

## 発熱体に対して中学生が持つメンタルモデルの分析

有川 誠<sup>1</sup> 丸野 俊一<sup>2</sup>

### ANALYSIS OF MENTAL MODELS OF JUNIOR HIGH SCHOOL STUDENTS ON LEARNING THE PROCESS OF HEATING USING ELECTRICITY

Makoto ARIKAWA AND Shunichi MARUNO

This study intended a research on the types of naive mental models junior high school students used in order to understand electric heating, and also to research the possibility that their models might change from unscientific models to scientific models after scientific experiments performed by students. We found 11 types of naive models, which could be divided into two categories: "scientific models", and "unscientific models". The majority of the subjects showed "scientific models" at the time of the study. After the experiment, many subjects having unscientific models as their naive models, changed to scientific models while those who had scientific models in the beginning supported models with increasingly scientific sophistication. On the other hand, it was proved that one of the naive models could not be easily changed by the experiment. The above research showed that the experiment proved generally effective in changing student's naive mental models to more scientific ones.

Key words : mental models, electric heating, naive models, scientific models.

#### 問 題

本研究は、まず、発熱体の発熱原理について中学生がどのような素朴なメンタルモデルを持っているかを探り、次に、実験授業を試みることによって、そのメンタルモデルをより科学的なメンタルモデルにどこまで変容させることができるかを探究することを意図したものである。子どもの科学や技術に対する認識や考え方を、授業を通してより科学的なものに変容させるにあたって、Osborne & Freyberg (1985) は興味深い提言を行っている。彼らは、子どもは自然及び技術の世界と関わりながらそれらを理解しようとする時、学校の内外、及び日常生活で何らかの学習を行い、自分

なりに作り上げている意味を積極的に利用していると述べている。このことから、教師は授業に際し、子どもが作り上げている科学者とは異なる「学習者の認知の枠組み」をあらかじめ調べておくことが重要であると指摘している。また同時に、子どもが作り上げている認識や考え方は容易に変えられないものであり、それらを科学者が持つ概念に修正するには、子どもがお互いの多様な考え方について意見を交わす場を設けることが必要と述べている。このことは、「自分のものの見方や考え方」とは異なる「他者のものの見方や考え方」に出会うような経験が、「自分のものの見方や考え方」に限界があることを気づかせると同時に、新たなものを創造していく上で必要不可欠であることを物語っている。より具体的には、例えば、生徒1人ひとりが発熱体の発熱原理に関して思い描いているメンタルモデルとは異なるメンタルモデルがあることに気づく。また、他者のメンタルモデルと自分のメンタルモ

<sup>1</sup> 東京大学教育学部附属中・高等学校 (Faculty of Education Attached Schools, Tokyo University)

<sup>2</sup> 九州大学教育学部 (Faculty of Education, Kyushu University)

デルの比較・検討から、それらのメンタルモデルを構成している背景にある考え方の差異に気づいていく。すなわち、自分のメンタルモデルの問題点を修正し、よりよいものにしていくような学習の機会を作ることが大切である。では教師は、このような活動を実際の授業場面ではどのように展開していったらよいのであろうか。これについて、城・平(1985)は、中学校「技術・家庭」科(以下、技術科と記す)の「電気」領域(鈴木, 1992:文部省, 1989)で、中学生の電流とダイオードのメンタルモデルを調査し、それらに基づく教材を利用した授業を試みている。ここで彼らは、中学生が持つ電流とダイオードのメンタルモデルが相互に発達する関係にあることを指摘している。しかし、このような子どもが持っている具体的なメンタルモデルを、実践の場で明らかにして分析した研究は数少ない。

そこで本研究では、授業場面で、生徒が思い描いている「ある現象」についてのメンタルモデルを積極的に利用する方法論を探る第一歩として、技術科の「電気」領域で、電熱機器・発熱体の発熱原理に対する生徒の認識を改善させるような実験授業を行うことにした。まず、事前調査によって、発熱体の発熱原理に対して中学生がどのような素朴なメンタルモデルを持っているかを明らかにする。次に、事前調査の結果に基づき、教材を作製し実験授業を展開することによって、中学生の素朴なメンタルモデルがどのように変容するかを調べることにする。これにより、具体的な授業場面にそれぞれの生徒が抱いているメンタルモデルを導入することの意義や、利用する際の留意点、作製した教材の有効性を検討することができる。なお、具体的な教材として発熱体を選んだのは、次の2つの理由からである。

第1に、発熱体は中学生にとって身近な電気機器の基本部品である。すなわち、発熱体は理科の実験などでも使われる機会が多く、電気ポット・電気こんろ・ドライヤーといった身近な電気機器にもよく使用されている。このため、大多数の中学生は実物を見た経験があり、発熱体がどのような働き(すなわち熱を出すということ)をするかをおよそ知っていると考えられる。

第2に、発熱体は回路が単純で現象が明確である。Gentner(1983)らは、電気に関する現象は、それを直接見ることができないので、現象を説明しようとする人にとってモデル化が有効であると述べている。しかし、回路が複雑になると、回路(すなわち装置)全体を1つのものとして漠然とモデル化しがちである。この場合、実体とモデルがあまりにもかけ離れたものになり

