

## 数学教育の研究デザイン

佐伯卓也(岩手大学)

### はしがき

教育科学の立場で「数学教育」をみると、「数学教育」は「経験科学」である。そしてその研究は、実証的に、実験的になされるべきは「ハッキリ」ということになる。一般に教育における実験はドイツの E. Meumann にさかえるとされている。彼は W. Wundt の影響を受けて「経験科学」としての教育学を打ち立てようとした。彼は 1879 年頃の「実験教育学講義」で「完全な経験的根拠を欠いた規定は、すべて実地に対しては純粋な命令である。……なぜその働きをなし、他の方法を採ってもソレないか」という理由を、眼前に保てない。実験的教育研究法は、次の欠点を補うことにより教師・教育者に大いに役立つ」と述べ、知覚、注意、表象型、記憶、想像、さらに、言語、算数、音楽の学習活動を実験的に研究した。

だが、Wundt の死後、要素心理学の衰えとともに実験教育学も衰えていった。しかし、アメリカではこの影響で、教育心理学をはじめ、さまざまな教育事実の実証的な研究を生みだしていった。例えば、1933 年から 1940 年にわたるアメリカの PEA による 8 年研究などが有名である。だが、後にこれはいろいろの批判を受けた。中でも Campbell and Stanley (1963) の批判は厳しかった。8 年研究のほか、いろいろの project が計画され実施されたが、結果は東洋氏 (1972) の指摘するように「これらの成果はほとんど現実の教育に影響を及ぼしていないし、教育は、いまどき実験がもたらす知見とはあまり関係のない力によって動かわれている」ともいわれている。

Meumann 以来ほぼ一世紀を経過しようとしている今日、教育における「実験」が重要であるといわれるが、実際に結果をもたらしている事

実を認識し、数学教育の実験の問題を含む研究デザインについて整理し考察していくことにする。

## 1. 数学教育とは

ここで「数学教育」というときは、「数学(算数)の授業(VTR, TMやプログラムの学習とかCAIも含める)を直接の研究対象として、かつ、数学の授業の一般的法則の発見を目的とし、そのために必要な科学的知識と技術が提供できる専門領域を含む」としておく(佐伯, 1974)。

このように考えると、数学教育はWundtの分類による「経験科学」であるといえる。さらに、数学教育は「技術学」(technology)であるといえる。「工学」が、さまざまな生産工程に即しながら、その中での諸要素、諸法則性の体系的な解明を目的としており、対し、「技術学」は諸工程の最善のあり方を解明していくことを目的としているからである。

行動科学の方面からの科学の見方に、「厳密科学」対「叙述科学」、  
「ミクロ科学」対「マクロ科学」の区別がある(田中, 1969)。この立場からは、数学教育は、叙述科学から厳密科学へ、マクロ科学からミクロ科学へと向かいつつあることが指摘できる。

方法論からは、「野外科学」「書斎科学」「実験科学」の区別があるといわれているが、数学教育はたゞこの三つの性質を兼ねていていられる。たゞ「人為的に組みあげられた条件、状態の下で、現象を観察する」ことを実験といえは、「実験科学」の色がが一番強いと考えられる。

このようなことから、数学をほなわて、一般の教育における実験の問題について、次に考えてみたい。

## 2. 教育における実験

経験科学の研究手法として仮説演繹法が有力な方法であるという  
ことから、「教育実験」が考えられて来たとと思われる。細谷氏(細谷, 1972)  
は、教育における問題(課題)は①教材(学習対象)に関する原題  
②実現の過程における困惑, 等から発生するとしている。

これらの課題を分類する。一般に実験対象による課題は, T課題,  
すなわち理論(theory)課題, D課題, すなわち, 理論的基礎の有無は  
とにかくとして, 実用的決定に迫られて生ずる課題, 次にR課題, すなわち,  
T課題でもD課題でもなく, 人間本来の知的欲求にもとづく関係の  
模索としての課題の3つがあるという(東, 1973)。さらにこれに対する  
実験をそれぞれ, T実験, D実験, R実験というが, もともと, 一つの実  
験が二つ以上の課題の文脈の交点で行なわれる場合もある。教育実験  
における課題は, D課題, R課題が主なものであるというのである。

一方実験という点からは, 一般に仮説<sup>1)</sup>が必要であるとして, その仮説の正しさの  
レベルからの分類がある(東, 1973):

レベルⅠ ... 全く見当がつかない

レベルⅡ ... やや見当がつかない

レベルⅢ ... 少々仮説が少なく, ニヤニヤ三といはれらるべき段階

レベルⅣ ... まるで確かなら, 100パーセント正しいとは確信がもてない

レベルⅤ ... 100パーセント正しい

この分類によると, レベルⅤはたゞ実験の必要性がないので, のぞいてお  
く。レベルⅠ, Ⅱあるいは仮説が立たないという点から, これは仮  
説( abduction)として別に考えることにする。フレイヤー型の「仮説」  
「検証」という「実験」は大体, レベルⅢかⅣであるということになる  
だろう。

