

電流と電圧の概念を容易に理解させる教具の開発 — 並列回路について —

伊藤 勝博

An Idea of Teaching Aid to Help Teach the Concept of an Electric Current and Voltage
— Parallel Circuit —

Katsuhiko ITOH

単純な電気回路を流れる電流について小・中学生の思考の誤りを分析すると、一方向非保存説と、二方向衝突説の二つがきわめて優勢的に主張されている。これら誤った思考の要因は、目に見えない電流（自由電子）と内部エネルギー（電位差）の難解さにある。そこで、電流と電圧の概念を容易に理解させるために、ビジュアル化した回路モデルを製作した。

今回の研究テーマは、平成17年度と同様の「電流と電圧の概念を容易に理解させる教具の開発」である。ただし、研究内容は前回の直列回路とは異なり、難解な並列回路における教具の開発である。

ビジュアル化した並列回路モデルとして、環状の循環系【水流モデルⅠ号】を製作した。この【水流モデルⅠ号】は、「並列回路を流れる電流の概念」を容易に理解させる教具として有効であると確信している。しかし、この教具で並列回路の負荷装置にかかる電圧まで理解させることには巧みな解説を要する。そこで、「並列回路の負荷装置にかかる電圧の概念」を容易に理解させるための補充的な教具として、水の位置エネルギーの定理に基づいた【水流モデルⅡ号】を開発した。

はじめに

「回路を流れる電流」に関する学習は、小学校3年生から実施され、中学・高校に引き継がれて完結している。ところが、電気の流れる向きや量についての児童生徒の理解は、理科授業で意図されるような見方や考え方が時折主張されるものの、負荷装置で消費されるという誤った考え方が大勢を占めている。この実態に対して、理科教育に携わる関係者は、「単純電気回路に関する小・中学生の考え方の再検討」を課題として、各々が具体策を講じて調査研究に取り組んできている。

オズボーンら⁽¹⁾は、単純な電気回路を流れる電流について、子どもの理解の実態を調べて

おり、日本でも、安藤ら⁽²⁾が公的な理科学習が始まる以前から、小・中学生を対象とし、豆電球やモーターを負荷装置とする単純な電気回路について、個別面接による調査を行っている。

これらの調査結果から挙げられたことは、小学校1年生の児童でさえ、単純な電気回路の提示に対して、電気の流れが生じているという見方をしているにもかかわらず、高学年においてはしばしば、電気の流れは貯蔵庫である電池を出発点とし、そこから負荷装置に瞬間的に向かうとの見方をしていたり、あるいは負荷を通過する際、電気は消費するという考え方をしていたりなど、誤った思考をしていることである。

このような調査研究が、長年にわたり繰り返し報告されていることから、いつの時代の子どもたちも電気回路に関する理解については変わらぬ実態であったといえる。その意味において、まさに「電流と電圧の概念を容易に理解させるための在り方」は、電気領域の永遠の課題である。

そこで平成17年度の研究においては、直列回路について電流と電圧の概念を容易に理解させるための教具（ビジュアル化した回路モデル）を開発し、それを中学生に提示することによって生徒の理解がどのように促されたかを調査した。その結果、開発した教具の有効性を明らかにすることができた。

今回の研究の目標は、“並列回路について”電流と電圧の概念を容易に理解させるための教具の開発である。

開発した並列回路モデルは、ビジュアル化した環状の循環系【水流モデルⅠ号】（その1）である。前述したように、この【水流モデルⅠ号】（その1）は、「並列回路を流れる電流」を容易に理解させる教具として有効であると確信している。また、あわせて電流に焦点化したシンプルな【水流モデルⅠ号】（その2）も製作した。

しかし、この教具で並列回路の負荷装置にかかる電圧まで理解させることには巧みな解説を要する。そこで、「並列回路の負荷装置にかかる電圧の概念」を容易に理解させるための補充的な教具として、水の位置エネルギーの定理に基づいた【水流モデルⅡ号】を開発した。

