

サイバネティックスと教育

長谷川 淳

サイバネティックスという科学が創始されてから、まだ24年ほどしか経っていない。その創始者であるノーバート・ウィーナーが(サイバネティックス——動物と機械における制御と通信——)という題の著書を書いたのが1947年、それが出版されたのが、その翌年である。ウィーナーがこの本の日本語版のまえがきに述べているように、初版が出たころは、「サイバネティックスはまだ将来を見越した研究」に過ぎず、「推測あるいは希望に過ぎなかった多くのことが、今日でき上がった学問となり」また第二版(1961年)の序文に書いているように「今や、サイバネティックスは、漠然とした将来の研究計画としてではなく、すでに存在している科学として考え直すべき時期がきた」のである。現在ではサイバネティックスは、「通信技術者や自動制御の設計者の道具として、まったくなじみ深いもの」となっている。これは、家庭電気器具の自動スイッチのような身近なものから、宇宙船の運航の技術にいたるまで、科学と技術のあらゆる分野に应用されているだけでなく、人間の心理や生理の研究、さらには社会科学の分野にまで、広く应用されはじめている。

教育と教育学の研究にとって、サイバネティックスは全く無縁のものであろうか。ウィーナーは、「サイバネティックス」の日本語版第一版のまえがきにおいて、つぎのように述べている。「われわれの状況に関する二つの変量があるものとして、その一方はわれわれに調節できるものであるとしまししょう。そのとき制御できない変量の過去から現在にいたるまでの値にもとづいて、調節できる変量の値を適当に定め、われわれに最もつごうのよい状況をもたらせたいという望みがもたれます。それを達成する方法がサイバネティックスにほかならないのです。教育が行なわれる状況も、まさにこのような状況であろう。

教育の主要な目的の一つが、情報をつたえ(通信)、生徒を望ましい方向に向けて制御するものであるならば、ウィナーの著書の副題に示された「動物と機械における制御と通信」の科学は、教育の研究にとっても基礎科学となるであろう。教育学の隣接科学である心理学や生理学においては、サイバネティクスがすでに研究の手段としてとり入れられている。

サイバネティクスが日本の教育学研究者の注目をひくようになったのは1962年頃からで、同年6月に開かれたロシア共和国教育科学アカデミヤの総会において、カイロフ総裁が行なった報告「ソビエト教育学は、今何をめざしているか」が翻訳紹介されてからのことであろう。この報告のなかでカイロフは、教育科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科学に利用することが、教育科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。

このカイロフの報告と前後して、教育科学アカデミヤのレフ・ランダが、教育学のサイバネティクスの研究について、いくつかの論文を発表しこれらの諸論文がつづいて翻訳紹介された。ランダは、『今日のソ連邦』誌(1963年第13号)の「サイバネティクスの現在と未来」という文章のなかで、「いまやもっ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。論理的、数理的な教育理論の樹立と、サイバネティクス機械の採用によって、教育、学習をそれぞれの個人に適したものにし、教育、学習の期間を短縮することができるようになるでしょう」と述べている。

ランダの諸論文の紹介によって、さきのカイロフの報告の意味が具体的に明らかになり、教育学の研究にサイバネティクスの方法を適用して、教授=学習の法則性を明らかにすることが、現在、現在教育学研究者にとって、重要な課題の一つとなっている。

1 サイバネティクスの成立

第二次世界大戦が始まる直前に、当時ハーバード大学の医学部に在職していたメキシコの生理学者、アルトゥーロ・ローゼンブリュートを中心に、ハ

ーバード大学医学部の若い科学者たちが集まって、科学の方法についての月例討論会を開いていた。これに、マサチューセッツ工科大学の、ウィナーその他のいろいろな分野の専門の学者も加わっていた。この会合の参加者たちは、すでに確立された科学の諸分野の間の境界領域が、今後みり豊かに発展する見込みのある分野であることを確信するようになった。この討論会のメンバーは、科学の各分野に共通した一般的な諸問題の研究と、境界領域の科学の開発をその目標としていた。

かつては、アリストテレス、レオナルド・ダ・ヴィンチ、ロモノソフのように、当時知られていたほとんどすべての知識を所有していた学者がいたが、現在では、ひとりの人が、物理学者であって同時に論理学者であり、数学者であって同時に心理学者であることが不可能であるばかりでなく、これらの科学の一つに精通することさえも困難であるほど、その内容が膨大になっている。科学は個々の分野に専門化され、それはすでに、物理学や数学という分野ではなく、力学、光学、あるいは代数学、幾何学という分野に、さらには、それ以上に分化された分野に専門化している。科学の各分科が、それぞれの固有の研究課題と研究方法をもち、研究者は、他の分野で何がおこなわれているかを知らずに、それぞれの専門に没頭している。

しかし各分野の科学の研究対象がそれぞれの特殊性をもっていると同時に、またそれらに共通した一般的な法則性がある。一つの分野に適用される方法が、他の分野にも適用することができる。また、物理学、化学、生物学のような科学は、その内容・研究対象が類似し共通しているために相互に近接している。物理的現象と化学的現象、化学的現象と生物学的現象は、相互に緊密にからみ合っている。科学の発達とともに、この一般的・共通的なものの役割は、減少するどころか、ますます増大する。大規模な科学的開発は、これらの諸科学の総合・統一によって成果をあげている。かくして境界領域の科学が必要になり、それが出現した。その一つが、サイバネティクスである。

