



フォーラム

「ろうそくの燃焼」をめぐる 化学教育上の諸課題

米田 昭二郎

1 はじめに

“点火したろうそくに広口びんをかぶせたら、どうなるか”

当時(1977)の小学校5年理科単元「酸素と二酸化炭素」の導入部で行う観察活動である。筆者はこれを指導計画作成前、理科準備室へ訪れた3人の児童にこの観察シミュレーションを行うことによって、学習者のレディネスを把握して授業の最適化を図ろうとする「小集団診断バズ」を試みたことがある。

紙幅の関係で会話記録等は文献¹⁾にゆずるとして、気の合った3人の10才児が自由に交わす会話内容は、指導要領の枠内に安住してきた筆者への強烈な警鐘となった。その内容を要約すると

- ① 学習前から既に蓄積している豊富な情報(知識)量。
- ② ろうそくの燃焼に伴い変化する現象への鋭い観察眼。
- ③ 先行知識をふんだんに使った貪欲な探究心。
- ④ 火が消えたことに対する素朴な疑問と興味。
- ⑤ 情報(知識)としての二酸化炭素と対峙する、現実目にし触れて確かめた水生成の不思議との葛藤・撞着。

など。とくに⑤は指導計画に用意されていない内容であった。

しかし、こうして得られた子供たちからの貴重な情報も、中・高校に用意されているレドックス反応への連続性を信じ、それを隠れ蓑に、水生成から意識して目を逸らせる従前からの「乾いた授業」に、課題を残しつつ終始したものであった。

初期教育における知識・態度・技能・習慣等獲得のささやかな齟齬は、以後の努力によっても簡単には修復し得ないことを、退職後の教養・化学実験担当を通して、目のあたり実感した。

今回、機会があって²⁾課題を残したままになっていた「乾いた授業」の影響を、児童・生徒・学生の認識を調査することによって明らかにしようとした。その結果、有機化合

Syojiro YONEDA 前金沢大学講師(非常勤)
[連絡先] 921-8154 金沢市高尾南2-121(自宅)。

物の燃焼によって同時に誕生する双子の「水」と「二酸化炭素」の校種を隔てた引き裂きが、化学教育上に重大な影響を及ぼしていること、長く教育資料として用いられている「乾燥空気」の成分表記が混乱を助長していること等が明らかになって来た。

2 空気組成の認識調査と結果

板上のろうそくに火をともした後、広口びんをかぶせたところ火が消えた。「広口びん内の空気の成分」を多いものから順に書きなさい。

1. かぶせる前
2. 消火した後

この調査票によって、小中学校は金沢市およびその近隣公立校、高校は金沢市内県立進学校(3年は理系)、金沢大学(教養教育・化学受講生;文系9,理系176)で03年4月(小は6月)実施した。

本稿に関連する部分のみを表1に示す。

この調査は必ずしも適切なサンプリングのもとで行われたとはいえないが、この結果から読み取れる興味深い問題点を指摘する。

- ① 空気の組成は教科書に繰り返し記載される「乾燥空気」によって規定され、水の存在を認め(記述し)ない。
- ② ろうそく燃焼後の空気組成においても、水の記述を拒否する。
- ③ 空気成分として誇張して記述される二酸化炭素に視点が集中し、火を消す悪役として象徴化される。
- ④ 初期の化学変化への感動的対面場面で意識的に水生成から目を逸らさせた影響が、その後の学習累積にもかかわらず高校・大学にも及び、変化がほとんど見られない。

表1 ろうそく燃焼前後のびん内空気組成(指摘率%)。

内容		小6	中1	中3	高1	高3	大
前	トップ指摘 n >	78	67	60	81	97	96
	トップ指摘 o >	15	29	33	8	3	3
	トップ指摘 c >	3	1	5	1	0	1
	Hの指摘あり	0	0	1	0	0	9
後	トップ指摘 n >	49	48	40	58	84	91
	トップ指摘 o >	6	1	1	0	0	0
	トップ指摘 c >	40	48	58	42	16	9
	2位指摘 > c >	19	32	36	53	65	69
Hの指摘あり		0	1	2	0	5	21
調査人数(人)		101	161	141	79	76	185

注: nは窒素, oは酸素, cは二酸化炭素, Hは水(水蒸気)。

生徒使用の教科書によれば、中学校理科1分野「有機物の燃焼」で水と二酸化炭素および光・熱の生成を学び、高校化学「化学反応と熱」「有機化合物の元素分析」では、詳しい図も用意して組成式を求める演習などを繰り返し学習している。従って、設問に答えた生徒・学生のほとんどが、びん内空気に水が存在することを（少なくとも教科書上では知りながら）指摘しないのは極めて不可解なことであると言わざるを得ない。

3 考察と課題

3.1 カリキュラムの変遷

本邦における近代教育黎明期以降の化学啓蒙書に見られるロウソクの燃焼に関する著作を見るに、舎密開宗を除きふんだんに「水の生成」を取り扱っている。特に小学化学書1.「火」の2試に見られる豪快な実験姿勢^{*1}、化学の学校10.「燃焼」での生徒が思わず発する感嘆詞など^{*2}の記述から、原著者の学習心理も捉えた一途な教育姿勢がうかがわれる。しかも、これらは先述の「10歳児の会話記録」を上書きするものであり、興味深い。

