

水流モデルによるオームの法則のイメージ化

福山 豊*・西 和幸**

(平成元年10月31日受理)

A Study on Imaging of Ohm's Law Using Water Flow Models

Yutaka FUKUYAMA and Kazuyuki NISHI

(Received October 31, 1989)

1. はじめに

オームの法則を中心とした電気回路の領域は、生徒(中学, 高校生)たちに理解させることが困難な教材の1つである¹⁾。かなりの教師は授業で生徒たちに、電流, 電圧, 抵抗のはたらきを, ものの性質や動きから理解させることをせずに, メーター計測による数量の関係を導く実験をやったあとは, 機械的に公式を適用して計算問題を解くことに専心させている。そのため, 多くの生徒たちは, 電流, 電圧, 抵抗とオームの法則の物理的な意味を理解できないままとなっており, これらの基本的概念が習得できていない。このような授業では, 生徒たちは脳の活動を刺激するために必要なイメージを描くことができず, 電気分野に親近感をもたせることはできない。

この電気回路のはたらきを理解させるために電流を水流にたとえた水流モデルや, 電流の本体が電子の運動であることをパチンコの流れでたとえたモデルなどが用いられている。しかし, これらのモデルをただ生徒に示せばそれで電気の概念ができあがるというようなものでもない。生徒たちに物理現象や概念を理解させるには, 現実の模型やモデルをもとに物理の結果や概念との比較や吟味をおこなうことにより物理概念や法則のイメージを育ててやる必要がある²⁾。

本報では, オームの法則について生徒により深い理解ができるようにするために, 電流を水流にたとえた実際のモデルを作成し, このモデルとオームの法則との対応について検討することによって生徒たちにイメージを描かせることができるようにするための教材に関する基礎的研究をおこなったのでその内容を報告する。

2. オームの法則のねらいと素朴な概念

オームの法則, $V = RI$, が成立する回路では, 電圧 V は電流 I を流そうとするはたら

*長崎大学教育学部物理学教室, **大分県竹田市竹田小学校

きであり、電気抵抗 R は電流の流れを妨げる度合いを表している。このときの電流に関して重要なことからは、回路のどの点でも電流の大きさは同じであるということである。電池から流れてきた電流は、抵抗で熱を出したり光を放出したりして消費するので、抵抗を通った後では、そこで消費した分だけ電流は小さくなっているのではないか ($I_a > I_b$) という素朴概念 (図1) が生徒たちの頭に根強く生き残っている。

また、電圧は電流を流すはたらきであるといっても、生徒たちはなにを手掛かりに流すはたらきを理解したらいいかわからないでいる。なにか生徒の知っているものにとえてイメージをつくらないかぎり電圧の役割を理解することはできない。さらに、抵抗の概念はなにがどのように通りにくいのかを電流

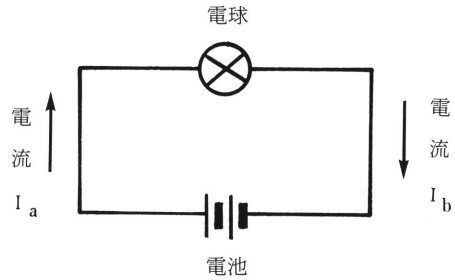


図1. 電気回路図

とともに関係づけてイメージ化する必要がある。このとき、重要な事実として、電流は導線の中にぎっしり詰まって流れていること、流れていないときでも電流になるもの(電子)はとぎれることなく詰まっているということを考慮することが必要である。

これらのことがらが学生の頭にイメージとして描けるようになることによって、2つの抵抗の直列や並列の回路の物理的意味づけがはっきりと理解できるようになる。

3. 水流モデル

電圧、電流、抵抗の概念とオームの法則を理解するために、次のような水流モデルの模型を作製した(写真1)。ここで、電流は水がアクリルパイプの中を流れることに対応させており、この電流を流すはたらきをする電圧は、このパイプの両端に接続したアクリルで作った2個の水槽の水位の差に対応させた。水位を常に一定に保つため、一方は高いところに、もう一方は低いところに放水用の短いパイプを取り付けた。高い位置に取り付けたパイプの方の貯水槽に水道の水を少しずつ流し、余分の水をパイプから放水し水位の差をつねに一定にするようにする。電圧が電流を流すはたらきをする関係を、水位の差が水を

