

通信・情報処理の進展と

私の趣味

クロード・E・シャノン

ありがとうございます。京都賞を受賞できましたことを、たいへん光栄に存じております。そして、妻ともども初めて来日できましたことを、うれしく思っております。この旅行の予定を立てはじめましたとき、妻のベティは日本の文化と習慣に関する本を4冊求めてまいりました。それらの本はすべてアメリカ人が執筆したものでしたから信用できるものかどうかわかりませんが、この4冊の本に共通して書かれていることに「出る釘は打たれる」という日本のことわざがありました。私がこの京都賞をいただき、この席にお集まりのみなさま方の前に立ち、お話しするということなどはまさに「出る釘」なのではないかと思われまふ。まあ、いまのところ私の頭を打つ金づちは見あたりませんが。

私は日本でどのように歴史が教えられているか存じませんが、私の大学時代のアメリカでは、シーザー、ナポレオン、ヒットラーなどの政治の指導者や戦争に関する勉強をいつもしておりました。いまから思えば、このアメリカでの歴史の教え方はまったくの誤りであり、歴史上重要な人物や出来事というのは、実際に現在でも偉大な影響を与えつづけるダーウィンやニュートン、ベートーベンなどの思想家や革新者を指すのだと思います。

芸術や文学は1,000年以上の歴史がありますが、科学はせいぜい2、3世紀ほどの歴史でしょう。そのころ、ガリレオ、ニュートン、マクスウェルといった人びとが物体の落下や天体の動き、電気の現象を説明する物理界の基本法則を発見しました。これらの科学の基本型は、今世紀のアインシュタイン、ヤクダ、フォン・ノイマンに受け継がれ、その発見がもたらした影響は時とともに指数的に増大していることは、いうまでもありません。

これらの科学者が残した基礎的な発見はそれ自体すばらしい業績であります。エジソン、ベル、マルコーニといった技術者や発明家の努力によって伝えられなければ、一般の人びとの生活に影響を及ぼすまでにはいたらなかったでしょう。これらの発明や応用は、ほとんどここ2世紀のあいだに成し遂げられたものです。実際には、その大部分が今世紀になってからですが。紡績機、ワ

ットの蒸気機関、電信などは産業革命の先駆けとなるものでしたが、すべてちょうど 200 年前に開発されたものです。

電話、電灯、ラジオはすべて 100 年前にできました。アメリカではちょうど 2 か月前、自動車の 100 周年記念がかなり盛大に行われました。また飛行機の歴史はもっと浅く、ライト兄弟の初飛行は 1903 年のことです。

なにかの発明に成功してから、それが日常生活の一部となるには時間を要するものです。ラジオは、1920 年代になってはじめて一般的なものとなりましたし、テレビは 1940 年代です。エジソンの電灯は 1880 年に発明されましたが、家庭で使われるためには発電所の建設や電線の敷設、部品工場の建設等が必要でした。これらの事実は、電話、自動車、ラジオ、テレビ、電灯、セントラル・ヒーティング、電子レンジといった文明の利器が、1 世紀前の家庭にはなにひとつなかったことを物語っています。人びとは何世紀も前と同様、農耕社会で移動も遠距離通信もほとんどない生活をしていたのです。

科学や技術は従来のをふまえて、指数的に積み上げてゆくものです。そして今世紀に入っての技術的な進歩は、なかには有害な展開をした場合もありますが、今世紀以前の技術的な進歩をすべて合わせたものよりいっそう卓越していることは確かです。産業革命による技術的な進歩は、三つの概括的な領域に大きく分けることができます。工場といった「物質」的な品物の製造、加工、生産を究極の目的とするもの、蒸気や太陽熱利用システムといった「エネルギー」の生産、処理に関するもの、そして最後に、「情報」の伝達、変換に関するものの三つです。この第三番目の領域は、ここ 50 年のあいだに他の 2 領域に比べ、いっそう飛躍的な成長を遂げています。

私は、通信や情報処理の発展に数多く関与できたことを幸せに思っております。通信とは基本的には、ある点から他の点への情報の「伝送」、そして情報の操作や変換を行うことです。

