

理科における学習困難点の分析と指導

戸蒔進・中根一芳・加藤十八・加藤貞夫・三橋一夫

昭和 35 年度から始めたわれわれの中学および高校における理科の学習困難点の分析とその指導の研究は、昨年度からは指導の面にまで掘り下げる段階に入

った。本年度の第 4 報は戸蒔が日本理科教育学会第 13 回全国大会において発表したものに、さらに若干の補足・修正をほどこしたものである。

第 4 報 高校化学カリキュラム現代化のための一試案

戸 蒔 進

I. はじめに

昭和 36 年に決定した高等学校指導要領に基づいて、化学の学習指導も来年度から新しい教科書によって行なわれることになった。今回の改訂によって、高校化学のカリキュラムも従来のそれに比して、大きく前進したことは事実である。しかし、カリキュラムの現代化という観点に立ってみると、必ずしもまだ満足とは言えないように思う。

II. 現代化の角度

アメリカでは、ポーリングの「一般化学」などで代表される新しい化学結合の理論の立場から、化学の体系を再編成する試みが契機となり、CBAやPSSCなどの、大がかりで大胆な実験が着々と進められている。これは、確かにカリキュラム現代化の一つの行き方を示しているものである。

しかし、これらは高校の全生徒を対象にしたカリキュラムではないだけに、かなり高度の現代化学をその背景としており、そのままの形では勿論、それらに多少の変形を加えたものであっても、我が国の高校カリキュラムに導入することは適当とはいえないと思う。

また一方、わが国の新しい指導要領は、新しい社会の進歩にあわせたカリキュラムをというねらいで改訂されたものではあるが、少なくとも、理科のカリキュラムに関する限り、現代化の角度の把握のしかたに、いささかの歪みを感じさせられないではおられない。即ち、今回の改訂指導要領の最も大きな特徴は、それを履習する対象である生徒自体を、A・B二つにはっきりと割り切ったという点にあるのであって、科学の進歩とか、教育科学の成果とかは、附随的に考えられている傾向があり、このままの姿では、時代の進展に対応するものであると云うには、余りにもズレがありす

ぎることを痛感させられるのである。文字通り日進月歩の現代社会において、生活に即したカリキュラムとは決して現在の、教師の生活を基準にしたものではなくまして個人の独立を、何らかの意味で掣肘する、ある特定階層の為にするものであってもならない。それは明日の、そして生徒の生活に基づいたもの、言いかえれば明日の世界に生きる生徒達にとって、真に生きるかてとなるものでなくてはならないと思う。

そのためには、現代化されたカリキュラムは、現代科学の成果と現代教育科学の成果という二つの柱というよりは基礎の上に、しっかりと根を下ろしたものでなくてはならないと思う。

III. 化学カリキュラム現代化の問題点

ところで従来の化学の体系は、19世紀以来の科学的伝統に拘束されているのであり、「個体発生は系統発生を繰り返す」という進化論的信仰に、余りにも忠実でありすぎたのではないであろうか。

教材が少なかった過去においては、自然科学のミニチュア的なものが、ほぼ理科教育の教材としての役割を果たしたのであり、従って、この進化論的信仰も確かに理科教育の一つの優れた道を示すものであり得たのである。しかし、この方法は本質的に個別的であり、記載的であったことを確認しておく必要がある。

然るに現代のように、自然科学の対象が日々老犬にふくれ上ってきている状況では、それらの総てを記載的に追求するのは、全くの不可能事であり、また生活単元の名のもとに、安易に最新のトピックスを盛りこむ程度で現代化のスリかえをしていたのでは、うっかりすると化学そのものの本質が薄とした、つかみ所のないものになってしまうおそれさえあるのである。

一方現代化学では、原子・分子の構造の基礎の上にしっかりと理論体系が組み立てられてきており、実験以前に、かなり妥当な推測ないしは仮説が立てられるようになってきている。

このような状態の下で、依然として記載の学としての立場を変えないでいるというのは、余りにも固陋な非現代的態度というべきではないであろうか。

そればかりではなく、化学量論的なアプローチに比して、アトミスティックなアプローチは、非常に具象的であり、従って常に生徒に対して現実との接触点を提供し得るという点からも、看過することができない特質をそなえていることを考えれば、尙更である。

化学に限らず、現代の理科教育では、既にいろいろの立場から指摘されているように、(1)(2)(3)(4) 個々の対象に特有な事柄を学習するのではなく、それぞれの対象に共通している一般的なものを学習内容として把握し、これを最も能率的に学習できる教材は何かという観点から教材が選択され、再編成されなくてはならないと思う。もちろん、その際に、どんぐりのスタビリティを論じて宇宙の大に及ぶ式の勇敢な論理の飛躍は従来も決して少くはなかった過ちであるが、これは特に警戒しなくてはならないと思う。これは別の表現をとれば、生徒の論理を逸脱して、大人の独善に走らぬよう戒心しなくてはならないということもできるのではなからうか。

