

中学生による電流の理解が³機械的であることについて

山岡 剛・工藤 舞*

On the formality following to understanding of electric current by junior-high-school students

Tsuyoshi YAMAOKA and Mai KUDO

Abstract

Nature of the conception of electric current held by junior-high-school students and teacher's-college students was investigated by a paper-and-pencil test. The subjects were 788 and 742 each of the 2nd and the 3rd grade students from five junior high schools in Akita Prefecture, and 78 students of a teacher's college, who were not in the science course.

Questions given to the students were as follows, 1) Choice one model out of four ones, which describes appropriately the direction and the intensity of current in a circuit composed of a dry battery, a light bulb and wires. The four models were basically the same as those described by Osborne (1983). 2) Which current is more intensive, one in the circuit described above (determined at a point upstream of the bulb) or one in a short circuit without the bulb? 3) Which battery has longer serving life, one which is connected to and light the bulb or another one in the short circuit? 4) Curriculate resistance of the circuit composed of a battery and a bulb with given values of the current and the voltage. Questions 2 and 3 were of alternative-choice style and each of them was accompanied with a space for description of reasons for the choice.

The results showed that even those, who chose the correct model at question 1 and used correctly Ohm's law to calculate the circuit resistance at question 4, very frequently holded the idea that current is consumed in the bulb. The ratio of right answer was much lower in the cases of questions 2 and 3 than in the cases of questions 1 and 4. Besides, the values for questions 2 and 3 were significantly lower in the case of the 3rd grade students than in that of 2nd grade ones. The values were even lower in the case of collage students than in the case of the 3rd grade students of junior high schools.

A fairly large number of the students seemed to have learned current conservation and Ohm's law by rote. It was also suggested that the barely acquired recognition which led some of the 2nd-grade students to the right answers of questions 2 and 3 just after the lessons was unstable and had come off easily.

An introductory course of electric circuit is required, which enables students to acquire a convincing framework of essential concepts such as current, potential, energy, power, and so on.

緒 言

筆者らの一人は先に、小中学生の持つ電流概念に関する内外の調査結果を考察し、生徒たちが調査のさいに選択する誤ったモデルが、授業あるいは調査そのものによって誘導された可能性を論じた¹⁾。すなわち、生徒たちは電流が豆電球において消費され減少あるいは消滅するというイメージから脱却できないままに、授業で順次与え

られる命題—電球点灯のための回路形成の必要性、電池に+-の両極があること、電流は+極から出て-極へ流れること等—を矛盾なく受け入れようとする結果、種々の誤ったモデルをイメージしあるいは選択するものと主張した。優勢を占めるモデルの学年進行にともなう変遷が、この発想の根拠であった。

上記の考察においては、電流が消費され減少するというイメージ（電流の消費イメージ）が、我々の日常経験に根拠をもつ強固なものであることが前提とされた。電球の点灯という効果の代償に何かが消費されるはずだという考えは、とっぴなものでないどころか健全とも言え

* 平成8年度卒業生（理科教育研究室）

るものである。電気、電流、電圧、電力、電気エネルギーなどについて学ぶ以前の生徒が、電流という用語のみに注目するよう仕向けられて質問されれば、電流が消費されるのだと考えるのは自然の成り行きである。電流が消費されるのではないことを生徒たちに納得してもらうには、電流ではなく何が消費されるのかを示す必要があると考えられる。

このように考えると、電流が回路を通じて一定であることを電流計を用いて生徒たちに示したとしても、それだけでは彼らが納得するに到らないことが十分予想される²⁾。先の考察¹⁾で検討した諸報告では、学年の進行とともにやがて正しいモデル—Osborne³⁾がモデルDと呼んだもの—が優勢を占めるようになっていたが、それを選んだ生徒たちの中には、電流の消費イメージを放棄することを納得できないまま結論だけを記憶し再生した者がかなり含まれていたことが推察された。この点をさらに検討するために筆者らは、中学校2、3年生を主な対象とする筆記形式の調査を行った。

調査の内容と各問の意図

調査用紙を縮小したものを本稿の末尾に示す。元の判型はB4を横に置いたものである。なお、大学生に対する調査は理科教育学概論の授業の中で行ったものであり、内容は全く同一であるが文言をいくらか変えてある。

質問は大きく分けて、I、II、IIIの三つから成る。回答者の学年と性別を問うのを質問Iとした。次いで質問IIとして、TaskerとOsborne⁴⁾の調査と同様の4つのモデルを示して選択してもらった。

質問IIIは、1個の乾電池に豆電球1個をつないだ回路と、導線のみでショートさせた回路の図を示していくつかの質問を与えるものであった。III-1では両方の回路を流れる電流の強弱を選択肢によって問い、さらに選択の理由を記述してもらった。III-2では、どちらの電池が早くきれるかを選択肢で問い、やはりその理由を記述してもらった。III-3では、豆電球をつないだ方の回路の電流の強さの値を与え、回路の抵抗値を算出してもらった。

