

理科教材の試作とその学習効果の測定

— 第1報告 — 「わゴム」による「てこ」の学習

山 栴 雅 信
 栗 原 敦 雄
 藤 田 恵 璽
 山 田 雅 夫

- I. はじめに
- II. 「わゴム」による力の実験教材
- III. 教材および提示法の比較実験の計画
- IV. 比較研究授業の実施
- V. 学習効果の検討
- VI. グループの等質性
- VII. 作製テストの妥当性と信頼性
- VIII. まとめ

I. はじめに

新しい理科教材 今までの欠陥を補うのみでなく、大きい可能性を持つ新しい教材とその指導法を開発することは、現在の理科教育を推進させる一要因となるであろう。

そのような新しい教具教材には、2通りが考えられる。第1は現下の科学技術の進展を追うための精密高性能の機械であり、第2は今日の生産技術によって製造される新しい材料などによる多くの児童生徒が容易に入手し実験し得る廉価な教具教材である。これらは一見相反するようであるが両者とも必要であり、また両者が有機的に組み合わせられることが望ましい。例えば、本論の、生徒各自がおこなえるような「わゴム」を使用した

簡便な実験教材でも、もし高性能の投影機で説明されたり、テレビや映画によって指導されるならば、教育効果は更に大きく、教師の負担も軽減され、広く普及することになろう。

「わゴム」を用いる力の実験教材 上述のように、本研究は「わゴム」を使用した力の実験教材の試作研究と、それによる実際の指導、および効果に関する研究である。

今日まで、理科実験における力の教具教材には、主として「錘り」による重力が用いられ、まれに「ばね秤」が力の測定と作用とを兼ねることがあった。「錘り」の一つ一つは高価ではないが、均等なものを相当多数用意するとなるとかなりの金額となり、児童生徒の使用および管理にも困難があった。また重力の方向がきまっているため、実験装置の大きさや構造に多大の制約があった。

これに対し「わゴム」を使用する教材にはつぎの特徴がある。第1は「わゴム」は自重に比して発生力が大であるので、重力方向に関係なく、簡単に自由な方向に力を作用させることができる。第2は児童生徒に力を直接に感覚を通し、張力として体験させることができる。「わゴム」は児童の遊びによく使われているので、伸びたり縮んだりする興味と力の現象とを結びつけることができる。第3は、廉価で入手が容易なため、多数の児童生徒に実験をおこなわせることができること、などである。また、この「わゴム」を使用した力の実験は、小学校から高等学校までの教材として使用することが可能である。

II. わゴムによる力の実験教材

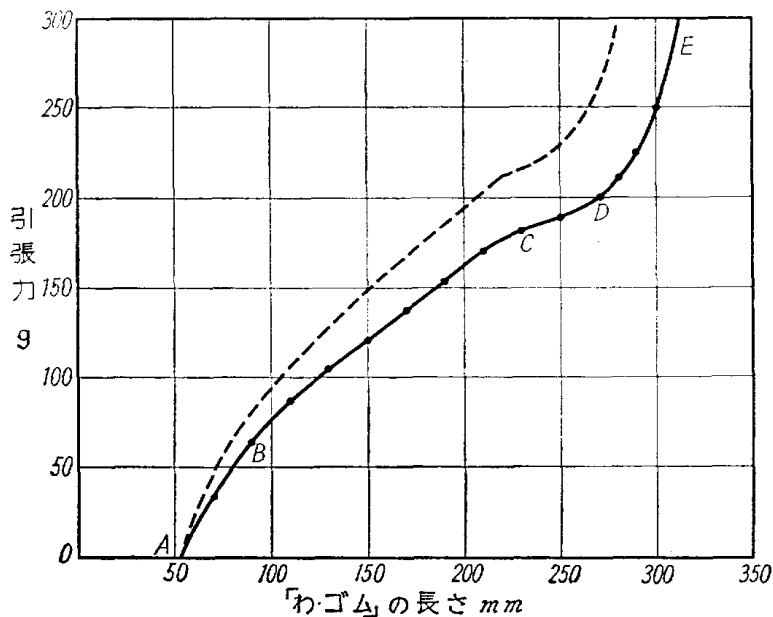
2. 1 「わゴム」の弾性

「わゴム」を力の実験教材とする場合、「わゴム」を引張って伸びた状態にしておいて、その収縮力を力の発生源とするのであるから、その弾性が問題となる。ゴムの機械的性質は工学上精しく調べられてあるが、これ

が教材として問題となるのは引張り弾性、つまり伸びと力との関係である。

「わゴム」を引張る力と伸びとの関係を測定した結果は第2.1図である。ここでは市販の事務用の箱入ゴムバンド（14番）を使用した。輪を直接につぶした長さは55%である。一度引張ったものと、はじめて引張るものとは弾性が異なる。図中の点線ははじめて引張ったときの伸びと張力との関係、実線は250g程度の張力を繰返して10回程加えた後のものである。

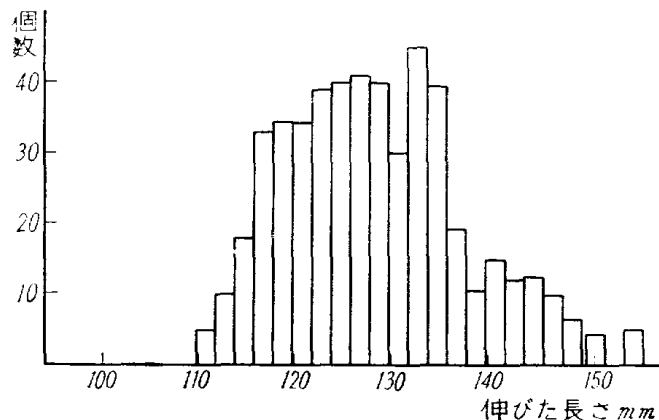
第2.1図 「わゴム」の伸びた長さと張力との関係



ゴムの伸びと力とが比例する Hook の法則の成立する範囲はきわめてせまい。伸びはじめは、伸びに対する力の割合、つまり弾性率は大きく、曲線は立つが、このことは次第に低下する(A—B)。それから率が一定の比例部分(B—C)とな

る、あるところで一時、弾性率が落ち(C—D) つぎに急に増加する(D—E)。この曲線の傾斜が急なのは、ゴムが伸びきって力を増加しても伸びにくくなっている状態である。

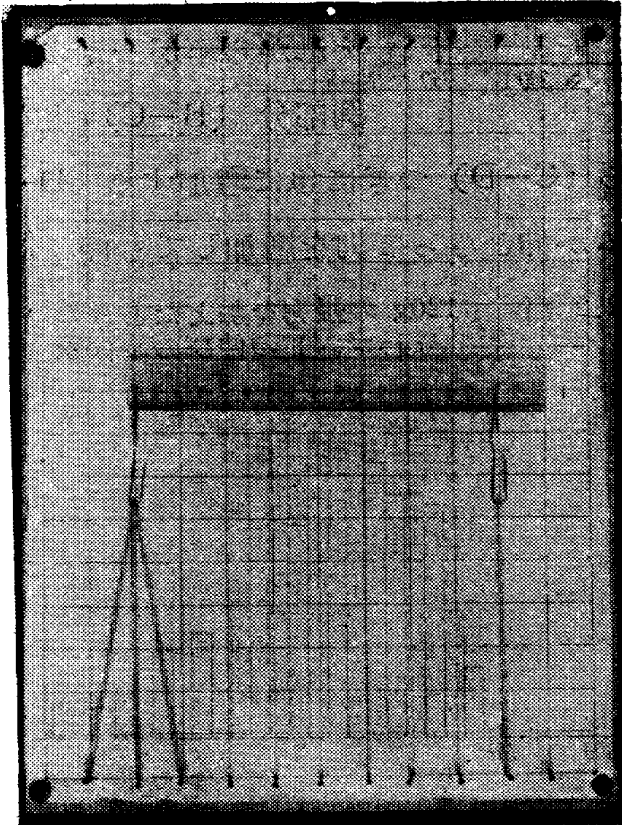
第2.2図 120gの張力を加えたときの「わゴム」の伸びの個体差



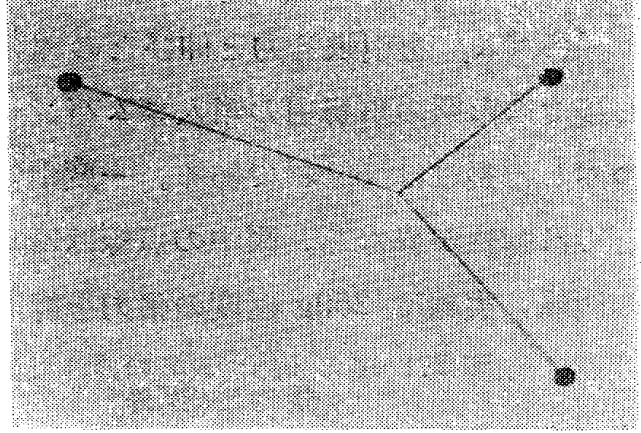
つぎは「わゴム」の個々についての性能の相違である。第2.2図は、前述の「わゴム」に120gの張力を加えたときの個々の長さの分布である。これで見ると市販の「わゴム」から選択すれば性能の等しいものをそろえることができるわけである。

「わゴム」の弾性的性質が以上のようなから、理科実験の力の発生源として2通りの使用法が考えられる。第1は弾性比例部分を使用して、伸びによって力の大きさを測定する方法で、第2.3図の力の釣り合いの実験などはこれである。しかし伸びと張力の弾性関係を理解させるのは中学校以下では無理であろう。第2は伸ばす長さを一定にして、この一本の力を単位とし、これを必要な所に必要な本数作用させるのである。これは

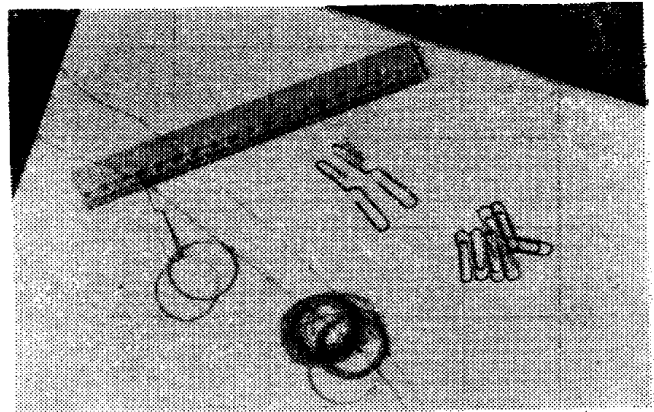
第 2.5 図 2 力の釣り合い (1)



第 2.3 図 「わゴム」による力の釣り合い



第 2.4 図 使用材料



従来の「分銅」と同様な使用法である。

2.2 「わゴム」による「てこ」の実験

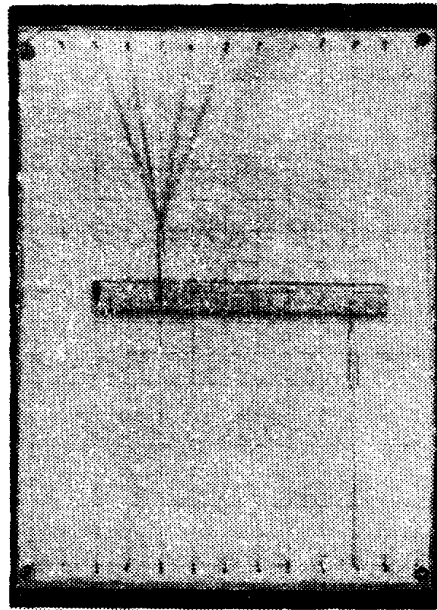
この実験をおこなうには、第2.4図に示すような「わゴム」、セルロイド定規、クリップ、釘、方眼紙、ベニヤ板があればよい。

