

# 認知的束縛と教育

梅 本 洋

## 序

教育の目的は、一般に生徒がしかるべき内容を学びとることにあ  
る。これは自明の事柄に属している。しかし、教育の遂行主体であ  
る教師が意図している教育内容と、その教育において生徒が学習す  
る内容とが実は合致しないという事態が、教育の常態でさえあると  
いうことは、必ずしも自明のこととは思われていないのではなかろ  
うか。いずれにせよ、教師側が意図する教育内容と生徒側における  
学習内容とが齟齬を来すという事態は、どのような教育がとりあげ  
られるにせよ根本的に重要な問題を提起することは論をまたない。  
教育において教育内容と学習内容とが合致せずにいわばすれ違っ  
てしまうのは、どうしてなのであろうか。その背景にはさまざまな  
要因が考えられることはいまでもないが、本稿が以下において注  
目するのは、もっぱら生徒に内在していて生徒の認知のあり方を強

力に束縛している要因である。まず第一節では、ごく身近な対象に  
ついて生徒がその実物を観察しながら学習するという授業の場面に  
とりあげる。生徒による実物観察がいかに生徒の内的要因に強く束  
縛されているかを検討するのが、第一節の主眼である。続く第二節  
と第三節では、生徒にとって認知上の障壁がきわめて高い教育内容  
として、電気回路（第二節）と物体の運動や力（第三節）をとりあ  
げて、生徒の学習にかかわる認知的束縛に検討を加え、論点を整理  
する。それをうけて第四節では、生徒における認知的束縛のよって  
来るところに関して若干の考察を試みることにしたい。

### 一 生徒による実物観察における認知的束縛

以下に提示するのは、著名な動物行動学者であった日高が「あま  
りに強烈な印象」（日高、五八）をうけた体験として書き記してい  
るもので、もちろん実話である。

あるとき日高は知り合いの小学校教師から、小学生たちが描いたアリの絵を見せてもらった。ごく身近な昆虫であるアリの絵である。多数の生徒たちのアリの絵が、各生徒毎にきちんと上・中・下の三段に分けて整理されている。上段の絵は、この教師が授業でいきなりアリを描くように指示して生徒たちに描かせた絵である。生徒たちは懸命にアリの姿を頭に思い浮かべながら描いたに違いない。しかし、上段の絵に描かれたアリの姿は実物のアリの姿からはかけ離れており、実に不正確である。これは当然であろう。平均的な大人でも、いきなりアリを描くように求められて、その場で正確にアリの姿を描けるとは到底思われない。日高によれば、上段の絵は生徒毎に千差万別ではあったものの、「次のようなところはみな似ていた。つまりだいたい丸い頭と楕円形の胴体があつて、胴体には肢が四本生えている。頭からはひげが一本か二本、後向きに胴体の方へ伸びているというぐあい絵であつた」(同右)。小学生によって描かれた内容がおよそ不正確であるという点もさることながら、同一の不正確さが期せずしてそれらの小学生全員に共有されていたという点にも充分留意すべきである。

教師は授業で生徒たちいきなりまず上段の絵を描かせてから、今度はシャーレにいたれた実物の生きているアリを各生徒に一匹ずつ与え、実物をじっくり観察しながら改めてアリを描くように指示した。こうして描かれた絵が、中段の絵である。今度は目の前の実物のアリを観察しながら描くのであるから、かなり正確な絵ができあ

がることが予想される。日高もこれで「本当のアリの姿が描かれるはずだ」(日高、五九)と期待したのであつた。「ところが、子どもたちの絵はけっしてそうなつてはいなかつた。描かれたアリの大部分は、依然として頭と胴体、肢は四本なのである」(同右)と日高は述べている。

実物を観察しながら描いた生徒たちのアリの絵が一向に代わり映えしないことを見とどけたうえで、教師はすかさず生徒たちに注意を促した。まず、アリの体は頭と胴体とで構成されているのではなく、実際は頭と胸と腹の三つの部分から構成されていることを生徒たちに確認させた。教師から指摘され改めて実物を観察して初めて生徒たちは実際のアリの体の構造に気がついたのである。次いで教師は生徒たちにアリの肢の数について注意を促した。アリの肢は本当に四本なのか。生徒たちはアリを観察しなおして、肢が六本あることに驚く。しかし、それでも生徒たちには六本の肢の生え方が容易には把握できない。各自が目前の実物のアリを観察しているはずであるのに、頭と胸と腹からそれぞれ二本ずつ肢が生えていると主張したりする生徒もいる。教師の指導によって頭と腹からは肢が生えていないことを実物に即して確認し、ようやく生徒たちはアリの六本の肢が全部胸から生えていることを知ることができた。生徒たちが描いたアリの絵では、上段のものでも中段のものでも同じように肢が最初から下向きになっているが、実際のアリの肢は最初は上向きになっていて、それから下向きになっている。生徒たちはこ

のことも、教師から注意を促されて初めて把握するに至る。最後に教師はアリの触角の方向をとりあげた。生徒たちが描いた上段と中段のアリの絵では、ひげがそろって後ろ向きになっている。だが、実際のひげはどうなっているのか。生徒たちはまたも改めて各自のアリを観察し、アリの触角が実は前向きになっていることに気がついたのであった。それをうけて教師は、アリは触角で前方を探りながら歩くので、触角の方向が前向きでないとうまく働かないことについて説明したのであるが、この説明の趣旨は生徒によく理解できたことであろう。

