

実験観察における学習過程の研究

実験観察における学習過程の研究

— 目 次 —

1. 総 論	107
1.1. 研究の趣旨	107
1.1.1. はじめに	107
1.1.2. この研究をとりあげた理由	108
1.1.3. この研究のねらい	110
1.2. 研究の方法	111
1.2.1. 学習過程分析の観点	111
1.2.2. 観察を主とする実験的方法	118
1.2.3. 対象児童生徒	120
1.2.4. 研究素材の選定	121
1.2.5. 研究組織	122
1.3. この研究でとりあげた学習材	122
2. 学習過程分析の実際	124
2.1. 直方体の坐りに関する実験観察	124
2.1.1. 研究計画	124
a 実験観察の内容	124
b 学習過程分析の観点	125
c 学習過程分析の方法	125
d 対象児童生徒	126
e 導入, 目的指示および終末テスト	126
2.1.2. 観察と分析の具体例	127
a 観察記録	127
b 事例の解釈	127
2.1.3. 結果の総合的解釈	128
a 問題的思考傾向	130
b 発達の観点による解釈	134
2.2. 湯のわき方に関する実験観察	134
2.2.1. 研究計画	134
a 実験観察の内容	134

b	学習過程分析の観点	135
c	学習過程分析の方法	136
d	対象児童生徒	136
e	導入, 目的指示および終末テスト	136
2.2.2.	観察と分析の具体例	137
a	観察記録	137
b	事例の解釈	137
2.2.3.	結果の総合的解釈	139
a	問題的な思考傾向	139
b	発達の思考傾向	141
2.3.	絃の張力, 太さ, 長さと言の高低に関する実験観察	144
2.3.1.	研究計画	144
a	実験観察の内容	144
b	学習過程分析の観点	145
c	学習過程分析の方法	145
d	対象児童生徒	146
e	導入, 目的指示および終末テスト	146
1.3.2.	観察と分析の具体例	147
a	観察記録	147
b	結果の解釈	149
2.3.3.	結果の総合的解釈	154
a	問題的思考傾向	154
b	発達の思考傾向	156
2.4.	“凸レンズによる実像の結び方”に関する実験観察	157
2.4.1.	研究計画	157
a	実験観察の内容	157
b	学習過程分析の観点	159
c	学習過程分析の方法	161
d	対象児童生徒	162
e	導入, 目的指示および終末テスト	162
2.4.2.	観察と分析の具体例	164
a	観察記録	165
b	事例の解釈	165
2.4.3.	結果の総合的解釈	168
a	問題的思考傾向	168
b	発達の考察	174

2.5. てこのつりあいに関する実験観察	176
2.5.1. 研究計画	176
a. 実験観察の内容	176
b. 学習過程分析の観点	177
c. 学習過程分析の方法	178
d. 対象児童生徒	178
e. 導入, 目的指示および終末テスト	179
2.5.2. 観察と分析の具体例	180
a. 観察記録	180
b. 事例の解釈	182
2.5.3. 結果の総合的解釈	184
3. 学習過程にみられた問題的事例	189
3.1. つるまきばねののびに関する実験観察	189
3.1.1. 実験内容	189
3.1.2. 問題的事例	190
3.2. 三つの力のつりあいに関する実験観察	191
3.3. 凸レンズの焦点距離と像の見え方との関係に関する実験観察	194
3.4. 振子の等時性に関する実験観察	196
3.5. 物体にはたらく浮力に関する実験観察	198
4. 実験観察学習における教材研究の方向	201
4.1. これまでの研究で得た成果	201
4.2. 実験観察教材研究今後の方向	202
4.3. 実験観察教材分析の観点	203
4.3.1. 実験教材分析の論理的観点	204
4.3.2. 実験教材分析の心理的観点	206
4.4. おわりに	209

1. 総論

1.1. 研究の趣旨

1.1.1. はじめに

この研究は、昭和28年、29年の二年間にわたって実施した“理科の単元学習における問題把握と発展の契機”に関する研究を基盤とし、その発展として昭和30年、31年に、当研究所の実験学校（西蒲原郡和納小学校、中蒲原郡両川中学校）との協力によりおこなつたものである。

この報告書では、理科の実験観察指導を改善するための研究方向について、一つの提案をするつもりである。その提案とは“実験観察の学習過程の中から具体的な思考上の問題点をひろい出し、それを集積することが、学習経験の発展的配列やそれに応ずる指導法を改善するための実践的方向ではなかるうか”ということである。

この研究は、以上のような研究方向に対し一つの窓口をのぞいてみたものであり、その意味では、いわばさぐりを入れてみた段階であつて、未完成なものである。現場で実験観察の指導に心をくだいていられる教師諸兄が、この報告書により何等かの暗示を得られ、具体的資料集積の上に立つた実験観察指導改善の方向に進まれることを期待して、この報告書を作成したわけである。

この報告書は、つぎのような構成によつて作られている。

第一章、総論では、研究の趣旨、方法、内容について、研究全体の構想を見通すことができるようにした。二章、三章では、できるだけ具体的な資料をあげることにより、この研究の実際を紹介することに努めたつもりである。第二章“学習過程分析の実際”では、児童生徒の実験観察における学習過程をどのようにして分析し解釈したかの具体例をあげ、研究方法を理解していただけるように配慮した。第三章“学習過程にみられた思考上の問題的事例”では、この研究でとりあげた各学習材毎に、そこでみられた思考上の諸問題を要約して説明した。第四章“実験学習におけ教材研究の方向”では、以上の研究結果からみた教材研究の観点をあげ、実践的研究の方向に対する試案を述べたものであ

る。

1.1.2. この研究をとりあげた理由

小・中学校における理科の実験観察については、改善しなければならない、いくつかの問題点がある。これらの問題点とその解決策について、われわれがどのように考えているかは、この研究をとりあげた理由となる。

まず、実験観察学習の教育的な効果を高めるために解決を必要とする問題点について考察してみよう。

○教材の発達的な配列を各学習領域について、たしかなものに再構成することが必要である。

同じような学習内容が各学年にわたって配置されているため、それぞれの学年でどの程度に取扱つたらよいのか不明確であるとか、ある学習領域については配列が兎鶯的であるとか、また学習内容が多すぎてとてもこなさきれない、というような声をよく耳にする。そして実際指導に当つては、毎学年同じ内容を同程度に取扱つてみたり、学習内容をこなすことを急ぐあまり、教科書中心講義中心の指導がくりかえされたりして、経験の空転や、表面的で深まりのない学習がおこなわれやすい。このような現状は、理科教育本来のねらいが十分達成されていないことを示すものであつて、もつと効率的に理科教育の実をあげる学習内容の構成が要請される所以である。

○実験観察の施設・設備を充実することが必要である

理科学習が即物的におこなわれなければならないことは、最も基本的な要請であつて、これなくして理科教育の目的を果すことは、ほとんど不可能だといえよう。理科教育の盲点が、施設設備の不備にあるあることはだれもが指摘することであり、その改善をはかろうとする時、根本的には財政的な問題に立ち至らざるを得ない。もちろん、理振法その他の施策により、漸次充実の方向に進んでいるとはいえ、その歩度は必ずしも大きいものではない。また自作の器具によつて、この問題の解決に迫ろうとする営みや、基礎的実験の設定によりそれに応ずる設備の拡充をはかろうとする動きが真剣におこなわれていることは、財政的な障害をのりこえて、少しでも理科教育の実をあげようとする努力

のあらわれとして高く評価されなければならない。

ところでどのような設備を用意し、どのように利用するかという点になると、その教育的な根拠は必ずしも明確になつていないといえないように思われる。この点もまた施設設備の充実と並行して十分な研究を要する課題である。

○実験観察が児童生徒の心理的な学習過程に即応しておこなわれ るよう指導のあり方を改善することが必要である

実験観察学習がしだいにとり入れられようとしているにもかかわらず、実際におこなわれている指導場面を見るとき、なおつぎのような欠陥が反省される。それは、実験用具を操作することの興味や好奇心が先に立ち、しかもそれのみに終始してしまうような実験学習、実験手順がつぎつぎと教師によつて指示され児童生徒による思考の働きがみられない実験学習、手品をみるような好奇心のもとにおこなわれる教師実験などである。

このような実験観察学習では、その学習過程の中で、児童生徒による問題解決の思考作用がはたらいっているとはいいがたいのであつて、実験観察がねらう教育的な効果をはたし得たとはいわれない。さらに実験観察における問題解決の構造を明らかにし、それを具体化して指導法の改善をはかる必要が認められるのである。

以上、実験観察学習に関する問題点について考察を加えたのであるが、われわれは、これらの問題点解明の方向を、学習過程の心理的分析に求め、それぞれの学習材に即して思考上の諸要因を具体的に探求し、それらを集積して問題点解明のための基礎資料とすることにしたのである。そのためには単なる質問紙法による能力調査ではなく、児童生徒が実地におこなつている実験観察の中から思考上の諸要因を見出すという方法がとられなければならないと考えた。

われわれが、実験観察の実際の場合から研究資料を採集しようとした理由としては、一般的に述べられている思考の発達や学習心理、学習指導の心理等を直接に適用して配列や指導法を改善しようとしても、観念的な机上の作業にしかならないと考え、むしろ一般的に述べられている学習心理を窓とし、それぞれの教材やその領域について、具体的な思考の傾向や事実をとらえることが最も

たいせつであると判断したからである。またそのためには、質問紙法による静的な調査からではなく、実験観察の活動の中から何とかして求めるものをとらえる方法を組織化することが、今後の実践的研究のためにも肝要なことだと考えたからでもある。

1.1.3. この研究のねらい

以上、研究をとりあげた理由により、既にこの研究のねらうところは明らかであるが、ここでいま一度とりまとめてあげることとする。

この研究でわれわれがねらいとするところは、二つの面からみることができ。第一は、この研究の内容面からであり、第二は、その方法面からである。

a. 内容的なねらい

指導過程との関連構造としてとらえられる実験観察の学習過程に焦点をすえ、問題解決にいたる思考上の諸傾向を明かにすることにより、学習材再配列や指導法の改善に資するものである。

このような目的を指向しながら、具体的にはつぎの事項に関する資料の集積をはかりとする。

- それぞれの教材に即して、その学習過程の様相や、そこに見られる思考上の事例を集積すること
- それぞれの教材について、学習成立をさまたげる思考上の困難点がどんなものであるかを明らかにすること
- 以上の二項が成長発達に伴つてどのように変化するかの様相をとらえること
- 思考心理的な観点からの学習材研究の着眼点を具体化すること

b. 方法上のねらい

上記の内容上のねらいを達成するために、われわれがとろうとする方法は、児童生徒の実験観察活動を直接の研究対象とし、ダイナミックな学習過程そのものの分析によるものである。いままでの学習心理や学習指導の心理が、きわめて厳密な条件統制のもとにおこなわれた研究成果の集積であり、それだけに現場の教師として頼るべき原理であるにはちがいないが、これを日常おこなわれている実際指導の場に直接適用しようとする、その間に踏みこし

切れない溝のあることが感じられる。なんとかして、複雑な学習場面を直接研究の対象として、これを多面的に分析し、先に述べた溝を埋めるような方向に現場の実践的研究が進められないものかと考え、敢えて、そのような研究作業をやってみようと意図したわけである。このような研究作業はきわめて困難なことであつて、客観的な資料として信頼度の高い結果を期待することは無謀に近いようにも思われる。けれども、現場における実践の中から資料を求める方法をなんとか開拓したいというわれわれの念願が、敢えてこのような方法をとらしたものであつて、もちろん、この報告書で述べるのが妥当なものであるとは断言しきれない気持ちもちながらこの研究を進めてきたわけである。多くの教師諸兄の長期にわたる組織的な資料の集積によつてのみ、われわれの意図する方法は客観化されるであろう。われわれの研究作業は、そうした営みの一石として今後各方面の検討をねがわなければならないものである。われわれは以上のことを念願して、敢えて方法上のねらいとするわけである。

またこの研究は以上の方法をとろうとするが故に、その研究領域や、研究結果の客観性、適用範囲等にある限界を認めないわけにはいかない。なおこの点については、第二節の「研究方法」、*「研究の素材」*の項で述べることにする。

1.2. 研究の方法

1.2.1. 学習過程分析の観点

児童生徒がおこなっている実験観察学習を分析しようとするとき、ダイナミックな思考過程の動的な把握を必要とする。しかしながら、それは、実に複雑な要因が総合的に結びあつている過程であつて、簡単にその様相を把握することはできない。この点は研究作業を進めるに当つてもつとも困難を感じたところであり、現段階でも解決しきれない問題の残つているところである。

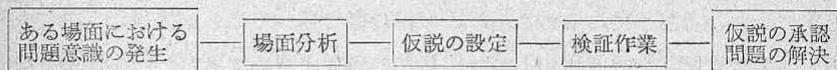
われわれは、このような研究作業を進めるための基本的な枠組として、学習心理的な立場から、学習過程分析の観点を用意した。以下その観点について述べてみよう。

学習過程分析の基本的な観点として、われわれは三つの柱をすえてみた。それは、**a** 問題解決過程の段階 **b** 概念形成における思考作用の構造 **c** 思考作

用の発達の観点，である。

a 問題解決過程の段階

実験観察の学習過程は比較的短時間の間に完結する，まとまった問題解決の過程である。われわれが学習過程を分析しようとするとき，学習中の諸事実が問題解決のどのような段階のものであるかの位置づけをしなければならない。そこで第一の観点として，問題解決過程の段階を用意した。この構造は，いわゆる単元学習における常識であり，われわれもまた，つぎのように考えた。



つぎに上記の各段階について若干の説明を加えてみよう。

問題場面について

主体と環境との関係構造の中で，いままでの経験ではのりこし得ない場面に直面したとき，そこに問題意識が発生し，その疑問や当惑，心的困難の状態を克服する見通しがすこしでもあるならば，解決に向かつての積極的意志が働いて，学習が開始される。その積極的意志の強さの度合は，ここまでは到達したいと願う期待水準と，これだけはできそうだという確信水準との関連によって決定される。このようにして決定された決心水準は，つぎの場面分析の活動の過程で，より期待水準に近づいたり，逆に確信水準にしりぞいたり，時には消滅して放棄されたりして，動揺するのである。

場面分析について

この段階は，いわゆる知性化の過程であつて思考作用がもつとも活潑に営まれる場面である。即ち問題場面における困難さを分析し，次第に明確化して解決の見通しを具体化していく複雑な過程であり，目的分析や状況分析が多面的循環的関連的におこなわれる。そしてこうした思考の過程に何等かの仮説が成立し，解決への見通しが明確にひらめく状態を，中心転換とか，機能的価値の具体化とか，洞察，直観の成立とかいつているが，この転換の心的機制については，いまだ明らかになつていないといえるであろう。

仮説の設定について

問題解決への見通しは，前の場面分析の過程で，次第に具体化し，または突

然に開けるのであるが、このように解決への見通しが一応明確になつたことを仮説・予見の成立といい、その内容としては問題場面の認識構造が学習前と異つたものとなり、更に解決への方法的な見通しが明らかになつた状態である。この段階を前の場面分析の段階と明確に区別することは、現実的にはきわめて困難であり、実際の活動ではこの二つの段階がくりかえし循環的におこなわれるものであろう。

検証作業及び仮説の承認について

問題解決への見通しは、検証作業を経て承認され、ここではじめて心的不安の状態は解消する。この段階で理解が成立し、概念が形成され、問題が解決される。ここで得られた心的な満足感はその理解やそれに至る方法を定着させ、つぎの問題面に立向う積極的な構えとして残るであろうし、逆に問題解決に失敗した不快感は、消極的な構えとして痕跡を止めるであろう。

以上問題解決の各段階について、われわれの観点を要約して述べたわけであるが、これらは問題解決の全過程を典型的模式的に述べただけにすぎず、実際の過程は複雑であり、場面分析の一つ一つの活動が問題解決の形をとり、それらが有機的に影響しあいながら全体としての問題解決過程を成立させているといえるのである。試行し、考えつき、ためして失敗し、また試行したり、考えたり、偶然に解決への見通しが成立したり、ある考えにとらわれて堂々めぐりをしたり、突に錯層した思考と活動が循環的に進行していると考えられる。

b 概念形成における思考作用の構造

現におこなわれている問題解決学習中の諸活動を上記過程の各段階に位置づけ、さらにその思考内容を分析しようとするとき、それぞれの活動を導いている精神機能の側面である思考作用とはどのようなものであるか、思考作用のあり方を規定する要因としてどんなものがあるか、などについての一般的理解が必要となる。この点についてのわれわれの理解は、学習過程分析の第二の観点となる。

思考作用とは

思考とは、事物の一般的特性を反映する過程であり、同時に事物間の合法的な関連と関係を発見する過程であるといえよう。あるいは、思考とは現実を

一般化し概括化する認識の過程、または現実の間接的な認識の過程であるともいえよう。

たとえば、モノコードで音の高さに関する実験をする場合、たまたま長い絃と短い絃の音の相違を知覚し、それが絃の長さに関するのではないかと気づく思考の過程は、合法則的な関係発見の過程であり、さらに絃の長さをいろいろにかえてためしたり、ピアノ・ヴァイオリン等で試み、リード楽器や管楽器にまで及んで、他の条件を統制するならば音の高さを規定する要因は、発音体または共鳴部の長さであることを理解し、終極的には発音体の振動数の多少が音の高さを決定する一般的要因であるという概念の成立に至る過程は一般的特性反映の過程である。そして前者の過程に対応する基本的思考形式は主として推理判断であり、後者に対応するものは主として概念の形成といわれている。

推理・判断と概念の成立とは常に形影相俵うものであつて、より高次の推理・判断がおこなわれることにより、概念の内包はせまく外延はひろくなつてより一般化することになり、高次の概念はまた高次の推理判断を伴っているものである。

このような思考作用に対し、基礎的な役割を演ずる過程は、抽象化、概括化の働きである。この働きは、一見雑多に見える諸事象の中から共通なものやある目的に適つたものを抽象し、相違点または不必要なものを捨象して、次第に類似点を総合して概括化し、一つの抽象的一般概念を構成する働きである。

先に上げた音に関する学習でいうならば、長さや張力の混在する具体的な場面から長さの要因のみを分離したり、分離した長さの要因をいろいろな場合にあてはめながら概括していくはたらき、または発音体の形や質、音を出す操作上の動機が異つているさまざまな発音の事象から、すべて振動しているという性質を抜き出し、さらに概括して、音は物の振動によつて生ずるという一般的概念に達するはたらきなど、抽象、概括の過程といえるのである。

概念における一般化の度合について

以上のように、抽象—概括の過程を経て概念形成がおこなわれるわけであるが、形成された概念の一般化の度合はさまざまである。一般に概念といわれる

ものの中でも、本質的属性（内包）と適用範囲（外延）が論理的に規定されている論理的概念から、内包と外延は厳密ではないが、ある対象を他のものから区別したり、その対象がどんな目的に対して役立つかという観点から必要なものが選択されて本質的属性が保持されている自然的概念に至るまで、いろいろ一般化の度合が異なる。また概念には、経験的に形成される動作的概念と、ことばという記号の媒介によつて形成されている言語的概念とが考えられる。

また概念と類似した内容をもつ表象ということばが使われる。この表象という意味は、経験の心的代表という点では概念と同一であるが、概念が何等かの意味でその対象の本質的属性を含んでいるに対し、表象は必ずしも本質的属性が抽象されているとは限らず、経験的に獲得された、対象に関する主観的な像である点異なる。前者はより論理的であり、後者はより経験的であるといえよう。また表象といわれるものの中にも、対象一般の像から特定対象の瞬時的な全体的または部分的な像まで大きな巾があると考えられる。

これら概念といい表象という心的代表は、これを具体的な事象に関する認識としてみた場合、これは概念であり、これは表象であるとは明確に区別することができないものであつて、より高次の必然的代表、またはより低次の心的代表という意味で、恐らく相対的な区別にならざるを得ないであろう。殊にこれらを教育的な観点からみるならば、理解が次第に拡充深化する過程における、それぞれの心的代表として考えられる。表象から概念へ、自然的な概念から論理的概念へと常に指向する相対的な一般化の過程が、一時間一単元の学習過程であり発達の学習経験拡充の過程であるといえるのである。いわゆる感性的認識から知性的認識への過程もこのような意味において考えられるものである。

思考作用を規定する諸要因

問題解決における思考作用が、常に抽象—概括の過程を伴い、概念、推理、判断の基本形式を通しておこなわれることは、上に述べた通りであるが、さらに、そうした思考作用の方向や内容を規定する要因について若干観点を留意しなければならない。

概念や表象が成立する前提として、常に知覚が存在する。知覚は単なる物理的な感覚をのりこえた精神的な像であつて、主体的、環境的な要因によつてそ

の内容はさまざまに変ってくる。学習者にとって、学習の対象である事物現象がどのように知覚されるかということは、学習の方向、形成される概念の内容に大きな影響を与える。

どのような知覚が成立し、どんな抽象や概括がおこなわれるかを規定する第一の要因として、過去経験をあげることができる。いままでの経験によつて得られている表象や概念は、新しい場面について学習をおこなう場合、知覚内容しがつて抽象概括の方向を規定する大きな要因となる。また過去の学習経験における成功や失敗は、その後の学習場面における積極的または消極的な解決のかまえや習慣としてあらわれ、その学習方向や学習手段を拘束する。

つぎに考えておかなければならない要因として固さの問題がある。これには学習の対象になる事物現象自体の視覚的構造の固さと、学習者の心的機制とみられる一定の機能としてしか用いられない固さ、即ちいわゆる融通のきかなさとを一応区別することができる。前者は事物現象の本質的屬性をとらえようとしても、視覚的な構造が障害となつて、その背後にある本質的、一般的なものがなかなか見出せない状態をさし、後者は既有経験によつて獲得された、知識、技術、態度等がいつも一定の機能としてしか用いられず、新しい場面における自由な思考の展開をさまたげている状態をいうのである。

第三の要因として重要なことはことばの問題である。思考はことばを媒介としておこなわれるといわれるのであるが、ことばが思考の方向や内容に深く結びついていることを常に考慮することが必要となる。ことばと学習対象である事物現象との結びつきがどのようなものであるか、ことばが外在的な内容をもつたものとして用いられているかどうか、用いられていることばがどれだけ視覚化されているかどうかなどは、思考の展開を大きく左右するといえるであろう。内在的なことばを媒介として学習がおこなわれる場合、そこには思考の飛躍があつたり、客観性のない概念が形成されたりする。

以上三つの要因は論理的な組織づけによつて挙げられたものではなく、学習過程をみようとするときに必要だと思われることを羅列したにすぎない。しがつてこれらの要因は互に関連しあつているものであり、また相重なつているものである。

c 思考作用の発達の観察

a, bにあげた基本的理解の観点に立つて、学習過程の分析を試みようとするとき、さらにいま一つの観点として未発達な思考作用の特質に関する観点が用意されなければならない。われわれは、これを先に挙げた一般的特性反映の過程（概念の形成）と、合法的な関係発見の過程（推理、判断）の二面からつぎのように用意した。

概念（表象）形成について

- 主観性（自己中心性）——対象を自己の欲求や情緒に適合しようとし、目立つもの、知っているもの、なれているものに規定されやすい。したがって、対象を客観的にとらえ、それに自己を適応させることがむずかしい。
- 全体性（未分化性）——対象の部分を意識せず、全体的なただずまいにおいてとらえる（直観、相貌的知覚）。したがって対象の各部分を意識的に分析してとらえることがむずかしい。
- 具体性（対象性）——対象を感覚的、行動的な特殊的具体相においてとらえる（対象的抽象）。したがって対象の抽象的属性を意識的に一般化することはむずかしい。

推理・判断について

- 対象から受ける個々の刺激を、それぞれ独立したものとして孤立的並列的に考える。
- 客観的には異なる（同一範疇に入らない）事物現象も、自己の直観的全体的図式の中では関連あるものとして考える。（合成主義的思考）
- 特殊から特殊へ、論理的な必然性なく推理する。（転導的思考）
- 現象的な叙述や具体的動作による推理判断が多い（前因果的思考）。
- 事象間の関係を意識したり、その関係を対象化したり、これを論理的に操作したりすること、いわゆる形式的論理的思考がむずかしい。
- 全体と部分の関係を理解することがむずかしい。
- 対象の中にひそむ法則性をあらわにすることがむずかしい。

以上、未発達な思考作用の特性をあげてみたが、これも一体的な思考作用についてそれぞれの側面からその未熟性をみたまでであつて、論理的な分析ではないことを一言しておくこととする。

このような特質は、一般的には幼児または児童前期の特質といわれているものであるが、一方、より高次な問題解決に直面したときに、年令を問わず、いつも見られやすい傾向であるともいえよう。われわれが学習過程を分析しようとするとき、以上あげた特質は、それぞれの場面に応ずる相対的なものとして

用いなければならないと思つている。即ち、ある一つの学習過程を分析する場合にもこのような観点でみる必要があるであり、一つの学習材に関する何人かの学習過程を比較する場合にも、また学年的な発達をみようとする場合にも用いなければならない。しかしながら、これらの観点で分析した、上記それぞれの場合の具体的内容は異つたものとなるであらう。このような理解の上で、われわれは以上の発達の観点をを用いようとしているのである。

われわれは学習過程を分析するための観点として a 問題解決の段階、b 概念形成における思考作用、c 思考作用の発達の観点、の三つをあげた。つぎにこれらの観点により学習過程を分析し解釈する手順をあげることにする。

- (1) 児童生徒の実験学習における諸活動とその時間的経過の順序を観察を中心とした実験的方法によつてとらえる。
- (2) それぞれの行動や徴候を、観点 a により問題解決過程における各段階に位置づける。
- (3) 一つ一つの行動や徴候について、観点 b によりそれがどのような思考内容のものであるか、そのような思考をさせた支配的要因は何であるかをその教材に即して具体的に分析する。
- (4) さらに、その思考内容を、観点 c からみてどんな特質をもつたものであるかを解釈する。
- (5) 以上を総合して、一連の学習過程が、どんな問題解決過程を構成しているかをとらえる。

このような研究作業がきわめて困難なものであること、それにもかかわらず敢えてこのような方向に研究を進めたことについては先に述べたとおりである。さらにこの研究の方法、方法からくる限界等についてはつぎの節で述べることにする。

1.2.2. 観察を中心とする実験的方法

研究作業を科学的に進めるためには、方法に、また把握される資料に、客観性もたせることを充分留意しなければならない。そのためにとりあげる研究方法としては実験的手法を持ちこむことが最も効果的である。さて、この研究方法をとるとして、研究の進行や資料の解釈等、その研究過程で一番重要なことは問題の客観的な把握とその分析である。したがつて、そのためには研究をすすめるにあつて、それに影響する条件をあきらかにすること、むしろその条

件を統制することが望ましい。いま、この問題をわれわれの研究について研究方法よりと、対象とする児童生徒の面よりとの二面から考えてみる。

研究方法の上からみるならば、刺戟としての学習材の与え方、指示、予備・終末テスト等が問題であり、対象としての児童生徒については、異つた環境に育ちそれぞれの個性を持つ児童生徒の、どの点に着目して等質化を考えるかにある。われわれは、前者については指示、予備・終末テストを厳密に統制し、後者についてはIQ、国数理の学力、とくに問題解決力、国語読解力、行動特性、グループ所属の様相、実験器具に対する知識理解、器具操作の熟練度、巧緻性等により、2～4名の集団を組織し、予備テストの結果を先行条件として考え、平行群法または回転法によつて研究をすすめた。そして観点を設定して観察することによつて学習過程を精細に記録し、その記録を中心として問題を検討した。この研究過程で問題がなかつたわけではない。第一の困難は等質群構成の点である。“つるまきばね”の実験に際して、あるグループの生徒が実験中に、以前自分が使用したことのあるぜんまいばかりの経験を思いだし、それが実験場面に転移し、他のグループと異つた場面が設定され、特徴のある学習経過をたどり、事前において研究者の予想と異つた様相を示したことがあつた。この事例はまたこの事例なりに意味を持つものではあるが、等質集団の構成に限界のあることを示すものである。この点については過程を分析するとき集団の恒常的条件の中の変化要因として処理してはいつた。等質集団をねらいながらも、われわれのおさえきれない限界が存在する一例である。第二の問題は研究のねらいから研究場面をできるだけ現場指導に近づけたいとの意図にもとづいて教科書の学習材を、できるだけそのままのかたちで用いたところに生起するものである。つまり学習材の構造の複雑なため、刺戟条件となる要因が複雑であつて、その重層的な構造を持つ多くの要因と、それによつて生起する児童生徒の行動変化との関連をときほぐして、その思考過程を客観的にとらえるということは非常に困難である。

