

世界をORする視線 (9)

第I部 通信・デジタル技術の発展

(3) コンピュータの発展：黎明期 (続き)

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. エイダ・ラヴレスの数奇な生涯

前回、チャールズ・バベッジ (Charles Babbage) [6] が 1840 年にイタリアのトリノ大学 (University of Turin) で解析機関に関する一連の招待講義を行ったこと、その講義録をイタリアの若き技術者で後に第 7 代イタリア首相となるルイジ・メナブレア (Luigi Menabrea) がフランス語で纏め、1842 年に学術専門誌『The Bibliothèque Universelle de Genève』に発表したこと、そしてバベッジの友人でもあったホイットストーンがエイダ・ラヴレス (Ada Lovelace) [21] にその英訳を正式に依頼したことを述べた。エイダは、単に翻訳するだけではなく、階差機関と解析機関の概念的違いの説明から始まる一連の解説書を、付録 A から付録 G までに纏め、これらの付録の長さは論文本体の 3 倍にもなった。

この翻訳と付録は 1 年の間に執筆され、1843 年 9 月、イギリスのリチャード・テイラー (Richard Taylor) が編集・出版していた海外論文翻訳シリーズである『科学論文紀要 (Scientific Memoirs)』に採択された。この出版に際して、エイダとバベッジの間でちょっとした確執が生じる。バベッジは、その前書きに署名なしで、解析機関に対するイギリス政府の理不尽な対応を非難する内容を書いたのである。これが講演者であるバベッジと翻訳者であるエイダとの共同見解であると受け止められる恐れがあるため、『Scientific Memoirs』はバベッジに署名するよう要求した。これに立腹したバベッジは、エイダに論文の出版を取り止めるよう求

めたが、エイダはこれを拒否、論文はイギリス政府に対するバベッジの批判的コメントを記載しないまま掲載された。後に、歴史家のベンジャミン・ウーリー (Benjamin Woolley) [22] は、「バベッジは、エイダの上流社会での名声を利用しようとしたと思われる」と書いている。この仲違いはすぐに修復され、二人はエイダの死まで交流を続けた。エイダが癌に冒されて死の床にあったとき、バベッジ宛に出した、遺言執行人となることを依頼する手紙 (1851 年 8 月 12 日付) が残されている。それが法的に可能であったのかは不明であり、実際は母親がその役割を果たした。ウォーシ・マナー (Worthy Manor) にあったエイダの別荘の段丘の一角は、エイダとバベッジが数学を語り合いながら散策したとされ、現在、「哲学者の小径」と呼ばれている。

1840 年代後半、短い生涯の最後の数年間、エイダはギャンブルと男性遍歴のスキャンダルにまみれた。競馬で 3,000 ポンド (現在の価値でおよそ 3,600 万円) を失い、このギャンブル癖を通じて男友達とつるむようになる。そして 1851 年、大金を賭けて勝つための数学モデルを開発、これですべてを取り戻せると目論んだが、当然のことながら、失敗。賭けの負債はさらに膨れ上がり、ついに夫に隠せないまでになった。1852 年に入ってエイダは子宮癌を発症し、瀉血療法によってさらに病状を悪化させたといわれている。数ヶ月に及ぶ苦しい闘病生活の間、母親がすべての友人、知人を遠ざけて看病に当たり、エイダは母親の影響の下、改宗してかつての行いを悔い改めた。8 月 10 日、エイダは夫に何かを告白し、それを受けて彼はエイダのもとを去る決心をし、彼女の死には立ち会わなかった。何を告白したのかは、伝えられていない。1852 年 11 月 27 日、母親が看取る中、エイダは 36 歳の波乱万丈の生涯を閉じた。

偉大な詩人の娘として生まれ、まるで生き急ぐかの

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

ように短い生涯を走り抜けたエイダは、バベッジの講義録の翻訳とその解説付録の執筆によって、その名をコンピュータ史にしっかりと刻み込んだ。コンピュータ史家のドロン・スウェイド (Doron Swade) [23] は、エイダについて次のように書いている。

——エイダは、バベッジが見過ごした何かを見た。バベッジの頭の中では、解析機関は数字に縛られていたが、エイダが気付いたのは、数字は必ずしも“量”に結びつかない実体を捉えることができるという事実である。数字を処理できる機械があれば、その機械は、規則に従って、文字や音階などの数字で表された実体をも処理できることを意味する。数字は記号の一例に過ぎない。この、数字を計算するだけの機械から規則に従って記号を処理する機械への変化こそが、計算機械から多目的コンピュータへの重要な転換点となるのである。コンピュータ科学が非常に発達した現在から過去を振り返ってみると、この転換点を世界で初めて明確に指摘したのが、1843年に発表されたエイダの論文であった。——

1979年、アメリカ国防総省が、組み込みシステム向けの、信頼性・保守性に優れた言語の開発に関する国際競争入札を行い、フランスチームが開発した構造化・静的型付け・命令型・オブジェクト指向のパラダイムをもつ汎用プログラミング言語が採用された。後にこの言語は、エイダに因んでAda (エイダ) と名付けられた [24]。言語仕様は、1983年にMIL規格として規格化され、エイダの生年である1815年に因んで、MIL-STD-1815と採番された。その後、標準化はさらに進み、1995年2月15日にISO標準として改訂が承認され、オブジェクト指向言語のうち、史上初の国際標準となった。世界はエイダを忘れることはなかったのである。