第二次世界大戦中、ドイツの飛行機が、ロンドンその他イギリスの都市を爆撃したとき、高射砲を改良し、それをよく制御する装置が必要であった。この装置ができれば、飛行機に高射砲弾を命中させる瞬間を予報することができる。この問題を解くことは、それほど簡単なことではない。それは、飛行機はたえず運動方向を変え、いつも直線方向に飛ぶとは限らないからであ

る。しかし、ある瞬間における方向の変換は、人間と機械の能力によって制限される。もし人間の能力をはるかに越えた非常に速さで計算することができれば、飛行機に砲弾が命中する瞬間における飛行機の位置を計算できる可能性が生まれる。こうしてウィーナーは、複雑な計算の遂行と未来の予測という、人間に特有な頭脳活動にかかわる電気機械系の研究に従事した。

1944年にローゼンブリュートがメキシコに帰る前に、同氏やウィーナーたち科学者のグループは、通信と制御を中心とする一連の問題が、機械であろうと、人間に関することであろうと、本質的に統一され得るものであることに気づいた。この、機械と人間に共通した一般的法則性に関する総合的な問題を解決するために、数学、記号論理学、エレクトロニクス、生理学、および心理学の導入が必要になった。これらの科学をその中に含み、制御と通信理論の全領域を包括した研究分野が、サイバネティックスと名づけられ、1947年にウィーナーがはじめてこの言葉を使った。これは「舵手」を意味するギリシャ語のキューベルネテス (kybernetes) からつくられたもので、漢字を当てれば、採把寧軸 (ハンドルをとって、とも、あるいはへさきを安定させること) とでも言うべきものである。

サイバネティックスという言葉は、それ以前にはなかったのではない。ギリシャの哲学者プラトンは、船を操る術から転化し、比喩的に、人民を統制する術にこの名をつけた。またフランスの物理学者アンペールが、1834年に、同じ意味に用い、国家を統治する術、すなわち制覇寧定の術を、サイバネティックスと呼んだ。しかしサイバネティックスが、「動物と機械における制御と通信」の理論として確立されたのは、1947年、ウィーナーによるものである。

2 サイバネティックスの基本原理

サイバネティックスは、種々な系 (システム) に共通な、一般的な通信と制御の法則性に関する科学である。動物と機械に共通な制御と通信の法則を研究するために、サイバネティックスは、多くのものに共通に一般的に適用できる概念を用いる。その重要なものの一つは「系」である。動物も機械も、それぞれの機能を果たすためにある一定の要素から成り、それらの諸要素が総体として単一の完全な系を形成する。人間と機械とを結合すれば、また一つの系を形成する。系は諸要素の総体であり、システムである。

サイバネティックスの系は、単一の、完全なものとして、環境から相対的

に独立している。たとえば人間は、自立して生存し、他の系から独立している。しかし同時に、系は外界と結びつき、外界は系に影響を及ぼし、また外界は系から影響を受ける。系への外部からの影響を「入力」とよび、その系が外部に与える影響を「出力」とよぶ。旋盤は一つの系で、動力という入力を受けて、切削加工という作用を、出力として金属材料に与える。また、生徒は一つの系であり、教育という入力によって教師から影響をうけ、問題解決や社会的行動という出力によって、外界に影響を及ぼす。

系が外部からの影響に対して適応作用をする力をもっている場合、その系は破壊することなく保存される。系がはじめに設定して目的を達成するためには、その目的実現の全過程にわたって、その目的を保持しなければならない。これが「制御」の過程である。人間が運転する自動車という系、人間=自動車系は、その目的地に向かって走る全過程において、たえず、道路の曲折、他の車、歩行者、強風などの障害をよけて運転することが、制御である。

人間の脳髄、中枢神経系は、制御の機関であり、視覚や聴覚によって障害物についての情報を脳におくり、脳の命令によって、手がハンドルを操作する。人間の脳髄は、有機体に起こるプロセスを制御するだけでなく、機械を制御し、自然の力を制御し、さらに社会の発展をも制御する。自然は、発達した動物にだけ見られる制御の機関を創った。しかし、科学技術の発達とともに、人間に代わって制御の機能をはたす機構が創造された。これが、「自動制御系」である。この系は、制御する部分の出力が、制御される部分の入力と、一定の仕方で結合されているものである。

制御の機構が、外部からの影響に対して自分の反応を制御し、受ける入力に従って出力を生じるものを調整するはたらきをするために、その系がおかれている条件について、またその系に生じた変化についての通報あるいは情報を受けとらなければならない。続いて、受けとった資料をもとにして、動作機構のために新たな情報を作らなければならない。「情報」は、系の外、系の中で生じている事象についての通報である。

情報の伝達と交換は、自然界においても、人間社会においても、広くおこなわれている。情報は、われわれの感覚器管に外界の現象が直接に影響することによって得られ、また、本、新聞、ラジオ、話など、間接的な方法によっても得られる外部世界についての資料である。したがってまた、教師から生徒に与えられるものも情報で、重要な教育内容である。情報はまた、制御

