

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

本章の基本的な考え方は、科学的概念の形成においてオースベルが注目し、ノバックがこれを理科教育に取り入れた統合的調和の考え方をもとにしている。私たちは、電流学習にこの統合的調和を実際に用いる方法を提案し、その効果を実証的に検討する。

第3章の構成は以下の通りである。

1節で、概念形成と統合的調和について述べる。ここでは、統合的調和の考え方を、中学生の電流・電圧に用いるために具体的な方法を提案する。

2節では、統合的調和の方法による学習の効果を、授業直後に実施するポストテストより評価する。

3節では、統合的調和の方法による学習の効果を、学習後時間が経過した後の遅延テストにより評価する。

4節では、電気領域について既に学習を済ませている中学3年生を被験者として、二元配置の実験計画法により、その効果を検討する。

5節では、統合的調和の方法の効果を、生徒自身により学習前と学習後で何が変わったかを問い、自己の学習について評価してもらい、この方法の有効性を検討する。

6節では、第3章全体を通して、統合的調和の方法の有効性を検討する。

なお、ここで提案し、検証した統合的調和の方法は、第5章で行う、実験のための重要な要素の一つとなる。

1節 概念形成と統合的調和

本節では、先ず第1に、科学概念形成を2つの系譜から見る。第2に電気学習上の問題点を指摘する。そのとき、本章の研究が、電気学習上の問題点として電流・電圧の識別に注目し（図3-1，イ）、それに対処するにあたって認知

構造の分析（図3－1，B），特に統合的調和の視点から実践を改善しようとするものであることを述べる。

第3にノバックのいう統合的調和，第4に統合的調和の方法について具体的方法を提案する。

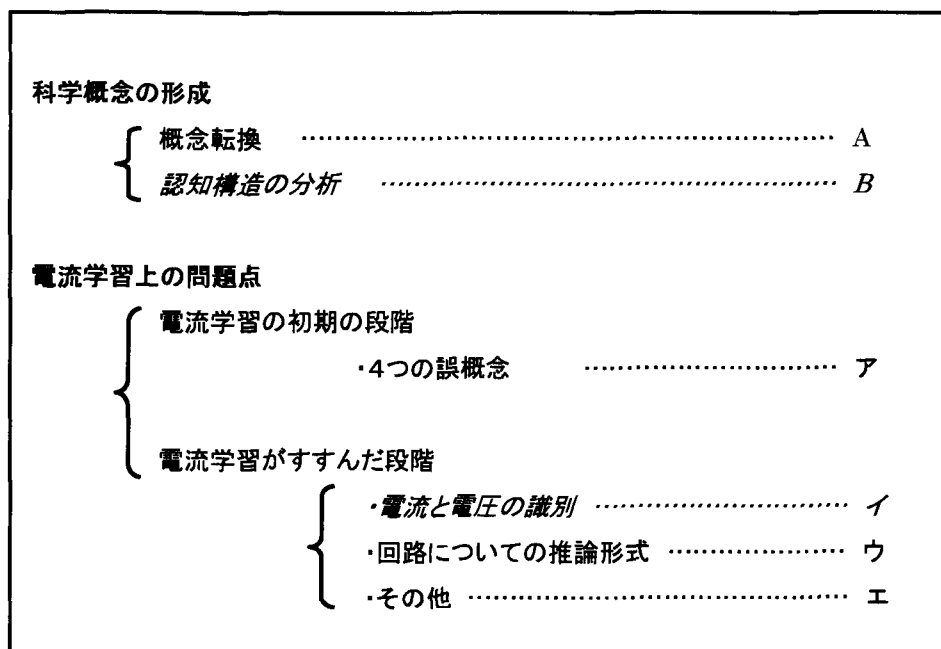


図 3－1：科学概念形成と電気学習上の問題点

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

科学概念の形成に注目すると，そこには2つの大きな流れがある(家野,1992)。第1は，学校での学習前に子どもが作り上げた誤概念を，授業において科学概念に転換させようとする概念転換の考え方である（図3－1，A）。第2は，教材自体のもつ構造，あるいは科学概念の構造と，学習者である子どもの認知構造を分析するものであり，オースベルからノバックへと続く研究の系譜である（図3－1，B）。

本章では，この第2の点に注目する。

オースベルは学習者が，提示された情報を有意味に学習するためには，その個人が持つそれまでの知識の構造である認知構造と，その新しい情報との関係が重要であることを示した（オースベル，1984）。こうした，オースベルの研

究を理科教育へ取り入れたのが、ノバックであった。ノバックはその著の中で、概念形成にオースベルの考え方が重要な役割を果たすことを指摘して、中でも概念形成で統合的調和と漸進的分化に注目している（Novak, 1977：71-93）。ここで、統合的調和とはノバックによれば、新しい学習の場にあつて「当面注目している概念に以前は関係がないと思われていたような別の概念が、適切でありまた包摂可能であると思えるようになること」であり、学習した「概念間の関係を明らかにしたり、それらの類似点と相違点を十分に指摘したり、それらの中には一貫した整合性がない（と思える）ものを、調和させる」（Novak, 1977：98-90）ことを促す指導方法である。そしてこれについてノバックは具体的な教材を示しながらその方法を述べている（Novak, 1977：89-93）。しかし、その後、統合的調和をすすめるという授業方法についての研究は見当たらない。そこで、本研究ではこれを電流などの学習に用い、その有効性を実証する。

1-2 電気の学習における問題点

中学生が電気の学習を通して科学概念を形成する上での困難な点として次の2点が上げられている。第1には、電気学習の初期の段階に位置づけられる問題点である。具体的には子どもが電流の流れについてさまざまな概念モデルをつくっていてこれが科学概念へと変わりにくいことである（オズボーン・フライバーグ, 1988：27-45）（図3-1，ア）。第2には、電気の学習がすすんだ段階での問題点である（図3-1，イ，ウ，エ）。

電気回路については、オズボーン（オズボーン・フライバーグ, 1988：27-45）は、4つの誤概念を同定し、電流学習の困難な原因を構成主義の視点から明らかにした。また、シップストン（シップストン, 1993：51-58）は同じく電流について子どもの抱いているモデルを、4つのパターンで定式化した（注3-1）。

こうした研究の流れはミラーら（Millar and King, 1993）が指摘するように、単純回路や簡単な直列回路での電流について述べるもので、中学生の電気回路の学習にあつては、これらはその初期に位置するものである。これに続く、

電圧や複雑な回路での電気についての研究は数多くはない。あまり多くはないがこうした中で、注目すべき点は次の2点であろう。第1に子ども達にとっては電流と電圧の識別が難しいこと（シップストン，1993：63・64），第2に生徒が回路について考えるとき，その推論の仕方は局所的，あるいは順序的であるというものである（Shipstone, Von Rhöneck, Kärqvist, Dupin, Johsua and Licht, 1988）。本研究では，前者に注目する。

しかし，従来の研究は例えば電流と電圧の識別の難しさを指摘しても，それは電圧の数値を予測しているときに電流の規則を用いている点などを指摘することまでである。またメティウイら（Métiooui, Brassard, Levasseur and Lavoie, 1996）はオームの法則を子ども達がうまく使うことができないのは電流，電圧についての理解が欠けていることを指摘はしているが，どのような指導が必要かは，明らかにしていない。さてこの識別に関する一つの視点として，筆者らは，教育実践上，子ども達は電流の特徴，電圧の特徴を学習するが，回路での電流・電圧の大きさを予想するとき，あるいはオームの法則を用いて回路について考えるとき，電流と電圧を統合的に理解している必要があると考える。

先の概念形成の2つの流れからいえば，電気分野の学習の困難な点の第1，概念モデルとその転換の難しさは，科学概念形成上は概念転換に対応し，第2の点，識別の難しさは，認知構造の研究が受け持つものといえる。

本研究では，電流と電圧の理解の難しさに注目し，これに対するに，第2の立場すなわち，その基本的科学概念の持つ構造と，子どもの認知構造の分析をもとにする立場から考えていきたい。

すなわち，本研究では，電流だけあるいは電圧だけを単純化した回路で問うと正しい予測をすることができても，多くの子どもにとっては，電流と電圧を同時に一つの回路で質問すること，すなわち電流と電圧を統合的に理解することが難しいこと，この点についてノバックが示した統合的調和の方法を，実践的に使用し指導方法の改善をめざし，同時にその効果について検討する。

