

シトツフの「モデルの認識論的機能」の特徴と化学教授におけるモデル導入の条件

共通教育部人文・社会科学系教職教育部門 渡邊 大輔

0. はじめに一本稿の目的—

自然科学教育における「モデル」は、現代科学とは何かという科学論的・認識論的な吟味によって、教えたい概念や法則との関連で検討され、学習者の認識発展の論理として提出されなければならない。

本稿では、シトツフ（1962）による「モデルの認識論的機能」の考察のうち、「鎖：理論—観念的モデル—物質的モデル—実験（実践）—現実」の特徴を明らかにし、化学教授におけるモデル導入の論理的条件を考察する。

1.では、日本の化学教育における観念論的理解と唯物論的理解の対立を整理し、本稿の基本的立場を述べる。2.では、弁証法的唯物論にもとづく教育研究に对象を限定して、研究の到達点と本稿で解決する課題を明らかにする。3.では、「鎖」における「実験（実践）」の意味を分析し、「鎖」の全体構造を図式化する。以上をもとに4.では、化学教育におけるモデル導入の論理的条件を考察する。

1. 日本の化学教育における観念論的理解と唯物論的理解の対立

1968年改訂学習指導要領において「探究の過程を通して科学の方法」を重視することが明示された。学校教育には「探究の科学」と称する pragmatic な科学方法論がさかんに持ち込まれていた。この過程で導入された「モデル」は厳密な定義を欠き、混乱を招いていた。

東京都教育研究所所長（当時）の森川久雄氏はモデルを次のように定義していた。すなわち「原子模型、分子模型…は決して実在の原子や分子を目で見てその形を拡大したものではない。原子や分子は直接見ることはできないから、…間接的な方法でその存在を確かめ、その構造をこのように考えるといろいろな現象がうまく説明がつくということで一つの概念を形成し、それを具象的にあらわしたものである。…このように考えると原子・分子そのものも一種の思考モデル」（森川 1969）というものである。

しかし、原子・分子そのものを「思考モデル」とみなせば、教育内容は客観的実在ではなく思考モデルだということになる。このような観念論的理解は「現代科学の成果と教育内容を一致」（真船 1964；柴田 1967；藤岡 1981）させる教育研究の方向性を放棄しかねない。そこで唯物論的理解に基づく立場からの批判が行われた。

高橋（1973）は「“物質とその運動が客観的に存在し、その意識への反映の過程でモデルが形成される”という自然認識の基本的立場が逆立ちして、“客観的実在があるのではなくすべてが思考モデルなのだ”という誤った理解をつくり上げる危険性」があり、思考の方法に偏重した教育論に対して「なんでもモデルにしないと気が済まない」と指摘した。これは客観的実在を認めた上で、対象反映過程におけるモデルの認識論的機能を捉えることにより、「教育内容とするべき物質の運動諸形態」と「反映過程に有効な教材としてのモデル」を区別する重要な批判だった。

同様の立場から三浦（1973）は自然の階層構造の反映の必然としてのモデルを捉えた。すなわち「マクロ物体が自然界のすべてだとする自然観に立てば、モデル化は無用だっただろう。人間は長年にわたる文化遺産の中から、マクロ物体を構成する《より根源的な階層》の粒子があるのではないかというイメージをもつにいたる。このマクロ物体の構造の探究には、しかも顕微鏡も及ばないミクロの世界の探究には実体的なイメージを形成することが大切であり、この科学の方法の中からモデル化も必然的に導入された」のである。したがって、自然の階層構造を反映（自然観を形成）させるためには、唯物論の見地からモデルの認識論的機能を考察し、モデルを必然的に導入する論理的条件を検討する必要がある。

2. 唯物論の成果にもとづく化学教育研究の到達点

2.1 化学教育研究におけるシトッフのモデル論の評価

唯物論の課題は「人間の経験を媒介に、理論的思考と実践的活動によって世界（自然と社会）の諸現象とその運動法則を明らかにすること」（中村 1975）であるといわれ、こうした科学観からモデルも定義される。モデルとは「把握すべき未知の対象がある場合に、対象の構造や機能を研究するために作られる対象とは別の仮説的な類似物」（岩崎・宮原 1976：287-295）である。対象の非本質的と思われる性質をそのつど捨象することによって、類似的表現としてのモデルを構成し、モデルによる思考実験を通して対象を推定し、実際に確認することによって対象を把握する。