生活学習から系統学習への転換を図った1958年以降、負担軽減の配慮も加わり、学習内容の分散化が図られ、小学校から有機化合物（注：小学校学習指導要領第4節理科6年内容B(2)では植物体としている）の燃焼によって生成する双子の「水」が「二酸化炭素」から引き裂かれたようである。

理科教育は低年齢ほど五感で認識可能な巨視的・包括的側面を重視し、成長に伴って微視的・分析的なカリキュラムへと体系化を図るのが常道³⁾である。表1はまさに「木を見て森を見ない」初等教育のつけが顕現化した結果と言わざるを得ない。

3.2 乾燥空気と現実空気

研究者にとって空気組成は「乾燥空気」として扱った方が便利であろう。しかし、水惑星の住人にとっては水の存在を省略しない「現実空気」の的確な認識が不可欠である。

飽和水蒸気圧は温度のみによって決まる。従って、その地点における気温と相対湿度の観測値が得られれば、そこでの空気に占める水蒸気の容積比は簡単に決まる。

日本の年平均水蒸気容積比(%)は、札幌0.8、東京1.1、

鹿児島1.5である。また、世界の都市ではモスクワ0.7、北京0.8、ロンドン1.0、ワシントン1.0、シドニー1.3、バンコク3.1、などである。03年理科年表では1~2.8を与えているが、生活域での値としては妥当なものと思われる。

空気成分としてH₂O、CO₂、CH₄、N₂O、O₃、フロンなどの温室効果ガスも加えているが、これらはすべて地域・時間によって絶えず変動している。従って、学校教育に供する空気の組成に関する定義やそれに伴う図表等の資料は、発達段階に応じた記述に学会等の協議を経て修正すべきではなかろうか。

3.3 化学史を考慮した学習指導

二酸化炭素は「空気」の中から最初に取り出されたガスで、1754年ブラックは「固まる空気」と名づけた。ついでラザフォードは「空気」の中でハツカネズミを飼い、ついでロウソク、さらに赤燐を燃やし、残った空気から固まる空気を石灰乳で取り去って、さらに残った空気を『だめになった空気』と名づけ1772年に学位論文として報告した。プリストリーとシェーレによる酸素発見(1774年)劇は周知であるが、それに『火の空気』と名付けたのは興味深い。初等教育においては、『あだな』として発見当時の名称を用いると学習活動に活気が生じる⁴⁾。

3.4 実験法の開発

ロウソクの火が消えた理由を確かめる適切な実験法をさらに研究開発することができないか。びん中の空気から半定量できる二酸化炭素・酸素以外に水(気体)の存在を認識できる実験法が望まれる。

たとえば、火の消えた広口びんに水道水を満たし、水を空けて新しい空気と置換できたことをロウソクの火で確かめた後、新しい広口びんへ沸騰水を満たし、同様に火が燃えるか調べる。このようにすると、びん内に残る水蒸気で空気(酸素)が極端に少なくなった結果の帰結であることを発見させる実験法⁵⁾として興味深い。

4 まとめ

従来、教育資料として用いてきた「乾燥空気」の成分表記が手枷に、有機化合物の燃焼によって同時に誕生する双子の「二酸化炭素」と「水」を引き裂いて学習する教育課程が足枷となって、化学変化の認識に混乱が生じていることについて述べた。

文部科学省が学習内容を固い束縛から解放するといった情報も聞こえ始めている。本誌の読者をはじめ、化学教育に熱心な学者・教育者が校種の枠を超えて研究交流しあい、こうした具体的な問題を日本化学会創立125周年の記念事業として、本誌の企画に取り入れていただけたら幸いである。

文献と注

- 1) 米田昭二郎, 理科教育, 140, 255 (1979).
- 2) 米田昭二郎, 化学史研究, 30, 67 (2003).
- 3) 山崎 豊, 他, 化学と教育(特集), 40, 745 (1992).
- 4) 阪上正信, 米田昭二郎, 日吉芳朗, たのしい化学実験—化学史でたどる, 講談社ブルーバックス (1984).
- 5) 米田昭二郎, 2) における演示実験 (2003).

*1 小学化学書(原著者:H. E. ロスコウ・英, 初版年1873, 訳・編著者:市川盛三郎, 出版:文部省1874)

1 回1章「火」

1 試: 瓶中ニ炭酸ヲ有スル理ハ蠟燭中ノ炭素燃エテ之ヲ生スルナリ(図1)。

2 試: 清浄ニシテ善ク乾キ冷エタル所ノ玻璃盃ヲ以テ之ヲ覆ウヘシ… 遂ニ茶碗ノ水ヲ聚ムルヲ得ルニ至ルヘシ、之ヲ嘗メ試ミルニ其味他ノ清水ニ同シクシテ唯少シク煤気ヲ帯フルヲ異ナリトスルナリ(図2)。

*2 化学の學校(演著者:W. オストワルド・独, 初版年1903, 訳者:都築洋次郎, 出版:岩波書店1940)

10. 「燃焼」

先生「…蠟燭の火を点じ、その上に大きな乾いたピーカーをかざします。」(図13)

生徒「息をふきかけたように硝子が曇りました」…

先生「蠟燭が燃えると一部分水に変わるので」

生徒「それは素敵だ。そんなことを考えたことはありません!…」