

國學院大學學術情報リポジトリ

電圧を通して電池の直列つなぎと並列つなぎを理解しよう

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2023-02-06 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 近藤, 良彦 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.57529/00001227

電圧を通して電池の直列つなぎと並列つなぎを理解しよう

近藤 良彦

Let's understand the series connection and parallel connection of cells through the voltage

Kondo Yoshihiko

キーワード：電気の働き、物質とエネルギー、理科教育、物理学

1. はじめに

電気は我々の身の回りに常に存在している。例えば、冬に私たちを悩ます静電気は、物をこすり合わせることによって簡単に作り出せ、その存在は古くから知られていた。この静電気を蓄えられるライデン瓶の発明は、フランクリンによる雷の電気現象、キャベンディッシュやクーロンによる電気に関する法則の発見など、その後の研究に役立てられている。そのような電気の歴史の中でも、ボルタによる電池の発明は特筆すべきである。これにより安定した電源が得られ、その後の電磁気学の研究に大きく寄与している。

小学校理科のカリキュラムでは3年生から6年生の各学年で電気に関する単元があり、さまざまな実験を通して電気の性質が理解できるように図られている[1]。そのような実験において乾電池はその利便性と安全性からよく用いられている。第3学年では乾電池を豆電球につないで光らせる実験などを通して回路の概念を学び、第4学年では乾電池の数やつなぎ方による豆電球の明るさの変化などを通してより複雑な回路について学習する。この中学年に電気回路の基礎をしっかりと学習することは、高学年における電磁石を利用した電流の働きや電気を手回し発電機などで作り出したり蓄電器などで蓄えたりすることを学ぶ上でとても重要である。

現在、電気は私たちの生活に深く関わりなくてはならないものになっている。同時に、私たちは電気を使うことに慣れ切ってしまうため、それに疑問を抱いたり不思議に感じたりすることが少なくなっている。このことは電気の概念の理解をより困難にしていると言えるであろう。そもそも電気は目に見ることができないため、概念そのものがかなり高度である。これは子どものみならず大人にとってもそうである。ゆえに、電気を理解するためには、電源に電球やモーターをつないで確かめたり検流計や電流計および電圧計を使って測定したりすることが不可欠である。

電気に関する初歩的な理解を問うために、2つの乾電池を直列と並列につないだ場合で豆電球の明るさがどうなるか、という問題がよく出される。実際に確かめることで答えはすぐにわかるのだが、なぜそうなるかを理解することは意外と難しい。初等教育の段階では、実験を行って明るさと電流の関係を調べ、直列つなぎの方が並列つなぎに比べて明るく光るのは電流が強いからであることを学ぶ。その理由、なぜ直列の方が並列よりも電流が強いのか、は学ばない。しかし、

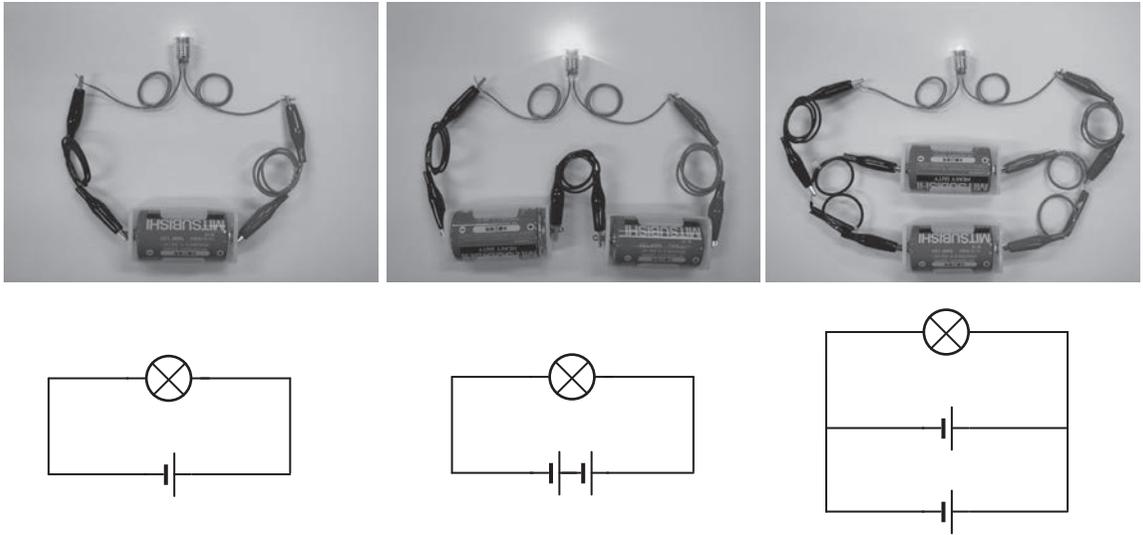


図1：乾電池と豆電球をつなげた回路。上段が実験の様子で下段がその回路図である。左側が乾電池1つと豆電球1つをつないだ回路である。中央と右側がそれぞれ乾電池を直列と並列につないだ回路である。

これは小学生にとっても素朴な疑問であろう。

図1は上述の問いに関する実験を行った様子である。左側の乾電池と豆電球を1つずつつないだ回路は、右側の乾電池を並列につないだ回路とほぼ同じ明るさである。それに対して中央の直列につないだ回路はより明るく光っていることがわかる。「どちらも2つの電池を使っているのにどうして明るさが違うのだろうか。」「なぜ並列つなぎだと1つの場合と同じ明るさになるのか。」と、疑問が湧いてくるのではないだろうか。

この疑問に答えるために電気を水にたとえて説明されることがある。水の流れは視覚的に捉えやすいので、この方法は電流を理解するためには優れている。一方で、電圧を理解するためにはあまり適していない。その理由の一つは、私たちは大気圧や水圧などの圧力に関する物理量にあまり馴染んでいないからである[2, 3]。例えば、直列つなぎと並列つなぎをそれぞれ2倍の高さの滝と2倍の幅の滝にたとえて、高さが2倍の方が圧力は大きいと説明されてもあまりピンとこないのではないだろうか。また、位置エネルギーを持ち出して説明を補強する場合も見られるが、たとえ電位差との対応関係が付きやすいとしても、力学をある程度理解していないと意味がないであろう。

