

# 世界をORする視線 (16)

## 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 3)

住田 潮

(注：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)

#### 1. ブール代数と電気的スイッチ回路との融合

1936年、MITにやって来てからのシャノンは、機械音が充満する研究室に籠もり、終日を過ごす毎日であった[1]。研究室には100個のスイッチ(開閉器)とリレー(継電器)が収められた小さな箱が積み上げられ、それぞれが微分解析機に繋がれていた。図1に、内部回路として描かれたリレーと、それを内蔵する外部スイッチの関係を表わす簡略図を示す。リレーのスイッチAを閉じると電磁石が働き、外部回路のスイッチの金属板Xを引き寄せてその回路を閉じ、電球が点る。逆にスイッチAを切ると電磁石の働きは消え、金属板Xはバネの作用で元の位置に戻り、電球は消えることになる。

この電磁石を利用したリレーの仕組みは、後にこの連載に登場する真空管や半導体に受け継がれ、それらは基本的に同じ機能を果たす。外部スイッチの開閉を直接行わず、わざわざリレーを介在させる理由は、わずかな電流をリレーに作用させることにより、外部スイッチの開閉を遠隔操作できることにある。外部スイッチの回路に100万ボルトの電流が流れている場合、直接、開閉の操作を行うことは危険を伴うが、リレーを用いればそうした危険を除去できる。

リレーからの入力情報に基づいてスイッチの開閉のいずれかが決まる。閉じていれば電流が流れ、開いていれば電流の流れがそこで止まる。シャノンは、リレーの指令によって電気制御されたスイッチを操作しながら、

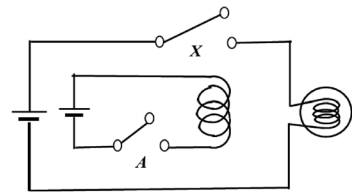


図1 リレーとスイッチの関係

ら、微分解析機が自動的に解体や組み立てを行う様子を見守り続けた。ゲイロードでの少年時代にウェスタンユニオンでアルバイトをし、有刺鉄線で電信網を構築した経験が役立つのは言うまでもない。また、ミシガン大学では、仲間や電気技師と一緒に電回路図の作成に忍耐強く取り組んだので、回路を巡る電気の流れは、シャノンの頭の中では体系化されていた。スイッチが直列に繋がれている場合は、両方のスイッチが閉じていなければ電流は流れない。並列であれば、少なくともどちらか一方が繋がっていれば電流は流れる。この単純な作業を、辛抱強く、何週間も、何ヶ月も続けた。

微分解析機では、沢山の回路が樹木構造や、あるいは細かいメッシュのように張り巡らされていたが、シャノンはそんな配線の全体図を頭で記憶していた。黒板に各段階を書き出し、機械の内部に必要な箇所にはんだづけを行う。そうして作られる回路の正しさは、たとえばホイールがディスク上で回転するか、目に見える結果が得られるまでわからない。何かを試すたびにエラーが発生し、そうしたエラーが出なくなるまで作業を延々と続ける必要があった。それはまさしく職人仕事であり、漠然とした勘と直感に頼る部分が大きく、先が見えなかった。

そこでシャノンは、数学から職人仕事の要素を取り

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

除くべく、上述の作業そのものを自動化することに取り組む決意を固めた。彼の頭には、ミシガン大学数学科の哲学の講義で学んだブール代数を活用するアイデアが閃いていたのである。シャノンが格闘している微分解析機の自動化へ向けた電気回路は恐ろしく複雑であったが、 $\wedge$ (AND)、 $\vee$ (OR)、 $\neg$ (NOT)の三つですべての論理を構築できるとするブール代数の単純さは際立っていた。シャノンは後に、「ブール代数に初めて触れたとき、単純に“Boolean Algebra”の『ブーリアン』という響きに惹かれた」と述懐している。

1937年の夏、シャノンは、当時、ニューヨークにあったベル研究所でインターン生活を送った。臨時雇用であったが、数理論理学に対する深い洞察、回路設計に関する十分な知識、そしてブール代数を通してこれら二つが関連しているのではないかというアイデアをベル研究所にもち込んだ。当時、最も複雑で広域の回路網を所有する電話会社の心臓部で、この問題意識に支えられて、シャノンは数学的見地からネットワークの機能改善とコスト削減に取り組む仕事を任せられたのである。この時期に、ブッシュの微分解析機、ベル電話会社のネットワーク、そしてブール代数との間の数学的関連性について研究ノートを書き始めたことは、その後の展開に大きな役割を果たした。

