

# 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使用して—

Improving Teaching Materials of Microscale Experiment and Performing Practical  
Lessons on Classifying Aqueous Solutions into Acidic, Neutral, and Basic Ones  
in Japanese Elementary School Science  
—Using Grape Peels and 6-Well Plate—

中川 徹夫

NAKAGAWA Tetsuo

神戸女学院大学 人間科学部 環境・バイオサイエンス学科 教授  
Department of Biosphere Sciences, School of Human Sciences, Kobe College  
nakagawa@mail.kobe-c.ac.jp

キーワード: マイクロスケール実験, 小学校理科, 水溶液, ブドウ果皮, ウェルプレート  
Key words: microscale experiment, elementary school science, aqueous solutions, grape peel, well plate

## 要旨

小学校理科では, 水溶液の酸性, 中性, アルカリ性の識別に関して, 第6学年の「水溶液の性質」で取り扱われる。これに関する児童実験を行う場合, 試薬調製や廃液処理に経費や時間を要する。また, 通常の45分授業内で実施するのも困難である。これらの問題を解決するには, 教材のマイクロスケール化を図ればよい。著者は, 高等学校化学で実践したブドウ(巨峰)の果皮を用いた水溶液の液性(酸性, 中性, アルカリ性)の識別教材および小学生向けの液性識別教材をもとに, 6穴ウェルプレートを用いた水溶液の酸性, 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を試みた。その結果, 通常実験の10分の1程度の試薬量で実験できることが判明した。さらに, 小学生を対象に, 本教材を用いた授業実践を行った。いずれの小学生も真剣に取り組み, 正確に水溶液の酸性, 中性, アルカリ性を識別できた。児童の実験に対する取り組み様子や事後アンケートの結果からも, 教材としての有用性が認められた。

## 1 はじめに

通常の実験の規模を、数分の一から数十分の一程度にまで縮小させたマイクロスケール実験<sup>1)</sup>には、使用する試薬量の節減、実験廃棄物量(廃試薬、残試薬)の減少、実験時間の短縮、容易かつ迅速に実行可能などの長所がある<sup>2)</sup>。それゆえ、多忙な小学校、中学校、高等学校などの学校現場にとっては、極めて有用な手法である。これまでに、国内外においてマイクロスケール実験に関する研究が推進され、実験書も発行されている<sup>3,5)</sup>。わが国では、東北大学の荻野らが中心となり、主に高等学校化学や中学校理科に関するマイクロスケール実験教材の開発と普及活動が行われてきた<sup>6,7)</sup>。

著者もマイクロスケール実験の有用性に着目し、これまでに主として科研費により、教材開発や授業実践に従事した<sup>8-11)</sup>。最近の研究成果として、液体や固体の密度測定<sup>12)</sup>、液体の混合に伴う体積変化<sup>13)</sup>、種々の電池<sup>14)</sup>がある。また、授業実践で用いたワークシートを集約して、マイクロスケール実験シート<sup>15,16)</sup>を作成した。本学で実施することもサイエンス体験講座(小学校4~6年生対象の実験講座)、オープンキャンパス模擬授業やサイエンス体験講座(高校生対象の実験授業)、さらに高校への訪問授業や出前授業等で、著者の担当する講座や授業に参加した小学生、高校生、さらに引率の保護者、理科教員等にも無償で配布し、学校現場におけるマイクロスケール実験の普及活動に努めている。

酸とアルカリ(塩基)の中でも、水溶液の液性(酸性、中性、アルカリ性(塩基性))に関しては、小学校理科第6学年の「水溶液の性質」<sup>17)</sup>、中学校理科第1分野の「酸・アルカリ」<sup>18)</sup>や、高校化学基礎の「酸・塩基と中和」<sup>19)</sup>、高校化学の「電離平衡」<sup>20)</sup>で取り扱われる。さらに大学の分析化学でも、通常「弱酸・弱塩基水溶液中の水素イオン濃度」<sup>21,22)</sup>が取り扱われる。このように、水溶液の液性の識別に関しては、小学校・中学校理科、高校化学基礎、さらには大学の分析化学まで継続的、発展的に扱われる教材である。それゆえ、これに関する実験教材の開発や授業実践は、校種を超えた理科教育の視点からも興味深い。

