

理 科

〔I〕 必修総合理科を想定した 化学教材のミニマムエッセンシャルズ

戸 莉 進

I. 総合理科に関する動向

そもその発足の段階から多くの問題点を包蔵していた現行指導要領は、実施数年にして、それらが決して杞憂ではなかったことを感じさせられる、現実との大きな断層の存在が、も早、おおうべくもないものとなってきている。当然のこととして、その軌道修正は一年でも早くとの認識が、初中教育の現場は勿論のこと、客観的な立場に近い教育学者の側からも、さらにまた当の責任者である文部省の側でも共通のものとなり、それぞれに積極的な取り組みが進められていることは、一応望ましいことと、評価できよう。

しかしながら、そもその、軌道修正の立脚点である、問題認識の深さと、現状分析のきびしさの程度においては、三者三様というような生易しいものではなく、さらに、それぞれのサイドにおいて、文字通り天と地程もの開きが存在するのであるから、まかり間違うならば、軌道修正どころか、悔を千載に残すような事態に立ち至ることも無しとしない現状である。

特に、現行指導要領決定の段階において、諸般の情勢からその必修の枠の実質上の圧迫（形式上では、そうではないように見えても）を受けながら、本質的には従来通りの枠の保証の下でも決して容易ではない内容の現代化に踏み切ってしまった理科においては、この危険性は、他のどの教科よりも大である。現に、本紀要の前集*において筆者が分析し、指摘した多くの困難点（少なくとも、その解決は決して容易ではない問題点）のほとんどを気付かずに素通りに近い形で7月段階の第一次答申が出され、若し、筆者も含めた、日本理科教育学会や、日本理化学協会などの申し入れがなかったならば、一足飛びに、4単位のみ必修総合理科が決定という運びになってしまったかも知れないことに徴しても、このことは明らかであろう。

一応科目構成としては、総合理科は共通必修の4単位のみでなく、さらに2単位規模の選択総合理科の設定が昨秋の第二次答申として提出されているが、この新しい皮袋に何を、どのように盛り込むかは、事実上木定に近く、諸説紛紛というのが、在るが儘の現在

の姿ようである。

II. 総合理科の在るべき姿

現行指導要領修正の柱の一つとして、具体的には総合理科、総合社会などの形で代表される、現在までの余りにも分化しすぎた教科内の科目構成に起因する生徒達の科目単位に分断され群盲探象に類した自然認識の歪の修正自体は極めて重要なことであり、全く異論はない。しかしながら、それをいやしくも一つの科目、しかも必修のそれとして位置づけようとする限り、それには、それなりの哲学と、それに裏つけられた凝結核のようなものの確立が必然の急務であろう。

にも拘わらず、この点に関しては、うっかりしていると、半世紀も前に試行して明らかに失敗に終わった一般理科に見られたような、雑然とした導入教材の寄せ集め科目の新設という、安易な結果に墮してゆく危険性が多分に感じとられる。特に、中学の教材の洗い直しから、その原因・結果の是非はともかくとして、少くとも現象的には、明らかに不消化と判断せざるを得ないことから、前期中等教育のシラバスから弾き出された教材も在るだけに、この懸念が現実のものとなる危険率は決して小さくはないのである。

それでは、総合理科は如何に在るべきなのか。この点に関して、決して充分条件とまではゆかなくとも、考えられる必要条件のいくつかを、多少のコメントと共に次に挙げてみよう。

(1) 基礎科学としての位置づけ

共通必修の総合理科のシラバスは、文字通りの基礎科学のそれであるべきであり、それは第一に、総ての生徒の一般教養の基礎としての条件に堪えるものでなくてはならない。特に、平均寿命は長くなり、文明・文化の進展の速度は急激に増大している現在、生徒達は、われわれの経験してきているよりも、さらに短縮されたピッチで、その程度はさらに大きい常識の補正を運命づけられている。従ってその基礎という条件自体が、今日的な感覚で考えられるよりも遥にきびしい、自力で、20年あるいは30年後に、大きな、常識の補正をなしとげられるに足る

