

1を聞いて10を知った気になることの怖さ

- 副題1 『子供ノ実験室』のある説明に関して -
- 副題2 研究仲間のいる楽しさ -

正院小学校 尾形正宏

はじめに

昨年度、理科部会やサークルで話題にした「ろうそくの実験」について、みなさんから、いろいろとヒントをいただきました。しかし、どれも今ひとつ納得できません。どの意見が正しいのか、いろいろな実験を試してみようと思っていたのですが、時間だけが過ぎていました。

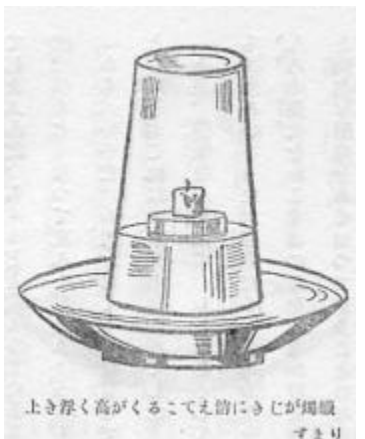
しかし、この2ヶ月間で、わかったことがありますのでご報告します。

まずは、どんな問題だったのか(初めての方向のために...)

昨年の流れを知らない方向のために、ボクがこだわった実験とその解釈を紹介しておきます。「サークル通信 2005年1月号」で紹介した文章を転載します。

『子供ノ実験室』(昭和3年、非売品)という本を、以前にネットの古本屋から購入して持っていました。この本を年末の時間があるときに学校で読んでいたところ、突然、気になった実験をやりたくなって理科室へ。それで、ちょっとわからない部分や面白かった実験を持ってきました。

特に、浅い皿に水を入れ、火のついたろうそくを浮かべてガラスビンをかぶせると、しばらくしてろうそくの火は消え、ビンの中の酸素がなくなり、その分水面が上がるのだ」という実験について、「それ本当に酸素がなくなったからだ」といえるのかどうか気になります。ろうそくが燃えると酸素が使われ、二酸化炭素と水ができます。水蒸気は水に戻るのだ、あとは、二酸化炭素ですが、それがそのまま空気中にあるのなら、あまり水面は



あがらないはず。市の理科部会でも聞いてみましたが、「二酸化炭素が水によく溶けるからではないか」という話も出ました。しかし、本当のところはどうなのでしょう。よくわからないままでした。

どんな理由が出たか

この実験結果の解釈には、下のようなものがありました。

- ・二酸化炭素が水に溶けるのだろう（二酸化炭素だけためてやってみるといい）
- ・空気が暖まって、それが冷えるときに大気圧で上がってくるのだろう（ピンをかぶせるときに、どうしてもピンの中の空気が泡となって出ていくのが見えるから）
- ・ろうそくの燃焼でできた水蒸気が水に戻るので、減るのではないか。（こんなに多くの体積を占めるとは思えない）

しかも、ろうそくの火が消えるのは、決してガラスコップの中の酸素がすべてなくなったからではありません。これは、今じゃ、6年生の理科の教科書にも出て来ます。気体検知管というもので、ろうそくが消えた後の空気の成分をはかると、まだ15パーセント近くは残っているのです。もとの酸素は20パーセントくらいですから、その4分の3は残っているけれども、火は消えるのです。これはできた二酸化炭素のせいではなさそうです。

第2の実験をやってみたが...

ガラスピンをかぶせたままやってみると、何が正しいのか一番わかったと思ったので、<ろうそくに火をつけるのを、虫めがねでやってみよう>と思いました。

で、天気の良い日に縁側に出てやってみたのですが、ワンカップ（家にあった熱に強そうなガラスはこれしかなかった）の中のろうそくの芯には、簡単に火がついてくれません。持っていた虫めがねも児童用のものだし、点火するには温度が足りないのでしょう。そうそう、きれいな凹面鏡（直径10センチもある）も買ってあることを思い出し、やってみましたが、太陽と同じ方向に焦点があるために、余計に火をつけづらかったです（はっきり言って無理でした）。あははは...

