

# 改正指導要領における化学Ⅰの問題点と取り扱い

—本校における化学Ⅰカリキュラム展開試案の骨子—

金沢大学教育学部附属高等学校

中原吉晴

## はじめに

昭和48年度から実施される改正指導要項（化学Ⅰ・Ⅱ）の大綱的最終案とみなされる内容が発表された。

これによると、化学Ⅰ・Ⅱの目標は、次の3項目、すなわち

- (1) 自然の事物，現象の中に化学的な立場から問題をみだし，観察を実験を行い，情報を集め，推論し仮説をたて，検証を行うなどにより，科学の方法を習得させ，創造的な能力を育てる。
- (2) 探究の課程を通して化学的な事物，現象に関する基本的概念や原理・法則を**系統的に理解させ**，これらを活用する能力を伸ばし，自然のしくみや働きを分析的ならびに統合的に考察する能力と態度を養う。
- (3) 自然の事物，現象に対する科学的な見方や考え方を通して科学的な自然観を育て，また，化学が人類の福祉向上に役立つことを認識させる。となっている。

ただし，化学Ⅱの目標(2)では，太字部の，**系統的にさせ……が系統的な理解を深め……**と異っている点が注目される。

すなわち，目標(1)では，探究的学習での科学の方法論を，(2)では，化学の教材構造化を，(3)では，化学教育の学習の立場と人間生活との関連を示しているとみられよう。

ここで，化学Ⅰ・Ⅱの項目内容を一読すると，目標(1)(2)(3)をふまえての探究的学習が重視され，内容的には教材の精選と系統化をうちだし，従来の化学と比較して，粒子性とエネルギー，これに物質の構成（構造）面もとりあげられていることが特色といえよう。

このことは，改正指導要領の化学Ⅰ・Ⅱの内容の取扱いでの共通の3項目，すなわち，

- (1) 内容を構成するに当っては，とくに**物質の構成**，化学反応とエネルギーなどの基本的な事項を**理解させる**ようにする。
- (2) 化学的に探究する過程において，とくに観察，推論，仮説の設定，実験の計画，実験による検証，データの解釈，モデルの形成，操作的定義など，科学の方法を習得させるようにする。
- (3) (ア)観察や実験は特定の事項にかたよることなく，できるだけ，内容の全域にわたるようにし，この中には定量的な実験を含めるようにする……。

と，なっている。

ただし，化学Ⅱでは，化学Ⅰの項目の(1)のうち，太字部の**物質の構成が物質の構造と性質**，また，**理解させ……が，理解を深めると異っている。**

こうみると，化学Ⅰ・Ⅱを通じて粒子性とエネルギーとが，化学の学習をつらぬく中心概念

としてクローズアップされ

化学Ⅰの学習では粒子（構成的）性とエネルギー的概念で化学反応を探究する

化学Ⅱの学習では粒子（構造的）性とエネルギー概念で構造や反応を探究する

とみることもでき、教材精選の視点が粒子性とエネルギーという科学構造の線上にたつ、教材構造化の試みも可能となると考えられる。

これについて、石川県化学研究グループでは、すでに教材の構造化について、科学教育のねらい、化学学習の視点、学習を包括する中心概念をどうとらえるか……の教育学的検討を重ね、この要説（下記）を、北信越理化福井大会（昭和44年）、日本理化学協会大阪大会（昭和55年）と継続して発表（石川県立二水高等学校永田恭一教諭）してきた。

1 科学教育のねらい 情報（実験観察）を根底とした論理的考察力、創造性の育成。

2 化学学習の視点 物質を構造 $\rightleftharpoons$ 性質 $\rightleftharpoons$ 反応の面から探究実習する。

3 探究学習の中心概念 粒子性とエネルギーを中心概念とし1のねらいから2を進める。

従って、科学教育のねらい、学習素材の視点、探究の中心概念のつながりは、次のように表わされる。

情報（実験、観察、データなど）を根底とし

↓  
化学的視点（構造 $\rightleftharpoons$ 性質 $\rightleftharpoons$ 反応）から

↓  
問題を探究（中心概念は、粒子性とエネルギー）し

↓  
その、探究の過程に、科学的方法（観察や、実験を行い、情報を集め、仮説をたて、検証を行う……など）をおりこみ

↓  
これを通じて、科学教育のねらい(科学の方法を習得させ、論理的思考力、創造性の育成)をはかる。

この石川県案を、改正指導要領と対比してみると、要点的にはほぼ一致しているといえよう。

なお、理科全般にわたる改正として、一次試案から律速段階が削除され、また第8款の2の(1)に、「必要に応じて科学の発展の歴史にも触れるようにする」という事項が新たに加えられたが、これらも、上記の福井、大阪両大会での石川県の要望事項であったことを付記しておきたい。

なお、石川県化学研究グループでは46年度の北信越金沢大会での研究事項として、化学Ⅰの具体的内容を県下のブロック別に検討する組織化が進められている。

これに対し、理論的教育実践を行いうる本校では、上記研究グループのかたがたと密接な連絡を保ち、この46年度から、化学授業に新化学Ⅰをとり入れ、実践学習に踏みきる態勢をととのえている現状にある。

