

研 究 紀 要 第 44 集

理科学習における理解過程とその指導

—熱移動による温度変化と熱量概念の指導について—

1 9 6 4

新潟県立教育研究所

# 目 次

I 研究の全体構想	1
1. 研究の課題性	1
2. 研究の目的	2
(1) 理解過程について	2
(2) 理解過程と指導過程について	3
(3) 指導過程の種類について	3
(4) この研究の対象とする理解内容について	5
3. 研究の方法	6
(1) 研究の方法と手順	6
(2) 年次計画	6
II 第一・二年度研究の概要	8
1. 熱現象の理解に関する実態調査	8
(1) 温度変化と熱移動との関係について	8
(2) 熱移動の方式について	9
2. 熱概念の理解過程に関する事例研究	10
3. 熱移動に関する指導過程の実験的研究 [ 1 ]	11
(1) 研究のねらいと指導仮説	11
(2) 指導過程評価の方法	13
(3) 指導結果の概要	14
III 熱移動に関する指導過程の実験的研究 [ 2 ]	16
1. 第二年度研究結果にもとづく指導過程の修正	16
(1) 指導過程修正の観点	16
(2) 修正した指導過程	17
2. 指導結果についての考察	20
(1) 新概念伝達の過程について	20
(2) 新概念適用の過程について	21
(3) 適用練習の過程について	24
(4) 事後テストの結果について	25
(5) 総合的考察	26
IV 熱量概念の指導過程に関する実験的研究	28
1. 研究の目的	28
(1) 指導過程の二類型と熱量概念の指導	28
(2) 熱量計算指導についての実験仮説	29

2. 対象学級に対する事前調査の実施	30
(1) 事前調査の目的と問題の作成について	30
(2) 調査問題	31
(3) 調査結果について	35
3. 指導案の作成	38
(1) 作成上の要点	38
(2) 指導案	39
4. 指導結果についての考察	47
(1) 第1時の指導結果について	47
(2) 第2時の指導過程について	48
(3) 第3時の指導結果について	52
(4) 第4時の指導過程について	53
(5) 事後調査の結果と総合的な考察	55
V 　　む　　す　　び	58

# I 研究の全体構想

この研究については、すでに第一年次、第二年次とそれぞれの段階において研究紀要を作成し、これを公にしてきた。またこの研究は、全国各地の教育研究所との共同研究の一環として、それぞれ分担し合いながら三か年計画で進めてきたものである。今回はその最終年次にあたり、いままでの研究経過を含めて本年度研究の結果を報告し、三か年研究を一応完結したいと思っている。そこで、これまでの具体的な研究経過ならびに本年度研究結果について論述するまえに、既刊の研究紀要と重複はするけれども、この研究全体の構想についてその要点を再述することとする。

## 1 研究の課題性

最近の学力研究では、学力を規定する環境的諸条件に関する分析的統計的研究から、しだいに学力形成の過程を明らかにしようとする方向に進んでいる。

質問紙法による学力調査の結果にもとづいて、学力と環境諸条件との関連を統計的に求め、これを教育的に改善するための施策を打ち出すことは重要なことであり、現にこのような分析の結果として、各種施策が具体化されつつある。しかしながらこうした施策とともに、学力の形成過程そのものの究明を課題とする研究が進められ、その成果が日常の学習指導に活用されるようにならなければ、真の学力向上は望み得ない。この研究はこのような課題性にもとづき、とくに理科学力の形成過程を追求しようとするものである。

ところで、いままでに実施された各種学力調査の結果にみられる児童生徒の学力は、必ずしも満足すべき状態にあるとはいいがたい。断片的な知識の再生を求めたり、教科書などに書かれてあるような内容をそのまま提示したりすると、比較的高い正答率を示しながら、同じ内容でも観点・素材や問題の形式を変えたり、さらにその内容を新しい場面に適用して解決することを求めたりする問題になると、誤答が目立つようになる。また、設備の充実、実験指導の拡大に伴い、実験観察学習が普及しつつある現状はよろこばしいことではあるが、こうした学習が、理科本来のねらいに即応し、理解の一般化に役立つように指導されているかどうか、いささか疑念をはさまざるを得ないような事例に接することもある。

このような学力上の欠陥は、教育内容としての科学的な事実や概念、法則などが、児童生徒によく理解されていないことのあらわれであって、児童生徒がこれらのことを理解していく過程に問題があるとみななければならぬ。したがって、児童生徒が、教育内容としての科学的知識を能力化するような理解と指導の過程はどのようなものであり、そこでどのような指導上の留意点が必要かを確かめていく研究が要請されるわけである。この研究はこのような課題の解決にすこしでも役立つことを願って行なっている。

## 2. 研究の目的

### (1) 理解過程について

科学的な事実・概念・法則を理解する過程に検討を加えながら、理科指導の改善をはかることを目的とするこの研究では、理科学習における理解や理解過程についてどのように考えたらよいであろうか。まずはじめに、理科学習における理解過程について基本的な考察を行なっておきたいと思う。

#### 理解の構造と過程

理解ということの本質的な意味は事物現象間の関係は握をいう。そして理解ということとは、一方に学習の結果として事物現象間のどんな関係がどのように理解されているかの状態を指したり、他方に、事物現象間の関係を理解するに至る心的過程をいったりする、二重的な意味に使われている。ここではその前者を理解構造、後者を理解過程ということにする。

このような意味で使われる理解を理科学習でいえば、自然の事物現象間の関係を自然科学的に意識化する過程と意識化した結果ということになる。科学的知識（科学的な事実、概念、法則など）は、このような関係は握の結果を客観化したものであって、理科の学習はこのような科学的知識を習得することを実質的な内容として行なわれている。そこで科学的な知識がどのような過程で理解されるかを問題とするこの研究では、まず、どのような関係として理解させたいのか、または理解されているのかの構造を見究め、つぎにそのような理解構造に至る過程を究明しなければならぬ。このような理解の構造と過程の関係は密接不可分なものであって、理解構造は、連続的に進行している理解過程の、ある時点における断面であり、理解過程は、理解構造がつぎつぎと発展的に変容していく姿とみることができよう。

#### 理解と科学的思考

自然の事物現象間の関係は握が中心となる理科学習における理解は、それならば科学的思考とどのような関係をもつものであろうか。

科学的な思考様式は、自然科学の方法に源があると考えられ、合理性と実証性を中核とし、創造的な方向を目指す思考の様式である。いいかえるならば、物事を考える場合にすじ道をとおすことであり、さらにこうして考えた結論をもう一度事実にあてはめてみて、はたしてそれが正しいかどうかを確かめてみるといった事実を尊重する考え方で貫くことである。そして、こうした過程では自然の事物現象間の関係を、常により一般化し合法則化してとらえようとする創造的な営みがみられるのである。

この思考過程のはじめには、自然の事物現象を客観的には握するための実験・観察がなされる。この観察では客観性を高めるために分析・総合という方法をとることが多く、このような客観的な観察・実験が積み重ねられるにしたがって、一般的・普遍的な自然科学的な事実や概念の形に構成されていくわけである。

このように考えると、理科学習において理解を成立させる中核的な機能を果たすものは科学的思考であるといわなければならない。したがって、理解過程における科学的思考の役割は重視されなければならないし、科学的思考の結果として習得された知識でなければ、これを活用することができないものであるとさえ考えている。

## 理解過程の様態

理解の構造と過程の関係は密接不可分なものであって、理解過程は理解構造がつきつぎと発展変容していく姿とみること、理解過程を成立させるための中核的な役割を果たす学習者主体のはたらくは科学的思考であることなどについては、すでに述べた。このような意味における理解過程はどんな様態をもつものであろうか。その様態は二つの方向からみることができる。

① さまざまな自然の事物現象の中から、一定の目的にそって共通点を抽象しながら新しい関係は握りについての見通しを立て、典型的な事物現象について見通しを確かめることによって理解が深まる抽象化の過程がある。このような過程では、どちらかといえば、帰納的推理が中心になってはたらくものである。

② ある科学的事実や概念・法則を類似の現象に適用したり、一見、類似しているとは思われない事象にまで拡大応用して理解を広げる一般化の過程がある。このような過程では、どちらかといえば演繹的推理が中心になってはたらくものであろう。

科学的事実や概念・法則を理解する過程を原則的にみるならば、第一の過程が先行し、その後第二の過程が続くものと考えられるが、実際は必ずしもこのように進行するものではなく、第一と第二の過程はたがいに盾の両面の関係を保ちながら一体的循環的に進んでいくものであろう。そしてある場合には、第一の過程の性格が表面にあらわれ、またある場合には第二の過程の性格が浮き出されるという様態を示すものであろう。そして、児童生徒にたどらせようとする理解過程は、教材の性格や、児童生徒の心理的諸要因、および現実的な諸条件によっていろいろな様態をとり得るものと思われる。

### (2) 理解過程と指導過程について

科学的事実や概念・法則を理解する過程は、同時に指導という教育的機能のはたらく過程でもある。理科学習において児童が理解すべき内容は、すでに教育的選択と配列の結果として学習指導要領に示されている。いかえらば、児童生徒が自然の事物現象間にみられる関係をそれぞれ勝手な方向にとらえていくのではなく、その方向は教育的見地から一応定められているといえる。このような方向に児童生徒の理解構造を発展変容させようということであるから、そのような理解過程は、これを教師のはたらくという観点からみれば、指導過程であるといえることができる。

児童生徒に、自然の事物現象に関する科学的事実や概念・法則を理解させるためには、その過程で、具体から抽象へ、また特殊から一般への思考およびこの逆な方向への思考が必要となる。しかしながらこの思考活動は必ずしも教師の意図するような方向へ進むとは限らない。その原因となるものは、理解内容(教材)の性格、または児童生徒の既有的経験や知識、能力の発達程度などがあり、これらが事象間の関係は握をさまざまに要因となることが多い。そこで教師は、児童生徒にある科学的事実や概念・法則などを理解させるために、以上の要因を総合的に考慮し、とくに児童生徒が理解していく上で、問題となる困難点の克服に傾斜をかけた指導過程をくふうして指導にあたることとなる。このような指導過程は、児童生徒の理解過程を予想して構成されたものであり、また指導過程は当然そのようなものでなければならぬはずである。また、児童の理解過程を予想して構成された指導過程は、教師にとって仮説としての性格をもつものであり、授業をとおして実証されなければならない。その実証にあたっては、児童生徒がはじめに予想した理解過程をたどれたかどうかによるわけである。このような意味での仮説、実証の過程を積み重ねることにより、理解と指導の過程ははたらくに客観性を高めていくものと思われている。

### (3) 指導過程の類型について

先に述べたように科学的事実や概念・法則を理解する過程の様態に、主として帰納的推理をはたらく

かせて新しい関係把握に近づくような進み方をする場合と、これとは逆に主として演繹的推理をはたらかせて理解を拡大するよう進み方をする場合とがあるとすれば、これを予想して構成される指導過程にも、これに即応する類型があるものと考えられる。その一つは、「独立的に存在するいくつかの事実から帰納して、一つの概念を構成する場合」(A)であり、他の一つは、「一つの概念をいくつかの事実に適用してそれらの事実をその概念の内容に組み入れる場合」(B)である。指導過程の基本型としては、Aの過程が先行し、その後Bの過程が続くものと思われるが、指導の実際にあたっては、AまたはBの過程の特色が強くあらわれることが多いものである。そこで、新概念を理解させることを目的とした指導過程について、以上二つの特色を強調したA、Bの類型をつぎに示すこととする。

① A型……帰納的発見的に新概念を理解させる過程

1. 新概念の内容や条件を含めいくつかの事実による問題場面の提示と解決の試み
  - 事実に関連する既有的経験や知識の整理
  - 既有的経験、知識による問題解決の試み
  - 既有的経験、知識では問題を解決し得ないことの意識化(問題意識の明確化)
2. いくつかの事実の分析と総合による新概念への接近
3. 新概念の提示、記号化(いくつかの事実の新概念による統一的理解の成立)——
4. 新概念の適用による既有的経験、知識の再構成(新概念の拡大、精密化)——
5. 適用の反復による新概念の定着、新しい問題場面の解決

② B型……演繹的受動的に新概念を理解させる過程

1. 新概念の内容や条件を含め典型的な一事実による問題場面の提示と解決の試み  
(以下A型と同じ)
2. 新概念の提示と説明
3. 新概念の内容や条件を含めいくつかの事実の新概念による統一的理解の試み(新概念の理解)
4. 新概念の適用による既有的経験、知識の再構成(新概念の拡大、精密化)——
5. 適用の反復による新概念の定着、新しい問題場面の解決

ところで、A型は帰納的、B型は演繹的といっても、それぞれの過程中のこまかい段階でみれば、帰納的推理と演繹的推理とがからみあっているもので、思考という心理的な構造の上では常に表裏の関係をなしているものであろう。たとえば演繹的といっても、児童生徒の既有的経験や知識を顧慮しないでいきなり新概念を提示することはほとんどないと考えられる。ただ、新概念形成のための指導過程を全体としてみれば、一つの傾向としてこの両者が考えられるという意味で、帰納的・演繹的といったわけである。

そこで、A、B二つの指導過程を比較して、予想される理解過程の特徴と、それに応じる指導上の留意点を述べてみよう。

- ① A型の概念獲得の過程は発見的、力動的に行なわれ、B型は受動的、静的に行なわれる。したがってA型では、概念を獲得するまでの過程に多くの時間を割き、ここで児童生徒の思考活動をさかんに行ななければならないが、B型では、この部分にあまり時間をかけないでよい。
- ② A型における概念の提示は、提示と同時にその理解は成立し、他の類似の経験や新事実に適用できる程度にまで深まっているものと考えられる。しかし、B型の場合は、概念がどのような内容や条件をもっているかのおおよそわかっただけで、その概念がどのような意味やはたらきをもっているか

は、まだはっきりしていない。したがってB型の場合は、概念提示以後の適用による理解の段階に重点をかけて指導することが必要となる。

③ その後の定着過程については、A、Bとも大きな差異はない。

A型とB型との特徴を以上のようにとらえたとき、A型では、新概念を発見する過程で、試行錯誤による停滞、混乱、思考上のつまずきなどが必然的に伴うことが予想される。教師としては、それらの停滞や、混乱、つまずきが、理解を進める上で役立つか、そうでないかを判断し、いたずらにこれらを回避することなく、それらを新概念発見の契機として生かすように指導過程を構成することが、A型の本質を発揮し、指導の効果を上げることとなる。

これに対し、B型の指導過程は、見かけは比較的スムーズに大きな波乱もなく、しかも能率的に確実にねらいに向かって進行しているようにみえるであろう。しかしながら、新概念は教師によって与えられたものであるから、ひとりひとりの児童生徒の受けとり方は、それぞれの既有経験や知識・能力差などによってまちまちであり、教師の意図するものとは大きな隔たりがあると予想される。したがって、このような過程の指導にあたっては、第一に、新概念の提示のしかたをじゅうぶなくふりすること、第二に、新概念提示後に、新概念の内容や条件について具体的な事実に適用させながら理解を確実にしていく段階で、児童生徒の思考活動を促進しなければならない。

二つの指導過程は以上のような特徴をもつものと考えられるのであるが、ある科学的な概念の理解について指導過程を構成しようとするとき、どのような類型をとったらいいか、またはとり得るかは、教材のもっている論理的な構造と、児童生徒の経験的心理的な諸要因、およびより現実的な諸条件（たとえば、施設設備・時間配当など）を考えあわせて決定すべきものであろう。

#### (4) この研究の対象とする理解内容について

以上述べた、理解過程ならびに指導過程についての見解は、この研究全体にかかる実験仮説であり、ことに指導過程の二類型とそれぞれの特徴、それに応じる指導上の留意点について、実際指導を行なうことにより確かめていくことを研究の目的とするのである。このような研究を進めるにあたっては、その素材となる教材の性格が大きなかかわりあいをもってくることについては既に述べたところである。理科学習の対象となる自然現象は広範にわたっており、しかもその内容、性格にいろいろな相違がある。そこでこの研究の対象となる理解内容を、物理的分野の熱現象に限定することとした。つきにその理由をあげてみたいと思う。

- ① 学力調査や学習指導の現状からみて、抽象度が高いと思われる科学的概念や法則の理解がふじゅうぶんであると考えられること。
- ② 物理的分野の概念や法則が自然科学的にみても、もっとも抽象度が高くまた典型的なものであると認められること。
- ③ 熱概念は、児童生徒にとってきわめて抽象度の高い概念であって、それを理解することはわずかしいと予想されながら、実際の学習指導にあたっては、ともすると安易に考えられ勝ちなこと。
- ④ 小・中学校にまたがっており、しかも比較的まとまりのある教材であって、研究作業が容易であると考えたこと。

以上のような理由で選定した熱および熱量概念に関する学習を素材とし、抽象度の高いと考えられる科学的概念の理解構造と過程を吟味しながら、どのような指導過程が成立するか、それぞれの類型の特徴やそれに応じる指導上の留意点はどのようなものであるかを、先に述べた仮説にもとづいて確かめる

ことをこの研究の目的とするのである。

### 3 研究の方法

#### (1) 研究の方法と手順

研究の進め方としては、日常行なわれている学習指導の中で、児童生徒がどのような理解過程をたどっているかを、主として観察記述による方法を中心としながら収集し、それら多くの事例を総合することによって望ましい理解過程とそれに応じる指導過程を明らかにしようという帰納的な方法も考えられる。逆にまた、はじめから理解と指導の過程について仮説を設定し、これを実証するための実験的な学習指導を実施しながら、これをしだいに確かなものにしていこうとするどちらかといえば演繹的な進め方もある。さらにこれを一連の作業過程の中で位置づけて行なう方法も考えられる。

しかしながら、この研究では、学級における学習指導の場の複雑な条件を、当初はなるべく避けながら、まずはじめに、生活経験または学習経験の結果として意識化されている理解構造について、質問紙法を中心としてとらえることから始め、その結果にみられた理解上の問題点については、部分的な理解過程を予想しながら、小集団を対象とした面接を行なって、さらに確かめることを行なうこととした。

このようにして得られた資料を参考として、つぎに理解と指導の過程についての仮説（指導計画）を作成し、これを学級を対象とする学習指導の場で確かめるという方法をとることとした。以下このような方法と手順を要約して述べることにする。

- ① 生活経験や学習経験の結果として意識化されている熱ならびに熱量、および熱移動と温度変化に関する児童生徒の理解構造が、これらの科学的概念の論理的な構造（目標としての理解内容）からみてどのようになっているかの様態を質問紙法によって調査する。
- ② 上記調査によってみられた理解上の問題点について、部分的な理解過程を予想しながら、小集団を対象とした面接調査を行ない、理解過程における問題点の性格をより明らかにする。
- ③ 以上の調査結果を参考資料とし、熱ならびに熱量、および熱移動と温度変化に関する理解と指導の過程についての計画（指導仮説）を作成し、これによって実施した学習指導を評価することによって、仮説として設けた指導過程の成立を確かめるとともに、指導上の留意点もあわせて明確にする。指導過程の評価にあたっては、観察記録、事前、事後の調査結果、学習中に意図的に行なわせる児童生徒の記述内容等を資料として総合的に考察することとする。またこのような実験的な学習指導を行なう場合、構成し得る指導過程の類型によって、ある場合には一群法により、またある場合には比較群法を用いることとする。

#### (2) 年次計画

この研究は、先にも述べたように全国教育研究所連盟の共同研究の一環として昭和36年度から昭和38年度の三か年間にわたる継続研究として実施しているものである。つぎに、研究の方法と手順に応じて実施してきた年次計画を示すこととする。

##### 第一年次（昭和36年度）

- ① 熱現象に関する理解内容についての児童生徒の理解の実態を調査する。
- ② 熱現象の理解過程で予想される問題点、困難点について面接調査により確かめる。

##### 第二年次（昭和37年度）

- ③ 熱移動による温度変化の理解についての指導過程と指導法を仮説として設定し、学級を対象とする学習指導の場で一群法により確かめる。

第三年次（昭和38年度）

- ④ 熱移動による温度変化の理解について前年度実施した指導過程を修正し、才二次仮説を設けて再度実験的な指導を行なう。
- ⑤ 熱量概念の指導について、A・B二類型による指導過程を作成し、比較群法による実験的な指導を行なって、それぞれの類型の特徴、ならびに熱量概念の指導法を確かめる。

## Ⅱ 第一・第二年度（昭和36・37年度）研究の概要

### 1 熱現象の理解に関する実態調査（第一年度研究の1）

オ一年次、オ二年次の研究結果については、すでに研究紀要オ32・37集によって報告してあるので、詳細はそれぞれの紀要によって理解されたい。ここでは、オ三年次研究に至るまでの経過についてその概要を述べることにする。

オ一年次研究では、まずはじめに、熱現象の理解に関する実態を質問紙により調査することとした。その調査は、生活ならびに学習経験によって意識化されている児童生徒の理解構造が、理解すべき内容（科学的知識＝教材）の論理的構造からみてどのようになっているかの様態を調査することによって、児童生徒の理解上の問題点を明らかにし、理解ならびに指導過程の仮説設定に役立てることを目的として実施したものである。この調査結果にみられた理解上の問題点および、これから推定される指導上の要点はつぎのとおりである。

