

# 中等化学教育における「混合物の化学」のすすめ

—— 30年余にわたる化学教育研究のひとつのまとめとして ——

藤 谷 健

## I はじめに

ヒトが他の動物に卓越し、文化と言えるものを持ち得たのは、ひとつには火をコントロールすることが出来たためであり、もうひとつは道具を作る能力を持ったことによると考えられている。このうち後者については、最初は自然界に存在するものをそのまま用いたであろうが、次いでそれを加工する技術を身につけ、人類の持つ文化はより高度化し、その生活はより豊かになっていったと考えられる。この時点では未だ経験に支えられた技術であったが、それはその後学問（科学）という形に系統化、抽象化されてゆき、それがまた新しい技術を生み出すというサイクルが形成されてきた。

この科学のうち化学は、物質の性質、物質の変換（化学反応）を取り扱う分野である。個々の化合物の性質の違いを利用してことによって物質の分離が成り立ち、天然に存在する混合物から純物質を取り出して初めて利用可能になるものも多い。

われわれの身の回りを見ても、現代では天然に存在する素材がそのまま利用されている場合は少なく、そのほとんどが天然に存在する物質に何らかの化学的加工が加えられるか、または全く新たに合成されたものである。例えば、金属は単体または合金の形で利用されるが、金属自体が単体の形で産出するのは金、白金などの貴金属を除けばほとんどなく、天然におい

ては酸化物、硫化物の形で産出する。従ってそこには酸化物や硫化物から金属単体を取り出す精錬と言う過程が必要であり、また資源である鉱石も混合物であるため、相当の濃縮をしないと精錬に供することが出来ない。そして、精錬によって得られた粗金属も多様な不純物を含んでいるため、それを分離、除去する過程が必要になる。このようにわれわれの身の回りは混合物で囲まれているし、その混合物から純物質を取り出すプロセス、および取り出された純物質を反応させて新しい化合物を合成してゆく過程が化学そのものなのである。

ひるがえって学校教育における理科教育の化学分野の内容を見ると、ここ30年くらい特に純物質の化学に偏っているように見える。つまり、まず純物質ありきで、その純物質が生まれてきた過程を不問に付しているのである。化学で使う言語は化学式であるが、化学式は純物質を定性的に表すことしか出来ない。つまり現在の中等化学教育は「化学式の化学」になってしまっており、そこで課される実験は「試薬棚の中の薬品の化学」になってしまっている。このことは、現在の中等化学教育においては、物質を扱う科学である筈の化学に「物質離れ」と言う致命的な状況を作り出し、生徒たちの関心も失われ、結果的に理科離れの加速に加担することになった<sup>(1)</sup>。そこで、中等化学教育において「混合物の化学」が今までどのように扱われてきたかを振り返り、化学教育の今後の進むべき道を探ったのが本論説である。

1970年代に著者が本格的に化学教育の研究を始めるに当たって、最初に選んだテーマは純物質と混合物の問題であった<sup>(2)</sup>。と言うのは、「われわれの日常生活に馴染み深いものは、物質という面からすれば、大部分が混合物である。これをどうして純粋なものにつないでゆくかはまさに化学教育上の大問題である。」という日本化学会化学教育専門委員会<sup>(3)</sup>の見解を持ち出すまでもなく、化学教育研究の原点あるいは出発点と考えたからである。そしてこの視点を引き継いで分離教材<sup>(4)</sup>の研究を行うとともにもう一方で、国民的教養として<sup>(4)</sup>の中等化学教育の確立を目指して、身の回りから始まる化

学教育の構成について研究を進めてきた。先の化学教育専門委員会の指摘にもあるように、身の回りの物質はそのほとんどが混合物であるから、このような教育を現実のものとするためには、必然的に混合物の化学を化学教育の基幹に据えなければならなくなる。にも拘らず近年の化学教育はより抽象化の方向に進み、学習者に魅力を感じさせないものへと変わりつつあるように思われる。そこで本論説においては、このような既往の研究を整理するとともに、中等化学教育への混合物の化学の導入に向けた提言を試みたい。

## II 奇妙な質問と奇妙な解答

1970年代の中頃から、学生、生徒が奇妙な質問をするようになったように思われる。そしてこのような奇妙な質問や、常識では考えられないような物質理解に基づく試験問題への解答は、それ以前にはほとんど無かったものである。以下にその事例を示してみたい。

### 高校生からの奇妙な質問

高校化学教育の場において、混合物に対する認識が如何に欠如しているかを示す高校生の質問を2つ示す<sup>(5)</sup>。

第1の例は、有機化学の導入部として炭化水素を扱った場面で、著者の「炭化水素、例えば石油のようなもの」という説明に対して、一人の生徒から「炭化水素は炭素と水素だけから成る化合物なのに、石油を燃やすとなぜ二酸化硫黄公害が起こるのか」という質問があった。当然のことながら著者の説明は、石油の主成分、あるいは利用される部分についての例示であるが、質問した生徒は私の説明を、石油全体が純粋な炭化水素と受け取ったからであろう。このような質問が出るということは、この生徒に限らず、天然に存在する物質はそのほとんどが混合物であるということが理解されていないためではなかろうか。そしてこのような誤った考えが、学校における理科教育を通して形成されたものではないかという疑問が湧い