それではここで、この分野での私の経験をお話しすることにいたしましょう。私にとっては、職業でありホビー、もっと正確には日本語で「趣味」とよばれるものでもあります。

ミシガン大学での学生時代、R・V・L・ハートレーの論文を読んで感動したことを覚えています。それは種々の通信路を用いた情報の伝送に関するものでした。それ以来 10 年間、私はこの問題と通信路の雑音や、情報の確率的な側面と

いった要素を取り入れようと、多くの時間を費やしました。1948年に、なんとかそれまでの私の考えを表した数学的な通信理論を組み立てることができました。それ以来、情報理論が私の生活の大半を支配してきました。いま、この京都賞につきましてもそうです。

ほとんどの人びとにとって「情報」という言葉は意味や事実を示唆します。通信の技術者にとっては「情報」とはある所からある所までの波形、さらに簡単にいうと活字の並び、またいっそう簡単にいうと「0」と「1」の並びの問題を指します。

情報理論での主な関心事は情報を伝達したり、操作するシステムを支配する数学的な法則を発見することです。情報理論では情報および情報を伝送、格納、または処理するさまざまなシステムの能力の定量的な尺度を求めています。

扱われている問題としては、利用可能な通信システムの最良の使用法や、必要な情報つまり信号と、外来の情報つまり雑音とを分ける最良の方法を見つけるなどがあります。与えられた情報を運ぶ通信路とよばれる媒体で、最大限にこなせることはなにか。その上限を決定するという問題があります。この結果は主に通信技術者の関心事となりますが、心理学や言語学の分野にも取り入れられ、その有用性が認められている概念もあります。

もっとも広く研究されている通信システムのタイプの構成は、次のようなものです。

- (A) 伝送されるべき生の情報、すなわち「メッセージ」をつくり出す情報源
- (B) この情報源でつくられた情報を通信路に合った形に変換、もしくは符号化する送信機。  
この変換されたメッセージは、信号とよばれます。
- (C) 符号化された情報、すなわち信号を受信地点まで伝送する通信路。伝送中に信号は変化させられ、ゆがめられることもあります。無線電の空電やテレビのちらつきというみなさんご存じの現象が、このような変化の例です。これらの妨害となる効果が雑音です。
- (D) 受信した信号を元のメッセージ、もしくは近似したものへ復号または翻訳する受信機。
- (E) 終点もしくはその情報の予定された受信者。

ついでにいえば、通信システムはちょうどこの場で起こっていることと変わりません。私が情報源で、みなさんが受信機です。通訳者はさしずめ、私の英

語のメッセージに込み入った操作をし、日本人のみなさんの耳に合うようにする送信機にあたります。この変換は、たんに事実を述べている言葉でさえむずかしいのですから、冗談や両義をもつ言葉についてはなおさらのことです。通訳者を発奮させるために、冗談をいくつも入れて話をしてみようという誘惑にかられます。

実際、通訳されたテープをほかの通訳者に渡して、再び英語に訳してもらおうかとも思っています。私たちのような情報理論学者は、このようにして大いに楽しむのです。

さまざまな要素をうまく解釈すれば、このシステムはたいへん一般的のため、種々雑多のコミュニケーションの問題を含んでしまうことがおわかりかと存じます。たとえばラジオでは、情報源はマイクに向かって話している人です。そのとき、メッセージは話者の発する声であり、送信機はマイクや声を電波、つまり信号に変える付属電子機器となります。通信路は送信アンテナと受信アンテナのあいだで、そのあいだに図中の雑音源にあたる信号を妨害する空電や雑音があります。ラジオ受信機は、受信された信号を可聴音に変換して、スピーカーから出力します。そして、終点はメッセージを聞く人となります。

情報理論の基本的な考えは、物質やエネルギーのように、情報もおそらく物理量として扱うことができるということです。たとえば、情報源はある地点で材木を作る製材所に似ています。通信路は、材木を別の地点へ運ぶ輸送システムにあたります。このような状況下で重要な量が二つあります。製材所が材木を作る割合  $R$  ( $\text{m}^3/\text{sec}$ ) と輸送機器の容量  $C$  ( $\text{m}^3/\text{sec}$ ) で、これら二つの量は輸送システムが製材所に対し適切なものであるか否かを決定いたします。もし製材の割合  $R$  が輸送容量  $C$  より大きいならば、製材所が最大限の生産をした場合、輸送不可となるでしょう。なぜなら積み込む場所がないからです。また、もし  $R$  が  $C$  より小さいか、または等しいならば、材木が効率的に輸送機器に積み込めるかどうかで輸送の可否が決まってきます。さて、ここで情報源に大型製材機があるとしましょう。これは類推すると、符号器もしくは送信機に対応します。このとき、100%の効率で輸送機器の容量を満たすように木材を細かく切るとします。この場合、受けとる地点には断片をうまくまとめて元の形に戻してから消費者に渡すよう大工が必要となってきます。

