

# 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

城 仁 士\*

## 問題と目的

製図学習の基本となるのは、3次元立体を2次元平面に投影する能力、および、逆に2次元平面上に描かれた3面図から3次元立体を表象する能力（読図能力）である。これらの能力の問題は、心理学的には空間表象能力の発達や形成の問題と密接に関連し、重要な意味を持っている。それにもかかわらず、これらの能力の形成、および学習過程は、これまで教育心理学ではあまり研究されていない。

発達心理学では、Piaget, J. (1953) が10数種類の諸課題を利用して、空間表象の発達についての研究を行い、子どもの発達が、1) トポロジー的、2) 射影的、3) ユークリッド的段階を経ることを明らかにした。また、現行の教育カリキュラム下では、ユークリッド的空間表象能力を必要とする製図学習は、Piagetの理論という射影的段階にいる小学校の低—中学年では一般に教育されず、中学校に入ってから教育が開始されている。

しかしながら、製図学習の基礎となるユークリッド的空間表象能力を小学校の低—中学年児に形成し、製図学習を開始することは不可能だろうか。また、そのことは子どもの空間表象能力にとって意味がないのだろうか。

Piagetの3つ山問題を解決する能力を形成することを目的とした天野・田島(1980)の研究は、3次元枠組を利用した対象的行為として透視行為\*\*を形成することで、小学校低—中学年の子どもにユークリッド的空間表象能力を形成することに成功した。しかし、そこでいくつかの問題点が生じた。その1つは、形成プログラムによる教育を受けた子どもは、3次元立体を2次元平面に投影することはできても、2次元平面の情報（4視点からの正投影図）から、もとの3次元立体を構成することが困難であったことである(城, 1976)。この問題は、製図の読図能力の基礎となる具体的な対象的行為とは何かとい

うことについて、新たな視点から分析する必要性を提起した。3次元立体を2次元平面に写す投影行為と2次元平面の情報から3次元立体を表象する構成行為\*は、相互に関連しているが、天野・田島の研究は、前者の行為の形成が必ずしも後者の行為の形成をもたらさないことを示した。このことは、製図能力を形成するためには、両者の行為の形成を含むプログラムを構成しなければならないことを意味している。

学習に際しても両行為はいくつかの点で明瞭な違いが考えられる。まず第1に、投影行為は必要な投影画面へ対象を投影\*\*するので、対象と図面との軸関係が基礎となるが、各図面相互の軸関係の理解は必ずしも必要でない。それに対し、構成行為は、3図面を統合して3次元立体を表象するので、各図面相互の軸関係が必ず理解されていなければならない。第2に、構成行為は投影行為の習得を前提とし、まったく投影行為が未形成の状態では構成行為を形成することはできない。第3に、投影行為は、直接与えられている対象のもつ情報（第1次情報）を抽象し、加工することを基礎にしているのに対し、構成行為は、第1次情報が与えられておらず、抽象された対象の情報（第2次情報）の加工を基礎にしている。したがって、後者の場合、より高次のイメージの形成が要求されると考えられる。

では、表象レベルでの構成行為とはどのような内容を持つのだろうか。先行研究で、与えられた3面図（第2次情報）に基づいて、単に試行錯誤的につみきで構成させるだけでは、必ずしもイメージの形成を保証しないことが示された(城, 1977)。種々、実験的にも検討した結果、構成行為を表象レベルで形成するには、直接、3面

\* 本研究では、これらの行為を次のように定義した。  
[投影行為]: 実物、あるいは2次元平面上の3次元立体を3角法で正面、右側面、平面に正投影する行為。  
[構成行為]: 3角法で示された3面図を読図し、そこに投影されている立体を表象、構成する行為。

\*\* 本研究では、対象を投影空間の第3角に置き、立画面、側画面、平画面を通して対象のみえを写影する第3角法を問題としている。

\* 九州大学教育学部

\*\* 天野・田島の透視行為は、本研究で扱う製図3角法による投影行為と同じ内容の行為である。

図から立体イメージを一定の手順で産出し、そのイメージを2次元平面に描画させる行為を形成することが必要であると仮定するに到った。さらにイメージの柔軟性を増すために、表象された立体イメージを任意の視点に回転できる能力（視点変換能力）を形成する必要があると考えた。

本研究の目的は、小学校児童でも適切な教育を行えば、ユークリッド的空間表象の形成が可能であるという立場から、投影—構成行為の上記の構造に基づく教育プログラムを作成し、これらの行為が未発達な小学校中学年児に対して、形式的実験教育を試み、その学習、および形成過程と教育プログラムの効果を分析、検討することである。

## 方 法

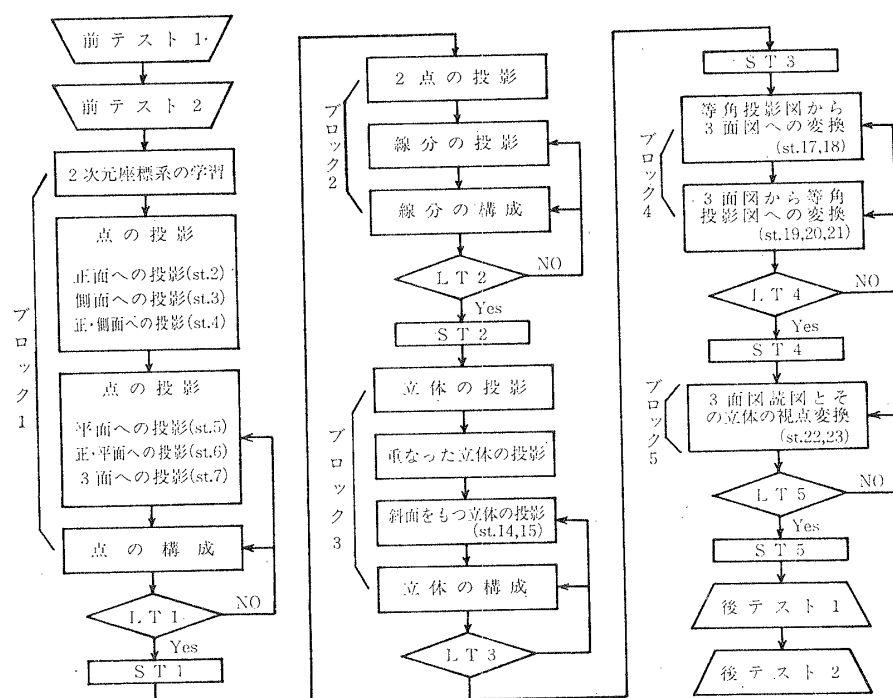
### 教育プログラム

23ステップ（以下 st. と略）からなるプログラムを作成した。プログラムの最終教育目標は、3面図を読図し、その立体イメージを任意の視点へ回転し、それを等角投影図法\*で描画できることとした。FIG. 1 にプログラムの概要を示す。