したがつて結果の解釈には、われわれの主観性の混入をどうしても避けることのできないところがあつて、これもまた研究の限界を規定するものである。以上の点から、われわれの研究は厳密な意味での実験的研究とは云い得ない。

観察の過程に、実験的手法を加味した、いわば比較的ゆるい条件統制による実験的観察法とでもいうべきであろう。

さて、研究資料の収集についてわれわれはつぎのように進めた。児童生徒の解決にともなう思考のすじみちは、その行動や発言内容からつかまなければならない。そこで資料としては、予備テスト—学習過程の記録—終末テストのうちで、学習過程の記録がもつとも重要となってくる。予備テスト、終末テストによる資料は、その記録解釈における補助的資料として用いる。学習過程の記録については、とりあげる学習材の構造分析にともない、観察観点を設定した。数群のグループを平行して実施する場合については各グループより共通の資料が得られるように、記録者の事前検討を記録観点を中心として行い、さらに記録用紙にはあらかじめその記録のための枠組を準備して、結果の検討のための共通の資料が得られるよう留意した。

予備テストについては、その実験課題の直接的な経験背景、終末テストには学習効果の評価より、むしろその学習間の行動を通してわれわれがつかんだ思考過程そのものをたしかめる、という意義がわれわれの場合では大きい。そして質問紙によつて統制された選択肢を与える場合と、自由記述によらせる両方を並用した。高学年で、言語抵抗の少ない場合では終末段階での自由記述の方法は、児童生徒の実験による経験の一般化論理化の深さを検討するには、よい資料を提供する。また実験にとりかかるとき各個人に予見をたてさせ、その過程でそれに変化を生じたときは、時間系列をおつて○または×で修正の方向を記録させることも試みたが、これは目的分析、材料分析の個人毎の様相を実験の時間経過と関連して検討する資料としては効果的である。学習材によつては、一人の子どもに課題をあたえ、実験にとりかかる前、過程中に、または終了後、問題点について質問をする等、面接に近い方法もとつたが、いずれにしても資料の中心は学習過程の記録である。

1.2.3. 対象児童生徒

研究は当研究所の実験学校である新潟県西蒲原郡和納小学校、申蒲原郡両川中学校の児童生徒について、主としてなされたものである。昭和32年度においては新潟市立長嶺小学校、菅浦中学校の協力を得て、この両校の児童生徒をも

対象として研究を実施した。研究対象となつた児童生徒の集団は、研究内容によりつぎの三領域においてそれぞれ構成する。

- A 等質集団平行群による学習過程の比較研究。これは特に等質化に注意して構成した3～4の集団に対して、ある集団には課題のみ、ある集団には課題と実験手順の技術的部面、ある集団には課題と解決に必要な若干の要因分析等、異つた指示をすることにより、その学習過程の相違を調べることによつて、指示そのものの機能の諸側面を研究しようとしたものである。
- B 児童生徒個人の解決過程を対象とする学習過程の分析研究。これは、比較的等質にした2人のグループ、または個人に実験用具と課題を与え、自由に実験させてその過程を観察し、実験用具を使つての感性的諸知覚より課題に即して抽象し概括にいたる間の要因分析、フラストレーション、構造転換の様相を追求し、学習材について児童生徒の思考上の諸問題の研究を意図したものである。
- C 集団を対象とした学習指導の評価研究。このねらいと内容は、さきのA、Bにもとづいての結果により、学習材の構造分析を実施し、予想される児童生徒の困難点、それに対する指示を、実験学習本来の教育的意義にたつて想定し、最も効果的と思われる指導案を設定する。どの部面で、どのような指示をするか、実験用具はどのようなものをどの時期にあたえるか等、準備して実際の学級集団に展開してみる。そして実際の学習指導の祭の様相と事前計画とのずれを検討したものである。

以上の三集団に児童生徒を組織して研究を進めたのであるが、研究の重点はいうまでもなくBの領域における諸作業に志向され、Cの主として学級集団を対象とするものは研究としては、B、Aの応用的な部面といわれよう。

1.2.4. 研究素材の選定

研究素材として学習材を選択するにあたり、つぎの点について考慮し、主として物理的諸現象をとりあつかう部面に限定した。この領域の学習材は

- a 比較的短い時間内に目的分析より解決にいたる学習過程の全体を実施して観察することが出来ること。
- b 学習材の構造分析が他の領域に比べて論理的にしやすいこと。

- c この分野において一つの学習材の実験結果が、他の学習材への適用されやすいという予想がもたれるもの、つまり構造の類似性が見通せるもの。
- d 学習過程を検討する際に、場面の限定がされ易く、したがって他の領域に比べて要因の客観的分析がより可能と考えられる。

そこで学習材としては児童生徒が現場指導で与えられるものをそのまま使用することにとめた。本報告の内容は重心の問題を除いてはすべて教科書に提示された形式によつた。これは前述のように現場指導への直接的展開を容易にしようとするわれわれの意図にもとづくものである。

そして、学習材は「機械と道具のはたらき」にしぼり、広範囲にわたるより狭く深めることを意図し、その教材個々についての実験結果を累積することを特に配慮した。

1.2.5. 研究組織

この研究は昭和30年より31年の二か年にわたり当研究所および実験学校との協同によつてなされたものである。つぎにその研究担当者名をあげる。

- 新潟県立教育研究所 小田正衛, 丸山吉夫
- 実験学校

新潟県西蒲原郡和納小学校 (校長) 石黒平吉, 片野二郎, 伊藤武司,
棚辺十四, 石田憲司, 竹石朝, 坂西忍, 清水武美

新潟県中蒲原郡両川中学校 (校長) 太脇幸栄, 青木泰也, 大滝陸夫,
渡辺昭策, 伊藤惇, 吉田誠司

なお、昭和31年度には、新潟市立長嶺小学校、新潟市立宮浦中学校の二校の協力を得て研究を進めた。

1.3. 研究にとりあげた学習材

研究にとりあげた学習材、その対象となつた児童生徒集団、学校はつぎのとおりである。

第一表

	A 学習過程の比較研究	B 学習過程の分析研究	C 学習指導の評価研究
和納小学校	<ul style="list-style-type: none"> ○ “てこのつりあい”に関する実験観察 (4・5年) ○ “つるまきばねののび”に関する実験観察 (3・4・5・6年) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ “凸レンズの焦点距離と像の見え方”に関する実験観察 (2・3・4・5・6年) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ “振子の等時性”に関する実験観察 (6年) ○ “物体に働く浮力”に関する実験観察 (6年)
両川中学校	<ul style="list-style-type: none"> ○ “つるまきばねののび”に関する実験観察 (2年) ○ “三つの力の釣合い”に関する実験観察 (2年) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ “凸レンズの焦点距離と像の結び方”に関する実験観察 (3年) ○ “てこのつりあい”に関する実験観察 (3年) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ “振子の等時性”に関する実験観察 (1年) ○ “物体に働く浮力”に関する実験観察 (1年)
長嶺小学校		<ul style="list-style-type: none"> ○ “直方体の坐り”に関する実験観察 (1・2・3・4・6年) ○ “湯のわき方(水の対流)”に関する実験観察 (3・4・5・6年) ○ “絃の張力・太さ・長さと言の高低”に関する実験観察 (4・5・6) ○ “レンズの焦点距離と像の結び方”に関する実験観察 (4・5・6年) ○ “てこのつりあい”に関する実験観察 (4・5・6年) 	
宮浦中学校		<ul style="list-style-type: none"> ○ “絃の張力・太さ・長さと言の高低”に関する実験観察 (2・3年) ○ “凸レンズの焦点距離と像の結び方”に関する実験観察 (2・3年) ○ “てこのつりあい”に関する実験観察 (2・3年) 	

2. 学習過程分析の実際

この研究でとりあげた学習材の全部について、その学習過程分析の実際をあげることは紙面の余裕もないし、既に昭和31年6月、和納小学校における研究報告会並びに同年10月、当研究所主催の第四回研究発表会でその一部を報告したので、ここでは長嶺小学校、宮浦中学校の児童生徒を対象におこなった、下記五つの学習材について述べることにする。

- ① 直方体の坐りに関する実験観察
- ② 湯のわき方に関する実験観察
- ③ 音の高低に関する実験観察
- ④ 凸レンズの焦点距離と像のむすび方に関する実験観察
- ⑤ てこのつりあいに関する実験観察

2.1. 直方体の坐りに関する実験観察

2.1.1. 研究計画

a 実験観察の内容

この実験は、角柱の底面積と高さをいろいろに変えたものを用意し、これを坐りのわるいものから坐りのよいものの順序に並べさせて、角柱の坐りに関する条件の発見が、どの程度可能であるかをみようとしたものである。用意した角柱の種類は、測定による分析的な実験をしなくとも、比較的容易に坐りの序列を見出すことができるよう、つぎの六種とした。

第二表 (単位はcm)

	①	②	③	④	⑤	⑥
たて	10	8.5	7	7	5.5	4
よこ	10	8.5	7	7	5.5	4
たかさ	7	7	7	10	10	10

即ち①②③または④⑤⑥それぞれの坐りの序列を決定するものは、底面積の条件であり、③と④を弁別する条件は高さ(重心の高さ)である。

物体の坐りの条件一般については、比較する物体が等質のものであるならば、底面積と重心の位置によつて決定するといえる。したがつて上記角柱の場合はずつぎのようになる。

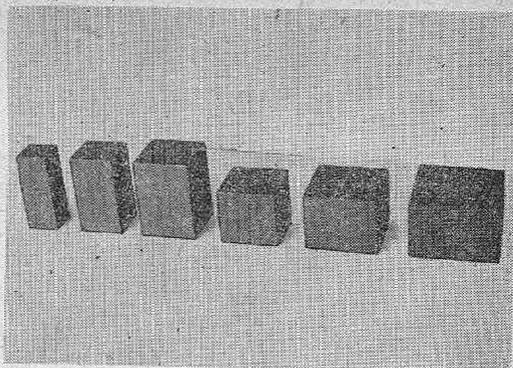
“高さが同じければ、底面積の広いほうほど坐りはよい。また底面積が同じければ高さの低いものほど坐りがよい。”

さらに総合的に表現するならば

“底面積が広く、高さの低いものほど坐りはよい。(底面積がせまく、高さの高いものほど坐りがわるい。)”

この実験は、このような条件分析がどの程度おこなわれるかをみようとしたものである。

第一図



b. 学習過程分析の観点

六この角柱を安定・不安定の順に並べることは、既存の経験により容易に操作できるであろう。けれども、経験的に並べる操作過程やその結果から、高さと底面積の二条件を分析して、論理的に概括し理由づけをすることは困難であり、この点が、学習成立上のもつとも大きな壁であろうと予想される。即ち、それぞれの直方体の全体的な知覚表象による順序づけから、直方体の坐りに関係する各部分（底面積と高さ）を分析抽象し、論理化してとらえる段階への発展過程が、この学習材における問題点となる。このような問題点を特に学習過程分析の観点とするのである。

c. 学習過程分析の方法

a, bであげたような実験内容とそこに予想される問題点をもつこの学習過程を分析するための方法的観点としては、第一に児童生徒が六この直方体を坐りの順序に配列する場合の操作のしかたであり、第二は配列した結果の理由づけに用いられることばの内容である。即ち順序づけの操作におけるいろいろな手順やくらべ方の様相をみることにより、操作中の思考作用がどの程度論理的なものであるかを推測することができるであろう。しかしこの点だけで論理性的の内容・程度をとらえることはむずかしく、理由づけに用いられたことばの外

在的意味を推測して第一の操作手順と関係づけながら解釈することが必要である。

d 対象児童生徒

小学校1, 2, 4, 6から、各学年男子2名、女子2名ずつ計16名について一人ずつ実施した。中学の生徒を省いたことはこの実験内容が中学生にとって容易であろうと考えたからであり、小学校3年、4年をはぶき、各学年4名ずつにしたのは主として時間的な制約からであり、この学習材の程度から低学年に重点をおいて分析することが妥当であろうと予測したからである。

e 導入と目的指示及び終末テスト

経験の想起（予備テストを兼ねる）

- ・すもうをとるとき、たおれにくい姿勢はどんな形でしょう。
- ・花びん、鉢、ちやわんなどで、ころびやすいものと、ころびにくいものがありますね、どんな形のものがころびやすいでしょう。
- ・これからどんなものがたおれやすいか、どんなものがたおれにくいか、ためしてみましよう。

用具の説明

- ・ここにいろいろな箱があります。六つありますがどれもみんな中はからっぽです。
- ・これらの箱は底にするところだけ色がちがえてありますから、そこを下にして立てるのです。

たおし方の演示

- ・箱をたおしてみましよう。横からそつと押してみますよ。（たおれる場合と、もとにもどる場合とを示す。）

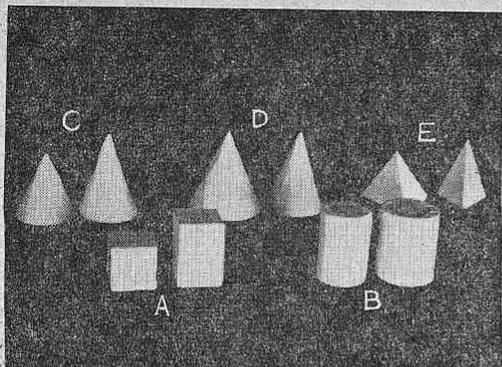
目的指示

- ・この六つの箱をたおれやすい（ころびやすい、ひつくりかえりやすい）ものからたおれにくいものの順に並べてごらんください。そしてどんな箱がたおれにくいといえよいか考えていつてください。
- ・箱を②④①⑥③⑤の順に並べて与える。

終末テスト

- ・つぎのものは、それぞれどちらがたおれやすいか。そのわけはどういえよいか。（一対ずつ組になつた具体物を示して比較させる）

第二図



- ④……底面積が等しく、高さがちがう。
- ⑤……高さが等しく、底面積がちがう。
- ⑥……底面積が等しく、高さがちがう。
- ⑦……高さが等しく、底面積がちがう。
- ⑧……一方が他方より、底面積が大きく高さがひくい。

2.1.2. 観察と分析の具体例

a 観察記録

1年生 児童名 (K)

性別 (♂)

(教師の問いかけ)

(児童の反応)

- たおれやすい(ころびやすいもの)から、たおれにくいもの順序にならばなさい。
- どんなものがたおれやすいといえるか。
- ⑥をさしながら、これはどうしてたおれやすいのか。
- ①はどうしてたおれないか。
- ④をここへおいたわけは。
- ②を①のつぎにおいたわけはどうか。
- 終末テストとして用意したそれぞれについてどちらがたおれやすいか、そのわけはどうかと問う。

- しばらく全体をみて、すぐつぎの順に並べる。
⑥→⑤→④→③→②→①
- ⑥の箱を指さして、概括した表現はしない。
- 長四角ではそいから。
- 四角で、べつちやらかいから。
- 長四角で、ちよつと太いから。
- ちよつところびにくいから。

(反応) (理由)

- ④——正答……長四角だから。
- ⑤——正答……ほそいから
- ⑥——正答……高いから
- ⑦——正答……ほそいから
- ⑧——正答……ほそくてせいが高いから

b 事例の解釈

この児童の反応について物体の坐りに関する理解の度合いを推定すると、つぎのように解釈される。

- ① この児童は、物体の安定について、経験的、感性的な理解をもっている。
- ② しかし、坐りの一般的な条件に関する概念は成立しておらず、またこの実験操作

を通して発見するに至っていない。その根拠としてあげられることは、つぎの通りである。

- “どんなものがたおれやすいといえるか” という一般的概念を要求した問いに対して具体的特殊的な⑥を指しており、高さと底面積を抽象し、概括しようとする意識、態度はみれないといえよう。
 - 直方体⑥①④②の位置づけの理由、終末テストのそれぞれの理由を通して一貫した視点がなく、その時その時の全体像の感覚的な理由づけがおこなわれている。
- ③ さらにそれぞれの理由づけの内容を検討するならば
- “長四角ではそいから” という表現は、この場合、長四角とはそいということが同義の内容をもつたことばとして羅列していると考えられる。また “四角でべつちやらかいから” という表現も同様である。
長四角ということばがもっているこの児童の像は、二辺にくらべて他の一辺の長い直方体（たて、よこのちがう四角形を含めて）の一般像であり、その属性は “ほそい” という分析以前の感覚的表現であらわされている。“四角でべつちやらかい” という表現も同様に解釈され、この場合の四角は、たて、よこにくらべて高さの低いものの総括的な像であろう。
 - したがってまた、太い、ほそいということばのもつ表象は、高さを意識しての中をいつているのではなく、全体像の未分化的感覚的な把握であると考えられる。
 - わずかに、㉠の “高いから”、㉡の “ほそくてせいが高いから” という表現の背景に分析的抽象化への芽生を認めることができるが、このような見方が他の場合に及んでいく、心的機制については、解釈することができない。

2.1.3. 結果の総合的解釈

前項であげたように16事例の一つ一つについて観察と分析をおこなった上でさらに全事例を通して、この実験観察の思想上の問題点並びに発達のな変化についての総合的解釈をおこなった。以下解釈の実際を述べてみよう。

この実験観察では、はじめの意図として “どんなものがたおれやすいか” という一般的条件の発見に至る学習過程を研究の対象としたものであるが、実施した結果としてつぎのことが方法上反省された。それは、 “どんなものがたおれやすいか” という目的指示を児童が理解できず、この問いに対する反応としては、具体物をさすというものが多かつたため、一般的な条件発見のための活動や思考が展開されなかつたということである。したがって思考の展開過程はなく、結果としては、物体の坐りに関する理解の度合を調査するに止まつた。また、はじめに効果判定のための終末テストとして実施した㉠㉡㉢㉣㉤それぞれ

れの坐りの比較と理由づけも、効果判定としてではなく、直方体の坐りの序列づけと同列に並ぶ調査としての役割を果たしたにすぎなかつたといえよう。

そこで、以下述べる総合的解釈では、坐りの条件に対する理解の実態がどんなであつたかという立場で、その実際をあげることにする。

まず、全事例を総合的に分析し解釈するため、一つ一つの事例の分析結果を通してつぎのような観点を設定した。

- ① 六この直方体を坐りのよい順序に正しく並べられたか。
- ② 倒れやすいものはどんなものであるかを概括していえるか。

“どんなものが倒れやすいといえるか”というはじめの目的指示に対し、この直方体を並べた後で、直ちに自分から一般的な条件をあげたものはなかつた。そこで再び上記の問いかけをしたのに対して、その反応の類型はつぎの通りである。

- | | |
|--------|--------------------------------------|
| —いえる— | —分析的論理的な表現 |
| | 例= “巾がせまく、高さの高いもの” “せいが高くほそいもの” |
| —いえない— | —全体的直観的な表現 |
| | 例= “なるべくべつちやらかいものがころびにくい” “長方形のもの” |
| —いえない— | —具体物⑥をさして、全体的直観的な表現による理由を加える。 |
| | 例= “⑥を指して、ほそいからという” “⑥をさして長四角だからという” |
| | —具体物⑥を指すのみ |

- ③ 安定から不安定なものへと並べた結果について、それぞれを位置づけた理由、及び④⑤⑥⑦⑧それぞれの安定を比較した結果の理由を、どんなことばで表現したか。直方体を並べた後で、たとえば“⑥をどうして一番たおれやすいほうにおいたか” “①はどうか” “③はどうか”と問うてみた。また④⑤⑥⑦⑧それぞれ二つの立体の安定、不安定の理由を問うてみた。その問いに対する児童の反応にはいろいろあり、それらを類別してみるとつぎのようになる。

○ 分析的論理的な理由づけ

- 底面と高さの両方に着目した理由づけ
- 例= “せいが低くて、底が大きいから” “高さは同じが底がせまいから”
- 底面か高さか、どちらか一方の条件のみの理由づけ
- 例= “高いから” “底が小さいから” “まるさが小さいから”

○ 全体的直観的な理由づけ

- 物体の全体的な形の特長から受ける直観像による理由づけ
- 例1= 太い、ほそ長い、ほそい、べつちやらかい、とんがっている、でぶ、のつば
- 例2= 長四角、長方形
- 例3= さいころみたい
- 物体の大きさ、重さによる理由づけ

大きいもの、重いものが倒れにくく、小さなもの、軽いものが倒れやすいと判断するもので、大きさと重さは分化していないと考えられる。この判断は一般に大きなもの、重いものを動かすには力があるという経験と結びついた推理であろう。

○ 試行による主観的な判断 (次頁上段へ続く)

第 3 表

観 点		学 年		1			
		児 童 名		A	B	C	D
①正しい配列ができたか	正しい配列		○	○			
	誤りの配列				○	○	
②不安定なもの一般的条件がいえるか	いえる	分析的論理的表現					
		全体的直観的表現					
	いえない	具体物⑥をさしてその理由を加える					
		具体物⑥をさすのみ	○	○	○	○	
③個々についての理由づけにどんな表現を用いたか	分析的論理的な理由づけ	底面と高さの両方に着目	●				
		どちらか一方のみに着目	●				
	全体的直観的な理由づけ	全体の形から受ける直観像による	○○○ ●●●●		○○ ●●●●		
		物体の大きさ、重さによる		●●●●	○	●●●● ●●	
	試行による主観的な判断					○ ●●●● ●●	

※ ・児童名の A, B, C, D のうち, A, B は男子, C, D は女子である。
 ・③の枠内にある, ○ は直方体の配列における個々の位置づけの理由を表す。見
 て, 理由づけの明瞭な児童ほど少なくなっている。また, ● は, 終末テストとし

問題的思考傾向

物体の安定に関する条件を発見するような学習を指導する場合, 問題として考らなければならないと思われる思考上の諸傾向について, 以上のように整理

これは、すべて実際に倒してみた感じで判断しているもので、ことばによる理由づけはなく、倒してみてもつちが倒れやすいというだけにすぎないものである。

以上のような分析の観点により、16事例におけるそれぞれの反応をまとめてみると、第3表のように整理される。

2				4				6			
A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
○	○		○	○	○		○	○	○	○	○
		○				○					
							○	○	○		○
			○	○						○	
○			○		○						
	○	○				○					
			○	●●			○●	○●●●	○●●		○●●
	○●●●		○●●●	○●●	○●●		●		●●●●	●●	●●●●
○●●		○●●●	○●●●	○●●●●	○●●●●		●●●●			○●●●	
		○●				○					
		●				○●●●					

童個人毎の数が一致しないのは、調査中の問いかけの度数の相違によるものであって用いたA, B, C, D, Eについての理由を表す。

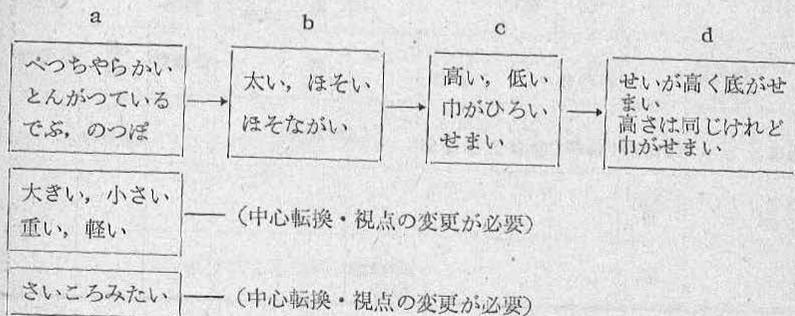
した16事例全体をとおして見出されるものをつぎにあげてみよう。

① 六この直方体の安定度による配列、及び五組の物体の安定度の比較については、ほとんど大部分の児童が操作的には正しい処理をしている。しかしな

がら、安定の条件についての一般的論理的な概念は、わずかの児童を除いては成立しておらず、また一般的な概念として概括しようとする意識ももっていないといえる。このことは、第3表②の○印の分布をみれば明瞭であつて、経験的感性的な安定に関する理解（自然的な概念）から、物体の高さと底面のみを抽象し、その抽象した属性を概括して、安定に関する分析的論理的な理解（論理的な概念）に高まることの困難さを示しているといえよう。さらに感性的に容易であることは、逆に論理化への意欲や思考の発展をさまたげているとさえいえるように思われる。

② “どんなものがたおれやすいといえるか” という一般的な条件を要求した問いに対して、具体的特殊なもの（⑥または③など）をさしている児童が16事例中10例を占めていることは上記の傾向を裏付けるものであり、この学習材の場合、一般化の意識がないことのあらわれとみることができよう。

③ 第3表③の個々の理由づけの中、全体を通して、物体の全体的な形から受ける直観像によつた全体的直観的な理由づけと、どちらか一方の条件のみに着目した分析的論理的な理由づけが最も多い頻度をもつてみられる。この内容となるいろいろな表現は、物体の安定に関する感性的な理解から理性的な理解に発展する変化の様相を解く鍵を示しているように思われる。



上の表に見られるように、a, b, c, dの表現による物体に対する児童の知覚表象が、それぞれどれほどのちがひがあるかを厳密に区別することは困難であろう。たとえば、b, cの表現による知覚表象が果して分析的なものか全体的なものかの区別は、きわめて微妙なところである。けれども、上記表現を通して推測するならば、児童の知覚表象はa, b, c, dの順で次第に抽象化

されているといえるであろう。

また、個々の児童が用いている表現内容の類型をみると、安定・不安定を理由づける観点が、正しい意味でも誤った意味でも、比較的一貫しているものと、比較するそれぞれの物体により、その観点がいろいろに変化するものがある。観点がいろいろに変化するものは、対象のもつ視覚構造に左右されやすいだけ論理的な思考には達していないといえるのであるが、また反面、抽象化、論理化への試行過程にあるとも解釈されるのである。しかし、1年Dの如く一貫して重い、軽いで判断したり、1年C、2年Cの如く「さいころみたい」で理由づけたりしているものにとつては、このようなとらわれた固さから脱するための中心転換が必要となる。

④ 第3表③の個々についての理由づけの表現内容については、さらにつぎのような問題とすべき思考傾向が発見される。

- (1) まつたく経験的に、1つ1つ手で押してみた主観的な感じで比較しながら並べている児童がある(4年C)。この児童が、並べた立方体の順序は、⑥⑤④③①②であり、①と②の順序が逆になっている。これはその時の主観的な感覚がこのように並べさせたものである。また並べた理由を問うけれども、「こつちがころびやすかつた」と答えるだけにすぎなかつた。この児童には、感覚的な試行はあるけれどもいわゆる思考は、はたらいっていないといえる。
- (2) 「さいころみたいだから」という理由で③をたおれやすいとしたり、円柱のまるさがすこしでもまるそうなほうをころびやすいとしたりするものがある。(1年C 2年C)。この児童の並べ方は③⑥⑤④②①で、立方体の③をいちばんたおれやすいとするのである。この児童は、たおれる、ころぶ、ころがる、ということばが未分化であり、ころころころがすさいころと結びつけて、この問題の判断をしているといえよう。ことばと事象とのはつきりした結合がたいせつなことを、この児童の例が示しているといえるであろう。
- (3) 「小さいからたおれやすい」「軽いからたおれやすい」という理由づけをしている児童がある。(1年B, C, D, 2年C) 1年Dの⑥⑤③④②①の並べ方で③と④を逆にしたものは、その現れとみられる。このような判断は、日常経験で大きなもの重いものを動かしたり、持ち上げたりするのに力があることと結合した判断だといえるのであつて、全体的直観的な理由づけではあるけれども、全体の形から受ける直観像による理由づけとは異質のものである。しかもこの場合、大きさと重さの分化ができていないことばの用い方であるといふところに留意する必要があるであろう。

発達の観点による解釈

さて以上のようにこの学習材に関する思考傾向を内容的に解釈した後、つぎにこれを、発達の観点から眺めてみることにする。事例がわずかに16しかないので、決定的なことはいえないし、16事例の中にも例外が既に認められるのであるが、全体を通して、つぎのようなことがいえるように思われる。

