

### Ⅲ 熱概念の理解過程に関する事例研究

#### 1 研究の目的と方法

この研究作業の目的については、先に全体の研究計画の中でも明らかにしておいたが、ここで再び明示しておくこととする。

前章では、熱現象に関する理解構造の中核となると思われる温度変化と熱移動の理解構造について、児童生徒の実態を考察し、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た。ここでは、それをうけて、温度変化と熱移動の関係を理解する過程についての仮説を設定し、それにもとづいて事例的な観察研究を行なうことによって、理解過程における問題点の性格をより明確にしようとするのである。

方法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の理解過程の仮説を設定する。
- ② その仮説にもとづいて面接の観点を用意する。
- ③ 小集団を対象にして面接を行ない、理解過程の様相を観察・記述しその性格を考察する。
- ④ 小集団は、小5年男女・中1年男女・各2グループずつ、計8グループとする。各グループは男女別で6人～8人であり、能力的には混合グループである。
- ⑤ 面接内容の記録に当っては、テープレコーダーによる録音を中心にし、観察による記録を併用する。

#### 2 温度変化と熱移動との関係を理解する過程の仮説

##### (1) 理解過程に関する一般原則との対応

先に、I, 1, (3)で理解過程の一般原則について述べた。温度変化と熱移動の関係についての理解過程の仮説を設定するに当って、まず、一般原則と対応させながら考えてみることにする。

まず、理解構造の変容という観点からみると、温度変化と熱移動との関係についての理解過程は、火などの熱源で物をあたためる場でしか使われない熱という概念、しかも温度が高いことと熱があるということを同義的にみて温度と熱が分化していない理解構造の段階から、温度と熱はちがう概念であることや熱の移動が温度変化の原因であると考えられる理解構造に変容する過程であるといえる。

このように理解構造変容の前後の断面を描いた上で、その過程を仮説として構成しようとするわけであるが、その過程の様態はどのようなものであろうか。ここでいま一度理解過程の一般原則を想起してみよう。

先に述べた一般原則では、

帰納的推理が中心になってはたらく抽象化の過程によって理解が深まることを第一次過程とし、これに続いて演繹的な推理が中心となってはたらく一般化の過程によって理解が広がることを第二次過程とした。

そして学習の実際の場合では、必ずしもこのような型どおりに進行するものではなく、これら両過

程が互いに関連を保ちながら、ある場合には第一次過程の形態が表面にあらわれ、またある場合には第二次過程の性格が顕著にみられるものであろうことも指摘しておいた。そうした具体相は理解内容の性格や発達段階によって異ってくるものである。

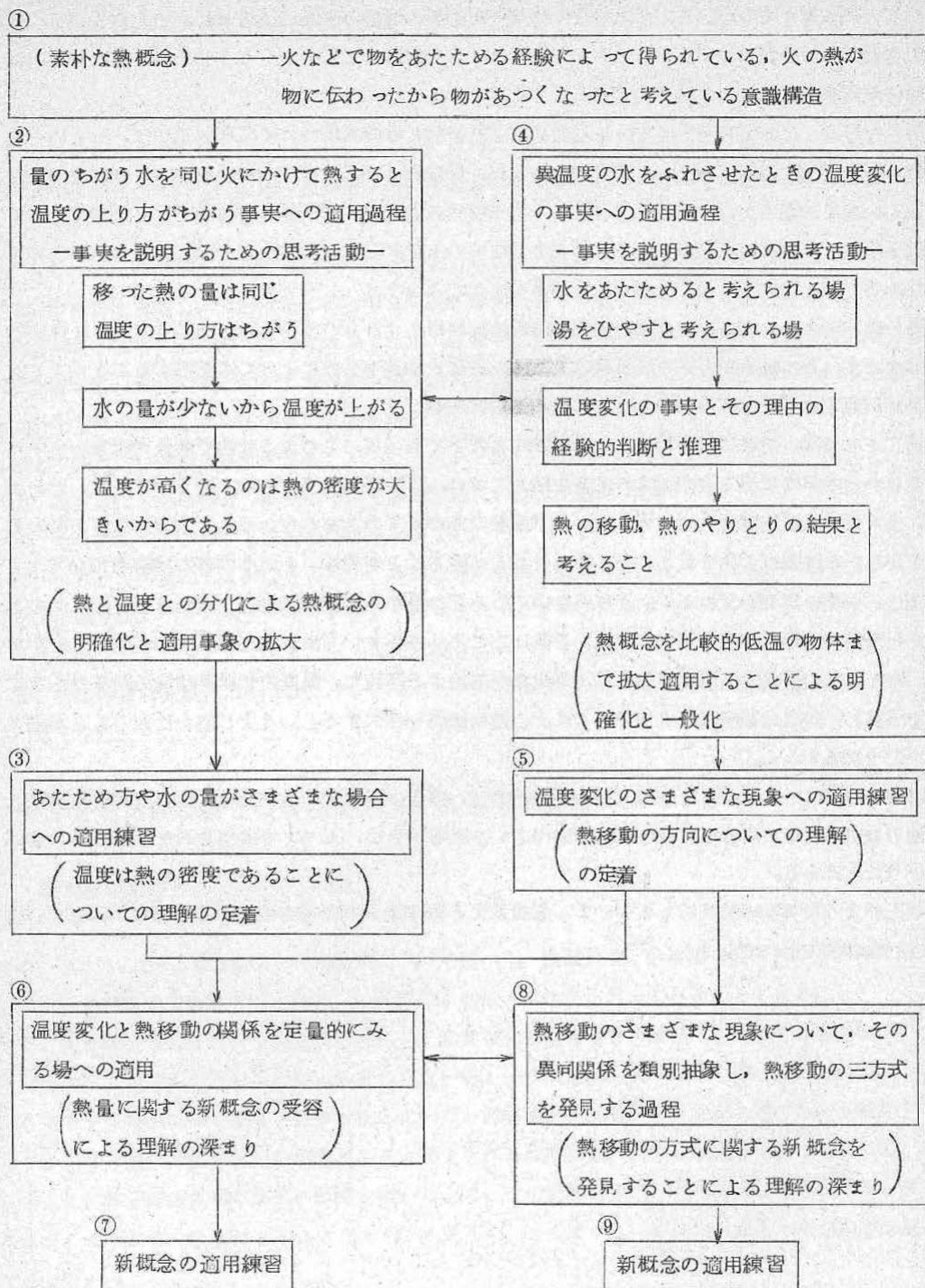
それならばここで問題としている温度変化と熱移動との関係についての理解過程は、以上の一般原則とどのように対応させたらよいのであろうか。結論的にいうならば、その過程は、素朴な熱概念を新しい事象に適用または応用しようと試みる一般化の過程で、熱や熱量の概念がより抽象化されて明確となり、その適用範囲が拡大するような意味での上記第二次過程の性格が顕著にあらわれるのではなかろうか。つぎにこのように考える理由を述べてみよう。

第一にあげたいことは、この理解内容の論理的な性格によるものである。熱や熱量のような科学的概念は、それ自体抽象度の高い説明概念であり、感覚・知覚的手段によっては受容することのできない論理的思考の所産であるということによるものである。

第二としては、前章の調査結果から予想されることであって、このような熱や熱量の概念を小学校高学年から中学校に至る発達段階の児童生徒としては、導き出せそうもないという点である。たとえば、小5年の指導内容として示されている「温度のちがうものをふれ合わせると両方の温度が変わることから、熱は温度の高いところから低いところへ移ることを知る。」という内容の理解過程を考えてみると、両方の温度が変わるという事実をいろいろな事象から帰納的に抽象し得たとしても、そのことから帰納的に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性を発見するわけにはいかない。むしろこの過程は、既存の熱に関する概念を応用する過程で、温度変化は熱移動の結果であることを理解し、熱概念を明確にするとともにその適用範囲を拡大するというすじ道をたどることが望ましいように思われる。

第三の理由は、このような適用・応用の過程では、事象の観察そのものよりも、事象の観察結果と関連しながら行なわれる抽象的な概念の操作という思考活動が、もっとも重視されなければならないということである。

以上のような考察の結果にもとづいて、温度変化と熱移動との関係を理解する過程のすじ道をいまずこし具体的に描いてみよう。



以上の図式は、温度変化と熱移動との関係の理解に至る過程を理解過程の一般原則と対応させながら描いたものである。現行指導要領では、上記図式中の④・⑤・⑧を小5年に、⑥・⑧を中1年に配当してあるわけであるが、これらの理解に至る基盤として①から②・③への過程や①から④・⑤または①から②・④・⑤といく過程が必要なのではなからうか。このように考えて、ここでの事例的な面接

研究では、とくに①から②または④に進む過程をたしかめてみることにした。

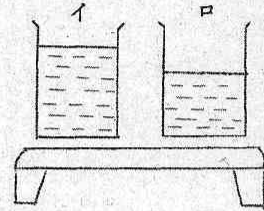
## (2) 理解過程の仮説と面接の観点

ここでの事例的な面接研究では、とくに上図の②・④の過程についてさらにこまかく検討することに重点をおくこととしたので、以下その理解過程についての見通しと面接によってとらえようとする観点とをあげることにする。

① やかんに入れた水を火にかけた場合の経験を想起し、中の水の温度が上がるわけについて考える。

- (観点)・水の温度が上がるわけをどのように考えているか。  
 ・熱ということばで代表される表象はどんなものか。

② 右図のような場を設定し、口のほうの温度が早く上がるわけを考える。

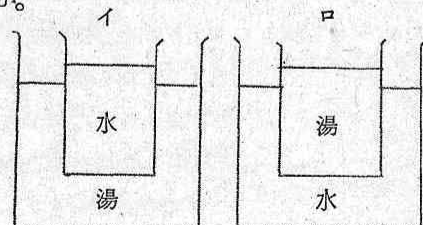


- a イとロの温度の上がり方はどちらがうか。 —  
 —ロがイより早くあつくなると判断する。 — (経験的に判断し得るはず)
- b ロがイよりあつくなるのはなぜか。 — ロのほうの水が少ないからだと考える。  
 ・この場合、あたため方が同じという条件は当然のこととして考察上の条件からはずされかくれている。それで水の量という視覚的要因と温度のちがいが直接的に関係づけられる。 — (経験的判断)
- c 水の量が少ないとどうして早く温度が上がるか。  
 ・熱がロのほうへ多く移ったからだとすれば、→あたため方が同じという条件に矛盾する。  
 ・移った熱の量は同じ  $\left\{ \begin{array}{l} \text{イは水が多く温度は低い} \\ \text{ロは水が少なく温度は高い} \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{ロのほうの熱のごみ方が大きい} \\ \text{からだと考える。} \end{array} \right.$

- (観点)・あたため方は同じ → つたわった熱量は同じという条件を思考の対象として組み入れる契機はどんなところにあるか。  
 ・熱の量と水の量と温度の三要因を分析的にとらえることはできるか。  
 ・三要因の関係を関数的な関係としてとらえることはできるか。そのような関係としてとらえる過程でどんな考え方をするか、どんな障害があるか。その障害をのりこえる契機はどんなところにあるか。

③ 右の図のような場を構成し、それぞれの場合の温度がどうかかわるか考え、ためしてみる。

- a イの場合は水の温度が上がり、ロの場合は湯の温度が下がると判断し、イの場合の湯の温度が下がることや、ロの場合の水の温度が上がることは意識しない。



- ・あたためたりひやしたりする日常経験における目的的な場とみるため、あたためられ、またはひやされるものの温度変化のみに着目する。

- b どちらも水の温度は上がり、湯の温度は下がって同じになると考える。
- ・湯があつすぎるとき水をうめて、ぬるくしたり、水に熱湯を入れてあたたかくしたりする経験から判断する。この場合、温度の高いのと低いのがまさり合ったからだと考えやすい。
- c 温度計を使って実際にたしかめてみる。→ bのようになることを確認する。

(視点)・a・bどちらの考え方をするか。

- ・aのような考え方をしているものが、あたためるほうやひやすほうの温度変化に着目する契機はどんなところにあるか。
- ・あたためるほうはひやされるほうであり、ひやすほうはあたためられるほうになるという視点の転換はどのような契機で生じるか。
- ・bのような判断をするものの、そのようになる理由についての考え方はどのようなものか。ここで、①・②で理解した熱概念の適用ができるかどうか。

④ 水の温度は上がり、湯の温度は下がって同じ温度になるのはなぜか。熱が伝わることで説明できないか考える。

a あたためたから、またはひやしたからだと考える。

- ・経験の全体性からぬけだすことができない。
- ・①・②で理解した熱概念の適用ができない。

b 温度がまさり合うからだと考える。

- ・aと同じく、ちがう意味で経験の全体性からぬけ出せないし、また熱概念の適用ができない。

c 湯から水に熱が移るから水の湯度が上がるとは考えられるが、湯の温度が下がる理由の説明はできないか、または、水のほうから冷いもの(熱と反対の性質のもの)がうつるからだと考える。

- ・①で理解した熱とその移動の考え方は、そのままの形で適用できるが、ひやすと考えられる場や、湯の温度が下がる理由へは拡大適用することができない。これは火で熱するような場と、異温度のものを触れさせるような場の具体性のちがいによるものである。

d 熱は湯(温度の高いほう)から水(温度の低いほう)へ移る。だから湯は熱を失って温度が下がり、水は熱を受けとって温度が上がると考える。

- ・熱の移動を異温度間の温度変化にまで拡大適用できるものである。
- ・この場合は温度の高いものもっている熱の量を意識することができる。

(視点)・a・bのような経験の全体性からぬけ出して、既にもっている熱概念を適用できるようにする契機はどんなところにあるか。

- ・熱が湯から水にうつるから水の温度が上がると考える段階から、湯の温度が下がる理由の説明がつく段階への過程でどんなことが障害になるか、その障害をのりこす契機はどんなことか。
- ・ひやすと考えられる場へも適用できるかどうか。

### 3 小集団を対象とした理解過程の面接事例

以上のように温度変化と熱移動の関係を理解する過程について、一応の見通しとそれを分析するための観点を用意した。この仮説と分析の観点にもとづいて、小集団を指導するという形態をとりながら理解過程の分析を事例的に試みたのである。しかしながら、この分析が、理解過程における思考活動を中心にしておこなうことを主たる目的としたため、実際の指導とは多少異なる形態をとらざるを得なかった。たとえば、異温度のものをふれさせたときの温度変化を実験するような活動を省略したり、必要と思われる以上に考え方の追求を行なってみたりしたことである。事例の記録を見る場合に、この点にあらかじめ留意してほしいと思っている。

面接は、先にも述べたように、小5年の男女各2グループ、中1年の男女各2グループ、計8グループについて実施したものであるが、テープのさしちがいなどのため、実際に得られた事例は、小5男1グループ、小5女2グループ、中1男2グループ、中1女1グループ、計6事例となった。

なお、この度は、小・中同じ仮説にもとづいて実施したもので、熱現象の学習の最初の部分について、小・中の様相を比較してみたいという実験的な意図がはたらいた結果である。

以下各事例をあげ、それぞれ事例の考察を行なうこととする。

#### 事例(1)

・小5年男6名

調査年月日—1962.1.16—

児童名 TN, NJ, NT, FS, MH, YS

Tは教師, Pは児童全員

○水をいれたやかんを火にかけると水の温度が上がるのは、熱が移るからであること。

T—水をいれたやかんを火にかけると、中の水はだんだんあつくなりますね。温度が上がりますね。どうして水の温度が上がるんだろう。

TN—あたたまるから、たかくするから

FS—火がつくから NJ—じょうはつするから

T—火のほうから何かあついものが水の中に入っていき、それで水の温度がだんだん上がってくると考えたらどうでしょう。水の中に何が入ったといえはよいでしょう。

YS—温度かな。 FS—空気が入る。 NT—あつい熱が入る。

T—そうですね。何かあついもの、熱というものが火のほうからやかんの中へ入っていく。それで水の温度が上がると考えてよいのです。

#### 考察

・なぜ温度が上がるかという問に対して、“あたたまるから、温度を高くするから”、“火がつくから”というように、あたためるという操作そのものに着眼するもの、または、あたためた結果としての水の状態を逆に原因とするものがみられ、火のほうから何かつたわるという着

想はでていない。

・火のほうから何か入るのではないかという観点を与えても、温度と考えるもの。あつい空気というものがあって、熱ということばはなかなかでてこない。

・結果的には、“何かあついものが入る、それを熱という、それで温度が上がる。”という知識をまず与えることとなった。以下このようにして与えた熱という概念をどのように使えるか問題となる。

Q 熱と温度とはちがうこと、温度は熱のこみ方の割合であること。

T—同じ大きさのピーカーが、ここに2つあります。片方には水をたくさん入れ、もう片方にはそれより少なくいれます。この2つをストーブの上に並べてあげ、中の水をあたためます。両方ともストーブから熱が入るから温度が上がりますね。(実演しながら)

どっちのほうの温度が早くあがるでしょう。それとも温度の上がり方はどっちも同じでしょうか。

P—こっち(水の少ないほうをさす)

