

高等学校化学基礎「酸と塩基」における  
マイクロスケール実験教材の改良と授業実践  
—巨峰の果皮とマロウブルーを使用して—

中川徹夫

Improving Teaching Materials for a Microscale Experiment on Acids and Bases  
in High School Basic Chemistry and Performing Practical Lessons for High School Students  
—Using Kyoho (Japanese Grape) Peels and Mallow Blue's Petals—

NAKAGAWA Tetsuo

## 要　　旨

植物色素の一種であるアントシアニンは、中性では紫色を示すが、酸性では赤色～赤紫色、塩基性では青緑色～緑色～黄色とその色調を変化させるため、化学実験の酸塩基指示薬として利用できる。以前に著者は、巨峰の果皮やマロウブルーから抽出したアントシアニンを高等学校化学の教材として使用する方法について提案した。本研究では、12ウェルプレートと巨峰の果皮およびマロウブルーを用いた各種水溶液の酸性、中性、塩基性の識別に関するマイクロスケール実験教材について検討した。試薬として、0.1、0.01、0.001 mol/L 塩酸 (HCl)、0.1 mol/L 酢酸 (CH<sub>3</sub>COOH)、0.1 mol/L 塩化ナトリウム (NaCl)、0.1 mol/L ショ糖 (C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>)、0.1、0.01、0.001 mol/L 水酸化ナトリウム (NaOH)、0.1 mol/L アンモニア (NH<sub>3</sub>)、飽和水酸化カルシウム (Ca(OH)<sub>2</sub>) (石灰水) を用いた。希薄な0.001 mol/L HClとNaOH以外は、アントシアニンの色調変化よりそれぞれの水溶液の酸性、中性、塩基性を識別できた。本教材を用いた授業実践を兵庫県下の高等学校2校で実施し、高等学校化学基礎の教材としての有用性を確認した。

**キーワード：**マイクロスケール実験、酸と塩基、酸塩基指示薬、アントシアニン、高等学校化学基礎

## Abstract

Anthocyanin, a plant pigment, shows purple in neutral, however, it turns red or red-purple when acidic and blue-green, green, or yellow when basic. Therefore, it can be used as an acid-base indicator in chemistry experiments. Previously, we proposed how to use them as teaching materials for high school chemistry. In this study, we have investigated teaching materials for a microscale experiment on classifying various aqueous solutions into acidic, neutral, and basic ones using a 12-well plate, kyoho peels, and mallow blue's petals. We have used various aqueous solution such as 0.1, 0.01, and 0.001 mol/L hydrochloric acids (HCl), 0.1 mol/L acetic acid (CH<sub>3</sub>COOH), 0.1 mol/L sodium chloride (NaCl), 0.1 mol/L sucrose (C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>), 0.1, 0.01, and 0.001 mol/L sodium hydroxides (NaOH), 0.1 mol/L ammonia (NH<sub>3</sub>) (ammonia water), and saturated calcium hydroxide (Ca(OH)<sub>2</sub>) (limewater). Except for 0.001 mol/L HCl and NaOH, these aqueous solutions can be correctly classified into acidic, neutral, and basic ones from the color change of anthocyanin. Using these microscale teaching materials, practical lessons have been carried out at two senior high schools in Hyogo Prefecture, and it has been found that such teaching materials are useful for high school basic chemistry.

**Keywords:** microscale experiment, acid and base, acid-base indicator, anthocyanin, high school basic chemistry

## 1 はじめに

通常の実験の規模（大きさ、スケール）を縮小させたマイクロスケール実験には、試薬の節減、経費の節約、実験廃棄物（廃試薬、残試薬）の削減、平易な実験操作、実験時間の短縮、個々の児童・生徒・学生が実験可能等の長所がある<sup>1-2)</sup>。それゆえ、マイクロスケール実験の手法を、小学校、中学校、高等学校、工業高等専門学校、短期大学、大学等における理科およびこれに関連した科目（物理学、化学、生物学、地学、総合的な学習の時間、部活動）の実験・実習に導入することは極めて有意義である。

