連載

世界をORする視線 (6)
第I部　通信・デジタル技術の発展
(3) コンピュータの発展：計算道具の時代

住田　潮

1.　コンピュータ発展の軌跡

ここまで，電信・電話網を中心に，アナログ通信の発展を見てきた．ここから，デジタル世界に視線を移し，しばらくの間，コンピュータ発展の軌跡を追うことにする．表 1 は，第 1 世代から第 4 世代コンピュータまでの特徴を，大きさ，論理回路，主記憶媒体，副記憶媒体，入出力媒体，ソフトウェア，処理速度の観点から纏めたものである．今後，これにコンピュータ前史を加え，何回かの連載を通して，第 4 世代コンピュータまでの変遷を俯瞰する．その後，ICT (Information and Communication Technology) の出発点となる，アナログ技術とデジタル技術の統合化からコンピュータ・ネットワークへと議論を展開させる予定である．

2.　コンピュータ史に関する参考図書

最初に，コンピュータ発展の歴史に関して本連載を執筆するに際し，参考とさせていただいた本を紹介しておく．執筆内容の多くはこれらの書物に依拠しているが，煩雑さを避けるため，今後は，その都度，特に断らないこととする．

表 1　コンピュータ発展の奇跡（第 1 世代〜第 4 世代）

方法	第1世代（1946－57）	第2世代（1958－63）	第3世代（1964－69）	第4世代（1970－79）
大きさ	・部屋サイズ	・箪笥サイズ	・机サイズ	・チップ、本サイズ
論理回路	・真空管	・トランジスタ	・Integrated Circuit	・Very Large-Scale Integrated Circuit
主記憶媒体	・磁気ドラム	・磁気コア	・磁気コア	・LSI、VLSI
副記憶媒体	・磁気ドラム ・磁気テープ	・磁気テープ ・磁気ディスク	・磁気ディスク ・磁気テープ	・磁気ディスク ・フラッシュ・メモリー ・光ディスク ・USB
入出力媒体	・紙テープ ・パンチカード ・印刷	・パンチカード ・印刷	・テープやディスクへキーから打込み ・印刷、ビデオ表示	・キーボード ・光読み取り ・印刷 ・マルチメディア出力
ソフトウェア	・機械言語	・低水準シンボル言語	・高水準シンボル言語 ・Operating System	・高水準シンボル言語 ・DBMS ・LAN, WAN ・インターネット
処理速度	・ミリ秒（1000分の1秒）	・マイクロ秒（100万分の1秒）	・ナノ秒（10億分の1秒）	・ピコ秒（1兆分の1秒）

コンピュータ史に関する歴史的名著として第一に挙げられるべきは，ハーマン・ゴールドスタイン (Herman Goldstine) の書 [1] であろう．「パスカルからノイマンまで」との副題からもわかるように，コンピュータの起源から 1950 年代半ば，第 2 世代コンピュータまでの歴史を丁寧に辿っている．著者は，アメリカのコンピュータ開発の黎明期に重要な貢献を成した数学者の 1 人であり，当時の資料やエピソードを交えて書かれている点で，臨場感溢れる面白さがある．また，冒頭に，初期コンピュータとその開発に貢献した研究者の貴重な写真が掲げられている点も興味深い．訳本は，1979 年に初版が発行され，1980 年までに第 3 刷を数えたが，その後，長らく絶版となっていた．2016 年に復刻版が刊行されたので，現在は求め易くなっている．

世界最初（？）のコンピュータといわれる ENIAC の開発秘話に関しては，スコット・マッカートニー (Scott McCartney) の書 [2] に詳しい（ENIAC が本当に世界最初のコンピュータであったかどうかについては裁判での争いがあり，後述する）．この本の著者は Wall Street Journal の記者で，丁寧な調査に基づき，ENIAC の開発者であるジョン・ウィリアム・モークリー (John William Mauchly) とジョン・アダム・プレスパー・エッカート・ジュニア (John Adam Presper Eckert Jr.) の生い立ちから追跡を始め，数多くの関係者にインタビューを行ったうえで，ジョン・フォン・ノイマン (John von Neumann) との確執も含めて，生々しい人間ドラマとして ENIAC 開発の物語を描き上げている．

邦書では，坂村の書 [3] に感銘を覚えた．コンピュータ史を概観するのに適した好著で，誰でも読める平明さで書かれていながら，その内容は深い．ハイゼンベルグの不確定性原理に言及しつつ集積回路の微細化が

