

## 障害児の電算機利用による教材理解の促進に関する基礎的研究

The effects of computer-graphics on text comprehension: Mentally-handicapped students' preconceptions in introductory geometry

- |       |  |      |
|-------|--|------|
| 代表研究者 | 徳島大学総合科学部教授<br>Prof., Faculty of Integ. Arts and Sciences, The Univ. of Tokushima<br>Motoo MITSUDA                   | 光田基郎 |
| 協同研究者 | 鳴門教育大学助教授<br>Assoc. Prof., Naruto Univ. of Education<br>Michiharu TANAKA   | 田中道治 |
|       | 鳴門教育大学付属養護学校教諭<br>Teacher, Mentally Handi. Childs. Sch. affiliated to Naruto Univ.<br>of Educ.<br>Masuyoshi FUNAZAKI | 船崎益義 |
|       | 徳島県教育委員会主事<br>Manager, Tokushima Pref. Board of Educ.<br>Kikuyo TAKEUCHI   | 竹内菊世 |
|       | 筑波大学大学院生<br>Student, Univ. of Tsukuba<br>Hazime TACHIRI  | 立入 哉 |

The purpose of this study was to investigate (a) whether the degree to which working memory differences between mentally handicapped and non-handicapped subjects reflected a generalized deficit in comprehension of geometry text, and (b) whether illustration of the coordinated motion of figures on the computer screen enhanced geometry learning of the handicapped students and pupils. To this end, performances of the handicapped students and mental age (MA)-matched first graders were compared on measures of imagery manipulation skill, working memory span, accuracy in discrimination of figures, and solution accuracy of geometry word problems. Measures of working memory, remarks obtained for tests of imagery manipulation, and test remarks obtained for discrimination of figures were correlated with their accuracy in discriminating symmetrical figures. This time, the presentation of text passages, figural illustrations and test items were presented on a computer screen. The presentation was self-paced: Subjects were required to selectively point out task-appropriate figures on the screen. This time, some embedded photo-electric switches on the screen were turned on and signals were inputted to the computer for recording the responses of subjects and exchanging figures or passage units on the screen. The results of causal analyses suggested that the mentally handicapped subjects suffer working memory deficits due to storage constraints. Overall, it could be suggested that understanding of geometry concepts were enhanced by motion pictures on the computer screen because they illustrated coordinated motion of symmetrical figures.

Key words: mentally handicapped students, geometry learning, computer, imagery

---

### 研究目的

本報告は、知的発達遅滞児に幾何概念の理解を

行わせる目的で電算画面で動く絵を利用した基礎実験と、その成果を電話回線で遠隔地の教育現場

に伝達して活用する試みの一部である。ここでは電算機を単に「応答する教科書」として用いるのみでなく、画面上で動く絵を知識表現の手段として活用する手続きを用いた。その直接の目的は、画面上で動く絵を利用した算数の教授・学習活動を教育現場に普及させ、障害児や年少学童が抽象的な幾何概念の学習に興味を持って取り組むための社会的文脈の一つを徳島の教育現場に準備することである。知的発達遅滞児は健常児と比較した場合、概念とその具体例とを対応付ける課題の達成が困難である上に、言語的な表象を用いてこれらを一般化しにくいこと、さらに既得の概念を修正して未知の課題に対処する能力が劣る傾向はすでに明らかにされている（例えば梅谷，1971）。障害児や年少学童が線対称の概念の理解に際しても上記の傾向を示すなら、その教授・学習活動の電算化の目的ならびに効用として下記の2点を指摘し得よう。

#### (1) 電算化による言語化、概念化の促進

線対称に関する説明文と同時に具体的な運動を示す説明図を電算画面上に提示した場合には、(イ) 作業記憶の内容の体制化が得られ、(ロ) 具体的な運動の表象を媒介としたイメージの操作と、直角や対称軸などの言語的な概念との対応付けが促進される。次に(ハ) その対応付けの結果として、言語的な表象に依存した知的操作への移行が推進されるほか(ニ) 動く絵を用いてこのような体制化が効率的に行われる条件下では、文の理解に必要な作業記憶容量の節減をも想定し得よう。筆者は電算を用いない先行研究(Mitsuda, 1991, 1993)で小学2年生から大学生までを被験者とした対称の理解を扱った一連の実験を試みた。以下ではその実験結果と、電算画面と年少の被験者とを用いて前回と同一実験を試みた本回の結果との対比を試み、下記の結果(4)の項では電算化された教授活動の意義を検討する。

