

子どもの観察と疑問はどのように成長するか：「ろうそくの燃焼」の観察を通して

著者	山崎 豊, 水越 敏行, 西出 隆, 金沢市理科教育研究グループ
雑誌名	教科教育研究 金沢大学教育学部
巻	6
ページ	131-145
発行年	1973-07-10
URL	http://hdl.handle.net/2297/32208

子どもの観察と疑問はどのように成長するか

——「ろうそくの燃焼」の観察を通して——

山崎 豊, 水越敏行, 西出 隆*

金沢市理科教育研究グループ**

1 研究の目的

教育内容の現代化, 構造化, あるいは精選とかいうことが, 学校教育の中心課題にすえられるようになったことが, 1960年代の教育の最大の特徴であったといえよう。爆発的な技術革新が, こうした傾向を支える一つの要因であったことは, いうまでもない。70年代を迎えて, かかる傾向はさらに徹底し, かつ進められることであろう。しかし同時にまた, 私たちはつぎのような反省をすることも必要なのでないだろうか。

すなわち, これまでは, 鍵概念や構造などを学問の側から, とくに親学問を構成する基本的概念という側からだけ光を当てて考えてきたきらいはなかったか, ということである。それを学習する子どものサイドに裏返してみても, 子どもがそれらの諸概念をどうとらえたのか, これらの認知のシエマにどう位置づけたのか, という形でとらえようとする発想が, ややもすれば乏しかったのではなからうか。子どものサイドから, 科学の体系やその方法論をもう一度みりめなおしてみることによって, 私たちのいう「教育的構造」を追究していくことが, これからの教育の最重点課題ではないだろうか。

さてこの課題を追究するためには, (1)いわゆる教科の構造を巨視的な形でとり出すこと, (2)子どもの認知のシエマ, 科学的能力などがどのような道筋をへて成長していくのかをとらえること, などのことが, 必須の前提条件と思われる。そこで私たちは, (1)については, 化学的分野に限定して, 小・中・高校をつらぬくコマ型構造図という仮説をつくりあげてきた(金沢大学教育学部紀要№21, 教育・社会・人文科学編1972)。

今回はとくに(2)を集中的に攻めてみたのである。とはいっても, 子どもの科学的能力, 見方, 考え方, さらに認知のシエマといったものが, どういうプロセスで発達するのかという大問題に, 正面から挑戦することは不可能なことである。現代心理学の知見を総動員してみても, おそらく満足できるものを手中にすることはできないであろう。そこで思い切った的をしぼり, 限定のうえにも限定を重ねて, いくらかでもこの大問題への突破口をひらいてみようとして, この研究にはいったのである。

まず科学的能力というような大きく, 複雑なのではなく, そうした能力の構成要素のひとつ——ただしかなり基本的な要素として, 観察力と, 疑問の目というか, 問題を感知する力のよ

*石川県立金沢向陽高等学校教諭(金沢大学科学教育研究室研究員)

**木村道夫(金沢市教委) 中原吉晴(金沢大学教育学部付属高校)
山崎裕(金沢向陽高校) 木坂信(金沢経済大学付属高校)
端義二(金沢市立紫錦台中学校) 宮本拓哉(金沢市立野田中学校)
杉尾照雄(金沢市立城南中学校) 米田昭二郎(金沢市立長町小学校)
山形喜一郎(金沢市立材木町小学校) 宮下勲(金沢大学教育学部付属小学校)
広田専精(金沢市立野町小学校) 野村祐治(金沢市立泉野小学校)

うなものに限定した。

観察の対象としては、ろうそく1本だけというように、きわめて単純化してしまった。なにを材料にするかについての討議は数回もったのだが、比較的スムーズに、ろうそくの燃焼ということに15名の意見の一致をみることができた。その理由は

(ア) ファラデーの「ろうそくの科学」をここに引用するまでもなく、ろうそくの燃焼の中には、粒子性とエネルギーという化学の中心観念が凝結している。CHEMS 化学がその導入部にこれを使ったのも、単なる身近な材料としてではなく、むしろ化学の基本概念的結晶体として、ろうそくの燃焼をとらえたからであろう。

(イ) 小・中・高等学校を通して、同じ材料を使いながら、子どもたちの生の声をきき、その成長をあとづけるには、ろうそくは数少ない好材料のひとつである。なおこれは後から、金沢大学教育学部の北村一夫教授(化学)におききしたのであるが、ろうそくは昔から光源として使われてきた、いわばおなじみのものであり、しかも光、燃焼、物質の融解などについての興味をひき出し、多面的な疑問をもたせるという利点をもっている。(強い興味と多面的な疑問は、「科学する心」のエッセンスであろう)。また、興味や疑問ということだけでなく、ろうそくは、有機化学(成分について)、物理化学(状態変化について)、界面化学(ろうの芯への吸い上げ)および無機化学(燃焼後の二酸化炭素、水、すす)と関係が深いから、化学という学問分野からみても、そのレパートリーがきわめて広いという利点もある。

さてこうして、ろうそく1本に限定したうえで、小学2年、4年、6年、中学2年、3年、高等学校2年というように、三つの校種にまたがる被験者に、同一の条件で観察をさせ、かれらの観察と疑問の成長をあとづけようとしたのである。なお参考までに『油脂化学製品便覧』(日刊工業新聞社、1052ページ)のろうそくに関する概説の一部を付記しておく。

「ろうそくは図1、に示すように可燃性の芯

(f)のまわりを適当な融点を持つ固体燃料(e)で包んでできている。その焰は三つの部分から成り立ち、もっとも内部の(a)は発光しないガス状の燃料であって、芯から吸引された液体燃料(d)の蒸発によっておこる。(b)はそのガス状燃料が高温のため分解して多量の遊離した炭素を生じ、最大に発光する部分である。(c)

は完全燃焼して炭酸ガスと水が生成する部分である。ろうそくが正しい燃え方をするためには固体燃焼(e)が適当な融点を持ち熔融して液状となり、蒸発して燃える量と過不足ない量が毛管現象で芯(f)から吸いあげられなければならない。そのためろう