プログラムは、次のような原理に従って作成した。(1) 投影—構成行為を、最初、外的、物的な支えによる対象的行為から始め、漸次に内的な表象レベルでの行為へと導く。(2) 形成の順序は、投影行為の形成から始め、3面図相互の軸関係の学習が終了した時点で構成行為の学習に入る。次のブロックでも、投影行為の学習後、構成行為の学習に入る。すなわち、両行為は、投影対象の複雑さに伴って交互に学習される。(3) 投影対象は、投影幾何学に従い、点→線分→立体の順に配列し、扱う図面数も、点の投影の際、1→2→3面図と多くしていく。(4) 対象の測定は、デジタル的な測定 [st. 1～11] から、アナログ的な測定（目測）[st. 12～23] へと変化させる。

st. 1 から16までのうち、投影に関するステップは、天野・田島を参考にした。しかし、図面相互の軸関係を教

\* 立体画法の一種で、対象のX, Y, Z軸がそれぞれ120°で交わるように置いて投影し、立体的な感じを表現する。他に斜投影法があり、画面に対して斜めの角度から投影する。



L.T: 学習テスト S.T: ステップ間テスト

FIG. 1 教育プログラムの概要

えている点、線分の投影を導入している点、および、立体の投影時に斜面を新たに加えている点などが、彼らと異なっている。st. 17 以降は、このプログラムのために新たに作成した。

プログラムは、5ブロックから成り、ブロック1では点の投影と構成を扱った。st. 1では、6×6のマトリックス平面上の任意の1点の位置を(x, y)で表示することを学習させる。st. 2から8までは、天野・田島が使用した3次元空間枠組とほぼ同じものを使い（ただし、マトリックスは6×6）、枠組内に置かれた点（球）の位置を正面、右側面、平面の投影画面（透明プラスチック板）のマトリックス上に投影させる。その後、直接、手もとにあるマトリックス用紙に点の位置を転写させる [st. 2～7]。今度は逆に、3面図を与え、投影されている点の位置を読みとらせ、3次元枠組内に点を置かせる [st. 8]。なお、st. 8から透明プラスチック板は取りはずされる。

ブロック2は、線分の投影と構成の学習である。枠組内の2点を結んだひもを3面へ投影させた後、今度は逆に線分の3面図から線分の空間内の位置(x, y, z)を読みとらせ、枠組内に線分を構成させる。st. 10では、線分の実長の概念と基準線\*の学習も行う。

ブロック3は、枠組内の立方体積み（5.5cm立方で各面色が異なる）群を3面へ同時投影する学習と、3面

\* 設計、製作、配置、組立てなどの基準とする線。

図から、投影されている積み群を構成する学習である。st. 13 は 3 面中いずれかの面で積みが重なる場合を、st. 14 は、斜面を持つ立体 (3 角柱) 群の投影を中心に学習させる。なお、st. 15a で底板のマトリックスが、15b で枠組そのものが取り除かれる。これは、3 次元枠組を表象レベルへ移すとともに、投影—構成行為に必要な一連の諸操作を内面化することを目的としている。

ブロック 4 は、枠組の手がかりなしに、投影—構成行為をいずれも 2 次元平面上で操作させることを主な目的とした。st. 17、18 は立体の等角投影図から、3 面図へ変換する学習である。等角投影図には各視点を示す矢印が記入されており、各視点からの投影像を予測しなければならない。st. 17 は、等角投影図から小型の種々の積みで立体を構成し、それを手がかりにして 3 面図を描画させる。st. 18 は、直接、等角投影図を 3 面図へ変換、描画させる。

st. 19 から 21 までは、逆に 3 面図から等角投影図へ変換する学習である。st. 19 は、3 面図をもとに立体をつみきで構成させ、その積みと等角投影図との間で、点、辺、面の対応を行わせ、変換学習の導入とした。st. 20 は、積みを使わず、FIG. 2 に示した定式化された手順に基づき、等角投影用グリッドに 3 面図を転写し、各図面の点、辺、面を対応づけながら立体化させる。

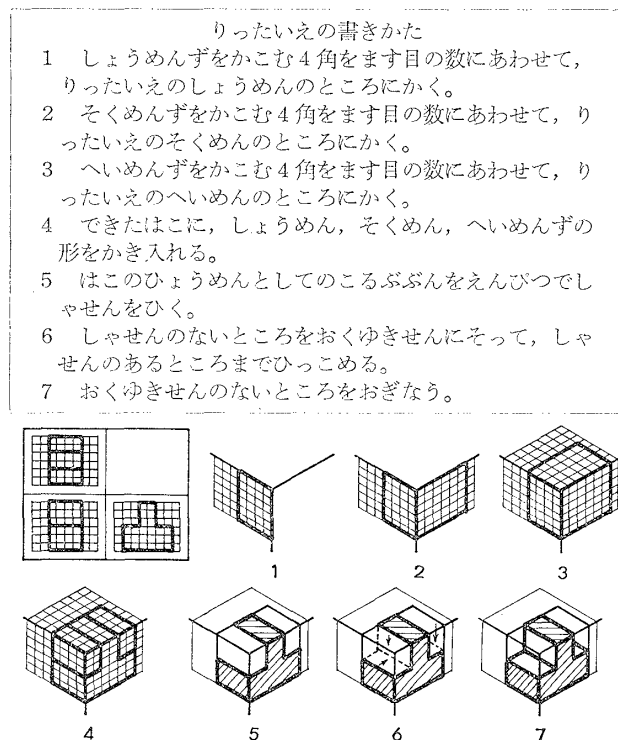


FIG. 2 等角投影用グリッドを用いた変換の手づき\* (ステップ20)

\*5, 6, 7 にも、グリッドが描かれているが、ここでは略す。

立体の描画過程で困難が生じた場合は、積みで構成し、立体の形を確認させた後、積みを取り除いてから描画することを許した。st. 21 ではグリッドはなく、3本の軸だけが描かれた用紙に、同じ手続で3面図を等角投影図へ変換させるが、もはや手順書は与えられず、子どもは、一連の変換アルゴリズムを内的に操作することが要求される。このステップでも、描画に困難が生じた場合、積みによる形の確認を許した。

st. 20 と 21 の学習は、単に等角投影図法の習得が目的ではなく、一連の変換アルゴリズムの操作が、3 面図から立体イメージを産出する基礎過程をなしていると考え、その諸操作を表象レベルで行えるよう、アルゴリズムの内面化と自動化をねらいとした。

ブロック 5 は、立体イメージの視点変換 (回転) の学習である。st. 22 は、その導入として、3 面図から得られた立体イメージを、一旦積みで構成させ、積み子を任意の視点へ回転させた後、その形を等角投影法で描画させる。st. 23 は、全て表象レベルで行わねばならない。その後、そのイメージを等角投影法で描画させる。

