

# 理 科

## 中等教育段階における,

## 化学の学習指導でのモデルの取り扱いについて.

戸 莉 進

### I はじめに

新学習指導要領に打ち出された大きな目標の一つに、いわゆる探究の過程が挙げられることは、今更ごと新しく申し述べるまでもないことであろう。

ところで、この探究の過程自体は、指導要領に示されている程度の、手軽で生易しい、単なるプロセスなどではないのであって、著者としては、大いに異論のあるところであるが、ここではいささか本題から外れるきらいが、ないでもないので、結論だけを、端的に「中等教育段階での指導目標としては、**探究**の過程ではなく、**探求**の過程程度が、せい一杯のところである」とだけ指摘するに留めておきたいと思う。

それはそれとして、この探求の過程において、モデルの占める重要性は、それが個々の事象と概念との、また現実と理論との、橋渡しの役割りを果すものであるだけに、極めて大きいものがある。

それだけに、どのようなモデルを、どのように導入し、どのように取り扱い、さらに、どのように発展させてゆくかは、探求の過程の質そのものをも、大きく左右することになるのである。特に化学教材においては、われわれの五感によって受けとめられる現象そのままを、一般化するというような方法のみでは、明確な概念像の形成にまで、発展到達させることは、極めて困難なものがある。そこに、化学の学習においては、原子や分子の次元において、何が、どのように起り、どのように継続ないしは進展しているのかを、的確な像として脳裡に描くことが、可能であるか否かが、質的転換あるいは飛躍発展の、鍵となっているのである。

この問題に関して、中等教育段階における化学教材を素材として、いろいろな角度からの検討を加えてみたいと考える。

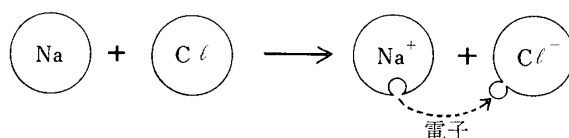
### II 取り扱いの実際

#### (1) 安易なモデルのもつ危険性

そこでまず、新指導要領の実施に伴って、中学の新しい教科書の中に、雨後の筍のように現われてきた、各種のモデルに目を向けてみると、非常に気に

なることは、余りにも手軽で、お粗末な、安易な思いつき程度の、いわゆるモデルの横行氾濫である。

次のようなイオンモデルも、この種のモデルの典型的なものと言えよう。



もし、この教科書の、さらに先に進んだところのどこかで、ナトリウム原子や、塩素原子が、上図のようではなく、次のようであったとしたら、『ナトリウムイオンや、塩素イオンは、どのように表わされるであろうか?』と考えさせるような配慮がなされているのならば別であるが、



実際には、そのような影の片鱗さえも見当たらないのであるから問題である。

いわゆるモデル（極く限られた、一面的な等価性に基づく、変換の名には価いしないほどの単なる置換、ないしはすりかえ）によって、「なるほど」と思わせることは、さして困難なことではない。

しかし、このように極めて限られた一面的な等価性しか持たないような安易なモデルによって、「なるほど」と思いこまされてしまった生徒は、簡単にこのモデルの中に閉じこめられてしまい、折角、生まれてからそれまでに育て上げられてきた、自然そのものに向けられた、澄んだ観察眼を、曇らせられ、自然から遮断されてしまうようなことに、なり兼ねないのである。

#### (2) 望ましいモデルとその取り扱い

それでは、望ましいモデルとして具備すべき、最少限度の要請は何かというと、私としては、次の三つの条件を挙げたいのである。

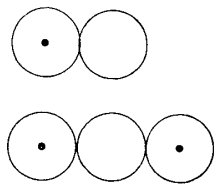
(i) 「けれども、もしこうだとしたら……?」と、懐疑させる余地を、もったもの。

(ii) 「それでは、これは……？」と、適用の範囲を、すすんで拡げてみたくなるようなもの。

(iii) そうだとすると、このような種類の現象は……？」と、考えの発展を促がすようなもの。

このような条件が、如何に重要なものであるかは、化学史の中に現われてくる、モデルで、一つのもが変化することなく、永続的に使われてきているというような例は、ほとんどなく、反対に、たいていのモデルが、時代の進展にともなう新しい知見を反映して変貌し、進化してきていることを見れば、容易に首肯することができるであろう。

