

# 教育工学の観点から考える

長谷川 淳

現代教育科学  
12巻1号  
135号  
1969/1

自然科学と技術の急速な発展とともに、各領域における分化が進み、新たな分野が開発され、また個々の科学の相互浸透と結合が進み、境界領域の新たな科学が発展している。それとともに人類が集積した知識がますます複雑化し、その量が膨大なものになってきている。したがってまた、学生生徒の習得すべき知識技術の量も膨大化し、この一〇年間にその量は二倍になっていると言っても過言ではない。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、また教育期間の絶対量が不足である。

科学と技術の発展とともに、学校教育の合理化は避けられない問題であり、その第一は、教えるべき知識の体系化と再編成である。学習すべき知識技能の膨大化にともな

い、各教科の基礎にある科学の構造を明らかにし、習得させるべき知識を整理し、単純化し、その内容を再編成することが必要である。このようにして、生徒に与える情報を軽減し、目のつまった骨組みの情報を与え、同種の情報が移入したとき、それと比較し、対照し、区別するような基礎的・本質的な知識を与えることができるであろう。

すでにアメリカにおいて、心理学者ブルナーや、自然科学教育の現代化を推進している科学者たちが、この数年間の研究や教育の経験に基づき、基本的なものを理解すれば教科を理解しやすくなること、学習した概念が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広くなっていくということ、また教材の根底にある構造に忠実に、教科課程を編成すべきことが明らかにされ、数学、物理、化学、生物学、地学等の諸教科の編成替えがおこなわれて

いる。

またアメリカだけでなく日本の大学の工学教育においても、教科の再検討がおこなわれ、基礎工学（エンジニアリング・サイエンス）の課程の編成がおこなわれ、中学の工業教育にもその影響がおよんでいる。

## 2

教育の合理化の第二は、教授過程の合理化、学習の能率化である。この合理化能率化のために、教育と教育学の研究に隣接諸科学の成果とその方法、数学的・科学的・工学的研究方法を導入することが必要である。

教育工学という言葉はかなり以前から使われていたが、それはティーチング・マシンの工学を意味し、さらにこのマシンを導入した教育方法や教授技術、プログラム学習などを意味していた。しかし教育を、教師Ⅱ生徒間における情報の伝達Ⅱ受容と見るならば、教師Ⅱ生徒系を、閉じたサイバネティカルな系としてとらえ、サイバネティックスの研究対象となる。また生徒を、情報を受容し、諸能力を發揮する系と考えるならば、その系の生理学的な構造と機能を明らかにしなければならない。ここに、情報理論、生体工学、大脳生理学、生化学等が関与し、数学的・工学的研究方法の導入が必要になる。われわれは教育工学を、こ

れら諸科学の総合科学としてとらえる。

最近の科学の発達には、自然科学の諸分野だけでなく、心理学、大脳生理学など、人間そのものの研究分野においてもめざましい進歩をとげている。ロシアの教育学者ウシンスキーは、すでに一〇〇年前に「もし教育学が人間を全面的に教育しようとするならば、教育学はまずもって人間を全面的に知らねばならない」と述べ、人間にかんする科学の領域に、「人間の解剖学・生理学・病理学・心理学・論理学……」等を含め、「生理学の書物を読むとき、われわれは、その一頁ごとに、個人の身体的発達、さらには人種の系統的発達に働きかける広汎な可能性のあることを確信する。開かれたばかりの源泉からは、教育はいまだほとんど何も汲み取っていない。各種の理論において見出された心理的事実を見まわすとき、われわれは、人間の知能・感情・意志の発達に巨大な影響をおよぼす広汎な可能性の存在することに驚くとともに、その可能性のうち教育に利用されている部分があまりに僅少なな驚かされるのである」(『教育の対象としての人間』)と述べている。

この一〇〇年前に開かれたばかりの源泉は、現代においては驚くべき発達をとげ、人間の神経の法則性、心理の法則性についての科学的知識はいちじるしく増大している。電子工学やサイバネティックス的な科学的手段方法によ

て、人間の脳の構造と機能の研究が促進され、大脳生理学が発達し、脳と同じ機能をもつ人工頭脳をつくるのがサイバネティックスの重要な研究課題の一つになっている。さらにバイオニックスの発達により、人間の脳や神経細胞、その他感覚の諸機関の工学的モデルがつくられ、学習や記憶の構造や仕組みが明らかにされ、人間と同じ能力をもつ機械の創造の可能性が開かれてきている。