流すはたらきをする関係に見立てて理解させようとしたものである。

いままでの水流モデルにおいては、抵抗の値が大きいほど細い管を用いて表し、電気抵抗を粘性抵抗に対応させていた³⁾。これは細い線が太い線より電気抵抗が大きいことに対応するが、異なった金属物質の抵抗率の違いや、抵抗の流れの一様性を理解することができない。

そこで、われわれは、半径や長

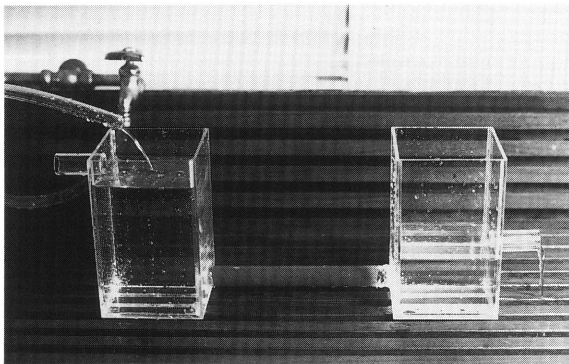


写真1. オームの法則の基本水流モデル

さの異なるアクリルパイプを用意し、その中を水がストレートには流れないようにするため、パイプの中のある長さの部分に網を詰め、それによって電気抵抗のモデルと見なした(図1)。パイプに網を詰める長さの長短とつめかたの多少によって水の流れを調節できるようにした。これは抵抗が抵抗線の長さ

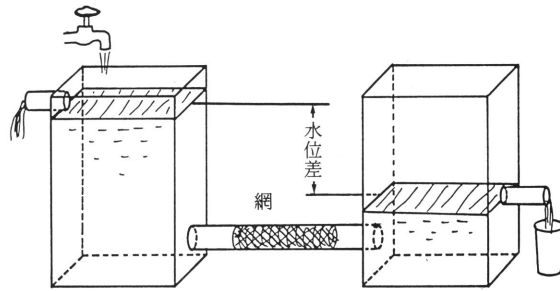


図2. 基本水流モデルの模式図

の長さと抵抗率に正比例し、その断面積に反比例するという関係式を理解するために有効である。おなじ大きさと長さのパイプでも網の詰まりぐあいによって物質による抵抗率の違いを現すことができるようにした。パイプの中に網を詰めない場合は、電気回路がショートしていることに対応している。パイプに網を詰めるモデルによって水位差を一定に保ち定常的な水流をつくりだすことができ、電圧を一定に保ちながら定常的な電気の流れを対応づけながら理解することができることになる。水が水槽とその間のパイプを全部満たしていることが定常的な流れに必要なことであるが、これも回路の中を自由電子で満ちていることに対応させることができる。

4. 水槽水流モデルのデモンストレーション実験

まず、電圧を一定にしたとき、抵抗線の長さが異なる場合の電流の大小をデモンストレーションによる実験でおこなうために、写真1の2倍の長さのパイプをもった水槽水流モデル(写真2)を作製した。写真1と写真2の2つの水流モデルで、おのおの低い水位の水槽のパイプ流出口の下にコップを置き、この2つの流出口から流れ出た水量を比較することにする。この結果、コップに溜まった分量は写真1のモデルと写真2のモデルではほぼ2対1の割合であることがわかる。また、写真1と同じ長さのパイプを2本水槽間に通して並列の抵抗に対応するモデル(写真3)を作製した。これと写真1のモデルや写真2モデルとの比較によって、2本の抵抗線の電流の流れる様子を類推させることに使用する。その他、パイプの大きさを太くしたり細くしたり、おなじ太さのパイプに網を長く詰めたり短く詰めたり、また、密に詰めたり少なく詰めたりしたモデルを作製し、そのときにコップに溜まる分量で水の流れの様子を確かめることができる。さらに、電圧を2倍にして同様の実験をおこなうには水位差が2倍になる水槽

