# 緩衝液を用いた水溶液の液性を調べる教材実験

## ーマイクロ実験セットの紹介と授業実践ー

芝原寛泰[1)]，佐藤美子[2)]

1）京都教育大学理学科　shiba@kyokyo-u.ac.jp

2）神戸大学附属中等教育学校　hilltop@mba.nifty.ne.jp

**キーワード：マイクロスケール実験，水溶液の液性，マイクロ実験キット，身近な水溶液**

（受付：2010 年 1 月 16 日）

### Ⅰ．はじめに

米国の大学で研究環境の整備をきっかけにして，1980 年頃から始まった，スモールスケール実験，あるはマイクロスケール実験の研究は，環境問題に配慮した化学である“グリーン・サステイナブルケミストリー（GSC）”の実践として注目されている（Anastas ほか，2001；佐藤ほか，2009）。

マイクロスケール実験の特徴（日本化学会，2003；荻野ほか，2005）として　1）従来の実験器具よりスケールを小さくする，2）試薬と経費の節減，3）実験廃棄物の少量化，4）試薬が少量で危険が少なく事故防止に役立つ，5）実験操作の単純化に伴う実験時間の短縮，6）1～2 人の個別実験が可能で達成感が得られる，7）理科実験室でなく通常の教室でも実施が可能，8)実験の準備・後片付けが楽である　などがあげられる。さらに小学校では化学実験に苦手意識をもつ教員でも指導・実施が容易である。GSC の考え方を学校現場の理科実験に反映させることができるのが，マイクロスケール実験である。

マイクロスケール実験は，世界的にみれば，小学校から高校の理科実験また大学の教養実験に至るまで，教育現場においても普及が進んでいる。一方，日本では実験の開発例や教材キットあるいは実践例も報告（京都マイクロスケール実験研究会，2007）されているが，学校現場ではマイクロスケール実験はまだ普及していない。

平成 20 年度発行の「中学校学習指導要領解説（理科編）」（文部科学省，2008）および「高等学校学習指導要領解説（理科編）」（文部科学省，2009）では，「使用する薬品の量をできるだけ少なくしたマイクロスケール実験を行うことも考えられる」という記述があるように，環境問題を意識した理科実験としてマイクロスケール実験が紹介されている。

ここでは，小学校理科，中学校理科，高校化学のいずれにおいても，スパイラル式に登場する「水溶液の液性」のマイクロスケール実験について紹介する。

教材会社ケニス K.K より販売されている“マイクロ実験キット（水溶液の実験）”を使った授業実践も紹介する（理科実験カタログ，2009）。

### Ⅱ．水溶液の学習について

水溶液の液性，すなわち酸性・中性・アルカリ性（塩基性）を調べる指示薬には，一般に小学校理科ではリトマス試験紙，発展的に BTB 溶液などが使われ，中学校理科ではさらにフェノールフタレイン溶液が登場する。身近な物質で指示薬になるものとして，紫キ

ャベツの色素（アントシアニン）もよく使われる。中学校理科では，酸性とアルカリ性の水溶液を混ぜると中和反応がおこり塩と水が生成すること，さらに,塩には電解質と非電解質があること　も実験から学習する（坂東ほか，2007)。また，小学校では,「金属を変化させる水溶液」として塩酸とマグネシウムリボンを用いて水素を発生させる実験がある。これらをマイクロスケール実験として，セルプレートの中で行えば，発生の様子を観察できる。また長さ5cmのミニ試験管を2本使って水素の爆発実験を安全に行うこともできる。水溶液の実験は，中和反応で塩ができる実験を含めると中学校理科の内容となる。

平成20年に改訂された中学校学習指導要領では，イオンの学習の復活により，イオンのモデルと関連づけて学習することが記載されている。ここでは水溶液の液性の実験により，水素イオン $H^+$および水酸化物イオン $OH^-$の存在と働きを学習する。イオンの移動実験では，この水素イオン $H^+$および水酸化物イオン $OH^-$と指示薬の反応により，イオンが電場により移動する実験が紹介されている（芝原，2006，2009)。