シャノンが着目したのは、ブール代数のすべての概念は、電気回路の中に物理的に存在しているという事実であった。スイッチがオンの状態を「真」、オフの状態を「偽」に対応させると、全体を1と0で表現できる。さらに、 $\wedge$ (AND)、 $\vee$ (OR)、 $\neg$ (NOT)で構成されるブール代数の論理演算子も、回路として正確に再現できることに気付いていた。図2では、二つのリレーのスイッチAとBが接続されているときに限り、電磁石の働きで外部回路のスイッチXとYも接続されて電球が点るが、どちらか一方でも切れれば、外部回路も切断状態となり電球は消える。すなわち、 $X \wedge Y$ が表現できることになる。同様に、図3では、AとBのどちらかが接続されていれば外部回路も接続されることになり、 $X \vee Y$ を表現している。図4は、Aが接続されると外部回路が切断され、逆にAが切断されると外部回路が接続される電気回路で、 $\neg A$ に対応している。

論理式を回路図で表現するのは煩雑なので、以後、図5に示すゲート記号を用いることにする。

## 2. 世界一有名となった修士論文

ベル研究所のインターンから戻ったシャノンは、

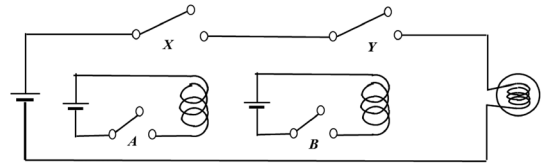


図2 ANDに対応する電気回路

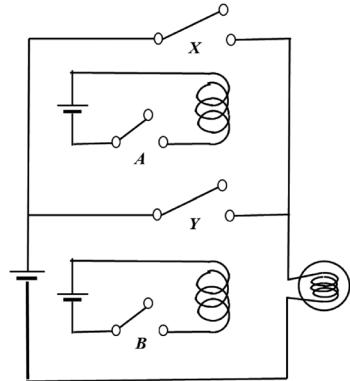


図3 ORに対応する電気回路

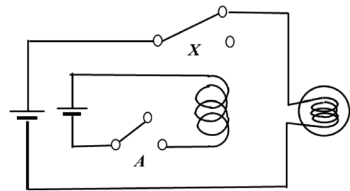


図4 NOTに対応する電気回路

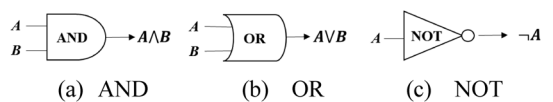


図5 論理ゲート記号

1937年、上述したアイデアを中心とする修士論文「リレーとスイッチ回路の記号学的解析 (A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits)」をMITに提出した。翌年、『アメリカ電気学会報 (Transactions of the AIEE)』に論文として公開されると世界的に注目を集め、その後のキャリアの出発点となった。この新しいシステムに関して、シャノンは自身の言葉で次のように説明している [12]。

「いかなる回路も一連の方程式で表現することが可能で、方程式の項は回路のさまざまなリレーやスイッチに対応している。これらの方程式を処理するために開発された演算においては、単純な数学的プロセ

表2  $V \oplus_2 \{\neg V \otimes_2 W\} = V \oplus_2 W$  の真偽関数

$V$	$\neg V$	$W$	$\neg V \otimes_2 W$	$V \oplus_2 (\neg V \otimes_2 W)$	$V \oplus_2 W$
0	1	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1
1	0	1	0	1	1

表1 条件①～⑤に対応する真偽関数

$X$	$Y$	$Z$	$L$
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
1	0	0	0
0	1	1	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

スによって計算が進められ、そのほとんどは普通の代数アルゴリズムと類似している。それに対して今回の演算は、記号論理学において命題を解くために使われるものと酷似している——したがって、方程式からそのまま回路を導き出すことができる。」

シャノンは修士論文の中で、次のような例を挙げている [12]。X, Y, Z の三つのスイッチをもつ電気回路を考え、オンのスイッチの組み合わせが以下のいずれかの場合にのみ電流が流れるようにする問題を考える。

- ① X と Y がオン；
- ② X と Z がオン；
- ③ X と Y と Z がオン；
- ④ Y と Z がオン
- ⑤ Z のみがオン

これを、オンを真、オフを偽、出力を L として真偽関数で表わすと、表 1 のようになる。

条件①～⑤をブール代数で表わすと、次のように書ける。

$$\begin{aligned} & \{X \otimes_2 Y \otimes_2 \neg Z\} \oplus_2 \{X \otimes_2 \neg Y \otimes_2 Z\} \oplus_2 \\ & \{X \otimes_2 Y \otimes_2 Z\} \oplus_2 \{\neg X \otimes_2 Y \otimes_2 Z\} \oplus_2 \\ & \{\neg X \otimes_2 \neg Y \otimes_2 Z\} = 1 \end{aligned} \quad (2.1.1)$$

ここで、式 (2.1.1) の  $\{Y \otimes_2 Z\}$  と  $\{\neg Y \otimes_2 Z\}$  の共通因子をもつ項をまとめると、