やすい。一方、回路が単純で、個々の部品の組み合わせたものを1つの系(system)として考えることができる場合、現象に対する納得のいくモデルが作りやすい。この点から見れば、発熱体は作動する時の回路が単純であり、入力(電気エネルギー)と出力(熱エネルギー)も明確である。

## 事前調査

### 目的

ここでの主な目的は、第1に、発熱体の発熱原理に対して中学生がどのようなメンタルモデルを持っているかを把握することである。第2に、個々の回答を整理して、数種類のメンタルモデルを設定することである。この数種類のメンタルモデルは、次の実験授業で「生徒のメンタルモデルはどのように変容するか」を探る際の選択肢となるものである。

### 方法

被験者は、福岡市内国立大学附属中学校の3年生男女生徒64名(男子34名,女子30名)である。この学校では入学時に半数の生徒を入試で選抜しており、一般的な学力は公立校より高い生徒が多い。なおこれらの生徒は、関連する理科教育の「電気」(1分野下)を、調査を実施した時点で既に学習していた。

まず、被験者が発熱体の発熱原理に対してどのようなメンタルモデルを持っているかを分析するため、FIGURE 1に示すテスト(事前調査)を実施した。このテストは、発熱体がどのようにして熱を発生しているかを生徒自身の考えに基づき自由にモデル化(図示・説明)

### 「発熱体」のモデルを考えてみよう!

発熱体は電気をどのようにして熱に変えているのだろうか。あなたの考える発熱体のモデルを、下の図の中に記入して下さい。

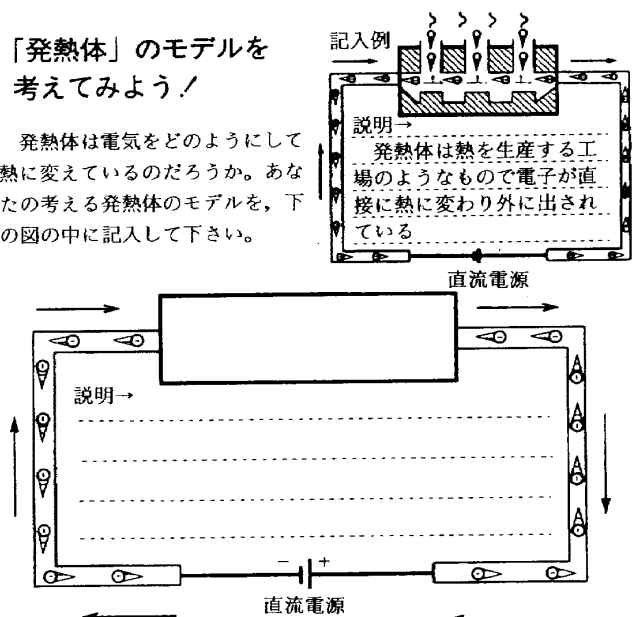


FIGURE 1 事前調査

させるものである。従来の研究, 例えば Shipstone (1985) によると, 子どもは「負荷で電気は消費される」, すなわち負荷と電源は1本の導線につながればよいと考えがちであることを指摘している。しかし, FIGURE 1の図は, 負荷(発熱体)と電源が環状につながっている状態になっており, 回路内の電気の振る舞いも「電流の向き」ではなく「電子の移動」として「科学的」に表現した。この理由は, 被験者は一般的な学力が高く, 理科で既に「電気」を学習していることから, Shipstone(1985)が指摘する子どもの思考段階を通過しているのではないかと考えたためである。

### 結果

全被験者64名中17名は, 回答が無記入, または意味不明であったが, 残る47名からは, 表現しているものが筆者らに分かるモデルが得られた。これら47名の回答の傾向としては, 理科の電気学習(近角, 1992)で取り上げられている「金属中の原子(+ )と電子(-)の動き」を説明する図に近いメンタルモデルが比較的多かった。また, 過去の技術科の授業(発熱体及び電気全般)の中で, 筆者らが時々耳にしていた「何か熱を作り出す仕組み(装置)があるのではないか?」という生徒の発言(認識)を裏付けるような図や説明もいくつか見られた。

まず, これら47名の回答を, 基本的に同じ内容を表現しているモデルに分けて整理した結果, FIGURE 2中の10種類(①~⑩)のメンタルモデルが見いだされた。回答数は多い順に, ⑤14名, ①9名, ⑦6名, ⑥5名, ③④各4名, ⑩2名, ②⑧⑨各1名であった。さらに, 授業中, 時折耳にしていた「中に燃料があるのでは」という生徒の発言を考慮して, ⑩のモデルを新たに付け加えた。以上のような手続きで, FIGURE 2に示す11種類の発熱体・発熱作用のメンタルモデルを設定した。なお, 被験者の説明を含めて判断すると, これらのモデルは, 発熱体を「電気エネルギーを熱エネルギーに変換する」と考えるタイプ(①③④⑤⑦⑧⑨)と, 「電気を原料(燃料)として熱を発生する」と考えるタイプ(②⑥⑩⑪)の2つのカテゴリーに分けられる。前者を「エネルギー変換モデル」, 後者を「装置モデル」と呼ぶことにする。実際の発熱体の発熱原理に近く, 科学的なメンタルモデル(以下「科学モデル」と略す)は「エネルギー変換モデル」であり, その中でも最も科学的で適切に表現されているものが⑤「障害物」モデル, 次が①「細いパイプ」モデルである。「装置モデル」はいずれも非科学的なメンタルモデルであるが, 被験者が日常経験の中で得た知識から, 現象を説明するのに都合がよい

