

第4章 【研究3】交通流モデルの生成

第4章の構成は以下の通りである。

まず、1節で、交通流モデルについての学年別推移調査の必要性について述べる。私たちは既に、第2章における調査より、交通流モデルの存在を指摘している。しかしながら、第2章の調査だけでは、この交通流モデルが一般性のある誤概念なのか、それとも第2章の調査の被験者だけが持っている誤概念なのかという点が明らかではなかった。このことから、学年別推移調査の必要性について述べる。

2節では、交通流モデルについて、小学校6年生から大学2年生までを対象に調査をおこなった。その結果、交通流モデルという誤概念が多くの生徒に広がっていて、この傾向には一般性があることを明らかにする。

1節 交通流モデルの学年別推移調査の位置づけ

第2章で、私たちは既に、電流に関する調査を実施して、その結果から誤概念としての交通流モデルの存在を指摘している。また、これを科学的モデルに転換するための授業方法を提案し、実施した結果、構成主義の立場の研究によって明らかにされてきた色々な学習領域におけるプレコンセプションとの相違点があることを指摘した。

それによると、まずプレコンセプションと交通流モデルの似ている点は、交通流モデルを科学的概念に転換する事が難しいということであった。

一方、プレコンセプションと交通流モデルの異なる点は、プレコンセプションが正式の授業を受ける前の日常生活の中で学習者によって構成されるのに対して、交通流モデルは、授業を受けて学習者の知識が増えるにつれて、できあがる点である。

こうした点を確認した上で、次の2点を交通流モデルに関する課題とした(第2章、3・2項参照)。

- ① 交通流モデルの存在は、今回の被験者だけに現れる事なのか、それとも、中学生一般あるいは、それ以上の学年の生徒・学生にも現れるものなのか（一般性）。
- ② もし、交通流モデルが多くの生徒に共通に現れるものだとすると、はたして何年生頃に交通流モデルができあがるか（構成される時期）。

この2点の課題を、解決するには学年別に電流について子ども達がどのような考えを示すか、調査をする必用がある。

その際、交通流モデルの特徴を反映する調査問題が必用になる。2章でも既に示したように、交通流モデルは部分的には正しい。つまり、その回路だけを考えて、キルヒホッフ第1の法則が成り立つ考え方である。しかし、単純回路での電流の流れと対比して、並列・直列回路の電流の流れを予想しようとする、誤った考え方をすることが、さらけ出されるのである。

したがって、こうした特徴を反映できる調査問題を作成し、小学生から大学生までを被験者として調査を実施し、上記2つの課題への解答とできるかどうか、検討する。

2 節 《調査》

：交通流モデルの学年別推移調査

2-1 調査の目的

本研究の目的は、交通流モデルは一般に多くの人が持っている誤概念であるか、どうかを明らかにすることである。そのため交通流モデルの実態について学年をおって調査する。このとき同時に

- (1) 交通流モデルが構成される学年を明らかにする。
- (2) 交通流モデルと科学的モデルを選択する被験者の考えがどのようなものか、その理由を分析する。

という2点を通して、上記の目的である交通流モデルが一般に広がっているかどうかについて、検討する。

2-2 方法

本研究で扱う調査問題は3問である。これを被験者に配布して、解答してもらい、集計・分析する。

2-2-1 調査問題の形式

調査は、質問紙法により実施した。ここでは、多肢選択式と自由記述式を併用する(堀, 1998:12-34)。

2-2-2 被験者と実施時期

調査対象

調査の被験者は山梨県、千葉県、新潟県下の小学6年生から大学2年生、合計1235人であった。その内訳は表4-1の通りである。

なお、電流、電圧、抵抗、そしてオームの法則についての学習は中学2年生で実施するが、被験者の中学2年生は、この学習をする前の生徒達である。

表 4-1 : 被験者の内訳 (人)

学 校 名	小 6	中 1	中 2	中 3	高 1	大 2
山梨市立加納岩小学校	74					
山梨市立山梨南中学校		63	68	59		
塩山市立松里中学校		50	68	50		
山梨市立山梨北中学校		71	73	74		
山梨県立都留高等学校					235	
千葉県立小金高等学校					156	
上越教育大学						194
合 計	74	184	209	183	391	194

調査時期

1999 年 11 月中旬～2000 年 5 月上旬

2・2・3 調査の方法

全ての調査は、授業を担当している先生に授業中に実施してもらった。2つのステップによって調査を実施した。調査用紙は2枚からなり、1枚目に調査問題1だけを書き、2枚目に調査問題2と調査問題3を書いた。その具体的な方法は、次の通りである。

- (1) 調査用紙1を配布、第1問について自分の考えに合うものを選択して、その理由を記述してもらった後、回収する。
- (2) 調査用紙2を配布、第2問を授業者が読んで、第1問の答えを確認したあと、被験者に自分の考えの選択と理由の記述をしてもらう。続いて第3問の答えの選択・理由の記述をしてもらった後、回収する。

2・2・4 調査問題

3問の問題からなる。どの学年の被験者にも同じ問題を用いた。調査問題1は、単純回路についての考えを問うものである。単純回路での電流の流れについて、単極モデル、衝突モデル、減衰モデル、科学モデルその他の中から、どれが自分の考えかを問いその理由を記述する。この第1問は、堀(堀, 1998:73)より引用してそれを用いたので問題の掲載は省略した。

調査問題2は並列回路での電流の流れについての考えを選択して、その理由を記述するものである(資料4-1参照)。

調査問題3は直列回路での電流の流れについての考えを選択して、その理由を記述するものである(資料4-2参照)。なお、第2問と第3問には、はじめに単純回路での電流の流れについて、解説が載っている。

第2問と第3問は、自作した問題である。以下、第2問と第3問について説明する。

(1) 調査問題2：並列回路での電流の流れ方(資料4-1)

この問題は、単純回路での電球前の電流の大きさ①、後の電流の大きさ②(① = ②)と比較して、並列回路での電流の大きさを予想するものである。なお電流の大きさを数値で表さずに、矢印の太さであらわした。太さが2倍なら電流の大きさは2倍となる。こうした理由は、小学校6年生から大学2年までを被

験者として同一の問題を用いたので、この質問内容の方が、被験者、特に学年が下の子どもに把握しやすいと考えたからである。

選択肢(1)は並列回路での交通流モデルである。並列回路での分岐点前の電流の大きさアと合流後の電流カがそれぞれ単純回路での①と②に等しいものである。並列回路の分岐後イとウ、エとオはちょうど①と②の半分である。

選択肢(2)は科学的モデルであり、並列回路での豆電球にかかる電流の大きさイとウ、エとオは、それぞれ①、②とおなじであり、アとカの電流は①や②のちょうど2倍となる。並列回路での合成抵抗は小さくなるため、アとカの電流は大きくなるもので科学的な予想と一致する選択肢である。

選択肢(3)はどの点でも電流の大きさが等しいもので、本研究では均等流モデルと呼ぶことにする。

選択肢(4)は(1)～(3)のどれでもない場合、被験者に書いてもらうスペースである。

(1)から(3)の選択肢は、第2章、1節の調査において数値により電流の大きさの予想をしてもらったときの傾向をもとにしてつくった。なお、それぞれの選択肢を選んだ理由を書く自由記述の欄をその下に用意した。

(2) 調査問題3：直列回路での電流の流れ方（資料4－2）

この問題は、単純回路での電球前の電流の大きさ①、後の電流の大きさ②と比較して、直列回路での電流の大きさを予想するものである。なお、電流の大きさは第2問と同じ理由で矢印の太さであらわした。

選択肢(1)は科学的モデルである。同じ豆電球が2個直列になっており、全体の合成抵抗が2倍になるため電流は半分になる。

選択肢(2)は交通流モデルである。抵抗は2倍になるが、回路が分岐しないので電流の大きさがどこでも一定であり、しかも単純回路での電流の大きさ①、②と同じである。

選択肢(3)は減衰モデルである。第1問で減衰モデルを既に否定してあるので、こうした選択肢はあまり意味がないようであるが、現実には電流が消費されるという考えが簡単には修正できるものではないので、(1)や(2)を選択するとき被

験者の考えに影響している選択肢である。

選択肢(4)は、第2問と同様で(1)～(3)のどれにも、自分の考えがない場合、それを書いてもらうところである。

選択肢のつくり方と自由記述欄については調査問題2と同様である。

2-3 結果

次の3点について分析を行う。

- (1) 調査問題1～3の各問題についての各選択肢の回答率。
- (2) 調査問題2と3で、それぞれ交通流モデルを選択した被験者の回答内容の分析。
- (3) 調査問題2と3で、両方に一貫して交通流モデル、科学的モデルの選択肢を選んだ被験者の回答率と、回答内容についての分析。

なお、(3)のように並列回路と直列回路について一貫して交通流モデルを選択した場合、また一貫して科学的モデルを選択した場合、それぞれこれらを『交通流モデル（並列・直列）』、『科学モデル（並列・直列）』と呼ぶことにする。

また、本研究においては回答率とはその学年の被験者総人数に対してある選択肢を選んだ人数の割合のことである。

2・3・1 調査問題1の結果

この結果は図4-1の通りである。この調査は既にオズボーンらが行っているものである。彼らの調査結果と本研究での調査結果の類似点、相違点は以下の通りである。まず、類似点は、単純回路での電流の流れの中で、科学的モデルを選んだ生徒が中学2年、中学3年から増えていること、またこのとき減衰モデルを選択した生徒が減っていることである。相違点はこの科学的モデルが増え、減衰モデルが減少する年齢が異なる。オズボーンらの調査では、15歳から学年をおって増えるが、この調査では中学2年から中学3年になる時を境にこの特徴が顕著になっている。この点が相違点である。

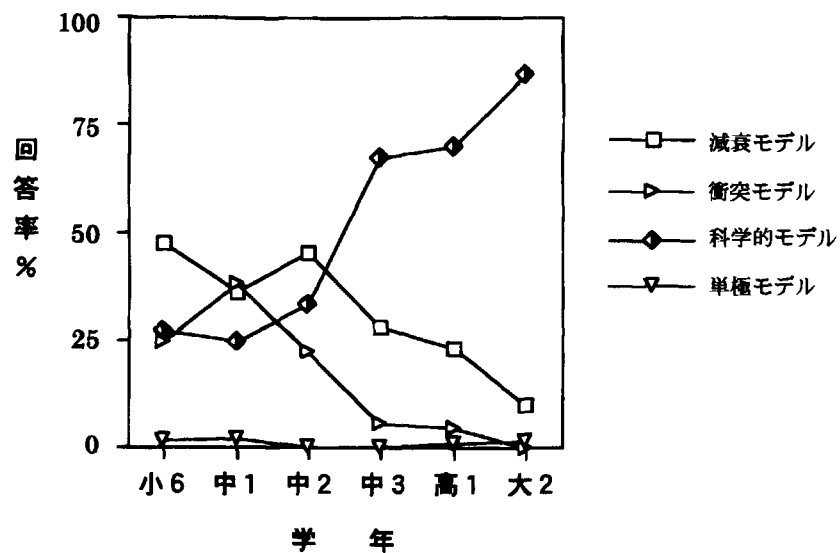


図 4-1：単純回路での電流モデルの調査結果

2-3-2 調査問題2の結果

表4-2は、並列回路において交通流モデルを選択した被験者とそれ以外の選択肢を選んだ被験者の人数の学年別、クロス集計表である。次に、各選択肢を選んだ回答率をグラフ化したものが図4-2である。

このクロス集計表とグラフからあげられる特徴は次の2点である。

a クロス集計表（表4-1）

ピアソンの χ^2 値は169.216、自由度は5で、p値は0.000である。学年と交通流モデル選択は独立であるという仮説が棄却される。残差を見ると交通流モデルの選択者数は小6，中1，中2が少なく，中3，高1，大学2年が大きい。

b グラフ

図4-2とクロス集計表が示すとおり、中学2年から中学3年生になるときを境に並列回路では交通流モデルを選択しているものが増えている。全体としては、並列回路では学年がすすむにつれて交通流モデルの増加傾向が見られる。

表 4-2 : 並列回路での学年の推移と電流モデルのクロス集計表

		電流のモデル		合計
		交通流	それ以外	
学年 小6	度数	23	51	74
	期待度数	51.5	22.5	74.0
	学年の%	31.1	68.9	100
	残差	-28.5	28.5	
中1	度数	97	87	184
	期待度数	128.0	56.0	184.0
	学年の%	52.7	47.3	100
	残差	-31.0	31.0	
中2	度数	108	101	209
	期待度数	145.4	63.6	209.0
	学年の%	51.7	48.3	100
	残差	-37.4	37.4	
中3	度数	147	36	183
	期待度数	127.3	55.7	183.0
	学年の%	80.3	19.7	100
	残差	19.7	-19.7	
高1	度数	314	77	391
	期待度数	272.0	119.0	391.0
	学年の%	80.3	19.7	100
	残差	42.0	-42.0	
大2	度数	170	24	194
	期待度数	134.9	59.1	194.0
	学年の%	87.6	12.4	100
	残差	35.1	-35.1	
合計	度数	859	376	1235
	期待度数	859	376	1235.0
	学年の%	69.6	30.4	100

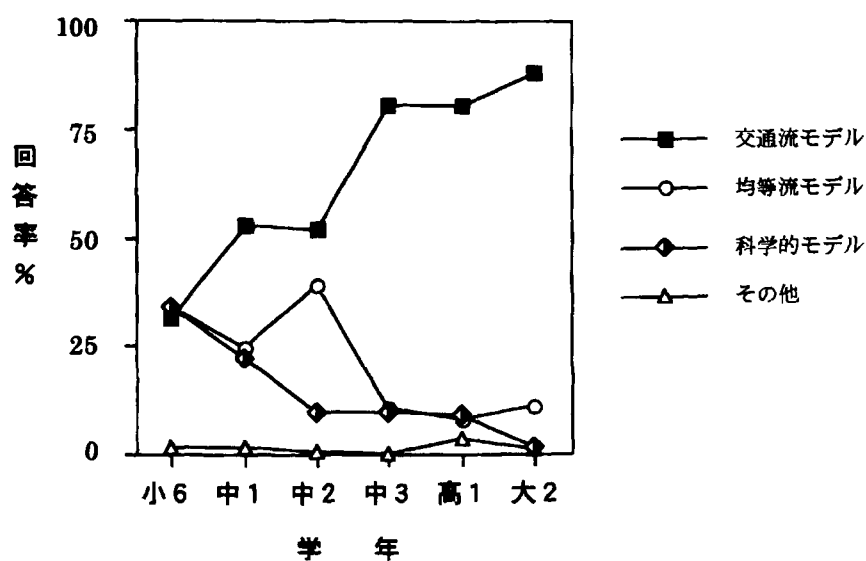


図 4-2 : 並列回路での電流モデルの調査結果

次に、交通流モデルを選択した被験者の解答内容をまとめたものが表 4－4 である。この表は、中学 2 年生から中学 3 年生になるとき交通流モデルが増えるが、それにつれて解答の類型ア，すなわちキルヒホッフの法則に相当する理由が増えていることを示している（中学 2 年生：29.7%，中学 3 年生：54.6%）。

2・3・3 調査問題 3 の結果

表 4－3 は、直列回路の問題において交通流モデルを選択した被験者とそれ以外の選択肢を選んだ被験者の人数の学年別，クロス集計表である。次に，各選択肢を選んだ回答率をグラフ化したものが図 4－3 である。

