

世界をORする視線 (10)

第I部 通信・デジタル技術の発展

(3) コンピュータの発展：夜明け

住田 潮

(註：今回も引き続き、主要参考文献として文献 [1-5] を挙げておく.)

1. ハーバード大学とローレンス科学学校

イギリスのバベッジからスウェーデンのシュウツ父子へと引き継がれた階差機関の開発は、ビジネスとして大きく成功するまでには至らなかった。19世紀も後半に入ると、計算機械に対する関心はヨーロッパからアメリカへと移る。アメリカの発明家たちは起業への意欲が極めて強く、ビジネスとして成功させることに強い意志をもつ一群のリーダーたちによって、新たな産業が産み出されることとなった。

アメリカにおける計算機械開発の初期段階で重要な役割を果たしたのは、ハーバード大学のローレンス科学学校 (Lawrence Scientific School) [6] である。アメリカの科学を専門とする高等教育機関としては先駆的なローレンス科学学校は、半世紀に及ぶ歴史を経た後、ハーバード大学がアメリカの一地方大学から世界有数の大学へと成長する過程で、本体に吸収され閉鎖された。アメリカの大学教育がどのようにして発展の契機をつかみ、その中でアカデミック・リーダーの思想性と富裕な慈善家の果たす役割がどのような影響を与えたのか。大学における研究成果が産業界と結びつくことで知的創造と技術開発の基盤が整備されていく過程を理解するうえで、このハーバード大学の事例は格好の題材である。少し遠回りになるが、社会が激しく変化しつつある現在、今後の日本の高等教育・研究機関とORの未来を考える契機としても意味があると思われる。今回は、まず、ここから筆を起すことにする。

1800年代の半ばまで、アメリカの大学は清教徒派の牧師の影響下にあり、教会の必要とする人材を育成す

るための古典的なカリキュラムが主流であった。独立間もないアメリカが産業立国を目指すうえで必要となる人材を輩出するという観点はほとんど欠落しており、さまざまな科学分野、現代言語学、歴史、政治経済学など、現在の学部教育に一般的な科目は提供されることなく、大学院や専門職大学院は存在しないに等しい状態であった。企業人は子息を役に立たない大学へ入学させることを躊躇し、財を成しても大学に寄付することを考えることはなかったのである。

アメリカ最古の大学であるハーバード大学も、同じような状況にあった。イギリス植民地時代の1636年、マサチューセッツ湾植民地議会において、「学校または大学を新設するための資金の支出」が議決され、この年が創立年と見なされているが、実質的には、1639年、清教徒派の牧師ジョン・ハーバード (John Harvard) が遺贈した資産と蔵書をもとに大学としての活動が初めて本格化したのであり、これ以後、「ハーバード・カレッジ (Harvard College)」という名称が用いられるようになった。その後の10年間、3人の凡庸な牧師が学長を務めたが、名もない一地方大学として、徐々に色褪せていくことになる。

アメリカの大学のこうした状況は1世紀以上も続くことになるが、やがて、教育界や産業界の心あるリーダーたちは、社会の人材需要と隔絶した大学教育の内容に危機意識を抱き、科学や工学を専門とする高等教育機関の設立を目指す動きが活発化した。1847年に設立されたエール科学学校 (Yale Scientific School) はその先駆例であり、1861年、鉄道事業で財を成したジョセフ・アール・シェフィールド (Joseph Earl Sheffield) の寄付を得て、新たにシェフィールド科学学校 (Sheffield Scientific School) と命名された。第1次世界大戦後、そのカリキュラムはエール大学本体に徐々に吸収され、1956年、100年を超える歴史に幕を閉じた。同じ1847年に開設されたハーバード大学

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

のローレンス科学学校も、そうした流れに沿って設立されたものである。

1792年、マサチューセッツ州グロトンで、アメリカ独立戦争を戦った士官の次男として生まれたアボット・ローレンス (Abbott Lawrence) [7] は、兄弟で A. & A. Lawrence and Co. を設立、イギリスや中国からの輸入業で成功した後、繊維産業に進出して大きな財を成した。1820年代には公人として頭角を現し、ホイッグ党 (Whig Party) に所属し、マサチューセッツ州で連邦下院議員に選出され、さらに、1848年から1852年まで駐英公使としても活躍した。特に1850年、イギリスとアメリカが協同して太平洋、大西洋を結ぶパナマ運河の建設を促進・保護することを内容とするクレイトン・バルワー条約の締結に尽力し、高い評価を得た。クレイトンは当時のアメリカ国務長官であり、バルワーはイギリスのワシントン領事である。因みに、この条約は両国内に異論が多く、1901年、アメリカがイギリスに対し、単独で運河を建設し運営に当たる新条約の締結を求め、イギリスが運河の自由航行と平等課税方式を条件にこれを認め、新たにヘイ・ボンズフォート条約が締結されることにより廃棄されることとなった。前例に倣い、この条約は、交渉に当たったアメリカ国務長官とイギリス駐米大使の名前を冠している。

ローレンスはボストンのユニテリアン教会に所属し、下層階級に対する教育の普及、ボストン市による安価な住宅の提供、ボストン公共図書館の設立など、さまざまな慈善事業に多額の寄付を行った。また、応用科学の振興を通してマサチューセッツ州に貢献することを望み、1847年、ハーバード大学に50,000ドルの資金を提供、それを基金としてローレンス科学学校が設立された。遺書にも同額の寄付を行うと記し、これは彼が1855年、62歳で亡くなった際に履行された。