國學院大學人間開発学部初等教育学科では、昨年度より2年生以上を対象とした物理学概説が開講されている[4]。この授業の第1回目のテーマはまさに「電池の直列と並列回路」である。このテーマを展開するに当たり、むしろ原点に立ち返って「電圧」を前面に出してみた。そして、「電

圧」を物理学的にイメージできるように試みてみた。その結果、第1回目の授業に対して行われたアンケートにおいて、「今回の授業の内容は理解できましたか。よく理解できた・だいたい理解できた・あまり理解できなかった・ほとんど理解できなかった」という選択式の設問をしたところ、昨年度と今年度のどちらでも「あまり理解できなかった・ほとんど理解できなかった」の回答はゼロであった。本論文では、この授業で行った方法を紹介するとともに、アンケートを分析することにより物理学的なイメージの形成の重要性を明らかにする。

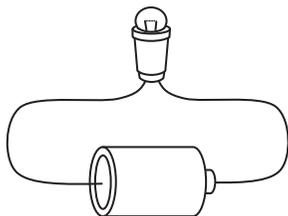
第2節では「電池の直列と並列回路」の授業で用いた方法を授業の様子を織り交ぜながら紹介する。第3節では授業後に行ったアンケートのデータを分析する。特に、記述式の回答を考察してこの授業方法の有効性と問題点を明らかにする。第4節では、授業のねらいと内容を再検討して、理科教育に対する私見をまとめる。

2. 授業方法

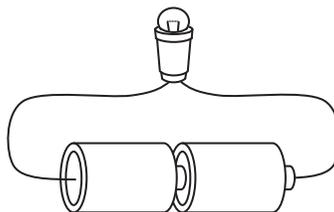
この節では、直列つなぎと並列つなぎの違いを理解するために授業で用いた方法を紹介しよう。以下で述べる方法の一つ一つに特に目新しいものはないであろうが、電池のつなぎ方により豆電球の明るさが違う理由を理解できるように独自の構成を試みる。最初に目的を明確にし、次に実験を通して電圧について説明し、前節の図1の直列と並列つなぎで明るさが違う理由を解説して、最後に少し複雑な練習問題に挑む。この順で進められる。

授業は次の問いから始める。

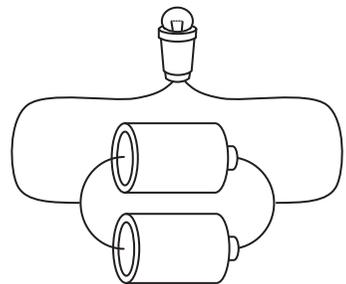
○ 電池と豆電球の回路について考えよう：



(ア)



(イ)



(ウ)

問1：豆電球が一番明るく光る回路はどれか？ 答え：_____

問2：豆電球が同じ明るさで光る回路はどれか？ 答え：_____ と _____

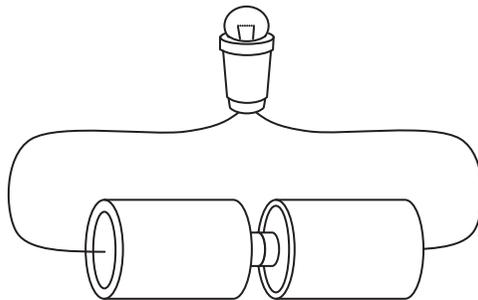
この問いは1年生に開講されている理科実験観察基礎論[5]でも取り上げられているため、ほとんどの受講生が正解することができる。授業では、前節の図1の写真を見せて、「なぜこのように光るかわかりますか。」と尋ねてみるが、うまく答えられないようである。それで、「(イ)

では電池を2つ使って明るくなるのに、(ウ)では(ア)と同じになるのは不思議ではないですか。」と問いかけるとほとんどの受講生がうなずいて見せる。そのタイミングで、今回の授業の目的を次の通り明示する。

「電池を直列につないだ場合に豆電球が一番明るく輝き、電池を並列につないだ場合は電池1つの場合とほぼ同じ明るさである。なぜ、直列の場合はずっと明るくなるのに並列の場合は変わらないのだろうか。その理由を明らかにしよう。」

この授業で重要なことは、電圧を如何に捉えているかである。それは電圧の定義を正確に言えることではない。もしそのような入り方をすれば、その時点で興味が失せてしまうであろう。重要なことは電圧をどのようにイメージするかである。電圧は圧力にたとえることができる。もっとわかりやすい言い方をすれば、押す力にたとえることができよう。例えば、物体を一方向に押せば動き出し、互いに同じ力で反対方向に押せば動かない。電池もプラス極同士をつなげると電流は流れない。しかし、押す力が違えば大きい方から小さい方へ動くように、電圧が違えば電流は流れるはずである。そのことを実感できるために、使い切った乾電池1つと新しい乾電池2つを用意して次の問いかけをする。

問3：下記の2つの電池を逆につないだ回路で電球は光りますか？



予想を聞くとほとんどの受講生が光らない方に手を挙げる。これは思い描いていた通りの反応である。そして、次の実験その1を行う¹⁾。

◆実験その1 「マンガン乾電池を使った実験」

- 1) マンガン乾電池2つと豆電球を使って、問3のようにつないでみよう。
- 2) マンガン乾電池1つと豆電球をつないでどうなるか確かめてみよう。

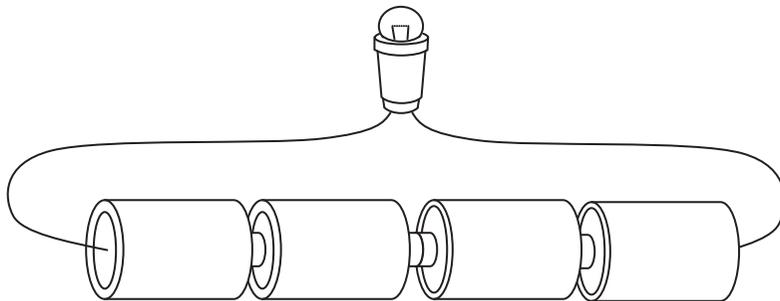
問3の図のようにつなげて豆電球を光らせるためには、片方の乾電池を完全に使い切って電圧をほぼゼロにしておく必要がある。そのために実験その1では使い切りやすいマンガン乾電池を

使用している。

受講生は1つの乾電池が使用済みであることを知らないのです。1)の実験を行ってある組み合わせでは光らないが別な組み合わせでは光ることに一様に驚きを表す。そこで、2)に進んで、乾電池1つずつを豆電球につないで確認させる。すると点灯する組み合わせでは、一方は光るがもう一方は光らない。これによりもう一方の乾電池は使用済みであることがわかって謎が解ける。

