

連載講座

(第5回)

サイバネティックスと教育学

長谷川 淳

四 サイバネティックスと教育

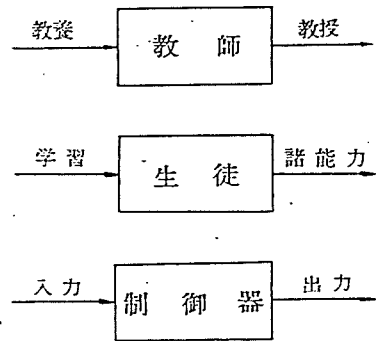
サイバネティックスは、種々な系に共通な、一般的な制御の法則性についての科学である。前述したサイバネティックスの諸法則は、現在、科学や工学の諸分野に広く利用され、自動機械、電子計算機のはたらかしの基本をなしている。サイバネティックスは、科学や工学の諸分野にとどまらず、心理学、生理学、さらにまた社会科学の研究にも応用され、自然現象だけでなく、社会現象、心理現象についても、その合法則性の客観的・数量的な把握がおこなわれてきている。学習、人格の形成等、教育学が扱う人間の心理的プロセスの研究にも、この新たな総合的な科学の方法をとり入れることが必要であろう。そのためにはじめに、教育のプロセスのなかに、機械系におけるプロセスと同型であり、相似なものを求めよう。

1 教授Ⅱ学習と教師Ⅱ生徒系

教授Ⅱ学習は、教師の指導のもとで、生徒が知識・能力・習熟を習得していく過程であり、この過程には、教師の活動Ⅱ教授と、生

徒の活動Ⅱ学習とが含まれている。この教授Ⅱ学習の過程を単純化して、教師が生徒に知識を伝え、生徒がそれを受けとり、それについての了解や質疑の応答をすることに限定するならば、この教師Ⅱ生徒系は、サイバネティカルな機械系と相似である。

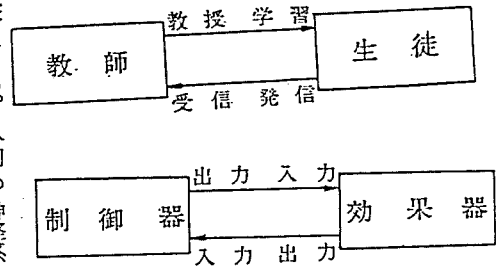
教師は、教科の専門的な知識と教職教養をうけとり、それを記憶し、生徒に伝える。こ



れは、動力の供給をうけ、仕事をする機械と相似であり、入力をうけ出力を出す制御器と同型であり、一つの閉いた系である。生徒はまた、入力をうけ学習し、出力として諸能力を発揮し、社会的な実際活動をおこなう一つ

の系である。

この教師と生徒とを、教授⇨学習という過程で結びつけ、情報の交換をおこなえば、また一つの閉じた系が成立する。教師は生徒に知識を出力として送り、生徒はそれを入力として受け取り、了解の応答、あるいは質問を出力として発し、教師はそれを入力として受けとる。これは、制御器⇨効果器系と同型である。機械が入力を出力に変換するしくみは、その機械の機構のいかんにより、教師が知識を教授内容と方法に変換し、生徒が学習結果を、自分の発達と実質的な諸能力に変換するしくみは、神経



系の機序による。人間の神経系もまたサイバネティカルな系である。

以上のことは教師⇨生徒系における知識の教授⇨学習に限らな。生徒に、ある能力や習熟を身につけさせる場合も同様である。能力や習熟は、知識の深化と集積を基礎にして得られるものであり、知識間の連合、その実践への適用によって強化される。それだけでなく、教授過程のサイバネティクスによる最近の研究によ

って、知識の構造だけでなく、諸能力の構造が明らかにされ、その操作のシステムが明らかにされつつある。

このように教授⇨学習の過程を単純化し、教師⇨生徒系のなかに、機械系との相似を見いだし、機械系における制御の法則を適用し、機械と人間に共通した一般的な法則性を研究することによって、教授⇨学習のメカニズムのこれまでよく知られていなかった部分を開発する可能性が開かれつつある。

2 学習のしくみ

人間の日々の経験は、記録され、保持され、必要に応じて再生される。これが記憶である。学習は、これを反復し、強化することである。記憶は、大脳に形成される神経結合の強化によって成立する。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を、刺激によるインパルス（興奮の衝動）が循環することによって、脳に刻印され新しい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いく状態だとも考えられている。

こ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、環状結合をなくしている神経細胞の連鎖のシナプス（神経細胞は、それからでている多くの樹状突起と一本の軸索⇨神経線維の芯をもち、これがネuronである。ネuronは、突起によって他のネuronと接し、この接着する場所がシナプスである）が、インパルスを伝達しやすいようになっていなければならない。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かえすことによって、シナプスに構造的な変化がおこ

り、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するという。あるいは、ある伝達物質がいつそう多く分泌されて伝達の抵抗が減少するという。あるいはまた、インパルスをうけると、神経細胞の細胞質を組成している蛋白質の構造にある変化がおこり、これをくり返しているうちに、ある型の蛋白質が合成されるであろうと考えられる。このようにして痕跡が残され、神経細胞が記憶したことになる。しかし、これには、生理学的な実験と証明が必要である。

