

# 中学生向け 酸・アルカリの実験

鳥山 由子 （元筑波大学教授）

## 1. 酸・アルカリをどう教えるか

（１）小学校学習指導要領に示された内容

『小学校学習指導要領解説』（平成20年3月）によると、小学校6学年では、「水溶液の性質」を、次の内容で学ぶことになっている。

いろいろな水溶液を使い、その性質や金属を変化させる様子を調べ、水溶液の性質や働きについての考えをもつことができるようにする。

（ア）水溶液には、酸性、アルカリ性及び中性のものがあること

（イ）水溶液には、気体が溶けているものがあること

（ウ）水溶液には、金属を変化させるものがあること

小学校で「酸・アルカリ」について学ぶのはここだけであるが、酸・アルカリを系統的に理解することではなく、いろいろな水溶液についての理解が目標になっている。しかし、この内容には多くの要素が混在していて、これで、子どもたちが、筋道だった理解ができるのか、大いに問題を感じる。その理由は、以下の2点である。

第1の問題点は、（イ）と（ウ）は、水溶液から気体が出てくる現象であるが、その原因は全く異なる。（イ）の例としては、炭酸水を加熱して気体（二酸化炭素）が出てくる現象があるが、これは、温度の上昇により気体の溶解度が小さくなることによる変化である。（ウ）の例としては、塩酸に金属を入れて水素が発生する変化があるが、これは化学変化（物質が他の物質になる変化）である。さらに、『小学校学習指導要領解説』には、「水溶液を加熱すると、固体が溶けている場合と違って溶けている物も水も空気中へ蒸発して何も残らないものがある。これらの実験から、水溶液には気体が溶けているものがあることをとらえるようにする。」と記されている。この記述のうち、水の蒸発は状態変化（液体の水から気体の水（水蒸気）になる変化）であり、これは、先に述べた2つの変化とは異なるものである。結局、この単元では、気体の水への溶解、水の状態変化、化学変化という、全く異質の3つの変化が、「水溶液から気体が出てくる」現象として混在しているのである。

第2の問題点は、(ウ)の「水溶液には、金属を変化させるものがある」ことを調べる実験で、アルミニウムを実験材料にしている点である。たしかに、アルミニウムは、鉄とともに、日常生活で良くみられる金属である。しかし、アルミニウムは、地殻を構成する主要な元素であるにもかかわらず、一般的な精錬法では取り出すことができず、金属（単体）として豊富に得られるようになったのは19世紀の終わりに熔融塩電解という方法が見いだされてからであり、電気を大量に使う特殊な精錬法による特殊な金属である。酸・アルカリとの反応について言えば、金属は酸に溶けることが基本であり、アルカリには溶けないのが一般的な性質であるのに対し、アルミニウムは、塩酸にも溶けるし、水酸化ナトリウム水溶液とも反応する。アルミニウムは、その点で例外的な金属である。学習内容が「アルミニウムの性質を学ぶこと」であるならば、水酸化ナトリウムがアルミニウムを溶かすことを教える必要もあるだろう。アルミ箔に水酸化ナトリウムを包んで空气中に放置しておいたら大変なことになるからである。しかし、「水溶液には金属を変化させるものがある」というとき、化学を学んだ者が思い浮かべる水溶液は「酸」である。ところが、アルミニウムを実験材料にすることにより、「金属は、酸性の水溶液とも、アルカリ性の水溶液とも反応する」という結果になってしまう。アルミニウムの特別な性質が、金属一般の性質として理解される危険はないのだろうか。

さらに、実験の安全性からも、アルミニウムを使うことには問題がある。アルミニウムは非常に反応性が高い（イオン化傾向が大きい）金属であるが、空気中では堅い酸化皮膜に覆われて反応性が抑えられている。イオン化傾向が大きい金属はさびやすいため、ふつうは貨幣の材料にはならない。アルミニウムが、イオン化傾向が大きいにもかかわらず1円玉の材料になるのは、表面の酸化皮膜が内部の金属を保護しているためである。この性質のために、アルミニウムを塩酸や水酸化ナトリウム水溶液に入れると、初めのうちは反応が鈍い。しかし、しばらくして表面の酸化皮膜が溶けると、発熱をともなう激しい反応が急激に起こり、しぶきが飛んだり、液体が試験管からあふれ出たりする。初めの反応の鈍さに油断して顔を近づけたりしていると、飛沫が目に入るおそれがある。アルカリは酸よりもタンパク質を破壊する力が大きく、少量でも目に入ると非常に危険である。したがって、この実験は、高等部の生徒でも、保護めがねをかけて十分に注意して行う実験である。小学校の授業で、このように危険を伴う実験をさせることは理解に苦しむ。