高校化学では，水素イオン濃度と pH の関係，さらに中和反応を定量的にとらえ，中和滴定へと学習が発展する。化学平衡の学習では，緩衝液の性質も取り上げ，身近にある緩衝液の例として血液やスポーツドリンクなども紹介されている。

このように，水溶液の液性に関連した学習は，小学校から段階的に学習を深めており，中学校さらに高校化学の学習内容につながっていく。

## Ⅲ．水溶液の液性を調べる実験について

本実験の特徴として，緩衝液を用いて色変化の指標をつくり，それを基に典型的な酸性，中性，アルカリ性の水溶液の指示薬の色変化を確かめる。さらに指示薬も身近な溶液から探し出し，家庭にある身近な水溶液の分類も行う。教科書に記載されている色の表現にこだわらず，自分でつくった指標をもとに，自分の目で確かめながら溶液の液性を判定することが重要である。すなわち実験で得たマイ指標，マイ指示薬をもとに，身近な水溶液を調べ分類することになり，指導方法を工夫すれば探究的な授業展開となる。

授業で配布するワークシートは，末尾に添付するが，小学校，中学校，高校によりその説明表現は異なる。その中で共通する実験操作について説明する。

### 1．紫キャベツのしぼり汁のつくり方

指示薬として利用するムラサキキャベツを冷凍し，その一片をビニール袋に入れて揉むと，濃厚なしぼり汁が得られる。しぼり汁は腐敗しやすいが冷凍保存するといつでも使えるので便利である。ムラサキキャベツ液の変色域は中性付近で幅がひろく，酸性側の赤紫とアルカリ性側の青色との区別が明瞭でない。この時，BTB 溶液を併用すると明確に分類できる。BTB 溶液は小学校理科では発展的な扱いになるが，中学校理科への展開を考慮すると使用したい指示薬である。

紫キャベツには，アントシアニンの色素が含まれ，液性により異なる色（酸性ではうすい赤色～赤色，中性では紫色，アルカリ性では青色から緑色・黄色）を示す。同様に紫イモパウダーを水に溶かしても指示薬になる。中性付近のアントシアニンの紫色の変化は，空気中の二酸化炭素が水に溶けこみ，液性が酸性になるため明確でなく，また紫キャベツのしぼり汁自体も弱酸性で，滴下量が多くなると中性付近での液性の比較は困難になる。指示薬の他の例として，タンニンを含む紅茶は，アルカリ性では茶色が濃くなり，酸性の

液では薄くなる。焼きそばの麺に，ターメリック（うこん）の粉末をいれると，アルカリ性のかんすいのため麺は赤色になり，紫キャベツのしぼり汁では緑色になる。果実のジュースやスポーツドリンクには，クエン酸が含まれ酸性（pH3～5）を，トイレ洗浄剤などは Ca 化合物を溶かすための塩酸を含むので強い酸性（pH2）を，一方パイプ洗浄剤はタンパク質を溶かすための水酸化ナトリウムを含むので強いアルカリ性（pH13）を示す。また重曹は炭酸水素ナトリウムが主成分で弱アルカリ性（pH8）を，植物の灰汁はカリウム化合物等を含みアルカリ性（pH10）を示す。

## 2. 水溶液の分類

水溶液の分類（酸性，アルカリ性，中性）と指示薬の使い方，および身近な水溶液の性質に関する実験は，24 セルプレートを使用する。実験例を図 1 に示す。溶液の滴下には，点眼びん（容量 10ml），投薬びん（容量 30ml）を用いると便利であるが，少量のときはポリスポイトに入れ，先を熱で封じて準備することも可能である。身近な水溶液として，レモン果汁，炭酸水，カビとり洗浄剤などを準備する。身近な水溶液の中で，液の色が濃厚で指示薬の色の変化がわからない場合は，十分に希釈することも必要である。