岩崎・宮原（1976）の議論に先立ってモデルの認識論的機能を論じていたシトッフ（1962）は「理論」と「現実（対象・原型）」を結ぶ「鎖：理論—観念的モデル—物質的モデル—実験（実践）—現実」を与えた。これによれば、理論と現実（原型）の「中間の環」として「観念的モデル」が位置づけられ、「観察されている諸現象から理論への方向と理論から観察されている諸現象」の方向ではらたく（図1）。すなわち経路①では「観察・実験…から生じつつある新理論または仮説の構成部分」であり、「実践から得られる事実の解釈」としての機能を果たす。経路②では「理論が記述する原型が存在するか否かの証明を可能」にし、「理論のもつ物理的意味の発見」を可能にする。

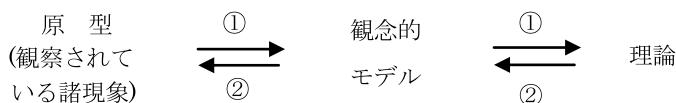


図1. 中間項としてのモデル（図は竹村（1977）による）

シトッフの議論に依拠して、教授におけるモデルについて論じた研究は竹村（1973；1977；1979）に限られる。竹村（1973；1977）はモデルの妥当性を論じる原則に、(1) 教育理念に底流する科学観・モデル観の検討、(2) 目論んだ認識論的機能を發揮したか、(3) 科学観に矛盾しない形で対象を反映したかを挙げた。この枠組みのもとで「探究の科学」の底流に論理実証主義が存在すること、かかる科学観のもとでは学習者は実在を認めない不可知論に陥る一方で、唯物論のもとでは粒子概念を問題解決の道具とした事実を指摘した。唯物論的方向が解決の指針になると結論したのである。

竹村（1979）はさらにドイツの Rossa（1975）による教科書を検討した。Rossa（1975）はモデルを「化学的現象における肉眼的にはとらえにくい本質的側面の把握に役立つ。化学反応のようなプロセスに対する時間依属的構造もまたモデルによって反映される」と見做していた。このもとで作成された Rossa（1975）のモデルの特徴を竹村（1979）は5点に整理した：(1) 唯物論的把握, (2) 本質的側面の具体的表示から抽象的・一般的表示への変化, (3) 最大限度同質のものを使用, (4) 理論と生産を媒介する実験とモデルが存在し, 理論と生産の関連を強調, (5) 嶠選し乱用しない。

竹村による一連の研究は「探究の科学」の問題性を克服する貴重な理論的試みだった。しかし、具体的な授業においてどういう場合に(2)は可能なのか, その際(4)はどう位置づくのか等, 生徒の科学的認識に関する考察はなされていない。この限界を克服するためには、「中間項としてのモデルの位置」(図1)をレビューするにとどまらず, 「鎖」における「実験(実践)」の意味を抽出し, 実験とモデルをむすぶ経路の分析が必要である。生徒に提示する実験の内容, 実験とモデルの関連性の検討が, 授業の成否に決定的な影響を及ぼすと考えるからである。

2.2 化学教育研究における「認識の発生的基礎としての労働過程」の位置づけ

「認識の発生的基礎としての労働過程」と「武谷三段階論」に依拠して, 教授における科学的認識の形成と論理を考察したのは高村（1987：38-47）の研究である。

これによれば対象反映過程とは, まだ認識されていない「物自体…必然性自体」が人間の能動的活動によって「われわれにたいする物…必然性」へと転化する過程である。この過程は形式的には「実践・認識・再実践・再認識という無限の過程として螺旋状をなして発展」するが, そこには質的に異なった論理的段階がある。1) 現象論的段階：現象を記述し個別的事実を相互に媒介することなく単に寄せ集めたもの, 2) 実体論的段階：個別的事物の属性を分析し, 諸事物を相互関係のうちにいれて「差異的なものの鋭い区別, 単なる多様性を本質的な区別, 対立にまで鋭く」する, 3) 本質論的段階(抽象的普遍)：実体的論段階を媒介として特殊的なものの背後に潜む抽象的普遍(本質)をあばき出す。1つの現象に續いて他の現象がおこる必然性が明らかにされる。さらに3) 本質論的段階(具体的普遍)：本質論的段階の普遍的・一般的概念法則から出発して, 現実の複雑な具体物, 個別的なものを理論的に再構成し, その存在や現象の必然性を完全に解明する。

