

京都教育大学

平成 19 年度（2007 年度） 修士論文

中学校理科電気分野における電位概念の学習

京都教育大学大学院 教育学研究科

教科教育専攻 理科教育専修

学籍番号 065047

谷口 信一

平成 20 年 1 月 18 日提出

指導教員 沖花 彰

目次

1. 研究の概要	1
2. はじめに	
2.1 研究の背景	2
2.2 研究の動機	5
2.3 研究の目的	9
3. 中学校「電流」単元の理解度調査	
3.1 大学生を対象にした調査	16
3.2 中学生を対象にした調査	21
3.3 調査結果の考察	25
4. 電位学習用教材の開発とその実践	
4.1 電位学習用水流模型の開発	
4.1.1 先行研究の調査	28
4.1.2 教材開発中の試行錯誤	31
4.2 電気回路を用いた電位学習教材	
4.2.1 電気回路を用いた電位学習教材の開発	45
4.3 授業実践	
4.3.1 実践授業	49
4.4 教材の考察	57
5. 電位学習導入に向けて	
5.1 日本の検定教科書における電位学習	64
5.2 アメリカの教科書で扱われる電位学習	67
5.3 現職教員対象アンケートの分析	68
6. まとめ	78
7. 謝辞	
8. 参考文献	80
9. 巻末資料	81

1. 研究の概要

最近の高校生や海外の大学生の調査から中学校理科「電流」の単元での学習が定着できていないこと、日常知と結びついていないことが示唆されている。電流の学習における理解度の研究は古くから行われているが、「豆球と乾電池の接続」や「電流の向きや減衰」に関するものが多く、その多くは中学校の学習段階では克服されているという報告がある。

大学生及び中学生に行った「豆球の明るさ比べ」の調査から中学校理科電気分野の学習における生徒の理解度・定着度が十分でないことがわかった。さらに調査結果から「電池から流れる電流は常に決まっている」という誤概念を持っている可能性が示唆された。そこでこのような誤概念をまねかずよりわかりやすい学習にするために、電位概念を導入した学習とその教材の開発を行った。電位概念学習教材として電位学習用水流模型と、電位を測定する電気回路を併用することで理解を深めるように工夫した。そしてこの2つの教材を用いた中学生対象の実践授業を行った。

また、電位概念学習を中学校理科の学習に導入することの可能性を、過去の日本の教科書・現行のアメリカの教科書および、現職教員へのアンケート調査から分析する。

2. はじめに

2.1 研究の背景

中学校理科の各単元における生徒の理解度・興味度を調べた。表 1、表 2 で示しているのは、国立教育政策研究所が調査した平成 13 年度、15 年度の小中学校教育課程実施状況調査のデータ^{1) 2)}を抜粋したものである。平成 13 年度調査は旧学習指導要領の下で学習した生徒、また平成 15 年度は新学習指導要領の下で学習した生徒が対象となっている。

これらの表における「よくわかった」とは「よくわかる」と「だいたいわかる」と答えた生徒の割合の合計を、「よくわからなかった」とは「わからないことが多い」と「ほとんどわからない」と答えた生徒の割合の合計を示す。理解度とは「よくわかった」を「よくわからなかった」と答えたものの割合(%)で割ったものを示す。また、「好きだった」とは「好きだ」と「どちらかといえば好きだ」と答えた生徒の割合の合計を示し、「嫌いだった」とは「どちらかといえば好きではない」と「好きではない」と答えた生徒の割合の合計を示し、興味度とは「好きだった」を「嫌いだった」で割ったものである。中学校理科の項目は、第一分野と第二分野を併せて 30 項目ある。ここで理解度・興味度それぞれにおいて、理科全体の平均値と物理分野の平均値を求め比較すると、理科全体の中で物理分野における理解度、興味度ともに低くなっていることがわかった。また平成 15 年度において、物理分野の理解度・興味度の平均値より、「電気」(平成 13 年度においては「電流と電圧」が該当項目)の項目は理解度・興味度がともに低くなっている。このことから、「電気」における学習をより理解しやすく、興味のわくものへと改善していく必要がある。

表1 平成13年度 教育課程実施状況調査

学年	項目	よく分かった (%)	よく分からなかった (%)	理解度	好きだった (%)	嫌いだった (%)	興味度
1年	水溶液	44.5	33.4	1.33	35.9	31.4	1.14
	物質の状態変化	42.0	34.2	1.23	29.3	33.5	0.87
	気体の発生	45.4	29.5	1.54	38.1	27.9	1.37
	光と音	44.3	31.6	1.40	37	30.1	1.23
	力	38.9	34.8	1.12	29.7	33.8	0.88
	圧力	34.3	37.2	0.92	26.1	34.6	0.75
	植物の生活とからだのつくり	48.4	26.5	1.83	35.3	32.5	1.09
	植物の仲間	38.4	33.5	1.15	29.4	36.2	0.81
	地層と過去の様子	42.1	26.7	1.58	40.8	24.3	1.68
	火山と地震	45.6	27	1.69	40.3	25.3	1.59
2年	化学変化	42.1	34.5	1.22	30.5	33.6	0.91
	原子と分子	36.7	38.3	0.96	27.9	37.4	0.75
	電流と電圧	37.2	37.2	1.00	28.5	37.5	0.76
	電流のはたらきと電子の流れ	26.2	45.4	0.58	22.3	41	0.54
	動物の生活とからだのつくり	52.5	21.3	2.46	40.1	24	1.67
	動物の仲間	57.6	16.3	3.53	42.4	21	2.02
	気象観測	30.3	38	0.80	27.3	32.4	0.84
	天気の変化	30.9	36.5	0.85	27.6	31.4	0.88
3年	電気分解とイオン	39.3	38.4	1.02	28.9	39	0.74
	酸・アルカリ・塩	38.5	37.6	1.02	28.5	38.1	0.75
	力のはたらき	40.5	32.6	1.24	27	35.7	0.76
	物体の運動	37.7	34.1	1.11	25.7	36.2	0.71
	仕事とエネルギー	30.5	40.5	0.75	21.5	40.1	0.54
	科学技術の進歩と人間生活	24.2	32.5	0.74	22.4	27.3	0.82
	生物と細胞	64.3	13.4	4.80	49.2	17.5	2.81
	生物の殖え方と遺伝	58.7	17.5	3.35	44	19.6	2.24
	生物界のつながり	65.7	11.3	5.81	51.9	14.2	3.65
	火山と地震	40.2	29.6	1.36	34.1	26.8	1.27
	地層と過去の様子	32.8	33.8	0.97	29.9	29.9	1.00
	地球と人間	31.7	23.4	1.35	27.6	20.2	1.37
	理科全体の平均値			1.62	理科全体の平均値		1.21
	物理分野の平均値			1.01	物理分野の平均値		0.77

表 2 平成 15 年度 教育課程実施状況調査

学年	項目	よく 分かった (%)	よく分から なかった (%)	理解度	好きだった (%)	嫌いだった (%)	興味度
1 年	水溶液	54.7	29.4	1.86	51.1	28.9	1.77
	物質のすがた	50.2	32.9	1.53	43.9	33.8	1.30
	光と音	48.5	37.8	1.28	37.8	41.1	0.92
	力と圧力	41.8	42.8	0.98	32.8	45.2	0.73
	生物の観察	54.9	25.2	2.18	43.0	34.8	1.24
	植物の体のつくりとはたらき	60.1	25.4	2.37	45.9	34.4	1.33
	植物の仲間	54.4	29.7	1.83	41.0	37.2	1.10
	地層と過去の様子	53.8	26.5	2.03	49.0	28.3	1.73
	火山と地震	51.2	27.7	1.85	46.7	28.4	1.64
2 年	化学変化と物質の質量	42.4	38.2	1.11	38.7	38.5	1.01
	物質の成り立ち	48.3	33.6	1.44	42.8	35.4	1.21
	電流	41.6	43.3	0.96	31.7	49.5	0.64
	電流の利用	34.3	48.5	0.71	27.4	51.5	0.53
	動物の体のつくりとはたらき	60.5	22.5	2.69	49.3	28.4	1.74
	動物の仲間	65.9	14.3	4.61	55.2	22.3	2.48
	気象観測	41.0	36.9	1.11	37.8	35.3	1.07
	天気の変化	38.2	39.3	0.97	36.9	36.1	1.02
3 年	物質の化学反応の利用	49.6	32.4	1.53	41.4	34.8	1.19
	運動の規則性	55.8	27.4	2.04	38.7	35.0	1.11
	エネルギー資源	50.1	27.8	1.80	38.9	29.8	1.31
	科学技術と人間	27.8	29.3	0.95	23.8	25.9	0.92
	生物と細胞	71.4	13.5	5.29	56.4	19.3	2.92
	生物の殖え方	65.4	17.3	3.78	48.8	22.7	2.15
	自然と環境	57.5	20.1	2.86	48.5	22.3	2.17
	自然と人間	32.3	25.9	1.25	26.8	24.3	1.10
	太陽系と惑星	52.5	27.3	1.92	53.7	23.7	2.27
	天体の動きと地球の自転・公転	47.4	33.6	1.41	50.4	28.3	1.78
	理科全体の平均値			1.94	理科全体の平均値		1.42
	物理分野の平均値			1.19	物理分野の平均値		0.78

2.2 研究の動機

平成17年の国立教育政策研究所の高等学校教育課程実施状況調査 物理 I³⁾ (表 2-1)を見ると、「電気と日常生活との関わりについて関心を持ち、並列接続について理解している」についての問題の設定通過率が通過率を大きく下回っている。ここで、設定通過率とは、設定通過率とは、学習指導要領に示された内容について、標準的な時間をかけ学習指導要領作成時に想定された学習活動が行われた場合、個々の問題ごとに正答、準正答の合計である通過率がどの程度になると考えられるかということを示した数値である。この設定通過率については、問題政策委員会において、個々の問題に置ける出題のねらいを踏まえて数値を決定し、分析委員会において、その数値の妥当性について慎重に検討し決められたものである。設定通過率に比べて通過率が下回っているということは、教師が理解しているだろうと思っているが実際は児童は理解していないということを表す。

表 2-1

H17 年度高等学校教育課程実施状況調査 物理 I

問題の概要	通過率%	設定通過率%
電気と日常生活との関わりについて関心を持ち、並列接続について理解している	44.7	70
電気と日常生活との関わりについて関心を持ち、許容電流や消費電力について判断できる	76	60
直流回路に関心を持ち、測定器具を適切に利用できる	59.4	65
データに基づきグラフを作成することができる	89.2	65
グラフから論理的判断に基づき起電力を求めることができる	77.9	45
電気抵抗の直列接続における電流と電圧の関係を理解している	72.5	65
電気抵抗の並列接続における電流と電圧の関係を理解している	56.8	60
電圧計の正しい接続の仕方を適切に表現することができる	62.6	60
グラフの値を適切に読みとり、電気抵抗を求めることができる	76.6	65
実験結果（グラフ）より豆電球と電熱線の抵抗の違いを考察できる	67.8	55

表 2-1 の正答と誤答の回答率を表 2-2 に示す。物理 I まで学習した高校生の 4 割が延長コードを用いた接続を直列だと考えていることがわかる。表 2-1 および表 2-2 の調査結果から学習内容を身の回りの生活と結びつけて理解することが不十分な生徒が多いと考えられる。

正答	電気抵抗が並列接続になり、電気コードが流れ、電流に、23.6%	
誤答	直列接続になり、電気コードの抵抗が大きくなるから	17.3%
	直列接続になり、電気コードを流れる電流が大きくなるから	23.8%
	並列接続になり、電気コードの抵抗が大きくなるから	23.6%

表 2-2

次に、アメリカの大学で物理入門コースの学生に行われた調査⁴⁾を引用する。図 2-3 と図 2-4 の 2 つの問題は、学生たちの定量的計算問題を解く能力と彼らの概念理解を比較するものであった。問題 (a) の内容は「示された回路について $2\ \Omega$ の抵抗を流れる電流と、点 P と点 Q 間の電位差を求めよ」というもので、正答率は 69% である。7 割の学生が、この程度の直流回路の電流と電圧を計算することができる。それに対し同じ学生たちに、回路 (b) のスイッチ S を閉じたら何が起きるか (例えば電球の明るさの変化や電池からの流れる電流の変化) を定性的に問うという、物理の専門家にとっては (a) よりはるかにやさしく見える問題を解かせると、正答率は 49% とはるかに低くなった。これからわかることは、学生たちが基本概念の理解ができていないまま問題を解く能力を身につけているという問題点である。

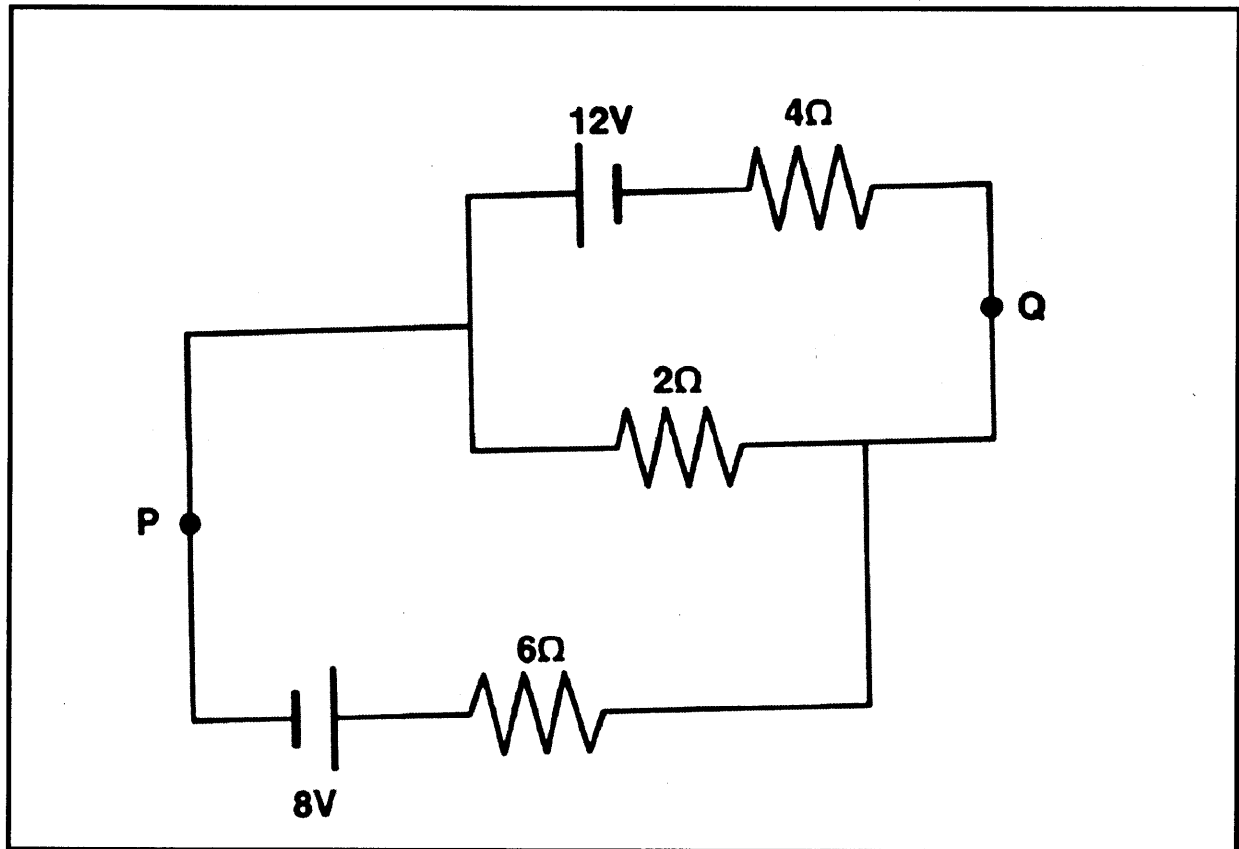


図 2-3 問題 (a)

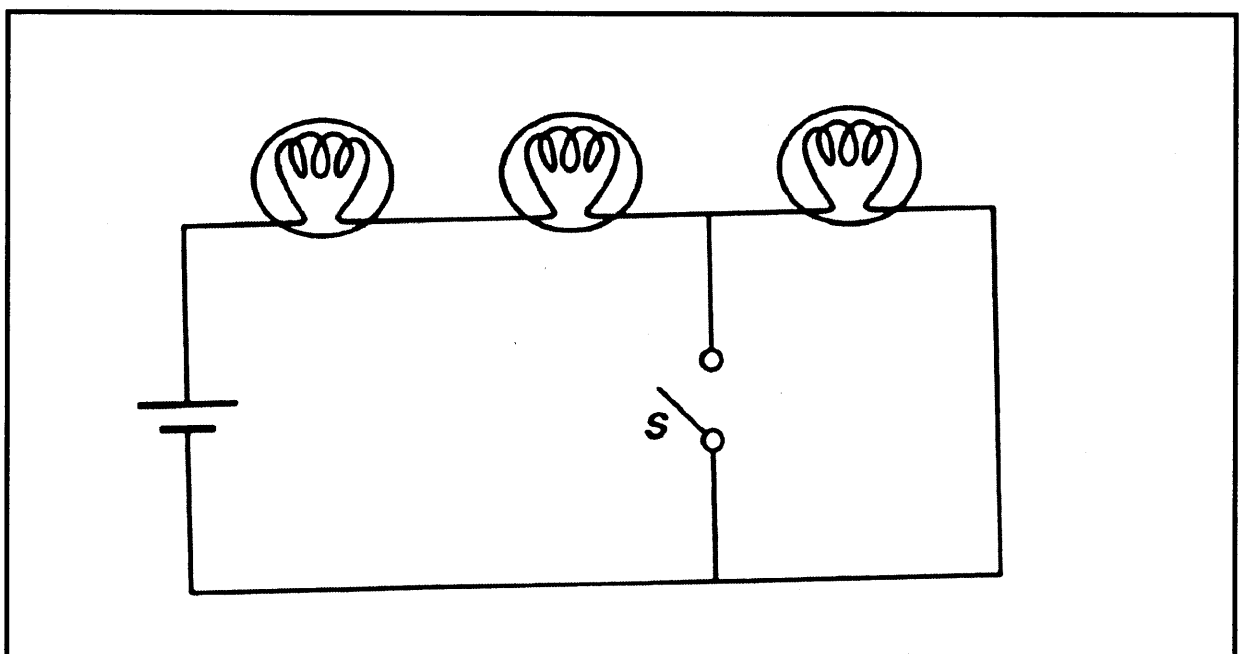


図 2-4 問題 (b)

このアメリカの大学生に行われた調査での問題点と類似した傾向が、日本の国立教育政策研究所の調査⁵⁾からもわかる。国立教育政策研究所は「観察・実験に関する調査」を実施した。内容は、予想や推論を立て、それを確かめるための観察や実験方法を考察し、観察や実験の結果から実際の結論を導き出す力を把握する調査を実施された。また、観察・実験における技能面に焦点をあてた調査も実施された。同時に理科学習に対する意識や学習習慣などに関する質問紙調査も実施された。その結果は、観察・実験の結果やデータを読み取ることにはできるが、観察・実験の結果やデータを基にして考察し、結論を導き出すことに課題がある点が挙げられた。つまり、理科現象を全て機械的に片付けようとしてしまっているのだ。その結果、上で述べたように基本概念の理解ができていないまま問題を解く能力を身につけているという問題点が発生するのである。

以上示した調査から中学校理科電流の単元での学習が定着できていない、日常知と結びついていないこと、基本概念の理解ができないまま、問題を解く能力だけがついているという問題点が示唆されている。これらの問題点克服を目指した教材開発を行う。

2.3 研究の目的

電流の学習における基本的概念の研究は古くから行われている。ここに、オズボーン&フライバーグの研究⁶⁾を示す。

オズボーン&フライバーグの研究では、8歳から12歳までの40人に個人面接調査を行っている。その結果を図2-5に示す。8割の子どもが正しい答えをしていない。またオズボーン&フライバーグは、ニュージーランドの広い範囲にわたる学校の生徒たちに図2-6に示す調査を行った。その調査結果を図2-7に示す。日本の中学生にあたる12歳～15歳の結果を見るとB（電流衝突概念）やCの（電流減衰概念）が多く見られた。

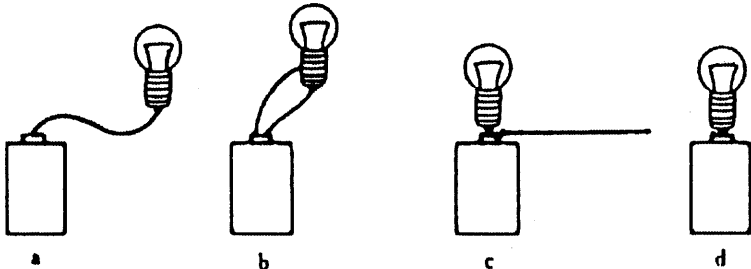
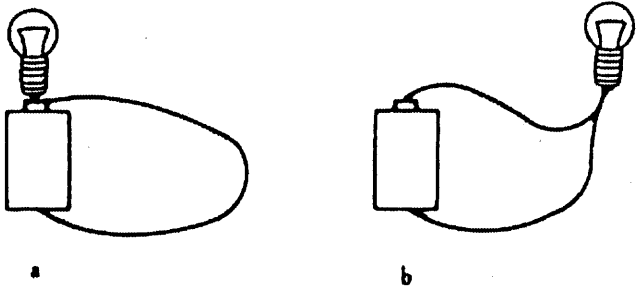
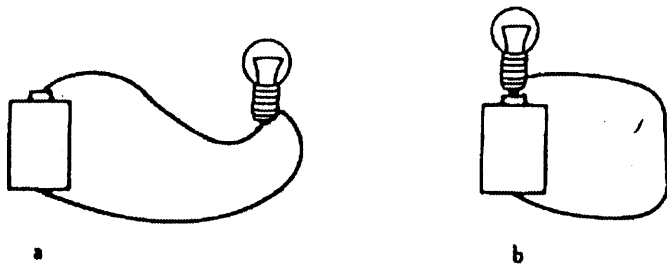
誤答		22 人/40 人中
誤答		11 人/40 人中
正答		6 人/40 人中

図 2-5

図に示されたように、乾電池が豆電球に接続されています。豆電球には、明かりがついています。



導線の電流の流れをもっともよく表しているのはどの図だと、あなたは考えますか。



乾電池の図の下の部分に接続した導線には、電流の流れがまったくない。

電流の流れは、両方の導線とも豆電球の方へ向かって流れる。



電流の流れの方向は、図に示した通りである。電流の流れは、「帰りの」導線では少なくなっている。

電流の流れの方向は、図に示した通りである。電流の流れは、両方の導線とも同じである。

図 2-6

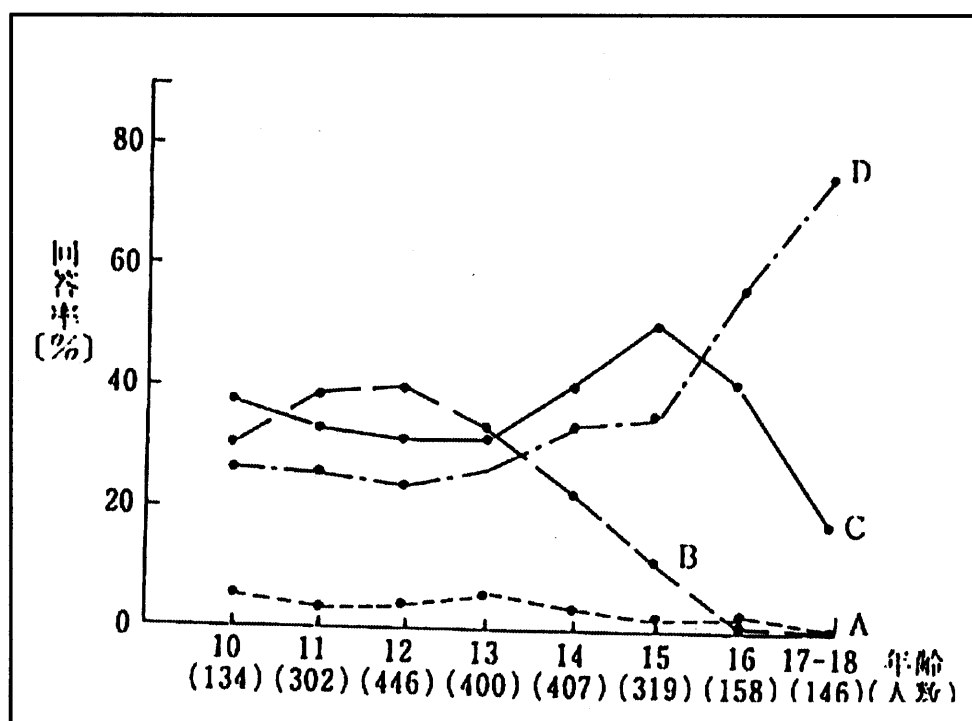


図 2-7

このように、電流の学習における基本的概念の研究は「豆球と乾電池の接続は回路が閉じているかどうか」また、電流の「向き」や「減衰」に関するものが多い。その一方で、中学校での学習では上記の点は克服されているという報告もされている。以下に、門馬・吉田（福島大学）の研究⁷⁾を引用する。この研究では図 2-8 に示す問題を理解度調査に使っている。

