

ろうソクの燃焼における消火条件の特性及び教材の研究

寺 田 光 宏
菱 田 美 歩

The study of teaching materials and characteristics of firefighting conditions in the combustion of the candle

Mitsuhiro TERADA

Miho HISHIDA

Abstract

We have investigated through the textbook the current state of Japan and overseas of firefighting materials in the combustion of the candle. As a result, fire extinguishing materials had been posted on the textbooks studied of Germany and the United Kingdom. In addition, the same content as the issues that were on the final TIMSS1997 have been published. There is no scope of textbook materials about firefighting. Japan had been considered in the study level. Japan should be leaders in science classes in Japan firefighting because it is important in everyday life. In order to develop teaching materials about the candle, there is a need to clarify the physico-chemical properties of fire-fighting and burning candles. We investigated the minimum concentration of oxygen that can be burned by the density of the gas mixture of carbon dioxide or nitrogen. The burning of a candle has the effect of extinguishing the carbon dioxide. We have developed materials that reference this. Oxygen should be mixed with nitrogen to the following proportion ; 21 : 4 : 75 because this proportion is good for combustion experiment.

1. は じ め に

(1) 問題の所在

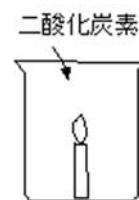
人類は「火を使う動物」とも言われる。火の利用は、人類の生活に大きな変化をもたらした。火の利用は燃焼を伴う。同時に、燃焼の制御は消火を含み重要なものである。一方、PISA や TIMSS に代表されるような調査問題にも燃焼や消火が扱われている。特に消火に関する調査問題は、様々な研究がなされている。たとえば、1995年（平成7年）の第3回国際数学・理科教育調査（略称：TIMSS1997）（国立教育研究所、1996）において次のような調査が行われた。「二酸化炭素は、ある種の消火器に使用されている物質です。二酸化炭素はどのようにして火を消すのか、説明しなさい。」この正答は、「酸素または空気をおしのける」とされ、日本の中学校第1学年で36%、中学校第2学年で45%であった。これは、国際平均である中学校第1学年の42%、中学校第2学年の51%より低い値である。70%以上の高い正答率を示している国もあり、差は歴然としている。また、この問題においては、日本の中学校第2学年の17%、国際平均では25%が無回答であった。この理由としては、課題文中に二酸化炭素が出てくると、多くの生徒が二酸化炭素には火を消す

性質があると思い込んでいるため、「二酸化炭素がどのようにして火を消すか」という課題には答えにくかったものと考えられる。中山・大場・猿田（2003, 2004）は、誤答の原因を調査し、二酸化炭素と消火器の問題において、正答では「酸素」「どかす」「なくす」「追い出す」などの言葉が使用されて、誤答では「二酸化炭素」「性質」「働き」「吸収」などの言葉が使用されていた。これより、解答の正誤を分けたのは、酸素の存在に着目したか、二酸化炭素の存在に着目したかであることを明らかにした。また、課題文中の「二酸化炭素」という用語が、無回答の原因だけでなく、誤答の原因にもなっていることが考えられた。日本の中学生には燃焼が起こるか起こらないかを「酸素」や「二酸化炭素」などの物質の「ある」「なし」で説明する傾向が見られ、本質的な部分に注目して理論的な説明を行うよりも、「二酸化炭素があったから消えた」といった現象論的な説明を行った。すなわち、理論よりも現象に注目する傾向が、燃焼に関する論述式課題に対する低い正答率の背後にある可能性を明らかにした。

また、国立教育研究所（1994）はロウソクの消火についての原因を次のように調査した。

図のように大きなビーカーに火のついたロウソクを置いて、そのビーカーに二酸化炭素を入れると、ロウソクの火が消えました。なぜロウソクの火が消えたのでしょうか。次の1～5の中から最も良いと思うものを一つ選び、その番号を書きなさい。

1. 二酸化炭素によって、酸素がロウソクの芯に十分に来なくなったため
2. 二酸化炭素によって、ロウソクの芯が冷やされたため
3. 二酸化炭素によって、気体になったロウがおしのけられたため
4. 二酸化炭素によって、ロウが気体になれなくなったため
5. 二酸化炭素には、火を消す性質があるため



