

モデルを利用した熱教材の学習とその効果

井藤芳喜*・首藤恵利**・柘植喜代子***

Yoshiki ITOH, Eri SHUTŌ and Kiyoko TSUGE
Some Example of Teaching Method and the Effects of “Heat
Materials” by the Use of Models.

Abstract. When two vessels which differ in both temperature and mass comes in contact with water though different methods, the phenomenon occurs which bears remarkable resemblance with one that was relayed with a pipe connecting two tanks of water which differ in both level and bottom area.

The invisible and abstract phenomenon as “heat” are understood better for the students by adapting the principles of visible and concrete form.

So, we devised several models according to heat equilibrium and specific heat, and investigated the effectiveness of learning through experimental education by using these models in the first year of high school.

We found considerable effects of model methods in the teaching heat materials.

The results are proved statistically.

はじめに

熱現象や電気現象は分子運動や電子の流れとして説明される。物理学の学習では究極にはこのような熱や電気の本性を理解しなければならない。子どもには分子や電子のようなミクロ的な世界を理解させることは困難であるので、小・中学校では一般にマクロ的現象の理解に重点がおかれている。また、将来これらをミクロ的に理解するとしても、まずマクロ的現象を十分理解しておかねばならない。

熱や電気のマクロ的現象を理解するには、古くから、「水」をモデルとした例が多くみられる。電気現象では特に、「水の流れ」や「貯水池（槽）」の水をモデルとして、水位→電位、水圧→電圧、水量→電気量などのことが作られており、これらの語句の創造に際して、幕末から維新にかけての先覚者が、その内容を十分理解していたことを十分うかがうことができる。熱の移動や音の伝播についても、類似した表現が使用されていることは注目に値する。

われわれはこのようなモデルの使用により、抽象的で理解し難い熱現象や電気現象をわかり易くし、学習効果を高めることを以前から検討している。このようなモデ

ルの使用は、一部では熱や電気の本性が水のような質量のある「物質」として、誤った概念を与えることになるとの理由のためか、最近の教科書ではほとんど影をひそめている。しかし一方では、分子・原子等の理解で、モデルによる推理の必要性が強調されている。われわれはモデルの効用を再吟味し、従来のモデルをできる限り広い範囲に適用できるようくふうし、これを学習者に与えて、目に見えない微小世界や抽象的現象を目に見える具体的事象に置き換えて思考する際の利点を十分納得させ、熱や電気のマクロ的な現象を着実に理解させようと試みている。今回はその一連の研究の中で、中学校1年の熱平衡と比熱の教材について、その成果を報告する。

I 研究の経過および目的

モデルの役割には抽象的現象を具体的に表現するはたらしめがある。熱や電気のように、その存在を間接的でないと確認できないような現象の理解には、適当な具体的モデルを媒介にして思考し、これをもとにして、たやすく理解させることができる。幸に、自然界のミクロの世界の現象はマクロの世界の法則を多分に含んでおり、抽象的現象も、具体的現象にみられる法則がそのまま適用できることが多い。例えば、電磁波の反射や分子の衝突における法則は、壁に衝突する球や球同士の衝突にみられる現象と類似していて、波長や分子の大きさによる反

* 島根大学教育学部理科教育研究室

** 広島市可部小学校

*** 島根大学教育学部附属小学校

射や衝突の違いを、壁の粗密や球の大小に対応させて考えることができる。

熱が高温から低温へ、電気が高電位から低電位へ流れる現象は、「水の流れ」をモデルとすることがもっとも適切であり、高所の水がパイプを通して低所に流れることをモデルとして、前回は熱伝導の教材にこれを適用し、小学校5年でこれを実践した。その結果、かなりの効果が期待できることを昨年報告した。

今回は中学校の熱平衡および比熱の教材において、上記の「水の流れ」のモデルの他に「静水」のモデルも併用し、これらの諸概念を解り易く、確実に習得できるようにくふうした。これらのモデルを用いて、中学校1年に実践し、授業後の終末テストの成績や意識調査の内容を分析して、その効果を判定する。

