



生徒の表現活動を重視した中学校電気単元の実践的研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2011-08-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 日高, 俊一郎, 中山, 迅, 川北, 一彦, Hidaka, Syunichiro, Kawakita, Kazuhiko メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10458/3472

生徒の表現活動を重視した中学校電気単元の実践的研究

日高 俊一郎*, 中山 迅**, 川北 一彦**

Action Research on Lower Secondary School Electricity Unit
Derived from Pupils' Expression

Syunichiro HIDAKA*, Hayashi NAKAYAMA**, Kazuhiko KAWAKITA**

要 約

中学校理科の電気単元で、生徒の表現活動を概念変容の手立てとする試みを行った。
具体的には、次のような工夫をした。

1. 異なった規格の豆電球を利用した教材の工夫をした。
2. 生徒が各自の思考に用いる心的モデルの表現方法として描画法を用いた。
3. 「例え」を使つての説明を奨励した。

この過程で生徒が多様な心的モデルを表出し、情報交換を行いながら思考を深めていく過程が見られた。

1. 問題の所在

「電気」は、理科の中でもとりわけ概念獲得が困難であると考えられている領域である。このことは、概念フレームワークに関する数多くの研究で「電気」が取り上げられていることにも表れている。Pfund & Duit¹⁾の文献目録に掲載されている生徒の概念に関する研究のうち、「電気」は146本で、「力学」の281本に次いで第2位の多さである。

生徒の電流概念に関する研究で、特に関心が高いのは、乾電池と豆電球、あるいはモーターからなる簡単な直流回路に関するものである。代表的な研究として、Tasker, R. and Osborne, R.²⁾や、Shipstone, D. M.³⁾のものがある。Shipstoneは、12~17歳の生徒に対する乾電池と5個の豆電球に関する調査から、生徒によくある思考のための心的モデルとして次の4つを導き出している。

- (1) 衝突モデル： 電気は電池の両端から出てきて、豆電球の所で衝突して光を出す。

- (2) 一方向減衰モデル： 電流は一方向にだけ流れるが、しだいに減衰する。
- (3) 電流等分配モデル： 電流は、回路中の各素子（豆電球）に等しく「分配」される。
しかし、電流が保存していると見なしているのではない。
- (4) 電流保存モデル： 科学者と同じ考え方。電流は回路中を一方向に流れて、どこでも強さは同じであると考ええる。

Shipstone⁴⁾によれば、これらの心的モデルのうち、衝突モデルは学年が進むとともに減少し、ほぼ消滅する。しかし、電流減衰モデルなどの「電流非保存」の心的モデルは、学年が進んでも根強く生徒に残るのである。

「豆電球を通ると電流が減少する」という生徒の考え方は、非常にもっともらしいものである。例えば、電気をあたかも燃料のような「物」に置き換えて考えれば納得できる。豆電球までは電気は「消費」されることなく進んでいくが、豆電球が光を出すことで電気は「消費」されると考えればよいのである。この心的モデルでは、科学概念としての「電流」と「電力」は区別されていない。

これに対して、科学者の推論の根底にある心的モデルは、これとは異なっている。ダンネマン⁵⁾によれば、直流電流の理論を生み出したオームは、電流と水流や熱流を互いに似通った現象ととらえている。つまり、水流や熱流のアナロジーを用いて、電流の理論をあみだしたと考えてよい。教科書などで、水流のアナロジーがしばしば用いられるが、確かに科学的な正当性はあるわけである。

ところが、Shipstoneをはじめとする数多くの調査研究で、学年によらず電流非保存の心的モデルで考える生徒の存在が指摘されていることは、学校で水流モデルに基づく電流理論を教えても、それが生徒の電流に関する推論のよりどころとなる心的モデルには簡単には結びつかないことを意味している。

こういった問題に対して、問題解決に役立つ心的モデルを生徒に提示することで、生徒の推論を支援できることを示す研究もある。Gentner and Gentner⁶⁾は、高校生と大学生の被験者を3つのグループに分け、それぞれのグループに「水源を用いた水流のアナロジー」、「ポンプを用いた水流のアナロジー」、「動物の群れのアナロジーを用いた指導」を行って回路に関する問題に回答させた。そして、与えられたアナロジーの違いによって有効に回答できる問題の種類が異なっていることを見いだした。このことから、アナログカルな説明が生徒の心的モデルの形成を促し、問題解決に有効にはたらくことは示された。同様に堀⁷⁾も、学級によって異なる種類のアナロジーを提示して授業を行い、個々のアナロジーには、直列回路に有効であったり並列回路に有効であったりという違いが存在することを確かめている。それと同時に、個々の学習者の推論がうまくできるようにするには、一人ひとりにとって心的操作がしやすい固有のモデルを示す必要があることを示唆している。つまり、「誰に対しても」優れているアナロジーが存在するとは限らないということである。

