

# 理科における学習困難点の分析と指導

中根 一芳 ・ 戸 莉 進 ・ 加藤 十八

加藤 貞夫 ・ 三橋 一夫

中学および高校における理科の全領域にわたる学習指導上の困難点の分析を、本紀要第6集に第1報として発表した。本年はそれをさらに指導の面にまで掘り下げる仕事の第一歩をふみだした。

第2報は戸莉が昭和37年度近畿・東海地区教員養成学部教官研究集会において発表したものをさらに修補したものであり、第3報は加藤十八が、日本理科教育学会第12回全国大会において発表したものの要約である。

## 第2報 科学的思考の指導以前の問題点

戸 莉 進

### I. はじめに

戦後の米軍による軍政期間中に、各教科について教科教育法なる領域が制度上からも判然とした形でわが国に導入された。それを契機として理科においても積極的にこの領域の研究を進める機運が醸成され、それまでの漠然とした理科の学習指導の研究なるものに、しっかりした1本の筋が通るようになった。

その結果として従来ともすれば数において大半を占める傾向を示した教材研究の美名にかくれた単なる趣味の研究（そのほとんどがそれぞれの専門の学会には、少なくともそのままでは通用しないような低調な研究）は次第に影が薄くなり、教育の場に直結した意欲的かつ実証的な研究が続々と現れてくるようになったことは、まことに喜ばしいことである。

これらの意欲的な研究の大きな流れとして、1つには実験・観察の指導の問題があり、いま1つには科学的思考の問題があると思う。われわれも過去10年近く実験・観察の指導の問題を中心に、非力ながら年々研究らしきものを蓄積して現在に至っている。

しかし本校が共同研究として本紀要第6集にその成果を発表した「学習困難点の分析」をとり上げたのを契機として、筆者としては、科学的思考を離れては、実験観察の指導も根本的には成り立ち得ないことを痛感し、科学的思考の問題についての文献もそれ以前よ

りは一段と強い関心をもって積極的に読みあさるようになってきた。

ところが、少なくとも筆者の読んだ範囲での、理科の学習指導に関する科学的思考の問題の研究には、私自身の教育の場における生の体験からすると、何かある重要な基礎的な段階を飛ばした大胆な前提の上に立つものばかりで、地味ではあるが、それ以前の、本当の意味では最も大切なはずの基礎的な段階についての研究が、ほとんど全く見当たらないことは、何か異様な感じがしてならなかった。

### II. 児童・生徒の論理構造

上記の異様さを感じさせられた部分を直接個々の文献の面からと、また筆者の教育の場における体験の面の両面から次第にしぼっていってみると、結論として浮び上がってきたことは、児童生徒の論理構造と教師の論理構造とは意外な所に大きなギャップがある、ということであった。

この、いわば科学的思考以前の問題が、がっしりとおさえられていないと、折角の科学的思考に関するいろいろな実践研究も、その根本において大きな条件の見落としがあることになり、それに基づく学習指導も徒に空転してしまうことになる。

もちろん、心理学者の側からの、この問題点に関係のある研究は、決して少くはないようであるが、その

データの素材までが、理科的なものになると、極めて少いようである。

たしかに、データの素材が理科的なものでなくとも、その結論を理科の教科指導の場に転移させることが不可能ということはないであろう。しかし、素材が概念や現象に対してもつ重要性が、理科ほど大きいものは恐らく他のどの教科にもないことを考えると、この一般的根本論は余りにも現実を無視した机上の空論といわなくてはならぬと思う。

しかしまた理科的な素材の個々についての心理学的な研究を心理学者に期待することは、1つにはそれらが心理学の専門家としては落穂拾い、ないしは祖述的な研究題目に過ぎないので積極的研究意欲を湧かすことは困難であろうし、2つには理科の専門家でなくては素材そのものの十分な把握あるいは取扱いに欠けるという危険も伴うことが少くないために、これまた恐らくできない相談であろう。

