

# 世界をORする視線 (24)

## 第I部 通信・デジタル技術の発展

### (3) コンピュータの発展：コンピュータ科学の 数学的基礎 (続き 11)

住田 潮

(註：本稿は前回からの続きであるので、文献リストは継続し、新たに必要となる分を追加する。今回の内容は、基本的に文献 [12] に拠っている。)

#### 1. 人生の新局面：情報理論の社会的浸透

誰の人生にも、それまでの時間の慣性力から飛び出してしまうような変革の年があると思われる。シャノンにとっては、研究面でも私生活においても、1948年こそが、まさしく人生の新局面を拓いた区切りの年であった。この年、情報理論に関する記念碑的論文『通信の数学理論 (A Mathematical Theory of Communication)』をベル研究所が発行する専門誌に発表した。当初こそ、この論文の潜在的可能性を理解できたのは通信エンジニアや数学者など、予備知識をもつ少数の集団に限られていたが、翌年、幾分かの誤解を含みつつも、この論文の内容を世界に知らしめることに熱意を燃やしたウォーレン・ウィーバー (Warren Weaver)[48] との共著『通信の数学理論 (The Mathematical Theory of Communication)』がイリノイ大学出版会から出版されることにより、情報理論は、ゆっくりと各方面に伝播していくこととなった (連載第 23 回)。

シャノンの情報理論がさらに一般社会の関心を集めるようになったのは、論文発表から 5 年後の 1953 年、フォーチュン誌 (Fortune) の 9 月号に “The Information Theory” というタイトルの紹介記事が掲載されてからである。執筆者は、当時、フォーチュン誌の技術部門編集者であったフランシス・ベロ (Francis Bello) である。ベロは技術関連テーマでは著名なジャーナリストであり、1960 年には Scientific American へ移り、

1982 年までその編集者を務めた [95]。多くの科学記事を執筆し、科学ジャーナリストとして数多くの賞を受賞しているが、中でも、ソビエト連邦が宇宙船スプートニク (Sputnik) を打ち上げたことに対抗して、アイゼンハワー大統領時のホワイト・ハウスが将来の宇宙開発を見据えて出版した『Introduction to Outer Space』を、エドウィン・ハーバート・ランド (Edwin Herbert Land) [96]、エドワード・ミルズ・パーセル (Edward Mills Purcell) [97] と共同執筆したことで知られている。ランドは物理学者でありボラロイド社の共同創業者として有名であり、パーセルは 1946 年に液体中、固体中での核磁気共鳴を単独で発見した功績により、1952 年度のノーベル物理学賞を受賞している。

フォーチュン誌でシャノンの情報理論を紹介したベロの記事の書き出しは劇的であり、記事の内容をよく表わしているので、文献 [12] より転記する。

「偉大な科学理論は、偉大な交響曲や偉大な小説と同じく、人類にとって最も誇らしく、最も希少な創造物である。科学理論が他の創造物とは異なり、ある意味で優れた創造物なのは、人類の世界観を瞬く間に大きく変えてしまう力を持っているからだ。

今世紀、人類の人生とまでは言わないが人類の物の見方は、相対性理論や量子理論などの科学的洞察によってすでに大きな変化を経験した。そしてここ 5 年のあいだに、これらに引けをとらないほど偉大だと思えない新しい理論が登場した。この新しい理論は一般大衆にはほとんど知られていないが、ふたつの名称のいずれかで通用してきた。通信理論、あるいは情報理論である。これが最終的に不朽の名声を勝ち取るかどうかは、国内外の多くの主要な研究所で、現在取り組まれている。

すみた うしお  
筑波大学名誉教授

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

る問題である。

人類の平和な時代における進歩や戦争における身の安全は、情報理論の賢明な応用にかかっているとんでもない。アインシュタインの有名な方程式を爆弾や発電所など物理的な形で応用するよりも価値がある。」

シャノンはこの記事に関して「一流の科学記事」という感想をもったが、「通信理論は相対性理論や量子力学とは格が違う」との謙虚な姿勢を変えなかった。シャノンは機会あるごとに「情報理論を過大評価すべきではない」と繰り返したが、彼の公人としての人生において、生涯、「通信にとってのシャノンは、物理学にとってのアインシュタインの存在に例えられる」といったアインシュタインとの比較が付きまとうこととなった。革命的な理論を考案したにもかかわらず、遊び心に溢れ、出世と名声を重んじるエリートの世界から距離を置く生活スタイルが、二人に共通するものとして感得され、大衆の想像力をかき立てる原動力となったのであろう。

続いて翌年の1954年6月、ペロは“The Young Scientists”という記事をフォーチュン誌に発表した。100名以上の科学者にインタビューし、さらに数十名の科学者からアンケートの回答を得て書かれたこの記事は、「傑出した科学者となるための共通項」を探る目的で書かれており、アメリカで最も重要な科学者20人をリストアップし、その中に、38歳になったシャノンを加えている。リストに挙げられたほかの科学者には、DNAの二重螺旋構造を発見して1962年にノーベル賞を受賞することになる26歳のジェームズ・デューイ・ワトソン (James Dewey Watson) や、量子電磁力学における貢献で1965年にノーベル賞を受賞する36歳のリチャード・フィリップス・ファインマン (Richard Phillips Feynman) の名前もあった。ペロはこの構想を拡大して、1961年、フォーチュン誌編集部が編集し自らも執筆を担当した『Great American Scientists: America's Rise to the Forefront of World Science』の出版に際しても大きな役割を果たした。

フォーチュン誌のペロの記事を契機として、1950年代後半にはシャノンの研究は一般紙で賞賛されるようになり、その評判と相俟ってさまざまな分野で応用されるようになった。中には研究資金を得るための方便として時流にのるといった濫用もあったと思われるが、シャノンは一貫して、基本的に謙虚さを保ったまま静観する姿勢を維持した。重要な例外は、1955年、現在の『IEEE (Institute of Electrical and Electronics

Engineers)』の前身である無線技術者協会 (Institute of Radio Engineers) の専門誌『IRE Transaction on Information Theory』に掲載されたルイス・A・デ・ロサ (Luis A. de Rosa) の論説に対する反応であった。ロサの問題提起は、