この実験は電圧に関するイメージを形成するために行っている。しかし、片方の乾電池で豆電球が全く光らないと力と力が押し合う状態が想像できにくい。実際、これだけの実験だと光って当然と感じて深く考えるきっかけになかなかならない。そこで、電圧が1Vに減った乾電池2つと新しい乾電池2つを用意して次の問いかけをする。

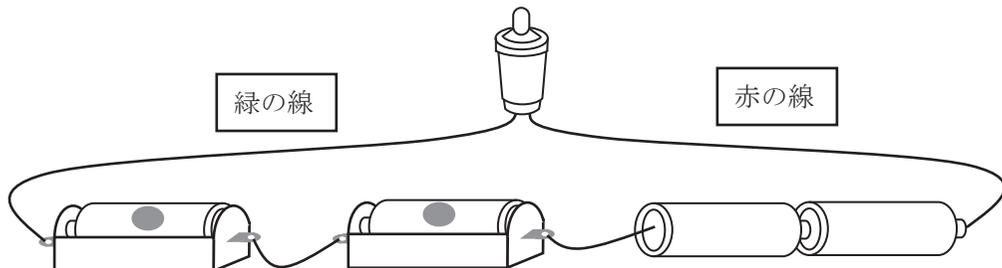
問4：下記の4つの電池を2つずつ逆につないだ回路で電球は光りますか？



実験その1を行っているため、予想を聞くと「光ったり光らなかったりする」とほとんどの受講生が答える。次の実験その2では、電球として低電圧発光ダイオード(LED)を用いる²⁾。それと電圧が1Vに減った2つの乾電池には色のついたシールを張り付けて、次の順序で行う。

◆実験その2「アルカリ乾電池を使った実験」

- 1) アルカリ乾電池4つと発光ダイオードを問4のようにつないでみよう(下図参照)。
- 2) アルカリ乾電池2つと発光ダイオードを問3のようにつないでみよう。
- 3) 電圧計を用いておのおのの電池の電圧を測ってみよう。
- 4) 以上のことから明かりが点くまたは点かない理由を考えてみよう。



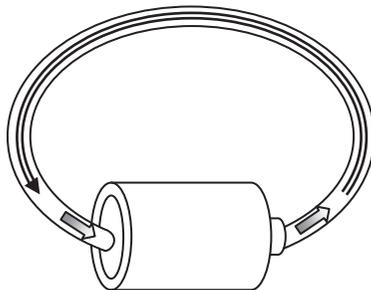
使用済みのアルカリ乾電池は 1V ぐらいに電圧が下がっていることが多いので、実験その 2 ではアルカリ乾電池を使用した。また、LED電球は電圧が低くても明るさがさほど変わらないため、この実験には好都合である。なぜなら、電圧を測定することで謎が解けることによって、電圧の概念をより印象付けたいからである。普通の豆電球を使用すると 1つ 1つをつないだときに明るさが大きく違うのでその時点で謎が解けるだろう。

実験その 2 では、1) の 4つの乾電池をつないだ場合は豆電球が点灯して、2) の 2つの場合は点灯しない。また、0.8V から点灯する低電圧LED電球を使用しているので乾電池 1つをつないだ場合でも点灯する。ゆえに、とても不思議に感じる。そして、3) の電圧計を用いて測ることで乾電池の電圧の違いを知ることになる。

新しい乾電池の電圧は 1.5V なので古い乾電池との差は 0.5V である。ゆえに、4つの場合は全体の電圧が 1V となって電球が点くが、2つの場合は電圧が 0.5V と小さいため電球は点かない。この説明は少々複雑であるが、実験その 1 とその 2 を行っているためすんなりと頭に入るようである。また、受講生の中にはLED電球の光り具合をよく観察して、シールのついた乾電池では明るさが少し暗いことに気づく者もいる。言うまでもないことだが、予想外の出来事が探究心を強くさせている[4]。

ここまで授業が進んだところで、これまでの実験は「電圧」をできるだけ実感するために行ったことを伝える。そして、電圧が押し出す力（吸い込む力）にたとえられることをイメージできるように、次の説明をする。

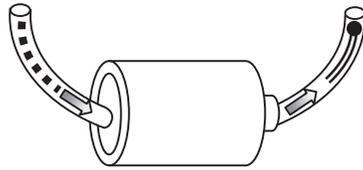
- ・電池のプラス側は電流を押し出す作用があり、マイナス側には吸い込む作用があると考えよう。この押し出す力と吸い込む力の大きさを電位差と呼びます。この電位差の大きさが電圧です。



ただし、電圧を押し出す力にたとえられることを強調しすぎると、回路がつながってなくても電気が流れ出るような印象を与えかねないので、電気が通るためには電流が流れる場所が必要なことも同時に伝えておく³⁾。

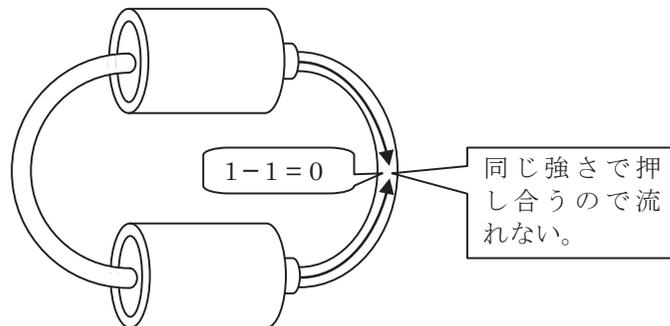
電圧を通して電池の直列つなぎと並列つなぎを理解しよう

- ・回路がつながっていないと電位差があっても電流は流れませんね。電流を押し出そうとしても押し出す場所がなく、吸い込もうとしても吸い込む電流がないからです。



ここで、物理学的なイメージを形成しやすくするためとこれまでのところがどの程度理解できているかの確認を兼ねて、次の問題1を与える。また、以下の問題1から3までの図において矢印と吹き出しの部分、授業で説明のためにスライドに加えたものであり、問題そのものには表示されていない。

