Japanese Association of Educational Psychology

概念的知識の適用可能性に及ぼす知識操作水準の影響

—— 平行四辺形求積公式の場合 ——

工 藤 与志文*

平行四辺形の周長を固定したまま，角度を変えて変形した場合の面積判断を求める「等周長問題」は平行四辺形の求積公式を適用することによって容易に解決可能であるにもかかわらず，面積は変化しないという誤判断が多く見られることが知られている。この点に関して，問題解決時に公式が「不活性」であることだけではなく，公式に関する知識表象を操作する過程に問題のあることが予想された。そこで，大学生106名を対象に，公式使用のヒントのない問題とヒントを加えた問題の解決を求めるとともに，公式に関する知識操作水準を測定し，操作水準と問題解決状況との関連を検討した。その結果，①ヒントなしで等周長問題を正答できた者の割合は，高操作群の方が多かった。②低操作群でのヒントの有効性は低く，単なる活性化では正答に至らなかった。③最終的に正答できなかった者は，公式を単なる求積手続きとして硬直的に解釈する傾向があった。以上のことから，概念的知識の適用可能性を検討する上で，知識表象の操作可能性が重要な要因となることが示唆された。

キーワード：概念的知識，知識の適用可能性，知識表象，操作，不活性知識

問　　題

学校で学んだ知識が学校内の文脈から学校外の文脈に転移しないという現象はよく知られている。Whitehead (1929) は，教えられた文脈の範囲内でしか使えずその文脈外では「活性化」されないような知識を「不活性知識 (inert knowledge)」と呼び，問題視した。それ以来,「不活性知識問題」は，学校教育における学力問題を象徴するものとしてしばしば取り上げられ，今日に至っている。我が国の学校教育批判においてしばしば言及される「学校知」なる用語も，同様の事象を指すものと思われる。

それでは，学校で学んだ知識が不活性なままにとどまる原因には，いかなるものが考えられるのであろうか。Renkel, Mandl, & Gruber (1996) のレビューによると，不活性知識に関してこれまで提出されてきた説明は①メタプロセスによる説明②知識の構造的欠陥による説明③状況性による説明の3つに分類可能である。このうち,「メタプロセス説」は，当該知識そのものではなく，メタ認知的知識や知識適用に向けた動機づけの欠如に原因を求めるものである。一方,「構造的欠陥説」は，概念的知識の欠如，手続き的知識への変換の欠如，知識の孤立化といった知識の構造的側面に原因を求めている。さらに「状況的学習説」は，学習する主体とまわりの状況との関係性においてのみ知識が定義可能となると考える立場であり，そもそも学習状況と独立に知識が成立し得ないことにその原因をみている。そしてまた，当然の事ながら，不活性知識問題への対策もどのような説明を採用するかによって異なるわけであり，メタプロセス説では知識の応用に関するメタ認知的能力の形成を促すこと，構造的欠陥説では知識構造面の改善をはかること，状況的学習説では現実世界での問題解決状況と学習状況を近づけること，といった点に力点がおかれることになる。

ところで,「不活性知識」という概念化の背景にあるものを考えてみると，問題解決過程とは，既存の知識の適用過程のことであり，正しい問題解決に至る鍵は解決に必要な知識の適用可能性に気づけるか否かにある，という考え方があるように思われる。さらに言えば，この「気づき」が様々な文脈の中で一貫して生じさえすれば，知識の一般化や転移が必然的におこるという考え方があるようにも思える。このような考え方を例証する研究として，たとえば，Gick & Holyoak (1980) の類推的問題解決に関する研究をあげることができよう。Gick らは，正常な細胞を傷つけず癌細胞のみに十分な量の放射線を照射するにはどうすればよいかという「放射線問題」を被験者 (大学生) に与える前に，その問題解決に類推的に適用できる「ストーリー」を読ませた。さらに，被験者を二分し，一方にはその

* 札幌学院大学人文学部
〒069-8555 江別市文京台11 札幌学院大学
kudou@sgu.ac.jp

NII-Electronic Library Service

Japanese Association of Educational Psychology

ストーリーが放射線問題の解決に利用できるというヒントを与え，もう一方には与えなかった。その結果，ヒントが与えられた場合の正答率は90%以上であったが，ヒントが与えられなかった場合の正答率は20%程度にとどまった。すなわち，解決に必要な知識を持っているだけでは類推的問題解決には不十分であり，ストーリーの適用可能性に「気づく」ことができてはじめて的確な問題解決が可能になることが示されたのである。