ここで、一人ひとりの生徒が、本当に納得できるような心的モデルを持つことができるようにするには、どのような指導をすればよいのかという問題が生じる。従来の中学校理科の実践では、教師が一方的にアナログカルなモデルを提示することが多かった。そこで本研究では、それとは異なった方法で生徒一人ひとりが単純な直流回路における現象についての、自分自身の心的モデルを獲得できるようにすることをめざした。この試みとしての一つの実践事例を示したい。

2. アプローチの方法

本研究では、生徒が自分自身の心的モデルを獲得できるよう支援するために、生徒の表現活動の場を十分に確保するということを基本的方略とした。

この方略は、次のような考え方を背景にしている。

(1) 授業を概念変容の過程としてとらえる

授業にやって来る生徒は、そのほとんどが自然についての自分なりの見方や考え方を持っていることが、前述のPfunkt & Duitの目録に掲載されているおびただしい論文の中で指摘されている。これらは「素朴概念」「プリコンセプション」「ミスコンセプション」「概念フレームワーク」などと、さまざまな呼び名でよばれるが、科学者の見方・考え方とは基本的に異なったものである⁸⁾。本研究における実践では、こういった素朴概念を科学者の概念に近い形に変容するように支援するのが理科授業であるととらえた。これは、イギリスのリーズ大学を中心に行われているCLiS⁹⁾プロジェクトの考え方に近いもので、今回の授業の流れはそれを参考にして決めた。

(2) 生徒が見方・考え方を表現することと思考を深めることは表裏一体であると考える。

中山¹⁰⁾は、学習者が自然にはたらきかけて自ら考える学習は、思考と表現を平行して行うことによって有効に進められると主張した。特に、電気現象のように、そのメカニズムが目に見えない現象を説明し、解釈し、予測するためには、現象の理解のための心的モデルを持つことが不可欠である。具体的な問題に直面した時には、前述の素朴概念や概念フレームワークに基づくなんらかの心的モデルが利用されるのである。したがって、その心的モデルを各自に表出させることで互いの矛盾点や優越点に気づかせ、より洗練された心的モデルの構成を促すことができる考えた。

図1は、これら2つの点を背景にして、今回の実践で採用した授業の大まかな流れである。

生徒が自分の心的モデルを表現するための方法として、今回の実践では描画法¹¹⁾を中心に利用した。描画法は、現象的には目に見えないメカニズムについての解釈を絵で表すことができる表現方法であり、電流の学習に向いていると判断した。描画は、白紙上で行うのではなく、あらかじめ教師が電池や導線を太く描いた印刷物を準備して、その太く描かれた部分の中のようにすを描くという方法をとった。

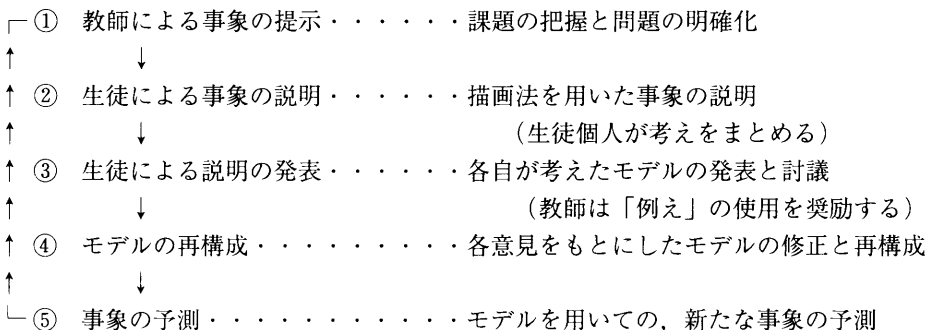
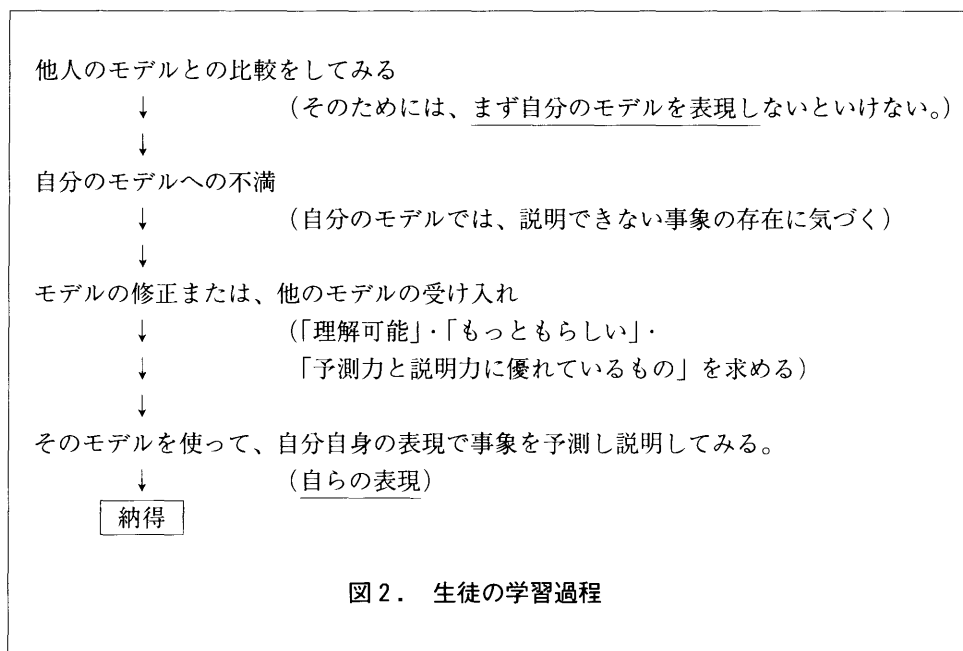