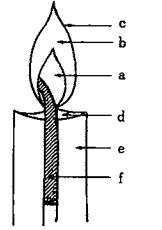


図1 ろうそくの燃焼状態

そくの大きさと芯の寸法と構造にはだいたいつぎの関係がある。

表1 ろうそくの太さと芯について

ろうそくの太さ	7mm	15mm	25mm
芯をつくる綿糸の番手と糸数	20番, 9本	20番, 15本	20番, 27本

2 研究の方法

上にのべたねらいをもって、私たちは次のように研究の方法を組み立てた。

(1) 実施学年

小学校2年生、4年生、6年生、中学校2年生、3年生、高等学校2年生をえらび各学校で適当な学級を実験クラスとして実施する。

(2) 材料

観察しやすいことを考えて、直径2cm、長さ15cmのろうそくと点火用のマッチを使用する。

(3) 時間

指示・観察・筆記を含めて50分内にすべて完了する。燃焼時の観察記録はほぼ20分とする。しかし、個人差があるので多少の延長(2~3分程度)などがあっても、各校種毎に了解があればよいものとする。

(4) 実験用具

ピンセットやガラス管などは全く与えない。ただし、鉛筆のしんを使用したり、点火したあとのマッチの軸木を利用したり、水道の水を少し使う程度（危険のない範囲で）ならば自由にしてもよい。

(5) 筆記などの必要事項

問題のなげかけ方や筆記要領や用紙の配布については各校種別に協議して基準を定めて実施する。たとえば、「ろうそくのもえているようすをみて、きのついたことやわかることをくわしくかきなさい。」（小学校の場合）というように定めておく。高校生ともなれば表現はやや変化するが、発達段階に応じて指示する。

(6) その他

教室の雰囲気など極端に場所をかえたりしないで、普通に観察できるようにする。生徒が奇異な感情や緊張するようなことがなく、率直な表現を記録するように配慮する。

3 典型事例

まずどのような観察や疑問をいだくのが典型事例といえるのか。高校4校の調査を通して高校2年生としてすぐれた観察や疑問を洗い出してみる。

観察項目は次のようなものがあげられる。

(1) 炎は長さ 3～3.5cm（こげたしんの長さの約3～4倍）、しんの上端の中が約0.5cm下はだ円、上は細くなっていく。

(2) (ア)青、(イ)ほぼ透明、(ウ)暗い黄色、(エ)非常に明るい黄色、(オ)やや明るい黄色、(ウ)より明るい不明瞭で、上下にのびちぢみし、のびる時には3つにわかれる。(カ)あわい膜のような炎、巾1mm位で色はオレンジ、炎全体からみて下部の $\frac{2}{3}$ をつつんでいる。(図2参照)

(3) 炎の温度を指でたしかめると、側面より上部が熱く感じられる。

(4) 溶けたろうは意外にねばりけのない透明な液である。冷えて固まると再び白くなる。

(5) 溶けたろうは、ろう、木質、金属、ガラスなど、固体表面に付着する。ろうの付着力は弱く、容易にはがれる。

図 2

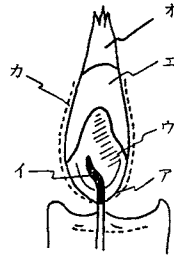
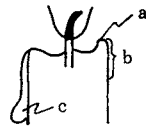


図 3



(6) 図3のaのように、ろうの上部は内側にまきこまれるようになり、bの5mm位まで鉛筆のしんが容易にめり込む。b部は体温より少しあたたかい温度、上端より2cm位が体温程度、それより下は冷たいから熱の伝導はよくない。側面から流れたろうは図cのように球となって固体になる。

(7) 炎の中のしんは黒くしなやかでしめった感じ、炎を消すとろうを含んだ黒い（炭化した）しんが固くなり、簡単に折れてちぎれてしまう。もえているときしんの先端は赤い。

(8) 炎が消えた直後のしんはぬれていて、つまむと液が出る。その色は茶色である。

(9) 火を呼吸でふき消すとしんの上半分から、10～15秒間白煙がでる。炎が消えてすぐあと（白煙が出ている間）ならば、火を近づけると、しんに触れなくても再び燃える。

(10) 2cm位短くなるのに17～18分要した。

(11) 炎は下端をふくとパタパタ音をたて、炎は小さくなり、炎がゆらめくと黒煙（すす）が出る。

(12) 白煙はいやなおいがするが、ろうそくの燃えている間はほとんどおいがしない。

以上は観察項目について述べてきた。次に疑問項目について述べる。

(1) ろうは何度位で溶けるのか、ろうの発火点は何度位か。

(2) しんが燃えていないなら、燃焼はどのようにしてはじまっているのか。

(3) 炎の先が山型（3つにわかれた状態）に割れているのはなぜか。

(4) 炭火はふくとおこるのに、ろうそくの炎

は吹くと消えるのはなぜか。

(5) 炎がゆれるとススが出るのはなぜか。

(6) しんの火つけは容易なのに、ろうだけのときはなぜ燃えにくいのか。

(7) しんの白い部分の長さ(2~3mm)が燃焼中一定であるのはどんな理由か。

(8) 溶けたろうはなぜ透明になるのか。

(9) 溶けたろうが固体に付着しやすいのはなぜか。

(10) 火を消した時、しんからでる白煙はろうなのか。

(11) ろうそくの穴は燃焼中にできる上端中央部の凹みを助ける働きをするのか。

(12) 氷はとける時やわらかくならないのに、ろうは固い→やわらかい→液体になるのはどうしてか。

(13) ろうは化学的にどんなものか。

(14) 燃えているのはろうの気体か液体か。

(15) 火を消した時は白煙が昇るが、これはろうの分子が空気より軽いためなのか。

以上、高校2年生の観察・疑問のうちから、比較的すぐれたものとして取り出してみた。しかし、これは一人の生徒ですべてを網羅して記述したものでないことを明記しておく。

4 内容に関する定性分析(観察・疑問)

小学生の観察であっても、高校生のすぐれた観察に共通しているものがみられる(2の(1)小学校「感想」参照)。中学生の観察や疑問についても同様に共通点がみられる。そこで小学校低学年の記述から順に追跡してみることにする。

