

数学教育に個人による現物実験を 取り入れる実証的研究

澁谷 久

● 要約

現在の日本の数学教育において、実験は積極的に取り入れられていない。その要因として、実験の像が不鮮明であることが考えられる。本研究の目的は、数学の授業における個人による現物実験の効果を実証し、実験が日本の数学教育で効果的に取り入れられるための示唆を与えることである。そのために、数学教育における実験に関する先行研究の分析から、「実験」を定義し、その授業設計、すなわち、実験形態、実験プロセスの在り方をとらえる。さらに、実験授業を策定、実践し、生徒一人一人に学習具を所有させる個人による現物実験の環境をつくることで、学習への充実感や自己効力感を高めることができる方法として有効であることを実証的に示す。

● キーワード

実験

現物実験

学習具

自己確認作用

プロセス

自己効力感

I. はじめに

1. 本研究の意図：実験の定義の不鮮明さ

文部科学省によれば、中学校数学科の目標「数学的活動を通して」(文部科学省, 2008: 15)に関するものに「数学的活動には、…(略)…観察したり、操作したり、実験したりすることなどの活動も含まれるが、」(文部科学省, 2008: 21-23)とあり、また、各学年の図形領域の目標に「観察、操作や実験などの活動を通して、」と示されている。このように「観察」、「操作」、「実験」が列記されているが、中学校数学科においてはあまりみられないのが現状である。この要因として、学習指導要領からは観察、操作、実験、それぞれの定義や効果をよみ取れないため、不鮮明なものの構築や実践には取り組みづらいことが考えられる。

2. 研究の目的と方法

本研究は、上述の問題の所在を受けて、実験を日本の数学教育に効果的に取り入れるための実験の在り方とその機能を探る。ここでいう「効果的」とは、国際的な調査から浮き彫りになった実態から、今、日本の中学生にとって求められる数学教育の一助となるということである。そこで、数学の授業において、生徒一人一人に学習具を所有させる個人による現物実験の環境を設定することが、子どもの自主的な活動を起こし、見通しをもちながら、学習内容や活動を帰納的に整理し、理論の信憑性をつくり、発見にいたる経験をつくり、学習への充実感や自己効力感⁽¹⁾を高めることができる方法として有効であることを実証的に示す。そのために、数学教育における実験に関する先行研究の分析から、数学教育における「実験」を定義し、その授業設計、すなわち、実験形態、実験プロセスの在り方をとらえる。さらに、個人による現物実験の効果を実証し、先の目的の達成とともに、実験が日本の数学教育で効果的に取り入れられるための示唆を与えることを目指す。

II. 数学教育における実験に関する考察

1. 数学教育における実験の意義

わが国において、数学教育の分野に実験が取り入れられた上流に位置しているものに曾田による実験実測がある。曾田は実験実測の必要性やよさとして、実験や実測によって新しい創造や発見へと導くことができることを示している。

数学教育において実験が取り入れられてきたのは、発見にかかわる場面が多く、これは「数学的原理・法則の導出」にあたる。これを本研究では、「数学をつくり上げる」場面とする。これは、既習の数学的概念・原理・法則と数学的技能である直接的価値と直観力や数学の見方・考え方、学習意欲等の間接的価値⁽²⁾を駆使して新たな発見をすることである。

また、飯島は「実験は、それを取り入れることによって、科学的な方法や数学的な考えを身につけさせるものであり、それを通して考える方法を学ばせることに中心をおかなければならない。」(飯島, 1989: 21)とし、数学的知識が生み出されるプロセスを体験することを重視している。

これらをみると、実験の意義として、子どもが数学を経験や発見することと、そのプロセスに沿って学習が構成されることによる創造する学習方法の習得があげられる。

2. 数学教育における実験の定義

数学教育における実験には、思考実験と現物実験がある。その先行研究や実践をみると、現物実験、

思考実験，その両者を合わせたものをそれぞれ実験ととらえている場合がある。

しかし、倉井が「数学は理想化あるいは抽象化させた対象を扱う学問であり、思考実験を行いやすい学問であるといえる。」(倉井, 2001: 4) と述べているように、数学教育においては、思考実験が研究対象としての実験の中心にあったととらえられる。

「実験」は、伊藤の思考実験を説明する次の文面でおおまかにつかむことができる。

「思考実験は一(略)一実験の一種であるから、仮説が立てられていて、一定の条件の下で、計画的な是認された手順を踏んで、その真偽を検証する活動である。」(伊藤, 2005: 134)