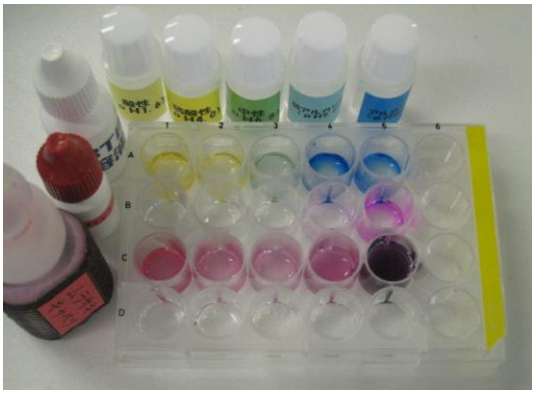


**図 1　24 セルを用いた水溶液の実験例**

## 3. 実験を通して pH を学ぶ

高校化学では，実験を通して pH の定義とその使い方を確かめることも可能である。「物質の変化」における「酸と塩基」の単元に含まれる「水の電離と pH」は，「酸と塩基の性質」と「中和反応と塩」を繋ぐ学習となる。pH は，水素イオン濃度と酸・塩基の強弱について理解し，その指標として扱う。しかし，対数について未学習の段階では，厳密な定義はできない。この様な状況を踏まえて，授業では実験を通して身近な物質の pH 値を調べることで，pH 値の意味を理解する。次に，実験を通して pH を学ぶ方法を記す。

実験には横 1 行のセルモジュール（14 個のセルを含む）を用いる。pH=1～6 溶液の調整のため，左端（番号 1）のセルに 0.1mol/L 塩酸をパスツールピペット（以下ピペット）で 10 滴入れる。さらに番号 1 のセルからピペットで 1 滴とり，2 のセルに入れる。2 のセルに水を 9 滴加えてピペットでよく混ぜる。同様に 2 のセルから 3 のセルを，3 のセルから 4 のセルを・・の順に 6 のセルまでそれぞれ 10 倍に薄めた溶液をつくる。最後に 6 のセルの 1 滴を捨てる。7 のセルにピペットで水を 9 滴入れ，pH=7 の溶液とする。pH=13～8 溶液の調整のため，台紙上の番号 13 のセルに 0.1mol/L 水酸化ナトリウムをピペットで 10 滴入れる。13 のセルからピペットで 1 滴とり，12 のセルに入れる。12 のセルに水

を 9 滴加えてピペットでよく混ぜる。同様に 12 のセルから 11 のセルを，11 のセルから 10 のセルを・・の順に 8 のセルまでそれぞれ 10 倍に薄めた溶液をつくる。最後に 8 のセルの 1 滴を捨てる。このようにして調整した水溶液に，紫キャベツのしぼり汁を加えたのが図 2 である。この実験により，pH の値が 1 だけ変化しても，濃度は 10 倍に変化することを実験により学ぶことができる。図 2 は，色変化の指標としても使えるが，空気中の二酸化炭素の吸収により，徐々に酸性化することに注意が必要である。




**図 2　pH1～pH13 までの紫キャベツによる色変化**

## Ⅳ．マイクロ実験セットについて

ケニス K.K から販売されている「マイクロ実験セット（水溶液の性質）」について以下に紹介する。実験セットには，指標をつくるために標準緩衝液として，次の 5 種類が含まれている（図 3）。

| | | |
|---|---|---|
| 酸性 | pH 1 | (pH 1.68) |
| 弱酸性 | pH 4 | (pH 4.01) |
| 中性 | pH 7 | (pH 6.86) |
| 弱アルカリ性 | pH 9 | (pH 9.18) |
| アルカリ性 | pH 10 | (pH 10.02) |

また容器として，24 セルプレートを用い，指示薬としては点眼ビンに入れた BTB 溶液が提供されている。これ以外に，フェノールフタレイン溶液，紫キャベツの絞り汁，紫イモパウダー溶液などを準備すれば，応用が拡がる。個別実験のための 4 人用が 1 セットになっている。セルプレート，緩衝液などは，消耗品として追加，補充することもできる。



