

中学校理科における実験教材としてのボルタ電池に関する研究

—適切な起電力を得るための実験条件—

島田秀昭・松岡信清

Studies on the Voltaic Cell as a Teaching Material in Lower Secondary School Science: Experimental Conditions to Obtain the Suitable Electromotive Force

Hideaki SHIMADA and Nobukiyo MATSUOKA

(Received October 1, 2007)

The Voltaic cell is used as a teaching material in lower secondary school science. However, it often fails when a teacher experiments on the cell in a class of the science. In the present study, to obtain the suitable conditions for the Voltaic cell, we examined the effects of concentrations and amounts of hydrochloric acid solution on the electromotive force using an electronic melody and two kinds of motors. The largest electromotive force was seen in the combination of electrodes of copper and zinc. When electronic melody was used, it rang effectively in the 70 ml of 1-5 % hydrochloric acid solution (in 100 ml beaker). In the case of motors, an efficient rotation was observed in 300 ml of 3-5 % hydrochloric acid solution (in 300 ml beaker).

Key words : the Voltaic cell, electromotive force, experimental condition, teaching material

はじめに

中学校理科の第3学年では、第1分野において「物質と化学反応の利用」を学習する。学習指導要領には、本単元の内容の一つとして「化学変化によって熱や電気を取り出す実験を行い、化学変化にはエネルギーの出入りが伴うことを見いだすこと」と書かれている¹⁾。実験としては、使い捨てカイロなどを用いた化学変化による熱エネルギーを取り出す実験や、化学変化によって電気エネルギーを取り出す電池の実験を取り扱う²⁾。これらはいずれも日常生活において利用されているものであり、生徒の興味・関心を高めるねらいがある。実際、選択授業や科学展において電池を実験教材として用いた場合、生徒の興味・関心は高い^{3,4)}。また最近、テレビや新聞などで「燃料電池」、「バイオ燃料」といったエネルギーに関する話題が多く取り上げられており、生徒の関心はより高まる傾向にある。中学校理科における電池の実験では、「ボルタ電池」が採用されている。ボルタ電池は、構造が簡単で、金属板と電解液の反応を容易に観察することができ、「化学反応によって電気を取り出せることを見いださせていく」ことを学習する上で適した実験教材である。しかし、実際に学校現場で実験を行ったとき、モーターが回転しなかつたり、前のクラスでは成功した実験が、次のクラスでは失敗するなど、思うような結果が出ないことがよくある。また、大学生が教育実習のときにボルタ電池を用いた実験をすることが多いが、モーターが回転せず失敗したという話をよく聞く。そこで本研究では、ボルタ電池を用いた実験の最適条件を見出すことを目的として、各種金属板の組み合わせによる起電力を比較すると共に、電解液（塩酸溶液）の濃度や量の違いによる起電力の変化についても検討した。

ターが回転しなかつたり、前のクラスでは成功した実験が、次のクラスでは失敗するなど、思うような結果が出ないことがよくある。また、大学生が教育実習のときにボルタ電池を用いた実験をすることが多いが、モーターが回転せず失敗したという話をよく聞く。

そこで本研究では、ボルタ電池を用いた実験の最適条件を見出すことを目的として、各種金属板の組み合わせによる起電力を比較すると共に、電解液（塩酸溶液）の濃度や量の違いによる起電力の変化についても検討した。

実験方法

1) 種々の金属板の組み合わせによる起電力の比較

銅板、亜鉛板、鉄板およびアルミ板を用いて6種類の電極の組み合わせを作製した。それぞれの金属板にデジタルマルチメーターを接続し、1~5%濃度の塩酸溶液70 mlの入った100 mlのビーカーに浸した。塩酸溶液に浸した直後の電子メロディーの作動状態を確認し、1分後の起電力を測定した。本項目を含むすべて実験は3回ずつ繰り返し行い、データは平均±標準偏差で示した。

2) 銅板と亜鉛板の起電力に及ぼす塩酸溶液量および濃度の影響

デジタルマルチメーターを接続した銅板および亜鉛板を、1～10%濃度の塩酸溶液100, 200または300 mlの入った300 mlのビーカーに浸した。浸した直後の模型用モーターの回転を確認し、1分後の起電力を測定した。なお、モーターの回転が確認しやすいようにプロペラを取り付けた。同様に光電池モーターを用いて実験を行った。