「実験」は、計画的なプロセスに沿って、条件を設定し、立てた仮説を検証する活動であるにとらえることができる。しかし、「II 5 現物実験のプロセス」で述べるように、数学教育における実験には、「仮説検証のための実験」の他に「データ収集のための実験」もある。したがって、本研究では、思考実験及び現物実験を含めた数学教育における実験を「計画的なプロセスに沿って、条件の変化に伴う現象の変化をよみ取り、数学をつくり上げる活動」とし、「プロセス」、「条件設定」、「つくり上げる」をその特徴にとらえる。

筆者は、これまでに数学的学習具⁽³⁾の研究を行ってきている(澁谷, 1997, 1999, 2009, 2010)。そこで「数学的学習具は、概念・原理・法則と等しい構造を内蔵した操作、観察できるものである。ここでいう操作とは具体的操作、観察とは視覚を中心とした観察的な活動をいい、」(澁谷, 1997: 28) としている。筆者がとらえる現物実験には、この数学的学習具に具体的操作を加える場面がある。この場面の有無によって現物実験と思考実験を区別する。

3. 現物実験の意義

数学の抽象性や石原の示す「思考実験と現物実験の決定的な違いは、初期条件をオペラントとして与える際の自由さにある。」(石原, 2001) により、数学教育では思考実験を可能にする力を育成する必要がある。しかし、まず現物実験を取り入れることが、実験が日本の数学教育で効果的に取り入れられるための入り口になると考える。それは、次の2点による。

ア. 現物実験の経験の重要性

飯島は、「問題解決のための新しいアイデアを思いつぐためには、具体的操作や現物実験等において具体的に考えることが不可欠であり、その後でやや抽象的な思考実験ができるようになる」(飯島, 1990: 24) と、森田は、「実験の場で基盤とする知識のなかに、…(略)…『体験的な判断』も取り入れてくることである。」(森田, 1991: 149) と述べている。このように、思考実験を行うには、現物実験の経験を要する。それは、現物実験の道具となる数学的学習具のはたらきから考えられる。

思考実験を可能にする条件として、既に学習した数学的概念・原理・法則が、直面した課題を解決するための道具となる内面に存在する構造的な学力、すなわちシエマになっていることと考える。澁谷は、数学的学習具の研究の中で「数学的概念・原理・法則にシエマを形成するイメージをともすとは、数学的概念・原理・法則とイメージを融合させるということである。ここでいうイメージとは、概念・原理・法則に関する表象で、学習過程で得られた概念・原理・法則の印象(対象を意味・指向する)の再現されるものである。」、さらに、「数学的学習具の中核のはたらきとして、イメージをともすことがあげられる。」(澁谷, 1997: 9-20) と述べている。

イ. 子どもの自発性が伴う期待

実験が効果をもつ「数学をつくり上げる」場面の根底には学びへの意欲やそれに伴う自発性がなくてはならない。現物実験がそれらを表出させることを、アメリカのケラーが提唱する「ARCS 動機づけモデル」(鈴木, 2007: 176-179) から考察する。

「ARCS 動機づけモデル」⁽⁴⁾は、「なぜやる気がでないのか」を、「注意 (Attention)」、「関連性 (Relevance)」、「自信 (Confidence)」、「満足感 (Satisfaction)」の4つの側面からチェックして作戦を立てるというものである。

「自己確認作用」⁽⁵⁾ (澁谷, 1997: 50) による実験の道具 (学習具) を使ってみようという気持ちは「注意」の〈知覚的喚起〉, 学習具による具体性からくる思考の高まりは「関連性」の〈親しみやすさ〉, 現物実験の帰納的検証による確かさの実感「自信」の〈成功の機会〉にかなうことの表れである。

また、実験のプロセスによる到達点の意識化は「自信」の〈学習要求〉, 仮説検証のプロセスによる仮説の承認や棄却の判断は「自信」の〈コントロールの個人化〉, 筆者が重視している個人実験による自発的な取り組みは「関連性」の〈目的指向性〉, 自分のペースでの活動は〈動機との一致〉, 「自己所有性」⁽⁶⁾ (澁谷, 1997: 50) すなわち獲得したものが自分のものであるという自覚の醸成は「満足感」の〈自然な結果〉にかなうことの表れである。

これらのカテゴリーは、自分自身で何かを達成したり、成功したりする経験、すなわち、達成体験をつくる。⁽⁷⁾それを最も重要な要因としている自己効力感「ある課題に対する遂行可能性の認知」(大内, 2008: 16) を生み出すと考える。自己効力感は、シエマを形成したり、間接的価値を高める源となるなど、学習活動を支える力であるが、日本の数学教育においては、課題となっているものであり、現物実験の必要性を強調することになる。

