

世界をORする視線 (8)

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

住田 潮

1. 計算機械の到達点と限界

前回まで、計算道具の時代から計算機械の時代への変遷を追い、複雑な科学計算や大規模な計算を高速かつ正確に行うことに対する社会的需要の成熟化を背景に、オドネル型計算機がヨーロッパで初めて商業的成功を収めたことを見てきた。本稿では、計算機械の集大成として、イギリスのケンブリッジ大学の数学教授であったチャールズ・バベッジ (Charles Babbage) が構想し、その開発に取り組んだ「階差機関 (Difference Engine)」と「解析機関 (Analytical Engine)」について論じる。特に後者は、入出力装置、記憶装置、演算装置、制御装置を配置する基本構造を萌芽的に含んでおり、壮大かつ斬新な構想に基づくものであった。バベッジの不幸は、その論理の難解さのために広く人々の理解を得ることができず、膨大な投資を必要とする開発プロジェクトを組織的に組むことが叶わず孤軍奮闘を強いられたこと、さらに、時代の技術的水準の制約もあり、具体的に装置を完成させることができなかったことにある。それはまた、計算機械それ自体がもつ限界を示すものでもあった。

バベッジ以後、計算機械の開発の舞台はヨーロッパからアメリカへと移り、ビジネスの世界で数々の目覚ましい成功が生まれる。個々の金額だけでなく累計も計算して印字する加算機で商業的に成功し、後の UNISYS 社へと発展する道を切り拓いたウィリアム・シュワード・バロース (William Seward Burroughs) や、画期的なパンチカード・システムを発明し、後の IBM 社の基礎を築いたハーマン・ホレルス (Herman Hollerith) など、知的発想力と経営能力を兼ね備える天才が続々

と現れ、本格的な第1世代コンピュータ開発へと繋がる産業的基盤が着々と整備されることとなった。今回も主たる参考文献は前回と同様であり、文献 [1-5] に列挙しておく。

2. 階差機関の構想・開発

数学者、天文学者、哲学者、発明家、計算機科学者、工学技術者といくつもの異なる顔をもつチャールズ・バベッジ (Charles Babbage) [6] は、レオナルド・ダ・ビンチ型の博識家であった。1791年、ロンドンで生まれ、幼少期は病弱であったが、金細工師から銀行家に転じて財をなした父は教育熱心で、バベッジに幼い頃から家庭教師をつけ学ばせた。しかし、バベッジ自身は、家庭教師について、「大学に入るために必要であった古典を身に付けることができた以外は、何も得ることがなかった」と述懐している。

1810年、18歳のときに名門ケンブリッジ大学トリニティ・カレッジ (Trinity College, University of Cambridge) に入学、数学を専攻したが、講義の内容に飽き足らず、図書館に通い詰め、独学で専門書を読み漁った。特に、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]、18世紀最大の数学者の1人で解析力学を確立したジョセフ＝ルイ・ラグランジュ (Joseph-Louis Lagrange) [8]、イタリアの数学者で微分積分学の教科書を出版し女性として初めて大学教授となったマリア・ガエターナ・アニュージ (Maria Gaetana Agnesi) [9] らの著作を読み耽ったという。

1812年、バベッジはケンブリッジ大学のピーターハウス (Peterhouse) [10] に移籍する。ケンブリッジ大学では最も古く最も成績の良い大学の一つとしてランク付けされており、数学や自然科学の分野で傑出した逸材を輩出してきた名門である。バベッジは数学部門で

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

トップの成績を取め、1814年に卒業するが、優秀学生として顕彰されることはなかった。一説によると、彼の卒業論文は公開諮問の場で公にされるにはふさわしくない不遜な内容を含んでおり、公開での議論を避けるため、無試験での卒業を認める代わりに優秀学生としての顕彰も行われなかったという。齒に衣着せぬ物言いで、事あるごとに権威に嘸みつく天才的な若者の姿が浮かび上がってくる。また、才能ある若者を潰さないように留意すると同時に、古風な伝統をも堅守すべく、柔軟な対応を編み出す英国学界の文化的風土を垣間見ることのできる興味深いエピソードでもある。

