

# 自然科学の方法論と理科授業の方法

——授業のモデルとしての科学的発見の過程——

学校教育学研究室 宮 下 孝 広

## Methodology of Science and Method of Science Teaching

——The Process of Scientific Discovery as a Model of Science Teaching——

Takahiro MIYASHITA

Explanations of scientific discoveries by psychologism and sophisticated falsificationism have different views of the role of rationality. They have the same views, however, that the history of science is the process of replacement of old theories by new ones, and that the process follows the same steps.

On the one hand, one of their mutual findings is that scientific knowledge is accepted not because it has universal validity but because it has historical validity. Contemporary scientific knowledge originates in old one. This character should be reflected in science teaching.

On the other hand, science learners also have naive conceptions which are similar to the old scientific theories. Thus the question which arises is what process of learning can bring them from their naive conceptions to contemporary ones.

The answer is acquired by considering it to be the process of scientific discovery.

### 目 次

はじめに

#### I 科学的発見の方法論

- A 「発見の文脈」と「正当化の文脈」
- B 科学的発見の心理主義的説明
- C 洗練された方法論的反証主義における科学的発見の論理
- D 科学的発見の過程

#### II 理科授業の方法

- A 科学的知識としての教材
- B 素朴概念を持つ学習者
- C 授業のモデルとしての科学的発見の過程

おわりに

はじめに

理科の授業を行う立場からは、科学的知識をいかにして学習者に獲得させるかが中心的な問題関心となる。教材である科学的知識に注目すると、それらもまた科学者たちによって獲得されてきたものである。そこで、科学に関する科学哲学の考察が理科の授業の方法に示唆をもたらすことが期待される。

さて、科学哲学から得られる第一の示唆は、科学的知識が確証された知識ではないということである。

かつては科学的知識の正しさが事実によって客観的に支持されていることに由来すると考えられた。しかしニュートン力学が相対性理論に取って代わられるに伴って、そのような立場は崩壊していった。<sup>1)</sup>

それでは科学的知識とは何なのか。それはどのようにして得られるのか。またそこでの人間の活動はどのように把握されるのか。これらについての知見は理科の授業にどのような示唆をもたらすのだろうか。

#### I 科学的発見の方法論

##### A 「発見の文脈」と「正当化の文脈」

「科学的発見の論理」<sup>2)</sup>を著したカール・ポパーは、科学と非科学を区別する際に「反証」がその基準となることを論じたが、ポパーの所論はハンス・ライヘンバッハの論を継承したものという。<sup>3)</sup>ライヘンバッハによれば、「新たな法則や新たな数学的証明が見出されるに至る現象の思考過程や歴史的條件は、科学者とか数学者が新理論を他者に伝える際になす合理的再構成とは別もの」<sup>4)</sup>だという。いわゆる「発見の文脈」と「正当化の文脈」

の区別が科学哲学の領域ではこれによって決定的となり、哲学者の多くは“正当化だけが論理分析の対象であり、発見の文脈は哲学的問題としての身分をもたない”<sup>5)</sup>と考えるに至った。

ポパーもまた「認識の心理学」と「認識の論理学」<sup>6)</sup>という用語で両文脈を区別した。前者については、理論を考案あるいは発明する行為に対しては何ら論理的分析を加える必要もないし、できるものでもないと考えて、それを排除した。後者については、生み出された理論そのものの正当性または妥当性の問題のみを取り扱うものと規定した上で、“すべての新しいアイデアが服さなければならぬ体系的テストにおいて用いられる方法を探求する”<sup>7)</sup>ことを課題としている。ここでテストとは、新しい科学的知識を導く“インスピレーションが一つの発見であることを発見し、知識であることをはっきりさせていくためになされる”<sup>8)</sup>ものである。ポパーは既に提出された理論や法則を受容するか、棄却するかを決定を下すことを科学哲学が取り扱うべき対象たる科学的探求活動と限定し、そこで働く論理的規範を見出そうとしたものと思われる。

ポパーの「科学的探求の論理」における立場は、ラカトシュによれば、「素朴な方法論的反証主義」<sup>9)</sup>と呼ばれるものである。ここでの反証とは予め特定しておいた命題と衝突する理論を排除することを意味するが、それは規約主義という知識理論の立場に立っている。

知識は期待や理論による解釈といった能動的な精神の活動によって初めて獲得できる(能動主義)。そのような期待や解釈の基礎となる世界把握のための概念枠は、永久不変のものではなく、発展させ、新しい良いものに置き換えることができる(革命的能動主義)。これの一つの立場である単純主義では、理論が、単純性を持つか否かを鍵として、科学者の合意によって採用される(規約主義)とされた。これに対して素朴な方法論的反証主義では、概念枠の変更の際に、実験、観察等から得られる経験的基礎が決定的力を発揮するように工夫されている。これにおける規約主義的要素は経験的基礎に存在する。すなわち、ある種の経験的命題を誤り得ないものとして予め合意しておき、それと衝突する理論を棄却する(反証)。実験における観測は既に観測の理論に基づいたものであるが、一定の学習を経た人なら誰でもその言明を受容することができるということを前提としている。このように受容・棄却の決定に可謬的理論が含まれる以上、決定それ自体が誤り得るものとなる。この点に関してこの立場は、理論は棄却されるのであって、否定証明されるのではないと注意深く区別している。この弱点を補うため

