

中学生の電気領域学習における科学的概念の構成を
支援する指導方略に関する実践的研究

2001

兵庫教育大学大学院
連合学校教育学研究科
教科教育実践学専攻
(上越教育大学)

古 屋 光 一

目 次

序 章.....	1
第 1 章 先行の諸研究，研究の目的，方法	5
1 節 先行の諸研究	5
1・1 概念転換についての研究の系譜	5
1・2 電気領域における先行の研究	11
2 節 研究の目的	15
3 節 研究の方法	15
3・1 方法	15
3・2 用語の定義	16
第 2 章 【研究 1】電流・電圧・オームの法則に関する問題点と授業方法 ...	24
1 節 《調査 1 交通流モデル》	24
1・1 調査の目的	24
1・2 方法	24
1・3 結果	25
1・4 考察	29
1・5 交通流モデル	31
2 節 《実験 1 再構造の方法の基本的考え方とその実際》	33
2・1 実験の目的	33
2・2 実験授業をする被験者について	33
2・3 従来型の授業によって分極の実態がすすむかどうかの検討	36
2・4 授業方法の提案	38
2・5 実験方法	41
2・6 結果	44
2・7 考察	49
3 節 本章についての考察と課題	53

3・1 考察	53
3・2 課題	54
◆実験・調査のための問題	58
第3章 【研究2】統合的調和の方法と電気学習領域への実践化.....	68
1 節 概念形成と統合的調和	68
1・1 科学的概念形成における2つの研究の系譜と統合的調和	69
1・2 電気の学習における問題点	70
1・3 統合的調和	72
1・4 統合的調和の実践	72
2 節 《実験1 ポストテスト》	76
2・1 実験の目的	76
2・2 方法	76
2・3 結果	77
2・4 考察	82
3 節 《実験2 遅延テスト》	82
3・1 実験の目的	82
3・2 方法	83
3・3 結果	84
3・4 考察	87
4 節 《実験3 二元配置》	88
4・1 実験の目的	88
4・2 方法	88
4・3 結果	89
4・4 考察	92
5 節 《調査》	93
5・1 目的	93
5・2 方法	93

5・3 結果	94
5・4 考察	95
6節 本章についての考察	97
6・1 実験1～3について	97
6・2 実験3での，下位群の得点の推移について	98
6・3 調査結果について	99
6・4 まとめ	101
◆実験・調査のための問題	103
第4章 【研究3】交通流モデルの生成	109
1節 交通流モデルの学年別推移調査の位置づけ	109
2節 《調査》	110
2・1 調査の目的	110
2・2 方法	111
2・3 結果	114
2・4 考察	123
2・5 結論	125
◆調査のための問題	127
第5章 【研究4】再構造化の効果とその検討	130
1節 統制群法による実験の必要性	130
2節 《実験 再構造化の方法の検証》	131
2・1 実験の目的	131
2・2 方法	131
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	135
2・4 結果	142
2・5 論議	152
2・6 研究のまとめ	155
◆ 実験・調査のための問題	156

第6章 結 論.....	171
1節 本研究で得られた成果	171
2節 今後の課題	172
2・1 指導方法の検討について	172
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	173
2・3 授業の進行過程を評価する方法について	173
謝 辞	175
文 献	176

序 章

本研究において、私たちは中学生が電気領域、特に電流、電圧、そしてオームの法則を学習する上で、これを妨げている原因を明らかにして、同時にその解決策としての指導方法を提案したい。

まず学習を妨げている原因として、多くの子ども達は、学習がすすむにつれて「交通流モデル」と私たちが呼ぶことにした誤概念を構成していることを明らかにする。

従来構成主義の立場から諸領域で同定されてきた様々なプレコンセプションが、学習以前の日常生活で構成されたものであるのに対して、この「交通流モデル」は、学習がすすみ、電流などについての知識が増えるにつれて構成される誤概念であるということ。しかしながら、この「交通流モデル」は、きわめて変化しにくいと同時に、学習者に意識されていないというプレコンセプションと同様の性質を持つことを明らかにする。

次に、指導方法を、概念形成についての2つの視点から提案する。

概念形成には、概念転換に関するものと、学習者の認知構造と教材の構造に関するものという2つのアプローチがある。交通流モデルに対する解決策としては、まず概念転換の視点から「再構造化の方法」を提案する。次に認知構造の視点から「統合的調和の方法」を提案する。そして、これらが相補的に作用して、電気領域における概念形成に効果があることを示す。

同時に、こうした新しい問題点（交通流モデル）の提起と、それへの指導方法（再構造化の方法と、統合的調和の方法）の展開を通して、先行研究が電気領域について示す問題点のうち、本研究が注目する3つの問題点が、一部解消することを明らかにする。

第1章では、先行の諸研究について検討する。電気領域の学習についてはその初期の学習についての研究が多くをしめ、それ以後の学習については、(1)計算できることとイメージの乖離、(2)電流と電圧の識別の難しさ、(3)アナロジ

一としてのモデルが機能しないことなど、こうした問題点が指摘されるだけで、その解決策を実践的に提案できるものが少ないことを述べたい。

また、構成主義をささえる学習観が、概念形成を個人の内的な過程であると思なすものから、状況主義へ推移していることを、概念転換に関する研究の流れから検討する。状況主義あるいは、学習を文化への参加・創造とする立場では、指導方法上、学習における文脈、学習の意義、メタ認知を重視することを含むという。本研究は状況主義をその基本的立場とするものではないが、それにも関わらず、こうした推移に注目するのは、1つには状況主義であるか、ないかにかかわらず、この点の重要性を私たちは、認めること。第2には、構成主義者が提出した新たな概念転換の考え方は、構成主義の立場からの提案であるが、まさにこれらの点、意義やメタ認知などを強調したものであるからである。

ところで、本研究には明確な限界が3つある。第2章の前にこれについて述べる。

- (1) 実験において被験者を無作為配分できないために、個人差の統制が十分ではないこと。
- (2) 生徒の理解の状態を、目に見えるデータあるいは行動をもとにしたこと。
- (3) 文脈、学習の意義、メタ認知を重視しながらも、それをどのように実践化したか、またその具体的作用を検証できないこと。

こうした、限界を指摘したことを銘記しておいていただきたい。ただし、こうした限界に対して次の方法を取り、その対応としたい。

まず、(1)については、本研究では実験と呼んでいるものが準実験とならざるを得ない。これに対処するため、データを検定する場合少なくとも共分散分析を用いることにする。

つぎに(2)については、私たちは行動主義の立場から学習をとらえるものではないが、現在のところこれより方法が見当たらない。そのため、調査用紙には正しい答えを書きながら、実際には授業者が意図したような理解ができていない場合があり、またその逆もあるだろう。これに対して、子どもの思考をとら

えることができるように、彼らの記述したものをメタ認知などの分析手法より取り入れる努力をした。

最後に(3)についても(2)と同様である。授業（実験）の中ではこうした点を取り入れて、実験群・統制群に同じように配慮した。

こういう限界はあるが、その上で、これからの研究を進めていく。

さて、第2章である。ここでは、本研究の全体的枠組みとも言える研究を展開する。すなわち、1節において、電流についての交通流モデルの存在について確認する。続いて2節において、その交通流モデルを科学的モデルに転換する指導方法を提案する。これを「再構造化の方法」と呼ぶ。

しかしながら、この段階では交通流モデルが本当に、一般的に広がっている誤概念かどうか、またここで提案した再構造化の方法が有効であるかどうか、という点については検討が十分ではない。これについては、それぞれ第4章、第5章でさらに、実証的に検討する。

第3章では、一転して概念の形成を、概念転換とは異なったもう一つの視点、子どもの認知構造の分析を中心とする学習論をもとに検討する。これによって、電流と電圧の識別ができないという問題点の改善に具体的な方法を示したい。

これは、オースベルが提唱し、ノバックが理科教育に取り入れた概念形成上の中心的な考え、統合的調和と漸進的分化のうち、前者をもとにした。その方法をここでは「統合的調和の方法」と呼ぶ。その有効性を検証したい。同時に、これは、再構造化の方法の検証（第5章）のための事前の条件制御に関わる学習となる。

第4章では、交通流モデルの存在の一般性を確認する。そのため、小学校6年生から、大学2年生までを被験者として、この考えを持っている被験者の割合を調査する。その結果、中学校2年生の電気の学習を境に交通流モデルが増え、それが加齢とともに増加する傾向を示す。

これによって、電気領域の学習については、従来指摘されてきた、その初期の段階から、一步踏み込んだところでの問題点の改善の具体的目標を与えたこ

とを確認する。すなわち交通流モデルの科学的モデルへの転換である。

さらに、交通流モデルの原因を検討する中で、従来のアナロジーとしてのモデルが機能しないという問題点について、私たちはこれとは逆の見解を示した。すなわち、交通流モデルの原因の一つ；アナロジーとしてのモデルの過適応である。

第5章では、既に提案した再構造化の方法が、交通流モデルを科学的モデルに転換する上で、有効であることを統制群法により検証する。このとき第3章で有効性を確認した統合的調和の方法を用いて、電流・電圧についての学習を事前に行い、各群に差がないことを確認した上で実践を行った。

また、再構造化の方法の有効性を検証するのであるが、電気領域の問題点の一つ、計算できることとイメージの乖離について、この転換の過程で一部、解消されるものであることについても触れる。

第6章では、これまでおこなってきた調査・実験から中学生が電気領域の学習をする上で、交通流モデルという誤概念を持っていること、この事実を従来指摘されてきた複数ある問題点の背景の構造として位置づける。そして交通流モデルの転換により、これらの諸問題の一部が解消すること等について述べる。

第1章 先行の諸研究，研究の目的，方法

第1章の構成は以下の通りである。

先ず，1節において先行研究を検討する。その第1項において，概念転換の研究の推移をみる。これによって本研究の学習に対する見方を，示す。第2項において，電気領域に関する先行の研究を検討する。

2節において，この先行研究を受けて，本研究の目的を明らかにする。

続いて3節において研究の方法，言葉の説明をおこなう。

1節 先行の諸研究

1・1 概念転換についての研究の系譜

ここでは，従来の概念転換の考え方からガンストン(Gunstone,1994)の考え方への推移について学習論を軸に検討した。そして本研究ではガンストンの示した考えに基づいて概念転換を考えていくことを示した。

1・1・1 従来の概念転換の考え方

科学概念の形成は，理科教育の中心的な課題の1つである。構成主義の立場から子どもが，自然現象について彼らなりの理論を持っていること，そしてこれが領域固有の知識で変化しにくいこと等が示されるようになって以来，科学概念の形成は，こうした子どもの概念（プレコンセプション）を科学概念へと転換させる概念転換がその中心を担うようになった。

ポズナー(Posner, Strike, Hewson and Gertzog, 1982)らは，子どもが授業に持ち込んでくるミスコンセプションを科学概念に転換する基本的な理論を提供している。

そこでは、同化と調節というプロセスについて論じているが、これはそれぞれその子どもの既存の概念に、授業で学習した知識を付加する事と、既存の概念自体を質的に転換することに対応している。そしてやはり彼らの理論の中心は調節、すなわち転換する事にあったと言えよう。そして転換が起こる条件を4つあげている。それは、(1)不満感 (dissatisfaction), (2)分かりやすさ (intelligible), (3)もっともらしさ (plausibility), (4)効果的 (fruitful) であり、彼らはこうしたプロセスを経て概念転換がすすんでいくという理論的な枠組みを与えた。

そして、概念転換の考え方の根拠として、ポズナーらはクーンやラカトシュ、トゥールミンらの科学革命の考え方をそのアナロジーとして用いている。

次に、このような概念転換の理論的枠組みを、実践に向けて検討したものとしてハシュウェー(Hashweh,1986)の研究がある。

この研究は、ポズナー等の研究を踏襲しながら、具体的な概念転換のプロセスを同定している。そのプロセスは、(1)古い考え（この場合はミスコンセプション）の放棄・制限、(2)新しい概念の受容、(3)新しく学んだ考え方と古い考えの間の認知的葛藤の解消、(4)新しく獲得した概念の有効性の確認、という4つからなり、これはそれぞれポズナー等が示した4つの条件に対応しているといわれている。

また、ミスコンセプションの特徴としてその頑健さが広く知られるようになってきているが、この原因をミスコンセプションが手続き的知識であることに求め、こうした考えを子ども自身が意識することの重要性を述べている。

その後、さらに概念転換の研究が進み、実践的な視点から、概念転換の方法について提案されている。例えば、オズボーンら（オズボーン・フライバーグ、1988）は、子どものミスコンセプションを科学概念へ転換するという立場から、その授業における実際の指導方法の提案を行っている。

ところが、概念転換の理論、方法論が提案されているにもかかわらず、実践的にはこれらがうまく機能していないというのが、その後の実状であった。

これらの研究に共通していることは、子どもが構成したプレコンセプションを転換するために、子どもの考えでは説明できない事実を見せることにより生ずる葛藤の解消をとおして、その知識の転換、すなわちその子供の認知構造の質的転換をはかろうというものである。そしてこの背景には学習とは、その個人の内的な営みであるという考え方があると考え（湯澤，1998）。

しかし、このような学習観に対して、次のような立場がある。すなわち、理解とはそれ自身が文化への参加であり文化の創造であるというとらえ方である（佐伯，1984）。別の言い方をすると状況主義（湯澤，1998）による学習のとらえ方である。

こうしたとらえ方をすると、学習においては、① 文脈の重視^{（注1-1）}、② メタ認知（学習の意義化など広範な意味を含む）の重視、③ 思考の領域固有性をこえることの必要性、が指摘される。これによって、学習したことを学校という場所だけで使える知識にしておくのではなく、日常生活や文化とのつながりで見ることが求められる。そして、これを通して理解が「わかる」という文化的創造へとつながるという考えかたである（佐伯，1984）。

また正統的周辺参加という概念からは、学習とは個人の頭の中でやることではないこと、そして本人が学ぶという営みをどういうものとしているか、これを重視しているという（レイブ・ウェンガー，1993）。