—観察項目—

(1) 炎の形や大きさ

小学校2年男子

「上がとんがっている。火がながさんかくになっている。」

小学校4年男子

「火の形はほそ長くなったり、いも虫のようになったりする。時々上からひっぱられてい

るよりのびる。」

小学校6年男子

「火の長さは3~1cmぐらい。」

中学校2年生男子

「ろうそくの火の形は二等三角形にている。火の形はガスの炎や石油と違って細長い。」

中学校3年女子

「つけはじめた時、炎は非常に小さかったが、しばらくすると大きくなった。炎の大きさが1分間ほどで一定になる。」

(2) 炎の色や明るさについては

小学校2年女子

「ろうそくの上はきれいだけど下の方はすこしうすい。」

小学校2年男子

「あおときいろがまじっている。火のまん中は赤い。」

小学校4年女子

「いちばん外側の火はだいたい色で、その次の火はうすだいたい色、いちばん中はうすい青色になっている。」

小学校6年男子

「ほのおの外がわの方があかるい、まん中は青くなっている。まん中より少し高めの所はだいたい黒をまぜたようになっている。」
「外がわのあかるいところの横にぼやっとしたものがみえる。下の方からみると、光がひろがっているようすがわかる。」

中学校2年男子

「ろうそくの火の色が上に行くほど、青~赤へ変っている。まん中の方が一番明るい。」

「火の下の方はなんだかまらくなっている。」

「火の下の方は二重になっている。」

「火の上の方はほんやりしていて、どこで切れているのかははっきりしない。」

「全般的に明るくみえる炎のまわりに、ほんやりした炎がある。」

「火のまわりが、かげろうでぼやっとしている。」

「しんののびかたによって火の形がかわる。」

中学校3年女子

「しんのまわりが青く、次の所がやや透明の
 橙色、最も外側が透明でない橙色である。」

「しんのまわりの青い所がやや少なくなった
 ような気がする。」

「炎の最も上のあたりが、やや色が濃くなっ
 てきた。」

「青色がほんのかすかになり、やや透明の橙
 色の部分が多くなった。」

「炎の先の方と、下の方の色が大体同じくな
 り、最も熱を持っていると聞いたまん中あた
 りと、はっきり区別されてきた。そしてまん
 中の炎の長さが最も短い。」

「炎の色のちがいは炎が長い時の方が短かい
 時よりはっきりする。」

炎の非常に小さい時から微細な観察をはじめ
 て、大きい安定した炎にいたるまで記録し、最
 後に大きい炎の方が区分をつけるのに都合のよ
 いことに気づいた。

(3) 炎の温度・熱

この項における記述例は判別が困難であり、
 全般的に明確な観察が比較的すくない。

小学校6年男子

「外がわの2～3cm横にゆびをおくと、すぐ
 あつくなる。」

中学校2年女子

「一つの炎の中でも明るさ熱さは単純にはわ
 からない。(理由=細長い炎では、上部で有
 視部分リアス式になっているから。)」

このように炎の先端が不明瞭なことを理由に
 して断定をさけるものもあれば、次のように推
 定しているものもある。

中学校3年男子

「炎に鉛筆をあててみると、外炎では黒くこ
 げ、内炎は少し黒くなり、炎しんはほとんど
 こげなかった。外炎は温度が高いらしい。」

高校2年女子

「図4のaのように炎の下に手をもっていっ
 ても熱くはないが上へもっていくと熱い。」

「図4のbのようにマッチの棒を入れると、
 外側に触れたところがこげる。外側の炎の温
 度が高い。」



図4-a

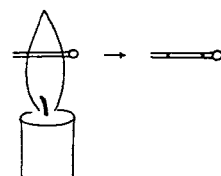


図4-b

このように高校生女子ともなると、手早く図
 示しながら説明の正確さをくふうしている。も
 ちろん小学生・中学生の中にもこれと同一操作
 をしている生徒がいる。しかも、この図示した
 生徒は決して成績の良い生徒でないという事実
 は付記する必要がある。

(4) ろうの融解や凝固

小学校2年女子

「ろうそくからしるがでる。」

小学校2年男子

「ろうがおちてくる。」

「下のろうがかたまつた。」

小学校4年女子

「火をつけた時はろうのたれてくるけど、火
 がだんだんいいのにつれてきたら、しずくは
 かたまつた。」

小学校6年男子

「ろうがとけたらどろどろですぐかたまる。」
 とずばり表現するものがあるかと思えば、次
 のように疑問を自分で投げかけて観察するも
 のもいる。

小学校6年女子

「ろうのとけたのはどこへいくのか。」

「とけたちよくごのろうはとうめいだけど下
 におちるとしるくなる。」

このような自問自答の観察は生々しいものと
 いえる。もう少し立ち入ってみるならば、この
 子どもは融解してへっていくろうに疑問をもち
 ながらも次に固体⇌液体の状態変化に気づい
 たのかも知れない。