水溶液の液性の識別に関する児童・生徒実験を行う場合、校種に係らず試薬調製や廃液処理に経費や時間を要する。また、通常45分(小学校)や50分(中学校、高等学校)の授業時間内で実施するのも困難である。これらの問題を解決するには、教材のマイクロスケール化を図ればよい。

荻野らは、従来の試験管に代わりに12穴ウェルプレートを用いた酸塩基に関するマイクロスケール実験教材を開発した<sup>23)</sup>。これによると、ごく少量の水溶液で迅速かつ簡便に水溶液の液性を識別できる。このように、荻野らの手法は、大変有用である。しかし、小学校理科の授業で扱う場合、以下のような問題がある。

第一に、小学生にとって実験操作が困難であり、時間を要することが予想される。12穴ウェルプレートはセル数が多いため、誤って別のセルに試薬を加える可能性も考えられる。

第二に、酸塩基指示薬としてメチルオレンジやフェノールフタレインを利用する際の安全上の問題がある。メチルオレンジやフェノールフタレインには毒性がある。小学生が扱う際には、できる限り安全性の高い指示薬や試薬を用いる必要がある。

著者は、高等学校化学で実践したブドウ(巨峰)の果皮を用いた水溶液の液性の識別教

材<sup>24, 25)</sup>および小学生向けの液性の識別教材<sup>26)</sup>をもとに, 小学生や理科を専門としない小学校教員が, 取り扱いやすかつ安全な水溶液の酸性, 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開発・改良を試みた. さらに, 小学生を対象とした授業実践も行ったので, 報告する.

## 2 実験

### 2-1 試料, 試薬と器具

アントシアニンを抽出する試料として, 市販の巨峰の果皮を用いた.

酸性, 中性, アルカリ性を識別する試薬として, レモン水 (市販のポッカレモン), 0.1 mol/L 砂糖 (ショ糖) 水, 飽和重曹 (炭酸水素ナトリウム) 水溶液, 酢 (食酢), 0.1 mol/L 食塩水 (塩化ナトリウム水溶液), 0.1 mol/L アンモニア水を用いた. それぞれの水溶液はすべて当研究室で実験を実施する直前に調製し, 容量 20 mL の点眼びんに入れて保存した<sup>27)</sup>.

器具として, 6 穴ウェルプレート (細胞培養プレート, セルプレート), 茶こし, 割り箸, ポット, 円形ろ紙, 安全メガネ, キムワイプ, パット, 雑巾を用いた.

### 2-2 方法

#### 2-2-1 アントシアニンの抽出

まず, 水洗いした巨峰 4~5 粒分の果皮を剥き, 200 mL のビーカーに入れた. 続いて, 熱湯を全体量が約 150 mL になるように加え, 図 1(a)に示すように, 割り箸でよく攪拌した. 全体が紫色に染まった後, 茶こしを用いて果皮を除去した. これより, 図 1(b)に示すアントシアニン抽出液を得た.