ものと言ったものに、質的な転換をしていることを見落してはならない。

そして第二には、大半の生徒がこの共通必修の総合理科に引き続いて、一ないしは数科目を選択履習する、物・化・生・地のそれぞれの直接の力強い基盤にもなりうるものでなくてはならないのである。

(2) 総合とは何か、の認識

単なる容器としての総合理科を発想し、指導要領の中に形式的に位置づけることは、とりわけてむづかしいという程のことではない。しかし、それを、意義ある存在となしうるか否か、そしてひいては、それを生きて働くものとなしうるか、あるいは形骸化し生命を失わせてしまうかは、この新しい皮袋に何を、どのように盛り込むのかで決定的になるのである。そうして、その核心が、まさにこの「総合とは何か」の命題なのである。

ところで、この総合であるが、それが寄せ集めと隣り合わせ程ではないまでも、わが国では、一般に余りにも安易に考えられ、受けとられているのではないだろうか。少くとも、私にはそのように思われてならないのである。

それについて、その哲学的背景については勿論、その具体的取り組みの人的・財政的規模の龐大さにおいても、またその息の長さと、展開の多様さにおいても、われわれが範とするに十二分なのが、オーストラリアのN.S.W州における Wyndham Projects であると思う。Sir Harold WyndhamとDr. Messelを中心とする、N.S.W.州の大学、中等学校などからの数十人のメンバーによる集団研究で、既に十余年にわたる取り組みを、中等教育理科の現代化を総合理科の角度で、数十校の協力による実証的研究データの feed back 方式で続けてきており、1971までに、前期後期6か年にわたる、それぞれに個性的な2組の教科書等にまとめ上げているが、現在なおより良いものを目標に、事業は進行中である。

中でも、前期4年用の Unified Science と、後期2年用の Multistrand Senior Science とは、**現段階のわれわれにとって、啓発される点の非常に多い労作と評価する。

とにかく、総合には、それぞれの要素に back bone が存在し、しかもそれらを混然として一体化する強力な凝結核の存在が大前提となることだけは間違いないと信じる。しかし、その要素にはかなりな自由度が存在することは当然であり、凝結核自体も、決して、これではなくてはというような、融通性に欠けるものでないこともまた確かである。

この自由度と、融通性をどのような形で大切にしながら、後期中等教育としての最少必要の level を

どのようにして充足させるかが来るべき修正指導要領の中心課題であろう。

(3) 間を大切に

広い意味で総合を考える場合には、当然その中に包括されることではあるが、結果的には従来盲点となり、軽視ないしは看過されてきたことであるので敢て項を新にして触れる次第であるが、それは、「間を大切に」ということである。

近代になって分化の一路を辿り、その結果20世紀という科学の世紀を生み出すことにもなった自然科学は、間もなく21世紀を迎えようとする現在、漸く、分化した個々の領域の間に厳存する亀裂ないしは空白の大きさに根本的な問題を意識するに至った。

それは、この亀裂ないしは空白が、科学者を含めた人間に、結果的には自然という巨大な対象を、極めて限定された領域のみから管見させ象を探る群盲の二の舞を演じさせるような場面が目立ってきたからである。かかる弊は、既に中等教育の段階から顕在化し、受験戦争とまで形容されるわが国の異常事態は更にこの傾向を増巾していることは否定できない。それだけに、総合理科の必要性は、オーストラリアなどよりも遥かに大きいと言える。

この様な意味において、総合において、特に要素と要素の間、また凝結核と要素との相互作用の場は必要以上と思われる程に重視し大切に扱われることが要請されるのである。

(4) 具体案の一例

以上述べてきた様な条件を充足するものであれば、新しい修正指導要領の必修総合理科としての要請に充分応えられるものとする。とすれば、具体化して、教科書の形をとった時点では、必然的に現行のどの教科よりも多様化することが予想されるが、それこそ、わが国の置かれている具体的な、歴史的諸条件の下で、「総合」を創造してゆくために、必要不可欠の過程であるとする。この過程を軽視して、無駄を省き、効率を高めるなどと頭だけで判断して、上りの暴走をしてしまったとすると、まさに仏造って魂入れずの愚を地で行くようなことになり兼ねない。