定規に、径1~2mmの孔を20mm間隔であけ、クリップで鉤をつくり定規の孔の位置に「わゴム」をかける。

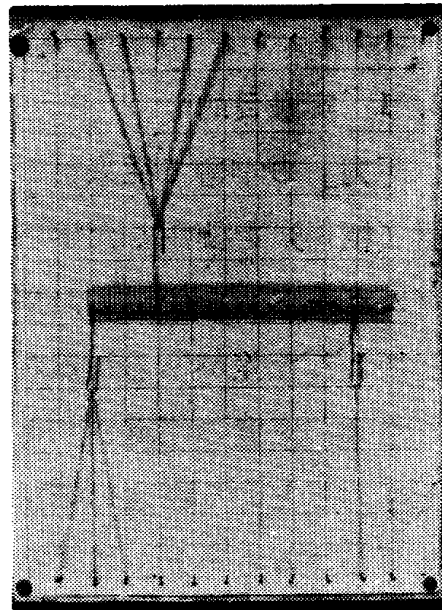
このゴムをかける位置とその数

によって支点と力との関係を実験する。第2.5図は支点の両側の力の釣り合いを示す実験である。定規の釣り合いの位置に平行に打った釘に「わゴム」をかけてある。この

第 2.5 図 2 力の釣り合い(2)



第 2.6 図 支点に働く力

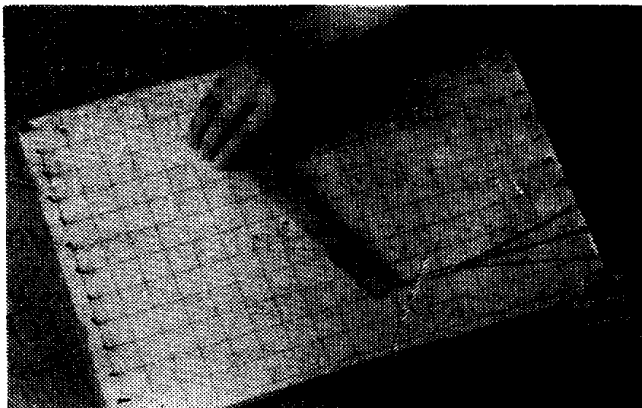


方法によると支点が棒の端にあって、働く力が反対の場合でも実験が容易であり、また第2.6図のように支点に働く力まで示すことができる。

水平でも傾斜していても、まとまった板の上で実験操作ができ、自由に動かして経過や結果を提示できることは、従来の「槓桿」と「分銅」による実験にない利点である。これはゴムの張力を利用し重力の影響を小さくしたからである。この重力影響の小さいことは滑車の実験に好都合である。すなわち、従来の実験の難点である動滑車の自重に影響させないことができる。

更に張力を用いることにより、低学年において、力の大きさを感覚的に

第 2.7 図 実験の一例



とらえさせることができる。第2.7図は棒を回転させる力が、手をかける位置によって変ることを理解させる実験である。本論の研究授業に用いた実験は上記のようなものである。

III. 教材および提示法の比較実験の計画

3. 1 実験目的

「力」の学習で従来おこなわれている重力が関係する垂直方向の教具教材（槓桿）を使用した学習形態と張力が関係する水平方向の教具教材（わゴムボード）を使用した学習形態，この両者を比較した場合，学習効果にどのような差がみられるかを客観テストにより測定，検討する。従ってここでは，児童の「重さ」と「力」という概念の結びつきと，「引っぱり」と「力」という概念の結びつきが問題となる。すなわち，槓桿による学習と「わゴムボード」による学習という2つの異った教具教材の使用が学習効果にどう影響するかということである。

つまり児童の日常経験を通しての学習では，どのような教授方法が「力」の学習に有効かを検討することに他ならない。

3. 2 被験者および実験者

被験者は東京都内のY小学校学4学年4クラス177名およびN小学校4学年4クラス151名，計328名である。その内訳は第3.1表に示す通りである。

第3.1表 児童数

学校	Y				N			
	1	2	3	4	1	2	3	4
組								
男	26	27	26	26	17	21	20	19
女	16	19	21	16	16	18	19	21
計	42	46	47	42	33	39	39	40

Y校での実験は，4クラスとも実験者のうちの1人が担当し，これに観察記録者1名が常時加わった。N校での実験は，N校の理科担当教師に依頼した。これはY校におけ

る実験期間終了後，追試の意味で施行された。従って実験手続きはY校の場合とできるだけ同一になるよう考慮された。これらの手続き，実施方法などについては，事前にわれわれの意図を話し，Y校における実験授業の経過記録をもとにして十分な打合わせがおこなわれた。なお，これらの実験校はいずれも，実験開始前に通常の学習活動のなかで「てこ」に関する学習をおこなっていない。

3.3 実験手続き

この種の実験で通常おこなわれる方法は、刺激（この場合は教具教材を使用する学習）の前後にテストを施行し、そのテスト間の差で学習効果を論じ、教具教材の有効性を検討する仕方である。ここでは「わゴム」と「分銅」という2つの教具教材の差が「てこ」の学習にどう影響するかを調べる。従って最小限2つのグループが必要となるが、われわれは更に学習形態による変数を考慮した。すなわち、「わゴム」「分銅」のそれぞれのグループにおいて教師のデモンストレーション（教師実験）を主体とする学習形態と児童のグループ実験を主体とする学習形態の2種をおこなうのである。それぞれのグループの学習効果は実験授業前に施行される事前テスト（以下 BT と略す）と、実験授業後に施行される同一内容の事後テスト（以下 AT と略す）の差（AT-BT）に統計的有意差があるかないかで検討する。また2種の異なる教具教材の有効性は、「わゴム」グループと「分銅」グループのそれぞれの学習効果（AT-BT）の差の有意性で検討する。

Y・N両校8クラスにおける使用教材とその学習形態は第3.2表の通りである。

第3.2表 グループ別使用教材とその学習形態

学校	組	使用教材	学 習 形 態
Y 校	1	分 銅・槓 桿	教師実験を主体として学習を進める
	2	わゴム・ボード	教師実験を主体として学習を進める
	3	分 銅・槓 桿	児童のグループ実験により学習を進める
	4	わゴム・ボード	児童のグループ実験により学習を進める
N 校	1	わゴム・ボード	Y 校 2 組 と 同 じ
	2	分 銅・槓 桿	Y 校 3 組 と 同 じ
	3	わゴム・ボード	Y 校 4 組 と 同 じ
	4	分 銅・槓 桿	Y 校 1 組 と 同 じ

BT 施行に際し、この実験の基礎的資料を得るため、被験者全員につきの項目についての回答を求めた。

1. 田研式理科標準学力テストの実施（理科標準学力テストはY校のみ実施）
2. 国語，算数，理科，社会，音楽，図工，体育の7教科の好嫌（一対比較法による）とその理由
3. 父兄の教育関心度（家庭で勉強をみてくれる人があるか。どの程度みてくれるか。それは誰かなど）——児童自身の評価
4. 理科の好嫌とその理由（自由選択法）

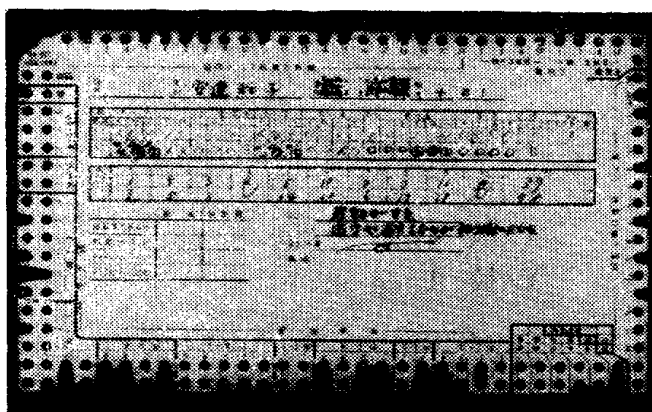
これらの基礎的資料はBT 施行前に収集された。

BT は「てこ」の理に関する児童の日常経験からはじめて，実験授業で取扱われる「分銅」および「わゴム」の学習内容に至る29の質問項目よりなる。AT は BT を基準として構成された質問項目の他に，分析を予定しない参考資料としてのいくつかの問題をも加えた26の質問項目よりなる。結果の分析は，BT，AT に共通して提示された22項目の問題のみについておこなう。

これらの基礎的資料および BT，AT に提示されたすべての質問項目に対する被験者の反応は，特別にデザインされたパンチカード（第3.1図）に整理され，それをもとにして種々の集計，解析がなされた。

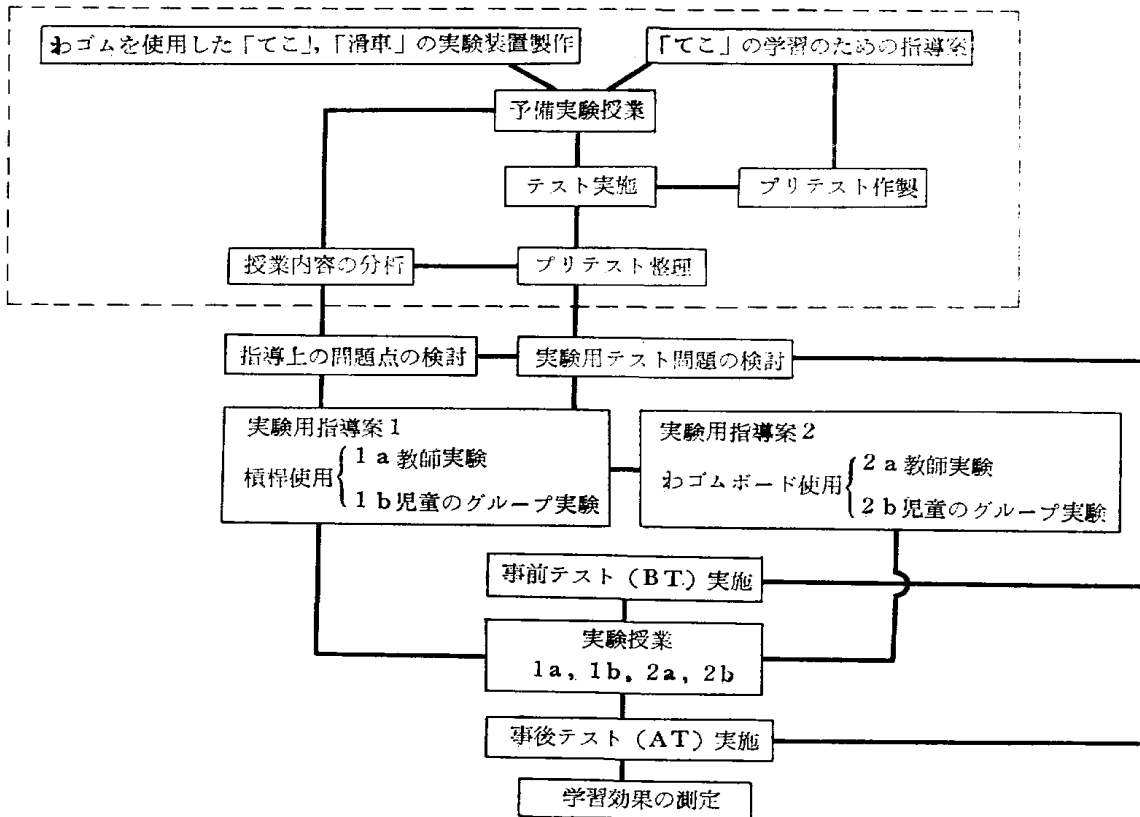
第3.2図は，「わゴム」による「てこ」，「滑車」の実験装置製作から，「分銅」と「わゴム」の教具教材の差による学習効果の検討に至る一連の実験経過を図式化したものである。

第 3.1 図 集計用パンチカード



第3.2図の点線の部分は，予備実験として1960年5月に東京都内のF小学校4学年，1クラスを使用しておこなったものである。この予備実験は，(1) われわれの製作した「わゴムボード」の教具教材が，通常の学習にとり入れ得るものかどうかを