装置、自動調整機によって知覚される系のすべての変化についての通報である。情報は、人間と、人間が操作する機械や装置との間にも交換がおこなわれる。人間は、計器によって、温度、圧力、速度等についての情報を受けとる。計算機に、問題の条件を示した情報を入れて、人間は、機械から、問題の解その他の情報を受けとる。情報はまた、機械の間でも交換がおこなわれる。たとえば、ワットの調速機は、ボイラーの蒸気の圧力の変化についての情報を受け、弁の開閉機構に、相当した情報を送る。

情報は、信号の役割をする何らかの媒介なしに伝達することはできない。情報の伝達すなわち通信は、電波、音波、音声、映像等の、連続的な信号、あるいは、文字、言語等の、離散的な、不連続な記号によっておこなわれる。信号の重要な特質は、それを伝達する報知と、それを発生するためのエネルギーと無関係であることである。赤信号は、大きくても小さくても、強くても弱くても、運動の停止を命ずる警報である。信号の内容は、それを発生するエネルギーによって決定されるのではなく、信号がはこぶ情報の量によって決定される。

「情報量」とは何か。どのようにしてそれを測定するか。情報をうけるということは、以前に知らなかったことを知ることであり、少ししか知らなかったことについて、もっと多く知ることである。それでは、知らないとか少し知っているとはどういうことか。ここに一連の可能性があり、そのおのおのが等しい確率をもっているとき(等しく確からしいとき)、最後の結果がどうなるかを知らない。その可能性の数が大きいほど最終の結果を知ることが困難である。このような考え方をもとにして、情報量を定義する場合、確率が用いられる。

ある事象の起こる確率が大きいほど、その事象の到来を予言することが容易であり、この場合、その事象の到来は、情報をもたらすことは少ない。これと反対に、いくつかの事象の起こる確率が等しい場合には、予言はまったく不可能であり、一つの事象に関する情報は大きくなる。サイバネティクスは、この情報の数値的尺度を定め、情報の伝達に関連した多くの法則を確立した。そして、それにもとづいて、通信路に沿って伝達できる情報の量と、それをもっとも経済的に伝達する方法を解明した。

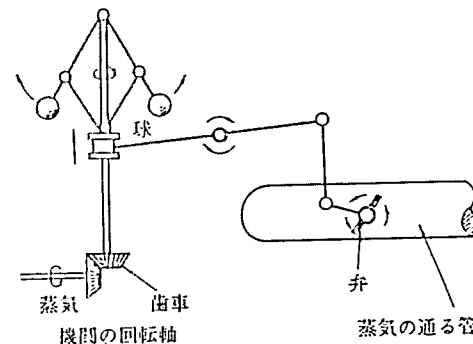
情報を伝達し、保存し、再生することは、人間の場合にも、機械の場合にも、「制御」の過程にとって重要である。しかし制御は、系の制御する部分

から制御される部分への、単なる情報の伝達だけにおわるものではない。制御され、作動する部分には、制御する部分だけが影響するのではなく、たえず周囲の環境からの影響をうける。船は風の影響をうけて直線航路からそれ、風的作用にさからうために向きをかえてそれに抵抗する。この外部からの影響に対する抵抗作用が、あらゆる調節の一般法則である。風に抵抗して航路を維持するためには、風の方角と風力についての継続的な情報を舵に伝達することが必要である。

このような、制御される部分に及ぼす影響をすべて先見することは、きわめて困難である。このような影響を防ぐ方法は、設定された目標、初めに与えられた条件と、実際の行為とのずれが、そのずれを解消するような方向に働く一定の返信の反応をよびおこすようにすることである。このような制御方法は船で使われている。ジャイロ・コンパスによって船のコースが与えられ、船が予定されたコースからそれると、ジャイロ・コンパスは実行装置に作用を及ぼし、この装置は、相応した方式で舵の向きをかえる。

このような制御装置においては、情報は二つの方向に働く。一つは制御する装置(制御器)から制御される装置(効果器)に、もう一つは作用が逆向きに、効果器から制御器に伝えられる。すなわち、制御装置の出力は、制御される装置の入力に、また制御される装置の出力は、制御装置の入力に、それぞれ効果を与える。このような連絡を、「フィード・バック」といい、ロシア語では「戻りの通信」という。

ワットの調速機



このような作用の例は、ワットの調速機に見られる。調速機の英語であるガヴァナーの語源は、ラテン語の「グベルナートル」に由来するもので、サイバネティクスの語源であるギリシャ語の「キューベルネーテス」と同じものに由来する。

このように自身の作用に対して外部の影響を減少させるような、この型のフィード・バックは、負の(ネガティブ)フィー

ド・バックとよばれ、これを基礎とする調節の原理は、きわめて一般的であり、自動機械においても、人体においても、あらゆる制御系に見られる。

3 情報とは何か

サイバネティクスにおいて、「情報」ということばは、特別な意味に使われている。すなわち情報は、一つのメッセージ（通報）を選ぶときの、選択の自由度の尺度として用いられる。たとえば貨幣を投げて「表が出る」か「裏が出る」というような、ある二つの選択的なメッセージの一つを選ばなければならないきわめて単純な事態に直面したとき、この場合の情報（量）は、1であるという。

