

# 理科における学習困難点の分析と指導

## 第9報 改訂高校化学現代化カリキュラム試案および

### それに基づく導入段階の学習指導

戸 莉 進

**要旨** 昭和38年に筆者が発表した高校化学現代化カリキュラムに対する、その後の研究に基づく改訂試案、およびその具体的展開、特に中学の現行カリキュラムによる教育を受けた生徒を導入段階に於て、如何に現代化学に適応しうるように指導しているかの実践報告。

## 1. はじめに

本校に於て、理科における学習困難点の分析と指導を研究テーマとして採り上げ始めたのは、今から10年近く前の昭和35年、広岡校長の時代に、さかのぼる。爾来、高校化学の学習指導に関しては、筆者により、理科における学習困難点(高校化学の部)<sup>(1)</sup>、科学的思考の指導以前の諸問題<sup>(2)</sup>、高校化学カリキュラム現代化のための一試案<sup>(3)</sup>、高校化学現代化カリキュラム試案に基づく学習指導<sup>(4)</sup>、CHMESセミナーに参加して<sup>(5)</sup>、化学教育現代化の動向<sup>(6)</sup>などとして、ささやかながら、その研究を推進してきた。

然し、筆者が最初に高校化学現代化カリキュラムを試案として発表したのは昭和38年のことであり、それから既に6年を経過しており、その間における化学の進歩は、めざましいものがある。のみならず、この間に、化学教育の面では、世界的な動向として、CBA, CHEMS, Nuffield Chem.をはじめとする化学教育革新の大事業が展開していった画期的な時期であるから、筆者如き者の一試案が、大幅な修正を施す必要が生じてきたことは、むしろ当然のことと言わなくては、ならない。

勿論この試案が、単なる試案に留まっているのであれば、筆者としては特に責任を感じる必要もないわけであるが、光栄にも、2, 3の現行教科書の改訂、あるいは新たな刊行に際して、それが多少なりとも生かされていることを考えると、おこがましいようであるが、それ相応の責任を感じないわけにはゆかない。

確かに、諸外国に於て、非常に多くの英智と財力を傾むけて、実証的データのフィード・バックにより、磨き上げられた上述のような立派なカリキュラムが作

られているのであるから、今更私ごときが、多少の修正を試みたとしても、大したもの出来ようなどとは毛頭考えていない。然し、唯一つ、諸外国のものと違うことは、一人の日本人教師により、我が国の現実の諸条件の制約の下に、如何にして、少しでもそれら諸外国の成果や、最近の化学の進歩を踏まえて、筆者が常々強調している、教師達の今日の生活ではなく、生徒達、それも何等かの意味でのエリートなどではなく、極めて普通の生徒の明日の生活の糧となるような化学を、という願いに発しているということであると思う。

さらにまた、このような発想に基づくものであったからこそ、筆者のこのささやかな仕事にも関心を寄せ、現在の余りにも19世紀的な、中学のカリキュラムによる化学教育を受けてきている生徒達に対して如何にして能率的に、この現代化された高校化学カリキュラムに適応しうるように、導入段階の指導を取り扱って行ったらよいかを、もっと具体的に示して欲しいとの要望を、いろいろな方面から頂くことにもなったのであろうと考える。

## 2. 本年度の研究

上述のような要望に、直接にお応えするばかりでなく、更に根本的な問題解決の必要を痛感して、最近の数年間、筆者が研究を進めてきた前期中等教育理科における化学カリキュラムの現代化<sup>(7)~(10)</sup>の問題は、文部省により12月に公表された改訂理科学習指導要領草案が、やがて決定的なものとなると共に、大きく解決の方向に踏み出すことは、まず間違いなことであるとはいうものの、それに基づく新教科書による教育の開始は早くも二年後、そしてその完全実施により、高校化学教育の出発点が大きく変革されるのには、少くとも数年はかかるわけであり、その間の過渡期の教育を受ける生徒達を、過去の延長ではなく、未来の出発点の側に立たせるためにも、高校化学現代化カリキュラムへの導入段階の指導の具体例の必要性は、かなり大きいと言いうると思う。

このような次第で、昭和39年以来筆者が直接の生徒

指導を通して毎年積み上げてきた現代化カリキュラム試案自体の修正（これらの中には勿論 **CBA, CHEMS Nuffield Chem**。それに日本化学会の **ABC化学**などは、いろいろの形で反映されているわけであるが）を、ここで一応明らかにし、現在の自分自身の考えを、はっきりさせると共に、そのような修正を施した形での現代化カリキュラムへの導入段階を如何に指導し、ま

