

# 知的行為の形成理論と教育プログラムへの適用\*<sup>1</sup>

城 仁 士\*<sup>2</sup>

(昭和56年10月31日受理)

## Theory of Stage-by-stage Formation of Mental Actions and Its Application to Teaching Program

Hitoshi JOH

(Received October 31, 1981)

### はじめに

「教育は発達につづいて進むだけでなく、発達と歩調を一つにするだけでなく、発達の前を進み、発達を前へ進めたり、発達のなかに新しい形式をよびおこすことができる。」

この言葉は、ソビエトの心理学者ヴィゴツキー (1972)<sup>1)</sup>の発達の最近接領域理論の骨子となるもので、今日のソビエト心理学における文化—歴史学派の教育と発達の相互関係についての基本的命題である。

この命題は、「正しく組織された教授—学習は子どもの知的発達を先導し、教授—学習の外では一般に不可能であるような多数の発達過程を発生させる」(ヴィゴツキー, 1972)<sup>1)</sup>という子どもの精神発達における教育の主導的役割を謳ったものである。すなわち、子どもの現在の発達水準に教育的作用を即応させるのではなく、現在の発達水準と明日の発達水準とのギャップから決定させる発達の最近接領域において、教授—学習を組織した場合にのみ発達を先導できるという思想である。それ故、「全体的発達も知的発達もその水準と特徴は、教授—学習の質によって、何よりもまず教授—学習の内容とその習得過程(学習過程)の制御形式によって決定される」(タルイジナ, 1966)<sup>2)</sup>ことになる。

以上のような観点に立てば、『子どもの発達を現水準から高次の水準へ引き上げるには、どのような原理に基づいて教授—学習をプログラミングすれば良いか』という問題が、教育者にとって極めて重要な課題となる。その意味で、知的行為の形成理論は、発達構造の解明と発達の構造的変化を引き起こす教育的諸条件を明らかにするための理論的基盤と研究方法を提供するであろう。

ペー、ヤー、ガリペリン(П.Я. Гальперин)は、ヴィゴツキーの「教育と発達の動的相互関係」に関する思想を継承し、1950年代初めに『知的行為の多段階形成理論』を発表した。彼は、これまで数多くの実験的研究を蓄積しながら、教授—学習および発達理論を強力に推し進めてきた。モスクワ大学心理学部のガリペリンを中心とするスタッフが発表し

---

\* 1 本研究の概要は CAI 学会第 6 回大会 (1981年10月, 東京) において発表した。

\* 2 長崎大学教育学部工業技術教室

たこの理論は、形象（Образ）の形式の基礎となる知的行為（Умственные Действия）をどう計画的に形成すれば良いか、また、そのためのプログラミングはどのような教授—学習理論に依拠しなければならないかを研究の目的としている。

我が国でも、早くから理論紹介がなされ（例えば、柴田1962—1964<sup>3)</sup>、天野1968<sup>4)</sup>、駒林1971<sup>5)</sup>）、さらに、実験的研究もいくつか行われている。したがって、ここでは、理論の大まかな枠組についてふれるにとどめ、この理論を実際の教授—学習のプログラミングにどのように適用していくかを具体的に述べることにする。

## 1. 理論の枠組

知的行為の形成理論は、前述したように、文化—歴史学派（ヴィゴツキー学派）の心理発達理論にその基礎をおいており、次の3つの基本命題から出発する。

- 1 心理を活動と見なす：心理は単なる外界の写象、すなわち諸形象の体系ではなく、活動、すなわち諸行為の体系である。心理の分析の単位となるのは活動を構成する「行為」であり、「行為」は形象形成の手段である。
- 2 心理発達の社会的性格：心理獲得にとっては、物質的、観念的な諸対象の体系だけでなく、これらの対象に反映された行為の様式（操作的側面）の獲得が不可欠であり、それは先行世代から次世代へと社会的に伝達される。
- 3 知的行為の発生源としての外的、物質的行為：人間の内的心理活動は、外的な実践活動が変換された形態である。すなわち、新しい心理活動を直ちに内的、知的形式で獲得することは不可能で、外界の対象に向けられた外的、物質的行為の形式の獲得を基礎にして初めて獲得することができる（駒林、1975<sup>6)</sup>より要約）。

以上のような心理の構造、発生および発達についての理解を踏まえ、ガリペリン(1957)<sup>7)</sup>は、特に3の命題、すなわち外的、物質的行為をどのように内的心理活動に変換していくかという問題をさらに展開し、教授—学習過程において知的行為をどう計画的に形成するかを具体的に解明した。ガリペリンによれば、行為のどのような形態も、次に示す4つのパラメーターの組み合わせによって特徴づけることができる。