このクロス集計表とグラフからあげられる特徴は次の 2 点である。

a クロス集計表（表 4－3）

ピアソンの χ^2 値は 47.742，自由度は 5 で，p 値は 0.000 である。学年と交通流モデル選択は独立であるという仮説が棄却される。残差を見ると交通流モデルの選択者数は小 6，中 1，高 1 が少なく，中 3，大学 2 年が大きい。

b グラフ

高校 1 年での交通流モデルの回答率がわずかであるが低く，科学的モデルの回答率が高くなっている。しかしながら，並列回路のような増加傾向というより，小学校 6 年から大学 2 年まで交通流モデルを選択する人数は横ばいであり，その回答率は約 70% と高い。

次に，交通流モデルを選択した被験者の解答内容をまとめたものが表 4－5 である。この表から，直列回路での交通流モデルの回答率は横ばいであるが，その回答内容は小学校 6 年から大学 2 年まで一律の割合で各類型が表れるのではなく，中学 2 年生から中学 3 年生になるときキルヒホッフ第 1 の法則に相当する理由が増えていて，一方回路の電流の減衰モデルについて説明する被験者が減っている。

表 4-3 : 直列回路での学年の推移と電流モデルのクロス集計表

		電流のモデル		合計
		交通流	それ以外	
学年 小6	度数	46	28	74
	期待度数	51.8	22.2	74.0
	学年の%	62.2	37.8	100
	残差	-5.8	5.8	
中1	度数	110	74	184
	期待度数	128.9	55.1	184.0
	学年の%	59.8	40.2	100
	残差	-18.9	18.9	
中2	度数	152	57	209
	期待度数	146.4	62.6	209.0
	学年の%	72.7	27.3	100
	残差	5.6	-5.6	
中3	度数	141	42	183
	期待度数	128.2	54.8	183.0
	学年の%	77.0	23.0	100
	残差	12.8	-12.8	
高1	度数	249	142	391
	期待度数	273.9	117.1	391.0
	学年の%	63.7	36.3	100
	残差	-24.9	24.9	
大2	度数	167	27	194
	期待度数	135.9	58.1	194.0
	学年の%	86.1	13.9	100
	残差	31.1	-31.1	
合計	度数	865	370	1235
	期待度数	865	370	1235.0
	学年の%	70.0	30.0	100

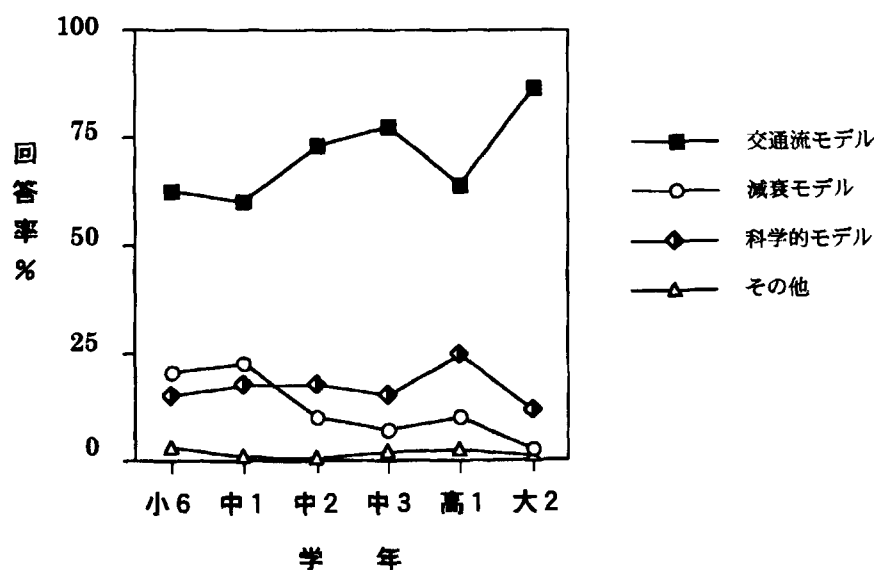


図 4-3 : 直列回路での電流モデルの調査結果

2・3・4 交通流モデルと科学的モデルの回答率と回答内容

調査問題 2 で、選択肢(1)を選び、なおかつ調査問題 3 で選択肢(2)を選択した被験者の電流モデルを交通流モデル（並列・直列）と呼ぶ。また、調査問題 2 で(2)を選択して、かつ調査問題 3 で(1)を選択した被験者の電流モデルを科学的モデル（並列・直列）と呼ぶ。図 4－4 は、この 2 つの電流モデルの学年別の回答率の推移をあらわすものである。

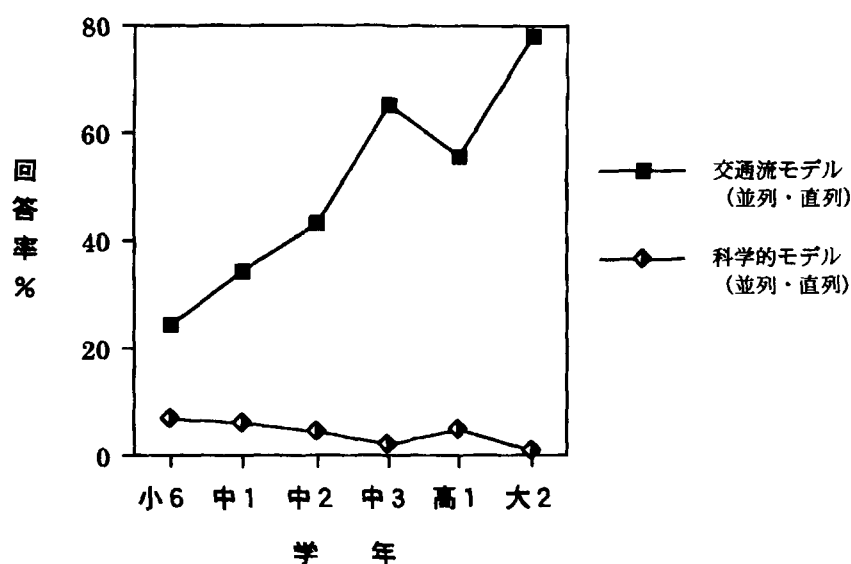


図 4－4：並列・直列回路ともに交通流モデル，

科学的モデルを選択した被験者の回答率

この図から、一貫して並列、直列両方に交通流モデル（並列・直列）を持っている被験者の回答率は小学校 6 年生から大学 2 年生へと学年が上がるにつれて、ほぼ単調に増加を続けている。一方科学的モデル（並列・直列）の回答率は小学 6 年生から大学 2 年生までほぼ横ばいで 5%前後を示している。

また、科学的モデル（並列・直列）を選択した被験者のうち、適切な説明を並列回路、直列回路両方に記載した者は 0.5～2.7%であり、またその回答内容は表 4－6 のとおりである。

表 4-4 : 並列回路の問題で 1 番 (交通流モデル) を選択した被験者の考え (%)

類型	内容	具体的表記	小 6	中 1	中 2	中 3	高 1	大 2
ア	キルヒホッフの 法則	電流が二分化された所で電気の大きさが 半分になり, また一本に戻ると, もとの大きさに 戻ると思う	14.9	25.5	29.7	54.6	41.4	47.9
イ	暗くなるから	小学校の実験で(豆電球)1つの時の光 より(並列の方が)暗かった気がするから。	9.5	0.5	3.3	1.1	1.5	3.6
ウ	電池から出る 電流が一定	もともと流れる全体の電流の大きさは, 豆 電球が増えても変わらないから。	1.4	14.1	7.7	12.6	12.0	17.5
エ	川の メタファ	川の流れと同じで, 流れるところが2つに 分かれれば, 電流も半分になる。電池は1 個だから2倍にはならない。	0.0	1.1	0.0	0.5	3.6	3.1
オ	その他	なんとなく, 並列だから, このように以前に 習った	5.4	9.8	10.5	9.8	18.7	14.4
カ	無解答	記載無し	0.0	1.6	0.5	1.6	3.1	1.0
		合計 《 ①÷②×100(%) 》	31.1	52.7	51.7	80.3	80.3	87.6
		交通流モデル選択の総数(人)・・・①	23	97	108	147	314	170
		全データ総数(人)……………②	74	184	209	183	391	194

表 4-5 : 直列回路の問題で 2 番 (交通流モデル) を選択した被験者の考え (%)

類型	内容	具体的表記	小 6	中 1	中 2	中 3	高 1	大 2
ア	キルヒホッフの 法則	電流は直列の時は一緒 (どこでも変わらない)	20.3	20.4	22.0	45.9	31.2	49.0
イ	単純回路の 電球と同じ明 るさ	直列回路では電球の明るさは1つだけ (の豆電球)の時と変わらないから	5.4	0.5	1.0	0.5	0.8	1.0
ウ	電池から出る 電流が一定	もともと流れる全体の電流の大きさは、豆 電球が増えても変わらないから。1個の電池 から流れる電流の大きさは変わらないと思 う。電池の数がかわっていないので単純回 路と同じ量の電流が流れる	12.2	8.6	18.2	14.8	7.7	14.4
エ	減衰しないこ との説明	(豆電球は)2つとも同じ明るさ電球が複 数個でも電流の強さは変わらない(減衰モ デルの3を否定している)電気は電流までい ってもどってくるから	8.1	19.4	18.7	3.3	3.1	5.7
オ	その他	なんとなく、直列だから、このように以前 習った	14.9	9.1	11.5	10.4	17.4	12.4
カ	無解答	記載無し	1.4	1.1	1.4	2.2	3.6	3.6
		合計 《 ①÷②×100(%) 》	62.2	59.1	72.7	77.0	63.7	86.1
		交通流モデル選択の総数(人)・・・①	46.0	110.0	152.0	141.0	249.0	167.0
		全データ総数(人)……………②	74.0	184.0	209.0	183.0	391.0	194.0

表 4-6 : 科学的モデル（並列・直列）選択者のうち、適切な説明をした被験者の回答内容の例と適切な説明をした被験者（人）

学年	並列の理由	直列の理由	回答者数	科学*
小6	アはイ、エに半分づつ流れていきウ、オにつづいていく。そしてカにもどってきて、またアのように2倍になるから(2)のが一番ちょうど言いと思う。	(3)は1番からちがうと思う。(2)は同じ電流がながれるわけではないから、(1)だと思う。	2	5/74
中1	2つ一緒の時は倍の電気が流れるけれど、2つに分かれたらその半分の電気しか流れないと思ったから。	豆電球が2個だから電気が弱まってその電気の半分になって流れると思ったから。	4	11/184
中2	イウとエオは上の豆電球1個を使ったから、アとカはその2倍の電気が流れるから	アイウとも電流の大きさは等しいが、その大きさは豆電球1個を使った回路の半分になるから。	2	9/209
中3	二つの電球にそれぞれ電流がかかるので、ア、カは2倍になり、それが二手に分かれて電球に流れている。	一つの時より抵抗が大きくなっているので電流は半分になり一定の大きさになる。	2	3/183
高1	並列の回路にすると、道が途中で分かれるから電気がそれだけ流れやすくなるので、電流が増える(道路で言うと1車線と2車線のちがいだって教えてもらったと思う)	抵抗が2つもあるのでそれだけ流れが悪くなり、電流が少なくなる。(高速道路の渋滞のように)	8	18/391
大2	アの電流はイとエに分かれカで合流する。また、一つの場合と比べると2つの並列は合成抵抗が小さくなるので電流は大きくなる。	電流は一週通して変わらない。2つの直列は1つの時より合成抵抗が大きくなるため電流は小さくなる。	1	1/194

*科学の項にある数字は、科学的モデル(並列・直列)を選択した被験者数(人)÷総数(人)で、そのうち適切な解答をした被験者が回答者数に記載してある。

2-4 考察

ここでは、中学校2年生から中学校3年生になるとき交通流モデルが増えていくことについて考察する。

小学校6年生から大学2年生まで、全体的に増加傾向があるのに、この点についてだけ注目するのは、中学2年生で電流の学習をすることが、交通流モデルを構成してしまう原因の大きな部分を占めると考えられるからである。

さて、図4-2，図4-4より中学校2年生から中学校3年生になるときに交通流モデルが増えていることがわかる。このとき被験者が記述している理由を見ると、並列・直列回路とも類型ア「キルヒホッフの法則」に関する記述が一番多い（表4-4，表4-5）。なおこれはキルヒホッフの法則^(注4-1)に相当する表現であると筆者らが判断したものを分類して一つのグループにまとめたものである。

ところでこのキルヒホッフの法則を選択の理由とすれば、交通流モデルを選択しないで、科学的モデルを選択しても良いことになるはずである。というのは単純回路の電流の大きさとの比較を行わなければ、並列・直列回路において交通流モデルそれ自体は誤りではないからである。しかし、実際にはキルヒホッフの法則にあたる理由を交通流モデル選択の理由としているということは、被験者の多くが、その前提として電池からでる電流が一定であるという考えを持っていると考えられる。だからこそ、キルヒホッフの法則を理由としながら、科学的モデルを選択しないのであろう。

また、表4-4，表4-5で類型ウにあたる記述をしていて、交通流モデルを選んでいる被験者がいる。交通流モデルでも科学的モデルでもキルヒホッフの法則自体では、その説明は変わらないので、ウを選んだ被験者は、キルヒホッフの法則の考え方と、乾電池から流れる電流の大きさは一定という2つの考え方を持っていることが明らかである。

そこで、例えば並列回路での理由で類型ウ(電池からでる電流の大きさが一

定)と類型ア(キルヒホッフの法則)をあわせると、67.2%(中学 3 年)、53.4%(高校 1 年)、65.4%(大学 2 年)と中学 3 年生以上は 60%前後がこうした考えの上で回路をとらえ、交通流モデルを選択していることがわかる。また直列回路でもほぼ同様である。

キルヒホッフの法則については中学校 2 年生の電流の領域で学習をしている。このことを考えあわせると、キルヒホッフの法則について学習するとき、電池から流れる電流が、抵抗を並列や直列につないでも一定であるという考え方を作り上げてしまうこと。そしてこれと結びつけてしまうことが交通流モデルを作り上げてしまう原因の 1 つになっていることが分かる。

しかしながら、交通流モデルのような誤概念を教える教師はいない。ではなぜ中学 2 年生から 3 年生になるときにキルヒホッフの法則を学習すると急激に交通流モデルが増加するのか。考えられるのは次の 3 点である。

(1) 水の流れのアナロジー自体が電流の流れと異なる面を持つことについて

水流モデルのアナロジーを何らかの形で用いて電流を指導するということは広く行われていると考えられる。ところで一般的な河川や水路での水の流れは、途中で水路が 2 つに分かれても、もとの水量が 2 倍に増えることはない。すなわち一般の水流モデル自体が本研究で注目している点から見ると、実際の回路での電流の流れとは異なり、交通流モデルそのものになる。したがって、こうしたアナロジーを用いることが交通流モデルを生み出す原因の一つであると考えられる(注 4-2)。

(2) 水流モデルの限界を超えた適応について

子どもは水流のアナロジーで電流を理解することが難しいと指摘されている(シップストン, 1993)。

これは一般に電流の方向性、保存性について学習する場合に水流モデルを用いるが、このモデルを使って指導しても十分にモデルが機能していないことを指摘しているものである。