中学校2年男子

「ろうそくのろうのとけ方はまん中の方から
 とけていく。」

中学校2年女子

「ろうのとけぐあいから、ろうそくの炎の熱は、四方に同じように出ている。」

「とけて上の方にたまっているろうは、もえているしんの上へ上へと吸い上げられているようだ。」

中学校3年男子

「ろうがしんのまわりからだんだんへっていった。」

「外側のろうがとけて、しんの方に向っている。これはごみの動くのを見てわかった。」

「ろうのとけたにおいがかすかに感じられた。」

「ろうのとけた部分に炎の先の方がうった。」

高校2年女子

「しんのまわりのろうは液体の状態である。」

「しんのまわりのろうはおわん形に、しんに近い部分ほど大きくくぼむ。」

「しんに上ってくるろう以外のろうはもえない。」

「ろうと水とを混ぜて、しんに火をつけると火花がでる。」

「液体状態のろうはしんのまわりをまわっている。」

このように典型事例にくらべると、ややずれてはいるが、しかし、これらはいずれも有効なずれといえる。

(5) しんのまわりのろう（凹形・動き）

(6) 液体のろうと固体のろう（色・透明度）

(7) しんの状態

(8) しんのはたらき

というような分類を設定して、今後調査を深めていかねばならない。しかし、観察項目の多様さも含めて大体の傾向は明らかになったので(5)~(8)については省略する。

(9) 風による黒い煙

小学校2年男子

「けむりがでている」

上記のような場合は「白煙」か「黒煙」か判別できにくい。幸いこの子どもの場合はしろいけむりについて他に記述項目があるので、やっ

とこれは黒い煙のことだとわかった。

小学校4年男子

「火の先からはき出すように黒いけむりがでている。」

小学校6年女子

「口で風をおこすと黒いけむりがあがってくる。」

中学校2年女子

「キャップを火の中に入れると、黒い煙がたちほのおの形が変化する。」

「キャップを火の中へ入れると、すすがつく。」

中学校3年男子

「炎に息を吹きかけると、何かわからないが黒い煙が出てすぐ消えた。息ではなく、ただの風を送っても同じ結果が出た。」

高校2年女子

「炎は左右に揺らすとすすが出る。」

「ろうそくをさかさにするとすすがたくさん出て、炎は小さくなる。」

(10) 火を消したときの白煙

小学校2年男子

「しろいけむりがある。」

小学校2年女子

「ろうそくをけすと白いけむりがでてくる、たくさんでる。」

中学校2年男子

「消えると、白い煙がでる。」

高校2年男子

「消すと白いけむりがで、しんに白いものがついていた。又しんにさわると固くなっていた。」

このようにふき消したときの観察ともなると、記述例もすくなくなり、一般に詳細な内容がなくなる傾向がある。まして、白煙に火を近づけて引火する現象ともなると、ほとんど記録されていない。しかし、記述例としては示さなかったが、白煙の臭気が強いという観察や白煙の立ちのぼる様子をくわしくのべているものもある。中には空気より比重が小さいという推定を示しているものもある。これらはいずれも高

校2年生である。

高校の記録と小・中学校の記録とを比較してみると、高校生が特にすぐれていると思えないものもある。

- (1) 炎の明るさが部分によって違う。
- (2) すずが出て燃える。
- (3) いつもきまった形の炎である。

というような三項目程しか記述していないものもある。最も極端なものには記述内容が小学生よりも劣るケースもみられる。

— 疑 問 項 目 —

- (1) 化学的成分

小学校2年男子

「ろうそくの中をみたい」

小学校2年女子

「ろうそくの中にはなにがあるか。」

小学校4年女子

「ろうそくはなにでできているか。」

小学校6年男子

「ろうそくは何でできているか。」

中学校2年男子

「ろうの溶解点（融点のつもりらしい）は非常に低いがそれは燃えやすいためか。もし燃えやすかったらロウソクはちょうどよいか。」

中学3年女子

「ろうがとけはじめると、何か水みたいなものが出てきてたまっただけであれは何か。なぜろうそくはろうでできているか。」

高校2年男子

「しんは何からできているか。」

「ろうそく成分にあるものが何であるか、たしかめることはできないか。ススが出た以外に何かみられないか。」

- (2) ろうの状態変化（融解・凝固など）

小学校2年女子

「火をけしてしまうとすぐしるがかたまる。」

「しんのまわりはやわらかい。」

不思議におもうこととして掲げている。

小学校4年女子

「しずくの温度を調べてみたい。」

小学校6年男子

「とけたろうはどこへいったか。」

小学校6年女子

「すきとおったろうがしろくにごるわけ。」

中学校2年女子

「ろうそくは炎の温度が何度でとけるか。」

中学校2年女子

「なぜろうは火を消すと、すぐとけていたものが固まるのだろうか。」

高校2年男子

「なぜけしたときだけ白い煙がでるのか。」

「ろうはなぜ低温で蒸発するのか。」

高校2年女子

「熱湯にとけたろうを流しこむと、ろうはかたまるだろうか。」

「とけたろうが、またすぐにかたまってもとのろうになるのは温度のせいではないだろうか。」

「なぜろうがとけると、接着の役目をするのか。」

- (3) しんの状態や機能

小学校2年男子

「どうして火のつけるところがまっくらなのか。」

小学校4年男子

「しんの上はもえているが、下はなぜ白いか。」

「しんがなくても、もえていくか。」

小学校6年女子

「ろうそくのしんはどうなり、とけるのか。」

小学校6年男子

「ろうそくのしんだけに火をつけたら、火のつよさはかわるか。」

中学校2年女子

「しんの長さや炎には、どんな関係があるのか」

中学校3年男子

「なぜろうそくのひもは炎がついている時、先のちょっとだけしか赤くならないのだろうか。」

「ろうそくの先端のひもは炎が燃えている

時、なぜぐるぐるとうねるのだろう。」

この生徒はしんのことをひもと書いている。そして、ぐるぐるとうねるという表現はしんの先が彎曲する現象(1~3のしんの部分を参照)を意味している。

高校2年男子

「しんの部分を通して、溶けたろうがなぜ上がるか。これは毛管現象だけですませられようか。これは燃焼による熱が関係しているのではないか。」

「ろうそくのしんがなかったらどうなるか。」

「しんが繊維でなく金属ではだめか。」

「しんがなぜ編みであるか。ばらばらにしたものではだめなのか。」

「なぜしんの下部が燃え出さないのか。」

「しんを切って燃やすとき、火がつきにくい

のはなぜか。」

認知の発達段階がどのように進むか、部分的であるにせよ触れることができる。もちろんごく粗い傾向性としてしかとらえられないのではあるが。

また一方で疑問項目が全く記述しなかった高校生がわずかにいる。高校生ともなると、ろうそくなんか子供じみていると考えるのか、あるいは、そんなこと書いてみてどうなるとか、様々な心の動きがあって、記述しないのであろうか。