2. チャールズ・バベッジの多彩な生涯

バベッジの名が歴史に刻まれることになったのは、階差機関と解析機関の構想・開発に因ることは確かである。しかし、彼の生涯は、遙かにその枠を超えて、エネルギーと好奇心に満ち溢れたものであった。もしかすると、レオナルド・ダ・ビンチ型の博識家としては、19世紀最大の偉人であったかも知れない。ここでもう少しページを費やして、階差機関と解析機関以外における彼の足跡を追ってみよう [6, 14, 16]。

2.1 Lucasian Professor of Mathematics

かつてイギリスには大学代議員制度があり、地域や住民ではなく、大学を代表する下院議員を何名か選出

することができた。この制度は1603年に設立され、1948年に制定された公職選挙法に基づき1950年に廃止されるまで、350年近くの長きにわたって存続した。ケンブリッジ大学は、博士号か修士号をもつ500名程度の卒業生で構成されるケンブリッジ代議員会をもち、そこで選ばれる2名をイギリス下院議会へ議員として送り込む権利を有していた。そのケンブリッジ代議員会の代議員であったヘンリー・ルーカス (Henry Lucas) が、1663年に設立した教授ポストがLucasian Professor of Mathematicsである。彼は、4,000冊を超える蔵書と広大な土地を購入するための資金をケンブリッジ大学に寄付し、その土地の毎年の地代を教授ポストの財政的基礎に充てるよう指示した。

この教授ポストの初代 (1663~1668年) には、アイザック・ニュートン (Isaac Newton) の師匠で聖職者・数学者でもあったアイザック・バロウ (Isaac Barrow) が選出され、第2代 (1669~1701年) がニュートンであった。その後、この教授ポストは、世界で最も権威あるものとなる。第13代 (1849~1903年) は、流体力学への貢献で知られるジョージ・ガブリエル・ストークス (George Gabriel Stokes)、第17代 (1979~2008年) は、量子宇宙論の創始者として有名なスティーブン・ホーキング (Stephen Hawking)、第18代 (2009~2014年) には、ひも理論を確立した数学者マイケル・グリーン (Michael Green) など、錚々たるメンバーが名を連ねている。グリーンの後、2015年より現在までは、中重合体 (polymers)、コロイド分散体 (colloids)、ゲル (gels)、液晶 (liquid crystals)、粒子状物質 (granular material) など流動性のある物質に圧力が加えられたとき、どのような力の機能を発揮するかを予測する数理モデルを確立したことで知られるマイケル・エルムハースト・ケイツ (Michael Elmhirst Cates) がその教授ポストに就いている。

バベッジは、このLucasian Professor of Mathematicsの教授ポスト争いに3回、敗れている。1回目は1820年、解析学や変分法で足跡を残した天文学者でもあったロバート・ウッドハウス (Robert Woodhouse) [7] が選ばれ、2回目は1822年、数学者かつ神学者で後にウェストミニスター (Westminster) 寺院の首席司祭となるトーマス・タートン (Thomas Turton) の後塵を拝した。ウッドハウスはバベッジより18歳年長、タートンは9歳年上であり、イギリス学界の伝統を重んじる風潮から、これらの敗北に際しては、自分の順番を待つという姿勢でいることができたと思われる。しかし、1826年、10歳年下で、地球の平均密度の測

定法の確立、固体力学における二次元問題の解決、ブライム子午線の場所としてグリニッジ天文台を確定したことなどで功績のあるジョージ・ビドル・エアリー (George Biddell Airy) に敗れたとき、そのショックは大きかったに違いない。エアリー自身も、自分よりはバベッジが選ばれるべきと思っていたと述懐している。

その2年後の1828年、バベッジはついに Lucasian Professor of Mathematics の教授ポストに選出され、1839年、同僚と衝突し立腹して辞任するまでその職にあった。1832年には、アメリカ芸術科学アカデミーの外国人名誉会員にも選ばれている。しかし、教授としては型破りで、教えることに全く興味を示さず、この教授ポストに就いていた11年間に3冊の入門書を執筆したのみで、ただの1回も講義を行わず、同僚と頻繁に摩擦を起こした。その教授ポストの前任であったエアリーも、講義を行わないことは糾弾されるべきであると考えていた。また、大学は研究に重点を置き、教育はより広い応用を扱うべきとしたバベッジの大学改革案は、科学史家で帰納的方法論の権威であったウィリアム・ヒューウェル (William Whewell) からにべもなく拒絶されている。富の配分と税法の権威であり、デヴィッド・リカルド (David Ricardo) の政治経済学に根本的に反対したリチャード・ジョーンズ (Richard Jones) との確執は、6年間も続いた。

2.2 政界出馬への関心

階差機関、解析機関の開発に精力的に取り組む一方、バベッジは政治の世界に足を踏み入れることを試みる。彼の政治的主張は、1) 英国教会 (Church of England) の公的指定の廃止、2) 人民の投票権の拡大、3) 政策立案にあたり製造業も配慮されるべきこと、などであった。1832年、イギリス議会の2人区であったフィンズベリー (Finsbury) 行政区で立候補し、5人中3位、500票差で惜しくも落選した。この選挙運動を通じて、イギリスの詩人サミュエル・ロジャーズ (Samuel Rogers) と友人関係を結ぶようになる。ロジャーズは、同時代のロマン派の詩人サミュエル・テイラー・コールリッジ (Samuel Taylor Coleridge)、ウィリアム・ワーズワース (William Wordsworth)、ジョージ・ゴードン・バイロン (George Gordon Byron) らの影に隠れているが、当時、一流の詩人として広く認められていた。1834年、バベッジは再び立候補したが、4人中最下位で落選した。

