

中学校理科「水溶液とイオン」に関するマイクロスケール実験

—水溶液の電気伝導性および塩化銅の電気分解—

西村幸太・島田秀昭

Microscale Experiments for “Solutions and Ions” in Lower Secondary School Science

— Electric Conductivity of Solutions and Electrolysis of Copper Chloride —

Kota NISHIMURA and Hideaki SHIMADA

(Received October 3, 2011)

Microscale experiment is widely used in schools of the world because of its usefulness for teaching chemistry. The advantages of microscale experiments are low cost, safety, fast and environmentally friendly. In the present study, we attempted to produce inexpensive microscale teaching materials for electric conductivity of solutions and electrolysis of copper chloride used in lower secondary school science. The experimental conditions for developed microscale teaching materials were also investigated.

Key words : microscale experiment, electric conductivity, electrolysis, teaching material, experimental condition

はじめに

中学校理科第3学年の1分野「水溶液とイオン」では、「水溶液の電気伝導性」および「原子の成り立ちとイオン」について学習する。これらの項目における目標として学習指導要領には、それぞれ「水溶液に電流を流す実験を行い、水溶液には電流が流れるものと流れないものがあることを見いだすこと」および「電気分解の実験を行い、電極に物質が生成することからイオンの存在を知ること」と記述されている¹⁾。さらに、これらの目標を達成するための実験例として、「砂糖や食塩などの身近な物質の水溶液や、塩酸やうすい水酸化ナトリウム水溶液などに炭素電極を入れ、適切な電圧をかけ、水溶液には電流が流れるものと流れないものがあることを見いださせる実験」や「うすい塩酸や塩化銅水溶液などの電解質の水溶液を電気分解する実験」などが挙げられている¹⁾。「水溶液の電気伝導性」および「原子の成り立ちとイオン」は学習指導要領の改訂により新しく追加された内容であり、教科書の中で使用されている炭素電極およびステンレス電極はいずれも教材会社から入手することができる実験専用のものである。しかし、これら専用の実験器具は高価であり、予算の限られている学校現場においては負担が大きいものと思われる。また、教科書の記述に従って「電気伝導性」および「電気分解」の実験を行っ

た場合、劇物である塩化銅や酸・アルカリなどを含む実験廃液が多く排出されることになる^{2,3)}。

そこで本研究では、「電気伝導性」および「電気分解」の授業で用いる実験教材について、低予算で作製することができ、実験廃液も少なくすることができるようマイクロスケール化した教材の作製を試みた。さらに、作製した教材について最適な実験条件の設定を行った。

実験方法

1. 水溶液の電気伝導性

電極は市販の製図用ホルダー替芯 (HB, $\phi 2.0 \times 130$ mm) を 50 mm の長さにカットしたもの、またはステンレス釘 ($\phi 2.0 \times 38$ mm) を使用した (図1)。電源は電源装置 (NAKAMURA, PS5100N) またはアルカリ乾電池 (単三, 1個または2個直列) を使用し、電流の流れを確認する道具としては、電子メロディ、光電池用モーターおよび模型用モーターを使用した。試験溶液は、精製水、水道水、5% 砂糖水、5% エタノール水溶液、5% 食塩水、5% 塩酸および5% 水酸化ナトリウム水溶液を使用した。電源およびデジタルマルチメーターを接続した電極を各溶液 1.5 ml の入ったマイクロチューブ (2.0 ml, 図1) に浸した。浸した直後から1分間の電子メロディおよび各種モーターの作

動状態を観察し、電流を測定した。なお、モーターには回転が確認しやすいようにプロペラを取り付けた。すべての実験は3回ずつ繰り返し行い、データは平均±標準偏差で示した。