1-3 統合的調和

まず、ノバックは概念が階層構造を持っていることを前提としている。その上で、概念の縦の関係では、相対的に上に位置するものを上位概念、下に位置するものを下位概念と呼ぶ。このとき、上位概念とは、下位概念を包括するより一般性のある概念であり、下位概念とはより特殊性のある概念をさす。

こうした知識の階層構造の上でノバックは次のように述べている。

「統合的調和を達成するために、新しい情報が提示されるとき概念の階層構造を上位、下位へと動けるように教え方を組み立てなければならない。最も一般的な概念から始めるのが賢明かもしれないが、しかし早い時期に下位概念がどんなふうに関係しているかを描き出すことも必要である。そして具体的な例を通して、より高次の概念の新しい意味へと戻っていく必要がある。この概念のはしごをのぼったりおりたり……そして、教材を慎重に開発することと、それらをはっきり生徒に提示することは統合的調和を達成するのに必要なことである。(Novak, 1977: 90)」

として、生物の細胞学習を例としてあげてその構造を示している。また、それに加えて、この構造が、またより大きな概念の階層構造の一部をなしていることも示している。

1-4 統合的調和の実践

1-4-1 電流の学習における統合的調和の方法

本章では、電流と電圧の統合的な理解という、電気分野の学習の中でも限られた部分についての指導方法を対象にしている。

ここでは、生徒は3つの回路を学習する。それは単純回路、直列回路、並列回路である。単純回路は豆電球1つと乾電池（あるいは電源）からなる回路である。直列・並列とも豆電球2個を乾電池につないだものである。電流については、この単純・直列・並列回路の順にその特徴を学習する。次に電圧について同様に、この3つの回路での特徴を学習する。そして最後に本章で注目して

いる電流と電圧の混合した問題をそれぞれ、3つの回路について問う。この電流と電圧の混合問題を、以下本章では単に統合の問題と呼ぶ。

なお、上記ノバックの定義によれば、このとき単純回路での電流の特徴は、直列・並列回路での電流の特徴と同様に電流概念の下位概念を構成する。逆に単純回路の電流の特徴に対して、電流一般という概念は、上位概念となる。電圧についても同じことが言える。また電流と電圧を合わせたものがより高次の上位概念となり、これはまた電気分野の概念の構造の一部に位置づけられることになる。

ところで、電流、電圧についてそれぞれ3つの回路について、学習すれば統合の問題は容易に解くことができるように思える(資料3-1(2)参照)。実際、一般に行われている学習では、統合の問題についての指導は行われていない。そして電流・電圧の学習のすぐ後にオームの法則の学習が続いている。

しかしながら、筆者らの経験では、仮に電流だけ、電圧だけの問題が解けるようになっても、統合の問題では正しい答えを出すことができる生徒が少ないように感じている。

そこで、従来の方法に、統合的調和の時間を取り入れることが必要であると考えた。

ここに、従来の方法とは

- ① 電流について、単純回路、直列回路、並列回路という3つの回路において、電流の方向性、保存性(キルヒホッフ第1の法則など)を、実験を通して学習する。
- ② 電圧について、同じく3つの回路において、豆電球や抵抗への電圧のかかり方についての特徴(キルヒホッフ第2の法則など)を、実験を通して学習する。
- ③ 抵抗や回路概念の導入後、オームの法則を3つの回路について実習と計算により学習する。

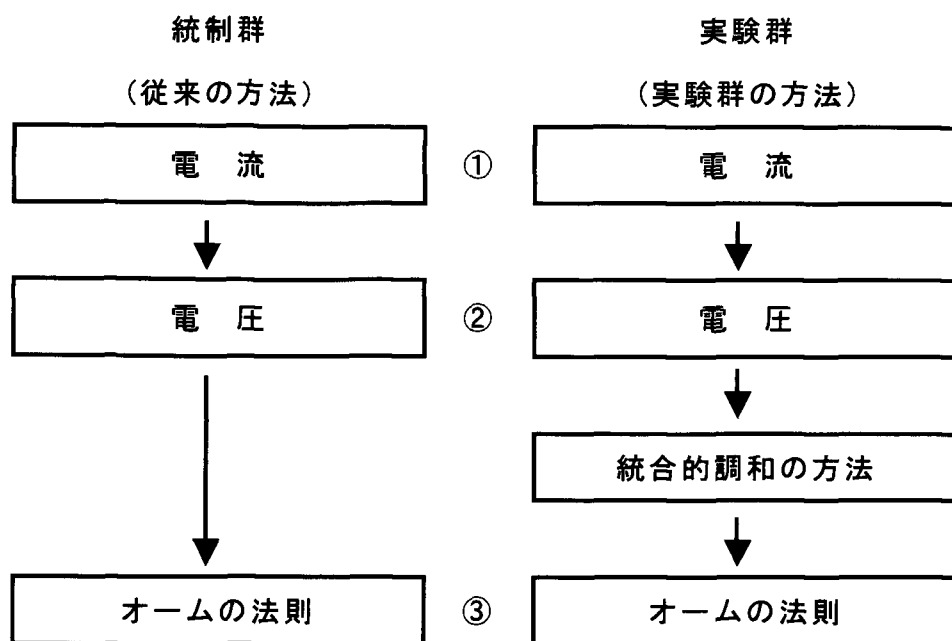


図 3-2 : 実験群と統制群の授業の流れ

という流れである（図3-2）。なお、電流と電圧の学習では、このように分けないで3つの回路のひとつずつについて、電流と電圧を交互に学習する方法もある。これについて筆者らは4社の教科書を比較した。本文の通りの構成になっているものが3社（D図書、G図書、KY出版）、電流と電圧を交互に学習するものは1社（T書籍）であった。そのため①～③の流れを従来の方法とした。

なお、実験群の方法とは、この従来の方法の②と③のあいだに統合的調和の方法を取り入れ、電流と電圧についての統合的理解をすすめる時間を設定したものである。

後の節で見るように、本章で行う実験・調査は、この従来 of 指導方法で学習した子ども達（統制群）と、統合的調和の方法を取り入れた指導を受けた子ども達（実験群）の間で統合の問題の解答のようすを3つの実験と1つの調査から比較検討するものである。

1-4-2 指導計画と統合的調和の位置

ここでは、以下の順序で学習を展開した。時間数はそれぞれ、1 単位時間 50 分である。なお、実験群には統合的調和の時間が含まれるが、統制群にはこの時間が含まれない。したがって、実験群と統制群の差は 1.5 単位時間である。それ以外は同一である。

① 電流

：単純回路	……………	2 単位時間
：直列回路	……………	1
：並列回路	……………	1

② 電圧

：単純回路	……………	2
：直列回路	……………	1
：並列回路	……………	1

統合的調和による学習 ……… 1.5

以下、③オームの法則の学習へ続いた。

1-4-3 統合的調和の方法の実際

統合的調和の方法による学習は、上記の指導計画の中に位置づけられた。実際には次のようにして、1.5 単位時間の授業を展開した。

(1)電気の学習の全体の概念構造図の提示

これは、栗田の図^(注3-2)をもとに、黒板上でこれから学習する諸概念の関係を示した。

(2)全体の概念構造図の中の電流・電圧に関する概念の階層図の提示

これは、単純回路での電流の特徴を、先に示したように下位概念の 1 つとすると、このレベルの下位概念は、ここでは 6 つあることになる。これを電流、電圧概念の全体のどこに位置づけられるかが分かるように示した（資料 3-2 参照）。なおこの図を以下統合的調和の図と呼ぶことにする。

(3)3 種類の回路の統合の問題の解法

このとき、どの下位概念が相互に結びついているかを図示しながら、それ

を関係づけて理解するように指導する。

例えば、直列回路の統合した問題を解くとき、以下のようにする。

- a 統合的調和の図を示し、下位概念としての各回路での電流の特徴と、電圧の特徴を復習する。
 - b これまで学習してきたことが、相互に関係あること、それが統合的調和の図にのっていることを説明する。
 - c 直列回路の場合はこの図のうち②と⑤を対比しながら解くことを指導する。
- 以上である。

2 節 《実験 1 ポストテスト》

：電気領域未習の生徒への統合的調和の方法の効果に関する実験

2-1 実験の目的

2 節の実験の目的は 1 節で明らかにした統合的調和の方法について、その効果を実験的に確かめることにある。被験者は中学 2 年生、電気について中学校の理科では、初めてこの内容を学習する生徒たちである。

