

コンピューターエンジニアへの道

モーリス・ヴィンセント・ウィルクス

私の鮮明に残っている一番古い記憶は、両親と私が住んでいた家の庭の小道を、少女が吉報を知らせに駆けてくる、というものです。その吉報とは、「終戦」でした。1918年11月11日のことです。第一次世界大戦が終結したのです。当時、私は5歳と4か月でした。6歳から私は学校に通い始めました。たぶんこれは遅いほうだと思いますが、私はすぐに学校の勉強に興味を持ち、いつも技術者か科学者になりたいと思っていました。12歳のとき、数学に加えて物理と化学の授業が始まったときは、大いに喜んだものです。15歳の頃には、すでに微積分を学んでいました。

1931年にケンブリッジ大学に進学し、数理物理学、中でも応用力学、電磁気学、熱力学などの基礎知識を習得しました。また、当時まだ新しい学問であった、波動力学についても勉強しました。純粋な数学の教育を受けたのは、ほんのわずかであると言えましょう。ほとんどが解析や幾何学で、群論は基礎をかじった程度、集合論についてはまったく勉強しておりません。

私は1934年に学士号を取得し、キャベンディッシュ研究所に研究生として入りました。かの偉大なロード・ラザフォードがこの研究所の所長であり、原子物理学は全盛期にありました。この研究分野に私はあまり関与していませんでした。と申しますのも、電離層における電波の伝搬という私の研究は、ラザフォードの研究所の中で、数少ない原子に関係しない物理学だったからです。もちろんある程度は原子物理学の研究にも加わりましたが、同僚の研究に加わり、悲哀をともにできなかったことを、あとになって悔やんでいます。

私は以前からラジオに興味があり、電波の伝搬について深い関心を持っておりました。アマチュア無線の免許を持っていた時期もあります。また、たくさんの送信機や受信機を設計し、製作しました。ケンブリッジ大学のラジオ・グループに課せられた課題は、電離層から影響を受ける電波の特性を研究し、高圧下での気圧の構造を解明することでした。その化学構造と電離の状態の解明です。また、通信手段ではなく、計測手段としての電波機器を開発するという、比較的新しい研究も含まれていました。しかし結局、計測用の機械をつくる一

歩手前までしかいきませんでした。

博士号を取得した1937年頃に、初めてコンピューターにかかわり始めました。1937年には、デジタル・コンピューターはまだこの世に存在しませんでした。当時、コンピューターとは、卓上計算機で計算を行う人間のことを指す言葉でした。コンピューターが機械のことではなく人間のことを指す言葉だというと、今の方々は驚かれるでしょう。しかし、アナログ・コンピューターについてはもっと興味深いことがあります。アナログ・コンピューターは当時の卓上計算機や今日のデジタル・コンピューターのように数字を処理することができず、数字は物理的な量として認識されていました。アナログ・コンピューターの仕組みをよく表すものとして、計算尺があります。計算尺では、数字を定規の長さで計ります。

さて、1937年後半にケンブリッジ大学は、当時としてはかなり進歩的な決定をしました。コンピューター研究所設立の決定です。それは実際には数学研究所と呼ばれていましたが、1970年頃に、コンピューター研究所と名称を変更しました。大学はこの研究所に、多種多様の卓上計算機と最新のアナログ・コンピューター、特に微積分解析機という単純な微積分の方程式を解くコンピューターを設置しようとしていました。微積分解析機はその計算結果を数表ではなく、グラフで表示することになっていました。

微積分解析機はマサチューセッツ工科大学のベニーバー・ブッシュが数年前に考案していました。実は、その当時ケンブリッジには解析機の試作機があったのです。これはおもしろい機械で、ほとんどがメッカーノの部品でできていました。メッカーノとは組み立て式の玩具で、当時イギリスの少年たちの間ではやっていたものです。この試作機はあまり正確ではなかったため、大学は、かなり実用的なブッシュの設計に基づいて、大型のコンピューターを開発するよう要求しました。この大型コンピューターは技術会社によって製作されることになっていましたが、第二次世界大戦が勃発して大学の計画が一時的に中断された1939年9月まで、研究所には届きませんでした。

私自身もすぐに出征し、1945年9月まで戦場から戻りませんでした。その後私は同コンピューター研究所に所長として迎えられました。微積分解析機はすでに設置されていましたが、人々の関心はいまやデジタル・コンピューターに移っていました。

また、1945年には、すでに力学や電気力学の原理をもとにしたデジタル・コ

ンピューターが1、2台ありましたが、大型電子コンピューターは1台しかありません。そのコンピューターは ENIAC というペンシルベニア大学の大学院電気技術科（ムーア研究所）で1945年に完成されたものです。プログラムはプラグとソケットとスイッチのさまざまな配列で決まっています。ENIAC はプエスパー・エッカート博士とジョン・モークリー博士という二人の偉大な技術者によって考案され、さらに設計、製作されたものです。