このような機械を用い、人間の最も重要な、本質的な能力を補強することによって、自然と社会の認識を深め、その本質にますます接近してきている。脳生理学や心理学のサイバネティックス的研究によって、学習等の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、サイバネティックスの理論と方法を用いて、新たな観点から、教授の合法性則性を解明することが、現在、教育界の重要な課題の一つになっている。大脳生理学の研究や心理学の情報理論的研究を進展させ、動物の研究と比較し、サイバネティックスのモデルを作り、電子的機械装置と比較すること等によって、教育の新しい方法を発見して、教授の効果を高めることが可能になるであろう。

## 3

人間の学習の基礎となる記憶は、環状結合をなす複雑な神経細胞の連鎖でつくられる閉回路のなかに、刺激による興奮のインパルスが循環することによって、脳に刻印される。新たな記憶の痕跡を残すことだと考えられ、また一定の型の閉回路を、インパルスがいつでも回り得るようになってくる状態だとも考えられている。刺激による興奮のインパルスが回り、あるいは回り得る状態になっているためには、この環状結合をなしている神経細胞の連鎖の結合部、シナプスが、インパルスを伝達しやすいようになっていくことが必要である。この構造についてさまざまな説がある。興奮のインパルスがシナプスを通ることをくり返すことによって、シナプスに構造的な変化がおこり、接する神経線維の末端の終末ボタンが大きくなったり、その数が増えたりして、シナプスの抵抗が減少して、インパルスが通りやすくなっていると言われている。あるいは、ある伝達物質、たとえばアセチルコリンのような物質が、いつも多く分泌されて、伝達の抵抗が減少するとも言われている。

さらにまた、インパルスを受けると、神経細胞の細胞質を組織している蛋白質の構造に変化がおこる。すなわち、神経細胞に刺激がくり返されるうちに、細胞の核酸に変化がおこり、その結果新しい蛋白質が合成されるであろうと

も考えられる。核酸と記憶との関係を調べた実験もいくつもおこなわれている。その一つは、ある刺激に対して学習したプラナリアを未学習のプラナリアに餌として与える条件反射を獲得するというものである。またある実験では、学習したネズミの脳から核酸を抽出し、これを未学習のネズミに注射すると、そのネズミはその学習したことを獲得することもわかった。しかしこれには、一方でこれを否定するような実験報告もあり、さらに進んだ生理学的、生化学的な実験と証明が必要であろう。

いずれにしても、脳に記憶の痕跡が残されることによつて、脳に脳の働く規則がつくられ、これが学習を形成し、人間の行動の型がつくられる。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あり、人間の特質は、学習する方法を学習する能力を習得することであり、脳が一般的規則を獲得して、それを応用する能力を習得することにある。このような脳の働きに関する研究は進められ、この研究を進展させることによつて、教育の定石を破るような新しい方法を発見し、脳の規則をいっそう効果的に教え込むことが不可能だという根拠は何もない。

この脳の働く規則が明らかにされれば、まだ脳細胞に刺激の痕跡が十分に固まらないうちに、その規則と、規則に

応じた知識の情報とを効果的に教え、定着させることができるであろう。この脳の働く規則がどんな形式のものであるかは、現在まだ知られていないが、やがて明らかにされるであろう。この脳の働く規則に適合した教材の編成や教育方法を、経験的あるいは実験的に明らかにしようとする試みは、科学教育の現代化運動の中に見られる。この問題は、今後の大脳生理学、心理学、情報科学、教育学者の研究にまたなければならぬ。

4.

生徒それ自身の研究、生徒の脳の働きの研究とともに、教授過程の合理化にとつて必要なことは、知識や情報の構造を明らかにし、どんな順序で、どんなプログラムで、どんな方法で教えるかの研究である。教育の過程は、教師の制御するものと、生徒の制御されるものとの間の、情報の伝達と受容のプロセスを考へることが出来る。この制御するものと、制御されるものの存在ならびに情報の伝達受容は、制御系の基本的な特徴であつて、教育は制御の一種とみなすことができ、その中に機械系におけるプロセスと似たもの同型なものを見る事が出来る。ここに、教授の過程に情報理論の基本的な考へ方を適用し、情報と制御の技術を適用して、教授過程の合理化、能率化をはかる可能

