

## 二 科学・技術の発展と授業の改造

### 1 教授の合理化についての提案

科学・技術の急速な発展によって、人類がこれまでに集積した知識の量はますます膨大になってきている。この膨大な量の知識を習得するには、人間の能力に限界があり、また教育の期間の絶対量が不足である。このために、各教科の構造を明らかにしてその内容を再編し、教授過程を改善して、限られた時間内で、生徒が大量の知識・能力を習得することを保証することが必要になってきている。

一九六二年九月にモスクワで世界科学者連盟等の主催によって開かれた「高等科学・技術教育に関するシンポジウム」のA分科会において、ソ連邦科学アカデミヤ会員N・N・セミノフは、学習の合理化の問題に関して、つぎのように述べている。「二〇世紀の科学はたいへん急速に進歩しているので、各教科目の知識の全量も増加して

おり、それは一〇年毎に二倍になるといってもよいだろう。同時に科学諸分野の相互浸透も急速にすすみ、物理学者は化学を、化学者は物理学、数学を、生物学者は物理学と化学を、さらに今日では数学も、利用しなければいけないようになってきている。科学・技術者も、新しい生産工程を開発するために、単に技術や機械上の学科目を修得するだけでなく、現代の基礎科学および数理科学の完全な総合的知識をもっていなければならぬ。こうして現代の有能な科学者および技術者を訓練するのに必要な知識は、たとえば五〇年前とちがって、莫大な量になっており、二、三〇年すればほとんど無限になるだろう。いうまでもなく、今日でさえ……そのような総合的知識を与えることは不可能である。もしそれが可能であるとしても、その結果は、青年の頭脳を、受動的知識をつめこんだ倉庫のようなものに変形してしまうだけで、あらゆる創造的活動を完全に圧殺してしまうだろう」(『現代の科学・技術教育』——モスクワ・シンポジウムの報告——明治図書刊)。

このモスクワ・シンポジウムは、科学・技術の今後の発展に対応して、高等の科学・技術教育の改革を主要な目的の一つとして、世界の科学者たちが集り、報告し、討論したものであるが、ここに提起された問題は、高等教育だけに限らないし、また科学・技術教育だけに限らない。いかなる専門を選ぶにしても「学生が巣立ってゆく世界は……その学生が教育を受けた世の中とは本質的に異なっているであろうということは既に認められているところであり、年とともに明らかにようになってきている。それはただ差異があるというだけでなく、予言できない程非常に大きく変っている世界なのであって、このことは教育それ自体を計画するに当って主要な新要素の一つとなる」(同上シンポジウムの総会におけるJ・D・パナールの報告)。

新たな科学・技術の分野が開発され、習得すべき最低必要な知識の膨大化にともなっておこってくる問題の一つは、専門分化の問題と、それをどの段階で導入すべきかという問題であろう。パナールは、かつて『戦争のない世界』(岩波書店刊)のなかで、つぎのように述べている。「ある程度の専門分化はなければならないが、子どもたちが文学的教養や自分の国と世界の政治経済制度を十分つかむことをさまたげるほど科学技術の方向へ専門分化することは、新しい時代においてはとくに危険なように思われる。私自身は、できればもっと多くの一般教育を大学の

水準までずつとつづけるほうがいいと思う。しかし、これは実行できそうもない理想案のように思われる。なぜなら……今では専門科目のなかにさえ習得せねばならないことがひじょうにたくさんあるからである。したがって、人文科目と理科科目を合わせて二倍の勉強を要求することは、人間の頭脳が処理できないほど多くのことを要求することにになる。」

このような事態から脱出するには、どうすればよいか。その唯一の方法は、基礎教育課程を最少限に短縮して、自己を発展させる準備を与えることであり、「現代科学に必要な最少限の知識を明瞭に体系づけるといふ大きな任務を」教授スタッフと教育者がもつことが必要であり、この課程を終了した上で、学生は研究に参加して創造的活動を行ない、現代的な科学研究の一般的方法を会得させることを、セミノフは提案している。今日真に必要なことは、「さなぎが蝶になるような変態過程、すなわち教育の内容をすつかりかき混ぜて、それを新しく編成して、教えただけでなく、何を教えるかを改めて考えだすことである」(ハナール「戦争のない世界」)。