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

限界に近づいていることを指摘し，オープンシステム化することの重要性やAIの可能性と限界に関する明快な線引きを提示するなど，多くの学ぶべき示唆を含んでいる．

言うまでもなく，この本の著者はTRON (The Realtime Operating System Nucleus) Projectの創始者として有名で，コンピュータ科学の分野で日本が世界に誇る知の巨人である．パソコン，携帯電話から家電製品に組み込まれたマイクロ・プロセッサーまで，小型で比較的廉価かつ多様なコンピュータがインターネットに接続されて出現する社会システム概念を，最初に "Ubiquitous Computing" という言葉を用いて提示したのは，当時，Xerox社パロアルト (Palo Alto) 研究所の主任研究員であったマーク・ワイザー (Mark Weiser) で，1988年頃のことである [4]．しかし，坂村はこれに先立つこと数年，1984年に，"Ubiquitous Computing" と同様の内容をもつ「どこでもコンピュータ」という近未来社会を構想し，当時の東京大学坂村研究室でTRON Projectを立ち上げている．

TRONは「どこでもコンピュータ」環境をサポートするためのOS (Operating System) であり，さまざまな機器に組み込まれたマイクロ・コンピュータ向けのITRON，パソコンなどそれより大きなサイズのコンピュータ向けのBTRON，そしてそれを統合するシステムとしてのMTRONの3層で構成されている．日常生活のあらゆる部分に入り込むマイクロ・コンピュータを個別的に管理するのではなく，標準によって円滑に機能させるという大構想に基づいて未来を描いたものであり，時間的にWindowsに先行し，概念的な内容では，それを遙かに凌駕していた．TRONについては，この本の中でも極めて控えめに触れられているが，本連載の筆者の見るところでは，日本は誤った政治判断により，TRONを活かした世界のコンピュータ産業を領導する千載一遇の機会を逸したのであり，本来であれば，マイクロソフトとインテルを両輪とする現在のコンピュータ産業界の勢力地図は，全く異なる様相を呈していたであろうと思われる．この点については，本連載の中で，稿を改めて論じたいと思う．

抜群に面白いもう一冊の邦書は，東京理科大学が中高生の理科離れ対策として出版している「坊っちゃん科学シリーズ」の第2巻，竹内の書 [5] である．東京理科大学は，東京の飯田橋キャンパス内に近代科学資料館をもっており，古代から現代まで，計算機に関わる多くの資料が展示されている．そこで得られる貴重な写真をふんだんに用いていることがこの本の大きな魅力であり，中高生にも理解できる丁寧さで，そろばんからコンピュータ・ゲームまで，実物を写真で例示しながらコンピュータの歴史を概説している．近代科学資料館は入館無料であるので，是非とも足を運ばれることをお薦めする．

最近になって出版された小田の書 [6] も，40年以上もの間，日本のソフトウェア産業に携わった著者の独自の視点に基づいて書かれており，現在も発展途上にあるコンピュータ開発の軌跡を，多様な角度から眺めさせてくれる力作である．1983年にオーム社から出版された同著者の「コンピュータ史」を全面的に改訂したもので，古代社会の計算道具から量子コンピュータまで，該博な知識と経験に裏打ちされた内容から学ぶことは多い．

3. モノを数えるということ

色や音を識別できること，言語を駆使できることなど，人間は人種を越えて共通するさまざまな基本能力を有している．そうした能力の中で『モノを数える』という能力は，コンピュータ発展の原点となる意味で，特に重要である．鉛筆が3本とノートが2冊あり，1人に一つずつ，どちらかを割り当てるとすると，5人に配ることができる．人間のこうした共通理解を疑う人はいないと思われるが，この事実の裏には，3段階の構造をもつ人間の普遍的能力が潜んでいる．

- 鉛筆，ノートや人間をモノとして識別する能力
- 1本の鉛筆を認識し，1本ずつ増やして，3本の鉛筆全体を一つの集合として把握する能力
- 把握された鉛筆やノートや人間の集合に対し，内容の違いを無視し，個数として把握する能力

人間は，こうした自分の『モノを数える』能力を他者も共有していることを無意識のうちに前提としており，それが前述した共通理解の根底を成していると思える．

人間の『モノを数える』能力を一般化して書いて見ると，次のようになる．

① 対象となるモノの存在を認識できること
② 対象となるモノのを一つずつ増やすことを有限回繰り返し，その結果，増やしたモノ全体を集合として捉えることができること
③ 認識した集合の構成要素の違いを無視し，抽象化して個数として把握できること