てくる。

第2の例は、油脂（その主成分であるトリアシルグリセリン）の話をしたとき、示された大豆油の脂肪酸組成を見て、「大豆油の分子式はどのように書けばよいのか」という質問を受けた。油脂が本質的に多様なトリアシルグリセリン分子種の混合物であることに伴う教育上の問題点については項を改めて論ずるが、ここで最大の問題は、現在の中等化学教育では、「すべての有機化合物は化学式で表せる（あるいは表すことが出来る）」という観念に生徒たちが縛り付けられているということである。つまり現在の中等教育の化学は、化学本来の姿である「物質の科学」ではなく、「化学式の科学」になってしまっていると言わざるを得ない。

#### 試験における奇妙な解答

現在の学生・生徒たちに、混合物に対する認識が大きく欠如しているのは、高校生に限らない。著者はかつて在籍した国立大学において、一般教育（現在の教養教育）の文科系向け科目「化学概論」を担当していたが、高校の理科が選択制であったため、高校で化学を履修した学生と履修しなかった学生が混在していることに配慮して、内容は高校理科との重複の少ない応用化学分野とし、生活に密着した燃料、食料、繊維、環境などの化学の中から教材を選択して講義していた。そして Semester 最後の試験において、ガソリンのオクタン価に関する問題を出したところ、多くの学生が「オクタン価とはガソリンに含まれているイソオクタンのパーセントのことである」と誤解していた。このような発想は1940～1950年代には見られなかったものである。このような誤解の基には「身の回りの物質すべては純物質または純物質を混ぜたもの」という変な思考パターンが学生たちの頭の中に出来てしまっているためなのではなかろうか。学生・生徒のもつ物質観は当然のことながら学校教育、特に理科教育によって育まれた部分が大きいであろう。となると高校の理科教育は1960年代以降そのような誤った物質観を生徒たちに植えつけるような内容構成に変わってしまった

のではなからうか。

### 教科書などに見られる変な質問

生徒たちは化学を、教科書、参考書、問題集などを通して学習している。そこにも現今の「まず純物質ありき」観が顔を出している。その例を2つ挙げる。

小学校の理科で「食塩を水に溶かして食塩水を作りました。これから食塩を取り出すにはどうすればよいでしょう。」という問いがあった。もちろんこれには、「加熱して水を蒸発させればよい」というのが「正解」とされている。しかし、「食塩を水に溶かさなければよい」というのは正解ではないのだろうか。作った食塩水の代わりに海水だったらどうだろう。「海水から塩を取り出すにはどうすればよいでしょう」という問いに対しては、「溶かさなければよい」という答えはありえない。分離ということは理科教材の中でも重要なものである。たとえ分離の操作自体は同じでも、食塩水から食塩の取り出しと、海水から塩の取り出しとは全く別のものである。食塩水は水という純物質と食塩という純物質を混ぜて作ったものであるのに対し、海水ははじめから混合物として存在しているものだからである。

第2の例は高校レベルの問題で、グリセリンの3つのOH基に、パルミチン酸、ステアリン酸、オレイン酸それぞれひとつずつエステル結合したトリアシルグリセリン分子の構造式を示した上で、「この化合物のヨウ素価はいくらか」という問いである。確かにこの分子は不飽和結合を持っているからヨウ素付加反応を行う。そして付加するヨウ素の量は計算できる。しかし分子種が単一で、その化学構造が分かっているのに、なぜヨウ素価を求める必要があるのだろうか。別項でも述べるように、油脂は低分子化合物でありながら、分子種という面から見ると極めて多様な分子種の混合物であるため、分子種ごとに分離分析するのがかつては不可能であった。そこで各種油脂を分子種のレベルではなく、その油脂全体の性質をマクロに把握する目的で開発された方法が油脂の特数の測定なのである。従って

ここに挙げた問いは全くの本末転倒である。これもやはり、現在の化学教育内容が純物質にとらわれているため、油脂のように本質的に混合物である物質への対応が出来ないでいることの証拠と考えてよいであろう。

### III 高等学校学習指導要領の変遷

初等・中等教育においては、その内容が「学習指導要領」（第2次世界大戦前は「教授要目」）によって規定され、それは第2次大戦後に作られた所謂「試案指導要領」の一時期を除けば法的拘束力を持っている。従って教育内容の時系列的変化を見るには、学習指導要領の変遷をたどるのが最もよい方法である。そこで、この方法で高等学校化学における純物質と混合物の取り扱いの変遷を見て行く。

#### (1) 第2次大戦以前の中等理科化学

第2次大戦後の1947年の学制改革より前の中等学校における教育内容は、「中学校（または高等女学校）教授要目」によって規定されていた。この時代は男女別学で、教授要目も別々に作られていたが、ここでは中学校教授要目を主たる対象として論を進める。明治時代からの中学校教授要目は1931年に大幅な改定が行われ、理科の中の化学的内容を含む科目としては「化学」の他に「一般理科」と「応用理科」が設けられていた。「化学」においては当然ながら化学という学問の系統に従って学習が行われるように、化合物の系統に従って記述が行われているが、この当時の化学教科書では、各論においてその元素、化合物が天然にどのような存在状態にあるか（例えば銅なら黄銅鉱、炭化水素類なら石油）を示すことが必須のこととされていたため、実質的に混合物が教授内容に入っていたといえるし、また「応用理科」の存在は、各元素および化合物が工業的にどのように作り出され、使われるかを扱う以上、純物質の化学だけでは教材構成が不可能で、混合物を取り扱わなければならなくなっている。