質問IIは、これまでにいくつもの調査で用いられてきたものである。緒言で述べたように筆者らの目的は、この間において正しいモデルを選択する生徒であっても、電流の消費イメージから脱却しているとは限らないであろうとの予測を検証することにあつた。そこで、ショート回路との比較という学校の授業ではほとんど扱われないと思われる場面を設定して、生徒たちの電流イメージを探ろうと試みた。

最後のIII-3は、回路の電圧と電流の値を与えられた際に、オームの法則を適用して抵抗値を算出できるかど

うかを調べたものである。III-1やIII-2への回答と照らし合わせることによって、電流のイメージが誤ったままであってもオームの法則を機械的に適用できる生徒が、どの程度いるかを調べようとしたのである。

実施の概要

調査の対象は、秋田県内の五つの中学校の二年生788名と3年生742名、それに秋田大学教育学部の、理科専攻、副専攻以外の2、3年生78名であった。調査時期は1996年の11月中旬であり、中学校2年生の多くはオームの法則の学習を終えていたが、学校によっては回路の学習がオームの法則の直前まで進んだ時点での調査となった場合があつた。その場合はもちろん、質問III-3を回答の対象から除いた。

小学校および中学校の教科書には、ショート回路に電流計をつないでなければならない旨の注意書きが必ず掲載されている。そこで調査にさいして、生徒から質問があつた場合には、仮に測定したとしたらどのような結果になるかを考えて選択肢を選ぶよう回答していただくことをお願いした。実際には、単1の乾電池1個をショートさせたときの電流は2A程度であり、レンジを3A以上に設定した電流計で測定可能である(結語の末尾を参照)。

なお秋田市以外に所在の調査校については、回答済みの用紙を12月6日頃までに返送するようお願いしたが、中学校の内の1校(以下で述べるE校)の場合は、筆者らの元に回答済みの用紙が返送されたのが1997年2月になってからであった。調査そのものはお願いした通りに実施されたとのことであり、本報告ではそれも含めて考察する。ただし後に述べるように、この学校の2年生の回答内容には他校と異なる特徴が見られた。

調査の結果および考察

1. 単純集計の結果

1.1 電流モデルの選択

質問IIに対する回答を中学校2年生、3年生および大学生に分けて集計した結果を表1に示す。

選択肢1は、電流が電池の+極から電球まで流れ、電球と電池の-極の間には流れていないとするモデルであり、これを選ぶ者は電流が電球で消費され尽くすと考えているものと思われる。選択率は中学2年生で1.1%、2年生で0.5%とわずかであり、大学生ではまったく見られなかった。実際に電球を点灯させて電池との接点が2箇所必要であることを経験した後ではこのモデルを選ぶ者はひじょうに少なくなると思われ¹⁾、予想通りの結

表1 質問IIに対する回答の集計結果

学 校	学年	選択の分布 (%)					回答者数	
		1	2	3	4	無答		
中学校全体		2	1.1	8.0	17.5	72.8	0.5	788
		3	0.5	5.9	19.0	73.6	0.9	742
中 学 校 内 訳	A	2	0.0	4.4	8.1	86.9	0.6	160
		3	0.6	1.9	15.3	81.5	0.6	157
	B	2	1.0	5.8	15.4	77.5	0.3	293
		3	0.8	8.8	22.2	66.5	1.7	239
	C	2	0.0	7.1	33.3	59.5	0.0	42
		3	0.0	2.9	11.8	85.3	0.0	34
	D	2	2.8	19.9	24.8	51.8	0.7	141
		3	0.7	5.9	21.6	71.2	0.7	153
	E	2	1.3	5.3	20.4	72.4	0.7	152
		3	0.0	6.3	17.0	76.1	0.6	159
大 学			0.0	2.4	33.7	63.9	0.0	83

質問内容については、本稿末尾に示した調査用紙を参照。

果である。

選択肢2は電池の両極から電流が流れ出て電球に到るとするモデルであり、これを選ぶ者の多くは、電球で出会った二つの電流が光に変わるというイメージを持っていると考えられる。選択率は中学校2年生で8%、3年生で6%と少なく、大学生ではわずかに2%であった。D中学校の2年生では20%と目立って選択率が高かったが、これを学級別に見ると、4つの学級での選択率は23%、9%、31%、16%とかなりの幅を持っていた。

選択肢3は、電球の点灯にともなって電流が減少するというイメージを解消できないまま、電流は電池の+極から出て-極へ向かって流れるという命題を受け容れようとして選ばれたものと考えられる¹⁾。これに対する選択率は中学校2年生で18%であった。3年生の値は19%と、2年生のものとはほぼ同じであった。一方大学生では34%と、中学生に比べてかなり大きな値が見られた。選択肢2に対する中学生と大学生の選択率の違いと考え合わせると、電流が電池の+極から出て-極へ向かって流れるという命題は学習者にとって比較的受け容れやすいが、電流の強さが一定に保たれるという命題はかなり納得しがたいものであるらしいと、改めて感じられる。

