化学教材の視覚化(講義)

川上　一弘　　土田　悠貴　　木藤　聡一　　国本　浩喜　　千田　齊
金沢大学大学院自然科学研究科物質工学専攻
kindaiolcsocorjp.hotmail.com

１．はじめに

化学は物質の性質とその変化を取り扱う学問であり、初等教育、高等教育を問わず、実際に物に触れ、その変化を観察することが大切である。したがって、化学への理解を深め、物質に対する探究心や知的好奇心を高めるためには、自ら実験を行うことが必要不可欠である。

しかし、多くの学生を対象とする化学実験では、テキストや板書を使って原理や手順を説明し、器具や薬品類の取り扱い等についての注意を口頭で行うのが一般的である。しかし、このような説明だけで、特殊な薬品や繊細なガラス器具を取り扱う際に生じる危険性や注意点を全員に認識してもらうことは困難である。

また、現行の化学実験の多くは、時間的あるいは人的な制約から環境や安全性への注意が行き届かない場合があり、これらの問題を改善していくことが望まれている。

2．問題を克服するための試み

(1) 教材の AV 化

物質や実験に関する知識の不足を補うため、実際の実験の様子をビデオカメラ等で撮影し、操作手順を AV 化する。学生は事前にそれを見ることによって、実験手順における器具の操作法、薬品の取り扱い等を予習することが出来る。また、インターネット上にコンテンツを置き、学生が自宅からアクセスできるような化学実験教材の開発を目指す。

(2) 安全性への配慮

大掛かりな器具や装置を使用することから生じる長時間化、事故の発生を防ぐための手段として実験の簡略化を試みる。また、安全性への配慮から扱いに注意を要するような薬品の使用を極力減らした実験を設計する。

(3) 実験のミクロ化

教育的な実験であっても、廃液や使用薬品の減量等、環境やコスト削減に配慮しなければならないことは言うまでも無い。原理・理論の理解とともに、化学が将来担っていく安全性や環境問題、省エネルギー等の重要な課題を、実験の小規模化（ミクロ化）によって克服することを目指す。

3．キレート滴定を用いた水の硬度の測定

前章で述べた三つの課題を解決する実験例として今回、水の硬度をキレート滴定によって求める実験について取り上げる。この実験は可視光で色の変化を起こす指示薬を用いることで反応の進行具合を目で確かめられる点、加えて水を用いる実験であるため環境にやさしいという二つの点で優れており、実験の視覚化、小規模化に適した実験課題である。

（1）キレート滴定の原理

一般的なキレート滴定では、エチレンジアミン四酢酸塩(EDTA)の標準溶液により水に含まれる Ca^{2+} と Mg^{2+} を定量し、水の硬度を決定する。透明な試料水に指示薬を滴下すると赤色に、さらに EDTA 溶液を滴下し当量点まで達すると青色に劇的に色変化する（図 1)。

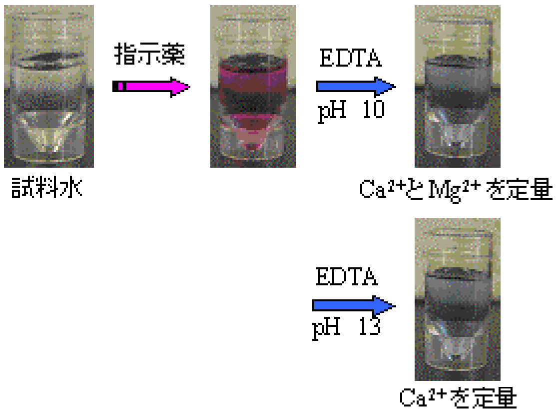


図 1 キレート滴定の色変化

一般的なキレート滴定に使用する実験器具(図 2)と簡単な実験手順を①～④に下に示す。

①試料水 10 ml を正確に秤量し容器（ビーカー）にとる
②蒸留水を加え総量 100 ml とした後、指示薬、pH 調整溶液を加え、適当な pH 値に設定する
③ビュレット（図 2 中央）で 0.01 M EDTA 溶液を滴下し、滴定量を求める。１試料について 2～3 度滴定を行う
④EDTA 溶液の滴定量の平均から金属の含有量を求め、硬度を決定する

キレート滴定の実験は、本学の化学実験科目にも取り入れられており、目的や原理、操作を簡潔にまとめた化学実験書がある。また、実験直前に教官から実験内容の解説を受ける。しかし、学生の実験に対する理解度は高くなかった。これは実験の内容が複雑すぎるため、実験操作の意味を理解できないためだと考えられる。今回の教材開発では主に、実験操作の解説を中心とした実践的な内容の動画や画像