図1. 表現活動を活かす授業パターン

図2は、図1に示した授業の流れをとったときに想定される生徒の思考の流れを簡単に示したものである。この流れは、ポズナーとストライク¹²⁾による概念変容の条件を意識したものである。



生徒が描画法を用いて電流や電圧に関する自分自身の心的モデルを表現するとき、そこに描かれたものは電流や電圧そのものではない。そこにあるのは、電気が何かに例えられた姿である。生徒が電気を人の絵で描けば擬人化であるし、丸い粒であれば粒子に例えているのである。そして、このどちらも電気をなんらかの存在に例えるメタファー思考¹³⁾が表れた絵である。レイコフとジョンソン¹⁴⁾は、人間の概念体系の一部が基本的に比喩的であることを指摘している。前にも述べたように、電流の理論が歴史的にもアナロジーに基づいて構成されたものであるなら、電気にかかわる生徒の概念も、基本的に比喩的に構成されると推察される。

描画法による表現に加えて、本研究における実践では、「例え」による表現を重視した。レイコフとジョンソン¹⁵⁾は、「ある面を際立たせ、ある面を隠す」というメタファーの特徴を指摘している。生徒が描画として表現したものを、さらに「例え」で表現させることは、生徒の心的モデルの特徴を際立たせることにつながる。それが、表現者自身だけでなく、他の生徒にもその心的モデルの特徴を分かりやすくして、議論の焦点化につながる。さらには、モデルの理解と共有をしやすくなると考えた。

本研究の実践で、描画法と例えを媒介とした表現活動を導入した中心的意義はここにある。描画によって、比喩的な概念の構成を生徒自身に意識させ、それに基づく心的モデルを推論に利用し可能にするのである。

3. 具体的実践の内容

授業計画の立案において特に行った事柄は、次の3つである。

- (1) 指導目標の見直し
- (2) 電気概念を比喩的に構成するメタファに着目した教材の工夫
- (3) 生徒の表現活動を通して概念変容を促す単元の流れの工夫

これらについて、具体的に説明する。

(1) 指導目標の見直し

まず、生徒が獲得する知識についての目標分析を素朴概念と比較する形で行った。特に、今回は概念獲得に重点をおいた実践であるので、特に知識についてのみ分析した。目標分析の過程で、生徒によくある素朴な電気概念と、中学校理科で獲得させたい電気概念との違いが明確になった。その代表的な点を、表1に示す。