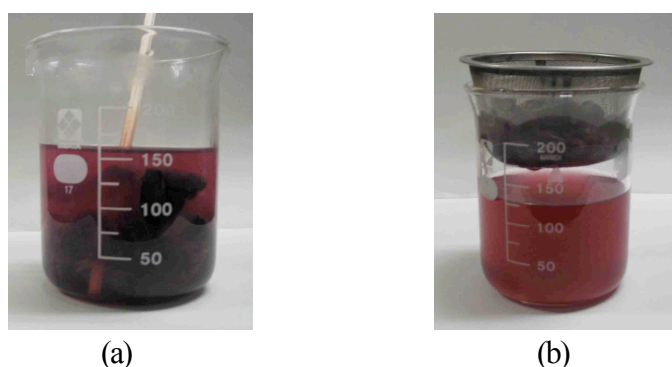


図1 アントシアニン抽出液の調製

(a)アントシアニンの抽出 (b)ろ過によるブドウ果皮の除去

#### 2-2-2 水溶液の配置

図 2 に示すように, 6 穴ウェルプレートのセル 1 にはレモン水, セル 2 には砂糖水, セル 3 には重曹水, セル 4 には酢, セル 5 には食塩水, セル 6 にはアンモニア水を, それぞ

れ約10滴(0.3 mL)ずつ加えた。

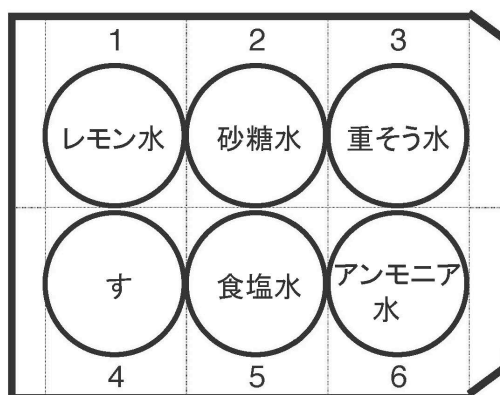


図2 6穴ウェルプレートと水溶液の配置

### 2-2-3 ブドウ果皮抽出液の添加

それぞれのセルに、ブドウ果皮抽出液を、セルの深さの4分の1程度まで加えた。ウェルプレートを前後左右に軽く揺った後、色調の変化を観察した。

### 2-2-4 「ブドウ試験紙」の作成とその使用

アントシアニン抽出液は、腐敗しやすいので、実験を行う直前に調製する必要がある。冷蔵庫などの冷暗所で保管しても、2日程度で腐敗してしまう。そこで、長期使用できるように、「ブドウ試験紙」<sup>28)</sup>の作成を試みた。

まず、パットに円形ろ紙を置いた。その上からアントシアニン抽出液を加え、アントシアニンを1時間程放置し、図3に示すように、ろ紙にアントシアニンを十分含浸させた。余剰の抽出液を捨て、一昼夜ろ紙を自然乾燥させ、適当な大きさに切断し、図4に示すような「ブドウ試験紙」を作成した。



図3 ブドウ試験紙の作成過程

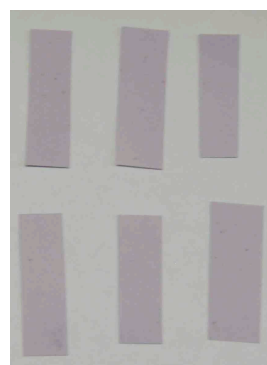


図4 作成したブドウ試験紙

ブドウ試験紙の片方に、レモン水、砂糖水、重曹水、食酢、食塩水、アンモニア水を、それぞれ約1滴ずつ添加し、色調の変化を観察した。

### 2-2-5 実験時の注意事項

本実験で用いた水溶液や指示薬は、アンモニア水を除き、全て食品に由来する。それゆえ、実験時の安全性は十分に保証されている。しかし、誤操作により目に試薬が入るのを防ぐため、実験時には常時安全ゴーグル（保護眼鏡）を着用した。

## 3 授業実践（こどもサイエンス体験講座）

本教材を用いた授業実践を、神戸女学院大学人間科学部環境・バイオサイエンス学科主催の第11回こどもサイエンス体験講座「ぶどうの皮に含まれる色素を使って水溶液のなかま分けをしよう」の講師として実施した。