#### (1) 温度変化と熱移動との関係について

物体の温度変化を熱移動の結果であるとみることにについての学習は、小5年では定性的に、中1年ではある程度定量的に行なわれているわけであるが、調査結果をみると、このような学習をする以前の日常経験的な意識構造が意外に根強いものであって、これが新しい学習を受け入れがたくするおもな要因となっているように思われる。以下その様態について要約してみたい。

##### ① 熱ということばによって描かれている像

- ・子どもは、熱いと感じられるものには熱があると考えやすい。熱は熱いもの、温度の高いものと同義語である。したがって常温以下のものには熱がないと考える。
- ・温度の低いもの、つめたく感じるものには、逆に冷素のようなものがあるとみるものが多い。

##### ② 異温度間にみられる温度変化と熱移動の関係

- ・火などであたためるような場では熱を意識化しやすい。しかし温度の上がり方の大小と熱の多少とは同義に考えるものが多い。
- ・熱の多い少ないは、強い火であたためるとか、長い時間あたためるという具体的な操作とはなれて考えることはむずかしい。いいかえれば温度の変化量と重量との関係概念として熱量をとらえることは困難だとみられる。
- ・お湯で水をあたためるとか、水でお湯をひやすというような場面では、ともすると、あたためるほうの湯、またはひやすほうの水の温度変化を意識していないことがある。
- ・異温度のものを接触させたときにみられる温度変化の現象を熱移動によるものとは考えにくく温度の高いものが低いものをあたためたり、温度の低いものが高いものを冷やしたりする日常的な意味における技術的操作の結果であると考えたり、両方の温度の混合やあついものとつめたいものとの交流だと考えるものが多い。
- ・したがって、ものをあたためると考えやすい場では、あたためるものからあためられるものへの作用とみ、ひやすとみやすい場では逆にひやすものからひやされるものへの作用と考える。

さまざまな熱現象について熱移動の方向を判断する場合でも、このような操作的な見方が判断を決定する根拠となりやすい。

- ・ものに触れて熱く感じたり、逆に冷たく感じたりする場合には温度変化を意識しにくく、しかも物から自分への作用と受けとり勝ちなことも、前項と同質な判断傾向である。

以上の実態から、温度と熱の区別、温度変化と熱移動の関係についての理解ならびに指導上の要点としてあげられることは、つぎのような事項である。

- 火や太陽のような熱がきわめて多くあると考えやすい熱源による温度上昇と、湯と水のような異なる温度間における温度変化とは、熱移動による同じ現象だとみられるようにすること。
- それぞれ異なった生活目的的な意味をもつ、あたためるという場面とひやすという場面とは、これを客観的にみれば、熱移動による同一現象だとみられるようにすること。したがってまた、あたためるものは逆にひやされるものであり、ひやすものはあためられるものであるという相対的な関係に気づくようにすること。
- 熱いとか、冷たいとかいう感覚的な表象を、温度差間における熱移動という客観的な現象とみられるようにすること。
- 温度の高低や、温度変化の大きさと、熱の多少との同義的な結びつきを切りはなすため、重量の要因を考えざるを得ない場を提示すること。
- あたためるとか、ひやすとかいう具体的操作の主観的見方からはなれて、温度変化と重量との相互関係を客観的に考えることができるようにすること。その際、関数的な考え方を促がすような方法がくふうされなければならない。
- 熱量を定量的に処理する前に、定性的に理解する段階を用意すること。

## (2) 熱移動の方式について

熱移動の三方式についての学習は小5年と中1年で行なわれているが、調査結果からみても問題点はあたためるもの（熱源）とあためられるものとの関係についての日常経験的な意識構造の構造がえがなされないうまま、これと学習の結果として習得した知識内容が部分的断片的に結びついて、誤まった理解を形成しているのではないかとみられることである。

### ① 伝導について

- ・ 伝導という熱移動の方式を物体内の熱の伝わり方とはみずけ、あたためるもの（熱源）とあためられるものとの関係における、あためられるものの温度の上がりやすさと考えやすい。
- ・ したがって、放射熱の吸収度合や、比熱による温度の上昇度合などと混同しやすくなる。

### ② 対流について

- ・ 水はぐるぐるまわりながら熱くなるという動きの全体像のみが意識化されて固定観念となっていて、このようなあたためり方が生じる理由の分析的理解は成立していないものが多い。
- ・ また、ぐるぐるまわりながら熱くなるという動きの全体像も、ともすれば沸騰の現象と混同されやすく、したがってこのような混同があると、常温以下の状態における水や空気の対流などは意識化しにくいこととなる。

### ③ 放射について

- ・ 熱源とあためられるものとの間の空間をあたためることなく熱が移ることは意識しにくく空間をあたためながら熱が伝わってきて物に移ると考えやすい。

- ・ 放射熱の受けやすさと、伝導度が高いことや比熱が小さいことを混同しやすい。

以上のような様態から考えられる指導上の要点はつぎの事項であろう。

- 温度変化と熱移動に関する基本的理解を重視すること。(1)参照)
- 伝導という熱移動の方式を理解する過程で、熱源との関係におけるあたたまりやすさとしてではなく、物体内の熱移動のメカニズムとみれるように留意すること。
- 放射熱の移り方を理解させる過程で、熱源とあたためられるものとの間の空気の温度は上がっていないことに気づかせるよう、実験方法をさらにくふうすること。
- 伝導と放射とのちがいに気づくよう、両者を比較するような場を用意すること。
- 対流が生じる理由について、水・空気などの性質と関連させながら分析的に考察するような過程を用意すること。
- 伝わる、移る、とおす、吸収するなどということばの客観的な意味を事象と関連させながら明確にすること。

(この調査の詳細は研究紀要第32集参照のこと)

## 2 熱概念の理解過程に関する事例研究(第一年次研究の2)

熱現象の理解に関する実態調査に引き続き、この結果にみられた理解上の問題点とそれに応じる指導上の要点を、さらに明確にするために、温度変化と熱移動との関係を理解する過程を想定し、それにもとづいて事例的な面接調査を行なった。ここで想定した理解過程の概要はつぎのとおりである。

「日常生活経験中の諸事象のうち、児童生徒が熱概念に接近しやすいと考えられる事象を素材として、まず素朴な熱概念を導入し、これをその素材以外の新しい事象に適用しようと試みる過程で、熱概念がより抽象化されて明確となり、適用範囲も拡大されて本質的な理解構造に近づくような過程」面接調査は、小5年、中1年から6名くらいの小グループをそれぞれ4グループずつ選んで、それを対象とし、上記理解過程の各段階について児童生徒の反応を検討した。この面接調査によって得られた理解過程の様態はつぎのとおりである。

### ① 水を火にかけると温度が上がる理由について

- ・ 中1年では、このような場で熱ということばがすぐに使えるものが多い。これは小5年の時に一応学習していることであるから当然のことといえよう。
- ・ 小5年では、“あたためるから。”“火がつくから。”“じゅうはつするから。”など、現象的な考え方が大部分を占め、熱という概念を使って説明するものはほとんどなかった。したがってこのような児童は熱という概念による素朴な説明をまず与えなければならぬと思う。

### ② 熱量的なみ方について

- ・ 水の量と温度の変化とを関係づけながら、熱を量的に考え得るものはきわめて少ない。とくに5年では困難な思考操作であると考えられる。
- ・ 同じにあたたためても水の量の少ないほうが早く温度が上がる理由について、中1年でも“水の量の少ないほうの対流がはやく行なわれる。”“熱のまわりがはやい。”“水の量が多いだけ温度の上がり方がわるい。”という程度の説明しかできず、水の量と温度の上がり方との関係を関数的に操作して、熱量と温度とを分化させ得るものはほとんどなかったといえる。

### ③ 水と湯の接触による温度変化について

- ・ 水の温度は上がり、湯の温度が下がるという予想は小5年でも大部分のものが可能であった。この点実態調査の結果とは異なった様相を示したのであるが、この原因は、具体物を示しての問題場面の提示と質問紙法による提示との相違によるものであろう。

#### ④ 水と湯を接触させた場合の温度変化の理由について

- ・ この思考過程は②の場合よりも容易であって、熱のやりとりとみれるものが小5年でもみられた。
- ・ しかしこの過程でいちばん困難なことは、湯がもっている熱量の減少ということに着目できるかどうかであった。この点に着目できないと、湯の温度が下がるわけとして、実態調査結果にもみられた、“水から湯へつめたいものに移る。”とか“両方の温度がまじる。”というような考え方から抜け出すことができない。

想定した理解過程の各分節で、以上のような反応の様態がみられたわけであるが、この様態は一部を除いて先の実態調査結果と一致することが確認できたこととなる。また、これらの理解の様態から、熱概念を導入する場合の指導過程構成上の着眼点としてつぎのことをあげることができる。

- ① 熱概念の導入にあたっては、いくつかの典型的な事象から帰納的発見的に熱概念に接近するというような過程は成立しないと思われるので、日常生活経験中の典型的な事象を素材としてまず熱概念を伝達し、それをさまざまな事象に適用させる過程で理解を深めるといふ、演繹的受容的な過程を構成してその成立をはかること。
- ② このような適用を中心とする過程を効果的に進めるための方法上の着眼点として、ことばによる概念と具体的な事象との間に視覚的な媒介物としてのモデルが必要である。そのためには、熱移動を視覚化するような方法をくふうしなければならない。

(以上研究紀要第3 2集参照)

### 3 熱移動に関する指導過程の実験的研究〔1〕(第二年次研究)

#### (1) 研究のねらいと指導仮説

熱や熱量のような抽象度の高い科学的概念によって説明できる現象に対する子どものみ方考え方は、経験的、現象的であって本質的な論理構造と矛盾することが多いこと、またこのような概念の導入にあたって、帰納的発見的な指導過程によることは無理であることについて、第一年次研究の結果確かめることができた。第二年次研究では、熱概念を導入しそれによって温度変化の事実をみれるようにすることについて、つぎのような指導仮説を設定し、具体的な指導案を作成して小5年を対象に学習指導を行ない、演繹的受容的な指導過程がどの程度成立し得るものかを確かめようとしたのである。

#### 指導仮説

- ① 熱のように抽象度の高い科学的概念を、初めて導入する場合には、子どもがよく経験している事象を素材として、まず新概念を伝達し、日常的な判断を科学的判断におき換えることから指導をはじめなければならない。したがって、この最初の過程は経験的事象を素材とする新概念伝達の過程である。
- ② このようにして伝達した概念の理解を深める過程は、与えられた新概念を他の事象にも適用しようとして操作する(思考する)ことによって成立する。この過程は、はじめの新概念伝達の過

程に続く適用指導の過程であって、このような類型の指導過程中もっとも重点をおかなければならない分節である。

- ③ 伝達の過程、適用の過程に続いて、さらにさまざまな事象に活用し、新概念の一般化と定着をはかる過程が必要となる。
- ④ 以上の過程では、抽象的な概念を視覚的な像に置き換え、その像を操作して事象の説明を試みるような方法をとることが効果的であろう。

### 指導過程の概要

① 新概念の伝達 —— 火のように熱が連続的に発生すると考えられるものと、それによってあたためられるものとの関係を素材として ——

- 火などの熱源でものをあたためる経験と関連させながら、ビーカーに入れた水をアルコールランプで熱すると水の温度があがる事実を提示する。
- 水の温度があがるわけを考えさせるとともに、それが熱の移動による現象であることを説明する。

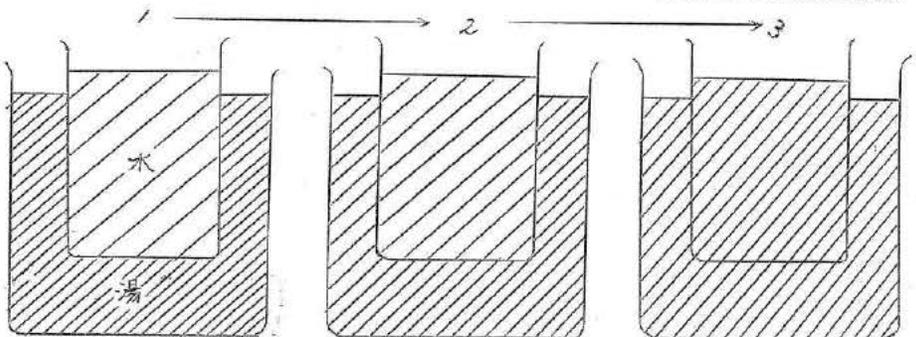
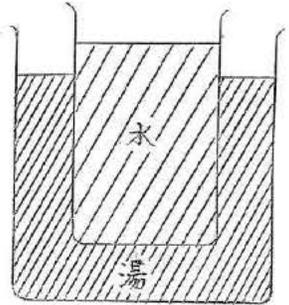
説明にあたってはつぎのような方法による。

- ・ ビーカーの水に赤インキを少しずつ加えながら色の変化を観察させ、これを熱移動による温度上昇と対応させる。
- ・ 色が濃くなっていくようすを図に表現して熱移動による温度変化の視覚像を作る。
- ・ 食塩水や砂糖水の濃さなどと関連して考えさせる。

② 伝達された新概念の第一次適用による理解の拡充

—— もっている熱量に限度があると考えられるものと、それによってあたためられるものとの関係に適用する ——

- 湯を使ってものをあたためる経験と関連させながら、湯を入れた大ビーカーの中へ水をいれた小ビーカーを入れたときの湯と水の温度変化を予想させ、あわせてそのわけを考えさせる。
- ・ どのように温度が変わるか。
- ・ 水の温度が上がるわけを説明させる。この場合、新概念の適用をしやすくする補助的な手段として、右図を示す。
- ・ つぎに湯の温度が下がる理由の説明に進む。ここで指導上の問題となることは、第一には湯が水にひやされるという日常的な判断からの転換、第二には湯から水への熱の移動によって生じる湯の状態の変化に着眼することである。ここでの補助的な手段としては下図を用いる。



- 温度変化を実験によって確かめる。

### ③ 第二次適用による理解の拡充

—— 日常経験的には、ものをひやすと考えられる事象に適用する ——

- 冷水を使ってものをひやす経験と関連させながら、水を入れた大ビーカーの中へ湯を入れた小ビーカーを入れたときの温度変化とそのわけを考えさせる。
  - ・ どのように変わるか予想させる。
  - ・ 湯の温度が下がるわけを説明させ、ついで水の温度が上がるわけに進む。最終的には、水を湯であたためることと湯を水でひやすこととは、日常経験的にはそれぞれ違う意味をもつけれども、科学的には全く同じ現象であることに気づかせる。
  - ・ 時間的な制約もあるので、ここでは実験による確かめを省略する。

### ④ 新知識の適用練習による理解の一般化と定着

—— 温度差間の熱移動によって説明できるさまざまな事象に適用する。 ——

- 提示する問題場面の性格
  - ・ 火などの熱源でものをあたためる場面
  - ・ 常温以下で、経験的には熱がないと考えやすい温度の範囲で、ものをひやしたり、ものがひえたりする場面
  - ・ ものに触れて、熱いか冷たいか感じるような場面
- 具体的な問題（熱がなにかからなにへ移るかを考えさせる）
  1. やかんに水を入れて、ストーブにかけておくと、水が湯になる。
  2. 夏の暑い日、海岸の砂の上を歩いたら足が熱かった。
  3. 水で手を洗ったら、とてもつめたかった。
  4. すいかをいど水の中に入れてひやした。
  5. コップに湯をいれて机の上においたら、湯がさめて水になった。
  6. としお君とまさる君があくしゅをしたら、としお君はつめたいと感じ、まさる君はあたたかいと感じた。

#### 対象学級と指導時間

対象学級 新潟市上所小学校 5年 1学級（51名）

指導の時期と時間 昭和38年1月 45分授業3時間

- |     |             |                 |
|-----|-------------|-----------------|
| 第1時 | 新概念の伝達      | 一次適用のうち実験を除いた部分 |
| 第2時 | 温度変化を確かめる実験 |                 |
| 第3時 | 第二次適用       | 適用練習            |

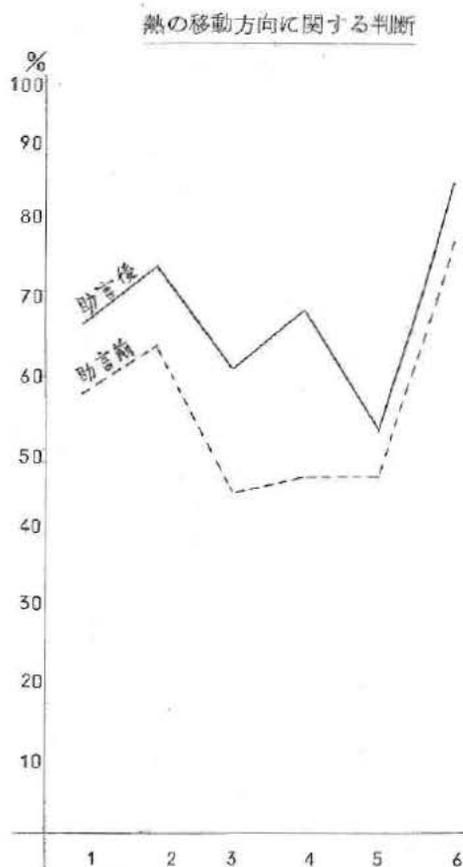
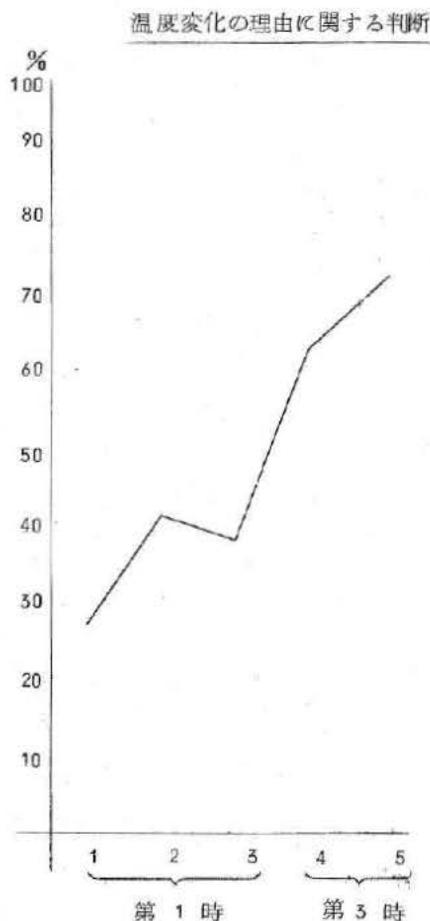
#### (2) 指導過程評価の方法

指導過程中のいくつかの問題場面で、児童個々の考えを自由記述させ、この結果とテープレコーダーによる指導記録とを対応しながら、研究のねらいに即応して指導過程の評価を行なった。児童に記述させた問題場面はつぎのとおりである。

- |     |   |  |
|-----|---|--|
| 第1時 | } | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 湯の中へ水を入れると水の温度が上がるわけを記述させる。</li> <li>2. 湯と水の温度のちがいを色の濃さであらわした図を提示して、水の温度が上がるわけを記述させる。</li> </ol> |
|-----|---|--|

- 第3時
- 3. 湯の中へ水をいれると、湯の温度が下がるわけを記述させる。
  - 4. 水の中へ湯をいれると、湯の温度が下がるわけを記述させる。
  - 5. 水の中へ湯を入ると、水の温度が上がるわけを記述させる。
  - 0. いろいろな事象についての熱の移動方向を判断させる。
    - ・ 助言前の判断をみる。……湯と水の間熱のやりとりに関する学習の直後
    - ・ 助言後の判断をみる。……温度のちがいに着目するようになるとの助言後

### (3) 指導結果の概要



指導過程の進行にしたがって、各分節ごとの問題場面で自由記述をさせた、湯または水の温度変化の理由についての正しい記述内容の推移、および、適用練習の素材として用いた6つの問題場面における熱移動の方向を正しく判断することができたものの助言前、助言後のプロフィールは、それぞれ上図のようになっている。これらの結果と指導過程の実際とを関連的に考察した結果、おおよそつぎのようにまとめることができた。

- ① 指導の結果として、およそ70%前後の児童は、温度変化の原因を高温から低温への熱移動によって説明できるようになったものと思われる。
- ② はじめに伝達された新概念を、助言なしで第一次適用の場で正しく用いることのできる児童は、きわめて少数に限られ、しかも、適用の手がかりとなる図を示しても、それによって正しい記述に

差し得たものは、わずかである。

- ③ とくに、湯の温度が下がる理由の説明が困難であることは、水の温度が上がる理由について指導した後の第3回目記述の結果に示されるとおりである。
- ④ これに反し、第1時の指導後、第2時の実験を経て、湯を水でひやす場面への適用にあたっては困難度が小さくなり、正しい説明をし得るものが目立って増加する。
- ⑤ これらのことから考えると、この指導過程で児童の思考上の困難点は、火などの熱源とそれによってあたえられるものとの関係で習得した知識を、湯と水との間にみられる温度変化の現象に適用すること、および、水の温度の上がる理由から湯の温度の下がる理由へ推理を進めることの二点にあったといえよう。このことは指導過程の分析結果とも対応している。
- ⑥ さまざまな事象について熱の移動方向を判断する一般化と定着の段階では、前時までに正しく理解し得なかったと思われるものの誤答が目立っている。とくに、つめたく感じたり、ものをひやしたり、ものが自然にひえたりする場面の判断がむずかしく、第一年次研究で行なった実態調査での問題点がここでもあらわれている。しかしこのような問題場面でも、両方の温度のちがいに着目させることにより正しい判断ができるようになったものも多く、結果的には、やはり70%前後の児童はなんとか理解の一般化をしたものと判定される。
- ⑦ 残りの30%程度の児童に対しては、この指導過程による効果が認められない結果となり、これらの児童がこの学習の最終段階でも日常経験的な判断しかなし得ないことは問題である。

