

研 究 紀 要 第 32 集

理科学習における理解過程とその指導
〔 1 〕

- 熱概念の理解過程について -

1 9 6 2

新潟県立教育研究所

ま え が き

学力と学習指導の問題は、いつの時代においても、学校教育の中心的な課題であり、切実な問題であるが、戦後の世界諸国の対立や、科学の急速な発達に伴ない、今日児童生徒の学力を向上させようとする志向は、現代という新しい特殊な歴史的時点において、一つの世界的動きとなっている。わが国最近の教育課程の改訂にも、この点が伺えるのである。

戦前の知識本位の学習、戦後の経験学習、最近の系統学習と、学習指導も目まぐるしく変遷をしているが、この辺でもう一度、学習指導というものを、教育の根本に立ちかえて考えてみる必要があるのではなからうか。

さらに本県児童生徒の学力の現状をみると、毎年行なわれる全国学力調査ではおおむね全国水準を下まわっており、教育関係者のあらゆる面でのたゆみない努力にもかかわらず、それが学習効果としてじゅうぶんなみりを結ばないありさまである。これを打開し、本県児童生徒の学力向上を策する道として、直接学習指導そのものの改善をはかることは、諸他の施策とともに、一つの有力な、むしろ教育実践においては本質的な道であると考えられる。

これらの点にかんがみ、当研究所は数年来この学力と学習指導の問題をとりあげ、その研究を進めてきた次第である。すなわち、この研究は、研究紀要 24 集にまとめた高校進学学力検査の検討をきっかけに、全教科にわたり、全所員をあげての、当研究所のもっとも中心的な研究課題となったのである。さらに昨年来、全国教育研究所連盟においてこの学力と学習指導の問題が全国共同研究の課題としてとりあげられ、国語・社会・算数数学・理科の4教科は全国的立場で共同研究されることとなった。わたしたちの研究もこの4教科は共同研究の一環として行なうこととなった。

さてこの間、わたしたちが考えてきたことを略述するならば、——学力を向上するということは、単に知識を多く覚えるということではなく、人間の能力を培い育てる、教育の本質に深く根ざしたものでなければならぬであろう。今日ある教科は、それぞれ歴史的伝統の上に成立しており、それが人間形成における教育的機能を考える時、そこに培われる各教科の学力というものの特質が考えられる。その上に立って始めてそうした学力を向上させる学習指導というものが考えられなければならないであろう。

わたしたちの研究は一応このような考えの上に立って、86年度は各教科それぞれその特質において独自の計画をたて、おのおのその研究を進めてきた。ただその間、常に所員全員で研究討議を行ない共同思考を重ねつつ、教科のうちだけの狭い視野におちいらないよう留意してきた。こうして本年度研究のおおよその方向は、各教科とも児童の側の研究で、いわば児童生徒が教材の内容を自分のものとして理解してゆく、その過程を分析するという仕事になった。ただその内容方法については各教科独自のものであることはいうまでもない。

ここに刊行する、国語・社会・算数数学・理科の4つの報告書は、以上述べてきたような86年度研究の報告であり、今後教年継続されるこの研究の第一次報告という性質をもつものである。なお、さきにも述べたごとく、これら4教科の研究は全国共同研究の一環をなすものであって、この研究報告書はそのまま全国共同研究の一部をなしているものである。

なおこの研究は、それぞれ研究協力校の絶大な協力のもとに遂行されたもので、学校長始め直接間接に協力いただいた職員各位ならびに児童生徒諸君に対し心から感謝の意を表したいと思う。

昭和 37 年 3 月 10 日

新潟県立教育研究所長 柴 田 美 穂

目 次

I 研究計画の概要	1
1 主題設定の趣旨	1
(1) 学力研究の動向について	1
(2) 理科の目標と科学的知識の理解について	1
(3) 理解過程について	4
(4) 理解過程と指導について	6
(5) 理解内容の選択について	7
2 研究の目的	8
3 研究の方法	8
II 熱現象の理解に関する実態調査	10
1 調査の目的	10
2 調査の内容と方法	10
(1) 学習指導要領にみられる理解内容について	10
(2) この調査でとりあげる内容について	14
(3) 調査問題について	14
(4) 調査の対象と期日	15
3 調査結果とその考察	15
(1) 問題別の結果とその考察	15
(2) 熱現象に関する理解構造の総合的考察	34
III 熱概念の理解過程に関する事例研究	38
1 研究の目的と方法	38
2 温度変化と熱移動との関係を理解する過程の仮説	38
(1) 理解過程に関する一般原則との対応	38
(2) 理解過程の仮説と面接の観点	41
3 小集団を対象とした理解過程の面接事例	43
事例(1)一小5年男一	43
事例(2)一小5年女一	48
事例(3)一小5年女一	53
事例(4)一中1年男一	59
事例(5)一中1年男一	65
事例(6)一中1年女一	70
4 事例の総合的考察	76
(1) 理解過程の様相について	76
(2) 理解の結果について	80
(3) 理解過程の評価と修正	83
IV む す び — 今後の研究方向 —	87

理科学習における理解過程とその指導 (1)

—— 熱概念の理解過程について ——

I 研究計画の概要

1 主題設定の趣旨

(1) 学力研究の動向

最近の学力研究では、学力を規定する環境的な諸条件の分析研究から、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。いままで実施され、現在も実施されている学力を規定する環境条件の分析研究からは、教育的な環境条件を改善するための行政的な施策の観点はいろいろ導き出されている。しかしながら、日々の学習指導の進め方をどのように改善したらよいかの観点を明確に示すことはできなかったように思われる。当研究所でもこのような点に着目し、すでに「研究紀要第15集、実験観察における学習過程の研究—1957—」ではある目的のもとに行なわれる法則発見的な実験観察学習の過程を記述分析し、過程進行の様相やその進行を困難にする諸条件をとらえることを試みた。この研究の結果として、教材の論理的構造とこれに近づこうとする児童生徒の心理的諸要因との関連をさらに明らかにすることの必要が結論づけられたのである。

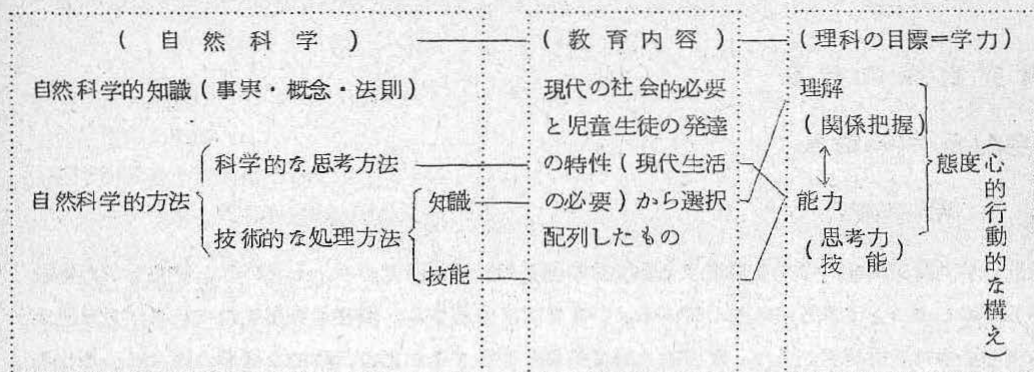
つきに、一般に行なわれている学力調査の結果にみられる児童生徒の学力の実態について考えてみたい。学力調査は現在のところ主として質問紙法によって行なわれているが、このような方法においては、知識や技術に関する理解の度合を判定評価することに中心がおかれているように思われる。したがって、児童生徒の科学的思考や態度を的確に評価することのできるほど方法的に完成されているとはいいがたい現状である。質問紙法による学力調査が、このような方法上での限界をもつものであるにもかかわらずそのような学力調査の結果にみられる児童生徒の理解ですら、必ずしも満足すべき状態にあるとはいえない。このことについては、「研究紀要第24集・学力と学習指導(理科篇)—高校進学学力検査を資料として—1960—」でも述べたとおりである。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出したりすると、比較的高い正答率を示しながら、同じ内容でも見方や問題の形を変えたり、さらにその内容を新しい場面に適用して解決を求めたりする問題になると誤答が目立つようになる。このような理解上の欠陥はどこから生ずるのであろうか。それはたぶん、児童生徒が科学的な事実や概念や法則を理解していく過程に問題があるのではなからうか。したがって、そのような欠陥を除くためには、児童生徒に習得される科学的知識を能力化するより理解過程を指導との関連によって、確かなものにしていく研究がなされなければならぬ。

(2) 理科の目標と科学的知識の理解について

学力研究の動向が、学力の形成過程そのものを明らかにしようとする方向に展開しつつあり、またこの研究では、科学的知識の理解という側面からその形成過程をみようとすることは、以上述べたとおりである。ここでは科学的知識の理解過程をとりあげた理由について、理科の目標との関係から述べることにする。

理科の目標における二つの側面

下の図式は理科の目標のそれぞれの側面と自然科学との関連を示したものである。



理科の学習指導では、一方において、生活や産業にとって基本的な自然科学の知識を習得させることを目的とし、他方においては、自然環境に対して科学的な見方考え方で接し、科学的な処理のしかたでこれに適応する能力を育てることをねらいとして行なわれる。前者の立場からすれば、理科のねらいとするところは人類の歴史的所産である自然科学という文化遺産を伝達することによつて、学習者を現代の生活の中に組みこもうとするかに見える。このような教育の機能は伝統的なものであるにもかかわらず、自然科学が生活や産業の中へ高度にしかも多面的にとり入れられている現代においてこそ、いっそう強調されなければならない側面であろう。

後者の科学的な思考力や処理能力を主要任務とする立場からすれば、理科のねらいとするところは、生活や産業を合理的・創造的・実証的に改善し、社会の進展に寄与することのできる人間の形成にあるといえよう。どのような科学的思考や処理の能力を育成することが生活や産業の改善に役立つ社会の進展に寄与することのできる人間を形成することになるかの根拠としては、人類が自然科学を創造し、それによつて生活を向上させてきた過程で、その心と手をどのように働かせてきたかの姿に求めることができる。そして現代の児童生徒に対しても、そのような働きを身につけることの可能性を期待するのである。またさらに、そのような能力を身につけた児童生徒は、かつて人類が自然科学を創造し生活や産業を発展させてきたと同じように現代の自然や生活に対して常に科学的な構えで立ちむかい、自然科学の発展や生活の改善に寄与することができるようになると思ふからである。現代の理科教育では、特にこのような側面の育成が強調されている。

理科におけるこれら二つのねらいは、これを歴史的に見れば、そのおおまかな流れとしては、科学的知識の伝達を重要任務としてきた理科教育初期の時代から、しだいに科学的能力の育成を重視するようになってきたものと考えられる。とくに戦後の理科教育では、自然の事物現象を科学的に見たり考えたり処理する能力の育成が強調され、それが比較的身近な生活の実用性などと結んだため、ともすれば、科学的知識習得の発展的関連性が軽視される結果となつて、他の側面からする学力低下の批判を受けざるを得なくなった。

学習過程における二つの側面の一体性

今日の理科教育では、以上二つの側面をどのように統一してその実現をはかるかということを中心な課題としている。科学的方法を科学的知識習得のための方法原理としてではなく、逆にまた、科学

的知識内容を科学的方法を身につけるための単なる素材としてでもなく、共に目的として同時にその実現をはかるにはどうすればよいのか。この研究における課題も根本的には以上の点にあるわけであって、理科教育の目標として考えられる二つの側面を具体的な学習の場でどのように統一し、科学的な心的行動的傾向性（態度）にまで高めるかにあると云ってよいのである。

科学的知識を理解するという側面と、科学的能力が高まるといふ側面との関係を、さらに学習の過程における関係から考察してみよう。

習得された知識は、学習者のエネルギーとなって日常生活における実用的な場面や、より高次の知識を獲得する場面ではたらかすことのできるものでなければならない。それならば、学習者のエネルギーとなつてはたらく知識は、どのようにして身につくものであろうか。ここでは、必然的に知識を理解する過程の姿が問題となる。この過程は同時に科学的な思考力や処理能力が関与する過程でなければならぬ。

また、科学的な能力といつても、それは実質的な内容から抽象された単なる形式としてではなく、科学的な経験内容や知識を操作する具体的な働きとしてみなければならぬものであろう。科学的な経験や知識の操作はなれて科学的能力はあり得ない。

このように考えてくると、理科の目標における二つの側面の統一の姿は、学習の結果としてではなく、学習の過程においてこそみられるものでなければならぬ。したがって、科学的知識を理解する過程は、科学的能力の高まる過程であり、科学的能力の高まりは、既得の知識を駆使しながらより高次の知識を理解したり、知識を生活のさまざまな場面に適用したりする過程で実現するものであって、それぞれの側面の学習過程における一体性を強調しなければならない。そしてこのよき過程の連続的累積が科学的な態度として人格に統合されるものであろう。

この研究で理解の側面からみようとす理由

以上のように理科の目標にみられる二つの側面の、学習過程における一体的統一的な達成を意図しながらも、この研究では、そのよき学力形成を科学的な事実や概念・法則の理解といふ側面から確かめようとするものである。同じく上記のよき目標観・学力観に立ちながらも、その学力形成を科学的思考の面から、または科学的技術・技能の面から確かめようとする観点も認められるであろう。あるいはまた、理科の学習が自然の事物現象を直接その対象とし、これを科学的に認識する過程として構成しようとする立場による試みも行なわれている。

このよき理科の学習過程研究の動向の中にあつて、この研究では科学的な事実や概念・法則の理解といふ側面をとりあげようとしているわけであるが、つぎに、その理由について述べてみたい。

第一には、各種の学力調査の結果、理解上の欠陥が指摘されているといふ、この研究をとりあげた直接の動機によるものである。理解の欠陥が科学的思考の未熟さによるものとして科学的思考育成の面を強調することも当然なことであらうし、児童生徒の自然認識の段階が学習指導の場で適切に組立てられていないためであるとして、自然認識の順序性をたしかめようとすることも重要なことである。しかしながら、この研究では、それらの立場をじっくりと認めて取り入れながらもあえて理解といふ側面から、学力形成の正しいあり方を追求しようとするものである。そして、科学的知識の理解といふことが、科学的思考の育成や、自然認識の順序性などと矛盾するものでないことを明確にしたいからでもある。