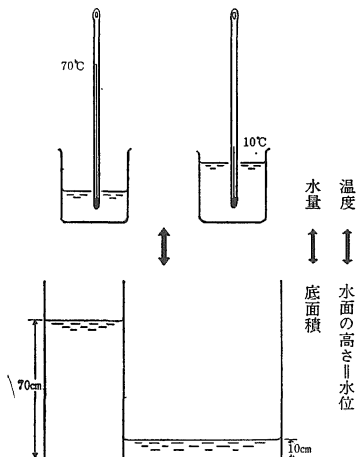
II 研究の内容

2.1 モデルのくふう

熱平衡の説明には次のようなモデルを用いた。

$t_1^{\circ}\text{C}$ の水 W_1g と、 $t_2^{\circ}\text{C}$ の水 W_2g とを混合するか、あるいは両者を接触させるとき、熱が移動してその中間の温度 $t_m^{\circ}\text{C}$ となる。この現象を水のモデルで対応させれば、第1図に示すように、水位 \leftrightarrow 温度、底面積 \leftrightarrow 質量と対応させることができる。

熱が高温から低温に移動することは、モデルでは水が高水位から低水位に流れることで説明できる。両者を混合することは、モデルでは仕切板を取り除くことで説明される。また、両者を接して熱が移動することは、仕切板を小さな孔が多数あいている厚みある板とし、水が少しずつもれて移動すると考えればよい。この板の孔の密度、板の広さ、厚さなどは、熱伝導の絶縁体の種類、表面積、厚さ（棒の場合には棒の種類、断面積、長さ）などに対応させることができ、発展的なモデルである。ま



第 1 図

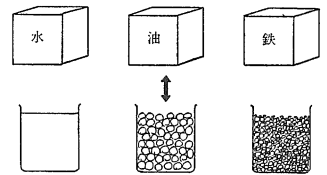
た、底面を長方形とし、その一辺を水量、他の辺を比熱考とすることも可能である。今回のモデルでは不必要なものは取除き、仕切板は厚みのない板とした。

このモデルの欠点は、実物に水（質量）があり、モデルにも水（体積）があって混同し易いことである。しかし、温度と水位とはポテンシャルという点で類似しているので、わかり易いモデルといえる。

比熱については次のようなモデルを考えた。

固体と液体との中では水がもっとも比熱が大であるから、第2図のように、容器に水以外に何も入っていない場合と比較して、一定の大きさの丸い砂利が入っている場合や、砂利と砂を混合したものが入っている場合には水が少量しか入らない。この水量の比を比熱と考えさせた。

このモデルは、容器内の物質が緻密になるに従って比熱も小さく考えられる点で、つごうの良いモデルであるが、比熱の定義は体積当りの熱量でなく、質量当りの熱量である点に問題がある。しかし、この単元の指導では生徒がこの点に疑問を感じなければ、ことさらに指摘しない方が混乱をまねかないであろうと考えたので、あえてそのまま用いた。



第 2 図

2.2 指導の方法

モデルを使用することの効果と比較するために、実験学級と統制学級とを設け、実験学級にはモデルを用いた指導を行い、統制学級にはモデルを用いないで、教科書にある方法をそのまま用いた。

授業内容は次の三つの点で異なる指導を行った。

(1) 熱量の測定

水を電熱線で熱し、温度の上昇のようすを実験によって調べる。この実験では、発生した熱量が同じでも、水量によって温度上昇が異なることから

$$\text{熱量} = \text{水の質量} \times \text{温度}$$

であることを知る。このとき、実験学級では容器の水が

$$\text{水量} = \text{底面積} \times \text{高さ}$$

であるというモデルと対応させて学習させる。このとき熱も水も高い方から低い方へ流れ、温度も水位も高低で表現することを明確にしておく。

(2) 熱平衡の学習

70°Cの湯100gと10°Cの水200gとを混合したときの温度を予測させる。

実験学級では次の図のような対応により水をモデルとして思考し、混合後の温度を予測し、その後実験によりこの予測を確かめさせるようにする。

$$\text{水位} = \frac{\text{全水量}}{\text{底面積}} = \frac{\text{左の水量}}{\text{左の底面積}} = \frac{\text{右の水量}}{\text{右の底面積}}$$

$$\text{温度} = \frac{\text{全熱量}}{\text{全質量}} = \frac{\text{左の熱量}}{\text{左の質量}} = \frac{\text{右の熱量}}{\text{右の質量}}$$

