

## 第2報 中学化学教材現代化のための提案

### — 酸・塩基・塩の単元を例として —

#### 1. 中学化学教材現代化の必要性

すでに第1報その他においても触れているように、最近の物理的科学の発達の速度は、全く驚異的なものがあり、その内容は日々に膨大化している。このような現代社会の様相への化学カリキュラムの対応は、単なる縫隙的対応では、も早如何ともし難く、それは本質的に体質まで改善した内的対応でなくてはならない。

この新しい内的対応の二つの柱は、これも第1報に詳説したように、第一には広い適用範囲をもつ普遍的基本原理の体得であり、第二にはそれらの基本原理が如何にして発達してきたかという過程・方法そのものの会得であるということができるよう。

この角度は現在世界各国において、いろいろな形で展開されている化学教育革新の動向のすべてに共通なものであるといふのであるが、中でも既に米国において完成され、さらに1967年を目標に改訂計画が進行中の CHEMS プロジェクトはその典型的なものである。

このような次第で CHEMS においては、過去の高校化学カリキュラムの立場から見ると、正に文字通りの大鉈がふるわれ、再編成が行なわれているのであるが、なおその内容は我が国の4単位の化学カリキュラムでは到底こなし得ない量ともなっている。ここに CHEMS の価値を高く評価し、これを我が国の高校化学に積極的にとり入れようと努力される人々の一部で、何処を切りつめ、何を省くかというような論議が、まとまになされかかっている原因がある。

然し、ひるがえって現在の中学校の理科のカリキュラムに目を転ずると、実に19世紀的な色彩が濃厚で、特に化学教材においてその傾向が著しいことを痛感せられる。たとえば、化学量論（質量保存則・定比例則など）の確たる裏付けは抜きで反応方程式を取り扱わせたり、物質の特性は化学式中の原子または原子団に対応することの認識を目標とすべきなのに、あえてその態度を回避したり、また化学反応の速度を難解なる

ために、当然気づかないではおられないような現象がたを対象としているながらあえてタブー的な取り扱いをしたりしていることはその尤たるものである。

CHEMS の探査はともかく、この十余年、高校化学カリキュラムの現代化の仕事を手がけてきた筆者の経験から、理科教育のうち少なくとも化学教育だけは、量的にも質的にもこのように稀薄な前期中等教育を無視して現代化の問題を考えることはできないと、自信をもって断言することができる。

幸い本校は管理上は中・高一体となっており、中学の方についての実証的研究も併せて行なう立場にあるので、筆者は数年前より中2の第一分野を連続して担当させて貰い、CHEMS を中学の段階から大巾にとり入れる方向で研究を進めてきた。本篇は、酸・塩基・塩（現行酸・アルカリ）の単元についてこの命題と取り組んだ第一報告である。

#### 2. 研究の観点・方法

上にも述べたように、現行の中学校における化学のカリキュラムには、現代的観点から見ると、いろいろの問題点を感じないではおられない。ここで一寸断っておきたいことは教材やカリキュラムの現代的とか現代化という用語についてであるが、筆者は少なくとも次のような、かなり厳しい条件を付与して使っているつもりである。即ちそれは素材的には現代科学の、また対象的には現代教育諸科学の成果を踏まえ、単に現代を理解するに留まらず、むしろ過去から現代に至る自然科学発達の過程・方法を重視し、それが唯理解されるにすぎない静的なものではなく、未来に対して積極的に切り込んでゆく潜在的エネルギーとなりうるような動的な活性化された形で定着しうるよう設計されたものでなくてはならないということである。

ところで現行の中学校における化学カリキュラムの問題点であるが、次にその主なものについて考えてみたいと思う。

##### (1) 仮説を持たぬ実験に発展性は期待できない

現在教科書に取り上げられている実験は決して量的には少くはない。然し少し質的に考えてみると、これらの多くが、特に化学に関するものの殆どが、たしかめの実験に終ってしまっている。従って、実験からの積極的な発展性は期待し得ない状況にある。