T—そうですね。それならば、ストーブから伝わって入った熱は、どっちにたくさん入ったんだろうか。それとも入った熱の量は、どっちも同じなんだろうか。

P—おなじ、同じ……………

**考察**

・伝わって入った熱の量はどっちも同じであると、全部の児童が一応答えている。ところが、第二章で述べた理解の実態調査結果では、“熱の量はどっちも同じ。”と考えたものが、NT1人にすぎず。(NTは前段の過程でも、熱が入るということを知っている)他のTN、NJ、FSは、水の水量の多いほうに熱が多く入るとしており、MH、YSは、水の水量の少ないほうに熱が多く入るとしていた。

・上記の点を関連的にみると、質問紙法による場合と、このように具体的な場を設定しての面接による場合とでは児童生徒の受けとり方がちがうためであるとも考えられるし、6名の児童のうちの最初の発言に左右されたためであるとも考えられる。後者だとすれば、“入った熱は同じ。”と考えられないまま同調したものもあろう。

・ともかく、ここまでで“何かあつい熱というものが火から水につたわった。”というイメージはでき上がっているものと思う。

T—そうですね。どっちも同じにあたためたんだから、熱はどっちにも同じに入ったはずですね。熱が同じに入ったんだから、どっちも同じに温度が上がればよいのに、こっちの方が早くあつくなる。どうしてなんだろう。

P—水が少ないからだ。

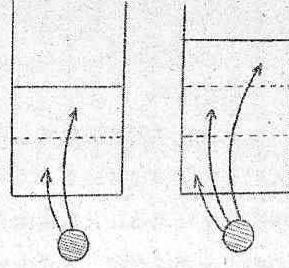
T—水が少ないとどうして早く温度が上がるんだろう。説明できますか。

TN—熱は同じだから……すくないほうがかえって少なくて……大きいほうは、熱を分けるとすれば、大きくわけなければならぬ。……だから水の少ないほうが早くあつくなる。

T—TN君のいうこと、ほかの人わかりますか。もう一度うまく説明してごらん。

TN—こっちのほうと、こっちのほうに熱が同じに入る。こっち(水の多いほう)に分けた

とすれば、3つにまず分けて、熱も3つに分けたとすると、3つに分けた1つ。こっち（水の少ないほう）は3つに分けずに2つに分けてその1つだから……だから、こっちがあつくなる。



T—ほかの人どうですか。

YS—こっちとこっちと同じに熱が入ったとして、こっち（水の多いほう）はそこいらへん（水の多いほうで、水の少ないほうの水面と等しいところをさす）までしか入らないで、こっちのほう（水の少ないほう）は2つくらいだし、こっち（水の多いほう）は3つに分けなければならない。だからこっちがあつくなる。

NJ—こことここ、同じに熱を入れてあたためると、……同じに入ると……ここまで（水の少ないほうの水面）は、どっちも同じだし、そこへまだ残っているのをいれると、あたたかくない。

**考察**

- ・ “水が少ないとなぜ温度が早く上がるか”という問に対し、TNの説明は、表現は必ずしも整っていないけれど、熱の密度（こみ工合）に着目したものといえよう。たまたま水の量がおおよそ2：3の割合になっていたことが、このような考え方を助けたのかもしれないが、単位体積あたりの熱の量を割合でくらべて、温度の高低が生ずる理由としていることは注目に価することである。
- ・ しかし、TNのような説明が他の児童のすべてに了解されたかどうかは疑わしい。上記記録結果からみれば、YSは、おおよそ了解し得たと思われるけれども、NJは、これをまたちがった意味で受けとっている。NJの考え方を解釈してみると、口のイと同じ量の部分までは熱も温度も同じけれど、ロの場合、そこへ残りの水を入れるから、温度が低くなると考えているので、TNのような発想とは異質なものである。しかし、NJのような考え方も、TNの説明が刺激になったために生じたということも否認しないことである。
- ・ 他の児童の中には、TNやNJの説明を理解し得ず、水の量が少ないからだという知覚的段階に止まってそれ以上進めないものもあったことであろう。

T—なるほど、おもしろい考え方ですね。それでは、ほかのことで考えてみましょう。

この理科室と、となりの準備室をくらべると、準備室のほうがせまいね。……この理科室にも50人、となりの準備室にも50人入ったとして、両方の部屋のようにすをくらべるとどんなことがいえるでしょう。

MH—準備室のほうがあたたかい。温度があがる。

T—いま先生はね、教室と人数のことをいったんですね。ところがMH君は、温度のことをいった。教室に人が入る話と、水をあたためることと何か似ているところがあるんですか。

P—（反応なし）

T—水をあたためることで、教室の広さに当るのは何だろう。

NJ—水            YS—水の量



T—なるほどね、それでは人数に当るのは何だろう。

NT—人間の量

NJ—ピーカーだ……うんちがうかな。

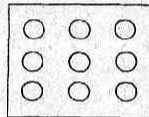
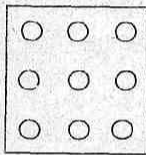
YS—熱だ。

**考察**

・ここで人口密度的な考え方の導入をはかる意図で、上記のような部屋の大きさとそこに入る人数との関係を考えさせてみた。ところが最初の反応(MHの反応)で、部屋と人数の場合と水をあたためることを端的に結合して、“せまい部屋のほうがあたたかい”としてしまった。このような結合は、場面を分析的にみることなく、全体的な類似現象とみるために生じるものである。

・そこで、やや分析的に見るような方向に思考を進めさせようとしたわけであるが、その結果としては、上記のように両方の場面を分析した上で、類似点を対応させることがむずかしいということがわかった。とくに、人数と対応するものをとらえることがむずかしいようであるが、それは、熱という目に見えないものを意識化して操作することのむずかしさによるものである。

T—(下のような図を板書しながら)大きな部屋と小さな部屋がありますね。(大小の長方形を描く)人がどっちにも同じに入った。(○印を9こずつ書き入れる)



T—部屋の大きさに当るのは、水をあたためることではなんだろう。

P—水の量だ。

T—中に入った人数に当るのは?

P—熱の量だ。

T—そうですね。水の多いほうと少ないほうに熱がどっちにも同じに入った。それで温度の高くなるのは水の少ないほうでしたね。

大きな部屋と小さな部屋に同じ人数が入ったとき、小さな部屋のほうがどうだといえますか。

P—温度が高い。

T—人が入っているようですよ。

P—きゅうくつ、まんいん

T—そうですね。きゅうくつだという。小さな部屋のほうがこんでいるといいますね。温度というのは、入った熱のこみぐあいのことですね。

熱がこんで入っていることを……

P—温度が高い。

熱がすいて入っていることを……

P—温度が低い。……というのです。

T—ほかにまだ、これにたことがあります。こっちとこっちの水にどっちにもさとうを8ばいずつ入れて、かきまわすと、どっちがあまくなるでしょう。

P—水の少ないほう。

T—水の少ないほうが水の多いほうよりあまい、または こいといえますね。

熱の場合は、こいほうが温度が高いというのです。

**考察**

・そこで、上記のような図を書いて、分析的に対応させると、熱概念を意識化して対応させることができたわけである。その意味からは、熱を視覚化した上で思考操作の上のせることが有効であるように思われる。

しかしながら、このような分析的な対応ができたとしても、これらの要因を関係づけて、人口密度のような関係概念として温度概念と熱とを分化することは、なかなかむずかしいように思われる。結果的には、上記のように与えてしまうこととなってしまった。

○ 温度のちがうものをふれさせると、両方の温度が変わって中間で等しくなるのは、熱の移動による  
と考えること。

T—ここに小さなビーカーと大きなビーカーがあります。小さなビーカーにはつめたい水をいれ、大きなビーカーにはあつい湯をいれます。小さなビーカーの水をあたためようと思って大きなビーカーの湯の中へ入れると(ここまで演示しながら)、水と湯の温度はどうなるでしょう。温度は両方ともかわるか、それともどちらか片方だけ変わるか。あるいは、どちらも変わらないだろうか。どう思いますか。

TN—小さいほうは温度が上がるし、大きいほうは温度が下がる。

FS—そうだろう。きっと。

NJ—水は上がるし、お湯は下がる。

T—どうしてそうなるんだろう。

TN—こっちはほうはあたたかいし、あたたかいほうが、小さいほう(水)にとられる。

T—何をとられるの？

TN—熱を、……熱をとられると温度が下がる。

T—こっち(水のほう)はどうかね。

TN—上がる。熱をもらうから。

T—なるほどね。熱がお湯のほうから水のほうへ、温度の高いほうから低いほうへ移っていくんだね。みんながいうように温度がかわるかどうかためしてみよう。

※実験装置をして温度の変化を読みとる。しまいに同じになることを確認する。

T—こんどは、水と湯を反対にしてみよう。大きいほうに水をいれ、小さいほうに湯を入れてやったらどうなるでしょう。

P—やっぱりお湯のほうはさめ、こっちは上がって、だんだん同じになる。さっきと反対だけと同じことだ。

T—熱はどうなるんだろう。

P—やっぱり、あたたかいほうからつめたいほうへいく。小さいほうから大きいほうへいく。

T—そうですね、いれものが反対だけど同じことですね。

- 考察**
- ・ 問題提示に当っては、意図的に水をあたためるという目的的な場として示したのであるが、反応は「水の温度は上がり、湯の温度は下がる」という正しいものとなり、しかも、その理由についても「熱をとられる、熱をもらう」という説明がなり立ってしまった。
  - ・ しかも、この過程は、ほとんどNT1人の発言によって進められてしまい、他の児童の考え方をみることはできなかった。他の児童もすべてこのように考えられたかどうかは疑問である。
  - ・ また、TNという児童がこのように明確に反応し得たことについて、それが、既に知ってい

たためなのか、それとも、ここに至る過程で理解し得た熱概念を効果的に適用し得たためなのかは、はっきりしない。

事例(2)

小5年女6名

調査年月日-1962.1.17-

児童名 IK.OS.KF.KT.KM.SY

Tは教師 Pは児童全員

○ 水をいれたやかんを火にかけると、水の温度が上がるのは、熱が移るからであること。

T-水をいれたやかんを火にかけると、中の水はだんだんあつくなりますね。どうして水の温度が上がるんだらう。

P-???.....

T-火のほうから水のほうへ何か入ると考えられませんか。

IK-熱がはいる KM-空気

T-火のほうからあつい何かの水の中に入るから水の温度が上がる。それは目には見えませんが、それをIKさんがいったように熱がはいった。熱が伝わったといってもよいのです。また中の水は熱をもらった。ストーブは水に熱をやったといってもよいでしょう。熱が入った、つたわった、熱をもらったから温度が上がったと考えるのです。このことを頭においてつぎのことを考えてみましょう。

考察

- ・ この事例でも、火のほうから水のほうへ何かつたわる、入っていくという着想はでてこない。結果的には、やはり熱がうつるといふ観方を与えることとなった。
- ・ ここでも“空気が入る”という考え方が1児童(KM)から出されているが、火をあつい空気として考えているものとすれば、火=あつい空気=熱という同義的な概念として意識されているのかもしれない。

○ 熱と温度とはちがうこと、温度は熱のこみ方の割合であること。

T-同じ大きさのビーカーが、ここに2こあります。片方には水をたくさん入れ、もう片方には、それより少なく入れます。この2つをストーブの上に並べてあげ、中の水をあたためます。両方ともストーブから熱が入るから温度があがりますね。(実演する)

どっちのほうの温度が早く上がるでしょう。それとも温度の上がり方はどっちも同じでしょうか。

P-水が少しのほうは早くわく。温度が高くなる。

T-そうですね。どっちにも熱が入ったから温度が上がるわけですが、どっちかに熱がたくさん入ったんだらうか。それとも入った熱がどっちも同じなんだらうか。

IK-どっちも同じにもらった。

OS-おなじくない。少ないほうが多くもらった。.....KF.KM.SY-そうです。

KT—おなじに入ったんだよ。温度はちがうけど……

T—同じだという人と、水の少ないほうがたくさんもらったという人がいますが、そう思うにはそれぞれ何かわけがあるはずですね。

KF—こっち（水の少ないほう）が早くわくから……あたたかくなるから……

IK—もらった熱は同じなんだけれど、こっちの水が少ないから温度が早く上がるんです。

T—こっち（水の少ないほう）の温度が高くなるから、熱をたくさんもらったんだというけれど、どちらも同じストーブの上にかけてんだから、あたため方は同じだったのですね。だから熱もどっちにも同じに入っているはずですね。同じずつ熱が入ったのなら温度も同じに上がればよいのに、こっちの温度が高くなる。これはいったいどういうわけなんだろう。みんなで考えてみましょう。水が少ないとどうして早く温度が上がるんだろう。

P—（反応なし）

**考察**・上記のように、IK、KTは、入った熱の量は同じだといい、OS、KF、KM、SYは温度の高くなるほう（水の少ないほう）に熱が多くはいいと判断する。ここでの問題は後者であって、温度が高いということと熱が多いということとを直結させ同じにあたためたという条件は思考の対象となっていないことである。

・一方、IK、KTは、同じにあたためたことと、温度の上がり方がちがうことと、水の量との三条件を意識化しており、熱量が同じことと温度の上がり方がちがうこととの矛盾を水の量で説明している。

・温度が高くなっていることと熱の量の多少とを直接対応させているものにとっては、いまだ一度問題場面に立ちかえって、同じにあたためたという条件を意識化させることが必要になってくる。ここでは、その点を教師が説明する結果となった。（つぎの記録参照）

・熱が同じのに温度の上がり方がちがう理由として水が少ないからだという現象的な関係把握は容易にできるけれど、それ以上まで論理的説明をすることはできないようである。

・水が少ないから温度が早く上がるという関係把握は、経験的事実として当然なことと考えられ、ために、それ以上論理的に追求しようという知的欲求は起らないものと思われる。このような知的欲求のみられないものにその説明を求めても、どう反応してよいかわからず、上記のような結果となったのではあるまいか。

・しかしながら、熱と温度とを分化して理解するためにはより高次の知的操作が必要となる。

T—それではほかのことで考えてみましょう。

この理科室となりの準備室とくらべるとこっちの方が広いね。この理科室にも50人、となりの準備室にも50人 人が入ったとして、両方の部屋のようすをくらべると、どんなところがちがうでしょう。

KM—広さがちがう。

KT—準備室のほうはあまり元気がよく遊べない。走りまわれない。

KM—理科室のほうは広いかららくだ。

KF—準備室はせまくてきゅうくつだし、理科室は広くて、そんなにきゅうくつでない。

T—きゅうくつだということ、人がこんでいる。らくなことを人がすいているといいま

すね。

KF—はい、映画館がこんでいるという。

考察

・ここでは、上記の水をあたためる場合を分析総合させるための前提として、部屋の広さと入った人数との関係を考えてみた。このような場では、上記記録にみられるとおり、両方の部屋の全体像のちがいを、“きゅうくつだ、らくだ”、“元気よく遊べる”というような表現であらわしている。

・しかしながら、人口密度というような客観化された概念は明確になっていないようである。

T—そうすると、50人ずつ入った場合、準備室のほうが理科室よりこんでいるといいますね。このことと、さっきの水をあたためることと何かにているところはありますか。

P—(反応なし)

T—この水をあたためる場合の水は、いまの話にすると何に当るでしょう。

KF—人間だ。人間にすると、こっち(水の多いほう)は多く入っている。こっち(水の少ないほう)は少なく入っている。

T—そうすると、こっち(水の多いほう)は人間の数が多いほうになるし、こちらは(水の少ないほう)すくないから、どっちがこんでいて、きゅうくつだということになりますか。

P—こっち(水の多いほうをさす)

KF—あっ、ちがう！ 反対だ。

KT—水は教室の広さだ。水を教室の広さにすると、こっち(水の多いほうをさす)に50人はいると、しかもゆっくり遊ばれるし、こっち(水の少ないほう)はきゅうくつだ。

T—なるほどね。水の量が教室だとすれば、人数に当るのは何だろう。

P—??? (反応なし)

T—人数は教室に入ったんでしたね。

KM—あっ、熱だ。熱が入ったんだ。

T—水の量は教室の広さだし、中にはいった熱は人数に当るんだね。熱はどっちにも同じに入った。そうするとどっちがこんでいることになるかな。きゅうくつなのはどっちだろう。

P—水の少ないほうだ。

T—水の少ないほうの温度が高くなるんでしたね。そうすると温度というのは、人のこみ方みたいなものですね。熱がこんで入っているほうを温度が高いといい、すいては入っているほうを温度が低いというのです。

T—これにたことがまだほかにありますよ。

この水でさとう水を作るときのことで考えてみましょう。こっち(水の多いほう)とこっち(水の少ないほう)に、どっちにもさとうを8ばいずつ入れてかきまぜると、どっちのほうがかいさとう水になりますか。