- (1) 行為の水準
- (2) 行為の一般化の程度
- (3) 行為の成分の完全さ
- (4) 行為の習得の度合

第1のパラメーターは、行為の内面化（心内化）の程度を特徴づけるもので、次の3つの行為の形式（水準）がある。すなわち、

- (i) 行為の物質的あるいは物質化された形式
- (ii) 行為の外言的形式
- (iii) 行為の知的形式

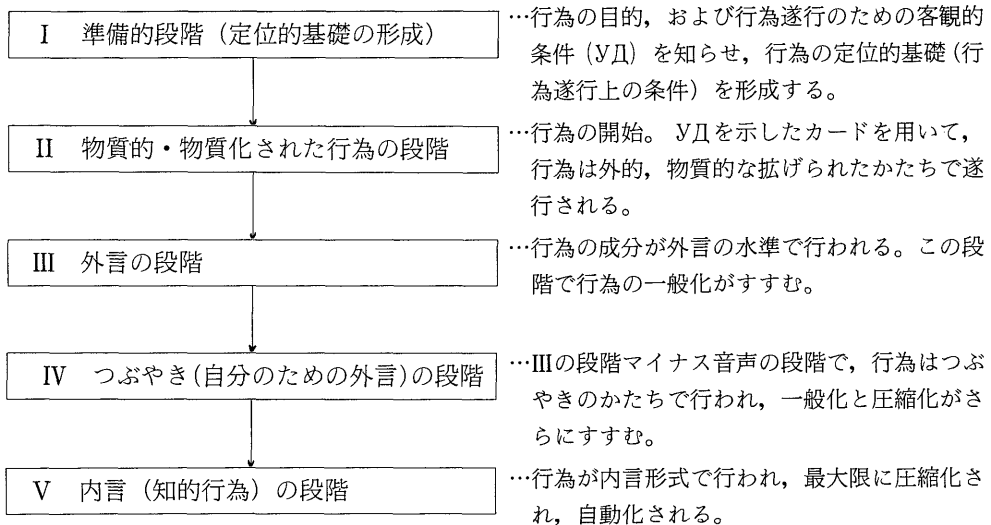
である。

第2のパラメーターは、ある条件、材料で形成された行為が、他の条件、材料に転移しうる度合を特徴づける。

第3のパラメーターは、行為の成分となる下位の諸操作の展開度と圧縮度を特徴づけるもので「行為の圧縮性」ともいう。

第4のパラメーターは、行為遂行の自動化の段階、すなわち速さを特徴づける。

先に述べたように、ガリペリンは新しい行為をただちに、内面化され、一般化され、圧縮され、自動化された知的行為として形成することはできないと考える。それ故、知的行為を形成するためには、上記4つのパラメーターにわたって、多段階的に「仕上げ(Отработка)」ねばならないとし、行為の習得段階を次の5段階とした。



なお、どんな場合でもすべての段階を設定する必要はなく、ある段階を省略しても行為を形成できることが示されている。ただし、第2段階を省略すると、形式の程度に問題がある(城, 1978)<sup>8)</sup>。このように、第2段階は重要な段階であるが、それと同時に、教授—学習全体を成功させるためには、準備段階で与えられる行為の定位的基礎をいかに正確に構成するか強く依存する。そのため、プログラム作成にあたって、定位的基礎の分析は、時間をかけ詳細に行われる。

## 2. プログラム構成の手続

一般に、われわれが、ガリペリンの理論に基づいて実際にプログラムを構成する場合には、次のような手続を踏んでいる。

- (1) 現在の子どもの発達水準の確認 (従来の横断法による調査, 実験)
- (2) 学習対象の構造の分析と、それを基礎にした教育計画の構成と教材化
- (3) 教授・学習 (形成教育) の組織・実施と形成過程の分析
- (4) 教授・学習の学習効果と発達の効果の評価と分析 (天野, 1981)<sup>9)</sup>

(1)の発達調査, 実験は、形成の対象となる知的行為がどのような発達の経過をたどるか、また行為の発達にとってどのような困難が存在し、行為の実現化のためにはどのような下位的諸操作を必要とするかを分析し、検討するための基礎データとなる。また、このデータは(3)の形成教育の対象となる子どもを抽出するためにも利用されるので、一般に、この調査は一定期間を隔てて (1~2ヵ月) 2回実施され、その間に発達の変動の有無が確認される。

(2)では、(1)の調査結果を踏まえて、学習の対象となる行為の客観的条件が分析される。

さらに、段階的に行為が仕上げられるようプログラムのアウトラインが決定され、各ステップと教材が構成される。各ステップは、①学習目的、課題の説明と訓練者による演示、②訓練者の援助下での練習、③自力による解決、の3位相から成っている。

(3)の形成教育の実施のさい、普通、子どもたちは各ステップ毎に学習をチェックされるとともに、一定の学習ブロック（いくつかのステップを含む学習単位）が終了した段階で「学習テスト」により評価され、一定の基準に達しない場合は、再学習しなければならない。

形成過程を分析するために、各ステップの間に小テスト（「ステップ間テスト」と呼ぶ）を挿入し、各ステップでの学習が目標とする知的行為の形成に対して、どう寄与するかを評価する方法を用いている。

(4)では、前後テストの中に、直接形成の対象となる行為の形成度を評価するテストと、その他に、行為の一般化の程度を分析するため、関連する他の知的行為を必要とするテスト（「発達テスト」と呼ぶ）を組み込み、プログラムの発達の効果を評価する。