次の図の豆電球は明るく点灯するでしょうか。点灯するものには（ ）内に○、点灯しないものには（ ）内に×をつけてください。

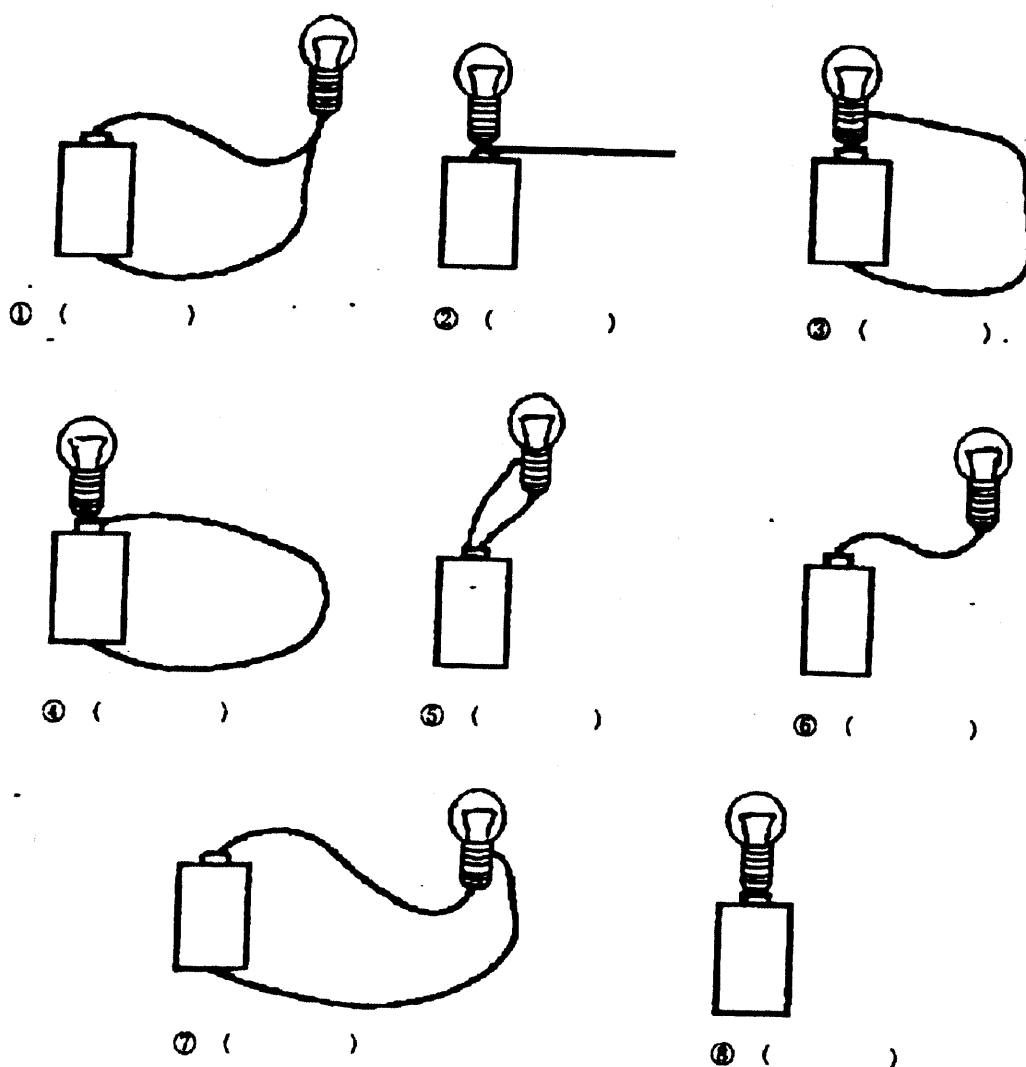


図 2-8

調査の実施方法は、福島県内の公立中学校を対象とし、中学校 2 年「電流」の単元の学習に入る直前と直後に調査を行ったものである。尚、学習前と学習後の調査は別のクラスで行った。以下に、図 2-8 の調査結果の集計（各問題の学習前と学習後の回答率）を引用する。調査結果は学習前 7 学級 229 名分、学習後 8 学級 250 名分である。

表 2-9

%	②	⑤	⑥	⑧
学習前	97	90	95	97
学習後	97	91	97	95

表 2-10

%	①	④
学習前	6	36
学習後	4	38

表 2-11

%	③	⑦
学習前	49	71
学習後	46	70

表 2-9 には、②・⑤・⑥・⑧の乾電池を含んだ閉じた回路を形成しないと豆球は点灯しないことが理解できているかを調査した問題をピックアップして回答率を示した。これを見ると、②・⑤・⑥・⑧のは学習前、学習後ともに回答率が高いので、乾電池を含んだ閉じた回路を形成しないと豆球は点灯しないという理解は学習前からできていることが示された。

表 2-10 はソケットなしの豆球の接続が正しくない①と④の問題の回答率を示した表である。学習前と学習後で変化が見られないため、生徒は乾電池の+からでて－へ入る回路ができてさえいれば豆球はつく和理解しており、これは現行の学習によって改善されないことが示された。また、表 2-11 に示す③と⑦はこの問題の正解の回路である。正答率が学習後で伸びていないことから、現行の学習によって改善されない点を示された。

門馬・吉田（福島大学）の研究⁵⁾では、「電流」単元の問題点を探るために図 2-12・図 2-14・図 2-16 に示す問題も実施されている。実施方法は図 2-8 の調査と同様である。

図 2-12 の調査の学習前と学習後の回答率を表 2-13 に引用した。図 2-13 の問題は、回路内の電流は、豆球が点灯することにより減衰するという誤概念（電流の減衰モデル）を生徒がどの程度持っており学習後にはどの程度解消されるかを調査した問題である。表 2-13 を見ると、学習後に正解を回答する生徒が増えていることから、現行の理科学習は電流の減衰に対する誤概念に対し改善の効果があることが示された。

問 次の図の回路の中で最も大きな電流が流れている点はどこですか。同じ大きさの点があればいくつ答えてもけっこうです。みんな同じ大きさと考えられる場合は全ての記号を書いてください。使っている豆電球は全部同じものです。

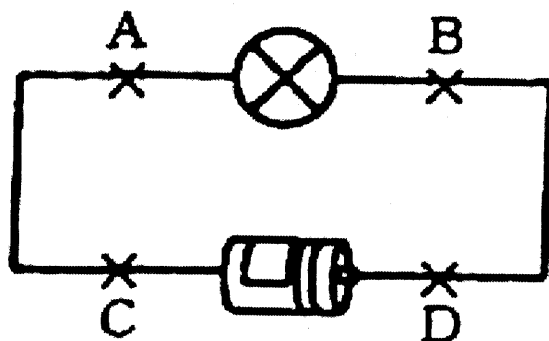


図 2-12

表 2-13

%		BD	CD
学習前		24	24
学習後		17	10

（正解）

次に図 2-14 の調査問題を引用し、学習前と学習後の正答率を表 2-15 に引用した。図 2-14 の問題は、回路内の豆球が点灯することは、乾電池のプラス側から出た電流と乾電池のマイナス側から出た電流が衝突するからことが原因だと考える誤概念（電流の衝突モデル）を生徒がどの程度持っており学習後にはどの程度解消されるかを調査した問題である。表 2-15 を見ると、学習後に正解を回答する生徒が増えていることから、現行の理科学習は電流の減衰に対する誤概念に対しても改善の効果があることが示された。

問 図の回路の中でA点とB点に流れる電流の向きを [] の中に、→または←のように矢印で書いてください。

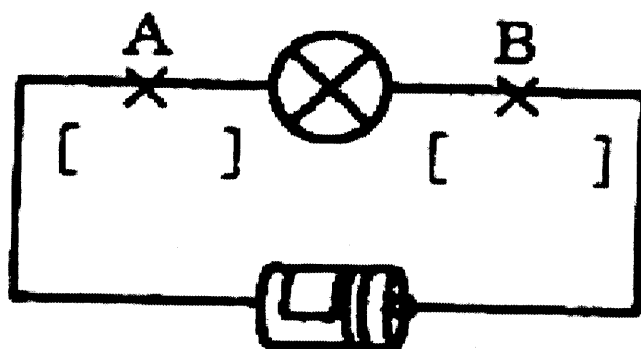


図 2-14

表 2-15

%		→←
学習前		39
学習後		8

(正解)

次に、図 2-16 の調査問題を引用し、図 2-16 の学習前と学習後の正答率を表 2-17 に引用した。図 2-16 は、各回路中の豆球の明るさ比べを調査する問題である。表 2-17 を見ると、学習後の正答率に成果が見られないことから、現行の学習では豆球の並列つなぎに関する明るさの理解に改善の効果が見られないことが示唆された。

問 次の豆電球の中で最も明るいのはどれですか？同じ明るさのものがあればいくつ答えてもかまいません。みんな同じ明るさの場合は全ての記号を書いてください。使っている豆電球は全部同じものです。

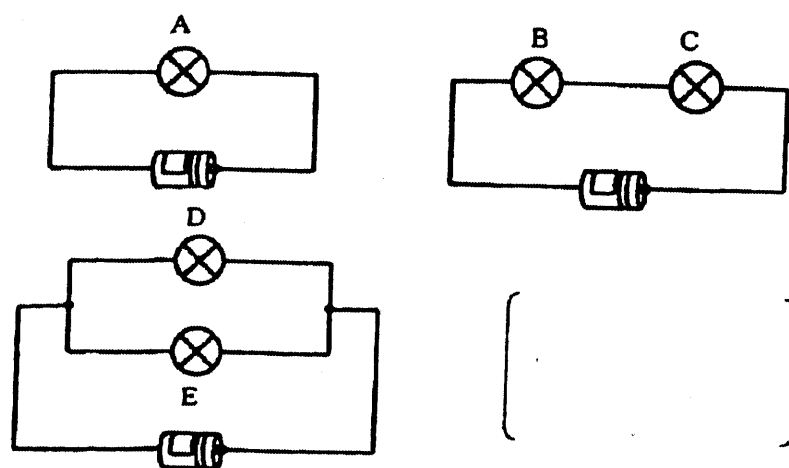


図 2-16

表 2-17

%		A	ABC
学習前		54	13
学習後		41	21

(正解)

このような先行研究の調査の分析から、現行の中学校理科電流単元の課題は何か、現行中学校理科電流単元の学習内容の問題点は何かを調べるために本研究に取り組んだ。

3. 中学校「電流」単元の理解度調査

3.1 大学生を対象にした調査の分析

3.1.1 調査の概要

中学校での学習を経験してきた大学生にとってどれほど電気分野の基本的理解ができているかを調べるために 2006 年に楠本が行った調査データ⁸⁾のデータを分析した。2006 年の調査では、図 3-1 に示すようにいろいろな回路中の豆電球の明るさを比べるといった問題を通して、大学生が回路中の豆球の明るさ比べのような電流単元の定性的な基本的概念を適切に理解できているかどうか、その実態を調べたものである。

調査対象は、A.京都教育大学の小学校教員志望者必修の授業（小学校教科内容論理科物理領域）受講者 284 名（以下 A）と、B.京都教育大学の中高理科教員免許習得志望者必修の授業（物理 I）受講者 48 名（以下 B）で、それぞれ授業時に 10 分程度とって行われたものである。A の回答者のうち 208 名が理科領域を除く 1 回生で、高校での物理 I（物理 I B）履修者は 83 名であり、これは回答した学生の 30%にあたる。B の回答者のうち、高校での物理未履修者が 20 名、物理 I B まで履修した者が 7 名、物理 II まで履修した者が 22 名であった。回答者のうち、高校で物理を履修した者の割合は 59%であった。

問 下の①～⑤の豆電球と乾電池からなる回路のうち、1 つ 1 つの豆電球が明るくなる回路の順位をつけなさい。明るさが同じと考えられるときは同じ順位とする。

（ただし、電池や導線の内部抵抗は考えなくてもよい。）

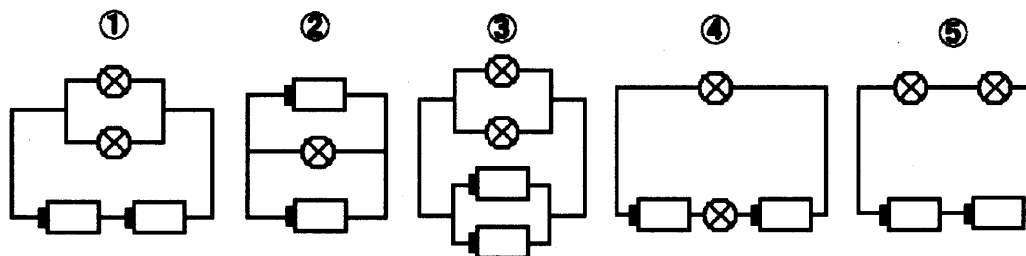


図 3-1 授業中に課した問題

3.1.2 調査結果の分析

A, B の図 3-1 の問に対する完全正解率を表 3-1 に示す。A、B ともに完全正解率は低い。

表 3-1

	完全正解者
A	3.9%
B	10.2%

上記の特徴をより詳しく調べるために、それぞれの回路を何位につけたかによってまとめ、表 3-2a、b に表した。正解は、電池の内部抵抗や銅線の抵抗を無視するので、回路①の順位が 1 位、他の回路②から回路⑤はどれも同じ明るさで 2 位となる。

表 3-2a 回路の順位づけに関する A の回答

	回路①	回路②	回路③	回路④	回路⑤
1 位と回答	28%	35%	4%	13%	36%
2 位と回答	24%	20%	22%	34%	33%
3 位と回答	26%	16%	17%	26%	16%
4 位と回答	15%	15%	24%	20%	8%
5 位と回答	6%	14%	33%	7%	7%

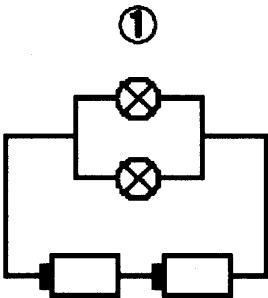
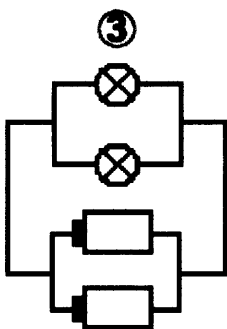
表 3-2 b 回路の順位づけに関する B の回答

	回路①	回路②	回路③	回路④	回路⑤
1 位と回答	53%	33%	16%	8%	18%
2 位と回答	18%	18%	29%	43%	35%
3 位と回答	10%	14%	12%	20%	29%
4 位と回答	12%	18%	22%	24%	4%
5 位と回答	6%	16%	33%	4%	14%

この調査結果の特徴としては次のような点が挙げられる。まず、AもBも回路②を最も明るいと感じたものの割合が多いこと（Aで35%、Bで33%）である。さらに⑤も1位にした割合は特にAで顕著であった。逆に、回路③が最も暗くなると答えた割合がAもBも33%と最も多い。上記の特徴をより詳しく調べるために2つつ回路の結果を比較した。

（1） 回路①と回路③に関する回答の比較

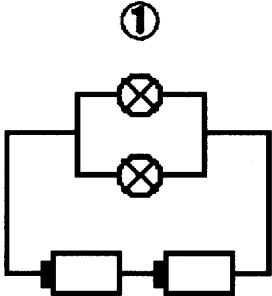
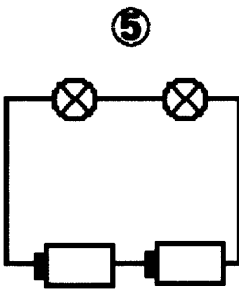
表 3-2 回路①と回路③の回答の比較

①  ③ 			
調査対象	同じ明るさ	1の方が 明るい	3の方が 明るい
A	6%	75%	19%
B	2%	88%	10%

回路①と回路③では、豆電球はともに並列つなぎとなっており、乾電池が直列つなぎか、並列つなぎかという点異なる。この2つの回路において、回路①の方が明るくなる、すなわち回路①の方が回路③より順位が高いと答えた割合はAが75%、Bが88%と、乾電池の直列つなぎや並列つなぎは、小学校4年で学習する内容であるが、この内容に関する理解は比較的定着しているといえる。

(2) 回路①と回路⑤に関する回答

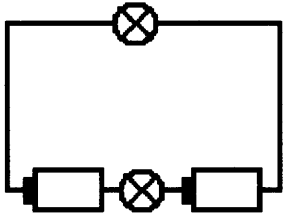
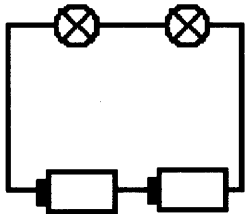
表 3-3 回路①と回路⑤の回答の比較

①  ⑤ 			
調査対象	同じ 明るさ	1の方が 明るい	5の方が 明るい
A	4%	30%	66%
B	4%	63%	33%

回路①と回路⑤では、乾電池はともに直列つなぎであるが、豆電球が直列つなぎか、並列つなぎかという点で異なる。この正答率は、Aで30%、Bで63%と乾電池の直列と並列つなぎの各場合を比較した(1)のときよりも著しく低くなっている。さらにAに課した問題において理由を書かせたところ、「豆電球の直列つなぎの方が流れる電流は大きく、並列は直列に比べ弱いから」、「回路⑤は電池も豆電球も直列だから」というものが多かった。これらの理由より、回路①よりも回路⑤における豆電球の方が明るくなると考えた学生は、乾電池の直列つなぎの方が大きな電流が流れるという知識を、豆電球の直列つなぎと並列つなぎにおいても誤って当てはめて考えているということがわかる。

(3) 回路④と回路⑤に関する回答

表 3-4 回路④と回路⑤に関する回答

④  ⑤ 			
調査対象	同じ 明るさ	4の方が 明るい	5の方が 明るい
A	25%	23%	53%
B	24%	37%	39%

回路④は回路⑤に比べて、1個の豆電球の位置を2本の乾電池の間に移しただけで等価であるが、この2つの回路における豆電球の明るさは、同じではないと考える学生がどちらのグループでも $\frac{3}{4}$ もいることがわかる。

3.2 中学生を対象にした調査

3.1 では、いろいろな回路中の豆電球の明るさを比べるといった問題を通して、大学生が電流や電圧についての基本的概念を適切に理解できているかどうかを調べた。中学生に対しても、同様な理解度調査を実施した。

3.2.1 調査の方法

調査対象としたのは、京都教育大学附属京都中学校のサイエンスクラス受講者 40 名である。このクラスは 2、3 年生の混成クラスであり、2 年生が 16 名、3 年生が 24 名であった。対象とした生徒は全て中学校理科「電流」の単元を履修済みである。このクラスには後述する新しい試みの授業を行った。大学生と同じ問題は授業実践後とし、授業前に図 3-2～図 3-5 に示す 2 つの回路の豆電球の明るさ比べを解かせた。

調査日は 2007 年 6 月 27 日で、回答時間は約 10 分であった。

1 次の 2 つの回路において A と B の豆電球はどちらが明るいかな？

正しいものを選択肢より選び、解答欄に選択肢の番号を記入せよ。

(導線の抵抗および電池の内部抵抗は無視するものとする。)

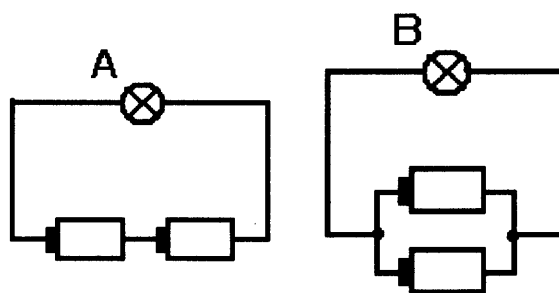


図 3-2

2 次の2つの回路においてAとB,Cの豆電球はどちらが明るいか？

正しいものを選択肢より選び、解答欄に選択肢の番号を記入せよ。

(導線の抵抗および電池の内部抵抗は無視するものとする。)

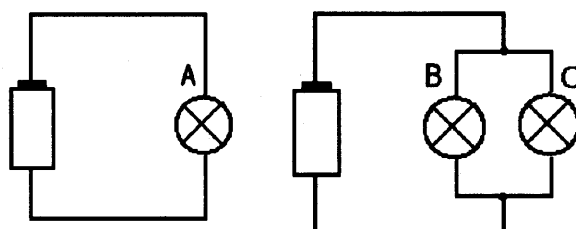


図 3-3

3 次の2つの回路においてAとBの豆電球はどちらが明るいか？

正しいものを選択肢より選び、解答欄に選択肢の番号を記入せよ。

導線の抵抗および電池の内部抵抗は無視するものとする。

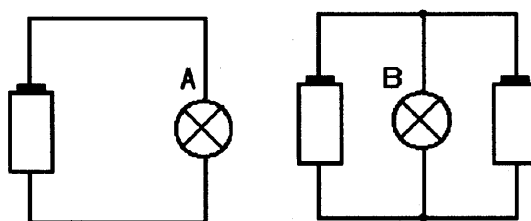


図 3-4

4 次の2つの回路においてA,BとC,Dの豆電球はどちらが明るいか？

正しいものを選択肢より選び、解答欄に選択肢の番号を記入せよ。

導線の抵抗および電池の内部抵抗は無視するものとする。

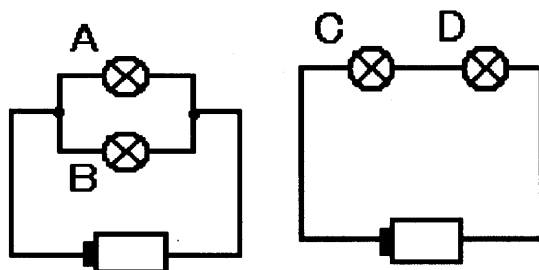
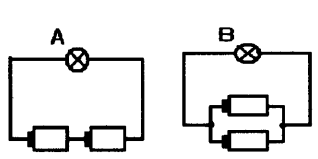


図 3-5

3.2.2 調査結果の分析

(1) 問1の結果を表3-5に示す。正解は「Aの方が明るい。」である。ほぼ9割の生徒が正しく理解できている。この問題は大学生の調査での回路①と回路③の比較の調査と類似している乾電池の直列と並列の違いを問うものである。大学生と同様理解できている。

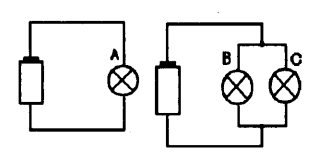
表 3-5

乾電池の直列と並列	学年	Aの方が 明るい	AもBも 同じ明るさ	Bの方が明るい
1 	2年(16人)	100%	0%	0%
	3年(24人)	79%	0%	8%
	全体(40人)	88%	0%	5%