ここに一連の可能性があり、そのおのおのが等しい確率をもっているとき、最終の結果がどうなるか知らない。たとえば、サイコロを投げたとき、どの目が出るかを知ることはできない。しかし形が不整形であったり、一方が重かったりした場合は、ある一つの目が出るか出ないかについて知ることは、いっそう容易である。

ある事象の起こる確率が大きければ大きいほど、その事象の到来を予言することが容易である。一つの事象の起こる確率が1であれば、すなわち完全に確実であれば、その事象の到来を完全に予言できる。明朝太陽が東から昇ることは完全に予言でき、このことは何の情報ももたらさない。すなわち情報は0である。ある事象の起こる確率0の場合も同じである。

反対にいくつかの事象が起こる確率が等しい場合には、可能な事象の一つが起こることを予言することは、まったく不可能である。ある試行の結果、何があらわれるかが、不確定、不明確であればあるほど、それを前もって予言することはむずかしく、その結果がわかったとき、それだけ多くの情報を得たことになる。サイバネティクスにおいては、この不確定の度合いを量的に表現し、情報の量を計算することが必要である。

この不確定度は、可能な結果の数が多くなるとともに大きくなる。また試行がいくつかの部分から成り立つとすれば、全体の不確定度は、各部分の不確定度の総和によって決定される。この不確定度をあらわすために、サイバネティクスにおいては、普通、2を底とした対数を使う。サイバネティクスの系では、二つの状態のうち一つをとる場合が多く、計算に2進法が使われるからである。かつてラジオ番組の一つであったクイズ「20の扉」では、20回の質問で一つの答えを出す。たとえば、それは動物か否かを当てる

ことで、問題の不確定度が2分の1になり、もし動物であるならば、それは人間か否かを当てることで、不確定度が4分の1に減少する。3回目の質問で、それが8分の1に、4回目では16分の1に減少し、かくして20回の質問で、2の20乗、すなわち100万個あまりのものの中から一つを当てることになる。したがって100万個あまりのものから一つを選ぶのに何回の質問で決められるかを計算するには、その数の対数（2を底とした）をとればよい。

$$2^{20} = 1,048,576$$

$$\log_2 1,048,576 = 20$$

この20という数字が不確定度、選択の自由度をあらわす数である。

いまここに k 個の起こり得る事象があるとすれば、そのどれかが出現する不確定度は、 k の対数、 $\log k$ である。サイコロのどれかの目の出る不確定度は、 $\log 6$ である。そしておのおのの事象があらわれる結果の不確定度は、それを k で割ったもの $\frac{\log k}{k}$ である。サイコロを投げる場合は、おのおのの目があらわれる不確定度は、 $\frac{\log 6}{6}$ である。 k 個の可能な事象の一つが起こる確率 p は、 $\frac{1}{k}$ であり、サイコロの一つの目があらわれる確率は、 $\frac{1}{6}$ である。この確率をあらわす p を使って、不確定度をあらわす式、 $\frac{\log k}{k}$ を変形すると、

$$\frac{\log k}{k} = -\frac{1}{k} \log \frac{1}{k} = -p \log p$$

となる。いくつかの起こり得る事象があって、これらの事象全体として、この不確定度は、個々の不確定度の和である。この和が、事象の結果の不確定度をあらわす尺度であり、この量を「エントロピー」と名づける。この「エントロピー」という量は、情報の量をあらわすのに最もよく適合した量である。

エントロピーということばは、熱力学、統計力学から転用されたもので、簡単にいえば、無秩序の尺度であり、物理的な系、自然現象において支配的な「混沌」の程度を示す尺度である。たとえば仕切りのある容器は別々に2種類の気体を入れ、その仕切りをとり除くと、やがてまじり合ってしまう。2種類の別々の気体は、いつまでも仕切られた状態を保っていることはできず、双方の気体の分子が容器全体にわたって無秩序に飛散し、混合し、エントロピーは増大する。完全に混合して平衡状態になると、エントロピーは最大になる。最大のエントロピーをもつ平衡状態は、もっとも確からしい状態であり、最小のエントロピーをもつ状態が、もっとも確からしくない状態

である。物理学的エントロピーも、確率によって表現され、サイバネティックスにおけるエントロピーは、これとよく似た式で示される。

物理学におけるエントロピーとサイバネティックスにおけるエントロピーとは、用語や式が類似しているだけでなく、現象においても類似している。物理的な系は、外部から何らの変化を加えない限り、無秩序が増大し、エントロピーが増大する方向に変化する。このエントロピー増大の法則の代表的なものは熱力学の第二法則である。熱は、何らの変化を加えない限り、高温の物体から低温の物体へと移動するという法則である。この法則は一つの経験的な法則であるが、状態の推移確率から導かれる。

サイバネティックスにおいて、等しく確からしい事象があり、正確に予報することがもっとも困難な場合に、エントロピーは最大である。いくらか確定的に予言できるような異なった確率をもつ事象の場合に、エントロピーは小さくなる。

人間は情報をうけとることによって新しい知識を獲得する。不確定の程度すなわちエントロピーが大きいほど知識の量は少ない。われわれが、情報をうけとるまでにもっていたエントロピーと、情報をうけとった後のエントロピーとの差が、うけとった情報の量に等しい。不確定度が減少すればするほど、うけとった情報は大きい。