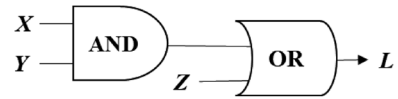


図6 式 (2.1.4) に対応する回路図

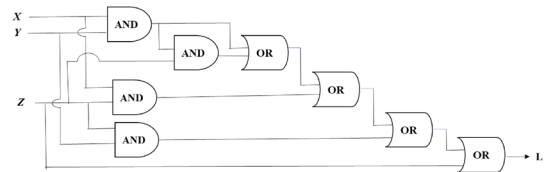


図7 式 (2.1.4) に直接対応する回路図

$$\begin{aligned} & \{X \otimes_2 Y \otimes_2 \neg Z\} \oplus_2 \\ & \{\{Y \otimes_2 Z\} \otimes_2 \{X \oplus_2 \neg X\}\} \oplus_2 \\ & \{\{\neg Y \otimes_2 Z\} \otimes_2 \{X \oplus_2 \neg X\}\} = 1 \end{aligned} \quad (2.1.2)$$

となる。常に  $X \oplus_2 \neg X = 1$  となるので、結局、式 (2.1.2) は、以下のように簡略化される。

$$\{X \otimes_2 Y \otimes_2 \neg Z\} \oplus_2 \{Y \otimes_2 Z\} \oplus_2 \{\neg Y \otimes_2 Z\} = 1$$

今度は、Z をもつ項でまとめ、 $Y \oplus_2 (\neg Y) = 1$  に注意して交換法則を適用すると、式 (2.1.2) はさらに次の式 (2.1.3) になる。

$$Z \oplus_2 \{\neg Z \otimes_2 (X \otimes_2 Y)\} = 1 \quad (2.1.3)$$

さらに、ブール代数では、表 2 に示すようにブール変数 V と W に対して、 $V \oplus_2 \{\neg V \otimes_2 W\} = V \oplus_2 W$  が成立する。式 (2.1.3) で、 $V = Z$ 、 $W = X \otimes_2 Y$  においてこの結果を当て嵌め交換法則を適用すると、最終的に式 (2.1.1) は以下の式 (2.1.4) に帰着する。

$$\{X \otimes_2 Y\} \oplus_2 Z = 1 \quad (2.1.4)$$

すなわち、上述した①～⑤の条件は、

- A) X と Y がオン
- B) Z がオン

のいずれかの場合が成立していれば電流が流れるという二つの条件に簡略化されたことになる。

表 4  $\neg(A \otimes_2 B) \otimes_2 (A \oplus_2 B) = c_0$  の真偽関数

A	B	$A \otimes_2 B$	$\neg(A \otimes_2 B)$	$A \oplus_2 B$	$\neg(A \otimes_2 B) \otimes_2 (A \oplus_2 B)$	$c_0$
0	0	0	1	0	0	0
0	1	0	1	1	1	1
1	0	0	1	1	1	1
1	1	1	0	1	0	0

表 3  $A \oplus_2 B = C (= c_1 c_0)$  の真偽関数

A	B	C	
		$c_1$	$c_0$
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

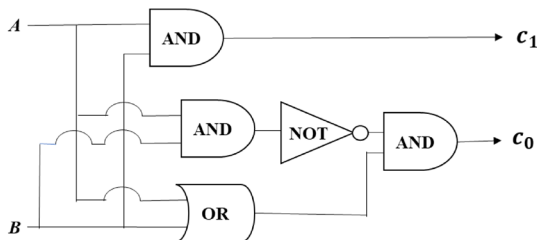


図 8  $A \oplus_2 B = C = c_1 c_0$  の論理回路

式 (2.1.4) に対応する回路図を論理ゲートで描くと、図 6 のようになる

もちろん、図 7 に示すように、条件①～⑤の一つずつを論理ゲートで表わし、それを OR ゲートで結合しても、論理的には全く同等の回路ができて上がる。しかし、図 6 を図 7 と比べると、この違いが大規模ネットワークに広がれば、時間と費用の大幅な削減に繋がるであろうことは容易に見て取れる。シャノンが数学から職人仕事を取り除くことを目指した所以である。

シャノンがまた修士論文の中で、2 進数の和を計算する計算機の論理回路を示している。ここでは、まず、坂村 [3] を参考にして、二つの 1 桁のブール変数 A と B の和を計算する論理回路を示し、それを 2 桁のブール変数  $A = a_1 a_0$  と  $B = b_1 b_0$  の和を計算する論理回路へと拡張することにする。まず、 $A \oplus_2 B = C$  を考えるとき、桁上がりの可能性があるため、出力を 2 桁のブール変数  $C = c_1 c_0$  と考える。すると、表 3、4 に示すように、