(正解)

(2) 問2の結果を表3-6に示す。正解は「同じ明るさ。」である。しかし、半数の生徒はAの方が明るいと答えている。この問題は大学生の調査にはないが豆球の並列つなぎを問うということで回路①と⑤の比較と類似している。大学生のときと同様豆球の並列つなぎに関する理解がきわめて悪い。

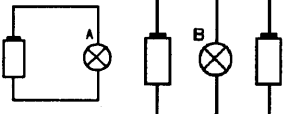
表 3-6

豆球1個と2個並列	学年	Aの方が 明るい	AもB,Cも同じ明 るさ	B,Cの方が 明るい
2 	2年(16人)	50%	50%	0%
	3年(24人)	46%	33%	8%
	全体(40人)	48%	40%	5%

(正解)

(3) 問3の結果を表3-7に示す。正解は「同じ明るさ。」である。しかし、これも約半数しか正しく答えていない。これは大学生の調査で②が最も明るいと言った割合が多かったことと同じ傾向である。

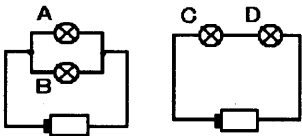
表 3-7

乾電池1個と2個並列	学年	Aの方が 明るい	AもBも 同じ明るさ	Bの方が 明るい
3 	2年(16人)	38%	50%	13%
	3年(24人)	4%	46%	38%
	全体(40人)	18%	48%	28%

(正解)

(4) 問4の結果を表3-8に示す。正解は「A,Bの方が明るい。」である。しかし約4割の生徒しか正しく答えていない。豆電球の直列にも関わらず、直列だからという考えから「C,Dの方が明るい。」と答える生徒が約4割で多い。

表 3-8

豆球の直列と並列	学年	A,Bの方が 明るい	A,BもC,Dも 同じ明るさ	C,Dの方が 明るい
4 	2年(16人)	56%	13%	31%
	3年(24人)	33%	8%	46%
	全体(40人)	43%	10%	40%

(正解)

3.3 理解度調査結果の考察

大学生と中学生の結果から次のような点が考察できる。まず、乾電池の直列つなぎと並列つなぎでは、直列の方が豆電球が明るくなると考え、小学校で学習した内容は定着できている。次に、豆電球の直列と並列では、乾電池と同じように並列の方が暗くなると考えるものが多い。さらに大学生の回路②や中学生の間3のように回路が乾電池の並列つなぎから成る回路図であることを見抜けず、乾電池1個と同等であることが理解できないものが多い。

以上のことから、次のような誤概念を持っているのではないかと推測できる。図3-6に示すように2つの回路において、Aの回路においてもBの回路においても乾電池から流れ出る電流の大きさは同じだと考えてしまうというものである。その結果、Aに比べて半分の大きさの電流が各豆電球に流れるため、Bの豆電球は暗くなる。逆に図3-7に示すように、Aの回路と同じ大きさの電流が、Cの回路の2本の乾電池から流れ出て、それらが合流する形で豆電球に流れ込むため、Cの回路の豆電球はAの回路のものに比べてより明るくなるというものである。つまり生徒は、電池から流れ出る電流の大きさが、抵抗の直列・並列つなぎに関わらず一定であると考え、それは現行の学習をする、しないに関わらず中学生も大学生も持っていると思われる。

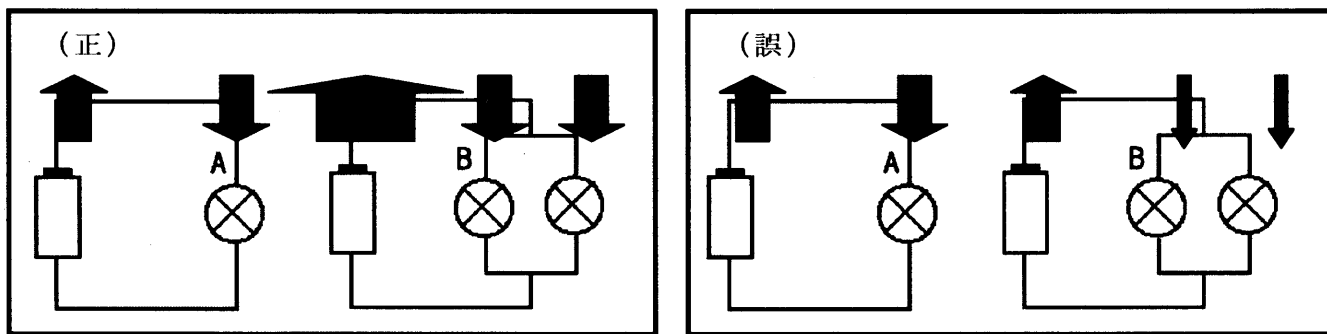


図 3-6 誤答する時の典型的な思考例 1

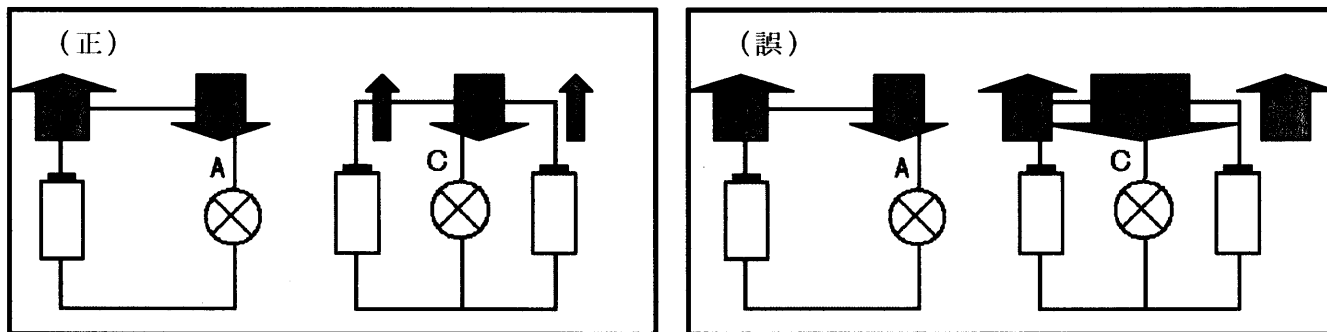


図 3-7 誤答する時の典型的な思考例 2

このような誤概念を招く1つの要因として教科書の表記の仕方が挙げられる。図 3-17 の上の図⁹⁾は直列で「水量は同じ」を表しており、下の図は並列なので「水が分かれて流れても全体の水量は変わらない」ことを示している。この絵では、上の直列の抵抗より下の並列の抵抗の方が抵抗値が大きく書かれているので矛盾はないが、中学生がここまで注意を払ってこの図を見るのは難しい。またこの2つの図が教科書に並べてかかれているので生徒の誤解を招きやすく、結果として「全体の水量は同じと誤解する」可能性がある。

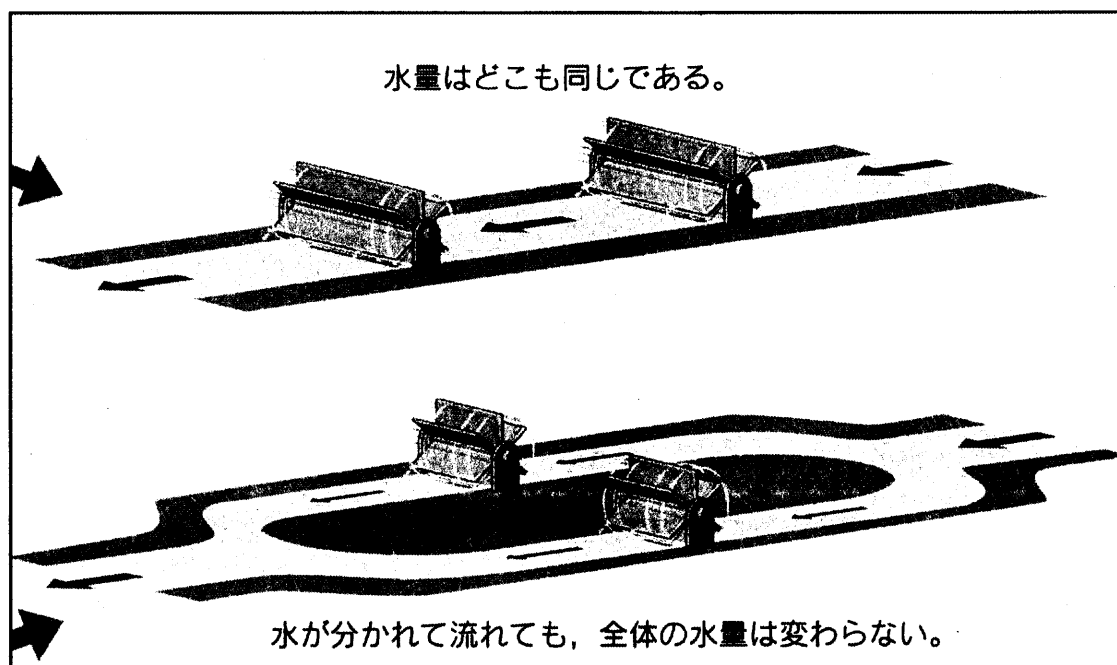
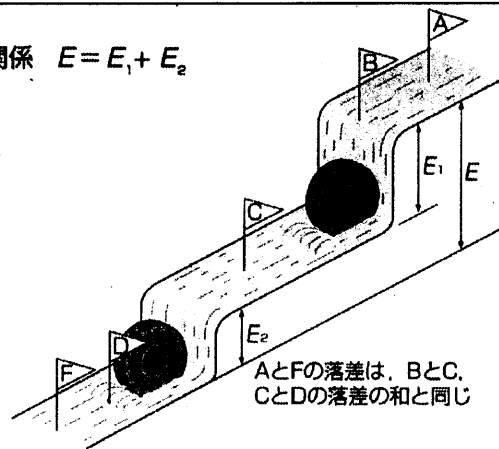
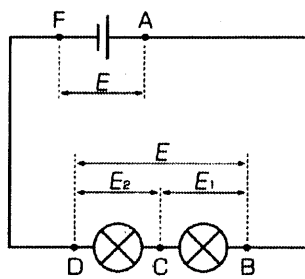


図 3-17

そこでこのような誤概念をまねかず、よりわかりやすい学習にするためには、電位概念を導入することが効果的ではないかと考えた。現行教科書では電位概念は高等学校ではじめて学習する。しかし、電位を「電気の高さ」のように中学生にもイメージしやすいものとし、電位を実感できる教材を開発することによって、中学校理科にも導入できると考えた。現行の日本の中学校理科教科書にも電流を高さのイメージで教えようとした絵¹⁰⁾(図 3-18)があるが、これは、落差＝電圧であることしか表しておらず、回路を見回したときの回路全体の各点の水位＝電位を理解することまで踏み込んでいない。後章でも述べるがアメリカの中学校教科書には電位概念が導入されているため、教材やカリキュラムを見直せば日本の中学生にも電位概念を導入することが可能であると考えている。以上のことから本研究では、中学校理科に電位概念を導入することを目指した教材開発および電流単元のカリキュラム開発を行った。

豆電球の直列回路 電圧の大きさの関係 $E = E_1 + E_2$

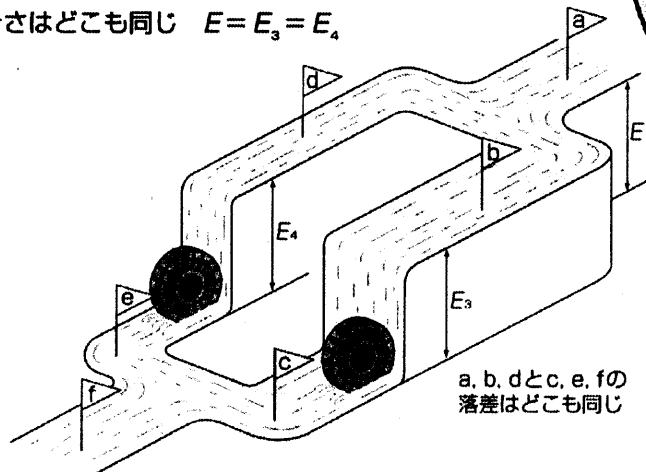
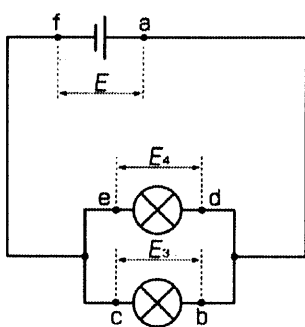


電圧の大きさは、水の落差と似ているね。



AとFの落差は、BとC、CとDの落差の和と同じ

豆電球の並列回路 電圧の大きさはどこも同じ $E = E_3 = E_4$



a, b, dとc, e, fの落差はどこも同じ

図 3-18

4. 電位学習用教材の開発とその実践

4.1 電位学習用水流模型の開発

4.1.1 先行研究の調査

電位学習のための水流模型を開発するにあたり、先行研究の水流模型を調査した。調査内容を以下に示す。

(1) 田川（上越教育大学）らの水流模型¹¹⁾

上越教育大学の水流模型の特徴は、チューブの中に小さな粒子を流し「電流」を説明しているところにある。小さな粒子は、人工イクラなどに用いられているアルギン酸ナトリウムを使用している。チューブの中を流れるこの粒子をビデオカメラで撮影し、その流れる個数を調べることによって電流学習を行う。この水流模型学習で電流単元での誤概念とされている電流の減衰概念や電流の衝突概念の克服を目指している。またこの水流模型では、電池部（風呂用ポンプ）の起電力を一定にするために電池部の両端に水位を測るためのチューブを立てるといふ工夫が見られる。この水流模型の抵抗は、管の太さの違いで再現している。

しかし、回路を組みかえることができないので様々な回路で実験することができないし、起電力測定のためのチューブのみしか立てられていない。この教材は教材自身が大型化してしまい教師の演示用の水流模型となってしまっている。

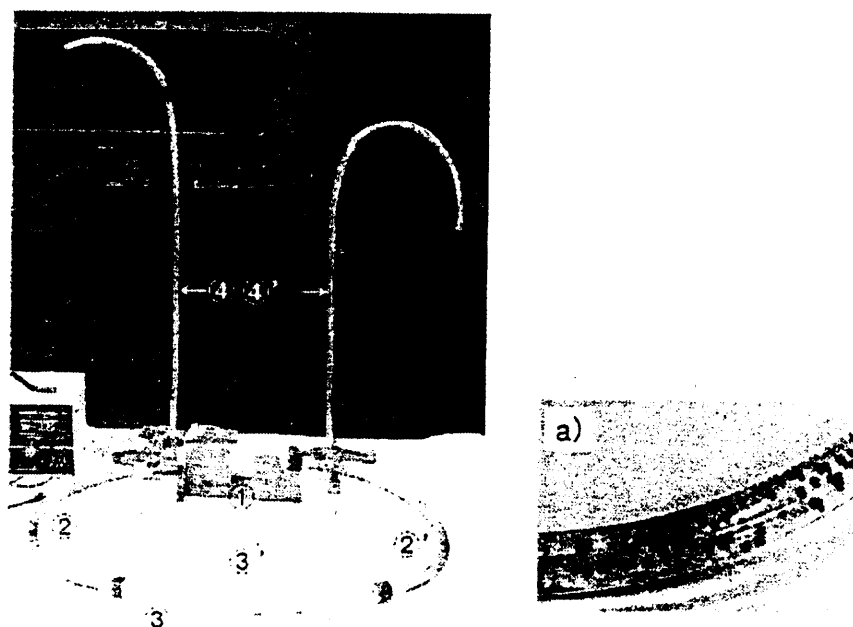


図 4-1

(2) 福山（長崎大学教育学部）らの水流模型¹²⁾

長崎大学が開発した水流模型では、園芸用ホースジョイントを用いることによって回路の組み換えを可能にしている。しかし(1)と同様 2 点間の電圧だけを示す模型である。また水をくみあげるためにポンプを使っている。

この水流模型は、生徒に抵抗に対する調査を行い、その結果生徒が最も理解しやすいと分析した「チューブの中に網を入れること」を抵抗として採用している。抵抗＝流れをさまたげるという理解で生徒にとって理解しやすいように思われるが定量化するのが難しい。この教材は教材自身が大型化してしまい教師の演示用の水流模型となってしまっている。



図 4・2

(3) 伊東・高橋（宇都宮大学教育学部）らの水流模型¹³⁾

宇都宮大学の水流模型の工夫点として回路の各点に細い棒を立てて各部の電位を再現し、生徒に電位差（電圧）の理解を促すという点が挙げられる。

しかし、この教材は教材自身が大型化してしまい教師の演示用の水流模型となってしまっている。また図 4.3 からわかるように回路中に高い所と低い所があるので、中学生が電気回路と模型のイメージを結びつけることが難しいのではないかと考えた。これはもともと起電力を落差に結び付けて理解するという利点があるが、そうであるなら装置全体に高低差をつける方がいい。

宇都宮大学の研究では、水流模型だけでなく生徒の電圧概念の理解を助けるために実際の電気回路を使った「電位測定回路」実験の併用を行っている。「電位測定回路」の原理は電圧計のマイナス端子と電池のマイナス極を接続し、電圧計のプラス端子で電位を測定するものである。

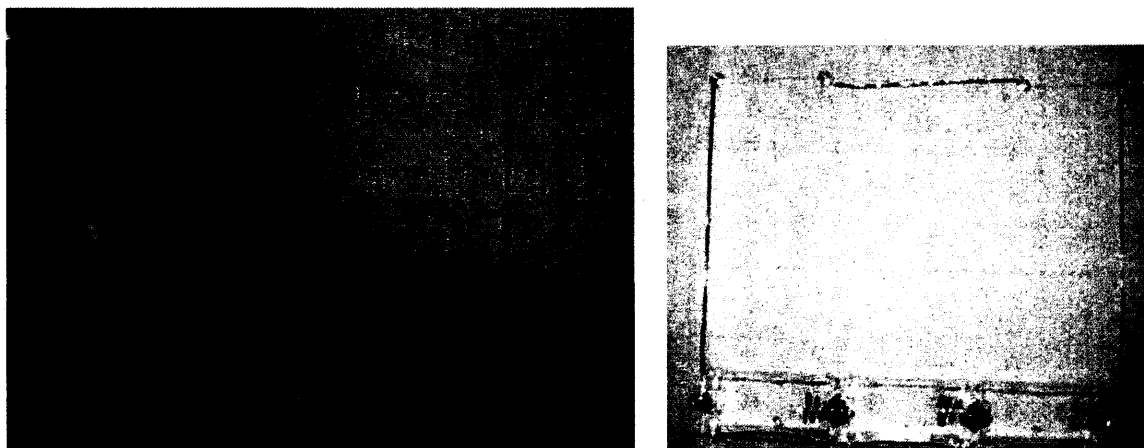


図 4-3

4.1.2 電位測定用水流模型教材開発中の試行錯誤

以上の先行研究も参考にして独自の水流模型に取り掛かった。本研究の電位測定用水流模型は以下の点でこれまでの研究にはない特徴を持つ。

1. 演示用の教材ではなく、生徒実験用の教材にすること。
→そのために教材の小型化、安価化を目指し、班ごとに複数用意できるようにした。また中学生でも実験可能にするために実験装置が複雑にならないようにした。
2. 中学生でも簡単に回路を組み換えられ、抵抗の直列や並列など様々な回路で水流模型実験ができること。
→そのために園芸用ホースジョイントを、水流模型のジョイントとして用いた。
3. スイッチを入れてから水位を測定することができること。
→そのために実験に使う電池部、抵抗部は全て同じ高さのところに置いて生徒の回路図理解を容易にした。

水流模型の構造は下の図の通りである。

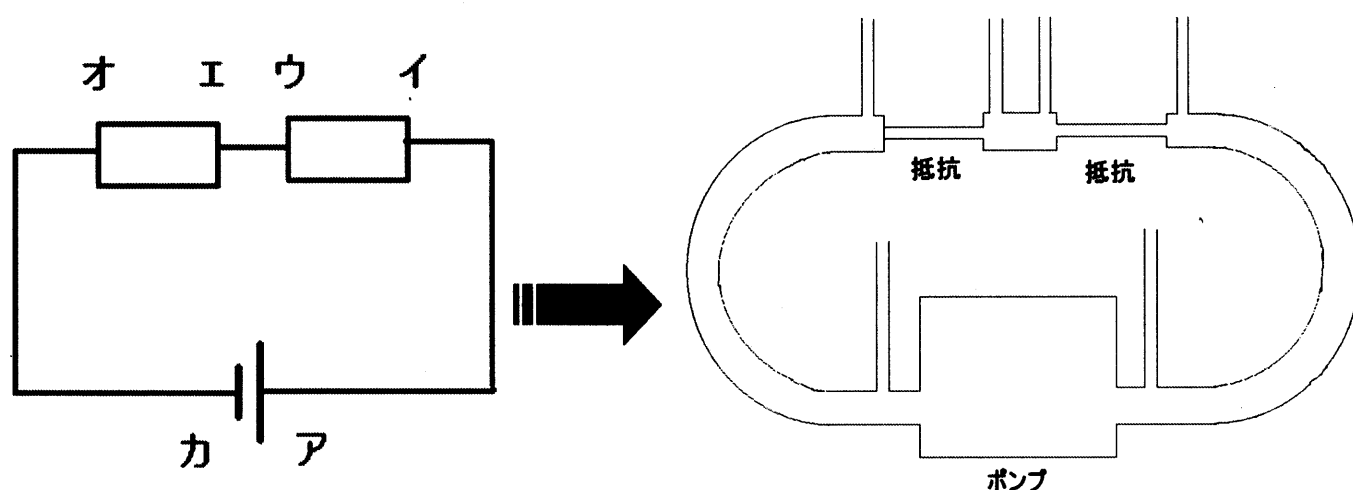


図 4-4

この水流模型では、回路を作る管の太さの違いで抵抗部と導線部を区別した。ここで導線部は内径 15mm のビニールホース、抵抗部に内径 3mm のビニールチューブを用いた。ポアズイユの法則（章末資料として示す）では水圧は直径の 4 乗に逆比例するので導線部に比べ抵抗部は 625 倍の抵抗となる。また起電力は風呂用ポンプを用いて発生させた。

電位学習用水流模型では、

1. 回路を流れる水流 → 回路を流れる電流
2. 各点で図れる水位 → 各点での電位
3. 2点間の電位差 → 2点間の電位差

として再現することを目指した。

まず初めに、水を流すことができ管の太さを変えるものはないかホームセンターで探した。そこで、以下の図 4-5 のような水道管をつなぐためのジョイントを見つけ、このジョイントを用いて開発を行った。

