

コンピュータ開発史 1

大駒 誠一

はじめに

蒸気機関を発明したのはジェームス・ワット、白熱電球を発明したのはトーマス・エジソン、飛行機の発明者はライト兄弟と誰でも知っている。しかし、コンピュータを発明したのは誰？と聞かれて正しく答えられる人はほとんどいない。電子的に計算ができるようになって、まだ半世紀とちょっとしか経っていないのに、コンピュータの歴史には誤謬、誤解がたくさんある。

次の三点は、1969年に発行された、コンピュータの歴史を米国の計算機学会が調査した記事に載ったもので、その後ずっと正しいと思われていた。

- (1) 最初の電子計算機はENIACである。
- (2) ストアド・プログラムはフォン・ノイマンのオリジナル・アイデアである。
- (3) 最初のストアド・プログラム方式の計算機はEDSACである。

しかし、現在では、これらはすべて誤りであり、

- (1) 最初の電子計算機、すなわち、歯車やリレーではなく電子的に計算ができたコンピュータはジョン・アタナソフの作ったABCマシンである。
- (2) ストアド・プログラムは複数人のメンバーによるチームで考え出したもので、フォン・ノイマンはそのレポートを書いたにすぎない。したがって、ストアド・プログラムにフォン・ノイマンがまったく関与していないとは言えないが彼一人のアイデアではない。ということは、現在のコンピュータをフォン・ノイマン型という言い方は本当はおかしいことになる。
- (3) プログラムを記憶装置上において実行した最初の計算機は英国マンチェスター大学のMark-1、通称Babyが最初である。

となっていて、コンピュータの歴史は大幅に書き換えられた。考古学と違って、資料文献がたくさん残されている20世紀のことであるにもかかわらず、コンピュータの歴史にはいろいろ間違いがあった。しかし、一旦、植え付けられた

定説や常識というのはなかなか変わらないもので、上の三つは間違っただけで現在でも信じている人は多い。もちろん、新しい専門の歴史書には正しい記録が載っているが、新聞や雑誌の記事には今でもしばしば、「最初のコンピュータ ENIACは云々」などのように、誤って書いてある。

また、国によっても違うことがある。フランスの文献には、歯車を使った最初の計算機はパスカルの作ったパスカリーヌと書いてあるが、ドイツではこれがシッカートの作ったシッカートの計算機となっている、というように国の間で元祖争いがあったりする。

本稿の目的はこういったいくつかの誤りを現時点の一番新しい状況に訂正することにある。

このコンピュータ開発の歴史を一挙に全部掲載するのは分量が多過ぎるので、第1部は19世紀まで、第2部は第二次世界大戦終了まで、第3部は第二次世界大戦終了後とする予定である。

1 計算の道具

1-1 アバカス

人類が数というものを意識して、数を数えるようになったのはどの位前のことであるかはわからない。これは、人類がいつから言葉をしゃべるようになったのかわからないのと同様である。しかし、人類が数を数えた最初の証拠は、20,000～30,000前のクロマニヨン人の遺跡で見つかった狼の骨にきざまれた刻みであるとされている。この骨は1937年チェコスロバキアで発見され、5つのグループにわかれた55個のきざみがついている。捕った獲物の数を記録したのでないかと想像されている。

7000年位前、これも確かではないが、ようやく文明といえるようなものが生れ、やがて文字が発明され、数字が使われるようになり、商取引が始まり、日常生活に計算が必要になることがあり、計算をするための道具の需要が発生した。

計算をするための道具アバカスの起源は紀元前1000年～500年にバビロニ

アとも中国とも言われているが、おそらく、最初は石の玉か木の実を並べる程度のものであったろう。やがて算木が使われるようになり、そろばんが発明されたが、それぞれははっきりとした起源や発明者などはわかっていない。

英語の単語“abacus”を辞書でひくと「そろばん」とでているが、abacusは算木や計算盤を含む広い意味で計算をする道具のことで、われわれ日本人が小学校で習うそろばんだけを指すのではない。そろばんは、日本には中国から室町時代にもたらされたようであるが、普及したのは「読み書きそろばん」がインテリの必要条件になった江戸時代に入ってからである。そろばんが普及したせいか、明治になるまでそろばん以外の日本独自の計算用の道具が工夫されたことはなかった。