下段に並んでいるアリの絵は、教師による以上の一連の指導を経て改めて実物のアリを各生徒が観察して描いたものである。果たして下段に収められた「子どもたちのアリの絵は、ぐつと実物に近くなった。頭と胸と腹。胸には六本の肢。頭から前を向いた触角」(同右)が描かれていたと日高は回想している。

「人間は実物を見たからといって、おいそれとその実物が見えるものではないということが、しみじみよくわかった」(同右)と日高が述べているように、この逸話のポイントは、実物のアリを自分の目で観察しても生徒にはアリの体の実際の構造がほとんどとらえられなかったという点にある。生徒がアリの実物を観察してもアリの実際の姿がいつこうに見えてこないという事実は、生徒の内部でアリの体の構造にかかわる認知のあり方が強力な束縛をうけているという事態をよく物語っている。要するに、アリの体の構造について

生徒たちはいつの間にか一定の強力な予断を無意識のうちに形成していたのであり、そのままその予断を教室にもちこんで授業に臨んだのである。そして、授業で実物のアリを提示されて自らその観察に従事する場面になっても、依然として生徒たちはその予断に依拠し続け、それに束縛され続けたのであった。そして、前述したように、アリの体の構造に関する生徒の認知を強く束縛していたこの予断は、これらの生徒間で共有されていたのである。

生徒によるアリの観察にまつわる以上の逸話は、あくまで一つの事例であるにすぎない。この事例では、アリの体の構造についての認知は当初はどの生徒においても同様の束縛を被っていたのであるが、教師による指導が功を奏して、やがて生徒たちは自らの予断に根差す認知的束縛をさしたる困難もなく乗り越えることができた。しかし、これとは対照的に教師の最善の努力にもかかわらず、生徒側における認知的束縛が容易には克服されえない場合も決して少なくない。ドライヴァーがいうように「一連の授業に充当された時間では、子ども達は新しい考えを採用しないか、あるいは現有の彼らの考えを根本的に変えることはない」(ドライヴァーほか、二四三)ことも多いのである。特定の事象に関して生徒の認知が予断によって強く束縛され、しかもその予断が多数の生徒間に共通して見出されるとともに教育によっては除去がきわめて困難であるという事態は、教育に対して大きな課題を提起せずにはいない。そこで、次の二つの節では、この種の事態のなから、これまで特に広

況に研究がなされてきている二つのテーマにかかわるものを順にとりあげて、論点を整理することにした。これら二つのテーマとは、単純な電気回路（第二節）と物体の単純な運動や力（第三節）である。

## 二 単純な電気回路に関する認知的束縛

今日、電気に関する諸事象の学習は、内外の学校教育において正規のカリキュラムの一環として位置づけられている。しかし、電気に関する諸事象は、ごく初歩的なものであっても生徒にとつてきわめて認知的障壁が高いと考えられている。

生徒が電気に関する諸事象をどのように認知し、その認知がいかなる束縛を被っているかを調べるために、一般に広く用いられてきた道具立てがある。それは、乾電池、導線、豆電球からなるセットであるが、豆電球にはソケットを装着しない。

この道具立てを使用することで、電気に関するいくつかの基本的な事柄について生徒がきちんと内容を習得しているかどうかを容易に検査することができる。まず、豆電球を導線で正しく乾電池につないで豆電球を点灯させることを求める課題をとりあげてみよう。もし豆電球にソケットが装着されていれば、何ら困難を伴うこともないであろうが、豆電球がソケットを装着していない状態で与えられると、実は相当に難度の高い課題となるのである。この課題で豆

電球を点灯させるには、導線の一端を乾電池の陽極につなぎ他端を豆電球の底の先端部につなぐとともに、別の導線の一端を豆電球の下側のネジ溝が切つてある金具部分につなぎ他端を乾電池の陰極につなげばよい。要するに電気回路をきちんと形成すれば豆電球は点灯するので、豆電球の底の先端部を直接乾電池の陽極にあてがううえで、導線の一端を豆電球の下側のネジ溝が切つてある金具部分につなぎ他端を乾電池の陰極につなぐなどしても豆電球を点灯させることができる。

この課題にとりくんで豆電球を点灯させることに成功する生徒は全体から見るとかなり少ないことが知られている。若干の例をあげると、ティベルギエとデウラコットがフランスの初等学校と中等学校の各学年の生徒八名（男子四名・女子四名）を対象にして調べたところ、首尾よく豆電球を点灯させることができたのは一歳の男子生徒一名のみであった（Cf. TIBERGHEN & DELACOTE, 34）。このティベルギエとデウラコットの調査は質的な分析を目的としたものであるため、対象となった生徒の数はごくわずかであるが、他の調査でもこの課題の成績は決して芳しいものとはいえない。これについては、フレデットとロックヘッドがアメリカの工学専攻の大学一年生五七名を対象にして行った調査の結果が特に興味深い。フレデットとロックヘッドは、この課題を用いた一群の研究において被験者の生徒たちが提示した代表的な次の二種類の誤答に着目したのである。①導線の一端を乾電池の陽極につなぎそのつなぎ目のうえ