現行の文部科学省の高等学校学習指導要領<sup>3)</sup>によれば、酸・塩基と中和は、化学基礎（2単位）の物質の変化のうち、化学反応の单元で取り扱われる。化学基礎の教科書<sup>4-7)</sup>には、水素イオン濃度と水素イオン指数pH、酸塩基指示薬（pH指示薬）の説明に続いて、代表的な指示薬であるメチルオレンジ（MO）、ブロモチモールブルー（BTB）、フェノールフタレイン（PP）等の変色域が記されている。

これらの指示薬に加え、身近な植物に豊富に含まれている植物色素のうちの一つにアントシアニンがある。アントシアニンは、酸性では赤色～赤紫色、中性では紫色、塩基性では青緑色～緑色～黄緑色とその色調を変化させるため、酸塩基指示薬として利用できる。アントシアニンは、紫キャベツ、ブドウ（巨峰、ベリーA、キャンベル等）の果皮、スモモの果皮、マロウブルー（ウスペニアオイ）の花弁、ナスの果皮、アメリカンチェリーの果実、黒豆の種皮、紫蘇の葉、アサガオの花弁などに豊富に含まれており、理科の実験教材として活用できる。

中学校理科では、アントシアニンの原料として紫キャベツが多用され、中学校教科書<sup>8)</sup>や実験書<sup>9)</sup>にも紹介されている。しかし、紫キャベツは通常の青果店やスーパーマーケット等では取り扱われていない場合があり、教材として使用しにくい。そこで、これまでに著者は、アントシアニンの原料として、黒紫色をしたブドウ（巨峰）の果皮やハーブティーの一種であるマロウブルーを用いて、高等学校化学の教材開発を行い、授業実践を行った<sup>10-14)</sup>。ブドウ（巨峰）は、6月から10月頃まで容易に入手でき、しかも普段は生ゴミとして破棄している果皮を利用するため、経済的である。一方、マロウブルーに関しては、市販されているのはマロウブルーの花弁を乾燥させたドライフラワーであり、アントシアニンを水で抽出できるという利点がある。また、ブドウの果皮とは異なり、季節に関わらず使用できる点も魅力である。

酸と塩基（アルカリ）に関しては、高等学校化学基礎で扱われる。しかし、その背景については、すでに小学校理科や中学校理科で指導されている。著者はこれまでに、6ウェルプレートと種々の指示薬を用いて、酸とアルカリの水溶液の酸性、中性、アルカリ性の識別に関するマイクロスケール実験の小学校理科<sup>15)</sup>および中学校理科<sup>16)</sup>用の教材を開発し、授業実践を行った。さらに、従来の方法<sup>15)</sup>を改良した小学校理科用のマイクロスケール実験教材として、6ウェルプレートと巨峰の果皮を用いた身近な水溶液の酸性、中性、アルカリ性の識別方法を提案した。さらに、小学生を対象とした授業実践を行い、有効性を確認した<sup>17)</sup>。

本研究では、著者がこれまでに開発した高等学校化学向けの教材<sup>10-14)</sup>をもとに、マイクロスケール実験の要素を加味して、小学校理科用のマイクロスケール実験教材<sup>17)</sup>で用いた試薬を高等学校化学基礎で扱う試薬に、6ウェルプレートを12ウェルプレートに変更して、種々の水溶液の酸性、中性、アルカリ性の識別および濃度による色調変化が視覚的に理解できるマイクロスケール実験教材について検討し、授業実践の際に使用する実験シートを作成した。なお、著者はすでに、高等学校化学におけるルシャトリエの原理に関するマイクロスケール実験教材の改良時<sup>18-19)</sup>に、12ウェルプレートを使用する利便性について確認している。

## 2 実 験

### 2-1 試薬およびアントシアニンの原料

試薬として、0.1, 0.01, 0.001 mol/L 塩酸 (HCl)、0.1 mol/L 酢酸 (CH<sub>3</sub>COOH) 水溶液、0.1 mol/L 塩化ナトリウム (NaCl) 水溶液、0.1 mol/L ショ糖 (C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>) 水溶液、0.1 mol/L アンモニア (NH<sub>3</sub>) 水、飽和水酸化カルシウム (Ca(OH)<sub>2</sub>) 水溶液 (石灰水)、0.1, 0.01, 0.001 mol/L 水酸化ナトリウム (NaOH) 水溶液を用い、いずれも容積20 mL のプラスチック製点眼瓶に入れて保存した。