1－2 ネピアの骨

加減算用の算木は古くから世界のあちこちにあったが、掛算をする算木は、ネピア（John Napier 1550～1617）が考えたネピアの骨（Napier's boneまたはNapier's rodという）が最初であろう。これは1本の四角の棒に掛算の九九が書いてあり、これをn本並べるとn桁×1桁の繰り上がりのない掛算ができた。

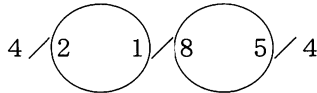
Index	7	3	9
1	07	03	09
2	14	06	18
3	21	09	27
4	28	12	36
5	35	15	45
6	42	18	54
7	49	21	63
8	56	24	72
9	63	27	81


図 1－1 ネピアの骨による掛算

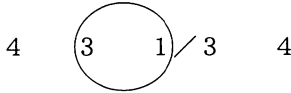
たとえば、

$$739 \times 6 = 4434$$

の掛算をするには、図 1－1 のように、九九の書いてある 7 と 3 と 9 の棒を並べ、それに 1 から 9 までの番号をふった棒を用意し、6 行目をみる。



を得る。  の部分の足し算をする。



となる。また、  の部分の足し算をする。

4 4 3 4

が求まる。要するに、掛算の九九の部分にネピアの骨で求め、繰り上がりの足し算は人間がする。これを使えば掛算の九九を知らなくても足し算だけ知っていれば、 n 桁 \times 1 桁の掛算ができるわけである。

2 歯車を使った計算機

2-1 レオナルド・ダ・ビンチの加算機

1967年2月13日米国人研究者がマドリッドのスペイン国立図書館で偶然2枚の古文書を発見した。これが今日“Codex Madrid”（マドリッドの写本）として知られるレオナルド・ダ・ビンチ（Leonardo da Vinci 1452～1519）の原稿である。それまで未知だった計算機械と称するスケッチ（図2-1）が描かれ

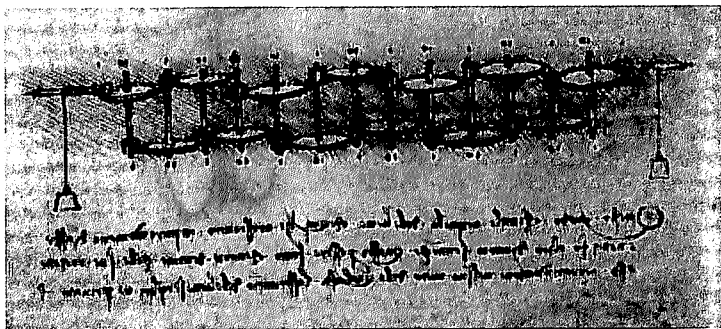


図2-1 レオナルド・ダ・ビンチの加算機的设计図

ていて、一時レオナルド・ダ・ビンチの発明した世界最初の計算機としてさわがれた。13個の歯車が連なって両端に錘がついているが、筆者が写本の写真を見る限り、これで計算ができるとはとても思えない。この写本の発見の翌年1968年に米国のIBM社がスポンサーになって、複製が作られたが、作成された当時から評判悪く、出来上がりはレオナルド・ダ・ビンチの設計図とはだいぶ違って、現在この複製がどこに保管されているかわからない。IBM社のどこかの倉庫で埃をかぶっていると言われている。したがって、現在、このレオナルド・ダ・ビンチの設計は最初の計算機とは言われていない。歯車そのものは紀元前からあり、これを計算に使うと最初に考えた人は誰であるかわかっていないが、あるいはレオナルド・ダ・ビンチであるかもしれない。

2-2 シッカートの計算機

1957年、あのケプラーの法則の天文学者ケプラー（Johannes Kepler 1571～1630）の遺品の中から未知のスケッチ（図2-2a）が発見された。その後の研究によりこれはシッカート（Wilhelm Schickard 1592～1635）が1623年に作った計算機械（英語でSchickard's Calculating Clockというが時計ではない）で