表1. 生徒の素朴概念と教師の指導目標の代表的な違い

生徒の素朴概念	教師の指導目標
[電流に関して] - 回路が切れていても、しばらくは電流が流れることがある。 - 電流は電池から出るが、戻る場合と戻らない場合がある。 - 電流は、導線の中にあるが、ぎっしり詰っているわけではなく、すきまがある。 - 乾電池の両極から出た電流が衝突あるいは交叉すると考える者がいる。 - 電流は、途中で増えたり減ったりすることがある。 - 電流は、豆電球などで使えば減る。 - 電流と電力を同一視しており、概念が分離されていない。 - 電流は、何かが流れているという見方はしている。 - 電流がどんなものの流れであるかについての具体的なイメージはない。 - 電池の中に詰っている何かが「押出される」とは考えるが、反対の極から「引かれる」とは考えない。 [電圧に関して] - 電池の電圧は、電池の+極だけが押す力のようなものだと考える。 - 抵抗にかかる電圧は、電気が抵抗を通過しようとして入口だけを押す力のようなものである。 - 電圧は、回路中の一箇所にかかるものである。(差ではない) [抵抗に関して] - 抵抗があると、その「入口」に電圧がかかる。 - 抵抗を通るときに、電気が使われる。	[電流に関して] - 電流は、回路が閉じているときだけ流れる。 - 電流は、電池から出て電池に戻る。 - 電流は、導線の中に電気がぎっしりと詰っていてすきまがないかのようにふるまう。 - 電流は、一方向に流れる。 (交差とか、衝突はしない。) - 一本の導線の中では、電流は同じである。 (等しい。増えたり減ったりしない。) - 電流自体は、豆電球やモーターを通っても増減しない。 - 豆電球やモーターで「使われる」(消費メタファ)のは、「電流」ではない。 - 電流は、電気をもっている「何か」の流れである。 - その何かは、粒の集まりである。 - その何かは、「電池の中に一杯詰っている」というわけではなく、電池によって押し出されると同時に吸引されているために循環すると考えればよい。 [電圧に関して] - 電池の両端には電圧が生じる。 - 抵抗があるところに電流が流れると、電圧が生じる。 - 電圧は何かの「差」である。 - 電圧は、回路中の二点間(ある区間?)に生じる。 [抵抗に関して] - 電流が流れている抵抗の両端には電圧が生じる。 - 回路に枝分れがなければ、抵抗を通っても電流は変わらない。

(2) 電気概念を比喩的に構成するメタファに着目した教材の工夫

電気概念にかかわる生徒の素朴な考えを明確な形で表現させるためには、問題点が明確になるような教材を工夫しなければならない。

そこで今回は、単元の導入部で、次のような事象を提示した。図3は、乾電池1個と豆電球2個が直列に接続された回路である。

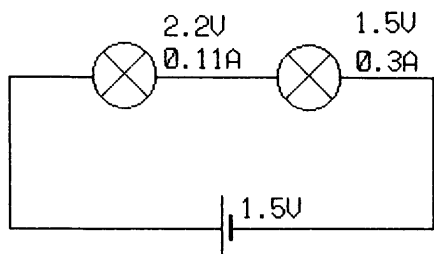


図3. 異なる豆電球2個からなる回路

生徒にそれぞれ規格の異なる豆電球2個、乾電池1個、そして導線を与えた。そして、豆電球の規格についての情報は与えないままで、それらを直列につないでみるように言った。

ここで、生徒は、図3のような回路を作る。すると、2つの豆電球のうち1つは点灯するが、もう一方は点灯しない。これは、生徒にとっては奇妙なことで、既知の知識での説明は困難である。本単元はここから始められた。

豆電球の規格を、2.2V, 0.11Aと、1.5V, 0.3Aという組み合わせで選んだところが、この教材の工夫点である。それぞれを乾電池につなげれば点灯するのに、2つを直列にすると一つだけが点灯する現象を生徒が説明しようとする過程で、生徒の比喩的表現が誘発され、比喩的な概念構成が促進されたと考えた。

(3) 生徒の表現活動を通して概念変容を促す単元の流れの工夫

描画法と比喩の使用を通しての表現を生かすように、単元の流れを構成した。ここでは、単元の流れを示しながら、生徒の変容過程を示す資料を同時に示す。

① 事象1

図3のように配線する。

【実験結果】2.2V, 0.11Aの電球は点灯するが、1.5V, 0.3Aの電球は点灯しない。この時点で、生徒は2つの豆電球の規格が異なることを知らされていない。

【生徒の疑問】片方の電球が点灯して、もう一方の電球が点灯しないのはなぜだろうか。

【生徒の考え】

豆電球が切れている	}	など	73%
ソケットがこわれている			
接触が悪い・線が切れている			
豆電球の種類が違う			11%
電球を点灯させる電気がなかった			9%
(電気が弱い・「電池をもう一つください」)			
回路がおかしい			7%

【生徒の疑問】本当にこわれているのだろうか？ 調べてみよう。

【生徒の討議】

・豆電球を一つずつ乾電池につないでみると、どちらの電球もつく。どちらの豆電球も切れていない。ソケットもこわれていない。

②【実験2】 回路の各部分の電流の値

回路の各部分の電流を測定し、電流の大きさに違いがあるのかどうかを確かめる。

【実験結果】回路のどこを測定しても、電流の大きさは等しい。

電池2個、豆電球2個直列の場合・・・110mA

電池1個、豆電球1個の接続の場合・・・360mAと110mA

【生徒の疑問】電流の大きさはどこでも等しいのに、2つの電球の明るさが違うのはなぜか。

【実験結果を説明するための描画】

回路を流れる電流がどこでも同じになっていることは、多くの生徒にとって意外なことである。このことを説明するために、生徒は再び別の用紙に描画を行い、自分の考えに修正を加える。