と考えたモデルであろう。このような非科学的なものを含め, 被験者が持っている素朴な知識や理論に基づくメンタルモデルを「素朴モデル」と呼ぶことにする。すなわち, 前述した11種類のメンタルモデルは「素朴モデル」である。

## 研究(実験授業)

### 目的

メンタルモデルは, 本来, 非科学的で不完全なもの(Norman, 1983; Johnson-Laird, 1983)であり, それをより科学的なものに近づけることが「授業」の大きな目標の1つである。この実験授業のねらいは, 被験者の「素朴モデル」に含まれる「装置モデル」を「エネルギー変換モデル」に変容させること, また, 「エネルギー変換モデル」に分類されている素朴なモデルの中のものでも, それらをより科学的なレベルに変容させることにある。また, 授業後の変容の程度や, 考案した「発熱体実験」に関する調査問題の結果から, 被験者の電気現象に対する理解・認識を探ることとする。これにより, 「発熱体実験」の有効性や, 具体的な授業場面に生徒が抱いているメンタルモデルを利用することの意義や留意点を検討する。

### 方法

#### 1. 被験者

被験者は事前調査と同じ64名である。

#### 2. 手続き

実験授業は, 電気領域の授業「電気機器のしくみ(2): 電熱機器」の小単元「電気を熱に変えるしくみ」の中で行った。なおこの授業は, 時間割の都合から, 事前調査を行った5~10日後に2クラスに分けて実施した。実験授業は, 以下の5ステップと最後のまとめから成り立っている。

- 1) 【テスト前学習】被験者に「熱はどんなもの(場合)から発生するか」を紹介する。
- 2) 【プレテスト】「発熱体モデル選択紙」を用いて, 被験者に素朴モデルの選択(もしくは修正)を行わせる。
- 3) 【「発熱体実験」】被験者に「発熱体実験」を観察させる。
- 4) 【ポストテスト】再度, 「発熱体モデル選択紙」を用いて, 被験者に素朴モデルの選択(もしくは修正)を行わせる。
- 5) 【「調査問題」】被験者に「メンタルモデル及び「発熱体実験」に関する調査問題」を回答させる。

以上のステップで実験授業を行った後, 被験者に「発

発熱体に電流を流すと熱が発生する。下の1~11の図は、電子が発熱体で熱を発生するようすをモデル化したものである。あなたにとって「1番考えに合う」モデルはどれだろうか？ また逆に「最もあり得ない」モデルはどれだろうか？ なお「1番考えに合う」モデルとして別のモデルを思いついた場合は、右下の欄に記入せよ。

「発熱体」はどのようなようにして熱を発生しているのだろうか？

1. 「細いパイプ」モデル  
 発熱体はパイプが細くなった部分で、この部分では電子が通りにくくなり、この部分で熱が発生している

2. 「化学反応」モデル  
 発熱体はイオンによる電気分解のようなもので、この時の化学反応によって熱が発生している

3. 「うずパイプ」モデル  
 発熱体はうず状のパイプを電子が通るようすを加えられ、熱が発生している

4. 「曲がったパイプ」モデル  
 発熱体は曲がったパイプのようなもので、電子が流れにくいので、流れようとする力が熱に変わっている

5. 「障害物」モデル  
 発熱体は中に障害物の粒がたかさんがあるようなもので、これに電子が衝突して熱が発生している

6. 「熱生産工場」モデル  
 発熱体は熱を生産する工場のように、電子に何かを加えたり刺激したりして電子を熱に変えている

7. 「電子溜め」モデル  
 発熱体では、角ばった部分に電子がたまり（つまり流れなくなり）、ここで熱が発生している

8. 「電子のわな」モデル  
 発熱体は、中を通り過ぎていく一部の電子をとらえて、電子が離れようとする反発の力で熱を出す

9. 「放電」モデル  
 発熱体は空間を電子が放電するようなもので、この放電によって熱が発生している

10. 「ガスコンロ」モデル  
 発熱体はガスコンロのようなもので、電子がガスの役割をすることで炎が発生し、発熱体の表面を熱している

11. 「燃焼」モデル  
 発熱体は中に燃料が入っており、電子によって燃焼が維持され、熱を出す（使っている内に燃料が無くなり寿命がくる）

「モデル」記入欄  
 思いついたモデルと説明を書いてみよう！

FIGURE 2 「発熱体モデル選択紙」

熱体実験」とメンタルモデル、及び「調査問題」の関連について説明し、発熱体の発熱作用についてのまとめを行った。

なお、プレ・ポストテストの「発熱体モデル選択紙」及び「調査問題」は、被験者全員が記入し終わるのを待って、その都度回収した。

### 3. テスト前学習：「熱はどんなもの（場合）から発生するか」

テスト前学習では、「発熱体実験」に先立ち、被験者に「熱を発生し得るもの（場合）」を例をあげて紹介した。ここで紹介したものは、「燃料の燃焼」「物体の摩擦」「動物の体温」「電気を使う発熱体」である。このような学習を設定した理由は、具体例で「発熱」現象を感覚的・経験的に確認させることで、素朴モデルを選択・修正する際の手がかりを与えることができると考えたためである。なお、この学習は項目の紹介にとどめ、「なぜ熱が発生するか」など原理的な説明は一切行わなかった。