最初の二つは，人間が『自然数』を理解できることを意味し，三つめはモノの有限集合を自然数の有限集合に1対1に対応させ，その結果を個数として把握する能力をもつことを示している．

数学とは，厳密かつ省エネの学問といえる．集合，写像，演算，作用素，定義などで構成される必要最小限度の規則を証明抜きで公理系として受け入れ，公理を駆使して新たな命題を定理として導出する．必要最小限の公理から出発し，可能な限り豊かな定理群を導くことが，数学的な美しさの本質である．

自然数を公理的に議論することに初めて取り組んだのは，ドイツの数学者ジュリアス・ウィルヘルム・リチャード・デーデキント (Julius Wilhelm Richard Dedekind) で，1888 年に「数について」 [7] という論文を発表した．3 年後に，デーデキントの友人でもあったイタリアの数学者ジュゼッペ・ペアノ (Giuseppe Peano) が「数の概念について」 [8] を発表し，現在，ペアノの公理系として知られる独自の自然数の公理化を確立した．公理的厳密さを要求するすべての現代数学理論は，この自然数の公理系のうえに築かれていると言っても過言ではない．

ペアノの公理系を，モノと自然数との 1 対 1 対応関係を通して，わかり易く表記して見よう．

〈0 と自然数の公理〉

① $\phi \leftrightarrow 0$

② $\{\phi\} \leftrightarrow 1$

③ $\{\phi, \{\phi\}\} \leftrightarrow 2$

④ $\cdots$

⑤ n に対応する段階までに出現したすべての要素を「,」で繋ぎ，最後にその全体を { } で囲む $\leftrightarrow n+1$

まず，ϕ を 0 と定義する．次いで，ϕ を { } で囲んだものを 1 と定義する．さらに，両者を「,」で繋ぎ，結果を { } で囲んだものを 2 と定義する．以降，同様の手続きを有限回繰り返すことで，順次，n が生成されることを記述している．こうして構成される数の集合を自然数の集合と定義する．

①〜⑤による公理の記述は，操作を有限回繰り返しても到達できない無限大 (∞) をどう扱うかという点を無視している点で不完全である．ペアノの公理系では，写像概念を用いてこの穴を埋めているが，上記の記述も人間が数を数えることができるという事実を表現できているので，差しあたり，コンピュータ発展の原点を考えるうえでは十分である．

もちろん，人間は，生活の場で数学的厳密さを問題とすることはない．経済活動を展開し，生活をより豊かにするため，公理系などにはお構いなく『モノを数える』能力を発展させ，加減乗除，方程式，三角関数，対数，微分，積分と数学を発展させていった．その成果を工学技術的に活かすためには，数値を記憶させ，また計算法を開発することが必須であり，この現実的な要求こそが，コンピュータの発展へと繋がる原動力となった．

4. 計数・商取引の記録

現在でも『指折り数える』という表現が残っていることに象徴されるように，人間のモノを数えるという行為が，10 本の指に対応させて行われていたことは確かであると思われる．しかし，直接的に指と対応させて数えているのでは，手足の指を合わせても 20 以上の数を取り扱うことはできない．

記憶に頼ることなく，大きな数を道具によって記録させる試みは，遠く紀元前にまで遡る．既に旧石器時代に，動物の骨や象牙などに曲線状の刻み目を入れて数や量を記録した「ターリー・スティック (tally stick)」と呼ばれる道具が存在したことが知られている．1960 年，アフリカ大陸の中央部にあるエドワード湖のほとりで発見された「イシャンゴの骨」が特に有名で，長さ約 10 cm のヒヒの腓骨に刻まれており，およそ 2 万年前のものと推定されている．

単に計数を記憶させるという時代から，道具を用いて商取引を記録するという時代に到達するまでには，2〜3 万年を要した．現在のパレスチナ自治区のヨルダン川西岸近くに，ジェリコという古代都市が存在したが，そこでは紀元前 7500 年頃，物々交換の商取引にトークン (token) と呼ばれる粘土玉と，それを粘土で包み込むエンベロープ (envelope) と呼ばれる道具が用いられたことが記録に残されている．小麦や大麦などの農産物の量や，羊や山羊などの家畜の頭数をトークンで表し，それをエンベロープに包んで保持することで，商取引の当事者間の覚書として代用したのである．その後，紀元前 5000〜4000 年頃，現在のイラク・クウェートに位置するメソポタミアのシュメールの都市で，帳簿係が粘土の板に棒の先で印を付けて物品の数量を記録し，固く乾燥させて保存していたことが知られている．

5. 計算道具の時代（そろばん）

商取引の内容を記録するという水準から，道具を用いて計算そのものを簡便化するまでには，さらに 1000 年を超える年月の経過を待たなくてはならなかった．商取引が活発化するにつれて大きな数を扱う必要が生じ，手の指が 10 本であることから，まず，10 を基本要素とす

る 10 進法が編み出されたと思われる．紀元前 3000 年以降のこととされ，インダス文明では 10 進法と 2 進法が，メソポタミア文明では 10 進法と 60 進法が採用された [9].