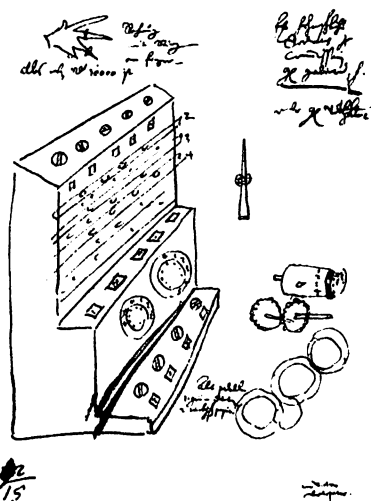


図2-2a ケプラーによるシッカートの計算機のスケッチ

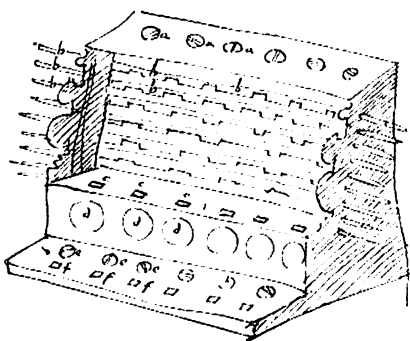


図2-2b シッカート自身によるシッカートの計算機のスケッチ



図 2-3 復元されたシッカートの計算機

量学も講じた。

シッカートの計算機では、掛算はいわゆるネピアの骨（図 1-1）を機械化したもので、6桁×1桁の計算ができたが、この掛算にはネピアの骨と同様、繰り上がりの機能はなかった。ネピアの骨は四角柱なので、一本で4面4数字しか使えなかったが、シッカートはこれを円柱にして10列の数値を配置して一本で1桁分10個の数字を担当させることができた。加減算の方は歯車を用いて、繰り上がり機構もあった。この機械は当時4台作られたが、いずれも30年戦争（1618～1648）の争乱で失われてしまって、原物は一つも残っていない。シッカートは当時大流行したペストにより42歳で死去。シッカートはケプラーと親交があり、ケプラーは実際のこのシッカートの計算機を使ってたくさんの計算をしたと言われている。1973年、ドイツはシッカートの計算機の完成350周年を記念して記念祭を行ない、記念切手を発行した。

2-3 パスカリーヌ

算木やそろばんではなく、いわゆる機械といえるような、すなわち、歯車を使って計算する機械はパスカル（Blaise Pascal 1623～1662）のパスカリーヌ（1642、図 2-4）が最初と言われてきて、多くの計算機の歴史の本にはそう書いてある。しかし、パスカリーヌができたのはシッカートの計算機に遅れること19年あとである。パスカルが18歳のとき、税務官吏であった父親の計算を助けるために作ったと言われている。これは本来加算専用で、一応減算もでき

あることが判明し、やがてシッカート自身によるスケッチ（図 2-2b）も発見され、1960年にはその複製（図 2-3）も作製された。現在その複製はドイツのあちこちの博物館で見ることができる。シッカートの本職はチュービンゲン大学（現南部ドイツ）のヘブライ語の教授であったが、極めて博学多識で、天文学、数学、測

ることになっているが、減算は補数を加えることによって行なった。要するに加算しかできず、乗算、除算のことは考えられていなかった。

パスカルはパスカリーヌを50台も作ったようで、6桁用と8桁用があり、当然後に作ったものほど機能は進歩している。

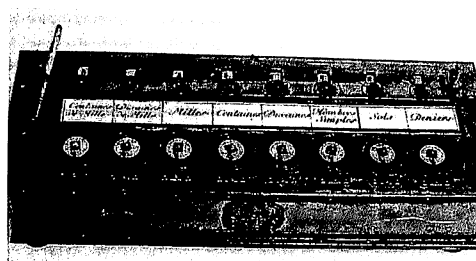


図 2-4 8桁のパスカリーヌ、Sols, Denierなどと読める

当時のフランスの通貨は、1リーブルが20ソル、1ソルが12ドゥニエで、10進数、20進数、12進数の混用であった。パスカリーヌの図2-3を見るとSols, Deniersなどと読めるのでこの部分では20進数、12進数の加算ができたようだ。

2-4 ライプニッツの計算機

加減乗除がちゃんとできた最初の機械はライプニッツ (Gottfried Wilhelm Von Leibniz 1646~1716) の計算機である。これは、たとえば、5桁×12桁の16桁の積が計算できた。1879年、ゲッティンゲン大学(中部ドイツにある)の屋根裏部屋の水漏れを修理していた職人がこの機械を発見した。現在1台はドイツのハノーファー市の市立博物館に、もう一台はミュンヘン市のドイツ博物館にある。

