

「磁界の中の電流の受ける力」 についての調査報告

— 再び理科系授業の反省資料として —

小林 茂 広・大塚 利恵子
高橋 初 乃・田 中 文 男*

1. まえがき

先に粒子性概念の習得状況調査ならびに「気体性」についての教育を行ない、概念形成の研究という最初の目的とはかけ離れた結果になったが、理科系授業の反省資料として報告¹⁾したところ、あまりにもショッキングな内容になっているため調査や評価に用いた質問や問題が難しすぎて適切でなかったのではないかと、当を得てないと思われる批判を受けた。今回、中学校における学習単元「磁界中の電流にはたらく力」についてさらに熟慮をはらった調査を行なったので報告する。

調査目的は、中学校における既習単元「磁界中の電流にはたらく力」についての理解程度をみるとともに、それを説明する数種のしかたに対する学生の興味・傾向を知り、学習指導過程立案の参考資料に供することである。

調査対象は、本年度の理科教育法受講学生（77名）である。前回の調査対象は理科教材研究の受講学生であって、理科系よりも文科系の学生が多かったのに対し、今回の調査は農学部ならびに教育学部の理科系学生ばかりについてである。したがって、前回よりはよい結果が得られなければならないはずである（実際には、そうでもなかった）。

調査は昭和51年4月22日の開講第1日目に3回にわけて同じ学生に質問紙に記入させる方法で行なわれた。

2. 第1回調査

第1回の調査は、磁界の中で電流がうける力の大きさと電流の大きさとの間

* 香川県教育センター主任研究員

の関係調べるために現行の中学校理科教科書²⁾に掲載されている生徒実験がどの程度理解されているかについてであった。与えた問題は

磁界の中で、アルミニウムのパイプに電流を流したときに生ずる力について、アルミニウムのパイプ、U字形磁石、電熱線(300W用)、電源装置、電流計、スイッチ、方眼紙、わにロクリップ、スタンド、木の棒を用いて調べたい。

1. 実験装置の組立てを図示せよ。
2. 電流の向きと、アルミニウムの動く向きを記入せよ。
3. 方眼紙の利用法について説明せよ。
4. 実験の結果として、いえることをまとめてみよ。
5. 磁界の中で電流のうける力の向きについて説明せよ。

である。

答案提出者73名の成績を第1表に示す。第1項の47年入学とあるのは、47年に入学した学部学生の他に、51年入学の専攻科、大学院の学生、院生も含めてある。

第3項の成績概評のA, B, C, Dは、理解の程度を一応、優, 良, 可, 不可に分けるとすれば、これ位であろうというところであって、中学生の学習内容を大学生としての理解水準からみれば、すべて不合格といわざるをえないものである。

第4項の図解は、ほぼ完全なもの(◎)、不完全だが電気回路にはなっているもの(○)、誤り(×)と無答(())の4つに分類してある。正解図は第2回調査のさいに示した第1図であって、この通りの表現を求めたのではなく、記号を用いて実験の意図が明確に表わされておればよいとした。4分の3にあたる学生が電流の流れうる回路の図をかいているが、電流の強さを変えて受ける力の大きさがどう変わるかを実験して調べることのできる回路になっているのは、そのうち1割だけの学生である。したがって、大半の学生が実験の目標を明確に把握しておらず、ただ、電気ブランコの遊びとして終わるのである。さらに詳しく、この事情を示すのが第5, 6, 7項である。