しかしながら、本研究での調査結果はこの主張とは異なる事実を示している。すなわち学習者達がモデルの限界をこえて水流モデルを適応させてしまうこと

であり、①で述べたようにこれが電流の学習を妨げていると考えられることである。

(3) 計算できることと回路のイメージが一致していないことについて

オームの法則では、抵抗が大きいと電流は小さく、抵抗が小さいと電流が大きくなることを学習する。またこのとき抵抗を並列につなぐと抵抗が減り、直列につなぐと抵抗が大きくなることも、計算としては求めることができるようになる。

しかし今回の調査では、この点を回答理由として書くことができた被験者はきわめて少なかった。回路を見て並列と直列での抵抗がどのようになっているのかを数値的にではなく、イメージとしてとらえ、電流と結びつけて考えるような見方ができていないことを、この結果は示している。

2-5 結論

本研究で明らかにしたのは以下の3点である。

- (1) 交通流モデルは小学校6年生では少ないが学年が上がるにつれて、ほぼ単調に増えていること、特に中学校2年生から中学校3年生になるときこの考え方を持つ被験者が急激に増えている。そして最終的には大学2年生で約80%の被験者が、交通流モデルを持っていることが分かった。
- (2) 交通流モデルに対する科学的モデルは、小学校6年生から大学2年生まで5%以下の被験者が持つに過ぎず、授業によってもこれは改善されていない。
- (3) 回路に対する知識、例えばキルヒホッフの第1法則やオームの法則に関する知識は中学3年生以降増えているが、こうした知識が、回路を適切にとらえることにつながっていない。

以上3つの点から、交通流モデルは電流の流れについて、一般に多くの人が持っている誤概念であるといえる。

注 4－1

本来キルヒホッフ第 1，第 2 の法則は並列や直列の組み合わせとしては解けないブリッジ回路を解くために用いる（高橋，1980）。しかし本研究では第 1 法則の基本的な内容すなわち枝分かれの点での電流保存の条件から，直列回路ではどこでも電流の大きさが変わらないこと，並列回路では分岐した回路での電流の大きさの和がもとの電流の大きさであることだけを略称としてキルヒホッフの法則と呼ぶことにする。

注 4－2

本研究では，並列回路などでの電流についての誤概念を「交通流モデル」と呼んでいるが，本来はここでも，述べたように「水流モデル」あるいは「河川モデル」と呼ぶべきものかもしれない。もちろんこの場合モデルとは考え方のパターンとしてのモデルである。しかしアナロジーとしての水流モデル，いわゆる授業で使われるような水流モデルという言葉が一般に用いられていることから，これとの混乱をさけるため，「交通流モデル」という言葉を用いて区別することにしている。

◆調査のための問題

資料 4－1：調査問題 2

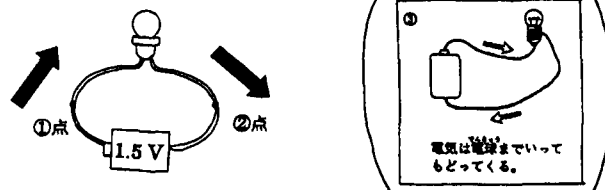
資料 4－2：調査問題 3

資料 4 - 1 : 調査問題 2

() 年 () 月 () 日

2 豆電球を2つつないだ場合（並列回路）について、質問します。

1 番の問題の、豆電球が1つだけつながっている回路での、電流の流れ方は、下の図のようになっていることが、わかっています。



では、豆電球を下図のように2つ、つないだときの電流のようすを表しているのはどれでしょうか。(1)～(3)の中から選びなさい。あなたの考えている図がないときは(4)のところに、あなたの考えを書きましょう。

(1)

アとカは、上の豆電球1個を使った回路の図の①点と②点と同じだけ電流が流れ、イ、ウとエ、オは、ちょうどその（アとカ）の半分だけ流れる。

(2)

イ、ウとエ、オは上の豆電球1個を使った回路の図の①点と②点とおなじで、アとカは、その2倍の電流が流れる。

(3)

アからカまでの電流の大きさは、すべておなじで、上の豆電球1個を使った回路の図の①点と②点とおなじ。

(4)

答 え	選んだわけを書きましょう

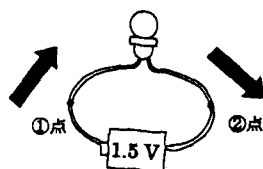
() 年 () 組 () 番 氏名 ()

資料 4 - 2 : 調査問題 3

() 年 () 月 () 日

3 豆電球を2つつないだ場合（直列回路）について、質問します。

1 番の問題の、豆電球が1つだけつながっている回路での、電流の流れ方は、下の図のようになっていることが、わかっています。



では、豆電球を下図のように2つ、つないだときの電流のようすを表しているのはどれでしょうか。(1)～(3)の中から選びなさい。あなたの考えている図がないときは(4)のところに、あなたの考えを書きましょう。

(1)

ア、イ、ウともに電流の大きさは等しいが、その大きさは、上の豆電球1個を使った回路の図の①点と②点の半分になる。

(2)

ア、イ、ウともに電流の大きさは等しいが、その大きさは、上の豆電球1個を使った回路の図の①点と②点とおなじだけ流れる。

(3)

ア、イ、ウといくにしたがって、電流の大きさはだんだん小さくなる。

(4)

答 え	選んだわけを書きましょう

() 年 () 組 () 番 氏名 ()

第5章 【研究4】再構造化の効果とその検討

第5章の構成は以下の通りである。

先ず、1節で、再構造化の方法について、改めて実験を計画する事の意味を確認する。既に第2章で再構造化の方法について、ある程度の効果、有効性を私たちは検証しているが、第1に、統制群法を用いてこれを検討すること、第2に統合的調査の方法による電流・電圧の学習を通し、従来指摘されている電流と電圧の識別の難しさを統制するためであることを述べる。

2節で、実際の実験方法を述べ、その有効性を検証する。

1 節 統制群法による実験の必要性

私たちは既に、第2章において、再構造化の方法の有効性を検討してきた。それなのに、なぜ、ここで改めて実験が必用だろうか。それは以下の2点の理由による。

(1) 比較実験の必要性

第2章で、試みたのは①再構造化の方法により実験をおこなう1つのグループの成績の推移、②282人を対象にした調査結果との比較、であった。その結果、特に交通流モデルの特徴に関するいくつかの知見を得ることができた。

しかし、再構造化の方法の有効性については、この学習にかかわる条件を統制して比較することが必用であると考え（2章 3・2課題参照）。

(2) 予想される剰余変数の統制の必要性

再構造化の方法は、電流・電圧などについて学習が修了している被験者を対象にする。したがって、再構造化の方法による授業前に、どのような授業を受けているかは、当然、その方法の効果に影響する。

ところで、電気領域の学習の問題点の2つ目に、電流と電圧の識別の難しさがあげられていた。そうであるとする、電流と電圧の学習が修了したところで、実施する再構造化の授業は電流と電圧の識別の難しさという問題について

は無視できない。これが、剰余変数としてその効果に影響するだろう。

したがって、第3章で電流・電圧の識別について、統合的調和の方法が有効であることを使い、このことからくる影響を統制したい。

これから、検討し実施する実験はこうした考えのもとに実施するものである。

2 節 《実験 再構造化の方法の検証》

2-1 実験の目的

本研究の目的は、電流の学習が進展するとともに生徒が構成する誤概念としての『交通流モデル』を『科学的モデル』に転換するための指導方法を提案し、その有効性を対照実験を通して検討することである。すでに2章に示したようにこの方法を再構造化の方法と呼ぶことにする。

2-2 方法

2-2-1 実験の流れ

ここでは、再構造化の方法による指導方法が概念形成に有効かどうかを実験により検討するために、被験者のグループを3つ用いた。それは以下の通りである。

実験群：3つの課題を再構造化の方法による授業を通して学習し、概念形成を目指すグループ。

逐次解決群：実験群で用いる3つの課題と同じものを授業で扱う。ただし、実験群が再構造化の方法により学習するのに対して、このグループは従来用いられているように、課題を一つ一つ「課題の把握」、「討議」、「実験による確認」、「まとめ」の順序で逐次学習するグループ。

統制群：上記2つのグループで扱う3つの課題を、学習しないグループ。一般には交通流モデルを科学的概念へと転換することが計画されていないので統制群が受ける授業が多くの学級で実施されてい

る授業に相当する。

以上3つの群の学習状況を比較するために、予備調査、プレテスト、ポストテスト、遅延テストを用いて3つのグループの成績を比較し、実験の効果を検討する（図5－1）。

予備調査：中学2年生の理科の学習内容全体をあつかった問題（教研式学年別全国標準診断的学力検査を用いた）。これによって、3群の基礎的な学力の差を検定し、ついで個々の生徒の学力差の影響を共分散分析で検定するための共変量とする。

プレテスト：本研究の実験を行うには、実験に入る前に電流・電圧とその統合的な理解などについての事前知識を前提とする。この事前の知識は授業によって獲得するものである。したがって、これら事前知識についての学習の状況は実験に影響する剰余変数になる。これを統制するためにテスト2で、学習状況の差を検定する（資料5－3参照）。

実験授業：これは3つの群で授業方法が異なる。これは実験上の独立変数に相当する。これに対する従属変数は科学的モデルを何人が構成し、それを定着する事ができるかである。ポストテスト、遅延テストはこれを評価するものである（資料5－1，資料5－2参照）。

ポストテスト：実験終了後、被験者はオームの法則について学習する。その直後に(1)オームの法則に関する問題、(2)電流モデルに関する問題（選択肢から選ぶ問題）を実施して、実験の効果を比較する（資料5－4参照）。

遅延テスト：ポストテストの4ヶ月後に(1)オームの法則に関する問題（ポストテストとほぼ同じ問題）、(2)電流モデルに関する問題（ポストテストとは異なる形式で、数値と豆電球の明るさの予測をする問題）（資料5－5参照）を実施して学習内容の定着を比較する。

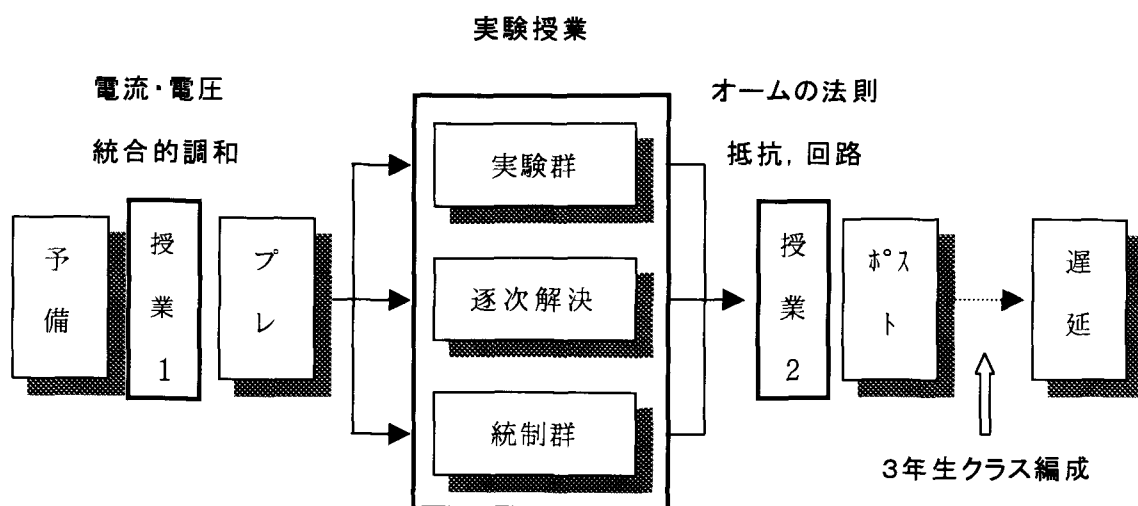


図 5-1 : 実験の流れ

この研究の結果の分析においては、第1に再構造化の方法を取り入れた授業の中で生徒の考えがどのように推移するか、そのデータと考察(本節第2・3項)、第2に予備調査、プレテスト、ポストテスト、遅延テストにおける検定とその考察(本節第2・4項)をおこなう。

2-2-2 被験者と実施時期

被験者は以下のおとりである

山梨県下公立中学校2年生3クラス(A, B, C組)

実験群(A組) : 34名

逐次解決群(B組) : 33名

統制群(C組) : 34名

実験実施時期

2000年2月～7月(この学年は5クラスよりなり、そのうち3クラスを被験者にした。中学3年生になるときクラスの再編をしている。ポストテストまで

は中学2年生であったが、遅延テスト実施時には各群の生徒は5クラスに別れている。したがって遅延テストは5クラス全ての生徒に実施して、その結果を2年生の時の実験群、逐次解決群、統制群に戻して集計した。)

2-2-3 指導計画と再構造化の授業の位置

ここでは、以下の順序で学習を展開した。時間数は1単位時間50分である。なお実験群の学習には再構造化の方法による授業時間3.5単位時間、逐次解決群には同じ内容の課題を逐次解決方法により学習する時間2単位時間がそれぞれ含まれるが、統制群にはこうした時間は含まれない。それ以外は全て3群の学習時間は同じである。

★授業1

電気回路についての基礎事項の学習2.0 単位時間
・ 電流計，電圧計の使い方，豆電球の構造など	
電流についての学習4.0 単位時間
・ 単純回路，直列回路，並列回路の電流	
電圧についての学習4.0 単位時間
・ 単純回路，直列回路，並列回路の電圧	
電流と電圧の統合的調和の時間1.5 単位時間

★実験授業

・ 実験群（再構造化の方法により学習）3.5 単位時間	}
・ 逐次解決群（逐次解決する方法）2.0 単位時間	
・ 統制群（3つの課題を授業中扱わない）0.0 単位時間	

★授業2

オームの法則などの学習5.0 単位時間
・ 電流と電圧の比例，抵抗，計算など	

2-2-4 再構造化の方法の実際

ここでは、3つの課題を用いる。それらは、豆電球の明るさと電流の予想を

質問するものである（資料 5－1 参照）。

従来の方法なら，こうした課題を仮に用いるとしても，この 1 つ 1 つの課題に対して，討議，実験を 3 回繰り返す。これはいわば逐次解決型といえよう。

しかし，ここで提案する再構造化の方法は，生徒自身に自分の考えを意識化させることから始めるため，課題 1 の予想の次に，課題 2 の予想を行い，続いて課題 3 の予想を行う。課題 1～3 までの整合性を考えるように指導しながら，自分の考えの修正は，随時自由とする。このようにして，3 つの課題について，自分の考えを明らかにする（予想 1）。次に実験 1 により，各豆電球の明るさを確認する。続いて予想 2 として，この事実に応じて自分の考えを修正させる。モデルを使って表現した生徒の考え方の矛盾を，教師が個別に指摘しながら，周りとの討議は自由に行わせる。予想 3 として，粒子モデルで表現した粒子の数から，電流の大きさを，3 つの課題について予想させる。最後に，電流の大きさを実験 2 により確認するという方法である。これは葛藤教材として機能するという点以外にも，従来の逐次解決型にくらべ，2 つの点で異なる。第 1 に，この方法は 3 つの課題について常に一貫性を，あるいは整合性をもとめる点。第 2 に，新しい粒子モデルの使用により明るさと粒子の数（回路を流れるパチンコの数），粒子の数と電流というモデルと実験事実（理論と証拠）の対比を求める点である。