第二には、理科の学習指導が科学的な事実や概念・法則を理解するといふことを実質的な内容とし

て行なわれていることを肯定するからである。理科の目標とするところを要約するならば、その中核的なねらいは、自然環境の自然科学的認識にあるといつてよいであろう。したがって、認識すべき方向と内容は現代自然科学の知識体系にあり、これを教育的にみれば、児童生徒の発達に即応しながら自然科学の知識体系に近づいていく理解の深まりをどのように構成するかの問題となる。学習指導要領の指導内容中に示されている科学的な事実や概念・法則などは、上記のような意味での理解内容（知識）を発達の観点から選択配列したものと考える。

この研究は、以上述べたような理由にもとづいて、理解という側面から理科学力の形成過程を明らかにしようとするものである。つぎに、理解過程について、この研究ではどのように考えているかを述べることにする。

(3) 理解過程について

理解の構造と過程

理解ということの本質的な意味は関係把握である。理科学習においては、自然の事物現象間の関係を自然科学的に意識化することとなる。自然科学的な関係把握の中核となるものは、自然の事物現象間の因果関係の追求であり、その過程で異同関係や包摂関係が介在する。科学的な事実や概念・法則などは、このような意味における関係把握の結果として客観化されたものである。したがって、科学的な事実や概念・法則がどのようにして理解されるの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したらよいのか、または理解されているかの構造を見きわめ、つぎにそのような理解に至る過程をとらえなければならぬ。このような理解の構造と過程との関係は、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、理解構造がつきつきと発展的に変容していく姿とみることができよう。

理解過程の様態とそれに関与する心的要因

このような意味における理解過程はどんな様態をもっているものであろうか。その様態は二つの方向からみることができる。

その一つは、さまざまな自然の事物現象の中から、目的にそって共通点を抽象しながら新しい関係把握についての見通しを立て、典型的な事物現象によってたしかめることによって理解が深まる抽象化の過程である。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ろう。

他の一つは、このようにして一次的に理解した概念や法則を、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拓める一般化の過程である。このような過程では、どちらかという演繹的推理が中心になってはたらくものであろう。

理解過程の進行を原則的に見るならば、第一の過程が先行し、その後第二の過程がつづくものも考えられるが、必ずしもこのような形式どおりに進行するものではなく、第一と第二の過程は互に関連し合いながら一体的に進んでいくものではなからうか。そしてある場合には、どちらかという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引き出されるという様態を示すものであろうと思われる。

そして、いずれの場合でもその中核となるすじ道は、既有的知識・経験そのままの再生では納得し得ない場面に直面し、その場面を自己の理解構造の中にとりこもうとして（問題意識）、場面の構造

や理解の構造の關係的な操作による変容を試みながら見通しを立て、それをたしかめるという問題解決的な過程として展開されるものであろう。

このような理解過程を成立させるための中核的な役割を果す学習者主体のはたたらきは科学的思考といわれるものであろう。このはたたらきは、自然の事物現象間の關係把握を事物現象そのものによってたしかめながら、より一般化し合法則化してとらえようとする方向をめざすものであって、その過程では、抽象—概括、推理—判断という思考形式をとるものである。

また、理解過程の成立に關与するその他の主体的要因として、既有経験・感覺・知覚・記憶とその再生などの心的機能の役割を無視するわけにはいかない。これらの機能は科学的思考の展開と有機的な關連をもつものである。

以上は、理解過程を理解構造の發展的な変容の過程とし、その過程の展開構造とそれにかかわる心的諸要因について述べたものである。

この研究のねらい

この研究では、科学的な事実や概念・法則などを自然の事物現象間の關係として理解する過程を明らかにすることを目的とするものであるが、明らかにするという内容として三つの観点を示しておきたいと思う。

第一の観点としては、先に述べたような意味における理解過程の一般原則を明らかにしようとするものではなく、理解内容に即してその具体化をはかり、一般原則を具体化する場合の手法や留意点を見出すことを目的とするものである。このことは、理科学習指導における実践的課題でもある。

第二の観点としては、理解内容に即した理解過程の原型をとらえたいということである。第一の観点到けたように、理解内容に即して理解過程の具体化をはかるといっても、その具体化の姿は、地域や児童生徒の個人差によって異なるかもしれない。しかしこの研究ではそのような段階まで下がった特殊化を目的とするのではなく、いろいろな地域、さまざまな児童生徒に適用し得る理解過程の原型を理解内容に即してとらえようとするのである。

第三の観点としては、理解過程の具体化・原型化の中で、科学的思考や知覚・記憶・既有経験などの心的諸要因がどのようにがかり合って理解が成立するものか、または理解の成立をさまたげるものかの極相を確かめ、理解内容に即してそれらの性格を明らかにしようとするのである。先に、理解過程を、科学的思考を中核とし、既有経験・感覺・知覚・記憶とその再生・技能などの心的行動的機能が有機的一体的に關連し合いながら進行する問題解決的過程であることを述べた。このような理解過程を明らかにするといっても、その過程における心的機能がどのように動いていくかの時間的な変化の構造そのものを、特に中心転換とか洞察とかいわれている過程の心理的機制そのものを、この研究ではとらえようとはしないし、またそれはとらえられないことである。この研究でめざすところは、中心転換や洞察が成立する契機となつた条件を理解内容と心的要因との關連においてみよりとするのである。

この研究では以上述べたような観点から理科学習における理解過程をとらえようとするものであるが、ここでさらに、学習指導との關係について考察しておくこととする。

(4) 理解過程と指導について

理解過程と指導過程

この研究では、先に述べたように理科学習における理解過程をさまざまな理解内容に即して具体化し、その原型を明らかにすることを目的とするものであるが、そのような過程は同時に指導という教育的機能がはたらく過程でもある。理科学習において児童生徒が理解すべき知識内容は既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。いいかえるならば児童生徒が自然の事物間の関係をそれぞれ勝手な方向に把握していく過程ではなく、その方向と内容は現代自然科学の知識体系への段階として一応規定されているのである。そのような方向に児童生徒の理解構造を高めていこうとするならば、その理解過程は同時に指導過程でもあるということができよう。これを指導という側面からみるならば、児童生徒に理解させようとする事物現象間の関係としてどんなものがよいか、その関係はどんな構造をもつのか、その関係を理解させるためには、どんな素材をどんな順序でどのような方法で提示したらよいか、その過程でどのような助言や指示が必要なのかなどが指導過程における問題となる。したがって、理科学習における理解過程を明らかにする場合、いつでもこのように指導すればという前提条件がついてまわるわけである。

学習指導の場における理解過程

実際に行なわれている学習指導は、何十人かの児童生徒によって編成されている学級を対象としている。このように場における理解過程が、どのような性格をもつものであるかも考えておくことが必要であろう。

学習指導の場における児童生徒の理解過程の基本的な構造は、教師の働きかけのもとに行なわれる理解内容(教材)と児童生徒の心的行動的なのはたらきとの関係としてみることができよう。しかしながら、このように場における個々の児童生徒の理解過程は必ずしも同じくはないのが当然であるし、それに応ずる教師の働きかけも画一的になつてはならないはずである。また、児童生徒の理解過程に働きかけるものは教師だけではなく、児童生徒相互間の働きかけあいも大きな役割を果たしているはずである。近時このように集団思考に対する教師の役割もきわめて重視されている。しかもさらに、理解内容とは直接的なつながりをもたない、児童生徒の性格・知能・環境などによってかもし出される社会的な人間関係や、教師と児童生徒との人格的な接触関係、それらによって作り出されている学級の雰囲気などの要因が、児童生徒の理解過程に積極的または消極的な影響を与えることも見逃すことができない。

理科学習における理解過程をとらえようとする場合、学習指導の場における児童生徒の理解過程が上記のような複雑な要因に支えられていることも吟味しなければならぬことの一つであろう。

この研究のねらい

理解過程と指導との関係が上記のようなものであるとするならば、この研究では、それらの関係のどこに焦点をすえようとするのであろうか。つきにこの研究におけるとりあげ方について述べておきた。

理科学習における児童生徒の理解過程が、教師のはたらきかけ(指導)に支えられながら進行する過程であることは、先に述べたとおりである。この研究では、このように指導と学習の一体的関連の過程を、児童生徒がどのような理解過程をたどるかという側面からみようとするものである。したが

って、あるがままの理解過程ではなく、あるべき望ましい理解過程の、理解内容に即し 発達段階に即した原型を確かめることをねらいとするもので、これを裏返えせば、望ましい指導過程とみることもできるものである。

つぎに、この研究では、理解過程の成立・不成立に關与する学習指導の場のすべての条件を分析して、それとのかかわりあいを明らかにしようとするものではない。この研究では、先に述べた学習指導における教材と児童とのかかわり合いの過程を指導するという基本構造に着目し、教材と個々の児童生徒のかかわり合いの共通点を明らかにして、学級全体としての理解過程の原型を明らかにすることに焦点をおこりとするのである。

(5) 理解内容の選定について

いままでに、理科学習における理解過程をとらえることについて、理解の目標・理解過程の意味・理解過程と指導の關係などからこの研究の趣旨について述べてきた。以上のよきを趣旨で理解過程の具体化をはかりとるとき、つきに限定しなければならぬことは、どのよきを理解内容を対象とするかの問題である。

具体的理解過程は、理解内容の論理的・心理的な性格に依存することはいりまでもない。このよきを理解内容の性格は、これを大きく分けるならば物理的・化学的・生物的・地学的な各分野の性格と発達段階的を観点から見ることができよう。このよきを観点によって分類されるすべての理解内容についてその理解過程を明らかにしようとすることは容易なことではない。この研究では、これらのうち、物理的分野における抽象的な概念の理解について特に取り上げることとした。したがって、これを発達段階からみれば、主として、小学校高学年から中学校の段階における問題とみることができよう。このよきを理解過程をとりあげた理由について、つきに述べておきたいと思ふ。

第一の理由は、学習指導に關する課題意識によるものである。学力調査の結果や学習指導の現状からみると、抽象的な概念や法則に關する習得された知識と、それらの概念や法則で説明し得る事物現象とのつながりが児童生徒の意識構造の中に成立していない場合が比較的多いように思われる。この点は小学校高学年から中学校にかけての大きな問題であろう。

第二の理由としては、物理的分野の概念や法則が自然科学的にみて最も典型的なものであると考えられるからである。またそれだけに、これを心理的にみれば最もむずかしい理解内容であるともいえるであろう。小・中学校においては、このよきを特質が他の分野に比べてはつきりあらわれている。多少性格はちがうけれども、このよきを特質は化学的分野にもみられる。この研究では、第一の理由にあげた学習指導に關する課題意識と關連して、特に小学校高学年から中学校にわたる物理的分野の概念や法則の理解をとり上げることとしたわけである。

第三の理由としては、このよきを分野と発達段階をとりあげることが、研究作業からみて比較的容易であると考えられたことである。生物的分野や地学的分野は、野外観察調査や継続的な観察測定が必要になる場合が多いため、理解過程の観察分析に多くの障害が伴い、現在のところ方法的に困難であると考えられる。また化学的分野の理解内容は、現在選択配列されている内容の論理的・心理的性格がさまざまであって、しかも系統的にみることがむずかしいように思われる。これらにくらべて、物理的分野の理解内容はその論理的構造が分析しやすく、また発展的な系統性もとらえやすいし、さらに比較的短い時間で研究のまとめをつけやすい場合が多いと考えられる。

以上のように理由によって、この研究の内容としては、小学校高学年から中学校に至る間の物理的
な概念や法則の理解をとりあげることとした。

またこの研究では、第一次の作業として熱現象に関する理解内容をとりあげることとした。小学校
高学年から中学校に至る間の物理的的概念や法則にはいろいろあって、それぞれ固有の理解構造をもち、
その理解過程もそれぞれの特徴をもつものと考えられる。これらの概念や法則の中から第一次の研究
素材として特に熱現象に関するものを選んだ理由として強調すべき根拠があるわけではない。しかし
強いてあげるならば、第一には、熱現象に関するごりした意味での研究が比較的少ないということ、
第二には、従来の学習指導では熱現象に関する指導が比較的安易に考えられ、ともすれば単なる観念
的な記憶学習に走りやすく事実の論理的考察による理解に欠陥があるのではないかと反省されること、
第三には熱や熱量に関する理解とそれによる熱現象の統一的理解が案外むずかしいのではないかと予
想されること、第四には、現行指導要領における配列にも問題が残っているのではないかと考えられ
ること、第五には、熱現象に関する小学校高学年から中学に至る理解内容が比較的まとまっているこ
となどをとどである。

2 研究の目的

以上述べてきた主題設定の趣旨の中で、この研究のねらいとするとところはしばしば明らかにし、次
第に研究の目的をしぼってきた。ここでは、これまで述べたことを要約して、この研究の目的を明示
しておきたいと思う。

研究目的

小学校高学年から中学校に至る間に学習する物理的分野の抽象的な概念や法則について、その理解
過程を指導との関連構造の中で具体化し、発達段階に応じた望ましい理解過程の原型を明らかにする
ことによって、主として物理的分野の学習指導改善に役立てようとするものである。第一次の研究内
容としては、さし当って熱概念の理解過程を明らかにすることを目標として研究作業を進めることと
する。

3 研究の方法

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、児童生徒の理解過程を、主として観
察記述による方法を中心にしながら収集し、それらを総合することによって望ましい理解過程を指導
との関連構造として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、はじめから理解過
程についての仮説を設定し、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仮説を次第にた
しかなものにしていこうとするどちらかという演繹的な進め方もある。さらにこれらを一連の作業
過程の中で位置つけて行なう方法も予想されるところである。

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
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を質問紙法を中心としてとらえるこ
とからはじめ、その結果を資料としながら理解過程についての仮説を設定し、これを次第に集団とし
て行なわれる学習指導の場へ適用しながらたしかめるという方向に進めることとした。このように進

め方をとる理由としては、つぎにあげたとおりである。

- ・学習指導の場では、理解内容に直接的な関係をもつ論理的条件と心理的条件のほか、学級という集団における対教師や児童生徒相互間の人間関係、児童生徒をとりまく家庭的社会的環境条件など、さまざまな条件がかみ合っているため、それらの中から必要条件を抽象することが困難であること。
 - ・また集団の学習の場では、児童生徒個々の理解構造や理解過程をとらえることが方法的にむずかしいと予想されること。
 - ・児童生徒個々の理解構造や理解過程についての資料を得ておくことが、集団としての理解過程を仮説する場合の基本的資料として重要であると考えられること。そのためには、仮説した理解過程をいきなり学級集団の中へもちこむよりは、まず個人または小集団の中でしだいにねり上げていくことが、その後の学習指導場面への適用とそこでの実証を容易にする予想したからである。
- 以上のよきを理由にもとずいて、この研究の手順と方法をつぎのように計画した。