さらに実験の見方として「剛構造」の実験と「柔構造」の実験がある。  
前者は, あらかじめきつくりと計画を立て, その計画からはずれないように  
実施し, そのあとで従属変数について測定をおこなって結論を導く

<sup>1)</sup>筆者は「実験」を広く解して, 必ずしも仮説が前もって用意を必要としない  
ないとは考えていない。仮説に先立つ発想(abduction)も含めてみる。

という実験である。これに対し準構造の実験とは、随時随所で組み変えや方向変換が可能な「手こぎ」試行の系列である。東氏は「教育実験は準構造の実験でなければならぬ」と思ふようになったと発言している。

以上、教育実験を考へるとき、カテゴリを考へたが、これら実験についての問題点の指摘が、いろいろな学者から出されている。古くは、Campbell and Stanley (1963) がある。彼等は、アメリカ PEA の 8 年研究を「実験以前のデザイン」として、8 項目の内的妥当性、4 項目の外的妥当性から検討を加へ、独自に「真実験デザイン」と組み立てた。しかし、現実的には、これらの妥当性全部を満たす完全なデザインは教育では考へることが、まず、不可能なため、多少条件をゆめめて、妥当性の一項目ぐらゐを犠牲にして考へる「準実験デザイン」(quasi-experimental design) を考へた。これは、実用に使はるべきとした。これとは、「等時間サンプル計画」(equivalent time sample design) は、「テスト・実験交互作用」等の外的妥当性欠か实用的であるとされている(菊池, 1974)。

東氏(東, 1972) は、心理学の実験室の実験に比べて、教育実験の困難性を 5 項目あげた。この中 2 はデザインとは別のところの困難性があることが指摘されている。それは、独立変数の交絡、従属変数の多義性、倫理的社会的制約である。菊池氏(1974) は、これをふまえて、教育に関する実験では、1) 日常的な教育現場の形態を保ちつつ、ランダムイゼーションを行ふことの困難性、2) 対照群を設けることでの困難性、3) ATI (適性処理交互作用) TTI (特性処理交互作用) による困難性、の三つにまとめている。

以上あげた実験の困難性は剛構造の実験、フィッシャー型の仮説-検証の実験を「実験」として考へたので起つてきた困難性と思われ。従つて「実験」の概念を多少モディファイすることによつて、現実の教育により近いデザインが考へられると思ふ。フィッシャー型の剛構造実験を前提とすれば、菊池氏のいう通り「これまでのところ、これらの困難をすべて解決して教育の実験はなし、今後も実現は困難であると思われ。

### 3. 非構造デザインをめぐって

前節で考えた通り、教育実験は剛構造的に考える限りなげまふ。このため非構造デザインが浮かび上がってくる。東氏は「フィッシャー型でない統計、例えは「ヘース」型の統計にむきづくデザインを考える必要がある」と発言している(東, 1973)。しかし、ここではもっと違った立場で統計とか実験にこたゆまないデザインを求めたいことにする。その上現実の教育にも影響を与えるであろう、というデザインを求めたいのである。

#### 3.1 デザインを考える前に

ものごとを考えるとき、「視点」とか「座標軸」もしくは「視座」といわれるものに沿って考える有効性についていわれている。特に学問が複雑になりこれらの情報量が多くなって今日、その必要性は急に高まってきている。このことにより、主体が客体に働きかけるとき、その働きかけの内容を規制し方向づける役目をする。視点がまわると、次はスケール化である。これには行動科学、数理科学でいわれる「数量化」問題が関係してくる。

次にコンピュータについてである。行動科学では「コンピューターを使わないとき、自分の研究領域は学問の進歩から取り残される危険があることを覚悟すべきである」といわれている。実際に、数学教育でもコンピュータを使う場面はいろいろ考えられ、大別すると①授業の過程で使用する(CAI)②研究データの処理で使用する、の二つになるだろう。いずれにしても、コンピュータは一つの道具である。だが、この使用にあたっては①研究デザイン②研究プロセス、等を画一化し、標準化してしまふ作用のあることを注意したい。つまり統計が全体を「まとめ」(まっ? サンプル)一つの個性をなくしてしまうように、コンピュータも研究デザインの個性をなくしてしまう恐れがある。

