

ノート

科学教育を目指した出前講座の実践と反省点

- 今日もレモン電池に夢中 -

加藤進, 吉村英基, 吉岡理, 岩崎誠二

Implementation and reflection of “Demae-lecture” designed for human capacity building of science

-I am crazy for Lemon-cell-

Susumu KATO, Hideki YOSHIMURA, Osamu YOSHIOKA and Seiji IWASAKI

出前講座の題材にレモン電池, ボルタ電池および燃料電池をとりあげた。生徒を 4~6名の班構成にし, 出来るだけ生徒が電池作りに関与するように努めた。また, サブノートを利用して実験記録にも留意した。これらの題材は, 4年生で学習する光電池の続編として有用であり, 生徒あるいは教師側の反応も良好であった。しかしながら, 限られた時間での講座のために, やや説明が難しくなったりした嫌いがあった。今後さらに題材を精選し, より実りのある出前講座としたい。

キーワード: レモン電池, 出前講座, 小学校, ボルタ電池, 電気伝導率, pH

はじめに

平成16年度は「電池の秘密をさぐる - ボルタ電池から燃料電池まで - 」という出前講座を小学校を対象に, 2回実施した。また内容を少し高度にして中学校3年生を対象に行った。三重県環境学習情報センターでは NGO や教師あるいは河川クリーアップに興味のある有識者にも2回, 環境講座と結びつけて実施した。この講座の実施に先立って, みえこどもの城(松阪)では低学年への学習指導方法, 効果的な教材の作成法について指導を受けた。同時に, インターネットや諸会合を通して関連情報を収集してきた。

筆者らは, ボルタ電池は中学校で学習した記憶があるが, 現在では果物電池あるいはレモン電池の名前で小学校の4年生あたりで現象論的に学習する。実践にあたって, われわれはボルタ電池に関する「常識(起電力, 電解質の種類, 電極の組み合わせ, 豆球の点灯等)は持っている」と錯覚していたことが明らかとなった。これまで体得したつもりであった知識がこのテ-

マの予備実験を行った過程で, 実におぼろげなものであることがわかった。これらの原因は, ボルタ電池は比較的簡単な概念であり, 具体的な実験をしないで机上で理解できたかのような錯覚に陥ったためと思われる。

銅と亜鉛板電極と希硫酸からできるボルタ電池の構造は簡単であるが, 構造的欠点を改良していくと水素の発生を押さえた形のダニエル電池に自然に移行し, 電気化学の一分野に進んでいくきわめてよい教材である。一方, 溶質の存在によって電位が発生するから, 溶質を汚染質と考えれば, 別の展開もありそうで, 筆者らの専門である環境科学との接点も考えられる。

本稿では出前講座を通じて筆者らが得た氾濫する情報利用にあたっての注意点, ならびに小学校中学年, 中学生を対象にした講座を材料に, 理科実験の反省点, 手法と環境教育への展開について一緒に考えてみたい。

方 法

1. 方法

出前講座を実施するにあたって、対象を小学生と考えて、より効果的な出前講座の方法を考えた。すなわち、我々の目的は、単元の学習を重要視しつつ同時に

- 1) 普段学校で出来ない実験を実施、
- 2) これを通じて科学に興味をもたせ、
- 3) 生徒の科学離れ防止

を目指している。一連の実験の中には学年の内容をはるかに超えた内容も多々含まれている。従って、実験の結果が、五感を通じて体得できるように心がけた。つまり、図1に示すように、現象が「音」、「色」、「臭い」あるいは「味」等と密接な関係があるように題材に工夫を凝らした。表題の電池では、「音」は電子オルゴール、「味」は電解質、「臭い」は食塩水の電気分解による塩素臭等である。