2-3 再構造化の方法を取り入れた授業における生徒の考えの推移

ここでは，授業における生徒の考えの推移を分析する。先に示したように，この方法は 3 つの課題を予想するのに 3 段階を用いる。各段階ごとに

- ① 3 つの課題について各自の考え方について整合性を求め，
- ② 自由に話し合いながら

1 段階と 2 段階の間，3 段階の後に実験事実を確認しそれに即して考えを修正し，交通流モデルを科学的モデルへと転換することを促すものである。

2-3-1 第1段階（豆電球の明るさ，電流の大きさを粒子の数により予想）

3つの課題を一つ一つ提示して，それについて豆電球の明るさ，電流の大きさを粒子の数に予想して，相互に整合性があるように自分の考えをまとめる。その結果は表5-1の通りである。

表 5-1：再構造化の第1段階での生徒の予想状況

パ タ ン	課題 1	課題 2	課題 3	人数	備 考
	分離型 並列回路	標準 並列回路	直列回路	(人)	
a	同じ	暗い	同じ	11	交通流モデル
	(アア)	(ウウ)	(アア)		
b	暗い	暗い	同じ	17	交通流モデル
	(ウウ)	(ウウ)	(アア)		
c	同じ	同じ	同じ	3	課題 2 と 3 について電流の大きさの予想は交通流モデルによる
	(アア)	(アア)	(アア)		
d	その他			3	
計				34	

* 同じ，暗い，明るい：単純回路の豆電球の明るさとの比較

* パターンa，bの生徒は豆電球の明るさと粒子の数（電流）の間に一貫性がある

この結果より，交通流モデルを示した生徒は28人（82.4%）であった。その内訳パターンa 11人とパターンb 17人でありその合計が28人である。またパターンcの生徒も電流の大きさ予想については交通流モデルになっている。したがって，パターンa，パターンb，パターンcの生徒を合計すると，34人中

31 人(91.2%)が交通流モデルを持っていることが分かる。

2-3-2 第2段階（電流の大きさを粒子の数により予想）

ここでは、先ず第1段階で予想した3つの課題について、実験により豆電球の明るさを確認した。この上で生徒の考えを事実即して修正することを求めた。なお、第2段階では既に実験事実を確認しているので第1段階でおこなった豆電球の明るさの予想はしない。以下授業の中での生徒の反応と結果である。

実験をおこない3つの課題で扱った豆電球の明るさを確認するとクラス全体はどよめき、予想と事実が異なったことに驚いた。教師は次に電流の大きさを粒子の数によって予想するときに、先に示したように①3つの課題に対する考え方の整合性、②自由な話し合い、この2点を指示して各自の考えを修正するように促した。

結果は表5-2の通りである。

表 5-2：再構造化の第2段階での生徒の予想状況

パターン	内 容	人	課題 1	課題 2	課題 3
			分離型 並列回路	標準型 並列回路	直列回路
A	科学的モデルを構成した生徒	10	○*	○	○
B	分離・標準型並列回路で科学的モデルを構成した生徒	10	○	○	×
C	分離型並列回路のみ適切な予想	13	○	×*	×
D	その他	1	×	×	×
計		34			

* ○は電流について正しい予想ができている事を示す。

* ×は誤った予想をしていることを示す(交通流モデルによる誤答, それ以外を含む)

実験事実を見て3つの課題をとおして科学的な考え方で予想することができた生徒は10人であった。並列回路だけを取り上げると、分離型・標準型両方に科学的モデルで予想できた生徒は20人と半数をこえた。なお表5-2における×は交通流モデルによる誤答もあるが、主に交通流モデルとは異なる予想の方法である。その予想は既に習得しているキルヒホッフ第1の法則（電流の流れ方として授業1で学習している）と矛盾する予想である。図5-2は表5-2のパターンCの女子生徒が課題2についておこなった予想である。この生徒はプレテストでは電流の流れ方に関する問題で正解を得ている。しかしながら、この再構造化の授業の中で、並列回路の豆電球の明るさが単純回路の豆電球の明るさと同じである事実を確認した後、このような修正のしかたをしている。

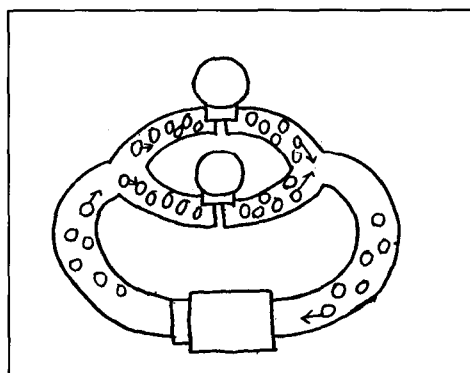


図 5-2 : 課題2について交通流モデルを修正したパターンCの生徒予想

2-3-3 第3段階（電流の大きさを粒子モデルと数値の両方で予想する）

ここでは、第1段階、第2段階での実験事実、討議をもとに生徒に電流の数値の予想をしてもらった。

結果は表5-3の通りである。

表 5-3 : 再構造化の第3段階での生徒の予想状況

パタン	内 容	人
A	科学的モデル	13
B	2つの並列回路では科学的モデルであるが、直列回路でキルヒホッフ第1の法則が成り立たない考え方。 $(0.6 \cdot 0.3 \cdot 0.6 [A])$	10
C	2つの並列回路では科学的モデルであるが直列での電流の予想が $0.3 [A]$ ではなく $0.2 [A]$	5
D	その他	6
計		34

第2段階の表5-2では誤った予想をした生徒のうち、交通流モデルとは異なる予想をした生徒の多くは、キルヒホッフ第1の法則を破った予想をしている。彼らはプレテストでは皆この電流の流れ方についての問題では正しく予想している。したがって、交通流モデルと異なる予想をする段階でこの法則と矛盾する考え方になった自分自身に気がついてない。そこで、こうした生徒については教師が指摘しながら机間巡視をおこなった。

結果としては13人が科学的モデルを構成することができた。21人は科学的モデルを構成できなかった。その21人のうちパターンBの生徒10人は並列回路については科学的モデルで考えることができるようになったが、直列回路では2つの豆電球の前、中間、後で電流が一定にならずに $0.6 \cdot 0.3 \cdot 0.6 [A]$ という予想をしている(図5-3)。また21人のうちパターンCの生徒5人は、直列回路において豆電球からでる電流の数値 $0.6 [A]$ にこだわったため、直列回路中における2つの豆電球の前、中間、後でそれぞれ $0.2 [A]$ という予想をしている(図5-4)。したがって21人の生徒は科学的モデルを構成しなかったとはいえ、交通流モデルを示したのではない。部分的には科学的モデルを示しているのである。

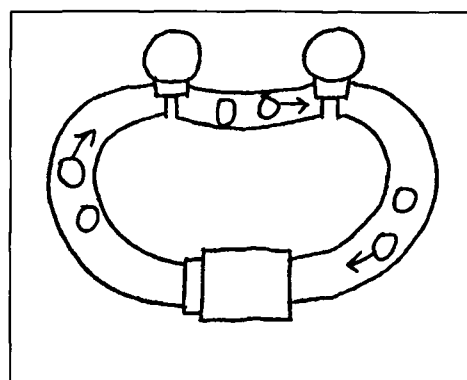
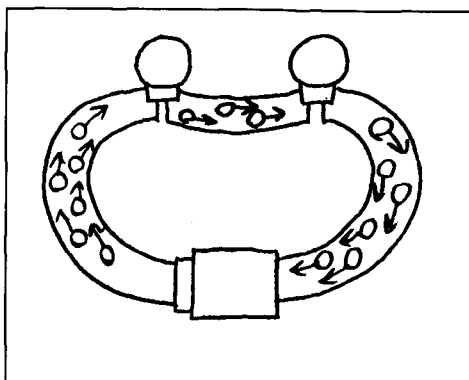


図 5-3 : $0.6 \cdot 0.3 \cdot 0.6$ [A] の予想 図 5-4 : $0.2 \cdot 0.2 \cdot 0.2$ [A] の予想

2-3-4 考察

以上より次の3点に関して考察する。

(1) 交通流モデルは容易に構成されること

実験群での授業を見ると，第1段階で既に28人(82.4%)が交通流モデルを持っている。学年別推移を検討した第4章の結果より，中学2年生の電流学習以前に交通流モデルを持っている生徒は少ないので，電流・電圧などについて通常の授業方法によって学習すると簡単に交通流モデルができあがってしまうことをこの結果は示していると考えられる。

(2) 実験事実在即して考えを修正しようとするとき，既に獲得している科学的知識を修正してしまうことについて

第1段階の予想の後実験事実を確認して，事実在即して自分の考えを修正しようとするとき，生徒は科学的モデルの構成に向かうのではなくて，授業1で学習しプレテストでは正しい答えを書きことができた科学的知識（キルヒホッフ第1の法則）を修正してしまう。そしてこうした矛盾した考え方を自分自身が表現していることに気がつきにくい。

(2) 3つの課題に一貫した科学的モデルの構成が難しいこと

第1段階から第3段階までの生徒の考えをしてみると、分離型並列回路、あるいは標準型並列回路について科学的モデルで考えることはできて(34人中20人)、直列回路まで含めた3つの課題について一貫した科学的モデルで予想することができた生徒は少ない(10人)。

以上3点が実験群に対して再構造化の方法により授業をした結果分かったことである。こうした問題点の背景には2つの原因があると考えられる

先ず第1に、電池から流れ出る電流の大きさは豆電球のつなぎ方によらず変わらないという考え方を持っていることが原因だと考えられる。単純回路で乾電池から流れる電流の大きさは0.6[A]であったが、この0.6[A]が標準型並列回路でも直列回路でも変わらないというこだわりが交通流モデルであり、このこだわりが科学的モデルを構成する時の妨げになっている。また第3段階で電流の大きさの予想パターンCの生徒(表5-3)は0.6[A]にこだわっているために直列回路の前、中間、後でそれぞれ0.2[A]の予想をしていると考えられる。

第2に電流を理解させるために、多くの場合授業で教師は水の流れのアナロジーを使っている。本研究の授業1でも水の流れのアナロジーを使って電流の流れについて説明している。しかしながら水の流れのアナロジーには次のような問題点がある。

例えば本流(1)、2つに分岐した流れ、合流後の本流(2)という河川を流れる水量を考える。本流(1)の水量はその先で2つに河川が分岐してもしなくても変わらない。ところが電流における並列回路では2つに分岐する前の電流は2倍になる。これは電流回路での電流の大きさと、河川などを流れる水量との違いである。言い換えると単純回路との比較で並列・直列回路の電流予測を求める場合は、水の流れのアナロジーは交通流モデルそのものなのである。

しかしながら多くの場合、こうした電流の流れと水流の流れの違いを明確にして水の流れのアナロジーを用いることは少ないと考えられる(4章 2・4考察参照)。

2-4 結果

ここでは、1 予備調査、2 プレテスト、3 ポストテスト、4 遅延テストの順に結果について述べる。

2-4-1 予備調査

表5-4は、教研式全国標準診断的学力検査の標準得点（以下「教研式学力の得点」と呼ぶ）について、3つの群の平均と標準偏差を示したものである。分散分析をおこなった結果、表5-5にみられるように、条件の要因は有意ではない（ $F(2,98) = 0.178$ $p > 0.10$ ）。

表 5-4：教研式学力検査における各群の平均と標準偏差

	実験群	逐次解決群	統制群
被験者数 N	34	33	34
平均 X	48.53	49.61	49.03
標準偏差 S D	7.61	7.34	7.21

以下 N：被験者数，X：平均，S D：標準偏差とする

表 5-5：分散分析表

要因	平方和	自由度	平均平方	F
条件	19.433	2	9.716	0.178 n.s.
誤差	5355.32	98	54.646	
計	5374.75			$p = 0.873 > 0.10$

したがって、3つの群、実験群、逐次解決群、統制群の間に学力検査の結果に差はないと言える。

2-4-2 プレテスト

これは実験授業に入る前に実施したテストで、電流・電圧とその統合的調和の問題などを質問するものである。実験授業にはいる前に事前知識が3群において等しいことを検定する。

表 5-6 は、各群の平均と標準偏差を示したものである。1 問 1 点、34 問の問題である。天井効果が認められるため、分布の正規化のためにデータを各変換する。それが表 5-7 である。これをもとに分散分析をおこなった結果表 5-8 にみられるように、条件の要因は有意でない ($F(2,98)=0.142$ $p > 0.10$)。

したがって、実験授業直前における事前知識の理解については実験群、逐次解決群、統制群とも差はないと言える。

表 5-6 : 電流の基礎事項における各群の平均と標準偏差

	実験群	逐次解決群	統制群
N	34	33	34
X	30.26	29.33	30.26
S D	6.28	7.13	6.38

表 5-7 : 角変換後の電流の基礎事項における各群の平均と標準偏差

	実験群	逐次解決群	統制群
N	34	33	34
X	73.72	72.74	74.70
S D	14.05	16.45	14.75

表 5-8 : 分散分析表

要因	平方和	自由度	平均平方	F
条件	34.558	2	32.279	0.142 n.s.
誤差	22354.50	98	228.11	
計	22419.05			$p = 0.868 > 0.10$

2-4-3 ポストテスト

このテストは実験授業を3つの群に対して実施し、次に授業2によりオームの法則などの学習を済ませた生徒に実施した。

(1) オームの法則についての問題

問題は単純回路，直列回路，並列回路についてオームの法則を用いて電流・電圧などを算出することを求める問題である（資料5-4(3),(4)参照）。なお，1問1点，13問の問題である。表5-9は，各群の平均値と標準偏差を示したものである。データより天井効果が認められるため，分布の正規化のためにデータに角変換を施す（表5-10）

母分散の一様性を検定する（バートレットの検定）。

$$B = 2.049 < \chi^2_2(0.05) = 5.991$$

したがって，有意水準5%で母分散は等しいと仮定してよい。

次に，ここでの被験者の得点を特性値，教研式学力の得点を共変量として共分散分析をおこなう。水準間の検定の結果（表5-11），

$$F_0 = 0.110 < F(2.97; 0.05) = 3.072$$

となり，有意でない（ $p = 0.896$ ）。

以上より，ポストテストでの3群のオームの法則についての理解には差がないといえる。

表 5-9 : オームの法則の問題における各群の平均と標準偏差

	実験群	逐次解決群	統制群
N	34	33	34
X	9.38	9.27	9.12
S D	3.19	3.85	4.15

表 5-10 : オームの法則の問題における各群の平均と標準偏差

(角変換後のデータによる)			
	実験群	逐次解決群	統制群
N	34	33	34
X	60.26	60.46	59.57
S D	17.25	20.43	22.15

表 5-11 : 授業方法による各群間の差の検定

共変量 : 教研式学力の得点への回帰により修正				
要因	平方和	自由度	平均平方	F 0
条件	55.06	2	27.532	0.110 n.s.
誤差	24310.04	97	250.619	
計	24356.11	99		p=0.896 > 0.10