上記の先行研究では、年少の被験者に対称概念の説明文を閲読させ、その間に挿入された質問の効果を検討した。この実験では、無質問の場合には年少の被験者ではイメージ操作能力が対称概念の理解の規定要因となり、質問を挿入した条件下

では逆に年長の被験者のイメージ操作能力がその学習成績を規定する結果を指摘した。この結果と本実験との対応付けが以下の結果(3)の項および総合考察の第2項での課題となる。

さらに上記の先行研究では遅滞児の算数文章題達成過程に対する挿入質問の効果を指摘し得た。ここでは文章題の達成を規定する要因間の因果関係を分析した結果、遅滞児に問題文を閲読させる際に質問を挿入する手続きの下では、被験者の記憶容量が文の表現した集合を理解する成績の説明変数となった。

以上の結果に関しては、挿入質問が重要な命題の想起と記憶容量の効率的な運用とを促進する可能性を強調した。上記の結果と本研究で得られた挿入質問の効果との対比が下記の総合考察の(2)項の検討課題となる。

この他、年少の被験者による対称性の理解は、具体的文脈に依存した直観的な理解の段階に終始するか、または一般的、概念的な理解に移行し得るかの検討も本研究の課題となる。本報告は、閲読内容を図示してその体制化を得るための教授活動の問題点を指摘し、総合考察(1)では、閲読に費やされる作業記憶容量を節減する際の条件を検討した。

#### (2) 概念化の徹底と直観的理解の排除

電算画面で動く絵をモデルにした折り紙作成を扱った先行研究(光田, 1993)の場合と同様、電算画面で動く絵は空間的な構造への注意集中を可能にする傾向を想定し得よう。その一方で、対称性についての概念化、一般化を目指した学習活動が直観的な理解を生じた結果、線対称を構成する操作の一般的な定義とその下位技能の理解が不徹底になる可能性をも指摘し得よう。このような直観的な理解の下では線対称の概念的、または一般化された形での理解とそれに従った下位技能の統合が見られない傾向を想定しよう。特に年少学童と遅滞児を被験者とした本研究では、線対称を扱った先行研究(Mitsuda, 1993)の場合と同様にこれらの被験者が教授・学習活動に従って空間表象を操作し得ない傾向を強調し得よう。したがって、年少の被験者に教授・学習活動が与えられた



図 1-1. 説明文と説明図の一部.



図 1-2. 挿入質問の例.

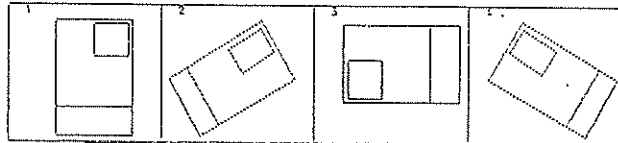
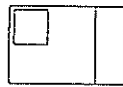
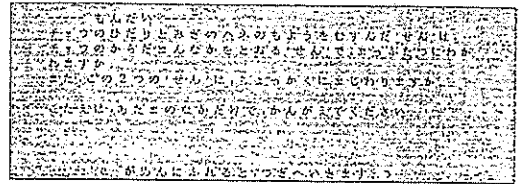


図 2-1. イメージ操作能力テスト.

