

# 前期中等教育理科における化学カリキュラムの現代化

戸 荏 進

## 第 1 報 ろうそくの観察

### 1. まえがき

ろうそくの実験は、CHEMS プロジェクトにおける導入教材として、その特異な位置を占め、中でもろうそくの観察は、それにつづく一連のろうそくに関する実験の導入であると共に、CHEMS 自体の根本目標の一つにもつながる重要な布石となっている。

ところが CHEMS のテキストが和訳紹介され、それが急速に浸透してゆくようになると共に、今更ろうそくを……とか、高校の少ない学習時間の中でこんな実験までしている暇は……とか、いう声もまた案外聞かれるようになってきている。確かに CHEMS の第 2 章以下の見事な展開に比べるとき、第 1 章は従来高校カリキュラムに馴れて来た目には、第一印象としてそのような受取り方をされる可能性があることは十分考えられる。然し、だからといってこのプロジェクトの正しい評価のためにも、ましてこのプロジェクトを我が国の教育の中に同化吸収していくためには尚更、このような印象批判をそのままにしておくことには、いろいろな危惧を感じさせられるので、あえてこのようなテーマを第 1 報としてとり上げてみた次第である。

今更、とりたてて事新しく言うまでもないことではあるが、最近の物理的科学的発達の速度は、全く驚異的なものであり、ここ数世紀においては、その内容は 50 年ごとに倍増していると言っても過言ではない程である。然し、この発達の過程を眺めてみると、科学が進歩すればする程、未知の世界が如何に広大なものであるかを、ますます思い知らされる結果になってきている事実を、われわれは直視しなくてはならないと思う。このような立場に、しっかりと足を地につけて立ち、基礎教育を見なおすとき、そこにおける自然科学の取り扱い方も、従来の修正程度で進めていった場合には、徒らに内容が膨大化するのみで、次第に自然そのものの姿を見失ってしまうことになりかねない。従って、これからの自然科学の学習で焦点をしぼるべ

き問題は、

- (1) 広い適用範囲をもつ、普遍的な基本原理のいくつかを、しっかり身につけること。
- (2) そのような原理から出発し、やがては新しい原理の発見につながってゆくと考えられる前向きの加速度を、学習する生徒自体の中に作り上げてゆくことになる、そのような基本原理が如何にして発達してきたかという過程そのものを大切にすること。

であると思う。後者は、過程そのものと言ってしまえば簡単のようであるが、実はその中に、正しい知見やデータの集積・分類、データの背後にある原理を把握するために必要な理論の発達、新しい実験の結果を予測することによる理論のテスト、データの再分類、理論の修正、これに基づく新しい予測などの実に多くの過程の繰り返しが含まれていることを忘れてはならない。

このような科学的方法を身につけるには、単に既成の原理を十分に理解するだけではなく、常に偏見のない、自由な気持ちで自然そのものを見つめ、結果を解釈し分類する能力、換言すれば、自由に創造的にものを考えることのできる能力が第一に要求されるのである。

以上二つの大きな目標に向って、これと真正面から取り組む構えを示しているのが CHEMS プロジェクトの本領であり、そのうちの第二の目標への直接の導入となっているのが、ろうそくの実験であると言っているのではなからうか。

### 2. 実験対象と時期

CHEMS については、筆者自身がこの十余年、高校化学カリキュラム現代化の仕事を手がけてきた関係もあり、<sup>(1)~(8)</sup>CBA 同様、かなり積極的な関心を持ち、抽出的にはあるが、実際に学習指導の中にも採り入れて検討を進めてきていたが、それが随分思い切って大