もしこの類推が正しいならば、与えられた情報源でつくり出される情報の割合を決める適切な単位としての尺度  $R$ 、そして情報を伝送するための通信路の容

量を決める 2 番目の尺度  $C$  が求められるでしょう。「生産の割合  $R$  (情報伝送速度)」が容量  $C$  より大きくないとき、またそのときのみ適切な符号化または調整システムにより、通信路を介して情報の伝送ができるということを、この類推は示しています。事実この特性をもつ尺度  $R, C$  を求めることを可能にしたのが、情報理論の大きな成果なのです。

もしコインを投げたとしたら、表が出るか、裏が出るかは五分五分の確率です。これは 2 進数の 1 桁、すなわち「ビット」の情報を生み出しました。もし 3 回投げたとしたら、3 ビット、すなわち  $\log_2 8$  ビットの情報を生み出します。この場合、八つの同等に起こりうる結果があります。この公式は、 $P_i$  をさまざまな事象の確率とすると、 $-\sum_1^{\infty} P_i \log_2 P_i$  です。

事象間の相関があるときは、ますます複雑な式が必要となります。たとえば英文中には子音と母音が交互にあるという傾向がありますから、通信路もいろいろと複雑になります。たとえば、連続的に伝送されるシンボルに作用する通信路の雑音間の相関もあって、このような場合、通信路に対する最適な符号化も通信路容量を求めることも複雑になります。

それではここで、通信から話題を移し、経済的、社会的重要性をまたたくまに増大させた、コンピュータについてお話しいたしましょう。

コンピュータは、その構成要素や構造といった面で数々の段階を経てきました。パスカルやバベジによるもっとも初期の計算機は、たいへん巧妙に作られた複雑な機械的装置でした。1614 年に、スコットランドの数学者ジョン・ネーピアが、対数というすばらしい発見をし、数年後にネーピアの骨 (Napier's Bones) という掛け算の道具を考案しました。これがのちに、計算尺へと発展してゆきました。計算尺が数世紀にわたって技術者にとって欠くことのできない計算の道具であったことは、いうまでもありません。私は電子工学の最初の講義で教授が、「この講義を取るためには、計算尺を買わなければいけません」といったことを、いまでもよく覚えています。私は log-log-deplex (注・対数—対数目盛りの計算尺) といういちばん大きなものを買って、それをいまだにもっています。大部分のアナログ・コンピュータ同様、計算尺はもう使われなくなり、このような携帯型の電卓に取って代わられました。私の log-log-deplex でできた計算は、すべてこの電卓でできますし、3 桁どころか 10 桁まで求めることができます。さすがに、日本製。

1936 年、ミシガン大学を卒業したばかりの私が仕事を探していると、幸運なことに、マサチューセッツ工科大学 (MIT) の電子工学科が微分解析機 (微分方程式を解くアナログ機械) を操作する人を探しているという掲示を見つけました。さらに幸運なことに、私はこの職を手に入れ、その後 2 年間、この機械を操作することができました。解析機とその発明の中心的人物、ヴァニヴァ・ブッシュは自分のことを、ヤンキーのダメ職人とよんでいましたが、実際には彼は優秀な技術者で、MIT の工学部長であり、のちにワシントンのカーネギー協会の所長になりました。

微分解析機は 6 次の微分方程式まで解けました。当時としてはもっとも進んだ計算機でしたが、電子素子やのちに現れるトランジスタを使った装置の速さや正確さという面で、このアナログ計算機はやがて消えゆく運命にありました。