今一つ重要なことは、カリキュラムそのものが、生徒の学習意欲を喚起するに足るものがなくてはならないという問題である。

こういえば、この問題は学習意欲を学習の興味と置きかえることによって、簡単に解決するかのように考えられ勝ちである。しかし、もともと単純な驚ろきや興味だけを、レディネスの尺度ないしは学習意欲の強い原動力として期待しうるのは極めて初歩の段階でのことであり、高校生ともなれば(勿論それより年少の時代でもこの要素は潜在的に形成され、生長してきているのであるが)特に生々しい矛盾を感じる場面がなくては、学習意欲が湧いてこないものである。

従って、唯、単にとにかく実験して、それをよく見つけようということのみを科学的態度の根本と考えていたのでは、生徒から次第に遊離してゆくとしても、それは当然のなりゆきといわなくてはならない。

しかし、この生々しい矛盾を、常に感じさせる場を与えるのは、全面的に教師の役目であると考えるときならば、それは余りにも非現実な割り切り方という外はないであろう。なぜならば教育が一般民衆のものとなった現代においては、教師も過去に見られたような特異な存在ではなく、大衆化せざるを得ないのであ

り、而も大衆化しても一定水準以上ならば、誰でもある水準以上には教育効果をあげることが、現代教育構造の根本性格であるからである。

この根本性格を支える大きな柱の一つが、カリキュラムであることは、おそらく疑う余地のないことであろう。ともすれば、このカリキュラムの根底に生徒自身の潜在的エネルギーとして常に矛盾を感じ得る場面を、意欲的に盛り込む必要があることは当然のことと言わなくてはならない。

IV. 化学カリキュラム現代化の要点

以上述べてきたような、いろいろの角度から、筆者がここ10年ばかりの現場における実践を通して、考え試行し、修正してまとめ上げたのが、別表の高校化学カリキュラム試案(4単位)である。ところで軽く見て頂けば従来のカリキュラムと著しくは変っていないように見られそうなのこのカリキュラムの基礎となっているいくつかの要点、いいかえれば現代化学の成果の何を、どのようにとり入れ、また生徒に矛盾を感じさせ得る潜在エネルギーとして何をとり上げているかをここに簡単にまとめてみたいと思う。

A. 無機・理論化学の面において

① 仮説の出発点としての近代的周期表の早期導入

この点の詳細については既に本紀要で発表してある⁽⁵⁾ので省略するが、当時殆んど教科書が、帰納の終点として、Mendeleevの古典的周期表をあげていることを指摘し、何をにおいても高校の周期表は、Moseleyの研究を契機とする原子番号の関数として化学性を把握する近代的周期表を、推理のできる化学・体系的な化学の検証されるべき事象の演繹の出発点として導入すべきであることを強調しておいたのであるが、近代周期表への切り換えは前指導要領の時代に殆んど完全に、また演繹の出発点としての取り扱い、最近、特に39年度用の新教科書においては次表のように圧倒的に筆者の主張通りになってきたことは、まことに喜びに堪えない次第である。

〔高校化学教科書における〕
〔周期律の位置〕

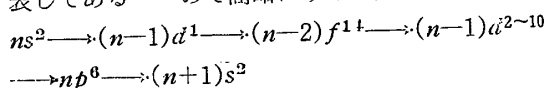
	$\frac{P}{p} \times 100$		$\frac{\pi}{P} \times 100$	
	新	旧	新	旧
A	10.6◎	45.6	3.2○	1.7
B	16.8◎	35.6	2.6○	2.2
C	19.0	—	1.5	—
D	19.9	15.7◎	1.8○	1.2
E	26.4◎	78.1	3.3○	1.6
F	26.6◎	54.1	1.8	2.5○
G	30.7	26.7◎	1.9○	1.1
H	34.2◎	59.2	2.0	3.5○
I	39.6◎	58.1	2.1	2.2
J	43.7	—	3.4	—

P: 全頁数 p: 周期律の現れる頁 π: 周期律への割当頁数

◎: 新旧の比較でP/pが小
○: 新旧の比較でπ/Pが大

② 電子の充填公式

近代的周期表の原子構造論的の裏づけとして、当然原子番号と、その数だけある核外電子の配列が重要になってくる。これを原子番号から比較的容易に誘導する手段として、これも既に本紀要に発表してある⁽⁶⁾ので簡略にするが、