### 4. 「発熱体モデル選択紙」

プレ・ポストテストに用いる「発熱体モデル選択紙」(FIGURE 2)では、図中の素朴モデルから、生徒に「1番考えに合うモデル」と「最もあり得ないモデル」を1つずつ選択させた。なお、選択肢以外のモデルを思いついた場合は、新たに図内にかき込ませるようにした。

### 5. 「発熱体実験」

「発熱体実験」は、FIGURE 3 に示す装置(木製台<鉛筆支持部はアルミニウム>、変圧器、ワニグチクリップ付コード)と材料(鉛筆<HB>、ニクロム線<300W>、消しゴム)を用いて行った。具体的には、次のような示範実験(A~CとE)と教師の活動(D)から構成されている。

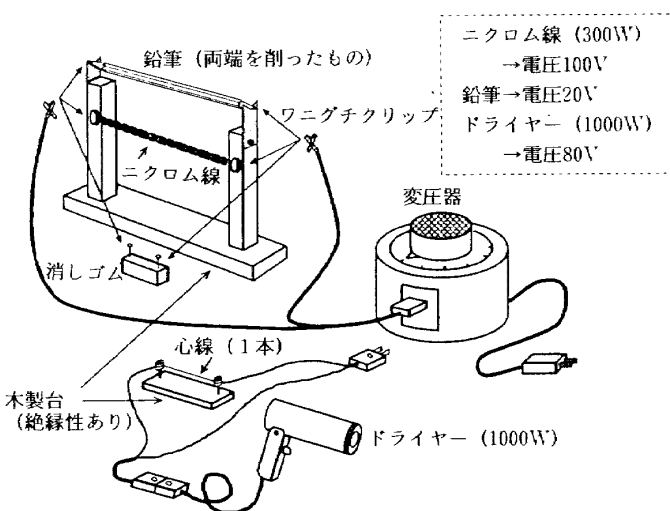


FIGURE 3 発熱体実験

A：ニクロム線の両端に電圧100Vを加え、赤熱する様子を観察させる。

B：鉛筆の両端を削り、電圧20Vを加え、周囲の木が燃える様子と、木が燃え落ちた後、芯が赤熱している様子を観察させる。

C：消しゴムの両端付近に釘を刺し、電圧100Vを加える。代表生徒に消しゴムを触らせ、発熱していないことを全体にも確認させる。

D：ニクロム線、鉛筆の芯、消しゴムの抵抗をテスターで測定し、値を板書して知らせる。

E：コード(導線)から心線を1本取りだし、負荷にドライヤーを用いて回路を構成する。変圧器で80V程度加えた時、心線が赤熱・溶断する様子を観察させる。

この「発熱体実験」は、まず、事前調査から得られた被験者の「何か熱を作り出す仕組み(装置)があるのではないか?」という素朴な概念に葛藤をひき起こし、自己の概念やメンタルモデルの不十分さに気づかせることをねらっている。なお、このような示範実験、教師活動をA~Eの流れで設定した理由は、次のような仮説に基づいている。

1) A, Bを観察・比較することにより、生徒は「発熱体は特殊な材料である」との考えを棄却する。その結果、『装置モデル』の選択者が『エネルギー変換モデル』へ移行する。

2) A, B, Cの結果とDのデータを考え合わせることで、生徒は発熱作用と抵抗の関係に気づき、多くが『エネルギー変換モデル』①③④⑤へ移行する。

3) Eを観察することにより、生徒は断面の太さが重要な条件であることに気づき、1)2)の見方を強化する。その結果、多くが『エネルギー変換モデル』①⑤へ移行する。

### 6. 「調査問題」

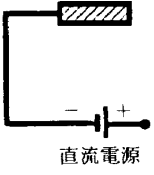
この「調査問題」は、次の2点を検討することを目的としている。

○電気回路に関する知識・理解が、素朴モデルの選択とどのように関連しているか。

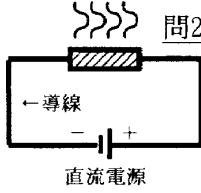
○「発熱体実験」の観察を行うことが、問題への回答にどのように影響しているか。

調査に用いた問題(「調査問題」:FIGURE 4)は5つの問いから構成されている。なお、これらの問いは、Shipstone (1985)が指摘する、生徒の陥りやすい「単純な回路に流れる電流の一般的なモデル」を参考に作成した。それぞれの問いの出題意図を以下に順に記す。

導線や発熱体について次の5つの質問に答えて下さい。

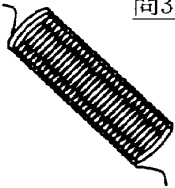


**問1.** 発熱体と電源を左図のようにつないだ場合、発熱体から熱が発生しますか。  
①する( ) ②しない( )  
そのように答えた理由を書いて下さい。

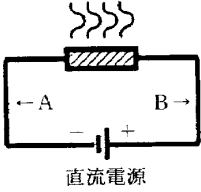


**問2.** 左図のように発熱体と電源がつながれている時、途中の導線(電線)には熱が発生しますか。  
①する( ) ②しない( )  
そのように答えた理由を書いて下さい。

---



**問3.** 発熱体の多くが左図のように「らせん」状になっているのは、らせん状にすると抵抗が大きくなるからである。  
① YES( ) ② NO( )  
そのように答えた理由を書いて下さい。



**問4.** 左図のように発熱体から熱が発生している時、導線A、Bの部分を通る電流の大きさの関係はどうなるでしょうか。正しいと思うものを選んで下さい。  
① Aの方が大きい( )  
② Bの方が大きい( )  
③ どちらも同じ ( )

