

直流回路の教え方 ～なぜ直列が先なのか～

北里大学理学部・教職課程センター 山本明利

【要旨】

中学校の直流回路の学習では抵抗の接続を扱う。その際、直列接続をまず取り上げるのはなぜだろう。実用的には電源に対する負荷の接続は圧倒的に並列接続が主体で、直列接続は特殊である。

高校教科書でもすべて直列→並列の配列となっているが、「公式が簡単だから」という理由で教える順番を決めていないだろうか。

教育上好ましい教授内容と教材の配列を改めて考えてみる。

1. 直流回路の教育課程

小学校での電磁気は、小3で「回路」の概念を、小4で電池の接続、小5で電流の磁気作用、小6で電磁誘導などのエネルギー変換について学ぶ。一方、中学校では2学年で、電磁気学全般を集中的に学ぶが、電流・電圧・電力などの扱いが定量化される。新課程では、光電池が小4から小6へ、ジュール熱の発生が小6から中2に移っているが、基本的な教育課程は現行学習指導要領と同じである。

ところで、中2の直流回路の学習では抵抗の接続を扱うが、この際、直列接続を先に、並列接続を後で学習するケースがほとんどである。教科書の配列がことごとく直列→並列の順だから、おそらく現場では何の疑いもなく教科書通りに教えているのだろう。

高校になると物理量を文字式で扱うようになり、下のような合成抵抗 R を求めるためのいわゆる「公式」が登場する。

$$\text{直列接続：} R = R_1 + R_2 \quad \text{並列接続：} \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

ここでも直列が前、並列が後である。

ちなみに、中学校学習指導要領解説・理科編（平成29年7月）の記載は、「(内容の取扱い) ア 「回路」については、直列及び並列の回路を取り上げ、それぞれについて二つの抵抗のつなぎ方を中心に扱うこと。」¹⁾ などとなっており、やはり直列→並列の順であるが、教科書の目次や授業で扱う順番は学習指導要領通りでなくてもよいことになっている。

なぜ「直列」を先に教えるのだろうか。

2. 公式至上主義ではないのか

前節で述べてきたように、中学・高校では抵抗の接続は、何のためらいもなく直列

→並列の順に教えている。ところが高校物理のコンデンサーの学習になると、合成容量 C を導く際に

$$\text{並列接続： } C = C_1 + C_2 \quad \text{直列接続： } \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

と、一転して並列接続を先に取り上げ、直列接続は後回しになるのである。

高等学校学習指導要領解説・理科編・理数編（平成 30 年 7 月）の「物理」におけるコンデンサーの箇所の記載は、「また、複数のコンデンサーを直列や並列に接続する実験を通して、各コンデンサーにかかる電圧や蓄えられる電気量に着目して、合成容量を求めさせることなども考えられる。」²⁾ であって語順は直列→並列だが、コンデンサーの直列接続を先に扱っている教科書は見たことがない。

改めて問おう。なぜ抵抗の「直列接続」を先に教えるのだろうか。

オームの法則の表記は今でこそ $V=RI$ が主流だが、オームが法則を発見した当時は今で言うコンダクタンス G （電気抵抗の逆数：単位[S]）を用いた表記だった。もし、学校理科でオームの法則の表記法として $I=GV$ を採用していたなら事態はどう変わっていただろうか。（実際、この表記法の方が電圧を変化させて電流を測定する中学校の実験にはよくなじむし、理解しやすいのだが、ここではその議論はしないでおく。）
接続公式は

$$\text{並列接続： } G = G_1 + G_2 \quad \text{直列接続： } \frac{1}{G} = \frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2}$$

となるが、それでもなお直列接続を先に教えようと考えたであろうか。「渋滞する道路に平行にバイパスを通すと交通量が増やせる」というたとえで、中学生でも並列が先ですんなり理解できるはずである。

それではなぜ中学や高校で抵抗の直列接続を先に教えようとするのか。それは単に「公式の形が簡単だから」という理由ではなかつたらうか。おぼえやすい公式を先に出すという、まず公式ありきの発想、「公式至上主義」ではなかつたらうか。これが本論の問題提起である。

3. 電気回路では並列接続が基本

では、公式の形には一切とらわれないで考えることにした場合、概念形成や応用上の重要性を考慮すると、直流回路の並列接続・直列接続はどのように扱うのが教育上最適なのか。次にそれを考えてみよう。