た指導してゆこうとしているかを、発表することは、意味のないことではないと考え、素案は既に本年度5月に名古屋市で開かれた日本理科教育学会東海支部第15回大会に於て発表した。本報告は、その素案を基に、その後の研究によるいくつかの修正も含めて補筆訂正を行ったものである。

### 3. 改訂高校化学現代化カリキュラム試案

#### I 化学の実験

1. ろうそくの観察
2. ろうそくの燃焼の観察
3. 固体の加熱
4. 純物質の融解
5. 熱の影響

#### II 物質の存在状態

1. 純物質と混合物
2. 三態
3. 金属と非金属
4. 溶解・溶液
5. 物質の精製
6. 過飽和溶液

#### III 化学量論

1. 物理変化と化学変化
2. 質量保存の法則
3. 定比例の法則
4. ドルトンの原子仮説
5. 倍数比例の法則
6. 科学と仮説
7. ボイル・シャルルの法則
8. 気体反応の法則
9. アボガドロの分子仮説
10. 原子量・分子量・アボガドロ数
11. 気体分子量の測定
12. 化学式と化学反応式
13. 当量・グラム当量

#### IV 身近かな単体と、その性質

1. いろいろな単体
2. ハロゲンの発生
3. ハロゲンの性質と結合力
4. 酸素と硫黄・窒素と燐
5. 炭素と硅素
6. 軽金属と重金属

#### V 周期律と化学結合

1. 元素の分類と古典的周期律
2. 原子の構造
3. 化学結合
  - (1) イオン結合

(2) 共有結合

(3) 金属結合

(4) 配位結合

4. 酸化数と電気陰性度

#### VI 非金属元素のおもな化合物

1. 水素化合物
2. 酸素化合物
3. ハロゲン化物

#### VII 化学反応と化学平衡

1. 熱化学反応式
2. 反応速度
3. 化学平衡
4. ル・シャテリエの法則

#### VIII 酸・塩基・塩

1. 酸
2. 塩基
3. 塩
4. 濃度
5. 電離
6. イオン反応式・電離度
7. pH

#### IX 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
3. 主な金属とその合金
4. 金属の鉱石と精錬

#### X 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

#### XI 酸化・還元

1. 酸化・還元
2. 酸化剤・還元剤と、それらの強さ

#### XII 金属の化合物

1. a 亜族金属元素の化合物
2. b 亜族金属元素の化合物
3. 錯塩

#### XIII 分析化学

1. 分属反応

2. 確認反応	7. アミン
3. 定量分析	XVII有機合成
4. 特殊な分析法	1. 有機化合物のタイプ
XIV有機化合物の特性	2. タイプ間の関係
1. 有機化合物の歴史	3. 炭素数その他の作用
2. タイプの学としての有機化学	XVIII生物体の構成物質
3. IUPAC命名法	1. 油脂
XV炭化水素	2. 炭水化物
1. 飽和炭化水素	3. 蛋白質
2. 不飽和炭化水素	4. 加水分解・縮合, 酸素
3. 石油化学	XIXコロイド
4. 芳香族炭化水素	1. コロイド粒子
XVI炭化水素の誘導体	2. コロイド溶体
1. アルコール・アルデヒド・カルボン酸	3. 界面現象
2. エーテル・ケトン	4. ゾルとゲル
3. エステル	XX高分子化合物
4. ハロゲン誘導体	1. 代表的高分子化合物の特性
5. フェノール類とその誘導体	2. 代表的高分子化合物の合成
6. ニトロ化合物	3. 天然および合成高分子化合物

#### 4. 導入段階における高校化学 カリキュラムの展開例

高校の化学学習における、つまづきの大半は、その導入段階において見られる。その主なものとして、

- (1) 中学で学習した化学教材の範囲から、適当に類推して、化学そのものを、なめてかかっていること。
  - (i) 化学は暗記物、といったような先入主。
  - (ii) 化学式を物質の簡便な記載法くらいにしか考えておらず、その定量的意味（別な意味では現実との接点）を積極的に理解しようとしないうこと。
  - (iii) 化学的反応式が現象と対応せず、単なる代数方程式の垂流ぐらいにしか認識していないこと。
- (2) 実験に対する構えが、検証的に傾きすぎて、自然の一断面として素直に見つめる姿勢に欠けること。
- (3) 化学の理論における、モデルに対しての *ad hoc* 的な理角を脱脚できないこと。
- (4) 「自然科学は、実験と、それを通して認識された、法則性、さらにその根底に横たわる自然の本性についての仮説、そしてその仮説に基づいて未知の領域に大きく切り込み、再び実験による検証により、絶えず生々発展してゆくものである」との認識