- ① 分析的論理的な理由づけを伴った配列や比較は、6年生ではつきりみとめることができる。4年生にも一名だけ発見できたので、この学習材に関しては4年から5年にかけて発展の契機があるように思われる。したがって、3年4年頃の指導を効果的におこなうことにより、論理化の段階を早めることができるであろう。
- ② 1年では全体的直観的な理由づけが多く、2年、4年では、それに、一つの条件だけに着目したやや分析的な理由づけが加わってくる。2年と4年との差は明確には認められない。
- ③ 間違った配列や比較をしたものが、ほとんど女子であることは注目を要することである。
- ④ 以上は全体を通して一般的にいえることではあるが、4年C、6年Cなどをみると、同じ学年内でも論理化の段階には大きな巾があることがみとめられる。このことは、同一学年の中にも上記①②や、問題的思考傾向の③で述べたようにいろいろな思考の発展段階にあるものがあることを示しており学習指導上いかに個人差に應ずるかの問題として考えなければならぬ。

2.2. “湯のわき方（水の対流）”に関する実験観察

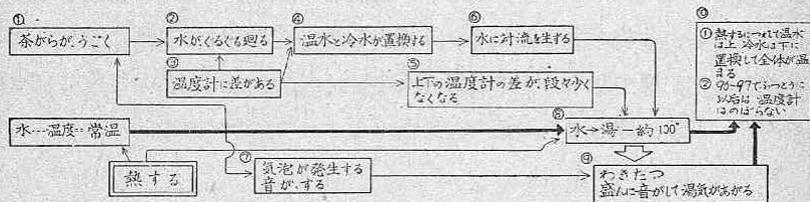
2.2.1. 研究計画

a 実験内容

この実験では、水が熱せられるにしたがって対流を生じ、温い部分と冷たい部分が置換しながら、しだいに全体が温り、約C100度に達するならばそれ以上熱しても温度は上昇しないことを学習するものであつて、児童が実験事象の

なかから発見することを期待する内容としては、(a) 水が対流により温まること、(b) 温まるにつれて気泡が発生するなどの水中の変化、(c) $C100^{\circ}$ ……(この実験用具では $97^{\circ}\sim 98^{\circ}$) 以上は熱しても温度は上昇しないことの三点である。この学習の構造を図式化するならば下図のように考えられよう。

第 3 図



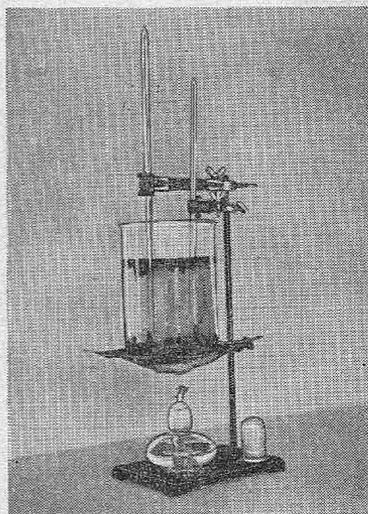
この実験では実験器材をつぎの第 4 図のように装置して観察させた。

b. 学習過程分析の観点

この学習では、実験用具を装置した後でなんらかの操作をすることの必要はない。ただ時間系列にしたがって変化する事象からどんな視知覚の内容を把握するか、またそれをどのように概括するかが問題である。その場合に知覚内容の選択とその再構成が、温度計の比較の時間系列に従ってされなければならない。茶がらうごきより水の対流を推理し、温度計の差により冷水と温水の置換に発展しさらにその時間系列によつて湯のわきかたを結論する。別々に知覚される茶のう

ごきや、温度計の差が、どの段階で発展して関連づけられるかにこの学習の困難点があろう。泡、湯気、音、それぞれは別々に対象的に把握されるであろうが、それを時間系列で再構成することにもまた困難はあろう。しかしこれは前者に比べてやや容易であると思われる。

第 4 図



c 学習過程分析の方法

この実験では課題に即して主として視知覚に対する刺激をどのよう受け入れるかということと、その知覚内容の再構造化についてはたらく推理判断が活動の中心となる。積極的な場面の転換は操作によつて可能ではない。時間系列によつて一定の設定された場面におこる変化のうち、そのすべてはこの問題解決に必要な要因でないものを、どのように抽象し、捨象し、さらに概括していくかということが分析の中心となる。分析するための資料は、事象に即して児童が書きとめた記録である。その記録の文字言語をたどり、児童の解決における思考内容、事象に即しての知覚内容をさぐるうとするのである。

d 対象児童生徒

3年以上の男子と女子と（各学年）の前に、第4図のような実験装置において観察させる。問題提示は共通にするが、記録は個人毎にとらせ、相互の間の討議は禁止した。したがつて児童の記録には集団による影響はない。

e 導入、目的指示、終末テスト

予備テストは、はぶいた。この実験事象は生活経験に近いものであつて、予備テストによつて観察を方向づけるような、オリエンテーションとなることをふせぐためである。この事象については中、上学年は理科で学習していることが考えられる。

・問題の提示

問題はつぎのとおりに提示し、以後実験についての指示は与えず、自由に観察し記録させた。

① ここにビーカーがあります。これを下からあたためると中の水の様子はどのように変わるでしょう。ずんずんあたためると水は、どのように温まるでしょう。

② 用具の説明

アルコールランプは下からあたためるのに使います。金あみはビーカーのわれるのをふせぎます。温度計は図のようにたてるので、水の上と下の温度がわかります。水がうごけば茶がらもうごくので、茶がらのうごき方で水のうごき方がわかります。

③ 下からあたためながら、温度計・茶がら・水のように注意して、湯のわきかたでわかつたことはどどんかいていつてください。

・終末テスト—つぎのような項目の質問紙によつておこなつた。

① 水を温めるにつれて、中の茶がらはどのようにうごきますか。

② なぜ茶がらはそのように動いたのでしょうか。

- ③ 水を温めると温度計はどのように変つていきましたか。
- ④ 上と下の温度計を見ていると、温まり方でどういふことがわかりましたか。
- ⑤ 茶がらのうごき方や温度計を見て、水はどのように温まるかくわしく書いてください。

2.2.2. 観察と分析の具体例

a 観察記録

この実験には用具の操作を必要としない。児童は事象の変化を観察記録するのであつて、そのために場所をはなれたりする行動はあつても、実験用具の操作はしない。つぎはその記録の一例である。

3年生 児童名(T, Y) 性別(♀)

・もんだい

- ・水はどのようにあたまるでしょうか。
- ・水を下からあたまると水のようにすはどのようにかわつていくか。きのついたことわかつたことはできるだけくわしく書きなさい。
- ・中の茶がら・温度計・水のようにすにきをつけてみていてください。

・観察記録(開始2時45分)

- 1 お茶がらがあがつたりさがつたりする。2 温度がだんだんあがつていく。
- 3, だんだんいろがかわつていく。4, おゆがわいてくると茶がらが多くあがつていく。5, 温度が急に30度まであがつた。(2時52分) 6, 40度くらいになつたらじょう気のわいた音が少しずつきこえてきた。(2時58分) 7, わいてくると水が少しずつへつてきた。8, 茶がらはゆげの少ない方に少しずつかたまる。9, 茶がらはゆげの少ない方にたくさんかたまる。(3時08分) 10, 50度くらいになるとゆげはだんだん多くなる。11 茶がらはだんだん上にあがるいつぼうだ。12, 45度になつたら温度計に小さいあわがたまつた。13, ゆげがわくと茶がらはたちまち上にかたまる。(3時12分) 14, 茶のいろはだんだんかわつていく。15, 水のいろがだんだんにごつたいろになつた。16, 茶のいろがうすくなつてきた。17, 水がまわるから茶がらがうごく。18, じょうきがわいてくると温度はだんだんあがる。(3時20分)

・終末テスト

- 1, 上にあがつて下にさがります。2, じょう気がわくと水が動くから茶がらがうごく。3, 温度はだんだん上つていく。4, 下の方はもぐつているからよくあがらない。上の方は少ししか水の中になからよく上る。5, 温度が上るにつれて茶がらはいつばいあがる。水がわいてくるとゆげがでて音がする。

b 結果の解釈

前章学習構造ならびに分析観点にたつて、児童の視知覚表象→概括・認識の

反映とみる記録の言語表現，その背景となる発達特性から考え，この記録を分析して児童の思考過程を究明するために，記録内容をつぎのように分類した。各項目にそえた数字については学習構造を参照されたい。

A①茶がらのうごき。この中には茶がらが浮く。茶がらの色が変わるといつた孤立的な視知覚表象によるもの。B③温度計の変化。C④ビーカーの外壁の変化。これは外がわがくもるといような観察内容で，この観察では捨象されるべきものである。D⑦水の状態の変化，あわつぶがうき上るといような内容である。以上を第一層とし，その上にあたたかくなるにつれてうき上る（茶がら）といような時間関連，水がうごくことと茶がらがうごくことという事象関連の段階④⑥⑤の第二層。最後にこの実験場面での最後の概括⑩の段階の第三層である。第一層第二層では対象的な性格の強い知覚段階である。

全体として観察事象で目立つのは，茶がらについての固執である。茶がらも動く→廻転→水の対流と進まず，湯がわく→茶がらが動くとい方向である。この点はその観察の帰結で「じょうきがわく，だから水がうごく，それで茶がらも動く」ということから考え，茶がらのうごきの視知覚表象は孤立して水との関連は持たない。また茶がらがうごくことは水のうごくことだとい推理が，実験の初期では成立せず，水がふつとうしはじめて気泡がたくさん上る段階ではじめて成立することより，初期の茶がらのうごきから対流を抽象することの困難（はじめは水の動きは見えない。ふつとうする際は気泡は視覚に訴えられるが，水のうごきそれ自体は直接感性的に視知覚内容にはならない）が認められる。つまり直接に視知覚の対象とならないものは解決の構造要因とはなりにくい。このことは記録の内容がほとんど第一層に限られて居つて，事象相互間の関連，事象の時間系列による関連的な構造変えが困難とみられる全体的な傾向と通ずるものであろう。湯がどのようにわくかという課題に対して，観察の末期においても，事象の視知覚の感性的な表象の個々の羅列的な知覚にとどまっていると考えられる理由は，記録と終末テストの(2)(3)によるものであつて，温度計の上下における位置差も上の水温と下の水温とその機能について分析的な思考が展開されず，ただ水の温度として全体的な姿で知覚されている。ここの事象の第一層の羅列的総合的な認識と興味に基づく観察視点の固定がこの児童の学習過程の特徴である。

2.1.3. 結果の総合的な解釈

問題的な思考傾向

- ① 茶がらの動きについて、児童の記録をみるとつぎの傾向がみられる。
- イ 茶がらや水の色などの事象そのものの視知覚表象そのままの記述。たとえば“ぼうのようなものがつく”“茶がらがたくさんある”という表現で、しかも個々に孤立的にとらえ、記述相互間の関連性に乏しい。
 - ロ “茶がらは上にうかぶ”というように茶がらの動きに着目し、しかもその内容が上下、円運動に関連するもの。この課題の具体化として、茶がらは上下にうごきまわるという感性的認識は、この領域で最終的に視知覚表象として成立している。
 - ハ この類型は“茶がらは生きてみたいだ。おどつている”というような主観的想像的な記述で、この類型は少ない。
 - ニ “茶がらは泡つぶみたいなものがついて茶がらがうくとあわもとんでいく”というようにいくつかの事象の関連的な観察内容にもとづく記述。
 - ホ “あたたかくなるにつれてうき上る”という時間系列による記述。解決に選択される要因として“水は温まるにつれて対流は激しくなる”という知覚表象はこの領域で概念化されなければならない。この段階に達している児童は少ない。
 - ヘ “あついから茶がらはうごくのだ”という主観的な因果関係にもとづく記述。この記録は少ない。
- ② 温度計についてみると
- イ 観念的な記述。上と下の温度計には着目しない。温度は何度だという形式である。
 - ロ “二つの温度計の示標差にもとづく記述。上の温度計は〇度、下の温度計は〇度という内容で、あきらかに対流と水のあたたまりかたを推論するための要因である。
 - ハ “あたたかくなるにつれて温度計はのぼる”という時間系列ではみるが上下の温度差を具体的に、常温では差はなく、 50° ~ 60° で差はもつとも大きくなり、 70° ~ 80° でまた差はなくなっていくというように、変化系列にと

もなつての具体的な観察は少ない。場面要因としてこの二つの温度計の機能まで説明して指示したのであるが、両方の温度計の昇つていくという事象が強く関心をひき、また観察が容易でもあるのに比べ、温度差は二本の温度計の各々の視知覚表象の量的な比較考察を必要とするからでもあろう。

ニ 温度計は水のあたたまりかたよりおそくなる。またゆげがふえるたびに温度計がのぼるといふ観察記録である。温度計は厳密には水温上昇、温度計への伝導、中の水銀の上昇という過程ではあるが、この記録がそのような分析にもとづいてなされたかどうかはうたがわしい。それは後者のゆげがふえるたびに温度計がのぼるといふ記述と同性質のもので、目立つ事象に規定された観察態度によるものではないだろう。

ホ お湯のわきたつ温度は大体100度である。または97度くらいで湯はわきたつという記述である。しかしこの記述の部面だけではそれが果してこの実験の客観的帰結であるかどうか不明なので、その児童の全部の観察記録と絡末テストの縦断的な検討をしてみると、100度という結論を出している児童については、湯のわくのは100度だという前提のもとに観察している場合が多い。実際は96度～97度でわきたつたのである。それまでは温度計の上昇を一分二分と必要以上に正確に測定しようとする児童が、この段階では、案外簡単に100度に概括してしまう。つまり水のわきたつ時、温度は100度という固定概念をもっている。

③ 水の状態については

イ “下から盛んにたまがでるとか、ゆがにえたつ” といふた記述である。これは実験の末期においても、下から盛に湯気の花まが出るといふた事象そのものの記述をとる児童と、盛ににえたつといふ概括的な記述形式をとる児童とにわかれてくる。概括的な記述形式の児童が第4表の主観的合成的な記録を残している。この児童にとつては実験事象の客観的分析的な観察は困難であると考えられる。

ハ 温度計との関連で “90度近くなると湯気が出なくなる” といふような記述である。事実水面には90度近くなると、水蒸気であるため、前のように視覚化されない。上方には前より激しく湯気がたつているのであるが、視点が水面におかれたためにこのような記述になるわけである。このように

視点が場面の一部に固定しているため観察内容が部分的になる例は極めて多い。

ニ 時間系列による記述である。「あたためるにつれてあわの出方が多くなる」というような内容である。

ホ 「お湯をながくわかすとピーカーがこわれる」「あまり長くわかすとあつくてのまれない」「おゆのあつさが水を上におしあげる」というような記述であつて、実験のまとめにも過程の記録にも出てくる。前因果的とも主観的な判断ともいえる推理形式であるが、その結果、要因の客観的な把握と選択が行はれず、帰結においては事象の観察の直接的表現にとどまり、水の状態、茶のうごき、温度計の関連構造を構成することができない。

ト 「水のあたたまりかたは上よりあたたまる」「おゆのにえ方はぐるぐる廻つてだんだんにえていくのではないかと思う」という記述で、観察記録の終期や終末テストにあらはれる記述である。この内容は問題に即して観察内容が整理され構造変えがなされた段階である。茶の動きや温度計の示標、水の状況の視覚的事象を総合して、一応それより抽象した段階であるがこの実験でここまで到達した児童は少ない。問題指示と実験観察だけでは大多数の児童にとってはやはり困難である。すでにこの内容について学習した児童にとつても、困難とみとめられる。このことについては、過去の学習の際の実験器具、実験操作等とこの実験との間の相似の内容などの学習内容以上に、経験の仕方に検討すべきものがあるように考えられる。

発達の思考傾向

この実験は三年～六年まで実施したのであるが、概括的に云うならば三年では羅列的、孤立的な観察の記述が多く、六年では同じ対象的な視知覚表象ではあるが、選択的、関連的な記述が多いと思はれる。つぎに各学年にわたつて記録内容の分類表をあげる。第4表はその表である。表の孤立は前節のイ、ロの内容であり、関連はニ、ホ、主観的はハ、合成的因果はヘ、末項の論理的はトの内容によつて分類したものである。

全体を通してみて記録内容が五年六年の実験例に少なくなつてきているのは主観的な記述である。「茶がらはおどつているようだ」といつた記述は五年

六年では全く見られない。また四年五年六年で見られるのは視知覚表象の羅列的な記述の中にも概括が屢々行われていることであつて、一応最後の段階で総合的に課題について要因の構造変えに思考はすすむ、論理的なまとめの数項はその例である。この内容は終末テストの2で、三・四年が茶がらそのものより視点の変更がされないのに比べて五・六年の例には「水がうごくので茶がらがうごく」と茶がら→水の中心転換がされている例の出ている事から考えて一つの発達の思考態度ではないだろうか。

さらに部分的にみるならば温度計の示標について、三年では孤立的な項目が多い。これは二本の温度計を個々にみているのではなく、温度計を全体としてみている態度である。終末テストでは問題による統制のため二本の上下の温度計は出てくるが、学習過程ではあまり問題としていない。それに比べ、五・六年で関連的の項に多いのは二本の温度計の時間系列による相対的な示標の変化と差異を問題としているものである。温度計の今までの経験と同時に場面分析について学年差によるものであろう。水の状態については六年・五年では三年

第 4 表

学 年	児 童	性 別	A 茶がらの移動				B 温度計の示標			
			孤 立	関 連	主 観 的	合 成 的 因 果	孤 立	関 連	主 観 的	合 成 的 因 果
3年	♂	K	1	2	0	2	0	3	0	0
"	"	R	3	3	0	0	2	1	0	0
"	♀	I	4	4	1	1	2	0	0	0
"	"	T	2	5	0	0	2	1	0	0
4年	♂	Y	8	1	0	2	11	0	0	0
"	"	T	5	2	0	0	1	6	0	1
"	♀	R	9	5	1	0	2	1	0	0
"	"	M	5	5	0	0	2	2	0	1
5年	♂	S	7	3	0	3	1	5	0	0
"	"	U	4	3	0	0	2	8	0	0
"	♀	K	7	1	0	0	0	11	0	0
"	"	M	7	1	0	0	1	1	0	0
6年	♂	T	2	2	0	0	0	2	0	0
"	"	M	2	7	0	0	0	5	0	0
"	♀	S	8	2	0	0	3	8	0	0
"	"	Y	3	1	0	0	2	3	0	0

四年に比べて記述はすくない。学年の進むにつれて少くなくなっている。“水中よりあわがうかぶ”というような内容は高学年では少ないが、三年または四年ではくり返して記述されている。ビーカーの外壁の変化、これは問題の解決には捨象されるべきものであるが、学年のすすむにつれてその記述は少なくなる。六年の関連の項でやや多いのは内部の水の状態と関連して観察したものであつて、外壁そのものについては、学年の進むにつれてあまり問題としなくなってくる。全体として茶がらに強い関心を持ち、終始記録では中心となつている。そして学年の下るほど種々の理由づけ（主観的な）をして最後になつても茶がらから視点は離れない。この視点の転換は温度計についても同様であつて学年の進むにつれて“水のあたたまりかた”へ転換する。実験事象の変化に強い興味を持つこと自体が、低中学年では構造変えを困難にし解決を不能にしているのではないだろうか。問題自体の分析の困難度において学年の発達の差はあるが同時に実験器材事象についての関心、興味もまた解決について大きく影響すると考えられる。

C 水の状態				D ビーカーの外壁				論理的なまとめ
孤立	関連	主観的	合成的因果	孤立	関連	主観的	合成的因果	
4	3	0	3	1	0	0	0	
2	2	0	1	1	1	0	1	
1	2	0	0	1	2	0	0	
1	2	0	1	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	0	
8	2	0	1	2	0	2	0	1
2	0	0	0	1	0	1	0	
5	2	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	
5	1	0	0	1	0	0	0	3
3	2	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	0	0	1
2	2	0	0	0	3	0	0	1
5	1	0	0	1	2	0	0	
2	0	0	0	0	2	0	0	

2.3. “弦の張力、太さ、長さ”に関する実験観察

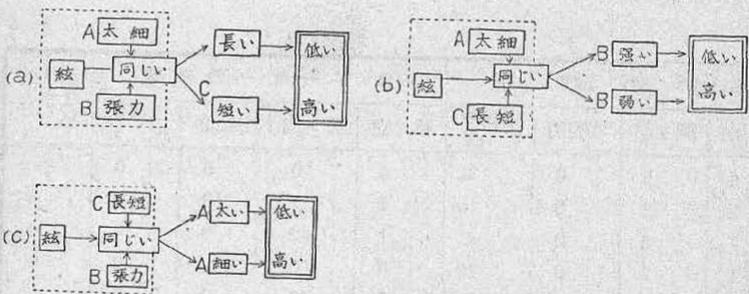
2.3.1. 研究計画

a 実験内容

この実験はモノコードを使い、太・細各々二本の弦、重軽各々二ケのおもりことじ二ケを使つて、弦の振動による音の高低がどのような要因によつてきまるとかを発見しようとするものであつて、児童生徒が実験によつてたしかめる内容としては

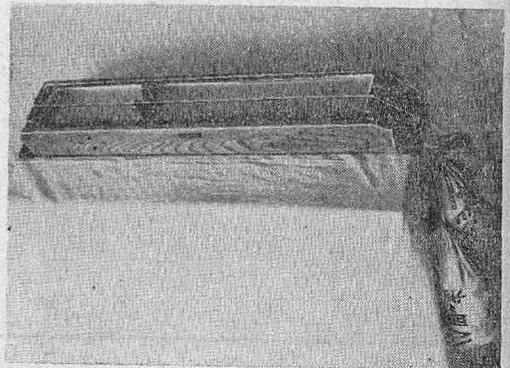
- ① 同じ太さ、長さの弦では張り方の強い方が弱い方より音が高い。
 - ② 同じ長さ、張り方の弦では細い方が太い方より音が高い。
 - ③ 同じ太さ、張り方の弦では短い方が長い方よりも音が高い。
- の三点である。

第 5 図



この学習材の構造は第5図のように、材料・要因よりA, B, Cを選択しその二つを同一条件とし、残る一つの要因にもとづく事象より弦の高低に関する法則を発見する。a, b, cは同じ位相の思考

第 6 図



過程である。

第6図はこの実験で使用した装置である。

b 学習過程の分析

この実験では、与えられた材料（太い線2本、細い線2本、重いおもり2こ、軽いおもり2こ、ことじ2こ）の中から課題解決に必要な材料を順序よく選択して、ためすことができるならば、あとは比較的容易に解決されるものと考えられる。

たとえば、太い絃と細い絃とを使い、おもりを等しくしてそれぞれの絃をはじいてみるならば太い絃の音の低いことは容易に判断できる。これは太い絃をはじく細い絃をはじくという操作と、それによつて生ずる音の聴知覚表象とを直接に結びつけるもので、比較判断が容易であり、その判断が直に課題の要求にそうものであるからである。

もし、この課題の要求が音高の定量的な比較までも要求するものであるならば、困難度は急激に高くなるわけであるが、この実験ではそこまで要求していない。

また音高と音の強弱との感覚的な弁別の困難が予想されるものについては解決の困難度は高くなるが、この実験で対象とした児童生徒には両者の弁別不能のものはほとんどないと予想される。したがつて、この実験の学習過程でもつとも問題となるものは、与えられている材料を実験目的にしがつてどのように整理し、どんな順序で操作するかという材料分析と、それにしたがつてなされる実験結果の整理、概括にあると考えられる。

c 学習過程分析の方法

前節の分析観点にしたがい研究をつぎのように進める。

- (1) 物体の振動による音の発生についての過去経験、とくに絃振動と音の高低関係についての概括の度合、モノコードについての過去経験（予備テスト、予備調査）
- (2) 実験初期において実験計画構成の話しにみられる、第5図のa b cの条件の分析組合せの程度・実験の見通しの成立の様相
- (3) 実験中の話しによる材料分析、見通しの修正、解決の様相（まとめ）
- (4) 実験操作の系列による解決にいたる過程

(5) 解決の内容については、児童のまとめと終末テストによつて検討する。

したがつて、資料としては予備・終末テスト、児童生徒の実験記録、観察者の記録である。この場合観察者の記録に研究の主軸をすえて、その内容の補足とたしかめのために他の記録を併用する。

d 対象児童生徒

小学校四～六年、中学校二～三年について各学年男子二名グループ、女子二名グループについて実施した。各グループに一組の実験用器具を与え、実験計画の作成と進行を討議によつて決定させ、記録も共同で作成させた。ただし予備テストと終末テストは個々に実施する。

e 導入、目的指示、予備テスト、終末テスト

○予備テストでは音源としての絃振動に関連して高低や発音体の質その他について既有経験の調査である。問題はつぎの通りで質問紙法によつて実施した。

① こととハーモニカで音の出し方と出るところはどのようにちがうか。

イ 音の出し方 ロ 音の出るところ

② つぎの楽器で音の出るところがギターと同じような楽器に○をつけなさい。

オルガン マンドリン ピアノ 太鼓 バイオリン 笛 ラッパ クラリネット
ト 尺八

③ ピアノの中を見るとたくさんの絃がはつてあります。そして高い音、低い音の出る場所はぎまっています。その高い音ひくい音の出る場所の絃のようすは、どのようにちがっているでしょう。

○導入と目的指示は全グループに同一につぎのように実施した。

(1) ことをみたことがありますか。

(2) ことに似た楽器を知っていますか。(ギター、マンドリン等)

(3) その楽器はどうやったら音が出ますか。(指ではじく)

(4) そのような楽器でどうしたら高い音や低い音が出るのでしょうか。

○目的指示用具の説明

(1) これをモノコードと云います。絃・ことじ・おもりを示す。

(2) これに絃をはつて音を出します。(モノコードに絃を1本だけはつて音を出してみせる。絃は細い、または太いどちらでもよい。ことじは使わない。)

(3) おもりは絃のほりかたを強くしたり弱くしたりします。ことじは鳴らすところを長くしたり短くしたりします。これにはる絃は太いのが2本細いのが2本あります。モノコードには2本ならべて絃をはることができます。

(4) これらの道具を使つて音を出す場合、どのような時に音は高く、どのような時に

音は低いか調べなさい。わかつたことは記録にまとめなさい。

○記録用紙はどのようにしたら音は高くなり、また低くなるか、と問題だけ書いてあつてあとは白紙のままのものである。

○終末テスト、1～5まではつぎの場面をモノコードで具体的に示して、音の高い方をあげさせるものである。

- (1) 絃が同じ太さで張力の異なる場合。
- (2) 張力が同じで絃の太さの異なる場合。
- (3) 同じ太さ、張力で長さの異なる場合。
- (4) 太い絃を弱く、細い絃を強く、長さが同じ場合。
- (5) 太さを同じくし、長い絃を弱く短い絃を強く張つた場合。

(6) はつぎのような選択法によつて行つた。

絃の長さが(長い, 短い)ならば音は高くなり(長い, 短い)ならば音は低くなる。
絃の太さが(太い, 細い)ならば音は高くなり(太い, 細い)ならば低くなる。はりかたでは高くするには(強く, 弱く)絃をはり、低くするには(強く, 弱く)絃をはればよい。そこで弱くはつた長い太い絃の音は(低く, 高く)なり、強くはつた短い細い絃は(高い, 低い)音を出す。

またこの学習材は小学校の理科では五年に配当されているので、五年六年、中二年三年の実験では実験器具を示してこの器具の操作経験、学習内容について直接に質問して調べた。この既有経験と実験の過程については次節でふれることにする。

2.2.3. 観察と分析の具体例

a 観察記録

4年生 児童名(O, Y) 性別(♂)

予備テストに入る前にモノコードを見せてつぎの質問をする。

- (1) この道具を見たことがあるか。……前に見たことないな——O, Y
- (2) なにかに似ているか。……蛍光燈に似ている——Y

○予備テストの結果

- 1のイ O ハーモニカ……ふく。すう。こと……わきにおす。
Y ハーモニカ……ふく。こと……手でうごかす。
- 1のロ O ハーモニカ……かさなつている。こと……ギターみたいになつている。
Y ハーモニカ……中にしくみがある。こと……外に糸みたいなものをつないでおく。
- 2 O バイオリン。 Y バイオリン。