なお、これに合せて、水も温度も高い方から低い方へ流れるものであることを合せて気付かせる。

統制学級では熱量=質量×温度を用い、0°Cを基準とした熱量を求め、

$$\text{全質量} \times \text{温度} = \text{左の熱量} + \text{右の熱量}$$

$$\therefore \text{温度} = \frac{\text{左の熱量} + \text{右の熱量}}{\text{全質量}}$$

によって求めさせる。したがって水のモデルは全く使用しないで、直接そのもので思考させる。

いずれの学級も熱量を、ある温度（ここでは0°C）を基準として考えねばならず、好ましいことではないが、あえてこの点は説明していない。

(3) 比熱の学習

実験学級には比熱の定義をモデルを用いて明確にさせたが、統制学級では実験結果から、同質量の物質のもつ熱量の比として明確にさせた。

2.3 研究授業の実施

モデルを使用するときの効果を検査するために、次のように研究学級を設けた。

実施校 島根県仁多郡仁多中学校

第1学年 4 個学級 実験学級 2 学級 (a, b)
統制学級 2 学級 (a, b)

実施年月 昭和50年12月

授業担当者 仁多中学校教諭 藤原 勝信
金本 晶

なお仁多中学校は郡部では大きい学校で、平均的な素質の生徒であると思われる。

研究授業の実施に先立ち、知能偏差値および前学期の理科の成績を分析した結果、各学級間に有意の差のないことを確認した。2名の授業担当者は実験学級と統制学級を1学級ずつ担当した。前節に述べた授業を実施した後、学級間の差を検定するために終末テストと意識調査を行った。

III 調査の結果および考察

3.1 授業前の各学級の比較

研究授業実施前の各学級間の均一性を比較するために、知能偏差値と前学期の理科の成績について比較した。その成績を第1, 2表のaに、また、その分散分析の結果を同表bに示す。いずれも有意差は認められない

第1表 a 授業前の知能偏差値

	人数	和	平方和	平均値	σ
統制学級 a	43	2,093	104,455	48.67	7.83
〃 b	43	2,118	108,176	49.25	9.57
実験学級 a	43	2,239	119,679	52.06	8.57
〃 b	42	2,115	110,157	50.35	9.43

第1表 b 授業前の知能偏差値の分散分析

	平方和	自由度	平均平方和	F
級 間	287.60	3	162.53	2.05
級 内	13,178.08	167	78.91	
合 計	13,465.68	170		

有意差なし

第2表 a 授業前の理科の成績

	和	平方和	平均値	σ
統制学級 a	2,103	106,447	48.90	9.25
〃 b	2,108	107,974	49.02	10.50
実験学級 a	2,289	125,547	53.23	9.38
〃 b	2,133	113,503	50.78	11.23

第2表 b 授業前の理科の成績の分散分析

	平方和	自由度	平均平方和	F
級 間	527.36	3	175.78	1.71
級 内	17,103.64	167	102.41	
合 計	17,631.00	170		

有意差なし

3.2 終末テストの各学級の比較

3.2.1 総合成績の比較

研究授業後に総合的な終末テストを行った。その内容を付表1に示す。このテストは熱量、熱平衡、比熱などが十分理解されているか否かを検定するものであり、一部に表現上の差はあるが、その内容は特にモデルの使用の有無にかかわらず、よく理解できていれば解ける問題である。各問いを1点とし10点満点として採点した。総合成績を各学級ごとに比較したものを第3表aに、ま

第3表 a 終末テストの成績

	人数	和	平方和	平均	σ
統制学級 a	43	225	1,449	5.23	2.54
〃 b	43	239	1,599	5.55	2.53
実験学級 a	42	306	2,422	7.28	2.16
〃 b	42	275	1,995	6.54	2.17

たその分散分析の結果を同表 b に示す。各学級間には 1 % の有意水準で差が認められる。

第 3 表 b 終末テストの成績の分散分析

	平方和	自由度	平均平方和	F
級 間	112.07	3	37.35	6.68
級 内	929.25	166	5.59	
合 計	1,041.33	169		

1 % で有意差あり

次に、それぞれの学級の平均値について、その差を t 検定により分析した結果を第 4 表に示す。

t	差	統制学級		実験学級	
		a	b	a	b
統制学級	a		0.32	2.05	1.30
	b	0.62		1.73	0.99
実験学級	a	*** 4.36	*** 3.68		0.72
	b	** 2.76	* 2.10	1.72	