にまで到達できないで挫折すること。  
などを、あげることができる。

このような各種の躓きの、由って来るものの一つには、余りにも19世紀的な中学化学カリキュラムによって教育されたことによる生徒の *rediness* が挙げられる。しかし、それは総てではなく、少くとも今一つの要因として、それは単に中学のみならず、現在の高校自体の持っている従来のカリキュラムの展開の *process* そのものを、挙げるができると思う。

この二つの大きな欠陥をカバーすることに主眼を置いて筆者なりに工夫し、構成してきたのが、次に、紹介するカリキュラム展開の具体例である。なお、その過程に於て、特に重視した4つの角度を、次に要約しておく。

- (1) 実験の重視。（同一対象を、観点を変え、繰り返して、次第に深く。）
- (2) 化学量論から古典的な原子・分子の理論への過程の重視。（そのすじ道及び現実との接点）
- (3) 発展的仮説の出発点としての近代的周期律と、化学結合の導入。
- (4) 周期律と密着した類型的、比較的各論。

主題	時限	展 開
	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>●化学の教科書を未だ一度も開いていない者は？</li> <li>●活字に親しみを持ち、活字を通して、いろいろの像（それも、次第に変貌し、発展してゆくような）が、見えるようになるよう、努力したい。</li> <li>●科学的観察と記述（在るがままの、先入主に支配されない）</li> </ul>

I 化 学 の 実 験	2  3  4  5  6  7	<p>【実1】ろうそくの観察(グループで。以下特に断わらぬ限りグループの実験)。 ●ろうそくの観察のまとめ。①価値観を介入させない。②観察と説明を混同しない。③記述は定性的よりも定量的に。</p> <p>【実1】ろうそくの燃焼の観察 ●ろうそくの燃焼の観察のまとめ。 ●よく観る→いろいろの疑問→仮説 ●「燃えているろうそくの上部のくぼみの無色の液体は何?」→「ろうがとけている」のだと簡単に断定してよいだろうか?</p> <p>〔デモ〕バーナーの使用法。</p> <p>【実2】固体の加熱。①ろう, 硫黄, Sn, Pb, Cu, AgClをさびてない空かんの底に並べ加熱。②ろうそくのたりの固まったものと, ろうそくをかかして得た小片を空かんの水に浮べ加熱。</p> <p>●同上のまとめ。→純物質の融解温度。</p> <p>【実3】① p-ジクロロベンゼンの融解。 【実4】② p-ジクロロベンゼンにアセトアニリドを混ぜたものの融解。 ●以上のまとめ。 ●熱の影響。</p> <p>【実5】(II, 凝固熱のみについて), p-ジクロロベンゼンを使用。</p>
II 物 質 の 存 在 状 態	1  2  3  4  5  6  7	<p>●純物質と混合物。三態。金属と非金属。 ●溶液, 均一混合物の例として。</p> <p>〔実〕溶解度の比較。比較型グループ実験により, <math>\text{KNO}_3</math>と<math>\text{KCl}</math>で。 ●溶解曲線。濃度(代数的取扱いにより一般化)。 ●再結晶(溶解度曲線の検討より)。</p> <p>〔実〕再結晶<math>\text{KNO}_3</math>または<math>\text{KCl}</math>で(第2時限のものを利用回収)。 ●物質の精製。</p> <p>〔デモ〕種々の分離・精製の方法。 ●実験の原則・①速く ②確実に ③安く(精密な方法は必ず粗な方法の後に) ●過飽和溶液</p> <p>〔実〕チオ硫酸ナトリウム水溶液の冷却曲線。</p>
III  化 学	1  2  3  4  5  6  7  8  9	<p>●物理変化と化学変化。質量保存の法則 〔デモ〕① <math>\text{AgNO}_3 + \text{NaCl}</math> ② <math>\text{AgNO}_3 + \text{Cu}</math></p> <p>【実7】<math>\text{AgNO}_3</math>と<math>\text{Cu}</math>における<math>\text{Cu}</math>と<math>\text{Ag}</math>の量の関係。→(定比例の法則) ●定比例の法則 〔デモ〕① <math>\text{AgNO}_3 + \text{NaCl}</math> ② <math>\text{CuSO}_4 + \text{BaCl}_2</math>で沈殿量の比較。 ③ <math>\text{AgNO}_3 + \text{Cu}</math>で。(同じ濃度の<math>\text{AgNO}_3</math>なら, 量に関係なく, <math>\text{Cu}^{++}</math>による着色の程度が同じ。然し<math>\text{Cu}</math>が十分加えられぬときは, 別の結果。)</p> <p>●ドルトンの原子仮説。(定比例の法則→物質の本質は不連続) 〔デモ〕色チョークの組み合わせの各組と, 全体での比率の比較。 ●倍数比例の法則。 ●科学と仮説・学説。科学法則の相対的性格。 ●ボイル・シャルルの法則。</p> <p>〔実〕気体間の反応。<math>\text{NH}_3 + \text{HCl}</math>, 大型注射器で。 ●気体反応の法則。体積から見た定比例の法則として。 ●気体反応の法則の比の値が, 定比例の法則と違って, 異常にヴァリエティが少ない。→気体の超物質種的な特性? →ドルトンの仮説。 ●アボガドロの分子仮説。(原子仮説と対応させて。)モデル併用。</p> <p>【実6】同体積の気体の重量。</p>