第2次大戦中の昭和18年（1942年）に、理科の教授要目は大幅に改定さ

れ、化学は「理数科物象」の一部になった。物象の化学分野では、例えば有機化合物は石炭、石油、アルコール、油脂、石鹼のように、工業的視点で分類記述されており、これはとりもなおさず純物質の化学構造による系統立てではないことを示している。しかしながら、石油から炭化水素の化学を学ぶというように、産業上の素材から化学成分としての化合物を学習するという、従来では見られなかった極めてユニークな方法をとっていた。産業上の素材はすなわち混合物であるから、この方法によると多くの化合物群については、まず混合物(天然物およびそれを加工した物質を含めて)から化学という科学への導入が図られたもので、それは他に類例を見ないものであった。しかしこの方法が実際の中等化学教育へ導入され、実施されたのは、敗戦直前から戦後の米国主導で試案指導要領が成立するまでの非常に短い期間であった。

## (2) 試案指導要領 (1948年) の時代 — 生活単元理科 —

第2次世界大戦の敗戦後、わが国の学制は占領軍のGHQの指導により大きく変わり、いわゆる6・3・3・4制となり、中等教育は中学校3年間と高等学校3年間ということになった。そしてその時作られたのが従来の教授要目に代わる「中学校・高等学校学習指導要領 (試案)」である。これは米国のCourse of Studyをモデルとして作られたものであるといわれている。従来の教授要目はその科目で取り扱う教育内容の項目を示しただけのものであったのに対し、この学習指導要領理科編では、各項目について実験(生徒実験, 教師による演示実験), 話し合い, 問答, 研究, 講義など細かな内容が示されており、しかも「試案」の文字が示すように、これはあくまで授業展開の一例であるという、従来の日本の教育内容の規定にはなかったユニークなものであった。そしてその内容は、「生活単元理科」という言葉どおりに、化学という学問の体系をほとんど無視し、身の回りの事物、現象を素材として構成されていた。このことは当然のように学習法としては問題解決学習という方式をとることになった。

理科の科目である化学の素材として、身の回りの事物・現象が取り扱われるということは、天然に存在する物質はそのほとんどが分子レベルで見ると混合物であるため、好ましいことであるのは確かであるが、すでに体系化された化学という学問は純物質の構造に基づいて体系化されたものであるから、それとの整合性をどうとるかという問題に遭遇する。また中等教育には家庭科（当時は女子のみ必修）という教科が存在し、これが従前の家事科、裁縫科といった技能教科から脱皮しようとする動きがあり、家庭科の食物分野、被服分野に科学的性格を与えようとするほど、その内容は限りなく化学および物理の内容とオーバーラップしてくる<sup>(6)</sup>。

この学習指導要領は1956年に改訂されたが、その内容には大差が無く、理科は2科目必修（各科目とも3単位と5単位のコースを設定）となった。この当時の高校進学率は51.3%であった。

### (3) 系統理科への回帰

占領軍によってもたらされた、当時の米国の理科教育を範とした生活経験カリキュラム、問題解決学習は、当時でもすでに「這いずり廻る理科」との批判があったように、あまりにも学問の系統性を無視していたために、知的体系を教授するという日本の伝統的教授法に馴染まなかった。そこで学習指導要領が改正されたのが1960年で、新指導要領は1963年から実施に移されたが、このとき高校化学の内容は生活単元方式から学問の系統に従って構成される伝統的な化学に戻っている。

この改訂では、学習指導要領の構成は第2次大戦前の教授要目のような、教授すべき内容の項目と取り扱い上の留意点を示すだけのものになり、試案指導要領のような教授の過程まで示したものではなくなっている。またこの改訂で教育上最も注目すべきことは、この改訂が官報で告示され、学習指導要領は法的拘束性を持つことになったということである。この改訂で示された高等学校理科は、物理、化学、生物、地学の4科目がすべて必修となり、化学は化学A（3単位）と化学B（4単位）の二本立てとな



っている。この時点での高校進学率は57.7%であった。

#### (4) 理科教育現代化の時代

生活経験理科に対する反動のように、1950年代末からアメリカで理科教育現代化運動が起こり、化学分野においてもCBAやCHEMSのような革新的なテキストが1960年代の初めに現れた<sup>(7)</sup>。そしてこれらはいずれも化学の理論や概念を極度に重視したものであった。そしてこれに追随するように、1970年に学習指導要領が改訂された。これが実施に移されたのが1973年である。この改訂で高校化学は「化学I」（3単位）、「化学II」（3単位）の積み上げ方式となった。そしてその内容は量子化学的な考え方に基づく化学結合論を主たる内容としたものであった。そのような中では、天然に存在する物質を扱う余裕などはなくなってしまふ。それどころか、教授内容全体に占める有機化学の割合さえも著しく低下してしまっていた。とくに多くの高校生は化学を「化学I」までしか履修せず、その「化学I」には有機化学の内容がほとんど無いため、身の回りに多く見られる有機化合物の理解には、高校化学はほとんど寄与しないという奇妙な現象を生んだ。そしてこの時期は高校進学率が82.1%まで急上昇した時期でもあり、高校生の多様化ともあいまって、高校化学は大部分の高校生には理解困難なものとなり、所謂「理科離れ」、「化学嫌い」を生み出すことになった。

#### (5) その後の変遷

物質の科学である化学の教授内容として、最も物質の姿の見えにくい理論偏重の構成を行い、それが高校進学率の急上昇期に当たったため、多くの学習者の理解能力を超え、拒絶反応を招くという愚を犯した現代化学には、その実施からすぐ批判の声が上がった。また現代化学が高校で実施された1970年代は、わが国の環境問題が公害という形で深刻化し、マスコミなどで「化学は公害の元凶である」といわんばかりの無責任な言論が、あたかも正論であるかのごとくまかり通っていた時期にも当たっていた。

