「視点」に、同じく村山功は「素朴概念」に認識の基準をおいている。もう一つは、自然科学の構造を検討することで学習上の問題の解決を図ろうとする立場である。筆者はこの立場に立っている。では、このような立場の違いはどこからくるのだろうか。そしてまた、どちらが合理的だろうか。

そこで、最初に人間の認識と対象との関係について科学的な認識とは何かという観点で論じていく。次にこれによって認知心理学に基づく佐伯の学習理論を分析すると、そこには人間の認識と対象との関係についていくつかの問題点が存在するのでこれを示していく。そして、科学的な認識という立場で科学教育研究を考えるとときには自然科学という客観的な対象の構造を検討することこそが必要不可欠であるということを具体的な例にしたがって展開する。

1. 科学的な認識論の基本

1) 認識に関する基礎概念

自然に対する客観的な認識の基本は“反映”である。この反映とは、人間が単に自然の姿を丸写しするような静的な自然の受け入れを意味するものではない。そこには、人間の主観的で能動的な意識の活動が存在し、積極的な自然へのはたらきかけがなければならない。つまり、人間の認識は自然に対して意識的にはたらきかけて、その人間のはたらきかけと自然との相互作用を認識の対象とすることで、客観的に存在する自然の法則を獲得することである¹⁾。ここで前提としていることは、言うまでもなく、人間の主観的な意識とは無関係に自然が存在しているということであり、さらに人間の認識は自然とは独立には存在しないということである。

さて、上述のような認識のプロセスを考えるために、化学史において燃焼の理論が化学者たちのどのような意識のもとに発見されたかを確認してみよう。

18世紀頃までの燃焼の理論は、フロギストン説と呼ばれる。この説は、簡単に言えば、物質はフロギストンとそれ以外の部分からできていて、燃焼時における熱や炎をフロギストンが飛び出

すことで説明する理論である。この考えは、ものが燃えたあとには灰が残って重量が軽くなるという直接的な現象を単純に説明できることから根強く支持されていた。ただし、燃焼には空気が必要であることや金属の燃焼では逆に重量が増加するなどの問題も存在していた。しかし、これらの問題に対して、当時の化学者たちはフロギストン説を次々と拡張することによって対処した。たとえば、前者の問題には空気がフロギストンを吸収する性質を持つために、空気のないところやフロギストンで飽和状態にある空気へはフロギストンが放出されず、そこでは燃焼が起こらないと考えた。また、後者の問題については金属のフロギストンが「負の重量」をもつということでも説明されたりもした。

ここで、フロギストン説について一つ触れておかなければならない。フロギストン説については、フロギストン自体が存在しなかったのでその理論全体が否定的に取り扱われる場合が多い。しかし、フロギストンは実際に実体がなかったものの、フロギストンによって表されるべき機能的側面は存在し、これによって燃焼に関する現象が整理されていったことは確かであった²⁾³⁾。したがって、その意味でフロギストン説は燃焼研究に積極的な役割を果たしたと位置付けるべきであろう。そこで、ここではフロギストン説のもっていた歴史的な意義とは別に、化学者個人の主観的な意識がどのように正しい燃焼の理論の発見にかかわったかという観点で以下論じていくことにする。

このようなフロギストン説の立場に立っていた化学者にプリーストリー (J. Priestley, 1733-1808) とシェーレ (K. Scheele, 1742-1786) がいた。実は、彼らはそれぞれ独立に酸素を発見したことで知られている。もっとも、彼らはフロギストン説を支持していたのでその気体が酸素であるという意識はなかった。実際、プリーストリーは酸素を、それがフロギストンを奪う力が強いという意味で「脱フロギストン空気」(1774年) と名付けていたし、またシェーレはフロギストンが空気のある成分と結合することで熱が生じると考えていたので酸素を「火の空気」(1777年) と呼んだ。このようにプリーストリーとシェーレは酸素を発見していたにもかかわらず、正しい燃焼の理論は発見することができなかった。

燃焼が酸素との結合によって起こるという燃焼の理論に到達したのはラボアジエ (A. Lavoisier, 1743-1794) であった。ラボアジエは原子論に基づく元素観をもっていたと思われるが、彼は現在でいう質量保存の法則が成り立つと考え、実際にそのことを実験によって確かめた。そして、その前提のもとにラボアジエはそれまでの化学研究とは異なり、化学反応の前後における重量の変化を定量的に研究した。そのような実証的な研究方法によって、ラボアジエは金属の燃焼などにおける重量の増加は空気の“ある部分”がその物質と結合することで起こるということを確認していたようである。ただし、その“ある部分”が何であるかはすぐには解明できなかった。

そのようなとき、ラボアジエはプリーストリーに会い「脱フロギストン空気」の話聞いたが、まさにこの気体が燃焼の実体を明らかにするものであると理解し、精密な秤量に基づく実験を繰り返した。その結果、この気体が物質に結合することで燃焼が起こるということを定量的に証明した。このような経過によって、酸素の最初の「発見者」はプリーストリーではあったが、この気体を実際に“酸素”と命名したのはラボアジエであった。

ここで、プリーストリーとラボアジエの燃焼に対する意識という点について比較して考えてみよう。この二人は「同じく」酸素を知りながら、正しく燃焼を理解することができたのは最初はこの気体を見つけたプリーストリーではなくラボアジエの方であった。このことは明らかに彼ら

がどのような考え方で燃焼をみていたか、燃焼についてどのような仮説をもっていたかの違いである。プリーストリーはフロギストン説の立場を取っていたし、一方ラボアジエは燃焼が空気のある部分の結合によって起こると考えていた。このような考え方の違いが、酸素の性質について異なる結論を下したのである。

このように考えてみると、どのような観点でものごとを考えるかが重要であることがわかる。同じものを目の前にしても、それを見る視点が異なれば必ずしも同じ結果にはなり得ないということである。したがって、人間の認識においては主観的な意識のはたらきが重要な役割を果たすということがわかる。人間の主観的な意識のはたらきによって現象の奥にあるものが明らかにされるということである。

しかし、人間の意識のはたらきの側面が強調され過ぎるとそのなかに埋没してしまい真の姿を見失ってしまうことになる。そもそも、意識的にものごとをみる、つまりある観点到立ってものごとをみるということは重要なものではあるが、文字どおりその段階で終わってしまうならばそれは単に自分勝手な解釈をしたに過ぎない。それではまだ認識には至っていない。認識はそのような見方、観点が正しいかどうかを現実の世界と検証してはじめて獲得されるのである。この点が不可欠で重要な問題である。もしそうでなければ、つまり意識したことが現実と合致することが確かめられることなしに認識であるとするならば、その行き着く先は従来から繰り返主張されてきた誤った観念の世界である。

実際、ラボアジエが燃焼を物質と空気のある部分の結合であると考えた仮説の背景には化学反応における重量変化の測定という科学的な手法による裏付けがあったのである。この段階では、彼の仮説はまだ意識されただけに過ぎない。しかし、次にラボアジエは彼の意識した内容(仮説)が正しいかどうかを確かめるために、意識的に自然にはたらきかけたのである。つまり、ラボアジエ自身の仮説の正否を検証できるような実験を計画し、そして実験結果を分析して仮説と自然とを突き合わせ、その結果その正しさが証明されたということである。さらに、ラボアジエは燃焼の理論を証明するとその理論を利用することで次々と新しい元素を発見していった。このときラボアジエの燃焼の理論はその正しさが証明された以上に豊かな内容をもったと言えることができる。

ここで、科学的な認識論の基本的立場を再度確認しておきたい。それは、人間の認識と自然との関係である。初めにも述べたように、自然は人間の主観的な意識とは独立に存在する。そして、認識は自然の反映であるから自然を前提とするものである。そうすると、“法則”というものと人間の認識についての関係はどのようになるだろうか。

自然科学ではさまざまな法則が知られている。これらの法則は人間の主観的な意識とは独立に自然のなかに存在しているので、すべての法則は人間が“発見”したことになる。

ところが、人間が法則を“創造”するかのような議論がある。確かに、人間が法則を発見する過程では主観的な意識のはたらきが必要である。したがって、その意味で人間が法則を造り上げるかのように見えるかもしれない。しかし、ただ単に主観的に意識するだけでは理論でも法則でもない。その意識したことが自然を反映していることが確かめられなければならないのである。そして、それが自然を反映しているか否かは客観的な関係であるので、人間は法則を“創造”することにはなり得ず、“発見”することになるのである。

