

小中学校理科教科書に写真で示される実験の実際

加納一輝^a・田中愛由菜^b・荒木雅^b・池田久士^b・佐藤節子^{a,b}

^a岐阜大学教育学部理科教育講座・^b岐阜大学大学院教育学研究科

Actual examples for the experimental scenes shown with photos in textbooks for primary and junior high schools

Kano Kazuki^a, Tanaka Ayuna^b, Araki Miyabi^b, Ikeda Hisashi^b and Sato Setsuko^{a,b}

^aFaculty of Education, Gifu University

^bGraduate School of Education, Gifu University

要 旨

小中学校の理科の教科書には、数多くの実験が明瞭な写真付きで示されている。それらは教員が指導し、小中学生が実際に実験を行う上で非常に有用な指針となっている。しかし一方、かなりの技量をもった実験者の手による実験経過であることも多く、教員や児童生徒が行った場合、その通りにならないこともある。ここではその例として、小学6年の葉のヨウ素でんぶん反応における紫色の現れ方、鉄の塩酸溶液からの蒸発析出物の色、中学2年の銅の酸化還元反応、中学3年のBTB指示薬を入れた寒天でのイオンの移動について、私たちが行った実験や大学の学生実験で大学生が行った実験の実際を示した。小学校では45分、中学校では50分の時間内に導入から課題への気づき、実験、結果についての意見交流、そしてまとめまで進める。この理科授業の組み立てでは、予定通りに進まない実験や予想以上に時間のかかる実験は避けることもある。そのようなうまく進まない実験を授業に取り入れることの有用性について考察した。

キーワード：小・中学校、理科実験、ヨウ素でんぶん反応、鉄の塩酸溶液、銅の酸化還元、イオンの移動、寒天

I. はじめに

現在の小中学校の理科には、数多くの実験が導入されている。そしてどの学年の理科の教科書にも、たくさんの実験の様子が、児童生徒を魅了する美しい写真でわかりやすく示されている。小学校の理科の目標は、「自然に親しみ、見通しをもって観察を行い、問題解決の能力と自然を愛する心情を育てるとともに、自然の事物・現象についての実感を伴った理解を図り、科学的な見方や考え方を養う。」であり、中学校では「自然の事物・現象に進んでかわり、目的意識をもって観察・実験などを行い、科学的に探究する能力の基礎と態度を育てるとともに自然の事物・現象についての理解を深め、科学的な見方や考え方を養う。」ということである。これら

の目標に沿って、見通しや目的意識をもって観察、実験などを行い、理解を図るために、いずれの出版社の教科書も、現象や実験における色の変化、状態の変化などを鮮明な写真で示し、児童生徒が実験を的確に進めていけるように工夫している。しかし、実際に私たちがこれらの実験をしたときに、写真のようにはならないことに出くわす。教科書に示されるような鮮やかな変化に至るには、かなりの実験の技量が必要なのである。本報告では、私たちが行った実験の実際をいくつか紹介する。多くの教室で児童生徒が行った場合には、私たちと同じような実験結果を得ることも多いと思うので、実験を指導していく教員の参考になるであろう。

私たちは、予定通りにいかない実験から、自

然の事物・現象について理解を深めることが多い。この写真で示されるようには進まない実験を理科授業で生かすことの意義について考察する。

II. 実験例

II-1. 小学校6年 植物のからだのはたらき

葉に日光が当たるとでんぷんができるか調べよう

この単元では植物の葉の働きを調べるために、日光に当てた葉と日光に当たらないように覆いをしておいた葉をヨウ素液に浸し、ヨウ素でんぷん反応の有無により、日光に当てた葉ででんぷんが作られていることを確かめる実験である。葉の葉緑体で光合成により合成されたでんぷんは、ヨウ素でんぷん反応で紫色を呈する。教科書には全体がきれいな紫色を呈した葉と、光合成が行われずでんぷんが合成されなかったため紫色を呈しない葉の写真が示してある。この実験では、葉が緑色のままでは紫色がよくわからないため、まずお湯につけて葉を柔らかくしたのち温めたエタノールに入れて緑色を溶かし出す。緑色が抜けて白くなった葉を再びお湯で洗い、アルコール分を洗い落としのちうすいヨウ素液に浸す。日光によく当たった葉と覆いをしておいた葉を区別するために、日光に当たった葉には切りこみを入れて印をつけておくように教科書は指導しており、私たちもそれに従って葉に切りこみを入れてヨウ素液に浸したところ、葉全体が紫色になることはなく、切りこみを入れた切り口だけがくっきりとした紫色を呈した。このことから葉の表皮が破壊されている切り口部分だけにヨウ素液が浸み込んで紫色を呈したことが示唆された。ヨウ素液を浸み込ませるために、葉の表皮のクチクラ層を十分に壊しておく必要がある。このため脱色した葉をろ紙に挟み、柔らかい樹脂製のソフトクリアカバーケースに入れ、これを印鑑用マットの上に置き、木槌で叩いた。木の葉を取り出してヨウ素液に浸したところ、葉の全面とまではいかなかったがかなりの部分が紫色を呈した。