高村（1987）はこうした科学的認識過程の特徴を教授における科学的概念の形成過程に適用して, 低次から高次への発展における「中間項」の媒介的役割を重視し「科学的概念形成の全過程において実体的イメージの形成こそが, 決定的な役割を担っている」とした。認識主体の能動的活動によって実体的イメージが概念のなかにとりこまれ一体化したものこそが, 認識主体の中で生きて働く眞の科学的概念であり, そのような科学的概念を形成することが教授学の重要な課題として位置づけたのである。

ただし「認識は労働過程に発生的基礎をおきながらもしだいに質的に独自な発展をとげ, やがて相対的に自立した過程として自然や社会の法則性をとらえ, それらを意識的に適用することによって労働過程に大きな反作用を及ぼし, その一層の発展をうながす」というとき, 「認識の発生的基礎としての労働は, 教育においてどう具体化され, モデルとどう関連するのだろうか」。検討すべき残された課題である。

3. 科学的認識過程における「鎖」の特徴

3.1 「実験（実践）」の意味と「鎖」の構造的把握の必要性

シトッフ（1962：103）は「モデル的実験から生産的実践への意向は、理論のさらにはすんだ、いつそう広い検証である。そしてモデル的実験の成功と実践活動の成功とは、客観的世界における諸過程の経過を確実に予言するわれわれの能力を確証している」と述べており、「実験」と「実践」という用語の意味を区別している。それゆえ「鎖」における「実験（実践）」とはモデル的実験から生産的実践への移行・広がりを意図している。したがって、シトッフの構想する科学的認識過程は、決して単線的（理論－観念的モデル－物質的モデル－実験（実践）－現実）なものではなく、何らかの構造をもつものとして理解すべきであろう。ただし「実験（実践）」という言葉は、広い意味の人間の実践があり、その具体としての実験と産業（生産）という意味を欠いていると思われる。そこで本稿ではより包括的な「実践（実験と産業）」（岩崎・宮原 1976）という規定に変えた。

3.2 科学的認識の源動力としての理論と実践の矛盾

科学の統一は世界の物質的統一の反映であるというテーゼを展開したフランク・フィードラーは2つの観点を分析の中心に据えた。

- (1) 科学による世界の物質的統一の反映は、人間の実践的=対象的な活動にその基礎をもつ理論的な活動のそのつど具体的=歴史的に規定された結果である。
- (2) 世界の物質的統一の本質的側面としての自然と社会との統一は、同様に人間の実践的=対象的な活動において実現されるところの能動的な相互的過程である。

——フィードラー（1973）

このもとでは「(物質の) 素材的諸特徴によって規定された実践的=対象的な活動として理解される労働は、いつもある特殊な経済的な形態のなかでおこなわれ、同時に人間のあいだの経済的諸関係を実現している。それゆえ、労働はつねに二重の被規定性を示す。すなわち労働はその素材的特徴によっても、またその経済的な形態被規定性によっても特徴づけ」られる。つまりまだ把握されていない未知の物質にたいして、物質の素材的特徴と経済的形態による規定を受けながら、その時々の歴史的・社会的制約を受けながら、人間の実践的要求を満たす形で展開されるのである。

人間の実践的=対象的な活動に基礎をもつ理論的な活動という点に関して、岩崎・宮原（1976:221-224）は「科学的認識の源動力としての理論と実践の矛盾」を挙げる。これによれば「まず、従来の理論では新たな実践的な課題にはこたえることができないということがあり、そこから、新しい理論の形成のための努力が行われているということである。すなわち従来の理論と新たな実践的要求とのあいだの矛盾から科学的認識が生まれてくるのであり、課題の解決とはその矛盾の解決にほかならない」ということができる。…科学的認識の発展の客観的な源動力は、基本的には、実践の主導のもとにおける理論と実践との矛盾」である。