2.3 王立学会 (Royal Society) 改革への関心

バベッジはまた、論客としても頭角を現す。1830年に執筆された『科学の衰退とその原因 (Reflections on

the Decline of Science and some of its Causes)』は、鋭く攻撃的であることで知られている。イギリスにおける科学のさらなる発展を意図して書かれたこの本は、なかなか、バベッジが改革を目指した王立学会 (Royal Society) の会長職にあったデヴィス・ギルベルト (Davies Gilbert) の追い落としを狙ったものであった。

バベッジの友人であるジョン・ハーシェル (John Herschel) [11] は、当時すでに王立学会上級書記 (Senior Secretary of the Royal Society) であり、バベッジは、まず王立学会次官 (Junior Secretary of the Royal Society) となることを狙っていた。しかし、王立協会フェローとして影響力のあった化学者ハンフリー・デービー (Humphry Davy) と敵対関係にあったため、うまくいかなかったのである。因みにデービーは、電気分解実験によりナトリウム、カリウム、カルシウム、マグネシウム、ホウ素、バリウムの六つの元素を発見したことで知られている。

この状況を打破するために書かれた上述の本も、その年、ギルベルトが会長職を辞し、通常の投票によって後継者が恙なく選出されたため、バベッジは王立協会に影響力を及ぼすことができなかった。しかし、彼の本はそれなりの効果を発揮し、出版翌年の1831年、イギリス科学振興協会 (BAAS: British Association for the Advancement of Science) が設立された。イギリスにおける科学全体の枠組みと基盤を提供することを目的とし、各分野の科学者や機関がそれぞれの枠を超えて一堂に介し、それぞれの研究成果を共有するという学際的な性質をもつこの協会は、バベッジの主張を反映したものであった。BAASにおいて統計的推定のあるべき姿に関する議論が活発に交わされ、1833年、統計部会が設立され、バベッジが会長となった。この部会は、1834年、王立統計学会 (Royal Statistical Society) の設立へと発展する。設立メンバーには、バベッジに加えて、リチャード・ジョーンズ (Richard Jones)、アドルフ・ジャック・ケトレ (Adolphe Jacques Quételet)、ウィリアム・ヒューウェル、トマス・ロバート・マルサス (Thomas Robert Malthus) らが名を連ねている。ケンブリッジ大学で必ずしも関係が良くなかったジョーンズやヒューウェルが協力している点が興味深い。

BAASでは、蒸気機関を発明したジェームズ・ワット (James Watt) [25] が中心となり、産業界のリーダーたちを集めたワット派が形成されていたが、バベッジはこのグループにも積極的に参加した。ハーシェルとバベッジは、産業界こそが人類発展の母胎であると考えており、BAASにおける研究者たちの儀礼的交流には全

く興味を示さず、産業人との交流を通して産業の発展にも寄与したいと考えていた。しかし、古生代の地層年代を実証的にシルル紀とカンブリア紀の二つの地質時代に分けたことで知られる地質学者ロデリック・インペイ・マーチソン (Roderick Impey Murchison) [26] と決定的に対立するようになり、1838年、BAAS活動からの撤退を宣言した。同じ年の年末、ヒューウェルとの対立から、Lucasian Professor of Mathematicsの教授ポストの辞職願いを提出、翌年早々、受理された。対立が臨界点に達すると、決して我慢しない気質がここでも発揮されている。

2.4 生産管理分野における貢献

バベッジは、生産管理の分野でも大きな足跡を残している。連載No. 8で、フランス政府が新たに確立した数表の作成における分業方式 (3~4人の数学者が計算方法を決定、12人程度の助手が計算過程を加算と減算だけからなる部分計算に分解し、80人の計算手がその加減算を行う) にバベッジは感動したこと、最後の80人の計算手の仕事を機械で代替すべく階差機関の開発を思い立ったことを述べた。彼はこの分業概念を一般化し、1832年、『機械化と製造企業の経済学について (On the Economy of Machinery and Manufactures)』という題名の本を出版した。この本の前半部分は、1829年、機械化の観点から製造機械を類型化し、百科事典メトロポリターナ (Encyclopædia Metropolitana) に発表した論文『製造企業と機械化技術を支配する一般原則に関する考察 (An essay on the general principles which regulate the application of machinery to manufactures and the mechanical arts)』を再録したものである。後半部分では、イギリス内の製造企業の政治経済的な状況に関して考察している。

分業 (division of labor) という用語は、アメリカのマルクス経済学者であったハーリー・ブレイヴァマン (Harry Braverman) が1974年に出版した本『労働と独占資本：20世紀における労働の劣化 (Labor and Monopoly Capital: The Degradation of Work in the Twentieth Century)』の中で初めて使われたもので、現在、一般的に理解されている概念とは異なり、マルクス経済学的な色彩が強い。たとえば、文献 [27] によれば、この本では以下の議論が展開されている。

——労働過程のあらゆる段階が、可能なかぎり特殊な知識と特殊な訓練から切り離されて、単純労働に還元される。他方、特殊な知識と訓練を保有する比較的少数の人は、可能なかぎり単純労働の義務から切り離される。こうして、すべての労働過程は、その極限形態

においては、限らない価値を有する時間をもつ者とほとんど無価値な時間をもつ者との両極分解を生み出す構造をもつにいたる。これをもって資本主義的分業の一般法則 (the general law of the capitalist division of labor) と称することもできよう。——

しかし、労働を分割して生産の効率性を上げるという概念そのものは、イタリアの哲学者かつ政治経済学者であったメルキオッレ・ジョイア (Melchiorre Gioia) の1815年の著作『Nuovo Prospetto delle scienze economiche』にまで遡るもので、バベッジ自身も自分の著書の中でこの本に言及している [6]。イギリスや海外の多くの工場を視察して得たバベッジの分業に関する見解は、