さらに一步退いて、それでも尙、これらの実験が一応効果的に行なわれ、生徒達に受けとめられるならばまだしもあるが、この種の実験を効果的に行なわせる根本的なエネルギーは、どうしても生徒の興味・関心に依存しなくてはならない。しかし、理科の学習の motivation に、興味・関心が果す役割りは、小学校はともかく、中学中級以上になると、学習を積極的に持続展開させるエネルギーとしては、もはや余りにも非力なものでしかない。彼等の学習意欲をわきたたせるのは鮮烈な驚きであり、その素地を形成するのは実験結果に対するはっきりとした意識された予測であり、仮説である。

この面を深く掘り下げ、単にたしかめの実験を効果的に行なわせるのみでなく、理科教育における実験そのものの体質改善に向って、意欲的な仕事を続けておられる国立教育研究所の板倉氏を中心としたグループの成果は、高く評価したい。

## (2) 仮説を生み出す触媒となる科学的モデル

一般的物理現象のように、それ自体マクロで具象性の高い現象についての仮説は、比較的たてやすい。しかし、ミクロの現象の統計的結果のみが具象性をもってわれわれの五感に把えられる化学現象については、仮説をたてるといつても、そのミクロの現象についての適確なモデルがない限り、煎じつめれば二者択一的な、確率の組み合わせにならざるを得ず、そこには論理性にあっても、そのままでは科学性のないものとなる危険性が極めて大きい。これでは単に予想される場合が数的に増大して非能率的であるだけではなく、自然科学自体からの一步後退であり、本質的な大問題である。

このような所に化学教材の展開における、優れたモデルの重要な役割りがあるのである。しかし、このような高度の役割りを果し得るモデルは、決してアド・ホック的なものであってはならないのであって、少なくとも、いくつかの科学的法則を踏まえた、帰納的飛躍の所産であることを、天下り的にではなく、生徒自身に把握させることができるような性格のものであることが必要である。この意味は、定比例の法則や質量保存の法則の実験的裏付けもなしに導入されている化学式や化学反応式が、中学生にどのような受けとめ方をされ、それが新しい化学反応そのものを取り扱う場合にどれだけ役立ってい

るかを冷静に注視して頂ければ十分納得して頂けるであろう。

## (3) 実験を自然そのものの一断面として観ること

教材として扱われる以上、個々の実験それぞれに、そのねらいないしは、焦点があることは当然であるが、時間に追われたり、ましてはじめからたしかめの為のみの実験として取り扱う場合、指導者自身が、それがどこまでも自然の一断面であり、そこに起っているのは、従って観られるのはねらいや焦点のみではないことを忘れ勝ちである。その明らかな現われとして、ほとんどの教科書自体が、花から花へ飛びうつる蝶のような目まぐるしさを感じさせるような実験の構成になっていることを改めて見直して頂きたいと思う。

筆者は、一つの実験を行っている間に、その本来のねらい以外にどんなささやかなことでもよいから、何か一つは新しい（生徒にとって）現象をみつけるようにと、日々強調している。その結果から考えて、実は中学の化学は、少数の物質について、次々と新しい現象をみつけないではおられないようなカリキュラムの展開を行ない、深化させ、従来のように不完全なカタログのような広く浅く雑然とした知識の羅列ではなく、そこで自然身についた方法は、そのまま他のものにも転位適用されるような、興味深く、有効な編成が可能であると信じている。

## (4) 中学の実験の半定量化

実験の深化をねらう以上、当然の必要性として生じてくるのが、定量化的問題である。これについて従来は義務制の中學程度では無理であるからの配慮で、定性の段階に留めてあったようであるが、筆者のいろいろな経験からすれば、所謂定量化は別としても、また特にその必要もないと考えるが、半定量化は方法の工夫により、かなり実現可能であり、試験管実験・自動上皿天びん・スポットテスト・化学反応の実物幻燈などを実験に応じて適所に適用することにより、義務制の中學程度で十分消化しうることも確かめている。