いずれにしても脳に記憶の痕跡が残されることにより、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けられる。脳生理学者ヤングによれば、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、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。この研究を進展させ、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込むことが不可能だという根拠は全くない。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、とヤングは述べている。

ここにもサイバネティカルな機械系との相似が見られ、脳細胞と、自動制御系や電子計算機における真空管やトランジスタとの相似が見られる。後者の場合刺激に相当するものは、十か一か、1か0か、導通か否かの信号であり、したがって両者の間に相似が成立立つとすれば、刺激は、極めて要素的な知識の項目や、問題解決

の単位操作でなければならぬ。

3 情報

教授⇨学習の主要な任務の一つは、情報の伝達と受容である。情報は一般に、何かを知らせることであり、決定することである。等しく起り得、また互いに区別できる有限個のうちの一つを決定することである。教授⇨学習によって、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行く。すなわち教授⇨学習は、サイバネティクスにおけるエントロピーを減少させる方向に動く。生徒は知識を獲得することによって、不確定の程度、すなわちエントロピーが小さくなる。この教授⇨学習におけるエントロピーの減少は、物理学におけるエントロピーの増大と相似の関係にある。

知識の教授は、経済的・効果的におこなわれなければならない。教授される情報は、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、期待度や不確定度を数量的に表現でき、この不確定度をあらわす尺度がエントロピーである。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、冗率率を加えることが必要である。たとえば、「た」という文字を知らせる場合、たたと三回くりかえしたり、たばこのた、たまごのた、というように知らせると、通信の量が三倍になる。教授のばあいには、反復することにより、あるいは応用することにより、定着させることが重要である。このようにして、情報を経済的に、しかも効果的に、正確に送るために、その量を数学的に計算す

ることが、情報理論の主要な問題である。教授の場合にも、教授の効果を高めるために、その情報量を数学的に計算することが重要である。

4 制御とプログラミング

教授の主要な任務の第二は制御である。制御は、ある情報を与え、それにもとづいて、目的になかった行動をさせることで、情報の生み出しである。教育目標を設定し、教授し、学習させ、目的になかった人間を育成するために、教育計画を立てることは、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（戻りの通信）の方式が用いられる。これは、ある目的をもった行為をするさいに、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。この方式は、人間の運動神経系にも見られる。教授Ⅱ学習においても、目標と達成された成果の差にもとづいて、それ以後の教授Ⅱ学習を決定していく。

教授の過程で、生徒に知識を与え、その行動を制御し、目標に向かって生徒を発達させるためには、第一に、何を教えるべきかの教授内容のプログラミングが必要である。ブルーナーは『教育の過程』のなかでつぎのように述べている。「基本的なものを理解するならば教科を理解しやすくする。……学習した概念が基本的、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いくであろうことはほぼ確実である。」したがって「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強調されてい

つではない。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ぬ。さらにまた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、能率的に教授する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るために、ある操作量の最適のアルゴリズムを選ぶことが必要である。

しかしアルゴリズムが知られていないようなプロセスがあり、この非アルゴリズム的なプロセスの形成がまた、教授の過程で重要である。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、アルゴリズムがわかっても、それを用いて問題を解くことが合理的でないような問題が多い。その場合の問題解決の特徴は、もともと確からしい経過、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は、その基礎に確率的なメカニズムをもっている。生徒が創造的な行動や問題解決をするさいに、ある操作のつきにいかなる操作をとるか、確率的な過程で、直前の操作だけによつてきまると考えられる。この場合には、アルゴリズム的過程のモデルにかわって、確率的な過程のモデルをつくることができる。

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記号と数量的なパラメーターが必要であり、記号論理学を用いて、教材

る。これは脳生理学における研究からの推測とよく一致している。神経細胞の環状結合を、ある情報にもとづく興奮のインパルスが回ることによつて、脳細胞に記憶が刻印される。この情報は極めて要素的でなければならぬことは先に述べた。これらが複合することによつて脳に脳の働く規則がつくられ、これが、後に新たな情報をうけ入れる際に、それと比較し、検証する法則となるであろう。一度脳細胞に刻印された記憶は、忘却しない限り、別の記憶の刻印はうけ入れ難いであろう。したがって、脳細胞には、知識や法則の構造の要素となる記憶を強固に刻印しておくことが必要である。

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ために、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。生徒に身につけさせるべき、問題解決能力、創造性、判断力、関係把握の能力などが、それが何であつて、いかなる要素からなり立ち、いかなる構造をもち、生徒の頭の中で何が起つているか、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、どんな構成分子から成り立ち、これらの構成分子がどのように相互に結合され、何を生徒に教えなければならぬか。これらの問題は、サイバネティクス、その他工学の分野で利用されるモデル化の方法で、実験的に解決されなければならない。

問題を解決するさまざまなプロセスの中で、知的活動のアルゴリズムのモデルを作ることが重要である。アルゴリズムとは、明確な法則にしたがっておこなわれる操作のシステムで、数学の問題の解答や証明、文法の問題などの解決には、一定のアルゴリズムがある。数学の問題の解き方に幾通りかあるように、アルゴリズムも一

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。これらの計算の実例は、ランダウ『サイバネティクスと教育学』の第二章と第三章および、この講座の第三回に述べられてある。

教授Ⅱ学習の過程はすべて機械系の過程と相似ではな

(東京工業大学助教授)