インダス文明の遺跡であるロータルから出土された天秤の重りは 10 進法に基づいており，物差にあたる道具も発見されている．シュメール人は，紀元前 2700〜2300 年頃，シュメール・アバカスという計算道具を用いて，60 進法に基づく天文計算を行っていたことが判明している．60 進法を用いたのは，60 の約数が 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30 と多く，除算を行うのに便利であったからといわれている．アバカス (abacus) はギリシア語を語源とするラテン語で，「文字，幾何形状，計算などを記すための砂のテーブル」を意味し，その後，さまざまなそろばんの名称として使われるようになった.

紀元前 1830 年頃，アムル人によりバビロン第 1 王朝が建国され，シュメール人は歴史の舞台から姿を消す．そのバビロン王朝が最も栄えたのは，紀元前 1750 年頃，「目には目を，歯には歯を（タリオの法)」の条文を含むハンムラビ法典を発布したことで有名な第 6 代ハンムラビ王の時代である．当時，地面に線を引き，そこに小石などを置いて加減算を行う「砂そろばん」と呼ばれる世界最初期の計算道具が用いられていたことが知られている．シュメール人の 60 進法体系を受け継いだバビロニア人は，学問的テキストは 60 進法の数体系で記述していたが，日常生活は 10 進法の数体系を用いていたといわれ，「砂そろばん」も 10 進法に基づく加減算を行うものであったと推測される.

紀元前 300 年頃になると，エジプト，ギリシア，ローマなどで「線そろばん」と呼ばれる道具が使われるようになった．大理石や木の計算盤に平行線を引き，小石や動物の骨でできた玉を置いて計算する道具である．因みに，計算盤上で用いられた小石はカルクリ（cluculus の複数形）と呼ばれ，「計算する」という意味をもつ calculation の語源となった．「線そろばん」の中でも特に有名なのが，1846 年，ギリシアのサラミス島で発見されたもので，縦 150cm，横 75cm，厚さ 4.5 cm の大きさであった.

今日，大きな数を数字で表す際に 3 桁ごとにコンマで区切って表現する方法は，線そろばんの計算に起源があると言われている．その後，西欧では，thousand（千），million（百万），billion（10 億），trillion（兆）など，1,000 倍ごとに数の単位が付けられた．中国では，一，十，百，千，万と 10 倍刻みで数を表現し，それ以降は 1 万倍を新たな単位として億，兆，京と続き，この数の呼び名が日本に伝わった.

紀元前 100 年頃になると，ローマでは「溝そろばん」と呼ばれる道具が使われるようになった．青銅の盤面に溝を掘り，その溝の中に玉をはめ込んだもので，この玉を溝に沿って上下に滑らせながら計算を行う仕組になっている．形式的には中国から日本に伝えられたそろばんによく似ているので，このローマの「溝そろばん」がシルクロードを通り中国に伝えられたとする説も，充分に説得力をもつ．一方，ロシアのそろばんは，10 個の玉を右から左へと横に動かし，上方に位が上がっていく方式なので，ローマの「溝そろばん」に起源をもつのかは定かではない.

日本になじみのあるそろばんは，中国で発展したものである．2 世紀頃の中国の文献『数術記遺』に珠算という言葉が見られるので，その頃，既に中国式そろばんは存在したと思われるが，広く普及したのは，13 世紀半ばから 14 世紀半ばに掛けての元の時代といわれている．板で隔てる形で，上方（天）に 5 を表す 5 玉を二つ，下方（地）に 1 を表す 1 玉を五つ配置し，上下に滑らかに動くように同一軸を通す．この上下の組が横 1 列に並べられ，右から左へ桁が上がっていくのが中国式そろばんである．初期には棗の実が用いられたりしたが，ドーナッツ状に木を削り出した玉が一般的に使われるようになった．また，天 3 地 4 の 20 進法計算用のそろばん，占い用の円型そろばん，贅沢品としての翡翠のそろばんなど，多くのバリエーションが生み出されている.