3 O はなれている。 Y 記載事項なし。

○終末テストについてはO, Y, 二名とも1~6の全問題が正解である。つぎに観察記録をあげるが、それに用いられる符号はつぎの通りである。

Ls=絃が短い。 Ll=絃が長い。 Ss=細い。 Sp=太い。 Rs=張力が強い。

Re=張力が弱い。 Th=音が高い。 Tl=音が低い。 B=ことじ。

第 5 表

Time	(B) 実験器具の操作 一行 動一	(S) 話 し あ い
2.45	<p>1. Y, O 2人で問題をよみ返す</p> <p>2. Y, 器具にふれず計画をかく…… S.2</p>	<p>1. O, どうする。台一櫃ごとになつてな</p> <p>2. Y, 重い重りをさげてひろくしたりせまくしたりする。せまくしたら高い音が出るだろう</p> <p>3. O, お前かけや</p> <p>4. O, この2本太くて同じだと、これでひろくしたりせまくしたりすればいいがな</p> <p>5. Y, うちにギターがあるがな。つよくすれば高くなるがな</p> <p>6. Y, 太いのをせまくすると細いが、よりも高い音が出るか?</p> <p>7. O, 高いども細いがよりも下だが</p> <p>8. O, 細いが、どうだ</p> <p>9. Y, それはいまの反対だがな</p>
2.49	<p>3. O, Yの発言を計画として、記録する</p> <p>4. O, Yの発言を計画として記録する</p> <p>5. O, 実験の準備</p> <p>6. Y, AをはじきBをはじく ↑</p> <p>7. Y, AA', BB'をひく この</p> <p>7. O, SpのRsの間合</p> <p>8. O, SpのA/B B'をひいてみる の</p>	<p>10. Y, 太い方をことじでせまくして、細い方をひろくすると、ひろい方がひくい</p> <p>11. Y, ほそい糸にことじをいれてひろい方をひくと太いのよりひくい音だろう</p> <p>12. O, どつちさぎにする</p> <p>13. Y, どつちでもよいさ</p> <p>14. Y, 2つともやればいいさ</p> <p>15. Y, こんなにたかいねけ</p> <p>16. Y, ほらあたたつていたねか</p> <p>17. O, そうだね</p> <p>18. Y, 重りを軽くすると音はひくくなるな</p>
	<p>Ss-Rs</p> <p>Ss-Rs</p> <p>Sp-Rs</p> <p>Ss-Rs</p> <p>Sp-Rl</p>	

b 結果の解釈

第5表にはその学習過程とその具体的な展開に即して事例についての解釈を示した。とくにその全体をとおして、この事例について問題と思われる点をつぎにあげる。

児 童 の 記 録	解 釈
<p>(計画段階)</p> <p>① [・ほそい糸を重くし木でせまく するとせまいところは高い音 が出る]</p> <p>② [・太い線を重くして木でせまく してせまいところは高い音 が出るが、細いのより低い]</p> <p>③ [・太い線のあいだをひろくして はねるとひくい音が出る]</p>	<p>1) 絃の属性張力と、長短についての対立、Yは与えられた材料、要因の機能(重り)が理解されず、長短による属性に結びついて見通しも成立する</p> <p>2) 経験の想起、しかし強くはる、高くなるということと、与えられた場面の重りによる方法とが結合しない</p> <p>3) 長短と、太細が関連してとりあげられるが、重りについて張力による変化はとりあげられない</p> <p>4) 10.11.において、Yの長短についての関心が(集団内で)優位となる。Yは太細を考えぬわけではないがそれよりも長短を解決要因としてつよくとりあげている</p> <p>5) 具体的な問題場面に直面することにより思考の視点が転換する……14, 太, 細, 個々に長短の比較による事象の検討。⑨14……17 話し合 10.11, が修正される記録……24</p> <p>6) 具体的に重りを操作することによつて材案要因としての重りが意識され、それによる事象が検討される。⑨18……19</p>

④

・ほそい糸のあいだをひろくし
てすると音はひくい、太い
のより高い

⑤

◦ほそい線を2本かけてかるい
石と重い石をかけると重たい
方は音が高い

⑥

◦太い線は重りを重くすると音
が高いし、軽くすると音がひ
くい

・モノコードの全長は60cm

⑦

◦太い線2本で重くして半分ま
で台をうごかすと、ひろい方
は音がひくいし、せまい方は
音が高い

7) 重りによる事象について問題の解決、しかし
重りが絃の張力にまでは発展しない。

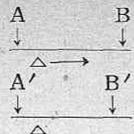
記録5, 6

重りについての操作ではYがOより、より検証
的である。S 24~28

8) この段階では、まだ絃の属性の張力、長短・
太細が孤立的、対象的に事象要因として成立し
ている

9) 重りによる張力の要因に研究の焦点が集中す
る。Oの材料分析が、Yにくらべておこなわれてい
る

9) 絃の長短と音の高低の関係が、軽い重りの場
合にだけ成立していた対象的な認識がくずれて
重い場合においても成立することを理解する。
事象要因としての長短の論理的な認識・・S 33.0

	<p>28. O, 一方のBを移動してA, A'の差を大きくする</p>	<p>34. O, A, A' をひくからどつちひくいかにきいてみた</p> <p>35. Y, AがひくくてA' がたかいこてや, きかんとつて</p>
<p>Ss-Rs</p> <hr/> <p>Ss-Rs</p>	<p>29. O, SpをSsにする, 重りは両方ともRsをかける</p>	<p>36. Y, SpをSsに変えてみた</p>
<p>△</p> <hr/> <p>△ →</p>	<p>30. Y, ことじをどちらも同じい, 57~58cmにそろえてたてる</p>	
<p>△</p> <hr/> <p>△ →</p>	<p>31. Y, O, 一方のBを移動させる</p>	<p>37. Y, こんどは木(ことじの意)のもんだいだぞ</p> <p>38. O, あたりまえだ</p>
<p>A</p> <hr/> <p>△</p> <hr/> <p>A' B'</p>	<p>32. Y, A, A' をひいてみる</p> <p>33. O, A, Bをひいてみる</p>	<p>39. O, こんどは前と反対だ(B28の場合, A, BでAはひくい, こんどはA, BでAはたかい)</p>
	<p>32. Y, 記録する</p>	<p>40. Y, そうじやないこて, 前と同じだ</p> <p>41. O, やつぱり幅がひろいと音が低いな</p> <p>42. Y, まとめんぞ, もういいねか</p>
	<p>33. O, Y, 実験器具をはなれて頭をあつめて記録をよみ返す</p>	<p>43. O, そうだな</p> <p>44. O, こうまとめればいいねか "はばをひろくすればひろくするほど低くなる"</p>
	<p>34. Y, 記録する</p>	<p>45. Y, せまくすればせまくするほど高くなる</p> <p>46. Y, 重りが重いと高いな</p>
	<p>35. Y, 記録する</p>	<p>47. O, その反対も書けや, たやすいな</p> <p>48. O, まだあるか</p>
<p>3. 35</p>	<p>36. O, Y, 記録提出して実験終る</p>	<p>49. Y, これで記録出していいだろ</p>

(1) 計画段階では, 全体的な見通しは成立しない。したがって操作の手順を材料分析をともなつて具体的にたてることは難しい。主として与えられた問題場面の視知覚の直接対象となる実験器具を中心として進められる。つまりこの学習材では, 絛の太細と長短は材料要因として計画段階でとりあげられるが,

⑧

○ほそい線2本で木を半分まで
つて重りを同じくすると、半
分の方はひくくて、せまい方
は高い

○2人の比較場面がちがう。Oは
A、Bの比較とB28の場合を考
えているが、YはA、A'を比
較している

⑨

終りのまとめ

- ・はばがひろいほど音はひくい
- ・はばがせまいほど音が高い
- ・重りの重いほど音が高い
- ・重りの軽いのは音が低い

10) 9)の段階にはYがすでに達しているので、
Oとの間に操作のねらいについて断層を生ずる
Oは9)を検証しようとするが、Yにとっては
確信となつていることである

11) 操作の際の比較視点が絃の長短にあつてO、
Yともそれがことじによる結果であることの関
連的な構成としてはまだ成立しないと考えられ
る。したがつて長短→ことじの関係がここで試
行されるが、それが、絃の長短と同一関係であ
ることを着想し、長短の場合の帰結がそのまま
転移して来る。したがつて操作は簡単に終了す
る。
この際に前のSpをSsに変えたことについては
O、Yともあまり意味がない(解決に対して)

12) 実験の後半の帰結は、OYともまとめられる
が、初期における太い細いについての結果は落
されている
初期の操作が試行的のものであつて、課題の要
求を具体化する過程として材料分析が初期では
充分でなかつたためと、後半の操作が、長短に
集中したためであらう

張力には着眼しない。このことは、張力が重りを下げるといふ操作を必要とす
るからでもある。

(2) 帰結に達した場合においても、操作や、用具等に結びついた対象的な認
識である場合が多い、たとえば「間がせまいほど音は高い」といふ帰結、若し

細い絃で実験した場合には、概括された言語表現でなされていても、それは細い絃にかぎられているのであつて、他の種類の絃にはすぐさまはたらくわけではない。したがつて同一記述の事項もその過程における位置で意味を異にする。

(3) 構造要因で視知覚の対象となり得るものでも、関心がない場合はとりあげられない。たとえば、絃の長短について実験しているときは、絃の長短は視知覚表象となるが、そのための用具であることじは視知覚表象とならず、ことじについては、あらためてその機能について検討する。これは材料要因としてことじの機能が分析されていないことにもよると考えられる。

(4) 実験の初期では与えられた用具を全部装置して試行する。その場合は計画内容とあまり関係がない。そして、その試行中につきの操作を着想し羅列的に操作をすすめる。

(5) 実験の終結においては、その実験で解決した内容をすべてあげるとはかぎらない。その活動量の多かつた活動が主としてまとめられる。そしてそのまとめも、実験用具、または操作によつてまとめられ、外在性を持つ言語記述で概括することは困難である。

2.3.3. 結果の総合的解釈

問題的思考傾向

各学年の実験観察の思考過程をとおしてみるとつぎのような問題的な傾向がみられる。

① 実験にとりかかる前の計画段階では、小4女をのぞいて、ほとんど大部分の児童生徒が解決の具体化のために必要とする絃のいろいろな属性（太細、長短、張力）について比較視点を持つ。しかも解決に必要な操作の手順を見通すことができる。したがつて発見的というよりはむしろ検証的に実験は行われている。この理由は課題の要求する音の高低判断が感性的な聴知覚表象そのものであること、そのための器具の操作が極めて簡単なこの学習材の構造によるものであろう。

② 計画段階の計画内容には二つの傾向がみられる。一つは“小5女、中2

男、中る男」にみるように「太い線と細い線ですてみる」"台をかえてやつてみる" というように実験の操作手順だけで終るものと、「小六女、中二女」のように「線の太さによつて音がどうちがうか」というように目標分析と操作が関連して検討されている場合がある。実験の過程に両者の間に大差の無いことより考へて、前者に目標分析が充分なされていないと考へることは誤りでありむしろ関心が操作に強く志向した結果とみるべきであろう。

この学習材の構造からして（音の高低があまりにも自明であるために）問題は生じなかつたが、課題の構造がさらに複雑になると、前者の傾向は解決に困難な問題を生ずるのではなからうか。

③ 実験は必ずしも計画段階で予想したとおりの手順でおこなわれていない。「小六女」「中二男」では絃の張力と長短というような属性が選択されずに問題場面にとりこまれる。そしてその操作の間に材料分析が進められ、とりあげられた絃の属性について選択が行われる。児童生徒の目標分析—材料分析—見通しの成立の機構は、実験用具の単なる視知覚表象だけでなく、具体的な問題場面における操作により、はじめて具体的に進められるものであろう。

④ 実験の初期の段階では、計画段階で絃の長短についてあまり検討しない組も、全体としてことじによる操作（絃の長短）を一応試行する。

このことは、児童生徒が与えられている材料の課題に対する機能を考へること以上に、操作の欲求と、さらにこの長短、強弱、太細の要因中長短が可変範囲が大きいこと、操作の簡単なこと、また楽器「こと」と、このモノコードのことじの操作の類似性の高いことなどによるものであろう。

⑤ モノコードに尺度がつけてあるため、長短による音の高低を検証するにあたり、その尺度に困執する。

この傾向は全体にみられるが、とくに5年男には著しくあらわれる。「絃の長さ5cmでは音がピンピンだ。10cmではテンテンだ」というようにことじの尺度による移動にもなうわずかな音の差異をどうにかしてとらえようとする。課題の要求に即した要因選択ができないのである。

⑥ 小六女では「細い絃と太い絃のことじのおき方によつて同じ音にならないか」「太い絃のどこにことじをおいたら私達の声と同じ高さになるか」というような課題が実験の重要な部分となつている。この児童については、絃のい

ろいろな属性は音の高低にどのような関連を持つかということは課題としての意義を持たない。すでに課題は解決されて確信となつているのであつて、与えられた目的指示を自分なりにさらに発展させているものと考えられる。課題の解決がすでに実証されている場合の一つの傾向である。然しながらそのような場合でも与えられた場面なりに極めて選択した操作で“中三女”のように実験を進める場合もある。この“中三女”はあきらかに追実験で操作の量は全実験例中最少であつた。

⑦ 実験のまとめ方では、例を張力にとるならば、小5年女のように“重いものは軽いものより音が高い”という表現と、中3年女のように“糸のはり方の強い方が音が高い”という表現をとる場合がある。中3年男ではさらに“音の高い場合は……”というように概括している。論理的認識の段階では中3年男の場合が一番高く、重いものは軽いものより高いという段階はまだ具体的な操作より抽象されていない場合と考えられる。

発達的思考傾向

この実験観察で児童生徒の様相を発達の視点よりみると、つぎの点がみとめられる。

① 小4年女を除いて、各学年のグループとも、そのまとめと終末テストの結果よりみて、課題は解決していると考えられる。

② 実験記録およびそのとりまとめには、つぎの傾向がみられる。一例として絃の属性の一つである長短についてみるならば、“ことじを左にやれば音は高くなり、右にやれば低くなる”(小4年)“細い線は合を0に近づけると高くなり、60に近づけると低くなる”というように、操作をとらない行動的な言語記述によつてまとめられる。小学校の段階では長短について実施した操作の中の特定の操作によつてまとめられている例(小4年女)が多いが、学年の進むに従つてその傾向は少なくなり“高い音を出すためには線を短くする……小6男”“絃が長くなれば音は下る”(中3年女)というように、しだいに行動をはなれて来る。しかしながら、全然行動的な記述がなくなつたわけではなく“ことじの距りをはなすと音は低くなる”(中3年男)のようなまとめ方もみられる。

全般的にいうならば、学年の進むにしたがつて実験の事象や操作をはなれて、理解された事項を概括し一般化する傾向があらわれる。

③ 実験がほぼ計画段階の内容にしたがつて遂行されたのは中る年女である。したがつてこの組では操作に無駄がなく、要した時間をもつとも少ない。しかしこのグループでも予備調査では完全にこの実験の課題について解決が成り、それに比べて、学年の下るほど試行は多く、前節でふれたように、計画段階で決めた手順とちがった順序で実験は進められる。これは、この学習材の構造について、学年の進むにつれて全部的な見通しがたてられるからであろう。

④ この学習材は小五年に予定されているが、この度の実験の際はまだ五年生も実施前であつて、学習経験として先行条件にあげねばならない学年は、小六、中二・三である。しかも小六年は比較的近い過去にこの学習を実施した。

与えられた課題以上に「ことじの調節により絃の太い方と細い方の音を同じにする」という点にまで進んだのはそのためであろう。中二・三年では目標がそのように転換することより、課題自体についての材料分析、場面分析に無駄がすくなくなる。しかしながら、小6女の絃の太い細いと、長短について、ことじを仲介としての発展的な試みは、児童の思考発展の契機として、教育的には重要な意義を持つものと考えられる。

⑤ 学年の下るほど、感性的な直接にうける表象によつて、場面転換が生じやすい。手指で操作したこと、たまたまとりあげた絃、ことじのように視知覚の直接対象となつた器材、ならべてはじいて出た音に対する聴知覚表象、等が契機となつて、実験が全体的な系列なくそれからそれへと羅列的に進められる傾向が甚しい。

2.4. 「凸レンズによる実像の結び方」に関する実験観察

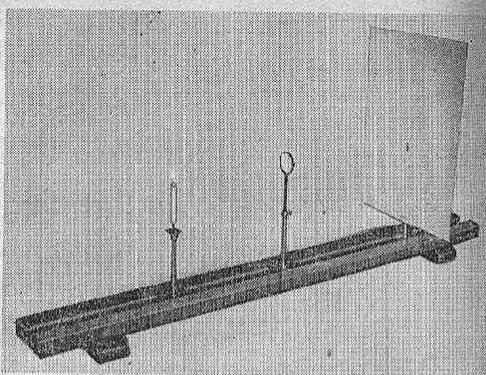
2.4.1. 研究計画

a 実験内容

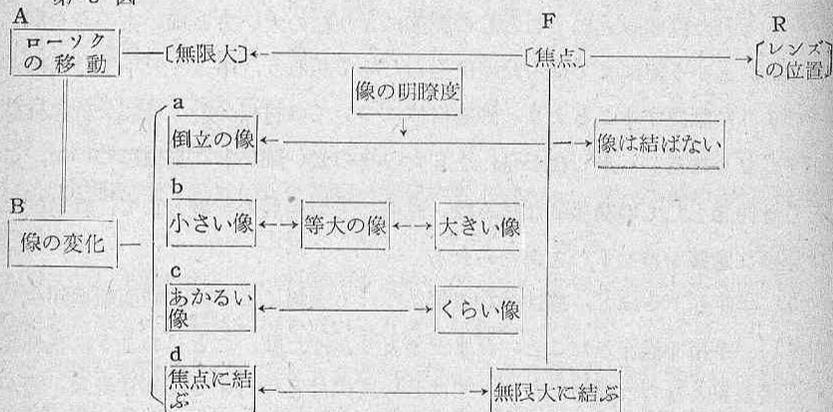
下の第7図のように、1種ごとの目盛りをつけた支台の上に光源（ローソク）、ついで、凸レンズを立て、レンズは固定し、光源とついでとは移動できるように装置する。

凸レンズは焦点距離9種のものを用意しておき、目的指示の際にはとりはずして提示出来るようにしておく。この装置により児童生徒に光源とついたてを前後に移動させて凸レンズによる像の結び方についての一般性（法則性）を見出させようとするものである。

第7図



第8図



- この実験によつて見出させようとする法則はつぎのようによいあらわされる。
- ① ローソクがレンズの焦点内（そのレンズとローソクとの距離がレンズの焦点距離より短い場合）にあると、像はついたての上にはできない。ローソクがそのレンズの焦点の外（レンズとローソクとの距離がそのレンズの焦点距離より長い）にあるときは、さかきの像をむすぶ。そのレンズの焦点上にローソクの位置があると、無限大の距離に像をむすぶ（像はできない）。
 - ② ローソクがそのレンズの焦点の外側にあつて遠くはなれるほど、さかきうつつた像は小さくあかるくなり、むすぶ位置は焦点に近づくが、それ以上にはならない。

- ③ ローソクが焦点の外側にあつて、焦点に近づくほど、さかきの像は大きく暗くなり、むすぶ位置は遠くなる。
- ④ ローソクとついたてが、それぞれレンズより焦点距離の二倍の位置にあるときは、ついたての上にローソクと同じ大きさの像をむすぶ。

以上の法則を児童生徒の実験操作と観察事実よりの知覚表象との関連で示すと、第8図のような構造となる。

b 学習過程分析の観点

この学習過程を分析するためには、児童生徒が学習を進めていく途中でどんな困難につきあたるかをあらかじめ予想しておくことが必要である。なぜならば、この問題解決の過程に横たわる学習上の困難点は、同時に過程分析の際に最も重要な資料となるからである。上の第8図についてこの学習の成立要因を考えてみよう。

光源であるローソクに点火したとき、その光源やついたてのレンズからの距離によつて、ついたての上には、あるいはローソクの形をした像、または円い明るい部分等がみられる。これらいろいろな映像の中から実像を抽出し、概括の出来ることを前提として第8図を示してある。しかしながら、具体的な実験場面を考えると、焦点距離内に光源ならびについたてが入つた場合には、実像は出来ない。またついたてが焦点距離内にある場合には円く明るい光の収束された部分と、レンズの影がうつる。このようにいろいろな映像の中から、実像を区別して抽出しなければ、先にあげた法則の発見は困難であろう。

さらに実像についても、使用されるローソクの形、焰、焰心が、それぞれ知覚されるとともに、その各々にとられることなく、光源にある物体（ローソク）が全体として知覚されなければならない。像の大小、明暗については“大きくうつりぼけているが、ある一点では明瞭となる”“小さく映りぼけているがある点で明瞭となる”“くらいけれどはつきり映る”“明るいけれどぼけている”等、いろいろの場面における像の視知覚表象を常に明暗度という属性を中心として抽象しなければならない。もし一貫したこの明瞭度を中心とした抽象的思考が成立せず、あるいは明るさに、または大きさ（この属性は特に児童の関心と呼ぶ属性と予想されるが）にとられるならば、この実験課題は解決されない。

このような問題に加えて、さらに位置の移動による要因が介入する。つまりレンズを中心として、物体—レンズ、レンズ—ついたての位置のおきかたで、像はぼける \leftrightarrow 明瞭 \leftrightarrow ぼける、と変化するが、その変化の系列の中から明瞭な場面をつかむとともに、その変化の要因として、物体—レンズ、レンズ—ついたての距離関係を理解しなければならない。さらにその距離の関係について、実験で用いるレンズの焦点距離が場面限定をする。

以上の構造要因についてさらに具体的にみると、位置の移動については実験用具にみるように台の上で光源とついたてを移動するのであるが、その移動量ははつきりとした視知覚の対象として成立する。しかしながら、この移動の量的な関係に対して焦点と焦点距離が加わると、関係構造の成立は困難となるであろう。焦点の位置は具体的に視知覚の対象として持ちこむことは困難であり、焦点距離という概念も、光源、レンズ、ついたての関係距離の認識過程に比較するとはるかに具体性に乏しい。しかも焦点について過去の学習経験を予想してみると、虫めがねを使つて物を見ると大きく見える、遠くをみるとさかさまになる、というような具体的経験そのままの状態であろう。そして児童の記憶に残るものとしては恐らく太陽光線を凸レンズでうけて紙に焦点を結ばせて焼く、というような感性的認識そのままであると考えられる。

この紙を焼く事例について考えると、その場面での経験は、水平面に対してほぼ、上下の方向に軸をとつてレンズを位置づけたということ、焦点はつねに太陽と反対（レンズについて）の側にだけ結んだということであつて、レンズと焦点との距離の変化はあまり意識されていないであらうと推測される。このレンズについての経験がそれ以後どの様に拡充されたかは大きな問題であるが、紙を焼くという学習が児童生徒にとつて興味を強くひく活動であるだけに、これらの表象への固執性が高いことは予想される。もしそうであるならば、レンズの軸を水平において、その両側に焦点を設定するこの実験場面は、理解に抵抗を感じさせるところであろう。

像が結ぶということの知覚的な弁別がむずかしいことについては一応本節前段において述べたのであるが、そのような弁別ができたとしても、その大小の量的変化は距離の変化に比較するときわめてわずかであり不分明である。光源として使用するローソクの気流によるゆれ、外焰の暗いこと、全体として光源

明るさより暗いことなどは、ただその大小のみを抽象して比較することをむずしくするであろう。そして光源およびスクリーンがレンズの焦点距離の二倍の位置にあるとき、像の大きさは、物体の大きさとほぼ等しいということが見出されなければ、発見させようとする法則の④は成立しない。まして像の大きさについての定量的な観察において、レンズから光源までの距離が二倍になった場合、その像の大きさは $\frac{1}{2}$ になるというような函数的な考え方は恐らくできないであろう。

c 学習過程分析の方法

前節で述べた学習過程に予想される問題を考えながら、凸レンズを中心として光源やついたてを移動させる順序や、そのついたてにうつる映像、映像の変化に伴う操作手順のかわりかた、話し合の内容などを通して、つぎの枠組により分析をすすめた。

第一に考えられることは実験全体を通しての器具操作の順序系列である。実験進行の動機が単に試行的なものか、何等かの予見に基づくものかなどの具体的な様相の検討により、その予見または試行における心理過程や構造はどのようなものか、それに対応する場面分析、材料分析はどのようになされているかなどを分析把握しようとするのである。具体的には操作の手順や各分節毎の児童生徒の帰結などが検討の資料としてとりあげられるであろう。

第二は実験の分節毎の構造であつて、分節毎に児童生徒の観察視点や操作手順を検討することにより、その活動場面を主として支配する児童生徒の思考上の要因を、この実験全体の構造に関係する属性の面より洗い出すことである。ある場合には焦点を意識せず専ら像の変化のみに対する関心によつて活動が支配されている場合もあろうし、像の大小の変化を中心として光源とついたてを操作する場合もあろう。またいくつかの要因の組合せによつて進められていく場合もあろう。はじめから変ることのない観点（それが問題の解決要因であるかどうかということは別として）によつて進められる場合もあろう。このような観点による分析は第一の分野と関連しておこなわれる。

いずれにしても実験用具の操作はどんな手順か、どのような像のとき光源やついたてをレンズや焦点とどのような関係で動かしたか、どのような場面で連

続した活動が細密な観察のため進行の速さをゆるめたか、それぞれの場面でのようなことが話されたかなどについて細かな資料をとることを必要とする。

第三に凸レンズについては、レンズで紙をやく、虫めがねに使う、写真機を作る、といった活動が小学校の低学年より学習計画に予定され、また実施されてもいるわけであるが、そのような過去経験が、記憶痕跡としてどのようにこの実験課題の解決に参加しているかの点である。即ち小中の全体を通して凸レンズについての一般的な性質、例えば焦点、焦点距離、光の収束等について、具体的な場面より抽象された論理的認識を形成する過程として、さきにあげた種々のレンズに関する学習活動が準備されてあるはずであるが、果してその学習経験がどのように論理化されており、この実験の種々な場面でどのように共鳴してはたらくかということである。このことは逆にいうならば、それらの過去の学習経験がどのようにレンズの一般的な性質として理解されているかということにもなるであろう。

d 対象児童生徒

小学校四年、五年、六年、中学校二年、三年より各々男子二名のグループ、女子二名のグループを構成する。その児童生徒は知能、学業中位であつて、その二名のどちらかがグループワークでリーダーとなるということのないように比較的的平均した児童生徒を選んだ。予備調査のあとで問題提示を行い、実験は各グループ自由に行わせたのであつて、実験の過程では児童生徒の行動を規制するような指示は一切行わない。

学習過程を記録するにあつては、児童生徒の実験用具の操作手順や話を落ちなく記録し、後で学習過程を検討する際に、どのような操作によつてどのような帰結を得たかを明瞭に分別できるようにした。

児童生徒には、以上の実験過程でわかつたことと、実験が終つた後でこの実験でどのようなことがわかつたかまとめなさい、ということの二点を最初に指示した。

e 導入、目的指示、および終末テストについて

・予備調査について

レンズについては、低学年では「レンズ遊び」の経験、恐らく太陽光線で紙

を焼くというような操作から焦点がとりあつかわれたであろうが、五年以上ではレンズそのものについて、種類や焦点、焦点距離、光の収束拡散、写真機の原理などが取りあつかわれる。中学では、定量的な像の拡大率の測定まで加えた実験が教科書で予定されているものがある。以上の点を考慮にいれ、一応実験の目的を指示する前に具体的にレンズを示して、つぎの点について一人一人にし面接によりたずねてみた。ただし学年や児童の応答内容により、一部省略した所もある。