4 情報の伝達と言語の統計的性質

サイバネティックスにおいて重要な問題の一つは、情報の伝達あるいは通信の問題である。これには三つの問題が含まれている。すなわち、どのようにして、記号を正確に能率的に伝達できるか。どのようにして、伝えたい意味を正確に伝えることができるか。どのようにして、うけとられた意味が、望む仕方で相手の行動に影響を与えるか。

人間と人間の間の情報の伝達は、主として言語による。ことばは、対話により、あるいは電話を通じて直接に伝えられる。電報や電信による場合は、伝えたいメッセージを一度符号化して送り、それをもとのメッセージに復号化し、あるいは解説しなければならぬ。この符号化体系の代表的なものは、モールス符号である。電信の速度を高め、その能率をあげるために、このモールス符号においては、英語にもっとも頻繁にあらわれる E に対してトン (・) 一つ、つぎによくあらわれる T に対してツー (—) 一つ、頻度の小さい X, J, Q などに対して、トン一つツー三つを当てている。モールスはこ

の符号化体系を作るに当たって、文字の出現の相対頻度を調べるために、印刷屋の活字箱の、おのおの活字の数を計算することによって見積もったといわれている。このように、文字記号の伝送の場合も、その出現の確率が重要な役割を演じる。

われわれが、特別な意図をもち作為を加えない限り、普通に文章を書いたり話したりする場合、文字の出現頻度や単語の系列は、一定の確率や統計に一致している。英語の場合、E の出現頻度は約 13% で最も多く、W は約 2% にすぎない。また q のつぎに、u 以外の文字がつづくことはないし、the のつぎに、冠詞がきたり、動詞がきたりすることもない。しかし、このような文字統計に挑戦し、ある文字をまったく使わないで、詩や小説を書いた人が何人かいたと言う。たとえば、アーネスト・ビンセント・ライトは、1939年に、“Gadsby” という小説を書いたが、その中で、もっとも出現頻度の高いはずの E を一字も使わなかったという。その中の数行を引用しよう。

Upon this basis I am going to show you how a bunch of bright young folks did find a champion ; a man with boys and girls of his own ; a man of so dominating and happy individuality that youth is drawn to him as is a fly to sugar bowl.

また、誰の作か知らないがつぎのような文章がある。

What was was before was was was ?

この文章の中で、単語七つのうち、was が五つも含まれているだけでなく普通出現頻度が約 2% にすぎない W が、24% も出現している (この文章の答えは、It was is. である)。

日本にもこれに類した例がある。

月月に月見る月は多けれど

月見る月はこの月の月

この短い歌の中に、「月」という文字が八個使われている (もっとも、moon が三個、month が五個であるが)。松坂忠則氏が、1950年に、カナ文字文と漢字まじり文半々で、合計 10 万字について調査したものによれば、濁音の出現確率ももっとも大きく、9.09%、次いで、イが 4.83%、カが 4.80%、シが 4.51%、タが 4.05% であり、ツは 31 番目で 1.23%、キは 18 番目で、1.94% である。しかしこの歌の中には、ツもキも、25.8% という高い頻度で出現している。

これやこの ゆくもかへるも わかれては

しるもしらぬも あふさかのせき

この歌は、蟬丸が文字統計などを意識して作ったものでないことは想像できるが、百人一首の中で、濁音のない唯一の歌である。日本語においては、前述の松坂忠則氏の調査によっても明らかなように、濁音の出現頻度は高く、31文字の中に約3個出現するのが普通である。

このように、言語には一定の文字の出現確率があり、このほかに二連字三連字と連字の推移する確率、単語の出現確率や推移確率がわかれば、暗号の解読や送られた電文の誤りの発見ができる。さらにまた、これらの確率がわかれば、機械に統計的な数学的操作を行なわせることによって、英語や日本語と同じ統計的性質をもつ文字列、単語列、文章を作ることができるであろう。

ウィーナーと同じころに、「コミュニケーションの数学的理論」を発表したアメリカのベル電話研究所の、クロード・シャノンは、英語の文字や単語の統計的性質にもとづいて、英語の単語列や文章を近似的に作ることができることを示した。彼が作った実例を次に示そう。

(1) 0次近似

各記号が互いに独立で等確率の場合である。すなわち、アルファベット26文字とスペース（空白）の27種類のカードを同じ枚数ずつ用意し、かき混ぜ、一枚をとり出してその文字を記し、それをもとにもどして再びかき混ぜさらに一枚をとり出してその文字を記す。これをくり返して得た文字列は、次のとおりであった。

XFOML RXKHRJFFJUJ ZLPWCFWKCXYJ FFJEYVVKCQSGHYD
QPAAMKBZAA CIBZLHJQD

(2) 1次近似

各記号はたがいに独立であるが、日常の英語の場合と同じ出現確率をもつ場合である。すなわち、27種類のカードを、カード100枚につき、Eを13枚、Wを2枚と、出現確率に応じて用意し、前と同じ操作をくり返して得た文字列は、次のとおりであった。