ハーバード大学は、現在、ケンブリッジ大学、オックスフォード大学、マサチューセッツ工科大学、スタンフォード大学と共に世界トップ5大学に名を連ね、そのホームページに掲載されている情報によれば、2021年の時点で、50名に上る教授陣がノーベル賞を受賞し、卒業生から8名のアメリカ合衆国大統領を輩出している。さらに、政財界から学術分野まで、幅広い分野で指導的な人材を輩出し続けており、文字どおりの名門大学であるが、1850年頃には、アメリカの一地方大学に過ぎなかった。

ローレンス科学学校は1906年まで存続したが、半世紀以上にわたるその変遷を通して、必ずしもローレ

ンスの意図を実現するものとはならなかった。その最大の原因は、1846年から1849年までハーバード大学学長の任にあったエドワード・エヴェレット (Edward Everett) [8] が、純粋科学の研究を重視するドイツ風の大学を理想とし、一般教養課程のカリキュラムの中心に応用科学を据えなかったことによる。

エヴェレットは、1794年、牧師の息子としてボストンに生まれ、ハーバード大学を卒業後、短期間の牧師生活を経て、母校で教鞭を執る機会を得た。その契約にはヨーロッパで4年間の事前研究を行うことが含まれており、2年間でドイツのゲティンゲン大学 (Universität Göttingen) で過ごした後、残りの2年間でヨーロッパ各地を視察して回った。当時、ゲティンゲン大学は研究を重視する世界的にも突出した大学であり、ハーバード大学を圧倒する存在であった。

ハーバード大学に戻ったエヴェレットは、数年間、古代ギリシャ文学を担当したが、政治に興味をもつようになり、政界へ転出、10年間、下院議員として活動した後、1836年、マサチューセッツ州知事に選出され、アメリカで初めて州教育委員会を設立した。1839年の選挙において僅差で再選を逃したエヴェレットは、イギリス公使に任命される。1845年までその職を務めた後、1846年、ハーバード大学の学長となった。

学長就任後、欧州での経験から、「ドイツのゲティンゲン大学のような大学をボストンのケンブリッジに確立すること」を目指したエヴェレットは、ローレンスの寄付を格好の機会と捉え、ローレンス科学学校を応用科学ではなく純粋科学の研究機関として突出させることを計画した。教授陣に関しても、純粋・応用化学担当に、ふくらし粉を発見したことで知られるイーベン・ノートン・ホースフォード (Eben Norton Horsford)、動物学・地質学担当には、氷河時代を発見し『化石魚類』の著者としても知られるジャン・ルイ・ルドルフ・アガシー (Jean Louis Rodolphe Agassiz) を採用し、「応用科学の知識・技能を伝授し、産業界の必要とする人材を育てる」というローレンスの意図を離れて、純粋科学分野で研究成果を挙げることを重視した。もとより、アメリカの一地方大学に過ぎなかったハーバード大学が、そうした新しい方針に基づいて即座に優秀な学生を集めることは難しく、1850年代にはそこそこの学生数を確保できたものの、1860年代に入ると減少し、1890年代後半まで増加に転じることはなかった。

エヴェレットは学長職を楽しまず、3年間務めた後に辞任して政界に舞い戻り、国務長官補佐、国務長官、上院議員などを歴任した。南北戦争前から一貫して連

邦政府を支持したエヴェレットは、当時、傑出した雄弁家として有名で、1863年、ゲティスバーグ国立墓地で、アブラハム・リンカーン (Abraham Lincoln) 大統領が高名な2分間のゲティスバーグ演説を行う直前、2時間にも及ぶ前説を行ったことは広く知られている。引退後は全米中を演説して回り、1865年、71歳の生涯を閉じた。

ローレンス科学学校の命運に大きな影響を与え、ハーバード大学を世界のトップクラスへと押し上げることに大きく貢献したのは、1869年、35歳の若さで学長に就任したチャールズ・ウィリアム・エリオット (Charles William Eliot) [9] である。1909年まで、40年もの長きにわたってハーバード大学の学長を務めたが、これは後にも先にも例を見ない学長としての長期在職記録であった。

1834年、祖父は銀行家、父は政治家というボストンの裕福な家庭に唯一の男子として生まれた彼は、1853年、19歳でハーバード大学を卒業し、翌年から数学の助手を務めながら化学を学んだ。1858年、24歳で数学・化学の助教授に昇進し、ローレンス科学学校の改革に尽力した。

1857年、経営陣の詐欺行為によりオハイオ生命保険信託会社が経営破綻し、さらに、ニューヨークの銀行が必要としていた金塊を積載した蒸気船 SS セントラル・アメリカがハリケーンのために沈没したことが引き金となり、金融恐慌が全米を覆った。これにより父親が経済的に破綻したエリオットは、大学の給料とわずかな祖父の遺産のみで、両親と4人姉妹を支えなければならないという苦境に陥った。この困難を乗り越えるべく、給料の良い冠教授 (Rumford Professorship of Chemistry) の地位を得ようと激しく争ったが、この競争に敗れ、1863年、29歳でハーバード大学を去ることになる。誰もが、エリオットは必要な収入を得るために研究を諦めビジネスに転じるだろうと思ったが、彼は意表を突いて借金をし、2年間を掛けて欧州へ教育システムを学ぶ旅に出た。

エリオットの教育システムに対する視点は独特で、単に教育機関について学ぶだけではなく、国民生活のあらゆる面において教育システムの果たす役割を検証し考究することに意を注いだ。教育機関を訪問した際には、カリキュラム、教育方法、管理運営体制などさまざまな側面から大学の有り様を観察し、教育と経済成長の関係についても深く学ぶよう心掛けた。特に、欧州の大学とフランスやドイツの科学技術専門学校の多くが、政府の援助の下、産業界に対して、科学的知識を