ただし、今回の研究においては、中学2年生の理科学習指導計画と本研究の【水流モデルⅠ・Ⅱ号】の製作時期との折り合いがつかず、中学2年生に提示して生徒の理解がどのように促されたか等の調査研究を行っていない。

1 直列回路から並列回路への指導法と課題

(1) 一般的な指導法と課題

電気領域の学習は、小学校3年生での「豆電球に明かりをつけよう」から、4年生の「電池のはたらき」、6年生の「電磁石のはたらき」⁽⁴⁾を経て、中学校2年生の「回路と電流・電圧」、

3年生の「電流と磁界」へと展開する。⁽⁵⁾ この学習過程の中で、論理的な思考を確かなものにすべき時期は中学校2年生であると考えている。なぜならば、学習内容の電流と電圧の概念は、オームの法則、電力（量）、磁界など発展的な学習の基礎であり、なおエレクトロニクス全般の基盤といっても過言ではないからである。

このように重要な電流・電圧の概念を理解することは、事物・現象を観察することより高度な思考力を必要とし困難を極める。その難解さは、目で見ることができない電気を、さらには内部のエネルギーまでも推論しなければならないところにある。

前述したように、電気の流れる向きや量についての概念把握の実態は、理科授業で意図されるような見方・考え方（電気は＋極から－極へと一方向に循環し、負荷装置で消費されないこと）がまれであり、誤った考え方が大勢を占めている。具体的には、一方向非保存説と二方向衝突説の誤った見方・考え方を持つ児童生徒が多数いることである。

森藤ら⁽³⁾による調査でも、小学生から大学生までを対象として、電気の流れる向きと量について、一方向保存説が早い時期に主張されてはいるものの、一方向非保存説や二方向衝突説が根強く主張され続けていることが明らかである。

これらのことから、中学2年生で扱われる「電流と電圧の概念」を容易に理解させるための教材・教具の開発は必要不可欠である。この取り組みの視点として考えられることは、生徒の思考を促進させるためにモデル化・ビジュアル化された教材・教具の開発である。

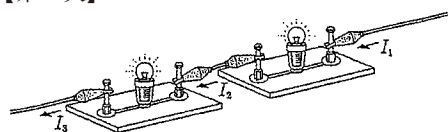
(2) 豆電球2個の並列回路では、それぞれの区間の電流の大きさはどうなっているか

「回路と電流」の単元は、中学校学習指導要領に従えば中学2年生で扱われる。まず「直列回路を流れる電流」を調べることから始まり、その指導計画は、豆電球1個について電流計を直列につなぎ電流を測定する。その後、豆電球を2個直列につなぎ、各豆電球の左右に電流計を直列につないで電流を測定する。この学習の指導目標は「直列回路を流れる電流は、回路のどの部分でも等しいことを理解する」である。

「直列回路を流れる電流」の次の学習内容は、一般的な指導計画によると「並列回路になっている家庭の配線」である。この設定の理由は、日常生活に目をやり、直列回路では一つの電気器具が故障したら電流がそこでストップし、他の電気器具が使用できなくなるという不都合が生じることに気づかせる意図であろう。この設定については生徒たちの思考の連続性から妥当であると考えられる。しかし、その次の学習内容が「電流と電圧の関係を調べよう」であるが、ここでオームの法則を扱うことは唐突であり必然性も薄いと考えられる。特に、電圧の概念を軽く扱っていることが問題である。電圧計の使用方法を簡潔に指導し、測定値を基に法則性に気づかせる指導計画では、かなりの生徒たちが内面的なイメージを成立し難いであろう。

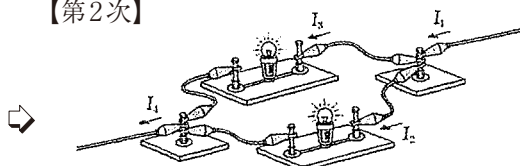
である故、実用的な並列回路を家庭の配線として採用していることから、「直列回路を流れる電流」の次に「並列回路を流れる電流」を扱うことが妥当であると考え。具体的な学習内容は、「豆電球2個の並列回路では、それぞれの区間の電流の大きさはどうなっているか」について測定することである。なお、ここでの電流の扱いは、直列回路でも並列回路でも、保存量であることに変わりがないことを押さえるべきであると考え。