という電子の充填公式を与えておくことにより原子番号さえ記憶しておれば、容易にその原子の核外電子の配列、結局周期表上の位置が判り、周期表を活用することができることになる。

③ 代表的単体の CHEM Study 的導入

以上のような行き方は、ともすれば CBA 的なものになり易く、根本的には帰納の学である自然科学の本質を全く知らないでしまうような生徒もできかねない。この点をカバーすると共に周期律を全くの天下り式なものにしないために、主な典型元素単体について周期律の前に CHEM Study 的に学習させる。

④ 各論の化合物によるまとめ

従来は記載の化学の当然の結果として、各論は元素によるまとめとなっていた。しかし、周期表との関連を密に取り扱うためには、これまた当然のことであるが、演繹の立場からも帰納の立場からも塩化物、酸化物、同じ酸の塩というようなまとめ方が、極めて適切なものとなって来る。

⑤ 原子・分子の現実との接点としての1原子の真の質量なる概念

この1原子の真の質量なる概念についても、以前本紀要に発表⁽⁷⁾しているから詳細はそちらにゆずることにするが、例えば

c^g : 炭素原子1個の真の質量

h^g : 水素原子1個の真の質量

と仮定すると、

$$C^g = Nc^g, \quad H^g = Nh^g$$

(ただし N : アヴォガドロ数)

$$\text{また } CH_4^g = N(c^g + 4h^g), \quad H_2^g = Nh^g \times 2$$

というような関係が成り立つことになり、1グラム原子、1グラム分子というような量が非常に身近に感じられるようになるばかりか、更に1gの水素は約 $\frac{N}{2}$ 個の水素分子、従って N 個の水素原子から成っているというようなことまで大した困難もなく考えられるようになる。

⑥ 反応相当量としての当量概念の統一

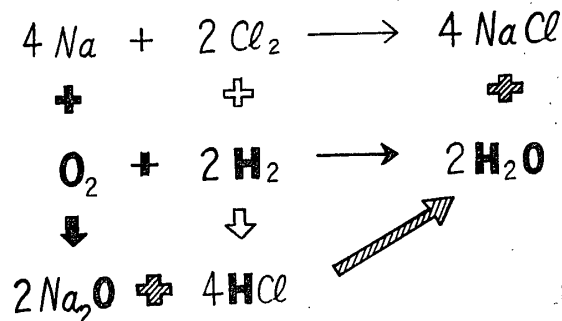
当量という概念は、原子量・分子量などよりも、

生徒にとっては一層抵抗の多い概念である。しかも、一般には元素の当量、酸、アルカリの当量、酸化・還元当量、そして更に電気化学当量など種々形容詞をかえ、時々現われるのであるから、事態は一層深刻である。

然し、これらはすべて化学反応が基準となり、水素原子1個と結合、または置換(直接のみでなく間接、しかも思考実験で考えられる)する、それぞれの原子の割当質量であること、要するに反応相当量のことを当量というのであるということをしかり把握させれば、形容詞に惑わされる必要はなく、当量は当量で、形容詞はただ反応の種類を表わすのみであることも比較的楽に把握できるようになる。

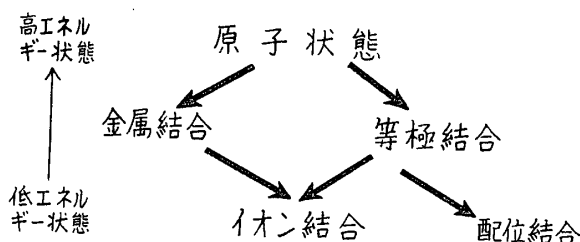
そうして更に、化学反応式の計算問題もすべて a グラム当量は a グラム当量と反応するという考え方をさせるように指導すると、実験の際に取り扱う薬品についても非常な具体性を感じとるようになって、気楽に必要なに応じて試薬量を加減して扱うようになり、また特に酸を2種以上のアルカリで中和するというような問題に対しては絶対の強味を見せるようになる。

(反応相当量としての当量)

⑦ s^2p^6 型表面電子密度をとろうとすることによる化学結合の統一的把握

s^2p^6 型の最外殻電子配置が安定で、それを電子の授受(酸化・還元)によって果すイオン結合と、電子の共有によって多少無理な形ながら果す共有結合については、Lewis Kossel の八隅説で現在の殆どどの教科書で扱っているようになったが、金属結合となると、甚だ心もとなく、扱っている教科書数も大分減少し、さらに配位結合に至っては、これを取り扱っているのが例外といったような実状である。勿論高校生対象に分子軌道などの考え方をおしつけるのは無理であるが、結果的には、すべての原子は、とにかく s^2p^6 型の原子の表面電子密度に近づこうとする。しかも電子はより対称度の高い配置をとろうとする傾向があ