とすれば、理科的素材による児童生徒の論理構造の心理学的研究は、理科の教師が取り上げなかったら百年河清を待つ類となってしまうであろう。勿論このような研究は、いわば科学的な理科教育法の土台石の1つ1つであり、その成果は、現在行われている多くのいわゆる科学的思考に関する研究などと比較すると目を奪う華やかさはないであろう。しかし、その成果は土台石であるだけに、現在行なわれている無数の理科教育の場のどこにも直接関連を持ち、しかもその根本において作用するものとなるはずであるから、その児童・生徒に及ぼす影響は測り知れないほどのものが期待できるのではないだろうか。言いかえればこのような研究は、理科の好きな子のための研究ではなく、すべての子に理科を嫌いにはさせないための研究といえるのではないだろうか。

### Ⅲ. 児童・生徒の論理構造の露頭のいくつか

上述の研究については現在はほとんど未開拓と言っても過言ではないほどの状態であると思う。それだけに、この面についての研究は、これに積極的な関心を持っていただける極めて多くの研究者の協力にまつ以外には、容易にはまとまるものではないであろう。

その先鞭をつけるなどという大それた気持は毛頭ないが、乏しいながら筆者が教育の実際の場合において教師のそれとは意外な所で喰い違っている児童生徒の論理構造について、直接体験からつかみ出したいくつかのいわばこの問題の露頭ともいべきものを次にあげてみたいと思う。これを糸口として、1人でも多くの方が、この問題の解決に強い関心を持って頂ければ幸である。

#### A. 実験の場面において

##### ① 実験が遊びに終わっていることが少くない。

教師として実験を遊びのつもりで課す者は恐らく1人もないであろう。然しうっかりしていると結果的には生徒は唯面白がって遊んでしまっていることが起りがちである。たとえば呈色反応や爆発反応において、色や爆音が何故でかなどの問題とは全く無縁で、唯色や爆音が出ること自体を面白がっている高校生や、水質検査の実験よりもピーカーや試験管を扱うこと自体に興味を向けてしまっている中学生など。

このような場合に、もしそれらの生徒がまともな興味を持って学習しているなどと誤認して進めば教師は完全に浮き上がってしまうことになる。

このような、本質的な部分に注意を向けさせることが困難な場合でも実験を繰り返すと次第に肝心な点に目を向けることができるようになる場合もある。理科実験の映画をまとめて使うことなども、この方法の簡便化されたものと考えられる。

##### ② 考えないで実験している者が少くない。

上記のように遊びではないまでも、ただ与えられた教科書の指示通りに機械的に操作を進めているのみで、操作の意味とか、その結果が何故起るのであるかなどといった点については全く無関心というような生徒が、案外少くない。筆者自身も炭酸同化の際発生する気体をたしかめる実験の問題で、ピーカーの水中に沈めたクロモから発生する気泡を水上置換で試験管に捕集してしらべる実験を、図を入れて説明した上で「この実験に使用した植物は何ですか」との間に対して「アサガオ」などと条件反射的な誤答をする中学生が7%もでて、驚ろかされた経験を持っている。

このようなことの起る可能性が決して小さくないことを忘れて、知らないでいたりして、教師が実験をさせているということだけに自己満足をしていては、とんでもないことになる。

##### ③ 実験をしても、実験はしていないような者もある。

一応実験をしているように見える生徒でも、自分の実験して得た結果よりも教科書や、教師の方を盲目的に正しいとしてしまって、その間に喰い違いがあるくらいは勿論、反対になっても平然としているような者が時々見かけられる。生徒だけではなく、青い塩化コバルト紙（硝酸コバルト紙ではなくて）などと書いてある教科書まで見たことがあるが、この著者は果して塩化コバルト紙を見られたことがあるのであろうか。

特に生徒実験で、ほとんどがはっきりとは結果が出なかったような場合、教師がその原因の追求もせず、「うまくやればこうなるんだ」などと片づけることが若しあったとすれば、「一体何のための実験か！」と言いたくなる。

#### ④ 生徒は先入主に支配されやすい。

人間の一般の傾向かとも思うが、とにかく、最初の印象が定着した場合には容易なことでは置き換えることはできない。たとえば、中学で「水素は亜鉛に希硫酸を作用させて……」と、半ば条件反射的に教え込まれた生徒に、「銅などに希硫酸はおろか濃硫酸を作用させても水素は発生しない」こと、あるいはその反対に「鉄などに希硫酸ばかりか他の酸を作用させても水素が発生する」ことを定着させることは、余程印象的な実験方法をとらぬ限り絶対不可能であることは、筆者が毎年経験させられていることである。