その後、続々計算機械は作製され、改良されて、計算機械と言うよりはむしろ芸術作品と言った方が良さそうな美しいものができている。

3 階差機関と解析機関

3-1 数表の危機

19世紀に入って、遠洋航海のための精密な天体観測用の数表、あるいは数学の対数表、三角関数表などが数多く作られ出版されたが、いずれも極めて間違いが多かった。したがって、大部な正誤表が発行され、さらにその正誤表の正誤表が出るといったありさまであった。数表の間違いは未知の暗礁と同じであ

と言われ、事実数表の間違いで船が難破したこともあったという。数表の危機（Table crisis）と言われた。その間違いの原因はいろいろあり、そもそもの計算ミス、印刷にまわるまでの書き写しの間違い、印刷にまつわるいわゆる誤植などである。

3－2 第一階差機関

英国のバベッジ（Charles Babbage 1791～1871、図3－1）は、この数表の危機を解消すべく、計算から印刷まですべて機械で行ない、途中に人間のミスの入り込む余地のない機械を作ろうと考えた。印刷といっても、当時はコピーの手段がなかったので、機械から1枚プリントしただけでは、数表として大量に出版することはできない。そこで、計算結果を紙1枚にプリントするのではなく、直接活字の字母を作り出したり、紙型を作り出すことにした。それが階差機関（Diffrence Engine）である。その後、第二階差機関が設計されたので、区別するためにこれを第一階差機関と呼ぶ。

一般に n 次式は n 回階差をとるとその階差は定数になる。今、3次式、

$$y = 2x^3 + x^2 + 7x + 9$$

の値を順次求めようというとき、それぞれ第3階差までとってみる。

x	y	第1階差	第2階差	第3階差
1	19			
		24		
2	43		26	
		50		12
3	93		38	
		88		12
4	181		50	
		138		12
5	319		62	
		200		12
6	519		74	
		274		12
7	793		86	
		360		12
8	1153		98	
		458		
9	1611			

第3階差までとると、すべて12となり一定である。この階差を順に加えていけば n 次式の値を乗算を使わずに加算だけでできることになる。第一階差機関は10進数で20桁、第7階差まで計算できるよう設計されていた。部品の数約25,000個、高さ2.4m、長さ2.1m、幅0.9m、重さは数トンになる予定であった。しかし、約10年の歳月と17,000ポンドを越える巨費をつぎ込んだが完成させることはできず、1833年12,000個の部品ができたところで開発は断念され、その後、ほんの一部を除いて部品は溶かされてしまった。

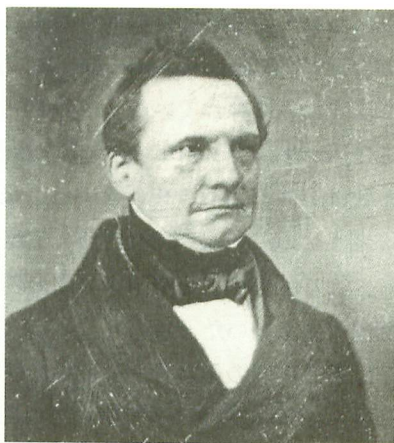


図3-1 チャールス・バベッジ
(1719~1871)

3-3 階差機関の7分の1のモデル

1832年、第一階差機関の開発断念の直前、演算部分のみの7分の1のモデル(図3-2)が作られた。約2,000個の部品からなり、6桁で第2階差まで計算できた。大きさは72×59×61cmで、印刷機構はなく、上部のハンドルを手で回して計算するもので、これは完璧に作動し、この時代の精密機械工作の代表的なサンプルとなった。この複製は世界のあちこちで作られ、日本にも上野の国立科学博物館にある。

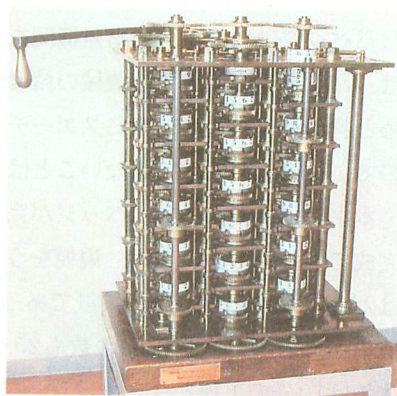


図3-2 階差機関の7分の1モデル、複製

3-4 シュウツ親子の階差機関

1834年スエーデンの印刷業者のシュウツ (Georg Scheutz) は階差機関の論文を読み、これを作製することを思い立ち、息子 (Edvard Scheutz) とともに20年かけて完成させた。バベッジの本来の設計とは細部でいろいろ異なるところ