条件下では、イメージ操作能力と対称概念の理解との低い相関が示される可能性を指摘し得よう。本実験ではこの点を検討し、それらに対処する教授・学習活動の開発の必要性を指摘したものである。ここでは線対称に関する説明文の閲読と理解の下位技能として、記憶容量、直線と直角の理解並びにイメージ操作能力に関するテストを行った。以下では、共分散分析、重回帰分析とパス解析を用いて、これらの下位技能の各々が対称概念の理解に寄与する程度を健常児と知的発達遅滞児の各々について検討する。この他、説明文の閲読中に与えられた挿入質問によってこれらの下位技能の寄与の程度が変化する過程についても上記の被験者別に図示することが二次的な目的となる。

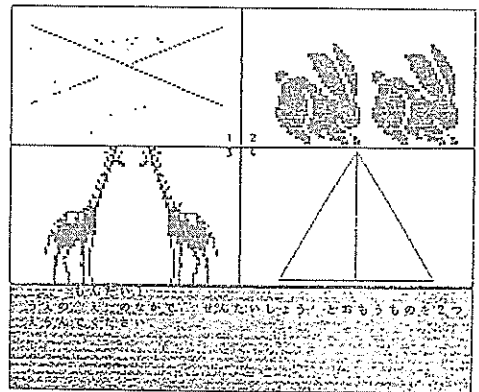


図 2-2. 線対称のテスト.

#### 研究経過

(イ) 被験者：鳴門教育大学付属小学校 1 年生 17 名 (平均年齢 6 歳 9 ヶ月、男子 8、女子 9 名) と、鳴門教育大学付属養護学校高等部の生徒 18

名（精神年齢の平均値は8歳6ヶ月、男子16名、女子2名）が個別に参加した。（ロ）材料、手続き：チョウや鏡映像を例に用いた線対称の説明文（その一部は図1に示す）の閲読後にイメージ操作能力、直線と直角の理解と線対称についてのテスト（図2）を行い、さらに記憶容量の検査としてTOP（Temporal Order Perception）テスト（高木，1978）を行った。これは画面上に1点ずつ継続的に提示された3内至5点の絵の提示終了後にこれらを同一画面に一括提示して、その各々が最初に提示された順序に従って画面に触れることを求めた手続きを用いている。この他、健常児と遅滞児の各々の半数には説明文の閲読中に4点の挿入質問を与えた。以上の線対称の説明文と画面上で動く説明図（対称軸中心の回転など）は合計13の画面に提示され、被験者はこれらと挿入質問とを自らのペースで閲読し、読み終わったら画面全体を覆った透明のタッチスクリーン（NEC-9873L）に右手の指を触れて画面を入れ換えるように教示が与えられた。文全体の閲読後に与えられた線対称のテストとその下位技能のテストについても、被験者は上記のタッチスクリーンを用いて画面上の正しい絵に触れて反応するように求められた。各被験者はタッチスクリーンの使用法についての説明を受け、その操作について簡単な練習を行った後に、線対称の説明文の閲読と上記のテスト画面への反応が求められた。平均所要時間は上記のTOPテストが13分、別の日にを行った説明文の閲読と上記のテストが15分である。

## 研究成果

### 1) 実験結果

(1) 記憶容量について、小学1年生は遅滞児に対する優位を示した。具体的な記憶容量のテスト得点の平均値は挿入質問条件下では、小学生で8.13、遅滞児で3.44、無質問条件下では同様に8.00と3.22となった。被験者と挿入質問についての2要因分散分析の結果からは、被験者の要因についての有意な差が得られた( $F(1, 29)=34.565, P<0.01$ )。同様に、線対称の理解テストの正反応比についても1年生は遅滞児に対する優

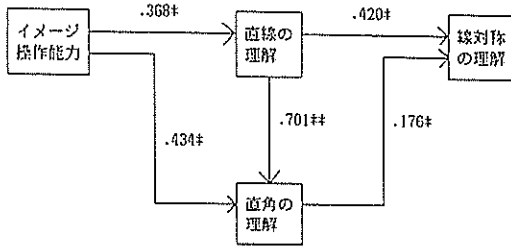
位を示した。具体的な正反応比は挿入質問条件下では1年生で0.83、遅滞児で0.45、無質問条件下では同様に0.81と0.43である。さらに被験者と挿入質問についての2要因分散分析の結果からは、被験者の要因についての有意差を得た( $F(1, 29)=14.810, P<0.01$ )。