なたがふるわれて、再編成されているにも拘らず、我が国の4単位の化学のカリキュラムでは到底こなし得ない内容のものであることは確かである。

ここに、CHEMSを同化する一つの策として、一部では、何処を切りつめ、何を省くかというような論議も、まともになされかかっている原因がある。然し一方、現在の中学のカリキュラムを眺めると、実に19世紀的な色彩が濃厚で、特に化学教材においてその傾向が著しい。それで、私としては、もし真剣にCHEMSを同化することを考えるならば、中学の段階から大中にとり入れる方向でゆくべきではないかと考え、幸い本校が管理上は中・高一体となっており、中学の方についての実証的研究も併せて行ないうる立場にあるので、数年前より中2の第一分野を連続して担当させて貰い、この角度で研究を進めてきている。その成果の一端は、本研究の第2報としてまとめたが、この第1報では、中学において、少なくともCHEMSの導入の段階はこれを取り入れても十分その成果が期待されうることを、ろうそくの観察の実験により確かめ得たので、その点を中心にまとめてみた。

実験対象としては、中学2年の二組と、高校2年の二組とをとり上げ、外に対照群として高校2年の一組も使用した。また実験の時期としては、このテーマの性格に、当然カリキュラムの最初に位置づけるべきものであるから、中2・高2のいずれも4月の中旬であるが、この実験の効果を比較測定する目的で行なったチオ硫酸ナトリウムの溶融・凝固の観察は6月初旬に行ない、また定着の状態を確かめる目的のテストは5月中旬に行なった。

### 3. 実験の経過

#### (1) 目的

この観察のねらいそのものは、身近かな、よく知っていると思っているものも、それをしっかり見つめることが如何に大切であるかを感得させ、次のような観察の基本的態度を身につけさせることにある。

- i) 外観・臭い・手触りのような一見当りまえなように思われるものも、すべて大切な観察事項である。ただし、味や臭いなどは毒性の無いことが知られない限り軽率に試みてはならない。
- ii) 記述は定性的であるよりも、定量的であることが一層望ましい。例えばろうそくの燃焼について「光を出す」というより、「普通の明るさの部屋でも、その炎は光ってみえる」という記述の方が、さらに望ましいのである。
- iii) 観察の内容に価値観を介入させてはならない。たとえば、ろうそくが燃焼に際して「音を

たてない」・「光を出す」という観察は同程度に価値があるのである。

- iv) 記述に際し、「観察」と「説明」の混同をしてはならない。燃焼するろうそくの皿状の部分に「無色の液体がある」というのは一つの観察であるが、「パラフィンがとけている」というのは説明であって観察ではない。まして燃えているろうそくを見ただけで、「水蒸気が発生する」などとするのは、とんでもないことである。要するに「観察したこと」と、それがどんな意味をもっているか、あるいは何故であるかなどを「考えること」とは厳に区別しなくてはならないのである。

このようなねらいについて、中2と高2を比較した場合、どのような差異が認められるかを次のような面から調べてみた。

- i) ろうそくの観察の中2と高2の比較。
- ii) 観察の要点に対する定着度の、テストによる確かめ。
- iii) ろうそくの観察を経験した高2の二組と、その経験を持たぬ一組との観察へのかま見えに見られる差異。(チオ硫酸ナトリウムの溶融・凝固の観察)

#### (2) 準備 (1クラスについて)

- i) 新しい直径約2cm、長さ約20cmの白いろうそく12本  
一度点火したものは燃焼の際の各種の条件が、いろいろの形で残り、このような比較研究や、評価の場合には不適當である。
- ii) ろうそくたて・マッチ各12  
ろうそくたてはNo. 7程度のゴム栓に、ろうそくがぐらつかない太さの釘をつきさしたものが望ましい。板などに釘が傾いて打たれたものや、釘が細すぎでろうそくがぐらつくような場合には、燃焼のしかたに、いろいろの差が現れるので望ましくない。

そのほか忘れてならないことは、部屋の窓をしめ切ることである。夏などは特にうっかりして忘れやすいが、この影響は馬鹿にできない大きさのものである。

#### (3) 方法

今迄に三年ばかり前から何回も試みてきた結果、一人に一本のろうそくを渡して観察させるのは、経費と手数そして時間もかかる上に、その結果は数人のグループによる観察よりも次のような諸点で効率が悪いことが明らかになった。