【第1次】



$$I_1 = I_2 = I_3$$

【第2次】



$$I_1 = I_2 + I_3 = I_4$$

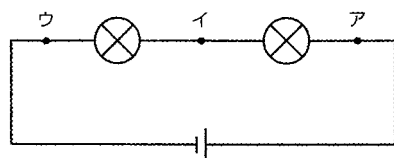
【第1次】の「直列回路を流れる電流」については、平成17年度の研究紀要に示したとおり「電流・電圧の概念を容易に理解せるための教具」としてビジュアル化した水流モデルを製作し、その有効性を明らかにした。

引き続き、【第2次】の「並列回路の各部の電流の和が全電流に等しい」を容易に理解させるために、ビジュアル化した回路モデルの製作が必要である。なお、この回路モデルを難解な「並列回路を流れる電流」の学習のまとめに活用すれば、確かな理解・正しいイメージを育むこと等が期待できる。

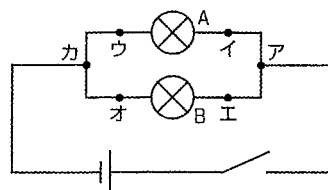
(3) 豆電球2個の並列回路では、それぞれの区間の電圧の大きさはどうなっているか

中学校学習指導要領に従えば、「直列回路を流れる電流」に関する各論を基礎・基本事項と捉え、それを基盤に「回路のいろいろな区間の電圧」を扱うことになる。まず、小学校4年生での既習事項である乾電池の数と豆電球の明るさに関連付けて、電圧の定義を「電流を流す働き的大小を表す量を電圧という」と指導する。次に、豆電球1個の単純回路について電圧計を並列につなぎ電圧を測定する。つづいて、豆電球2個を直列つなぎ【第1次】及び並列につなぎ【第2次】に回路を組み、各豆電球の左右に電圧計を並列につないで電圧を測定する。この学習の指導目標は「直列回路における電圧は、各部の電圧の和が電源の電圧に等しいこと、並列回路における電圧は、付加装置にかかる電圧のすべてが電源の電圧に等しいことを理解する」である。これらの学習のフローには問題点がなく、思考の連続性の観点からも適切であると考え。

【第1次】



【第2次】



$$E(A \cdot U) = E(A \cdot I) + E(I \cdot U) \quad E(A \cdot Ka) = E(I \cdot U) = E(E \cdot O)$$

【第1次】の直列回路における電圧については、平成17年度の研究紀要に示したとおり、「電流・電圧の概念を容易に理解させるための教具」としてビジュアル化した水流モデルを製作し、その有効性を明らかにした。

引き続いて、【第2次】の「並列回路の各部の電圧は電源電圧に等しい」を容易に理解させるために、ビジュアル化した回路モデルの製作が必要である。なお、基本的には直列回路と同様に、この回路モデルを難解な「並列回路にかかる電圧」の学習のまとめに活用すれば、確かな理解・正しいイメージを育むこと等が期待できる。