ケンブリッジ大学において、バベッジは何人かの優れた友人と出会う。その筆頭は、後に天文学の巨人となるジョン・ハーシェル (John Herschel) [11] であろう。恒星の明るさを比較し、等級が 0.41 上がるごとにその明るさが二乗に反比例して暗くなること、さらに、1 等星は 6 等星の約 100 倍の明るさであることを発見したのは彼であり、土星の衛星 (ミマス、エンケラドゥス、テティス、ディオネ、レア、タイタン、イアペトゥス) や天王星の衛星 (アリエル、ウンブリエル、ティタニア、オベロン) の名付け親としても知られている。また、1849年の著書『天文学概論 (Outlines of Astronomy)』において、天文学における日数や時間の計算に、西暦紀元前 4712 年 1 月 1 日の正午 (世界時) を起点とするユリウス通日 (Julian day) を利用する方法を考案し、これ以後、世界中の天文学者が日数計算にこの方式を用いるようになった。また同書において 1836 年頃にベテルギウスの変光を発見したことも発表している。写真学の分野でも大きな足跡を残し、ネガ、ポジという名称を提唱し、写真画像の定着にチオ硫酸ナトリウムを用いることを提案した。さらに、1842年、青写真 (Cyanotype) や金コロイドを用いたクリソタイプ (Chrysotype) を発明したのもハーシェルである。

バベッジのもう 1 人の重要な友人として、後に先駆的に抽象代数学への道を拓いたジョージ・ピーコック (George Peacock) [12] を挙げることができる。それまでの代数学では、負の数や無理数を扱うことはできなかったが、ピーコックは 1830 年に出版した『解析学 (A Treatise on Algebra)』において、「算術的代数 (Arithmetical Algebra)」を一般的記号に普遍化するものとして「記号的代数 (Symbolical Algebra)」の概念を導入し、「算術的代数で成立するものは、記号的代数でも成立する」という「等しい形式の不変性の原理 (the principle of the permanence of Equivalent

form)」を主張した [13]。文献 [14] によれば、実は、バベッジの未発表論文 “Essays on the Philosophy of Analysis” においても、同様の主張がなされていたという。すべての整数 x, a, b について成立する指数の公式 $x^a \times x^b = x^{a+b}$ に対し、 x, a, b が分数や虚数である場合はこの公式が定義されないことを指摘し、量 x, a, b が分数や虚数であっても成立する演算の定義としてこの公式を採用すること、そうした場合、「新しい表現」は「古い表現」を特殊な場合として含むべきであること、を主張した。「古い表現」を「算術的代数」、「新しい表現」を「記号的代数」と読めば、バベッジの思想はピーコックのそれに繋がる内容をもっているといえよう。もちろん、前者は指数に関する限定的な指摘であり、後者が四則演算を対象としている点でより一般的であるが、若き数学研究者であった 2 人が、そうした議論を交わしたであろう場面を彷彿とさせる。

1812 年、ケンブリッジ大学在学中に、バベッジはハーシェルとピーコックと共に、解析協会 (Analytical Society) を設立する。当初は、学部生の単なる意欲的な取り組みに過ぎなかったが、目的として、ヨーロッパ大陸で発展していた解析学を英国に定着させることを掲げ、1813 年に、バベッジとハーシェルの執筆による『解析協会論文集 (Memoirs of the Analytical Society)』を公刊した。さらに、1816 年には、バベッジ、ハーシェル、ピーコックの 3 人で、フランスの数学者シルヴェストル・フランソワ・ラクロワ (Sylvestre François Lacroix) による当時の最新の成果を折り込んだ解析学に関する講義録をフランス語から英訳して出版した。

バベッジが最初に計算機械の開発を着想したのも、1812 年、解析協会の一室で間違いだらけの対数表を眺めているときであったという [6]。当時、対数表や三角関数表に代表される数表は、航海、科学、工学、数学などの分野で重要な役割を果たしていたが、人間の手計算に基づいて作成されるのが実情であった。フランス政府が新たに確立した数表の作成方式では、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という仕組みが採用されていた。これは、世界で初めて大量生産方式を算術に応用した画期的な試みであったが、それでも転記ミスや計算ミスは避けられず、数表は多くの間違いを含むという現実があった。バベッジは、この計算労働の分業方式に感動し、最後の 80 人の手による計算労働を機械化してしまえば、スピードも正確性も増すに違い