こういう点から見ると状況主義は、従来の概念転換の考え方、すなわち、知識の体系全体を変えるという考え方とは異なり、さらに広い子どもの思考とそれを支えるメタ認知全体を学習の対象としてとらえていることを意味する。言い換えると、状況主義は、知識の構成や質的転換だけでなく、文化的背景とその学習者の広い意味でのメタ認知を理解の前提とする点が異なると言えよう。

このような学習観の転換をもとにしてガンストンの提起する考え方を見る。

1・1・2 ガンストンの考え

ガンストーン(Gunstone,1994)は、上記のボズナーの4つの条件を取り入れながらも、今までとは異なる考えを提出している。それによるとまず、ガンストーンはメタ認知^(注1-2)を学習の中心に据えることを主張している。その上で彼の主張をまとめると次の4点になるだろう。

(1) 概念転換には置き換えと付加、両方があると見なすこと

前項で見たように概念転換には転換と付加(それぞれ調節と同化)があり、もちろんボズナー等もこの両方の重要性を述べているが、先にも述べたように転換にその主眼をおいていた。これに対してガンストンの概念転換は置き換え、すなわち従来の言い方での転換と付加の両方を同じように概念転換と見なそうというものである。その主張は次のようである。

「概念転換とは、今見てきたように、置き換えであるが、同時に異なる概念の付加としての意味もあるのである。……私は概念転換を拡張された意味、置き換えと付加の両方を意味することにする。(Gunstone,1994)」

(2) 学習者自身が概念転換をするかどうか決定し、教師はそれに対して間接的に責任を持つこと

従来概念転換を意図するのは教師であった。そのために、いわゆるミスコンセプションを調査して、これを科学概念に転換しようとする方略を考える。しかしながら、ガンストンの述べるところでは、学習者自身が、概念転換に直接責任を持つというものである。すなわち、本人が抱いている考えや信念を再確認し(再確認)、これらの考えや信念を評価して一何を学ぶべきか、いかにこれを学ぶか(評価)、そして本人が持っている既存の考えや信念を再構築するかどうか決定するというものである(再構成の決定)。勿論ここでいう、再構築とは置き換えあるいは、付加である。

この場合授業における教師の役割は、「学習者が提供された課題を引き受けるような文脈を教師が提示すると言うことが強く要請されていること、そしてこのことを通して間接的に概念転換に対して教師が責任を持つもの(Gunstone,1994)」として、二次的な役割を持つものとして位置づけている。(た

だし、このことは決して教師の役割を軽視しているのではなく、むしろその逆である。)

(3) メタ認知の意味を広く捉えていること

メタ認知については、一般に自己評価と自己制御という2つの作用があるといわれている(Paris,1990)。ガンストンはこれについて、「メタ認知は、その人の学習についての知識、自覚そして制御が関係する」という立場を取り入れていることを明らかにしている。このことはガンストンが従来からのメタ認知についての考えと同じであることを示している。

しかしながら、こうした考えだけでなくより広い意味をメタ認知に取り入れている。例えば学習・授業、教師と生徒の役割等というものについての暗黙の考え方である。具体的にはオーストラリアの、ある高校生が「物理で成功することと2つの要因—高い知能とよい記憶力—は、同じものであること、そしてこの2つの要因は彼ら自身にはどうすることもできないもの」だと信じている例を示し、こうした考え方をメタ認知に含めていることを述べている。このとき重要な点は「学習者が理科の教室に持ち込んでくるような考えや信念、それは授業に影響を与えるものだが、そうした考えや信念は理科に関係したものだけではない」と言うことである。

このようにとらえると、だれでも、何等かの形で授業や学習についてメタ認知を持っていることが明らかになる。

(4) メタ認知を変えることを概念転換と呼んでいること

ガンストンは、メタ認知が学習・授業・概念形成に大きな影響を与えることが明らかであるとしている。そのため、より適切なメタ認知を発達させる事、それ自体が概念転換であると述べている。すなわち、先の例でいうと、「物理で成功することと2つの要因」というような考え方が、概念転換に妨げになることは明らかである。こうしたメタ認知自体を変えることも、ガンストンは概念転換と呼んでいる。

以上の4点をもとに、見てくるとガンストンの概念転換は次のように言い換えることができる。と考える。

すなわち、授業や学習を支えているものがメタ認知であり、通常いわれている概念転換とは、その土台としてのメタ認知の上に構築されているものである。そして、この土台としてのメタ認知とその上に構築される概念転換とは密接に関わっている。したがって、概念転換を達成するには、メタ認知自体が概念転換を受容できるようなものに転換している必用があり、こうしたメタ認知の転換は可能なものである。

1・1・3 概念転換の推移の意味

このように見てくるとガンストンの概念転換の考え方と状況主義的な学習観との間には、いくつかの共通部分があることがわかる。すなわち、学習を本人の意思決定におくこと、メタ認知のとらえ方などがそうである。

ところで、ガンストン自身は構成主義の枠組みの中から、こうした概念転換とメタ認知の関係を述べており、状況主義的な学習観に転換していることを示しているわけではない。また、彼自身は、この考え方が試案であると述べ、慎重な態度をとっている(Gunstone,1994)。

一方、状況主義の学習観からは、具体的な授業実践の方法は提出されていない(森藤, 2000)。勿論、いくつかの方法はある。例えば、学習を社会参加と見る立場から、佐伯(1994)は思考の領域固有性を中心として、その拡大と深化をもたらすために、エピソード化、多元的機能化、モデル化をあげている。しかし、レイブ(レイブ・ウエンガー, 1993)らによると、「正統的周辺参加は、それ自体は教育形態ではないし、まして教授技術的方略でも、教えるテクニックでもない。……どんな学習でも、正統的周辺参加を通した学習が生起する。」と述べている。これは学習をどういう視点からとらえるかという枠組みであり、指導方法ではないことが明らかである。

したがって、本研究においては状況主義という立場は取らないが、ガンストンの考える概念転換の意味の拡張、学習者による再任、評価、意志決定という過程、そしてメタ認知の考え方を取り入れて授業を展開するようにする。

こうした、概念転換の推移のもとに、次に電気領域の研究の流れを確認する。

1・2 電気領域における先行の研究

電気の領域では、今でどのような研究がされているのだろうか。それを以下4つの視点から振り返り、本研究で注目する問題点を明らかにする。

1・2・1 電流

オズボーンら(1988)は電気回路のうち素子（豆電球）1個と乾電池1個からなる回路（以下「単純回路」と呼ぶ）における電流の流れ方についての4つの考え方の類型をプレコンセプションとして同定した。他の領域でも構成主義の立場からプレコンセプションが同定されており、その特徴としてこれが変わりにくいという性質を持つ。したがってオズボーンは電気回路でもこの4つのプレコンセプション（衝突モデル、減衰モデル、単極モデル、科学的モデル）が科学概念へと転換しにくいことが、電流学習の難しさの原因であるとしている。

シップストン(1993)は、電流についてより広範な被験者を対象に調査を行い、4つのプレコンセプションを定式化している。それと同時に電気領域における学習では、電流と電圧の識別やアナロジーによる学習が難しいことを示している。

この場合識別とは電圧の予想をするときに電流の流れ方のルールを用いてしまう事がそれにあたる。シップストンの研究は、電気領域についての多岐にわたる示唆により、その後の研究の方向を示したと言えよう。

こうした研究に対して脇元(1992)は、プレコンセプションが学習指導によっても変わりにくい堅固なものであるというオズボーンらの主張とは、電流の領域においては、状況が異なるということを示している。すなわち、電流概念に関してはそのプレコンセプションが、授業で電流、モーターのどちらの素子を子どもに提示するかによって、子どもの表象が異なり、状況依存적であることを示している。これが意味することは、従来、プレコンセプションといわれてきたものの性質が、領域により異なることを示していると考えられる（例えば、

動力学における力と運動の関係について注目すると、このときのプレコンセプションすなわち、アリストテレス的な力学観といわれる考え方と電流のプレコンセプションの違いは明らかである) (Chanpagne, Klopfer, and Anderson, 1980; 古屋・戸北, 1993)。

次に安藤ら(安藤・森藤・中山, 1997)は、電流についてのプレコンセプションに関する研究の流れを受けながらも、これを一歩進め、子どもの実態調査の中から、オズボーンらが先に示した4つのプレコンセプション以外にも子どもの考えがあることを示し、無批判にこうしたプレコンセプションのパターン化されたものを使って授業設計をするのではなく、一人一人の実態に即して、これ以外の考えがあることを考慮した授業設計が必用であることを示した。

以上見てきた4つの研究は、主に単純回路における電流の流れ方について、子どもが示す4つのプレコンセプションにかかわる研究である。

1・2・2 電圧

電圧について、子ども達の実態を検討したものとして森本ら(森本・坂本, 1991)があげられるだろう。森本らは、子ども達が電圧概念をどのように理解しているか、何に注目して考えているか、その多彩な様相をプロダクションシステムを使って、初めて明らかにした。また電圧の考え方に電流の考え方を援用している可能性をも示唆している。

ミラーとキング(Millar and King, 1993)は2つの抵抗を用いた直列回路にかかる電圧を、電気領域既習の15歳の生徒を被験者として調査を行った。また同様にミラーとベー(Millar and Beh, 1993)は並列回路についての調査を行った。この一連の調査結果より彼らは、電圧概念学習の難しさを示した。それによると子ども達は電流と電圧の識別ができないこと(シップストンや森本らが指摘したことと共通)、電流・電圧についてのイメージを子どもは何ら描くことがなく、オームの法則の式; $I = E / R$ (ここにI:電流, E:電圧, R:抵抗)をいきなり調査用紙に書き下して、計算をしているに過ぎないことを明らかにした。こうした点は例えば西川ら(西川・冬野, 1996)も、指摘していることで、日本の子ども達にもあてはまる。

1・2・3 抵抗・オームの法則

次に、コスグローブ(Cosgrove, 1995)は抵抗について、子ども達が電流の流れを妨げるものというより、電流を消費するものとして、日常生活との対比で捉えていることを示した。これは単純回路での電流の流れに関する減衰モデルを別の面から見たものといえよう。

メティウイラ(Métiooui, Brassard, Levasseur and Lavoie, 1996)は、カナダのジュセップ（日本の大学の1～3年生に相当する）の生徒を対象に、調査を行った結果、オームの法則をうまく理解できない学生がいるが、それは、事前の電流・電圧についての理解が欠けていることを示している。

1・2・4 モデル・認知的方略

ジョシュアとデュバン(Joshua and Dupin, 1987)は子どもの考えに即して、単純回路における列車モデルを提案している。これは、電池の消耗により単純回路の電流の大きさが減ると考えた子どもに電池の消耗と、電流の保存は矛盾しないことを説明できるモデルである。オズボーンらが示したプレコンセプションに対する指導方法として、提案されたものである。

市川ら（市川・戸北・堀, 1995）は電流・電圧全般について、3つのモデル、すなわち水流モデル、自由電子モデル、列車モデルの有効性を実際の授業で検討し、こうした広い文脈では、流水モデルが比較的優れている事を示している。またこの研究はモデルの有効性を生徒自身が認識する、メタ認知を促すことについて検討し、その有効性を検証している。従来から、こうしたメタ認知に関する研究の重要性は指摘されながら、実践的なものがなかったので、この点は今後の研究に示唆を与えるものとなる。

1・2・5 電気学習の問題点

以上の点から電気領域の学習の難しさは次の4点にあるといえる。

- (1) 子どもの持つ単純回路でのプレコンセプションの存在。
- (2) オームの法則の使い方はある程度覚えているが、それを適応している回路についての適切なイメージによる理解の欠落（計算ができることとイメージの乖離）。

- (3) 電流と電圧の識別の難しさ。
- (4) モデルやアナロジーなどが、実際の授業では十分に機能していない。

さて、これらの問題点についてであるが、(1)については、これは概念転換の問題である。プレコンセプションは頑健で、概念転換は期待したようにうまくいかないといわれている。そういう問題はあるが、この場合、プレコンセプションを科学的概念に転換することを目標と置く事ができるため、実践的には目標設定がしやすい。そして、私見では、中学生を被験者としたとき単純回路での電流の流れについてのプレコンセプションを科学的概念に変えることは、動力学のプレコンセプションを転換することに比べると、難しくない。

しかしながら、(2)から(4)については、これを指摘する研究は上記のようにあるが、いかに改善するかという研究はない。

ところで、ミラーら(Millar and Beh,1993)は、先の論文の中で次のように指摘している。すなわち「公表されている研究のほとんどは、回路についての正式な指導計画の中の初期に位置する指導過程に関するものであり、それは特に電流についての生徒の考えを対象にしている。電圧や複雑な回路での電気の振る舞いについての子どもの考えは、あまり研究が報告されていない」のである。

その理由としては電流の学習以後、電圧、抵抗、オームの法則など次々と新たな概念が取り入れられること、同時にそれらに対する指導方法が多彩であることにより、その後の子どもの概念が影響される。したがって、新しい学習内容の導入、多様な指導方法につれて子どもの考えが、単純回路のときのようにパターン化できないと考えられているからである。そして、彼女らは実際に、こうした現状から、調査に対しての反応がパターン化できないので、研究が今後すすんで、ある程度子どもの予想がパターン化されるまでは電気領域における新たなプレコンセプション（彼らはメンタルモデルと呼んでいる）の探求をひかえていることを示唆している。

また、どの研究も、こうした初期の段階をこえる学習内容に踏み込むことができないのが現状であろう。

そこで、本研究は、この初期の段階から踏み込んだところでの子ども達の考えを分析する^(注1-3)。そのことによって、また先の(2)から(4)の背景にある構造としての問題点を明らかにすることができると予想される。

2 節 研究の目的

本研究の目的を、以上の先行研究より次のようにする。

電気領域における問題点のうち次の3つに注目する。

- (1) オームの法則の使い方はある程度覚えているが、それを適応している回路についての適切なイメージによる理解の欠落。
- (2) 電流と電圧の識別の難しさ。
- (3) モデルやアナロジーなどが、実際の授業では十分に機能していない。

