

世界の発明家と科学者達

文明の成立—原初から現代まで—

はしがき

万物は四元素で構成され、愛と憎しみの二力によって結合分離をくりかえすと考えた、ギリシャの哲学者エンペドクレスから、ヒトの心臓移植で名をはせたクリスティアーン・バーナードまで、あるいはガリレイからアインシュタイン、ゲーテンベルクからパストゥールまで、さらにはライト兄弟からキュリー一家まで、本書は、150 名をこえる先駆者たちが成し遂げた、科学的構造改革の基本を明らかにするものである。挿し絵と図表が数多くあしらわれ、ほぼ年代順に配列されているため、偉人の人生や業績とともに、今日の科学技術にたどりつく軌跡が絵巻のようになりひろげられる。

Anthony Feldman und Peter Ford: Erfinder und Wissenschaftler. Die Entstehung unserer Zivilisation, von den Anfängen bis heute Klagenfurt: Neuer Kaiser Verlag 1980 を底本とし、訳者による注釈ないし補足は、3 種類の手段を用いて表示した。

- ① ハイパーリンク。青色の文字上にマウス・ポインタを置けば（場合によってクリックすれば）、そのポインタが小さい“+”のついた人差し指に変わる。そこで、クリックないしダブル・クリックすると、Web リンク先に移動して訳注が表示される。なお、これらの訳注は一括して巻末にもそえてある。
- ② テキストアンカー。同様に、枠で囲った青色文字上にポインタ（つまり手のひらツール）を移動させば、「手のひら」が「人差し指」の形に変わり、そこをクリックまたはダブル・クリックすると、巻末の「補注」に飛ぶことができる。
- ③ 割り注など。本文中の [] 内に表記されている。

また、本文中の多様な縮小画像（サムネイル）は、クリックすれば、拡大画像がみられるように、リンクスイッチを作成してみた。

2012 年秋、ノーベル賞を受賞された京都大学山中伸弥教授につづく科学者の輩出を期待しつつ、いつのまにか我を忘れて未知の領域にのめりこんでいた一。

20013 年春 訳者

第1章 エンペドクレス(BC490-430)

エンペドクレスは若いころ政治に関心を示したが、のちに自然哲学の研究に向かった。その最も重要な研究が四元論である。当該四元論は、宇宙が複数の根源的実体から成り立っていると断ずる、原初期の多元論にほかならない。さらには、物質

に作用し、物質内に変化を呼び起こす諸力が存在することを見きわめ、エンペドクレスは所見を生命の発達に関する基礎理論にまで練りあげた。

エンペドクレスの並々ならぬ関心事は、世界像すなわち哲学的宇宙観の構想にあった。万物がつくりだされてくる、唯一無二の根源的実体を見きわめようとした哲学者たち—ターレス、アナクシマンドロス、ヘラクレイトスなど—の論拠と、エンペドクレスは対決した。つまり、彼ら一元論者とは異なり、エンペドクレスは四種の実体もしくは要素—火、空気、水、土—を挙げ、いっさいの物質は、これら自然元素のさまざまな組み合わせと合成から成り立っていると説いたのである。

エンペドクレスは、四元素〔四大^{しだい}ともいう〕に作用し、四元素が混合、分離し、新たに結合するための原因となる、神秘的な二力の存在を信じた。エンペドクレスの見解によれば、愛が元素の結合をもたらす力であり、憎しみ〔争い〕が元素の分離をまねく、もう一方の力なのである。愛・憎の二力が、彼の考えによると、宇宙の発生と発展を引き起こす。世界の始まりは愛が優勢であり、物質は元素の調和とれた混合物として存在していた、と信じた。愛と憎しみが衝突し、元素が互いに引き裂かれるや、天地の創造がはじまり、何千年もの^{カオス}混沌を経て、元素の部分的なあるいは完全な組み合わせによって、ふたたび安定期がおとずれた。エンペドクレスにとって、河川や火山は、水・火と土との不完全な組み合わせの実例なのである。

エンペドクレスは「愛」・「憎」の^{イメージ}表象を生命の進化に関する初期理論の一説に展開させた。エンペドクレスの信じるところによれば、生命は原初の発達段階では属性の識別不能な混合である。憎しみ〔争い〕がそのような混合体を分離することによって、さまざまな種の動植物が発生する。つまり、愛・憎の不断の消長交代によって、当時知られていた多様な種に進化するまで、動植物は徐々に変容していったのである。生命の進化に対する関心は、エンペドクレスをヒトの生理学についての考察へと導いてゆく。血液は四元素の最も完全な結合体であり、心臓は血管系の中心にして生命の住みかそのものである。これがエンペドクレスの見立てであった。エンペドクレスの四大説は、多大な影響を後世の思想家におよぼした。およそ一世紀後、アリストテレスはエンペドクレスの見解を取りあげ、さらに発展させた。要約すれば、四元は地球上の物質の基礎をなす構成要素にすぎず、天空は、アリストテレス自身が^{エーテル}「精気」と呼ぶ「第五元素」で構成されている、とアリストテレスは信じた。地上の四元素はすべてそれぞれに所定の位置があり、いっさいの動きはこの定位置をめざしている、という考えがアリストテレス説の原点になっている。

エンペドクレス説は、四種の自然元素とそれらを操る二種の力があるとする神秘的な原理にもかかわらず、アリストテレスによって修正され敷衍されて、およそ2000年ものあいだ、化学をささえる基礎になっていた。近代化学が迷信や神話を科学的に検証可能な見解と置き換えはじめると、エンペドクレスの四元論は急速によりどころを失い、代わって、90種以上の化学元素が数学、物理学、化学の複合原理

によって作用し、結合し、物質的な宇宙を形成しているとみる、新たな理論が誕生したのである。



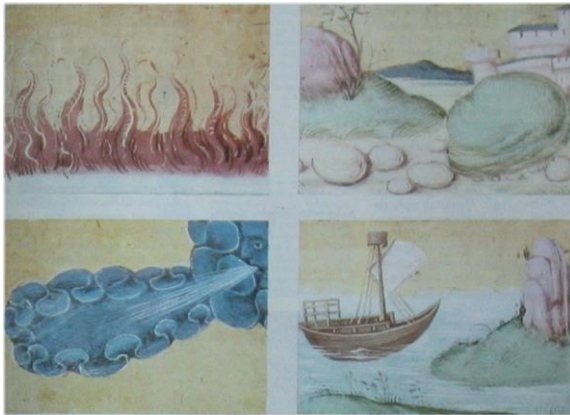
左図 エンペドクレスの肖像。ルーカ・シニョレリによって描かれたオルヴィエト大聖堂所蔵のフレスコ画の切り抜き。

右図 アクラガス（今日のアグリゲント）にある、ギリシャの平和神殿。アクラガスは、当時のギリシャ植民

地シチリア島の有名な文化の中心地であり、エンペドクレスの生誕地でもあった。



下図 エンペドクレスの世界像。四元素は四種類の性質によって結合され、各元素はそのうちの二性質を有する。火は「熱い」と「乾いた」性質をもつが、熱が優勢である。空気は「熱い」と「湿った」性質をもつが、湿りが優勢。水の属性は「湿った」と「冷たい」で、冷たさが優勢。土は「冷たい」と「乾いた」属性を有し、乾きが優勢である。このような四元素の相互作用が物質を創出した。



左図 エンペドクレスの研究には実践的な観点もあつた。図のゼリーヌスで鑄造された記念メダルは、沼地の干拓によってマラリアを克服しようとした、エンペドクレスの試みをたたえるもの。