各ステップは、練習課題 2 問、本課題 10 問から成っており、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したとき、そのステップの学習を終了したと見なした。

#### 実験デザイン、および被験児

被験児は、福岡市立 H 小学校の 3 年生 43 名のうち、2 回の前テストの結果から、投影および構成行為が未発達な子どもを取り出し、性が同じで、年齢および積み構成課題、3 つ山問題、陰の投影課題の反応水準や正反応数がほぼ等しい 8 対を作った。次に、これらの対をランダムに 2 群に分け、一方の 8 名を実験群、他の 8 名を統制群とした。実験群の知能偏差値は 38~77 (T. K. 式 2 B)、年齢範囲は 8 : 1 ~ 9 : 0 で、統制群は 35~60, 8 : 1 ~ 8 : 11 であった。実験群には教育プログラムに基づく訓練を行うが、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。訓練終了直後、および約 3 か月後の 2 回にわたり、両群に後テスト (前テストと同じもの) を実施した。

#### 訓練期間、場所、訓練者

1977 年 6 月下旬から 11 月中旬までの夏休みを除く約 3 か月間で、休み前に 12 セッション、休み後に 16~21 セッションの訓練を行った。各被験児は毎週 3 回の割合で、小学校の 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 3 名の計 4 名が担当した。

#### 学習の効果

(1) 前後テスト 教育効果を評価するため訓練前に 2 回

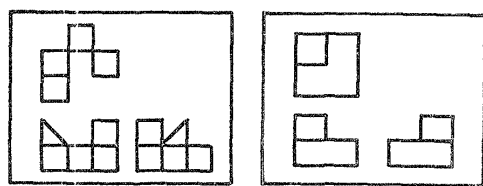


FIG. 3 つみき構成課題 (Task 3) および読図・視点変換課題

(前テスト1: 訓練1か月半前, 前テスト2: 訓練直前), 訓練後に2回(後テスト1: 訓練直後, 後テスト2: 訓練の約3か月後), 次の6種のテストを実施した。ただし, (b)は前テスト1には含まれていない。

- (a) 描画課題: 子どもの前に, 実物のカップを置き, カップの3面図を描画させる。次に等角投影図で示された3角柱の3面図を描画させる (2課題6問)。
- (b) 正投影図完成課題: 立体 (斜投影図) の3面図のうち, 右側面と平面図で不足している実線を補充させる (2問)。
- (c) つみき構成課題: つみき群の3面図を読図し, つみきで構成させる (3問)。
- (d) 読図・視点変換課題: 立体の3面図を読図し, そのイメージを立体的に描画させる。次に, 読図で得られた立体イメージを, 時計方向に $90^\circ$ 回転させ, その形を立体的に描画させる (2課題2問)。FIG. 3につみき構成 (Task 3), および読図・視点変換課題を示す。
- (e) 3つ山問題\*: 台紙 (50cm平方) の上に, 黄, 青, 赤色の各々大きさの異なる円筒を前後左右どの視点から見ても1つが重なるように置き, 各視点からの円筒の見えを正面から予測し, 円筒と同色, 同大の型紙で $36 \times 50$  cmの紙の上に構成させる (4問)。
- (f) 影の投影課題: Piaget (1967) とほぼ同じ投影装置を使って, エンピツの垂直,  $45^\circ$ , 水平の各位置での影と円錐体1個 (頂点がスクリーン側) と2個 (頂点が接している) の場合の影を予測し, 描画させる\*\* (5問)。

なお, (e)~(f)は, 訓練の発達への影響を調べるための課題として設定した。

- (2) 学習テスト 各ブロックの学習効果を評価するため, 各ブロックで扱った課題と類似した10課題を課し, 正反応率80%以下の場合, その反応に基づいて, ブロック内のステップのいずれかに戻し, 再学習を行わせた。

\* 手続, および実験状況は, 天野・田島 (1980) が, ステップ間テストに利用したものと同一である。

\*\* 課題の設定は, Piaget に依拠したが, ランプは教示の際, 一度点燈するが, 予測時では点燈しない。

- (3) ステップ間テスト 各ブロックでの訓練が行為の形成に及ぼす効果を評価するために, 両群に学習テスト終了後, 5回にわたって次の3種の課題を与えた。

- (i) 投影図選択課題: 子どもの前に, 立体の等角投影図と9枚の正投影図を提示する。子どもは, その9枚の正投影図の中から, 立体の正面, 右側面, 平面図を選択することが要求される (2課題6問)。
- (ii) つみき構成課題: 課題は異なるが, 手続は前後テストと同じ (2問)。
- (iii) 読図・視点変換課題: 課題は異なるが, 手続は前後テストと同じ (2課題2問)。

## 結 果

### 訓練の進行, および学習過程

子どもたちは, 訓練に積極的に参加し, 1回の訓練 (平均所要時間50分) でほぼ1ステップずつ進行した。3か月の間に予定されたプログラムの全ステップを終了し, 学習目標に全員到達することができた。8名中4名が1度の再学習もなく全ステップを通過し, 2名が1回, 1名が4回, 他の1名が5回の再学習を必要とした。学習の困難は, 特定のステップには認められなかった。

学習過程は, プログラムの中核となる st. 17から23までを焦点化して, 以下に述べる。

st. 17~18 (等角投影図から正投影図への変換): st. 17では, 等角投影図から立体をつみきで構成し, つみきを媒介として3面図を描画させたが, 難なく学習を終了し, 全員97%以上の正反応率を示した。st. 18では, つみきを使わず, 直接, 等角投影図から3面図を描画させたが, 8名中7名が93%以上の正反応率で通過し, 最低の成績 (87%) を示した S. K. は, 3面図相互の点, 辺, 面についての対応で, 特に側面と平面との対応が困難であったが, 再学習の必要はなかった。

st. 19~21 (正投影図から等角投影図への変換): st. 19では, まず3面図を提示し, 立体をつみきで構成させた後, 正しい等角投影図を提示し, つみきを手がかりに3面図と等角投影図の間の対応を学習させた。したがってこの学習の成立は, つみきの構成の正確度に依存することになるが, 5名が100%, 2名が90%, 1名が80%の正反応率で構成を正確に行った。この際の子どもたちの主な誤りは, 立体の重なりや斜面を表わす実線を見落としたり, 図面相互の関係を十分に分析していない点にあった。しかし, その誤りは指摘されると, すぐに修正された。

3面図から, 直接, 等角投影用グリッド用紙に立体を描画する st. 20では, 最終的に全員100%の正反応率を示したが, 第1試行では, グリッド用紙上に描画する際,