興味深いことに、微分解析機はそうとうに複雑なリレー回路をもっていました。リレーはどちらかといえば単純な装置です。オンまたはオフ、つまり接点が開いているか閉じているかのどちらかです。接点を直列につないだ場合は、接続させるためには両方を閉じる必要があります、並列につないだ場合はどちらか片方を閉じれば接続させることができます。これらは論理学やブール代数の「and」(注・論理和) や「or」(論理積) の概念に近いので、ブール代数をリレー回路やスイッチング回路の解析や設計に適用できるのではという考えが浮かびました。このブール代数とスイッチング回路の組み合わせは、音楽でいえば調和して、みずから美しい調べを奏でているようでした。ブール代数を用いれば、より少ない接点とより少ない仕事量で回路の設計ができます。これが私の修士論文となり、このおかげで博士課程の奨学金をえて、ベル電話研究所での仕事をえることができました。

1940 年代には、いくつかのグループがさまざまなタイプのデジタル計算機を研究しはじめました。Mark I および Mark II と名付けられた二つのリレー計算機をもつハーバード大学のハワード・エイケンもその 1 人です。ベル電話研究所ではジョージ・スティビッツが、やはりリレーを用いて複雑な一連の計算を実行できる計算機を設計しました。

初期の電話のリレーは 1 ダースまでの接点の開閉が可能です。1940 年代には、もっと小型のリレーが開発され、その後さらに小さなものが作られました。

さらに複雑なスイッチング動作が、このロータリー・スイッチ・リレーのような特別な装置で実現されます。これは八つの接点を持ち、各接点が順に 25 個

の位置を動いてゆくことができるというものです。

同じころ、ペンシルバニア大学ではプレスパー・エッカートとジョン・モークレが、リレーではなく真空管を用いた計算機エニアック (ENIAC) を作りあげました。

真空管は、いうまでもなく、リレーの 1,000 倍以上という、たいへん早い計算を可能にするものです。時間の経過とともに、真空管も小さくなりました。しかしリレーと比較すると、真空管には欠点がありました。多くの異なった回路を同時に制御することは、真空管では難しいのです。つねにフィラメント電力を必要とし、寿命がたいへん短く、長くても数千時間です。真空管 6 本程度の家庭用ラジオならこのように寿命が短くても我慢できますが、数千本の真空管を使う計算機となると、1 時間に 1 本ぐらいつつ真空管が焼き切れてしまいます。

この世界初の真空管計算機エニアックは、第二次大戦では弾道計算に使われました。エニアックは、回路の接続をいろいろ変えるという点では、微分解析機のようにプログラムされていました。これは特定の問題をうまく解けるように調節することはできましたが、判断を下すことまではできませんでした。

この研究のコンサルタントとなったのは、プリンストン大学高等研究所の偉大な数学者、ジョン・フォン・ノイマンです。彼はおそらく今世紀でもっとも偉大な数学者であり、純粋数学や数理物理学、ゲーム理論に数多くの偉大な進歩をもたらしました。彼はコンピュータの構造を研究し、個々の問題において計算機が行なう演算の系列はそれ自体が一種の計算、すなわち記号論理学者が用いる式と同種の式であること、およびこれらはエニアックのように配線により機械に与えるのではなく、メモリの中に内蔵されなければならないことに気付きました。この方式によって、計算中においてさえ、演算の系列を容易に修正することが可能となり、それ自体すら計算の対象となるに違いありませんでした。

この時期、コンピュータの理論面における進歩がたいへん速かったため、コンピュータは完成する前にもう時代遅れとなってしまいました。プログラム内蔵という考え方は、エニアックの後継機エドバック (EDVAC) に導入されました。

初期の計算機につけられたこのような奇妙な名前は、その頭文字に由来しています。エニアック (ENIAC) は、Electronic Numerical Integrator and Computer (電子式数値積分機および計算機)、エドバックは Electronic Digital

Vaccum-tube Computer (電子式デジタル真空管計算機) です。数年後に私は遊び半分で、Is、Vs、Xs、Cs などローマ式記数法に基づいて動作する卓上型計算機を設計しました。スロバック (THROBAC) という名前で、Thrifty Roman Numeral Backward-Looking Computer (ケチなローマ数字の時代に逆らうコンピュータ) の頭文字です。

