


<h1>指導資料</h1>	<h1>理科 第309号</h1>	
	対象校種	幼稚園 小学校 <b>中学校</b> <b>高等学校</b> 特別支援学校

 鹿児島県総合教育センター  
平成28年10月発行

## 科学的な思考力, 判断力, 表現力を育む学習指導の工夫 ーコンデンサーを含む電気回路の立体的考察を通してー

中・高等学校の電気分野において、校種間のつながりを考慮し、電気回路図における電源の電圧を「高さ」として捉え、平面的な回路図を立体的に変換し、抵抗を流れる電流やコンデンサーに蓄えられる電荷の動きを考察させる指導方法について紹介する。

### 1 指導の基本的な立場

「電気」はエネルギーの一つであり、我々の生活は「電気」と密接に関わっている。「電気」の学習については、生徒に基本的な概念や原理・法則を系統的に理解させるとともに、それらを日常生活や社会と関連付けて考察できるようにすることが求められている。中・高等学校の『学習指導要領解説 理科編・理数科編』には以下のように述べられており、校種間、学年間において学習内容が系統的に配置され、関連性があることが分かる。

[中学校 第1分野]

#### (3) 電流とその利用

小学校では、第3学年で「磁石の性質」、「電気の通り道」、第4学年で「電気の働き」、第5学年で「電流の働き」、第6学年で「電気の利用」など、電流の働きや

磁石の性質について初歩的な学習をしている。

(中略) 電流や電圧、磁界や静電気などについての基本的な性質を理解させるとともに、日常生活や社会と関連付けながら電流と磁界についての科学的な見方や考え方を養うことが主なねらいである。

[高等学校 物理]

#### (3) 電気と磁気

##### (エ) 電気回路について

中学校では、第1分野「(3) 電流とその利用」で、電流・電圧と抵抗、回路と電流・電圧について学習している。また、「物理基礎」では、「(2) ウ 電気」で、物質によって抵抗率が異なること、電気の利用について学習している。ここでは、電気回路について理解させることがねらいである。

## 2 指導の実際

### (1) 電圧を「高さ」として捉える

帯電している物体（帯電体）がもつ電気のことを電荷といい、その量を電気量とし、単位にクーロン（記号 C）を用いる。また、電流は、高い位置から低い位置へ流れる水流に例えることができ、電荷は、正に水分子のように粒子として考えることができる。そして、+1C 当たりの静電気力による「位置エネルギー」を電位といい、2点間の電位の差を電位差又は電圧という。つまり、電圧とは高さの差であり、電流とは位置エネルギーを持った電荷の集まりが、水流のように高い位置から低い位置へ流れるイメージと考えると理解しやすい。このようなことから、中学校第2学年においては、電流を水流に例えた概念図（水流モデル）を用いることが多い。

高等学校においては、複雑な回路を考えるとき、電気量保存の法則や、オームの法則を基に拡張したキルヒホッフの法則を用い、図1のように、電池をポンプのように例えて表現することが多い。

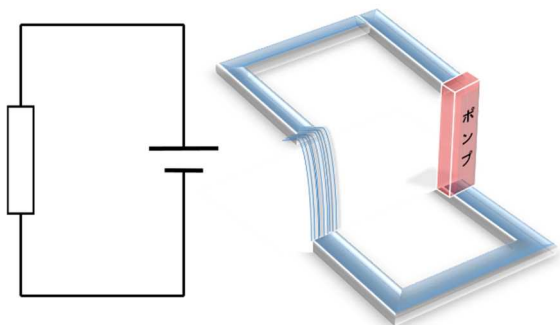


図1 回路図(左)と水流モデル(右)

### (2) 回路図を立体的に捉える

抵抗  $R$  [Ω] に電流  $I$  [A] が流れるとき、オームの法則により、電流が流れ込む抵抗の前後で電位が  $RI$  [V] だけ低くなる。これを電圧降下という。本稿においては、図2のように電流が抵抗を流れる様子を正電荷が階段を降下する様子に例え、電圧降下を下り階段で表し、回路全体を立体的に表現する。これを立体回路図と定義する。抵抗は、正電荷の「高さ」を減らし、電池は、エレベーターやポンプのように正電荷に「高さ」を与えるものとする。

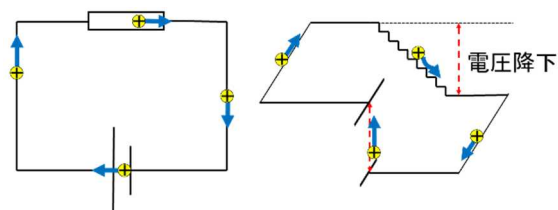


図2 回路図(左)と立体回路図(右)