科学・技術の発展にともなう教授の合理化の問題は、教えるべき知識の体系化や再編成だけでなく、教授過程の合理化、新たな教授理論の研究を必要としている。

## 2 教授過程へのサイバネティックスの適用

最近の科学の発達には、数学・物理学・化学・工学の諸分野だけでなく、心理学・大脳生理学等、人間そのものの研究の分野においても、めざましい進歩をとげている。そしてこれら個々の科学が相互に結合し、相互浸透が進み、境界領域の新しい科学が発展している。この新しい総合的な、境界領域に立つ科学の一つが、動物と機械における制御と通信の理論であるサイバネティックスである。教育学だけが、これと無関係であり得ない。また最近、科学研究のあらゆる分野に数学的方法が広範に応用されてきている。自然現象だけでなく、社会現象、心理現象について、その合法性を客観的・数量的に把握することが必要になってきている。教育学においても、この現代科学の

思想と方法をとり入れることが必要になってきている。

一九六二年六月に開かれたロシア共和国教育科学アカデミヤの総会で、アカデミヤ総裁カイロフが「ソビエト共産党の新綱領と教育科学の課題」について報告し、その中で、教育学と隣接諸科学との相互関係を明らかにすること、隣接諸科学の分野における具体的な研究を教育学に利用することが、教育学自体にとって重要な意味をもっていることを指摘し、教育学の研究に、数学、数学的論理学、情報理論およびサイバネティックスの方法をつかうことは、教育学研究の理論的水準と実践的意義をたかめる重要な条件であると述べている(「ソビエト教育科学」第八号、明治図書刊)。数学、数学的論理学(記号論理学)およびサイバネティックスは、教授方法を対比したり、比較分析したりするのに本質的なすけとなり、ロシア共和国教育科学アカデミヤは、最良の教授様式を算定する確実な方法の分野で、系統的・目的志向的な研究をはじめ、教材の論理的分析の方法論と教授過程における生徒の心理活動の分析の方法論を研究し、学習活動の分析の方法をきめ、ティーチング・マシンを作成して、これを用いて教授法を決定することが予定されている。

最近の技術の発達によって、人間の労働が機械によって代えられ、さらに電子計算機の出現によって、計算のみならず、記憶し、推理し、論理的に判断する機械がつくられていく。電子計算機は、人間の数万倍もの能力と速さをもち、現在科学的研究に広く利用されている。電子工学その他の科学的手段は、大脳の構造と機能の研究を促進し、大脳生理学の発達により、人間の脳は、計算機と類似した構造と機能をもっていることが明らかにされ、電子計算機と人間の脳とを比較して、脳と同じ機能をもつ人工頭脳を作る研究が、サイバネティックスの重要な研究問題の一つになっている。学習、人格の形成等、人間の心理的プロセスは、原則的には、物理学的、化学的、生理学的プロセスと同様に制御できるものであるという前提のもとに、この制御の理論と方法の研究は、新たな観点から教授の合法性を解明するために、今後の教育学の重要な課題の一つになってきている。

ソビエトにおいては、実生活のあらゆる分野で、労働の生産性の向上と時間節約の闘争が行なわれ、教育の分野においても、教授の質の向上と、教授期間の短縮が、国の科学的技術的進歩のために要求されている。そのために、