1948 年、私はベル電話研究所で働いていました。ある日、ウィリアム・ショクレイと話していると、彼の机の上に 3 本の針金が出ているプラスチック製の物体が置いてあることに気づきました。彼に「これはなんだ」とたずねると、「真空管と同じような増幅器だが、固体物理を応用している」と彼はいいました。このとき私ははじめて、トランジスタという、まずまちがいなく今世紀最大の発明となるであろう代物に遭遇したのです。

ショクレイ、ブラッタン、バーディーンがノーベル賞受賞者となったのは、この発明のおかげなのです。

トランジスタは真空管に比べると、たいへん多くの面で優れています。そのため、数年以内にはトランジスタがほとんどの真空管に取って代わりました。たいへん小型でフィラメントを必要とせず、無限の寿命をもっています。このときからトランジスタが、実質的に通信機や計算機のすべてのアプリケーションにおいて、真空管に取って代わったことはいうまでもありません。年々小型化が進み、4 分の 1 インチの小さなトランジスタが、今日では数百のトランジスタをもつマイクロチップに変わりました。1 か月ほど前にベル研究所は、より小型化の進んだ新しいマイクロチップを発表しました。それはこの大きさのチップに 100 万ビットを記憶するというものです。もちろん、みなさんにマイクロチップのお話をするのはニューカッスルに石炭を運ぶようなものですが……。

(注・釈迦に説法の意)

ここでコンピュータにまつわる私の趣味についてのお話に移りたいと思います。

1950 年ごろ、迷路を解く機械を作ったらおもしろいだろうということを思いつきました。心理学者はネズミに対する一種の知能テストとして、よく迷路を用います。私は、棒磁石で私のマウスを作り、迷路の床の下にある電磁石で動かすことに決めました。ネズミの形をしたカバーで覆われた棒磁石は方向を変え、迷路の壁にあたったときには計算回路に信号を送ります。すると計算機は



マウスを違う方向に走らせてみるのです。

この機械が動くからくりは次のようなものです。動作には二つのモードがあり、私はこれらを「探索戦略」および「目標戦略」とよんでいます。どちらも単純です。探索戦略はマウスが最初に目標を見つけようとするときにつかわれます。迷路の各区画（注・1つの正方形の領域）に対して二つのリレーからなるメモリがあり、これらは東西南北、四つの方向のいずれか一つを記憶することができます。各区画ごとに、マウスがその区画を最後に訪れたときに、マウスが去って行った方向を記憶します。これらが迷路中のマウスが経路について記憶している唯一のデータです。

探索戦略では、機械は方向 D を選び、ある区画に来ると第一番目の選択として 90 度回転します。もし障壁にあたって引き返したら、さらに 90 度回転し、以後これを繰り返します。目標を見つけると、リレーが作動してロックがかけられて動かなくなり、ついで機械は目標戦略に基づいて行動します。

目標戦略では、機械は第一番目の選択として、最後にその区画を訪れたときに、そこから去った方向を選び、目標へ向かって一直線に進みます。駆動機構とリレー回路はすべて迷路の床の下にあるので、マウスが迷路を解くのではなく、迷路がマウスを解いているのだと文句をつける、こうるさい連中もいます。

計算回路に約 100 個のリレーを用いたこの試行錯誤手続きは、解をもつあらゆる迷路を解きます。

この初期の学習機械は、ごく初歩的なものでしたが、一般の人びとのあいだでもサイバネティクスや学習および脳の機能の科学的な面に興味をもつ科学者たちのあいだでも、かなりの関心を集めました。『ライフ』という雑誌にも特集されました。

迷路を解くマウスは 1979 年に、IEEE（電気電子学会）がニューヨークで「びっくりマイクロマウス迷路コンテスト」を開催したときに、30 年ぶりに復活しました。マウスは自動制御でなければならず、床の下の電磁石その他一切のペテンは許されません。30 年間の小型化により、これが可能となりました。そうはいっても、このマウスは猫ほどの大きさもありましたが……。ついでながら、このコンテストは、このたいへん重要な問題に関する私の初期の仕事を、すこしばかり思い出させてくれるものでした。