にさらに豆電球の底の先端部をあてがうとともに、その導線の他端を乾電池の陰極につなぐ。⑥一本の導線の一端を乾電池の陽極につなぎ他端を豆電球の底の先端部につなぐとともに、もう一本の導線の一端を乾電池の陰極につなぎ他端をやはり豆電球の底の先端部につなぐ。⑦⑧ともに豆電球を含む電気回路を形成しないので、豆電球は点灯しない。フレデットとロックヘッドは、⑨⑩を図示した質問紙を被験者の大学生たちに提示し、⑪⑫で豆電球が点灯するか否かの判断を求めたのである。その結果、⑬⑭いずれにおいても豆電球は点灯しないと正答できたのは、五七名中わずかに一八名にすぎず、他は全員誤答したのであった (Cf. FREDETTE & LOCKHEAD, 194-195)。フレデットとロックヘッドがいうように「高校で理科を何ら履習せずに大学の工学専攻にはいつてくる者などまずいなさ」(FREDETTE & LOCKHEAD, 194) ことを考えると、電気に関する事象をめぐっては「非常に基本的なレベルに主要な概念的困難が存している」(Ibid.) といわざるをえないのである。

この概念的困難は、豆電球にソケットが装着されていないことで増幅されているのではないかと思われる。この点について、シップストンは、ソケットを装着していない豆電球は「そのつくりがすぐにはわかりにくく…実際、生徒にとって、そのつくりは、単極の装置であるかのように見え、非常に誤解をまねきやすい」(シップストン、六七) と指摘している。生徒たちは誤って「電球を単極の「吸い込み」と見」(シップストン、五一) てしまうのである。シッ

プストンが用いているこの「吸い込み」という表現は当を得ている。首尾よく豆電球を点灯させられない生徒たちが電気について抱いている予断や誤概念の重要な特徴をよく表しているからである。要するに、電気にかかわる事象について生徒たちはシップストンが端的に述べているように「電池のような電気を供給するものがあり、電球やモーターのようなそれを消費するものがある」というとらえ方(同右) をしているのである。このとらえ方は電気に関わる認知を強力に束縛するとともに容易なことでは変化せず、子どもであれ大人であれ大勢の人々に広く共有されていることが知られている。タスカーとオズボーンは「年齢や学習経験にかなりの相違があるにもかかわらず、…〔電気に関する〕考え方はしばしばよく似ている」(タスカー、オズボーン、三六) と述べているが、その背景には電気に関する供給・消費型の非科学的な認知の枠組みが、教育によっても何ら変化しないまま人々に共有されているという事情があるのである。

豆電球の点灯課題において右のように科学的思考とはおよそ異なる思考様式を被験者たちにもたらす認知的束縛は、さらに電気回路内の電流の向きや大きさに関しても誤った考え方を強く誘発することが明らかにされている。導線の左端を乾電池の陽極につなぎ右端を豆電球の底の先端部につないだ上で、別の導線の左端を豆電球の下側のネジ溝の金具部分につなぎ右端を乾電池の陰極につなげば、電気回路が形成されて豆電球が点灯する。このとき、この電気回路

内では電流が乾電池の陽極から豆電球を経て乾電池の陰極の方向に流れており、電流の大きさは電気回路のどの場所でも同一である。しかし、これは、上述した電気に関する供給ー消費型の認知の枠組みに依拠する限り、全く考えの及ばないことである。豆電球が点灯している右の電気回路における電流の方向と大きさを問う設問に対して、子どもであれ大人であれ多くの被験者が提示する代表的な誤答には、「電流は乾電池の陽極と陰極からそれぞれ豆電球の方向に流れる」とか、「乾電池の陽極と豆電球の間を流れる電流の方が乾電池の陰極と豆電球の間を流れる電流よりも大きい」といったものがある。ウェブが行った調査では、被験者として①オーストラリアの教員養成課程三年生の大学生、②オーストラリアの現職初等学校教員、③南アフリカの現職初等学校教員が参加している点が注目される。これらの被験者に対して、豆電球が点灯している右の電気回路内の電流の方向ならびに大きさを組あわせた設問（四択式）を提示して答えを求めた結果、各被験者集団の正答率は①三〇%、②二八%、③二九%にすぎなかった（Cf. WEBB, 194426）。誤答した被験者の方が圧倒的に多かったのである。ウェブは「教員養成課程三年の大学生、現職の教員および一一歳の子どもたちが有している電流についての理解にはほとんど違いがない」（WEBB, 428）と述べている。