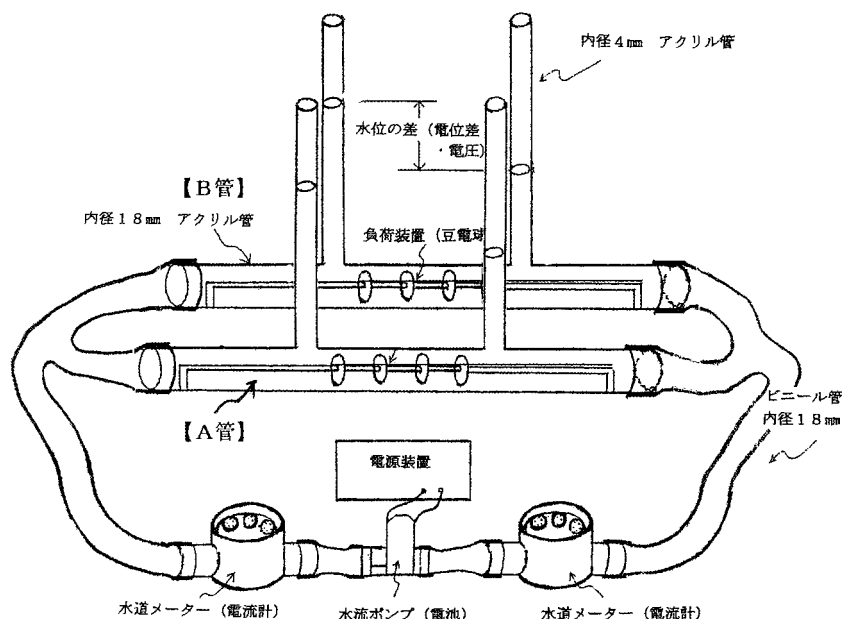
2 並列回路の電流・電圧について、「ビジュアル化した水流モデル」の開発

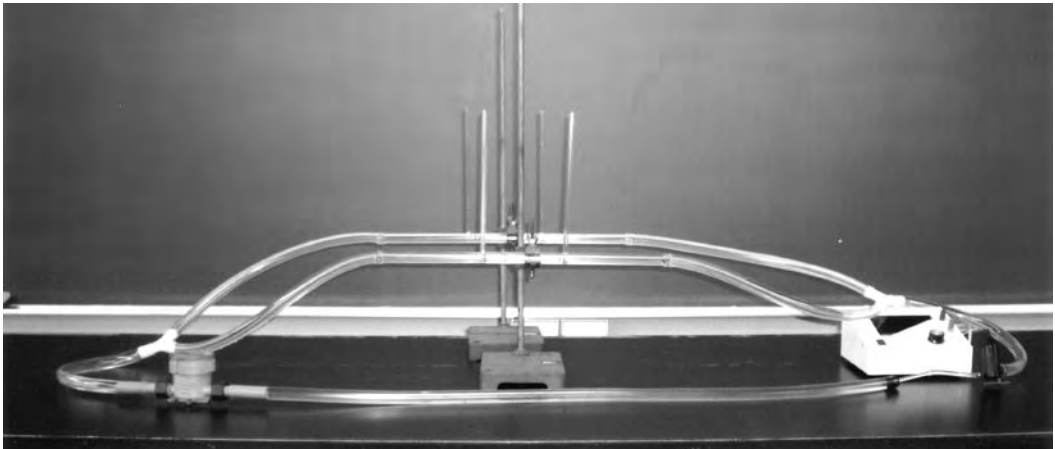
(1) 「並列回路を流れる電流の概念」を容易に理解させる【水流モデルⅠ号】

電気回路では電圧を加えると同時に導体の各部の原子を形作っている電子のうち、比較的自由に動き回れる電子（自由電子）が一斉に移動する。この自由電子が電気エネルギーを伝える媒体であり、それは電気エネルギーをかついで導体を移動するのである。

これに対応する回路モデルとして、環状の循環系「水流モデル」を開発した。【水流モデルⅠ号】（その1）は、あらかじめパイプの中に水を充満しておき、水流ポンプで水を循環させる仕組みである。パイプの中の水は、水圧が加わると同時に水のエネルギー（水圧波）が伝播する。すなわち、水圧が電圧に、水流が電流に相当するわけである。なお、水に金色の絵の具を溶かしておくと、金色の微粒子が水流に乗って移動する。その様子を自由電子の移動に見立てることができる。なお、豆電球のモデルとして太いアクリル管の中に塩ビ製の付加装置を2箇所セットする。この付加装置は塩ビ製の円盤の数が異なり抵抗の違いを意味している。つまり、各抵抗に応じた電流を確認することができる。