3) 銅板と亜鉛板の起電力に及ぼす金属板と塩酸との接触面積の影響

バット, 1000 ml ビーカー, 300 ml ビーカーおよび300 ml トールビーカーに5%塩酸溶液を300 ml 加え、それらにデジタルマルチメーターを接続した銅板と亜鉛板を浸した。浸した直後の模型用モーターの回転を確認し、1分後の起電力を測定した。同様に光電池モーターを用いて実験を行った。

結果と考察

種々の金属板の組み合わせによる起電力を表1に示す。起電力の最も大きい金属板の組み合わせは銅(正極)と亜鉛(負極)であり、次に大きかったのが銅(正極)とアルミニウム(負極)であった。また、電子メロディーの作動状態もこれらの起電力の大きい組み合わせほど正常な作動を示した。銅と亜鉛を組み合わせた場合には、用いたすべての塩酸濃度で電子メロディーは正常に作動した。しかし、銅とアルミニウムの場合には塩酸濃度が1～3%では正常に作動したが、3%を超えると鳴り方が遅くなる現象が認められた。これは塩酸濃度が3%を超えると起電力が0.6 Vを下回るためと考えられた。今回使用した電子メロディーは、電圧が0.7 V以上であれば正常に作動することがメーカー保証されているが、今回の実験結果から0.6 V以上の場合に正常な作動が見られることがわかった。したがって、学校現場で電子メロディーを用いた実験

を行うときは、起電力が0.6 V以上を示す金属板の組み合わせと塩酸濃度を使用すればよいことがわかった。また、塩酸濃度を5%に固定して、銅と亜鉛、銅とアルミニウムおよび鉄と亜鉛の3種類の金属板の組み合わせで実験を行うことにより、種々の金属の組み合わせによる発電を生徒に示すことができると考えられた。

次に、銅板と亜鉛板の起電力に及ぼす塩酸溶液量および濃度の影響について検討した。模型用モーターを接続したときの結果を表2に示す。電子メロディーの場合とは異なりモーターの場合では、全体的に塩酸濃度の増加に伴って起電力が大きくなる傾向が観察された。これはモーターの方が電子メロディーよりも電気抵抗が大きいためと考えられた。また、塩酸液量の増加に伴い起電力が大きくなる傾向も観察された。これをモーターの回転から検討したところ、塩酸溶液量が100 mlの場合では、用いたすべての塩酸濃度(1～10%)において、回転が途中で止まったり、あるいは回らなかったりなど安定したモーターの回転は得られなかった。また、200 mlの場合でも一部の高い塩酸濃度を除いて同様な結果となった。しかし、300 mlの場合では1%濃度を除くすべての塩酸濃度において安定な

表2 銅板と亜鉛板の起電力に及ぼす塩酸溶液量および濃度の影響(模型用モーター接続時)

塩酸濃度(%)	起電力(V)		
	100 ml	200 ml	300 ml
1	0.06 ± 0.01 (△)	0.10 ± 0.01 (△)	0.12 ± 0.01 (△)
2	0.11 ± 0.01 (×)	0.13 ± 0.00 (△)	0.18 ± 0.01 (◎)
3	0.17 ± 0.02 (△)	0.15 ± 0.01 (△)	0.19 ± 0.01 (◎)
4	0.13 ± 0.01 (△)	0.17 ± 0.01 (△)	0.22 ± 0.01 (◎)
5	0.14 ± 0.02 (△)	0.14 ± 0.02 (△)	0.23 ± 0.01 (◎)
6	0.17 ± 0.03 (△)	0.17 ± 0.03 (△)	0.24 ± 0.00 (◎)
7	0.17 ± 0.01 (△)	0.22 ± 0.01 (◎)	0.25 ± 0.01 (◎)
8	0.16 ± 0.02 (△)	0.23 ± 0.03 (△)	0.25 ± 0.01 (◎)
9	0.18 ± 0.00 (△)	0.23 ± 0.02 (◎)	0.26 ± 0.01 (◎)
10	0.18 ± 0.02 (△)	0.22 ± 0.01 (◎)	0.27 ± 0.00 (◎)