16 世紀に中国で書かれ，15 世紀末の日本の状況を記した『日本風土記』にそろばんの記述があることから，中国から日本にそろばんが伝えられたのは室町時代末期と思われる．明治以前には，日本でも天 2 地 5 の中国式そろばんが使われていたが，明治に入ると天 1 地 5 のそろばんが普及し，昭和 10 年，文部省の教科書改訂で定められた「算術教育の大綱」でそろばんが小学校で必修となったのを契機に，教育用そろばんが天 1 地 4 の型に統一され，最も計算効率の高い現在の形が定着した．もう一つ，日本のそろばんで特筆すべきことは，中国のそろばんの玉が団子型であるのに比べ，玉を菱形に揃えたことである．これにより，指で弾くスピードが格段に早くなり，そろばんを用いた高速計算が可能となった．外国文化を取り入れ，高性能・高品質なものへと高めることに長けた日本人の開発能力は，ここにも発揮されている.

6. 計算道具の時代（算木）

中国には，紀元前 1100 年頃から，そろばんとは別に算木を用いる計算法が存在し，その後の発達を経て，分数の加減乗除，円周率や円の面積の計算，多面体や球の体積の計算，平方根・立方根の計算，連立 1 次方程式の解，高次方程式の近似解など，かなり高度な計算に用いられるようになった [10]．算木による計算法は日本には古墳時代に伝来したといわれ，既にそろばんが一般庶民の間に普及していた江戸時代には，主として数学者たちの間で日本数学（和算）を行うのに盛んに使われた．計算は布に格子を描いた「算盤」と呼ばれる補助道具の上に，マッチ棒くらいの長さの竹や木でできた算木を並べて行われた．算木には，正の数を表す赤と負の数を表す黒との 2 種類があった．以下，文献 [5] から，簡単な計算法を紹介する．

まず，図 1 に算盤図を示す．横に並ぶ列が数字の位を表し，商，実，法，廉の 4 行を縦に置く．図 2 には，算木の 2 種類の置き方を示してある．奇数の桁と偶数の桁で並べ方を変えるのは，隣同士の桁の算木を混同しないようにするためと思われる．1～5 では縦横と並べ方を変えているが，6～9 では算木を立てて並べ，横棒を上側に置くか下側に置くかで区別している．

図 3 に，563 + 48 = 611 の計算例を示す．最初の表では，足される数 563 を商の行に，足す数 48 を法の行に算木で表し，第 1 に行われる一桁目の足し算 3+8 に対応するセルを色付きで示している．第 2 の表では，商の行から 3 を，法の行から 8 を外し，その和 11 を実の行に置き，次の足し算となる十の桁を色付きで示している．第 3 の表では，商の行から 60 を，法の行から 40 を外し，その和である 40 + 60 = 100 を実の行に加え，最後の和算になる商の行と実の行を色付きで示している．その最後の和算の結果を実の行で表したのが，第 4 の表である．

十万	万	千	百	十	一	
						商
						実
						法
						廉

図 1　算盤図

図 2　算木の置き方

乗法除法，さらに高度な計算になると算木の動かし方は複雑さを増すが，桁の間の計算の順番を別にすれば，原則として，筆算の原理をそのまま算木の動きで表す方式となっている．

7. 計算道具の時代（ネイピアの骨）

1550 年，スコットランドの首都エディンバラに生まれたジョン・ネイピア (John Napier) は，天文学で必要とされる膨大な計算を簡単に行えるようにするため，掛け算を足し算に，割り算を引き算に変換することに腐心した数学者である [11]．正の実数 x に対して，$x = 10^7\left(1 - 10^{-7}\right)^p$ を満たす実数 p がただ一つ定まることに着目し，x の掛け算や割り算を p の足し算や引き算に変換することを考えたのである．底が $\left(1 - 10^{-7}\right)$ に固定されている点で現代的な対数とは異なるが，この p はネイピアの対数 (Napierian Logarithm) と呼ばれる．1594 年にこの対数の概念を着想し，20 年間計算を続けて 7 桁の数の対数表を作成，1614 年に発表した．この過程で，小数点の記法も発案している．このネイピアの業績に対し，天文学者であり数学者でもあったピエール・サイモン・ラプラ