豆電球が点灯している右の電気回路内の電流の大きさがその電気回路のどの箇所でも同じであることを調べるには、電流計を用いて

実際に計ってみればよい。そうすれば、乾電池の陽極と豆電球との中間点の電流が、豆電球と乾電池の陰極との中間点の電流と同じ大きさであることが容易にわかるはずである。しかし、電気に関する供給ー消費型の認知の枠組みに固執する余り、生徒が電流計の示す値を頑としてうけいれようとしないケースも生じてくる。そうしたケースに着目してチンとブリューワーは「自分達の考えを変えることをするかわりに、多くの生徒たちは方法的な理由をもちだしてデータを退けたのである」（CHINN & BREWER, 6）と述べている。ここで「方法的な理由」といわれているのは、電流計が壊れているとか豆電球が不良品だとか乾電池が悪いといったことである。さらにチンとブリューワーは「単純回路内ではどこでも電流は一定であるという考えに子どもたちは強硬に抵抗し、大量の証拠を示されても見解を変えることはなかった」（CHINN & BREWER, 22）と述べているが、このように子どもたちが頑迷な姿勢を崩さなかったのは、一つには、電気に関する供給ー消費型の認知の枠組みを放棄してしまえば、乾電池が消耗するという事実が全く不可解なものになってしまうからである。その点で、乾電池をあたかも練り歯磨きを充填したチューブのようにとらえる供給ー消費型の認知の枠組みに依拠した思考様式は実に明快である。消費し続ければやがて消耗するのは当たり前の話で、山縣が指摘しているように「電気の領域においては、誤った説明の方が説明理論としてわかりやすい」（山縣、一八）のである。そしてさらにいえば、これは決して電気の領域だ

けに限ったことではない。認知的に束縛された前科学的な理論を一般に素朴理論と呼ぶが、「素朴理論と科学理論を同時に提示すると、素朴理論の方が受け入れられやすい」(丸山、一〇二)のであって「科学理論は提示しただけでは受け入れられ難い」(同右)という丸山の指摘は的を射ている。

### 三 物体の運動と力に関する認知的束縛

物体の運動と力に関する事象もきわめて認知的障壁が高いことがよく知られている。この方面では、アメリカの大学生を被験者として行われたマクロスキーらの一連の先駆的研究が有名である。これらの研究において被験者に提示された、物体の運動や力についての一群の設問の中から、以下では二つをとりあげて認知的束縛の問題を考えることにしたい。マクロスキーとカーゴンが「一見して単純な状況下で生ずる運動について多くの人々は顕著な誤概念をもっている」(MACCLOSKEY & KARON, 49)と述べているとおり、これらの設問は一見して単純な印象を与える。

まず、一定速度で同じ高度を保ちながら直線方向に飛んでいる飛行機から落下する大きな金属球についての設問をとりあげよう。この設問では、飛行機から離れたあと金属球がどのような経路をたどって地面に落下するかについて、被験者は答えを求められる。飛行機は金属球が離れたあとともそれまでと同じ速度と高度を維持しな

がら同一方向に飛び続け、金属球に対する風や空気抵抗は無視するものとする。被験者は与えられた用紙に落下する金属球がたどる経路を書きいれるのであるが、金属球が地面に達した瞬間における上空の飛行機の位置も記入するよう指示される。この設問の正答は、次のとおりである。金属球は飛行機から離れるや慣性の法則に従って飛行機と同じ速度で飛行機と同じ方向に進みつつ重力の作用を受けて放物線を描いて落下し、金属球が地面に到達したときには飛行機は金属球の真上に来ている。マクロスキーらが四八名の被験者(全員ジョンズホプキンス大生)について調べたところ、この設問に正答できたのは一五名にすぎなかった。誤答のなかで最も多かったのは、金属球は飛行機を離れた点から真下に直線を描いて落ちてゆき、金属球が地面に着いたときには飛行機はその進行方向のずつと先の方に達しているとするものであった(Cf. MACCLOSKEY, 302-304)。「これらの結果は、多くの人々が投射運動についてほとんど何も理解していないことを示している」(MACCLOSKEY, 304)とマクロスキーは述べている。

次は垂直に切りたった崖からころげ落ちる金属球に関する設問である。金属球は一定速度(時速八〇キロ)で全く摩擦のないたつて滑らかな平面をころげてゆき、そのまま崖から落ちてゆくものとする。被験者は、金属球の進行方向が左から右へと描かれた崖の断面図に、崖の縁から離れたあと金属球がたどる経路を空気抵抗は無視して記入する課題にとりくむ。この設問の正答は、金属球は崖の

縁を離れたあと空中を左から右へ時速八〇キロで進み続け、同時に重力の作用を受けて放物線を描いて落下し地面に達するとするものである。マクロスキーによれば、一三五名の被験者（全員ジョンズホプキンス大生）について調べたところ、「被験者の七四％は、多かれ少なかれ放物線のように見える経路を記入した」（*Ibid.*）。しかし、記入されたものが「多かれ少なかれ放物線のように見える」というだけでは、これらの被験者の全員が果たして正答を提示したといえるのか否かはかなり疑問であるといわざるをえない。マクロスキーが注目しているのは、二二％にのぼる被験者が特徴的な誤答を紛れもなく示している経路を記入したことである。それらの経路を見ると、金属球は崖の縁を離れたあとまずしばらくは円弧を描いて落下し、次いで垂直に落下すると被験者たちが考えていることが明瞭である。つまり、マクロスキーがいうように、これらの被験者たちの考えによれば金属球の「水平方向の速度は一定に保たれるのではなくて、漸次減少してゼロになる」（*Ibid.*）のである。また、崖の縁からころがりてた金属球は最後には垂直に落下すると考える被験者の中には、時速八〇キロのものすごい勢いで崖の縁を離れた金属球がしばらくの間は空中を水平方向に同一高度を維持しつつ直線を描いて飛んでゆき、その後急に垂直に落下する経路を記入した者もあった（*Cf. MACCLOSKEY, 304-305*）。