- ① 優れた技術を有する労働者の多くは、そうした技術を必要としない労働に従事している
 - ② これにより、人件費は増大するので、以下のように改善すべきである
 - ③ 優れた技術を必要とする高度な仕事は、その要請に応えられる賃金の高い労働者に割り振るべきである
 - ④ それ以外の仕事を低賃金の労働者に任せる
 - ⑤ そうした労働分割によって、人件費の削減が可能となる
 - ⑥ 労働者を育てるための訓練や見習い期間に必要となる費用は、固定費と考えるべきである
 - ⑦ しかし、その費用は、作業の時間・操作に関する標準化によって、十分な見返りを期待できる
- というものであった。これは、今日、『バベッジの原則』と呼ばれている。

バベッジの本は評判を呼び、1836年までの4年間に第4刷を数えた。初版では上述した観察に基づく見解を述べることに留まっていたが、第2刷以降は政治経済的な考察を加え、出来高賃金制、工場の合理的設計、労使の利益共有方式など、今日の労働問題に繋がる先駆的な考察を行い、三つの章を加筆した。この本は、後世に至るまで、大きな影響力を発揮する。カール・マルクス (Karl Marx) は、「工場制度の生産性の源泉は、まさにアダム・スミス (Adam Smith) やバベッジが主張した労働分割と機械化にある」と指摘する一方、スミスに反対しバベッジの見解に同意して、「しかし、その目的は、生産性の向上などではなく、あくまで資本家の利益追求にある」と言及している。IE (Industrial Engineering) の父として知られ、1911年に『科学的管理の基本原則 (The Principles of Scientific Management)』を出版したフレデリック・ウインズロー・テ

イラー (Frederick Winslow Taylor) も、『バベッジの原則』を前提として受け入れたうえで、時間に関する標準化を軸に彼の体系を確立している。

2.5 自然神学への関心

バベッジはまた、自然神学 (Natural Theology) においても、重要と見なされる本を著している。自然神学は、預言や奇跡を基礎とする啓示神学とは一線を画し、人間を始めとするあらゆる生物の精妙な作りと秩序だった生態や、ニュートンによって示された天体の法則に従った動きなどを、「神の設計の意図が自然の中に示され現れたもの」とするデザイン論 (argument from design) を基礎に神の存在を論究する神学的立場を採る [28]。19 世紀の自然神学において、最も大きい影響力をもったのがウィリアム・ペイリー (William Paley) [29] で、1802 年に出版された彼の著書『自然神学あるいは神の存在と神性の証 (Natural Theology or Evidences of the Existence and Attributes of the Deity)』は、イギリス議会やアメリカ議会の立法活動において頻繁に引用された。

19 世紀の自然神学において影響力を發揮したもう一人の人物は、第 8 代ブリッジウォーター伯爵となったフランシス・ヘンリー・エジャートン (Francis Henry Egerton) [30] である。1829 年に没する際、王立協会に基金を遺し、「創造の中に示される、神の力と知恵と善良さに関する論文集を出版するように」と遺言した。そこで 8 人の科学者が論文執筆を依頼され、1833 年から 1840 年にかけて、『ブリッジウォーター論文集 (Bridgewater Treatises)』と呼ばれる論文シリーズが出版された。興味深いので、8 本の論文をリストに示して置く。

- (1) トーマス・チャーメーズ (Thomas Chalmers): 『外的自然の人間の道徳・知性への適応 (The Adaptation of External Nature to the Moral and Intellectual Condition of Man)』
- (2) ジョン・キッド (John Kidd): 『外的自然の人間の身体への適応 (On the Adaptation of External Nature to the Physical Condition of Man)』
- (3) ウィリアム・ヒューウェル (William Whewell): 『自然神学からみる天文学と一般物理学 (Astronomy and General Physics Considered with Reference to Natural Theology)』
- (4) チャールズ・ベル (Charles Bell): 『手—神のデザインの証としての仕組みと重要な機能— (The Hand: Its Mechanism and Vital Endowments as Evincing Design)』

- (5) ピーター・マーク・ロジェ (Peter Mark Roget): 『自然神学からみる動植物の生理学 (Animal and Vegetable Physiology Considered with Reference to Natural Theology)』
- (6) ウィリアム・バックランド (William Buckland): 『自然神学からみた地質学と鉱物学 (Geology and Mineralogy Considered with Reference to Natural Theology)』
- (7) ウィリアム・カービー (William Kirby): 『動物の歴史、習性と本能について (On the History, Habits and Instincts of Animals)』
- (8) ウィリアム・プラウト (William Prout): 『自然神学からみる化学、気象学と消化機能 (Chemistry, Meteorology, and the Function of Digestion, Considered with Reference to Natural Theology)』

バベッジは、自らブリッジウォーター第 9 論文を名乗り出て、『天地創造に示された神の力、英知、善意について (On the Power, Wisdom and Goodness of God, as Manifested in the Creation)』と題した論文を出版した。この論文で、バベッジは、自然界に見られる法則や現象は、現在も過去も変わらず一様に存在してきたとする『一様性原則 (Uniformitarian Principle)』を強調し、自然界のすべての法則は神が与えたのであり、不自然な連続的進化を考える必要はないとの見解を示した。聖書の言葉と自然界の法則に致命的な対立はないとする一方、創世記は科学用語に比較して字義どおりに読まれるべきではないとも主張している。また、チャールズ・ロバート・ダーウィン (Charles Robert Darwin) の進化論を意識して、種の進化は偶然に起こるのではなく、神によってあらかじめプログラムされたものであると述べている。この本は、友人の数学者ハーシェルが地質学者であるチャールズ・ライエル (Charles Lyell) と交わした文通の内容も引用しており、当時、先進的な知識人の間で、こうした神学的議論が活発に展開されたことを示すものとして、興味深い。