**問5.** 発熱体とはどのようなものだと思いますか。(材料や性質など) 思いっくだけ書いて下さい。

FIGURE 4 調査問題

問1：「回路は閉じておかねばならない」という電気回路の基本を問う問題。⑥「熱生産工場」モデル、⑩「ガスコンロ」モデルを選択する生徒は、電子を「消費されるもの」、即ち「材料(原料)」や「燃料」と同様にとらえて間違ふ可能性が高いと予測した。

問2：(普通の)導線も発熱することを予測し得るかを問う問題。発熱の予測とモデル選択との関連、及び「発熱体実験」Eで導線の発熱を見ることが回答にどのように影響するかを見る。

問3：抵抗(の要因)をどう認識しているかを問う問題。③「うずパイプ」モデル、④「曲がったパイプ」モデルを選択する生徒は、パイプ、即ち電子の通り道が直線状でないことを抵抗を増加させる直接的な原因と考え、「YES」と回答する可能性が高いと予測した。(なお、この問いは、回答と回答理由の整合性から正誤を判定した。)

問4：「直列回路を通る電流はどの部分も同じ」という電気回路の基本を問う問題。この問いを間違ふ可能性として、問1と同じく電子を「消費されるもの」ととらえる場合、あるいは電子が「発熱体」で滞って連続的に流れないと考える場合が推察される。すなわち、間違ふ生徒は、⑥「熱生産工場」モデル、⑦「電子溜め」モデル、⑧「電子のわな」モデル、⑩「ガスコンロ」モデルを選択する可能性が高いと

予測した。

問5：「発熱体」をどう認識しているかを、材料、性質の面から自由に記入させる問題。実験観察、及びモデルの選択(修正)をした後の生徒の認識・概念を探るものである。

## 結 果

### モデルの選択

「発熱体実験」の前と後に、被験者が「1番考えに合うモデル」、「最もあり得ないモデル」として選択した素朴モデルの度数(及び割合)をTABLE 1に示した。なお、選択肢以外のモデルを回答した被験者はいなかった。(TABLE 1で選択数合計が64にならないのは、1~2名の「意味不明」あるいは「無回答」があったためである。)

まず「1番考えに合うモデル」であるが、最も科学的な⑤「障害物」モデルを選択した被験者は、プレテスト18名(28%)、ポストテスト25名(39%)であった。また、次に科学的な①「細いパイプ」モデルはプレテスト15名(23%)、ポストテスト14名(22%)とほぼ同数であった。

次に「最もあり得ないモデル」であるが、際だって多いのは⑩「ガスコンロ」モデルのプレテスト28名(44%)とポストテスト19名(30%)、及び⑪「燃焼」モデルのプレテスト12名(19%)とポストテスト17名(27%)

TABLE 1 発熱体モデルの選択数(割合)

発熱体 モデル	1番考えに合うモデル		最もあり得ないモデル	
	プレテスト	ポストテスト	プレテスト	ポストテスト
①エ	15(23)	14(22)	0(0)	2(3)
②装	6(9)	1(2)	4(6)	9(14)
③エ	6(9)	5(8)	1(2)	2(3)
④エ	5(8)	3(5)	1(2)	1(2)
⑤エ	18(28)	25(39)	2(3)	2(3)
⑥装	5(8)	2(3)	0(0)	2(3)
⑦エ	3(5)	2(3)	8(13)	5(8)
⑧エ	2(3)	1(2)	6(9)	1(2)
⑨エ	0(0)	4(6)	1(2)	2(3)
⑩装	0(0)	4(6)	28(44)	19(30)
⑪装	2(3)	1(2)	12(19)	17(27)

「エ」はエネルギー変換モデル, 「装」は装置モデル  
( )内は, 全被験者に対する選択率(%)

であった。また, 全般的にプレテストよりポストテストの方が選択が各モデルに分散する傾向が見られた。なお, 数は少ないが, ⑤「障害物」モデル(プレテスト2名, ポストテスト2名)と①「細いパイプ」モデル(プレテスト0名, ポストテスト2名)を選択した者もいた。

ここで, さらに詳しく分析するため, プレ・ポストテスト間におけるカテゴリー(A:「エネルギー変換モデル」, B:「装置モデル」)の変化とその度数をTABLE 2に示した。また, ポストテストで①「細いパイプ」モデルと⑤「障害物」モデルを選択した被験者が, プレテストで選択した発熱体モデルの度数をTABLE 3に示した。(「エネルギー変換モデル」は個別に, 「装置モデル」はまとめて示した。)

まず, TABLE 2で, カテゴリーの変化と度数を比較すると(マクニマーの検定), 「1番考えに合うモデル」としてA:「エネルギー変換モデル」を選択した者が有意に増加した( $z=2.0, p \leq .05$ )。これに, プレテスト段階からAを選択していた者を加えると, ポストテストで55名(90%)が科学的な「エネルギー変換モデル」を選