したがって、人間の認識は最終的にどんなに既成の概念と異なっていようと、その発見が真実である限り素直に受け入れなければならないのである。これは何か自己完結的に観念のなかで

「納得」することではなく、それが事実であるということを認めることから始まるのである。

2) 科学的認識の発展過程

一般に、自然現象はさまざまな要素が複雑にからみ合っている。しかし、その複雑な現象の背後には普遍的な法則が存在していることが明らかにされてきた。高村は、異なる段階を経ながら次第に深まっていく人間の科学的認識のプロセスを図1のように模式的に表した。

ここでやはり重要なのは、本質的で抽象的な意識内容と具体的な現象とが相互に深く結び付いているという点である。つまり、認識のプロセスは、「抽象化の過程」⁴⁾という個別的で具体的な

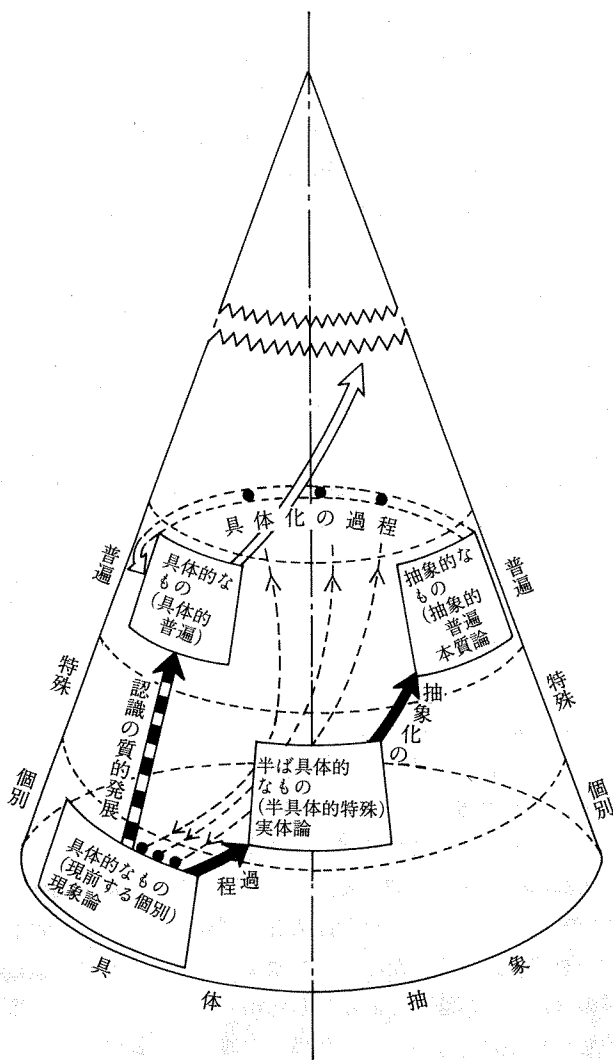


図1 科学的認識の発展過程⁵⁾

- 現象論 対象とする事象について現象的で個別的に記述される段階
- 実体論 現象の構造が実体を伴ったかたちで明らかにされる段階
- 本質論 現象の実体的構造が起こる必然性が本質的に解明される段階

現象を把握し、それらの実体的な構造を明らかにしつつ対象の普遍的法則に至る過程と認識の「具体化の過程」⁶⁾という普遍的で一般的な法則によって具体的なものを再構成して、その現象などの必然性を明らかにする過程が組み込まれている必要があるということである。このようにして、はじめ個別的であった具体的現象は「具体的普遍」⁷⁾として内容豊かなものとして認識されることになる。そして、このような認識プロセスはさらに深い認識へと発展していくことが示されている。

このような対象反映過程においては、ふつう現象からすぐに本質へ到達することはできない。現象的認識から本質的認識へ至るには、現象がどのような構造によって起こっているかが明らかにされ、その構造における属性が見いだされるということが必要である。なぜなら、現象はさまざまな要素によって成り立っており、その現象を分析することでその現象の起こるべき最も主要な要素が明らかにされるからである。そして、その現象の構造が明らかにされて、初めて本質に迫る準備が整ったと言えるのである。

科学的認識は実証的であり、その意味で具体的現象に基づいている。そして、具体的現象は、抽象的本質の具現化として存在しているのだから、人間の認識と自然現象の本質を仲立ちするものとしてその実体がどのようなものであるかが重要である。このように見てくると、学習者がある本質的な概念を理解しようとするときには、その本質を直接に担っている“モデルのようなもの”が必要になることが分かる。高村は、これを「認識対象の本質的な構造を正確に反映した感性的イメージであり、それはあくまでも感性的でありながら、対象の本質的認識を媒介する実体的特質をそなえたもの」と規定し、「実体的イメージ」⁸⁾と名付けた。

いずれにせよ、このような現象と本質との関係が実体を伴ったかたちで示すことができるような教材こそが自然科学教育において重要である。そして、このことは学習者に対して“わかりやすく”教えるということと深く関係している。では、そのためには教材がどのような構造を備えている必要があるのだろうか。そこで、このことについて人間の主観的で能動的な活動と科学の構造との関係で述べておこう。

すでに述べたように、科学において抽象的な概念は具体的なことと切り離して理解することはできない。また、逆に具体的なことを単に並べ立ててもそれによってすぐに抽象的で本質的な概念にたどりつくことはできない。これらのことは、学習者が抽象的な本質を理解するためには、抽象的な本質とそれに対応する具体的な現象が単に与えられただけでは不十分であることを示している。そして、学習者がある抽象的で本質的な記述に対して“わからない”という場合は、具体的な現象と抽象的な本質とがどのような関係になっているかということが理解されていない状態にあるということである。

したがって、学習者がある抽象的な本質を理解しようとする場合には、ある抽象的な本質がどのようにして具体的な現象となって現れるのかという関係を、実体を伴うかたちで学習者が“主体的に”確認できるようなプロセスが必要ということである。そして、科学の構造を分析し、このことをきちんと位置付けることが学習者にとっての“わかりやすい”科学教育なのである。前述した「実体的イメージ」もこのような考えのもとに提唱されたものである。

一方、学習者がすでにもっている概念に基づいて学習させようとする考え方がある。このような立場では、対象である科学の構造を検討することなく、認識主体である学習者が該当する分野についてどのような既有知識をもつかが分析される。しかし、科学的な認識は対象の反映であり、人間の対象へのはたらきかけによって獲得されるものである。したがって、人間の主観的な意識

を分析し、そこから抽象的な本質を学習させようとしてもそれは不可能なのである。

2. 佐伯の学習理論の基本的な考え方とその問題点

ここでは、佐伯の学習理論における次の三つの概念：「知っている」、「視点」、「真実性」についての問題点を検討する。このことによって、なぜ佐伯の学習理論が学習者の意識のなかに学習上の問題の解決を求めるのかを明らかにしていく。

1) 「知っている」ということについて

佐伯は「知っている」、すなわち認識していることについて、それらに属する知識をそれぞれ「意味志向の知識」と「手続き志向の知識」⁹⁾と呼び、これら二つが区別して存在すると考えている。この考えは、ライルが「知っている knowing」を「～ということを知っている knowing that」と「いかに～するかを知っている knowing how」の二つに分類していることの延長にあるものである¹⁰⁾。

