

國學院大學学術情報リポジトリ

電気の流れと力をイメージしよう：
電流と電圧をイメージする効果

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/10.57529/00001246

電気の流れと力をイメージしよう

—電流と電圧をイメージする効果—

近藤 良彦

Let's image the flow and force of the electricity

—Effect of imaging the electric current and voltage—

Kondo Yoshihiko

キーワード：電流・電圧、物質とエネルギー、学習指導、理科教育、物理学

1. はじめに

電流と電圧は電気を理解する上でとても重要な概念である。現在の学習指導要領 [1,2] では電気に関する学習は小学校第3学年から始まる。第4学年では乾電池の数を1つから2つに増やして豆電球などを点灯させ、その明るさが乾電池1つをつないだときと比べて増す場合と変わらない場合があることを電流の強さと関係づけて学習する。このときに学ぶ「直列つなぎ」と「並列つなぎ」の違いは、中学校第2学年の回路と電流・電圧についての学習へとつながることになる。ただし、小学校第4学年での電気の働き学習では乾電池の直列つなぎと並列つなぎを扱うのに対して、中学校第2学年の電流学習では豆電球等の2つの抵抗をつなぐ直列回路と並列回路を調べる。

先行研究 [3] では、乾電池の直列つなぎと並列つなぎの違いを、電圧の概念を用いて比較的容易に理解できることを示した。ここでは、電圧を実感できるような実験を行うとともに電圧を比喩化したモデルを利用して、難解な電圧の概念のイメージ形成を試みた。この授業では電圧そのものをイメージできるように工夫し、その電圧のイメージを基に乾電池の直列つなぎと並列つなぎにおける豆電球の明るさの違いを解説している。受講生からはある程度の評価が得られており、単に知識として覚えていたことが論理的に説明できるようになったというような感想が聞かれる。

逆の見方をすれば、乾電池の直列つなぎと並列つなぎは電圧を理解するためにふさわしい教材とも言える。実際、2つの乾電池を直列につないだとき、豆電球にかかる電圧はほぼ2倍になる。一方、豆電球のフィラメントは温度が上がると抵抗が増すため電流は2倍にはならない。さらに、並列につないだとき、電圧は乾電池1つの場合とほとんど変わらないが、電流は測る場所によって異なってくる。もちろん、電流をしっかりと測定すればその強さの違いから並列つなぎでは乾電池が長持ちすることがわかるであろう。しかしながら、それを実際行って確かめることは容易でなく、電流の流れ方を理解することもそれほど簡単ではない。

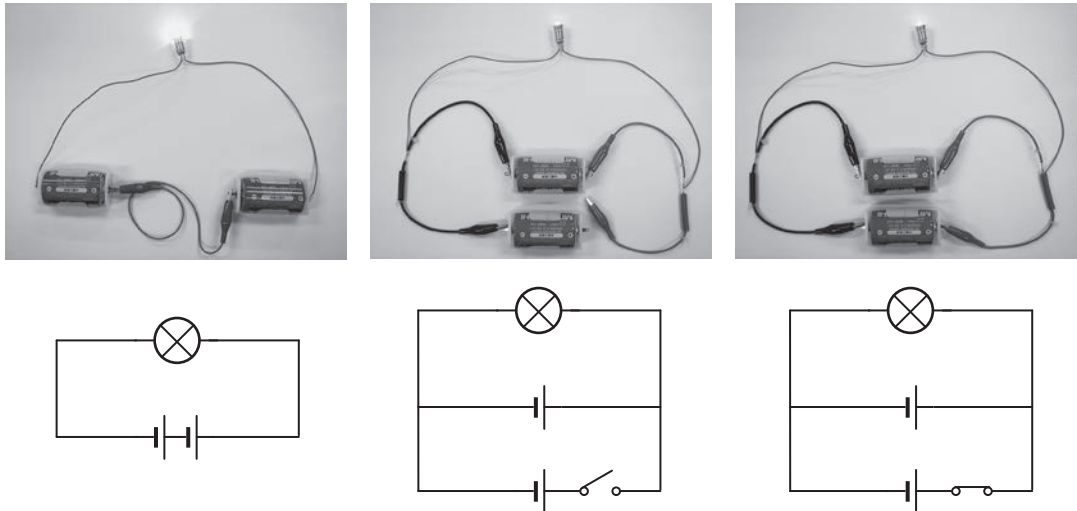


図 1.1：乾電池と豆電球をつなげた回路。上段が実験の様子で下段がその回路図である。左側が直列つなぎ、右側が並列つなぎである。中央は下の乾電池の右側のクリップを外している。