これらの意義を踏まえ、本研究では現物実験を対象とし、今求められる数学教育における実験として広義の実験の土台になるものとした。

4. 現物実験の授業形態

現物実験の授業形態として、個人とグループ、デモンストレーションがある。数学教育においては、どれが有効かということはなかなか論じられない。そこには実験の道具としての学習具の準備の問題も含まれると考えられる。本研究において、生徒全員が所有できる学習具の開発をもとに個人による現物実験に着目する理由を以下に示す。

「II 3 現物実験の意義」で述べた「子どもの自発性が伴う期待」において考察した項目は、個人という実験形態から、より引き出されるものが多い。筆者が行ってきた個人による現物実験において、実施後の生徒の感想で最も多いのは「自分はできた.」、 「自分はみつげられた.」という達成感を表すものである。

数学の授業において、生徒一人一人に学習具を所有させる個人による現物実験の環境を設定することが、子どもの自主的な活動を起こし、見通しをもちながら、学習内容や活動を帰納的に整理し、理論の信憑性をつくり、発見にいたる経験をつくり、学習への充実感や自己効力感を高めることができる方法として有効であることを実証しようとする根拠がここにある。

5. 現物実験のプロセス

実験は、そのプロセスも特徴を表現するものである。そのプロセスは、次の倉井の実験の定義から

考察することができる。

「定義1：未知の対象の構造を探ったり、対象の諸因子の関係を求めるためのデータを得るために、人為的な条件、状態のもとで観察すること。」

「定義2：理論または仮説の検証のために、仮説から個別的な観察可能な被検証事象を演繹し、その事象を簡単に説明できる形に、諸条件や機構、状態を組み上げ、観察すること。」(倉井, 2004: 80)

ここで、前者は「データ収集のための実験」、後者は「仮説検証のための実験」であり、それぞれ、学習における試行活動のパターンの「操作的な試行錯誤の活動」と「検証的な試行錯誤の活動」に対応する。

数学教育のフィルターを通してこの定義をみるならば、定義1にあたる場面としては、推測が明確でない状況で、試行錯誤的に数学的構造を発見したり、思考対象としてのデータを得るものである。定義2に関しては、「算数・数学的事実について何らかの意味における仮説を作ったり、それを検証したりするための実験的な性質をもつ一切の作業」(飯島, 1989: 21)の「実験」の定義に相当する。

本研究において対象となる実験は、具体的操作を含むため、「学習具を把握する」を、実験の意義を踏まえたプロセスに位置付けて、仮説の設定・非設定から証明にいたるものを「数学教育における現物実験のプロセス」とする(図1)。