いずれにしても、これからの研究者は、自分に適した情報処理システムを用意しなくては、今後の研究に携わって行けないことを、指摘しておきたい。

### 3.2. 問題意識から発想まで

川喜田二郎氏(1970)によると「体系たつた知識そのものを『科学』と  
 かりに呼ぶならば、『科学』と『科学する』ということは同じでなり、『科学  
 する』とは、混沌とした現実の中から、何らかの秩序を見出して体系づけること  
 を指している。……『科学する』とは、すなわち探究することである」とり。  
 さらに氏は「実在の問題解決は、渦を巻いて進んでいるみたいなもので、  
 その中からおびたた『ハフニング』が起る。ハフニングを『科学的』以  
 外のこととしてかたづけられているような科学論は食いたりない。……ハフ  
 ニングを自覚的に活用する方法を重視」(北川, 1971) 178 ければ”  
 ならば」と、文化人類学からの発言している。

実在の教育場面でも同じで、たとえそれが実験であっても、教室で  
 あれば、教師も生徒も予想しないハフニングが随所随時に起る。こ  
 れを活用するのが創造的な教師であり、指導法であるともいわれている。  
 (鬼田・野村, 1964) が、これは川喜田氏のいう科学と同じ文脈で  
 あり、柔構造デザインがよい下地をなしていることもわかる。

教育活動における問題意識は、前にも述べたように①教材に関する願  
 望②実現の過程における困惑、等から発せると一たは考えておく。人  
 は問題意識が強ければ強い程、それが動機になって解決への努力が促  
 進される。だが、数学教育などで往々見られるように、「流行」せ、ひと  
 時には「信仰」的なものにかたされたり、こり固まってしまつては、問題  
 意識はあふか(多うか)材料がててきたとき、材料自身に身を投ず  
 ることとはなない。

さて、一如問題が意識されたら関連するデータの発掘をする。データは  
 数量化されたものだけでなく、数多くの文献や、多くの人々の心の中にある、  
 ことばで述べられるものも含む。もろろん研究者自身の心の中を探索される。  
 数量化はある程度ホモジニティをもつた集団に対してのみ適用されるが、  
 教育現場は、いかにホモジニティをもつとは限らぬ。その他多変量解析  
 で処理されたデータも含まれる。

次に、こから集積されたデータから、何らかの命題を作ることにする。

このとき、数量的なデータに対しては、コンピュータの使用も含む統計処理、  
 文章的なデータに対しては、KJ法にもとづく「W型問題解決モデル」  
 (川喜田, 1970)等は有効な方法になる。北川氏(1971)によれば、  
 ファッシャー、ネーマン等の統計的推論をやって、ズリズリまで追いつめ  
 ていくと、最後は「発想」(abduction)までいくという。つまり「仮説-  
 検定」論は推測統計学の本質だが、<sup>2</sup>「仮説」の知識は  
 どこからきたのか、が問題になってくるのである。ここで筆者は、数学教  
 育研究にかいて、この「発想」の考えを適用すべきことについておきたい。  
 思田氏(1974)によると、「発想」は着想→発想→構想と発  
 展していくという。このことを手がかりにして、研究デザインの第一の  
 ステップが考えられなければならない。

### 3.3. データのとり方

教授-学習場面で、教授法がどうであったか、とか、プログラムの学習  
 などで、その処方はどうであったか、という測定が必要になってくる。  
 Landa(1969)によると、人が、処方された操作をすべてこなされたとき  
 正しく問題を解決すれば、その問題解決のメカニズムは正しく理解され  
 たといえる確率は高い(Talyzina(1974)の指摘のように、実さ  
 いは誤ったメカニズムから正解が得られることもある—まぐれ当り)し、  
 正しく問題が解決できなかった場合は、問題解決メカニズムは十分理解がで  
 きていないとみとまり、というが、これは自然な仕方である。

特に「教授法の効果」の測定について、FlechaigとHeipcke(1969)  
 は、生徒がわの事情から起ると思われ結果を、<sup>2</sup>「まぐれ」除外して、  
 純粋に教授法だけの効果を測定するための試みとして、didacometry  
 の数学モデルを作ったことが注目される。

日本でも、評価法の一つの方法として授業の、この種の測定法がいろいろ考  
 えられている。例えば、ある教授活動に対し、結果による評価、過程の評  
 価、背景的要因、つまり、潜在カリキュラムのある種のものの評価  
 に着目し、授業の前後で、前提テスト、事前テスト、事後テスト、定着度テ  
 ストを実施し、上昇率、不変正答率、不変誤答率、伸び率等を調べる

方法などが考えられている(佐藤, 1974; 高田, 1974)。だが, ここでは  
 ゼンもすれば, マクロなフィードバックに終り, インポート, アウトポート  
 の情報の入手, つまり「暗箱」原理にもとづく, 不完全なものになつて  
 いる。しかし, 「大体的傾向を知る」だけなら, ここでも, 教授法の改善  
 を望むなら, あまり効果はないであろう。

