46号）昭和45年9月15日発行（毎月1回15日発行）昭和45年3月10日国鉄関東支社特別承認雑誌第326号昭和42年3月3日第3種郵便物認可

初等理科教育

ELEMENTARY SCHOOL SCIENCE EDUCATION

1970 10

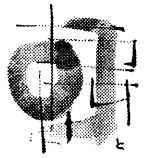
特集　思考とモデル

■論説
教授＝学習過程
　　におけるモデル　　吉田章宏
思考とモデル
　　モデルと授業　　堀江固功
実践研究
まめてんきはてんぷん
火山と岩石
■理科教育講座
判断・推理・概念　　赤松弥男

Vol.4 No.10
日本初等理科教育研究会編集
初教出版株式会社発行

■ 論　　説

教授＝学習過程におけるモデル



吉田章宏

はじめに

モデルおよびモデル化の問題は近年，実にさまざまな学問領域で論じられている。いや，モデルの問題を多少とも考えていない学問領域はほとんどない，といってもよいほどである。その理由はいろいろある。とりわけサイバネティックス，システム工学などのいわゆる「新しい科学」の発展がその一つであるといってよい。これら「新しい科学」はモデルの方法を駆使して発展している科学だからである。それと関連して「構造主義」の隆盛も，もう一つの理由として挙げられよう。「構造」はモデルと直接的な連関をもつ概念である。

モデルという概念は，現代科学における中心的概念の一つであるといってもよい。

さて，理科教育はモデルの問題と二重の仕方で関わっている。第一には，理科教育の内容をなす現代科学において用いられているモデルを通じて，そして，第二には，理科教育において，とくに，理科の教授＝学習過程において，教師や児童・生徒が用いるモデルの問題を通じてである。この二つの問題は，決して同一ではないが，密接に関連している。

ここでは，理科教育におけるモデルの問題を考えるための背景として，モデルおよびモデル化の基本的な問題についていくつか考え，この問題への導入とすることにしよう。

モデルとは

モデルとは，一体，何であろうか。

非常に数多くの著者が，それぞれに，モデルとは何かについて論じ，それぞれの定義を与えている。それらの中で，予備知識をあまり必要としない比較的わかりやすいものを次に挙げてみよう。

「モデルは原型の写像（mapping）であり，しかも原型の要素ないし部分間に成立するある関係を保持せしめる写像である」（中村，1963，p. 131）

モデルとは「――元のシステムの構造と同型の構造」をもつシステムをいう（Ashby，1956，p. 226）

もちろん，「モデル」とは何かということは，常識的には，それぞれの人がそれぞれに理解している。それは，たとえば，飛行機のモデル，船のモデル，人体モデル，数学モデル，などなどを通じて「モデル」とは何かについて形成した，ややぼくぜんとした概念であろう。しかし，「モデル」の概念は一般に考えられているよりもずっと広い概念である。その広さを示しているのが上の定義の例である。

まず，モデルは何か原型（オリジナル）をもっている。いいかえれば，モデルは何かのモデルなのである。モデルだけでは独立にモデルであることはできない。次に，モデルもその原型も，ともに，要素・部分をもっており，その要素・部分の間には一定の構造的関係があること。しかも，その構造的関係は，モデルと原型で共通であること，いいかえれば，同型であること。以上が，モデルのモデルたる条件である。構造をもつものをシステムと呼ぶから，第二の定義のようにもいえるわけである。

ここで，同型アイソモルフィズムということを，ちょっと説明しておこう。同型というのは，もちろん，パターン，型が同じということである。この概念は，数学の方ですでに正確な定義が与えられている。理解のため，二三の実例をあげてみよう。たとえば，写真のネガとそのプリント，これらは図の型，パターンに関する限り同型である。プリントはネガの部分間の図形的関係が保持されてプリントとなる。また，ある地方とそ

の地方の地図も同型である。さらには，物理的時間の経過と時計の読みも同型である。などなど，同型なものは，この世界に充満している，といってよい。

しかし，AがBのモデルになるかならぬかは，AとBの同型性を認める仕方に依っている。全く自動的にモデルになるわけではないのである。

構造モデルと行動モデル

モデルは様々に分類されている。たとえば，具体的な物質的形態をとる物質的モデルと，頭の中で考えられているだけの観念的モデル。大きさの尺度を変化させたスケールモデル。あるいは，シンボルモデルとイコニックモデル，などなど。

しかし，ここで大切な一つの区別は，構造モデルと行動モデルの区別である。

構造モデルとは，原型とモデルが構造上同型である場合のモデルをいい，行動モデルとは，原型とモデルが行動の上で，働きの上で同型，つまり類似の行動をとる場合のモデルをいう。たとえば，人体模型は，人間の構造モデルではあっても行動の上には死んだ人間に等しい，したがって生きた人間の行動モデルではありえない。これに比べて，切符自動販売機は，切符を売るという行動に関する限り，人間の行動モデルでありうる。これが構造モデルかどうかは，見方により大いに見解が分かれるところであろう。