2.6 暗号学における貢献

バベッジは暗号学においても功績を遺しており、ヴィジュネル暗号 (Vigenère cipher) [31] の解読法を確立したことで知られている。一説によると、ある人物がヴィジュネル暗号を新たに自分が開発したものとして発表したのが、バベッジは 100 年以上前から知られている暗号だと主張。その人物から「それならば、この暗号を解いてみろ」と挑戦された。もちろん、既知か否か

$$C_i = (S_i + K_{(i \bmod m)}) \bmod(l) \quad (3)$$

$$S_i = (C_i - K_{(i \bmod m)}) \bmod(l) \quad (4)$$

が成立する。

以上より、ヴィジュネル暗号の解法は、暗号文から鍵言葉を推定する問題に帰着されることがわかる。

バベッジの開発した鍵言葉の推定法の概略は、以下のように纏められる。

- 暗号文の列で、文字列の長さが L で同じ順番のものが 2 度現れるものを洗い出す (L が短すぎると同じ文字列の例の数が多くなりすぎる；長い方が確実であるが、長すぎると例が見つからない)
- 見つかった文字列の現れる間隔を洗い出す (最初に現れた文字列の先頭の文字から数え始めて、次に現れるその文字列の先頭の文字の前で終える)
- 得られた間隔の最大公約数を、すべて求める
- 最大公約数の一つを鍵言葉の文字数と仮定すると、その間隔で現れる暗号文の文字に対しては、ヴィジュネル暗号表の同じ列が用いられていることになるので、同じ間隔の列について現れる暗号文字を頻度分析に掛ける
- 同じ列の頻度分析は、その列の A の位置にずらして変換すれば、平文の頻度分析と同じになる
- この頻度に基づいて、鍵言葉を推定し、解読する
- これを、うまく解読できるまで、得られたすべての最大公約数について行う

ヴィジュネル暗号の最大の弱点は、それ以前のすべての暗号法にも共通するもので、鍵言葉が暗号化の周期性を生むという点にある。これを克服すべく行われてきたのが、乱数によって鍵を発生させ、また、その長さを伸ばすという方法であった。この鍵の発生メカニズムそのものを機械化するという方法も行われてきた。ヴィジュネル暗号のもう一つの弱点は、ヴィジュネル暗号表の対称性にある。これに対抗して案出されたのが、1~26 の順列を乱数によって発生させ、そこから 26 個を無作為に選んで並べ暗号表を作成するという方法であった。この発展系は、現在でも線形解読法、差分解読法に対して耐性をもたせるべく、ブロック暗号で平文と暗号文の相関 (線形性) を壊すための仕組みとして使用される S ボックス (m ビットの入力を n ビット出力に変換する関数) の実装として利用されている。

3. 研究者としてのバベッジの特質

バベッジは、研究者として、好奇心と情熱の塊であつた。

た。ある着想を得ると、深く考え抜いたうえで行動し、紙の上ではなく現実の場で己の着想が実現されることを徹底して追求した。こうした姿勢のうえに達成された多様な分野におけるバベッジの功績は、これまで述べてきた事例ですべてという訳ではない。たとえば、計測学の分野でも、『自然界における定数の数表化について (On Tables of the Constants of Nature and Art)』という論文を執筆し、自然界のあらゆる定数を 19 類型に分類して一覧表化したうえで、その背後にある数理的内容を纏めた百科事典を作るべきであると主張した。この論文は、1856 年にスミソニアン学術協会 (Smithsonian Institution) から再出版され、バベッジは計測学の先駆者として認められている。

1838 年には、Great Western Railway の技師であったイザムバード・キングダム・ブルネル (Isambard Kingdom Brunel) [32] の知己を得て、車両性能試験車を製造したうえで実験を重ね、広軌鉄道の優越性を内容とする報告書を提出、その案は Great Western Railway に採用された。さらに、鉄道車両の前部に取り付け、軌道上の障害物を排除することを目的とする金属性フレーム『カウ・キャッチャー (cow-catcher)』を発明したのもバベッジである。検眼鏡を最初に発明したのもバベッジであるが、試用して効果を測るよう依頼した医師が無視したため、後に独自に発明したヘルマン・フォン・ヘルムホルツ (Hermann von Helmholtz) の検眼鏡が実際に使われるようになった。

バベッジのこうしたエネルギーは研究分野に留まるものではなく、特に公衆迷惑に関しては敏感に反応し、それに反対する論文を執筆したばかりではなく、反対運動の組織化にも積極的に関与した。1857 年の論文『窓ガラス破損原因の相対度数表 (Table of the Relative Frequency of the Causes of Breakage of Plate Glass Windows)』では、ある工場の破損した窓ガラス 464 枚を数え上げ、そのうち 14 枚は工場の操業に関係のない「酔っ払い、女性または少年」に因る損害であったことを指摘した。1864 年には、『公道における公衆迷惑の観察 (Observations of Street Nuisances)』という論文を発表し、80 日間に 165 回の公衆迷惑を数えたことを報告している。さらに、1860 年代には、鉄製の輪を転がして馬の脚の間を潜り抜けるフープ・ローリング (hoop rolling) という子供たちの遊びを、乗り手が落馬し骨折する危険があるという理由で禁止すべきとする住民運動の組織化に積極的に関わった。これは、1864 年、イギリス下院議会で「一般的な子供の遊びを禁止する十字軍を組織している」と非難され、バ