第1表 第1回調査の成績表

1	学部名		E 学部				A 学部					計 人(%)
	入学年次		47	48	49	小計	47	48	49	50	小計	
2	人数 (%)		2 (3)	7 (10)	14 (19)	23 (32)	5 (7)	26 (36)	7 (10)	12 (16)	50 (68)	73(100)
3	成績 概評	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		B	1	1	1	3	0	2	0	0	2	5(7)
		C	1	2	5	8	0	3	1	6	10	18(25)
		D	0	4	8	12	5	21	6	6	38	50(68)
4	図 解	◎	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1(1)
		○	2	5	13	20	4	18	4	9	35	55(74)
		×	0	1	1	2	1	8	2	2	13	15(21)
		()	0	1	0	1	0	0	1	0	1	2(3)
5	電 熱 線	◎	0	0	1	1	0	2	0	1	3	4(5)
		○	1	3	4	8	1	4	2	4	11	19(26)
		×	0	1	2	3	2	4	1	0	7	10(14)
		()	1	3	7	11	2	16	4	7	29	40(55)
6	ワ ニ 口	○	0	0	1	1	0	2	0	1	3	4(5)
		×	1	1	8	10	1	6	2	2	11	21(29)
		()	1	6	5	12	4	18	5	9	36	48(66)
7	棒	○	1	4	3	8	1	2	1	3	7	15(21)
		×	0	0	3	3	0	6	0	2	8	11(15)
		()	1	3	8	12	4	18	6	7	35	47(64)
8	方 眼 紙	○	2	1	3	6	2	13	1	5	21	27(37)
		△	0	3	7	10	1	3	3	2	9	19(26)
		×	0	1	2	3	0	2	0	1	3	6(8)
		()	0	2	2	4	2	8	3	4	17	21(29)
9	実 験 結 果	◎	0	0	2	2	0	1	0	1	2	4(5)
		○	1	2	5	8	1	5	1	2	9	17(23)
		×	0	2	6	8	4	7	2	4	17	25(34)
		()	1	3	1	5	0	13	4	5	22	27(37)
10	力	◎	0	2	4	6	0	2	0	3	5	11(15)
		○	1	0	0	1	0	1	1	2	4	5(7)
		×	1	4	8	13	4	7	2	0	13	26(36)
		()	0	1	2	3	1	16	4	7	28	31(42)

第5項の電熱線をなにのために用いるのか、正しくわかっている学生はわずか5%で、4分の1の学生(○で示す)は固定抵抗として用い、電流の大きさを調節する考えがない。半数以上の学生は使用目的がわからず、用いていない。不正使用者(×で示す)のほとんどすべてが電熱線をコイル状にアルミニウム棒に巻きつけてあった。

第6項のワニ口、第7項の木の棒ともにどう使えばよいのかわからず、電熱線以上の困惑を示して無答()で示す)であったのがそれぞれ6割を越している。不正使用者の多くは、ワニ口をアルミニウム棒の支持に、棒をアルミニウム・パイプの心棒にしていた。

第8項の方眼紙は、正しく利用しているもの、データのグラフ化に使用しているもの、全然使用していないもの、それぞれ3割前後ずつである。不正使用者の多くはデータの記録用にしている、実験用・測定用という観念に乏しい。

第9項の実験の結果としていえることが、電流の向きと大きさの両者に対する力の関係が記述できているものを◎とし、電流の大きさのみを○としてある。電流の向きのみと力の関係を記述したものはいなかった。注目すべきことは、第4項でほぼ完全な図解をした学生が実験結果を記述せず、無答であったことと、実験結果を正しく記述した4人がすべて電熱線、ワニ口、棒のすべてを正しく使用していないか、あるいは一部を使用していない。そして、不完全ながらも電気回路になっていた1人を除いて他の3人はすべて誤りの回路であったこととである。これからもわかるように、たとえ、正しい実験結果が書けていても暗記式のものであって、実験と結びついた正しい理解によるものとは考えにくい。

第10項の電流の向きと力の向きの関係が説明、図解ともにできた者(◎)は15%、説明はよくないが正しい図解をした者(○)は7%で、誤図と無答がそれぞれ40%前後であった。