佐伯によれば、このような区別は引き算を例に説明すると次のようになる。まず「手続き志向

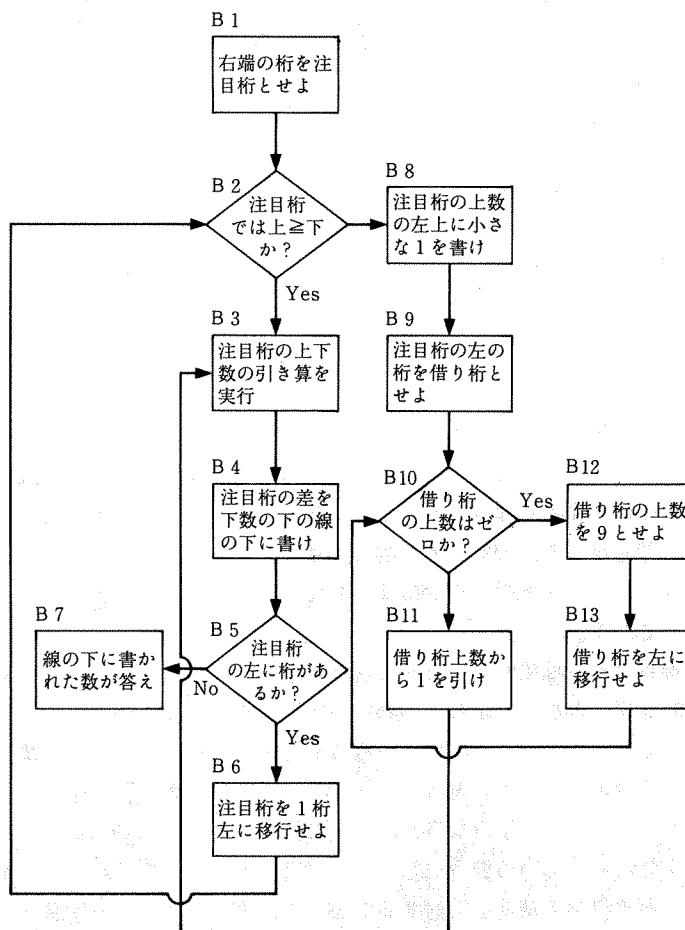


図2 引き算手続きのフローチャート¹¹⁾

の知識」であるが、これは図2のフローチャートで示されるような引き算の手続きを指す。佐伯によれば、このような知識は「いかに～するかを知っている」を表すだけであり、それだけでは引き算を理解していることにはならない。本当の意味で引き算を「知っている」ためには、「意味志向の知識」を、つまり“くり上がり”や“くり下がり”などの手続きの意味を理解しなければならないとしている。そして、どのようにすればうまく「意味志向の知識」を生徒に指導できるかを解決するためには彼らが引き算を行うときにどのように誤るかを分析する必要があると考え、実際に引き算についての詳細な作業分析が行われている。

さて、仮に計算操作の意味が説明されずに、このフローチャートのように引き算が教えられたとした場合、その意味がわからなくても計算ができてしまうことも事実である。そして、このことによって、佐伯は『手続き』 = knowing how 「いかに～するかを知っている」であるのだから knowing how は knowing that と独立に存在するものとし、「知っている」の内容が二つに分けられるという根拠にしているのである。

確かに“知っている”ということ、つまり認識には knowing how と knowing that で表されるべき側面があるには違いない。しかし、これらは本来独立に存在するものではない。“知っている”とは、あることを意識しその意識されたことが主体の外界へのはたらきかけによって確認されるプロセスである。したがって、「～ということを知っている」という前提があってはじめて「いかに～するかを知っている」が規定され得るのである。逆に言えば、意識されていない行為はそれ以上の意味をもたないということである。『計算アルゴリズム』の例では、「いかに～するかを知っている」状態ではなく、“いかに～するか”を単に行っている状態に過ぎないのである。

もしも、このように「～ということを知っている」という意識が「いかに～するかを知っている」という行為と無関係に存在するならば、意識したことが正しいかどうかを判断する方法が存在しないことになる。そして、あえて言うならば、意識すること自体にその根拠が存在するということになるのである。そうすると、結局認識とは意識することそのものになってしまうのである。

ところで、佐伯は「知っている」を二つの事柄に分類し、それぞれ並列的に分けて考えているが、一方で意識的な行為こそ重要であると述べている。これは、本来分離することができない二つの側面を切り離して考えておきながら、生徒の作業分析という手続きをしてわざわざそれらの結び付きの必要性を主張するという不自然なことになっているのである。このことは、意識していない行為は無意味であるということを行っているのであり、自らの「知っている」の定義を否定することになるのではないだろうか。

2) 「視点」の重要性について

佐伯は外界の認識や論理的命題を理解する過程において、「視点」が重要な役割を果たすものであると述べている。その主張を引用してみよう。「わたしたちが外界を理解するとき、まず自ら特定の視点に立って、その視点からのながめとして、外界のできごとを統合しつついわゆる『統合的分析 analysis-by-synthesis』による理解をするのである。この段階での『視点』は、私たちのほうで、頭の中でつくり出す視点¹²⁾である。そして、「わたしたちが外界の認識にあたって『視点』をもつということは、実は、何らかの『活動』を予想していることを意味しているのである。つまり、パラバラに見えていたいろいろな刺激の背後に特定の『活動主体 active agent』を想定し、その活動主体が次に何をしようとするか、何に関心をもつのかについての、ある種の共感

empathy を投入したうえで、外界のできごとを統合的にながめる」¹³⁾というのである。

このような佐伯の主張は、彼の「擬人的認識論」に基づいている¹⁴⁾。この「擬人的認識論」とは「『わたし』はいくつもの『わたし』に分かれ」て、「世の中のありとあらゆる現象の中に、『分身』の活動（アクティビティ）を意識したとき、わたしたちは、“ものごとがわかる”と意識する」¹⁵⁾というものである。

佐伯は「論理的推論に『視点』が重要な役割を果たすことを示す」¹⁶⁾例として次のような Wason の実験をあげている。

「ここにあるカードはすべて表にはアルファベット、裏には数字が書いてあるものとします。もちろん、いま見えているのは、表か裏かの一方だけですが、カードをめくれば必ず対応する文字または数字が見えるはずのものです。この四枚のカードに限って“母音の文字カードの裏には奇数が書いてある”という命題が正しいか否かを調べたいとすると、そのためにはどのカードをめくってみなければならぬかを示してください」¹⁷⁾

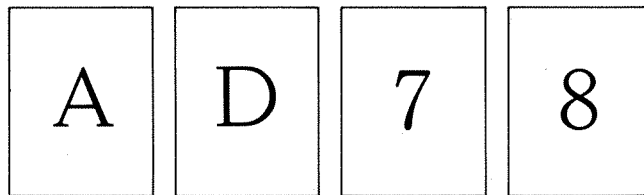


図3 Wasonの課題¹⁸⁾

佐伯がこの実験を大学生に実施した結果は74名中14名しか正解者がなかったということである。一方、この実験と同じ論理構造をもつ次の問題では小学生でも正解することができるという。

「この学校ではどの子もみんな二種類の帽子をもっています。一つは赤い帽子でもう一つは青い帽子です。ところで、遠足の前の日に、先生がこういいました。“明日の遠足のとき、女の子は必ず赤い帽子をかぶってきてください”」「さて、遠足の日になりました。この四人のうちで、先生のいいつけを守ってこなかった子がいるかも知れません。もしも、そういう子がいるとしたら、どの子だとおもいますか？」¹⁹⁾

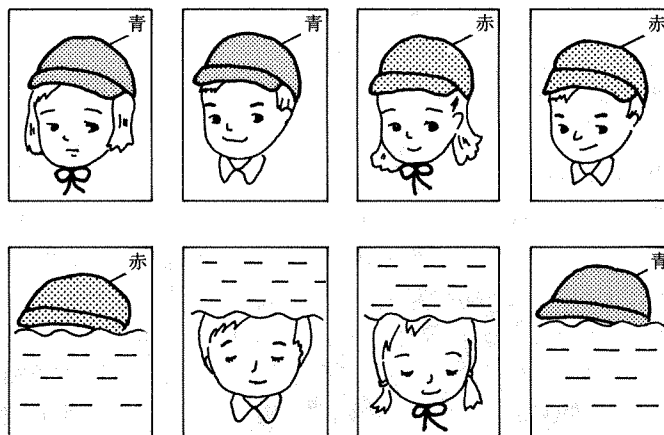


図4 遠足の帽子の問題²⁰⁾

なぜ、このような状況になるかを佐伯は次のように説明する。つまり、前者の課題では「どういう情報に関心をもって注目すべきかもわからず」、「命題の真偽を吟味する活動主体が不明であり、事実としての四枚のカードと、満足させられるべき命題との関係が、何らかの心的時間軸上に位置づかない。つまり、真偽判定に必要なプロセス、合目的な活動の流れが分からないのである。」²¹⁾ということである。

それに対して、“帽子の問題”が小学生にもなぜ簡単に解けるかを次のように説明する。それは、問題文のなかの「『女の子』自身のもつ目標、感心事に対する共感が生まれ、女の子自身にとっての活動性、発生する事態の予想、その結果における重大性へのおそれから、吟味事項が心的時間軸上に位置づく」²²⁾からであると考え。そして、結論として「知識の真実性を本心から『納得する』というとき、実はそれらの知識を何らかの活動主体からのながめとしてとらえる——つまり『視点』を定める——ことがぜひとも必要である」²³⁾としている。