第2章 デモクリトス(BC460-370)

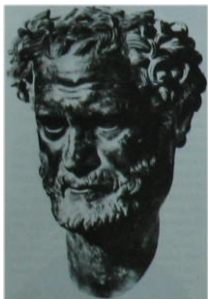
物質の原子構造論は、ひたすら悟性にしがたい、当時の迷信にそまらなかった、デモクリトス最大の業績である。この理論はのちに近代科学の礎石となった。デモクリトスは、宇宙に存在するすべてのものは微細な粒子から成り立っている、という考えを出発点にしている。粒子は存在可能な最小の単位であり、もはやこれ以上微小な単位には分解できないとされた。後年、このような微粒子をいいあらわすために用いた単語、「アトム」は、「分割不可能な」といった意味のギリシャ語に由来する。

デモクリトスはギリシア東部のアブデラに生まれた。青春時代、エジプトや近東諸国の学問の中心地^{メッソポタミア}になっていた数々の大都市を旅してすごした。デモクリトス

が世間の耳目を驚かす斬新な世界像を展開したのも、この遍歴時代にちがいない。原子は不変不滅であり、宇宙の唯一の中身であって、ほかには原子が存在する場としての空虚しかないと考えた[補注1]。さらに、種々の原子は物理的に区別され、その違いが万物の多様性をつくるもとになっているとの見解を唱えた。たとえば、岩や土の原子は、^{のこぎりばじょう}鋸歯状だから、しっかりとくっつきあって、固体の堅固な物質をうみだす。これに反して、水の原子は丸くて滑らかなため、水はたえず流れ、固有の定形をもたずに、水をたくわえる容器の形をとると考えた。このような着想を起点としながら、原子は破壊されることもなければ創造されることもないが、いろんな組み合わせをもって配列されることが可能であろう。つまり物質は、たとえ創造も破壊もされない[不生不滅だ]としても、形を変えることはできる、とデモクリトスは説いた。今日ではこの見解こそが、近代科学の最も基本的な法則の一つである、質量とエネルギーの可逆性に関する法則^{こうし}「^{こうし}嚙矢」となったとみなされている。

デモクリトスは近代科学を築く数多くの着想を展開したが、もちろん近代式研究方法に基づいて結論に達したわけではない。当時、実験や観察はまだ知られておらず、哲学的学説は、もっぱら思考力によって編みだされていた。したがって、デモクリトスの比類なき才能は、分析的というよりもむしろ直観的なものであり、大半は科学的に論証しえなかった。偉大な同時代人ソクラテスが、デモクリトスの自然観を厳しく拒絶したのは、不運なことであった。ソクラテスは絶大な勢力と名声を誇っていたため、デモクリトスは世間

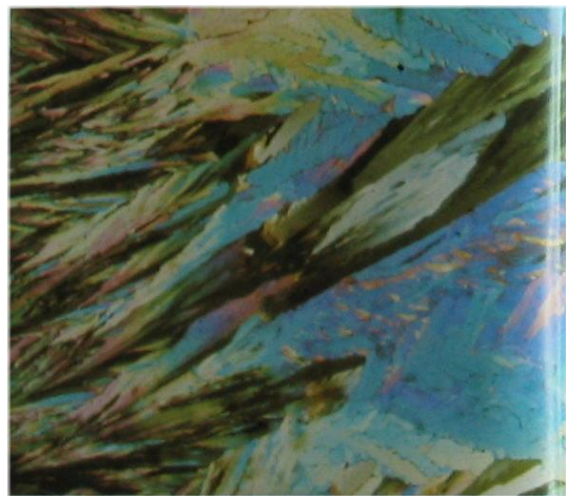
から^{ちょうろう}嘲弄と軽蔑をもって扱われた。死後幾世紀も経てようやく、近代の化学者や物理学者がデモクリトスの注目すべき考察と認識の精確さを見抜いたのである。

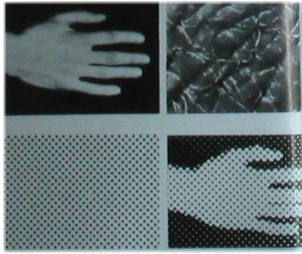


右 物質の構造は原子の形状によって定まる、とデモクリトスは信じていた。近代科学と似た見解である。この大きく拡大した結晶は、大粒状の粒子で構成されているから、^{のこぎりばじょう}鋸歯状になっている。

次ページ左 デモクリトス理論の写真による図解。

物質は原子の組み合わせから成る。白い手(左上)は、拡大写真(右上)が示すように、黒点をもふくむ。左下の写真では、白と黒の点が混ざり合っている。右下の写真では、白と黒の点が集まって一つの手をつくりだしている。





下 デモクリトスによれば、万物は分割不能な基本粒子すなわち原子^{アトム}からなる。万物の多

様性は原子の形状・配列・位置の差異から生じる。この見解にしたがい、図形は、



同一の構成分子がいか異なる物質を形づくるかを示している。



上右 デモクリトスは理性論者、すなわち、経験から得た認識をしりぞけ、もっぱら論理的な推論だけを認識の正当な根拠と認める哲人たちの指導者であった。科学的着想と同様に、デモクリトスは警句でも有名になり、「笑う哲人」と呼ばれた。

第3章 ヒポクラテス(BC460 頃—375 頃)

古代ギリシャの医師、ヒポクラテスは、医学を魔術や宗教との因習的なつながりから切り離した最初の人であると同時に、経験と観察に基づく医学的診断の基礎を確立した。古来「医学の父」と呼ばれる。

ヒポクラテスの生涯について知られているところは少ない。医者の子としてコス島に生まれ、生地の医学校で教鞭をとったとされる。また、ギリシャ本土にとどまらず、小アジアの津々浦々を旅し、各地で講義をした、見聞の広い人物であったという。

『ヒポクラテス全集』(Corpus Hippocraticum)として知られる著作集、すなわち、医学上の治療と研究のほぼ全域にわたる一連の臨床および記述的な論文は、おそらくコス学派の双書だったのであろう。同書は幾人かの手になる著作とみられるが、ヒポクラテス自身の論文を含むことは疑う余地がない。これらのヒポクラテス論文は、現在にいたるまで影響をとどめており、医学における哲学的伝統の元祖が、まぎれもなくヒポクラテスであることを証明している。『ヒポクラテス全集』の数巻、特に『警句集』は、19 世紀の医学校でもまだ教科書として用いられた。その冒頭にいわく、「芸術は長く、人生は短し。好機ははかなく、経験も当てにならず、判断はむずかしい」と。

「われわれの身体はわが病の医者である」、とヒポクラテスはたえず身体そのものにそなわる治癒力の重要性を強調した。あらゆる病気には自然の原因があると信じ、

てんかん

癲癇は神々によって課せられた「聖なる病」だとの考えを退けた最初の人でもある。系統だった観察と、治療の失敗を成功例とまったく同じように記録に残すことによって、ヒポクラテスは客観的基準をもうけた。医者には患者の環境を詳しく調べなければならぬという着想は、驚くほどモダンに感じられる。

ヒポクラテス以後、医学は、アリストテレスの生物研究によって進歩をとげ、ローマ帝国の全盛期にさえ依然としてギリシャ人の縄張りであった。西暦 30 年ごろに出版された、有名な『医術』(De Medicina)のローマ人著者、ケルススも、大部分はギリシャ医学を根拠としている。ローマで活躍し、実験生理学の基礎を築いた、ギリシャの医師ガレノスは、臨床医学のヒポクラテス方式とエンペドクレスの 4 体液論を継承している。ガレノスの影響は中世全期におよび、ルネサンス期にいたるまでつづいた。