たとえば、水の分子モデルも、質量保存の法則と、定比例の法則をふまえたものとして、ドルトンによって最初に提示されたものが、気体反応の法則をふまえたアボガドロの分子仮説の段階では、二番目のように変貌し、さらにそれが、多種類の原子の記載法としての煩雑さを回避する意味と原子自体が、円形ないしは球形であるとの何らの実験的根拠も存在しないという、より本質的な反省に基づいて、現在も使用されているアルファベット記号による表記が創出されたのである。

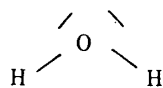
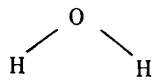


H<sub>2</sub>O

または

H-O-H

さらに20世紀に入ってからの、水分子の極性の認識を反映して、右のようにくの字型の構造式で表わされるようになったものが、さらに原子構造と化学結合に関する理論の進展に対応して、不対電子対を記載した形に変化し、さらに、オービタル理論の発展により次のようなものに変貌を遂げてきているのである。



また塩化水素分子についても、 $\text{H-Cl}$  から  $\text{H}-\overset{\cdot\cdot}{\text{Cl}}$  または  $\text{H}-\overset{\cdot\cdot}{\text{Cl}}$  へと変貌してきているし、塩酸のモデルも、20世紀に入ってからだけでも、 $\text{HCl} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{Cl}^-$  から、 $\text{HCl} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$  のように変化してきている。

このように、モデルは、元来その本質において、相対的なものであり、その適用に当っては、常に限界の存在することを、忘れてはならない。この意味において、探求の過程におけるモデルの取り扱いについては、特に次のような点に留意したいものである。

- (i)、モデルの導入に当っては、十分な慎重さを。
- (ii)、モデルに基づく考察の結果が、自然現象と矛盾を来したような場合には、常に自然の方を尊重し、改めて、その角度から自然を深く見つめなおす姿勢を忘れてはならない。
- (iii) 一つのモデルは、早晚、より優れた、その修正型、ないしは、全く別個のモデルに、その位置を譲るべき運命にあるものである。従って、絶対的なモデルなどというのは在り得ない。

### (3) モデルの属性

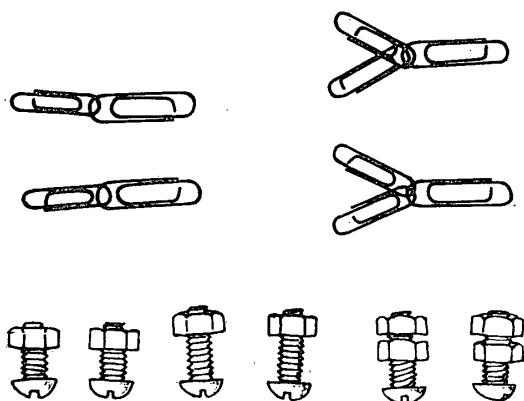
次に、少々角度を変えて考察を進めてみたいと思うが、もともと、モデルの属性には、その本来のねらいである象徴性ほかに、それよりもはるかに強く、われわれの五感に直接的に訴えてくる具象性という、もう一つの面が存在することを強調したい。それは、この具象性ゆえに、われわれは、うっかりすると、そのモデルによって表現したり、説明したりしようとする意図している本来のものとは別の、実は、その点に関する限り、何らの確証も存在はしない属性を、あたかも本来のものを持つ属性の一つであるかのように受けとめてしまう過ちを、犯し兼ねないからである。

現に、最初に望ましくないモデルの例として挙げた、イオンモデルに見られる誤りも、その根源は、この辺に在るのであって、原子を粒子と受けとめ、それを、かってドルトンが試みたのと同じような円によって示すことを、その後1世紀余にわたって、急速な発展を遂げてきている化学自体の成果と照合してみると、当然の手続きを（故意か、不用意かは詳かでないが）忘れて、そのまま踏襲してしまったことによるものである。

この意味で、一見「如何にも、らしいモデル」については、特に十分な注意が必要なのであって、それによって表現し、説明しようとしている本来のものが、何であるかを確認するに留まらず、その本来のもの以外のことは、そのモデルは何ら意味しているのではないということの、確実な認識も、絶対に忘れてはならないのである。

これとは反対に、例えば、二種の釘のそれぞれ同数の集団の質量比は、そのまま、それぞれの一本ずつの質量比に等しいことの確認に基盤を置いたグラム原子（または1モルの原子）の概念の説明。またボルトとナツツの組み合わせ、あるいは、二種のゼム・クリップの組み合わせによる、定比例の法則の説明のよう