5 統計資料

下の表は観察(A)および(B)について、各項目別に各学年の調査人数を100として百分率(%)で表わしてある。1人の記述はいくつもの項目

表2 項目別人数百分率

項目	校種 学年 人数	A(観察)						B(疑問)						
		小学校			中学校			小学校			中学校			
		2	4	6	2	3	2	2	4	6	2	3	2	
		39	40	44	42	44	192	39	40	44	42	44	192	
1 炎の形・大きさ	a 形や大きさの概略	18	13	34	2	2	29	1		2			13	
	b 大きさの量的観察			3	9	17	9	14				26	20	4
	c 高さや大きさの変化に気づく	38	60	52	60	77	28	1	10		40	41	9	
2 炎の色・明るさ	a 1~2区分	46	50	25		5	17	3	10		2	2	4	
	b 3区分	21	33	61	40	39	47	1	15	75	45	43	14	
	c 4区分以上			3	7	43	36	11			24	14	1	
3 炎の温度・熱	a 温度・熱の記述	33	25	30	2	7	19				10	5	5	
	b 場所による温度差			7	33	27	19		5	16	33	20	11	
	c 量的な熱				5	5	2		15	14	2		5	
4 ろうの融解や凝固		87	70	68	57	61	58	28	45	18	36	43	30	
5 しんのまわりのろう(凹形・動き)		23	68	18	38	82	69	2	10	7	21	48	17	
6 液体のろうと固体のろう(色・透明度)		8	10	16	2	18	26		5	7	2	2	10	
7 しんの状態		28	90	61	40	64	65	2	8		29	55	22	
8 しんのはたらき			5	30	12	25	32	4	25	32	21	9	33	
9 風によって黒い煙を生ずる		67	65	34	81	75	59	4	28	9	71	70	22	
10 火を消した時白い煙を生ずる		56	8		24	18	45	28	15	7	19	9	11	
11 ろうの成分				2		11	6	1	5	2	12	20	23	

に及ぶので、たてに合計しても100%にはならない。

例えば、小学校2年の記述についてたてに見ると、1炎の形・大きさで、a形や大きさの概略について記述したものは39名中18%で、次のb大きさの量的観察では0%、c高さや大きさの変化に気づいたものは38%である。以下このようにして見ていただきたい。つまり空欄は観察した（または、疑問に思った）ものが0%である。

表2Aの分析的考察

① ろうそくの炎について、形や大きさの概略を指摘したにとどまっているのは、やはり小学生に多い。それが中学生になると2%と、ほとんどみられなくなる。ところが高校生でふたたび29%に急増している。高校2年生でこのような低次元な観察が1/3近くあったことは問題といえよう。

炎の高さ・大きさの変化に気づくのは、小学校4年生から中学にかけて、60~70%を占めているが、これも高校になると28%に激減している。

② 炎の色や明るさの区分では、1~2区分は小学校2、4年生に、3区分は6年生にという分化がみられる。中学生になるとほぼ全員が3~4区分とみており、観察力の確かさをおもわせる。ところが高校に進むと、1~2区分しか観察していない者が17%を占め、逆に4区分の観察は中学2年生の1/4にとどまっている。

③ 炎の温度・熱についての漠然とした記述では小学生が大体30%前後と多いが、中学生になると1ケタになる。そして場所による温度差に目をつける者が多くなる。炎の熱を量的にとらえようとするのは、やはり中学生以上であるが、それにしてもその数は1ケタにすぎない。この項目については、小学生から中学生に進むにつれて、観点がかわってきていることがわかる。すなわち、表面的な見方から分析的な見方、さらには定量的な見方への高まりがみられる。これはエネルギーの観点に進む足がかりで

あり、たいせつにしたいところである。しかしこの傾向は高校生までは持続せず、ここにも一種のデカラージュがみられる。

④ ろうの状態変化については、全般的に関心もたれたようで、全校種・全学年が50%を上廻っている。とくに小学校2年生が87%の高率を示しているのが目につく。低学年の関心はもっぱらこのろうの融解や凝固と、⑩の黒炎に集中したとみてもよからう。

⑤ 液体のろうの色、透明度などの観察は、中学2年生の2%を除けば、小→中→高となだらかな伸びを示している。

⑦ しんの状態は、小学校4年生の90%をピークとして、全般に強い関心もたれている。

⑧ しんのはたらきについては、小学校低・中学年の関心はきわめて少ない。それが、小学校6年になると30%の者が関心もち、その後多少の凸凹はあるが、高校生まで持続している。しんのはたらきは、③炎の色や④ろうの状態変化や⑩黒煙などのように、感覚的にとらえられるものでないだけに、観察力や科学的に認知力の成長をこの項目は示しているともいえよう。

⑨ 黒煙の生成については、小学校6年生の34%が最低で、後はいずれもよく観察しており、この観察結果が疑問への波及していることは、表2からもよみとれる。

⑩ 火を消したときの白煙（ガス）については小学校2年生と高校2年生という両端にピークがみられ、途中の学年に陥没現象があらわれている。とくに小校6年生はゼロであるから、この学年は、黒煙・白煙ともに観察が最低という結果になっている。この理由はよくわからない。

⑪ ろうの成分にまで観察を進めるようになるのは中学3年生以上といえそうである。それにしてもその人数は全般的にみて極端に少ない。たしかにこれは、観察のみではとらえられないことである。

表2Aの全体的考察

小学2年生と4年生とでは、⑩黒煙の項を除くと、両者にはっきり差がみられ、ここに発達の一つの節がありそうである。(小学2年生の記述能力の不足を考慮にいれたとしても)。

小学4年生と6年生の間では、観察項目のひろがりや、観察の細かさなどのちがいはみられるが、表にまとめた11の項目に関する限りは、発達の節といえるほどのものはみられない。

小学6年生と中学2年生の間には、かなりはっきりした発達の節がみられる。中学2年・3年を含めて、中学時代が、観察の視点のひろさ、レベルの高さで、ピークを示している。

高校2年生は中学生とちがって、まず非常なばらつきがみられる。各項目を平均して観察しているとかいえるだろうか、観点をかえれば、質的に高次の観察から、小学生レベルの低次のそれにいたるまで、多様な分布を示しているということにもなるだろう。

