

## 低抵抗回路を用いた乾電池の短絡回路の危険性を教える学習の提案

○木村峻（宮城教育大学）、水谷好成（宮城教育大学）、中山慎也（宮城教育大学）

キーワード：小学校，理科，電気，ショート回路

### 1. はじめに

初等教育の教員を目指す学生及び小学校で実際に理科を指導している教員は物理の電気分野における苦手意識が高い。学習指導要領の改定により小学校の理科で新たに「実感を伴った」理解を図ることが重視されている。しかし、理科の全領域の観察・実験の学習経験は大学での教育において十分に行われていないのが現状であり、物理：電気関係の学習量が少ないままで教員となっていることが学習指導上の困難を生み出す要因になっていると考えられる。高等学校理科の新採用教員において、高等学校の教科書（物理・化学・生物・地学）で扱われている代表的な77実験のうち経験した実験数が平均30%に満たないという報告もある。「観察・実験の技能が十分にある」と肯定的に回答する教員ほど観察・実験をする授業を行う割合の高い傾向があるが、観察・実験を実施するには教員自身が観察・実験を行うための確かな知識・理解と指導法の習得が不可欠である。電気に関する学習は難しさがあるうえ、短絡（ショート）回路のように配線を誤ると火傷を起こす危険性がある実験を扱う。教員は電気回路の配線の誤りによって生じる危険性を実感として理解しておく必要がある。

### 2. 研究の目的

小学校の電気分野の学習の基礎の第一に挙げられるのは、乾電池の正しい接続方法であり、乾電池を短絡回路にしてはいけないことを教えなくてはならない。小学校段階では教科書に注意書きとして短絡回路の危険性は教えてはいるが、実感を伴って危険性を理解させるには十分ではない。口頭による知識の伝達と記憶だけでなく、危険性の確実な理解・定着を図るには危険性を実感させる学習をすることが望ましい。しかし、不適切な操作で火傷をさせるような経験は適切ではない。そこで、乾電池の短絡回路の危険性を安全に実感できる学習方法が必要であると考えた。乾電池の短絡回路による危険は過大電流による発熱であるが、短絡回路にした場合にどの部分が何度くらいまで熱くなるのかを理解している教員は多いとはいえない。学習指導要領の改訂で、第6学年の「発熱」の内容が中学校に移行したが、観察・実験などの指導に当たって、事故防止に十分留意した上で、電気による発熱に気づかせることは必要な学びである。火傷を起こすような危険な体験をさせずに、危険性を理解させる学習方法の提案を目的とした。

### 3. 実験方法

発熱を直感的に実感させるには触覚による体験観察が第一に考えられるが、火傷を起こす危険が伴う。視覚的に発熱を間接的に確認できれば、安全に理解させられる。乾電池の短絡回路では負荷抵抗が小さいことで過大電流が流れて発熱する。直列回路では電気抵抗が大きい部分の発熱量が大きくなる。電気抵抗が無視できるほど小さなリード線（導線）で短絡回路を作った場合には、回路内で乾電池の電極端子付近の電気抵抗が相対的に大きいため電極端子部分が最初に熱くなり、その温度上昇が熱伝導によって接続されている導線の温度を上昇させやすいと考えられる。温度上昇によって金属の電気抵抗が大きくなるので温度上昇が抵抗の上昇・加熱を加速させる要素になる。導線で乾電池の短絡回路を作った場合、電池ボックスの電極端子付近のプラスチック素材が熱によって融ける場合がある。また、電流が過剰に大きくなると、乾電池内の内部抵抗による発熱で乾電池自身の温度も上昇する。そこで、安全に制御可能な短絡回路を疑似的に作る方法として、過大電流を起こす抵抗値の小さな炭素皮膜（カーボン）