これで、第3項の成績概評において合格者なしとすべきところを約3分の1の学生に合格点をつけたのが、いかに甘い採点であるか、おわかりいただけたことと思う。

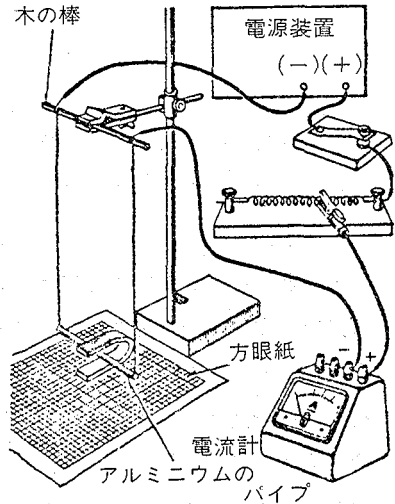
3. 第2回調査

磁界中の電流が受ける力についての2回目の調査は、同現象（第1図、学生

（実験） 磁界の中で、アルミニウムのパイプに電流を流したときの、力のうけかたを調べよう。

【準備】 アルミニウムのパイプ、U字形磁石、電熱線（300 W 用）、電源装置、電流計、スイッチ、方眼紙、^{ほうがんし}わにロクリップ、スタンド、木の棒

- ① 右の図のような装置をつくり、電流の向きを変えたときの、アルミニウムのパイプの動く向きを調べる。
- ② U字形磁石のN極とS極の位置を逆にしたときのパイプの動く向きを調べる。
- ③ パイプを流れる電流の大きさを換え、パイプの動く幅を、くふうして測定する。



・電流の大きさと、パイプの動く幅^{はば}とは、どんな関係があるか。

第1図 実験装置と実験方法

に示した問題の一部である)を中学校理科の現行教科書5種類(A~E)がどう取扱っているか、それらの説明の一部

A 力の向き 電気どうしや磁石どうしの力は、二つの物体や、磁石を結ぶ直線にそってはたらきあう。しかし、磁界の中で電流が受ける力の向きは、磁界の向きでもなければ、電流の向きでもなく、そのどちらに対しても垂直な向きである。これらのことから、電流が磁界から受ける力の向きには、大きな特徴があることがわかる。

電流が受ける力の向きを考えると、図のように、右手の親指、そ

の他の指、手のひらの向きとの関係と同じになっている。

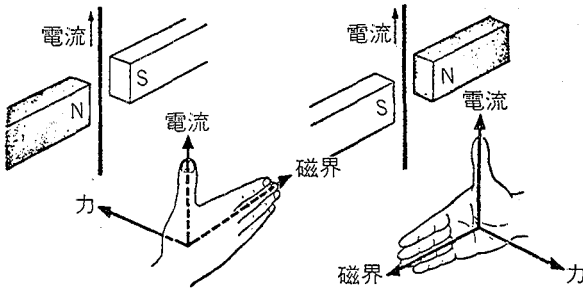


図 電流・磁界と力の向き

右手の親指を電流の向きに、他の4本の指を磁界の向きに合わせると、手のひらの向きが力の向きと一致する。

B 電流が磁界から受ける力は、電流が強いほど、また磁界が強いほど大きい。そして、この力の方向は、電流の方向と磁界の方向とに垂直である。図11のように、左手のおや指・人さし指・中指を互いに直角をなすように曲げ、人さし指を磁界の向きに、中指を電流向きに向けると、おや指の向きは電流が磁界から受ける力の向きを示す。