2014年11月1日、著者の勤務する神戸女学院大学の理学館実験室で、受講希望者多数のため、同一内容の講座を午前の部（10:00-12:00）と午後の部（13:30-15:30）に分けて行った。対象は小学生4~6年生（保護者同伴）で、本講座に参加した児童は午前の部が18名、午後の部が12名であった。実験は、児童2人1組で実施し、同伴の保護者は原則見学のみとした。参加者には、図5に示す実験結果を記録するワークシートと小学生向けの参考資料<sup>26)</sup>、および図6に示すアンケート用紙を配布した。

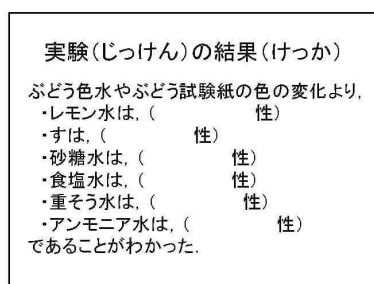
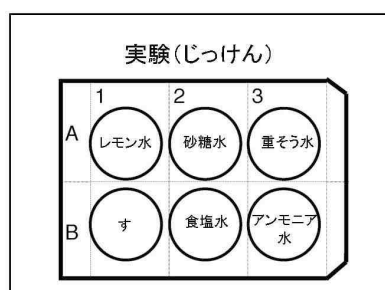


図5 こどもサイエンス体験講座  
ワークシート（一部）

こどもサイエンス体験教室に出席して

- (1) 小学校の学年はどれですか（ア、イ、ウ、エのどれかに○をしてください）。  
ア、4年、イ、5年、ウ、6年、エ、その他（ ）年
- (2) きょうの実験は、どうでしたか（ア、イ、ウ、エ、オのどれかに○をしてください）。  
ア、とても楽しかった、イ、楽しかった、ウ、ふつう、エ、あまり楽しなかった、オ、まったく楽しなかった
- (3) ぶどうの皮を使うと、水よう液を酸性、中性、アルカリ性になかまわけることが、わかりましたか（ア、イ、ウ、エ、オのどれかに○をしてください）。  
ア、とてもよくわかった、イ、よくわかった、ウ、わかった、エ、あまりわからなかった、オ、まったくわからなかった
- (4) 実験して思ったこと、考えたこと、感じたことを書いてください。

図6 アンケート用紙  
(こどもサイエンス体験講座用)

本講座で扱った内容は、ブドウ（巨峰）の果皮からアントシアニン抽出液を調製する操作およびこれを用いた各種水溶液の液性の識別，さらに，予め著者が作成したブドウ試験紙を用いた各種水溶液の液性の識別である．実験結果をワークシートのウェルプレート内のセルに色鉛筆で着色させ，これに基づき水溶液の液性を判別させた．

実験終了後，アンケート用紙への回答を求めた．

## 4 結果と考察

### 4-1 教材開発

#### 4-1-1 ブドウ果皮抽出液の色調変化と水溶液の液性識別

各セルに水溶液を加え，さらにブドウ果皮抽出液を加えた結果を，図 7(a)に示す．ブドウ果皮抽出液は調製当初紫色を示したが，レモン水や食酢に加えると赤色に，重曹水やアンモニア水に加えると緑色に変化した．一方，砂糖水と食塩水に加えても紫色のまま，色調変化は認められなかった．アントシアニンは，酸性では赤色，中性では紫色，アルカリ性（塩基性）では青緑色や緑色を示す．よって，レモン水と酢は酸性，重曹水とアンモニア水はアルカリ性（塩基性），砂糖水と食塩水は中性と，それぞれの液性を容易に識別できた．