またその効果は統合的調和の方法による学習の直後のテストにより評価する。

2-2 方法

2-2-1 実験の方法

被験者を実験群と統制群に分けた。実験群には統合的調和の指導を受けた直後に、統合の問題のテストを実施した。統制群には電流・電圧の学習の後、統合の問題のテストを実施した。なお、実験群、統制群とも、電流の学習が終了したとき、電圧の学習が終了したときに、それぞれ電流の問題と電圧の問題のテストを実施した。また被験者の学校では 2 学期末と 3 学期末に 4 月からの学習内容のまとめのテストを実施している（以後「まとめ（2）テスト」、「まとめ（3）テスト」と呼ぶ）。この 2 回の得点をもとに、実験群、統制群ともに上位群、下位群を設定し、クラスの被験者を 2 つにわけた。

電流、電圧それぞれの理解が電流と電圧の統合の問題に影響するので、各個人のデータとしては電流（5問）と電圧の問題（5問）の合計（10点）と統合の問題（10点）の2種類を比較のためのデータとする。（電流、電圧、統合の問題は資料3－1参照）

2-2-2 被験者と実施時期

被験者は以下の通りである。

山梨県下公立中学校2年生2クラス（A組とB組）

（本研究では全て同一中学校で実験を行った）

実験群（A組）：29名（上位群14名，下位群15名）

統制群（B組）：22名（上位群11名，下位群11名）

なお、まとめ（2）テストとまとめ（3）テストをもとに、実験群，統制群の上位群同士，下位群同士を分散分析によって比較したところ有意差はなかった（分散分析の結果は省略）。

実験実施時期

2000年2月～3月

2-3 結果

電流と電圧の合計の平均点と，統合の問題の平均点は表3－1，表3－2の通りである。

表 3－1：上位群の電流・電圧の合計点の平均と統合の問題の平均点

	電流・電圧の合計の平均 (10点満点)	統合の問題の平均 (10点満点)
実験群	9.71	9.92
統制群	10.0	9.00

表 3-2 : 下位群の電流・電圧の合計点の平均と統合の問題の平均点

	電流・電圧の合計の平均 (10 点満点)	統合の問題の平均 (10 点満点)
実験群	8.80	8.93
統制群	9.18	6.72

まとめのテストの得点を共変量として、統合の問題の得点を特性値として共分散分析を、上位群、下位群にそれぞれ行った。なお特性値には、角変換を施して分析を行った。

a 上位群

分析は、① 回帰直線の平行性の検定、② 回帰の有意性の検定を行って、③ 共変量調整後の水準間の差の検定を行う。

共通の回帰係数を仮定した基本モデル $M0: y = \alpha_i + \beta x$ をあてはめると、2本の平行な回帰直線の式はそれぞれ、

$$\text{実験群: } y = 58.94 + 0.264x$$

$$\text{統制群: } y = 52.00 + 0.264x$$

となり、このときの残差平方和 $RSS(M0)=1837.7$ である。

次に、水準ごとに別々の回帰係数を持つモデル $M1: y = \alpha_i + \beta_i x$ をあてはめると、

$$\text{実験群: } y = 79.45 + 0.0097x$$

$$\text{統制群: } y = 12.44 + 0.75x$$

となり、残差平方和 $RSS(M1) = 1758.2$ であった。水準ごとに異なった回帰係数を考えることにより、残差平方和が $RSS(M0) = 1837.7$ から、 $RSS(M1) = 1758.2$ とやや減少しているが、検定をしてみると（表 3-3）、

表 3-3 : 回帰直線の平行性の検定

		回帰係 数	誤差平方和	自由 度	平均平方	F_0
共通の係数をもつ回帰式 のあてはめ		0.264	2160.74	22		
水準ごとの回帰 式のあてはめ	A 1	0.009	80.90	12		
	A 2	0.75	1688.80	9		
計			1769.7	21	84.27	
非平行性			79.561	1	79.56	0.95

なお水準の A1 と A2 は実験群、統制群をあらわす

$$F_0 = 0.95 < F(1, 21; 0.05) = 4.32$$

となり、回帰係数が平行という仮説は棄却されない。したがって、平行性を前提として基本モデル M0 について、分析を進める。

モデル M0 のもとで回帰の有意性の検定を行ってみると（表 3-4）、

表 3-4 : 回帰の有意性の検定

要因	平方和	自由度	平均平方	F_0
回帰による	111.58	1	111.58	1.34
回帰からの	1837.7	22	83.53	
計	1949.28	23		

$$F_0 = 1.34 < F(1, 21; 0.05) = 4.32$$

で、有意でないため、まとめのテストを共変量として共分散分析を行う価値がない。したがって、統合の問題についての分散分析を行う。

分散分析の結果、条件の要因は有意でないが、（表 3-5）。

表 3-5 : 分散分析表

要因	平方和	自由度	平均平方	F ₀
条件	295.356	1	295.356	3.485 †
誤差	1949.29	23	84.752	
計	2244.646	24		

$$F_0 = 3.485 < F(1, 23; 0.05) = 4.28$$

しかし、有意傾向が認められる ($p = 0.075$)。

b 下位群

ここでも共分散分析を行い、上位群で述べた分析①から③の順にしたがった。

共通の回帰係数を仮定した基本モデル $M0: y = \alpha_i + \beta x$ をあてはめると、2本の平行な回帰直線の式はそれぞれ、

$$\text{実験群: } y = 23.59 + 0.907x$$

$$\text{統制群: } y = 7.83 + 0.907x$$

となり、このときの残差平方和 $RSS(M0) = 5144.58$ である。

次に、水準ごとに別々の回帰係数を持つモデル $M1: y = \alpha_i + \beta_{ix}$ をあてはめると、

$$\text{実験群: } y = 21.90 + 0.938x$$

$$\text{統制群: } y = 12.75 + 0.817x$$

となり、残差平方和 $RSS(M1) = 5129.90$ であった。水準ごとに異なった回帰係数を考えることにより、残差平方和が $RSS(M0) = 5144.58$ から、

$RSS(M1) = 5129.90$ とやや減少しているが、検定をしてみると (表 3-6)、

表 3-6 : 回帰直線の平行性の検定

		回帰係 数	誤差平方和	自由 度	平均平方	F_0
共通の係数をもつ回帰式 のあてはめ		0.907	6728.600	23		
水準ごとの回帰 式のあてはめ	A 1	0.938	2013.46	13		
	A 2	0.817	3119.508	9		
計			5132.968	22	233.16	
非平行性			14.678	1	14.678	0.063

なお水準の A1 と A2 は実験群、統制群をあらわす

$$F_0 = 0.063 < F(1, 22; 0.05) = 4.30$$

となり、回帰係数が平行という仮説は棄却されない。したがって、平行性を前提として基本モデル M0 について、分析を進める。

モデル M0 のもとで回帰の有意性の検定を行ってみると（表 3-7）、

表 3-7 : 回帰の有意性の検定

要因	平方和	自由度	平均平方	F_0
回帰による	4292.08	1	4292.08	19.19**
回帰からの	5144.58	23	223.677	
計	9436.66	24		

$$F_0 = 19.19 > F(1, 23; 0.001) = 7.88$$

で、1%有意、共変量に依存していると言える。

水準間の差を検討するために、定数項も共通として全データに 1 本の回帰直線を当てはめると、

$$y = 18.13 + 0.889x$$

が、得られ、そのときの残差平方和は、 $RSS(M2) = 6811.25$ である。水準間の検定を行うと（表 3-8）、

表 3-8 : 因子の水準間の差の検定

要因	平方和	自由度	平均平方	F_0
条件	1666.67	1	1666.67	7.451*
誤差	5144.58	23	223.677	
計	6811.25	24		

$$F_0 = 7.451 > F(1, 24; 0.005) = 4.26$$

となり、有意である。

2-4 考察

以上の実験結果から、統合的調和の指導は、電流と電圧の学習の直後では、上位群でも（有意傾向）、下位群でもその効果が現れることが分かった（5%水準の有意差）。

3 節 《実験 2 遅延テスト》

：電気領域未習の生徒への統合的調和の方法の効果に関する実験

3-1 実験の目的

3 節の実験の目的は 1 節で明らかにした統合的調和の方法について、その効果を実験的に確かめることにある。被験者は中学 2 年生、電気について中学校の理科では、初めてこの内容を学習する生徒たちである。