**図 3　マイクロ実験セット**
**－水溶液の性質－**
**（ケニスのカタログより）**

## Ⅴ．授業実践

図 4 は，京都府福知山市立中六人部小学校で行った，数種類の身近な水溶液を調べる授業の様子である。安全めがねをつけ，個別実験による探究的な授業展開に取り組んでいる。図 5 は，神戸大学附属中等教育学校において実施した際の，生徒のワークシートの記録と実験の様子である。セルプレートに入れる水溶液，指示薬を記録していることがわかる。

## Ⅵ．まとめ

マイクロスケール実験では，試薬の量が少なくなることから，結果の誤差が大きくなり，定量実験は難しいとされていたが，マイクロスケール化したプラスチック製の実験器具を

使用しても，中和滴定実験では十分な精度が確認されている（坂東ほか，2007）。また，プラスチック製のため，器具を破損することもなく，安価で実験ができる。従来と同じ実験内容であっても，さらに操作は簡略化されているため，時間内に何度も実験が可能である。操作に慣れ，短時間にスムーズに個別で実験を行うことで，今まで以上に考察時間が確保でき，水溶液の性質を調べる実験や中和反応に関する学習を深めることが期待できる。紹介した「マイクロ実験セット」は、小学校から高校まで授業展開を工夫すれば，幅広く使える。今後は，さらに実践的研究を積極的に行い，その教育効果を検証していく必要がある。

## 文献


Anastas P.T.ほか　2000. 日本化学会ほか訳編，グリーンケミストリー. 124pp.，丸善.

坂東 舞・芝原寛泰　2007. 中学校理科における中和反応のマイクロスケール実験. 理科の教育，659，62-65.

京都マイクロスケール実験研究会　2007 の Web ページ, http://natsci.kyokyo-u.ac.jp/~shiba/html-KMSchem/index.html

文部科学省，2008，中学校学習指導要領解説　理科編，149 pp.

文部科学省，2009，高等学校学習指導要領解説　理科編，150 pp.

日本化学会編　2003. マイクロスケール実験の広場，45pp.

荻野 博・荻野和子・猪俣慎二　2005. 新しい教育法―マイクロスケール化学の現状と課題. 放送大学研究年報，23，89-95.

理科実験カタログ No.820，2009，マイクロ実験セット（水溶液の性質），p.494. ケニス K.K.

佐藤美子・芝原寛泰　2009. 環境に優しい理科教育実験 - 中学校理科におけるマイクロスケール実験の実践例 - ，京都教育大学環境教育研究年報，17，15-27.

芝原寛泰　2006. 中学理科におけるマイクロスケール実験の活用. 中学理科通信 2006 秋号，教育出版，8-16.

芝原寛泰　2009. 中学理科における「イオン」の学習のためのマイクロスケール実験. 中学理科通信 2009 秋号，教育出版，12-15.



本研究は科研費（基礎研究 C 課題番号 20500753，代表者　芝原寛泰）により実施された。

**付録　水溶液の実験の実験プリント**

## 水溶液の実験

水溶液は，化学的性質に注目すると，酸性，中性，塩基性（水に溶ける場合はアルカリ性）の液性に分類される。水溶液を分類するためには指示薬が必要である。液性の判定は指示薬の色変化で行う。そこで，まず，判定の基準になる色変化の「指標」を作る。

少量の酸や塩基を加えても，また，時間が経って空気中の二酸化炭素が水溶液に溶けても，水素イオン濃度の急激な変化がおさえられるようにつくられた「緩衝液」を用いる。各自で，緩衝液による各指示薬の色変化の「指標」をつくる。この色変化を示す指標を用いて，いろいろな水溶液の液性すなわち，強酸，弱酸，中性，弱塩基（弱アルカリ性），強塩基（強アルカリ性）を判定していく。