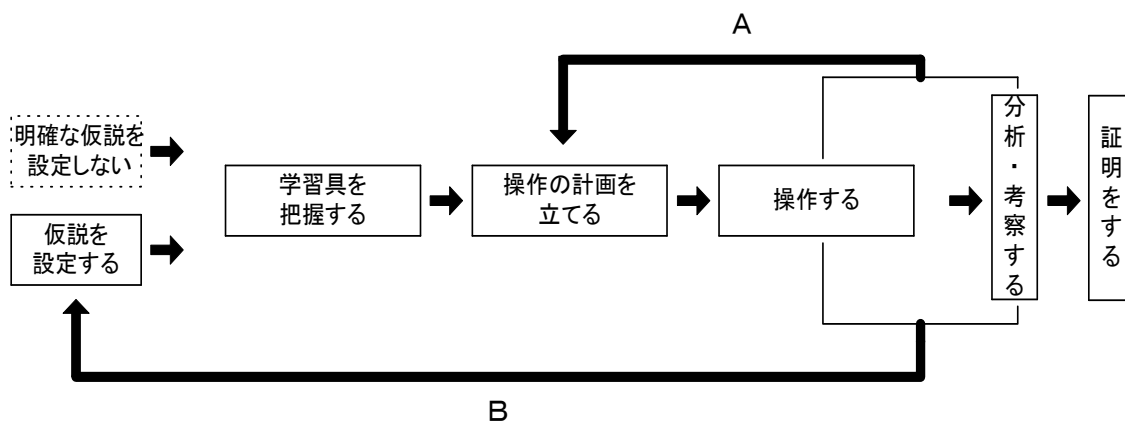


図1 数学教育における現物実験のプロセス

「学習具を把握する」は、学習具のしくみと使い方について理解する段階で、操作への主体性を保障するものである。学習具の把握では操作の目的、さらに実験の目的を把握することになる。学習具を把握する有効な一つの手段は、学習具を組み立てることで、操作前のレディネス形成に大きく作用すると考える。それは、操作のみならず、組み立てる段階においても、数学的構造に気づき、さらに、自分で組み立てたものとしての存在感が生まれるとともに、学習の跡を感じ、学習に心がひかれ、自分で組み立てたものに対して、何らかの有効性が続くことを望むことによる。学習具を用いた実践において、この段階が注目されることはなかった。しかし、学習具の使用が負の効果を及ぼしている要因の1つにこの段階の軽視があげられる。学習具の特徴や構造を把握しそれに親しむ状況が現物実験の効果を引き出す条件である。この段階の前の「仮説の設定」の有無によって、「仮説検証のための実験」と「データ収集のための実験」に分かれる。

「操作の計画を立てる」は、数学教育における実験の定義にある条件設定(操作の手順を描いたり、定数、

変数を決め、変数の変化の仕方を設定する) をする段階である。

操作による仮説検証や発見は、帰納的なものにすぎず、「分析・考察する」を経て、「証明をする」の段階を位置付けることが数学教育における学習の流れをつくる。

実験のプロセスは問題解決過程の1つであるが、操作によって発見や見通しの妥当性を検証できる実証性、条件の設定によって数値化が行われるデータ性、同一条件下では同じ結果が得られる再現性、がその特徴である。

図1におけるAは「操作する」または「分析・考察する」段階で、新たな操作の必要を感じ、「操作の計画を立てる」段階にフィードバックするものである。また、Bは「仮説検証のための実験」において、仮説と操作や分析・考察の結果が一致しない場合に、仮説を修正するものである。

Ⅲ. 実験授業の実際と考察

1. 実験授業及びその対象とデータの採取方法

本研究の目的を達成するために、現物実験の授業形態に着目して以下の3つの実験授業を設定する。どの授業の題材も「円周角の定理を導く」ことで、「数学的原理・法則の導出」にあたる。

(i) デモンストレーションによる現物実験

2011年2月2日に、「学習具の操作を観察することによって、円周角の定理をみつけ、その意味を理解する。」をねらいとし、2時間の実験授業を教室で実施した。指導計画は次の通りである。

問題をよみ取る、問題に取り組む、課題をつくる、仮説を設定する、授業者による提示説明学習具の操作を観察する、分析・考察する、証明する

(ii) グループによる現物実験

2011年2月4日に、「グループによる学習具の操作を通して、円周角の定理をみつけ、その意味を理解する。」をねらいとし、3、4人で構成されるグループに学習具を1つ与え、グループで操作させる2時間の実験授業を体育館と教室で実施した。指導計画は次の通りである。

問題をよみ取る、問題に取り組む、課題をつくる、仮説を設定する、グループにより学習具を把握する、グループにより操作の計画を立てる、グループにより学習具を操作する、分析・考察する、証明する

(iii) 個人による現物実験

2011年2月9日に、「個人による学習具の操作を通して、円周角の定理をみつけ、その意味を理解する。」をねらいとし、生徒一人一人が学習具を組み立て、操作する2時間の実験授業を体育館と教室で実施した。指導計画は次の通りである。

問題をよみ取る、問題に取り組む、課題をつくる、仮説を設定する、学習具を把握する、操作の計画を立てる、操作する、分析・考察する、証明をする

3つの実験授業の対象は異なるが、北海道内の同一の公立中学校第2学年⁽⁸⁾で、同じ指導者が担当している。対象の生徒は、中学校の数学の授業において、図1に示す「数学教育における現物実験のプロセス」による学習を経験していないため、現物実験の効果をとらえるためには適していると考えられる。

データの採取であるが、生徒の様子を観察し、VTRによる記録とそのプロトコルを作成した。さ

表1 学業的自己効力感尺度の質問項目

1. 授業の内容でわからないことがあっても、頑張れば理解できると思う。[理解]
2. 他の人に質問されても、きちんと答えることができないと思う。〈R〉[応答]
3. 授業で教わった内容を、きちんと覚えていられると思う。[記憶]
4. 他の人よりも、勉強することを努力できると思う。[努力他]
5. 授業の内容で、どこが重要なのかを的確にとらえることができると思う。[要点把握]
6. 他の人よりも優れた意見を言うことができないと思う。〈R〉[意見他]
7. 多くの人にはあまり理解できない内容でも、自分なら理解できると思う。[理解他]
8. 予習・復習をしっかりやれると思う。[予習・復習]
9. 他の人よりも優れたワークシートが書けるとは思わない。〈R〉[ワークシート作成他]
10. 授業を集中して受けることができると思う。[集中]
11. 他の人よりも、効率よく勉強することができると思う。[効率他]
12. 適切な意見を言うことができると思う。[意見]
13. 授業で教わった内容を身に付けることができると思う。[定着]
14. <u>内容を整理してから発表</u> することができると思う。[発表準備]
15. 的確な質問をすることができると思う。[質問]