マクロスキーらの一連の研究で用いられたいくつもの設問の中から右では二つだけを取りあげるとどめたが、これらの研究から得

られた結果を概括してマクロスキーは「正答を提示した被験者もいるが、種々の誤りをおかした者の比率が高い」（*MACCLOSKEY, 305*）と述べている。これらの研究に被験者として協力した大学生たちは、①高校・大学で物理を全く履習したことのない者、②高校で物理を履習したが大学では履習していない者、③大学ですでに物理を履習したことがある者の三グループに分類された上で一連の設問に対する成績が分析されている。グループ間で比較すると、③が最も成績がよく、次が②で、①が最も劣るが、②と①の差は小さかった（*Cf. MACCLOSKEY, 305*）。しかし、グループ間の違いよりも「三つのグループすべての被験者によって同じ種類の誤りがおかされている」（*Ibid.*）という点の方が重要であろう。

大学ですでに物理を履習した被験者が、大学はおろか高校でも全く物理を履習したことのない被験者と、物体の単純な運動に関して同一の誤った考え方に支配されているという右の事実は、このテーマ領域において認知的束縛がきわめて強固であることをよく物語っている。マクロスキーは、設問に対して誤答を提示した被験者たちにインタビューを行い、これらの被験者が物体の運動や力に関して系統だっではいるが根本的に非科学的な思考様式に強く支配されていることを確認した。マクロスキーとカーゴンは、この非科学的な思考様式を「直観的動力理論（intuitive impetus theory）」と名づけている。直観的動力理論こそがこれらの被験者たちにおいて物体の運動や力に関する認知を強く束縛している内在的要因にほかなら



ないのである。マクロスキーとカーゴンによれば、素朴理論の最たるものであるこの直観的動力理論は、物体の運動や力に関する特有の根本的想定ないし基本原理に依拠している。以下に、この直観的動力理論の基本原則に関するマクロスキーとカーゴンの説明を引用する。「物体を運動状態に置く行為はその物体に内在する力すなわち「動力 (impetus)」を付与し、この動力が、その物体がもはや運動の原因となったものとの接触を失ったあと運動を維持する役割を果たす。しかし、その動力は（自然に、あるいは摩擦といった外部からの影響の結果として）次第に弱まってゆき、その結果その物体は速さを落として最後には静止する」(MACCLOSKEY & KARGON, 54)。要するに、右の直観的動力理論の基本原則によれば、運動している物体にはその物体に内在する力が常に働いているのである。クレメントは「持続的な運動はその運動と同一方向の持続的な力が存在していること意味しているという考え方」(CLEMENT, 67)（まさに直観的動力理論の基本原則）をとりあげて「われわれはこれを「運動は力を意味している」とする誤概念と呼ぶ」(Ibid.)と述べている。どのような名称を与えるにせよ、物体の運動と力に関するこうした素朴理論の考え方の問題点は、マクロスキーとカーゴンがいうように「ニュートン力学の基本原則と相容れない」(MACCLOSKEY & KARGON, 54) ことにある。

ここで改めてマクロスキーらが提示した設問に対する被験者の特徴的誤答をとりあげてみよう。飛んでいる飛行機から切り離されて

落下する金属球は垂線に沿って真下に落ちるとする誤答は、どうしてもっともらしく思われるのであろうか。それは、上述の動力 (impetus) を説明原理とする素朴理論すなわち直観的動力理論から見るときわめて「合理的」な考え方だからである。この「合理的」な考え方について、マクロスキーとカーゴンは以下のように要約している。「勢いよく投げられたり押されたりする物体は動力を獲得するのに対して、「飛行機によって」受動的に運搬される物体（「金属球」はそのことで動力を得ることはない。それで、その物体が「飛行機から」落とされると、それを前方に動かす駆動力は生じず、それは真下に落下するのである」(MACCLOSKEY & KARGON, 56)。

もう一つの設問では、高速でころがっている金属球がそのまま崖の縁から落ちてゆくときどのような経路をたどるかが被験者に問われている。上述したように、この設問に対する特徴的な誤答では、金属球は崖の縁を離れたあと最初のうちは円弧を描いて落下し次いで垂線を描いて真下に落ちることになっている。あるいは、崖の縁を離れたあと最初のうちは空中を同じ高さでしばらくまっすぐに飛び続けてから垂線を描いて真下に落ちることになっている。この誤った考えもやはり直観的動力理論の基本原則に誘発されたものである。金属球が真下に落下する前にしばしの間空中を真横に進むとする誤った考え方に関しては、マクロスキーとカーゴンは以下のようにその内容を分析している。「高速運動をしている発射体（＝金属球）の動力は最初のうちは非常に強いため重力は発射体に何の作