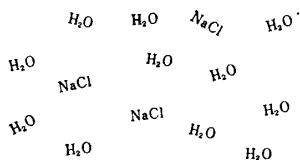
な、象徴的モデルは、それによって表現しようとして



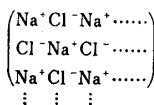
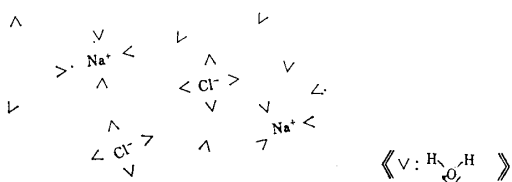
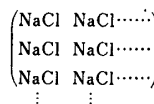
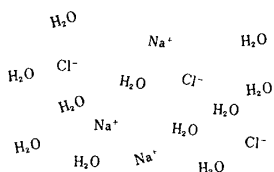
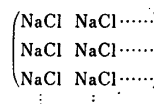
いる本来のものが、何であるかを、およそ、らしからぬそのモデルの具象性とは完全に切り離して把握させることが、比較的容易であるという、大きな長所があることを指摘しておきたい。

このような象徴的モデルの長所は、単独の概念の場合よりも、食塩の水溶液とか、食塩の結晶というような、いろいろな概念が複雑に、からみ合っている場面において、その真価はさらに一段と発揮されるのである。時の流れにともなう、変遷してきた次の三つのモデルの変化については、図を比較して見て頂きさえすれば充分で、特に多言を要しないのであろう。

〔食塩水〕



〔固 体〕



(4) モデルの機能

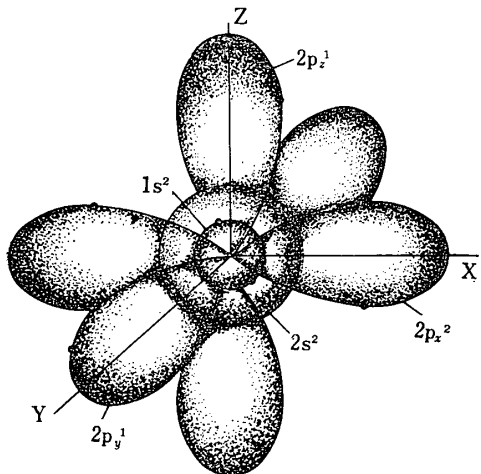
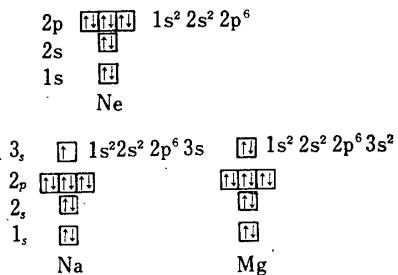
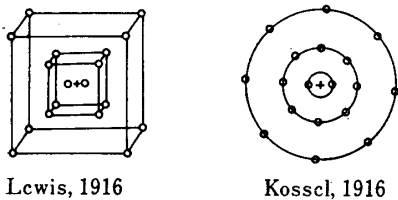
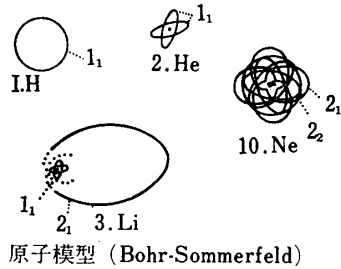
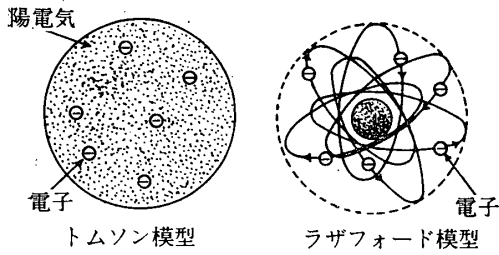
上述のモデルの属性と、ともすれば混同され、その結果、少くともある程度の混乱を生じ、悪くすると、重大な過誤にふみ込むことになり兼ねないのは、モデルの機能についての意識の問題である。

モデルを、その機能の面から大別すれば、**実体性と抽象性**の二つを挙げることができる。これは、モデル自体の属性の両面である具象性（何らかの、形のないモデルなどというものは在りえないから）と、象徴性（それが何を表わすためのモデルかという、明確な目標を持たぬモデルも、またありえない）とを、うっかりしていると、同次元の表現上のニュアンスの違いく

らいに受けとられて、すまされかねない。

ところが、モデルについての、本質的に重要な点があるけれども、これがモデル自体の属性のうちの、象徴性と等価であるという極めて重要な一点が、一般に、必ずしも確実には認識されていないからこのような現象が起るのである。