に理論間の生存競争は激烈なものでなければならず、一旦受容された理論でも常に吟味にさらされることで、理論の合理的な成長が可能になるとされた。

以上のように、科学哲学が、科学的探求活動を、正当化の文脈における理論の受容と棄却の決定に限定してしまつたために、この文脈における科学的発見の方法論、すなわち理論の正当性・妥当性がいかにして支持されるかについて語られたことが、同時に、個人がどのようにして科学的法則を思いつくかについての説明でもあるという印象を生み出し、混乱を招く結果となつた<sup>10)</sup>。

ライヘンバッハやポパーのような、既に提出された理論に対していかに対処するか、またそのような対処がいかにあるべきかについての規範を与えようとする立場に対して、発見を生み出した研究活動について、それが実際にどのようになされたのか、またその生起に何が影響したのかを記述しようとする立場がある。<sup>11)</sup>それが「発見の文脈」を対象とする研究である。

ブラニガンによれば<sup>12)</sup>、それには自然主義的アプローチと帰属主義的アプローチという二つの異なるアプローチが含まれる。

前者は、特定の発見がどのように生じるのかについての“説明が発見を、法則定立的ないし本来的に結びついた然るべき他の現象の存在によってその生起が支配される自然現象の一種とみなしている”<sup>13)</sup>という理由から「自然主義的」と呼ばれる。ここで言う“他の現象”を主に科学者の心的条件ないし心的事象と考える「心理主義的」立場と、それを歴史的因果関係の中に埋め込まれた事象群と考える「歴史主義的」立場とが存在する。

一方後者は、“われわれが説明しなければならないのは科学上のある仕事かどのように発見として構成されるか”<sup>14)</sup>であると考え、“人々がどのようにして社会的出来事に「発見」という身分を付与するのか”<sup>15)</sup>“発見というカテゴリーを割り振ることが適切であるかどうかをどのように決定し是認するのか”<sup>16)</sup>を問題とするものである。

ここで注目するのは自然主義的アプローチの心理主義的立場である。

ブラニガンは帰属主義的アプローチの立場から、発見の心理主義的説明に対して次のような批判を加えている。

まず、“どのようにして個人が新しい観念を我がものとするかを説明する”<sup>17)</sup>か、という点では、科学的発見の心理主義的説明は、科学の学習に対する説明と等価であることになる。科学的発見をなす行為が、既に確立された科学的知識を学習する行為と区別できないということは、その説明が必要条件ではあっても十分条件ではないことを示す。

次に、心理主義的説明が事後性を持っていることも問題とされる。科学的発見を論じる際には、既に発見として認められた業績や発見を行った科学者の行為を事例とした分析がなされる。そこでは発見という事柄が生じたことが認められてしまっているため、そこで問題になるのは、発見がなぜ起こったのか、どのような段階を経て発見に至ったのかということである。心理過程が出来事の比類のない相関物であるために<sup>18)</sup>、このような場合にはそれに注意が向かってしまうのである。このように心理主義的説明は、科学的発見が、発見としての地位が既に保証されていることを前提としているのである。従ってそれが保証されていない実際の科学研究活動の説明とは言えない。

さて、理科の授業について考察する場合、以上の二点はブラニガンの批判とは逆に、心理主義的説明に注目する理由を与える。

まず、理科の授業の教材となるのは、既に科学的知識となった知識である。それらは現在の科学者が科学の基礎として受け入れている過去の科学研究の成果である。よって理科の授業の教材は科学研究活動に対して事後性を持っているのである。

また、授業はそのような教材を用いて、学習者の科学的概念の獲得を図るものである。そこで起こっていることの中心は学習者の学習活動である。そして科学的発見は科学的知識の獲得過程である。従って学習活動と科学的発見が等価であることは、科学的発見の心理主義的説明が理科の授業における学習活動についての示唆をも与える理由となる。

## B 科学的発見の心理主義的説明

科学的発見の心理主義的説明は、端的に述べれば、“研究者が環境との相互作用の結果、どのような着想を得るに至るかを示すことによって発見の出現を説明”<sup>19)</sup>するために、“実際の現場における活動を、歴史的事例に照らして解明しよう”<sup>20)</sup>としたものである。この立場に立つ研究者は、ハンソン、ブラックウェル、クーン、ケストラーをはじめ数多い<sup>21)</sup>が、本節ではクーンとハンソンの研究について詳述する。