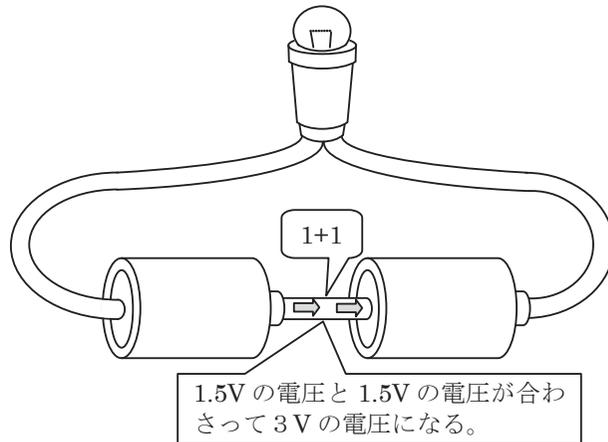
問題1：電池が互いに同じ電圧だとすると下図のように回路がつながっていても電流は流れません。その理由を考えてみよう。



上図のようなつなぎ方で電流が流れないことは感覚的にわかるようであるが、いざ説明するとなると少し戸惑う様子が見られる。図に描かれている矢印は2つの電池の押し出す力がぶつかり合う様子を表している。そして、吹き出しに書かれている通りに「同じ力で押し合うので差がゼロ（すなわち、 $1-1=0$ ）であるために電流は流れない。」と解説する。これだけで十分に納得できて、イメージの形成が進むようである。

ここまでの内容を基にして、電池の直列つなぎと並列つなぎによる豆電球の明るさについての問題に挑む。最初に、直列つなぎに関する次の問題2を与える。

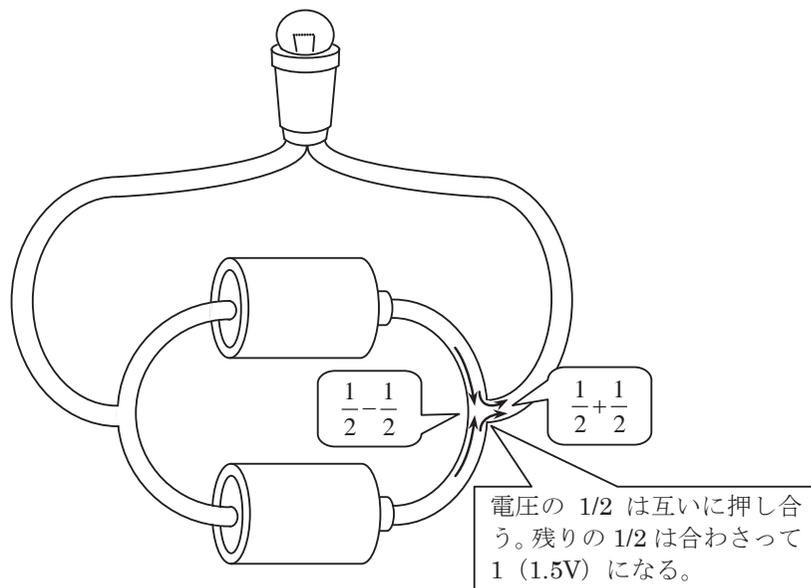
問題2：直列につなぐとより明るく光るのは電流がより多く流れるからである。どうして、直列につなぐとより多くの電流が流れるか、その理由を考えてみよう。



この問題も感覚的にはわかるが、言葉で説明するのは少し難しいようである。上図の矢印と吹き出しで示したように、押し出す方向と吸い込む方向が同じなので互いにプラス(すなわち、1+1)に働くことを説明する。そして、1.5V と 1.5V の電圧が合わさって 3V になると解説することで理解が得られる。

次の問題3がこの授業の核心である。並列つなぎの場合はなぜ電池1つの場合と明るさが同じになるのか時間をかけて考えさせる。

問題3：並列につなぐと電池1つの場合と同じ明るさになるのは流れる電流が同じだからである。どうして、並列につなぐと流れる電流が同じになるのか、その理由を考えてみよう。



ここまで来ると並列つなぎと直列つなぎが本質的に違っていることがどことなく理解できる。しかし、なぜ並列つなぎは電池が1つの場合と同じ明るさになるのかはわかりそうでわからないような状態に置かれるようである。

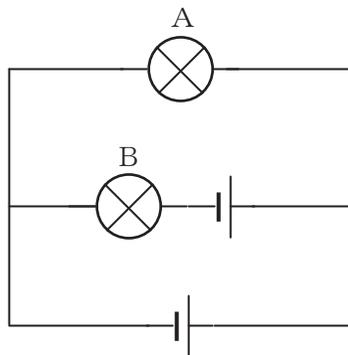
並列の場合では2つの電池の押し出す力がそのまま足し合わされて豆電球にかかっていない。問題3の図の矢印を見れば明らかであるが、押し出す力の一部分は互いに押し合うことになる。その大きさが電圧の半分相当と考えると残りの半分の電圧、すなわち2つ分の電池の半分だから、1つ分の電圧 1.5V が豆電球にかかることになる。ゆえに、図1の右側と左側の豆電球はどちらも同じ明るさで光ることになる。

このような解説をすると学生の顔がぱっと明るくなる。もやもやがすっかり解けて「そうか、わかった」という顔を見せてくれる。

ここで注意したいことは、上述の説明はあくまでも比喩であることである。電子と電子が互いに押し合ったり引き合ったりしているわけではない。しかし、この説明は直観的でわかりやすいのではないだろうか。電気を水などにたとえなくても「電圧」の概念をうまくイメージすることで十分にわかりやすく説明できる。

最後に次の練習問題を与えてみる。

練習問題：次の回路図でAの豆電球とBの豆電球はどのように光りますか。電球は抵抗であり電流の流れを妨げるように働くことを考慮して考えてみましょう。



- 1) Aの電球の明るさとBの電球の明るさを予想しよう（できるだけ具体的に）。
- 2) 実際に回路を作成して確かめてみよう。

キルヒホッフの法則を使って計算すればBの電球を流れる電流は限りなくゼロに近いことは簡単にわかる⁴⁾。しかし、Aの電球に比べてBの電球は暗くなるだろうことは計算に頼らなくても予想できる。図2は練習問題の解説に用いたものである。左側は下の電池のスイッチを切ったも