用も及ぼさない。その動力がある決定的な水準まで弱まって初めて重力は発射体の経路に影響し始めるのである」(MACCLOSKEY & KARON, 57)。直観的動力理論が誘発するこうした謬見はきわめて一般的かつ強固であり、教育による修正は決して容易なことではない。

複数の調査によれば、生徒だけではなく現職の教員においても、物体の運動や力に関する認知は直観的動力理論による強い束縛を被っている。イギリスの初等学校の教員について調査を行ったクルーガーらは、調査に協力した「小学校の教師のなかで運動と力にかかわる提示された諸事例について(ニュートンの意味で)正しい見方をした人は実質的に一人も見られなかった」(KRUGER et al., 324)と述べている。クルーガーらのこの調査でも、やはり直観的動力理論の非科学的な思考様式が広範に確認されている。また、カナダの高校理科教師を対象としたバークとブルーワールの調査によれば、調査対象となった教師のうち物体の運動や力について非科学的な誤概念を多かれ少なかれもっている者が優に全体の三分の一を下らないことが見出された。バークとブルーワールは、これらの誤概念のなかには教師側から「生徒たちに伝達されたものもあるのではないかと思われる。それらは、高校の物理の教科で一般に扱われている諸現象とかわりがあるのだから」(BERG & BROUWER, 16)と述べて懸念を表明しているが、これは見当はずれというものであろう。直観的動力理論をはじめとする素朴理論の非科学的な誤概念は、学

校の授業で教師から教わるまでもなく、ごく早いうちから生徒のうちに自ずと形成されてゆくものだからである。

#### 四 二つの世界

生徒の認知を束縛する素朴理論の前科学的思考様式は、ひとつたび形づくられるや生徒のうちに強く根を張り、その除却は多大な困難を伴う。生徒にとって、リアルな現実の世界とは素朴理論が提示する世界なのであり、これに対して学校知の世界はいわば表面的な装いの域をでない。フライバーグとオズボーンがあげている例を引用すると、ある「一七歳の物理を学習している生徒は、重力の逆二乗の法則を学習し、それを言うことができても、重力は、地球表面からの高さに応じて増加するという考え方を、依然として保持していた」(フライバーグ、オズボーン、一三〇)。要するに、ドレイフュースらがいうように「学校で得られた知識は「本当の世界」から来る知識に十分な意味を伴って取って代わることができなかったのである」(DREYFUS et al., 565)。

こうした事態はもっぱら教師の教育方法に重大な欠陥があるためにひきおこされると考えるのは、誤りである。バークとブルーワールが概括しているとおり、「優秀な教師が多種多様な教授方略を用いている多数の事例において、「素朴理論から科学理論への」概念変化がうまく生じなかったことが確認されてきている」(BERG &

Brouwer, 12) からである。中山と猿田は、素朴理論に属する概念の枠組みに依拠し続ける生徒と、科学理論に属する概念の枠組みに立脚する教師との間で展開される相互のやりとりについて、「学習の場の中で、教師と生徒が自分自身の概念の枠組みに基づいたままで情報交換を行い、互いの考えを理解しようとすることには限界がある」(中山、猿田、一〇九)と指摘しているが、この指摘は問題のポイントをついているといえよう。

それでは、生徒側の素朴理論と教師側の科学理論とはそれぞれの概念の枠組みにどのような相違があるのだろうか。この問題を論ずるにあたって、チーは存在論的カテゴリーの相違に着目している。チーによれば、物体の運動や力に関する生徒の認知を束縛している素朴理論においては、「力とは、力を付与する主体並びに運動を惹起し統御する主体を必要とするような、保持され転移され消費される實在物である」(Ch 139)。この力の概念の枠組みにおいては、力は、ある主体が保有することもできれば、他の主体に譲渡することもできるし、使用すれば当然減少してゆくというその基本的属性において物質に等しい。科学的な概念の枠組みにおいては力は本来こうした物質とは全く別個のカテゴリーに属しているのだから、物体の運動や力に関する素朴理論は根本的なカテゴリー誤謬に根ざしている。そして、こうしたカテゴリー誤謬は、物体の運動や力の概念に限らず、素朴理論を構成するさまざまな概念に関しても等しく見出される。「生徒たちは、科学的概念を物質と同一の

存在論的カテゴリーに属しているものとして扱う。それゆえ、科学における諸概念について教えられると、その内容を解釈するにあたって生徒たちは、具体的物質の存在論的属性をもちこんで科学的概念の働きを説明し予測する」(Ch 140) ことになる。チーは述べている。チーによれば、「熱、光、電流、力に物質の諸属性を帰属させるという点で、あらゆる年齢の生徒たちの間に一貫したパターンが見出されたのである」(Ibid.)。すなわち存在論的カテゴリーのとり違えのパターンである。

チーが主張するように、電流や力が物質とは全く別の存在論的カテゴリーに属しているとすれば、それはどのような存在論的カテゴリーなのであるか。これに関するチーの説明はあまり歯切れがよくないが、その要点は、電流や力の科学的概念は、物質のカテゴリーではなくて「一種の制約依拠事象 (constraint-based event)」(Ch 141) のカテゴリーに属しているという論点にある。チーによれば、このカテゴリーに属する事象は「複数の實在物間の関係の制約によって規定されるものとしてのみ存在しており、その存在はこれら他の変数の値ないしは状態に依存する」(Ibid.)。したがって、それは物質やその属性とは全く次元を異にしているのである。それゆえ、科学的概念を習得するということは、素朴理論の概念が属している存在論的カテゴリーから全く別次元の存在論的カテゴリーに移行することを意味している。この移行は漸進的な量的変化ではなく、質的ないわば飛躍である。この点との関連でチーは次のように