このように考えてくると，知識の幅広い適用可能性を十分に認識させることなく，ひたすら知識量を増やすことに焦点を当ててきた学校教育のあり方に,「不活性知識問題」の淵源があるという見方には，それなりの妥当性があるものと思われる。しかしながら，実際の問題解決を考えてみると，知識の適用可能性の「気づき」が必然的に正しい問題解決をもたらすという考え方にはある種の疑問を呈せざるを得ない。というのも，知識の適用過程において，その知識を学習文脈で学んだそのままの形で使えば解決できるようなケースが必ずしも多くないことは容易に想像できるからである。Gick らの研究のように，既有知識と解決すべき問題との間に構造的な共通性があり，前者にみられる関係構造をそのまま後者に写像できるような事態はむしろまれであろう。つまり，特定の文脈で学んだ知識を多様な文脈に埋め込まれた「問題群」の解決に使用するためには，それらの問題に合わせて知識表象の形を変えていく，すなわち知識表象を適応的に「操作」することが求められる場合もまた，数多く存在すると推定されるのである。

この点をより明瞭に説明するために，「等周長問題」（工藤・白井, 1991）について考えてみたい。等周長問題とは，正方形ないし長方形のまわりの長さを固定して角度のみを変えて変形し，変形前後の面積変化について判断させる問題である（Figure 3 参照）。これまでの研究により，等周長問題において変形前後の面積が「同じ」であるとする誤答が小学生から大学生まで広く見出されることが指摘されている（細谷, 1968；細谷, 1976；西林, 1988；工藤・白井, 1991)。等周長問題において「面積は同じ」という誤判断がかくも一貫して見られるのはなぜかという問題自体興味深いものだが，本論文の文脈で特に指摘しておかなければならないのは，等周長問題が「平行四辺形の求積公式（底辺×高さ）」を適用することで解決できるという点，そして，それにもかかわらず等周長問題は求積公式をそのままの形で適用することができないという点である。等周長問題は面積の大小等判断に関するものであって，面積そのものを求めることを要求しているわけではないし，計算に必要な具体的な数値がすべて明示されているわけでもないので，一見，求積公式が適用不可能のようにも思えるだろう。しかし，問題に示された変形状況を吟味してみれば，求積公式に関する知識表象に対して Figure 1 に示したような操作を加えれば適用可能となることは容易に理解されよう。たとえば，②は公式に含まれる変数の一方を固定した場合の残りの変数関係を導く操作であり，③はその変数関係に含まれる一方を特定方向に変化させた場合の残りの変数の変化を導く操作である。すなわち，底辺の長さが固定されているのに対し高さは縮む方向に変化するので，計算結果としての数値は減少するはずであり，変形後の方が面積はせまくなるという正しい判断が導き出せるのである。

ところが，工藤・白井（1991）による小学校1～6年生対象の横断的な調査によると，平行四辺形の求積公式を学習し終えた5，6年生であっても「同じ」とする誤答傾向は保持されることがわかっている。また，西林（1988）の調査でも，「同じ」とする誤答は大学生であっても約5割を占めているのである。このように，求積公式を「知識」として持っていると思われる者であっても誤答してしまうケースが少なからず見出されるのはなぜであろうか。ひとつの解釈は，問題解決時に求積公式が単に「不活性」のままであったからというものである。仮に，この解釈が正しいとすれば，Gick らの研究にみられるように，求積公式に関する知識を何らかの方法で活性化してやれば，正しい解決に至ることができるであろう。しかし，公式の適用過程において，必要な知識操作が十分におこなわれなかったことに原因があると解釈するならば「活性化」だけでは正しい解決には至らないであろうと予想できる。

そこで，工藤（2003a）は大学生8名に等周長問題を提示し討論をおこなわせ，そこでの発話記録を詳細に分析することにより，いずれの解釈が妥当であるのか検討した。その結果，討論前の段階で，8名中6名が面

①平行四辺形の面積は底辺と高さをかけ合わせたものに等しい。

↓

②底辺が同じ場合，面積は高さのみできまる。

↓

③底辺が同じ場合，高さが低くなれば面積は小さくなる。

↓

よって，等周長問題では変形後の方が面積は小さくなる。

Figure 1 等周長問題の解決過程で想定される知識操作

NII-Electronic Library Service

Japanese Association of Educational Psychology

積は同じであると判断し，しかも討論を通じて独力で平行四辺形の求積公式の適用可能性に気づいた者はいなかった。さらに，公式の使用により解決可能となることが明示された後でも解決状況に著しい改善は見られず，「同じ」という判断に固執する反応が多くみられた。また，公式を問題に適用させるために積極的に操作しようという姿勢に乏しく，そもそも公式が適用できること自体理解できないと思われる発言もみられた。これらの結果は，等周長問題解決の失敗が，求積公式の「不活性」だけでなく，公式に関する知識の適用過程に含まれる問題点，具体的には，被験者の知識操作活動の水準の低さに起因していることを示唆するものと解釈された。さらに，この操作水準の低さをもたらすものとして，被験者が公式をもっぱら求積のための「手続き」として解釈し表象している可能性が指摘された。というのも，公式を単なる求積手続きとして解釈しているならば，必然的に適用範囲は求積問題に限られ，それ以外の問題状況に合わせた知識表象の操作は生じにくくなると予想されるからである。