OCRO HLI RGWR NMIELWIS EU LL NBNESBYA TH EEI AL-
HENTTPA OOBTTVA NAI BRL

(3) 2次近似

英語と同じ二重字構造をもつ場合である。英語の文章で、Qの次にU以外

の文字がつづくことはほとんどない。THとならぶ二字連字の確率は0.037、ORとならぶ確率は0.010、WEは、0.006である。したがって、前の一次近似の場合のように、27個の箱を用意して最初の文字の出現確率に応じてカードを用意し、一つの箱のなかでは、次にくる文字の連字確率に応じた枚数のカードを作っておく。すなわちカード合計1000枚ならTHを13枚、WEを10枚……を作り、27個の箱に分類して入れておき、一枚ずつとり出す。最初にONが出たら、つぎにNの箱から一枚とり出す。これをくり返して得た文字列は、次のとおりであった。

ON IE ANTSOUTINYS ARE T INCTORE ST BE S DEAMY
ACIHN D ILONASIVE TUCOOWE AT TEASONARE FUSO
TIZIN ANDY TOBE SEACE CTISBE

(4) 3次近似

英語と同じ三重字構造をもつ場合である。前の場合と同様に、三つの文字が続く確率に従ってカードを用意して、作った文字列は、つぎのとおりであった。

IN NO IST LAT WHEY CRATICT FROURE BIRS GROCID PON-
DENOME OF DEMONSTURES OF THE REPTAGIN IS REGOA-
CTIONA OF CRE

以上(1)から(4)までを見ると、漸次英語の単語や文章に近いものができ、発音や音読も可能になり、本当の英語の単語も現われてくる。

(5) 1次単語近似

シャノンは、四重字、五重字とつづけていくことを止め、ここで単語に移っていった。各単語の出現確率を計算し、文字の場合と同じようにして、単語列を作った。

REPRESENTING AND SPEEDILY IS AN GOOD APT OR COME
CAN DIFFERENT NATURAL HERE HE THE A IN CAME THE
TO OF TO EXPERT GRAY COME TO FURNISHES THE LINE
MESSAGE HAD BE THESE

(6) 2次単語近似

単語の推移確率すなわち、単語の対の出現確率を調査したものは、まだ作られていないので、シャノンは次のような方法をとった。彼は一冊の小説の中から、ある一つの単語対すなわち二個の連続した単語をでたらめに選び、

次に、その二番目の単語と同じものが次に現われる箇所をさがす。その単語の次にある単語をひろう。以下同じことをくり返す。かくして得られた単語列は、次のようなものになった。

THE HEAD AND IN FRONTAL ATTACK ON AN ENGLISH WRITER THAT THE CHARACTER OF THIS POINT IS THEREFORE ANOTHER METHOD FOR THE LETTERS THAT THE TIME OF WHO EVER TOLD THE PROBLEM FOR AN UNEXPECTED

以上のような段階を経過するにしたがって、だんだんに普通の英語の文章に近づいてくる。特に、二文字連字の場合は四文字まで、二単語列の場合は四単語列までは、普通の文章の中に見られる配列になっている。

このように、文字の出現確率、連字の推移確率、単語の出現確率、そして単語の推移確率がわかれば、機械に統計的・数学的操作をおこなわせることによって、同じ統計的性質をもつ文字列、単語列、文章を作ることができるであろう。

しかしこのような機械がどれだけ精巧に作られ、巧みに操作されても、さらにまた三重四重とすすめていったとしても、人間が語る可能性のある、あらゆる単語列を作ることにはできない。しかしこの選択を人間にやらせ、たとえば、ある人に三つの単語列を書かせ、つぎの人に一字加えさせる。その次の人に、最初の一文字をかくし三個だけ見せて一字追加させる。これをくり返していけば、かなり意味をなした文法にかなった単語列が作り出されるであろう。

機械は、文字の統計的処理や文章の構造の処理に適しているが、文章は、機械による文章の作成や分析を可能にするほど単純なものではない。人間が言語を語り、文章を作るとき、頭の中に非常に複雑なパターンをもち、言葉や文章を発生させていくにつれて、そのパターンを組み立て、拡大していくものだと言ってよいであろう。

メッセージの意味を正しく伝えるためには、統計的に適合しているほかに、文法的であることも必要であるし、文法的ではないが、詩などに表現されているような表現法も必要であろう。しかし情報伝達の技術的側面、符号化の方法、暗号の解読などのためには、ことばの統計的構造を明らかにしておくことが必要であろう。

5 言語の冗長度と意味の伝達

シャノンによる英語の統計的評価によれば、英語の冗長度は50%であると概算されている。したがって、英語を話したり書いたりするとき、話し手、書き手の選ぶ文字あるいは単語の約半分は、その人の自由選択にまかされ、残りの半分は、その言語の統計的構造によって支配されている。

ここで言う冗長度とは何か。ある情報源のエントロピー（情報量、あるいは選択の自由度）を計算し、この値と、この情報源がつづけて同じ記号を使うという条件を仮定したときにとり得るエントロピーの最大値とを比較し、この実際のエントロピーの、最大のエントロピーに対する比を、この情報源の相対エントロピーという。そして1から相対エントロピーを引いたものを、「冗長度」という。すなわち冗長度は、最大のエントロピーと実際のエントロピーとの差の、最大エントロピーに対する割合である。

これは送信者（話し手、書き手）の自由選択によって決定されるものでなく、むしろ問題の記号（たとえば英語）の使用において、それを支配している統計的法則によって決定されるもので、メッセージの構造の一部である。これが冗長度と呼ばれるのは、メッセージのこの部分は、一般の感覚からみて、何か余分なもので、冗長なものであると考えられるからである。すなわちメッセージのこの部分は、それがなくても、メッセージは本質的に完全であるという意味において、この部分は不必要で、くり返しであると考えられる。