(2) 電流モデルについての調査 《選択肢による》

この調査問題は4章で示した交通流モデルの調査問題と同じである(資料5-4(1), (2)参照)。授業中はこうした回路のイメージを扱うことなく、数値で電流モデル(交通流モデルや科学的モデル)を予想している。したがってこの問題は一種の転移問題として機能しているといえよう。

表5-12は、実験群、逐次解決群、統制群の群ごとに科学的モデルとそれ以外のモデル(交通流モデル、その他)の人数を集計したものである。 χ^2 検定の結果、人数の偏りは有意である($\chi^2(2) = 28.935, p < 0.001$)。

そこで、残差分析をおこなった。表5-13にみられるように、逐次解決群、統制群では科学的モデルを構成する被験者が少なく、実験群では科学的モデルを構成する被験者が多いことが示された。

これまでの、条件が各群で等しかったことから、再構造化の方法が有効であ

と言える。一方こうした指導を何もしなかった統制群と、逐次群は、差があまり大きくないと言える。

表 5-12：各群による科学的モデルとその他のモデルの人数

	実験群	逐次解決群	統制群	計
科学的モデル	20	6	1	27
その他	14	27	33	74
計	34	33	34	101

表 5-13：調整された残差

	実験群	逐次解決群	統制群
科学的モデル	5.2**	-1.4†	-3.8**
その他	-5.2**	1.4†	3.8**

2-4-4 遅延テスト

遅延テストは、ポストテスト実施4ヶ月後、また中学2年生の電磁気学の領域の学習がすべて終了した後約3ヶ月後に実施したものである。この遅延テストだけは被験者が中学3年生になり、学級編成後におこなったテストである。したがって、全学級（5クラス）にこのテストを実施した。その上で2年生の時実験群だった生徒、逐次解決群だった生徒、統制群だった生徒を選び出してその結果を比較している。なお、ここでは資料5-5(4)の分析は省略した。

(1) オームの法則についての問題

表5-14は、各群の平均値と標準偏差を示したものである。調査問題はポストテストで用いた問題と同じ形式で、数値のみが異なる。なお、1問1点で13問からなることもポストテストのオームの法則の問題と同様である（資料5-5(1)参照）。

母分散の一樣性を検定する（バートレットの検定）。

$$B = 0.956 < \chi^2_2(0.05) = 5.991$$

有意水準 5 % で、母分散は互いに等しいと仮定してよい。

次に、この問題の得点を特性値、教研式学力の得点を共変量として共分散分析をおこなう。水準間の検定の結果（表 5 - 1 5）,

$$F_0 = 0.126 < F(2.97; 0.05) = 3.072$$

となり、有意ではない ($p = 0.882$)。

したがって遅延テストにおけるオームの法則についての成績は、直後テストに比べて、1.5～2.1 点下がっているが、3 つの群間での差はないといえる。

表 5 - 1 4 : オームの法則の問題における各群の平均と標準偏差

	実験群	逐次解決群	統制群
N	34	33	34
X	7.24	7.48	7.64
S D	3.56	3.73	4.20

表 5 - 1 5 : 授業方法による各群間の差の検定（遅延テスト）

共変量：教研式学力の得点への回帰により修正				
要因	平方和	自由度	平均平方	F 0
条件	2.21	2	1.11	0.126 n.s.
誤差	853.54	97	8.799	
計	855.76	99	$p = 0.882 > 0.10$	

(2) 電流モデルについて 《数値と明るさの予想による》

この調査問題は単純回路に比べて直列回路、並列回路での豆電球の明るさと電流の大きさを予想するというものである。抵抗の値を指定していないので生徒が自分でその値を特定しないかぎり、オームの法則を用いて予想するというこ

とはできない。各回路を流れる電流のイメージを質問するための問題である(資料5-5(2),(3)参照)。なお、実験授業をおこなったとき、実験群と逐次解決群に対して用いた3つの課題はこうした電流の流れるイメージを質問する形のものであった。つまりここで用いる調査問題には実験群と逐次解決群の生徒は一度は授業中に触れている。一方統制群は、先に述べたようにこれらの課題を学習していない。

表5-16は、各群の平均値と標準偏差を示したものである。標準偏差の大きさがかなり異なることから、3つの群のちがいは、分散の差に表れているとみて、母分散の一致性をバートレットの方法により検定する。

$$B = 15.85 > \chi^2_2(0.05) = 5.991$$

となり、有意である。

したがって、特に実験群での電流モデルに対する考えには幅があるのに対して、逐次解決群、統制群では、電流モデルに対する考えが集中する傾向が示唆される。

表 5-16 : 電流モデルの問題における各群の平均と標準偏差

	実験群	逐次解決群	統制群
N	34	33	34
X	3.91	2.36	2.79
S D	3.49	1.75	2.27

(3) 電流モデルについて遅延テストで実験群、逐次解決群、統制群で分散の差があることについての検討

(2)で見たように、分散の差が有意であることはわかったが、その意味はまだ不明である。これについて、続いて分析する(資料5-5(2),(3)参照)。

この問題は11の小問(1問1点)からできていた。そこで得点0~5点を下位得点、6~11点を上位得点として、それぞれに属する生徒数を各群ごとに

集計したものが表 5 - 1 7 である。

表 5 - 1 7 : 各群による上位得点者数と下位得点者数 (人)

	実験群	逐次解決群	統制群
上位得点	10	1	3
下位得点	24	32	31
計	34	33	34

この中から、実験群と逐次解決群、実験群と統制群、逐次解決群と統制群をそれぞれ取りだし、直接確率計算をおこない各群ごとの母比率の差を検定した。

① 実験群と逐次解決群

この 2 つの群について上位得点と下位得点を取った生徒数の母比率について直接確率計算をおこなった結果、人数の偏りは有意である（両側検定： $p = .006 < .01$ ）。したがって授業方法と電流モデルの得点には関連性があるといえる。

② 実験群と統制群

この 2 つの群について上位得点と下位得点を取った生徒数の母比率について直接確率計算をおこなった結果、人数の偏りは有意傾向である（両側検定： $p = .062 < .10$ ）。したがって授業方法と電流モデルの得点には関連性があるといえる。

③ 逐次解決群と統制群

この 2 つの群について上位得点と下位得点を取った生徒数の母比率について直接確率計算をおこなった結果、人数の偏りは有意ではない（両側検定： $p = .614 > .10$ ）。したがって逐次解決による課題の学習の効果は、それをしない場合と変わらないといえる。

2 - 4 - 5 考察

ここでは、以下 3 点について考察する。

第 1 には再構造化の方法の評価について。

第2に，実験群に比べて，逐次解決群と統制群のポストテスト，遅延テストの結果はともに低く，この2つの群には差がないこと。

第3に，実験群の生徒のうち，ポストテストで科学的モデルを選択したのも，遅延テストで交通流モデルを選択した生徒がいること。すなわち，生徒のうち何人かは科学的モデルを構成しても交通流モデルにもどってしまうこと。

(1) 再構造化の方法は，オームの法則に関する問題では他の2つの群と比べて差はないが，電流モデルについては効果があることについて

結果の節で述べたように，予備調査とプレテストでは，3群に差がないことから，実験授業以前の条件は等しいと見なすことができる。ポストテストと遅延テストでは，3群の間で差が認められる。3つの群間での要因の相違は実験授業での授業の内容と方法の違いだけであるので，こうしたポストテストと遅延テストでの差は，実験授業で生徒がどのような指導を受けたかによる影響と考えられる。

さて，ポストテスト，遅延テストは，2つの大きな問題からなる。1問目はオームの法則に関する問題であり，2問目は電流モデルについてである。

① オームの法則について

ポストテスト，遅延テストでは3つの群間でオームの法則に関する計算の問題の結果には差がない。ただし，遅延テストの平均点はポストテストより2点前後低い。約4ヶ月の間に計算の方法を忘れていた生徒がいると考えられる。

② 電流モデルについて

これについてはポストテストでは実験群の正解者数が他の2群に比べ有意に多い。また逐次解決群と統制群に有意差がない（表5－12）。

次に遅延テストでも同様に，上位得点者数が実験群は他の2群より有意に多く，逐次解決群と統制群に有意差がない（表5－17）。

以上より，再構造化の方法は，オームの法則の問題についての得点には影響しないが，電流モデルを転換する，すなわち交通流モデルを科学的モデルに転

換する事については有効であることが明らかになった。

(2) 逐次解決群と統制群の結果に差がないことについて

ポストテスト、遅延テストでの電流モデルについての結果を比較すると、逐次解決群と統制群は、実験群に比べて低い。そして逐次解決群と統制群を比較すると母比率の差は有意ではない。

また、遅延テストでの電流モデルについて問題でも同様であった。

従来型の指導により交通流モデルが構成されてしまうとき、これは場合によっては、生徒が実験を経験しなかったのではないか、あるいは教師が実験を授業で行わなかったのではないか、という点が疑われるが、そうではないことを示している。

すなわち、いくら実験事実を見ても、この交通流モデルは事実を見ただけで転換するようなものではなくて、一切こうした課題を学習しなかった場合と逐次解決型で学習した後のテストで有意差がない。このことは3つの課題あるいは実験事実を一貫した見方で捉える学習方略を持っている生徒のみが科学的モデルを構成できることを示している。そして逐次解決群と統制群の結果及び2章、4章の調査結果はこうした学習方略を持った生徒はほとんどいないことを示していると考えられる。

従来の学習指導は、多くの実験事実を生徒に見せ、実験を体験させることに重点を置いてきた。しかし本研究の結果は、単に実験をすればよいとか、実験を見ればよいというものではない。概念形成においては、教師は生徒が持つ概念間のリンクを作り上げるように支援する事が重要であることを示していると言えよう。そして本研究で提案している再構造化の方法はこの点において有効であると考えられる。

(3) 交通流モデルにもどってしまうことについて

実験群の遅延テストを比較すると、実験群では科学的モデルに近い考えを持っている生徒が逐次解決群、統制群より有意に多い事が分かる。しかし、ポス

トテストから遅延テストにいく過程で交通流モデルへもどっている生徒がいる（15人）。このことは通常の授業では交通流モデルが構成されやすい事、同時に交通流モデルは科学的モデルに転換するのにきわめて難しいモデル（概念）であり、構成主義の立場からいろいろな学習領域で示されてきたプレコンセプションと同様に、転換しにくいという特徴が明らかになった。

2-5 論議

考察で見たように、再構造化の方法が交通流モデルを科学的モデルに転換するに有効であることが分かった。ところで、逐次解決群、統制群の生徒はオームの法則については、実験群と差がない。このことは、逐次解決群と統制群の生徒が持っている知識、すなわちオームの法則を用いて計算問題を解くという知識と電流回路について交通流モデルというイメージを持っているという矛盾した状態が、同時に1人の生徒の中で起こっていること、すなわちこの2つの知識が乖離した状態で存在している可能性を示唆している。

私たちは本稿で明らかにしようとしたことは、こうした知識同士を再構造化するための指導方法の検討であった。

実験群について見るとオームの法則について解くことができると同時に科学的モデル、あるいはそれに近い考えを持っている生徒の数が、他の2つの群の生徒より多いことは明らかである。しかしながら、このことがオームの法則について計算できる知識と、科学的モデルをイメージできることのあいだにリンクがあること、あるいは再構造化が起こったかどうかということの保証にはなり得ない。そこで、概念の再構造化が起こったかどうか、もし再構造化されたとすると、それはどこで起こったかについて以下で検討する。

遅延テストではポストテストほど科学的モデルを持つ生徒と交通流モデルを持つ生徒の差が3群間で大きくない。しかし表5-17で見たように電流モデルに関する問題の上位得点の生徒数には差があり、実験群が有意に高い。表5-17の実験群の上位得点者10人について、この一連の実験での各テスト、

授業の様子をまとめたものが表 5－18 である。

表 5－18：交通流モデルから科学的モデルへの転換

：上位群（遅延テスト 11 点満点中 6～11 点を取った生徒）の 10 人

パターン	生徒番号	2/16	2/16	2/17	3/8	7/7
		再構造化の方法による実験授業			電流モデルに関する問題	
		第1段階	第2段階	第3段階	ポストテスト	遅延テスト
					選択肢	数値予測(x/11)
a	1	交通流	○	○	○	9
d	2	〃	×	×	その他	8
c	3	〃	×なし	×	○	11
d	4	〃	×	×	交通流	8
d	5	〃	×なし	×なし	その他	6
d	6	〃	×	○	○	6
d	7	〃	×	×	その他	9
b	8	〃	×なし	○	○	11
a	9	〃	○	○	○	9
d	10	〃	×	×	その他	8

○：科学的モデル，交通流：交通流モデル，なし：記載なし

表 5－18 より再構造化の第 1 段階では，この 10 人が全員交通流モデルを構成していることが分かる。彼らは遅延テストで上位得点を取っているがどこで，交通流モデルから科学的モデル，あるいは科学的モデルに近い考えへと転換したかを以下分析する。

パターン a

生徒 1， 9：再構造化の第 1 段階のあと一度目の実験をおこない豆電球の明るさを確認した。この二人はこの段階で交通流モデルを修正して以後科学的モデルを示している。

パターン b

生徒 8：この生徒は再構造化の第 2 段階では予想を，途中から記入していない。書くことができなくなったと考えられる。しかし第 3 段階以後，すべてについて科学的モデルを示し，またオームの法則に関する問題でも全て正解を記入している。第 2 段階から第 3 段階になるところで，考えを修正して，再構造化していると考えられる。

パターン c

生徒 3：この生徒は再構造化の授業の第 3 段階まででは科学的モデルを書くことができなかった。特にパターン b の生徒と同様に第 2 段階では，予想が未記入であった。しかし実験授業後，オームの法則を学習してポストテストの時には科学的モデルを示している。授業後に考えを修正して，知識の再構造化をしていると考えられる。

パターン d

その他の生徒：以上のどれでもないが再構造化の授業で直列回路だけ，あるいは並列回路だけ交通流モデルから科学的モデルへと修正していった生徒たちである。

以上 4 つのパターンから考えられることは，各パターンの生徒ともに再構造化の授業の中で自分の考えを修正し，それがある程度定着していたことが分かる。

ところで，もう少し厳密にパターン a～d の生徒を見ると，遅延テストで 11 点を取り完全に正しい答えをだしたのは 2 人である（生徒 8：パターン b，生徒 2：パターン c）。この点から考えると，再構造化が生起した生徒は先の 2 人だけであるといえる。他の生徒は遅延テストで上位得点を得たが 11 点を獲得できなかった。パターン a と d の生徒におきた理解の変化は，電流・電圧，

その統合的理解（授業1）についての知識と実験授業で扱った3つの課題に関する知識をもとに、その知識の体系を質的に変化させるという再構造化というより、付加ないしは累加であったといえよう。

ところで、私たちは概念転換について、構成主義が従来の見方からガンストンの考えへ推移していることを見てきた（1章 1・1 概念転換についての研究の系譜参照）。そこでは、ガンストンは概念転換には転換と付加という2つがあることを示していた。そして、本章の実験結果ではこの2つが、再構造化の方法の授業を受けた子ども達に生起している。

