

# Activity 4 – フルーツ電池

---

## 数学的な側面

- ◆ 測定
- ◆ データ分析
- ◆ 変化率

## 理科的な側面

- ◆ データの収集
- ◆ 実験の設計
- ◆ 物理

## 用意するもの

- ◆ CBL 2™
  - ◆ TI グラフ電卓
  - ◆ 接続ケーブル
  - ◆ TI 電圧センサー
  - ◆ 1セント銅貨または銅片
  - ◆ 亜鉛ワッシャ (穴のあいた円盤状のもの)
  - ◆ 電池にする5種類の果物 (みかん, レモン, バナナ, ジャがいも, トマト, りんごなど)
  - ◆ 果物に溝を作るためのプラスチックナイフ
  - ◆ 銅貨とワッシャを洗って乾かすための水とタオル
  - ◆ センチメートルを測れる定規
- 

## Introduction

1セント銅貨と亜鉛のワッシャを使って「ジャがいも電池」ができるということを聞いたことがあるかもしれませんが、本当にできるのか不思議に思ったのではありませんか。この節では、どんなものが電池にできるのか、いろいろ調べてみることにしましょう。

ジャがいもやその他の果物の中の物質は、電池の中の電解液の働きをします。電解液はイオンを解離させ、電気の流れを作り出すのです。反応は次のようなたくさんの要因によって変化します。2つの金属電極、電極の間の物質の種類 (電解液)、電極間の距離、電極と電解質の接触する面積などです。この節の実験では、電解質の種類だけ除くすべての変数を統制 (すべての実験において条件をそろえる) して、ベストの電池を発見してください!

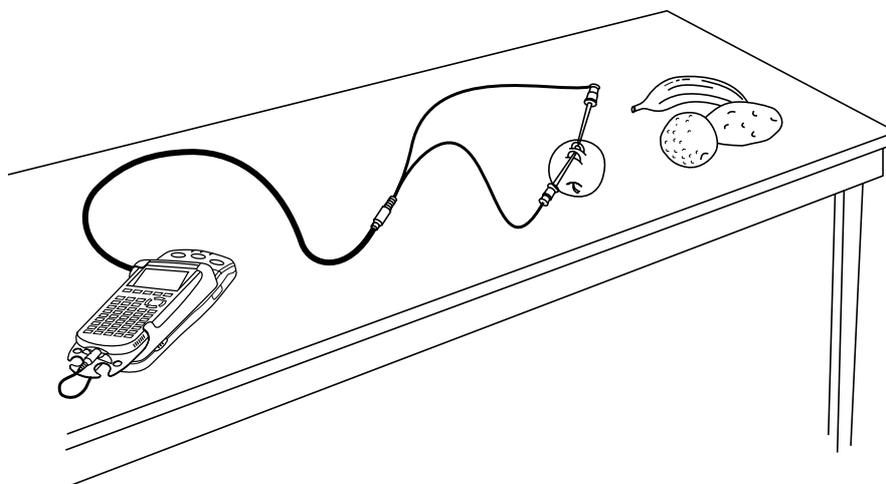
この節の学習活動では、

- ◆ 電圧のデータを集め、散布図に描きます。
- ◆ グラフを用いて、異なる果物電池の電圧を比較します。
- ◆ 時間に対する電圧の変化率を求め、どれがベストの電池かを考えます。

この実験を始めるには、測定したい1つの変数 (果物を電池の電解液として用いたときに得られる電圧) 以外はすべて統制 (すべての実験において条件をそろえる) しなければなりません。

# Part 1

---



## Set up the Experiment

1. まず銅片 (または米国1セント銅貨, 1959~1982のもの) と亜鉛のワッシャを用意します。ワッシャの大きさは問いませんが, 1セント銅貨と同じ直径, 同じ厚さのものがうまくいきます。なお, すべての実験で同じ大きさのワッシャを使ってください。

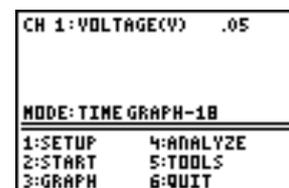
石けんを使って1セント銅貨とワッシャを洗い, 乾かします。  
Student Data Reporting Sheet の問1に答えてください。

2. 容器に水をため, 1つの果物から次の果物に移るときに銅貨とワッシャを洗うことができるようにしておきます。また, ペーパータオル, 果物に切れ込みを入れるプラスチックナイフ, 切れ込みの間隔 2cmを測るための定規も用意します。2cmの間隔はすべての果物に共通です。
3. 果物を5種類用意します。テストする順番は重要ではありませんが, 実験を始める前にそれぞれの果物にあらかじめ番号をつけておいてください。