◎, 勢いよく回った; ○, ゆっくり回った; △, 途中で止まった; ×, 回らなかった。

表1 金属板の組み合わせによる起電力の比較(電子メロディー接続時)

塩酸濃度(%)	起電力(V)					
	Cu:Zn	Cu:Fe	Cu:Al	Fe:Zn	Fe:Al	Al:Zn
1	0.84 ± 0.01 (◎)	0.35 ± 0.00 (×)	0.70 ± 0.02 (◎)	0.49 ± 0.01 (×)	0.32 ± 0.02 (×)	0.16 ± 0.01 (×)
2	0.81 ± 0.01 (◎)	0.28 ± 0.01 (×)	0.65 ± 0.01 (◎)	0.52 ± 0.01 (×)	0.33 ± 0.02 (×)	0.20 ± 0.01 (×)
3	0.80 ± 0.01 (◎)	0.27 ± 0.00 (×)	0.60 ± 0.01 (◎)	0.53 ± 0.00 (×)	0.32 ± 0.00 (×)	0.21 ± 0.01 (×)
4	0.78 ± 0.01 (◎)	0.25 ± 0.01 (×)	0.59 ± 0.01 (○)	0.54 ± 0.01 (△)	0.36 ± 0.02 (×)	0.20 ± 0.00 (×)
5	0.77 ± 0.01 (◎)	0.23 ± 0.01 (×)	0.58 ± 0.00 (○)	0.57 ± 0.02 (○)	0.36 ± 0.02 (×)	0.19 ± 0.00 (×)

◎, きれいに鳴った; ○, ゆっくり鳴った; △, かすかに鳴った; ×, 鳴らなかった。

回転が観察された。学校現場における実験では、塩酸濃度は5%以下のものを用いることが多い。したがって、模型用モーターを使用する場合には300 mlのビーカーに300 mlの塩酸溶液を入れて行えばよいことがわかった。

光電池用モーターを接続したときの結果を表3に示す。光電池用モーターでは、塩酸溶液量が200 mlの場合でも3%以上の塩酸溶液を用いれば1分以上の回転が得られることがわかった。しかし、光電池モーターは模型用モーターと比較して価格が高いこと、また模型用モーターは勢いよく回転するのに対して、光電池用モーターはその回転が比較的ゆっくりしていることから、生徒に与える印象を考慮すると模型用モーターの方が有効かもしれない。

表3 銅板と亜鉛板の起電力に及ぼす塩酸溶液量および濃度の影響（光電池用モーター接続時）

塩酸濃度 (%)	起電力 (V)		
	100 ml	200 ml	300 ml
1	0.21 ± 0.01 (△)	0.26 ± 0.01 (△)	0.33 ± 0.09 (△)
2	0.23 ± 0.01 (△)	0.27 ± 0.01 (△)	0.27 ± 0.01 (△)
3	0.25 ± 0.00 (△)	0.31 ± 0.01 (○)	0.31 ± 0.01 (○)
4	0.27 ± 0.01 (△)	0.30 ± 0.02 (○)	0.33 ± 0.01 (○)
5	0.28 ± 0.01 (△)	0.32 ± 0.00 (○)	0.35 ± 0.00 (○)
6	0.31 ± 0.02 (○)	0.34 ± 0.01 (○)	0.36 ± 0.01 (○)
7	0.31 ± 0.03 (○)	0.34 ± 0.00 (○)	0.36 ± 0.00 (○)
8	0.31 ± 0.00 (△)	0.35 ± 0.01 (○)	0.37 ± 0.01 (○)
9	0.33 ± 0.00 (○)	0.35 ± 0.01 (○)	0.38 ± 0.01 (○)
10	0.33 ± 0.00 (○)	0.36 ± 0.00 (○)	0.39 ± 0.01 (○)