注) Rは逆転項目、他は他との比較の項目、下線部及び項目名は筆者による。

らに、実験授業による自己効力感の変化をみるために、授業前後（生徒抽出のデータにもするため、授業前は授業実施2日前）に、表1に示す「学業的自己効力感尺度」⁹⁾の調査（5件法、「全くそう思わない」を1点、「とてもそう思う」を5点、逆転項目は逆）を行った。また、実験授業での生徒の活動に着目して個人による現物実験の役割を考察するために、それぞれ一人の抽出生徒の活動に焦点をあてた。さらに、個人による現物実験で抽出した生徒Fの活動をより理解するために、授業後、VTRを視聴させ（3つの実験授業の効果をみるために、「数学教育における現物実験のプロセス」の「学習具を把握する」から「分析・考察する」まで）、臨床的インタビュー調査（2月15日）を実施した。そこでは、学習活動で表出した達成体験にかかわる言動について発言させ、プロセスに即して意識と行動の対応をとらせ、筆者と抽出生徒の協同による実験授業の分析を試みた。生徒Fは、「学業的自己効力感尺度」（2月7日実施）の得点において最下位の生徒であるが、本調査には必要な自分の内面を的確に表現する性質をもっている。

活動の視点は、自己効力感を高める最も重要な要因である達成体験をつくる要素の表出である。

2. 実験授業の問題と学習具

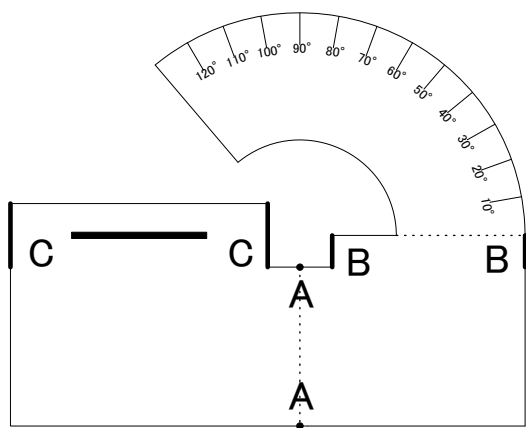
グループ及び個人による現物実験の操作で使う学習具(図2)は、筆者が開発したものである。また、3つの実験授業での問題を図3に示す。

なお、どの実験授業においても、交流により、入りやすさは角のみに関係があることになり、学習課題「 $\angle AOB$, $\angle APB$, $\angle AQB$ の大きさの関係を調べよう。」を設定した。

3. 実験授業の活動とその分析

ア. 現物実験の授業形態による自己効力感の変位

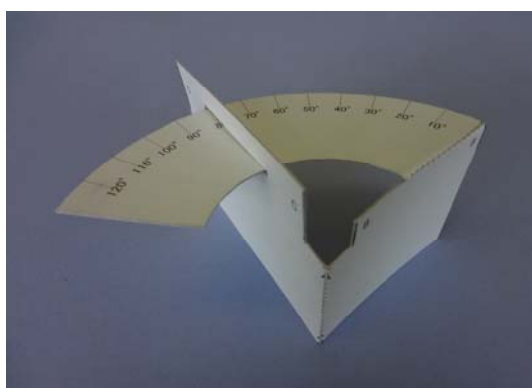
全体的な傾向を把握するために、それぞれの授業前後の「学業的自己効力感尺度」の全質問項目の



【組み立て方】

点線を山折りにして、
切り込みに角度を表す数が書かれている部分を差し込む。

注) 左図は学習具の型紙



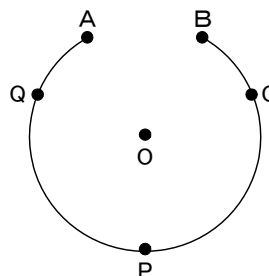
【使い方】

- ・点Aが円周上にあるようにする。
- ・片方の目で穴からのぞく。
- ・2本の線Bと2本の線Cをそれぞれ重ね、その延長線上に目標物があるようにし、視野の角度を測定する。