またその効果は統合的調和の方法による学習について、オームの法則の学習を行った後のテストにより評価する。

3-2 方法

3-2-1 実験の方法

被験者は実験1と同様に、実験群、統制群にわけた。実験群は統合的調和の授業を受け、統制群はそれを受けない点も同様である。また各群とも上位群、下位群に分けた。

この実験を実施するタイミングは、実験1より遅れて、オームの法則の学習がすんだ後である。調査問題は電流・電圧についての問題（19問）と統合の問題（6問）である。オームの法則の学習がすんだ後としたのは、次の理由による。それは、電流・電圧の学習がすんだ後、オームの法則について学習しそれを3つの回路について使えるように演習すると、そのとき電流と電圧の統合した理解が要求される。そこで、オームの法則の学習をすることが、電流・電圧の統合の問題についての理解を高めるかどうかを検討するためである。

したがって、個人のデータとしては電流・電圧についてそれぞれ統合しない問題としての問い（19点）と統合の問題（6点）の2種類を各群の比較のためのデータとする（ここでの統合の問題は掲載を省略）。なお、被験者の項で見ると実験群が実験1のA組なので、実験1とは同じ問題はここでは使用しなかった。

3-2-2 被験者と実施時期

被験者は以下の通りである。

山梨県下公立中学校2年生2クラス（A組とC組）

実験群（A組）：35名（上位群17名，下位群18名）

統制群（C組）：29名（上位群14名，下位群15名）

なお、まとめ（2）テストとまとめ（3）テストとも、実験群、統制群の上位群同士、下位群同士を分散分析によって比較したところ有意差はなかった（分散分析の結果は省略）。なお、C組は、同じ学年の別の組である。C組の授業をした教師は、A組、B組とは異なる。

実験実施時期

2000年2月～3月

3-3 結果

電流と電圧の問題の平均点と、統合の問題の平均点は表3-9、表3-10の通りである。

表 3-9 : 上位群の電流・電圧の問題の平均と統合の問題の平均点

	電流・電圧の合計の平均 (19 点満点)	統合の問題の平均 (6 点満点)
実験群	18.5	5.76
統制群	18.2	5.64

表 3-10 : 下位群の電流・電圧の問題の平均と統合の問題の平均点

	電流・電圧の合計の平均 (19 点満点)	統合の問題の平均 (6 点満点)
実験群	15.7	5.17
統制群	11.7	2.93

実験2については、電流・電圧の問題の得点を共変量として共分散分析を行う。実験1と異なり、まとめテストの得点を共変量として使用しないのは、次の理由からである。

表3-10から下位群では実験群と統制群では電流・電圧の問題の平均点に差がある（実験群：15.7，統制群：11.7）。統合の問題の平均点の差が統合的調和を受けたための差であるのか、それとも電流・電圧の問題の理解の差を反映しているのかは不明である。しかしながら電流・電圧の問題の得点が統合の問

題の得点に影響を与えることが予想されるからである。なお特性値には角変換を施した。

a 上位群

実験 1 と同様に、共分散分析を行った。ただし、電流・電圧の問題を共変量とする。上位群では、回帰の有意性の検定で、

$$F_0 = 0.009 < F(1, 28; 0.05) = 4.20$$

で、有意でないため、まとめのテストを共変量として共分散分析を行う価値がない。したがって、統合の問題についての分散分析を行う。

分散分析の結果、条件の要因は有意でない（表 3-11）。

表 3-11 : 分散分析表

要因	平方和	自由度	平均平方	F_0
条件	3.704	1	3.704	0.061
誤差	1764.466	29	60.844	
計	1768.170	30		

$$F_0 = 0.061 < F(1, 29; 0.05) = 4.28$$

b 下位群

共通の回帰係数を仮定した基本モデル $M_0: y = \alpha_i + \beta x$ をあてはめると、2本の平行な回帰直線の式はそれぞれ、

$$\text{実験群: } y = 18.86 + 2.970x$$

$$\text{統制群: } y = 9.019 + 2.970x$$

となり、このときの残差平方和 $RSS(M_0) = 2864.39$ である。

次に、水準ごとに別々の回帰係数を持つモデル $M_1: y = \alpha_i + \beta_{ix}$ をあてはめると、

実験群： $y = 17.07 + 3.084x$

統制群： $y = 10.16 + 2.873x$

となり、残差平方和 $RSS(M1) = 2855.118$ であった。水準ごとに異なった回帰係数を考えることにより、残差平方和が $RSS(M0) = 2864.39$ から、

$RSS(M1) = 2855.118$ とやや減少しているが、検定をしてみると(表 3-12)、

$$F_0 = 0.094 < F(1, 30; 0.05) = 4.17$$

となり、回帰係数が平行という仮説は棄却されない。したがって、平行性を前提として基本モデル $M0$ について、分析を進める。

表 3-12：回帰直線の平行性の検定

		回帰係数	誤差平方和	自由度	平均平方	F_0
共通の係数をもつ回帰式のあてはめ		2.970	7594.57	30		
水準ごとの回帰式のあてはめ	A 1	3.084	1190.39	16		
	A 2	2.873	1664.67	13		
計			2855.05	29	98.45	
非平行性			9.272	1	9.272	0.094

なお水準の A1 と A2 は実験群、統制群をあらわす

$$F_0 = 0.094 < F(1, 30; 0.05) = 4.17$$

となり、回帰係数が平行という仮説は棄却されない。したがって、平行性を前提として基本モデル $M0$ について、分析を進める。

モデル $M0$ のもとで回帰の有意性の検定を行ってみると(表 3-13)、

表 3-1 3 : 回帰の有意性の検定

要因	平方和	自由度	平均平方	F ₀
回帰による	7348.424	4	7348.424	76.963**
回帰からの	2864.390	30	95.480	
計	10217.814	31		

$$F_0 = 76.96 > F(1, 30; 0.001) = 7.56$$

で、1%有意、共変量に依存していると言える。

水準間の差を検討するために、定数項も共通として全データに1本の回帰直線を当てはめると、

$$y = 7.789 + 3.300x$$

が、得られ、そのときの残差平方和は、 $RSS(M2) = 3550.248$ である。水準間の検定を行うと(表3-14)、

表 3-1 4 : 因子の水準間の差の検定

要因	平方和	自由度	平均平方	F ₀
条件	685.858	1	685.858	7.183*
誤差	2864.390	30	95.480	
計	3550.248	31		

$$F_0 = 7.183 > F(1, 30; 0.005) = 4.17$$

となり、有意である。

3-4 考察

以上の実験結果より、上位群では実験群と統制群には差がない。また下位群では実験群と統制群の差は有意であることがわかった(5%有意水準)。したが

って下位群での統合的調和の方法の有効性が示されたと考えられる。

4 節 《実験 3 二元配置》

：電気領域既習の生徒への統合的調和の方法の効果に関する実験

4-1 実験の目的

4 節の実験の目的は 2 節，3 節と同様に 1 節で明らかにした統合的調和の方法について，その効果を実験的に確かめることにある。ただし，被験者は中学 3 年生で，すでに電気についての学習を終了した生徒たちである。

またその効果は電流・電圧などについて復習を行いながら二元配置の実験法によりテストを行い，その結果により評価する。

4-2 方法

4-2-1 実験の方法

被験者は電気の学習をすでに終了している中学 3 年生である。これを上位群と下位群にわけた。調査に用いた問題は実験 1 と同じ，電流・電圧の問題（10 問）と統合の問題（10 問）である。

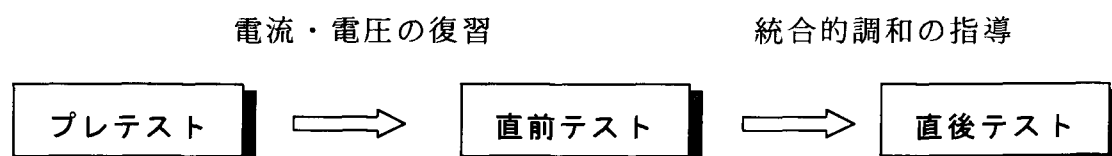


図 3-3：実験 3 での実験実施の流れ

図 3-3 のように，この一連の実験では，第 1 にプレテストを行った。プレテストでは電流・電圧の問題と統合の問題を用いた。第 2 に電流と電圧について復習をした。これは IV の 3 の指導計画にほぼ従った。統合についてはこの中では触れない。この復習が終了したところで，第 3 に直前テスト（統合的調和

の指導の直前)を行った。ここではプレテストと同じ2種類の問題を用いた。第4に統合的調和による指導、つづいて第5に直後テスト(統合的調和の指導の直後)を実施した。ここでは統合の問題だけを用いた。これらのテストは全て同じものである。