## (5) 反応速度の概念の重要性

上述の実験の半定量化と共に、実験深化に必要であると共に、逆にむしろ実験をある程度深化してゆけば極めて自然に生徒自身が問題として発見するようになるのが反応速度の概念である。

勿論この定量的な取り扱いは無理であることは当然であるが、現在のように、反応系の物質は一緒にしきえすれば適当に生成系にしかも完全に移行してくれるかのように殆どの生徒が考えてしまうような状態は、決してそのまま等閑視してよいものではない。特に中学時代の経験は、高校時代に比し、より

強烈に記憶される傾向があるだけに、余り単純に割り切ったまま中学3年までも留まらせるることは大きな問題である。筆者としては、個々の反応速度を左右する種々の条件と、その影響の定性的傾向くらいは是非中学程度で身につけさせるべきであると考える。

#### (6) カリキュラム自体にその展開の潜在エネルギーを持たせること

以上のようないろいろの問題点をカバーするような漸進的なカリキュラムを計画すると、うっかりすれば犯してしまう大きな過ちは生徒自体から遊離して指導者の独善的一人相撲になりかねないということである。欧米の教科書の中には従来のものでも数は勿論多くはないが、とにかく、この点を充分意識して書かれたものが見られるが、我が国においては、国民経済のレベルの低さその他の外因が直接的には強く作用していると推測はされるものの、とにかく残念乍らその例を知らない。

この配慮すべき要点というのは、要約すればカリキュラム自体に、その展開の潜在エネルギーを持たせることでも表現する外ないが、とにかく、カリキュラムの発展を、常に学習者が感じとってゆくことのできるような潜在エネルギーを作り上げ、絶やさないようにしてゆくことである。具体的な例を一つだけあげるとすれば、各时限のしめくくりが、そのまま次の时限への積極的導入となるような工夫をすることなどは最も大切なことではないかと思う。

対象は高校生であり、多少その面でのズレはあるとしても大体以上のような観点に立ち、それを乗り越えて到達された一つのみごとな成果が CHEMS プロジェクトではないかと思う。このプロジェクトの特長を要約すると、

##### i) 觀察の重視

「観察したこと」と「考えること」とは厳に区別しなくてはならないことを強調。

##### ii) 実験の導入的役割の重視

大半の実験は CHEMS プロジェクト内におい

て、導入的位置づけをされ、更に実験の誤りと、理論の誤りを常に明らかにすることに努め、常に自然現象の中の規則性の発見への周到な布石を用意している。

##### iii) 実験対象の精選

実験対象は少数に精選し、定性より定量へと、繰り返して取り扱い、研究の深め方を体得させる。

##### iv) 概念モデルの活用

仮説の出発点となり得るような重要な概念については、いろいろの概念モデルを工夫し、ミクロの現象を、なるべく真実に近く具象的に表現し真に活きた概念の理解をはかっている。しかしモデルには勿論厳在する限界があり、それを逸脱しないようにとの配慮もまた十分なされている。

これを既に上げた6つの問題点と照合してみると、CHEMS プロジェクトそのものの特長は、十分それらの問題点にも応えられ、しかも第1報の結論のように、CHEMS の特長は我が国においては中学の段階から大いに取り入れるべきものと考えられる。

このような判断の下に、CHEMS における単元展開の手法を、中学の酸・塩基・塩の単元に応用してみた試案を、一昨年度から本校の中2の生徒に実験してみて、2年にわたりいろいろ修正を加え、本年度の生徒に実施したカリキュラムの展開例が次にあげたものである。（ここには「酸」についてのみとする。）

この展開例では、電解質の概念を早期に導入し、酸・塩基・塩の上位概念として電解質を感じさせる伏線を計画し、イオンとオキソニウムイオン（水素イオンにかわり）の概念を導入、水と酸との反応により、酸性の実体であるオキソニウムイオンが生じることを把握させるように計画した。また酸は HX のタイプ記号で表わされることを帰納的に理解させるようにした。

