連載

世界をORする視線 (13) 第I部　通信・デジタル技術の発展 (3) コンピュータの発展：コンピュータ科学の数学的基礎

住田　潮

（註：今回も引き続き，主要参考文献として [1–5] を挙げておく．

1.　コンピュータの実現に向けた三つの難関

コンピュータの歴史を考えるとき，どうしても工学技術的な側面に着目することが多く，本連載も例外ではない．しかし，いよいよ，第 1 世代コンピュータから現在に繋がる技術革新の遷移を本格的に論じ始める前に，社会を根本から変えるまでに影響力をもつに至ったコンピュータ科学の数学的基礎を概観して置くことは，有用に思える．また，それは，OR の遙かな源流を理解することにも役立つであろう．

コンピュータを機能させるためには，実行に必要な操作を順番に記述した指令書をあらかじめ用意する必要がある．この指令書が以下の条件を満たすとき，それをアルゴリズムと呼ぶことにしよう．

① 自己完結性：指令書を実行するために必要な事柄が，すべてその指令書に含まれていること

② 有限完結性：有限回の操作で終了する終着点が明示されていること

③ 再現性：指示書に従えば，誰でも常に同じように実行できること

アルゴリズム自体は，論理的な整合性をもつ限り，文章で記述することも可能であるが，その実行を機械化するためには，三つの難関を克服する必要がある．

〈第 1 の難関〉

アルゴリズムで明示されている論理を，機械的な操作の連鎖として表現できるような言語に翻訳すること

〈第 2 の難関〉

そのような言語で記述されたアルゴリズムを，実際に実行できる物理的仕組みを開発すること，すなわち，必要な入力を与えると結果を出力する具体的な仕組みを実現すること

〈第 3 の難関〉

第 2 の難関までを克服できたとしても，個別的なアルゴリズムに対応して，その都度，個別的な物理的仕組みを用意していたのでは，著しく利便性が損なわれる：どんなアルゴリズムでも実行できる汎用性を備えた物理的仕組みを開発すること

本稿の目的は,5 人の数学者,フランソワ・ビエト (François Viéte) [6]，ルネ・デカルト (René Descartes) [7, 8], ジョージ・ブール (George Boole) [9–11], クロード・エルウッド・シャノン (Claude Elwood Shannon) [11–13]，アラン・マシスン・チューリング (Alan Mathison Turing) [14–17] の業績を中心に，この三つの難関がいかにして克服されてきたのかを，数学を専門としない者でも理解できる水準で振り返ることにある．

2.　ビエトによる幾何学と代数学との橋渡し

〈第 1 の難関〉を克服する出発点となる「記述的論理を代数的論理に置き換える試み」は，おそらく，幾何学的推論に代数的表現を与えることを目指した 16 世紀のフランスの数学者ビエトまで遡る．1540 年，フランスの，現在はヴァンデ県と呼ばれる地域に位置するフォントネー・ル・コントで生まれたビエトは，弁護士であった父の後を追い，ポワティエ大学 (University of Poitiers) で法律を学んだ．1559 年，19 歳で卒業すると故郷で弁護士を開業し，上流階級の大きな案件をいくつも担当して成功することで頭角を現した．その後，最高法院ブルターニュ管区判事，パリの最高法院の

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

請願書審理官と王室顧問官などを歴任，1589 年以降，ブルボン王朝のアンリ 4 世に仕えた．法律家として実践を重ねる一方，数学の研究に携わり，1590 年にはスペインの暗号解読に成功，500 文字を超える暗号文書を解き明かし，1594 年には敵国暗号解読の仕事を担う部署の責任者に任命された．1602 年 12 月，病を得て王宮を去ったが，死の直前まで，当時の暗号解読法のすべてを無効にするほどの内容をもつ暗号学の論文執筆に取り組み，1603 年 2 月，63 歳の生涯を閉じた．

16 世紀末，ヨーロッパの数学界は，幾何学の伝統を受け継ぐギリシャ数学派と，方程式の解を求める方法を中心とするアラビア数学派とに二分されていた．当時の代数学は，厳密な幾何学的論述に依拠し，結果に現実的な意味を求めるギリシャ数学的傾向と，抽象的な数の世界において，一連の操作規則を通して解法の確立を目指すアラビア数学的傾向との間を揺れ動いていたのである．ビエトが目指したのは，平面上での厳密な幾何学の論述に裏打ちされる代数学を確立することにより，両者の橋渡しをすることであった．

ビエトは自らを数学者であると考えてはいなかったが，1591 年，『解析技術入門 (In artem analyticam isagoge : Introduction to the analytic art)』と題する本を出版した．この本の中で，幾何学の比例問題は方程式を解く問題と同等であると宣言，方程式を記述するために世界で初めて係数という概念を導入し，未知の変数を母音，既知数を子音で表わした．たとえば，未知の変数 A と 既知数 B，C，D に対し，方程式 $BA+C=D$ を考える．ここでビエトが悩んだのは，この方程式は代数的には問題ないが，幾何学的には次元が異なるという問題である．左辺の BA の次元は 2 であるが，C, D の次元は 1 であり，次元の異なるものを足すことは現実的には意味をなさない（面積と長さを足すことはできない！）．そこで，この方程式を $BA+ZC=ZD$ と書き直し，B を A の，Z を C, D の係数と名付けた．この方程式を A について解くと，

$$BA+ZC=ZD \Rightarrow A=\frac{Z}{B}(D-C)$$

となり，係数の除算の値 Z/B は，A と $(D-C)$ との比を表わすことを示すことで，代数学と幾何学を橋渡しする表現を確立したのである．もちろん最初の問題の解は，$Z=1$ とすることで求まる．

係数の概念を導入することにより，上述した解釈を高次元にまで拡張することが可能となった．たとえば，$BA^3+CA^2+DA=F$ は，$BA^3+ZCA^2+Z^2DA=Z^3F$ と書き換えられることになる．この本の中でビエトは 4 次元方程式までの数値解法を示し，また，正の解と低次元の係数との関係にも言及している．この功績により，今日，ビエトは「代数学の父」と呼ばれている．

1593 年，ビエトは三角関数法と幾何学に関する本『幾何学補遺 (Supplementum geometriae : Supplemental Geometry)』を出版した．この本の中で，定規とコンパスだけを用いて，円と同じ面積をもつ正方形，与えられた角の 3 分割，与えられた立方体の 2 倍の体積をもつ立方体，アルキメデスの螺旋 (Archimedes' spiral) 上の任意の点における接線，などの作画法を示している（ここで，アルキメデスの螺旋とは，極座標の方程式 $r=a\theta$ によって表される曲線で，$\theta \geq 0$ のとき，原点から出発して反時計回りにできる蚊取り線香のような渦巻線となる．周回する線が等間隔になる点に特徴があり，アルキメデスは，場所を取らないという理由から，この曲線に沿って水を汲み上げる揚水装置を考案したといわれている．より一般的に，定点の周りに直線を回転させ，その直線上の点を一定の速度で定点から動かしていくことで描ける螺旋について考察した論文を発表しており，それが名前の由来である）．ビエトは，さらに，世界で初めて，円周率 π が次の無限乗積式で求まることを証明し，実際に小数点以下 10 桁までを計算して見せた．この無限乗積式は，現在，円周率に関するビエトの公式と呼ばれている．

$$\frac{2}{\pi}=\sqrt{\frac{1}{2}}\times\sqrt{\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{2}}}\times\sqrt{\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{2}}}}\times\cdots$$