平面的な回路図を立体的に考察し、物体（電荷）が高い位置へ運ばれ、低い位置へ降下するように捉えることで、実際の電流や電荷の動きをイメージしやすくなる。高等学校で学習する電位差計やメートルブリッジなどの複雑な回路も、全て立体的に考察させることで、その用途をより深く理解させることができる（図3）。

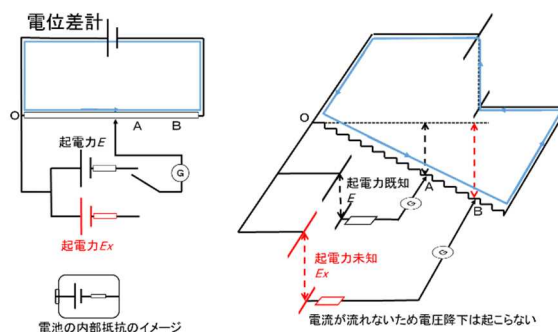


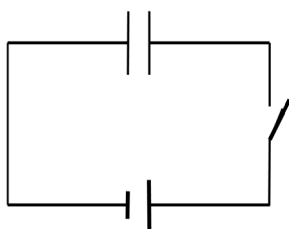
図3 電位差計の回路図(左)と立体回路図(右)

〈補足〉 検流計には電流が流れていないため、電池の内部抵抗において電圧降下は起こらない。よってOA間の電圧降下（階段の高さ）は起電力既知の電池（標準電池）の起電力に等しく、OB間の電圧降下（階段の高さ）は起電力未知の電池の起電力に等しい。抵抗値は長さに比例するので、OAとOBの長さを調べることで未知の起電力の大きさを内部抵抗の影響を受けることなく求められることが理解できる。また、立体回路図においては、「高さの比=長さの比」として解釈できる。

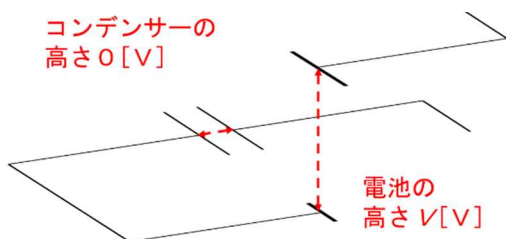
$$E : Ex = \overline{OA} : \overline{OB}$$

### (3) コンデンサーを含む立体回路図

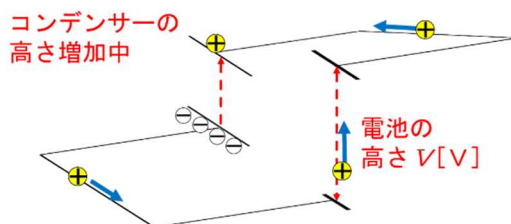
次のような平行板コンデンサーの充電過程を立体回路図で考察する。



#### ① スイッチを閉じる前



#### ② 充電中



#### ③ 十分に時間が経過

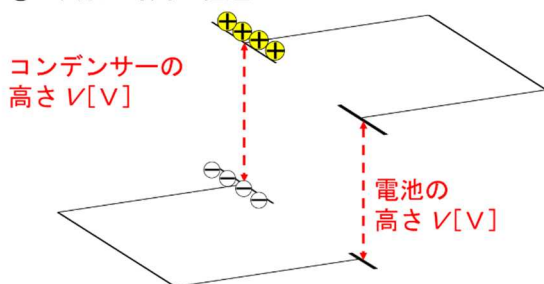


図4 コンデンサーの充電過程を表現した立体回路図

スイッチを閉じる前（充電前）のコンデンサーには電荷がなく、コンデンサーの電位差は0[V]である。よって「高さ」はなく、立体回路図においては平面的な状態にあり、電池だけが電圧V[V]の「高さ」を持つ(図4①)。

スイッチを閉じると電荷の移動が始まるとともに、コンデンサーの極板間に電位差が生じる(図4②)。

やがて、コンデンサーの電位差（高さ）が電池の電圧（高さ）に等しくなると電荷の移動は止まり、電流が0[A]になる(図4③)。補足として、この後スイッチを開いても、コンデンサーに蓄えられた電荷は失われないことについても触れておくことが望ましい。

## 3 問題演習の実際

生徒が取り組む問題演習として、コンデンサーを含む直流回路の問題は、時間経過と共に回路を流れる電荷や電圧の状態が変化するため、平面的な回路のみで理解することは難しい。そこで、立体回路図を用いて作図させ、思考させると効果的である。ただし、問題に入る前に、まず、ショート(図5)及び、コンデンサーの状態変化(図6)について立体回路図を踏まえて理解させておく必要がある。