はあったものの、印刷機構を備えたまぎれもない階差機関であった。部品の数4,320個、10進15桁で第4階差まで計算でき、結果の数値は8桁ずつ字母を打ち出すようになっていた。1時間に120行分の数値が出力できたという。大きさは52×187×45cm。シュウツ親子はこの階差機関を3台作製した。最初の1台はテスト用で、後の2台は、米国の天文台と英国の登記所に売却された。後者は1,200ポンドで売れたが、実際の経費よりも615ポンドも安かった。1864年にはこれで作った英国人の生命表が出版された。しかし、シュウツの階差機関は一応は動いたとはいえ、トラブルの連続であったと言われる。シュウツ親子は階差機関の作製者としての榮譽は得たが、その後破産した。

さらに、1859年に英国国内でもこれと同じものが作製され、土木用の数表作成などに実際に利用されて、階差機関の有用性は証明された。

3-5 未完の理由

バベッジは何故、第一階差機関を完成させることができなかったか。かつては、バベッジの要求する機械の精度が当時の工作技術では達成できなかったためと言われてきたが、現にスエーデンのシュウツ親子が階差機関を作っているのです。技術上の問題ではないことはあきらかである。

本来の設計者であるバベッジが完成できなかった階差機関をシュウツ親子が完成できたのは、一つは、規模をうんと小さくしたこと、本来の第一階差機関は20桁で第7階差までの設計であったものを、15桁で第4階差までとし、印刷機構も小さくした。部品の数も25,000個から4,320個と5分の1以下にして、体積は10分の1程となった。バベッジは数学者で完璧主義者であったのに対し、シュウツは技術者で現実主義者だったので精度云々よりはとにかく動くものを目指し、バベッジの設計とは異なる機構の採用に躊躇しなかったことがあげられる。

バベッジが第一階差機関を完成できなかった最大の原因は技術者クレメントとの確執であろう。作製を担当したクレメントは当時第1級の精密機械の技術者であり、彼が要求した金額は膨大なものであった。英国政府は17,470ポンドも拠出し、裕福だったバベッジはかなりの私財を注ぎ込んだがそれでも不足し、クレメントは不満であった。この金額がいかに巨額であるか、当時英国から米

国に輸出された蒸気機関車は784ポンド7シリングであったことをみてもわかる。

また、度重なる設計変更にクレメントが嫌気をさしたとも言われている。しかし、新しいものを作ろうというときに時間がたてばたつほど別のアイデアが出てきて、古いものを直したくなるのはごく当然のことである。何しろ十年以上もとりかかっていたのだから。

さらに、計算手順をプログラムで決めるという着想を得て、解析機関の設計に専念するために第一階差機関の開発を断念したとも言われている。

しかし、完成できなかった原因を、いまだに当時の工作技術がバベッジの要求を満たすことができなかったためとしている著書は多い。やはり最大の原因は資金不足とクレメントとの確執である。

3-6 第二階差機関

バベッジは第一階差機関の作製を断念後、解析機関の設計に没頭していたが、この途中、1847年から1849年にかけてはそれを中断し、**第二階差機関**を設計した。これは、第一階差機関の性能を落とさずに、むしろ性能は強化したが、構成をずっとスリムにし、部品点数を大幅に減らしたものである。しかしながら、第二階差機関は設計図だけで作製にとりかかることはなかった。

1985年、バベッジの生誕200年記念行事に間に合わせるために、英国の科学博物館がこの第二階差機関(図3-3)の建設にとりかかり、約750,000ポンドと6年の時間をかけてちょうど生誕200年目の1991年に完成させた。そのときは、予算の関係で印刷機構は省かれていたが、今では、印刷機構も備わって、8,000