- i) 一人一人だと観察が軌道に乗るにおそい生徒があり(しかも、これが必ずしも低能力者ば

かりとは限らない), 一応目的を達するために  
は10~15分は必要である。然し数名のグループ  
では, 5分間ではほぼ十分の成果が得られる。

- ii) 個人観察では, 特定の角度に限られやすい  
が, グループでは同じ生徒でも単独では気づか  
なかったような観察まで, 積極的に行なうこと  
ができる。
- iii) 観察能力の低い者も, グループの中におれば  
少なくともいろいろな見方を教えられ, 多くの  
印象を残すことができる。反対にこのような生  
徒は個人観察法で行なった場合, 15分の退屈な  
時間を経験させるだけで報告は白紙に近くな  
る。このような点は高校で, しかも選択して化  
学を履習しようとしている者のみを対象とする  
米国の制度と, 全員必修の我が国の条件を考え  
併せて, 適用に際して他の実験についても常に  
配慮しなくてはならない大切な着眼点である。
- iv) 個人観察では当りまえのことながら観察しな  
がら記録するとはいうものの, 実は記録してい  
るときには観察は中断しているわけで能率が悪  
い。

従って, 今回は一組を12グループに分け, 各グル  
ープ一人を記録責任者とし, 他は観察専門に廻るよう  
にした。しかし記録責任者は, 記録に追われるのは, 最  
初の2, 3分で, それ以後は十分観察できる。与える  
時間は5分間。

また今回はろうそくの消火後の状態については観察  
させなかったが, これは **CHEMS** テキストの付録1.  
に専門の科学者が行なったろうそくの観察事項53項目  
があげられているので, それとの質的比較も考えたわ  
けであるが, その中に消火後の観察が入っていないか  
らであって, 他意はない。

なお, 観察前の導入として10分ばかり話をするが,  
その要点は次のとおり。

自然科学の学習では何よりも先ず自然を見つめる  
ことが大切である。然し, われわれは目には映って  
いても, それをよく見ようと思わなければ, 本当  
に見ることができない。その意味で諸君が, どのくら  
い, ありふれた簡単なものでも注意して見るこ  
とができるか, またどのような点で, 今後自然の見方  
において注意しなくてはならないかを, 体験を通し  
て, しっかりつかんで貰いたい。

#### (4) 結 果

以上のようにして, 中2の二組24グループと, 同  
じく高2の二組24グループにろうそくの観察をさせた結  
果が次の表である。番号は, **CHEMS** テキストの付  
録1のものであり, アルファベットは, 付録1にはな  
いが, 生徒の観察で出てきたものである。数字は観察  
事項の実数で, 24ならば全グループによって観察され  
たことを表わすことになる (総計では48)。

燃 焼 前 の ろ う そ く の 観 察 (5分間)

No.	事 項	中2(24)	高2(24)	計(48)
2	円柱形	14	14	28
3	径約2cm	9	8	17
4	長さ約20cm	9	12	21
7	半透明	15	13	28
8	白 色	13	10	23
9	固 体	4	1	5
10	少しにおいがある	4	—	4
11	味はない	1	—	1
12	爪で削れるくらい柔い	12	5	17
13	しんがある	15	14	29
14	しんは上から下まで通っている	5	7	12
15	しんは円柱の軸の位置にある	1	2	3
16	しんは1cmほど上の方に出ている	4	7	11
17	しんは3本の糸をより合わせてある	1	7	8
a	石けん様の感触	17	8	25
b	比重小	4	—	4
c	さわったあと, 手がねばい	1	1	2
d	孔がある	23	17	40
e	孔は下の方だけにあいている	7	9	16

前期中等教育理科における化学カリキュラムの現代化 (第1報)

f	つやがある	6	3	9
g	水をはじく	4	—	4
合 計		169	138	307
平 均		7.1	5.8	6.4
観察というより説明的なもの		19	15	34

燃 焼 す る ろ う そ く の 観 察 (5分間)