- ① (凸レンズを示して) これはなんだか知っているか。
- ② これとちがったレンズはないか。凹レンズと凸レンズはどこがちがうか。
- ③ 凸レンズで物をみたらどう見えるか。遠方を見たらどのように見えるか。
- ④ 今までにこの凸レンズを使つて学習したことがあるか。……もしあると答えた場合にはその学習内容を説明させる。……
- ⑤ 焦点について説明させる。太陽で紙を焼く場合、物を見る場合、写真機の場合について。焦点とはどのようなところか、焦点距離とは。
- ⑥ (実験用具を示す) このような用具で実験したことがあるか。どのようなことがわかつたか。
- ⑦ (つぎに関連した答があるならば) 虚像とは、実像とは、それぞれなにか(概念内容の調査)。実像はどのような時できるのか。(光源とついで、焦点、焦点距離と像との関係構造について、どの程度の内容をもっているかたずねる)

・焦点距離についての指導。実験の目的指示の前に実際にレンズを持たしてつぎの点について指導する。

- ① 日光をあつめて紙を焼く時どのようにしたか。(演示)
- ② ちょうど焼くのによいところがあること。その場所はレンズによつてきまつていること。その長さを焦点距離ということ。

・用具の説明

ここにこんなしかけがあります。(用具を示しながら) レンズは動かないようにしてあります。ローソクとついでには自由に動きます(演示)。台には1榎つつの目盛りがついています。ローソクに火をつけると像がついたてにうつります(演示、はつきりと光源の像のうつる場合を示す)。このレンズの焦点距離は9cmです。焦点はこの台のレンズからどの辺にありますか。(児童生徒にその位置を指示するよう要求する)

・目的指示

レンズの焦点距離がわかっていると、どこにどんなうつり方をするかわかるのです。(実験用具を操作しながら)ローソクに火をつけて、レンズに近づけたりはなしたりいろいろ動かしてごらん下さい。そうするとついでにどんなうつり方をしますのでしよう。ついでを動かしてもよいのですよ。そのレンズの焦点距離を考えながらやつてごらん下さい。うつかりたがどう変わるか、わかつたらこの紙に書いてください。(記録用紙をわたす)

○終末テスト

終末テストは実験の用具を使用し、つぎのような問題場面を実際に設定して、児童生徒の判断を求めた。

問題場面 (イ)

光源がレンズの焦点距離の外にある場合について

- ① つい立が焦点より内側にある時
- ② つい立が焦点上にある時
- ③ つい立が焦点より外にある場合

像はつい立の上に結ぶか結ばないか。

問題場面 (ロ)

光源が焦点の上にある場合について。

- ① つい立が焦点より外にある時
- ② つい立が焦点の上にある時
- ③ つい立が焦点より内側にある時

像はついたての上に結ぶか結ばないか。

問題場面 (ハ)

光源がいずれも焦点の外側にある2つの場合について、光源が焦点に近い場合と遠い場合ついたてにうつる像はどのように変るか。

問題場面 (ニ)

つい立とローソクがともに焦点より外にある場合、つい立が焦点に近い場合と遠い場合をくらべて、どちらも像をむすばせるには、ローソクの位置はどちらを遠くにすればよいか。

2.4.2. 観察と分析の具体例

ここで述べる観察記録並びにその分析の実際では、いろいろな符号を使用するので、あらかじめ説明しておくことにする。

- ・ Lは凸レンズ、Rはローソク、Sはついたて、Fは焦点、FLは焦点距離を示す。
- ・ 観察記録中にある→印は、RまたはSの移動を示す。また○印はRまたはSを固定または停止したことを示す。○印の下につけた数字はLからの距離 (cm) をあらわす。①②……は児童生徒の記録を示す。
- 解釈の欄にある、18R、23S等は、それぞれ、ローソクをレンズから、18 cmの距離においたこと、ついたてをレンズから23cmの距離においたことを示す。

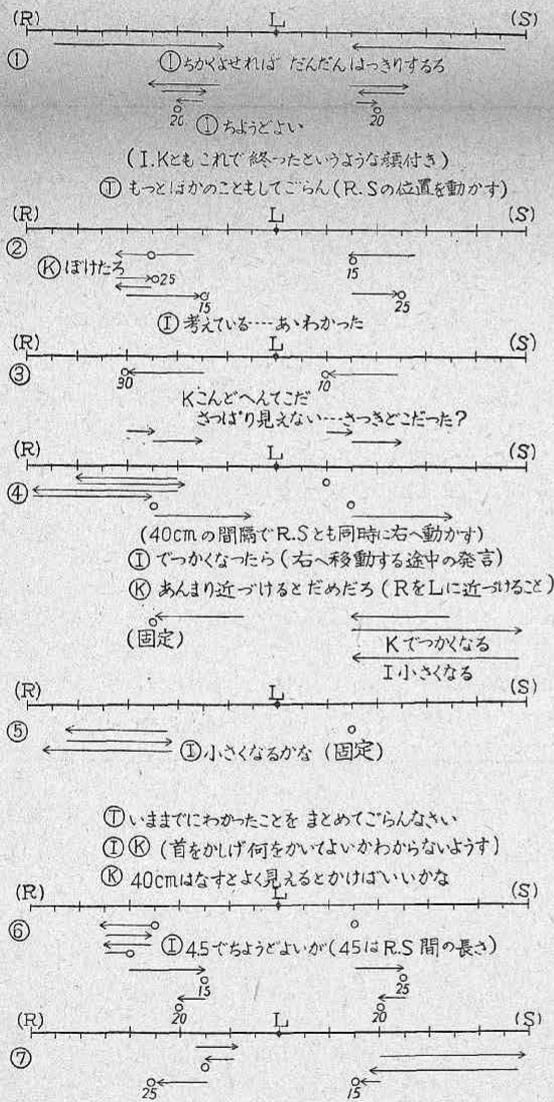
導入と予備調査

- ① これはなんだか知っていますか。 I, K…虫めがねだ。
- ② 虫めがねでどんなことをしましたか。 I…虫をみた…大きく見えた。
- ③ 速くの景色をみたことがありますか。 I, K…みたことがない。
- ④ そのほかどんなことができますか。 K…お日さまの光で紙をやいた。I…同意する。
- ⑤ どうするとうまくやけますか。 K…お日さまとまっすぐになるようにあてる。 まる (光の輪のこと) が小さくなるとよい。
- ⑥ 虫めがねと紙との間の長さはどれくらいで K, I…答なし。(きいていることがわからない) うまくやけましたか。その長さはどんなレンズでも同じですか。
- ⑦ 焦点距離の指導をする……ちようどうまく紙がやけるときのレンズと紙との間の長さを焦点距離ということ。それはレンズによつてちがうこと。

用具の説明—目的指示 (2.4.1. 参照)

学習過程

(学習過程)



(児童の記録)

- ① 虫めがねから 20cm ずつはなすと はつきり見える。それより遠くへやつたり、近くへやつたりするとよく見えない。
- ② しょうてんきよりが 40cm になれば (R から S までの長さのこと) はつきり見える。
- ③ 虫めがねから、ついたてを 10cm はなすとまると見える。
- ④ 虫めがねのほうへよせれば (S を L に近づけること) 小さくなるし、はんたいにやれば大きくなる。
- ⑤ ローソクを虫めがねのほうへよせれば大きくなるし、はんたいにやれば、小さくなる。
- ⑥ レンズから左右へ 20cm にすると はつきり見える。
- ⑦ 2 レンズから 左へ 25cm (R のほう) ついたてのほう 15cm がよい。それより遠くへやつたり近くへやつたりするとよく見えない。

(解 釈)

- この児童は、虫めがねを用いた経験として虫が大きく見えたこと、紙をやいたことの感性的な知覚表象しかもっていない。
- 紙をやくことの経験の中では“お日さまとまっすぐになるように” “まるが小さくなるとよい” というように、レンズと紙との空間が意識化されていないといえよう。
- したがって、焦点距離に関する感性的理解さえもないといえるし、まして論理的な概念は形成されていない。
- 焦点距離に関する簡単な指導をしたわけであるがお、そらくこの指導は効果がなかったと判定される。もしあつたとすれば、つぎの学習過程でみられる、はつきりうつところが焦点距離だと考えるような効果かもしれない。
- R, S とも外側から内側へ同時に移動させて、どこかによくうつるところがあるだろうという考えで活動がはじめられる。
- 偶然に、R, S とも L から 20cm はなれたところではつきりうつることを見出す。はつきりうつったことだけが知覚され、大きさ、倒立、正立等は意識化されていない。
- はつきりうつったことを認めて、一応この児童は満足している。したがって、さきの目的指示が児童にとつては、この程度の目的意識しかもたせ得なかつたと考えられる。
- 20cm 付近における、R, S の移動から、R, S 間が 40cm だと、どこでもはつきりうつるという予見 (関係づけ) をもつていたつた。
- 30R, 10S のとき、はつきりうつらないので上記の予見がおかしいと気づく。しかし R, S 間を 40cm にして、そのまま移動してみると、上記の予見を肯定もせず、また否定もしないままに終る。
- 上記の活動過程で、像がだんだん大きくなつたり、小さくなつたりすることに関心が移行する。
- その結果、R を固定し、S を移動して、S が遠ざかるにつれて像が大きくなり、近づけるにつれて小さくなることをたしかめる。この場合像の大小の変化 (はつきりうつる像の大小ではなく) が興味の中心として知覚されている。
- S を固定して、R を移動したことも、上記と同様の視点でおこなわれている。ただ操作上の順序のよさは認められる。(R を固定したことから逆に S を固定してみる操作)
- これ以上発展しないので、①の指示によりいままでのものをまとめさせる。まとめるといふことがこの場合、児童には納得されない。これまでの思考過程をみると、まとめるといふことの内容が児童にとらえられないのは当然であろう。なぜならば、いままでの思考過程を一貫する観点がこの児童にはないから。
- 結果として児童は、①の知覚表象を⑥として再認し、③、④の操作の中の特異な場面を中心にした知覚表象として、⑦をまとめている。

終末テストの結果について

- 予備調査、並びに学習過程と対応しながらこの終末テストの結果をみると、1, 2 の、正答、誤答は、信頼できないものであるといえよう。なぜならば、焦点距離という観点は、学習過程にはたっていないからである。また、3 における児童の判断は記録の③、④の活動によりおこなわれたと考えられるから、はつきり見える像のちがいをさしているとはいえないものである。4 はおそらく問題の意味が児童にとつて了解されなかつたものと思われる。

終末テストの結果

	1			2			3	4
	イ	ロ	ハ	イ	ロ	ハ		
I	○	○	○	×	○	○	近くへやつたとき小さい、遠くへやつたとき大きい。	× わからない
K	○	×	○	×	×	×	近くは小さく見えた、遠くは大きく見えた	× わからない

導入と予備調査

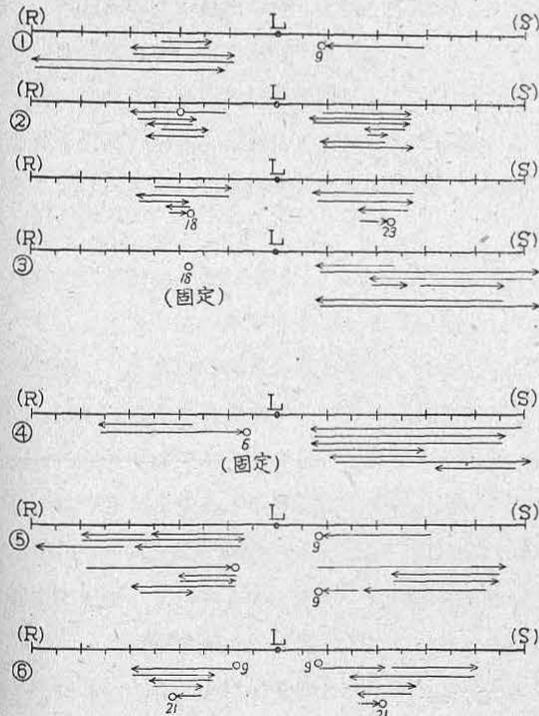
- ① これは何か知っていますか S, O—凸レンズ。
- ② 凸レンズでどんなことをした経験がありますか O—屈折…反射…焦点にむすばれる(断片的に間をおいてこたえる)
S—光からでた線が、レンズを通つて…厚さのあつた方にまがる。
- ③ その実験はいつしましたか。 S—2年生のとき…10月ごろ。O—うなずく。
- ④ その実験はあなたがたがしたのですか。 S, O—先生がしたのを見たのです。
- ⑤ ここにあるような道具を使つてしましたか。 S, O—そうでない。
S—レンズと電気の装置のあるもの(投光器のこと)でした。光がどうまがるかしらべたのです。
- ⑥ 小学校のときどんなことをしましたか。 S—太陽の光で紙をやいた。
O—針穴写真機を作つた。
- ⑦ 遠くの景色をのぞいてみたことがありますか。 S—さかさまに見える。 O—よくわからない。
- ⑧ 紙を焼くとき、どうするとやけますか。 O—太陽の光をレンズの中に入れて…
S—焦点…ちようどよいところにあわせる…焦点だ。
- ⑨ ちようどよいところは、どのレンズでも同じですか。 S, O—答なし。
- ⑩ 焦点とはなんのことですか。 O—光が一点に集るところだ。
- ⑪ 焦点距離ということは、知っていますか。 どういうことですか。 S—レンズから焦点までの距離のこと。
O—レンズを半分にわつたとして、そこから焦点までの距離。
- ⑫ 焦点距離はどのレンズでも同じですか。 S, O—答なし。
- ⑬ 10月ごろやつた実験で、どんなことがわかりましたか。 S—物体からでた光は、平行に進んでレンズに当る…屈折して、厚いほうにまがる。
- ⑭ そのほか、わかつたことはありませんか。 S, O—答なし。

用具の説明 ・それぞれの用具の説明と操作について
・使用するレンズの焦点距離が9cmのこと、台上の焦点の位置

目的指示

学習過程

(学習過程)



(生徒の記録)

- ① 焦点のところへついたてをおくと、物体はうつらない。
- ② 焦点からすこしでもついたてをはなすと物体はうつる。
レンズから18cm } と記録しかけて消す。
レンズから23cm }
下図をかいて話合う
- ③ レンズから、ついたてを遠ざけるほど、ほのおが大きくばやけてうつる。
- ④ かり焦点より内側に物体をおいても、物体はうつらない。
- ⑤ ついたてを焦点距離のところへおいて、物体を遠ざけても近づけても像はうつらない。
かり焦点のところへ物体をおいて、ついたてを遠ざけても近づけても像はうつらない。
- ⑥ 物体を焦点距離の外側(21cm)においてついたてを焦点距離の外側(21cm)くらいにおくと、像ははつきりうつる。うつった像はさかさま(きよ像)にうつる。

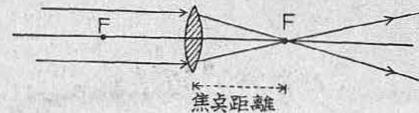
まとめ
物体を、かり焦点またはかり焦点内においても、ついたてを焦点内においても、像はうつらない。

終末テストの結果

	1			2			3	4
	イ	ロ	ハ	イ	ロ	ハ		
S	○	○	○	○	○	○	×	○
O	○	○	○	○	○	○	×	×

(解 釈)

この生徒は、凸レンズを通る光の屈折、焦点・焦点距離などについて、太陽光線を集めた経験、投光器による集光実験などを通して、模式的な概念が形成されている。模式的な概念という意味は、下図のような視覚化ができてきているということである。



- しかし、あるレンズ固有の焦点が、発光体の位置によっていろいろ変化する集光点の中の、特殊な場合(発光体が無限大の距離にある場合)をさすことへの理解はないといえよう。
- 学習過程における反応とあわせて考えると、凸レンズに関する像の結び方については、具体と結ばない観念の不正確な記憶をもっているようである。(かり焦点、倒立の像を虚像とよぶ、針穴写真機による像とレンズによる像の同一視等)
- したがって焦点距離と像のむすび方との関係については、観念的に何かあるらしいと考えてはいるが、具体的な見通しはないといえよう。
- 像のうつり方と焦点とがなにか関係があるらしいと考えて、まずついたてをFにおいてRを移動した結果が、①の記録である。
- ②で「物体はうつる」といつている内容ははつきりした像ではなく、Rだと認められる程度のぼんやりした像をさしていると思われる。
- R18, S23で明瞭な像をみとめているが、記録しかけてやめた。これは思考視点が像の有無にあつたためと考えられる。
- ③でR18に固定し、Sを移動して像の変化をみている。遠くなるにつれて、大きくぼやけるということを左図のような図式で考えている。この変化は、RF, SFの距離の相関におけるはつきりした像の変化ではない、この観察視点はこれ以上発展しない。
- 再び焦点と像の有無に思考視点がかわつて、R6に固定し、Sを移動して像のできないことをみている。…④
- ⑤のはじめの活動は①の再認である。⑤の2ばじめの活動はR9に固定し、Sを移動して像のできないことを認めたものである。
- R21, S21の場合、像がはつきりすることを偶然に見出した。先のR18, S23の場合と同様であるが、ここでは記録としてとり上げている。
- 倒立の像を虚像といっているのは問題である。
- ⑥の記録内容が、R21, S21という特殊な場合でなく、R, SともFの外側にある場合一般をさしているかどうかは疑問である。
- まとめとして、像がうつらない場合をあげている。
- この生徒の思考視点は、焦点と像の有無との関係にむいていて、はつきりうつる像の変化にはむかなかつたといえよう。

終末テストの結果について

- 1, 2の正答はこの学習過程における中心的な観点が焦点と像の有無であつたことから当然の結果である。
- 3は記録の③からくる誤りの判断である。
- 4の反応は疑問である。

A 小学校四年男子の例

a 観察記録

(折込第6表参照)

b 事例の解釈

第6表の右欄に学習過程に即した解釈の結果を示したので、ここではそれらを整理して思考上の問題点を要約する。

- ① 太陽の光を集めて紙を焼く経験はしているけれども、太陽とレンズ、レンズと紙との間の空間を表象化して知覚していないといえる。この空間を意識することは、焦点、焦点距離という概念形式への第一の関門であるといえよう。
- ② はじめの活動は、はつきりうつる場所を見出そうとする盲目的試行である。そして偶然にはつきりうつる一場面を発見して満足しているところに、この児童の目的意識の低さがみとめられる。またこの学習で要求している目的意識をこの児童に要求することの限界を暗示しているとも考えられる。
- ③ 20R、20Sではつきりうつること及びその前後の移動から、RS間40cmにすればはつきりうつると予見したことは、そのことの正否は別として注目すべき関係判断だと思われる。
- ④ 児童の記録、②—③—④と変化する学習過程で、“はつきりうつるところはどこか”という観察視点が“像が大きくなる、小さくなる”という視点に移行している。このことは、そのときそのときの感覚的な興味により思考方向が浮動することを示しているといえよう。
- ⑤ 児童の記録、③、④に示すように“像が大きくなる、小さくなる”と知覚している内容は、RまたはSを固定しているのであるから、はつきり結んだ像の大小ではなく、ぼんやり—はつきり—ぼんやりの変化過程にみられる、小→大、または、大→小の変化の感覚的表象にすぎない。したがってこの児童は、ぼんやり—はつきり—ぼんやりの系列中にあるはつきり結ぶ位置の変化を、S、R両方の移動系列の中であらえようとする視点はもち得ないものと考えられる。ましてその秩序を見出すことはきわめて困難なことであらう。

B 中学校2年女子の例

a 観察記録

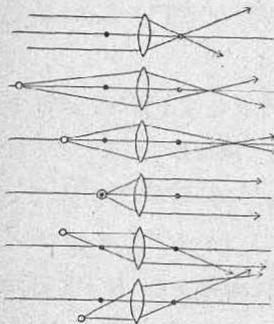
(折込第7表参照)

b 事例の解釈

つぎに、この事例を解釈した結果を要約してみよう。

- ① この生徒の焦点・焦点距離に関する既存の概念は固定的模式的なものであつて、凸レンズによつて光が集る位置の変化の中に位置づけられた動的機能的なものではない。

第9図



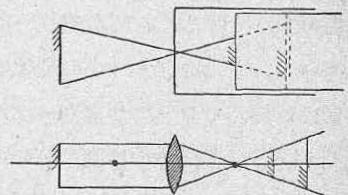
左図のように“光が一点に集る位置”は光源の位置によつていろいろ変化する。この変化の秩序をとらえ、しかもその特殊な場合（光源が無限大の距離で中心線上にある場合）としてそのレンズ固有の焦点を理解していないといえよう。ただ“光が一点に集る位置”が焦点であり“凸レンズで光を集めることができる”という理解で、しかもその理解が左図の一番上の図のような模式的な形でとられて

いることは、はたらかきのない概念であるといえる。このことは“像がはつきりうつつたところも焦点だ”というようなあやまりをおかしやすい原因となるであろう。このような理解では、あるレンズの焦点がいくつもあることになる。

- ② 針穴写真機による像の結び方と、凸レンズによる像のむすび方を同一に考えている。

右図のように、像を結ぶ位置が凸レンズの場合も針穴写真機のように移動し、しかも遠ざかるほど大きくなると考えているわけである。このことは①にあげた要因がやはり関連しているといえるのであつて、光源の位置とそれ

第10図



に伴う集光点の変化に対する正しい理解が欠けているため、針穴写真機の像

の結び方との分化ができないのであろう。

- ③ 焦点と像の結び方との関係については、観念的なしかも部分的断片的な記憶をもっているが、その記憶表象は、具体的な事実と結びついていない。たとえば、かり焦点とか、虚像とかいうことばを知っているが、そのことばは内在的なものであつて、外在的な事実の背景はあいまいであり不正確である。そしてそれらのことばは、抽象化された図と結ばれた概念であるため、不確実な記憶として残り、相当部分は既に忘れ去られていると考えられる。
- ④ この生徒の学習過程における目的因子は「焦点距離と像の有無の関係」に向けられている。このような思考方向は比較的是つきりと意識され、その線にしたがつて、条件分析が相当程度順序よくおこなわれている。学習過程の①②④⑤はそのような方向がきわめてはつきりあらわれた活動であらう。このような思考視点が生じた原因として、③で述べた観念的な理解の一部が再生されたためであるかもしれない。
- ⑤ 像がうつらないことについては、明瞭な弁別をすることができたわけであるが、像がうつる場合、そのうつり方についての目的分析も状況分析も、この学習ではつつこんでおこなわれていない。即ち学習過程中に「レンズから18cm……レンズから23cm……」とはつきり結んだ像を認め、さらに③の活動で、Rを18cmに固定しSを移動して、「Sを遠ざけるほど、ほのおが大きくぼやける」と像の変化(RL, SLの相関におけるはつきり結ぶ像の変化ではないが)をみていながら、SL, RLの相関関係におけるはつきりした像の変化をみようとする視点(目的因子)は生ぜず、ただR, SともFの外側においた時に像ができるという状況としてしか認めなかつたと解釈される。
- ⑥ 像の変化をみる場合、この生徒は、はつきりむすぶ像の変化と単なる像の変化(Rを固定し、Sを移動した場合に見られる像の変化)とを区別して考えることができなかった。このことは前項であげたことの原因であるとも考えられる。感覚的には、RがFに近い場合にむすぶ大きなうすい像と、Rを固定し、Sを移動した場合、はつきり像を結ぶ位置より遠いところに見られる大きなぼんやりした像との区別がつかないのではないかと思われる。更に、単なる像の変化は、変化要因が単純(Rを固定、Sを移動)であるに反し、はつきり結ぶ像の変化は、その変化要因が複雑(R, Sとも移動し、そ

の相関的变化の秩序づけが必要)であることが、両者の区別を困難にしている原因とも考えられる。

2.4.3. 結果の総合的解釈

以上二事例についてその分析の実際を述べたのであるが、以下全事例をとおしての総合的解釈の結果を要約してみよう。

問題的思考傾向

a 予備調査でみられた問題的思考傾向

予備テストでは、凸レンズの持つ光学的属性について、焦点の機能を中心として調査したのであるが、そこに見られた焦点に関する理解の傾向をまとめるとつぎのように類別される。

- (1) 焦点に関する感性的な経験はあるが、焦点とレンズの間の距離についての意識がないもの。(四男、四女、六女)

この児童は凸レンズを用いて日光で紙を焼いた経験の具体像があるだけである。即ち「お日さまとまつすぐになるように当てる」とか「光のまるが小さくなるとよい」というように、映った光の輪の変化だけでちようどうまく焼ける位置をとらえるだけであつて、そこにはレンズから焦点までの距離が全然意識されていない。もちろん焦点とか、焦点距離ということばも知らないものである。

- (2) 平行光線が凸レンズを通つて屈折し、光が一点に集ることの視覚化ができそれと関連して焦点、焦点距離ということばも知っているもの。(五男、五女、六男、中二男、中二女、中三男、中三女)

日光が凸レンズを通つて一点に集ることについて、視覚的には太陽、レンズ、紙の面の明るさからしかとられないことから、その後の学習により、太陽とレンズと紙の間の空間に光の進路を視覚化して考えられるようになる。このことは、太陽を投光器等の光源におきかえた実験などにより、より明確に意識される。そして空間が視覚化することにより焦点距離、焦点の概念が形成されて来たものと考えられる。

しかし、この段階で形成されている焦点、焦点距離の概念は、平行光線が

凸レンズを通して一点に集るという意味のものであり、像の結び方と焦点距離との関係にまで拡充されていない。

- (3) 焦点距離、焦点という概念の持つ属性としての像の結び方に対する理解が不明確なもの。(五男、五女、中二男、中三男、中三女)

さらにその後の学習により、凸レンズを通してできる像の結び方に関する何等かの理解が形成されている。しかしこの理解の内容については、焦点距離との関係づけがどれだけ明確になっているかが問題となる。

像の結び方、及びそれと焦点距離との関係について理解の様相をみるとつぎのようなものがみられる。

- イ 写真機にうつる像と焦点距離との結びつきのないもの……(5女)

写真機にうつる像は「筒をちょうどまん中くらいにするとよくうつる」といつているように、写真機に即した具体的な操作として、ちょうどよくうつる位置をとらえており、焦点距離の概念は導入されていない。

- ロ 写真機は、焦点距離に像を結ぶと考えているもの……(5男)

この児童は像のうつる位置を焦点と考えている。平行光線を集めた場合とはつきり像がうつるということの判別が出来ないものである。

- ハ 焦点距離、焦点、実像、虚像というようなことばは知っており、さらに図的表現を媒介としてのことばによる関係づけはある程度(事例によつていろいろな程度はあるが)できているが、そのようなことばや図が具体的な像の結び方として視覚化されていないか、あるいはその視覚化がぼんやりしているもの。(中二男、中二女、中三男、中三女)

以上の全体を通してみると、対象児童生徒のもつている焦点距離という概念は、平行光線の屈折のしかたや像の結び方との関係などの属性が構造化されて形成されているものはほとんどないといえる。このような事態は焦点距離という概念が一般化していく学習過程に関して、指導上の問題を示しているといえよう。

- b 学習過程でみられた問題的思考傾向

つぎにこの学習過程でみられた思考上の問題点をあげてみよう。

- ① LR, LSの相対的な位置の移動に伴う実像の変化を見出そうとする思考活動の申へ、焦点、焦点距離の要因をとり入れることは、多くの児童生徒に

とつて、なかなか困難なことである。この理由として考えられることは

- (1) 焦点、焦点距離に関する感性的な理解（紙を焼くこと、写真機、細いスリットを使つた実験器具による模式的な平行光線を使つた具体例など）にとどまり、一般的な概念としてはたらない。
- (2) 焦点、焦点距離について観念的な理解にとどまり、その属性の視覚化ができていない。
- (3) 操作の具体性に着目し、それに固執して抽象的な焦点の要因はたらない。
- (4) 焦点や焦点距離は児童生徒によつては抽象的な概念である。

② レンズ(L)に対する光源(R)とついでに(S)の操作について

- (1) R, L, Sの相対的に位置を移動する操作は、 $R \rightarrow \textcircled{L} \rightarrow S$, $R \rightarrow \textcircled{L} \leftarrow S$, $R \leftarrow \textcircled{L} \leftarrow S$, $R \leftarrow \textcircled{L} \rightarrow S$ というように、順序よくおこなわれやすいが、像の観察視点は、その時その時の感覚的な印象の強いもの（その大小、明るさ、明瞭度など）に支配されて変化し、一貫した観察視点がみられない場合が多い。