【生徒のモデルの発表】

- ・水流スイッチモデル

流れる電流の大きさは、水路を流れる水と同じで変わらない。電球のつくつかないは、水の流れる衝撃で入るスイッチと同じ。

- ・電車モデル

回路が線路、電流が電車の車体、電球が駅、駅で降りる利用者が光る原因。利用者は駅で減っていくが、電車の車体は始発の駅まで戻る。

- ・血流モデル

心臓が電源、血管が回路、赤血球が電気、赤血球が運ぶ酸素が使われるように、電気が運ぶエネルギーのようなものが使われる。

- ・水力発電モデル

電流を水、電球を発電所のタービン、電球の光は発生した電気、流れる水の量はかわらないが、発電量はタービンによって違う。

- ・土管摩擦モデル

電球は細い土管、電気は水流、土管を無理に流れると摩擦により熱が出る。この熱が球の光。

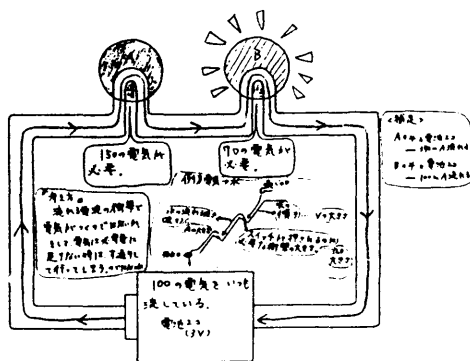


図6. 水流スイッチモデルの描写

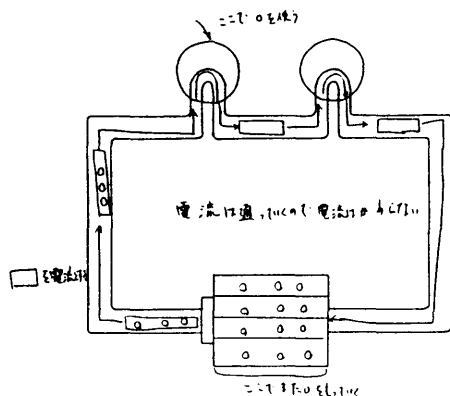


図7. 電車モデルの描写

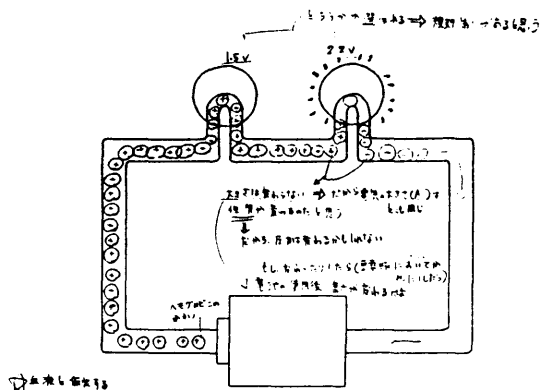


図8. 血流モデルの描写

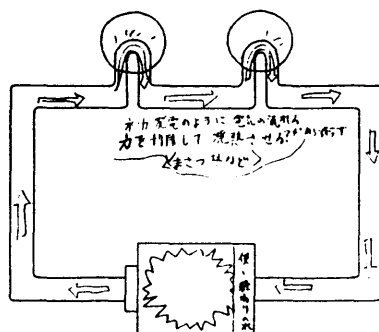


図9. 水力発電モデルの描写

・積み木のモデル

積み木がずーっと積み重なっていて、一個の積み木がなくなると、すぐ後ろから別の積み木が押す。ぎっしりとつまっていて、一つなくなると次がすぐに入ってくる。だから、電気の量は積み木がやってくるから変わらない。