- ① 生活経験や学習経験の結果として意識化されている児童生徒の理解構造が、理解すべき内容の構造からみてどのようになっているかの課題を質問紙法によって調査する。

この調査は、この研究でとりあげる理解内容(科学的な概念や法則)を学習することになっている学年と、その前後の学年を対象として実施する。したがってこの調査は、既に学習した児童生徒にとっては学力調査の性格をもち、未学習の児童生徒にとっては理解という観点からみたレデネス調査の意味で行なわれるものであって、この両方を関連的総合的に考察することによって、理解構造にみられる問題的傾向を明らかにするとともに、理解過程における問題場面を予想しよとするものである。

- ② 科学的な概念や法則の理解過程についての第一次仮説を設定し、これにもとづいて、小集団を対象とした面接を事例的に行なりことによって、理解過程における問題点の性格をより明らかにする。

理解過程についての第一次仮説設定に当っては、原則的には、先に主題設定の趣旨で述べた理解過程の論理的・心理的構造にもとづき、上記調査結果を資料としながら、理解すべき内容に即してその具体化をはかるような方向で行なりこととする。つぎにこのようにして設定した第一次仮説にもとづいて、小集団を対象とした面接を事例的に行なりことによって、理解過程における問題点の性格をより明らかにしよとするのである。小集団を対象として面接を行なり理由については先に述べたとおりであって、一つには学習指導になるべく近い性格の場であり要求と、なるべく個々の児童生徒の反応過程をみたいという要求の両方ある程度満足させたいと考えたからにはほかならない。研究の手法としては、観察・記述とその考察によることを中心とする。

- ③ 発達段階に即応する理解過程の原型について第二次仮説を設定し、学習指導の場へ適用することによって、その仮説をたしかめるとともに、指導上の留意点を明確にする。

上記の小集団を対象とした面接結果にもとづいて、発達段階に即応する理解過程について、第二次仮説を設定し、学習指導の場でその一般化をはかるとともに、必要な指導上の留意点を明らかにする場合には、観察・記述による方法を中心に、質問紙法・面接法などの方法を関連的に駆使することが必要となる。

本年度(昭和36年度)は、熱概念の理解過程について、上記手順のうちの①②を実施したもので、この報告書はその部分の中間報告である。

II 熱現象の理解に関する実態調査

1 調査の目的

この研究では、物理的分野における抽象的な概念や法則の理解過程を、指導と関連させながら明らかにすることを目的とし、第一次研究として熱概念の理解過程をとりあげようとしたものであることは先に述べたとおりである。この調査は、熱概念の理解過程に関する仮説設定のための予備的段階の作業として、小・中学校の児童、生徒にとって、日常経験または学習経験の結果としての理解構造が、どのように意識されているかをみよとするものである。いいかえれば、このよきを調査によって、理解過程で予想される学習上の問題点についての、論理的心理的な様相をたしかめることができ、理解過程に関する仮説設定のための基本的資料として役立てようとするのである。

2 調査の内容と方法

(1) 学習指導要領にみられる理解内容について

日常経験または学習経験の結果としての理解構造についてその実態をたしかめよとするならば、理解構造をみるための枠組や観点が必要になる。この調査ではその枠組や観点を学習指導要領に示されている理解内容とその学年的発展の構造に求めることとした。このことは、先に理解過程と指導との関係について述べたことからみて当然なことであろう。つぎに、熱現象に関する理解内容の構造について考察することとする。

① 発展的考察

小1・2年では

この学年では、熱現象を正面からとりあげて学習するよき内容は配当されていない。したがってこの期の児童としては、物をあたためたりひやしたり、またはあたたかく感じたり、つめたく感じたりするさまざまな事実についての素朴で感覚的行動的な経験についての個別的な表象をもっているものと考えられる。

小3・4年では

あたたかさやつめたさをについての感覚的な判断を、温度の測定による客観的な比較におきかえるとともに、主として水や空気を素材としながら、温度の変化と体積や状態の変化の事実を因果関係として理解することをねらっている。しかしこの段階では、温度が上昇したり下降したりする原因としての熱を意識化することはなく、日常経験の中で用いられているあたためるとかひやすなどのことばやそれによて代表される操作と温度変化とを関係づけているものと考えられる。

小5・6年では

この学年では、温度の変化を熱移動による結果と考えられるよきに、その移動方式の三つの場合を識別できるようにすることをねらっている。しかしこのよきを事実を熱源との関係における物のあたためり方の類型とみることはできても、これを熱移動の方式とみることには、いろいろを困難が伴

りものと予想される。なおこの点については、中1年の理解内容とつながるものであり、定性的な段階における熱概念の理解とみることもできよう。

中1年では

温度と量との関係概念として熱や熱量を理解し、これによって温度の変化や物質の状態の変化・体積の変化などをある程度定量的にみることができるようになることを要求している。現行指導内容では、熱の本質を物質の分子運動とみることを高等学校で取り扱うことになっているので、この期の生徒としては、熱の本質を熱素的なもの考えるのが当然であると思われるし、熱量を温度と量との関係としてはかることにも困難が伴うものと予想されるので、さまざまな熱現象について熱移動による統一的な理解構造を得ることはなかなかむずかしいであろう。

中2・3年では

この段階では、熱が力にかわって仕事をしたり、仕事により熱がでたりする事実を考えさせることによって、エネルギーの概念を導入することになっている。このことは、力・熱・光・音・電気等の物質的諸現象についての統一的な理解構造への導入を意味するものであろう。しかしながら、熱発生メカニズムを分子運動によって説明することなしに、熱とさまざまなエネルギーとの関係をつけようとすると、その理解構造は素朴なものとならざるを得ない。それだけに生徒に意識化される理解構造はあいまいで雑多なものになりやすいと思われる。

② 理解内容の全体的関連構造

以上は熱現象に関する理解内容を現行指導内容の配列にしたがって発展的に考察したのであるが、つぎに、これらの全体的関連構造を図式化して示すこととする。

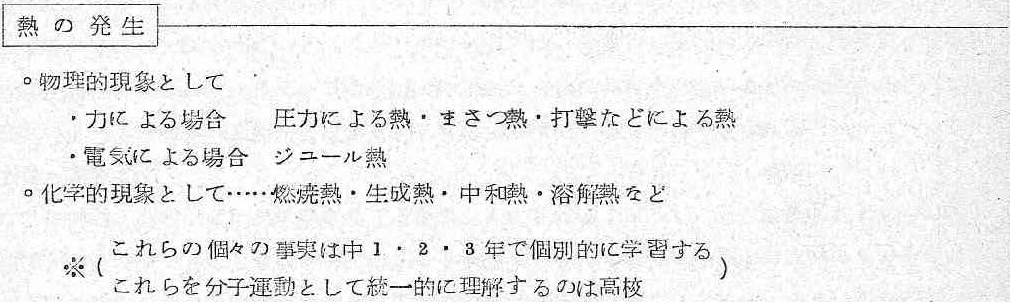
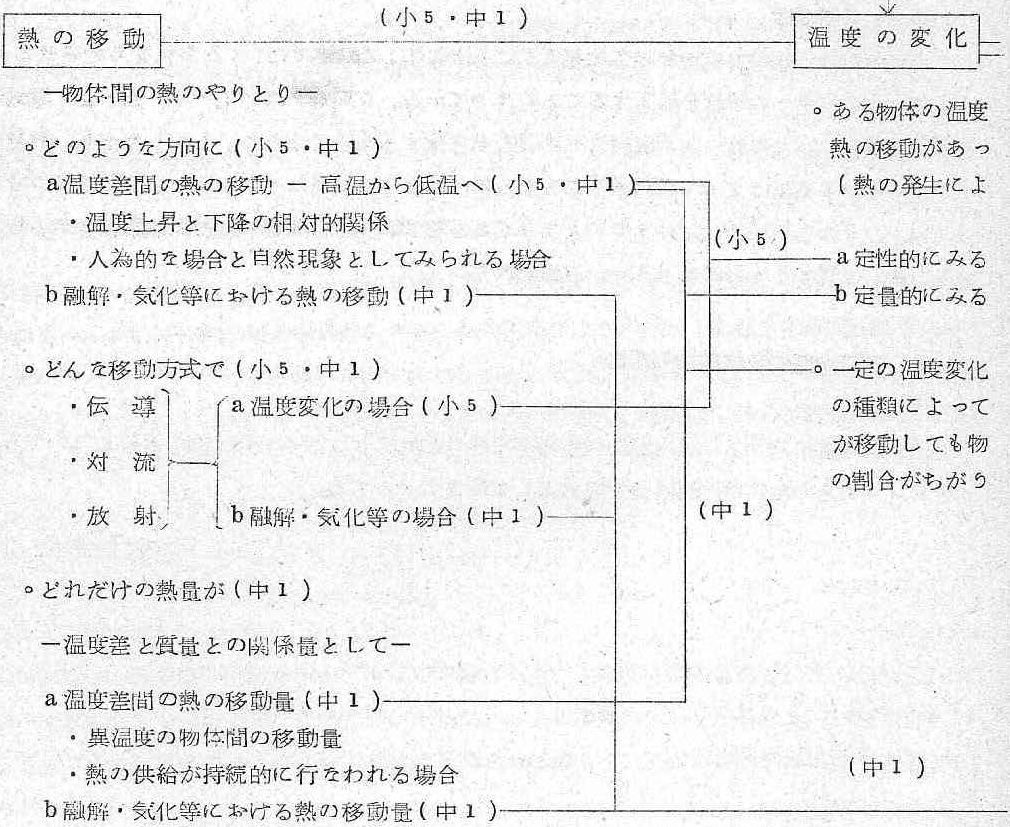
熱現象に関する理解内容の全体的関連構造

あたためたり、ひやしたり、あたたか
つめたく感じたり、とけたり、こおっ
水になったりする事実の個別的な経験

温度の客観的な測定による空間

熱の本質を熱素的なものとみる

物体内の分子運動とみる



く(あつく)感じたり
たり、湯気がたったり

的時間的な比較

(小4・中1)

体積の変化

(小4・小6・中1)

変化があった場合
たとみる(小5・中1)
る温度上昇は除く)

(小5)

(中1)

に要する熱量は物質
ちがう。→同じ熱量
質によって温度変化
……比熱の概念(中1)

- 温度変化に伴う体積の変化
 - a 固体・液体・気体による変化量のちがい(小4・中1)
 - b 物質の種類による変化量のちがい(小4・中1)
 - ・定性的にみる(小4)
 - ・定量的にみる—膨張導—(中1)
- 融解・気化等に伴う体積の変化(小4・中1)

物質の状態の変化

- 一定の温度で物質の状態が変わる(小4・中1)
 - ・水は 0°C でこおり 100°C でふつとりする(小4)
 - ・その温度は物質によりちがう(中1)
 - ・その温度は圧力によってちがう(中1)
- ふつとり点以下でも状態の変るものがある(小6・中1)
 - 蒸発・液化・昇華等の現象—
- 物質の状態が変化する過程では、熱の移動は行なわれているが温度の変化はない(小4・中1)
 - ・温度変化のない事実をみる(小4)
- ・熱の移動量を考える—融解熱・気化熱—(中?)

熱をエネルギーによる仕事とみる

エネルギーの概念

- ・熱によって仕事(力学的な)をすることができる。
- ・仕事をするのできるエネルギーにはいろいろある。
- ・これらのエネルギーは相互にりつりかわる。
- ・エネルギー総体の量はかわらない。
- ・エネルギー資源とその利用

※(これらについての定性的な理解は中8年・定量的な法則化は高校)

(2) 困難を予想される理解構造とこの研究でとりあげる内容

小・中学校における熱現象に関する理解内容の発展的・全体的な関連構造考察の結果、理解過程で予想される困難を理解構造を総合的にみると、第一は、熱および熱量の概念を温度から分化し、それによってさまざまな熱現象を統一的に理解する過程であり、第二は、さらにエネルギーの概念によって熱・運動・電気・音・光などを統一的に理解する過程であろう。この研究では、小・中学校の理解の発展を関連的にみることもねらっていることにより、第一の問題を研究内容としてとりあげることにした。しかもこのような理解構造の中核となるものは、熱および熱量に関する定性的理解にあると考え、熱と温度との分化過程ならびに熱移動の方向に関する理解内容を中心として研究を進めることにした。

(3) 調査問題について

調査問題の全体的観点

調査問題は、生活経験と科学的な事実・概念などの関係が、どのように構造化されて意識化されているか、どのような構造化ができていないか、その障害とをなっているものはどんなことかなどをとらえることができるようにする。このように作成の観点をやや分析的にあげればつぎのようになる。

- ・ 問題場面における既存の生活経験や学習経験にもとづく判断の傾向
- ・ 科学的な概念や法則に関する知識と科学的事実との対応の様相
- ・ 習得している知識の適用範囲と適用のしかたにみられる傾向
- ・ 類似現象の表面的な属性による判断の混乱や、未熟または誤った考え方の固着状況
- ・ 既存経験の積極的な役割と消極的な役割の様相

問題別の観点とその概要

調査問題は以上の全体的観点にもとづき、それぞれ理解内容の分節ごとに、しかも問題間の関連も考えながら作成した。各問題のねらいとその概要をつぎにあげることとする。

熱および熱量の理解

- ① あたため方を等しくし、水の量が異なる場合の水温の上がり方についての経験的な判断と熱概念によるその論理的説明
- ② ある量の水をある温度だけ高くするに要する熱の量は、量と温度に比例することの考察
- ③ 1カロリーの知識を与え、それによって、ある量の水をある温度だけ高めるに必要な熱量を求めること
- ④ 熱量の単位と面積や圧力の強さなどの単位の作り方との類似点の考察
- ⑤ 温度が異なる水を混ぜ合わせた場合の温度の変化について、経験的に判断できると予想される場合とそうでない場合の考察

熱移動の理解

- ⑥ 温度がちがう水を接触させたときに生ずる温度変化の事実と熱移動によるその論理的説明の様相
- ⑦ 熱が温度の高いところから低いところへ移ることについての知識のさまざまな事実への適用の様態
- ⑧ 熱の伝導に関する実験事実の理解ならびに温度差と伝導との関係の理解の様相