あらゆる段階の学校、とくに、中等学校以上の技術教育、生産教授の合理化の問題が提起されている。技術の発達にともなう職業のプロフィールを明らかにし、職業的能力の習得のプロセスの合法性を解明し、職業の教授にさいして、その内容の構造と順次性を明らかにするために、サイバネティックスを教授過程に適用することが必要になってきている。また教材の順次性の解明とともに、さまざまな問題解決のさいの操作のシステムの解明、その定式化、合理的思考方法の教授の問題が、初等教育とくに、言語、文法、算数の教育の分野から提起されている。サイバネティックスの教授過程への応用は、各種のティーチング・マシンの作成と導入によって実現され、具体化される。一九六二年一月、キエフ市で、プログラム教授と教授過程へのティーチング・マシンの利用にかんする学術・方法会議が開催され、ソビエト各都市から、教育機関、研究機関、行政機関から三〇〇人以上の代表が参加した。この会議は、科学の各分野の専門学者の注目をひき、プログラム教授の理論的研究と、ティーチング・マシンの作成と利用の経験の一般化に関心が集中され、科学・技術的課題と教育学の課題の解決の将来の方向を定める最初の試みの一つであった。

### 3 脳の働きと生徒の制御

教授には、制御するもの＝教師と、制御されるもの＝生徒とがあり、この両者の間に、二つの方向に情報の伝達と受容がおこなわれる。すなわち、教師から生徒に、事実や法則の説明、行動の規則の伝達がおこなわれ、生徒から教師に、理解や習得の信号、あるいは質疑についての信号が送られ、さらに補足的な説明や強化のための情報が送られる。この、制御するものと、制御されるものとの存在、ならびに情報・信号の伝達受容が、制御系の基本的な特徴であり、したがって教授は一種の制御とみなすことができる。ここに教授の過程にサイバネティックスを適用できる可能性がある。

サイバネティックスの扱う対象は、情報と制御である。自動機械は、人間の感覚器官から脳へ、脳から筋肉へとという神経系のはたらきと同様なはたらきをする。このはたらきの基本をなすものが情報と制御である。情報と制御に関連する技術が、現在工学の諸分野に広く利用されているばかりでなく、社会的現象、心理的現象、教育の作用などに対しても適用され得る。

教授は、断続的な制御のプロセスである。教師は生徒に、周期的に知識や行動の規則についての情報を送り、制御的な影響を与える。生徒はそれを、聴覚または視覚を通して脳に送り、あたかも電気回路のように、神経細胞の環状結合によって脳に興奮の回路ができ、記憶が脳に刻印され、痕跡としてのこされる。そして生徒から教師に受容、了解の信号が送られ、あるいは、質疑として、教師にフィード・バックされる。脳に記憶の痕跡が残されることによって、脳に脳の働く規則がつけられ、それが人間の行動を統制する。脳生理学者の見解によれば（たとえば、ヤング「人間はどこまで機械か」白揚社刊）、この脳の働く規則は、生まれつきのものではなく、主として学習によって作りあげられたもので、人間の特質は、「学習する方法を学習する能力」を習得し、「脳が一般規則を獲得し、それを応用する能力」を習得することだという。「すでにかかる脳の働きに関する研究ははじまっている。この研究を第一歩として、さらにそれを発展させ、あるいは動物の研究と比較することなどによって、いわゆる教育の定石を破る新しい方法を発見して、脳の規則をより効果的に教えこむことが不可能だという根拠は全くないのである。現在この問題をめぐって当面している困難な点は、脳の働く規則がどんな形式のものかわからないことにある」（ヤング前掲書）。ここにも、生理学、サイバネティックス、教育学に残された課題がある。

### 4 教授の最適化とプログラミン

教授方法を改善するために、サイバネティックスの研究によって提起された方法・手段の第一は、二つの作用しあう対象、教師と生徒、および双方の間に伝達受容がおこなわれる情報を特徴づける、実験的に検証された数量的なパラメーターを導入することが必要である。

教授の主要な任務の一つは、情報の依違である。情報は一般に、あることを知らせる（決定する）ことであり、相互に区別できる有限個のうちの一つである。情報は一般に、あれかこれか、然りか否かの二者択一に分解できる。したがって情報は、何回の質問で決定されるかによって、期待度や明確さを量的に表現することができる。しかし、一方、情報には、雑音、通信のみだれが入り、誤解を生じる。これをさけるために、反対に冗長度、冗文率を加えることが必要になる。このようにして情報を効果的に正確に送るために、その量を数学的に計算することが、情報の理論の主要な問題である。