初めに葉を柔らかくするために用いるお湯やアルコールの温度を高くしておいたら、クチク

ラを形成するろうや脂肪酸物質の部分が溶け出して取り除かれるのではないかと考えて、葉をお湯の中で煮るくらいに熱したが、それでもその後ヨウ素でんぷん反応での発色はよくなかった。高い温度でもクチクラ層を十分取り除くことはできないようである。やはり物理的に組織を壊し、うまくヨウ素液を浸み込ませるのがよさそうである。

初めからうまくいくように教師が指導するのではなく、うまくいかないことを経験して、児童自らがなぜと考え、切りこみを入れた葉の切り口の紫色から気づく授業の進め方を指導できればと思う。

II-2. 小学校6年 水よう液の性質とはたらき 塩酸にとけた物を取り出そう

いろいろな水溶液の性質を調べる中で、スチールウールにうすい塩酸を注ぐ実験がある。注いだ後しばらく静置させておくと、スチールウールの周辺から細かい泡が出てきてスチールウールは溶けていく。最後にはわずかな黒い残渣が残る。この溶液をろ過して、ろ液を蒸発させたら、溶けた金属(初めの鉄)が出てくるのかどうかを確かめるために、蒸発皿にろ液を入れて蒸発させる。教科書には蒸発させた後のきれいな黄色の析出物の写真が示されている。塩酸溶液であるためにろ液を蒸発させると、劇物¹⁾である塩化水素ガスが放出されてその鼻をつく様なおいを感じる。この放出量を少なくするため、実験時間を短縮させるために、教員は少なめのろ液を蒸発するように指導する。この実験は大学のようにドラフト装置内で行うのではなく、理科室内で4人前後が一つの班となった6から8班が一斉に行うので、教員は換気に気をつけざるを得ない。そして出てくる析出物は、青色の蒸発皿の上で、なかなか黄色とは言えない色を示す。黄色よりはむしろ白っぽい薄茶色とも思えるのだが、児童は黄色のものが出たと答えることもある。ある程度の量のろ液でやってみると、もちろん黄色の塩化鉄(III) $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ も出るが、黄色のものより赤褐色のものが析出する²⁾ことも多い。またゆっくり熱した場合には淡い緑白色の塩化鉄(II) $\text{FeCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ も

析出する³⁾。このような有色の物質を析出させる場合には白の蒸発皿を使いたいところだが、5年生で白い塩化ナトリウムの析出を確認するためにそれを見やすい青色の蒸発皿を用いているので、6年の実験でもこの青い蒸発皿を使う。青の蒸発皿に加えて白い蒸発皿まで用意することは予算的にも難しい。またこの小学校6年時の鉄が溶けた塩酸から析出するもの確かめるところでは、酸に溶けて、金属である鉄とは異なる物質に変わっていることを確かめることが目的である。このためには析出物が初めの金属と異なる色、光沢を示していれば十分である。上記のように色の変化についてまで問題にするわけではないので、わざわざ白い蒸発皿を用いて色の違いを確認する必要もない。しかし教科書に模範的な実験結果が示してあればそれが出ないと失敗だと思ってしまう児童やまた教員もいるので、教科書には今以上に様々な現れ方をすると分かる写真があればよいと思う。

加熱時に小学校ではアルコールランプを用いるが、理科室にガス設備が設置されているところではブンゼンガスバーナーを用いることもある。小中学校の理科実験を参観した時によく気にかかるのは、このガスバーナーの使用方法である。教科書には順序として、①元せんをあげる、②ガスのねじをあけて火をつけ、ほのおの大きさを調節する、③ガスのねじをおさえながら空気のねじをあけて、青色のほのおにするという指導がある。もちろんこれらの操作の前にガスと空気のねじが回ることをたしかめて、軽くしておくという注意点が示されている。