3. 早熟の天才：デカルトの生い立ち

ビエトの業績をさらに発展させ，より抽象的に高度な水準で代数学と幾何学を統合し，それ以後の数学界に大きな影響を与えたのが，かの哲学の巨人デカルトである．デカルトは，1596 年，中部フランスの西部に位置するアンドル・エ・ロワール県のラ・エーに生まれた．当時のヨーロッパは後期ルネサンスにあたり，旧秩序が急速に崩壊しつつある一方，新秩序の確立は未だという状況にあり，政治的かつ宗教的な混乱の中，カトリックを信奉する旧教徒系と宗教改革を受け継ぐ新教徒系の対立を軸に，あちこちで戦乱が勃発していた．デカルトは富豪という程ではなかったが安楽に暮らして行ける程度の貴族の家柄に恵まれ，父親はブルターニュの高等法院評定官を務めていた．母は病弱で，3 番目の子であるデカルトを生んでから数日後に亡くなった．デカルトも虚弱体質を受け継ぎ，診察した医

師から夭逝を宣告されるほどであった．祖母と優れた保母とが母親代わりとなり，好奇心の塊であったデカルトは，保母が話し聞かせてくれる天上の物語を楽しみ，そのすべてについて理由を聞きたがった．

父親は，再婚後も子供たちへの注意深い気配りを忘れなかった．デカルトの虚弱体質を考えて就学を遅らせたが，少年は自ら進んで学習に取り組み，8 歳になると，これ以上，正規の教育を遅らせることはできないと考え，息子のために理想的な学校を探し始めた．イエズス会の学院のうち，1604 年に創立され，フランス王アンリ 4 世自身が邸宅を提供し，優秀な教師や生徒が集まることで知られていたラ・フレーシュ (La Flèche) にあるロイヤル・ヘンリー・ル・グランを選び，1607 年，10 歳となったデカルトをこの学校に入学させた．

校長の教父シャルレは，青白く人なつっこい少年をたちまち気に入り，特別の配慮を払うようになった．デカルトがほかの少年たちよりはずっと休息を必要とすることに気付き，朝は好きなだけベッドに横になっていてよい，教室へ来ることが難しければ自室に居てよい，という許可を与えた．これ以降，デカルトは生涯を通じて，思索を深めたいときには，ベッドの中で朝を過ごすようになった．

当時のイエズス会は「信仰と理性は調和しない」とするプロテスタントの宗教改革を否定し，信仰と理性の調和を前提にスコラ哲学をカリキュラムに取り入れ，生徒をカトリック信仰へ導くことを目指していた．また自然研究などの新発見の導入にも積極的であり，世界で初めて望遠鏡を作ったガリレオ・ガリレイ (Galileo Galilei) [18] が，1610 年，木星の衛星を発見したとの知らせに対し，学院で祝祭が催されたほどであった．ただし，不確実な哲学は神学を補佐するものであり，神学によって初めて完成されると考えられていた．

こうした環境の中でデカルトの学習は順調に進み，ラテン語，ギリシャ語，修辞学を学び，論理学，形而上学，自然学などのカリキュラムをこなす一方，占星術や魔術など秘術に関するものも含めて多くの書物を読み，早熟な天才として注目を集めた．学問の中では，とりわけ数学を好んだ．表面的には，デカルトは従順で優秀な生徒であったが，数学に比べてスコラ哲学や神学が厳密性に欠けることを早くから意識し，あらゆることに対して懐疑的になった．「人間はどのようにして何かを知ることができるのか？ 神のようにすべてを知ることができないとしたら，知ることのできるものは何であり，それを見出すためにはどうしたらよいのか？」という根本的な疑問を，既にこの時代から育み始めていたと思われる．このテーマに関する瞑想の結果として，「スコラ学派の偉大な方法とされてきた論理学は，人間の創造的目的のためには本質的に無益であり，数学の証明に比べれば哲学，倫理学，道徳の証明はけばけばしい見世物であり誤魔化しである」という異端的な結論を得た．

それでは，どうすれば何事かを見つけることができるのかという問いに対し，デカルトの答えは，今日でいうところの科学的方法，すなわち制御された実験とその結果に対し厳密な数学的推論を加えること，であった．この合理的懐疑主義から得た認識の出発点としてのただ一つの事実が，後にデカルト哲学の出発点となる「我思う，ゆえに我あり」であった．人間のもつ理性を用いて真理を探究するという近代哲学の出発点を簡潔に示しており，デカルトが今日，「近代哲学の父」と称される所以である．

一方，デカルトは信仰を捨て去ることはなく，敬虔なクリスチャンであり続けた．特に，保母への思慕の思いが強かったためか，聖母マリアに祈ることを生涯，大切にした．後に，ローマ法王がガリレオにニコラウス・コペルニクス (Nicolaus Copernicus) [19] の地動説を否定することを強いた際，法王に対する忠誠と，自然学に対する忠誠をどう調和させるかについて，真剣に悩み抜いたほどであり，信仰と理性のジレンマに，終生，向き合い続けた．

教育以外に学院の生活を通してデカルトが得た恩恵は，8 歳年長で学院では 2 年先輩であったマラン・メルセンヌ (Marin Mersenne) [20] と出会えたことである．メルセンヌもまた科学や数学の愛好者であり，デカルトと終生の友情を結び，後にはデカルトの科学上の代理人となる．デカルトのいくつかの業績の翻訳作業を行い，後に放浪生活を好むようになるデカルトが，生涯を通じて，常に住所を知らせ続けた唯一の人物であったといわれている．

メルセンヌは学院卒業後，パリ大学で神学を学び，1614 年から 1618 年までヌヴェール愛徳修道会で神学と哲学を教えた．1620 年にパリに戻って以降は，生涯，パリの僧院に住み，神学と哲学を教えるかたわら，学問の研究を続けた．一流の研究者たちとの交流ネットワークを積極的に創り上げ，彼らと交わした膨大な往復書簡は，当時の偉人の業績や暮らし振りを知るうえで，現在，一級の研究資料となっている．デカルトもまた，彼の人脈に大いに助けられることになる．

メルセンヌ自身の研究としては，たとえば，「$n =$

$2, 3, 5, 7, 13, 17, 19, 31, 67, 127, 257$ の n に対して $2^n - 1$ は素数であり，$n \leq 257$ を満たすこれら以外のすべての n については $2^n - 1$ は合成数である」との予想を提出した．この予想は誤りを含んでおり，$n = 61, 89, 107$ の場合も素数であり，$n = 67, 257$ の場合は合成数であることが，後にオイラー，ルーカス，パヴシンなどにより証明された．しかし，メルセンヌ予想は素数論の扉を開く重要なきっかけとなっており，現在でも，$2^n - 1$ の形で書き表せる自然数をメルセンヌ数，それが素数である場合はメルセンヌ素数と名付けられている．また，メルセンヌ予想も形を改めて新メルセンヌ予想として定式化され，現在も研究が続けられている．メルセンヌは音律理論にも詳しく，オクターブの平均律をほぼ完璧に記述し，さらに，弦楽器の音の高さが弦によってのみ決まることを洞察し，振動数と弦の長さ・密度・張力との関係を数学的に定式化した『メルセンヌの法則』を発見，現在，「音響学の父」と呼ばれている．1648 年，肺膿瘍により 59 歳の生涯を閉じた．