以上の評価結果にもとづいて、この指導過程にさらに修正を加えるとともに、修正された指導過程をちがった地域の児童を対象にして実施することにより、熱概念の導入に関する演繹的受容的な指導過程の効果と指導上の留意点を検証することが、第三年次研究の一つの課題である。

(この研究の詳細は研究紀要第37集参照のこと)

### Ⅲ 熱移動に関する指導過程の実験的研究〔2〕(第三年次研究の1)

#### 1 第二年次研究結果にもとづく指導過程の修正

##### (1) 指導過程修正の観点

才二年次研究として行なった「熱移動に関する指導過程の実験的研究〔1〕」と結果については、前章の終わりで述べたとおりである。その際、指導の結果にもとづいてさらに指導過程を修正し、それを他の地域に実施することによって、熱概念の導入に関する演繹的・受容的な指導過程の効果と指導上の留意点を検証することが第三年次研究の一つの課題であるとも述べておいた。そこでまず、昨年度実施した指導過程のどこをどのように修正したらよいかの観点を、指導結果と関連づけながらあげてみたい。

① 昨年度の指導過程を構成する際の仮説としてあげた「熱移動を考えやすくしかも身近な経験的事実を素材として熱概念とそれによる説明をはじめに伝達し、それを他の熱現象に適用する過程で理解の拡大・精密化を図る」という指導過程の型に変更を加えることはしない。したがってこの修正にあたっては、演繹的受容的な指導過程の型を維持しながら、その内容となる教材提示の順序や方法について、指導結果にもとづく修正を加えようとするのである。

② 昨年度に実施した指導過程での問題点の一つは、火などの熱源とそれによってあたためられるものとの関係で習得した熱移動で温度変化を説明することについての知識を、つぎの適用の場面である湯と水の間にもみられる温度変化の理由にまで拡大することに対する児童のつまずきであった。この点を改善するための方法として、つぎの諸点を修正することとした。

- ・ アルコールランプの火でピーカーの水をあたためるという素材から、つぎの湯を熱源と考えることへの類推を助けるため、アルコールランプの火以外に、炭火やストーブなども用い、しかも熱源とあたためられるものとの間的高温→低温という一般関係に着目するよう助言するとともに図的表現をくふうする。

- ・ 火でものをあたためる場で、「熱が高い温度のものから低い温度のものに移るから……」ということばによる表現を確実に用いられるようにする。また「低温のもの(水)が高温のものから火から熱をもらう」という表現もできるようにしておく。

③ 問題点の第二は、第一次適用の場(湯で水をあたためると考えやすい場)で、水の温度の上がるわけは説明できても、湯の温度が下がる理由の説明が困難であるということであった。この点の改善を図る方法として、つぎの諸点を修正することとした。

- ・ 新概念とそれによる事象の説明について知識を伝達した後、適用過程に入る前に、温度と熱を区別しなければならぬ場を提示し、両概念の分化を図る。これによって温度が移るのではないということを一応確認しておくほうがよいと思ったからである。

- ・ 昨年度実施した指導過程では、第一次適用の場面として、水を湯であたためると考えやすい場面を用い、この学習後第二次適用の場面として、湯を水でひやすという場面をもってきた。指導結果によれば、第一次適用場面が困難であり、この場面の学習さえ成立すれば、第二次適用はほとんど抵抗がないのではないかと考えられた。そこで、はじめから、水を湯であたためると湯を水でひやすことの両場面を提示し、両場面における温度変化の同一性をたしかめながら熱概

念を適用するというような順序をとったかどうか考えた。

- ・ このような過程をとることにより、両場面における温度変化を確かめる実験も同時にでき、時間的な能率を高めることができるはずである。
- つぎに、以上の観点によって修正再構成した指導過程をあげることにする。

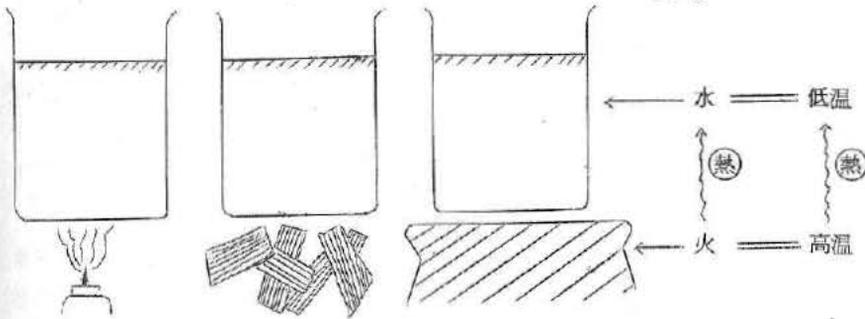
## (2) 修正した指導過程

① 新概念の伝達 —— 火のように熱が連続的に発生すると考えられるものとそれによってあたためられるものとの関係を素材として ——

A いれものに入れた水を火にかけると水の温度が上がるのは、熱が高温の火から低温の水に移るからであること。

- 火にかけてものをあたためる経験と関連させながら、熱せられたものの温度があがる事実を想起させる。この時、“温度が上がる。”“温度が下がる。”という表現をとるよう助言する。
- 水の温度が上がる理由をどう説明するかを問題とし、それが熱の移動による現象であることを説明する。説明の方法はつぎのようにする。

a ことばで→  $\left\{ \begin{array}{l} \text{熱が火から水に移るからだ。—— 熱が高温のものから低温のものへ移るからだ。} \\ \text{水が火から熱をもらうからだ。—— 低温のものが高温のものから熱をもらうからだ。} \end{array} \right.$

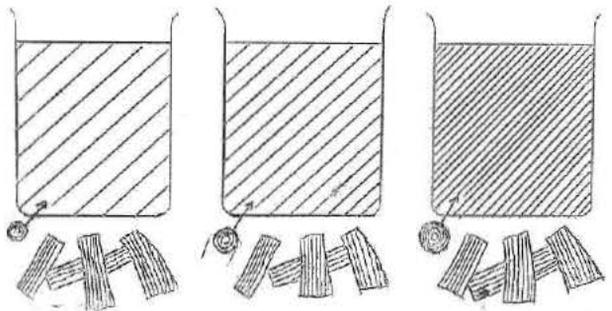


・ 上図を提示しながらことばによる説明を伝達する。

b 視覚像をつくる。

1 → 2 → 3

- ・ 赤インキの量をますます濃くなる。
- ・ 塩水・砂糖水のこさと対応する。
- ・ 右図を提示して熱の移動による温度の上昇を考えさせる。



c ことばと視覚像と事実と

を対応しながら説明し、説明させる。

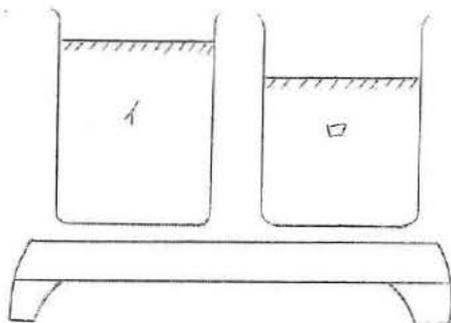
B 熱と温度とはちがうことに気づかせる。(温度が移るのではないこと)

- 同じ電熱器の上で、同じ時間熱すると

・温度のあがり方はどちらがうか。→ $\square$  (水の量の少ないほう)のほうの温度が早く上がる。  
 …… $\square$ の温度が高くなる。

・移った熱をくらべるとどうか。→移った熱は同じはずである。

(ここでは、 $\square$ の温度が高くなるから移った熱も $\square$ が多いと考えたり、 $\square$ の水が多いから同じ温度になるためには熱も多くいると考えるものがあると予想される。)



○ 同量の熱をもらっているはずであること。同じ量の熱が移っても水の量がちがうと温度のあがり方もちがうことに気づかせる。説明にあたっては、食塩水の食塩の量と水の量による濃度などと熱と水の量と温度(熱のこさ)と対応して考えさせる。温度は熱のこさであって熱ではないことをはっきりさせる。

○ どちらも同じ温度にするには、熱はどっちに多くいるか考えさせる。

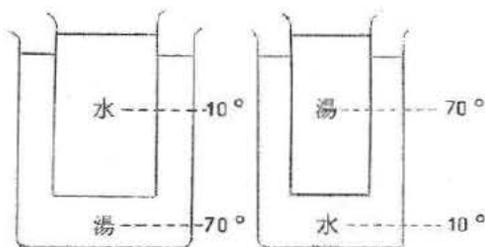
② 伝達された新概念の適用による理解の拡大と精密化

——水を湯であたためたり、逆に湯を水でひやしたりする場面の温度変化に適用する。——

○ 水を湯であたためるとみられやすい場面と、逆に湯を水でひやすとみられやすい場面とを同時に提示し、それぞれの場合について、湯と水の温度がどう変わるか、そのわけをどう説明したらよいかを問題とする。

①

②



○ 湯と水の温度がどう変わるか、そのわけはどうかについて個人ごとの考えを自由に記述させる。(ここまで第1時)

(ここでは、なんらの指導、助言なしに、はじめに伝達した知識をどの程度適用できるかを判定する資料を得ると、個々の児童に自分で考える機会を与えることをねらいとする。)

記述用紙はつぎに示す。

[1]

(1) 水の温度はどうかかわるか。  
 1. だんだんあがる。  
 2. だんだんさがる。  
 3. そのままかわらない。

(そのわけ)

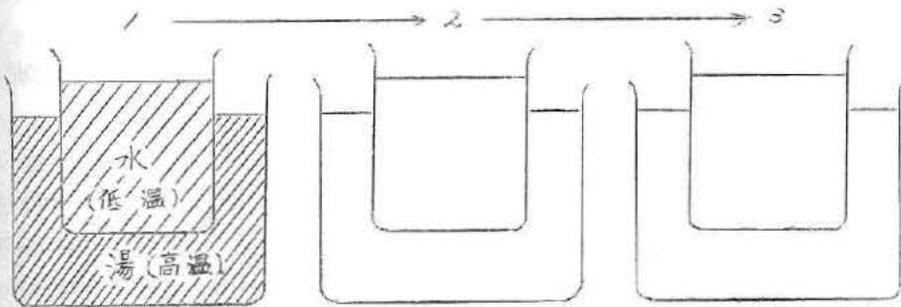
(2) 湯の温度はどうかかわるか。  
 1. だんだんあがる。  
 2. だんだんさがる。  
 3. そのままかわらない。

(そのわけ)

- (3) 両方の温度はしまいにどうなるか。  
 1.  $70^{\circ}$ になる。    2.  $10^{\circ}$ になる。    3.  $40^{\circ}$ くらいになる。  
 4. 水と湯の温度が反対になる。

- [2] 水と湯の位置が[1]と逆の図を示す
- (1) 湯の温度はどうなるか。 (2) 水の温度はどうなるか。  
 (3) 両方の温度はしまいにどうなるか。(以下[1]と同形式)

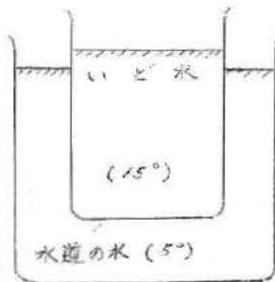
- 温度がどのように変化するか実験をして確かめる。(第2時の予定)
- ・ 実験は ④(湯の中へ水を入れる)の場合をためすグループと、⑤(水の中へ湯を入れる)の場合をためすグループを構成して、両方同時に進める。
- ・ 実験の結果を比べ、④と⑤はちがう場面だが、温度の高いほうは温度がしだいに下がり、温度の低いほうは温度がしだいに上がって、しまいに中間で等しくなることでは、両者同じ現象であることに気づかせる。この時、できた温度変化のグラフの相似性に着目させて考えさせる。
- 水と湯の温度が実験結果のように変化する理由をどう説明したらよいか話し合い。(以下第3時)
- ・ 第1時に記述した結果について、どのような説明があったかその類型を提示する。
- ・ 熱移動についての既習の知識を適用しやすくするため、必要あれば、下の図を提示して考えさせる。
- ・ ④の場合の水の温度が上がるわけからはじめ、湯の温度が下がるわけ、⑤の場合におよぶ。
- ・ なるべく多くの児童に説明させる。



(色のこさはだんだんどうりになっていくでしょう)

③ 新知識の適用練習による理解の一般化と定着

- 温度差間に見られる熱移動によって説明できるさまざまな事象に適用する。
- 冬につめた水道の水( $5^{\circ}$ くらい)を入れた大ピーカーの中に、わりあいにあたたかい水道水( $15^{\circ}$ くらい)を入れた小ピーカーを入れると、両方の温度はどうかわるか。そのわけをどう説明したらよいか。  
 (常温以下の場合でも、常温以上の場合と同じ考え方でよいことを理解させる。)
  - つぎのいろいろな場面について熱移動の方向を判断させる。



① つぎのいろいろな場合、熱はなにからなにへ移りますか。□の中にあてはまると思うものを書きいれなさい。

1. やかんに水をいれて、もえているストーブにかけておく。□ から □ へ
2. 夏のあつい日、海岸の砂の上を歩くと、足のうらがあつ □ から □ へ  
い。
3. 水で手を洗うと、つめたく感じる。 □ から □ へ
4. すいかをいど水の中に入れてひやす。 □ から □ へ
5. コップにお湯を入れて机の上におくと、さめて水になる。 □ から □ へ
6. としおくと まさるくんが、あくしゅしたら、としおくとしおくと まさるくんはあたたかいと感じた。

④ 事後テストの実施 —— ②の問題場面提示直後に与えて自由記述させた問題用紙と同じものを、ここで再度与えて記述させる。——

## 2 指導結果についての考察

この度の実験的な指導を実施するにあたっては、昨年度の実施校と地域をかえて確かめるという趣旨によって、北蒲原郡豊栄町葛塚小学校5年の1学級(49名)を対象とした。指導時期ならびに時間配当はつぎのとおりである。

時 期 昭和38年12月

時間配当 第1時—①熱概念とそれによる温度変化に関する説明の伝達

②湯と水の間に見られる温度変化とその理由に関する問題場面の提示とそれに対する児童の自由記述による反応まで

第2時 ②温度変化を確かめる実験とその結果の考察

第3時 ②温度変化の理由に関する指導 ③適用練習 ④事後テスト

指導結果についての考察をするにあたって、指導の全過程の実際を詳述することは、紙数も許さないし、またその必要もないと思われるので、指導過程中の要点についてのみ、その様相を述べるとともに研究のねらいに即して考察を加えることとする。

### (1) 新概念伝達の過程について

#### ① いれものに入れた水を火にかけると温度が上がる理由について

教 師 の 指 導	児 童 の 反 応
<p>〇いれものに入れた水を火にかけると温度があがるのはなぜか。</p> <p>あたためだから温度が上がったわけですが、もっとちがう説明のしかたはないでしょうか。</p> <p>・どこからどこへ移ったのですか。</p>	<p>〇熱が移ったからだ。</p> <p>〇火から水へ……</p>

教師の指導	児童の反応
<p>・高い温度と低い温度ということばを使ったら、どうい えばよいでしょう。</p> <p>○熱ということばきいたことがありますか。どんなときに 使いますか。</p> <p>○熱ってどんなものだと思いますか。</p> <p>○熱は目に見えますか。手でさわってみれますか。</p> <p>○においはありますか。 ○重さがありますか。</p> <p>○熱というなにかあついものが火から水に移るからだ。温 度の高いほうから低いほうへ移るから水の温度が上がる と説明するのです。(以下計画であげたよりの説明をす る。)</p>	<p>○高い温度の火から低い温度の水に 移ったから……</p> <p>○かぜをひくと熱がでる。</p> <p>○あついもの ○温度のこと</p> <p>○高い温度のこと</p> <p>○あたたかい気体みたいなもの</p> <p>○見えない。 ○さわれない。</p> <p>○においもない。 ○重さはない… ある。</p>

ここでの児童の反応をみると、「熱が移る」という判断は、一部の児童から容易に出されている。しかし、その熱という概念によってえがかれている像は、なにかあついものという印象だけであって、中には火そのものを熱と考えているものもあると推察できる。「あたたかい気体みたいなもの」といっているのは、ほのおのことを考え、「さわれないもの」といっているのは火にはさわられていないものであり「重さがある」と考えているのは炭火のようなものを指しているのかもしれない。これらの反応は、第一年次、二年次研究をとおしてじゅうぶん予想されたことであって、この段階では当然のことであろう。導入の段階では、このように素朴な熱概念から入らざるを得ないわけである。

## ② 熱と温度とはちがうことについて

水が多く入っているビーカーと、水が少なく入っているビーカーを、同じ電熱器にかけたとき、水の少ないほうの温度が早くあがること、移った熱量は等しいことについては、容易に判断できた。一部の児童で、水の多いほうに熱が多く移ると判断したものもあるが、これは計画でも予想したことであり、問題場面の受け取り方の誤解による誤りであることに気づくのは、さして困難なことではなかった。

しかし、このことから熱と温度のちがいにについて了解したかという点、この点はきわめてあいまいな反応しかみられなかった。食塩水について、食塩の量と、食塩水の濃度の区別すら明確に理解し得ないように思われる。密度とか濃度という概念は、この頃の児童にとって感性的性格の強い、未分化な概念であろう。したがって温度を熱のこさとみることは大きな抵抗が伴うものと考えられる。

## (2) 新概念適用の過程について

### ① 湯と水との間にみられる温度変化とその理由についての児童の記述内容について

水を湯であたためると考えられる場面と湯を水でひやすと考えられる場面を同時に提示して、それぞれの温度変化とその理由を問題として提示し、提示直後に前掲の記述用紙を与えて、なんらの助言をすることなく自由に記述させた。はじめに伝達した新概念をどの程度適用できるかを

みるとともに、児童個々に自ら適用する機会を与えたかったからである。記述内容を類型化して集計した結果はつぎのとおりである。

**記述内容の類型** (昨年度用いた類型と同じ類型によって処理した。)

- A 湯から水への熱の移動によるもの(正答)
  - ・湯から水へ熱が移る(いく, はいる, 伝わる, 伝えるなど)
  - ・湯と水の間熱のやりとり(とる, とられる, うばわれる, もらう, やるなど)
- B 熱という表現はないが, 湯から水へのなにかの移動によるもの
  - ・温度が移る, あついものが移る, 湯が移る, など
- C 水から湯へのなにかの移動によるもの
  - ・水から湯へ熱が移る, 水のつめたい熱が移る, つめたいものが移る, など
- D あたためるとかひやすという日常経験的な表現をするもの
  - ・湯が水をあたためる。(水が湯にあたためられる。)とする
  - ・水が湯をひやす。(湯が水にひやされる。)とするもの
- E 湯はあついからとか, 水はつめたいからという表現をするもの
- F 無答または内容不明のもの

温度変化の予想ならびに上記類型による温度変化の理由についての集計結果はつぎのようになった。

まず, 温度の変わり方についての予想をみると, [1]の1, [2]の1の正答が高率を示していることは, それぞれ, 水をあたためる場面, 湯をひやす場面であるから, 経験的事実として当然なことであろう。[1]の2(湯の温度の変化), [2]の2(水の温度の変化)になると正答者がへっており, ことに[2]の2でその減り方が大きい。さらにそれぞれの3(しまい両方の温度はどうなるか)になると正しい予想をすることのできるものはさらに少なくなる。本年度は, このような反応状態を予想して, まず温度変化を確かめる実験をやって, 正しく温度変化の事実を認知させた上で, その理由の指導に進みたいと考えたわけである。

(温度の変わり方についての正答率)

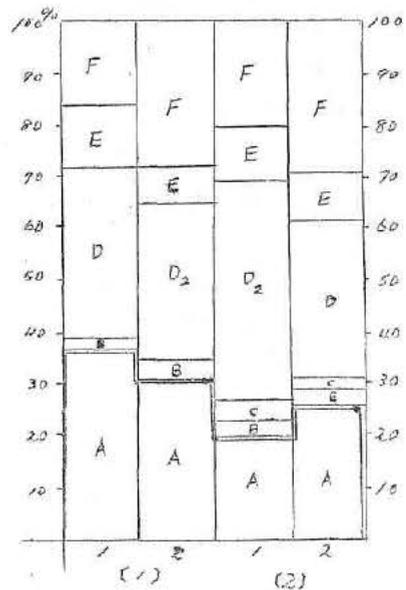
[1]			[2]		
1	2	3	1	2	3
94	86	74	96	76	55

(温度変化の理由)

場面 類型	[1]		[2]	
	1	2	1	2
A	37	31	18	24
B	2	4	4	4
C			4	2
D	33	31	43	31
E	12	6	10	10
F	16	28	20	29

(数字は百分比)