このように，モデルが原型のどういう側面を写しているのか，を明らかにしておくことが，モデルを考える上で大切である。いかなるモデルにもそれから原型についてどれだけの推論を下せるかについては限界がある。その限界は，モデルが原型のいかなる側面をどれだけ忠実に保存しているかに依っているのである。

モデルの機能

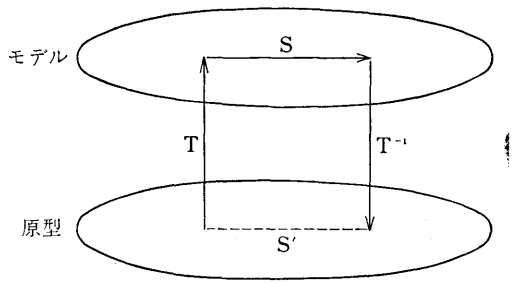
モデルの機能については，心理学者ブルーナーが次のように述べていることが参考になる。

> わたしは，精神発達を次のように考えたいと思う。すなわち，それは，世界のモデルを子どもの頭の中に構成することを含むものである。このモデルとは，子どもの周囲の世界を表現するための構造の内化されたあつまりである。……われわれが，次に何がおこるだろうかと，また，何をすべきかを予測するための時間のゆとりを得る仕方は，われわれのこれら内化されたモデルを世界の進行よりもほんの少し早めに回転させることにある。(Bruner, 1965, p. 103)

つまり，モデルの機能は，原型では何らかの理由でできないことをやってみることにある。原型でできない，あるいは，やりにくい理由は様々である。たとえば，原型が大きすぎる，小さすぎる，危険である，まだ存在しない，操作するのに時間，費用，人手などがかかりすぎる。複雑すぎる，などなど。

モデルの一般的機能は一言でいえば原型の代用をつとめることだといってもよいであろう。原型について知りたいのにモデルについて考える，これは一種の回り道である。原型の中に障害があるとき，その障害を避けて，比較的通りやすいモデルを通って目的を達する。また，原型のことばをモデルのことばに翻訳して理解した上で原型のことばに再びもどすことだ，といってもよいであろう。

回り道・翻訳・モデル化



$S' = T^{-1}ST$

これは，式で表現すると $S'=T^{-1}ST$ と，表現される。これはたとえばS'という推論を下すのに，まず，原型からモデルへのTという変換でモデルに移し，S'に対応するSという推論を下し，次に T^{-1}というモデルから原型への変換でまたもとに戻して，結果として，S'という推論を下すということを表わしている。逆にこういう形をした式で表現される場合には，必ずモデルの問題が秘められているといってよい。上の図は，モデル問題のエッセンスを示している。

認識とコミュニケーション

さて，ここで，認識とコミュニケーションの区別をしておく必要がある。ある原型Aのモデルを作ったり発見したりする活動に二つの基本的な種類を区別しなくてはならない。ひとつは，モデルを，甲がだれにも教えられないで創造する，あるいは発見する場合，これを甲の認識におけるモデルと呼ぼう。もうひとつは，甲がモデルをすでに作っていて，このモデルあるいは類似のモデルを乙に教え伝えることにより，原型Aのモデルを乙に形成させる場合，これを甲から乙のコミュニケーションにおけるモデルと呼ぼう。この二つの間には連続性があるが，両極においては区別は明確である。

科学者が研究により発見したり創造したりするのは，認識のモデルである。しかし，同じ科学者でも，他の科学者に説明するためにモデルを用いる場合のモデルは，コミュニケーションのモデルである。

児童にも両方の場合がありうる。子どもは，小さな研究者として，モデルを発見したり，創造したりする。たとえば，

> 子ども達とI夫人はガラスのジャーでお湯をわかしながら，あぶくが昇ってくるのを見守っていた。クリストファー（5才9月）は「あぶくは地面に降る雨みたいにダンスしているね」といった。(S. Issacs, 1966, p. 120)

> クリストファーが，新しく生まれたはつかねずみを見守っていて，「小さな豚みたいだね」といった。(S. Isaacs, 1966, p. 55)

子どもは新しい事物・現象を既知の事物・現象との類比でとらえることが得意である。ただ，その類比は，表面的な類似性にもとづいて，本質的な同型性にもとづいていないことが多いことを注意しなければならない。

教師から児童へのコミュニケーションにおけるモデルは，理科教具教材にみられるモデルにその例を見ることができる。たとえば，電流系と水流系のダイナミックアナロジーにもとづいて，水流系モデルにより電流系について教授するのは，この典型的な例であろう。

発見学習と受容学習

認識とコミュニケーションの区別には，学習においては，発見学習と受容学習の区別が対応する(Ausubel, 1969)。発見学習では，児童は学習すべき内容を発見してから学習する。これに対し，受容学習では，学習すべき内容は与えられておりそれを学習する。