TABLE 1 補助課題数と誤反応数

| Step<br>Ss | St. 20 |   | St. 21 |   | St. 23 |   |
|------------|--------|---|--------|---|--------|---|
|            | 補      | 誤 | 補      | 誤 | 補      | 誤 |
| S. I.      | 7      | 0 | 4      | 0 | 0      | 0 |
| T. Y.      | 0      | 0 | 0      | 0 | 0      | 0 |
| S. S.      | 5      | 0 | 0      | 0 | 8      | 3 |
| S. K.      | 2      | 0 | 3      | 0 | 5*     | 1 |
| T. R.      | 2      | 0 | 0      | 0 | 0      | 0 |
| M. B.      | 7      | 0 | 4      | 1 | 0      | 0 |
| H. M.      | 3      | 0 | 1      | 0 | 2      | 0 |
| Y. M.      | 0      | 0 | 2      | 0 | 0      | 0 |

補…つみきを必要とした補助課題数 誤…誤反応数

\*…つみき以外の補助手段を利用したもの

立体の形を明確に把握できず、つみき構成を必要とした子どもが認められた。TABLE 1 は、このような補助課題（つみき構成）を必要とした課題数と誤反応数（補助課題を行っても誤った数、いずれも10課題中の数）を各被験児について示したものである。描画の困難の多くは、立体の奥行き線をどの箇所からどの方向へ引いたらよいかを判断できない点にあったが、補助課題を行った後、つみきを取り除き、再度自力で本課題を行わせると、どの子も正しく課題を実行した。このようにして、子どもたちは、手順書に基づいて、3面図を等角投影図に変換する行為を学習した。

次の st. 21 では、グリッドのない用紙を使って、変換アルゴリズムの内面化と自動化を意図したが、ここでもつみきを利用した子どもが数人認められた。しかし、st. 20 に比べると、補助課題は減少し、描画する前に、立体の形を言葉で表現するよう求めると、ほとんどの子どもは、容易に説明することができた (TABLE 1)。つみき使用が比較的多かった S. I. や M. B. などの場合でも、st. 20 と異なり、奥行き線の誤りは立体の一部（複雑な斜面など）に限定されていた。描画も自動化が進み、速くなることが認められた。

st. 22～23（視点変換の学習）：st. 22 では3面図から立体をつみきで構成し、次に訓練者の指定する視点が正面にくるようにつみきを回転させ、その形を等角投影法で描画しなければならない。したがって、ここではつみき構成と回転操作の正確さが問題となる。しかし、読図から視点変換に到る一連の過程が、外的な対象的行為の形式で行われるので、学習は容易に進行し、構成と回転操作も正確に遂行され、7名が100%、1名が90%の正反応率を示した。イメージの産出、および回転を全て表象レベルで行わねばならない st. 23 では、8名中5名が表象レベルで全課題を解決することができた (TABLE 1)。

TABLE 2 投影図選択課題での正反応者数と平均正反応率

| ステップ<br>間テスト | 課題<br>図面<br>Gr. | Task 1 |   |   | Task 2 |   |   | Total<br>(平均正反応率) |
|--------------|-----------------|--------|---|---|--------|---|---|-------------------|
|              |                 | 正      | 側 | 平 | 正      | 側 | 平 |                   |
|              |                 | 面      | 面 | 面 | 面      | 面 | 面 |                   |
| 1            | E               | 6      | 2 | 5 | 1      | 4 | 1 | 19(39.6)          |
|              | C               | 6      | 3 | 4 | 1      | 5 | 2 | 21(43.8)          |
| 2            | E               | 8      | 4 | 5 | 2      | 4 | 2 | 25(52.0)          |
|              | C               | 3      | 6 | 3 | 3      | 5 | 3 | 23(47.9)          |
| 3            | E               | 8      | 6 | 7 | 5      | 7 | 6 | 39(81.3)          |
|              | C               | 5      | 5 | 3 | 2      | 4 | 3 | 22(45.8)          |
| 4            | E               | 8      | 8 | 8 | 8      | 8 | 8 | 48(100)           |
|              | C               | 4      | 3 | 5 | 3      | 5 | 5 | 25(52.1)          |
| 5            | E               | 8      | 8 | 8 | 7      | 8 | 8 | 47(97.9)          |
|              | C               | 7      | 5 | 4 | 4      | 6 | 4 | 30(62.5)          |

E: 実験群 C: 統制群

S. S. は、8課題につみきを導入する必要があったため再学習を行ったが、再学習では、つみきなして全課題自力で解決できた。H. M. は、2課題につみきを必要としたが、その他の課題は、表象レベルで解決できた。S. K. は、5課題に補助手段を利用したが、それはつみきではなく、イメージの回転の際に、消しゴムやペンのキャップなどを利用し、回転させるというものであった。利用した補助手段が当該の立体の形とは無関係であることから、これらの手段は、単にイメージ回転を容易にするために利用されたものと考えられる。

#### ステップ間テストによる形成過程

##### i) 投影行為の形成過程

ステップ間テスト（以下、間テストと略）の投影図選択課題の正反応者数と平均正反応率を TABLE 2 に示す。平均正反応率では、第1, 2回のテストで両群の間に差は認められず、3回目のテスト以降、実験群の成績が急激に上昇し始め、4回、5回はほぼ100%に近い値を示した\*。このことは、投影行為が点や線分の投影の学習の段階では、まだ十分に形成されず、立体の投影の学習に移って教育が効果し始め、等角投影図と正投影図の変換学習の終了時で完全に形成されたことを示している。

##### ii) 構成行為の形成過程

つみき構成 (Task 1), 読図および視点変換課題にお

\* 両群の平均正反応数の有意差検定は以下の通りである。

第1回  $t=0.3012$  N.S. 第2回  $t=1.4030$  N.S.  
第3回  $t=2.2331$   $P<.05$  第4回  $t=3.2272$   $P<.05$   
第5回  $t=3.0132$   $P<.05$ , いずれも  $df=14$