また、このように根強い先入主でなくとも、中学生などに同一物体の、接触面の違いによるまさつ抵抗の測定実験をさせたりする場合、結果を求めたグループから塗板の一覽表に書きこませるようにすると、往々にして最初のグループが、誤って接触面の大きい場合程抵抗も大きいような数値を書くと他のグループの結果もそれと大同小異になってしまうようなことは珍しいことではない。

このようなことを考えると、適切な時期に、適当な方法で、正しい内容を最も印象的にということが如何に大切であるか、また皮肉なことに如何にむづかしいことであるかを思わないではおられない。

#### ⑤ 真に帰納的な実験は仲々できない。

熱心な教師によく見られるケースであるが、苦心して実験を発見的・帰納的にアレンジして生徒に課される。然し相当周到に計画された実験でもまふまふと生徒には裏をかかれて、生徒側は検証的に扱ってしまっているということが少なくない。若し、そんな馬鹿なことが、と考えられる方は、次のような実験を追試して頂いたら十分であろう。

中学生に、てこの釣り合いの実験をさせるとき、「左腕5の目盛の所におもりが1つかけられた場合、これを右腕1, 2, 3, 4, 5の目盛の所のどこか1個所に、おもりをいくつかつけたらつり合うか見つけなさい」という課題を提出する。間もなく1のところ5つ、あるいは5のところ1つ、という答を発見するであろう。そこで、「それではつり合いの場合に左、右それぞれの腕の目盛と、おもりの数の間に、成り立つ条件として考えられるものを書きなさい」と言って紙に書かせたものを、しらべ

てみると、ほとんど全部が $1 \times 5 = 5 \times 1$  (または $1 \times 5$ ) であって、さらに $1 + 5 = 5 + 1$  (または $1 + 5$ ) を書いたり、後者だけを書いている者は極めて寥々たるものであるはずである。

このような状況が現実であるのに、ただ自分が、帰納的に実験をアレンジして与えたからというだけの理由で、それを生徒が帰納的に実験してくれていると考える教師があったとすれば、余りにも無反省というの外はない。

このような無反省の上に、得々として与えられる「帰納とは何」かが、若し真の帰納として生徒に受けとられたとすればその教師の罪は決して小さくはないであろう。

### B. 思考の場面において

「気づく」とか、「考える」とか言う言葉は理科の学習指導にはつきものである。しかし、一度も「気づいた」意識をもたない児童に気づかせること、また一度も意識的に「考えた」ことのない生徒に考えさせることが容易なことではないことを、痛感しておられる方がどのくらいの比率でおられるのであろうか、などという失礼なことを、時には考えてみたくなることもある。

#### ① 点思考の何と多いことか。

いわゆる「気づく」ことが思考とすれば、点思考とでもいう外はない。砂漠にこぼれ落ちた種のようなもので、ばらばらの芽を吹かない単なる知識。外的刺戟が加われればこの知識は連想されても、それ以上には発展しない。このようなタイプの生徒は勉強とは、つまり条件反射の構成以外の何物でもない心得ている。しかも俗にいう努力家のうちに含まれるような人間の一部がこのタイプであることは一層悲劇的である。

特に中学の記憶力旺盛な時代に、理解することを面倒臭がって無意味な暗記だけでごまかして過して来たような生徒が、量も増え、体系的になった高校での教科内容に途方に暮れて、高校の2年あたりで急激に成績が低下して行くのも、ほとんどこの思考類型の場合である。

#### ② 直線の思考もまた。

点思考から一応連鎖反応が起るが、それが直線のもの。針金上の蟻のように、記憶力が強ければ直線的に相当進んでいった時、その連鎖の各段階の空間的位置関係は判っていないから曲っているものが直線のように錯覚されたり、またその逆の場合もありまた連鎖の段階の類似点をきっかけにして、もつれた糸のようになってしまったりする。「質量と重力が結びついて重量となる」ことや、「質量の体