図1.1は乾電池 2 つを使って豆電球を点灯させた様子である。左側の写真は直列つなぎの場合で明るく光っている。右側は並列つなぎの場合で直列つなぎより暗く光っている。中央は並列につないでいた一つ（図の下側）の乾電池のクリップを外して切ったものである。すなわち、乾電池 1 つを豆電球につないだ回路である。比較して見ると、明るさは並列つなぎの場合とほとんど同じである。なぜ、2 つの乾電池のつなぎ方を変えただけでこんなにも明るさが違うのだろうか。なぜ、乾電池を並列につなぐと 1 つをつないだ場合と同じ明るさになるのだろうか。この理由を、電流を用いて理解することはそれほど簡単ではない。電流はよく水の流れに例えられる。2 つの川の流れが合流すると足し合わされたより大きな水流となる。しかし、乾電池を並列につなぐと足し合わされた電流は 1 つの場合と同じになる。すなわち、1 つの乾電池からの電流が半分になっている。これを、電流、すなわち流れをイメージすることで理解できるであろうか。

これを理解するためには電圧をイメージすることが鍵となる。第 2 節ではこの電圧を用いて乾電池 1 つと並列つなぎの場合と同じ明るさになる仕組みを解説する。これは先行研究 [3] で試みた方法である。この方法は前述したようにある程度の効果を上げているが、まだいくつかのわかりにくい点があつてうまくイメージを描けないことがある。第 3 節と第 4 節では、その点を補ってイメージが形成できる方法を提案する。さらに、このような比喩を用いてイメージを形成する方法の問題点も指摘する。第 5 節ではまとめを行うとともに、イメージを形成することの重要性和抽象化へのつながりについて考察する。

2. 電圧をイメージして理解する方法

この節では、電圧を通して乾電池のつなぎ方によって豆電球の明るさが違う理由を考えてみよ

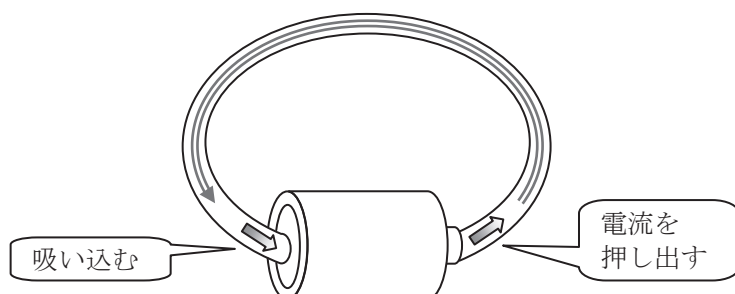


図 2.1：乾電池に導線をつないだときに電流が流れる様子を模式化したもの。

う。この授業方法は物理学概説 [3,4] の 1 回目の授業に取り入れられている。最初に、電圧を通して乾電池の性質をイメージする。次に、このイメージを基にして、乾電池を並列につないだときの状態を調べてみる。

豆電球に乾電池 1 つをつないだ場合と 2 つをつないだ場合では豆電球の明るさはどうなるだろうか。単純に考えると 2 つの乾電池をつないだ方が明るくなるように思える。しかし、実際は、直列つなぎと並列つなぎの場合で明るさは異なる。直列つなぎの場合はより明るく光る。この結果には、電気を供給する電池の数が増えたのだから当然だと、納得できる。一方、並列につないだ場合は、乾電池 1 つをつないだ場合とほとんど明るさが変わらない。これはどうしてであろうか。この仕組みを以下で解説する。

最初に、乾電池を導線につないだときの電流の流れについて説明する。乾電池のプラス側には電流を押し出す働きがありマイナス側には電流を吸い込む働きがある。その差のために、乾電池を回路につなぐと電流がプラスからマイナスへと流れる。図2.1は電流の流れる様子を模式化したものである。プラス側から電流が押し出されてマイナス側で吸い込まれている様子を表している。ここで、「押し出す」と「吸い込む」という言い回しは、電圧を意識したものである。