工藤(2003a)で示された以上の解釈は，学習者の知識操作水準により，概念的知識の適用可能性が制約される場合のあることを示唆するものである。不活性知識に関する従来の説でいえば，その焦点の当て方において「構造的欠陥説」ともっとも近い考え方であるといえよう。しかしながら，概念的知識の欠如や孤立化を前提としていない点や言語表象化しえない「手続き的知識」への変換も想定していないという点で，従来の構造的欠陥説とは異なる説明を提供するものと考えられる。また，構造的欠陥説には Renkel et al. (1996) も指摘するように，知識の不活性状態がその構造的欠陥によってもたらされ，構造的欠陥の存在が不活性状態によって示されるという「循環論法」におちいる危険があるが，「知識操作水準」は，知識の不活性状態と独立に概念規定されているため，その危険性を回避できるという利点があるだろう。

しかしながら，あくまで少数の大学生の討論記録の検討から導かれた解釈であるため，結論を一般化するには多くの限界が存在する。そこで本研究は，同じ等周長問題を用いながらも，知識の適用可能性や知識操作水準の客観的測定を試み，両者の間に前述の影響関係が見出されるかどうか検討することを目的とする。

方　　法

被験者および調査時期

被験者は，札幌市内の大学生106名（1, 2 年生, 文系中心）である。調査は同一大学に所属する学生を対象に，2003年 6 月および10月（それぞれ 58 名と 48 名）に実施された。2 回の調査は，10月の調査で「公式解釈課題」（後述）を課した点を除けば同一である。

調査の概要

「学校心理学」の講義時間に「算数の知識に関するアンケート調査」と題した調査用冊子を配布し，各自のペースで回答してもらった。所要時間は10～15分であった。

調査問題

冊子では，フェイスシートに続いて以下の問題とその回答欄が番号順に配列されてあった。

1．**定義問題**　平行四辺形の定義を自由記述させる問題である。

2．**分類問題**　正方形・長方形・ひし形・台形・円・正五角形が平行四辺形に属するか否か，分類させる問題である。

3．**操作問題**　平行四辺形の求積公式に操作を加えた 8 つの選択項目を示し，それらの中で元の公式が意味していると思う項目を自由に選択させる問題である（FIGURE 2 参照）。各選択項目で示された操作の内容は，公式の単なる言い換え（②），公式に含まれる変数への具体的な数値の代入結果（④），3 変数関係の量的ないし質的表現（①⑥⑧），面積と形の関係の表現（③⑤⑦）である。本論文では，公式が意味しているものとして選択する項目数が多い被験者ほど，公式に関する知識表象の操作水準が高いと操作的に定義した。

4．**求積問題**　全ての辺や対角線の長さおよび高さを明記した平行四辺形を示し，求積のための式と答えを書かせる問題である。

5．**等周長問題Ⅰ**　10cmの棒でつくった正方形の角度のみを変えて変形し，変形前後の面積の大小等判断を求める課題である（FIGURE 3 参照）。変形程度の異なる (1) (2) から成る。

6．**等周長問題Ⅱ**　平行四辺形求積公式を使うと解けるというヒントを提示し，再度，等周長問題Ⅰの解決を求める課題である。具体的には，「前の問題は平行四辺形の公式を使うと正解できる問題なのです。みなさんはこのことに気づきましたか。公式を使って考えなかった人はここでもう一度回答しなおしてみてください」と指示した。また，問題Ⅰの段階ですでに公式を使用した者は回答の必要がないことも告げた。等周長問題についてこれら 2 種の問題を用意したのは，解決過程における公式の「活性化」段階と「操作」段階を区別するためである。仮に「活性化」段階にのみつ

NII-Electronic Library Service

Japanese Association of Educational Psychology

質問：平行四辺形の面積を求める公式をおぼえていますか？

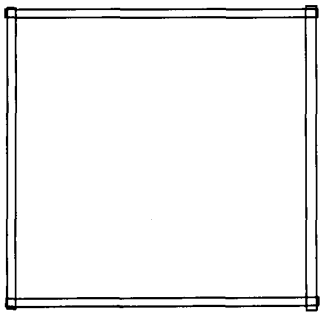
平行四辺形の面積＝底辺×高さ

さて，この公式はどんなことを意味していると思いますか。意味していると思うものには○を，意味していないと思うものには×を，分からないものには？をそれぞれのかっこに記入してみてください。

①できるだけ広い平行四辺形を書くには「底辺」と「高さ」をできるだけ長くすればよい。（ ）
②平行四辺形の面積を求めるには，底辺の長さと高さをかけ合わせればよい。（ ）
③平行四辺形の形が違っていても，面積は同じ場合がある。（ ）
④底辺の長さが10cm で高さが 6 cm の平行四辺形の面積は，60cm²である。（ ）
⑤同じ40cm²の平行四辺形だからといって同じ形をしているとは限らない。（ ）
⑥平行四辺形の底辺が一定の場合，高さが 2 倍になると面積も 2 倍になる。（ ）
⑦平行四辺形の面積は，形と関係がない。（ ）
⑧底辺と高さをそれぞれ 2 倍にすると，もとの平行四辺形の 4 倍の面積になる。（ ）