*** 0.1% ** 1% * 5%

斜線より上は平均値の差の値を示し、斜線より下は t の値を示す。実験学級 a, b はともに統制学級 a, b よ

り平均値が高く、しかも表に示すように有意差が認められる。

3.2.2 終末テストの内容の比較

各問いの正答数(率)を比較したものを第 5 表に示す。

第 5 表 各問いの正答数(率)の比較

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
統制学級	85 (0.99)	60 (0.70)	43 (0.50)	49 (0.57)	52 (0.60)	38 (0.45)	28 (0.33)	47 (0.55)	25 (0.29)	37 (0.43)
実験学級	83 (0.99)	78 (0.93)	51 (0.61)	65 (0.77)	67 (0.80)	56 (0.67)	42 (0.50)	57 (0.68)	32 (0.30)	50 (0.60)
χ^2	0.00 ***	20.11 ***	2.73 **	11.69 **	8.07 *	9.40 **	7.52 *	3.26	17.04 ***	6.28 *

$\chi^2_{0.05}=5.99$ $\chi^2_{0.01}=9.21$ $\chi^2_{0.001}=13.82$

問 1 を除いて、いずれも実験学級の方が正答率が高い。表の下欄には、これらの正答数を χ^2 検定で分析した結果を示す。*印で示すように問 2, 問 9 については 0.1% の有意水準で、問 4, 問 6 については 1 % の有意水準で、問 5, 問 7, 問 10 については 5 % の有意水準で、それぞれ差が認められる。なお各問いの反応の数を第 6 表に示す。

第 6 表 各 問 い の 反 応 数

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	実統 験制	実統 験制	実統 験制	実統 験制	実統 験制	実統 験制	実統 験制	実統 験制	実統 験制	実統 験制
①	85 83	60 78	43 51	49 65	52 67	38 56	28 42	47 57	1 14	37 50
②	1 1	3 4	1 0	7 0	27 15	45 28	3 0	2 2	25 32	4 6
③	— —	23 2	42 33	30 19	7 2	2 0	55 42	37 25	60 38	45 28

前表の χ^2 検定はこの表をもとに行ったものである。

表中、問 1, 問 5, 問 6 については①, ②, ③は解答の選択肢を示し、他の問題については①が正答(式, 答ともに), ②は部分的正答, ③は誤答を示す。

有意差のある問題の中、問 2, 問 7 は熱量に関するもの、問 4 ~ 7, 問 9 は比熱に関するもの、問 3, 問 10 は熱平衡に関するものである。特に、問 2, 問 4, 問 6, 問 9 などの比熱に関する問題は 0.1 ~ 1 % の有意水準で差がある。

3.3 学習後の意識調査の比較

学習後に付表 2 に示すような意識調査を行った。その結果は次のとおりである。

① 熱は温度の高い方から低い方へ流れるということについて

回答ウのどちらともいえないと無答とを加えて集計したものは第 7 表のとおりである。

第 7 表 熱は温度の高い方から低い方へ流れる

	1. よくわかった	2. わからない	3. ? + 無答	計
統制学級	59	2	25	86
実験学級	23	18	42	83

$\chi^2=32.9$ 1 % で有意差あり

② 混合した水の温度の求め方について

この問いは実験学級と統制学級とで異なっているが、これは授業方法が異なるからである。どちらも授業で取扱った考え方がよくわかったか否かを問うている。

第8表 混合した水の温度の求め方

	1. ひじょうによ くわかった	2. よくわ かった	3. 何とか わかつた	4. わから ない	5. 何とも 言えな い+無 答	計
統制学級	4	16	34	19	13	86
実験学級	1	11	31	19	21	83

$\chi^2=4.7$ 有意差なし

③ 比熱について

回答オの何ともいえないと無答とを加えて集計した。

第9表 比熱とはどんなことか

	1. ひじょうによ くわかつた	2. よくわ かった	3. 何とか わかつた	4. わから ない	5. 何とも 言えな い+無 答	計
統制学級	3	16	26	22	19	86
実験学級	3	14	40	10	16	83