ガレノスはだが一度も人体を解剖したことがなく、広く受け入れられた彼の人体説は、動物研究に基づいていた。人体解剖学は、ようやく 16 世紀も半ばにさしかかり、ルネサンス時代の医師アンドレーアス・ベサリウスによって導入される。ベサリウスは死体解剖の体験を一連の書、『人体の構造に関する 7 つの本』[1543]で公表した。これは医学教育に革命をもたらし、精密な外科治療を可能にした。

2000 年以上の長きにわたって医学倫理の青写真を提供している「ヒポクラテスの誓い」[1747]は、ヒポクラテスにちなんで名づけられてはいるが、おそらく当人によって定式化されたものではない。しかし、ヒポクラテスの信条から発した信頼すべき遺産とみなしてよいだろう。

ヒポクラテスの誓いは、まず第 1 に、師匠とその家族に対する医者への義務を定め、次に、患者のための行動規範を要約している。厳格な規則ではなく、むしろ倫理的に理由づけられた行動の枠組みを示すものである。そのおかげで、柔軟な解釈が許され、今日まで通用しつづけることができた。



左 14 世紀のギリシャの写本から抜粋したヒポクラテスの肖像。彼の生涯についてはあまり知られていない。

右 ヒポクラテスの記述した方法による、脱臼した肘の整復。脱臼に関する彼の論文は、医師たちに 19 世紀中葉まで基礎知識として用いられた。

下左 ヒポクラテスの誓い。



下右 ギリシャの一家族が医術の神アスクレピオスと健康の女神ヒュギエイアに雄牛一頭をささげている。ギリシャ神話によれば、アスクレピオスは父アポロに医術を授かった。アスクレピオスの信奉者たち、いわゆる「アスクレピアダイ」は、医術

に献身するが、ヒポクラテスもその一人であった。

第4章 アリストテレス(BC384-322)

アリストテレスはギリシア東北部のスタゲイラに高名な医者の子として生まれた。17歳でアテネのアカデメイアに入学し、ソクラテスの伝統を受け継ぐ、プラトンの影響を受けた。アリストテレス 20 年間アテネにとどまり、「ソクラテス法」をわがものとした。「[ソクラテス法](#)」とは、問答を繰り返し、矛盾対立と対決させて、研究者をますます客観的な真理へ近づけるために、対話をおこなう点に本質がある。師のプラトンがこの世を去ると、アリストテレスはアカデメイアを離れ、12 年間諸国を遍歴する。

この遍歴時代に、アリストテレスはアッソスで、ギリシア思想を小アジアに広める学校の設立に加わり、レスボス島では 2 年間、博物学や海洋生物学の研究にいそしむ。その後、紀元前 343 年、マケドニア王フィリッポス 2 世に招かれ、13 歳の王子一後のアレクサンドロス大王の家庭教師としてペラに 3 年間滞在した。50 歳近くになってアテネに帰り、アカデメイアに対抗する学校としてリュケイオン校を創設した。

リュケイオンにおけるアリストテレスの研究活動は、純粋理論の哲学・数学から生物学や歴史学へと方向転換した点で、アカデメイアでの研鑽と区別される。12 年以上の長きにわたって、アリストテレスは、広範な学術研究の中心としてリュケイオン校を運営した。紀元前 323 年、アレクサンドロス大王が急死したあと、アリストテレスは反マケドニアの暴動に直面してアテネを去り、翌年、カルキスの別荘で病没する。

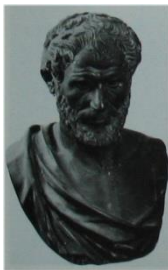
アリストテレスの著作のうち 47 本が保存されているが、それらはおそらく死後に弟子たちが講義用論文をもとに編集したものであろう。論理学に関するもの数編、『物理学』、『形而上学』、『修辞学』、『政治学』のような論文集、それに『詩学』についての断片も含まれる。この「アリストテレス著作集」は、若干の変更があるが、おおむねソクラテス流の弁証法的方法に準拠している。

アリストテレスにとって、哲学と政治、論理学と科学的な方法とのあいだには不可分の連関があった。それゆえ、思索や科学研究におよぼす影響は、きわめて多様であった。アリストテレスは論理学、物理学、生物学および古典古代学を正式の学問分野として確立した。分類^{システム}体系^{カテゴリー}では、範疇^{メソカ}を定めるために、類似点と相違点を利用している。アリストテレスは整然とした体系的な方法で、自然および人間生活に関する諸種の事実を収集して、最初の百科全書家になった。

アリストテレスの方法は、博物学の研究および動物の分類と解剖に最大の成果をあげた。自然においてはあらゆるものが最大限の完全無欠をめざしている—これがアリストテレスの中心思想である。いかなる種も「自然の段階系列」でそれぞれに定まった位置をしめる。生物は生命をもたない無機物よりも上位にあり、人間は動物よりも上位にあり、万物の創造者である神は人間の上に置かれたのである。

アリストテレスはみずから確立した段階系列を政治にさえ応用した。彼はあくまでも啓蒙的寡頭制支配の信奉者であった。国民は節度さえ守れば幸福でいられる。各人が極端な言行を避けるかぎり、ギリシアの都市国家内部の情勢は安泰であると説いている。

「アリストテレス著作集」は、ローマ滅亡後に散逸し、ヨーロッパでは 12 世紀まで知られていなかったが、その後、アリストテレスの考えが何世紀ものあいだ主流を占めるようになった。ところが歴史の皮肉は、アリストテレス自身の方法が、宇宙の構造と運動について明らかにしていた当人の命題をことごとくぐらつかせ、否定するまでになる反面、アリストテレスの学説が退けられるにつれて、ますます彼の方法の正しさが裏書きされるという結末をむかえた。アリストテレスが観察と分類に認めた意義と、その分野における最初の研究が、結局は、哲人の永続する主要な学問への貢献となったのである。



右 マケドニア王フィリッポス 2 世は、アテネの文化を高く評価していた。そのため、王がアリストテレスとともにアテネのアカデメイアの当時もっとも著名な哲学者たちを王子の教育係に選んだのも、きわめて当然なことであった。アリストテレスは弟子たちに歩きながら教えるのを好んだので「逍遙派の人」(Peripatetiker)という概念が生まれ

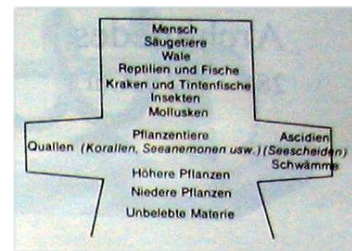


た。

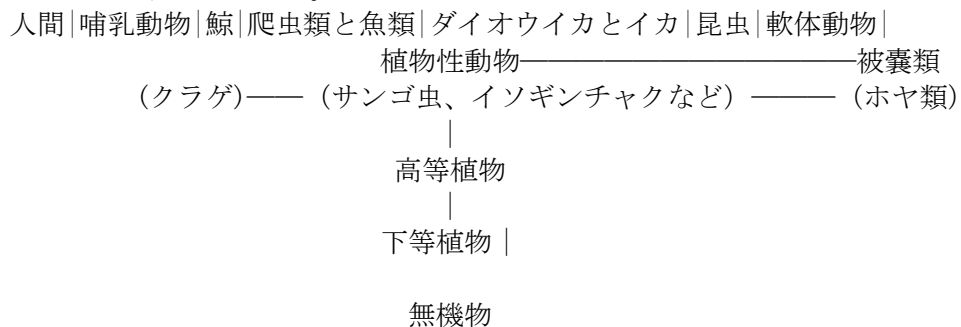


左 アリストテレスの著書『動物についての話』、中世アラビア語版から抜粋した 1 ページ。アリストテレス哲学はアラビアの学者たちによって西洋人のために再発見された。