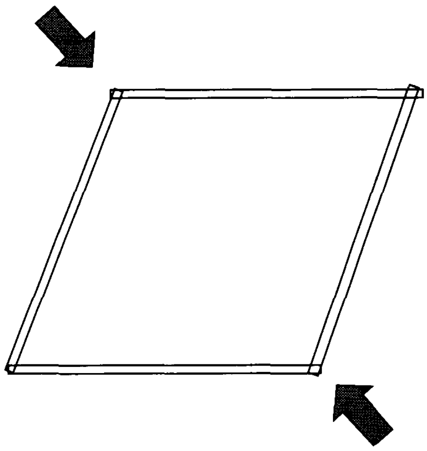
FIGURE 2 操作問題

問題：10cm の細い棒を 4 本つなぎ合わせて正方形を作りました。棒のつなぎ目は自由に動かせるようになっています。
以下の質問を読んで，あてはまる選択肢を○でかこんでください。また，選んだ理由も書いてください。



(1) 矢印の方向に少し力を加えて，
正方形を変形しました。
もとの正方形とくらべて，
面積はどうなったでしょう？

（広くなった・せまくなった・変わらない・わからない）



(2) 省略

FIGURE 3 等周長問題 I

まづく被験者であれば，問題Ⅰで解決に失敗しても問題Ⅱで正答できるであろう。また，「操作」段階に問題のある被験者であれば問題Ⅱでも正答できないであろう。

7．**公式解釈問題** 等周長問題に対する公式使用に関する 3 人の考えを提示し，賛成・反対を問う問題である（FIGURE 4 参照）。このうち，AとBの考えは等周長問題が通常の求積問題の内容や形式をとっていないので公式は使えないとするものである。これらの考えは公式をあくまで求積のための「手続き」と解釈する方向と一致しており，手続き的解釈をとらない者にとっては容認しがたい考えであろう。一方，Cの考えは連続変形から面積の減少を予想するという「公式を使わない解法」を提起するものである。公式を求積手続きであると硬直的に解釈する場合，面積変化に関する問題はあくまで公式を使わないと解けないと考えがちであり，この考えは容認しにくいだろう。しかし，公式の手続き的解釈をとらない者にとっては逆に容認しやすい考えであろう。以上のように，公式の手続き的解釈をとらない者であるならば，AとBの考えに対しては反対し，Cの考えに対しては賛成するという反応が予想できる。したがって，これら反応のパターンを検討することで，被験者の持つ公式の解釈に対して一定の推測を下すことが可能となるだろう。（なお，この問題

NII-Electronic Library Service

Japanese Association of Educational Psychology

問題：前の問題を中学生に考えてもらったところ，「平行四辺形の公式」を使わないで解こうという考えが出てきました。A君，B君，C君それぞれの考えについてあなたはどう思いますか。「そりゃもっともだ」と思うものには○を，「それはちがうだろう」と思うものには×を，「どちらともいえないなあ」というものには？をかっこ内に記入してください。(図省略)
●A君の考え
平行四辺形の公式は面積を求める公式だよね。この問題は面積を求める問題じゃないから公式は使えないんじゃないか。
・・・(　　)
●B君の考え
平行四辺形の公式は「底辺×高さ」でしょ。この問題では高さがわからないから，公式は使えないよ。・・・(　　)
●C君の考え
矢印方向にもっともっと力を加えたら，最後はぺちゃんこになって面積は0になるさ。
だから，少し力を加えただけでも面積は減っているはず。平行四辺形の公式を使わなくたってわかるよ。・・・(　　)

FIGURE 4　公式解釈問題

は10月に実施した調査でのみ課された。)

結果の予想

「問題」の項で述べられたことから，以下の予想が導かれる。

予想1：操作問題において選択項目数の多い者は少ない者と比べて，等周長問題Ⅰで正答する割合が高く，等周長問題Ⅱで誤答する者の割合は低いだろう。

予想2：等周長問題Ⅰで正答した者は公式解釈問題で，AとBの考えに反対し，Cの考えに賛成する傾向があるだろう。対照的に，等周長問題Ⅱで誤答した者は逆のパターンを示すだろう。

結果と考察

1．分析対象

106名中，求積問題で誤答した12名(6月の調査で10名，10月の調査で2名)は公式の適用に必要な知識を欠いていると判断し除いた。その結果，94名が分析対象となった。