この正答は選択肢1である。しかし、当時の小学校第6学年の児童の52.2%が「5. 二酸化炭素には火を消す性質があるから」を選択している。中学校第2学年でも40.3%もの生徒が選択肢5を選択している。このことから、「二酸化炭素には火を消す性質がある」という誤概念の存在が指摘されている。斎藤・福嶋・金子・片平（2005）は、集気びんの中に火のついたロウソクを入れふたをすると火が消える理由を問う問題を作成し、中学校第1学年の生徒と理系大学の学生を対象に調査を行った。その結果、理系大学の学生は火が消えた原因が「酸素」にあると考える学生が多いことを明らかにした。また、中学生は、その大半が「酸素が減って二酸化炭素が増えたから」という火が消える原因が二酸化炭素にあると考えている選択肢を選び、二酸化炭素に消火作用があると考えていることを明らかにした。さらに、一度ロウソクを燃焼させたびんに再び火のついたロウソクを入れ、ふたをすると火が消える理由を問う問題においても、二酸化炭素に消火作用があることや、酸素がなくなると火は消えないと考えている生徒が多いことを明らかにした。

ここで、消火に関して問題が2点あげられる。

まず、なぜ、日本の中学生は消火の原因を二酸化炭素とする傾向が高いかである。TIMMSの結果に基づきこの原因が学習者の認知構造を中心に分析されているが、海外の教育方法や内容との関係ではほとんど論議されていない。日本と海外とで、学習方法や学習内容が異なるため、このような結果が出たのではないかという仮説も成り立つ。そこで、燃焼・消火という人間生活と関連性が高く非常に重要な現象を国際比較することは必要不可欠なことであると考えられる。

次に、ロウソクが二酸化炭素により消火させらる現象の原因として、酸素「のみ」が原因とされているが、多くの小学生や中学生が二酸化炭素にその性質があるという概念を保持している。この理由としてどのような原因があるのかを日本における燃焼を学習している小学校6年生の実験指導方法の課題として、消火が酸素であるのか二酸化炭素であるのかを明確に定量的に示すことができない展開になっていることが考えられる。現在、学校教育として燃焼教材として利用される「ロウソク」が、科学や産業界では、その物性がほとんど分析されていない現状があり、明確にロウソクの消火の原因が酸素のみであるのか二酸化炭素が関与するのかが明確に分析されていない。今後、ロウソクを学校理科で扱う教材とするのであれば、その化学的な特性を明らかにする必要がある。

(2) 目的

- ①燃焼における消火教材の国内外の現状を調査し、消火における二酸化炭素の扱いを明らかにすることにより、消火における二酸化炭素の役割の指導方法・内容について、考察する。
- ②ロウソクの燃焼・消火に及ぼす二酸化炭素を中心とする周囲の気体組成の影響を明らかにするために、窒素または二酸化炭素の周囲の気体組成における、ロウソクの燃焼が可能な酸素の最小濃度を求める。

2. 燃焼における消火教材の国内外の現状

(1) 海外における燃焼における消火教材の現状

海外における燃焼や消火の教材の現状と日本を比較するために、日本の状況が似ている先進国の中の英国と独国の教科書を対象とした。特に、その中でも、context-based-approach（文脈に基づいたアプローチ）という視点で制作させている教科書は、生活との関係づけを大切にしており、燃焼・消火の扱いが丁寧であると予想されるので詳しく分析した。

context-based-approach ではない一般的な教科書（Werner Eisner et al., 2007）（Wolfgang Asselborn et al., 2011）と、英国及び独国で著名な context-based-approach の教科書（GRAHAM HILL et al., 1989）（Sabine Schroder, 2006）に消火の理論が扱われていた。燃焼の理論とは、火を維持・継続するための要素は、燃焼の3要素（可燃物、酸素供給源、熱・温度）が必要とすることである。燃焼の理論に対して、消火の理論として、これらの燃焼の3要素のうち、一つ以上を除くと燃焼が維持・継続できず、消火する。燃焼の3要素に対応する消火方法は、1）可燃物：可燃物の除去による消火（除去消火）2）酸素供給源：酸素の減少による消火（窒息消火）3）熱・温度：減熱による消火（冷却消火）である。