したがって「科学的認識の源動力としての理論と実践の矛盾」というとき、レベルの異なる2つの「実践」を区別する必要がある（図2）。

- (1) 実践的活動において人間が直面している「困難を抱えた実践（P₀）」が存在する。
- (2) 「従来の理論 T₀と実践 P₀の矛盾」が意識化〈①〉され、「矛盾を解決する契機 〈①〉を含んだ新しい実践（P₁）」が促される。

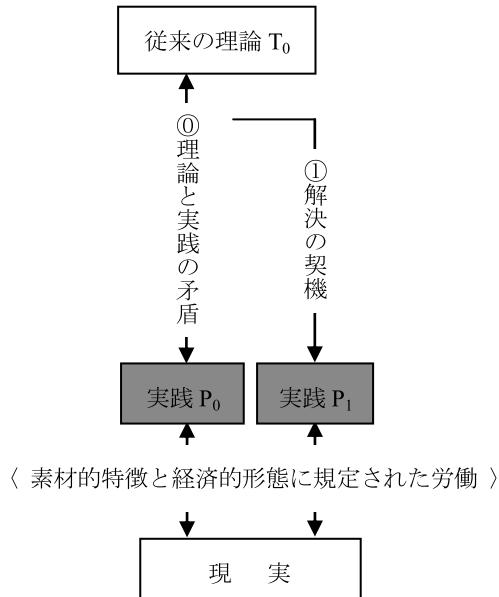


図2. 「理論と実践の矛盾」（岩崎・宮原 1976）における「実践」の区別

3.3 科学的認識過程の基本単位

「困難を抱えた実践（P₀）」によって理論と実践の矛盾が発生し、「矛盾を解決する契機を含んだ実践 P₁」が促される。その結果、これまでの経験から生まれつつある、まだ獲得されていない「新しい理論（T₁）」の仮説として「モデル（M₁）」があらわれる。それは観察されている現象の可能的メカニズム、ならびに直観的思考¹⁾による再生産という意味で、これらの事実の解釈として役立つ（シトッフ 1962：100）。つまり〈②実践の可能的解釈〉としてモデル（M₁）を導入する必然性が発生する（図3）。

次いで、直観は仮説の定立というかたちで展開されたうえで、実践（実験と産業）によって試さなければならぬ。この確かめを得てはじめて先立つ直観はその真であることが根拠づけられる（岩崎・宮原 1976：279）。つまり、人間は物質的モデルに直接接触するか物質的モデルに媒介された観念的モデルによって対象を推定し、「新しい実践（P₂）」による確かめ²⁾によって〈③仮説の検証〉を行い、先立つ直観はそれが真実であることが根拠づけられる。こうして〈④理論（T₁）を確立〉するのである。以上の議論をふまえ本稿では、図3をシトッフの「鎖」における科学的認識の基本単位（以下では「基本単位」とよぶ）とみなすことにする。