さて、これらの二つの問題では後者の方が容易に解けてしまうのは事実である。しかし、このことが佐伯のいうように被験者の「女の子」に対する「共感」からなのだろうか、そこで、二つの問題をあらためて分析してみよう。

帽子の問題で課題とされる命題は“女の子は必ず赤い帽子をかぶっている”である。そして、このことは同時に“男の子は赤い帽子でも青い帽子でもどちらでもよい”ということとをすぐに連想させるのである。そうすると、「男の子」は何色の帽子でもよいのでこれについては調べる必要がないし、また「赤い帽子」については「女の子」でも「男の子」でもかぶってよいことがわかる。その結果、上の四枚のカードのうち“女の子”と“青い帽子”を比較的容易に選ぶことができるのである。

一方、Wasonの問題で与えられる命題は“母音の文字の裏は奇数である”というものである。しかし、このとき帽子の問題の場合とは異なり、この命題の裏にある“子音の文字の裏は奇数でも偶数でもどちらでもよい”ということがなかなか連想されないのである。そして、この問題を難しいものしているのは、まさにこの「子音」に関して考えが及びにくいという点にあるのである。では、なぜWasonの問題では「子音」についてのことを連想させないのだろうか、それは、そもそも「子音」が「母音」かということと「偶数」か「奇数」かということは何の関係もないし、図もカードの表と裏の関係が分かりにくくなっているからである。それに対して、帽子の問題では図によっても「女の子」や「男の子」ということと「赤い帽子」や「青い帽子」の関連が容易に結び付くように構成されている。

つまり、これらの二つの問題における難易は、問題の構造が被験者に対して命題の意味がわかりやすいように出題されているかどうか依存するということである。帽子の問題が容易に解けるのは、決して佐伯の主張するように「『女の子』自身のもつ目標、感心事に対する共感が生まれ」たからではないのである。

この事例以外にも、佐伯はさまざまな「実例」²⁴⁾²⁵⁾に基づいて「外界の認識にあたって『視点』をもつ」ことの重要性を主張している。しかし、佐伯の「視点」という言葉の使い方は、あるときは文章中の登場人物になることであり、またあるときは、視覚に関して意識をもつことの意味であり、共通の枠ではくくり切れないものである。したがって、これらの「実例」はそれぞれの場合において意識のもつ役割をあらわしているには違いないが、そこから認識における「視点」の重要性を主張するという論理の進め方は飛躍し過ぎである。

ところで、佐伯が主張する「『視点』をもつ」ということの意味は「ある種の共感を投入した

うえて、外界の出来事を統合的にながめる²⁶⁾と述べているように、主観的に意識することが認識には必要であるということである。このことは、佐伯の意図とは別に科学的認識のプロセスのある段階までは正しいと言える。すなわち、ある認識すべき対象からその本質を抽象する過程では主観的な意識の活動が必要だからである。しかし、これだけで認識が成立するのではなく、意識されたことが真に対象を反映したものであるかどうか確かめられなければならない。つまり、人間においてある事柄が単に意識されたに過ぎない段階では“仮説”に過ぎず、その意識内容はそれに基づいて人間が対象にはたらきかけて検証されてはじめて“理論”としてみとめられるということである。

したがって、佐伯の主張する「『視点』をもってながめる」とは、普通に考えれば“仮説をたてる”ということに相当するであろう。その意味で主観的で能動的な意識の活動は重要なのだが、そこで意識された内容が客観性をもつかどうか常に問われなければならないのである。

3) 認識における「真実性」について

佐伯は「知っている」、つまり認識の前提として「その知識が『ほんとうだ』とするにたる十分な吟味と実感、事実としてそれがほんとうであることが必要である²⁷⁾」と述べている。佐伯は、この基本となる考え方として次のようなシェフラーによる「XがQということを知っている knowing that」の分析を基礎にしている²⁸⁾。

- (i) 〈信念〉 XはQを信じている
- (ii) 〈立証性〉 XはQの正当な証拠をもっている
- (iii) 〈真実性〉 Q (Qそのものが真であること)

これによれば、(i)〈信念〉については言うまでもないが、(ii)〈立証性〉までもが「何らかの『他人』に対する申し立てや、『誰もが認める事実』との関連の認識²⁹⁾」となっている。すなわち、「立証性」もが本人であれ他人であれ主観的な意識に基づくのである。そして、(iii)命題の真実性は「X自身がどう考えているかということとはまったく独立に、Xの主張するQなる命題がまさに真実たることを意味する³⁰⁾」というのであるが、その命題の真偽は「客観的・中立的な立場の『中立人』³¹⁾が判断するとしているのである。しかし、このような「説明」は命題の真実性について何の説明もなっていない。なぜなら、命題を評価する「中立人」がどのようにその真偽を判定するのかが不明のままだからである。これでは「中立人」自身も「信念」や「立証性」にその根拠をたよるということにならざるを得なくなり、したがって、このような立場では佐伯がいかにある命題の客観性を主張しようとしても結果として、それは主観的な意識に基準があるということになってしまうのである。

さらに、佐伯の主張を考えてみよう。「真実性の実感というのは、実験事実をつきつけられれば自然に生まれるとはかぎらないのである³²⁾」とも述べている。そして、「真実性の感覚を得るための方略³³⁾」として「文脈作り」、「同型性のあてはめ」、「縮小世界の構成」および「極限状態への変形³⁴⁾」という四つをあげて説明しているが、これらのことはいずれも主観的な「必然性」さえ認められればよいということの意味している。

また、「真実性感覚」というのは「論理的な正当化とは次元の異なる³⁵⁾」もので、「さまざまな思考や経験の経路によって、必然性を確かめ、かくあることがかくあるべくしてあること、そうであることが『よい』こと、そうでないことが不都合であり、おかしいということ、このような認識が生まれるときに『真実性感覚』が生まれる³⁶⁾」と述べている。佐伯によると、たとえば、

そろばんの達人が電卓での計算結果よりもそろばんの答えに「真実性感覚」をもつのは「彼が長い練習の中で、正確に珠をはじくための呼吸、肩の力、指の運動感覚、もしかすると、足のうらへの重心のかけ方にいたるまで、あらゆる身体的調整を行い、結果のチェックのために、まさに全身でその真実性を確かめる状態にあるから」³⁷⁾とまで述べている。

真実であるかどうかが人間の主観的な意識によって保証されるという佐伯のような考え方を推し進めていけば、どのような結果になるだろうか。そのような考え方では、人間がある命題に「納得」している限りその命題が「正しい」ことになってしまうのである。そうなると、ある「認識」が正しいか誤っているかの判断はできないことになり、客観的な真実など必要なくなってしまうだろう。

ここで、再び化学史における化学者たちの意識と燃焼理論の発見との関係について考えてみよう。

プリーストリーやシェーレがフロギストン説を信じていたことはすでに述べたとおりである。彼らは、それぞれ酸素という気体は発見していたが、その真の意味は理解できなかった。なぜなら、彼らはそれぞれフロギストン説に「納得」していたからである。この酸素の性質は、プリーストリーにとっては「脱フロギストン空気」として、またシェーレにとっては「火の空気」としてフロギストン説の説明に「必然性」があったのである。しかし、彼らはともに正しい燃焼の理論には到達できなかった。一体、このことは何を意味するだろうか。これは、たとえ個人のなかで「納得」していたとしても、それは客観的な真実性とは無関係であるということである。

では、真実性の根拠はどこに求められなければならないのだろうか。それは、人間の対象へのはたらきかけにこそその根拠が存在する。意識したことが正しいかどうかは、そのことに基づいて対象にはたらきかけて、そのことによって変化した対象から本質的なことを抽象するという作業によって明らかになるのである。このような過程を通して、人間が主観的に意識したことが客観性をもつに至り、認識が成立するのである。

4) 佐伯の学習理論のまとめ

佐伯によると、「認知心理学では、子どもが何かを『わかろう』とするプロセス」³⁸⁾、つまり「子どもが自分で外的環境の中から必要情報を選択し、解釈し、意味づけ、自らの知識を構成するプロセスと、得られた知識の真実性をいかにして自ら確かめるかを明らかにする」³⁹⁾という。そして、「このような学ぶ側の論理構成を明らかにした上で、授業というもののあり方をもう一度考え直してみる」⁴⁰⁾べきであるというのである。その場合、「意味がわかる」ということが重要であり、そのためには「まず何よりも、この真実性の自己吟味、自己実感の発生過程を明らかにしなければならない」⁴¹⁾と主張する。