必要とするさまざまな技術分野や貿易分野に若き人材を輩出していることに感銘を受け、そのような教育機関をアメリカにもたらすことで母国、特にマサチューセッツ州に貢献する決意を固めた。

エリオットはまた、教育と企業の相互依存性にも着目する。ドイツの化学産業が大学の研究室で発見された成果に基づいて大きく成長したこと、そして大学が政府からの援助だけではなく、企業経営で財を成した富裕層からの巨額の寄付に依存していることを学んだ。当時のアメリカでは、清教徒の属する教会が、教会の必要とする人材を育成するために教育機関を援助することが主流であり、ハーバード大学も例外ではなかった。2年間に及ぶ欧州滞在を通して、若き国家であるアメリカが才能溢れる科学者、技術者、芸術家、建築家を数多く必要としていることを確信したエリオットは、一研究者から、アメリカ建国の中核理念である自由と企業家精神に基づき、そうした人材を輩出する高等教育機関の確立を目指す理想主義者として生まれ変わったのである。

言うまでもなく、当時のアメリカにおいてエリオットは人材として傑出しており、ビジネス界からいくつもの魅力ある誘いがあった。たとえば、欧州に滞在中にも、アメリカ最大の織物工場を経営する企業から、年収5,000ドルかつ無料で邸宅を提供するという条件で、経営トップへの就任を打診する誘いを受けている。しかし、2年の欧州滞在で培われた「科学・研究と産業界を有機的に結合する高等教育・研究機関の確立こそが、現在のアメリカに最も必要なものである」という信念は揺るがず、一つの企業の経営者に収まってしまっただけでは、それを達成することはできないと判断し、その魅力ある申し出を断ってしまった。

1865年、31歳になりアメリカに戻ったエリオットは、1861年に設立されたMIT (Massachusetts Institute of Technology: マサチューセッツ工科大学) に、解析化学の教授として着任する。MITは、欧州の科学技術専門大学を手本に、応用科学と工学を中心に、実験を通して学ぶカリキュラムに重きを置いたが、設立された年の4月、南北戦争が勃発し、北軍の勝利で終る1865年の終戦まで、授業を行うことができなかった。したがって、エリオットは、自分が学んできた欧州式の科学技術に関する高等教育に携わるべく、講義初年度からMITに参加することになったのである。

エリオットがMITに着任したその年、ハーバード大学の管理体制を巡り、革命的な変化が起こった。ハーバード大学理事会は、慣例に従い、マサチューセッツ

州の知事と副知事，州議会上院議長，州議会下院議長，州教育委員会書記長，ハーバード大学の学長と会計責任者に加え，州議会の上院下院の合同投票によって選出される30名によって構成されていた。こうした政治主導の管理体制に対し，「理事会のメンバーを卒業生から選出した方が，大学にとっても地域社会にとってもより良い結果を生む」とする意見が長い間燻っていたところ，1865年，州知事やほかの州政府職員は全員，理事会メンバーから外れ，理事会を卒業生主体の構成とすることが決定されたのである。これにより，卒業生パワーを活かし，全面的かつ徹底的な大学改革に取り組む基盤が整備されたことになる。この混乱を受けてトーマス・ヒル(Thomas Hill)は学長を辞任し，その後，4年間にわたって学長不在の空白期が続いた。

こうした変化を察知したエリオットは，1869年，アメリカの代表的な評論誌『大西洋月報 (Atlantic Monthly)』に「新しい教育 (The New Education)」と題する論文を発表した。この論文が，株式会社化されていたハーバード大学の経営陣に感銘を以て受け入れられ，エリオットは35歳の若さで学長に就任することとなったのである。

エリオットは，超越主義を世に打ち出し，欧州からの知的独立を訴えたアメリカの思想家ラルフ・ウォルドー・エマーソン(Ralph Waldo Emerson)の影響を強く受けており，経済や政治のリーダー人材を育成することこそが高等教育の果たすべき役割と見え，その理念を大学運営の中核に据えた。その考え方は，前述の論文「新しい教育 (The New Education)」の中で示された「大学教育とは，学生が自らの未来に対し，幅広く知的な選択を行えるような土台を提供するものであるが，特定の知識や技術を提供する職業訓練の場であってはならない」という信念に集約されている。エマーソンの影響を受けて，個人はそれぞれ独自の固有性をもっており，その可能性を十全に花開かせる大学教育こそがハーバード大学の目指すべきものであり，それがまた，個々人の社会に対する貢献をも最大化することに繋がると考えていたのである。

より普遍的な知的能力の錬成を重視するエリオットは，「実用的な応用科学の知識・技術の伝授」という設立当初の理念から完全には抜けきっていないローレンス科学学校を高く評価することはなかった。その面での教育に関しては，前述したエール大学のシェフィールド科学学校やMITと競争できていない現実があり，前職で在籍したMITにローレンス科学学校そのものを移すことを繰り返し画策したが，不調に終わっていた。

1891年，ローレンス科学学校の卒業生で，古生物学者かつ地質学者でもあったナサニエル・サウスゲイト・シェーラー(Nathaniel Southgate Shaler)が学校長に着任することによって，ローレンス科学学校に転機が訪れる。シェーラーは母校の再建に心血を注ぎ，1902年には学生数を過去最高の584名にまで押し上げ，1903年には製造業で成功したゴードン・マッケイ(Gordon McKay) [10]の遺産から3,000万ドルの寄贈を受けるといった大きな業績を上げた。にもかかわらず，1904年，エリオットは再度，ローレンス科学学校をMITに移すことを試みた。マッケイから得た基金とハーバード大学における応用科学の場所を守るため，1906年，シェーラーは，学部プログラムをハーバード大学に吸収させることの見返りとして，新たに応用科学大学院を設立するとの内容でエリオットと合意に達し，59年に及ぶローレンス科学学校の歴史に幕が閉じられることとなった。