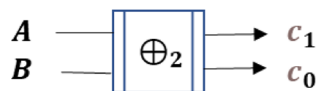


図 9  $A \oplus_2 B = C (= c_1 c_0)$  の論理ゲート

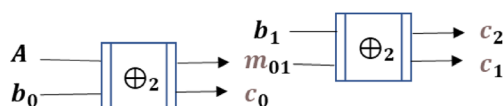


図 10  $A \oplus_2 B (= b_1 b_0) = C (= c_2 c_1 c_0)$  の論理回路

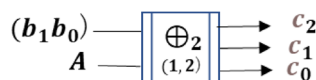


図 11  $A \oplus_2 B (= b_1 b_0) = C (= c_2 c_1 c_0)$  の論理ゲート

$$\neg(A \otimes_2 B) \otimes_2 (A \oplus_2 B) = c_0; A \otimes_2 B = c_1$$

が成立する。したがって、対応する論理回路図は、図 8 のようになる。記法上の便宜のため、図 8 の論理回路をまとめて、図 9 に示すように論理ゲートとして記号化する。

次に、1 桁のブール変数 A と 2 桁のブール変数  $B = b_1 b_0$  の和を計算する論理回路を考える。まず、A と  $b_0$  を足し、繰り上がりがあれば、それを  $b_1$  に足す。そこでも繰り上がる可能性があるため、出力は  $C = c_2 c_1 c_0$  という 3 桁のブール変数になる。これに対応する論理ゲートを図 10 に示す。これを、論理ゲートとして描いたものを図 11 に示す。

図 9 と図 11 の論理ゲートを用いて、2 桁のブール変数  $A = a_1 a_0$  と  $B = b_1 b_0$  の和、

$$A (= a_1 a_0) \oplus_2 B (= b_1 b_0) = C (= c_2 c_1 c_0)$$

を考える。まず、 $a_0$  と  $b_0$ 、 $a_1$  と  $b_1$  の和をそれぞれ求め、前者の繰り上りを示す 2 桁目を後者に加え、その結果を 1 桁だけずらしてやれば良いことになる。その論理回路は、図 12 のように表わされる。ここで、2 桁のブール変数の和の最大値は  $11 \oplus_2 11 = 110$  であ

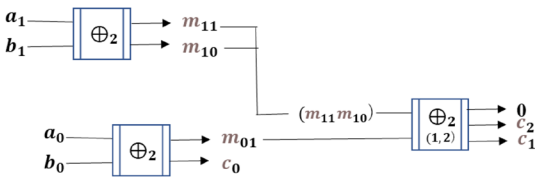


図 12  $A(= a_1 a_0) \oplus_2 B(= b_1 b_0) = C(= c_2 c_1 c_0)$  の論理ゲート

り、4桁になることはないので、最後の最上位の桁が 0 となっていることに注意しておく。

こうした手続きを繰り返せば、一般的に  $n$  桁のブール変数の和を計算する論理回路を帰納的に構成することができる。

論理を真と偽のバイナリで分解する方法を示したのがブールであり、それを物理的に電気回路で実現して見せたのがシャノンの修士論文であった。これにより、ブールが想定した「思考の法則」は、バイナリで表現できるシステムであれば何でも扱える無生物の世界へと拡がり、今日の ICT (Information and Communication Technology) や DX (Digital Transformation) に支えられる社会システムの基盤を準備したのである。

### 3. 遺伝学の研究と博士号の取得

修士号を取得し、世界的に有名になったシャノンは、天才であったが、浮世離れした変人でもあった。ガリガリに痩せており、野暮ったい格好を意に介さず、細い首の大きな喉仏が目立っていた。指導教授であったブッシュは、シャノンについて、次のように語っている [12]。

「まったく、規格外れの若者だ。すごく内気で引っ込み思案だし、控えめな言動が度を過ぎている。しかも、直ぐに横道に逸れてしまいそうだ。」

シャノンは死ぬまで機械いじりが大好きで、しかし、普通のメカ・マニアと異なるのは、事象の生起する理由を解明する方法を知っており、手に触れる物体をトコトン愛し、その概念を抽象化するとところまで突き詰めた点にある。電気回路として構築されたりレーやスイッチは、シャノンにとっては数学的な隠喩であった。趣味としてジャグリングや一輪車に取り憑かれたが、それらの名人は世界に数多いといえども、彼のように方程式に当て嵌めて分析し、技術の向上を図った人間は皆無に違いない。後に、人間のあらゆるコミュニケーションの概念を抽象化し、すべてのメッセージが共有する構造や形態にまで突き詰めて情報理論を打ち立てることになるが、その偉業を達成するだけの素晴