シャノンによれば、われわれが英語のクロスワード・パズルを満身に組み立て得るためには、文字の選択において、少なくとも50%の自由度（すなわち、50%の冗長度）をもつことが必要であるという。もしその言語が完全な自由度をもっているとしたら、あらゆる文字の配列がクロスワード・パズルになる。シャノンは、英語に30%ほどの冗長度（すなわち70%の自由度）があれば、立体のクロスワード・パズルを組み立てることが可能であろうと言っている。

冗長度は、使う言語の統計的法則によって決定されるが、使用者の選択により、いっそう冗長にすることもできる。ゴッゴリのある作品のなかで「あいつはなんて大物であろう。何時間もしゃべっているのに、大事なことは何一ついわなかった」と述べている箇所がある。このような例は、われわれの身边にもよく見られることで、選挙演説や国会答弁によく用いられる手段である。かつてギリシャのプラトンが人民を統御する術を、サイバネティック

スと呼んだように、サイバネティックスによって算定されたことばの冗長度は、行政や立法の重要な手段となるであろう。

また、メッセージを効率的に伝送するという点から不必要と思われる冗長度は、送られたメッセージの誤りを少なくし、正確に受けとられるために、かえって必要である。われわれが日常受けとる電報にも誤りがあったり、判読に苦しむことがよくある。都会に遊学中の学生が郷里の父に、「カネオクレタノム」と打電したのに対し、郷里の父は「ダレガクレタカノンデハナラヌ」と返電を打ったという話があるが、この場合、点（段落）を一つ一つことで、誤解を防ぐことができる。もっと文字を補えば、さらに正しい意味を伝えることができる。点の打ち方で、文章の意味が全く反対になる場合がある。外国のある町の学校に視学官が視察に出かけ、授業参観を終わったあとで黑板につぎの文章を書き、校長に読ませて校長を困らせたという。

The inspector said the schoolmaster was ass.

この文章をそのまま読み下すと、視学官は、この校長はばかであるといったという意味になり、inspector のあとと schoolmaster のあとにコンマを二つ一つと、この視学官はばかであると校長がいったという意味になる。

現在ではあまり見られなくなったが、かつて、特定郵便局の窓口で電報を打つとき、「あ」を送るとき「あさひのあ」、「た」を送るとき「たばこのた」と送った。これは誤解や送信受信の乱れを防ぎ、正確を期するためであった。しかしこの場合、五倍の時間を必要とし、80%冗長であることになる。

ことばに一定の統計的構造や文法的構造があり、ある程度の冗長度があることによって、送信の誤りを正し、文字の脱落を補うことができる。どの文字が誤りで、何が脱落しているかを判断する場合に、われわれは、そのことばや文字の推移確率により、すなわち、前後関係から判定するのが普通である。

正しい文章を書き、話すためには、言語の統計的構造に一致していることのほかに、文法にかなっていることが必要であろう。文章として容認されるものを書くためには、一定の制約に従わなければならない。単に任意の単語をつぎつぎに書き綴ることはできない。

もし完全な文法があって、それに従うことばだけが許されるような規則があれば、文章の情報量を見積ることができ、文章構造のどの部分が、機械的な規則に従った結果であり、どの部分が選択の結果であって、したがってエントロピーに寄与しているかを見分けることができるであろう。

しかし、文法だけが言語のすべてではない。文法にかなっていても、奇妙な文章もあり得る。たとえば、文法にかなった文章だけを発生する能力を備えさせた機械をつくり、主語、述語、目的語、補語という順序で、でたらめに単語を選択させると、まったく無意味な単語列を生み出すに相違ない。機械によらなくても、人間が、辞書の任意のページをひらいて主語となる名詞を一つひろう。次にまた任意のページから動詞をひろって述語とする……。というように任意の単語列を作ると、文法にかなってはいるが、無意味な文章（単語列）ができて上がるであろう。しかしこの選択を人間にやらせれば（意味を考えて）たとえば、前述のようにある人に三つの単語を書かせ、つぎの人に一つの単語を追加させ、さらに第三の人に、最初の一単語を伏せて新たに一語を追加させるということが続けていけば、かなり意味のある文法にかなった単語列を作り出すことができる。

機械は、文章の構成と統計的処理を扱うのに適していても、文章は、機械による文章の作成や分析を可能にするほど単純ではない。文法にかなった文章を作成する際に使われる単語が、機械によってでたらめに選択されるのではなく、生きた人間によって、長い間の慣習と訓練により、文法の規則の習得によって選択される。この選択は何によっておこなわれるか。シャノンの「コミュニケーションの数学的理論」に解説的な序文を寄せたウィーヴァーは、その序文の中で、通信の問題を、(A)正確に伝達する技術的問題、(B)伝えたい意味を正確に伝える意味論的問題、(C)相手の行動に影響を与える効果の問題、の三段階に分けている。これによれば、選択の基準は、(B)と(C)で、意味や感情や印象などであろう。