TABLE 3 つみき構成 (Task 1), 読図および視点変換課題での反応水準\*の推移

| ステップ<br>間テスト | 反応水準<br>Gr. | つみき構成課題                                                                                                                                                                 |    |     |     | 読 図 課 題 |                 |                                                                                                                    |    | 視点変換課題 |     |     |                |
|--------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-----|-----|---------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|--------|-----|-----|----------------|
|              |             | I                                                                                                                                                                       | II | III | IVa | IVb     | 平均正<br>反応率<br>% | I                                                                                                                  | II | III    | IVa | IVb | 正反応<br>者率<br>% |
|              |             | I                                                                                                                                                                       | II | III | IVa | IVb     | 平均正<br>反応率<br>% | I                                                                                                                  | II | III    | IVa | IVb | 正反応<br>者率<br>% |
| 1            | E           | 3                                                                                                                                                                       | 5  |     |     |         | 0.0             | 4                                                                                                                  | 4  |        |     |     | 0.0            |
|              | C           | 6                                                                                                                                                                       | 2  |     |     |         | 0.0             | 7                                                                                                                  | 1  |        |     |     | 0.0            |
| 2            | E           | 2                                                                                                                                                                       | 6  |     |     |         | 0.0             | 4                                                                                                                  | 3  | 1      |     |     | 0.0            |
|              | C           | 3                                                                                                                                                                       | 5  |     |     |         | 0.0             | 7                                                                                                                  | 1  |        |     |     | 0.0            |
| 3            | E           | 1                                                                                                                                                                       | 1  |     | 6   |         | 81.3            | 4                                                                                                                  | 2  | 2      |     |     | 0.0            |
|              | C           | 4                                                                                                                                                                       | 3  |     | 1   |         | 6.3             | 1                                                                                                                  | 6  | 1      |     |     | 0.0            |
| 4            | E           |                                                                                                                                                                         | 1  |     | 7   |         | 93.8            |                                                                                                                    | 1  | 2      | 5   |     | 62.5           |
|              | C           | 3                                                                                                                                                                       | 5  |     |     |         | 0.0             | 1                                                                                                                  | 6  | 1      |     |     | 0.0            |
| 5            | E           |                                                                                                                                                                         |    | 1   | 7   |         | 100.0           |                                                                                                                    |    |        |     | 8   | 100.0          |
|              | C           | 4                                                                                                                                                                       | 3  |     | 1   |         | 6.3             | 1                                                                                                                  | 5  | 2      |     |     | 0.0            |
| E: 実験群       |             | * 反応水準 I 水準: 視点と図面が対応せず2面図以上の統合ができない。II 水準: 2面図を視点に合わせて構成する。III 水準: 3面図を視点に合わせて構成するが形の一部が誤っている。IVa 水準: 正しく構成するがその過程に試行錯誤が入り時間がかかる(30秒以上)。IVb 水準: 正しくしかもすばやく(30秒以内)解決する。 |    |     |     |         |                 | * 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。IVa 水準: 立体的に描画するが一部誤まっている。IVb 水準: 正しく立体的に描画する。 |    |        |     |     |                |
| C: 統制群       |             |                                                                                                                                                                         |    |     |     |         |                 |                                                                                                                    |    |        |     |     |                |

ける両群の反応水準の分布を、間テスト毎に示したものが TABLE 3 である。つみき構成課題では、実験群の反応水準は第3回のテスト以降著しく上昇し、3回目で8名中6名が、4回目で7名が、5回目で全員が目標とした水準に達した。これに対し、統制群では、3回目と5回目のテストで IVb 水準に達したものが1名認められるが、他の7名は最後まで、I, II 水準に留まっている。Task 2 でも全く同じ現象が認められた。これらのことは、実験群の子どもの構成行為は、プログラムの進行に対応し、立体の構成の段階に入って、確実に形成されたことを示している。

読図課題の場合、実験群の反応水準は、第4回の間テストで著しい上昇が認められる。一方、統制群は、全テストを通じて正反応したものはおらず、大部分が II 水準に留まっている。このことは、読図という表象レベルでの構成行為は、つみきによる立体の構成の学習だけでは十分に形成されず、次の正投影図を等角投影図へ変換する学習段階に移って形成されたことを示している。

イメージによる立体の視点変換も、プログラムの進行に対応して、実験群の子どもに確実に形成されたことを TABLE 3 は示している。つまり、線分の学習が終了した2回目の間テストの時点で、8名中6名は II 水準であったが、立体の学習を終了した3回目のテストでは、4名の子どもが立体的に描画し始め、1名が変換可能になった。しかし、急激な反応の変化が生じたのは、ブロック4の学習後で、この時点で5名が正反応を示すようになり、さらにブロック5の学習後、残りの3名も正反応を示すようになった。一方、統制群は、第4回以降で2名が III 水準の反応を示した以外、大きな水準の変

動は認められず、中には下降したものも認められる。このことは、予想したように、等角投影図と正投影図の変換アルゴリズムの学習が、イメージ形成に大きく寄与し、表象レベルでの立体の視点変換の基礎になっていることを示している。

以上の結果から、投影および構成行為は、ほぼ教育プログラムの進行に対応して形成されたと考えられる。

#### 訓練の効果

##### i) 製図学習に及ぼす効果

実物のカップと等角投影図で示された3角柱を3角法で描く描画課題での各図面の正反応者数を、前後4回のテスト間で比較したものが TABLE 4 である。後テスト1において、実験群の成績は著しく進歩した。すなわち、前テスト1と2の間では、正反応者数の変化は認められないが、訓練後に行った後テスト1では、3角柱の平面図で1名が誤ったのみで、他は全員正しく描画できるようになった。後テスト2では、多少正反応者数が減少しているが、訓練の効果は十分保持されている。これに対

TABLE 4 描画課題、正投影図完成課題の正反応者数の変化

| 課題<br><br>図面<br><br>Gr.<br><br>前後テスト |  |  | 描 画 課 題  |    |    |       |    |    |    |    |   | 正投影図 |   |   |         |           |   |   |
|--------------------------------------|--|--|----------|----|----|-------|----|----|----|----|---|------|---|---|---------|-----------|---|---|
|                                      |  |  | カップ (実物) |    |    | 3 角 柱 |    |    |    |    |   | 完成課題 |   |   |         |           |   |   |
|                                      |  |  | 正面       | 側面 | 平面 | 正面    | 側面 | 平面 | 側面 | 平面 |   |      |   |   |         |           |   |   |
|                                      |  |  |          |    |    |       |    |    |    |    |   |      |   |   |         |           |   |   |
| 前後テスト                                |  |  | E        | C  | E  | C     | E  | C  | E  | C  | E | C    | E | C |         |           |   |   |
| 前テスト1                                |  |  | 5        | 3  | 2  | 1     | 1  | 1  | 1  | 2  | 3 | 2    | 0 | 0 | — — — — |           |   |   |
| 前テスト2                                |  |  | 3        | 5  | 1  | 5     | 1  | 1  | 1  | 1  | 2 | 3    | 3 | 0 | 0       | 2 3 0 0 0 |   |   |
| 後テスト1                                |  |  | 8        | 5  | 8  | 3     | 8  | 3  | 8  | 5  | 8 | 4    | 7 | 2 | 8       | 6         | 7 | 3 |
| 後テスト2                                |  |  | 7        | 4  | 7  | 3     | 6  | 4  | 8  | 5  | 8 | 5    | 6 | 2 | 8       | 5         | 6 | 3 |