2．操作問題について

各項目ごとに回答傾向をみると，⑦をのぞけば「意味する項目である」と回答する割合が7割を越えており，全体的な選択率は高いといえる(TABLE 1参照)。操作内容ごとに選択率を比べてみると，②の「言い換え」と④の「数値の代入結果」の選択率が若干高い傾向はみられるものの，操作内容との間に明瞭な関係は認められなかった。そこで，各項目に対する反応の類似性を検討するため，選択率の高かった②と④を除き，回答を「意味する」と「意味しない・わからない」の0・1データに変換して等質性分析(HOMALS)をおこなった(TABLE 2参照)。その結果，面積と形の関係に関する③と⑤の類似性および3変数関係に関する⑥と⑧の類似性が高いこと，さらに両者は第2次元に関して対称的な位置関係にあることがわかった。

さらに，各被験者の操作水準を調べるため，8項目の選択数をそれぞれ算出したところ，8項目すべて選択した者が24名，7項目選択者が30名，6項目選択者が19名，5項目選択者が10名，4項目選択者が7名，3項目選択者および1項目選択者がそれぞれ2名という結果になった。そこで，8項目すべて選択した24名を操作水準の高い被験者(高操作群)として抽出し，さらに選択数が5項目以下であった21名を操作水準の低い被験者(低操作群)として抽出して，群ごとに分析をおこなうこととする。なお，上記の等質性分析の結果から，低操作群の中には，「面積と形の関係」に関する操作水準の低い者と「3変数関係」に関する操作水準の低い者が混在していることが予想される。ちなみに，定義問題と分類問題の解決において，高操作群と低操作群の間に違いがあるか検討したが，群差は認められなかった。

TABLE 1　操作問題の結果

操作の内容	言い換え	数値の代入	3変数関係			面積と形の関係		
項目番号	②	④	①	⑥	⑧	③	⑤	⑦
○	90(96)	89(95)	69(73)	80(85)	74(79)	76(81)	85(90)	40(43)
×	2(2)	1(1)	18(19)	11(12)	15(16)	12(13)	8(9)	32(34)
?	2(2)	4(4)	7(7)	3(3)	5(5)	6(6)	1(1)	22(23)

注　数字は人数(%)，○は「意味する」×は「意味しない」？は「わからない」を示す。

NII-Electronic Library Service

Japanese Association of Educational Psychology

TABLE 2 操作問題の等質性分析

	カテゴリースコア	
	第1次元	第2次元
①×/?	.795	.168
③×/?	1.475	1.113
⑤×/?	2.217	1.509
⑥×/?	1.524	-1.508
⑦×/?	.334	-.075
⑧×/?	1.010	-1.303

注 ×/?は「意味しない・わからない」を選択したことを意味する。
なお,「意味する」のカテゴリースコアはばらつきが少ないので省略した。

3．等周長問題について

等周長問題における回答状況を検討するため，等周長問題ⅠとⅡを組み合わせ，全回答を以下の3カテゴリーに分けた。(なお，等周長問題には変形程度の異なる(1)(2)があるが，両者の結果にはほとんど違いがなかったので，ここでは(1)についてのみ報告する。)

- 等周長問題Ⅰの段階で，公式を適用して正答できた場合(ヒントなしで正答)
- 等周長問題Ⅱの段階で，公式を適用して正答できた場合(ヒントありで正答)
- 等周長問題Ⅱの段階で，誤答した場合(ヒントありで誤答)

このうち，公式を適用して正答できた場合とは，変形後面積がせまくなるという正しい判断をし，かつ公式をその判断の理由づけに用いている場合である。判断のみが正しく理由づけに誤りがあるケースや公式を理由づけに用いながら誤った判断をしているケースはなかった。また，誤答に分類された回答のほとんどは，変形後でも「同じ」と判断する場合か「無回答」であった。

各カテゴリーに属する被験者の割合を群ごとに示す(FIGURE 5参照)。高操作群では問題Ⅰの段階で公式を適用できた者は63%であり，問題Ⅱの段階で適用できた者を加えると88%に達するのに対し，低操作群では問題Ⅰで適用できた者は33%であり，問題Ⅱの段階で適用できた者を加えても48%にとどまった。カテゴリー別の人数分布については統計的に有意な群差が認められた($\chi^2=8.31, df=2, p<.05$)。予想1は支持されたといえよう。さらに，ヒントの効果を検討するために，問題Ⅰで正答できなかった被験者に注目すると，高操作群では9名中6名(67%)が問題Ⅱのヒントにより正答に到達できたのに対し，低操作群で正答できたのは14名中3名(21%)にすぎず，ヒントの効果に群差が認められた($\chi^2=4.70, df=1, p<.05$)。以上のことから，かりに解決に必要な知識を活性化したとしても，知識の操作水準が低い場合には必ずしも適切な解決に至るわけではないことがみてとれる。

4．公式解釈問題について

分析対象となった46名のうち，等周長問題に対してヒントなしで正答できた24名とヒントありで誤答した16名を抽出し，公式解釈問題に対する回答をそれぞれ比較した(TABLE 3参照)。その結果，「等周長問題は求積問題ではないから公式は使えない」というAの考えに反対した者は，ヒントなしで正答できた被験者の83%を占めたのに対し，ヒントありで誤答の被験者では56%にとどまった(「反対」以外を合併した2×2表による