- ⑨ 対流による水のあたたまり方についての観察的事実と内部的メカニズムとの関係把握
- ⑩ 放射による熱の移動の性質についての理解
- ⑪ 色による放射熱のうけ方のちがいについての判断
- ⑫ 熱を伝えやすいものと伝えにくいものとの識別—伝導率と放射熱のうけ方との区別—
- ⑬ 水が熱の不良導体であることをたしかめる実験的事実とその受けとり方
- ⑭ いろいろな熱移動を伝導・対流・放射に類別することの様相

(4) 調査の対象と期日

○ 学 校

- ・北蒲原郡豊栄町立葛塚小学校 同 葛塚中学校 (平野部農村・農商地区)
- ・新潟市立上所小学校 同 鳥屋野中学校 (都市周辺住宅地区)

○ 学年・人数

- ・小学校……5年・6年
 - ・中学校……1年・2年
- 各学校各学年約100名ずつ、1地区では400名となる。

○ 調査期日 昭和36年6月

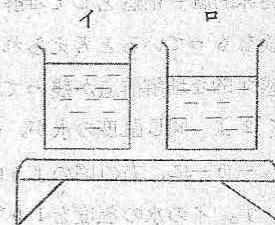
3 調査結果とその考察

調査結果の集計は、各問題の反応傾向を学年ごとに百分比であらわし、学年内の傾向や学年間の比較ができるようにした。各問題間の全体的な相関や個人別の構造は数量化することなく関係的に考察するに止めた。集計と考察は各地区ごとに行なったのであるが、集計の結果としてみると、両地区間に正答率の差はあるけれども、反応傾向については類似性が認められるし、またこの研究の目的としても地区間の比較を意図したわけでもないので、この報告書では葛塚地区の結果についてのみ考察することとした。つぎに問題別の結果を示し、それぞれについて考察することとする。

(1) 問題別の結果とその考察

[1] 同じ大きさのイ・ロ2個のビーカーに、同じ温度の水を右の図のように入れ、電熱器を使ってどちらも同じ強さであたためました。このことについて、つぎの(1)・(2)の間に答えなさい。

(1) どちらも同じ時間だけあたためたら温度はどくなりませうか。つぎのうち正しいと思うものの番号を○でかこみなさい。

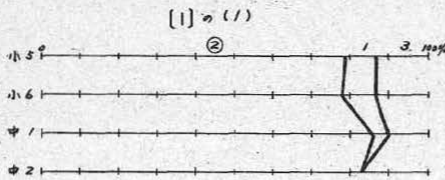


1. イの温度がロの温度より高くなる。
2. ロの温度がイの温度より高くなる。
3. どちらも同じ温度まで上がる。

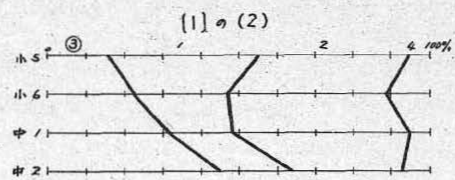
(2) この時に、イとロの水が電熱器からうけとった熱の量をくらべ、つぎのうち正しいと思うものの番号を○でかこみなさい。またそれをえらんだわけを書きなさい。

1. イがロよりも多い。
2. ロがイよりも多い。

3. どちらも同じ。



4. どちらがおおいともいえない。



※上図は各選択肢または解答類型への反応度数を百分比であらわした結果を学年ごとに帯グラフ化し、各学年間の反応傾向のプロファイルを示したものである。各選択肢または解答類型のうち正答には○印をつけてグラフの左端に置くこととした。以下各問題ごとの集計結果も、上記と同じあらわし方をするので、いちいち説明することははぶくこととする。

この問題は、あたため方を同じくし、水の量をかえた場合の温度の上がり方についての日常経験的を判断と、熱量の概念によるその論理的構造の説明の様相とを関連的にみることによって、温度と量と熱との関係把握における構造上の問題をさぐろうとしたものである。

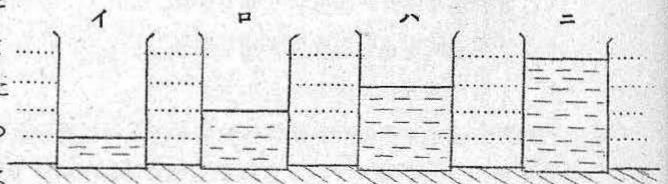
グラフに示したように、(1)の温度の上がり方についての判断は日常経験していることの適用であって各学年とも80%内外の正答率を示し、学年間の違いは認められない。どちらも同じ温度になると判断したものが各学年とも10~17%くらいあり、しかも中2年に比較的多く見られるが、これは題意の受けとり方のちがいに由来するものであると考えられ、おそらくどちらも100℃になることを念頭において反応したものであろう。

ところが、(2)の受けとった熱量の比較では、誤答が目立つようになる。熱や熱量についての学習経験をもっているはずの中2年でも正しく反応することのできたものは50%に満たず、温度の要因に支配されていると思われるもの約80%、量の要因に支配されているとみられるもの約20%となっている。このように温度または量の要因のみに支配される傾向は熱・熱量について未学習の小5・中1ではさらに大きく、若い学年ほどその傾向が顕著であることはグラフで示すとおりである。温度の要因に支配される意識構造は、温度が高いことと熱が多いことを同義とみているか、または温度を高くするにはより多く熱しななければならない(時間を長く、または強い火で)という日常経験が意識化されていることによるものであろう。また、量の要因に支配される意識構造は、水の量が多いほどより多く熱しななければならない(時間を長く、または強い火で)という日常経験意識化の結果であってそのような観点から題意すらも主観的によみとったものと考えられる。

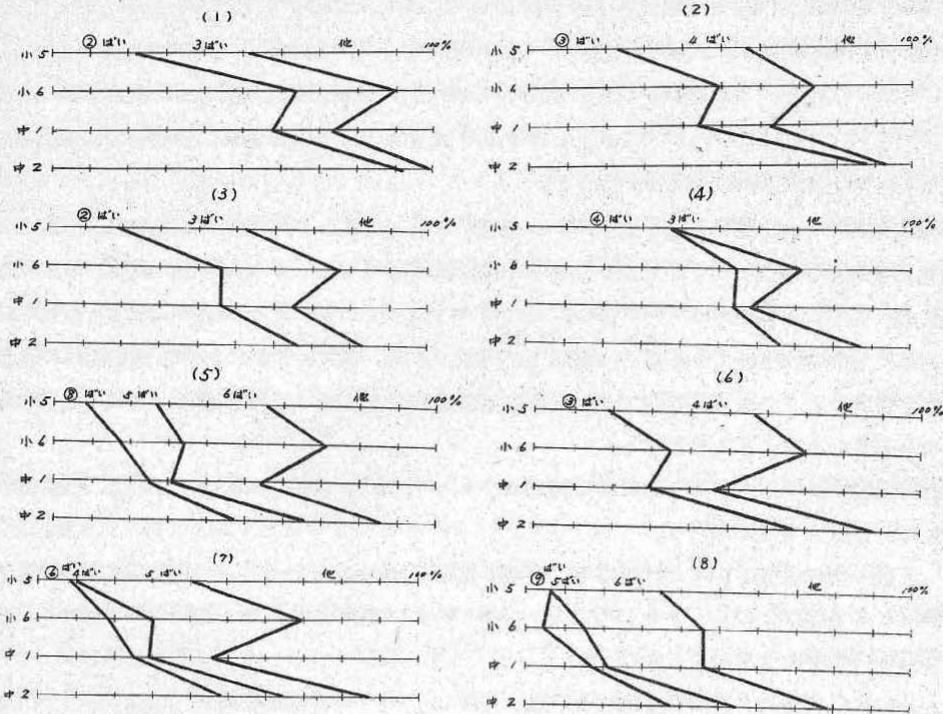
熱または熱量について学習する場合、以上のような日常経験における2つの側面をどのようにして關係的統一構造として理解するかに問題があろう。とくに、熱および熱量についての既有的学習経験をもっていると考えられる中2年でも、未学習の児童生徒がもっていると同じような、日常経験的感性的な理解構造が残っていることは注目すべきことである。

〔2〕 同じ温度の水が、同じ大きさのビ

ーカーに、右の図のようにはいっています。イの水の温度を10℃だけあげるために使われる熱の量をもとにすると、つぎのいろいろな場合に使われる熱の量はそれぞれその何倍になりますか。



- (1) 口を10度あげるには()ばい。 (5) ニを20度あげるには()ばい
 (2) ハを10度あげるには()ばい (6) イを80度あげるには()ばい
 (3) イを20度あげるには()ばい (7) 口を80度あげるには()ばい
 (4) 口を20度あげるには()ばい (8) ハを80度あげるには()ばい



温度と量と熱量との関係についての理解構造の様相を、熱量の多少が温度と量とに比例することを考察判断する側面からみようとしたものである。問題構成としては、(1)・(2)が量だけの変化と熱量との関係、(3)・(6)は温度だけの変化と熱量との関係、(4)・(5)・(7)・(8)は温度と量の両方の変化と熱量の関係というようにやや段階的にしてある。

まず各学年各問題にわたって正答率を概観すると、(1)・(2)の量だけの変化の場合が最も高く中2年では90%内外を示している。しかし小5年では、他の(3)以下の場合にくらべれば、正しい反応が多くみられるが、(1)・(2)ともそれぞれ20%程度の正答率にすぎず、このような関数的な把握の困難を示している。(1)・(2)については、(5)・(8)の温度だけの正答率が高くなっているが、(1)・(2)にくらべると大部下まわって、中2でも85%程度となる。温度と量の両方が変化する(4)・(5)・(7)・(8)の場合になるとさらに正答率は低くなり中2年で(5)・(7)は約50%、(8)は40%程度になり、中1年以下では困難度がきわめて高くなる。ただ、(4)の正答率が比較的高いのは一見理解しにくいことであるが、その理由については後述することとする。

つぎに各小問各学年を通して目立っている誤答傾向をあげてみよう。いちばん多く見られるものは「量の倍数+温度の倍数」とするものであり、つぎは「量の倍数+温度差の倍数」とするものである。小問(5)に例をとれば、前者は、水の量がイの4倍であり、温度をイの2倍にすることを認め、その関

係を $4 + 2$ として熱量は 6 倍とするものである。また後者は、水の量がイの 4 倍であり、温度は基準とするイより 10 度高くすることを認め、その関係を $4 + 1$ として熱量は 5 ばいになると判断してしまふものである。このような誤答を各小問ごとにもるとつぎのようになっている。

“量の倍数+温度の倍数”とする誤答……(1) - 3 ばい (2) - 4 ばい (3) - 3 ばい (6) - 4 ばい (5) - 6 ばい (7) - 5 ばい (8) - 6 ばい

“量の倍数+温度差の倍数”とする誤答……(5) - 5 ばい (7) - 4 ばい (8) - 5 ばい

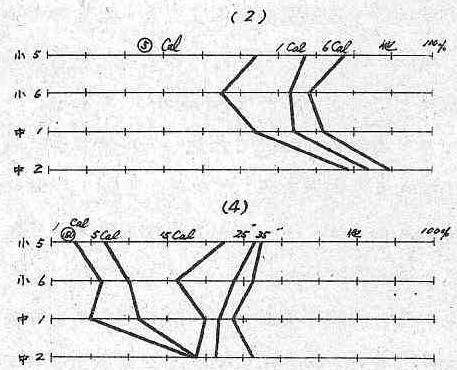
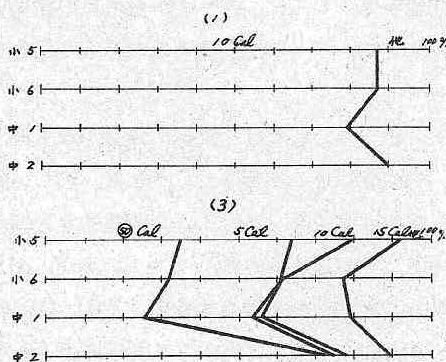
なお、(4)については、“量の倍数+温度の倍数”と考えて判断しても、結果としては正答になるので $(2 + 2 = 2 \times 2)$ 、このグラフで示す正答率は相当割引しなければならず、実際の正答率は(5)をすこし上まるものとなる程度ではなかろうか。

以上の誤答傾向は、熱量を考える場合になにかの形で量と温度とを関係づけようとする意識はあるけれども、関数的な関係として考えることがなく加算的に処理してしまった結果のあらわれとみることがができる。このような傾向は学年が進むにしたがって減っていることはグラフに示すとおりであるが、中 2 年でも相当数残っていることは理解上の問題である。算数・数学における数量関係の関数的把握と熱や温度のような視覚的要因でないものの心的操作とが関連する理解過程として、その様態をたしかめる必要があるように思われる。

また上記正答や誤答以外のその他雑多な誤答が小 5・6 年に多くあることは、このような関係判断のむずかしさを示すものであろう。

[3] 1 g の水の温度を 1 度だけあげるに必要な熱の量を 1 カロリーといて、これを熱の量をはかる単位とします。このことをもとにして、つぎのいろいろな場合には、それぞれ何カロリーの熱がいることになるかを求めなさい。

- (1) 1 g の水の温度を 10 度だけあげるには () カロリー
- (2) 5 g の水の温度を 1 度だけあげるには () カロリー
- (3) 10 g の水の温度を 5 度だけあげるには () カロリー
- (4) 10 度の水 30 g を 15 度にするには () カロリー



この問題の意図は前問[2]と同様であるが、前問が温度と量の割合だけを操作して、熱量増加の割合を判断させようとしたのに対し、この問題では、基準量として 1 カロリーの概念をまず与え、これを用いて温度と量の変化に伴う数量の算出を要求したものである。小問の構成からみると、(1)は温度だけの变化、(2)は量だけの变化、(3)・(4)は温度と量両方の変化の場合であり、とくに(4)は温度の変

化量の示し方が直接的でない場合である。

上記グラフで見るとおり、(1)の温度だけの変化の場合では小5年から中2年にわたって各学年とも90%近い正答率を示しているけれども、量だけの変化の場合では、小5年から中1年までは50%前後に下がり、中2年では80%程度となる。さらに温度と量の両方が変化する(3)の場合になると、小5年から中1年までは30%前後に低下するが、中2では(2)の場合にくらべて5%程度の低下にすぎない。この問題のような形での熱量計算は最も基本的な形として中1年で学習しているわけであるから、このような結果は当然のことであると思われるが、一面、未習の学年である小5年～中1年でも(3)で30%内外の正答がみられることは、このような形での数量関係把握の可能性についての注目すべき結果であるともいえよう。