また、消火の理論とともにいくつかの消火の場面が設定されており、それぞれの消火方法を考察する内容が扱われている。今回調査した範囲においては、二酸化炭素消火器についても扱われており、TIMSS1997の問題が扱われていた。これは、日本と異なる点である。

特に、独国中等教育で使用されている context-based-approach 教科書「Chemie im Kontext Sekundarbereich I」は、実生活との関連を重視している。内容をより身近なものとしてとらえやすく、生活の場面と関係づける工夫がされている。さらに、教科書に出てくる実験の多くが家庭でもできるものである。この「Chemie im Kontext」シリーズ中の「Erwünschte Verbrennungen-unerwünschte Folgen?」（好ましい燃焼、好ましくない結果）という教科書は、燃焼を4つの単元に分け、その中に「火を消すにはどのような可能性があるか考える。」という単元があり、消

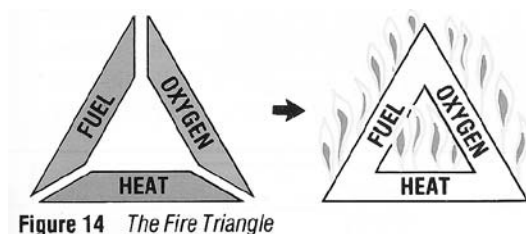


Figure 14 The Fire Triangle

図1 英国教科書の燃焼の3要素

(GRAHAM HILL et al., 1989)



図2 独国教科書の燃焼の3要素

(Sabine Schroder, 2006)

防車、消火器などについて記載され、1項から7項からなる。教科書の展開としては、次のようである。1項：燃料は単独では燃えない（燃焼の3要素）。2項：ロウソク —新しい物質の生産者（空気中の酸素の割合の減少と共に水、二酸化炭素が生成する）。3項：燃料は自動車エンジンを動かす（エネルギー変換器としての化学反応）。4項：鉄の燃焼（実験1：マグネシウムの燃焼，実験2：魔法のロウソク，実験3：鉄の燃焼）。5章：消火の工夫（実験1：燃えている木の消火，実験2：燃えているアルコール，ガソリンの消火，実験3：燃えているブタンの消火）。6章：消火の遅れ（自然発火，危険物運搬車）。7章：消火方法（実験1：重曹と酒石酸を反応させて二酸化炭素の泡を発生させ，燃焼している石油ベンゼンを消火，実験2：重曹の分解により発生する気体をロウソクの燃えている容器に導き消火，実験3：ミネラルウォーター（独国で一般的な炭酸入りのもの）の口に導入管を着け瓶を振ることにより気体を発生させ消火，実験4：戸外で蒸発皿に入れた油を燃やし，それを霧吹きで水をかけ消火。これらの実験を通して，消火理論である消火の3要素を学習している。）このように，消火を非常に丁寧に展開している教科書の存在が確認できた。

（2）日本国内における燃焼における消火教材の現状

①教科書

現教育課程では，小学校6年生「物の燃え方と空気」において，燃焼には新鮮な空気，酸素が必要であることを学ぶ。特徴としては，小学校としては精度が高い気体検知管を使用し，燃焼前後の酸素濃度と二酸化炭素濃度を計測する。ロウソクが燃えると，空気中の酸素の一部が使われて二酸化炭素ができていることを学習する。これは直接，消火を扱っていないが，消火する状況を示しながら，燃焼には酸素が必要であることを学習する流れである。この状況が，「二酸化炭素には火を消す性質がある」という概念を生んでいる可能性がある。その後は，中学校になると2年生で「化学変化と原子・分子」単元で「酸素がかかわる化学変化」で燃焼を学習するが酸化・還元概念を理解させる内容・実験で消火については扱われていない。また，高等学校化学基礎において，中学校での酸化・還元を拡張させる内容であり，消火は扱われていない。

②研究の実践

1) 燃焼の3要素に注目して実践

小川・松本（2012）は，燃焼の3要素を学習の核として，「燃焼の3要素がすべてそろえば燃える」「3要素のうち一つでも欠ければ，燃えない。もしくは消える。」という，「燃焼」と「消火」の両面に燃焼の3要素を適用する学習活動を行った。その結果，日常での消火方法についての理解が進み，燃焼の3要素を根拠に実現可能な消火方法を考えることができるようになったと