### (1) ショート(短絡)

電流にとって抵抗は通りにくい通路であるといえる。そのため図5のように導線と抵抗を並列に接続した場合、電流は抵抗を流れず、全て導線を通る。よって立体回路図は平面的になる。

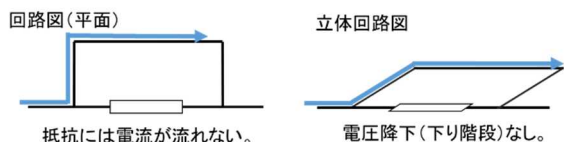


図5 ショート（短絡）の立体回路図

(2) コンデンサーの状態変化

図6のように、スイッチを閉じた直後は、コンデンサーには電荷が蓄えられておらず、電位差は生じていない。よってコンデンサーの立体回路図は、平面的になる。その後、十分に時間が経過すると、コンデンサーは充電され、電荷の貯蓄とともに「高さ」が生じ、電荷の移動はなくなる（コンデンサーは断線と見なす）。

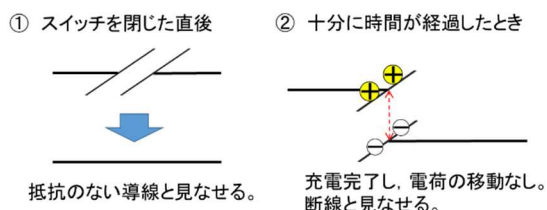


図6 コンデンサーの状態変化

次の例題を用いて、問題演習における指導の実際について述べる。

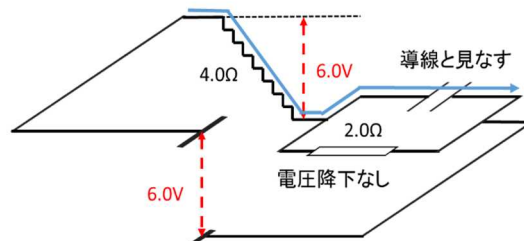
**例題**  
 右図のように、電池、充電されていないコンデンサー、抵抗、およびスイッチを接続する。

(1) スイッチを閉じた直後、 $2.0\Omega$ の抵抗に流れる電流は何Aか。  
 (2) (1)の後、十分に時間が経過したときに $2.0\Omega$ の抵抗を流れる電流は何Aか。  
 (3)十分に時間が経過したときにコンデンサーに蓄えられた電気量は何 $\mu C$ か。

例題の回路図を立体回路図として考察すると、図7のようになる。スイッチを閉じた直後では $2.0\Omega$ の抵抗には電流は流れず、 $4.0\Omega$ の抵抗の電圧降下は、電池と同じ $6.0V$ であると判断できる（図7①）。十分に時間が経過したときは、コンデンサーは充電され、断線の状態と見なせるため、 $2.0\Omega$ の抵抗側に電流が流

れる。またコンデンサーは $2.0\Omega$ の抵抗で生じた電圧降下と同じ高さ（電圧）で充電されることが判断できる（図7②）。

① スイッチを閉じた直後



② 十分に時間が経過したとき

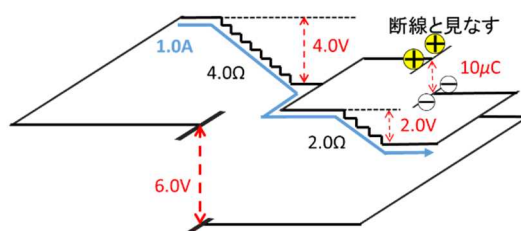


図7 例題における立体回路図

このように、物理の学習において、生徒に現象をイメージさせ、描画させる場面は多い。複雑な回路やコンデンサーを含む回路を、立体回路図に変換して作図し、回路中の電荷の動きを考察させることで、思考力、判断力、表現力を養うことができる。その際、グラフ用紙やノートの罫線などを活用し、丁寧に作図させることが大切である。また、電気回路だけではなく、その他の分野においても、「水は高い所から低いところへ流れる」などの生徒が持つシンプルなイメージを大切にしながら、図を用いて考察させることにより、様々な物理現象を多角的に捉え、より一層理解を深めさせることが期待できる。

－引用・参考文献－

- 文部科学省『中学校学習指導要領解説－理科編－』平成20年、大日本図書
- 文部科学省『高等学校学習指導要領解説－理科編・理数編－』平成21年、実教出版株式会社

（教科教育研修課）