・その他

電流以外の何かが流れているというモデルもあった。

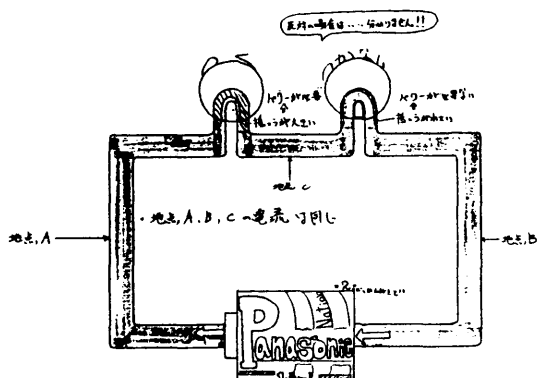


図10. 土管摩擦モデルの描写

【生徒の討議】それぞれのモデルに一長一短あり、議論が盛り上がった。中でも、電車モデルと血流モデルが支持をうけた。

④【実験3】 並列回路の場合

2つの豆電球を並列に接続して、点灯のようすと各豆電球を流れる電流を測定した。

【生徒の予想】電流の大きさは、分かれた所を合わせればもとの大きさになる。

このことを直列接続の時に描いて説明に用いたモデルで説明した。

【実験結果】それぞれの豆電球を、乾電池につないだときと同様に、どちらも点灯する。明るさは異なる。生徒の予想どおりとなる。

【生徒の疑問】電流が分かれて流れることは説明できるが、なぜ流れる割合が違うのだろうか。

【実験結果を説明するための描画】

並列接続についても、描画を行い、モデルを用いた説明を行う。

【生徒のモデルの発表】

「水流モデル」、「抵抗・流れにくさで電流の大きさが決まる」、「電球が電気をひきつける」

などが出された。電車モデルよりも、水流モデルの割合が多くなってきた。

【生徒の討議】電流の流れの強さは、「電球の流れにくさ」に関係するのではないか。

【生徒のモデルの発表】

描画を行い、「電流の流れにくさ」をモデルで表してみる。

- ・土管（トンネル）モデル 流れにくさは土管の大きさによって決まる。
- ・すだれモデル すだれのようなものがある、流れを妨げる。
- ・砂利道モデル 舗装道路は流れ易く、道が悪いと流れにくくなる。
- ・プラットホームモデル プラットホームが長いほど列車は流れにくい。
プラットホームが横に広いほど多くの列車が一度に通過できる。
- ・ジグザクモデル ジグザクが多いほど流れにくい。

【生徒の討議】話し合いの中で、プラットホームモデルなどは、生徒の支持を受けた。一方、土管モデルを支持する生徒も多かった。しかし、水流モデルの場合の問題点として、水そのものの流れ方がわからない生徒も多かった。

【生徒の疑問】同じ電球を使ったのに、直列回路よりも、並列回路の方が、多くの電流を流すのはどうしてだろうか。

【生徒のモデルの発表】

上記の抵抗モデルを用いて、直列回路では抵抗が長くなるので流れにくさが増すことを説明できた。並列回路の場合、並んだ抵抗を一まとめに考える発想がなかなかで出なかった。

プラットホームモデルは並列の場合うまく説明できたが、直列の場合が苦労していた。

④【実験 4】

生徒が自由に電池の数やつなぎ方を変えて実験を行い、それによって変化するものを調べる。

【生徒の予想】

- ・電池を縦につなぐと多くの電流が流れる。
- ・電池を横につないでも、流れる電流の大きさはかわらないが長持ちする。

【実験結果】電池を縦につなぐと多くの電流が流れる。

【生徒の疑問】同じ電池なのに、つなぎ方や個数で流れる電流の大きさが変わるのなぜか。

【実験結果を説明するための描画】自分の行った実験についての描画

【生徒の討議】電流を流す力・勢い・圧力が違うのではないだろうか。

【生徒のモデルの発表】電流を流す力、勢い、圧力の違いをモデルで表す。

・圧力モデル

縦につなぐと上にのせる重さが増すが、底面積は変わらない。したがって、圧力が増す。
横に並べると重さが増すが、底面積も増す、したがって圧力は変わらない。

・水タンク（水圧）モデル

電池を水タンクと考える。深くなるとそれだけ勢いが増す。

・階段モデル

電池を階段と考える。縦につなぐとそれだけ、高い階段から水を流すことになる。

・空気鉄砲モデル

縦につなぐとそれだけ飛び出す勢いが強くなる。

- ・ポンプモデル

電池をポンプと考える。直列にすると、水の流れる速さが倍になる。

【生徒の討議】圧力モデルや水タンクモデルは生徒にとってもっとらしいモデルであった。この段階で生徒が水平のものの見方から、垂直の見方すなわち、重力を意識したメタファーに変化していった。

【生徒の疑問】各部での電流を流そうとする圧力（電圧）は、どうなっているのだろうか。

⑥【実験 5】 電球 2 個を直列・並列につないで、各部の電圧を測定する。

【実験結果】直列では、各部を加えると電源の電圧に、並列では、どの部分も電源電圧に同じ電圧が生じる。導線では、電圧は生じない。

【実験結果を説明するための描画】電池の直列・並列の場合を説明する描画を行う。

【生徒のモデルの発表】各部の電圧モデルを描くのは生徒にとってかなり難しいものであった。

- ・すべり台モデル

すべり台の傾きや高低差を電圧と考える。

- ・列車モデル

駅を抵抗と考え、電圧を量的にとらえる。

- ・水流網モデル

抵抗を網と考え、そこを通過する水の勢いを電圧と考える。

- ・ゴムボールモデル

ゴムボールを電流、抵抗を細いパイプと考える。ゴムボールを細いパイプに通すためには、それだけ、押し出す圧力が必要である。

- ・滝モデル

電圧を滝の落差ととらえる。

⑦【実験 6】 回路の各部分の電流・電圧と抵抗との関係を調べる。

【生徒の予想】モデルから、電圧が大きくなれば、電流の大きさは大きくなると考える。さらに抵抗が大きくなれば、電流の大きさは小さくなると考える。同じ電流を流すためには、抵抗が大きくなると、それだけ電圧を大きくしなければならない。