これは視覚に映ずる全体像の要素的な属性（大小、明るさ、明瞭度等）が分析されていないためと考えられる。

- (2) Lに対するR, Sの定量的測定に強い関心を持ち、測定値に固執することがある。R, L, Sをのせた実験台はその位置の移動量が量的に視覚化できるように尺度を附しておいたのであるが、そのためにLに対するR, Sの移動量を尺度の信頼度以上に正確に測定しようとする。このように必要以上に測定値にこだわることは、測定用具についてのゆうづうのきかなさ、測定用具があればくわしくはかるものだという誤つた固定観念の所産と考えられる。
- (3) R, Sの位置要因は他の解決の諸要因より優位である。そしてこれが孤立的に活動を支配している場合が多い。

③ ついでに映つた像のとらえ方について

- (1) 像の変化を分析的にとらえることができず（明瞭度によつて抽象され概括されなければ課題の解決は困難である）、全体のただずまいにおいてとらえる。ことに第一次的に視知覚の対象となるのは、明瞭度（輪廓がぼけないと

いうこと)ではなくて、全体としての大きさの変化である。この場合の大きさは像の輪郭のはつきりした場合の大きさをいうのではなくて、映像が物体の像であると識別できるものの大きさであり、その輪郭についてはあまり問題としない。

(2) 多くの場合、像の輪郭の明瞭度が意図的な系列的操作の過程でとらえられず、RとSを操作する間に偶然に生じた一つの特種的な場面として知覚される。したがって、この知覚内容は新に輪郭の明瞭な場面を他に求めようとする活動へは発展しにくく、像の明瞭度についての着想もつぎの場面の像の観察視点とはなりにくい。

(3) $R \leftarrow L \leftarrow S$ の場合には明るく小さく像を結び、 $R \rightarrow L \rightarrow S$ の場合には暗い大きい像を結ぶ。明るい小さい像と暗い大きい像をはつきりした像として概括することは困難で、それぞれ特殊な場面として知覚される。とくに、 $R \rightarrow L \rightarrow S$ の場合の大きい暗い像では、像の大小の変化や像の中にみえる光源の焰心、焰のゆらめき等光源の雑多な属性にとらわれて、輪郭の明瞭度についての認識の成立は困難である。

結像しても大きく暗ければぼけていると考えて、視知覚対象がR、Sの操作に伴う焰の大小の変化に転換する場合が多い。

(4) はつきりとした像について大小を決定する測定上の困難度と、R、Sを実験台上で操作して、Lに対する位置を測定する困難度とが同調しないために問題を生ずる。つまり位置要因は尺度を実験台としているので、櫃を単位として直接によみとれるが像の大きさについては測定が困難であり、そのことがはつきりうつた像の大小の変化をとらえることをますますむずかしくしている。

つまり、像の大小については、尺度上のR、Sの位置を知覚するのとはちがつて、必ずしも同じ光度や明瞭さで比較できない。またかりにできたとしても、そのはかり方は、鉛筆を物体にあててその長さや像の長さを比較するというような操作である。(この反面、測定には計器を使用しないと測定したことを意味しないという児童生徒の計量上の誤った固定概念があるようである)。以上の操作をしても、 $R \rightarrow L \rightarrow S$ の場合は暗くて外焰のはつきりせず、そのようなたしかめも、児童生徒に安定を与えない。そこで、"人間の

目には同じに見える」というような表現でまとめているが、像の定量的な測定についてのこのような困難は、位置要因に関する像の分析をおくらせる一つの原因であると考えられる。

いずれにしても材料分析として像の輪郭の明瞭度を把握することは困難である。たとえ明瞭な像の認識が成立しても、特殊的事例として認識されるにとどまり、それ以上発展することは少ない。この問題は「像はどのように見えるか」という目的指示を児童生徒がどんなうけとり方をするかによつて左右されるところであろう。目的指示の際に「像のはつきり見える場所」ということで、簡単なデモンストレーションによりその像を確認させたのであるが、大きさや明るさがまず第一的な知覚表象となるために、それから輪郭の明瞭な場面を抽象することに発展しにくいのであろう。

④ 焦点 (F), 焦点距離 (FL), と解決過程について

(1) 光源とついで立の位置が、焦点上に、またその前後にあるとき、像のうつり方に転換を生ずることは、「像の見え方が変わる」といつているように、視知覚によつて感性的にはとらえられるが、そのことを焦点距離や焦点と関連して帰納することができない。

(2) 焦点について、多様な概念を持つている。このことは予備調査の上からも予測されたことであつたが、学習過程でこの二つの概念が解決構造内にとりこまれない様相を究明すると、つぎのことがみられる。

イ 光源をレンズにごく近づけた場合に、ついたてにうつつたレンズの表面の光像を焦点と考えている。この児童の予備調査ではあきらかに太陽光線で紙を焼いた、その場所を焦点といつていたのものであるが、その経験がこの実験場面に転移しないのである。

ロ 像を結ぶところを焦点と考える。この考え方で操作をする児童生徒の中には、その像のもつとも小さく結ぶとみられるところ (Fにごく近いがFではない) を焦点と考える者と、像の結ぶところすべてを焦点と考えているものがある。前者についてはともかく、後者にとつて焦点は無数にあるわけで、レンズによつて、それぞれ固有の場所が焦点であるというわけではない。このような児童にとつて、像は焦点で結ぶという帰結は、当然のことである。

ハ 焦点距離については、前項の焦点の考え方と関連して、児童生徒の実験中の討議内容や記録を検査してみると、焦点（像の結ぶところを焦点として）とレンズの間の距離とするものと、焦点は像のうつるところによつて移動するが、焦点距離はそのレンズによつて一定（この実験では9cm）と考えるものがある。

ニ 焦点はレンズの一方にしかないと考えるものがある。たとえばR、Sの一方の側のFは解決要因としてとりあげられるが、他の側のFはとりいれられていない場合について調べると、このような考え方をしている場合があり、それが著しく解決をおくらせているのである。つまりレンズの片側には焦点があることを意識しているが、反対側には焦点のあることを意識していないのである。

(3) 焦点、焦点距離が解決構造の中に位置づけられる様相をみると、焦点、焦点距離のところにRやSをおくことにより像の変化を見ようとする操作よりも、焦点につ立と光源をおくときに像がうつらないということから、焦点が材料としてあがつてくる場合が多い。また像と光源の物体が同大の場合（R、Sとも2FLの位置にあるとき）大体同じであるということは感性的には認識するが、R、SともFLの二倍のところにあるということは帰結できない。

以上は主として焦点について学習過程上にみられた問題点であるが、いずれにしても、焦点、焦点距離の概念が機能的にはたらかないことがこの実験の各グループに見られる一般的傾向である。このことは、焦点、焦点距離が、実験操作、実験事象との結合の仕方と他の要因に比べて、抽象度が高いということと、さらに過去の学習経験によるこの二つの概念（焦点、焦点距離）の形成過程に吟味すべきものが多くあることを示している。

(5) 実験学習材の本質的な内容に起因するものでなく、実験場面、操作等の周辺的な部面に起因する問題。

これは必ずしもこの実験だけでなく、他の実験学習にも適用される観点であるが、とくにこの実験には明瞭にみられたことである。

即ち実験用具の特殊性、像の変化、暗室における実験、等の場面要因の特殊性によつて目標分析がうまく進まないことがある。たとえばうす暗い部屋で□

一ソクに火をつける、像がつい立にうつる、という事象については、興味、関心を強く誘う。このような、環境や学習材などにおける周辺的な事象にとらわれて、学習材自体の本質的な目標や材料の分析がうまく進まないことがある。この実験用具と児童生徒の心理的結合の仕方がその実験観察を大きく左右することは、予備調査内容からも考えられたことであつた。

発 達 的 傾 向

さて以上の問題点を中心として発達の傾向がどのようにみとめられるか、資料について検討してみよう。部分的な問題はともかくとして、発達の進むにつれて全体の実験の進行がより計画的になり、操作に系列がみとめられるようにはなつてくる。しかしながらその進行は、必ずしも正しい解決過程をたどつていとは限らない。また、その目標分析について多少とも本質的な解決に近づいていくとみられる六女、中二・三女にしても、実験の初期にはほとんど意図のみとめられない試行であり、その試行の間にしだいに見通しが成立していくようである。

R—L—Sと像の見え方の構造化は、うつつた像をどのように分析するかによつて方向づけられる。これは下の学年のグループにおいて見られる事例であるが、像観察の視点が動揺し、あるときは明るさを、ある時は像の大きさなどを観察目標とする。操作はR→L→SまたはR←L←Sというやうに部分的には系列が見られるが、観察視点の定まらないことにより、操作毎のまとまりのない羅列的な観察に終る（四女）。それが、ぼける像、はつきりとした像等、像についての属性が分別される「五・六男女、中二・三男女」になると、像に対するR、L、Sの関連構造をもつてくる。

像についての明瞭度による概括は困難である。はつきりうつつた像を現出させ、それを対象として実験を進めながらも途中で像の大小に観点を変更して、明瞭度に対する分別が忘れられることがある（六男）。とくに学年の低い段階では、像がついたてに映ること自体に強くひかれて、あるいは月のようだとか、または、ほのおが太くなつたというように、感性的な視知覚表象を中心とした実験が進められる（四女）。

像の明瞭度を中心としてついたりや光源を操作し、しかも分析視点がその像

の輪郭におかれているのは、中三の実験の過程ではじめて明瞭にみられる。

像をその全体的なただずまいにおいて見ている典型的な例は「小四女」にみられ、学年の進むにしたがって像の属性が分析されていくが、像の輪郭の明瞭度について抽象することは最もむずかしい。

そして、この像の変化（輪郭を中心として）とR—L—Sの操作を関連させながら観察することは、この実験で最も困難を示したところであつて、目的指示後自由に実験をさせ、実験過程に何等指示を与えないというこの形態では、完全に解決構造を組織化することは困難である。

焦点、焦点距離はこの実験課題解決のための要因であるが、これを何等かのかたちで（その概念内容はともかくとして）学習過程に持ちこむことのできたのは「六女」からである。それ以前の学年のグループでは、焦点についての予備調査にみられるとおり、それまで学習されていなかつたというわけではないにもかかわらず、焦点、焦点距離の要因はもちこんでいない。

これまでに述べたように、目標分析にしたがつての位置要因の選択や像の分析は、学年が進むにしたがってより効果的におこなわれることが認められるが、ただ学年の進んだグループの中につきのような事例がみられることは注目すべきことであろう。それはR—L—Sの関係位置を変更してその像をみながら、教科書にあるような図を書いて説明しようとすることである。この事例は先の実験例のグループにもみられたが、具体的な事象を操作せず自己の既有的概念によつて説明しようとするのであつて、検証的な実験態度ではあるけれども、果して実験場面にみられる具体的な事象を選択して観察しているものか、偶然に生じた事象に対して固定概念をあてはめようとしているのか問題である。

即ち、もし既有的概念がまちがっているものであるならば、それをあてはめようとするのは、事実から帰納する態度ではなく、指導上十分留意しなければならないことであろう。

これは知的発達が進んだことによるものか、過去の学習経験によつてのものか、また検証的な思考によるものか、それとも固定した経験に強く方向づけられたためか、今後さらに他の学習材についても検討して結論すべきであろう。

発達の高いグループでは試行をくり返し、それが時によると、推理を伴わない視知覚を中心とする感性的な内容によって、全くの試行錯誤の連続となり、活動量の多いのに比べて、解決に必要な要因の選択はおこなわれにくい。

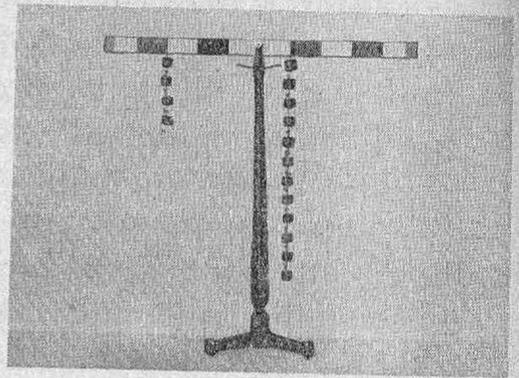
2.5. “てこのつりあい” に関する実験観察

2.5.1. 研究計画

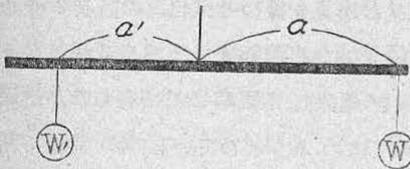
a 実験観察の内容

この実験観察は右図のように、支点を中心として左右をそれぞれ四等分した天秤を用い、片側の支点にいちばん近いところにおもりを12こ下げ、反対側のどこにいくつおもりを下げたらよいかの法則を発見する学習過程をみようとするもの

第11図



第12図



である。

一般にてこのつりあいの法則は、左図の符号を用いるならば

$$Wa = W'a' \quad W = \frac{a'}{a} W' \quad \text{となり}$$

、 W' と a' を一定にするならば、 W は a に反比例するといえる。この実験に用いた用具は第11図のようなものであり、用具自体にいくつかの限定を加えて児童生徒に与えた。それは第一に、左右の目盛りをそれぞれ等間隔に四等分したこと、第二に、右側の支点にいちばん近いところに12このおもりを下げ、これを固定したことである。したがってこの実験に要するおもりの数は24こでいわけである。このように用具や操作の上で限定を加えたのは、つぎの理由による。その理由としては、第一に、支点からの距離とそこに下げるおもりの数

を左右両側とも自由に変えると、試行が複雑になるため困難度が高くなると予想したこと、第二に、つりあわないところがでてくると児童生徒の思考を混乱させる公算が大きいこと、第三に、なるべく簡単な数関係にすることが必要だと考えたこと、などである。

したがって、この用具と操作によるならば、このつりあい一般に適用される $W a = W' a'$ の法則発見を期待することは無理であり、つぎにあげる程度が抽象の限度となる。

“支点からの距離が2倍、3倍、4倍……になると、そこに下げるおもりの数は、 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{3}$ 、 $\frac{1}{4}$ ……でつりあう”

“左側に下げるおもりの数は、支点からの距離に反比例する”

この実験観察により児童生徒による発見を期待する法則は、上のようなものである。児童生徒が、このような法則を発見するために関係づけなければならない要素は、 W 、 a 、 W' 、 a' の四つであり、実験操作の過程でこれらの四つの要素をどのようにして見出し、関係づけるかがこの研究の具体的なねらいとなる。

b 学習過程分析の観点

この用具によるならば、それぞれの位置でつりあうおもりの数は、単なる試行によつて容易に発見される。しかし“どこがいくつでつりあつた”ということの羅列では、法則発見の学習が成立したとはいわれない。したがってこの学習成立上の最も困難な点は、左側四つの位置におけるそれぞれのつりあいを統一的に秩序づける法則の発見過程にあるといえよう。このような観点から更に問題点を分析するならば、つぎのように予想される。

- (1) この法則を発見するためには、目的把握の際、または実験操作の過程で（場面分析における目的分析、状況分析の段階で）個々のつりあいを統一的に秩序づけようとする意識がはたらかなければならない。このような方向性をもつた思考作用によつて、はじめて法則発見の可能性が生ずる。
- (2) しかしながら、統一的に秩序づけようとする目的意識で、個々の位置のつりあいを試行した（状況分析）としても、先に述べた、 W 、 a 、 W' 、 a' 四つの条件の関係に気づかなければ（正しい予見の成立）この学習の正しい成

立は期待できない。

- (3) この実験における場面分析の傾向としては、おもりに対する視知覚的表象が強く、距離に対する表象は成立しにくいと考えられる。即ち、左右のおもり同志の関係づけは成立しやすく、その関係に、距りの条件を加える思考上の観点は生じにくいと予想される。
- (4) したがって、おもり同志の単なる関係づけの方向は、いろいろな場合が予想され、正しい解決に発展しない予見が成立した場合は、その修正が思考発展上の問題点となろう。

c 学習過程分析の方法

第一に、導入を兼ねた予備調査により、この学習内容についての既存の理解程度を判定することが必要となる。この判定の結果はつぎの実験操作の過程を分析解釈するための基礎資料として用いられる。第二に実験操作手順の綿密な分析による思考過程の推定が必要となる。どの位置からはじめたか、おもりの数やそのさげ方はどうか、操作上どんな修正をしたか等が分析の基礎となるであろう。第三には、実験操作過程における児童生徒の発言内容と、手順との関連をみる必要がある。手順と発言内容とを関連的に考えることにより、思考の推移を分析することが可能となろう。第四は児童生徒による記録内容との照応であり、第五は終末テストの結果の判定である。これらの方法により得たものを総合して学習過程における思考の時間的推移と、それぞれの段階における思考内容を分析し解釈しようとするのである。

d 対象児童生徒

小学校四・五・六年中学校二・三年から各学年男子二名で一グループ、女子2名で一グループとし、計20名、10グループを構成して実施した。抽出した児童生徒は知能学力、中位のものであり、一グループ内の2名は互いに協調して作業のできやすい関係のものをえらんだ。小学校一・二・三年をはぶいたのはこの学習内容の程度が、高すぎると考えたからであり、中学校一年をはぶいたのは、中学校における「てこに関する学習」の取扱いが、二年になつており、一年ではまだ取扱っていないので、この学習内容に関する限り、小学校六年と中学一年では、大きな発展がないと予想したからである。なお基本的には、この研究の時間的制約により、学年をはぶいたり、各学年2例ずつしかできな

つたことをつけ加えておきたい。

e 導入と目的指示及び終末テスト

① 実験用具の説明 (P176, 第11図参照)

- ・ここにはかりのようなものがありますね。まん中をつるしてあつて、右側と左側が同じ長さに4つずつ区切つてあります。
- ・穴もあいていますね。この穴は、おもりを下げるところです。
- ・おもりはみんな24こあります。みんな同じ重さです。
- ・いまはなにもさげてありませんが、平につりあつていますね。

② 導入と予備調査

- ・右側と左側のどこへいくつおもりをさげたら、平につりあうでしょう。ためしてみないでいつてごらんください。

予想される答

- ① わからない
- ② 同じ長さの位置へ同じ数のおもりを下げればよいことを、個別的具体的にいえるもの。
- ③ 前項を一般的にいえるもの。
- ④ 右左の位置のちがうところのつりあいについて、ある場合を具体的にいえるもの。
- ⑤ 一般的な法則を知つていて、それから演繹していえるもの。

(③と⑤の場合、実験は検証的になる。この研究は①②③の段階に止つている児童生徒を対象に進める)

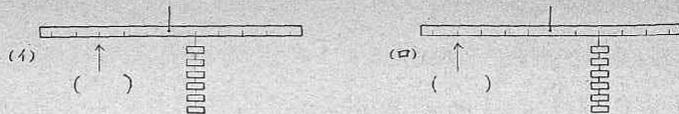
- ・どうもはつきりいえませんね。これから実際に試めしてみて、いえるようになりましょう。

③ 目的指示

- ・ここへ(左側支点にいちばん近いとこをさして)おもりを12こさげます。このおもりの数と場所は、変えないでためしてみましよう。
- ・右側のどこへ、いくつおもりをさげたらつりあうか、いろいろな場所でためしてみましよう。
- ・つりあい方をよく考えると、ためしてみなくとも、ほかのいろいろな場合を当てられるようになります。
- ・おもりの数とさげる場所とをよく考え合せてやつてください。

④ 終末テスト

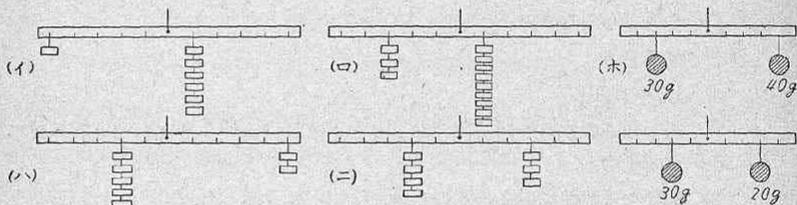
- (1) →印のところに、いくつおもりをさげたら、たいらにつりあうでしょう。()
の中に、おもりの数を書きいれなさい。



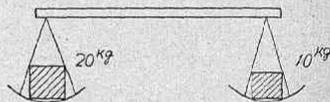
(2) →印のところ、なんgのおもりをさげたらたいらになりあうでしょう。()の中に、ちょうどよいと思う数をかきいれなさい。



(3) つぎの図のように、おもりがさがついているときには、つりあいますか。つりあうものには○印、つりあわないものには、さがるほうに×印をつけなさい。



(4) てんびんで、荷物をつくとき、下の図のような荷物だつたら、どのへんをかたにのせたよいでしょう。ちょうどよいと思うところに、×印をつけなさい。



2.5.2. 観察と分析の具体例

※ここで述べる観察記録並びにその分析の実際では表現を簡単にするため、いろいろな符号を使用するので、あらかじめ説明しておくこととする。

- ・H, Aは児童名を示す。
- ・㊦は教師(研究者)を示す。
- ・③④⑥等は、それぞれの場所に下げたおもりの数を示す。
- ・1, 2, 3, 4は、おもりを下げた位置を、支点から近い順に示す。

a 観察記録例

第8表 6年生 児童名(H・A) 性別(♀) —31.12.3—

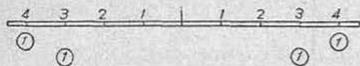
導入と予備調査

㊦こんな道具を使って実験をしたことがあるか
H, A…はじめてみた

H…シーソーみたいだ

A…うんそうだね

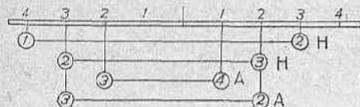
⑩おもりを下げてください、どこに、いくつ下げれば平につりあうか、いつてごらん下さい



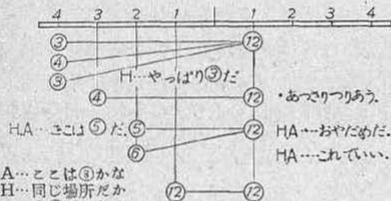
H…2つつづでもよい—同じ場所におなじ数だけ下げればつりあう

A…同意する

⑪ちがう場所ではどうですか



目的指示による学習過程



A…ここは③かな
H…同じ場所だから④とこたえ

H, A…それぞれの場所をさしながら③④⑥⑩と確認する

A…図をかいて、おもりの数をかきいれる

H, A…Aがかいた図をみて考えている(無言)

A… $\frac{1}{2}$ ・ $\frac{1}{3}$ ・ $\frac{1}{4}$ だろ H…うんそうだ

⑫ $\frac{1}{2}$ ・ $\frac{1}{3}$ ・ $\frac{1}{4}$ というのはどういうことか

A…⑩をもとにして

こは(2をゆびでさす)⑩の $\frac{1}{2}$ をさげるとよい

こは(3のこと)⑩の $\frac{1}{3}$ をさげるとよい

こは(4のこと)⑩の $\frac{1}{4}$ をさげるとよい

H…Aのいうのをきいていて

⑩を場所でわればよいんだよ

A…あつそうか

⑬そのことをまとめていつてごらん下さい

H, A…話合つて

もとの数(⑩)を穴の数でわる、そのこたえを下げればつりあう

• 同じ場所におなじ数だけ下げればつりあうということは、シーソーなどの経験から容易に推理し得るところであろう。

• 左の反応を見ると、支点に近いほうはおもりの数が多いと考え、しかも、1つ近づれば1つ多くなるということを考えており、正しい関係は理解していない。

• 4の位置の③—④—③という試行は、見通しがあつてやつたことではなく、①②③と順序に下げていつた結果である。

• 3の④は、4の③から1つ多いと考えた結果であろう。ここでも予備調査に見られた関係づけが働いている。

• 2の⑤は、4の③、3の④から予想された判断である。

• 1の⑧と予見したAは、3の④、2の⑥から推理した結果である。

• $\frac{1}{2}$ ・ $\frac{1}{3}$ ・ $\frac{1}{4}$ という関係づけは、⑫と⑥、④、③の関係でありおもりの同志の関係づけである

⑫を場所でわればよい(穴の数)という関係づけは、さおの左側1, 2, 3, 4の位置を考えた関係づけである。

• つりあいの法則がさきにあげたように

$$W' a' = Wa, W' = \frac{a}{a'} W$$

であるとすれば、この児童の関係づけは

$$W' = \frac{W}{a'} \text{であつて、} a \text{の条件が考えられていない。}$$

即ち固定した⑫のおもりの1の位置を考えていないことになる。

終末テスト

	1		2		3				4		
	イ	ロ	イ	ロ	イ	ロ	ハ	ニ		ホ	ヘ
H	○	×	×	○	○	○	×	×	×	×	○
A	○	×	×	×	○	○	○	×	○	○	○

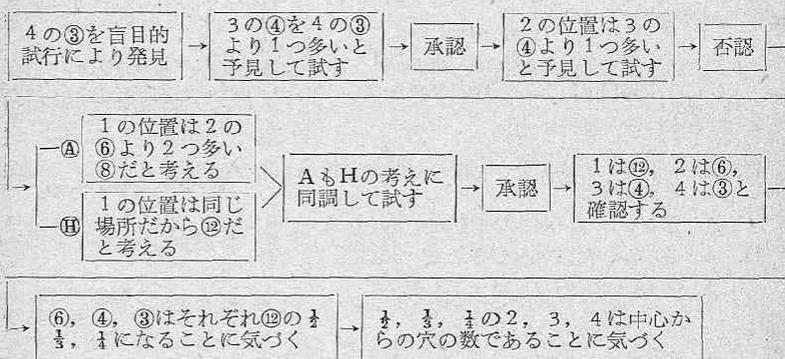
・終末テスト1, 2の反応はこれを裏づける。3, 4の反応はおそらく感性的な理解をもとにした判断であろう。

b 事例の解釈

上記事例の学習過程における個々の反応については、その考察した結果を観察記録の右欄に示したが、ここではさらに全体を通して分析解釈してみたい。

まずこの児童の学習過程における思考の筋道をまとめてみよう。

第9表



このような学習過程における思考上の問題点をつぎに列挙することとする。

- ① この児童は $W' = \frac{W}{a}$ の関係把握は成立した。即ち "もとの数⑩を穴の数で割って割切れればつりあう" ということであり、この実験材料に関する限り、この関係づけは間違いではないといえよう。しかし、a (右側に固定した⑩のおもりの位置—中心から⑩のおもりをさげた場所まで) の条件は、この児童の関係把握の図式の中には入っていないのであるから、この児童が到達した関係認識は、どちらかのおもりが1の位置にあるときだけしか適用できないものである。

- ② ここで実施した実験内容は、用具上、操作上、先に述べたような条件統制をおこなったので、このような条件統制のもとでは、この児童が到達した関係認識が限度であり、aの条件をも組み入れた関係づけをすることはきわめて困難であろう。
- ③ この児童の場面分析における思考作用は、おもりに同志を関係づけようとする方向にはたらいっている。その具体的な徴候はつぎのとおりである。
- ・4の③を盲目的試行によつて発見した後、3の④を、4の③より1つ多いと予見して試し、その予見を承認していること。この予見は、予備調査の時に見られた考え方の適用であろう。
 - ・4の③、3の④を認めた上では、2の位置が⑤であると予見するのが、この場合、自然な推理の発展であろう。Aが1の位置は2の⑥より2つ多い⑧であると考えたのも同様な考え方である。
 - ・これらの予見と試行では“中心に近づく程、おもりの数はます”“そのまし方は1つずつます、2つずつますのであろう”というような関係づけであつて、定量的な距離の意識はなく、おもりに同志の増減関係だけが意識されているといえよう。
 - ・結果としては、単純なおもりの増減関係だけでは満足できなかったわけであり、つぎに⑩と⑥④③をみくらべて、 $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ という割合によつて関係づけたのである。しかしこの関係も、おもりに同志の割合であつて中心からの定量的な距離は組入れられていない。
- ④ $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ の分母の2, 3, 4が穴の数だと気づいて、はじめて、左側の距離が関係図式の中へはいりこんだのであつて、これとても、穴の数といつておとり、中心からの距離としてのとらえ方は明瞭ではない。任意の等間隔な区切りの一つを長さの単位としてとらえることが、むずかしいともいえるであろう。
- ⑤ なお、 $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ の2, 3, 4が、穴の数だと気づく中心転換の心的機制は（どうして気づいたかの心理的なすじみち）、この場合、研究者にもわからない。
- ⑥ この思考過程全体を通してみると、全体の統一的な関係づけに関する着眼は、実験操作を伴つた場面分析の過程では成立せず、操作後の観念的な推理判断で統一的な理解が完成したことに留意しなければならない。
- ⑦ この児童の、 $W' = \frac{W}{a}$ の関係づけを、 $W' = \frac{a}{a}$ 、 W の関係把握まで発展させようとしても、助言のない自由な実験操作でaの条件を組入れることはおそらく困難であろう。