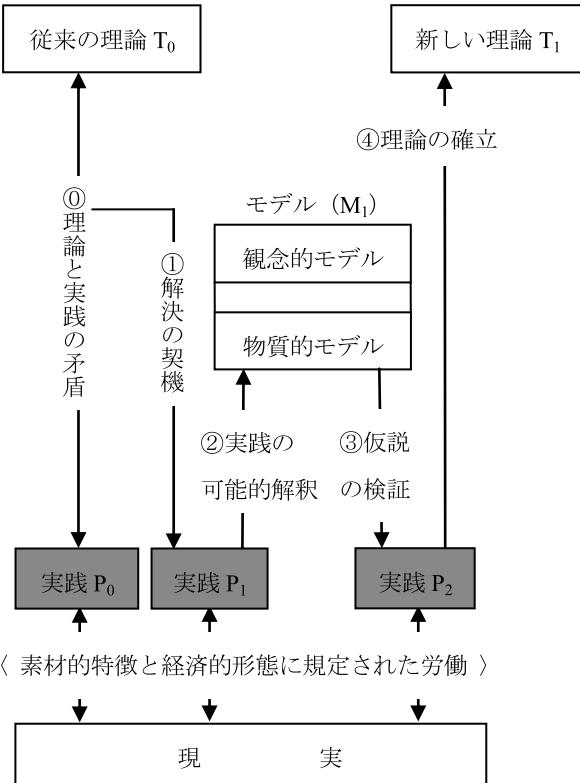


図3. シトップの「鎖」における科学的認識の基本単位

3.4 「対象の多様性」と「認識の限界性」による「認識と実践的活動の永続性」

科学的認識は以上を基本単位として一つのサイクルをとげる。しかし、人間と自然の実践的な相互作用を考慮するとき、人類の認識は新たな質的発展をとげる。

コプニン（1973）によれば、認識主体と客観的現実との間に、「客体（1）－理念－客体（2）」という関係を生じさせる。理念と客体の関係を要約すれば「客体（1）は理念の有限な総体によっても汲み取られないし、客体（1）それ自身のうちには現実に存在していないようなものが理念のなかには含まれている。客体（2）は、理念が客観的で真なものであれば、これにもとづいて生じているかぎり理念と一致するが、どんな科学的－理論的な理念も、当該の諸条件と諸手段のもとでは実践的にまだ実現され得ないような諸要素を含んでいる。また、客体（2）は、客観的実在はそれについてのどんな知識よりも豊かであり多様であるから、理念のうちに存在しなかったものをつねに含む。このような理念と客体との矛盾の定立と解決を通して、人類の認識と実践的活動との過程は果てしなく実現されてゆく」（コプニン 1973：338-341）ということになる。

板倉（1969）もまた「誤謬論」において「どのような科学理論もその条件をこえて度外れに拡大されるならば誤謬に転化する。…われわれが一切の誤謬をなくすためには、一切の真理の条件について十分知りていなくてはならないが、われわれがそれらの条件・限界について知ることが出来るのは、誤謬を

つみ重ねてこそなのである。…われわれが対象をさらに深く認識しようとするときには、誤謬はつきものであり、本質的なのである、それは、対象が無限に多様であるのに対して、我々の認識そのものが限界づけられることによるのである。人間は自然に問い合わせ、成功したり裏切られたりすることによって真理とその条件（この二つは同じこと）を見出し、自然に対する認識を深めて来たのである。誤謬をおそれず自然に働きかけ、誤謬から学ぶこと、これが認識を深める唯一の基礎であるところの実践の基本的な内容をなすのである（以上、傍点は著者）」と述べている。

対象が多様であるのにたいして、人間の認識そのものが限界づけられていることにより、人間は誤り、誤りから学んで自然に対する認識を深めてきたのである。それゆえ、科学的認識の形成過程は、「基本単位」をもとにした、連続的なサイクルとして捉えることができる（図4）。