もちろん、もっと転換を増やしたいという課題はあるが、再構造化の方法が有効であることを示したものと考ええる。

2-6 研究のまとめ

- (1) 再構造化の方法は、交通流モデルを科学的モデルに転換するために有効であること。
- (2) 交通流モデルは電流・電圧などに関する基礎的な学習をすると容易に構成される。しかし一度交通流モデルができるとこれを修正することは難しい。
- (3) 交通流モデルを科学的モデルに転換するにあたって、生徒がそれに関する実験を体験するだけでは効果がない。それは実験をおこなわなかった時と同程度である。今まで交通流モデルの存在は知られていなかったが、従来の指導方法では、交通流モデルを科学的モデルに転換するに効果がなかった理由はここに由来すると考えられること。
- (4) 再構造化の方法が科学的モデルを構成させる唯一の方法ではないだろうが、授業において実験して確認した事実間に整合性のある結びつき、あるいは統合を作り上げるような指導方法の開発が求められること。再構造化の方法は、その開発に1つのヒントを与えるものになると考えられる。

◆ 実験・調査のための問題

資料 5－1：3つの連続した課題（第1段階，第2段階用）(1)～(3)

資料 5－2：3つの連続した課題（第3段階用）

資料 5－3：プレテスト問題(1)～(2)

資料 5－4：ポストテスト問題(1)～(4)

資料 5－5：遅延テスト問題(1)～(4)

資料 5-1 : 3つの連続した課題 (第1段階, 第2段階用) (1)

課題 1

豆電球と乾電池を使った回路について次の各問いに答えなさい。
なお解答はみんな、回答欄に書いて下さい。

豆電球1個と、乾電池1個から図(図0)のような回路を作った。A点の電流の大きさをはかったところ 0.6 [A] であった。次に同じ豆電球をいくつか用意して図1、図2、図3のような回路を作った。

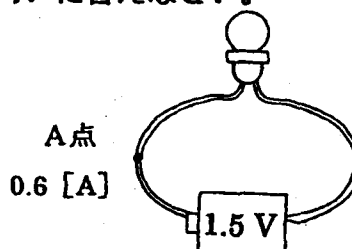


図0 単純回路

1. 右の図1の2つの電球 a、b の明るさは、上の図0の豆電球の明るさと比べてどうか。それぞれについて次のア～オの中から選んで記号を書きなさい。

- ア、同じ明るさ
- イ、もっと明るい
- ウ、暗い
- エ、つかない
- オ、その他

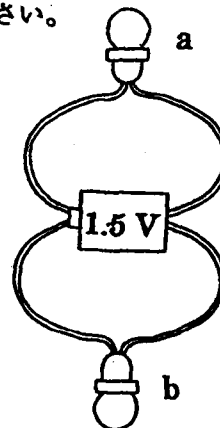
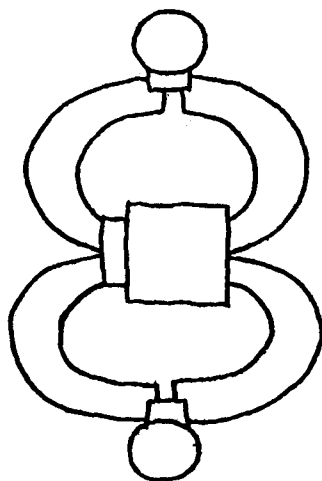


図1 分離型回路

a	b
---	---



年 () 組 () 番 氏名 ()

資料 5-1 : 3つの連続した課題 (第1段階, 第2段階用) (2)

課題 2

豆電球と乾電池を使った回路について次の各問いに答えなさい。
なお解答はみんな、回答欄に書いて下さい。

豆電球1個と、乾電池1個から図(図0)のような回路を作った。A点の電流の大きさをはかったところ0.6 [A] であった。次に同じ豆電球をいくつか用意して図1、図2、図3のような回路を作った。

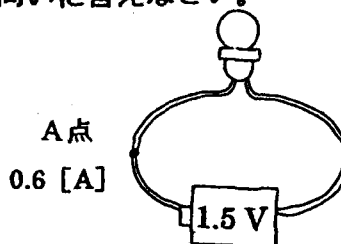


図0 単純回路

2. 下の図2の2つの電球c、dの明るさは、上の図0の豆電球の明るさと比べてどうか。それぞれについて次のア～オの中から選んで記号を書きなさい。

- ア、同じ明るさ
- イ、もっと明るい
- ウ、暗い
- エ、つかない
- オ、その他

()

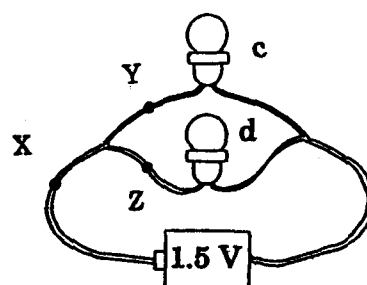
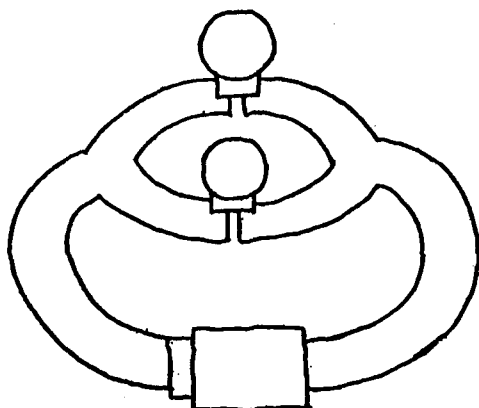


図2 並列回路

c	d
---	---



年 () 組 () 番 氏名 ()

課題 3

豆電球と乾電池を使った回路について次の各問いに答えなさい。
なお解答はみんな、回答欄に書いて下さい。

豆電球1個と、乾電池1個から図(図0)のような回路を作った。A点の電流の大きさをはかったところ 0.6 [A] であった。次に同じ豆電球をいくつか用意して図1、図2、図3のような回路を作った。

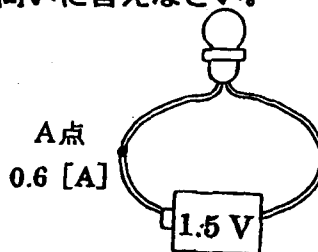


図0 : 単純回路

3. 右の図3の2つの電球e、fの明るさは、上の図0の豆電球の明るさと比べてどうか。それぞれについて次のア～オの中から選んで記号を書きなさい。

- ア、同じ明るさ
- イ、もっと明るい
- ウ、暗い
- エ、つかない
- オ、その他

()

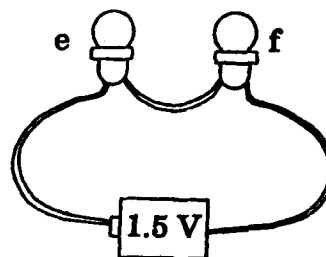
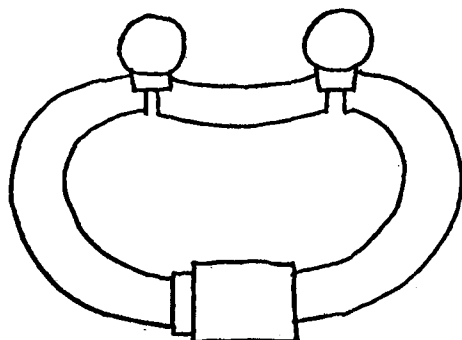


図3 直列回路

e	f
---	---



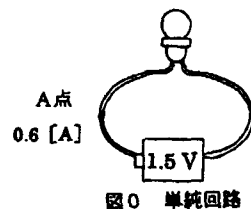
年 () 組 () 番 氏名 ()

資料 5 - 2 : 3 つの連続した課題 (第 3 段階用)

予想 3

豆電球と乾電池を使った回路について説明しなさい。

豆電球 1 個と、乾電池 1 個から図 (図 0) のような回路を作った。A 点の電流の大きさをはかったところ 0.6 [A] であった。次に同じ豆電球をいくつか用意して図 1、図 2、図 3 のような回路を作った。



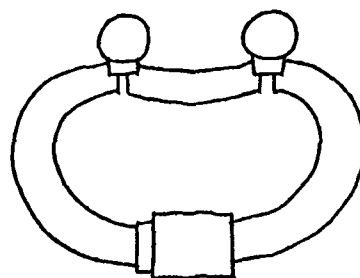
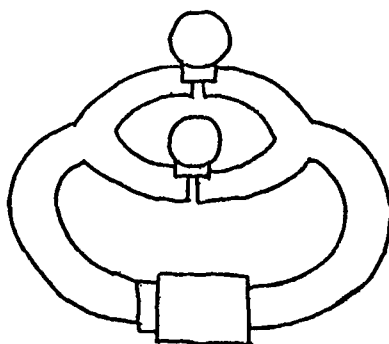
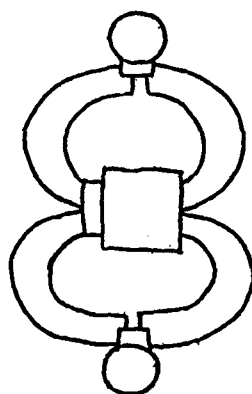
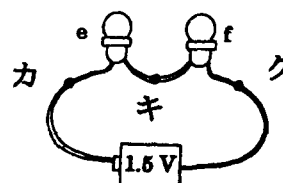
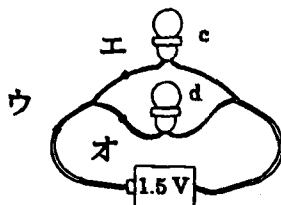
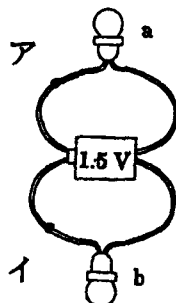
実験結果

図 1 の豆電球 a と b ……図 0 の電球と同じ明るさ

図 2 の豆電球 c と d ……図 0 の電球と同じ明るさ

図 3 の豆電球 e と f ……図 0 の電球より暗い

これを説明するために電流の流れを粒でかいて説明してみよう。図 0 の場合の電流の流れを見本にしよう。また、図 1 ~ 3 の各点の電流の大きさを数値で予想しよう。



ア	イ	ウ	エ	オ	カ	キ	ク

年 () 組 () 番 氏名 ()

資料 5 - 3 : プレテスト問題(1)

1 右の図の回路図について、次の問いに答えなさい。

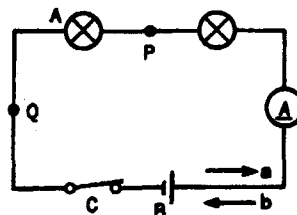
(1) 右の図で、A～Cの電気用図記号は何を表しているか。
それぞれの名称を書きなさい。

(2) 電流はa、bどちらの方向に流れるか。

(3) 右の図で、電流計は 100[mA]を示していた。

このとき、図中のPの位置に別の電流計を入れると、何
[mA]を示すか。また、図記号のAを流れる電流は何[mA]
になるか。それぞれ、数値を答えなさい。

(4) 右の図で、電流計に流れる電流を I_1 、P点、Q点を流れる電流をそれぞれ、 I_2 、 I_3 とすると、
 I_1 、 I_2 、 I_3 の間にはどのような関係が成り立つか。関係を式で表しなさい。



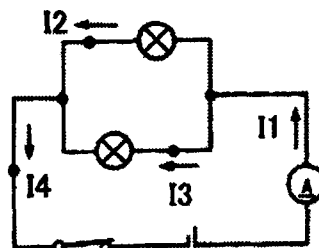
2 右の図のような回路に流れる電流について、次の問いに答えなさい。

(1) 2つの豆電球を右の図のようにつないだ回路を何という
か。

(2) 右の図で、電流の大きさ $I_1=300$ [mA]、 $I_2=180$ [mA]のとき、
 I_3 と I_4 の大きさはそれぞれ何[mA]か。

(3) 次の①～③の電流の大きさについて、それぞれどんな
関係が成り立つか。それを式にして表しなさい。

① I_1 と I_4 ② I_1 と(I_2 と I_3) ③ (I_2 と I_3)と I_4



3 下の図1のような回路に流れる電流の大きさを調べた。図2と図3はそのとき使った電流計の一部を表したものである。次の問いに答えなさい。

図1

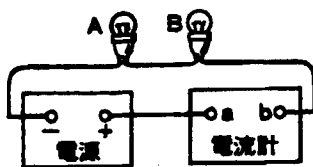


図2

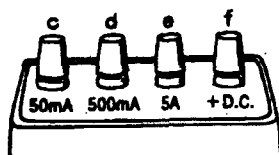
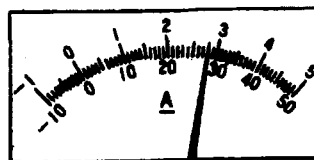


図3



(1) 図1のaは、図2のc～fのどの端子にあたるか。

(2) はかろうとする電流の大きさの予想がつかないとき、図1のbは、図2のc～fのどの端子につなげばよいか。

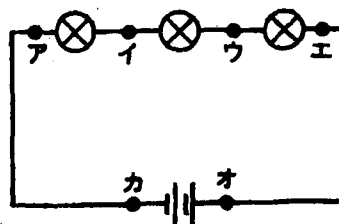
(3) 図1のbをdにつないだとき、電流計の針が図3のようになった。電流の大きさを単位をつけて答えなさい。

(4) この回路では、電流はA→B、B→Aのどちらの方向に流れているか。

資料 5 - 3 : プレテスト問題(2)

4 右の図のような回路の豆電球にかかっている電圧について、次の問に答えなさい。

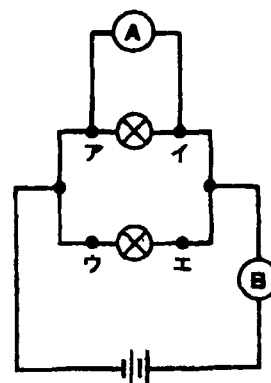
- (1) 電圧計は回路にどのようにつなげばよいか。
- (2) 電源には 1.5[V] の乾電池を 2 個使った。電源の電圧は何[V] か。
- (3) 電圧が E (ア・イ) は、1.0[V], E (イ・ウ) は 1.2[V] であった。次の①～④の電圧はそれぞれ、何[V] か。



- ① E (ウ・エ) ② E (ア・ウ) ③ E (イ・エ) ④ E (ア・エ)
- (4) 電圧 E (オ・カ) を E, 電圧 E (ア・イ), E (イ・ウ), E (ウ・エ) をそれぞれ, E_1 , E_2 , E_3 とするとき, E と E_1 , E_2 , E_3 のあいだにはどんな関係があるか。式で表しなさい。

5 右の図のような回路について、次の各問いに答えなさい。

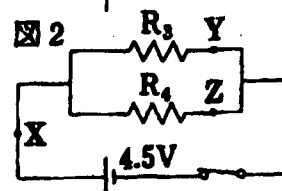
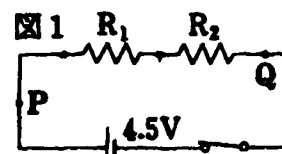
- (1) 図の A, B は電流計と電圧計を表している。電流計は A, B のどちらか。
- (2) 電源の電圧をはかったところ、3.0[V] を示した。図の E (ア・イ), E (ウ・エ) の電圧は、それぞれ何[V] になるか。
- (3) 図の電源の電圧を E, E (ア・イ) を E_1 , E (ウ・エ) を E_2 とするとき E, E_1 , E_2 の間にはどんな関係があるか。その関係式を書きなさい。