温度変化の理由



温度変化の理由について自由記述させた結果をまとめたものが前頁の表ならびに図である。この表と図でみるとおり、はじめに伝達した熱概念を、ここでうまく使える児童は、昨年度もそうであったように平均して30%に満たない。ことに〔2〕、とくにその2の正答率が低くなっている。しかも図でみると、"あたためたから"とか"ひやしたから"という経験的な判断や、無答または内容不明のものが多くみられる。以上の結果から、はじめ伝達した熱概念を、このような場面に適用することは、児童自らの力だけではやはり相当困難なことのよう考えられる。熱概念を伝達する方法にいくらかの改善を加えたのであるが、その結果が昨年度と大体同じようにあらわれたことは、湯を火におきかえて類推することのむずかしさを示すものである。

② 水を湯であたためる場面と、湯を水でひやす場面とは、温度の変わり方という観点からみれば同一の現象であると認めることについて

温度変化を確かめる実験は、計画で示したとおり、水を湯であたためる場面と湯を水でひやす場面について二種類のグループを作り、同時に行なった。実験結果をグラフに表現したものをういて温度の変化のようすを話し合いでまとめたわけであるが、この話し合いでは、つぎのような内容の発言が児童から容易になされた。

○水を湯であたためる場面について

- ・水の温度はだんだん上がり、湯の温度はだんだん下がる。しまいに同じになる。
- ・水の温度の上がり方は、はじめに急に上がり、だんだん上がり方がゆっくりになる。お湯の温度の下がり方は、これと反対に、はじめ早く、だんだんゆっくりになる。

○湯を水でひやす場面について

- ・水と湯の場所が反対なだけで、あとは同じことだ。

このような反応から、両方の場合の同一性について、比較的容易に気づくことができたものと思われる。

③ 水の温度があがり、湯の温度がさがる理由についての話し合い。

教師の指導	児童の反応
<p>○昨日は、水の温度が上がるわけについてみなさんに書いてもらいましたが、いろいろなわけがありましたよ。 (児童が記述した内容の種類を示す)多くの人が書いたように"あたためたから上がる"というのはそのとおりで間違いではありませんが、せっかく熱ということばを習ったんだから、そのことばを使って説明するとどういえばよいでしょう。</p> <p>○そう説明すればよいこととなります。(板書する) それならば、湯の温度が下がるわけはどう説明すればよいでしょう。</p> <div data-bbox="274 1580 642 1761" style="text-align: center;"> <p>①                  ②                  ③</p> </div>	<p>○湯のほうにある熱が、水のほうに移っていくから</p> <p>○お湯から熱をもらうからだ</p> <p>○高温の熱を低温の水に伝えるから</p> <p>(児童の反応活発)</p> <p>○湯の熱が水に移っていくと、湯の熱が少なくなって温度が下がる。</p> <p>○湯の熱が水にとられるから。</p>

○(上図を示して)もし②と③に色をつけたとすれば、色はどんなふうに変わっていくでしょう。

・しまいにどうなるでしょう。

・同じことになるということは温度がどうなることですか。

○同じ温度になると熱はどうなりますか。

○熱の移るのはどうなるかということですよ。

○水のほうはだんだんこくなる。

○湯のほうはだんだんうすくなる。

・同じ色になる。

・同じ温度になること。

○半分になる。

○移らなくなる。

第1時の終り、水を湯であたためる場面と湯を水でひやす場面について問題提示した直後、温度変化とその理由について記述した内容の類型を示し、熱ということばを使っての説明を求めたところ、容易に正しい表現による説明を得ることができた。さらにこの後、湯の温度の下がる理由について説明を求めた際にも、上記記録にあるような活発な児童の反応がみられた。前回の実験指導の際、水の温度が上がる理由について指導した後、湯の温度が下がる理由を記述させたところ、この記録にあるような正しい反応が少なかったことに反して、前回は「湯の熱が少なくなるから」とか「湯の熱がとられる」というような表現が活発にみられている。また、熱移動による温度の変化の視覚像も比較的容易に得られている。これは今回の指導過程の前回のそれとのちがいに由来するものと思われるが、どの部分がこのような効果としてあらわれたのかはわからない。

つぎに、「同じ温度になると熱はどうなるか」という問いに対して「半分になる」という反応が一部の児童にみられる。このような反応は、発問のあいまいさからくるものとも思われるが、半分になるという意味が、温度の中間になることを指しているのだとすれば、熱と温度の分化が行なわれていないことによる表現と考えることができる。温度が等しいということを経験の状態とみることには、まだ抵抗があるとみてよいであろう。

### (3) 適用練習の過程について

#### ① 水道の水といど水の間熱移動について

冬につめたい水道の水と、いど水を用いて、湯と水の場合のような場面構成をし、ここで両方の温度変化を予想させたところ、水道の水の温度は上がり、いど水の温度は下がって、中間で同じになることについては正しい反応がみられた。しかし、その理由については、「水道の水がつめたいから」とか「水道の水がいど水をひやすから」というような判断がみられ、常温以下で熱を考慮することのむずかしさが感じられた。したがってここでは、両方の温度差に着目させるとともに、熱がいつでも温度の高いほうから低いほうへ移ることを説明せざるを得なかった。熱という概念について感覚的な意味での高温を考えている児童にとって、このような説明を実感をもって受け入れることは困難なことであったと思われる。

#### ② 熱移動によつて説明できるさまざまな事象への適用について

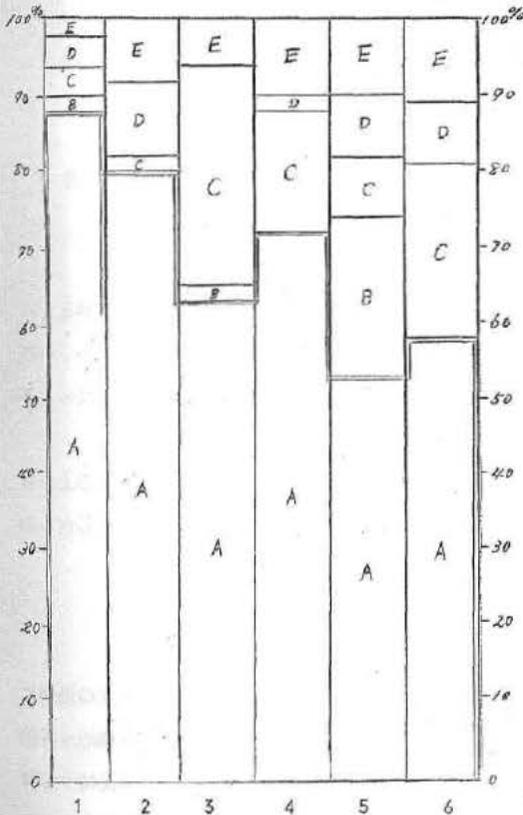
先に指導過程の計画であげた6つの事象について問題用紙を与え、「どちらの温度が高いかをよく考えて答えなさい」という助言をした上で解答させた。それぞれの事象について児童が熱移動の方向について判断した結果はつぎのようになっている。なお児童が判断した結果は、昨年度と同じつぎの類型によって集計処理した。

- A 正しく熱移動の方向を判断することのできたもの。
- B 湯から水、または水から湯へと書いたもの。(湯がひえ水になる場合などにみられる。)
- C 温度の低いものから高いものへ何かつめたいものに移ると考えて書いたらしいもの。
- D その他の誤答
- E 無答

熱の移動方向 (数字は%)

	1	2	3	4	5	6
A	88	80	63	72	53	58
B	2		2		21	
C	4	2	29	16	8	23
D	4	10		2	8	8
E	2	8	6	10	10	11

熱の移動方向に関する判断



この結果をみると、問題1, 2の水をあためるとか、あつく感じるというような場面においては熱移動の方向を正しく判断することのできるものが、80%~90%に達しているのに対し、つめたく感じるとか、ひやす、ひえるというような問題3, 4, 5では正答者が50%~70%になっている。ことに、問題5の正答が少ないのは、熱の移る対象に気づくことがむずかしかったためと思われる。また問題6は、どちらの手があたたかいのか判断するのに迷ったものが多かったためであろう。これらのことは、問題3, 4, 6でC類型の判断が多かったこと、問題5で、B類型の判断が多かったこととあわせ考えると、児童にとって、このような場面で熱移動方向を正しく判断することが、やはりむずかしいことであると判定される。

6問題全体の平均正答率は69%であってこれを昨年度実施した新潟市上所小学校の場合の68%と比べると、ほとんど同じ結果を得ている。地域も児童も異なるわけであるからこれをもって直ちに指導過程による効果を論ずることはできないが、このような指導過程による学習効果の限界が感じられる。

#### (4) 事後テストの結果について

先に、熱および熱移動による温度上昇に関する知識を伝達した直後に、水を湯であたためる場面と湯を水でひやす場面の両方について、温度変化とその理由を記述させた際の問題と同じものを与えて、全指導過程終了後、再度記述させた。

その結果をつぎに示すこととする。

(温度の変わり方についての正答率)

[1]			[2]		
1	2	3	1	2	3
100	96	90	96	90	88

(温度変化の理由についての記述)

場面 類型	[1]		[2]	
	1	2	1	2
A	84	80	76	80
B	6	6	10	8
C		2	2	
D	8	8	10	10
E	2	2	2	
F		2		2

(数字は百分比)

この結果にみられるとおり、全指導過程終了後には、およそ80%~90%の児童が、温度変化ならびにその理由について正しい記述をすることができるようになってきている。これははじめの記述状況(図中点線で示す正答率)と比べると大きな効果をあげることができたものと判定される。残りの20%前後の児童は、この段階でも、やはり日常経験的な判断をしたり、温度が移るとかあつものが移るとい

うような記述をしているのであって、これらの児童がなぜ正しい記述をすることができないのか、その原因が理解ふじゅうぶんなことにあるか、それとも文章表現能力の欠陥によるものなのかは、はっきり断定することができない。

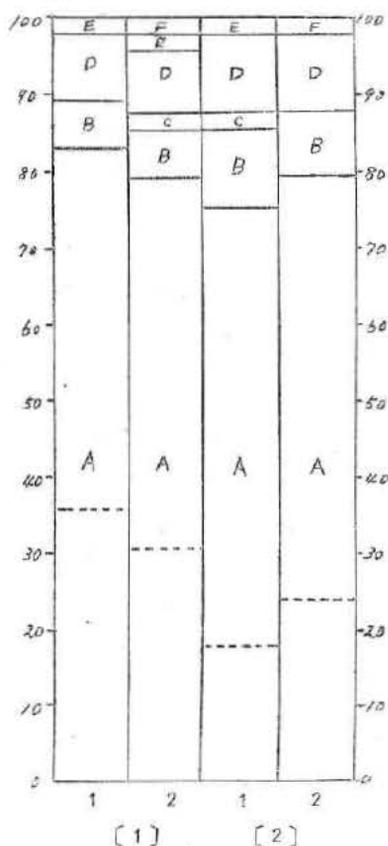
またこの結果を、昨年度正しい記述をしたものが70%前後だったことと比べると、正答率の上からは、10%程度の向上とみられるが、先にも述べたように、この差が指導過程の修正により生じたものかどうかは断定することができない。

(5) 総合的考察

熱のように抽象度の高い科学的概念を初めて指導する際には、「新概念の伝達」→「新概念の適用による理解の拡大と精密化」→「適用練習による理解の一般化と定着」というように進む、演繹的・支容的な指導過程によらなければならないとして、昨年度は第一次の実験的研究を実施した。本年度はその評価にもとづいて、さらに指導過程の内容面に修正を加え、また対象児童の地域も変えて、このような指導過程による効果と留意点を確かめたわけである。以下、第一次、第二次の研究結果を総合して、確かめることのできた要点についてあげることにする。

- ① 第一次の実験的な学習指導では60%~70%の児童が、第二次には70%~80%の児童が、熱移動による温度変化について、なんとか一般化された理解に到達している。このことにより、

温度変化の理由についての記述



熱概念を初めて導入する際の指導過程として、演繹的受容的な指導過程が一応成立し得ることが確かめられたものと思う。

- ② しかし、20%～40%にあたる児童が、部分的なあるいは断片的な理解しか得ていなかったり、または全く日常経験的なみ方から抜けだせなかったことをみると、抽象的な性格をもった教材に対するこのような指導過程による学習効果の限界を考えざるを得ない。
- ③ 演繹的受容的な指導過程では、とくに典型的な事実を素材として伝達された新知識を、一見はじめの事実とは異なるような場面へ適用して理解を拡大、精密化する過程に重要な意味があり、ここでの児童の思考活動を理解を深める方向へ促進するための教材提示や助言のしかたがたいせつであることが確認された。たとえば、典型的な事実を素材として伝達された新知識を、一見はじめの事実とは異なる場面に直ちに適用できる児童は、きわめて一部の児童に限られ、他の大部分の児童は、ここで適切な指導が行なわれないと思考の発達がみられないのである。
- ④ 上記のような場面で思考の発展を促進する指導方法として、熱移動を視覚化したモデルは一つの有効な方法であった。また、思考の方向を示唆するような助言も必要である。
- ⑤ 湯で水をあたためるような場面と、水で湯をひやすような場面とを同時に提示して、平行的に進める教材提示の方法は、温度変化とその理由についての一般化された理解を得させるためには効果的・能率的な方法であった。
- ⑥ 常温以下経験的にはどちらもつめたいと考えられる二つの物の間で熱移動を考えることは、この頃の児童にとっては了解し難いことであり、真に理解した児童は案外少ないのではないかと予想される。
- ⑦ 総じて、温度差間の熱移動について一般化された理解を得させることは、小5年にとって困難度の高い学習であり、教師の適切な説明や助言に依存することが多く、しかもこのようなみ方を反復する機会を多くもって定着させることが必要な教材であるといわなければなるまい。

## Ⅳ 熱量概念の指導過程に関する実験的研究

### 1 研究の目的

前述した熱移動に関する指導過程の実験的研究では、熱概念を初めて導入する際の指導過程として、演繹的受容的な過程の成立と指導上の留意点を確かめてきた。第三年次研究のいま一つの課題として、一方には熱量概念の指導を問題とするとともに、これを素材として帰納的発見的な指導過程と、演繹的受容的な指導過程とを比較検討することがあった。以下この研究の目的について述べることにする。

#### (1) 指導過程の二類型と熱量概念の指導

新しい科学的概念の理解をはかるための指導過程には、二つの類型があり、それぞれの類型には、その過程に即応する特徴と指導上の留意点があること、さらに、どのような指導過程をとるかは、教材の論理的性格とそれを学習する子どもの経験的背景や心理的諸要因を考えながら、実際の指導をとおして確かめる必要があることなどについて、すでに第一章でこの研究全体をとおす基本の方針として述べておいた。次に、その二類型を再掲し、熱量概念の指導過程に関する研究のねらいを明らかにすることとする。



A型は新概念を発見的に獲得するというどちらかという帰納的な思考過程の特徴をもつ過程であり、B型は新概念を受容的・検証的に獲得するというどちらかといえば演繹的な思考過程の特色をもった過程である。前章で報告した熱移動による温度変化に関する指導過程では、熱概念のような抽象度の高い科学的概念をはじめて導入するような場合、これを発見的に導き出す手がかりはないという見解に立って、まずはじめに経験的な事実を素材として熱概念を伝達し、これをさまざまな事象に適用する過程で理解を築き定着させようという指導仮説を設け、その過程が成立し得ることを確かめたものである。これは前記B型に属する過程であるとみることができよう。

それならば、このような熱概念に関する定性的な知識を基盤とし、その上に熱を量的に理解させようという場合(中1年の熱量の指導)、どのような指導過程を構成することができ、しかもその過程はどの程度成立し得るものであろうか。ここでの研究はこのような点を追求することをねらいとし、つぎの観点から進めようとするのである。

- 熱量概念(カロリー)を理解させることを目的としたA型・B型二つの指導過程を構成し、これら二過程の様相や効果を授業研究の手法によって比較検討する。
- その結果として、両過程の特質やそれに応じる指導上の留意点を導き出す。

第一章、研究の全体構想でも述べたように、二つの指導過程の類型については、どの類型が一般的にみて望ましいというような考え方をするのではなく、それぞれの過程には、それぞれの特質があり、その特質に応じるような指導方法をとることによって、どちらの過程も学習効果を上げ得るはずであるという見解に立って研究を進めている。さらに教材の性格、こどもの経験的・心理的背景からみて、ある教材については、B型の指導過程しかとり得ない場合もあり、ある教材についてはA型の指導過程がふさわしい場合もある。またある教材については、A・B両類型とも効果的である場合もあろう。ここでの実験研究も以上のような考え方で実施するものであって、それぞれの類型の特質をより明らかにするとともに、それに応じる指導法の確立をねらいとするものである。

## (2) 熱量計算指導についての実験仮説

異温度の物質を接触または混合した場合の温度変化を熱量計算によって求める方法の理解が生徒にとって困難であり、指導上の問題となっている。中1年で一般に指導されている方法は次の二つである。

① Aグラム $H^{\circ}$ の水とBグラム $h^{\circ}$ の水を接触または混合した場合、 $H^{\circ}$ が $h^{\circ}$ より高いとすれば、まず、 $(H-h) \times A$ で、高温の水が低温の水よりどれだけ多くの熱量をもっているかを求め、その熱量を $h^{\circ}$ 、 $(A+B)$ グラムの水に与えた場合の温度変化を求めて、 $h^{\circ}$ に加えるという方法

② Aグラム、 $H^{\circ}$ の水とBグラム $h^{\circ}$ の水とを接触または混合した場合、 $0^{\circ}$ を基準としてそれぞれがどれだけ熱量をもっているかを求め、その熱量を $0^{\circ}$ 、 $(A+B)$ グラムの水に与えた場合の温度変化を求めるという方法

ところがこのような計算方法の根拠となる熱量についての考え方は、必ずしも正しいものとはいえない。ことに②の考え方は、 $0^{\circ}$ を基準としてある温度の物質がどれだけ熱量をもっているかと考えるために、ともすれば $0^{\circ}$ 以下のものには熱がないと考える結果となり、そうでなくとも、常温以下のものには熱がないと判断し勝ちな子どもの誤まった認識を助長することとなる。また、このように熱を量的に考える前段階の基礎として、異温度の物質を接触または混合した場合の温度変化を、高温から低温への熱の移動によって説明することを指導しているわけであるが、前記①、②の計算方法はこのような

説明のしかたからは直接導くことができないものである。したがって、①、②の計算方法を理解せよとすると、温度差間の熱移動の考え方のほかに、ある温度の物質がある量の熱をもっているとか、あるものが他のあるものよりどれだけ多くの熱量をもっているというような考え方を導入しなければならず、ともすればこどもの熱に対する考え方を混乱させ、統一的な理解をさまたげることとなり、結果的には計算法を形式的にのみ記憶しようとするようになる。

このような計算法に比べ、変化後の温度を未知数とし、高、低温間の熱のやりとりを等価として解く一次方程式による方法は、熱移動による温度変化の考え方から直接的に導き得る方法であって、こどもの理解過程に筋をとおすことができる。しかし、この教材を指導することになっている中1年のこの時期に一次方程式の指導はまだ行なわれていない。そこで止むを得ず前記①、②の計算法によっているわけであるが、この点、一次方程式を用いず、しかも異温度物質の熱のやりとりという考え方と直結するような計算法はないものであろうかと考えて案出したのがつぎに示す計算法である。

例)  $30^{\circ}\text{C}$ 、 $300\text{g}$ の水と $10^{\circ}\text{C}$ 、 $200\text{g}$ の水との間における熱量のやりとりと温度変化の求め方

- ①  $30^{\circ}\text{C}$ 、 $300\text{g}$ の水が $1^{\circ}\text{C}$ 下がると $300$ カロリーの熱を失う。
- ②  $10^{\circ}\text{C}$ 、 $200\text{g}$ の水が $300$ カロリーの熱をもらうと、 $300 \div 200 = 1.5^{\circ}\text{C}$ あがる。
- ③  $300$ カロリーの熱をやりとりすることになり、 $1 + 1.5 = 2.5^{\circ}\text{C}$ ずつ差がちぢまる。
- ④  $30 - 10 = 20^{\circ}\text{C}$ の差をなくするには、 $20 \div 2.5 = 8$ 回、 $300$ カロリーの熱をやりとりすることになる。
- ⑤  $30^{\circ}\text{C}$ 、 $300\text{g}$ の水は $1 \times 8 = 8^{\circ}\text{C}$ さがって $22^{\circ}\text{C}$ となり、 $10^{\circ}\text{C}$ 、 $200\text{g}$ の水は $1.5 \times 8 = 12^{\circ}\text{C}$ あがって $22^{\circ}\text{C}$ になる。やりとりした熱量は  $300 \times 8 = 2400$ カロリーとなる。

この計算法の原型は、小学校算数で取り扱う「 $A\text{km}$ はなれた両地点から、それぞれ時速 $B\text{km}$ 、 $C\text{km}$ で近かよると、出合う地点はどこか」という、いわゆる出会い算方式と同じものである。そこで、この研究における実験仮説として、小学校における出会い算のような学習経験を土台としながら上記計算法を導くことの可能性を予想し、これを学習指導の場をとおして確かめることを、この研究第二のねらいとしたのである。

## 2 対象学級における事前調査の実施

### (1) 事前調査の目的と問題の作成について

二つの異なる指導過程の比較を目的とする以上、実験の対象となる学級の諸条件を等質にすることが望ましい。しかしながら、実際問題としてはあらゆる条件を等質にすることは不可能である。そこで、当研究所の研究協力校である北蒲原郡豊栄町葛塚中学校（新潟市近郊農商地区）の1年2学級を実験学級として選定し、事前調査を実施してその結果に大きな相違が認められないならば、一応等質と考えて事後の作業を進めることとした。なおその他の条件については、学校が学級編成をする場合、いろいろな条件から各学級の等質化を意図してあることも、この場合実験目的にそりものであると考えたわけである。