エリオットのリーダーシップの下に，ハーバード大学は世界的な名門大学となった。彼の行った大学改革の主なものを列挙してみる。

- ① 当時のアメリカの大学教育では，カリキュラムのほとんどが必修科目で占められており，学生は教科書を通して教わることをそのまま吸収するという復唱型の教育方法が基本的なスタイルであった。エリオットはこの慣性力からの脱却を試み，選択科目を導入して，学生が学ぶことを個別に選択できる自由度を高めるカリキュラム改革を行い，暗記ではなく個々に発揮される能力を測るよう評価制度を変えた。
- ② 大学院を複数の研究科として組織化，その下に学部を編成するという管理体制を確立した。
- ③ 標準化された入学試験を採用し，全米から優秀な学生を集めた。
- ④ 人種に関する入学制限を設けることに反対し，彼の学長時代には，多くの才能溢れるユダヤ系学生やアフリカ系学生が卒業していった。
- ⑤ 退職年金制度を導入して高齢の教授陣を退職させ，国内外から評判の高い若手研究者を数多く招聘し，大学の研究能力を高めることに尽力した。
- ⑥ 財閥や富豪から巨額の基金を募り，ハーバード大学を世界一裕福な大学にすることにも成功した。

エリオットの断行したカリキュラム改革は，中学や高校教育にも多大な影響を与え，ハーバード大学の設定する標準に見合うように，それぞれが独自のカリキュラム改革に取り組むようになった。

もちろん、40年の長きにわたってトップに君臨すれば、必ず反対者も生まれる。1887年、1年次のカリキュラムからラテン語とギリシャ語の必修科目を削除し、ギリシャ語を入学の前提とすることを廃止したことに対し、「古典の学習をアメリカの若者から奪うという、教育に関するもっとも重大な罪を冒した」との批判を受けた。野蛮であるという理由でアメリカン・フットボールに反対し、試合の開催を阻止しようと動いた際にも、轟々たる非難を浴びた。アメリカン・フットボールのみならず、エリオットはスポーツ嫌いで、漕艇とテニスのみを人間的スポーツとして認めた。「本年、ハーバード大学の野球チームは好成績を収めたそうで、その理由は、投手が素晴らしいカーブを投げることができたからと聞いている。しかし、カーブは相手を騙す目的で投げられるのであり、この精神は、ハーバード大学の教育理念と合致しない」と述べて、失笑を買ったというエピソードも残されている。

また、ローレンス科学学校をMITに移すという試みの背後で、MIT そのものをハーバード大学に吸収合併してしまうべく画策していたという説もあり、この努力は学長退職後も続けられたといわれている。もちろん、MIT側では教授も学生も大反対であったが、1917年、マサチューセッツ最高裁判所が吸収合併を無効とする判決を下し、さらにMITが独自の財政基盤を確立するまで、MIT側が安心することはなかった。

清教徒派の教会の影響下にあったアメリカの高等教育に対し、欧州から学び、欧州に追いつくことを最優先したエリオットは、応用科学教育を通して産業界の人材需要に直接的に応える方向性を採用せず、大学の社会に対する使命は、基礎研究において世界的な成果を上げることと、学生の普遍的な知的能力の錬成にあると確信し、その信念が揺らぐことはなかった。エリオットの掲げた大学教育に関する理念は、現代にも通じる内容を含んでおり、彼が行った大学改革は、その後、世界中の大学に影響を与えたという意味で、彼が偉大な学長であったことは間違いないであろう。

2. 効用販売型ビジネス・モデルの誕生

ローレンス科学学校に3,000万ドルを遺贈したゴードン・マッケイは、効用販売型ビジネス・モデルを開発した先駆者であり、その法律顧問を務めたガーディナー・グリーン・ハバード(Gardiner Greene Hubbard) [11]の手を経て、ベル電話株式会社の料金システムにも影響を与えた人物である。この効用販売型ビジネス・モデルは、最近、DX(デジタル・トランスフォーメイ

ション)の波が押し寄せ、SDGs(Sustainable Development Goals)経営の重要性が認識される中、さまざまな製品・サービスの分野で急速に普及しつつあり、重要なテーマであるので、ここでもう少し回り道をしておくことにする。

1821年、マサチューセッツ州のピッツフィールドで生まれたマッケイは、ハーバード大学はおろか高校に行くことさえもせず、独学で技術と経営を学び、財を成した古典的成功者の典型である。技術者として鉄道やエリー運河で働いた後、小さな工務店を買い取って身を起こし、100名を抱える規模までに成長させた頃に、リーマン・リード・ブレイク(Lyman Reed Blake) [12]と出会う。

ブレイクは、若い頃から靴職人の下で働き、そこで培った技術を活かして、裁縫機の発明者であるアイザック・メリット・シンガー(Isaac Merritt Singer)の起こしたSinger Corporationに移り、靴の縫製機製造ビジネスの立ち上げに尽力した人物である。その後、独立してパートナーと靴の縫製工場を起業、靴の縫製機のスピード・アップに取り組み、1858年、靴の上部と靴底を縫製する技術で特許を取得する。翌年、偶然、マッケイと出会い意気投合したブレイクは、8,000ドルの現金と将来の利益から62,000ドルを得ることを条件にこの特許をマッケイに売却、マッケイの会社Gordon McKay Shoe Machinery Companyで技術者として働くようになった。