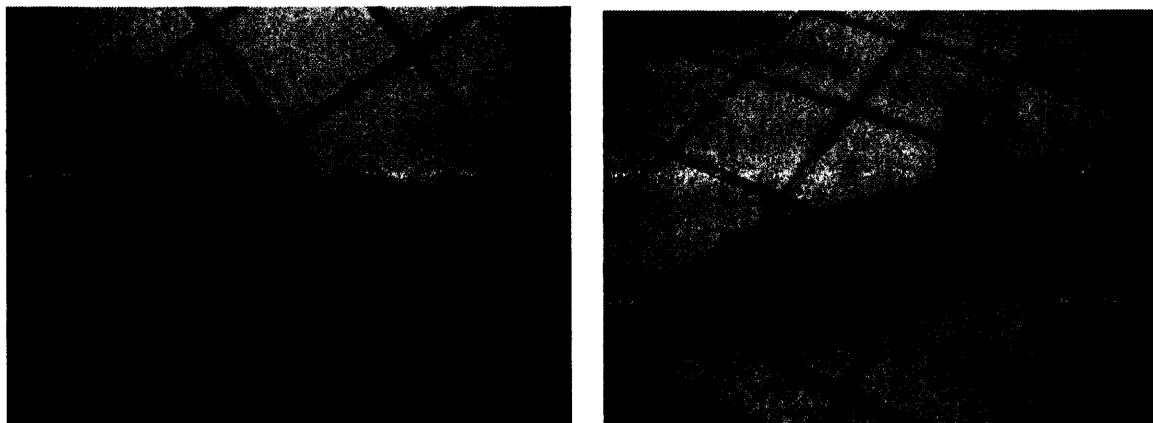


図 4-5

この水道管用ジョイントに、ビニールチューブをつけることで、以下の図 4-6 のように設計図どおりの装置ができた。

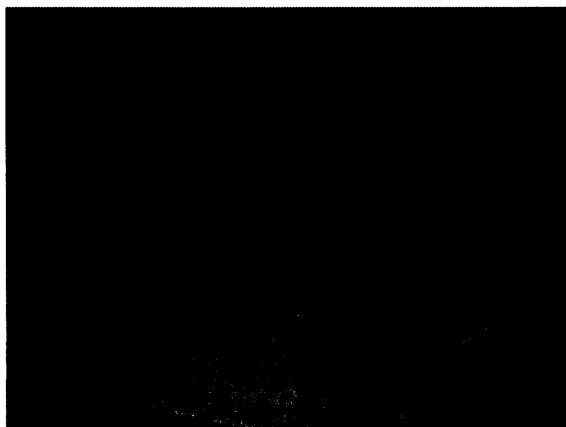


図 4-6

次は、この装置の電池部分の開発である。電池部分の開発についても中学生でも製作で

きる程度のものにするため、身近なものを使って電池部分を作ろうと考えた。そこで、2本の2Lのペットボトルと風呂用ポンプで以下の図4-7のような電池部分を作成した。しかし、図4-6の装置ではジョイントの管の太さが大きすぎてペットボトルの蓋と合わなかったため、細い水道管用ジョイントを用いた装置を作り直した。

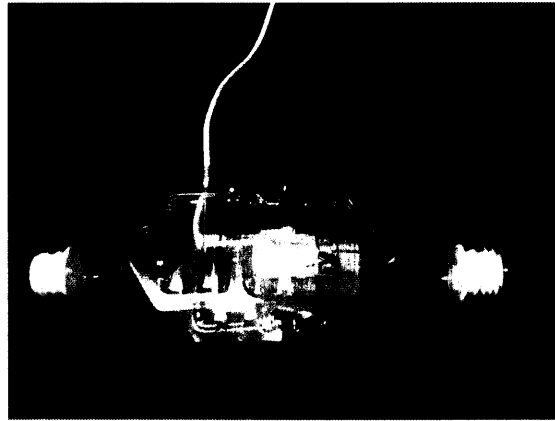


図 4-7

完成した電池部分を水流模型につないだ図が図4-8である。回路に流す水は、つながれているホースを抜き、抜いたホースから水を入れ回路を水で満たす。



図 4-8

この装置で水を流したところ、水漏れが激しすぎた。その原因の第1は電池部分にあった。ペットボトルを2つ重ねた形を横に寝かしているためどうしてもその隙間から水が漏れたからである。市販されている水用パテで隙間を埋めることも試したが水漏れを食い止めるまでには至らなかった。そこで、ペットボトルを用いることは諦め、図4-9のようなプラスチック容器を使用することにした。この容器に穴を開け、その穴に管を通すことにした。実際に作ったものが図4-10である。電池部分に容器を用いることで、この部分から水を入れることができ、装置を水で満たすことが簡単になるというメリットが生まれた。

水漏れの第2の原因は、チューブとジョイントのつなぎ方である。図 4-11 のようにチューブの方がジョイントより内側になるように接続していた。これでは水漏れが起こる。そこで図のようにジョイントの方がチューブより内側に来るように接続した。これにより水漏れは少なくなった。それ以上のわずかな水漏れは市販の水用パテを用いてふせいだ。

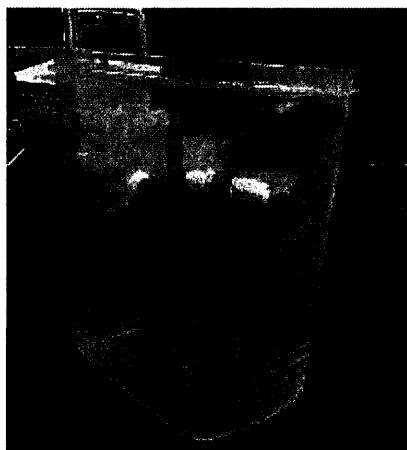


図 4-9

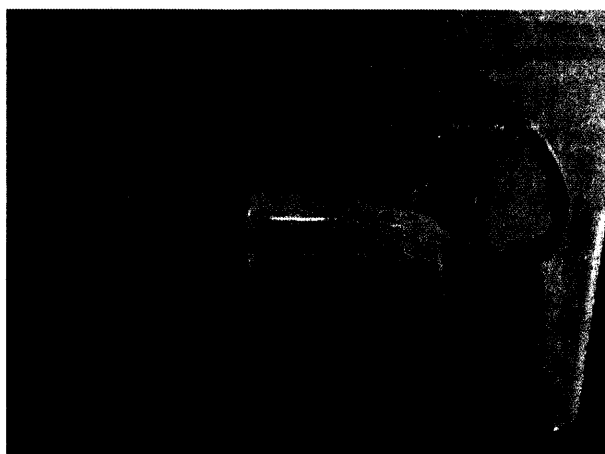


図 4-10

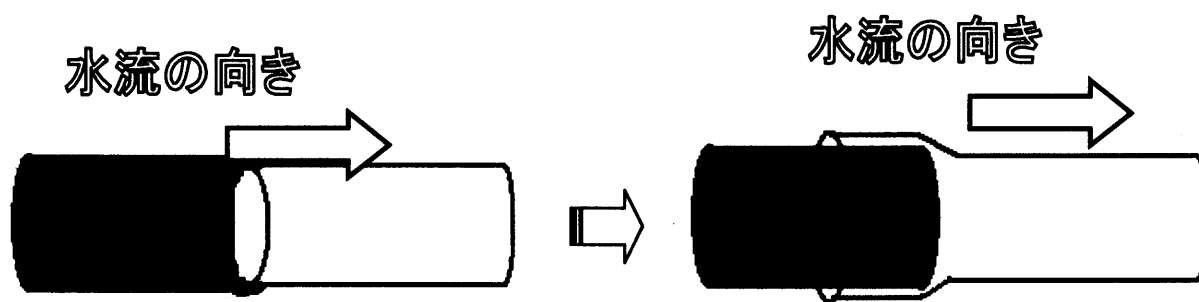


図 4-11

改良したジョイント部と改良した電池部分を使って製作した水流模型回路を図 4-12 に示す。

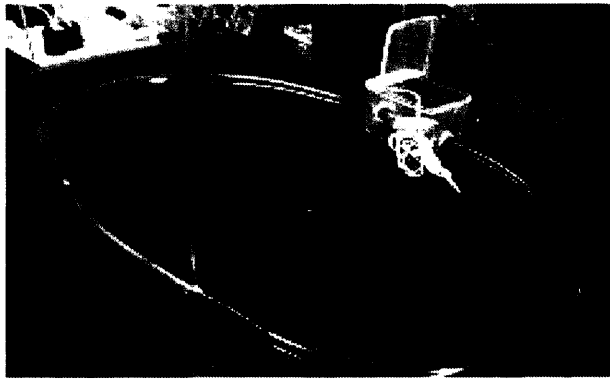


図 4-12

さらに実験台が水にぬれるのを防ぐため、ビニールプールの中で実験を行うことにした。

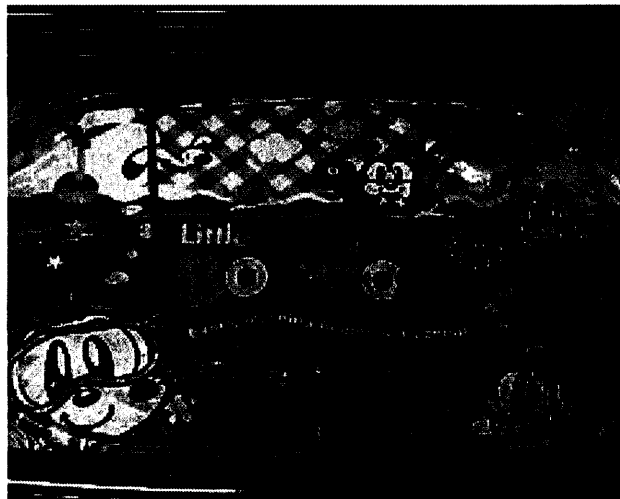


図 4-13

装置に水を流し、水位を測定しようとしたが、立ててある細いチューブに空気が所々に入り、各点の水位を測定できなかった。また、水が噴水のように吹き上がる場所もあった。そこで、ポンプにかける電圧を制御し、水流を調整できるようにした。制御にはスライダックを用いた。制御方法は、風呂用ポンプのアダプターをスライダックにつなぎ、スライダックで電圧を制御する。ポンプにかける電圧が制御可能になった装置を図 4-14 に示す。

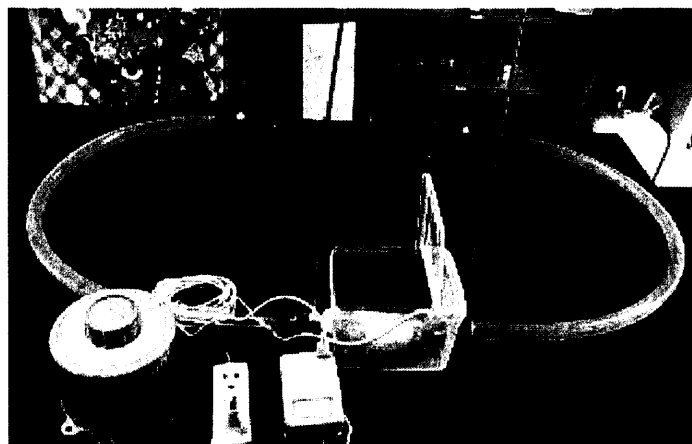


図 4-14

さらに水位測定用のチューブをできる限り地面に対して垂直に立てるために図 4-15 のようにスタンドを用いた。

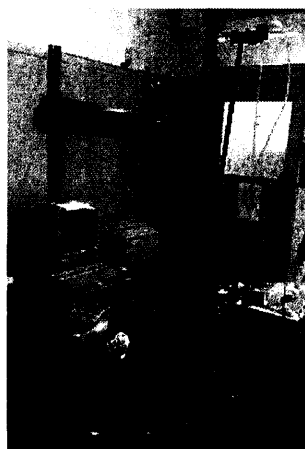


図 4-15

抵抗を1つつないだ回路1については教材として再現できたので次は、他の回路でも実験可能にすることを目標にした。まず行ったのは誤概念モデルにもあげた2つの抵抗を並列接続した回路2（図 4-16）を水流模型で再現することである。

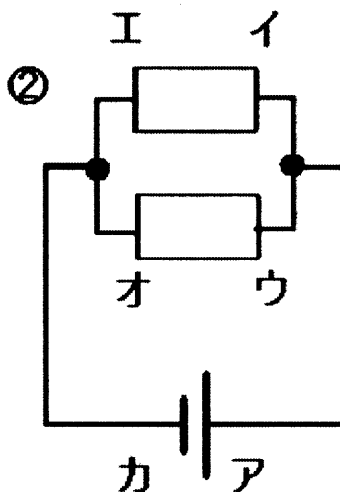


図 4-16

そこで2つの抵抗にあたる細いビニールチューブを並列に接続するジョイント部の開発に取り掛かった。まず塩ビパイプを加工して図 4-17 のようなジョイントを製作した。各部分は水用パテと瞬間接着剤を用いて固定した。しかし写真からもわかるようにパイプが直角に分岐するため水がスムーズに流れず、また均等に水が分かれられないという問題点があった。また水漏れも酷かった。

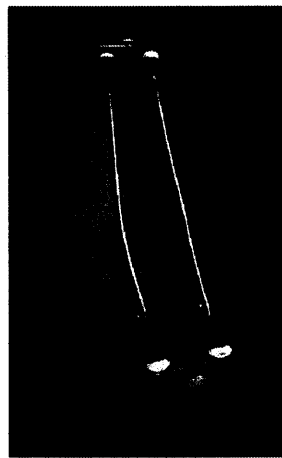


図 4-17

並列ジョイント部の問題点克服のために市販の園芸用分岐ジョイントを用いた。園芸用分岐ジョイントと園芸用ホースジョイントを用いて写真のような並列ジョイントを作成した。これらの部品はホームセンターで簡単に手に入る。この改良点で水はスムーズに均等に分かれるようになった。



図 4-18 園芸用ホースジョイント

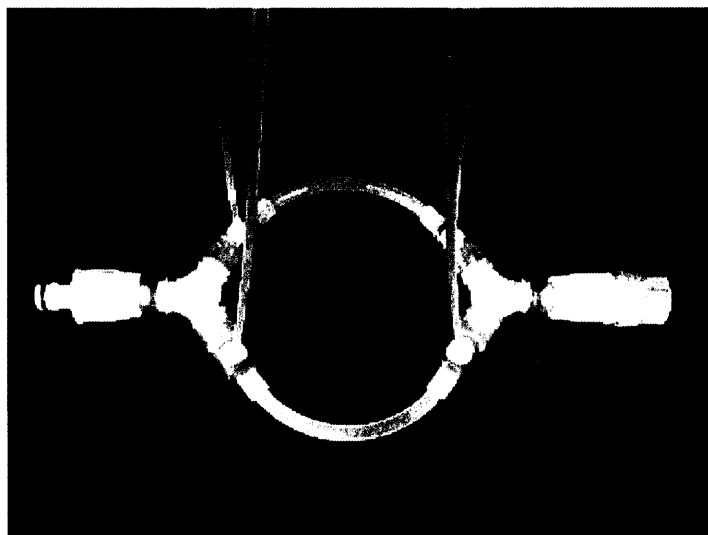


図 4-19

また、園芸用ホースジョイントはホースの脱着が簡単で中学生でも容易に使いそうだったので、他の回路内の水流模型のジョイント部にも、園芸用ホースジョイントを用いることにした。

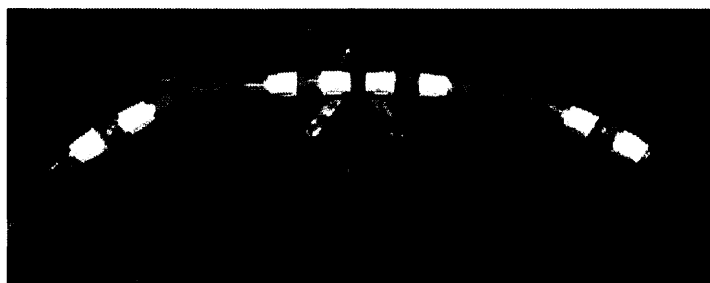
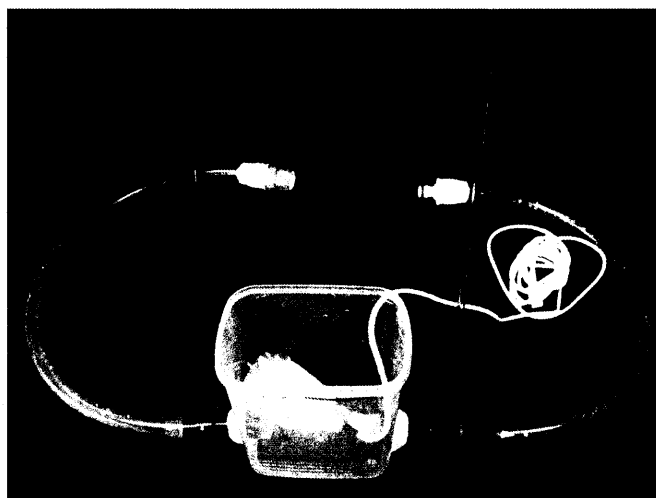


図 4-20

生徒の回路図理解を助けるために、抵抗部をわかりやすくするプラスチック製の板に抵抗部のチューブを固定した。

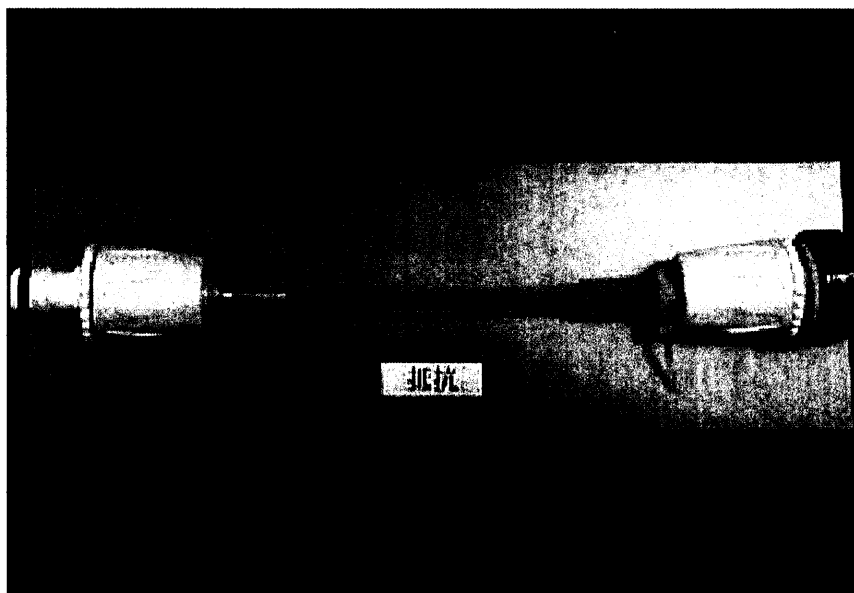


図 4-21

これで、水流模型に必要な実験器具が揃ったのでデータ測定を行った。その時のデータを以下に示す。測定値は10回の測定の平均である。初めに電池1個と抵抗1個をつないだ回路1である。園芸用ホースジョイントを用いても、用いない時と同等の結果が再現できた。

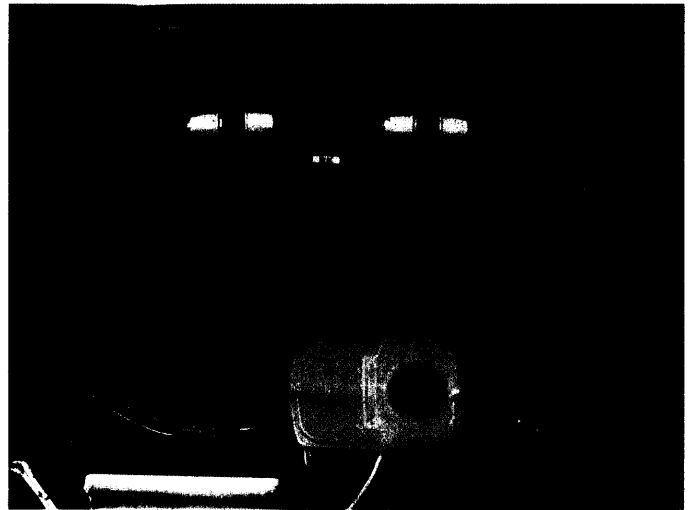
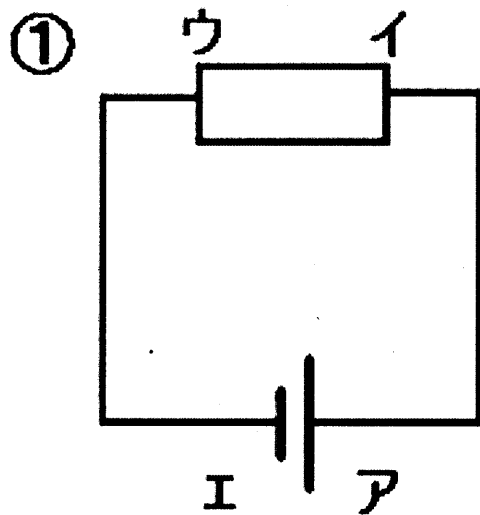


図 4-22

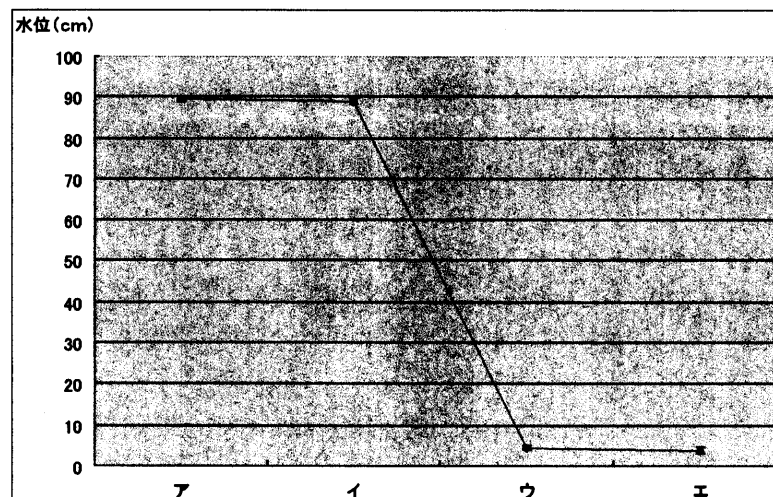


図 4-23

次に乾電池 2 個を並列接続したものを電池に接続した回路 2 である。グラフの測定値は 10 回の測定の平均である。測定結果のグラフを見ると、電池のプラス極にあたるアの水位と導線でつながった抵抗の直前にあたるイとウの水位が等しいことをほぼ再現できた。また電池のマイナス極にあたるカの水位と導線でつながったエとオのポイントの水位を同等にこの程度再現できた。そしてイ～エ間およびウ～オ間で水位が下がることも再現できた。以上のことより教材として中学生に教える内容を十分に再現できていると思われる。

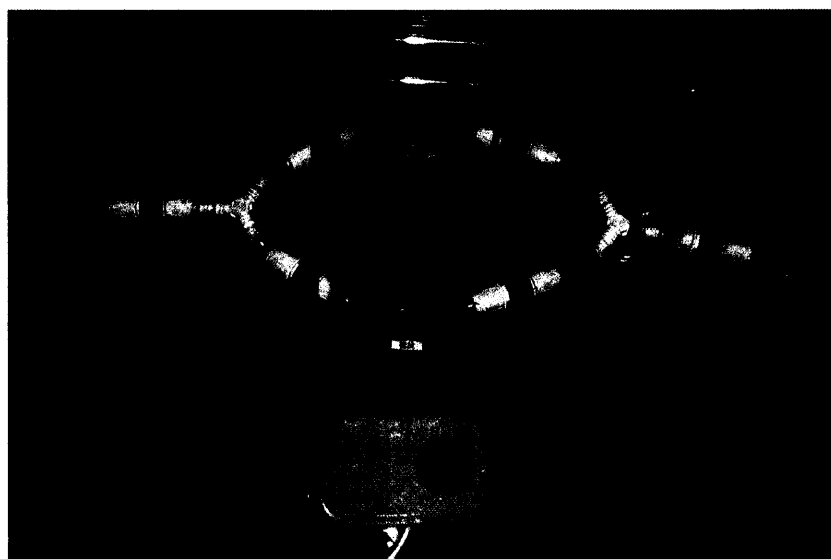
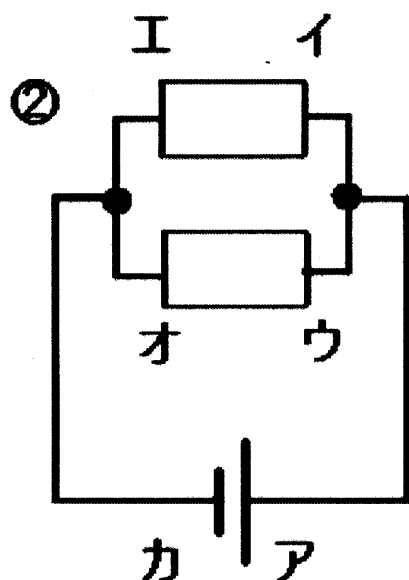