右 アリストテレスの「自然の段階系列」。すぐれた生物学者として、論理学の命題と同じような方法で、自然を分類しようと試みた。動物から人間にいたるまでのさまざまな綱の発展段階に気づいたが、アリストテレスはなんらの進化論も、さまざまな種と属をつなぐな



んらかの結びつきも提唱しなかった。





左 フランスのシャルトル大聖堂のロイヤル玄関にある 13 世紀のアリストテレス彫像。アリストテレスの作品は、12 世紀末に西欧圏へ再び紹介され、とりわけ聖列に加えられたイタリアの学者、トマス・アクィナスによって、キリスト教的な形而上学と神学との基礎をなすまでに高められた。

第5章 アルキメデス(BC287 頃—212)

数学者で発明家のアルキメデスは、古典古代のおそらく最もすぐれた科学者であろう。いまでは「アルキメデスの原理」として知られている、浮力に関する法則の定式化、および ^{てい} 槌子 と滑車に関する研究は、重要な科学上の基本的発見である。

アルキメデスは、シチリア島のギリシャ植民地 シラクーザ に生まれた。アレクサンドリアで数年間すごした学生時代を除き、アルキメデスは生涯ずっと生地で暮らし活動した。彼の最も有名な発見といえば、浮力の発見だが、その切っ掛けは、数学者にしばしば助言や助力を求めていた、シラクーザの ^{せんしゅ} 僭主、ヒエロン 2 世との友情にある。あるとき、ヒエロンはシラクーザの金細工師から金の王冠を買ったが、実際にそれが純金製かどうか知りたいと思った。王冠をそこなうことなく、その含金量を調べるよう、王はアルキメデスに依頼する。アルキメデスは問題を幾日もあれこれ思案するが、なんの答えも見いだせそうになかった。ある日の午後、たっぷり湯を張った湯船につかった瞬間に、湯が浴槽の縁からバシッとこぼれることにふと気づく。浴槽からあふれ出た湯の量はとりもなおさず自分の身体の容積に相当することを、アルキメデスはたちどころに見抜いた。それこそ難問の答えであった。ヒエロンの王冠を水に沈め、王冠によって排除された水の体積を測れば、王冠の体積がわかる。金以外の金属を含んでいるかどうかを鑑定するには、王冠の総重量を同体積の純金の重量と比較しさえすればよかった。

アルキメデスはみごと金細工師の腐敗・墮落を看破した。王冠は大部分が卑金属でできていた事実がばかれば、僭主ヒエロンは金細工師を死罪に処したのである。

その後、アルキメデスは自己の著名な原理をさらに発展させ、流体内にある物体には、その物体が排除した流体の重さに等しい、「浮力」と名づけた、上向きの力がはたらくことを証明した。このことから、いろんな重い物体がなぜ沈まないかの説明がつく。たとえば、鋼鉄の延べ棒は単独ならたちどころに沈むが、現代の鋼鉄建造船は、大量の海水を排除するがゆえに、航行可能なのである。

アルキメデスの理論的発見は、大半が幾何学に局限されている。後世に伝わる著作は、数学の諸論文だけである。『円の計測』[命題 3] で、アルキメデスは円周と円の半径の比率を—通常ギリシャ文字の「 π 」を用いて表示されるが—前人未踏の精度で算出している。この方法はおよそ 2000 年後に、アイザック・ニュートンに

よる微分法発見への道しるべとなった。

生涯アルキメデスは哲学の理論的諸問題のほか、力学にも徹底的に取り組んだ。この成果が 槌子^{てみ}の原理の発見である。ある支点に固定された槌子が、棒の端に比較的小さい力を加えるだけで、なぜ重い荷物を持ち上げられるかを、彼は証明した。

アルキメデスの晩年は、ローマ軍の侵攻からシラクーザを防衛するためにささげられた。3 年間、ローマ軍は都市国家シラクーザを包囲したが、アルキメデスが設計した数々の奇妙な恐るべき「兵器」によって、敵の攻撃は繰り返し撃退された。それにもかかわらず紀元前 212 年、シラクーザはついに陥落し、町は略奪された。ローマ軍司令官マルケルスは、アルキメデスを迎えにやり、うやうやしく丁寧に扱うようにと命令をくだすが、運命の女神はアルキメデスにあらぬ采を振っていたのである。ひとりのローマ兵がつかつかと年老いた男のまえに進みいけるとき、ちょうど男はある数学の問題について思案に暮れていた。兵士は老人に即刻マルケルスのもとへ連行しなければならぬと言って譲らない。沈思黙考中のアルキメデスは、いらいらした身振り手振りをまじえて叫んだ。「わしの仕事の邪魔をするな!」。これが数学者の最後の言葉であった。怒りくるった兵士は剣を抜き、アルキメデスを刺し殺してしまった。



右 ポンペイにある邸宅のフレスコ画は、アルキメデスの螺旋^{らせん}を使った水ポンプ(螺旋^{らせん}姿を描いている。この器具は、円筒のまわりに巻いた螺旋の管からなり、螺旋管が水中で回転することによって、水が管を通して上方へ運ばれる。

揚水器)を踏んで水を送っている奴隷の



上 アルキメデス式螺旋のモデル。象牙^{ぞうげ}の玉がまっすぐな管の中を転がり、下方の回転する銅製螺旋管のなかに送り出される。象牙玉は、螺旋を通過して上端に達すると、それから再び一直線の管に落下する。

上左 アルキメデスは、兵士にマルケルスのもとへ同道することを拒み、刺殺される。

上右 アルキメデスは、力学分野での発見を実用器具の組み立てに応用する。シラクーザが攻囲されている間に、都市の防衛に役立つ幾多の兵器を設計した。

第6章 ヨハネス・グーテンベルク(1400 頃-1468)

活版印刷術は確かに世界を一変させる発明であったが、ドイツ人の発明家、ヨハネス・グーテンベルク本人についてはほとんど知られていない。1455 年ごろにつくられた有名な 42 行聖書は、疑いもなくグーテンベルクの作品であるが、西洋で最初に印刷された書物のうち何と何が彼の手になるものかさえ、いまだに定かでない。文字の機械的再生というグーテンベルク方式は、きわめて有効なことが実証され、500 年以上のあいだ著しい変更は加えられなかった。

グーテンベルクは、低温で溶け、ゆがみを生じないで凝固する活字合金と、ワインや製紙と製本に用いられる圧搾機に似せた印刷機を開発した。さらに、組み版^{はん}にインクを塗るために、初期のフラマン人画家たちの絵の具を改良した、油をふくむインクを使用した。この発明によって、印刷工は個々の活字を拾って、単語を組み合わせ、単語を均等な行^{ライン}に配列し、行列を箱^箱に組み込むことができた。こうした組み版にインクをつけて紙を押しつければ、何千という増し刷りがつくりだされる。各行は再び個々の活字に解体されて、再利用時まで保管することができた。