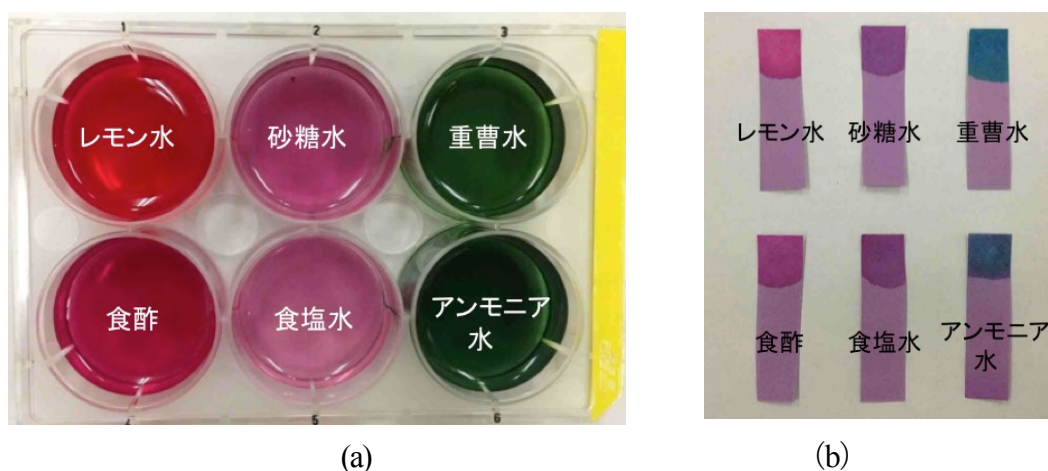


図7 マイクロスケール実験の結果

(a) 6穴ウェルプレート

(b) ブドウ試験紙

#### 4-1-2 マイクロスケール実験と通常実験との比較

著者が提案したマイクロスケール実験の方法を，従来の通常実験の方法と比較した．通常実験は，水溶液を約3 mL ずつ試験管に入れ，上からブドウ果皮抽出液を約3 mL ずつ加えて実施した．

今回著者が提案した方法では，使用した水溶液の量が通常実験の10分の1に減少した．

それにも関わらず、通常実験と遜色ない結果が得られた。これより、マイクロスケール実験の長所を生かした本教材の有用性が認められた。

#### 4-1-3 ブドウ試験紙の色調変化

ブドウ試験紙の片方に水溶液を、それぞれ約1滴ずつ添加した結果を、図7(b)に示す。これより、レモン水と食酢は赤色、重曹水とアンモニア水は緑色を呈した。一方、砂糖水と食塩水は紫色のままであった。ブドウ試験紙の色調変化より、レモン水と酢は酸性、重曹水とアンモニア水はアルカリ性(塩基性)、砂糖水と食塩水は中性と、それぞれの液性を識別できた。

### 4-2 授業実践

#### 4-2-1 参加者の様子

こどもサイエンス体験講座に参加したいずれの児童も、著者の説明に従い、終始真剣に実験に取り組んだ。

ウェルプレートの各セルに水溶液を加え、さらにブドウ果皮抽出液を加えた際、レモン水と酢は赤色、重曹水とアンモニア水は緑色に変化したのを観察して、「すごい」、「おもしろい」、「きれい」などの歓声があがった。

どの児童も所定の時間内に、実験を終えることができた。実験結果をセルプレートの図中のセルに色鉛筆で着色する作業にもきちんと取り組み、参加者全員が6種類の水溶液の液性を正確に識別できた。

#### 4-2-2 アンケート結果

こどもサイエンス体験講座に参加した児童のアンケート結果を表1に示す。

表1 アンケート結果

問	ア	イ	ウ	エ	オ	無答	合計
1	16	9	4	1*		0	30名
	53	30	13	3		0	100%
2	23	5	2	0	0	0	30名
	77	17	6	0	0	0	100%
3	20	8	1	1	0	0	30名
	67	27	3	3	0	0	100%

(上段は人数、下段は割合%を示す。\*は2年生。)