(2) 中学校学習指導要領に示された内容

『中学校学習指導要領』(平成20年3月)によると、第1分野の内容の「(6) 化学変化とイオン」について、「ア. 水溶液とイオン」「イ. 酸・アルカリとイオン」の2つの小単元があり、イ. の内容は次の通りである。

(ア) 酸・アルカリ

酸とアルカリの性質を調べる実験を行い、酸とアルカリのそれぞれの特性が水素イオンと水酸化物イオンによることを知ること。

(イ) 中和と塩

中和反応の実験を行い、酸とアルカリを混ぜると水と塩が生成することを理解すること。

このように、中学校では、酸・アルカリは、エネルギーと粒子概念を柱にした第1分野の中で、イオンの反応として理解することを目標にしている。

したがって、酸・アルカリの性質についても、「例えば、酸やアルカリの水溶液を中央部分に染み込ませたる紙などに電圧をかけ、指示薬の色の変化を観察することにより、酸やアルカリのイオンとの関係を見いださせる」(『中学校学習指導要領解説理科』) ことになっている。また、「酸性やアルカリ性の強さを表す指標として、pHを取り上げ、(中略) 日常生活における物質に対する興味・関心を高めるため、身の回りの物質の pH を測定するなどの実験を取り入れることが考えられる。」(同上) とされている。

また、中和と塩については、「中和反応の実験を行い、中和反応によって水と塩が生成することをイオンのモデルと関連づけて理解させることがねらい」(同上) とされている。

化学変化を粒子概念で理解することは、いずれは必要である。しかし、その前に、実際に存在する物質とその反応について、実験を通して具体的なイメージを持つことが必要不可欠だと思う。

具体的には、酸性、アルカリ性について、実験を通して、次のような性質を学ぶことが大切である。

酸性とは、酸のもつ共通の性質である。すなわち、すっぱい味がして、青色リトマス紙を赤変させる (BTB 溶液を黄色にする)、電流を通すので電解質である、マグネシウム、亜鉛、鉄などの金属を溶かして水素を発生する。

それに対して、アルカリ性とは、水酸化ナトリウム、水酸化カルシウムなどの水溶液が共通に持つ性質で、赤色リトマス紙を青変させ（ＢＴＢ溶液を青色にし）、フェノールフタレイン溶液を赤くする。これらの水溶液を酸の水溶液に加えると、その溶液の酸性は失われる。また、指先につけてこすり合わせると、ぬるぬるとした感じがする。

歴史的には、錬金術の中で、酸は金属や岩石を溶かすことができる特別な液体として扱われたと言われている。一方、アルカリは、酸の働きを打ち消すものと位置づけられた。火山性の強い酸性の河川水が橋桁の金属やコンクリートを溶かすのを防ぐために、石灰などのアルカリを投与することは、現代でも行われている。これは、酸とアルカリの中和反応の利用である。「金を作り出す」という錬金術の考え方は科学の歴史によって否定されたが、錬金術の過程で化学に関する多くの知見が得られたことは事実であり、その後の学問や産業の基礎になっている。そして、アルカリは、羊毛産業の歴史の中で、刈り取った羊の毛の脂を洗い流す洗剤としての役割を担った。これは、現在のソーダ産業の基礎になっている。

酸性、アルカリ性というと、リトマス試験紙の色の変化を思い浮かべる人が多いが、リトマス苔の抽出液で酸性・アルカリ性を見分けることができることを発見したのは、ロバート・ボイル（ボイルの法則を発見した１７世紀の科学者）であると言われる。つまり、酸性・アルカリ性を、色としてとらえるよりずっと前から、人類は、酸やアルカリを生活や産業と密接に関わる物質としてつきあってきたわけである。イオンの反応として学ぶ前提として、このような酸・アルカリの性質について、実験を通して具体的なイメージを持つことこそが、中学校段階では大切ではないだろうか。

## **２．科学ヘジャンプ・サマーキャンプ２０１２で実施したワークショップ 酸とアルカリの中和反応（中学生向け）**

科学ヘジャンプ・サマーキャンプ２０１２（２０１２年８月２１日～２４日、茨城県守谷市で実施）で、筆者は、浜田志津子氏（筑波大学附属視覚特別支援学校）と一緒に、ロングワークショップ（３時間）の一つとして、中学生向けの酸・アルカリの中和実験を担当した。

ワークショップでは、酸・アルカリの持つ様々な性質のうち、初めに、酸のもつ「金属や石灰岩を溶かす性質」を中心にして実験を行った。また、酸にアルカリを混ぜると酸の力が打ち消されること（中和が起こること）を確認した後、中和の際の変化や、酸とアルカリの当量関係を中和滴定実験によって調べた。