このような立場は先の三つの基本的な考え方、「知っている」、「視点」、「真実性」に基づいている。これらに共通する特徴は、人間の認識における基準を意識のなかに置いている点にある。

また、「『わかる』ということの条件」として、「(一)具体的問題が解決できること (二)ものごとの根拠が示せること (三)現実の社会・文化とむすびつくこと (四)関連する世界が広がること」⁴²⁾という四つにまとめている。しかし、これらの意味するところは、それぞれ(一)具体的な現象を抽象的な本質で説明すること (二)本質についてきちんと理解すること (三)本質的なことを具体的なことに適用すること (四)理論体系全体を理解することとなり、これらのことは具体的な現象と抽象的な本質の客観的な関係の結びつきが必要であることを認識主体の側から述べたに過ぎ

ない。

また、「理解するということは、『想起できる』ことでもないし、『課題を解く』ことでもない。ほかならぬ『納得』をすることである」⁴³⁾とし、その「納得」のためには、「(イ)エピソードの当てはめ、(ロ)機能の当てはめ、(ハ)モデル（構造）の当てはめ」⁴⁴⁾の三つが互いに不可分なものとして必要であるとも述べているが、これらのことについても同様である。

一般的に、学習者がその意味内容を納得することは重要である。しかし、その根拠はあくまでも意識内容と対象との客観的な関係に存在するのであり、そのことに対して納得するのであれば「真実性」は意味のないものになるのである。

3. 自然科学教育研究の方法論～教材論

ここまで、認知心理学に基づく佐伯の学習理論と、認識と対象の客観的關係に基づく学習理論の二つについてみてきた。前者に関連して、佐伯と同じ研究グループの村山功は、佐伯の学習理論とは必ずしも同じではないがその延長にあると考えられる学習理論を次のように展開している。

まず、われわれには「素朴概念」などの「学校で自然科学を学ぶ以前から自然現象に対して自分なりの知識を形成している」が、「この素朴概念は自然現象の概念や法則を理解する上で重大な障害となっている」⁴⁵⁾として、自然科学教育を「素朴概念の克服」⁴⁶⁾と位置付けている。そして、「素朴概念とは人間が外界の現象を理解・説明・予測するために構築した理論体系であって、人間は自然現象をどのように解釈していくのか、ということが研究課題となる」⁴⁷⁾と述べている。

そこで、今度はこれらの学習理論が学習上で発生する問題に対して具体的にどのような解答を与え得るかを調べ、どちらが合理的であるかを考えていく。

1) 豆電球と電池の直流回路について

村山は、「素朴概念の克服」という観点の研究としてジョシュアらの研究を引用して説明している。

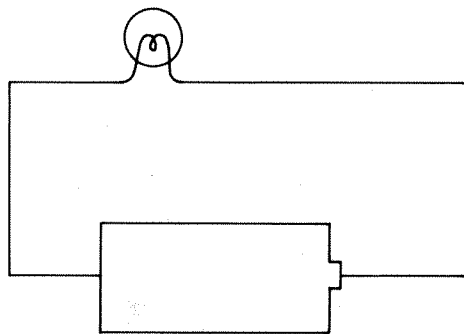


図5 電池と豆電球の直流回路

ジョシュアらは電池と豆電球と導線からなる直流回路について小学生から大学生までに対してその理解の仕方を調べ、その結果を次のようにまとめたという。

「タイプ1：電気は電池の+極から出てくるから、豆電球と電池の+極とを導線でつなげば、豆電球は点灯する。」

タイプ2：電気は電池の+極と-極の両側から出てきて、それが衝突して豆電球が点灯するので、+-両極と豆電球とを導線でつなげなければならない。

タイプ3：電気は電池の+極から-極へ向かって流れ、その一部が豆電球で使われて光りになるので、+-両極と豆電球とを導線でつなげなければならない。

タイプ4：電気は+極から-極へ向かって流れるので、+-両極と豆電球とを導線でつなげなければならないが、流れる電気の量は豆電球の前後で変わらない。⁴⁸⁾

まず、最初にこれらの「素朴概念」について言及しておこう。少なくともタイプ1～3は、いずれも電気を流体と見なしており、これらは電気の伝導について初めて研究したグレイ（S. Gray, 1666頃-1736）に共通するものである。また、タイプ2は電気を+と-の電気に分けて考えているようにもとることができ、最初にデュフェー（C. F. Dufay, 1698-1739）が電気を二種類に区別していたことと類似している⁴⁹⁾。このように、学習者の現象的な理解はその分野の初期の研究として科学史上に現れていることが多い。

さて、ジョシュアらによれば「ここでいくら教師がタイプ4が正しいと主張しても」「学習者は納得しない」⁵⁰⁾。その理由は、「豆電球で何かが消費されているということと電池が消耗するという2つの明白な事実」⁵¹⁾が説明できないからというのである。なぜなら、前者については「豆電球が点灯して光が出てくる以上、そこで何かが消費されているはずである。」「だから、電球を通った後の電流はその前よりも少なくなっているはずである」⁵²⁾ということ、また後者については「もし、+極から出ていく電気の量と-極に戻ってくる電気の量が同じならば、電池の中の電気の量は変わらないから、電池はいつまでも使えることになってしまう」⁵³⁾というのである。そこで、このような「既有知識とタイプ4とが両立すると納得できるようなモデル」⁵⁴⁾というのが図6である。ここでは「列車の動きが電流であり、それを動かすものが電池である」。そして、「豆電球は列車を止めようとする摩擦である」。したがって、「このモデルで考えれば、豆電球で何かが消費され、電池が消耗することと、列車（電流）の数が変化しないことが、完全に両立することができる」⁵⁵⁾というのである。

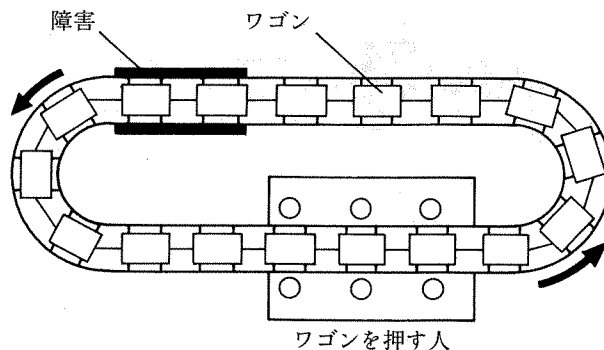


図6 タイプ4の理解へ秒行するためのモデル⁵⁶⁾

ところが、仮にこのモデルによって学習者が「納得」したとして、そのことが豆電球と電池の直流回路を理解したことになるだろうか。そこで、このモデルを分析して問題がどこにあるかを

考えてみよう。

このモデルにおいて、豆電球の光をワゴンの仕事によって説明している点は良いのだが、同じワゴン、つまり電子が回路の中を回り続けることになっている。しかし、直流回路では電子は電池の一極から+極へ不可逆的に流れているのであって、同じ電子が回路の中を周回しているのではない。また、電池が消耗することを豆電球での仕事にのみ帰しているが、回路がつながってさえいれば豆電球がなくても電池は消耗するのである。さらには、モデルのなかでワゴンを動かすものが電池だというように説明すべき電池をその電池によって説明している次第である。確かに、モデルとはその対象そのものである必要はない。しかし、モデルがその対象を理解するための手助けとなるべきものである以上、その対象の本質的な側面を備えていなければならない。したがって、対象の本質を反映していない「モデル」はもはやその対象の本質を媒介しないので、もはやモデルとは言えないのである。

では、なぜこのような根本的に誤ったモデルになってしまうのだろうか、それは、対象である電池と豆電球の直流回路をきちんと分析してそれらの本質を把握せずに、被験者の誤った既有知識に基づいてそれらのつじつま合わせをするようなかたちで直流回路のモデルを考えたからである。このように、「学ぶ側からの授業研究」とは、結果としてこのような対象からかけはなれたモデルを生み出すのである。