これらの問題を、改善するための方法の検討を目的とする。

特に従来の研究が、電気学習の初期に位置づけられる領域に限られているので、学習がすすんだ段階における内容について、子どもの理解の状況と、問題点を探り、上記3点の背景の構造を探る。またこうして探り出された問題点に対して科学概念形成の2つの視点、概念転換と認知構造の分析(第3章)という立場から、それへの分析をおこなう。その上で、具体的指導方法を提案し、その有効性を実証的に検証する。

なお、その際に、文脈、学習の意義、メタ認知を重視しながら授業の設計をしていく。

3 節 研究の方法

3-1 方法

本研究は、上記の通り、電気領域の研究のうち、その多くが学習の初期に関するものであることに対して、学習がすすんだところでの内容について、問題

点を探ること、これを通して改めて従来指摘されている問題に対応できるのではないかと考えている。

さて、学習がすすんだところでの内容についての研究が少ない理由は明白で、授業に踏み込まない限り、それが可能ではないからである。これを実施すると、生徒の個人差だけでなく、教材とその配置、授業者なども子どもに影響を与えと考えられる。そのため、とても一定の反応は得られないという見通しがあると思う。

しかし、本研究は、ここに研究をすすめることが必用であると判断した。そのため、次のような方法を探ることにした。

- ① 授業の中で、調査を断続的に実施する。
- ② 問題点を抽出し、それを焦点化した新たな調査問題を作成し、実施する。
- ③ 調査結果から、より一般性があると考えられる問題点に注目する。
- ④ 授業を実施する。ここで、③であげた問題点を制御する操作をおこなう。

③であげた問題点の特徴を、授業をしながら検討する。

そして、①～④を繰り返すという方法である。これを基本的な方法とする。

3・2 用語の定義

実証的なデータを得る方法は通常2つに分類される。調査と実験である（繁樹，1985）。ここでもその分類に従う。そこで、先ず本研究における調査、実験という言葉の意味を明らかにする。続いて、モデル、誤概念（プレコンセプション）の用法について確認する。

3・2・1 調査

調査とは基本的には次の流れでデータを得る場合を言う。

- ① 質問紙を作成する。
- ② これを配布して、基本的には授業者に授業中実施してもらう。
- ③ これを回収して、その回答率を分析する。

この場合質問紙は、先行研究の中で開発されているものを用いる場合と、本研究のため筆者が、開発したものがある。このような方法を探る場合、これを

調査と呼ぶ事にする。

3・2・2 実験

本研究で行う実験はすべて準実験である。また，統計的検定は共分散分析を用いる。

一般に実験とは，統制群法により実験群と統制群を無作為配分した被験者を対象に，ある操作を実施して，その因果関係を推定するものである。その場合，被験者の無作為配分は統計的検定によって実験データを分析する上での「絶対必要条件」である。そして無作為配分ができない場合は，これは実験と区別して準実験とよばれる（高野，2000）。

ところで，本研究でおこなう実験では，ある操作（授業）を実施してその有効性を検証するたびに被験者の無作為配分を実施することはできない。学級編成のしなおいを意味するからである。したがって，本研究では，指導方法を検討するときに行ったものは，この意味ではすべて準実験である。しかしながら，この言葉が，必ずしもなじみのある言葉ではないので，実験という言葉を用いる。

なお，準実験では実験に比べ個人差の統制が十分でない。この点を補うものとして，統計的検定に分散分析を用いず，共分散分析（田中，1985；田中，1986）を用いる。実験群と統制群の剰余変数には，意欲，基礎学力，学級の雰囲気など多くのものがあり，こうしたものすべてを統制することはできないが，事前に学力を測定しておけば，少なくともそれは，共分散分析の共変量として統制できるからである。

3・2・3 モデル

電流の領域ではモデルという言葉は次のような2種類の意味で使われている。

- (1) アナロジーとしてのモデル：電流の流れのアナロジーとして導入するモデルで，授業で用いて子どもの理解をたすけようとするもの。例えば水流モデル，列車モデル(市川・戸北・堀，1995；Joshua & Dupin, 1987)などである。
- (2) 考え方のパターンとしてのモデル：子ども達が回路を流れる電流についていったいどのように考えているのか，その考えは多様であるが，そこにある

程度の傾向が見られる場合、これをパターン化したもの。例えば単純回路における電流の流れ方に関する子どものプレコンセプションについて、それを衝突モデルや減衰モデル(オズボーンら, 1988)などと呼ぶ場合がそうである。そこで、本論文では次のようにする。

- (1) の意味でモデルという言葉を用いるのは「パチンコモデル」という言葉を用いるときだけである。その他、必用な場合は「アナロジーとしてのモデル」という。
- (2) 交通流モデル、科学的モデル、均等流モデル(後述)というとき、特にことわらない限り(2)の「考え方のパターンとしてのモデル」という意味で、モデルという言葉を用いることにする。なお、上記3つのモデルについては、これを総称して、ここでは電流モデルと呼ぶことにする。

3・2・4 誤概念の表記について

子どもの誤概念を表現ために、現在は多様な用語が用いられている。どの言葉を用いるかは、その研究者がどのような立場から子どもの誤概念をとらえているかを反映しているという(堀, 1998:13)。しかしながら、どれを使うかにこだわることは現在のところ生産的でないという堀の考えに立つて、本研究では、「プレコンセプション」という言葉を用いることにする。しかし、引用する場合には、その研究者の使い方にそって「誤概念」、「ミスコンセプション」、「素朴概念」等を用いるが、これらを同義語として使うことにする。

注 1 - 1

勿論従来の構成主義にあっても知識(プレコンセプション)の領域固有性は明らかにされているが、それはプレコンセプションの転換の難しさを説明するものとして使われている。あるいは概念生態系という子どもの考え方がその中のどこに位置づけられるかを検討し、概念転換にこの考えを活かそうとはしてきた(Posner, Strike, Hewson and Gertzog, 1982)。いわば、その子どもの知識全体を考えて概念転換をはかるというものであった。

しかし、文化への参加という立場からは(佐伯, 1984)、ある知識が提示さ

れる場合、その背景としての文脈、そしてメタ認知が重視されるのである。
このことは、例えば次のような視点を含む。

- ・ 基礎的な内容を授業で扱う場合、それがなぜ、基礎的であるかということがわかる。
- ・ その教科、あるいはその一部の領域を学習することの意義化の必要性。
- ・ おぼえると言うことの質はその学習者自身が、わかると言うことをどうとらえるかによって方向付けられる。

等である。

注 1－2

ガンストンはいくつかの説明や具体例を持って彼の考えるメタ認知について説明している。以下にその部分の全訳を載せる(Gunston,1994)。佐伯（佐伯，1984）が文化への参加として学習をとらえるという考え方と以下のガンストンが言うメタ認知とは重複するところが多い。

(i) 「メタ認知は、その人の学習についての知識、自覚そして制御が関係する。」
メタ認知的な知識には、学習というものについての特徴と、その課程についての知識、どんな学習方略をいつ用いれば効果的かという知識、その人個人についての特徴に関する知識が含まれる。不十分なメタ認知的な知識は、その人の学習についての自覚と制御を制約してしまう。

メタ認知的な自覚は、今おこなっている（受けている）教授・学習活動の目的についての自覚を含み、そうした活動による進歩についての自覚を含むものである。メタ認知的な制御は、学習者が学習している間の意志決定と行動の本質に関わるものである。

(ii) メタ認知的な知識、自覚、制御はすべて学習の成果である。それはより一般的な学習目標を達成することについての基本的な影響と同様である。このことはすなわち、学習者が持っているメタ認知についての力量が生得的に決定されるものではないことを意味している。むしろその人個人のメタ認知は経験（それは代理的な実験や、間に合わせの体験であることもあるが）によって学習するものであり、したがってメ

タ認知は適切に計画された学習を経験することによって高めることが可能である。

(iii) 生徒のメタ認知的な考えや信念を引き起こすような学習は意識化されていない学習であり、その時生徒は、自分のメタ認知的な見方をはっきりさせることはできない。しかし PEEL 計画のような研究から次のことだけは明らかである。すなわち上記のように意識化していない場合でも、

- ・ 学習目標を設定すること、
- ・ メタ認知を意識するような指導方法を用い、そして結果として生徒がメタ認知とは何かということを経験するよう状況を作り出すこと、

は可能である。

(iv) 本章で既に示した例（物理には知能と記憶力が必要だというメタ認知）におけるメタ認知は概念転換を学習の目標に含むようなものとは調和しない。これらの例から描き出せる重要な帰納的結果の一つとして次の点が上げられる：それは全ての生徒は何等かの形でメタ認知的考えと信念を持っているということである（良くも悪くも持っているという意味）。

だからこそ、良い意味でのメタ認知的見方を発展させようと考えるとき「メタ認知を高める」という表現を用いるのである。

（「メタ認知を高める」ことを必要とする概念転換には付加（累加）と、そしてまれに生起する置き換えがある。）

(v) メタ認知的知識と自覚、制御の間には緊張関係がある。例えば単純に機械的記憶だけで、学習を評価するという特殊なコースがあったとする。そこで、ある生徒が良い成績を得ようとする。そしてその生徒が高められたメタ認知的な知識と自覚を持っているとすると、そうした生徒はメタ認知的な制御をどうしても放棄することになるだろう。文字の形式で表現されている教科書や授業上の注意点は高い成績を得るのに何を学ぶべきかをはっきり示してくれる。これを別の視点から見れば、生徒本人が学習内容を本質的に理解しようとして、

自分で学習の方向性を決めようとどんな努力をしても学習が得点が高いかどうかで評価する場合は、これをダメにしてしまう。(この例は、本章の前の方で述べた点—すなわち教師に一番求められていることは、概念転換というよりも生徒が概念転換を自らの責任で行おうとするような、そうした課題・文脈をつくる必要がある—という主張—とは、うらがえしの例になる。ここで示したような文脈での学習は、一般に概念転換を妨げる。ではどうしたらよいか。一番簡単な方法は、評価を変えるということである《機械的暗記をテストで調べてその高得点者を良い成績とするような評価をしない》。学習目標と評価は本来一貫した視点でとらえるべきで、高められたメタ認知と概念転換を生成するためには、構造化されている文脈が必要なのである。)

(vi) のぞましいメタ認知ができる学習者というのは、自分自身が学習したことを課題を通して、モニターし、学習内容を結合し、さらに拡張できる人である。

ここにモニターすること、というのは課題を通して学習内容を深め続けること*と学習目標を達成することに向けてすすむこと**の両方について十分意識化することが含まれている。

* (これは次のような問いを通して達成される。

「それをするにどんな意味があるのか。」

「何をすべきか、何を書くべきか、何を探すべきか、私は分かっているのか。」

「この課題の目標は何か。」

「必要なこと、すべてをやったのだろうか。)」

** (例えば、

「これ(この現象、実験)は何をいっているのか。私には分かっているのか。」

「私は誰かに、このことについて説明することができるだろうか。)」

結合と拡張は、学習者が今学んでいること、学校で学んだことや、もともと持っているその個人の考えや、概念、その他「外的な世界」の応用や具体例、以前に学習した行動、これらの結びつけをつくることである。こうしたリンク

作りを駆り立てるような質問は

「もし～が変化したとしたら。」

「このことが作用しないような状況を考えることができるかな。」

「もし、～が本当なら、あのことはどんなふうにおこるだろうか。」

(vii) 生徒が示すとても貧しい学習傾向には、数多くのパターンがある。これらは表面的な注意、衝動的な注意力、すでにその生徒が持っている適切な考えや信念を思い出せないこと、固まった状態（例えば一つ問題点があったり、誤りがあるとそれ以上にすすめない等）、課題について早めに諦めてしまうこと、忘却、そして反省的思考の欠如。これらの拙い学習傾向は不適切なメタ認知の状況を示していて、これらは学習の妨げの主な理由になる。

(viii) それに対応するものとして、より適切なメタ認知とはどういうものかという事を描き出すような学習行動というものがある。それらも数多くあり、良い学習行動は次のような視点を含んでいる。

：課題について行き詰まったとき、それに関わって何を明らかにすべきかを探そうとすること。

；本質的な課題に取りかかる前に、一般的な方略を計画すること。

；授業に対して何を勉強するのか点検し、それから誤りや、脱落した所を矯正する。

；教師によってもたらされる誤りや手拔かりに対して、心の準備があること。

；理解を深めるためにはそれに応じた危険を冒すこともあること

；学習上、困難な状況になったとき、それらの説明に対する一貫性を検討すること、等。

既に指摘したように、これらの良い学習行動は、教育によって教えることが可能なものである。

(ix) 科学の本質と生徒の認識論的概念の両方について理科を学習することの

重要性と、メタ認知の間には、複雑で微妙なつながりがある。その複雑さは後で述べる授業例によって描き出されることになるが、そこでの目的は個々の学習という視点よりも、むしろ科学の本質という視点を探ろうとするものといえるだろう。

注 1－3

素朴概念の調査の基礎となる面接調査について稲垣（稲垣，1998）は「日常生活のコンテキストや授業というコンテキストを剥奪された場所における知見」であるとして、日常あるいは授業のどちらからもかけ離れたところの調査として批判している。本研究では、2章以下で授業を中心にして子どもの問題点を探り、その問題点の改善方法をやはり、授業を中心に行っていく予定である。

第2章【研究1】電流・電圧・オームの法則に関する問題点と授業方法

第2章の構成は以下の通りである。

先ず1節で、電気領域学習上の問題点の背景として交通流モデルがあることを、調査より明らかにする。従来、電流についての学習初期の段階での4つの誤概念とそれに対してどのような指導方法が必要かという点については、構成主義の立場から議論されてきた。しかしながら、学習がさらにすすんだ段階、すなわち電圧、抵抗、オームの法則などを含むより高度な内容についての学習が生徒にとって難しいものであることの背景としての誤概念が指摘されたことは今までなかった。それをここでは、交通流モデルとして同定した。