No.	事 項	中2(24)	高2(24)	計 (48)
1	(図も併用)	9	3	12
5	次第に短くなる	11	4	15
6	2 cm/hr くらいの割で	7	2	9
18	点火には数秒を要する	9	3	12
19	音をたてない	—	—	—
20	ろうそくの本体は冷たい	2	—	2
21	ろうそくの上から 2 cm までくらいは暖い	5	—	5
22	ろうそくの上から 2 cm までくらいは指で成型できるくらい柔い	2	1	3
23	風があると炎はちらつく	11	6	17
24	ちらつくとき炎はすすを多く出す	21	14	35
25	風がないとき炎は動いていてもその形は大体一定	9	3	12
26	炎はろうそくの上部 3 mm くらいの上から始まる	1	2	3
27	炎の下の方は青色	23	22	45
29	炎の中心は暗い	7	16	23
28	暗い所はしんのすぐ近く、左右 5 mm、上下 1 cm くらい	—	—	—
30	暗い所の大体の形は円錐形	—	—	—
31	円錐形のまわりと上部 1 cm ほどの間が黄色の光を出す	20	24	44
32	明るい光が、まぶしくはない	4	16	20
33	炎は大体整った輪かく	15	10	25
34	炎の上端はぼさぼさしている	11	4	15
35	ろうそくから出たばかりの所のしんは白い	19	12	31
36	炎の中のしんは黒くこげたと見える	22	13	35
37	しんの先 2 mm くらいは赤く輝いている	6	1	7
38	しんの先から 5 mm くらいは巻いている	5	3	8
39	外に出ているしんの長さはいつも一定	7	3	10
40	炎からは熱が出ている	4	3	7
41	静かな炎の横 5 mm くらいでは 10~20 秒で指がおけぬくらい	—	1	1
42	静かな炎の上 10~15 cm の所も指がおけぬくらい	—	3	3
43	静かにもえるろうそくの上部はわん状になる	23	23	46
44	その中には無色透明の液体がたまる	22	13	35
45	炎を吹くとその流れた方のふちがとけ、液が流れだす	9	11	20
46	液は流れ落ちるにつれてさめる	7	1	8
47	流れ落ちるにつれて半透明になる	18	4	22
48	流れ落ちるにつれて外側から固まる	11	5	16
49	側面につく	14	8	22
50	風がなければ長時間このようなことはなく燃えつづける	1	—	1
51	このような時、わん状の凹みには一定量の透明な液体がある	1	—	1
52	液体はしんのまわりからは上がる	15	9	24
53	液体はしんの下部を炎の下までぬらす	1	1	2
h	炎にさわると黒煙がでる	2	1	3
i	炎は下から上に向かって流れている	1	2	3

j	炎のまわりには上昇気流がある	1	0	1
k	炎のまわりや上を通してみると向う側がゆれてみえる	3	2	5
l	炎がゆらぐとき特に臭気がある	4	2	6
m	液は熱い	1	0	1
n	暗い炎の部分はすきとおって見える	0	3	3
合 計		364	254	618
平 均		15.2	10.6	12.8
観察というより説明的なもの		50	29	79

#### 4. 考 察

##### (1) 観察事項の結果について

- i) グループ観察で行なえば、5分程度で大体専門の科学者が観察した程度の殆んど全部がークラス中のどれかのグループで観察される。特にこの傾向は中2の方に、より完全に近い形で見られ、さらに確かに重要と思われるそれ以上の事項も観察されうる。
- ii) グループ観察では、5分程度で量的にも、各グループ平均して専門の科学者の $\frac{1}{3}$ くらいの観察はすることができる。なお本校の中学生は決して特別なものではなく、義務教育の研究対象として、一般の公立中学並の生徒の質的構成をねらっており、一学年は、約1500名の志願者中より無作為抽出によって採択した100名で構成されている。また本校の高校生は、高校教育の準義務教育化の可能性の限界を求めることを一つの目標としているためと、個人追跡研究の目的もあって、以上のような付中生を資格試験によってその約80%が結果的にはスライド入学していることを付記しておく。
- iii) 中学生の方が確かによく観察していると思われる主な項目は、5・6・9・10・12・18・21・23・24・25・33・34・35・36・37・44・46・