#### 〔1〕化学Ⅰにおける内容的問題点

まず、改正指導要領の化学Ⅰ・Ⅱを原文のまま、対比し、これを参考として問題点のいくつかを提起してみることにする。

化 学 (1) の 内 容	化 学 (2) の 内 容
(1) 化学量と化学式 ア 化学量 原子量, 化学式量, モル イ 化学式 組成式, 分子式, 構造式, 化学反応式 (2) 物質の状態 ア 気体, 液体, 固体 理想気体の状態方程式, アボガドロの法則, 気体分子運動, 分圧, 結晶 イ 溶液 溶解, 溶解平衡, モル濃度, 溶液の性質 (3) 化学反応 ア 化学反応と熱 反応熱, 熱化学方程式 イ 化学平衡 化学平衡の移動 ウ 酸と塩基の反応 中和, 水素イオン濃度 エ 酸化還元反応 電気分解, 電気分解の法則, 電池, 酸化剤・還元剤 (4) 物質の性質 ア 物質の性質と化学結合 塩, 分子性物質, 金属 イ 元素の周期律 アルカリ金属, ハロゲン, 不活性気体, 周期表, 炭素化合物, 原子構造のモデル	(1) 物質の構造 ア 原子の構造 電子のエネルギー準位, 同位体 イ 化学結合 イオン結合, 共有結合, 金属結合 ウ 分子の構造と性質 簡単な分子の構造, 極性, 水素結合, 分子間力 エ 遷移元素 遷移元素の特徴, 錯イオン (2) 平衡と反応の速さ ア 化学平衡 平衡定数, 乱ざつさ イ 反応の速さ 活性化エネルギー, 触媒 (3) 炭素化合物と高分子化合物 ア 炭素化合物 構造, 反応 イ 合成高分子化合物 合成, 構造 ウ 天然高分子化合物 無機高分子化合物 有機高分子化合物

### 化学 I の内容的問題点

1 化学 I のみ履修する場合と, 化学 I ・ II を段階発展的に履修する場合とを比較するとき, 化学 I の教材内容の取扱いをどうするのか。

すなわち, 化学 I の内容は, これのみでやめる生徒を考慮にいて, 化学の各分野になるべく触れさせるよう留意するのか, あるいは, 化学 II と関連してさらに深く学習する生徒に重点をおき, 化学 I ・ II の教材構造のなかで化学 I の展開をはかろうとするのか。

とくに, 化学 I のみを履修する生徒の学習内容のミニマムをどういう視点から, どこでおさえるか, 3 単位の時配と併せ考えると, かなり慎重な討議が必要となろう。

2 改正指導要領の項目の配列について

化学 I の項目配列は

(1) 化学量と化学式 → (2) 物質の状態 → (3) 化学反応 → (4) 物質の性質

となっている。これを

(1) 化学量と化学式→(2)物質の状態→(3)物質の性質→(4)化学反応

とするかなど、いずれにしても、科学教育のねらい、学習の視点、探究の中心概念とてらし合わせ、各小項目との関連において、学習する教材の構造化をはかる必要がある。

3 項目における内容的取扱いの問題点

化学Ⅰの単元項目 { (1) (2) (3) (4) } と分野的小項目 { ア, イ…… } について、各単元を1つのまとまりとみたととき、教材構造全体をつらぬく中心概念と、単元学習の鍵とみられる基本的な概念が新たに導入され、この中心概念と各単元での基本(鍵)概念とが調和発展した spiral な学習形態となることが望ましい。

上の観点に立ち、化学Ⅰの教材の構造化と精選、内容的取扱いの問題について要点的に触れてみたい。

(1) 化学量と化学式

アの化学量(原子量, 化学式量, モル), イの化学式(組成式, 分子式, 構造式)では, static な粒子性とモル概念とをどのような指導過程で学習させるのが望ましいか。たとえば, 化学史をとりあげるにしても, どういう史観にたち, これと実験, データー, モデルなどを具体的にどうかみあわせ, 探究過程の学習を進めたらよいかなど, 初期学習におけるきめのこまかい教材研究が重要となる。

また, 化学量の取り扱いについては, 改正指導要領の内容の取り扱いの(3)のイに「単なる計算に終わることなく, 実験を通してこれらの化学的な意味をじゅうぶんに理解させるようにする」と明記していることも付記しておきたい。

(2) 物質の状態

アの気体, 液体, 固体(理想気体の状態方程式, アボガドロの法則, 気体の分子運動, 分圧, 結晶), イの溶液(溶解, 溶解平衡, モル濃度, 溶液の性質)……の内容は, 上述(1)の化学量と化学式での Static な粒子概念と比較して, 粒子を dynamic な概念としてとらえる教材展開とみることができる。

また, 物質の構成面では, 気体分子の熱運動, 溶液と蒸気圧など, 粒子の構成とエネルギーとが教材の精選, 構造化の一視点となることも考えられる。

なお, 改正指導要領の内容の取り扱いの(4)によると, 下記の事項については, 特にその範囲や程度に配慮するものとする。とあり,

ア. (2)のアの「理想気体の状態方程式」については, 実在気体との違いについても触れること。

イの「溶液」については, コロイドも扱うこと。

イの「溶液の性質」については, 沸点の上昇, 凝固点の降下なども扱うこと。

とあることを付記しておきたい。

(3) 化学反応

アの化学反応と熱, イの化学平衡, ウの酸と塩基の反応, エの酸化還元反応……の内容は, エネルギーと, 平衡あるいは競合の概念が, 単元をささえる基本的概念としてみることができる。

標題(化学反応)からみても, 各項目(ア, イ, ウ…など)での実験内容とその取り扱いが問題となろう。

実験については, 内容がエネルギーや平衡の概念理解に適し, 広く活用できるもので,

化学Ⅱの学習にさいしても十分に発展されるものが望ましい。

また、各項目にまたがる関連分野の系統性、あるいは学習指導の展開法、化学種の種類の精選など、とくに検討すべき問題点も多い単元といえよう。

### 1 化学反応と熱

内容の項目は、反応熱と熱化学方程式となつている。ここで、改正指導要領の内容的取り扱いの(1)の「内容を構成するに当っては、特に、物質の構成、化学反応とエネルギーなどの基本的な事項を理解させる…」を適用すれば、