次に, 「白箱」(white box) または「透明箱」(transparent box)  
 原理でデータをとり試みを述べる。一つは数値化できない, または, 12  
 因子についてのデータのとり方として, 三塚正臣氏(1974)はレポート  
 法を考えている。レポートで「順序, 質, 内容等がわかる」とのことである。  
 また文章化するとは, かなり思考過程が変形される可能性もあるので, 主  
 り第2信号系型になり, 注意をとり取りあつかうべきであろう。また,  
 数学問題解決の事例研究によれば, <sup>ソコロフ</sup>СОКОЛОВ (1961) 図  
 の利用がある。СОКОЛОВ によれば, (1) 課題解決のその思考過程, 動  
 態を全体的に, または, 個々の段階を直観的に, かつ, 視覚的にとらえら  
 れる, (2) 課題解決の個人的および類型的特点を決定することができる,  
 (3) 課題解決における思考過程に及ぼす, さまざまな諸要因の検討がで  
 き, とし, その検討要因は(1) 課題そのものの論理的構造, (2) 課題の密  
 視的な困難度, (3) 課題解決の先行諸経験(知識習得の水準),  
 (4) 教授の方法, であるとしている。駒林氏はさらに, (5) 学習のつまづ  
 きの診断と治療がわかる, としている。レポート法でも, СОКОЛОВ 図法  
 でも, これを用いて事例を集め, 類型化をしなければならぬ。この類  
 型化の一方法として筆者はKJ法を用いたことを考えている。

さらに, また, KJ法は個人またはその個人の属する集団の無意識的な, ま  
 たは, 意識的な価値体系にもとづく評価を図式化(空間化)または文章化  
 する働きをもつるので, その特定の地域の子どもの連関カリキュラム  
 だけでなく, 潜在カリキュラムのある種のものを, 数量化のできない, または,  
 数量化の困難な要因の影響を現実化し理解できる形にすると考えら  
 れる。KJ法は, また, 川喜田氏のいふように, アメリカMITのPigou, P  
 and Fによる「Incident process」のやり方で, 一人のトラブルを教  
 師が聞き, その結果のデータを累積KJ法でまとめることにより, という。こ



ある特定の子どものトラブル解決法の事例研究の方法が得られる。またKJ法は、研究授業などのあとの、いわゆる「研究会」(反省会)の結果の集約に使われる(このことについては別に論ずる)。なお、東氏(1972)は、「教授-学習活動の相関分析」の手順で「カード法」と提唱している。しかし、これは実施上かなり煩雑で、その基礎部分が必ずしも明確でないのに対し、上に述べた「研究会」でのKJ法の適用では、適用の仕方も違っており、その上「創造工学」として理論づけられては手法であり、実施もそれ程煩雑ではない。

### 3.4. 「行動科学」によるアプローチ

教育工学が教育の科学化という側面をもっているから、教育工学は教育の行動科学的なアプローチを1つはとっていることには論じた(佐伯, 1974a)。逆に行動科学の方からその手法を借りて、教授学あるいは数学教育の研究のアプローチの方法を考えてみると、行動科学の特色の一つは、数学的モデルの使用である。これらは(1)シミュレーション(2)ゲーム理論(3)情報理論(4)サイバネティクス(5)コンピューター、であるという(田中, 1969)。この中でゲーム理論は、葛藤状態における人間の決定行為を研究する一方法の数学的モデルなので一応取りで考える。教育との関係については次のようなものがあつた。(1)シミュレーションについては、東氏(1972)が教育実験のストラテジーとしてその有効性を主張した。(3)の情報理論は教育では随所に利用をたしては、(4)のサイバネティクスは、Talyzina(1974)によると「pedagogy は618ヤサイバネティクスなにはなつてはたつた」ものになつている。

行動科学的アプローチを考えたとき、まず、沼野氏(1971)の「教育や教授は一つの人工システムである」という命題を引き出さなければならぬ。ここでいう「人工システム」は、達成すべき目標があつて、その構成要素があつて、特徴があつて、数学教育もやはりこの特徴をもつてゐる。意図的教育観に立つ「教育の非システム観」に対して、成功的教育観に立つ「教育のシステム観」が成立し、北川氏(1971)の唱えるシステ