E: 実験群 C: 統制群

し、統制群は前テスト1と2の間で、カップの正面図や側面図などで正反応者数の増加が認められるが、この増加以上の増加は、前テスト2と後テスト1の間に認められない。また、後テスト2でも後テスト1とほぼ同じ結果が得られた\*。

正投影図完成課題については、前テスト2では、両群の正反応者数にほとんど差は認められないが、後テスト1で、実験群は全員側面図を正しく描画でき、平面図でも1名が誤ったにすぎなかった。また、後テスト2では、成績はあまり変化しなかった。一方、統制群は、前テスト1と2の間で正反応者数が増加しているが、依然として平面図の誤りが多く、後テスト2でも同じ傾向が認められる。その誤りのほとんどは、奥行き表現によるものであった (TABLE 4)。

次に、つみき構成の3課題のうち、最も解決困難であった Task 3 の反応水準の変化を TABLE 5 に示す。実験群は前テスト1と2でいずれもⅠ水準であったが、後テスト1で全員Ⅳa水準以上に達し、正しく解決できた。特に8名中4名は行為が自動化し、30秒以内 (19~29秒) で構成するⅣb水準の反応を示した。後テスト2では、反応が遅くなり、ⅣbからⅣaへ移行したものが4名認められたが、いずれも課題の解決に成功し、訓練効果の保持が確認された。一方、統制群は、訓練期間中、および3か月後までに、ⅠからⅡ、Ⅲに移行したものが4名認められるが、正しく構成できたものは1名も認められなかった。同じことが Task 1, 2 についても認められた。

読図課題でも、実験群は、訓練直後において、こちらが意図した行為の最高水準 (Ⅳb水準) に到達し、正しく

TABLE 5 つみき構成課題、読図課題、視点変換課題での反応水準\* の変化

|     |     |          | つみき構成課題<br>(Task 3 の場合) |    |    |    | 読 図 課 題 |    |    |    | 視 点 変 換 課 題 |    |    |    |
|-----|-----|----------|-------------------------|----|----|----|---------|----|----|----|-------------|----|----|----|
| Gr. | Sex | No. Ss   | 前1                      | 前2 | 後1 | 後2 | 前1      | 前2 | 後1 | 後2 | 前1          | 前2 | 後1 | 後2 |
| 実験群 | m   | 1 S.I.   | I                       | I  | Ⅳa | Ⅳb | I       | Ⅱ  | Ⅳb | Ⅳa | I           | Ⅱ  | Ⅳa | Ⅳb |
|     |     | 2 T.Y.   | I                       | I  | Ⅳa | Ⅳb | Ⅱ       | Ⅱ  | Ⅳb | Ⅳb | Ⅱ           | Ⅱ  | Ⅳb | Ⅳb |
|     |     | 3 S.S.   | I                       | I  | Ⅳa | Ⅳa | Ⅱ       | Ⅱ  | Ⅳb | Ⅳb | Ⅱ           | Ⅱ  | Ⅳb | Ⅳb |
|     |     | 4 S.K.   | I                       | I  | Ⅳb | Ⅳa | I       | I  | Ⅳb | Ⅳb | I           | I  | Ⅲ  | Ⅳb |
|     | f   | 5 T.R.   | I                       | I  | Ⅳa | Ⅳa | I       | Ⅱ  | Ⅳb | Ⅳa | I           | Ⅱ  | Ⅳb | Ⅳa |
|     |     | 6 M.B.   | I                       | I  | Ⅳb | Ⅳa | Ⅱ       | Ⅱ  | Ⅳb | Ⅲ  | Ⅱ           | Ⅱ  | Ⅳb | Ⅲ  |
|     |     | 7 H.M.   | I                       | I  | Ⅳb | Ⅳa | Ⅱ       | Ⅱ  | Ⅳb | Ⅳa | Ⅱ           | Ⅱ  | Ⅳb | Ⅳa |
|     |     | 8 Y.M.   | I                       | I  | Ⅳb | Ⅳa | Ⅱ       | Ⅱ  | Ⅳb | Ⅳb | Ⅱ           | I  | Ⅳb | Ⅳb |
| 統制群 | m   | 1' K.W.  | I                       | I  | I  | I  | Ⅱ       | Ⅱ  | Ⅱ  | Ⅲ  | I           | Ⅱ  | Ⅱ  | Ⅲ  |
|     |     | 2' H.N.  | I                       | I  | Ⅲ  | Ⅲ  | Ⅱ       | I  | Ⅱ  | Ⅱ  | I           | I  | Ⅱ  | Ⅱ  |
|     |     | 3' N.N.  | I                       | I  | I  | I  | Ⅱ       | Ⅲ  | Ⅱ  | Ⅱ  | Ⅱ           | Ⅱ  | Ⅱ  | Ⅱ  |
|     |     | 4' M.T.  | I                       | I  | Ⅱ  | I  | I       | Ⅱ  | Ⅱ  | Ⅱ  | I           | Ⅱ  | Ⅱ  | Ⅱ  |
|     | f   | 5' S.Y.  | I                       | I  | Ⅱ  | Ⅱ  | I       | I  | Ⅲ  | Ⅲ  | Ⅲ           | I  | Ⅲ  | Ⅲ  |
|     |     | 6' Y.K.  | I                       | I  | Ⅱ  | Ⅱ  | Ⅱ       | Ⅱ  | Ⅲ  | Ⅲ  | Ⅱ           | Ⅱ  | Ⅱ  | Ⅱ  |
|     |     | 7' K.Ch. | I                       | I  | I  | I  | Ⅱ       | Ⅱ  | Ⅱ  | Ⅱ  | Ⅱ           | I  | Ⅱ  | Ⅱ  |
|     |     | 8' I.A.  | I                       | I  | I  | I  | Ⅱ       | Ⅱ  | Ⅱ  | Ⅱ  | I           | Ⅱ  | Ⅱ  | Ⅱ  |

前1: 前テスト1, 前2: 前テスト2, 後1: 後テスト1, 後2: 後テスト2

\* 反応水準はそれぞれTABLE 3~4に準ずる

読図することができた (TABLE 5)。しかし、後テスト2では、4名が同じ水準を維持したが、他の4名は水準の低下が認められた。これに対し、統制群では、水準の変動がないものが5名認められ、そのうち N.N. はむしろ後テストで水準が下降している。反応水準の上昇が認められる3名のうち、立体的に描画した S.Y. と Y.K. の場合、描かれた立体は全く異なっていた。これは、3面図から一定の操作によって立体イメージを得るという手段を持ち合わせていないため、正投影図の部分的な特徴に固執したものと考えられる。