積に対する比が密度で、或物体の密度と、水の密度との比が比重である」ことなどを考えているうちに、それらの概念や複合概念が入りまじって、区別が判然としなくなったりするのはこの例である。

この類型であっても、記憶力が悪ければ、霧の中で針金をはっている蟻のような状態で、ボイルの法則において、温度一定の条件を忘れてたり、水で満したビーカーに物体を沈め、あふれ出た水の目方をはかると、それが沈んだ物体の受ける浮力に等しいことを理解することが困難になったりする。

何れにしても①の場合ほどではないにしても、複合概念の形成や、多数条件のはたらく現象などの判断に困難を示すのは、多くこのタイプに属する。

### ③ 一面的思考からの脱却もむづかしい。

正常の活動ではほとんど、本当に優秀なものとの区別がむづかしい生徒であって、応用問題になると非常なもろさを示したり、実力考査なども案に相違して成績が悪いというようなタイプの生徒に見られる思考類型。面のひろがりはあるが、教えられたり、経験したりした面については強いが、その条件から著しく離れた条件とか、反対の側からの考察とかには驚く程融通が利かない。従ってこのようなタイプの生徒は、ボイルの法則も、質量についてのヘンリーの法則も十分理解しているのに、体積についてのヘンリーの法則をそれらの2つから証明することに困難を示したり、ボイルの法則を $v=kp$ の形で学習した場合、 $v/p=k$ の形を応用するような出し方をされた問題には非常な抵抗を感じたりするのであ

る。

### ④ 言葉と概念像の結合が文字によって中断されるタイプがある。

言葉は直ちに適確な概念像を連想させるのが健康な思考のはたらきであるはずであるが、時として言葉がそれを表わす活字と直結され、ひどい場合には活字から概念像への連鎖が断ち切られてしまっている場合すらある。このような例では、「じゅん物質とはどんな物質ですか例をあげてみなさい」と言っても、頭の中では「じゅん物質」が「純物質」に、そしてせいぜい「純な物質」という活字の像としてしか連想が起らず、それから先へは人の助言がなければ進めない。この例は随分極端な例のように思われる方があるかもしれないが、事實は、余り極端な例ではないのであるから驚ろかされる。

## IV. おわりに

以上、児童・生徒の論理構造が時には教師の思いもよらぬ形をとっていることを示す具体的場面をあげてきたが、このような点を、児童・生徒の発達段階に応じて洗い出し、それを如何に生産的に方向づけ解決に持ってゆくかを決定する方法は、理科的素材による心理学的な実証的研究以外にはないであろう。今後筆者はこの方向に向って、及ばずながら研究を進めてゆきたいと考えている。大方の御批判ないしは御助言が、そしてさらに同学の方の御協力がいただければ望外の倅せである。

## 第3報 加速度学習における2つの指導法の比較

—— 高校物理において ——

加 藤 十 八

昭和35年の日本理科教育学会（大阪）において「加速度学習における学習困難点の分析」について発表した°（本校紀要第6号に集録）この結果として次のことが学習困難点の要因として抽出された。

1. 加速度の向きと大きさを同時に把握する。
2. 等加速度運動の概念を一般加速度概念と混同し、拡大解釈をしてしまう。
3. 加速度が負の場合、正のときにくらべて、理解が困難である。
4. 速度概念にとらわれること。

5. 一般加速度の概念把握が困難である。

高校物理における力学の重要であることは論をまたない。運動法則がその最も大切なところである。この運動法則を理解するためには加速度概念が理解できていなければならない。この加速度概念の理解が非常に困難であり、上述のような学習困難点の解決策として次のように2つの指導法について比較検討をおこなった。

### I. 指導法の2つの型

(1) 加速度概念を現象的に理解させる方法。

運動の種類、運動の様子から時間に対する速度の変化量が加速度であるというように運動の現象から加速度概念を理解させようという方法である。

速度・加速度を、落体の様子から、定義し、曲線運動、円運動、単振動についての加速度を知る。現象をよく把握し、加速度概念を帰納させようとする方法である。

(2) 加速度概念を生因的に理解させる方法。

慣性の法則、運動の法則をよく理解させ、加速度がどうして生じるか、その原因をよく理解させ、運動現象について、力がどのように働いているか。この力が原因となって加速度がどのように生じているかを考えさせていく方法である。