グーテンベルクは 1400 年ごろマインツに生まれた。ゲンスフライシュという都市貴族一門の出でありながら、たいていは母親の姓にしたがって、グーテンベルクと呼ばれた。彼の生涯に関する記録といえば、金細工師の同業組合会員として信望が厚かったことと、金融業に手を染めて不運な結果に終わったことくらいである。要するに、印刷術の発明は、1444 年になってようやく落着する、ある訴訟がまだ係属中に、グーテンベルクが 1430 年に追われていった、追放先のシュトラースブルクで脚光を浴びはじめたらしい。

一件落着から 4 年後、グーテンベルクは再びマインツで暮らしていたが、当地の資産家ヨハン・フストから援助を受けることができた。フストは、ただ貸付金の担保として、当初はグーテンベルクの印刷器具と設備に興味をいだいたにすぎないが、のちにはグーテンベルクの共同経営者となる。完璧を期すグーテンベルクに対し、フストは投資にいつそう速やかな商業収益を望むことから、いろんな問題が生じた。ついに 1455 年、フストは裁判に訴えて勝訴し、不運な発明家グーテンベルクから一切合切を奪い取ってしまった。

かつてはグーテンベルクの最も才能に恵まれた弟子であった、フストの義理の息子ペーター・シェファールとともに、フストは書籍印刷を営業として利用しはじめた。1457 年 8 月 14 日、彼らは印刷業者の名前を掲載するヨーロッパ最初の書籍として、詩篇（旧約の賛美歌集）を出版した。ただし、並はずれた上質の飾りを根拠に、多くの専門家は、グーテンベルクが当該書籍の飾りを制作したものと考えている。

晩年グーテンベルクは、マインツ選帝侯の愛顧によって、宮廷の構成員となり、毎年一定量の穀物と布とワインが与えられたおかげで、いくらか安定した生活環境にあった。1468 年に没し、グーテンベルクは出生地のフランシスコ教会に埋葬されている。

グーテンベルクは自身の発明がヨーロッパで急速に普及してゆく喜びを味わったが、営業利益を引き出したのは赤の他人である。グーテンベルクが死去したとき、少なくとも 8 カ所の大きい町に印刷所が存在し、つづく 10 年間にこの革命的な技術は、北はストックホルム、東はクラカウ、西はリスボンにまで達した。

15 世紀の活版印刷術は、19、20 世紀の大量生産技術に匹敵する。いまや、ひとりで大勢の仕事が片づけられるように、ひとりの印刷工がわずか 1 日で、筆記者 1 年分の仕事を片づけることができた。

印刷は大量生産による最初の産業であり、その産物は、現代文明を開く鍵である、マスコミュニケーションにも通じていたのである。



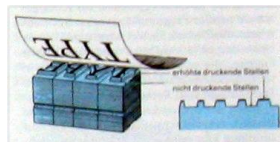
が、印刷工



1 日でつくりだすことができた。この開発の成果は、書籍価格の下落とともに、広範な新しい読者層に思考と学習の世界へ門戸を開いた。

上右 ヨハネス・グーテンベルクがヨーロッパ初の本を印刷する 1455 年まで、書物は、裕福な人びとにしか手の届かない、高価な珍しい代物であった。筆記者たちは 1 冊の本に何カ月もかかりきった。当初の印刷法は、今日の水準に比べれば、この 16 世紀のさし絵が示すように、緩慢で仰々しいものであった

は、筆記者がまる 1 年がかりで仕上げる同じ部数を、



下左 ヨハネス・グーテンベルクの最初の書物、1455 年に印刷された「42 行聖書」からの 1 ページ。本文は一聖ヒエロニムスによるラテン語の翻訳聖書であるが一、すばやく収益をあげようと、急いで印刷された。さし絵はそのあと手書きでつくわえられたものである。

下中央 グーテンベルク方式は凸版印刷とよばれる。鏡像のように植字された凸面の組み版にインクが塗られ、その上に紙が押しつけられる。



たものである。

下中央 グーテンベルク方式は凸版印刷とよばれる。鏡像のように植字された凸面の組み版にインクが塗られ、その上に紙が押しつけられる。

下右 1476 年、英語で初めて活字印刷本『チェスの手合わせ』を印刷した、ウィリアム・カクストンの印刷所。カクストン（右）がエドワード 4 世に校正用ゲラ刷りを見せている。

第7章 レオナルド・ダ・ヴィンチ(1452-1519)

ルネサンスの偉大な思想家のなかで、レオナルド・ダ・ヴィンチほど、ルネサンスが理想とした「万能の人」に近い者はいないだろう。芸術や哲学とまったく同じように、レオナルド・ダ・ヴィンチは自然科学にも通暁していた。しかし、偉人のひとりとして芸術史上に不滅の足跡を残した意義は疑問の余地がないが、科学分野

での役割は評価がわかれている。かつて存在した、最も発明の才があり、最も天分に恵まれた才人のひとりであるとしても、科学と技術の進歩におよぼした実際の影響は少なかった。

レオナルドのスケッチブックをいま研究している人なら例外なく、スケッチや入念に注釈をつけられた図面が今世紀の技術的成果と直結していることをすぐ悟る。レオナルド自身はただ発見や発明をいっさい公表しようとはしなかった。彼が他界すると、その資料はある ^{まなでし}愛弟子の所有に帰した。時代とともに資料は散逸し、個人の蔵書や収集となり、行方知れずになってしまった。その結果、貴重な資料は数世紀のあいだ日の目を見ず、レオナルドのまぎれもない科学技術の才能は、実用価値よりも、むしろ予言価値があるといえる。

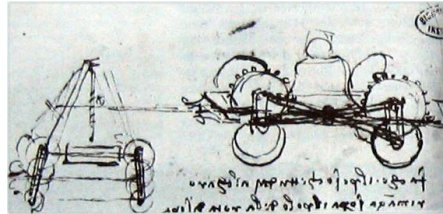
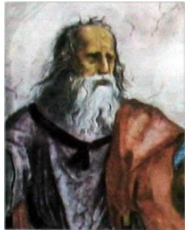
レオナルドはイタリアのヴィンチで、農家の娘とフィレンツェの公証人とのあいだに生まれた、非嫡出子である。画家の徒弟修業期間をフィレンツェのヴェロッキョの工房ですごしたが、ヴェロッキョは、若い弟子が師匠の『キリストの洗礼』画の左隅に描いた天使を見て、絵筆をおいた、と伝えられている。レオナルドの画家としての経歴は輝かしいが、ただ完成した絵画はわりあいに少ない。ときおり絵の制作は技術的実験にそそぐ情熱の犠牲になったのである。たとえば、ミラノの聖マリア・デラ・グラツィエ教会のためにフレスコ画『最後の ^{ばんさん}晩餐』を描くよう依頼されると、レオナルドはモルタルのうえに油絵の具を使って描いてみた。結果は ^{さんたん}惨憺たるものに終わった。作品はすでにレオナルドの存命中に相当な破損を見せ、何度も修復と復元を繰り返さなければならなかった。

生涯レオナルドは、同時代の医者が描いた、およそ比べられるどのスケッチよりも、つねに比較にならないほど美しい、綿密な解剖スケッチを制作しつづけた。あたかも発明品のように、それらのスケッチは知識そのもののための知識欲を反映している。筋肉組織、血管、解体された心臓と頭脳の断面は、驚くべき観察力を証明している。モナ・リザのなぞめいた微笑は、顔の表情のもとに隠れている筋肉組織を示そうとする、レオナルドの試みから派生したとさえ考えられた。