そのような意味での、実証的取り組みの価値が充分であると予想される、私なりに数年来次第に発酵させてきた試案を、敢て、叩き台の一つとして提案したいと思う。

その私案の骨子を要約すると、『生物学または地学領域のミニマム・エッセンシャルズ2単位弱を核として、物理学および化学領域のミニマム・エッセンシャルズ各1単位強を柱とした、4単位の必修総合理科』ということになる。これについて、いくつ

かのコメントを、簡条書きにして付記する。

- 核として、生物学または地学のミニマム・エッセンシャルズ（以下 M E_sと略記する）を考えたのは、何よりも先ず両者がそれぞれに、巨大な自然のいろいろな顔を多彩に包含しているという点で最適格と判断されるからである。
- しかしその反面、地学の M E_sがもついろいろな顔と、生物学のそれらとの間には、決して本質的という程ではないが、やはりかなりの相違が、特に自然へのわれわれのアプローチと言った角度から見ると、明確に感じられる。それだけに、4単位と極限された枠内での核として、生・地の二種を考えることは、ディメリットの方がメリットを凌ぐことが十分に予想されるからである。
- 主として、理科の履修は6単位で卒業する予定者を対象と意識して設定される予定の、2単位の選択総合理科では、4単位の方の核として地学の M E_sが用いられたものを履習した場合には、生物学中心のものを履習し、逆に生物学を核とした4単位の方を履習した場合には、地学中心の、2単位総合理科を選択履習させよう義務づけたい。
- 物理学および化学の M E_sは、4単位必修総合理科の、どちらのタイプについても完全に共通なものとした。勿論両者のそれぞれが、二学年以降に選択履習することを予想する、物・化それぞれの最も基礎的部分であることは勿論のこと、何よりも、4単位総合理科の核である、生物学の M E_sおよび地学の M E_sのどちらとも、密接な関連のある教材でなくてはならない。そしてさらに、結果的には、両者の、生物学的 M E_s または地学的 M E_sとの密接なからみ合いが、中学段階での第一分野と第二分野の間の

〔燃焼の探究を契機として〕

- Phlogiston 説 —— (Lavoister) —— → 燃焼の本質解明・酸素の発見
- 定比例の法則 ← [部分の保存も成立?] — ● 質量保存の法則

● Dalton の原子仮説

- ① (単位の存在) ……物質には最小単位 (ατομοσ) がある。
- ② (最小単位の属性) …… 1) 元素種：原子種 = 1 : 1
2) 原子は保存される(不生・不滅)
3) 化学変化は、物質を構成する原子の組み合わせの変化にすぎない。
(παντα λει との接点)

元素：物質種であって、その本質が連続・不連続の何れであってもそれとは無関係に想定しうる概念である。

断層あるいは空白を取り除く積極的な役割りを果たすものであることが望ましい。

Ⅲ. 必修総合理科における化学の M E_s

上述の必修総合理科の構成要素である生物学・地学・物理学それぞれの M E_sの抽出は、目下、その作業が進行中であるが、化学については、既に今日あることを予想して3年がかりで取り組み、昨年度末までに一応の結論に到達しているので、その骨子をここにまとめて発表し、忌憚ない御意見を聞かせて頂き、それらを feed back させて、本当に、必修総合理科における化学的 M E_sとして所期の役割を果たしうるものに仕上げさせて頂きたいものと考えている。

以下、A. ~ F. がその内容である。

A. 実験観察的導入

- a) エーテル蒸気やアンモニアガスのひろがり。
- b) KMnO₄ soln. の水中での(下から上への)拡散。
- c) KMnO₄ soln. の × 10ⁿ 希釈。

● 浮力(粒子の上下での水圧の差も、まして気圧の差は)が問題にならぬ程、微小な単位に分割されているらしい。しかも各物質の特性(のいくつかは少くとも)は失なわれずに。

● 重力に抗して、下から上へも拡がってゆくことは、その微小単位の運動を予想させられる。特に拡散速度が温度の高い程大きいという事実は、この予想の妥当性を裏づけるものと判断される。

(ところで、このような単位は確かに存在するのか? 存在するとすれば、どのような性格のものか? それを、先人達は如何にして確信するに至ったか?)