述べている。「存在論的カテゴリーをまたぐ概念変化をそもそも変化として考えることは不適切であろう。この種の根本的な変化は新たな概念の開発ないし獲得と考える方が適切であろう」(CHI 133-134)。物質やその属性のカテゴリーに属している概念を深化させていっても、その概念が属しているカテゴリーそのものは全く変化しないからである。「認知心理学者たちが一般に考えているような学習プロセス—追加、除去、区別、一般化、具象化、チャンキング、アナロジー—は、ある一つの存在論的カテゴリーに元来属するものとして類別されている概念を別の存在論的カテゴリーに属する概念に変容させることなど実際にはできないのである」(CHI 141)とチーは断言している。

それでは、生徒に科学的概念の習得を媒介するために教育はどのような手だてを講じたらよいのであろうか。この問題に関してチーが推奨しているのは、科学的概念が属している存在論的カテゴリーの特性に関する知識の重要性を強調するアプローチである。チーによれば、このアプローチを採用した教授法は「動的で時間に基礎づけられていて非具象的であれば不可視的である等といった、(物質)に対立するものとしての( ) 制約依拠事象の存在論的特性を強調するとともに物理学の多くの概念がこのカテゴリーにはいることを強調する」(CHI 166)。こうして「まず最初に生徒たちはこの制約依拠事象のカテゴリーの性質について教授を受けるようにすることができよう。このカテゴリーに属する諸概念に関する更なる学習が

その後同化されうるようにするためである」(Ibid.)とチーは主張している。

しかし、あるカテゴリーが有している諸特性についての知識を得るということは、そのカテゴリーに属している科学的諸概念を習得することを意味するわけではない。カテゴリーの諸特性についての一般的知識が、そのカテゴリーに属する個々の科学的概念の習得を阻害することはないであろうが、どの程度それらの習得を促進するかは、チーの論考においては全く不明である。それは個々の科学的概念によってまちまちなかもしれないし、概してその習得促進の働きは弱いものであるかもしれない。さらに、チーが主張するように「制約依拠事象」のカテゴリーに属している個々の科学的概念の習得に先行してそのカテゴリーの諸特性に関する知識を得ることが果たしてどの程度まで可能であるのかも、大いに疑問であろう。たとえば、実際のさまざまな果物についていろいろな事柄を知る前にそれら種々の果物とは独立した形で、果物というカテゴリーの諸特性をまともな形で知ることなどできるであろうか。科学的概念が属しているカテゴリーそのものの諸特性を先行的に学習すべきであるというチーの主張の妥当性に関しては、肯定的に考えることは難しいように思われる。とはいえ、素朴理論が惹起する認知的束縛の頑強さを、存在論的カテゴリーに着目して検討したチーの功績は多とすべきである。

最後に、巨視的な見地から認知的束縛の背景をなすものとして進

化的要因に触れることにしたい。この論点は、素朴理論がいわば自然発生的に獲得されるのとは全く対照的に科学理論を構成している諸概念を習得するにあたっては、高い認知的障壁を乗り越えなければならぬことと密接にかかわるものである。以下において援用するのは、フォルマーの進化論的認識論である。フォルマーは「我々が素朴に（前科学的に）体験し経験する世界の領域を、我々は「メゾコスモス」と名づける」（VOLLMER, 103）と述べている。素朴理論は、まさにこのメゾコスモスに適合した理論である。メゾコスモスは、人間にとって「経験しうる対象の領域」と「操作しうる対象や影響を及ぼしうる対象の領域」（Ibid.）から構成された徹頭徹尾人間的な環境世界にはかならない。したがって、メゾコスモスは「全く人間を中心においており、それゆえ、人間とは独立に規定されるマクロコスモス（ならびにミクロコスモス）と同一のものではないのである」（Ibid.）。留意すべきは、「我々の感覚器官、我々の知覚能力、我々の経験構造、我々の日常言語そして我々の基本的推論様式がこのメゾコスモスに驚くほどよく適応している」（VOLLMER, 104）という事実である。この適応は決して一朝一夕にもたらされたものではない。それは、実に数百万年にも及ぶ人類の進化の過程において自然によって選択されて今日に至ったのである。フォルマーの進化論的認識論によれば「人間の認識装置（感覚器官、中枢神経系、脳など）は、人間の系統発生の所産であり、それゆえ生物学的進化の所産なのである」（Ibid.）。