というのは、あるモデルによって示そうとしている本来のねらい自体が（それは、モデルの二つの属性のうちの具象性ではなく、象徴性と等価）、実は、抽象的概念である場合と、実体的概念である場合と二つ存在する。ところが、モデルの属性の一つである象徴性



酸素原子の電子の分布

の、下位概念であるモデルの機能の実体性が、モデルの象徴性と同位概念である、モデルのもう一つの属性の具象性と、その概念自体としての類似のために混同されることが少なくないからである。

以上の点を、明確に把握しているか否かが、実はすでに述べたように、あるモデルによって説明しようと意図されている本来のもの、一方本質的にそれとは全く無縁のはずの、しかしながら何らかの形のないモデルなどというものは在り得ないという、モデルの宿命的なもう一つの属性（具象性）に由来するものとの混同を、回避しうるか否かに直結しているのである。

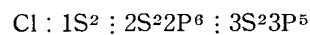
以上のようなことを理解し、把握するための素材として、20世紀のはじめから、現在に至るまでの、原子の電子構造を表現するモデルとして提示されたものの代表的ないくつかを、時代の順に配列して比較することほど、恰好のものは余りないのではないだろうか。

これらと比較しながら改めて見なおしてみると、時代の進展につれて、モデルも少しずつ原子の電子構造の実体（それが存在することは、まず間違いないがその文字通りの完全な姿は、現在は勿論、将来においても、把握することは不可能であるに違いないけれども）に、より近接したものとなっていることが先づ感得される。しかし、それと同じくらいに比重で、感じとる必要のあるもう一つの面は、これらのモデルが、時代の進行と共に、実体に迫ってゆく方向が、実体性と抽象性の両極の間を、初期の間は大きな巾で、そして現代に近づくにつれて次第にその巾は狭められながら、一種の減衰振動のように振れ動きながら、実体に近接してきているという事実である。

特に原子の電子構造の実体が、粒子性と波動性の両面をもっているのであるから、考えてみれば当然のことと片づけられないこともないようでありながら、実体性の表面化したモデルは、それが精緻の度を加えるにつれて、波動性の色彩が濃厚になり、逆に抽象性からのアプローチによって提出されたモデルは、その精度の増大と共に、粒子性を帯びてきているという事実はまことに感動的できえある。

ところで、如何に実体に近接しえたとしても、所詮モデルはモデルであり、その意味で、このようなモデルについては、特に、現実との接点を明らかにする努力を忘却しては、ならないと思う。

初歩的な化学の段階でも、その具体例は少なくなく、たとえば、



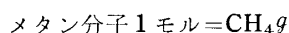
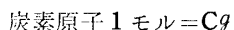
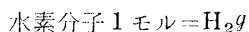
あるいは、



のように

表記し、取り扱っている場合にも、塩素の原子核と、塩素原子自体の大きさ（3p電子の、空間的ひろがりの大きさ）は、野球のボールと、大スタジアム程の関係にあるという実感は、いろいろな意味で極めて重要である。

また1モルの概念にしても、単に



という知識だけに留まらず、水素原子、炭素原子それぞれの1個の真の質量を  $h\text{g}$ 、 $c\text{g}$  とすれば、

$$\text{H}_2\text{g} = N(h \times 2)\text{g}$$

$$\text{Cg} = Nc\text{g}$$

$$\text{CH}_4\text{g} = N(c + 4h)\text{g}$$

〔ただし  $N$ : アボガドロ数〕

なる関係式が成立するとの意識をはっきりと持ちうるということが大切である。

また、アボガドロ数自体にしても、それが、 $6.02 \times 10^{23}$  という数値であるという知識に留ることなく、

$$N = 6.02 \times 10^{23} \doteq 10 \times 10^{23} = 10^8 \times 3 = (1\text{億})^3$$

という把握が、一層の重みを持つことも認識してほしいものである。このような基盤の上にこそ、 $\text{H}_2\text{Og}$  すなわち、 $18\text{g}$  の水、それは  $(3\text{cm})^3$  程度の氷の立方体が近似的に(1億)<sup>3</sup>個の水分子の集合体なのだという、受けとめも可能になるのである。

以上を要約するならば、中等教育段階での化学の学習指導において、単に化学的概念の古典的より現代的への橋渡しの役割のみでなく、概念や理論そのものと、生徒達の日常の生活との接点を明らかにするという意味からも、優れたモデルの果す役割りは、極めて