以上のような手続を採用した場合、特に重要なことは、従来、発達過程として子どもの中で経過していた諸変化を、実験的に学習過程として再現し、その中で知的行為を支える諸操作の発達の階層性や因果関係を分析できる点、さらに、教育と発達の相互作用のもとで、新たな局面での教育と発達の可能性を追求できる点であり、発達研究法としても大きな長所をもっている。

### 3. 展開図作成行為の形成教育実験

#### 3. 1 問題と目的

ここでは、小学校の図工、算数教科や中学校技術科の金属加工学習と関連が深く、しかも空間表象の発達と直接結びついている展開図作成能力の形成を例として取り上げる。

3次元工作物の展開図を予想し、作成する能力は、技術・家庭科において、特に板金加工での材料取り、被服での型紙製作等の学習の基礎をなすものである。現在、展開図の学習は、小学校段階で、図工、算数を中心とした教科の中に位置付けられており、技術・家庭科では特別な教育は組織されていない。

しかしながら、現実には、中学校段階でも正しい展開図を予想できない生徒が認められ、彼らに対する教授—学習をどのように具体的に計画したらよいかという問題が生じている。その意味で、この展開図作成能力の発達を遅滞させている原因と、発達を促進する教授—学習の条件を明らかにすることは、教育的に大きな意味を持つと思われる。

小学校期における展開図作成能力の発達に関しては、Piaget, J. & Inhelder, B. (1956)<sup>10)</sup>の研究が詳しい。彼らは4から12歳までの児童を対象に4種の実物立体の展開図を予想させる課題を用いて、形式的操作期（11, 12歳以降）になって初めて、完全な展開図を予想できることを明らかにした。

しかし、Piagetらの研究は、実物立体を基礎にしたものであり、技術科で扱う見取り図（構想イメージ）から直接展開図へ変換するといった、物的支えを必要としない高次な空間表象を対象としたものではない。また、前述した課題解決に参与する心理的空間操作の構造、および能力形成のための条件や方法については、十分検討されていない。

そこで、実物の立体のみならず、2次元平面上に図示された、より抽象度の高い立体でも、当該の立体の展開図を予想し、描画する行為を展開図作成行為と定義し、この行為を一定の計画で形成することを試みる。そのことにより、教授—学習過程と行為の形成過程を分析し、行為の構造および形成の条件と方法を検討することを実験の第1の目的とする。

以上のような観点に立って、発達調査(城, 1981)<sup>11)</sup>の結果を踏まえ、種々実験的にも検討した結果、展開図の基礎となる下位操作は次の諸操作であると仮定するに至った。すなわち、1) 立体を構成している面(以下、要素面)の抽出、2) 展開の基準となる面(以下、基準面)の設定、3) 切断線の決定(基準面を中心として各要素面が展開できるように決定)、4) 各要素面の展開、の4操作である。

これらの下位操作がいかなる階層性を有しているかを、展開図作成が困難な児童を対象に形成実験的手法を試みることによって明らかにする。

また次に、形成された行為の般化力の強さを示すために、展開図作成行為の下位操作と類似、あるいは逆の関係で結びついていると思われる他の空間表象の発達に、形成教育がどの程度影響を及ぼすかを検討する。すなわち、展開図作成行為は、3次元立体を2次元平面に変換するという点で、投影行為と結びついており、面の回転を下位操作に含んでいるという点で、回転表象と結びついている。また、展開図作成行為と逆の関係、すなわち2次元情報から3次元立体を再構成するという点で結びついているのは、構成行為\*<sup>3</sup>(読図)である。これらの諸行為は、いずれも相互に発達の連関を示すことが、先行研究(天野・城, 1980)<sup>13)</sup>で明らかにされており、展開図作成行為の形成によって他の行為の発達をある程度促進するものと予想される。

## 3. 2 方 法

### 3. 2. 1 教育プログラム

プログラムは、ガリペリンの形成理論に依拠して、次のような原理に基づいて作成された。

[1] 最初、立体模型と要素面パネルを用いて、展開図作成に必要な諸操作を上げられた対象的(物質的)行為の水準で形成する。

[2] 次に、これらの操作をカードに言語的に定式化し、そのアルゴリズムに従って一連の諸操作を遂行させる。その後、カードを取り去り外言レベルで操作を制御させる。

[3] さらに、立体を実物から立体図(斜投影図)へ変化させることによって、立体を展開図へ変換する過程を完全に表象レベルへ移すとともに、行為を一般化する。

ただし、[2]の外言の段階では、イメージ変換過程の全てが外言レベルで遂行されるのではなく、その一部は対象的行為の水準で遂行される。これは対象が空間イメージであるため、変換過程およびその結果を全て言語レベルで表現させることが困難であることによる。

\* 3 投影行為と構成行為については、城(1980)<sup>12)</sup>を参照されたい。

以上のような原理を導入したのは、第1に、展開図作成のための行為、操作の体系（定位的基礎）が広げられた対象的行為の形式で具体的に子どもに与えられるため、子どもは立体を展開図へ変換する過程を自覚的に制御し、組織化することが可能となること、第2に、操作を動作面のみならず、言語的に定式化し、言語面に移しながら内面化することによって、より一般性の高いイメージが形成できると仮定したからである。