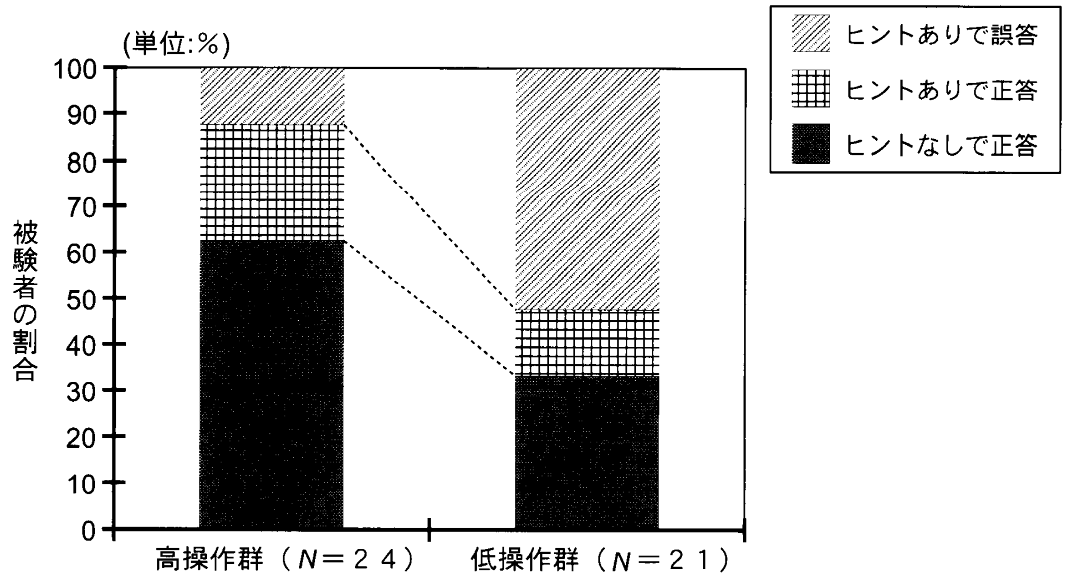


FIGURE 5 「等周長問題」の結果

Japanese Association of Educational Psychology

Table 3　等周長問題と公式解釈問題との関係

等周長問題		ヒントなしで正答（$N=24$）	ヒントありで誤答（$N=16$）
		人数（%）	人数（%）
A	賛成	1（4）	4（25）
	わからない	3（13）	3（19）
	反対	20（83）	9（56）
B	賛成	3（13）	5（31）
	わからない	2（8）	4（25）
	反対	19（79）	7（44）
C	賛成	18（75）	4（25）
	わからない	5（21）	2（13）
	反対	1（4）	10（62）

注　波線部は「公式の手続き的解釈」と一致しない回答を示す。

χ^2検定：$\chi^2=3.53$, $df=1$, $p<.10$)。同様に，「高さがわからないから公式は使えない」というBの考えに反対した者はヒントなしで正答の被験者の79％であるに対し，ヒントありで誤答の被験者では44％にとどまった(「反対」以外を合併した2×2表によるχ^2検定：$\chi^2=5.29$, $df=1$, $p<.05$)。さらに,「公式を使わずとも面積の減少を予測できる」とするCの考えについては，ヒントなしで正答の被験者では75％が賛成したのに対し，ヒントありで誤答の被験者では25％が賛成したにすぎなかった(「賛成」以外を合併した2×2表によるχ^2検定：$\chi^2=9.69$, $df=1$, $p<.01$)。以上の結果は予想2をおおむね支持するものである。最終的に等周長問題を解決できなかった者は，公式を手続き的に解釈する傾向を強く持つことが示唆された。

討　　論

本研究は，求積公式による等周長問題の解決を取り上げ，概念的知識の適用可能性に及ぼす知識操作水準の影響を明らかにすることが目的であった。その結果，予想1が支持されたことから，高い操作水準は知識の広い適用を可能にすると同時に，低い操作水準は適用可能性の制限をもたらすという可能性が具体的に示されたのである。もちろん，本研究の研究手法はいわば相関的なものであり，操作水準を独立変数化したものではないので，上記の影響関係を直ちに実証したということはできない。したがって，知識の適用可能性の違いに対する別の説明も検討しなければならないだろう。