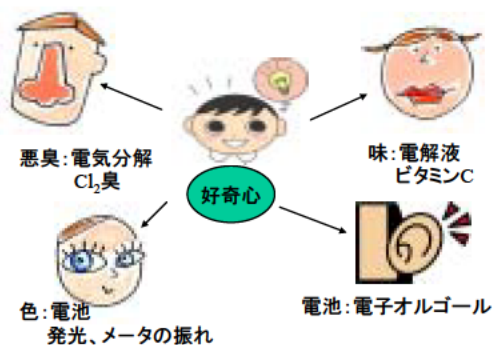


図-1 子供に対する方法論

2. 出前プログラムの流れ

4年生で表題の電池学習する前にソーラー電池を学び、並列や直列つなぎは学習していることを前提にしている。しかし、電池の学習の中では、学年の範囲を超えた分野として「電気伝導率」および「イオン」を切り離すことが極めて難しい。同時に筆者らは、電池と密接な関係のある電流も「交流と直流」としてこの当たりで体験できればと考えている。

そこで、出前授業では、まずバイブラ電球で「交流と直流を可視化」し、ついで、ボルタ電池に進んだ。この過程では、ミカン電池、トマト電池、リンゴ電池といった個々の電池から、甘さあるいはすっぱさを共通項として発見させ、「レモン電池の素」とも言うべきクエン酸、アスコルビン酸あるいは糖類(グルコース)、つまり電解質あるいは非電解質の存在へ(具体例→一般化)理論を展開した。具体的には、ボルタ

電池を形成するなかで、電流を運ぶものとしてのイオンの体験、電流の流れやすさとしての電気伝導率へと学習段階を展開した。これには、実験の途中でこぼれる果汁の存在と、この果汁に電極を浸漬し、電池形成の確認をすることが必須であるが、どの講座でも偶然ながら、遊び感覚ではあるが「アレー、果物の汁に電極を入れると電子オルゴールから音が出るよ先生!」といった発見をする生徒がいた。この瞬間の学習展開への活用が指導者にとって極めて重要と思われた。

3. レモン電池とボルタ電池の製作法

ボルタ電池の容器にはプラスチックのフィルムケース(50mlプラスチックビーカーも可)を利用した。

(ボルタ電池 1) 電解液: 希硫酸, 25-30ml, 3極板; 銅板(Cu: 10×50×0.5mm)と亜鉛板(Zn)

(レモン電池 1) 電解液: レモンあるいはトマト等を輪切, 電極は同じ。

(レモン電池 2) 電解質: クエン酸, アスコルビン酸, 電極は同じ

(ボルタ電池 2) 電解液: 1M-NaOH, 電極はCu-アルミニウム(Al) 試作例を図2に示した。この容器はケースの下にブラッシャーレが安定性を保持するために取り付けられ、転倒による電解液の流出を防ぐ工夫がされている。なお、以下の議論ではやや厳密性を欠くが小学生にはレモン電池の方がなじみ深いのでボルタ電池を同意語的に使用する。

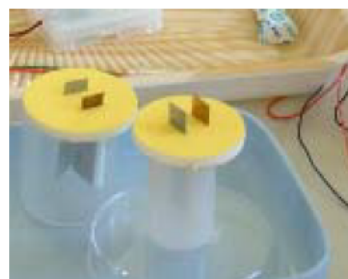


図-2 ボルタ電池

電池形成は電子オルゴール(写真1: 極性あり)による音階およびスピード確認, テスターによる電圧測定あるいはソーラーモーターの回転確認(極性ナシ), ムギ電球の点灯確認(写真2: 極性ナシ)等によって極性を考慮した負荷で確認が可能である。

結果と考察

1. 交流と直流の可視化

小学校の中学年に交流と直流の理論的な説明は理解力の点からも難しいと思われる。ここでは、可視化材としてバイブラ電球と磁石を利用

した。すなわち、直流ではバイブラ電球のフィラメントが磁石に傾くが、交流ではフィラメントが振動することから、その差異を経験させた。



写真1 電子オルゴール

2. 電極の問題点

ボルタ電池の原理によく取り上げられている電極は Cu と Zn である。しかし、

インターネットを検索するとウェブサイトに Cu-Al も可能と報告されている。Cu 板と Al 板でも電池の作成は可能であるが、何も考えずに電解液に硫酸等を利用し、事前準備を怠ったために、講座中に電子オルゴールが鳴らなかった。