マッケイは、かなり未成熟であったブレイクの特許を改善して磨き上げ、優れた靴の縫製機の量産体制を整えた。折しもアメリカでは南北戦争が勃発し、ブーツの需要が飛躍的に伸びることを見抜いたマッケイは、彼の製造する靴の縫製機を販売せずに貸し出し、その機械で製造・販売される靴のそれぞれから些少な歩合を得るというビジネス・モデルを導入した。すなわち、靴の縫製機を製品として売切ることせず、『靴を縫製する』という効用を販売するビジネス・モデルを開発したのである。これが見事に当たり、1876年には歩合収入だけで年間\$500,000を超えるまでに成長し、巨万の富を築いた。

この効用販売型ビジネス・モデルの展開に際し、法律面でマッケイの相談に与ったのが、弁護士のカンディナー・グリーン・ハバードであった。ハバードは1841年にダートマス大学を卒業後、ハーバード大学のロー・スクールで法律を学び、1843年に弁護士資格を取得した英才である。マサチューセッツ州ケンブリッジにあるベンジャミン・ロビンズ・カーティス(Benjamin

Robbins Curtis) 法律事務所に所属し、ケンブリッジ水道システムの確立、ケンブリッジ・ガス株式会社の設立、ケンブリッジとボストンを結ぶ路面電車の開発などで活躍した。また、マサチューセッツ州ノーサンプトンのクラーク聾学校設立に際しても中心的役割を果たした。

ハーバードが全米的に頭角を現すのは、1860年代後半、当時ウェスタンユニオンの独占下にあった電信ビジネスを郵便公社管理で国有化すべきであるという主張を掲げ、下院議会に対してロビイスト活動を展開するようになってからである。この法律は郵便公社を発展的に拡大して郵便電信公社を設立することを目的とし、ハーバード法案と呼ばれたが、結局、下院を通過することはなかった。しかし、ハーバードは諦めることなく、1873年7月には、同趣旨の論文「電信システムの改革に関する提言 (The Proposed Changes in the Telegraphic System)」を『北米評論 (North American Review)』に執筆したりもした。

ウェスタンユニオンの独占に対し、ハーバード法案に実効性をもたせるためには、独自の特許の取得が必要であることを痛感したハーバードは、1本の通信回線を通して同時に複数の電信を実現する高周波電信技術の開発に取り組んでいたアレクサンダー・グラハム・ベルの研究(連載第3回を参照)に着目し、これに投資を行う決断をした。この研究は電話の発明へと発展し、1877年7月、ハーバードはベルを主任技師とするベル電話会社を設立、自ら社長に就任した。ハーバードはマッケイの導入した効用販売型ビジネス・モデルを電話ビジネスにも適用し、受話器を製品として販売せずに貸し出し、「会話をを行う」という効用に対して課金するシステムを確立したのである。

3. 効用販売型ビジネス・モデルを巡る技術革新の法則

マッケイの靴の縫製機やハーバードのベル電話会社を先駆例とする効用販売型ビジネス・モデルを成立させるためには、効用を提供する企業と、効用を享受しそれに対して料金を支払う顧客とが同意できる形で、効用の計量化を実現するシステムを用意することが不可欠である。マッケイのモデルでは、リースされた縫製機で製造される1足の靴が効用の基本単位であり、ベル電話会社の場合は、登録された送信元と受信先の電話番号によって距離を測り、回線の接続時間を通話時間として記録することで、透明性のある効用測定システムを整備したことになる。さらにいくつかの条件

を加えて、これを技術革新の法則(13)として纏めておく。

技術革新の法則(13) 効用販売型ビジネス・モデルの有効性：以下の条件が満たされるとき、技術革新の成果を効用販売型ビジネス・モデルとして展開することは有効である。

- ① 必要資本投資を、継続的な資金の流れとして回収することに耐えられるだけの資本力を有する
- ② 提供される効用の市場規模が十分に大きく、また、そのライフ・サイクルが十分に長い
- ③ 効用の計量化を実現するシステムが用意され、かつ、その監視コストが低い

これらの条件を、マッケイのケースに当てはめて検討してみよう。

- ① 既に100名を抱える規模の工務店を経営しており、靴の縫製機の生産にあたって製造原価を負担するだけの資本力は有していたことになる。また、顧客企業が靴の製造を始めれば即座に売上が立ち、回収資金の細いパイプが同時並行的に拡大することにより、効率的な資金の流れを創り出すことに成功した
- ② 靴は一定の期間で履き潰される消耗品であり、靴の製造産業は、人口に比例する市場規模と永続性をもつ
- ③ 効用の計量化は、製造された靴の数を数えることで実現でき、財務諸表に直結した情報に基づいて把握することが可能である

ベル電話会社についても、同じように三つの条件が満たされていることがわかるであろう。

後述するように、IBMは大型電子計算機を市場に導入する際に、リースを基本とするビジネス・モデルを本格化させたが、これは高額な製品に対する顧客の資金的負担を軽減し、市場の成長スピードを速めることが主な狙いで、リース契約期間中は月決めの定額制とし、契約期間終了時には買い取りオプションを付けるという構造で、効用販売型ビジネス・モデルとは本質的に異なる。

Xerox社の場合は、顧客がコピーした枚数を正確に把握する計数器の開発に成功したことにより、IBM型の月次定額リース料金を低めに抑え、コピーした枚数に依存して課金するという効用販売型ビジネス・モデルを併合した、複合的ビジネス・モデルを確立することが可能になったといえる。