4-2-2 被験者と実施時期

被験者は以下の通りである

山梨県下公立中学校3年生1クラス(E組)

上位群:15名,下位群:15名

なお、被験者は実験1,実験2の生徒たちより1学年上の生徒たちであり、2年生の時の電気の学習は筆者とは異なる教師のもとで行った。したがって、この実験以前には統合的調和の指導は受けていない。また、実験1,実験2のクラスA組,B組,C組とこの実験3のE組の上位群,下位群を教研式学年別2年用理科の結果を用いて比較したところ、有意差はなかった。

実験実施時期

1999年5月

4-3 結果

プレテスト,直前テスト,直後テストの結果は表3-15の通りである。

プレテスト,直前テスト,直後テストの3つの時点における統合の問題の得点の推移を,上位群と下位群で比較するため2元配置の分散分析を行う。

表 3-15 : 各テストの結果(平均点)

	プレテスト		直前テスト		直後テスト
	問題A	問題B	問題A	問題B	問題B
上位群	8.73	8.47	10.0	9.40	9.73
下位群	7.00	5.20	9.89	8.93	9.67

問題A:電流電圧の問題(10問)、問題B:統合の問題(10問)

表 3-16 より、天井効果が認められるので、データを角変換し、そのデータをもとに分散分析をすすめた（表 3-17）。

図 3-4 は、各条件の平均を図示したものである。記入してある数値は角変換後の値である。分散分析の結果、交互作用が有意であった（ $F(2, 84) = 6.37$, $p < .01$ ）。なお、分散分析表および、交互作用の分散分析表は省略した。

表 3-16：中学3年生の統合問題についての得点（全て10点）

	上位群			下位群		
	プレ	直前	直後	プレ	直前	直後
人数(N)	15	15	15	15	15	15
平均(X)	8.47	9.40	9.733	5.20	8.93	9.67
標準偏差 (SD)	3.00	1.12	0.80	2.70	1.22	0.62

表 3-17：中学3年生の統合問題についての得点（角変換後）

	上位群			下位群		
	プレ	直前	直後	プレ	直前	直後
人数(N)	15	15	15	15	15	15
平均(X)	69.5	75.9	78.7	45.6	71.9	77.9
標準偏差 (SD)	21.2	8.83	6.51	18.0	9.65	5.53

表 3-18 : 分散分析表

要因	平方和	自由度	平均平方	F
要因 A	2093.5	1	2093.5	11.5**
要因 B	7206.7	2	3603.4	19.8**
A × B	2315.4	2	1157.7	6.37**
誤差	15262.4	84	181.7	
計	26878.0	89		

表 3-19 : 交互作用の分析結果を書き加えた分散分析表

要因	平方和	自由度	平均平方	F
要因 A	2093.5	1	2093.5	11.5**
〔 B ①水準 :	4284.1	1	4284.1	23.6**
B ②水準 :	120	1	120	< 1
B ③水準 :	4.8	1	4.8	< 1
要因 B	7206.7	2	3603.4	19.8**
〔 A ①水準 :	667.2	2	333.6	1.84
A ②水準 :	8855.0	2	4427.5	23.5**
A × B	2315.4	2	1157.7	6.37**
誤差	15262.4	84	181.7	
計	26878.0	89		

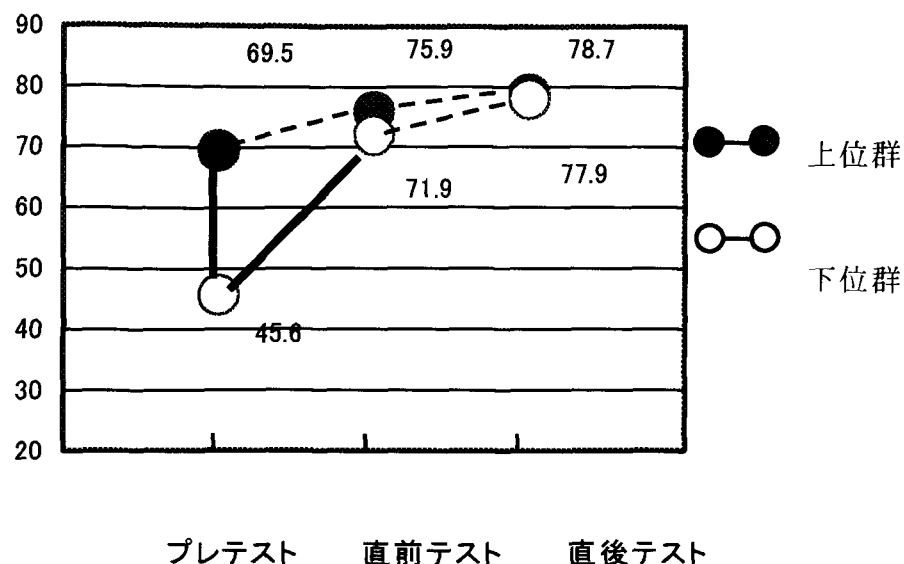


図 3-4 : 統合の問題の平均のプロフィール

(実線は有意差、破線は有意差でない)

そこで、各水準ごとに単純効果を分析した結果、表 3-19 の分散分析表に示すとおりになった。すなわち、要因 A は B ①水準において有意であるが、B ②水準と B ③水準では有意でない。また、要因 B は A ①水準では有意でなく、A ②水準において 1 % 有意であった。

LSD 法による多重比較の結果、A ①水準では B の水準では有意ではなく、A ②水準では、B ①の平均が他の 2 つの平均よりも有意に小さかった。(Mse = 181.7、5 % 水準)。

4-4 考察

実験結果より、上位群では復習をしながら実施した 3 つのテストに差はなく、高い得点を示した。一方、下位群では統合的調和によって得点が高くなるのではなく、電流と電圧のそれぞれの復習によって得点が上がっていることが分かった。一度すでに電気分野を学習している 3 年生と、初めて電気の学習をすすめる 2 年生では、反応が異なることが分かった。

5 節 《調査》

：統合的調和の方法による電流学習についての生徒自身による分析

5-1 目的

調査は、統合的調和の学習前後において、各生徒が受けた統合の問題のテストを自ら比較し、自分の中で何が変わったかを報告してもらうというものであった（堀，1998）。これによって、子どものメタ認知の推移を調べることを目的とする。

5-2 方法

5-2-1 実験の方法

統合的調和の指導を受けた2年生を被験者とした。

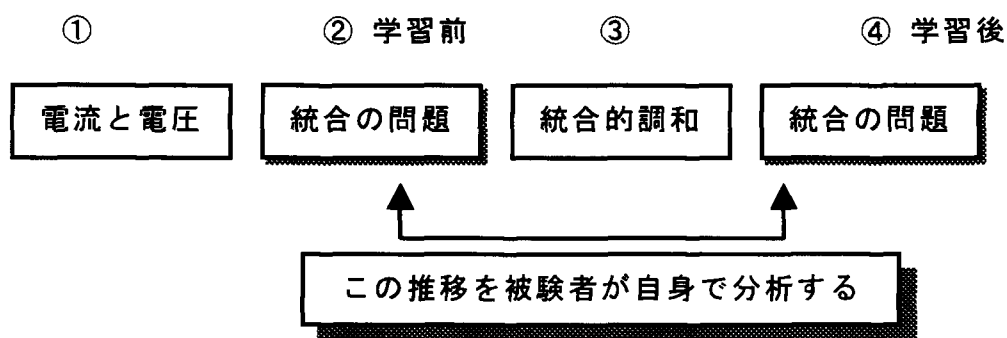


図 3-5：調査の実施方法

調査の方法（図3-5）は、第1にⅣの3指導計画にそって被験者は、電流と電圧についての学習をした。第2に、統合の問題（10問）を用いてテストを実施した。これを学習前テストと呼ぶ。第3に統合的調和の指導を1.5単位時間受けた。第4に統合の問題のテストを実施した。これを学習後テストと呼ぶ。この2回のテストで用いる問題は、同一であり、またそれは実験1，実験2で用いた統合の問題である（資料3-1参照）。

次に、調査を行った。それは、統合学習前テストと統合学習後テストの解答用紙を並べて比較し、「何が変わったか、またどうして変わったのか、そのことについてあなたはどのように思っているか」を報告してもらうというものである(堀, 1998)。その際、個別に学習前テストの結果と学習後テストの点を被験者と確認し、調査の意味を示しながら、自身を分析するように指導した。

