

# 実験後の廃棄物の処理を通して環境への影響や環境保全の大切さを考えさせる教材の開発

越坂 直広

実験を行う場合は、廃液について適切な措置を講じることが大切であり、水質汚濁防止法等の規定にも留意し、細心の注意を払う必要がある。このことを踏まえ、ここでは、小学校、中学校、高等学校で行われているそれぞれの実験における適切な廃棄物処理方法とその処理を通して環境への影響や環境保全の大切さを考えさせる教材の開発について検討した。

[キーワード] 環境教育 環境保全 理科実験 廃棄物処理

はじめに

豊かで便利な生活による社会経済活動の拡大に伴って廃棄物問題などが指摘されている。このような中で、環境への理解を深め、環境を大切にすることを育むことや、一人一人が環境の保全やよりよい環境の創造のために行動する実践的な態度や資質、能力、活力ある持続可能な社会を模索する力を育成することが大切である。

このような中で、小学校、中学校、高等学校で行われている理科実験において、教師がそれぞれの実験後の廃棄物の処理について適切な指導を行ったり、生徒自身にその都度個別に処理させている例は少なく、下水道にそのまま流している状況が多く、せっかくの継続的・系統的・効果的に環境保全について認識を深め・考え、実践することのできる貴重な教育的な機会を逸している状況にある。

理科教育においては、廃液とその処理についての関心を高め、正しい廃液の処理が実践できるようにしなければならない。これは、生徒各人に環境教育についての認識を深めさせ、環境保全について実践させる視点からも重要である。

## 1 排水中の有害物質による水質汚濁について実感させる効果的な発問例

『1gの銅イオンを排水基準(3mg/ℓ)以下にして排出するにはどのくらいの水が必要か』  
; 約33万倍、約330kgの水に薄めなければならない。これらの数値は生徒の予想(イメージ)をはるかに上回るものとなり、「容易に実験廃液を流しにそのまま捨てることは慎まなければならないということ」及び「単なる希釈による廃液の処理方法は実際には難しく、理想的な処理方法ではないこと」が改めて実感されるものとする。

1gのシアン化物イオン(排水基準1mg)であれば、100万倍、1tの水に薄めなければならない。1gの水銀イオン(排水基準0.005mg)であれば、2億倍、200tの水に薄めなければならない。

(モル濃度の概念が定着している場合に考えられる発問例)

『0.1mol/ℓの銅イオンを含む廃液1ℓ排水基準(3mg/ℓ)以下にして排出するにはどのくらいの水が必要か』

$$\frac{0.1\text{mol}/\ell \times 1\ell \times 63.5 \times 10^3 \text{ mg/mol}}{3 \text{ mg}/\ell}$$

により、約2100倍、約2.1tの水が必要である。

パックテストなどで、ジュース(1000倍にうすめる)のCODを測定すると、ジュースのCODは50000ppm~100000ppmとなった。

また、魚が棲める水質は5 ppm以下といわれている。このような簡単な測定実験とデータを提示した後に、生活排水による水質汚濁について、次のような発問例が考えられる。

『このジュースが生活排水として流れ出る場合、ジュースが何倍に薄まると魚が棲める水となるか。』

；1万～2万倍にジュースを薄めなくては魚は棲むことができない。350ml缶のジュースが排出されたのであれば、薄めるために3500cc～7000ccの水が必要なこととなり、身近なジュースが環境に負荷をかけること、一方では自分達にも簡単に環境保全へ向けての取組みが可能であることが実感される発問になると考える。

## 2 実験廃棄物そのものを少なくする実験の工夫

学校での化学実験において環境への負荷をできるだけ軽減するためにも、まず重要なことは、廃棄物が不必要に増加することをできるだけ避け、試薬の無駄使いをせず、使用する薬品の量をできる限り少なくした実験を適宜設けること、回収利用できるものはできるだけ回収して再利用することである。