る。(その結果形成される分子や原子団の対称度も高くなることになる)ということ、前提として与えて考えさせると、配位結合は勿論、金属結合は少数の原子の集りではできないというようなこと、さらに金属結合をしたものと等極結合をしたものを近づけて適当に活性化しさえれば、イオン結合をするようになるというようなことまで考えられるようになる。



B. 有機化学の面において

① タイプの学としての有機化学

無機および理論化学の面では、新教科書において、従来よりかなり現代化の方向に向って来ているものも、有機化学については、一言にしていけばほとんどすべてが結局旧態依然の状況であるという外はない。

どの教科書も、言いあわせたように、有機化合物の数は大体100万という大変な数で………ということになっているが、考えてみればおかしな話で飽和炭化水素のみでも異性体をあげれば兆を越す状態であることを考えると、一体何を基準にしてと反問したくなる。もともとこんな数など実はどうでもよいことであり、とにかく、有機化合物の数は龐大なものであり、しかもその数は文字通り毎日増えているという現実を認識することが大切である。

この現実の前には、それらの記載のみでも、はるかに人間の能力を超越した事業であることに想い至れば、当然タイプの学として、ラディカル中心に統一整理するの外はないということにならざるを得ないであろう。その結果は案外数の少ない、しかも芳香族環状化合物と、鎖状化合物とを区別しなければ更に少数の同族に整理されることまでは殆んど誰も知っていることである。

然し、折角タイプにより同族に分けても、その中では、個々の物質を唯記載的に殆んどラジカル的に扱っている現状は、旧来の惰性とはいえず、何とも能のないことという外はない。

これからの有機化学は、この同族間の変化の原則即ち第一には特定のラディカルによる共通性、第二には炭素数の増加による同族間の微妙な性質の移り変りをしっかりと置きえる行き方をすべきであると思う。このようにして体系的に整理された

知識こそ、新しいものを理解したり、未知のものを開発したりする真の力となるものであるからである。

② IUPAC 規則による名称の使用

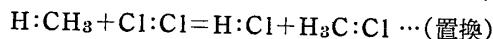
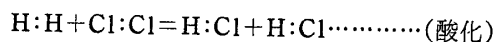
上記の取り扱いと密接に関連して、是非必要なのは、高等学校の教科書においては、総ての物質名を IUPAC 規則に従って表わし、特によく使用されている慣用名に限り、括弧にでも入れて付記するような大英断がなされなくてはならないと思う。

これについても既に本紀要に発表している(8)ことであるから、簡単にしておいたが、この方法の採用によって、同族体は、その語尾の共通性から、炭素数は、簡単な数詞から、さらに側鎖とその位置まで、構造と名称とが対応する人為的合理性はタイプの学としての有機化学の学習を能率的に、かつ効果的なものとするに違いない。

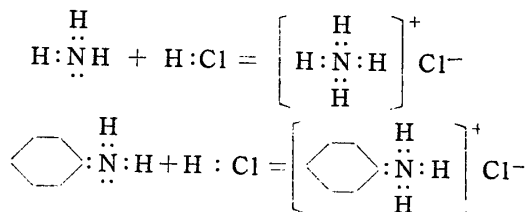
③ 有機化学の無機化学との統一

有機化学の歴史が、無機化学のそれとは、かなり違っているために、また、有機化学が文字通り器官を有する動植物によってのみ形成される化合物に関する学問との古典的信仰に災されて、それぞれを研究する化学者自体もかなり性格の違ったのが、二十数年前までの実状であった。この事実はいつの間にか有機化学と無機化学との間に、不必要な、しかも本質的に全く無意味に近い溝を作ってしまった。

しかし最近の化学の進歩によりこの溝は、少くとも大学程度以上では、殆んど取り除かれてきたといっても過言ではないくらいになってきている。けれども、高校の教科書においては、この面も2, 30年前と殆んど変化ない状態である。このような状況は、一日も早く、積極的に打開されなくてはならないと思う。一々例をあげておれば、きりが無いから、ここでは典型的な例を二つばかりあげるに留めたいと思う。