以上のことから、おおよその傾向を図示するおおよその形になる。

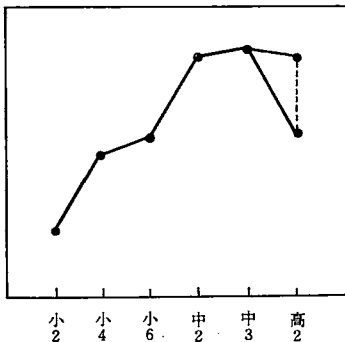


図5 観察に関するおおよその傾向

表2Bの分析的考察

① 炎の形や大きさについては、日常見慣れたものなので、疑問はほとんどもたれていない。「ろうそくとはかくあるもの」という固定観念ができてしまっているのではなかろうか。しかし高校2年生になると、13%の疑問が出てきているが、この意味はよくわからない。

炎の高さや大きさの変化についての疑問は、中学生にはほぼ集中していること、小学6年生がこの項目a～cについて、ほとんど疑問を抱いていないことに注目しておきたい。

② 炎の色の区分については、4年生ころからはっきり意識して、疑問をもつようになってくる。全項目にわたって、疑問が少なかった小学6年生が、この炎の3区分だけは75%と最高の疑問を示している。これは燃焼の学習に入っている前であったためかもしれない。各学年を見渡すと、小学2年生以外は、全般的に多くの者が疑問をもっていることが、よみとれる。

④ ろうのの状態変化では、ほぼ全学年で20～40%のものが、疑問をもっている。

⑧ しんの働きについての疑問は、学年によって非常なばらつきがみられる。たとえば同じ中学生でも、2年生は21%あったのが、3年生では9%に激減しているように。

⑨ 風による黒煙に関する疑問をもつものは、全体的に多いのであるが、とくに中学生に顕著にみられる(70%)。そしてここでも、小学6年生の極端なおちこみ(9%)が目立つ。

⑪ ろうの成分についての疑問は、4年生くらいから出はじめ、学年が進むにつれて増加の傾向をみせているが、小学校と中・高校との間に断層がみられるようだ。

表2Bの全体的考察

ほぼ全学年を通じて、疑問が集中したと思われるのは、②炎の色と明るさ、④ろうの状態変化、そして⑨風による黒煙の三項目である。これらはいずれも感覚に直接うったえてくる事実であって、表2Aでも多くの者が観察している。逆にいえば、疑問に思うことがまず観察されたのだということにもなるであろう。

学年が進むにつれて、疑問のひろがりやひろがりはみられ、中学生でほぼピークに達する。高校生はここでも、平均化・多様化の現象がみられるし、小学6年生が、いくつかの項目でまったく疑問を示していないし、どの項目についても、他の学年よりも大きくおちこんでいる(②を除

く)。小学6年生は、観察においては、小学4年よりも、量質ともに向上がみられただけに、

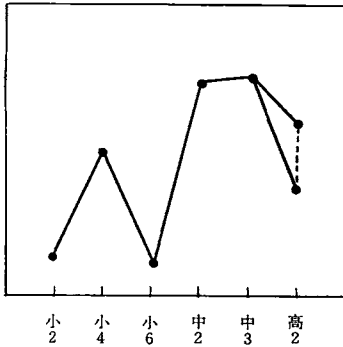


図6 疑問に関するおよその傾向

観察はしてもそれに疑問を示していないという事実を、私たちは見逃してならないであろう。疑問のないところに、創造的思考や批判的思考は生まれにくいはずである。

以上のことから、おおよその傾向を図示すると図6のような形になる。

次の表はたてに各学年を、横に記述された有効項目数を横にとって調べたものである。例えば、A表で小学校2年の行を横に見ると、調査人数39名のうち有効観察項目2のものは8%であり、3項目記述したものは18%で、4項目に及ぶもの26%となっている。以下このように見ていただきたい。

表3 項目別人数百分率

校種	学年	項目数 人数	A (観察)										B (疑問)										
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
小学校	2	39			8	18	26	21	23	5					23	26	38	8	3				
	4	40			8	10	10	23	33	10	8				40	28	20	8	3	3			
	6	44			2	14	39	9	14	14	9				32	50	16	2					
中学校	2	42		2	12	26	17	29	12	2				2	10	12	29	24	10	12		2	
	3	44				9	11	20	16	20	14	5	5		7	7	9	25	20	18	9	5	
高校	2	192	1	3	6	5	15	18	13	16	10	7	5	5	20	26	27	14	4	3	1	1	

表3 Aおよび表3 Bの全体的考察

二つの表からよみとれる傾向性のいくつかを列挙してみる。

① 項目数からいうと、中学生とくに中学3年生でピークになる。小学校では4年生が、観察、疑問ともに目立っており、6年生をやや上廻っている。高校生は項目数だけからいっても、0から10まで、まんべんなく分布しており、ここにも多様化の傾向がはっきりあらわれている。

② 観察と疑問には関係がありそうだという予想は、ここでも成り立つ。観察項目の方が、疑問項目よりも多いというのが、一般的傾向である。

③ 小学2年生に疑問項目0の者が23%もいる。ところが観察はあるていどの項目についてなされている。ということは、目でみる観察と頭で考える疑問とが結びつかないであろう。