プログラムは6ステップ（以下、St.）から成る。プログラムの最終教育目標は、立体図で示された立体の展開図を描画できることとした。Fig.1にプログラムの概要を示す。

各ステップの手続の概要は以下の通りである。

### St. 1 〔立体模型に基づく要素面の抽出〕

立体の実物模型（表面には1cm×1cmのマトリックス目盛が記入されている）を提示し、正面に座らせたまま、模型をいろいろな方向から観察させ、要素面の数を所定の用紙（抽出図）に記入させる。次に同種の形状をもつ要素面毎に分類させ、その形状をフリーハンドで描画させるとともに、その数を描画の下に記入させる。その後、寸法を計測させ（マトリックス目盛を読ませる）、描画に記入させる。

### St. 2 〔基準面の設定と切断線の決定〕

立体の実物模型を提示し、最初に要素面の抽出を行わせるが、抽出図に描画させずに口頭で要素面の数、形状、寸法を報告させる。正しく抽出できたら、次の手順で基準面の設定と切断線の決定を行わせる。1) 基準面を決定させる、2) 基準面が底面となるよう立体を置かせる、3) 基準面を中心として、各要素面が展開可能なように切断箇所を決定させる（各要素面は必ず他の要素面と辺を共有していることが条件）、4) 切断箇所が決定できたら、その箇所（模型の稜）に赤色マーカーで表示させる。

### St. 3 〔展開順序の決定と要素面の展開〕

St. 1, 2で形成した操作に加え、要素面の展開順序を決定し、面を展開する操作を形成するため、あらかじめ展開図作成のためのアルゴリズムカードを提示し、記載された手続にそって、立体模型の展開図をパネル（表面には1cm×1cmのマトリックス目盛が記入されている）で構成するよう教示する。手続は以下の通りである。①立体の要素面を56枚のパネルの中から選択させる、②、③はSt. 2と同じ、④切断線に注意させながら各要素面

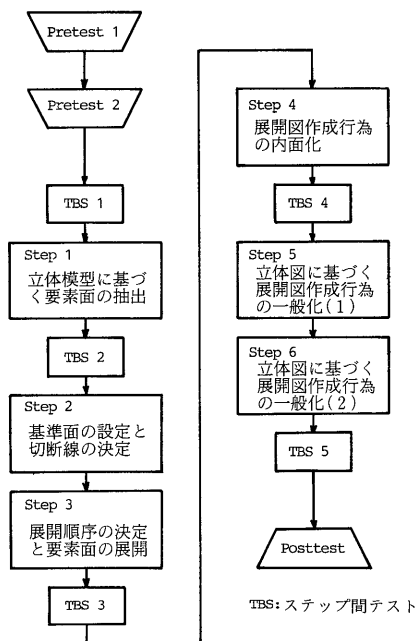


Fig.1 教育プログラムの概要

の展開順序を決定させる、⑤基準面となるパネルを最初に置かせ、展開順序にそって各要素面パネルを1枚ずつ実際に回転させ展開させていく。

#### St. 4 [展開図作成行為の内面化]

もはや、アルゴリズムカードは提示せず、要素面の選択(36枚のパネルの中から選択)とパネルによる展開図作成を除いて、他の操作は全て外的支えなしに行わせる。すなわち、切断線は赤色マーカーによる表示はさせず、表象レベルで決定させる。面の展開も実際にパネルを展開させることを禁止し、イメージによる展開を要求し、その結果のみをパネルで構成させる手続をとった。なお、本ステップでは、パネル構成が終了した時点で、立体模型と展開図の間で、要素面の対応を行わせる手続を新たに加えた。

#### St. 5 [立体図に基づく展開図作成行為の一般化(1)]

手続はSt. 4と同じであるが、提示される立体は模型ではなく、立体図である。これは、立体図の場合、描画されていない面の抽出(69枚のパネルの中から選択)は全く表象レベルで遂行されなければならない、展開図作成の過程はより内面化され、一般化されるという仮定に基づいている。なお、要素面の対応は立体図と展開図の間で行った。

#### St. 6 [立体図に基づく展開図作成行為の一般化(2)]

行為の一般化をさらに高めるために、立体図に基づいて、要素面の抽出、基準面の設定、切断線の決定、および要素面の展開の下位4操作を全て表象レベルで行わせ、その結果を所定の用紙に描画させる。ただし、描画はフリーハンドとし、各辺の寸法を記入させた後、立体図と展開図の間で要素面の対応を行わせた。

前述したように、各ステップは「課題内容の説明と実験者による演示」、「実験者の援助下での学習(2問)」、「自力による解決(10問)」の3位相から構成されており、子どもの学習は各ステップ毎にチェックされ、10問中8問以上を自力で解決できた場合のみ、そのステップの学習を終了したと見なした。それ以外は、同じステップを基準に達するまで学習させた。なお、本実験の場合、学習テストは省略した。