そんなわけで、この実験の本当のところは、わからないままだったのです。

研究仲間からのメール

そんなとき、知り合いの津幡高校の福岡辰彦さんから以下のようなメールが届きました。彼は同じ仮説実験授業研究会の石川県会員からです。福岡さんはボクより相当若い高校の先生です。

福岡さんからのメール

たまに「珠洲たのしい授業の会」のサイトに行って、更新があると楽しみに読ませていただいています。

それで、「珠洲たの通信 2005年1月号」の(省略 前ページの記事のこと)ですが、実は、この実験、学生時代から気になっていて、いろいろ調べていたのです。それで、少し書きます。

これは、コップの中に水が入るのは、ロウソクの炎で熱せられ体積が増えた空気が、冷えて体積が減少する のが一番の原因です。

一番詳しいのは、

金山廣吉『理科実験の盲点研究』(東洋館出版, 2000)

です。

この本は、他にも尾形さんには興味があることが書かれていると思いますので、入手して損のない本だと思います。

あと、

城雄二『授業書案 あなたは裁判官？それとも科学者？』『授業科学研究12』にも詳しく書かれています。

以上、参考になると幸いです。

こんなうれしいメールをもらって、ボクはすぐに次のような返信を送りました。

福岡さんへの返信メール

おはようございます。今頃はお家かな。

> たまに「珠洲たのしい授業の会」のサイトに行って、更新があると楽しみに

> 読ませていただいています。

それはどうも...

>実は、この実験、学生時代から気になっていて、いろいろ調べてい

>たのです。それで、少し書きます。

>これは、コップの中に水が入るのは、ロウソクの炎で熱せられ体積が増え

>た空気が、冷えて体積が減少する のが一番の原因です。

そうなのですか！ やっと解決しそうです。

実は、サークルで「これはFさんに聞けばわかるかも」と言っていたのでした。

こうして通信を読んで、教えてくださるとはありがたい。

ろうそくの火でピンをかぶせる前の廻りの空気が熱せられて、

それが冷えて水が上がるって事ですね。

>一番詳しいのは、

>金山廣吉『理科実験の盲点研究』(東洋館出版, 2000)

手に入れてみます。

>城雄二『授業書案 あなたは裁判官？それとも科学者？』『授業科学研究12』

>にも詳しく書かれています。

これは、持っているのですぐに見てみます。

貴重な情報、有り難うございました。

持つべきものは研究仲間ですねえ。

自分の人生に満足です。

ボクらのホームページを見て、そしてちゃんと教えてくださる友達がいるというのが、うれしいです。これも、長いおつきあいの賜だと感謝です。

ボクはさっそく、本棚にあった『授業科学研究 12』を取り出すと共に、アマゾンに『理科実験の盲点研究』を注文したのでした。

城雄二著『授業書案<あなたは裁判官？ それとも科学者？>』より

出会っているはずなのに...

本授業書案が載っている『授業科学研究 12』（仮説社、1982）は、仮説実験授業研究会編集の本で、教師になって（ボクが教師になったのは1983年）すぐに手に入れていたシリーズ（全12巻）です。そして、この記事もしっかり読んでいたと思います。この「裁判官と科学者」というひびきが面白くてちゃんと頭に残っていますので...。でも、その内容のことはすっかりと頭から消え去っていました。そこには、ボクがこだわったのと同じような説明が載っていました。

この授業書案の最初の方だけ紹介すると...