事前調査の目的としては、上記のように2学級の等質性を確かめることのほか、熱量の学習をするにあたって、そのレディネスの状態がどのようなものであるかを調べ、指導計画作成のための資料とすること、また事後調査の問題を同一にすることにより、指導による効果の測定に役立てることを考えて

いる。

このような目的によって調査問題を作成するわけであるが、その作成にあたっては、調査Ⅰと、調査Ⅱの二種類を作り、それぞれつぎの内容をもることとした。

### 調査Ⅰ

小学校5年の学習内容である、「熱は高温から低温に移ること、それによって温度変化が生じること」について、こどもの理解の度合を調査すること。これはいわば既習内容の調査であり、小学校における習得内容がどの程度把握されているかをみようとするものである。

### 調査Ⅱ

小学校における熱についての学習経験やものをあたためたりひやしたりする日常経験を手がかりにして、熱の移動や温度の変化を量的にどの程度判断することができるかをみようとする調査問題を作成した。したがってその内容は、これから学習しようとするものであって、これを事前テストに使う目的は、これから学習する内容に対し、指導されることなくどこまで接近することができるの模様を確かめることにある。またこの調査は事後テスト問題として使うことも意図して作成した。

## (2) 調査問題

### 調査Ⅰ

[1]  のなかの1から7までのそれぞれのことについて、下の(1)、(2)の問いに答えなさい。

1. ハンダゴテでハンダをとかす。————— (イ ハンダゴテ……………ロ ハンダ )
2. やかんに水をいれてストーブであたためる。————— (イ やかんの水……………ロ ストーブ )
3. コップの中に水と氷をいれる。————— (イ 水 ……………ロ こおり )
4. すいかをいど水のなかにいれてひやす。————— (イ すいか ……………ロ いど水 )
5. 海岸の砂の上を歩いたら足のうらがあつかった。—— (イ す な ……………ロ 足のうら )
6. 水で手を洗ったらつめたく感じた。————— (イ 水 ……………ロ 手 )
7. まさこさんとみちこさんがあくしゅをしたら  
まさこさんはあたたかいと感じ、みちこさんは————— (イ まさこさんの手…ロ みちこさん  
つめたいと感じた。 んの手 )

(1) 上の( )のなかのイとロの温度をくらべ

- ・どちらかの温度が高いと思ったら—————→ 温度の高いほうを○でかこみなさい。
- ・温度は両方とも同じと思ったら—————→ 両方を○でかこみなさい。
- ・はかってみなければわからないと思ったら—————→ 両方をでかこみなさい。

(2) 上の( )のなかのイとロの間では、熱はどのように移るか。つぎのようなあらわし方で上の( )のなかに書きいれなさい。

- ・熱は イからロへ移ると思ったら—————→ (イ—————→ロ)
- ・熱は ロからイへ移ると思ったら—————→ (イ←—————ロ)
- ・熱は どちらも移らないと思ったら—————→ (イ……………×……………ロ)

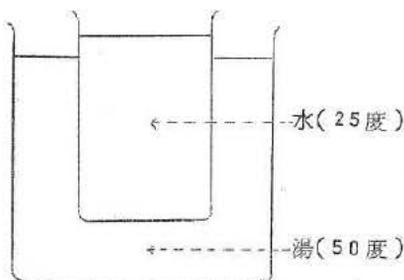
・熱は イとロの両方から移ると思ったら (イ \_\_\_\_\_ ロ)

・熱は どう移るか分からないと思ったら (イ .....?..... ロ)

[2] やかんにいれたお湯を机の上にひと晩中おいたら、お湯の温度はどうなるか。つぎのうち正しいと思うものの番号を○でかきみなさい。また、どうしてそうなるのか。そのわけを下の  の中に書きなさい。

1. まわりの空気の温度(室温)より低くなる。
2. まわりの空気の温度(室温)と同じになる。
3. まわりの空気の温度(室温)より、すこしは高くなっている。
4. はじめのお湯の温度のままかわらない。

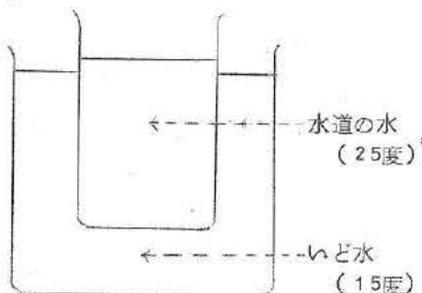
[3]



温度50度の湯がはいっている大きなビーカーに、温度25度の水がはいっている小さなビーカーを図のようにいれて、湯と水の温度のかわり方をしらべました。湯と水の温度のかわり方について、つぎのうちから正しいと思うものをえらび、その番号を○でかきみなさい。またどうしてそうなるのか。そのわけを下の  のなかに書きなさい。

1. 水の温度が 湯の温度(50度)と同じになるまであがる。
2. 湯の温度が 水の温度(25度)と同じになるまでさがる。
3. 水の温度はあがり、湯の温度はさがって、50度と25度の間で同じになる。
4. 水の温度はあがり、湯の温度はさがって、しまいには水の温度のほうが湯より高くなる。
5. どちらの温度も はじめのままかわらない。

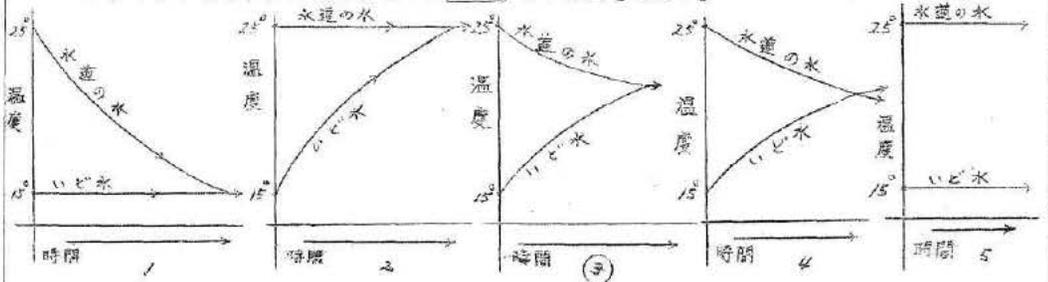
[4]



夏は水道の水がいど水より高い温度になっています。

温度15度のいど水がはいっている大きなビーカーに、温度25度の水道の水がはいっている小さなビーカーを図のようにいれて、いど水と水道の水の温度のかわり方をしらべました。いど水と水道の水の温度のかわり方について、つぎのグラ

フの中から、いちばん正しいと思うものをえらび、その番号を○でかこみなさい。また、どうしてそうなるのかそのわけを下の□の中に書きなさい。



**調査II**

[1]

1

ロ



同じ温度(20度)の水が、イとロのビーカーに図のようにはいっている。この両方を同じ強さの火で同じ時間だけ熱したら、イの水は50度になった。その時、ロの水の温度はどうなっていると思いか。つぎのうち正しいと思うものの番号を○でかこみ、それをえらんだわけを□の中に書きなさい。

1. 50度より高くなる。
2. イと同じく50度になる。
3. 50度まではあがらない。

[2] つぎの(1), (2), (3), (4)のイ, ロのビーカーには、同じ温度の水がそれぞれ図のようにはいっている。それぞれの問いについて、正しいと思ふ答をえらび、その番号を○でかこみなさい。また、どうしてそうなるのか、そのわけを□の中に書きなさい。

(1)

イの水の温度を50度、ロの水の温度を70度にするに、それぞれどれだけの熱がいるかをくらべるとどうなるか。



1

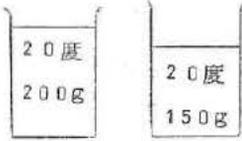
ロ

1. 熱は イのほうに多くいる。
2. 熱は ロのほうに多くいる。
3. 熱は どちらにも同じだけいる。
4. ためしてみなければわからない。

(2)

イとロの水を、どちらも50度にするのに、それぞれどれだけの熱がいるかをくらべるとどうなるか。

(以下(1)と同じ)

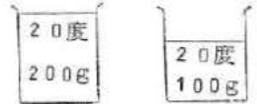


イ

ロ

(3) イの水の温度を40度、ロの水の温度を60度にするのに、それぞれどれだけの熱がいるかをくらべるとどうなるか。

(以下 (1), (2)と同じ)



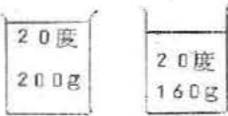
イ

ロ

(4)

イの水の温度を40度、ロの水の温度を50度にするのに、それぞれどれだけの熱量がいるかをくらべるとどうなるか。

(以下 (1), (2), (3)と同じ)



イ

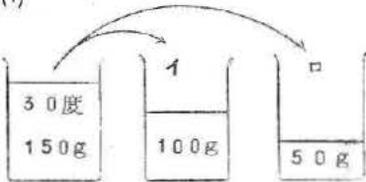
ロ



[3] つぎの(1), (2)の問いにあてはまる温度を  の中に書きなさい。

(1)

左の図のように、温度30度の水150gを、イとロのビーカーに、それぞれ100gと50gになるようにわけたら、それぞれの温度は何度になるか。

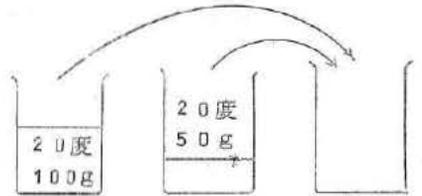


イ  度

ロ  度

(2) 右図のように 温度20度の水100gと、同じく温度20度の水50gとをひとつのビーカーに入れてかきまぜたら、温度は何度になるか。

度

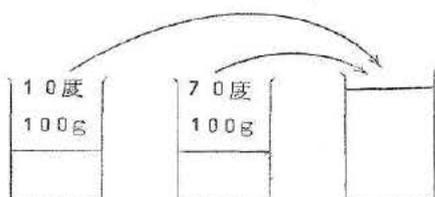


[4] 右の図のように、小さなビーカーにはっている温度20度の水100gを、大きなビーカーにはっている温度80度の湯100gの中に入れて、温度が変わらなくなるまでそのままにしておくそれぞれの温度はおよそどれくらいになると思うか。つぎのうちからいちばん近いと思う温度をえらんで○でかこみなさい。

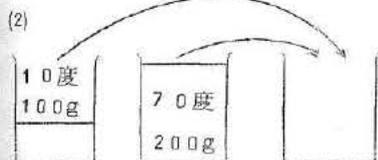
イの温度…… 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90° 100°  
 ロの温度…… 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90° 100°

[5] つぎの(1)、(2)の問いにあてはまる温度を、それぞれ下の□の中からえらんで、○でかこみなさい。

(1) 右図のように、温度10度の水100gと温度70度の湯100gとをひとつのビーカーに入れてかきまぜたら、温度は何度になるか。



10°	20°	30°	40°	50°
60°	70°	80°	90°	100°



左図のように、温度10度の水100gと、温度70度の湯200gとをひとつのビーカーに入れてかきまぜたら、温度は何度になるか。

10°	20°	30°	40°	50°
60°	70°	80°	90°	100°

### (3) 調査結果について

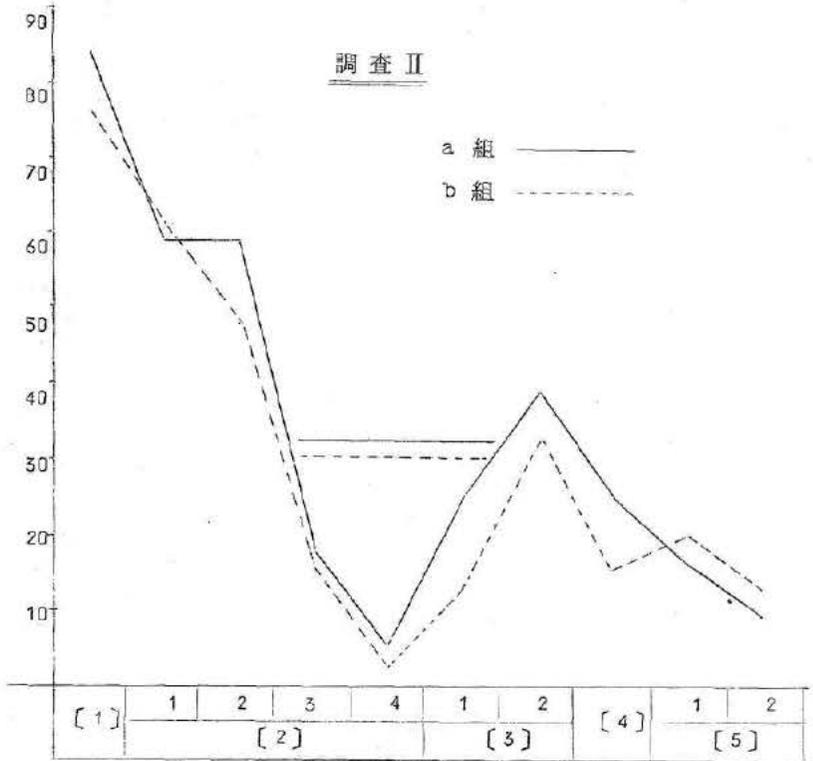
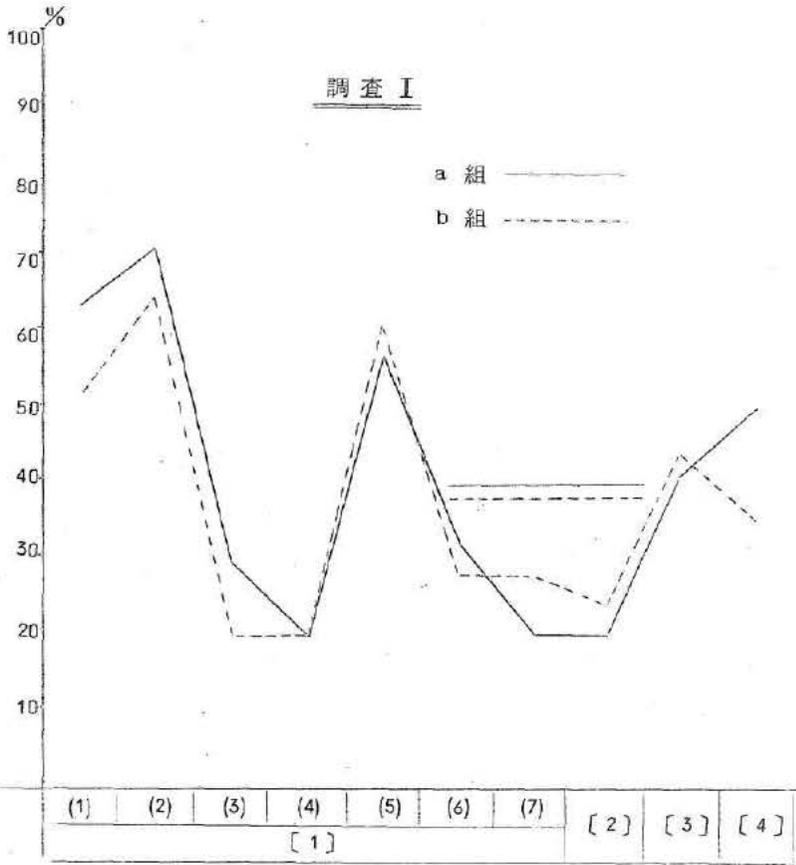
この事前調査は、実験的な学習指導を実施する約1か月前に行なったものである。学習指導を実施する直前に行なわなかったのは、これを直前に実施すると、学習の導入的な性格をもつこととなり、その後の学習指導に影響を与えることになると考えたからである。つぎにその結果を示すこととするが、ここで示す正答率は、選択肢に対する反応と、それを選んだ理由の両方が正しいものをそれぞれの問題に対する正解者とみて処理したものである。

#### 調査Iの結果 (数値は%)

学 級	問題番号	[1]							[2]	[3]	[4]	平均正答率
		1	2	3	4	5	6	7				
a 組(46名)		64	71	30	20	57	32	20	20	41	50	40
b 組(46名)		52	65	20	20	61	28	28	24	44	35	38

#### 調査IIの結果 (数値は%)

学 級	問題番号	[1]	[2]				[3]		[4]	[5]		平均正答率
			(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)		(1)	(2)	
a 組(46名)		84	59	59	18	5	25	39	25	16	9	33
b 組(46名)		76	61	48	15	2	13	33	15	20	13	30



① a, b両学級の比較

問題別正答率のプロフィールを a, b両学級についてみると、おおむね平行線をたどっている。また、それぞれの平均正答率は、a学級 40%, 33%, b学級 38%, 30%で、ややa学級のほうが高くなっているが、ほとんど有意の差はないものと考えられる。したがって、事前調査の結果からみた a, b両学級はおおむね等質であるとみてよいであろう。

② 調査Ⅰの問題別正答率について

調査Ⅰの内容は、小5年で学習していることの把持度をみたものであるが、「温度変化の事実を高温から低温への熱の移動によるとみること」の理解が、まだ一般化されて定着してはいないものが多いと判定される。ことに、[1]の(3), (4), (6), (7)と[2]の正答率が低くなっているのは、これらの場面が、経験的には物をひやすとか物がひえるというような場面であったり、主観的な感覚内容について客観的な判断を要求している場面であることによるものであろう。また[3], [4]は小5年の学習内容を直接とりあげて判断を求めているものであるが、熱移動による説明を含めての正解者は40~50%にすぎず、熱概念を適用することのむずかしさを示すものといえよう。

このように、調査Ⅰの結果は、必ずしも望ましい理解状態にあるとはいえないので、次の熱量に関する学習指導を進めるにあたっては、事前に小5年の学習内容について再指導を行ない、熱量の学習の基盤となるレディネスを高めておかなければならないことを示している。

③ 調査Ⅱの問題別正答率と誤答の傾向について

調査Ⅱの内容は、これから学習する熱量に関するものであるが、いままでの学習経験や日常生活経験を手がかりとして考えれば、ある程度正しい判断をすることのできるものである。しかし、テスト結果をみると、平均正答率は両学級とも30%程度にすぎず、この後の指導にまたなければならない状態にあるといえる。Aテストの平均正答率が40%程度しかなく、また調査Ⅱでは、与えられているさまざまな条件を論理的に操作しなければならないことなどと考えあわせると、この結果はむしろ当然であるといえよう。ことに[2]の(3), (4)以下の正答率が低くなっているが、これらについて誤答の傾向も吟味しながら考察を加えてみたい。

[2]の(3), (4)について

先にも述べたように、ここで示した正答率は、選択肢に対する反応だけでなく、その理由に関する記述内容を含めた正解者数によって算出したものである。理由と関係なく、選択肢に対する反応の状態はつぎのようになっている。

(3) (数字は実数)

反応 学級	1	2	③	4	無答
a組	11	17	10 (6)	2	6
b組	8	15	17 (7)	4	2

(4) (数字は実数)

反応 学級	1	2	3	④	無答
a組	16	11	8	5 (4)	6
b組	14	10	11	7 (2)	4

( )内の数は理由を含めた正答者数

( )内の数は理由を含めた正答者数

(3)と(4)の問題は、温度差と水の量の二条件を関係的に操作しなければならないものであり、ことに(4)は経験的には判断しかねる場合である。(4)では熱量計算によれば、選択肢の2が正解になるが、事前調査の段階では「ためしてみなければわからない」という4の選択肢を正解として処理した。上記反応結果をみると両問とも反応が分散しており、さらにはっきりした推理の結果として選択したので

はなく、なんとなくえらんだと考えられるものも多い。こうした状態は熱量概念指導以前の判断傾向として当然なことであろう。熱量概念の指導はこうした状態の上になされなければならない。

### [3]の(1), (2)について

この問題は昭和36年度文部省全国学力調査問題中の熱量に関する問題と同趣旨のものである。全国学力調査結果でも指摘されたように、ここでも、(1)では1, 20度, 0, 10度, (2)では40度という誤答が目立って多く、温度と熱についての認識上の欠陥を確かめることができた。

### [4], [5]について

異温度の水を接触または混合したときの温度変化を数的に判断することを要求した問題である。問題の程度については[5]の(2)を除いては、小5年までの学習経験にもとづいて熱量計算をすることなくある程度の判断が可能だと予想されるものとしたのであるが、結果は予想よりも低い正答率を示している。[4]では1, 40度 0, 40度 または、1, 0とも30度という誤答が目立ち、[5]では(1), (2)とも80度または60度という誤答が目立っている。これらのうち、[5]の80度という誤答は、[3]の誤答と対応するものである。またこのような誤答が、[4]の異温度のものを接触させた場合にはきわめて少ないのに、[5]の混合の場合に多く見られることは、温度の性質を量の加法性と同一視することからくるもので、日常生活経験とこの問題場面との意識的な対応さえできるなら避けられる誤答であろう。[4]の40度または30度という誤答は、小5年の学習経験によりおおよそ中間の温度という判断はできたわけであるが、数的な処理のしかたを誤ったものと見られる。これに反し、[5]で60度という誤答があることは、異温度のものを接触させたときと混合したときとは、異なった考え方をする生徒があることを示すものである。