バッジは評判を落とした。

このように多様な分野で、非常なエネルギーを要求される活動を同時併行的に展開し、なおかつ、その多くにおいて、歴史の淘汰に耐え得る成果を挙げている事実は、驚嘆に値する。学問領域が広大な分野にわたって拡散化し、かつ、それぞれの分野が目覚ましいスピードで独自の深化を遂げつつある今日、バベッジのようなタイプの知識人は、生まれ難い環境にあると言わざるを得ない。それを少しく寂しく思うのは、筆者だけであろうか。

バベッジが、1日の中で、ここで10分、あそこで20分といった空き時間を巧みに、そして創造的に活用する『分散時間管理の達人』であったことは間違いないと思われる。さらに、研究者にとっては必須の資質である、「進展中のプロジェクトの発展段階を見切り、成果を纏め上げる“killing instinct”」を備えていたことも確かであろう。しかし、そのバベッジであっても、1871年の死去の直前まで取り組んだ解析機関の開発を完成させることはできなかった。連載で後述するように、論理的に解析機関に匹敵する機能をもつ汎用コンピュータは、70年を経た1941年、ドイツのコンラート・ツーゼ (Konrad Zuse) の手によって、やっと現実のものとなる。階差機関と解析機関におけるバベッジの挫折には、「技術革新における個人的貢献と組織化」に関する重要な秘密が隠されているように思われる。この問題に、即座に明確な解答を与えることは難しいが、連載の中で折に触れて考え続けていきたい。

バベッジは40年以上の長きにわたり、ロンドン中心部のシティ・オブ・ウェストミンスター (City of Westminster) にあるメリルボーン (Marylebone) 地区に居を構え、知的創造活動を精力的かつ継続的に展開した。おそらく、現在から想像されるよりも遙かに華やかな脚光を浴びつつ、著名な知識人としての多彩な人生を送り、1871年10月18日、79年の生涯を終えた [6]。死因は、「膀胱炎から併発する腎不全」といわれている。バベッジの脳は、半分がイングランド王立外科医師会に保管され、もう半分がサイエンス・ミュージアムにて展示されている。

一番年下の息子であるヘンリー・プレヴォスト・バベッジ (Henry Prevost Babbage) は、父の設計に基づいて6台の小さなデモ用階差機関を製作し、そのうちの1台がハーバード大学に贈られた。後に、Harvard Mark Iを開発したハワード・ハサウェイ・エイケン (Howard Hathaway Aiken) が、それを発見している。また、1910年には解析機関の演算器 (mill) 部分を製

作り、現在、ロンドンにあるサイエンス・ミュージアムにて展示されている。

4. 解析機関の現代的意義

連載で後述するように、イギリスの数学者アラン・マシスン・チューリング (Alan Mathison Turing) は、1936年、計算を行う自動機械の数学的なモデルであるチューリング・マシンを考案した。形式的な記号操作の組み合わせ、繰り返しで構成されるすべての計算を実行することができるチューリング・マシンを万能チューリング・マシンと呼び、論理回路や人工言語とその処理系など、何らかの計算を行う機構が万能チューリング・マシンと同等の能力をもつとき、それはチューリング完全性を満たす、あるいは計算完備である、と定義した。今日、具体的に製作されることはなかったものの、解析機関はチューリング完全性を満たすことが確認されている。

2011年、イギリスの研究者らが蒸気機関で駆動する解析機関を製作するプロジェクト“Plan 28” [33] を立ち上げた。バベッジは設計を改良し続け、完了させていなかったため、まずクラウド・ソーシング (crowd-sourcing) によって広くアイデアを募り、ベースとなる設計を確定することから開始、675バイトのメモリをもち、7Hzのクロック周波数で作動させる計画である。バベッジの没後150周年となる2021年までの完成を目標としていたが、2021年5月現在、未了で、主として関連論文のデータベース化に時間を費やしており、新たに2030年代での完成を目標としている。

計算機械が既に電子計算機に凌駕されてしまった現在、バベッジの解析機関を完成させることに、どのような意味を見出すことができるであろうか？ ここで注意すべきは、微細化技術の革命的発展は、半導体の世界に限ったことではないという事実である。たとえば、ミクロの精度と高質な硬度をもつ微細歯車をプラスチック成型で量産する技術は、既に確立されている。こうした技術の組み合わせにより、MEMSs (Micro-Electro-Mechanical Systems) と呼ばれる多様な機械を開発する可能性が、大きく拓かれることになる。極度に大きな磁場に晒される環境、高放射能に取り巻かれる環境、高温環境、人体の内部に入り込んで機能するミクロの医療機器など、電子処理に依存しない微細機械や微細計算機が優れた機能を発揮する応用市場は、今後、拡大していくことと思われる。たとえば、電流によって運動機能を発揮する微細機械が、電子制御ではなく機械的制御で電流スイッチのオン・オフを行うよ

うな機械的なチップが既に開発されている。この方向での技術開発の可能性に関連して、エコノミスト誌の1999年9月号に、『バベッジの最後の笑い (Babbage's Last Laugh)』という記事が掲載された。微細 MEMSs を巡る技術開発を念頭に、バベッジが構想したメカニズムを完全になぞり解析機関を完成させることには、大きな学びの可能性が隠されているに違いない。

5. 知的創造の方向性を巡る技術革新の法則

数学であれ技術革新であれ、人間が知的創造を行う際には、何らかの形で先人の業績から出発することになる。そこから知的創造を達成するまでの過程を構造的に理解することは、自分に固有の知恵の出し方を方法論として磨くうえで、極めて有用である。図3に示す概念図は、筆者が研究活動を行ううえで指針としてきたもので、これに基づいて知的創造の構造について考えてみよう。