アントシアニンの原料として、マロウブルー (ケニスより購入) と巨峰 (長野産、近隣のスーパー・マーケットで購入) を使用した。

### 2-2 器 具

器具として、図1に示すTPP製の12ウェルプレート (組織培養用プレート)<sup>20)</sup>、30 mL および50 mL ピーカー、スポイド、ガラス棒、色鉛筆、ピンセット、電気ポット、茶こし、安全ゴーグル (眼鏡) を用いた。

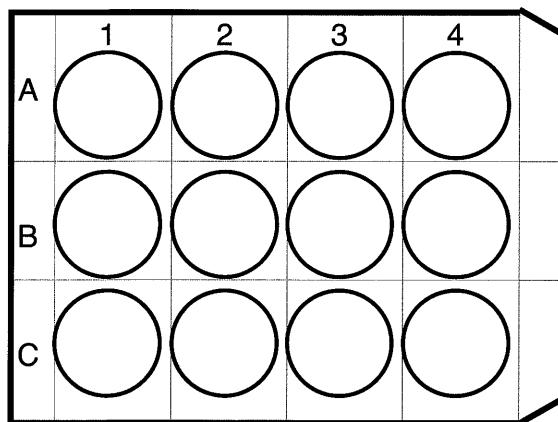


図1 12ウェルプレート (組織培養用プレート) と水溶液を入れる場所

A1 : アントシアニン液のみ、A2 : HCl (0.1 mol/L)、A3 : CH<sub>3</sub>COOH、A4 : NaCl、  
B1 : C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>、B2 : NH<sub>3</sub>、B3 : Ca(OH)<sub>2</sub> (飽和)、B4 : NaOH (0.1 mol/L)、  
C1 : HCl (0.01 mol/L)、C2 : HCl (0.001 mol/L)、C3 : NaOH (0.01 mol/L)、C4 : NaOH (0.001 mol/L)。

## 2-3 操作

### 2-3-1 マロウブルーを用いた実験

50 mL（または30 mL）ビーカーに、ピンセットを用いてマロウブルーを少量（約0.2 g）入れた。その上から蒸留水を加え、全体を約20 mLにした。ガラス棒（またはコーヒー用マドラー）を用いて、全体が濃紫色になるまでよく攪拌して抽出液を得た。得られた抽出液には、最初に加えたマロウブルーが混ざっているため、抽出液のみを別のビーカーに移した。

マロウブルー抽出液を、約10滴ずつ各セルに入れた。図1に示す所定の場所に、それぞれ11種類の水溶液（塩酸と水酸化ナトリウム水溶液に関しては、それぞれモル濃度の異なる3種類の水溶液0.1, 0.01, 0.001 mol/L、他の水溶液のモル濃度は、石灰水を除きいずれも0.1 mol/L）を約5滴ずつ加え、ウェルプレートごと軽く前後左右に振り、マロウブルー抽出液と各種水溶液が完全に混合した後、色調を観察した。

### 2-3-2 巨峰の果皮を用いた実験

50 mL（または30 mL）ビーカーに、約2粒分の巨峰の果皮を入れた。その上から約60°Cの湯を加え、全体を約20 mLにした。ガラス棒を用いて、全体が濃紫色になるまでよく攪拌して抽出液を得た。得られた抽出液には、最初に加えた巨峰の果皮が混ざっているため、茶こしで漉し、抽出液のみを別のビーカーに移した。

巨峰果皮抽出液を、約10滴ずつ各セルに入れた。図1に示す所定の場所に、それぞれ11種類の水溶液（塩酸と水酸化ナトリウム水溶液に関しては、それぞれモル濃度の異なる3種類の水溶液0.1, 0.01, 0.001 mol/L、他の水溶液のモル濃度は、石灰水を除きいずれも0.1 mol/L）を約5滴ずつ加え、ウェルプレートごと軽く前後左右に振り、巨峰果皮抽出液と各種水溶液が完全に混合した後、色調を観察した。