選択肢4は正答であり、学習後の中学校2年生は73%の選択率を示した。3年生での正答率は74%であり、2年生と大差なかった。大学生では64%とかなり減少していたが、これは選択肢3の選択率が高かったことによるものである。

表2 質問III-1に対する回答の集計結果

学 校	学年	選択の分布 (%)					回答者数	
		1	2	3	4	無答		
中学校全体		2	28.6	54.9	6.1	9.8	0.6	788
		3	21.6	61.6	5.7	10.2	9.4	742
中 学 校 内 訳	A	2	28.8	48.1	3.1	20.0	0.0	160
		3	27.4	47.1	3.7	21.0	0.6	157
	B	2	32.1	54.6	4.1	8.2	10.2	293
		3	20.9	61.9	7.1	8.4	16.7	239
	C	2	9.5	59.5	28.6	2.4	0.0	42
		3	29.4	64.7	0.0	5.9	0.0	34
	D	2	20.6	60.3	8.5	9.9	0.7	141
		3	18.3	68.0	5.9	7.2	0.7	153
	E	2	34.2	56.6	4.6	3.9	0.6	152
		3	18.2	68.6	6.3	6.3	0.6	159
大 学			15.7	71.1	7.2	6.0	0.0	83

質問内容については、本稿末尾に示した調査用紙を参照。

1.2 ショート回路の電流の強さの判断

表2に、質問III-1に対する回答の集計結果を示す。

選択肢1は、ショート回路の方が電球をつないだ回路より強い電流が流れるという内容であり、正答である。中学生の正答率は、2、3年生ともほぼ20~30%の範囲にあった。大学生では16%とやや低目であった。

選択肢2は、両方の電流は同じ強さであるとするもので、これが最も多く選ばれた選択肢であった。選択の理由づけについては2.1で考察する。

選択肢3は、ショート回路の電流の方が弱いとするもので、C中学校の2年生の場合(29%)を別にすれば、全体に選択率は低かった。ただし、ショート回路には電流が流れていないとする選択肢4に対する選択率を加えると、ショート回路の方が電流が弱いと答えた者の割合はかなりのものになる。これらの選択の理由づけについても、2.1で考察する。

A中学校では2、3年生とも、選択肢4を選ぶ者の割合が他校に比べて著しく高かった。なおこの傾向は、学級や男女の違いによらないものであった。

1.3 電池の寿命の判断

表3に、質問III-2に対する回答の集計結果を示す。

選択肢1は、電球をつないだ方の電池が先にきれるとするものである。中学校の両学年の生徒と大学生を通じて、これに対する選択率がたいへん高かったが、E中学校の2年生のみは異なっていた。このグループは、質問III-1に対する回答でもやや特徴的であったが、ここでは明確に他と異なる特徴を示した。

表3 質問 III-2 に対する回答の集計結果

学 校	学年	選択の分布 (%)				回答者数	
		1	2	3	無答		
中学校全体		2	63.1	25.3	11.0	0.6	788
		3	74.5	8.9	14.7	1.9	742
中 学 校 内 訳	A	2	62.5	26.9	9.4	0.1	160
		3	72.6	14.0	12.7	0.6	157
	B	2	71.0	15.4	13.0	0.7	293
		3	79.1	4.2	14.2	2.5	239
	C	2	85.7	11.9	2.4	0.0	42
		3	67.6	8.8	23.5	0.0	34
	D	2	70.2	12.8	16.3	0.7	141
		3	72.5	11.1	13.7	2.6	153
	E	2	35.5	57.9	6.6	0.0	152
		3	73.0	8.8	16.4	1.9	159
大 学			75.9	7.2	16.9	0.0	83

質問内容については、本稿末尾に示した調査用紙を参照。

選択肢 2 は、ショートさせた電池の方が先にきれるとするもので、正答である。中学校 2 年生全体の正答率は E 中学校生の値の高さに引っ張られたきらいがあるが、各校別に見ても 2 年生よりも 3 年生の方が正答率が低く、大学生ではさらに低い値を示した。

選択肢 3 は両方の電池が同時にきれるというものである。中学校 2 年生よりも 3 年生の方が選択率がやや高くなる傾向が見られ、大学生における選択率はさらにやや高まっていた。

ショート回路中の電池の寿命を中学生がどのように考えるかについては、すでに橋本の報告がある⁵⁾。筆者らの今回の調査は、選択肢の内容において橋本のもとの若干異なるが、生徒の考えの傾向は一致していた。

なお、上に述べた E 中学校 2 年生の回答の特徴点については、選択理由の記述と関連させて 3.3 で考察する。

1.4 オームの法則を適用した計算問題への回答

表 4 に、質問 III-3 に対する回答状況の集計結果を示す。計算式と結果の両方が正しかったものを正答とし、それ以外は誤答とした。授業の進捗の関係上、C および D 中学校の 2 年生の場合は回答項目から除いた。