次に、乾電池を並列につないだ場合の説明をする。乾電池を並列につなぐと、プラス側から延びた導線がつながった分岐点で 2 つの電流が出会う。この分岐点で、それぞれの押し出す力の半分が互いに押し合うように働き、残りの半分ずつが合わさって電流を豆電球へと押し出すように働く。ゆえに、並列につないだ 2 つの乾電池の押し出す力は乾電池 1 つと同じになる。電流は電圧に比例するので、豆電球には同じ電流が流れて明るさはどちらも同じになる。図2.2はこの様子を図式化したものである。ここで、「押し合う」という表現は電圧を意図したものである。図に入れられた $\frac{1}{2} - \frac{1}{2}$ はおおよそ電池の電圧の半分が押し合って足し引きゼロになっていることを、 $\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$ は残りの半分ずつが足し合わされて電池 1 つ分の電圧と同じになることを表したものである。図2.2の吹き出しにあるように、並列につないだときは乾電池 1 つ分と同じ 1.5V の電圧になるのは、このような理由による。

この説明に対する受講生の反応はおおむね良好である。実際、授業後に行ったアンケートでは、「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・

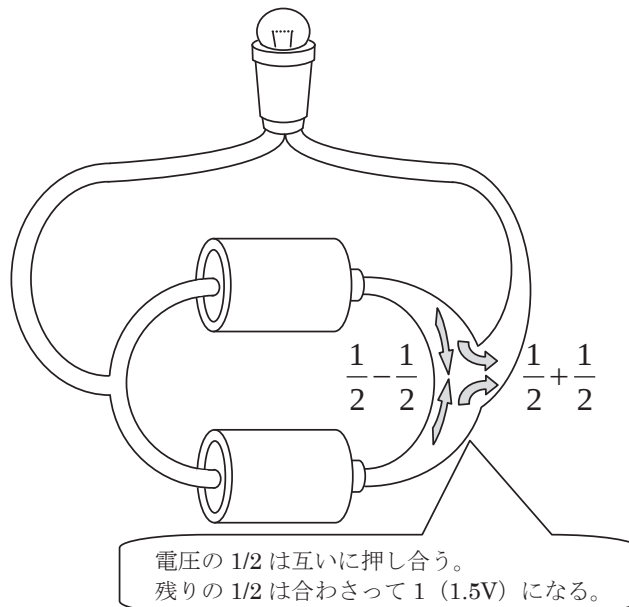


図 2.2：並列につないだときに電圧の掛かる様子を模式化したもの。

あまり理解できなかった・ほとんど理解できなかった)」

の設問に対して、2010年度から2012年度では回答してくれた16人中、「よく理解できた」は8人で、「だいたい理解できた」も8人であり、「あまり理解できなかった」と「ほとんど理解できなかった」は共にゼロ人であった。物理学概説の授業で「よく理解できた」という回答が半数を占めることは少ない。たとえ、「理解できなかった」という回答がゼロであったとしても、「だいたい理解できた」が多数を占めることが普通である。それに対して、このような結果が得られたことは、上述の説明の仕方が理解にうまくつながっていることを示していると言えよう。

しかし、特にわかりにくいところが二つある。第3節と第4節ではそれらについて考察する。

3. 乾電池における電流の流れ

前節の解説でわかりにくいところの一つが、「電流を押し出す・吸い込む」という表現である。これは電圧をイメージするための鍵となる表現である。例えば、図2.2の「互いに押し合う」というところでは、手のひらを合わせて押し合えば動かないことで比較的簡単にイメージできるように思われる。だが、この例えは電流の流れとはうまく結び付かないのである。実際、アンケートの「今回の授業で疑問に思ったこと（質問）を書きましょう。」の設問に対する回答の中に、

押し出す力と吸込む力の大きさを電位差と呼び、電位差の大きさが電圧と習いましたが、押し出す力と吸込む力に差が生じる理由が分かりません。電位差が無ければ電圧が生じないと父親にも言われましたが、意味が分かりませんでした。

というのが見られた。これは、乾電池が電流を押し出して吸い込む様子がうまくイメージできていないことを意味しているように思われる。また、この回答にある「電位差」という言葉や父親とのやりとりから、物理を敬遠しているようには感じられない。したがって、この回答からは理解しようとしてもできない訴えのような状況が垣間見られる。