レオナルドは1483年から1499年までミラノ公に仕えた。ミラノがフランスに征服されると、フローレンスに舞い戻り、軍事技師としてチェーザレ・ボルジアのために働いた。1507年、フランス国王フランソア一世の招きを受け入れ、レオナルドは、国王から賜った、アンボワーズ近くのクルー城に居を移した。同地で没するまで、ほとんど学術研究に打ち込む生活をした。

レオナルドの機械仕掛けの多くは応用できなかった。しかし、たとえば蒸気機関のようなエネルギー源が自由に使えだすと、ようやく作動しはじめたものもある。なかんずく目を見張るのは、彼の想像力がいかに多くの領域に広がっているかという点である。はばたきながら空中へ浮揚させようとする機械装置、装甲戦車、弾着によって爆発させる ^{しゅりゅうだん}手榴弾型の翼のついた追撃ミサイル、潜航に適した船。これらはレオナルド ^{プロジェクト}計画のほんの数例にすぎない。

人生の終わりに近づき、レオナルドは、大洪水がついには人類をあらゆる虚栄や欠陥もろとも飲み込んでしまう、とますます信じて疑わなくなる。この確信から靈感がはたらき、「大洪水」の素描シリーズ、荒れ狂うとてつもない水流および大水の研究に、レオナルド・ダ・ヴィンチはのめりこんでいったのである。



上左 ラファエロの壁画『アテナイの学園』に、プラトンとして描かれている、レオナルドの肖像。

上中央 「2 個の動軸がある自動 4 輪車」、初期自動車のスケッチ。

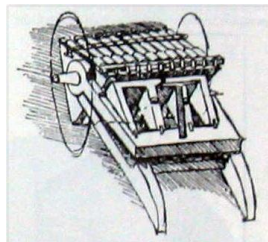
上右 レオナルドは自己のデザインをまれにしか実地に確かめなかった。彼の仕様書にしたがってずっと後に組み立てられた、ゼンマイで動くこの車両モデルは、実際に自動車として作動した。

下左 レオナルドの注目すべき観察力を証明する、肩の解剖学的研究。絵の多くは、芸術品であるとともに、解剖学的発見を明示する試みでもあった。

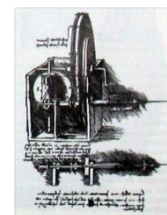


下中央 レオナルドのデザイン。

下右 レオナルドのデザインされた糸車。この糸車は、糸を巻きつけて自動的に回転させるための装置である。



レオナルド多銃身砲のデザイン。この装置は、糸を巻きつけて自動的に回転させるための装置である。



この装置は、糸を巻きつけて自動的に回転させるための装置である。

この装置は、糸を巻きつけて自動的に回転させるための装置である。このような構造は、初期の糸車に見られず、レオナルドとかわりなく 18 世紀に改めて発明された。

第8章 コペルニクス(1473-1543)

ポーランドの聖職者コペルニクスは、よく「近代天文学の父」と呼ばれる。太陽は宇宙の中心であり、各惑星は太陽をめぐる同心軌道を公転しているとの理論を展開した。このコペルニクス説は、ギリシャの哲学者プトレマイオスが提唱し 1300 年間以上も天文学を支配していた、伝統的な天動説と対立する。プトレマイオスは、地球を中心点として、天体がその周囲をめぐるという前提にたつ、一学派を築いていた。プトレマイオスの宇宙体系は、実は宗教上の強い訴えを忍ばせている。したがって、コペルニクスは地動説によって科学者たちばかりか、教階制度全体に挑戦したことになる。

天文学の研究をはじめてまもなく、コペルニクスはプトレマイオス理論に疑念が

わいてきた。プトレマイオスは自己の仮定を正当化するために、いくつかのきわめて複雑怪奇な軌道の存在を想定せざるを得なかった。プトレマイオスが説明しようと躍起になった、主な矛盾点の一つは、一年のきまった時期に、水星や金星にいたるまで、あらゆる惑星が数日間じっと動かず空にかかっているように見え、そのあと後ろ向きに動くという事実であった。ただし、水星と金星は、どうやら太陽に近い範囲にきちんと限定された軌道をもっているらしく、他の惑星のような一貫性のない動きも見せない。プトレマイオスの説明は近代の科学研究法と相容れなかった。周知の事実と観察から得られた事実から出発し、事実を説明するために理論を展開せずに、プトレマイオスは地球の位置についてあらかじめ抱いていた考えに、事実を適合させようと悪戦苦闘したのである。

一方、コペルニクスは惑星軌道を示す最新の星図を使って、一段と簡明な説明を見いだそうと試みた。まず、太陽は宇宙の中心に静止し、惑星は太陽のまわりを回転すると仮定した。この仮説に基づいて、彼は精確な、いっそうわかりやすい理論を展開することができた。

当該地動説を厳密な数式に練り直したとき、コペルニクスは惑星の現在位置を、旧体系〔天動説天文学体系〕よりもはるかに高い精度で予測しうること気づいた。そのうえ、水星と金星の動きも容易に説明される。コペルニクス体系にしたがって、金星と水星を地球から観察すれば、それらは、軌道が地球の軌道よりも常に太陽に近く位置するため、決して近日点の範囲外で運行することはない。逆に、他の惑星はいつも、地球よりも太陽から遠く離れた、軌道上を公転する。それゆえ、金星と水星以外の惑星は、ときおり地球を「追い越す」ことがあり、それが見かけの後方移動をひき起こす原因であった。

コペルニクスは『天球の回転について』と題する文書に持論を詳述したが、教会の報復を恐れて、公刊しないことに決めた。ところが、コペルニクス説はヨーロッパの多くの学者間に広まり、大きな興味を呼び起こし、さまざまな憶測を生むまでになり、ついに 1543 年、友人たちは老いて病にふすコペルニクスに文書を出版するよう説得した。コペルニクスは用心深く、教王パウロ 3 世にあてた自尊心をくすぐる献呈の言葉さえ添えた。それにもかかわらず、発行者は保身をはかり、著者の了解もなく、序文を書いた。コペルニクス説は現実の描写ではなく、惑星の現在位置をいっそう正確に算出するための、斬新かつ的確な工夫である、と。多くの学者は、コペルニクス自身が認可していない序文を書いたものと信じた。その結果、本文の ^{インパクト} 衝撃は減じ、コペルニクスの名声がそこなわれたが、当人は卒中の発作を起こし、弁明もままならなかった。コペルニクスは著書の初刷を見て、わずか数時間後に他界した。

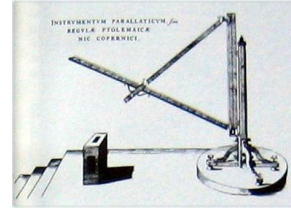
序文が投じた不利な波紋にもかかわらず、プトレマイオス説の余命はいくばくもなかった。コペルニクスの業績は天文学にはじめて、あとにつづく世代がよりどころとすることができる、科学的な枠組みをつくった。因習的な迷信の一掃に寄与し、近代的科学研究法の発展に道を開いたのである。