クーンは、科学が累積的に発展してきたという歴史観を否定する。科学の歴史には様々な学派が現われ、消滅していったが、だからといって個々の学派の理論が誤りだったと決めつけることはできない。そのような判断を下す基準となる唯一不変の方法論が存在しないからである。それぞれの学派はそれぞれの科学における世界の見方あるいは所信を持ち、それを反映した科学の方法に従

って研究していたと考えられる。それぞれの学派においては“宇宙を構成する基本的な要素は何か？ それがいかに相互作用し、また、人間の感覚と作用し合うか？”このような要素について、どういう問題を設定し、その答を求めるにはどのようなテクニックを使うべきか？”<sup>22)</sup>などの問題とそれに対する解答が堅固に固まっていたと考えられる。クーンはこのような科学を通常科学と呼び、その枠組みをパラダイムと呼んだ。通常科学における研究は“既製の概念の中に、自然を無理して詰めこむ”<sup>23)</sup>ものであると比喩的に表現されているように、科学者たちは既成のパラダイムの中で、理論と自然との適合を図っていく活動に没頭するのである。

通常科学はその基礎に世界の見方や所信といった恣意的要素を含むために、永久不変ではあり得ないし、歴史的に見てもそうではなかった。どうしても理論と自然とが折り合わない部分、すなわち変則性が顕になってくる。

変則性は新奇性とは異なる。新奇性はパラダイムの予測に従った未知の部分のことだが、変則性はそのような予測からはみ出してしまふ。

パラダイムの予測どおりにうまくいかない状態が続くと科学者の間に不安定な状態、危機が生じ、変則性に対して集中的な探求がなされる。その底流にはそれまでのパラダイムに対する組織的な疑問が存在する。同時に危機の時期には様々なパラダイムの変種が生じることから通常科学のルールが緩み、ついには全く新しい前提、新しい基礎の上に科学を創り直すという局面が生じる。これが科学革命である。

科学革命は転換として現れる。あるパラダイムを拒否する決断は別のパラダイムを受容する決断と表裏をなしているからである。従って革命が生じる時にはそれぞれのパラダイムと自然とを比較するだけでなく、二つのパラダイム間での比較が重要な課題となる。二つのパラダイムの比較はどちらがよりよく事実に適合しているかによって測られるのみである。新しいパラダイムの成功は、それまでのパラダイムでは得られない点が予測でき、しかも前のパラダイムの持つ問題解決能力の大部分を保持していることによって決定的となる。

この過程をクーンは「改宗」と呼んでいる。それはパラダイム間の比較を単一の基準に基づいて行うことを可能にするような、科学的・経験的に中立の言語や概念の体系が存在せず、また“それに代わるテストや理論の構成の提案は、何らかのパラダイムに基づく伝統の中から生じるものであるはず”<sup>24)</sup>だからである。外的な判断基準が存在しないために、あるパラダイムを支持することは、結局科学者の個人的理由によることになり、「改宗」

と呼ばざるを得ないのである。

このような説明において、科学的発見はどのような地位を占めるのであろうか。

科学的発見は革新性を伴うものとされる。通常科学はいわばパズル解きであって、解き明かすべき問題とあり得べき解答が予め枠付けられている。従ってその枠内で新たに提出される事実は新奇なものではあっても、クーンの言う科学的発見の要件を満たさない。通常科学の発する予測に適合しないことが必要である。そして変則性を備えた事象に対する探求の結果、その変則性も予測できるようなものに理論が変えられた時、初めて発見が完結する。“新しい種類の現象を発見することは、きわめて複雑な事象であって、あるものが存在することと、それが何であるかということと、その両方の認識が含まれる”<sup>25)</sup>のである。この変革は単なる修正、加筆に止まらず、それによって科学者の自然に対する見方が以前とは全く変わってしまうような種類のものである。科学革命は世界観の変更に言うべきものであって、科学者は“以前と同じ一群の対象に向かい、しかも自分でそうしていることを知っていながら、彼はなおかつその詳細において、徹底的にその対象を変革して見ているのである”<sup>26)</sup>。

ところで、変則性を精密に調べさせる動機や、科学者が新しい理論を生み出す仕方については一般解はないとされる。特に危機の最終段階において、“ある個人が、いかにして集積されたすべてのデータに秩序を与える新しい方法を発明するか—は、ここでは測り知れないものであり、永遠に不可知に止まるであろう”<sup>27)</sup>と述べられている。

クーンの所論は通常科学の、パラダイムを基礎とする構造と、パラダイム転換としての大小の科学革命の構造を取り扱ったものであった。それに対して個々の法則や理論の転換を詳細に取り扱ったのがクーンに先立つハンソンの所論である。