P—水の少ないほう……あまくなる。

T—さっきの水をあたためることで、さとうに当るのは何だろう。

P—熱だ。

T—さとう水のこさは……… P—水の少ないほうがこい。

T—水をあたためることでは？ P—水の少ないほうが高くなる。

T—そうですね。温度というのは、熱のこみ方の度合のことで、人のこみ方、さと水のこさみたいなものでよね。

**考察**

- ・ 部屋に入ってしまった場合と、水をあたためる場合とのそれぞれの全体像をくらべて、共通点があることには、すぐには気づかない。
- ・ そこで、やや分析的な対応をさせてみたわけであるが、水が入るとする(KF)対応がみられた。このような対応は、水が入っているビーカーを部屋とみているわけであって、“ビーカーに水が入っている。”という視覚的要因が支配的に働いたわけである。
- ・ ところが、このような対応関係がくずれて、水が部屋に当るという対応関係が成立した契機は、いま一度部屋のこみ方に着目することにあつた。しかし、このような対応関係が成立しても、人数に当るものは熱だという対応は必ずしも成立しないようである。水が部屋に当るという対応ができたならば、当然、人数に当るものが熱だということに気づいてよいように思われるけれども、ここですぐには、熱という概念の想起と適用ができない。
- ・ 人数が熱に当るという対応ができるために、やはりいま一度“入ったものは……？”という思考上の観点が必要になっている。
- ・ 以上の過程で、水の少ないほうの熱のこみ方が大きいことへの理解にたどりつけたようである。

○ 温度のちがうものをふれさせると両方の温度が交つて中間で等しくなるのは、熱の移動によると考えること。

T—ここに小さなビーカーと大きなビーカーがあります。小さなビーカーにはつめた水を入れ、大きなビーカーにはあつ湯を入れます。この水が入っているビーカーを、湯の中へ入れると(ここまで演示しながら)、水と湯の温度はどうなるでしょう。温度は両方とも変わるか、それともどちらか片方だけ変わるか、あるいは両方とも変わらないか。どう思いますか。

KT—両方とも変わる。

T—どういうふうになるの？

KT—小さいほうの水はあつたかくなる………温度が上がるし、大きいほうは温度が低くなる。

KF—私もそう思うな。

IK—水のほうは少しつめたから………お湯のほうはあつい。にえたっているから、少しくらい熱をくれてもさめない。かわらない。………だから水のほうだけ上がる。

T—それではどうなるのか、ためしてみましよう。(実験装置をする)

P—(3人ずつ手分けして両方の温度計の目盛を読む)

水………7 4° → 5 3° → 4 5° → 4 0°  
(湯……… 8° → 2 0° → 2 6° → 3 0°)

T—しまいはどうなるんだろう。

OS—水のほうが高くなって、湯のほうが低くなるんでないか。

KM—おなじになってから、水のほうはだんだんあがり、湯のほうは下がるんでないか。

KF—水のほうは上がったけど、また下がるんだ。お湯はまた上がる。

IK—同じになったらかわらないんだ。

KF—やっぱり、同じところに止まるんだ。ほらどっちも38°になったよ。

**考察**

・ 温度変化についての見とおしては、“お湯はにえたっているから、すこしくらい熱をくれてもさめない”と考えるものがある。(IK) この児童の考え方で興味深いことは、“すこしくらい熱をくれてもさめない”という発想である。既に“熱をやる”という見方ができているにもかかわらず、湯が非常にあついという知覚表象が、“すこしくらいくれても”という判断となつてあらわれたものと思われる。経験的な像と学習によって得たものが混在しており、その矛盾に気づかない状態といえよう。

・ いま一つ興味あることは、水の温度は上がり、湯の温度は下がって同じ温度になった後、逆に水のほうはそのまま上がっていき、湯のほうはそのままさらに下がると考えたり、同じになった後、湯のほうはまた上がり、水のほうはまた下がるかと予想したりするもののあることである。この点については、ここでは追求しないこととした。

T—そうですね、水の温度はだんだん上がる。お湯の温度はだんだん下がる。しまいに同じになる。同じになったあとでは、両方とも同じにひえていくんですね。どうしてそうなるんだらう。

P—水が湯にあたためられて……

T—熱がうつるということをさっきやったね。それを使って温度が変わるわけを説明できませんか。

P—(交互にいう)お湯のほうから熱が水のほうにつたわった。

お湯は水に熱をやった。

T—水はお湯から……

P—熱をもらった

T—だから水の温度が上がり、湯の温度は下がったんですね。温度が同じになると熱のやりとりは……

P—しなくなる。

**考察**

・ なぜそうなるかということに対して、やはり“水がお湯にあたためられて……”という経験的な表現が出やすく、熱概念を直ちに使うことはできないようである。そこで、“熱がうつる”ということを使ってみるようにとの指示が必要になっている。

・ “熱をやった、もらった”という熱のやりとりという考え方が素直に出てきたことには、いささか意外の感があった。

事例(3)

小5年女7名

調査年月日—1962.1.19—

児童名 SY.SH.SR.TF.NR.HE.WT Tは教師.Pは児童全員

○ 水をいれたやかんを火にかけると、水の温度が上がるのは、熱が移るからであること。

T—水をいれたやかんを火にかけると、中の水がだんだんあつくなりますね。どうして温度が上がるんでしょう。

TF—火にかけたからだ。

HE—火に熱があるから……その熱が伝わって……やかんの中の水に伝わって水があつくなる。

T—熱ということばを知っていますか。

P—頭がいたいときに熱がでる。

T—火の中に何かあついているものがあって、それが水の中へ入った。それで水の温度が上がった。その何かあついているもの、……これは目には見えないけれど、……何かあついているものがある。それを熱といってもよいのです。その熱が水の中に入った。それで水の温度が上がったと考えていいのです。

このことを頭において、つぎのことを考えてみましょう。

○ 熱と温度とはちがうこと。温度は熱のこみ方の割合であること。

T—同じ大きさのビーカーが、ここに2こあります。片方には水をたくさん入れ、もう片方には、それより少なく入れます。この2つをストーブの上に並べてあげ、中の水をあたためます。両方ともストーブから熱が入るから温度が上がりますね。(実演する)

どっちのほうの温度が早く上がるでしょう。それとも温度の上がり方は、どっちも同じでしょうか。

P—こっちのほうだ。(水の少ないほうをさす)

WT—こっちは水が少ししかないから早く温度が上がる。

T—そうですね。どっちにも熱が入るから温度が上がるわけですが、どっちが熱がたくさん入ったんだろうか。それとも入った熱はどっちも同じなんだろうか。

P—おなじ、同じ。(という)

T—だってこっちはあつくなるんだよ……… P—それでも同じだ。

T—そうですね。おなじにあたためたんだから、入った熱も同じはずですね。それでは、どっちにも熱は同じに入っているのに、どうしてこっち(水の少ないほう)があつくなるんだろう。

P—水が少ないから。

TF—水が少なく早く温度がのほりやすい。あたためやすい。

WT—大きいほう(水の多いほう)はそれだけつめたさがあるからだ。

T—そうですね。水の量が少ないからですね。それならば水の量が少ないとなぜ早くあつくなるか、うまく説明できないでしょうか。

P—(反応なし)



**考察**

・ 水があたたまるのは、火から熱がうつったからであること、水の少ないほうの温度が早く上がること、水の多いほうと少ないほうに入った熱の量はどちらも同じこと、熱の量は同じのに片方の温度が高くなるのは、水の量が少ないからであること……ここまでは、大体問題なく運べたようである。ところが、水の量が少ないとなぜ温度が上がるのか……どう説明したらよいかということになると、やはり前例と同じように行きづまる。

T—それではほかのことで考えてみましょう。

この理科室となりの準備室とくらべてみると、こっちのほうが広いね。この理科室にも50人、となりの準備室にも50人 人が入ったとすると、両方の部屋のようすは どちらがうでしょう。

P—広さがちがう。

T—人数は同じね。部屋の中のようすはどうか。

WT—となりの部屋（準備室）は早くあたまる。……もしストーブをたいたら。

T—いま先生は、人が部屋に入ったことをはなしたんだがね。こっちの部屋となりの部屋と広さはちがうけれど、人数はどちらも50人ずつ入ったんだよ。部屋の中のようすをくらべて、何か気づくことはないかな。

SH—こっちはいっぱいあいているし、となりは少ししかあいていない。

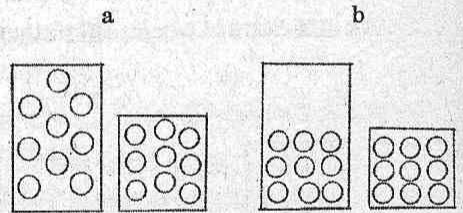
SR—となりはきゅうくつだ。

**考察**

・ 事例(1)の場合と同じように、“小さな部屋のほうが早くあたまる”（WT）というような関係づけ方がみられる。部屋と人数の場合と水をあたためる場合の全体像としての類似性をおぼろげながら意識していることからくる飛躍的な判断とみることができよう。

・ 両方の部屋のようすをくらべたとき、児童の心像として描かれているものには二つあるように思われる。一つはaのような像であって、

他の一つはbのような像である。“こっちはいっぱいあいているし、こっちは少ししかあいていない”というような表現によって代表される像は、bのような意味であいているところが多いとか少ないといっている



る場合と、aのような意味ですきまがたくさんある、またはないといっている場合とである。

このような考え方のちがいは、後の過程であらわれてくるようにも予想される。

T—大きな部屋と小さな部屋に同じ人数が入った場合、小さな部屋のほうがきゅうくつだというね。人がこんでいるともいう。大きい部屋のほうはすいているという。

このことと、さっきの水をあたためることと何か似ていることはないかな。

SY—こっち（水の少ないほう）があいている。こっち（水の多いほう）がきゅうくつだ。

HE, WT, TF—いや、こっち（水の少ないほう）がきゅうくつだ。

SH—HEさんと同じ。

SR—ピーカーは同じだし？……こっちな（水の多いほうをさす）

T—こっち（水の多いほう）がきゅうくつだという人と、こっち（水の少ないほう）がきゅうくつだという人とあるが、どうしてそう考えられるのですか。

P—（反応なし）

T—HEさんどうしてそう思うのですか。

HE—こっちのほうに火の熱が入るのにあまり時間はかからないし、むこう（水の多いほう）は時間がかかる。

T—ほかはどうですか。

P—（反応なし）

**考察**

- ・この事例では、部屋の場合と、水をあたためる場合とのそれぞれの条件を分析的に対処させる前に、全体象としての“きゅうくつさ”を対応させ類似点の発見をすることができた。
- ・しかし、水の多いほうがきゅうくつだとするもの（SY・SR）と、水の少ないほうがきゅうくつだとするもの（HE・WT・TF・SH）とがある。水の多いほうがきゅうくつだとするものの意識構造としては、ピーカーを部屋とみ、水を人数とみているようである。しかも、その描き方は先にあげたa、b二つの図の中、bのようなものである。水の少ないほうがきゅうくつだと考えることのできたものは、ピーカーという視覚的要因による障害を排除し得て、しかも入った熱と人数との対応にある程度気付いているのではなからうか。
- ・水の多いほうがきゅうくつだというものも、水の少ないほうがきゅうくつだというものも、それぞれそう思う理由についてはうまく説明できない。ただ全体的な印象としてそんな感じがするというらしく、その全体的な印象を分析することはできない。ただ、HEのみ熱の入り方に着目して表現しているが、その表現は、他の児童に了解されるような客観性をもっていない。

T—それでは、水をあたためることと、部屋に人が入ったこととくらべてみて、教室の広さにあたるのは、このあたためることではいば なんだろう。

P—体積・熱・ピーカー・高さ・空気（などの反応あり）

HE—人数にすれば、理科室には入ってもまだあまっているし、準備室はきゅうくつだ。

……熱もこっちに同時に入れば、それと同じように、こっち（水の少ないほう）はきゅうくつであたたまっているし、こっち（水の多いほう）はまだあいているから、まだ熱がわりようで、教室にすれば、こちらはまだ入るし、むこうはいっぱいになるし、こちらはもっとたくさん入らなければきゅうくつにならない。こっちもまた（水をあたためる場合のこと）同じになるには、こっち（水の少ないほう）は熱がすこしでもいいし、むこう（水の多いほう）は、いっぱいではなければだめだ。

T—なるほどね。ほかの人HEさんのいっていることわかりますか。

P—???…… WT—もっとかんたんにいいばいいんだよ。

HE—さあ、なんといったらいいかな。

T—HEさんは、教室の広さに当るのは何だと思うの？ 熱か水かピーカーか？

HE—（しばらく考えて）水だ。

WT—そうだ水の量だ。ピーカーはだって同じしね。（HEに同意を求める）

T—ピーカーでないかな。ピーカーも入れものだし、部屋も人が入ったんだ。

P—???……

**考察**

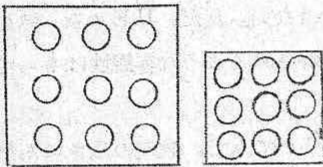
- ・そこでさらに分析的に対処させるような方向に進めてみたわけであるが、その反応は記録にあるように、水の体積・熱・ピーカー・高さ・空気などさまざまであった。しかも、水の少ないほうがきゅうくつだといったSH・TFなどが、空気・熱などと答えたことを考えると、前の発言は、なんとなくHE・WYなどの発言に同調していったとしか思えない。

・したがって、この過程はHE・WTにリードされながら他の児童はよく理解し得ないまま進行しているように思われる。

・ここでのHEの発言内容を検討してみると、部屋の広さを水の量と対応し、人数を熱の量と対応して、水の少ない方がきゅくつだとはしているが、描いている像は、熱が下から順にしみとおっていく時間を考え、しかも先のb図のようなものとしているように思われる。

・しかし、WT以外の児童は、HEのいっていることがわからず、また部屋の大きさが水の量に当るといふ対応もまだできない。

T—さっきSRさんやSYさんは、ビーカーが部屋の大きさに当るような感じがしたんだよね。だからここに入っている水は、部屋に入った人数のように見えるんですよ。ところが、HEさんやWTさんは、教室の大きさに当るのは水の量だという。いったいどっちなんだろう。図に書いて考えてみましょう。



□と□は大きな部屋と小さな部屋、大きな部屋に、このように9つだけ入った。小さな部屋にも同じく9つだけ入った。そうすると、さっきSHさんがいったように、こっちはきゅくつでこんでいる。こっちはすいていることになりますね。

これは教室の場合だけどさ。この水をあたためるとき、□と□に当るのは何だろう。

P—水だ。 水だ。

T—大きな部屋にあたるほうは？

P—こっち（水の多いほう）

T—小さい部屋にあたるのは？

P—こっち（水の少ないほう）

T—それでは中に入った人数にあたるのは？

P—熱だ。

T—そうすると、水が少ないほうと水が多いほうに、同じに熱が入ったときは、水の少ないほうは熱がこんでいることになるし、水が多いほうはすいていることになりますね。それで、熱がこんで入っているほうは、熱がすいて入っているほうより、温度が高いというわけです。

温度というのは、熱のこみ方の度合のことです。

#### 考察

・事例(1)の場合のように図を書いて分析的な対応をさせてみたところ、ようやくそれらの対応関係に気づくことができた。抽象的な関係を自ら視覚化し、それを媒介にして関係を考えることはむずかしいが、視覚化したものを与えられてそれを媒介としたがら考えることはできるようである。

・しかし温度が熱のこみ方の度合であるということは、結局与える結果となったように思う。

○ 温度のちがうものをふれさせると両方の温度が違って中間で等しくなるのは、熱の移動によると考えること。

T—ここに小さなビーカーと大きなビーカーがあります。小さなビーカーにはつめたい水を入れ、大きなビーカーには、あつい湯を入れます。この水が入っているビーカーを湯の中に入れると（ここまでは演示する）、水と湯の温度はどうなるでしょう。温度は両方とも変わるか、それともどちらか片

方だけ変わるか、あるいは両方とも変わらないか。どう思いますか。

P—かわる。

HE—かわる、両方とも。 T—どう変わるのかな。

SH—水はだんだんあったかくなるし………同じ温度になる。

T—同じ温度になるというのはどうなること？

TF—まあ、お湯だったら水に伝わって……… T—何が？………

TF—お湯の熱が水に伝わって水がだんだんあったかくなるだろう………どっちも同じ温度になると思。

T—TFさんは、このお湯の温度はどうなると思うの？

TF—下がっていく。

T—そうすると水の温度はだんだん上がり、お湯の温度はだんだん下がって、しまいと同じ温度になるというのですね。 TF—(うなづく)

それでは、水のほうだけ上がって、お湯のほうは下がらないと思う人はありませんか。

SR—(手を上げかけるが首をかしげる)……こっちも(湯のほう)変わりそうな気もするしな……？

T—さっきもTFさんがいったように、こっちのお湯のほうから水のほうへ、熱が伝わっていくんだから、水の温度はだんだん上がっていくことはまちがいなさそうだ。問題は、お湯の温度が下がるかどうかということですね。

HE—下がるよ。 T—どうして？

TF—まず、水はつめたいし、お湯はあついろ、水とお湯をまぜるとぬるくなるだろう。それと同じように、このつめたさがこっちへ入っていく。

T—あゝそうか。こっちの(お湯のほうの)熱は水のほうに伝わるし、こっちから(水のほう)つめたいのがお湯の中に入るといのですか。

TF—はいそうです。

T—つめたいものって何だろう。

TF—水………いや、水が伝わって入ってことはないしな………温度かな。温度もへんだな………？

T—水のほうがあたたかくなるわけは わかるんだね。

P—熱が伝わって入って、水は熱をもらうんだ。

T—お湯のほうの温度が下がるわけは？ TFさんはつめたいのが入るといったけれど、それは熱ではなさそうだし、温度というのも変だ。

WT—キャンデー作りと同じだ。水はこおるし氷を作るもの(寒剤のこと)は水になる。

TF—ちょうど反対にしたようなものだ。

FE—小さなピーカーに、こんどはお湯を入れて、大きいほうに水を入れて………それと同じだ。

T—それは、こうするんだね。(といてやってみせる)

この場合は、熱はどっちからどっちへうつるのかな。

P—小さいほうから大きいほうへ

T—だから大きいビーカーの水がぬるくなるんだね。それでは、こっちの小さいビーカーのお湯もさめて温度が下がることになるね。どうしてだろう。

TF—さっきと同じよね。

WT—こっちの(湯のほう)熱をね、こっち(水のほう)のほうに……?