つぎに上記正答率を前問〔2〕のそれぞれ対応する小問の正答率と中2年について比較してみよう。

- ・ 温度だけの変化の場合 [3], (1) - 90% [2], (3) - 67%, (6) - 67%
 - ・ 量だけの変化の場合 [3], (2) - 79% [2], (1) - 93%, (2) - 88%
 - ・ 温度・量とも変化する場合 [3], (3) - 74% [2], (5) - 58%, (7) - 48%
- (8) - 38%

この比較によると、量だけの変化の場合のみ〔2〕のほうが高い正答率を示しているが、他の場合、とくに温度と量の両方の変化する場合は〔2〕のほうが〔3〕にくらべて困難度が高くなっている。これは〔2〕の場合、量が図示してあったため量の視覚的要因が強く作用した結果と考えられる。〔3〕の場合はむしろ温度の要因が生徒の関係判断を支配しやすいことが〔3〕の(1)と(2)のちがいであらわれているとみることができよう。とくに温度・量とも変化する場合の〔3〕と〔2〕の正答率のちがいがきわめて大きいことは、熱量の理解過程における問題点を示すものである。

その問題点としては、数量計算方法を形式として知ってはいるけれども、熱量が温度と量の増減に比例する関係量であることの理解がふじゅうぶんであること、またはそのようを理解にもつじた数量的操作がうまくできないことのあらわれとみることができる。このような理解構造にみられる欠陥は、〔3〕、〔4〕の正答率が中2年でも36%と急に低くになってしまうことでも明らかである。

つぎに誤答傾向について考察してみよう。ここでの誤答傾向として目立つものはつぎのとおりである。

- a 温度だけの要因で判断するもの.....(2)の1カロリー、(3)の5カロリー
- b 量だけの要因で判断するもの.....(3)の10カロリー
- c 温度+量とするもの.....(2)の6カロリー、(3)の15カロリー

グラフで見るとおりこの問題では温度の要因に支配される判断がいちばん目立つようである。この傾向は前問〔2〕ではわずかしきみられなかつたのであるが、視覚的な媒介物を示さず概念の世界で操作することになると温度の要因が前面に出てくるものが多くなるのは、熱量と温度が分化されていないことのあらわれといえるであろう。この点は先の正答率についての考察で述べたことと符合する。したがってこの問題では量の要因に支配された判断がわずかに(3)の小5年にみられるだけである。

つぎに多くみられる傾向は、“温度+量”とするもので、この傾向は前問〔2〕でみられた誤答傾向と同様を意識によるものである。

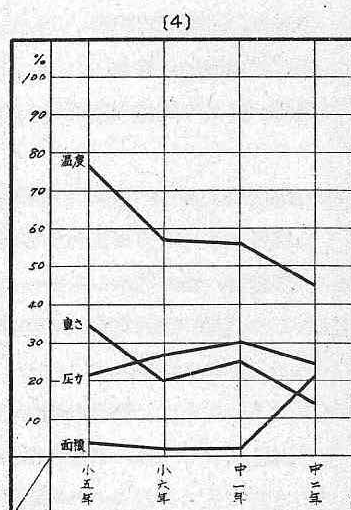
(4)の小問になるとこのような誤答傾向と温度差の示し方が間接的であることが複合して、多様な誤答を生じている。15度-10度……5カロリー、15度……15カロリー、10度+15度……25カロリー、10度+15度+10g……35カロリーなどとしたもの、その他多様な意味のない操作が多くなっている。しかもこのような一見意味のとりにくい複雑な操作結果と思われる解答の上記誤答に対する割合が上学年になるほど多くなっていることは注目すべきことであって、これを質的に考察すると、温度と量を操作しようとする多様な試行錯誤的思考結果のあらわれとみることもできよう。

〔4〕 熱量の単位(1gの水を温度1度だけ上げるに必要な熱量=1カロリー)の作り方と似ていると思う単位を、つぎの中からえらんで、それを○でかこみなさい。

重さ・長さ・面積・温度・時間・圧力

この問題は熱量が温度と量との関係量であり、その単位が2つの量の関係量として構成されているものであることの理解を他の単位との共通性の側面からみようとしたものである。

この問題についての反応結果を右図で示したのであるが、さすがに長さや時間に反応したものはきわめて少なかったもので図では省略した。このグラフで見るとおり、各学年をとおり、温度に反応したものがもっとも多くなっており、ついで重さに反応したものが多くなっている。しかもこれらの反応は下学年ほど多くなっている。このような共通点のとりえ方は、熱量の単位を温度と量との関係としてはみることができず、温度か量、またはその両方に個別的な対応をしたにすぎない。面積の単位の構成に共通点を見出し得たものは、中1年まではほとんどなく、中2年で20%程度あるにすぎない。

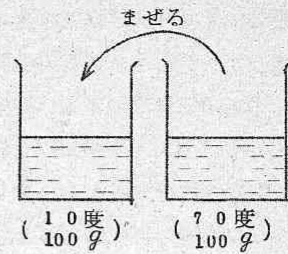
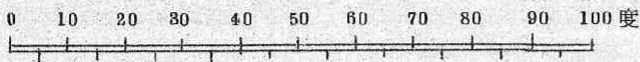


ところが圧力に共通点を見出したものがむしろ多くなっているが、圧力についての学習経験は中1年・2年であるわけであるから、小5年・6年のこれについての反応は、納得しにくいことである。このことについて面接の結果判明したことは、圧力に反応した児童の中には、素朴な意味におけるエネルギー的な考え方をしていることである。それは「熱は物をあたためる力がある。圧力も力である。」という意味で似ているという考え方である。このことから考えると中1・2年で圧力に反応した生徒の中にも、このような考え方をしているものがないとはいえないのであって、真に単位構成のしかたの共通性から判断したものはもっと少ないのではないと思われる。

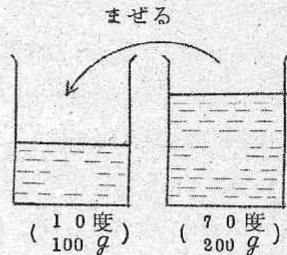
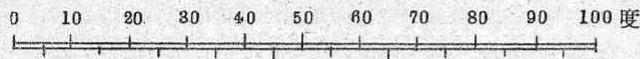
以上の結果は、物理量を構成し理解する過程の問題点としてくふうしなければならぬことを示すものである。

〔5〕 温度の高い水と温度の低い水とを混ぜあわせること
について、(1)・(2)の間に答えなさい。

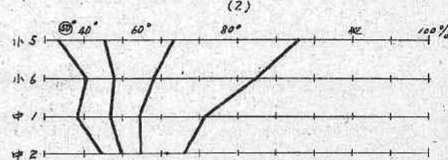
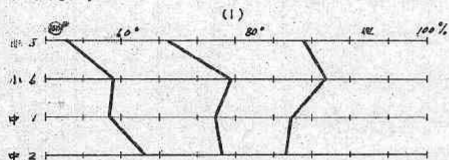
(1) 右の図のように、10度の水100gと70度の湯
100gとを混ぜあわせると温度は何度になりますか。
下の温度のめもりに●じるしをつけなさい。



(2) 右の図のように、10度の水100gと70度の湯
200gとを混ぜあわせると温度は何度になりますか。
下の温度のめもりに●じるしをつけなさい。



(計算)



この問題は温度が異なる水を混ぜあわせたときの温度変化を熱量のやりとりの結果として判定または算出できるかどうかをみようとしたもので、(1)は量の要因を除き、(2)は量の要因を操作しなければならぬものとして出題したのである。

このように熱量計算による温度の算出法は中1年で学習しているのであるから、中2年ではもっと高い正答率を期待したものであるが、結果は(1)でも26%、(2)では15%の正答率しか得られなかった。中1年以下では、とくに(2)の場合ほとんど正答し得るものがないのではないかと予想されたが、小5年で4%、小6年・中1年で約10%のものが正答していたことは興味あることである。

(1)の小問は、量の要因を考えずに温度だけの操作で、したがってまた熱量の概念をもたなくとも経験的に判定し得るという予想のもとに出題したのであるが、各学年とも正答は以外に低く、60度または80度とするものが多かった。80度としたものは、両方の水をいっしょにすると量が100g + 100g = 200gとなることから、温度も加えてしまったもので、このような問題場面と日常経験とが結びつかないことが原因と考えられる。湯に水をうめてぬるくしたり、水に湯を入れてあつくしたりする経験を意識化するような学習経験の必要を示すものではあるまいか。

また60度としたものは、ある程度経験と結んで考えることはできたけれども、温度が10度と70度の中央になるというところまでは考えつかず、単純に70度-10度としてしまったものであろう。経験のより正確な分析や実験、ならびに熱量の概念による論理化の必要を示すものと考えられる。

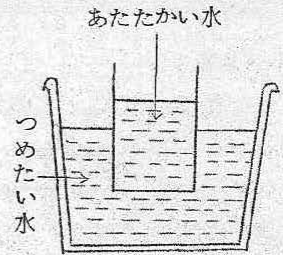
(2)の小問は熱量計算を必要とするものであるが、小5・小6・中1で正答し得た少数のものは、(1)が40度になることから、(2)の場合はそれより高くするはずと考え、おそらく50度くらいと考えたものが多いようである。この問題でも誤答傾向には(1)の場合と全く同じものが多いことはグラフで示すとおりである。またこの小問では40度という誤答が見られるが、その考え方としては、(1)の40

度をそのままもってきたものと、ここで $(10\text{度} + 70\text{度}) \div 2$ の操作をしたものがある。これらの誤答は、いずれも量の要因を操作の条件としてとりこまなかったものであって、熱量のやりとりとしてこの場面を処理できない結果とみることができよう。またいまひとつ注目すべきことは、中1年中2年では、小5・小6年にくらべて、その他の解答が目立つことである。これらの中にはきわめて複雑な計算操作をやるもの、とくに中2年では、熱量計算による温度算出法の誤った記憶、またはあいまいな記憶の再生によると思われる解答が相当数みられる。このような計算法の意味がじゅうぶん理解されていないことによるものであろう。

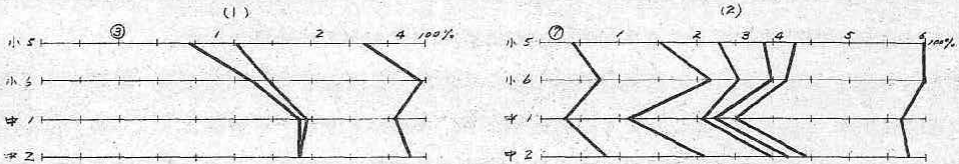
以上理解過程で予想される問題点を要約するとつぎのようになる。

- ・このような問題場面をとおして具体的な経験を意識化することができないこと。
- ・量の要因を操作の条件として考えにくいこと。
- ・温度の変化を熱量のやりとりと考えられず、算法の意味の理解がなされていないこと。

[6] つめたい水がはいっているいれものの中へ、あたたかい水がはいっているビーカーを、右の図のようにいれて、それぞれの温度がどのようにかわるかをしらべ、またそのわけについて考えました。つぎの(1)の文は温度の変わり方を、(2)の文はそのわけを書いたものです。それぞれについて、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。



- (1)
1. つめたい水の温度が、あたたかい水の温度まで上がって、どちらも同じ温度になる。
 2. あたたかい水の温度が、つめたい水の温度まで下がって、どちらも同じ温度になる。
 3. つめたい水の温度は上がり、あたたかい水の温度は下がって、どちらも同じ温度になる。
 4. つめたい水の温度も、あたたかい水の温度も、そのままかわらない。
- (2)
1. つめたい水が、あたたかい水をひやすから。
 2. あたたかい水が、つめたい水をあたたためるから。
 3. 温度が、つめたい水からあたたかい水にうつるから。
 4. 温度が、あたたかい水からつめたい水にうつるから。
 5. 両方の温度がまざりあうから。
 6. 熱が、つめたい水からあたたかい水にうつるから。
 7. 熱があたたかい水からつめたい水にうつるから。



この問題は、温度のちがう水同志を触れさせたときの温度変化の事実をどのように気づいているか、さらに、その事実が生ずる理由についてどのような理解構造をもっているかの様態をみようとしたものである。この理解内容は学習指導要領の小5年に配当されているものであって、出題に当たっての問題意識としては、このような事実の生じる理由を単純に熱の移動によるものであると理解させることにいろいろの困難点があるのではないかと予想し、児童生徒の素朴な考え方の実態をたしかめておきた

いと思つたからである。

(1)の小問は温度変化の事実をどうみているかをたしかめたものであるが、前記グラフで見るとこの様な場面を湯を水でひやすという日常生活における目的的な場面とみて、2の選択肢(あたたかい水の温度がつめたい水の温度まで下がって、どちらも同じ温度になる)に反応したものが、未習既習を問わず、相当の比率(小5-33%, 小6-40%, 中1-23%, 中2-29%)を示している。日常生活における目的的な場面では、湯がひえるということだけが意識化されていて、ひやすほうの水の温度変化は意識にのぼっていないためと思われる。水と湯の入れ方が反対の場合には、これを水をあたためる場と考え、1の選択肢のような判断も当然予想されるわけである。既習学年にもこのような反応が相当数残っていることは、実験をとりあげる場合に、日常生活にみられる目的的な場との関連について留意することがたいせつなことを示すものと思われる。

(2)の小問では、(1)のような事実の論理的説明を要求したものであるが、その結果は上記グラフに示すとおりである。このような事実の生じる理由を“熱が温度の高いほうから低いほうへ移つたからだ”とするものは、既習・未習を問わず、きわめて少ない。誤答傾向として目立つものは、5の“両方の温度がまじり合つたからだ”とするもの、ついで“つめたい水があたたかい水をひやしたからだ”とするもの、“あたたかい水がつめたい水をあたためたからだ”とするものである。

つぎに(1)で2をらびに3の選択肢に反応したものが、(2)ではどの選択肢に反応しているかをみてみよう。つぎの表は、(1)で2に反応したもののうち(2)の1, 5, 7を選んだもの、をらびに(1)で3の正答に反応したもののうち(2)の1・5・7を選んだものの百分比を示したものである。