反応熱には、燃焼熱、生成熱、中和熱などの学習に、結合エネルギーの概念もとりいれられることが予想され、こうして物質の構成とエネルギーとの関連の中で熱化学の学習も活かされてくると考えられる。

### 2 化学平衡

内容の項目は、平衡の移動とあるのみである。これについては、第1次案での「化学平衡移動の法則」とあったものから「法則」の項が削除され、それゆえ、取り扱いも、化学平衡の移動という広い概念を指導できるわけで、可逆反応、平衡の概念、ル・シャトリエの原理とその適用など…が考えられるが、反応速度、活性化エネルギーなど、反応論的に重要な化学概念とエネルギーとの関連など、化学Ⅰ・Ⅱの内容的取扱いで、はばをもたせた *Spiral* な教材の構造化はどうであろうか。

なお、改正指導要領の内容的取り扱い(4)によると、〔Ⅰ、化学平衡〕については「化学平衡に対する温度・濃度などの影響を定性的に扱うこと」とある。

### 3 酸と塩基の反応

内容の項目は、中和、水素イオン濃度の2項目である。改正指導要領による内容的取り扱い(4)によると、「ウ、酸と塩基の反応」については「水素陽イオンの授受も扱うこと」とあり、*Brønsted* 酸の扱いが明記されており、この酸に対応した共役塩基も考えると、競合概念を生かした指導もゆるされるというみかたもできる。

酸・塩基を独立した電解質として取り扱うか、あるいは電解質の中での取り扱いとするのか、また、酸や塩基の化学種を、どんな視点からどこまでしぼりきれるかなど、いずれにしても、精選された化学種の範囲で、電解質も含めた酸・塩基の重要な概念が多面的に探究できる教材配列の検討が望まれる。

### 4 酸化・還元反応

内容の項目は、電気分解・電気分解の法則・電池・酸化剤・還元剤の順となっており、学習指導にさいしては、実験観察の導入から電子授受による酸化・還元の理解をねらっているようにみうけられる。

酸化・還元への導入は指導者により異なるであろうが、だれも実験観察による導入に異存はないと考えられる。ここでも、電池、酸化剤・還元剤の教材精選と、実験内容とその取り扱いが問題となるが、上記の(3)酸と塩基の学習とあわせ、資料やデーター（例えば酸化還元電位表）の活用による競合概念の理解など、新しい指導法とか、これを支える適切な実験内容の開発など、これからの期待される内容が多い。

### (4) 物質の性質

内容の項目は、アの物質の性質と化学結合（塩、分子性物質、金属）、イの元素の周期律（アルカリ金属、ハロゲン、不活性気体、周期表、炭素化合物、原子構造のモデル）である。

これによると、アでは、まず、物質を塩、分子性物質、金属に分類し、事実の情報資料で比較分類し、これを化学結合の面とあわせて理解させ、元素の周期律では、単元(1)、(2)、(3)でえられた化学的知識や概念を周期表と関連させ、やはり、比較分類的な学習ができるようにはかられている。

しかし、項目の内容を改正指導要領の順で吟味すると、かならずしも系統関連的に組織されたといいきれない点がみうけられる。

例えば、物質の性質と化学結合のあとに原子構造モデルが配列されていること、また、物質の性質が(2)の物質の状態ときりはなされて取り扱われていること、また、物質の性質の探究に、分子の構造(形)、極性の手がかりが与えられていないこと。

さらに、炭素化合物については、改正指導要領の内容的取り扱いの(4)のウで、**その特徴を概括的に扱う**とあるのみで、その具体的内容は全く明示されていない現状である。とくに、有機化合物を物質の状態、物質の性質など項目の間できりはなして扱うとき、炭素化合物の化学種の内容と位置づけなどが問題となる。

さらに、アの化学結合、イの原子構造モデルは、化学Ⅱの(1)のアの原子構造や、イの化学結合へと、化学Ⅰ・Ⅱとの関連学習の面からみれば、教材の配列が系統段階的に発展している。しかし、化学Ⅰのみ履習する生徒の側からみて、最終時期での学習となり、これでは、化学Ⅰのうち、とくに(2)、(3)あるいは(4)の学習が、これまでの学習形態(記述的傾向)を脱しきれない内容に流れる恐れがある。

もともと、指導要領は、指導内容や順序を拘束するものでなく、一応の基準を示したものとみることができる。

改正された指導要領が、従来のもものと比較して、内容的にも一段と簡略化されたのは、多様化する生徒の素質とてらし、ミニマムな項目を示したとみるべきで、その点、現場をあずかる教師側では、生徒の実態に即したはばのある教材の展開がまかせられているとみるべきであろう。

## 〔2〕本校における化学Ⅰのカリキュラム構成の基本的態度

どんな教科でも、何(教材内容)を、どのように(学習指導法)展開するかが、現場教育のテーマである。

この場合、教科の学習をどんな立場(視点)から捉えていくか…で、教材内容の構造や、学習指導の形態も、かなり異質のものとなる。

化学教育を問題にする場合でも、まず、化学教育のねらいとは何か…という再認識を出発点とし、科学と教科化学との性格の関連性、学習教材への視点、化学の学習をつらぬく中心概念など、ねらいに即した学習内容と指導の形態とを解明していくことが先決ではないかと考えられる。