それぞれに長短があるのだから，これらはいうまでもなく，学習者，学習内容などの条件に応じて適切に使いわけられなければならない，と考えられる。

モデルに関していえば，発見学習では，児童が自分でモデルを発見するか，あるいは，与えられたモデルから，推論を下し，さらには，実験し検証することになる。この場合，児童が自分で発見していくという条件によって，モデルが児童にとって親近性をもったわかりやすいものであるという条件は保証されやすい。これに対し，受容学習では，モデルはもっぱら教師による説明をわかりやすくするために用いられる。しかし，モデルが教師によって作られたり選ばれたりしたものであるため，児童にとってわかりやすいものであるということは保証されない。

そこで，次のように考えた方がよいであろう。通例，発見学習は問題解決能力を育てるのに，受容学習は知識の伝達に主として適している，といわれる。しかし，このほかに，発見学習において見出されたモデルは，受容学習において使えるモデルを示唆する，と考えるのである。つまり，発見学習は，いわば，受容学習のためのモデルの供給源というわけである。

教師のモデルと児童のモデル

同一の事物・現象を与えられても，人によりそれを様々に異なったモデルで理解する。科学者の間でも物理学，化学，生物学，数学などの専門のちがいにより，同一の問題に対して異なったモデルを考え出すことが報告されている。それぞれの考えやすい，親しみやすいモデルというものがあることを表わしている。

児童の間にだってそのようなちがいはある。だから，すべての児童に同じモデルで説明すること

は適切でないかもしれない。いや，そればかりか，そもそも教師にとってわかりやすいモデルによる説明は，実際にためされる前には，果たして，児童にとってもわかりやすい説明になるかどうかは疑問でさえある。

そこで，教師にとってわかりやすいモデルと児童にとってわかりやすいモデルの関係が問題となってくる。

学習＝教授過程でモデルを用いる際の一つの大きなポイントは，教師が，自分にとってわかりやすいモデルをそのままではなく，児童にとってわかりやすいモデルに翻訳するということにあるといえる。たとえ大科学者であっても，教師としては落第という人がある。これは一つには，この翻訳がうまくできないからである。物事についてよく理解していても，それをうまく説明し理解させることができるとは限らない。なぜなら，説明の聞き手にわかりやすいモデルに翻訳することができるとは限らないからである。モデルを使って有効に児童に説明することができるためには「子どものコトバをお伽噺の言語に，お伽噺の言語をもっと高次の言語に翻訳しながら子どもに文語を教えた」トルストイの英知を必要とするのである。(ヴィゴッキー，1962，下，p. 11)

もし，教師がそのようなくふうをする努力を払わないなら，ちょうど7，8才以前の子ども同志の自己中心的な会話のように，教師自身にはわかっていても，子どもにはさっぱりわからないという結果に終わってしまうだろう（ピアジェ，1955，p. 203～4)。

熟練した教師とは児童にとってわかりやすいモデルを見出すことの上手な教科と児童心理の両方に通じた教師であるといってもよいであろう。

児童のモデルの発見

児童にとってわかりやすいモデルを見出す方法は少なくとも四種類はあるように思われる。

第一には，教師が自分でくふうしていくつかモデルを作り，それを試してみるという方法である。これは，最も多く用いられている方法であるが，成功するかしないかは，教師がどれだけ児童の心理に対する洞察力を修得しているかに依存する。

第二には，発見学習を活用する方法である。児童が発見学習を通じて独力で理解することに成功した場合に，児童が用いたモデルを知れば，それは他の児童に教える際に有効なモデルになる可能性がある。こうして，発見学習が受容学習に新しいモデルを供給する源泉となることができよう。

第三には，いま教えようとしている当の児童よりもすでに先に進んでいる児童がいかなるモデルによって理解したかを調べることである。そうすることによって，発見学習を経ないでも，適切なモデルを見出すことができよう。

そして，第四には，児童同志に教え合いをさせて，児童間のコミュニケーションの中で用いられているモデルをひき出して来ることである。児童は，児童自身の心理については，いわば教師を教える立場にある，といってもよいかも知れない。児童の会話から児童の心理を読みとり，児童にとってわかりやすいモデルを創造し選択していく教師こそ，トルストイの英知を備えた教師だといえる。

おわりに

モデルの問題は，深く広い。

この短文ですべてをつくすことは到底できない。しかし，この短文がモデルについて考えるための小さな手がかりとなることができれば，幸いである。

引用文献

1. Ashby, W. R., Design for an Intelligence-Amplifier, in C. E. Shannon and J. McCarthy (eds.) Automata Studies, Princeton U. P. 1956.
2. Ausubel, D. P. & Robinson, F. G., School Learning, Holt, Rinehart and Winston, New York 1969.
3. Bruner, J. S., On Knowing, Atheneum, New York, 1965.
4. Isaacs, Susan, Intellectual Growth in Young Children, Schocken Books, New York, 1966.
5. 中村秀吉：モデルと理論構成「思想」1963年5月号
6. ピアジェ，J.，児童の自己中心性，大伴茂訳，同文書院，1955.
7. ヴィゴッキー，思考と言語　上・下，柴田義松訳，明治図書，1962.

（お茶の水女子大学助教授）