次に、認識と対象の客観的關係に基準を置く立場ではジョシュアらの分析した「学習者」の疑問に答えるような電池の直流回路のモデルがどのようなものになるか提案しよう。

言うまでもなく、電流の本体は電子の流れである。そして、豆電球では電子が流れるときに電子のもっているエネルギーの一部が光として失われる。また、回路のなかで電子を移動させる源は電池内での化学反応に伴う自由エネルギー変化にある。したがって、モデルとして必要なことは“電流が電子の流れであること”と“電子の流れが不可逆な流れであること”の二つであろう。下のモデルでは、電池の一極側に電子という粒子が圧縮されて詰め込まれていて、これらが+極側に流れていくことで電子の不可逆的な移動が説明される。そして、豆電球ではこれらの電子が移動する際のエネルギーの一部が仕事（モデルでは抵抗）として使われることが説明される。なお、このモデルは仮説実験授業研究会⁵⁷⁾と倉賀野志郎（1988年）⁵⁸⁾によるものを参考に修正したものである。

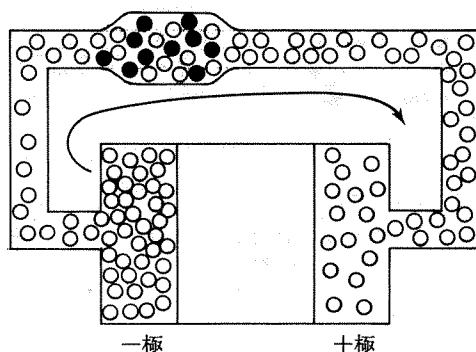


図7 豆電球と電池の直流回路モデル

さて、先の「学習者」の疑問とは、①豆電球で何かが消費されるのにその前後で電気の量が等しいこと②電池の+極からでる電気の量と一極にはいる電気の量が同じなのに電池が消耗するこ

と、の二つであった。そして、このモデルはこれらの疑問にきちんと答えることができるのである。

しかし、上で述べたようにこのモデルは「学習者」の意識を研究した結果得られたのではなく、「学習者」とは無関係に対象の分析によって得られたのである。

この例のように人間の内面への傾倒は、やがて客観的な対象とかけ離れたものについても「納得」して「真実性感覚」がもてさえすればよいということになるのである。これはまさにプリーストリーが「脱フロギストン空気」によってフロギストン説を「納得」したことと同じことではないだろうか。

2) 慣性の法則について

次に、慣性の法則がどのように教えられるべきかについてそれぞれの立場をみていこう。

村山功と宮下孝広は、「学習者が素朴概念をもつことを前提とした科学の教授・学習過程とはどのようなものかが問われなければならない」⁵⁹⁾とし、それには「意味継続的な学習」という「既存の知識体系を改編しつつ新たな知識をそれに組み込んでいくような学習活動が必要なのである」⁶⁰⁾と述べている。そして、「力と運動に関する素朴概念は、『物体は力の加わった方向に働き、力が加えられなくなると自然に止まる』、『物体が動いていれば、その物体には運動方向に力が加わっている』」⁶¹⁾とし、この素朴概念を改編して慣性の法則を学習させるにはダイナタートルというコンピュータ・ゲームが有効だというのである。

ダイナタートルとは、簡単に言えば、ダイナタートルという三角形のロケットをR, L, Kという三つのキー操作によって的に当てるというものである。ここではロケットが空気抵抗などの摩擦のない運動をする。

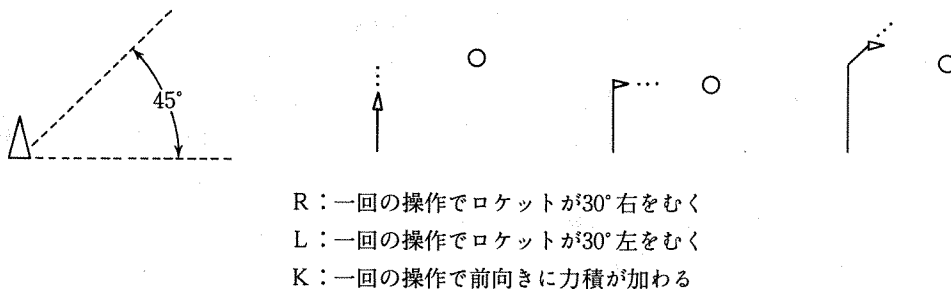


図8 ダイナタートルの初期状態と真横で横向きに噴射した軌跡⁶²⁾

これを小学生たちに行わせた結果は、キー操作によってダイナタートルを動かすなかで試行錯誤を繰り返しながら、的に当てることを学習していったとのことである。したがって、村山と宮下は「これだけの経験から慣性の法則を認める方向に素朴概念が修正されることはない」⁶³⁾と言いながらも、「力と運動に関する知識体系は、小規模ながらも確実に改編されており、ここで獲得された知識はダイナタートルという対象に対する実践的・実感的な知識となっている。これは、現実への適用のための知識を素朴概念と共有しており、決して閉じた知識ではない」⁶⁴⁾と主張している。

確かに、ダイナタートルというコンピュータ・ゲームは空気抵抗のない理想化された世界にお

ける物体の運動のひとつのシュミレーションとして有効であろう。しかも、実際にロケットの運動を意識的に操作することができるという点で、技能的なものではあるが、「実践的・実感的な知識」が得られるということも事実かもしれない。しかし、だからといってこのような知識がダイナタートルのなかでの「閉じた知識ではない」と主張する根拠がどこにあるのだろうか。村山・宮下は「外界との相互作用による知識の獲得は、素朴概念の形成とまったく同じ過程であり、それゆえ知識体系が連続性を保ちつつ、意味継続的に発展していく」⁶⁵⁾と考え、このことをその根拠としているようである。だが、仮にそうだとしてここでの「外界」が何であるか、すなわち何を対象とした認識であるかが問題なのである。すなわち、ダイナタートルによるロケットの運動が本来の本質的な運動であると学習したとしても、ダイナタートルと我々が住んでいる世界における物体の運動との関係が説明されない限り、「学習の過程で力学と素朴概念との対立をきちんと解決しておかない」ことになり、「再び素朴概念に戻ってしまう」⁶⁶⁾ことになるのである。

ここで、対象の客観性に基準をおいて考えるとどのような解決になるかみてみよう。

慣性の法則の学習においては、「『力が働いていなければ運動しない』という日常経験的な認識を打破していくことからはじめなければならない」⁶⁷⁾というように、それを素朴概念と呼ぶか否かは別にして、村山・宮下と筆者は同じ認識にある。しかし、この問題を解決すべき手段は、対象の側に存在すると考える。つまり、先に引用した「物体は力の加わった方向に動き、力が加えられなくなると自然に止まる」、「物体が動いていれば、その物体には運動方向に力が加わっている」という素朴概念は、現実を経験する現象に基づいているのだから、慣性の法則がわかりやすく現れている現象を抽出し、現象と本質（慣性の法則）の関係を明確に示すことができればよいことになる。

寺岡英男は、これについて「地上にいるわれわれが実在する慣性について日常感じ確認できるのは、加速系に身をおいたときに感じる慣性力あるいは慣性系では静止状態の場合とまったく同じように出来事が経過するというような、実にガリレイの相対性原理が問題とする座標系と運動とのかかわりにおいてである」⁶⁸⁾とし、これに基づいて慣性の法則を教授する授業書⁶⁹⁾を作成した。ここでは、等速度運動している台車からビー玉を打ち上げる実験を題材に用いている。まず、打ち上げられたビー玉の放物線運動の軌跡の水平成分を分析すること（[問題1]，[問題2]，[質問1]）によって慣性が見え、さらに日常経験する物体の運動と空気抵抗との関係（「空気抵抗の話」）も説明される。しかし、「この段階では慣性と力とを混同してとらえている」⁷⁰⁾ので、これらを分離させるために、同時に運動する水平に飛び出した球と平面上をころがる球にはたらく力を分析させる（[問題3]，[質問2]）。そして、「座標系の運動とそれとともなう力の変化の関係」⁷¹⁾を示すためにエレベーターにおける運動（[問題4]，[問題5]）を扱っているが、これは「そこであつかわれる力が重力と慣性力であり」「物体の相対運動をあつかう際の典型的な具体物である」⁷²⁾と考えたからである。

このような教材が開発できたのも、やはり科学という対象のなかに問題の解決を求めた結果なのである。

4. ま と め

認知心理学に基づく佐伯らの学習理論の特徴は、人間の主観的な意識のなかに認識の基準を求めていることにある。したがって、この立場では「子どもが一つの『知識』を学ぶということは、