			小5	小6	中1	中2
(1)	2	(2) 1	59	68	55	58
		5	6	5	9	8
		7	12	14	9	17

			小5	小6	中1	中2
(1)	3	(2) 1	25	17	28	32
		5	45	63	63	36
		7	5	10	6	16

この表でみるように(1)で“あたたかい水の温度がつめたい水の温度まで下がって……”としたものは、(2)では“つめたい水があたたかい水をひやしたからだ”とするものが多くなっている。これは日常生活における目的的な場の意識構造からみて当然のことである。ところが、(1)では正答を選んだものが、(2)では“温度がまじり合うからだ”とするものが多くなっている。また“つめたい水があたたかい水をひやすからだ”とするもの数も相当にある。“温度がまじあう”という発想は、水をうめたり、湯を入れてあつくりたりする場合の水がまじり合うことについての意識構造と対応する表現であって、熱や熱量の概念が理解されていないものにとっては当然の発想であるとも考えられる。また(1)で正答をえらんだものでも、(2)で“つめたい水があたたかい水をひやしたからだ”という生活目的的な説明をするものが相当数あることは、事実は認めていても、その論理化ができず、素朴な経験的判断にもどるものがあることを示すものであろう。

(1)・(2)をとおして正答をえらぶことができたものは、小5年で2名、小6年で6名、中1年で4名、中2年で10名しかみられなかつたことは、このような理解構造の成立が困難であることを示している。

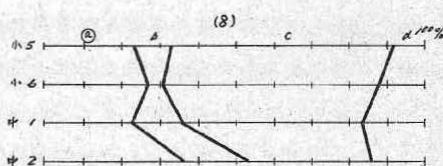
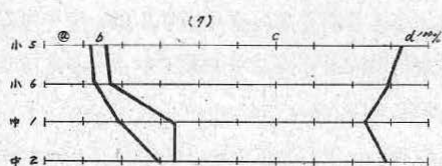
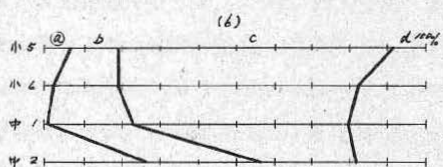
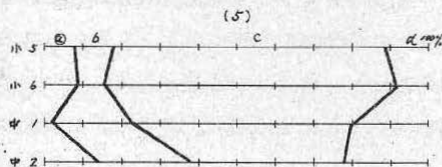
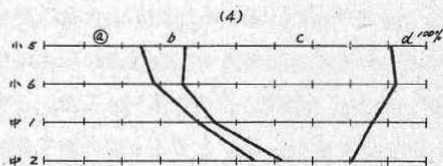
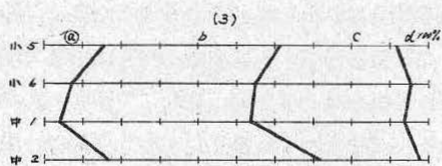
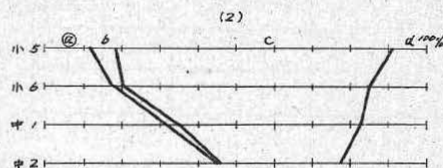
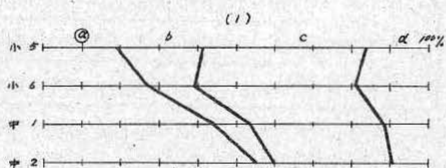
[7] つぎのいろいろな場合について、熱がどんな順序でうつるかを、例にならって書きなさい。

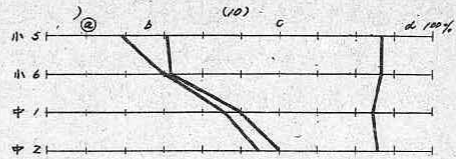
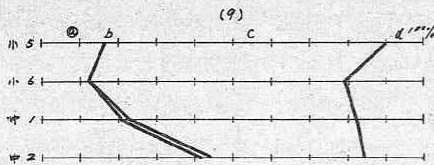
㊦ やかんに水をいれてストーブにかけた。……(ストーブ→やかん→中の水)

- | | | |
|---------------------------------|---|---|
| (1) 体温計で体温をはかった。 | (|) |
| (2) ハンダごとでハンダをとかした。 | (|) |
| (3) いど水ですいかをひやした。 | (|) |
| (4) ベケツに水をいれて日なたへ出しておいた。 | (|) |
| (5) 寒い朝、校庭の鉄棒をにぎったら、とてもつめたかった。 | (|) |
| (6) 氷にしおをませたものの中へ水をいれた試験管をさした。 | (|) |
| (7) おふろがあつすぎるので、水をうめた。 | (|) |
| (8) 水をいれたコップの中へ、こおりをうかせた。 | (|) |
| (9) 海岸の砂の上を歩いたら、とてもあつかった。 | (|) |
| (10) へこんだビンポンのたまをあつい湯にいれたらふくれた。 | (|) |

この問題の解答結果の処理に当っては、解答をつぎに示す a・b・c・d の四種類に分類し、各類型について百分比を算出した。

- 解答類型
- a……正答・熱の移る順序を高温から低温への方で書いたもの
 - b……熱の移る順序を逆にしたもの(低温から高温への方で書いたもの)
 - c……熱が移る物体を分析せず、たとえば、「寒い朝→校庭の鉄棒→にぎる→つめたい」のように事象を記述しただけと思われるもの
 - d……その他、判定困難なもの、または無答のもの





この問題は、「熱は温度の高いところから低いところへ移る」という法則的な知識が、どのような事実には適用しやすく、またどのような事実には適用しにくいのかの実態をたしかめ、このような理解を一般化する過程における問題点をとらえようとしたものである。

前問〔6〕をらびにそれ以前の問題に対する反応状況からみて、温度変化と熱移動との関係が理解されていないこと、または理解されにくいことは既に明らかであるから、この問題に対する正しい解答も多くは期待できないわけであるが、とくに目立つことは、温度差と熱移動という観点から、経験的な現象を分析的にみれないもの（グラフ中のCの類型）がきわめて多いということである。熱移動という観点から経験的な現象をみる場合、現象中にあるそれぞれの物体について、温度が上がるものは何か、また温度が下がるものは何かを分析的にとらえることがまず必要であり、その上で熱移動の方向を決定するという操作が行なわれなければなるまい。このような見方や操作ができない場合には、現象を常に全体像としてしか見れず、現象の時間的な記述に終わってしまう。

つぎにどのような現象に対する適用が比較的容易であり、どのような現象へは適用しにくいかをみてみよう。

小問(1)から(10)までを通覧してみると、ある物体の温度が上がるということが認められやすい現象の場合には他に比べて高い正答率を示している。

- (1) 体温計で体温をはかった。
- (2) ハンドごてでハンドをとかした。
- (3) バケツに水をいれて日なたに出しておいた。
- (4) へこんだピンポンのたまをあつい湯に入れたらふくれた。

これは、あたためるとかあたたまるというようなはたらきかけの方向を示すようなことばと熱移動の方向とが一致することや、熱移動の学習が主としてこのような場を素材として行なわれていることなどからみて、当然うなづけることである。

ところが、物体の温度が下がることが意識の中核を占めるような現象や、自分の直接的な感覚として「つめたい」と感じるような現象の場合になると、正答率は低下する傾向が見られる。

・物体の温度が下がることが意識の中核を占めるような場合

- (1) いど水ですいかをひやした。
- (2) 氷にしおをまぜたものの中へ水をいれた試験管をさした。
- (8) 水をいれたコップの中へ、こおりを浮かせた。
- (7) おふろがあつすぎるので水をうめた。

・直接的な感覚としてつめたいと感じるような場合

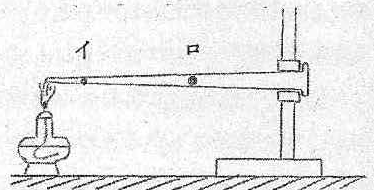
- (5) 寒い朝、校庭の鉄棒をにぎったらとてもつめたかった。

そして前者の場合と後者の(5)の場合の誤答傾向としては、熱の移動方向が逆になって、低温から高温へ移ると判断するものが目立っている。(bの類型の誤答) 前者の場合には、「ひやす」とか「ひ

える。とかいうようをはたらきかけの方向を示すことばの生活的な意味に支配された結果であり、(5)の場合は、つめたいと感じる自己の受身の立場が、外部からのはたらきかけの方向として受取られやすいのであって、自分自身を物体として客観的にながめることのむずかしさからくるものであろう。

このように見てくると、あたためる場合やあたたかくまたはあつく感じるような場合の正答率が比較的高いといっても、その意識構造としては、物体間の温度差を客観的に分析し、その上で熱移動の方向を高温から低温へと正しく考えているとは限らないようにも思われる。日常生活で用いることばから受けとるはたらきかけの方向や、感覚という主体的要因による方向などが、たまたま熱移動の方向と一致する場合の正答率が高かったともいえるのではあるまいか。もしそうだとすれば、熱が高温から低温へ移るといふことの理解は、きわめて困難な過程をたどらなければならぬものであろう。

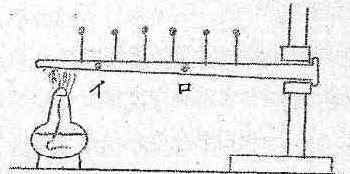
〔 8 〕 右の図のように火ばし先のアルコールランプの火で熱しました。このことについて、つぎの(1)・(2)・(3)の間に答えなさい。



(1) しばらく熱していると、イとロのところの温度はどうなりますか。つぎのうち正しいと思うものの番号を○でかこみなさい。

1. イの温度がロの温度より高くなる。
2. ロの温度がイの温度より高くなる。
3. どちらの温度も同じようになる。

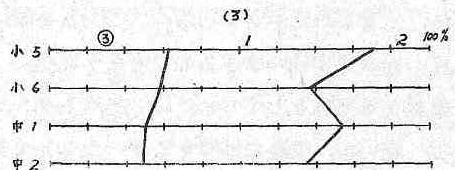
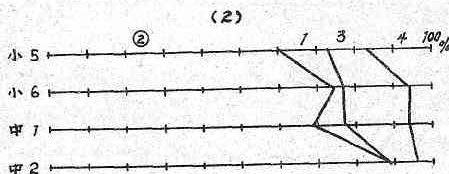
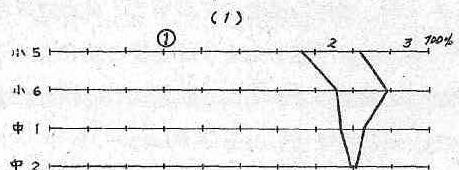
(2) (1)のことをためすために、図のように、マッチ棒をろうでつけてから熱してみました。マッチ棒はどうなると思いますか。つぎのうち正しいと思うものの番号を○でかこみなさい。



1. マッチ棒はみんないっしょにおちる。
2. マッチ棒は先のほうからじゅんにおちる。
3. マッチ棒は火ばしのもとほうからじゅんにおちる。
4. マッチ棒はおちない。

(3) (2)の実験をしたあとで、アルコールランプの火を消してから、しばらくすると、イとロのところの温度はどうなると思いますか。つぎのうち正しいと思うものの番号を○でかこみなさい。またそれをえらんだわけも書きなさい。

1. イの温度がロの温度より高くなる。
2. ロの温度がイの温度より高くなる。
3. どちらも同じ温度になる。



この問題は、伝導という熱の移動方式について、物体内の温度差と関係づけて理解しているかどうかの意識構造をさぐることを目的に、実験的事実の考察をさせたものである。

小問(1)・(2)の結果でみるように、温度が熱源に近いところほど高く、また、ろうをとかすほどの温度が熱源に近いほうから遠いほうに移ること(必ずしも熱が移るといわなくてもよい)については、小5年から中2年に至るまで高い正答率(60~80%)で理解しているように思われる。しかもこのように理解内容については未学習であるはずの小5年でも60~70%程度正しく反応していることは、実験的事実と日常経験との接近度が高いためではなからうか。

しかしながら、小5年の正答率が高いのに比べ、小6年以上の正答率の伸びが比較的小さいのは問題であろう。このように実験の理解過程におけるとりあげ方に問題があるように思われる。

(1)・(2)の正答率が高いのに反し、小問(3)では正答率が急に低くなり、グラフからみるところでは、学習するほど正答率が低下するようである。これはいったいどうしたことであろうか。その点について誤答傾向から考察してみよう。

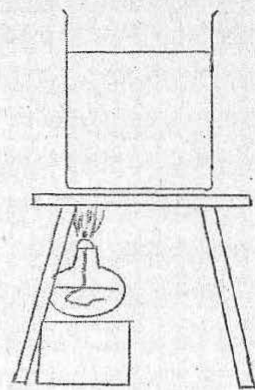
誤答傾向としては、グラフで示すとおり、熱源に近いイの温度が高いとするものがきわめて多く、つぎは、熱源から遠いロの温度が高いとするものとなっている。しかもロの温度が高いとするものが高学年になるほど多くなっている。

熱源に近いイの温度が高いとするものの意識構造はどうなっているのであろうか。この選択肢をえらんだ理由をたしかめた結果としていえることは、第一に、熱源をとり去ったあとのさめ方が火ばしの各部位で一律に下がると考えていることである。第二には“アルコールランプを取り去ってからしばらくすると、”ということ、取り去ってすぐにと考えたものであって、この点は問題提示の方法にも欠陥があったものと考えられる。しかしこの選択肢を選んだものの半数以上は第一のような考え方で反応しているのであって、熱源をとり去ってしまえば熱伝導は止まると考えているようである。

つぎに、熱源から遠いロの温度が高くなるかと考えているものはどうであろうか。このように考えるものは、熱伝導のメカニズムを、何か音波のようなものが伝わっていくという表象として描いているようである。温度の高い部分がつきつきと移動していくから熱源をとり去ればその部分が図の右方に移っていくと考えるわけである。

これらの誤答傾向にみられる熱伝導に関する意識構造の問題としては、“熱伝導を常に熱源との関係でみており、物体内の温度差間の現象であるとはみれないこと”である。また、“熱は温度の高いところから低いところへ移り、温度差がなくなれば熱移動も止まるということ”を物体内の温度差間には適用できない。結果であるともいえる。熱伝導の本質を理解するに当って、熱源となるアルコールランプなどがかえって邪魔になっているものであって、この点を考察する過程の必要を示すものであろう。