そして当時の高校化学の内容は、このような環境の科学的理解に対してはまったくといってもよいほど無力であった。それに対処する改訂が1978年の改訂で、1982年から実施された。

この改定では1年次に「理科Ⅰ」（必修）を履修し、次いで「物理」、「化学」、「生物」、「地学」、「理科Ⅱ」の中から選択履修することになっている。必修の「理科Ⅰ」は、物理、化学、生物、地学各科目について、その中から最も基礎的な部分を抜き出して寄せ集め、最後に「人間と自然」という単元がとって付けたように存在する。

この時点での高校進学率は93.1%に達しており、高等学校は準義務教育化したと考えてよいであろう。このことは理科の教育内容にも反映しており、この改定の前までは無視同然であった生態、資源、環境といった視点が導入され、若干は親しみやすくなっているといえるが、それもこの改定前の現代化時代の教育内容と比べればの話で、この指導要領の改訂で高校生たちが理科の内容に強い興味を抱き、化学を身近なものと感じるようになったとはとても思えない。

#### (6) 興味関心中心の理科と系統理科の並列の時代

その後高校進学率はさらに上昇し、1989年には94.1%に達した。このようにほとんどすべての15歳が高校へ進学するということは、以前のように進学率が低かった時代のような学習意欲があって進学するというのではない生徒の著しい増加を引き起こす。つまりかつては学習するためのメニューを作っておきさえすれば、生徒が自主的にそれに対応していたという時代は去り、高等学校は「入学してくる生徒たちにどうしたら関心をもってもらえるか」に心を配らなければならなくなった。この「高校生の多様化」への対応が1989年の改訂である。ここで物理、化学、生物、地学にはいずれもⅠA、ⅠB、Ⅱの3科目が準備され、ⅠAを付した科目が興味関心を中心とした科目、ⅠB-Ⅱの系列の科目が系統理科と2本立てとなった。

今回の改訂では探究活動、課題研究といった学習上の新視点が導入され

たとはいっても、化学ⅠB-Ⅱにおいては、内容的に見れば、すでに学問的に体系化されている化学の内容をどう取捨選択してゆくかという、従来の系統理科の流れは変わってはいない。従来と大きく変わったのは化学ⅠAで、化学的な現象や事物についての基礎的な事項は最小限にとどめ、食品、衣料、洗剤など日常生活に関連した物質や、プラスチック、金属といった身近な材料について学習し、最後に化学の進歩が人間生活に与える役割について、環境問題を含めて総括するような構成になっている。

#### (7) 現行の学習指導要領ではどうなっているか

高等学校学習指導要領は1999年に改訂され、2003年の高校新入生から適用されている。この改定で高校理科は「理科基礎」、「理科総合A」、「理科総合B」（各2単位）といった総合科目が設定され、化学は「化学Ⅰ」、「化学Ⅱ」（各3単位）という積み上げ方式になっている。これを物質の取り扱いの面から見ると、化学Ⅰは従来の系統理科と全く同じで、化学Ⅱにおいて物質の構造と化学平衡のような比較的理論的な内容と同時に、衣、食、材料などを扱う「生活と物質」、生体物質、生体内反応、医薬品などを扱う「生命と物質」などが唐突に出てくる。つまり、化学Ⅰ-Ⅱのほぼ全体を占める系統理科的構成の中で、「生活と物質」などは妙に浮き上がった存在となっている。このことはこの前の指導要領において立てられた「化学ⅠA」を廃したため、その内容の一部を無理矢理ここへ押し込んだと言われても仕方がないであろう。

### Ⅳ 高校化学における混合物の化学の扱いの移り変わり

前項において、高校の化学教育の姿を学習指導要領から見てきた。そこで、本論の主題である化学教育における混合物の扱いが、これらの変転の中でどのように変わってきたかを見て行くことにする。

## 1950年代から1970年代の間に高等学校化学の内容はどう変わったか

学校教育の内容は、それが法的拘束力を持った学習指導要領によって規定される以上、指導要領の改定ごとに右に左にと振れることになる。その最たるものが、1940年代末から1950年代にかけての生活単元理科と1970年代の現代化理科との間の落差である。生活単元理科は身の回りの生活経験から出発するため親しみやすく、それ自体は悪いわけではないが、それが問題解決学習と結びついたために知的水準を上げることが出来ず、所謂「這いずり廻る理科」になってしまった。化学においても当然のように、問題解決学習のための「問題」は身の回りの現象から選択された。したがってその素材はほとんどが混合物である身の回りの物質ということになり、それからの問題解決という活動は、長い年月をかけて築き上げられてきた化学という学問の体系の確立の追体験になるはずであった。しかし、問題解決という活動は、「どうすればよいか」に答えを出した段階で終わってしまったら、それは単なる技術的解決で完結してしまい、さらに進んで知的体系の確立、学問への昇華は見られない。1950年代の生活単元理科はまさにこのような穴に落ち込んだために支持を失ったといえる。

それに対して1960年代に海外から押し寄せた理科教育現代化の波の中で、1970年代の高校の化学は、化学の理論、特に化学結合論ですべてを記述しようとするものになってしまった。そして、化学という分野ではその記述言語は化学式であるから、化学式で表すことに馴染まない内容は取り上げられなかった。化学式で端的に表される対象物はすなわち純物質であり、純物質の化学だけが化学という学問であるかのような内容構成がこの時期の教科書には見て取れる。したがって課されている実験は「試薬棚の中の薬品」を対象とした反応であり、物性の測定であって、現実の身の回りの化学現象ではないから、それを究明しようとする意欲が生徒たちの中に湧いてくることはなかった。