表に見られるように、中学生の場合は全般的に 70% 以上の正答率を示したが、大学生ではすでに忘れてしまった者がかなりいることが窺われた。

2. 質問 III-1 および III-2 における理由づけ

電球をつないだ回路とショートさせた回路における電流の強さと電池の寿命を問うた質問では、選択肢による

表4 質問 III-3 に対する回答の集計結果

学 校	学 年	回答状況 (%)			回答者数	
		正答	誤答	無答		
中学校全体		2	78.8	7.8	13.4	605
		3	82.5	9.0	8.5	742
中 学 校 内 訳	A	2	91.3	3.1	5.6	160
		3	93.6	5.7	0.6	157
	B	2	72.0	9.2	18.8	293
		3	79.9	10.0	10.0	239
	C	2	—	—	—	—
		3	94.1	2.9	2.9	34
	D	2	—	—	—	—
		3	83.0	5.2	11.8	153
	E	2	78.9	9.9	11.2	152
		3	72.3	15.7	11.9	159
大 学			61.4	14.5	24.1	83

質問内容については、本稿末尾に示した調査用紙を参照。

質問の他に、選択の理由を自由に記述してもらう欄を設けたところ、およそ 8 割の回答者が記述してくれていた。その記述内容は、彼らの考えを詳しく知る上で有意義であった。

それらの記述内容をいくつかの項目に整理し、数量的に考察した結果を以下に記す。

2.1 質問 III-1 での選択に対する理由づけ

電球をつないだ回路とショート回路の電流の強弱を判断した理由として記された内容を、以下の 9 項目に分類して集計した。

- 1 抵抗が大きいと電流は流れにくい（小さいと流れやすい）。
- 2 電球（抵抗）で電流が消費されるため、イの電流の方が強い。
- 3 アには抵抗がある（イには抵抗がない）。
- 4 ショート回路だから。
- 5 電球の有無にかかわらず、電池の電圧が同じ 1.5 V だから。
- 6 直列回路は、どこを測っても電流は一定だから。
- 7 電球（抵抗）の手前で電流を測定しているから。
- 8 電球を光らせるために、アにはイよりも強い電流が必要である。
- 9 1~8 に整理しきれない内容。

表 5 に、中学生全体の質問 III-1 に対する回答別の理由の件数を示す。

表5 質問 III-1 における選択理由の、中学生による記述内容の集計結果

III-1 への 回答	理由の記述内容の分布 (%)										回答者数
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	無答	
1	9.6	16.4	47.5	5.7	0.8	0.3	0.3	0.3	6.8	12.5	385
2	0.0	0.1	2.0	0.0	39.4	7.9	14.6	0.1	13.3	22.6	890
3	0.0	1.1	25.6	0.0	3.3	1.1	0.0	16.7	12.1	40.0	90
4	0.0	0.0	63.4	3.9	0.7	0.0	0.0	0.0	11.8	20.3	153
無答	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100	12

理由の分類については、14頁を参照。

表6 質問 III-2 における選択理由の、中学生による記述内容の集計結果

III-2 への 回答	理由の記述内容の分布 (%)									回答者数
	1	2	3	4	5	6	7	8	無答	
1	0.2	0.2	1.2	40.7	4.8	0.0	36.8	3.4	12.6	1052
2	30.0	0.4	0.0	2.7	0.4	15.6	16.7	9.1	25.1	263
3	0.0	55.1	0.0	1.0	0.0	0.5	1.0	12.8	29.6	196
無答	0.0	0.0	0.0	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	94.7	19

理由の分類については、本頁を参照。

理由の1, 2は選択肢1「ショート回路の方が電流が強い」を選んだ回答者が多く記述しており, 5, 6は, 選択肢2「両方の電流が等しい」を選んだ者が多く記述していた。また8は, 選択肢3「電球をつないだ回路の電流の方が強い」を選んだ者が主に記述していた。選択肢の選択と理由の記述にこうした筋の通った対応関係が見られることから, 質問内容は生徒たちに十分理解されたと考えられる。

ただし以下に述べるように, 回路の電流についての期待される理解とは食い違った特徴も見られた。

理由3は「アの回路には抵抗があり, イにはないから」という内容であるから, 質問III-1で「イの電流の方が強い」という正しい選択肢1を選んだ者が記述するのは理解しやすいが, 表5に示すように, その他にも選択肢3「イの回路の方が電流が弱い」を選んだ者の26%, 選択肢4「イの回路には電流が流れていない」, を選んだ者の63%がこの理由3を記述していた。これらの回答者は, 抵抗によって弱められる分を補うように, より強い電流が流れて来ると考えていたものと推察される。III-1で選択肢3を選び理由の8を記述した者の考えも同様であろう。

理由7を記述した131名の内130名までが, III-1で選択肢2「両方の電流の強さは等しい」を選択した者であった。これらの回答者は, アの回路の電流の強さは電球を過ぎると変化する(弱まる)と考えていたことになる。