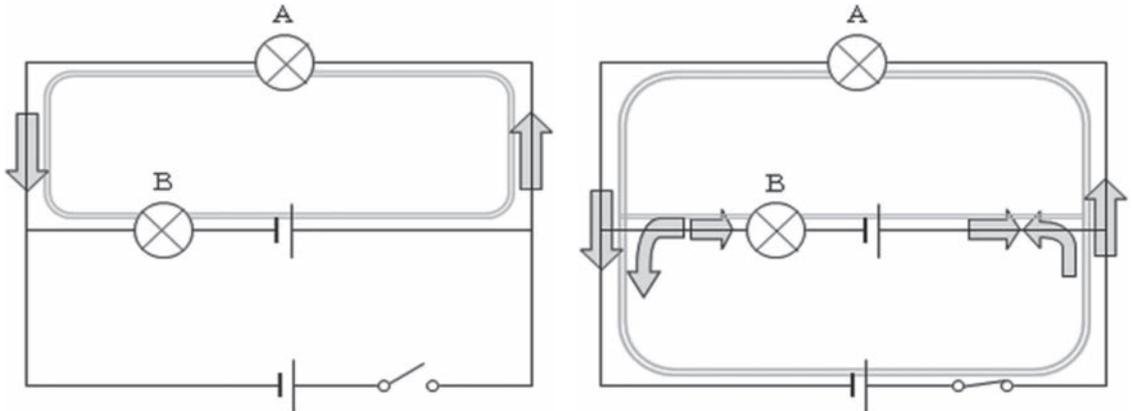


図2. 練習問題の解説のためにスライドで用いた図。左側が下の電池のスイッチを切った様子を表したもので二重線のように電流が流れる。右側はスイッチを入れたものである。矢印は電圧のかかる向きを表している。右側の中央では2組の矢印おのおのが2つの電池の電圧が押し合う様子と引き合う様子を表している。

のである。これは豆電球を直列につないだ回路であるから、AもBも同じ明るさで光る。右側はスイッチを入れたものである。こうすると上の電池の電圧を抑える働きをするのでBに流れる電流は弱くなる。一方、Aにはプラスに働くので電流は強くなる。こう考えると、Aの電球はより明るくなりBの電球は暗くなるだろうと予想できる。実際はBの電球は光らないが、それに近い予想ができ、もう少し考えを深めれば電流がほとんど流れないのではと思に至ることも可能である。こうした物理学的なイメージを膨らませることができてから法則を学んで計算すれば、よりよく理解ができるのではないだろうか。そのためにも、実験をすることが必要不可欠である。そして、その結果をなぜだろうと考えることを通して物理学的にイメージする力を身に付けることが重要となる。

3. アンケートの分析

前節で紹介した授業に関するアンケートを学修支援システムであるK-SMAPYを利用して実施した[6]。その中で、

設問1：今回の授業の内容は理解できましたか。よく理解できた・だいたい理解できた・あまり理解できなかった・ほとんど理解できなかった

という単一回答の選択式の設問を置いた⁵⁾。その結果は、2010年度では6人中「よく理解できた」と回答した者は4人であり「だいたい理解できた」は2人、2011年度では7人中「よく理解できた」は3人であり「だいたい理解できた」は4人であった。この回答数から前節で紹介した授業

で直列つなぎと並列つなぎの違いを理解できたと実感していることがわかる。

ここから、アンケートの記述式の回答を考察しよう。最初に、授業の内容をどの程度理解しているかを問うために設けた次の設問4を調べる。

設問4：電池を直列につなぐと明るく光り、並列につなぐと電池一つの場合と同じように光る理由を自分の言葉で説明しよう。

この設問について、説明に電流と電圧の用語を使用しているか使用していないかで分類して考察しよう。13件の回答の中で、「電流と電圧」を使用しているものは5件、「電圧」だけのものは2件、「電流」だけのものは3件、どちらも使われていないものは3件であった。

最初に、「電流と電圧」を使っている回答を調べよう。

電池は、プラス側は電流を押し出す作用があるため、電池を直列につないだときは、電流を押し出す力が二倍になる。このため直列つなぎでは、電池が明るく光る。並列につないだ場合は、二倍になった電圧の半分つまり電池一個分の電圧は互いに押し合い、残った電流の大きさが電池一個分の電圧となるので、並列につなぐと電池一個分の場合と同じように光る。

この回答では、電圧が電流を押し出す力としてイメージされていることがわかる。そして、並列つなぎの場合は電池1つの場合と同じ明るさで電球が光る理由が、電圧を用いてしっかりと説明されている。

電池のプラス側は電流を押し出し、マイナス側は吸い込むと考え、電池を直列につなぐことで、つなげた電池の数だけ電流が増し、電球にかかる電圧も高くなるから。しかし、並列につなぐことで両方の電池の電圧が押し合うことになり、そこで各々半分の電流しか出て行けなくなる。つまり $1/2 + 1/2 = 1$ であるので、電池1つ分の電流しか流れないことになるから。

この回答においても電流を押し出す力として電圧がイメージされていることがわかる。そして、直列つなぎと並列つなぎの違いを電圧で説明できている。さらに、残りの3件の回答でも直列と並列の違いが筋道立てて説明されている。以上から、「電流と電圧」を使っている回答ではどれも電圧のイメージがしっかり形成されていることがわかる。

次に、「電圧」だけが使われている回答を調べよう。

電池1個の電圧を①とすると、電池1個の時の豆電球の明るさは①と表すことができる。直列につなぐということは、電圧が①+①=②となり、豆電球の明るさも②となる。ならば、並列も電池を二つ使っているのだから豆電球の明るさは直列につないだ時と同様に②と考えてしまうのも、無理はないが結果は①の明るさとなる。ここで、二つの電池を使ってある実験をする。二つの電池の同じ極同士をつなぐと電気は流れるか、という実験だ。結果は、流れないのだが、どうして流れないのかという問いの答えがこの設問4の答えとなりうる。この実験での条件として、どちらも新品の電池で実験することがカギとなる。陽極からは電気を押し出す力が働きその押し出す力が等しいので互いに抵抗しあい電気は流れないのである。この実験から、設問

4において並列つなぎの時、どうして①の明るさしか光らないのかが分かる。なぜかという、それぞれの電池の押し出す電気の量は①であるので、直列つなぎと同様に②の電気が流れるのだが二つの電気がぶつかったとき抵抗する力が働く。それぞれ①の電気のうちの半分以上を抵抗する力に使うので結果、豆電球の明るさは $1/2 + 1/2 = ①$ となる。