2節では、交通流モデルを科学的モデルに転換するため「再構造化の方法」と呼ぶ指導方法を提案して、その有効性を検討する。

3節ではこれら全体についての考察を行い、同時に第2章の研究の課題を明らかにする。なお、この課題の一部については後の章で研究の対象とする。

1 節 《調査1 交通流モデル》

：誤概念としての交通流モデルについての調査

1・1 調査の目的

電気についての学習がすでに終了している中学3年生を対象に電気回路について、どのような知識を持っているかについて調査をする。

1・2 方法

1・2・1 実態調査の方法

全クラスで、理科の授業を担当している教員に、授業中に練習問題として実施してもらった。

集計はすべての子どもたちを、調査問題(5問からなる)の合計点によって、

上位群，中位群，下位群としてわけて，グループごとに平均点などを算出する。ここで，グループを分けて集計したのは，例えばある問題で特に低い平均値が出たとすると，それが，下位群だけが低いためなのか，それとも全体としてそういう傾向があるからかを，明らかにするためである。

1・2・2 被験者と実施時期

調査対象

山梨県内公立中学校 3 校 3 年生 9 クラス 282 名

(上位群 94 人，中位群 94 人，下位群 94 人)

調査時期

1999 年 7 月

1・2・3 調査問題

問題作成にあたっては，栗田（栗田，1980）の電磁気教材の概念構造を参考にして，堀（堀，1998：73）の電気回路の調査問題を用い，5つの問題を作成した。それは，1番：単純回路での電流の流れについての考えを調査する問題（上記堀による，資料2－1(1)参照），2番：電流と電圧の統合した問題（資料2－1(2)参照），3番：オームの法則の問題（資料2－1(3)参照），4番：豆電球の明るさの予想と電流の大きさの問題（資料2－1(4)参照），5番：応用問題（資料2－1(5)参照）からなる。なお4番の各回路を上から単純回路，分離型並列回路，標準型並列回路，直列回路と呼ぶことにする。また，2番における「電流と電圧の統合」とは，統合的調和を意味するが，これについては3章において検討する。

1・3 結果

問題1の正解者数を示したものが，表2－1である。次に表2－2では2番から5番までの調査問題の平均点を，満点を100としたときの割合に換算して

載せた（これを正解率と呼ぶことにする）。問題４の豆電球の明るさの予想についての結果は表２－３，同じく問題４の(4)，単純回路の電流の大きさをもとに並列回路の電流の大きさを予想する問題についての結果は表２－４のとおりである。なお，５番の問題は応用なのでここでは，分析を省く。

表 ２－１：問題１の正解者数

グループ	上位群	中位群	下位群
正解者数 [人]	69	42	24

表 ２－２：調査問題のグループ毎の平均達成率 [%]

（満点を 100%に換算した数値）

問題番号	2	3	4	5
問題（満点）	10	13	9	9
内容 グループ	電流と電 圧の統合	オームの 法則	明るさの 問題	応用問題
全体	65.8	36.0	22.7	25.5
上位群	97.2	71.1	31.4	50.5
中位群	73.6	29.4	19.3	20.7
下位群	28.7	8.3	17.2	6.6

表 2・3：問題 4 番の豆電球の明るさの予想パターン

パターン	明るさの予想（注 1）			人数 [人]		
豆電球	a, b	c, d	e, f	上位群	中位群	下位群
1（正解）	アア	アア	ウウ	10	0	0
2	アア	ウウ	アア	12	5	4
3	アア	ウウ	ウウ	7	3	0
4	ウウ	アア	ウウ	9	6	1
5	ウウ	ウウ	アア	11	17	6
6	ウウ	ウウ	ウウ	5	5	7
小計				54	36	18
その他	（注 2）			40	58	67
無解答				0	0	9
合計				94	94	94

（注 1） 明るさの予想で「ア」というのは、単純回路と明るさが同じ、「ウ」というのは単純回路より暗いことを示す。すなわちパターン 1 の a 球 b 球がアアというのは豆電球 a と、豆電球 b の明るさは単純回路と同じことを意味する。

（注 2） その他については、上位群では 40 人が 28 パターンを示し、中位群では 58 人が 48 パターン、下位群では 67 人が 60 のパターンを示した。類型化した 1～6 までを加えると、それぞれ 34 パターン（上位群）、53 パターン（中位群）、64 パターン（下位群）である。

表 2・4：問題4の電流の大きさの予想パターン

項 目	予想パターン [A]			人 数 [人]		
電流測定点	X点	Y点	Z点	上位群	中位群	下位群
正解	1.2	0.6	0.6	4	0	0
最多の パターン	0.6	0.3	0.3	75	46	16
その他	(注1)			13	21	27
無解答	(注2)			2	27	51
合計				94	94	94

(注1) その他での電流の予想パターンは上位群：9種類、中位群：16種類、下位群：23種類であった。

(注2) 無解答には、X、Y、Z点のどれかの値が書いてない生徒を含む。

この調査結果は、次の3つの事実を示している。

① 4番の問題（豆電球の明るさについての問題）の平均点は、表2－2より上位群、中位群、下位群のグループともにあまり差がなく低い。なお、この4番の問題で9個の小問すべてについて正解を示したのは282人中1人であった（4番は9点満点）。

② 4番での、豆電球の明るさの予想については表2－3より、下位群は、64パターン、中位群は53パターン、上位群は34パターンと下位から上位へいくにつれて減っている（その他のパターンに1から6のパターンを加えた）。また、表2－3，小計の項にあるようにパターン1から6までの、6つのパターンのどれかを選択する生徒が下位群（18人）から上位群（54人）になるにつれて、増えている。なお、その他のパターンとは類型化できないような予想パターンを一括して指すことにする。例えば、上位群では40人が28のパターンを示し

ており，それぞれのパターンを示したものは 1，2 名であった。

③ 4 番で，単純回路の電流が 0.6 [A] のとき，並列回路の各点（X，Y，Z 点）での電流の大きさを予想させた。表 2－4 より予想のパターンの数は，下位群で 24 パターン，中位群で 17 パターン，上位群で 11 パターンとなっている（表 2－4 にのっている「その他」に加えて最多のパターンを数に入れた）。また，各群とも予想パターンで最多のものは，X 点が 0.6 [A] ，Y 点が 0.3 [A] ，Z 点が 0.3 [A] （図 2－1）であり，これも下位群から上位群になるにつれて増えている（表 2－4）。上位群では 75 人（全体の約 80 パーセント）の子どもが，この予想をしている。

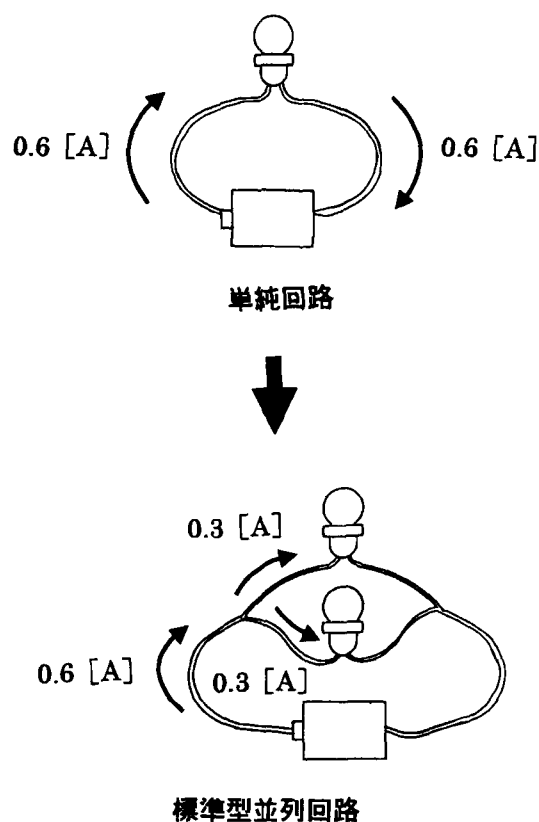


図 2－1：問題 4 の電流の予想（一番多かったもの）

1・4 考察

これら①から③について考察を行う。

①について

特に上位群に注目してみると、問題3番：オームの法則の問題は71.1%の正解を得ているにもかかわらず、問題4番：明るさの予想ができない。オームの法則の計算が使えるのなら、並列回路での電流の大きさは計算によっても予想できるはずだが、オームの法則を使って予想した痕跡はない。したがって、オームの法則の計算ができるという知識が豆電球の明るさの予想という別の場面では使えない知識であることを示していると考えられる。

②について

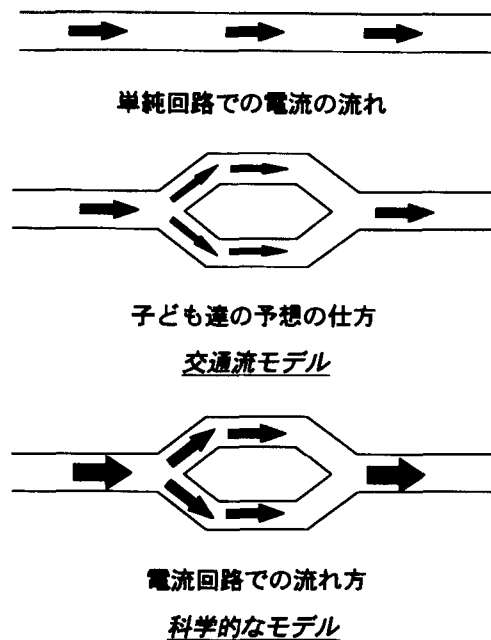
この結果が示すものは、上位群になるにつれて豆電球の明るさの予想がある特定のものに集中してきていることを示している。このように上位群の方が下位群の子どもたちより、予想のパターンが少ないものに集中しているのは、下位群の方が電気回路に対する知識が定着していないために多様な考え方がでてくるのに対し、上位群は電流・電圧・抵抗と知識が増えるにつれて、科学的に適切な知識が増え、多様な思いつきに対して、これらの学習した知識が制約を加えるため、電流の大きさの予想パターンが集中してくるものと考えられる。

③について

これも、②と同様であり、下位群から上位群になるにつれて、並列回路での電流の大きさの予想が集中してきていることを示している。しかもそれは、豆電球の明るさの予想と異なり、1つの予想に集中している。これは誤った予想であるが、しかしX点の電流とY点、Z点の電流の関係だけに注目すると、キルヒホッフの第1法則は成り立っている。したがって、電気回路全体についての情報が学習前より増えていて、しかも彼ら独特の考え方に集中する傾向を示していると考えられる。彼らが、こうした現象について授業前にどのような考えを持っているかはこの時点では不明だが、キルヒホッフ第1の法則が成り立つような考え方ができることから、これは、いわゆる学習前の経験により生ずるプレコンセプションとしての誤概念ではなく、学習により知識が増えたことにより生ずる誤概念であると考えられる。すなわち豊富化された誤概念と呼べるであろう。

1・5 交通流モデル

電気回路についての生徒たちの，理解の状況は次に示すように，科学的に正しい考え方(1)と，電気回路についての学習によって誤ったイメージ(2)を持っていることがわかる。



- 交通流モデル：単純回路を並列にしたとき，もとの導線での電流の流れは変わらず，並列のそれぞれの流れが半分になる。多くの子ども達がこのモデルで予想している。後に見るようにこれを下の科学的モデルに転換するのは容易ではない。
- 科学的モデル：単純回路を並列にしたとき，もとの導線での電流の流れは2倍になり，並列のそれぞれの流れは単純回路と同じ（実際の電気回路の流れ）。

図 2・2：電流の流れについての交通流モデル

- (1) オームの法則をもちいて，電気回路についての計算ができる。
- (2) 電気回路についての誤ったイメージ：図2－1に示したように電流の流れは，

並列にしたからといって電池から流れる電流が増えたりすることはなく、単純回路と同じ電流が、電池から流れる (0.6 [A])。そして電流の大きさは分岐点で2つに分かれ (Y点で 0.3 [A] ，Z点で 0.3 [A])，合計すると等しい。また，直列回路になっても電流は減ったりしない。

いわば，この誤ったイメージは，並列回路を例にとると，ホースで水を出すとき2つにホースが分かれても蛇口から出る水の量は変わらないことと同じである。あるいは図2-2のように，交通量の多い直線の道をバイパスを作ることとで，並列の道での自動車の流れは半減する (矢印の太さが交通量の多さを表すとする)。子ども達の考えはこうしたホースの水量や，交通の流れについての考え方と似ていると考えられる。つまり，子どもたちはこのような日常的な知識を電気回路の問題の推論に用いていると考えられるのである。以後このような子どもの考え方を「交通流モデル」と呼ぶことにして，実験事実に即した「科学的モデル」と区別して表現することにする。

以上の実態調査の結果より，次のことが明らかになった。オームの法則を用いた計算はある程度できる。しかし，多くの生徒は並列・直列回路の電流の流れについては交通流モデルという誤ったイメージを持っていること。これらはお互いに矛盾している考え方なのに，相互作用がなく分極した形で存在している (以後これを分極の実態と呼ぶ)。また，この傾向は上位郡ほど強いことがわかった。

ところで，電気回路に対する科学的なイメージを持っていない生徒が，オームの法則の計算が出来るということは，科学概念が形成されているという状態とは異なると考えられる。言い換えると計算できることとイメージの乖離であり，また，現在の授業の問題点の一つとして佐伯 (佐伯，1984: 12-14) は「できる」と「わかる」の違いを指摘しているが，この調査結果はその点を浮き彫りにしているものとも言えよう。

したがって以下の章では，学習後にこうした2つの知識が混在しているということをもとに，授業の指導方法を検討する。

2 節 《実験 1 再構造の方法の基本的考え方とその実際》

：交通流モデルを科学的モデルへ転換する指導方法に関する検討

2・1 実験の目的

1 節の実態調査の結果，計算できることとイメージの乖離，すなわち分極の実態が明らかになった。2 節ではこの結果をもとに，この実態を改善するための新たな授業の方法を提案する。次に電気の学習が終了している中学 3 年生を対象に実験授業を実施して分極の実態が改善されているか，言い換えると子どもの考えが，科学概念に近づいているかどうかを評価する。