もとより生物学的進化の基軸をなすものは、有機体の所与の生存環境への適応である。それは、人間においても人間が有機体である限り同様である。そして、人間の生存環境がメゾコスモスとしてたちあらわれる以上、人間における認知の機構もこのメゾコスモスに定位することになったのは進化の必然であったといえよう。この進化の必然の定位は何よりも生存環境への適応のための定位であって、決して真理認識のための定位ではない。メゾコスモスに適合した素朴理論が本来科学的な真理認識とはおよそ異質な次元において構築されたのは、まさにそのためであった。それに付随する強力な認知的束縛を乗り越えることは、とりもなおさずメゾコスモスへの適応の次元を凌駕することであり、メゾコスモスの埒外の世界を志向することを意味している。そして、そのプロセスを媒介する仕事をひきうけたとき、教育は困難で有意義な課題を背負うことになったのである。

#### 文献

（引用箇所等は本文中の引用文等の直後に当該文献の著者名と頁数を括弧内に示して表示した。引用文中の「」内は引用者による補足であり、：は引用者による省略である。）

- デイヴィット・シップストン「単純な回路を流れる電流」、R・ドライヴァー、E・ゲズン、A・ティベルギエ編（内田正男監訳）『子ども達の自然理解と理科授業』、東洋館出版社、一九九三年、四九頁～七一頁。
- ロス・タスカ、ロジャー・オズボーン「理科授業と理科学習」、ロジャー・オズボーン、ピーター・フライバーグ編（森本信也・堀哲夫訳）『子ども

- 達はいかに科学理論を構成するか―理科の学習論―』、東洋館出版社、一九八八年、二七頁〜四五頁。
- ロザリンド・ドライヴァー、エディス・ゲズン、アンドレ・ティベルギェ子ども達の考え方の特徴と教授への示唆』、R・ドライヴァー、E・ゲズン、A・ティベルギェ編（内田正男監訳）『子ども達の自然理解と理科授業』、東洋館出版社、一九九三年、二二六頁〜二四六頁。
- 中山迅、猿田祐嗣「慣性についての高校生の素朴概念に関する教師の認知」『科学教育研究』、第一九巻、一九九五年、一〇三〜一一〇頁。
- 日高敏隆「人は実物が見えるか。」、『波』、第三七巻第一号、二〇〇三年、五八〜五九頁。
- ピーター・フライバーグ、ロジャー・オズボーン「理科授業と理科学習についてのいくつかの仮定」、ロジャー・オズボーン、ピーター・フライバーグ編（森本信也・堀哲夫訳）『子ども達はいかに科学理論を構成するか―理科の学習論―』、東洋館出版社、一九八八年、一二二頁〜一三四頁。
- 丸山俊一「素朴理論」、日本児童研究所編『児童心理学の進歩―1994年版―』、金子書房、一九九四年、九一〜一一六頁。
- 山縣宏美「中学生の持つ電流のメンタルモデルの分析」、『日本教育工学全集』、第二十六巻、二〇〇二年、一五〜一九頁。
- Berg, Terrace & Brouwer, Wytze, Teacher Awareness of Student Alternative Conceptions about Rotational Motion and Gravity. *Journal of Research in Science Teaching*, v.28, 1991, pp.3-18.
- CHI, Michelene T.H., Conceptual Change within and across Ontological Categories : Examples from Learning and Discovery in Science. in GIERE, Ronald N. ed, *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, v. XV, *Cognitive Models of Science*, University of Minnesota Pr., 1992, pp.129-186.
- CHINN, Clark A. & BREWER, William F., The Role of Anomalous Data in Knowledge Acquisition : A Theoretical Framework and Implication for Science Instruction. *Review of Educational Research*, v.63, 1993, pp.1-49.
- CLEMENT, John, Students' Preconception in Introductory Mechanics. *American Journal of Physics*, v.50, 1982, pp.66-71.
- DREYFUS, Amos, JUNGWIRTH, Ehud & ELIOVITCH, Ronit, Applying the "Cognitive Conflict" Strategy for Conceptual Change : Some Implications, Difficulties, and Problems. *Science Education*, v.74, 1990, pp.555-569.
- FREDRETTE, Norman & LOCHHEAD, John, Student Conceptions of Simple Circuits. *The Physics Teacher*, March, 1980, pp.194-198.
- KRUGER, Colin, PALACIO, David & SUMMERS, Mike, Surveys of English Primary Teachers' Conceptions of Force, Energy, and Materials. *Science Education*, v.76, 1992, pp.339-351.
- MACCLOSKEY, Michael, Naïve Theories of Motion, in GENTNER, Dedre & STEVENS, Albert L. eds, *Mental Models*, Lawrence Erlbaum Associates, 1983, pp.299-324.
- MACCLOSKEY, Michael & KARGON, Robert, The Meaning and Use of Historical Models in the Study of Intuitive Physics, in STRAUS, Sidney ed, *Ontogeny, Phylogeny and Historical Development*, Ablex Publishing Corporation, 1988, pp.49-67.
- TBERGHEIN, Andrée & DELACORTE, Goéry, Manipulations et représentations de circuits électriques simples par des enfants de 7 à 12 ans. *Revue française de pédagogie*, no.34, 1976, pp.32-44.
- VOLLMER, Gerhard, *Was können wir wissen? Bd.2, Die Erkenntnis der Natur : Beiträge zur modernen Naturphilosophie*, 4.Aufl., Hirzel Verlag, 2008
- WEBB, Paul, Primary Science Teachers' Understanding of Electric Current. *International Journal of Science Education*, v.14, 1992, pp.423-429.