以上, III-1で選択肢の3あるいは4を選んで理由の3

あるいは8を記した者と, 選択肢2を選んで理由7を記した者を合わせると, 中学生の17%, 大学生の25%を占める。これらの回答者はこの質問の場面で, 電流が電球において消費されるというイメージにもとづいて考えたものと判断してよいであろう。

2.2 質問 III-2 での選択に対する理由づけ

質問III-2において中学生が選択の理由として記した内容を, 以下の8項目に分類して集計した。

- 1 イの電流がアの電流より強いから (アがイより弱いから)。
- 2 アとイの電流が同じ強さだから。
- 3 アの電流がイの電流より強いから (イがアより弱いから)。
- 4 豆電球があるから電池が消耗する。
- 5 イには電流が流れていないから, 電池が消耗しない。
- 6 イはショート回路だから。
- 7 電球があるから。
- 8 1~7に整理しきれない内容

上記の理由4に分類した記述には, 「電流が電球で消費される」というものの他に「電球で電力が消費される」「電球があるので電池が消耗する」などがあつた。

なお理由7は, III-2で選択肢1を選んだ者が記述した場合は理由4と同じ内容と理解すべきであろうが, III

—2で選択肢2を選んだ者が記した場合もあったので、分けて集計した。

表6に、III—2に対する回答別の、選択理由の分布を示す。

質問III—2で選択肢2「ショート回路(イ)の電池の方が先にきれる」あるいは3「同時にきれる」を選んだ回答者の場合、電流の強さと直接関連させた選択理由が多く記されていた。表には中学生についての結果のみを示したが、大学生の場合も同様に、選択肢2を選んだ者では理由1を記した者が最も多く、回答3を選んだ者では理由2を記した者が最も多かった。

一方、質問III—2で選択肢1を選んだ者は回答者全体の70%ほどを占めたが、その内で理由3を記した者はごく少数であり、大部分は理由4あるいは7を記述していた。それらの回答者は回路の電流の強弱を根拠とするのではなく、電流などが電球で消費される結果電池が消耗するとのイメージにもとづいて選択肢を選んだものと考えられる。このパターンの回答を示した人数は、被験者となった中学生全体の54%、大学生の61%を占めていた。

なお、III—2で理由5を記した中学生51名の内50名

表7 質問IIと質問III—1に対する中学生の回答のクロス集計の結果

		III—1における選択の分布 (%)					回答者数
		1	2	3	4	無答	
IIへの回答	1	38.5	30.8	15.4	15.4	0.0	13
	2	25.2	49.5	13.1	12.1	0.0	107
	3	26.9	60.6	5.7	6.9	0.7	279
	4	24.6	59.0	5.1	10.8	0.4	1120
	無答	18.2	27.3	9.1	0.0	45.5	11

表8 中学生の、質問IIへの回答、質問III—1への回答とその理由づけのクロス集計の結果

IIへの回答	III—1への回答	理由づけの分布 (%)										回答者数
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	無答	
3	1	8.0	18.7	46.7	4.0	0.0	0.0	1.3	0.0	2.7	18.7	75
	2	0.0	0.6	1.2	0.0	29.0	1.8	<u>38.5</u>	0.0	10.1	18.9	169
	3	0.0	6.3	6.3	0.0	0.0	6.3	0.0	31.3	12.5	37.5	16
	4	0.0	0.0	70.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	23.5	17
4	1	11.2	16.7	49.3	6.5	0.7	0.4	0.0	0.0	7.2	8.0	276
	2	0.0	0.0	2.1	0.0	42.7	10.0	<u>9.1</u>	0.2	13.9	22.1	661
	3	0.0	0.0	29.8	0.0	3.5	0.0	0.0	17.5	14.0	35.1	57
	4	0.0	0.0	63.6	5.0	0.8	0.0	0.0	0.0	13.2	17.4	121

理由の分類については、14頁を参照。

アンダーラインを付した数値については、17頁の左段9行目を参照。

までが、III—1では選択肢4を選んでいて、このことも、生徒たちが質問の内容を理解した上で真剣に回答してくれたことを物語っている。

ただし、質問III—1で選択肢4を設けたからには、III—2の冒頭の文は「このまま電流を流し続けると…」ではなく、「このままにしておく…」とでもすべきであった。データの詳細は割愛するが、III—1で選択肢4を選んだ者の約1割がIII—2では2を選んでいて、上記の不用意な質問文がこの混乱の要因とも考えられ、反省している。

3. クロス集計による考察

以上、単純集計および、質問III—1とIII—2については選択理由の記述内容とのクロス集計を行った結果にもとづいて、被験者となった中学生および大学生の多くが、場面によっては電流の消費イメージにもとづいて思考することを述べた。一方で質問IIやIII—3に対する正解率がかなり高いことから、形の上では電流の保存やオームの法則の公式を理解しているように見えながら、電流の消費イメージから脱却できない者がかなりの割合で存在するものと考えられる。