果物とその番号を Student Data Reporting Sheet の問2にある表のうち, 左の2列に記入しておいてください。

4. CBL 2 とグラフ電卓を接続ケーブルで接続してください。さらに, TI 電圧センサーを CBL 2 のチャンネル1 [CH 1] に接続します。
5. 電卓上で DataMate プログラム (またはアプリケーション) を実行します。DataMate は自動的に TI 電圧センサーを検出し, 実験を初期設定します。(これらの設定はのちに変更します。)

右図は DataMate のメイン画面です。



6. [1] SETUP を押し、Setup 画面に移ります。

```
CH 1: VOLTAGE(-10 TO +10V)
CH 2:
CH 3:
DIG:
MODE: TIME GRAPH-1B
-----
1: OK          3: ZERO
2: CALIBRATE
```

7. [2] または [3] を押し、MODE にカーソルを合わせ、[ENTER] を押し、  
す (Select Mode 画面に切り替わります)。

```
SELECT MODE
-----
1: LOG DATA
2: TIME GRAPH
3: EVENTS WITH ENTRY
4: SINGLE POINT
5: SELECTED EVENTS
6: RETURN TO SETUP SCREEN
```

8. [3] EVENTS WITH ENTRY を押し、Events with Entry とは、  
[ENTER] を押すたびに測定した電圧を記録するという意味です。

```
CH 1: VOLTAGE(-10 TO +10V)
CH 2:
CH 3:
DIG:
MODE: EVENTS WITH ENTRY
-----
1: OK          3: ZERO
2: CALIBRATE
```

9. [1] OK を押し、メイン画面に戻ります

10. 1セント銅貨とワッシャを果物に挿入する前に、それらに TI 電圧センサのリード線を接続します。赤いリード線 (+) を1セント銅貨に、黒いリード線 (-) を亜鉛ワッシャに、間違わないようにつないでください。電解液がなくても起電力が生ずるのを確かめることができます。硬貨とワッシャを直接接触させた場合で、電解液が何も無い場合に生じることを調べる「統制」の1つになります。

## Collect the Data

1. メイン画面で [2] START を押し、
2. 銅貨とワッシャを直接接触させ、そのときの電圧を読みます。この値は、ほとんど 0V のはず (基準値)。[ENTER] を押し、その値を保存し、電卓が数値の入力を求めてくるので、番号として [0] を入力してください。

```
PRESS [ENTER] TO COLLECT
OR [STO] TO STOP
1 .01
```

3. いよいよ「番号1」の果物に銅貨とワッシャを差し込んでください。電卓画面での電圧の表示が変化するはず。[ENTER] を押し、その値を保存し、電卓が数値の入力を求めてくるので、番号として今度は [1] を入力してください。
4. すべての果物について、同じ操作を繰り返してください。最後の測定が終了したら、[STO] を押し、
5. 電卓の画面に収集したデータがグラフ表示 (散布図) されます。

## Analysys

1. や を押してデータ点をトレースして電圧を読み取り，Student Data Reporting Sheet の問2にある表の右端の列に記入してください。
2. 画面のグラフを Student Data Reporting Sheet の問3にスケッチしてください。
3. Student Data Reporting Sheet の問 4 – 8 に答えてください。

## Part 2

---

「ベスト」の電池が一定の電圧を保つかどうかを調べるには，時間の経過にともなうデータを収集しなければなりません。

### Set up the Experiment

1. グラフ表示された画面で **[ENTER]** を押し，メイン画面に戻ってください。
2. SETUP を押し，Setup 画面を表示します。

```
▶ CH 1: VOLTAGE(-10 TO +10V
CH 2:
CH 3:
DIG:
MODE: TIME GRAPH-1B
-----
1: OK          3: ZERO
2: CALIBRATE
```

3. または を押して MODE にカーソルを合わせ，**[ENTER]** を押しませ (Select Mode 画面に切り替わります)。

```
SELECT MODE
-----
1: LOG DATA
2: TIME GRAPH
3: EVENTS WITH ENTRY
4: SINGLE POINT
5: SELECTED EVENTS
6: RETURN TO SETUP SCREEN
```

4. TIME GRAPH を押して，Time Graph Settings 画面に移ります。

```
TIME GRAPH SETTINGS
TIME INTERVAL: .1
NUMBER OF SAMPLES: 180
EXPERIMENT LENGTH: 18
-----
1: OK          3: ADVANCED
2: CHANGE TIME SETTINGS
```