「無線や有線の通信という領域を超えて、情報理論の応用は急速に拡大しているが、われわれ通信の専門技術者は、関心の領域を経営、生物学、心理学、言語理論にまで広げるべきか、それとも厳密に無線や有線による通信の領域に集中すべきか」というものであった。

これに対してシャノンは例外的に反応を示し、同じ専門誌に“The Bandwagon (時流便乗現象)”というタイトルの短い声明を寄せた。その中で、この問題に対する姿勢を、以下のように表明している。

- ここ数年間、情報理論は科学の世界で「バンドワゴン効果」を発揮してきた
- その人気の理由としては、計算機、サイバネティクス、オートメーションなど、時代の新しい学問分野に少しずつ関わっていることが一因と考えられる
- さまざまな分野の科学者仲間が、時代のファンファーレに浮かれ、情報理論のアイデアを各自の問題に適用するという過熱状態にあり、情報理論の実際の成果以上に、その重要性が過大評価されていると思われる
- 通信の問題を根本から洞察するうえで情報理論が重要な役割を果たすのは確かであり、その重要性は拡大し続けるであろう
- しかし、その一方、通信エンジニアにとってはもちろん、ほかの分野の研究者にとっても、情報理論が万能薬とはなり得ないことも確かである
- 自然界の秘密が一度に、たくさん解き明かされることなど、まず考えられないからである
- 情報理論は数学の一分野であり、非常に限られた分野を対象としており、心理学や経済学など、ほかの社会科学の分野とは必ずしも関連性がない
- 情報理論の概念がほかの多くの分野で役立つことを個人的には確信しており、一部では有望な結果も現れているが、その応用をほかの分野に定着させるためには、新しい領域に情報理論の用語を導入するといった小手先の対応ではなく、仮説と実験の検証という時間のかかる退屈なプロセスを経ることが不可欠である
- 研究者にとって肝心なのは、研究の臨界閾値を上

げることであり、その成果を論文として問うべきである

- 発想がお粗末で中途半端な論文が量産されるよりは、少数でも一級の研究論文が発表される方が好ましい
- お粗末な論文を発表しても著者の名誉にはならないし、読まされる方も時間の無駄である

新しい体系が確立され広く普及すると、内容が十分に理解されないままに、誤った理論づけがなされるようになる。この危険は、あらゆる革命的な科学思想に内在するもので、おそらくシャノンはパンドラの箱を開いてしまったかのような気分になり、それを少しでも是正したいと考えたのに違いない。上述の声明に表現された、さまざまな文献から浮かび上がるシャノンの人物像に似つかわしくない厳しい内容が、それを物語っている。

## 2. 人生の新局面：ベティとの出会いと結婚

シャノンにとって1948年は、私生活においても新しい局面を拓く年となった。ベル研究所の若きアナリストであるベティ・ムーアと出会い、翌年には結婚、彼女は生涯を共にする伴侶となったのである。二人は三人の子供（上二人は男子、末っ子は女子）に恵まれたが、長男のロバートは1998年、両親よりも先に45歳の若さで亡くなっている。ベティの直属の上司であったジョン・ロビンソン・ピアース (John Robinson Pierce)[98]は、シャノンにとってベル研究所における重要な同僚であり、彼の研究室を訪れた際にベティを紹介され、それが運命的な出会いとなった。

ピアースは1910年、アイオワ州のデモイン (Des Moines) に生まれ、カリフォルニア工科大学で電気工学を学び、1936年、博士号を取得後、ベル研究所に入った。初期の仕事は真空管に関するもので、1942年に、イギリスのレーダー研究所の科学者ルドルフ・コンフナー (Rudolf Kompfner) による進行波管 (TWT: Traveling-Wave Tube) の着想を論じた論文を発見し、第二次世界大戦中にその研究に取り組み、数学的理論を完成させた。戦後、ピアースはコンフナーをベル研究所に招聘し、二人は協力してTWTを情報化時代の重要な装置に育て上げた。TWTの特徴は、真空中で電子銃から出た電子流の速度が、同方向に進む遅延回路上の電波の速度にほぼ等しいとき、軸上の電界と電子との間に生じる相互作用を利用してマイクロ波を増幅し、最後に電子流をコレクタ（集電極）に集める点にある。増幅の帯域幅が広いという特徴を有しており、

放送衛星・通信衛星・レーダーなど大出力空中線電力を要する分野では、トランジスタや化合物半導体増幅器を凌駕しているため、現在でも広く使用されている。

ピアースとシャノンの関わりは、バーナード・モア・オリバー (Bernard More Oliver)[99]と共に、パルス符号変調 (PCM: Pulse-Code Modulation) の開発プロジェクトを通して生まれた。オリバーはレーダー、テレビ、コンピュータなど、多様な分野でさまざまな貢献をなした科学者で、後にヒューレット・パッカード研究所 (Hewlett-Packard (HP) Laboratories) を設立し、HP社の卓上計算機の開発を牽引した。

PCMは、アナログ波の振幅を一定時間間隔でサンプルし、時系列としてデジタル化する方法で、今日のマルチメディア・ネットワークを支える重要な技術となっている。PCMについては、本連載でアナログ・ネットワークからデジタル・ネットワークへの進展を扱う項で、改めて詳しく論じる。1945年にピアースの名前でPCMの関連特許が出願され、1946年と1952年にはオリバーとシャノンの連名で新たな特許出願がなされている。1948年、この3人は共著で、“The Philosophy of PCM” [100]を執筆した。

ベル研究所におけるピアースのほかの重要な仕事としては、ウィリアム・ブラッドフォード・ショックレー・ジュニア (William Bradford Shockley Jr.) [101]、ジョン・バーディーン (John Bardeen) [102]、ウォルター・ハウザー・ブラッテン (Walter Houser Brattain) [103]の3人の研究チームが取り組んでいた固体増幅素子開発プロジェクトを統括したことが挙げられる。この開発を巡る逸話はシリコンバレーの出現に繋がる興味深いもので、アメリカの研究者間における資源の獲得と名誉を巡る競争を象徴する側面をもつが、本連載の第2世代コンピュータを取り扱う際に、改めて詳しく論じることにする。ここで触れておきたいのは、この新たな素子を「トランジスタ」(transistor)と命名したのはピアースであるという事実である。ブラッテンに頼まれて名前を考えることになったピアースは、まず、真空管には入力電圧の変化がリニアに出力電流変化となって現れる現象を表わす transconductance という言葉があることに着目した。コンダクタンスは抵抗の逆数を表わす言葉で、それを伝達する、すなわち、“transfer conductance”から作られた造語である。真空管の機能を代替する固体増幅素子には、抵抗を伝達して増幅する機能があり、これは“transresistance”と表現されるので、ここから造語することを発想した。さらに、関連機器として、二つの電極をもつ電子部品で、両端子間の

電圧が低い場合には電気抵抗が高いが、ある程度以上に電圧が高くなると急激に電気抵抗が低くなる性質をもつバリスタ (varistor) や、温度変化に対して電気抵抗の変化の大きい抵抗体であるサーミスタ (thermistor) があり、これらとも音の響きが調和した方が良いと考へ、“transistor” と命名したと述懐している [98].