なお、生徒一人あたりの疑問の項目数と、そのグラフを示せば次のようである。

表4 平均項目数

校種	小			中		高
学年	2	4	6	2	3	2
観察	4.5	5.2	5.0	4.0	6.2	5.9
疑問	1.5	2.1	1.9	3.3	4.6	2.5

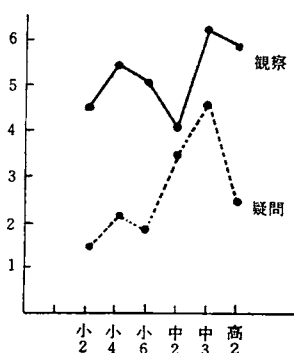


図7 平均項目数のグラフ

以上のように表を追跡してきたが、本調査にあたった現場教師は児童・生徒たちの文を一つ一つ読んで、どう受けとったのか、次に各校における感想をかかげることにする。

(1) 小学校の感想

熱に関する記述がすくなく、ほのおやろうのとけ方などを中心に表面的な見方が多くなされている。それらの観察や疑問には、粒子的なとらえ方にまで及んでいるものが少ない。

有効な観察項目の指摘人数を比較すると、4年に比べて6年の方がかえって減少している。2年生の特色は液体のろうのことを「しる」とよんでいる点である。

低・中学年では感情的な表現がみられる。たとえば、「虫のようにのびたりちじんだり……」という表現がとられている。

同時観察がすくない。つまりこまかい動きを観察したり、集中的に観察したり、視覚以外にもたよろうとする点にかける。

生き生きとした観察がすくない。換言すれば

ろうそく自身に働きかけることが余りない。中学年の観察では男女差がすくないという特色がある。

(2) 中学校の感想

中学生の観察や疑問の中には、日頃理科の成績の良い生徒に多いかというそうではない。むしろ、ガサガサしている生徒のうちでもよいポイントを指摘しているものがある。

教科書やその他の印刷物によって得られる情報にたよっている生徒は、学習の深さに限界があり、定型のものになり易い。はみ出した観察や思考を大切にしたい理科教育では、むしろ実物と対面させ何ものにもとらわれない自然への関心を多くもつことが大切である。

一度思いこんだら、それを修正することは大変なことである。まだ経験の乏しい中学生に断定的な理科教育を行ない、評価することにかなり疑問が生じてきた。

学業成績下位群の中でも観察や疑問に多様性が見られたことは、意外なほどであった。また、上位群の中に観察項目など少ないものが相当数いたが、これは活字メディアなどの影響を受けての結果であると思われる。

物質がエネルギーとのかかわりあいに変化していることを指摘した者は、ほとんどいなかった。このことから、中学校段階で物質をエネルギーと結びつけて把えることは、かなり教師の指導性(制御)を伴わなければむずかしいのではないか。

(3) 高校の感想

男女間における大きな差はみられないが、やや女子の方が観察・疑問ともに多い。傾向もやや違いがみられ、炎の温度・熱、しんの働きでは男子の疑問が多く、液体のろうと固体のろうしんの状態では女子の疑問が多い。

観察項目数が多いと疑問項目数が多いかという、必ずしもそうではない。つまり強い相関関係はみられない。

観察・疑問ともに記述が多様であるが、一般的には観察力は高校生らしい鋭さがあるとはいえない。学業成績が良くない生徒でも綿密な観

察し、多くの疑問を記しているものもいる。逆に成績の良いものでも観察が粗雑で、疑問をあまりもたないものがある。

エネルギー的な見方が身につけているとはいえない。たとえば炎の温度や熱に関して量的なとらえ方がなされていない。

視覚的な観察が多いのに比べて、触覚、聴覚、臭覚に訴えた記述は極めて少なく、詳しさの点でも不足している。

中学校からみて順調な発達があるとはいいたい。そして、ペーパー・テストだけではあらわれにくい能力が観察・疑問の記述にあるようである。以上の諸点をふり返ってみると、今日の理科教育の反省を促す要因が山積していることを痛感する。

しかし疑問は創造性の第一歩である。できるだけ早期から、知的好奇心を培う必要がある。たとえばろうそくの状態変化などを入口にして。

6 作業過程の定量分析

ある小学校4年生1学級の児童について、次のような調査をおこなってみた。

(1) ろうそくに点火した時を0として、一斉に観察を開始して、書きはじめるまでの時間と人数の関係をとらえる。

(2) ろうそくの点火時を0として、児童が「これ以上書くことがない」と判断する時間（書き終りまでの時間）と人数の関係をとらえる。

学級構成は男17名、女17名、計34名である。このクラスは研究授業の経験が豊富で、かなり優秀な生徒が多いクラスである。

便宜上、(1)のことを始点、(2)のことを終点と呼ぶことにする。

研究の方法は始点及び終点にレスポンス・アナライザー（R. A.）のボタンを押させてチェックする。累積した人数はレコーダーを使って、自動的に記録する。結果は図8、9の通り。

結果を分析してみると次のようになる。

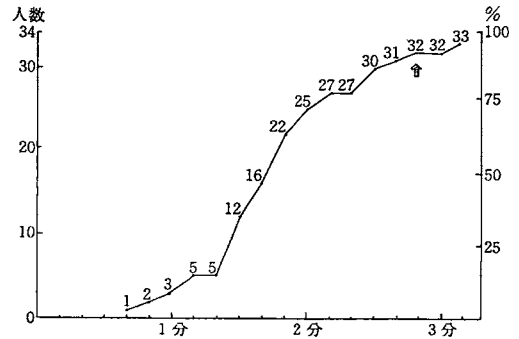


図8 点火時より記録開始までの時間（始点）と人数

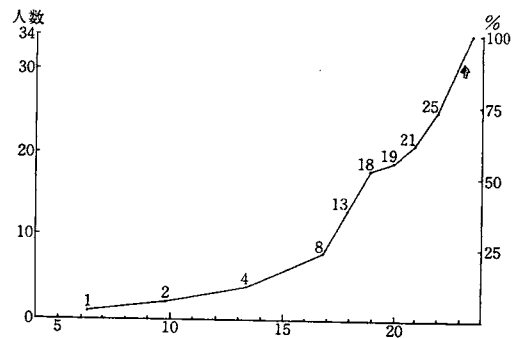


図9 点火時より記録終了時までの時間（終点）と人数

始点の定量 点火から記録の開始時のずれを考へてみる。このカーブの切れ味はあまり良いとはいえない。つまり、2分40秒から3分の間はいわゆる無駄に時間をつかった生徒がいる。

始点は相撲にたとえれば立ち上がりの状態である。点火時における教師の指示から、「何かから書き始めようか?」と糸口をみつけたすめにつかわれている時間である。したがって、もしこれが授業の場面であれば、教師はどうして遅れているか、その原因をたしかめようとしたり、原因をとりはらう指示を与えるべきであろう。

別の観点でこのクラスを分析することができる。始点1分10秒から1分20秒の点と、2分10秒から2分20秒の点に短い節（ノード）がみられる。多数の調査の場合はこのようなことは普通にはみられないであろうが、1学級の検査ではよくみられる現象である。