かつて、チェスは高度な知的遊戯と考えられてきました。1800 年代初期に、

利口な発明家フォン・ケンペルンは、チェスをする機械を披露しました。実際にはそれはペテンのようなものでしたが……。つまり、考えることは機械の中に巧妙に隠れた人間がやっていたのです。中に人がいないことを観客に信用させるために、いくつかのドアが開けられ、そのときには中に入っている人はあちこち動きまわっていたのです。

チェスをする機械を設計しようというまじめな試みは 1914 年に、トレーシー・キービドーによって行われました。彼はキングとキングに対抗するルークの終盤戦を演じる装置を組み立てました。その機械はキングとルークの側になり、相手の人間がどのような手を打っても、数手のうちに相手のキングを詰めるというものです。終盤戦で満足のゆく手を打つための系統だった規則を与えることができたのですから、問題は比較的簡単です。しかしそのアイデアは、当時にしてはかなり進んだものでした。

1940 年代はコンピュータの分野が急速な進歩を遂げたときでもあり、私はチェスにもコンピュータにも興味をもっていたものですから、コンピュータがチェスをするようにプログラムするにはどうしたらよいかを解析したり、この問題を扱った論文を書いたりしました。私はまたリレーを使って、終盤戦の競技者を作りました。現代の水準から見れば、まだかなり原始的ではありました。ところで、エドワード・ラスカーはチェスの名人であるだけでなく、碁の腕も第一級であります。彼が書いた碁の本は、アメリカでの碁の人気上昇に一役買っているのです。私の論文のチェスをする機械についてのアイデアは、このときからこの分野の多くの研究者の手により使われ、また改良されてゆきます。そして毎年新しく、いっそう優れたチェスのプログラムが登場しました。1980 年に、私はオーストリアで開かれたチェス・コンピュータの国際トーナメントに出場しました。ここでは 20 ぐらいのエントリーがありました。使用されるコンピュータは、実際にはカナダやイタリアといった離れた所にあり、電話回線でつながっていました。かつて勤務していたベル電話研究所からケン・トンプソンがプログラムした Belle というエントリーがトーナメントで優勝したのを見て、私はうれしくなりました。

ついでに申しますと、長いあいだチェスの世界チャンピオンだった電気技師のボトゥビンニクは、コンピュータ・チェスに興味をもっていました。20 年前にロシアを訪れた際、私はボトゥビンニクと会うことができ、私たちは機械によるチェスの問題点をいくつか論じました。議論のあと、私は、通訳や同僚を

よろこばせました。彼のゲームを挑んだのです。ゲームの途中で、私はルークとナイトを取りました。しかし巧みな駒さばきで巧妙に王手をかけ、ボトウペンニクが勝利をえたのは、当然のことです。

コンピュータ・チップとロボティックスにより、より安くより見事なチェス・プレイヤーを作ることが可能となってきました。それらは市場にあふれるようになりました。毎年、より強いモデルが出現し、私はそのたびに新しい機械を買いそろえました。

これらはたんに閃光により、次の動きを合図するものがほとんどです。しかし、チェスの駒を実際にすべらして動きを示すものもあります。チェス板の下で、二つのモータにより、二次元で電磁力が働くのです。このメカニズムは、30年前に私が迷路を解くマウスで使ったものとほとんど同じです。もう一つ、動きを示すおもしろい方法が使われている例があります。それは三次元で動く機械仕掛けの手をもっています。手による開閉はもちろんです。たとえば駒を取りたいと思ったなら、手を伸ばし、下ろし、駒をにぎり、取った駒をチェス板の脇に置きます。そして戻ってきて自分が取りたい駒をつかみ、それを空いたマス目に動かします。映画『孤独の男 (The Lonely Guy)』では、この機械が人間とゲームし、ゲームに勝って相手の人間と握手をするというシーンがあります。

現在最強のチェスのプログラムは 2,000 勝を越える名人のレベルにまで達しています。りっぱな機関誌をもつコンピュータ・チェス専門の国際的な協会まであります。もしもコンピュータが世界チャンピオンを数年内に制したとしても、私は驚かないでしょう。

イギリスで最近開かれた情報理論の会議で、私は講演しました。聴衆は私が三つの球をポケットから引っぱり出してジャグル（お手玉のようなこと）をはじめまで、いねむりしていたようです。ジャグルの技は、三つの物を扱うところから 10 個のボールを扱うイタリアの偉大なエンリコ・ラステリのレベルにまで及びます。私の記録はせいぜい五つですが。数年前、実際にこのジャグルをするか、またはそのような錯覚を与える機械をつくるという考えにとりつかれました。