以上の誤答傾向は、熱量指導にあたっての着眼点を示唆するものであり、調査前に予想したことを確かめ得たことにもなる。

## 3 指導案の作成

### (1) 作成上の要点

この研究は、中1年を対象とする熱量概念の導入について、先に述べたA型、B型の指導過程を比較検討するとともに、異温度のものを接触または混合させた場合の温度変化を熱量計算によって求める方法に関する指導仮説を確かめることを目的としたものであった。このような目的にしたがって指導案の作成にあたったわけであるが、つぎにその要点をあげることにする。

- ① 温度の変化量とそのものの重量とを関係的に操作することによって、熱を量的にはかれることの理解をねらった指導過程について、A、B二つの型の特徴があらわれるような指導案を作成する。
- ② 事前調査中調査Ⅰの結果にもとづき、とくに小5年での学習内容を想起させ、それを整理する過程を、この指導のはじめに用意し、熱量学習への素地をそろえるようにする。
- ③ 時間配当と各時間のねらいをつぎのように計画する。

第1時——温度と熱に関する既習内容の想起による再確認

第2時——1gの水の温度を1℃だけあげるに必要な熱量を単位として熱量をはかること  
の理解を得させる。

第3時— 習得した熱量のはかり方に関する知識をさまざまな現象に適用して、理解の拡大精密化、定着をはかる。

第4時— 第3時の内容中、とくに異温度の水を接触または混合させたときの温度変化の求め方への適用を指導する。

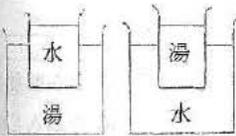
- ④ 第2時の指導過程について、A型、B型二種類の指導案を作成する。A型はa組に適用し、B型はb組に適用する。第2時以外の時間はa組、b組共通の指導案とする。
- ⑤ 研究目的の第二としてあげた、熱量計算に関する指導仮説の実証は第4時の指導案によって行なう。
- ⑥ 指導案の形式については、特定の枠組をして記載するようなことをせず、ねらいと教師のはたらきかけ、予想される生徒の反応とそれへの応じ方などの要点を関連的に記述するような形のものとした。そのほうが、指導過程の全体と部分との関係をとらえやすくし、また実際指導の際に利用しやすいと思ったからである。

## (2) 指導案

### 第1時の計画 (a組、b組共通)

温度と熱に関する既習内容の想起と整理による再確認

- ① 湯と水を触れさせると湯の温度はさがり、水の温度はあがって、しまいに等しくなる事実の想起と再確認



A

B

○ 図のように、水を湯の中へ入れたり、湯を水の中へ入れたりすると、湯と水の温度はどう変わるか。(ビーカーを使って実際の場面を構成し、図と対応させながら提示する。)

○ Aの場合は? Bの場合は? …… (ことばで表現させる)

○ 温度のかわり方をグラフに書くと、どんな線ができるか。 …… (ことばによる表現とグラフによる表現とを対応させる)

○ AとBの場合について、ちがうところはどこか。共通点はどんなことか。 …… (AもBも温度のかわり方からみれば同じことであることの確認。Aの場合は湯の温度が変わらない、Bの場合は水の温度が変わらないと判断する生徒の考え方を修正する。)

- ② 上記の温度変化の事実を高温から低温への熱移動によって説明させる。

○ 湯の温度はさがり、水の温度があがるのはなぜか。そのわけを熱が移るということを使って、説明できないか。

・ Aの場合をどう説明するか。 …… 水の温度があがるわけは? 湯の温度がさがるわけは? しまいに温度が等しくなるわけは?

・ Bの場合はどうか。

(あたためるからとか、ひやすからというような日常経験的な用語の使用から科学的な表現による説明へ移行させる。)

(確認内容)

- ・温度変化を高温から低温への熱の移動（高，低間の熱のやり取り）によって説明すること。
- ・両方の温度が等しくなれば熱の移動はないこと。
- ・熱移動による温度変化とみれば，水を湯であたためることも，湯を水でひやすことも同じ現象であること。

③ 熱移動によって説明できる他の事象に適用させる。

- 5℃の水と15℃の水を①のようにして触れ合わせると，両方の温度はどう変わるか。また温度の変わるわけをどう説明したらよいか。……（常温以下でも，温度差さえあれば，高温から低温への熱移動による温度変化があることの確認）
- 熱した火ばしをパラフィンにあてると パラフィンがとけるわけを熱移動でどう説明するか。
- 谷川の水で果物をひやした。果物が冷えるわけをどう説明するか。
- 氷を手で握るとつめたく感じるのはなぜか。

（確認内容）

- ・熱はいつでも高温から低温へ移ること。低温から高温へ移るといような考え方はしないこと。
- ・物体間の熱移動を考える場合，両方の温度の高低に着目すること。

④ 事前調査に用いた 調査Ⅰにより事後テストを実施し，理解度を確かめる。

## 第2時の計画（A型の指導過程）——（a組を対象とする）——

熱量を比べなければならぬいくつかの場面を提示し，それらの場面を分析しながら熱量の比べ方を考えさせる過程で熱量のはかり方に気づくようにし，そこで熱量の単位を導入して問題場面を解決するような指導過程

① 熱を温度と区別して量的に考えようとする意識をもたせる。

- 同じ温度の水が図のように入っている。（Aのほうが多い）

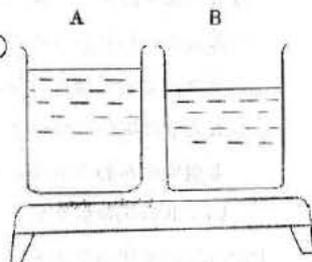
これを電熱器の上に並べてかけておくと，……………

- ・温度のあがり方はどちらがうか。——

—— {  
 ・ Bの温度が早くあがる。  
 ・ Bの温度が高くなる。 } ・水の量が少ないから

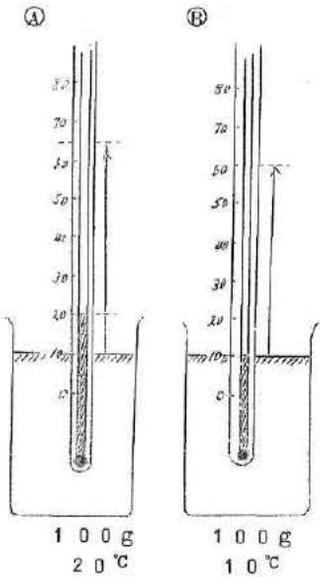
- ・電熱器から受けた熱の量をくらべるとどうか。

{  
 ・ Bのほうが多い。温度が高くなるから  
 ・ Aのほうが多い。水が多いから熱も多くなる。 } ・移った熱の量は等しいはずである。  
 ・ どちらも等しい。同じに熱したんだから



- ・同じ量の熱が移っても，温度のあがり方は等しいとは限らない。水の量がちがえば温度のあがり方もちがう。熱をもらえば温度はあがるけれども熱と温度はちがう。熱は温度を変えるもとになっている。

② 熱量を比べなければならぬ問題場面の提示と既有的知識・経験による解明の試み——（問題意識の明確化）——



1. ①を65°C, ②を60°Cにするに必要な熱量を比べるとどうか。

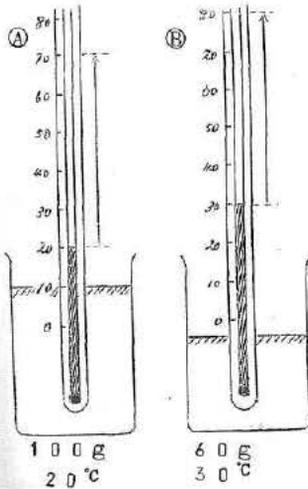
○ どちらを多く熱すればよいか。熱はどっちに多くいるか。

{ ①のほうが多くいる。  
②のほうが多くいる。 } ○それはなぜか。

{ 65°Cのほうが高いから  
温度差は②のほうが大きいから

(水の量が等しく温度の変化は②のほうが大きいことに気づかせる。)

①, ②は水の量が等しく, 温度の変化は②のほうが大きいから, 熱は②のほうが多くいる。



2. ③を70°C, ④を80°Cにするに必要な熱量を比べるとどうか。

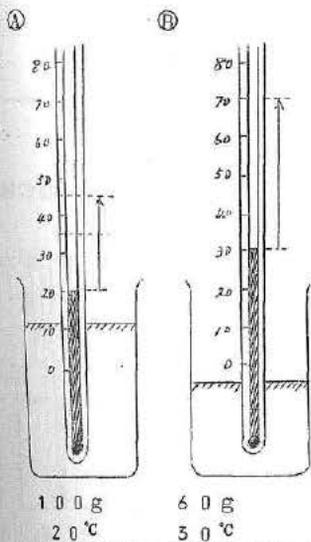
○ どちらを多く熱すればよいか。熱はどっちに多くいるか。

{ ③のほうが多くいる  
どちらも同じ  
④のほうが多くいる } ○それはなぜか。

{ 水の量が多いから  
温度の変化量が等しいから  
温度を高くするから

(温度変化は等しく, 水の量は③が多いことに気づかせその上で熱量の多少を比べさせる。)

①温度の変化は③, ④等しく, 水の量は③が多いから, 熱は③のほうが多くいる。



3. ⑤を45°C, ⑥を70°Cにするに必要な熱量を比べるとどうか。

○ どちらをより多く熱すればよいか。熱はどっちに多くいるか。

①温度の変化量は⑤が25°C, ⑥が40°Cで, ⑥が大きい。

②水の量は, ⑤が100g, ⑥が60gで, ⑤が多い。

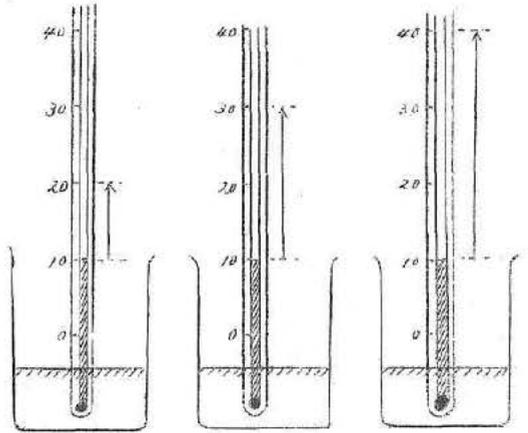
③どちらに多く熱量が必要かははっきりしない。

○ 熱量をはかって, はっきり比べることはできないだろうか。

③ 熱量を比べにくい場面の分析と総合による熱量に関する新概念への接近

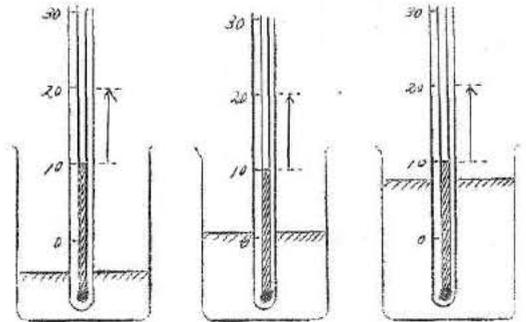
- 1と2の場合は比べることができたのに、3の場合は比べにくい。なぜだろう。
  - ・ 1と2の場合は、温度の変化量か水の量のどちらかが等しかったから比べることができたけれど、3の場合は両方ともちがうから比べにくい。
- なんとか比べる方法はないか。1と2の場合をもう一度よく考えてみよう。
- 1のように水の量が等しい場合には、温度の上がり方と、必要な熱量との間にどんな関係があるか。

- ・ 100gの水の温度を10℃あげるときと20℃あげるときの熱量を比べると→20℃あげるほうが、10℃あげるときの2倍の熱量がいる。
- ・ 同じく30℃あげるには→3倍いる。
- ・ 水の量が等しい場合には、あげる温度が2倍、3倍……になれば、熱量も2倍、3倍……。



- 2のように、温度の上がり方が等しい場合には、水の量と必要な熱量の間にどんな関係があるか。

- ・ 100gの水の温度を10℃あげるときと、200gの水の温度を同じく10℃あげるときの熱量を比べると→200gのほうが100gのほうの2倍の熱量がいる。
- ・ 同じく300gならば→3倍の熱量がいる。
- ・ あげる温度が等しい場合には、水の量が2倍、3倍……になれば、熱量も2倍、3倍……と必要になる。

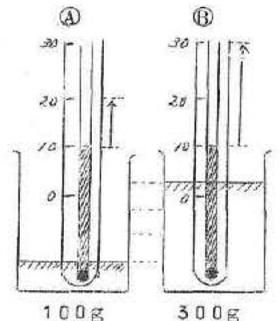


- ④の水を10℃あげるときと、⑤の水を20℃あげるときの必要な熱量を比べると、⑤の場合は④の場合の何倍の熱がいることになるか。

あがる温度は→2倍になっている。  
 {水の量は→3倍になっている。} 熱量は何倍？

- ・ 5倍か、6倍か。

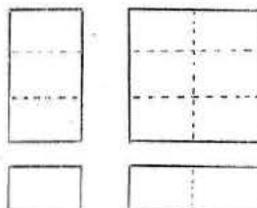
- ④の場合に必要な熱量を○とすれば
  - ・ ⑤を10℃あげるには 水の量が3倍だから熱量は(○○○)となる。



・④を $20^{\circ}\text{C}$ あげるのだから、その2倍……(○○○)×2→となる。 6倍の

熱が必要となる。

- 熱量のはかり方と面積のはかり方と、どこか似ていないだろうか。



- ・たてが2倍、3倍になれば→面積も2倍、3倍になる。
- ・よこが2倍、3倍になれば→面積も2倍、3倍になる。
- ・面積をはかるときにはどんな広さを単位とするか。→ $1\text{cm}^2$ (一辺 $1\text{cm}$ の正方形の広さ)
- ・面積を求める公式は? ・長方形の面積= $1\text{cm}^2 \times \text{たて} \times \text{よこ}$

- 熱量をはかるときも、これと同じようなはかり方をすればよさそうだ。
- ・面積の場合のたてにあたるのは→変化した温度の差(温度ではないことの確認)
  - ・面積の場合のよこにあたるのは→水の量(体積ではないことの確認)
  - ・面積の単位、 $1\text{cm}^2$ にあたるものを、どんな単位にしたらよいか。
- ④ 熱量の単位と熱量の求め方の提示、およびそれによる問題場面の解決(新概念の理解)
- ・熱量をはかる単位→ $1\text{g}$ の水の温度を $1^{\circ}\text{C}$ あげるに必要な熱量→1カロリーという。

・熱量を求める公式はどうなるか。面積と同じように作ってみよう。

$$\text{面積} = 1\text{cm}^2 \times \text{たて} \times \text{よこ} \quad \text{熱量} = 1\text{カロリー} \times \text{温度差} \times \text{水の量}$$

・はじめにはっきり比べられなかった3の問題をもう一度やってみよう。

④  $20^{\circ}\text{C}$ 、 $100\text{g}$ の水を $45^{\circ}\text{C}$ にする。→ $100\text{g}$ の水を $25^{\circ}\text{C}$ あげる。

④  $30^{\circ}\text{C}$ 、 $60\text{g}$ の水を $70^{\circ}\text{C}$ にする。→ $60\text{g}$ の水を $40^{\circ}\text{C}$ あげる。

④  $1\text{カロリー} \times 25 \times 100 = 2500\text{カロリー}$

④  $1\text{カロリー} \times 40 \times 60 = 2400\text{カロリー}$

}④のほうが $100\text{カロリー}$ 多くいる。

## 第2時の計画 (B型の指導過程) ——(B組を対象とする)

熱量をはかる必要のある問題場면을提示し、そこで熱量の単位とそれによる熱量の求め方を提示説明する。説明の内容として、はじめの問題場面を含めたいいくつかの典型的な場面の解決をはかりながら新概念(熱量の単位とそれによる熱量の求め方)を理解させるような指導過程

- ① 熱を温度と区別して量的に考えようとする意識をもたせる。(この部分 A類型と同じ)
- ② 熱量をはかることを問題として提示し、問題意識をもたせる。
  - 温度が何度であるか、温度が何度あがったか、またさがったかは、温度計ではかれるけれどどれだけの熱量が移ったかをなんとかはかれないだろうか。
  - ビーカーに $20^{\circ}\text{C}$ 、 $100\text{g}$ の水を入れて、しばらく火にかけていたら $60^{\circ}\text{C}$ になった。どれだけの熱をもらったといえよいだろう。
    - ・ $60 - 20 = 40$ だから $40^{\circ}\text{C}$ の熱をもらったことになる。

・それならば 水が200gでも40℃の熱をもらうことになるか。—— ?

・温度ではなく熱量をはかるにどうすればよいか。

③ 熱量の単位とそれによる熱量の求め方の提示と説明(新概念の理解)

○ 熱量の単位を提示し説明する。

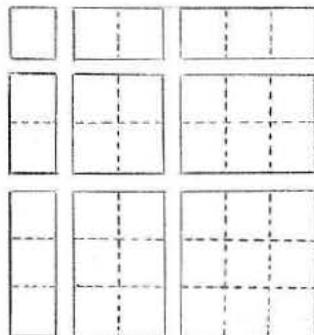
・熱量をはかるには、温度と重さを組み合わせた単位を使う。

1gの水の温度を1℃あげるに必要な熱量を単位としてはかる。

これを1カロリーという。

・このように2つの単位を組み合わせて新しい単位を作るとは、いままでにも勉強しました。どんなものがあったか。

- ・面積→一辺1cmの正方形の広さ →  $cm \times cm$
- ・速さ→時間に1km進む速さ → 距離/時間
- ・圧力→1cm<sup>2</sup>に1gの力がかかっている。 →  $g/cm^2$
- ・熱量→1gの水を1℃あげる熱量 → 重さ×温度差



・熱量のはかり方は、面積のはかり方と似ている。面積のはかり方と比べながら、熱量をはかってみよう。

(面積)

- たて1cm, よこ1cm → 1cm<sup>2</sup>
- たて1cm, よこ2cm → 2cm<sup>2</sup>
- たて1cm, よこ5cm → 5cm<sup>2</sup>
- たて1cm, よこ10cm → 10cm<sup>2</sup>
- たて2cm, よこ1cm → 2cm<sup>2</sup>
- たて5cm, よこ1cm → 5cm<sup>2</sup>
- たて10cm, よこ1cm → 10cm<sup>2</sup>
- たて2cm, よこ5cm → 10cm<sup>2</sup>
- たて7cm, よこ8cm → 56cm<sup>2</sup>

(熱量)

- 1gの水, 1℃あげる → 1カロリー
- 1gの水, 2℃あげる → 2カロリー
- 1gの水, 5℃あげる → 5カロリー
- 1gの水, 10℃あげる → 10カロリー
- 2gの水, 1℃あげる → 2カロリー
- 5gの水, 1℃あげる → 5カロリー
- 10gの水, 1℃あげる → 10カロリー
- 2gの水, 5℃あげる → 10カロリー
- 7gの水, 8℃あげる → 56カロリー

・熱量を求める公式を作る

面積 = 1cm<sup>2</sup> × たて × よこ

熱量 = 1カロリー × 重さ × 温度差

・水の重さであって体積ではないこと、変化した温度の差であって温度ではないことを確認する。

・はじめの問題場面にあてはめて熱量を求める。

20℃, 100gの水を60℃にする。必要な熱量は? →  $100 \times (60 - 20) =$

400(カロリー)

○ 熱量を比べる場面に適用する。

- ① 20℃, 100gの水を45℃にする。
  - ② 30℃, 60gの水を70℃にする。
- } 必要な熱量を比べると?

$$\textcircled{A} \quad 1 \text{ カロリー} \times 100 \times (45 - 20) = 2500 \text{ カロリー}$$

$$\textcircled{B} \quad 1 \text{ カロリー} \times 60 \times (70 - 30) = 2400 \text{ カロリー}$$

}  $\textcircled{A}$  のほうが 100 カロリー多くいる。

### 第 3 時の計画 ( a 組, b 組共通 )

習得した熱量のはかり方に関する知識を, さまざまな現象に適用して, 理解の拡大, 精密化, 定着をはかる。

① 熱量のはかり方に関する知識を適用して, さまざまな問題を解いてみる。

(問題用紙を与えて解かせる。)

#### 問題 (オ一次)

- 50 g の水を  $20^{\circ}\text{C}$  あげるには, どれだけの熱量がいるか。(温度の変化量を求めなくともよい場合)
  - 温度  $20^{\circ}\text{C}$  の水が 50 g ある。これを  $80^{\circ}\text{C}$  の湯にするには, どれだけの熱量を与えればよいか。(温度の変化量を求めなければならない場合)
  - 温度  $20^{\circ}\text{C}$  の水 100 g を  $50^{\circ}\text{C}$  にするのに必要な熱量と, 温度  $30^{\circ}\text{C}$  の水 50 g を  $80^{\circ}\text{C}$  にするのに必要な熱量とを比べると, どちらがどれだけ多くの熱量がいるか。(熱量を比べる場合)
  - 100 g,  $70^{\circ}\text{C}$  の湯がひえて,  $20^{\circ}\text{C}$  にさがった。どれだけの熱量を失ったことになるか。(失った熱量を求める)
  - 100 g,  $20^{\circ}\text{C}$  の水に 1500 カロリーの熱を与えたら何度になるか。(温度の変化を求める場合)
  - 100 g,  $20^{\circ}\text{C}$  の水を  $60^{\circ}\text{C}$  にあげる熱で, 50 g,  $20^{\circ}\text{C}$  の水をあたためると何度になるか。(温度の変化を求める複雑な場合)
- ② 解答結果を検討し, さまざまな場面への適用のしかたを指導する。
- ③ ①と類似の問題をもう一度解答させ, 理解の定着をはかる。