ないという着想を得た。これ以後、階差機関の開発へ向けて、構想を温め続けることになる。

1814年、22歳で結婚、後に8人の子をもうけるが、成人したのは4人だけであった。卒業翌年の1815年、既に研究者としての評判を得ていたバベッジは、王立研究所 (Royal Institution) で天文学に関する講演を行い、1816年には王立学士院のフェロー (Fellow of the Royal Society) に選出されるなど、着々と名声を固めていった。1820年には、ロンドン天文学会 (Astronomical Society of London)、後の王立天文学会 (Royal Astronomical Society) の設立に中心的な役割を果たし、目標として、天文学に必要な計算を標準化し、データの共有化を図ることを掲げた。

太陽、月、惑星、恒星などの日々の位置、距離、運動などを記載した表を天体暦と呼ぶが、この天体暦を、大海を航行する船が天体観測を行って船の位置を特定するのに便利な形に簡易化したものが航海暦である。当時、航海関係者の中で正確な航海暦の必要性が強く認識されており、そのためには多くの種類の数表を正確に計算することが不可欠であった。バベッジは、解析協会の一室で着想を得た計算機械の開発を具体化する機が熟したと判断し、1822年、王立天文学会に対して、蒸気機関を用いて数表を作成する機械の製作を提案した。この提案は大きな反響を呼び、バベッジは王立学士院に対しても新しい計算機械の必要性を強く訴えた。1823年、多くの人々の支持を得て、イギリス政府に対する開発助成金の申請が正式に行われ、その年の4月、王立学士院はバベッジの提案を検討するための特別委員会を設置、翌月には申請を許可すべきであるとの見解を発表し、さらに2ヵ月後、バベッジに対して1,500ポンド (現在の価値でおおよそ1,800万円程度) の助成金が支払われた。1824年には、「数表と天文暦のための計算機関の発明」に対して王立天文学会ゴールドメダルを授与されている。

バベッジが「階差機関 (Difference Engine)」と名付けた計算装置は、自然数 x に対する n 次多項式 $f(x)$ の値を加算のみで計算するためのもので、減算は、連載の(7)で論じたパスカル計算機と同様に、10進数の補数の加算として処理する仕組みを採用した。その名のとおり、階差を繰り返すアイデアに基づくもので、たとえば、

$$f(x) = ax^2 + bx + c \quad (1)$$

という多項式を考える。その第1階差 $\Delta[f(x)]$ は

$$\Delta[f(x)] = f(x) - f(x-1), \quad (2)$$

第2階差 $\Delta^2[f(x)]$ は

$$\Delta^2[f(x)] = \Delta[\Delta f(x)] = \Delta[f(x)] - \Delta[f(x-1)] \quad (3)$$

で定義される。連続関数の微分を離散化したもので、以下の結果を簡単に確かめることができる。

$$\Delta[f(x)] = 2ax + b; \Delta^2[f(x)] = 2a. \quad (4)$$

明らかに、(1)~(4)より、

$$\begin{aligned} \Delta[f(x)] &= \Delta[f(x-1)] + 2a; \\ f(x) &= f(x-1) + \Delta[f(x)] \end{aligned} \quad (5)$$

が成立する。したがって、 $f(0) = c, f(1) = a + b + c, \Delta[f(1)] = f(1) - f(0) = a + b$ から出発し、

$$\begin{aligned} \Delta[f(2)] &= \Delta[f(1)] + 2a = (a + b) + 2a = 3a + b; \\ f(2) &= f(1) + \Delta[f(2)] \\ &= (a + b + c) + (3a + b) = 4a + 2b + c \end{aligned}$$

と(5)を繰り返すことにより、 $f(x) (x = 2, 3, \dots)$ が加算のみによって求められることになる。

一般的には、 n 次多項式の第 n 階差は定数となり、階差計算の繰り返しが増えるだけで、構造的には上述した2次関数の例とまったく同じようにして計算することが可能である。当時のほかの計算機械とは異なり、階差機関は指定された複数の値 $f(x) (x = 2, 3, \dots)$ を自動生成するもので、対数も三角関数も多項式で近似できることから、まさしく数表作成に適した設計であったといえよう。