### 1 科学教育のねらいと、教科化学の性格

科学教育のねらいは、前述のごとく情報(実験、観察、データー)を根底とする論理的思考力、創造性の開発で、この基本目標は、他の理科教科、学年を問わず、普遍的なものと考えられる。

ただ、教科別の性格、あるいは、生徒の素質、年齢差により指導の内容、方法に差は生ずるが、指導にさいして用いられる「化学的…」物理的…」という表現の底には、化学や物理などによる教科的性格、あるいは特性をふまえての「科学的な」見方や考え方も含まれてい

るとみることができる。たとえば、教科としての化学は、物質を素材とし、その性質や変化を探究する分野の科学である。このように、物（質）を素材として科学的なねらいを育成するには、まず、学習素材としての物（質）自体の内容をどのような視点からスポットし、その探究の過程を通じて、問題解決の鍵ともいえる中心概念を何にするかが問題となる。

## 2 化学を支える中心概念

物質（気体、液体、固体）は粒子（原子、分子、イオン）で構成され、その集合状態（あるいは構造）と性質とは互に関連性があり、また、化学（あるいは状態）変化にはエネルギーの移動がともなう。

それゆえ、物質の構造、性質、変化を探る化学では、学習をつらぬく中心概念として、粒子性とエネルギーとがあげられよう。

粒子性とエネルギーとを中心概念にとりあげる理由として、これら二つの概念が、物質の構造、性質、変化（あるいは反応）を包括できるより広い概念であり、また、現代科学の立場からみても、粒子性 $\rightleftharpoons$ エネルギー $\rightleftharpoons$ 波動性という、きわめて重要な概念転移をも含んでいるからである。

## 3 単元（系統的）構成の基本的態度

単元の構成にあたっては、まず、科学教育のねらいと、探究の中心概念とをたて糸とし、よこ糸に、化学的視点での重要概念をおりこみ、中心概念の段階的発展と学習事項の系統的配列とが体系的に活かされ、化学教育のねらいが達成されるよう留意した。

そのため、教材の構成（展開）では、まず、化学の理論的すじみちとしての科学構造を組み立て、これに生徒の実態、あるいは学習素地（Learning Readiness）を考慮し、教材の展開ができるかぎり教育的に構造化されるよう配慮した。

例えば、大単元について、単元を1つのまとまりとし、その単元をつらぬく、化学的に主要な、しかも根底となる概念、換言すれば、単元を通じて探究学習する場合の包括概念（あるいは大概念、鍵概念）を設定し、教材構造全体をつらぬく中心概念と、各大単元で設定される主要基本概念とが、互いに Spiral な形態をとる化学教育的な構造化も試みてみた。

本校における化学Ⅰのカリキュラムにおける大単元の配列と主要基本概念とを要点的に例示すると

大単元の項目	中心概念	（単元での主要基本概念）
1 物質の構成	粒子 (Static) 性	
2 物質の状態	粒子 (dynamic) 性+エネルギー	
3 物質の性質	粒子 (構成的) 性+エネルギー+ (平衡概念)	
4 化学反応	粒子 (構成的) 性+エネルギー+ (平衡・競合概念)	

### 〔3〕改正指導要領に基づき、化学Ⅰの教材展開の試案

次に示す、化学Ⅰの教材展開の試案は、筆者による昭和38年度から昭和45年度までの、粒子性とエネルギーに基づく化学現代化カリキュラムでの実践指導の経験と、改正指導要領の内容を土台としてまとめたもので、前述のごとく、この46年度から本校で実施する具体案の骨子である。

内容的にも、かなり未熟で、問題点も多くあると考えられるが、この試案が、読者の現場における化学Ⅰへの問題検討のたたき台ともなれば幸いである。

単元の項目(時配)	内容の取扱いの要点
<p>(1) 物質の構成(4)</p> <p>&lt;1&gt;粒子の概念(5) a) 原子, 分子の科学史 b) 帯電粒子の科学史</p> <p>&lt;2&gt;モルの概念(3) a) 分子説と式量 b) 分子説と原子価</p> <p>&lt;3&gt;化学式(4) a) 分子式, 構造式, 組成式 b) 化学(イオン)反応式</p>	<p>&lt;ねらい&gt;粒子(Static)概念とその適用</p> <p>○古代物質観 ○化学的粒子(原子, 分子)観を探究史的(質量不変の法則→分子説まで)に取り扱う。 ○帯電粒子の現象史(静電現象からイオン説までの実験事実の情報から, 実証的に帯電粒子像を理解していく)</p> <p>○分子説からモル概念と式量の数値の関連を理解する。 ○気体反応の法則と分子説から, 原子価概念を引き出す。</p> <p>○モデルをまじえ, 化学式の基礎的知識を与える。</p> <p>○化学(イオン)反応式の基礎的知識とその取り扱い方を理解する。</p>
<p>(2) 物質の状態(4)</p> <p>&lt;1&gt;気体の通性(5) a) 気体の状態方程式 b) 実在の気体 c) 気体の溶解度</p> <p>&lt;2&gt;溶液の通性(4) a) 溶液と濃度 b) 蒸気圧と平衡 c) 希はく溶液の理論</p> <p>&lt;3&gt;物質の三態(3) a) 三態の粒子モデル b) 三態変化とエネルギー</p>	<p>&lt;ねらい&gt;粒子(dynamic)性とエネルギー</p> <p>○ボイルシャルルの法則と気体の状態方程式との関連 ○占有体積, 分子間力とPV/RTのずれを探究する。 ○気体の分圧とヘンリーの法則</p> <p>○溶液の組成と濃度(重量%, モル/l, モル/kg溶媒) ○温度と蒸気圧 ○潜熱と状態平衡の概念 ○蒸気圧と沸点 ○沸点上昇, 蒸気圧降下, 浸透圧</p> <p>○三態と粒子のバネモデル ○三態の物理的性質の比較 ○三態の状態変化とエネルギー(潜熱, 分子間力, 熱運動)</p>
<p>(3) 物質の性質(4)</p> <p>&lt;1&gt;原子の構造(4) a) 核構造と原子量 b) 元素の周期律</p> <p>&lt;2&gt;化学結合(4) a) イオン結合, 共有結合</p>	<p>&lt;ねらい&gt;粒子(構成的)性とエネルギー, 平衡概念</p> <p>○原子構造の科学史(ボーア模型まで) ○同位体と原子量 ○周期表と価電子配置, 元素の原子価と陰陽性</p> <p>○核外電子の閉殻構造 ○価電子の授受と共有 ○結合の極性と陰陽性 ○電子構造式と&lt;配位結合&gt;</p>