図 4-24

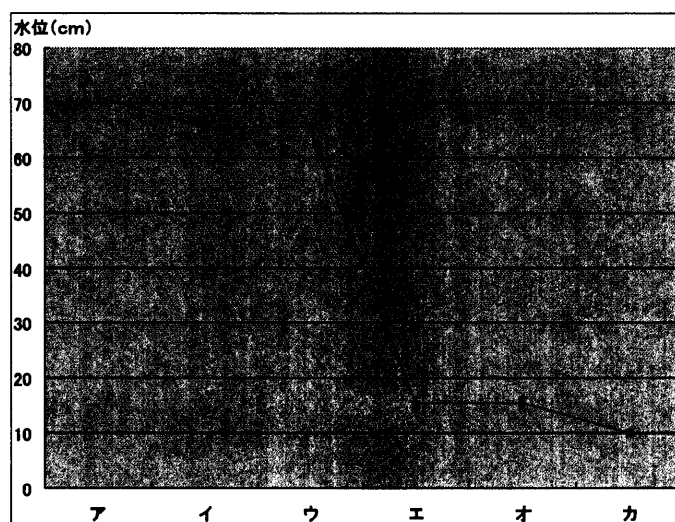


図 4-25

3つ目の回路3は、抵抗2個を直列に接続して電池につないだ回路である。グラフの測定値は10回の測定の平均である。測定結果のグラフを見ると、導線部であるア～イ間、ウ～エ間、オ～カ間は水位が等しく、直列につながれた抵抗の両端であるイ～ウ間、エ～オ間の水位降下がほぼ再現された。

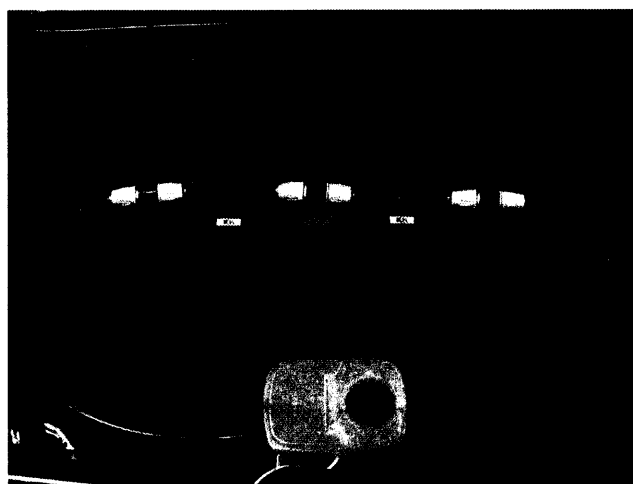
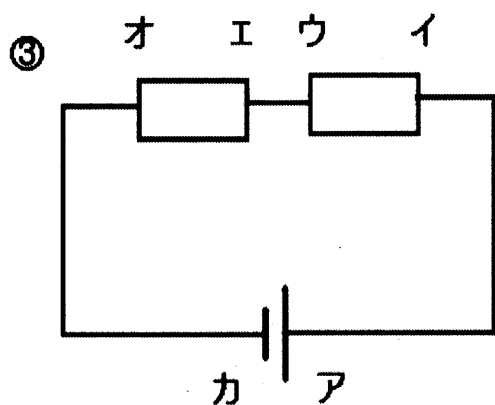


図 4-26

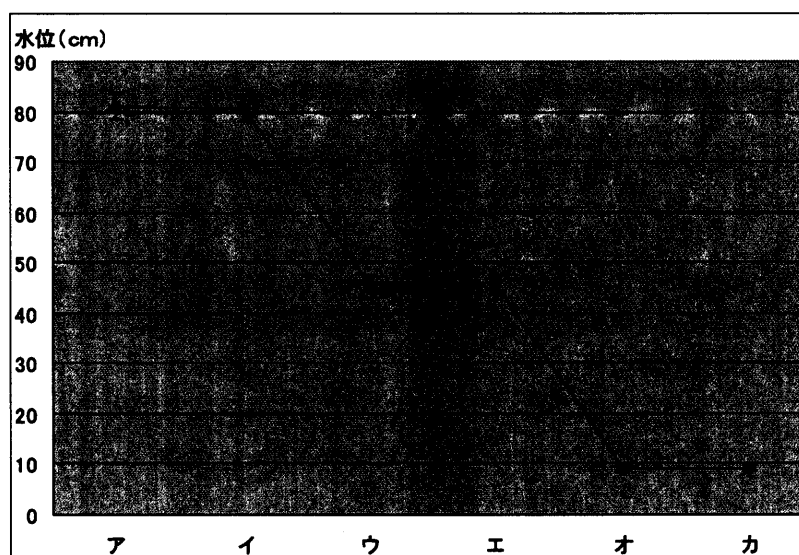


図 4-27

発展的内容として、抵抗3つを回路4のように接続したものでも再現できないかを試みた。しかし、写真から見てもわかるように、プールの中で窮屈な状態になった。その影響でホースに無理がかかり水流がスムーズに流れなかったり、水漏れを起こすという問題が発生した。回路4を再現するには、抵抗部の小型化などの必要が発生した。

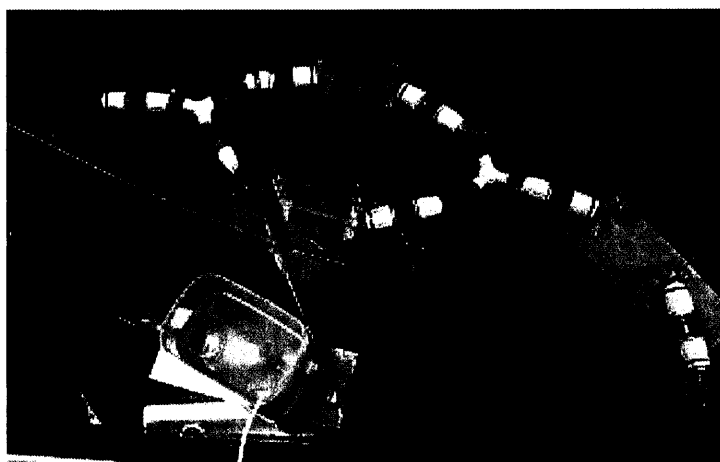
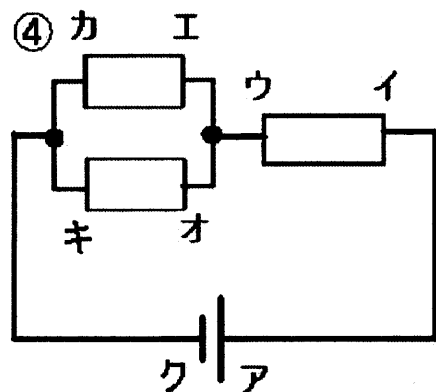


図 4-28

発展的内容として取り組む回路4の再現を目指して、抵抗部の小型化を試みた。ビニールプールに入るサイズのものを作成した。抵抗部を短くするとバランスが悪く倒れやすいという問題があったのでチューブを板に固定しスタンドを作った。また、メジャーをスタンドに貼り付けることで、立てたチューブの中の水位が測定しやすくなり、測定が容易になった。

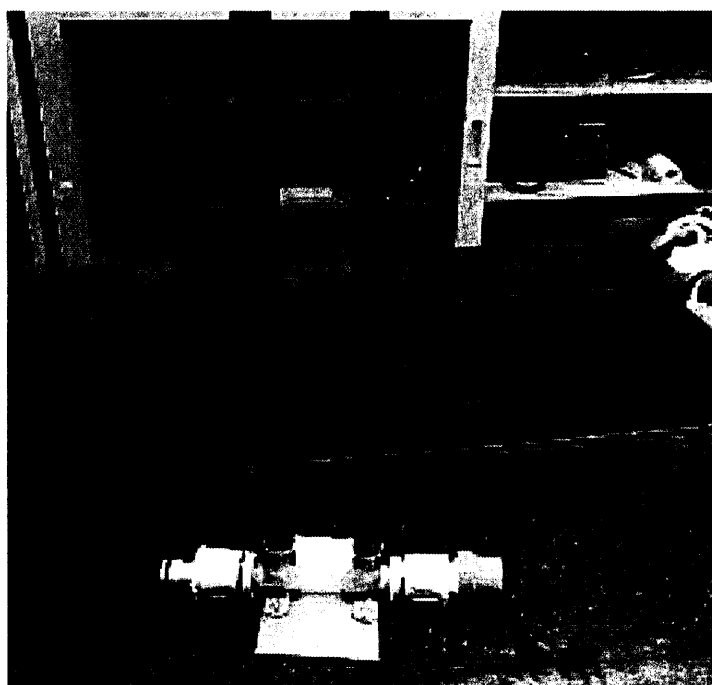


図 4-29

完成した電位学習用水流模型の測定データを図 4-30 に示す。データは 10 回の測定値の平均値を折れ線グラフで表した。また、ばらつきを標準誤差で表している。そして、スライダックを制御することによって起電力を常に一定にした。起電力はプラス側が 90 c m、マイナス側が 20 c m になるように制御したので、グラフには 20 c m と 90 c m のところに赤線を書いた。図 4-31 を見ると、回路①ではア～イおよびウ～エが等電位、イ～ウで電圧降下がこの程度再現できた。回路②でも導線部分のア～ウおよびエ～カが等電位もこの程度再現できた。回路③では直列につながれた二つの抵抗の電圧降下が等しくこの程度再現できた。回路④ではイ～エおよびウ～オの電圧降下と、カ～キの電圧降下の比が 1 対 2 としてこの程度再現できた。完成した水流模型の写真を図 4-30 に示す。以上の 4 つの回路はすべて、中学校教材として十分に学習できる教材にすることができた。

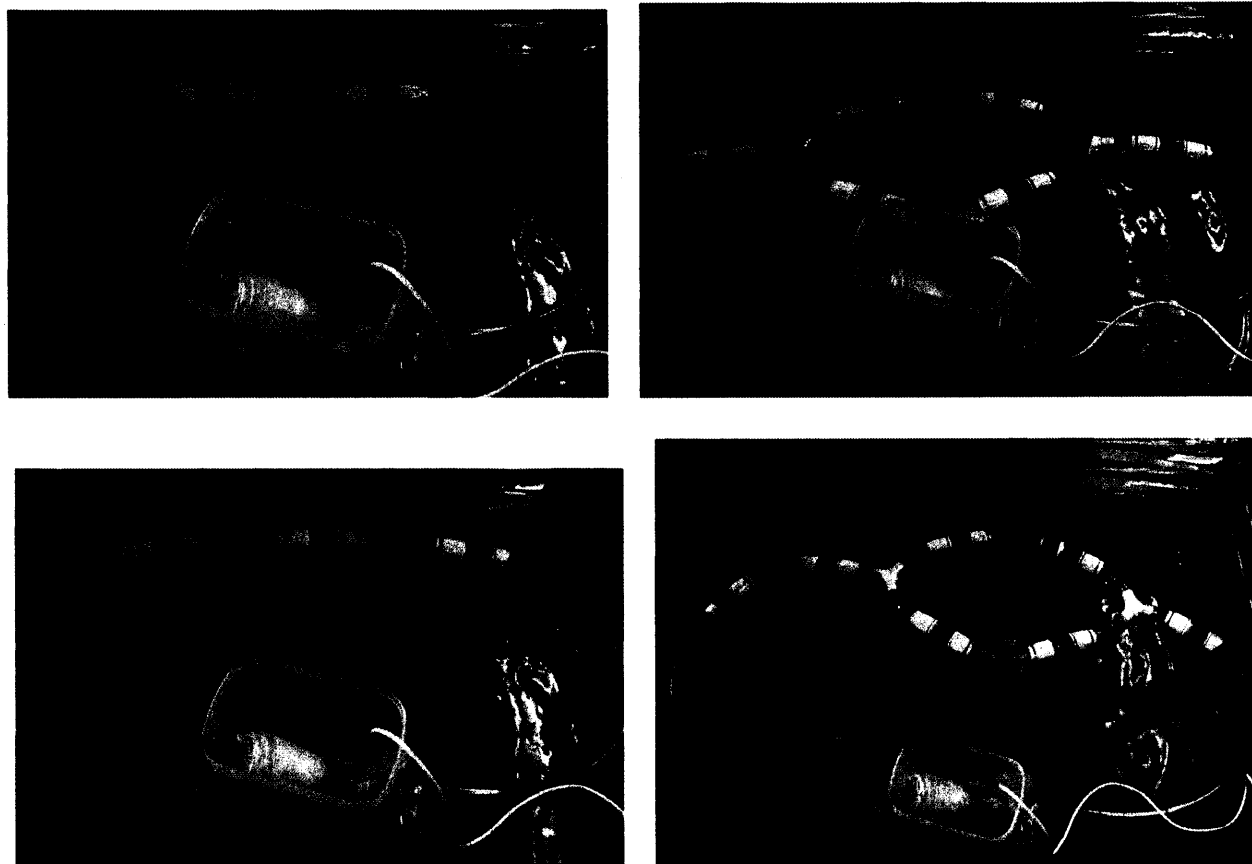


図 4-30

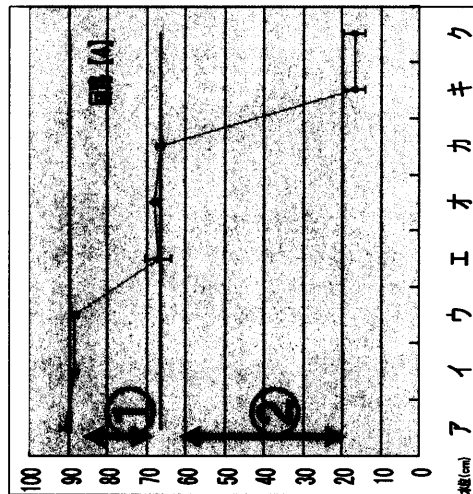
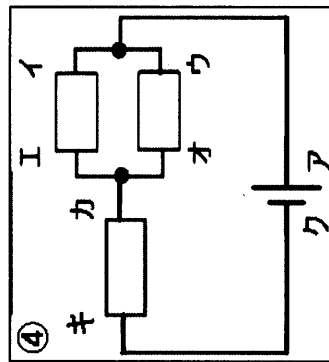
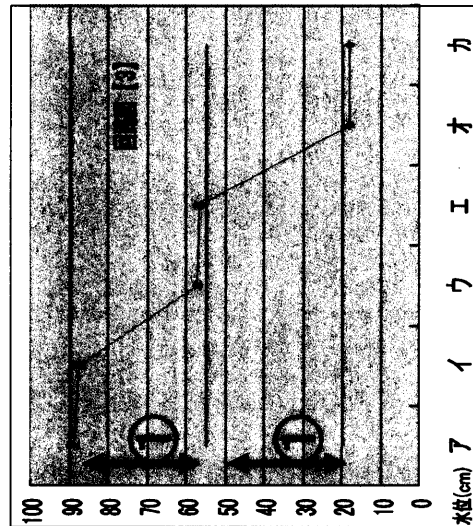
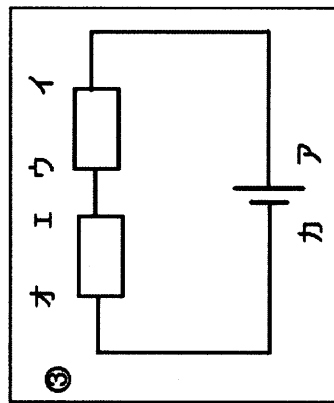
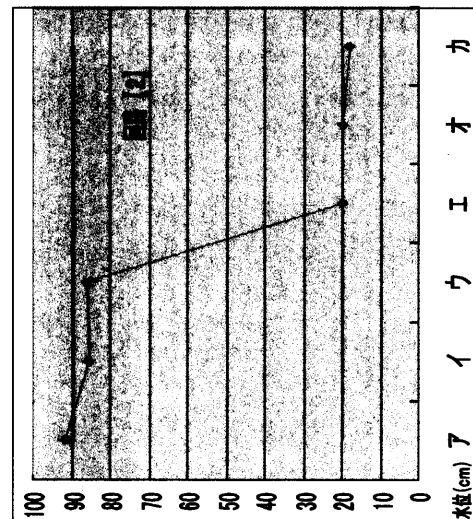
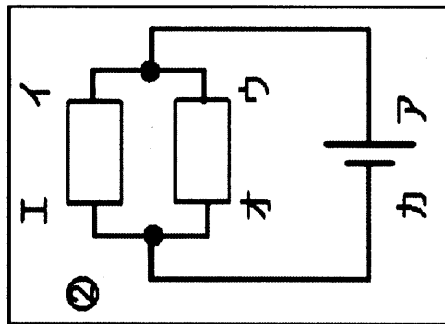
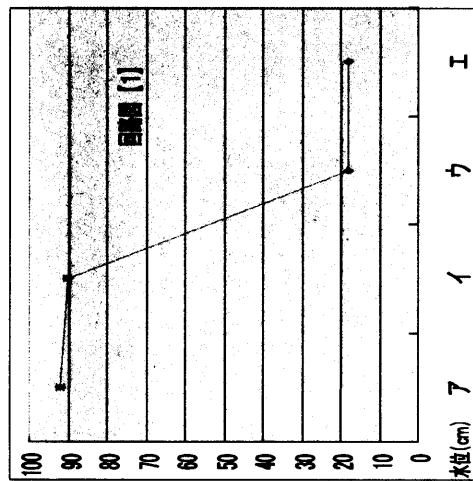
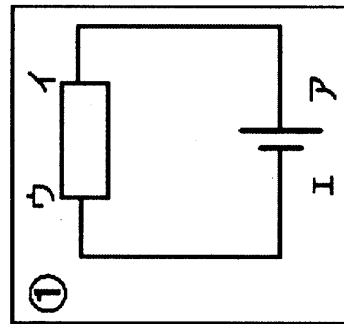


図 4-31

4.2 電気回路を用いた電位学習教材

4.2.1 電気回路を用いた電位学習教材の開発

前章で述べたように、電位学習用水流模型を開発したが、水流模型はあくまで電流を水で表したものであり、実際の電気回路で電位学習をすることが生徒には必要であると考えた。また、水流模型で電位のイメージを膨らましたあとすぐに、電気回路中の電位を実験することが電位学習において効果的だと考えた。そこで電気回路中の電位測定用教材を作成した。

同様の先行研究として宇都宮大学の研究がある。宇都宮大学の研究でも水流模型と実際の電気回路での電位測定を併用している。宇都宮大学が開発した電位測定回路を図 4-32 に示す。これを見ると回路が固定されているので回路を組み替えていろいろな種類の回路で実験することはできない。そこでどんな回路にも対応できる電位測定回路を作成することにした。まず電池の電池のマイナス極と電圧計のマイナス端子を接続しこの点を電位 0 とする。そして、電圧計のプラス端子で各点の電位を測定していく。(図 4-33) ここで中学生に電位 0 の概念を教えるときは山の標高の話が効果的だと考える。つまり標高〇〇m を決めるためには標高 0m がなければならないという話である。この導入法でスムーズに展開できると考える。

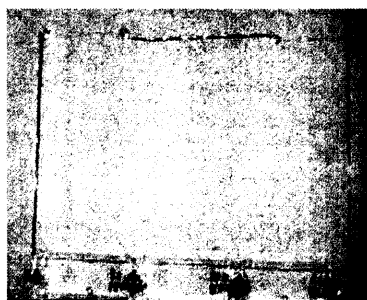


図 4-32 宇都宮大学の電位測定回路

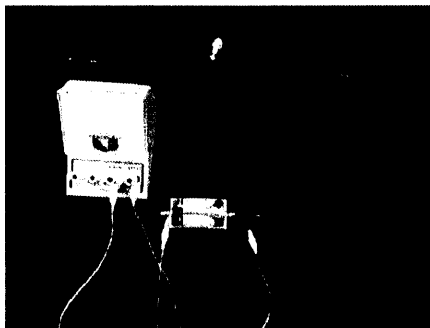
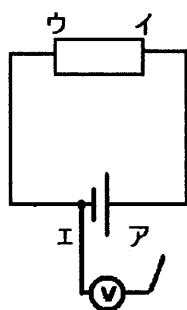


図 4-33

この実験では、通常電圧計のプラス端子で各ポイントの電位測定を行うときいったん回

路の接続をはずさなければならない。また、みのむしクリップの接続が複雑になり中学生には難しいと考えた。この問題点を克服するために、ホームセンターで市販されているステップル（図 4-34）を用いた。