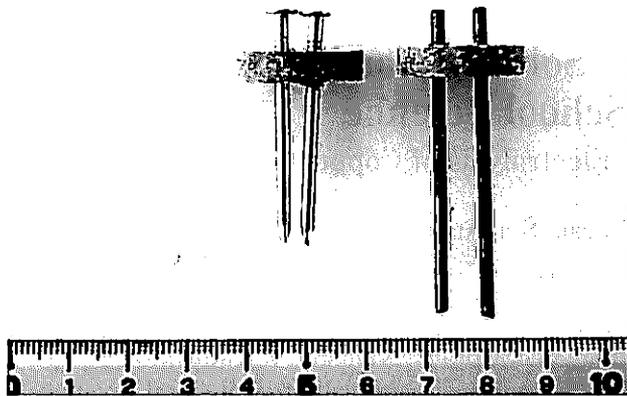


図1 マイクロスケール実験器具

2. 塩化銅水溶液の電気分解

電極はホルダー芯 (φ2.0 x 50 mm) またはステンレス釘 (φ2.0 x 38 mm) を使用し、電源は電源装置またはアルカリ乾電池を使用した。電源とデジタルマルチメーターを接続した電極を5% 塩化銅 (II) 水溶液 1.5 ml の入ったマイクロチューブ (2.0 ml) に浸した。浸した直後から1分間の電子メロディおよび各種モーターの作動状態を観察し、電流を測定した。また実験終了後、陽極における塩素臭と陰極における銅析出の有無の確認を行った。

結果と考察

1. 水溶液の電気伝導性実験

電源として電源装置 (3.0 V)、電極としてホルダー芯を用いたときの各溶液における電子メロディおよび各種モーターの作動状態について検討した (表1)。電子メロディでは、電解質溶液のみならず非電解質溶液でも作動が認められた。一方、光電池用モーターでは、水酸化ナトリウム水溶液のみ作動が認められ、他の電解質溶液である食塩水および塩酸では作動は見られなかった。模型用モーターでは、すべての溶液において作動は見られなかった。

電極としてステンレス釘を用いたときの各溶液における電子メロディおよび各種モーターの作動状態について検討した (表2)。電子メロディでは、電解質および非電解質すべての溶液において作動が認められた。一方、光電池用モーターおよび模型用モーターでは、試験したすべての電解質溶液において正常な作動が認められ、非電解質溶液では作動は見られなかった。

表1 各溶液における電子メロディおよび各種モーターの作動状態

溶液	作動状態 電流 (mA)		
	電子メロディ	光電池用モーター	模型用モーター
精製水	△ (△ △ △) 0.00±0.00	× (× × ×) 0.00±0.00	× (× × ×) 0.00±0.00
水道水	△ (△ △ △) 0.02±0.02	× (× × ×) 0.07±0.02	× (× × ×) 0.07±0.01
砂糖水	△ (△ △ △) 0.02±0.01	× (× × ×) 0.07±0.01	× (× × ×) 0.07±0.01
エタノール	△ (△ △ △) 0.00±0.00	× (× × ×) 0.00±0.01	× (× × ×) 0.00±0.00
食塩水	○ (○ ○ ○) 0.03±0.00	× (× × ×) 0.28±0.02	× (× × ×) 0.30±0.01
塩酸	◎ (◎ ◎ ◎) 0.10±0.02	× (× × ×) 2.66±0.34	× (× × ×) 4.35±0.16
水酸化ナトリウム	◎ (◎ ◎ ◎) 0.17±0.01	○ (○ ○ ○) 11.1±0.6	× (× × ×) 36.8±0.5

ホルダー芯: 電源装置。
電子メロディの場合: ◎, されいに鳴った: ○, ゆっくり鳴った: △, わずかに鳴った: ×, 鳴らなかった。
モーターの場合: ◎, 勢よく回った: ○, ゆっくり回った: △, 途中でとまった: ×, 回らなかった。