TF—熱といえばおかしいけれど、うーんと水の……何と……いったらいいかな……まあ、熱と……って……水の熱がお湯のほうに伝わるんだ。

WT—こっちのほう(湯のこと)の熱がすこしになる。お湯のほうの熱が水にとられる。とられてしまう。

SR—つめたい手であついものをもつと手があたたまると同じ。

TF—あつい手とつめたい手をこういうふうに(にぎり合う)すると同じくらいのあつさになる。それと同じことだ。

T—そうですね。SRさんや、TFさんがいうとおりだけど、WTさんがいったことももう一度きいてみましょう。

WT—お湯の熱が水のほうにとられて……お湯は水に熱をとられたんだからとられた分だけ低くなる。そうすると両方同じ温度になる。

T—そうですね。そのように考えれば、つめたいものがうつったとか伝わったとかいわなくてもよさそうです。お湯の中へ水をいれたときには、あついほう・温度の高いほう・熱のこんでいるほうから……つめたいほう・温度の低いほう・熱のすいているほうへ熱が移っていく。だから水のほうは熱をもらって温度が上がった。お湯のほうは熱をとられて……なくしてそれだけ温度が下がった。……といえどどうですか。

P—なんだ。ハツハツ……

### 考察

・この過程では、熱移動による理由を述べながら温度変化を予想することができるものがみられ、それがきっかけとなって、両方の温度が変わる理由をはっきりさせようとする方向に進められた。ところが水の温度が上がる理由は「熱が湯のほうから水へ伝わるからだ」と

いうことで説明はつくし、このような考え方は、逆にお湯をさますことが目的と思われる場へも適用することができたけれども、湯の温度が下がる理由の説明となるとうまくいかない。

・お湯の温度が下がるわけの説明となると、つぎのような考え方がでてくる。

a 水のつめたさがお湯に入るとする。 b この問題場面との類似現象と同じことだとする。

○水と湯をまぜたときと同じことだ。

○キャンデー作りの時に、水はおこるし、氷はとけることと同じことだ。

○つめたい手とあたたかい手をにぎり合うと、同じあたたかさになることと同じことだ。

a・bのような考え方はその根底に、あついものとつめたいものとまざり合う像が描かれているものと思う。このような考え方は、熱が温度の高いほうから低いほうへ伝わるという発想だけからは変えることがむずかしいものではなからうか。

・この過程ではWTの「湯のほうの熱がへる」、「湯の熱が水にとられる」という発想によって上記の袋小路はきり開かれた。しかしWTがどのような契機から熱のやりとりという視点を得たかはわからなかった。まさるといふ見方から、熱の量のやりとりという見方への視点変換は、一見つまらないことのように思われるが、熱移動による温度変化の理解にとっては重要な観点である。

事例(4)

中1年男6名

調査年月日—1962.1.22—

生徒名 IK, IS, IB, IY, KH, OM Tは教師, Pは生徒全員

○ 水を入れたやかんを火にかけると水の温度があがるのは、熱が移るからであること

T—水を入れたやかんをストーブにのせると、中の水はどうなるでしょう。

IY—あつたかくなる …… 温度があがる。

T—どうしてそうなるんだろう。

P—熱・熱 ……(という) T—熱がどうだというんですか。

IS—熱がでてやかんのところに …… ? IB—熱で水があつたかくなる。

KH—もし、こんろだったら、その火で水があたためられる。

T—火と熱はおなじものですか。 KH—うーん、なんといつたらいいな ……

T—火の中に熱という何かがあって …… それは目にも見えないし形もない ……

KH—ただ感じだけでわかる。 T—そういうなにかあつたものがある、それがストーブから水につたわってはいった。それで温度が上がったというわけですね。

考察

- ・ 水を入れたやかんを火にかけると水の温度が上がるのはなぜか、という問いに対しては、すぐに熱ということばがでてくる。この点小5年の場合とくらべると既にある程度熱で物があたたまるという知識はもっており、このような場で再生することは容易であるように思われる。
- ・ しかし火と熱を区別して表現できるほどには熱概念は明確にはなっていない。何か火の中にあるあつたものということとつぎに進むこととした。ここでは、熱というのは、目に見えないし、形もない。KHがいつているように感じだけでわかるものである。

○ 熱と温度とはちがうこと、温度は熱の密度であること

T—同じ大きさのピーカーが、ここに2こあります。片方には水をたくさん入れ、もう片方には、それよりすくなく入れます。この2つを電熱器の上にならべてかけ、中の水をあたためます。両方とも電熱器のほうから熱が入るから温度があがりますね。(実演する)

どちらのほうの温度が早くあがるでしょう。それとも温度のあがり方はどちらも同じでしょうか。

P—水の少ないほう

T—水の少ないほうが、早く温度があがるというんですね。 …… どちらにも熱が入ったから温度があがるわけですが、どちらかに熱がたくさん入ったんだろうか、それとも入った熱はどちらも同じなんだろうか。

KH—水の分量が多いだけ熱がいっぱい入った。

IB—時間が長いだけ熱がよけい入った。水の多いほうは水の少ないほうより多く時間がかかる。 …… けえたつまでだからね。

T—KH君もそういう意味なのですか。 KH—なんだか自分でもわからなくなった。

T—いま問題にしていることは、にえたつまでのことではなくて、同じ時間だけあたためたらどっちに熱がたくさん入るか、それとも入る熱の量は同じかということですよ。

IK, IS, IB—おなじ、同じ(という)

IY—ほくはちがう。水のすくないほうだ。だって温度が高くなるだろう。

OM—うんと、熱は……水の多いほうが、それだけよけい入る。

T—OM君、どっちの温度が高くなる？ OM—水の少ないほう

T—その場合には、どっちかに熱が多く入ったのか、それとも入った熱は同じかときいているんだよ。

KH—同じでないか。だっておなじにあたためたんだもの……

P—なあんだ。……(笑声あり)

### 考察

ここで意外だったことは、“水の量が多いほうに熱が多くはいる”という判断であり“水の多いほうは少ないほうより時間が多くかかるから熱も多くはいる”という考え方である。最初に発言したKHは、先の実態調査の時には“熱はどっちにも同じに入る”としていたのに、ここでは“水の量が多いほうに熱が多くはいる”といっている。思うに、ここでの問題の受けとり方が“どっちも沸とうするまでにはどっちに熱が多くはいるか”ということであったためであらう。

はじめのKHの発言が他を同調させてしまい、全体としての思考が望ましい方向に進めなくなってしまったようである。KH以外の他の児童は、前の実態調査結果では、水の量の少ないほうまたは多いほうに熱が多く入ったと反応していた。

そこでいま一度問題場面の提示をしなおしたところ、こんどはつぎのような反応がみられた。

a 入った熱量はおなじというもの…… IK, KH, IS, IB

b 水の量の少ないほうは温度が高くなるから熱の量も多いというもの…… IY

c 水の量が多いほうに熱が多く入るといふもの…… OM

cの場合は問題場面の再説明にもかかわらず、前と同じ考え方をかえていない。

IYは温度と熱を全く同義的に見ている。

KHの“同じでないか……だって同じにあたためたんだもの”という発言で、ようやく、入った熱は同じことに気づいたようすである。同じ火にかけたという条件を意識構造の中へ位置づけることが、OM, IYにとっては抵抗になっていたらしい。

T—同じにあたためたんだから、どっちにも同じ量の熱が入ったはずですね。それでは、どっちにも同じ量の熱が入ったのなら、どっちも同じに温度があがればよいのに、こっち(水の少ないほうをさす)の温度が高くなるのはなぜだろう。

P—水が少ないからだ。

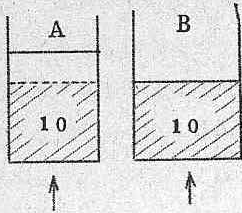
T—水が少ないとどうして温度の上り方が早いんだろう。説明できませんか。

IB—だって、水のいっぱいあるほうは、にえたつのがおそい。

IY—水の量の差があるから、おなじにあたためれば、少ないほうは、その差だけ温度がよっぱいになる。

KH—同じ熱が入るだろう。やっぱり水の少ないほうが、うんとすこしの熱で、おなじ熱の分量だろ……へんだな、なんといったらいいかな。

T—(左のような図を黒板にかく) IY君は、水の量の差がある。その差だけといっていますが、どういうことですか。



IY—水の量が同じければ、どちらも同じにあたたまらう。Aのほうはそれだけ(Aの水量-Bの水量の意味)水がいっぱいだろう。下は(斜線の部分のこと)どこをはかっても温度が同じだろう。えーと、温度が10と10あるだろう。(ここで10という数字を図中に書き入れる)10の温度がAのほうは水がいっぱいはいっているから、その差だけ温度が低い。

T—その差だけというのは?

IY—差がやっぱりあたたまらう。それだけ10のところから引くと低くなる。

T—どうですか。IY君のいっていることわかりますか。

KH—だいたいね。……でも差だけというのがよくわからない。……こうなるんじゃないかな。Aのほうに10はいるだろう。それを水の分量でわると、Bのほうより少なくなるだろう。それだけ温度がちらばって低くなる。

T—なるほどね。ほかの人どうですか。 P—???……(無言)

KH—両方に同じ数の……量のねつが入っているんで、それを水の量で割ると、AのほうがBのほうより小さくなるので、ちらばっている。だからAのほうの温度が低い。

T—こんどわかりますか。 P—わかる(というが何か不安そうなようす)

### 考察

- この過程は、主としてKHとIYの考え方がたがいに影響しあいながら進められた。記録に見られるとおり、はじめはIYの素朴な考え方がリードし、それを契機としKHがほぼ正しい理解構造に到達したとみてよいであろう。
- KHのはじめの発言は“同じ熱が入るが水の少ないほうがやっぱり少しの熱でよい”という、水が少ないからだということと同義の内容であり、しかも、それでは説明にならないと自ら気づいている。
- IYの考え方は、両方の水の差に着目して、その差を操作して説明しようとしている。しかし水の差が温度の差にすげかえられている矛盾には自ら気づいてはいないとみることができよう。水が少ないから温度が高くなるという現象的な見方を一歩進めようとしているけれども、割合としてみようという関数的な思考形式はまだ働いていない。
- KHは、IYの発言やそれに関連して描かれた図に刺げきされて、熱の量を水の量で割って、その割合をくらべるという関数的な関係としてとらえることに成功した。
- しかし、IYをはじめ他の生徒は、KHのこのような関係把握を、KHの発言内容から理解することができたかどうかは疑問である。

T—それでは、ほかのことで考えてみましょう。

この面接室は、となりの図書室にくらべると、だいぶ狭いようですね。こっこの面接室に50人、となりの図書室にも50人入ったとすると、両方の部屋の中のようにすはどちらがうだろう。

IY—図書室は広いから、すきまがあってあいている。こっこの面接室はきゅうくつだ。

T—いまの話と、さきほどの水をあたためる話と似ていませんか。



P—似ている。同じだ ……

T—どういふところが似ているんだろう。

IK—どちらも10ずつあたたためたし、片方のほうは水が少なくて1.0 あたたためたし、こっちも1.0 あたたためたし …… それといまのと同じ。

T—KH君は同じことだといふんですね。 KH—全く同じだ。(説明しようとするが一応とめる。)

T—ほかの人、どうですか …… (他の生徒反応なし)

T—部屋に入人が入った場合のことと、水をあたためることとなんとなく似ているということですが、それでは、この面接室にあたるのは、水をあたためることでは、どちらなんだろう。

KH—Bのほう(水の少ないほう)だ。

IY—いやちがう。Aのほう(水の多いほう)だ。Bのほうがすいているし、Aのほうはきゅうくつだ。

T—ほかの人たちどう思いますか。

IK, IS, OM—Bのほうだ。 IB—Aのほうだ。

KH—君たちビーカーと水とまちがっているんでないか。水が部屋の面積に当たるだろう。熱が人数で水が面積に当たるんだ。だからさ、人数を面積でわれば、Bがきゅうくつだろ。(IY—うなづきなげらきくがなにかはつきりしないようす)

T—どうですかIY君? 人数に当るのは KH君なんだっけ。

KH—熱だ …… 入ってくるんだろう。

IY—いやや …… ああ、そうか。

T—そうすると、水の量が部屋の大きさに当り、中に入る熱が人数に当たるんだね。だから、Bがきゅうくつで、Aがすいていることになる。君たちなにを感違ひしたのかな。

IB—部屋をビーカーだと思ったんだ。

T—そうするときゅうくつなほうの温度が高い。熱がこんで入っているほうの温度が高いことになりすね。熱のこみ方の小さいほうの温度が低い。すると温度というのは熱と関係はあるけれども、温度=熱ではない。それでは温度ってなんだといえいいんだろう。

KH—熱であたためられた物体の温度 …… 温度ではないな。…… あったかいかな、つめたかいかな …… なんといったらいいかな。

T—人口密度ということば知っていますか。

KH—人口のこみ方 …… 1 km<sup>2</sup>に何人いるかということです。

T—そうですね。温度というのは、人口密度みたいなものだと考えられます。物体の中に入った熱のこみぐあいです。こんで入っているほうがすいている場合より温度が高いというのです。

ここに水でさとう湯を作ることともなっていますよ。AにもBにもさとうを3ばいずつ入ると、Bのほうがいさとう湯になるでしょう。温度は、さとう湯のこさみみたいなものだと考えられますね。この場合熱に当るのは何でしょう。

P—さとうです。

### 考察

。 前段までの過程で、KHの理解構造はほとんど完成されているため、ここでの過程では、し

きりに他をリードしようとするが、KHの発言をなるべくおさえながら、IYで代表される他の生徒の過程を検討することにした。なお、IKも前段のKHの発言でおおよそ理解していたようである。

- 図書室と面接室のようすのちがいは、きゅうくつさのちがいとしてすぐ気づかれ、しかも水をあたためることと似ているという全体像の類似点にもすぐに考えつくことができたが、IY IBは水の多いほう部屋のせまい面接室だと対応させている。KHがその誤りを指摘するがなかなか気づかない。誤りに気づいた契機は、結局“入ったのは熱だ”という点の指摘によるものであった。
- しかし、温度は熱のこみ方の程度であるという関係概念は、人口密度という概念と対応させながら与えるという結果となった。

○ 温度のちがうものをまぶれさせると両方の温度が変わって中間で等しくなるのは、熱の移動によると考えること

T—ここに小さなビーカーと大きなビーカーがあります。小さいビーカーにはつめたい水をいれ、大きなビーカーにはあつい湯を入れます。小さいビーカーの水をあたためようと思って大きなビーカーの湯の中へいれると、(ここまで実際に演示しながら)水と湯の温度はどうなるでしょう。温度は両方ともかわるか、それともどちらか片方だけ変わるか、あるいはどちらもかわらないだろうか。どう思いますか。

I S—小さいほうはあたたかくなって……温度が上がって、大きいほうは下がる。

T—みんなもそう考えますか。 P—はい

T—この水(小さいビーカーの水)をあたためようと思って、湯の中へ入れるんですよ。それでも温度は両方変わるというんですか。

P—かわる。 KH—しまいには両方同じになる。

T—なるほど、みんながそう思うには、なにかわけがあるはずだ。そのわけを説明できますか。

I Y—ガラスは熱を伝える。あついほうから低いほうへ熱がいくからだ。

T—そうですね。それで小さいビーカーの水があたたかくなるわけはわかった。それなら、大きいビーカーの湯の温度はどうして下がるのかな。説明できますか。

I K—小さいビーカーから、この水の温度が大きいビーカーに移るからだ。

I S—ぼくもそう思う。 I Y—ちがうと思う。

KH—どちらも同時になるんだ。 I K—そうだ同時にうつる。

T—きみたち、同時同時というが、同時にとはどういう意味なの？

KH—お湯ってあたためられたものだろう。お湯の中に熱が入っているだろう。そこへ小さなビーカーを入れれば、小さいビーカーに熱が吸収されて、…… そうすると、湯のほうの温度もさがる。