大きいものがあると言えよう。

次にモデルの機能のうち、特に抽象性の比重の圧倒的に大きな例の一つとして、水素と塩素の反応による塩化水素の生成に関連した、エンタルピー収支を示す図をあげておきたいと思う。

この種のモデルは、原子構造モデルなどとはかなり違った、ほとんど別種の、やはり重大な役割りを、自然科学の体系の中で担っているわけであるが、この類型に属するものは、その一つ一つを、現実近接した位置から眺めると、実に多種多様のものであるように感じられる。しかし、現実の多様性も、それらを要素に分解し、さらに、その要素同士近似度の高いものは別々にまとめてみるという操作を積み重ねてゆくと、案外に、少数の、典型的なパターンに還元してゆくことが可能であることに気づく。

このようにして還元された状態では、ある具体的なモデルが、どのパターンに属しているか、あるいは、何種のパターンの組み合わせによって成立しているかを確かめることは、そのモデル自体に対する理解を、その本質に根ざした条件の下で深化する上に、極めて重大な意義をもっていることは言うまでもない。しかしこの操作の持つ意義は、単にそれだけに留まらず、すでに身につけている概念を把握するに至った筋道を、同一パターンに属した、新しいモデルの理解に、feed back させることを、容易にさせるという意味からも非常に大きい効用が期待しうるものであることを強調したい。

このように、要素的なものを、その極限にまで還元することによって得られる典型的パターンに関しては、名大教養部の榊教授の、非常にユニーク、かつ明快な論文があるので、詳細はそちらを参照して頂きたいと思うが、一応の方向を推測して頂く拠り所として、同教授の分類による六つのパターン名と、その各々についての、辞典程度のコメントを付記しておく。

(i) 要素概念

すべてのものは究極の要素に分解できる。

(ii) 不変概念

いかなる変化においても、不変に保たれる何物かが存在する。

(iii) 相補概念

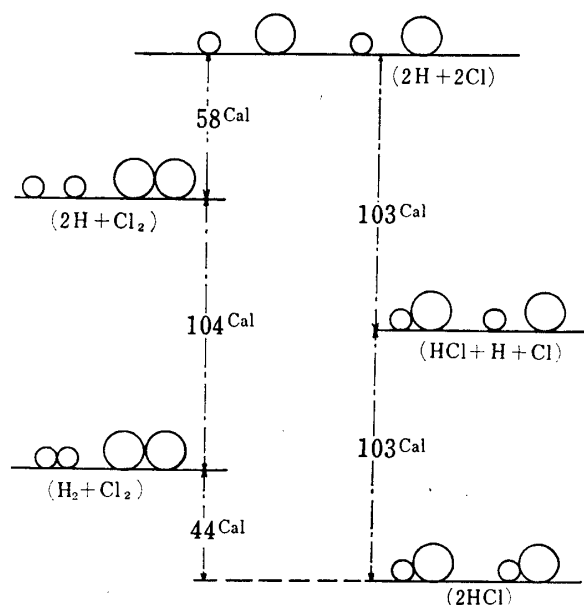
互いに相補的な構造をもつものが、結合して完全なものとなる。

(iv) 二元的概念

対照的な二者は互いに引き合う。その力は二者の対立が鋭いほど強い。

(v) 安定化概念

不安定なものは、安定になろうとする傾向をもつ。



(vi) 逸散化概念

規則性はくずれやすく、集団は散らばりやすい。

### Ⅲ モデルの在るべき姿

おわりに、以上のことを総合し、要約した、モデルの在るべき姿とでも言ったようなものを、簡条書きにして、この稿の結びとしたいと思う。

- (1) 具象性の強い(幾何学的)モデルは、象徴性を取り入れることにより、反対に、象徴性の強い、(解析的)モデルは、具象性を取り入れることにより、共に、より精緻の度を加えることができる。
- (2) モデルによって象徴されるものが、一面的であ

るよりも、多面的であることが望ましい。それは、モデル自体は複雑にはなるけれども、総合的な判断へのより確実な基盤が提供されることになるからである。

- (3) ad hoc 的傾向の強いモデルも上述の二つの角度からの精緻化により、厳しい意味での仮説性を保有したものに高められることが少ない。

以上は、モデル自体としての在るべき姿の要因であると共に、学習指導の中に位置づけ、使用されるモデルも、単なる静的な位置づけではなく、このような発展的な流れの中に、その流れの一部として、動的な位置づけがなされた時に、はじめてその真価が発揮されるものであることを深く見つめてゆきたいものと思う。