表2 各溶液における電子メロディおよび各種モーターの作動状態

溶液	作動状態 電流 (mA)		
	電子メロディ	光電池用モーター	模型用モーター
精製水	△ (△ △ △) 0.01±0.01	× (× × ×) 0.15±0.01	× (× × ×) 0.04±0.04
水道水	◎ (◎ ◎ ◎) 0.04±0.01	× (× × ×) 0.40±0.17	× (× × ×) 0.25±0.05
砂糖水	△ (△ △ △) 0.04±0.01	× (× × ×) 0.09±0.01	× (× × ×) 0.07±0.02
エタノール	△ (△ △ △) 0.00±0.00	× (× × ×) 0.00±0.00	× (× × ×) 0.00±0.00
食塩水	◎ (◎ ◎ ◎) 0.29±0.03	◎ (◎ ◎ ◎) 9.25±0.13	◎ (◎ ◎ ◎) 128.6±18.6
塩酸	◎ (◎ ◎ ◎) 0.46±0.02	◎ (◎ ◎ ◎) 11.7±0.2	◎ (◎ ◎ ◎) 349.0±15.2
水酸化ナトリウム	◎ (◎ ◎ ◎) 0.21±0.01	◎ (◎ ◎ ◎) 9.89±0.10	◎ (◎ ◎ ◎) 173.2±28.1

ステンレス釘: 電源装置。
電子メロディの場合: ◎, されいに鳴った: ○, ゆっくり鳴った: △, わずかに鳴った: ×, 鳴らなかった。
モーターの場合: ◎, 勢よく回った: ○, ゆっくり回った: △, 途中でとまった: ×, 回らなかった。

しかし、模型用モーターの場合、食塩水および塩酸では両極において激しく気泡が発生し、強い塩素臭を生じた。また、食塩水および水酸化ナトリウム水溶液では水酸化鉄 (II) とみられる緑白色沈殿が生成した。これはステンレス釘の成分である鉄がわずかに溶け出し、溶液中に存在する水酸化物イオンと反応して生じたものと考えられた。

以上の結果から、水溶液の電気伝導性の実験には、電極としてステンレス釘、電流を確認する道具として光電池用モーターを使用すると、強い塩素臭や沈殿を生じることなく、適切な実験結果が得られることがわ

かった。

電気伝導性の実験を個人あるいは二人一組程度の少人数で行うためには、数多くの実験装置が必要となる。そこで次に、電源装置の代わりに乾電池を用いて同様に実験を行った。電源としてアルカリ単三乾電池1個(1.5 V)、電極としてステンレス釘を用いたときの各溶液における電子メロディおよび各種モーターの作動状態を表3に示す。電子メロディでは、すべての溶液において作動が認められた。一方、光電池用モーターでは、塩酸においてのみ正常な作動が認められ、食塩水および水酸化ナトリウム水溶液では作動は見られなかった。模型用モーターでは、すべての溶液において作動は見られなかった。

表3 各溶液における電子メロディおよび各種モーターの作動状態

溶液	作動状態 電流 (mA)		
	電子メロディ	光電池用モーター	模型用モーター
精製水	△ (△ △ △) 0.00±0.00	× (× × ×) 0.00±0.00	× (× × ×) 0.00±0.00
水道水	△ (△ △ △) 0.00±0.00	× (× × ×) 0.05±0.01	× (× × ×) 0.05±0.01
砂糖水	△ (△ △ △) 0.00±0.00	× (× × ×) 0.06±0.01	× (× × ×) 0.06±0.01
エタノール	△ (△ △ △) 0.00±0.00	× (× × ×) 0.00±0.00	× (× × ×) 0.00±0.00
食塩水	◎ (◎ ◎ ◎) 0.05±0.01	× (× × ×) 5.58±1.28	× (× × ×) 4.03±1.37
塩酸	◎ (◎ ◎ ◎) 0.18±0.03	◎ (◎ ◎ ◎) 9.55±0.28	× (× × ×) 148.3±21.4
水酸化ナトリウム	○ (○ ○ ○) 0.02±0.00	× (× × ×) 0.47±0.05	× (× × ×) 2.12±0.72

ステンレス釘; 乾電池1個。
電子メロディの場合: ◎, きれいに鳴った; ○, ゆっくり鳴った; △, わずかに鳴った; ×, 鳴らなかった。
モーターの場合: ◎, 勢いよく回った; ○, ゆっくり回った; △, 途中でとまった; ×, 回らなかった。