### (1) 使用する薬品の量をできる限り少なくした実験例<sup>1)</sup>

化学 ． のアミノ酸等を扱う有機化学の単元で活用できる、毛細管量の試薬でTLC板上で行うニンヒドリン反応の実験例や、セルプレートを利用したアミノ酸の緩衝作用についてのマイクロスケール実験例がある。セルプレートを用いたマイクロスケールの実験例には、この他にも、中和滴定の実験など多くの活用例があり小学校から高校まで広範囲で簡易に用いることができる。

### (2) 実験廃棄物の回収、再利用例

・小学校などにおいて、カリミョウバン類や硫酸銅(Ⅱ)等の結晶づくりに使われた溶液で、単独の物質しか含まれていない場合

は回収し、結晶づくりなどに再利用する。

・中学校などにおいて、電気分解の実験等で使われた塩化銅水溶液は、バットなどの容器に集め、自然蒸発させ、結晶を取り出して再使用する。

電気分解用の使用した硫酸等はそのまま回収し、再利用する。

・中学校などにおいて、銅粉の酸化でできる酸化銅は、回収し、炭素(水素)による還元実験に再利用する。

・寒剤などで大量に使用した食塩は、大きなポリバケツ等に入れて自然放置し、得られた食塩の結晶を寒剤などとして再利用する。

・硫黄粉末、銅、銀などの非金属および金属単体は回収し再利用する。

・可燃性の有機溶剤廃液は蒸留し、できるだけ回収し、再利用する。

## 3 実験廃棄物の保管

実験などで生じた廃液については、実験終了後の後かたづけの一環として、別々の容器に分別して回収させることが重要である。むやみに混合すると処理や再利用ができなくなるばかりでなく、有毒な気体が発生したり、爆発性の物質が生成する場合がある。回収した廃液は個別にすぐ処理することが望ましいが、これが難しい場合でも、まず生徒たちとともに、廃液をタンクなどに分別貯留し、環境保全に対する姿勢を示すことが大切である。

タンクに貯留する場合は、一括処理が可能な化合物ごとにそれぞれ別々のタンクに貯留しておく。タンクは薬品に強く、破損に耐えられるような材質の容器(灯油缶などのポリエチレン製タンクなど)を使用する。容器には廃液の名称をわかりやすく表示する。

(1) 実験室から排出される廃棄物は、廃棄物の処理および清掃に関する法律(廃掃法)及び水質汚濁防止法、下水道法、悪臭防止法などの規制を受ける。水質汚濁防止法については、農業・水産及び工業に関する学科のある高校

以外は適用除外となっている。学校の実験による廃液は、多量の水とともに流せば、法的規制の対象となることはほとんどないが、環境保全・エネルギー循環・物質の保存と循環・食物連鎖による生物濃縮、生態系への影響など教育者として配慮を忘れず、廃液処理が重要で効果的な教育につながるという視点に立って、量の多少を問わず、積極的に対処する姿勢が望まれる。

(2) 廃液は、次のような種類に分類して回収する。

酸類廃液      アルカリ類廃液  
 一般重金属系廃液      六価クロム系廃液  
 ハロゲン元素を含む有機化合物  
 ハロゲン元素を含まない有機化合物  
 ここでは、小学校から高等学校で一般的に行われる実験を想定しているの、更に別に貯留が必要な水銀系、シアン系の廃液については除いてある。

(3) 相互に混合してはならない廃液

廃液同士を混ぜると発熱・有毒ガスの発生など予想ができない化学反応が起こる可能性があるため、混合してはならない例を示す。

過酸化物，塩素酸塩，過マンガン酸カリウム，クロム酸などの酸化剤と有機物  
 シアン化物，硫化物，次亜塩素酸塩と酸  
 塩酸，フッ化水素酸などの揮発性の酸と濃硫酸などの不揮発性の酸  
 濃硫酸，スルホン酸，オキシ酸などの酸と他の酸  
 アンモニウム塩とアルカリ