まず，低操作群の被験者の知識内容そのものに何らかの誤りや問題点が含まれていた可能性があげられる。これは,「構造的欠陥説」のもっとも単純な説明に相当するだろう。しかし，取り上げたのが小学校レベルの知識であること，定義問題と分類問題で群差が認められないこと，求積問題で誤答した者は分析対象から除外していることを考慮すれば,「操作水準」の違いは知識内容の誤りや不十分さで説明できるものではないと思われる。また,「メタプロセス説」にあるように，知識適用に向けた「動機づけ」の欠如を想定することもできないわけではないが，問題解決に必要とされる操作はそれ自体きわめて単純な論理に基づいていること，調査内容がはじめから求積公式の使用に方向づけられていること，そして問題IIで公式使用を明示的に促されているにもかかわらず誤答者が低操作群で圧倒的に多かったことなどから，上記の可能性は否定されるものと思われる。

あるいはまた，等周長問題に対する典型的誤答の存在を説明するために用いられてきた「誤ルール」という概念（工藤・白井, 1991）で説明することも可能かもしれない。すなわち，公式と対立する別種のルールを既に形成していたがゆえに公式を正しく適用できなかったとする説明である。確かに本研究で見られた典型的誤答は，変形前後でまわりの長さが維持されているので面積も変わらないとするものであり，従来指摘されてきた誤ルールの内容と一致することは確かである。とはいえ，誤ルール説で説明するためには，誤ルールの存在ないし強さと操作水準との関連性に関する新たな説明が必要となり，誤ルール説で完結した説明を与えることは困難である。

以上の考察から,「操作水準説」は知識構造上の単純な欠陥による説明や動機づけのようなメタプロセスによる説明とも，あるいはまた，誤ルールのような誤った概念化による説明とも一線を画した説明原理である

[1]　これはあくまで現時点での結論である。今後の研究の進展によっては，知識構造上の特性と知識操作水準との関連が見いだされる可能性があり，また現実の対策を考える上でも，両者の関係を今後追求していくことが必要である。

NII-Electronic Library Service

Japanese Association of Educational Psychology

可能性が示唆されたといえるだろう[1]。それでは，本研究の結果をふまえて，知識操作水準をどのように概念化しなおすことができるだろうか。

ここで注目したいのは，本研究でいう「操作水準」が，内容的にも測定方法論的にも，当該問題解決に必要な特定の論理操作に限定されたものではないということである。既に述べたように，操作水準の高さは操作問題の8項目の総選択数といういわば総合的な観点によって判断された。一方，等周長問題に公式を適用させる際に必要な操作(Figure 1参照)という観点から見た場合，操作問題の項目の中でこれと最も近いのが⑥であり，問題の解決に直結するという意味では，この項目の選択の有無と問題解決との間に明瞭な関係が見つかることが期待される。しかしながら，⑥の操作が可能であると認めた被験者の割合は85%と高く，当然の事ながら⑥を選択したか否かと等周長問題の解決の間には何の関係も見出せないのである。

一方，操作問題の等質性分析から，同じ低操作群といっても，「3変数関係」に関する操作の低さと「面積と形の関係」に関する操作の低さという複数の側面があることが示唆された。このうち前者は，公式を構成する変数間の関係にとどまっている，いわば「公式内操作」ですむのに対し，後者は直接公式にはない「形」と変数との関係も含み込んだ「公式外操作」となっている点に違いがある。このように，本研究における知識操作水準は，等周長問題解決に直結する論理操作のみに限定されない，多面的な操作可能性の違いを反映したものであると考えられるのである。

さてそれでは，このような操作可能性の個人差を生み出したものは何であるのか，本研究の段階ではいうべきことは多くない。しかし，一つ考えるための材料となるのが，被験者が公式の意味内容をどのように解釈していたかという点である。工藤(2003b)が指摘するように，学習者による「教示情報の解釈」は，形成された知識の一般化可能性に影響を与えることがある。本研究でも，公式解釈問題において予想2が支持されたことから，等周長問題の解決に失敗した被験者は公式をあくまで求積手続きとして硬直的に解釈する傾向が強いことが示された。しかも，公式解釈問題が，問題IIで公式適用のヒントを与えられた後に問われたという点に留意するならば，上記の解釈傾向は，解決に失敗した被験者達の単なる一時的な反応ではなくいわば「本音」にあたる部分をすくい上げている可能性が高いと思われる。内容的にも形式的にも求積問題ではない等周長問題に公式を適用できるのはなぜか，工藤(2003a)で報告された大学生と同様，彼らには理解できなかったのだろう。最終的な誤答者の多くが問題Iでの反応を繰り返すか無回答であったという結果はこの辺りの事情を反映しているように思える。

以上の考察をふまえると，学習の場で提供された教示情報から「公式イコール求積手続き」という解釈を成立させてしまったことが，結果的に操作可能性の制限された知識表象の構成につながったという推定が可能となる。たしかに，公式の暗記と求積問題の反復練習といった指導のもとでは，このような事態が生じるであろう事は想像に難くない[2]。波多野・稲垣(1983)が指摘するように，概念的知識を教授する試みが結果的に特定の問題解決の手続きの教授に終わってしまう可能性は決して低くないからである。