単元の項目(時配)	内容の取扱いの要点
b) 分子の形と極性	○周期表での価電子配置と結合の方向性, 極性
<3>構造と性質(8)	
a) 塩, 分子性物質, 金属	○物質の構成と性質(沸点, 融点, 電気的性質)との比較と関連 ○結晶の基本三形
b) 溶解, 溶解平衡	○物質の構成(分子量, 形, 極性)と溶解の機構 ○固体の溶解度
c) コロイド溶液	○コロイドの性質(微粒子性と帯電性)
(4) 化学反応(44~50)	<ねらい>粒子性とエネルギー, 平衡と競合の概念
<1>化学反応と熱(5)	
a) 熱化学方程式	○熱化学方程式の基礎知識 ○状態変化とエネルギー
b) 反応熱とエネルギー	○燃焼熱, 生成熱, 結合エネルギー, 溶解熱, 中和熱 ○ヘスの法則(エネルギーサイクル的に理解)
<2>化学平衡(3)	
a) 可逆反応と平衡	○可逆反応 ○活性化エネルギー ○反応速度
b) 平衡の移動	○平衡の概念と移動 ○ル・シャトリエの原理
<3>酸と塩基の反応(8)	
a) 電離平衡	○電解質の強弱 ○電離平衡とイオン濃度
b) 水素イオン濃度	○水のイオン積 ○水素イオン濃度 ○pH
c) 中和と塩	○加水分解 ○中和滴定 ○塩の化学
<4>酸化・還元反応(8)	
a) 金属の電化列	○金属の電化列(単極電池) ○酸化・還元と電子の授受 ○電気
b) 電気分解と電池	分解と電解の法則, 電池(電気的エネルギーの概念) ○半電池,
c) 酸化剤・還元剤	電子授受の競合概念 ○酸化数
<5>金属の化学(7)	
a) アルカリ金属	○単体, 酸化物, 水酸化物の性質の比較化学
b) 第3周期の金属	○単体, 酸化物, 水酸化学の性質の比較化学
c) 金属イオンの反応	○電化列と金属の化学 ○主要な金属イオンの反応
<6>非金属の化学(5)	
a) ハロゲン元素	○単体, 水素化合物の構造と性質の比較化学
b) 水素と水素化合物	○水素 ○第2周期の水素化合物 ○水と硫化水素
c) 酸素と酸素化合物	○酸素 ○炭素, 窒素, イオウの酸化物, 酸素酸の比較化学
<7>炭素の化合物(8)	
a) 炭化水素	○炭素化合物の特性 ○鎖式炭化水素 ○芳香族炭化水素
b) 官能基の構造と性質	○官能基の構造と特性(極性, 沸点, 融点, 水溶性)

単元の項目(時配)	内容の取扱いの要点
c) 酸素を含む化合物 d) 窒素を含む化合物	○アルコール, アルデヒド, 脂肪酸, エステル, 石炭酸 ○ニトロベンゼン, アニリン, アミノ酸
(5) 天然資源の利用	
<1>無機化学工業(2)	a) アルカリ工業 b) アンモニアの合成 c) 接触硫酸
<2>生物体の化学(2)	a) セッケンと合成洗剤 b) アミノ酸と調味料 c) セルロースと酢酸繊維
<3>合成高分子化学(2)	○石油化学工業 ○合成樹脂(塩化ビニル, 石炭酸樹脂) ○合成繊維(ナイロン, テトロン) ○天然ゴムとネオプレン。

## 1 単元の配列構成について

大単元の(1), 物質の構成から(4)の化学反応まで, 中心概念を粒子性とエネルギーでつらぬき, (2)の物質の状態につづいて(3)の物質の性質とを結びつけ, この(3)と(4)では, 平衡, 競合の化学的大概念を *Spiral* に組みこんで教材の系統化をはかってみた。

この試案と, 改正指導要領の目標の(2), すなわち, 化学教材の構造化との関連を要説すると

目標の(2) 化学的な事物, 現象に関する基本的な概念や, 法則の系統性を理解させる……が

試案での 大単元(1)物質の構成から(4)の化学反応での<4>酸化還元反応まで。……つづいて

目標の(2) これらを活用する能力を伸ばし, 自然のしくみやはたらきを分析的ならびに, 総合的に考察する能力と態度を養う。……が

試案での 大単元(4)の<5>の金属の化学から, <7>の炭素化合物, あるいは, 大単元(5)の天然資源の利用までと考えられたい。

なお, 改正指導要領の内容の取扱いの(3)のIで「無機化学工業, たとえば, 硫酸, アンモニア・ソーダ工業などは, 各事項の中で触れるようにすること」……から, (5)の取扱いは, 指導者や時配, 生徒の実態により, はばのある取扱いのできることが望ましいと考えられる。