### 3. 2. 2 被験児、および実験計画

被験児は、福岡市立M小学校の3年生38名の中から、2回にわたって実施した前テストの結果に基づいて、性が同じで、展開図作成課題、正投影図課題、読図課題での反応水準や正反応数がほぼ等しい6対(12名)を選んだ。これらの対をランダムに分け、一方の6名を実験群とし、他方を統制群とした。実験群には、上述の教育プログラムによる訓練を行うが、統制群には行わず後述するステップ間テストを、訓練期間中、5回にわたって実験群とともに実施した。訓練期間は、1980年10月から11月上旬までの約1.3ヵ月間。各被験児は、毎週2回の割合で、小学校内の1室において個別に訓練を受けた。訓練は、筆者と研究協力者1名の計2名が担当した。

### 3. 2. 3 効果テスト

#### [1] 前後テスト

教育効果と発達効果を評価するため、訓練前に2回(前テスト1:訓練1ヵ月前、前

テスト2：訓練直前)と訓練直後に1回、次の3種のテストを実施した。いずれも集団テストで、1学級の子どもたちに一斉に実施した。

- (a) 展開図作成課題：立方体、円柱、四角錐、および立方体の左右に四角錐を組み合わせたもの、の4種の立体を斜投影図で示し、それぞれの展開図を予想させ、所定の用紙に描画させる(4問)。
- (b) 正投影図課題：Fig. 2の(a)のような斜投影図で示した立体(Task 2)の正面図、右側面図、平面図を描画させる。Task 1には三角錐を用いた(6問)。
- (c) 読図課題：Fig. 2の(b)のように、立体の3面図(Task 2)を読図させ、得られた立体イメージを所定の用紙に描画させる。Task 1には、L字型の立体の3面図を用いた(2問)。

## [2] ステップ間テスト

各ステップでの学習が、展開図作成行為の形成にどう寄与しているのか、また、他の空間的操作の発達にどう影響するかを評価するため、実験群と統制群に5回にわたって、次の2種のテストを実施した。いずれも個別テスト。

- (ア) 展開図作成課題：Fig. 3の(a)に示す立体(斜投影図)の展開図を14枚のパネル(白のプラスチック)の中から必要なパネルを選択させ、作成させる(1問)。

- (イ) 回転表象課題：Fig. 3の(b)に示すように、6面全て色の異なる立方体と無地の立方体(いずれも5.5cm立方)を水平方向に20cm隔てて置き、無地の立方体にも有色の立方体と同じ色が塗られていることを仮想させる。次に、無地の立方体のみを一定方向へ回転させ、回転後の各面の色を答えさせる。全6問\*4で、4問は1方向への回転、他の2問は2方向への回転を含んでいる。

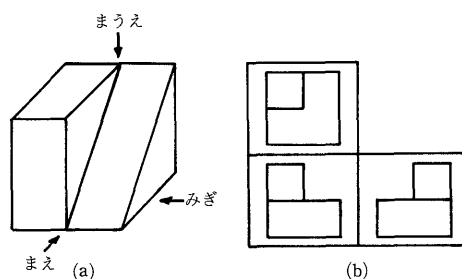


Fig. 2 正投影図課題(a)と読図課題(b)

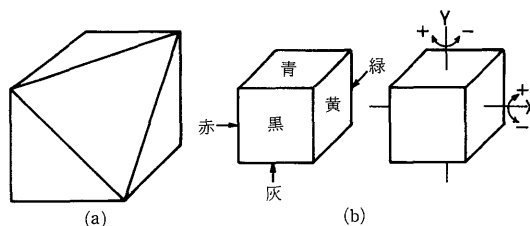


Fig. 3 展開図作成課題(a)と回転表象課題(b)

## 3. 3 結果および考察

### 3. 3. 1 訓練の進行, および学習過程

\* 4 問題は以下の通りである。x軸とy軸が立方体の中心で交わり、時計方向の回転を+、反時計方向を-とすると、①y軸を中心に+90°、②x軸を中心に+90°、③y軸を中心に-180°、④x軸を中心に-180°、⑤y軸を中心に+90°→x軸を中心に+90°、⑥x軸を中心に-90°→y軸を中心に-90°。



子どもたちは、訓練に積極的に参加し、1セッションの訓練(平均時間38分)でほぼ1ステップずつ進行した。最終的に、6~8セッションの訓練を受け、全員、予定されたプログラムの全ステップを終了するとともに学習の最終目標に到達することができた。6名中4名は一度も再学習を必要としなかったが、E1はステップ1と5で、E3はステップ5で再学習を必要とした。特に、ステップ5で認められた誤りの多くは、斜投影図に示された立体の要素面の抽出であった。これは、当初予想したように、このステップから対象となる立体が立体図の形式で提示されるため、描画されていない要素面の抽出を表象レベルで行わねばならないことに起因している。すなわち、実物模型の場合、各要素面の抽出は直接対象を観察することによって可能となるが、立体図の場合は、まず立体をありありと表象し、さらにその立体の各要素面の正確な形状をイメージするという、いわば2重の表象過程を必要とすることに困難の原因があると考えられる。