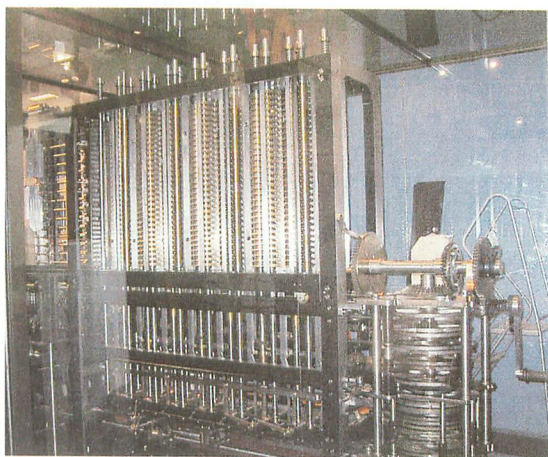


図3-3 英国国立科学博物館が作った第二階差機関

個の真鍮、鋳鉄と鋼の部品、長さ3.4m、高さ2.1m、幅0.5m、重さは約5トンの大きな計算機ができ上がった。数値は数字歯車を手で回転させてセットし、クランクハンドルを回して計算する。31桁で第7階差まで計算できる、第一階差機関は20桁で第7階差までであった。この第二階差機関の作製にあたり、20世紀の最新の工作機械技術は使わずに、あえて19世紀の技術のみを使い、バベッジが作製を断念したのが技術的理由でないことを証明した。この20世紀の第二階差機関は、現在ロンドンの国立科学博物館のバベッジコーナーに展示してある。

3-7 解析機関

19世紀になって、歯車を使って計算する機械はたくさんできたが、いずれも、数値の入力も加減算の操作も順番に人間が自分の手を使って行なうものであった。バベッジはその操作を自動的に行なうアイデアを得て計算機械に取り入れた。それが、バベッジをコンピュータの父と言わしめた**解析機関**（Analytical Engine）である。1834年からその開発に取りかかり、死ぬまで続けた。

解析機関は高さ4.6m、長さ6.1m、幅1.8mの大きさで、重量は数トン、小型の蒸気機関車ほどの巨大なものになる筈であった。前の二つの階差機関は両方とも人間が手でハンドルを回転する設計だったが、解析機関は蒸気機関で動かす予定であった。10進50桁を1,000個記憶させるストア（記憶装置）とミル（演算装置）は分離されており、計算の手順、すなわちプログラムは穴をあけたカードで供給する。バベッジはこのプログラムをカードで供給するというアイデアをジャカード（1752～1834）の自動織機から得たと言われている。

バベッジは解析機関の設計におおむね30年の月日を費やしたが、実際にこの完全モデルの建設にとりかかることはなかった。晩年、その小型の簡易型解析機関の建設を始めたが、途中で死去した。

バベッジの息子ヘンリー・バベッジはこの小型版の解析機関のミルの部分を作り上げ、1880年代から1910年にかけて間欠的に作動させた。1910年には円周率 π の22倍の値を28桁まで計算して印刷させた。ただ、後に間違いが見つかったので、この機械が十分な信頼性をもって作動したか疑問視されている。解析機関の実物を作る計画は今のところない。

3-8 エイダ

エイダ (Aida Augusta, Countess Lovelace 1815~1852) は詩人バイロン卿の唯一の嫡出子として生れた。バイロンは、与謝野鉄幹が「あわれダンテの奇才なく、バイロン、ハイネの熱なきも……」と「人を恋ふる歌」の中で歌い上げたイギリスロマン派の代表的詩人のあのバイロン (George Gordon, Lord Byron 1788~1824) である。エイダの両親の結婚生活はわずか11ヶ月で破綻した。その間、エイダが生れたが、生後5週間足らずでバイロンはイギリスを出て、ヨーロッパ大陸を遍歴し、ギリシア独立戦争に加わり、マラリアにかかり客死した。エイダは二度と父親の顔を見ることはなかった。

エイダは、バイロンから「平行四辺形の女王」「数学の魔女」と呼ばれたくらい数学が得意だった母親およびド・モルガンの法則で有名な数学者ド・モルガン (Augustus De Morgan 1806~1871) など多数の家庭教師から英才教育を受け、とくに数学と天文学に才能を発揮した。

17歳の時に階差機関を作成中のバベッジと出会い、計算する機械に大いなる関心をいだいた。19歳のときウィリアム・キング卿と結婚し、レディ・キングとなったが、キング卿が間もなくラブレス伯の爵位を継いだので、エイダはその後ラブレス伯爵夫人と呼ばれるようになる。