【水流モデルⅠ号】（その1）





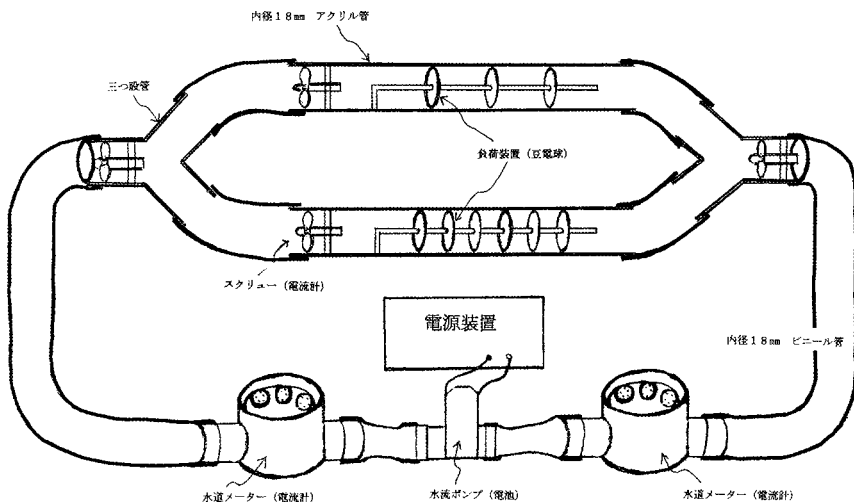
分岐点で分かれて流れる電流は、回路の交点において流れ込む電流の総和に等しい。ここで、電流が保存される量であることを推論させたい。(キルヒホッフの第1法則)

なお、太い2本のアクリル管[A管]と[B管]それぞれに細いアクリル管が2本ずつ垂直に取り付けてあるが、水流が生じるとベルヌーイの流体力学の定理に基づき、プラス側のアクリル管の水位が上がり、マイナス側の水位は下がる。この水位を「電位」に見立てると、2本のアクリル管の水位の差が「電位差（電圧）」を意味することになる。

[A管]と[B管]には異なる付加装置をセットしてあるが、それぞれに立てられている細いアクリル管の水位の差（電位差・電圧）は等しい結果になる。

【水流モデルⅠ号】（その2）

この【水流モデルⅠ号】（その2）は、電流に焦点化したシンプルなものであり、水流によって回転する水車は電流計にあたる。このモデルの利点は、付加の相違（大小）により電流（水流）が異なることを目で確認できることである。また、分岐点で分かれて流れる電流は、回路の交点において流れ込む電流の総和に等しいことを推測することもできる。なお、2個の水道メーター（電流計）の値を計れば、水量（電流）が同じであることを容易に理解できる。