## 2 大単元(4)化学反応の単元構成

### 1) 大単元の項目配列

(1)物質の構成, (2)物質の状態, (3)物質の性質とし, (4)の化学反応の配列をあとにしたのは, 次の理由による。

大単元(1), (2), (3)では, 物質の物理的状态と性質に関する基礎的事項や概念の理解に重点をおく教材内容とし, (4)の化学反応では, さらに物質の探究を化学変化として捉えるために重要な, 基本的概念や事項を学習し, その(大単元 1.2.3)適用あるいは活用ができる教材の構造化をはかるためである。

### 2) 副単元の項目配列

化学的視点にたつ物質の探究を, 中心概念のエネルギーと関連させ, これを要点的に図



に例示すると

鎖状炭化水素 ( $C_2H_4$ ,  $C_2H_2$ ) アルコール ( $C_2H_5OH$ ) アルデヒド ( $CH_3CHO$ ) 脂肪酸 ( $CH_3COOH$ ) エステル ( $CH_3COOC_2H_5$ ) 芳香族炭化水素 ( $C_6H_6$ ) フェノール ( $C_6H_5OH$ ) ニトロ化合物 ( $C_6H_5NO_2$ ) アミン ( $C_6H_5NH_2$ ) ……

などが考えられる。

### 3 大単元(5)天然資源の利用

天然資源が化学的な立場から、どのように利用されているかを<1>無機化学工業<2>生物体の化学<3>合成高分子化合物に分類して取り扱う。

これら<1>、<2>、<3>の内容は、これまでに学習された知識や概念が適用、あるいは応用できような教材構成となっているから、授業の進度、生徒の実態により、各単元でその都度触れるか、あるいは適当にカットするなど、はばのある取扱いができるよう、単元の最後に配列した。

たとえば、化学Ⅱも復習する生徒の場合、改訂指導要領化学Ⅱの(2)平衡と反応の速さ、(3)炭素化合物と高分子化合物を学習するから、この点で、大単元(5)の天然資源の利用のカットも考えられ、この時配を、他の単元項目、あるいは実験などにふり向けられよう。

これに対し、化学Ⅰのみ復習する生徒の場合を考えると、逆に、大単元(4)の<7>炭素化合物や、大単元(5)の天然資源の利用の重要性もますますことになり、他の単元とのかねあいのもとで、学校の実情に応じた教材の取捨が必要となる。

#### <1>無機化学工業

食塩水を原料とする化学工業として、a) アルカリ工業、空気を原料とする化学工業として、b) アンモニアの合成、c) 接触硫酸をとりあげる。

##### a) アルカリ工業

○食塩水の電気分解(隔膜法) 関連単元(4)の<4>のb), (4)の<5>のa)

##### b) アンモニアの合成

○アンモニアの合成(ハーバー法) 関連単元(4)の<2>のb), (4)の<6>のb)

##### c) 接触硫酸

○接触硫酸 ○硫酸の性質 関連単元(4)の<2>のb), (4)の<6>のc)

#### <2>生物体の化学

生物体を構成する油脂、タンパク質、セルロースなどの天然資源と製品との関連を構造に重点をおき、化学的に理解する。

##### a) セッケンと合成洗剤

○油脂(エステル)のケン化 関連単元(4)の(7)のc)

○洗剤の基本構造と洗条作用 関連単元(3)の<2>のb)と<3>のb), (4)の<7>のb)

##### b) アミノ酸と調味料

○加水分解(タンパク質とアミノ酸) ○味の素 関連単元(4)の(7)のb), c), d)

##### c) セルロースと酢酸絹糸

○水酸基のアセチル化 ○高分子化合物と繊維の分子 関連単元(4)の(7)のb), c)

#### <3>合成高分子化合物

合成有機化学に有用な種々の低分子化合物が、石油の熱分解やリホーミングによって得られることから、まず、a) 石油化学工業をとりあげ、b) 合成繊維、c) 合成樹脂、

d) ゴムの化学をとりあげ、高分子化合物の構造と性質の関連を調べる。

a) 石油化学工業

- 石油の熱分解, クラッキング, 関連単元(4)の<7>のa)
- エチレンから得られる化合物 関連単元(4)の<7>のa), c)

b) 合成繊維

合成繊維にはポリエステル系(テトロン)ポリアミド系(ナイロン)など、いろいろな結合形式があるが、いずれも、長い繊維状の高分子化合物で、これらの繊維の物理的、化学的性質は、分子を構成する原子団の構造と深い関係のあることを調べる。

- テトロン(ポリエステル) 関連単元(4)の<7>のc), (3)の<2>のb)
- ナイロン(ポリアミド) 関連単元(4)の<7>のc), d), (3)の<2>のb)

c) 合成樹脂

樹脂は、結合のなりたちから熱可塑性(付加重合による繊維状高分子化合物:例, ポリビニル系樹脂)と、熱硬化性(縮重合による多型合型の高分子化合物:例, 石炭酸樹脂)の二種類があることなど、樹脂の性質を、結合のなりたちと、構造の二面から調べる。