4. 逆療法と強運：デカルトの青春

1614 年，18 歳で学院を卒業したデカルトは，ビエトの母校でもあるポワティエ大学に進学して法学・医学を学び，1616 年，20 歳で法学士の学位を得て卒業する．ここでデカルトは，全力を注いできた無味乾燥の生活に嫌気がさし，書物を捨て，猶予のない決断を迫る世間に飛び込んで学ぼうと決心する．抑圧された少年時代の反動として，刺激に飢えた数人の若者と，生真面目な父の所領を出てパリへ移り，同年配の富裕な家の若者が味わうような快楽をむさぼり，賭博が当時の紳士の教養であったことも手伝って，熱心に賭けをし，幾ばくかは儲けた．何でも始めたことには，全身で打ち込んだ．

この荒れた生活は，長続きはしなかった．行動を共にした仲間をすっぽかし，サン・ジェルマンの郊外に質素で快適な下宿を見つけて引っ越し，その後 2 年間，数学の研究に没頭した．しかし，悪友たちに見つけられてしまい，彼らが押し寄せてくるようになると，たまらずオランダに赴き，自らを身体的に鍛えるべく職業軍人となることを志した．そのとき 22 歳となっていたデカルトは，オランダの北に位置する要塞都市ブレダ (Breda) に駐留するプロテスタントオランダ国軍 (Protestant Dutch States Army) に傭兵として参加する．当時，この軍隊はオランダ提督の指揮下にあり，スペインとの八十年戦争において中心的な役割を果たしたマウリッツ・ファン・ナッサウ (Maurits van Nassau) がその任に就いていた．彼は合理主義者であり，自らの軍隊に徹底した訓練を行ったばかりでなく，訓練のマニュアル化を行い，ヨーロッパ各国の軍隊に多大な影響を与えた．また，新兵器の開発にも意欲的で，シモン・ステヴィン (Simon Stevin) が切り拓いた軍事工学を積極的に取り入れていた．ここでデカルトは，厳しい訓練を通して身体を鍛えると同時に軍事工学の講義を受講し，数学の基礎力をさらに高めた．

1618 年 11 月，デカルトはブレダの市場で数学の問題が書かれた張り紙を眺めていたところ，同じくその問題を見ていた医者でもあり数学者でもあったアイザック・ベークマン (Isaac Beeckman) [21] と出会った．デカルトはベークマンにオランダ語で書かれた問題をフランス語に翻訳してくれるよう頼み，それ以後，二人は交友関係を結ぶようになる．デカルトの数学的造詣の深さに驚いたベークマンは，微粒子的な見方に基づいて機械工学理論を確立する方法を示してデカルトを魅了した．意気投合した 2 人は，自由落下の法則，水圧の分圧の原理，三次方程式の解法，角の三等分のための定規の考案，などのテーマについて共同で取り組み，数学的方法によって自然科学を極める必要があることで意見の一致を見た．

ベークマンは論文を発表しなかったが，同時代の多くの科学者に影響を与えたといわれている．覚え書きとして自らの研究結果の詳細を書き残し，1644 年，その抜粋を弟が出版したが，世に知られることはなく無名のままであった．しかし，1905 年，オランダの科学史家コネリス・デ・ヴァールト (Cornelis de Waard) がベークマンの覚え書きを発見し，1939 年から 1953 年に掛けてその全貌を連続的に出版することにより，脚光を浴びるようになった．それによって知られるようになった主な事柄としては，以下のようなものがある．

- 形相が質料と不可分に結合した「個物」こそが基本的実在（第一実体）であり，さまざまな物体の特性を決定づけているのは火・空気・水・土の四大元素であるとしたアリストテレスの思想を否定し，セバスチャン・バッソン (Sebastian Basson) とは独立に，物質が原子から構成されていることを主張
- 慣性力の概念に到達した最初の科学者の 1 人
- 振動する糸の基本振動数は，糸の長さの逆数に比例することを証明
- ポンプの原理が空気圧によるものであることを立証

1619 年 4 月，三十年戦争が勃発したことを耳にした

デカルトは，これに参加すべくドイツへと旅発つが，その前に，彼の処女作である『音楽提要 (Compendium Musicae)』をベークマンに捧げている．ちなみに，この処女作はデカルトの死後まで出版されることはなく，1650 年に初めて公刊された．

デカルトには子供じみたところがあり，あらゆる機会を捉えて華やかな見世物を見物して回る性癖があった．ドイツへ移動して軍職に就く前にも，フランクフルトで皇帝フェルディナント 2 世のロココ風の戴冠式に参列している．そこで気が晴れたデカルトは，新教徒の国王を擁するボヘミアと戦争状態にあった旧教徒側のバイエルン公マクシミリアン 1 世の軍に入隊した．軍隊はドナウ河畔のメイブルクという寒村近くに陣をはっていたが，戦況は膠着状態にあった．

デカルトの伝記作家アドリアン・バイエ (Adrien Baillet) [22] によれば，聖マルタン祭の前夜，1619 年 11 月 10 日から 11 日にかけて，寒さを避けるべくタイル積みストーブの部屋に籠もっていたデカルトは，三つの不思議な夢を見て，聖霊から新たな哲学の啓示を授けられたと信じた．第 1 の夢では，自分が悪魔の風によって教会か学校の無風地帯からその風にも揺るがない第 3 者の方へ吹き飛ばされ，第 2 の夢では，迷信に曇ることのない科学の眼で恐ろしい悪魔の風を見守り，この風が正体を見破られた後は，何の害も加えないことに気付く．第 3 の夢では，帝政末期のローマの詩人であり著述家であったデキムス・マグヌス・アウソニウス (Decimus Magnus Ausonius) の「いかなる生活の道をたどるべきか？」で始まる詩を朗読していた．

デカルトは，第 2 の夢で見たように，あらゆる科学の真の基礎を掴み取らせる魔法の鍵が啓示されたと確信，この鍵こそが，解析幾何学や数理物理学の発展に繋がる「数学による自然現象の探求」であった．この逸話を信じるならば，1619 年 11 月 10 日は，解析幾何学の，ひいては近代数学の受胎の日となるが，デカルトの思索の結果が具体的に『方法序説』として公表されるまでには，なお 18 年の歳月を要することになる．

デカルトの軍人生活は続き，1620 年の春にはプラハの戦いで戦闘らしい戦闘を経験, 勝利軍として神への賛歌を唱えつつ入城した．このときの避難民の中に，後年，デカルトの愛弟子となる 4 歳のボヘミア王女エリザベート (Elisabeth Simmern van Pallandt) [23, 24] がいた．1621 年の春，戦争にうんざりしたデカルトは軍隊を辞め，イタリアのロレートにあるカトリック教会で，聖母マリアを祀る巡礼地として名高いサントゥアリオ・デッラ・サンタ・カーザ (Santuario della Santa Casa) を訪問，その後，諸国を渡り歩いた後，パリに居を定めたが，まだ哲学に本格的に取り組むまでには成熟していなかった．

1623 年には生まれ故郷のラ・エーに戻り，父親から受け継いだ全財産を債権に投資し，これによって生涯にわたって心配する必要のない収入を確保した．その年の暮れにパリに戻ったデカルトは，集中的に哲学を学び始めたが，完全に腰を落ち着けたというわけではなかった．ローマを訪ねて 25 年ごとに行われるカトリックの豪華な儀式を見物したり，イタリアのサヴォワ公国 (Ducato di Savoia) の激しい戦闘に参加し，目覚ましい働きを示して中将の位に任じられたが賢明にもこれを辞退したりと，慌ただしい時間を過ごした後，再びパリに戻って 3 年間の瞑想生活に入った．