ハンソンは発展段階にある科学を、教科書的に既に固定化した科学と区別して「科学研究活動」<sup>28)</sup>と呼ぶ。科学研究活動においては、“旧来の事実や説明をちょっぴり洗練された形式的パターンに再編することに探求のはこ先が向けられるのではなく、全く新しいパターンの説明を発見することに向けられる”<sup>29)</sup>。そのような活動を対象とするハンソンの問題関心は、仮説や理論をいかにして発見するかに置かれる。そして“観察や事実やデータやらが、どんな形で物理的説明の一般体系に組み込まれているかという点ではなく、そういう一般的な体系がどのような形で、われわれの事実やデータの理解に組み込ま

れているか”<sup>30)</sup>が明らかにされようとする。

ハンソンの物理法則獲得に対する説明は「リトロダクション」<sup>31)</sup>という概念を中心にしてなされる。“法則はデータから推論によって得られるもの”<sup>32)</sup>だが、“単に法則は、こうしたデータ群の総括に過ぎない”<sup>33)</sup>とする説明は誤りである。科学者はデータの説明を求めて、被説明項であるデータから説明項である法則へと推論するのである。“その最終目的は、それによってデータが既に熟知されているデータと合理的に適合するに至るような、そういう概念パターンなのである。”<sup>34)</sup>

このような推論過程は、やはり変則性に始まる。変則性は観測されたデータと理論があまりにもしばしば適合しない時に初めて明らかとなり、体系的に理論が疑われるようになる。そして困難をもたらしている当該の事象をうまく説明する仮説が提出され、説明が成功すれば広く認められるに至る。この研究過程を支える推論形式は次のようにまとめられる。“(1)常識からはふに落ちないようなある現象Pが観測される。(2)Pは、もし(仮説)Hが正しいとすれば、Hによって当然のこととして説明しうるものとなる。(3)それゆえHが正しいと考えるにはそれだけの理由がある”<sup>35)</sup>。現象にパターンを見て取ること、すなわち、現象に対して理解可能性を与えることが仮説を出すことの核心であろう。こうして得られた理論は“データが理解可能な形をとって現われるためのパターンを提供するもの”<sup>36)</sup>であり、“現象を、ある種のものとしてとらえ、また他の諸現象と関連づけることを可能にする枠組なのである”<sup>37)</sup>。

ハンソンの見解の基礎には、観察ということ、一般的に「見る」ということについてのさらなる分析がある。

見ることは一つの経験であって、単なる網膜上の変化としてとらえることはできない。また、視覚と件は同一で、その後の解釈が多様な可能性を持つという考え方も誤りである。違う見解を持つ人は、まさに端的に違うものを見ているということになるのである。

事物を見るということは、そのものを他から切り離された単一のものとして見ているわけではない。事物は視覚領域内の“諸要素が感得される際の様式”<sup>38)</sup>の中で、すなわち「有機性」<sup>39)</sup>の中でとらえられるからである。つまり、見ることは、見られるものについて“予めもっている知識によって形成”<sup>40)</sup>するということなのである。逆に“知識は、見ることのなかにあるのであって、その付属物にあるのではない”<sup>41)</sup>。従って観察をするということは、“自分の見ている観察事実を、いままでにすでに確立されている知識体系という背景と、うまく合わせてみる”<sup>42)</sup>ということになる。

見ることと知識とが一体の関係にあることによって、見ることは、見ているある物に働きかけた時にどんな結果が生じるかの予測を可能にする。それゆえ“その対象物の振る舞いが、Xならこう振る舞うだろうとわれわれが期待したこととうまく合わない場合には、われわれはその対象をそのまま直截に見ることはもはやできない”<sup>43)</sup>ことになる。

科学研究活動に従事する科学者は常にこのような状況に置かれている。彼らは“概念上の有機化に新しいやり方はないか、と探し求める”<sup>44)</sup>。すなわち、事物の新しい理解可能性を追い求めているのである。

### C 洗練された方法論的反証主義における科学的発見の論理

科学的発見の心理主義的説明では、法則や理論の変革は科学者個人や科学者集団の恣意的要素に依存するものとされた。それに対して、規約主義的な要素を少しでも減少させ、科学の発展の過程を合理的に説明しようとする論が、ポパー、ラカトシュによって展開された。これはクーンの科学革命に代表される心理主義的説明のインパクトを吸収し、しかも素朴な方法論的反証主義の科学的事実との不一致をも解決しようとする理論であると思われる。

素朴な方法論的反証主義においては、“(1)テストは理論と実験という二項間の戦いであり、最終的対決においてはこの二つだけが直接に向きあう。(2)そうした対決から生じる唯一興味深いものは(決定的な)反証である”<sup>45)</sup>と考えられるが実際の科学史においては、“(1')テストは少なくとも対立する二つの理論と実験との三項間の戦いであり、(2')最も興味深い実験のいくつかは、明らかに反証ではなく確証にある”<sup>46)</sup>ことが示されている。