あらゆる知的創造は、まず、抽象世界や現実世界から刺激を得て問題を意識し、その対象をモデル化することから始まる。次いで、モデル化を通して、その解決を見出す方向性を予測し(解の予想)、それが実現可能であることを確認する(解の存在を示す)。さらに解決する方法を模索し(解を求める方法)、実際に解決に当たる(解を求める)。先人の業績は、すでにこのような手順を踏んだうえで成し遂げられたものである。そこから新たな知的価値を創出する方法は、上述の手続きを繰り返しつつ、①特殊化、②一般化、③転移、④融合の四つの方向に大別される。最後の二つは、結果として、既存知識の統合化をもたらす。

特殊化とは、既存の条件を強い条件へと改め、狭い範囲でより深く美しい結論を得ることである。逆に、既存の条件を弱い条件へと緩めることによって、深さは失うかもしれないが、より広い世界で成立する結論を獲得することが一般化である。ある体系の構造が別の体系の中でも成立することを示すことが、転移による知的創造であり、一見して異なる事象に対し、共通の視点を獲得することによって新たな統一的理解を示すことが融合である。

上述した知的創造の構造を、バベッジの業績を通して探ってみよう。ヴィジユネル暗号の解法の確立は、既存知識体系の枠組みの中で、

- 問題の意識化(モデル化) ⇒
- 解決の方向性の予測(解の予想) ⇒
- 実現可能性の確認(解の存在確認) ⇒
- 解決する方法の模索(解法の模索) ⇒

● 実際の解決(解法の確立)

という手続きを通して新たな知見を得た好例である。

解析機関のオプションとして設計された平方計算を実行するメカニズムの設計は、特殊化の典型例である。平方計算は、解析機関そのものを用いて計算することも可能であるが、特化したメカニズムを導入することで、計算スピードを速めることが可能となる。

多項式の値を計算することを意図して設計された階差機関から、一般的な数値計算を実行できる計算機械として設計された解析機関への発展は、明らかに一般化である。多項式の評価に限って言えば、それに特化した階差機関の方が計算スピードは速いであろう。しかし、解析機関はどんな計算でもこなせ、エイダが見抜いたように、計算機械から情報処理機械へと発展する潜在的可能性を垣間見せた点で、より一般化されている。また、フランス政府の開発した分業制に基づく数表計算の仕組みを製造工程に汎化し、分業に基づく独自の管理原則を確立したのも一般化に基づく知的創造である。

解析機関の入力・出力・制御機構に、自動織機の世界で開発されたパンチカードの仕組みを導入した工夫が、転移に基づく知的創造である。ブリッジウォーター論文集の8本の論文を前提として執筆した自然神学に関する論文において、自然界のすべての法則は神が与えたのであり、不自然な連続的進化を考える必要はないとする『一様性原則(Uniformitarian Principle)』を示したのは、自然科学のさまざまな分野における成果に対し、自然神学の立場から統一的な解釈を与えたという意味で、融合に基づく知的創造である。

もちろん、こうした知的創造の4方向は、現在の技術革新を特徴付けるうえでも有効である。インターネットのモバイル端末機器から余分な機能を削ぎ落とし、音楽マニアに焦点を絞った製品として発売された iPod や、汎用コンピュータを用いず、特化された機能をチップに造り込んで処理する ASIC (Application Specific Integrated Circuit) は特殊化の好例である。インターネット上でのゲーム人気や SNS を通した個人水準での情報受発信の拡大に対応して、音楽マニア用に開発した iPod を、より広いネット・アクセスを求める客層へ再び拡大することを意図して開発された iPhone は、一般化に分類される。市場動向を読んで、特殊化から一般化への順を踏んだ戦略的展開が、Apple 社の V 字回復を支えたといえる。

高層建築用に開発された特殊金属をレールに用いると摩耗度が極端に小さくなり、高地鉄道のメンテナン

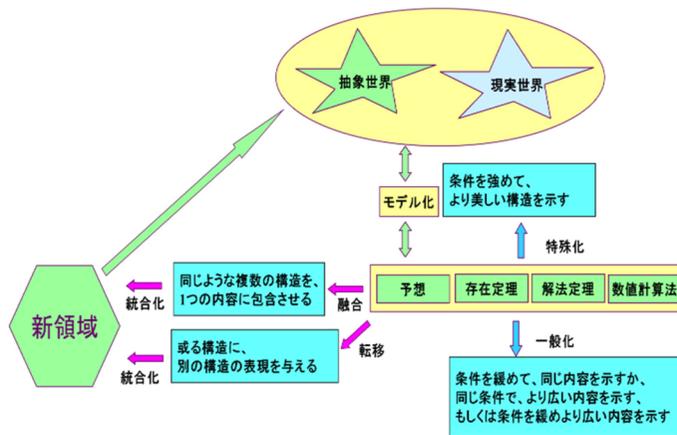


図3 知的創造の構造

ス費用を大きく下げることを見出して市場占有率を伸ばした例は、転移に基づく知的創造である。融合の典型としては、企業活動を「消耗品」の角度から見ることにより、調達チャンネルを一本化することで確立されたアスクルのビジネス・モデルを挙げることができる。転移と融合は、共に既存のモデルを統合化する機能を持ち、良くいわれるシナジー効果は、この二つの要素を混在する形で隠しもつことが多い。