デカルトは，汚い上っ張りと髭を生やした学者先生のイメージからはほど遠く，流行の琥珀織の上着を身に纏い，常に剣を帯び，ダチョウの羽の付いた幅広の帽子を被る優雅なたたずまいの社交人であった．あるとき，酔漢がデカルトの女友達を侮辱し剣を抜いて威嚇したので，自分も剣を抜き相手の剣をたちまちの内に打ち落とし，それでも美しい婦人の前で血を流すことを避けるため命は助けたという逸話が残っている．デカルトの暮らしは，せいぜい生活に困らないという程度であり，遊び人風に羽目を外すことはあっても，足ることを知っていた．自分の人生の目的の重要さを承知していることもあり，身を持ち崩すようなことはなかったのである．また，自分自身にスパルタ的訓練を施すことはあっても，奉公人を始めとする周りの人々を大切にした．彼の臨終に立ち会った奉公人の少年は，数日間も泣き通したという．

このパリの 3 年間における研究上の重要な成果の一つとして，力学における仮想速度の原理に関するものを挙げることができる．二つ，ないしそれ以上の物体が衝突したとき，その前後で運動がどのように変化するのかという問いに対する答えを提示したものである．実は，デカルトの与えた衝突の規則が経験と合致せず，ウォリス，レン，ホイヘンスという 3 人の人物によってその世紀の終わりまでには正しい法則が見出されたという事情は，力学史ではよく知られているが [25]，後の研究者に入口を与えているという意味で，デカルトの発見の重要性が損なわれるものではない．

この時期まで世間的に発表したものは何もなかったが，人々の口伝えでデカルトの名声は急速に高まっていった．すると，流行を追うディレッタント（芸術愛

好家）が群がり集まるようになり，それを嫌ったデカルトは，再び戦場に平安と休息を求めるという逆説を生きることを決意する．1627 年，今回は，フランス国王ルイ 13 世とフランスのプロテスタントであるユグノー (Huguenot) 派との内戦が舞台で，前者が後者をフランス西部のラ・ロシェル (La Rochelle) に包囲して戦われた戦争であった．フランス国王の軍隊に参加したデカルトは，戦争に勝利した後，無傷でパリに戻った．

デカルトは身体が弱かったため，幼少期には特別に大切にされる扱いを受け，それが憂鬱症の原因となり，永らく死の恐怖に苛まれることになった．軍隊における厳しい訓練を求め，さらに積極的に戦争に参加する青春時代を過ごしたことは，死の恐怖を克服するための逆療法であったかと思われる．戦闘におけるたった 1 発の銃弾が歴史に不朽の名声を遺す機会をデカルトから奪ったかも知れないことを思うと，彼の幸運は奇跡的であったとしか言いようがない．

また，死への恐怖はデカルトを生物学の研究に向かわせたが，後年，自然は最も良い医者であり，健康を保つ秘訣は死への恐怖をなくすことであるとの理解に達し，寿命を延ばすために手立てを見つけようと焦ることもなくなった．

5. 解析幾何学の誕生：デカルトの 30 代

1628 年，デカルトは 32 歳になっていたが，人生において何事かを成就すべきであるとするならば，今こそが絶好の機会であると，ようやく自覚するようになった．その契機を与えたのが，ピエール・ド・ベリュリル (Pierre de Bérulle) 枢機卿であった．祈りと司牧に献身するための共同生活をするカトリックの司祭会として，1553 年，ローマでイタリア・オラトリオ会が設立され，1575 年，教皇グレゴリウス 13 世による認可後，各国に広まったが，1611 年，パリでフランス・オラトリア会を創立したのがド・ベリュリル枢機卿である．ドイツで科学を破壊した狂信的なプロテスタントとは異なり，当時のカトリック僧侶は自分たちも科学を研究する一方，科学者を支援した．

そうしたオラトリオ会の僧侶が主宰する夜会で，デカルトは彼の新しい哲学を自由に語って聞かせた．ド・ベリュリル枢機卿は，その発見を世界に分かち与えることこそ神に対する義務であるとデカルトを説き伏せ，彼の決心を促した．これを受けて，デカルトはラテン語で，彼の方法論に関する最初の著作『精神指導の規則 (Regulae ad Directionem Ingenii: Rules for the Direction of the Mind)』の執筆に取りかかった．深く考察するために従うべき 21 の規則を掲げ，それを解説する構成で，後に方法序説に吸収されるが，この本自体としては未完のままであった．デカルトの死後，1684 年にオランダ語の翻訳が出版され，1701 年に原著と同じラテン語版が刊行された．

自己の使命を自覚し，本格的に哲学に取りかかる決意を固めたデカルトは，1628 年の秋，オランダへ移住する．八十年戦争を経て秩序を回復したオランダは，人口の多い都市部の利便性と孤独な隠遁生活を可能にする両面を備えていたからであり，また，デカルトが寒い気候を好んだことにもよる．まず，ブレダに戻ってベークマンとの再会を果たし，ガリレオの最新の研究に関して解説を受けた．しかし，翌年，ベークマンがデカルトの数学的発見を手助けしたかどうかを巡って 2 人は仲違いし，1630 年 10 月，デカルトは長い手紙をベークマンに送り，数学に関してベークマンの影響を受けたことはないと宣言，激しい攻撃を加えた．にもかかわらず，1637 年にベークマンが死を迎えるまで，2 人は交流を続けた．

その後の 20 年間，デカルトはどこにも定住せず，オランダを中心に放浪し，人里離れた村，田舎の宿屋，大都会の片隅の下宿などに潜み，隠遁者としての生活を続けた．社会との唯一の繋がりは，学院時代からの親友であるメルセンヌを介して，ヨーロッパの一流の学者たちと，哲学的・科学的テーマに関し，規則正しく大量の通信を取り交わすことであった．メルセンヌを通じて，パリからそれほど遠くないミニム僧院の客間が，質問，数学問題，科学・哲学理論，駁論，解答の交換所となった．

このオランダでの放浪期間に，デカルトは哲学と数学以外にも，光学，化学，物理学，解剖学，胎生学，医学，天文学，虹の研究を含む気象学，など幅広い分野にわたる研究に取り組んだ．一方，アムステルダムでは，召使いであったヘレナ・ジャンス・ヴァンデル・ストーム (Helena Jans van der Strom) と関係を持ち，娘を授かった．1635 年，オランダ東部のデーフェンテル (Deventer) で出産された娘はフランシスと名付けられたが，猩紅熱を患い僅か 5 歳で夭逝，デカルトは大いに嘆いたといわれている．デカルトは情熱に対して肯定的であり，女性を好んだが，結婚の望みを抱いたある婦人に対し，美よりも真理を選ぶという理由で結婚できないと返答したとも伝えられており，生涯を独身で通した．

オランダに移ってからの最初の 4 年間で，デカルト

はさまざまな分野において多大な研究成果を挙げたが，それらの集大成として，『宇宙論（Traité du monde et de la lumière，英訳では Treatise on the Light）』という論文にすべてを纏めることを構想していた．ちなみに，デカルトがラテン語で執筆した場合には読者として一部の知識人を想定しており，宇宙論のようにフランス語で書かれた場合には，広く一般的な人々にも読まれることを望んでいたと思われる．この論文は，1634 年，デカルトが 38 歳のときに最後の校正を受け，新年の贈り物としてメルセンヌに捧げられる予定であった．内容は，創世記の筆者がデカルトと同程度に科学や哲学を理解していたらこのように書き上げたかも知れないという意図で書かれており，神の宇宙創造の物語を，合理的要素を補填した自説として展開したものであった．