卒業後、階差機関開発プロジェクトの発足により、バベッジは恵まれた活躍の場を得ることができたといえるが、就職の面では苦労を重ねた。ヘイリーベリー・カレッジ (Haileybury College) での教職やエジンバラ大学 (University of Edinburgh) の教授職に応募するが不調に終わる。さらに、1820年、1822年、1826年と立て続けにケンブリッジ大学で教授職を得ることに失敗。この間ずっと、父親から財政的援助を受け続けた。1827年に父親が死亡すると、今日の価値で12億円程度の遺産を受け取り、財政的には安定することになる。その年、父親に次いで妻をも亡くしたバベッジは、階差機関開発プロジェクトの管理をハーシェルに依頼し、傷心を抱いてイタリアを旅した。そしてローマに滞在中、ケンブリッジ大学の教授に選ばれたとの吉報が舞い込んだ。ケンブリッジ大学に戻ったバベッジは、再び精力的に階差機関の開発に取り組むが、開

発の道は困難を極めた。

3. 階差機関開発の挫折

バベッジの設計した階差機関は、データとプログラムが分離される構造をしており、命令に従って作動する演算器は条件分岐が可能で、本体とは切り離された入出力装置を備えていた。最初の試作機である階差機関1号は約25,000個の部品で構成され、高さ2.4m、重さ13,600kgとなる予定であった。当初の意図とは異なり、蒸気機関を用いず、人の手でクランクを回すことで作動し、十進法に基づき、16桁までの数で6次多項式を取り扱えるように計画されていたが、ついに完成することはなかった。恒常的な資金不足に悩み、その都度、イギリス政府からさらに補助金を引き出すよう努力し、1833年までの10年間に17,000ポンド（現在の価値でおよそ2億円強）の国家予算が引き当てられた。加えて同額程度のバベッジの個人資産も注ぎ込まれたといわれているが、問題の階差機関は、本体のほんの一部が組み立てられたに過ぎなかった。バベッジが製作した階差機関1号の部品と組み立てられた装置の一部は、現在もロンドンの科学博物館 (Science Museum) に展示されている。

文献 [5] では、プロジェクトの所有権を巡って、イギリス政府とバベッジの間に以下のような誤解があったのではないかと推測している。当時のイギリス政府には正式な奨励金制度が存在せず、階差機関に対する支援については、「バベッジの発明を高く評価し、その実現のために一時的な助成金を与えるのであり、したがって、階差機関が完成すれば、その所有権はバベッジに帰属する」という見解であった一方、バベッジは最初から、「階差機関の所有権はイギリス政府にあり、政府の全額出資によって制作されるもの」と思い込んでいたというものである。

この資金不足が、エンジニアや職人たちの実力行使を呼び起こしたのもバベッジにとっては大きな痛手であった。1823年以来、エンジニアとしてプロジェクトをサポートしてきたジョセフ・クレメント (Joseph Clement) と、1831年頃には、技術・資金の両面で衝突を繰り返すようになる。当時のビジネス習慣として、エンジニアは必要となる高度な工具の制作費の負担を雇主に要求し、かつそれを所有できることが一般的であった。クレメントは腕の良いエンジニアであったが、必要となる高度な工具の製作と費用を巡って、資金不足に悩むバベッジと対立するようになったのである。そしてついに1833年、給料の支払遅れを理由に、ク

レメントは職人たちと共に作業を拒絶し、2人の関係は修復し難い段階までに拗れてしまった。階差機関の原理を把握していない職人たちは、バベッジの言う内容を理解できず、天才特有の痲痺からくるバベッジの怒りの発作に絶えられなくなったともいわれている。

これにより、バベッジは10年間の長きにわたって取り組み続けてきたプロジェクトの中断を余儀なくされ、1834年以降、階差機関の開発は、見かけ上、完全に停滞した。その後も、バベッジは、階差機関の所有権を巡る政府との見解の相異に気付かぬまま、再三にわたって資金供給の申し入れを行ったが、1842年、ついにイギリス政府はすべての資金援助の打ち切りを申し渡し、階差機関開発の夢は虚しく消えた。