## 3 結果と考察

### 3-1 マロウブルーを用いた実験

マロウブルーを用いた実験結果を、図2に示す。

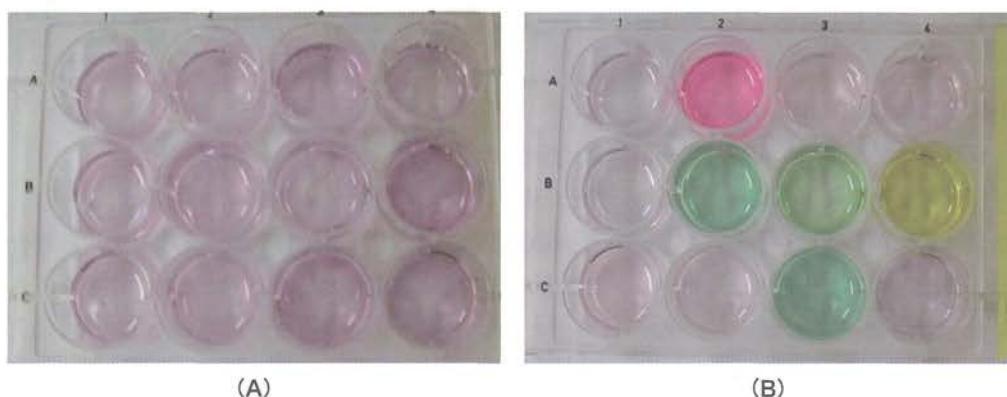


図2 マロウブルーを用いた実験結果

(A) マロウブルー抽出液のみ (B) マロウブルー抽出液に各種水溶液を加えた結果

マロウブルー抽出液に0.1 mol/L 塩酸を加えた場合、色調は紫色から濃赤色へと変化し、0.01 mol/L 塩酸および0.1 mol/L 酢酸水溶液を加えた場合は、薄赤色へと変化した。これより、これらの水溶液はいずれも酸性であると判別できる。さらに、水溶液中の水素イオン濃度 $[H^+]$ が大きいほど、赤色の色調が濃厚になるので、0.1 mol/L 塩酸の $[H^+]$ は、0.01 mol/L 塩酸および0.1 mol/L 酢酸水溶液のそれよりも大きい、換言すれば、前者のpHは後二者のpHよりも小さいことがわかる。

マロウブルー抽出液に0.1 mol/L 塩化ナトリウム水溶液および0.1 mol/L ショ糖水溶液を加えた場合、いずれも紫色のままで色調変化は認められなかつたので、これらの水溶液は中性であると判別できる。

マロウブルー抽出液に0.1 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液を加えた場合、色調は紫色から黄色へと変化し、石灰水を加えた場合は黄緑色へ、0.01 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液および0.1 mol/L アンモニア水を加えた場合は緑色へと変化した。これより、これらの水溶液はいずれも塙基性（アルカリ性）であると判別できる。さらに、水溶液中の水酸化物イオン濃度 $[OH^-]$ が大きいほど、アントシアニンの色調は青緑から緑、黄緑、黄色へと変化するので、塙基性水溶液の中で、0.1 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液の $[OH^-]$ が最も大きく、次いで、石灰水の $[OH^-]$ が0.01 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液および0.1 mol/L アンモニア水の $[OH^-]$ よりも大きいことが理解できる。

マロウブルー抽出液に0.001 mol/L 塩酸と0.001 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液を加えた場合、いずれも紫色のままで色調変化は認められなかつた。これは、水溶液の濃度がいずれも0.001 mol/L と希薄なためと推察される。

マロウブルー抽出液は、最初は鮮やかな紫色を呈するが、しばらく時間が経過すると、徐々に退色した。これは、抽出液中のアントシアニンが、蛍光灯の紫外線により光分解されたためと考えられる。マロウブルーを使用する際には、調製した抽出液は、できる限り迅速に使用する必要がある。

実験の所要時間は、約20分であった。高等学校化学基礎の生徒実験として実践する場合、1校時50分の授業時間内で、解説や後片付けの時間を含め、十分に取り扱える内容であると考えられる。使用した試薬量や実験後に生じた廃液量も、通常実験の10分の1以下であった。