T—だけどIK君は、つめたいほうからあついほうへ、つめたい温度が入るからだというんですよ。

KH—だって、つめたいほうに熱はないだろう。それがあついほうへつたわって入っておか

しい。

T—そうですね。つめたい熱というのはちょっとおかしい。つめたい温度が伝わるというのもおかしい。熱はこんで入っているほうからすいて入っているほうへ……いいかえれば、温度が高いほうから低いほうへ移るといのがよいようです。それをKH君がいったように、水は湯のほうから熱をとった。湯は水に熱をとられた。うばわれたからそれだけこみ方が少なくなって温度が下がったと考えてもいいわけですね。

P—だけど全部とられたのではない。

T—そうです。全部とられるということはない。一部だけとられて、そのとられた分だけ温度が下がった。それで両方の熱のこみ方が同じになってどちらも温度が等しくなれば、熱はどちらへも移らなくなる。そう考えれば説明できますね。

T—それでは、いまと反対に、大きなビーカーに水を入れ、小さなビーカーに湯を入れて、やったらどうなるでしょう。

P—同じことだ。容れ物が反対になっただけだ。

T—そうですね。あたためるとか、ひやすとかいっても、熱が温度の高いところから低いところへ移って両方とも温度が変わることからみれば、結局同じことですね。

### 考 察

- 水と湯両方の温度が変わって、しまいに同じになるであろうという事実についての見とおしは、既に全員がもっていたようである。
- そのようになる理由の説明をする過程でも、KHがリードしながら、しかもIKとの考え方の対立を解消するような方向に進んだ。
- 小さなビーカーに入っている水の温度が上がる理由の説明では、“あつい湯のほうからつめたい水のほうに熱が伝わった”という判断が容易にできるけれども、逆に、湯の温度が下がる理由の説明となると、熱という概念を適用することができなくなって、“水の温度が湯に移るからだ”という、なにかつめたいものの移動と考えてしまう。(IK)
- KHの“どちらも同時になる”といっている意味と、IKの“そうだ同時にうつる”といっている意味はちがう。IYはKHのいっていることを、あつい熱とつめたい温度(?)との交互移動と自己流に受けとっているが、KHのいっている意味は熱のやりとりが同時に行なわれているということである。
- つめたい温度(?)が移るといふIKの考え方は、その根底に、水の混合→温度の混合という見方があるわけである。このようなIKの考え方が転換する契機となったものは、“お湯の中には熱があるが、水の中には熱はない。水は湯から熱を吸収したんだから温度が上がるし、湯は水にとられた熱の分だけ温度が下がる。”というKHの発言によるものであろう。
- しかしながら、KHの“つめたい水には熱がない”という考え方は、熱量があるなしについての正しい理解であるとはいえない難い段階にあるわけで、比較的低温間(常温以下の場合)の現象に適用するには、まだ問題が残っているともしえよう。けれども、KHのこのような発言からだけで、その理解構造を“常温以下のものには熱はない”と考えていると断定してよいかどうかは疑問である。
- 湯と水の入れ方を反対にした場合“熱のやりとり”という考え方を適用し、結局は同一

の現象であるとみることは容易に行なわれたようである。

事例(5) 中1年男6名 調査年月日—1962.1.23—  
生徒名 SH, NM, SA, SO, SS, SK Tは教師, Pは生徒全員

○ 水をいれたやかんを火にかけると、水の温度が上がるのは、熱が移るからであること

T—水を入れたやかんを火にかけると、中の水はだんだんあつくなりますね。どうして水の温度が上がるんだらう。

SA—熱が伝わるんでないかな。

T—熱ということは知っていますね。どんなものでしょう。

P—あついもの、あたたかいもの ………

T—あついものといいますが、目に見えますか。 P—見えない。

T—形や重さはどうですか。 P—ない

T—目にも見えないし、形も重さもおいもない、何かそういうあついものがある、それが水に伝わって入るから温度が上がるんですね。

○ 熱と温度とはちがうこと、温度は熱の密度であること

T—同じ大きさのビーカーが、ここに2こあります。片方には水をたくさん入れ、もう片方には、それより少なく入れます。この2つを電熱器の上にならべてあげ、中の水をあたためます。両方とも電熱器から熱が入るから温度が上がるはずですね。(実演する)

どちらのほうの温度が早くあがるでしょう。それとも温度の上がり方はどちらも同じでしょうか。

P—水の少ないほうの方が早くあつくなる。

T—そうですね。どちらにも熱が入ったから温度があがるわけですが、どちらかに熱がたくさん入ったんだらうか。それとも入った熱はどちらも同じなんだらうか。

P—どちらも同じだ。

T—でも、こっち(水の少ないほう)の温度が高くなるんですよ。

NM—それは水の量がちがうからだ。

T—それでは、水に伝わって入った熱はどちらも同じはずだから、どちらも同じに温度が上がればよいのに、こっち(水の少ないほう)の温度が高くなるのはどうしてなんだらう。

SH—分量がちがうからだ。

NM—こっち(水の多いほう)は水が多いから熱がいっぱいいる。

T—では、水の量がちがうと、どうして温度の上り方もちがうんだらう。

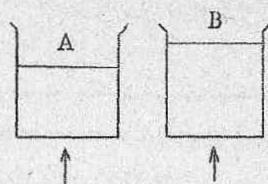
(図を描きながら問題の説明をする) AにもBにも熱は同じに入ったんだね。AはBよりも水の量が少ないね。AはBよりも温度が早く上がるんだね。水の少ないAのほうの方が、どうして温度が高くなるんだらう。

なるんだらう。

NM—熱のつたわり方がはやいから …… ぐるぐるこ  
ろまわるのがはやいから

T—ぐるぐるまわるってどういうことですか。

NM—下から上へ水がぐるぐるまわってあたたかくなるだ  
ろ。AははやくまわるしBはおそくまわる。



SK—よくわからないけれど、あたためると、下のほうの水がにえたって、かるくなって上  
のほうへ上がる。それが少ないほうははやい。

T—なるほどね。ほかの考え方はありませんか。

SA—水の量が多いと、それだけ熱がよわくなる。

SO—水の少ないところは熱のつたわり方がはやいし、水が多いと熱の伝わるのがおそい。

SS—AとBの水の量が同じければ、同じに温度が上がるはずだけど、こっちが多いからそ  
れだけ上がるのがおそくなる。

T—みんないろいろなことをいうけれど、どれもみんなよさそうだし、それでもなさそう  
だし、……… こまったな？

#### 考 察

- 水を火にかけると温度が上がるのは熱が伝わるからであること、量のちがう水を同じ火にかけると量の少ないほうが温度が高くなること、この場合入った熱の量は同じこと、入った熱量は同じけれど水の量が少ないから温度が早く上がるということなどの関係判断は、前例と同じく、ほとんど抵抗なしにできたわけである。
- ところが、水の量が少ないとなぜ温度が早く上がるかということについての説明を要求してみると、つぎのようないろいろな反応が見られた。
  - a 水の量の少ないほうが、対流が早く行なわれて、熱の伝わり方がはやいとするもの
  - b 水が多いと、熱がよわくなるというもの
  - c やはり、水が多いからとするもの
- このような場面でaのように対流の知識を適用することも、既有知識を使うという観点からすれば、むしろ望ましい態度であるといえよう。しかしこの考え方は、両方を同じ温度まで上げるには、水が多いほうに熱が多くいる理由の説明とはなるが、この場面の説明としては、熱の量が同じということ进行操作していないこととなる。しかし生徒はこの点には気づいていない。
- 水が多いと、それだけ熱がよわくなるといっている生徒(SA)がどんな考え方でそういっているのかはわからない。

T—ひとつ、ほかのことから考えてみましょう。

この面接室となりの図書室の広さをくらべると、こっちのほうがせまいね。この面接室にも50人、となりの図書室にも50人入ったとして、両方の部屋のようにすをくらべるとどんなことがいえるでしょう。

SH—こちらは面積のせまいところへ多くの人が入ったからぎゅうぎゅうだし、むこうの図書室は面積の広いところへ同じ人数が入っているからすいている。

T—そうですね。そのことと、さっきの水をあたためることと、くらべてみて、何か似ているところはないだろうか。

P—ある、ある。(2・3名発言しようとする。)

NM—こっち(水の多いほう)を面接室として、こっち(水の少ないほう)を図書室だととして  
こっち(水の少ないほう)がすいているし、こっち(水の多いほう)がこんでいる。

SO—ぼくは、反対だ。水の少ないほうが面接室で、水の多いほうが図書室だ。

NM—ああそうか。反対だった。

T—NM君は、はじめどう考えたのですか。

NM—あっちのすいているほうが(といて水の少ないほうのピーカーの空間をさしながら)  
面接室だと思ったんだ。

T—そうすると、こっちの水の少ないほうが面接室できゅうくつなほう、水の多いほうが図書室ですいているほうになるというわけですね。

T—それなら、もっとこまかく考えてみましょう。両方をくらべてみて、部屋の広さに当るのは、水をあたためる場合では、いったいなんだろう。

P—水だ。水だ。 SK—ピーカーだ

T—それでは、人数に当るのは、なんだろう。

P—熱だ。 T—たしかに熱ですか。どうして熱だといえるのですか。

P—はいったものだろう。

SH—人は部屋に入ったんだろう。熱は水の中に入ったんだ。

### 考 察

- この過程では、前段の過程を受けて、熱を量としてはっきり意識させようという意図から、部屋に人が入る場合と対応させてみたのである。図書室と面接室とのようすのちがいをきゅうくつさのちがいと気づき、さらにそのことと水をあたためる場合と似ているという全体像としての対応関係にも抵抗なく進むことができた。この点は前例(4)と同様である。
- また、一度は、水が多く入っているほうが面接室に当ると判断したNMも、反対の考え方をしているものの発言をきいて、すぐに自分の見方の誤りに気づいている。
- 水の量が部屋の広さに当り、熱の量が人数に当るという分析的にみての対応関係も、この過程ではおおよそ無理なくとらえることができたようである。

T—そうすると、温度は何に当るんだろう。

NM—熱かな SH—熱は人数だったろ。

SA—空気 …… 空気の温度 ……?

T—水の量が部屋の広さ、熱の量が人数でしたね。それで温度は何に当るんだろう。(といいながら、右のよ  
うに板書する)

|        |
|--------|
| 水の量—広さ |
| 熱の量—人数 |
| 温度—?   |

SH—例をあげると、こっちに50人ぎしぎしに入ると、1人の温度が100度として……  
ほんとは36度くらいだけどまあ100度として、100度の体温をもっている人が  
50人で、ぎっしりで、…… 図書室は、同じ人数同じ体温であると、すいていると  
ころも体温がつまる ……?

T—温度は、部屋と人数の場合には何だと、もっと簡単にいえないかな。

P—部屋の中の空気、部屋の中の温度、AとBの差(などの声あり)

T—君たち、人口密度ということばを知っていますか。 P—はい、はい

T—そのことば、どんなとき使いますか。 P—社会科で使う。

T—人口密度ってどういうことですか。 P—1km<sup>2</sup>に何人いるか ………

T—それでどういうことがわかるんでしょう。 P—(無言、反応なし。)

T—人口のこみぐあいがわかるんですね。人口密度が大きいということは、人がこんですんでいること、小さいというときは、人がすいている、まばらに住んでいることでしたね。

T—さっきの部屋のことでは、図書室のほうは面接室のほうより密度がどうだといえるんだろう。

P—小さい。 T—こっこの面接室は ……… P—大きい。

T—そうですね。面接室のほうがこみ方が大きい。密度が大きいといえますね。

T—それでは、この水をあたためる時の温度は何に当るんだろう。

P—密度だ。

T—そうですね。温度は熱のこみ方の割合のことだ。熱のこみ方の大きいほうが温度が高いというし、小さいほうの温度は低いというのです。

T—このビーカーの水で砂糖水を作る場合について考えてみましょう。こっちとこっちにどちらにも砂糖を3ばいずつ入れたとしたら、どっちがこい砂糖水になるでしょう。

P—水の少ないほうだ。

T—入れた砂糖は、水をあたためることでは何に当るだろう。

P—熱だ。 T—砂糖水のこさは? P—温度

T—そうすると温度というのは、人口密度とか砂糖水のこさのようなものですね。だから、熱と温度は同じように見えるけれども、全く同じことではない。温度は、熱のこみ方の割合のことだ。いま考えたことみたいに、同じ量のねつが入っても温度はちがうことがあるわけです。

### 考 察

- ここでは、温度が熱のこみ方の程度であるということをも部屋の人数のこみ方と対応させてみようを試みた。しかしながら、このような関係概念として対応することはなかなかむずかしいようである。
- 温度に当るのは部屋に人が入ったことでは何に当るかという問に対しては、“部屋の中の空気の温度だ”というように判断しやすく、部屋の中のきゅうくつさという像を意識して考えることができにくい。またSHがっていることは、せまい部屋とひろい部屋に同じ人数が入った場合、せまい部屋の空気の温度が上がる理由を説明しているようにも考えられる。
- 水の量は広さに当り、熱の量は人数に当るという対応ができ、しかも、水の量の少ないほうが、広さの小さいほうに当る …… 広さの小さいほうはきゅうくつでこんでいるという見方ができるので、きゅうくつさの程度という共通点を意識化することがどうしてできないのであろうか。それは人口密度のような関係概念の意味が理解されていないためではなからうか。
- その後の過程でわかるように、人口密度という概念を、1km<sup>2</sup>に何人いるかという意味では知

ているけれども、それがどういうことを示す概念であるかの理解はなされていないようである。したがって人口密度という概念がどんな場合に役立つかということについての理解も不じゅう分なのではないと思われる。

- ・ 結局、ここでは、まず人口密度という概念の意味を与え、これを部屋のこみ方に適用し、さらに熱のこみ方の度合へ転用するという過程をとって、温度の意味を理解させる結果となった。
- ・ ここで得た温度についての理解を、砂糖水のこさと対応させることは、比較的容易であった。

○ 温度のちがうものをふれさせると両方の温度が変わって中間で等しくなるのは、熱の移動によることを考えること

T—ここに小さなビーカーと大きなビーカーがあります。小さなビーカーにはつめたい水を入れ、大きなビーカーにはあつい湯を入れます。小さいビーカーのほうを大きなビーカーの中へ入れると（ここまでは演示する）、水と湯の温度はどうなるでしょう。温度は両方とも変わるか。それともどちらか片方だけ変わるか、あるいは両方とも変わらないか。どうなると思いますか。

S O—あつい湯のほうからつめたい水のほうへ熱がいく。だから両方とも変わって同じ温度になる。

T—S O君、どういふふうに変るといふのですか。

S O—つめたい水はあつい湯から熱をとって、あたたかくなる。あつい湯は下がる。しまいに同じになる。

T—おなじになったときの温度は、はじめの水と湯の温度とくらべるとどうなるんだろう。

S O—水よりはあたたかい。お湯よりはつめたい。

T—みんなもS O君のように考えますか。 P—はい。

T—それならば、こっちの水の温度が上がるわけは、いまS O君がいったように、お湯から水へ熱が伝わったからだということですが、こっちの湯の温度が下がるわけは何といたらいでしょう。

S A—あついはうはつめたいほうに熱を吸収されるから温度が下がるんだ。

T—なるほど、温度の高いほうは低いほうに熱をとられるからというわけですね。ところがこんな考え方もあるのですがどうでしょう。それは、水のほうから湯のほうへつめたいものが移っていった。だから湯の温度が下がるというのですか？

S A—水のほうは湯のほうから熱をとる一方で、水のほうから湯のほうへ熱がいくとは考えられない。

T—そうですね。熱は温度の高いほうから低いほうへ移るんで、反対のことはないわけですね。

T—それでは、こんどいまと反対に、水を大きなビーカーに入れ、湯を小さなビーカーに入れて、この湯をひやそうと思って、水の中に入れて入れた場合はどうですか。

P—こんどは、小さいほうから大きいほうへつたわる。同じことだ。

T—同じだというけれど、どういふところが同じなのでしょう。

P—いれものが反対になったというだけで、あとは同じ。

T—そうですね。熱が温度の高いほうから低いほうへ移って両方の温度が変わる。しまいに同



じになるということではどちらも同じですね。

### 考 察

- ・ この事例では、温度がどう変わるかという問いに対して、熱の移動による説明を加えながら温度変化を予想するという形で生徒の反応が示された。しかしこの反応はS Oという生徒の反応であって、他の生徒がここでどのように考えていたかは、わからない。
- ・ しかもS Oの熱移動の見方には、既に熱をやりとりするという考え方があらわれており、これに影響されて、S Aも熱を吸収するといっている。
- ・ したがって、この過程は、S Oのリードによって進められたわけで、他の生徒が、S OやS Aの発言内容をどのように受けとり、どのように理解したかはわからない。
- ・ 水と湯の入れものを反対にした場合についての適用過程は、この事例でも無理なく行なわれた。