1847年から1849年にかけて、バベッジは基本設計を大幅に拡大し、改良版である階差機関2号を設計したが、再び政府の資金援助を得ることはできなかった。140年後の1989年、ロンドン科学博物館により、バベッジの設計に基づき、19世紀当時の技術精度に合わせて、31桁の計算結果を出力できる階差機関2号の製作が始められ、1991年に完成、バベッジの設計が正しく機能することを証明した。2000年には、バベッジが階差機関用に設計した印刷機も製作されている。ロンドン科学博物館は2台の階差機関2号を製作したが、1台は科学博物館が所蔵し、もう1台は、マイクロソフトの元最高技術責任者でインテリクチュアル・ベンチャーズの共同設立者でもある大富豪のネイサン・ミアボルド (Nathan Myhrvold) の出資により製作され、2008年5月10日、カリフォルニア州マウンテンビュー (Mountain View, California) にあるコンピュータ歴史博物館に展示された。ミアボルド所有の階差機関はバベッジの最初の設計に基づいており、科学博物館のそれは後の改良版で、2台の装置はレプリカ (複製) ではない。

バベッジが挫折した夢は、スウェーデンで受け継がれる [15]。弁護士であり翻訳家でもあったスウェーデンのペール・イエオリ・シュウツ (Per Georg Scheutz) は、1834年発行の「エディンバラ・レビュー」という雑誌に掲載されたバベッジの階差機関に関する記事を読み、畑違いの分野であったにもかかわらず強い興味を抱き、息子のエドヴァルド・シュウツ (Edvard Scheutz) と協力して階差機関の製作を思い立つ。1837年には開発プロジェクトを立ち上げ、1843年に試作機を完成、スウェーデン政府の援助を得て、さらに10年を費やし、1853年、ついに実用機を完成させた。

「シュウツの計算機関 (Scheutzian Calculation En-

gine)」は、バベッジが考えていたものよりかなり小型で、ピアノの大きさであった。15桁までの数で4次多項式を取り扱うことが可能で、計算した数表を印刷する機能も備えていた。1854年にロンドンで公開され、翌年、パリの万国博覧会に出品されて金賞を射止めた。この最初の機械は1859年にイギリス政府に売却され、2台目の機械はアメリカのプロウカーの手を経てニューヨーク州オルバニーにあるダッドリー天文台に納められた。しかし、取り扱える階数を少なくしたこともあり、また、当時は既に歯車式計算機の普及によって各種の数表の間違いが少なくなってきたことにより、想定したほどには販売台数を伸ばすことができず、財政的には、プロジェクト遂行のために負った巨大な負債を抱えたままで終わった。父親は1873年、息子は1881年に死去するが、2人とも破産状態であったという。

シュウツの機械は、完全な対数表を自動生成する機能を有していなかったため、マルティン・ヴィーベリ(Martin Wiberg)が基礎から造り直し、1875年に完全な対数表を印字するミシン程度の大きさの小型装置を製作した。この対数表は後に英語、フランス語、ドイツ語で出版されたが、その装置や対数表の販売も成功しなかった[15]。ヴィーベリの発明した装置は、ストックホルムのスウェーデン国立科学技術博物館(Tekniska Museet)に所蔵されている。

4. 解析機関の先駆性

階差機関開発プロジェクトの最初の挫折を経験した1833年当時、バベッジは既に階差機関に続く装置として解析機関の設計構想を固めていたといわれており、1837年に初めてその概念を記述した記録が残っている[16]。階差機関が多項式を評価するという限定的な目的のために設計されたのに比し、解析機関は一般的な計算機械として構想されており、今日のコンピュータの基本構造をほぼ備えていた。10進法に基づく解析機関の特徴を、以下に列挙してみる。

- ① 入力装置：数式入力用の『操作カード』とデータ入力用の『数値カード』の2種類のパンチカードを用いて、プログラムを組むことが可能
- ② 出力装置：プリンター、グラフ・プロッター、パンチカード打込装置、ベル
- ③ 記憶装置：『ストア』と呼ばれ、40桁の数字を1,000個まで格納可能(16.6kB相当)
- ④ 演算装置：『ミル』と呼ばれ、加減乗除、大小比較、オプションとして平方計算も実行可能

- ⑤ 制御装置：記憶装置と演算装置を連動させるためのギヤとレバーからなる伝達機構；3種類目のパンチカードである『制御カード』を用いて制御；ループと条件分岐も実行可能

入力装置と制御装置で用いられる3種類のパンチカードに対しては、それぞれ別個の読み取り装置が配置された。これらのパンチカードと読み取り装置は、織物産業で開発された技術を応用している。