この指導に沿ってガスバーナーを使っても、かつての児童・生徒には問題はなかったであろうが、現在の児童・生徒には少々危ないところがある。この指示の通りだと児童は必ずガスのねじをあけてからマッチを擦る。あまり日常でマッチを使わない現在の児童・生徒はマッチをつけるのにもかなり手間取るため、ガスのねじをあけたあとかなり時間が経ってしまってガスが広がったところに火をつけて怖い思いをすることがある。また班で分担をして、一人がマッチをする、もう一人がガスのねじを回す役を担

当して思い切りガスのねじを回して、いきなり大きな炎になってしまい、怖い思いをすることもある。マッチ担当の児童には、もう一人の児童がガスのねじをどれだけまわしたかわからないまま火を近づけることになるからである。班の一人一人が、一人でガスバーナーに点火する操作をしておくことが望ましい。そのために、注意点の通り二つのねじそれぞれが回ることを確かめて軽くとした後、マッチをつけて片手にもち、バーナーの筒口の隅にかざし、もう片方の手でガスのねじを少しずつ回して火をつけるという操作を行い、各自がガスのねじを回す程度でどのくらいの炎の大きさになるかを確認しておければと思う。両方のねじが回ること、そして軽くしておくという注意点は、片手でねじをあけるためには必須であることがわかる。しかし4年生の小さな手では、片手でガスのねじを回してあけるということはやはり難しいと思われる。その場合には、一人がマッチの火をバーナーの筒口の隅に近づけて、もう一人にはガスのねじを少しずつあけるということを徹底させなければならないであろう。

II-3. 中学校2年 化学変化と原子・分子

化学変化と物質の質量 金属を熱したときの質量の変化

教科書にはマグネシウム粉末と銅粉末を熱して、加熱前後の質量変化を調べる実験が示してある。私たちは銅粉末の加熱による質量変化を調べた。

中学校教科書では方眼紙の横軸に加熱を繰り返した回数、縦軸にステンレス皿の上の銅粉末の質量を書き入れ、質量変化がわかるように図で示すことを指導している。加熱回数がまだ少ない時には、質量は大きく増加するが、加熱回数が増えるにつれて質量変化は次第に小さくなり、変化がなくなって測定点を結んだ線は水平になる。このようになった時を実験の終点としている。通常この酸化では酸化銅CuOが生じると予想できるので、初めに用いた銅の質量とそれに化合した酸素の質量が、およそ4:1になることが推測される。

中学校で行っている実験をできるだけ体験さ

せるために、大学2年生の学生実験の題材の一つとしてこの銅の酸化と還元実験をさせている。図1は、二人一組の班で、0.3, 0.5, 0.7, 0.9gの銅粉末(ナカライCP)をステンレス皿で熱したここ4年間の結果をまとめたものである。銅と最終的に得た酸化銅の質量から求めた化合した酸素との質量比は、合計84回の実験で4~12:1となるものだった。大学生でもCuOを予想して実験を行う学生は、増加量が少ない場合にはバーナーの火加減を調整して再度実験を行うが、全くそのようなことを考えずに質量変化がなくなったところを終点とすることのみ考えて実験した場合には、加熱による質量が2, 3回同じになると、そこで実験を終了してしまう。炎が十分強くなく温度があまり上がっていない場合、また空気が十分送られた炎でない場合、銅の粉末表面のみの酸化あるいは部分的にCu₂O⁹⁾に留まり、そこで質量変化は横ばいになり、4よりはるかに大きな銅の質量比を得る結果になったと考えられる。

銅の量が少ないほうがうまく酸化できるかと予想したが、特にそのような結果ではなかった。

うまくいった実験でもその比は4.0よりやや大きな数値になっている。実験で用いる銅粉末はきれいな赤銅色の色を示しているが、表面がわずかながら酸化していることもあり得るので、この実験結果は妥当と考える。

この実験の銅の質量比の数値が4に近い場合、その数値から酸化によって生成した酸化銅の化学式を予想させることが可能である。教科書にはまだ原子量という言葉はないが、その考え方は説明されていて、銅と酸素の原子の質量の比がおよそ4:1であることも記されている。生成に至った銅の質量と酸素の質量比がおよそ4:1であれば、酸化銅がCuOという化学式で表されることに納得できるはずである。中学生の場合、CuOを推定して実験を進めるのではなく、この実験結果から酸化銅の化学式を推定するので、上記のような4からかなり逸脱する実験結果を得るようではCuOと結論付けることはできない。教科書に指示されているように、初め弱火でそのあと強火にするときに、ガスバーナーの内炎が三角に見え、音が聞こえるくらいに空気の入った十分強い炎で熱することが基本である。大学の学生実験においても、特にそのことを言わなくても先の2年間はずうまくいっていたが、平成25年、26年と結果が悪かった。学生に酸化銅がCuOと表せることを示すための実験であることを十分説明して、そうでない結果が出た後に学生が自ら気がついて実験をやり直せるような実験指導が必要だということがわかった。