### 3-2 巨峰の果皮を用いた実験

巨峰の果皮を用いた実験結果を、図3に示す。

巨峰果皮抽出液に0.1 mol/L 塩酸を加えた場合、マロウブルー抽出液を用いた場合と同様に、色調は紫色から濃赤色へと変化し、0.01 mol/L 塩酸および0.1 mol/L 酢酸水溶液を加えた場合は、薄赤色へと変化した。これより、これらの水溶液はいずれも酸性であると判別できる。さらに、水溶液中の水素イオン濃度 $[H^+]$ が大きいほど、赤色の色調が濃厚になるので、0.1 mol/L 塩酸の $[H^+]$ は、0.01 mol/L 塩酸および0.1 mol/L 酢酸水溶液のそれよりも大きいことが理解できる。

巨峰果皮抽出液に0.1 mol/L 塩化ナトリウム水溶液および0.1 mol/L ショ糖水溶液を加えた



図3 巨峰果皮を用いた実験結果

(A) 巨峰果皮抽出液のみ (B) 巨峰果皮抽出液に各種水溶液を加えた結果

場合、マロウブルー抽出液を用いた場合と同様に、いずれも紫色のままで色調変化は認められなかつたので、これらの水溶液は中性であると判別できる。

巨峰果皮抽出液に $0.1\text{ mol/L}$ 水酸化ナトリウム水溶液を加えた場合、色調は紫色から黒ずんだ黄色へと変化し、石灰水を加えた場合は黄緑色へ、 $0.01\text{ mol/L}$ 水酸化ナトリウム水溶液および $0.1\text{ mol/L}$ アンモニア水を加えた場合は青緑色へと変化した。これより、これらの水溶液はいずれも塩基性（アルカリ性）であると判別できる。さらに、水溶液中の水酸化物イオン濃度 $[\text{OH}^-]$ が大きいほど、アントシアニンの色調は青緑から緑、黄緑、黄色へと変化するので、 $0.1\text{ mol/L}$ 水酸化ナトリウム水溶液の $[\text{OH}^-]$ は、石灰水や $0.01\text{ mol/L}$ 水酸化ナトリウム水溶液および $0.1\text{ mol/L}$ アンモニア水のそれよりも大きいことが理解できる。マロウブルー抽出液を用いた結果と少し異なる。この原因是、アントシアニンの含有量の相違や、アントシアニン以外の成分（不純物、夾雜物）の影響によるものであろう。

巨峰果皮抽出液に $0.001\text{ mol/L}$ 塩酸と $0.001\text{ mol/L}$ 水酸化ナトリウム水溶液を加えた場合、マロウブルー抽出液を用いた場合と同様に、いずれも紫色のままで色調変化は認められなかつた。これは、水溶液の濃度がいずれも $0.001\text{ mol/L}$ と希薄なためと推察される。

巨峰果皮抽出液も時間とともに退色するが、マロウブルー抽出液の場合と比較すると緩慢である。詳細な原因は不明である。マロウブルーと巨峰果皮に含まれるアントシアニンの種類の相違や、アントシアニン以外の成分（不純物、夾雜物）による影響が考えられる。

実験の所要時間や、使用した試薬量や実験後に生じた廃液量も、マロウブルーを使用した場合と同様であった。

## 4 授業実践

### 4-1 実験シートの作成

実験結果を踏まえ、図4に示すような高等学校化学基礎の生徒実験用の実験シートを作成した。マロウブルー抽出液および巨峰果皮抽出液のいずれも使用する場合は2校時連続の100分で、両者のうち一方のみを使用する場合は1校時50分での実施を想定している。実験のみな

マイクロスケール実験シート（水溶液の液性識別）  
 実験日時 年月日 (神戸女学院大学教授 中川作成)  
 高校名 年 氏名

植物色素アントシアニンを用いたマイクロスケール実験により、種々の水溶液の液性を識別しよう

1. 備備

1) 実験器具

12 ウエルセルプレート（下図）、安全メガネ（実験時は、常時着用すること）、20 mL および 50 mL ピーカー、スポイド（または点眼びん）、ガラス棒、色鉛筆、ピンセット、ポット。

2) 試薬

マロウブルー（乾燥させたもの）、ブドウ（巨峰またはペリーA）、蒸留水、0.1 mol/L HCl（塩酸）、0.01 mol/L HCl、0.001 mol/L HCl、0.1 mol/L CH<sub>3</sub>COOH（酢酸水溶液）、0.1 mol/L NaCl（塩化ナトリウム水溶液）、0.1 mol/L C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>（ショ糖水溶液）、0.1 mol/L NH<sub>3</sub>（アンモニア水）、飽和 Ca(OH)<sub>2</sub>（石灰水）、0.1 mol/L NaOH（水酸化ナトリウム水溶液）、0.01 mol/L NaOH、0.001 mol/L NaOH。