報告している。

坂本・村山ら（2007）は燃焼の3要素の学習に「科学的原理・法則というものの持つ意味の理解」つまり「科学における原理や法則が（その適用範囲内において）どんな事例にも必ず成立することを前提として現象について理解することができる。」ことを重要視した。燃焼の3要素においては、「この現象について十分に理解できていないが、燃えないからには3要素の少なくとも一つが欠けているはずだ」と考えられることである。このメタ理解を向上することを目的とした。そのために、「燃焼の3要素の発見活動」の代わりに「燃焼の3要素による説明活動」を中心とした授業デザインを採用した。燃えそうで燃えない、水を入れた紙コップをアルコールランプで下から熱する「水入り紙コップ」、燃えなさそうで燃える、加熱した水蒸気をマッチに当てる「加熱水蒸気」、点火した花火を水中に入れる「水中花火」の三つの現象を学習者の自由な探究を中心とした学習活動を行った。燃焼の3要素に対するメタ理解の有無を判別する指標として、燃焼の3要素の有無に言及する（全要素言及）、「燃えているのだから3要素がそろっているはずだ」と考えることができる（逆推論）、「どのようなメカニズムで酸素が供給されているのかを説明すること」（メカニズムの保留）が用いられた。その結果、メカニズムの説明よりも、すべての要素の有無を検討するような思考を重視するため、全要素言及、逆推論の一部増加に伴い、メカニズムの説明が減少（メカニズムの保留）したことで一定の成果を得た。しかし、逆推論においては「燃えなさそうで燃える」現象においては、「燃えているのだから、3要素が成立しているはずだ」という思考ができていたが、「燃えそうで燃えない」現象においての思考ができていなかった。

これらの実践のように燃焼の3要素について取り扱うだけでは、「二酸化炭素には火を消す性質がある」という概念を変容させるには不十分であることが明らかになった。

2) 酸素と二酸化炭素の濃度に着目した実践

歳藤（2012）は「物が燃えると、空気中の酸素の一部が使われて二酸化炭素ができていく。」の学習後に、「集気びんの中に入れたろうそくの火がやがて消えてしまうのはなぜだろう。」という課題を設定し、「酸素50%、二酸化炭素50%の気体を集気びんに集め火のついたろうそくを入れるとどうなるか。」という実験を位置づけた。児童は「0.03%しかなかった二酸化炭素が50%に増えたからすぐ火が消えるだろう。」「酸素が50%に増えたから火はよく燃えるだろう。」といった仮説を立てた。この実験の結果、「火が燃え続けるには二酸化炭素を消火の原因と考えていた」児童は驚いた。考察では「二酸化炭素がすごく増えていても消えなかったので、酸素が原因なのかと思った。」「酸素の量が多いか少ないかでろうそくの火が燃えるか消えるかが決まってくるのではないか。」といった考察がされていた。その後と同様の実験を酸素と窒素でも行った。この研究では、「二酸化炭素には火を消す性質がある」という誤概念の克服につながった。しかし、二酸化炭素が水に溶けることや、二酸化炭素と窒素の性質の違いについて考えると、科学的な説明に不十分な実験である。

③ロウソクを可燃物として使う特徴と課題

市販のろうそくは、*n*-アルカンの混合物を原料としてつくられている。製造会社により組成は異なるため、詳細な実験には向かない。そこで、浅海（1989）は、ヘプタデカンの純粋物をモデル化合物としロウソクの燃焼における、炎のそれぞれの部分において、次のような物理変化及び化学変化が起こっていることを明らかにした。炎心部では、芯の付近にはロウの気体が存在し、芯から離れるにしたがい、その分解物などが増加していく。これは、燃料の熱分解およびそれに

よって生じたアセチレンの熱縮合（ナフタレンなどが生成）が同時に起こっているためである。また、外炎部では、プロパン—酸素予混炎における化合物の生成と同様に、炭化水素の燃焼に伴う90種以上の多環芳香族炭化水素が存在している。

また、米田（2005）は、「ろう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・酸素以外のに水（気体）の存在を認識できる実験方法が望まれる。」と述べ、ろうソクの燃焼教材の問題点を指摘している。また、ろうソクの燃焼・消火を「乾燥空気」中のみでの反応で示し、有機化合物の燃焼によって同時に発生する「二酸化炭素」と「水」を分けて指導している小学校の現状を指摘し、分けて指導していることが化学変化の認識に混乱が生じていると述べている。