ラブレス夫人エイダはバベッジの階差機関のみならず、その後の解析機関の構想についてもよく理解し、解析機関設計のよき協力者となった。

現在彼女は、最初のプログラマと呼ばれている。しかし、最初のプログラマというには異論もある。何しろ、当時プログラムという用語は使われていなかったし、それを実行すべき解析機関はまだ設計図の段階で製作にもとりかかっていなかったのだから。いわゆるプログラムを書いて、デバッグするという今のプログラマの作業はしなかったことは確かである。しかし、バベッジとともに、解析機関の設計の段階で、設計をチェックするためのプログラムはいろいろ作成したであろうことは想像される。

彼女の最大の功績は、バベッジがイタリアのトリノで行なった講演記録の翻訳である。これはメナブレアの講演録といってフランス語で書いてあり、エイダがこれを英語に翻訳するとともに膨大な注をつけた。翻訳が完成した時には本文よりも注の方が長くなった。この注が後世解析機関を良く理解させるため

に多大の貢献をした。

エイダの晩年は誠に悲惨なもので、競馬や博打で莫大な借金を作り、アヘン中毒になり、子宮癌で苦しみながら亡くなった。まだ36歳であった。

1980年、米国国防総省が開発したプログラミング言語ADAは無論このラブレス伯爵夫人の名をとったものであることは言うまでもない。

人工知能の創始者として有名なアラン・チューリングは彼女のことを講演の中で紹介し、エイダの存在を一躍有名にした。

3-9 バベッジの先見性

解析機関の設計は近代のコンピュータの構成に良く似ている。解析機関はメモリと計算ユニットを分離し、プログラマブルであり、穴明けカードからデータと命令を取り込み、結果は印刷し、カードにパンチし、グラフを書くことができる。また、計算は条件により別の処理が可能 (IF_THEN) であり、命令のグループを指定した回数だけ繰返し実行 (ループ) ができ、サブルーチンの機能があった。バベッジがコンピュータの父と言われる所以である。

バベッジはかくして、第一階差機関、第二階差機関、解析機関の三つの大きな計算機械を設計したが、いずれも完成させることはできなかった。第一階差機関は10年の歳月と巨額の資金を注ぎ込んだが挫折し、第二階差機関は設計だけで製作にとりかかることはなかった。解析機関も本格的な作製にとりかかることはなく、最晩年、小規模の簡易型モデルの作製を始めたが、未完のうちに没した。結局バベッジが完成させたのは、第一階差機関の7分の1のモデル (図3-2) だけである。

とはいえ、プログラムで計算手順を機械に指示するというバベッジの解析機関のアイデアが実現するのは、彼の死後70年以上も後の20世紀半ばになってからである。19世紀半ばに、バベッジが考え、エイダが惚れこんだ解析機関が当時としては如何に先進的なものであったかが知れよう。

(参考文献)

- 1) Friedrich Seck : Wilhelm Schickard 1592-1635, J. C. B Mohr (Paul Siebeck) 1978.
- 2) Wilfried Setzer : Wilhelm Schickards Tübinger Rechenmaschine von 1623, Kulturamt der Universitätsstadt Tübingen, 2002.
- 3) M. キャンベル・ケリー, W. アスプレイ, 山本菊男 訳 : コンピュータ200年史—情報マシン開発物語—, 海文堂出版, 1999.
- 4) 横山保 : コンピュータの歴史 先覚者達 : その光と影の軌跡, 中央経済社, 1995.
- 5) Francis Spufford, Jenny Uglow : Cultural Babbage Technology, Time and Invention, Faber and Farber, 1996.
- 6) Doron Swade : Charles Babbage and his Calculating Engines, The Science Museum London, 1991.
- 7) 赤木昭夫 : チャールズ・バベジ 1 階差機関と諸国民の富, チャールズ・バベジ 2 階差機関から解析機関へ, チャールズ・バベジ 3 協力者ラブレス夫人, bit, Vol. 2, No. 4, No. 5, No. 6, 共立出版, 1970.
- 8) Christian Eder, Werner Freihofner, Kahr Fröchl, Christa Nowshad : Charles Babbage Eine Geschichte aus der Geschichte des Computers, Museum Industrielle Arbeitswelt Austria, 1994.
- 9) 新戸雅章 : バベッジのコンピュータ, 筑摩書房, 1996.
- 10) Walter Ameling : Rechenschritte Sternstunden der Rechentechnik, Computer-Museum des Technischehochschule Aachen, 1992.