どのようにすれば乾電池が電流を押し出して吸い込む様子をうまくイメージできるのであろうか。電池の比喩としてよく用いられるのがポンプである。ポンプが水を吸い上げる様子はよく教科書などで見かけられる [5]。しかし、ポンプが水を吸い出す様子はなかなか見ることができなく、その水流に触れたりして水圧を感じることもなかなかできない。そこで思いついたのが扇風機である。扇風機は身近な電化製品でその風を受けた経験はだれにもあるだろう。さらに、その近くに寄って風が吹き出す様子や後ろ側から空気が吸い込まれることを確かめたりしたことのある人もいるだろう。次の図3.1は、この説明に用いたものである。この図だけで、扇風機が空気を吸い込んで押し出す状況を乾電池が電気を吸い込んで押し出す状況に対応させることができる。

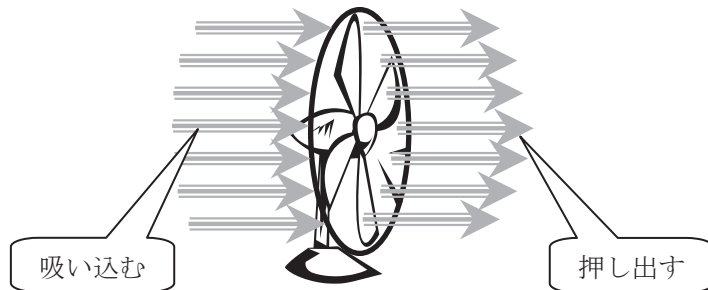


図3.1

乾電池を導線につなげた状態は、次の図3.2のように筒でつなげた状態として表してみた。実際に扇風機を筒でつなげることはないが、受講生は図2.1とこの図を見て、電流の流れを空気の流れと対応させてイメージできるようである。

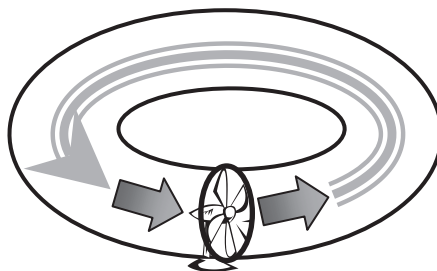


図3.2

これで得られたイメージを応用した例として、次の図3.3のように並列に接続した乾電池の1つを逆さにした場合を挙げてみた。

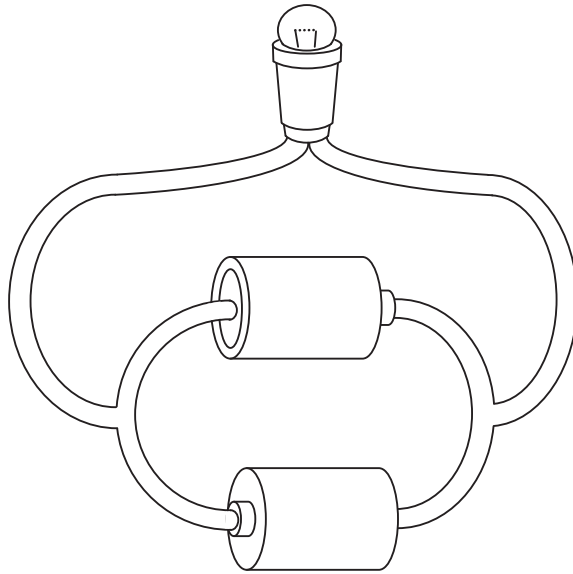


図3.3

この場合、豆電球は光らないのだが、その理由を扇風機で表現すると次の図3.4のようになる。2つの扇風機は図の矢印のように風を送るので、吹き出しの示す筒にはほとんど空気が流れない。この図を用いた説明で豆電球が光らないことを納得させられる。