化学は端的に言えば「もの」の科学である。そこにはまず「物質」が存在しなければならない。ところがこの現代化時代の化学は「もの離れ」を

起こしていた。つまりここでは化学が「化学式の化学」になってしまっていたのである。したがってこの時代の化学の内容は、入門課程で最も必要な具体性を欠いており、低い学習段階にある学習者にいきなり抽象的な概念を提示するという愚を行っていたのである。特に量子化学に基礎をおいた化学結合論の導入がそれを象徴している。これではまさに、「物質は消え去り、化学式だけが残った」と言われても仕方ないであろう。

この現代化カリキュラムでは、自然の事物から問題を見出し、それを追及してゆくという科学の基本的な活動は困難になると思われるのに、ここで「探求の過程」と言うということが声高に叫ばれたということは、不可思議なことであったと言わざるを得ない。結果的には現代化カリキュラム時代の化学では、「探求の過程」という名の下に、過去に「探求された結果」が学習者に無理矢理ドリルされるという事態を招いてしまった。またこの時期が高校進学率が急上昇した時期と重なり、十分な学習意欲を持たない生徒の増加があったことも、生徒たちの消化不良を引き起こし、理科離れを加速させたと言ってよい。

### 1980年代以降、混合物の化学はどうなったか

上述のように、1970年代の現代化カリキュラムは、その教育論上の理想と現実の高校生の理解力、学習意欲などとのミスマッチによって、惨憺たる失敗に終わった。そしてその時代の日本は高度経済成長の歪みが顕在化し、環境保全、資源保護が叫ばれはじめ、重化学工業が環境破壊の元凶として指弾された時期でもある。そのような時期に環境問題などは我関せずというような化学の内容では、高校生が化学に背を向けるのは当然であろう。それに気付いて学習指導要領が改訂され、それが現場へ移されるまでには更に10年の年月が必要であった。そしてやっと1980年代、1990年代になって、高校化学は社会にも目を向けるようになった。確かに理論偏重は是正された。しかし混合物の化学は戻ってこなかった。高校化学では相変わらず純物質の化学、試薬棚の中の薬品を対象とした実験が続いており、

そこにとってつけたように「人間生活と化学」,「環境の化学」などのタイトルの下に,いくつかの話題が提示されているだけである。つまり,化学と社会のつながりは観念的,情念的にしか捉えられていない。化学と社会や生活とのつながりを生徒たちが身をもって体験し納得するには,既成の化学の体系の知識の身の回りの物質,事象への応用あるいは適用ではなく,われわれの身の回りで実体験している物質,現象から,化学という学問へ帰納してゆく構成がとられなければならない。

混合物を取り扱わなくなったために化学教育はどのような状況になったか

本論説の冒頭に掲げた「奇妙な質問,奇妙な解答」の項でも述べたように,高校の化学が混合物を取り扱わなくなったことにより,生徒たちのもつ物質観が妙に捻じ曲げられたように思われる。先にあげた石油を燃やすとなぜ二酸化硫黄が発生するのかという質問に代表されるように,身の回りの物質が混合物であることを忘れてしまうことなどがその一例である。

このことは,化学という学問分野の学習には欠かすことの出来ない実験においていっそう鮮明になる。学校における化学教育の素材が天然に存在する物質(混合物)から純物質に移るにしたがって,実験において用いられる試料も純物質のみが用いられるようになって来た。このため,現在の高校化学教科書で課されている実験の多くが検証実験である。検証実験はすなわち理論的に導かれた結果を実験によって検証してゆくものであり,理論的な展開の正しさを証明するもので,実験結果から帰納して新たな問題点を発見することなどを目的としたものではない。このことを生徒たちがどう捉えているかが問題なのである。

「結果が分かっているのならば,実験する必要などないのではないか」という声の一部の高校生の間にあると言われている。結果が分かっているのなら,調べてみたいという意欲は湧かない。したがって純物質を用いた実験は,生徒たちにとって,その結果が示すものがどのような理論の正しさを証明しているのかということ学ぶというよりも,自分の実験操作が

成功したか失敗したかにだけ関心が向いてしまう。

このことに関して著者には苦い経験がある。それは、1970年代に大学低学年の non-major 学生の化学実験を担当していたとき、ヨウ素滴定で手慣らしを兼ねて、市販一級試薬の結晶硫酸銅を与えてその中に含まれる銅の量を求めさせ、化学式から求めた値と比較させたときのことである。当然のように学生は実験で求めた値を計算で求めた値で除して（学生たちはこれを純度と表現していた）、両者の比較を行ったが、その時100.02%という値を出した学生が、「純度が100%を超えるということはありませんので、今回の実験は大失敗だった」という真剣な悩みを示す考察を付してきたのに対し、90%前後の純度の値を出した学生が「今回の実験で得られた値はまずまずの値だと思う」という、化学の観点からすればなんとも非常識な感想を付してきた。与えた結晶硫酸銅一級試薬の純度は少なくとも98%以上ではあろうから、前者の学生の実験操作は後者の学生の実験操作に比べてはるかに精確であると思われるのに、実験した学生自身の受け止め方は全く違っていた。純物質を用いた実験ばかりやっていると、実験誤差の観念すら失われてしまうことを示す一例である。