人の論理が適用でき、さらにシステムの西洋的な「制御」理論、東洋的な「営  
 存」を考慮することになる。

これらの行動科学の理論を適用するにあたって、教育という特殊性を考慮  
 しなければならぬことが少なからずある。例えば「サイバネティクスでも、その原  
 理とされている「制御の有効性はフィードバックの歩数に依って増大する」  
 は、実在の教育現場では、いわゆる follow-up feed back は必ずしも  
 教育の改善を導かない場合があり、むしろ、教育過程を悪化させることか  
 あるという (Talyzina, 1974)。従って、実在の教育では、行動科学で  
 も、「道具」であり、その使用できる限界を知った上で利用すべきである。  
 教育学を他の科学の外国語で「こさな」たとしてもこの注意は必要である。

### 3.5. サイバネティクスのアプローチ

ここでは、行動科学の一つである「サイバネティクス」という数学的モデルに  
 「的」を以てして考えることにする。

Talyzina (1974) によると、サイバネティクスは「制御の一般理論」  
 であるという。ここでは、制御 (управление) とは「目標 (goal)、対  
 象 (または過程) の状態等の諸特徴についての可能な諸作用 (influ-  
 ence) の集合から選択される作用を、そして、与えられた対象の改善的機能  
 または発達、すなわち、目標に到達することを導く作用を、対象や、または  
 過程で用いることである」といわれている。3.4 のおかげで、サイバネ  
 ティクスの適用の限界について少し述べたが、これを補うものは教育心理学  
 ないしは 数学教育なら 数学教育心理学であるといわれている。教育心理学的  
 に子ども (被制御系) の特徴を明確にしておき、さらに子どもに働きかける制  
 御を考慮していくことになる。

子ども (人間) の知的行為; または、知的活動の形成のモデルとして、  
 Gal'perin (1969) の「知的行為の多段階形成理論」があげられる。  
 これによると、4つの基本的なパラメーターがあり、それは

- (1) 達成される行為の水準 (形式),
- (2) 行為の一般化の度合,

(3) 行為の完成される操作の完全性(圧縮性),

(4) 行為の習得の度合

である。これについては、さるる5段階がある。これらの組み合わせにより地の知的行為の特質がでるといふのである。例えは、「感受性」は行為の一般化と完全性の結果である、というようにできる。

以上を準備として、教授-学習を川喜田氏の意味での「制御する」研究のためのデザイン、つまり、教授-学習とこのものの秩序づけ、そして、体系づけのための研究のためのデザインを考へる入手に入っていく。

問題を具体的にすするためには以後必要となる拙論(佐伯,伊藤,1974)で考へた,高等学校一年生を対象とした因数分解の問題,ととり上げる。拙論では上述の Galperin 理論にもとづいて作られた格子点モデルに従って,因数分解の教授過程を27個に翻案している。この最適<sup>プログラム</sup>な教授プログラムの作製と例として考へてみたい。

まず,(1)「制御目標を指標化する」。よく混同されることだが,制御目標と教育目標は区別して考へることにする。「制御目標」というのは,限られた知識の範囲内で問題が本来的に公式とされるわけは「なかり。例えは,生理学的に機能上欠陥のない,正常な子と異様に, $ax^2+bx+c$ を有理数の範囲内での因数分解を学習させる,などである。

これが「<sup>1</sup>」をきたら(後のフィードバックで変更もあり得る)次に(2)「学習者についての種類のデータ集める」,つまり,被制御系の初期条件を正確に記述することである。このとき,駒林氏(1974,b)のいう,子ども<sup>2</sup>の状態の変化に対して教師が動的に適合していくための前提:

(i) 子ども<sup>2</sup>の可变的状態への適合,

(ii) 子ども<sup>2</sup>の相対的に固定的な状態への適合

が参考になる。「可变的状態」とは,比較的短かいインターバルとあって異なる値をとるところの一定の諸パラメーターの複合のこと,であり,「固定的状態」とは「個人的特質」より正確に「個人-類型的特質」のことである。これから,初期条件記述のときは,(a)子ども<sup>2</sup>の可变的状態(b)相対的に固定的な状態,つまり,個人-類型的特質の情報を入力されるは「なり,

ということになる。ここで,(1)へのフィードバックもあり得る。

次は、前にあげた27個のレダコースを通つて教員カリの決定を公めた(3)「教授計画を決定す」ことかくる。この教授計画のelaborationにあたり、次の諸点に注意がする:

- (i) 教授過程での基礎的または過渡的状態の情報を得るためのプログラムであること、
- (ii) 系統的なフィードバックが保証されたプログラムであること、
- (iii) フィードバックチャンネルと、その正確な作動、および、情報処理方法を明確にしてあること。

この(3)がとも、(1)、(2)へのフィードバックがある。

次で(4)狭義の教授活動 = 授業、(5)教育活動の評価、と進むことになる。(4)、(5)については拙論(佐伯、伊藤、1974)では、事列研究的な方法とCAIによる方法と二つあげておいた。CAIはハードおよびソフトの同業がなると不可能であるが、事列研究はいつでも可能であり、その具体的な方法については3.3で述べられている。レポート法や、特にСОКОЛОВ 図法が有効である。