ピアースは人工衛星の分野でも功績を残している。静止通信衛星のアイデアを最初に提案したのはイギリスの SF 作家アーサー・チャールズ・クラーク (Arthur Charles Clarke) であるが、ピアースも独自にこのアイデアを考察し、無人通信衛星について本格的な開発に取り組み、ベル研究所で、世界で初めての商業用通信衛星 Tesla 1 をプロジェクト・リーダーとして成功させた。

アメリカ合衆国政府は、1964 年、一般的な計算言語学の進歩と、とりわけ機械翻訳を評価するために、ピアースを委員長とする 7 人の科学者で構成される ALPAC (Automatic Language Processing Advisory Committee) を創設した。1966 年に公表された報告書は、機械翻訳に関する研究成果に疑問を提起し、さらなる計算言語学の基礎的な研究の必要性を強調した。

ピアースは、「人工知能への研究投資は馬鹿げている」と発言し、これにより、1960 年代から 1970 年代にかけて、アメリカ合衆国政府は、その分野への投資を劇的に引き下げることとなった。

ピアースは、1971 年にベル研究所を去り、カリフォルニア工科大学の電気工学科の教授に就任、1980 年の定年までそこを勤め上げた。その後、スタンフォード大学の CCRMA (Center for Computer Research in Music and Acoustics: コンピュータ音楽・音響研究センター) の名誉客員教授となり、コンピュータ音楽の研究に取り組んだ。伝統的なオクターブ (octave) 音階は、調和的な振動数の比を 2:1 とするが、ピアースはこの比を 3:1 とする音階を提唱してトライターブ (tritave) と呼び、ピアース音階と名付けた。後に、ハインツ・ボーヘン (Heinz Bohlen) が同様の音階を提唱していたことを知り、ボーヘン-ピアース音階 (Bohlen-Pierce Scale) と命名し直したが、この音階は今日の電子音楽に大きな影響を与えている。ピアースは余暇に多くのサイエンス・フィクションを執筆したことも知られているが、2002 年 4 月 2 日、92 歳の生涯を静かに終えた。

1948 年の秋、ピアースの研究室で数値解析の専門家として働いていたベティを紹介されたシャノンも、たちまち彼女に夢中となった。日頃は寡黙なシャノン

も、勇気を奮い起こしてベティを夕食に誘い、その後、デートを重ねるようになる。時間を共に過ごすようになるに連れ、ベティもまたシャノンに魅了された。出会ってそれほど時を経ず、1949 年 3 月、二人は結婚した [12, 104]。ノーマとの結婚が破綻してから、7 年の歳月が経過していた。数学と音楽に対する情熱を共有し、夕べには、シャノンのクラリネットに対し、ベティはピアノを弾いて二重奏を楽しみ、後述するように、シャノンがさまざまな発明品を産み出すのを鼓舞し、コンピュータ (当時は未だ、数値解析の専門家をコンピュータと呼んでいた時代である) として開発に大きな役割を果たすこともあった。また、二人して株式市場の数理解析に夢中になり、それなりの資産を稼ぎ出すようなことも行っている。

ベティの結婚前の名前はメアリー・エリザベス・ムーア (Mary Elizabeth Moore) で、1922 年 4 月 14 日、ハンガリー系移民の子供としてニューヨークのマンハッタンで生まれた。1 人娘であった。多くの移民と同様、家族は第二の祖国で苦労を重ね、特に 1929 年の大恐慌で大打撃を蒙り、自宅を失いかけたが、ルーズベルト大統領のニューディール政策の一環で実施された住宅所有者向けプログラムのお陰で差し押さえを免れた。父親は職を失ったりもしたが、最後にはニューヨーク・タイムズの補助スタッフに採用された。母親は毛皮ビジネスで父親よりも安定した収入を得たが、家族を養うべく自らの学業を途中で断念していた。

ベティはカトリック系の高校に入学し、成績は抜群であった。卒業時には複数の大学から奨学金付きの入学許可を得た。コーネル大学が第一志望であったが、奨学金だけでは授業料を全額支払うことができず、両親には娘を援助する余裕がなかったため、授業料全額免除のうえ、仕事も提供してくれるという好条件を提示したニュージャージー女子大学 (現ラトガース大学ダグラスカレッジ) に入学した。実家から通学できることも、大きな魅力であった。数学を専攻して優秀な成績を収め、Phi Beta Kappa に選ばれて卒業、ほかのどこよりも好条件を提示したベル研究所に就職した。卒業後も実家の両親のもとから通い、学生時代と変わらず家事を手伝い、両親の存命中は何らかの形でサポートを続けた孝行娘であった。因みに、Phi Beta Kappa は学部の優秀学生を顕彰する名門組織で、その起源は南北戦争時にまで遡る。全米の大学中、選抜する権利を与えられているのは 10% 程度であり、各大学で選抜されるのは成績上位 10% 程度に限られる。現在でも、卒業後、社会へ羽ばたく際に門戸を開く重要なパスポー