記憶範囲と線対称の理解との関連性を明らかにする目的でこれらの2要因の相関を求めた結果、1年生ではこの2要因の間に正の相関（挿入質問条件下、相関係数 $r=0.475$ 、無質問条件下では $r=0.437$ ）が示された一方、遅滞児群ではより低い相関係数値と負の相関が得られた（挿入質問条件下では $r=0.372$ 、無質問条件下で $r=0.164$ ）。被験者と挿入質問の2要因共分散分析を行った結果、被験者の要因が有意となった( $F(1, 28)=5.717, 0.01<p<0.05$ )。以上より、遅滞児が対称概念の理解に際してその記憶容量を効果的に運用し得ない傾向と、その傾向は挿入質問条件下で顕著に示される可能性を指摘し得よう。

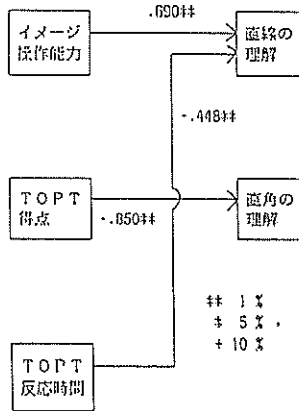
以上の結果は、遅滞児が説明文の閲読中の挿入質問の内容と説明文の文脈とを言語的な水準では正しく調和させ得ないこと、したがって挿入質問は提示された対称図形の特徴への注意とその特徴の一般化を行うよりも、理解への干渉効果すら生じる傾向を示唆する。

(2) 記憶容量、直線と直角の理解およびイメージ操作能力の各々が線対称の理解に寄与する程度を被験者と挿入質問の有無の条件別に比較する目的で、線対称の理解テストの得点を従属変数、上記の下位技能の各々について得られたテスト得点を説明変数とした重回帰分析を被験者と挿入質問の条件別に行った。以上の結果についてはさらにパス解析を試み、線対称概念の理解とその下位技能に関する諸変数間の因果関係を求めて図示したものが図3である。

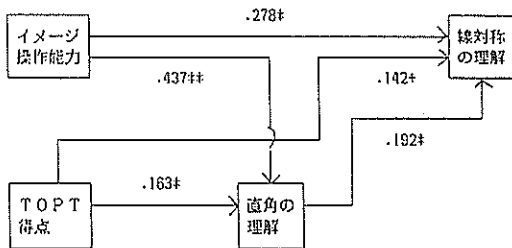
以上の結果については、最初に記憶容量が対称概念の理解に与える効果を指摘した。図3-dに示すように閲読中に挿入質問が与えられない条件下でのみ、小学1年生の記憶容量は線対称概念の理解に対する説明変数となった。以上の結果からは、対称性についての理解が成立する過程で下位



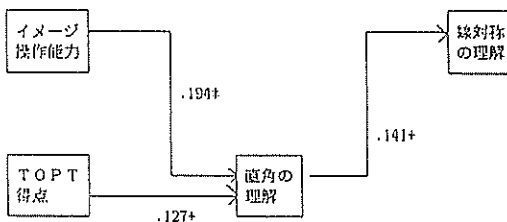
3-a. 遅滞児 挿入質問条件.



3-b. 健常児 挿入質問条件.



3-c. 健常児群 無質問条件.



3-d. 遅滞児群 無質問条件.

図3. 被験者と挿入質問の条件別に見たパスダイアグラム.