II. 指導方法

1, (1)の現象的理解には、高校2年a組45名、(2)の生因的理解には、β組42名について学習指導をおこなった。a組は物理を3年でも選択しようとする者、β組は3単位だけで3年になってからは選択しない予定のものである。a、β組の能力の比較は共通におこなっている数学のテストで参考比較する。

代数平均点      幾何平均点

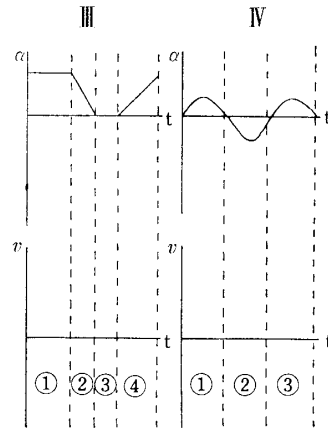
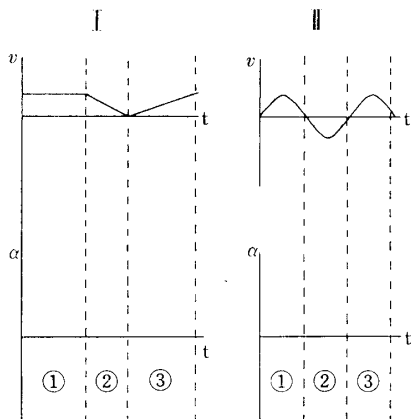
a組	46.4	30.4
β組	31.9	22.4

- 2, a組は教科書（現象的になっている。）に沿って、7時間を使用した。β組は速度、加速度の定義、慣性の法則、運動の法則を学習してから、教科書にしたがって5時間で指導した。時間的にもβ組は少ない時間で内容多くおこなっている。
- 3, 学習を終えてから、35年度に使用した「困難点の分析」のテストをそのままおこなった。

III. 実験データ

1. テスト問題

次のv-tのグラフはa-tに、a-tはv-tのグラフにしなさい。

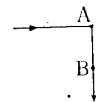


次の各運動において、運動中に加速度があれば、その向きと大きさを書きなさい。

(a) 雨は等速度で降ってくる（鉛直に）という。このとき

- (b) 物体を落したとき
- (c) 物体を鉛直上に投げたとき、
- (d) 物体を水平に投げたとき、
- (e) 物体を斜め上方に投げたとき、
- (f) 水平面内で、等速で動いて

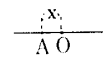
A点で直角に回った。



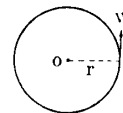
その後も前と同じ速さであった。

A, B点の加速度の方向を求む。

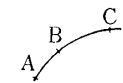
(g) O点を中心とした単振動において、A, O点の加速度を求む



(h) 速度Vの等速円運動の加速度を求む。



(i) 曲線ABCの上をAから、B・Cにいくにしたがって、だんだん遅くなる運動において、B附近の加速度の向きは大体どのようなか。図に書きなさい。



2. 正答率の比較

〔加速度—速度の関係〕

	I の 1	III の 3	I の 2	I の 3	III の 1	III の 2	III の 4
	$\alpha = 0$		$\alpha$ :一定			$\alpha$ :直線変化	
a	80.0	75.6	62.2	57.8	75.6	57.8	53.3
β	66.7	50.0	44.0	44.0	57.1	11.4	50.0
35年度	68	53	28	34	60	28	49

〔加速度—速度の関係〕

Ⅱ の 1	Ⅱ の 2	Ⅱ の 3	Ⅲ の 1	Ⅲ の 2	Ⅲ の 3	平均
a: sin (cos) 変化						
21.7	23.3	26.7	38.9	44.5	38.9	50.9
3.5	4.6	4.6	13.0	9.1	8.3	28.2
4.0			2.0			

〔その他〕  
αの向き

	f A	f B	g A	g O	h	i	平均
a	28.9	37.8	51.1	60.0	80.0	33.4	48.5
β	19.0	19.0	62.0	45.5	73.8	26.2	40.9
35年度	0	49	64	87	—	—	