以下に選択肢による各質問への回答をクロス集計した結果を示し、上記の推測をさらに検討する。

3.1 質問IIとIII—1に対する回答のクロス集計

表7に、中学生についての標記の集計結果を示す。

質問IIでは、正答である選択肢4を選んだ者が圧倒的とも言えるほど多かったが、それら正答者の質問III—1に対する正答率は、質問IIにおいて誤った選択肢を選んだ者よりもかえって低かった。

次に、質問IIにおいて3を選んだ者と4を選んだ者についてそれぞれ別個に、表5と同様の集計を行った。その結果を表8に示す(質問IIおよびIII—1に対して無答

の者についての表示は省略する)。

質問Ⅲ-1で選択肢1(正答)を選んだ者の理由づけの状況は、質問Ⅱで3を選んだか4を選んだかにかかわらずよく似通っていた。

一方Ⅲ-1において選択肢2「両回路の電流の強さは等しい」を選んだ者の理由づけを見ると、質問Ⅱで3を選んだ者の場合は理由7「電球の手前で測定しているから」を記す割合が39%で、質問Ⅱで4を選んだ者の値(9%)より著しく高かった(表中の数値にアンダーラインを付した)。理由7は、電球を通った後では電流が弱まることを含意するものであるから、これら二つの数値の大小関係は筋の通った理解しやすいものである。

逆に言えば、質問Ⅱで選択肢4を選んでおきながらⅢ-1で理由7を記述した60名は、電流の保存という結論のみを納得抜きで憶え込んだ典型的な事例ということになる。また、質問Ⅱで選択肢4を選んでⅢ-1で2を選んだ者の4割以上(282名、回答した中学生全体の18%)が、理由5「直列回路はどこでも電流が一定」を記していることも、理解抜きの憶え込みの一端を示しているように思われる。同一回路内の問題と別個の回路間の問題を混同していると考えられるからである。数値を示すことは省略するが、ここで問題とした二つの事例に該当する回答は、調査をお願いした全ての学校で万遍なく見られた。

表9 質問Ⅲ-1で選択肢2を選び、理由5を記した中学生の、質問Ⅲ-3に対する回答の集計結果

学年	第2学年				第3学年			
	Ⅲ-3の回答(%)			回答者数	Ⅲ-3の回答(%)			回答者数
	正答	誤答	無答		正答	誤答	無答	
全体	82.5	10.2	7.3	137	92.1	6.7	1.1	178
男子	70.2	21.3	8.5	47	92.6	7.4	0.0	68
女子	88.9	4.4	6.7	90	91.8	6.4	1.8	110

表10 質問Ⅱと質問Ⅲ-3に対する中学生の回答のクロス集計の結果

		Ⅲ-3の回答(%)			回答者数
		正答	誤答	無答	
Ⅱへの回答	1	44.4	11.1	44.4	9
	2	43.4	22.4	39.5	76
	3	80.0	7.8	12.2	230
	4	84.7	7.9	7.3	1022
	無答	30	10.0	60.0	10

3.2 オームの法則の機械的適用について

ここまで、単純な回路における電流保存の認識が理解抜きの憶え込みになっているのではないかとの予想を検討してきた。その結果は予想を支持するものであった。

ここではさらに、単純な回路に対するオームの法則の適用が、回路についてのイメージや理解から切り離された機械的、断片的な憶え込みによってなされている怖れについて検討する。

質問Ⅲ-1において選択肢2を選んだ者は、電流の強さは回路の構成によらず電池の電圧によって決まると考えたと思われる。その中でもとくに理由5を記述した者については、そう判断して間違い無いであろう。そのような回答者の質問Ⅲ-3に対する回答状況を表9に示す。正答率は平均的な値よりむしろ高い(表4を参照)。電流の強さが回路の構成によらずに電池の電圧のみによると考える者でも、電圧値と電流値が与えられればオームの法則を適用して回路の抵抗値を「正しく」算出するのである⁹⁾。

表10には、質問ⅡとⅢ-3に対する中学生の回答のクロス集計の結果を示す。質問Ⅱにおいて選択肢3を選んだ者の80%(184名)がⅢ-3に正答していた。この184名は、電流の消費イメージを保持したままオームの法則を運用していたことになる。

また質問Ⅱにおいて選択肢4を選んだ中学生であっても、Ⅲ-2で1を選択しその理由として4あるいは7を記した場合は電流の消費イメージを持っている場合が多いと判断される(2.2の末尾の記述を参照)。それらの者の内でⅢ-3に正答したのは合わせて505名であり、回答した中学生全体の33%に上った。消費イメージの保持とオームの法則の運用との共存が、ここにも見られる。

3.3 E中学校の生徒のⅢ-2に対する回答について

1.3で述べたように、E中学校の2年生は質問Ⅲ-2における回答状況が他のグループと著しく異なっていた。その点を検討するために、回答理由の自由記述欄における「ショート回路だから」との理由づけの頻度を求めた。結果を表11に示す。E中学校の2年生において著しく高い値が観察され、このグループはショート回路についての何らかの学習経験があったものと推測される。