扱う試薬は，塩酸，塩化ナトリウム水溶液（食塩水），水酸化ナトリウム水溶液である。また身近にある水溶液（セッケン水，トイレ洗浄剤，レモン水，灰汁など）の液性も調べることができる。

指示薬として，BTB 溶液，フェノールフタレイン溶液，ムラサキキャベツ液を用いる。「My 指示薬」として，身近な物質で指示薬として使える水溶液を探す。

### 1）準備

指示薬として使うムラサキキャベツの絞り汁をつくる。絞り汁は投薬ビンにいれる。指標をつくるのに使う標準緩衝液は次の５種類を用いる。

| | | |
|---|---|---|
| 酸性 | pH1 | (pH1.68) |
| 弱酸性 | pH4 | (pH4.01) |
| 中性 | pH7 | (pH6.86) |
| 弱アルカリ性 | pH9 | (pH9.18) |
| アルカリ性 | pH10 | (pH10.02) |

### 2）実験手順

**緩衝液を使い色変化の指標をつくる**

(1) 24 セルプレートの A1～D1，A2～D2，A3～D3，A4～D4，A5～D5 に，緩衝液 pH1，pH4，pH7，pH9，pH10 をそれぞれ 2～3 滴入れる。

(2) A1～A5 に BTB 溶液を 1 滴入れる。
B1～B5 にフェノールフタレイン溶液を 1 滴入れる。
C1～C5 にムラサキキャベツ液を色の変化が明確になるまで加える（2 滴）。
(D1～D5 には，My 指示薬として自分で選んだ指示薬をいれる。)

(3) 強酸から，弱酸，中性，弱塩基，強塩基までの指示薬の色の変化を観察する。

**指標を使い液性を調べる**

(4) 別の 24 セルプレートを用意する。

(5) A1，B1，C1 に塩酸を 2～3 滴入れる。

(6) A2，B2，C2 に食塩水を 2～3 滴入れる。

(7) A3，B3，C3 に水酸化ナトリウム水溶液を 2～3 滴入れる。
(8) A1，A2，A3 に BTB 溶液を 1 滴入れる。
B1，B2，B3 にフェノールフタレイン溶液を 1 滴入れる。
C1，C2，C3 にムラサキキャベツ液を色の変化が明確になるまで加える。
(9) 各セルの色の変化を観察し，その酸・塩基（アルカリ）の強さを推定する。

**身近な水溶液の液性を調べる**

(10) セルプレートの中で空いているセルを使い，身近な水溶液の液性を調べる。
使う指示薬の種類と入れるセルの場所を考えながら実験を行う。
（指示薬を加えた後，セルプレートを少しゆすって撹拌する）

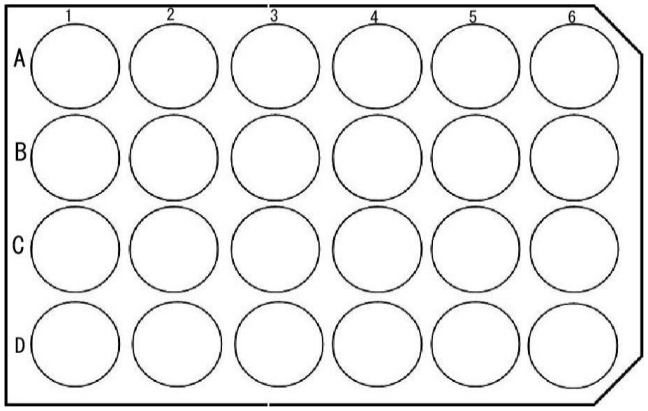
**緩衝液を使い色変化の指標をつくる**

pH 1　pH 4　pH 7　pH 9　pH 10

BTB
溶液
フェノール
フタレイン

ムラサキ
キャベツ

My 指示薬




**いろいろな水溶液／身近な水溶液を調べる**

0.1M　飽和　0.1M
HCl　食塩水　NaOH　（身近な水溶液）

適当な指示薬