TABLE 2 発熱体モデルのカテゴリーの変化

カテゴリー の変化	1番考えに 合うモデル	最もあり得 ないモデル
A→A	47	6
A→B	1	12
B→A	8	9
B→B	5	35

A: エネルギー変換モデル(①③④⑤⑦⑧⑨)

B: 装置モデル(②⑥⑩⑪)

TABLE 3 ポストテストで①⑤を選んだ場合の  
選択変化

プレテスト での選択	1番考えに合うモデル		最もあり得ないモデル	
	①	⑤	①	⑤
①	8	2	0	0
③	0	3	0	0
④	2	1	1	0
⑤	3	14	0	1
⑦	0	0	1	0
⑧	0	0	0	0
⑨	0	0	0	0
B	1	4	0	1
Total	14	24	2	2

B: 装置モデル(②⑥⑩⑪)

択したことになる。なお, 「最もありえないモデル」として, 47名(76%)が非科学的な「装置モデル」を選択していた。

次に, TABLE 3から, ポストテストで「1番考えに合うモデル」として⑤「障害物」モデルを選択した被験者24名の内訳を見ると, プレテストの段階から⑤を選択していた者が14名, ①「細いパイプ」モデルからの選択変更が2名, その他の「エネルギー変換モデル」からの選択変更が4名, 「装置モデル」からの選択変更が4名であった。また, ①「細いパイプ」モデルを選択した被験者14名の内訳は, プレテストの段階から①を選択していた者が8名, ⑤「障害物」モデルからの選択変更が3名, その他の「エネルギー変換モデル」からの選択変更が2名, 「装置モデル」からの選択変更が1名であった。(ポストテストで⑤を選択した被験者が, TABLE 1で25名, TABLE 3で24名と減っているのは, 1名の被験者がプレテストに無回答で, 検討から除外したためである。)一方, ポストテストで「最もあり得ないモデル」として①⑤を選択した被験者は, 合わせて4名と少数であった。

#### 「調査問題」の結果, 及びモデル選択との関連性

各問の結果, 及びモデル選択との関連性を以下に順に記す。なお, モデル選択は, ポストテストの結果を用いて分析した。

問1: 問1を間違った被験者は全体で1名であった。また, 「1番考えに合うモデル」の選択で, 非科学的な⑥「熱生産工場」モデル, ⑩「ガスコンロ」モデルを選んだ被験者が合わせて6名いたが, いずれも問1は正答であった。一方, 問1を間違った被験者(1名)のモデル選択は, 「1番考えに合うモデル」がプレテス

ト：⑥，ポストテスト：④，「最もあり得ないモデル」がプレテスト：④，ポストテスト：①であった。これらの結果から，今回対象とした被験者は電気回路の基本である「回路は閉じておかなければならない」ことを知っていたと言える。なお，「1番考えに合うモデル」として⑥や⑩を選択する者は問1を間違える可能性が高いと予測したが，そのような傾向は見られなかった。

問2：「導線は発熱する」と回答した被験者は72% (64名中46名)であった。また，これらの被験者が選択した「1番考えに合うモデル」は，①「細いパイプ」モデル：13名，⑤「障害物」モデル：14名（その他のモデルは多くて4名）であった。ここで，①と⑤を選択した被験者の問2の正答率を比較すると，①「細いパイプ」モデル：72% (18名中13名)，⑤「障害物」モデル：56% (25名中14名)で，①「細いパイプ」モデルを選んだ被験者の方が問2の正答率が高かった。一方，「導線は発熱しない」と回答した被験者18名のうち10名は「1番考えに合うモデル」として⑤を選択しており，その選択理由として3名が「導線は抵抗がないため」と回答していた。

問3：回答と回答理由の整合性から判断して，全体の正答率は45% (64名中29名)であった。なお，「YES」と回答した被験者の主な理由は「螺旋状になると電子がぶつかって流れにくくなるため」で，42名中10名がそのように回答した。一方，「1番考えに合うモデル」として，③「うずパイプ」モデル，④「曲がったパイプ」モデルを選択した被験者（7名）の問3の結果であるが，7名中3名は正答で，③④を選択する被験者が特に多く間違えるという傾向は見られなかった。

問4：全体の正答率は88% (64名中56名)で，大部分の被験者は「直列回路を流れる電流はどの部分も同じ」という電気回路の基本を知っていた。一方，間違った被験者の「1番考えに合うモデル」の選択は，⑤が3名，他は①④⑥⑩「意味不明」が1名ずつで，予測した「⑥⑦⑧⑩を選択する可能性が高い」という傾向は明確には見られなかった。

問5：発熱体の材料として25名が「金属」をあげ，うち5名が「ニクロム線」という具体的な名称を記述していた。性質では，「抵抗（「電子が流れにくい」という表現も含む）」についてふれた者が24名，記述のなかった者が9名いた。