表11 質問Ⅲ-1およびⅢ-2における選択理由として「ショート回路だから」と記述されていた回答の数

中学校	A		B		C		D		E	
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
学年	Ⅲ-1	4	0	4	0	0	0	1	19	0
	Ⅲ-2	8	2	2	0	1	1	1	3	25

4. 性別と回答状況の関係

質問Ⅰでは性別も記入してもらったが、中学生全体について、質問Ⅱ、Ⅲ-1・2・3の正答率(%)を男女別に求めたところ、以下のものであった。Ⅱ：男子72, 女子75(以下同順), Ⅲ-1：25, 25, Ⅲ-2：17, 17, Ⅲ-3：67, 75。質問ⅡとⅢ-3, とくに後者で女子の正答率が高かった。

その他に気付いた点のひとつを表9に示す。電流の強さが電池の電圧のみによって決まると答えた者が女子に多い。またそのように答えながらオームの法則を機械的に適用してⅢ-3に「正解」した者の割合は、とくに2年生の場合、女子に多かった。

5. 調査と授業の関係について

この調査で場面設定したショート回路は、小・中学校の理科教科書で扱われてはいない。なじみの薄い状況に置かれた生徒の内には、とまどった者も多かったと思われる。

ただしこれまでの文中の何箇所かで述べたように、回答者の考えはそれなりの一貫性をもったものである傾向が強く、質問内容は理解されたものと考えられる。

筆者らは当初、電球をつないだ回路とショート回路のどちらの抵抗が大きいかを質問項目に加えることも考えたが、結局それは省くことにした。そのことを意識する程度に理解の進んでいる者にとっては、あえて問うまでもない簡単な事項であり、集計・分析業を複雑にしまで加えることはないと考えたからである。また、この調査の主目的を電流の消費イメージの有無を見ることに置いたため、余分なヒントを与えて回答に影響を与える結果を避ける意図が働いたためでもある。抵抗についての質問を加えれば、Ⅲ-1の正答率は上昇したであろう。そして、消費イメージにもとづく理由を記述する回答は減ったであろう。しかしそのイメージが生徒たちの頭から消えるわけではない。ここではそのイメージの存在という問題点を示すことに力点を置いたわけである。ただし、そのイメージを匡したり、あるいはそうした問題を生じさせずに回路の概念を学ばせたりするための授業を構想する上で、ここで用いた調査問題はヒントを与えるものではあると考える。

結 語

以上述べてきたように、単純な電気回路の電流について、正しいとされるモデルを選択したりオームの法則を使いこなしたりできる者でも、電流が電球などで消費されるとのイメージから脱却できないでいる場合が普通に

見られる。

質問ⅡとⅢ-3に対する正答率は全般的に高い上3年生でも維持されていた(表1, 4)のに対して、Ⅲ-1とⅢ-2に対する正答率は全般的に低い上、学習直後の2年生に比べて3年生ではさらに低下していた(表2, 3)。

Ⅱ, Ⅲ-1, Ⅲ-2, Ⅲ-3のすべてに正答した者の数は、中学校2年生で64名(14.5%), 3年生で20名(2.7%), 大学生では1名(1.2%)であった。中学校2年生の場合、やや特別な条件の下にあったと思われるE中学校の生徒が34名を占めていた。これを除いて、Ⅲ-3まで回答した他の2校(A, B)について見ても、2年生の全問正答者は30名で母数の6.6%を占めており、同じ学校の3年生の値(15名, 3.8%)はこれを下回っていた。

前稿で論じりまた緒言にも述べたように、こうした事態は教授方針の問題点を示すものと考えられる。回路についての学習が、電流・電圧・電力といった基本的要素についてのイメージを持つことのできない形式的なものに偏りがちである点を改めることが重要と考える。電流計による「証拠」を繰り返し経験したからといって、消費イメージの放棄を納得できるものではないと考える^{2),7)}。

このように考えれば、中学校段階で学業成績がよかつたはずの大学生の正答率が中学生の平均値より低いのも、無理からぬことと納得される。

小・中学校の理科教科書には、電池に電流計だけをつないでいる旨の警告が必ず掲載されている。計器の損傷を防ぐ上で必要な、当然の記述とも考えられるが、一方本調査で用いた場面設定が回路の教材として有意義である場合も考えられ、一律に禁止とすることが適当かどうかについて検討の余地があると思われる。教科書の記述はそれなりの権威をもっており、教員の発想をも縛りがちであると考えられるからである。

調査に協力いただいた秋田県内の五つの中学校の諸先生と生徒の皆さんに感謝いたします。

註

- 1) 山岡剛(1997) 小・中学生が単純な回路の電流について抱くモデルと授業との関係の考察 秋田大学教育学部研究紀要 教育科学部門第51集 11-20頁
- 2) この点は上記1)で論じたが、その後、下記の文献の中で明確に指摘されていることを知った。

Johsua, S. and Dupin, J.J. (1987) Taking into account student conceptions in instructional strategy: An example in physics. *Cognition and Instruction* vol. 4 pp. 79-94
鈴木宏昭, 鈴木高士, 村山功, 杉本卓(1987)『教科理解の認知心理学』新曜社 の146-148頁での村山功氏の紹介による。原論文は未見。