技能が統合的に活性化され、その際には作業記憶の容量が理解への促進を示す効果が示唆されよう。

(3) 記憶容量の場合と同様に、被験者のイメージ操作能力と線対称の理解との関連の様相を明らかにする目的で両者の相関を求めたほか、被験者と挿入質問の2要因共分散分析を試みた。結果からは、遅滞児のイメージ操作能力と対称の理解とが負の相関（挿入質問条件下での2要因の相関係数値 $r$ は $-0.243$ ，無質問条件下では $-0.398$ ）が、1年生の場合には無質問条件下で相関が高くなる結果（挿入質問条件下で $r=0.09$ ，無質問条件下で $r=0.305$ ）が得られたほか、2要因共分散分析の結果は被験者間の有意差（ $F(1, 28) = 14.613, p < 0.01$ ）を示した。以上ならびに図3-aと3-bに示した結果からは、遅滞児は説明文とその説明図に示された具体的文脈からの一般化を示し得ない傾向と、彼らが幾何概念の説明文を理解する際にはその下位技能を統合しにくい傾向と指摘し得よう。さらに記憶容量の要因の場合と同様に、被験者のイメージ操作能力が直角の理解に対する説明変数となる傾向が上記の図3-aと3-bから示唆された。この結果は、遅滞児が画面で動く絵を手掛かりにそのイメージ操作能力を働かせ、対称軸中心の回転運動の方向性を理解する可能性を示す。遅滞児と健常の小学生との差異として、そのイメージ操作能力が直接には線対称の理解を促進し難い傾向が図3-bと3-dから示唆されよう。

結果についての補足としては図3-dに示すように、健常の小学生に挿入質問を与えない条件下では記憶容量とイメージ操作能力が線対称の理解の説明変数となる結果を指摘し得よう。この結果は電算を用いない先行研究で2年生から得た結果と対応させ得よう。挿入質問条件下ではこのような因果関係を指摘し得ない結果については最初に、小学1年生の段階では知覚的なイメージに依存した情報処理の段階から言語的概念による知識操作が可能になるというPiaget (1950)の指摘との対応を想定し得よう。言語的表象が利用可能な発達段階では、説明文の閲読中に与えられた挿入質

問が文章相互間の因果関係またはそれ以外の構造的な検索と、それらを用いた類推の促進する傾向をも想定し得よう。このような条件では、読文に表現された内容またはその具体的な文脈から離れた一般化（例えば Brown と Kane, 1989）と文全体の要旨の理解への促進を生じる可能性も想定し得よう。そのような体制化の結果として、文の理解に必要とされる作業記憶容量の軽減を生じる可能性が想定される一方、遅滞児の場合にはこのような体制化と一般化が得られない。このように考えられた場合、遅滞児は読文内容またはその具体的な文脈に規定された理解に終始し、画面に提示された文脈からの一般化が困難であって、その作業記憶容量を効率的に運用し得ない傾向をも想定し得よう。さらに遅滞児が画面で動く図を併用して説明文の理解を行う過程で挿入された質問によって対称の理解と記憶容量との間に負の相関値が示される。この結果からは、挿入質問から想起された表象が電算画面で得られた文脈への干渉効果を生じる可能性も示唆された。

(4) 補足的な結果としては、同一の説明文、説明図とテストとを冊子を用いて小学 2 年生に提示してテスト得点を求めた先行研究 (Mitsuda, 1993) と本研究の対比から、電算利用の効果を指摘し得よう。先行研究は挿入質問条件下での正反応比が 0.73（電算画面で動く絵を小学 1 年生に提示した本実験の場合には正反応比は 0.813）、無質問条件下では 0.75（本実験では 0.833）という結果を示した。線対称概念の履修は小学 2 年生のカリキュラムで行われる現状をも併せて考えた場合には、電算による幾何概念の理解への促進効果、具体的には、コンピュータグラフィックスがさまざまな視点から対称軸中心の回転を捉えて一連の運動として表現し、そのイメージ化と体制化を促進する効果を強調し得よう。

## 2) 総合考察

本項では、説明文の読文中に与えられた挿入質問が読文内容の体制化に与える効果について 2 点の指摘を試みた。

(1) 被験者の記憶容量と線対称の理解との関連として最初に、小学生に挿入質問を与えた際に

は記憶容量と対称概念の理解との直接的な相関関係は見られない。挿入質問は文に表現された命題の強化とそれに従った類推とを促進する可能性を考えた場合、小学 1 年生は図形の表象と言語的な表象の両者を併用して読文を理解する可能性を指摘し得よう。1 年生が図形よりも言語的な表象に依存して読文内容の一般化と体制化を行った際には、図 3-c に示すように記憶容量が対象概念の理解の説明変数にならない。この結果は上記の体制化と言語的な表象の操作から得られた処理資源の節減効果を反映したものと見えよう。