注) 左図は完成したもの

図2 学習具（グループ及び個人による現物実験）

【問題】 ゴール（AB）に向かって、地点O、P、Qからボールを蹴ってシュートします。次の2つのことについて考えてみましょう。①地点O、P、Qに入りやすい順番を付けましょう。②入りやすさにどのくらいの違いがあるでしょうか。一番入りにくい地点の入りやすさを“1”として答えましょう。ただし、ゴールキーパーはいないことにします。



地点A、B、P、QはOを中心とする円の周上にあります。

図3 実験授業の問題

回答平均値（5点満点）と標準偏差を表2に示す。

回答平均値の変化をみると、いずれも授業後が高くなっている。さらに、それぞれの授業における平均値について対応のあるt検定を行うと、グループにおいては有意傾向にあると判断されるが、有意差を確認できたのは個人による現物実験においてのみであった。この結果から、「数学教育における現物実験のプロセス」の各段階を個人にゆだねることが、自己効力感を高めることに有意にはたらくと判断できる。

表2 学業的自己効力感尺度による調査集計結果

	デモンストレーション (N=32)		グループ (N=32)		個人 (N=34)	
	授業前	授業後	授業前	授業後	授業前	授業後
平均値	3.01	3.04	3.03	3.08	3.14	3.22
標準偏差	0.54	0.55	0.59	0.58	0.58	0.48
t 値	-1.67		-2.01		-2.90	
検定結果	not significant		not significant		p<.05	

イ. 対象となった生徒を中心とした活動とその分析

まず、授業形態が個人における抽出生徒のFと同様に、デモンストレーションとグループにおける授業前の「学業的自己効力感尺度」の得点において最下位の生徒である生徒Yと生徒Kの、活動の視点による特筆すべきものをあげる。

146 Y：あれっ、予想と違う。 そうなんだ。
 148 Y：先生、それわかりやすいよ。
 149 Y：(指示を待っている.)

デモンストレーションによる現物実験での生徒Yは、授業者による提示説明学習具の操作を観察する段階で、「予想と違う。(146)」と自分の仮説とは異なる結果になったことを確認し、「それ(学習具)わかりやすいよ。(148)」と学習具の効果を示している。しかし、その後の学習をよめず、全体を通して達成体験をつくる要素を表出したものはない。

131 K：これのぞいて使うんだよ。(10)

グループによる現物実験での生徒Kは、学習具を把握する段階では、学習具を組み立てることに主体的に取り組む。でき上がった際は、のぞきながら、「これのぞいて使うんだよ。(131)」と自分で組み立てたことから、授業へ参加しているという自覚を表している。

194 K：本当にどこでも同じなのかな。

学習具を操作する段階では、データの記録係であり、直接学習具を操作していない。「本当に(円周上の) どこでも同じなのかな。(194)」と自分の仮説($\angle APB < \angle AQB$)を棄却、修正したもの($\angle APB = \angle AQB$)を自分で確かめたいと感じている。学習具を把握する段階で「自己確認作用」が発動したが、操作にいたらず、ストレスが発散されずにいる。

生徒Fの自己効力感の変位を表3に示す。

生徒Fの回答得点は授業後が高くなっており、その変位は対象生徒の平均値のものより、かなり大きくなっている。以下、個人による現物実験の各段階の活動とその分析を示す(Tは授業者の発問を表す)。生徒Fは仮説として、 $\angle AOB$, $\angle AQB$, $\angle APB$ の大きさの比を3:2:1としている。

表3 生徒Fの学業的自己効力感尺度による得点

授業前	授業後
2.00	2.33

a. 学習具を把握する場面 (第1時)

- 155 F : (学習具を組み立てながら,) 何かの角度測るもの? みんなの分あるんだ.
180 F : (学習具を完成させて,) できた. 作るの簡単.
183 F : (学習具をのぞきながら,) こうやるんだよね. もう調べていいですか?