裁判官と科学者

まず、クラスを科学者チームと裁判官チームの2つに分けます。

そして、科学者チームに【問題1】「ロウソクにコップをかぶせる問題」を出し、予想を立てさせたあと、実験。結果は「コップの高さの5分の1くらいあがる」となります。

次に、裁判官チームに登場してもらい「この実験からどんなことがわかりますか」とたずね、5つの解釈を示し、選ばせ、その理由を聞きます。その5つとは、

- A 水に浮かんだ燃えているロウソクにコップをかぶせると、火が消えて、水が5分の1あがった。
- B コップの中の空気が燃えると、酸素が減って水が5分の1あがる。
- C コップの中の酸素が燃えて二酸化炭素ができるが、二酸化炭素は水に溶けるので、水はあがる。
- D コップの中の空気があつくなって、しばらくすると、水があがる。
- E この実験のわけがよくわからない。

です。

次に、この裁判官チームの解釈（判決）を聞いた科学者チームに、「判決についてどう思うか」を尋ねます。そして、科学者と裁判官でチーム変更したい人を聞いて、【問題 2】を考えてもらいます。

その【問題 2】は裁判官に考えてもらいます。右のような学習参考書の文章を示して「この文に、あなたは、
、
、
xのどれをつけますか」と聞きます。

この文章によると、【問題 1】の実験結果の解釈は、「二酸化炭素ができるが、それが良く水に溶けるので、その分、水があがってくる」というものです。


さらに、【問題 3】では、白土三平の『サスケ』の一コマが紹介され、裁判官は揺さぶりをかけられます。ここでは、「酸素がなくなった分だけ、水があがってくるのである」と説明されています。

この「竜神の術」に xをつけるのです。

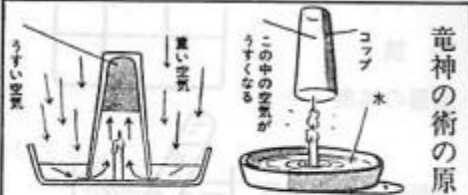
空気は、およそ5分の1が酸素で、残り大部分はちっ素です。
空気中で、ものが燃えるのは、5分の1の酸素があるからです。ふたをしたびんの中で、火が消えるのは、ものが燃えるとき、空気中の酸素が使われてなくなるからです。

●実験4.〈空気と酸素〉ろうそくの底にくぎをさし、水の上にかし、上からコップをかぶせると、火はしだいに暗くなって、まもなく消えます。

しばらくすると、コップの中の水面がわずかず上がってコップの5分の1まできます。これはそれだけ空気が減ったことになります。（ろうそくが空気中で燃えて酸素が二酸化炭素になり、それが水にとけてしまったからです。）



〔小学高学年理科 自由自在〕小学教育研究会編、受験研究社刊、314へ〕



竜神の術の原理

つまりかんたんに説明すれば、ろうそくの火がもえ、コップ内の空気中にくまれた酸素がなくなるので、コップ内の空気はうすくなる。そのため外の重い空気が水面をおすので、空気のうすいコップ内へ、水は押しあげられるわけである。

解釈の押しつけは科学ではない

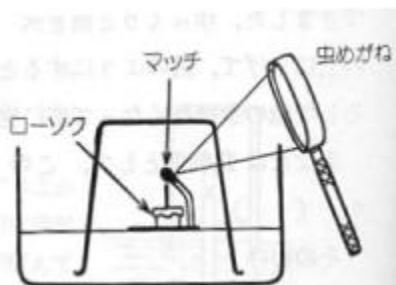
ここまで読んでくると、たった一つの実験結果から、ある解釈を押しつけるのは、決して科学的な態度ではないことに気づいてきます。しかも、ちゃんとした本（子どもたちにとってはこれだけで権威がある。それは大人にとっても同じ？）に出ているだけで、何種類かあるのですから…。ボクの見つけた『子供ノ実験室』と「竜神の術」は同じ解釈です。たぶんずいぶん前から、こういう解釈があったものなのだろうと思います。