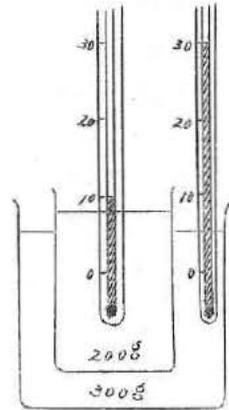
#### 問題 (オ二次)

- 100 g の水の温度を  $30^{\circ}\text{C}$  あげるには, どれだけの熱がいるか。
- 温度  $15^{\circ}\text{C}$  の水 200 g を,  $35^{\circ}\text{C}$  にするには, どれだけの熱量を与えればよいか。
- 温度  $10^{\circ}\text{C}$  の水 50 g を  $60^{\circ}\text{C}$  にするのに必要な熱量と, 温度  $20^{\circ}\text{C}$  の水 200 g を  $40^{\circ}\text{C}$  にするのに必要な熱量とを比べると, どちらがどれだけ多くの熱量がいるか。
- 200 g,  $80^{\circ}\text{C}$  の湯がひえて,  $20^{\circ}\text{C}$  にさがった。どれだけの熱量を失ったことになるか。
- 50 g,  $70^{\circ}\text{C}$  の湯から, 200 カロリーの熱量をうばったら, 何度になるか。
- 100 g,  $80^{\circ}\text{C}$  の湯で, 50 g,  $10^{\circ}\text{C}$  の水をあたためた。湯の温度が  $60^{\circ}\text{C}$  にさがったとき, 水の温度は何度になっているか。

とくに、異温度の水を接触または混合した場合の温度変化に、熱移動ならびに熱量の求め方に関する知識を適用して、温度変化の求め方を理解するとともに、熱量概念の理解をより深める。

(問題)

温度  $30^{\circ}\text{C}$ 、 $300\text{g}$ の水に、温度  $10^{\circ}\text{C}$ 、 $200\text{g}$ の水を触れさせると、温度は何度になるか。



① 両方の温度はどう変わるか。→ ㉑はさがり、㉒はあがる。しまいには同じになる。

② 温度が変わるわけは？ → ㉑から㉒への熱の移動による。

③ 両方の温度が同じになるのは、およそ何度くらいか。→  $20^{\circ}\text{C}$ より少し高くなる。

④ やりとりした熱量を考えて、何とか計算で求められないか

1. ㉑の水の温度が  $1^{\circ}\text{C}$  さがると、何カロリーの熱を失うことになるか。→  $300$  カロリー

2. その  $300$  カロリーの熱は、どこへいくか。→ ㉒の水がもらう。

3. ㉒の水が  $300$  カロリーの熱をもらうと、何度あがるか。→  $\frac{300}{200}$  .....  $1.5^{\circ}\text{C}$  あがる。

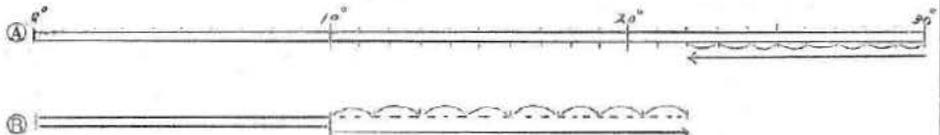
4. ㉑の水が  $1^{\circ}\text{C}$  さがると、㉒の水は  $1.5^{\circ}\text{C}$  あがることになる。表を作って、順に温度のあがり、さがりをしらべてみよう。

㉑  $30^{\circ}\text{C}$ 、 $300\text{g}$ の水

㉒  $10^{\circ}\text{C}$ 、 $200\text{g}$ の水

(温度のちがい)

$1^{\circ}\text{C}$ さがる → $29^{\circ}\text{C}$	→ ( $300$ カロリー ) →	$1.5^{\circ}\text{C}$ あがる	$11.5^{\circ}\text{C}$	... $17.5^{\circ}\text{C}$	) $2.5^{\circ}\text{C}$
$2^{\circ}\text{C}$ さがる → $28^{\circ}\text{C}$	→ ( $600$ カロリー ) →	$3^{\circ}\text{C}$ あがる	$13^{\circ}\text{C}$	... $15^{\circ}\text{C}$	) $2.5^{\circ}\text{C}$
$3^{\circ}\text{C}$ さがる → $27^{\circ}\text{C}$	→ ( $900$ カロリー ) →	$4.5^{\circ}\text{C}$ あがる	$14.5^{\circ}\text{C}$	... $12.5^{\circ}\text{C}$	) $2.5^{\circ}\text{C}$
$4^{\circ}\text{C}$ さがる → $26^{\circ}\text{C}$	→ ( $1200$ カロリー ) →	$6^{\circ}\text{C}$ あがる	$16^{\circ}\text{C}$	... $10^{\circ}\text{C}$	) $2.5^{\circ}\text{C}$
$5^{\circ}\text{C}$ さがる → $25^{\circ}\text{C}$	→ ( $1500$ カロリー ) →	$7.5^{\circ}\text{C}$ あがる	$17.5^{\circ}\text{C}$	... $7.5^{\circ}\text{C}$	) $2.5^{\circ}\text{C}$
$6^{\circ}\text{C}$ さがる → $24^{\circ}\text{C}$	→ ( $1800$ カロリー ) →	$9^{\circ}\text{C}$ あがる	$19^{\circ}\text{C}$	... $5^{\circ}\text{C}$	) $2.5^{\circ}\text{C}$
$7^{\circ}\text{C}$ さがる → $23^{\circ}\text{C}$	→ ( $2100$ カロリー ) →	$10.5^{\circ}\text{C}$ あがる	$20.5^{\circ}\text{C}$	... $2.5^{\circ}\text{C}$	) $2.5^{\circ}\text{C}$
$8^{\circ}\text{C}$ さがる → $22^{\circ}\text{C}$	→ ( $2400$ カロリー ) →	$12^{\circ}\text{C}$ あがる	$22^{\circ}\text{C}$	... $0^{\circ}\text{C}$	) $2.5^{\circ}\text{C}$



㉑は  $8^{\circ}\text{C}$  さがり、㉒は  $12^{\circ}\text{C}$  あがって、 $22^{\circ}\text{C}$  で同じになる。やりとりした熱量は

$2400$  カロリー

5. 計算で求めることはできないか。1, 2, 3のあとどうすればよいか。

- 3000カロリーの熱をやりとりすると、 $1^{\circ} + 1.5^{\circ} = 2.5^{\circ}$ ずつ差がらまる。
- $20^{\circ}$ の差をなくするには  $20 \div 2.5 = 8$  8回熱のやりとりをすればよい。
- ㊸の水は  $1^{\circ} \times 8 = 8^{\circ}$ さがって  $22^{\circ}$ になり ㊹の水は  $1.5^{\circ} \times 8 = 12^{\circ}$ あがって  $22^{\circ}$ になる。
- または、温度差がなくなるまでにやりとりした熱量は  $300 \times 8 = 2400$ カロリー、  
㊸の水は  $2400 \div 300 = 8^{\circ}$ さがって  $22^{\circ}$ 、㊹の水は  $2400 \div 200 = 12^{\circ}$ あがって  $22^{\circ}$ となる。
- ⑤ 異温度の水をまぜ合わせる場合に適用してみる。(練習)
  - 混合する場合も、接触する場合と同じ考え方でよいこと、混合しても温度が高くなることはあり得ないことを考えさせる。
  - 実験で温度変化を確かめるには、接触と混合とどちらの方法がよいか。それはなぜかを考えさせる。

#### 4 指導結果についての考察

実験的指導は、第1時—10月29日、第2時—10月31日、第3時—11月1日、第4時—11月7日に、それぞれ実施した。第3時と第4時の間の日数がはなれているのは、その間に文化の日を中心とする学校行事が行なわれたからである。以下、各時間の指導結果について考察を進めたいと思うが指導の全過程にわたる詳細な記録は省略し、この研究目的からみて直接必要だと考えられる要点についてのみ記述することとする。

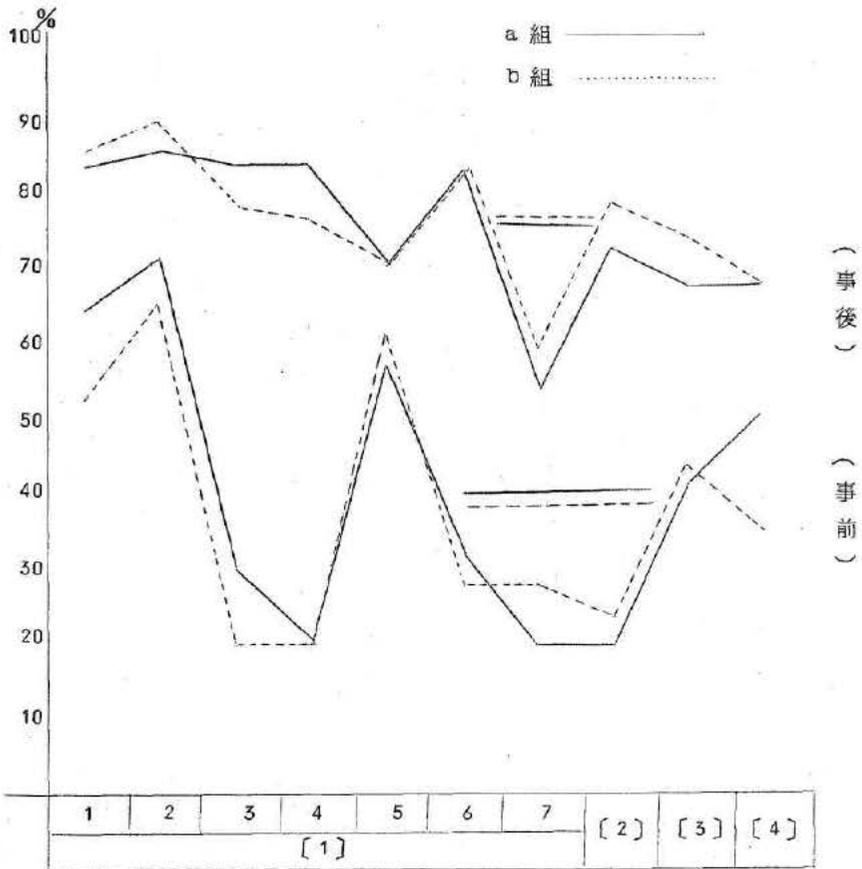
##### (1) 第1時の指導結果について

第1時は「温度と熱に関する既習内容の想起と整理による再確認」を目的とした指導であり、いわばこの実験指導の主教材である「熱量の求め方」に対する直接的なレディネスを整えようとしたものである。したがってこの時間の指導は、a組、b組共通な過程として実施したものであるから、この過程の実際を述べることは省略し、指導後に実施した調査の結果をあげて考察を加えることとする。

指導後に実施した調査問題は、先に行なった事前調査のうち調査Ⅰと全く同じものを用いた。そこで次に事前調査結果と対応しながらその結果を示すこととする。

調査Ⅰ，事前，事後の結果 (数値は%)

		[1]							[2]	[3]	[4]	平均正答率
		1	2	3	4	5	6	7				
事前	a組	64	71	30	20	57	32	20	20	41	50	40
	b組	52	65	20	20	61	28	28	24	44	35	38
事後	a組	83	85	83	83	70	83	54	72	67	67	75
	b組	85	89	78	76	70	83	59	78	74	67	76



事後調査の平均正答率がそれぞれ75%、76%であり、問題別正答率もおおよそ平行線をたどっている。これを事前調査の結果と対応してみると、第1時の指導により、a、b両組ともだいたい同じ程度の学習効果をあげ得たものと認められる。第2時以後の学習に対するレディネスを整えるとともに、a、b両組の等質性をさらに確かめる意図で行なった第1時の指導は、おおよそその目的を達し得たと考えてよいであろう。ただ、図表でみるように、この指導によっても学習効果をあげることができなかったと考えられる30%ほどの生徒にとっては、今後の学習も困難であることが予想される。

## (2) 第2時の指導過程について

第2時の指導は、概念を発見的・帰納的に獲得するA型の指導過程と、概念を受容的・検証的に獲得するB型の指導過程とを、それぞれa組、b組に実施し、その過程にみられる生徒の思考活動の特質と、概念を理解させるための指導上の留意点を比較検討することを目的としたものであった。第2時の指導過程についての考察に入るにあたって、いま一度、この研究の実験仮説として予想した両過程にあらわれる思考活動の特質およびそれに応じる指導上の留意点を再掲することとする。

### (A型の指導過程)

生徒の思考活動は、発見的・直観的・力動的・多面的・主体的に行なわれる。したがって、積極的意欲的な学習が展開する反面、さまざまな試行錯誤や学習のつまずき、停滞、混乱が伴うであろう。しかしながらこのような試行やつまずきは、新概念へ接近する契機であり、既有的判断形式をのりこ

えて望ましい理解に達する過程で当然みられるものであるから、指導にあたっては、そうした思考活動を有効に利用することがたいせつである。しかしこのような過程で教材の提示や助言が効果的に行なわれないと、思考活動を望ましい方向に導くことができず 生徒の理解も散漫なものとなりやすい。

(B型の指導過程)

生徒の思考活動は、検証的・論理的・静的・一面的・受動的に行なわれる。この過程は新概念の提示前よりは、新概念の提示後に思考活動が行なわれ、しかもその活動は提示された新概念を受容し、これを事象に適用しようとする どちらかという演繹的な思考形式をとるものである。したがってその過程はA型の過程のような力動的、多面的なものではなく、一本のレールの上を確実に、しかも能率的に進む静的な過程であろう。このような過程の指導にあたっては、提示した新概念をいかに説明して理解させるかが問題となる。一事実を例にとって一方的に与えた新概念の内容や条件を 他の事実と関係づけて理解することができるように指導しなければならない。そうでないと、与えられた概念は事実と対応しない空虚なものとなってしまふ。

さて、上記のような実験仮説にもとづいて第2時の指導を行なったわけであるが、実際の過程はどのような様相を示したであろうか。いまここに、それぞれの指導の全過程について、指導記録を載せる余裕もないし、またその必要もないと思うので、それぞれの過程の要点について記録の一部を記し、実験仮説と対応しながら考察を加えることとする。

A型の指導記録

① A型第2時の計画中 ②の1の部分 (P41参照)

教師の指導	生徒の反応
<p>○問題場面の提示</p> <p>④のはりが100g、⑥のはりは60g、そして、はじめの温度が④は20℃、⑥は30℃であった。これをあたためたら、④は70℃になった。⑥は80℃になった。さてこの場合、もらった熱を比べるとどうなんだろう。</p> <p>○(それぞれの判断の人数を確かめる。)</p> <p>○これは困りましたね。もう一度説明してみますよ。</p> <p>④は100g入っていて、はじめ20℃だったのが70℃まで上がった。何度上がったのでしょうか。</p> <p>⑥は60g入っていて、はじめ30℃だったのが80℃まで上がった。何度上がったのでしょうか。</p> <p>○こんどはどうですか。</p> <p>○④が多いと思う人は?</p> <p>○さっきとだいぶちがいましたね。同じと思う人は?</p> <p>○さっきは同じと思っていた人で、こんどは④が多いと</p>	<p>○同じ</p> <p>○④が多い } おたがいに話し合っている。</p> <p>○⑥が多い }</p> <p>○同じ(18人) ○Aが多い。(11人) ○⑥が多い。(2人)</p> <p>他は反応なし。</p> <p>○多数→50℃</p> <p>○多数→50℃</p> <p>○④、④という声多し</p> <p>○多数挙手</p> <p>○5、6人になる。</p>

<p>いう人がいますね。どうしてそう思ったのですか。 (指 名)</p>	<p>○はじめ、どっちも50℃ずつあげる るので同じと思ったけれど、よく みたら④は100gで⑤は60g だったので、こんどは④が多いと 思った。 ○あげる温度は同じだけれど、水の 量は④が多いから、あたためるに 時間がかかる。</p>
--	--

② A型第2時の計画 ⑤の温度差、水量ともちがう場合 (P42参照)

教 師 の 指 導	生 徒 の 反 応
<p>○ そうすると水の量が同じで、温度のあがり方が2倍、3 倍になると、熱量も2倍、3倍いる。温度のあがり方が同 じで、水の量が2倍、3倍ならば、熱量も2倍、3倍とふ えるのですね。</p> <p>○ それならば、こんどきはどうでしょう。(温度のあが り方が2倍、水の量が3倍になっている問題場面を提示し て、熱量を比べさせる。)</p> <p>○ 熱量は何倍いることになるでしょう。</p> <p>○ どうしてそうなるか説明してください。</p> <p>○ それでは、熱量のはかり方と面積のはかり方と似ている から、くらべてみましょう。 (長方形を図示して)この長方形のたてが2倍になると面 積は何倍になるでしょう。それでは、よこが3倍になると 面積は? たてが2倍、よこが3倍になると面積は?(図示する)</p> <p>○ 熱量もこれに似ていますね。そうすると、温度のあがり 方は面積の場合の何にあたるでしょう。水の量は? 熱量は?……何倍になるのでしょうか。</p> <p>○ 面積をはかるときは何か単位がありましたね。面積を求 める公式をおぼえていますか。</p> <p>○ 熱量をはかるときにも、何か単位があればよい。単位を 作れば熱量をはかれますね。</p>	<p>(しばらく反応なし。考えている。 しばらく待つて……)</p> <p>○ 5倍、6倍、2倍半、4倍という 反応あり。</p> <p>○ 5倍…… 2+3だから</p> <p>○ 6倍…… 2×3だから</p> <p>○ 2.5倍 … 2倍と3倍の間になると 思う。</p> <p>○ 2倍</p> <p>○ 3倍</p> <p>○ 6倍</p> <p>○ たてにあたる ○ よこにあたる。</p> <p>○ 面積にあたる ○ 6倍になる。</p> <p>○ 1平方cm</p> <p>○ 面積=たて×よこ、1cm<sup>2</sup>×たて× よこ</p>

B型の指導記録

○ B型, 第2時の計画 ⑤の部分 (P44参照)

教 師 の 指 導	生徒の反応
<p>○ いま100gの水が20℃から60℃にあがったとき, どれだけの熱量をもらったかばかりなのですが, 熱量をはかる単位がないとはかれませんね。面積をはかるときは, 1cm<sup>2</sup>…1辺が1cmの正方形の面積を単位としたのですが, 熱量をはかる単位は「1gの水の温度を1℃だけあげるに必要な熱量」を単位とするのです。これに1カロリーという名前をつけてあります。</p>	
<p>(板書する)</p>	
<p>○ それでは, この単位をもとにして, いろいろな場合の熱量を考えてみましょう。</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1gの水を2℃あげるには何カロリーいる?</li> <li>・ 1gの水を5℃あげるには?</li> <li>・     10℃あげるには?</li> <li>・ 2gの水を1℃あげるには?   ○ 5gの水を1℃あげるには?</li> <li>・ 10gの水を1℃あげるには?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2カロリー</li> <li>○ 5カロリー</li> <li>○ 10カロリー</li> <li>○ 2カロリー</li> <li>○ 5カロリー</li> </ul>
<p>○ そうすると同じく10カロリーといっても, 1gの水を10℃あげる場合と, 10gの水を1℃あげる場合とあって, どちらも熱量は10カロリーになりますね。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 10カロリー</li> </ul>
<p>○ それなら, こんな場合はどうですか。2gの水を2℃あげるには? どうして4カロリーになりますか。たしたのですか, かけたのですか。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 4カロリー</li> <li>○ かけた</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2gの水を5℃あげるには?</li> <li>・ 5gの水を10℃あげるには?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 10カロリー</li> <li>○ 50カロリー</li> </ul>
<p>○ そうすると, これは面積のはかり方と似ていますね。面積の求め方は, 1cm<sup>2</sup>×たて×よこ(板書)でした。面積の場合のたてにあたるのは熱量の場合はなんでしょう。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 温度   ○ 重さ</li> </ul>
<p>○ どちらでもよいわけですね。たてにあたるのを温度の変わり方とすれば, よこにあたるのは?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 重さ。</li> </ul>
<p>○ 熱量を求める公式を面積の公式にならって作るとどうなりますか。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 1カロリー×温度×重さ</li> </ul>
<p>○ この式で100gの水を40℃あげるに必要な熱量はどれだけかをはかることができます。はかってもらなさい。</p>	

まず, A型の指導過程についてみると, ①の熱を多く必要とするのは④か⑤か, それとも④, ⑤が等しいかということで, 生徒の中でいろいろな判断がみられること, ②の温度の上がり方が2倍, 水の量が3倍になると, 熱量はどうかということで, 5倍, 6倍, 2倍半などの判断があることなど, この過

程の特徴を示すものである。このようなところで、生徒は試行し、つまづき、混乱することが、指導過程の中でいくつかあらわれている。こうした状態が生徒の思考を発展させる契機であり、また既有的理解構造や偏見を意識的にのりこえる機会でもあるわけである。