さて、ENIAC は、機械技師でも電子工学を応用し簡単につくれるもので、操作も簡単でした。大きさはまるで山のようなものでした。これには18,000本以上の真空管が使われ、先程申し上げましたように、プラグとソケットと電気スイッチの配列によってプログラミングされていました。ENIAC の製作が最終段階にさしかかったとき、考案者であるエッカートとモークリーは考えました。そして新しい、根本的に異なるアプローチで問題に対処すれば、さらに小型で高性能のコンピューターが開発できると確信したのです。

この点で、二人はすでによい方法を知っていました。今世紀の偉大な数学者、ジョン・フォン・ノイマンと組んだのです。フォン・ノイマンは相談役として ENIAC のプロジェクト・チームに加わりました。しかし、不幸なことにフォン・ノイマンとこの二人によって高い成果をもたらした共同研究の成果は、最初にノイマン一人の名前で発表されたのです。そのため、このレポートで発表された新しい原理に基づくコンピューターは、フォン・ノイマン型コンピューターとも言われていますが、これはこの研究に最初に着手し、基本的なアイデアを提供したエッカートとモークリーに対して不公平に思われます。私は、エッカート-フォン・ノイマン・コンピューターと呼びたいのですが、これもまたモークリーに対して失礼にあたりますね。

私が初めてフォン・ノイマンのレポートを見たのは1945年5月のことでしたが、これこそコンピューターの向かうべき方向を示している、とすぐ感じました。そこには新しいコンピューターの構造を決定する原理がありました。まったく予期せぬことでしたが、その後すぐに、私はフィラデルフィアのムーア研究所から、エッカートとモークリーの主催する講座に招待する、という電報を受け取りました。その当時、大西洋航海は依然戦時政権による規制下にあり（飛行機での旅行は禁止されていたため、海路をとるしかありませんでした）、何度も危険な目に遭いながら、やっとフィラデルフィアに着いたときには、講座はそのコースの半分以上を終了していました。

それにもかかわらず、私は、ある部分は講義から、ある部分はエッカート博士やモークリー博士との会話から、当時プログラム記憶式デジタル・コンピューターについて学べることのすべてを学びました。ムーア研究所の講義は、私に技術情報の共有を寛大に認めてくれました。他の機会にもここでの技術情報の共有について謝辞を述べてきましたが、稲盛理事長の名前を冠し、その理想を具体化した財団から賞をいただくに際して、博士の前でこの感謝の気持ちを述べるのができたのは非常な喜びです。

私は、講義が終了してからも数週間、フィラデルフィアに滞在し、紹介を受けた人々を訪問しました。やがて、ケンブリッジ大学でも開発できると思われるコンピューターの構想が、私の頭の中で展開し始めました。実際、われわれはこのコンピューターを開発し、それは EDSAC として知られるようになりました。当時、原理は明らかになっていましたが、プログラム記憶式コンピューターはまだ作られてはいませんでした。これをつくることは電子工学への挑戦であり、私が受けるべき挑戦でした。6年間の戦争を終え、ケンブリッジ大学はようやく正常に戻りつつありました。そこにはどこよりも、平和の価値を確立し、研究プロジェクトを始めるように、と私を駆り立てる力がありました。さらに、コンピューター研究所長として、私は必要な資金や設備を使える立場にありました。加えて、戦争時にレーダーに関する仕事をしたことも、電子工学の研究に非常に役立ちました。研究対象の規模が大きかったにもかかわらず、たし算、ひき算、かけ算などの計算機能のための真空管回路、つまりプログラム実行を制御する回路の設計はさほど困難ではなかったようでした。さらに私は、こうした初期のコンピューターを設計し始めていた他の研究者も同様な印象を持っていることを確信しました。大まかに言えばそれは事実でしたが、なお、学ぶべきことはありました。大半の電子アプリケーションにおいては、回路が一瞬誤って機能しても、それはさして重大なことではありませんでした。スクリーンに一瞬その誤りが出ますが、たぶん見ている人は気づきません。だから、それは重大なことではありませんでした。しかし、コンピューターの場合には、コンピューターが間違えば、その間違いはほとんどの場合、致命的な誤りとなるのです。われわれは技術用語を備えつけた回路を設計するために、一瞬のことを正しく伝える回路を設計する方法を学ばなければなりませんでした。この問題が正しく認識されれば、解決は困難ではありませんでした。だから、それ以降の電子コンピューターの設計者にはまったく何の問題もなかったと確信してい