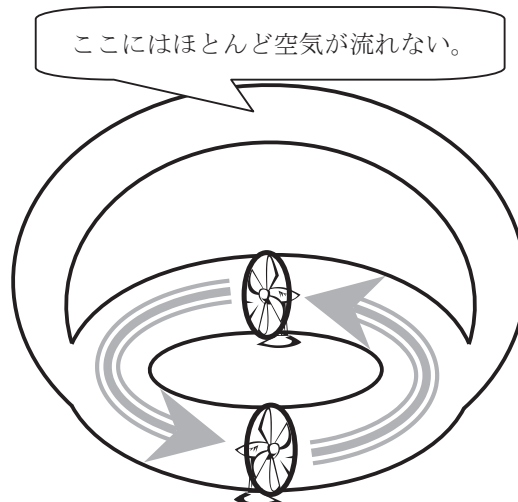


図3.4

この説明に対してアンケートを取った結果、2011年度では「とてもわかりやすい」が5人、「わかりやすい」が3人、「少しわかりにくい」1人、「わかりにくい」0人という結果が、2012年度では「とてもわかりやすい」1人、「わかりやすい」2人、「少しわかりにくい」1人、「わかり

にくい」0人という結果が得られた。

アンケートではこの説明について思ったことも書いてもらったので、これからそれを見てみよう。最初に、「とてもわかりやすい」と回答した人の記述を紹介する。

扇風機で考えるととても分かりやすかったです。特に電池を並列回路でつなげるとき、電池の向きを逆向きにすると豆電球はつかないということを扇風機で考えると、すごく納得することができました。

この記述から扇風機を用いた比喻で十分な納得が得られていることがわかる。もうひとつ見てみよう。

扇風機という例えはとてもわかりやすかった。風を吸い込むことと、出すことの両方がイメージできた。

このような単に「扇風機の例えがわかりやすい」という回答が最も多く、他に類似の回答が3件あった。さらに、次のような扇風機という単語が出てこない回答もあった。

風で考えることでもっと理解が深められました。

この回答からも考えられるのだが、受講生は扇風機の例え以上に風の例えに納得している節がある。風はとても身近な現象であり、風圧を感じたりできることがその理由として考えられる。

次に、「わかりやすい」と回答した人の記述を二つ見てみよう。

身近なものに置き換えて考えることが出来て、理解しやすいと感じました。

と

扇風機を例えに使ったことによって、とてもわかりやすかったです。

である。この二つの記述は「とてもわかりやすい」と回答した人のものとあまり変わらないように見える。しかし、文章が短くてどの程度納得しているのかわからない。

最後に、「少しわかりにくい」と回答した二人の記述を見てみよう。

私は、補足説明ではなく押し出す力と引く力のほうがわかりやすかった。扇風機だと、風が出る＝押し出す力は理解できるが、扇風機の裏側から空気が吸い込まれているイメージはわかりにくい。なにか身近なもので例えるのなら、扇風機よりドライヤーのほうが年中使うものなので、イメージがつきにくくても家で確かめることができるのでは、？

この記述から最初の説明で十分に納得して理解できていることがわかる。さらに、「扇風機よりドライヤー」ということから、むしろ実際に確かめてみることに関心が移っている。そして、イメージが出来上がっていればそれ以上の比喩的な説明は不要であることを、この記述は意味している。さらに、イメージを形成する段階から用語や数式を用いて表現する抽象化の段階に移っていることがうかがえる。

片方が威力が弱い場合がどうなのかわからなかった。扇風機の場合押し戻されるのではと感じた。

この回答では扇風機による説明を応用しようとしているのがわかる。これらの記述からわかるよ

うに、「少しわかりにくい」と答えた理由は、説明の仕方そのものがわかりにくいというのではなく、それがどの程度確からしく拡張できるものなのかに疑問を抱いていることにある。

これまで見てきた回答の内容にはとても考えさせられる。これらは比喩を用いた説明の有効性と限界を示している。身近なものに例えて説明することはイメージを形成するために有効であることは確かである。それは、「理解できた」または「納得できた」という満足感を引き出すこともできる。一方で、それは万能でもなければ必要不可欠なものでもない。さらに、いつまでも頼ることのできるものでもなければ、ときには不要なこともあるということである。それを裏付けるものとして、次のような記述があった。

扇風機にたとえての説明、すごくわかりやすかったです。しかし「例外もある」といわれると、全幅の信頼をおいて扇風機で考えられません。こういった場合は例外となるのでしょうか。できれば例外がないといいのです。