47・48・49・52・a・dなどであるのに対し、逆に高校生の方がよく観察していると思われるのは、29・32・42・nなどと極めて少ない。

- iv) 観察事項数の平均でもまた中学生の方が明らかに優位にある。
- v) 観察というより説明的な記述の数は、流石に高校生の方が明らかに少ない。
- vi) 下手な言葉よりも完全な表現のできる有力な手段の一つである図を利用する習慣のついている者が少ないことは、言葉とその像が、文字で中断されるタイプの者が少なくないことと思ひあわせて、非常に考えさせられる問題点を含んでいる。

##### (2) 観察の要点に対する定着度のテストによる確かめ

観察そのものでは以上のような結果が出て、中学生でも十分その効果を期待しうることが判ったが、その定着度も確かめたいと考え、極めて簡単なテストではあるが、次のようなCHEMS Teachers Guideの問題で、中2、高2それぞれに調査してみた。その結果は以下の表のようである。表中アルファベットを○で囲んだのは正解。また実数の右下の小さい( )内の数は内完全解数。

ある生徒が燃焼するろうそくを観察して次のような事項を報告した。

- ろうそくは燃焼すると光と熱を発生する。
- ろうそくのしんは三束の糸をより合わせてつくってある。
- ろうそくは燃焼するとき、ほとんど全く音を出していない。
- ろうそくはもえて二酸化炭素と水を生じる。
- ろうそくの上の方は皿状になり、無色の液体がたまっている。

以上について、次の各問いに記号で答えなさい。

- 以上のうちで観察というより、説明に類するものはどれですか。
- 以上のうち、定性的観察はどれですか。
- 以上のうち、定量的観察はどれですか。

前期中等教育理科における化学カリキュラムの現代化 (第1報)

中 2 (男 女 計)  
(51 40 91)

	男	女	計
a	8	7	15
b	21	17	38
c	4	3	7
d	33 (21)	22 (14)	55 (33)
e	3	4	7

122

@	25 (2)	18 (2)	43 (4)
b	3	5	8
c	24	13	37
d	9	11	20
e	18	12	30

138

a	1	6	7
b	24 (1)	18 (1)	42 (2)
c	9	11	20
d	5	4	9
e	20	13	33

111

高 2 (男 女 計)  
(59 36 95)

	男	女	計
a	6	4	10
b	19	13	32
c	2	—	2
d	48 (34)	26 (18)	74 (52)
e	1	3	4

122

@	39 (3)	20 (0)	59 (3)
b	9	3	12
c	39	20	59
d	8	9	17
e	13	6	19

166

a	14	5	19
b	32 (2)	17 (0)	49 (2)
c	20	1	21
d	6	3	9
e	46	21	67

165

以上、決して好ましい結果ではないが、次のようなことは判る。

- i) 観察と説明との区別は(1)でもはっきりしているように、ここでも明らかに高校生の方が優れているといえる。然しそれは中学生の方の数も決して少なくない点を考え併せれば、決して決定的な差という程のものではない。
- ii) 定性的観察、定量的観察の区別を明らかにすることができるようにさせるには、1ヶ月半ばかりでは、中高ともにむづかしい。

(3) 高校生でろうそくの観察をしたことの効果

次に中学でろうそくの観察などの経験を、全く持たなかった生徒に、高2になってからでも、ろうそくの観察をさせることの意義の有無をたしかめたいと考え、観察を行なった二組と、それを行なわなかった一組とに6月初旬、チオ硫酸ナトリウムの15gを試験管に入れたものに温度計をさしこみ、その全体を500ccのビーカーの水の中に支えて、次第に加熱、完全に溶融するまでに観察した事項と、逆に完全に溶融したところで、室温の水の中に支え、冷却してゆく過程で観察される事項とを、グループ観察で行なわせ、その結果をまとめてみた。