図 3a-b に示した下位技能相互間の因果関係からは、遅滞児がその下位技能を統合された形で活性化し得ない傾向を示唆されよう。遅滞児の理解が提示された具体的な文脈に規定され、図形の運動の法則性の理解が不十分な上に、図示内容と幾何概念との対応付けが不十分な可能性を指摘し得るほか、知識が統合的には利用されない傾向を示唆し得よう。

(2) 無質問条件下でのみ 1 年生のイメージ操作能力が対称概念の理解に対する説明変数となった結果を強調し得よう。この結果からは、挿入質問条件下では質問に関連した文の想起が行われた結果、これまでの読文内容の体制化と文脈理解への干渉効果を生じる傾向を想定し得よう。幾何学習における図示の機能としては、新たな表象の獲得とそれに従った操作の推進以上に幾何概念の理解、体制化とその操作についての妥当性を保証する具体的な情報の提示効果（例えば Laborde と Laborde, 1992）が強調されている。このような妥当性の判断に至る過程に挿入された質問は、文脈理解を目指した自己制御と自己評価活動への干渉を生じる可能性をも想定し得よう。

遅滞児の場合、そのイメージ操作能力と対称概念の理解とが負の相関を示した上に、その記憶容量も対称の理解に対する説明変数ではない傾向が顕著に示された。この結果は、遅滞児が画面で動く絵から得られた表象と読文の命題とを統合し得ず、さらにこれらを一般化した形で理解する機能が未発達である可能性と、その処理過程を効率的に制御し得ない傾向と顕著を示すものと言えよ

う。

このように遅滞児と1年生のいずれに関して挿入質問による促進効果が見られない結果から、年少学童や発達遅滞児の幾何学習では画面で動く絵の表象に対する自発的、具体的なフィードバックと想像がドミナントになる可能性を指摘し得よう。具体的には、上記の被験者は年長児のように教授・学習活動に即して自らのイメージ操作の調整を行う活動（例えば Mitsuda, 1993）が不可能であるゆえに、線対称に関する説明文の閲読中に質問を挿入した場合、その質問からは閲読文の表象と質問の内容との協調または強化よりも閲読行動に対する干渉を想定し得よう。以上より、数の操作や集合の理解を求めた先行研究の場合とは違って、イメージの操作が課題となる幾何学習課題では年少の被験者に与えられた挿入質問が文の要点理解の手掛かり、または要旨への焦点付けの効果を示しにくい傾向を指摘し得よう。

#### 今後の検討課題と発展

以上の総括としては、電算画面で動く絵と説明文を併用して障害児と年小学童に幾何概念の理解を行わせる際には、下記の問題点を指摘し得よう。

(1) 電算画面を用いた幾何概念の学習は、画面で動く絵の表象についての直観的な理解に終始したものでなく、その下位の概念と技能とが統合された形で活性化されることの必要性を指摘し得よう。実験の結果の項で指摘した様に、幾何学習の下位技能相互間の因果関係とこれらが幾何概念の理解に寄与する程度とは、現場での教授・学習活動の中でつねに検討されるべきであろう。このような教授・学習活動の企画、実施ならびにその評価を担当する教育現場と、その評価結果の分析と教材の再編成とを支援する大学または教育研究機関との連携は不可欠となりつつある。このような連携を目的として、電話回線を用いて教育現場と大学または研究機関とが電算ネットワークを共有した教育・研究活動は今後さらに重要性を増すことが期待されよう。特に、障害の様相に対応して木目細かい教授・学習活動を展開すべき障害児教育においては、現場以外の多様な情報にアクセスし