「すべての物質は化学式で表せる」という考えは一面において正しい。ただしそれは、天然に存在する混合物から純物質が取り出され、その純物質についてだけ成り立つものである。純物質から始まる化学教育には、混合物から純物質を取り出す過程がすっぱり抜け落ち、「まず純物質ありき」では、化学が人間生活とどう関わっているのかなど全く理解できず、したがって学習意欲も湧かず、その分野への進学志望も薄くなり、ひいては化学の後継者の人材の層を薄いものにしてしまうであろう。

## V 実際の混合物化学教材についての若干の事例

以上の考察を念頭に、混合物を化学教材として取り扱ういくつかの具体的事例について検討する。

### 引火点は化学教材に適さないか

1950年代までは存在し、その後高校化学から姿を消した教材に「引火点」がある<sup>(8)</sup>。著者もかつて、引火点測定の実験教材を開発し、さらに化学教育において引火点の持つ教材的価値について検討した<sup>(9)</sup>。

高校化学において引火点がどのように扱われてきたかを知るために、第2次大戦後の化学教科書について引火点教材を調べてみたところ、引火点は当然のことながらすべての教科書で石油教材の中で扱われており、生活経験理科カリキュラムの時代はもちろん、系統理科に戻った初期までは石油の分留とともに、分留によって得られた製品の引火点が示されていた。これが完全に姿を消すのが1970年代の理科教育現代化の時代からである。この現代化の時代には、化学教材は精選という名のもとに、すべて理論的検証可能なものだけとなってしまった。そのために、引火点のような化学の基礎理論による検証がしにくい教材は排除されてしまったのだと思われる。しかしこのことは、高校進学率が急上昇し、高校教育が準義務化した時代の国民的教養としての理科教育の姿として正しかったとは到底思えない。

消防法において石油類は、第1石油類から第4石油類に分類されているが、これは引火点による分類である。ということは、引火点はこれら石油系燃料の危険度を示す指標だということである。事実毎年冬季には、灯油ストーブへ誤ってガソリンを入れたために起こった火災が新聞紙上などで数多く報道されている。理科教育は自然の科学的理解という面のほかに、安全教育という側面を持っている。このことから、石油製品の引火性についての知識は日常生活の中で重要なものである筈である。

しかしながらこのような実用面を除くと、引火点教材は化学の理論面(例えば化学量論など)と馴染まない性質のものである。直鎖アルカン同族体などについてみると、純化合物では沸点と引火点の間にはかなりよい直線関係が見られる。しかしながら灯油や軽油といった同族体混合物の引火点は、その構成炭化水素の個々の化合物の引火点の平均よりはるかに低く、



引火点はその構成炭化水素混合物のなかのより低い沸点を持つ化合物、換言すればより高い蒸気圧を持つ化合物によって決まってくることを示している。われわれの周囲にある物質の理解ということが化学教育の使命であるのなら、われわれの周囲にある物質はほとんどが混合物であるから、化学教育がそれに目をつぶることは許されない筈である。引火点教材はそれを具体的に示すものであると言える。

著者はかつて（1990年および1991年）大学新入生（つまり高校卒業生）を対象にして、石炭、石油、LPGの化学の基礎知識の調査を行ったことがあった。<sup>(10)</sup> その中の石油に関する質問のうち、ガソリンのオクタン価の化学的説明と液体燃料の引火点に関する知識は非常に低く、知っていると答えたものの割合は前者では僅か6%、後者でも22%であった。そしてこれらはいずれもその本質を化学式を使って説明することが困難な事項である。つまり化学式に馴染まない内容についての知識水準が非常に低いということを示している。つまり理論や計算のみを重んずる現代化の時代には、混合物ではその物質を単一の化学式で表すことが出来ないため、引火点などの教材は削除され、それがその後の指導要領の改定でも引き継がれているのである。

#### 中等化学教育の内容として、<sup>(11)</sup> 油脂は価値の低い素材なのだろうか

生体を構成している有機成分のうち大量に含まれているものは、炭水化物(糖質、繊維質)、たんぱく質、脂質であるが、このうち脂質はただひとつ高分子化合物を含んでいない成分である。したがって脂質を扱うときには、高分子化合物に特有の多分子性、高次構造を考慮しないですむ。そしてわれわれの身の回りに多く見られる脂質は油脂である。油脂の主成分はトリアシルグリセリンで、油脂を構成する脂肪酸は多種にわたる。それが分子中に3つのOH基をもつグリセリンとエステルを構成するのであるから、油脂を構成する分子種は極めて多様なものになる。<sup>(12)</sup> すなわち油脂は本質的に混合物なのである。

このような分子種の多様性から、従来油脂の分析においては加水分解によって脂肪酸の混合物を得、それを分析するのが一般的であった。また、このように油脂は分子種ごとに分離分析するのが非常に難しいということが、油脂分析において「ヨウ素価」、「けん化価」などの特数が非常に多く、かつ広く使われた原因である。近年液体クロマトグラフィーの技術的進歩によって、分子種ごとの分離分析がかなりのところまで可能になってきているが、このような先端的知見は、中等教育の内容となるにはまだ相当の時間を要するであろうし、またそのような知見が中等化学教育内容の構成に必要であるかどうかも疑わしい。つまり油脂は、混合物であるままの姿で化学教育の素材とするのが自然なのである。