なお、表中の〔 〕、( ) はそれぞれ実験（グループによる生徒の）、デモの内容を略記したものであり、⇒は各时限のまとめの方向であり、同時に次の时限への導入となる中心点を示す。

#### CHEMS Project 的に編成した「酸」の単元の展開例

主題	时限	展 開
電解質	1.	実験1：酸・アルカリ・塩の味・感触・リトマスとの反応 [HCl・H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ・NaOH・NH <sub>4</sub> OH・NaCl・NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> のうすい水溶液] の感触・味（ろ紙片につけて）・リトマス液に対する反応 デモ1：電解質と非電解質 上記6種の物質が電解質であることのたしかめおよび伝導度には相当のこと。 （違いのあること。また、H <sub>2</sub> O、C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH、蔗糖などは非電解質である）

# 教科教育研究

討議：酸・アルカリ・塩が、電解質であること。イオン。それらは味・感触・リトマスとの反応などから、大体3種に大別される。  
 ⇨ 化学式の共通性と何か関係がありそうである。

う す い 酸  濃 い 酸	<p>2. 討議：電解質のうち、酸味・リトマス青→赤の仲間としてよく知られているもの。上記の外 <math>H_2SO_4 \cdot HNO_3</math>      ⇨ <math>XH</math> のタイプ（酸）</p> <p>実験2：酸はすいことのたしかめ。リトマスとの反応。  <math>[H_2SO_4 \cdot HNO_3</math>についても、酸味・リトマス青→赤の反応のあること]      の確かめ。</p> <p>討議：うすい酸の、その他の性質。<math>MX</math> の形の物質⇨（塩）があることから      ⇨ 金属と酸の反応。</p> <p>実験3：うすい酸と金属との反応  <math>[Cu \cdot Zn \cdot Mg</math> 片と、<math>HCl \cdot H_2SO_4 \cdot HNO_3 \cdot H_3PO_4</math> との反応]</p> <p>討議：実験3のまとめ      ⇨ 反応の少ないものは熱くなる。</p> <p>デモ2：反応の速さ      (<math>Cu \cdot Zn \cdot Mg</math> 粉末と、うすい酸との反応)</p> <p>討議：反応速度を決める条件。表面積・さび・温度      ⇨ 濃度も大きくなれば反応速度が速く？</p>
	<p>4. デモ3：濃い酸と金属の反応  <math>(Cu \cdot Zn \cdot Mg</math> と conc の <math>\cdot H_2SO_4 \cdot HNO_3 \cdot HCl \cdot H_3PO_4</math> との反応。)      反応が鈍いときは加熱。</p> <p>濃い酸と金属との反応。酸素酸。      貴金属と卑金属。      量より質への転換。</p> <p>⇨ 外にも酸が濃いために量より質への転換が起るような例はないだろうか。</p>
	<p>5. デモ4：濃い酸と指示薬との反応      (リトマス・フェノールフタレンと上記の濃酸との反応)      濃い酸は、酸としての性質が強く表われるとは限らない。      水のはたらきの重要性。オキソニウムイオン。      酸：水にとかしたとき、<math>H_3O^+</math>を生じるようなH原子を成分としてもつ化合物。</p> <p>(問) <math>H_3O^+</math>の少ないような酸の溶液としては、どんな場合が考えられるか。      ⇨ 濃い酸のその他の性質に特異なものは？</p>
	<p>6. 実験4：脱水作用  <math>[</math>わら半紙とろ紙に対する conc の <math>H_2SO_4 \cdot HCl \cdot HNO_3 \cdot H_3PO_4</math> の]      反応</p>
	<p>実験5：揮発性酸と不揮発性酸      [以上4種の濃酸の臭い、<math>NH_3</math>との反応]      濃硫酸の脱水作用とその応用。      分子内脱水と分子間脱水。      あぶり出し。</p>
	<p>デモ5：濃硫酸の脱水作用      (るつぼにつめた蔗糖に濃硫酸を加える)      実験6：あぶり出し</p>

〔dil. の  $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{HCl} \cdot \text{HNO}_3 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$  とわら半紙〕

揮発性酸と不揮発性酸

⇒ 酸の違いは  $\text{HX}$  の  $\text{X}$  の違い。

酸  
の  
違  
い  
は  
 $\text{HX}$   
の  
 $\text{X}$   
に  
あ  
る

7.