第 3.2 図 実験経過



検討することと、(2)「分銅」との比較という効果測定をおこなうためのテストバッテリー作製という2つの目的をもっていた。

本実験のための指導案は、改訂指導要領に準拠し、従来の「槓桿」使用の指導案（実験用指導案1.）をまず作製し、つぎに教材として「槓桿」を使用し学習展開をおこなう部分を「わゴム・ボード」使用に置換した指導案（実験用指導案2）を作製するという手順をとった。なお、これらの実験授業は、いずれも、通常の教育計画の一環としておこなわれるよう計画された。作製された指導案、実験授業の経過、テスト問題などについては、つぎに述べる。

VI 比較実験授業の実施

4. 1 調査期日および期間

予備実験は昭和35年5月末、F校において実施し、実験授業後直ちにテストをおこなった。本実験は昭和35年10月から11月初旬にかけておこなわれた。その内訳を第4.1表に示す。

4.2 指導案作製の手順

実験用指導案作製にあたっては、従来の「槓桿」使用の指導

案から「わゴム・ボード」使用の指導案を作製したことは前節でふれた。以下予備実験でおこなわれた研究授業の内容について一部紹介し、実験用指導案作製に至る経過を述べる。

まず、指導の目標をつぎのように設定した。

- (1) 「てこ」には、3つの点「支点」「力点」「作用点」があることを知らせ、小さい力で重いものを動かす方法に気づかせる。
- (2) 支点の位置をかえると、同じ大きさの力を加えても、ものに働く力の大きさがかわることに気づかせる。
- (3) 「てこ」の理を使った日常の道具を見つけて、その使い方に慣れさせる。

以上の目標により、F校の1学級を6名ずつ8グループとし、授業をおこない、授業過程を分析した。その際、授業観察者の4名は、主として時程追跡観察法を用い、児童の反応を調べた。また1名は録音テープに記録し、他の1名は、位相的観察法の一つとして、学習活動の状況を写真におさめた。この間の指導時間は約70分を要した（装置は第2.7図のものを使用）。

結果として

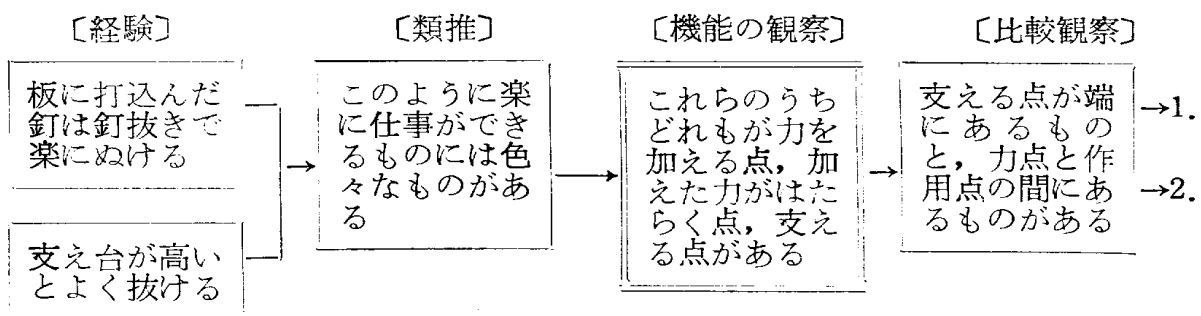
- a 導入の段階では、「わゴム」教具に対して興味と関心が充分示されていた。

第4.1表 実験期日とその内容

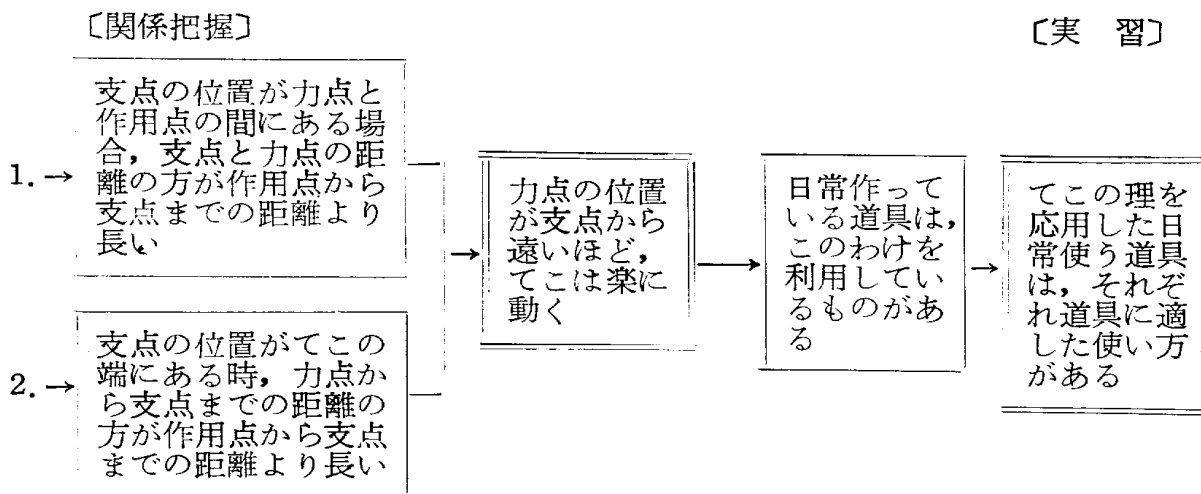
期 日	実験校	内 容
10月14日	Y	B T
17日	Y	研究授業・2学級
18日	Y	研究授業・2学級
20日	Y	A T
10月21日	N	B T
23日	N	研究授業・2学級
11月4日	N	研究授業・2学級
	N	A T

- b 学習の展開にあたっては、教具教材に親しみをもち、躊躇せずに組み立てたり、考えたりという積極的学習への参加がなされたが、ややもすると指導目標から離れる傾向になり勝ちであった。
- c 教具については、平面的に利用するものを垂直にして使用したグループや、組み立てる際に「わゴム」が飛んだり、支点の釘がぐらついたり、また「わゴム」の伸びからくる誤差のでたグループなどがあった。
- d 授業の発展として「てこ」の原理と日常生活に使われている道具との対応について、釘ぬき、栓ぬき、押し切りは容易であったが、洋

第 4.1 図 学習ダイアグラム



←「わゴム」グループ、「分銅」グループ共通展開過程→



←「わゴム」・「分銅」グループ共に進み方は同じで学習形態において異なる→

第 4.2 表 指導の過程 (わゴム使用による児童のグループ実験)

教師の指導 (発問)	児童の反応
<ul style="list-style-type: none"> ○デモンストレーション用の板で釘抜きに相当する装置がどれにあたるか。 ○これらのものの力点と作用点の関係はどうか。(支点からはかった力点までの長さで作用点までの長さはどうか) ○この装置に当る道具はほかにないだろうか。(重複) 	<ul style="list-style-type: none"> ○三点をみつけ釘抜きと装置が同一視できる。(異同関係がわかる) ○輪ゴム一本を伸ばすときより二本を伸ばす方がよけい力があることがわかる。 ○身近な道具, 準備した道具について類推できる。 ○ (“栓抜き”)
<ul style="list-style-type: none"> ○栓抜きも釘抜きと同じだろうか。 ○この栓抜きの装置はどれにあたるだろう。 ○ほかに似た道具はないだろうか。(重複) ○この時の支点と力点, 作用点の関係はどうだろう。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ (“遠い, 近い”) ○ (“長さがちがう”)
<ul style="list-style-type: none"> ○支点から力点までの長さが作用点からのより長くなっている。 ○長いとどんなことになるか。 ○輪ゴムの実験でためしてみる。(三種類くらいのつり合い) 一種やっってはどんなことがわかるか反応を見る。 	<ul style="list-style-type: none"> ○力点から支点までの距離の方が作用点からのより長いとわかる。 ○ (“反応なし”) ○力点の方に輪ゴムの数が少くてもよいことがわかる。
<ul style="list-style-type: none"> ○輪ゴムのかわりに手で押す時, 支点の近くで押すのと遠くで押すのとではどちらがうか。 ○作用点・支点をそのままにして力点のゴムを支点に近づけてみる。 ○力点の位置が遠いほどどうか。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ (“遠いほど, らく”) <li style="text-align: center;">↓ ○力を加える点の位置が支点より遠いほど小さい力でよい。 ○輪ゴムの数が前より多くいる。 ○輪ゴムの数が少なくてもすむ。
<ul style="list-style-type: none"> ○毎日使っている道具には, この小さい力ですますことを利用したものがある。他にどんなものがあるか。 ○それらはこの輪ゴムの装置ではどれに相当するだろう。(重複) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ (“車, はさみ, 押し切り”) ○てこの理を使った道具と装置との対応ができるようになる。
<ul style="list-style-type: none"> ○毎日使っている長ぼうきや竹ぼうき, ジャベルを今まで勉強してきたことをもとにして考えて使ってみよう。 	<ul style="list-style-type: none"> ○使い方により支点がきまることに気づく。 ○使い易さと使い難さから原理を展開・発展させることができるようになる。

バサミと「てこ」の理を示した「わゴム」教具の対応に難が見られた。

- e 全体的に見て，指導内容が指導時間に対して多過ぎた感があり，反省の資料となった。

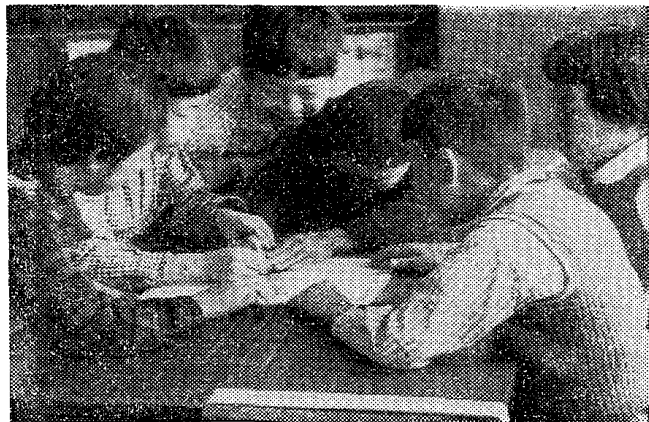
以上の観察結果を考慮しつつ「わゴム・ボード」使用による「てこ」の4学年用指導案，および「槓桿」使用による指導案が作製された。

この「わゴム」，「分銅」による2通りの指導案は，更に教師実験と児童実験という2つの学習形態をそれぞれ考慮したため，計4通りの指導案が必要となることは前にもふれた。つぎに「わゴム」使用による学習展開の部分のみを要約して示す(第4.1図，第4.2表)。

実験授業の所要時間は1クラスそれぞれ2時間(80分)である。以下，学習展開の状況の一部を写真で説明する(第4.2図～第4.5図)。

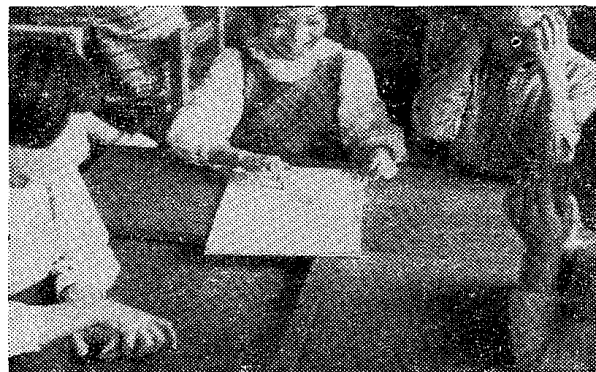
- グラフ用紙が貼られてあるベニヤ板の上に，物指し，「わゴム」，クリップを使って教具を組み立てる操作