量論	10	●原子量・分子量・アボガドロ数。 ( $H^g = Nh^g$ , $H_2^g = 2Nh^g$ など)
	11	●気体分子量の測定法。
	12	〔実〕 $CCl_4$ の分子量測定。
	13	●化学式。どのようにして求められるか?
	14	
	15	●分子式の意味するもの。(物質名, 成分, 組成, 分子量, 1モル, 1モルの気体の体積, 1モルを構成する分子数)
	16	●化学反応式。(この背景としての定比・質量保存・気体反応の各法則)
17	●当量, グラム当量, 反応相当量として, 化合物についても一般化。 (以上, 〔実1〕~〔実7〕はCHEMSの実験書の実験を示す)	
IV 身近かな単体とその性質	1	〔実〕 単体の観察。(周期表の族ごとにまとめた各群について)
	2	〔デモ〕 単体の間の反応の例。① $Cl_2$ とNa, Cu, ② $I_2$ とAl, ③ $S_8$ とFe, ④ Na, Cu, Al, Feと $O_2$ (付, 空气中)
	3	●ハロゲン
	4	〔デモ〕 $Cl_2$ の発生。① $HCl+H_2O_2$ , ② $HCl+MnO_2$
	4	〔実〕 $Cl_2$ の性質。 ●まとめ
	5	〔実〕 ハロゲンの発生。(→結合力の差を推測) ① KCl, KBr, KIとconc. $H_2SO_4$
	6	② KCl, KBr, KIとconc. $H_2SO_4+MnO_2$
	7	〔実〕 ハロゲンの結合力の差の比較。 KI, KBr, KClと, $I_2$ 水, $Br_2$ 水との組み合わせに, $CCl_4$ を用いて呈色反応により。
	8	●ハロゲンのまとめ。
	9	● $O_2$ と $S_8$ , $N_2$ と $P_4$ 。(反応性を中心に, 簡単に)
	10	●CとSi。(同素体, 燃焼を中心に簡単に)
11	●軽金属と重金属	
V 周期律と化学結合	1	●元素の分類と周期律(古典型) (実物と, ライフ, サイエンスライブラリーの写真を併用)
	2	
	3	
	4	●原子の構造(化学史的に概観)
	5	
	6	●電子の充填公式
	7	●その活用
	8	●電子配置と周期律(近代的)
	9	●化学結合の酸化数(原子価) ① イオン結合。Na+Cl, Mg+Clを例に。各原子が独立で $S^2P^6$ 型に。
	10	●② 共有結合。Cl+Cl, Cl+C, H+Cを例に。電子を放出するよりも, 吸収する方が簡単に $S^2P^6$ 型になりうる原子間ではどのようなことが起るだろうか? 足りない所をカバーし合って集団を作り, 外界との界面の電子密度は準 $S^2P^6$ 型に。
	11	●③ 金属結合。Na, Mgを例に, 電子を吸収するより, 放出する方が簡単に $S^2P^6$ 型になり得る原子間では, どのようなことが起るだろうか? 大集団となり, 少数の電子を表面に並べれば, 外界との界面の電子密度は準 $S^2P^6$ 型に。
	12	〔デモ〕 $NH_3+HCl=NH_4Cl$ → 安定な共有化合物である $NH_3$ , HClがどうしてこのように激しく反応するのだろうか? ●④ 配位結合。 $NH_3$ と $CH_4$ の電子構造上の比較から $NH_3$ の lone pairの存在に気づかせる。また物質は帯電粒子である原子の集合体であることを考えると, 分子構造は対称度が高い程安定と考えられそうである。この二つの原因が主となった原子集団の再