#### 4 実験廃棄物の処理方法

実験などで生じた廃液の処理については、本来、実験終了後に実験者自らが行うことが望ましい。最終的に廃棄物を適切に処理するまでが実験であるという意識を生徒に身に付けさせ、環境保全に対して生徒の関心を自然と積み上げていきたい。以下に、代表的な廃液の簡単な処理方法について述べる。

(1) 酸類廃液（塩酸，硝酸，硫酸，酢酸など）

・アルカリ類廃液（水酸化ナトリウム，水酸化カリウム，水酸化リチウム，アンモニア水，石灰水など）

別々に回収した酸・アルカリを、直接混合しても危険のないことを確かめた後、発熱に注意しながら、いずれか一方を少量ずつ加え、中和（水質汚防止法では、排出する廃液の水素イオン濃度はpH5.8～8.6）し、大量の水で希釈して5%以下の濃度になるようにしてから排出する。不溶性の沈殿物が生じるものは、上澄液を捨てて、沈殿物は一般廃棄物として処理する。

中和については、簡易pH計，万能試験紙，BTB溶液やPP溶液を用いて、酸（またはアルカリ）を少しずつ加え、水溶液の変化を観察しながら行うとより効果的である。また、先にも述べたが、希釈だけで廃液処理を行う場合と比較して中和による処理がいかに効率的であるかについても具体的な数値をあげて示すとよい。

(2) 一般重金属系廃液の処理方法<sup>2)</sup>

重金属含廃液については、下水排水基準（単位mg/ℓ）として次のように定められている。

表 水質汚濁防止法排水基準表

種 類	Cd	CN	Pb	六価Cr	総Cr
状 態	Cd <sup>2+</sup>	CN <sup>-</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup> CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cr <sup>2+</sup> Cr <sup>3+</sup>
排水基準	0.1	1	1	0.5	2

種 類	Hg	Cu	Zn	Fe	Mn
状 態	Hg <sup>+</sup> Hg <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup> Fe <sup>3+</sup>	MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> Mn <sup>2+</sup>
排水基準	0.005	3	5	10	10

[ 水酸化物の共沈を利用した方法 ]

廃液に塩化鉄（ ），硫酸鉄（ ）などの共沈剤（凝集剤）を加えてよくかき混ぜる。乳濁水酸化カルシウムを加えpH=9～11に調整する。

放置後、沈殿物をろ過する。イオン試験紙（パックテスト）などにより、ろ液に重金属イオンが含まれていないことを確認したのち、中和して排出する。沈殿物は産業廃棄物の指定を受けた業者に処理を依頼する。

共沈（凝集）剤には、硫酸アルミニウムや塩化亜鉛を用いることもできる。

過マンガン酸イオン $MnO_4^-$ 、二クロム酸イオン $Cr_2O_7^{2-}$ などを含む廃液は、あらかじめシュウ酸などの還元剤を加えて、 $Mn^{2+}$ イオン、 $Cr^{3+}$ イオンにしてから上記処理を行う。

簡易的な処理を行う場合は、を省略し、のアルカリには水酸化カルシウム、水酸化ナトリウム、炭酸ナトリウムなどを加え、 $pH=8\sim 9$ とし、を行う方法がある。

#### [ 硫化物の共沈を利用した方法 ]

廃液中の重金属イオン濃度が1%以下になるよう水で希釈する。

NaOH水溶液を加え $pH=9\sim 9.5$ 程度に調整する。

硫化ナトリウム水溶液を加え、よくかき混ぜる。

塩化鉄（ ）水溶液を加え、 $pH=8$ 以上であることを確かめた後、一夜放置する。

沈殿物をろ過し、ろ液に重金属イオンが含まれていないことを確認する。

硫化物イオンの有無を調べ、これを含むときは過酸化水素で分解し中和したのち、排出する。

#### [ 簡易フェライト法 ]

これは、重金属イオンを、析出してくる沈殿物の中に取り込んで処理する方法である。

重金属イオンは強磁性のスピネルフェライトの結晶中に組み込まれて沈殿する。重金属イオンはスピネルフェライトからほとんど溶出せず、廃棄後再溶出する危険性は少ない。他種類の金属イオンが共存しても各イオンの最適条件に左右されず一括処理することができる