の作成を行うことで、学生の実験に対する理解度の向上が期待できる。

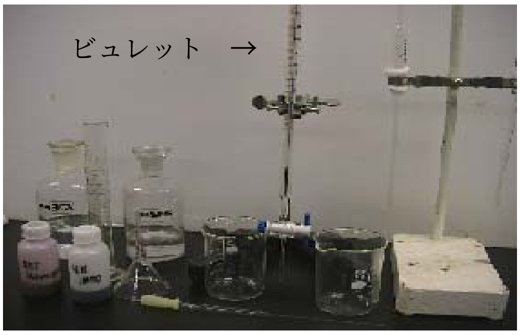


図 2　一般的なキレート滴定に用いる主な実験器具

(2) 簡略実験・小規模化実験の汎用性

通常のビュレットを用いた実験では正確性を高めるため同じ試料水について 2〜3 回の実験を行うが、ここで下の二つの問題が発生する。

①ひとつの試料につき約 300 ml の実験廃液が発生する。一学年分だと数十リットルになる
②実験に慣れていても、一連の作業に 20 分以上の時間を要し、不慣れな場合は少なくともこの倍程度の時間が必要になる

これらは様々な種類の試料水について滴定を行う場合や実験を繰り返し行う場合に大きな弊害となる。

そこで今回、実験器具を減らし、スケールも縮小した実験法を新たに考案した（滴下法)。具体的な変更点はビュレットをパスツールピペットに、反応容器も 200 ml のビーカーから 2 ml スケールのサンプルカップに置き換えた（図 3)。図 2 の一般的なキレ

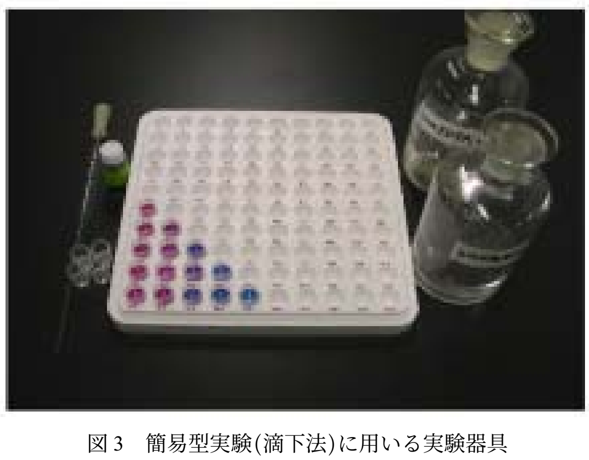
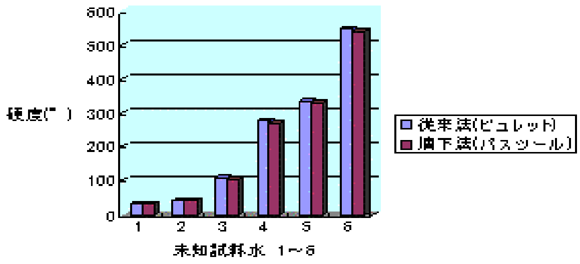


図 3　簡易型実験(滴下法)に用いる実験器具

ート滴定の実験器具と比べ規模が格段に小さいことが明らかである。実験は試料水、EDTA 標準溶液、指示薬等全てをパスツールピペットで滴下するだけで行える。パスツールピペットの 1 滴の量は多少の誤差はあるが、0.03 ml 前後で安定しているためビュレットを用いる従来の実験法との誤差も小さいことが確認できた(図 4)。ただし、定量的にパスツールピペットから滴下するにはある程度の慣れが必要である。



	1	2	3	4	5	6
ビュレット	30.2	44	108	274	332	547
パスツール	33	42	105	270	330	540

図 4　2 つの実験法の硬度測定の結果

実際に正確な実験データを必要とする場合に滴下法を適用するのは厳しいが、化学の原理や概念を理解するための実験には十分な精度であるといえる。実験時間についても 1 回の滴定を 5 分程度で、実験廃液も数 ml しか発生しない点で理想的な方法である。

キレート滴定では通常、EDTA 標準溶液として 0.01 M 溶液を用いるが、硬度未知の高硬度試料水を定量する場合には、50 ml ビュレットの全量を加えても当量点に達しないことも考えられる。このような場合試料水の希釈などを行わなければならないが、滴下法を用いることによって簡単にその見極めができるなど、本実験前の予備実験などに用いる等の応用法も期待できる。

4．まとめ

本研究では、作成した以下の AV 教材について詳しく報告する。

①実験を行う際の器具の取り扱い方、試薬の調製法とその注意点などを詳細に解説した写真
②滴定中に起こる反応にともなう色変化の様子などを示した動画
③反応の進行によって起こる分子の化学構造変化の分子モデル化とアニメーション化

これらを補助教材として用いることで実験がスムーズに進行し、その理論が確実に理解されることを目指している。この実験のような基礎的な実験では理論や原理の理解だけでなく、実験器具や装置の使用法を学ぶことも大切である。学生に教材を公開することにより、学生の意見を積極的に取り入れ、随時、改良・改善していく努力が必要と考えている。

参考文献

「化学実験」金沢大学化学教育研究会編