かなり研究したのち、私は世界記録級のジャグルの妙技の幻影をつくり出す機械を最初に作りました。ジャグル・チャンピオンが 3 人ステージの上にあります。右にはルーマニア人のビルゴアゴが七つのこん棒のジャグルをします。七

つのこん棒は宙を舞い、手から手へと移されます。左にはロシアのイグナトフ、おそらく現在最高のパーフォーマですが、11個のリングでジャグルをします。中央には偉大なるラステリが、片手に5個ずつ計10個のボールを扱います。実際には、これらは自由に宙を舞っているのではなく、背景の幕から細く黒い針金で支えられ、たいへん複雑な舞台裏のメカニズムによってその軌道を動くのです。

私はこれをジャグラの大会で披露しましたが、ある程度の関心はひきました。しかし明らかに、ジャグラがほんとうに宙を舞わせる物体を見たいと考えるのは当然のことです。そこで私は時間をかけて、偉大なアメリカのコメディアンでボードヴィル・ジャグラでもある、W・C・フィールズのモデルを作りました。フィールズはいきなり、ドラムのヘッドで三つの鉄球のジャグルをします。それは隠された針金もない本物のジャグルです。彼は何時間も、1回も落とすことなくジャグルをします。これは事実上、目隠しの奇術です。ボールの位置からジャグラの手へのフィードバックはありません。

私は今日、現在アルバート・ルーカスが12のリングでもっている物体の数の世界記録をぬりかえる機械を設計できると信じています。

チェスをする機械やジャグルマシンを“*Shumi*”（趣味）としてでも作ることは、途方もない時間とお金の無駄使いのようです。しかし、貴重な成果は単純な好奇心から生まれることが多いということを、科学の歴史は語っていると思います。

人間の頭脳をジャグルやチェスや迷路の解決のようなかぎられた領域で模倣する。このような特別な目的の機械をつくる際、遭遇する問題によって人間の頭脳はなんとすばらしい機械なのだろうかと思ひしられます。それは約100億の神経細胞からできているのです。これはミリ秒の速さで作用します。誕生のときには、基本的な身体機能は別として、ほとんどプログラムされていません。私たちが大人になって知っていることや行うことは、歩くことから、しゃべったり、音楽を聴いたり、数学を勉強するまで、ほとんどすべてが学習によるものなのです。

コンピュータはますます小さく早くなりますが、まだまだ人間の頭脳には及びません。長くて複雑な数学や論理的な計算では、コンピュータは私たちをバカのように思わせますが、彼らはうまく歩くことも、自分の母親を識別するこ

ともできません。いくつか「学習する」プログラムが書かれていますが、それはまだ原始的なものです。感覚器官において、ロボットは人間の多様性にはるかに及びませんし、出力機構は、たとえば温度や接触の感覚をもつ人間の手の大きな自由度とは比べものになりません。

トランジスタはマイクロ秒の単位で機能して、ミリ単位で働く神経細胞より1,000倍速く作動します。それにもかかわらず、頭脳がコンピュータより優れているのはいったいなぜでしょうか。たぶん神経細胞は並列に働いていて、他方コンピュータは一度に一つの命令だけを実行するようにプログラムされているということが大きな理由でしょう。私たちの眼が物体を見ると、何百万もの神経細胞が活動し、脳の後頭葉に刺激の情報が送られます。そして数百万の作用が同時にはじめられ、顔や物体を信じられない速さで認識します。情報は目で並行に処理されます。テレビカメラのように、1点ずつ走査して処理するものではありません。

しかし、機械が人間の頭脳と張り合う、または勝つという方向に私は大きな望みをもっています。人工知能として知られるこの領域は、いままで30年から40年の期間、開発努力が行われてきました。たとえばMITの周囲1マイル以内には、7社がこの人工知能の研究を、なかには並列処理の研究を行っております。

未来を予言することは難しいのですが、西暦2001年には私たちと同じように歩いたり、見たり、考えたりすることのできる機械が出現すると、私は思っております。