第4.2図

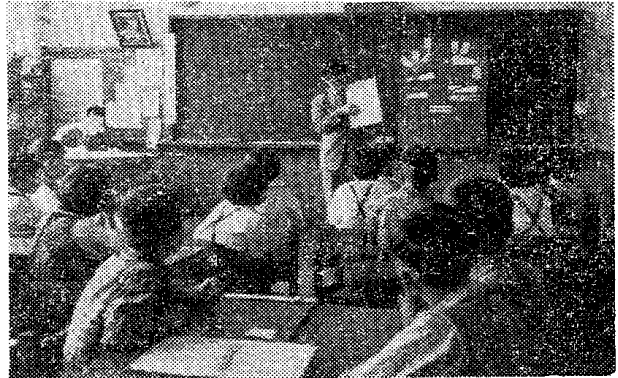


- 支点が中にある時，支点から遠ざかる程，指で下方に引くと，軽く感ずることを検証する操作

第4.3図

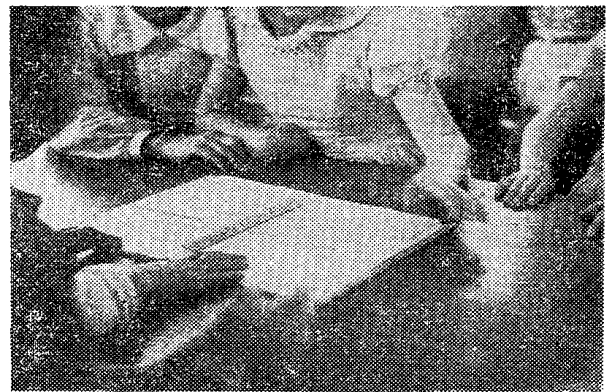


第 4.4 図



○てこの理を使った日常生活の道具の3点をフランネルボード上で見つけ「わゴム・ボード」と対応させている状況

第 4.5 図



○支点から同じ長さの両ウデに「わゴム」を1本ずつかけて平衡にする操作

4. 3 テスト問題

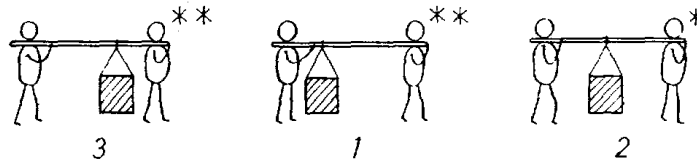
問題の作製にあたっては、児童の日常経験から次第に理科的経験としての「分銅」や「わゴム」による思考に置換させ、進んでは学習後の発展的な解答（数量関係の把握）をも期待し得るよう考慮した。従って取りあげられたテスト内容は、低次から高次のものまでかなりの巾をもっている。また、実験調査目的から、「分銅」すなわち重力という概念から「てこ」の原理を検討させる問題と、「わゴム」すなわち張力という概念から、「てこ」の原理を把握させる問題を対応させてある。

このようにして作製された問題は、F校の1クラス研究授業後実施され、検討が加えられた（予備実験）。実験に使用したテスト問題はこのプリテスト問題を改訂したものである。以下、学習効果の測定ならびに分析に使用した問題のみを要約して述べる。この提示順序はBTとATとで異っている。すなわちⅢ「実験計画」の項でも述べた通り、BTを基準としてATを作製しているが、問題の提示順序、小項目の提示順序はラン

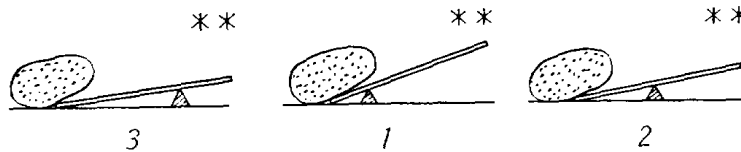
ダムに配列しなおし，更に，分析を予定しない参考資料としてのいくつかの問題を加えた。

BT・AT に提示した共通問題と対応問題

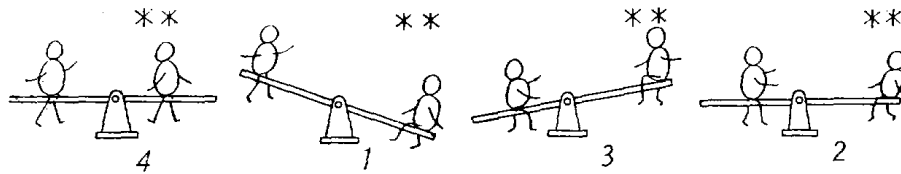
問題(1)～(7) 2人の子供が重い荷物がかついでいる。どちらがかかるいか。かるい方の子を○でかこむ。同じ重さの時は2人に○印をつける。



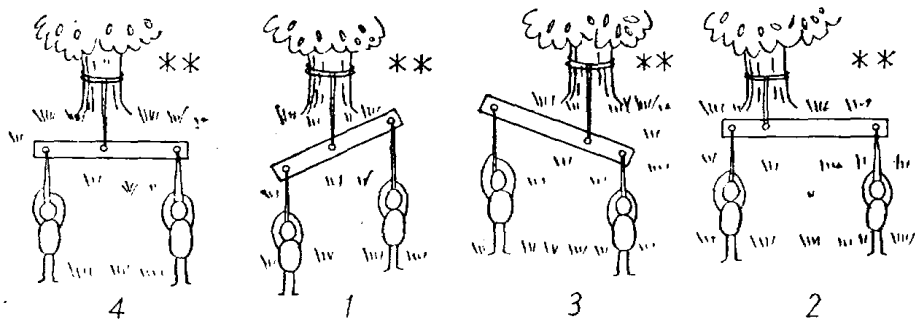
問題(5)～(9) 同じ重さの石をうごかすとき，下図から最も力のいるテコ，最も力がいらぬテコをみつけ，項目番号にそれぞれ×印，○印をつける。



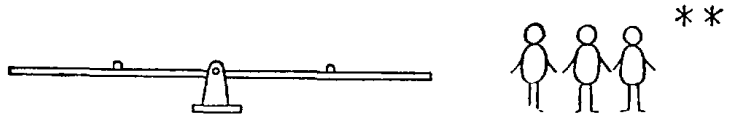
問題(2)～(2) シーソー上の2人の子供，重い方の子を○でかこむ。2人とも同じ重さのときは両方に○印をつける。



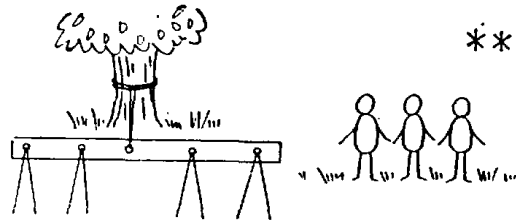
問題(6)～(4) 木のみきにつないだ棒の両はしを2人の子供がつなでひっぱっている。どちらが強い。(解答の仕方は前問題と同様)



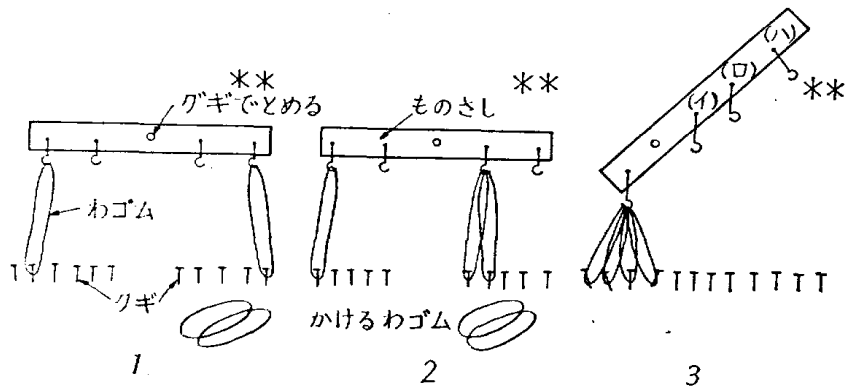
問題(3)~(3) シーソーに同じ重さの子供3人をいっしょにのせ、つり合うところを図に書きいれる。



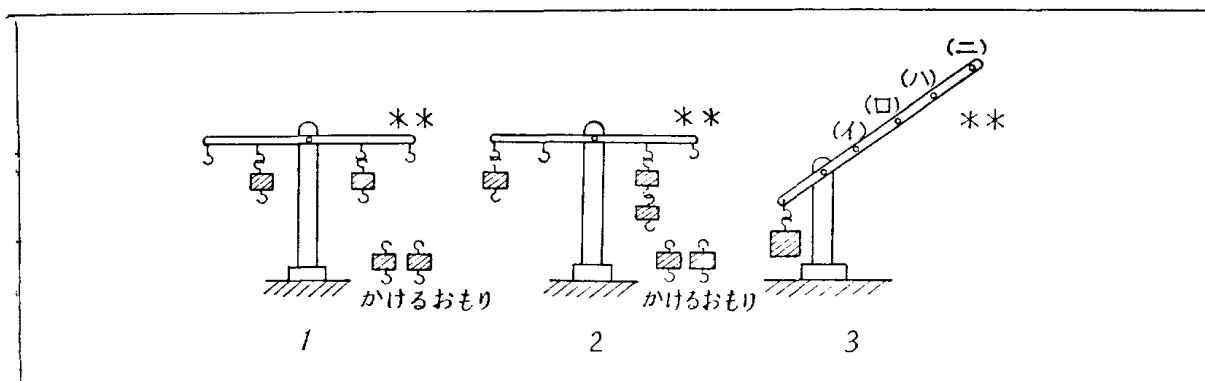
問題(7)~(5) 下図のような装置で3人いっしょに引っ張り、つり合わせる。つり合うように図示する。(子供3人の力は同じ)



問題(8)~(6) 下図のようにつり合っている。わゴムの装置に2本のわゴムを更に加えてつり合わせる。図に書き入れる。項目3は3本のわゴムをかけた装置でつりあわせてたいらにするには(イ)(ロ)(ハ)にそれぞれ何本かけたらよいか。選択肢の中から正しいと思うものをそれぞれにつき1こ選ばせる。



問題(9)~(8) 下図のような状態に、更に2このおもりを加えてつり合わせる。図示する。項目3は、図をみて()の中の適当な語を選ぶ。すなわち、「手でたいらにするとき、はしのほうほど力が{多くいる。少なくてよい。(ニ)から(イ)にいくほど{おもいかるい}おもりでつりあう。」



問題番号(1)～(7), (5)～(9)の数字は BT (1), (5)がそれぞれ AT(7), (9)に提示されていることを示す。また, 小項目の右肩の*印, **印は, GP 分析の結果見出された各項目の弁別性を意味し, それぞれ 5%レベル 1%レベルで GP グループの分布に有意差のあることを示す (詳細については, VII「作製テストの妥当性と信頼性」の項を参照されたい)。

V 学習効果の検討

5.1 BT と AT の総得点の比較

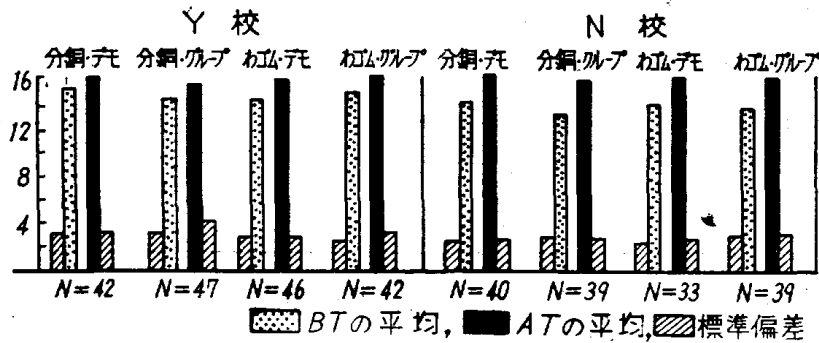
BT および AT の共通問題の総得点を各グループ比に比較して学習効果を比較検討しよう。採点は各小問毎に1点をあたえ, その正答数が得点となるようにした。問題は全部で22問あるので22点満点となる。BT, AT の得点およびその差 $AT-BT$ をそれぞれ B, A, D とし, それらの平均を \bar{A} , \bar{B} , \bar{D} , 分散および標準偏差を $S^2(A)$, $S(A)$, $S^2(B)$, $S(B)$, $S^2(D)$,