(校正の段階で原論文を読むことができた。その記述によって、電池の作用を列車を押し人に喩えることがかなり有効であると実感できた。ただし、電球の点灯を列車の動きとどのように結びつけて理解することを期待したのかについては疑問が残るが。この論文の記述は、比喩を呈示しその有効性を考察させるべく生徒たちの討議を組織するという教師の活動が有意義であることを主張している。先の報告(上記註1)でも論じたところであるが、筆者らは、教師のこうした積極的な教授活動を重視すべきと考える。)

- 3) Osborne, R. (1983) Towards modifying children's ideas about electric current. *Research in Science and Technological Education* vol. 1 pp. 73-82
- 4) Tasker, R. and Osborne, R. (1985) Science teaching and science learning. *In Learning in Science*, Osborne, R. and Fryberg, P. (Eds.) Heinemann pp. 15-17
- 5) 橋本高(1995) 理科嫌いを克服するためのコンピュータ

の治療的利用の研究 修士論文(北海道教育大学)の, 82-84頁

- 6) 質問Ⅲ-3の文は「…、豆電球の抵抗は…」となっているが、これは「…、回路の抵抗は…」とすべきであった。前者は電流の消費イメージを強化しかねない表現であり、不適切であったと反省している。
- 7) ごく最近の下記の報告にも、電流計の使用によって一旦改められた小学4年生の電流のイメージが、異なる場面で元に戻ったことが述べられている。

木村松子(1997) 児童の電流に対するイメージを大切に
した理科指導—4年生「乾電池・光電池」の実践を通して—
理科の教育 46巻 通巻537号(1997年4月号) 48-50頁。

なおこの著者は、誤ったイメージを体験によって訂正するさまざまな場を繰り返し与えることによって正しい認識を形成させ得ると予想しているが、筆者らは、どのような体験をどのように配置するのが有効かを、具体的に検討する必要があると考える。

電流回路に関する調査

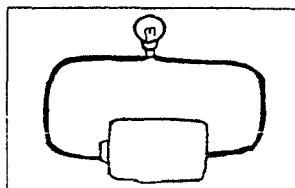
秋田大学教育学部理科教育研究室
工藤 舞

これは、みなさんが電気をどのようにとらえているかを調査する目的で行うものです。テストではありませんが、真剣に教えてください。

I あなたの学年と性別に○をつけてください。
学年 (1 2 3) 性別 (男 女)

II 右の図のように、乾電池が豆電球につながれていて、豆電球が光っています。

この回路を流れる電流の強さはどうなっているのでしょうか。下に示した①から④までの中からあなたの考えに合うものを1つだけ選んで、その番号を解答欄に記入してください。



①

電流は乾電池の+極から豆電球に向かって流れるが、豆電球を過ぎた後には、電流は流れていない。

②

電流は、乾電池の+極と-極から豆電球に向かって流れている。

③

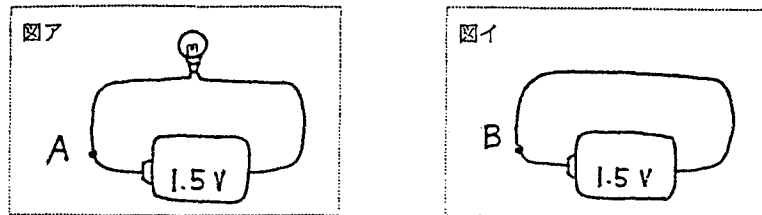
電流は乾電池の+極から豆電球に向かって流れるが、豆電球を過ぎた後は弱くなって乾電池の-極に戻ってくる。

④

電流は乾電池の+極から豆電球に向かって流れ、同じ強さで乾電池の-極に戻ってくる。

回答欄

III 1. 5ボルトの乾電池（新品）を2個用意し、一方は豆電球をつないで光らせました（図ア）。他方は、導線だけで+極と-極をつなぎました（図イ）。そして、図アのA点と図イのB点とで電流の強さをはかりました。



このふたつの図について、以下の質問1～3に教えてください。

1 図イのB点を流れる電流についてあなたの考えに合うものを次の中から1つ選んでください。

- (1) 図イのB点には、図アのA点よりも強い電流が流れている。 回答欄
- (2) 図イのB点には、図アのA点と同じ強さの電流が流れている。
- (3) 図イのB点には、図アのA点よりも弱い電流が流れている。
- (4) 図イのB点には電流は流れていない。

なぜそのように思うのですか。

2 このまま電流を流し続けると、どちらの乾電池が先にきれてしまうと思いますか。

- (1) アが先 (2) イが先 (3) 同時

なぜそのように思うのですか。

3 図アのA点の電流をはかると0.3アンペアでした。このとき、豆電球の抵抗は何オームあることになりますか。

式と答えを書いてください。

(式)

(答え)

オーム

ご協力ありがとうございました。