写真2 ムギ球

Cu 板の標準単極電位は

$Cu^{2+} + 2e \rightarrow Cu \quad 0.337V$,
であるが、電解液中にはごく微量の Cu^{2+} しか存在せず、実際には酸性溶液ならば銅板上で

$2H^+ + 2e \rightarrow H_2$
なる反応が進行し、水素が発生する。一方、陰極に Al を利用すると、酸性サイドでは

$Al \rightarrow Al^{3+} + 3e \quad -1.662V$
であり、理論的には、約 1.6V の起電力が得られる。これに対して Cu と Zn では、

$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e \quad -0.7628V$
であり、理論的な起電力は約 1.1V である。しかし、この二つの組み合わせの起電力をテスターで実測すると、Cu-Al では起電力が 0.6~0.7V であるが、Cu-Zn の組み合わせでは 0.9-1.0V に変化する。現象論的にはこの起電力の差によって Cu-Zn の組み合わせの時、電子オルゴールが鳴り、ソーラーモーターが回転する。中学校で「Zn よりも Al の方がイオン化傾向が高く...」と習ったはずである。この結果には落とし穴がある。Al は両性金属である。電解液を NaOH に交換すると、アルカリ性では

$Al + 4OH^- \rightarrow H_2AlO_3^- + H_2O + 3e \quad -2.53V$
の反応が起こると思われる。その結果、電解液

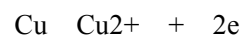
に 1M-NaOH を利用すると Al-Cu の組み合わせで立派に電子オルゴールから音が発生（実際の起電力は 1.3V）するものと思われる。インターネットの記事には、重要なことが意図的に省略されていることがあり、事前チェックを怠らないことが肝要だ¹⁾。

この実験では、電極反応には触れないが、色の異なる金属の存在 (Zn, Cu および Al)、電池形成時の電極表面の変化、電極反応後の電極の色、電解液の色等を観察することや、電子オルゴールには極性があり、乾電池との対比から、Cu が正極で、Zn が負極となることを体験させることが可能である。

3. ボルタ (レモン) 電池と環境負荷

どのテキストにもレモン電池に使用した果物は金属で汚染されているので取り扱いを注意すべき旨が記載されている。しかし、どの程度の金属による汚染かの記載は筆者らの知る限りでは見当たらない。そこで、確認するために、レモンのシボリ汁(25ml)を利用し、電極(浸漬部: 10×20×30mm: 極間距離 15mm)を挿入し、1 時間電子オルゴールを鳴らした後、その 10ml を分取・遠沈した後、硝酸 (HNO_3) で酸分解後、ゼ - マン式原子吸光分析計を用いて溶液中の Cu と Zn 濃度を定量した。その結果、Zn は 60mg/L, Cu は 2mg/L の濃度であることがわかった。この濃度ならば、10 倍~100 倍に希釈して流すことが可能である。実際上では 1 時間も実験を行わないので環境負荷は極めて少ないと思われる。

Cu が検出されたのは副反応として



が発生したためと思われる。ところで、溶液中の Zn 濃度から Faraday の法則を用いて簡単な計算が可能である。すなわち、1 Farady の電気量で電気化学当量 (Zn: 32.5 g) が析出する。従って、通電時間は 1 時間 (60×60 = 3600 秒) であるから、これを利用して平均電流が計算可能となる。すなわち、25ml 中の Zn 量は;

$$25(ml) \times 60 (\mu g/ml) \times 0.001 = 1.5(mg)$$

従って、平均電流を <I> とすれば、流れた電気量 = <I> × 3600 (クーロン) であるから、求める平均電流は;

$$\begin{aligned} <I> &= 1.5 \times 96500 \times 0.001 / (3600 \times 32.5) \\ &= 1.23mA \end{aligned}$$