しかし，前年の 1633 年に起こった衝撃的な出来事が，最終的にデカルトに出版を思い留ませることとなる．権門を誇るトスカナ公の庇護にもかかわらず，70 歳のガリレオが宗教裁判にかけられ，この年の 6 月 22 日にコペルニクスの地動説を異端として放棄することを誓わされた，という知らせを受け取ったのである．デカルトは打ちのめされた．自著の中では，コペルニクスの地動説を当然のように説いており，しかも，デカルトはコペルニクスやガリレオよりもはるかに大胆であった．というのも，「神がいくつかの別々の宇宙を創ったとしても，それらはみな『自然法則の作用』によって，遅かれ早かれ必然的に結合し，現在のあるがままの宇宙へと発展したに違いない」ことを示し得たと確信していたのである．

デカルトは，宇宙論を出版することを恐れはしたが，それ以上に，深く傷ついていたと思われる．自分の存在を確信するのと同程度にコペルニクスの地動説を確信していたが，同時に，法王の絶対的無謬性をも信じていた．デカルトは，「何か神秘的かつ超人的な総合を通して両者とも正しいことが証明できるかも知れない，いつの日か哲学的平静をもって，この表面的な矛盾を眺め，それが和解の栄光の内に消失するに違いない」と強く期待し，判断を保留した．

出版しないというデカルトの決断は，ほかのすべての著作に及んだが，友人たちが熱心にデカルトを説き伏せ，ついに 1637 年 6 月 8 日，『理性を正しく導き，科学における真理を探究する方法に関する序説およびこの方法の試論（屈折光学・気象学・幾何学） (Discours de la méthode pour bien conduire sa raison, et chercher la verité dans les sciences (La Dioptrique, Les Météores, La Géométrie)』が出版され，実に，解析幾何学はこの日に誕生したのである．長い題名をもつこの本の序説だけが単体で読まれるとき，それは『方法序説』と呼ばれることになる．

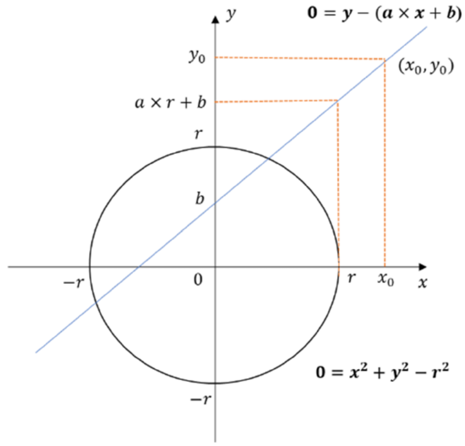

図 1　デカルト座標系における点・直線・円

6. 解析幾何学の本質

デカルトが創出した解析幾何学の基本的概念は，極めて簡明なものである．平面を決定する 2 直線は，一般性を失うことなく直交していると仮定できる．2 直線の交点を原点と呼び，それぞれの直線が原点を 0 とする数直線を構成するとき，平面上の任意の点は，その点から二つの直線へ垂線を引いて得られる二つの数で表わすことができる．今日，座標系として知られている方法を，明快に述べたのである．図 1 では，例として点 (x_0, y_0) を図示してある．

もちろん，こうした平面上の任意の点を特定する表記法だけであれば，古代から知られていたということができる．しかし，それが内包する概念を徹底して追求し尽すことは，単に記法を知っているということとは本質的に異なる．デカルトの偉大さは，平面上の任意の曲線が $0 = f(x, y)$ という方程式で表わされることを示すことにより，幾何学的に定義されている曲線を方程式に翻訳するばかりでなく，一般的な曲線の先験的な定義を与える方法論を確立した点にある．図 1 では，例として，直線 $0 = y - (a \times x + b)$ と円 $0 = x^2 + y^2 - r^2$ を示してある．ビエトの係数の概念を採用し，アルファベットの始めの部分 $a, b, c, \cdots$ によって定数を表わし，未知の変数にはアルファベットの終わりの部分 $x, y, z, \cdots$ を用いるという記法を確立したのもデカルトである．この方法は，そのまま，今日でも一般的に使われている．

デカルトの名前をラテン語で記すとレナトゥス・カ

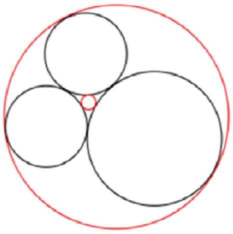

図 2　デカルトの円定理

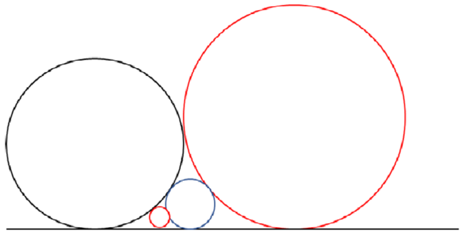

図 3　$\boldsymbol{k_3 = 0}$ の場合のデカルトの円定理

ルテシウス (Renatus Cartesius) となるため，今日ではデカルト座標 (Cartesian Coordinate) という呼称が一般的となっている．デカルト座標を n 次元に拡張することも可能で，そのためには 1 次元の数直線 n 本を直積集合として表わすことが必要であり，この理由から，集合論における直積集合もデカルト積 (Cartesian Product) と呼ばれる．

伝統的な幾何学と座標系に基づく代数的な方法の結合の例として，デカルトの円定理に触れておく．「互いに外接する三つの円を考える．それら三つの円の全てに外接もしくは内接する円の半径は，ある二次方程式を満たす」という定理で，後述するように，1643 年，デカルトはこの定理を王女エリザベートに宛てた手紙の中で詳細に論じている．図 2 に示すように，黒で描かれた互いに外接する三つの円に対し，そのすべてに接する円は，赤い円として描かれている通り二つある．外接する場合が小さい赤い円，内接する場合が大きい赤い円で，これら二つの円の半径は，ある 2 次方程式の解として求まるという主張である．

デカルトの円定理をもう少し具体的に述べてみよう．半径 r の円の曲率を $k = \pm(1/r)$, $k > 0$ の場合はその円は他の円に外接し，$k < 0$ の場合はその円は他の円に内接するものとしよう．$k = 0$ のときは半径が無限に大きい円，すなわち直線を表わすものとする．図 2 の黒で描かれた三つの円の曲率を k_1, k_2, k_3 とし，赤い円の曲率を k とすると，デカルトの円定理は次式が成立することを主張する．

$$(k_1 + k_2 + k_3 + k)^2 = 2\left(k_1^2 + k_2^2 + k_3^2 + k^2\right) \quad (1)$$

この式を k に関する 2 次方程式と見なして解くと，

$$k = k_1 + k_2 + k_3 \pm 2\sqrt{k_1 k_2 + k_2 k_3 + k_3 k_1} \qquad (2)$$

なる解を得る．(2) 式で与えられる k が正の場合は，その逆数が小さい方の赤い円の半径を与え，負の場合は，その絶対値の逆数が大きい方の赤い円の半径となる．ちなみに，三つめの黒い円が直線の場合は $k_3 = 0$ となり，(2) 式は

$$k = k_1 + k_2 \pm 2\sqrt{k_1 k_2} = \left(\sqrt{k_1} \pm \sqrt{k_2}\right)^2 \qquad (3)$$