$\chi^2=7.8$ 有意差なし

生徒のわかったという意識は③の比熱についての問いを除いて、統制学級の方が強い。特に①の移動については、0.1%の有意水準で統制学級の方が高い。これは、生徒の意識中に、教科書に書いてないモデルの概念を導入したため、実際にはよくわかったにもかかわらず、わかりにくい印象を与えたものと考えられる。

実験学級だけに実施した調査は次の二つである。

④ モデルを使用して考えること

⑤ モデルを使用したことの経験

第10, 11表にその集計を示す。

第10表 モデルを用いて考えると

1	2	3	4	5
45	49	6	0	0

1. たいへんわかりやすい
2. 何となくわかりやすい
3. 何とも思わない
4. わかりにくい
5. かえってわかりにくいので使わない方がよい

第11表 モデルを使ったことがあるか

1. ある	2. ない
15	85

モデルを使用すればたいへんわかり易いが45%、何となくわかり易いが45%、何とも思わないが6%、わかりにくいのは0である。また、モデルを使用した経験は15%にすぎない。この結果はモデルを使用して理解度を高めることができる可能性のあることを示すものである。

IV 結 論

総合成績の結果や、これらを細分化した成績は、いずれもモデルを使用した実験学級の方が成績がよい。したがってモデルを使用した方が教育効果が高いと判断できる。特に比熱の概念を得るにはこのモデルが適切であったといえる。

ここで用いたモデルは、厳密には正しい概念を与えないものも含まれている。例えば比熱は単位質量における熱量で表わすべきであるが、使用したモデルは単位体積当りの熱量で表わしている。このような不備は、もし学習者が気付けばモデルを修正しなければならないことである。しかし、学習者が気付かないのでそのまま使用したが、この学年の生徒には、このようなモデルでも、さほど困難なく比熱の概念を得ることができたので、一応適切なモデルとすることができる。

学習者の意識調査では、実験学級の方が、よくわかったと自己評価している者が少ない。これはこれまでこのようなモデルによる思考を行った経験が少いために、何となく難かしく感じたためとも思われる。

モデルを使用することは、抽象的事象を具体的事象によって推理することになり、比較的高度な概念を得るための思考をたやすくする作用がある。また、具体的事象より類推して仮説を立てることができ、思考の援けとなる。さらに、この仮説を検証するための実験を含めて、科学的研究方法を獲得することができ、理科教育上重要な意味をもつ。このような立場から今回使用したモデルはかなり有効なものであることが判明した。

お わ り に

これまで熱に関しては前回の小学校の「熱のつたわり方」の教材と今回の中学校の「熱平衡」と「比熱」についてその効果を検討することができた。電気に関しても同様に、「電気回路」を「水の閉回路」をモデルとして指導することができ、これまでにある程度の成果を得ている。今後はこの方面のデータを揃え、研究を進めることにしている。

最後に、今回の研究に際し、研究授業などを担当してご協力を賜った島根県仁多郡仁多中学校藤原勝信教諭、同金本晶教諭に対し、深く感謝の意を表したい。

要 約

温度と質量の異なる二つの容器の水を接触させたときに起る現象は、水位と底面積の異なる二つの水槽の水をパイプなどで接続したときに起る現象に類似している。熱のような目に見えない抽象的な現象は、水槽の水が流れるように、目に見える具体的な現象における原理を適用して理解できる。このようなモデルをいくつかくふうし、中学校1年の熱平衡や比熱の概念を学習するときに利用した。その効果を調べるために研究授業を行い、得られたデータを分析したところ、かなり効果があることが判明した。

参考文献および資料

- 井藤芳喜^{*}正しい熱概念を得る熱伝導の実験、島根大学教育学部紀要 第9巻(教育科学)1975 P35-42
- 首藤恵利 「流れ」をモデルとした熱、電気教材の指導 卒業論文 1976
- 柘植喜代子 理科の効果的教授法の研究 卒業論文 1977
- 井藤芳喜 熱教材の問題点について 日本理科教育学会中国支部大会発表要項 1974
- 井藤芳喜 小学校理科教育内容の検討—熱教材に関して 日本理科教育学会全国大会発表要項 1974
- 井藤芳喜、持田昌美、首藤恵利：正しい熱伝導の考え方を得させる実験法の研究 日本理科教育学会中国支部大会発表要項 1975
- 井藤芳喜 「流れ」をモデルとした熱、電気教材の指導(1) 日本理科教育学会全国大会発表要項 1975
- 井藤芳喜、柘植喜代子：「流れ」をモデルとした熱、電気教材の指導(2) 日本理科教育学会全国大会発表要項 1976
- 井藤芳喜、藤原勝信、金本品、首藤恵利、柘植喜代子：「モデルによる熱教材の指導、昭和51年度文部省科学研究費 特定研究 科学教育 研究資料 中学校理科の学習内容の構造と学習効果との関係解析(盛政班) 1977