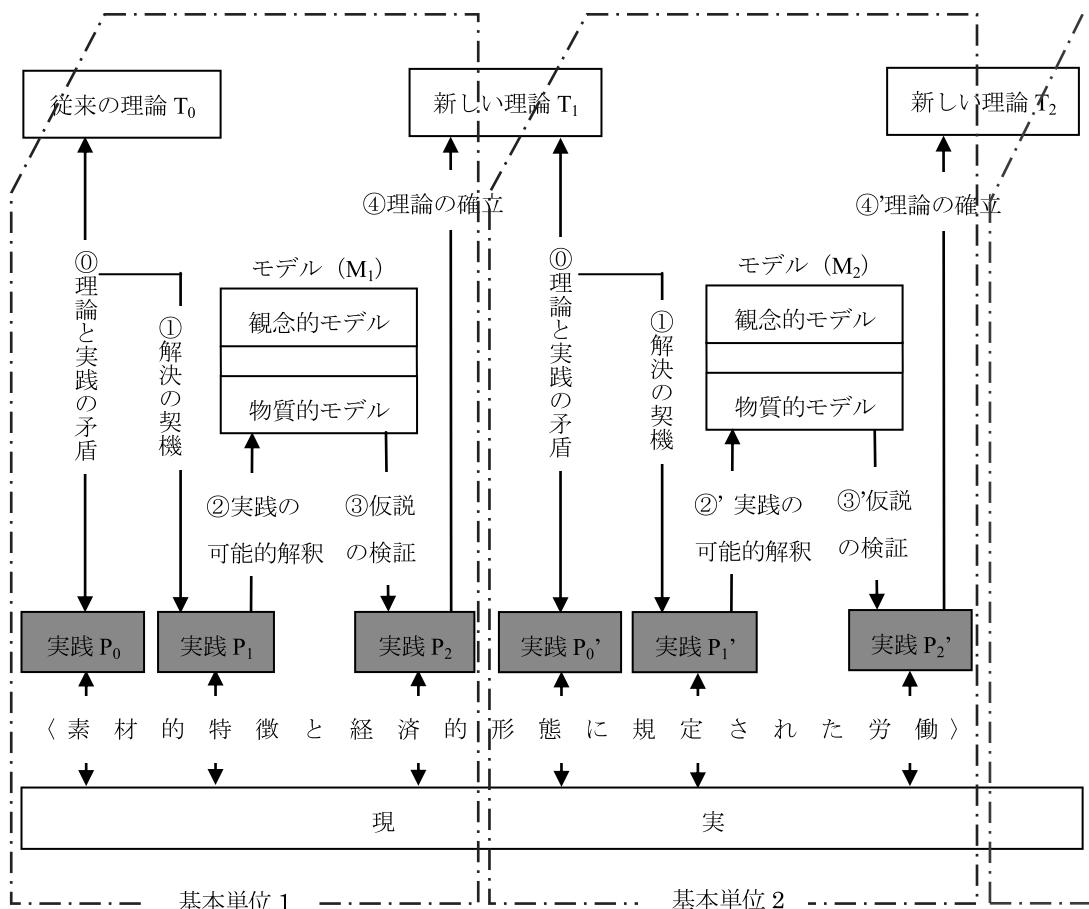


図4. 科学的認識過程における「基本単位」の連続的サイクル

すなわち、新しい困難を抱えた実践（P_{0'}）に直面すれば、理論（T₁）と実践（P_{0'}）の矛盾が発生し、理論（T₁）の適用限界が明らかになる。そして矛盾の解決の契機を含んださらに新しい実践（P_{1'}）を生み出し、実践の可能的解釈としての新しいモデル（M₂）が必要になる。新しいモデルが必要になる

のは「研究対象の一定の非本質的な—少なくともそのつど、非本質的と思われる—諸性質は捨象される」（岩崎・宮原 1976 : 287）からである。モデルはその時々の都合によって、非本質的と思われる性質を捨象することによって成立するのだから、最初から多くの情報を含んだモデルではモデルとしての機能を発揮しない。それゆえ Groenewold (1960) がいうように「モデルは現実の多かれ少なかれ成功した“若干の短縮”であり、現実への多かれ少なかれ荒っぽい近似である。この事情は誤りの源泉でありうるが、他面ではモデルの完成、一層正確なモデルへの移行、一連の補足的なモデルの創造によって克服される」のである。

4. 化学教育におけるモデル導入の理論的枠組—本稿の成果—

3で論じた科学的認識過程の特徴を、化学教授における科学的認識の形成の論理として適用する場合、次の2点を明らかにすればよい。

第1に、階層的な自然観を形成するとき、より根源的な物質の運動形態を探らせるために、適用限界を克服する「一連の補足的なモデル ($M_1 \rightarrow M_2 \rightarrow \dots \rightarrow M_n$)」を設定する必要がある。したがって、単元で最終的に到達させたい理論（教育内容）に対応したモデル M_n の設定の根拠を、1) 対象領域の特質、2) 既存のモデルの限界の分析から明らかにし、3) M_n に内在した先行する M_1, M_2 の系列を抽出することが課題となる。