洗練された方法論的反証主義は、理論を受容する規則ないしは「科学的」とする規則と、反証ないしは理論を排除する規則とを見直すことで、素朴な方法論的反証主義の欠点を補った。

理論を受容する規則ないし「科学的」とする規則とは、“理論が先立つ理論(あるいは対立する理論)よりも多くの(受容可能性I)検証された(受容可能性II)経験内容を持っている”こと、“すなわちその理論が新事実の発見に結びつく”<sup>47)</sup>ことである。

また、反証ないし理論の排除の規則とは、科学理論Tに対して、“他の理論T'が提出され、それが次の条件を満たしている”こと、すなわち“(1)TがT'より多くの経験内容をもっていること、つまり(中略)Tから見ればありそうもない、またはありえない事実を予言すること。

(2)T'がTのそれ以前の成功を説明すること、すなわち、Tがもっている反証されていない内容はすべてT'の内容に含まれていること。(3)T'がもっている新たな内容のうちのいくつかが検証されていること”<sup>48)</sup>である。ここでも受容と棄却が表裏の関係にあることは素朴な方法論的反証主義と同様である。

経験命題が理論と衝突する時に、理論を救うために補助仮説を導入して理論を経験命題と調和させることは可能である。

素朴な方法論的反証主義においては、反証し得ない基礎言明として合意された言明は、その背景に様々な理論や仮説を含んでいた。一方で、テストされる理論それ自体はそのような背景知識とは厳密に区別され、補助仮説等の救いはありえないように仕組まれていた。

しかし、限定された条件の下に補助仮説を導入することによって理論を救うことが科学の進歩をもたらすことがあることは、実際の科学研究においては往々にして見られることである。洗練された方法論的反証主義の基準(1)(2)は、一連の理論の系列を比較することによってアド・ホックな仮説にすぎないものを除外する十分に限定された条件を与えている。ある理論がそれに先立つ理論に対して理論的に前進的であり(受容可能性Iを実現し)、かつ経験的に前進的である(受容可能性IIを実現する)時、理論的に前進的問題移動が実現されていると呼び、その理論は科学的であるとして受容される。従ってそのような前進的問題移動が起こる限り、補助仮説と言えども科学的理論に加えることは可能なのである。

このような構造の中では、反証は、実験、実験報告、観察言明、十分検証された低レベルの反証仮説等々の反対証拠のみによっては成立しない。より良い理論が現れて初めて反証は成立する。また、ある理論にとっての反対証拠とは、その理論と不斉合であるか、あるいは別の理論T'にとっての検証事例であるものである。理論間の移動は反証による必要はない。むしろ反証ではなく検証が注目されることから、前進的問題移動と呼ばれるのである。

洗練された方法論的反証主義が科学者に求める誠実さは、“さまざまに違った観点からものを見ること、新事実を予期する新たな理論を提案すること、そしてより強力な理論によってとって代わられた理論を棄却すべきこと”<sup>49)</sup>である。そして検証がより多いことが決定的に重要となる。

### D 科学的発見の過程

これまで見てきたように、科学的発見に対するそれぞ

れの立場からの説明は、合理性に関する見解において対立するものである。心理主義の説明では科学の歴史を一貫して説明する合理性はどのような形のものでもあり得ないと考える。科学の歴史が累積的な発展としてではなく、パラダイムの移行、有機性の変化として把握されるのは見たとおりである。従って、それぞれのパラダイムや有機性を越えた普遍的な基準はあり得ないことになる。

これに対して、科学の発展を何らかの合理性の下に説明しようとするポパー、ラカトシュらの立場からは、危機とそれに続く科学革命の過程を説明する合理性が、クーンらの言うように、ないとすれば、科学はその知識の正当性を問うことのできない非合理的なものに墮してしまうことになる、と反論がなされる。そして、科学的な理論として受容する合理的な基準としての前進的問題移動を出している。

以上のように両者の間には溝があるが、両者が描く科学的発見の過程には同一性が認められる。

科学が過去の業績を受容し、それを基礎として研究を進めている時期は、クーンにおいては通常科学の時期とされる。一方洗練された反証主義の立場に立つラカトシュはそれを科学的研究プログラム<sup>50)</sup>に則った研究と呼ぶ。

ラカトシュによれば、理論の中には特に密接な繋がりを持った系列をなす理論群がある。それらは、否定的な推論を立ててはならない「堅い核」と、この核の周囲をとりまく補助仮説群、すなわち「防御帯」とからなり、それらが集まって科学的研究プログラムを形成している。防御帯は、核と自然との間の不適合を一つ一つ順に解決していく活動によって形成されていくが、研究において常に前進的な問題移動が生じている場合には、一連の理論および補助仮説が科学的とされるのは既に見たとおりである。これがクーンの通常科学に対応する。