事例(6) 中1年女8名 調査年月日-1962.1.29-  
生徒名 ND, HK, TK, MR, FK, MY, KM, SM  
Tは教師 Pは生徒全員

- 水をいれたやかんを火にかけると、水の温度が上がるのは、熱が移るからであること  
※事例(5)と同じ
- 熱と温度とはちがうこと、温度は熱のこみ方の度合であること

T-同じ大きさのビーカーが、ここに2こあります。片方には水をたくさん入れ、もう片方にはそれより少なく入れます。この2つを電熱器の上に並べてあげ、中の水をあたためます。両方とも電熱器から熱が入るから温度が上がるはずですね。(実演する)

どっちのほうの温度が早くあがるでしょう。それとも温度の上がり方はどちらも同じでしょうか。

P-水の少ないほうが早くあつくなる。

T-そうですね。どっちにも熱が入ったから温度が上がるわけですが、どっかに熱がたくさん入ったんだらうか。それとも入った熱はどちらも同じなんだらうか。

P-同じに入った。 T-どうして? P-同じにあたためたから。

T-ところがこっち(水の少ないほう)の温度が早くあがる、あつくなるんですね。同じに熱が入ったはずだから温度も同じに上がればよいのに、そうはならないのはなぜでしょう。

P-水が少ないから

T-いま一歩さきまで考えてみましょう。水が少ないとどうして温度の上がり早いんだらうか。

うまく説明できませんか。

KM-熱がはやくまわるから

TK-水の多く入っているほうより、水が少なく入っているほうが、上がるには時間がか

からないから

T—ほかの考えはありませんか。 P—(反応なし)

HK, FK, MY, SM—KMさんと同じ考えです。

T—熱がはやくまわるというが、KMさんどういう意味ですか。

KM—早くあつくなるということ。早く温度が上がるということは熱のまわりが早いこと。

T—ああそうか。熱がはやく水の中にしみとおるという意味ですね。私はまた、熱がぐるぐるまわる。そのまわり方がはやいのかと思った。

KM—そういうふうにまわるのではなくて、熱が水の少ないほうにはやくつたわるということですよ。

TK—ぐるぐるまわるでもいいんじゃないかな。そうすると水の少ないほうは、あたたまるとき、まわる回数が少なくすむから。

T—さっきTKさんは、水の少ないほうが時間が少なくていいといいましたが、それと、このまわることとどうですか。

TK—まわる場所が狭いので、はやく熱がつたわる。時間が少なくてよい。

#### 考 察

- この事例でも、前の事例と同じく“熱は同じに入ったんだけど、水が少ないから温度の上がり方が早い”というところまでは問題なく進んだ。
- ところが、“水が少ないとなぜ”という段階になると前例(5)に似た反応がみられる。KMの“熱がはやくまわる”ということは、水が少ないから熱が水全体に伝わるのが早いという意味で使われているのであって、前例(5)の対流のはやさとは異なるものであるが、熱量が同じという条件を操作していない点では同じことである。このような考え方の根底にあるものは、TKが持っている“水の多くはいつているほうが、時間が多くかかる”という一定温度まで上げるに必要な熱量の多少を比較していることとなる。これでは、温度を熱の密度であるとみる観点はやてこない。

T—それではほかのことから考えてみましょう。

この面接室となりの図書室の広さをくらべると、こっちのほうが狭いね。この面接室にも50人、となりの図書室にも50人入ったとして、両方の部屋のようにすをくらべると、どんなことがいえるでしょう。

ND—広いほうがらくらくしてられる。狭いほうはごやごやしていきゅくつ。

T—そうですね。そのことと、この水をあたためることとくらべてみて、何かしているところはありませんか。

P—(しばらく反応なし)

T—どんなところが似ていると思いますか。

HK—狭いところはごやごやしていて、まわり方がはやいし、広いところはゆっくりしていて、まわり方がおそい。

T—まだほかにありますか。 P—(反応なし)

T—図書室と面接室の話で、面接室のほうに当るのは、この水をあたためることでは、

どちらのほうがだと思いますか。…… MYさんどうですか。

MY—こっち(と水の少ないほうをさす)…… いや、こっち(と水の多いほうをさす)……? ……?

MR, FK, SM—水の少ないほうのような気がする。

T—では、こっち(水の少ないほう)が面接室だと思う人にききますがね。どうしてそう思うんですか。 SMさんどうですか。

SM—部屋が小さいから …… 図書室より …… (あとつぎ)

T—NDさんどうですか。 ND—部屋がせまい ……

T—たしかに面接室は図書室よりせまいね。こっち(水の少ないほうをさしながら)も狭いというのですか。

TK—体積が少ない。 ND—水がすくない。

T—水の量が少ないということと、面接室の広さがせまいということと同じ、そこが似ているというんですか。

ND, TK, MR, FK—(うなづく)

T—似ているところをもっとうまくいえませんか。

KM—狭いところに同じ人数、同じ量の熱が …… 水の少ないほうには同じ熱量が入っていても、温度が高くなっているのと …… それから、狭い部屋に同じ50人が入っているのと似ている。

T—それでは、部屋の広さに当るのは、この水をあたためる場合では何になるんだろう。

P—水、水の量

T—それならば、人数に当るのは?

P—熱です。(HKのみ“水”という。)

T—HKさん、水は部屋の広さに当るではなかったかな。

HK—やっぱり熱です。

## 考 察

- 部屋と人数の場合と水をあたためる場合と似ているところはないだろうかという問いには1人だけしか反応し得なかった。(HK)しかしその反応は、“狭いところはごやごやしていてもわり方がはやいし、広いところはゆっくりしていてもわり方がおそい”というように、狭い部屋はこんでいるから熱のまわりがはやく温度が上がると考えているらしい。このような反応のしかたは、事例(1)でもみられたもので、両方の全体像が混同されてしまった結果と考えられる。分析的な比較ができないためである。
- つぎに面接室(せまい部屋)に当るのは水の場合なにかという、やや分析的な観点を与えてみたところ、多少のまよいはあったけれど、“水の量の少ないほうだ”という判断はできた。
- また、部屋がせまいということと、水の量が少ないという対応関係は、おおよそわかっているようすではあるけれど、はっきり表現することに抵抗があったようである。とくにKMの“水の少ないほうは同じ熱が入っても温度は高くなる。部屋のせまいところに同じ人数が入れば……”という発言内容から考えると、KMは、それぞれの三条件をうまく対応させているらしいが、表現が伴わないため他の児童には意味がとりにくくなっている。

- 。さらに分析的に対応関係を問題にしたところ、水の量一部屋の広さ、熱の量一人数という対応関係を指摘することはできた。

T一部屋の広さが水の量であり、人数が熱の量に当たるならば、水の少ないほうは水の多いほうにくらべて、熱の入り方がどうだといえいいんだろう。

P-??? (反応なし)

T一部屋の場合なら、面接室のほうか、図書室にくらべてどうだというのでしたかね。

P-きゅうくつだ。こんでいる。

T-それならこの場合(水をあたためる場合)は?

P-熱がこんでいる。こちらは(水の多いほうをさす)すいている。

T-そうですね。熱がこんで入っているほうをすいて入っているほうにくらべて温度が高いということです。温度というのは、熱のこみ方の度合をいいます。

※以下、人口密度、砂糖水の濃度との対応に関する過程省略、ここでは、人口密度という概念の内容がとらえられていないことを確認した。砂糖水の濃度との対応は容易であった。

### 考 察

- 。ここで、この事例では、温度は部屋と人数の場合では何に当るかという問いかけではなく、人の入り方の度合と熱の入り方の度合との直接的な対応をさせてみようを試みた。はじめの問いかけ方は、“水の少ないほうの熱の入り方は水の多いほうにくらべてどうか”というものであったが、これに対しては生徒の反応を得ることはできなかった。
- 。そこで、いま一度、面接室のほうか図書室にくらべてきゅうくつである。人がこんでいるということを確認した上で、水をあたためる場合を問題にしたところ、ようやく“熱がこんでいる”という判断を得ることができた。
- 。しかし、熱のこみ方の度合が温度であるということは与えてしまう結果となった。

○ 温度のちがうものをふれさせると両方の温度が変わって中間で等しくなるのは、熱の移動によると考えること

T-ここに小さなビーカーと大きなビーカーがあります。小さなビーカーにはつめたい水をいれ、大きなビーカーにはあつい湯を入れます。小さなビーカーの水をあたためようと思って大きなビーカーの湯の中へいれると、(ここまで実際に演示しながら)、水と湯の温度はどうなるでしょう。温度は両方とも変わるか、それともどちらが片方だけ変わるか、あるいはどちらも変わらないか。どう思いますか。(P反応なし)

T-SMさんどうなると思いますか。 SM-同じになる。

T-同じになるということは、温度が変わって同じになるという意味ですね。

温度がどう変わるんだろうか。

ND-水のほうがあたたかくなる。

T-そうですね。水をあたためたんだからね。だけど湯のほうは変わらないんですか。

P-変わる …… 両方変わる。

TK-水のほうのつめたい温度が湯のほうへいって、湯のほうのあつい温度が水のほうへいく

から、両方変わる。

HK—水が、湯が、…… 湯が水に熱をうばわれて、温度が水と湯と同じになる。

T—温度がどうなると思うのか、はっきりしましょう。この水の温度は、どうなると思うのですか。

P—上がる。

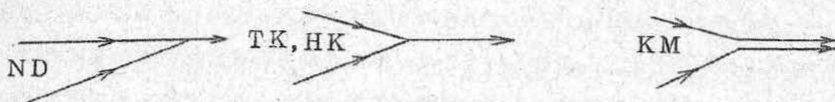
T—湯のほうは

P—下がる。

T—しまいにどうなるのですか。

{ TK, HK—同じになる。  
KM—同じにはならない。

※図を書きながら、それぞれの考えをたしかめる。



T—さあどうかな。これは実際に温度計をいれてためしてみればいいわけですが、ためす前にまず、このいうわけだからこうなるはずであると考え、それからためしてみることにしましょう。温度計をいれておいて考えてみましょう。

(温度計で両方の温度を計る。水は $8^{\circ}\text{C}$ 、湯は $52^{\circ}\text{C}$ 、実験装置をする。)

T—水の温度が上がるわけは、これは説明つきますね。あたためたんだから上がる。お湯のほうから熱が移ったんだから上がる。…… お湯の温度が下がるという人がいますが、下がるわけの説明はできますか。

TK—ビーカーを火にかけておく場合は、そのまま熱がなくなるから、湯の熱が水のほうへいっても、またあたためられるから下がらないけれども、いまは熱していないから、さめてくることもあるし、水のほうにもうばわれるから下がってくる。

T—いまTKさんがいったことほかの人わかりますか。

HK—ビーカーが熱せられているところへ水をいれて、その温度をはかっていく場合は、湯の温度は変わらないけれども、水の温度は変っていく。

TK—片方はあたためられているけれど、片方は熱をうばわれているから、両方かわる。

T—なるほどね。湯は水に熱をうばわれた、とられたから温度が下がった。水は湯から熱をもらった、とったから温度が上がったというわけですね。

それからビーカーを火にかけているときはNDさんのようになれるけれど、いまはそうでないから、両方変わるといふことですね。

NDさんどうですか。

ND—うなづく。

T—それでは、しまいに同じになるというのと、同じにはならないといふことはどうですか。

KMさんの考えはどうですか。

KM—別に理由はないけれど、同じにはならないような気がする。

T—TKさんたちはどうですか。

TK—もしも、KMさんの考えだと、 $100^{\circ}$ 度にないかぎりには、いくら熱しても水のほうは湯のほうより温度が低くて、湯のほうの温度は高いが、 $100^{\circ}$ 度になると同じになる。

T—TKさんのいったことは、これを火にかけた場合のことですか。

TK—そうです。そのまま熱していけばということです。

T—それで、いまは火にかけるのではないから、KMさんのいうようにはならないというわけですね。

T—理くつからいえば、熱は温度の高いところから低いところへ移る。KMさんがいったように両方の温度が近づいたとき（図でさしながら）でも温度の差はあるんだから熱はどうなると思いますか。

KM—熱はうつる。 T—そうですね。するとさらに近づく。

T—そして温度の差がなくなるまで熱は移るわけですね。温度の差がなくなれば熱の移動は終る。

T—それでは、さっきの温度がどうなっているか、みてみましょう。KMさんどうですか。

KM—ちょっと差があるようだ。水は33度にちょっと足りない。湯は33度ちょうどです。でもだいたい同じ33度とみていいようです。

### 考察

- この事例でも、両方の温度がかわることを熱移動の考え方を適用しながら述べている。しかもHK, TKのリードによって進められている点も前例と同様である。
- TKは、はじめは、“水のつめたい温度が湯のほうへいき、湯のあつい温度が水のほうへいく”という混合型の考え方を述べているが、その直後のHK発言（湯が水に熱をうばわれるということ）によって、考え方を転換させている。
- しかし、このような発言があったにもかかわらず、NDは“湯の温度はさがらない”といっているし、KMは“水の温度は上がるし、湯の温度は下がるけれど同じにはならない”と主張している。
- そこでその後の過程は、温度変化についての三つの見通しを、熱移動の考え方で論理的に検討するような方向に進められた。
- 湯の温度は下がらないという考え方に対して、湯の温度も下がるという論理的な理由として、TKが指摘した“この場合は火にかけているのではないから、湯の熱はうばわれると少なくなって温度も下がる”という説明は、ある量の湯はある量の熱をもっているという理解構造がある程度成立していることを示すものであろう。はじめは、温度がまじると考えていたTKが、ここでこのような説明をなし得るほど、理解が飛躍的に高まったことは興味深いことである。
- ところが、両方の温度はだんだん近付くけれども同じにはならないという考え方に対して、同じTKが、前と同じく火にかけて熱する場合と比較して、同じになることを正当化しようとしているのはどうしたことであろうか。この辺にTKの論理性の限界があるのかもしれない。前項で述べたTKの理解構造もまだしっかりしたものになっておらず、案外不安定なものではなからうかと思う。
- 温度差さえあれば熱移動が行なわれることを説明して、この過程を一応終ったわけであるがKMにじゅうぶん納得されたかは疑問である。

## 4 事例の総合的考察

### (1) 理解過程の様相について

以上各事例ごとにそれぞれの過程の様相を分析しながら考察してきたのであるが、ここでは各事例で考察した結果を総合して述べることにする。

① やかんに入れた水を火にかけると水の温度が上がるのは熱が移るからであると考えることができるか。

「やかんに入れた水を火にかけると中の水があたたかくなるのはどうしてか」という問題に対して中1年の3例(事例(4),(5),(6))では、すぐに熱ということばがでてくるが、小5年の3例(事例(1)(2),(3))では、そうはいかず、「あたためたから」「火がつくから」「じょうはつするから」などという操作を理由としたり、あたたまる時の水の状態を原因としたりすることがみられる。さらに、「水の中に火のほうから何か入ったからだと考えられないか」という観点を示しても、熱ということばを使えるのは一部の児童にすぎず、他は「空気が入る」などといったり、全然反応することができなかったりである。したがって小5年には、ここで一応、「熱という何かあつものが火から水のほうに入った」という見方を与える結果となった。熱というものがどんなものであるかということについては、中1年でも、はっきりした内容をもっているわけではなく、何かあつもの、目には見えないし形も重さもないものだけれど感じだけであることがわかるものという程度の内容しかもっていない。

② 水の量がちがう場合、これを同じ火にかけると水の少ないほうの温度が早く上がってあつくなるという事実について、入った熱は両方とも等しいとみられるようになる過程はどうか。

6例中4例までは、入った熱は両方とも同じとみれたのであるが、事例(2)(小5女)と事例(4)(中1男)では、はじめはそのように見れないものがあった。事例(2)では、温度の高くなるほう(水の少ないほう)に熱が多く入ったと判断するものがあり、事例(4)では、それと同じものと、逆に水の多いほうに熱が多く入ったとするものとがみられた。水の少ないほうに熱が多く入ったと考えたものは、温度の要因に支配されているものであって、このものは、あたため方がどちらにも同じという場面の条件を指摘されることによってその見方を交えることができた。水の多いほうに熱が多く入ったとするものは、問題場面を、「同じ温度まで上げるには、またはにえたせするにはどちらに熱がたくさんいるか」というようにとりちがえたためである。問題場面をみるときに、水の多いほうが沸とうさせるには時間がかかるという日常経験の意識構造が前面に浮き出して、そのことに支配されてしまった結果といえよう。このものには、問題場面の再確認が必要であった。