### 3. 3. 2 形成過程での反応の変化(ステップ間テストの分析)

計5回にわたって実施したステップ間テスト(以下、TBSと略記)における反応の変化を検討する。

#### i) 展開図作成課題における反応の変化

子どものパネル構成操作と作成した展開図の記録に基づいて、子どもの反応を分析したところ、Table 1のような反応水準が認められた。

この表を基準にして、筆者と大学院生2名が展開図を評定し、子どもの反応水準を決定した。その結果をTable 2に示す。

Table 1 展開図作成課題(ステップ間テスト)における反応水準

水準	反 応
0	無反応
I	パネルの選択およびパネルの接合のいずれも正しくない。
II	立体図に図示された部分のパネルの選択と接合は正しいが、図示されていない部分については、構成を全く試みない。
III	図示された部分のパネルの選択と接合は正しく、図示されていない部分の構成も試みるが、パネルの選択と接合のいずれも正しくない。
IV	パネル選択は全てが正しいが、パネル接合は図示されている部分のみ正しい。
V	パネル選択およびパネル接合は全て正しい(正反応)。

Table 2 展開図作成課題(ステップ間テスト)における反応水準の推移

Group	ステップ間テスト(TBS)				
	1	2	3	4	5
E 1	I	I	I	I	V
m E 2	I	I	I	V	V
E 3	II	II	I	V	V
E 4	III	III	III	III	V
f E 5	I	I	III	I	V
E 6	I	V	I	IV	V
C 1	I	I	I	I	I
m C 2	II	II	V	V	V
C 3	III	I	IV	I	III
C 4	I	I	I	II	II
f C 5	I	I	I	I	I
C 6	I	III	I	IV	III

Notes. E: Experimental group, C: Control group.

各 TBS において実験群と統制群の反応水準の間に差が認められるか否かを検討するため、各水準を 0 から 5 まで得点化し、U 検定を行ったところ、TBS 5 にのみ有意差が認められた ( $U=4.5$ ,  $n_1=n_2=6$ ,  $P<.05$ )。

また一方、TBS 1 を基準として、TBS 2 以降の反応水準の上昇をサイン検定したところ、実験群においてのみ、TBS 5 で有意に反応水準が上昇 ( $P<.05$ ) していることが認められた。

以上の結果から、立体図から直接展開図へ変換する能力は、St. 1～4 の学習だけでは十分形成することはできず、St. 5, 6 の学習が終了した段階で飛躍的に反応が改善されることが示された。すなわち、この種の空間イメージを形成するためには、行為を対象的行為の水準で組織化するだけでは不十分であり、一連の操作を言語面へ移し漸次内面化することを基礎に、さらに次の段階で立体図を導入することによって行為を一般化する必要があることを示唆している。

#### ii) 回転表象課題における反応の変化

回転表象課題 (全 6 問) での両群の平均正反応数の推移を Fig. 4 に示す。被験者間要因を群、被験者内要因をステップ間テストとする 2 (群) × 5 (テスト) の分散分析を行ったところ、群 [ $F(1, 10)=7.003$ ,  $P<.05$ ], テスト [ $F(4, 40)=6.956$ ,  $P<.01$ ] の主効果と群 × テスト [ $F(4, 40)=6.537$ ,  $P<.01$ ] の交互作用のいずれにも有意差が認められた。単純主効果の検定を行ったところ、TBS 3, 4, 5 において 2 群間に差が認められ [ $F(1, 50)=8.742$ ,  $P<.01$ ,  $F$

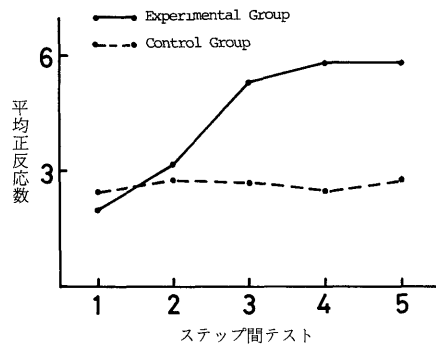


Fig. 4 回転表象課題における平均正反応数の推移

( $1, 50$ )=13.66,  $P<.01$ ,  $F(1, 50)=11.07$ ,  $P<.01$ ], 同時に実験群において、テスト間に差が認められた [ $F(4, 40)=13.37$ ,  $P<.01$ ].

以上の結果から、回転表象課題の解決に、St. 2 および 3 の学習が正の転移を及ぼしていること、またその後の学習においてもその効果が維持されていることが明らかになった。

プログラムの構成から考えると、特にステップ 3 の要素面の展開の学習がこの種の立体的回転表象能力を促進する効果を有していると思われる。

### 3. 3. 3 教育の効果 (前後テストの分析)

#### i) 展開図作成能力に及ぼす効果

訓練の前後 3 回にわたって行った展開図作成課題 (全 4 問) における平均正反応数を Table 3 に示す。

被験者間要因を群、被験者内要因を前後テストとする 2 (群) × 3 (前後テスト) の分散分析を行ったところ、前後テストの主効果 [ $F(2, 20)=34.88$ ,  $P<.01$ ] と群 × 前後テストの交互作用 [ $F(2, 20)=13.25$ ,  $P<.01$ ] がそれぞれ有意であった。そのため単純主効果の検定を行ったところ、後テストにおいて 2 群間に有意差が認められ [ $F(1, 30)=$

Table 3 展開図作成課題における平均正反応数 (SD)

Group	Pre-1	Pre-2	Post
Experimental Gr.	0.38 (0.75)	1.33 (0.82)	3.83 (0.41)
Control Gr.	1.17 (0.98)	1.17 (0.98)	1.83 (1.17)

Notes. Pre-1: Pretest 1, Pre-2: Pretest 2, Post: Posttest.