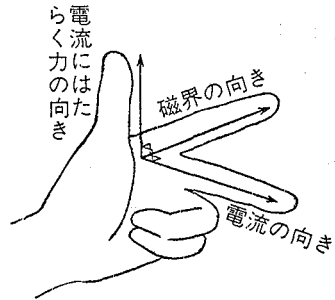


図11 左手の法則

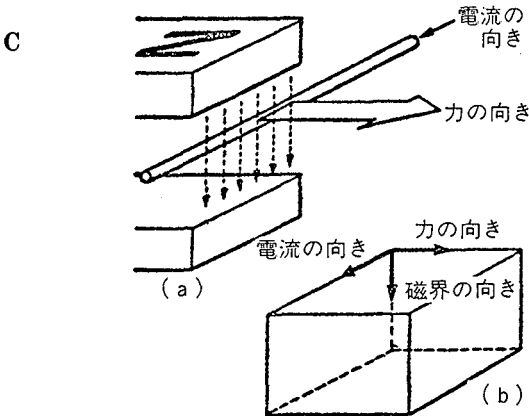


図 電流・磁界・力の向きの関係

1) 電流の方向と磁界の方向とが平行であるとき、力は作用しない。

D 磁界の中で電流のうける力の向き 磁界の中で電流のうける力の向き

は、つぎのように考えるとよい。すなわち、電流は、磁界の向きと電流による磁界の向きとが同じで磁界が強められるAのがわから、磁界の向きと電流による磁界の向きとが逆で磁界が弱められるBのがわのほうへ力をうけるわけである。

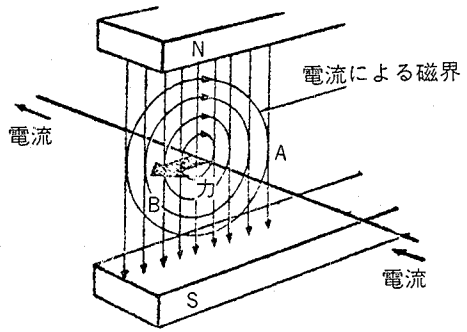
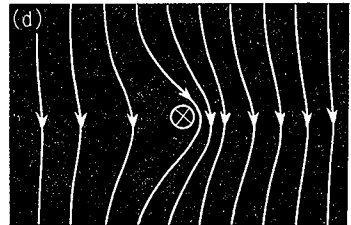
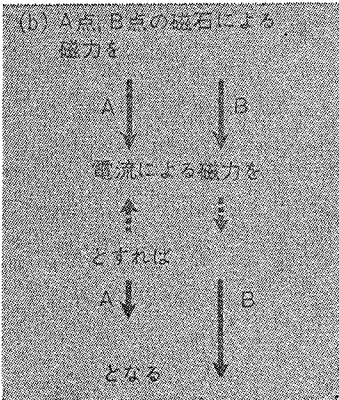
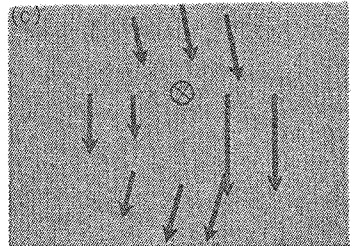
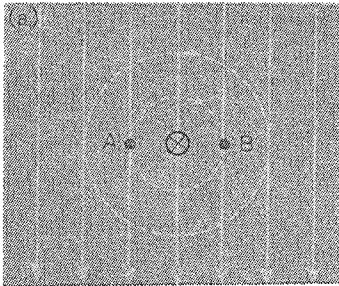


図 磁界の中で電流がうける力

E 電気ブランコの場合には、 図(a)のように、磁極の間では、磁力線はほとんど平行で、その中に電流による円形の磁力線ができる。この2つの



磁力線が合わさるので、複雑な磁界になるのであろう。

1つの円の上であっても、B点では磁石による磁力線の向きと電流による磁力線の向きとが同じであるから、磁界は強くなるはずである(図(b))。したがって、全体としては、図の右側の磁界は強く、左側の磁界は弱いことになる(図(c))。磁力線をかくと、図(d)のように、右側は密で、左側は疎である。

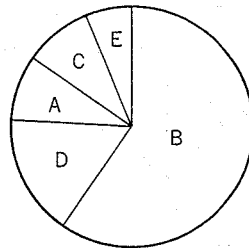
このような場合に導線は、図の右から左に向かう力を受ける。すなわち磁力線の密から疎へ力がはたらくのである。

を示して、どの説明のしかたで学習したのか、また、どの説明のしかたがもっともよいと思うかを答えさせた。もちろん、これらの説明以外のしかたで学習した人々は、それについて書かせたのであるが該当者はいなかった。