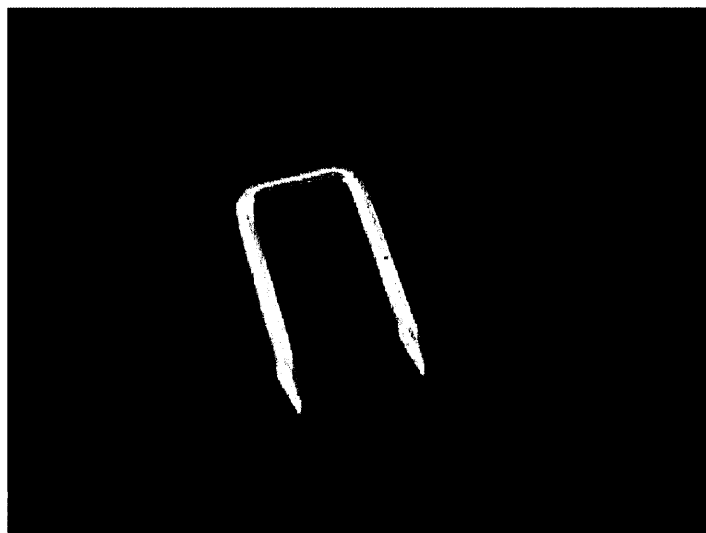


図 4-34：ステップル

ステップルは金属製のため電気を通す。またステップルには3つの辺があるので同時に3つのみのむしクリップを接続することができる。（図 4-35）

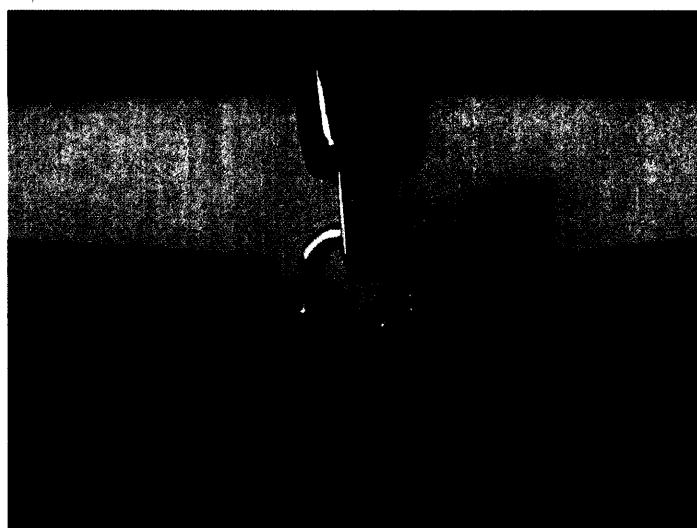


図 4-35

ステップルを用いることで、回路を分解することなく電位測定実験ができるようになった

た。(図 4-36) また、図 4-37 のように基盤のようにステップルを配置することで生徒の回路図理解を助けることができた。

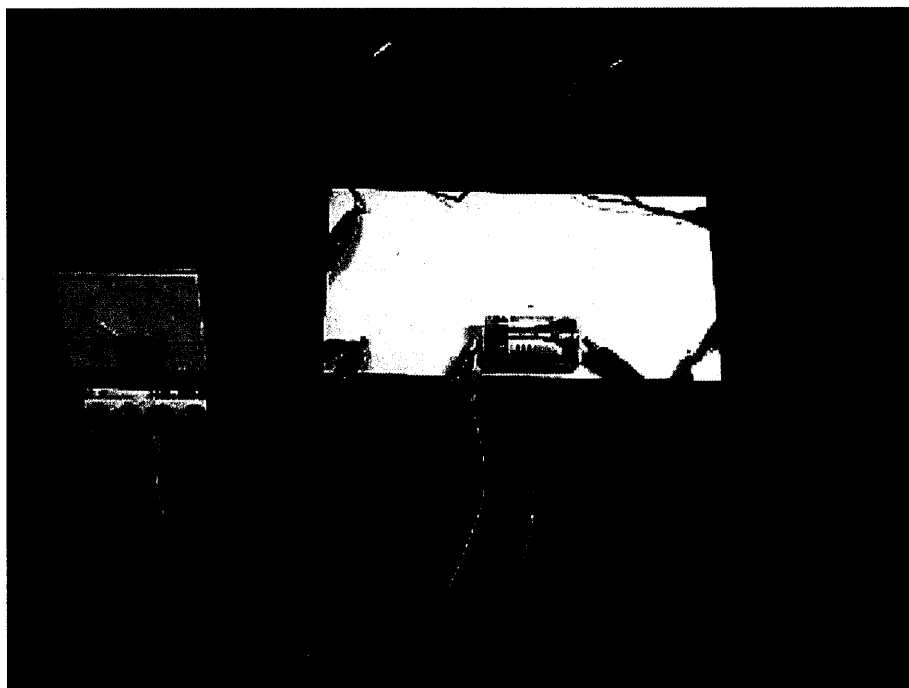


図 4-36

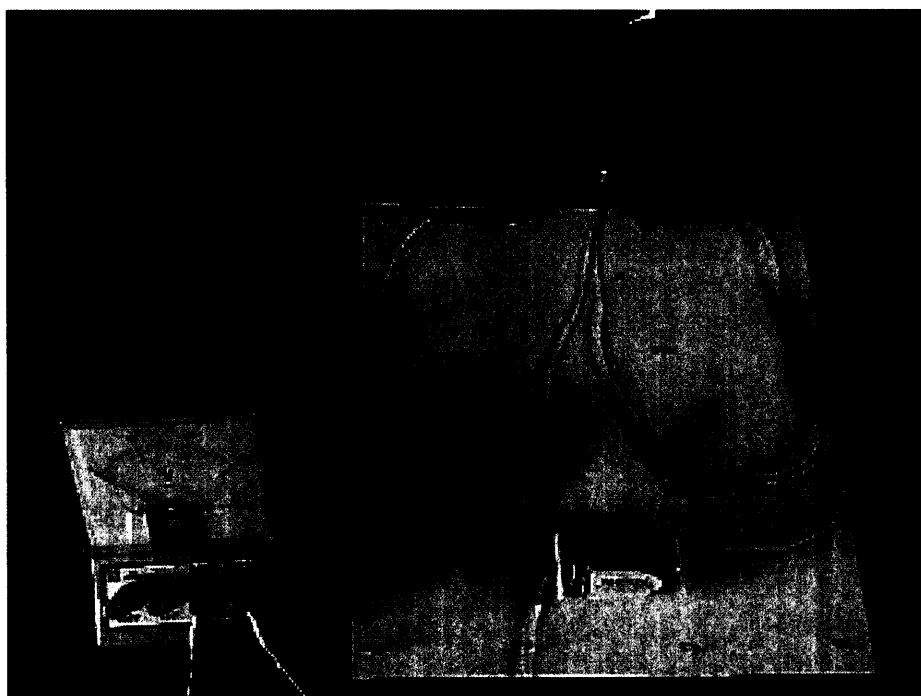


図 4-37

回路の抵抗として初め、電流が発生していることを目で確認できるように豆電球を使っ

ていたが豆電球の抵抗値が小さく電池の内部抵抗あるいは導線の接触抵抗が無視できず、実験の測定値に影響した。そこで、抵抗を豆電球より抵抗値が大きいセメント抵抗（100 Ω ）を用いることにした。セメント抵抗とステップルを接続し木の板に取り付けたものを下図に示す。回路を固定してのせるため、台にステップルを等間隔で埋めその上に溝をのせるようにした。



図 4-38-1



図 4-38-2

完成した測定用教材を用いた実験の様子を図 4-39 に示す。

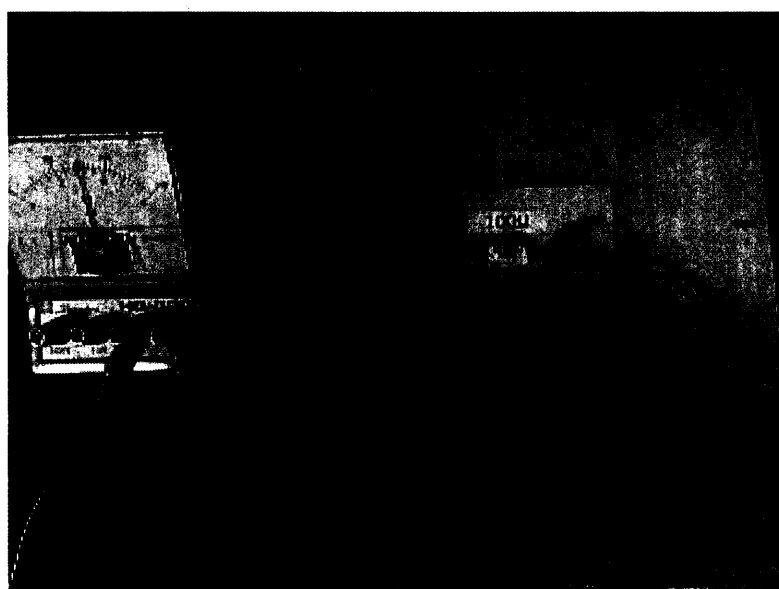


図 4-39

4.3.1 実践授業の概要

電位学習のための教材である電位学習用水流模型と実際の電気回路で電位を測定する電位測定装置を用いて、平成19年6月27日と7月4日の計4校時を使って京都教育大学附属京都中学校のサイエンスクラス受講生(中学2年生24人、中学3年生16人)を対象として授業実践を行った。中学2年生および中学3年生は、中学校「電流」単元を学習済みであった。授業時間は200分(50分を2時間分を2日間)であった。当日の授業の概略を図4-40に示す。

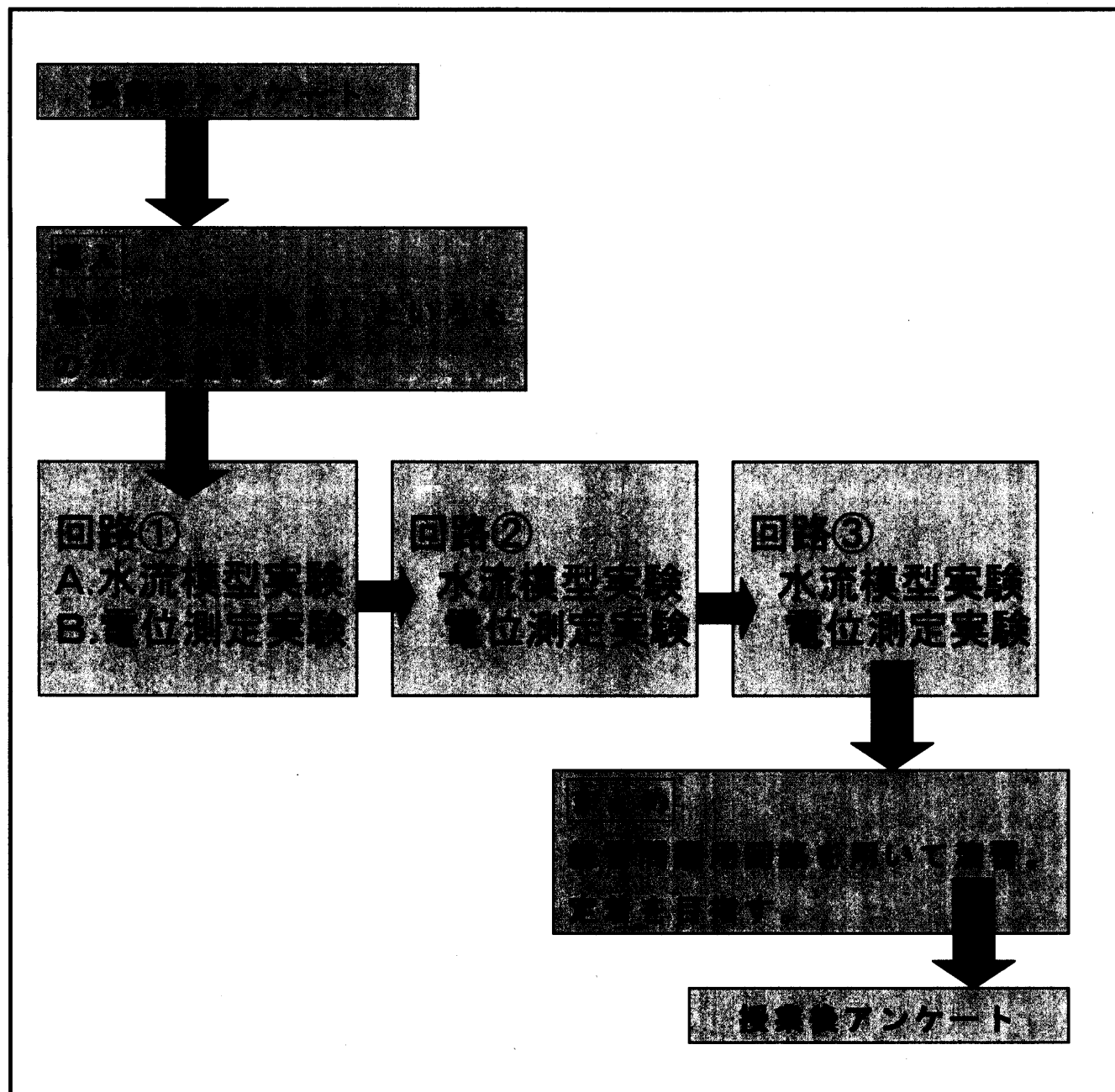


図 4-40

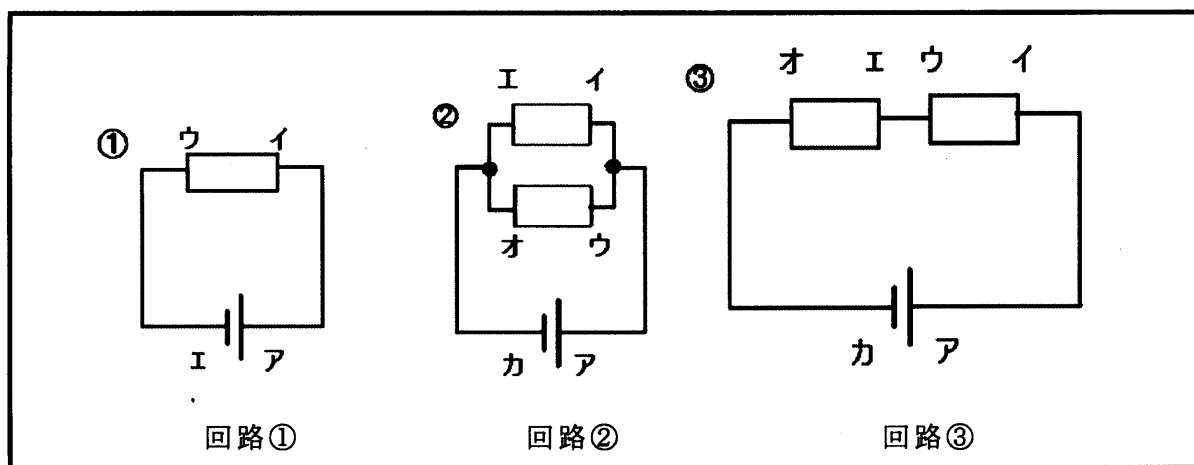


図 4-41

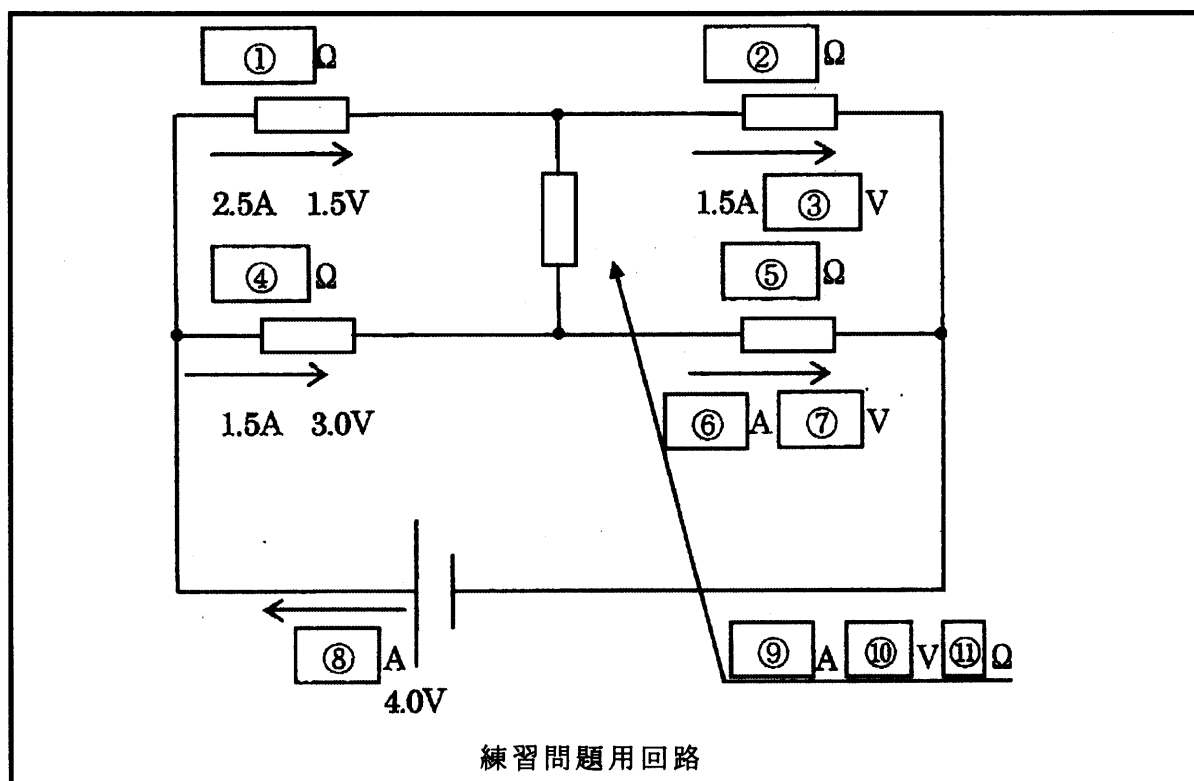


図 4-42

今回の実践授業では、まず生徒の電流の理解度を調査するため授業前アンケートを実施した。授業前アンケートの結果については第3章で示した。アンケートの後、電位学習のための教材である電位学習用水流模型と実際の電気回路で電位を測定する電位測定装置を用いた実験を図4-41に示す各回路ごとに生徒のグループ実験形式で行った。実験終了後、図4-42に示す練習問題を演習し、電位概念の定着を目指した。その後授業後アンケートを実施し授業を終えた。授業中に用いた学習プリント、授業前アンケート、授業後アンケートは本論分の末尾に付録資料として紹介している。

4.3.2 授業実践の内容と流れ

電位学習を導入した実践授業の内容と流れについては、章末資料に授業指導案として添付する。

4.3.3 実践授業の分析

授業は、4～5人ごとのグループで学習するように進めた。水流模型を用いた実験は1人ではできないので全員がグループの中で協力し合いながら実験を進めていた。また水を使った実験であるので、皆楽しそうに実験に参加していた。生徒が以前に学んだ「電流」の学習方法とは違う方法の学習なので興味を示す生徒がいた。



図 4-43-1 授業風景

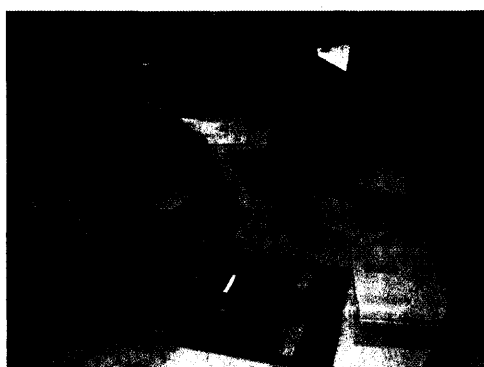


図 4-43-2 授業風景



図 4-43-3 授業風景

4.3.3 授業後アンケートの分析

水流模型を用いた電位学習に対する生徒の感想を調査するために授業に授業アンケートを実施した。内容は問1～問4までであり、図4-44～図4-47に結果を示す。

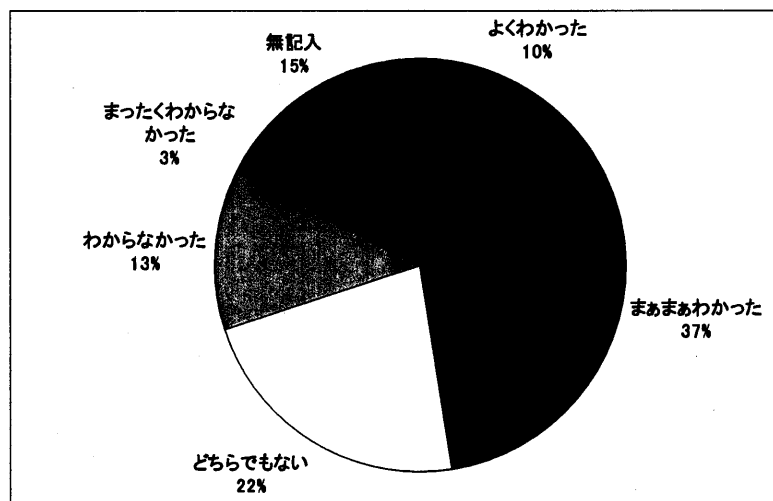


図 4-44 問 1：水流模型を用いた学習で電気分野がよくわかりましたか？

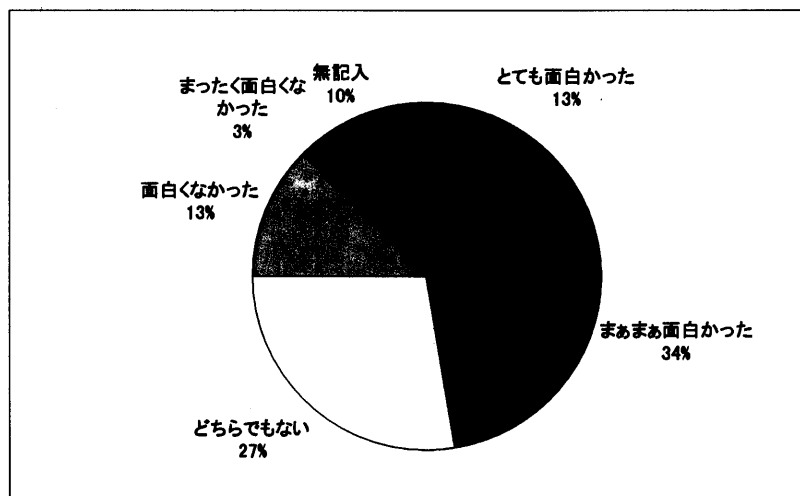


図 4-45 問 2：水流模型を用いた授業は面白かったですか？

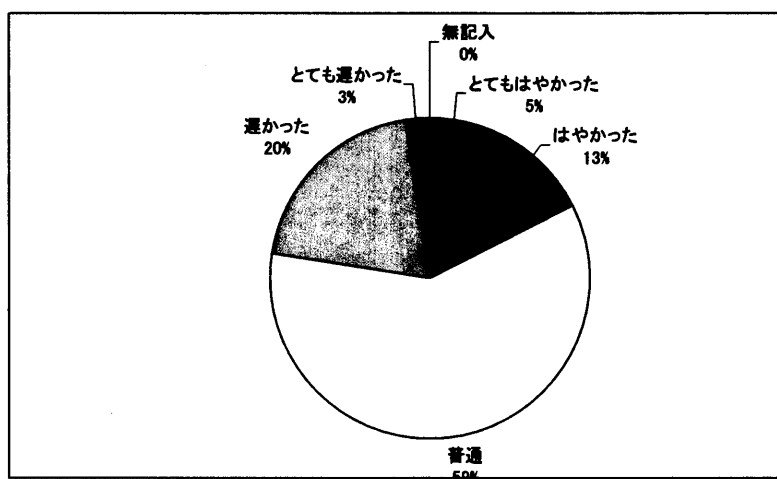


図 4-46 問 3：授業の進度はどうでしたか？

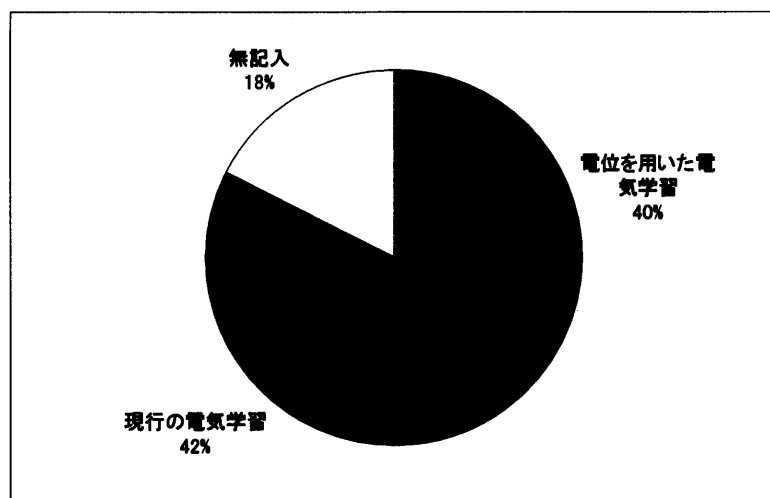


図 4-47 問 4：水流模型を用いた電位学習と学校で学んだ電気学習を比べると、
どちらの方がわかりやすかったですか？

問 1 の「水流模型を用いた学習で電気分野がよくわかりましたか？」という質問については「よくわかった」と「まあまあわかった」という答えを合わせると約半数になるので、水流模型を用いた電位学習をすることで電位学習が中学生に理解不能なものでないことがわかった。また、問 2 の「水流模型を用いた授業は面白かったですか？」という質問には、「とても面白かった」と「まあまあ面白かった」を合わせると約半数になり水流模型を使った学習は水を使うこともあり生徒には面白い実験であることがわかった。問 3 の「授業の進度はどうでしたか？」という質問についても 5 割を超える生徒が「普通」と答えており中学生の学習として丁度よかったことがわかった。問 4 の「水流模型を用いた電位学習と学校で学んだ電気学習を比べると、どちらの方がわかりやすかったですか？」という質問ではどちらも同程度という結果だったが、今回実践した中学生は既に現行の電気学習で電気分野を学習済みであり、きっちりとした比較はできない。

次に電位学習の効果を調査するために授業後アンケートを実施したので示す。アンケートは問題形式で授業の最後の 10 分間を利用して行った。中学生に解かせた問題を以下に示す。

問題 下の①～⑤の豆電球と乾電池からなる回路のうち、1つ1つの豆電球が明るくなる回路の順位を（ ）に入れてください。明るさが同じと考えられるときは同じ順位とします。ただし、電池や導線の内部抵抗は考えなくてもよい。