高等学校の化学教科書の中における油脂の記述が占める比率を調べてみると、1950年代の代表的教科書である柴田、津田、島村著「化学」(大日本図書)では2.3%あったものが、1970年代の教科書では0~1.8%(平均0.8%)まで減少しており、生活単元理科から理科教育現代化へと進む中で、油脂は化学教育の教材・素材から外されていった。そしてそれは1980年代以降も変わっていない。この理由として一般に言われているのは、教育内容の増加増大に対処するため、基礎基本の教育に徹するという方針の下に教材の精選が行われ、そのときに応用科学的な内容が排除されたというのである。しかしこれはあくまで建前的な説明に過ぎず、もっと本質的な問題がそこには存在している。それが純物質と混合物の問題で、根本には化学をすべて化学式で教え込もうという流れの中で、混合物は登場する舞台を与えられず、本質的に混合物である油脂は非常に肩身の狭い思いをすることになったというのがこの本質であると考えられる。

さらにこのことをより鮮明に浮かび上がらせるために、各時代の教科書で、油脂がどの化合物群のところで扱われているかを調べると、生活単元理科の時代にはたんぱく質、炭水化物と並んで天然有機化合物のひとつとして扱われていたのに、理科教育現代化の時代以降はほとんどの教科書でエステルの一例として扱われている。ある特定のトリアシルグリセリン分

子を取り上げるのならエステルの方がよいが、油脂の特性はその脂肪酸組成の多様さにあるのだから、それをエステルの一例とするのは好ましくない。重ねて言えば、合成されたトリアシルグリセリンは油脂ではないのである。

油脂の物性のうち融点はわれわれの実生活とも関係が深いし、それは混合物というものを理解するうえで重要な教育内容となりうる。例えば羊脂とカカオ脂は脂肪酸組成が似ているのに両者の融点特性は全く異なっている。カカオ脂は33℃近傍の、しかも非常に狭い融点幅を持っている。つまりカカオ脂は室温では固体、体温では液体として存在し、油脂一般がある程度の融点幅を持っているのに対し、即融性に近いかなりシャープな融点を示す。このことは、油脂一般が多様な分子種の混合物であるためにシャープな融点を示さないのに対し、カカオ脂がかなり純物質に近い組成（ある特定の分子種が極めて多量に存在する）を持っていることを示している<sup>(13)</sup>。またカカオ脂のこの特性は、チョコレートや坐薬の基剤に要求される特性と合致しているので、応用面での重要性は大きい。

この例に示した油脂の融点のような、身の回りの物質の特性を分子レベルで理解することから、化学への関心は高まってゆくはずである。そのためにも混合物の化学は有効である。

## VI 化学という学問の世界では混合物から研究がスタートする

自然科学系の学問では、まず謙虚に自然を見つめ、そこから何らかの法則性を見出すことから研究という活動がスタートするのが常である。当然のことながら、自然界には特別の場合を除いて純物質は存在しない。最も純度が高く天然に存在する物質は水であろう。太陽熱による蒸発と大気中での冷却による凝縮で生成した、一種の蒸留水と考えられる雨水でも、大気中に存在する二酸化炭素を溶かして降ってくるため、それによる化学反応が起こる。鍾乳洞の生成などはその例である。

化学という学問では、天然に存在する物質の持つ特性、たとえば色、味、

香り、生理効果などを研究しようとすれば、それが天然の物質（混合物）に含まれているどの成分に由来するのかを究明しなければならない。そのためには個々の化学種を分離する必要がある。そして分離された化学種（純物質）について諸般の研究が行われる。

また何らかの化学現象を解明するために、モデル系が用いられることがある。しかし、このモデルは自然界で起こっている現象を正しく反映したものでなければならない。例えば油脂は大気中の分子状酸素によって自動酸化反応を起こすが、この反応のメカニズムはリノール酸メチルを用いて研究された。これは、油脂の自動酸化はトリアシルグリセリン分子の脂肪酸部分で起こること、飽和脂肪酸やモノエン酸に比べてジエン酸であるリノール酸の酸化速度が著しく速いこと、リノール酸は多くの動植物油脂に広く含まれていることなど、リノール酸メチルが油脂の自動酸化のモデル物質として相応しいと考えられるからであり、またリノール酸メチルを基質とした自動酸化の研究で得られた成果を現実の油脂に適用した場合、極めて好ましい一致を示すからである。このようにしてモデル系が構成されるまでには、そこに至るまでの多様な試行錯誤があつて初めて可能になる。

このように学問研究のレベルにおいては、天然に存在する物質、すなわち混合物から研究の第一歩がスタートし、次いで純物質を使ってモデル化して研究するという手続きへと進むのであつて、決して最初から純物質だけを使った反応が研究の対象となるのではない。かつて理科教育現代化の時代に、「探求の過程」ということがやかましく言われたが、当時の教科書を見ると、先人によって探求された過程を純物質を使ってなぞるだけで、これでは探求の過程とは言えない。「探求の過程」こそ混合物からスタートしなければならないのである。

## VII おわりに

著者は1969年に広島大学教育学部へ赴任し、そこで初めて化学研究の傍ら化学教育研究に従事することになった。そして以来今日まで50編近い化

学教育に関する研究論文、論説を発表してきた。それは近年中尾安男氏によって回顧されており、著者の化学教育研究の特色を「一貫して現代社会における生活者の視点を貫いていること」と評価してくださっている<sup>(14)</sup>。そこで著者としても30年余にわたる化学教育研究のまとめをしようと志したのが本論説である。