このように、可燃物としてのろうソクは単純なものではなく、指導にあたっても総合的な視点が必要であるという問題が明らかになった。

3. 炎の周囲気体の組成濃度を考慮したろうソクの燃焼が可能な酸素の最小濃度

（1）実験方法

①本実験に使用した基本的な器具・実験用気体等

気体採取容器（チャック付きポリ袋ユニパック J-4：340×240×0.04mm）、シリコンチューブ（ ϕ 7mm）、三方活栓（テルフュージョン TS-TL1K）、シリンジ（100mL）、実験用酸素ボンベ（YAGAMI 40513）、実験用二酸化炭素ボンベ（YAGAMI 40515）、実験用窒素ボンベ（YAGAMI 40514）、検知管式気体濃度測定器（ガステック No. 31E6～24%）、ろうソク（カメヤマろうソク寸法： ϕ 7.5×H49（mm））、ろうソク燃焼実験用燃焼さじ

②実験用気体の採集

それぞれの気体を常温・常圧にするためボンベから気体採集容器に移した。気体採取容器は、底にシリコンチューブを差し込み、密閉した。気体を採取する前に、チューブとシリンジを接合し、シリンジで袋内の空気を抜き、ピンチコックで留め、ほぼ気体がない容器を用意した。この容器のチャックを気体ボンベのノズルの分だけを僅かに開け、素早くノズルを差し込み、気体を適量注入した。このようにして、常温・常圧の混合する気体（酸素、二酸化炭素、窒素）を用意した。

③混合気体の製法

図3のような装置を組んだ（紙面の都合上、比率は三方活栓部が大きくなっている。）三方活栓とシリコンチューブの接合部は配管用のシールテープで密閉した。

1）混合する気体容器（酸素、二酸化炭素または窒素）はピンチコックで閉じたまま三方活栓 A 部に、混合気体用容器を三方活栓 B 部に付けた。

2）混合気体容器は接続する前に、実験用気体を採取した方法と同様にしてほぼ気体がない状態にした。

3）シリンジを三方活栓 C 部に付け、活栓を調整し、混合する気体を必要量採取し、混合気体用容器に入れ、必要な濃度の混合気体を各濃度ごと2.00L つくった。混合気体の混合状態をさらに均一にするために袋の複数箇所を20回程度押した。

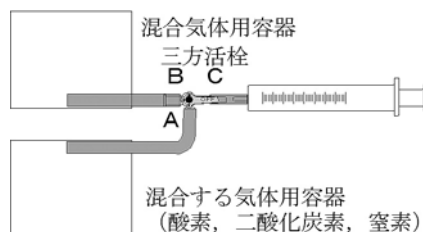


図3 混合気体の製法

④ろうソクの燃焼・消火の確認

ろうソクの燃焼・消火の確認する前に、気体検知管を少し開けたチャックから差し込み、酸素濃度を確認した。その後、点火したろうソクをろうソク燃焼実験用燃焼さじに立て、混合気体容器のチャックを開け、素早くろうソクを入れ、燃焼・消火の確認をした。なお、ろうソクの燃焼または消火の確認方法は、混合気体容器にろうソクを入れた瞬間に消えた状態を消火とし、それ以外の少しでも炎がついている場合は燃焼とした。

(2) 実験結果

実験結果は、表1～3に示した。酸素濃度と他の気体の濃度は気体の混合時に必要な濃度になるように割合をつくったが、誤差等のため、検知管式気体濃度測定器で計測した酸素濃度とこれから計算される他の気体の濃度を記し、それぞれの燃焼・消火の観察結果を記した。

表1 酸素・二酸化炭素の濃度(%)とろうソクの燃焼・消火の関係

酸素	二酸化炭素	燃焼・消火
20.0	80.0	消火
21.0	79.0	消火
21.0	79.0	消火
21.5	78.5	消火
22.0	78.0	消火
22.0	78.0	消火
22.5	77.5	消火
22.5	77.5	消火
23.0	77.0	消火
23.0	77.0	燃焼
23.2	76.8	燃焼
23.5	76.5	燃焼
23.5	76.5	燃焼
24.0	76.0	燃焼