6 右の図の回路について、次の①～⑥にあてはまる数値を記入しなさい。

ただし、抵抗の記号を R で表し、それぞれに小さな番号をつけて、これを区別することにする。

- (1) 図1の P 点の電流は、0.3[A] であり、また、 R_1 の電圧は 1.0[V] であった。 R_2 にかかる電圧は、(①) [V] であり、 R_2 を流れる電流は (②) [A] である。



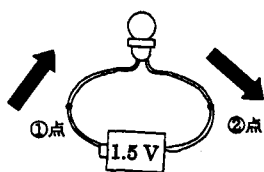
- (2) 図2の X 点の電流は 0.7[A]、Z 点の電流の大きさは 0.3[A] であった。 R_3 にかかる電圧と電流はそれぞれ (③) [V] と (④) [A] であり、一方、 R_4 にかかる電圧と電流はそれぞれ (⑤) [V] と (⑥) [A] である。

資料 5 - 4 : ポストテスト問題(1)

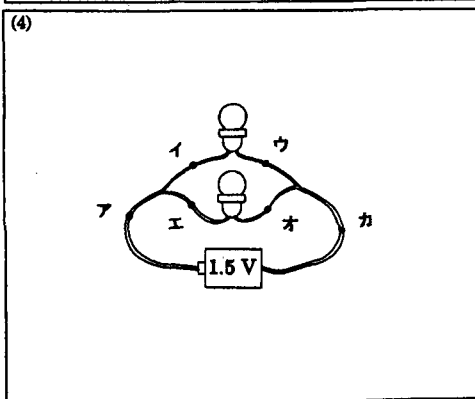
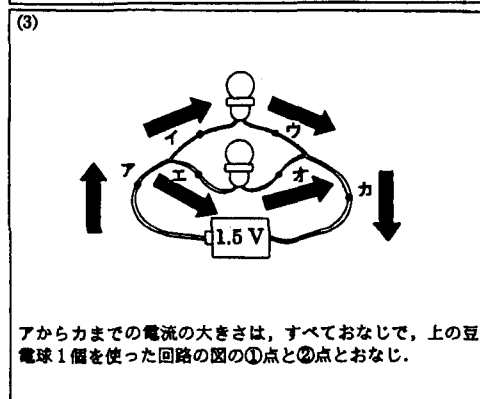
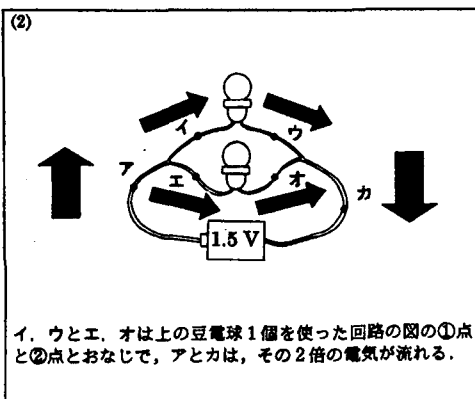
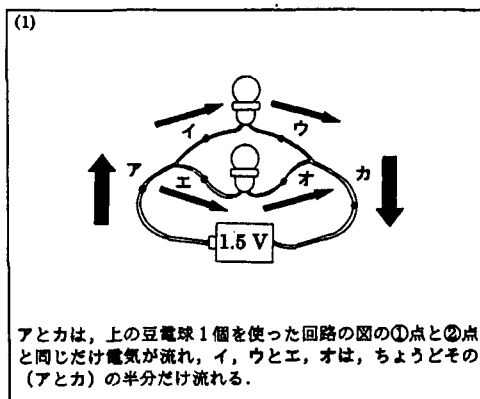
() 年 () 月 () 日

2 豆電球を 2 つつないだ場合 (並列回路) について, 質問します.

1 番の問題の, 豆電球が 1 つだけつながっている回路での, 電流の流れ方は, 下の図のようになっていることが, わかっています.



では, 豆電球を下図のように 2 つ, つないだときの電流のようすを表しているのはどれでしょうか. (1)~(3)の中から選びなさい. あなたの考えている図がないときは(4)のところに, あなたの考えを書きましょう.



答 え	選んだわけを書きましょう

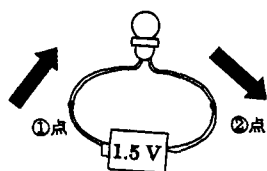
() 年 () 組 () 番 氏名 ()

資料 5 - 4 : ポストテスト問題(2)

() 年 () 月 () 日

3 豆電球を2つつないだ場合(直列回路)について、質問します。

1 番の問題の、豆電球が1つだけつながっている回路での、電流の流れ方は、下の図のようになっていることが、わかっています。



では、豆電球を下図のように2つ、つないだときの電流のようすを表しているのはどれでしょうか。(1)～(3)の中から選びなさい。あなたの考えている図がないときは(4)のところに、あなたの考えを書きましょう。

(1)

ア、イ、ウともに電流の大きさは等しいが、その大きさは、上の豆電球1個を使った回路の図の①点と②点の半分になる。

(2)

ア、イ、ウともに電流の大きさは等しいが、その大きさは、上の豆電球1個を使った回路の図の①点と②点とおなじだけ流れる。

(3)

ア、イ、ウとくにしたがって、電流の大きさはだんだん小さくなる。

(4)

答 え	選んだわけを書きましょう

() 年 () 組 () 番 氏名 ()

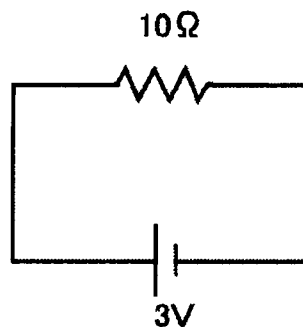
資料 5－4：ポストテスト問題(3)

オームの法則について、次の3つの回路でのいくつかの質問をします。解答はすべて解答らんに記入してください。計算の過程も書いて下さい。

(1) 図のように、 $10\ [\Omega]$ の抵抗に、 $3\ [V]$ の乾電池をつないで、回路を作った。このとき、

- ① 抵抗にかかる電圧は何 $[V]$ ですか。
- ② 抵抗を流れる電流は何 $[A]$ ですか

.....
(解き方)

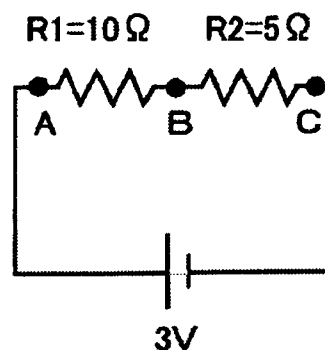


①	[V]	②	[A]
---	-----	---	-----

(2) 図のように $10\ [\Omega]$ の抵抗（これを R_1 とする）と、 $5\ [\Omega]$ の抵抗（これを R_2 とする）を直列につなぎ、 $3\ [V]$ の乾電池につないだ。このとき

- ③ 抵抗 R_1 を流れる電流は何 $[A]$ ですか。
- ④ 抵抗 R_1 にかかる電圧は何 $[V]$ ですか。
- ⑤ 抵抗 R_2 を流れる電流は何 $[A]$ ですか。
- ⑥ 抵抗 R_2 にかかる電圧は何 $[V]$ ですか。

.....
(解き方)

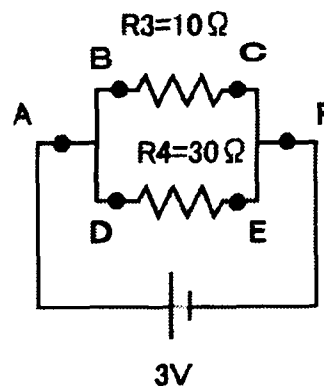


③	[A]	④	[V]	⑤	[A]	⑥	[V]
---	-----	---	-----	---	-----	---	-----

資料 5 - 4 : ポストテスト問題(4)

(3) 図のように $10\text{ }[\Omega]$ の抵抗(これを R_3 とする)と、 $30\text{ }[\Omega]$ の抵抗(これを R_4 とする)を直列につなぎ、 $3\text{ }[\text{V}]$ の電圧をかけた。このとき

- ⑦ 図の AF間にかかる電圧は何 $[\text{V}]$ になるか。
- ⑧ 抵抗 R_3 にかかる電圧は何 $[\text{V}]$ になるか。
- ⑨ 抵抗 R_3 を流れる電流は何 $[\text{A}]$ ですか。
- ⑩ 抵抗 R_4 にかかる電圧は何 $[\text{V}]$ になるか。
- ⑪ 抵抗 R_4 を流れる電流は何 $[\text{A}]$ ですか。
- ⑫ A点を流れる電流、 I_A の大きさは
何 $[\text{A}]$ ですか。
- ⑬ 抵抗 R_3 と R_4 を図のように並列につないだとき、
全体の抵抗 R を求めなさい。



(解き方)

⑦	$[\text{V}]$	⑧	$[\text{V}]$	⑨	$[\text{A}]$	
⑩	$[\text{V}]$	⑪	$[\text{A}]$	⑫	$[\text{A}]$	⑬ $[\Omega]$

2年 () 組 () 番 氏名 ()

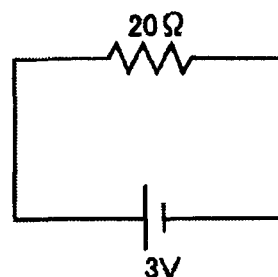
資料 5－5：遅延テスト問題(1)

次の問題は、『電流とそのはたらき』の中の、電流、電圧、抵抗、オームの法則と電力に関わる問題です。それぞれの問題を解いてください。問題はⅠ部、Ⅱ部、Ⅲ部からなっています。なお解答はすべて解答らんに書いてください。

Ⅰ部 オームの法則の問題（問題は①～⑬まで）

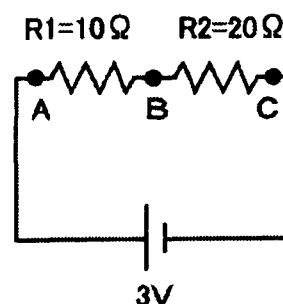
1 《単純回路の問題》図のように $20[\Omega]$ の抵抗に $3[V]$ の電池をつないで回路をつくった。このとき、

- ① 抵抗にかかる電圧は何[V]ですか。
- ② 抵抗を流れる電流は何[A]ですか。



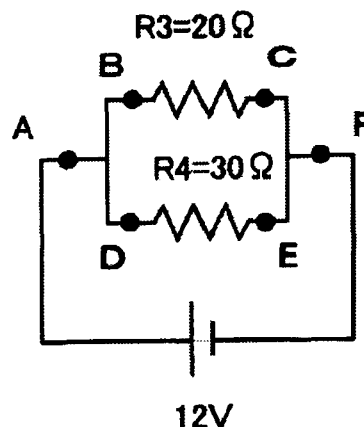
2 《直列回路の問題》図のように $10[\Omega]$ の抵抗(これを R_1 とする)と $20[\Omega]$ の抵抗(これを R_2 とする)を直列につなぎ、 $3[V]$ の電池をつないで回路をつくった。このとき

- ③ 抵抗 R_1 にかかる電圧は何[V]ですか。
- ④ 抵抗 R_1 を流れる電流は何[A]ですか。
- ⑤ 抵抗 R_2 にかかる電圧は何[V]ですか。
- ⑥ 抵抗 R_2 を流れる電流は何[A]ですか。



3 《並列回路の問題》図のように $20[\Omega]$ の抵抗(これを R_3 とする)と $30[\Omega]$ の抵抗(これを R_4 とする)を並列につなぎ、 $12[V]$ の電池につないだ。このとき

- ⑦ 図の AF 間にかかる電圧は何[V]になりますか。
- ⑧ 抵抗 R_3 にかかる電圧は何[V]ですか。
- ⑨ 抵抗 R_3 を流れる電流は何[A]ですか。
- ⑩ 抵抗 R_4 にかかる電圧は何[V]ですか。
- ⑪ 抵抗 R_4 を流れる電流は何[A]ですか。
- ⑫ A点を流れる電流 I_A の大きさは何[A]ですか。
- ⑬ 抵抗 R_3 と R_4 を図のように並列につないだとき、全体の抵抗(これを合成抵抗といいます)は何 $[\Omega]$ になりますか。



資料 5－5：遅延テスト問題(2)

Ⅱ部 電流の予想の問題（問題は①～⑪まで）

4 《電流の大きさ予想：その1》図1のように豆電球1つ(これを以下電球Xと呼ぶ)を電池(電圧不明)につないだ回路がある。豆電球の直前にある①点の電流の大きさが0.8[A]であった。

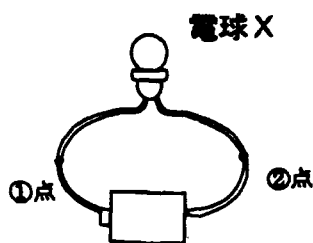


図1

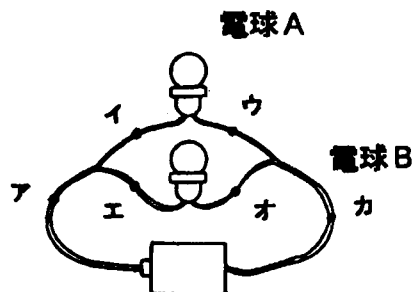


図2

このとき

- ① 図1の②点の電流の大きさは何[A]ですか。
- ② 図2の電球Aの明るさは図1の電球Xにくらべてどうですか。次の(1)～(3)から選びその記号を教えてください。
 - (1) 電球Xより電球Aは明るい。
 - (2) 電球Xと電球Aの明るさは同じ。
 - (3) 電球Xより電球Aは暗い。
- ③ 図2の電球Bの明るさは図1の電球Xにくらべてどうですか。次の(1)～(3)から選びその記号を教えてください。
 - (1) 電球Xより電球Bは明るい。
 - (2) 電球Xと電球Bの明るさは同じ。
 - (3) 電球Xより電球Bは暗い。
- ④ 図1の電流の大きさと比較して図2のア点の電流の大きさを予想してください。
- ⑤ 図1の電流の大きさと比較して図2のイ点の電流の大きさを予想してください。
- ⑥ 図1の電流の大きさと比較して図2のエ点の電流の大きさを予想してください。

資料 5－5：遅延テスト問題(3)

5 《電流の大きさ予想：その2》図1のように豆電球 1 つ(これを以下電球 X と呼ぶ)を電池(電圧不明)につないだ回路がある。豆電球の直前にある①点の電流の大きさが $0.8[\text{A}]$ であった。

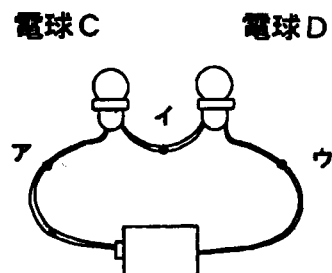


図 3

このとき

⑦ 図3の電球 C の明るさは図1の電球 X にくらべてどうですか。次の(1)～(3)から選びその記号を答えてください。

- (1) 電球 X より電球 C は明るい。
- (2) 電球 X と電球 C の明るさは同じ。
- (3) 電球 X より電球 C は暗い。

⑧ 図3の電球 D の明るさは図1の電球 X にくらべてどうですか。次の(1)～(3)から選びその記号を答えてください。

- (1) 電球 X より電球 D は明るい。
- (2) 電球 X と電球 D の明るさは同じ。
- (3) 電球 X より電球 D は暗い。

⑨ 図1の電流の大きさと比較して図3のア点の電流の大きさを予想してください。

⑩ 図1の電流の大きさと比較して図3のイ点の電流の大きさを予想してください。

⑪ 図1の電流の大きさと比較して図3のウ点の電流の大きさを予想してください。

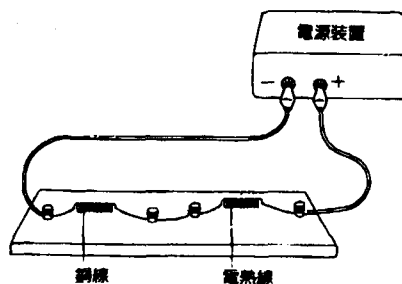
資料 5－5：遅延テスト問題(4)