抵抗器を負荷にして、抵抗器部分のみを発熱させる実験方法を検討した。

#### 4. 実験結果

カーボン抵抗器を負荷とする直列回路では、直列回路上で最も抵抗値の大きいカーボン抵抗器だけが温度上昇するので安全に確認実験ができる。乾電池の種類や使用状況によっても結果は異なるが、図1のように、単1サイズのマンガン乾電池を2個直列にした電源で、ミノムシクリップで1Ω抵抗器を直列接続した回路に通電した時、カーボン抵抗器が発煙して燃えることが確認できた。図2のように、発熱を視覚的に実感するための方法として、温度変化をサーモグラフィーカメラで確認することもできる。温度変化を色の変化として確認でき、温度上昇を数値として測定できる。図1の実験で煙を出している状態の抵抗器の温度は200℃以上であり、発火温度近くまで温度上昇していることを確認できる。カーボン抵抗器は定格によっても温度の上昇程度は変わる。表1は単一マンガン乾電池1個に対して定格の異なる抵抗器の温度上昇を測定した例である。定格が小さな抵抗器ほど温度上昇が大きいことを確認できる。乾電池1個では視覚的に発煙や匂いを確認することはできなかったが、火傷を起こす45℃を遙かに超えていることは確認できた。

#### 5. 考察

小学校では電気抵抗の学習は扱われないので、抵抗器を電気の流れを調整する部品として位置づけることにした。また、乾電池は理想電源と内部抵抗の直列回路とみなせるが、中学校でも内部抵抗は学習しないため、授業の中に取り入れるためには、図1の模式的な電池として示す方が良いと考えた。小学校では豆電球やモータに流れる電流がどのようにして決まるかについては学習しない。小学校における学習内容を可能な限り逸脱せずに、小学生が納得できる説明をすることは容易ではないが、以下の論理的な説明であれば可能であると考えた。①電気で光る仕組みのある豆電球では流れる電流の大きさが調整されている。②中学校で学習する「電気抵抗」に関する部品(抵抗器)を使うと電流の大きさを調整できる。③電気回路で安全に流すことができる電流は決まっており、安全に流すことができる電流を超えると火傷を起こす温度よりも高くなる。④短絡回路ではとても大きな電流が流れ、実験で行った短絡回路に近い状態の回路でも部品の温度が高くなり、場合によっては煙が出て燃えてしまう。⑤実験で使った抵抗器は、電流が大きすぎて熱くなって煙が出て燃えた。⑥煙が出なくてもサーモグラフィーカメラで確認すると、触ると火傷を起こす温度を遙かに超えていることがわかる。⑦電流を調整できない導線だけで直接乾電池の端子を接続すると電流がさらに大きくなるため乾電池まで熱くなってしまうので危険である。

乾電池の種類や使用状態によっても実験結果が変わってしまう。そのため、再現性の良い実験方法を提案することが必要である。これまでの実験結果から、マンガン乾電池1個の短絡回路では発煙するまでの温度上昇に達していないことから、乾電池2個の直列回路の学習が行われる小学校4年生の学習に組み込みやすと考えている。最終的には、サーモグラフィーカメラ等の動画資料を提供することによって理科実験に苦手意識のある教師でも安全に扱えるような授業の提案ができるようにしていく。

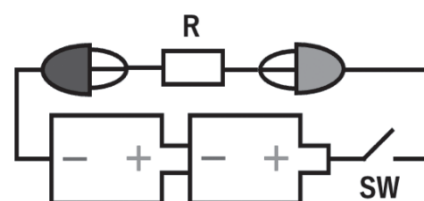


図1 低抵抗器を使った擬似的短絡回路実験

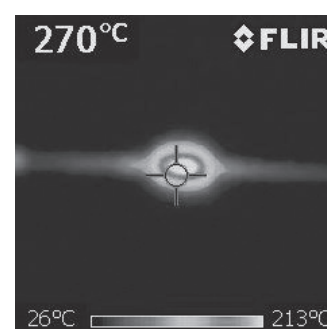


図2 抵抗器の発熱による温度上昇の確認

表1 抵抗器の発熱による温度上昇の比較

単一マンガン乾電池(1個)		
定格(W)	温度(℃)	匂い
1/4	約160	無し
1/6	約160	無し
1/8	約170	無し