調査結果を第2～4表と第2, 3図に示してある。

第2表 学習歴

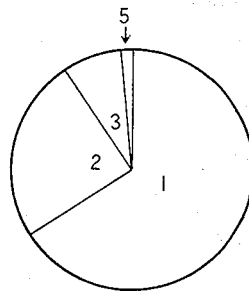
学習方法	時期			計(人)
	小学校	中学校	高校	
A	0	7	3	10
B	2	53	12	67
C	0	5	5	10
D	0	8	10	18
E	0	1	6	7



第2図 学習歴
どの説明方法で学習したかを示す

第3表 学習方法

学習方法	学習者	計(人)
1	A	2
	B	45
	C	1
	D	3
	E	0
2	B, D	8
	B, C	3
	その他	8
3	B, D, E	2
	その他	4
5 A, B, C, D, E	1	1
総計		77



第3図 学習方法数
幾通りの説明方法で学習したかを示す

第2表はいつ、どの説明方法で授業を受けたかを示すもので、B説明が最も多く、小学校で学んだという者もある。授業で採用されている説明方法の分布が円グラフで第2図に示されている。

第3表と第3図は、学生が授業でいく通りの説明方法を聞いているのかを示している。

第4表 よい説明方法

説明法 学部	A	B	C	D	E	計 (人)
E	1	7	0	8	7	23
A	7	10	4	13	16	50
計	8	17	4	21	23	73

第4表は、学生が選んだ、最もよいと思う説明方法の分布を示している。

第2表では学生の大半が説明方法B、つまり、フレミングの左手の法則によって力の方向を知る授業を受けているが、第4表によれば、単に力の方向を知る技術ではなく、磁力線を描いて力の生ずるわけを説明するDやEの方法がよいと考えていることがわかる。

4. 第3回調査

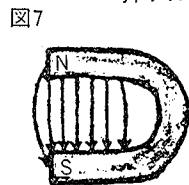
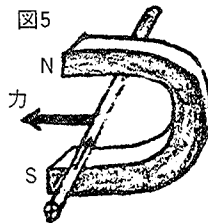
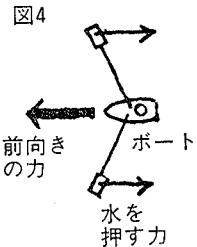
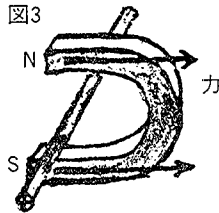
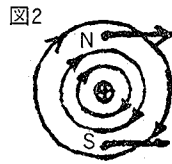
第2回調査終了後ただちに第3回調査を問題用紙

磁界の中で、アルミニウムのパイプに電流を流すとき電流が受ける力の方向を説明するしかたとして、つぎのア～オの5通りが考えられる。ア～オのうち

- (1) あなたは、今までどの説明で学習してきましたか。
- (2) どの説明がもっともおもしろいと思いますか。
- (3) どの説明がもっともわかりやすいと思いますか。
- (4) どの説明がもっともおぼえやすく、忘れにくいと思いますか。
- (5) どれか、ひとつもっともよいと思う説明法を選んでください。

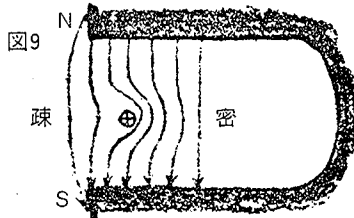
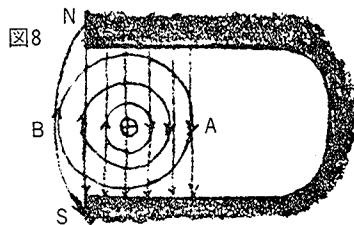
(アの説明)