となり、約 1mA となる。逆にいえば、電子オルゴールは起電力が 1.0V 前後かつ 1mA の電流で動作するといえる。また、ムギ球はレモン電池 1 個では点灯しないので、起電力が 1.0V 前後あっても、数十 mA 程度の出力電流がないと点灯しない事がわかる。

4. レモン電池への展開

誰でも思いつくのはレモンやミカンを 2 つに切断し、Cu と Zn を一つの袋の中に挿入する方法である。しかし、この方法では、レモンの大きさを考えるとフクロの中に挿入できる電極の大きさには制限があり、大きな出力を得ることが難しい(写真 3 左)。これに対してレモンを輪切りにして、スライスしたレモンを Zn 板の上に置き、その上に Cu 板を載せ、Cu 板と Zn 板でレモンのサンドイッチを作ってもレモン電池は可能である (web-site から発見) で、並列接続し大電極の使用が可能となる (写真 3 右)。

レモン電池では、机間指導をすると、うまくいかないあるいは電子オルゴールの音が小さいグループを時々発見する。これは、レモンの中にあるフクロ (ミカンのフクロと同じ) を跨いで電極を挿入した場合で、同一のフクロの中に電極を挿入すると、メロディ IC から音が発生する。この失敗を経験したグループはフクロが何か - 電流を流さない抵抗のような - 作用をすることを直感的に感じ取る。また、レモンやミカンと異なって“フクロ”がないトマトやリンゴを用いるとこのような現象は起きない。しかし、この場合、電極間の距離をあまり長くすると電子オルゴールからの音がやや小さくなる。いづれにしても、果実電池の場合、電極等の挿入方法についての説明・指導は、この場合あまり細かくしないほうが学習効果は高いと思われる。

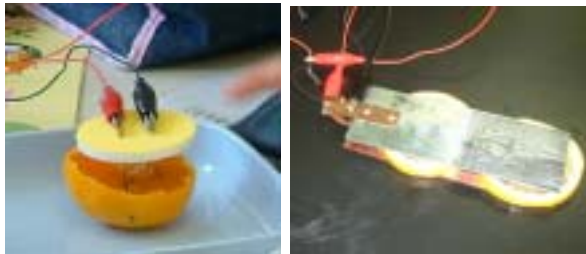


写真3 レモン電池(普通:左、SW:右)

5. 電池の素から電気伝導度へ

この実験をしていると、レモンの汁、トマトの汁等がプラスチック製の容器に溜まってくる。一人の小学生が、この溶液に電極を浸漬しても電子オルゴールから音が発生することを偶然発

見した。生徒達は、レモンやミカンではなく、どうも、この {汁} に電池の秘密があることに気がつき始める。そこで、レモン、ミカン、リンゴ等の持つ性質を生徒に問い掛けると、「すっぱさ」や「甘さ」が帰ってきた。手元に、グルコース、クエン酸やアスコルビン酸 (ビタミン C) を準備し、結晶を利用して担任の教師に「すっぱいこと」や「甘いこと」を体験してもらう。クエン酸やアスコルブンの溶液を作り、この中に電極を挿入してもメロディ IC から音が出ることを確認し、甘いグルコース溶液では殆ど音が発生しないことを実験してみせた。生徒は、おぼろげながらも水に溶解して電池を形成できる物質と出来ない物質の存在に気づき始める。

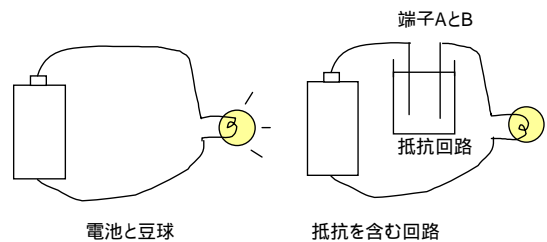


図3 電気伝導度の測り方

そこで、図 3 に示す回路をつくり、抵抗回路 (200ml: ビーカー) の端子 A と B を接触させると電流がながれ、豆球が点灯することを示した上で、抵抗回路の中に、蒸留水、砂糖水と海水 (食塩水) 等をビーカーに入れ、豆電球が海水で点灯することを確認した。ついで、蒸留水に溶液を交換、塩化ナトリウム (NaCl) を徐々に添加し、添加量が増加するに従って、豆球のあかりの強さが増加することを体験させた²⁾。この実験で、砂糖溶液と NaCl 溶液の差異は理解されると思われる。