〔落体・放体〕  
αの向き

	a	b	c	d	e	平均
a	53.3	71.1	33.4	20.0	26.7	40.9
β	57.1	90.5	50.0	52.3	57.1	57.1
35年度	70	92	43	32	24	24

αの大きさ

	g A	g O	h	平均
a	22.2	62.2	38.8	40.7
β	2.4	52.3	35.7	30.1
35年度	15	—	—	

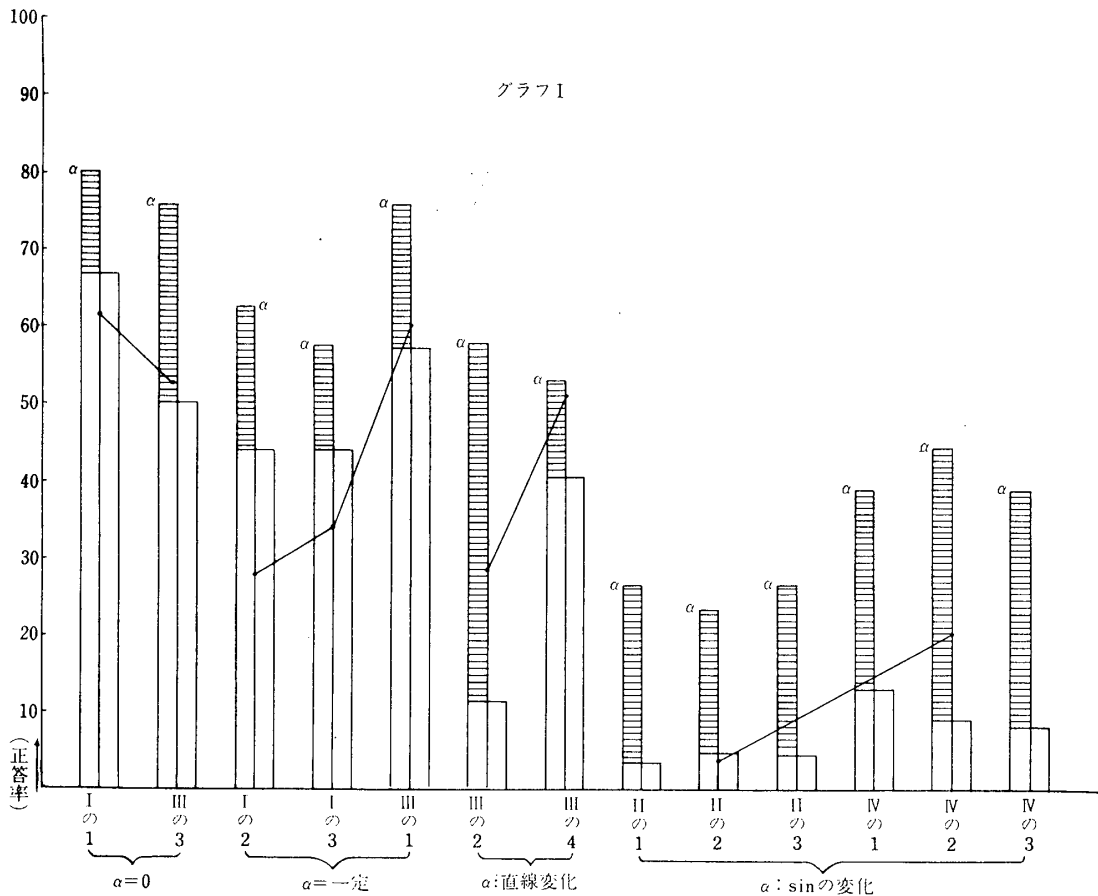
αの大きさ

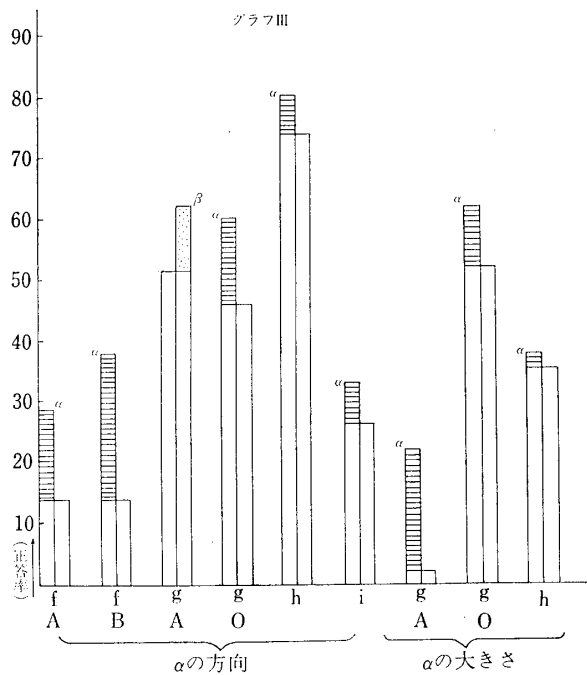
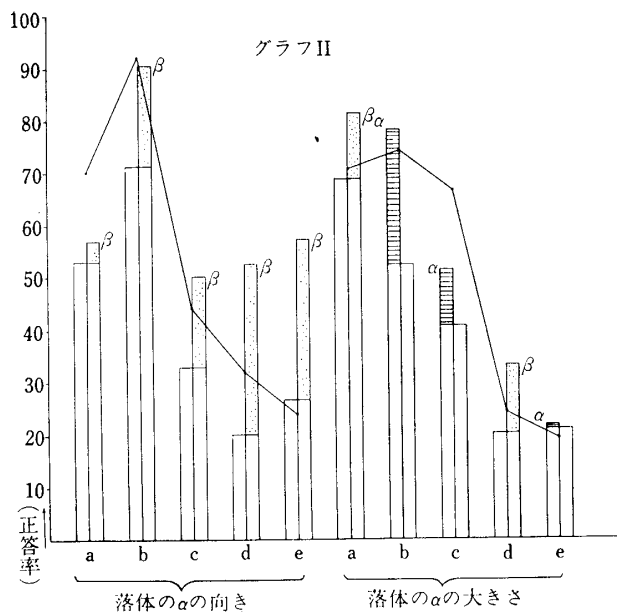
	a	b	c	d	e	平均
a	68.9	73.3	51.2	20.0	26.7	48.0
β	89.0	52.3	40.5	33.3	31.0	47.6
35年度	—	79	66	24	19	47

〔中間テスト結果〕（問題略）

	1	2	3	4	a	b	c	d	平均
a	89.0	71.0	46.6	82.2	86.7	60.0	82.2	75.6	74.1
β	85.5	81.0	28.6	81.1	78.7	54.7	73.9	71.5	69.4

上の結果をグラフに示す。





(注)  $\alpha$ 組優位を示す。  
 $\beta$ 組優位を示す。  
 35年度の折れ線グラフである。

### III. 実験値の考察

以上の数値、グラフから次のことが結論づけられる。