上中央 コペルニ
堂参事会員として
エンベルクの部屋。
教会によって教育
な教えの一つを否
宙の中心とみなす、
学者プトレマイオ

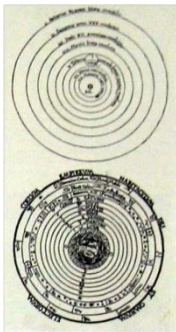


クスが司教座聖
暮らした、フラウ
コペルニクスは
されたが、基本的
定する。地球を宇
ギリシャの天文
スの宇宙体系を、太陽中心説に置き換えた



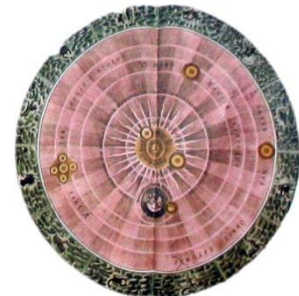
のである。正統なキリスト教思想にそむく不安から、彼はようやく没年になって論文を出版した。

上右 コペルニクスの太陽を中心とみなす宇宙（上図）。太陽をもふくめて、惑星が地球のまわりを回転しているとする、教会の考え（下図）に対立。



下左 三角器、コペルニクスが天体の高度を測定した器具。

下右 アンドレーアス・チェラーリウス図解書（17世紀刊行）の銅版画による、コペルニクスの太陽を中心とする宇宙。太陽からはじまり、外側に向かって水星、金星、地球、火星、木星、土星、それぞれの軌道と占星術の記号がつづいている。天王星、海王星および冥王星はまだ発見されていなかった。コペルニクスの発見は、世に受け入れられるまでに、ほぼ1世紀の歳月がかかったが、天文学に抜本的な変革をもたらした。



第9章 パラケルスス(1493-1541)

パラケルススは、病気の治療に化学薬品の使用を導入した、ルネサンス期の医師であり、錬金術師でもあった。16世紀初期の臨床医学にみられる進歩は、パラケルススに負うところが大きい。概して、近代医学の合理主義に根ざした^{けんきゅうほう}研究法は、パラケルススにまでさかのぼることができる。

彼の本名は、フィリップス・テオフラストゥス・ボムバストゥス・フォン・ホーエンハイムであった。チューリヒ近郊の村に、医師兼化学者の息子として生まれた。14歳にしてパラケルススはヨーロッパ各地の一流大学を訪ねて、見識に一目置くことができる、教師を求めはじめた。パラケルススはすこぶる型破りな、歯に衣^{きぬ}を着せぬ性格であったため、まもなく大半の教師たちを皮切りに多くの人々を、激越な調子で述べる懐疑的な意見によって傷つけた。

それにもかかわらず、パラケルススは1510年にウィーンで医学のバachelor号を、1516年にはイタリアのフェラーラで学位を取得して、そのころに「パラケルスス」と名乗った。その心は、当時ほめたたえられていたローマの老医師、ケルススへの軽蔑をあらわすため、「ケルススを超えて」というほどの意味をこめたかったのである。

パラケルススは、西はアイルランド、東はコンスタンチノーブルからロシアまで旅をした。軍医としてたびたび局地戦争にも参加した。たえず医療の知識を充実させ、「隠れた自然の力」を発見しようとしてつとめた。おおぎょうな話しぶりは、彼の姓ボムバストゥスから派生した言葉、「^{ボムバスト}おおげさな」を流行させた。生涯、パラケルススは因習的な体制を侮辱したり、正統派医学で疑わしい、無価値な、いや有害ですらある、いろいろなものを物笑いの種にする、いかなる好機も見のがさなかった。スイスのバーゼルで教職に就くとき、彼は誉れ高いギリシャの医師ガレノスの著作を公衆の面前で燃やし、当局に挑戦した。さらに、講義を万人に公開し、ラテン語に代えて日常語のドイツで講義することによって、立場を一段と悪化させた。ヨーロッパの隅々から学生たちが彼を慕って殺到するが、パラケルススは一カ所に長くどまったためしがない。行く先々で敵をつくり、バーゼルでも町から追いたてられた。

ヒポクラテスと同様、パラケルススは身体全体を出発点とする治療および身体じたいの治癒力を信じていた。また、ペストに有効な薬として、練り粉に患者の^{はいせつぶつ}排泄物を少量まぜた丸薬を開発したといわれる。他方、パラケルススは得意の科学的研究法にもかかわらず、魔術または「精神的諸力」を治療過程に重要な要素と考えていた。

この想像力豊かな自分本位の男は、すばらしい診断医であった。占星術を嘲笑する一方で、錬金術に根源的な真理をさがし求めた。「魔術は偉大な隠れた知恵であり、理性は偉大なばかまるだしだ」、と断じている。パラケルススは古い錬金術と新しい科学との溝をうずめ、錬金術への興味が、化学療法の分野でいくつかの基本的洞察につながった。

パラケルススは、鉱山労働者の肺病が悪霊などではなく、金属性「蒸気」の吸入に起因することを示唆した、最初の人物である。さらに、飲料水のミネラル含有量不足と一定地域における甲状腺^{せんしゅ}腫^{まんえん}の蔓延との関連を指摘したのも、パラケルススが最初である。梅毒の記述は、はじめて水銀混合物による治療を提唱した、画期的な論文であった。

1536年に刊行された『大外科医術書』は、パラケルススを栄光の絶頂に導き、貴族や諸侯から表彰されるが、命のきわまで、町から町へ、村から村へ転々と渡り歩くことはとめられなかった。パラケルススはザルツブルクの^{はたご}旅籠でついに息をひきとる。ある者は、毒殺されたのだ、といい、ある者は、酔って山から転落したときに負った、^{けが}怪我がもとで死んだのだ、という一。



右 ヒトの神に対する恭順の必要性が強調される、パラケルススの作品『予兆』からとったさし絵。医者^{いしや}は心も扱わねばならない、との理由から、パラケルススは神学を医学の根幹部分とみなした。



左 患者を治療している医者を示す、パラケルスス著作の第一面を飾るさし絵。人間はあらゆる要素をかねそなえ、治療にすべてを必要とするがゆえに、よい医者は物理学全体と錬金術を会得しなければならない、と彼はいう。パラケルススの驚くべき業績のなかに、同種療法と化学療法の先取り、治療における化学薬品の利用がある。確かに、彼はさまざまな革命的治療法だけでなく、無礼な言行によっても、大勢の医師や薬剤師の恨みを買った。しかし、患者には常にきわめて思いやりのある態度をとり、あらゆる点で彼は人気があった。



右 「生命の水」について講義中のパラケルススを描いた、油絵。この妙薬は、寿命を延ばす能力に加えて、卑金属類を金に変えるともいわれていた。したがって、「生命の水」は「賢者の石」と同意である。パラケルススの講義は学生たちにきわめて人気があったが、学者にふさわしいとされていた、ラテン語で講義をせず、パラケルススはドイツ語を用いたため、同僚や批評家を激怒させた。



適当な単語が見当たらなければ、彼は造語し、たいていは概念を厳密に定義しなかった。それゆえ、著作には理解できない点が多々ある。「亜鉛」とか「アルコール」といった、パラケルススが用いたいくつかの概念は、一般に用いられるようになった。

第10章 ゲオルギウス・アグリコラ(1494-1555)

ドイツの医学者ゲオルギウス・アグリコラは、採鉱と鉱物の系統だった研究をすすめた最初の科学者であり、鉱物をもっぱら自然対象として調査しはじめたことから、「鉱物学の父」という称号が与えられた。

アグリコラは本名ゲオルク・バウアーとしてグラハウに生まれた補注 2。のちに、ラテン語形の名前「ゲオルギウス・アグリコラ」を名乗る。ライプツィヒ大学で哲学と古典語をおさめ、教師になった。1523年、医学研究によってさらに修養を積むために、彼はイタリアへわたる。ヴェネツィアでギリシャの医師ガレノスの文献を研究し、人文学者エラスムスと出会う。