生徒Fは、「何かの角度測るもの? みんなの分あるんだ. (155)」と操作の目的を把握しているとともに、自分も操作できるという期待感を表している。さらに、「できた. 作るの簡単. (180)」, 「(学習具をのぞきながら,) こうやるんだよね. もう調べていいですか? (183)」と授業へ参加している感触を得、学習具に興味を示し、自主的に使い方を探っている。自分の仮説を確認したいという関心も表出している。組み立て終えた他の生徒も、それぞれ操作を始めようとしている。「自己確認作用」が個人による現物実験により発動される。

この段階では、操作の目的の把握、自分の存在や学習の軌跡の感得、自主的な活動など、達成経験をつくる要素が表れている。生徒Fは、授業後のVTR視聴による臨床的インタビュー調査において、「早く使ってみたかった. みんなと同じくらいやれそうと思った.」と述べている。

b. 操作の計画を立てる場面 (第2時)

授業者の「変化しないもの, 変化させるものと変化するものは何ですか? (199)」に対して、多くの生徒が「AとB, 立つ位置, 角度.」とワークシートに記入している。生徒FはO, Q, Pの順に測定する計画を立てる。臨床的インタビュー調査において、「Pからする人が多かったので, すいている所からした.」と述べている。ここでも自主的な活動がうかがえる。

c. 操作する場面 (第2時)

- 279 F : (地点Pでの測定を終え,) えっ, Qと同じ. そうなの? はずれ.
282 F : 他の円周上でも同じ?

生徒Fは、「はずれ. (279)」と自分の仮説を棄却している。さらに、「他の円周上でも同じ? (282)」として、円周上の他の地点で測定をする。これは、図1の“Bの矢印”が示す、仮説の棄却、修正($\angle APB = \angle AQB$)をし、さらに、新しい仮説「円周上のどこで測っても角度は同じ.」を設定し、それを確かめるために円周上の他の地点で測定を行う。立てた計画にはない操作を行うことは、数学をつくり上げるには、一般性をもたせなければいけないことを理解しているからである。その自主的な活動を行わせるのは、操作による確信をもてたからであると考ええる。臨床的インタビュー調査において、「自分の仮説がはずれたことはくやしいけど, 自分で確かめられたので納得した. もう少し調べたいと思った.」と述べている。実験の目的の把握や自力解決など、達成経験をつくる要素が表れている。

d. 分析・考察する場面 (第2時)

- 365 T : 実験でわかったことを発表してください.
369 F : $\angle APB$ と $\angle AQB$ の角度は等しい, というか. 円周上ではどこでも角度は等しい. $\angle AOB$ はその2倍.

「円周上ではどこでも角度は等しい. (369)」のように、自発的に調べたことを発表している。自分で発見したものに「自己所有性」が備わっていることがわかる。臨床的インタビュー調査において、「円周上ではどこでも等しいことを, 他の人に伝えたかった. 自信があった.」と述べている。ここで

も、分析・考察結果の信憑性への自信、学習の意義の確信、自分の存在や学習の軌跡の感得、自発的な活動などが表れている。

IV. まとめと今後の課題

本研究の目的は、数学の授業における個人による現物実験の効果を実証し、実験が日本の数学教育で効果的に取り入れられるための示唆を与えることである。

個人による現物実験は、自己効力感を高めることに有意にはたらくと判断でき、日本の数学教育の課題を解決する手掛かりになると考えられる。特に、「学習具を把握する」と「操作する」段階では、個人にゆだねる状況をつくることが大きく作用すると考える。

今後の課題としては、現物実験から思考実験への移行についての究明である。思考実験を可能にする状態とはどのようなものかをとらえることは、数学教育における「実験」をより鮮明にすることにつながる。

● 注

- 1) 本研究における自己効力感は、学業的自己効力感に限定している。国際的に最も低い状況とされる「数学の勉強に対する自信」(TIMSS2007)の質問項目には自己応力感にかかわるものがある。
- 2) 澁谷は、間接的価値として、直観力、数学的見方・考え方、表現力、情報選択力、論理的思考力、自分をみる力、学習意欲、活用力、をあげている。(澁谷, 1997: 3-5)
- 3) 本研究において、操作の対象となるものを生徒の学習のための道具ととらえ、「数学的学習具」とする。澁谷は、数学的学習具を「提示説明学習具」、「実験実習学習具」、「習熟、練習学習具」、「パズル、ゲーム」、「イメージ学習具」、「測定作図器具」、「計算器具」、「数学黒板」、「教育機器」に分類している。(澁谷, 1997: 28-35) 本研究においては、その中の「実験実習学習具」に絞っている。それは、生徒一人一人が型紙から学習具を組み立て、操作し、「自己確認作用」により、主体的に数学をつくり上げるものである。
- 4) 「ARCS 動機づけモデル」の「注意」は<知覚的喚起>、<探求心の喚起>、<変化性>、「関連性」は<親しみやすさ>、<目的指向性>、<動機との一致>、「自信」は<学習要求>、<成功の機会>、<コントロールの個人化>、「満足感」は<自然な結果>、<肯定的な結果>、<公平さ>のそれぞれ3つのカテゴリーからなる。(鈴木, 2007: 176-179)
- 5) 「数学的学習具を対象とするため、人間の内面にある『触れて動かして確認したい』というものを保障し、学習過程におけるストレスを発散させる作用」である。その作用を発動させるためには、操作の自由性が保障され、生徒自身の意志が生かされ自発的に活動できる状況が必要である。操作によって、学習具に内蔵されている数学的構造が引き出される。このように考えると操作される前の段階での学習具は、一種のストレスを起こす要素を含んでいることになる。引き出された数学的構造は、「自己所有性」を備えている。(澁谷, 1997: 50)
- 6) 獲得したものが自分のものであるという自覚が生じることで、自分の手で確認したことから生まれる。身体を動かすと豊かなイメージが形成されるという「イメージの身体性」も同様なことを示