- 塩化ビニル樹脂 関連単元(4)の<7>のa)
- 石炭酸樹脂 関連単元(4)の<7>のc), d)

d) ゴムの化学

天然ゴムとネオプレの構造の比較から、構造の共通点、性質のちがいを調べる。

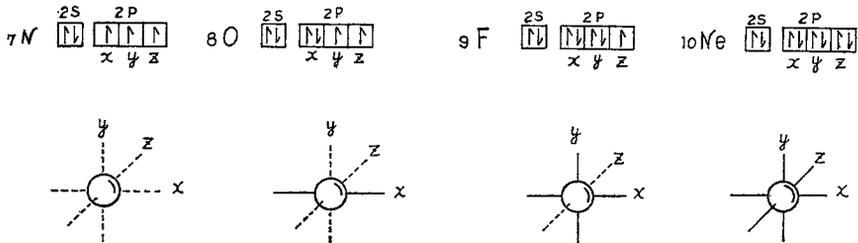
- 天然ゴム, 加硫 関連単元(4)の<7>のa), b), (3)の<2>のb)
- ネオプレン 関連単元(4)の<7>のa), b), (3)の<2>のb)

原子軌道法によるポリスチロール球の教材的取扱い

新しい化学で「原子構造と化学結合」の指導をどのように具体化するか、とくに化学教育の内容に構造と物性をくみいれ、物質を立体的に把握させたい場合など、手軽につくれ、比較的たやすく手に入る材料で、具合いのよいモデルがあれば幸いである。

これについて、筆者が、数年前から実際授業に用いている原子軌道法によるポリスチロール球モデルの教材的取扱いを対比図で示し要点的に説明したい。

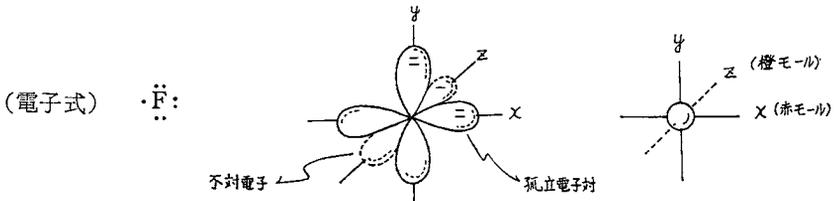
<1> 第2周期非金属の原子軌道モデル



<解説> ○ は、2S（球状のS軌道）を表わすポリスチロール球、x, y, zはP軌道（orbital）の方向性、……の破線は不対電子、——の実線は、孤立電子対を表わす。

なお、P軌道は色別したモールを用い、不対電子と孤立電子対を色で区別する。

<例>  ${}_9\text{F}$ の原子軌道モデル (ポリスチロール球モデル)

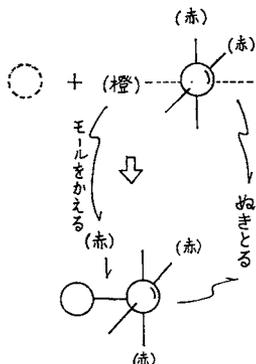


<2> 第2周期、非金属の水素化合物（S-P結合）のモデル

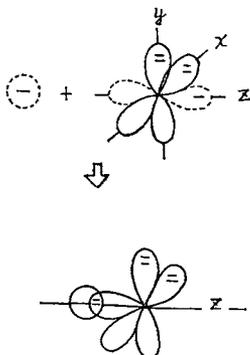
<解説> 共有結合は、2原子の不対電子雲の重なり（overlap）により、2つの原子核間に、より大きな電子密度が形成され（低エネルギー化を意味する）、電子の存在確率性が2つの原子核を結ぶ一定の宛間内に制限された化学結合、つまり、局在（localize）のため、結合の方向性や、原子価角を示すこと（ $\sigma$ 結合の概念）……など、モデルによって段階的に理解させる。

<例>  $\text{H}\cdot + \cdot\ddot{\text{F}}:$   $\longrightarrow$   $\text{H}:\ddot{\text{F}}:$ （フッ化水素）の生成過程モデル

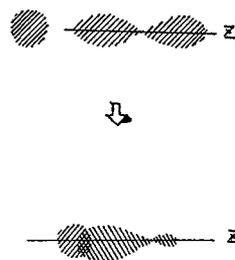
ポリスチロール球モデル



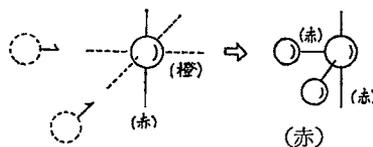
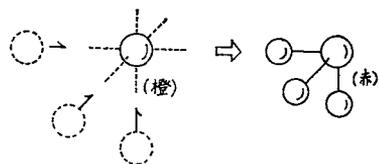
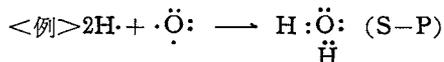
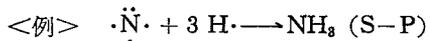
電子電モデル



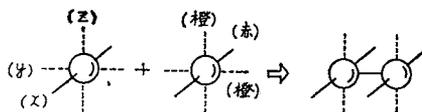
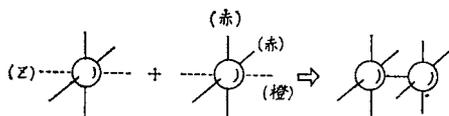
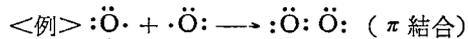
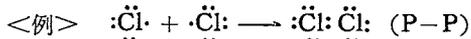
S-P結合



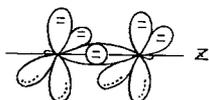
<補足> ○はH $\cdot$ , すなわち1S $^1$ を表わし, …○…の破線は2S $^1_2$ の不对電子を示す。