性が生まれてくる。

教育の主な目的の一つは、情報の伝達である。教授の過程は、教授の学習によつて生徒の知識の不確定度を減少させて明確にし、無秩序を秩序にかえていく過程であり、情報理論におけるエントロピーが減少する方向に導いていく過程である。教授の効果を高め、教授の合理化をはかるためには、生徒に伝達する情報の量、エントロピーを数学的に計算することが必要である。情報理論において、情報を経済的・効果的に、しかも正確に送るために、その量を数学的に計算することと同じである。

教授の主な目的の第二は制御である。制御は、ある情報を与えて、それにもとづき目的にかなった行動をさせることとであり、情報の生む効果である。教育目標を設定し、教授し、学習させ、目的にかなった教育をおこなうために教育計画をたてることは、自動制御系や電子計算機におけるプログラミングに相当する。また自動制御には、フィードバック方式が用いられる。この方式は人間の運動神経系にも見られる。教授過程においても、目標と達成された成果との差にもとづいて、教師はそれ以後の教授を制御していかなければならない。

教授の過程において、生徒に知識を与え、その行動を制御し、目標に向つて生徒を発達させるためには、第一に、

何を教えるべきか、教授内容のプログラミングが必要である。この教授内容のプログラミングが、教科の構造、科学の構造にしたがい、基本的な内容を編成する必要があることは、大脳生理学の研究における仮説や推測とよく一致している。

第二に、生徒が一定の課題を解決し、一定の活動を遂行するようにするためには、生徒に習得させるべき操作のシステムのプログラミングが必要である。生徒に習得させるべき、問題解決能力、創造性、判断力などが、いかなる要素から成り、どんな構造をもっているかは、これまで明らかにされていなかった。これらのプロセスはどんな構造をもち、どんな構成要素から成り、どのように結合され、どんな順序と方法で教えるべきかは、そのアルゴリズム——明確な法則にしたがっておこなわれる操作のシステム——の数学的モデルをつくる方法で、実験的に解決されなければならない問題である。

アルゴリズムを構成する場合に、それ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ぬ。さらに操作の量の観点から最適の量のものでなければならぬ。すなわち、能率的、効果的に教授するという観点から、教材の分析に情報理論を適用して、最少の操作

量のアルゴリズムを数学的に算定するとともに、その操作を生徒に定着させ、生徒の心理的プロセスの形成と一致させ、またアルゴリズムそのものを教えて、論理的思考方法を生徒に形成させるために、操作量の最適なアルゴリズムを選ぶことが必要である。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両者間の情報の特徴を表わす記号と数量的パラメーターが必要である。教材の構造を明らかにし、生徒の知識習得の過程、生徒の心理的プロセスを記号論理学の論理記号を用いて記述し、生徒の知的活動のもっとも合理的な方法を、数学的に計算することができようであろう。

5

教授の過程は、すべて機械系の過程と相似であるのではない。しかし二つの系の間と同型や相似を見出し、機械と人間に共通した一般的法則性を研究し、また人間の法則を機械に適用し、機械の法則を人間に適用することによって、教授—学習のメカニズムの研究を深めていくことは重要であり、このような研究方法は、これまで自然科学や工学の諸分野で広く採用され、多くの成果をあげている。

教育の合理化、学習の能率化は、さまざまなティーチング・マシンその他教授用機器の作成と導入によって実現さ

れ、具体化されている。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、教授の効果を高め、学習を能率化するために、教師と生徒間の情報の経路に導入される物質的媒介物にすぎない。ティーチング・マシンは現在開発の途上であり、論理的・心理的に検討された順次性に従って情報を提供し、ある問題に対する解答の正しさを点検することができるにすぎない。

ティーチング・マシンを、生徒にとって教師にかわるもの、教師にとって自分にかわるものにくらかでも近づけていくためには、生徒そのもの、生徒の脳の働きの法則性を解明するとともに、知識習得の構造、問題解決能力や創造活動の構造を解明し、それらを教えるためのプログラムを最適につくることが必要であり、また生徒によって獲得される知識・能力の客観的評価の数量的基準をもつことが必要である。しかし現在の段階においても、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、情報の供給を制御し、学習効果を速かに定着させ、生徒の特殊性と調和させ、生徒を個性化するなど多くの長所がある。

△東京工業大学教授▽