パンチカードによる織機を最初に開発したのはフランスの織工バシル・ブション(Basile Bouchon)[17]で、1725年、穿孔した紙テープで織機を制御することにより、さまざまな文様を織り出すことに成功した。ブションの父親はオルガン制作者であったので、紙テープを用いた手回しオルガンの仕組みにヒントを得たものと思われる。しかし、手作業で紙テープに穿孔するのは容易ではなく、織機への取り付けも面倒であった。この問題を克服するため、ブションの助手であったジャン＝バプティスト・ファルコン(Jean-Baptiste Falcon)[18]は、1728年、パンチカード・システムを導入し、ブションの開発した装置の部分的な自動化を実現した。

この2人の成果に独自の工夫を加え、世界初の完全自動織機を開発したのは、フランスのジャック・ド・ヴォーカンソン(Jacques de Vaucanson)[19]で、1745年のことである。ファルコンの工夫した鎖状に繋ぎ合わせたパンチカードを、パンチされた1本の紙テープに置き換え、作業を簡易化することによって完全自動化を実現した。ヴォーカンソンは変わり者で、若い頃からくり人形などの自動装置を創ることに夢中になった。晩餐で給仕や食卓を掃除する自動人形を制作し、行政側から冒涇的であると非難され、その破壊を命じられたり、12曲のレパートリーをもつ等身大の「笛吹き人形」、「タンバリンを叩く自動人形」や「消化するアヒル(Canard Digérateur)」を制作し評判となったりもした。この経験が、自動織機を始め、解剖学の詳細を学んで、血液循環、呼吸、消化といった生命体の機能を真似た機械装置を開発するなど、さまざまな分野で自動装置を発明するに至る下地になったと思われる。

自動織機の世界で、後にコンピュータの入出力装置の分野で先駆者となるバベッジやホレリスに大きな影響を与える成果を挙げたのは、フランスの発明家ジョゼフ・マリー・ジャカール(Joseph Marie Jacquard)[20]であった。織物産業において先行するイギリスに対抗するため、1802年、ナポレオンはリヨン織物業界に、「競争力を向上せよ」との大号令を発した。これを受けたリヨン織物業界の要望で、ジャカールはヴォーカンソ

ンの自動織機の研究に取り組み始めた。ヴォーカンソンの穿孔された連続紙テープによる入力方式を廃棄し、ファルコンの鎖状に繋ぎ合わせたパンチカード方式を復活させたいと、さらに独自の工夫を加えたジャカルは、1805年、プログラム可能な完全自動織機を完成させた。

この機械の優越性は明らかで、1805年4月15日、ナポレオンはジャカールの織機の特許をリヨン市に下賜、見返りとしてジャカルは、死ぬまで3,000フランの年金を受領する権利と、1805年から1811年まで、織機1台の購入・使用につき50フランの特許料を得ることとなった。ジャカールの完成させた織機は『ジャカード織機』と呼ばれ、瞬間に普及、1812年にはフランス国内で1万1千台が稼動するまでになった。

ジャカード織機の基本的な仕組みは、上下する金属針とシャフトを穴の有無によって連動させ、穴の指示する経糸だけを引き上げて横糸を通すというもので、紋紙と呼ばれるパンチカードのパターンどおりの模様を織ることができた。これにより、模様に対応する紋紙を入れ替えるだけで、さまざまな複雑模様を自動的に織り出すことが可能となった。当初は人力に拠っていたが、19世紀半ばには蒸気機関を用いるようになった。

バベッジが考えたのは、解析機関の入力装置や制御装置にジャカード織機の紋紙を応用することであった。紋紙に対応する操作カード、数値カード、制御カードを順序よく並べ、一連の演算を実行させるという構想で、まさしく、今日のコンピュータの構造を先駆的に実現したものといえよう。

解析機関の構造的核は、オルゴールのようにピンが配置され回転するバレル (barrels) と呼ばれるドラム群、多くの歯車、そして力の伝達機構で構成されている。操作カード、数値カード、制御カードから得られる制御情報に従い、歯車とドラムが回転、停止、逆回転して演算を実行し、その位置や回転角などで情報を記憶・表示するという仕組みであった。蒸気機関を動力とし、完成すれば長さ30m、幅10m、いまの電車の1.5車両分の巨大さとなっていたはずであり、いわば蒸気機関車 (SL) ならぬ蒸気機関計算機として構想された。プログラムは、もちろん機械語であったが、現在のアセンブリ言語の原型ともいえる記述法が考案されていた。バベッジは、1837年から1840年の間に、多項式計算、反復式計算、ガウス消去法、ベルヌーイ数列の計算など、10を超える解析機関プログラムを残している。