③ 水の量の少ないほうの温度が早く高くなるのはなぜか、どう説明したらよいかという問題に対して、はじめはどのように反応したか。

入った熱は両方とも同じのに、水の少ないほうの温度が早く高くなるのはなぜかという説明を求めても、これに対して、思考活動を展開し得なかったのは、事例(2)と事例(3)の場合で、いずれも小5年女子であった。これは、経験的には当然なことと考えている事実について、それ以上知的に追求しようとする意欲がもてないためではないかと思われる。

他の事例では、問題場面の構造と既有経験との関連によっていろいろな説明をしている。その考え方を類別してみると、おおよそつぎのようになる。

a 熱の量と水の量とを関係的にみて、熱の密度に着目していると思われるもの

——— 事例(1)(小5男, TN)

b 水の量の少ないほうが、熱の伝わり方がはやいとするもの

イ 対流のしかたがせまいからはやいとするもの ——— 事例(5)(中1男)

ロ 量が少ないから熱が全体にまわるのがはやいとするもの ——— 事例(6)(中1女)

c 水の量の差に着目して、それを操作するもの ——— 事例(4)(中1男)

以上の考え方をみると、aのような考え方がはじめからできるものは、むしろ特別であって中1年の段階でも、b、cのような考え方をするのが普通ではないと思われる。取扱った事例全体から推察できることは、このような知的な問題場面の追求は、小5年では無理であり、中1年でもこの場面を水の量と熱の量の割合として意識しその割合をくらべるといえることには抵抗があるように見える。理解過程における問題は、このような抵抗をどのような契機で排除することができるかという点にある。事例(4)(中1男)で、水の量の差に着目してその差を操作しようとしているものの説明内容が契機となって、aのようなはっきりした関係把握をすることのできたものが見られたこと(事例(4), KH)は、抵抗を排除することができた一つの事例である。この場合は、この時用いられた図が直接の契機となったように思われる。

大部分の生徒児童が、水の量と熱の量との割合としてみれない理由としては、水の量は既に視覚的に明らかであるにもかかわらず、熱を量として描き得ないところにある。ここに熱を量として意識できるような場を提供することが有効な方法となるであろう。図はこのような意味をもってくると思われる。

④ 大きな部屋と小さな部屋のどちらにも同じ人数が入った場合と、入っている水の量が異なる二つのビーカーを同じに熱した場合との類似点を見出す過程はどうか。

熱を量として意識させ、水の量に対する熱の量の割合を温度として理解させようとして試みた過程である。

まず、大きな部屋と小さな部屋のようにすのちがいにについては、大部分の事例では、“小さな部屋が窮屈で大きな部屋がすいている”とみれるのであるが、このように見れる中でも、二つの類型があった。一つは人口密度的な見方であり、一つは大小の入れものに同じ量のものを入れたとき大きな入れもののほうはまだ入る場所がたくさんあるというような見方である。後者のような見方をした場合にはつぎの過程で、小さな部屋の人の入り方のようすと、水の量の少ないほうのビーカーを対応させるといふ逆の結合を生じやすい。

事例(1)(小5男)、事例(3)(小5女)の一部の児童には、部屋のようすのちがいをさいているのに“小さな部屋の温度がはやく上がる”というように部屋の大きさと温度の上り方の関係として反応してしまったのがみられた。前段の水をあたためる時に水の少ないほうがあつくなるということがこの場面へ直接結びついてしまったものであろう。しかしこのような結びつきは、ある程度、両方の類似性をとらえていることからくるものと思われる。

つぎは、部屋と人数の場合と水をあたためる場合との全体的な類似性に気づくかどうか、その類似



性をどのようにみているかの点を考察してみよう。

両方に類似性ありとするものは、事例(3)(小5女)、事例(4)(中1男)、事例(5)(中1女)事例(6)(中1女)の4例にみられた。事例(1)(小5男)、事例(2)(小5女)では、類似性があるともないとも反応を見ることができなかった。反応できないということは、おそらく、この二つのことと具体性にとどまって、それ以上抽象することができなかったためであろう。類似性ありとするものも、その対応のしかたには二つあった。

- ・ 小さな部屋が、水の少ないほうに当るというもの → 水の量を部屋とみている
- ・ 小さな部屋が、水の多いほうに当るというもの → ビーカーを部屋とみている

この二つの見方は、両方に類似性ありとする4事例のそれぞれの中で対立する考え方として、でているもので、過程はこの対立を調整する方向に進んでいる。

しかし、全体像としては、水の少ないほうが小さな部屋に当るとみているものでも、この場合の人数に当るのは熱の量であるという分析的な対応はなかなかむずかしい。とくに小5年の場合には後者のような見方が混入してしまつて的確に判断することがむずかしい。熱を量として意識し、人数が熱の量に当るという対応ができる契機となったものは、“部屋に入ったのは人、水の中に入ったのは？”というような観点が、教師または他の生徒によって示された場合である。このときに事例(2)(3)で示したような図を媒介とすると以上の関係が視覚化されて、気づきやすくなることがわかった。このような図によれば、小5年でも比較的容易に対応関係がわかるようである。またこのような図によって、ビーカーが部屋であり、水が人数であるとみているものの見方を変えることもできるように思われる。

#### ⑤ 温度は熱のこみ方の度合であると気づく過程はどうか

水の量が部屋の広さに当り、熱の量が人数に当るという分析的な対応ができ、小さな部屋のように水の少ないほうに似ているということがわかって、温度が部屋に入った人のこみ方の度合に当るという対応はむずかしく、全事例をとおしてもこのような対応を自らなし得たものはみられない。このような対応がうまくできない理由として考えられることは、人のこみ方の度合などを主観的な表象として描き得るけれども、これを客観的な概念として受け入れその概念を操作することがむずかしいということである。同じ人数が入った場合、小さな部屋のほうがきゅうくつだとか、こんでいるという表現も、このような主観的な見方のあらわれであろう。また中1年では、一応客観的な概念として人口密度ということばを知っており、さらに人口密度が1km<sup>2</sup>当りの人数であらわすことも知っているが、その概念の意味や効用についてはよく理解していないように見受けられる。ある程度視覚的にとらえられる人口密度のような関係概念ですらこのような理解程度であるとすれば、視覚化しにくい熱と水量との関係を熱のこみ方の度合として理解することは、きわめて困難であるように思われる。

これらの事例では、結果として温度は熱のこみ方の度合であることを教師が部屋の場合と対応しながら与えてしまったわけであるが、とくに小5年にとっては無理な過程であつたように反省される。中1年でも、このような理解過程が成立するための基盤として、速さ、人口、密度、溶液の濃度、圧力の強さなどの概念を理解する過程のあり方が重視されなければならぬ。水の量と熱の量と温度との関係を理解する過程では、このような関係概念を理解する過程ではたらいだ思考様式がもっと活用されることが望ましい。このようにみえてくると、熱概念の理解過程は、算数・数学と理科との密接な関連を考えたその発展系例の中にもっと位置づけることが必要となる。この事例でためした理

解過程の仮説は、以上のような意図で、人口密度についての既有的理解構造と思考様式とを適用して熱と温度の分化をはかりとしたわけであるが、人口密度のような概念の理解に不備があったことや熱という抽象的なものの量を操作することのむずかしさのため、児童生徒の主体的な思考活動の展開はみられなかった。

⑥ 水と湯とを触れさせると温度はどのように変わるかということについて、どのような予想をするか。

湯の入っているビーカーの中へ水の入っているビーカーを入れた場合も、水の入っているビーカーの中へ湯の入っているビーカーを入れた場合も、温度の変わり方をおおよそ正しく予想することができた。これは全事例ともそうであったので、先の実態調査の結果から予想したことは、この事例研究では適中しなかったようである。このような結果がみられたことは、質問紙法と具体的な場面を示した面接法によるちがいであろうか。

ただ一例だけ(事例(6)一中1女・ND)湯の中へ水を入れた場合、水の温度は上がるけれど湯の温度は下がらないと予想したものがあつたが、このような予想を立てた背景にあるものは、湯を熱しつづけているという像であつたように思われる。質問紙法による場合には、その問題場面をこのような場と誤認するか、湯の量が非常に多い場合と考えるかのどちらかの場面と受けとりやすかつたのであろう。

⑦ 水の温度が上がるのは湯のほうから熱をうばうからであり、湯の温度が下がるのは水に熱がうばわれるからであると理解するに至る過程はどうであつたか。

温度が両方ともかわるのはなぜかという問題に対して、はじめから「湯は水に熱をやった。水は湯から熱をもらった。」というように、熱のやりとりとしてみることができたのは、事例(1)、(2)、(5)、(6)の場合であり、事例(3)(小5女)、事例(4)(中1男)では、「水の温度が上がるのは熱が伝わるからだ」といながら、「湯の温度が下がるのは、水のほうからつめたい温度が伝わるからだ」とか「両方がまざることと同じ」という見方しかできなかつた。熱のやりとりという見方ができるということは、湯がもっている熱量を意識し、熱量の増加と減少との相対的な関係を考えることができたものであるとみてよい。このような見方ができるならば、あたためるものはひやされるものであり、ひやすものはあたためられているという関係もとらえられるはずである。事実このような見方ができたあとでは、湯と水のいれものを反対にした場合にもこのような考え方を正しく適用することができたことは各事例の示すとおりである。

問題は「つめたい温度が湯のほうへ伝わるのか」「水とお湯をませることと同じことだ」といっているような考え方が転換する過程である。転換し得る契機となるものはなんであつたろうか。それは湯のほうの熱がへるという見方ができることである。このような見方の変更は一見なんでもないようでありながら案外むずかしいことのようにである。事例(3)の過程は、このむずかしさをよく示していると思う。このような見方の転換は思考上の洞察といえるかもしれない。熱が温度の高いほうから低いほうへ移動することにより、湯と水の中にある熱量が増減してその密度が変化するように示すような視覚的方法の媒介が必要になると思われる。

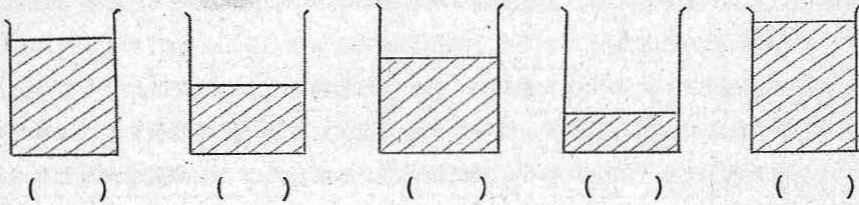
(2) 理解の結果について

以上のような理解過程をたどって一応熱と温度の分化、温度と熱移動との関係把握が行なわれたわけであるが、このような理解過程を経た結果として、児童生徒の理解構造はどのようになったのであろうか。つきに、この面接を行ってから約1か月後に実施した調査結果と、先に実施した熱現象に関する理解の実態調査結果とを比較対照してみようと思う。

効果を判定する目的で面接1か月後に実施した調査の問題はつぎのとおりである。

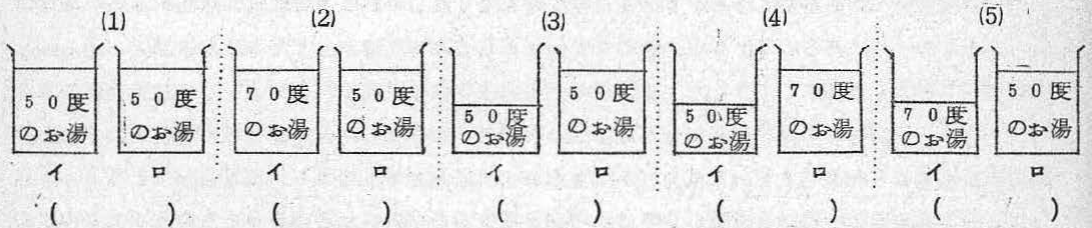
〔1〕 実態調査の〔1〕と同じ。P15参照

〔2〕 同じ大きさのビーカーに、下の図のように水がはいっています。どのビーカーも、みんな同じにあためると、熱のこみ方の割合はどうなるでしょう。熱のこみ方が大きいと思うじゅんに( )の中に番号を書き入れなさい。



〔3〕 つぎの(1)~(5)の場合について、それぞれイとロがもっている熱の量をくらべ、右の□の中から、あてはまると思うものをえらんで、( )の中にその番号を書き入れなさい。

- |   |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. イはロより熱を多くもっている。</li> <li>2. ロはイより熱を多くもっている。</li> <li>3. もっている熱はどちらも同じ。</li> <li>4. これだけでは、くらべられない。</li> </ol> |
|---|



〔4〕 実態調査の〔6〕と同じ。P22参照

〔5〕 実態調査の〔7〕と同じ。ただ、問題として提示した素材はつぎの6題である。P24参照

- (1) 体温計で体温をはかった。
- (2) いど水ですいかをひやした。
- (3) 海岸の砂の上を歩いたら、とてもあつかった。
- (4) 寒い朝、校庭の鉄棒をにぎったら、とてもつめたかった。
- (5) 氷にしおをまぜて、その中に水を入れた試験管をさし入れた。
- (6) ハンダごてで、ハンダをとかした。

このような問題で調査した結果を、先の実態調査の結果と対照し、各事例ごと個人別に示したのがつぎの表である。各問題の欄の左側は実態調査でみられた結果であり、右側はこの度の結果である。

事例(1) 一小5男一

| 問題<br>児童名 | 〔1〕 |     | 〔2〕 | 〔3〕 |     |     |     |     | 〔4〕 |     | 〔5〕 |     |     |     |     |     |   |   |   |   |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|---|---|
|           | (1) | (2) |     | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (1) | (2) | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |   |   |   |   |
| T N       | ○   | ○   | ○   | ×   | ○   | ×   | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ○   | ×   | ○   | ○   | ○   | × | ○ | × | ○ |
| N J       | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | × | × | × | × |
| N T       | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ○   | ×   | ×   | ○   | ×   | × | ○ | ○ | ○ |
| F S       | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | × | × | × | × |
| M H       | ×   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ○   | ×   | ×   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | × | × | × | × |
| Y S       | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ○   | ×   | ×   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | × | × | × | × |

事例(2) 一小5女一

| 問題<br>児童名 | 〔1〕 |     | 〔2〕 | 〔3〕 |     |     |     |     | 〔4〕 |     | 〔5〕 |     |     |     |     |     |   |   |   |   |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|---|---|
|           | (1) | (2) |     | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (1) | (2) | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |   |   |   |   |
| I K       | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ○   | ○   | ○ | ○ | × | ○ |
| O S       | ×   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | × | × | × | × |
| K F       | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | × | × | × | × |
| K T       | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | × | × | × | × |
| K M       | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ○   | ×   | ×   | ×   | × | × | × | × |
| S Y       | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | × | × | × | × |

事例(3) 一小5女一

| 問題<br>児童名 | 〔1〕 |     | 〔2〕 | 〔3〕 |     |     |     |     | 〔4〕 |     | 〔5〕 |     |     |     |     |     |   |   |   |   |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|---|---|
|           | (1) | (2) |     | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (1) | (2) | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |   |   |   |   |
| S Y       | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | × | × | × | × |
| S H       | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | × | × | × | × |
| S R       | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | × | × | × | × |
| T F       | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | × | × | × | × |
| N R       | ×   | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | × | × | × | × |
| H E       | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ○   | ×   | ×   | ○   | ×   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○ | ○ | ○ | ○ |
| W T       | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ○   | ×   | ×   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | × | × | × | × |

事例(4) —中1男—

| 生徒名 \ 問題 | 〔1〕 |     | 〔2〕 | 〔3〕 |     |     |     |     | 〔3〕 |     | 〔4〕 |     |     |     |     |     |   |   |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|
|          | (1) | (2) |     | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (1) | (2) | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |   |   |
| I K      | ×   | ○   | ×   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ○   | ×   | ○   | ×   | ○   | ×   | ○   | × | ○ |
| I S      | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ×   | ×   | ○   | × | ○ |
| I B      | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ○   | ×   | ×   | ○   | × | × |
| I Y      | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | × | ○ |
| K H      | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | × | × |
| O M      | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | × | ○ |

事例(5) —中1男—

| 生徒名 \ 問題 | 〔1〕 |     | 〔2〕 | 〔3〕 |     |     |     |     | 〔4〕 |     | 〔5〕 |     |     |     |     |     |   |   |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|
|          | (1) | (2) |     | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (1) | (2) | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |   |   |
| S H      | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ○   | ×   | × | ○ |
| N M      | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | × | ○ |
| S A      | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ×   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | × | × |
| S O      | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ○   | ×   | ×   | ×   | × | ○ |
| S S      | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | × | ○ |
| S K      | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ○   | ×   | ×   | × | × |