理論と自然との調和がうまくとれなくなり、しかもそれが理論の根幹をも揺るがすようになった時、クーンによれば、通常科学は危機の状態に陥る。一方ラカトシュによれば、科学的研究プログラムが後退的問題移動しか行わなくなり、プログラムの「堅い核」ですら捨て去らなければならない状況になる。

このような危機的状況が救われるのは両者共に新しい理論の出現によってである。

クーンにおいては、新しい理論は旧来の理論と比較され、どちらがより多く自然と適合するかなどを参考にしながら、個々の科学者、または科学者集団によって取捨選択が行なわれる。一方ラカトシュにおいては、新しい理論が、旧来の理論が説明したことを説明し、かつ変則事例を含む新しい事実をも説明し、そしてそれによって

検証された時、新しい理論は前進的に問題移動をとげたとして受容され、危製の状況は終息する。

このような同一性は、両者が科学史上の重要な発見事例を分析の対象とし、またそこで見出された原理によって科学史を再構成しようと試みるという共通のアプローチゆえに、当然の結果とも言える。

両者の対立点についての厳密な哲学的議論は一時おくとして、理論の転換として共通に描かれている科学の発展過程は、理科の授業を考察する際に有効な示唆をもたらすのではなからうか。

## II 理科授業の方法

### A 科学的知識としての教材

理科の授業の主な目的は科学的知識を学習者に理解させることである。では教えられる当の科学的知識とはどのようなものであろうか。

クーンによれば、「教科書は、学生に現在の科学界にわかっていることを速く知らせることを目的とするもの<sup>51)</sup>である。「現在の科学界にわかっていること」すなわち、クーンの立場で言えば現在の通常科学の、ラカトシュの立場で言えば現在の科学的研究プログラムの、基礎と考えられるが、教科書では「そのような基礎がいかに専門家によってはじめて認識され、包摂されるに至るかの道筋についてしっかりした知識は与える必要はない<sup>52)</sup>とされる。通常科学内ではパズル解きが進むにつれて知識が常に増大していること、また科学的研究プログラムにおいて前進的問題移動が起こっていることを考えれば、過去の業績がもはや現在の水準から見て時代遅れと考えられるからであろう。

また速く伝えるために教科書では、「現在の通常科学のいろいろな実験、概念、法則、理論をできるだけ分離して逐条的に扱う<sup>53)</sup>ことや、「簡潔に、厳密に、系統的に<sup>54)</sup>記述することがなされる。

教科書で記述される知識は、科学における定説として既に安定した地位を獲得したものと言える。しかし既に見たように、科学的知識がすべて確証されているということはあり得ず、規約主義の恣意的要素を多少なりとも含むものであるために、普遍的に正しい知識というものは存在しない。あくまで現在の通常科学、または科学的研究プログラムの枠内で受容されているにすぎないのである。

科学革命を経た通常科学、前進的問題移動を果たしている科学的研究プログラムとして現在の科学を把握することは、科学の歴史的過程を踏まえている。そこで重視

されるのは科学的研究プログラムが（あるいは通常科学が）“どんな新事実を予期したかを学ぶ”<sup>55)</sup>ことである。そして、どのような問題移動を経て現在の姿に至ったのか、科学革命の結果どのような新しいパラダイムの下で自然が探求されているのかという、歴史的視点が要求されるのである。

## B 素朴概念を持つ学習者

次に、学習者はどのような特質を備えているのだろうか。

クーンによれば、科学を学ぶ学生は、“ただ視覚の切り換えを受けて後、(中略)科学者として反応するようになって、科学者の世界の住人となる”<sup>56)</sup>という。切り換えを受ける前とは言えば、“等高線地図を見て、学生は紙上の線と見”<sup>57)</sup>たり、“霧箱の写真を見て、学生は出鱈目な切れた線を認め”<sup>58)</sup>たりする。このような知識の状態は、科学的に未開の状態にすぎないのだろうか。クーンが過去の棄てられた科学にも科学性を認めたことはここではあてはまらないのだろうか。

クレメント<sup>59)</sup>は、大学の工学部に入学したばかりの一年生34人に対して、簡単な物理の問題を解かせた。それは、一枚のコインを投げ上げた時に、空に上がって行くコインに働く力をすべて書きなさいというようなものであった。高校で物理を履修した学生がほとんどだったにも拘らず、その結果は、12%が正答したにすぎなかった。誤答の90%は、“手から得た力がコインを押し上げている。上に向かって上がっている時には、重力よりも手から得た力の方が大きい。そうでなければ下へいくはずだ”というものであった。同時に出された(力) = (質量) × (加速度)の公式があてはまる問題でも同じ結果となった。さらに、このように答える傾向は大学で物理学のコースを履修した後にも根強く残り、正答率は30%に上がったに止まった。

以上から、クレメントは、このような誤答を生じさせるような自然理解の枠組みが存在すると考えた。それは、学校教育で系統だって教授される科学的概念とは違うものという意味で、素朴概念と呼ばれている。現在、力学以外にも様々な分野で素朴概念が存在することが報告されている<sup>60)</sup>。