第2に、第1と矛盾しない形で、授業過程において提示可能な事実の系列を用意する必要がある。事実の系列とは、本稿で示した「実践」の系列、すなわち $P_0 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_0' \rightarrow P_1' \rightarrow P_2' \rightarrow \dots$ に対応する教材として提示可能なものである。これは3で論じたような、レベルの異なる実践を相次いで発生させる系列を組織することが課題となる。つまり（1）困難な実践 P_0 の主導のもとにおける理論と実践の矛盾の発生、（2）矛盾の解決の契機を含み、かつ実践の結果、可能的解釈としてモデルを必然的に導入できる実践 P_1 の分析、（3）モデルの確からしさを確認し理論として定立しうる実践 P_2 かどうかが問われる。以上を1サイクルとして、次々に、 T_1 の限界を暴き出す実践 P_0' の分析、…を行うことが課題となる。

本稿は、とくに第2の点に関して、教育内容・教材構成の順序構造の指針となる新知見を得ることができたと考えている。今後は「炭素化合物の化学」の教授法開発において適用した上で、本稿の妥当性を検討していく。

注

- 1) 岩崎・宮原（1976：279）によれば「“直観”はなんら神秘的なものではなく、思考の一契機であり思考の運動における連続性の中継である。それは…先立つ認識、経験の蓄積によって媒介されている」とされる。つまり、直観を神秘的なひらめきとして捉えるのではなく、先立つ認識、蓄積する内容によって導かれる合理的な契機と捉える。この見地は、生徒の科学的認識過程を問題群（問題—予想—討論—実験の系列）によって組織しようとする研究方法論の正当性を裏付ける。
- 2) P_1 の可能的解釈として M_1 を導入している。確かに以前の M_1 は「先立つ直観」に留まる仮説的なものである。したがって M_1 の確からしさを確認するためには「新しい実践 P_2 」が必要である。

参考文献

- Groenewold H. J. (1960) . The model in physics , *Synthese* 12 (2-3):222 - 227
- Rossa, E. (1975) . *Methodik Chemieunterricht*, Verlag Volk und Wissen, Berlin.
- 板倉聖宣（1969）「誤謬論」『科学と方法』季節社, pp.64-73
- 岩崎允胤・宮原将平（1976）『科学的認識の理論』大月書店 pp.221-224, 287-295.
- ペ・ヴェ・コブニン（1973）岩崎允胤（訳）『認識論』法政大学出版
- ヴェ・ア・シトッフ（1962）寺沢恒信（訳）「モデルの認識論的機能」『現代ソヴィエト哲学』第7集
- 柴田義松（1967）『現代の教授学』明治図書, pp.14-16.
- 高橋哲郎（1973）「『探究の科学』とは何か—流行の反動的科学教育への批判的覚書—（II）」『理科教室』No.180, 国土社, p.82.
- 高村泰雄（編著）（1987）『物理教授法の研究—授業諸方式による学習指導法の改善』北海道大学図書刊行会
- 竹村安弘（1973）「化学教育における物質の粒子性の概念の教授に関する考察（その1）」広島大学教育学部紀要, 第1部, No.22, pp.125-131.
- _____ (1977)「科学の方法としてのモデルの役割—モデルの哲学的基盤とその理科教育への影響」日本理科教育学会研究紀要, No.19, pp.1-7.
- _____ (1979)「ドイツ民主共和国の科学教育課程におけるモデルおよびモデル表象の概念と役割」秋田大学教育学部研究紀要（教育科学）No.29, pp.1-14.
- 中村行秀（1975）「マルクス主義哲学と分析哲学」『講座 現代人の科学 5』大月書店, p.175.
- F・フィードラー（1973）岩崎充胤（訳）『自然科学と社会科学の統一』大月書店, p.221
- 藤岡信勝（1981）「二つのレベルの“組みかえ”」『教育科学 社会科教育』No.217, 明治図書, pp.95-100.
- 真船和夫（1964）「理科の教材研究」波多野完治（編）『教材研究の科学（授業の科学 第3巻）』国土社, p.77
- 三浦国彦（1973）「ためにするモデル化過剰の破綻—自然の階層構造を捨象したモデル万能論批判—」『理科教室』No.181, 国土社, p.6
- 森川久雄（編）（1969）『中学校理科教育の現代化』明治図書, p.67.

付記：本研究は文部科学省科学研究費助成事業若手研究（B）（研究課題番号：25780490、代表：渡邊大輔）の助成を受けて行ったものである。