子どもが身らの頭の中に一つの『世界』をつくり出すこと⁷³⁾であり、また科学は「外界に対する解釈の構築」⁷⁴⁾、あるいは「人間によって作り出された知識体系」⁷⁵⁾となる。そして、ここでは認識対象である自然に対してではなく、主観的な意識のなかでの整合性が問題になるので、「われわれは既存の知識との関係でしか物事を理解することができない」⁷⁶⁾ということになる。ここでの「既存の知識」とは言うまでもなく「素朴概念」のことである。

このような考え方は基本的に構成主義にも共通するもので、当研究室の丸山は、「構成主義に基づく概念形成論は」「生徒たちの前概念及び認識過程の抽出や解釈にとどまり、それらと教育内容方法との深いかわりをとらえる視点を欠いている」⁷⁷⁾と分析している。

さて、この「素朴概念」なる日常経験に基づく知識が、たとえば慣性の法則のような本質的概念の学習の妨げになるという点では共通の認識にあるといつてよいだろう。しかし、我々はその問題の解決を対象である科学のなかに見いだそうとする。なぜなら、この「素朴概念」という日常経験に基づく知識は、たとえば力と運動については「物は力を加えれば動く」「力を加えるのをやめれば止まる」「物が重ければ重いほど一生懸命力を出さねばならない」「床が滑らかな方が少ない力ですむ」⁷⁸⁾など我々が実際に経験する“現象”そのものに過ぎないからである。そして、一般に本質がそのまま現象となって現れることはないのだから、現象に直接結び付いている「素朴概念」が本質的な科学的概念の学習の際に障害となることも当然なのである。これは、科学的知識の発展過程から考えると自明のことである。

したがって、このような問題を解決するためには、科学の構造を検討し、それを再構成するかたちで学習者に示す必要があるのである。なぜなら、科学的認識は現象の中からそこに隠されている本質を明らかにし、さらにその本質に基づいて現象を再認識するプロセスであり、科学はその構造のなかに具体と本質との客観的な関係を含んでおり、その関係を理解することが科学的認識に他ならないからである。

「学ぶ側からの授業研究」という言葉は、これを聞く者に良心的な教育という印象を与える。しかし、その実態は「学ぶ側」の自分勝手な理論を無責任に追認する教育に過ぎず、科学教育とは無縁のものである。そして、主観的な意識に基づく「学ぶ側からの授業研究」が科学教育において有効な結果をもたらさないということは、自然に対する認識が主観的な解釈に過ぎないとする佐伯らの基本的な考え方が誤りであることを証明していると言えるだろう。

〔註〕

- 1) 岩崎允胤, 宮原将平, 『科学的認識の理論』, p 98—p 99, 大月書店, 1976.
- 2) 田中実, 『教師のための自然科学概論』, p 168—p 170, 新生出版, 1981.
- 3) J. D. Bernal, 鎮目恭夫訳, 『歴史としての科学』, p 376, みすず書房, 1968.
- 4) 本紀要の高村論文, 「自己意識と科学的認識の形成過程」図14参照.
- 5) 高村泰雄, 同上.
- 6) 高村泰雄, 同上.
- 7) 高村泰雄編著, 『物理教授法の研究』, p 47, 北海道大学図書刊行会, 1988.
- 8) 高村泰雄, 同上書, p 44.
- 9) 佐伯胖, 『学力と思考』教育学大全集16, p 37, 第一法規出版, 1982.
- 10) 佐伯胖, 同上書, p 24.

- 11) 佐伯胖, 前掲『学力と思考』, p 41.
- 12) 佐伯胖, 同上書, p 65.
- 13) 佐伯胖, 同上書, p 74.
- 14) 佐伯胖, 『イメージ化による知識と学習』, p 158, 東洋館出版社, 1978.
- 15) 佐伯胖, 同上書, p 16.
- 16) 佐伯胖, 前掲『学力と思考』, p 77.
- 17) 佐伯胖, 同上書, p 77-p 78.
- 18) 佐伯胖, 同上書, p 78.
- 19) 佐伯胖, 同上書, p 78-p 79.
- 20) 佐伯胖, 同上書, p 79.
- 21) 佐伯胖, 同上書, p 79.
- 22) 佐伯胖, 同上書, p 80.
- 23) 佐伯胖, 同上書, p 80.
- 24) 佐伯胖, 同上書, p 63-p 80.
- 25) 佐伯胖, 前掲『イメージ化による知識と学習』, p 241-p 275.
- 26) 佐伯胖, 前掲『学力と思考』, p 74.
- 27) 佐伯胖, 同上書, p 108.
- 28) 佐伯胖, 同上書, p 31-p 32.

なお、『「学び」の構造』, p 40では「理解する」(To understand X)ということの条件として, H. ベトリーによる次のような三つを引用している。

- A その人は命題 X を経験を通して信じるに至る。
 - B 命題 X は真である。
 - C その人は命題 X が真であることを正当づけるにふさわしい理由をもつ。
- 29) 佐伯胖, 同上書, p 32.
 - 30) 佐伯胖, 同上書, p 33.
 - 31) 佐伯胖, 同上書, p 33.
 - 32) 佐伯胖, 『考えることの教育』, p 47, 国土社, 1991.
 - 33) 佐伯胖, 同上書, p 166.
 - 34) 佐伯胖, 同上書, p 162-p 167.
 - 35) 佐伯胖, 前掲『学力と思考』, p 109.
 - 36) 佐伯胖, 同上書, p 109-p 110.
 - 37) 佐伯胖, 同上書, p 112.
 - 38) 佐伯胖, 前掲『考えることの教育』, p 155.
 - 39) 佐伯胖, 同上書, p 155.
 - 40) 佐伯胖, 同上書, p 155-p 156.
 - 41) 佐伯胖, 同上書, p 161.
 - 42) 佐伯胖, 『「わかる」ということの意味』子どもと教育を考える 3, p 164, 岩波書店, 1983.
 - 43) 佐伯胖, 前掲『考えることの教育』, p 93.
 - 44) 佐伯胖, 同上書, p 93-p 100.
 - 45) 鈴木宏昭, 鈴木高士, 村山功, 杉本卓, 『教科理解の認知心理学』, p 135, 新曜社, 1989.

- 46) 鈴木宏昭, 鈴木高士, 村山功, 杉本卓, 前掲『教科理解の認知心理学』, p 143-149.
- 47) 鈴木宏昭, 鈴木高士, 村山功, 杉本卓, 同上書, p 141.
- 48) 鈴木宏昭, 鈴木高士, 村山功, 杉本卓, 同上書, p 147.
- 49) F. Dannemann, 安田徳太郎訳・編, 『大自然科学史』第6巻, p 12-p 14, 三省堂, 1978.
- 50) 鈴木宏昭, 鈴木高士, 村山功, 杉本卓, 前掲『教科理解の認知心理学』, p 147-p 148.
- 51) 鈴木宏昭, 鈴木高士, 村山功, 杉本卓, 同上書, p 148.
- 52) 鈴木宏昭, 鈴木高士, 村山功, 杉本卓, 同上書, p 147.
- 53) 鈴木宏昭, 鈴木高士, 村山功, 杉本卓, 同上書, p 147.
- 54) 鈴木宏昭, 鈴木高士, 村山功, 杉本卓, 同上書, p 148.
- 55) 鈴木宏昭, 鈴木高士, 村山功, 杉本卓, 同上書, p 148.
- 56) 鈴木宏昭, 鈴木高士, 村山功, 杉本卓, 同上書, p 148.
- 57) 仮説実験授業会編集, 『科学教育研究』11・12, p 148, 国土社, 1982.

ここでは、電流をパチンコ玉で表現し、豆電球における仕事を障害物による抵抗で示している。このモデルにおける問題点は、パチンコ玉の流れを電池内でのベルトコンベアーのようなもので説明し、パチンコ玉が回路のなかを周回している点である。

筆者のモデルでは、電池部分を除く全体のモデル図を借用した。

- 58) 倉賀野史郎, 中村美保, 「授業書『電圧』の構想と、授業記録」, 『教授学の探究』第6号, 北海道大学教育学部教育方法学研究室, 1988.