## 考 察

### モデル選択と「発熱体実験」の効果について

まず，被験者が「1番考えに合うモデル」として選

択したモデルであるが，プレ・ポストテストとも⑤「障害物」モデルが1番多く，①「細いパイプ」モデルがそれに次ぐ選択数であった。また，カテゴリで見ると，「エネルギー変換モデル」がプレテストで49名（77%），ポストテストで54名（84%）となっている。これらのことから，多くの被験者は「発熱体実験」を観察する前から，発熱体の発熱原理に近い「科学モデル」を持っていたと言える。

次に，個々の被験者の変容を見ると，ポストテストで①「細いパイプ」モデルを選択した14名のうち，8名はプレテストの段階から①を選択し，3名が⑤から選択を変更した。すなわち，いったん①を選択した被験者は，①に固執する傾向があるようである。このことから，被験者にとって①「細いパイプ」モデルは，発熱体の発熱原理を理解する上でかなり都合のよい（納得のいく）メンタルモデルであると考えられる。これを被験者に提示した「発熱体実験」との関連から考えれば，Eの「1本の「細い」心線が赤熱・溶断する様子を観察させる」示範実験で，物理的に細い心線が溶断する様子を観察したことが，①「細いパイプ」モデルをいっそう納得のできるものにしたと思われる。一方，最も科学的なモデルである⑤「障害物」モデルであるが，ポストテストでの選択者は，25名中10名が他のモデルからの選択変更（このうち1名はプレテストが無回答）であり，カテゴリBの「装置モデル」からも4名選択を変更していた。すなわち，「装置モデル」から，最も科学的な「エネルギー変換モデル」である⑤への「大きな」移行は，前述した「発熱体実験」の仮説が実証された結果を反映しているものと考えられる。ただ，①「細いパイプ」モデル（14名）と「障害物」モデル（24名）の選択者数の比較から言えば，もっと多くの被験者を，①から⑤へ移行（モデルを修正）させることが今後に残された重要な検討課題と言えよう。この①から⑤へのモデル修正を促進させるには，①「細いパイプ」モデルの「納得性のよさ」を意図的に崩す活動が必要と考えられる。例えば，今回の示範実験に，「断面が太くて抵抗が大きい金属」による発熱を加えれば，①の「納得性のよさ」をスムーズに崩せたかもしれない。また，このような子どもに納得のいく素朴なメンタルモデルは変容させにくいという事実については，麻柄（1990）が主張する「間違った知識を適切に位置づける」こと，すなわち，①「細いパイプ」モデルの納得性のよさを認めた上で新しいモデルを導入することが，知識の組み替え（メンタルモデルの修正）の重要な手がかりになるものといえる。それを，どのように具体



的に実践するかも、今後に残されている重要な課題の1つである。

最後に、「最もあり得ないモデル」の選択であるが、プレ・ポストテストとも⑩「ガスコンロ」モデル、⑪「燃焼」モデルが際だって多かった。すなわち、多くの被験者は、実験を観察する前から直感的に「⑩⑪はあり得ない」と判断していたと言える。これは、日常生活の中で経験的に発熱体が電気を利用したものであることを知っており、この原理を「燃料の燃焼」的に理解しようとする、⑩⑪のモデルは極めて納得性が悪いことを示すものであろう。また、⑩の選択者が、ポストテストで28名から19名へと減ったのは、「発熱体実験」における発熱体の(細い螺旋状の)外見や発熱時の(発熱体が赤熱している)状態の観察から、他の『装置モデル』の中にも納得のいかないものが多くなり、その結果、選択が分散したためと考えられる。

なお、カテゴリーの変化の中で、「最もあり得ないモデル」として『装置モデル』から『エネルギー変換モデル』に変わった被験者が9名いたという点についてふれておく必要がある。これは「1番考えに合うモデル」を『装置モデル』から『エネルギー変換モデル』に変容させるという目的から見ると逆効果であり、逆の8名と相殺すると実験観察の効果がほとんどなかったかのようにも見える。ただ、「1番考えに合うモデル」として、『エネルギー変換モデル』の中で最も科学的な⑤の選択者が大きく増えている点や、「最もあり得ないモデル」として『装置モデル』から①や⑤に変わった被験者がわずか1名であった点を考えると、9名の存在が実験観察の効果を強く否定する根拠にはならないであろう。

以上の点から、本研究で考案した「発熱体実験」が、被験者の『装置モデル』を『エネルギー変換モデル』に変容させていくのに有効であったといえる。ただ、被験者を①「細いパイプ」モデルから最も科学的な⑤「障害物」モデルへ多く移行させられなかった点など課題も残っている。これに関連するが、今回は「発熱体実験」A～Eのどの部分が選択の変化(メンタルモデルの変容)に効果的であったのかまでは詳しく分析できていない。これについては、例えば被験者に面接を行う、モデルを選択した根拠まで書かせるなどの方法が考えられる。今後は、このような細かい検証の方法についても検討を進めたい。

「調査問題」の結果とモデル選択との関連性について

まず「問1」「問4」の結果から、被験者は、「回路は閉じておかねばならない」「直列回路を流れる電流は

どの部分も同じ」といった電気回路の基本について知っていると判断できる。一方、「問1」「問3」「問4」では、回答の正誤と、モデル選択の傾向に関連性があると予測していたが、結果としてそのような傾向は見られなかった。このことから、被験者が電気回路の基本を理解していることと、発熱体の理解にどのようなメンタルモデルを用いるかとは関連性が薄いと思われる。これは、電気回路の基本の理解と、発熱体の発熱原理の理解は直接的にはつながらないことを示唆するものであり、メンタルモデルの特性からいえば、それ自体独立性が強く、モデルの納得性さえ高ければ科学的な知識の有無や程度にはあまり影響を受けないのではないかと考えられる。