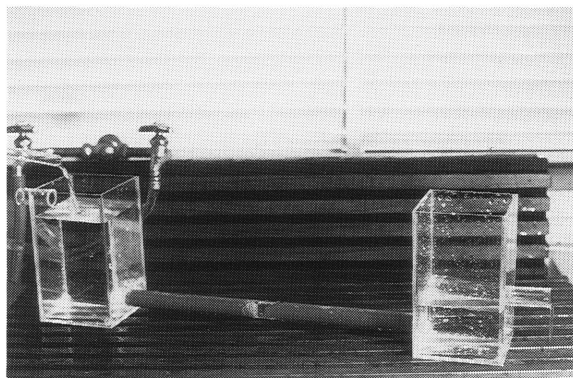


写真2. 2個の抵抗による直列接続の水流モデル

を用意すればよく、電流、電圧、抵抗の変化に応じた電気回路のかんりの状況を理解するモデル実験をおこなうことができる。

5. 電池の役割とポンプモデル

電流を流すはたらきが電圧であり、水を流すはたらきは重力のもとでの2つの水槽の水位の差である。電圧は電池と抵抗が回路、すなわち、輪になっているとき抵抗の両端に生じる。これを水流モデルと比較すると、水流モデルは水を流す役割は果たしているが、もう1つの役割である水をもとへ返す回路を形成していない。後者の役割を現すモデルは、写真4に示しているように水位の低い水槽から水位の高い水槽へポンプで水を汲み上げられるようにすることによって可能である。これで水を循環させる回路ができ、電気回路に対応させることができる。

さらに、以上の電池の役割を写真5のような形のモデルで現すことができる。ポンプの吸い込み口と吐き出し口に網を詰めたビニールパイプを輪にして接続させる。ビニールパイプの網の部分は抵抗に、網を詰めていない部分は導線に、ポンプは電池にそれぞれ対応させることができる。このときポンプは重力による2つの水槽の水位の差ではなく、一方から水を吸い込み他方から吐き出すことにより両側に密度の密と粗の部分を生じさせ、その圧力の差が一樣になるうとするために流れを発生させることになる。これが水の循環の流れであり、電気回路では電流と