事例(6) —中1女—

| 生徒名 \ 問題 | 〔1〕 |     | 〔2〕 | 〔3〕 |     |     |     |     | 〔4〕 |     | 〔5〕 |     |     |     |     |     |   |   |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|
|          | (1) | (2) |     | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (1) | (2) | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |   |   |
| N D      | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ×   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ○   | ×   | ×   | ×   | × | ○ |
| H K      | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ×   | ×   | ○   | ○   | ○   | ○   | × | ○ |
| T K      | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ×   | ×   | ○   | ×   | ○   | ×   | × | ○ |
| M R      | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ×   | ○   | ×   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | × | × |
| F K      | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ○   | ○   | ×   | ×   | ○   | ×   | ×   | ×   | × | × |
| M Y      | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ×   | ○   | ×   | ○   | ○   | ×   | ×   | ○   | ×   | ×   | ×   | × | × |
| K M      | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ×   | ×   | ○   | ×   | ×   | ×   | × | × |
| S M      | ○   | ○   | ×   | ○   | ○   | ×   | ○   | ×   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×   | ×   | ×   | ×   | × | × |

なお、以上の結果を、校種別に分けて正答率(%)を比較対応すると次表のようになる

| 校種別 | 問<br>題 | 〔1〕 |     | 〔2〕 | 〔3〕 |     |     |     |     | 〔4〕 |     | 〔5〕 |     |     |     |     |     |
|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|     |        | (1) | (2) |     | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (1) | (2) | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
| 小学校 | 事前     | 84  | 16  |     |     |     |     |     |     | 58  | 16  | 32  | 16  | 5   | 16  | 11  | 11  |
|     | 事後     | 100 | 74  | 100 | 95  | 63  | 5   | 58  | 32  | 100 | 74  | 84  | 90  | 90  | 74  | 58  | 84  |
| 中学校 | 事前     | 95  | 15  |     |     |     |     |     |     | 80  | 10  | 45  | 15  | 15  | 5   | 0   | 55  |
|     | 事後     | 100 | 90  | 100 | 100 | 100 | 65  | 80  | 40  | 100 | 75  | 100 | 90  | 95  | 75  | 65  | 100 |

これらの表によってみると、この事例的な面接指導の結果として、理解構造が高まり、深まったことがわかる。ことにその効果は、中1年において顕著にあらわれている。児童生徒がたどったと思われる理解過程には、前節に述べたようなさまざまな迂回折があり問題点も残されていたわけであるが、その結果得られた理解構造は、上記の表で示すように、ある程度望ましい方向に変容し得たと思われる。以下箇条的にこれらの表によって考えられることをあげることにする。

- とくに顕著な効果があったとみられるものは、熱移動の方向についての理解である。この点については、小・中学校ともほとんど同じ程度まで高められている。
- 熱量を水の量と温度との関係でとらえ、しかもある温度をもっている物はある量の熱をもっているとみることができるようになったものは、〔3〕の結果で示すように、中学校の正答率が小学校にくらべてきわ立って高くなっている。これは、理解過程の様相について考察した結果と一致する。
- 学習効果を個人別にみると、小・中学校をとおして、ほとんど理解構造が高まっていないとみられるものが若干数ある。これは、集団の中で理解する過程で、思考の進行に追いつけず途中でとりのこされてしまった結果であろう。このことは、学習指導の場で個々の理解過程を望ましい方向に展開させる場合の方法上の問題であろう。事実、この度の小集団面接結果でも、ある一部の児童生徒のリードによって過程が進行し、反応をたしかめることのできないものがあったことは各事例の考察の時に指摘したとおりである。この点さらに理解過程構成の面からも修正していく必要があろう。
- また、事例による学習の結果は、一応以上のような効果としてあらわれてはいるけれども、その理解過程が必ずしも望ましいものであったとはいえないことは、先に指摘したとおりであり、この後でもその修正点について述べるつもりである。

### (3) 理解過程の評価と修正

この事例研究でたしかめようとした熱概念に関する理解過程は、火などの熱源で物をあたためるような経験によって得られていると思われる素朴な熱概念を意識化することから出発し、その概念をいろいろな場面へ適用する過程で、より高次の熱概念として理解していくというすじ道を原型として構成したものである。またこの過程は物理的分野における抽象的な概念や法則を理解する過程の一例としての意味をもつものでもあった。ここでは、以上のような意図で構成した理解過程の仮説を、事例研究の結果から評価し、その修正点について述べることにする。

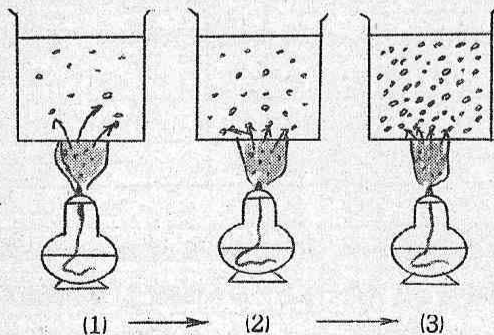
まず、理解の全過程をとおしてみてもっとも問題だと思われることは、はじめの段階で受け入れられたはずの熱概念を、つぎの過程でうまく適用し応用して見通しを立てるといふ思考過程が、とどこおり勝ちであったり、ゆきづまってしまうたり、望ましい方向に発展しなかったりした結果、教師が説明せざるを得なかったという事例が多かったことである。ことに、温度と熱とを分化させようとする過程で、このような様相がみられたことは、前節で指摘したとおりである。これは適用過程をこのような概念の理解過程の原型としたこと自体に問題があるのではなく、この過程の具体的な構成上の欠陥であったと反省される。結果的にみると、この事例研究では、望ましい理解過程を実証し得たことにはならず、むしろ、児童生徒の素朴で経験的な思考傾向を面接によってたしかめ得たことになるかもしれない。

望ましい理解過程としては、なるべく不必要な試行錯誤をすることなく、前段の理解内容を効果的に適用して新しい見通しを得るように進行することであろう。そのためには、理解過程の構成に当て、前段の理解内容を適用しやすいように場の構成をくふうする必要があるように思われる。以下、このような観点からその修正点をあげてみよう。

- ① まずはじめに、視覚的方法を効果的に用いて、火などの熱源からあたためられるものへ熱が入りこんでいくようすを視覚的表象として描かせること。

事例研究では、「火などで水をあたためると水の温度が上がるのは熱が入るからである」ということを、主としてことばによって表現させたり説明したりしてすませ、そのことばによって児童生徒がどのような像を描いていたかは不問にしてつぎの過程へ進んだ。したがって、ここで得た熱概念はきわめてあいまいなものであったようで、つぎの過程で望ましい方向に適用することがむずかしく、考えることができなかつたり、途中でゆきづまったり、迷路に入りこんでしまつたりしたものと考えられる。そしてこのような状態の時にはじめて視覚方法をとったわけであるが、見方によってはむしろ児童生徒の思考活動を混乱させ、必要以上のまわり道をしてしまったともいえるようである。

そこで、むしろはじめから、視覚的方法を用いて、火などの熱源から水の中へ熱が入っていくようすを視覚化することがよいのではないかと思われる。このことは当然、児童生徒の素朴な考え方を基盤としながらも教師から与えるという形をとり、児童生徒はそれを受け入れるという姿をとるものとなる。ここで用いられる視覚的教材は動きのあるものが望ましいと思われるが、たとえば、つぎのよう



な図でもその目的を果すことができるであろう。

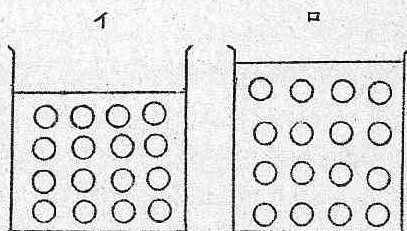
左のような図を用いた場合、しだいに熱がたくさん入りこみ、温度が上っていくようすを視覚化してとらえることができるわけであるが、この図からは温度と熱を分化することはできない。この段階では一応左図のように熱を視覚化してとらえさせることでよいであろう。

- ② 人口密度のような考え方と対応することではなく、上記のような視覚像として描かれている熱概念を適用して、水の量が異なる二つのビーカーを同じ火にかけた時の温度の上がり方のちがいを説明するようにしむけること。

事例研究では、水の少ないほうの温度が早く上がる理由の説明を求めて、その説明ができなかったり、説明できてもその内容が必ずしも望ましい方向に進まずゆきづまったりした場合に、部屋とそこへ入る人数との関係を考えさせ、それと対応させながら水をあたためる場合の熱量と水の量と温度との関係を類推させようとした。ところが前述したように人口密度の概念も不明確であり、しかも熱量という抽象的な関係概念を操作することのむずかしさや、前段の過程で得た熱がうつることについての表象の不安定さなどが原因となって、その過程はやや混乱し、結局説明せざるを得なかったのである。

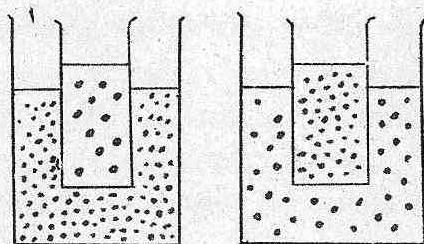
そこで、人口密度などとの対応をすることをなしに、前段の過程で得た視覚像を適用して考えてみるようにとの思想上の観点を与え、思考の方向をある程度限定してやるのがよいように思われる。このような思考の方向を示すことにより、生徒がみずからの発想で、右の図のようなものを描き得るならばきわめて望ましいことと思われるが、もしそれができない場合には、

教師が描いてみせることも有効であろう。前段の過程で受け入れた熱が入りこむことについての視覚像が右図のように応用されることにより構造がえがおこなわれ、温度と熱量とはちがうこと、温度は熱の密度のようなものであることの理解が視覚像を伴った形で得られるであろう。



③ 温度のちがうものを触れさせると両方の温度が変わって中間で等しくなるという事実の見とおしを立てるに当たっても、①の図で描かれている熱概念の視覚的表象を適用して考えるようにしむけること。

この過程は、温度のちがうものを触れさせた場合、それぞれの温度がどう変わるかということについての見とおしを立て、その後に実験をしたしかめるといふ過程で進むことが望ましい。見とおしのたて方としては、経験的な判断によるものと、ある原因の結果としてこうなるはずだといふ見とおしとが予想されるが、ここでは、前段階の熱概念の視覚像を適用し、熱移動による結果として温度がこうなるはずであると考えつくようにしたいと思う。このように見とおしを立て得るためには、①の図と関連のつけやすいような図を与えて考えさせることがよいように思う。右の図のようなものを児童生徒がみずから描くことができればそれにこしたことはないのである。



このような図を媒介として考えることにより、熱が温度の高いほうから低いほうへ移ること、同時に両方で熱の増減があり熱のやりとりが行われたとみることで、温度が等しくなれば熱のやりとりは終ることなどを推論することが比較的容易になるであろうと予想される。

以上はこの事例研究でとくに問題とした、熱と温度との分化に関する定性的な理解と、熱移動による温度変化の基本的な理解の過程についての修正点を述べたのであるが、このあと、それぞれの適用練習的な過程を経て、つぎの定量的な理解の段階へ進むわけである。この段階でも熱概念に関する以上の視覚的表象は有効に応用されることとなる。とくに  $\text{熱量} = \text{温度} \times \text{量}$  の関係を理解する過程で



活かされなければならない。

つぎに、この事例研究でみてきた理解過程の学年的な配当について一応仮説を設けることとする。理解過程の様相について各事例やその総合的考察でも述べたように、温度と熱量とを明確に分化する過程は小5年にとっては一般的にみて無理ではないかと思われる。知的興味もまだそのような説明を求め得るほど発達してはいないし、また実施しても思考の混乱を生じるおそれが多いとも予想できるので、この過程は中1年の内容としたほうがよいのではあるまいか、したがって、小5年と中1年の過程はつぎのようなものとしたほうがよいであろう。

小5年では

- ① 水をあたためるときに熱がしだいに入りこんでいくようすを視覚化する。この時に、温度が上がるにしたがって入りこんだ熱のこみ方に気づくようにする。
- ② 温度のちがうものをふれさせるときの温度変化について、①の視覚像を適用し、熱移動を考えながら見とおしを立て、実験でたしかめるようにする。
- ③ 温度差と熱移動の方向について適用練習をする。
- ④ 熱移動の類型に気づくようにする。(この過程は今後の問題である)

中1年では

- ① 以上のような小5年の理解構造を基盤とし、温度と熱量のちがいに気づくようにする。  
この時は、温度と熱量と質量との関係を定性的に理解することをねらいとする。
- ② 温度と熱量と質量との関係を定量的に理解する。(この過程から先は今後の問題である。)
- ③ 熱量やその移動に関する理解をさまざまな事象に適用して理解を拡げる。

以上、理解過程についての事例研究の結果を検討し、はじめに仮説として構成した理解過程を評価してその修正点を述べてきた。この修正点は、いわば理解過程についての第二次仮説であって、さらに今後の実証的作業を必要とするものである。この点は、このあとの過程を含めて、本研究における今後の課題である。

### Ⅲ むすび — 今後の研究方向 —

この中間報告は、第一章で述べた研究計画にしたがって研究作業を進めてきた本年度の経過と内容を一応まとめたものであつて、今後さらに検討しなおしたり実証作業を行なつたりしなければならない問題を残している。ここでは、本年度研究の結果得られた中間的な成果を要約するとともに、今後の方向と課題について述べておきたいと思う。

本年度は、物理的分野における抽象的な概念や法則を理解する過程のあり方を問題とし、(小学校高学年から中学校段階の問題である)、熱概念の理解を具体的な素材としてその究明に努めてきた。研究の経過としては、第一に、熱現象についての理解の実態を熱概念がどのように得られているかを中核的な観点として調査することにより、理解過程で予想される思考上の問題点の論理的・心理的構造を吟味し、第二には、その結果を資料としながら熱概念と温度変化との関係についての理解過程を仮説として構成し、それにしたがって面接指導による児童生徒の反応を分析検討した。この結果得られた成果については前章のおわりに述べたとおりである。

この研究では、小学校高学年から中学校段階にかけて学習する物理的分野における抽象的な概念や法則を理解する過程は、帰納的なものというよりはむしろ演繹的な過程が中核となる、いわば新概念の適用過程が重視されなければならないということを一一般原則とした。そして、このような観点から熱概念の理解過程を構成し、そのような過程を児童生徒がたどれることの可能性と条件をいろいろ検討しながらその具体化をはかってきたのである。本年度はこのような具体化の作業のうち、前章で述べたような第二次仮説としての理解過程を設定することができた。この内容については前章を参照されたい。したがって本年度研究の成果としては、演繹的な適用過程として熱概念の深化と拡充をはかることの可能性と条件について一応の見とおしを得たものであるということができよう。

しかしこのような見通しは、今後の実証をまっしてはじめてその妥当性が保障されるわけであつて、その意味からすれば、本年度研究は文字どおり中間的な報告である。つぎに明年度以降の課題について述べておくこととする。

第一には、本年度設定した熱概念に関する理解過程の第二次仮説を実証することである。この実証作業を行なうにあつては、当然指導との関連構造において行なわなければならない。本年度行つた事例研究でも指導というはたらきがきわめて重要な役割をもっており、理解過程というよりはむしろ指導過程といったほうがよいのではないかとさえ思われた。しかしこの研究では、指導によって児童生徒がどのような理解過程をたどったかという観点からみているのであるという点を指摘しておきたい。今後の実証作業でもこのような観点を中心としてみていくこととならうが、これを裏がえしすれば結局指導過程を問題としていることになるのである。

この実証作業を行なう手順や方法にもいろいろ問題は残されているが、今のところ一応つぎのように計画している。

- ① 個人面接による指導により、能力差によってどのように過程をたどれるかをたしかめる。
- ② 能力別グループを指導することにより、どのように過程をたどれるかをたしかめる。
- ③ 学級における学習指導の場へ適用して学習効果をたしかめる。

またこのような過程を評価するに当つては、テープレコーダーを用いるほか観察者の討議による記述内容の客観化をはかる方法をとりたいと思っている。なお事前事後のテストについても、事前テスト結

果を事後テストで児童生徒に修正させるなどの方法をとることにより、理解構造転換の契機をとらえられるようくふうしたいとも思っている。

第二の課題としては、以上の熱概念の理解に関する第一段の過程につづくその後の過程で、第一段で理解したことがどのように適用され活用されて、より高次な理解に深まり広がるかの様相をたしかめることである。ここでは、第一段の過程をふんだものと、そうでないものとの適用のしかたの相違について比較実験的な研究を行なうこととなる。

第三の課題としては、熱現象以外の物理的教材について、このような過程を構成してたしかめることにより、その妥当性を実証することである。

明年度は第一、第二の課題について研究作業を進める予定である。

最終的な結論の出ない段階で一応中間報告を行ったわけであるから、今後の研究に当ってはこの計画をさらに変更するようなことがあるかもしれない。この中間報告を読んでいただいた方からいろいろ御意見や御批判をおねがいし、今後の研究に資することができればさいわいである。なお、この中間報告の稿を閉じるにあたり、研究に協力していただいた葛塚小・中学校、上所小学校、鳥屋野中学校の先生方に謝意を表する次第である。

(研究執筆者 小田正衛)