次に「問2」であるが、「1番考えに合うモデル」として、①「細いパイプ」モデル、⑤「障害物」モデルを選択した被験者の正答率を比較すると、①を選んだ被験者の方が正答率が高かった。(①:72%,⑤:56%)また、「導線は発熱しない」と回答した被験者の半数以上が⑤を選択(18名中10名)し、その理由として3名が「導線は抵抗がないため」と回答していた。すなわち、被験者にとって、導線の発熱を予測(納得)するには、①「細いパイプ」モデルの方が都合がよいと考えられる。逆に⑤「障害物」モデルは、FIGURE 2の図からも分かるように、導線部と発熱体部を別物、つまり導線部には障害物の粒はないと思わせがちで、導線の発熱を予測(納得)するには向いていないと思われる。なお、示範実験Eを観察したことは、被験者が①を支持するのにプラスに働いたと考えられるが、Eを行わなかった場合の結果については予測できない部分があるので、今後さらに検討していかねばならない。

最後に、「問5」の発熱体に対する認識であるが、多くの被験者(38名)が「金属」「抵抗を持つもの」のいずれかを指摘しており、適切な見方をしていた。これは、既に学習を終えている理科教育の学習・経験とも関連が深いように思われる。一方、「問5」の回答が未記入であった9名が「1番考えに合うモデル」として選んだものは、⑤が3名、②③⑥⑦⑨、及び「意味不明」が1名ずつで、①⑤以外を選んだ被験者の割合が、正しく回答できた被験者より高かった。このことから、発熱体の材料・性質についての認識は、より実体に近い「科学モデル」の選択に関連すると考えられる。

## 結 論

以上の結果及び考察から、本研究で考案し実践した「発熱体実験」は次のような点に効果があったといえ

る。また、被験者が持つ発熱体・発熱作用のメンタルモデルは次のような一般的傾向を持つものといえる。

1. 「発熱体実験」は、多くの被験者の素朴なメンタルモデルを、より科学的な『エネルギー変換モデル』に変容させることができる。
2. 電気回路の基本を理解しているかどうかと、発熱体の原理をどのようなメンタルモデルで理解(納得)しているかとの関連性は薄い。
3. ①「細いパイプ」モデルで発熱体の原理を説明(納得)している被験者は、「発熱体実験」観察後も「細いパイプ」モデルに固執する。
4. ①「細いパイプ」モデルを用いて発熱体の原理を理解(納得)している方が、導線からの発熱を容易に予測(納得)することができる。

これらのことから、「発熱体」を教材化しようとする場合、課題によっては「科学モデル」にこだわらず、中学生が日常経験を通して持つ多様な「素朴なメンタルモデル」を選択的に使って納得し理解できるような展開を考えていく必要があるだろう。

#### 引用文献

- オズボーン R.・フライバーグ P. (編) 森本信也・堀哲夫(訳) 1988 子ども達はいかに科学理論を構成するか—理科の学習論— 東洋館出版, Pp. 29—45. (Osborne, R., & Freyberg, P. (Eds.) 1985 Learning in Science: The Implications of Children's Science. Heinemann.)
- シップストーン D. 1993 単純な回路を流れる電気ドライバー R.・ゲスン E.・ティベルギェ A. (編) 内田正男(監訳) 子ども達の自然理解と理科授業 東洋館出版 Pp. 49—75. (Shipstone, D. 1985 Driver, R., & Guesne, E., & A. Tiberghien. (Eds.) Children's Ideas In Science. Oppen University Press.)
- ジェントナー D.・ジェントナー D.R. 1986 水の流れと群の移動：電気のメンタルモデル 淵一博(監修) 情報処理シリーズ1 メンタルモデルと知識表現 共立出版 Pp. 41—74. (Gentner, D., & Gentner, D.R. 1983 Flowing Waters or Teeming Crowds; Mental Models of Electricity. In Gentner, D., & Stevens, A.L. (Eds.) Mental Models. Lawrence Erlbaum.)
- 城仁士・平由紀夫 1985 電気学習におけるメンタルモデルの研究 日本産業技術教育学会誌, 27(2), 71—81.
- ジョンソン-レアード P.N. 海保博之(監修) 1988 メンタルモデル—言語・推論・意識の認知科学— 産業図書 Pp. 1—24. (Johnson-Laird, P.N. 1983 Mental Models. Cambridge University Press.)
- 鈴木寿雄(編著) 1992 技術・家庭(上) 開隆堂 P. 170.
- 近角聡信(編著) 1992 新訂新しい科学(1分野下) 東京書籍 Pp. 26—34.
- Norman, D.A. 1983 Some Observation on Mental Models. In Gentner, D., & Stevens, A.L. (Eds.) Mental Models. Lawrence Erlbaum. Pp. 7—14.
- 麻柄啓一 1990 誤った知識の組み替えに関する一研究 教育心理学研究, 38, 455—461.
- 文部省 1989 中学校指導書(技術・家庭編) P. 27. (1996.9.26 受稿, '97.9.8 受理)