

モータのしくみに迫る ～追体験の大切さ～

裾野市立東中学校

3年 小林 ゆい

1 自由研究を始めるにあたって

私の研究テーマはモータのしくみに迫ることです。モータに興味を持ったきっかけは、鉄の釘、単三乾電池、ネオジム磁石を使ってモータを作る実験が、とても不思議で面白かったからです。実験前はこれら3つの材料を使ってモータを作ることができるとは信じられませんでした。指示に従って磁石を鉄の釘の底に、釘の先端を乾電池の正極にそれぞれ取り付けた後、リード線を乾電池の負極と磁石の側面に接続すると、磁石の付いた釘が激しく回転しました。私は驚くと共に、それがどのようなしくみで動いているのかということにとっても興味を持ち、詳しく調べてみたいと思いました。

モータのしくみを調べるにあたって、最初にモータがどのように発明されたのかを調べようと思いました。その歴史を調べてみると、モータは突然発明されたのではなく、多くの先人による数多くの研究の積み重ねにより発明されたことがわかりました。また、モータは電流が流れることにより電界と磁界が生じる物理現象を巧みに利用していることもわかりました。このことから、電磁界をキーとしてモータが発明されるまでの歴史を調べることで、モータのしくみを知ることができると思いました。

具体的には、モータの歴史でキーとなったと考えている実験の追体験（フォローアップ）を行うことで、モータのしくみについて深く学ぶと共に、科学的な視点や考え方を学んでいきたいと思っています。そして、このような実験を積み重ねることによって、モータがどのようなしくみによって動作しているかという疑問の答えを見つけることができると思っています。

今回の研究では、キーとなったと考えている実験の中から、ボルタの電池の実験を行いたいと思います。ボルタの電池の発明により、安定した電源が得られるようになっていったことで、その後の電気、磁気学が発展していき、モータの発明につながっていったといえます。

2 研究の目的

モータの歴史について調べていくなかで、「多くの発明が先人の実験を追試する中での疑問や気づきがきっかけになって生まれているのではないか」ということに気づき、先人が行った実験の追体験（フォローアップ）を行うことはとても大切で意義のあることだと考えるようになりました。そして、各実験の中でどのような疑問や気づきを体験したのだろうということに、とても興味を持ちました。きっと「ワクワク」した気持ちで実験を行っていたのではないかと想像し、私もそのような体験をしてみたいと思いました。

しかし、それと同時に、知識も経験もない私が実験を行っても、このような疑問や気づきは生まれないのではないかとも思い、とても不安な気持ちにもなりました。

この研究の目的は、実際に実験の追体験を行うことで、私の中にも疑問や気づきが生まれるのかどうかを確認し、そこで生まれた疑問や気づきから、研究を発展させていくことで、追体験の大切さを自分自身の体験として実感することです。そしてこれらを積み重ねていくことによって、「モータがどのようなしくみによって動作しているのか」という疑問の答えを見つけることができるという考えに自信を持ち、私の研究テーマであるモータのしくみに迫っていきたいと考えています。

3 ボルタの電池の実験

ボルタの電池は銅板と亜鉛板を互いに接触しないように希硫酸を入れた容器に浸けることによって電流を取り出すことができる初めての化学電池です。今回の実験では、希硫酸の代わりに食酢を使用してボルタの電池を作成し、電圧の測定と電子メロディーの動作実験を行いました。また、先人は身近なものを使って実験器具や測定器具などを自分で作成して実験を行っていたことから、今回、フィルムケース、爪楊枝など身近な物を使用してボルタの電池の作成を行いました。測定器具としては電圧測定を市販のテスターの他に、micro:bit を使用した電圧計を作成して測定を行いました。

(1) 実験方法

- ア フィルムケースの中に、銅板と亜鉛板を互いが接触しないように食酢に浸け、ボルタの電池を作成し、銅板と亜鉛板間の電圧を計測する
- イ 電子メロディーの仕様から、動作に必要な電圧を調べ、アで作成した電池をいくつ直列に接続すれば必要な電圧が得られるか計算する
- ウ イの計算結果から必要な数の電池を作成、直列に接続して電子メロディーの動作を確認する

(2) 実験結果

作成したボルタの電池1つの電圧は0.92[V]でした。電子メロディーの仕様から、動作電圧が1.3[V]～3.5[V]ということがわかったので、ボルタの電池を3つ作成し、直列に接続することにしました。電子メロディーの動作実験を行うと、5分間と短い時間ですが、安定動作させることに成功しました。