B. 燃焼の探究と化学量論の諸法則の発見から原子仮説へ

● 古代の自然哲学の二つの立場：物質の本性は ↙ 連続
↘ 不連続

$\frac{X}{Y} = \frac{nx}{ny} = \frac{x}{y}$ ……分子仮説②4)より、
 (表現の一貫性のため、考える最小値を1とおく。)

$H_2 = 1? \rightarrow \therefore H = 0.5$, $H_2 = 2 \rightarrow \therefore H = 1$
 現行の $C^{12} = 12,000000$ も実験精度だけの問題。
 基準概念としては、少しも変っていない。

● 分子量の測定

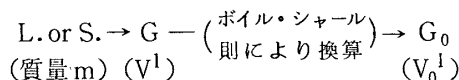
①基準： $H_2 = 2$ ($O_2 = 32$)

$$M_x = 32 \times \frac{nx^g}{no_2^g}$$

②(≡①') $M_x = 32 \times (x \text{の} O_2 \text{に対する比重})$
 ③(≡②') $M_x = (\text{空気の平均分子量}) \times (x \text{の空気に対する比重})$

気体ならば

④気体になりやすい



$$M_x : m = 22.4 : V_0$$

-- (feed back) --

⑤気体にもできない

L or S は適当な溶媒にとかして、希薄溶液の理論から

● 分子量の意味

分子量 = 原子量の代数和
 1モル (= 分子量^g)

● 分子量と現実との接点・アボガドロ数

1ℓ中に n 分子あったとすれば。また 1ℓが m^gなら
 2ℓ中には 2n 分子 2ℓは 2m^g
 3ℓ中には 3n 分子 3ℓは 3m^g

ところで (記憶し易い、定義としてきりのよい、数はどの辺り?)
 (感覚的に、質量も実感できる程の量は、何倍くらいか?)

H_2 の 1^ℓ (S.T.P.) ≡ 0.09^g ∴ 20^ℓ ≡ 1.8^g
 一方 $H_2 = 2$ よって $H_2^g = 2.0^g \equiv 22.4^ℓ$

(分子量)^g : $\begin{cases} H_2^g & = N_{H_2}^g \\ O_2^g & = N_{O_2}^g \\ H_2O^g & = N_{H_2O}^g \end{cases}$

1モル $\rightarrow N^{\square}$ の同一分子集団 \rightarrow 超物質種的に同一条件では同体積。

N : アボガドロ数

h, o はそれぞれ水素, 酸素の一原子の真の質量

「aモルは1モルのa倍である」という命題は、
 ◦分子数については、超物質種的に成立。
 ◦質量については、同一物質に限り成立。

E. 分子の定量的記載法

● 組成式 (f_e) の求め方

試料 (分子式 f_m = AxBy と仮定) の

$$W_g = nxa^g + nyb^g$$

ここに a, b は A, B 各原子 1 個の真の質量, n は W^g 中の分子数。

$$\frac{\alpha \%}{A} : \frac{\beta \%}{B} = \frac{\frac{100 nxa}{W}}{Na} : \frac{\frac{100 nyb}{W}}{Nb} = x : y \therefore f_e = AxBy$$

● 分子式 f_m = pfe (p は正の整数)

- 分子式の意味するもの :
- ①物質名
 - ②成分元素
 - ③組成
 - ④分子量
 - ⑤ 1モルは何 g
 - ⑥ 1モルは 22.4ℓ
 - ⑦ 1モルは N[□]