トと見なされている。

ベル研究所では数学部門に配属され、当初はコンピュータ（数値解析の専門家）としてマイクロ波の研究を担当し、次いで第二次世界大戦の余波を受けて急成長中であったレーダー研究グループに異動した。シャノンと出会ったのは、その頃である。結婚後、二人はニューヨークを引き払い、ベル研究所の近くのニュージャージー州モリスタウンに居を移した。シャノンにとってベティは、単に一緒にいて楽しい存在というだけでなく、仕事上のパートナーでもあった。シャノンの研究においても、数学の面でベティは貴重な助言者であり、参考文献を調べ、夫が考えている内容を聞き取って原稿を起こし、さらに推敲・編集も手掛け、内助の功はすこぶる大であった。後にシャノンの記憶力が衰え、数学の参考文献についていちいち思い出せなくなると、助け船を出し、記憶を呼び起こさせたのも彼女である。当時は、投稿論文は必ずしもタイプされるわけではなく、手書きの清書が用いられたが、ベティが清書したのも少なからず存在し、シャノンの筆跡とは異なることから、関係する専門家諸氏を困惑させることもあったという。

希に見る優れた才能を有する数学者同士の結婚が、時代を先駆ける多くの研究成果を産み出し、そして幸福な生涯を添い遂げたという、まるでおとぎ話のような微笑まじさを感じさせる。ベティ自身が優れた研究者であったことの証左として、1949年、上司であるピアースとの共著で、“Composing Music by a Stochastic Process” という題名の論文を Bell Telephone Laboratories Technical Memorandum に発表していることを指摘しておく [104]。

### 3. 学習するネズミ・ロボット

1950年代に入り、有名人に伍するようになったシャノンの生活は、多くの点で変化した。まず、CIA 長官からベル研究所の所長宛に、「国家機密に関連する事柄に関して、シャノン博士の助力を緊急に必要としている」旨の手紙が届いた。次いで、別の CIA 高官からの意を受けた海軍のジョセフ・ヌマ・ウェンガー (Joseph Numa Wenger) [105] 大佐からシャノンに直接、電話が入り、改めて協力を要請された。ウェンガーは通信情報の重要性を最初に認識した海軍将校の一人で、海軍の現場に暗号通信を導入し、「データの集中管理に基づく暗号通信活動の創始者」として評価されている。現在の NSA (National Security Agency) の前身である軍保安局 (Armed Force Security Agency) の長官

代行を務めた後、NSA の設立に指導的役割を果たし、1952年に第一副長官に就任、海軍少将にまで上りつめている。この電話の中で、シャノンは、もう少し問題について理解を深め、自分が本当に貢献できるかどうかを見極めたうえで判断したい旨を返答したと伝えられている。同じ週にジョン・フォン・ノイマン (John von Neumann) [44] もシャノンに電話を掛けて問題の重要性を強調し、プロジェクトへの参加を促した。

当時、情報理論の応用は急激に増加しており、シャノンの助力を求める声は増える一方で、シャノンは無関心を信条とし、それを寄せ付けないために全力を尽くし、名声や報酬に意を払うことはなかった。しかし、情報理論の研究は国民的な名声をもたらし、ついには連邦政府が名指しで協力を求める事態に至ったのである。結局、シャノンは1950年代半ばまで、連邦政府の暗号諮問分科会やその後継の国家安全保障局諮問委員会の会合に出席するため、ワシントンを定期的に訪れることになった。しかし、シャノンがどのような貢献を成しえたのかは、未だに機密扱いのままである。

情報理論の名声のお陰で手にすることのできたものの中で、シャノンが最も歓迎したのは、ベル研究所の首脳陣がシャノンに認めた「生産的行為に関わらない権利」であろう。すなわち、管理業務に携わることなく、フルタイムの雇用契約の許す範囲内で限りなく名誉職に近い存在となることを黙認されたのである。出勤時間は遅く、集会所でチェスやボードゲームに興じて一日を過ごすことも希ではなく、ベル研究所の狭い通路を一輪車でジャグリングをしながら駆け抜けたり、あるいはポゴスティック（ホッピング用の玩具）でキャンパスを跳ね回っている姿が目撃されたりもした。結果を無視して、個人的に好きなプロジェクトを進めることも可能で、工具店でさまざまな品を購入し、その料金をベル研究所に請求した記録が残されている。このような態度は、ベル研究所の内部で咎められることはなかった。シャノンは情報理論を内密に進め、完成させた後、いきなり世間に公表したではないか。現在も、秘密裏に何かを進めている可能性は、誰にも否定できなかったのである。研究者として成功した科学者の多くは、有識者として社会的な場に登場することを良しとしたが、シャノンはそうではなかった。同僚もプロジェクトも無視して、最も興味のある難問に熱中した。

シャノンが取り憑かれたのは、機械が活躍する未来を端緒的に実現する実験であった。きっかけは、ベティからクリスマス・プレゼントに貰ったアメリカで一番

大きな組み立てセットだった。シャノンも地下室に籠り、夜遅くまで夢中で組み立て作業に取り組んだ。最初の作品として、家の中をノロノロ動き回る機械のカメを制作した。壁にぶつかると自ら方向転換する仕組みを造り込み、カメは際限なく動き続けた。現在の無人自動掃除機を、先取的に実現していたといえる。

このカメは予行演習で、次に取り組んだのが、学習しながら迷路を進み、スタートからゴールへと到達するネズミであった。彼はこのネズミをテセウスと名付けた。ミノタウロスを殺し、恐ろしい迷路から脱出したギリシャ神話の英雄の名前を採り、期待を込めて命名したと思われる。テセウスは大きさ7.5cmほどの木製のネズミで、銅のひげと三つの車輪が付いていた。ベル研究所で任された通話を繋ぐ自動スイッチ開発プロジェクトにヒントを得て、そこで使われた電磁リレーを75台設置し、線路の分岐のように機能させることによってテセウスを誘導する仕組みであった。プロトタイプの配線を完成させたのはベティで、「二人で夜中まで夢中になって完成させた」と述懐している。

テセウスの推進力は、二つの磁石から生み出されていた。一つは中心部の空洞に埋め込まれ、もう一つは迷路の下を自由に動き回る仕組みであった。動き始めて壁に突き当たると、それを銅のひげで感知し、正しい継電器を作動させて新しい進路へと向かわせる。このプロセスを、金属製のチーズが置かれたゴールに到達するまで繰り返す。継電器には正しい進路の方向についての情報が「記憶」として蓄積されるので、二度目以降は簡単にチーズを見つけることができた。このシステムでは、ネズミはあくまでも受動的な部品に過ぎず、迷路に蓄積された記憶がネズミを誘導する点に本質があった。いずれにせよ、テセウスが学習するロボットのパイオニアに位置し、人工知能の原初的な具体例となったことは確かである。