2・2 実験授業をする被験者について

実験授業を実施する対象は，中学 3 年生とする。本来中学 2 年生が電気の学習をするのに，中学 3 年生を実験授業の被験者としたのは，2 つの理由による。

- (1) ここで提案しようとする授業方法は，交通流モデルを持っている生徒を対象に，彼らの考えを科学的モデルに転換するためのものである。
- (2) 1 節の調査結果より示唆されるように，交通流モデルは，学習前の日常経験によって構成されるというより，電気の学習がすすむにつれてできあがる可能性がある。しかしながら，中学 2 年生（電気について未習）を被験者にした場合，彼らが交通流モデルを構成していないと，考えられる。一方中学 3 年生を被験者にした場合，交通流モデルを構成している可能性があるからである。

このため，被験者を中学 3 年生にした。

さて，実際に授業を実施する被験者は，実態調査の被験者と同様に，中学 2 年生のときに既に電流の学習を済ませている。しかし実態調査を行った生徒たちとは異なる学校の生徒である。実験授業は実態調査をもとにしているので，実態調査を受けた被験者と実験授業を受ける被験者が同じ傾向を持っていることが必要となる。

そこで、実験授業を実施する前に、授業を受ける被験者にも同じ問題による実態調査（これを授業前調査と呼び、実態調査と区別する）を行い、その同質性を検討する。

なお、このような、同質性の検討が必要となる理由は、現時点では、交通流モデルが存在することは、実態調査の被験者 282 人については言えることは明らかである。しかしながら一般に多くの中学生、あるいはそれ以上の生徒や学生にも交通流モデルが広がっているかどうかは、不明だからである（この点については第 4 章で検討する）。

a 実験授業を受ける被験者と授業前調査

- ・ 山梨県下，公立中学校 3 年生 1 クラス 36 名
(282 人の実態調査を行った学校とは異なる)

- ・ 調査時期

授業前調査：1998 年 5 月

b 実態調査の結果と授業前調査の比較

授業前調査の問題は 4 問からなる。それは、

- 1 番：単純回路での電流の大きさの問題，
- 2 番：電流・電圧の統合の問題，
- 3 番：オームの法則の問題，
- 4 番：豆電球の明るさの問題

である。1 節の実態調査との比較はこの 4 問について行う（資料 2－1(1)～(4)）。まずは、1 番の単純回路での電流の大きさの問題について、検討する。正解者数は表 2－5 の通りである。

表 2・5：プレコンセプションの正解者〔人〕

	授業実施クラス	実態調査の被験者
科学的モデル	21	135
それ以外（誤答）	13	147

直接確率計算の結果，授業を実施するクラスと実態調査を行った被験者の正誤に対する母比率の差は有意ではない（ $p=0.148>0.05$ 両側検定）。

表 2・6：電流・電圧の統合、オームの法則、明るさの平均点

	統合	オームの法則	明るさ
授業実施(36 人)	5.9	4.0	2.4
実態調査(282 人)	6.6	4.7	2.1

表 2－6 は，2 番から 4 番の各問題の平均点をまとめたものである。これら 3 つの問題について，それぞれの分散分析を行った。その結果

2 番：統合の問題では，

$$F(1,317)=1.317 \quad p=0.252>0.05$$

3 番：オームの法則の問題では，

$$F(1,314)=0.806 \quad p=0.370>0.05$$

4 番：明るさの問題では，

$$F(1,316)=1.192 \quad p=0.276>0.05$$

であった。授業実施の子どもたちと実態調査を実施した子どもたちの間には有意差はない。

以上，4 つの問題の分析から実験授業を実施する子どもたちと実態調査を实

施した子どもたちでは、電気回路の学習についての理解に差がなく、同質であるとする。

2・3 従来型の授業によって分極の実態がすすむかどうかの検討

実態調査では、上位群ほど分極の実態が顕著であった。しかし、先の実態調査だけでは、これが従来型の授業によって、表れたことなのか否かは不明である。

そこで、授業実施の被験者たちに、基礎的な事項の復習を行って、復習前と後の結果を比較して、こうした分極の実態が著しくなるかどうかを検討する。基礎的な事項の復習とは、従来行われている方法で2年生のときに学習した内容の一部を復習するもので、電流・電圧の特徴、抵抗、オームの法則を復習した。

なお、この基礎的な事項の復習の実施は、本研究で提案する再構造化の方法という指導方法を実施する上で何ら妨げにならない。後に述べるようにむしろ、こうした従来型の指導で、基礎的な内容が身に付いていることが前提となって、再構造化の授業方法を実施するからである。

a 基礎的な事項の復習の実施

- ・被験者は授業前調査を行った生徒たちである。

山梨県下、公立中学校3年生 1クラス 36名

- ・基礎的な事項の復習と直後の調査時期

1998年10月 6単位時間（1単位時間50分）

b 基礎的な事項の復習により子どもの考えが集中するかどうかの検討

調査問題は、授業前調査で用いた問題と同じ問題を復習後実施する。ここでは、4番の豆電球の明るさの問題のみを検討の対象とする。

豆電球の明るさの予想と基礎的な事項の復習後の明るさの予想をまとめたものが表2-7である。

表 2・7：問題4番の豆電球の明るさの予想パターン

パターン	明るさの予想（注1）			人数 [人]	
豆電球	a, b	c, d	e, f	授業前	基礎的な事項学習後
1（正解）	アア	アア	ウウ	2	4
2	アア	ウウ	アア	3	15
3	アア	ウウ	ウウ	2	1
4	ウウ	アア	ウウ	1	3
5	ウウ	ウウ	アア	7	6
6	ウウ	ウウ	ウウ	1	2
小計				16	31
その他	（注2）			20	5
合計				36	36

（注1） 明るさの予想で「ア」というのは、単純回路と明るさが同じ、「ウ」というのは単純回路より暗いことを示す。すなわちパターン1のa球b球がアアというのは豆電球aと、豆電球bの明るさは単純回路と同じことを意味する。

（注2） その他については、授業前では20人が19パターンを示し、基礎的な事項の復習後では5人が4パターンを示した。

基礎的な事項の復習後，子どもの予想は6つのパターンに集中化が進んでいる（16人→31人：表2－7，小計の項）。このことから，基礎的な事項の復習を従来の指導方法で実施すると，子どもの考え方が集中する傾向があると考えられる。すなわち，実態調査によると，上位群ほど生徒の予想が豆電球の明るさの予想では特定の考えに集中する傾向があったが，基礎的な事項の復習によっても同様の傾向があることが確かめられた。

以上の点より，次の2点が明らかになった。

- ① 実験授業を受ける被験者が実態調査うけた生徒たちと同質であること。
- ② 基礎的な事項の復習によって、電流などの知識が豊富になるにつれて、分極の実態が著しくなったこと。

2・4 授業方法の提案

2・4・1 再構造化の方法の定義

図2－3のような手順にしたがって、調査と授業を実施する（既に授業前調査と、基礎的な事項の復習の一部については前項で検討している）。

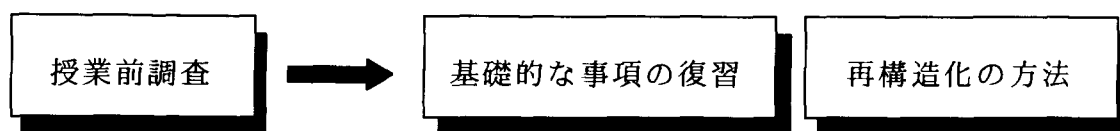


図 2・3：授業前調査と授業実施

a 再構造化の方法の定義

科学概念の形成という点、一般には学習前の子どもの考えを科学的概念へ転換することを指す（図2－4，学習経路A）。しかし、本研究で電気回路について既習の生徒たちは、通常の授業の後に、科学的に正しい概念とその授業によって変位を受けた誤概念（豊富化された誤概念）が、相互に影響しあうことなく存在していることを示した。そして、私たちはこうした従来型の授業を完全に否定するのではなく、一度そうした授業を通して、このような混在した概念を子どもの中につくり（学習経路B）、その上でこれらの相互作用を通して科学的概念を形成するための指導方法を提案したいと考えている（学習経路C）。

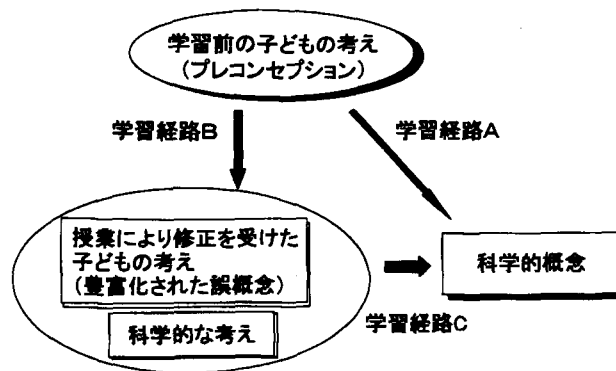


図 2・4：再構造化の方法の位置

すなわち，本稿で対象にしているのは，図2－4の学習経路Bにより，基礎的な事項を復習し(被験者は中学2年生の時すでに，この学習を行っているが，改めてここでも復習することは既に述べた)，その上で学習経路Cにより，子どもの科学的な知識と豊富化された誤概念をとおして科学的概念を形成するという方法である。そして，学習経路Bは従来の授業方法であるので，学習経路Cを再構造化の方法と呼ぶことにする。本稿で提案し，検討する指導の方法とは，学習経路BとC，特にCのことである。

2・4・2 再構造化の方法の基本的考え方

この方法は，子どもの持つプレコンセプションを概念転換する方法をその基礎的なものとする。この過程には，

- ①自分のプレコンセプションを意識化させる（意識化），
- ②子どものプレコンセプションでは解決できないような葛藤教材を与えること（葛藤），
- ③その応用とまとめ（応用），

という3つの段階があることが示されている(古屋・戸北, 1993)。ここでも，この考え方をもとにしていく。

(1) 授業で用いる課題について

再構造化の方法による授業で扱う課題は、意識化、葛藤教材という点から実態調査、授業前調査で用いた豆電球の明るさと電流の大きさの予想の問題とする（資料 2 - 2 (1)~(3)）。

(2) 新しいモデルの導入について

本稿では、2つの目的で「パチンコモデル」と私たちが呼ぶモデルを導入し、従来型の授業の中（基礎的な事項の復習）で、用いた。その2つとは、

- i) 定量的な性格を持つモデル、
- ii) 再構造化の方法による授業の中で、討議を行い情報を交換する共通の表現としてのモデル、

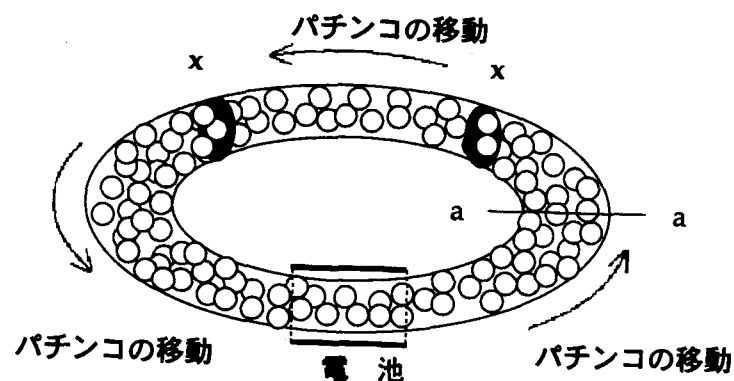
の必要性に基づいたものである。

i) の定量的なモデルの必要性について

従来、授業で電気回路の学習に用いられてきたモデルは主に「水流モデル」、「列車モデル」、「自由電子モデル」という3つであった。これらは、どれにも長所と短所があると言われている（市川・戸北・堀，1995）。共通して言えることは、これらが定性的であり、回路を流れる電流が大きい小さいかを説明するには優れているが、定量的な予想が出来るモデルではないということである。

ii) の共通の表現としてのモデルについて

授業では、教師は複数のモデルを用意することが必要である。その子の持つ体験や思考のスタイルを考えれば、1つでは、子どもの理解を妨げてしまう可能性が考えられるからである。



- このモデルにおいて電流とは $a - a$ 面を 1 秒間に通過するパチンコの数とする。
- 電池とは、導線に詰まっているパチンコを動かす装置。

図 2・5：パチンコモデル（粒子モデル）

しかし、先に述べたように、ここでは再構造化の方法という授業の場での討議を重視している。そのため、共通の表現方法を用いて、モデルで自らの考え、あるいは同じクラスの生徒どうしの考えを検討させたい。ただし、共通の表現としては、このモデルを用いるが、それ以外を使って考えてもよい。

図 2 - 5 が、そのモデルである。

実際の指導で子どもが図を描いて表現する場合は例えば単純回路を流れる電流が 0.6 [A] なら、6 個の粒子（パチンコ）が、豆電球の前後に流れているように表現させた。このようにすればパチンコが 3 個の時は 0.3 [A] 、12 個のときは、 1.2 [A] である。

2・5 実験方法

2・5・1 授業方法

豆電球の明るさと電流の予想の問題は 3 つの課題よりなる（資料 2 - 2 (1)～

(3))。それぞれ単純回路での豆電球の明るさに対して，

課題 1：分離型並列回路の 2 つの豆電球の明るさ，

課題 2：標準型並列回路の 2 つの豆電球の明るさ，

課題 3：直列回路の 2 つの豆電球の明るさ，

を問うものである。指導の実際は図 2－6 の通りである。

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。

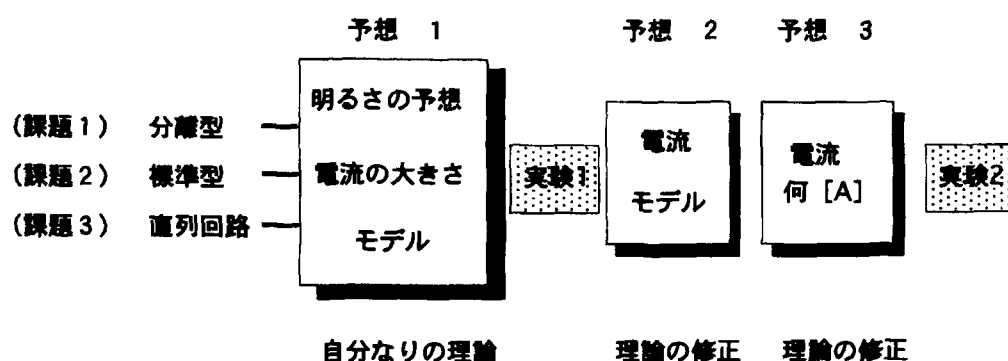


図 2-6：再構造化の実際の指導方法

しかし，ここで提案する再構造化の方法は，子ども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子どもの考え方の矛盾を，個別に指摘したり，周りとの討議は自由に行わせる。予想 3 として，モデルで表現した粒子（パチンコ）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、新しいモデルの使用により明るさとパチンコの数（回路を流れる粒子の数）、パチンコ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・5・2 評価