5. CHANGE TIME SETTINGS を選択します。

```
ENTER TIME
BETWEEN SAMPLES
IN SECONDS: 300
-----
ENTER NUMBER
OF SAMPLES: 48
```

- ENTER TIME BETWEEN SAMPLES (測定の間隔) に対して300(秒), NUMBER OF SAMPLES (測定の回数) に対して48を入力します。

Time Graph Settings 画面に新しく入力した値が表示されます。右図のように, この実験は 14,400 秒 (4 時間) の間, 電圧を測定するようになっているわけです。

```

TIME GRAPH SETTINGS
TIME INTERVAL: 300
NUMBER OF SAMPLES: 48
EXPERIMENT LENGTH: 14400
1:OK          3:ADVANCED
2:CHANGE TIME SETTINGS

```

- 1** OK を押して Setup 画面に戻り, さらに **1** OK を押してメイン画面に戻ります。

```

CH 1: VOLTAGE(V) .01

MODE: TIME GRAPH-14400
1:SETUP      4:ANALYZE
2:START      5:TOOLS
3:GRAPH      6:QUIT

```

## Collect the Data

- 1セント銅貨とワッシャを「ベスト」の果物に差し込み, 電圧センサーのリード線をつなぎます。
- これら実験道具の設置場所は, 4時間の間, 誰にも邪魔されないところ, また状態をチェックしたいときにいつでも見に行くことができる場所であることが望ましい場所です。
- 2** START を押して, 実験を開始します。

測定の途中でグラフ電卓の **ENTER** を押して DataMate プログラムを終了し, CBL 2 の接続ケーブルを電卓からはずしても, CBL 2 のデータ収集は続行されます。4時間の実験中にグラフ電卓が必要になったらこの方法を取ってください。

```

COLLECTING DATA
CH 1: 1.2219

PRESS [STOP] TO STOP.
PRESS [ENTER] TO QUIT BUT
CONTINUE COLLECTING.

```

CBL 2 と電卓を再び接続し, DataMate プログラムを再開すると, CBL 2 が収集した最新のデータの値を表示します。

- 4時間のデータ収集が終了すれば, CBL 2 と電卓を再び接続し, DataMate プログラムを再開してください。画面に, DATA COLLECTION IS DONE (データ収集終了) と表示されます。

```

DATA COLLECTION IS DONE.
CHOOSE THE TOOLS OPTION,
THEN CHOOSE RETRIEVE DATA.
[ENTER]

```

- CBL 2 のデータを電卓に回収します。 **ENTER** を押してメイン画面に進み, **5** TOOLS を押し, さらに **2** RETRIEVE DATA を選択します。電卓は CBL 2 のデータを取り込み, 画面に表示します。

# Analysis

1. Student Data Reporting Sheet の問9 にグラフをスケッチし，問10 に教えてください。
2. 電池の電圧が下がる速さを調べるために，回帰計算を実行します。その前に，グラフを2つの部分に分け，電圧が直線的に低下している前半部分（およそ2時間）を選択しておきます。

グラフが表示されている状態で **[ENTER]** を押し，メイン画面に戻ります。

3. **[3]** GRAPH を押し，Graph Menu 画面に進みます。
4. **[2]** SELECT REGION を押し，画面の指示にしたがってグラフの直線部分を選択します（13ページ参照）。
5. **[ENTER]** を押し，新しいグラフが表示されます。
6. Graph Menu 画面で **[1]** を押し，メイン画面に戻り，**[4]** ANALYZE を選択して Analyze Options 画面に移ります。

```
ANALYZE OPTIONS
1:RETURN TO MAIN SCREEN
2:CURVE FIT
3:ADD MODEL
4:STATISTICS
5:INTEGRAL
```

7. **[2]** CURVE FIT を押します。

```
CURVE FIT
1:LINEAR (CH1 VS TIME)
2:LINEAR (CH2 VS TIME)
3:LINEAR (CH3 VS TIME)
4:LINEAR (DIST VS TIME)
5:LINEAR (VELD VS TIME)
6:LINEAR (CH2 VS CH1)
7:MORE
```

8. **[1]** LINEAR (CH1 VS TIME) を選択すると，電圧のデータに関する回帰直線を計算し，電卓の画面に1次方程式と，関連する値が表示されます。

この結果を Student Data Reporting Sheet の問11 に記入してください。

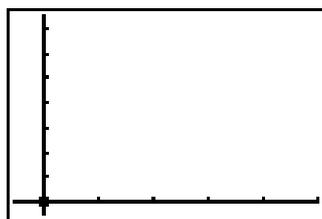
9. Student Data Reporting Sheet の問12-16 に教えてください。