質問4の実験に対する意見や感想のうち、主なものを以下に記す。

- ・ぶどうの色素で水溶液の性質を酸性、中性、アルカリ性にわけることができておもしろかった(5年)。

- ・ 身近な物を使って水溶液の性質を調べるのがおもしろかった (6年) .
- ・ 説明ややりかたがとても分かりやすかったです. おかげでとても楽しく勉強になりました (4年) .
- ・ わたしはもともと理科が好きなのでサイエンス教室に出席しました. 酸性や中性, アルカリ性のことを知って, 6年生の授業が楽しみです (4年) .
- ・ 水溶液の実験はしたことがあったけれど, ぶどうの皮を使って実験をしたことがなかったので, より楽しくできました. そして, 今日やった実験を家でもやりたいです (6年) .
- ・ 自由研究にムラサキキャベツでの実験をしたことがありますが, ぶどうの色素 (アントシアニン) を使った方が分かりやすいと思いました (5年) .

授業実践のアンケート結果から, つぎのような傾向が読み取れる.

参加者の56%が, 4年生以下であった (\*の1名は2年生) . つまり, 授業実践の対象児童の大半が, 水溶液の液性や指示薬に関する知見を持たない. そこで, これらに関する平易な説明を加え, リトマス試験紙も併用して, 実験内容が理解できるよう配慮した.

つぎに, 実験に対する好感度 (質問2) に関しては, 94%の児童が, 「とても楽しかった, または楽しかった」と回答した. 実験に対する理解度 (質問3) に関しても, 94%の児童が, 「とてもよくわかった, またはよくわかった」と回答した. これより, 多くの児童が, 未履修事項であるにもかかわらず, 楽しく取り組み, ある程度の内容理解も伴ったものと推察できる. 自由記述欄 (質問4) でも, 上述の通り, 今回の実験を評価する肯定的な意見や感想が多く寄せられた.

このように, 授業に参加した児童の大部分から授業実践に対する肯定的な回答が得られ, 成果が認められた. 理科を専門としない小学校教員にとっても, 手軽に授業で取扱いやすい教材であることは自明である. 実際の小学校の理科授業においても, 本教材の活用が期待できる.

ただ, ブドウ (巨峰) は7~10月の間しか入手できず, ウェルプレート の価格も, 1枚あたり300円程かかり, クラスの児童数だけ購入するとすれば, 費用もかさむ<sup>29)</sup>. 小学校理科教材として普及を図るために, 今後検討しなければならない課題である.

本研究は, JSPS 科研費 24501072 および 17K00991 の助成を受けたものである. 本研究を推進するにあたり, 実験の準備にご尽力いただいた, 神戸女学院大学嘱託教学職員 野出絵里氏に感謝する.

## 文献と註

- 1) スモールスケール実験ともいう. かつて, ミクロスケール実験やセミマイクロ実験と呼ばれたこともある.
- 2) 日本化学会編 (荻野和子主査), 『マイクロスケール化学実験』, 日本化学会, 2003年.