討議：酸の違いは  $\text{HX}$  の  $\text{X}$  にあるらしい。

電解質だから水溶液の状態で、 $\text{X}^-$  と結びつくような陽イオンを加えたらよ  
いだろう。

この種の反応生成物は、うすい水溶液でもよく判る程敏感なもの（不溶性）  
でなくてはならない。

実験 7： $\text{BaCl}_2 \cdot \text{AgNO}_3$  水溶液による沈殿生成

〔 $\text{HCl} \cdot \text{HNO}_3 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$  のうすい溶液と、 $\text{BaCl}_2 \cdot \text{AgNO}_3$  のうすい溶液  
との反応〕

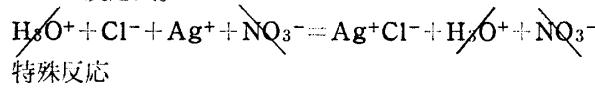
討議：実験 7 のまとめ

⇒  $\text{X}$  さえ共通ならば  $\text{HX}$  である必要はない？

デモ 6： $\text{BaCl}_2 \cdot \text{AgNO}_3$  水溶液による生殿

〔 $\text{NaCl} \cdot \text{NaNO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$  と  $\text{BaCl}_2 \cdot \text{AgNO}_3$  のそれぞれのうすい溶液  
との反応。〕

イオン反応式。



デモ 7：キサントプロティン反応

〔卵白・ゼラチンなどの水溶液に  $\text{HNO}_3$  の外  $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{HCl}$  なども加えて  
比較する〕

キサントプロティン反応

実験 8：キサントプロティン反応

〔爪に conc.  $\text{HNO}_3$  を少しつけてたしかめる。〕

⇒

(問) 酸は皆液体だろうか？

有  
機  
酸

8.

デモ 8：有機酸

〔 $\text{CH}_3\text{COOH}, \text{HCOOH}, (\text{COOH})_2, \text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH},$   
 $\text{C}_2\text{H}_2(\text{OH})_2(\text{COOH})_2$  などと、リトマスおよび Mg 片との反応で。〕

有機酸・ほとんどが弱酸

示性式の重要性（簡単に）

### 3. テストによる評価

以上のような展開により、第一学期に行なった授業の効果を、中間テストおよび期末テストの中にいくつかの問題を入れて、主として定着の度合の測定を行なった。

#### (1) 酸・塩基・塩のタイプ記号の理解

##### i) 静的理解

水素は  $\text{H}$ 、金属は  $\text{M}$ 、酸素は  $\text{O}$ 、非金属またはそれが酸素と結合して作った原子団を  $\text{X}$  で表わすと、酸・塩・塩基・水・金属酸化物・非金属酸化物などはどのような組み合わせで表わされるかを書かせた。ただし指数は省略。なお40年度のテストでは、41年度とは逆に記号で設問した。また表

の中の不完全解の欄の中括弧でまとめた数は不完全解とした者の総数、右の数はそれぞれ該当するものが正解であったものの数である。

区分	事 項	41年度 (91名)		40年度 (93名)	
		全	15	27	8
不完全 (数 は ○ の 数)	H X		19		8
	M X		31		31
	M O H	66	37	63	25
	H O H		64		59
	M O		41		34
	X O		26		—
×	全		10		3