# Student Data Reporting Sheet

1. 1セント銅貨の日付は \_\_\_\_\_。ワッシャの直径は \_\_\_\_\_。  
1セント銅貨の直径は \_\_\_\_\_。
2. 果物の名前とそれに割り当てた番号を記入し、表を完成してください。

果物の名前	番号	電圧
基準値	0	

3. データのグラフ (散布図) をスケッチしてください。



4. 電解液のない場合の電圧 (基準値, 番号 0) は, \_\_\_\_\_
5. 作り出す電圧が最高である果物は, \_\_\_\_\_
6. 作り出す電圧が最低である果物は, \_\_\_\_\_
7. 実験が進むにつれて, 1セント銅貨とワッシャの状態に何か変化が見られましたか。

---



---

8. どの果物が「ベスト」の電池だと思いますか。また, その理由は何ですか。

---



---

9. 時間とともに電圧の変化のグラフを下図にスケッチしてください。



10. 時間が進むにつれて、電圧はどのように変化しているように見えますか。

---

---

11. 回帰直線の方程式と係数の値を記してください。

---

---

12. 係数 A, B は何を表しますか。

---

---

13. 4 時間の実験の間に電池の電圧はどのくらい低下しましたか。

---

14. 回帰直線の方程式によれば、電圧が 0 になるのにかかる時間はいくらですか。

---

15. 上の値と実際のデータを比較してください。時間の経過とともに元のデータと比べて、問14で求めた値は一致しているでしょうか。実際のデータでは何が起こっているでしょうか。

---

---

---

16. 電圧が降下する速さに影響を与えた要因は何だと思えますか。

---

---

## Teacher Information

1983年以前に鑄造された1セント銅貨を用いた理由は、米国財務省がその年から亜鉛を銅で覆った1セント硬貨を作り始めたからです。

ワッシャは、金物屋さんで入手できるどんな亜鉛ワッシャでもかまいません。

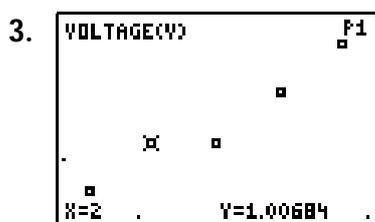
時間とともにう変化を調べる実験の4時間という時間は変えてもかまいません。ただ、電池の電圧変化が記録される十分な長さが必要です。2, 3時間は必要でしょう。

1セント銅貨とワッシャの間隔は、すべての果物について一定でなければなりません。間隔が変わると電圧が変化するためです。

### 解答例

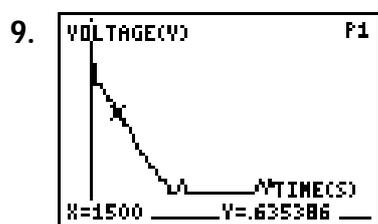
1. 電極を接触させたときの電圧 (基準値) は 0 に近いはずですが、0 にならないのは、CBL 2 の内部動作の性質によるものです。
2. 各種果物のデータ例を示します。

果物の名前	番号	電圧
基準値	0	0.03
じゃがいも	1	0.99
バナナ	2	1.01
トマト	3	1.01
みかん	4	1.04
レモン	5	1.05



4. 0.03
5. レモン (1.05 V)
6. じゃがいも (0.99 V)
7. 表面の色が変化します。1セント銅貨はだんだん光ってきて、ワッシャは色あせてきます。

8. レモンが最高の電圧を生じます。電圧以外の要素は、一番汚くない(使いやすい)、一番安いなど。「ベスト」の電池とは何かについて議論してもよいところです。最高の電圧を発生する電池か、電圧を最も長時間維持する(電圧の低下速度がもっとも小さい)電池かなど。



10. 電圧は低下します。
11.  $y = ax + b$ ,  $a = -4.2E-5$ ,  $b = 0.7$
12. A は電圧の低下速度(低下率), B は y 切片を表します。y 切片はほぼ測定を開始したときの電圧です。
13.  $.73 - .52 = .21$  V
14. 16,667 秒 (4 時間 38 分)
15. 一致しません。実際に測定したデータは、1.5 時間後以降、約 0.5 V に安定することを示しています。
16. 用いた果物、電解液(果汁)の減少、1セント銅貨やワッシャの汚れや時間の経過による色あせなど。

## 参考文献

*Data Collection Activities for the Middle Grades with the TI-73, CBL and CBR:* Young and Johnston; Activity 12: You'll Get a Charge Out of This!; TI Explorations™ Book.