この回答には、電流の用語は出てこないが内容は優れている。まず、授業の目的がきちんと書かれている。さらに、実験その1とその2で行った電池を逆さに接続する実験の意図をしっかりと理解している。そして、直列つなぎと並列つなぎの違いがよく書かれていて、イメージが出来上がっていることがうかがえる。

直列繋ぎは、電圧を、押し出す力を吸い込むことができるので、たとえば電池が二つあった場合、元々の電圧の大きさにまた更にもう1つ分の電圧の大きさが加わる。一方、並列繋ぎの場合、電圧が、押し出され、吸収されたあと、同じ極同士でぶつかり合い、半分の電圧で押し合うため、結果的には電池を二つ使用していても、1つ分の電圧の大きさにしかならない。

この回答も電圧だけが用いられていて電流に関する記述はない。しかし、直列と並列の違いがポイント押さえてよく書かれている。この2つの回答から、「電圧」だけを使用しても十分に説明できることがわかる。

次に「電流」だけが使われている回答を調べよう。

直列なら途中で反発することなく電流が流れるが、並列だとプラスから出た電流同士が反発しあって半減してしまうため、結果電池一つ分の光になってしまう。

この回答には電流だけしか出てこないが、電圧に関するイメージはある程度できているようである。ただし、直列と並列に関する違いは理解できているが、直列つなぎでより明るく光る理由は説明されていない。

それぞれの電池から同じだけの電流が流れる。そのうちの半分はお互いに押し合って0になる。残りの半分は合わさって電池1つ分と同じ電流になる。したがって、並列につなぐと電池1つ分と同じように光る。

この回答には電圧という言葉こそ書かれていないが、押し合うという言葉でそれを表現している。ただし、この回答には並列つなぎのことしか書かれていない。残りの回答にも並列つなぎのことしか説明されていない。このように「電流」だけが使われている回答には、一様に直列つなぎの説明が不足していることは興味深い。これは電圧に関するイメージがまだ曖昧であることの表れと考えられる。

最後に、電流も電圧も使われていない回答を調べよう。

直列につなぎ明るく光る理由は、電池①に溜まっている押し出す力が電池②に溜まっている押し出す力と合体して2倍の力になるから。並列につなぐと電池一つの場合と同じように光る理由は、電池①と電池②が合流した時に互いの1ずつ持っている力がぶつかり合っ互いの1の力が2分の1ずつになり、その2分の1同士が合わさって1の力になって流れるから。

この回答には電圧を想像させる押し出す力という表現で直列と並列の違いがしっかりと書かれている。説明は具体的であり、イメージがうまく形成されていることがわかる。

直列つなぎが明るく光る理由は、力が倍になるため。並列つなぎだと、電池一つの場合と同じになってしまうのは、押し合う力があるため、 $\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{2}$ の $\frac{1}{2}$ で0になってしまう。もう片方の $\frac{1}{2}$ の力は $\frac{1}{2}$ + $\frac{1}{2}$ の 1 となる。そのため、電池一つと同じ明るさになる。

この回答にも押し合う力という言葉が使われており、説明は分数を用いて具体的に書かれている。もう1つの回答にも見られるのだが、電流も電圧も使われていない回答では説明に分数や小数が比較的多く用いられている。これは用語が使えない不便さから来るものであろうが、見方を変えれば抽象化が十分に進んでいないことの表れと考えられる。

ここまでの考察から得られることをまとめよう。設問4を電流と電圧の用語の使用具合で分類して調べたところ、電圧が使用されている回答は使用されていない回答に比べて比較的深く理解して書かれていることがわかる。電流と電圧の用語が使えることはある程度の抽象化ができていることを意味している。電流と電圧のイメージとそれらの用語の概念がどの程度結び付けられるかによって抽象化の程度が決まる。イメージが難しい電圧を自由に使って説明できることはそれだけ抽象化が進んでいることを意味している。電圧のイメージが不十分な場合は、イメージしやすい電流に頼って理解しようとするので説明不足になる。また、イメージと概念の結びつきが弱い場合は用語がうまく使えず具体的な説明に頼らざるを得ない。しかし、具体例を用いて理解することはよいことであり、それによってイメージが形成できれば抽象化が進むであろう。むしろ、電流のようなイメージしやすいものに頼って電圧のようなイメージしにくいものを避けるような場合は問題があると言える。

ここから、いくつかの感想を考察しよう。

並列につなぐのと電池1つの場合と同じように光る理由を今回の授業で理解できたのでよかった。最初は電池2個の方が電池1個より明るく光るに決まってると思ったが、そうではないという理由を自分の目で確認し、先生の説明を聞いてしっかり理解する事ができてよかった。

回答者は並列つなぎでも明るくなると思い込んでいたようである。今までに何度か実験で確かめたことがあったはずなのだが、それだけでは身に付かないことを意味している。それが理由を知ることによって理解が進んだことがわかる。ただし、実験すると電池1つのときに比べて2つを並列につないだ方が若干明るくなる。これは、電池の1つの内部抵抗に対して2つを並列にしたときの合成抵抗が半分になるためである。

ついつい、声を出して感動してしまうほど、いろんな発見がありました。電池の残量によってあり得ないと思込んでいたことが起こったり、実験によって説明できるようになったり、と得るものがたくさんありました。今回の講義で得た知識の中で最も重宝したいと感じたのはやはり設問4についてです。公式化して覚えていたものが、論理的に説明できるようになったのはとても大きなことだと思います。小学生に教えるには難しい内容かもしれないけれど小学生

こそ微妙な矛盾に気づきやすいです。様々な豆知識ともいえよう知識をこれからもたくさん蓄積したいなと思いました。

理由もわからないまま覚えている状況から、納得できるイメージが得られると感動を覚えるのだろう。もやもやとしていたものがすっきりとした様子が文章から伝わって来る。

次に、理科を苦手としている学生からの感想を調べる。

直列につなぐと豆電球が明るくなることや、並列につなぐと豆電球の明るさは変わらないことは知識としては知ってはいましたが、突き詰めて考えてみると良く理解していないものだと実感しました。理科は苦手な科目ですが、「どうしてだろう？」と疑問を持ち、その疑問が解決したときの面白さを体験することが出来たと思います。

単に知識を身に付けても面白さが感じられないと苦手な科目のままなのであろう。この文章からも疑問を持ちそれを解決していく過程が理科の面白さにつながっていることがわかる。