1. 電流が流れているアルミニウムのパイプのまわりには図1のような磁界（磁力線）ができる（右ネジの法則）。
2. 磁石のN極は磁力線の向きに、S極は磁力線と反対の向きに力を受ける。
3. 電流は磁界（磁力線）を作ることによって磁石を右向きに押すことになる。
4. ボートは、オールが水を後方に押すことによって前向きの力を得る。
5. 電流は磁石を右向きに押すことによって左向きの力を受ける。



(イの説明)

6. 電流の作る磁界は1.と同じ。
7. 磁石のN極とS極の間には図7のような磁界ができている。
8. 磁石の両極の間におかれたアルミニウムパイプに電流が流れると、磁石の磁界と電流の磁界とが重なりあい、電流の右側Aの部分で



は、同じ向きのため磁界が強められ、左側Bでは、反対向きのため磁界が弱められる。

9. ベクトルの合成、あるいは、鉄粉を使って調べてみると、図9のような合成磁界（磁力線）になることがわかる。

10. 磁力線の密な部分から疎な部分へ向う力がはたらくから、電流には左向きの力がはたらくことになる。

(ウの説明)

11. ~14. はイの説明の 6. ~ 9. と同じ。

15. ひきのばされた磁力線は、ゴムひものように、ちぢもうとして、じゃまになる電流（アルミパイプ）を左へ押し出すため、電流に左向きの力がはたらく。

(エの説明)

16. 磁石の磁界は7. と同じ。
 17. 磁界の中を運動する電子には図17のような力がはたらくことが知られている（ローレンツ力）。

18. 3方向（磁力線、電子の

図15

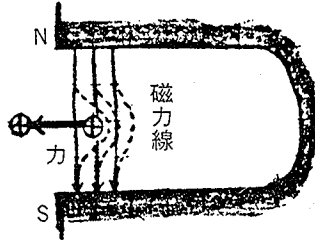


図17



図18



図19



図20

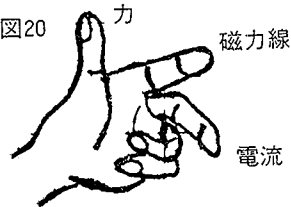
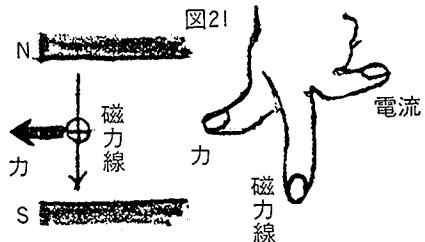


図21



運動，力）を図18のように上げた右手の3指（人差指，中指，親指）で代表し，人差指と中指を磁力線と電子の運動方向に一致させると，親指の方向が力の向きになる。

19. 右手を使って親指の方向から，電流には左向きの力がはたらくことがわかる。

（オの説明）

20. 左手の3指（人差指，中指，親指）で図20のように磁力線，電流，力の3方向を代表する（フレミングの左手の法則，電流の方向と電子の運動方向は逆になる）。

21. 左手の人差指と中指を磁力線と電流の方向に一致させると，親指の方向が力の向きとなり，電流には左向きの力がはたらく。

を配布して行なった。

結果が第5表である。

第5表 第3回調査結果

問 説明	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
ア	4人	35人	16人	9人	10人
イ	13	12	33	14	29
ウ	2	23	15	11	16
エ	24	6	9	20	14
オ	43	1	4	23	5

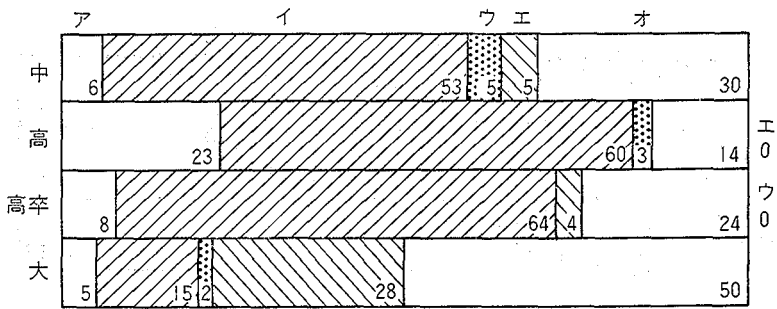
- (1) 既習説明方法
- (2) おもしろい説明
- (3) わかりやすい説明
- (4) おぼえやすく，忘れにくい説明
- (5) もっともよい説明