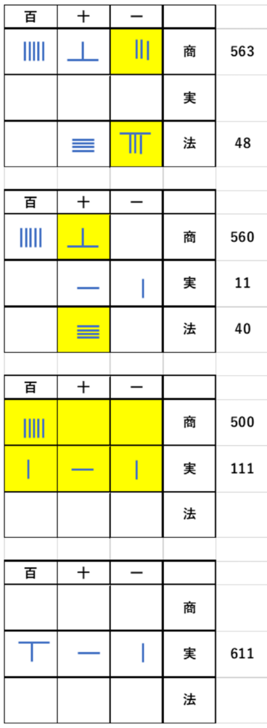

図 3　563 + 48 = 611 の計算例

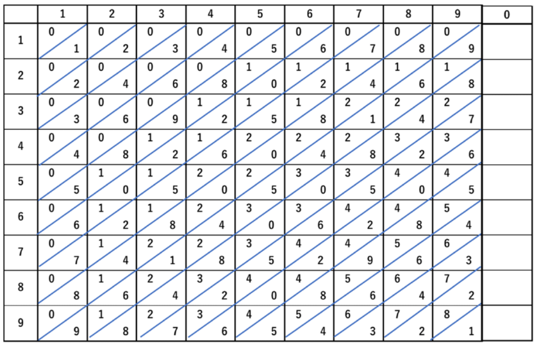

図 4　ネイピアの棒

ス (Pierre-Simon Laplace) は，「対数は天文学者の寿命を 2 倍にした」と賞賛したと伝えられている．

乗除算を加減算に変換する，という同じ発想に基づき，ネイピアは 1617 年，今日，ネイピアの骨 (Napier's Bones) として知られる計算法を発表した [12]．ネイピア自身はこの方法を，ギリシア語の「棒」を意味する "rabdos" と「言葉」を意味する "logos" とを組み合わせ，ラブドロジー (Rabdology) と呼んだが，当初，棒に動物の骨を用いたので，現在の呼称が定着したものと思われる．以下，文献 [12] より，その算法を簡単に紹介する．

図 4 に，ネイピアの棒を示す．1〜9 までの棒のそれぞれに，上から下へ，1〜9 との掛け算の結果が記されている．各セルの斜線の上側が十の桁，下側が一の桁である．最後の 0 の棒では，すべてが 0 である事実がブランクで表されている．図 5 では，5,388×78 の計算結果が示されている．まず，図 4 から，掛けられる数 5,388 に対応するネイピアの棒を順番に並べる．その結果から，掛ける数 78 の一の桁である 8 に対応する行を抜き出し，矢印で示した方向に足し算を行う．10 以上になった場合は，①で示したように，上の位の足し算の結果に 1 を足し，5,388×8 =43,104 の結果を得る．同様に，7 の行を抜き出して左へ 1 桁分ずらして計算すると，5,388 × 70 = 377,160 となる．最後にこれら二つの数を足して，5,388×78 =420,264 が得られる．

除算，平方数，平方根，開平計算も行うことが可能で，膨大な数の計算を単純な 1 桁の足し算に分解して実行できるようにした点が，この計算法の利点である．

8.　計算道具の時代（計算尺）

本節は，興味深いネット記事 [13] を参考にして書かれている．

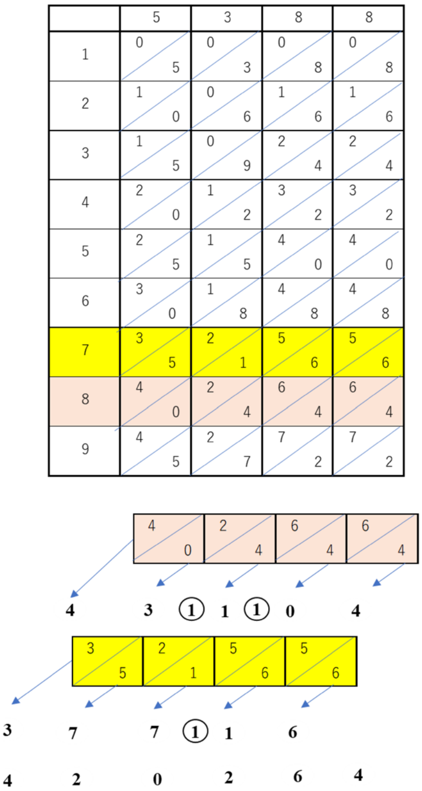

図 5　5,388 × 78 の計算結果

乗除算を加減算に変換するという発想に基づき，20 年の歳月を掛けて対数表を完成させたネイピアの業績を最初に道具化したのは，イギリスの天文学者エドマンド・ガンター (Edmund Gunter) で 1620 年のことであった．長さ 60 cm，幅 4 cm の長い板に，普通の数直線とそれに対する三角関数の値，対数値などを刻んだ対数尺を発明し，1623 年にそのアイデアを本に書いて出版した．以後，この対数尺はガンター尺と呼ばれるようになる．使い方は，$x \times y$ を計算する場合，コンパスを 2 本用意し，x と y それぞれの対数目盛を計り取り，その二つを合わせた長さを対数尺上で読み取ることで答えを求める方式であった．三角関数の目盛を使えば，同様にして $\sin x \times \sin y$ を計算することも可能であり，航海などで盛んに用いられた．