41年度の成績の方がやや落ちるのは主として設問の差によるものと考えられる。この厳しい方の条件でも完全にできたのは15名、反対に完全に0点の者は10名。これは以前現行の教科書に従って授業をした時よりはるかに良好な成績である。

### ii) 動的理

静的理の場合と同じような方法で、化学反応式中の( )に適当なものを、40年度は設問・答共に言葉で、41年度は全くこの表にあるような形で設問、タイプ記号で書き入れさせた。

i) の場合より成績が落ちるのは当然であるが、完全に0点の者が余り変わることに注目して頂きたい。

区分	事項	41年度 (91名)	40年度 (93名)
完全	全	5	47
<u>数は○の数</u>	$MO + H_2O \rightarrow (MOH)$	19	—
	$(MO) + HOH \rightarrow MOH$	12	—
	$MOH + HX \rightarrow MX + (H_2O)$	73	24
	$MX + (m) \rightarrow mX + H_2$	35	36
	$MO + HX \rightarrow MX + (H_2O)$	—	34
	$M + (X) \rightarrow MX$	—	39
<u>×</u>	$MX' + HX \rightarrow MX + (HX')$	—	32
	全	13	0

### (2) 酸・アルカリの働きの弱い場合

上記のような場合として考えられるものが3つあります。それを書きなさい。との設問に対する答の分析である。酸の方は5月下旬、塩基の方は7月中旬にテストしたもの。なお塩基については、酸で学習したことの転位を期待して酸の場合のように詳しくは取り扱っていない。

十分予想されることではあったが、オキソニウムイオンを導入しているため、酸性と水との関係の重要性はかなりよく把握されていると言ってよいと思う。現行の教科書通りになってしまった授業では到底期待できない成績である。

区分	事項	酸	塩基
完全	全	41	22
<u>数は○の数</u>	水が少ない	13	15
	水が多い	25	27
	電離度小	7	10
×	全	25	42

### (3) 有色塩と無色塩

次の中で色のある塩の化学式を( )で囲みなさい。という設問に対する答を整理したものである。

有色塩の取り扱いは、現物と、化学式とを対応させ、帰納的にそれらが**b** 亜属金属を陽イオンとしてもっているか、または陰イオンの中心原子としてもっていることを確認させるような指導法をとった。

この種の問題で完全解が11名また不完全解とはいえる間違ったのは1つだけの者、0点が46名などという結果はやはり現行教科書に従った展開では、決して望めない結果である。

区分	事項	
完全	全	11
	$NaCl$	77
	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	71
	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	63
	$KNO_3$	68
<u>数は○の数</u>	$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$	77
	$MgSO_4$	59
	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	55
	$ZnSO_4$	47
	$FeCl_3$	47
	$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	46
	全	3

### 4. おわりに

この方向で実験的に研究を始めてからまだ3年目、本報告に表として発表したような一応の成案に従って、実際の授業を行なってみたのは、本年がはじめてという状況で、その評価のためのテストも抽出的なものに過ぎず、未だいろいろ修正すべき点は少なくないことを感じる。

しかし、それなりに、抽出的にしてもテストの結果も決して悪いものではなく、第一授業中の生徒の目の輝き、それに積極的な質問が多くなったことなどを考え併せると、この研究のねらいそのものは決して、やぶにらみのものではないことを膚で感じることができる。元来この種の研究は一人や二人で完成できるものではなく、また仮にそれが可能であるとしても現在いる生徒に、不完全ながら明らかに有効と判断できる以上、完成までこれを発表しないでおくのは、却て教育研究者としての良心が問題になると思う。

未完成ながら、あえて発表し、一人でも多くの志を同じくされる方々の御指導あるいは御協力を頂き、一年でも早く前期中等教育理科における化学カリキュラムの体質改善が完成されんことを祈って止まぬ次第である。

なお本研究に関しては、本学教育学部の広岡亮蔵教授の有形・無形の御指導、御助言を頂いていることを書きそえて、感謝の微意を表したいと思います。