第 5.1 表 B, A, D の平均, 分散, 標準偏差

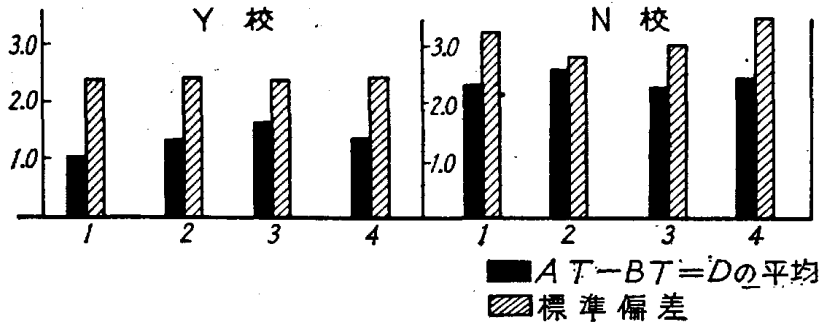
	Class	Before Test			After Test			Difference (D : A - B)		
		B	$S^2(B)$	S(B)	A	$S^2(A)$	S(A)	D	$S^2(D)$	S(D)
Y 校	1 (n=42)	15.381	9.522	3.085	16.405	9.527	3.086	1.024	5.689	2.385
	2 (n=46)	14.413	7.982	2.825	16.087	8.079	2.843	1.674	5.698	2.387
	3 (n=47)	14.532	8.972	2.995	15.789	17.104	4.155	1.340	5.928	2.435
	4 (n=42)	15.095	5.800	2.408	16.472	10.202	3.194	1.381	5.950	2.439
N 校	1 (n=33)	14.061	5.087	2.255	16.330	6.707	2.590	2.273	9.469	3.077
	2 (n=39)	13.410	7.575	2.752	16.000	6.974	2.641	2.590	7.932	2.816
	3 (n=39)	13.923	8.533	2.921	16.359	9.871	3.142	2.436	12.297	3.507
	4 (n=40)	14.275	5.899	2.429	16.600	6.890	2.625	2.325	10.569	3.251

S(D) と書くことにする。これらの統計量は第 5.1 表および第 5.1 図にま

第 5.1 図 (1) BTとATの平均および標準偏差



第 5.1 図 (2) 学習効果の平均と標準偏差

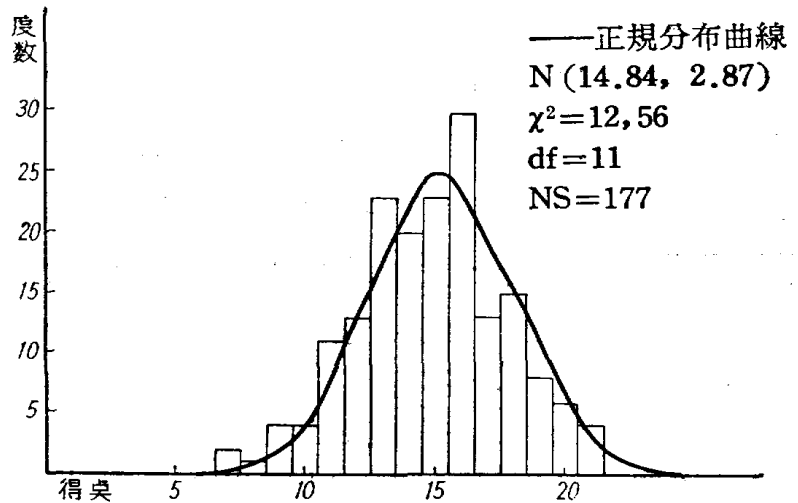


によって各グループの平均値の差の有意性を検定した。学習効果についてはDの母平均 $\mu(D)=0$ の帰無仮説をとり t 検定を用いた。いずれの場合も BT, AT 両校ともについてのグループによる平均および分散の差に有

とめた通りである。

この得点分布は第 5.2 図に示すように大体正規性を持つと見做してさしつかえない。そこでこれらの統計量の差の有意性の検定は正規分布を前提とする検定法によった。等分散の検定には Bartlett 法を用い、分散分析

第 5.2 図 得点分布の正規性(Y校・BT)



第 5.2 表 学習効果の分散分析表

変動因	平方和	df	平均平方	F ₀
教授法差	0.118	3	0.039	4.44
学校差	2.210	1	2.210	12.775**
交互作用	0.153	3	0.051	
誤差	55.327	320	0.173	

意差なく、学習効果はいずれの場合も同様にみとめられた。(第5.1図参照) なお Y 校と N 校の間には学習効果の有意の差がみられた。D に関する分散分析の結果は第 5.2 表に示した通りである。BT およびその他の等質性に関するテストの検定については第 6 節を参照されたい。

第 5.3 表
相関係数 $r(AB)$ と $r(BD)$

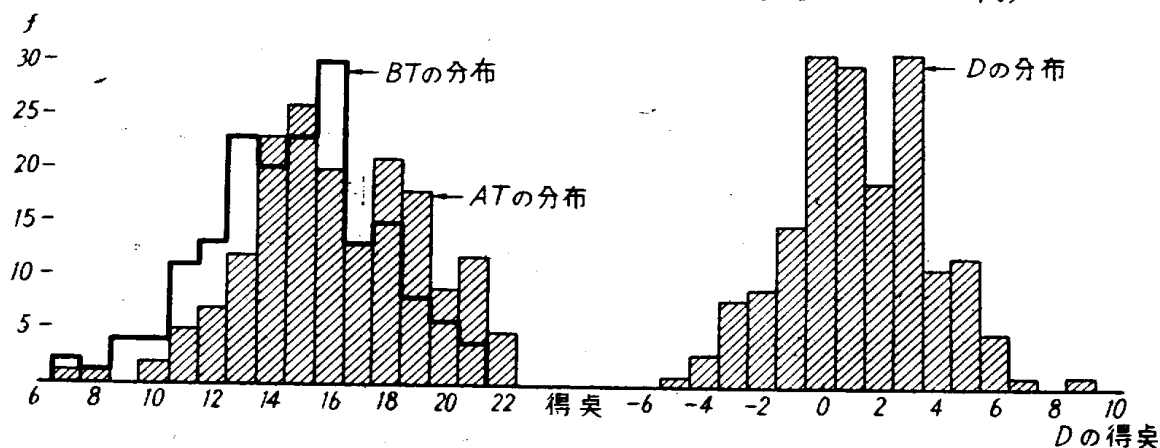
Class		$r(AB)$	$r(BD)$
Y 校	1	0.701	-0.387
	2	0.645	-0.415
	3	0.630	-0.558
	4	0.653	-0.132
	全体	0.647	-0.398
N 校	1	0.217	-0.547
	2	0.455	-0.455
	3	0.333	-0.535
	4	0.175	-0.606
	全体	0.307	-0.558

このように理科学習に関して一応等質であると考えられる 4 つのグループにそれぞれ異なった授業内容をおこなって得られた結果がまた互いに等質的であったことは、このテストに表示された限りではどの場合についても同じ程度の学習効果が得られたことを意味する。「わゴム」教材についていふならば、グループ実験でも演示による場合でも従来の「槓桿」による教材と同等の学習効果があったことになる。しかし学習

形式の差がどのような面にどんな機能的な効果があったかということは、各項目毎の詳しい分析とさらにいくつかの追加実験を必要とする。また B と A の標準偏差がよく似ていることから B から A に分布が平行移動しているように見えるが、D の分散が B, A と同じくらいの大きさで開いているので、この学習の過程は個人について一様でないことがわかる。

(第 5.3 図参照)

第 5.3 図 BT, AT およびの D の分布 (Y 校 $n=177$ の例)



つぎにこの学習効果の個体差を相関法によって解析しよう。

5.2 相関法による学習効果の検討

B と A の相関係数 $r(A \cdot B)$ は授業の前後に同一テストをおこなって得た得点の相関であるから一般にかなり高い正の相関が期待される。また、B と D については、BT によくできたものほどテストに表われる学習効果 D は少なくなるから負の相関が期待されよう。学校別にまとめたこの 2 つの相関係数は第 5.3 表の如くである。 $r(A \cdot B)$ は同じテストの繰り返えしであるにもかかわらずあまり高くない。特に N 校の場合は著しく低い。これは BT と AT との間になされた学習に大きな個体差があったためと考えられる。このことはテストに表われた学習効果 D を学習の個体差と一応考えて、これが B と A の間にどのように働いているかを解析的に考えてみるとよい。

$A=B+D$ であるから $r(A \cdot B)$ を B と D の統計量から解くことができる。すなわち、

$$\begin{aligned} r(A \cdot B) &= \frac{\overline{A \cdot B} - \bar{A} \cdot \bar{B}}{S(A) \cdot S(B)} = \frac{\overline{(B+D) \cdot B} - (\bar{B+D}) \cdot \bar{B}}{S(B+D) \cdot S(B)} \\ &= \frac{S^2(B) + r(B \cdot D)S(B)S(D)}{S(B)\sqrt{S^2(B) + S^2(D) + 2r(B \cdot D)S(B)S(D)}} \dots\dots\dots(1) \end{aligned}$$

この式を D の変動についてみていこう。学習効果が各個人について全くないときは $D \equiv 0$ で $S(D)=0$ 明らかに $r(A \cdot B)=1$ 、また学習効果が各個人についてすべて等しい場合は $D \equiv C$ で $S(D)=0$ となり $r(A \cdot B)=1$ 。学習効果が事前テストの学力 B に比例してみられる場合 ($D \equiv kB$) も $r(A \cdot B)=1$ となる。A, B の相関係数が実際 1 に近づく場合は学習効果 D が BT の学力 B に比例して生ずるという構造で起ることが多いであろう。

$r(A \cdot B)$ の正負については式 (1) の分子の符号に注意すれば $r(B \cdot D) > 0$ なるときは $r(A \cdot B) > 0$ であり、 $r(B \cdot D) < 0$ のときは $\frac{S(B)}{S(D)} \cong |r(B \cdot D)|$ によってきまり、B, D の標準偏差の比が $|r(B \cdot D)|$ より大きくなるときは $r(A \cdot B)$ は正、この比に等しいときは $r(A \cdot B)=0$ である。この場合は B の分散が B と D の共分散の絶対値に等しくなった場合である。 $\frac{S(B)}{S(D)} < |r(B \cdot D)|$ ならば $r(A \cdot B)$ は負になる。当然 $|r(B \cdot D)| \leq 1$ であるから $S(B) > S(D)$ のときはつねに $r(A \cdot B)$ は正である。 $r(B \cdot D)=1$ ならば $r(A \cdot B)=1$ であり、 $r(B \cdot D) > 0$ ならば $r(A \cdot B) > 0$ であるが、

$r(B \cdot D) = 0$, すなわち学習効果が BT の学力とは無関係に生じている場合でも $r(A \cdot B) = \frac{\sigma(B)}{\sqrt{\sigma^2(B) + \sigma^2(D)}} \geq 0$ であって負になることはない。いずれの場合にも学習効果の個体差の変動が少なくなるほど $r(A \cdot B)$ は 1 に近くなる。もし $S(B) \div S(D)$ ならば $r(A \cdot B)$ は $r(B \cdot D)$ だけで示される。