教授の主要な任務の第二は、制御である。制御は、ある情報にもとづいて、目的になつた行動をさせることであり、情報の生む成果である。この目的になつた行動をさせるために、計画を立てること、プログラミングが必要になる。また自動制御には、フィード・バックの方式が用いられる。フィード・バックは、ある目的をもつた行動をするさいに、計画された状態と、実際に到達された状態との差を、感覚器を通して知り、それを修正しながら、それ以後の動作の仕方を決定していく方法である。

教授の過程で生徒の行動を制御し、ある目的をもつた行動に向かつて修正しながら進ませるためには、教授科目（何を教えるべきか）のプログラム、教材が習得されるプロセス（教授の進行中、生徒に何を形成すべきか）のプログラム（何を教えるべきか）のプログラム、教材が習得されるプロセス（教授の進行中、生徒に何を形成すべきか）のプログラム、そしてまた教授活動（いかに形成すべきか）のプログラムの編成が必要になる。すなわちプログラミングは、第一に、教授内容の指示、教材配列の順次性の指示である。第二には、教授活動の結果何を受けとるかの指示である。たとえば、一定の課題を解決し、一定の活動を遂行するために、生徒がマスターすべき操作のシステムの指示であり、生徒の行動のプログラムであり、生徒に形成すべきプロセスのプログラムである。第三には、予定された目的を達成するために教師が行なわなければならない行動の指示であり、教授方法そのものの課題である。

教授内容の指示、教材配列の順次性の指示は、各教授プログラムの中に具体化されている。このことに関連して重要な問題が提起されているのは、ブルーナー著『教育の過程』（岩波書店刊）であろう。これは、一九五九年全米科学アカデミーが、自然科学の各分野の専門学者、心理学者、教育学者を召集して共同討論をおこなったウッツ・

ホール会議の報告書ともいうべきもので、「基本的なものを理解するならば教科を理解しやすくなる」ということや、「学習した観念が基本的、または基礎的であればあるほど、新しい問題に対する適用性の範囲がひろくなってゆくであろうことはほぼ確実である」という主張から、過去数年の経験にもとづいて「教材の根底にある構造に忠実に教育課程を編成する」ことが提案され、「教材を面白くすることは、それを堅実に提示することと決して矛盾しない」という点で、教育課程編成のしごとに従事してきたほとんどすべてのひとの意見が一致したことが述べられている。この教科の構造は、操作のシステムのプログラミングの基本となるものであるし、また新たな情報を受け入れた際に、それと比較し、検証する法則ともなるものである。

プログラミングの第二は、操作のシステムの指示である。これまで教授プログラムには教授の目的がきわめて一般的で、ばく然とした形で定式化され、教授活動を方向づけ、調整するという機能を遂行することができなかった。たとえば生徒に身につけさせるべき「判断力」とか「関係把握の能力」とかが、それが何であつて、いかなる要素から成り立つか、何が生徒の頭の中で起こっているかが、普通明らかにされていなかった。これらのプロセスは、いかなる構成分子から成り立ち、何を生徒に教えなければならぬか、これらの構成分子がいかに相互に結合されるか。この問題は、サイバネティックスで利用されている「モデル化」の方法で解決することができる。あるシステムのなかで、何が要素的な操作であるかという問題は、結局実験的に解決されなければならない。

問題を解決するためにつくらなければならないさまざまなプロセスのモデルの中で、知的活動のアルゴリズムのモデルが特に重要である。アルゴリズムとは、明確な法則にしたがつて行なわれる操作のシステムである。数学の問題の証明や解答、文法の問題などの解決には、一定のアルゴリズムがある。現在、実際の教授における重大な欠陥の一つは、生徒に一般にアルゴリズムを教えないか、あるいは非合理的なアルゴリズムを教えていることである。結局、はやく効果的に習得すべき知識・能力を、生徒は、時間をかけ、苦しみながら、拙い方法で習得している。アルゴリズムの構成のばあいには、そのアルゴリズムを用いて解決する問題の論理的構造の分析が重要であり、それとともに生徒の心理的プロセスの形成と一致するようにしなければならない。さらにまた、操作の量の観点から、