以上は「白箱」または「透明箱」原理によるcyclical制御に他ならない。さらにこれは鈴木芳一氏(1972)の「実践的実験」と同じような文脈に属する研究方法と考えられる。

このようにして集めた情報をもとにして、どのような特徴をもつたものは、どのような教授過程が最適になるかを目標におき、試行錯誤的にくり返し、標準的な、子どもの特徴から分けた題別と教授過程の題別の間の相関が得られることになる。これがある程度固まつたところ普通の教室へ研究の場を移して試行できることになる。

思考過程の類型化は、前に述べた方法でよく、特徴の類型化は各種のテストによるだろう。ちなみに筆者の研究室で使用しているテストは知能検査、DTIテスト、各種教科標準テスト、性格テスト(以上は市販)自作テストとしては、態度検査、一般創造性テスト、数学的創造性テストである。このほかデータとしては、学校でやるアンケートテスト、さらにアンケート、レポート等を使用している。

このようにして、因数分解から因数分解という教授過程で、普通の教室

で普通の教師が比較的簡単に、この類型の子どもはこの方法が最適である、  
 こゝで知る方法の整理と体系化をめぐっている。これを「因数分解」以外の学  
 習教材にも及ぼしていくことになる。必要があれば、生徒の特質の類型  
 化にはコンピュータ使用による多変量解の手法(例えば、クラスター分析、  
 主成分分析等)も用意されている。

さて、Menchinskaiia (1974)によると、学習過程の制御の形  
 には二種類あるという。一つは、Leontev, Gal'perin, Talyzina  
 さらに Landa が進めている「新しい知識(あるいは概念)の同化作用  
 の調整」に関するもの、もう一つは、彼女の「問題法」(problem  
 method)に関する「問題型仕事」(problem-type task)  
 の形成に関するもの、とある。筆者の述べてきた生徒の特質に関する  
 制御は、この意味の前者に、学習の学習対象ごとの過程の類型化  
 の仕事は、Menchinskaiia の後者の制御に関するものと考えら  
 れる。その上、この後者の制御の問題は教科教育法にかかわる問題  
 であると考えよう。

ところで「制御」をうまくつめていくと、Landa のように、普通教室での  
 制御系、被制御系間の通信チャンネルとそれとむかひ情報処理は、  
 人間である教師には不可能であるような複雑さや早さが要求される。  
 このギャップを埋めるためには、現在工場などの生産過程でやっている  
 ようなコンピュータによる自動制御装置が開発されなければ不  
 可能であるという(駒林, 1974b)。だが、これはコンピュータのソ  
 フトとハードが開発されなければならぬので、筆者は、これに比べ  
 ればかなりマクロ的であるが前に述べた方法を提案してみたいであ  
 る。

なお、Menchinskaiia (1974) は「知識と操作の同化作用の制  
 御」のほかにも、もう一つ「子どもの発達への制御」があり Kostin の言  
 葉を引用して説明している。だが、発達の制御の方が前者より複雑で  
 あるという。これについては別に論ずる。

次にシステムと実存の関係について述べる。一般に「教育学と実存」と  
 と Bollnow (境沢, 1973) や Bramed (1965) が思いつき

れど、ここで、小児のはシステムの関係である。教育は人工システムであり、教師も子とも、これ自体システムである。システムを制御するために、子には限界がある。北川氏(1971)は「実存の概念と経営の概念の接点」として「営存」(эйзэн)という概念を導入し、システムの評価に使用していることが注目される。制御ということとはどうなのかという西洋的な考えであり、実存は東洋的な考えであると思われる。前記の「子とも」相対的に固定的な状態への適応」というものの、個人-類型的特徴は、子ともというシステムの持つ営存的特徴と考えた方がより明確になりそうである。同じようにして、教師、教室、教育にても、これらがシステムであるので、営存的特徴で考えられる部分を持つと思われる。これら制御のために論じなくてはならない「存続し、かつ、活動を営みつづける」営存について別に論ずることにする。

### 3.6. 制御のインフォーマルな問題

3.5にあり、いわば、制御のフォーマルなことはついで述べた。だが、ハフニングの利用のこともあり、ハフニングに関係すると思われる制御のインフォーマルなことはついで一つ一つふられてみる。

中山氏(1968)によると、人間の記憶系を、脳生理学から得たモデル=信号系モデル、で考えて、三つに分けると、(1)非-信号系線的記憶、(2)非-信号系線的記憶、(3)非-信号系点的記憶がこれであり、非-信号系は大体非論理的、空間的、快樂的であり、非-信号系は論理的、時間的、意志的であり、特に非-信号系点的記憶は無意識であり、特別な意味をもつ。