階差機関の開発に対する政府支援を打ち切られたバ

ベッジは、解析機関の開発に新たな政府援助を得ることを望むべくもなく、自分の資産を注ぎ込んで開発を進めることを余儀なくされた。父親がかなり巨額の遺産を遺したものの、個人資産ではたかが知れており、彼の生活は目に見えて苦しくなった。周りの人々は心配し、解析機関の開発を打ち切るよう勧めたが、バベッジは耳を貸そうとせず、かたくなに開発を続けた。孤軍奮闘を続けるバベッジであったが、数奇な運命を辿った女性、エイダ・ラヴレス (Ada Lovelace) [21] の人生と交錯する偶然により、自分では不得手であった「解析機関に関する社会的認知度を高める」ことにおいて、強力な援軍を得ることができた。

5. エイダ・ラヴレスと解析機関

1815年12月10日、エイダはイギリスロマン派の代表的詩人であるジョージ・ゴードン・バイロン (George Gordon Byron) と夫人の間に、唯一の子供として生まれた。バイロン卿はイングランド貴族の男爵位であるバイロン男爵の別称であるが、特に断らない限り、第6代バイロン男爵であるジョージ・ゴードン・バイロンを指すことが多い。バイロン卿は多くの子供の父親となったが、エイダ以外は、すべて婚外関係から生まれたものであった。

バイロン卿は男児を熱望していたので、エイダが生まれたときには酷く失望した。異母姉の名前からファースト・ネームを採ってオーガスタ・エイダ・バイロン (Augusta Ada Byron) と名付けはしたものの、生まれた1ヵ月後には2人を妻の実家へと追いやり、4月には離婚が成立した。その数日後に、「君の顔はお母さんに似ているのかしら？ わが家と私の心の中の唯一の子である、可愛いエイダよ！ (“Is thy face like thy mother's, my fair child! ADA! sole daughter of my house and heart?")」で始まる一編の詩を残してイギリスを去り、その後、エイダが8歳のときにギリシャで死亡するまで、2人に会うことはなかった。母親は、生涯、バイロン卿を許さず、20歳になるまで父親を含む家族肖像画をエイダに見せず、さらに、娘が父親の「詩人の狂気」を受け継ぐことを恐れ、数学と論理学の教育に熱心になったという。しかしエイダは父親を慕い、後に生まれる2人の男の子にバイロンとゴードンと名付け、死後は、たっの希望で、父の墓の隣に葬られた。

エイダは病弱な子供で、母方の祖母であるミルバンク夫人 (Lady Milbanke) に預けられることが多く、母親と近い関係を築くことがなかった。ミルバンク婦

人は教養人で、数学者ウィリアム・フレンド (William Frend) に数学を教わったこともあり、何人かの家庭教師を付けてエイダに数学と科学の手ほどきを受けさせた。1828年、12歳のときに空を飛ぶことに憧れ、翼に適したさまざまな材料と構造を試し、翼と身体の適正な割合を探るために鳥の解剖学を学んだ。「飛行学 (Flyology)」に関する本の執筆を構想し、蒸気機関に関する理論を飛行技術と統合することを夢想した。

エイダの数学の家庭教師の一人は、ウィリアム・フレンドの娘婿であり、ド・モルガンの法則で名高いオーガスタス・ド・モルガン (Augustus de Morgan) であった。エイダは熱心に学び、旺盛な好奇心を発揮したが、数学に関する疑問を父親であるバイロン卿譲りの詩才を発揮して表現することも多かった。たとえば、微分学に関して、ド・モルガン宛てに書かれた次の手紙が残されている。

——多くの数式が、疑われることもなく潜り抜ける奇妙な変換、初心者にとっては、ちょっと見ただけでは極めて異なる実体と思われる奇妙な変換こそが、数学を学び始める際に経験する主たる難しさです。それは、おとぎ話の中で、ある形で肘の辺りに留まっていたかと思うと、次の瞬間には似ても似つかない形に変貌を遂げる妖精たちを思わせます。——