最後に本研究の意味と今後の課題をまとめておきたい。本研究の意味は，①概念的知識の適用可能性に影響を与える要因として知識表象の操作水準に着目した点および②操作水準の客観的測定により，知識の適用可能性の個人差がある程度予測できることを示した点にあるといえよう。ただし，本研究で用いた操作水準の測度はいわば「量的指標」に基づくものであり，操作の内容・方向性との関連を明らかにすることはできなかった。等質性分析の結果によって示唆された操作内容の違いも含めて，操作の質的側面と知識の適用可能性との関連を追及することが今後の課題のひとつとなろう。さらに，もうひとつの課題として，教授された概念的知識の操作水準を高めるために，教授・学習活動が備えていなければならない条件を特定する作業があげられよう。前述の解釈が妥当であるならば，操作水準の低さが学習場面における具体的な教授活動ないし学習活動のありかたそのものに起因しているはずだからである。この課題を追求することによって，概念的知識の教授が単なる問題解決手続きの教授に終わることを防ぐための手がかりが得られるものと期待される。

[2]　「平行四辺形の面積」の学習におけるこの種の問題についての古典的な報告は Wertheimer (1959) を参照せよ。

引用文献

Gick, M. L., & Holyoak, K. L.　1980　Analogical problem solving. *Cognitive Psychology*, **12**, 306-355.

波多野誼余夫・稲垣佳世子　1983　文化と認知―知識の伝達と構成をめぐって―　坂元　昂(編)　現代基礎心理学7　思考・知能・言語　東京大学出版

NII-Electronic Library Service

Japanese Association of Educational Psychology

会 Pp.191-210.

細谷 純 1968 空間・量・数の認識とその発達 黒田孝郎他(編) 教育学全集6 論理と数学 小学館 Pp.81-112.

細谷 純 1976 課題解決のストラテジー 藤永 保(編) 思考心理学 大日本図書 Pp.136-156.

工藤与志文 2003a 等周長問題の解決における「不活性知識」としての求積公式—大学生を対象とした事例研究— 札幌学院大学人文学会紀要, **74**, 27-40. (Kudo, Y. 2003a Area formula as "inert knowledge" in parallelogram transformation problem solving : A case study. *Journal of the Society of Humanities, Sapporo Gakuin University*, **74**, 27-40.)

工藤与志文 2003b 概念受容学習における知識の一般化可能性に及ぼす教示情報解釈の影響—「事例にもとづく帰納学習」の可能性の検討— 教育心理学研究, **51**, 281-287. (Kudo, Y. 2003b Reception learning of concepts : Learners' interpretations of instructions and generalization of knowledge. *Japanese Journal of Educational Psychology*, **51**, 281-287.)

工藤与志文・白井秀明 1991 小学生の面積学習に及ぼす誤ルールの影響 教育心理学研究, **39**, 21-30. (Kudo, Y., & Shirai, H. 1991 Effects of misrules on area learning in schoolchildren. *Japanese Journal of Educational Psychology*, **39**, 21-30.)

西林克彦 1988 面積判断における周長の影響—その実態と原因— 教育心理学研究, **36**, 120-128. (Nishibayashi, K. 1988 The origin of misjudgement in area. *Japanese Journal of Educational Psychology*, **36**, 120-128.)

Renkl, A., Mandl, H., & Gruber, H. 1996 Inert knowledge : Analyses and remedies. *Educational Psychologist*, **31**, 115-121.

Wertheimer, M. 1959 *Productive thinking*. New York : Harper & Row.

Whitehead, A. N. 1929 *The aims of education*. New York : Macmillan.

(2004.6.7 受稿, '05.3.19 受理)

Applicability of Conceptual Knowledge and Operational Levels of Knowledge Representation

Yoshifumi Kudo (Faculty of Humanities, Sapporo Gakuin University)

Japanese Journal of Educational Psychology, 2005, 53, 405—413

The "same perimeter problem" is a task that asks whether the area of a transformed parallelogram in which only the angles have been changed is equal to the area of the original parallelogram. This problem can be solved easily by using an area formula. However, because the 2 perimeters remain the same, even university students sometimes judge incorrectly that the 2 areas are equal. Published research has suggested that the origin of this misjudgment may be not only in problems with inert knowledge, but may be also due to difficulties in the operation of knowledge representation. In the present study, 106 university freshmen and sophomores were presented with 2 versions of the same perimeter problem. One version had a hint about using the area formula, and the other, no hint. The students completed a questionnaire that measured their operational level of knowledge of the formula. The results were as follows : (1) the high level of knowledge no-hint group could answer correctly at a high rate ; (2) the hint had little effect on the performance of the low level group ; and (3) the students who answered incorrectly after being given the hint considered the formula to be only a calculation procedure. It was suggested that learners' operational level of knowledge representation is an important factor in predicting whether they can apply their conceptual knowledge.

Key Words : conceptual knowledge, applicability of knowledge, knowledge representation, inert knowledge, university students

NII-Electronic Library Service