次の3つを授業評価に用いる。

① 基礎的な事項の復習による3つの問題の得点推移

基礎的な事項の復習の効果は、資料2-1の問題を、この復習の前（指導前調査）と復習の後（再構造化の指導の前）に実施して比較する（資料2-1(1)～(4)）。

② 基礎的な事項の復習前、復習後、再構造化後の3点でオームの法則の得点と豆電球の明るさの問題の正解者数の推移

i) オームの法則の問題による、子どもの理解の状態を調べるテストでは、単純回路を除く直列回路と並列回路の問題を用いた。テストは3回行った。第1回目は基礎的な事項の復習前（授業前）、第2回目は基礎的な復習終了後で、再構造化の指導前（授業の中間）、第3回目は再構造化の指導後（授業後）である。（これはそれぞれ図2-7のA、B、C各点に対応する）3回とも同じ問題を用いてその点の推移を分析する。なお、基礎的な事項の復習では、オームの法則の計算方法を指導したが、再構造化の方法の中では計算のしかたなどは一切扱っていない。

ii) 基礎的な事項の復習前、復習後、再構造化後に豆電球の明るさの問題で正解者数がどのように推移していくかを分析する。

③ 再構造化の方法による子どもの考えの推移

i) 再構造化の指導の中では、事実を確認する前の予想1、確認後の予想2と予想3を、子どもにモデルを使って表現させている。これがどのように推移していくかを分析する。

ii) 再構造化により正しい考えを示した子どものオームの法則の問題での得

点の推移を調べる。

2・5・3 被験者と実施時期

・調査対象

山梨県下，公立中学校3年生 1クラス 36名

(282 人の実態調査を行った学校とは異なる，また授業により若干の欠席者がいた。また彼らは中学2年生のときに電気回路については既習)

・調査時期

授業実施： 1998 年 10 月

基礎的な事項の復習…… 6 単位時間

再構造化の方法……………2.5 単位時間

(1 単位時間は 50 分とした)

2・6 結果

授業は，先に述べたように基礎的な事項の復習と，再構造化の方法の2つからなる(図2-7)。



図 2・7：授業の流れと評価実施の場所

この節では，A：授業前，B：基礎的な事項の復習後・再構造化の前，C：再構造化の授業後を表すものとして，以下A点，B点，C点として表現する。

ここでは，結果として次の3点について述べる。

① 基礎的な事項の復習による3つの問題の得点推移(A・B間の比較)

A点とB点で行った3つの調査問題，電流と電圧の統合問題，オームの法則の

問題，明るさの問題（資料 2－1 の(2)～(4)参照）の正解率の推移をグラフ化したものが図 2－8 である。ただし，正解率とは各問題の満点を 100%としたときの割合である。

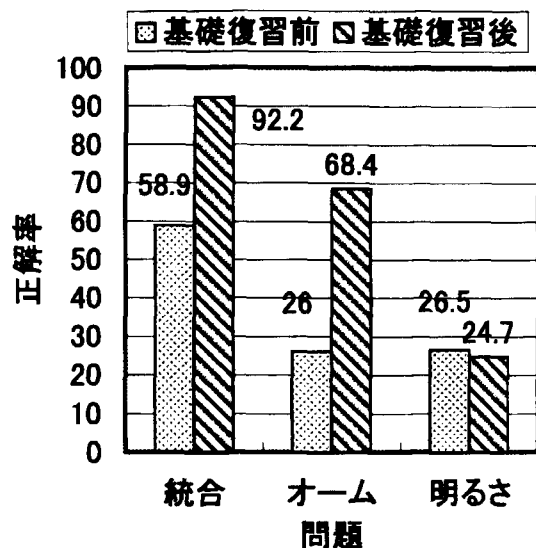


図 2・8：基礎的な事項の復習の前後における得点の推移

また，豆電球の明るさの問題については，明るさの予想と電流の大きさの予想があり，前者，明るさの予想は，授業前後で同じだが，次に続く授業の内容上，後者，電流の大きさの予想方法が異なる。授業前の電流の大きさは数値で，授業後はモデルで表したものを得点化したので，付記しておく。

② A・B・Cの3点でオームの法則の得点と豆電球の明るさの問題の正解者数の推移

i) オームの法則の得点の推移

A点，B点，C点でのオームの法則の問題の得点は表 2－8 の通りである。

ii) 明るさの問題の正解者数の推移

豆電球の明るさと電流の大きさを問う問題 4 番で，3種類の回路で正解者数は，A点，B点，C点では表 2－9 の通りである。

表 2・8 : オームの法則の問題の得点の推移 [11 点中]

	授業前 (A)	授業中 (B)	授業後 (C)
被験者数	36	36	36
平均	2.86	7.53	7.92
標準偏差	2.86	3.29	3.02

表 2・9 : 豆電球の明るさの予想問題での正解者数の推移

	授業前 (A)	授業中 (B)	授業後 (C)
正解者数	0	1	18

③ 再構造化の方法による子どもの考えの推移 (B・C間の比較)

ここでは、i) 再構造化による子どもの考えの推移、ii) 再構造化の授業で正解を示した 18 人の子どものオームの法則の問題での得点の推移、という 2 点の結果を述べる。

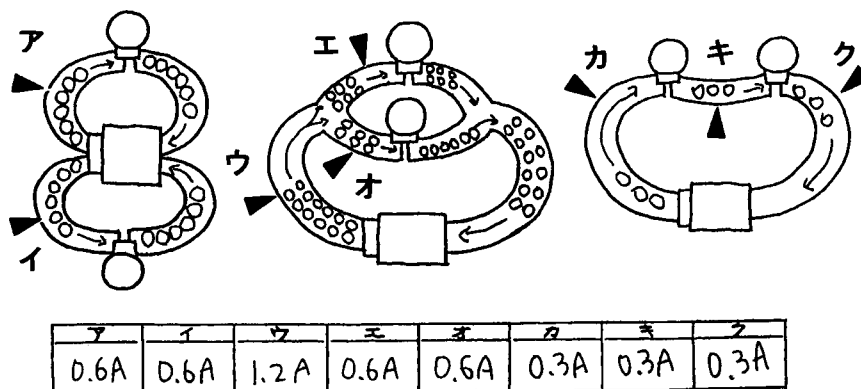
i) 再構造化による子どもの考えの推移

再構造化の方法は、すでに示したとおり予想 1, 実験 1 (豆電球の明るさの確認), 予想 2, 予想 3, 実験 2 (電流の大きさの測定) であった。その間、予想 1～3 の子どもの考えの推移が表 2-10 である。予想 3 で、科学的に正しい表現をしているものの一例が図 2-9 である。なお、これは表 2-10 のパターン A に相当する。

表 2・10：再構造化の方法による電流の大きさの予想の推移

パターン	パターン毎の人数			並列回路（粒子数）					直列回路 (粒子数)		
				分離型		標準型					
	予想 1	予想 2	予想 3	ア	イ	ウ	エ	オ	カ	キ	ク
A(正解)	1	2	18	6	6	12	6	6	3	3	3
B	20	10	0	6	6	6	3	3	6	6	6
C	0	5	3	6	6	6	6	6	6	6	6
D	0	8	0	6	6	6	6	6	6	3	6
E	8	3	0	3	3	6	3	3	6	6	6
F	0	2	0	6	6	6	3	3	6	3	6
その他 (注)	7	6	15								
合計	36	36	36								

(注)：その他とは、モデルによる電流の大きさの予想に欠損値がある場合である。ただし、予想3については、欠損以外の予想パターン（4種類）も含む。



(この生徒は最後になって、この科学的モデルを構成することができた)

図 2・9：予想3での子どもの考えの一例

ii) 18人(再構造化の授業で正解を示した子ども)のオームの法則の問題での得点の推移

表 2・11：明るさの問題で科学的なモデルを構成した生徒の

オームの法則の問題の得点推移 (A・B・C点間)

パターン	得点推移の特徴	人数
a	3回とも高い得点	2
b	A B間で上昇するが、B C間では変わらない	6
c	A B、B C間で単調に増加	2
d	A B間ではあまり上がらないが、B C間で上昇	4
e	A B間ではあがるが、B C間では逆に下がる	4
計		18

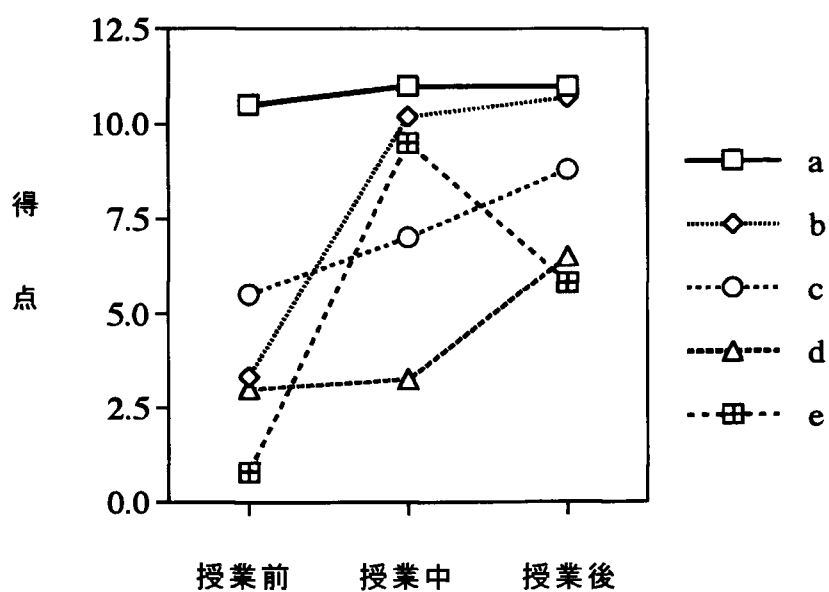


図 2・10：各パターンの平均点の推移

再構造化の授業により、18 人の子どもが、科学的なモデルを調査用紙に表現した。34 人全員を対象にしたオームの法則の問題の平均点は A 点から C 点にうつるにつれて、上昇していることが確かめられたが（表 2－8）、18 人のオームの法則の問題の得点の推移を個別に注目してみると次の 5 つのパターンがある（表 2－11）。

それぞれのパターンについてグラフ化したものが図 2－10 である。

2・7 考察

① 基礎的な事項の復習による 3 つの問題の得点推移について

図 2－8 によると、電流と電圧の統合問題、オームの法則の問題の平均点が、基礎的な事項の復習後、上昇している。しかし、明るさの問題では、学習前後でほとんど変化がない。

これは、電流、電圧、オームの法則の計算の理解は、従来型の授業で改善されるが、交通流モデルは、一切改善されないことを示していると考えられる。

② A・B・C の 3 点でオームの法則の得点と豆電球の明るさの問題の正解者数の推移

i) オームの法則の得点の推移

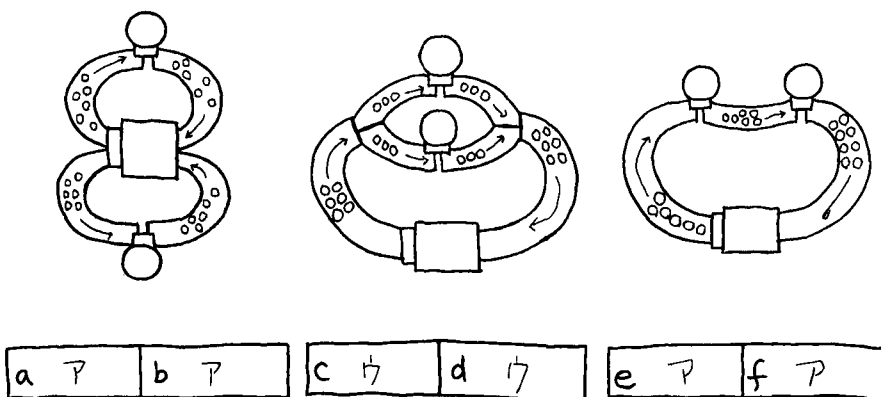
オームの法則の問題の得点は、表 2－8 より、基礎的な事項の復習で上昇し、再構造化の方法による学習の前後では、わずかに上昇しているのみである。この理由は、2 つ考えられる。第 1 に、11 問の問題で、7～8 点を取った場合、それ以上はもともとの問題数から上昇しにくいこと。第 2 に、再構造化の方法が目指すのは、オームの法則を用いて計算できることのみを目指したものではなく、計算できることと交通流モデルを用いて子どもの知識の再構造化をはかることである。すなわち、多くの子どもが持つ、交通流モデルを科学的モデルに転換する学習は、とりあえず 7 割近くの点を取る子ども達の計算問題での得点の上昇には寄与しないことを示したと考えられる。逆に、このことは、今までの評価の方法だけでは、子ども達の誤概念としての交通流モデルが、見えなかったことの原因になると考えられる。

ii) 明るさの問題の正解者数の推移

表 2-9 を見ると、再構造化の方法により、34 人中 18 人が科学的なモデルを構成したことを示している。実態調査では 282 人中 1 人だけだったことと比較すると、この方法の効果があったことを示すものだと考えられる。

③ 再構造化の方法による子どもの考えの推移

i) 再構造化による子どもの考えの推移



パターン E は、B とは分離型並列回路での予想が異なるが、標準型並列回路と直列回路は同じである。すなわちパターン B と E は交通流モデルである。尚子の図は付録 2 の課題 1, 2, 3 にそれぞれ生徒が記入したものを抜粋した。