2. 方法

実験 1

1) 50 mL ピーカーにピンセットでマロウブルーを少量（約 5 mL、およそ 0.2 g）入れる。その上から蒸留水を全体が約 20 mL になるまで加える。

2) 濃紫色になるまで、ガラス棒でよくかき混ぜ、マロウブルー抽出液を作る。できた抽出液を、別の 20 mL ピーカーに移す（抽出後のマロウブルーを除去する）。

3) マロウブルー抽出液を、スポイドで約 10 滴ずつ、各セルに加える。

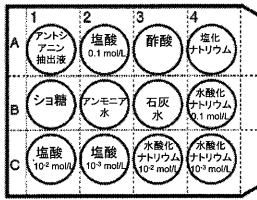
4) セル A2 に塩酸（0.1 mol/L）を、A3 に酢酸を、A4 に塩化ナトリウム水溶液を、B1 にショ糖水溶液を、B2 にアンモニア水を、B3 に石灰水を、B4 に水酸化ナトリウム水溶液（0.1 mol/L）を、C1 に塩酸（0.01 mol/L）を、C2 に塩酸（0.001 mol/L）を、C3 に水酸化ナトリウム水溶液（0.01 mol/L）を、C4 に水酸化ナトリウム水溶液（0.001 mol/L）を、それぞれ約 5 滴ずつ加える。

5) セル C1 に塩酸（0.01 mol/L）を、C2 に塩酸（0.001 mol/L）を、C3 に水酸化ナトリウム水溶液（0.01 mol/L）を、C4 に水酸化ナトリウム水溶液（0.001 mol/L）を、それぞれ約 5 滴ずつ加える。

6) セルプレートを軽く左右に振り、マロウブルー抽出液と水溶液が完全に混合した後、色調を観察する。

実験 2

1) 50 mL ピーカーにブドウの果皮（約 2 粒分）を剥いて入れる。その上から湯を全体が約 20 mL になるまで加える。



2) ブドウジュースのような紫色になるまで、ガラス棒でよくかき混ぜ、ブドウ果皮抽出液を作る。できた抽出液を、別の 20 mL ピーカーに移す（抽出後のブドウ果皮を除去する）。

3) ブドウ果皮抽出液を、スポイドで約 10 滴ずつ、各セルに加える。

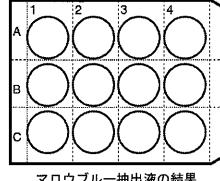
4) セル A2 に塩酸（0.1 mol/L）を、A3 に酢酸を、A4 に塩化ナトリウム水溶液を、B1 にショ糖水溶液を、B2 にアンモニア水を、B3 に石灰水を、B4 に水酸化ナトリウム水溶液（0.1 mol/L）を、C1 に水酸化ナトリウム水溶液（0.01 mol/L）を、C2 に水酸化ナトリウム水溶液（0.001 mol/L）を、それぞれ約 5 滴ずつ加える。

5) セル C1 に塩酸（0.01 mol/L）を、C2 に塩酸（0.001 mol/L）を、C3 に水酸化ナトリウム水溶液（0.01 mol/L）を、C4 に水酸化ナトリウム水溶液（0.001 mol/L）を、それぞれ約 5 滴ずつ加える。

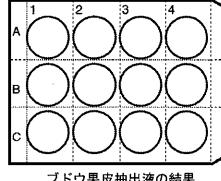
6) セルプレートを軽く左右に振り、ブドウ果皮抽出液と水溶液が完全に混合した後、色調を観察する。

3. 結果と考察

結果を、下記の図に記入せよ。色鉛筆で着色してもよい。実験結果より、各水溶液の液性（酸性、中性、塩基性）を識別せよ。さらに、塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の濃度とアントシアニンの色調の関係についても考察せよ。