フィッシャー<sup>61)</sup>の指摘する素朴概念の特質には、それが科学史上に現れた古い理論に類似している場合があることが含まれる。クレメントの被験者たちの素朴概念も、14世紀に現われた、投射体と落下体に関する「いきおいの理論」<sup>62)</sup>と類似している。それによれば、“投射体は、それがすでに得ているいきおいと、単に運動してい

るということだけによって得ることになるいきおいとによってはおぼれる”<sup>63)</sup>ものである。“いきおいは、物体に内在し、そこに存続するのであって、それは、ちょうど、赤熱した火かき棒を火から取り出してもなお熱が残るようなもの”<sup>64)</sup>である。しかも、いきおいは“ちょうど火かき棒が火から取り出されるとしだいに冷えるような具合に、だんだん弱まって、やがて尽きるもの”<sup>65)</sup>である。従って物が投げ上げられた場合、投げ上げる手から得た「いきおい」は物体に内在し、手から離れてもなお物を上昇させ続けるように働く。この理論からすれば、学生の誤答も納得のいくものである。

いきおいの理論が直ちに慣性の法則を導き出すわけではないが、少なくともそれが生み出される元となったことは明らかである。

クレメントは、素朴概念が日常経験に基づいて形成されると指摘しているが、科学もまた日常的に経験する自然を対象として探求が始まったと考えられる。日常的に経験する自然界では、重力が地球の中心に向かって作用しているし、大気が存在しているために運動する物体に対して常に抵抗が働いている。そのため、物体の運動は常に力が加わり続けている状態の下でしか起こり得ない。このような現実の自然に囲まれた生活から形成される自然の理解がその制約から解き放されることはない。この点でも素朴概念と旧理論とは同一である。

ところで現在の科学は現実の自然で生じる事象を、摩擦を起こすすべてのものがなく、方位すらない空虚な空間での出来事に置き換えることによって発展してきた。<sup>66)</sup> その置き換えを行ったのは科学者たちであり、彼らの経験がその間を繋いでいるのである。

このことは、素朴概念を持つ学習者が、現在の科学的概念を獲得する授業で生じる過程に対して何を示唆するのだろうか。

## C 授業のモデルとしての科学的発見の過程

これまでの考察をまとめよう。まず、科学的知識は過去の通常科学の危機を救った新しいパラダイムに基づくものであり、あるいは過去の科学的研究プログラムに比べてより良い、すなわちより多くの検証と新事実の予測を持って登場したものである。従ってその価値は、普遍的妥当性にあるのではなく、その歴史性にあるのである。

そして、科学者集団におけるパラダイムの受容と棄却、あるいは科学的研究プログラムの前進的問題移動といった論に規約主義的要素が残っている以上、科学理論の変化それ自体もまた科学的知識の本質の一部である。

次に、科学を学習する学習者は、日常的経験を通して形

成される素朴概念によって自然を理解している。このような学習者が現在の科学的知識に出会うことになる。素朴概念はその日常性ゆえに科学史上の旧理論と類似している。その旧理論は現在の科学によって棄てられたという関係ではあるが、その元になっている。理論の転換をもたらしたのは旧理論をも持っていた科学者によってであった。

以上のような科学的知識の特質や学習者の特質を考慮すれば、教科書のように“現在の通常科学のいろいろな実験、概念、理論をできるだけ分離して逐条的に扱う”<sup>67)</sup>ことは、上記の一つの特質を全く捨棄してしまうことになる。学習者には正しい科学的知識として日常的感觉から飛躍したものが与えられる。その結果は素朴概念を非科学的なものとして否定して棄て去るか、または科学的知識を理科の授業の場でのみ成立する知識体系として日常的感觉とは切り離して受け入れるかになってしまいうだろう。クレメントの被験者たちはその一例を示していると言えよう。

さて科学的知識と学習者の特質から導かれる理科の授業は、それを科学的発見の過程として把握することによって実現される。

このような授業における学習者の経験は科学的発見を行った科学者または科学者集団の経験になぞらえられる。それは次のような段階を経て進むことになる。

学習者の素朴概念による自然の理解は、科学史上の旧理論が抱えていた局面よりも多くの局面で変則性を現わすであろう。そのような時に現在の科学理論が、新しい事実を予測し、より多くの検証事実を持つ新理論として現れるならば、素朴概念に革命あるいは前進的問題移動が生じ、新しい通常科学、あるいは科学的研究プログラムとして現在の科学理論が受容されることが可能となる。

さらに、科学的発見の過程として授業を把握することによって次の二つの重要な視点が得られる。

第一に、科学的知識の探求に関してである。現在の科学理論を理解するためには過去の理論をも視野に含めた説明が必要である。旧理論が直面した困難を新理論がどのように克服してきたのかについて知るためである。そのような知識は授業展開の方法について教材の側から多くの示唆を与えるであろう。