これは「とてもわかりやすい」と回答した人のものである。ここまで比喩に頼ろうとしてしまうと、逆にイメージから抽象化に移る過程を阻害してしまうのではと心配になるほどである。身近なものに例えただけなので、当然あてはまらないことはたくさんある。例えば、扇風機を直列に並べても、電池の場合電圧が2倍になるように、風圧が2倍になるわけではない。この事例からわかるように、比喩を用いた説明には注意が必要である。

4. 並列つなぎにおける電圧のイメージ化

第2節の図2.2を用いて並列つなぎの説明を終えたとき、なぜ2分の1になるのかという質問が出た。このような数値に疑問を抱くのは理解が進んでいることを意味している。そこで、次のような説明を試みしてみた。

次の図4.1のように、3方向から同じ1の力で押し、釣り合っている場合を考える。このとき、1つの力の半分ずつが他の2つの力の半分とそれぞれ押し合っている。

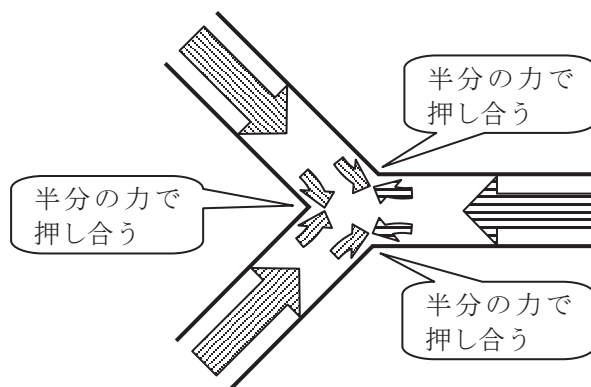


図4.1

これは力が釣り合っている状態である。この説明は十分納得できるようで、自然に受け入れられる。そして、次の図4.2と図4.3を用いて説明を続ける。左の図4.2のように、一方向にかかっている力を止めると、一組の力だけが半分の力で押し合うことになる。そして、残りの半分ずつの力が合わさって図4.3のように1の力になる。

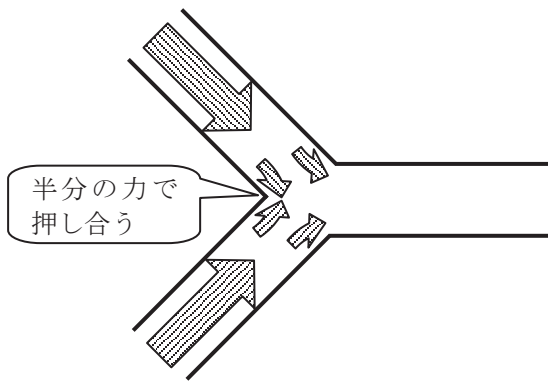


図4.2

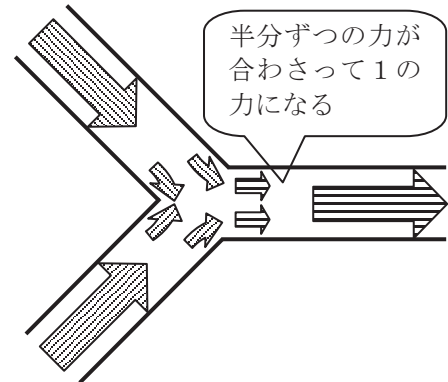


図4.3

この説明を行うと、ほとんどの受講生が納得できるようである。十分な数のアンケートは取れていないが、4人中2人が「とてもわかりやすい」と1人が「わかりやすい」と答えている。「少しわかりにくい」と答えた人も、記述の内容を見ると

図はわかりやすかったです。ただ、三個四個と並列した場合だとあの説明が応用できるか少し疑問に思いました。

と書かれており、説明それ自体がわかりにくいと思っではない。むしろ、説明が理解できた上で、それがどの程度応用可能かに疑問を感じている。実際の授業でも「3本つながっているところが、4本になっても同じですか」という質問が出た。ここまで来ると「同様に考えることはできるが、この説明はあくまでも比喻である」ことを説明する。そして、「これ以上は基本的な法則から数式を利用して導出すべきである」ことを伝えた。受講生はこの話にうなずき、納得していたように感じられた。