と書ける．このとき，k は二つとも正となり，図 3 に示すように，二つの円と直線のすべてに外接する円が二つ存在することになる．

1936 年，フレデリック・ソディ (Frederick Soddy) が 同様の問題を 3 次元の球体へと拡張した 6 球連鎖の定理 [26] を Nature 誌に発表し，その中で (1) 式を再発見しており，(1) 式を満たす四つの円はソディの円 (Soddy Circles) と呼ばれるようになった．さらにソロルド・ゴセット（John Herbert de Paz Thorold Gosset） [27] は，この問題を n 次元球体へと拡張している．

さまざまな図形の内接・外接問題は和算家の得意とする分野であり，6 球連鎖の定理に関しても，ソディより遡ること 114 年，文政 5 年（1822 年）に内田五観門下の入澤新太郎博篤によって相模国の寒川神社に奉納された算額に記されている [26, 28]．この算額は現存しないが，天保 3 年（1832 年）に編纂された内田の算額集『古今算鑑』に収録されており，それを元に復元された算額が寒川神社方徳資料館に保管されている．入澤の算額は 3 題から成り，その一つが 6 球連鎖に関するもので「外球の直径が 30 寸，核球の直径がそれぞれ 10 寸と 6 寸，連鎖球の一つの直径が 5 寸であるとき，残りの球の直径を問う」というものであった．解答では，ソディの公式と同等の内容をもつ球の直径を計算する方法が記されており，順に 15 寸，10 寸，3 寸 7 分 5 厘，2 寸 5 分，2 寸と 11 分の 8 寸という答えが陽に与えられている．

7.　社会的名声：デカルトの壮年期・晩年

1641 年，45 歳になったデカルトは，哲学と科学に関して精力的に取り組み，この年，パリで『省察（Meditationes de Prima Philosophia，英訳 Meditations on First Philosophy）』 をラテン語で出版した．「外

在」する対象が意識の中に現れている姿を「表象」と呼ぶが，当時の哲学者は当然のごとく両者は一致すると考えていた．デカルトの新しさは，方法的懐疑を推し進めることによって，この一致そのものを問題に付した点にある．デカルトの方法的懐疑は，次の二つの原則を柱としている．

① 懐疑を抱くことに，本人が意識的・仮定的であること

② 少しでも疑わしければ，完全に排除すること

まず，肉体を通して得る外部感覚や「痛い」「甘い」といった内部感覚も，しばしば間違えるので偽とされる．「自分は目覚めている」といった自覚も，覚醒と睡眠を判断する指標がないことから偽とされる．このような方法的懐疑の篩いにかけられて残るものが純化された精神であり，「私が“すべては偽である”と考えている間，その私自身はなにものかでなければならない」という絶対確実な真を発見したのである．

1641 年の秋以降，デカルトはオランダのハーグ近くの静かな小さい村に住んでいたが，そこには，亡命中の王女エリザベートが母と一緒に住む侘び住まいがあった．学問を愛好する若い女性に成長していたエリザベートは，六カ国語に通じ，数学と科学に並々ならぬ興味を抱いていた．王女は，たまたまデカルトの本に触れる機会があり，これこそが亡命中の空虚な生活を埋めるのに必要なものだと感じ，第三者を介してデカルトとの会見が取り決められた．デカルトは君主や王女に対して貴族的な敬意を惜しまぬ人であったので，エリザベートを弟子として受け入れ，2 人は書簡を交わすことで師弟関係を結んだ．デカルトが教えた学問の内には解析幾何学の方法も含まれており，前述のデカルトの円定理は，1643 年，王女宛ての手紙の中で詳細に分析されたのである．

また，同じく 1643 年，デカルト宛の手紙で，エリザベートは「自身の哲学において実在的に区別される心（精神）と身体は，どのようにして相互作用を起こし得るのか」という質問を投げかけた．デカルトは，心身合一の次元があることを認め，この書簡の後も，薄幸の王女の悩みや悲しみに率直な意見を述べ，「情念はどのように生じ，どうすれば統御できるのか」というエリザベートの問いに対し，それに答える著作に取り組んだ．

1644 年には，『省察』をより普遍化した形で『哲学原理（Principia Philosophiae，英訳 Principles of Philosophy)』を出版し，その本で初めて，有名な「我思う，ゆえに我あり： cogito ergo sum（コギト・エルゴ・スム：ラテン語)」につながる表現が記述されている．この本は，エリザベートに捧げられ，献辞に「私の公けにした論文のすべてを完全に理解したのは王女ひとりである」と記している [23]．1648 年には『人間論 (Traité de l’homme)』を執筆したが，この本の公刊は 1664 年，デカルトの死後のことである．1649 年には，エリザベートの質問に答えることを目的とした『情念論 (Les passions de l’ame)』を出版し，人間を精神と身体とが分かち難く結びついている存在として捉えた．『哲学原理』によれば，「痛い」という内部感覚は意識の中での出来事であり，外在としての身体と結びつくことは本来ないはずであるが，デカルトはこの事実に対して妥協し，二つを繋ぐ結び目は脳の奥の松果腺において顕著であり，その腺を精神が動かす（能動），もしくは動物精気 (esprits animaux) と呼ばれる血液が希薄化したものによって動かされる（受動）ことによって，精神と身体が相互作用を起こす，と考えた．そして，ただ生理学的説明だけに留まらず，基本的な情念を「驚き」「愛」「憎しみ」「欲望」「喜び」「悲しみ」の六つに分類し，自由意志の善用による「高邁」の心の獲得を説いている [8]．

1650 年，エリザベートは兄とともにオランダを去りハイデルベルクへ戻ったが，デカルトの死まで文通を続けた．薄幸の生活は変わらなかったが，1660 年にヘルフォルト女子修道院の補佐修道院長となり，1667 年に修道院長に就任した．そこで領地経営に手腕を発揮，殖産興業と修道院の図書室拡張に尽くし，修道女に勉学を勧めるなど文芸を振興した．また，哲学者ニコラ・ド・マルブランシュや数学者ゴットフリート・ウィヘルム・ライプニッツ (Gottfried Wilhelm Leibniz) [29] とも交流をもった．1679 年 12 月，重病に倒れ，ハノーファー選帝侯の妃であった末妹ゾフィーとライプニッツが見舞いに訪れたが回復せず，翌 1680 年 2 月，61 歳で亡くなった．エリザベートの死後，ライプニッツは，彼との出会いで哲学に興味を抱いたゾフィーに宮廷哲学者として招かれ，姪ゾフィー・シャルロッテにも重用され，哲学への関心と学問奨励の精神は，エリザベートの次の世代へと受け継がれていった

1646 年，齢 50 を数えたデカルトは世界的に有名になっていたが，自身はオランダのエグモントで幸福な孤独の生活を送っていた．瞑想したり，僅かな土地を耕したり，ヨーロッパの知識人たちと膨大な量に上る文通を続けていた．望んできたこの休息と平穏な生活は，スウェーデン女王クリスティーナ [30] がデカルトの評判を耳にしたことで破られることになる．

クリスティーナは 1626 年，スウェーデン君主グスタフ 2 世アドルフと王妃マリア・エレオノーラの長女として生まれた．王子を熱望していた母は落胆したが，父は喜び，早々に後継者に指名した．古典や神学に加えて帝王学を学ばせ，騎馬，剣術，射撃，狩猟で鍛え，まるで王子に対するような教育を施した．クリスティーナも手芸や人形遊びのような女子の遊びを好まず，乗馬や射撃を得意としていた．父王が亡くなると 6 歳で即位し，それ以後，男装を通した．当初は宰相アクセル・オクセンシェルナ伯爵の補佐を受けたが，三十年戦争が終結した 1644 年頃から，自分で政治を取り仕切るようになった．