小4で学習する乾電池の「直列つなぎ」「並列つなぎ」では、「直列」の重要性はかなり高い。起電力 1.5V の乾電池を直列接続して電圧を加算し、必要な電圧を確保することは日常よく行われており、実用上も重要な知識である。そもそも乾電池 1 本では LED が光らないから、直列つなぎを教えないとその先へ進めないという事情もある。しかし、電池の場合でも、まず並列つなぎで実験し、電池を 2 本にしても豆電球の明るさやモーターの回転力が変わらないことを先に確認させた上で、直列つなぎに進んだ方が児童の感動が大きいと思う。これは教育技術である。

小中学校では、「電池は定電流源である」という誤概念を持つ児童・生徒がかなりい

ると聞く。電池を並列につなぐと電流がより多く流れるという誤解である。電池を揚水ポンプになぞらえる、いわゆる「水流モデル」が破綻する例でもある。並列つなぎの実験でまずここをしっかりと押さえるのが、電位概念形成への第一歩だろう。

次に中学・高校で学ぶ抵抗の接続はどうか。抵抗は負荷である。負荷は電源に並列に接続するのが電気回路の基本である。直流回路ではないが、家庭のコンセントはすべて並列接続だし、多くの実用回路は共通の電源から並列に分岐して電流をとり、モーターを回したり、明かりをつけたり、音を出したりしている。

これに対し、負荷の直列接続は特殊である。LEDの保護抵抗、電流制御用のトランジスタなどは回路技術としては頻繁に使われる例ではあるが、中学生向けの話ではない。三端子の可変抵抗でのポリウム調節は、メートルブリッジやポテンショメーターに通じる身近な例として高校で取り上げることもあるが、直列接続の公式を使ったりはしない。公式が使える場面はせいぜいアナログ電圧計の倍率器の計算ぐらいだろう。

高等学校のコンデンサーの単元では、すべての教科書で並列接続を先に取り扱っている。これはリーズナブルである。電源バックアップとして、高周波バイパス用として、コンデンサーを並列に取りつけることは多い。もっともその際、合成容量を気にすることはあまりないから公式の出番はない。一方、コンデンサーの直列接続は極めて希である。コッククロフト・ウォルトン回路が代表例だろうか。電気回路中では耐電圧を稼ぐときや有極性コンデンサーのノンポーラ接続で裏技的に使うぐらいで、特殊である。一般の高校生向きの事例ではない。

以上、直流回路ではまず並列接続が基本であることを述べてきた。電源に対して並列に組み込んでいくことで、各素子には等しい電圧が平等に加わり、それぞれの素子が独立して働くことができる。電源の規格をそろえることで、各ユニットを独立に開発することもできる。電源から供給される全電流は、それぞれの素子に流れ込む電流の和になる。キルヒホッフの「第1法則」の概念を「第一」に学ばせてはどうだろう。電位概念に進む上でも、まず並列を押さえるべきではないだろうか。

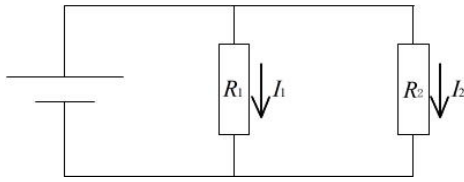
4. そもそも接続の公式は必要なのか

中学校学習指導要領解説・理科編の（内容の取扱い）には「イ 「電気抵抗」については、物質の種類によって抵抗の値が異なることを扱うこと。また、二つの抵抗をつなぐ場合の合成抵抗にも触れること。」¹⁾とあるが、これは中学校の話だからもちろん合成抵抗の公式を示せということではない。2つの抵抗を接続したとき、全体としての抵抗はそれぞれの抵抗より大きくなるか小さくなるかといった定性的な話でよい。

高校でも合成抵抗や合成容量の公式を示せとは、学習指導要領上はあらわには求められていないのである。実際には使いもしないこれらの公式を教科書本文にうやうやしく太文字で掲載する必要はあるのだろうか。小間で扱う程度で十分ではないか。

つまるところ直流回路ではキルヒホッフの法則の概念、すなわち電流保存と電位の概念を押さえればよいはずだ。基本に立ち返って公式至上主義の呪縛を逃れよう。直流回路ではまず並列接続の基本概念を徹底的に学ばせたい。