らしい資質は、10 年前のこの時点で、既に垣間見えていたといえよう。

修士論文を書き終えたシャノンは、課外学習として飛行機の操縦クラスに登録した。この講座を担当する教授はシャノンの天才を即座に見抜き、その命が墜落で失われるリスクを回避すべきだと確信、MIT の学長にシャノンをコックピットから閉め出す許可を求めた。

実験物理学者であった学長のカール・テイラー・コンプトン (Karl Taylor Compton) は冷静で、「学生が並外れた知能の持ち主だからといって、飛行機の操縦を控えるよう説得し、せっかくの機会を独断で奪ってしまうのはいかがなものか。彼の人格形成にとって良いこととは思えない」と返事した。大学の所有するプロペラ機は単純な構造をした 2 人乗りで、プロペラのブレードは特大の騒々しい音を立てたが、シャノンはいつも安全に帰還した。この飛行機の前でシャノンがポーズをとっている、1939 年に撮影された写真が残されている [12]。

シャノンの修士論文は、指導教授であったブッシュが十数年の歳月を費やしたアナログ・コンピュータである微分解析機の終焉を予測させるものであった。それでも、ブッシュは研究者としても指導教授としても寛大で、シャノンの際だった才能を認め、しかも万能型の天才的な若者に特有の方向性を定めずに奔走してしまう危うさを気遣い、博士号への進路を自分が選んでやろうと決めていた。ブッシュはシャノンに対し、当時、電気工学よりは数学の方が学問分野として格上に見られていたことを強調し、MIT の数学の博士課程へ進学できるように手配した。一方、シャノンの才能が純粋数学ではなく応用数学に向いていることも指摘し、遺伝学に取り組むことを勧めた。電気回路も遺伝子も、仕組みを教えることはできるが、その基盤を構成する基礎理論を創り出すのは天才にしかできない。シャノンがブール代数を駆使することでリレーやスイッチの体系化に成功していた経験は、メンデルの遺伝法則の解明に役立つかも知れないと、ブッシュは見抜いていたのである。

シャノンの MIT への入学前のことであるが、ブッシュは MIT での講演で次のように述べていた [12]。「近年では一つの専門分野にこだわる傾向が強く、学問を広く深く追求しようとしなない。しかし、かつてのレオナルド・ダ・ヴィンチや、ベンジャミン・フランクリンは、そうであったことを思い出してもらいたい。われわれ、教師という職業の人間は、飛び切り優秀な若者が科学の世界の片隅の小さな分野に

興味を抱き、ほかの世界に関心を示さない傾向に胸を痛める。…創造力に富む優秀な人材が、現代の社会で、修道院の独房のような場所での暮らしにこだわり続けるのは不幸だ。」

ブッシュは教育の本質を良くわきまえており、天才シャノンといえども修業期間は必要であり、彼を微分解析機の置かれた修道院の独房のような研究室や、それよりもさらに小さな円形の箱に縛り付けて置くことを躊躇しなかったが、そこからシャノンが自分の十数年の努力を無用のものとしてしまうような成果を導き出したとき、進んで彼を広い世界へと導いたのである。

工学の世界でブッシュが大きな影響力を有していた事実は、別の面でもシャノンを助けた。1939年、修士論文の内容を基礎に書かれたシャノンの論文は、ブッシュの推薦により、アメリカ土木学会が30歳未満の研究者に与えるアルフレッド・ノーブル賞を受賞したのである。受賞者には文字が刻まれた証明書と500ドルの奨学金が与えられた。この受賞は、ニューヨーク・タイムズの八面に「若い講師がノーブル賞を受賞」という短い記事となって掲載され、シャノンが専門外で知られるようになる出発点となった。もちろん、故郷のミシガンでは、地元紙が一面で「地元の若者が快挙達成！」と大々的に報じた。一つだけ残念なことには、この賞ははるかに有名なアルフレッド・ノーベル賞とは無関係であることを、いつも付記しなければならなかった。

1939年の夏、シャノンはMITからおよそ320キロメートル南のロングアイランドに位置するコールド・スプリング・ハーバー研究所 (Cold Spring Harbor Laboratory) に向けて出立した。ここは遺伝学研究所で、シャノンをそこへ送り出したブッシュの仮説は、次のようなものであった。

「23歳の天才に、学術用語さえ知らない全く未知の遺伝学の分野で研究に取り組ませたとき、彼は1年以内に『理論遺伝学のための代数学』を確立し、独創的な発見を成し得るか？」

この仮説の正しさは、半分だけ証明された。1940年、シャノンはこの新しい分野で「理論遺伝学のための代数学 (An Algebra for Theoretical Genetics)」という題名の博士論文に取り組み、それなりの評価を得てMITに戻り、苦心してドイツ語の試験を克服した後、博士号を取得した。しかし、ブッシュや遺伝学研究所での指導教授であったバーバラ・ストッダード・バークス (Barbara Stoddard Burks) が繰り返し論文の出版を勧めたにもかかわらず、「面倒でしょうがない」と一蹴