### (1) ワークショップの内容

- (ア) 酸は金属や岩石を溶かすことができる
- (イ) 酸の水溶液にアルカリ性の水溶液を加えると、しだいに酸の性質が打ち消される。これを中和という。
- (ウ) 中和のときには、熱が発生する
- (エ) 酸性、アルカリ性、中性などの性質は、リトマス、B T B等の指示薬を使って、色で識別することができる。これは、特に、酸やアルカリの薄い水溶液を調べるときに有効な方法である。古典的な指示薬であるリトマスの色の変化は弱視の人には識別しにくく、感光器でもわかりにくいですが、B T Bやフェノールフタレインの色の変化は、感光器の音で判断することができる。
- (オ) 酸とアルカリ（塩基）が出会うと中和がおこる
- (カ) 酸とアルカリのどちらかがなくなると、中和反応が終わる
- (キ) 中和のときの酸の水溶液の濃度と量、アルカリ水溶液の濃度と量には規則的な関係がある（当量関係を理解する）

### (2) 実験

- (ア) いろいろな酸やアルカリをしらべよう。

B T Bを入れて色の変化を見よう（感光器で音の変化をしらべよう）。

→ ここでは、感光器を使って調べるときの留意すべき点を押さえる。

（試験管立ての使い方、試験管の後ろに白い板を置く効果）

- (イ) 食酢に、重曹を加えてみよう。

食酢の量、重曹の量を変えたとき、反応はどのように変わるだろうか。

→ 気体が発生すること、気体が二酸化炭素であること、

- ・重曹が十分にあるとき、重曹が残っていても反応が止まる。
- ・そのとき、食酢のにおいはほとんどしない（酢はなくなった）。
- ・この状態で、新たに食酢を加えると、気体が発生する。
- ・重曹がなくなると食酢が残っていても反応が止まる。

(ウ) 薄い塩酸にマグネシウムを入れてみよう。

- ・ 2 Mの塩酸約 5 mL を試験管に入れる。
- ・ マグネシウムリボン 1 片 (約 5 mm) を塩酸に入れ、すぐに親指で試験管の口を押さえる。
- ・ 試験管内に気体がたまってくると圧力を感じるので、もう一方の手で、マッチを点火して試験管の口に近づけ、口をふさいでいる親指を離して、爆鳴が起こることから、水素であること確認する。

(この実験に先立ち、マッチストライカーによる点火、試験管の口にマッチを近づける方法を練習しておく。火のついたマッチを水平に保持して炎の下に手を近づけ、炎の下部は熱くないことも確認しておく。)

(エ) 薄い塩酸に薄い水酸化ナトリウムの水溶液を加え、その液体にマグネシウムを入れてみよう。

- 両水溶液を混合すると水溶液の温度が上がる。また、水素の発生が起こらない。このことから、水酸化ナトリウムを加えたことで酸の性質が打ち消された、すなわち中和が起こったことがわかる。  
また、中和反応では熱が発生することがわかる。

(オ) 試験管に 2 Mの水酸化ナトリウム水溶液を入れ、2 Mの塩酸を駒込ピペットで試験管の内壁を伝わせるように静かに入れる。水酸化ナトリウム水溶液と塩酸には BTB 試薬を入れておく。(この濃度の塩酸では、BTBは黄色でなく赤茶色になるが、水酸化ナトリウム水溶液の青色とは感光器でも区別できる。) 試験管の外側から触って気がつくことを挙げよう。

- 水酸化ナトリウム水溶液の上に塩酸が重なって液が二層になる。  
両液の界面でBTBの色が、緑色になる。  
試験管を外から触ると、界面付近が一番熱い。界面より上の層も温度が上がるが、これは界面で発生した熱により対流が起きたためと考えられる。  
この実験から、界面で中和反応が起こっていることがわかる。