【図1】電流が抵抗の逆比に分流される

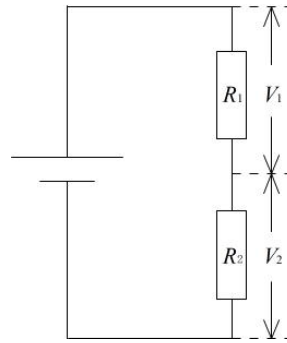


$$I_1 : I_2 = R_2 : R_1$$

またはコンダクタンスを用いて

$$I_1 : I_2 = G_1 : G_2$$

【図2】電圧が抵抗の比に分割される



$$V_1 : V_2 = R_1 : R_2$$

その上で、抵抗を例にとれば、並列接続／直列接続という抵抗のみの関係式ではなく、電流の分流（図1）あるいは電圧の抵抗分割（図2）というように電流や電圧と結びついた概念形成を目指したい。その方が、回路を見る視点として大切だし、実用上も有用な知識になる。

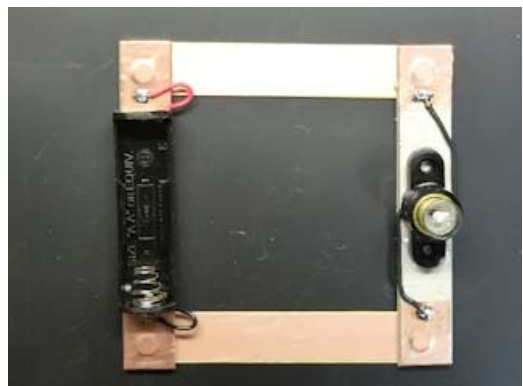
5. 黒板演示用回路を使った授業プラン

ここ数年、横浜物理サークル（YPC）や科教協での発表機会を通じて、直流回路の演示授業用教具として「黒板演示用回路」³⁾を開発し、提案してきた。現在は小中学校向けに図3～6に示す「黒板演示用回路（簡易セット）」⁴⁾の普及に力を入れ始めている。この教具は、マグネットバーの感覚で黒板上に導線、電池、電球などの各ユニットを回路図通りの形に貼り重ねて行くと、ユニットの端点に埋め込まれたネオジム磁石により重なった部分が接着し、表面の銅箔テープにより自然と導通して、そのまま黒板上で回路として動作するものである。コードのつなぎ替えや取り回しの手間がなく、回路の組み替えが素早くでき、何より見た目に分かりやすい演示ができる。

【図3】黒板演示用回路（簡易セット）



【図4】黒板上で組んだ基本形の回路



回路素子は図3左から、電池ユニット（単三 1.5V）、電球ユニット（1.5V、0.5A）、ジョイントユニット、導線ユニットである。

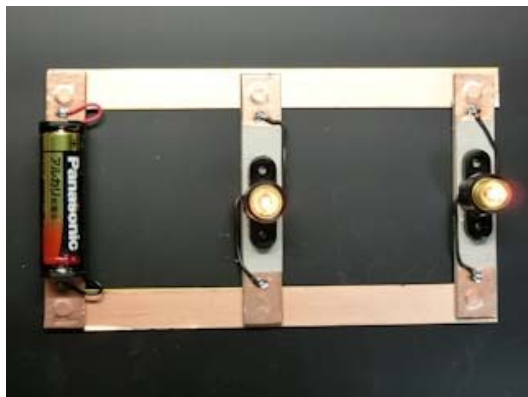
教具の詳細は下記の参考文献3)、4)をご覧くださいととして、この教具を用いた直流回路の中学校用授業プランを別紙1に示す。電球の直列接続をスキップすれば小学校でも使えるし、高校でも概念確認になるプランである。

まず別紙1中央の基本形（図4）を作り、電球の明るさを確認させる。基本形の明るさを基準として、以下の回路変形で電球の明るさがどう変化するかを予想し、討論し、実験を観察し、まとめる、という流れである。仮説実験授業風に1ステップずつ進めていく。電球の明るさの判定は、基本形に対して「ほぼ同じ」「明らかに明るい」「明らかに暗い」の3通りで、電池の内部抵抗による微妙な変化には目をつぶる。このことははじめにルールとして宣言しておく。内部抵抗の影響を極力減らす意味で、電池は毎回新品を用いるようにする。