4. グラントの階差機関

アメリカにおける計算機械の開発に話を戻そう。その先鞭を切ったのは、ジョージ・バーナード・グラント (George Barnard Grant) [13] である。1849年、メイン州ガーディナーで農民の子として生まれたグラントは、ダートマス大学のチャンドラー科学学校 (Chandler Scientific School) で1年近く学んだ後、1869年、前述したハーバード大学のローレンス科学学校に編入し、1873年に学士号を修得した。ローレンス科学学校時代に、グラントはバベッジやシュウツ父子の階差機関に興味を抱き、その研究に取り組んだ。当時、アメリカではバベッジやシュウツ父子の業績はほとんど知られておらず、誰もグラントの研究に関心をもたなかったが、唯一の例外は、指導教授のオリバー・オルコット・ギブス (Oliver Wolcott Gibbs) [14] であった。

1822年、ニューヨーク市に生まれたギブスは、1837年、コロンビア大学に入学、1841年に卒業し、ペンシルベニア大学で数か月ロバート・ヘアを補佐した後、コロンビア大学の医学部に進学、1845年に医師の資格を得た。その後、ドイツに留学し、結晶学の分野で大きな業績を上げたカール・フリードリッヒ・アウグスト・ランメルスベルグ (Karl Friedrich August Rammelsberg) や鉱物学と解析化学の分野で高名なハインリッヒ・ローゼ (Heinrich Rose) の下で解析化学を学んだ後、1848年、アメリカに戻り、ニューヨーク市立大学の教授に就任する。1863年には、冠教授 (Rumford Professorship of Chemistry) としてローレンス科学学校に移り、1887年に定年退官するまでその職を務めた。因みにこの冠教授職は、ハーバード大学の学長として40年という在職期間を記録したエリオットが、若き日に就任することを果たせなかった名誉あるものである。ギブスの業績は解析化学や無機化学の分野で多岐にわたり、コバルト・アミン、白金族金属、複合酸の研究で名高い。

ギブス教授は、専門外ではあったものの、応用科学を重視するローレンス科学学校の理念に照らしてグラントの研究を大いに奨励し、これに力を得たグラントは、在学中の1871年、学術専門誌 (American Journal of Science and Arts) に論文「新しい階差機関について (On a New Difference Engine)」を発表、卒業前に二つの特許を取得した。卒業後も引き続き階差機関の開発に取り組んだが、相変わらず周りの理解を得られず、自分の友人を紹介して開発費用を工面してくれたのもギブス教授であった。

卒業後、苦節3年を経た1876年、グラントはフィラデルフィアで開催された独立百年祭の記念博覧会に、自ら完成させた階差機関を出品した。完成された階差機関としては、スウェーデンのシュウツ父子に次いで2番目のもので、高さ約1.5m、長さ約2.4m、ほぼピアノの大きさで、重量は約900kgもあり、約15,000個の部品で構成されていた。グラントの階差機関は堅固で信頼性に富むと評判になり、独立百年記念メダル、フランクリン協会のスコット・メダル、マサチューセッツ機械学会の金メダルなど、いくつもの賞を受賞した。これに勢いを得たグラントは、Grant Calculating Machine Company of Lexington, Mass. を起業しビジネス化を図ったが、125台を販売するに留まり、大成功とまではならなかった。

階差機関を改良する工夫の積み重ねの中で、グラントは歯車の製造に興味をもつようになり、1877年、Grant Gear Works を起業した。歯車は19世紀後半に急成長を遂げた分野で、グラントはこの成長に指導的役割を果たした。歯車の歯は、曲線形状 (歯形) の違いにより、「サイクロイド歯形 (Cycloid tooth profile)」と「インボリュート歯形 (Involute tooth profile)」に大別される (文献 [15])。当時、歯車の主流はサイクロイド歯形を採用していた。サイクロイド曲線とは、直線上を円が転がるとき、円のある1点が描く軌跡であり、上下反転させたときには、物体が最も速く滑り落ちる曲線としても知られている。サイクロイド歯形のメリットは、①歯元の面積が大きいので強度が高い、②噛み合う互いの歯の間に全く干渉が発生しない、③その結果、滑りが発生せず完全な転がりとなるので、回転抵抗が低い、という点にあると考えられており、特に、時計や精密機械などの低負荷製品に広く使用されていた。

これに対し、グラントは、より負荷の高いほとんどの応用において、インボリュート歯形の方がサイクロイド歯形よりも優れていると主張した。インボリュート曲線とは、その法線が常に一つの定円に接するような平面曲線で、円の伸開線 (involute of circle) あるいは反クロソイド (anti-clothoid) とも呼ばれる。円筒に糸を巻きつけ緩みなく引きほどいていったときに糸の先端が描く曲線である。インボリュート歯形をもつ歯車のメリットは、①歯車の中心距離の誤差が回転精度や噛み合いに影響しない、②圧力角が噛み合いの始まりから終わりまで一定、③摩擦の少ない滑らかな動作が可能、④形状がシンプルで加工が簡単であり低価格である、という諸点にある。グラントは1885年に

解説書『A Handbook on the Teeth of Gears』を出版、その後、階差機関の場合と同様に専門誌に一連の論文を発表し、その理論に則った新たな歯車製造装置を開発し特許を取得した。

この知的財産を基礎に、1892年、グラントはBoston Gear Works, Lexington Gear Works, Cleveland Gear Works, Philadelphia Gear Worksと矢継ぎ早に拡大を図った。当時、アメリカは、鉄道、船、橋を建造するための鉄、発電のための石炭、住宅建設のための材木、電信電話網のための銅、食品生産のための製造装置などに対する需要が急速に高まりつつあり、これらすべての分野で、強固かつ信頼性のある多様な歯車を必要としていた。これを読み切ったグラントの事業は大成功を収め、1917年のグラントの死後も、継続されることになる。特にPhiladelphia Gear WorksはThe Philadelphia Gearと名前を変え、現在まで続いている。