そこで、こうした状態にまで生徒を導いて、そこでどのような指導をしたらよいか問題となる。ここで効果的な指導が行なわれないと、生徒はそのつまづきや混乱から抜け出せずに終わってしまう。この点について、ここでの指導では、①の場合は、問題場面をやや整理した形で再提示し、生徒の場面分析を促がすことによって混乱から抜け出させることができた。また②の場合は、熱量のはかり方とその形式の上で類似性をもつ面積のはかり方についての既有経験と対応させることによって正しい判断ができるようにすることができた。このような場面ではいろいろな指導方法があり、上記の方法もその一例にすぎないわけであるが、これらに共通するものとしては、判断を教師から与えるのではなく、生徒の判断を促がすための材料を提供するという構えである。したがって、このような指導過程は、どうしても比較的多くの指導時間を必要とするようになる。A型第2時の指導時間は50分かかっており、しかも実際の指導にあたったときには、もうすこし時間がほしいという気持が強かった。

A型の指導過程と比べてB型ではどうであったろうか。B型の指導記録にみるように、この過程ではA型にみられたつまづきや混乱がほとんどなく、表面、きわめて円滑にレールの上を進んでいる。この状態は、実験仮説として予想したB型の特徴を示すものとみてよいであろう。はじめに新概念が与えられ、それを適用する場面を小さく順序よく提供することにより、混乱のすくないこのような過程が成立するものと思われる。このような過程では問題場面を解決するための手がかりがはじめに与えられているので、既に思考の方向が限定され、多面的な考え方をする余地がすくなくっているわけである。したがって、このような過程の指導時間は比較的少なくて済み、B型第2時の指導時間は35分で終わっている。

以上総合してみると、はじめに仮説として予想したA、B両過程の特徴は、第2時の指導をとおして確かめることができたものと考えている。

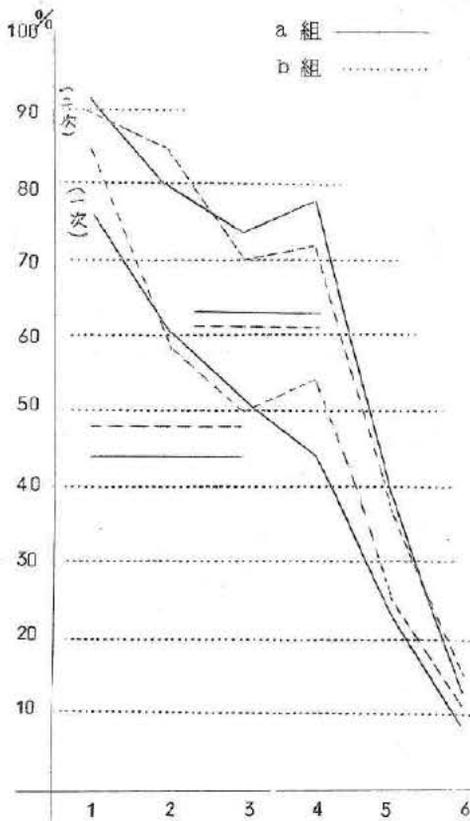
### (3) 第3時の指導結果について

第3時は第2時に習得した熱量のはかり方に関する知識を、さまざまな現象に適用して、理解の拡大、精密化、定着をはかる過程であって、これはa、b両組共通に実施した。実施の方法としては、計画でも示したように、時間のはじめに問題用紙を与えて第1次の解答をさせ、その結果を指導した後で、類似問題による第2次の解答をさせるという進め方をしたのである。つぎに、第1次、第2次の解答結果を掲げ、第2時指導と関連させながら考察してみたい。

適用能力に関する1次、2次テストの結果(数値は%)

類別	問題	問題						平均正答率
		1	2	3	4	5	6	
1次	a組	74	61	52	44	24	8	44
	b組	85	59	50	54	26	11	48
2次	a組	91	80	74	78	39	13	63
	b組	89	85	70	72	37	15	61

第1次のテストは、第2時指導の直後に、第2次テストは、第1次テストの結果に対する指導を行なった後に、それぞれ実施したもので、第2時指導により習得させた熱量の求め方に関する知識の適用能力をみたものである。



第1次、第2次のテスト結果をとおして、a組b組の適用能力を比較してみると、このテスト内容に関する限り、第2時のA型、B型の指導過程のちがいによると考えられる差は認められない。その理由として考えられることは、この問題内容が、第2時指導の結果として習得した 熱量の求め方に関する公式を記憶しており、その公式を使えば解決できるようなものであったことであろう。いいかえれば、熱量の求め方を習得する過程の経験がこの問題の解決にあたってはきいていないこととなる。

つぎに、各問題の正答率を比較しながら、生徒の適用能力を検討してみたい。表と図にみるように、正答率は、第1次、第2次のテストとも、1番から6番へと高い勾配で低下している。この原因として考えられることは、一つには、温度差を求めなければならないとか、失った熱量を求めるといふような理解内容に関することであり、他の一つは数学的な操作の複雑さによるものであろう。そして、むしろ数学的な操作能力の欠陥が、理解にも影響し、このような問題場面の解決を困難に

するおもな原因になっているのではないかとさえ考えられる。このように考えるわけとしては、A型の指導過程では3の問題のような場面を中心素材として指導を行なったのに対し、Bの指導過程では1の問題のような場面を中心素材として指導を進めたにもかかわらず、テストの結果ではa組、b組にその差があらわれていないとみられることである。また、5、6の問題の正答率がきわめて低くなっておりしかも1次、2次の間の正答の伸びが小さいことも、数学的な操作能力の低さに起因するものであろう。ただ4の問題では、数学的な操作が単純であるにもかかわらず、比較的正答率が低いのは、失った熱量を求めるといふ問題場面の内容によるものであり、これを解決するに役立つ理解内容は、第2時の指導内容ではなく、むしろ第1時の熱量のやりとりという考え方である。このような考え方の適用を指導したあとで行なった第2次のテスト結果では、3番の正答率を上まわるようになっていく。

このように、数学的な操作能力の欠陥が熱量を量的に操作することに大きく影響することを考え、しかも、指導後に行なった第2次テストの4、5、6の正答率をみると、この後に予定している、第4時の指導内容が、はたして生徒に受け入れられるものかと不安な気持ちをいだかざるを得ない。

(4) 第4時の指導過程について

この時間の指導は、第2時に習得した熱量の求め方に関する知識を、さらにさまざまな場面に適用することにより理解の拡大、精密化をはかるという第3時の指導過程のねらいと同じ目的をもつものであって、第3時に引き続き、とくに異温度の水を接触または混合させた場合の温度変化を求めることに適用させようとしたものである。そして、そのような温度変化の求め方として、異温度間に行なわれる熱

移動の考え方と無理なく連絡するような計算方法を実験仮説（P 29, P 46 参照）として設け、そのような方法が生徒に受け入れられるかどうかを確かめてみようとしたのである。

指導過程の実際の様相を、全過程にわたって詳述する余裕はないので、実験仮説として設けた計算方法が、生徒に受け入れられたかどうか、どの部分が容易でどの部分がむずかしいかを結論的に述べることにする。

結論的にいうならば、きわめて少数の生徒を除いた大部分の生徒にとって、この計算方法は受け入れられなかったと考えられる。このことについては、すでに第3時の2次テストの結果からも予想できたことであるが、受け入れ難いおもな原因として、やはり数学的能力の程度を挙げざるを得ないように思われた。ことに温度や熱のような抽象概念を数量的に操作することが、生徒にとってきわめて困難なことであると、改めて認識したような結果であった。以下、このように結論づけた根拠について、指導過程中から事例的に挙げておきたい。

① 300カロリーの熱量をやりとりするごとに、片方は $1^{\circ}$ ずつ下がり、もう片方は $1.5^{\circ}$ ずつ上がることに気づかせ、これをもとにして表を作り、変化後の温度を求めるまでの過程では、生徒の思考の展開が比較的円滑に行なわれる。（第4時の計画 ④の4まで……P 46 参照）

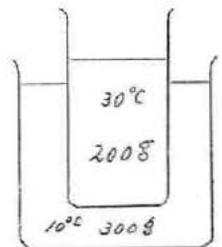
② ①のような操作によって変化後の温度を求めた後、そこで作りあげた表によって、温度変化の規則性（300カロリーの熱をやりとりするごとに温度差が $2.5^{\circ}$ ずつ縮まること）に気づくこと、さらに、その規則性を利用して計算法を見出すことになると抵抗がたき、思考が停滞して、計算法を理解することが困難である。（第4時の計画 ④の5の部分……P 46 参照）

- ・温度の差が、 $20^{\circ} \rightarrow 17.5^{\circ} \rightarrow 15^{\circ} \rightarrow 12.5^{\circ} \rightarrow 10^{\circ} \rightarrow 7.5^{\circ} \rightarrow 5^{\circ} \rightarrow 2.5^{\circ} \rightarrow 0^{\circ}$ と縮まっていくことを指摘しても、この間が常に $2.5^{\circ}$ であることに気づかない。
- ・ $2.5^{\circ}$ が $1^{\circ} + 1.5^{\circ}$ であること、 $2.5^{\circ}$ ずつ $20^{\circ}$ の差がへっていくことに気づかない。
- ・上記のことも結局、教師が説明せざるを得なかった。その説明がどれだけの生徒に受け入れられたかはわからない。
- ・説明後に計算法を考えさせてみたが、考えつかなかった。
- ・つぎのような類似の問題を与えてみたが、この問題を解くための立式も困難であった。

24kmはなれている両地点から、Aは毎時4kmの速さで、Bは毎時2kmの速さで進んだ。二人はどこで出会うか。

・そこで、上記問題の説き方を説明し、それと関連させながら、温度を求める計算法を説明するよりの結果となった。

③ はじめの場面と温度が逆になっている右図のような場面に、一応習得した計算法を適用させて習熟をはかろうとすると、 $1^{\circ}$ 下がるとに何度上がるかを求めるときに、 $\frac{200}{300}$  か  $\frac{300}{200}$  かを迷ったり  $\frac{200}{300}$  を小数で求めようとしたりする。また、 $\frac{2}{3}$ として、その後の計算に分数をとり入れることに大きな抵抗を感じている。



④ さらに、この計算の全過程をとおしてみると、その部分部分については教師の説明を受け入れて理解できたとしても、全過程を構造的に理解し、計算の手順を順序よく進めることができるようになるものが多かったと考えられる。

第4時の計画を実施した結果が上記のように評価されるとすれば、実験仮説として設定した温度変化

の求め方についての計算法は、生徒にとって受け入れ難いものであると結論をせざるを得なく、この仮説は捨てられることとなる。しかしながら、この計算法が生徒に受け入れられなかった原因の主たるものが数学的な操作能力にあったとすれば、実験仮説はある条件のもとで成立する可能性があるかもしれないこととなる。そのある条件というのは、たとえば、出会い算の規則性に気づき演算法を理解しているとか、比の三用法を自由に操作できるというような数学的能力をさすものである。この度の実験的な指導は、このような条件との関係を検討するだけの準備のもとで行なってはいけないので、上記のことについて結論的なことはいえないわけである。上記のような数学的能力の習熟が、限られた一部の優秀児にしか期待できない現状であることを考えると、一般的にはこのような計算法を理解させることは、困難であるとみるのが妥当であろう。

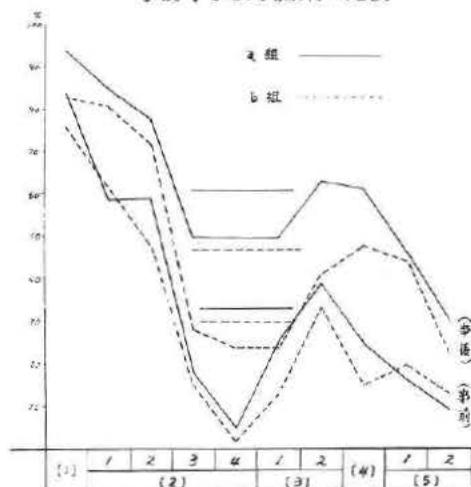
### (5) 事後調査の結果とそれによる総合的考察

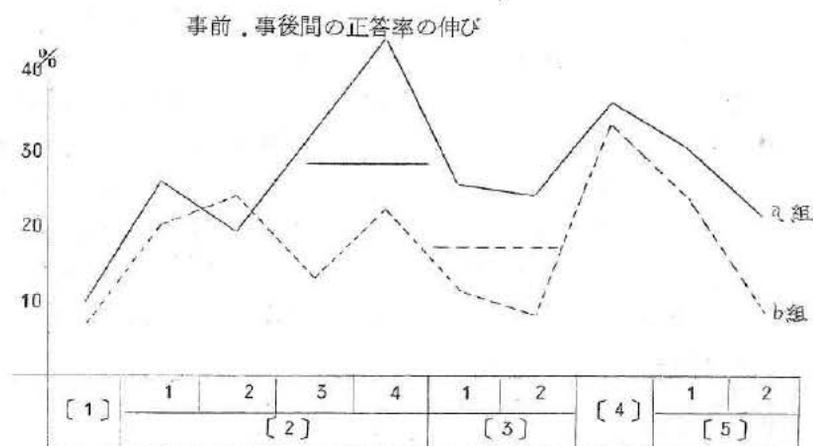
これまでに、第1時から第4時に至る指導過程の各分節ごとに、研究のねらいからみた考察、評価を行ってきたのであるが、全過程終了数日後にその学習効果の把持度をみる目的で事後調査を実施した。事後調査には、事前調査Ⅱで使用した問題（P 53参照）と同一のものをを用い、学習による正答率の伸びを比較検討することとした。つぎに事前調査と事後調査の結果をあげ、指導過程と関連させながら考察することとする。

調査Ⅱ 事前 事後の結果 (数値は%)

類別	問題番号	[1]	[2]				[3]		[4]	[5]		平均正答率
			1	2	3	4	1	2		1	2	
事前	a組	84	59	59	18	5	25	39	25	16	9	33
	b組	76	61	48	15	2	13	33	15	20	13	30
事後	a組	94	85	78	50	50	50	63	61	46	30	61
	b組	83	81	72	28	24	24	41	48	44	22	47

事前、事後、結果の比較





事前調査では、a組、b組の平均正答率もほとんど等しく、問題別正答率のプロフィールもきわめて似かよっていて、両学級の等質性を確かめることができたことを、先に述べておいた。事後調査の結果をみると、平均正答率でa組61%、b組47%と大きな開きをみせるに至った。しかもその差は、問題[2]の3, 4, [3]の1, 2にみられる正答率の伸びの差がおもな要因となって生じた差であると認められる。

a組、b組の間にあらわれた、このような学習効果のちがいは、第2時のA型、B型の指導過程によるものであると判定してよいであろう。また、第2時の指導後、およそ1週間にわたり文化祭関係の諸行事が行なわれていること、さらにその後で実施した第4時の指導が先に述べたようにほとんど生徒に受け入れなかったことなどを考えあわせると、事後調査にみられる両学級の差は、第2時学習効果の保持度のちがいともみることができる。

このような差を生じたことについて、第2時指導過程との関連をさらに考察してみたいと思う。

まず、a、b両組で伸びの差が大きかった[2]の(3)、(4)の解答内容について検討を加えてみると、b組(B型)のほうは熱量計算によって答を求めようとするものが目立っており、しかも計算法を正しく用いなかったためと思われる誤答が多い。これに対し、a組(A型)では、計算によらないで解答しているものがb組に比べて多くみられた。a組、b組にみられたこのような解答内容のちがいを、それぞれの指導過程と関連づけてみると、熱量の求め方を習得するに至る過程の様態のちがいが、このような結果としてあらわれたものとみることができよう。

a組に実施したA型の指導過程では、熱量を比べなければならぬ場で、温度変化や重量と熱量との関係について、定性的な見方からしだいに定量的な比べ方に接近していくという過程をとり、しかもその過程では、生徒の思考上の誤りや混乱、つまづきなどがみられた。そして一応これらを克服しながら熱量の求め方に到達したのである。したがって計算法自体は正確に記憶していなかったとしても、温度変化や重量と熱量との定性的な関係の理解は得られており、それによって計算をすることなく解答したものと推定される。

これに対し、b組に実施したB型の指導過程では、温度変化や重量と熱量との関係について定性的な検討を加えることなく、はやい時期に熱量の単位を与え、熱量を求める公式を示して、それを使うことの指導を行なったのである。しかもその過程は、はじめに予想したように、表面的には混乱することなく進行したのである。したがって、この生徒は、問題解決に際し、まず計算法を適用しようとするもの

が多かったものと思われるし、不正確な記録が誤答を多くしたものといえよう。

つぎに、第3時の“習得した新概念をさらにさまざまな事象に適用することによって、理解の拡大、精密化をはかる過程”で実施した第1次、第2次のテスト結果では、a組、b組の間にほとんど差が認められなかったのに、この事後調査で上記のような相違がみられることをどのように考えたらよいであろうか。この理由についてはつぎのように推察することができる。

第一に、第3時に実施した問題の内容が、前時に習得した熱量の求め方を、そのまま、または多少形を変えて適用すれば解決できるものであったため、第1次、第2次のテスト結果では両学級の差がほとんどなかったものと思われることである。

第二に考えられる理由としては、事後調査を実施した時期が第3時の指導以後、日数が経過しているため、第2、3時に習得したはずの熱量の求め方に関する知識の記憶がうすれていると推定されることである。

そして第三には、事後調査の〔2〕、(1)、(2)、(3)〔3〕、(1)、(2)などの問題内容が、必ずしも熱量計算によらなくとも判断できるものであり、このような問題に対してA型の指導を受けたa組の学習経験が効果をあげ、理解ふじゅうぶんでしかも記憶の薄れた熱量計算法を適用しようとしたB型、b組の反応結果が低くなったと考えられることである。

以上のように、A型、B型の指導過程を比較考察してみると、総合的にみてA型の指導過程が効果的であったかのように判定される。しかしながら、第2時の指導時間をみるとA型のほうが50分を要したのに対し、B型では35分程度で余裕をもって終わっているのも、この余裕時間で、A型の指導過程の教材とした、熱量を比べるような問題場面について、適用練習をしながら理解を深めるような指導を行なったとしたら、事後調査の結果にこのような差がみられたかどうかは予測できない。結果的には、B型指導過程の指導重点となる適用過程に指導上の手ぬかりがあったのではないかと反省されるわけである。したがって、この実験指導ではA型のほうが効果をあげているけれども、これをもって直ちにA型の指導過程による学習効果が高いと一般的に結論づけることは早計であると思っている。

理科の学力を向上するためには、その形成過程を解明することが今日の課題であるとし、とくに児童生徒にとって困難度が高いと考えられる抽象度の高い科学的概念について、その理解過程を究明しながら、それに即応する指導過程の確立を目ざした実験的な研究を、三か年間にわたって行なってきた。もちろん、このような問題の解決は、教育永遠の課題であるとみるべきであって、三か年間にわたる本研究は、こうした営みの中の一里塚に過ぎず、この研究に一応の結末をつけるにあたって、課題の内容がますます、幅広く奥深いものであることを改めて自覚させられている。この際、本研究によって確かめられた成果を要約するとともに、さらに今回果たされなかった問題点をあげて、今後の研究の出発点としたいと思う。

#### 研究成果の要約

- ① 熱概念のような、これを発見的に獲得する手がかりのないと考えられる抽象的な概念の指導にあたっては、演繹的受容的な過程をとらざるを得ないこと。またこのような過程は教師の適切な説明や助言があれば成立し得ること。とくに、事実と概念の間を媒介する視覚的なモデルを有効に使うことにより、児童生徒の理解を促進することができる。
- ② 熱量概念の導入にあたっては、帰納的発見的な指導過程（A型）と演繹的受容的な指導過程（B型）の両過程が成立すること。この度の比較実験的な研究結果では、A型の指導過程による学習効果が高かったこと。しかしB型といえども、適用による理解の拡充、精密化の指導をさらに改善することにより、A型に近い効果をあげ得る見とおしを得たこと。
- ③ 帰納的発見的な指導過程と演繹的受容的な指導過程の、それぞれの特徴とそれに応じる指導上の留意点を確かめ得たこと。
- ④ 両指導過程に共通にいえることであるが、新概念を一応獲得した後の適用過程で、新概念を諸事象に適用することは、一部の優秀児を除いては困難であり、教師の適切な助言が必要である。適切なという内容は、適用しようとする事象の構造を、新概念獲得の際に用いられた典型的な事実の構造と類比できるような方向に助言するということである。
- ⑤ 熱量計算の指導にあたっては、とくに数学的能力のレディネスが重要な役割を果たす。このようなレディネスが伴わない場合には、指導効果をあげることがむずかしくなること。このことは、物理的な法則一般の理解にも妥当するものと予想されること。抽象度の高い科学的概念の理解が困難なことのひとつの要因として、関数的な数学的能力の未熟さをあげなければならないこと。

以上の点は、この研究の一応の成果と考えているものであるが、これらのことが高い客観性をもって実証されたものとは必ずしもいえないと思っている。むしろ事例的な性格の強いものではないかと恐れているわけであって、研究方法上の問題点を多く残しているのである。そうした意味では、この研究は学習指導の分析的な研究について方法上のいとぐちをつかんだ程度であって、今後、研究成果を客観化するための方法上の改善が残された問題である。この研究が、学習指導法の科学化、近代化の営みにすこしでも貢献できるならば幸いであると思っている。

終わりに、この研究を実施するにあたり、直接、間接にご協力をいただいた、新潟市上所小学校、北蒲原郡豊栄町葛塚小学校、同中学校の先生方に深く謝意を表する次第である。

（研究執筆 小田正衛）