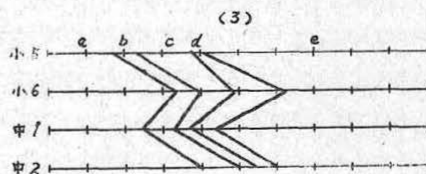
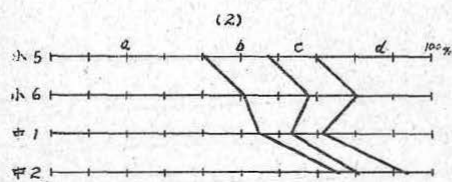
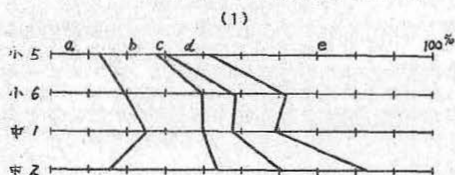
〔9〕 水のあたたまり方をしらべるために、ビーカーに水をいれ、こまかくしたちやがらやみそかすなどをすこしまぜて右の図のようにしてあたためました。この実験について、つぎの間に答えなさい。



- (1) 水の中にちやがらやみそかすなどをまぜておくのはなぜですか。
- (2) 右の図のようにしてあたためると、ちやがらやみそかすなどは、どんな動き方をしますか。図の中に→じるして書きいれなさい。
- (3) ちやがらやみそかすがそのような動き方をするのはなぜですか。

この問題は記述による解答を求めたものである。解答結果はつぎのように類型化して処理した。

- (1)
 - a……正答・水の動き方をみるためにちやがらをいれたとしたもの。
 - b……水のあたたまり方をみるためにちやがらをいれたとしたもの。
 - c……ちやがらやみそかすの動き方をみるためにいれたとしたもの。
 - d……水があたたまりやすいように、またはにえちややすいように入れたとするもの。
 - e……その他・または無答のもの。
- (2)
 - a……正答・矢印が下から上へ、上から下へと回転しているもの。
 - b……矢印がaと逆にあって、熱源に向かっているもの。
 - c……矢印が上にだけ向けられているもの。
 - d……その他・または無答のもの。
- (3)
 - a……正答・あたためられた水が軽くなって上に上がり、上からつめた水が下がってくるとしたもの。
 - b……蒸発や沸とうを原因としたもの。
 - c……ちやがらなどが動くのは、火の力または熱の力によるとしたもの。
 - d……ちやがらは浮きやすいなど、ちやがらやみそかすの性質によるとしたもの。
 - e……その他・または無答のもの。



この問題は対流による水のあたたまり方について、実験方法と実験によってみられる現象と、そのような現象が生ずる理由とのそれぞれの関係がどのように構造化されているかの様相をみようとしたものである。小問の(1)は実験方法と目的との関係把握を、(2)は実験によって見られる事実の認知を、(3)はそのような現象の生じる論理的説明を、それぞれ記述法によってみている。なお、児童生徒が記述したものを類型化した結果は既述のとおりで、上記グラフはその

類型ごとの百分率を示したものである。

小問(1)のグラフで見るように、ちやがらやみそかすをいれた理由として“水の動き方をみれるようにするため。”と正しく反応し得たものは意外に少なく、各学年とも20%前後にすぎない。これに反し、“水のあたたまり方を見るため。”と間接的に観念的な関係づけをしているものがむしろ多く、このように傾向は中2年でむしろ増加している。また、“ちやがらやみそかすの動きをみるため。”という近視眼的なものや、“水があたたまりやすいように。”“対流をおこしやすいように。”というように見当はずれのものも相当数あって、しかもこのような誤答傾向が上学年になるほどはつきりみられることは、注目すべき傾向であろう。いずれにしても、ちやがらをいれることの方法上の意味が正確に理解されていないことが推定されるのである。

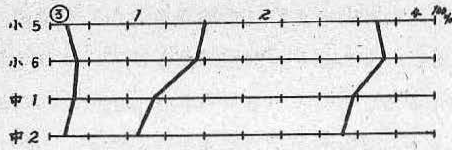
小問(2)では、ちやがらやみそかすの動きを問題にしたわけであるが、これはグラフでみるとおり、相当高い正答率(小5年—40%、小6年—50%、中1年—55%、中2年—75%)を示している。このような理解内容について未学習であると思われる小5年でも40%の正答が見られることは4年の時の水のふつとりの学習経験などから、水の動きについての表象がある程度できているためではないかと考えられる。しかしながら、児童生徒が図示した内容の質をみると、熱源との関係を考えず、ピーカーの中央付近から左右にまわるようなものも各学年をとおして若干数みられ、とくに学年の進むほど多くなるような傾向もあらわれている。このことを、逆回転の図示(bの類型)などと関連させながら考察すると、児童生徒の中には、“水はぐるぐるまわりながらあたたまるものである。”という固定化された観念的な意識構造をもっているものが相当数あり、熱源との関係や対流の生じる理由などを結びついていないのではないかと考えられる。また、対流とふつとりを混同しているものもあるように思われてならない。

小問(3)は水があたたまる時の動きの原因についてどのような理解構造をもっているかをみたものである。(2)の解答傾向から推測するならば、この原因を正しくとらえているものが少ないであろうことが予想されるのであるが、この小問の結果はそれを裏付けている。グラフでみるとおり、この原因を正しく説明できると思われるものが中2年でも40%にすぎず、蒸発やふつとりを原因とするもの、火や熱の力で動くとするもの、ちやがらの性質だとするものが各学年とも残っており、とくに火や熱の力で動くとするアニミズム的な考え方が下学年ほど多くなっている。また既習のものでも蒸発やふつとりと区別していないものがあつたり、ちやがらの性質だとするものがあることや、その他雑多な意味のとりにくいもの、あるいは無答のものが多いことは、対流のメカニズムについての理解構造が成立していないことを示すものであろう。

対流の生じる原因を、温度と体積の関係・体積と密度の関係・密度と浮沈との関係などと関連して考えられるようになる理解の過程に問題があるのではなからうか。

[10] 日かげよりも日なたのほうがあたたかいわけについて、つぎのうちいちばん正しいと思うものをえらび、その番号を○でかこみをさい。

1. 日なたの空気の温度が日かげの空気の温度よりも高いから。
2. 太陽からでた熱が空気をあたためながらだんだん伝わって体にとどくから。
3. 太陽からでた熱が、とちゅうの空気をあたためないで、直接体にうつるから。
4. 日なたの地面の温度が、日かげの地面の温度よりも高いから。



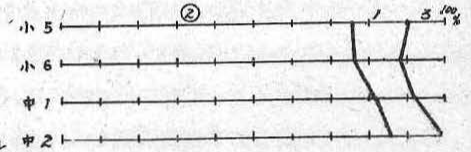
この問題は放射熱のうけ方について、伝導による移り方と区別して正しい理解が得られているかどうかをたしかめようとしたものである。

反応の結果はグラフでみるとおり、伝導と同じように考えているものが未習・既習をとわず圧倒的に

多くなっている。太陽熱が空気をあたためながら伝わってくるというように伝導と同じ考え方や、日なたの空気があたためかからだとする考え方がきわめて高い率を示していることは、放射という熱移動方式を理解することの困難さをあらわすものであろう。空気があたためられていないことをたしかめる実験方法の工夫とともに、宇宙間に空気がないことを考えさせたり、とくに伝導と比較させたりすることを理解過程の中へとり入れることが必要なのではなからうか。

〔11〕 黒い色をぬったフラスコと白い色をぬったフラスコに、同じ温度の水をいれて、ストーブのそばにならべておきました。しばらくして両方の水の温度をくらべたらどうなりますか。つぎのうち正しいと思うものを選んで、その番号を○でかこみをさい。

1. 白い色をぬったほうの温度が高くなる。
2. 黒い色をぬったほうの温度が高くなる。
3. 温度の上がり方はどちらもおなじ。



この問題は、放射熱のうけ方について、黒色のものと白色のものを比較させたものである。

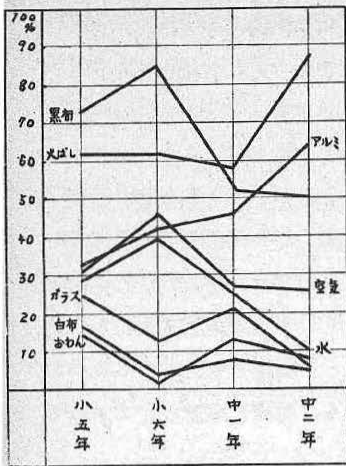
このような理解に関する限り、グラフで示すとおり、未習・既習を問わず80%前後の正答率を示しているので、ことさら学習としてとりあげる必要はないようにも思われる。しかしながら、前問〔10〕の結果と対照してみると、児童生徒が黒色と白色による温度上昇のちがいを、放射熱の吸収のしかたのちがいとして理解しているかどうかは、きわめて疑問視されるところである。前問〔10〕では放射による熱移動を伝導と同義にみているものが多いとすれば、この問題のような事実を、黒色の方が熱を伝えやすいと考えているのではなからうか。もしそうだとすれば、伝えやすいということと吸収しやすいということの区別をつけていないこととなる。この点については、さらにつぎの〔12〕で考察することとする。

〔12〕 ものによって熱をつたえやすいものと熱をつたえにくいものがあります。つぎにあげたものの中で、熱をつたえやすいと思うものを○でかこみをさい。

木のおわん ・ 火ばし ・ 水 ・ ガラス ・ 黒い布
 白い布 ・ 空気 ・ アルミニュームのコップ

この問題は熱を伝えやすいものと伝えにくいものとの識別、ならびに伝導率が大きいことと放射熱を吸収しやすいこととの区別について理解の様相をたしかめようとしたものである。

第一にとりあげなければならぬ問題点は、既に前問でも指摘したとおり、伝導率が高いことと放射熱を吸収しやすいこととの混同である。右のグラフで見るとおり、黒い布は熱を伝えやすいとするものが非常に多く、小学校では、火ばしを上まわっている。中2年でようやく、火ばし・アルミのコップより低くなってはいるが、それでも半数の生徒は両者を混同しているとみてよい。前問〔8〕、



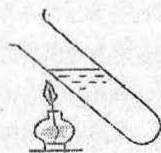
[10]で指摘したように、伝導という移動方式の性質がきわめてあいまいにしか理解されていないこと、または理解されにくい構造をもっていることから考えると、このような混同の生じるのはむしろ当然のことと思われる。児童生徒がこの二つのことを同じとみている共通点は、第一にどちらも熱源との関係としてみていること、第二にどちらも温度が高くなりやすい、またはなりにくいということであって、このような観点から伝えやすい、または伝えにくいと判断しているわけであろう。伝導という移動方式を物体内の熱移動のしかたとみ、伝えやすいということ、物体内の熱移動の速さと移動量とみられるようになると同時に、放射という移動方式と熱の吸収という概念が明確になることによつてのみ両者の区別ができるよ

うになるものと考えられる。

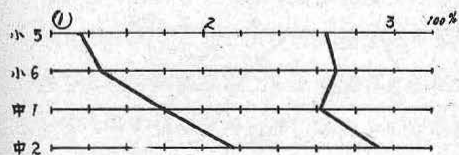
第二の問題点としては空気や水が熱を伝えやすいと考えているものが相当数あることである。空気や水が対流によつてあたたまることは、小5年で学習しているわけであるが、既習であると思われる小6年でこのような反応がむしろ多くなることは理解に苦しむ問題である。対流によつて空気や水の温度が上がることもでも伝えやすいという範囲の中へ入れているとも考えられるし、さらにあたためれば温度が上がりやすいものはすべて熱を伝えやすいと判断するのではないかと推察される。また空気の場合、放射熱が空気をつたわってくるという意識構造が、空気は熱を伝えやすいと判断する根拠となるのかもしれない。

このように見てくると伝えやすいということばで代表される事実は、要するに温度が上がりやすいという事実すべてを含むのであつて、伝導率が大きいという意味ではなくなる。児童生徒の意識構造がこのようなものであるとすれば、それは理解過程における問題であろう。

[13] 試験管に水をいれて、右の図のようにして水面に近いところをあたためました。この時の水のあたたまり方について、つぎのうち正しいと思うものの番号を○でかこみなさい。



1. 水面に近いところは、にえたつても、試験管の下のほうは手でもっていられる。
2. まず水面に近いところがあたたまり、それが下に下がって下からつめたい水が上に上がる。これをくりかえして全体があつくなる。
3. 水面に近いところがまずあたたまり、その熱がだんだん下のほうへつたわつて、全体があつくなる。



この問題は、水が熱の不良導体であることをためす実験的事実を素材として、対流の生じる因果関係が理解されているかどうかをたしかめるとともに、水が熱の不良導体であることの推論ができるかどうかをみようとしたものである。

上図でみるとおり、対流的な考え方を適用しているものがきわめて多く、小5年—6.4%、小6年

一62%、中1年一42%、中2年一38%となっている。このような反応傾向は、〔9〕で指摘した対流についての固定的観念的な理解構造によるものであって、水というと、ぐるぐるまわりながらあたたまるという科学性を欠いた固定観念を適用したものである。したがって、このような反応をしたものは、対流の生ずる因果関係についての理解構造ができていないとみることができよう。

つぎは伝導的な考え方をしたもので、その割合は、小5年一27%、小6年一25%、中1年一29%、中2年一14%となっている。このような反応は、この実験事実に関する学習経験や日常生活におけるこのような場面の意識化がなされない場合には、当然予想されるものである。しかし、対流が液体、気体にのみ生ずること、そのものが熱の不良導体であるから対流という現象が生ずることなどを推論することもできるわけであって、対流についての理解のしかたとも関連をもつものであろう。また、水が熱の不良導体であることをたしかめるこのような実験場面でも、対流と関連させながら考えさせるような過程を用意することもたいせつなことである。