最適のものでなければならぬ。教材の分析に情報理論を適用すれば、最適な操作量のアルゴリズムを数学的に計算することができる。

アルゴリズムとならんで、本来非アルゴリズム的（アルゴリズムが知られていない、あるいは非算術的）なプロセスの形成が、教授の過程で、かなり大きな比重を占めている。すなわち、問題解決の操作のシステムが知られていない問題や、アルゴリズムを作ることではできても、それを用いて問題を解くことが不合理であるような問題が多い。その場合の問題解決の特徴は「もつとも確からしい経過」をとることである。選択の可能性の大きい方法をとることである。多くの創造的プロセス（直観、推量など）は、その基礎に確率的なメカニズムをもっている。この場合にはアルゴリズム的過程のモデルにかわって、推計学的（確率的）過程のモデルをつくることが重要である。

教材の論理的構造を明らかにし、操作のアルゴリズムを構成する場合に、教師と生徒の動作および双方の間の情報の特徴づける数量的なパラメーターが必要になる。このために役立ったものが、数学的論理学（記号論理学）である。記号論理学は、教育における諸現象を正確に記述し、その構造を明らかにし、生徒の知識習得の過程、生徒の意識の中におこっている過程を記述し、生徒の知的活動のもつとも合理的な方法を数学的に計算することができる。また、教授のさまざまな様式の効果を検算する正確な数学的基準と方法をつくりあげることでも可能であろう。

このような記号論理学を適用して、教授内容、学習活動を記号化し、数量化することによって、教授のプログラミングがおこなわれ、電子計算機におけるプログラミングと同様な役割をはたし、ティーチング・マシンを導入することが可能になる。また教材の論理的構造を記述し、生徒の知識習得の過程、意識の中に起こっている過程を論理的に記述することを通して、生徒に、アルゴリズムを教授し、論理的思考方法を教授する上にも役立つ。

教授方法の改善のために、サイバネティックスによって提起された第二の問題は、通信の経路、チャンネルの働きの改善である。とくにフィード・バック機構、生徒からの戻りの通信の作用の改善に努力しなければならない。これは、実際の通信の際に、雑音、通信の乱れによる誤解をふせぐために、ある幅の周波数帯 $\parallel$ チャンネルをもつことに相当する。サイバネティックスによって、教師の説明を生徒がどのように受容するかについて、また習得の

結果を評価する方法について、教師の知見をひろめることができる。このばあいにも、教師が主観的に評価するのではなく、生徒が習得しなければならないすべての知識、能力、習熟の質を特徴づける客観的な数量的パラメーターを導入することが必要である。通信の経路を改善するためには、第一に、授業の時間に生徒の習得をさまざまに上げるすべてのものを取り除くことが必要であり、またもつとも効果的な習得の方法を導入しなければならない。情報の受容には、聴視よりも視覚によることが効果的であることが一般に認められている。したがって教授内容をできるだけモデル化し、また作動模型、図解、フィルム等の視覚教具を、教授の補助手段としてではなく、教授の基本的な手段の一つとして利用しなければならない。

第三の問題は、サイバネティックスは、教授の最大限の個性化を要求する。この観点から最も効果的な教授方法は、教材の順次性を厳密にまもり、個々の生徒が先行する教材を完全に習得した後にも、新しい情報を供給することである。多数の生徒に同時に教授するさいに、教授を最大限に個性化するためには、ティーチング・マシンのような技術的手段を用いることが必要になる。

第四にサイバネティックスは、教師が担当の科目とそれに照応する科学に熟知し、生徒を完成するすべての作用を知り、最適の教授過程のすべての特質を知ることが要求する。そのために特に重要なのは、論理学と心理学である。