何度も使ったステンレス皿は、使用後よく洗っても黒ずみまできれいにすることはできない。すすが付着したまま残り、次の実験で強熱した

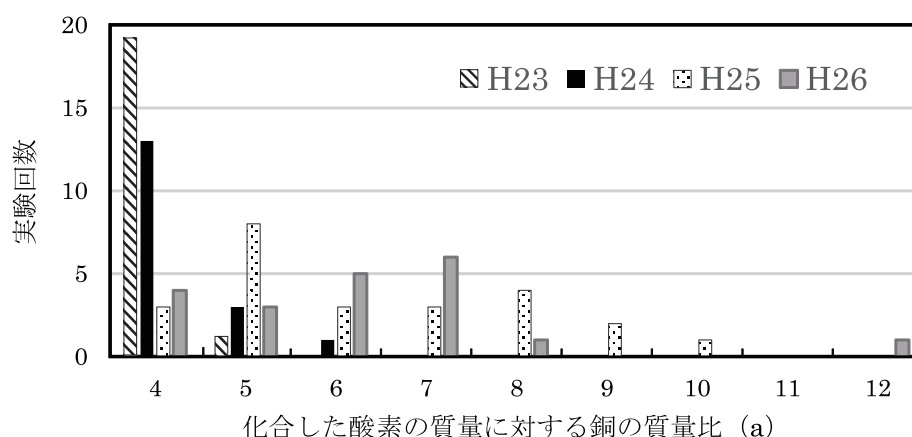


図1. 2年生学生実験(平成23年~平成26年)における銅の酸化における質量比の分布.

二人一班(班数5(H23), 5(H24), 6(H25), 5(H26))でCu粉末0.3, 0.5, 0.7, 0.9gを加熱後、化合した酸素の量を求めて銅との質量比(銅の質量:酸素の質量=a:1)を求めた。質量比aは、4.00 ≤ a < 5.00を4にまとめている。他の質量比も同様である。

時にそのすすが二酸化炭素となって脱離するために、十分な質量の増加を確認していないこともあり得る。このすすが後半2年間の実験結果に影響したかと考えて、再度同じステンレス皿を用いて確認実験をした。その結果が、表1から表4である。

表1～3は内炎が三角に見え、音が聞こえるくらいに十分空気を入れた炎で、一回3分ずつ加熱した。表4の実験ではやや弱い火（内炎と外炎が同じくらいの大きさ）で5分ずつ加熱し、4回目は3分の加熱である。いずれの場合も1回の加熱だけでも酸化がかなり進んで、酸素に対する銅の質量比は約5から6になっている。

この確認実験では、一つの試料の加熱時間だけで20分前後かかり、冷ました後の質量秤量や実験開始までの準備を入れると50～55分の実験時間となった。これでは中学校の50分授業内で、導入や意見交流、そしてまとめをすることはできない。60分授業の導入や、意見交流やまとめを次の時間に回す等の工夫が必要である。

II-4. 中学校2年 酸素がかかわる化学変化

酸化銅から銅をとり出す

酸化銅 (CuO) と炭素粉末を混ぜ合わせて試験管に入れ、ガスバーナーで熱する。試験管口にはガラス管をつないだゴム栓を取り付け、その先にゴム管をつないでさらにガラス管をつなぐ。このガラス管は、熱している間に発生する気体を確認するために、石灰水の入った試験管に入れておく。加熱して反応が進むに従って、石灰水は白く濁り、反応によって二酸化炭素が発生したことが確認でき、また試験管内の黒色の酸化銅と炭素粉末の混合物は、色が赤みを帯びてくる。気体が出なくなったところで加熱をやめ、石灰水が逆流しないようにゴム管をピンチコックで絞めて冷ました後、熱して赤茶色に変わった固形物を取り出してろ紙の上に広げ、金属製の葉さじの裏でこすってみる。しかし金属光沢は現れない。固形物が赤茶色に変わったので、銅ができたと期待するのだが、残念ながらここで出てくるものは、赤い酸化銅 (I)