2.5.3. 結果の総合的解釈

以上のような観察と分析の結果とらえた各事例について、その学習過程における思考の筋道を、まずあげてみよう。(第10表)

第10表でみられるように10事例について、学習過程における思考の筋道とその内容をまとめてみた結果、児童生徒の思考過程が一例毎に異つており、さまざまな様相を示すことがわかるのである。つぎにこれら10事例を通して考えられる思考上の話傾向をあげてみよう。

① この学習材の構造上、中心からの距離をつりあいの法則発見の図式の中へ組入れることは、一般的にみて、相当むずかしいといえる。即ち、先にも述べたとおり、つりあいの法則は、 $Wa = W'a'$ 、 $W' = \frac{a}{a'}W$ で示されるわけであるが、 W と W' の関係づけはできても、 a 、 a' の条件を関係図式の中へ組入れる思考上の観点はなかなか生じない。さらに、この実験では、用具上、操作上の条件統制をして児童生徒に与えたことにより、 W 、 W' 、 a' の関係づけはできても、 a の条件を発見することがきわめて困難であつたといえよう。

10事例、それぞれが最終的に到達した概括の結果を上記のような観点から類別してみると、つぎようになる。

- (1) 定性的な概括しかできなかつたもの……小4男、小4女
- (2) W と W' のみの関係づけしかできなかつたもの……小5男、中2女、中3男
- (3) $W' = \frac{W}{a}$ の関係づけをしたもの……小5女、小6男、小6女、中2男
- (4) $Wa = W'a$ の関係づけができたもの……中3女 (第10表参照)

この中、 $Wa = W'a'$ の関係づけができた中3女は、間違つてはいるけれども既につりあいの法則を理解しており、実験操作の過程でその間違いに気づいて修正したものであつて、全くの発見過程とはいえないものである。(2)及び(3)の児童生徒は、すべて a 、 a' の条件を組入れることに抵抗があつたと考えられるし、(1)の児童は数量的な関係づけに対する意識がなく、対象的叙述による前因果的思考の色彩が濃いといえよう。

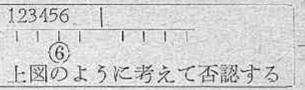
そこで、なぜ a 及び a' の条件を組入れることがむずかしいかについて考察してみたい。

感覚的には、 W 、 W' 、 a 、 a' とも、視神経には刺激を与えているわけであ

小 4 男 2の⑥を盲目的試行により発見 → ⑥は⑫の1/2だから3は⑥の1/2の③だと予見して試す → 否認 → 3の④を盲目的試行により発見 → 4の位置は3の④の1/2だと予見して試す → 否認 → 4の③を盲目的試行により発見 → 中心からはなれるほどさおの重さが加わるから、少くてよいと概括する

小 4 女 4の③を盲目的試行により発見 → 3の④を盲目的試行により発見 → 2の⑥を盲目的試行により発見 → 1の⑫を盲目的試行により発見 → 遠いほうは、はじつこだから少してよい。近いほうは、中心のとなりだからたくさんいると概括する

小 5 男 4は⑫の1/2の⑥と予見して試す → 否認 → ⑫の1/2の⑥は2の位置と予見を修正して試す → 承認 → 3の位置は2の⑥の1/2だと予見して試す → 否認 → 3の④を盲目的試行により発見 → 4の位置は3の④の1/2だと予見して試す → 否認

4の③を盲目的試行により発見 →  → $3/4 \times 2 = ⑥$, $3/4 \times 2 = ④$, $3/4 \times 2 = ②$ と考えると否認 → ③+④→⑥にならないかと考えて否認する → $⑫ \div ⑥ = 2$, $⑫ \div ④ = 3$, $⑫ \div ③ = 4$ でちょうどよいと考える → ⑫を割り切れればつりあうと概括する

小 5 女 4は⑫の1/2の⑥と予見して試す → 否認 → 4の③を盲目的試行により発見 → $⑫ \div ③ = 4$ で割切れると推理する → 3の④を盲目的試行により発見 → $⑫ \div ④ = 3$ で割切れると推理する → 1の位置は同じ場所だから⑫でよいと予見して承認する

$⑫ \div ⑥ = 2$, $⑫ \div ④ = 3$, $⑫ \div ③ = 4$ で、おもりの数でわつて割切れればつりあうと概括する → 2の⑥は左右に分れた片側だから、 $⑫ \div 2 = ⑥$ で左右平均になると考える → 否認 → $⑫ \div ⑥ = 2$, $⑫ \div ④ = 3$, $⑫ \div ③ = 4$ の2, 3, 4は中心からの穴の数だと気づく → ⑫を穴の数でわつたこたえを掛ければよいと概括する

小 6 男 4の③を盲目的試行により発見 → 3の④を盲目的試行により発見 → $⑫ \div 3 = ④$ (3は支点からの穴の数)になると推理する → 2の⑥を盲目的試行により発見 → $⑫ \div 2 = ⑥$ と考える → 1の位置は $⑫ \div 1 = ⑫$ と考え、承認する → ⑫の側の重さを反対側の穴の数で割つて、割り切れればつりあうと概括する

小 6 女 4の③を盲目的試行により発見 → 3の④を4の③より1つ多いと予見して試す → 承認 → 2の位置は3の④より1つ多いと予見して試す → 否認 → $④ = 1$ の位置は2の⑥より2つ多い⑧だと考える → $⑥ = 1$ の位置は同じ場所だから⑫だと考える → AもHの考えに同調して試す → 承認

1は⑫, 2は⑥, 3は④ → ⑥, ④, ③はそれぞれ⑫の1/2, 1/3, 1/4になることに気づく → 1/2, 1/3, 1/4の2, 3, 4は中心からの穴の数であると気づく → ⑫を穴の数でわつたこたえを下げればつりあうと概括する

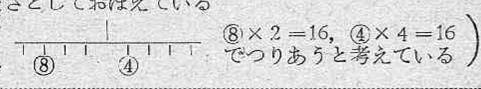
中 2 男 4の③を盲目的試行により発見 → $⑫ \div 4 = ③$ (4は支点からの穴の数)になると推理 → 3の位置は $⑫ \div 3 = ④$ と予見して試す → 承認 → 2の位置は $⑫ \div 2 = ⑥$ と予見して試す → 承認 → ⑫を穴の数で割つて、その答を下げればつりあうと概括する

中 2 女 4の③を盲目的試行により発見 → 3の④を盲目的試行により発見 → ③, ④の結果から2は1つ多い⑤と予見して試す → 否認 → 2の⑥を盲目的試行により発見 → ③, ④, ⑥の結果から、1, 2, 3という順序におもりの数が多くなるのではないかと推理するが、すぐ否認する

$⑫ \div ⑥ = 2$, $⑫ \div ④ = 3$, $⑫ \div ③ = 4$ になると気づく → 2, 3, 4と順序よくなっていると考え

中 3 男 4の③を盲目的試行により発見 → ③は、⑫の1/4になると推理する → 3の④を盲目的試行により発見、⑫の1/3と推理する → 2の⑥を盲目的試行により発見、⑫の1/2と推理する → 1は⑫とすく認める → ⑫の1/4, 1/3, 1/2になると概括する

中 3 女 "棒の長さとおもりの重さをかけたものが左右等しければつりあう" "棒の長さとおもりの重さは反比例する" という法則をことばで知っている。しかし長さは中心からの長さでなく、外側から長さとしておぼえている → 4は⑫ ($12 \times 4 = 48 \times 1$)と予見するが、おもりが足りないので⑫下げる → 否認 → 4の③を盲目的試行により発見 → 中心からの距離に気づき $4 \times ③ = 12$ と推理する

 → 2の⑥を $2 \times ⑥ = 12$ と予見して試す → 承認 → "棒の長さとおもりの重さが反比例する"と概括し 2の⑥を $2:1 = 12:x$ $x=6$ と説明する

つて、すべて映像化されているといえよう。しかしながら、平につりあうということ、実験操作の上でのおもりの処理が中核になることなどから、知覚心像として意識される部位はすべて平等ではなく、まずおもりの数が知覚の中心に坐ることになるであろう。したがって、左右のおもり同志の関係が、第一次的に関係づけの方向を規制すると考えられる。つぎに知覚構造の中へ組入れられる可能性のあるものとして、左側の中心からのへだたりが考えられる。これは左側のおもりの位置を移動するという操作が意識化されたときに生ずるであろう。また右側に固定して与えた②のおもりの中心からのへだたりが組入れられない理由としては、その位置が固定して移動の操作がないということ、しかもそのへだたりが1であることなどが考えられる。

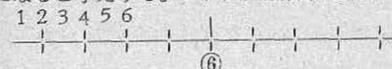
つぎに距離の条件が知覚化しない思考上の要因としては、具体的な事象間の直接的な関係ではなくて、具体的事象を媒介としながらも、それを超越した抽象的論理的な思考作用によらなければならないということである。即ち W, W', a, a' の函数関係の発見は、相当高度の論理的思考のはたらきが必要だということである。そして、このことがまた、 a, a' の条件を知覚構造の中に組入れることをさまたげているともいえるのである。

さらに中心からのへだたりに関する関連的な問題としては“②を穴の数でわつてその答をさげればつりあう”と概括している場合の“穴の数”についての考察である。“穴の数”という表現による児童生徒の意識構造としては、“穴と穴との間”を中心からの長さとしてとらえている場合と、単に穴の数としてとらえている場合が考えられる。そして児童生徒の操作や発言内容から推定してみると、後者の場合が多いようであつて、穴と穴との間隔の等しさは特に意識して考えていないように見受けられる。さらに長さとしての量的な意識は単位の長さが基準になるわけであるが、cmとかmとかの単位は長さの単位として考えられるけれども、任意の長さを単位としてある長さを数えるという考え方は理解されていないように推定される。この点もまた a, a' の条件発見を困難にする間接的な要因であらう。

② 実験操作を伴つた場面分析の過程、または操作後の数値に関する観念的な推理過程で、さまざまな関係判断(予見)がおこなわれ、あるいは肯定されるあるいは否定される。以下どんな関係づけが見られたかを、あげてみよう。

(1) 4の③, 3の④から, 2は⑥だと推理し, 下げるおもりの数は内側へいくほど1つずつ多くなると予見する。これは実験操作を外側からはじめる場合に多い。

(2) 1の⑫, 2の⑥から, 3は⑥の $\frac{1}{2}$ の③だと考え, 外側へいくにしたがつて $\frac{1}{2}$ ずつになると予見する。これは実験操作を内側からはじめる場合に多い。

(3)  左図のように外側から適当に数えた数を下げればつりあうと考えようとする。

(4) $\frac{12}{6} = 2$, $\frac{12}{4} = 3$, $\frac{12}{3} = 4$, というようにもとの数(⑫)を左側のおもりの数で割つて, 割切ればつりあうと推理する。

(5) $\frac{12}{6} = 2$, $\frac{12}{4} = 3$, $\frac{12}{3} = 4$ の, 2, 3, 4は穴の数だと気づいて, ⑫(もとの数)を穴の数で割つて, その答を下げればつりあうと推理する。

(6) ⑥, ④, ③はそれぞれ⑫の $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ となつていることだけ考えて, それ以上発展しない。

(7) 上記の $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ の2, 3, 4は穴の数だと気づいて, もとの数を穴の数でわればよいと考える。

(8) 上記の2, 3, 4は順序がよくなつているとだけ考えて, それ以上発展しない。

(9) ③, ④, ⑥の結果から1, 2, 3という順序で, おもりの数が多くなるのではないかと推理する。

(10) $\frac{3}{2} \times 2 = ③$, $\frac{3}{4} \times 2 = ④$, $\frac{1}{2} \times 2 = ②$ と関係づけようとする。

これらの関係づけをさせた, 心理的誘因はいろいろ考えられるが, つぎの事項がその主なものであろう。

○時間的空間的に接近した二つの事象の関係づけは容易に成立して, 未知の事象にまでその関係を適用しようとする。例えば, イ, ロなどがそれに該当するであろう。

○いままでの数学や理科その他の学習経験から得ている数量を関係づける態度や能力から, 自分がなれている関係づけをしようする傾向が, この場合の関係づけの方向を規制したといえよう。例へば, 2ばい, 3ばいとか, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ とか, $12 \div 6$, $12 \div 4$ というように, 割合によつて関係づけようとしたり(ロ, ハ, ニ, ホ, ヘ, ト, ヌ), 順序のよい数の配列や系列で判断しようとしたり(イ, ハ, チ, リ)することは数学的態度や能力の問題として考えられる。そして割合に対する正しい理解は正しい関係づけを導き, 間違つた理解, 表面的な理解は, 誤りの関係づけ(例えば, ヌ)をさせるであろう。

③ 場面分析の学習過程では, さまざまな思考形式が複雑にからみあつて展

開され、個人差が大きい。この学習過程でみられた思考の形式をみると、つぎのような場合があげられる。

- 盲目的試行（論理的な思考の方向づけをもたない、感性的な試行）
- 論理的思考に裏づけられた試行
- 盲目的試行の結果の関係づけ、及びそれから生ずるつぎの事象への予見
- 予見の検証、試行による承認、または否認——矛盾の発見
- 矛盾場面における盲目的試行
- 矛盾場面の予見修正による転換等

このような思考形式の循環的結合が、全体としての場面分析や解決に至る過程で循環的に結合して進行しているのであつて、その様相は第10表にみられる通り、1つ1つの事例毎に異つているといえよう。

④ 思考の自由な展開発展という観点からみると、思考の方向が問題解決に本質的なものであるかないかは別とし、多面的な思考を展開しているものと、一つの方向に固執して発展性のないものとがみられる。小6女、小5女、小5男等は、その前者であり、小6男、中2男、中2女、中3男などは後者であるといえよう。後者については、比較的早く、本質的な解決に連る関係把握をしたためともいえようが、中2女、中3男などは必ずしも、そうとはいえず、一面的な関係づけに固執してそこから転換する自由性が乏しいといえるであろう。

このことは、学習指導において考慮しなければならない重要な問題を含んでいるように思われる。

⑤ 特に小4男、女の学習過程は、論理的な思考（この学習材に関する限りの）への移行段階として、注目すべきものを示していると考えられる。即ち、小4女は全くの盲目的試行のくりかえしであり、小4男は、その操作過程で論理的な関係づけの片鱗が見られるが、結果としては定性的な概括しかしていない。

⑥ 発達の観点から全事例を見たときにこれらの事例に関する限り、小4男女と小5年以上との間には明らかに差が認められるが、小5年以上の発達については、はつきりと差を認めることができない。これはなぜであろうか。……われわれが取扱った事例からは、簡単に理由を判断することができない。この理由を解明しようとするならば、一つにはこの学習材における論理性の困難度

が学年的な発達とどんな関係をもつか、一つにはこの学習材に関連する学習経験がどのように深められてきたかの実態を、更に追求する必要があるように思われる。また、実験用具や操作上の条件統制をどのようにするかなども検討を要する問題であろう。

3. 学習過程にみられた思考上の問題的事例

2 “学習過程分析の実際”では、五つの学習材について研究の実際を詳述しわれわれがどのようにして学習過程を分析し解釈したかをできるだけ理解していただけるよう努めたつもりである。他の学習材については、その一つ一つの研究過程を詳述する紙面の余裕もないし、既に昭和31年6月の和納小学校における研究報告会、同じく10月の当研究所発表会である程度報告したので、この章で、それぞれの実験内容の概略、並びに学習過程分析の結果見出すことのできた思考上の問題的事例を要約して述べることにする。

ここで挙げる思考上の問題事例とは、それぞれの学習材について、その学習過程でみられやすい思考上の諸傾向の具体例であり、何等かの意味で、学習の成立をさまたげている、論理的心理的な要因をさすのである。

以下つぎの五つの学習材について述べてみよう。

- ① “つるまきばねののび”に関する実験
- ② “三つの力のつりあい”に関する実験
- ③ “凸レンズの焦点距離と像の見え方の変化”に関する実験
- ④ “振子の等時性”に関する実験
- ⑤ “物体に働く浮力”に関する実験

3.1. “つるまきばねののび”に関する実験観察

3.1.1. 実験内容

この実験観察は、実験台につるまきばねを下げ、同一の重り数こを与え、その重りを、ばねにさげたときのばねののびを読みとり、ばねののびと重りとの間にある法則を見出させようとするものである。

この学習材について構造を考えてみるに、場面を構成するものは、ばねと重りであり、実験上の変化要因としてはのび、操作要因はばねに重りをさげるといふ操作である。のびそれ自体は重りを下げるといふ操作にもなつて視知覚表象として感性的に容易に認識の成立することが予想されるが、のびと重りの

定量的関係については、ただちに法則を理解するとは考えられない。重りをさげる操作にともない、重りとのびの関係についての予見を持ち、さらにのびの測定、その測定値と重りとの全体的考察によつてはじめてその法則は成立する。構造要因としては重りとのびの二つであり、事象は生活と結びついた重力の垂直の関係そのままのひきうつしであり、しかも操作からいうならば、重りをさげるだけの容易なものである。のびの測定は重りをさげる操作と切りはなして成立するものであつて、構造は全体として複雑であるとはいひ難い。したがつて、この実験による解決上の問題点は目標分析や材料分析よりも測定の技術上に多く介在するであろうと考えられる。

この学習材は対象として、小三・四・五・六年中二年の児童生徒に実施したものである。その各々の学年より比較的等質に構成された2～4名よりなる各々数箇のグループを編成し、異つた指示を与えてその学習過程の比較研究を試みた。指示は、(1)全く目的だけ与えてあとは自由に実験させる。(2)同一目的とそれに伴つて実験用具操作の技術的指示。(3)目的指示にともない解決のための測定値処理の際の思考視点を示す思考上の指示。の三類型である。この三つの指示による平行集団法によつたものである。

つぎにその実験の学習過程にみられた問題的事例を概括して述べる。

3.1.2. 問題的事例

① おもりを一箇増すごとに、ばねののびは累加されるという予見は、対象児童生徒全体を通して、比較的实验の初期にしかも容易に見出されている。しかしこの際、その重りの変化に対応するのびとの関係を倍概念でとらえるものはほとんどみられず、重りの増減、のびの増減を累加の考え方で処理する。

② この重りとのびの実験観察は検証的に進められるが、垂直にたてた尺度の見方等より来る誤差によつて測定値は必ずしも正確に累加関係にならない。このことに起因する問題点がいくつか見られる。

たとえば、0.3cm、0.2cmのちがいに固執して、何回も測定した上で放棄したり、1箇下げたときののびにこだわつて、2箇以上の場合ののびが、それと正確に同じ関係にならないことが大きな障害点になつたりする。

③ 測定値の異なる場合の検証的な再実験はなされるが、その際に測定の視点

や用具の機能上より来る測定の正確さの限度等の吟味がなされない。測定の場面要因の分析吟味より測定の操作が常に先行し、その結果にとらわれる。

④ 測定の数表を作ることが実験目的となり、その数表全体を見通して法則を見出したり、目標分析にしたがつて確めたりする思考がなされない場合がある。この事例は実験手順を詳細に示して、その通り操作させたグループに多くみられた。また枠組をした記録用紙が時に自由な思考の発展をさまたげる要因ともなる。

⑤ この実験において結果的にみると、目的だけ与えて後は自由に実験をさせたグループに、学習活動の多様性、その選択・着想の自由さ、学習内容の豊富さ、等について他の2つのグループよりの優位を認めることができる。

⑥ 実験の導入においては見られないことであるが、用具を自分で操作することによる用具機能の理解にともない、過去の経験がそのままひきうつしに再現することがある。たとえば、この実験を始めて若干の時間後、あるグループでみられたことであるが、一人の生徒が、ばねののび工合から過去にぜんまいばかりを使用したことを思い出して、そのあとでは一気に解決に持ちこんでいった。

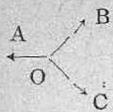
⑦ 実験用具の機能理解困難が抵抗となる場合。この実験では、ばねの下に小さなゴム片をつけ指針をつけて、尺度によるのびの測定に便利のように装置したのであるが、そのゴム片をつけた意義が理解されず、あるいはのびに関係すると考えたりして、重りとばねとの直結する視覚表象の成立をさまたげる等のことがあつて、当然捨象されるべきであるのに、検討の際なかなか仲々捨て去ることができないで固執する場合があつた。

3.2. “三つの力の釣合い”に関する実験観察

3.2.1. 実験内容

この実験は、13図のように一点OにABCの三つの力が図の矢印のような方向にはたらいて、つりあっている状態を問題場面とし、 $\angle BOC$ の変化にともなう、AとB+Cの力の相互関係でその法則を発見しようとするものであつ

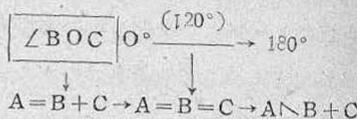
第13図



て、使用の実験用具は $1^{\circ}\sim 180^{\circ}$ を印刷した角度用紙と、ぜんまいばかり三本を使用した。この学習材については $\angle BOC=0^{\circ}$ の場合を除いて $A < B + C$ という定性的な法則と $\angle BOC=0^{\circ}$, $\angle BOC=120^{\circ}$ の際にそれぞれ、 $A=B+C$, $A=B=C$

という定量的な発見を期待する。実験の変化要因としては $\angle BOC$ の変化とそれに対応する、 A , $B+C$ の変化である。観察視点は A , $B+C$ か $\angle BOC$ のどちらかにかかれても良いわけであるが、 $A=B+C$, $A=B=C$ の発見から云うならば、 $\angle BOC$ に視点をおいてその

第14図



系列的な変化と対応しながら A , $B+C$ を見ていくならば、解決は容易である。 $\angle BOC$ 及び A , B , C の各々は視知覚

により感性的に認識可能であつて、この実験における問題点は系列的なデータの解釈と、用具の操作にある。上の第14図にあるように、解決の具体化に必要な二つの要因はつぎの操作によつて認識される。それは A を一定にして B , C をひくか、 B , C を一定にし $\angle BOC$ の変化に応じて A を加減しながらひくかを決定すること。さらに、 A の方向を一定に $B=C$ にしながら、 $\angle BOC$ を角度用紙に合せてひき、その操作中に、角度を合せながら A , B , C を読みとることなどである、このような操作では手指への注意とぜんまいばかりの目盛りへの注意が同時に必要である。経験的にいうならば、バケツを二人で持つ場合などこの関係場面はあるわけであるが、ぜんまいばかりを横に使うこの実験場面では生活経験は、そのまますぐにひきうつしされない。またぜんまいばかりを横に使うということも重さを測定する機能を力の測定へ転用したわけで、生徒の具体的な理解には困難が予想される。実験対象としては3.1.「つるまきばねののび」における指示の類型に従つて設定された指示により、中二の男女別々に等質グループを組織して実施した。つぎにその学習過程にみられる主な問題事例をあげる。

3.2.2. 問題的事例

① この学習材では実験の初期には $\angle BOC$ がどのようなであろうと、つねに $A=B+C$ という予想を持つ。そして実際にはこの見通しはくずれぬわけで

あるが、実験の初期で用具の操作を見ると、専らその予見にあわせるようにA、B、Cのひき方を加減する。この見通しの修正される機構はグループによつて相当大きな幅をもつた差異が認められる。

② $A < B + C$ という関係は容易に気づくけれど、 $\angle BOC$ が 120° 、 0° の場合は仲々発見出来ない。Aに対してB、Cをそれぞれ平行にひくとき $A = B + C$ は認識するが、 $\angle BOC = 0^\circ$ という要因はともなわない。

③ 観察視点が動揺する。BCを一定にし $\angle BOC$ の変化に応じてAの変化をみること、Aを一定にしてBCの変化を見ること、 $\angle BOC$ に視点を置いてA対BCの変化を見ることなど、一貫した観察が出来ない。場面場面の短い系列的な観察はされるが、抵抗にあるとその場面の要因分析を行うということより、分節毎に操作視点の変更による場面転換がなされて、結局課題は解決されない。

④ 実験用具の難しさが、解決をおくらせている場合が多い。つまり操作では、Oを固定する、ABCを角度に合せてひく、 $B = C$ に保つ、その操作中に測定値を読みとるという操作の複雑さのため、操作への関心と測定資料への関心が二分し、そのため操作—実験の測定値—の系列的全体的な検討がなされない。そしてその測定値を求める際にも用具の機能以上に正確さを求めて、測定値のわずかな差異を問題とし、そのため全体的な洞察が成立しない。

⑤ $\angle BOC$ の変化について、 0° より 10° または 20° ごとにしたいに $\angle BOC$ を大きくして、Aと $B + C$ を比べるグループと、最初に $\angle BOC$ を 0° より 180° まで角度の目盛り目盛りに拘泥せず大きくひらき、またはせばめて、Aと $B + C$ の全体的変化を概観し、その過程で 120° に気がつくという経過をとるグループがあった。実験操作をこまかに指示して実験をさせたグループは、男女のグループとも前者の傾向をたどっている。

⑥ 実験中にわかつたこと、検証したことが、解決の重要な要因でありながら、実験後のまとめの際に言語化されない。この段階の生徒の言語生活からみるならば、このことは言語からの抵抗以上に、解決構造理解の様相と関連があるように考えられる。

⑦ ぜんまいばかりを、その本来の慣熟した機能で用いないことが学習の大きな抵抗となる。(この実験ではぜんまいばかりを横にして使用したのである。)

その実験過程で、 $\angle BOC$ の増加につれて $B+C$ が A より大きくなることを認識していながらも、器具の故障で、 $B+C=A$ になるような場合があると、その場面で器具自体を検討することなく学習が停滞するか、別の計画をもつて代償するというような混乱を生ずる。

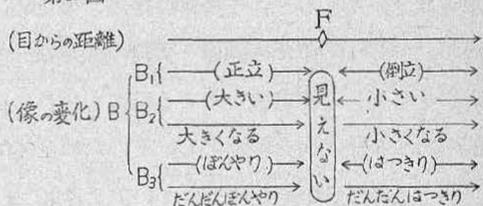
3.3. 凸レンズの焦点距離と像の見え方変化、 に関する実験

3.3.1. 実験内容

この実験観察は、凸レンズを目に近づけたり目から遠ざけたりして、遠くの物体をみた場合、像の見え方が焦点距離を境にして正立のぼんやりした像から倒立の小さいがはつきりした像に変化する関係を見せようとしたものである。この変化の構造を図示すればつぎのようになる。

図の示すように、この学習
材の構造としては、目からレ
ンズまでの距離の移動系列と
像の変化系列との関連構造で
あり、そこに焦点距離という
条件が加わっているものであ

第15図



る。また像の変化としては、正立—倒立、大—小、はつきり—ぼんやりの三つの要素の複合系列でもある。そこでこの学習過程分析の具体的観点としては、三つの要素が複合されている像の変化をどのように認識するか、しかもその変化と目からレンズまでの距離の移動と関連させることができるか、更に焦点距離の条件がどのように認識構造の中にとり入れられるか、などが用意された。

この研究の対象児童は、和納小学校二年から六年まで、各学年二人のグループ三組ずつ計30人15組であり、それぞれについての学習過程を分析し、それを総合して、思考上の諸傾向を考察解釈したものである。

3.3.2. 問題的事例

- ① 像の変化のいろいろな要素を分析し、分析されたある一つの要素につい

てその変化をみるという思考がはたらかない場合が多くみられる。即ち、正立—倒立、大—小、はつきり—ぼんやりなど像の変化の諸要素が、分析整理されず、あるときは、ある一つの要素が知覚表象の中核に坐り、他の位置では前と異なる要素が、またある場合には、いくつかの要素の複合された全体像が知覚されることが多い。したがってこのような観察からは、像の変化の秩序を見出すための思考方向は生じないといえよう。