テセウスはベル研究所の人気者となった。ベル研究所はシャノンと連名で特許を取得し、一般向けに7分間の短編映画を制作した。説明役を務めたシャノンは、映画の最後に迷路の配置を変え、出口のない広場にテセウスを置いてからシステムを作動させた。ネズミは動いては壁に突き当たることを繰り返し、最後は閉じ込められた。映画は、シャノンの微笑をアップし、「私たちと同じように、時には彼もこのような状況に陥ります」というコメントで終わる。この段階で既に、「ある条件が満たされる範囲内でのみ人工知能は機能する」ことを看破していたシャノンの凄味を感じさせるエピソードである。

テセウスは、社会的にも強い関心を引き起こした。タイム誌は「記憶力をもつネズミ」というタイトルで短い特集記事を組み、ライフ誌は、テセウスがチーズを探している写真を載せ、ポピュラー・サイエンス誌は、「このネズミはあなたよりも賢い」という見出しで3ページにわたる記事を掲載した。

また、このネズミ・ロボットとそれを動かすシステムは、1951年のメイシー会議にも話題として取り上げられた。メイシー会議は、ジョサイア・メイシー・ジュニア (Josiah Macy Jr.) 財団の援助を受け、財団のリーダーであったフランク・フレモント＝スミス (Frank Fremont-Smith) の指揮の下、1941年から1960年までニューヨークで開催された、さまざまな学問分野の学者による会議である。会議の目的は、科学分野を超えた有意義なコミュニケーションを促進し、科学に統一性を取り戻すことにあった。この理念は、自然科学だけでなく社会科学をも網羅する学際的な統合手段を提供できるのではないか、という問題意識に裏打ちされ、後にサイバネティクス (動物と機械における制御と通信の理論) と命名されることになる領域に大きな影響を与え、さらに、自己組織化理論、心理療法、認知科学などの新しい分野の発展に寄与した。特定のテーマ別に異なる会議が開催され、このプログラムが活動していた19年間に合計160の会議が開催された。

メイシー会議には、ノーバート・ウィナー (Norbert Wiener) (数学)、ジョン・フォン・ノイマン (John von Neumann) (数学)、ハインツ・フォン・フェルスタ (Heinz von Foerster) (物理学)、ウォーレン・スタージス・マカロック (Warren Sturgis McCulloch) (神経生理学)、ローレンス・シュレジンガー・キュービー (Lawrence Schlesinger Kubie) (精神医学)、クルト・ザデク・レヴィン (Kurt Zadek Lewin) (心理学)、ヴォルフガング・ケーラー (Wolfgang Köhler) (心理学)、ジョージ・イブリン・ハッチンソン (George Evelyn Hutchinson) (生態学)、マーガレット・ミード (Margaret Mead) (文化人類学)、ポール・フェリックス・ラザースフェルド (Paul Felix Lazarsfeld) (社会学)、フィルマー・シュテュアート・カックウ・ノースロップ (Filmer Stuart Cuckow Northrop) (哲学) など、当代一流の科学者20名あまりが会員として集まり、クロード・シャノン (情報理論) もテーマに応じて招かれたことになる。

尊敬に値するメイシー会議のメンバーは、それまでさまざまな角度から人工知能の理論に全力で取り組んできたのであるが、彼らのテセウスに対する最終的な

反応は、必ずしも好意的なものではなかった。「テセウスは本物の知能ではなく、ラットのような生き物が学習するプロセスの一面をモデル化したに過ぎない」というコメントは、さりげなくマウスをラットと言いかえている点で、密かな悪意さえ感じさせるものであった。メイシー会議のメンバーは、包括的に「知能」の概念モデルを探ることに主眼を置く理論家集団であり、そのモデルを具体的に機械化することを現実視できる地平には至っていなかった。彼らにとって、「知能」の極めて限られた一面を機械化して見せたテセウスは、単なる知的な玩具としてしか理解されなかったのである。一方、数学者であると同時に技術者でもあったシャロンは、このコメントに対して苦笑せざるを得なかったに違いない。シャロンにとってテセウスは、「試行錯誤を通じて問題を解決し、解決法を記憶する能力を機械が有している」ことを実証するための第一歩としての装置であり、今日に至る人工知能が活躍する世界を遙かに見据えていたのである。