表2 酸素・窒素の濃度(%)とろうソクの燃焼・消火の関係

酸素	窒素	燃焼・消火
14.0	86.0	消火
16.0	84.0	消火
17.0	83.0	消火
17.5	82.5	消火
17.8	82.2	燃焼
18.0	82.0	消火
18.0	82.0	燃焼
18.5	81.5	燃焼
18.5	81.5	燃焼
19.0	81.0	燃焼

表3 酸素・二酸化炭素・窒素の濃度ごとのろうソクの燃焼・消火

酸素	二酸化炭素	窒素	燃焼・消火
17.5	1.5	81.0	消火
18.0	3.5	78.5	消火
17.5	4.0	78.5	消火
18.0	4.0	78.0	消火
19.0	4.0	77.0	消火
19.0	4.0	77.0	消火
20.0	6.5	73.5	燃焼
21.0	4.0	75.0	燃焼

(3) 考察

酸素と二酸化炭素の混合気体中でロウソクが燃焼するためには、酸素は23%以上必要であり、酸素と窒素の混合気体中では、酸素は18%以上必要であることが明らかになった。これより、ロウソクの燃焼においては、窒素より二酸化炭素の方が消火に与える影響が大きいことを示し、高濃度な二酸化炭素は消火に大きな影響を与える性質があることが示された。この理由としては、山本ら（2003）が可燃性固体の燃え広がりに及ぼす周囲の気体組成の影響の研究の中で「二酸化炭素で希釈した場合のほうが窒素のときより火炎温度は低くなったが、これは両者の比熱の違いにより説明できる。」としている。それぞれの定圧比熱[kJ/(mol・K)]は16℃で二酸化炭素が36.8、窒素が29.1である。消防庁予防課長ら（1996）は二酸化炭素の消火剤としての消火作用として、二酸化炭素の添加により燃料及び酸素濃度の低下することに加え、熱容量が大きい炎から熱を奪い、炎の温度を低下される作用があるとしている。現在の小学校理科においては、「燃焼には酸素が必要である」「同時に二酸化炭素が発生する」という事実だけを押さえることは可能であるが、実際に「多量の二酸化炭素には火を消す性質がある」ため「二酸化炭素には火を消す性質がない」ということを示すことは非常に難しいことである。

しかし、酸素の減少で火が消えていることには変わらないため、二酸化炭素と窒素の性質の違いには触れず、酸素のみに着目した実験方法を考案した。二酸化炭素の影響を少なくするよう考えた実験方法が酸素21%、二酸化炭素4%、窒素75%（体積比）の混合気体中での点火の有無を調べる方法である。空気の組成は、酸素21%、二酸化炭素0.03%、窒素79%（体積比）である。また、一般にロウソクの火が消えた後は酸素17%、二酸化炭素3%（体積比）である。そこで、酸素21%、二酸化炭素4%、窒素75%（体積比）の混合気体を作り、火のついたろうそくを入れるという実験方法を考案した。この実験を行うことで、児童の思考過程として、消火の原因が二酸化炭素であれば、二酸化炭素は4%含まれているため、火は消えるという仮説が立つ。一方、消火の原因が酸素であれば酸素は21%含まれているため、火は燃え続けるという仮説が立つ。本実験はとても効果的な実験であると考えた。実際に、この混合気体にろうそくの火を入れると空気中と同じくらいの時間燃え続ける。したがって、この実験を行うことで火が燃えるか消えるかを決めていたのは酸素の濃度であることが分かると考えられる。この方法ではほぼ期待通りの実践結果が得られた。

4. お わ り に

(1) 消火の教材の国際比較を通して

今回調査した多くの教科書には、二酸化炭素を利用した消火器が記載され、独国の教科書を中心に丁寧に説明されていた。TIMSS1997の消火問題の日本の正答率が低かったのは、認知面の問題だけでなく、日本では扱っておらず、先進的な授業以外ではほとんど実施されていないからということが明らかになった。消火に関する概念や技法は日常生活の中で非常に大切なものである。是非、日本の教科書にも発展的な内容として掲載されるべきであると考ええる。

(2) 消火の原因について

消火の原因を、多くの学習者は「酸素が減って二酸化炭素が増えるから火が消える」と捉えている。一般に、これは誤った考え方であり正しい考え方は「火が消える原因は酸素の濃度にあり、