② 前項で挙げたことと密接な関連をもつものであるが、この学習過程を、児童がもっていたと推定される目的意識（同一の目的指示をしたにもかかわらず受取った目的意識はさまざまである）からみると、つぎのような問題的な過程がみられる。

(1) 距離の移動に対する意識はなく“ただおもしろい見え方”をするという好奇心から、感覚的に興味をひく全体像を、無秩序に追いまわすことで終始する過程。

(2) 距離については、測定を伴った順序のよい移動をおこないながら、それぞれの位置における像の認知は、①であげたような知覚表象の羅列にとどまるような過程。

(3) 焦点距離との関係づけを、はじめから考えてはいるが、その関係づけに関する予見が“焦点距離ではつきり見える”というような誤りの予見であるため、その予見が事実と合わないことを認めても、その考え方に固執して抜けきれず、はつきり見えるところと、焦点距離との関係を見出そうとする活動に発展してしまうようなことがみられる。

③ 像の変化の諸要素の中、正立—倒立の変化が抽象されて知覚表象の中核に坐った場合は、像の変化構造が発見されやすい。それに反して、大—小、はつきり—ぼんやり等が中心に知覚化された場合は、この学習の成立が困難となる。

④ 日からの距離の移動と像の変化の系列とを関連づけることはできても、焦点距離の条件を加えて構造化する思考視点は、なかなか生じにくい。殊に、はじめから焦点距離の条件を考えて観察をはじめめるのではなく、状況分析の過程でこの条件に気づくことはきわめてむずかしいと考えられる。その原因としては、焦点距離という条件が目に見えない抽象的な概念であるためと考えられ

2.4. "凸レンズによる像の結び方"で考察したような要因がここでもあげられる。

3.4. "振子の等時性"に関する実験

3.4.1. 実験内容

この実験は、和納小学校六年、両川中学校1年の学級集団を対象とし、時計の各部分のはたらきに関する学習指導過程の中で、振子の等時性を発見させようとしたものである。

発見させようとした振子の性質は"振子の長さが等しければ、振動の周期は振巾、重さに関係なく常に一定である"、"長さが異なる場合は長いほうの周期がおそい"、うことであり、長さや周期の数量的な関係については、ここでは学習の対象としないこととした。

振子の周期が一定であるという基本的な法則の構造を理解するためには、時間と振動との相関としてとらえなければならない。たとえば、時間と距離の相関としての速さの如く、時間と振動との相関としての周期という概念の成立が必要となるわけである。振子の性質の本質的屬性は、このように周期が一定であるということであり、これを中核として、重さや振巾が周期に関係のないことや、周期が長さによつて規定されることなどの属性が構造づけられている。

したがつて、学習過程分析の観点としては、このような学習材の構造に即し、周期という概念形成に与る既有経験の様相や、振子の振動の視覚的要因がどのようなものであり、それらの既有経験や視覚的構造が、周期という概念形成にどんな関係をもっているかなどが用意された。

なお学習指導過程において、児童生徒の学習過程をとらえる方法としては、指導過程中のいろいろな節ごとに質問紙法による考え方の方向や内容についての調査を実施し、途中の発言や操作等の順序、内容等と対応して解釈するということで実施したのである。

3.4.2. 問題的事例

- ① 時計の振子がどんなはたらきをしているかということについては、時計

自体の構造的機能についての判断ではなく、日常生活で時計を利用している自分との関係で、振子のはたらきを考えやすい。たとえば「振子は時計が動いているか止つているかわかるため」「振子は時計のかざり」などであり、このような考え方を、振子の時計自体に対する機能をみようとする見方に転換することがむずかしいのである。また「振子は何秒か知らせるためにある」「振子の一振れは一秒だ」という考えも、以上のような見方のあらわれであるとともに秒という時間観念に関する誤つた見方であつて、既存の時間に対する学習の欠陥があらわれているともいえるであろう。このような見方は、周期という概念形成に当つて消極的要因として思考過程に作用する。

② 振動周期の大小を問題とする場合、周期の大小と運動速度の大小とを混同する場合が多い。たとえば、同じ長さの振子で、振巾の大きい場合と小さい場合を比較する場合「振巾の大きいほうが振れ方が速い」と判断する傾向である。たしかに、この二つの場合を比較すると、振巾の大きいほうの運動速度は大きいのであつて、感覚的には、振巾の大きいほうが速く動いているわけである。このような視覚的構造の固さをうち破つて、周期という見方をするためには、時間という観点が導入されなければならないわけであつて、この二つの見方が分化しない限り思考の発展は望めない。

③ このような見方が分化しないままに、単なる指示により、一定時間に振れる回数をしらべて等時性に気づかせようとしても、その活動は、ただ数表を作ることだけが目的となつてしまひやすい。

④ 同じ長さで、重いものと軽いものを比較する場合、重いほうがふれ方ははやいと判断しやすい。重いという要因が、運動速度に対する感覚的な知覚と混淆した判断といえるであろう。

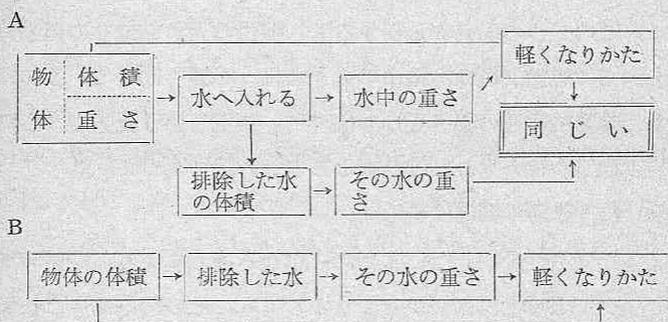
⑤ 振巾の大きい場合と小さい場合、長さが等しく重さの異なるものの場合、一定時間の振動回数を測定して比較するわけであるが、一回の測定の結果、どちらかの測定値が少しでも多いと、それでもつて結論してしまうことが、多く見られる。そしてこのような測定に対する未熟な考え方が、検証段階における学習を混乱におとし入れていることが認められる。

3.5. 『物体に働く浮力』に関する実験観察

3.5.1. 実験内容

この学習材は比重に関する実験であつて「水中に物をいれるとどれだけ軽くなるか」ということを問題として「水中の物体はその体積と同じ体積の水の目方だけ軽くなる」という法則を発見させようとするものである。この学習材の構造は第16図Aのように考えられる。つまりこの学習において、測定しようとする物体を水にいれる。その体積は排除した水に等しい。その水の重量と軽くなりかたの比較により物体は排除した水の重量と等しく軽くなると帰結するのである。

第 16 図



この実験事象の構造要因についてみると、まず物体が体積と重量の二つの属性にはつきり分別されて認識されることが必要である。つぎに物体を水の中へ入れたとき排除した水のかさはその物体の体積と同じことを帰納すること、そして排除した水の体積を重量におきかえて、軽くなりかたと比べる思考活動が必要となる。つまり第16図Bに見るように、物体の重さと体積が水を仲介とした迂廻によつて浮力が帰結される。ここに先ずこの学習の問題が発生すると考えられる。操作要因はぜんまいばかりを使用するのであるが、物体を水にいれる、こぼれた水をメスシリンダーで測定する、重さを考える等、解決要因は単一操作によつてなされるので操作面よりみれば単純であると考えられる。

この学習材は小六、中一を対象とし、等質群による平行集団法により実験観

察をさせるとともにその結果によつて、もつとも効果的と思われる詳細な指導案を作成して学級集団を対象して学習指導を実施したのである。以下にその際に観察された問題点を述べる。

3.5.2.

① 物体の空気中と水中の重さのちがいは経験的には把握される。しかしその実験操作や話をみていると、その軽くなりかたと空気中水中での重さは個々に分離していて、全体として構造化されないのである。空気中や水中の重さは計器の示標により視覚系の直接的な感性的認識として成立するが、その相対的な量関係、示標間の数関係の観念的操作を必要とする部面の認識は指示なくてはなかなか困難である。

② 浮力の主要な要因として、重さが実験操作の中心となつている。これは実験の主要な計器がぜんまいばかりで、それが慣熟した操作であるためであろう。またその重さは物の存在としての素朴な認識の仕方での重さであると考えられる。そこでこのことから体積の分離が円滑になされない。

③ 同じ比重の物体で体積の異なるものの比較からは、体積の大きいものほどたくさん軽くなるという判断はするが、それは体積と軽くなりかたの関連について正しい判断ではない。この場合は体積の大きいものが重いと考えているのである。

④ 同重異体積のものについては、一応体積の大きい方がより軽くなると帰結はする。しかしその後でやや体積のちがう砲丸と石膏の球（石膏の球の方がやや大きい）をみせると、砲丸の方がより軽くなると判断しやすい。視覚的には大きさの認識が重さよりは先行するのであるが、その大きさも対象的、相親的な知覚であつて、必ずしも論理的な体積として成立しているものではない。

⑤ 体積と重さとわけて考えることがきわめて困難である。たとえば重い体積のものを水にいれると重い体積の分だけこぼれるというようなことを、しごく無難作に使用する。第16図Bの構造の成立困難なこともこれに帰因するものであろう。

⑥ こぼれた水を体積として認めることができず、体積という概念が何か立体のような定型的観念でつかまれていることが多い。

⑦ くらべるという思考や操作は児童生徒の日常生活にごくありふれてみられる活動であるが、児童生徒の場合、多くは、単位をそろえるとか、同じ位相で比べるという分析的な態度より、全体的にしかも感覚的に対比させている場合が多い。したがって cm^3 と g をそのまま何の矛盾も感ずることなく比較する。

⑧ この実験では学習過程よりみると、体積と重さを分化して考え、物体の体積とこぼれた水の体積を関係づけ、さらに、こぼれた水が重さに換算され、水中で軽くなる重さに対応されるという複雑な迂回経路が思考過程として成立しなければ、法則の発見や理解は困難であろう。事実学習指導にはこの点で児童生徒が多くの困難を示している。

4. 実験学習における教材研究の方向—今後の課題

4.1. これまでの研究で得た成果

われわれは、いくつかの実験学習の過程を、観察を主とする実験的手法によって分析し、それぞれの実験内容に即した思考上の問題事例をとらえてきた。これらの問題事例を概括し、一般的な思考傾向としてまとめることが、われわれの趣旨でないことは、はじめに述べたとおりである。1.1. 「研究の趣旨」で述べたように、実験学習の各領域、各教材について、思考上の具体的な問題を集積することによつて、指導内容の配列や各教材の指導要点を明確にし、指導法の改善をはかろうとしているわれわれの態度は、現段階でも変わらない。このような研究方向からみるならば、われわれのいままでおこなつた研究作業は初発的な一つの試みの段階にすぎないものである。

しかしながら、いままでの研究作業によつて、われわれが得た成果は少ないと考えている。その成果の第一は、われわれが取扱つた実験教材毎に、それぞれ具体的な思考上の問題的事例をとらえることができたということである。この問題的事例は、今後それぞれの学習領域毎に指導内容の配列や、配列されたそれぞれの教材の指導要点とその指導法を考える場合の重要な資料として役立つであろう。たとえば、凸レンズによる像の結び方に関する研究事例は、光に関する学習を組織化するときの有力な資料として用いられる。

研究成果の第二は、児童生徒の実験学習の過程を観察して、思考上の諸要因をとらえる実験的手法が、ある程度可能であつたということである。この研究の当初ではこのような手法によつて学習過程を分析することが果してできるかどうかという疑問であつた。しかしいくつかの学習過程の分析を経験してみても具体的な操作を伴う実験観察では、こうした観察の実験法による分析がある程度可能であるということについて、われわれ自身ある程度の自信をもち得たということである。このような方法の定着は、今後、学習指導の実際を分析する方法的な見通しを与えてくれるものである。

研究成果の第三は、いままでの研究で分析しなかつた新しい実験教材につい

て、その思考上の問題点をあらかじめ予想することができるような観点を組織づけることができたということである。即ち、思考上の問題が学習過程のどんな場で生ずるか、その問題はどんな性格のものであるかを、それぞれの教材の論理的構造との関連において予見することが、ある程度可能になつたということである。このような見通しができることは、新しい実験教材の分析を促進すると考えられる。この観点については、この章のおわりに詳述することとする。

4.2. 実験教材研究今後の方向

われわれは上に述べたように、いままでの研究を通して、つぎの三つの成果を得た。

- ① 取扱つた実験教材の学習過程に見られた思考上の問題事例。
- ② 実験観察の学習過程における思考上の諸要因を、観察を主とする方法で分析することがある程度可能であることの見通し。
- ③ 新しい実験教材について、学習指導前に、思考上の諸問題を分析的に予想することが可能であることの見通し。

このような研究成果を基盤とし、実験教材の学年的な配列に関する根拠づけをしたり、各実験教材毎に指導要点の具体化をはかつたりするため、今後研究すべき方向はどうであろうか。

第一におこなわなければならない研究作業は、現行の各学年に配列されている実験教材の徹底的な分析である。分析に当つては、論理的観点からする目標分析と、心理的観点からする思考作用の分析とを関連的に見ていくことが必要となる。(分析の観点については後述する)このような分析の結果、それぞれの学習領域(たとえば、光に関する領、音、力、電気、磁気、その他)について小・中を通した学年的系列と、それぞれの段階における指導要点とその指導法について、仮設を想定することとなる。この研究作業のためには、特に研究成果の③および①が活用されるのあろう。

第二におこなう研究作業は、第一の作業を通じて想定した学年的な指導内容の系列とそれぞれの段階における指導要点について、実際指導をおこない、そ

の学習過程を分析評価することである。このような作業の結果，更に仮設としての計画を修正して，次第に妥当なものに構成していくことが要請されるわけである。この研究作業のためには研究成果の②および③が活用されなければならない。また1.2.1. "学習過程分析の観点" も実際指導における学習過程分析の場合，いままでこの研究に生かされたと同様に活用されるであろう。

このような方向に研究を進めていくためには，多くの教師の協力による組織的研究による資料の集積が必要であり，短時日による完成は到底望めない。何回もくりかえすようにわれわれのいままでおこなった研究は，このような研究方向に対する，小さな一石にすぎず，われわれだけの手によつてこの研究が完成するとは，すこしも考えていない。この小さな一石が今後の研究方向に何等かの契機となれば，研究者としての満足これにすぎるものはない。

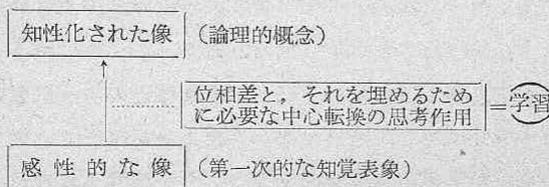
4.3. 実験教材分析の観点

研究成果の第三として，未分析の実験教材について，その思考上の問題点をあらかじめ予想できる観点を組織づけることができたということを述べた。さらに今後の研究方向として第一におこなう研究作業は，各学年に担当されている実験教材の分析による系統化であることを述べた。それならば，実験教材を分析する観点としてわれわれが組織化したものはどんなものであろうか。

つぎにわれわれがいまままでの研究の結果としてとらえた実験教材分析の観点を説明することとする。

2 "学習過程の実際"， 3 "学習過程で見られた問題事例" の項であげたいるいろいろな思考上の問題的事例は，下図で示すような構造の場でそれぞれ生じたものであるといえよう。

第 17 図



児童生徒がある実験観察の場に直面したときに、第一次的にとらえる知覚表象は感性的な像であり、その像を決定するものは、事象に対する感覚的な要因と操作的な要因である。そしてそれらの背景に既存の経験的表象があると予想される。どのような感覚的要因や操作的要因が選択されるかによって、第一次的な知覚表象がきまってくる。このような第一次的な知覚表象が、しばしば、その後の思考過程に決定的な方向を与えていることは、いままでの研究で得たいくつかの事例で明らかである。したがってまた第一次的な知覚表象は学習を本質的な方向へ進めるか、それとも誤った概念形成へ導くかの出発点であるともいえる。

つぎに思考上の問題的事例がみられる場合は、第一次的な知覚表象と、その教材で形成しようとする知性化された像（その教材の理解目標）との間の位相差を埋めるための思考過程である。この過程がいわゆる学習であつて、第一次的な知覚表象からより知性化された像へ児童生徒自らが自主的に高まるよう援助することが学習指導と考えられる。われわれの研究においても、第一次的な知覚表象がどのように修正され、どのような中心転換がおこなわれて、論理的概念に近づくことができたか、また第一次表象に止まつたり、誤った方向に展開したりしたかの事例が数多く見られる。

われわれはこのような構造で、1.2.1. であげた学習過程分析の観点をあわせ考えながら、学習指導前にそれぞれの実験教材を分析し思考上の問題の傾向を予見しようとするのである。

以下実験教材分析の観点をあげてみよう。

4.3.1. 実験教材分析の論理的観点

まずある一つの実験教材を分析しようとするとき、その教材の論理的構造を分析することが必要となる。これはその教材による理解目標の構造をみきわめることであり、児童生徒がその教材によつて学習する場合の到達点といえるものである。第16図で示す、知性化された像（論理的概念）がこれに当る。

a その教材の学習によつて形成すべき概念の構造はどのようなものか。

ある概念を形成しようとするとき、そこに用いられる教材はいろいろ考えられる。たとえば物体の坐りに関する概念形成をおこなおうとするとき、そこで

用いられる素材には“おきあがりこぼし”“やじろべえ”いろいろな直方体”
”日常経験する坐りに関係あるいろいろな事象”等があげられる。しかしどの
ような素材によろうとも、形成しようとする概念は、それらの素材から一応抽
象された一般像であり、坐りの場合、底面積と重心の位置が安定、不安定を決
定する。ここではまず、素材から抽象した一般像としての概念の構造をみなけ
ればならない。概念の構造をみる場合の分析的観点としてはつぎのようなもの
が考えられる。

① 概念を構成する因子にはどんなものがあるか。

- 概念を構成する因子の数
- それぞれの因子の性格

感性的因子と論理的因子、因子の定性的または定量的性格、因子の孤立的
または連続的系列的性格

② それらの因子はどんな結び方をしているか。

- 時間的、空間的、時空的結合
- 因果的結合 • 函数的結合 • 相等的結合等

たとえば“てこのつりあいの法則”について考えてみよう。この法則は $W a = W' a'$ の関係構造としてとらえられる。 W 、 W' は支点を中心とした左右の
重さの因子であり、 a 、 a' は支点からの距離の因子である。その構造は、感
覚的に知覚される四つの(W 、 W' 、 a 、 a')感性的因子と、これらを結合す
る函数的な思考の因子(論理的なもの)とから組立てられている。しかも W 、
 W' 、 a 、 a' ともある一定の秩序で変化する因子であつて、孤立的ではない。
またこれらの因子は、空間的な関係であり、 W と a とは反比例するという函数
的な結合でもある。

b 概念は素材と結んでどのように具体化されているか。

ある素材により学習する場合、形成しようとする概念はそこで用いられる素
材と結んで具体的な像を形成している。一般像である概念が、その素材ではど
んな具体像として表象化されているかをつきに分析することが必要となる。こ
の場合の分析観点としては、つぎのようなものが挙げられる。

- ① 概念を構成する因子は、その素材ではどのように具体化されているか
- ② 概念を構成する因子の結び方は、その素材ではどのようになつているか
- ③ 概念形成のため素材の、操作的構造はどうなつているか

先にあげた「てこのつりあい」について分析してみよう。てこのつりあいの法則を学習する素材として、われわれが取扱ったような用具(2.5.参照)を用いた場合、 W の因子は、それぞれ等量のおもりの数であらわされ、 a の因子は支点から等間隔に区切った黒白の色分けとそこにつけられた穴で示されている。したがって、つりあう場合は、この用具の構造上の制約を受け、距離の単位、おもさの単位についての自由な変化が不可能である。即ち、 a 、 a' の関係によつてつりあう場合とつりあわない場合がある。このような素材の操作的構造は $W a = W' a'$ の結合関係を特殊化しているといえよう。

4.3.2. 実験教材分析の心理的観点

学習が成立したという場合、前述した論理的構造が、児童生徒の心的な像として概念化された状態をさすわけである(知性された像の成立)。ところが実験観察の場で、児童生徒が第一次的にらえる知覚表象は、このような論理的概念とは距りのあるものであり、両者の位相差を埋める心的作用が学習といえるものである。したがって実験教材の分析に当り、教材の論理的構造を明らかにすることについて、おこなわなければならないものは、心理的観点からの分析である。この観点からの分析により、われわれはその教材を学習する場合の思考上の諸問題を予見することができる。

a 実験事象から第一次的に把握される像はどんなものか。

まずはじめに、児童生徒が実験事象に直面したとき、その場の様相をどんな知覚表象としてうけるとかが分析され、予想されなければならない。第一次的に把握される知覚表象を予見するための分析的観点としては、感覚的要因と操作的要因、および経験的背景が考えられる。

① 感覚的要因による知覚表象の様相はどうか

(1) 実験事象からうける感覚的因子の中、どんなものが知覚化されるか

(2) その知覚表象はどんな性格のものか

• 感覚類型——視、聴、嗅、味、触覚

• 知覚表象の構造とその性格——単一な感覚因子によるものと2つ以上の感覚因子の複合によるもの、全体的直観的なものと部分的分析的なもの、孤立的権利的なものとの関係の系列的なもの

一次的な知覚表象のあり方を支配する要因として、感覚的因子の果す役割は

大きい。たとえば、凸レンズで遠くの景色をみる場合、目とレンズとの距離の移動につれて見える像の様相は変化するのであるが、それぞれの位置における像は、どのように知覚されるであろうか。Aの位置では、さかさにみえることが知覚化され、Bの位置では大きく見えること、Cの位置ではぼんやり見えること、Dの位置では動いてみえること、などが知覚化されやすい。このような知像表象は、全体的直観的な像であつて、一つの像を大きさ、正立と倒立、明瞭・不明瞭などの各要素に分析していない。そしてそれぞれの位置で見える像の様相の中から感覚的な興味をひくものが知覚の中核に坐りやすいと考えられる。そして、Aの位置で見える像と、Bの位置で見える像との間には関係はなく、それぞれ孤立したものとして羅列的に知覚されているわけであろう。

② 操作的要因はどんなはたらきをする

(1) その教材ではどんな操作をしやすいか——実験用具の機能に対する既
有の経験、実験用具がもつ視覚的構造の影響

(2) 感覚的要因と操作的要因は、互にどんな影響を与えあうか

実験事象における用具の操作性、一次的な知覚表象と密接に関係しあう。たまたま試行的におこなつた操作によつて、知覚過程が限定されることがよくみられる。たとえば、凸レンズによる像の結び方をみる実験で、ローソクとついたてを、中心から等距離におきながら、しだいにはなしていくというような操作がまずおこなわれると、そのことにより知覚過程は限定されて自由な発展をみないことがある。また、てこのつりあいに関する実験で、おもりの数の操作が中心になり、距離に対する感覚的因子が知覚化しないということもみられる。また、太陽光線を集めて紙をやいた経験から得た焦点距離の概念は、レンズを垂直に立てた場合には表象化しにくいというような、用具の機能に対する固定性が表象化をさまたげている場合もみられる。

③ 経験的背景は第一次的に把握される像にどんな影響を与えるか

(1) 既有的な感性的経験は、知覚表象にどんな影響を与えるか

(2) 学習によつて得た既有的な知識や概念はどのようにはたらくか——特に不完全な概念や観念的知識あるいは誤りの理解の影響

(3) 学習によつて得た既有的な技術はどのようにはたらくか——特に用具の機能に対する固定性への影響

児童生徒の経験的背景は、感覚的要因や操作的要因を通して一次的な知覚表象に影響する。たとえば、望遠鏡や写真機などの学習で、はつきり見えたり、うつつたうりするに集中する感性的な経験をもっている児童が、レンズによる像の結び方の変化をみる実験をする場合、はつきり結ぶ像を見出すことだけで満足し、変化に関する観察視点が生じないような例がみられる。またレンズの焦点距離について模式的観念的な理解しかもっていない場合、像が結ぶところはすべて焦点であると判断することなども、観念的な知識が、誤りの知覚表象を形成する一つの例としてあげられるであろう。さらに、長さの単位についてCmとかmとかの単位のみにより測定してきた経験は、任意の長さを単位として長さをみることをさまたげている。

b 教材の論理的構造と第一次的な知覚表象との位相差はどんなものか、それを埋める思考上の問題点は何か。

実験事象に直面して第一次的にとらえられる児童生徒の知覚表象をaのような観点により想定したとき、これと論理的概念（知性化された像）との位相差を分析することがつぎに必要なとなる。そしてその位相差を埋めるためには、どんなところに思考上の問題点があるかを予見しなければならない。ここに学習上の問題点があり指導上の要点が予想されるわけである。

① 第一次的な知覚表象と論理的概念との間の位相差はどんな性格のものか

- (1) 関係づけのために抽象は必要とせず、感覚的要素相互の、または操作的要素と感覚的要素との直接的結合でよい場合
- (2) 知覚表象と概念とを結ぶために、中間的因子の介入が必要な場合——中間因子が感覚されるものである場合と抽象的な概念である場合とある
- (3) 一次的な知覚表象から、ある因子のみを抽出しなければならない場合
- (4) 論理的概念とは無関係な因子が知覚化されている場合、等

一次的な知覚表象は既有経験と実験場面の視覚構造の影響をうけて成立する。これと論理的概念の位相差はいろいろであつて、位相差の性格によつて概念形成の難易が決定される。直方体の坐りの条件を発見しようとするとき、一次的な像は、それぞれの直方体の全体的直観的な像であつて、これを論理化しようとするとき、全体像の中から、高さと底面の二条件を抽象し、これを中間的な

因子として、坐りの順序を判断しなければならない。このような判断によつていままでの全体像は、高さと底面が分析された像として知性化する。また、絃の長さと言高とを関係づけようとするときには、絃の長さという視覚的表象と言の高さという聴覚的表象とを直接的に結合することにより、絃の長さと言高との一般像は成立する。これは比較的容易な場合であるといえよう。しかし、要求する概念が、振動数と言高との関係にあるならば、その位相差はきわめて大きくなり、困難な抽象過程が必要となる。

② 論理的概念に達するため、どのような中心転換（機能的価値の発見、視点の変更）が必要か

一次的な知覚表象から論理的概念に高まる過程においては、何等かの観点変更が必要となる。いままで気づかなかつたものに気づき、それによつて、一次的な表象の構造がえをしなければならない。前述の位相差が大きく複雑であればあるほど、それは困難となろう。たとえば、振子の運動について、その感覚的要因による影響から振巾の大きいほうがはやく振れると判断している場合、振子の運動をみる視点を、運動の速さから運動の周期にきりかえなければ、周期という概念による知性化はできないことになる。この中心転換をどのようにおこなうかが学習における思想上の問題であり、指導上の要点として工夫を要するところであろう。

以上で実験教材分析の観点について述べた。それぞれの項目毎に述べた事例は、いままでの研究によつて得たものであり、ここでは、それぞれの観点を説明する意味であげたのである。以上の各観点は、一応別々な観点としてあげたのであるが、実際の分析にあつては、互に関連しあつているものである。これらの観点全体を関連的に頭におきながら、先に 1.2.1. で述べた学習過程分析の観点をもあわせ考へて、今後の研究作業をおこないたいものである。

4.4. お わ り に

われわれは、実験観察の学習過程に関するいままでの研究を通して、今後の研究方向についての試案を提供したつもりである。先にも述べたように、今後の研究作業は、多くの人々の協力による組織的な資料の集積が必要となる。笑

驗觀察の学習指導に関心をよせられる教師諸兄が、このような方向に実践的な研究を進められるよう心から期待する次第である。当研究所の実験学校である西蒲和納小学校・申蒲両川中学校では、学校自体の研究として、既にこのような方向に作業を進められ、着実に資料の集積をはじめられている。また、県の研究集会における理科部会では、基礎的実験に関する綿密な指導計画の作成に努力されてきた。こうした気運がますます醸成されるならば、県下理科教育振興のため誠によろこばしいことである。

長期間にわたる全面的な協力体制のもとで、この研究の推進力として、お仕事をしていただいた、和納小学校、両川中学校の先生方、並びにこの研究をおこなうため、児童生徒を提供して下さった、長嶺小学校、宮浦中学校の先生方に、深甚なる謝意を表してこの研究報告を終る。