ここで倉賀野は、「電圧」を力学的な圧力とのアナロジーによって説明しようとしている。そして、「電圧」についての理論的な背景として、「+のバランスを埋めるべく、電荷が移動する」とし、「電荷密度のずれ」が「電圧」の源であると述べているが、これには疑問である。なぜなら、電池における起電力は自由エネルギー変化に基づくもので、力学的な圧力と同じように考えることができないからである。

しかし、そのような理論背景とは別に、筆者のモデルでは物質の弾力性との関係を連想させる「圧縮された状態にある電子」によって電子の移動を説明した。これは、筆者のモデルでは電子の不可逆な移動を説明することが目的だからである。したがって、もし電子の移動の原因そのものが問題になる場合にはこのモデルは適切ではなく、さらに検討が必要になる。

- 59) 村山功, 宮下孝広, 「科学における問題解決と理解」, 『科学と技術の教育』岩波講座 教育の方法6, p 43, 岩波書店, 1987.
- 60) 村山功, 宮下孝広, 同上書, p 67.
- 61) 村山功, 宮下孝広, 同上書, p 48.
- 62) 村山功, 宮下孝広, 同上書, p 53-p 54.
- 63) 村山功, 宮下孝広, 同上書, p 69.
- 64) 村山功, 宮下孝広, 同上書, p 69-p 70.
- 65) 村山功, 宮下孝広, 同上書, p 70.
- 66) 村山功, 宮下孝広, 同上書, p 66.
- 67) 高村泰雄編著, 前掲『物理教授法の研究』, p 96-p 97, 北海道大学図書刊行会, 1988.
- 68) 高村泰雄編著, 同上書, p 97.
- 69) 高村泰雄編著, 同上書, p 144-p 156.

§ 1 慣性の法則

〔問題 1〕

台車が机の上を等速直線運動しています。

台車は走りながら真上にビー玉を打ち上げました。ビー玉がふたたび落ちてくるときどのあたりに落ちると思いますか。

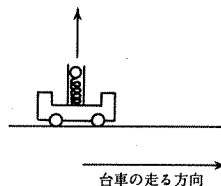
予 想

- ア. 打ち上げたところと同じ地点に落ちる。
- イ. 台車より少し後ろにずれて落ちる。
- ウ. 台車より少し前にずれて落ちる。
- エ. 台車の上にふたたび落ちる。

討 論

みんなの予想を出しあいましょう。

実 験



〔問題 2〕

今度は、前の 2 倍の速さで等速直線運動している台車から真上にビー玉を打ち上げます。なお打ち上げる高さは、ビー玉に加えるバネの力を同じにすることがむずかしいため、かならずしも前と同じ高さになるとは限りません。

ビー玉が落ちてくるとき、どのあたりに落ちてくるとと思いますか。

予 想

- ア. 打ち上げたところと同じ地点に落ちる。
- イ. 台車より少し後ろにずれて落ちる。
- ウ. 台車より少し前にずれて落ちる。
- エ. 台車の上にふたたび落ちる。

討 論

みんなの考えを出しあって実験してみましょう。

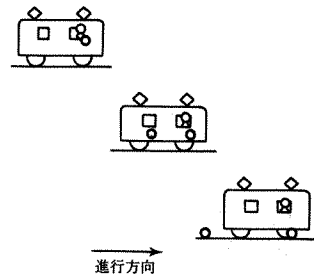
実 験

空気抵抗の話

走っている電車のなかで物を投げ上げても、元にもどってきます。しかし、走っている電車の窓から物を落としたらどうでしょうか？ 空気抵抗がなければ、物が下に落ちるまでに進んだ水平方向の距離は、電車の進んだ距離と同じはずです。

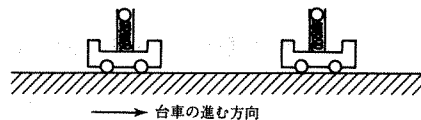
ところが、実験は車内の人から見れば落とした物は進行方向とは反対向きに飛ばされてしまいます。みなさんも何回かこうした経験があると思います。

これは物体（この場合電車）が空气中を運動するときには、進行方向とは反対向きに空気の抵抗力が働くためです。そして、この空気抵抗の大きさはやく走る電車の場合、電車の速さの2乗に比例して大きくなります。



〔質問1〕

いままでの実験で、等速直線運動をしている台車からビー玉を真上に打ち上げると、走りつづけている台車にふたたび落ちてくることが確認できました。



それでは、打ち上げられたビー玉は台車にもどるまでにどんな運動をするのか図に書き、予想を出しあいましょう。

ストロボ写真を見て、どの予想が正しかったか確かめてみましょう。

〔問題3〕

図のような実験装置があります。上の斜面から玉Aが1 m/秒の速さでとびだしました。また同時に下の斜面から別の玉Bがやはり1 m/秒の速さで水平なカーテンレールの上をころりはじめました。玉Aがカーテンレールに落ちたとき、玉Bはどのあたりを走っているでしょう。

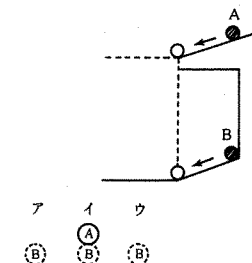
予 想

- ア. 玉Bは玉Aが落ちたところより手前を走っている。
- イ. 玉Bは玉Aが落ちたところにいる（ぶつかる）。
- ウ. 玉Bは玉Aが落ちたところよりさきの方をすでに走っている。

討 論

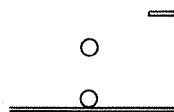
みんなの考えを出しあって討論しましょう。

実 験



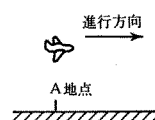
〔質問2〕

〔問題3〕の実験で、斜面からとびだした玉A、水平なカーテンレールをころがりはじめた玉Bそれぞれに働く力をすべてあげ、図に書き入れなさい。



〔練習問題〕

- (1) 100m/秒の等速で水平にとんでいる飛行機から、A地点の真上で荷物を落としました。10秒後に荷物は地面に着いたとすれば、A地点から何mさきに落ちたことになりますか。



§2 ガリレイの相対性原理と慣性の法則の役割

〔問題4〕

図のように、物体をのせたはかりを箱に入れ、その箱を滑車を通してモーターで等速運動させながら上昇させます。

このとき、箱のなかの物体の重さは、静止しているときの重さ(□□g)とくらべてどちらがおもいと思いますか。

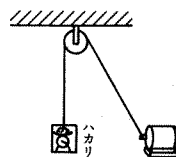
予 測

- ア. 静止のときの方がおもい。
- イ. 静止のときの方がかるい。
- ウ. どちらも同じ重さ。

討 論

みんなの考えを出しあいましょう。

実 験



〔問題5〕

〔問題4〕と同じ装置を使って、今度は箱を加速させながら引きあげます。このとき、はかりの上の物体の重さ（□□g）とくらべてどちらがおもいでしょう。

予 測

- ア. 静止しているときの方がおもい。
- イ. 静止しているときの方がかるい。
- ウ. どちらも同じ重さ。

討論と実験

みんなの考えを出しあってから実験で確かめてみましょう。

〔質問3〕

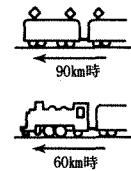
- ① 電車と汽車が並んで同じ方向に走っています。電車は90km/時汽車は60km/時で等速運動をしています。

汽車のなかの機関士さんから見て電車の速さはどれだけのしょう（機関士さんは、窓の外には電車のほかには何も見えず、また自分が静止しているように思っていると考えてください）。

- ② 今度は、電車90km/時で東に、汽車は60km/時で西に向かって等速運動しているとします。

このとき、汽車のなかの機関士さんから見て、電車の速さはどれだけのしょう。

- ③ 条件は①と同じで、今度は電車のなかにすわっている人から見ると、汽車の速さはどれだけのしょう。



70) 高村泰雄編著、前掲『物理教授法の研究』、p 152.

71) 高村泰雄編著、同上書、p 154.

72) 高村泰雄編著、同上書、p 154.

73) 佐伯胖、前掲『考えることの教育』、p 126.

74) 鈴木宏昭、鈴木高士、村山功、杉本卓、前掲『教科理解の認知心理学』、p 141.

75) 村山功、宮下孝広、前掲『科学と技術の教育』、p 72.

76) 鈴木宏昭、鈴木高士、村山功、杉本卓、前掲『教科理解の認知心理学』、p 135.

77) 丸山博、「構成主義に基づく科学的概念形成論の批判的検討」、『教授学の探求』第10号、1992.

78) 村山功、宮下孝広、前掲『科学と技術の教育』、p 48.