F. 化学反応の定量的記載法としての化学方程式

● 化学方程式

化学方程式を用いて化学反応を定量的に (質量保存則・定比則・気体反応則など) 表現した一種の方程式

● 方程式の作り方の要点

- 1) 反応系と生成系の物質を見落しのないよう
に、化学式で左右両辺に書き分ける。
- 2) 質量保存則をふまえて、両辺の各元素の原子数が保存されるよう係数を調える。
- 3) 未定係数法などもあるが、それよりも重要なことは、結局でき上がった方程式は最終的な収支決算であり、少し複雑な反応は、何段かの反応に分解して考えられることの把握である。それには、目に見える化学反応から、何故、何が起きたのかを見抜く態度を身につける努力が大切。

● 方程式を用いた計算

原則的には、定比例則、または気体反応則を踏まえた比例計算。従って、左右両辺の単位は同一でなくてはならないが、各辺の前項と後項の単位が同一でなくてはならないということは、全くないのであるから、注意したい。

勿論、気体の体積に関するものは、係数関係から暗算で解ける場合が少くないことにも注意。

IV 化学のM.Esとして化学量論を

採った根拠

以上のように化学量論構成の、化学の近代化の過程を、必修総合理科の化学領域サイドのM.Esとして採るに至った次第であるが、ここに至る経過のあらましを、先づ明らかにしておきたい。

昭和50年度には、「準義務教育化した高校の実態をふまえた化学Iのシラバスとカリキュラム再編成の実証的研究」という形で、近い将来に予想された学習指導要領の改訂の基礎資料として、高校化学の中での、より基礎的部分の、アンケート調査と、統計結果のグループ討論を中心として一応の結論にまとめた。次いで昭和51年度には「高校統合理科を想定した化学カリキュラム再編成の実証的研究」という形にしぼって、その時点で明確化してきた次期指導要領改訂に際して、高校の第一学年には、必修の基礎科学が設定される見通しを踏まえて、50年度の結論に対する、第二次のアンケート調査を先づ行い、その結果のグループ討論による、より根本的な部分の抽出を行った。さらに、それと併行して、オーストラリアのWyndham計画に基づく、N.S.W.州の中等教育の6か年の理科の教科書等を取りよせて、そのシラバスとカリキュラム展開の比較研究も行ってきた。以上を総合した結論として、新しい4単位の必修総合理科の中の、量的には1単位強の化学領域のM.Esとしては、古典化学から近代化学への脱皮の過程でもある化学量論形成の過程こそ、最適のものと判断するに至った次第である。なお、この2年間にわたる研究には、文部省から科学研究費補助金の助成も受けたことを付記して謝意を表したい。

なお、研究の第3年目に当る本年度は、「高校における必修総合理科カリキュラムの実証的研究——生物学をコアとした統合カリキュラム構成の試み——」といった形で、既に研究を進めているので、その結果については、本紀要の次の集に、何らかの形で発表したと考えている。

以上のような経過を経て、ⅢのA～Fにその骨子を報告した化学のM.Esについて、教材観の角度から、何故これを探り上げたかの根拠を簡状書きのにまとめて本稿のしめくりとしたい。

(1) 化学における粒子概念の重要性から

現代の化学において、学習から研究に亘るどの段階においても、総ての化学現象において、「原子や分子がどうなっているのか？」と言った粒子的思考の重要性は、今更、こと新しく強調するまでもないことのように思われる。

にも拘らず筆者がこのことを第一に挙げたのは、化学における粒子概念は、天文学における地動説と

酷似した面を持っているからなのである。それは、誰もが、一応はその妥当性と必要性を疑わないにも拘らず、われわれが五感で受けとめられるものは、物質は純粋である限り一様連続で、どうしても無限分割が可能であるという実感である。これは、如何に地動説が妥当と、頭では受けとめていても、太陽や月が地球をまわっており、地球が太陽のまわりをぐるぐると自転しながら、さらに公転をしているのだとの実感が無いのと好一対だからである。