ここで、残りの二つの記述を見てみよう。

電気という見えないものをモデルを使って表現したことでとてもイメージしやすかったです。

と

並列つなぎのとき、なぜ二分の一ずつに分かれるのか、よく分からなかったが、今回のモデルを見てその理由が理解できた。

である。他の一つは「特になし」であった。二つの記述に共通するのはモデルという単語が使われているところである。これは、講義中に前段落の後半のような説明を行ったためであろう。図4.1～4.3を用いた説明が、原理や法則でなく、わかりやすいように考えられたモデルであること

を認識している。そのことをわかった上でも、上記の説明がイメージや理解の助けになっていることがわかる。一方、この説明を終えたところで、「押し合っているところでエネルギーが費やされるのですか」という質問が出た。もちろん電力量は電流の流れによるのでそのようなことはない。しかし、授業では「押し合う」と説明するところで手のひらを合わせて互いに押すというジェスチャーを交えたことも手伝って、このような間違っただイメージを持つようになったのであろう。これは比喩を用いた説明の難しさと限界を示している。

5. おわりに

直接見たり感じたりできないわかりにくい現象を身近なものに例えて理解することはとても有効である。それはイメージを形成する上で必要な方法とも言えよう。専門用語による説明や数式を用いた導出がどうしても理解できない場合は、それをいくら繰り返してもなかなか効果は上がらない。特にそのような場合、比喩を用いて説明すればイメージの形成に役立つと思われる。

第3節と第4節で示したように比喩による説明はイメージの形成に役立ち理解を促進させる。しかし、場合によっては、単にわかった気にさせるだけの効果しか得られないこともあるであろう。たとえ、そうであったとしても、学習意欲を失わせないという点では意味がある。むしろ、効果が大きな場合の方が、比喩に頼り過ぎたりしないなど、気をつけるべきことは多いと言える。第3節のように身近なものに例える場合も、要所で一時的に利用するのがよいのではないだろうか。あくまでもイメージをしやすくするための目的で用いるべきである。他のものに例えて理解することには本来限界があり、多用すればイメージの形成を逆に阻害しかねない。第4節のように現象をわかりやすく比喩化したモデルであっても、それを広範囲に使用することはより深い理解に役立つとは限らない。それはあくまでも抽象化につながるイメージ形成の過程に限定すべきである。

第2節と第4節で紹介した電圧を押す力で例える方法は、電圧の性質をよく捉えている。しかし、この方法では電位差の理解にうまくつながらない。もし、電位差との対応を重視したいのであれば、力学的エネルギーの一つである位置エネルギーに例える方がよいであろう。ただし、それには力学的エネルギーを十二分に理解しているという前提がなくてはならない。したがって、このような少し高度な例えは電気の分野と力学の分野を一通り学んだ上でおさらいとして行うのが適切ではないだろうか。先行論文[6]では、力学的な理解が他の分野にもしばしば適用されていることを指摘している。この論文は、基礎的・基本的な知識・技能の習得に加え、思考力・判断力・表現力の育成[7]を重視することが今日的な課題の一つであることも指摘している。これを本論文にあてはめると、基礎的・基本的な知識・技能とは乾電池のつなぎ方と豆電球の明るさを調べたりそれを電流・電圧と関係づけたりすることである。また、思考力に関しては「…児童・生徒が直面している文章や映像、図表、現象等について、現象どうし、あるいは現象と既存の知識との間に違いを見いだすことが必要になる。」としている。これは、本論で扱っている

イメージの形成に他ならない。そして、比喩を過信しないことはまさに判断力と言える。さらに、表現力とは情報を目的に合わせた的確に表すことであり、抽象化への移行がそれに相当する。イメージの形成も表現力の一つと言えなくもないのだが、物理分野では用語や数式等を用いて表すことが必要であり、対象を適切にとらえたより正確な表現が要求される。

比喩はイメージ形成を助長して思考力を促進させる。しかし、判断力が欠如したまま、それに頼りすぎてしまうと抽象化への移行を遅らせてしまう。第2節で紹介した乾電池の直列つなぎと並列つなぎの授業は物理学概説の初回で行っている。一方、第4節で紹介した並列つなぎの説明は授業が進んでオームの法則やジュールの法則などを学んだ後で行った。もちろん、初回の授業で質問が出たときに黒板に簡単な図を書いて少し説明を行ったが、スライドを利用してきちんと説明をしたのはもっと後の授業である。そのとき、この方法をさらに複雑な回路に適用できるのかという質問が出たので、これは比喩でありわかりやすいようにモデル化したものであることを伝えた。そして、より複雑な回路の場合は基本的な法則から数式を用いて導出すべきであることを話した。そのとき、受講生はなるほどと納得したように見えた。もし、初回の授業で比喩であることや数式を使うべきことを話していたら同じような納得は得られなかったであろう。