いくつかの予想 実験を重ねることで

さて授業書案の方は、科学者チームに2つの問題を考えてもらいます。

【問題 4】二酸化炭素を入れたコップを水の入った水槽に逆さに入れると、水はあがってくるだろうか。

【問題 5】右の図のような装置を作って、コップの中でろうソクに火をつけると、水は最初の位置から見て、あがってくるだろうか。



【問題 4】は二酸化炭素説を確かめる問題です。これで水があがってこなければ、「二酸化炭素が水に溶けたから」という解釈は成り立たなくなります(できたての二酸化炭素は溶けるといふ理屈もまだ残るが...)。

また、【問題 5】の実験の結果、もし水があがってくるならば、それは、中の気体やろうソクの変化が影響していることになります。しかし、これで水があがってこなかったら、燃えたあとの空気が変化したからとか二酸化炭素が水に溶けるから...等という理由は成り立たなくなります。

【問題 5】は、ボクがやってみたことです。で、虫めがねが小さくてろうソクの芯に火がつかなかったのです。しかし、この図の方法だと、マッチの頭を黒くしておいて、そのマッチに火をつけることになっています。「これだといけそうだ」と思ったボクは、さっそく鍋とワンカップを持ち出して、組み立て、ストローで空気を少し吸い出して水面を上げておき、火をつけてみました。

さて、どうだったと思いますか？

マッチに火がついたとたん、水面は下がりますが、火が消えると同時に、またスッと水面があがってきて、元の位置に戻るではありませんか。ボクは予想どおりの実験結果にうれしくなって、一人で微笑んでいました。

「1から2がわかる危なさ」と「1から2がわかるすばらしさ」

この城さんの授業書案の副題には「1から2がわかる危なさ」と「1から2がわかるすばらしさ」と書かれています。このレポートでは、授業書案の最初の部分しか紹介しませんが(ボクの興味が「一つの実験結果の解釈の仕方」にあったため)、この後、本授業書案では、いくつもの実験をしながら、科学者と裁判官(職業ではなくみんなが持っている態度)というものについて考えを深めていけるようになっています。ここではこれ以上立ち入らないことにします。

金山廣吉著 『理科実験の盲点研究』より

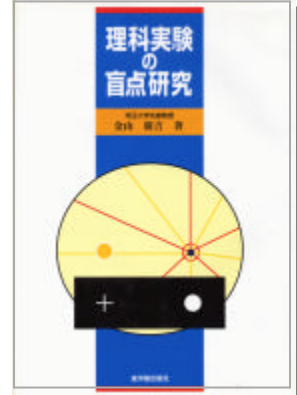
せっかくですので、もう1冊の本も簡単に紹介します。

本書のはしがきで、著者は

「わが国の学校教育は明治の初期に始まって約一世紀の歴史をもつが、その頃から現在までの長い間ずっと常識と思われてきたことに、そのような(驚きを感じる盲点的問題のある現象の - 引用者注)問題があるとは誰も思わないだろう」

と述べ、その盲点的問題として13のテーマを取り上げています。その13とは、

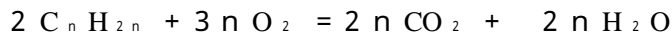
- 1 さかさコップ（大気圧説を疑う）
- 2 サイフォン（大気圧説を疑う）
- 3 鯉の滝登り（試験管の逆上がり、大気説を疑う）
- 4 側圧試験器（飛距離説を疑う）
- 5 水に浮く1円アルミ硬貨（表面張力説を疑う）
- 6 毛細管を昇る水（働く力を疑う）
- 7 管からの水の流出（正答に迷う）
- 8 石浮き木沈む（固定観念の打破）
- 9 しゃぼん玉（内部圧力への疑問）
- 10 熱の伝わり方（熱伝導実験器への疑問）
- 11 平面鏡の反射像（像の形への疑問）
- 12 コップやびんの音（水量と振動数の関係への疑問）
- 13 コップの中の炎（燃焼による体積減少への疑問）