ガンター尺の考え方を活かし，コンパスを用いずに計算できる道具を最初に発案したのは，ガンターの友人で教会の僧でもあったイギリスの数学者ウィリアム・オートレッド (William Oughtred) である．まず，1630 年に円板形の計算尺を発明し，2 年後の 1632 年には，二つのガンター尺をスライドさせることで乗算が行える直線型計算尺を開発，近代的な計算尺の原型を完成させた．

しかし，1630 年，彼の教え子で数学教師をしていたリチャード・デラメイン (Richard Delamaine) が，オートレッドに断りもなく，先に「輪を使った計算 (Grammelogia)」という本を出版し，その中で，「二つの円板の円周上に対数間隔で目盛を刻むことで乗除算ができる」「この発明者はデラメインであり，他の者が許可なくこの計算尺を作ることを禁ずる」と書いた．オートレッドはこれに対し，「円を使った計算法 (Circles of Proportion)」という題名の本を出版して反論を試みたが，ラテン語で書いたので，別の教え子であるウィリアム・フォスター (William Forster) が英訳本を出版した．その中でフォスターは，デラメインの名指しを避けながらも「オートレッド先生のアイデアを勝手に発表した者がいる」と指摘した．これを受けてデラメインは自書の第二版以降の版で繰り返し反論を続け，オートレッドとの確執は泥沼化した．

なにか学術的に優れた発案があったとき，それを教え子などの仲間内で議論し，発表が数年後になることはよくあることであり，外部から真相を伺うことは極めて困難である．この計算尺を巡る功績争いも，当事者たちの存命中に決着がつくことはなく，現在では，発案自体はおそらくオートレッド，しかしデラメインを卑怯な盗作者と断定するだけの根拠もなく，もしかしたら発案になにかしら貢献していたのかもしれない，という解釈が一般的になっている．

スライドさせる滑尺が動いた後でも元の目盛りが読めるようにするべく，「カーソル」の導入を最初に考えたのはアイザック・ニュートン (Isaac Newton) で，1675 年，3 次方程式の解法を実演するに際し，3 本の滑尺と 1 本の固定尺からなる計算尺でカーソルを用いたといわれている．しかし，1775 年，近代的な計算尺にあるようなカーソルを完成させたのは，イギリスのポーツマス (Portsmouth) 大学教授であったジョン・ロバートソン (John Robertson) であった．

二つの直線形の固定尺の間に滑尺をはさみ，乗算，除算，二乗と平方根，逆数，ものによっては三角関数を容易に計算できるように目盛りを並べ，カーソルを読みたい目盛りに合わせて読むという近代的な形は，フランスの砲兵隊にいたアメデー・マネーム (Amde Mannheim) の考案によるもので，1850 年，彼はまだ 19 歳であったといわれている．当初，この計算尺は広まらなかったが，1859 年，イタリア人のクェンティーノ・セラ (Quentino Sella) がマネーム計算尺の解説を本にし，さらにこの著作のフランス語訳が出版されるに及んで，ヨーロッパで広く普及するようになった．

日本には，欧米視察に一緒に行っていた内務省の土木課長近藤虎五郎と工学博士の広田理太郎が，1894 年にマネーム計算尺をもち帰ったとされている．文明開化の真っ只中にあった日本において，この計算道具の重要性を認識した 2 人は，翌年には，ドイツ語風に読まれた「マンハイム型計算尺」を東京猿楽町の中村測量計器製作所にもち込み，国内での大量生産を発注した．その際，設計・製造の責任者として抜擢されたのが，入社間もない弱冠 18 歳の逸見治郎であった．逸見は，精度を保証し操作性を高めるためには，素材から研究する必要があることを即座に見抜き，さまざまな素材を試したうえで，最終的に竹を貼り合わせた合板が最適であることを発見，入社年の 1895 年にマンハイム型計算尺に独自の改良を加える研究に着手し，1909 年に完成させた．これが，後に世界を席巻したヘンミ計算尺の始まりである．