(カ) 酸とアルカリの中和のときの、水溶液の濃度と水溶液の量の関係を調べよう。

ウイットビュレット法により、中和滴定実験を行う。

器具：コニカルビーカー（50 mL）

プラスチック滴びん（50 mL）

点眼びん入り指示薬（BTB、フェノールフタレイン）

マクロピペット（定量ピペット）（10 mL用）

マグネチックスターラー（小型）、攪拌子

感光器

上皿天秤（または、音声つき電子天秤）

薬品：塩酸（0.1 M）

水酸化ナトリウム水溶液（0.1 M）

純水

手順：

- ① 塩酸（0.1 M） 10 mLをマクロピペットで取り、指示薬を入れて図のようにセットする。
- ② 滴びんに入れた水酸化ナトリウム水溶液（0.1 M）の質量を上皿天秤で量る。
- ③ 図のようにして、水酸化ナトリウム水溶液を塩酸に滴下し、感光器の音が変わる（指示薬の色が変わる）ところで滴下をやめ、滴びんの質量を量る。
- ④ ②と③の水酸化ナトリウム水溶液の質量の差が、中和に要した水酸化ナトリウム水溶液の質量である。  
→ 塩酸（0.1 M） 10 mLの中和に要した水酸化ナトリウム水溶液（0.1 M）の質量は約 10 mLであることを確認する。
- ⑤ 塩酸（0.1 M） 10 mLに、純水 10 mLを加えて 20 mLにする。  
（濃度は、①の 0.5 倍であり、水溶液の量は①の 2 倍である。）  
これを水酸化ナトリウム水溶液（0.1 M）で中和する。  
→ 中和に要した水酸化ナトリウム水溶液の質量は約 10 mLである。
- ⑥ 塩酸（0.1 M） 5 mLに、純水 5 mLを加えて 10 mLにする。  
（濃度は、①の 0.5 倍であり、水溶液の量は①と同じである。）  
これを水酸化ナトリウム水溶液（0.1 M）で中和する。  
→ 中和に要した水酸化ナトリウム水溶液の質量は約 5 mLである。

### 3. ウェイトビュレット法による中和滴定実験について

視覚に障害がある生徒がビュレットの目盛りを読むことには限界がある。そこで、ビュレットに代わるものとして滴びんに入れた水溶液の重さを量る滴定法を使うことが考えられた。ビュレットでは水溶液の体積を計るが、この方法では水溶液の重さを量る。高校で行う中和滴定実験では、この方法で求めた質量を体積に換算する。(ただし、0.1M の水酸化ナトリウム水溶液の密度は約 1.01 g/cm<sup>3</sup> なので、計算は省略してもよい。しかし、体積に換算するという考え方は強調する。) しかし、今回は、中学生向けの実験であるため、体積に換算することは省略して、重さで比例関係を理解するようにした。

ウェイトビュレット法は、もともとは、アメリカの大学で、一般学生の滴定の精度を上げるために、滴下する液体の体積ではなく重さを量る方法が有効であるとして、工夫された方法である。weight buret 法と命名されて、"Journal of Chemical Education" (アメリカ化学会の機関誌のひとつ) に掲載された。その方法にヒントを得て、視覚障害者に応用した事例が、同誌の特集号(障害者の化学教育)に掲載された(※)。さらに、筆者が、その方法を改良し、他の器具と組み合わせて、盲生徒がひとりでする中和滴定実験法として完成させたものが、ここに紹介した方法である。なお、電子天秤のパソコンによる音声化と、感光器の支持台の製作には、筑波大学附属盲学校で同僚であった石崎喜治氏の協力をいただいた。

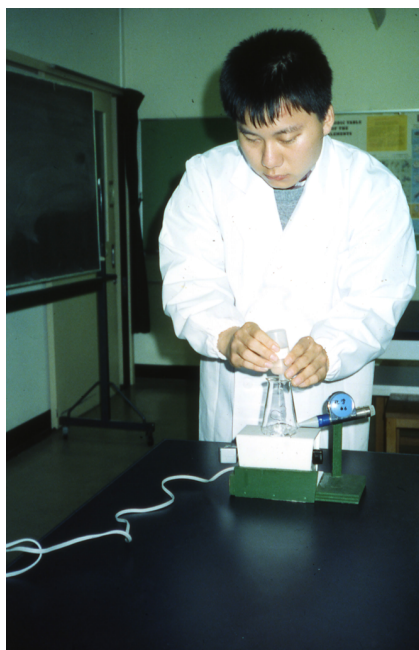
---

※ Tombaugh,D(1981) Chemistry and Visually Impaired. Journal of Chemical Education, 58(3),222-226.

高校レベルでは、測定精度を上げるために電子てんびんを使うことが望ましいが、今回は中学生向け実験であるので、上皿てんびんを用いた。上皿てんびんの精度でも、ビュレットを使う滴定より良い結果が得られるので、一般の中学校でもこの方法は有効であると思われる。実際、筑波大学附属中学校の莊司隆一氏は、盲学校での授業を参考にして、ウェイトビュレット法を授業に取り入れている。

なお、上皿てんびんの使い方については、浜田志津子氏の「理科実験の基本操作 2ー上皿てんびんの使い方と、はかるだけの楽しい実験ー」(筑波大学附属視覚特別支援学校 視覚障害教育ブックレット編集委員会、『視覚障害教育ブックレット 2007 年 2 学期号 (vol.5)』 ジアース教育新社)を参照して頂きたい。





実験装置の図

左の写真の実験装置（現在は感光器の型が当時とは変わっている。）

実験装置の図