廃液中の重金属イオン濃度が $1000mg/g$ になるように調整する。

$pH=2\sim 3$ とし、硫酸鉄7水和物を加える。次に、水酸化ナトリウム水溶液を加え、 $pH=10$ に調整し、 $65^\circ C$ で1～2時間エアープンプなどを用いて空気を通して酸化する（フェライト沈殿が生成）。

#### (3) 簡易的な一般重金属系廃液（銅イオン・銀イオン）の処理方法

先の(2)で示した方法の他に、簡易で、扱いやすく、日常の化学の学習とも関連深いと思われる処理方法を挙げる。

##### [ イオン交換による簡易な方法 ]

廃アルミ皿、廃アルミ缶（この場合サンドペーパーで内部のコーティング剤を除いておく）に銅イオンを含む廃液を入れる。

次のイオン交換がおこる。反応を早めたい場合はホットプレートで穏やかに加熱する。（銅とアルミニウムのイオン化傾向と関連させて指導するとよい）



銅イオンが金属の銅として析出し、アルミニウムがアルミニウムイオンとなって溶ける（アルミニウムにおける排出基準はないことにもふれるとよい。）



図1 廃アルミ皿に析出する銅

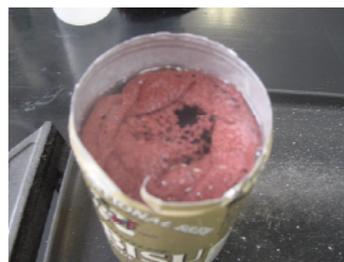


図2 廃アルミ缶に析出する銅

1%塩化銅水溶液（水色を呈している。銅イオン濃度に換算して、約4800ppm）を用いて実験したところ、図1、図2のように水素を発生しながら発熱とともに反応が進み、20～30分で、溶液の水色（銅イオンの色）は消失し、銅イオンが減少していることが短時間で、視覚的にも確認できる。また容器中には赤色の銅が多量に観察され、廃液処理が進んでいることを効果的に示すことができる。約1時間後にイオン試験紙で計測すると25ppmまで（希釈放流が十分に可能な範囲まで）減少していた。銅がついている廃アルミニウム（皿、缶）は、そのまま金属ゴミとして処分することができる。

銅イオンの確認方法について



図3 簡易テスター

肉眼で色を確認できる銅イオンが含まれる水溶液の濃度は約0.1%である。その後、色が確認できなくなった水溶液にアンモニア水を滴下し（錯イオンとし）、色を確認できるのは、約0.01%までである。

排水基準である3ppmはこのアンモニア水によっても確認できないが、電子メロディーを接続した、簡易テスター（図3）を用いれば、基準以下の銅イオンでも、検出可能であった。

[イオン交換による簡易な方法]

ピーカーにきれいに洗浄した塩化銀の沈殿が浸るくらいの水を入れ、この中にサンド

ペーパーなどできれいに磨いた亜鉛板を入れておく。

次のように反応して、黒色の銀が析出する。



塩化銀がすべて銀に変わったら、銀を取り出し、水洗ろ過する。この銀粉はそのまま銀として使える。また、硝酸に溶解して硝酸銀の結晶を作ってもよい（図4）。

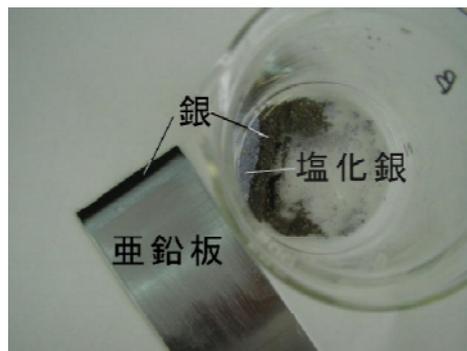


図4 銀が析出した状態

[塩化銀の還元反応による簡易な方法]