ながら教授法を改善する活動が不可欠となる。このような現状が教育関係者に理解された結果、電話回線で結ばれた電算ネットワークの必要性に関する提言が当県の教育委員会と現場の支持を得たほか、これまで私的に設置された現場との電算ネットワークが公的性格を持つに至った。

(2) 電算画面を用いた幾何概念の教授活動では、年少の被験者が画面から得た具体的なフィードバックと想像への配慮が不可欠となる。年少の学童と遅滞児では、年長の被験者の場合のように教授・学習活動に即して自らの反応を制御する目的でのイメージ操作（例えば Mitsuda 1993）は見られない。さらに算数文章題の理解の場合とは違って、挿入質問による命題的な表象の強化は得られず、むしろ画面から得られた理解の文脈への干渉効果を示唆する結果が得られた。この結果は上記の先行研究と一致した傾向である。以上より、画面で動く幾何図形の運動から児童が如何なる表象を得ているか具体的に理解し、その表象と教授活動との調整が必要となる。本実験の結果1の項で指摘したように、遅滞児のイメージ操作能力は線対称の説明変数になり得ない一方、その下位技能である直角の概念の理解に寄与を示す説明変数となった。この結果が示すように、児童・生徒の教材理解の限界をも配慮した木目細かな教授・学習活動の企画と可塑性を持った教材の整備が必要とされよう。このような教授・学習活動の実施と評価の段階では、現場で児童・生徒から得られたフィードバックを詳細に分析し、その問題点に適切に対処し得る可塑的な教材構成とその運用が必要とされよう。以上の観点からも、大学での心理学ならびに教育方法学の研究・教育活動と教育現場との連携が必要であり、その手段として電話回線を用いた電算ネットワークの整備とその操作要員の養成は緊急を要すると言えよう。

#### 引用文献

- 1) Brown, A. I. and Kane, M. J. (1988): Preschool children can learn to transfer: Learning to learn and learning by example. *Cognitive Psychology*, 20, 493-523.
- 2) Lanorde, C. and Laborde, M. (1992): Problem solving in geometry: From micro worlds to

- intelligent computer environments. In Ponte, J. P. and Matos, J. F. (Eds.), *Mathematical problem solving and new information technologies*. Springer, Berlin, p. 177-192.
- 3) Mitsuda, M. (1991): Successive processing abilities and question aids as determinant of solving arithmetic word problems in mentally handicapped students. *Japanese Psychological Research*, 33, 115-125.
  - 4) 光田基郎 (1991): 算数文章題達成過程における空間表象の効果. 徳島大学総合科学部社会科学研究, 第4号, 133-169.
  - 5) 光田基郎 (1993): 電算画面による示範についての基礎的, 実験的研究. 文部省科研報告書 (総合 A-02305007 代表: 山内光哉), pp. 63-83.
  - 6) Mitsuda, M. (1993): Effects of imagery representations and question aids in comprehension of geometry texts by elementary school children, junior highschool and college students. *Japanese Psychological Research*, 35, 45-55.
  - 7) Piaget, J. (1950): *The Psychology of Intelligence*. Harcourt Brace, New York.
  - 8) 高木和子 (1978): 幼児における継時的情報処理能力の発達. Temporal Order Memory について一. 山形大学紀要, 教育科学, 7, 83-105.
  - 9) 梅谷忠勇 (1971): 精神薄弱児における概念達成の過程に関する研究—学習材料の抽象性の効果を中心として—. 教育心理学研究, 19, 29-38

発表論文リスト (平成5年8月末現在)

- 1) Mitsuda, M. (1993): Effects of imagery representations and question aids in comprehension of geometry texts by elementary school children, junior-highschool and college students. *Japanese Psychological Research*, 35, 45-55.
- 2) Mitsuda, M. (1993): Successive Processing abilities and question aids as determinants of geometry learning in mentally handicapped students. *Psychologia*, 36, 151-158.
- 3) 光田基郎 (1993): 類推と知識操作における空間表象の効果. 徳島大学人間科学 (印刷中). 学会発表 6点 (92, 93年度の日本心理学会, 日本教育心理学会および中四国心理学会)