一方は酸化と呼び、他方は置換と呼びならわす。しかも両者の間に本質的な違いがどれほどあるであろうか。また、



これも前者はアンモニアからの生成物を塩化アン

理科における学習困難点の分析と指導

モニウムと呼び、後者はアニリンからの生成物を塩酸アニリンと呼ぶ。やはり両者の間に、一体何程の差があるであろうか。

V. おわりに

以上、別表カリキュラム試案の基礎となっている要点をなるべく誤解などのおこらないように、十分注意して述べたつもりではあるが、筆の足りない所は、意のある所を御賢察下さって、このような考え方、そして、それに基づく試案自体について、何彼と忌憚ない御叱正をたまわれれば幸いである。

(文献)

- (1) 中野栗夫 理科は自然科学を教える教科か
現代教育科学 No.45 P.59~63

- (2) 広岡亮蔵 教科における科学の位置づけ
現代教育科学 No.53 P.16~21
- (3) 真船和夫 理科教育研究の現状と課題
現代教育科学 No.55 P.38~43
- (4) 田中 実 化学教育の問題点
理科教室 6 No 8 P.18~24
- (5) 戸苅 進 高等学校化学教科書の二、三の盲点について
名大付中高紀要 3 P.132~133
- (6) ♪ 電子充填公式の効用について
名大付中高紀要 2 P.68~70
- (7) ♪ 高校化学への真の原子の質量なる概念の導入について
名大付中高紀要 1 P.51~52
- (8) ♪ 高等学校化学教科書の二、三の盲点について
名大付中高紀要 3 P.134

教科共同研究

(別表) 高校化学カリキュラムの一試案

- I. 物質の存在状態
1. 原子・分子の概念(身近なものとの対比で)
 2. 純物質と混合物
 3. 三態
 4. 金属と非金属
 5. 溶解
 6. 物質の精製
- II. 化学変化
1. 物理変化と化学変化(中学の教材を対象に)
 2. 定比例の法則
 3. 質量保存の法則
 4. 原子論・原子量
 5. 倍数比例の法則
 6. 気体反応の法則
 7. 分子論・分子量(原子論との対比で)
 8. 気体分子量の測定
 9. ボイル・シャルルの法則
 10. グラム原子・グラム分子
 11. 化学式と化学方程式
 12. 当量・グラム当量(反応相当量として)
- III. 代表的な単体とその性質(周期律の伏線として)
1. 塩素
 2. 酸素と硫黄
 3. 窒素と燐
 4. 炭素と硅素
 5. 水素
 6. アルミニウム・マグネシウム・ナトリウム
- IV. 周期律(近代的)
1. 元素の分類
 2. 原子の構造
 3. 化学結合と原子価
- V. 非金属元素のおもな化合物(周期律応用の第一歩として)
1. 水素化合物
 2. 酸素化合物
 3. ハロゲン化合物
- VI. 化学反応と化学平衡
1. 熱化学方程式
 2. 反応速度
 2. 化学平衡
 4. ル・シャテリエの法則(Kの変, 不変から)
- VII. 酸・塩基・塩
1. 酸
 2. 塩基
 3. 塩
 4. 濃度
 5. 電離
 6. イオン反応式(反応機構として)
 7. 電離度
 8. pH
- VIII. 金属の特性と精錬
1. 物理的特性
 2. 化学的特性・イオン化傾向(電子放出性)
 3. 主な金属とその合金
 4. 金属の鉱石と精錬
- IX. 電気分解と電池
1. 電気分解・ファラデーの法則
 2. その応用
 3. 電池の原理と実用電池
- X. 酸化と還元(電子の放出・吸収)
1. 酸化と還元
 2. 酸化剤・還元剤
- XI. 金属の化合物
1. 典型金属元素の化合物
 2. 遷移金属元素の化合物
 3. 錯塩
- XII. 分析化学
1. 分属反応
 2. 確認反応
 3. 定量分析
 4. 特殊な分析法
- XIII. 有機化合物の特性
- XIV. タイプの学としての有機化学(万国命名法による)
1. 炭化水素
 - (1) 飽和炭化水素
 - (2) 不飽和炭化水素
 - (3) 芳香族炭化水素
 2. 炭化水素の誘導体
 - (1) アルコール・アルデヒド・カルボン酸
 - (2) エーテル・ケトン
 - (3) エステル
 - (4) ハロゲン誘導体
 - (5) フェノール類とその誘導体
 - (6) ニトロ化合物
 - (7) アミン
 3. 有機合成
- XV. 生物体の化学
1. 油脂
 2. 炭水化物
 3. 蛋白質
 4. 酵素
- XVI. コロイド(状態)
1. コロイド粒子
 2. コロイド溶液
 3. 乳化
 4. 吸着
 5. ゲル
- XVII. 高分子化合物
1. 特性
 2. 合成(monomerと重合反応の種類で)
 3. 天然物・合成物