- 3) M. M. Singh, R. M. Pike, and Z. Szafran, "Microscale and Selected Macroscale Experiments for General and Advanced General Chemistry," John Wiley & Sons Inc., New York, 1995.
- 4) J. Skinner, "Microscale Chemistry," Royal Society of Chemistry, London, 1997.
- 5) 芝原寛泰, 佐藤美子, 『マイクロスケール実験』, オーム社, 2011年.
- 6) 荻野和子, 「マイクロスケール実験の広場」へのお誘い, 化学と教育, 49巻2号, 2001年, 110頁.
- 7) 荻野和子, 「マイクロスケール化学実験は楽しい」, 化学と工業, 61巻4号, 2007年, 448-449頁.
- 8) 中川徹夫(代表), 「理科を専門としない教員のための水溶液に関する指導資料の開発」, 科学研究費基盤研究(C), 課題番号 16500539.
- 9) 中川徹夫(代表), 「小学校・中学校理科におけるマイクロスケール実験教材の開発」, 科学研究費基盤研究(C), 課題番号 18500539.
- 10) 中川徹夫(代表), 「理科に対する学習意欲を向上させるマイクロスケール実験教材の開発と改良」, 科学研究費基盤研究(C), 課題番号 20500748.
- 11) 中川徹夫(代表), 「持続可能な開発のための教育を推進させるマイクロスケール実験教材の開発と改良」, 科学研究費基盤研究(C), 課題番号 24501072.
- 12) Tetsuo Nakagawa, "Microscale Experiments on Determining Densities of Ethanol-Water Mixtures," *La Chimica nella Scuola*, Vol. 34, No. 3, 2012, pp. 247-252.
- 13) Tetsuo Nakagawa, "Microscale Experiment on Decreases in Volume When Forming Binary Liquid Mixtures: Four Alkanol Aqueous Solutions," *Chemistry Education and Sustainability in the Global Age*, Springer, Dordrecht, 2013, pp. 335-346.
- 14) 中川徹夫, 「マイクロスケール実験による電池教材の開発・改良と授業実践」, 教材学研究, 第26巻, 2015年, 69-76頁.
- 15) 中川徹夫, 「マイクロスケール実験シート—小学校から中学校, 高等学校, 大学まで幅広い校種で活用できる魅力的な教材—」, 神戸女学院大学, 2013年.
- 16) 中川徹夫, 「マイクロスケール実験シート(改訂版)—小学校から中学校, 高等学校, 大学まで幅広い校種で活用できる魅力的な教材—」, 神戸女学院大学, 2017年.
- 17) 文部科学省, 「水溶液の性質」, 『小学校学習指導要領解説 理科編』, 大日本図書, 2008年, 57-58頁.
- 18) 文部科学省, 「化学変化とイオン」, 『中学校学習指導要領解説 理科編』, 大日本図書, 2008年, 48-52頁.
- 19) 文部科学省, 「物質の変化」, 『高等学校学習指導要領 理科編 理数編』, 実教出版, 2009年, 56-58頁.
- 20) 文部科学省, 「物質の変化と平衡」, 『高等学校学習指導要領 理科編 理数編』, 実教出版, 2009年, 64-66頁.
- 21) 黒田六郎, 杉谷嘉則, 渋川雅美, 『分析化学』, 改訂版, 裳華房, 2004年, 129-141頁.
- 22) 姫野貞之, 市村彰男, 『溶液内イオン平衡に基づく分析化学』, 第2版, 化学同人, 2009年, 31-90頁.

- 23) 荻野和子, 田嶋智子, 東海林恵子, 金和宏, 「酸塩基に関するいくつかのスモールスケール実験」, 化学と教育, 49 巻 6 号, 2001 年, 348-349 頁.
- 24) 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 巻 9 号, 1996 年, 616 頁.
- 25) Tetsuo Nakagawa, “Acid-base indicator extracted from grape peel,” *School Science Review*, Vol. 79, No. 8, 1997, p. 108.
- 26) 中川徹夫, 「実験「ぶどうの皮から取り出した色水で水溶液の酸性, 中性, アルカリ性をしらべよう」」, 化学だいすきクラブだより, 4 号, 2005 年, 7-8 頁.
- 27) 小学校の現場では, 水溶液をビーカーに入れて理科室の教卓に置き, 児童が試験管を持って試薬を取りに行く光景を目にすることがある. しかし, これは時間を要する上に, 誤って別の試薬を持ち帰る児童もあるので, 極力避けたい.
- 28) これは正式な科学用語ではなく, 著者による造語である. リトマス試験紙に倣いこのように命名した.
- 29) ビーエム機器株式会社からは, TPP 社製の 6 穴ウェルプレート (細胞培養プレート) が 42 枚入 12,600 円 (1 枚当たり 300 円) で販売されている (消費税含まず). 耐酸性, 耐アルカリ性で, 上限 60°C まで使用できる.  
<https://www.bmbio.com/product/tabid73.html?pdid1=92106> (2018 年 2 月アクセス)