何度検査しても同様な始点のグラフができればノード2のクラスとして特徴づけられるであろう。

終点の定量 点火から記録の終了時までのずれについて考えてみる。思考の終点とみためて、この個人差は当然存在する。これはプログラム学習においても他の学習場面でもこの時差は証明されている。

このグラフでわかることは終点の広がり意外と大きい。最初の児童は6分20秒で終わったとしているのに、最後の児童は23分30秒である。約4倍の違いがある。

このような観察場面では、果してどちらがよいとは一既に断定はできないであろう。ただこの調査では始点のグラフに比して、このカーブは極めて切れ味のよい終点といえる。

普通の学級でみられるケースは終点のグラフは右の方の傾きが急ではなく、やや緩やかな状態になると、推定される。

終点における問題の児童は、15分以前に終了した児童である。果して本当に終了しているのかどうか、もっと多くの観察事項があるのに気づいていないのではないか。授業の場面では教師は個別的に示唆を与えようとする点である。

始点と終点の比較 始点と終点を比較して、その重要性ではどちらが大きいのだろうか。この問題はここに示した時間スケールの異なる2枚のグラフでは、簡単に結論を下だすこと控えねばならない。時間差を比較するという点からみれば、始点は40秒～3分10秒位の中であり、終点は6分20秒～23分30秒位の中である。したがって、終点を研究する価値が高い。終点のグラフで長いノードが表われたり、両端になだらかな曲線が表われたりする場合は原因追究をきびしく進める必要がある。

もし、教師のある示唆によってグラフが大きく変化するならば、良質、または悪質な示唆といえる。良質ならば傾斜がシャープになるであろう。この始点と終点の研究は今後さらに研究を深めねばならない「定量分析」の手法といえる。

まとめにかえて

ろうそくの燃焼について、三つの校種（8才から17才）にわたって、観察力、問題を感じずる力を追跡してきた。被験者数が少ないこと、校種によって絶対数がちがうこと、小学2年生のように、観察したり疑問におもったりしたことを表出する能力そのものが、じゅうぶん備わっていない者たちに、それ以上の学年と同じ方法でとり組ませたことなど、問題はいくつもあるように思う。したがって今回報告したものは、ある限界内での一つの傾向性をとらえたものにすぎない。

(1) まず指摘したいのは、観察力や問題を感じたり疑問をもったりする能力は、学年が進むにつれて、量的（観察、疑問の項目数）にも質的（粒子性とエネルギー的などえ方）にも向上しているとはいえないということである。図5（観察）、図6（疑問）および図7（生徒ひとり当りの観察と疑問の項目数）で概略の傾向を示したように、中学2年ないしは3年をピークとする変則的な形が描けそうである。

(2) 高校の多様化現象は、今回の調査でもはっきりとうかがうことができる。典型事例で示したような観察と疑問を示す者もいる。「燃焼中に臭いが無い」というような観察、「融点はどれくらいだろう」というような疑問は、化学の立場からみてもとくに重要であると、北村教授も指摘されている。あるいはまた、ろうそくの芯は燃糸ばかりでなくて、金属芯は使えないものかというような発想の転換を示す者もいた。（まさか金属芯を、と笑っていた私たちは、後で北村教授から示された文献に当たってみて驚いた。宗教用のろうそくで、ガラス容器には入っているものは、明るくなくとも長持ちする必要があるので、芯を細くして、低融点の金属の針金に木綿糸を巻いてつくられる、とあったからである）。

しかしそうしたすぐれた事例のある反面、炎の色・明るさの観察だけをとりまいても、1～2区分という小学校の低・中学年レベルの者が

17%もいる。観察項目は0から10項目まで、疑問項目も0から8項目まで分布している。被験者が他校種の5倍近くもいたことを考慮に入れてもなお、この分散は注目すべきであろう。

(3) 疑問、観察、思考の三者には、明らかにつながりがある。私たちの被験者にみられた一般的な傾向として、観察したから疑問をもつのではなくて、むしろ、疑問をもつから観察が詳しくなるのであろう。その観察にもとづいて思考する。そうするとこんどは、単なる疑問ではなくて、「こうではないだろうか」という視点をもって、事実を観察する。こういうスパイラルなふかまりができるような指導を、私たちはもっと、考えていかねばなるまい。そしてそのためには子どもたちの現有能力、既有的知識や思考のシエマと「最適ナズレ」をもつものとの出会いを、どのように設定していくかという観点で、教育をみなおす必要があるだろう。

(4) 特定学年に特定題材で、という微視的な調査や研究はもちろん必要であるが、それとならんで、今回のように、三つの校種を一貫するような巨視的な展望もまた、必要と思われる。

実はこの調査は、小・中・高校そして大学という四校種、15名の教師たちの共同研究に際して、共通意識をもつためのスプリング・ボードとして思いついたものなのである。実際に調べてみた結果、各校種の教師たちの反応はもちろんちがっていた。しかし、これまでの自分たち

の教育が、教科内容だけから組み立てられており、児童・生徒がそれをどう受けとめ、どう位置づけるかという裏返しの発想からの単元構成がなされてなかったことへの反省は、各校種の教師に等しくもたれたといえる。

さらにはまた、自分たちの教えている、あるいは教えてきた児童・生徒が、認知能力をどう高めてきているのか。その発達に、自分たちがどうかかわってきたのか。またかかわっていくべきなのか。こうした討議をもつことができるようになった。この共通項をふまえて私たちは、小学校で「物の三態変化」（4年）、「物のもえ方」（6年）、中学校で「金属と酸素の反応」（中2）、高校で「化学反応と熱」という一連の授業を、計画・実践し、それを学習の思考の変容過程という視点から評価していく仕事に発展させていった。

今回の調査をまとめるに当たって、金沢大学教育学部北村一夫教授から、時には助言の形で直接の指導を、また時には資料・文献の提供の形で間接の指導をいただいた。

また今回の調査の対象となっていたいただいた金沢市内の小・中・高校は、その学校名をあげることはさしひかえるが、私たちの調査の意図をよく理解され、全面的な御協力をいただいた。こうした御指導、御協力に対し、ここに深く謝意を表したい。