きれいに洗浄した塩化銀5gを乾燥し、るつぼに入れる。

炭酸ナトリウム（無水）10gを入れ均一に混合する。

るつぼを電気炉に入れ1～2時間高温（約950℃）で加熱する

図5のように効率よく金属光沢のある銀を得ることができた。このとき、下式のように還元反応により銀ができたと考えられる。



簡単な実験で、金属銀が確認できるので、廃液処理の側面だけではなく、酸化・還元反応の領域でも活用できる教材になる。



図5 還元反応によって得られた銀

[ ミカン科の果実の皮による簡易な方法<sup>3)</sup> ]

ミカン科の果実の皮には、高分子化合物（ペクチン）が多く含まれている。このペクチンには銅などの金属イオンを吸着する性質がある。この性質を利用して、銅イオンを含む廃液の処理に活用できる。

ミカンやグレープフルーツの内果皮、中果皮（白いスポンジ状の部分）を細かく碎き、乾燥させる（図6）。

ペットボトルの口元に脱脂綿を詰め、その上にの皮を入れる（図7）。

0.01mol/l 硫酸銅水溶液について、簡易電気伝導度計でイオン濃度を測定する。

0.01mol/l 硫酸銅水溶液をに通す。

簡易電気伝導度計でろ液のイオン濃度を測定する。（皮は焼却処理されるようにする。）

ペットボトルを通過することによって、電気伝導度が減少するのが容易に確認できる。

このペクチンについては同じくミカン科に含まれるリモネン（発泡スチロールの回収などに利用）とともに、環境教育の教材とするよりも効果的である。



図6 ペクチンを多く含む部分



図7 ミカン科の果実の皮による簡易的な廃液の処理

(4) 有機廃液

毒性の少ない生分解性物質の水溶液（糖・アルコール・酢酸）はpH = 5 ~ 9程度にし、水で希釈して0.1%以下にした後、下水に放流する。

その他水に可溶性有機化合物（脂肪酸、油脂、ベンゼン、アルコール、エーテル、アセトン、酢酸、デンプンなど）は下水処理により分解されやすいので、少量であれば、多量の水で希釈して放出しても問題はない。その他有機廃液は、ハロゲン元素を含まないもの（脂肪酸、ベンゼン、アルコール、エーテル、油脂など）とハロゲン元素を含むもの（クロロホルムなど）に分けて回収する。

ハロゲン元素を含む有機化合物（四塩化炭素、クロロホルムなど）の処理は、分別回収後に内容を明記して専門の業者に処理を委託する。油脂や可燃性プラスチックなどは可燃ゴミとして出す。

おわりに

観察、実験がより一層重視される中、学校においては、多種多様な実験が数多く行われており、廃液の種類や量が益々増える傾向がある。

学校学習指導要領解説には、例えば「酸やアルカリの廃液の適切な処理」や「重金属イオンを含む廃液の適切な回収」や「観察、実験終了時の不純物が混入していない薬品や未使用の薬品などの再利用」などについて述べられている。このようなことを踏まえて、薬品の管理について、より一層適切な措置をとるとともに、生徒とともに廃液処理をする中で物質への正しい知識と環境保全への関心を高めたり、生徒が自分達の実験を環境問題を含めた幅広い視野で捉えることで、その実験が環境に与える影響についても配慮できる工夫を図っていきたい。

参考文献

- 1) 越坂直広 北海道立理科教育センター研究紀要第17号 pp.13-16 2005
- 2) 東京化学同人 学生のための化学実験安全ガイド pp.85-95 2003
- 3) 少年写真新聞社 理科教育ニュース 580 2003  
(こしざか なおひろ 化学研究室研究員)