【実験結果】生徒の予想はほぼ実証された。

【生徒のモデルの発表】電圧・電流・抵抗の三つをまとめてモデルに表した。

- ・汲み上げポンプ水流モデル

- ・道路モデル

- ・水流ポンプモデル

- ・砂時計モデル

- ・ジェットコースターモデル

- ・すべり台モデル

- ・水流網モデル

4. 授業を通しての生徒の変容についての考察

本実践では、各実験を行う度に、生徒に実験結果を自分自身で説明するよう求めた。そして、その際には描画を利用した表現を求めた。そして、それに基づいて生徒による討議を行い、概念の交換と共有を図った。

描画を媒介とした表現によって、生徒の素朴な考えは単なる思いつきに終わることなく、アナログ的な推論に発展してきていることが分かる。例えば、最初の描画では、一つの豆電球で電気が消費されて、電流が減るためにもう一つの豆電球が点かないと考える生徒が多い。これは、物の消費や燃料の消費に例えた推論であり、その時点での観察事実をうまく説明している。それと同時に、このモデルでは、電流が使われて豆電球を通過した後では少なくなるという予測を生み出している。そのため、次の実験2の回路の各部分の電流を測定して違いを見つけようとする実験が必然的に計画されることになる。つまり、実験1の結果を説明するために描画とその説明で用いた「消費メタファ」に基づく心的モデルが、「2つの豆電球を流れる電流は異なる」という「仮説」を生み出し、その実験計画を生み出したものである。

次に、実験2では2つの豆電球を流れる電流は等しいという結果が得られ、電流消費的な心的モデルに基づく仮説は否定されることになる。このことに対応して、生徒はモデルの修正を行い、水流スイッチモデル、電車モデル、血流モデル、水力発電モデル、土管摩擦モデルなどを生み出している。ここで注目すべきことは、電車モデルや血流モデルの中には、「何かを運ぶ本体は変わらないが、そこに搭載されているものが使われてなくなる」といった説明が含まれていることである。これは、科学概念としての「電流」と「電力」の概念的分離を行おうとする心的モデルである。こういったモデルについての議論を通して、生徒は「流れる電流には、回路中で不変な部分と変化する部分がある」という概念を獲得している。これは、通常の授業の流れでは実現困難な部分である。

次に、実験3以降では、並列接続が登場するため、議論の焦点は電流から電圧に移る。電流概念と電圧概念の分離は、中学生にとって非常に困難な課題である。特に電圧は、それを何かに例えることが難しいため、電流とどこが違うのかが理解されにくい。一般によくあるのは、電圧をただ単に力の圧力に置き換えて考えるやりかたである。しかし、科学概念としての電圧は、2点間の電位の差である。力の圧力はある面にかかる力であるから、差を問題にしているわけではない。この点が電圧と圧力では根本的に異なっている。単に圧力に置き換えたのでは、回路中の2つの点に着目するという視点が育たない。

この点について、今回の実践では、実験4で電池を直列接続したときの説明として表れた「圧力モデル」が、実験5の電圧測定実験や実験6の電流・電圧・抵抗の関係についての実験の考察を通して深められている。生徒は、圧力のモデルで「面におもりを縦に積みば圧力が増し、横に並べれば圧力は変わらない」という点で、おもりの圧力と電池の直列・並列接続の共通点を見いだしている。その上で、縦に積んだとき、つまり直列接続のときの圧力増加を「すべり台」「滝」「くみあげポンプ」などのような「高低差」へと精緻化していった。

このように、今回の描画と「例え」による表現を多用した授業では、生徒の心的モデルが実験事実と既有知識を結びつける形で整理され、精緻化していった。そして、生徒自身が心的モデルを用いて観察事実を説明したり、未知の事象を予測したりする場面が多くなった。