エイダは、数学と科学を効率的に学ぶためには直感と想像力が重要であることを理解し、数学と同様に形而上学にも重きを置いていた。

1833年、17歳になると父親譲りの美貌が顕現し、家庭教師の一人である男性と恋に陥る。発覚するや駆け落ちを試みるが、家庭教師の親戚に見つかり、母親に連絡されて失敗に終わる。家庭教師とは引き離され、この件は公にならないよう母親の手によって隠蔽された。この年のもう一つの重要な出来事は、家庭教師であり、親しい友人でもあるメアリー・フェアフォックス・サマヴィル (Mary Fairfax Somerville) からバベッジを紹介されたことである。サマヴィルは自身も研究者であり、科学的著作を残している。エイダはバベッジから階差機関の説明を受け、深い感銘を覚えた。これ以後、バベッジとは師弟関係を結び、多くの教えを受けるようになる。

宮廷社会に初登場したのも1833年で、以後、宮廷のさまざまな催しに頻繁に参加するようになり、大気の電気現象に関して先駆的業績を残した数学者アンドレ・クロス (Andrew Crosse)、光学分野で大きな業績のあるデイヴィッド・ブリュースター (David Brewster)、ステレオスコープを発明し、電線中の電流の速

度を初めて測定した物理学者チャールズ・ホイートストン (Charles Wheatstone)、電磁場の基礎理論を確立し、ファラデーの法則で有名な化学・物理学者マイケル・ファラデー (Michael Faraday)、下層階級を主人公とし弱者の視点で社会を諷刺した作品を数多く書いた小説家のチャールズ・ディケンズ (Charles Dickens) など、錚々たる人々の知己を得るようになる。

1835年7月、19歳のエイダはウィリアム・バロン・キング8世と結婚、後に、父親の名前を採った2人の息子バイロン (Byron) とラルフ・ゴードン (Ralph Gordon) と、2人の間に挟まれて生まれた娘アン・イザベラ (Anne Isabella) の3人の子供をもうける。1838年、キング8世はラヴレス (Lovelace) の伯爵に任命され、エイダもエイダ・ラヴレス (Ada Lovelace) 伯爵夫人と呼ばれるようになる。

1840年、バベッジはイタリアのトリノ大学 (University of Turin) から招待を受け、解析機関に関する一連の講義を行った。イタリアの若き技術者であり後に第7代イタリア首相となるルイジ・メナブレア (Luigi Menabrea) がこの講義録をフランス語で纏め、1842年10月、ジュネーブ在住の学者たちが発行する学術専門誌『The Bibliothèque Universelle de Genève』に発表した。その後、バベッジの友人でもあったホイートストンが、この論文の英訳をエイダに正式に依頼し、これを受託したことが、エイダの名をコンピュータ史に刻むきっかけとなった。

当時、イギリス政府もまったく関心を示さなかったことに象徴されるように、解析機関の理論と潜在的可能性を理解する研究者はまれであり、おそらく最良の理解者であったエイダは、この困難な仕事に没頭した。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までに纏めた。付録は論文本体の3倍もの長さになり、現在に繋がる多くの見解が書かれている。特に、「解析機関は単なる計算機であることを超えており、抽象的な論理演算として記述できる内容であれば何であれ処理可能である」ことを指摘しており、解析機関が芸術を生み出す装置としての可能性を秘めていることに気付いた最初の人間であった。具体的な例として、和声学や作曲理論で扱われる音階の基本的な構造を数値やその組み合わせで置き換えることができれば、曲の長さや複雑さに制限されることなく、解析機関に繊細で体系的な楽曲を作曲させることが可能であると述べており、このエイダの発想が現実のものとなるのは、実に1970年代に入ってからのことである。

付録 G には、パンチカードを利用したベルヌーイ数列を計算するための解析機関プログラムが記載されている。このコードは、世界初のコンピュータ・プログラムといわれているが、プログラムはバベッジ自身から書き、エイダは単にバベッジのコーディングのバグを見つけただけだというのが定説となっており、実際にバベッジがその訳注に載っているプログラムをすべて書いたという証拠も見つかっている。しかし、文献 [21] には、エイダが独特の詩的センスを発揮してプログラムを美しく表現したことが見て取れる写真が記載されており、「世界で初めて出版されたコンピュータ・プログラム」であることは確かである。(この項続く)

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—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, 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)