読図によって得られた立体イメージを回転し、描画する視点変換課題は、非常に困難度の高い課題である。実験群は、前テスト1, 2において、全員Ⅰ, Ⅱ水準であるが、訓練直後、8名中6名が課題の解決に成功した (Ⅳb水準)。S.I. は立体の奥行き線の一部に誤りが見られたが、立体の形は明瞭である (Ⅳa水準)。S.K. は訓練によって著しく進歩したが、Ⅲ水準に留まった。彼の描画は、回転の方向、および立体の位置は基本的に正しいが、形が一部誤っていた。後テスト2では、Ⅳb水準を維持したものが3名、水準の向上が認められたものが2名、他は水準の低下が認められた。統制群は、S.Y. を除いて他は全員、立体の全体的な輪郭を表象できず、立体的表現ができなかった (Ⅱ水準)。彼らの描画は、いずれも正投影図それ自体の形に引っぱられ、平面的な描画に終始している。たとえば、そのうち3名は各図面を単純合成したように描画し、また、4名は奥行き表現として、側面図を展開図のように描画した。

以上、上述の5課題については、訓練期間中の統制群

\* 前テスト1と前テスト2では、両群の平均正反応数に有意な差は認められないが、後テスト1では、1%の有意水準 ( $t=3.851$ ,  $df=7$ )、後テスト2では5%の有意水準 ( $t=2.888$ ,  $df=7$ ) で、実験群の方がすぐれていた。

TABLE 6 3つ山問題の正反応者数と陰の投影課題の反応水準\* の変化

| 前後テスト | 視点・水準<br>Gr. | 3つ山問題   |   |          |   |           |   |           |   | 陰の投影課題 |   |     |   |     |   |    |   |
|-------|--------------|---------|---|----------|---|-----------|---|-----------|---|--------|---|-----|---|-----|---|----|---|
|       |              | A<br>0° |   | B<br>90° |   | C<br>180° |   | D<br>270° |   | O      |   | IIA |   | IIB |   | IV |   |
|       |              | E       | C | E        | C | E         | C | E         | C | E      | C | E   | C | E   | C | E  | C |
| 前テスト1 |              | 5       | 6 | 1        | 2 | 0         | 0 | 1         | 3 | 1      | 8 | 6   |   | 1   |   |    |   |
| 前テスト2 |              | 7       | 6 | 1        | 3 | 0         | 0 | 3         | 3 |        |   | 8   | 7 |     | 1 |    |   |
| 後テスト1 |              | 8       | 8 | 7        | 4 | 0         | 2 | 5         | 5 |        |   | 4   | 6 | 3   | 1 | 1  | 1 |
| 後テスト2 |              | 8       | 8 | 5        | 6 | 2         | 5 | 4         | 6 |        |   | 4   | 6 | 3   | 1 | 1  | 1 |

E：実験群 C：統制群

\* 反応水準は、Piaget(1967)に依拠して次のように設定した。O水準：無反応。I水準：ランプやスクリーンと対象の位置関係にかかわらず一定の反応を示す。II A水準：被験児の位置からの見えを描く。II B水準：垂直と水平は区別されるが斜めの表現がでない。III A水準：形は区別されるが斜めが正しく量化されない。III B水準：量化がすみ理由付けも正しいが円すい体で誤る。IV水準：全間正反応。

の変動よりも実験群の変動が大きいこと、および実験群において、前テスト1と2の間の変動に比べて、前テスト2と後テスト1の間の変動がより大きいことから、この変動が訓練効果によるものと判断できる。また、後テスト2では、読図や視点変換課題で一部の被験児に反応の水準の下降が認められるが、他は実験群が統制群より高い水準を維持している。すなわち、これは、訓練の保持の効果であると判断できる。

#### ii) 他の空間概念に及ぼす訓練の効果

3つ山問題における各視点での両群の正反応者数を前後4回のテストにわたって比較したものがTABLE6である。実験群は、訓練直後において、B視点で成績の向上が認められるが\*、他の視点については、若干の正反応者数の増加があるものの、同じ傾向が統制群にも認められ、統計的にも差がなかった。

影の投影では、両群とも前テスト1と2の間では水準の変動はほとんど認められない。前テスト2と後テスト1の間では、II AからII B水準へ移行したものが実験群で3名、統制群で1名、II AからIV水準まで移行したものが、両群にそれぞれ1名ずつ認められた。この傾向は、後テスト2でも全く変化しなかった。

このように、両課題において両群の成績に大きな差は認められず、本教育プログラムによる訓練が3つ山問題、および影の投影課題の解決を十分可能にするまでには至っていないことを示している。

\* 前テスト2と後テスト1の間でサイン検定した結果5%の有意水準で向上が認められた。

## 討論と結論

本研究は、読図を含む製図学習は、投影と構成の両行為の形成を基礎にしているという考え方から出発し、両行為の形成を目的とする教育プログラムを作成した。そして、その際、読図に必要な立体イメージの表象能力を形成するためには、単につみきを使って、3面図から立体を構成する行為を形成するだけでは不十分で、直接、3面図から立体イメージを一定の手順で産出し、そのイメージを2次元平面上に描画する行為を形成する必要があると仮定した。

実験の結果、本教育プログラムは、当該の学習目標を十分に実現し、意図した心理機能を計画的に形成できることが明らかにされた。このことは、本教育プログラムが製図学習にきわめて有効であることを示すと共に、適切に教育を組織すれば、小学校中学年児に、製図の基礎となるユークリッド的空間表象能力を形成できる可能性を示唆している。

学習目標の実現に大きく寄与したものとして、1)投影対象と投影空間の関係を3面図相互の軸関係に基礎を置いて理解させたこと、2)3面図と対象の関係をつみき構成という対象的行為を媒介として学習させたこと、3)3面図から立体イメージを産出する方法として、等角投影用グリッドを用いて、構成行為を2次元平面上で遂行させたことの3点が考えられる。そのうち、特にここでは、3)の問題、つまり、上記の仮定が適切であったか否かを検討してみよう。

この仮定は、2つの問題と関連している。第1に、読図を完全に表象レベルで実現させるには、3面図をもとに、対象をつみきで構成する行為を形成するだけで十分なのかどうかという問題、第2に、本プログラムで採用した方法が、このような読図能力の形成に効果があるのかどうかという問題である。

第1の問題について、これまで主張されてきたのは、3面図から対象のイメージを産出するには、各図面情報から一定のアルゴリズムに従って対象をつみきで構成させ、その行為を反復させることによって、その行為を内面化すればよいという考え方である。筆者は、先行研究で、この考え方に依拠してつみき構成のためのアルゴリズム\*を作成し、小学校3年生にこの行為の形成を試み

\* アルゴリズムは次の4つの部分から成っている。  
1) 平面図に基づいてつみきを配置する。2) 平面の状態を変えずに正面図の形を構成する。3) 平面、正面の形を変えずに側面図の形を構成する。4) 各図面とつみきの最終的な照合と修正をする。