(3) 実験を終えて

今回の研究の目的の一つは、実際に実験の追体験をすることで、私の中にも疑問や気づきが生まれるのかどうかを確認することでした。実験を始める前は不安がありましたが、いざ実験を始めてみると、さまざまな疑問や気づきが私の中に生まれてきました。銅板が正極で亜鉛板が負極になる理由や電圧計が電圧を測るしくみなど、これらのことが新鮮で興味深く、先人が行った実験を追体験していくことの大切さや、ワクワクした楽しさを実感することができました。作成したボルタの電池の動作時間の短さが少し気になりましたが、実験を行いながらボルタの電池について学んでいくこともでき、研究結果として当初の目的は達成できたと満足した気持ちで実験を終えることができました。

(4) イオンについて学んだあとで

この実験を終えた後、学校でイオンや電池について学んだことにより、ボルタの電池のしくみについて、より深く学びたいと思うようになりました。そして、今回の実験で気になった、ボルタの電池の動作時間の短さから、少しでも動作時間を長くできるよう改良にチャレンジしてみることにしました。また、実験を行う上で実験環境を整えることの大切さに気づいたため、電圧測定には精度の高い据置型のマルチメーターを用意し、電流の測定にはデジタルマルチメーターのキットを作成することにしました。また、温度や湿度、気圧などの実験環境の記録をするために、micro:bit を使用した環境センサーを作成しPCにて記録するなど、実験環境を整えることを行いました。

4 ボルタの電池の再実験

前回の実験では食酢を使用してボルタの電池を作成しましたが、動作時間の短さの原因が食酢を使ったことかもしれないと考え、今回の実験では希硫酸の代わりに、希塩酸（市販洗剤）を使用することと、溶液や電極の様子を観察しやすいように透明なガラス製の小型ビーカーを使用することにしました。

ビーカーに亜鉛板と銅板をセットし希塩酸を入れると、亜鉛板から大量の気体が発生して、希塩酸の溶液が白く濁っていききました。観察してみると、主に亜鉛板から気体が発生していて、銅板からは気体が発生しているようには見えませんでした。最初音が鳴っていた電子メロディーが、溶液が白く濁っていくにしたがい音が小さくなり、希塩酸の溶液が真っ白になる位に濁ると音が鳴らなくなってしまいました。その時、電圧はある程度あったのに、電流計の値は0になっていました。この実験結果から、亜鉛板から発生した気体が電池としての動作を邪魔しているのではないかと考えました。理科の授業で、亜鉛と希塩酸を反応させて水素を発生させる実験を行ったことを思い出し、発生した気体は水素ではないかと考えました。

5 ボルタの電池の改良 その1

亜鉛板から発生した水素の影響を減少させるため、正極、負極とも電極の大きさを大きくしてみました。小さい亜鉛板と銅板で作ったボルタの電池（電極 40[mm] X 8[mm]）と、大きい亜鉛板と銅板で作ったボルタの電池改良その1（電極 44[mm] X 15[mm]）の動作時の電圧と電流の変化を比べて、電極の面積を増やしたことで動作時間が改善するか確認することにしました。

実験を行ってみると、小さい電極に比べ電極が大きくなったことで、電圧、電流とも、数値の低下が少しゆるやかになり、安定して動作する時間を10分ほど長くすることに成功しました。しかし、15分をすぎたあたりから、電圧、電流値とも小さくなってしまい、電子メロディーの動作が不安定になってしまいました。

6 ボルタの電池の改良 その2

亜鉛板から発生する水素の気泡の影響を避けるため、亜鉛板と銅板を別のビーカーに入れたら良いのではないかと考え実験してみました。

結果、電圧はあったのですが、電流が全く流れなかったため、上手くいきませんでした。

この実験結果から、亜鉛板と銅板を別々のビーカーに入れた状態で、亜鉛板と銅板を電線で繋いでも、電流が流れないため、電池として動作しないことがわかりました。

改良その2が失敗して色々と考えながら教科書を見ていたところ、アルカリと酸の正体で、イオンは電解質で湿らせたろ紙の中を移動することができるという実験を思い出しました。亜鉛板と銅板のビーカーの希塩酸をキッチンペーパーでつなぐことでイオンの移動ができることになり、電気的な回路が閉じることで電流が流れるのではないかと考えました。

実験を行ってみると、2つのビーカーを希塩酸で湿らせたキッチンペーパーでつなぐことで、無事に電流を流すことができました。動作時間については、改良1に比べて、電流の15分すぎ位からの安定感が多少良くなっていましたが、思っていたような良い結果は得られませんでした。