15.33,  $P < .01$ ], 同時に実験群においてテスト間に有意差が認められた [ $F(2, 20) = 45.59$ ,  $P < .01$ ].

以上の結果から, 前テスト1, 2では両群の成績には差はなく, 後テストにおいて実験群が統制群よりすぐれた成績を示していることが明らかになった。後テストでは, 実験群6名のうち5名は全問正答することができ, 他の1名も円柱問題の一部で誤まったにすぎない。これに対し, 統制群は全テストを通じ平均正反応率が50%を超えることはなく, 大部分が円柱と立方体・四角錐を組み合わせた立体で誤まった。

このように, 立体図から直接展開図を描画するという抽象度の高い空間課題に対して, プログラムに基づく教授-学習は, 十分その解決能力の形成を保證することが示された。

ii) 他の空間表象の発達に及ぼす効果

展開図作成行為の形成が, 他の空間表象の発達にどのような影響を与えるかという観点から, 正投影図課題での両群の平均正反応数を比較したものが Table 4 である。また, 読図課題での両群の反応水準を示したものが Table 5 である。

正投影図課題(6問)の前後テストでの両群の正反応数に基づいて, 2(群)×3(前後

Table 4 正投影図課題における平均正反応数 (SD)

Group	Pre-1	Pre-2	Post
Experimental Gr.	0.83(0.75)	1.17(0.98)	3.00(1.26)
Control Gr.	0.67(0.82)	1.50(0.55)	1.83(1.17)

Notes. Pre-1: Pretest 1, Pre-2: Pretest 2, Post: Posttest.

Table 5 読図課題における反応水準\*の変化

Group	Task 1			Task 2			
	Pre-1	Pre-2	Post	Pre-1	Pre-2	Post	
m	E 1	II	II	IV a	II	II	III
	E 2	II	II	IV a	II	II	III
	E 3	II	II	IV a	II	II	III
f	E 4	II	II	II	II	II	II
	E 5	II	II	IV a	II	II	II
	E 6	II	II	IV a	II	II	II
m	C 1	II	II	II	II	II	II
	C 2	II	II	IV a	II	II	III
	C 3	II	II	III	II	II	II
f	C 4	II	II	II	II	II	II
	C 5	II	II	III	II	II	II
	C 6	II	II	IV a	II	II	III

Notes. E: Experimental Group. Pre-1: Pretest 1.  
C: Control Group. Pre-2: Pretest 2.  
Post: Posttest.

\*反応水準 I 水準: 描画できない  
II 水準: 3面図中1面図を平面的に描画  
III 水準: まったく違った立体を立体的に描画  
IV a 水準: 立体的に描画するが一部誤まっている  
IV b 水準: 正しく立体的に描画する

テスト)の分散分析を行ったところ、前後テストの主効果のみ有意であった〔 $F(2, 20) = 10.48, P < .01$ 〕。この結果から、教授—学習の発達効果は認められず、展開図作成の基礎となる要素面の抽出操作は任意の視点から各要素面を正投影する操作を内包しているという意味で、訓練が投影行為の発達を引き上げるであろうという当初の仮定は支持されなかった。

次に、正投影図課題と逆の操作が要求される読図課題での反応の変化をしてみる。Table 5に基づいて、まずTask 1から検討すると、前テスト1, 2では両群の反応水準は、いずれも全員II水準で全く差が認められない。しかし、後テストでは、実験群のうち5名がIV a水準に移行し、ほぼ正しい立体を描画した。それに対し、統制群はIV a水準に移行したものは2名で、他はIII水準に移行するか(2名)、全く変動しないか(2名)であった。III水準は立体そのものが正しくないのに対し、IV a水準は立体的描画法の一部に誤りがあるだけで、立体そのものは正しいという点を考慮すると、実験群の5名がIV a水準に移行したことは、明らかに訓練の効果であることを示している。一方、Task 2については、前後テストを通じて、両群の反応水準の間には質的な差は認められない。これは、Task 1には提示された3面図のうち正面図に、得られるべき立体の直接的な手がかりが与えられているのに対し、Task 2にはFig. 2の(b)のように、直接的な手がかりではなく、3面図情報を全て表象レベルで加工しなければならないために、困難度が増したと考えられる。

以上のように、正投影図課題に対する訓練の発達効果は認められなかったが、読図課題では、問題の難易度によって効果の現われ方に差はあるものの、読図能力の発達を促進する効果を教育プログラムが有していることが認められた。この発達促進効果は、ある面を基準面として設定し、他の要素面情報をこれに関係づけるという展開図作成行為の下位操作構造が、特定の図面を基準として、他の図面情報をこれに付加し加工するという読図(構成)行為の下位操作構造と近似していることによると考えられるが、この点については、今後、詳細に検討する必要がある。