情報化時代といわれる現代は、非-信号系、しかも点的な情報が特に増大し、子とも周辺に日夜記憶されているため、子ともの思考法が変わってきていることは前に論じた(佐伯, 1975)。そのため子ともは、ノンコントロール型になり易いし、教師もノンコントロール型になり易いといわれている。ノンコントロール型とは、つまり、状態に近い反射行動型人間という意味である。このため、子ともは思考の、いわゆる「フタリ現象」

を起こし易い状態に陥っており、ハフニングの発生につながっていく。

また、現代の社会は、いわゆる「要求社会」であり、人間の要求がしばしば「くじ」かつあり葛藤している。その結果、いわゆる「エスケープゴースト」や「天候による音楽」が流行している。子どもの世界でも同じであって、「くじ」したことで、ショートしハフニングをひき起す状態になっている。

このような「予防防止」あるいは「ハフニング防止」のためには、授業研究のとき、同時に、「情報の世界」を知る必要に迫られる。これかゝることは不必要なハフニングの防止にもつながると思われる。筆者は前にハフニングを利用する研究、というところを述べたが、その研究のためにも、ハフニング発生のメカニズムの研究も問題になってくるのである。

次にスキンシップの問題がある。今幼児では、スキンシップが脳の発達に有効であり、さらに10代の終りにスキンシップが有効であるという報告もある(中山, 1968)。大人でも上役は「おしゃべり」といわれ、手をにぎられたときの喜びを考へると、このことは理解できるだろう。筆者も、スキンシップの有効性をうらづける大學生による事例のいくつかを述べている。実はこれは、何も意識的に向かいあっても、例えば、机を回して視線をさしげなく袖がさめるとか、あるいは、目つき一つでも、いろいろ子どもに影響を及ぼすといわれている。このような、いわゆる「スキンシップ効果」が考えられるようになったのも、第一信号系の子どもの増加しつつあるからであろう。

#### 4. 結論

数学教育のいわゆる「科学的」なる研究デザインを求めようとする研究は古くからあった。だが、その大部分は心理学の実験にその範を求めたので、「教育の実験」は、いわゆる、いろいろの妥当性の視点から、「完全な実験」は極めて困難になる。日常的な状態のままでのランダムなセッションの困難性、対照群を設ける上での困難性、ATI, TTIの問題、これらとは別のカテゴリから、倫理的社会的制約の問題、等があるからである。このようなことから、東氏の指道もよう

に「実験の成果はほとんど現実の教育に影響を及ぼしていない」ことにならざるを得ない。

筆者はこのような困難性を除く、ということも考えずに、また同時に、現場に影響する、しかもこのように、「現場の中」で別な立場から、つまり、「再構造の実験」としてこのデザインを考えることにした。ここで用いたものは、最近日本で発達した創造工学でいわれている「W型問題解決モデル」(川島田, 1970)にその範を求め、ソビエト教育心理学で研究されているサイバネティクスを取り入れ、数学教育の研究のさそやが一つのデザインを提案する。

その手順は、簡単に述べると

- (1) 問題を意識する。
- (2) 問題に関係すると思われるデータ(事例研究, CAIも含まれる)を集める。
- (3) これらのデータから命題(=仮説)を作る(発想法)。
- (4) 現場への適用のためのelaborationをする。
- (5) 現場で試行的に用いてみる(検証)。
- (6) 評価の結果、成功的な場合は、新しい知識とし、また、不成功な場合は、新しい問題として(1)にもどる。

である。このサイクル(ループ)を試行錯誤的にくり返すことにより、技術工学としての数学教育(特に教授-学習法, 教育過程)を作っていくことになる。



## 参 考 文 献

- 安斎忠彦, 探究学習における評価法, 元木健編, 探究学習  
プログラミング, 1974, 95-120.
- 東 洋, 教育における実験の問題, 教育学研究, 1972,  
39, 87-91.
- 東 洋, 教育における実験と研究, 教育展望, 1973, 連載.
- 細谷 純, 教育科学の方法とこの実験, 教育学研究, 1972, 39,  
120-128.
- 川喜田二郎, 統整的想法, 1970.
- 菊池成司, 教育における実験, 元木健編, 探究学習のプログラミ  
ング, 1974, 192-210.
- 北川敏男編, 創造工学, 1971.
- 駒林邦男, 教授過程へのサイバネティックなアプローチとしての  
教育工学, 岩手大学教育学部研究年報, 1973, 33, Pt.4,  
1-25.
- 駒林邦男, ソビエト発達心理学における児童の心理学的可能性の研  
究, *ibid.*, 1974, 34, 233-273 (a).
- 駒林邦男, 「制御」としての教授過程 — ソビエトの教育サイバネ  
ティクス, 教育展望, 1974, 20, No.15, 74-79 (b).
- 三塚正臣, 数学に対する態度の様相について, 東北数学教育学会,  
第6回年会資料, 1974.
- 中山正和, カンの構造, 1968.
- 沼野一男, 教育工学, 1971.
- 思田 彰, 創造心理学, 1974.
- 思田彰, 野村健二, 創造性の開発, 1964.
- 佐伯卓世, 数学教材の格子点モデルについて, 数学教育学会  
研究紀要, 1973, 14, 3・4号, 7-14.
- 佐伯卓世, 科学としての数学教育の研究について, *ibid.*, 1974,  
15, No.1・2号, 9-15 (a).