次に、乾電池を2個直列に接続したときの各溶液における電子メロディおよび各種モーターの作動状態について検討した(表4)。電子メロディでは、すべての溶液において作動が認められた。一方、光電池用モーターおよび模型用モーターでは、電解質溶液においてのみ正常な作動が認められ、非電解質溶液では作動は見られなかった。しかし、模型用モーターの場合、食塩水および塩酸では両極において激しく気泡が発生し、強い塩素臭を生じた。さらに、食塩水および水酸化ナトリウム水溶液では、水酸化鉄(II)とみられる緑白色沈殿が生成した。

以上の結果から、電源装置の代わりにアルカリ乾電池を用いて実験を行う場合、乾電池を2個直列に接続し、電流を確認する道具として光電池用モーターを使用すれば安全で適切な実験結果を得られることがわかった。

表4 各溶液における電子メロディおよび各種モーターの作動状態

溶液	作動状態 電流 (mA)		
	電子メロディ	光電池用モーター	模型用モーター
精製水	△ (△ △ △) 0.00±0.00	× (× × ×) 0.12±0.17	× (× × ×) 0.09±0.06
水道水	◎ (◎ ◎ ◎) 0.10±0.02	× (× × ×) 0.46±0.02	× (× × ×) 0.42±0.02
砂糖水	◎ (◎ ◎ ◎) 0.14±0.03	× (× × ×) 0.61±0.11	× (× × ×) 0.53±0.09
エタノール	△ (△ △ △) 0.00±0.00	× (× × ×) 0.00±0.00	× (× × ×) 0.00±0.00
食塩水	◎ (◎ ◎ ◎) 0.23±0.01	◎ (◎ ◎ ◎) 10.1±0.3	◎ (◎ ◎ ◎) 158.1±8.4
塩酸	◎ (◎ ◎ ◎) 0.45±0.06	◎ (◎ ◎ ◎) 12.9±0.0	◎ (◎ ◎ ◎) 322.1±2.6
水酸化ナトリウム	◎ (◎ ◎ ◎) 0.24±0.02	◎ (◎ ◎ ◎) 9.61±0.04	◎ (◎ ◎ ◎) 147.3±2.7

ステンレス釘; 乾電池2個。
電子メロディの場合: ◎, きれいに鳴った; ○, ゆっくり鳴った; △, わずかに鳴った; ×, 鳴らなかった。
モーターの場合: ◎, 勢いよく回った; ○, ゆっくり回った; △, 途中でとまった; ×, 回らなかった。

2. 塩化銅水溶液の電気分解

電源として電源装置(3.0 V)、電極としてホルダー芯を用いて塩化銅水溶液の電気分解を行ったときの電子メロディおよび各種モーターの作動状態ならびに電極の様子について検討した(表5)。電子メロディおよび各種モーターのすべてにおいて正常な作動が認められた。電極の様子は、電子メロディの場合では両極における変化は観察されなかった。一方、光電池用モーターおよび模型用モーターの場合では、陽極において気泡が発生し、塩素臭が確認された。また、陰極では銅の析出が認められた。この場合、光電池用モーターの方が模型用モーターよりも気泡の発生が少なく、塩素臭はわずかであった。

表5 電子メロディおよび各種モーターの作動状態ならびに電極の様子

	作動状態 電流 (mA)	電極の様子	
		陽極	陰極
電子メロディ	◎ (◎ ◎ ◎) 0.36 ± 0.02	×	×
光電池用モーター	◎ (◎ ◎ ◎) 9.50 ± 0.03	気泡発生 塩素臭	銅析出
模型用モーター	◎ (◎ ◎ ◎) 85.1 ± 9.8	気泡発生 塩素臭	銅析出

ホルダー芯; 電源装置。
電子メロディの場合: ◎, きれいに鳴った; ○, ゆっくり鳴った; △, わずかに鳴った; ×, 鳴らなかった。
モーターの場合: ◎, 勢いよく回った; ○, ゆっくり回った; △, 途中でとまった; ×, 回らなかった。