7 ボルタの電池の改良 その3

ボルタの電池のしくみは、まず、負極の活物質である亜鉛原子が酸化されて溶液中に溶け、イオン化することで、電子が負極である亜鉛板に残されることになります。このことにより、正極の銅板との電位差が発生し、電子が導線を伝わって銅板へ移動します。移動した電子は銅板から正極の活物質である溶液中の水素イオンを還元し水素となります。溶液中ではイオンが移動することで電気的な回路が閉じ、電流が流れることになります。ボルタの電池はこのように酸化還元反応のしくみを利用して電流を取り出すことで動作しています。

再実験と改良その2の実験結果および、ボルタの電池のしくみから、目視では確認できなかったが、正極で発生している水素がなにかしら電池としての動作の邪魔をしているのではないかと考えました。改善策として、溶液中の水素イオンが電子を受け取ることにより水素が発生することを防ぐため、水素イオンより酸化力（電子を受け取る力）が強い物質を溶液に加えることで、水素イオンの代わりに電子を受け取り、水素イオンが水素になることを防げるのではないかと考えました。強い酸化力を持った物質を探すために理科の教科書を読んでいると、過酸化水素がとても強い酸化力を持っていることがわかりました。

改良その2の正極（銅板）側ビーカーの中に、過酸化水素を入れて実験を行ってみると、改良その1,2が15分をすぎると電子メロディーの動作が不安定になったのとは比べ、15分をすぎても安定して動作しており、過酸化水素により水素発生を防ぐという改善策が有効に働いていることがわかりました。その後も安定して動作を続けていましたが、動作開始から60分ほど経った時、銅板の入った正極の溶液が水色に変化していることに気がつきました。水色に変化していることから、溶液中に銅イオンがあると考えましたが、銅は希塩酸には溶けないので、不思議に思っていました。しばらく考えていたところ、10円硬貨を食酢などの酸につけ綺麗にするという実験を思い出しました。食酢などの酸につけると、10円硬貨の表面の黒っぽい酸化銅だけが溶け、銅は溶けないので表面が綺麗になるというわけです。過酸化水素が銅を酸化したのかはわかりませんが、過酸化水素を加えたことで、過酸化水素、希塩酸と銅板との間になにかしらの反応が起こり、銅が溶液に徐々に溶けていくことで溶液中の銅イオンが増えていき、正極の活物質の一つとなったのではないかと考えました。水素より電子を受け取る力が強い過酸化水素と銅イオンの2つが正極の活物質になったことで、水素が発生しなくなり、最終的にビーカー内の溶液が蒸発するまで300時間以上、電子メロディーが動作するという劇的な改善につながったのではないかと考えています。どのようなしくみによって銅が溶けイオンになり、この改善につながったかは、今後の研究での課題としたいと思います。

8 終わりに

今回の研究で追体験を行っていく中、実験中や実験後だけではなく、実験の段取り中にまで、さまざまな「なぜ？」が生まれてきて本当に驚きました。それと同時に、この「なぜ？」に答えるためにはあまりに知らないことが多く、勉強不足を痛感しました。科学的な考え方で実験を行い、自分の中に新たな疑問や気づきを得て研究を発展させていくためには、幅広い知識が必要不可欠なことだということが、自分自身の体験として実感することができました。また、実験環境を整えることの大切さに気づいたことも、とても勉強になりました。今回、簡易的なものではありませんが、マルチメーターのキットやBME280センサーとmicro:bitを使用した環境測定システム、MLX90640センサーとM5Stackを使用したサーマルカメラ、基準電圧発生器などの作成にチャレンジしました。このような測定器を自分で作ることは、より深く学んでいくためにとても有意義なことだと感じました。

追体験の大切さという面で興味深かったことは、micro:bitでのプログラム作成や、基準電圧発生器の回路作成などを行うとき、チュートリアルやサンプルプログラム、データシート回路例などで学び、参考にしながら自分の研究や目的にあったプログラムや回路を作っていたのですが、これらのことは、まさに先人の研究の追体験を行いながら学び、自分の研究を発展させていくことと同じだと思いました。また、今回の研究でボルタの電池の実験の追体験を行う中、自分の中で生まれた疑問や気づきを発展させていくことで、ボルタの電池の動作時間を劇的に改善することに成功しました。これら2つのことから、追体験を行うことの大切さを改めて実感することができました。そして、このことから、先人の実験の追体験を積み重ねていくことで、「モータがどのようなしくみによって動作しているのか」という疑問の答えを見つかることができるという考えに自信を持つことができました。今後もこのような研究を継続していくことで、私の研究テーマであるモータのしくみに迫っていきたいと考えています。