#### 参考文献

- [1] H. Goldstine, *The Computer from Pascal to von Neumann*, Princeton University Press, 1972. (末包良太, 米口肇, 犬伏茂之訳, 『復刊 計算機の歴史—パスカルからノイマンまで—』, 共立出版, 2016.)
- [2] S. McCartney, *The Triumphs and Tragedies of the World's First Computer*, Walker, 1999. (日暮雅通訳, 『エニアック—世界最初のコンピュータ開発秘話—』, パーソナルメディア, 2001.)
- [3] 坂村健, 『痛快! コンピュータ学』, 集英社, 1999 (文庫版 2002).
- [4] 竹内伸, 『実物でたどるコンピュータの歴史—石ころからリングへ—』, 東京理科大学出版センター(編), 東京書籍, 2012.
- [5] 小田徹, 『コンピュータ開発のはてしない物語—起源から驚きの近未来まで—』, 技術評論社, 2016.
- [6] Wikipedia, Francois Viète, [https://en.wikipedia.org/wiki/Francois\\_Viète](https://en.wikipedia.org/wiki/Francois_Viète) (2021年12月14日閲覧)
- [7] E. T. Bell, *Men of Mathematics Volume 1*, Simon & Schuster, 1937. (田中勇・銀林浩訳, 『数学をつくった人びと上』, 東京図書, 1976.)
- [8] Wikipedia, René Descartes, [https://en.wikipedia.org/wiki/René\\_Descartes](https://en.wikipedia.org/wiki/René_Descartes) (2021年12月21日閲覧)
- [9] E. T. Bell, *Men of Mathematics Volume 2*, Simon & Schuster, 1937. (田中勇・銀林浩訳, 『数学をつくった人びと下』, 東京図書, 1976.)
- [10] Wikipedia, George Boole, [https://en.wikipedia.org/wiki/George\\_Boole](https://en.wikipedia.org/wiki/George_Boole) (2021年12月14日閲覧)
- [11] P. J. Nahin, *The Logician and the Engineer: How George Boole and Claude Shannon Created the Information Age*, Princeton University Press, 2012. (松浦俊輔訳, 『0と1の話—ブール代数とシャノン理論—』, 青土社, 2013.)
- [12] J. Soni and R. Goodman, *A Mind at Play: How Claude Shannon Invented the Information Age*, Simon & Schuster, 2017. (小坂恵理訳, 『クロード・シャノン—情報時代を発明した男—』, 筑摩書房, 2019.)
- [13] Wikipedia, Claude Shannon, [https://en.wikipedia.org/wiki/Claude\\_Shannon](https://en.wikipedia.org/wiki/Claude_Shannon) (2021年12月20日閲覧)
- [14] Wikipedia, Alan Turing, [https://en.wikipedia.org/wiki/Alan\\_Turing](https://en.wikipedia.org/wiki/Alan_Turing) (2021年12月20日閲覧)
- [15] B. J. Copeland, *Turing: Pioneer of the Information Age*, Oxford University Press, 2012. (服部桂訳, 『チューリング—情報時代のパイオニア—』, NTT出版, 2013.)
- [16] A. Hodges, *Alan Turing: The Enigma*, Princeton University Press, 2014. (土屋俊・土屋希和子訳, 『エニグマ—アラン・チューリング伝—』, 勁草書房, 2015.)
- [17] 高岡詠子, 『チューリングの計算理論入門—チューリング・マシンからコンピュータへ—』, 講談社, 2014.
- [18] Wikipedia, Galileo Galilei, [https://en.wikipedia.org/wiki/Galileo\\_Galilei](https://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei) (2021年12月21日閲覧)
- [19] Wikipedia, Nicolaus Copernicus, [https://en.wikipedia.org/wiki/Nicolaus\\_Copernicus](https://en.wikipedia.org/wiki/Nicolaus_Copernicus) (2021年12月21日閲覧)
- [20] Wikipedia, Marin Mersenne, [https://en.wikipedia.org/wiki/Marin\\_Mersenne](https://en.wikipedia.org/wiki/Marin_Mersenne) (2021年12月21日閲覧)
- [21] Wikipedia, Isaac Beeckman, [https://en.wikipedia.org/wiki/Isaac\\_Beeckman](https://en.wikipedia.org/wiki/Isaac_Beeckman) (2022年1月2日閲覧)
- [22] Wikipedia, Adrien Baillet, [https://en.wikipedia.org/wiki/Adrien\\_Baillet](https://en.wikipedia.org/wiki/Adrien_Baillet) (2022年1月2日閲覧)
- [23] Wikipedia, Elisabeth of the Palatinate, [https://en.wikipedia.org/wiki/Elisabeth\\_of\\_the\\_Palatinate](https://en.wikipedia.org/wiki/Elisabeth_of_the_Palatinate) (2022年1月2日閲覧)
- [24] Wikipedia, エリーザベト・フォン・デア・プファルツ (1618-1680), [https://ja.wikipedia.org/wiki/エリーザベト・フォン・デア・プファルツ\\_\(1618-1680\)](https://ja.wikipedia.org/wiki/エリーザベト・フォン・デア・プファルツ_(1618-1680)) (2022年1月2日閲覧)
- [25] 有賀暢迪, “合理力学の一例としての衝突理論 1720–1730年”, 科学哲学科学史研究, **6**, pp. 17–37, 2012.
- [26] Wikipedia, ソデイの6球連鎖, <https://ja.wikipedia.org/wiki/ソデイの6球連鎖> (2022年1月4日閲覧)
- [27] Wikipedia, Thorold Gosset, [https://en.wikipedia.org/wiki/Thorold\\_Gosset](https://en.wikipedia.org/wiki/Thorold_Gosset) (2022年1月4日閲覧)
- [28] 寒川町ガイド, <https://samukawaguide.blogspot.com/2019/12/6.html> (2022年1月4日閲覧)
- [29] Wikipedia, Gottfried Wilhelm Leibniz, [https://en.wikipedia.org/wiki/Gottfried\\_Wilhelm\\_Leibniz](https://en.wikipedia.org/wiki/Gottfried_Wilhelm_Leibniz) (2022年1月4日閲覧)
- [30] Wikipedia, Christina, Queen of Sweden, [https://en.wikipedia.org/wiki/Christina,\\_Queen\\_of\\_Sweden](https://en.wikipedia.org/wiki/Christina,_Queen_of_Sweden) (2022年1月4日閲覧)
- [31] Wikipedia, Isaac Newton, [https://en.wikipedia.org/wiki/Isaac\\_Newton](https://en.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton) (2022年1月4日閲覧)
- [32] 向井茂, “不変式の話,” 数学セミナー連載, 2005年12月号, 2006年1, 2, 4月号.
- [33] 日本医学会ホームページ, <https://jams.med.or.jp/news/013.html> (2022年2月4日閲覧)
- [34] Wikipedia, Vannevar Bush, [https://en.wikipedia.org/wiki/Vannevar\\_Bush](https://en.wikipedia.org/wiki/Vannevar_Bush) (2022年2月25日閲覧)
- [35] Britanica, William-Thomson-Baron-Kelvin, <https://www.britannica.com/biography/William-Thomson-Baron-Kelvin> (2022年3月6日閲覧)
- [36] Wikipedia, Hannibal Ford, [https://en.wikipedia.org/wiki/Hannibal\\_Ford](https://en.wikipedia.org/wiki/Hannibal_Ford) (2022年3月6日閲覧)
- [37] Wikipedia, Joseph Fourier, [https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph\\_Fourier](https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Fourier) (2022年3月6日閲覧)
- [38] Wikipedia, ユトランド沖海戦, <https://ja.wikipedia.org/wiki/ユトランド沖海戦> (2022年3月6日閲覧)
- [39] Wikipedia, Mark I Fire Control Computer, [https://en.wikipedia.org/wiki/Mark\\_I\\_Fire\\_Control\\_Computer](https://en.wikipedia.org/wiki/Mark_I_Fire_Control_Computer)