次に、電極としてステンレス釘を用いたときの電子メロディおよび各種モーターの作動状態ならびに電極の様子について検討した(表6)。電子メロディおよ

び各種モーターのすべてにおいて正常な作動が認められた。電極の様子は、電子メロディの場合では両極における変化は観察されなかった。一方、光電池用モーターおよび模型用モーターの場合では、陰極において銅の析出は観察されたが、陽極での気泡の発生は見られなかった。

表6 電子メロディおよび各種モーターの作動状態ならびに電極の様子

	作動状態 電流 (mA)	電極の様子	
		陽極	陰極
電子メロディ	◎ (◎◎◎◎) 0.45 ± 0.03	×	×
光電池用モーター	◎ (◎◎◎◎) 11.7 ± 0.2	×	銅析出
模型用モーター	◎ (◎◎◎◎) 197.8 ± 9.3	×	銅析出

ステンレス釘: 電極装置。

電子メロディの場合: ◎, されいに鳴った: ○, ゆっくり鳴った: △, わずかに鳴った: ×, 鳴らなかった。

モーターの場合: ◎, 勢よく回った: ○, ゆっくり回った: △, 途中でとまった: ×, 回らなかった。

以上の結果から、塩化銅の電気分解を行う場合には、電極としてホルダー芯を用い、電流を確認する道具として光電池用モーターを使用すれば、過剰な塩素の生成を抑え、安全で適切な実験結果が得られることがわかった。

次に、電源としてアルカリ乾電池を2個直列に接続し、電極としてホルダー芯を用いて塩化銅水溶液の電気分解を行ったときの電子メロディおよび各種モーターの作動状態ならびに電極の様子について検討した(表7)。電子メロディおよび光電池モーターでは正常な作動が認められたが、模型用モーターでは作動は見られなかった。電極の様子は、電子メロディの場合では両極における変化は観察されなかった。一方、光電池用モーターおよび模型用モーターの場合では、陽極において気泡が発生し、塩素臭が確認された。また、

表7 電子メロディおよび各種モーターの作動状態ならびに電極の様子

	作動状態 電流 (mA)	電極の様子	
		陽極	陰極
電子メロディ	◎ (◎◎◎◎) 0.21 ± 0.01	×	×
光電池用モーター	◎ (◎◎◎◎) 10.2 ± 0.2	気泡発生 塩素臭	銅析出
模型用モーター	× (××××) 100.9 ± 3.6	気泡発生 塩素臭	銅析出

ホルダー芯: 乾電池2個。

電子メロディの場合: ◎, されいに鳴った: ○, ゆっくり鳴った: △, わずかに鳴った: ×, 鳴らなかった。

モーターの場合: ◎, 勢よく回った: ○, ゆっくり回った: △, 途中でとまった: ×, 回らなかった。

陰極において銅の析出が観察された。この場合、気泡の発生は光電池用モーターの方が模型用モーターよりも少なく、塩素臭もわずかであった。

以上の結果から、電源装置の代わりにアルカリ乾電池を用いて実験を行う場合、乾電池を2個直列に接続し、電流を確認する道具として光電池用モーターを使用すれば安全で適切な実験結果が得られることがわかった。

おわりに

本研究では、水溶液の電気伝導性および塩化銅水溶液の電気分解実験をマイクロスケールで行うことができる教材を作製し、さらに本教材を用いたときの実験条件を設定した。今回使用したマイクロチューブ(2.0 ml)は、容器が透明で電極と溶液の反応を容易に観察することができ、1個あたりの単価が安価で、再利用も可能である。さらに、電極として用いたステンレス釘およびホルダー芯は、ホームセンターや文房具店などで市販されているものであり、安価で購入することができる。また、今回設定した実験条件は、ごく少量の溶液で実験を行うことができ、安全で環境に配慮した実験が実施できるものと期待される。

参考文献

- 1) 文部科学省. 中学校学習指導要領解説 理科編, 大日本図書, pp. 49-50 (2008).
- 2) 竹内敬人他. 未来へ広がるサイエンス, 第1分野下, 啓林館 (2007).
- 3) 戸田盛和他. 新版中学校理科1分野下, 大日本図書 (2007).