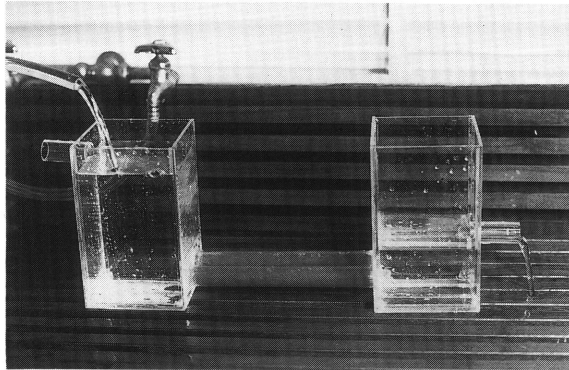


写真3. 2つの抵抗による並列接続の水流モデル

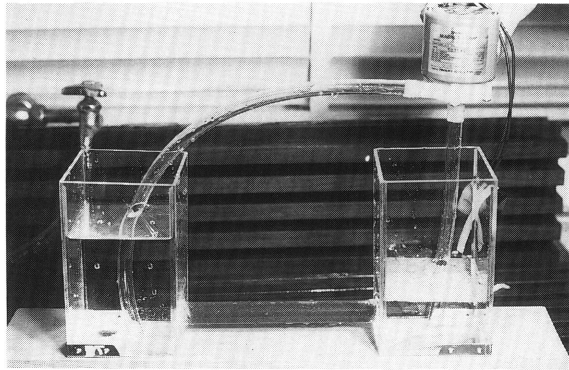


写真4. ポンプによる循環モデル

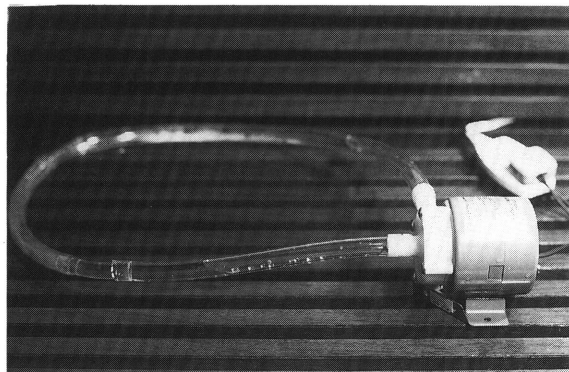


写真5. ポンプを電池に見立てた水流モデル

なる。このように、電池の役割を考察させることで、電気回路に電流が流れ続けるためには、電池が電流を流そうとするはたらきと電流を循環させるはたらきを同時に備えていることが必要であることが理解できるようになる。

6. おわりに

写真1～3の水流モデルは、電気抵抗を網を詰めたアクリルパイプに、電圧を2つの水槽の水位の差に、そして電流を水槽間を接続している上のアクリルパイプの中を流れる水に対応させている。

まず、われわれが提案した網を詰めたアクリルパイプを電気抵抗 R に見立てるモデルは、アクリルパイプの断面積と網を詰めた長さが抵抗の断面積 S と長さ l に、網の詰め具合が抵抗率 ρ にそれぞれ実質的に対応し、 $R = \rho l / S$ の関係をイメージ化することができる。網を詰めていない部分は導線に対応しているし、アクリルパイプに網を詰めないで接続すればショートした回路を現すことになる。

また、網を詰めたアクリルパイプの中を流れる水を電流に見立てることによって、電流を生じる自由電子が回路のすべてに詰まって存在することを理解させることができる。電気回路でスイッチを入れた瞬間に回路のなかの電球が点灯することを、アクリルパイプの中の水が全体で少し移動することとして理解できる。生徒のなかのかなりのもものが、電流は電池のプラス（マイナス）極から電流のもと（電子）が物凄い速さで運動するものと思っている。直列抵抗の回路ではどこでも電流の値が同じであることは、移動物体（電子）が回路のどこにも一杯詰まっている結果であるが、アクリルパイプの一杯詰まっている水がその役割を演じている。定常電流を定常水流に対応させていることになる。

つぎに、電流を流すはたらきの大小を表す電圧は、2つの水槽間のアクリルパイプに水を流すはたらきの大小を表す水位差に見立てた。水位差が大きければ多くの水を流すことができることは、電圧の加法性をよく現している。ところが、電流の流れるための回路に対応する水の循環のようすは、この水流モデルで現すことができない。水を常時注ぎ足す一方の水槽から流れる水は、もう一方の水槽から外へ放出することになるが、この回路に対応する実体モデルはポンプで水位の低い水槽から水位の高い水槽へ汲み上げることによって対応づけることができる。

以上、オームの法則を中心に据えた電気回路の学習を、イメージをつくることによって理解させることの重要性和可能性について議論してきた。いままでの物理教材の学習は生徒に深い理解をさせるより、操作的実験と計算に重きをおいた授業が多かった。今後、教師が生徒一人ひとりを深い理解へと導く授業を展開することができるためには、物理のすべての分野で教師や教師となる学生が豊富なイメージを描き検討できる力を身につけることが大事であり、イメージに関する十分な研究が必要である。

参考文献

- 1) 例えば、平田邦男：理科の教育、34-3（1985）9。
- 2) D. Gentner, D. R. Gentner；淵一博監修：メンタル・モデルと知識表現（共立出版株式会社，1986）41。
- 3) 例えば、朝長振一郎編：物理学読本（みすず書房，1984）99。