ます。

次は演算のための回路でした。当時は莫大な容量を持つデジタル・メモリーが存在しなかったため、そのようなデジタル・メモリーの開発もまったく別問題としてありました。そのため研究プロジェクト全体も、当然こうしたメモリーが開発できるか否かにかかっていた。ノイマン博士がこのプロジェクトに参加する前から、エッカート博士は製作可能なメモリーの様式に関するアイデアを出していました。そのアイデアとは、超音波の遅延装置を使用したもので、これからそれがどのように作動するのかを説明したいと思います。この「発明」に基づいて、エッカート、モークリー両博士は彼らのアイデアを丁寧につくっていきました。研究グループに代わってノイマン博士が書いたレポートは、本質的に同じアイデアに基づくものでした。

遅延装置は水銀が詰まった約1メートル半の長さのチューブからできています。両端には水晶振動子がついています。数字を表す波動が一方の水晶振動子に伝えられ、その水晶振動子はその波動を高周波音の波動、つまり超音波波動に変えます。この波動は音速とともにチューブの中をゆっくりと伝わるので、反対側の端に着くまでに1ミリセカンドかかります。波動はそこでもう一方の水晶振動子に突き当たって電子波動に増幅され、変化します。つまり、波動はこれを繰り返す間にかかなり歪められます。最も重要なことは、波動が同調（シンクロ）することです。絶えず作動している波動発生機からクロックパルスと呼ばれる波動が出され、送り込まれます。つまり、このクロックパルスは増幅器から発生する波動を同時に進める役割を持ち、そしてこれらの波動は、遅延装置の最初の部分に戻ります。ここまで説明すれば、これらの波動が閉じ込められているのがおわかりになったと思います。これらの波動は遅延装置の中を繰り返し循環し、蓄積されます。EDSACでは、一つの装置の中に約500の波動を蓄積することができます。

このメモリーの仕様は、古典物理学においてすでに証明された原理に基づいているので、その実用性を疑う必要はありません。しかし、これはムーア研究所やその他で研究開発されてきたデジタル・メモリーに関する他の構想にも適用できるわけではありません。それぞれの構想が実際に使えるかどうかを見極めるまでには、研究開発が必要とされます。この点で私は、戦争中に、デジタル・メモリーではなく、レーダー関係、特に永久エコーの停止に関する目的で、水銀遅延装置を使用した実験が行われていたことに気づきました。私自身はそ

の実験に関与していませんでしたが、それが行われていたことは知っていました。この時点で非常に幸運なことに、私はトーマス・ゴールド氏に会うことができました。彼は、最近までコーネル大学の教授を務め、その前は水銀遅延装置に関するこの実験が行われた英国海軍本部に勤務していました。ゴールド氏が構想の本質にかかわる情報を教えてくれたため、私は何週間にも及ぶ実験を省くことができました。

そこで、私は 32 本の遅延装置チューブが必要なことがわかりました。われわれはこのチューブをタンクと呼びました。つまり、32 本のタンクが必要だったわけです。私はこれを 16 個の電池からつくろうと決めました。電池には一番上に 6 本のチューブがあります。その下にはもう二列、チューブが並んでいますが、これらは電子装置で接続されています。装置間の構造については厳重な条件が必要となりました。それは、それぞれのタンクの中の水晶は、わずかな耐性を備えながら、同じ間隔で置かれていなければならないことでした。つまり、それぞれのタンクの長さは、わずかな耐性を備えながら、同じでなければなりません。その上、それぞれの水晶振動子もお互い完全に平行に並べられていなければならない。私は、自分の計算に間違いがないとの自信を持っていましたが、それでも最初の電池が完成し、作動したときにはホッとしたことをお話ししておきます。

EDSAC の開発はそれ以降、かなりの急ペースで進展しました。あとの部分がまだ設計されている間に最初の部分ができあがりしました。装置を作動させる課題の大半は、ウィリアム・レンウィック氏の肩にかかっていた。彼は、中心的メンバーの技師として、このプロジェクトに最初の段階から参加していました。1949 年 5 月 6 日にまったく突然、EDSAC は初めて正確な計算を行いました。これは、ENIAC よりかなり小さいもので、それまでの 6 分の 1 にあたるわずか 3,000 本強の真空管でできていますが、通常の機械より処理能力があります。それはまったく新しいロジカル原理に基づいて設計されているからです。

機械が作動したこの時点で、プロジェクトの第二段階が始まりました。つまり、プログラミング手法の開発と、できるだけ多くの科学分野にこれを応用することです。機械が作動する前からプロジェクトに参加していた、研究生のデビッド・ウィーラーがプログラミング手法の開発に大きく貢献し、彼の研究は広く認められました。1950 年末に、われわれは、開発してきた手法に関する包括的なレポートを書くことができました。このレポートは翌 1951 年に、私、ウ

イーラー氏、および同様に大きな貢献をした研究生のギル氏との共著の形で、米国のアディソン・ウェスリー社から出版されました。この本は『EDSAC とサブルーチンのライブラリーに関する自動デジタル・コンピューターのプログラムへの準備』というタイトルがつけられました。実際、この本はコンピューター・プログラミングに関して書かれた最初の本でした。この本は日本にも輸入され、後藤博士と和田博士は、この本が彼らの初期の考え方に影響を与えた、と話してくれました。