です。どれも、理科系の方々には興味深い実験だと思いません。まだしっかり読んではいませんが、「ええ、本当は違ったの？」と思うことがたくさんあるに違いありません。

さて、今回は、このうちの「13章」を見てみます。そこには、理論的考察として次のように書かれていました。

ロウソクの主成分はパラフィンとステアリン等で、それを分子式で表すと、フクザツながらも $C_n H_{2n}$ と表せるので、ロウソクが燃えるときの化学変化は、以下のような式となります。



ここで気体のみに注目してみると、3体積の酸素 O_2 が2体積の CO_2 になるので、酸素1体積分だけ気体は減ることになります（2体積の水蒸気はすぐに水になりますから、ここでは無視します）。

しかし、酸素は、空気中の5分の1しかありませんから、減少する気体の割合は、

$$1 / 5 \times 1 / 3 = 1 / 15$$

となり、わずかです。しかも、先に述べたように、酸素すべてが使われなくてもロウソクの火は消えてしまいます。ロウソクの炎が消えるまでに、ガラスコップの中の空気の酸素の1/4が使われるとしたら

$$1 / 15 \times 1 / 4 = 1 / 60$$

となり、とても1/5ものコップの中の水面があがることを説明できません。

「何がわかりましたか」授業との決別を！

理科の授業でよく見かけるものに、一つの実験をさせて、その実験結果を発表さ



せ、そしてその結果から「今日の実験から ということがわかりましたね」とまとめるというパターンがあります。このパターンが、決して科学的ではないことは、上の例からもわかるでしょう。同じ実験結果を見ても、その解釈は何種類も可能であり、そのうちの一つを「わかったこと」としてまとめるというのは、教師の押しつけでしかありません。そして、その押しつけが「教科書に出ているから、これがまとめなの」と言うに至っては、もう救いようがありません。そんな押しつけをくり返していると、理科が嫌いになり、「試験に出るから、その理由を覚えればいいんでしょ」となるだけなのです。最近の理科嫌い・科学嫌いは、実験が嫌いだとかいうことではなく、こういった押しつけにもその原因があるのではないかと、一度は考えてみるべきではないでしょうか。

また「子どもたちが自分たちで問題を考えることが自由」であり、「問題をあたえるというのは押しつけである」という人もいるが、それは本末転倒です。子どもたちが、自分で考え甲斐のある問題に気付き、そして、それを解決するための実験方法を考え、いくつかの理由を出し、また次にそれを解決する問題を考えていく - というのは、途方もなく大変なことでしょう。指導者の私たちだってなかなかできることはありません。そんなことが子ども達自身でできるくらいなら、もう教科書で勉強する必要もないのではないのでしょうか。そんな子は、ほおっておいても勉強します。

そうではなくて、「おお、これはどうなるのだろう」と思わず身を乗り出したくなる問題を指導者が与え（そのためには、科学史を研究しなければならない）、一人ひとりがしっかりその問題に対する自分の予想を持ち、わくわくして実験結果を見る。しかし、その実験結果についての解釈は、人それぞれ、多様でいいのです。もし、どの解釈が正しいのかわからなければ、それに合わせた問題をさらに示してやり、予想 実験をくり返す。だいたい子どもたちが「たぶんこういう法則があるのではないか」と思うようになってから「実は、みなさんが考えている というのは、科学者も見つけているのですよ」と言ってあげる。これは押しつけではありません。

実は、こういう風に組み立てられているのが、仮説実験授業の授業書なのです。「以上の実験から何がわかりましたか」ではなく、「この実験の結果はどうなるでしょう」を重視した授業は、子どもたちを引きつけます。

こうしたことを改めて気づかせてくれたのは、一緒に考え、不思議がってくれる研究仲間がいるからです。珠洲市の理科部会や珠洲たのしい授業の会というサークルは、ボクにとって、たのしい研究の出発点です。そして、全国に散らばっている研究会関係の仲間たちには、いろいろと刺激的な話を聞かせてもらっています。だから、こうしてレポートもたのしんで書くことができます。

2005.5.15 追記