図 2-11 : パターン B の子どもの記述

表 2-10 (図 2-11 も参照) より、まず予想 1 での電流の大きさをモデルで表現する子どものパターンは B (20 人), E (8 人) に集中している。パターン B と E は分離型並列回路での予想をたてる点アとイでは考えが異なるが、しかし、それぞれ標準型並列回路と直列回路の電流を測定する点、ウエオとカキクでの粒子の数は B と E では同じである。これが意味するものは、これらの予想をした子ども達の考え方が、交通流モデルによるものであること、そして予想 1 の時点では 34 人中、29 人 (B と E, その他の中の 1 名) が、交通流モデルで回路の電流の大きさを予想している。オームの法則の計算は 34 人の平

均点は 68.4%である。しかし、85% (29 人/34 人中) の生徒がオームの法則の計算方法による答えとは異なる予想をしているのである。

次に、図 2-6 の実験 1 で 3 つの回路の豆電球の明るさを確認したあと、事実即して予想の建て直しを行った。予想 2 である。表 2-10 より、B、E が減り、C (5 人)、D (8 人)、F (2 人) という予想が出てきている。授業の中では実験 1 を見た後、かなり混乱したが、それをこのデータが示していると考えられる。パターン C、D、F とともに、電流の保存 (キルヒホッフ第 1 の法則) が崩れているからである。基礎的な事項の復習で、ほとんどの生徒がこの法則を習得しているはずだが (平均点 92.2%, 表 2-10 の電流と電圧の統合の問題)、実験 1 で見た事実を説明するために科学的モデルを構成するのではなく、この法則を間違った方へ修正している。これは、計算はできるという知識が、交通流モデルの転換を求められる中で、揺らいできていることを示していると考えられる。

予想 3 において、18 人が科学的モデルを構成したが、それは以上のような過程を通してであった。なお、予想 3 では、予想 1・2 に比べ「その他」が 15 人と増えている。討議や事実からだけでは、交通流モデルから科学的モデルへと概念の転換ができない、あるいは自分の交通流モデルには不満を感じてはいても、科学的モデルを思いつくことができなかった生徒がここに含まれていると考えられる。

ii) 18 人のオームの法則の問題での得点の推移

表 2-8 の内容を、交通流モデルから科学的モデルへ転換した 18 人について改めて検討する。

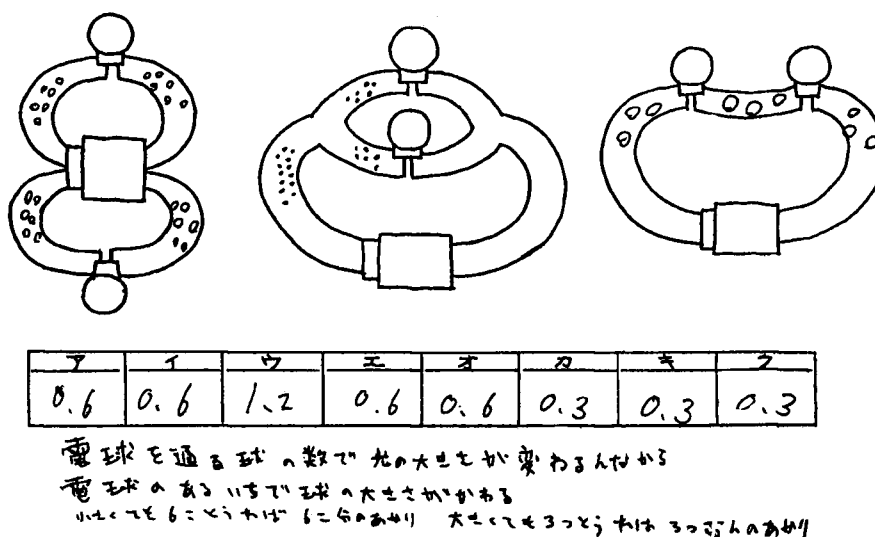
この 18 人のオームの法則の得点の推移は、個別に見ると単純な増加のみではなく、5 つのパターンに分類可能であることがわかった (表 2-11, 図 2-10)。これによると、

パターン a, b の子どもは再構造化によっては、あまり得点が上昇していない。基礎的な事項の復習の段階ですでに高得点だからである。これらの子ども達は表面的には点数は変わらなかったが、1 人をのぞいて、あとは交通流モデ

ルから転換した子ども達であった。

パターン c, d の子ども達は再構造化によって得点が上昇している。この学習により科学的モデルを習得し、それがオームの法則の計算の理解を促進したと考えられる。

パターン e は、逆に再構造化により得点が下がった子ども達である。そのうちの 1 人 (M 君) が予想 3 で描いたものが図 2-12 である。



生徒M君のメモ：『電球を通る粒（粒子－パチンコ；筆者注）の数で光の大きさが変わるんだから、電球のあるいちで球の大きさがかわる。小さくても6ことうれば、6個分のあかり、大きくても3つとうれば3つ分のあかり』

このように考えて生徒M君は図のように粒子の大きさを変えて描いている。

図 2-12：パターン e の生徒Mの、予想 3 での考え

M 君の記載した説明によると、どうしても電池から出る電流の量が、豆電球のつなぎ方によって変化するということを受け入れられないことを示している。その結果、周囲との討議を通して彼は交通流モデルと科学的モデルの折衷案としてのモデルをつくりあげている。つまり粒子の数は科学的モデルに合わせ、しかし粒子の大きさを変えることによって電池から出る電気の量を同じにしよ

うとしているのである。このように科学的モデルを十分には受け入れられないまま、オームの法則の問題に臨んだのである。そのため、彼の得点は下がったと考えられる。

M君は、パターン e の 1 つの例である。他の子ども達もそれぞれの理由があるが、討議を通して科学的モデルを描いているが十分な理解が得られなかった点では共通している。

以上の点から言えることは、次の 4 点である。

- ① 明るさの 3 つの連続した課題は、葛藤教材として機能したこと。
- ② 再構造化の方法により、交通流モデルから科学的モデルへの転換は容易ではないが、可能であること。
- ③ その際、交通流モデルとオームの法則の計算できることが相互に影響し合うことが認められること。
- ④ 表 2-1-1 のパターン e の 4 人を除く 14 人が、少なくとも科学的概念を構成したと考えられること。

したがって、再構造化の方法は有効であると考えられる。

3 節 本章についての考察と課題

3-1 考察

1 節、2 節から次の点が考察できる。

(1) 交通流モデルの存在

電気回路の学習後では、生徒たちはオームの法則を用いて電流、電圧、抵抗値を計算によって求めることができるが、回路のイメージとしては交通流モデルという誤った概念をもっていて、オームの法則により回路の問題が解けることと、実際に生徒本人が持っている回路のイメージが矛盾するにもかかわらず、ほとんどの生徒がそのこと気が付いていない。

このことは、たとえ回路についての計算問題は解くことができて、それは

回路についてのイメージと計算方法がリンクしていて解けるのではなくて、計算方法を覚えているためにできるに過ぎないことを示していると考えられる。実際、多くの生徒達は、電気についての学習を理解しにくいものとして捉えていることの背景にこうした交通流モデルのそんざいがあるのではないかと考えられる。

(2) 概念形成のための「再構造化の方法」の有効性について

交通流モデルは上記のように生徒に意識されていない誤概念である。それを科学的モデルに転換するためには、

- ① 生徒が自分自身で持っている考え方（ここでは交通流モデル）を意識化できる学習課程。
- ② 意識化した誤概念としての交通流モデルを科学的モデルへ転換することが必要である。

そのためには、まずは従来型の授業により子どもの知識の豊富化を行い、このとき生ずる分極の実態を改善するため、再構造化の方法による修正が有効であることを明らかにしたのである。

3・2 課題

2章の研究では、電流学習の難しさの原因として、交通流モデルを同定し、その交通流モデルを科学的モデルに転換する方法を提案し、その有効性を示した。すなわち、電気の学習についての一つの方向性を示したと言えよう。しかしながら、交通流モデルとその転換のための指導方法については、次のような課題をあげることができる。

(1) 交通流モデルを持つ生徒の広がり

今回の調査では、多くの生徒が交通流モデルを持っていることが分かった。しかしながら、交通流モデルについては次の2点は明らかではない。

- 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。

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。

① について

私たちは、これが一般的な傾向であるとは、今回の2節での授業方法の提案の前に仮定しなかった。そのために調査の被験者と、授業の被験者の同質性を調査してから授業を実施した。しかし、この交通流モデルの存在が一般性をもつものかどうかを明らかにすることができれば、中学生の電気学習についての指導改善に、ここで提案した方法が役に立つものとなるであろう。

② について

中学校2年生の授業後に、交通流モデルができると私たちは仮定したが、それが妥当か否かは明らかではない。

これら①と②については、学年別の推移を調査する必要がある（これについては、第4章で調査をおこなっている）。

(2) 実験授業の評価としての実験のあり方

今回2節で行った実験は、本来の実験としては次の点から不十分なものである。すなわち、新しく提案した指導方法の効果を評価するのに、最終的には実験授業により36人中18人が科学的モデルを構成したことで、実態調査では282人（電気既習の被験者）中1人だけが科学的モデルを構成していたことを比較して効果があるとしたのである。実験としては条件を整えて、指導方法のみを変えて実験をおこなうべきであったが、それをここではしないで、その有効性をのべたからである。

したがって、授業方法を検討するには、統制群と実験群を設定した実験が必要になる（第5章において実験群と2つの統制群を設定して実験を実施する）。

(3) 交通流モデル生成の原因について

本章においては、授業を受けることによって電気についての知識が増え（豊

富化)、交通流モデルが生成されると、述べてきた。ではなぜ、授業をうけることによって交通流モデルが生ずるのか。このように意図して授業を展開する教師はいないはずである。この点については、今まで触れてこなかった。けれども、これについては2つのことが考えられる。すなわち、①生得的な思考方法、②今までの指導方法、あるいは教材配置の影響、である。以下この2点について検討する。

① 生得的な思考方法

交通流モデルは、電流の流れ方について、キルヒホッフ第1の法則を学習するとできあがる。このとき多くの生徒は交通流やホース中の水の流れについての日常経験による推論スキーマを使って、キルヒホッフ第1の法則を理解するために、交通流モデルが構成され则认为られる。ところで、電流の流れは、こうした交通流やホース中の水流とは異なる流れ方として理解する必要がある。それが科学的モデルである。現実の生活の中では、並列回路での電流の流れのように、2つに流れが分岐した瞬間に、もとの流れが2倍に増えるというようなものはないのである。

したがって、生得的な思考方法とは、生徒あるいは人間の思考の特徴として、キルヒホッフ第1の法則を提示されると、だれでもこうした誤概念としての交通流モデルを構成してしまうものなのではないか、ということである。

② 今までの指導方法、あるいは教材配置の影響

従来、交通流モデルの存在が指摘されたことはない。当然、このモデルによる電流概念形成上の負の影響が検討されたことはない。今までの指導方法は、こうした点について何ら配慮されていなかったものと言えよう。

そのため、今までの指導方法それ自体が、交通流モデルを構成させる要素を持っていることも考えられる。また、授業で教える教師としては、交通流モデルを生徒に生成させることを意図しなくても、従来の指導方法により、結果としてこのモデルを作り上げさせているという可能性であり、教師もこの点に無自覚であるという可能性である。

本研究で、提案し検討する指導方法～再構造化の方法～は(1)の立場から、交通流モデルの存在を考え、これを科学的モデルへと修正・転換しようという方法である。そのことは、指導過程で従来の指導方法を否定せず、それを前提として再構造化の方法を取り入れていることにも現れている（図2－4：学習経路Bと学習経路C）。

しかしながら、(2)の立場からも指導方法の検討は、可能である。言い換えると、そもそも交通流モデルを生成しない指導方法というものがあるだろうか、という立場である。本論文にあっては、こうした立場からの指導方法については触れないが、今後交通流モデルに対する指導方法の一つとして、検討していくことが必要であろう。

◆実験・調査のための問題

2－1 調査問題 (1)～(4)

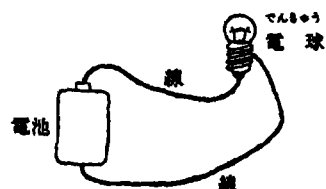
2－2 授業中の課題 (1)～(4)

資料 2 - 1 : 調査問題 (1)

これはテストではありませんから、あなたの思っているとおりに書いてください。

____年____組 番号____ 名 前____ 男・女

(問題) 下の図のように、電球を電池につなぎました。電球には、あかりがついています。



線を通る電気の様子をあらわしているのはどれでしょう。①から④の中からえらびなさい。あなたの考えている図がないときは、⑤のところにあなたの考えを書きましょう。

<p>①</p> <p>---のところに電気はとおらない。</p>	<p>②</p> <p>電気は電球のほうに向かう。</p>	<p>⑤</p>
<p>③</p> <p>電気は電球までいってもどってくる。</p>	<p>④</p> <p>電気は「かえり」の線のほうが少ない。</p>	

答 え	えらんだわけを書きましょう。

資料 2 - 1 : 調査問題 (2)

電流、電圧について、次の各問いに答えてください。解答はすべて解答用紙に記入してください。問題は 1 ～ 5(2) 番までです。1 番だけこの問題用紙に問題がなく解答用紙に問題と解答らんがあります。

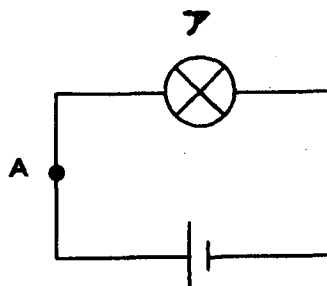
なお、解答用紙の裏に簡単なアンケートものっているので答えてください。

2 《 電流と電圧の問題 》

電流と電圧について、次の 3 つの回路での大きさを聞きます。解答はすべて解答用紙に記入してください。

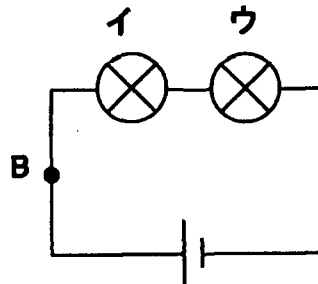
- (1) 乾電池の電圧が 1.5 [V] で、A 点を流れる電流の大きさが 0.5 [A] とすると、