この実験を進展させて、濃度の異なる NaCl 溶液 (0.0001% ~ 0.1%, 200ml) を準備し、端子 A, B の面積と間隔も一定にして、3V の電源を利用して流れる電流 (mA) と抵抗 () をテスターで測定 (図 4) したが、極板上で電気分解が発生するために指示値が不安定となり、この実験から電気伝導度へのスムーズな移行は、交流を使用するなど更に工夫が必要であると思われる²⁾。

6 ボルタ電池の pH への応用

環境教育で一番説明に困るのが pH である。pH の定義は

$$\text{pH} = -\log [H^+]$$

であり、hydrogen potential の略である。この原意に戻ったらどうだろう。この時には、酸性

～中性域では Cu-Zn のボルタ電池を，中性～アルカリ性域では Cu-Al のボルタ電池を利用する (図 5). すなわち，pH=1,3,6,10 の溶液を電解質として準備し，ボルタ電池を作成し電子オルゴールの音を確認する訳である．中性付近では，殆ど電子オルゴールから音が発生しない．しかし，酸性域やアルカリ性域に変化すると，電子オルゴールから音が発生する．この音エネルギー変換機として pH-ボルタ電池を直感的に利用したらどうだろう．実習中にある小学校の先生が，「これ面白いわ！」実現性は全くないが，「川に大きな Cu と Zn 極板をつけて，電子オルゴールを結線したら，昭和時代ならば，工場廃水によって時々メロディが聞こえたかもしれないね！」と洩らしたのが印象的だった．

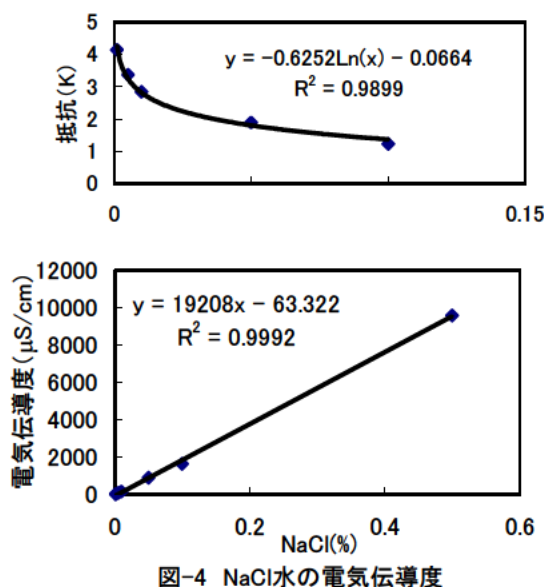
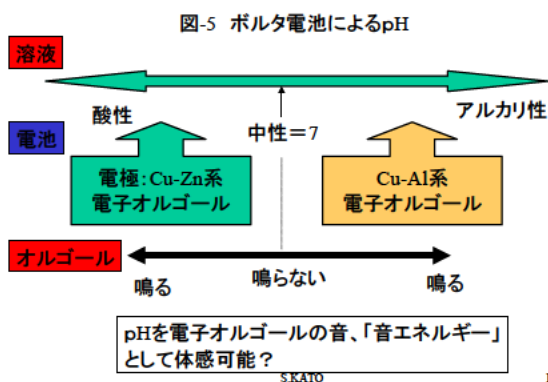