マロウブルー抽出液の結果



ブドウ果皮抽出液の結果

水溶液の液性（酸性・中性・塩基性）の識別

	0.1 mol/L HCl	0.1 mol/L CH <sub>3</sub> COOH	0.1 mol/L NaCl
0.1 mol/L C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	0.1 mol/L NH <sub>3</sub>	飽和 Ca(OH) <sub>2</sub>	0.1 mol/L NaOH
0.01 mol/L HCl	0.001 mol/L HCl	0.01 mol/L NaOH	0.001 mol/L NaOH

塩酸の濃度とアントシアニンの色調との関係

発展：アントシアニンの色調が、水溶液の液性の違いにより変化するはどうしてか。考えてみよう。

図 4 実験シート

ら、両者ともに使用した場合でも 1 校時で実施可能であるが、実験操作に関する諸注意や実験に関連した内容の説明を行う必要があるため、このような時間配分にした。

使用する試薬は 4 ~ 6 名の実験グループ共用でも構わないが、12 ウェルプレートは、できれば生徒数分準備して、個々の生徒が自ら実験に取り組むように指導したい。

## 4-2 訪問授業

2016年10月13日と24日に、兵庫県下の高等学校2校（A校、B校）で、中川による訪問授業を実施した。A校では1・2年生41名を対象に、B校では2年生24名を対象に授業を行った。試薬の調製は、各高等学校の教員と実習助手に依頼した。

いずれの高等学校の生徒も、個別に実験に真剣に取り組み、時間内に結果を出すことができた。実験中は、安全眼鏡の着用を義務付け、実験終了までに外さないよう指示した。加えて、万一塩酸や水酸化ナトリウム水溶液、石灰水などの劇薬が指先についた場合には、水道水で十分に洗浄するよう指示する等、安全指導を徹底した。

実験終了後、実験シートのウェルプレート内に色鉛筆で彩色するように指示し、マロウブルー抽出液や巨峰果皮抽出液の色調変化より、各水溶液の液性（酸性、中性、塩基性）の識別および酸性、塩基性の強弱についても考察させた。とりわけ、多くの生徒が、0.1 mol/L と

0.01 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液を加えた場合の色調の相違（前者は黄色、後者は緑色）に驚いていたようだ。なお、両高校ともに、大部分の生徒が楽しく実験に取り組み、内容を理解できたことが、実験後のアンケートの結果から読み取れた（A 校：とても楽しかった49%、楽しかった39%、よく理解できた51%、理解できた44%、B 校：とても楽しかった29%、楽しかった67%、よく理解できた33%、理解できた46%）。

代表的な生徒の感想を、以下に記す。

#### (A 校)

- ・考えていたより簡単で単純だった。
- ・手軽に実験ができるとても効果的で良いと思いました。
- ・濃度の違いによる指示薬の変化がよく分かった。
- ・実験をより簡単に、少ない物ができるというのがすばらしいと思った。
- ・授業に取り入れることで、もっとたくさんの実験ができたらいいと思った。
- ・小さなビーカーや試験管代りのものを見て驚きました。操作がとても簡単で楽しかったです。
- ・マイクロスケール実験は、全員が実験することができ、また操作も簡単であるのにしっかり実験結果を見ることができたのがとても良かったです。

#### (B 校)

- ・簡単でわかりやすかった。
- ・操作が簡単だったので楽しかった。
- ・量が少なくて実験時間も短縮でき、とてもやりやすかった。
- ・一人一人個人でできるので、実験にしっかりと組めるので良いと思った。
- ・エコで地球に優しそうでよかったです。

このように、両校の生徒の感想からも、本教材の有用性が認められた。

本実験は、工夫次第で生徒の自宅でも実施可能である。マロウブルーは食材店やハーブティー専門店で、巨峰は6月～10月なら青果店やスーパーマーケットで購入できる。湯のみコップとウェルプレートに代わる容器（クリームケースやペットボトルのキャップ等）、それに、点眼瓶に代わる容器（うがい薬の容器や醤油さし等）があれば手軽に自宅で取り組める内容である。