二酸化炭素の濃度は関係ない。酸素の濃度が減少し、燃焼範囲から外れることで火が消える。」とされている。これは、理科を専門としている多くの教師も同様の考えであると思われる。今回の結果から、ロウソクは、窒素と酸素の混合気体では酸素濃度が18%以上で燃え続け、二酸化炭素と酸素の混合気体では酸素濃度が23%以上で燃え続けることが明らかになった。このことから、酸素の濃度だけが燃焼を決めているわけではなく、小学生、中学生、一般社会人だけでなく、理科を専門とする教師も「二酸化炭素には消火作用がまったくない」という間違った素朴概念をもっていることが明らかになった。酸素以外の気体も少なからず消火に影響を与えていることを理解した上で、教材研究をすべきである。

（３）「消火は酸素濃度に依存する」という観点に立つ教材開発・実践について

既習の学習内容を基に学習を進めることができるように、酸素21%、二酸化炭素4%、窒素75%（体積比）という混合気体を使ってろうそくの点火の有無を調べる方法を開発した。この混合気体は、空気の組成である酸素21%、二酸化炭素0.03%、窒素79%（体積比）と、一般にろうそくが消えた後の気体である酸素17%、二酸化炭素3%（体積比）の値を組み合わせて作成した。そのため、児童にとっては空気の組成もろうそくの燃焼後の混合気体の組成とその割合も既習の内容であるため、混合気体の意味を理解しやすくなり、この実験をおこなって学習すべき内容が明確になると考えられる。実際にこの気体を児童に提示すると多くの児童が火は消えると予想した。しかし、この混合気体中では火は燃え続けるため、多くの児童が驚きの表情をしていた。今回、この混合気体をつくるにあたって、攪拌のしやすさから三角フラスコを使用したのが、ろうそくを入れる際に側面につけてしまうなどの問題があった。また、混合気体の組成は何度か試みているうちに偶然に成功したものである。そのため、この実験を行うにあたっては、混合気体の組成の決定の仕方に改善の余地があると考えられる。

また、高橋（2011）を使用させていただき、単元の最後に実施した酸素センサを使用した演示実験では、酸素濃度の減少がろうそくの火の様子と同時に目に見えてわかることから、とても児童の反応が良かった。単元の最後にこの実験を取り入れたねらいは「二酸化炭素には火を消す性質はない。酸素が減少することで火は消える。」という考え方を定着させることにあった。また、視覚的に伝えることで児童が理解しやすくなると考え、この酸素センサを使用することにした。しかし、実際に授業で行うと、グラフの減少を見て「酸素がなくなった」とつぶやく児童がいた。ここでもっと時間をかけて「なくなった」のか「減った」のかを児童の中ではっきりさせる必要があった。また、今回の単元の最後の実験は、導入で使用する二酸化炭素消火器とつなげるため、大きな筒に二酸化炭素を大量に入れた。この実験を見て、実践校の校長先生から「せっかく酸素ではないかと気付くことができたのだから、最後の実験で二酸化炭素を大量に入れてしまったら、また児童の考えが二酸化炭素に後戻りしてしまう。だから、窒素などの他の不燃性ガスを使用したらどうか。」というアドバイスをいただいた。この教材には児童に視覚的に訴えることができるため有効性があるが、また概念の定着が期待できるからこそ改善の余地があると考えられる。

小学校第6学年の「ものの燃え方と空気」の単元で「消火」を扱うことは、「燃焼」のより深い理解につながると考えられる。「消火」を扱うには本論で議論したように2つの方法がある。

一つ目は、英国や独国の教科書や日本の研究的な実践のように、燃焼の3要素に着目した方法である。この消火方法は、燃焼の3要素の一つ以上を除く方法で、現状では学習指導要領や教科

書にふれられていない。実社会との関連を考慮すると日本でもこの内容を指導する重要性は高いと考える。しかし、この方法は、現在実施されている気体検知管で酸素と二酸化炭素を測定する実験と関わりが少なく、3要素のうち酸素の濃度に関する問題はあまりないが、可燃物や熱との関連をどのように導入するかを議論する必要がある。