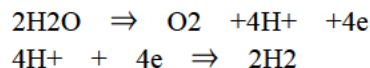
図-4 NaCl水の電気伝導度



7. 電気分解と燃料電池

電解質に硝酸カリウム (KNO₃) あるいは希硫酸 (H₂SO₄) を利用し，陰・陽電極に炭素を

利用し，直流を印加すると電気分解によって酸素と水素ガスが発生する．すなわち，



炭素棒は多孔性のために，発生したガスの一部は溶液内，残りは電極内部に吸蔵されることとなる．この現象を利用すると，最も簡単な燃料電池を作成することができる (通常テキストには炭素電極の変わりに Ni-ネットを用いることを推薦しているが，Ni-ネットに白金黒メッキを行わないと燃料電池の形成はやや難しい)．電池形成は電子オルゴールで確認できる．

ところが，中学のテキストを見ると水の電気分解は通常ホフマン型の H 管で実験が成される．もちろんこの H 管を利用して燃料電池の作成も可能であり，説明も明快に可能である．しかし，上に述べた電気分解-燃料電池の実験はビーカー内でも，電極を隔膜や H 管で分離しなくても作成が可能である (この考え方は，3.3 と同じ方法論である)．

すなわち，50ml のビーカーに 1N-KNO₃ を満たし，2 本の炭素棒を電極として 9V を 30sec 印加すれば，両極からガスが発生するとともに，発生したガスの一部が電極に吸蔵され，燃料電池が形成されるのである³⁾．問題は，同じ操作を H 管とビーカーで行う訳であるが，ここで混乱を起こす生徒が見られたことである．ホフマン槽で陽極と陰極に発生するガスの種類を答えることは出来ても，ビーカー内で発生する気体の種類がわからない生徒が多く存在することである．なるほどホフマン槽は発生する気体の体積を測定するには便利である．一方，ビーカーは発生した気体の体積の測定はできないが電気分解を極めて容易に出来る装置である．しかしながら両者の同一性に気づくことが出来たのは 50 人中 1 名であった．H 管とビーカーは空間的な構造のみが変化している容器であり，同一テーマをいろいろな方法で現象を理解させていくことの大切さを痛感した．

8. アンケート結果

事後のアンケートによれば，4 年生では 55 名中で理科が嫌いな生徒は 1 名しか存在せず，大部分の生徒は理科が好きと答えた．「本日の講座の話し方」については，1 名であるが「話し方が早い，どんどん進んでいく」という点をズバリ指摘された．生徒の実験への反応が良かったことを過信しすぎた．区切り区切りでまとめ

を実施する必要性を痛感した。「内容」については「面白くない」と答えた生徒は皆無であった。特に、1)果物から電池が出来る、2)その電池で電子オルゴールが鳴る、3)水の電気分解に興味を引かれた様子であった。しかし、1名「何かわからなかったけどおもしろかった」との評価を得、授業の冒頭の導入部分を再考する必要があると思われた。

一方、教師側のアンケートでは、「燃料電池」を題材に取り入れた部分と「実験を通した理科の楽しさの体感」を評価していただいたが、話し方の問題点、前回に引き続き術語の問題点の指摘があった。ただし、教師側から、講師の使用した難解な術語について今後の授業でホローしたいとの記載があり、出前講座も4年目になって効果的な実施がようやく根付いてきたと思われた。

まとめ

平成16年度に、仕事で実施した理科実験「電池の秘密」を行うに際して色々と生じた諸問題に対して現時点での対応、問題解決への方法についての提案を試みた。主催者からはやや内容が高度との指摘があったが、“生徒の理科離れ”には何らかの形で歯止めをかけることができたと思われる。今後も手法に工夫を凝らし、関連情報の収集をしつつ、分かりやすい理科実験を継続し、出前講座等を利用して、理科への興味に向けた強烈な印象を与えられるように支援活動を続けたい。

文 献

- 1) 昭和薬科大学付属高等学校：アルミ電池の開発
<http://www.showayakka-ih.ed.jp/alumi/alumi.html>
- 2) 芦沢俊介，原正樹，大塚美幸，宮田英由；中学生の環境調査 水環境を調べる，愛知教育大学環境教育研究室（2002）
- 3) 燃料電池 NPO 法人 PEM-DREAM：
<http://pem-dream.com>