逸見はさらに精度よく大量生産する工法を考案し，1928 年に逸見製作所（後のヘンミ計算尺株式会社）を設立，直線型計算尺の製造，販売を開始した．高温多湿で気温も湿度も変動が激しい日本で，年間を通して精度を保つように作られた逸見の計算尺は，世界的にも精度の良さと狂いの少なさにおいてトップレベルであることを証明し，第 1 次大戦中にドイツが計算尺の輸出を停止したこともあり，最盛時には年間 100 万本の生産量を誇り，世界シェアの 80%を占めた．1939 年にアメリカで書かれた記事に，「日本の竹製の計算尺が非常に普及してきている」と書かれている．

筆者は 1960 年代末から 1970 年代初めに工学部で学生生活を送ったが，当時，計算尺はまだ学生の必須道具であり，試験への持ち込みも可であった．しかし，卓上電気計算機の小型化と低価格化が進む中，1969 年，シャープが世界初の LSI 電卓 QT-8D を 99,800 円で発売した辺りから計算尺の需要は急速に縮退し，1975 年，ヘンミ計算尺株式会社は計算尺の生産を停止，80 年間にわたる計算尺メーカーとしての歴史を閉じた．現在は，プリント基板や半導体製造装置，流体制御機器の製造に携わり，また，特殊用途の計算尺の受託製造も行っている．

そろばんが現在まで子供の教育に生き残っているのは，それが基本的にデジタル計算に基づいており，その訓練が暗算能力，ひいては一般的な計算能力を高めることに繋がっているからと思われる．一方，計算尺は大規模な数字の乗除法を行うにはそろばんより早いという利点があるものの，目盛を読み取るアナログ計算であり，また位取りを考えなければならず，有効数

字も高々3桁しか扱えない，という限界を有している．計算尺に習熟することによって，対数という概念の理解だけではなく，有効数字や概数といった概念を身に染みこませることができるが，一般的な人間の集合を対象として考えたとき，そのインパクトは，そろばんほどには大きくないと言わざるを得ない．それが，計算尺が消滅した大きな理由であろう．

9. 技術革新の法則 (9) ICT 化による市場消滅の条件に関する法則

ここまで見てきた計算道具発展の軌跡は，できるだけ人的属性に左右されないような計算道具へと開発を進めてきた点で，本連載 No. 2 で述べた，

技術革新の法則 (2) プロセス自動化法則：①人の恣意性が影響を与える余地が大きく，②反復性が高く十分な作業量を必要とし，③ハード・ソフトの活用で制御可能なプロセスは，ICT によって自動化される

を萌芽的に含んでいたといえる．

ここで重要となるのは，そろばんと計算尺を対比させて考察した際に提示したテーマと重なるが，ある市場が ICT 化によって完全に駆逐されないための条件とは何か，という問題である．

技術革新の法則 (9) ICT 化による市場非消滅の条件に関する法則：技術革新の法則 (2) の対象となる市場が，その需要の中核に，歴史的，文化的，あるいはほかの『存続されるべき理由』を含むならば，その市場は完全には消滅しない．

今後，このテーマを巡り，本連載において，紙の文化，家庭用固定電話など，多くの分野で議論が繰り返されるであろう．次回は，計算機械の発展へと駒を進める．

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―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] Wikipedia, Ubiquitous computing, https://en.wikipedia.org/wiki/Ubiquitouscomputing（2020 年 12 月 26 日閲覧）
[5] 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.
[6] 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.
[7] R. Dedekind,（原論文 1888）（渕野昌訳），『ペアノ数とは何かそして何であるべきか』，筑摩書房，2013.
[8] G. Peano,（原論文 1891）（小野勝次・梅沢敏郎訳），『数の概念について』共立出版，1969.
[9] 岩田重雄（聞き手，横田俊英），「計量の起源を探る―文明は計ることから始まった―」，計量史学会，https://www.keiryou-eisoku.co.jp/databank/gakkai/izanai.htm（2020 年 12 月 28 日閲覧）
[10] 黒田孝郎，『文明における数学―粘土板・算木・パピルスはかたる―』，三省堂，1986.
[11] Wikipedia，ジョン・ネイピア，https://ja.wikipedia.org/wiki/ ジョン・ネイピア（2020 年 12 月 30 日閲覧）
[12] Wikipedia，ネイピアの骨，https://ja.wikipedia.org/wiki/ネイピアの骨（2020 年 12 月 30 日閲覧）
[13] D. Tominaga，「計算尺の怒濤の歴史」，https://staff.aist.go.jp/tominaga-daisuke/sliderule/history.html（2020 年 12 月 30 日閲覧）