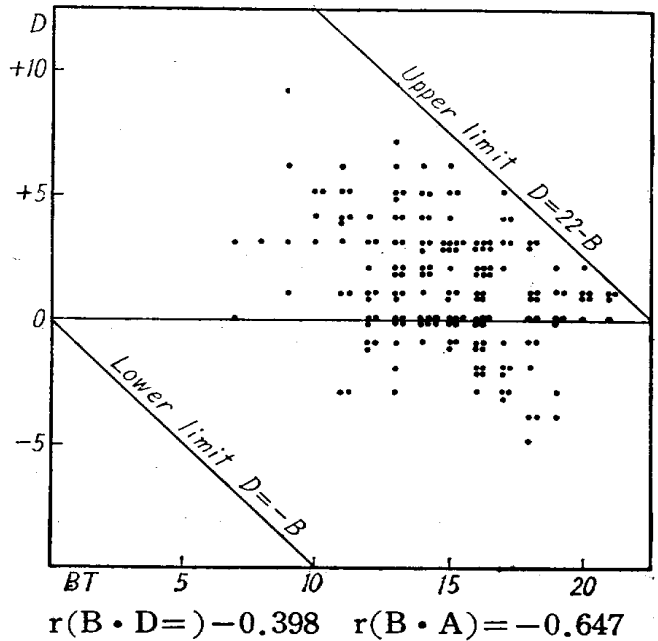
すなわち $r(A \cdot B) = \frac{S^2(B) + S^2(B)r(B \cdot D)}{S(B)\sqrt{2S^2(B) + 2S^2(B)r(B \cdot D)}} = \sqrt{\frac{1+r(B \cdot D)}{2}}$ この場合は $r(B \cdot D)$ の如何にかかわらず $r(A \cdot B)$ は負になることがない。実際, $S(B) \div S(D)$ の場合 $r(A \cdot B)$ をこの式から求めても近似値を得ることができる。

このように $r(A \cdot B)$ は $r(B \cdot D)$ によって一意的に定められる関数であることがわかった。それで $r(B \cdot D)$ をつぎに研究してみることにしよう。前の $r(A \cdot B) > 0$ の統計量の意味は B がよければ A もよくできるであろうという期待を満足しているにすぎなかったが, D の効果を入れて考えると学習効果の構造をいろいろと明らかにすることができた。 $r(B \cdot D) < 0$ の統計量は, B ではできなかった児童ほど学習効果があがるという傾向を示している。

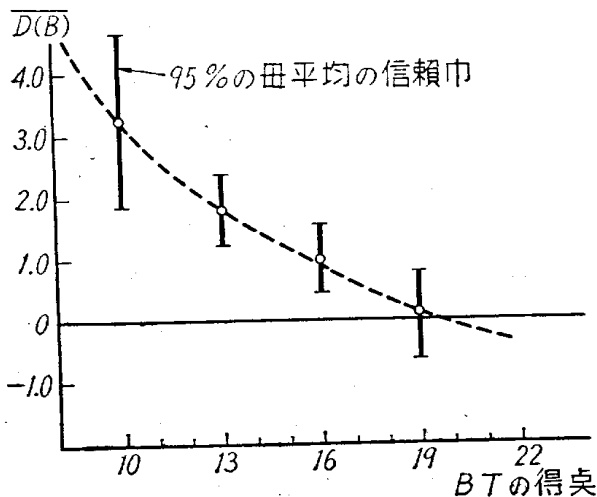
この負の相関を生み出す構造を理解するには D を B の関数とみて $D(B)$ の領域を調べればよい。第 5.4 図に示すように $D(B)$ の領域は B の区間 D から 22 については左上から右下に D の上限 $D = 22 - B$ と下限 $D = -B$ の二直線によって囲まれる巾 22 の帯である。 $D(B) > 0$ なる部分は B の値が増すとともに減少し, 負になる部分は反対に増加していく。このようなテストの採点による枠組の中で表われる学習効果 D は $D(B)$ の領域の正負の部分に無関係ではあり得ない。それで第 5.5 図のように B を一定の区間でまとめてこの区間で D の平均 \bar{D} をまとめてみると BT でできなかったグループほど \bar{D} はよくなっている。これを $D(B)$ の領域に関連づけて考えると一つの stochastic な model を作るができる。すなわち $B = x$ このテストの満点を L として第 5.5 図にあるような任意の B の区間又はその点 x (区間の場合はその代表値をとる) に落ちる n 個の点の垂直分布を考える。この点において正の効果を得る確率を $D(x)$ の正の領域の比率に比例してあたえよう。すると $\Pr\{D(x) > 0\} = \alpha \left(\frac{L-x}{L} \right) = p$, 負の部分に落ちる確率は $1-p=q$ である。一般に α は x の関数 $\alpha(x)$ であるが始めは α を定数と考える。 $p-q = 2\left(\alpha - \frac{x}{L}\right) - 1$ であるから, 学習効果がいつも正に働くことを仮定すれば $p-q > 0$ で $\alpha > \frac{1}{2} + \frac{x}{L}$ でなければならない。 $x \leq L$ であるため $\alpha > \frac{3}{2}$ であれば, つねに $p > q$ である。さて $D(x)$ の実現のためにはこのように定義された確率 $P(x)$ をもつ n 個の独立な試行が関与しているとすれば二項分布のモデルを

得るわけで $D(x)$ の平均 $\overline{D(x)}$ は $np(x)$ に比例すると考えられる。すなわち $\overline{D(x)} = Kn p(x) = Kn \alpha \left(\frac{L-x}{L} \right)$, これは x に関し負の一次式であるから $r(B \cdot D)$ は負になることがわかる。一般には $\alpha(x)$ であり, 本質的には linear な傾向に対する評価である相関係数によって $D(x)$ は定量されるものではない。また, このモデルでは, 学習効果には独立に働くと見做してうる単位を仮定して, これが n 個の試行中いくつ実現するかということ $D(x)$ の領域によって定められる確率によって計量しているのである。 $D(x)$ の分散については同様に二項分布の分散に比例し $\sigma^2\{D(x)\} = \frac{cn\alpha}{L^2}(L-x)x$ となる $\alpha(x)$ を定数とみれば $x=0, x=L$ で $\sigma^2\{D(x)\}$ は 0 になり $x = \frac{L}{2}$ で最大値をとる。実際われわれの資料についても, 適当な B の区間でまとめた D が B が増加するにつれ減少するのがみられるし $D > 0$ なることから学習効果が B のどの区間にも正に働いて $p > q$ となり, しかもかならずしも linear な関係で減少しないことから $\alpha(x)$ の効果が知られる。

第 5.4 図 BT と D の相関図 (Y校の例)



第 5.5 図 B と $\overline{D(B)}$ との関係



分散についても $\frac{22}{2} = 11$ に近づくほど分散は大きくなっている。正答数による得点では $\frac{L}{2}$ 以下の得点が少ないためこの後の分散の減少は明らかでないが, 各問の難易度を考慮に入れて Weighting をおこなうと得点の分布が開いて $\frac{L}{2}$ 以下では分数が減少するのがみられた。一般に BT の得点の両端にいくほど学習効果に関して個体差

が少なくなり, その真中あたりが一番学習の個体差が大きくなることは予想されることであるが, このモデルからもよく理解される。

5.3 項目別学習効果の分析

いままでは22問に対する児童の反応を同等に評価してきたが、各問毎にその正答数を調べてみるとそれぞれ非常にことなっていることがわかる。つまり問題の難易度が非常に違っているわけである。第5.4表はBTにおいて困難度の高いもの、すなわち正答数の少ないものから各問を並べて、項目別学習効果とその有意性を χ^2 テストによって調べたものである。項

第5.4表 項目別学習効果の分析

各項目はBTにおいて困難度の高いもの、すなわち正答数の少ない順にならべてある。

わゴム・グループ n=160 問号 選択肢 題番	正答数			変 化 率 $\frac{D \times 100}{160 - B}$	Dの 有意性	分銅グループ n=168 問号 選択肢 題番	正答数			変 化 率 $\frac{D \times 100}{168 - B}$	Dの 有意性
	B	A	D				B	A	D		
(8~6)3	29	56	27	20.6	**(+)	(8~6)2	35	55	20	15.0	**(+)
(8~6)2	29	43	14	10.7		(9~8)3	38	72	34	26.2	**(+)
(2~2)2	50	55	5	4.5		(8~6)3	49	68	19	16.0	**(+)
(9~8)2	55	80	25	23.8	**(+)	(2~2)2	52	52	0	0.0	
(9~8)3	57	82	25	24.3	**(+)	(9~8)2	64	82	18	17.3	*(+)
(6~4)1	70	67	-3	-3.3		(6~4)1	70	76	6	6.1	
(5~9)2	85	125	40	53.3	**(+)	(5~9)1	87	156	69	85.2	**(+)
(7~5)	85	137	52	69.3	**(+)	(5~9)2	95	133	38	52.1	**(+)
(5~9)1	95	147	52	80.0	**(+)	(7~5)	97	154	57	80.3	**(+)
(2~2)3	105	118	13	23.6	*(+)	(2~2)3	111	111	0	0.0	
(5~9)3	118	148	30	71.4	**(+)	(3~3)	119	155	36	73.5	**(+)
(6~4)4	118	110	-8	-19.0		(6~4)4	124	119	-5	-11.4	
(3~3)	121	139	18	46.2	**(+)	(5~9)3	132	151	19	52.8	**(+)
(6~4)3	126	122	-4	-11.8		(6~4)3	139	128	-11	-37.9	
(2~2)1	132	130	-2	-7.1		(8~6)1	140	150	10	35.7	
(1~7)1	144	152	8	50.0	*(+)	(2~2)1	143	126	-17	-68.0	**(-)
(6~4)2	144	152	8	50.0	*(+)	(9~8)1	151	137	-14	-82.4	**(-)
(8~6)1	144	138	-6	-37.5		(6~4)2	152	158	6	37.5	
(2~2)4	145	154	9	60.0	*(+)	(2~2)4	155	162	7	53.8	
(1~7)3	147	157	10	76.9	**(+)	(1~7)3	157	160	3	27.3	
(9~8)1	150	144	-6	-60.0		(1~7)1	157	155	-2	-18.2	
(1~7)2	152	152	0	0.0		(1~7)2	159	157	-2	-22.2	

目別の正答数はその問題に正解した児童の数になる。2つのグループについて22問中16問は D が正で正解者が増加している。このうち「わゴム」グループでは13問について有意に増加し、分銅グループについても9問が有意に増えている。ATにおいてかえって正解が減っている項目が両方のグループに6問づつあるが有意な減少を示しているのは分銅グループの2問だけである。学習効果の一つの尺度としてBTでその問題ができなかったもののうち、どれぐらいATでできるようになったかという比率 $\frac{D}{N-B} \times 100$ (但し N は総児童数) を計算した。これを学習の変化率としよう。大体BTで難しい問題はATでもやはり難しく、正答数はふえているが変化率は大きくはない。困難度が中程度(正答数が80から100ぐらいのところ)では正答数が急に増加し変化率も高くなっているが、問題がやさしくなるとかえって正答数が減って負の変化率が出る項目もあり不規則なゆれがみられる。

これを第4節の問題の内容をみながら考えてみよう。まず困難度の高い(8~6), (9~8)の問題はわれわれの「わゴム・ボード」の学習とこれに対応した分銅による学習に関するもので、いずれも、選択肢1を除いた2と3である。困難度が高かったために変化率はあまり大きくはないが、Dの値はかなり多く、「わゴム」グループで(8~6)2, (8~6)3, (9~8)2, (9~8)3の問題はそれぞれ14, 27, 25, 25人と増加しており、分銅グループでも同様に20, 19, 18, 34と増えている、14というDを除いてはすべてその値は有意である。「わゴム」グループは分銅をつかった(9~8)の問題を実際に授業でやっていないし、「分銅」グループは(8~6)の「わゴム・ボード」を使用していないが、2つのグループとも、実際に授業でやらなかったこれらの問題にすべて有意の差で学習効果を示していることは、この2つの形式の学習が転移しうることを示している。同じ対応にある(8~6)1, (9~8)1の問題は非常にやさしくBTにおいて「わゴム」グループでは160人中それぞれ、114人(90%), 150人(94%)が正解している。これは等しい力が左右対称に働いていることが子供たちの感じ方や日常経験を通じて