第二に、素朴概念の探求に関してである。学習者が持つ素朴概念を解明することは、授業を行う前の教材研究の段階で是非必要となる。ただし中田<sup>68)</sup>の言うように、このような解明の結果は実際の授業における学習者の経験に対して、あくまで擬似的に指定されたものにすぎないことは銘記しておかなければならない。その上で、素

朴概念の解明は授業における学習者の経験を理解する幅と深みを増してくれるのである。<sup>69)</sup>

## おわりに

以上において、科学的発見のモデルとして理科の授業を把握することと、それが提供する重要な視点について論じた。最後に、このような授業把握の限界を指摘することをもって、結びとしたい。

これまで見てきたように、科学的発見の理論は実際の科学の現場における科学者および科学者集団の活動を主要な分析対象としていた。従って科学者たちがいかに振る舞うかが説明の中心であって、研究対象である自然ですら環境条件にすぎなかった。

一方授業においては、科学的発見者として把握された学習者に対して、学習を組織する主体としての教師が存在する。従って両者の相互作用としての授業過程の把握は科学的発見のモデルでは難しい。実際の授業過程をいかに把握するかは今後の研究の課題として残される。

## 注

- 1) イムレ・ラカトシユ (村上陽一郎他訳)『方法の擁護』新曜社、1986、p. 1-12.
- 2) カール・ポパー (大内義一他訳)『科学的発見の論理・上下』恒星社厚生閣、
- 3) A. ブラニガン (村上陽一郎訳)『科学的発見の現象学』紀伊国屋書店、1984、p. 28.
- 4) 同上書、p. 27.
- 5) 同上書、p. 27.
- 6) ポパー、前掲書上巻、p. 34.
- 7) 同上書、p. 35.
- 8) 同上書、p. 36.
- 9) ラカトシユ、前掲書、p. 48.
- 10) ブラニガン、前掲書、p. 31.
- 11) 同上書、p. 32.
- 12) 同上書、p. 42.
- 13) 同上書、p. 43.
- 14) 同上書、p. 43.
- 15) 同上書、p. 43.
- 16) 同上書、p. 43-44.
- 17) 同上書、p. 86.
- 18) 同上書、p. 96.
- 19) 同上書、p. 85-86.
- 20) 同上書、p. 85.
- 21) 同上書、p. 45-46.
- 22) トーマス・クーン (中山茂訳)『科学革命の構造』みすず書房、1971、p. 5.
- 23) 同上書、p. 6.
- 24) 同上書、p. 164.
- 25) 同上書、p. 62.
- 26) 同上書、p. 137.
- 27) 同上書、p. 102.
- 28) Research Sciences. N.R. ハンソン (村上陽一郎訳)『科学的発見のパターン』講談社、1986、p. 6.



- 29) 同上書, p. 7.
- 30) 同上書, p. 9.
- 31) Retroduction. 「廻行的推論」と翻訳。
- 32) ハンソン, 前掲書, p. 153.
- 33) 同上書, p. 153.
- 34) 同上書, p. 155.
- 35) 同上書, p. 182. 「(仮説)」は筆者。
- 36) 同上書, p. 189.
- 37) 同上書, p. 189.
- 38) 同上書, p. 29-30.
- 39) Organization. 同上書, p. 28.
- 40) 同上書, p. 41.
- 41) 同上書, p. 48.
- 42) 同上書, p. 44.
- 43) 同上書, p. 49.
- 44) 同上書, p. 40.
- 45) ラカトシュ, 前掲書, p. 47.
- 46) 同上書, p. 47.
- 47) 同上書, p. 48.
- 48) 同上書, p. 49.
- 49) 同上書, p. 56.
- 50) 同上書, p. 70.
- 51) クーン, 前掲書, p. 158.
- 52) 同上書, p. 154.
- 53) 同上書, p. 158.
- 54) 同上書, p. 158.
- 55) ラカトシュ, 前掲書, p. 126.
- 56) クーン, 前掲書, p. 126.
- 57) 同上書, p. 126.
- 58) 同上書, p. 126.
- 59) Clement, J. 1982 Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50, pp. 67-71.
- 60) Fisher, K. M. 1985 A misconception in biology: Amino acids and translation. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(1), pp. 53-62.
- 61) Ibid.
- 62) H. バターフィールド (渡辺正雄訳) 『近代科学の誕生(上)』講談社, 1978, p. 19.
- 63) 同上書, p. 34.
- 64) 同上書, p. 34.
- 65) 同上書, p. 37.
- 66) 同上書, pp. 19-41.
- 67) クーン, 前掲書, p. 158.
- 68) 中田基昭「子どもと共に学ぶということ」吉田章宏(編)『教育心理学講座3・授業』朝倉書店, 1983, pp. 30-40.
- 69) 同上。