表1. 0.302 gの銅の酸化

回数	CuO (g)	a
	0.302	
1	0.353	5.92
2	0.360	5.21
3	0.362	5.03
4	0.366	4.72
5	0.367	4.65
6	0.367	4.65
7	0.367	4.65

試料表面400～420℃
銅の質量：酸素の質量=a：1

表3. 0.507 gの銅の酸化

回数	CuO (g)	a
	0.507	
1	0.606	5.12
2	0.615	4.69
3	0.617	4.61
4	0.617	4.61
5	0.620	4.49
6	0.620	4.49
7	0.620	4.49

試料表面470～510℃
銅の質量：酸素の質量=a：1

表2. 0.303 gの銅の酸化

回数	CuO (g)	a
	0.303	
1	0.358	5.51
2	0.363	5.05
3	0.365	4.89
4	0.367	4.73
5	0.368	4.66
6	0.368	4.66

試料表面460～470℃
銅の質量：酸素の質量=a：1

表4. 0.550gの銅の酸化

回数	CuO (g)	a
	0.550	
1	0.632	6.55
2	0.651	5.34
3	0.658	5.34
4	0.658	5.34

試料表面420℃
銅の質量：酸素の質量=a：1

Cu_2O ⁵⁾ であり、残っている活性炭と混ざって赤茶色に見える。熱しても容易に銅に還元できるわけではないことがわかる。これについても大学2年生の学生実験で銅を得るために84回試みたが、確実に還元した銅を得られたのは、酸化銅と活性炭の混合物（混合比5～11：1）をアルミホイルに（余分の空気を追い出して）平らになるように包み、かなりの高温で熱したときであった。これによってできたものは、銅製の鍋のようなきれいな赤銅色になり、冷まして葉さじの裏でこすると明らかに金属光沢が現れた。この光沢を確認できれば銅に還元したことがわかる。しかしこうなるまでの熱し方はかなり強烈で、パイレックスガラス製の試験管がややとけて変形することがほとんどである。パイレックスガラスの軟化点は820℃であるが、ガラスにかかる荷重により変形が始まる屈伏点が約650℃である⁶⁾。強熱するにしたがって、試験管の酸化銅を置いた周辺から下に垂れ下がるようにガラスが変形をしていることから、屈伏点に達して、アルミホイルで包んだ酸化銅の荷重で変形が始まったと考えられる。実際に放射温度計（A&D AD-5616）で測った温度は、570℃から710℃の温度範囲にあった。放射温度計での温度測定のうまい下手や、多くのガラスが変形していたことから考えても、屈伏点近傍の温度に達していたものと思われる。酸化銅から銅にうまく還元するには、このような屈伏点近傍までの高温に熱することが重要と言えるだろう。

加熱をやめて冷ますときに、石灰水の逆流を防ぐために上記のようなピンチコックを用いなくて、ガラス管を石灰水から外に出してしまった班があった。この実験では銅は確認されなかった。外の空気が流入して還元された銅が再び酸化されてしまった可能性がある。なぜピンチコックで絞めるのかが、よくわかった失敗例である。

上記のようにこの実験では試験管が変形し、またその部分にアルミホイルが少々付着してとれなくなってしまうので、使った試験管は実験後に廃棄せざるを得ない。このことを予定してこの実験を行わなければならない。

この実験に用いた酸化銅は、以前の銅の酸化実験で得た酸化銅である。平成23年度の化合し

た酸素の質量に対して銅の質量比が4～5.2になった酸化銅からの還元実験においては、すべて銅の色と光沢を確認できた場合の加熱時間は16～30分であった。一番多い時間帯は20分前後であった。平成25、26年度の実験では十分にCuOになっていなかった酸化銅も含まれた試料からの還元実験であったが、加熱時間は13～30分であった。

20分前後の加熱時間と冷却後の銅の確認処理を考えると、どうにか授業時間内に終わることは可能である。しかし試験管が変形するほど熱することを考えると、教師が演示実験で示したほうがよいように思う。きれいな銅の光沢を見れば、酸化銅から銅への還元が一目瞭然なので、ぜひ生徒に見せたい実験である。