ここに、地動説と同様に、化学における粒子概念が、判ったつもりになっていたのに、ふと、どこかで、判らなくなってくる原因がある。

このような不確実さを乗り越えるには、知識と、感覚との接点、別の言い方をすれば、理論と現実との接点を、大切にすることこそその鍵と言えよう。従って、粒子概念については、その理論サイドと、現実サイドの接点が、どこに在り、そこで両者が如何に結びつき、如何にからみ合っているかを、じっくりとした取り組みによって明らかにしておくことが極めて基本的であり、かつ重要なことなのである。

現在の中学のカリキュラムと高校化学のそれとをつき合わせてみると、高校一年という時期が、この面からも如何に最適であるかが判って頂けよう。

(2) 教材としての科学史の重要性から

「理科教育に科学史の反映を」ということは、程度の差こそあれ、誰しもが考えておられるに違いないことと思う。特に、物質の粒子概念の指導ともなれば、その密度の高さは一層と言えよう。

勿論、理科教育の場面では、科学史を反映させた指導と言っても、必らずしもそれが科学史の展開の史実に忠実に沿ったものでなくてはならないということはなく、時と場合によっては、むしろ意図的に無用の混乱を回避する意味で、時代の順序性を多少は超越したり、簡略化を行ったりすることに意義のあることさえ、ないわけではない。

しかし、物質の粒子概念の形成と発展、要するに化学量論の形成過程に関する限り、主として19世紀に展開した粒子の存在の確認の歴史と、それに続く20世紀に見られる、粒子の構造と、粒子による物質の構成にまつわる粒子概念の変容発展の過程は、正に車の両輪のような関係にあると共に、この順序の重要性も極めて大きく、決して前後を逆に入れ換えたりすべきものではないと考える。

とにかく、科学史に立脚した教材の、学習指導の上で果す役割りは、いわば、静止し、湛えられているダムの水のような、教科書の多くの教材と違って、躍動し、流れ下ってゆく川の水の魅力にあるのであって、その最も大切な要素は、科学が如何にして生

れ、形づくられ、変容し発展してきたかの仕組みなのであって、それが粗略に扱われたり切り捨てられたりしたのでは、「角を矯めて牛を殺す」の愚と言えよう。

(3) 概念探求の重要性から

理科が、所謂内容教科の一典型であることは、言うまでもないことであるが、それ故にこそ、その内容を小単位のものとしてしめくり、それらを有機的に結合させてさらに一まわり大きな単位にまとめ上げ、さらにそれらを大きな体系として構成してゆく過程において、決定的な役割りを果たす「概念」自体に直結した科学の方法が、極めて重要なものであることは、勿論である。

この過程は米国の Phoenix 等の強調する概念探求そのものであって、そこで重視されている、Key Concepts であるが、これは、マスター・キイのような固定された、静的な概念のものではなく、それ自体が修正され、変容し、発展してゆく極めて動的なものであることを見落してはならないのであるが、化学量論における粒子概念こそは、まさにその典型的なものと言える。

したがって、この粒子概念自体が脱皮変容し、その都度化学の体系自体が、質的な変化を達成して、

大きく発展してゆく相互のからみ合いを大切に取り扱うことは、科学の方法の本質を体得させるのに、好個の教材であることを十分に意識してゆきたいものである。

(4) その他

これらは、その重要度において、以上のどれとも甲乙ないのであるが、既に、本紀要の前集*に、発表したことと重複するので、表題のみを列挙するに止めたい。

- a) 探求の過程のきびしさと、その何物なるかを把握させるために。
- b) 化学的古代技術の段階から、近代科学としての化学への脱皮の契機の見きわめのために。
- c) 法則と法則、法則から理論（仮説を含む）への発展の論理の流れの把握のために。

文 献

* 戸莉 進「在るべき高校理科についての化学領域からの提言」

名大附属中高紀要 第19集（1973）

** H. MESSEL Sc. for High School Students & Multistrand Senior Sc. N.S.W. Government Printer SIDNEY, AUS.