著者は平成7年度の日本化学会化学教育賞受賞の栄に浴したが、そのときの受賞講演のタイトルが『『混合物の化学』のすすめ—中等化学教育内容改善のために—』であった<sup>(15)</sup>。つまり著者の研究を端的に表すとすれば、このタイトルが最も相応しいと考え、当時の原稿（印刷物としては未発表）にその後の研究結果を加えて再構成し、本論説を執筆したのである。

どの教科どの科目でも、学校における教育活動には、よき市民としての教養と安全な生活を送るための知恵を授けるという面のほかに、職業教育的面も含めてその分野の専門家を育成するという面がある。そして中等教育はその後に自らが選ぶ専門分野の選択の基礎を作る段階である。そのためにも高校化学をさらに魅力的なものにして、より優秀な人材を化学の後継者として確保すべきときが来ているのではなかろうか。そのためにも是非「混合物の化学」を高校の化学に定着させてもらいたい。混合物から純物質を分離することこそが化学の原点なのだから。

## 注

- (1) 1970年代には同じ理科の中では生物においても似たような現象が起こった。すなわち、当時急速な発展が見られた分子生物学を教育内容として取り込むのに急で、生物は生き物離れを引き起こしかけていた。しかしながら当時の環境破壊への反省ということもあり、生態学的分野の重要性が叫ばれたため、化学ほどの深刻な問題は起こさなかったように思われる。
- (2) 藤谷 健、「化学教育における「純物質」と「混合物」の問題」、『広島大学教育学部紀要 第1部』、24号、p. 321 (1975)
- (3) 大木道則、「化学教育専門委員会報告 その2 物質の巨視的な見方」、『化学教育』、22巻、p. 44 (1974)

- (4) 藤谷 健, 「化学教育における分離教材に関する若干の考察」, 『広島大学教育学部紀要 第2部』, 33号, p.107 (1984)
- (5) この2例はいずれも著者が課外授業などに招かれて高校生を対象に話をしたときのものである。なお両例ともその質問を受けた高校は、いわゆる受験校として高い学力レベルにあるといわれている学校である。
- (6) このことについて著者は、教科間の内容の関連の問題として詳細な検討を行なった。その主なものを以下に示す。  
藤谷 健, 「家庭科教員養成における化学教育—高等学校における理科と家庭科の内容の係り合いのひとつの側面—」, 『日本教科教育学会誌』, 3巻, 3号, p.134 (1978)  
藤谷 健, 「日本の女子中等教育における理科化学分野と家庭科の内容のかかわり合いの変遷」, 『日本教科教育学会誌』, 5巻, 2号, p.85 (1980)  
藤谷 健, 「中等教育における理科化学分野と家庭科の内容的かかわり合い」, 『日本教科教育学会誌』, 7巻, 4号, p.177 (1982)
- (7) 理科教育現代化プロジェクトの立ち上げは、1957年のソ連によるスプートニク打ち上げ成功により、米国の科学技術の劣勢が明確になったこと、所謂スプートニクショックが原因のように言われているが、実際にはそれより前から PSSC 物理のプロジェクトは発足していた。すなわち、生活単元・問題解決学習という一見理想的とも思える方式の持つ学力水準の低下は、米国の理科教育関係者の間ではすでに危惧されていたのである。これは今日 (21世紀初頭) の日本教育界におけるゆとり教育による学力低下の問題とそれに対する世論の反発に極めて類似している。  
化学における2つの現代化教科書のうち、日本の化学教育により大きな影響を与えたのはCHEMSで、1963年の出版である。そして「ケムス化学」として和訳が出版されたのが1965年である。
- (8) これと同じような性格の教材に、可燃性気体の「爆発範囲」がある。これの化学教材としての問題も再検討してみる必要があるのではないだろうか。
- (9) 藤谷 健, 四方貴之, 「引火点の化学教材化に関する若干の考察」, 『日本理科教育学会研究紀要』, 34巻, 2号, p.17 (1993)
- (10) 藤谷 健, 「大学新入生は身近な燃料についてどれくらいの化学的知識を持っているか」, 『化学と教育』, 40巻, p.120 (1992)
- (11) 中等化学教育の油脂教材については次の論説で詳細に検討した。  
藤谷 健, 「化学教育における油脂・脂質の取り扱いについて」, 『広島大学教育学部紀要 第3部』, 26号, p.33 (1977)  
藤谷 健, 川田有里, 「油脂は学校でどのように教えられているか」, 『油化学』, 42巻, p.529 (1993)
- (12) 油脂の構成脂肪酸の種類数を  $n$  とすると、それから出来るトリアシルグリセリンの分子種数は、光学異性体を除いても  $(n^2+n^3)/2$  にもなる。すなわち  $n=2$

のときの分子種の種類の数は6,  $n=3$  の場合は18,  $n=4$  の場合は40となる。一般に油脂を構成する脂肪酸の種類は、量的に多いものだけでも5種以上の場合が多い。

- (13) 単体あるいは化合物が純粋であれば特定の融点を示すということは、中等教育水準の化学においても純物質の特性として示されている。しかしその物質に多形が存在するときには、特定の結晶形ごとに融点は異なることに注意しておく必要がある。トリアシルグリセリン分子は多形が存在する身近な例である。
- (14) 中尾安男, 中尾 浩, 「先人に学ぶ化学教育IV—中国四国地区の先人の努力を追跡して—」, 『化学と教育』, 54巻, p. 622 (2006)
- (15) 平成8年3月29日, 日本化学会第80春季年会 講演番号2G104, 於青山学院大学 青山キャンパス