今までなんとなくでしか直列と並列の違いを理解していなかったと感じた。電圧のことが理解できてよかった。授業も少人数で、自分たちで確かめながら進めることができ、苦手な分野も今後は理解できるかもしれないと感じた。

なんとなく理解していたことが、電圧がイメージできるようになることできちんと理解できそうな手ごたえを感じている。この感想からも、実験をして確認しながら進めることはとても重要であることがわかる。そして、これは理科の苦手な児童や生徒にとってはより大切なことである。

ここまでの考察から、前節で紹介した電池の直列つなぎと並列つなぎによる豆電球の明るさの違いに関する解説方法は、物理学的なイメージを助長することに役立ったことがわかる。設問4の回答を見ると理解の程度に違いがあるが、受講者全員が電圧に関してイメージができることによって理解できたと実感していることがうかがえる。そして、この物理学的なイメージが得られることは、理解を促進するだけでなく、学ぶ意欲も高めることが感想に表れている。

最後に、この授業の問題点と課題をあぶり出してみよう。次の設問5で疑問に感じたことや質問したいことを募ってみた。

設問5：今回の授業で疑問に思ったこと（質問）を書きましょう。

その結果、回答のほとんどが第2節の最後で取り上げた練習問題に関してのものであった。その中の1つを見てみよう。

練習問題の、並列繋ぎの部分では、同じ極同士で電流がぶつかり合うはずなのになぜ電圧が半分にならないのかわかりませんでした。（右側）

電圧降下の説明をしていないことがこの疑問の生まれる原因の一つと考えられる。電球が電流の流れを妨げる抵抗器の役割を果たすという説明だけでは不十分であることを示している。ただし、電圧降下の説明の仕方については、第1回目にそれを取り入れられるのかも含めて、今後を考えなければならないことである。

最後の練習問題で、Aの豆電球は光るがBは光らなかった理由がAだけで回路が完成しているから、ということだったが、回路図の下のスイッチの方に電気が流れないで、Bに電気が流れることはないのか？

この文章から、図2を用いた説明において、左側のスイッチを切った状態から右側の入れた状態へのつながりがうまく伝わっていないことがわかる。

他に2件の練習問題に関する質問があったが、それは全て今年度に集中していて昨年度には見られない。同じサブノートとスライドを用いて同じように説明しているつもりであるが、細かな説明の違いによって大きな違いが出ている。このことは第2節で説明したような方法で複雑な回路を理解することの難しさを意味しているのであろう。ただし、昨年度がうまく説明できて今年度ができていないと短絡的に結論できない。なぜなら、理解が進んだことでも疑問が生まれるからである。上記の回答には授業で得られたイメージから理解しようとする姿勢がうかがえる。このことから、複雑な回路を理解するためにはそれに必要な知識をきちんとおさらいしておくことが必要であることがわかる。さらに、イメージだけで理解する方法には限界があり、ある段階からは電気回路の法則を利用して計算によって導くことの重要性を示している。

4. おわりに

理科離れが言われるようになって久しく、それに呼応するように「乾電池2つと豆電球2つを使って一番明るく光るつなげ方は？」のような問題に正しく答えられないという話をよく耳にする。「基礎的なことがわかっていない。」と言うのは確かにそうなのだけれども、単に正解するかしないかにどれ程の意味があるのだろうか。基本的な法則からその結果を導き出せるのであればそれは意味があるが、丸暗記状態で正解を答えるだけならとても意味があると思えない。それは間違っていた場合になぜなのだろうと考えられるか考えられないかの違いである。理由を考えようとしなくて正解を答えられるよりも、なぜ2つの電池のつなぎ方を変えるだけでこんなにも明るさが違うのだろうかという疑問を持つ方がはるかに大切である。

理科における直流回路の単元は初等教育の段階から行われる。小学生のときは理科が好きで、特に実験が大好きだったという話はよく学生から聞かされる。小学生は理科実験が楽しいらしい。楽しいことはとてもよいことである。しかし、その実験は本当に理科実験になっているのだろうか。それは遊びとしての楽しさで終わっていないだろうか。理科が好きであるのにも関わらずそれを大切に思えない背景には、理科の楽しさが遊びの段階で終わっていることに原因があるのではないかと思えてならない[7]。

もちろん、遊ぶ楽しさは必要であり、理科にはそのような気持ちが大切である。それに加えて、発見があり疑問が湧きその答えが見つかりまた謎が生まれると続く一連の過程が理科の醍醐味ではないだろうか。答えが見つかることは自分なりのイメージがつかめることである。ゆえに、イメージがつかめるためには疑問が湧くことが必要である。そして、このイメージを形成するため

には考えることが重要となる。遊ぶ楽しさから考える楽しさへ如何に移行させるかが鍵である。こう考えると、実験の位置づけが要点になることがわかるであろう。形成されたイメージから予想をして実験を行う。その結果から正しくイメージされているかを確認する。したがって、予想が外れたときの方が好機である。なぜ外れたのか、それを追求することがまさに考える楽しさにつながるからである。

第2節で紹介した授業では最初に電池を逆さにつないでも豆電球が光る場合があることを実験で確認した。これは、予想が外れることを期待して行ったものである。そして、片方が使用済みの電池であることを確かめることで、なぜ光るのかその答えを知ることができる。ここで、片方に残量がないのだから当たり前ではないか、というイメージの形成を期待している。それから、次の電池を4つ使う実験を試みる。この実験ではどの1つの電池でも豆電球は光って、再度予想が外れる。そして、測定することで、電圧に差があると電流が流れることを実感する。こうした展開で難解な電圧に対するイメージの形成を狙ってみた。

この展開の仕方がどの程度有効なのかは、アンケートに個別の設問を設けていないので、数値的にはわからない。しかし、第3節で取り上げた記述式の回答から少なくとも有効であったことはわかる。このやり方を用いるかどうかは別として、電圧に関する学習は電池の並列つなぎと直列つなぎの違いを理解する上で必要である。また、驚きのような感情は理解を深めるために効果的に働く可能性があることが前論文で明らかにされている[4]。この観点からも授業で用いられた上述のやり方は意味がある。

電圧に関するイメージが形成されていれば、直列つなぎと並列つなぎに関する説明を理解することはそれほど難しくない。ただし、すでに述べたように第2節の説明はあくまでも比喩である。しかし、授業では比喩であることを強調していない。それは、わかったという気持ちを「比喩」という言葉で萎えさせてしまわないためである。前節で紹介した感想にあるように論理的に理解できたという喜びを大切にしたいからである。それと、「比喩」と言っても、直流回路の性質をよく捉えた筋の通った説明であると自信を持っているからである。