5-2-2 被験者と実施時期

被験者は以下の通りである。

山梨県下公立中学校2年生2クラス(B組, D組)

49人

調査時期

2000年2月上旬

5-3 結果

統合学習前テストと後テストの結果は、表3-20の通りである。被験者がこの調査で報告した内容は大きくAからFの6つのパターンに分けることができた。それを示したものが表3-21である。

統合学習前テスト、後テストともに10問の正解を示した被験者は18人(正答群)、誤答が一つでもあったのは31人(誤答群)であった。それぞれの群での報告のパターン別人数と割合を示したものが表3-22である。

表 3-20 : 統合的調和の前後のテスト結果

	学習前テスト	学習後テスト
人数(N)	49	49
平均(X)	7.49	8.76
標準偏差(SD)	2.94	2.27

以上の調査をまとめると次のようになる。

a 正答群について

統合的調和の学習をする前に、問題を解いたとき何らかの不安を感じた生徒は 45%，電流と電圧の識別について混乱を感じた生徒が 22%いた。

b 誤答群について

学習前に、電流と電圧の識別について混乱を感じた生徒は 65%いた。

5-4 考察

以上の調査結果より、電流だけ、あるいは電圧だけを学習しているときには、機械的な暗記をしているが、統合の時にはそうした知識では混乱してしまうことを示していると考えられる。これは、誤答を示した生徒ばかりではなく、正答群であっても、自信を持って統合の問題を解いた生徒がわずかしかない事からも明らかである。しかし正答を示す生徒たちは、この混乱を乗り切るための何らかの学習方略を持っていると考えられる。この点が誤答を示し混乱したことを報告した生徒との違いとなっているのであろう。

表 3-2 1 : 生徒の報告のパターン

ボタン	特徴	生徒の報告例
A	電流と電圧の混乱	最初は電流と電圧がまざってこんがらがってよく分からなかったけど、学習後はテストの見方が変わった。自信がついたような気がする。直列と並列の電流と電圧が最初はわからなかった。
B	不安を感じた	点数は変わってないが、学習前と後では理解力はだいぶちがうと思う。学習前に行ったテストは「たしか〇〇だった？」というようにあいまいな考え方で解いていた気がする。だから答えに自信がなく不安だった＝（イコール）よく理解していなかったはず。学習後に行ったテストは、学習前のようにあいまいな考え方ではなく、少しだけ確信みたいな感じのものがあって、前より答えに自信がもてた。
C	理解は深まった	学習前と学習後は、同じ10点であまりかわりがなかったけど、やっぱり学習する後と前じゃ、かなり問題を解く速さや自信が違うと思った。
D	最初から自信があった	右と左の解答を比べてみて、あまり何も変わらなかった。学習前で勉強したことが頭に入っていたので、学習後でもしっかりとできた。この問題は以外と簡単だったのですぐに頭に入った。
E	できるようになった	5点から10点に上がった。最初はよくわからなかったが、先生の話や練習問題を解いていってよく分かるようになった。すこしでも勉強すると分からない問題が簡単に解けてよかった。
F	その他、計算ミスなど	学習前の不正解だった所の確認はできたが、他のことが頭からぬけてしまったのが悪かったので、これからは気をつけたい。他には問題をしっかり読まない癖が……

表 3-2 2 : 生徒の反応のパターンごとの割合

パターン	正答群	誤答群
A	22% (4 人)	65% (20 人)
B	45 (8)	0
C	22 (4)	0
D	11 (2)	0
E	0	19 (6 人)
F	0	16 (5 人)
合計	100% (18 人)	100% (31 人)

6 節 本章についての考察

6-1 実験 1～3 について

実験 1 から実験 3 までの結果をまとめたものが表 3-2 3 である。

上位群では電流電圧の学習直後では、統合的調和の学習をした実験群は、学習していない統制群を上回る成績を上げたと言えるが、その後学習が進むにつれて、こうした差がなくなっている。これは例えばオームの法則の学習をすると、電流と電圧の統合した理解が必要になってくるので、統合的調和の授業を受けていなくても、その間に理解が深まると考えられる。全ての学習が終了した子どもを被験者にした実験 3 でも、復習をする過程でわずかに得点は上昇しているが有意差がないことの原因も、同様であろう。

下位群では、実験 1 と 2 で、実験群と統制群の間に有意差がある。電流、電圧だけの得点に差がないことを、考えあわせると、統合的調和の方法が有効であることが分かる。

また、上位群では、学習が進むにつれて統合的理解が改善されるが、下位群

では電流・電圧直後の時点での差が、統合的調和を行わないと授業が進んでも改善されないまま残る。統合の問題ができない子ども達にとって、それ以後の学習の理解はむずかしいものとなる可能性がある。

表 3-23：実験結果一覧

	実験 1	実験 2	実験 3
実験 方法	被験者間 (実験群、統制群)	被験者間 (実験群、統制群)	被験者内
時 期	電流・電圧直後	オームの法則後	電気終了後
上位群	有意傾向	有意でない	有意でない
下位群	有意	有意	有意

6-2 実験 3 での、下位群の得点の推移について

実験 3 の下位群で、統合の問題の得点が上昇したのは、統合的調和の学習によってではなく、電流・電圧の復習後であることが分かる(図 3-4)。これは、実験 1, 2 で確かめたこと、すなわち電流だけ、電圧だけでは理解できても、これらを組み合わせた統合の問題ができないこととは、反する事実である。電流・電圧についての理解ができれば、統合の問題ができているのである。

この理由はいくつか考えられるが、実験 1, 2 と実験 3 の被験者が質的に異なることが理由の一つであろう。質的とは言っても、教研式学年別テストによる比較では差がないことが分かっている。したがって次の 2 点が考えられる。第 1 は、年齢の差、中学 2 年生と 3 年生の差である。しかしながら、実験 1, 2 の実施時期は中学 2 年の 2～3 月、実験 3 は中学 3 年の 5 月である。わずか数ヶ月で認知的な発達に大きな差が、被験者全体に起こるとは考えられない。第 2 は、経験の差である。実験 1, 2 の被験者は電気の学習と始めたところであるのに対し、実験 3 の被験者は電気の学習を全て終了して、その上で約 6 単

位時間の復習を行った中での実験である。

全体の学習を終了しているのに、それをみわたせる上に、さらに基礎的な内容の復習を受けたのが実験3の被験者であった。この学習課程はノバックのいう下位概念→上位概念→下位概念へと概念の階層を上ったり下りたりすることが要請される統合的調和の過程そのものと見なすことができるのではないだろうか。そのため、電流・電圧の復習だけで、統合の問題の理解がすすんだと考えられるのである。すなわち、こうした学習経験の差が実験3の結果につながったと考えられる。

このことは逆に言えば、電流・電圧の学習直後に行った統合的調和の学習(1.5単位時間)は、全ての学習が終了した後の復習(約6単位時間)に相当する効果があることを示唆していると言えよう。

6-3 調査結果について

ここでは、実験1から3について調査結果をもとに考察する。

実験1から3では、上位群について言うと、電流・電圧の学習直後だけ有意傾向であとは有意ではなかった。これは、統合的調和の学習をしなくても、得点としては高い点を取ることができたことを示している。この点について、

- (1) なぜ上位群は統合的調和の指導を受けなくても統合の問題ができたのか。
- (2) なぜ下位群は統合の指導を受けないとできないのか。
- (3) 上位群には統合的調和の指導は必要ないのか。

この3つの疑問が出てくる。これについて以下調査結果をもとに考察する。

6-3-1 『(1) なぜ上位群は統合的調和の指導を受けなくても統合の問題ができたのか』について

これは、彼らが学習方略なり、自己をモニターする手法なりを持っているからではないかということが考えられる。調査は、電流・電圧の学習直後に統合的調和の学習前に行った統合の問題の解答と、統合的調和の学習後の統合の問題の解答を比較して、分析してもらうというものであった。これによると、統合

的調和の指導前後ともに、正答だった正答群（ほとんどが上位群に含まれる）では、約半数(45%)が初めてこの問題を解いたときに、「不安」を感じたことを報告している（表 3-21, 表 3-22）。具体的には表 3-21 のパターンBに1人の生徒の例を載せた。この生徒によれば、『不安イコールよく理解していない』というものである。他にも『不安』という表現を使った被験者がいるが、彼らが報告することも同様であった。