(2)「並列回路の負荷装置にかかる電圧の概念」を容易に理解させる【水流モデルⅡ号】

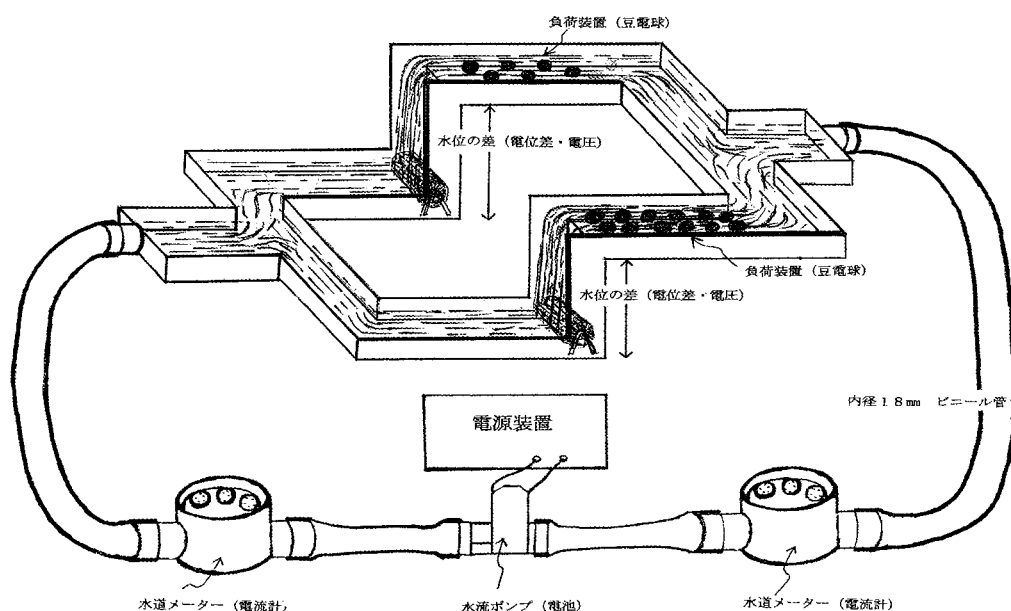
前述したように,【水流モデルⅠ号】(その1)は導線に見立てた2本のアクリル管[A管]と[B管]の中に塩ビ製の負荷装置を設けてある。[A管]と[B管]には負荷の大きい装置(抵抗の大きい豆電球)と比較的小さい負荷の装置(抵抗の小さい豆電球)が配置されている。それぞれの負荷に対して,細いアクリル管の水位の差(電位差)が等しいことは,電源電圧が[A管]と[B管]両方に平等にかかっていることを意味している。つまり,電源電圧=[A管]の電圧=[B管]の電圧である。

このことから【水流モデルⅠ号】(その1)は並列回路に流れる電流と並列回路にかかる電圧を一挙に解説することができる優れたものである。ところが,この水流モデルでは生徒が電圧の内部エネルギーまで推論することに若干無理があると考えられる。そこで,電圧すなわち自由電子が持つ内部エネルギーの差に焦点化した【水流モデルⅡ号】を製作した。

水を高いところへ持ち上げれば,その水はそこから落としたとき仕事をする。より高いところに上げた水ほど,落としたときより大きな仕事をすることになる。また同時にその水の量が多ければ多いほど,なされる仕事の量も大きい。(水の位置エネルギー)

電圧とは,電気の世界におけるこのような高さだと考える。その高さは電位にあたり,高い電位にある電気は低い電位に移るときに仕事をする。そして測定する二箇所の電位の差,これを電圧と見立てる。この現象に着目させることにより,電圧を測定するには負荷装置の両端に電圧計を並列につなげなければならないことを理解させることができる。

【水流モデルⅡ号】

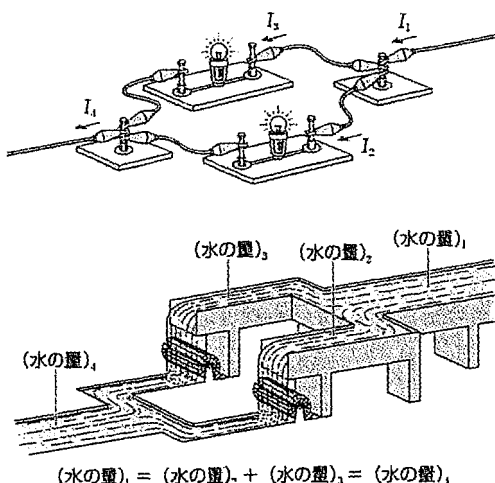


この【水流モデルⅡ号】は、電流を水の流れとし、電圧を水の落差とする。落差が大きいと水車が勢いよく回る。これら水の位置エネルギーの原理を応用して製作したものが並列回路にかかる電圧の水流モデルである。

3 まとめ

(1) 並列回路を流れる電流

「並列回路を流れる電流は、 $I_1 = I_2 + I_3 = I_4$ の関係にある」ことを、一般的には右の図のようなモデル図を用い、「水車を回して流れる水の量が変化しないことに似ている」という説明をしている。⁽⁶⁾ このモデル図による解説は、わかりやすいという反面、実際の電気回路とは構造的にかけ離れているという弱点がある。