- uter (2022年3月7日閲覧)
- [40] Wikipedia, Bell Labs, [https://en.wikipedia.org/wiki/Bell\\_Labs](https://en.wikipedia.org/wiki/Bell_Labs) (2022年4月7日閲覧)
- [41] Wikipedia, Thornton Carle Fry, [https://en.wikipedia.org/wiki/Thornton\\_Carle\\_Fry](https://en.wikipedia.org/wiki/Thornton_Carle_Fry) (2022年4月7日閲覧)
- [42] Wikipedia, Schön scandal, [https://en.wikipedia.org/wiki/Schön\\_scandal](https://en.wikipedia.org/wiki/Schön_scandal) (2022年4月7日閲覧)
- [43] Wikipedia, ヘンドリック・シェーン, <https://ja.wikipedia.org/wiki/ヘンドリック・シェーン> (2022年4月7日閲覧)
- [44] Wikipedia, ジョン・フォン・ノイマン, <https://ja.wikipedia.org/wiki/ジョン・フォン・ノイマン> (2022年4月29日閲覧)
- [45] Wikipedia, ヘルマン・ワイル, <https://ja.wikipedia.org/wiki/ヘルマン・ワイル> (2022年4月29日閲覧)
- [46] Wikipedia, 第二次世界大戦, <https://ja.wikipedia.org/wiki/第二次世界大戦> (2022年5月31日閲覧)
- [47] Wikipedia, フランクリン・ルーズベルト, <https://ja.wikipedia.org/wiki/フランクリン・ルーズベルト> (2022年4月30日閲覧)
- [48] Wikipedia, ウォーレン・ウィーバー, <https://ja.wikipedia.org/wiki/ウォーレン・ウィーバー> (2022年5月3日閲覧)
- [49] Wikipedia, ジェイムス・コナント, <https://ja.wikipedia.org/wiki/ジェイムス・コナント> (2022年5月3日閲覧)
- [50] Wikipedia, ロバート・オッペンハイマー, <https://ja.wikipedia.org/wiki/ロバート・オッペンハイマー> (2022年5月3日閲覧)
- [51] Wikipedia, Homer Dudley, [https://en.wikipedia.org/wiki/Homer\\_Dudley](https://en.wikipedia.org/wiki/Homer_Dudley) (2022年4月7日閲覧)
- [52] Wikipedia, SIGSALY, <https://ja.wikipedia.org/wiki/SIGSALY> (2022年5月31日閲覧)
- [53] Wikipedia, ワンタイムパッド, <https://ja.wikipedia.org/wiki/ワンタイムパッド> (2022年5月3日閲覧)
- [54] 釜賀一夫, 藤原邦樹, 吉村昭, “座談会日本陸軍暗号はなぜ破られなかったか,” 歴史と人物—太平洋戦争シリーズ—, 昭和60年冬号, 1985.
- [55] Wikipedia, Harry Nyquist, [https://en.wikipedia.org/wiki/Harry\\_Nyquist](https://en.wikipedia.org/wiki/Harry_Nyquist) (2022年5月7日閲覧)
- [56] Wikipedia, Ralph Hartley, [https://en.wikipedia.org/wiki/Ralph\\_Hartley](https://en.wikipedia.org/wiki/Ralph_Hartley) (2022年5月7日閲覧)
- [57] Wikipedia, ニコラ・レオナルド・サディ・カルノー, <https://ja.wikipedia.org/wiki/ニコラ・レオナルド・サディ・カルノー> (2022年6月6日閲覧)
- [58] Wikipedia, ジェームズ・プレスコット・ジュール, <https://ja.wikipedia.org/wiki/ジェームズ・プレスコット・ジュール> (2022年6月6日閲覧)
- [59] Wikipedia, ユリウス・ロベルト・フォン・マイヤー, <https://ja.wikipedia.org/wiki/ユリウス・ロベルト・フォン・マイヤー> (2022年6月6日閲覧)
- [60] Wikipedia, ヘルマン・フォン・ヘルムホルツ, <https://ja.wikipedia.org/wiki/ヘルマン・フォン・ヘルムホルツ> (2022年6月6日閲覧)
- [61] Wikipedia, ルドルフ・クラウジウス, <https://ja.wikipedia.org/wiki/ルドルフ・クラウジウス> (2022年6月6日閲覧)
- [62] Wikipedia, ジェームズ・クラーク・マクスウェル, <https://ja.wikipedia.org/wiki/ジェームズ・クラーク・マクスウェル> (2022年6月6日閲覧)
- [63] Wikipedia, ルートヴィヒ・ボルツマン, <https://ja.wikipedia.org/wiki/ルートヴィヒ・ボルツマン> (2022年6月6日閲覧)
- [64] Wikipedia, エントロピー, <https://ja.wikipedia.org/wiki/エントロピー> (2022年6月6日閲覧)
- [65] Wikipedia, カルノーの定理\_(熱力学), [https://ja.wikipedia.org/wiki/カルノーの定理\\_\(熱力学\)](https://ja.wikipedia.org/wiki/カルノーの定理_(熱力学)) (2022年6月7日閲覧)
- [66] Wikipedia, ウィラード・ギブズ, <https://ja.wikipedia.org/wiki/ウィラード・ギブズ> (2022年6月7日閲覧)
- [67] 植松友彦, 『イラストで学ぶ情報理論の考え方』, 講談社, 2012.
- [68] Wikipedia, アルフレッド・ヴェイル, <https://ja.wikipedia.org/wiki/アルフレッド・ヴェイル> (2022年6月7日閲覧)
- [69] Wikipedia, Robert Fano, [https://en.wikipedia.org/wiki/Robert\\_Fano](https://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Fano) (2022年8月4日閲覧)
- [70] Wikipedia, Shannon-Fano coding, [https://en.wikipedia.org/wiki/Shannon-Fano\\_coding](https://en.wikipedia.org/wiki/Shannon-Fano_coding) (2022年8月4日閲覧)
- [71] Wikipedia, David A. Huffman, [https://en.wikipedia.org/wiki/David\\_A.\\_Huffman](https://en.wikipedia.org/wiki/David_A._Huffman) (2022年8月4日閲覧)
- [72] Wikipedia, Abraham Lempel, [https://en.wikipedia.org/wiki/Abraham\\_Lempel](https://en.wikipedia.org/wiki/Abraham_Lempel) (2022年8月4日閲覧)
- [73] Wikipedia, Jacob Ziv, [https://en.wikipedia.org/wiki/Jacob\\_Ziv](https://en.wikipedia.org/wiki/Jacob_Ziv) (2022年8月4日閲覧)
- [74] J. Ziv and A. Lempel, “A Universal Algorithm for Sequential Data Compression,” *IEEE Transactions on Information Theory*, **23**, pp 337–343, 1977.
- [75] J. Ziv and A. Lempel, “Compression of Individual Sequences via Variable-Rate Coding,” *IEEE Transactions on Information Theory*, **24**, pp 530–536, 1978.
- [76] 正島宏一, 高木重定, 折口社志, 鶴田祥一郎, 鈴木徹也, “モノからコトへ—新たなる循環経済の形成—,” 日本LCA学会誌, **14**, pp. 173–177, 2018.
- [77] Wikipedia, Richard Hamming, [https://en.wikipedia.org/wiki/Richard\\_Hamming](https://en.wikipedia.org/wiki/Richard_Hamming) (2022年12月20日閲覧)
- [78] 植松友彦, 『代数系と符号理論』, コロナ社, 2010.
- [79] R. B. Ash, *Information Theory*, John Wiley & Sons, 1965.
- [80] Wikipedia, ロックフェラー財団, <https://ja.wikipedia.org/wiki/ロックフェラー財団> (2023年2月6日閲覧)
- [81] Wikipedia, Chester Barnard, [https://en.wikipedia.org/wiki/Chester\\_Barnard](https://en.wikipedia.org/wiki/Chester_Barnard) (2023年2月20日閲覧)
- [82] Wikipedia, フレデリック・テイラー, <https://ja.wikipedia.org/wiki/フレデリック・テイラー> (2023年2月26日閲覧)
- [83] Wikipedia, Louis Ridenour, [https://en.wikipedia.org/wiki/Louis\\_Ridenour](https://en.wikipedia.org/wiki/Louis_Ridenour) (2023年3月1日閲覧)
- [84] Wikipedia, Lee Alvin DuBridge, [https://en.wikipedia.org/wiki/Lee\\_Alvin\\_DuBridge](https://en.wikipedia.org/wiki/Lee_Alvin_DuBridge) (2023年3月1日閲覧)
- [85] Wikipedia, Wilbur Schramm, [https://en.wikipedia.org/wiki/Wilbur\\_Schramm](https://en.wikipedia.org/wiki/Wilbur_Schramm) (2023年3月1日閲覧)
- [86] Wikipedia, Joseph Doob, [https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph\\_Doob](https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Doob) (2023年3月3日閲覧)
- [87] Wikipedia, Ethical Culture Fieldston School, [https://en.wikipedia.org/wiki/Felix\\_Adler](https://en.wikipedia.org/wiki/Felix_Adler) (2023年3月3日閲覧)
- [88] Wikipedia, Felix Adler (professor), [https://en.wikipedia.org/wiki/Felix\\_Adler\\_\(professor\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Felix_Adler_(professor)) (2023年3月3日閲覧)
- [89] Wikipedia, Marvin Minsky, [https://en.wikipedia.org/wiki/Marvin\\_Minsky](https://en.wikipedia.org/wiki/Marvin_Minsky) (2023年3月3日閲覧)
- [90] Wikipedia, Josiah Gibbs, [https://en.wikipedia.org/wiki/Josiah\\_Gibbs](https://en.wikipedia.org/wiki/Josiah_Gibbs) (2023年3月3日閲覧)
- [91] Wikipedia, Norbert Wiener, [https://en.wikipedia.org/wiki/Norbert\\_Wiener](https://en.wikipedia.org/wiki/Norbert_Wiener)