し、その内容を決して公刊しなかった。遺伝学は、記号論理学ほどにはシャノンを魅了しなかったのである。

#### 4. 天才の恋

MITでの学生時代、シャノンの生活は、二人のルームメイトと共有するアパートで深夜まで勉強し、昼近くに起き出してくるという数学漬けの毎日であった。余暇には、正反対のジャズを聴くことを好んだ。ときには自室で、集めたレコードから流れてくる音楽に合わせてクラリネットを演奏し、予測に合わないジャズ特有の即興に身を委ねることを楽しんだ。ルームメイトがパーティーを開けば、楽しそうな会話に惹かれて机を離れてはみるものの、会話に加わるのは苦手で、戸口に立って友人たちを眺めているのが常であった。

1939年10月、そうしたパーティーの折り、戸口に立つシャノンにポップコーンを投げつけてくる女性があった。キリストのような容貌に惹かれてシャノンの気を引こうとしたのは、ノーマ・レボー (Norma Levor)、19歳。ラドクリフ大学 (Radcliffe College) で行政学を学ぶ学生で、その夏、パリで新聞記者として過ごしていたが、戦雲急を告げる中、両親に呼び戻されていた。後にハリウッドに移り映画女優になるほどの美貌の持ち主で、脚本家、作家としても活躍することになる才色兼備の女性であった。その日、レボーはパーティーに呼ばれてやって来たものの、退屈し、ふと、仲間に加わらず、戸口に立ってレコードプレーヤーから流れるジャズに耳を傾ける背の高い青年に目を留めたというわけであった。

シャノンはそれまでほとんど恋愛経験がなく、2人はたちまち恋に落ちて、情熱の炎を燃え上がらせた。

翌年の1940年1月には結婚。シャノンはブッシュに次のように書き送った [12]。

「先生の手想どおりかもしれませんが、ほくは女性科学者ではなく、著述家と結婚しました。フランス語の学習を手伝ってくれますが、それに限らず、色々なことを教えて貰って本当に充実した毎日です。」

結婚式はボストンの裁判所の庁舎で治安判事が立ち会った。ニューハンプシャーでの新婚旅行は楽しいものであったが、一つだけ嫌な経験をした。レボーはユダヤ人であり、シャノンもユダヤ人の風貌をしていたので、反ユダヤ主義のホテル経営者から宿泊を断られたのである。それが、1940年当時のアメリカの実情であった。ヒトラーがアメリカに対して宣戦布告したのは、1941年12月のことである。

結婚に続き、1940年の春は、シャノンにとってめ

でたいことが続いた。学位授与式に臨み、さらにブッシュの口添えでナショナル・リサーチ・フェローシップ（特別給費研究員）を獲得、9月の新学期から有名なプリンストン高等研究所 (Institute for Advanced Study) に属することが決まった。レポーはシャノンに同行するため、4年生の半ばで学業を中断した。当時のアメリカでは妻が夫のキャリアに従うことは普通のことであったが、レポーは左翼政治と著述業という自らの専門分野でシャノンに負けない知的野心をもっており、学業の中断に次第に苛立ちを募らせ、これが後の離婚の伏線となった。

## 5. ベル研究所

1940年9月からプリンストン高等研究所に所属することが決まっていたシャノンは、赴任前の夏、ベル研究所から2度目の招待を受けた。1回目は大学院1年生のときであったが、今回は、ブッシュを後見人とする輝かしい受賞歴を有する博士として招待を受けた。夏の間だけの短期滞在であったが、後にベル研究所には、戦時プロジェクトに参加するため戻ってくることになる。ここで、長い歴史の中で紆余曲折を経てきたベル研究所について、簡単に触れておくことにする。

ベル研究所の歴史は、電話の発明者アレクサンダー・グラハム・ベル (Alexander Graham Bell) の時代にまで遡る (連載第3回)。1880年、ベルは電話を発明した功績によりフランス政府よりボルタ賞 (Volta Prize) を受賞した。その賞金 50,000 フラン (当時のレートでは 10,000 米ドル、2019年1月では 280,000 米ドル) を基金として、音響解析、録音、送信の研究を目的とするボルタ研究所を設立、これがベル研究所の起源となった [40]。その後、1925年1月、電話サービスを担う AT&T (American Telephone & Telegraph Company) とその製造部門を担うウェスタン・エレクトリック (Western Electric) が 50% ずつ出資して、ニューヨーク市の West Street に (株) ベル研究所 (Bell Telephone Laboratories, Inc.) を設立、3,600人の技術者、科学者、スタッフを集めて研究・開発部門を統合した。