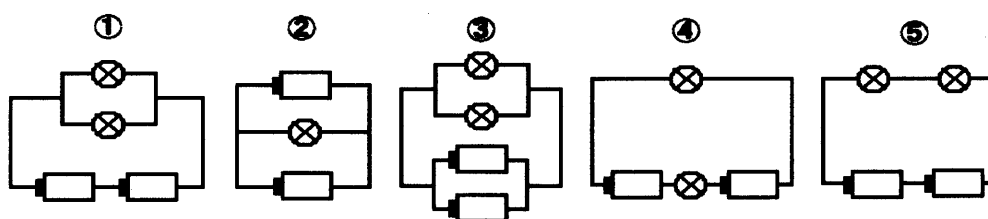


図 4-44

この問題は、電流単元の理解度調査のために大学生に実施したものと同一問題である。よって大学生の結果と比較しながら分析する。はじめに表 4-1 に完全正解者の割合を示す。

表 4-1

		完全正解者
京中サイエ ンス 2007 受講者 電位学習後	2年	31%
	3年	8%
	全体	18%
A(電位学習前)		4%
B(電位学習無し)		10%

完全正解者の結果からわかるように、大学生よりも電位学習用教材である水流模型および電位測定回路を用いた電位学習を行った中学生の方が正解者の割合が多い。中学生に電位学習を教えることの効果を見ることができる。

次に、前章でも分析したようにこの問題をより詳しく見て行くことにする。

以下に生徒がどの回路を1番明ると答えたかを表4-2に示す。同様にどの回路を1番暗いと答えたかを表4-3に示す

表 4-2

		1	2	3	4	5
京中サイエンス 2007 受講者 電位学習後	2年	88%	19%	0%	0%	0%
	3年	75%	42%	0%	4%	8%
	全体	80%	33%	0%	3%	5%
A(電位学習前)		28%	35%	4%	13%	36%
B(電位学習無し)		53%	33%	4%	8%	18%

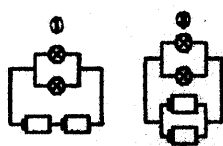
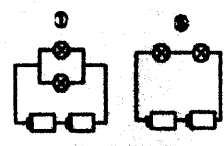
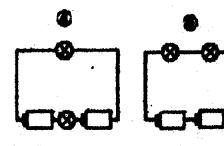
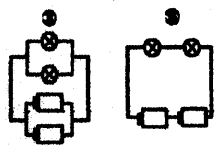
表 4-3

		1	2	3	4	5
京中サイエンス 2007 受講者 電位学習後	2年	0%	31%	56%	69%	44%
	3年	0%	13%	58%	13%	33%
	全体	0%	20%	58%	35%	38%
A(電位学習前)		13%	20%	55%	20%	16%
B(電位学習無し)		8%	29%	55%	14%	24%

問題に示された回路の中で、生徒がどの回路を明るいと考えたかを示した表を見ると、正解の①の正答率が電位学習をしていない大学生では3～5割程度であったものが電位学習をした中学生では8割の正答率を示す。また電位学習をしないと「⑤が明るい」という誤答が3割程度あるが電位学習を行った中学生は1割以下であった。その一方で、「②が明るい」と答えるものや「⑤が一番暗い」と答えるものが中学生も大学生と同様3割程度あったのは、授業時間数が少なく水流模型の電位概念の定着が十分でなかったことを示している。

より細かく分析するために、それぞれの回路どうしの比較の分析を行った表4-4を示す。

表 4-4

		乾電池の直列と並列			豆球の直列と並列			回路図の判断			直列と並列の電圧		
													
京中サイエンスクラブ 実験者 学習後	1年	81%	0%	6%	94%	0%	6%	6%	50%	44%	19%	44%	31%
	3年	92%	0%	4%	79%	0%	13%	29%	42%	17%	29%	13%	50%
	合計	88%	0%	5%	85%	0%	10%	20%	45%	28%	25%	20%	43%
A (電位学習前)		75%	0%	18%	38%	4%	58%	22%	25%	53%	19%	7%	74%
B (電位学習後)		88%	2%	10%	63%	4%	33%	37%	24%	39%	24%	12%	63%

乾電池の直列と並列の比較を行った①と③の比較を見ると、小学校で学習する乾電池の直列と並列の明るさ比べについては中学生も大学生も9割程度の高い正答率を示している。

豆球の直列と並列の比較を行った④と⑤の比較を見ると、電位学習前は5割程度であった正答率が電位学習をすると8～9割の生徒が「①の方が明るい」という正しい答えを選んでいる。また「⑤の方が明るい」という誤答は、電位学習は約半分の生徒が誤った考えをしていたが、電位学習は1割程度まで誤答が減った。電位学習教材を用いた電位学習は豆球の直列と並列の正しい理解につながる事がわかった。

回路図の判断能力を見る④と⑤の比較を見ると、電位学習前は2割程度であった正答率が電位学習後は約半分の生徒が正解できた。しかし約半分までしか正答率が伸びなかった

理由は、実践授業の時間が4時間と短かったので、回路図までの理解の定着には結びつかなかったと考えている。

直列と並列の電圧の理解を見る③と⑤の比較を見ると、電位学習前も電位学習後も違いが見られない。この理由も上で述べたように実践授業の時間が4時間と短かったので、回路図までの理解の定着には結びつかなかったと考えている。

4.4 教材の考察

先行研究にはなく本研究の水流模型で再現したことは（1）演示用の教材ではなく、生徒実験用の教材にすること（2）中学生でも簡単に回路を組みかえられ、抵抗の直列や並列など様々な回路で水流模型実験ができること（3）スイッチを入れてから水位を測定することができることであった。この3点を全て満たし、中学校教材として使える程度の定量的なデータが取れる水流模型を開発することができた。またこの水流模型と電位測定回路を用いて実践授業を行うと、電位学習をしなかった大学生が間違った問題でも、電位学習をした中学生なら正しい答えを導き出せる傾向が見られた。

「ポアズイユの法則」・・・粘性がある流体には以下の式が成り立つ。

$$Q = \int_0^a 2 \pi r u(r) dr = - \frac{dp}{dx} \frac{\pi a^4}{8\eta}$$

$\left\{ \begin{array}{l} Q : \text{流量} \\ a : \text{管の内径} \\ \eta : \text{粘性率} \\ p : \text{圧力} \end{array} \right.$

ポアズイユの法則を変形すると、 $-\frac{dp}{dx} = \frac{8\eta}{\pi a^4} Q$ となる。これは管の両端の圧力差は、管の内径の4乗に逆比例することを意味する。ゆえに、粘性流体であれば管の半径が小さいほど圧力差は大きくなる。粘性流体である水のこのような性質を利用して、本研究の水流モデルを開発した。

1. 単元名： 中学校理科電気分野 「電流」

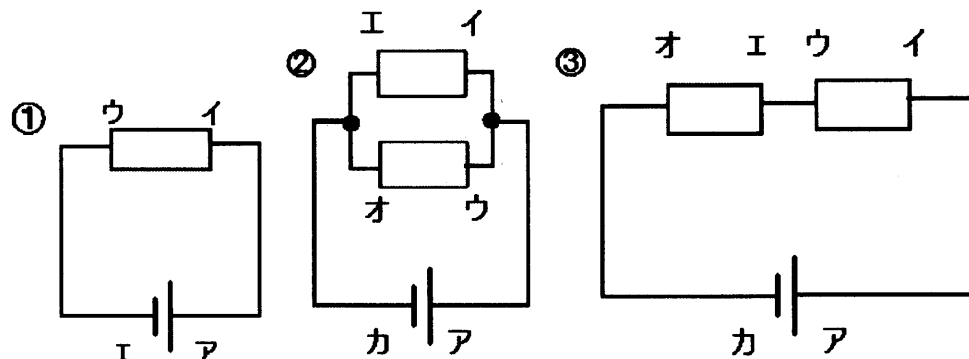
2. 指導について：

京都教育大学 沖花研究室の調査結果から、中学生に電位概念を教えることが必要であると仮定し教材開発を行った。この教材を用いた実践授業を行うことによって電位概念を教えることの重要性および教材の評価を検討する。

3. 指導計画（全4時間）：

- 2日目（2時間）
1. 回路③の水位測定および電位測定
 2. 電位概念の定着
 3. 事後アンケート

（参考：）



4. 研究授業【2日目の指導】

（1） 2日目の目標

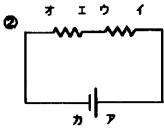
前回の学習の 1. 回路中の導線内はどこでも等電位であること 2. 抵抗の両端および電池の両端で電位差が生じること を復習し、回路②および回路④について、水流模型の水位測定および電気回路中での電位測定をすること。そのまとめとして、上記の1. 回路中の導線内はどこでも等電位であること 2. 抵抗の両端および電池の両端で電位差が

生じることに加え、3. 抵抗値の比によって電位分割すること を教える。2 日間のまとめとして、電位概念を練習問題で使うことによってより深い定着を目指す。

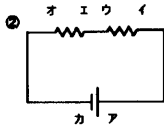
(2) 指導の流れ

段階	時間	学習内容	指導者の働きかけ	生徒の活動	指導上の留意点
復習	10分	前回の復習	1 実験の主旨の確認 パワーポイントおよび、番号札を用いて進める。	問いかけに答える	・ 前回の学習内容を確認させ本日の学習にスムーズにつなげる。
前回の実験結果の考察	20分		前回の実験結果の考察 1 回路①の考察 (1) 回路図①を見せ実験結果を思い出させる。 →クイズ形式で問いかける。 (2) グラフを見せて、考察をまとめる。 (3) 考察内容を板書する。 2 回路②の考察 (1) 回路図②を見せ実験結果を思い出させる。 →クイズ形式で問いかける。	「・導線内は同じ高さ。 ・抵抗の両端で電気の高さに落差が生じる。 ・電池の両端で電気の高さに差が生じる。」を理解させる。	・ 教材で遊ばせないように注意が必要。

			(2) グラフを見せて、考察をまとめる。 (3) 考察内容を板書する。 ③ 前回使用したレジメを返却し、板書をノートに写させる。 ④「では、回路③ではどんな結果がでるかな？」	「・導線内は同じ高さ。 ・抵抗の両端で電気の高さに落差が生じる。 ・電池の両端で電気の高さに差が生じる。 ・並列回路では電流が増える。」を理解させる。 回路③の結果を予想させる。	
	5分	実験方法の確認	測定の仕方の注意点を述べる。 ① 水流模型 1. ポンプに入れる水の量 2. 測定するとき棒が曲がらないように注意。 ② 電位回路 1. 回路図の確認		・ 教材で遊ばないように注意する。

生徒 実験 5	1 5 分	生徒実験 5	机間巡視  交代の合図	回路②について、 1, 2, 3, 7, 8 班は電位測定。 4, 5, 6, 9, 10 班は水流模型。 結果が出た班から前の表に書きに行く。	・指導者は実験装置の実験法が正しいかどうか確認しながら各班を回る。
---------------	----------	-----------	--	---	-----------------------------------

(休憩)

生徒 実験 4	1 5 分	生徒実験 6	机間巡視  終了の合図	回路②について、 1, 2, 3, 7, 8 班は水流模型。 4, 5, 6, 9, 10 班は電位測定。 結果が出た班から前の表に書きに行く。	・指導者は実験装置の実験法が正しいかどうか確認しながら各班を回る。
まとめ④	1 0 分	回路④の まとめ	生徒の結果を平均してエクセルでグラフ化する。 「結果からわかることを挙げなさい。」	・導線の両端は同じ高さである。 ・電池の両端、抵抗の両端で落差がある。	

			・ 落差が1対1の比である。 ～板書内容～ 1. 導線内は同じ高さ。 2. 抵抗の両端で電気の高さに落差が生じる。 3. 電池の両端で電気の高さに差が生じる。 4. 抵抗の値が異なるものを二つ直列につなぐとその落差は抵抗の値の比になる。		
電位概念の定着を目指す。	15分	定着のための問題演習	最初の5分は生徒に解かせる。 残りの10分で解説	問題演習	
	10分		事後アンケート	アンケートに答える。	

5. 電位学習導入に向けて

5.1 日本の検定教科書における電位学習

第3章、第4章で述べたように、中学校理科に現行の理科学習には無い、電位概念を用いた電流学習を導入することが必要である。しかし、戦後第1期（昭和22年）学習指導要領の中学校理科教科書から戦後第2期（昭和33年）学習指導要領の中学校理科教科書まで電位概念を導入した電流単元の学習がなされていた。さらに一部の教科書では昭和37年くらいまで電位の記述が見られる。図5-1から図5-3に電位概念を導入した教科書を抜粋する。

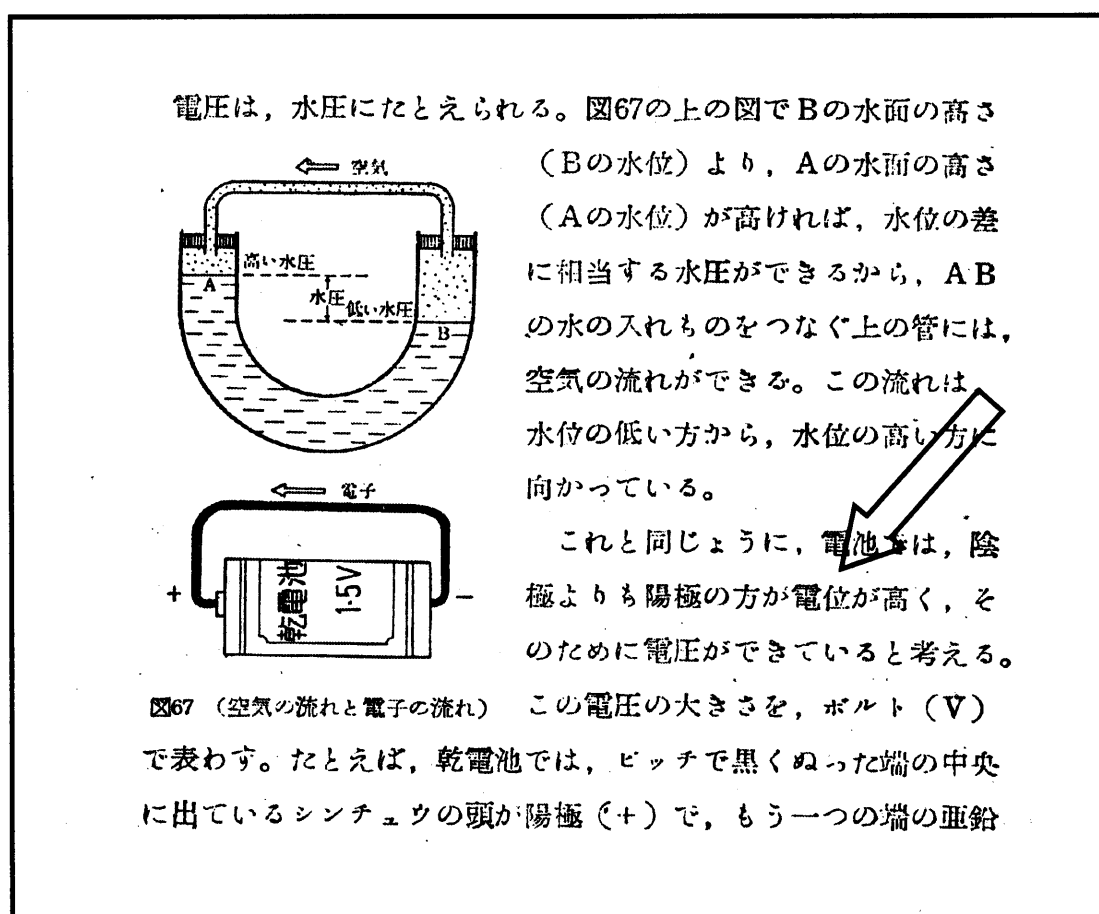
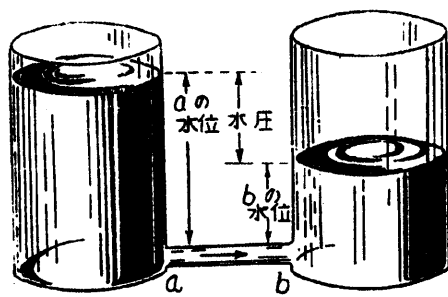


図 5-1 日本書籍『生活と科学 光熱と電気』昭和27年1月発行¹⁵⁾

電池から電流が取り出せるのは、電池に電気を流そうとするはたらきがあるからである。そのは



第 4-4 図

たらきを、図のような水の流れにくらべて考えてみよう。二つの水槽を水平なくだでつなぐと、くだの両側の水の圧力は、aの方がbよりも大きいので、水はaからbへ流れる。すなわち、水平なくだの水は、水位の高い方から低い方へ流れ、水位の差

すなわち水圧が高いほど、水の流れは強くなる。これと同じように、導線内を電流がAからBの方へ流れている時は、A点はB点よりも電位が高いといひ、A・B間の電位の差を電圧という。電圧が高いほど、電流も強くなる。電圧をはかるには電圧計(ボルトメーターともいふ)を用い、ボルト(V)でその大きさを示す。

図 5-2 学芸出版社 『中学生の科学 2・B』 昭和 29 年 1 月 発行 ¹⁶⁾

電気も水と同様に考えられるのであって、電気にも水位に相当する電位ということばが用いられる。図 6 で、A から B へ電気が流れるとき、A は B より電位が高いという。そして、電気は、電位の高いほうから電位の低いほうへ流れようとする。

このように、電気が流れるのは、電位の差があるためであって、これを電位差または電圧という。電圧は電圧計ではかり、その単位にはボルト(V)が用いられる。

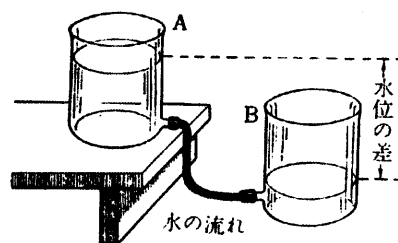


図 7 水位の差による水の流れ

図 5-3 三省堂 『中学生の理科 2 年 - 1』 昭和 37 年 1 月 発行 ¹⁷⁾

図 5-1～図 5-3 を見ると、どの教科書でも電位概念の説明を水を使って行っている。また水を用いた電流単元の指導の仕方は現行教科書まで続いているので、中学生に電流を水流に例えて説明することは効果的であることを示唆する。

このように過去の中学校理科学習では電位概念の学習が導入されていたが、現在は電位学習はすべて高校物理の内容になったのである。そこで中学校理科の教科書から電位を用いた学習が消えた理由を推察する。それは、図 5-1～図 5-3 全てに当てはまることとして、2 点間の電圧（電位差）のみしか説明されていない点が挙げられる。これでは各点の高さ「電位」をことさら強調するまでもなくあくまで落差→電位差→電圧という概念のみで足りる。このような理由から電位概念を用いた電流学習は取り入れられなくなったと推察する。よって本研究では回路全体の各点の電位を意識した。

5.2 アメリカの教科書¹⁸⁾で扱われる電位学習

アメリカの教科書は、日常起っている現象を理科教科書に積極的に取り入れ理科と日常知を結びつける工夫がされている。電流単元も例外ではなく、船につけられた電球の話や、雷の話、家庭用コンセントの話など日常知と理科を結びつける内容が載っている。そしてアメリカ教科書の電流単元には、電圧の前にまず電位が導入されている。アメリカ教科書で電位が説明されている箇所のコピーを図 5-5 に添付する。

GUIDE FOR READING

- ◆ What causes electric current to flow?
- ◆ How does increasing voltage affect current?
- ◆ How does increasing resistance affect current?

Reading Tip Before you read, preview the boldfaced vocabulary terms. Write them down, leaving spaces between them for notes.

You're on a visit to a botanical garden. After a walk through the lush greenery, you rest by an artificial waterfall constructed in the middle of the garden. The continuous flow of water over the falls is soothing. You might be wondering what a waterfall could possibly have to do with electricity. Although there is an electric pump that keeps the water flowing, it is not the kind of pump that matters. The falling water itself, or any flowing liquid, is similar in some ways to the current in an electric circuit.

Electrical Potential

When water gets to the top of a waterfall it starts to fall down. When you lift something, you give it energy by doing work against the force of gravity. The type of energy that depends on position is called potential energy.

An object will move from a place of high potential energy to a place of low potential energy. The potential energy of the water is greater at the top of the waterfall than at the bottom. So water flows from the top to the bottom.

In a similar way, electrons in a circuit have potential energy. This potential energy, however, is related not to height but rather to the force exerted by electric fields. The potential energy per unit of electric charge is called **electrical potential**.

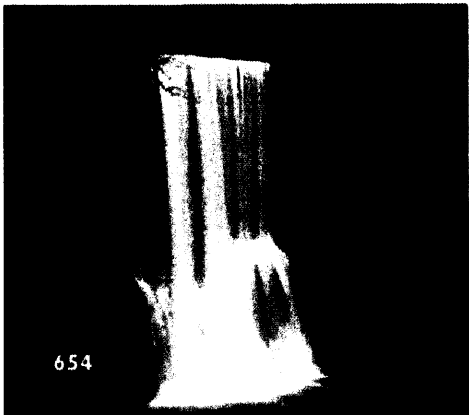


図 5-5

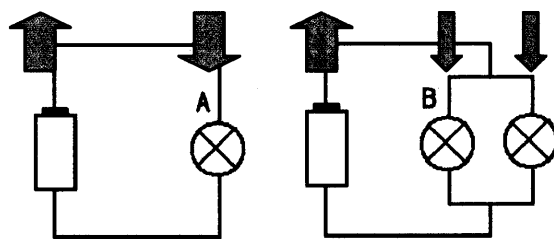
ここでは人工的に作られた滝を発生させる装置を使って電位概念の導入を行っている。そこから水位と電位の話に結び付けている。日本の検定教科書に比べると、アメリカ教科書より詳しい内容が載っている。しかし内容が充実しているので興味がわくのではないと思われる。以上のように、5.2 ではアメリカの中学校理科には電位概念が導入されていることを示した。アメリカの中学生に電位概念を学習させることが可能なのであれば、日本の中学生にも電流単元に入るまでの学習カリキュラムの見直しが必要であるが、電位学習を導入することは可能であると考えられる。

5.3 現職教員対象アンケートの分析

本研究では、中学校理科電流の単元に電位概念学習導入に向けた研究を行った。そこで現職教員は本研究内容にどのような意見を持っているのかアンケート調査を行った。調査対象は、①現職中学校教員（7人） ②現職小学校教員（3人） ③現職高等学校教員（4人） ④2007年に実施された教員採用試験に合格し、2008年度中学校教員に内定している者（3人）である。アンケート調査は質問者と回答者が1対1の面接型アンケート調査を行った。アンケートに使用した用紙、および集計用紙は、巻末資料に添付する。

図5-6に示した質問の回答結果およびその分析を以下の（1）～（3）で述べる。

問1 中学生が誤概念モデル①を持っていると思いますか？



誤概念モデル①

問2 現行中学校理科の電流単元の学習前にはおおよそ何割くらいの生徒が誤概念モデル①を持っていると思いますか？

問3 現行中学校理科の電流単元の学習後にはおおよそ何割くらいの生徒が誤概念モデル①を持っていると思いますか？

問4 生徒が「先生、なぜ誤概念モデル①の考え方が間違いなの？」と質問に来たらどのように説明しますか？

図5-6

（1） 問1について

17人の回答者は全員、中学生のなかには誤概念①を持っている者がいると答えた。

(2) 問2、問3について

問2、問3の集計結果を表5-1に示す。表5-1に示した値は、回答者が答えた答えの平均値を表している。教員は、学習前には7割程度の生徒が誤概念モデル①を持っており、現行中学校理科「電流」の学習後には3～4割程度まで誤概念所持率を下げる事ができると考えている。