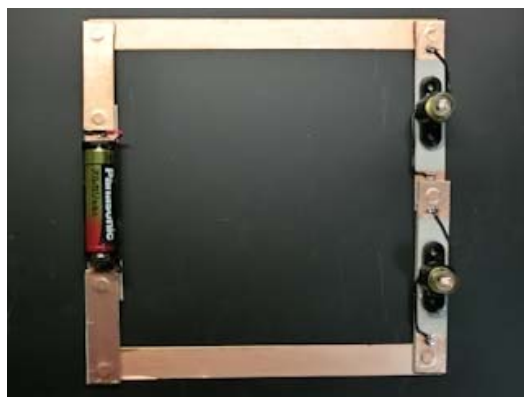
実験は別紙1の番号順に、回路の1箇所を変更するだけのステップを繰り返す。まず別紙1下半分の「並列パターン」を順に実施していく。①～⑤まで電球の明るさはほとんど変わらない。並列接続では電池や電球をどんな順番に並べても電球一個に流れる電流の強さは変わらないことを徹底的に確認する。

テスターや電圧計を併用して回路の各部の電位を随時確認するのも効果的である。この教具の便利なところは、回路のどこでもテスターをあてて電圧（電位）が測れることである。鉄製のミノムシクリップなら、はさまなくても磁石の部分に吸い付く。回路変形をしながらその場でスピーディに電位の確認ができる。

【図5】並列パターンの例



【図6】直列パターンの例



後半は別紙1上半分の「直列パターン」を番号順に実施していく。変化のない前半に比べ、後半は毎回明らかに明るさが変わるので、生徒が予想に燃える展開になる。ここでもテスターや電圧計を併用して回路の各部の電位を随時確認するとよい。直列パターンでは特に電位の概念の形成に力点を置きたい。

なお番号を付していないステップは等価回路変形なので省略してもよい。生徒の理解力に余裕があれば、思考を柔軟にするためのオプションとしてこれらを追加する。

仮説実験授業と同様の手法で、回路組み替えの各ステップごとに、操作前の回路と

操作後の回路をそれぞれ回路図で描かせ、実験前の予測と結果を必ず書き留めさせるようにする。ワークシートの例を別紙2に示した。

かような授業プランを作ってみたが、付属校を持たない本学には児童・生徒がいないので、実はまだ小中学生対象に実践してみたことはない。教職課程の大学生には大変好評であるが……。現場で実践してみただけの方がいらしたら、事後でも良いのでぜひご連絡をいただきたい。小中学生の反応を知りたいと思う。