グラント以後、アメリカの歯車産業は「インボリュート歯形」を標準として受け入れ、現在、グラントは「アメリカ歯車産業の父」と呼ばれている。

5. フェルトのコンプトメーター

実用的にも商業的にも世界で最初に成功した計算機を開発したのは、アメリカのドー・ユージン・フェルト(Dorr Eugene Felt) [16]である。1862年、ウイシコンシン州の片田舎の農場で生まれ、父親はウイシコンシン州議会の議員を務めていたが、家庭は裕福とはいえず、14歳で職を求めて故郷を離れた。1878年、16歳になって初めて、近くの街ペロイトで職工として定職を得た。20歳になった春にシカゴへ移り、圧延工場で機械工として働き始め、生活に多少の余裕も生まれる中で、鍵盤式加算機の開発構想を温め始める。

1884年、勤労感謝祭の休暇中に、考えていた構想に基づき鍵盤式加算機の具体的な開発に着手した。開発資金がほとんどなかったため、外箱にはマカロニの箱を用い、内部機構の制作には焼き串、ホチキス、ゴムバンドを活用して取り組み、1ヶ月少しを掛け、新年までには最初の試作品を完成させた。フェルトはこの発明をシカゴの実業家ロバート・タラント(Robert Tarrant)に持ち込み、開発資金の援助を願い出た。興味を抱いたタラントは協力することを決断し、2年間にわたる改良を経て、1887年に特許を取得、その計算機を「コンプトメーター(Comptometer)」と命名した。その年の11月、二人はパートナー契約を結び、およそ1年後の1889年1月、Felt & Tarrant Manufacturing

Companyを設立した。フェルトは弱冠26歳10ヶ月、意欲に燃える気鋭の若者であった。

フェルトは非常に研究熱心で、1930年に68歳の生涯を閉じるまでに、46の国内特許と25の海外特許を取得している。会社はフェルトの死後も成長を続けたが、さまざまな会社からまがい物が同じ商品名で出回るようになったため、ブランド・イメージを守るべく、1957年、会社名をComptometer Companyに変更した。その4年後の1961年、後発企業の新製品の波に押され、コンプトメーター社はVictor Adding Machine Companyに吸収されてVictor Comptometer Companyとなり、さらにその後、Victor Technology, LLC(ビクター工学技術合同会社)に引き継がれた。現在は、ビクター計算機(Victor Calculator)の商品名で知られている。

フェルトが最初に開発したマカロニ外箱の試作品と、コンプトメーターとして最初に市場に出回った製品は、ワシントンのスミソニアン博物館の古典的計算機部門に展示されている。

6. バロースの加算機

フェルトのコンプトメーターの開発と同じ頃、個別の加算を実行し結果を印刷記録するだけでなく、それらの累計も計算して印刷記録できる加算機を発明したのがウィリアム・シュワード・バロース(William Seward Burroughs) [17, 18]である。1857年、ニューヨーク州、ロチェスターに生まれたバロースは、父親の経営する工務店に入り浸り、工具をおもちゃにして幼少期を過ごした。1860年、一家は父親の両親の住むミシガン州、ローウェルに移り、さらに1871年、ニューヨーク州のオーバーンに引越す。父親の経営する薪小屋の中に作られた小さな工務店で工具の取り扱いに習熟し、父親と同じく、常に何か新しい物を作ることに熱中した。その年の秋、バロースは公立学校に入学、翌年、「数学速習法」という科目を履修した。この講義に刺激を受けたバロースは、「加算機を発明すれば、世界中の事務仕事に革命を起こせる」という思い付きに取り憑かれた。半日ほど夢中になって試作に挑んだが旨くいかず、「大人になったら、世界中が注目する加算機を発明してみせる」という決意を固めた。

1873年、16歳で公立学校を卒業したバロースはオーバーン郵便局に就職し、また製材所でも鉋職人として働いたが、職人の苦勞をさせたくないという父親の希望で地域銀行に転職した。仕事は元帳を吟味して間違いを探すという事務職であり、職員は皆、試作品に毛

の生えたようなさまざまな計算機を使用していたが、扱いを間違えれば不正確な結果を示し、ときには、とんでもない大きな額をはじき出してしまうという実情であった。バロースは、この体験を通して、優れた加算機を発明しようという思いをさらに強くした。

1879年、バロースは結婚し、後に2人の娘と2人の息子の父親となる。長男は骨董商としてそれなりの成功を収め、バロースの名前を受け継いだ孫 William Seward Burroughs II は、ポストモダン小説家として大成し、20世紀アメリカ文学史にその名を残した。一方、次男はモルヒネ中毒となり、29歳の若さで自らの命を絶った。

1880年、バロースは7年間続いた過酷な銀行勤務からくる過労により結核を発症し、銀行を退職することを余儀なくされた。もとより、事務職よりはモノ造りを好んだバロースは、自ら小さな工務店を立ち上げたがうまくいかず、1年も経たずして破産の憂き目を見る。それでも挫けることなく、医者への勧めもあり、温かい気候とより良い仕事を求めて、1881年、両親、家族と共にミズリー州のセントルイスに移った。

セントルイスでは父親と小さな工務店を営み、その後、Future Great Manufacturing Company、木材の加工機械の製造会社であるHall & Brown Co、そしてジョセフ・ボイヤー (Joseph Boyer) が経営するBoyer Machine Shopへと職を変えた。この3年間の経験を通して、バロースは機械工として必要な実践的技術のすべてを身に付けた。もちろん、この間も、加算機開発の夢を追い続けた。雇用主であるボイヤーは、バロースの加算機発明への意欲を高く評価し、長年にわたってさまざまな支援を提供、後にはパートナーとして事業の成功に大きな役割を果たした。