Ⅲ部 電熱線や導線の焼き切れる方を予想する問題（問題は2問）

6 《電熱線と銅線に流れる電流：その1・直列の場合》

下の図のように、電源に電熱線と銅線を直列につなぎ電流を流した。電源の電圧を徐々に上げていくと、どちらのほうが先に赤くなり熱を発生するか。次の(1)～(3)の中から選び記号で答えなさい。また、それを選んだ理由を書いてください。

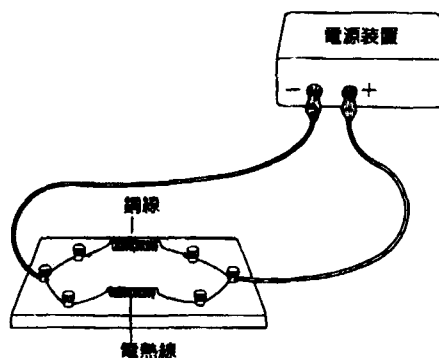
- (1) 電熱線の方が先に赤くなり熱くなる。
- (2) 銅線の方が先に赤くなり熱くなる。
- (3) 両方同時に赤くなり熱くなる。



7 《電熱線と銅線に流れる電流：その2・並列の場合》

下の図のように、電源に電熱線と銅線を並列につなぎ電流を流した。電源の電圧を徐々に上げていくと、どちらのほうが先に赤くなり熱を発生するか。次の(1)～(3)の中から選び記号で答えなさい。また、それを選んだ理由を書いてください。

- (1) 電熱線の方が先に赤くなり熱くなる。
- (2) 銅線の方が先に赤くなり熱くなる。
- (3) 両方同時に赤くなり熱くなる。



第6章 結 論

1 節 本研究で得られた成果

本研究では、従来の研究の中から、電気領域における3つの問題点に注目した。(1) 計算できることと、回路についてのイメージが結びつかないこと、(2) 電流と電圧の識別の難しさ、(3) モデル、アナロジーが機能しないこと、であった。

そして、これに対応するにあたり、科学概念形成の2つの立場を重視した。それは、概念転換、認知構造の分析と教材の構造である。

その上で、電気領域の中の、学習の初期の場ではなく、学習がすすんだ内容を、その対象とした。従来の研究が学習の初期を対象としている事が指摘されていたからである。

研究を進めるにあたっては、先ず学習の進展した内容における問題点を、授業と調査を繰り返す中で探った。その結果、「交通流モデル」の存在を明らかにした。次に、この交通流モデルを科学的モデルに転換するために、科学概念形成の2つの立場から方法を検討した。

そして、概念転換の立場からは、「再構造化の方法」を、そして、認知構造の立場からは、「統合的調和の方法」を、それぞれ提案し、学習の進展した内容における問題解決に努め、その有効性を明らかにした。

同時に、この過程が先行研究より取り上げた3つの問題への対策の一部になっていることを明らかにした。

すなわち、統合的調和の方法は、(2)の電流と電圧の識別の難しさへの対策であった。そして、再構造化の方法を使った授業過程は、定量的な電流についての学習よりも、定性的なイメージをつくることが要請されるプロセスとなるので、必然的に(1)の計算できることと、回路についてのイメージが結びつかないこと、への対応となった。一方、交通流モデルの生成についての考察から、(3)のモデル、アナロジーが機能していないのではなく、モデルの過適応（モデル

の限界を超えた使用)がその原因の一つであることを示した。

本研究で得られた結果の要約は下記の通りである。

第1章では、概念転換についての考え方と電気領域についての先行の諸研究を示すとともに、本研究の目的を述べた。また研究の方法を示した。

第2章では、調査によって、子どもが誤概念としての交通流モデルを構成していることを示した。次に交通流モデルを科学的モデルへ転換する方法、再構造化の方法を提案した。この過程で、交通流モデルと従来の構成主義者のいうプレコンセプションとの相違を明らかにした。

第3章では、子どもの認知構造の分析と教材の構造をもとにした学習論をもとに、統合的調和の方法を提案し、それが電流と電圧の識別に有効であることを明らかにした。

第4章では、小学校6年生から大学2年生までを被験者として、各学年の子どものうち、交通流モデルを持っている割合を調べ、学年別推移を検討した。その結果、中学2年生を境にこのモデルがほぼ単調に増加し続けていることを明らかにした。また、モデルの使い方についての問題点を指摘した。

第5章では、再構造化の方法を実験により検証した。その結果、この方法の有効性を明らかにした。

2 節 今後の課題

2-1 指導方法の検討について

本研究では、再構造化の指導方法が、逐次解決型で事実を見た場合や、あるいはこうした課題をまったく扱わなかった場合に比べて有効であることを確認した。しかしながら、第5章の遅延テストの分析で見たように、交通流モデルから科学的モデルへの転換とその定着は十分ではない。今後さらにこの転換と定着を目指す指導方法について検討を重ねていくことが必要である。

この交通流モデルの転換は、プレコンセプションの科学概念への転換と共通

点もあるが相違点もある。その異なる点は、授業がすすむにつれて構成されることにある。

したがって、交通流モデルを科学的モデルへ転換するには、事前の学習を如何に展開するかは、重要な点となるだろう。私たちは従来の授業の上に、再構造化の方法を実施した。交通流モデルの存在を前提としたのである。しかし、そうでない教授・学習課程もありえる。そもそも交通流モデルができないような指導の展開も論理的には存在する。交通流モデルに対する指導方法は一つとは限らないだろう。今後さらに指導方法について検討していきたい。

2-2 概念間のリンクを評価する方法開発の必要性について

概念同士のリンクの評価方法については、従来コンセプトマップなどが用いられてきた。しかし、本研究で検討してきたように、この学習領域では、計算ができることと、回路についてのイメージがリンクして機能しているかどうかについては、評価できない。コンセプトマップでも同じである。今後は新たな概念間のリンクを評価する方法の開発が必要であると考ええる。

2-3 授業の進行過程を評価する方法について

本研究では、学習については、状況主義の立場は取らないことを示している。しかし、この立場から提起されていることの一部、文脈、意義化、メタ認知の重要性については、授業を考えるときに用いる事を述べた。

ところで、こうした文脈、意義化、メタ認知について、刻々と生徒も、教師も変わる授業のなかで、これらをいかにとらえるか、そして制御するかという問題がある。

もちろん、多くの授業では教師は、生徒の間にある人間関係や、まなざしなどを通してこうした点を把握することができる場合があるが、いわば直観的なものである。こうした点をいかに記述するか、そしてこれを制御してゆくか、そうした方法の開発^(注6-1)が必用だと考える。

注6-1

こうした点については、既にいくつかの研究がある。例えば堀（堀,1998）は、認知的方略について検討する方法を提示している。また、ガンストーン (Gunstone,1994)は、メタ認知に関する目標を設定し、その結果がどうであるかを検討している。そのほか、状況主義の立場からは、エスノメソドロジーについて、それが認知過程における社会性などについて検討しているものはある。

謝 辞

この論文は、平成 10 年度より、兵庫教育大学大学院連合学校教育学研究科において取り組んだ電気領域における科学概念形成についての問題点の提起と、それを改善するための指導方略に関する研究をまとめたものです。

上越教育大学の戸北凱惟教授には、修士課程の学生時代から、ご指導をいただいただけでなく、この度の博士課程においても、あたたかい励ましとご指導を賜り、また研究に集中できるようにご配慮をいただきました。心より御礼申し上げます。

上越教育大学の渡辺隆教授、林康久教授、兵庫教育大学の山下伸典教授、佐藤光教授には、本研究をまとめるにあたって貴重な助言とご指導をいただきました。先生方からいただいたご指導は本研究をまとめる上で大きな力になりました。本当にありがとうございました。

山梨大学の堀哲夫教授には、当初より研究活動全般にわたり励ましをいただきました。そして貴重な助言をいただいたことに心より御礼を申し上げます。

この研究を始め、遂行するにあたり、山梨県山梨市立山梨南中学校の元校長奥山元久先生、幡野勝彦校長には、格別のご配慮をいただきました。また、調査実施にあたり、ご協力いただいた加納岩小学校岩下秀夫校長、湯本光子教諭、松里中学校桐原誠之教諭、山梨北中学校谷沢初美教諭、三枝敏明教諭、丹沢一浩教諭、春日居中学校中村宏樹教諭、勝沼中学校佐藤政幹教諭、都留市立東桂中学校渡辺敬子教諭、山梨県立都留高校石原高裕教諭、千葉県立小金高校大嶋一夫教諭に心より感謝申し上げます。そして、調査に協力してくれた小学校、中学校、高校、大学の生徒・学生みなさん、本当にありがとうございました。

また、山梨県山梨市立山梨南中学校の職員の皆様をはじめとする多くの方々に励まされ、支えられて今日に至ることができました。本当にありがとうございました。

最後に、あたたかく見守り、支えてくれた家族に心より感謝いたします。

2001 年 1 月

古屋 光一

文 献

赤堀侃司：科学概念の階層的構造表示，日本理科教育学会 41 回全国大会要項，54，1991.

安藤裕明・森藤義孝・中山迅：単純電気回路に関する小・中学生の考え方の再検討－事象面接方を通して－，科学教育研究，21(2)，114-125，1997.

Chanpagne, A. B., Klopfer, L.E., and Anderson, J.H.: Factors influencing the learning of classical mechanics, *American Journal of Physics*, 48(12), 1074-1079, 1980.

Cosgrove, M.: A study of science-in-the-making as students generate an analogy for electricity, *International Journal of Science Education*, 17(3), 295-310, 1995.

古屋光一・戸北凱惟：中学生の力と運動についての指導方法に関する研究，日本理科教育学会研究紀要，33(3)，91-100，1993.

Furuya, K.: A Study on the Teaching Strategy of Force and Motion: A method of exchanging the student's misconceptions with scientific knowledge, *Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, 1993.

Gunstone, R. F.: The Importance of Specific Science Context in the Enhancement of Metacognition, In Fensham, P. J., Gunstone, R. F. and White, R. T. (Eds.), *The Content of Science: A constructivist approach to its teaching and learning*, 131-146, The Falmer Press, 1994.

Hashweh, M. Z.: Toward an explanation of conceptual change, *European Journal of Science Education*, 8(3), 229-249, 1986.

堀哲夫：問題解決能力を育てる理科授業のストラテジー－素朴概念をふまえて－，明治図書，1998.

家野等：科学概念の形成と理科教育，日本理科教育学会編「理科教育学講座 第2巻 発達と科学概念形成」，233-255，東洋館出版社，1992.

稲垣成哲：授業変革のためのシナリオ，湯澤正通編著「認知心理学から理科教育への提言」，62-79，北大路書房，1998.

市川英樹・戸北凱惟・堀 哲夫：電流回路のモデルによる中学生の認知的方略の育成，日本理科教育学会研究紀要，36(2)，21-31，1995.

Joshua, S. and Dupin, J.J.: Taking into account student conception in structural strategy: An example in physics, *Cognition and Instruction*, 4(2), 117-135, 1987.

栗田一良：児童からみた電気教材の問題点，理科の教育，29(2)，14-19，1980.

レイブ，J.・ウェンガー，E.（佐伯胖訳）：状況に埋め込まれた学習－正統的周辺参加－，産業図書株式会社，1993.

Métiooui, A., Brassard, C., Levasseur, J. and Lavoie, M.: The persistence of student's unfounded beliefs about electric circuits: the case of Ohm's law, *International Journal of Science Education*, 18(2), 193-212, 1996.

Millar, R. and Beh, K. L.: Students' understanding of voltage in simple parallel electric circuits, *International Journal of Science Education*, 15(4), 351-361, 1993.

Millar, R. and King, T.: Student's understanding of voltage in simple series circuit, *International Journal of Science Education*, 15(3), 329-349, 1993.

森藤義孝：構成主義の学習論に基づく理科学習指導とその問題，理科の教育，49(12)，12・15，2000．

森本信也・坂本憲明：中学生の電流と電圧概念に関わるプロダクションシステムの分析とその意義について，日本理科教育学会研究紀要，32(2)，71-80，1991．

西川純・冬野英二郎：科学概念の獲得／定着と文脈依存性に関する研究－中学生の電気概念の実態をもとに－，科学教育学研究，20(2)，98-112，1996．

Novak, J.D.: *A Theory of Education*, Cornell University Press, 1977.

オズボーン，R．・フライバーグ，P．（森本信也・堀哲夫訳）：子ども達はいかに科学理論を構成するか 理科の学習論，東洋館出版社，1988．

オースベル，D．P．（吉田章宏・松田彌生訳）：教室学習の心理学，80・112，黎明書房，1984．

Paris, S. G. and Winograd, P.: How Metacognition Can Promote Academic Learning and Instruction, In Jones, B. F. and Idol, L. (Eds.), *Dimension of Thinking and Cognitive Instruction*, 15-51, Lawrence Erlbaum Associates, 1990.

Posner, G.J., Strike, K. A., Hewson, P. W., and Gertzog, W. A.: Accommodation of a Scientific Conception; Toward a Theory of Conceptual Change, *SCIENCE EDUCATION*, 66(2), 211-227, 1982.

佐伯胖：わかり方の根源, 小学館創造選書, 1984

繁榊算男：ベイズ統計入門, 1・9, 東京大学出版会, 1985.

Shipstone, D.M., Von Rhöneck, C. V., Kärrqvist, C., Dupin, J.J., Johsua, S. and Licht, P.: A study of students' understanding of electricity in five European countries, *International Journal of Science Education*, 10(3), 303-316, 1988.

シップストン, D. (末永幹夫訳) : 単純な回路を流れる電気, 内田正男監訳「子ども達の自然理解と理科授業」, 45, 東洋館出版社, 1993.

高野陽太郎：因果関係を推定する－無作為配分と統計的検定, 佐伯胖・松原望編「実践としての統計学」, 109-146, 東京大学出版会, 2000.

高橋秀俊：電磁気学, 115, 裳華房, 1980.

田中豊：共分散分析(1)－1 因子実験, 田中豊・垂水共之編「パソコン統計解析ハンドブック III 実験計画法」, 414-442, 共立出版株式会社, 1986.

田中豊：パソコン実験計画法入門, 135-149, 現代数学社, 1985.

脇本宏治：単純な電気回路に適応される小学校児童の電流モデルの状況依存性,

日本理科教育学会研究紀要，33(3)， 49-60， 1992.

山口悦司・稲垣成哲：科学教育におけるエスノメソドロジーの意義，科学教育
学研究，22(4)，204-214，1998.

湯澤正通：学校の授業は子どもの生きる力を育てているのか？，湯澤正通編著
「認知心理学から理科教育への提言」，2-22，北大路書房，1998.