クリスティーナは，恐るべき肉体的耐久力をもち，10 時間も馬に乗り続けてもびくともしない熟練騎手であった．射撃と狩猟の名人で，寒さにも強かった．スウェーデンの冬の最中に，火の気もない書斎で何時間でも机に向かうことを厭わず，従者が歯をガチガチいわせている中，窓を全部開け放って，気持ちの良い雪を吹き込ませようなどと言い出す始末であった．周りの人間を思いやることが不得手で，自分の食事が粗末であったので廷臣もそうせざるを得ず，自分が 1 日 5 時間の睡眠で十分であったので，廷臣たちも 19 時間の務めに励まなければならなかった．

1646 年，19 歳になったクリスティーナはデカルトの哲学書に目を留め，直ぐに自分の家庭教師の一員に加えようと決めた．何度も使者を送ってデカルトに王宮に来るよう要請したが，エグモンドでの隠遁生活が気に入っていたデカルトは，この誘いを断り続けた．しかし 1649 年の春，クリスティーナが軍艦とフレミング提督を迎えに寄越したとき，ついに断り切れず，10 月までの猶予を要請した後，自分の小さな庭園に別れを告げ，永久にエグモンドを去ることとなった．

デカルトは賑々しくストックホルムに迎えられたが，宮殿に住むことだけは容赦して貰った．独りで住むことを願ったデカルトであったが，同胞のフランス大使シャヌートのたっての勧めで，しぶしぶ同居することに同意した．シャヌート家は生活のあれこれで深い思いやりを示したが，王女クリスティーナの方は，そうではなかった．哲学を学ぶ時間として，何と，早朝の 5 時を指定したのであった．朝はベッドで過ごすことが習慣化していたデカルトには，辛い生活スタイルであった．暗いうちから義務的にベッドから這い出し，迎えの馬車に乗り，ストックホルムでもっとも吹きさらしの強い広場を横切って宮殿に向かう毎日．宮殿では，すぐにも哲学の勉強を始めようと，クリスティーナが凍りつく書斎でじりじりと待っていた．デカルトは，午後になってからは横になって休息を取り戻すことを願ったが，クリスティーナはスウェーデン王立アカデミーの設立を画策しており，その実現を助けるため，デカルトは午後の休息も諦めざるを得なかった．

当然のことながら，王女とデカルトは哲学以外のことに関しても語り合うようになった．この事実が廷臣たちの知るところとなり，「外国人の影響力を排除すべきだ」という立場から，時と場所を選ばずデカルトを中傷するようになった．この悪意あるささやきを止めるためにクリスティーナが思い付いたことは，デカルトをスウェーデン人にしてしまうことであり，勅令をもって所領を与えた．しかしデカルトの望みは，オランダに戻ることにあった．王女に対してその望みを口にすることはできなかったが，エリザベートへの手紙で，宮廷の儀礼に満ちた書きぶりではあったものの，その願いを繰り返し書き送っていた．

シャヌートが肺炎を患い重症に陥った際，デカルトは必死の看護をしてこれを回復させた．しかし，今度はデカルトが同じ病気に倒れた．驚いたクリスティーナは医者を寄越したが，デカルトは彼らを部屋の外に追い出してしまった．シャヌート家の人々は最後まで親切で，最後の聖餐を受けるように勧め，デカルトは自分の僧侶を呼ぶことを望んだ．デカルトは静かに死に直面し，僧侶が聖体降服福式を希望するときを合図で知らせるよう頼んだとき，目を開け，そして閉じ，聖体降服福式が行われた．こうしてデカルトは，1650 年 2 月 11 日，異国の地で 54 歳の生涯を閉じた．

8. デカルト以前・デカルト以後

ヨーロッパの数学者たちは，点と線の公理と定義を組み合わせ，論理を積み上げることで構築される幾何学こそが数学の基盤であり，代数の基礎もまたそこに見出されると考えていた．ピタゴラスの定理に見られるように，代数的法則は幾何学的証明によって導出されるのであり，3 次元以上の方程式は現実に対応しないので意味をなさないと考えられていた．この枠組みに対し，係数の概念を導入して，方程式の側から幾何学への橋渡しを最初に試みたのがビエトである．たとえば彼は，任意の 1 次元方程式の解から幾何学的な比例の意味を抽出して見せた．しかし，ビエトもまた，1 次元が長さ，2 次元が面積，3 次元が体積を表わすという概念から自由にはなれなかったのである．

「幾何学は現実と対応しなければならず，代数学もそれに従属する」という観念に対し，それを完全に打ち壊

したのがデカルトである．現実世界と抽象数学との頸城を解き放った典型的な例として，デカルトの符号法則 (Descartes' rules of signs) を考えてみよう．この法則は，方法序説に続く付録の幾何学 (La Géométrie) において最初に示され，後にカール・フリードリヒ・ガウスにより精密化されている．

〈デカルトの符号法則〉

実数係数の一変数多項式 $f(x) = \sum_{i=0}^{N} a_n x^n$ に対し，係数を $a_N, a_{N-1}, \cdots, a_1, a_0$ と並べたときの符号変化の数を $T_{f(x)}$ とすると，$f(x) = 0$ を満たす正の根の数は高々 $T_{f(x)}$，負の根の数は高々 $T_{f(-x)}$ である．

（たとえば，$f(x) = 2x^3 + x^2 - 3x - 5$ を考えると，係数の符号は $+, +, -, -$ であるから $T_{f(x)} = 1$ となり，正の根の数は高々 1 個である．同様に，$f(-x) = -2x^3 + x^2 + 3x - 5$ については係数の符号は $-, +, +, -$ で $T_{f(-x)} = 2$ となるから，負の根の数は高々 2 個である．）

デカルトは，n 次元多項式 $f(x) = \sum_{i=0}^{N} a_n x^n$ は抽象化された数であり，それが長さを表わす場合もあれば面積を表わす場合もあって一向に構わないと宣言し，多項式自体の構造を探索することに意味があることを示したのである．実際，デカルト以後，ガウスによる符号法則の精緻化から代数学の基本定理の導出，実係数一変数多項式の任意に指定された実区間に含まれる（重複を含めない）実零点の個数を決定するスツルムの定理，さらには無限級数や多変数多項式への拡張など，現在に繋がる数学研究の道を拓いた．

また，$\underline{x} = [x_1, x_2, \cdots, x_n]$ に対し，n 次元空間における方程式 $\underline{0} = f(\underline{x})$ を考えることで，3 次元空間における幾何学的概念は，n 次元空間における n 次元ベクトル，超平面，超曲面などに抽象化され，逆にそれによって伝統的な幾何学もまた多次元へと抽象化され拡張されたのである．