理解しやすかったのであろう。

この理解があまり日常的感覚的なものによっていたためか、学習の後に
かえって正答数が減るといった結果になっているのも興味あることである。
問題で最も学習効果を上げ高い変化率を示しているのは両グループとも
(5~9), (7~5), (3~3) である。(5~9)1,2,3は変化率が52.1~85.2%
に上り、Dの値も19~69を示しており、すべて有意である。これは「てこ」
の力の3点の最も基礎的な問題がこの学習は「わゴム」によっても分銅に
よっても一応完成されたと考えてよいであろう。ATにおける「わゴム」
グループの(5~9)1,2,3の正答率は92, 78, 93%であり、分銅グループは
それぞれ93, 79, 90%である。(3~3), と(7~5)はそれぞれ単一の問題
であるが、(3~3)は子供たちの日常経験から考えるものであり、(7~5)
は遊びの段階から少し実験的な要素を含むものである。いずれも力のつり
合いの問題であるが、(3~3)では力は重力として働き(7~5)では張力
として働いている。2つのグループによる学習効果の差はみられなかった
が、特に(7~5)には高い変化率と顕著な学習効果がみられる。始めから
非常によくできていた問題(1~7)を除いて、あまり表面的な学習効果の
みられないものに(2~2)と(6~4)がある。この場合も、力が左右対称
に働いている(2~2)4および(6~4)4は比較的できているが、学習効果
は少ない。左右対称でないつり合いの(2~2)2と(6~4)2は困難度が高く
学習効果も上っていない。

これらの結果は、われわれにとって少し期待はずれのところもあるが、
いずれも児童が日常生活を通して体験する力の働きを実験的な試行を加え
て検討し、一つの原理にまで到達するという学習には複雑な過程があるこ
とを示していると思う。

すでに第5.4表について論じてきたように、学習効果を測定する場合、BTにお
いてすでによくできている問題がATでできるようになると、BTにおいて皆
できなかった問題が学習の結果できるようになったときでは意味が全く異なる。テ
ストによる学習効果の測定では、いままでできにくかった問題が学習によってよく
できるようになることを期待しているわけであるから、このような傾向をはっきり

表わすように採点することが望ましい。そのために問題の困難度（誤答数で測る）に比例して各問に Weight をつけてみるができる。例えば、つぎのような k 問

小 問	1	2	3	.....	i	.....	k
誤答数	e_1	e_2	e_3	.....	e_i	.....	e_k
weight	w_1	w_2	w_3	.....	w_i	.....	w_k

よりなるテストの各問毎の誤答数が集計されているとすれば i 番目の小問の weight w_i は

$$\frac{e_i}{\sum_{i=1}^k e_i} = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad \text{より} \quad w_i = \frac{\sum_{i=1}^k w_i}{\sum_{i=1}^k e_i} e_i = \frac{100}{E} e_i \quad \text{となる。 (但し}$$

テストを100点満点として $\sum w_i = 100$ とし、 $\sum e_i = E$ とした) このように各問に weight をあたえて採点すると、BT で皆ができなかった問題ほど多くの weight がかかっているため、学習の結果 AT でできるようになれば得点は顕著に上ることになる。また、BT でできの悪かった問題は AT でもよくならなかつたとすれば、意図した学習効果がなかつたわけであるから、他のやさしい問題が少しできたにせよ AT の得点はほとんど伸びないことになる。各問毎の誤答数の分布がこのように得られていれば weighting したときの平均はすぐに求められる。すな

$$\text{わち} \quad \bar{X}' = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k w_i f_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k \frac{100}{E} e_i f_i = \frac{100}{NE} \sum_{i=1}^k e_i (N - e_i) = 100 - \frac{100}{NE} \sum e_i^2$$

である。もし第 5.4 表のように正答数であたえられている場合なら

$$\bar{X}' = \frac{100}{NE} \sum_{i=1}^k (N - f_i) f_i = \frac{100}{KN - F} \left(F - \frac{\sum f_i^2}{N} \right) \quad \text{但し} \quad F = \sum_{i=1}^k f_i, \quad \text{である。このよ}$$

うに weight をかけると第 5.1 表の資料は第 5.5 表のようになる。BT でできなかった問題が AT でよくできるようになっていればそれだけ学習効果 D は大きく拡大されてでてくることになり、個体差の変動も大きくなり、いろいろな特性が表われてくるようになる。このように学習効果を拡大して、もう少し詳しく調べることも可能であるが、本研究の第 1 報ではこれを割愛した。

第 5.5 表 Weight をかけたときの B, A, D の統計量

Y 校	Class	Before Test			After Test			Difference(D=A-B)		
		B	S ² (B)	S(B)	A	S ² (A)	S(A)	D	S ² (D)	S(D)
1	(n=42)	53.41	360.60	18.99	60.86	355.38	18.85	7.45	193.68	13.92
2	(n=46)	47.39	298.27	17.27	55.50	320.69	17.91	8.11	244.64	15.94
3	(n=47)	47.47	286.00	16.91	56.77	308.94	17.58	9.30	207.73	14.41
4	(n=42)	50.98	227.47	15.08	62.10	331.50	18.21	11.12	231.00	15.20
N 校	Class	Before Test			After Test			Difference(D=A-B)		
		B	S ² (B)	S(B)	A	S ² (A)	S(A)	D	S ² (D)	S(D)
1	(n=33)	47.24	117.86	10.86	60.12	273.10	16.52	12.88	370.71	19.26
2	(n=39)	43.23	228.93	15.13	59.72	216.86	14.73	16.49	256.00	16.00
3	(n=39)	44.95	197.15	14.04	61.90	392.20	19.80	16.95	346.14	18.60
4	(n=40)	45.43	223.29	13.93	63.85	219.83	14.83	19.73	283.80	16.85

VI グループの等質性

対照群法で実験する場合、比較しようとする2つのグループ（この場合は「わゴム」グループと「分銅」グループ）が、実験条件（この場合は、「わゴム」と「分銅」という使用教具教材の差と、教師実験と児童のグループ実験という学習形態の相違）を除いては等質であることが要求される。ここでは、つぎの諸点から各グループを比較してみた。

6.1 児童数

第3.1表よりクラス別、男女別に検定をおこなったが有意差はみとめられない。

$$\chi^2 = 3.155 \quad df: 7 \quad NS$$

6.2 実験授業担当教師

Y校は「分銅」，「わゴム」両グループとも実験者側の1名が指導し，N校はN校の理科担当教師1名が両グループを指導した。

6.3 使用教具教材

第4節にも述べた通り，「分銅」「わゴム」両グループは「槓桿」と「わゴム・ボード」という実験用教具教材の差を除いては，ほぼ同一の学習展開をおこなっている。例えば，導入段階でのフェルト・ボードによる学習は，指導案からも，実験授業中の時程観察からも各グループを通じて，殆んど差はみとめられない。

6.4 児童の校外学習（塾や家庭教師についての経験の有無）

2ヶ校，8クラスの度数分布を第6.1表に示す。2×4分割で χ^2 検定の結果，N校の分布に5%レベルで有意差がみとめられた。

第6.1表 児童の校外学習（塾，家庭教師についての経験）

学 校 組	Y				N			
	1	2	3	4	1	2	3	4
塾や家庭教師 } 有 } 無 } についての経験	24	21	31	21	20	28	28	17
	18	25	16	21	13	11	11	23
計（クラス人数）	42	46	47	42	33	39	39	40

$$\chi^2 = 4.398 \quad NS$$

$$\chi^2 = 9.607^*$$

6. 5 家庭での学習

家庭の教育関心度をみる手掛りとして、父兄がどの程度児童の勉強をみてくれるかを児童自身に評価させ、第 6.2 表を得た。この項目においては Y 校の分布に 5% レベルで有意差がみとめられる。第 6.2 表で反応カテゴリーの(1)あるいは(2)と回答したものについて、「誰が主にみてくれるか」を質問し、第 6.3 表を得た。これらについて検定の結果、両校に有意差はみとめられなかった。

第 6.2 表 父兄の教育関心度 (家庭でどの程度父兄がみてくれるか)

反応の カテゴリー	学校		Y				N			
	組		1	2	3	4	1	2	3	4
(1)よくみてくれる			15	4	14	7	11	5	9	14
(2)ときどきみてくれる			22	38	29	32	14	29	25	18
(3)あまり ぜんぜん } みてくれない			5	4	4	3	8	5	5	8
計 (クラス人数)			42	46	47	42	33	39	39	40

$$\chi^2=13.045^* \quad \chi^2=11.341 \quad \text{NS}$$

第 6.3 表 父兄の教育関心度 (家庭での勉強は主として誰がみてくれるか)

家庭での勉強	学校		Y				N			
	組		1	2	3	4	1	2	3	4
(1) 母がみてくれる			29	30	30	23	16	29	25	15
(2) 兄姉がみてくれる			20	21	19	12	11	18	11	8
(3) その他			10	15	12	5	12	11	16	9
計 (反応数)			59	66	61	40	39	58	52	32

$$\chi^2=2.393 \quad \text{NS} \quad \chi^2=3.397 \quad \text{NS}$$

6. 6 理科の好嫌

第 6.4 表 理科の好嫌

反応の カテゴリー	学校		Y				N			
	組		1	2	3	4	1	2	3	4
す き			24	34	21	26	15	20	18	21
どちらでもない			13	10	23	14	14	17	18	15
きらい			5	2	3	2	4	2	3	4
計 (クラス人数)			42	46	47	42	33	39	39	40

$$\chi^2=8.520^* \quad \chi^2=0.562 \quad \text{NS}$$

この項目においては Y 校の分布に 5% レベルで差がみとめられた。

6.7 BT の分散

前節「学習効果の測定」で検討された BT の平均値からの解析では、比較すべき母集団の分散が等質であることが一つの前提となっている。8 クラス間の分散の差の有意性は Bartlett 法を用いて検定した結果、有意差はみとめられない。 χ^2 検定の結果は第 6.5 表に示す通りである。

第 6.5 表 Y・N 校クラス間の分散の差の有意性

	組	SD ²	n	$u^2: SD^2 n/n-1$	$\log u^2$	$(n-1) \log u^2$	$(n-1) u^2: \theta$
Y 校	1	9.522	42	9.751	0.989	40.549	
	2	7.982	46	8.158	0.912	41.040	
	3	8.972	47	9.169	0.962	44.252	
	4	5.800	42	5.939	0.774	31.734	
N 校	1	5.087	33	5.245	0.720	23.040	
	2	7.575	39	7.772	0.890	33.820	
	3	8.533	39	8.755	0.943	35.834	
	4	5.899	40	6.052	0.783	30.498	

$$\sum u^2: 60.841$$

$$\sum (n-1): 320$$

$$\sum \log u^2: 6.972$$

$$\sum (n-1) \log u^2: 280.767$$

$$\sum (n-1) u^2: 2464.068$$

$$\chi_0^2 = 2.3026 \left\{ \sum (n-1) \log \frac{\sum \theta}{\sum (n-1)} - \sum (n-1) \log u^2 \right\} = 6.339 \quad \text{df:7} \quad \text{NS}$$

6.8 BT の平均値

相互に比較すべき 8 クラスにおける BT の平均値を分散分析法を用

第 6.6 表 分散分析表 1. (Y・N 校 8 クラスの BT における平均値の差の有意性)

変 動 因	平 方 和	自 由 度	平 均 平 方
級間 (学校差. 学級差)	112.999	7	16.143
級内 (個体差. 実験誤差)	2464.437	320	7.701
全体	2577.436	327	

$$F_0 = 2.096*$$

第6.7表 分散分析表2. (Y校4クラスのBTにおける平均値の差の有意性)