- (1) 加速度—速度の関係の理解については $\alpha$ 組が優位を示す。(※グラフI)

このことは、 $\alpha$ 組が能力が上であるために当然起りうることである。このことについては、2つの指導法の間に差異は認められない。

- (2) 落体の加速度の向きに関する理解については $\beta$

組が優位を示す。(※グラフII)

このことは特に著しい特徴をも示すもので、能力がかなり低いにも関わらず、優位を示したことは、加速度を生因的に学習した効果が表われているものとみななければならない。加速度の方向は力が働いている向きであることがよく認識されているものと思われる。斜めに投げた場合などのようにホドグラフが加速度の方向を推察することの困難さが $\beta$ 組に表われたものと思われる。

- (3) 落体の加速度の大きさについてもかなり $\beta$ 組に効果が表われている。(※表の平均値)

平均値がほぼ同じであるということは、 $\beta$ 組にかなり効果が挙げられたものと思われる。

- (4) その他の運動についても加速度の理解に対して $\beta$ 組の方に効果が挙げたのではないかと推察される。(※グラフIII)

グラフIに対して(或は数学の平均点)グラフIIIの方はかなり $\beta$ 組がよい成績を挙げているように思われる。勿論特に効果が挙げているとはいえないが。

- (5) 加速度概念の理解全般に亘り、 $\beta$ 組に効果が挙げたのではないかと推察される。(※中間テスト表平均)