ベル研究所の設立時に、数学研究グループを統括する責任者に選ばれたのがソーントン・カール・フライ (Thornton Carle Fry) である [41]。オハイオ州に大工の息子として生まれたが、家業から何とか逃れてマディソンにあるウイシコンシン大学 (University of Wisconsin-Madison) に学び、1920年、応用数学で博士号を取得した。卒業後はウェスタン・エレクトリッ

クに就職、着実に力を伸ばし、そこからベル研究所に抜擢されることとなった。企業内で数学者が果たすべき役割について確固とした見解をもっており、次のように述べている [12]。

「大学の数学科では正しい知識が教えられるが、これだけでは数学者に職業訓練が欠けたままになる。その結果、物事について単に考えるだけでは満足せず、実際に物を組み立ててみようとする人材が不足してしまう。アメリカ合衆国は純粋数学の分野では卓越したリーダーとしての地位を守っているが、学んだ成果をさらに追求するのみならず、産業への応用まで視野に入れている学生に対して、十分な数学的訓練を提供している大学は皆無である。」

シャノンは、ベル研究所やプリンストン高等研究所で、研究者としてさらなる成長を遂げる過程で多くの世界的に高名な研究者と出会うが、ベル研究所の上司として、研究に対する思想が似通っているフライと巡り会えたことは、幸運であったといえよう。

しかしフライは、研究者が短期的に企業利益に貢献すべきであるとは考えておらず、この考え方は、1940年代当時のベル研究所の基本方針を反映している。Googleが、勤務時間の5分の1を具体性のないプロジェクトに割り当てることを社員に奨励する20%ルールを導入して話題を集めたが、ベル研究所の研究員は、それに比べても、とてつもない自由を与えられていた。

「物理や化学の基本的な疑問が、将来、通信にどのような影響を及ぼす可能性があるか」を考えるよう要求され、何十年も先を見据えた未来の可能性を研究するよう促された。

ベル研究所のこうした経営方針は、もちろん、連邦政府から独占を容認されていることに拠る大きな利益に支えられていたが、世界中から優れた才能を呼び寄せ、凄まじいまでの人材吸引力を産み出した。当然、それは大きな成果として結実する。世界初の長距離電話を実現し、映画の映像と音声同期化させ、戦時中はレーダー、ソーナー、バズーカ砲の改良に貢献し、ルーズベルト大統領とチャーチルが安全に会話できる秘密回線を準備した。その後の数十年の間に、電波天文学、半導体、ファクス、ブッシュフォン、太陽電池、情報理論、C、C++などのコンピュータ言語、オペレーティング・システムであるUNIXなど、ベル研究員の手で生み出された大きな成果は枚挙に暇がない。

さらに、ノーベル賞を見てみると、20世紀に6件、21世紀に入って3件、受賞している。

- 1937年、クリントン・デイヴィソン (Clinton

Joseph Davisson)：ニッケル単結晶による電子線の回折を確認しノーベル物理学賞を共同受賞

- 1956 年, ジョン・バーディーン (John Bardeen), ウォルター・ブラッテン (Walter Houser Brattain) ウィリアム・ショックレー (William Bradford Shockley)：トランジスタの発明によりノーベル物理学賞
  - 1977 年, フィリップ・アンダーソン (Philip Warren Anderson)：ガラスや磁性物質の電子構造の研究によりノーベル物理学賞を共同受賞
  - 1978 年, アーノ・ペンジアス (Arno Allan Penzias), ロバート・W・ウィルソン (Robert Woodrow Wilson)：宇宙マイクロ波背景放射の発見によりノーベル物理学賞
  - 1997 年, スティーブン・チュー (Steven Chu)：レーザー冷却により原子を捕獲する技術の開発によりノーベル物理学賞
  - 1998 年, ホルスト・シュテルマー (Horst Ludwig Störmer), ロバート・ラフリン (Robert Laughlin), ダニエル・ツイ (Daniel Chee Tsui)：分数量子ホール効果の発見により、ノーベル物理学賞
  - 2009 年, ウィラード・ボイル (Willard Sterling Boyle), ジョージ・E・スミス (George Elwood Smith)：撮像半導体回路である CCD イメージセンサの発明によりノーベル物理学賞 (別の案件で同時受賞者あり)
  - 2014 年, エリック・ベツィグ (Eric Betzig)：超高解像度の蛍光顕微鏡の開発によりノーベル化学賞を共同受賞
  - 2018 年, アーサー・アシュキン (Arthur Ashkin)：光ピンセットと原子, 分子, 生物細胞を操作できる光トラッピング法の開発によりノーベル物理学賞
- アメリカは, 先進国の中で唯一, 電気通信事業が国営化されたことのない国であった。しかし, AT&T の事実上の全米独占状態を問題視した司法省は, AT&T に対して 3 度にわたって反トラスト訴訟を起こした。法廷係争は 1982 年に和解し, 1984 年 1 月に分割した。長距離電話部門・ベル研究所・ウェスタン・エレクトリックだけを AT&T に残し, 地域通信部門は地域ベル電話会社 (通称 Baby Bells) として 8 社に分割し, 資本も独立させることとなった。これにより, 電気通信市場において自由競争が活性化し, さらに 1996 年の電気通信法改正により, 競争は激化の一途を辿っている。これに伴い, ベル研究所の経営方針にも変化が生まれ, 往年の何十年も先を見据えた未来の可能性を研