これは、自分の解き方、考え方が果たして正しいのか、という自己をモニターする機能を彼らが持っていることを示唆しているといえよう。

その上で、自分の考えをチェックしている可能性がある。このプロセスはメタ認知（自己のモニター、制御）に相当していると考えられる（Paris & Winograd, 1990）。このメタ認知の方略を正答群の子ども達は持っていて、それが機能したと考えられる。

ところで、統合の問題に取り組む過程が、上記の通りだとすると、彼らに必要なことは、彼らの考えが正しい予測のしかたをしているかどうかについてのフィードバックである。たとえ学習前と学習後の得点が変わらなかったとしても、統合の問題に取り組み、統合的調和の指導を受ける意味が、ここにあると考えられる。

言い換えると、こうした学習の機会を通して、学習方略を使い、電流・電圧というもののイメージを作り上げ、単なる記憶以上の理解にする場として、この統合の問題に取り組む過程が機能することが考えられる。

6-3-2 『(2) なぜ下位群は統合の指導を受けないといけないのか』について

やはり調査による生徒の報告を見てみる。誤答群では65%の生徒が、電流と電圧の区別で混乱したことを報告している（表 3-22）。なお、表 3-22 のパターンAの子どもは、電流だけ、電圧だけではすでに完全に正しい答えを示していた生徒であった。他にも混乱を報告した被験者がいるが、彼らも同様であった。このことから彼らは、シップストンが指摘するように、電流と電圧の識別の上で、混乱していることが分かる。したがって、下位群が統合の問題が

できない理由がここにあると考えられる。また、彼らは上位群との比較でいうと、メタ認知が機能していない可能性がある（なお、誤答群では、この不安を報告した生徒はいなかった）。

6-3-3 『(3) 上位群には統合的調和の指導は必要ないのか』について

上位群には、必ずしも統合的調和の指導は必要ない。しかしながら、彼らの調査での報告で見るように、あるいは上記(1)に見るように、少なくとも統合の問題に取り組む時間は、彼らの理解を確かなものにするために必要であろう。

6-4 まとめ

学力上位、下位両方のレベルの生徒に対して、統合的調和の方法は有効であることが分かった。特に上位群では学習方略を使う場としての効果が示唆され、下位群では統合の問題についての理解の改善が確認された。

注 3 - 1

この他，脇本（1992）や，安藤裕明・森藤義孝・中山迅（1997）などがあるが，こうした研究は，子どもの誤概念に関するオズボーンらの研究をさらに精緻化したものと位置づけることができよう。

注 3 - 2

ノバックが統合的調和，そして概念の階層構造について述べるとき，ある概念の階層構造は，より大きな階層構造の一部として位置し，またそれはより大きな概念の階層構造に位置づけられることを示している。本研究では電流と電圧という限られた概念について，その階層構造をもとに統合的調和をすすめようとするものである。したがって，ここで扱う電流・電圧の学習が，より上位の概念の階層構造においてどこに，位置づけられるかを明示する必要がある。しかしながら，概念の構造図をつくることはノバックも述べるように容易ではない。また科学概念の階層的構造表示の方法を示すものもあるが（例えば赤堀，1991），本研究では電気概念全体の概念構造をつくることはその範囲を超えるものなので，すでにある図を用いることにした。中でも栗田の図（栗田，1980）を用いることにしたのは，それが上位・下位という概念間の階層性について触れていること，教科書の配置に比較的近く，また中学生にも見やすいものであると筆者等が判断したからである。

◆実験・調査のための問題

資料 3－1：実験 1 の調査問題 (1)，(2)

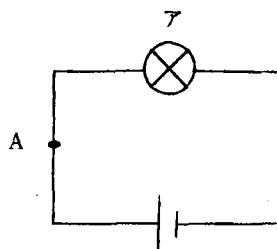
資料 3－2：統合的調和の図

資料 3－3：実験 2 の調査問題 (1)，(2)

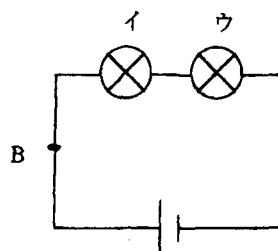
資料 3 - 1 : 実験 1 の調査問題 (1)

右の回路図を見ながら、各問題についての解答を数字で答えてください。
 なお、解答はみんな、解答欄に書いて下さい。

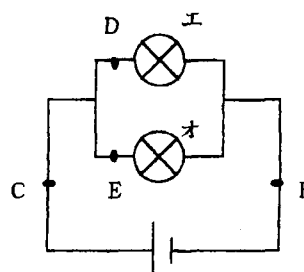
1. A点を流れる電流の大きさが、0.5 [A] だとすると、豆電球アを流れる電流の大きさは、 $\langle \text{①} \rangle$ [A] である。



2. B点を流れる電流の大きさが0.2 [A] だとすると、
 ・豆電球イを流れる電流の大きさは
 $\langle \text{②} \rangle$ [A] であり、
 ・豆電球ウを流れる電流の大きさは
 $\langle \text{③} \rangle$ [A] である。

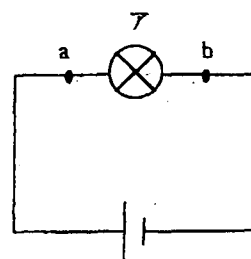


3. C点を流れる電流の大きさが0.5 [A] で、D点を流れる電流の大きさが0.3 [A] だとする。このとき、
 ・豆電球オを流れる電流の大きさは
 $\langle \text{④} \rangle$ [A] であり、
 ・F点を流れる電流の大きさは
 $\langle \text{⑤} \rangle$ [A] である。



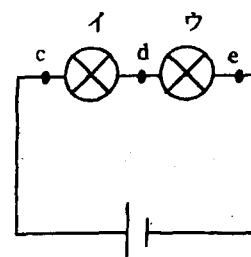
4. 乾電池の電圧が1.5 Vの場合、豆電球アにかかる電圧は $\langle \text{⑥} \rangle$ [V] である。

注意：「豆電球アにかかる電圧」と「ab間の電圧」とは同じ意味である。つまり、この問題はab間の電圧は何 [V] になるか求めよ、と同じ意味である。



5. 乾電池の電圧が1.5 Vの場合、豆電球イにかかる電圧が1.0 [V] だとすると、豆電球ウにかかる電圧は $\langle \text{⑦} \rangle$ [V] である。
 また、ce間の電圧は $\langle \text{⑧} \rangle$ [V] である。

注意：「豆電球ウにかかる電圧」と「de間の電圧」とは同じ意味である。つまり、この問題はde間の電圧は何 [V] になるか求めよ、と同じ意味である。

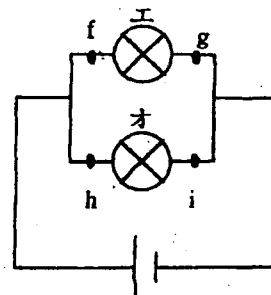


資料 3 - 1 : 実験 1 の調査問題 (2)

6. 乾電池の電圧が1.5 Vの場合、

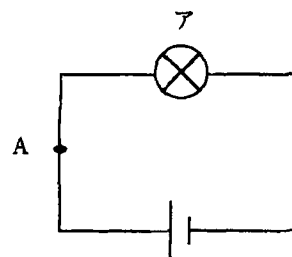
- ・豆電球エにかかる電圧はく ⑨ > [V]
- ・豆電球オにかかる電圧はく ⑩ > [V] である。

注意：「豆電球エにかかる電圧」と「fg間の電圧」とは同じ意味である。つまり、この問題はfg間とhi間の電圧は何 [V] になるか求めよ、と同じ意味である。



1. 乾電池の電圧が3.0 [V] で、A点を流れる電流の大きさが0.25 [A] とすると

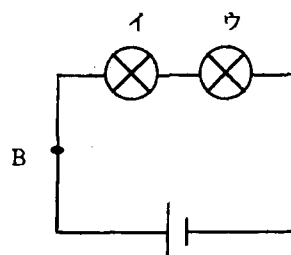
- ・豆電球アを流れる電流はく ① > [A] である。
- ・豆電球アにかかる電圧はく ② > [V] である。



2. 乾電池の電圧が2.4 [V] で、B点を流れる電流の大きさが、0.5 [A]、豆電球イにかかる電圧が0.8 [V] とすると、

- ・豆電球イを流れる電流はく ③ > [A] で、
- ・豆電球イにかかる電圧はく ④ > [V] である。

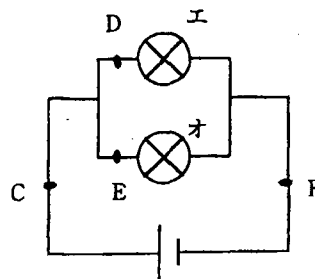
- ・豆電球ウを流れる電流はく ⑤ > [A] で、
- ・豆電球ウにかかる電圧はく ⑥ > [V] である。