二つ目は、周囲の気体組成を考慮したロウソクの燃焼が可能な酸素の最小濃度に着目した方法である。この消火方法は、酸素濃度を下げる方法で、酸素と二酸化炭素の濃度測定をする現状の学習指導要領や教科書の延長線上にあり、指導が導入しやすい特徴がある。ただ、高濃度の二酸化炭素を扱う場合は、消火に及ぼす影響が現れる点に注意が必要である。

それぞれの方法に長所と短所があり、どのように扱うかの議論が必要である。また、高濃度の二酸化炭素が消火に影響を及ぼすという事実は、学校教育の場では今まであまり議論がされていないため、学校教育の現場でどのように扱うかは今後の議論が待たれる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多くの先生方にお世話になりました。東京高等専門学校高橋三男先生には、酸素センサを使用した演示実験を行うにあたり、多くの助言をいただきました。岐阜市立網代小学校歳藤幸弘先生からは貴重な資料をいただき大変参考になりました。岐阜聖徳学園大学所優子先生には、実験を補助いただき大変お世話になりました。岐阜聖徳学園大学附属小学校の中島才喜先生、瑞穂市立牛牧小学校の浅野竜也先生には、授業実践および調査を行うにあたってご協力をいただきました。岐阜聖徳学園大学 John Spiri 先生には英文校正ではお世話になりました。皆様のおかげで本研究をここまで進めてくることができました。本当にありがとうございました。

引用文献

- 浅海範明 (1989) 「ろうそくの燃焼における化学変化」『化学と教育』第38巻, 第3号, pp. 78-81.
- GRAHAM HILL et al. (1989) CHEMISTRY The Salters' Approach, London, Heinemann Educational Books Ltd.
- 国立教育研究所 (1997) 『中学校の数学教育・理科教育の国際比較—第3回国際数学・理科教育調査報告書—』東京, 東洋館出版.
- 中山迅・大場裕子・猿田祐嗣 (2004) 「科学理論と現象を関係づける力を育てる教育課程の必要性 —酸化・燃焼に関する TIMSS 理科の論述形式課題に対する回答分析から—」『科学教育研究』第28巻, 第1号, pp. 25-33.
- 小川博士・松本神示 (2012) 「オーセンティック・ラーニングに依拠した理科授業が科学的知識の理解に与える効果 —小学校第6学年理科「ものの燃え方」を事例として—」『理科教育学研究』第52巻, 第3号, pp. 43-53.
- 齋藤美和・福岡正悟・金子彩・片平克弘 (2005) 「既習事項が引き出す観察者の多様な考えを探る: ロウソクの燃焼における調査結果をもとに」『日本理科教育学会全国大会要綱』第53巻, p. 362.
- 歳藤幸弘 (2012) 「実感を伴った理解を図る理科学習の創造「第6学年 物の燃え方と空気」, 校内研究会資料.
- Sabine Schroder (2006) Chemie im Kontext: Erwünschte Verbrennungen- unerwünschte Folgen?, Berlin, Cornelsen Verlag.
- 坂本美紀・村山功・山口悦司ら (2007) 「科学的思考としての原理・法則のメタ理解: 小学校第6学年「燃焼」を事例として」『科学教育研究』第31巻, 第4号, pp. 220-227.
- 消防庁予防課長・消防庁危険物規制課長 (1996) 「二酸化炭素消火設備の安全対策について (通知)」Retrieved from <http://www.fdma.go.jp/html/data/tuchi0809/080920yo193.pdf>.
- 高橋三男ら (2011) 「手作り酸素センサの開発と理科教育への活用 (9)」『日本理科教育学会全国大会要項』第61

巻, p. 396.

Werner Eisner et al. (2007) *elemente chemie I*, Stuttgart, Ernst Klett Verlag GmbH.

Wolfgang Asselborn et al. (2011) *Chemie heute SI Gesamtband*, Braunschweig, Schroedel Verlag GmbH.

山本和弘・森幸一・小沼義昭 (2003) 「可燃性固体の燃え広がりに及ぼす周囲雰囲気の影響 (第2報, 希釈の影響と気相の温度測定)」『日本機械学会論文集 (B 編)』第69巻, 第680号, pp. 194-201.

米田昭二郎 (2005) 「「ろうソクの燃焼」をめぐる化学教育上の諸問題」『化学と教育』第52巻, 第1号, pp. 54-55.