この事例はイメージ形成の段階と抽象化に移行させる段階にはある程度の期間が必要であることと意味しているように思われる。内容によっては、ある学年ではイメージ形成を目的としその上の学年で抽象化を目的とするような長い期間をおくことも考えられる。ゆえに、小学校と中学校のつながりも重要である。報告[8]においても、小学校における授業者のアンケートの分析を通して「…中学校と共通した課題があると考えることができ、小中学校が連携して児童生徒に論理性を身につけさせる指導の必要性が示唆される。」と指摘している。現在の学習指導要領[1,2]では乾電池の直列つなぎと並列つなぎは小学校第4学年でしか行われない。一方で、電圧の学習は中学校第2学年で行われる。本論でも示したが、直列つなぎと並列つなぎは電圧の学習にとっても適した教材である。また、豆電球などの抵抗器の直列回路と並列回路は中学校第2学年で初めて扱われる。しかし、この教材は小学校でも十分に扱い可能に思われる。抵抗器の直列つなぎと並列つなぎにおいて、直列つなぎより並列つなぎの方が流れる電流が強いことは比較的理解しやすい。例えば、障害物競走の障害物を直列に並べて競争した場合と並列に並べて競争した場合を対比させて理解することも可能である。さらに、乾電池2つと豆電球2つでどんなつなぎ方ができるか、それぞれで豆電球はどんな明るさになるのか実験してみることも十分意味のある教材である。明るさと電流・電圧を関係づけて理解することが困難であっても、その実験結果を整理して分類することは十分できることであろう。それは、また、科学が発展してきた歴史そのものである。多くの科学者は実験を行い失敗と成功を繰り返して現象を記録してまとめるところからはじめた。その成果を基に新しい法則や原理が見出されてきた。それは、同一人物であることもあれば、後生の人物であることもある。たとえ、後者であったとしても、最初に記録してまとめた業績が色あせるわけではない。その歴史の中にも理科教育に関する重要な要素が見つけられる。

最後に、一言付け加えておきたい。本論文で取り上げた比喩とイメージの研究は物理分野の入り口段階に限られたものである。一通り学び終えて上の段階に進んだとすれば、そのときはそれに適した比喩とイメージがある。たとえ物理学の研究をする段階になったとしても、あるものを別なものになぞらえたり物事を思い描いたりすることは、研究する上でとても有益なことである。もちろん、比喩とイメージは研究全体の一部であり、それだけで研究を進められるものではない。一方、思考実験のように物事を思い描いてみるのが研究の根幹に関わることもある。そのような段階での比喩やイメージの活用は入り口段階での比喩やイメージの経験と無関係ではない。むしろ、深く関係しているのではないだろうか。小学校そして中学校での理科教育は将来の研究スタイルに影響を及ぼすと言っても過言ではない。それほど重要なのである。

執筆にあたって、本学人間開発学部資料室助手の堀江紀子さんには、原稿を読んでもらい役立つ指摘を得た。また、大学で電子工学を専攻した弟の近藤泰彦には、原稿を精読してもらい助言を得た。ここに厚く感謝する。

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]「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
- [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」、近藤良彦、國學院大學人間開発学研究 第3号、2012年2月29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]「中学校 科学2」、霜田光一ほか25名、学校図書、平成24年2月10日
- [6]「理科教員養成のコア・カリキュラムのあり方に関する一考察」、角屋重樹、猿田祐嗣、松原憲治、後藤顕一、五島政一、鳩貝太郎、日本教科教育学会誌 第35巻 第2号、2012年9月
- [7]「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について（答申）」、中央教育審議会、平成20年1月17日
- [8]「中学生の科学的記述学力の評価に関する研究（14）」、隈元修一、中山迅、猿田祐嗣、日本科学教育学会研究会研究報告 第25巻 第2号、2010年12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）