II-5. 中学校3年 化学変化とイオン

イオンの移動

イオンの移動を示す実験の一つとして、BTB指示薬と電解質として硫酸ナトリウムを入れた水溶液を固まらせた寒天をストロー（直径7mm）に入れ、ストローの真ん中に切れ目を入れて、酸やアルカリ水溶液を浸したろ紙を挟み、このストローの両端に電圧をかけると、水素イオンの移動とともにBTB指示薬の色が変わることを確かめる実験がある。BTB指示薬を入れた寒天をそのまま電極で挟むと電極との境で色の変化が起こってしまうために、BTB指示薬を入れた寒天の両脇にはBTB指示薬を入れないで固めた半透明の寒天を入れたストロー（直径6mm）を置き、このストローに炭素電極を刺し入れて、寒天と電極を接着させている。教科書には酸あるいはアルカリ水溶液のろ紙を真ん中に挟んで実験を始めたばかりの、全体が緑色を呈したBTB指示薬を入れた寒天と、時間が経って真ん中から黄色あるいは青色が広がり始めた寒天の写真が示されている。しかし実際に私たちがBTB指示薬と硫酸ナトリウムを入れた水溶液を食品用の寒天（マルハニチロかんてん）で固めたところこのような緑色にはならず、青みがかった灰色を呈した。BTB指示薬の変色域はpH6.0～7.6であり、寒天に含まれるアルギン酸ナトリウム水溶液のpHは6～8である。ここで用いた寒天は7.6を超えていたのだろう。緑色にするた

めに、酸を加えて調整した。

教科書ではビーカーの中に寒天水溶液を作り、この液にビーカーに詰められるだけのストローをたてておいてその中で寒天が固まってからとり出して用いていた。しかし数本のストローのためなのか、なかなかうまくストローの中にきれいに寒天を固定することができなかった。そこでビーカーで固めた寒天をとり出し、これにストローを突き刺してそのままストロー全体を通り抜けさせたところ、うまく寒天をストローの中に固定することができた。

この後の塩酸による黄色の広がり陰極側に幾分大きく、水酸化ナトリウム水溶液による青色の展開では陽極側にやや大きくなる程度であった。この色の展開の難しさや異常については、すでに長沢ら⁷⁾や土田ら⁸⁾が詳細に調べて報告している。

III. まとめ

小学校高学年から中学校に至る理科実験には、きれいにすっきり実験が進まない場合もある。小学校では45分、中学校では50分の時間内に、導入から課題への気づきと実験、そして実験結果についての意見交流からまとめと進めるためにはきれいにすっきり結果がわかる実験内容の組み立てが必要である。このために教員は予備実験を繰り返して、実験のこつをつかみ、児童生徒がうまく実験を進められるように指導する。しかし繰り返しても教科書の写真のようにはなかなかうまくいかない。そのようなすっきりいかないことには自然の事実が隠されていることも多いが、それを明らかにするにはかなりの実験が必要である。本論文ではそれほど複雑ではないことであるが、私たちがやってみて写真通りにいかなかったいくつかの例を報告した。このような小さなつまずきはどこでも起こりうることなので、そのようなところで苦労している教員の方々に役に立てばよいと思う。

45分あるいは50分の起承転結のある授業では、児童生徒は結論があってすっきり納得して理科室を出る。しかし自然にはそう簡単には進まないことも多いので、うまくいかない実験のいくつかは次の時間に持ち越すことがあってもよい

のではないだろうか。すっきりしないままその時間を終えて、簡単に導けないことや解決できないことへの不安定な気持ちに耐えたり、学級の仲間と話し合ったり、なぜだろうと思いがら次の理科の時間に向かうという経験も、科学的な見方や考え方を育て、自然の事物、現象についての理解を深めるために必要ではないかと考える。このためにも私たちは、本報告のようにうまくいかなかった例とその先への展開を報告していくべきであろう。

引用文献

- 1) 毒物及び劇物取締法第二条, 総務省法令データ提供システム
law.e-gov.go.jp/htmldata/S25/S25H0303.html
- 2) 新実験化学講座 8, “無機化合物の合成(II)”, 丸善(1977) p. 876.
- 3) 新実験化学講座 8, “無機化合物の合成(II)”, 丸善(1977) p. 874.
- 4) 林浩子, 宮本憲武, 大阪と科学教育, 24 (2010) 33-38.
- 5) 新実験化学講座 8, “無機化合物の合成(I)”, 丸善(1976) p. 304.
- 6) www.matsunami-glass.co.jp/electron/about.html
- 7) 長沢千達, 鈴木美千代, 福島大学教育実践研究紀要, 12 (1987) 15-19.
- 8) 土田慎治, 澤田諒太, 仲澤和馬, 岐阜大学教育学部教師教育研究, 7 (2011) 73-80.