そこで本研究では、並列回路に見立てた環状の循環系「水流モデル」を開発した訳であるが、「水流モデル」の利点として、電気回路の見立てについて構造的に違和感がないことが明らかである。何よりも有効な点は、水量を電流に見立てることで計測（水道メーター）が可能になり、電流の理解を容易にしていることである。

(2) 並列回路にかかる電圧

電圧とは、電位差と同じ意味を表す実用上の用語であるが、中学生には「電流を流すはたらきの大小を表す量」といった程度の説明にしておくことが適切であると考ええる。

電流が豆電球を通して流れる間に、電圧が下がることに注目させたい。そして、豆電球の中を電流が流れ、熱や光を出す仕事をするとき電圧降下がおこること、しかも、それぞれの豆電球での電圧降下が電源の電圧になることに気づかせたい。

並列回路に見立てた環状の循環系「水流モデル」では、負荷装置にかかる電位の差から電圧を解説しており、その点に一般的なモデル図の説明との根本的な違いがある。ただし、二つの付加装置にかかる水位の差（電位差・電流）が等しいことを現象として観察することができるが、なぜ等しい結果（電源電圧＝[A管]の電圧＝[B管]の電圧）になったかを説明することはかなり難しいことである。

その概要を解説するならば、[A管]には負荷の大きい負荷装置（抵抗の大きい豆電球）、

[B管]には比較的小さい負荷装置（抵抗の小さい豆電球）が配置されていることとする。であると，[A管]では付加装置が大であるために，水量が少ない，反面，垂直に立てられた細いアクリル管に水が押し上げられる力が大きい。[B管]では付加装置が小であるために，水量が多い，反面，垂直に立てられた細いアクリル管に水が押し上げられる力が小さい。であるから，[A管]と[B管]の付加装置が異なっても，結果としてベルヌーイの流体力学による水位の差は等しくなる訳である。

この事実は，実験を重ね試行錯誤の末に得られたものであり，筆者はこの原理を応用すれば，難解な並列回路に関する電流・電圧を容易に理解させるビジュアル化した回路モデルを開発することができると直感した。

おわりに

「並列回路を流れる電流」と「並列回路の付加装置にかかる電圧」の概念を容易に理解させるための教具として，環状の循環系【水流モデルⅠ号】および水の位置エネルギーの定理を応用した【水流モデルⅡ号】を開発した。

しかしこの教具の一般化を図るには，いくつかの難点がある。その一つは，ある程度の工作技能が要求されることである。その他，水道メーターと水流ポンプが入手し難い上に，高価であることも，一般化を阻む要因になっている。

本研究においては【水流モデルⅠ・Ⅱ号】を中学2年生に提示して生徒の理解がどのようになされたかについて把握していない。今後，中学2年生の理科学習指導計画に沿って検証授業を設定したい。そして，【水流モデルⅠ・Ⅱ号】が並列回路の電流・電圧の概念を容易に理解させることにどれだけ有効であるか調査研究を進める計画である。特に，生徒の理解度や電流・電圧のイメージ化などを調査し，自作教具の有効性を分析・評価したい。

-
- (1) R. オズボーン， P. フライバーグ（1988）（森本・堀），前掲書， pp.29-43
 - (2) 安藤裕明他（1997）「単純電気回路に関する小・中学生の考え―面接法を通して―」，『科学教育研究』日本科学教育学会， Vol.21， No.2， pp.115-125
 - (3) 森藤義孝他（1997）「自然認識における知の表現法と評価法（Ⅲ）―年齢横断的調査に基づく生態系の変化としての理科学習の分析」，『日本科学教育学会第21回年会論文集』 pp.443-444
 - (4) 文部省 小学校学習指導要領解説 理科編（2001） 東洋館出版社
 - (5) 文部省 中学校学習指導要領解説 理科編（2001） 大日本図書株式会社
 - (6) 中学校「理科」1分野上 （2002）大日本図書株式会社