【連絡先】 山本明利 tenjin.ypc@jcom.home.ne.jp

【引用文献】

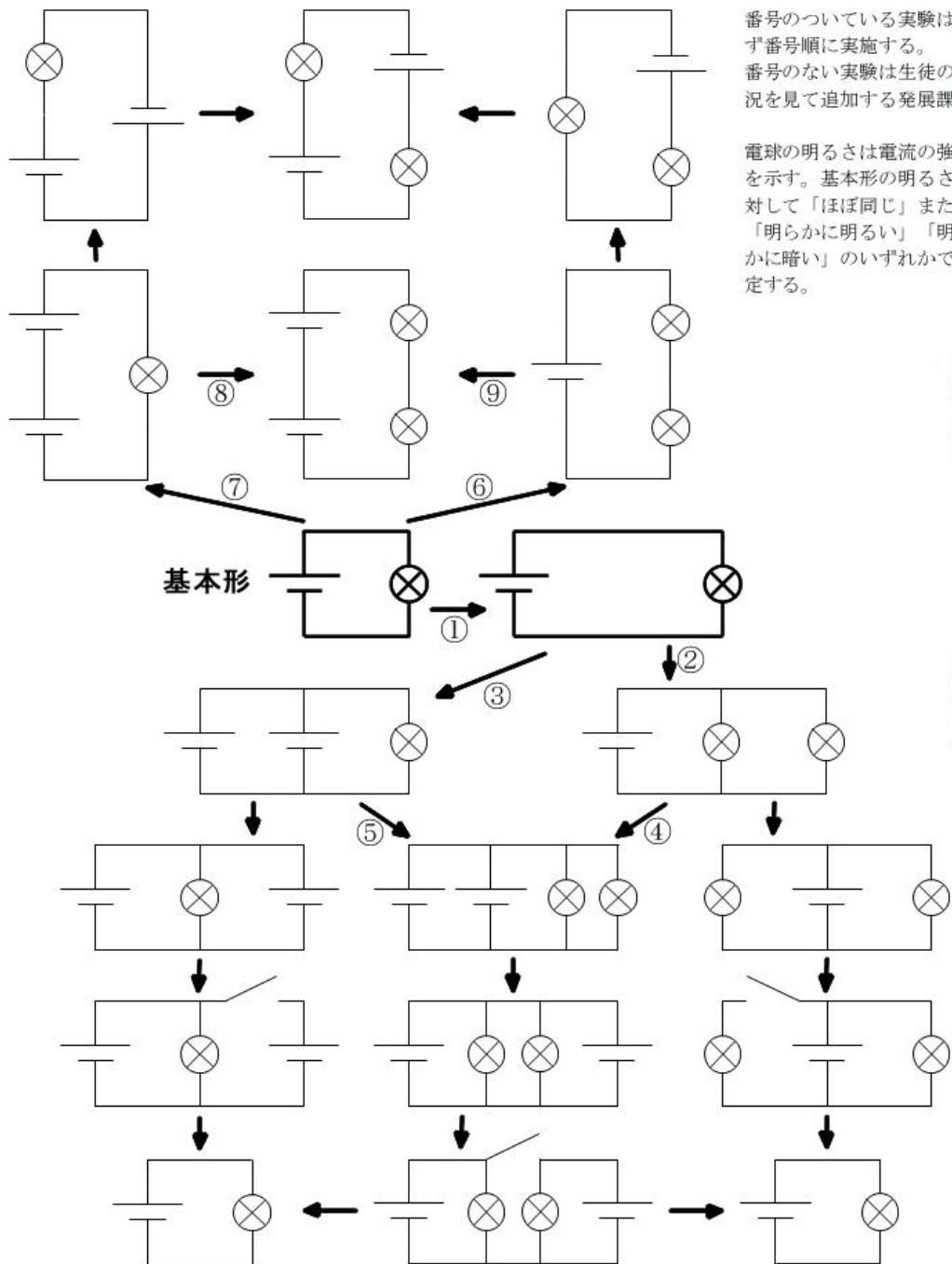
- 1) 文部科学省：中学校学習指導要領解説・理科編（平成29年7月）
- 2) 文部科学省：高等学校学習指導要領解説・理科編・理数編（平成30年7月）

【参考文献】

- 3) 山本明利「黒板演示用回路の製作と活用法」理科教室・第59巻第9号（2016/09）pp.86-87
http://www2.hamajima.co.jp/~tenjin/labo/circuit_rikakyoushitsu.pdf（原稿）
- 4) 山本明利「黒板演示用回路（簡易セット）説明書・授業プラン」YPC 例会発表資料（2019/01/20）
<http://www2.hamajima.co.jp/~tenjin/labo/kokubankairo.pdf>

【別紙 1】

教授用資料：実験の手順



番号のついている実験は必ず番号順に実施する。番号のない実験は生徒の状況を見て追加する発展課題。

電球の明るさは電流の強さを示す。基本形の明るさに対して「ほぼ同じ」または「明らかに明るい」「明らかに暗い」のいずれかで判定する。

直列パターン↑

↓並列パターン

※電池をショートさせる回路を組まないように十分注意する。電池ユニットを導体の上に置くことは危険。

【別紙2】

直流回路の実験 ワークシート	実験番号	学年	組	番号	氏名
-------------------	------	----	---	----	----

1. どんな実験を行うのか、回路図で表しましょう。

はじめの回路	→	操作後の回路
--------	---	--------

2. 電球の明るさは操作後、どうなると思いますか。あなたの予想を書きましょう。

明るくなる 暗くなる 変わらない その他 ()

3. どうしてそう思ったか、あなたが考えた理由を書きましょう。

4. 周りの人と意見交換をして、他の人の意見を聞いた後のあなたの予想を書きましょう。

明るくなる 暗くなる 変わらない その他 ()

5. 実験の結果はどうなりましたか。

明るくなった 暗くなった 変わらなかった その他 ()

6. なぜそうなったのか、あなたが理解した理由を書きましょう。

7. 後で調べたことや、先生の説明があったときは、この下にも書きましょう。