## 5 ティーチング・マシンの導入とその限界

教授過程へのサイバネティックスの応用は、さまざまなティーチング・マシンの作成と導入によって実現され、具体化される。しかしこれらの機械は、自分で教えることはできない。これらは教授の効果をたかめるために、教師と生徒間の情報の供給路に導入される物質的な媒介物にすぎない。ティーチング・マシンは、現在まだ試験的段階にあり、論理的・心理学的に検討された順次性に従って情報を提供し、ある問題に対するいくつかの解答の中から

ら選ばれた解答の正しさを点検することができるだけであり、生徒によって獲得される知識、能力、習熟の客観的評価の数量的基準をもつことが必要である。しかしティーチング・マシンには、論理的・心理学的に検討された順次性にしたがって、知識を生徒に綿密に供給し、先行する情報量の供給を制御し、学習効果を速かに定着させ、生徒の特殊性と調和させ、生徒を個性化する等、多くの長所がある。

ティーチング・マシンは、教師、生徒の行動、情報を特徴づける数量的パラメーターを集積することによって、その製作と利用の可能性はますます広がるであろう。現在、たとえば、生徒による熟考の持続の数量的基準を作り、利用する試みがおこなわれている。また技術的観点から、ティーチング・マシンが、エレクトロニクスによらないで、すなわち、然りと否の中間の段階のないような制御のしかたではなしに、機械的、電気的、流体力学的（液圧・空気圧を用いて）に、あるいはこれらを組み合せて実現される論理的操作のシステムを創り出すことも研究されている。これらの研究と、ティーチング・マシンの創造と利用によって、教師を、創造的な科学的・技術者の活動に最大限に近づけ、教師を現代の科学技術の発展の動向に精通させることも重要な課題になっている。

教授の課程は、制御の過程に帰してしまふことはできないし、教授過程へのサイバネティクスの適用から得られる帰結には、限界がある。しかし、人間の精神的な諸活動のうちには、まったく形式的な、選択、分類など、操作に帰着させる問題が多く、機械が労働を軽減すると同様に、人間の知的活動を容易にする能力をもった機械をつくる問題について、現代の科学技術は肯定的な見通しを示している。

人間の思考の機能のうち、少数の基本的な論理演算の組合せからなる有限個の論理公式を、有限回使用して書きあらわせる機能だけしか機械はなし得ない。現代の科学技術によって人間の脳と同じ機能をもつ機械をつくることのできたとしても、数学者フォン・ノイマンのことだけをかりれば、それはエンバイア・ステート・ビルディングの大きさで、これを動かす動力は、ナイアガラの瀑布全部で発電する必要があるほど、大きなものになるであろう。しかし、サイバネティクスも、電子計算機も、人間の思考の産物である。電子計算機も、ティーチング・マシンも、人間の手で編成されたプログラミングによって働く。したがって、教授過程において、サイバネティクスを

過大に評価する必要はない。しかしサイバネティクスは、教育学研究の理論的水準を高め、実践的意義を高めるための重要な条件である。サイバネティクスは、教世紀にわたる教授の経験において肯定されている何ものも否定するものではないが、教授の改善を促進する一連の補足的な要求を提起している。その要求の一つは、生徒に学び方を教え、教師に教え方を教えることである。

ロシア共和国教育科学アカデミア教育学理論歴史研究所員、レオニード・ランダは、サイバネティクスの現在と将来について、つぎのように述べている。「いまや、もつとも古い学問の一つである教育学の原理を再検討することが必要になっているのです。教育学を、いっそう有効に、合理的にしなければなりません。教育学は経験主義と手を切り、精密科学にならなければなりません。」教育学が精密科学となり得るためには、物理学者ランドスベルグが物理学について述べているように、その科学に「導入されるあらゆる概念は、観察および測定の一定の手法がそれと結びつく条件のもとでのみ、具体的な意味をもつ」ようなものにならなければならない。

△長谷川 淳▽  
追記 筆者の力量の不足から、ここに述べたことは、長谷川、駒林、宮本訳、ランダ著「サイバネティクスと教育学」のうち、長谷川が分担執筆した部分と重複するところが多いことをおことわりしたい。