3. 乾電池の電圧が5.0 [V] で、C点を流れる電流の大きさが0.45 [A]、D点を流れる電流が、0.2 [A] とすると、

- ・豆電球エを流れる電流はく ⑦ > [A] で、
- ・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、
- ・豆電球オにかかる電圧はく ⑩ > [V] である。



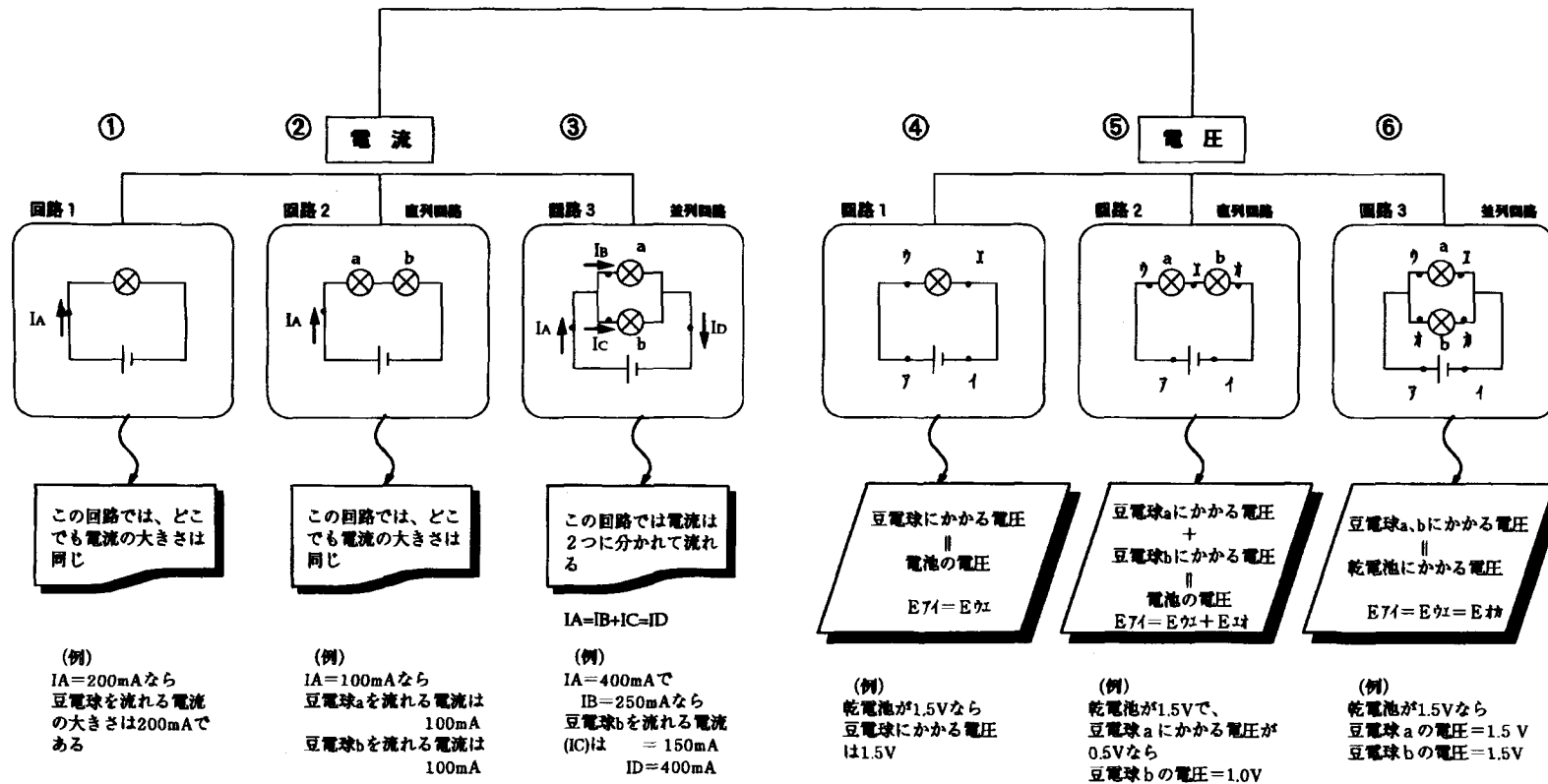
* 1 ~ 3 番 : 電流の問題

* 4 ~ 6 番 : 電圧の問題

* 1 ~ 3 番 : 電流と電圧の統合の問題

統合的調和の図（この図は、より大きな概念の構造〈例えば、栗田の図〉の一部に位置づける）

電流回路の特徴



* I_A : これはA点を通る電流の強さを表す

* E_{7I} : これはアとイの間の電圧

資料 3 - 3 : 実験 2 の調査問題 (1)

1 右の図の回路図について、次の問いに答えなさい。

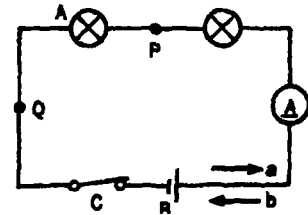
(1) 右の図で、A～Cの電気用図記号は何を表しているか。それぞれの名称を書きなさい。

(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。



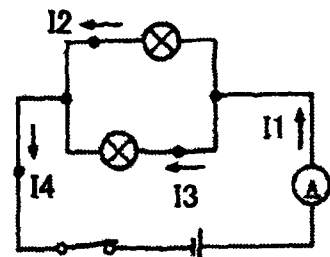
2 右の図のような回路に流れる電流について、次の問いに答えなさい。

(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

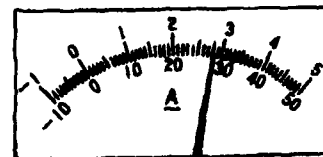
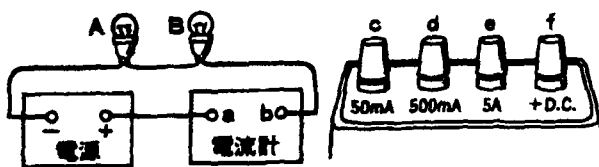


3 下の図1のような回路に流れる電流の大きさを調べた。図2と図3はそのとき使った電流計の一部を表したものである。次の問いに答えなさい。

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) はかり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。

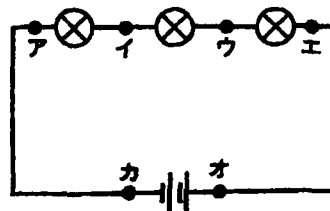
資料 3 - 3 : 実験 2 の調査問題 (2)

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、次の間に答えなさい。

- (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。

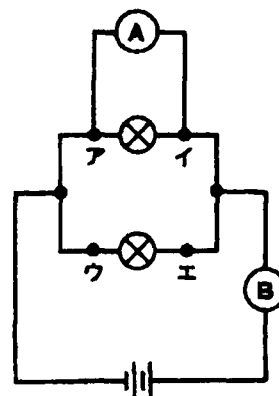
① E(ウ・エ) ② E(ア・ウ) ③ E(イ・エ) ④ E(ア・エ)

- (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。

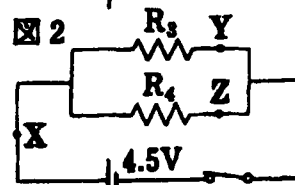
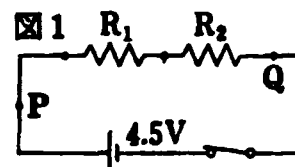
- (1) 図の A、B は電流計と電圧計を表している。
電流計は A、B のどちらか。
- (2) 電源の電圧をはかったところ、3.0[V] を示した。図の E(ア・イ)、E(ウ・エ) の電圧は、それぞれ何[V] になるか。
- (3) 図の電源の電圧を E、E(ア・イ) を E_1 、E(ウ・エ) を E_2 とするとき E、 E_1 、 E_2 の間にはどんな関係があるか。その関係式を書きなさい。



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。



注 1: 実験 2 では上記問題のうち 1～5 番を電流・電圧の問題とし、6 番を統合の問題とした。

注 2: 上記問題のうち 1～5 番 (28 問) 中、次の 9 問は共変量として使わなかった

[1 番 (1), 2 番 (1), 3 番 (1), (2), (3), 4 番 (1), 5 番 (1)]