形成教育実験によって得られた諸結果を要約すると次のようになる。

- 1) 知的行為の形成理論に依拠した教授—学習を組織することによって、小学校中学年児にも、立体図に示された幾何学的に複雑な立体の展開図を、容易かつ正確に作成する能力を獲得させることができる。
- 2) 上記の能力を十分に形成するには、対象的(物質的)行為の水準で下位操作を習得させるだけでは不十分で、一連の操作を言語を介して内面化するとともに、立体図を導入することによって行為を一般化する手続を新たに加える必要がある。
- 3) 訓練の進行に伴って、意図した学習効果のみならず、回転表象能力および読図能力という他の空間表象能力の発達をも促進する。

## ま と め

以上のように、われわれが「形成法」あるいは「形成教育」と呼んでいる知的行為の形成理論に基づく研究方法は、子どもに未発達、未形成な心理機能を目標にした教育計画(教育プログラム)を構成し、その下で教育を組織し、その形成過程や行為を支える諸操作間の因果関係および形成と発達に必要な条件を分析することを主たる目的としている。それ故、この形成方法は、単なる教授—学習の効率化を意図しているのではない。また、従来

の発達の研究で見られるような、教育過程と切り離されたところで、年齢的・自生的に生じる発達の変化をとらえ、その変化の法則性や移行の条件を問題にするのでもない。すなわち、教育と発達のダイナミックな相互関係の下で、学習対象の構造（客観的条件）の分析が完全であればあるほど、教育が発達に及ぼす影響は大であると考え、直接形成の目標とする知的行為の構造を分析するとともに、構造的に関連する他の知的行為への発達効果をも同時に分析の対象とする点にこの形成法の大きな特徴がある。

このような研究法の基本的な考え方は、新ピアジェ派と称する最近の認知心理学の研究動向と軌を一にするところがある。その代表格である Siegler, R. S. (1978)<sup>14)</sup>のルール評価アプローチや Case, R. (1978)<sup>15)</sup>の実行制御構造 (executive control structure) の考え方は、課題解決に必要な心理的諸操作の解明とその構造化（UDの構成）および子どもの現発達水準の正確な診断のための強力な分析器になるように思われる。その意味で、今後、これらの認知発達に関する新しい研究法を導入することによって、学習者の認知構造と対応したさらに詳細で体系化されたプログラムを開発できるものと期待される。プログラムの開発にあたっては、上述の諸研究も含めて短期的な学習効果や発達効果をねらったプログラムだけでなく、構造的な発達変化を引き起こすような一般化された長期のプログラムを意図する必要があるだろう。

## 謝 辞

本論文を作成するにあたり、一貫して御指導いただきました九州大学教育学部成瀬悟策教授に深く持謝いたします。実験にあたり、福岡市立美和台小学校の森武彦校長先生、担任の中山九十九先生、ならびに3年6組の皆さんには多大なる協力を賜りました。また、訓練者およびテスターとして、九大院生の船津奈良江、安永悟両氏の協力を得ました。記して感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) Виготский, Л.С. 1934 Мышление и Речь [紫田義松訳 1972 思考と言語(下)明治図書 67]
- 2) Talysina, N. F. 1966 The theory of stage-by-stage formation of mental actions and the problems of development of thinking. In XVIII international congress psychology 32 simposium. Moscow.
- 3) 紫田義松 1962-1964 学習心理学の諸問題 (その1～その6) ソビエト教育科学 6, 7, 8, 11, 15, 18 明治図書
- 4) 天野幸子 1968 プログラム学習と学習過程の制御 [波多野他(監) 学習心理学ハンドブック 金子書房 522-537]
- 5) 駒林邦男 1971「知的行為の多段階形式理論」研究覚書 岩手大学教育学部研究年報 31, 1-86
- 6) 駒林邦男 1975 現代ソビエトの教授-学習諸理論 明治図書 273-346
- 7) Гальперин, П.Я. 1957 Умственное Действие как основа формирования Мысли и образа. Вопросы Психологии, 6, 58-69.
- 8) 城 仁士 1978 技能の習熟に関する実験的研究-木材加工(ほぞ加工)技能の多段

階的形成の試みー 日本産業技術教育学会誌 20, 2, 123-129

- 9) 天野 清 1981 発達遅滞児に対する言語の形成教育 発達障害研究 3, 1, 37-48
- 10) Piaget, J. & Inhelder, B. 1956 The child's conception of space. Routledge & Kegan Paul, 271-297.
- 11) 城 仁士 1981 小学校期における空間表象能力の発達 日本心理学会第45回大会発表論文集 484
- 12) 城 仁士 1980 製図における投影-構成行為の形成と投影図法の教授=学習 教育心理学研究 28, 3, 46-55
- 13) 天野 清・城 仁士 1980 小学校3年生徒の空間表象能力の発達とその診断 国立教育研究所研究集録 第1号 23-40
- 14) Siegler, R. S. 1978 The origins of scientific reasoning. In R. S. Siegler (Ed.), Children's thinking: What develops? John Wiley & Sons, 109-149.
- 15) Case, R. 1978 Intellectual development from birth to adulthood: A neo-Piagetian interpretation. In R. S. Siegler (Ed.), Children's thinking: What develops? John Wiley & Sons, 37-71.