している。(澁谷, 1997: 50)

- 7) 「ARCS 動機づけモデル」のカテゴリーは、学習意欲、理解、思考の深まり、学習への納得、進歩の自覚、目標の設定、見通し、流れの把握、自己評価、自己の存在や学習の軌跡の感得等、達成体験をつくる基盤となるものを生む。
- 8) 題材は2009年度より第3学年のものであるが、本研究の目的を達成するために、教科書に掲載されるなどで流通する学習具を使用すること、土台になっているTIMSS2007の対象が第2学年であることを考慮し、本実験授業を設定した。
- 9) 大内(2008:18)の作成した「学業場面における自己効力感尺度」の承認因子と習熟因子の項目を採用した。ピントリッチらのものを参考につくられたもので、他の尺度に比べ具体性があり、生徒が答えやすい。
- 10) 生徒Kの発話に付した番号は、「学習具を把握する」段階から、生徒Kの所属するグループに限定したものである。

●引用・参考文献

- 飯島康男：算数・数学の指導に取り入れる実験の意義，数学教育学研究，49-50，21，1989.
- 飯島康男：問題解決における実験や思考実験の意義—正四角錐の断面を求める問題を題材にして—，数学教育学論究，54，24，1990.
- 石原大樹：数学教育における実験の導入に関する研究，鳥取大学数学教育研究，3，2001.
- 伊藤説朗：思考実験，中原忠男編「算数・数学科重要用語300の基礎知識」，134，明治図書，2005.
- 国立教育政策研究所：国際数学・理科教育動向調査の2007年度調査（TIMSS2007）国際調査報告（概要版），11-12，2008.
- 倉井庸維：数学の学習における思考実験の規定とその活用に関する研究，日本数学教育学会誌，83（9），4，2001.
- 倉井庸維：数学の学習における思考実験の機能に関する研究—実験に対する科学哲学の考察—，筑波大学研究紀要，41，80，2004.
- 文部科学省：中学校学習指導要領解説—数学編，15-23，教育出版，2008.
- 森田俊雄：算数・数学教育の新展開—局所的な数学と思考実験—，149，東洋館，1991.
- 大内善広：文脈依存性から見た学業自己効力感の因子構造の検討—学業自己効力感尺度作成の試み—，早稲田大学教育学部学術研究（教育心理学編），56，11-24，2008.
- 澁谷久：概念・原理・法則にシエマを形成するイメージをともし数学的教具に関する一研究，北海道教育大学教育学研究科修士論文，28-50，1997.
- 澁谷久：観察・実験を取り入れる数学の授業，65，明治図書，1999.
- 澁谷久：学習具を数学のサプリメントに，数学教育，618-629，明治図書，2009-2010.
- 鈴木克明：教材設計マニュアル，176-179，北大路書房，2007.

● **英文タイトル**

A demonstrative study of adopting the individual experiments with the actual articles in the education of mathematics

● **英文要約**

Today in the education of mathematics in Japan, experiments have not been positively adopted. As the cause, the image of the experiments is thought to be indistinct. The aim of this study is to prove the effect of individual experiments with the actual articles in mathematics classes and to give the suggestion to adopt the experiments in the education of mathematics in Japan effectively. To achieve the aim, we would like to define “Experiment” from the analysis of the precedent research on the experiments in the mathematics education. We also would like to grasp the class design, that is, the ideal way of the experiment form and the experiment process. In addition, we would like to demonstrate that making the environment of the individual experiment with the actual articles which each student owns the learning tool after planning and practicing the experiment classes will be effective as the method of improving the sense of fulfillment and the self-efficacy to learn.

● **Key words**

experiments

experiments with the actual articles

learning tools

self confirmation action

process

self efficacy