「電流」単元学習前	73%
「電流」単元学習後	35%

表5-1 誤概念モデル①所持率

(3) 問4について

問4の回答集計を表5-7に示す。図中の()内の記号は回答者の(職種・専門分野・職歴)の順に表示している。

例：(中・物・2) → 中学校・物理・2年

最も多かった説明方法は説明方法①に示される『オームの法則を使い計算させる』説明方法である。本研究で使った問には数値を書いていないので、具体的な数字を与えればオームの法則によって、生徒は正しい概念を導くことができるというものである。しかし、第2章でも述べたように基本的な概念の定着なしに問題の答え方のみを学習することは問題である。生徒の興味・関心を深めるためにもこのような説明方法は改善すべきである。またこのような説明方法は、教師暦の短い教師ほど多い傾向が見られた。

その他の説明方法については、2つに大別される。1つは②～③に示されるように、問に挙げられた回路を実際に実験して実験の中から生徒の誤概念を崩していくものである。ただしこの実験は、電池の内部抵抗に影響されるので注意が必要になる。また、実験しても生徒が実験結果となる理由をイメージ化することができなければ、理解に苦しむだろう。

もうひとつの説明方法は、④～⑤に示されるような電流を電気以外のもので例える方法である。その中でも教科書の図を利用するも含めると、電流を水流に例えて、その水位差を電圧と説明する方法が多いことがわかる。

表 5-7

説明方法 ① 『オームの法則を使い計算させる』〔5人/17人中〕

→豆球の抵抗値や電池の電圧に具体的な数値を与え、オームの法則を用いて説明する。

(中-化-0) (中-生-20) (中-生-0) (高-生-1) (中-生-0)

説明方法 ② 『回路図と同じ実験をさせる』〔3人/17人中〕

→同じ回路で実験させ、実験のなかから発見させる。体験から学ばせる。

(小-化-7) (小-環-25) (中-生-1)

説明方法 ③ 『電池の消耗具合に注目させる』〔2人/17人中〕

→2個に同じだけの力が必要だから、電池は2倍の力が必要だと説明する。(中-物-2)

→「電池が長持ちするのはどっち？」という実験をする。

明るさは同じなのになぜ電池の消耗の仕方が違うのかを探究させる。(中-物-21)

説明方法 ④ 『水流モデルを用いて説明する』〔3人/17人中〕

→高さのイメージで表された水流モデルの絵(教科書の高さのイメージの図)

を使い説明する。(高-物-14) (中-生-27) (高-化・生-22)

説明方法 ⑤ 『何か他のものに例える』〔2人/17人中〕

→抵抗に注目して説明する。「抵抗=電流の流れにくさ」なので、高速道路の料金所(日常の例)を抵抗に例えて説明する。同じ料金所なので流れる車の量は同じ。

(中-化-13)

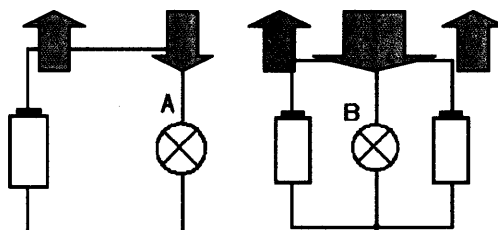
→抵抗を流れる水量が半分にならないことを気づかせる。具体的な方法はジョウロの穴の話をする。ジョウロに1個穴があいていると2個穴があいているときの実験または話をする。(小-物-18)

説明方法 ⑥ 『電子が持つエネルギーの話をする』〔1人/17人中〕

→流れている電子に対して与えられるエネルギーは電子の電圧によって決まる。電流は単位時間あたりに通過する電子の個数で、どちら側に流れる電子も持っているエネルギーは同じ。電流が多かろうと少なかろうと電池で1個あたりに与えるエネルギーは同じだからと説明する。(中-物-11)

図 5-8 に示した質問の回答結果およびその分析を以下の（４）～（６）で述べる。

問 5 中学生が誤概念モデル②を持っていると思いますか？



誤概念モデル②

問 6 現行中学校理科の電流単元の学習前にはおおよそ何割くらいの生徒が誤概念モデル②を持っていると思いますか？

問 7 現行中学校理科の電流単元の学習後にはおおよそ何割くらいの生徒が誤概念モデル②を持っていると思いますか？

問 8 生徒が「先生、なぜ誤概念モデル②の考え方が間違いなの？」と質問に来たらどのように説明しますか？

図 5-8

（４） 問 5 について

17 人の回答者は全員、中学生のなかには誤概念②を持っている者がいると答えた。

（５） 問 6、問 7 について

問 6、問 7 の集計結果を表 5-2 に示す。表 5-2 に示した値は、回答者が答えた答えの平均値を表している。教員は、学習前には 7 割程度の生徒が誤概念モデル②を持っており、現行中学校理科「電流」の学習後には 3～4 割程度まで誤概念所持率を下げる事ができると考えている。

表 5-2 誤概念モデル②所持率

「電流」単元学習前	69%
「電流」単元学習後	35%

(6) 問8について

問4の回答集計を表5・9に示す。

問8の質問に対する回答に多かったのは、1に示した誤概念モデル②の回路図が電池2個の並列接続であるので回路図を書き直させ小学校で学習した内容に戻るというものである。その他は、問4の回答とよく似た傾向になった。最も多かった説明方法は説明方法2に示される『オームの法則を使い計算させる』説明方法である。具体的な数字を与えればオームの法則によって、生徒は正しい概念を導くことができるというものである。またこのような説明方法は、教師歴の短い教師ほど多い傾向が見られた。

その他の説明方法については、2つに大別でき、1つは3～4に示されるように、問に挙げられた回路を実際に実験して実験の中から生徒の誤概念を崩していくものである。

もうひとつの説明方法は、5～6に示されるような電流を電気以外のもので例える方法である。その中でも教科書の図を利用するも含めると、電流を水流に例えて、その水位差を電圧と説明する方法が多いことがわかる。

表 5-9

説明方法 [1] 『回路図を書き直させる』[4人/17人中]

→回路図を書きかえさせる。そして電池の並列であることに気づかせ小学校内容に戻る。

(中-化-0) (中-物-2) (高-物-14) (中-生-27)

説明方法 [2] 『オームの法則を使い計算させる』[3人/17人中]

→豆球の抵抗値や電池の電圧に具体的な数値を与え、オームの法則を用いて説明する。

(中-生-20) (中-生-0) (中-生-0)

説明方法 [3] 『回路図と同じ実験をさせる』[3人/17人中]

→同じ回路で実験させ、実験のなかから発見させる。体験から学ばせる。

(小-化-7) (小-環-25) (中-生-1)

説明方法 [4] 『電池の消耗具合に注目する』[1人/17人中]

→「電池が長持ちするのはどっち？」という実験をする。

明るさは同じなのになぜ電池の消耗の仕方が違うのかを探究させる。(中-物-21)

説明方法 [5] 『水流モデルを用いて説明する』[3人/17人中]

→抵抗自体が変わらないことに気づかせ、抵抗が変わらないので水路の幅が変わらないから水量が2倍にはならないことに気づかせる。(小-物-18) (高-物-14) (高-化・生-22)

説明方法 [6] 『何か他のものに例える』[1人/17人中]

→抵抗に注目して説明する。「抵抗＝電流の流れにくさ」なので、高速道路の料金所(日常の例)を抵抗に例えて説明する。同じ料金所なので流れる車の量は同じ。

(中-化-13)

説明方法 [7] 『電子が持つエネルギーの話をする』[1人/17人中]

→流れている電子に対して与えられるエネルギーは電子の電圧によって決まる。電流は単位時間あたりに通過する電子の個数で、どちら側に流れる電子も持っているエネルギーは同じ。電流がおおかろうと少なかりょうと電池で1個あたりに与えるエネルギーは同じだからと説明する。(中-物-11)

図 5-10 に示した質問の回答結果およびその分析を以下の (7) ~ (8) で述べる。

◆電圧概念の指導に関するアンケート

問 9 授業で、「電圧」をどのように教えていますか？

問 10 中学生に電位概念を導入することについてどのような意見を持ちますか？

図 5-10

(7) 問 9 について

問 9 の回答集計を表 5-11 に示す。回答は 3 つに大別できる。**1**の電圧を圧力のイメージで教えるというものと、**2**の高低差があるモデルを使って、その高低差が電圧であるという教え方、そして**3**の**1**と**2**の両方を使って教えるというものである。3 については授業時間が許せばという制約つきであった。このなかで最も多くの回答があったものは、**2**の高低差で教えるというものである。教員も、本研究同様、電圧を電気の高さの差というイメージで教えることの重要性は感じているようだ。

表 5-11

指導方法 **1** 『圧力のイメージで電圧を説明』[4 人/17 人中]

→「電圧＝電流を流そうとするはたらき」と教える。

(中-物-2) (中-生-20) (高-生-1) (中-生-1)

指導方法 **2** 『高さのイメージで電圧を説明』[7 人/17 人中]

→水流モデルの高低差を使って説明。

→階段の高低差を使って、電圧を教える。

(中-化-0) (中-物-21) (中-生-0) (高-生-1) (中-生-27) (中-生-0) (高-化・生-22)

指導方法 **3** 『圧力と水の高さの両方のイメージを使って電圧を説明』[2 人/17 人中]

(高-物-14) (中-化-13)

指導方法 **4** 『エネルギー概念を用いて説明』[1 人/17 人中]

→電池が電子 1 個に与えるエネルギーの大きさと説明している。(中-物-11)

(8) 問10について

問10の回答結果の集計を表5・12に示す。17人の回答中14人が、中学校に電位概念を導入することについて賛成の意見を示した。賛成の内容を見ると、高校から電位を導入したのでは遅く、下の学年から導入すべきというものが多かった。またその意見の中には、基本的概念を確実に中学生に教えることが後の学習にいかされるからというものも含まれていた。そして、賛成意見には電位をイメージしそれを用いてある程度定量的な実験ができたのであれば生徒にとってそれ以上嬉しいものはない、導入してほしいという意見があった。アンケートの中で教員はそれぞれが、電圧の概念を生徒に教え、定着させることが難しいと悩みを話していた。

反対意見には、理科の学力が低い子に対して不安視される声があがった。しかし、現行のカリキュラムよりイメージしやすく、また実際に水を使って実験を行うので理科を苦手にする生徒にも電流概念が定着しやすいと考える。また水と電気は別もので新たな誤概念を生み出すと反対の意見もあるが、今回のアンケートで電流をイメージ化するものとして多くの教員が水流を挙げていることから、中学生に電流を教えるためには水流が不可欠で、目に見えないものをイメージすることが重要であるため、水を使って電気を学習することに問題はないと考える。

表 5-12

～賛成意見〔14人/17人中〕～

- 意見 ① 『電位をイメージできる教材があれば導入すべき』
(中-化-13) (小-物-18)
- 意見 ② 『自分自身、電位を学習することによって電流の理解が進んだので導入すべき』
(中-化-0) (中-生-0)
- 意見 ③ 『電位学習が実験室だけのものではなく、
日常でも感じることであれば尚いい』
(中-物-2)
- 意見 ④ 『高校のカリキュラムからしても中学校から電位を導入すべき』
(中-物-21) (中-生-0) (小-化-7) (小-環-25)
- 意見 ⑤ 『電位概念とエネルギー概念が同時に教えることができればよい。』
(中-物-11)
- 意見 ⑥ 『電圧が圧力のイメージが生徒には、難しい。
電圧を高さのイメージで教えることはよい。』 (高-生-1)
- 意見 ⑦ 『電位を実際に体験できる実験であれば導入すべきだ。
また中学校理科にそのような実験が必要。』 (高-物-14)
- 意見 ⑧ 『生徒が混乱する電圧計のつなぎ方の学習にもつながる』
(中-生-27)
- 意見 ⑨ 『電流単元の学習の最初から最後まで一貫して電位学習ができれば良い。』
(高-生・化-22)

～反対意見〔3人/17人中〕～

- 意見 ⑨ 『学力の低い子にとっては、新しい概念をいれなければならないので余計に難しくなる。』 (中-生-20)
- 意見 ⑩ 『水と電気は違うので、水のイメージを前面におしすぎるとかえって生徒が困惑するのではないか。』 (高-生-1)
- 意見 ⑪ 『電位学習前に、どれくらいの電流概念が形成できているかが重要になる。
電流概念がしっかりできていないとどんどんわからなくなる。』 (中-生-1)

5.3 で述べて来た現職教員対象アンケート調査の結果を総じてまとめる。まず、教員は多かれ少なかれ、電流単元の学習カリキュラムに問題点を感じている点である。そして、誤概念モデル①と②についても中学生は持っていると答え、現行の電流単元の学習では、誤概念所持の割合を3～4割程度までしか抑えることができないと考えていた。

また電流単元の学習のなかでも、電圧の分野は概念を教えにくいという意見が多数あった。電圧については電気の高さのイメージとして中学生に教えたいという意見が多いが、そのときに使うことができる有効な教材がないことを挙げていた。

以上のことより、本研究で開発したような電位学習用教材を中学校理科電流単元に導入することが学校現場からも求められている。

6. まとめ

先行研究ではなく本研究の水流模型で再現したことは（１）演示用の教材ではなく、生徒実験用の教材にすること（２）中学生でも簡単に回路を組みかえられ、抵抗の直列や並列など様々な回路で水流模型実験ができること（３）スイッチを入れてから水位を測定することができることであった。この３点を全て満たし、中学校教材として使える程度の定量的なデータが取れる水流模型を開発することができた。

電位学習用水流模型と電位測定回路を用いて実践授業を行うと、水を使った実験であるので、皆楽しそうに実験に参加していた。１人ではできないので全員がグループの中で協力し合いながら実験を進めていた。授業展開に困ることなくスムーズに授業が進んだ。そして授業後のアンケート調査では、電位学習をしなかった大学生が間違った問題でも、電位学習をした中学生なら正しい答えを導き出せるという傾向が見られた。電位学習用教材を用いた電位学習の効果を感じた。

日本の過去の教科書調査および、アメリカの教科書調査から、中学生に電位概念を教えることが不可能ではないことがわかった。また現職教員に対するアンケートから、教員は電圧を中学生に詳しく教えることは必要だと感じているが、教えるための教材として良いものがないという意見を持っていた。電圧を詳しく教えるためには本研究の電位概念が必要であり、電位概念習得用水流模型実験、および電位測定実験は現行理科電流の単元に求められているものだろう。

謝辞

本研究に取り組む中で、たくさんの方々の協力に支えられました。京都教育大学附属京都中学校での授業実践に当たって、準備、実践、実践後を通して大変お世話になった京都教育大学附属京都中学校の小倉舞先生にこの場を借りて感謝いたします。また、本研究の実践授業の被験者として協力していただいた附属京都中学校のサイエンスを受講した生徒のみなさん、大学生を対象にした調査に協力していただいた小学校教科内容論理科の受講生の学生方々、物理Ⅰ受講生の学生方々に感謝いたします。

日頃の研究を進めるにあたっては、京都教育大学沖花研究室の皆様非常に有益な助言をしていただきました。京都教育大学沖花研究室の先輩方々、京都教育大学院の森井武史さん、海老崎功さん、楠本くん、近藤くん、高橋くん、竹中くんに感謝いたします。

最後に、沖花彰先生には大学院1回生のときから指導教官として学業や学生生活への助言の付与やご指導をしていただきました。更に、同先生には常日頃から多大なご厚情を賜ると共に、本研究活動においては並々ならぬ熱意溢れるご指導と助言をもって支えていただきました。心から感謝します。

参考文献

- 1) H13 年度 小中学校教育課程実施状況調査 理科 (2002) (国立教育政策研究所)
- 2) H15 年度 小中学校教育課程実施状況調査 理科 (2004) (国立教育政策研究所)
- 3) H17 年度 高等学校教育課程実施状況調査 物理 I (2006) (国立教育政策研究所)
- 4) 物理教育の改革, カール・ワイマン他, パリティ Vol121 (2006)
米大学物理入門コースの学生への調査
- 5) 特定の課題に関する調査 (理科) 結果 (2007) (国立教育政策研究所)
- 6) 子ども達はいかに科学理論を構成するか (1985), オズボーン & フライバーグ
- 7) 中学生の電流理解に関する実態調査報告 (1) (2), 門馬得夫, 吉田俊博,
福島大学教育実践研究紀要 第 41 号 (2001) pp. 85-92 第 42 号 (2002) pp. 1-8
- 8) 中学校理科電気分野における前学習教材の開発 楠本 2007 年度 卒業論文
- 9) 中学校理科教科書 啓林館『1 分野上 サイエンス』(平成 17 年)
- 10) 中学校理科教科書 学校図書『理科 1 分野』(平成 14 年)
- 11) 中学校の電流学習における粒子水流模型を用いた授業実践, 牧井他, 物理教育
54 (2006) p. 201
- 12) 中学校理科教科書におけるオームの法則の検証実験, 福山他,
長崎大学教育学部紀要, (2004)
- 13) 水流モデルを用いた中学校電気単元の指導
—電圧概念の育成をめざした新しい水流モデルの提案—
伊東他, 宇都宮大学教育学部紀要 第 57 号 (2007)
- 14) 連続体力学 共立出版株式会社 角谷典彦 (昭和 44 年)
- 15) 中学校理科教科書 日本書籍『生活と科学 光熱と電気』(昭和 27 年)
- 16) 中学校理科教科書 学芸出版社『中学生の科学 2・B』(昭和 29 年)
- 17) 中学校理科教科書 三省堂『中学生の理科 2 年—1』(昭和 37 年)
- 18) Physical Science SCIENCE EXPLORER PRENTICE HALL (2001) P. 654~P. 659
“Circuit Measurements”
- 19) 日本理科教育学会全国大会発表論文集 p. 288 谷口、沖花 (2007)
- 20) 物理教育研究集会 発表予稿集 p. 6~p. 9 谷口、沖花 (2007)

現職先生対象アンケート（面接法）

1. このアンケートについて

京都教育大学 大学院の谷口信一です。修士論文のためのアンケート調査にご協力をお願いします。
尚、お名前などプライバシーに関わることの公表は行いません。

2. 修士論文研究の背景

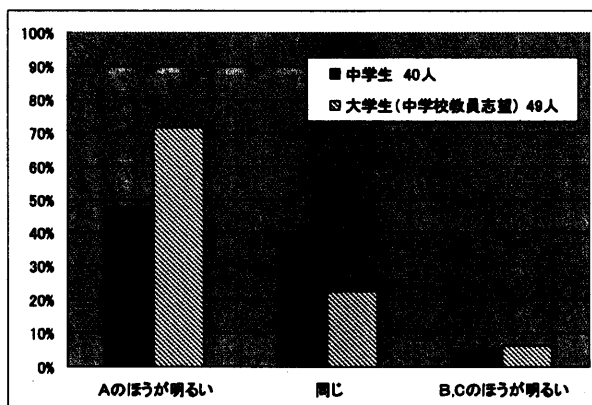
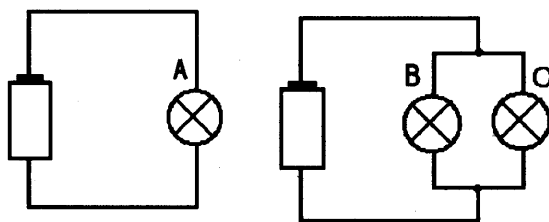
最近の高校生や海外の大学生の調査から中学校理科「電流」の単元での学習が定着できていないこと、日常知と結びついていないことが示唆されています。電流の学習における理解度の研究は古くから行われていますが、「豆球と乾電池の接続」や「電流の向きや減衰」に関するものが多く、その多くは中学校の学習段階では克服されているという報告があります。そこで、中学校電流単元の問題点を探るために、中学生および大学生に理解度調査を行いました。その結果を以下 3. に示します。

3. 理解度調査の結果

中学生および大学生に行った理解度調査のときに使用した 2 つの問とその結果を示します。

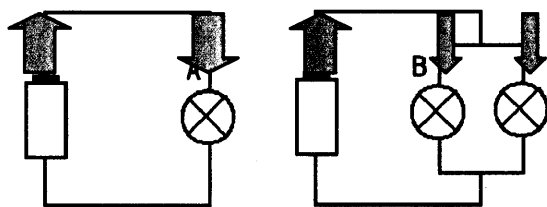
問 1 次の 2 つの回路において A と B, C の豆電球はどちらが明るいですか？

注) 導線の抵抗および電池の内部抵抗は無視するものとする。



結果の考察：

正解は「同じ」ですが、「Aのほうが明るい」という誤答が多く見られます。その理由を調査したところ図 1 の矢印で示したような説明が多くみられ、「乾電池から流れる電流量は常に決まっている」という誤概念を持っている可能性が示唆されました。



乾電池からの電流が
分岐して減る。

図 1 誤概念モデル①

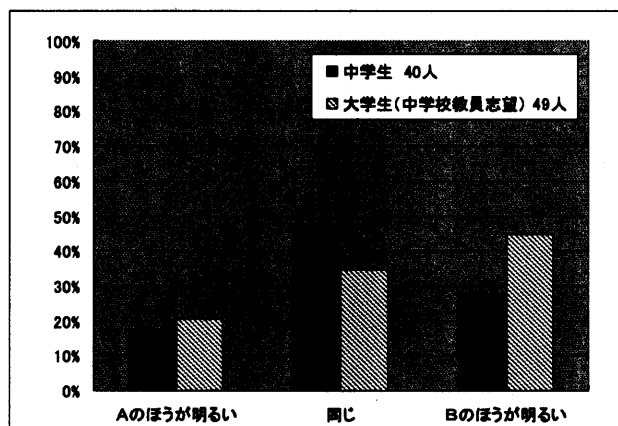
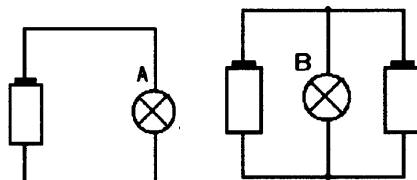
アンケート 1 我々はこのような誤概念モデル①を生徒が持っているのではないかと考えましたが、

先生は、生徒が誤概念モデル①を持っていると思われますか？

また、おおよそ何割くらいの生徒が持っていると思われますか？（学習前と学習後で比較）

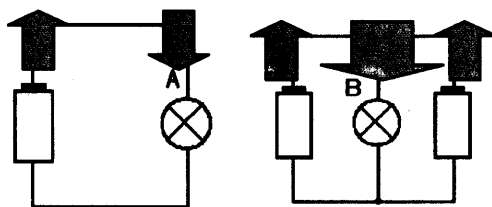
問2 次の2つの回路においてAとBの豆電球はどちらが明るいですか？

注) 導線の抵抗および電池の内部抵抗は無視するものとする。



結果の考察：

正解は「同じ」であります。が、「Bのほうが明るい」という誤答も多く見られます。その理由についても調査したところ図2の矢印で示したような説明が多くみられ、ここでも生徒が「乾電池から流れる電流量は常に決まっている」という誤概念を持っている可能性が示唆されました。



乾電池からの電流が合流して増える。

図2 誤概念モデル②

アンケート2 我々はこのような誤概念モデル②を生徒が持っているのではないかと考えましたが、

先生は、生徒が誤概念モデル②を持っていると思われますか？

また、おおよそ何割くらいの生徒が持っていると思われますか？（学習前と学習後で比較）

4. 現職先生対象アンケート

このような結果を踏まえ、現在、このような誤概念をまねかず、よりわかりやすい学習にするにはどうすればよいかを研究しています。そこで、先生のご意見を聞かせてください。

アンケート3) 生徒が「先生、なぜ図1の考え方が間違いなの？」と質問に来たらどのように説明されますか？

アンケート4) 生徒が「先生、なぜ図2の考え方が間違いなの？」と質問に来たらどのように説明されますか？

アンケート5) 先生は、「電圧」をどのように教えられていますか？

アンケート6) 私は、図1、2の誤概念をまねかないためには、「電位概念」を導入することが効果的ではないかと考え、電位概念を導入した学習教材の開発を行っています。

先生は、中学生に電位概念を導入することについてどのような意見を持たれますか？

アンケート記入用紙

1. 性別：

2. 教師歴：

3. 専門分野：

アンケート 1)

アンケート 2)

アンケート 3)

アンケート 4)

アンケート 5)