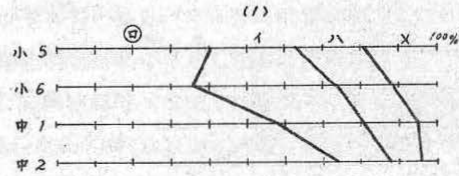
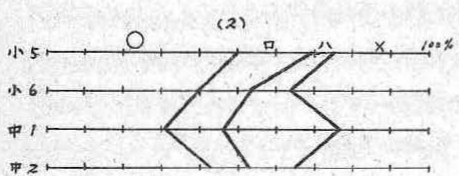
〔14〕 つぎのいろいろなことは、下の□の中に書いたあたたまり方のうち、どのあたたまり方とにしていますか。それぞれにあてはまるあたたまり方の符号（イ・ロ・ハ）を（ ）の中に書きいれなさい。また、どのあたたまり方ともにいていないと思うものがあつたら（ ）の中に×じるしを書きいれなさい。

- | | |
|---|--|
| イ | 火ばしの先を熱すると、はんたい側の先までじゅんじゅんにあつくようになっていくようなあたたまり方 |
| ロ | 火にかけたやかんの中の水が上下に動きをがらしだいに全体があつくようになっていくようなあたたまり方 |
| ハ | 日光にてらされた海岸の砂があつくをるようなあたたまり方 |

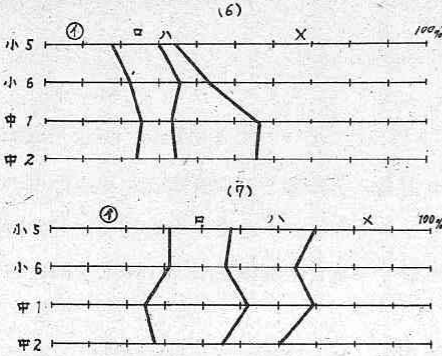
- (1) ストープで石炭をたいて、部屋の空気をあたためる。()
- (2) 熱したハンダごてで、ハンダをとかす。()
- (3) 雪をはやくとかすために、わらばいなどをまく。()
- (4) たき火にあたるとあたたかい。()
- (5) れいぞうこには、氷を上の方に入れる。()
- (6) よくおきている炭火を、鉄板の上ののせると消えてしまう。()
- (7) アイロンがあつくなくても、えのところはあつくならない。()
- (8) 夏の天気の良い日には、海から陸に向かって風が吹く。()
- (9) ストープにあたっていたら、服があつくになった。()

(伝導によるもの)

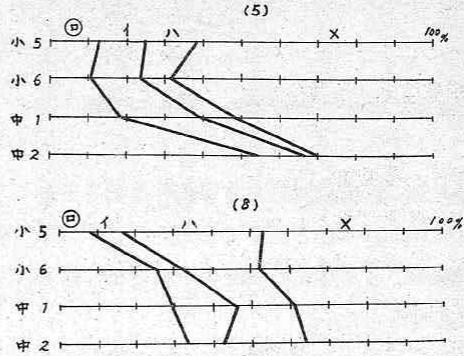
(対流によるもの)



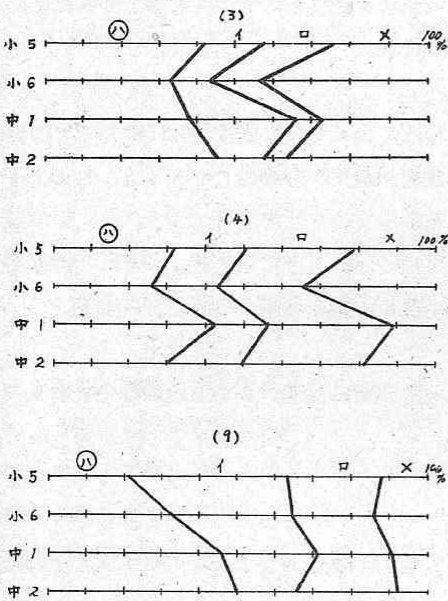
(伝導によるもの)



(対流によるもの)



(放射によるもの)



この問題は、熱移動によって生じるいろいろな現象を、伝導・対流・放射の三方式に類別させることをとおしてこれらの概念の区別や一般化の様態をみようとしたものである。出題形式として、伝導・対流・放射ということばを用いず、それぞれの代表例をあたまり方として示したため、かえって困難度がましたかもしれないと思っている。

この問題に正しく反応するためには、熱移動の三方式の代表例としてあげた。イ、ロ、ハの現象と伝導・対流・放射それぞれの本質とを対応させてとらえ、その観点から各小問にあげた諸現象を分析的にみなければならぬ。しかしながら、前問までに考察した児童生徒の理解構造のあいまいさから考えると、この問題でそのような見方をするのは、きわめて困難であると推測された。

解答結果はグラフで示したとおりであって、上記のような推測を裏付ける結果となっている。児童生徒は、例題としてあげた三つの現象から、伝導・対流・放射の本質的屬性を抽象することなく、それぞれの現象の具体性のままで、小問の各現象との類似性をみようとしたものようであって、具体性のどの部分に目をつけるかによって、いろいろちがった観点からの類似現象として判断する傾向が強いようである。たとえば(4)の「たき火にあたるとあたたかい」という現象をみて、これをイの「火ばしの先を熱すると、先のほうからじゅんじゅんにあつくなる」という現象と似ているとみたり、ロの「火にかけたやかんの水があたまるようなあたたまり方」と似ているとみたりするものが相当多くみられることなど、そのような現象的な見方のあらわれてあろう。

また各小問をとおして、どの場合とも似ていないとするものが多いのは、おそらく具体性のままでくらべたため類似点がないと判断した結果であろう。(5)・(6)・(3)・(8)などに×じるしをつけたものが多いのもこのような考え方によるものと思われる。

また各小問で一応正答をえらんでいるものも、先に述べた移動方式の本質的屬性によって判断したのではなく、具体性における類似点の見方がたまたま符合した結果として正答に反応したも

のが多いのではなからうか。結果的に見ると、この問題出題の意図はほとんど達せられなかったように思われる。

(2) 熱現象に関する理解構造の総合的考察

この調査が、熱現象に関する理解構造を、主として温度変化と熱移動との関係構造からみたものであることは先に述べたとおりである。ここに調査の観点をすえたわけは、温度変化と熱移動との関係構造の理解が、さまざまな熱現象を統一的に構造化して理解する場合の基本となり中核となると考えたからにほかならない。

ここでは、いままでに各問題ごとに考察してきた結果を総合して、児童生徒の理解構造にみられる理解過程構成上の問題点としてまとめることとする。記述の便宜上、温度と熱の分化にもとづく温度変化と熱移動との関係にみられる問題と、熱の移動方式にみられる問題とに分けて考察してみたい。

① 温度変化と熱移動との関係構造について

物体の温度変化は熱移動の結果であることについての学習は、小5年では定性的に、中1年では定量的に行なわれているとみることができるとは思われるが、調査の結果から考察してみると、このような学習が行なわれる以前の日常経験的な意識構造が意外に強固なものとして残っており、新しい学習成果を受け入れて、より高次の理解構造として再構成されてはいないように見える。つぎに、温度変化と熱移動の関係についての学習以前の日常経験的な意識構造を、調査結果から描いてみよう。

A 熱ということばによって描かれる像

- ・火や太陽のようなもの（熱源）や、こどもにとって非常に温度が高いと思われているもの（ふつとうしている湯など）は熱をもっている。
- ・熱はこれらのものの属性である。
- ・常温以下のものには熱はない。
- ・温度の非常に低いもの（氷など）には、つめたいもの（冷素のようなもので熱素と反対のもの）がある。つめたいものは温度の低いものの属性である。
- ・熱は物をあたためる力がある。熱は力である。

B 物をあたためることと熱との関係

a 火などであたためる場では熱を意識することができる。

- ・より高い温度にするには $\left\{ \begin{array}{l} \text{強い火であたためる} \\ \text{ながくあたためる} \end{array} \right. \rightarrow \text{熱がたくさんいる}$
 - 温度の上がり方の大小は熱の多少と同義に考えられる —
- ・量が多いほど $\left\{ \begin{array}{l} \text{強い火であたためなければならない} \\ \text{ながい時間あたためなければならない} \end{array} \right. \rightarrow \text{熱がたくさんいる}$
 - 量が多いほど熱がたくさんいる —
- ・温度の上がり方と熱の多少、量の多少と熱の多少はそれぞれ別な現象として意識化されており、両方の場合を関係づけて統一的な構造の中に組みこんではいない。
- ・強い火であたためるとか、ながい時間あたためるという具体的な操作とはなれられない。

b お湯で水をあたためるとか、水でお湯をさますとかいうような異温度間の現象が熱によるものだとは考えていない。

- ・このような温度変化は、あたためたからであり、ひやしたからである。
- ・あるいは温度がまざるからである。

C 異温度間にみられる温度変化と熱移動との関係

a あたためるもの、あためられるもの—ひやすもの、ひやされるもの—の関係としてみる。

- ・あたためると考えられる場では、あためられるものの温度上昇は意識化されているが、あたためるものの温度下降は意識にのほりにくい。
- ・ひやすと考えられる場では、ひやされるものの温度下降は意識化されているが、ひやすものの温度上昇は意識にのほりにくい。
- ・あたためると考えられる場では、あたためるものからあためられるものへのはたらきかけと考える。
- ・ひやすと考えられる場では、ひやすものからひやされるものへのはたらきかけと考える。
- ・熱移動の方向も高温から低温へとは考えず、上記のような意味におけるはたらきかけの方向として意識する。あたためると考えられる場では、このようなはたらきかけの方向が客観的な熱移動の方向と一致するだけである。

b ものにふれてあたたかく（あつく）感じたり、つめたく感じたりする場合

- ・このような場合には温度変化は意識されにくい。
- ・このような場合には、ものから自分へのはたらきかけと意識し、熱移動もこのようなはたらきかけの方向と考える。

以上のような学習以前の日常経験的な意識構造を基盤としながら、さまざまな温度変化の事実を熱移動の概念によって統一的にとらえるような理解構造に再構成する過程の問題点としては、つぎのような事項をあげるができると思う。

- ・温度の高低や温度上昇の大きさと熱の多少との同義的な結びつきを、量の要因を導入することによって切りはなすこと。
- ・熱の多少を温度と量との関係としてみるようにするため、あたためるとか熱するとかいう具体的な操作からはなれて温度変化と量の多少との相互関係を考えるとともに、関数的思考のはたらきをうながすこと。
- ・火や太陽のような、熱がきわめてたくさんある（無限にある）と思われる熱源による温度上昇と、異温度物体間における温度上昇とは熱移動による同じ現象だと見れるようになること。
- ・それぞれ異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、熱移動による温度変化ということで同じ現象であるとみれるようにすること。
- ・あたためるものは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ことに気づくようにすること。
- ・あついか、つめたいという主観的な感覚的表象を、客観的な温度差間における熱移動の現象とみられるようにすること。

② 熱移動の方式に関する理解構造について

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、その発展を指導内容や教科書などでみると明確になっていないように思われる。もし区別するならば、小5年ではどちらかというあたためり方の類型として、中2年では熱移動の方式としてみせようとしているかのようにも思われる。しかし小5年でも熱移動の考え方はさせようとしているようにも見えるので、ともすれば同じ程度の学習が行なわれているのではなからうかとも思われる。

調査の結果として問題になることは、あたためるもの(熱源)とあた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に、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いて、より高次な理解の全体構造が構成されていないのではないかとと思われることである。つぎにその様態を描いてみよう。

A 伝導という熱移動の方式

- ・伝導という方式を熱源とあたためられるものとの関係として受け入れ、熱源からあたためられるものへの熱の伝わりやすさとみやすい。
- ・ある物体内の熱の伝わり方のメカニズムとはみない。いいかえれば、物体内を伝わる熱の速さが大きいから、あたためられるものの温度がはやく高くなるとはみていないのである。
- ・このような意識構造と伝導という概念と結合しているから、放射熱の受けやすさ(黒い色のものはあたためやすい)や、比熱という概念で説明される物質によるあたためやすさのちがいなどと、伝導という意味でのつたわりやすさが混同されている。
- ・また熱源をとり去ってしまうと、物体内の温度間におこなわれる熱伝導は考えることができなくなる。
- ・したがって伝導というメカニズムの理解に当っては、熱源がその本質的な理解をさまたげているように思われる。

B 対流による熱移動の方式

- ・水はぐるぐるまわりながらあつくなる。これを対流というとする固定観念が、強く意識化されている。
- ・水を熱するときの動きの全体像のみ意識化されており、このようなあたためり方(熱移動のしかた)が生ずる理由の分析的総合的な理解構造は構成されにくい。
- ・未習の場合でもこのような全体像はもっており、既習の場合は、その全体像が対流ということばと結びつくだけのものが多い。
- ・だから、熱源との関係から水の動き方を推論することができず、熱源の位置などと無関係にまわり方を考えるものがある。
- ・ぐるぐるまわりながらあつくなるという全体像も、ふつとの現象と同一視しているものがあり、このようなものは、比較的低温における水の対流や空気の対流などは意識化しにくいことがある。

C 放射という熱移動の方式

- ・熱源とあたためられるものとの間の空間をとびこえて熱が移ることのメカニズムが理解されに

くい。

- ・熱源とあたためられるものとの間の空間の熱の移り方では、むしろ伝導の正しい考え方が適用される。いいかえれば、熱が空間をじゅんじゅんに伝わってくるという表象ができていくようなのである。
- ・放射熱の受けやすさは、伝導のしやすさと同義的に考えられている。このような考え方は、比熱によるあたためやすさとの混同にもつながってくる。

熱移動の三方式についての学習の結果として、上記のような理解構造が固定しやすいものとすれば、このような結果にならないように、しかも熱移動の三方式の意味が正しく理解できるような過程ではどのようなことが問題になるのであろうか。つぎに予想される問題をあげてみよう。

- “①温度変化と熱移動の関係構造”の項であげたような問題点が、熱移動の三方式についての理解の基底として密接な関連をもってくると思われる。
- 伝導という熱移動の方式を理解する過程で、熱源との関係をはなれて物体内の熱移動のメカニズムとしてみれるようにすること。
- 放射熱の移動方式を理解する過程で、熱源とあたためられるものとの間の空間の温度はあがっていないことに気づかせる。
- 伝導によってものがあたたまることと、放射によってものがあたたまるこ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して分析考察させること。
- 対流の現象については、ふつとりの現象と区別するような過程を用意すること。
- 対流が生じる理由について、水、空気などの諸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。
- つたわる・とおす・うつる・吸収するなどということばの、科学的な意味を限定するような方向に過程を進めること。
- それぞれの方式を代表する典型的な素材にとどまらず、さらにそれぞれの方式を比較しながら一般化するような過程を用意すること。