今回の描画と比喩利用に基づく生徒の発表で生徒から出てきた考え方では、次のようなもの

が特徴的であった。

- ・列車とプラットフォームのモデルや血液のモデルなどで、豆電球を通過しても変わらない「本体」の部分と、豆電球を通過するときに失う部分を分けて考えるモデルが出てきている。これは、「電流」と「電力」の概念を分離することにつながる発想である。
- ・圧力モデルや水タンクなどで、力学学習の知識とのリンクが見られる。これによって、直列接続で電圧が2倍になることと、並列接続で電圧が変化しないことを整合的に説明している。
- ・すべり台モデル、滝モデルのように、電圧を単に一点にかかる圧力としてではなく、「高さの差」といった2点間の差に置き換える考え方が出てきている。

描画法の利用や、「例え」の奨励は、単元全体の授業時間の増大という問題点はある。しかし、今回の実践で、「電流」「電圧」「電力」という電気にかかわる基本的科学概念の分離の必然性を、生徒に際立った形で意識させることができた。そして、生徒に心的モデルを用いて回路の性質を説明したり予測したりするという科学の基本的な方法を示すことができた。

一見、遠回りであるが、科学の基本的プロセスの修得と、科学概念の基本的理解の基礎を作ることにつながったと思う。

今回は、生徒の概念変容を客観的に評価することはできなかった。しかし、今後、このような実践を繰り返しつつ、客観的な評価を進めていくことも必要であると考えている。

＊）本研究は、日本科学教育学会第19回年会(1995)、における口答発表（日高俊一郎・中山迅・川北一彦、「子供の表現活動を生かす中学校電気単元の授業実践」）をもとに、加筆・修正を加えたものである。

また、本研究は、部分的に平成6・7年度文部省科学研究費補助金一般研究(C)「概念形成への実験技能の影響について」(研究代表：宮崎大学教授 川北一彦、課題番号06680180)と、平成5～7年度文部省科学研究費補助金一般研究(B)「子どもの電磁気概念のFRAMEWORKとCONSTRUCTIONに関する研究」(研究代表：広島大学教授 武村重和、課題番号05451138)の援助を受けた。

研究分担は、川北が教材開発を、中山が「心的モデル」や「例え」と概念変容についての理論化を、日高が具体的実践計画の立案と実践を主に担当した。実践計画については、3人が集まって生徒の描画などに関する実態をふまえた協議を行いながら立案・実行した。

文 献

- 1) Pfundt, H. & Duit, R., *Bibliography: Students' alternative frameworks and science education* (3rd ed.), IPN, Kiel, Germany, 1991
- 2) Tasker, R. and Osborne, R., "Science Teaching and Science Learning", in *"Learning in Science"*, 1985, Heinemann, NZ, pp.15-27.
(訳書) 森本・堀 訳、「子ども達はいかに科学理論を構成するか」、東洋館出版、1988.
- 3) Shipstone, D.M., "A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits", *Eur. J. Sci. Educ.*, 1984, Vol.6, No.2, pp.185-198.
- 4) *ibid.*
- 5) ダンネマン著 安田徳太郎訳・編、「新訳ダンネマン大自然科学史 9」、三省堂、1979、p.293.

- 6) Gentner,D. and Gentner,D.R.,Flowing Waters or Teeming Crowds: Mental Models of Electricity, in Gentner and Stevens(Eds.) *Mental Models*, LEA, 1983, pp.99-129.
- 7) 堀哲夫・市川秀貴、「認知的方略の育成に関する研究－電流回路のモデルを事例にして－」山梨大学教育学部研究報告、第44号、1993、pp.61-69.
- 8) Fisher,K.M.,A misconception in Biology amino acids and translation, *Journal of Research in Science Teaching*, Vol.22, No.1, pp.53-62,1985.
- 9) Scott,P., *A constructivist view of larning and teaching in science*, Centre for Studies in Science and Mathematics Eduction: The University of Leeds, 1987.
- 10) 中山 迅、「自然認識と表現～その魅力～」、初等理科教育、Vol.27,No.12,1993, pp.10-13.
- 11) R.White and R Gunstone, "*Probing Understanding*", The Falmer Press, 1992.,Ch.6.
(中山迅・稲垣成哲監訳、「子どもの学びを探る」、東洋館出版、1995.,第6章)
- 12) Posner,G.J.,et al.Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change, *Science Education*, Vol.66, No.2, 1982, pp.211-227.
- 13) 瀬戸賢一、「メタファー思考」、講談社現代新書、1995.
- 14) ジョージ・レイコフ、マーク・ジョンソン著、山梨正明訳、「人間の概念体系における比喻構造」、M. ミンスキー他著、佐伯胖編「認知科学の基底」、産業図書、1986、pp.35-56.
- 15) G. Lakoff and M. Johonson, *Metaphors We Live By*, The University of Chicago Press, 1980, p.10.
(訳書： 渡部昇一他訳、「レトリックと人生」、大修館書店、1986)

(1996年1月10日受理)