付表1 終末テスト問題

- [1] 300gの水と500gの水に同じ熱量をあたえると、どちらが温度が高くなるか。
①300gの水 ②500gの水
- [2] 200gの水を30°Cから20°Cあげるに必要な熱量を求めよ。
<式> <答>
- [3] 80°Cの水30gと20°Cの水70gをまぜると、何度の水になるか。
<式> <答>
- [4] 比熱0.03で重さ200gの鉛の玉がある。この鉛の玉の温度を30°Cあげるには、何カロリーの熱量がいるか。
<式> <答>
- [5] 100gのアルミニウムと100gの水と同じ熱量をあたえたら、どちらが温度が高くなるか。
①アルミニウム ②水 ③どちらも同じ
- [6] 比熱が0.10の鉄100gと比熱が0.03の鉛100gとがある。それぞれ

を同じ温度で、同じ量の水の入ったビーカーの中に入れた。どちらが温度が高くなるか。

①鉄 ②鉛 ③どちらも同じ

- [7] 比熱0.40の油200gと比熱1.0の水200gとがある。この液の中に同じ電熱線を使って、同じ量の電流を流し、同じ時間あたためた。このとき、水の温度が20°C上昇した。油の温度は、何度上昇するか。

<式> <答>

- [8] 60gのある液体の温度を50°Cあげるには、1,200カロリーの熱量が必要である。この液体の比熱を求めよ。

<式> <答>

- [9] 比熱とはどんなことか、例をあげてのべよ。

- [10] 統制群……高い方の湯が外に出す熱量は、低い方の水にあたる熱量と同じになることを利用して、次の問題をとけ。
実験群……熱量=質量×温度であることは、水量=底面積×水位と同じモデルで考えられることを利用して、次の問題をとけ。

80°Cの水、150gと20°Cの水50gをまぜると何度の水になるか

<式> <答>

付表2 「熱とエネルギー」に関するアンケート

統制学級用

- ① 熱は温度の高い方から、低い方へ流れるということは、よくわかったか。
1.よくわかった 2.わからない 3.どちらともいえない
- ② 混合した水の温度を求めるときは、グラフを使って
外に出す熱量=水の質量×温度変化
また、混合すると混合後の温度変化は
温度上昇=熱量÷水の全質量
であらわされる。この考え方はよくわかったか。
1.ひじょうによくわかった 2.よくわかった 3.何とかわかった
4.わからない 5.どちらともいえない
- ③ 比熱とはどんなことか、授業を聞いてよくわかったか。
1.ひじょうによくわかった 2.よくわかった 3.何とかわかった
4.わからない 5.どちらともいえない

実験学級用

- ① 熱量や温度を水のモデルで考えたが、これについて答えよ。熱は温度の高い方から、低い方へ流れるということが、水のモデルでよくわかったか。
1.よくわかった 2.わからない 3.どちらともいえない
- ② 混合した水の温度を求めるときに
熱量↔水量
温度↔水位
質量↔底面積
} と対比して考えたが、
この考え方で、よくわかったか。
1.ひじょうによくわかった 2.よくわかった 3.何とかわかった
4.わからない 5.どちらともいえない
- ③ 統制学級と同じ
- ④ モデルを用いて考えることを、どう思うか。
1.たいへんわかりやすい 2.何となくわかりやすい 3.何とも思わない 4.わかりにくい 5.かえってわかりにくいので使わない方がいい
- ⑤ 「熱とエネルギー」ではモデルを使って考えたが、これまでにこのようにモデルを使って考えてみたことがあるか。
1.ある 2.ない

(昭和52年9月10日受理)