以上の知的創造の構造を、技術革新の法則 (12) として纏めておく。

技術革新の法則 (12) 知的創造性の構造と技術革新：技術革新も、以下の知的創造の構造を反映して実現される。

- ① 既存の知識・技術の慣性力の範囲内で実現される技術革新は、『モデル化 ⇒ 解の予想 ⇒ 解の存在確認 ⇒ 解法の模索 ⇒ 解法の確立』の順に従う
- ② 既存の知識・技術の慣性力の範囲を超える技術革新は、以下の四つの方向性に大別される
 - 特殊化：既存の条件を強め、狭い範囲でより深く美しい結論を得る
 - 一般化：既存の条件を緩め、深さは失うかもしれないが、より広い世界で成立する結論を獲得する
 - 転移：ある体系の構造が別の体系の中でも成立することを示すことで新たな結論を得る
 - 融合：異なる事象に対し、共通の視点を獲得することにより統一的な理解を示し、新たな結論を得る

未知の状況においては、往々にして、新たな知恵を

絞り出して対応することを迫られる。その際、上述した知恵の出し方の構造を常に頭の片隅に置き、その中で解決へ向けたアイデアの方向性を位置付け、不断に検証を重ねること。それは、経験を深化・体系化し、自らの羅針盤を構築していくうえで、極めて有効な手段となるであろう。

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, 『エンアック—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] Wikipedia, Charles Babbage, https://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Babbage (2021年3月31日閲覧)
- [7] Wikipedia, Robert Woodhouse, https://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Woodhouse (2021年4月5日閲覧)
- [8] Wikipedia, Joseph Louis Lagrange, https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph-Louis_Lagrange (2021年4月5日閲覧)
- [9] Wikipedia, Maria Gaetana Agnesi, https://en.wikipedia.org/wiki/Maria_Gaetana_Agnesi (2021年4月5日閲覧)
- [10] Wikipedia, Peterhouse, Cambridge, https://en.wikipedia.org/wiki/Peterhouse,_Cambridge (2021年4月5日閲覧)
- [11] Wikipedia, John Herschel, https://en.wikipedia.org/wiki/John_Herschel (2021年4月5日閲覧)
- [12] Wikipedia, George Peacock, https://en.wikipedia.org/wiki/George_Peacock (2021年4月5日閲覧)
- [13] 野村恒彦, 「ジョージ・ビーコック【代数学】序文につ

- いて], http://www.kurims.kyoto-u.ac.jp/~kenkyubu/bessatsu/open/B50/pdf/B50_014.pdf (2021年4月5日閲覧)
- [14] J. M. Dubbey, *The Mathematical Works of Charles Babbage*, Cambridge University Press, 1978, 2004.
- [15] M. Lingren, *Glory and Failure: The Difference Engines of Johann Müller, Charles Babbage and Georg and Edvard Scheutz*, MIT Press, 1990.
- [16] A. G. Bromley, “Charles Babbage’s Analytical Engine, 1838,” *IEEE Annals of the History of Computing*, **4**, 197–217, 1982.
- [17] Wikipedia, Basile Bouchon, https://en.wikipedia.org/wiki/Basile_Bouchon (2021年4月12日閲覧)
- [18] Gracesguide, Jean-Baptiste Falcon, https://www.gracesguide.co.uk/Jean-Baptiste_Falcon (2021年4月12日閲覧)
- [19] Wikipedia, Jacques de Vaucanson, https://en.wikipedia.org/wiki/Jacques_de_Vaucanson (2021年4月12日閲覧)
- [20] Wikipedia, Joseph Marie Jacquard, https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Marie_Jacquard (2021年4月12日閲覧)
- [21] Wikipedia, Ada Lovelace, https://en.wikipedia.org/wiki/Ada_Lovelace (2021年4月12日閲覧)
- [22] B. Woolley, *The Bride of Science: Romance, Reason, and Byron’s Daughter*, McGraw-Hill, 2002.
- [23] Wikipedia, Doron Swade, https://en.wikipedia.org/wiki/Doron_Swade (2021年4月29日閲覧)
- [24] Wikipedia, Ada, <https://ja.wikipedia.org/wiki/Ada> (2021年4月29日閲覧)
- [25] Wikipedia, James Watt, https://en.wikipedia.org/wiki/James_Watt (2021年5月7日閲覧)
- [26] Wikipedia, Roderick Murchison, https://en.wikipedia.org/wiki/Roderick_Murchison (2021年5月7日閲覧)
- [27] 田中和雄, “資本主義的分業の展開と統制概念—労働における『管理的要因』の分離と再統合の過程に関する研究との関連で—,” *商学研究所報*, **41**, pp. 1–25, 2010.
- [28] 有江大介, “自然神学の『幸福な世界』—19世紀前半ブリテンにおける神学的経済社会把握—,” *エコノミア*, **56**, pp. 1–8, 2005.
- [29] Wikipedia, William Paley, https://en.wikipedia.org/wiki/William_Paley (2021年5月6日閲覧)
- [30] Wikipedia, Francis Egerton, 8th Earl of Bridgewater, https://en.wikipedia.org/wiki/Francis_Egerton,_8th_Earl_of_Bridgewater (2021年5月6日閲覧)
- [31] Wikipedia, ヴィジユネル暗号, <https://ja.wikipedia.org/wiki/ヴィジユネル暗号> (2021年5月7日閲覧)
- [32] Wikipedia, イザムバード・キングダム・ブルネル, <https://ja.wikipedia.org/wiki/イザムバード・キングダム・ブルネル> (2021年5月7日閲覧)
- [33] Plan 28, Building Charles Babbage’s Analytical Engine, <https://plan28.org/> (2021年5月7日閲覧)