- 佐伯卓也, 脱工業化社会と教師の創造性, *ibid.*, 1975, 近刊.
- 佐伯卓也, 伊藤潤一, Gal'perin理論による数学「学習対象」翻案,  
岩手大学教育学部研究年報, 1974, 34, 383-392.
- 境沢和男, ホルナーの理論, 金子孫市監修, 現代教育理論のエッセンス,  
1973, 185-201.
- 坂元 昂, 教育工学の原理と方法, 1972.
- 鈴木秀一, 教育学研究における実験, 教育学研究, 1972, 39,  
99-109
- 高田 彰, 探究学習のテストによる評価の方法と実際, 元不健編  
探究学習プログラムリング, 1974, 120-143.
- 田中靖政, 行動科学, 1969.
- Brameld, T. B. H. Education as power, 1965.
- Campbell, D. T. and Stanley, J. C. Experimental and  
quasi-experimental design, In Gage, N. L.  
(ed.), Handbook of Research on Teaching,  
1963, 171-246.
- Flechsigg, K. H. and Heipcke, K. Didacometric model  
building and the relevance to the inter-  
pretation of instructional outcomes, In  
Dunn, W. R. and Holroyd, C. (eds.), Aspects  
of Educational Technology, vol. 2, 1969,  
157-169.
- Gal'perin, P. Y. Stages in the development of mental  
acts, In Cole, M. and Maltzman, I. (eds.),  
A Handbook of Contemporary Soviet Psycho-  
logy, 1969, 249-273.
- Landa, L. N. The construction of algorithmic and  
heuristic models of the thinking activity  
and some problems in programmed learning,  
In Dunn, W. R. and Holroyd, C. (eds.),  
Aspects of Educational Technology, vol. 2,  
1969, 133-141.

- Menchinskaia, N. A. Psychological problems of the activeness of the individual in learning, Soviet Education, 1974, 16 (No. 5), 78-85.
- Saeki, T. On tolerance fibre bundles and the translation of mathematics subject matters, Jour. of Tohoku Society of Mathematics Education, 1974, 5, 15-21 (b).
- Talyzina, N. F. Cybernetics and pedagogy, Soviet Education, 1974, 16 (No. 5), 69-77.
- Соколов, А. Н. Графическое сопоставление логического хода решения задач, Вопросы Психологии, 1961, 6.

The design for researches in  
mathematics education

Takuya Saeki

(Abstracted)

There were many investigations for the so-called "scientific" design of research in mathematics education. It is, however, extremely difficult to realize that the "experiment in pedagogy" is the "experiment without defect" from so-called validity, because most of such experiments have been designed

by a method similar to the experiment in psychology. Difficulty of randomization retaining usual conditions, difficulty of establishing control group, problems of ATI (aptitude-treatment interaction) and TTI (trait-treatment interaction), and, it may be a special feature in Japan, problems of ethical and social restriction, there exist these problems to solve for "complete experiment".

Having interpreted that it is impossible to exclude all the difficulties above mentioned in the so-called experiment in pedagogy, we design to approach to the research of pedagogy as "an experiment of soft structure" by a different point of view.

To investigate, we use a "model of W-type problem-solving" (Kawakida, 1970) which is asserted in "creative engineering", and use cybernetics in pedagogy which is studied in Soviet educational psychology, and we suggest a design to investigate mathematics education on trial.

The procedure is showed as follows:

- (1) to be conscious of problem,
- (2) to collect data relating the given problem,
- (3) to constitute a proposition (= hypothesis) from collected data (a stage of abduction),
- (4) to elaborate the application for educational practice,
- (5) to try in the class-room,
- (6) to evaluate the result, if the trial is successful the result is added to a storehouse of knowledge and if the trial is unsuccessful we must return to the stage

(1) with the result as a new problem.

Repeating this procedure cycle as trial and error method, we shall approach to construct better strategy and process in education or "mathematics pedagogy".