加熱の場合

No.	事 項	H 2 A (12)	H 2 B (12)	A, Bの 平均(12)	H 2 C (12)
1	最初変化なしに温度のみ上昇	1	2	1.5	1
2	(とけはじめの温度を記載)	10	10	10	7
3	とけはじめると急激にとける	2	2	2	3
4	温度は上昇したり下降したり波打つ	5	5	5	—
5	大体温度一定の状態がしばらく続く	2	5	3.5	—
6	まわりからとけはじめる	1	—	0.5	—
7	下のほうからとけはじめる	7	8	7.5	6
8	とけはじめに臭気が感じられる	1	3	2	—
9	試験管の壁に小さい気泡がつく	5	2	3.5	3

教 科 教 育 研 究

10	上から結晶が落ちこむと温度が下る	5	4	4.5	2
11	底には白いものがたまり、上の方は透明	5	5	5	5
12	よくかきまわすと底の白いものは消えた	1	—	0.5	—
13	とけた液の粘度は大きい	2	2	2	2
14	とけた液は透明	3	5	4	1
15	(完全にとけた時の温度を記載)	9	10	9.5	7
16	完全にとけてしまうと温度は急に上昇	6	8	7	2
計		65	71	68	39

冷 却 の 場 合

No.	事 項	H 2 A (12)	H 2 B (12)	A, Bの 平均(12)	H 2 C (12)
1	温度が下ると液のねばりが増す	6	4	5	6
2	温度は上の方が2度くらい高い	2	1	1.5	—
3	温度計を動かしたら急に泡立って結晶がでる	4	2	3	1
4	(結晶析出開始点の温度記載)	9	8	8.5	4
5	結晶は上の方から析出しはじめる	3	4	3.5	1
6	結晶は下の方から析出しはじめる	4	2	3	3
7	結晶は次第に大きくなり、沈みはじめる	1	1	1	—
8	結晶は沈みながらも次第に大きくなる	2	2	2	—
9	下に沈んだ結晶は、さらに大きくなる	1	2	1.5	—
10	途中で上の方からも結晶が析出	1	2	1.5	—
11	結晶しはじめてから温度は下らない	2	—	1	1
12	結晶の析出と共に温度が数度上昇	5	7	6.5	3
13	析出した結晶はとがす前より小さく細長い	2	2	2	—
14	結晶は上の方が大きく下の方が小さい	3	2	2.5	2
15	(全体が結晶ばかりになった時の温度を記載)	1	3	2	4
16	20°C近くになっても結晶しない	3	2	2.5	1
計		49	44	47.5	26

以上の結果から明らかに言いうることは次の二つであろう。

- i) 高2でも、ろうそくの観察を経験しなかった組は、観察の量が、経験した組の6割程度になる。
- ii) 観察の質の面からも、経験組が確認したことのうち、4割ぐらいは見落してしまっていることが認められる。

(4) 総 合 考 察

以上の諸結果を総合すると、大づかみにして、次のようなことを言いうると思う。

- i) CHEMS のろうそくの観察などは、高校生よりも中学生の段階で、しっかり行なわせた方が効率が高い。
- ii) CHEMS のろうそくの観察を、中学で経験してきていない高校生には、グループ観察の方法で行なわせれば大した時間の浪費もなく、その効果は十分あるから、是非行なうべきである。

(注)

- (1) 戸 莉 進 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
- (2) " 電子充填公式の効用について  
同紀要2 P.68~70
- (3) " 高等学校化学教科書の二、三の盲点について同紀要3 P.132, 133
- (4) " 理科における学習困難点——高校化学の部——同紀要6 P.50~58
- (5) " 科学的思考の指導以前の問題点  
同紀要8 P.54~57
- (6) " 高校化学カリキュラム現代化のための一試案  
同紀要9 P.52~57
- (7) " 高校化学カリキュラム試案に基づく学習指導  
同紀要10 P.91, 92
- (8) " CHEMS セミナーに参加して  
同紀要11 P.99~107