バロースは、アイデアを思いついては加算機の設計図面を描くことを繰り返したが、精度を必要とする設計図面が縮んだり伸びたりしてしまうことに悩まされた。結核の治療には良いセントルイスの温暖で湿度の高い気候が発明への取り組みには妨げとなったのであるが、ついには、金属板の上に設計図面を刻み込む方法を採用してこの問題を解決した。

バロースは、ボイヤーからトーマス・メトカーフ (Thomas Metcalfe) という事業家を紹介された。メトカーフに対して、個別的な計算結果を印刷記録するだけではなく、その累積をも自動的に計算して印刷記録できる加算機の開発構想を熱心に語り、開発費用の援助を願い出た。メトカーフはこれを快諾し、すぐに700ドルという大金を調達してくれ、これ以後、バ

ロースは加算機の発明にひたすら邁進することができた。苦労を積み重ねたうえで、1884年、加算機の試作品を完成させ、1885年には特許の出願に漕ぎ着けた。

この試作品には、慣れない使用者が誤ってレバーを強く引きすぎると、すぐに壊れてしまうという、実用性の観点からは致命的な欠陥があった。何度も試行錯誤を繰り返した後、バロースは调速装置と名付けた独創的な装置を開発し、これによって誰が操作しても正常に作動する加算機が完成した [5]。

1886年、メトカーフ、バロース、ボイヤーは American Arithmometer Company を設立、メトカーフが社長、バロースが副社長、ボイヤーはパートナーとなった。1890年までには、バロースの加算機は銀行業界で広く用いられるようになり、会社は急成長を遂げる。しかし、バロースはその富を十分に享受することなく、1898年、41歳の短すぎる生涯を閉じた。1904年、パートナーであったボイヤーは3代目の社長に就任し、本社をデトロイトへと移したうえで、発明者の名誉を称えて社名を Burroughs Adding Machine Company と変え、さらに1953年には、Burroughs Corporation と変更した。その後、1986年にスペリー (Sperry) 社と合併し、世界第2位のコンピュータ企業であるユニシス (UNISYS) 社へと発展、今日に至っている。

死の直前、バロースはフランクリン研究所 (Franklin Institute) からジョン・スコット賞 (John Scott Legacy Medal and Premium) を授与されている。また、その死後、全米発明家殿堂 (National Inventors Hall of Fame) への殿堂入りを果たしている。

7. コンピュータ産業の夜明け

19世紀後半のアメリカでは、さまざまなビジネス用機械が開発され、ビジネスの現場で広く活用されるようになった。バベッジの思想を受け継いだグラントの階差機関は、自然科学の分野で必要となるさまざまな数表を素早く正確に作成することを目的としていた。フェルトやバロースの開発した計算機械は、鍵盤型の加算機を主要エンジンとして事務仕事の効率化を目的とする商業向けであった。また、1874年には Remington Arms Company によって、商用タイプライターが開発・販売されている。これらの個別的な目的に特化したビジネス用機械は、コンピュータと呼べるようなものではなかったが、そこで培われた工学的知識と技術は、後にコンピュータ開発において活用されるだけの萌芽を含んでいたのである。

バベッジの解析機関は、上述した機能のすべてを満

たす汎用システムとして構想されていたが、目に見える形で実現されることはなかった。しかし、個別的なビジネス用機械が具体的に役立つ形で出現し、世の中で活用されるようになり、そして、それらがビジネスとして成功し産業として確立されたことが、バベッジの構想した汎用システム開発の実現性を高めた。それは、計算機械の電子化を促し、汎用システムとしてのコンピュータの開発へと繋がる土壌を準備したのである。

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—バスケ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] Encyclopedia, Lawrence Scientific School, <https://www.encyclopedia.com/history/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/lawrence-scientific-school> (2021年7月21日閲覧)
- [7] Wikipedia, Abbott Lawrence, https://en.wikipedia.org/wiki/Abbott_Lawrence (2021年7月22日閲覧)
- [8] Wikipedia, Edward Everett, https://en.wikipedia.org/wiki/Gordon_McKay (2021年7月25日閲覧)
- [9] Wikipedia, Charles William Eliot, https://en.wikipedia.org/wiki/Charles_William_Eliot (2021年7月25日閲覧)
- [10] Wikipedia, Gordon McKay, https://en.wikipedia.org/wiki/Gordon_McKay (2021年8月8日閲覧)
- [11] Wikipedia, Gardiner Greene Hubbard, https://en.wikipedia.org/wiki/Gardiner_Greene_Hubbard (2021年8月8日閲覧)
- [12] Wikipedia, Lyman Reed Blake, https://en.wikipedia.org/wiki/Lyman_Reed_Blake (2021年8月16日閲覧)
- [13] Wikipedia, George B. Grant, https://en.wikipedia.org/wiki/George_B._Grant (2021年8月16日閲覧)
- [14] Wikipedia, Oliver Wolcott Gibbs, https://en.wikipedia.org/wiki/Oliver_Wolcott_Gibbs (2021年8月16日閲覧)
- [15] Keyence Corporation, 「機械要素を基礎から解説するサイト イチから学ぶ機械要素」, <https://www.keyence.co.jp/ss/products/measure-sys/machine-elements/> (2021年8月16日閲覧)
- [16] Wikipedia, Dorr Felt, https://en.wikipedia.org/wiki/Dorr_Felt (2021年8月16日閲覧)
- [17] Wikipedia, William Seward Burroughs I, https://en.wikipedia.org/wiki/William_Seward_Burroughs_I (2021年8月17日閲覧)
- [18] History-Computer, William S. Burroughs—Biography, History and Inventions, <https://history-computer.com/people/william-s-burroughs-biography-history-and-inventions/> (2021年8月17日閲覧)