	編成。
13	●いろいろな配位結合の例。
14	●化学結合の比較とまとめ。酸化数。

### 5. 上記展開例に基づく高校化学学習指導案の一例

〔単元〕 アボガドロの分子仮説(Ⅲ. 化学量論の第6~12時限)

〔本時の位置〕 7時間完了の単元の第3時限(Ⅲ. 化学量論の第8時限)

〔本単元の目標〕 質量の面からの化学量論の諸法則から原子仮説への発展のあとを受けて、気体反応の法則から分子仮説が生まれ、分子量、原子量の基本概念が形成されてゆく過程を把握させる。

〔本時の目標〕 気体反応の法則が体積から見た定比例の法則と考えることができること。しかし、その定比の値は、質量の場合と異って、異常にヴァリエティが少いことから、気体の超物質種的な特性を考えさせる。あわせて、自然科学の法則と仮説が互にからみ合いながら、弁証法的に発展してゆくことを理解させる。

過程	学 習 内 容	学 習 指 導	備 考
導 入 (5分)	前時の気体反応の法則の意味するものの確認	1. 体積の面から見た定比例の法則と考えられる。 2. 質量の場合と比べて、比の値が異常にヴァリエティが少いこと。	
展  開 (40分)	ドルトンの考え  ドルトンの仮説による矛盾  アボガドロの考え方  分子仮説  アボガドロの法則の意味	<p>同温・同圧・同体積の気体は超物質種的に同数の原子を含む。(原子仮説の第5項として)</p> <p>1. ゲイ・リュサックの実験結果が正しいとすれば多くの原子は二つに割れなくてはならぬ。 2. 原子が不可分割とすれば、ゲイ・リュサックの実験結果が誤りであることになる。(水素+塩素→塩化水素の例で)</p> <p>1. 実験結果は正しい。 2. ドルトンの考え方も、大すじでは間違っていない。 3. ドルトンの第5の仮説のどこかに問題がある。原子が二つに割れなくてはならないという事態は生じているが、それ以上に割れなくてはならぬというケースがない。 二原子が集まって、<u>一分子</u>を作るのでは？</p> <p>1. 純物質の特性を有する最小単位(分子)の存在。 2. 分子の種類と物質の種類は1:1の対応。 3. 多くの単体の気体分子は2原子分子。 4. 化学反応は分子を構成する原子の組み合わせの変化。 5. 同温・同圧・同体積の気体中には同数の分子が存在。(アボガドロの法則)</p> <p>分子の大きさや、重さに体積が無関係というのは分子間の距離が固体や液体よりはるかに大きくなることによる。</p>	<p>スチロフォーム・ボールのモデルによる。</p> <p>スチロフォーム・ボールのモデル。</p> <p>エーテルによるデモ。 バスケットに入れたスチロフォーム・ボールによるモデル。</p>
ま と め (5分)	分子量概念への発展の予測	同一条件で同体積の気体中に同数の分子があるのなら、同体積の気体の質量比は、何を意味するだろうか？	

(注)	(1)	戸 苅 進	理科における学習困難点 (高校化学の部)	本紀要	6	P. 50~ 58
	(2)	〃	科学的思考の指導以前の諸問題	〃	8	P. 54~ 57
	(3)	〃	高校化学カリキュラム現代化のための一試案	〃	9	P. 52~ 57
	(4)	〃	高校化学現代化カリキュラム試案に基づく学習指導	〃	10	P. 91~ 92
	(5)	〃	CHEMSセミナーに参加して	〃	11	P. 99~107
	(6)	〃	化学教育現代化の動向	〃	12	P. 37~ 41
	(7)	〃	ろうそくの観察	〃	12	P. 163~169
	(8)	〃	中学化学教材現代化のための提案	〃	12	P. 170~175
	(9)	〃	中学化学カリキュラム現代化の具体案 (1)	〃	13	P. 109~112
	(10)	〃	〃 (2)	〃	14	P. 81~ 86