中間テストにおいて、1, 2, 3, 4は速度—加速度のグラフの問題、a, b, c, dは運動中の加速度の方向の問題である。その平均値から判断して、数学の平均値に比べてみれば、明らかに平均値が接近してしている。

### V. 教科書の問題

教科書が加速度学習をどのように取り扱っているか。現象的に扱っているか、生因的に扱っているのかについて調べてみた。

**A型:** 最も現象的に学習させようと配列されているもの。大体次のように配列されているものをA型とした。

速度・加速度・落体・放体・ホドグラフ・曲線運動・円運動・単振動・慣性の法則・運動の法則の順

**B型:** 最も生因的に学習させようと配列されているもの。大体次のように配列されているものをB型とした。

速度・加速度・慣性の法則・運動の法則・落体・放体……の順

A, Bの差は運動法則をどこで教えるかに重点をおいて分けた。早く運動法則を教えるものほど、加速度を生因的に理解させようとしているものと考えたからである。

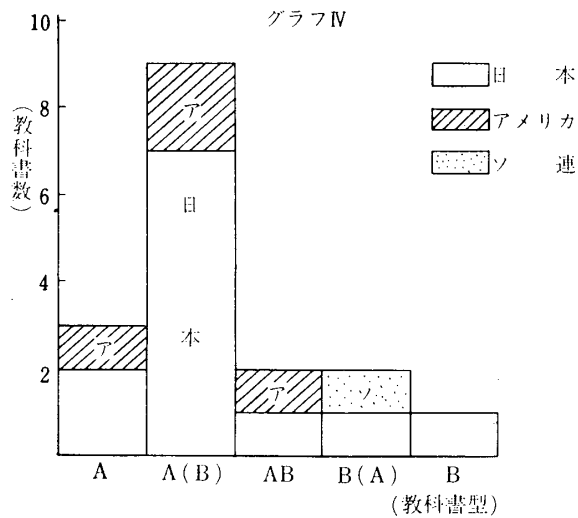
その中間をAB型、A型に近いものをA(B)型、B型に近いものをB(A)型として5段階に分類した。

調査教科書は次の通りである。

日本：〔実教〕，〔申教〕，〔大日本〕，〔修文館〕，〔啓林館〕，〔大原〕，〔講談社〕，〔大阪図〕，〔清水〕，〔好学社〕，〔三省堂〕  
以上11社12種の教科書

注，学習指導要領はA(B)型である。

アメリカ：MODERN PHYSICS 1945 C.E.  
Dull ..... A(B)  
PHYSICS 1946 Whiteman-Peck  
..... A(B)  
Physics A Basic Science 1943  
Burn's ..... A  
Elementary Practical Physics  
BLACK and DAVIS ..... A(B)  
ソ 連：KYPCΦИЗ ИКИ 1953 ..... B(A)  
以上の教科書17種をA～B型に分類グラフにしたものが次のとおりである。



このグラフで分かるように，日本の教科書はA(B)型が圧倒的に多い。これは文部省の学習指導要領に大体沿っていることによるわけである。アメリカも大体日本と同じ傾向であると推察される。（資料も少く，古いので疑問？）

## VI. ま と め

加速度概念をよく理解させることは非常に困難であるが，これを解決するための1つの試みをおこなっただけであるからあまり強く結論的に主張はできないが，大体次のように学習指導を行っていった方がよいと思われる。

加速度の向きと大きさを同時に把握することがかなり困難であると思われるが，この解決策としては，なるべく早めに運動法則を教え，加速度が生じる原因をよく理解させてから，個々の運動現象を考えさせ，加速度と力の関係を常に結びつけながら指導していくことが大切であろう。

運動現象をよく認識し，そこから加速度概念を帰納的に理解させようとするのが，現行の指導要領の線であり，また，日本，アメリカの教科書の多くであるが，あまりにも帰納法的，形式論にこだわっているのではないだろうか。生徒にいかによく理解できるかが最も大切な学習指導法であるからには，現象的に帰納させていく場合にも，なるべく力と加速度の結びつきをはやめに指導するのがよいものと思われる。教科書もそのように運動法則をなるべく早く指導できるように配列すべきではないだろうか。