ウィーヴァーは、文章やことばによる説明は、説明されるべき概念への近似以上のものではないと述べている。また、ある種の記号、たとえば、イエス（ハイ）などは、ことばが異なっても、操作上相互に理解できるものであると述べ、つぎのような例をあげている。「もしX氏がY氏のいうことを理解していないのではないかと思うならば、Y氏がX氏とさらに続けて語る以外の方法で、ある有限の時間内にこの事態を完全に解明することは理論的に不可能である……。」「もしY氏が〈あなたは、私のいうことがわかりますか〉といい、X氏が〈たしかに、わかります〉というとしても、これは必ずしも理解が達成されたという証明ではない。これはX氏がこの質問を理解しなかったということであるかも知れない。……この根本的な困難は、少な

くともことばの通信の限られた分野においては〈説明〉によって耐えられる程度にまで減らされる。しかし完全に除去されることはない、と私は思う。

またウィーヴァーは、「ハイ、ワカリマス」という場合の「ハイ」は、「操作手段によってあらかじめ合理的に明らかにされていることばにいい表わされているため、理解できるものである」と述べ、このことに関連して、彼は、興味ある実例を引用している。

「ブフングストが、驚くべき言語能力と数理能力とを示しているエルバーフェルトの馬は、調教師の頭の運動に反応していたにすぎなかったことを証明したとき、その馬の所有者クラール氏が、最も直接的な仕方では批判をうけた。彼は馬に、このような小さな運動を見分けることができるか否かをたずねた。馬はそれに答え、力をこめて〈ノー〉と表明した。不幸にもわれわれは、この質問が理解され、このように、明確な答えを得たということ、完全に確信することはできなかつた。」(K・S・ラシュリー)

このウィーヴァーの説明に関連して、もう一つの例をあげよう。あるとき、母と子が公園のベンチで休み、それから帰途についた。子どもは途中、お菓子屋の前を通ると、「おかあさん、ガム」と言った。おかあさんは、「いけません」と制止した。しばらく歩き、また別のお菓子屋の前を通ると、同じことをまた繰り返した。第三のお菓子屋の前で、

子ども「おかあさん、ガム」

おかあさん「いけません、なんてききわけのない子」

子ども「おかあさん、ガムがお尻にくっついているよ」

おかあさん「なんで、はやく言わないのです」

子ども「何度も言おうとしたら……」

公園のベンチでくっついたらしいガムを、子どもがおかあさんに注意しようとしたが、「おかあさん、ガム」ということばを、母親は、「操作手段によってあらかじめ合理的に明らかにされていることば」としてとらえ、「さらに続けて語る」ことも「説明」をうけることもしなかつた結果生じた事態である。

また、つぎのような話を聞いたことがある。ある日本人がアメリカで、人が車にひかれそうになったとき、とっさに「あぶない」と叫んで、その危急を救ったという。それは、ひかれそうになったアメリカ人が「ハブ・アン・アイ」と聞いて理解したからだということであるが、おそらく、危急を告げる叫び声を「操作手段によってあらかじめ合理的に明らかにされたことば」

として受けとったと考える方が妥当であろう。

文章のなかには、文法にもかかっていたら意味もないような表現がある。いろいろな単語を組み合わせて、それらの音や単語が、関連した感情や印象を、読み手や聞き手の心にひき起こすようにした詩などがその例である。ふつうの文章的な意味がなくても、せつせつとした情景を浮かばせるようなものである。この種の表現においては、単語の選択は、音調上の理由のほか、愛や賞賛、恐怖や憎悪などの感情をよびおこす目的で選択がおこなわれる。一定の文化のもとで、一定の単語や句は、聞き手に対して、その語句に対応した感情を呼び起こし、強い効果を与える。聖書や讃美歌の語句は宗教的感情を呼び、学生運動家の用語は、強い対立感情や敵がい心を引き起こす。消費欲、購買欲をあおるために、テレビタレントによって発せられることばのなかには、単語そのものさえも、原型がくずれてしまい、音調だけしか残っていないようなものがあり、それでも、現代消費文化のなかで若者たちに人気があるものがある。たとえば、大橋巨泉なる人物のうたに つぎのようなものがある。

みじかびのキャブリキとればすぎちよびれ

すぎかきすらのハッパフミフミ

このうたが、どんな文字の連なりもことばになり、そして意味をもっているとすれば、自由度が100%、冗長度が0であるが、反対に、何の意味もないとすれば、100%冗長である。しかし、ことばも、ここまで乱れ、混沌の極に達しているとすれば、そのエントロピーは、最大値に達している。

ことばの選択に際しての動機をさぐれば、われわれは究極において意味の問題、効果の問題にひきもどされる。それは、言語学や言語心理学の専門家の研究にまたなければならぬ問題である。〔未完〕 (名古屋大学教授)

〔追記〕 筆者はこれまで、サイバネティックスに関する講座として、雑誌『ソビエト教育科学』（明治図書）に、「サイバネティックスと教育学」と題して6回にわたって連載した。つづいて、雑誌『国語の教育』（国土社）に、「サイバネティックスと言語」と題して2回連載している。

今回の講座も、講座としての性質上、結局、この二つの講座を骨子とせざるを得なかつた。したがって本稿は、前二講座をもとにし、それを組みかえ、若干の加筆訂正をおこなったものであることをお断りし、読者におわびしたい。