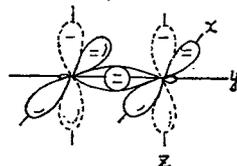
<3> 第2周期非金属の単体 (P-P結合と $\pi$ 結合)



電子雲モデル



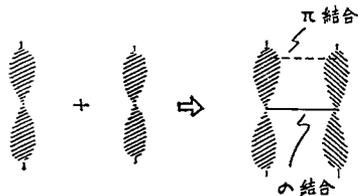
電子雲モデル



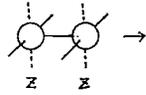
P-P結合解説



二重 ( $\sigma + \pi$ ) 結合解説



<補説>



$\pi$ 結合は、 $\sigma$ 結合軸に対し、垂直方向で、不対電子 ( $2P_z$ ) 同志の側面重なり結合となる。

#### <4> 炭素原子の混成軌道

<解説> 実験事実を表わされる炭素化合物の分子の形は、 ${}_6C$ の基底状態の軌道、すなわち、

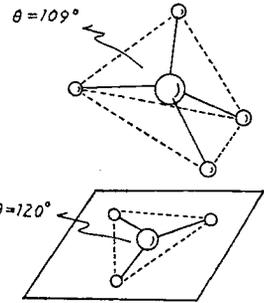
$\uparrow\downarrow$   $\uparrow\uparrow$   $\square$  から予想されるものと異なるところから、軌道の混成 (ませあい) という新しいモデル観で取扱う。

a)  $CH_4$  (メタン),  $CCl_4$  (四塩化炭素) ダイアモンド構造など

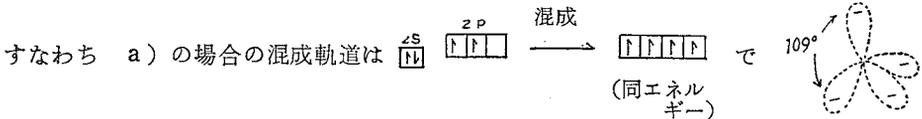
☆ 四つの原子と結合している炭素は、正四面体型の構造。

b)  $C_2H_4$  (エチレン),  $C_6H_6$  (ベンゼン), 石ほく (グラファイト) など。

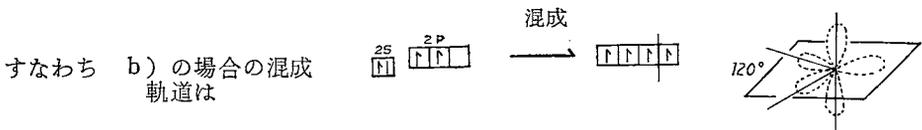
☆ 三つの原子と結合している炭素は正三角形型の構造。



メタン構造の C-H 結合距離と  $\angle H-C-H$  の結合角が ( $109^\circ$ ) が同じである測定事実から、炭素の四つの原子価を示す価電子のエネルギーは同じレベルで、電子電同志が互いに反ぱつし、正四面体の頂点に配向していることが予想される。



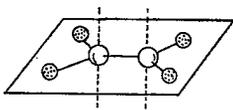
エチレン構造の C-H 結合距離は a) の場合と同じであるが、 $\angle H-C-H$  の結合角 ( $120^\circ$ ) であり C-C ( $1.34\text{\AA}$ ) の結合距離もエタンの  $\sigma$  結合距離 ( $1.54\text{\AA}$ ) より短くなっている事実から四つの価電子のうち、 $\sigma$  結合にあずかる三つの価電子が同エネルギーで平面三角型にちらばり、残りの一電子が、三角形の平面に垂直に配向し、これが側面重なり  $\pi$  結合として、炭素間の結合に寄与していると考えられる。



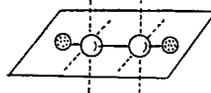
で、三原子と結合しているときは、三つの価電子が  $\sigma$  結合にあずかり、この三電子が空間的な分子の形を決定し、残りの一電子が  $\pi$  結合にあずかる。

#### <5> $\pi$ (二重, 三重) 結合 $\rightarrow$ 不対電子同志の側面重なりからなる炭化水素

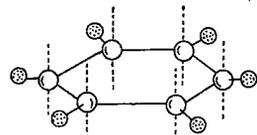
<例> エチレン ( $CH_2=CH_2$ ) <例> アセチレン ( $CH\equiv CH$ ) <例> ベンゼン ( $C_6H_6$ )



C-C間 ( $1.34\text{\AA}$ )



C-C間 ( $1.20\text{\AA}$ )



C-C間 ( $1.40\text{\AA}$ )

おわりに 以上が、本校における化学教材展開の概要と、原子軌道法によるポリスチロール球の取扱いの要点的説明である。また実験、視聴覚教材の具体例も紙数の関係で割愛させていただくことにした。

ただし、このような構造やエネルギーをとり入れる単元計画の場合、これまでのものとはかなり違った実験内容や取扱いとなり、モデルも立体化され、これとO.H.Pを組み合わせるなど、教育機器と指導法についてかなりつつこんだ準備も要求されるようである。

いずれにしても、まず、化学の学習の全体をつらぬく中心概念とはなにか、つぎに化学的に重要な概念の設定、このたてよこの概念から学習事項を選定し、学習展開に必要な教材資料や実験項目が検討される手順になると考えられる。

最後に、本校カリキュラム構成にさいして、終始、話し合いの場を開放し、多大の助言をいただいた本県理化教育研究会の皆様、とくに理化教育センターの石田祐夫先生、県立泉丘高等学校大田稔先生、県立二水高等学校永田恭一先生に紙面をかりて深く感謝致します。