究するような姿勢は払拭され, 短期的な利益に貢献するプロジェクトに資源配分をシフトする傾向が強まっている。

この短期利益志向の傾向を決定的にしたのが, 2002 年に発覚したヤン・ヘンドリック・シェーン (Jan Hendrik Schön) による研究データ捏造スキャンダルであった [42, 43]。シェーンは北ドイツに生まれ, 1997 年, コンスタンツ大学 (Universität Konstanz) で博士号を取得し, 卒業後, 物性物理学とナノテクノロジーを専門とする研究者としてベル研究所に採用された。有機物の伝導性を研究テーマとし, 2000 年に絶対温度 52 K (ケルビン) で超伝導を確認したと発表, 有機物における超伝導転移温度の最高記録を塗り替えたことされた。2001 年には, この記録をさらに 117 K へと更新, また分子程度の大きさのトランジスタの作成にも成功したと発表した。これらの発表は, Science や Nature を含む一流専門誌を通してなされ, シェーンが著者として名を連ねる論文数は 2 年間で 80 本にも上った。これは, 多くの研究者にとっては, 一生かかっても出せない数である。電子工学がシリコンから有機物へと重心を移す道を拓くものであると, 世界を驚かせたのである。

シェーンはさまざまな賞を受賞し, 超伝導の世界で最もノーベル賞に近い研究者と目されるようになった。

しかし, 世界中で多くの研究者が追実験を行ったにもかかわらず, シェーンと同様の結果を得ることができなかった。さらに, 異なる温度での実験で全く同じノイズが示されているなど, データの使い回しや多くの矛盾点が指摘されるようになった。これを受けて, 2002 年 5 月, ベル研究所はシェーンに関する不正調査委員会を立ち上げ, 議長に熱伝導の権威でスタンフォード大学教授のマルコム・ビーズリー (Malcolm Beasley) を任命した。調査委員会が告発の受付を行ったところ, 1 ヶ月の内に 24 件が集まった。委員会はシェーンの共著者全員に質問状を送り, 中でも主要な 3 名には聞き取り調査も行った。同年 9 月, 24 件の内, 少なくとも 16 件で不正行為の証拠が見つかったとする調査報告書を公にした。ベル研究所は, 報告書が公表された日にシェーンを解雇した。シェーンが発表した論文の内, Science は 8 本, Physical Review は 6 本, Nature は 7 本を取り下げた。このスキャンダルは, データ捏造を巡る共同研究者, 共著者, 専門誌の査読者の責任について世界的な議論を引き起こした。しかし問題の根は深く, 日本でも 2014 年, STAP 細胞に関連して騒がれたように, 解決は容易ではない。



シェーンが引き起こしたデータ捏造スキャンダルによるベル研究所の傷は深く、2008年、AT&Tは基礎研究からの撤退を発表、基礎科学、物性物理学、半導体研究といった分野からは手を引き、ネットワーク、高速電子工学、無線ネットワーク、ナノテクノロジー、ソフトウェアといった収益に結びつきやすい分野に注力すると発表した。2016年、ベル研究所はNokiaの傘下に収まり、Nokia Bell Labsと名称を変えている。

シャノンは戦時下のベル研究所で情報理論を確立する基礎を固め、通信衛星と進行波増幅器の理論を確立したジョン・ロビンソン・ピアース (John Robinson Pierce)、レーダー、テレビ、コンピュータ等のさまざまな分野で重要な貢献をしたバーナード・オリバー (Bernard Oliver) と並び、ベル研究所の三賢人と呼ばれるようになる。また、ベル研究所のカフェテリアで、イギリスから視察に訪れていたアラン・チューリング (Alan Turing) と楽しいひとときを過ごしたのも、忘れ難い思い出となったに違いない。シャノンは長命で2001年まで存命したが、ベル研究所の変遷は彼の目にどのように映っていたのだろうか。

(この項、なお続く)

#### 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—バ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, 『エニアクー—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—石ころからリンゴへ—』, 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・シャノシー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, 『エニグマーアラン・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・ブファルツ (1618-1680), [https://ja.wikipedia.org/wiki/エリーザベト・フォン・デア・ブファルツ\\_\(1618-1680\)](https://ja.wikipedia.org/wiki/エリーザベト・フォン・デア・ブファルツ_(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) (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)