- ・ 豆電球アを流れる電流は く ① > [A] である。
- ・ 豆電球アにかかる電圧は く ② > [V] である。



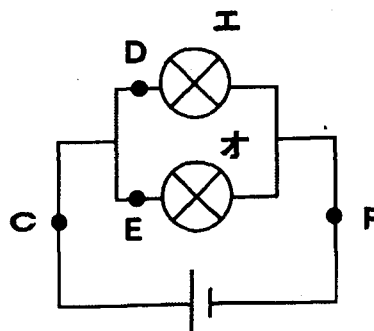
- (2) 乾電池の電圧が 1.5 [V] で、B 点を通る電流の大きさが 0.2 [A]、豆電球イにかかる電圧が 0.7 [V] とすると、

- ・ 豆電球イを流れる電流は く ③ > [A] である。
- ・ 豆電球イにかかる電圧は く ④ > [V] である。
- ・ 豆電球ウを流れる電流は く ⑤ > [A] である。
- ・ 豆電球ウにかかる電圧は く ⑥ > [V] である。



- (3) 乾電池の電圧が 1.5 [V] で、C 点を流れる電流の大きさが 0.5 [A]、D 点を流れる電流の大きさが 0.35 [A] とすると、

- ・ 豆電球エを流れる電流は く ⑦ > [A] である。
- ・ 豆電球エにかかる電圧は く ⑧ > [V] である。
- ・ 豆電球オを流れる電流は く ⑨ > [A] である。
- ・ 豆電球オにかかる電圧は く ⑩ > [V] である。



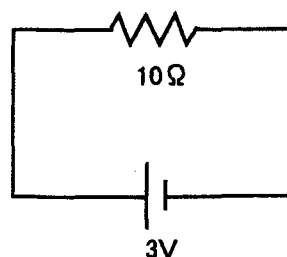
資料 2 - 1 : 調査問題 (3)

3 《 オームの法則 》

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。。解答はすべて解答用紙に記入してください。

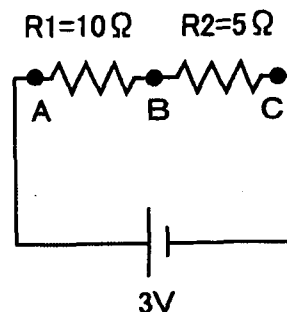
(1) 図のように、 $10\ [\Omega]$ の抵抗に、 $3\ [V]$ の乾電池をつないで、回路を作った。このとき、

- 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。



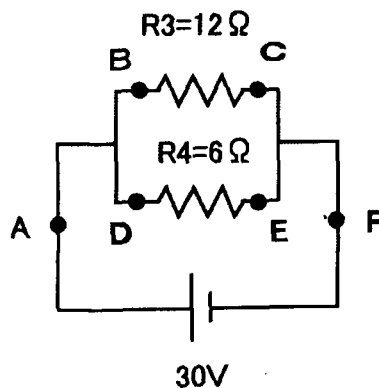
(2) 図のように $10\ [\Omega]$ の抵抗（これを R_1 とする）と、 $5\ [\Omega]$ の抵抗（これを R_2 とする）を直列につなぎ、 $3\ [V]$ の乾電池につないだ。このとき

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



(3) 図のように $12\ [\Omega]$ の抵抗（これを R_3 とする）と、 $6\ [\Omega]$ の抵抗（これを R_4 とする）を並列につなぎ、 $30\ [V]$ の電圧をかけた。このとき

- ⑦ 図の AF間にかかる電圧は何 $[V]$ になるか。
- ⑧ 抵抗 R_3 にかかる電圧は何 $[V]$ になるか。
- ⑨ 抵抗 R_4 にかかる電圧は何 $[V]$ になるか。
- ⑩ 抵抗 R_3 を流れる電流は何 $[A]$ 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 R を求めなさい。



資料 2 - 1 : 調査問題 (4)

4 《 豆電球の明るさ 》

豆電球と乾電池を使った回路についての質問です。なお、解答はみんな、解答用紙に書いてください。

豆電球 1 個と、乾電池 1 個から、図 0 のような回路を作りました。A 点の電流の大きさはかったところ、0.6 [A] でした。次に同じ豆電球をいくつか用意して、図 1、図 2、図 3 のような回路を作りました。

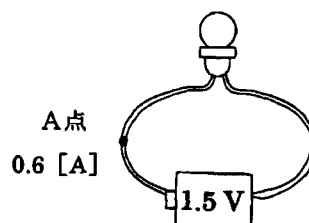


図 0 単純回路

(1) 右の図 1 の 2 つの豆電球 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～エ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

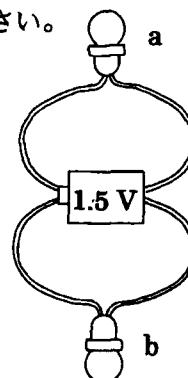


図 1 分離型並列回路

(2) 右の図 2 の 2 つの豆電球 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～エ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

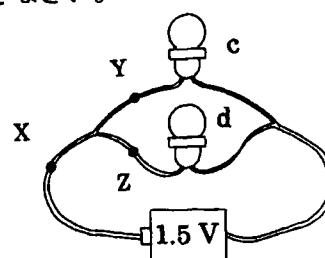


図 2 標準型並列回路

(3) 右の図 3 の 2 つの豆電球 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～エ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

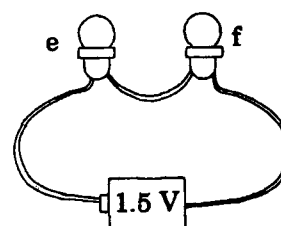


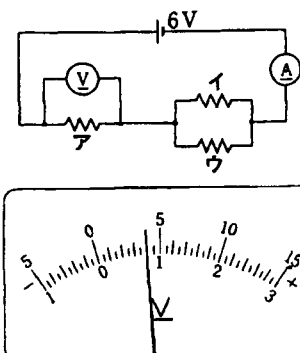
図 3 直列回路

(4) (2) の問題の回路 (図 2) について、X、Y、Z の電流の大きさはそれぞれ何 [A] でしょうか。

資料 2 - 1 : 調査問題 (5)

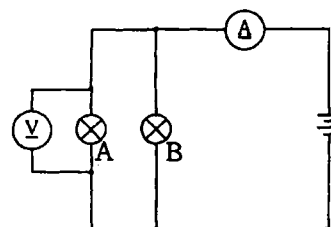
5 (1) 電熱線ア～ウを右の図のようにつなぎ、回路に流れる電流や電圧について測定した。電熱線イとウは同じ材質で、長さも太さも同じであるとして、次の問に答えなさい。

- (1) 電流計 A に流れる電流が 0.3 [A] のとき、電熱線アには何 [A] の電流が流れるか。
- (2) (1) のとき電熱線イには何 [A] の電流が流れるか。
- (3) 電圧計 V の針が右の図のようになったとき、電熱線ウの両端には何 [V] の電圧がかかるか。ただし、電圧計の－（マイナス）端子は 15 [V] 端子をしようしてある。



5 (2) 同じ豆電球 A、B を用いて右の図のような回路をつくり、電流・電圧を測定したところ、 0.4 [A] 、 3.0 [V] であった。次の問に答えなさい。

- (1) B の豆電球を消したら電流計は何 [A] を示すか。
また、電圧計は何 [V] を示すか。
- (2) B の豆電球を別の豆電球 C にとりかえて電流を測定したところ、電流計は 0.5 [A] を示した。豆電球 A に流れる電流の強さはどう変わるか（ア 増える イ 同じ ウ 減る）。また、豆電球 A には何 [A] 流れるか。
- (3) (2) のとき、豆電球 C に流れる電流は何 [A] になるか。
- (4) 豆電球 A・B に、さらに同じ豆電球 D を並列に接続した。電流計は何 [A] を示すか。



資料 2 - 2 : 授業中の課題 (1)

課題 1 (予想 1、予想 2 で共通)

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。

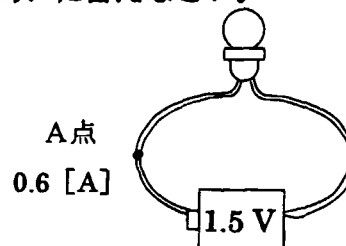


図 0 単純回路

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

()

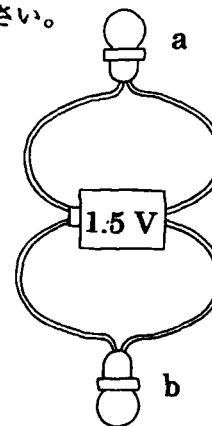
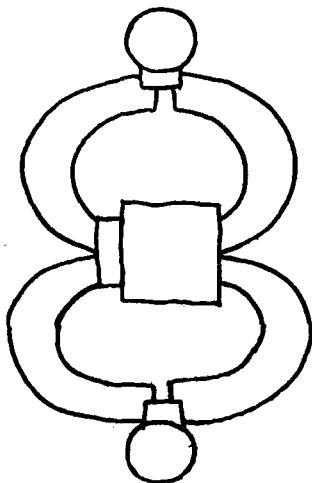


図 1 分離型並列回路

a	b
---	---



3 年 () 組 () 番 氏名 ()

資料 2 - 2 : 授業中の課題 (2)

課題 2 (予想 1、予想 2 で共通)

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。

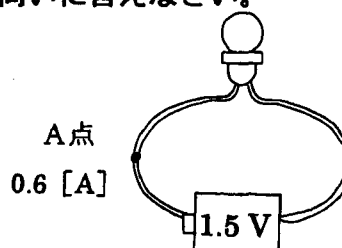


図 0 単純回路

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

()

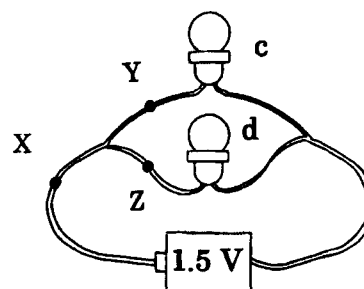
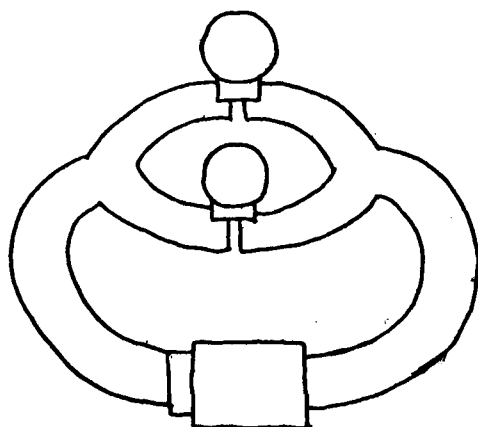


図 2 標準型並列回路

c	d
---	---



3 年 () 組 () 番 氏名 ()

資料 2 - 2 : 授業中の課題 (3)

課題 3 (予想 1、予想 2 で共通)

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。

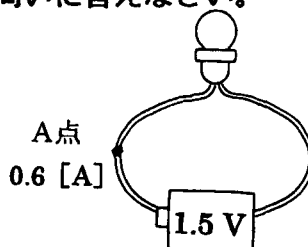


図 0 : 単純回路

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

()

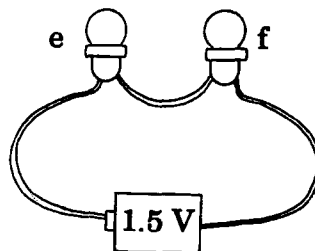
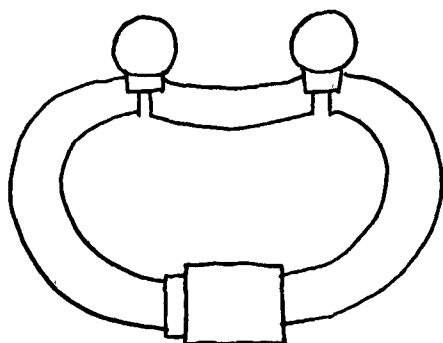


図 3 直列回路

e	f
---	---



3 年 () 組 () 番 氏名 ()

資料 2 - 2 : 授業中の課題 (4)

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。

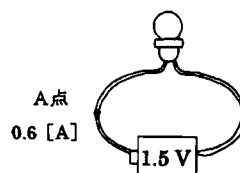


図 0 単純回路

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。

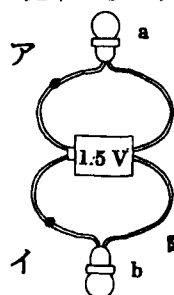


図 1 分離型並列回路

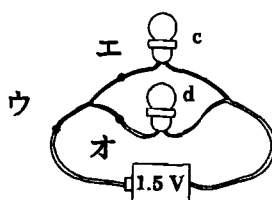


図 2 標準型並列回路

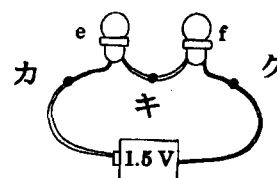
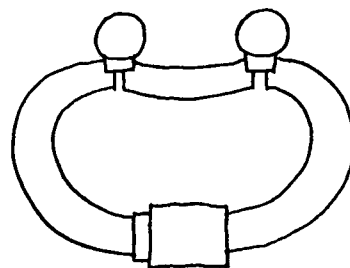
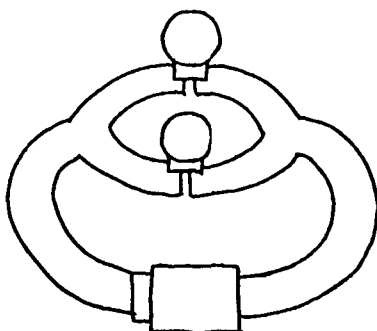
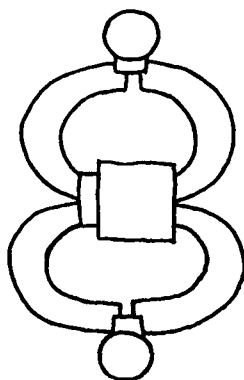


図 3 直列回路



ア	イ	ウ	エ	オ	カ	キ	ク

3 年 () 組 () 番 氏名 ()