デカルトの影響を最も強く受けたのは，イギリスのアイザック・ニュートン (Isaac Newton) [31] であろう．彼はラテン語版のデカルトの著作を熟読していたことが知られており，デカルトの創出した解析幾何学は，ニュートンの無限小生成作用素を導入した微分積分学とその応用としての数理物理学の創始に，直接・間接に大きな影響を与えたであろうことが推察される．また，天文学においてもデカルトは，ニュートンに対して重要な反面教師の役割を果たしている．1644 年に出版された『省察』の中で，デカルトは宇宙における渦動論を展開している．「太陽は回転する非可視な物質（今日ではエーテルと呼ばれている）の渦の中心に位置し，その渦の回転とそれによって生じる圧力差が太陽の周りで惑星を回転させている．さらに，すべての星は太陽と同等であり，宇宙は文字どおりそうした渦の海である」と主張した．1687 年，ニュートンはラテン語で『自然哲学の数学的原理 (Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica)』を出版し，デカルトが『哲学原理』で述べた「我思う，ゆえに我あり：Cogito ergo sum」に対置して，「我仮説を立てず：Hypotheses non fingo」と宣言し，デカルトの渦理論を真っ向から否定した．

万有引力の法則に基づき地球と天体の運動を初めて演繹的に示し，形而上学的な理論に対する答えではなく，多様で広範な現象を計算可能な形で実際に予測する普遍的原理を提出するという，その後の物理学理論のモデルとなるニュートン力学の体系を確立した．

デカルトの影響を強く受けたのは，ニュートンとは独立して微分積分学を確立したゴットフリート・ウィヘルム・ライプニッツも同様であろう（連載第 7 回）．デカルトは自ら深く追求することをしなかったが，一般的な論理を記述する記号論理学の可能性を視野に捉えていた．ライプニッツは，後のブール代数に繋がる論理学における形式言語に当たるものを初めて考案し，「どんな推論も代数計算のように単純で機械的な作業に置き換えることができ，注意深く用いることで，誤った推論は原理的に起こり得ないようにすることができる」と主張したが，デカルトは，アイデアの水準でライプニッツに先行していたと言える．

一方，ライプニッツはまた，形式言語を開発するに当たって 2 進法が重要となることにも気付いており，彼の書いた書簡に 2 進法の記述が見える．また，中国の古典『易経』に関心をもっており，中国で活動したイエズス会宣教師ジョアシャン・ブーヴェ (Joachim Bouvet) から六十四卦を配列した先天図を送られ，そこに自らが編み出していた 2 進法の計算術があることを発見している．

ここまで見てくると，現在，社会の隅々にまで影響力を及ぼしているコンピュータ科学の源流が，デカルトの創出した解析幾何学にまで遡ることが理解できるであろう．徹底して「理論と数学による自然現象の探求」を追求したデカルトの方法論は，ニュートンやライプニッツに受け継がれて微分積分学と数理物理学の創始に繋がり，そこからさまざまな理論分野と応用分野が派生し，今日，コンピュータ科学を真に有用なもの

とする深層伏流を形成しているのである．ニュートンやライプニッツからおよそ 250 年を経て誕生した OR も例外ではなく，その方法論的真髄をデカルトに負っていることを忘れてはならないであろう．

しかし，アルゴリズム実行の機械化へ向けて，〈第 1 の難関〉の突破口を具体的に切り拓いたのは，やはりブールであり，1847 年の「論理学の数学的分析 (Mathematical Analysis of Logic)」の発表までには，まだ 140 年を超える時を必要とした．（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, Francois Viéte, https://enwikipedia.org/wiki/Francois_Viéte（2021 年 12 月 14 日閲覧）

[7] E. T. Bell, *Men of Mathematics Volume 1*, Simon & Schuster, 1937.（田中勇・銀林浩訳，『数学をつくった人びと上』，東京図書, 1976.）

[8] Wikipedia, René Descartes, https://en.wikipedia.org/wiki/René_Descartes（2021 年 12 月 21 日閲覧）

[9] E. T. Bell, *Men of Mathematics Volume 2*, Simon & Schuster, 1937,（田中勇・銀林浩訳，『数学をつくった人びと下』，東京図書, 1976.）

[10] Wikipedia, George Boole, https://en.wikipedia.org/wiki/George_Boole（2021 年 12 月 14 日閲覧）

[11] P. J. Nahin, *The Logician and the Engineer: How George Boole and Claude Shannon Created the Information Age*, Princeton University Press, 2012,（松浦俊輔訳，『0 と 1 の話―ブール代数とシャノン理論―』，青土社, 2013.）

[12] J. Soni and R. Goodman, *A Mind at Play: How Claude Shannon Invented the Information Age*, Simon & Schuster, 2017,（小坂恵理訳，『クロード・シャノン―情報時代を発明した男―』，筑摩書房, 2019.）

[13] Wikipedia, Claude Shannon, https://en.wikipedia.org/wiki/Claude_Shannon（2021 年 12 月 20 日閲覧）

[14] Wikipedia, Alan Turing, https://en.wikipedia.org/wiki/Alan_Turing（2021 年 12 月 20 日閲覧）

[15] B. J. Copeland, *Turing: Pioneer of the Information Age*, Oxford University Press, 2012,（服部桂訳，『チューリング―情報時代のパイオニア―』，NTT 出版, 2013.）

[16] A. Hodges, *Alan Turing: The Enigma*, Princeton University Press, 2014,（土屋俊・土屋希和子訳，『エニグマ―アラン・チューリング伝―』，勁草書房, 2015.）

[17] 高岡詠子，『チューリングの計算理論入門―チューリング・マシンからコンピュータへ―』，講談社, 2014.

[18] Wikipedia, Galileo Galilei, https://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei（2021 年 12 月 21 日閲覧）

[19] Wikipedia, Nicolaus Copernicus, https://en.wikipedia.org/wiki/Nicolaus_Copernicus（2021 年 12 月 21 日閲覧）

[20] Wikipedia, Marin Mersenne, https://en.wikipedia.org/wiki/Marin_Mersenne（2021 年 12 月 21 日閲覧）

[21] Wikipedia, Isaac Beeckman, https://en.wikipedia.org/wiki/Isaac_Beeckman（2022 年 1 月 2 日閲覧）

[22] Wikipedia, Adrien Baillet, https://en.wikipedia.org/wiki/Adrien_Baillet（2022 年 1 月 2 日閲覧）

[23] Wikipedia, Elisabeth of the Palatinate, https://en.wikipedia.org/wiki/Elisabeth_of_the_Palatinate（2022 年 1 月 2 日閲覧）

[24] Wikipedia, エリーザベト･フォン･デア･プファルツ (1618-1680), https://ja.wikipedia.org/wiki/エリーザベト･フォン･デア･プファルツ_(1618-1680)（2022 年 1 月 2 日閲覧）

[25] 有賀暢迪，"合理力学の一例としての衝突理論　1720–1730 年"，科学哲学科学史研究, **6**, pp. 17–37, 2012.

[26] Wikipedia, ソディの 6 球連鎖, https://ja.wikipedia.org/wiki/ソディの6球連鎖（2022 年 1 月 4 日閲覧）

[27] Wikipedia, Thorold Gosset, https://en.wikipedia.org/wiki/Thorold_Gosset（2022 年 1 月 4 日閲覧）

[28] 寒川町ガイド，https://samukawaguide.blogspot.com/2019/12/6.html（2022 年 1 月 4 日閲覧）

[29] Wikipedia, Gottfried Wilhelm Leibniz, https://en.wikipedia.org/wiki/Gottfried_Wilhelm_Leibniz（2022 年 1 月 4 日閲覧）

[30] Wikipedia, Christina, Queen of Sweden, https://en.wikipedia.org/wiki/Christina,_Queen_of_Sweden（2022 年 1 月 4 日閲覧）

[31] Wikipedia, Isaac Newton, https://en.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton（2022 年 1 月 4 日閲覧）