機械が作動したので、次は当然の帰結としてコンピューターの設計方法で改善できる点はないか、と考えるようになりました。私はメンテナンスを非常に懸念していました。というのも、最近の半導体装置とはまったく異なり、真空管回路はあまり頼りにならなかったからです。真空管回路は維持管理がたいへんでした。EDSAC のメモリーのように構造が規則的な部分、つまり複製の同じ装置から構成される部分は、規則的な構造を持たない部分よりも、デザインばかりではなく、メンテナンスも簡単であることは明らかでした。計算が行われる EDSAC の演算装置は規則的なものではありませんでしたが、規則的な演算装置を設計する方法があることはわかっていました。しかし、制御装置が問題でした。私はこれについて長い間考え、ついにマイクロプログラミングと呼ぶシステムを考案しました。私はコンピューターの制御回路をミニチュアの小型コンピューター、つまり大きなコンピューターの中にある小さなコンピューターとみなしました。この小型コンピューターが、プログラム化されたコンピューターが必要とするだけの柔軟性を持ちあわせればいいことに気づきました。われわれの二番目の作品、EDSAC2 はやはり真空管を使用し、マイクロプログラミングの原理でつくられ、1958 年に作動しました。マイクロプログラミングの実用性を確立したのは間違いなく、この EDSAC2 でした。真空管技術はマイクロプログラミング制御装置の設計に役立ちませんでしたが、トランジスターの登場で状況は一変しました。結果として、トランジスターが広く使用されるようになるまでは、マイクロプログラミングも普及しませんでした。

それからの数年間に、私が同僚や研究生とともに行った実験の詳細を述べる時間はないようです。この中には、プログラミングの方法論の一段の進展に関する実験もありました。つまり、初期の段階のタイム・シェアリング、キャッシュ・メモリーの使用、独立編集などの開発です。

私は 1980 年に研究所を離れ、米国で就職したのですが、この直前の数年間に

行った一つの開発について話したいと思います。それは広帯域の一地域用のデジタル式通信に関する開発でした。コンピューターに関連した通信は、電気通信で従来から使用されていた技術から離れ、コンピューターそのものの製作のために開発してきた新しい技術を使用することで進歩を遂げるということは、この時期、私にとって確信できるものであり、他の仲間にとっても同様でした。われわれはデジタル式の電話をつくり、これは大成功を収めました。偶然にも、この電話の開発は時期的にイーサネットの開発と重なりました。その設計者たちはコンピューター技術を利用する必要性を同様に感じ、やがてイーサネットと呼ばれる、非常に科学的な精密さと簡潔さを備えたシステムをつくりました。これはケンブリッジ大学がつくった電話とはかなり異なっていましたが、その役割と目的は同じでした。

最後に、科学技術やその他の分野で業績を残したい、と考える若者にアドバイスをするように言われていますが、「一生懸命研究を続け、気を散らすな」というような一般的なアドバイス以外に言えることは、実際ほとんどありません。なぜなら、世界は一生の間はかなり変化するからです。私は、父が晩年、引退するまでに世界が変わらなかつたらどんなにか嬉しかった、ということをしばしば口にしていたことを思い出します。そして、他の多くの人も同様に感じてきました。

もちろん、年を重ねるにつれて、多くのことを学び、多くの経験をしたと気づくことは本当です。しかし、私の経験をあなたたち若者にすべてあてはめることは、意味のないことです。なぜなら、私が若者に与えるアドバイスは、若者が住んでいる世界ではなく、私が知っている世界にのみ適用されてきたものだからです。だから、私はまじめにこうアドバイスします。年を重ねた人の言うことを注意深く聞きなさい。しかし、彼らの言っていることが明らかにあなたの現状にそぐわないならば、年をとった人への自然な尊敬の念だけから、その言葉を過度に重視することはやめなさい、と。

もちろん、われわれは皆、与えられる機会が限られています。1989年に京都賞を受賞したエイモス・ジョエル博士は、受賞記念講演の中で、少年の頃、将来は電話交換所で働きたいとの強い希望を持っていた、と話しています。幸運なことに、彼の父親はベル電話研究所の幹部を知っており、この友人は若きエイモス・ジョエルに、彼が望む機会を与えることができました。同様に、私も幸運にも、デジタル・コンピューターがまだ開発されていない時代にコンピュ

一ター研究所の所長になることができました。エイモス博士と私が、こうした幸運に恵まれなかったら、思いもかけない他の分野での京都賞受賞が可能だったかもしれません。人の生涯はその大半が、その与えられた機会によるものです。ご静聴ありがとうございました。