- org/wiki/Norbert\_Wiener (2023年3月4日閲覧)
- [92] N. Wiener, *Ex-Prodigy: My Childhood and Youth*, MIT Press, 1953.
- [93] Wikipedia, Oswald Veblen, [https://en.wikipedia.org/wiki/Oswald\\_Veblen](https://en.wikipedia.org/wiki/Oswald_Veblen) (2023年3月4日閲覧)
- [94] F. Conway and J. Siegelman, *Dark Hero of the Information Age: In Search of Norbert Wiener, the Father of Cybernetics*, Basic Books, 2005.
- [95] F. Bello, Francis Bello Papers, Dolph Briscoe Center for American History, The University of Texas at Austin, [https://txarchives.org/utcah/finding\\_aids/03964.xml](https://txarchives.org/utcah/finding_aids/03964.xml) (2023年5月3日閲覧)
- [96] Wikipedia, エドウィン・ハーバート・ランド, <https://ja.wikipedia.org/wiki/エドウィン・ハーバート・ランド> (2023年5月3日閲覧)
- [97] Wikipedia, エドワード・ミルズ・パーセル, <https://ja.wikipedia.org/wiki/エドワード・ミルズ・パーセル> (2023年5月3日閲覧)
- [98] Wikipedia, John R. Pierce, [https://en.wikipedia.org/wiki/John\\_R.\\_Pierce](https://en.wikipedia.org/wiki/John_R._Pierce) (2023年5月3日閲覧)
- [99] Wikipedia, Bernard M. Oliver, [https://en.wikipedia.org/wiki/Bernard\\_M.\\_Oliver](https://en.wikipedia.org/wiki/Bernard_M._Oliver) (2023年5月3日閲覧)
- [100] B. M. Oliver, J. R. Pierce and C. E. Shannon, "The Philosophy of PCM," *Proceedings of the IRE*, **36**, pp. 1324–1331, 1948.
- [101] Wikipedia, ウィリアム・ショックレー, <https://ja.wikipedia.org/wiki/ウィリアム・ショックレー> (2023年5月3日閲覧)
- [102] Wikipedia, ジョン・バーディーン, <https://ja.wikipedia.org/wiki/ジョン・バーディーン> (2023年5月3日閲覧)
- [103] Wikipedia, ウォルター・ブラッテン, <https://ja.wikipedia.org/wiki/ウォルター・ブラッテン> (2023年5月3日閲覧)
- [104] Wikipedia, Betty Shannon, [https://en.wikipedia.org/wiki/Betty\\_Shannon](https://en.wikipedia.org/wiki/Betty_Shannon) (2023年5月3日閲覧)
- [105] Wikipedia, Joseph Wenger, [https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph\\_Wenger](https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Wenger) (2023年5月3日閲覧)