問(1)の「ア～オの説明方法のうちどれを学習したか」は第2回調査の「A～Eの説明のしかたのうちどれを学習したか」と対応しているが，全く同じものではない。Bとオとはフレミングの左手の法則と同じ。磁力線を取扱うDはイに含まれており，Eはイと同じである。力の方向を規定するA，Cとエとは直接の関係はない。ア（電流磁界が磁石に及ぼす力の反作用として電流が力を受ける）とウ（伸びた磁力線が縮もうとする性質）に対応する説明方法はA～Eの中にはない。これらの対応関係は，2回目の調査が終っても問題用紙は各

学生の手元に残してあるので、3回目の問題と見くらべると容易にわかったはずである。

なお、2回目のCには図のみしか与えなかったが、教科書には、その説明文の他に3回目のアに相当する説明や図もある。アに相当する部分を2回目に与えなかった理由は、A～E以外の説明のしかたで学習した者には、それを書かせる間を設けておいたことと、2回目ではそれを忘れていても3回目のアを見て思い出す者がおれば、その人数を調べて今回の調査の正確性、信頼度を判断する手段にもなるだろうと考えたためである。実施の結果は、2回目の調査ではA～E以外のしかたで学習した者はいなかったのに、3回目ではアすなわちA～E以外の学習をしたという者が4名でた。同じ意味でウの2名も同類であり、合わせて6名、約1割の不正確さが考えられる。実際には、第2表のBで学習したという67名（Bのみで学習した者は第3表の45名）に対して、第5表のオで学んだという43名（正確な対応31名）は約7割の信頼度を示している（イとD、Eの対応もほぼ同じ割合）。

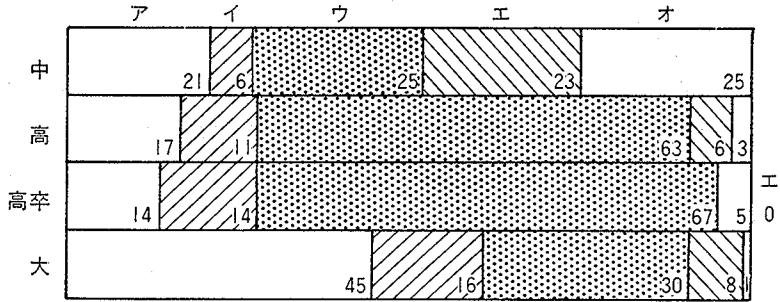
問(1)～(4)については大学生だけでなく、中学生（82名）、高校生（35名）および高卒・大学受験生（21名）にも調査しているので、それらの結果もあわせて第4～7図に示してある。