変 動 因	平 方 和	自 由 度	平 均 平 方
級間 (学級差)	27.871	3	9.290
級内 (個体差, 実験誤差)	1432.378	173	8.280
全体	1460.249	176	

$$F_0 = 1.122 \quad \text{NS}$$

第6.8表 分散分析表3. (N校4クラスのBTにおける平均値の差の有意性)

変 動 因	平 方 和	自 由 度	平 均 平 方
級間 (学級差)	15.822	3	5.274
級内 (個体差, 実験誤差)	1032.059	147	7.021
全体	1047.881	150	

$$F_0 = 1.331 \quad \text{NS}$$

いて検定した結果, 5%レベルで有意差がみとめられた(第6.6表)。このことは, 8つのBTの平均値において学級差あるいは学校差があることを意味する。第6.7表, 第6.8表は, Y・N校それぞれについて4クラスにおけるBTの平均値の有意性を検定した結果である。この分析からは, Y・N校それぞれについて学級差はみとめられない。

6.9 理科標準学力テストの分散と平均

Y校においてはBT施行前に「田研式標準学力テスト——理科」をお

第6.9表 Y校4クラスにおける理科標準学力テストの分散の差の有意性

組	SD ²	n	u ² : SD ² n/n-1	log u ²	(n-1) log u ²	(-1) : θ
1	72.057	42	Σu ² : 301.093	Σ log u ² : 7.499	Σ(n-1) log u ² : 323.955	Σθ: 13022.785
2	88.985	46				
3	61.487	47				
4	71.801	42				

$$\chi_0^2 = 1.565 \quad \text{df:3} \quad \text{NS}$$

こなったことは前に述べた。4クラスについて分散および平均の差の有意

第6.10表 Y校4クラスにおける理科標準学力テストの平均の差の有意性

変 動 因	平 方 和	自 由 度	平均平方
級間(学級差)	73.092	3	24.364
級内(個体差, 実験誤差)	13025.224	173	75.290
全体	13098.316	176	

$$F_0 = 3.090 \quad \text{NS}$$

性を前述の Bartlett 法, 分散分析法で検定した結果, それぞれについて有意差はみとめられなかった。(第6.9表, 第6.10表)。

6.10 理科標準学力テストと BT の相関

Y校4クラスについて, 理科標準学力テスト(ST)とBTの相関を Pearson の公式より求めた。(第6.11表)

第6.11表 BTとSTの相関

組	r(BT・ST)		
1	0.54	} CR = 1.605	NS
2	0.67		
3	0.44		
4	0.45		

検定の結果, 相関の最大値および最小値間に有意差はみとめられなかった。

以上10項目に分けて, Y・N両校 計8クラスの等質性をみてきたわけであるが, 基礎資料として収集した「児童の校外学習」, 「家庭での学習」, 「理科の好嫌」の3項目に学級差がみとめられた。その他の項目については, Y・N校それぞれについて, 学級差はみとめられず, ほぼ等質といえよう。

VII 作製テストの妥当性と信頼性

7.1 テストの項目別妥当性

ここでは各項目の弁別性をとりあげた。すなわち全被験者328名のBT

第7.1表 項目

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
問題番号	1~2	1~7	1~7	9~8	2~2	6~4	8~6	2~2	6~4	5~9
選択肢	2	3	1	1	4	2	1	1	3	3
正答数	311	304	301	301	300	296	284	275	265	250
正答率 p	.948	.927	.918	.918	.915	.902	.866	.838	.808	.762
$q = 1 - p$	.052	.073	.082	.082	.085	.098	.134	.162	.192	.238
pq	.049	.068	.075	.075	.078	.088	.116	.136	.155	.181

における総合得点分布を基準として、総得点の高いものから順次100名、(約30%)総得点の低いものから100名を選出し、それぞれGグループ、Pグループとした。つぎに各項目(22項目)について、G、P両グループそれぞれの正答、誤答分布を 2×2 分割により χ^2 検定をおこなう。各セルの理論度数が5以下の時はYatesの修正をほどこすか、2項分布表を用いて計算した。その結果1項目を除いた全項目について1%レベルでG、P両グループの分布に有意差がみとめられた。(問題(1)~(7)3のみ5%レベル——「IV 比較研究授業の実施」参照)

なお附帯事項としてG、P両グループと性別との関係を調べた結果、5%レベルで有意差がみとめられたことを附記しておく。すなわちBTの総得点の高いグループに男子が多く、Pグループに女子が多いという傾向である。

7.2 テストの信頼度係数

量的分析は、Kuder・Richardson 公式からおこなった。まず22項目それぞれについて、正答率 P を求め(第7.1表)、BTの分散 S^2_x から次式により計算した。

求める信頼度係数

$$r_{xx} = \left(\frac{k}{k-1} \right) \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^k P_i (1-P_i)}{S^2_x} \right]$$

k : 小項目の数 (22)

別 正 答 率											
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
6~4	3~3	2~2	5~9	7~5	5~9	6~4	9~8	2~2	9~8	8~6	8~6
4		3	1		2	1	2	2	3	3	2
242	240	216	182	182	180	140	119	102	95	78	64
.738	.732	.659	.555	.555	.549	.427	.363	.311	.290	.238	.195
.262	.268	.341	.445	.445	.451	.573	.637	.689	.710	.762	.805
.193	.196	.225	.257	.247	.248	.245	.231	.214	.206	.181	.157

 $\sum qp$
3.621

$$S^2_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \chi_i^2 - \left(\frac{\sum \chi_i^2}{N} \right)^2$$

この結果，われわれの作製したテストの信頼度係数 0.564 を得た。この数値は必ずしも高いとはいえないが，妥当性のあるテストバッテリーを増すことによって，信頼度を高めることが可能である。この点はつぎの実験で検討せねばならない。また信頼度係数は BT の分散を小さくすることによって高めることもできる。従って，被験者の選択についてもつぎの課題となろう。

VIII ま と め

「てこ」「滑車」の原理の説明にこれまでおこなわれてきた方法は、「分銅」を使用し力点，作用点にはたらく力の大小関係を把握させることであった。われわれは従来の指導方法を検討した結果，重力が関係するこれらの垂直方向の実験および実験装置に種々の難点を見出した。例えば児童のグループ実験には，費用の点，原理と日常生活に使用する道具との対応の困難な点などに問題があり，特に支点が端にある場合，槓桿では量的測定が他の操作を必要とすることなどがあげられる。

これらの問題を解決するために，われわれは「力の釣り合い」や「てこ」の学習が分銅のかわりに「わゴム」を使用した張力による水平方向の

実験でも可能なことを確かめた。

けれども従来これらに関しておこなわれてきた垂直方向の実験をボードを使用した水平方向の実験で置換する場合、児童の思考過程にどのような影響を及ぼすかとか「分銅」と「わゴム」という質的に異なる教具教材の有効性などについて検討せねばならない。

われわれは主として後者について、小学校2ヶ校、4年生児童8クラス計328名を用い、対照群法により実験をおこなった。

手続きとしては、「わゴム」教材のみで学習を進めるクラスと「分銅」教材のみで学習を進めるクラスを設定し、それぞれについて、児童のグループ学習と、教師の提示実験という2つの学習形態をとった。

実験の結果見出された事項、および今後検討されねばならぬ諸点はつぎの通りである。

1. テストの諸結果に学校差がみとめられたが、「わゴム」教材による学習は、児童のグループ実験でも、教師の演示実験による場合でも、従来の槓桿による教材と同等の学習効果のあることがわかった。しかし、学習形態の相違がどのような面でどのような機能的効果をもたらすかは今後の実験で明らかにされねばならない。

2. 相関法により、学習効果の個体差を検討した結果、「てこ」の学習内容について理解度の浅かった者（事前テストの下位グループ）に著しい学習効果がみとめられた。

3. 「わゴム」で思考する問題、「分銅」で思考する問題が同時に提示されているテスト項目については、項目別分析の結果、この2つの学習形態が転移し得ることを示した。

本研究ではわれわれの意図した目的は充分解明されなかったが、今後はここで得られた結果と考察に基づいて更に詳しい継続的な研究によって「力」の学習の構造的な面を明らかにし、児童の発達段階に応じた最も有効な教材と学習形態を追求していきたい。このためには、「力」という概念が児童の日常経験のなかでどのように把握られ、発展するかという問

題，またどのような学習形態で実験をおこない原理的な把握に導く学習を構成していくかについて，具体的な教具教材を用いて追試していかなければならない。(山柁雅信一本学非常勤講師，栗原敦雄一本学助手，藤田恵壘・山田雅夫一本学大学院学生)

本研究にあたっては，多くのかたがたから多大の協力と示唆をいただいた。特に実験装置の設計，製作では構溝利男氏（関東学院大学）の資料提供があり，渡辺元校長（東京都墨田区立横川小学校）からは，実験期間を通して数々の教示を賜った。また，鈴木善昭氏（墨田区立第二吾嬬小学校）は追試実験を心よく引受けてくださった。実験校としては，東京都墨田区立二葉小学校，横川小学校，第二吾嬬小学校の協力を得ることができた。関係諸先生方に心から謝意を表す。

A Teaching Material for the Study of Lever with the Use of a Simple Experimental Device and Its Evaluation

(I)

(English Résumé)

Masanobu Yamamasu, Atsuo Kurihara
Keiji Fujita, and Masao Yamada

In the teaching of the principle of levers and pulleys, weights and balances have been used as conventional teaching aids. We have found, however, that we can use rubber bands instead of weights for this purpose, and have devised a simple experimental board using ordinary rubber rings and a scale by means of which pupils can perform various kinds of force experiments. (Fig. 2.7) By replacing weights with rubber bands we have found that this board is of advantage in presenting illustrative examples of force which an ordinary weight-balance apparatus fails to present. For instance, a lever model with its fulcrum at one end can be easily made, and even the magnitude of the force exerted at the fulcrum can be shown by the number of stretched rubber bands. (Fig. 2.6) Besides being economical and easy to handle children soon get familiar with the apparatus because of their play experiences with rubber bands. It is to be noted that in the learning of force by our device, force is regarded as a dynamic tension produced by the expansion of rubber, rather than as a static gravitational force exerted by the suspended weights. Thus we have introduced a new learning situation.

The purpose of the present study was to attempt to construct and evaluate a more effective apparatus for the teaching of force and equilibrium. We have been also concerned with the sequence of the study in close relation to children's understanding of force through their everyday activities.

A preliminary study was made of 147 pupils (4th and 6th grades) at an elementary school. The procedures of the experiment and evaluation test were revised on the basis of an analysis of the findings in the preliminary study, and a later, full-scale experiment (using a "before-after" design) was made of 328 fourth-grade pupils of two different schools, each divided into four classes. In each school, two classes studied the principle of the lever with the rubber band apparatus, one being conducted mainly through teacher's demonstration experiments and the other through pupils' group experiments. The other two classes were used as control groups to cover the same subject using conventional apparatus (weights and balances). Several tests were given to examine the homogeneity of the four classes, and it was found that there were no significant differences among the classes.

The findings obtained from the tests and the problems suggesting further investigation are summarized as follows :

- 1) The analysis of the before and after tests revealed that there was no significant difference in the effectiveness of learning between the "rubber band" groups and the "weight" groups, although there was a difference in the amount of learning between the two schools. This means that our teaching device was as effective as the conventional weight-balance apparatus. The precise functional difference in effectiveness of the two different approaches is still to be investigated further through continuing studies having more detailed design.
- 2) A correlation analysis, especially devised for this study, showed that there was a considerable amount of individual difference in the gains between before and after tests. The scores of the before test were negatively correlated with the gains. This means that the lower ability group in the before test made greater gains through this experiment.
- 3) An item analysis for the paired problems, one using rubber bands and the other with weights, indicated that these two types

of learning were transferable, because both the "weight" and the "rubber band" groups equally gained on the problems using the material (rubber band or weight) which they did not actually use in the class.