電池1つの場合と電池2つを並列につないだ場合では、どちらも豆電球の明るさはほぼ同じである。その理由は流れる電流が同じだからである。電流が同じになる理由は、電圧が同じになるからである。なぜ電圧が同じになるのだろうか。それは、並列つなぎでは2つの電池から出た導線と電球に向かう導線の3本がつながっているところで、電池の電圧が互いに反発しているからである。これが要点である。何か別なものにたとえる場合もこの要点をうまく押さえておくとよい。流水にたとえば、2つの流れが1つの流れになるところでぶつかり合うということがポイントと言える。

上述のような説明は電圧について学ぶ中学生であれば理解できると考えられる[8]。一方で、小学生対しては明るさの違いは電流の強さが原因であると教えるだけで十分であろう[2]。しかしながら、小学生が疑問を感じてさらに深く考えようとするならば、「これは中学校で学ぶこと

なので難しいかもしれないけど」と断って説明を試みてもよいのではないだろうか。そして、「わからない」という反応であっても「中学校で電気の勉強をきちんとすればわかるようになる。」ということ伝えればよいのではなかろうか。同時に、「わからないことははずかしいことではない。」ことや「理科にはまだまだわからないことがたくさんある。」ということ伝えられればよりよいと考えている。それが探究心を抱かせ、中等教育で起こると言われる理科離れの対策に役立つと感じている。この世界に学び続けることでわかることやまだわかっていないことが数多くあることは、本来楽しいはずのことである。

本論文で紹介した方法を試されることがあるかもしれないので、最後に一つ注意をさせて欲しい。乾電池を逆さにつなげる実験では長く続けると乾電池が破裂する恐れがある。経験上数十秒間つないで液漏れなどを起こしたとは全くないが、1回の時間が短くても同じ乾電池で繰り返せば危険性が高まるので十分気を付けていただきたい。授業では手を使って乾電池を直接つなげるようにした。乾電池ソケットとリード線を用いるとつなげたままにする恐れがあるからである。手でつなげばうっかりつなげたまますることがないので危険を防ぐことができる。これは少し過剰な対応かもしれないが、乾電池の中には非常に強いアルカリ性の溶液が入っているので、安全を確保するために何らかの工夫をしていただきたい。安全に実験を行うための準備は授業の内容に直接関係しないように思えなくもないが、実はこうしたことに気を配ることは授業内容の背景や本質と深く関わっていることがあり、そこには授業を構成するためのヒントが隠れていることがある。

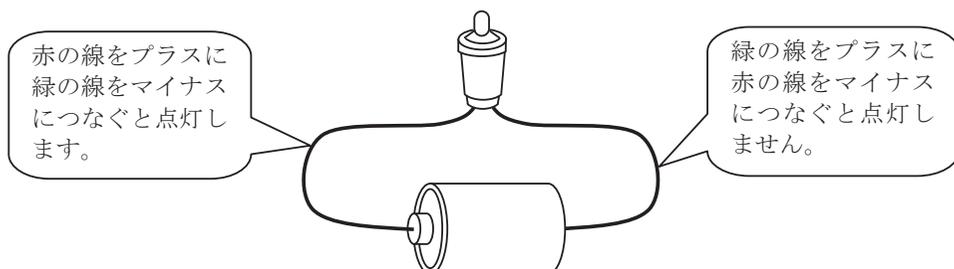
注釈

1) 乾電池はつなぎ方によって危険性を伴うことがあるので下記のような注意を実験前にしておいた。

本当は、電池を逆向きに接続することは危険です。液漏れや破裂の原因となることがあります。この実験において、接続は数秒（5秒以内）で行ないましょう。明かりが点くか点かないかを確認するだけで十分です。万一、液が体に飛び散った場合などは、すぐに申し出てください。

2) 発光ダイオード（LED）は陽極と陰極を持つので次のような知識を事前に与えておいた。

◇豆知識：発光ダイオード



ダイオードは陽極と陰極を持ち電流を一方方向のみに流す作用を持っています。このような性質を持つ物質を半導体といいます。発光ダイオードは半導体の製品ですから、電気を一方方向にしか流しません。ソケットの場合は赤の線が陽極で緑色の線が陰極です。

- 3) 知っていて当然と思われる知識でもきちんとおさらいしておくことは重要と思われる。リード線のビニール部分に電流計や電圧計を接続して測定しようとするなどの状況を目にすることは少なくない。小学校第3学年の電気の通りの道の学習が身につけていないことを意味しているのであるが、残念ながらこれが現状である。身の回りの電化製品がブラックボックス化していることもこうした原因の一つであろう。
- 4) 2つの電池が同じ場合、Bの豆電球を流れる電流は電池の内部抵抗に比例する。内部抵抗は豆電球の抵抗に比べてとても小さいので流れる電流は小さくなる。
- 5) 設問2は「今回の授業の進む速さはどうでしたか。」、設問3は「今回の授業の容量はどうでしたか。」である。これらの設問には本論文との関わりがほとんどないので、考察の対象から外すこととした。

参考文献

- [1] 小学校学習指導要領解説理科編、文部科学省、平成20年8月
- [2] 小学校理科教育法、東京学芸大学理科教育検討会編、学術図書出版社、2002年4月
- [3] わくわく子どもかがく実験室、大阪教育大学化学教室編、裳華房、2004年6月15日
- [4] 実験用てこを利用した力のベクトルの授業に関する一考察、近藤良彦、國學院大學人間開発学研究 第2号、2011年2月28日
- [5] 理科実験・観察基礎論の手引き（物理分野B）、近藤良彦、非刊行
- [6] K-SMAPY については次の文献とその参考文献が比較的詳しい。K-SMAPYにおけるフォーラムの投稿状況の変化と要因 ―自然の見方03と04を例として―、近藤良彦、坂本正徳、堀江紀子、國學院大學人間開発学研究 第1号、2010年2月28日
- [7] これからの理科教育、田代直幸、北海道立理科教育センター研究紀要 第20号、2008年
- [8] 中学校学習指導要領解説理科編、文部科学省、平成20年9月
(こんどう よしひこ・國學院大學人間開発学部初等教育学科教授)