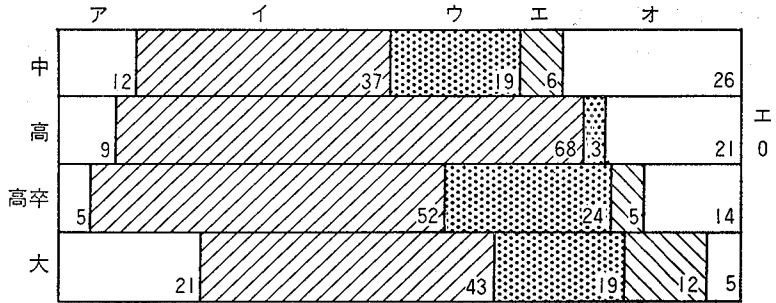
第4図 学習した説明方法

「磁界中の電流が受ける力」について、対象学生（中学生・高校生・高浪生・大学生）がア～オのどの説明方法で学習したかを示す。

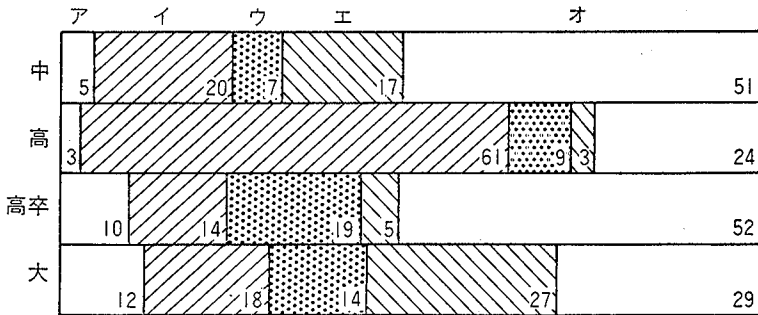
第5～7図は対象学生による差があまり見られないが、第4図は大学生と大学入学以前の学生とでイとエの学習のしかたがかなり違うことがわかる。これ



第5図 おもしろいとする説明方法



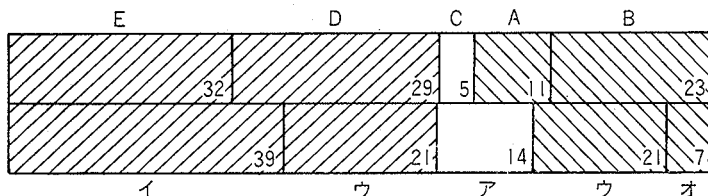
第6図 わかりやすいとする説明方法



第7図 おぼえやすく、忘れにくいとする説明方法

は、文部省の指導要領の改訂（昭和45年）により両者の受けた教育の方針の相異によるものと思われる。

問(5)の「ア～オの説明方法のうちどれをもっともよいと思うか」と第2回調



第8図 もっともよいとする説明方法

磁力線を用いる説明方法がE, D, イ, ウであり, 手を用いて方向の説明をするのがA, B, ウ, オである (E≡イ, B≡オ)。

査の「A～Eの説明のしかたのうちどれをもっともよいと思うか」とを対比して図示したのが第8図である。説明方法としてEとイ, Bとオは全く同じものであるが, 直接比較して論ぜられるものではない。

5. あとがき

中学校における学習教材「磁界中の電流の受ける力」を使用して行った本調査は, 前回の粒子性概念習得状況調査¹⁾や「気体性」教育報告²⁾にくらべて, ごく狭い範囲に焦点をしばり, 明確な回答が得られ, 信頼度の高い結論が導けるように考慮された。その結果は, 身についた教育ができていないということである。これは本調査についてだけでなく, 前回の調査や報告にも共通なことである。「気体性」の教育で明らかにされたように, 身につく教育になるよう教師側で努力がなされても, 学生がそれを受けつけないのである。中学時代から既に学習態度がよくなかったことが前回と今回の調査対象の大学生に現れている。現在の中学生は, 新指導要領に基づいて学習しており, 学習態度はよいのかもしれない。旧指導要領で教育を受けた調査対象の大学生の学習態度がよくないだけかもしれない。しかし, これらの大学生は理科教員を志望し, 明日の理科教育を担う者である。教育学部における理科系授業を大いに反省しなければならぬわけである。

教育学部における(理科系)授業では, 新しい知識の習得も必要であろうが, それ以上に, 既に学習を済ませた教材について学生ひとり一人が自分の頭で考え再学習して身についた知識・技術・態度を養成することが重要である。

研究費の一部は文部省科学研究費によった。

引用文献

- 1) 小林茂広他「粒子性概念の習得調査第1報」香大教育研究報告Ⅱ26巻1号 昭51
小林茂広他「気体性」の教育について 香大一般教育研究 9号 昭51
- 2) 教育出版「中学理科」 昭50
啓林館「理科」 昭46
学校図書「中学校理科」 昭50
東京書籍「新しい科学」昭46（旧版のため現行とは異なる）
大日本図書「新理科」 昭50