◎, 勢いよく回った; ○, ゆっくり回った; △, 途中で止まった; ×, 回らなかった。

先の実験において、300 mlのビーカーに塩酸溶液を100, 200 または 300 ml 入れて起電力を測定したとき、300 ml の場合の起電力が最も大きかった (表2)。これは塩酸溶液に接触する金属板の面積によるものと考えられた。そこで、この点をより明確にする目的で、バット (接触面積: 4.4 cm²), 1000 ml ビーカー (16.5 cm²), 300 ml ビーカー (34.1 cm²) および 300 ml トールビーカー (41.7 cm²) にそれぞれ5%塩酸溶液を300 ml 入れて起電力を測定した (表4)。その結果、模型用モーターの場合では、金属板と塩酸溶液との接触面積が大きくなるほど起電力は大きくなった。一方、光電池用モーターの場合では、接触面積の増加に伴う起電力の著しい増加は見られなかった。

今回実験で使用した金属板の全面積は67.5 cm²なので、模型用および光電池用モーターの両方を1分以上回転させるためには、金属板の長さの2分の1以上を塩酸溶液に浸せばよいことがわかった。また、モ-

ーターを回転させるためには、塩酸溶液の量を増やすことよりも金属板を容器により深く入れ、塩酸溶液との接触面積を大きくすることの方が重要であることがわかった。

表4 銅板と亜鉛板の起電力に及ぼす金属板の塩酸への接触面積の影響

接触面積 (cm ²)	起電力 (V)	
	模型用モーター	光電池用モーター
4.4	0.05 ± 0.02 (×)	0.32 ± 0.02 (△)
16.5	0.18 ± 0.03 (△)	0.33 ± 0.02 (○)
34.1	0.24 ± 0.02 (◎)	0.32 ± 0.00 (○)
41.7	0.26 ± 0.01 (○)	0.36 ± 0.02 (○)

◎, 勢いよく回った; ○, ゆっくり回った; △, 途中で止まった; ×, 回らなかった。

以上の結果から、学校現場でボルタ電池の実験を行う場合には以下の条件で行うと良いことがわかった。

1. 電子メロディーを使用する場合:

- ① イオン化傾向の差が大きい金属板の組み合わせを用いる (銅板と亜鉛板, 銅板とアルミ板, 鉄板と亜鉛板など)。
- ② 塩酸溶液は5%濃度以下で十分であるが、鉄板と亜鉛板の組み合わせで使用する場合には5%濃度が適切である。液量は100 mlのビーカーに70 ml程度で十分なので、個別または二人一組の実験が可能である。

2. 模型用モーターを使用する場合:

- ① 金属板は起電力の最も大きい銅板と亜鉛板の組み合わせを用いる。
- ② 塩酸溶液は2~5%濃度のものを300 ml用いる (300 mlのビーカー使用)。使用する液量が多いので、廃液処理のことを考慮して、グループ別か演示実験が適している。

3. 光電池用モーターを使用する場合:

- ① 金属板は銅板と亜鉛板を用いる。
- ② 塩酸溶液は3~5%濃度のものを200~300 ml用いる (300 mlのビーカー使用)。使用する液量が多いので、廃液処理のことを考慮して、グループ別か演示実験が適している。

おわりに

本実験を行う上で重要なことは、金属板を常に綺麗にしておかなければならない点である。表面の酸化や

水垢などの汚れは起電力の低下を引き起こす。これらを少しでも防ぐ方法として、実験に使用した銅板を廃液として処理する前の塩酸溶液にしばらく浸けてから洗うと、常に綺麗な状態で使用できる。また、金属板を塩酸溶液に浸けてからしばらくの間は高い起電力を維持しているが、その後次第に低下し、0.7 Vを切ったあたりから急激に低下する。これは高校化学の電池に関する実験時に、デジタルマルチメーターを用いて数値の低下を生徒に見せることにより、「分極」の説明に用いることができるものと考えられた。

参考文献

- 1) 文部省. 中学校学習指導要領(平成10年12月)解説—理科編一, 大日本図書 (1999).
- 2) 教師用指導書. 新版中学校理科1分野下(平成18年3月), 大日本図書 (2006)
- 3) 鹿児島県総合教育センター <http://www.edu.pref.kagoshima.jp/kari/rika/sentakurika>
- 4) 愛知教育大学附属高等学校 化学のページ <http://www.auehs.aichi-edu.ac.jp/~binco>