た。しかし、訓練の結果、つみき構成課題の成績は上昇したが、読図課題に対しては、訓練効果は認められなかった(城, 1977)。また、本研究の場合でも、つみき構成の学習終了直後実施した読図課題で正反応を示した者はおらず、同様な結果が得られた(TABLE 3)。

Литькова, Н. П. (1973)の研究も基本的には、読図能力をつみき構成によって形成しようとしたものである。彼女のプログラムは、(I)立体図(斜投影図)で示されたモデルを小箱で構成する学習、(II)正投影図と立体図の2図を手がかりとして、対象を小箱で構成する学習、(III)正投影図だけで対象を小箱で構成する学習から成り立っている。訓練の結果、プログラムは一定の効果を示したが、問題の解決は、子どもの個人差や課題の困難度に大きく左右され、空間表象能力の劣った子どもの場合、長期の訓練が必要であった。

以上の諸事実は、本研究で当初仮定したように、どの子にも表象レベルでの読図能力を完璧に作り出すためには、つみき構成だけでは、結局、不十分だということを意味している。なぜなら、つみき構成だと、イメージの産出過程そのものを十分制御できず、子どもに試行錯誤的解決を許してしまうからだと考えられる。

そこで、イメージの産出過程を、直接、外的に制御できる新たな方法が問題となる。これが第2の問題である。

本研究では、等角投影用グリッドを用いて、3面図情報を一連の変換アルゴリズムに従って、等角投影図に変換させる方法を採用した(FIG. 2)。それは、3面図の対応関係をグリッド上に移すことで、3面図情報を統合していく過程を外的に制御できると考えたからである。次に、グリッドを取り去り、手順書も与えず、課題の解決を子どもの内的操作の水準に移した。これは、変換アルゴリズムが内面化し、自動化すれば、読図は全く表象レベルで行われるだろうという仮定に依拠している。

その結果、この変換を学習した後実施した第4回の間テストの読図課題で、正反応した者が8名中5名認められ、他の子どもたちも第3回の時と比べて著しい反応水準の上昇が認められた(TABLE 3)。

この事実は、ここで採用した方法が、読図に必要な立体イメージの表象能力の形成にきわめて有効であることを示唆している。

しかし、教育訓練は、このように学習目標を十分に実現できたにもかかわらず、3つ山問題等の他の空間概念に対して、発達的な効果を引き起こすには至らなかった。その原因として、1)このプログラムでは、投影行為が十

分に一般化されていない、2)投影行為の学習が子どもの主体的な活動の場で組織されていないなどの点が考えられる。子どもの思考の発達に効果的に寄与するためには、教授=学習をどう組織したらよいかという問題は、教授=学習と発達の相互作用に関する大きな問題の1つで、この問題の実験的検討は、今後の課題としたい。

#### 付 記

本論文は、昭和52年度九州大学修士論文の一部をまとめたものである。本研究に際して、御指導を頂いた九州大学助教授天野清先生(現国立教育研究所)に深く感謝いたします。実験にあたり、福岡市立箱崎小学校の3年1組の皆さん、担任の中山九十九先生ならびに諸先生方、および訓練者として、九大大学院生、研究生、学部生の諸氏に多大なる協力を賜りました。記して感謝の意を表します。

#### 引用文献

- 天野清・田島啓子 1975 空間概念の形成に関する実験的研究 日本教育心理学会第17回総会発表論文集, 106—107
- 天野清・田島啓子 1980 空間概念の形成に関する実験的研究 教育心理学研究, 28, 80—90
- 阿妻知幸 1976 製図学習の要点(Ⅱ) 技術教育, 12, 57—60
- 城 仁士 1976 技能の習熟過程に関する研究 —製図技能における投影—構成行為を中心として(1)— 日本教育心理学会第18回総会発表論文集, 136—137
- 城 仁士 1977 技能の習熟過程に関する研究 —製図技能形成プログラムを中心として(2)— 日本教育心理学会第19回総会発表論文集, 722—723
- Линькова, Н. П. 1973 Способности к чтению чертежей у младших школьников. Вопросы психологии способностей, под ред. В.А. Крутецкого, М., Педагогика, 130—174.
- 中里真之 1973 読図能力の問題点 —子どもの立休観— 日本産業技術教育学会誌, 15, 57—60
- Piaget, J. 1953 How children form mathematical concepts. Scientific American, Scientific American Inc, 75
- Piaget, J. & Inhelder, B. 1967 The child's conception of space. London Routledge & Kegan Paul, 153—271

(1979年5月1日受稿)

## ABSTRACT

ON THE FORMATION OF ACTIONS OF PROJECTION-CONSTRUCTION  
OF THE TECHNICAL DRAWING AND ITS TEACHING

by

Hitoshi Joh

The purpose of the present study was to examine the method of teaching, by which middle grade school children could draw and read the orthographic views (third angle projection) with forming actions of projection (P) and construction (C).

On the base of preliminary experiments, the training program of 23 steps consisting of the following 5 blocks was produced.

In the first block of training (step 1-8), children learned to draw the three orthographic views (front, right-side, and top views) of a point inside a three-dimensional-coordinate frame (the projectograph). Afterwards, they learned to construct a point in the frame through reading three views being given as tasks.

In the second block (step 9-11), they learned to draw the three views of a straight line inside the frame, and then learned to construct a straight line in the frame on the three views.

In the third block (step 12-16), they learned to draw the three views of cubes inside the frame, and then learned to construct cubes on the three views of them without the help of frame.

In the fourth block (step 17-21), they learned to transform the isometric drawing into the orthographic views and vice versa.

In the last block of training (step 22-23), they learned to produce and draw the three-dimensional figure image for an object through reading orthographic views of it, and then learned to rotate  $90^\circ$  and  $180^\circ$  to the right or left mentally before drawing it.

Based on performance levels of projection and construction tests for 43 school children in third grade, 8 pairs of matched Ss who had no knowledge of the orthographic projection and had not yet acquired the actions of P and C were selected, and were assigned at random to each of the experimental and control group.

8 children in experimental group (8:1-9:0) were trained individually in accordance with the training program for about three months, but 8 children in control group (8:1-8:11) underwent only the control tests periodically without any training.

As results, the following facts were ascertained :

1) Under the training program, even middle grade school children could acquire the ability of Euclidian spatial representation.

2) Ex. gr. children were able to learn the actions of P and C, necessary for the learning of the technical drawing.

3) Especially, they could acquire the ability of spatial representation enabling mentally the rotation higher of the produced image through reading orthographic views to some directions.

4) But the acquired spatial ability of children by the training program remained at a level influencing partially on the solutions of Piaget's "three mountain tasks" and tasks of the projection of straight lines.

In conclusion, this experiment suggested the high possibility of teaching enabling middle grade school children to draw and read the orthographic views under the condition of an elaborated training program.