高等学校における化学基礎の授業はもとより、総合的な学習の時間や、自然科学部や理科部等の部活動、あるいはサークル活動等での活用が期待できる。

#### 謝 辞

高等学校における授業実践の場を提供いただいた、兵庫県下の高等学校2校の化学担当教員に深謝する。

本研究は、JSPS 科研費JP24501072およびJP17K00991の助成を受けたものである。

## 文献と註

- 1) 萩野和子, 「「マイクロスケール実験の広場」へのお誘い」, 化学と教育, 49卷2号, 110頁, 2001年.
- 2) 日本化学会編 (萩野和子代表), 「マイクロスケール化学実験」, 日本化学会 (2003).
- 3) 文部科学省, 「高等学校学習指導要領解説 理科編理数編」, 実教出版, 56-57頁, 2009年.
- 4) 辰巳敬他, 「改訂版 化学基礎」, 文部科学省検定済教科書 (2016年3月9日検定済), 104・教研・化基 319, 数研出版, 142-147頁, 2017年.
- 5) 竹内敬人他, 「改訂 化学基礎」, 文部科学省検定済教科書 (2016年3月9日検定済), 2・東書・化基 313, 東京書籍, 132-138頁, 2017年.
- 6) 山内薰他, 「改訂 高等学校化学基礎」, 文部科学省検定済教科書 (2016年3月9日検定済), 183・東書・化基 313, 第一学習社, 130-135頁, 2017年.
- 7) 斎藤烈他, 「化学基礎 改訂版」, 文部科学省検定済教科書 (2016年3月9日検定済), 61・啓林館・化基 318, 啓林館, 142-145頁, 2018年.
- 8) 有馬朗人他, 「新版 理科の世界3」, 文部科学省検定済教科書 (2015年3月6日検定済), 4・大日本・理科 928, 大日本図書, 173頁, 2017年.
- 9) 片江安巳, 「基礎から始める! 理科実験ガイド」, 少年写真新聞社, 44頁, 2012年.
- 10) 中川徹夫, 「ブドウ果皮から抽出した色素の酸・塩基指示薬としての利用」, 化学と教育, 44卷9号, 616頁, 1996年.
- 11) Tetsuo Nakagawa, "Acid-base indicator extracted from grape peel," *School Science Review*, Vol. 79, No. 286, p. 108 (1997).
- 12) 中川徹夫, 「ハーブティーから抽出した色素の酸・塩基指示薬としての利用」, 化学と教育, 46卷11号, 748頁, 1998年.
- 13) 中川徹夫, 「ハーブティーから抽出した色素の酸・塩基指示薬としての利用(II)」, 化学と教育, 47卷11号, 778-779頁, 1999年.
- 14) Tetsuo Nakagawa, "Acid-base indicator from herbal tea," *School Science Review*, Vol. 80, No. 293, p. 13 (1997).
- 15) 吉國忠亜, 針谷尚志, 中川徹夫, 「小学校理科におけるマイクロスケール実験の実践—水溶液の酸性, 中性, アルカリ性の識別ー」, 群馬大学教育実践研究, 26号, 215-219頁, 2009年.
- 16) 中川徹夫, 「中学校理科におけるマイクロスケール実験の実践—水溶液の液性(酸性, 中性, アルカリ性)の識別ー」, 理科の教育, 55卷10号, 698-701頁, 2006年.
- 17) 中川徹夫, 「小学校理科「水溶液の酸性・中性・アルカリ性の識別」に関するマイクロスケール実験教材の改良と授業実践—ブドウ果皮と6穴ウェルプレートを利用してー」, 神戸女学院大学教職センター研究紀要, 1卷2号, 79-88頁, 2018年.
- 18) 中川徹夫, 中澤克行, 「ルシャトリエの原理に関するマイクロスケール実験—教材改良と授業実践ー」, 神戸女学院大学論集, 63卷1号, 55-64頁, 2016年.
- 19) 中川徹夫, 「酢酸およびアンモニアの電離平衡の移動に関するマイクロスケール実験で使用する酸塩基指示薬の濃度に関する考察—メチルオレンジ水溶液およびフェノールフタレイン水溶液ー」, 神戸女学院大学論集, 64卷2号, 47-55頁, 2016年.
- 20) 上からA、B、C行、左から1、2、3、4列と記号・数字が印刷されており、行と列でウェル(セル)の位置が決まるので、便利である。たとえば、「A行2列(または単にA2)には0.1 mol/L HClを5滴入れ、C行1列には0.01 mol/L HClを5滴入れる」のような表現が可能である。このように、反応させる場所が明確で、混乱が少ない。

(原稿受理日 2018年9月15日)