帰国後、アグリコラは、ヨーロッパで最も重要な金属の採掘と精錬地帯に発展しはじめていた地域の中心に横たわる、ヨアヒムスタールの町医者となる。アグリコラは、医療に役だつ鉱物を見つけられるかもしれないと期待して、余暇の大半を鉱山ですごした。そうこうするうちに採鉱や^{やきん}冶金そのもの、あるいは岩石と鉱石の分類にますます興味をつのらせていった。

明らかにアグリコラは鉱山労働者たち自身と話すことに重きを置いていた。労働者が安全対策基準の低さゆえにこうむらざるをえない事故、疾病、労働条件に起因する早期の老化に^{ひふん こうがい}悲憤・慷慨した。同時代のパラケルススと同様に、アグリコラも、これは「職業病」——当時はそう呼ばれていなかったが——の問題であることをきわめて明確に認識し、岩塩鉱山の労働者たちがよくかかる、皮膚病の詳細な解説書をつくっている。

アグリコラは以前のどの科学者にもまして、旧来の学説ならびに科学と魔術や哲

学との結びつきをはねつけ、研究活動は直接観察と現地調査を基礎とした。エラスムスに励まされ、アグリコラは鉱業と鉱石のさまざまな側面について著書・論文を次々に執筆した。これら著作のうちきわめて重要な『化石の本質について』(De Natura Fossilium)は、鉱物学の教科書第一号である。ただし「化石」という言葉は、当時、地中から掘り出されるすべての石を表示するために使われた。アグリコラは、浸食がどのように山の形に影響をおよぼすかを記述し、岩石に層をなして存在する鉱脈が泥質堆積物に由来することを的確に推論している。また、幾何学的形態に基づく結晶の分類法を案出し、鉱石探索に磁針の利用を唱道した。さらに、「^{ペトロレウム}石油」という新語を、ラテン語の「^{ペトロ}岩石」と「^{オレウム}油」から合成したのも、どうやらアグリコラらしい。

アグリコラの科学研究は、彼の最も著名な『採鉱と冶金について』(De Re Metallica)で極に達する。初版本は、著者が没した1年後にラテン語で、最初のドイツ語版は1557年ハンス・マヌエルのすばらしい木版画によるさし絵入りで出版された。同書はまたたくまに科学水準の高いテキストとして評価される。幾多の版をかさね、200年間にわたって模範とみなされた。

『^{デ・レ・メタリカ}採鉱と冶金について』は、冶金学および採鉱のあらゆる側面に関する包括的な論文である。ギリシャ・ローマの古典古代からこの^{テーマ}主題について知られた事実のすべてをまとめ、鉱業、測量ならびに採鉱の技術を詳しく記述している。鉱業にとって重要なかぎり、土地所有法さえも扱っており、雇用規則、労働管理、およびこれらと関連する経済上の諸問題もふくまれている。この著作によって、アグリコラは鉱物学を一科学部門として確立した。エラスムスがこの数年前に、アグリコラはいつか「学会の大御所の先頭に」立つだろう、と語った予言は、みごとに的中したのである。



上右 アグリコラの最も重要な著『採鉱と冶金について』から複写した、鉱石の溶錬現場を示す、さし絵。(A)と(B)は、鉱石を装入して溶かす、溶解炉である。溶解された金属は、湯口(C)から前炉(D)へと流れ、前炉の湯口(E)で流し出される。(F)は鉱石を装入する大釜。溶鉱工(G)が柳の枝で編んだかごに木炭をいっぱい入れて炉に運んで^{かぎきお}鉤竿(H)を使って、湯口で凝固した、^{スラグ}鉱滓を粉々に碎

いる。別の溶鉱工は

いている。溶融した金属はそのあと鑄型に流し込まれる。(I)は木炭の山で、かご^{ます}枒を用いてねこぐるまに移し詰められる。この種の溶鉱炉は、3昼夜ぶっとおしの作業で大量の金属を溶かすことができるので、きわめて効率がよい。銅、鉛、銀および金が、乏しい鉱石から、高価な融剤を混合しないで、しかも、高い採取率で抽出された。

下左 1500年頃のドイツ銀鉱。

下右 鉱山の立坑を換気するために利用された、3型式の送風器を示す、『採鉱と冶金について』から抜粋した図解。A—Fは、





一人の労働者によって操作される送風器。G—Mは、一頭の馬に車輪が動かされ、車軸に取りつけられたカムが送風器を圧縮する。N—Rは2輪システム。1頭の馬によって動かされる、垂直に取りつけられた車輪が、動きを水平に取りつけられた車輪に伝達し、これが送風器を駆動させる。
 左 送風器が現れるまでは、ヒトがたえず亜麻布を振りつづけることによって、鉱山の立坑は換気された。ローマ時代にまでさかのぼる手法である。

第11章 ゲルハルドゥス・メルカトル(1512-1594)

フランドルの地図学者ゲルハルドゥス・メルカトルは、いわゆる「メルカトル投影図法」を開発し、いかにすれば地表の湾曲が二次元表示でひずみなく平面に投影されるかの問題を解決した。このメルカトル図法は、地図学史上このうえなく影響力の強い開発であった補注 3。

メルカトルはフランドル地方のリュールモンデでゲールハルト・クレーマーとして生をうけたが、仕事のうえでは、ラテン語形の名前でとおした補注 4。1532 年、ルーヴァン大学で古典古代学と哲学の修士号を取得する。のちに、数学者で天文学者のゲマ・フリシウスと協力して、科学器械、地球儀、地図などを作製した。

きわめて有能な地図および器械器具の製作者としてメルカトルの名声は数年たらずのうちに広まり、16 世紀きっての地理学者としても数えられるようになる。1537 年に有名なパレスチナの地図を、翌年には最初のメルカトル世界地図を出版した。1540 年にはフランドルの地図がつづく。

1544 年、メルカトルはプロテスタンティズム信仰のために異端者の疑いをかけられ、監禁される。7 カ月間の入獄後、大学当局は彼の釈放を勝ちとり、メルカトルは研究を妨げられずにつづけることができたが、1552 年、宗教問題がひときわ自由に扱われていた、公爵領クレーヴェのデュイスブルクへ仕事場を移す。メルカトルはギムナジウムで数学を、大学で地理学を教えながら、クレーヴェ公爵の庇護のもとに自己の構想を完成すべく、研鑽^{けんさん}を積むことになった。

メルカトル投影図法を用いた 18 葉^{よう}の世界地図が 1569 年にはじめて公刊された。15 世紀にはじまる大航海時代は、いっそう信頼できる地図と海図を必要とした。新しい図法は、世界地図を円筒の投影として描くため、経緯線が垂直と水平方向に走る、長方形ができる。これによって以前よりもはるかに精確な航海が可能になった補注 5。

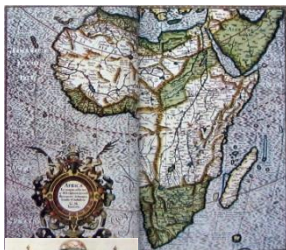
「メルカトル世界図」を公刊した同じ年に、メルカトルは最も野心的な計画^{プロジェクト}、すなわち天地創造以来の世界に関する地図入りの該博な報告に着手した。彼はそれを象徴的に、天空を双肩で支えた、ギリシャ神話の巨人にちなんで、「アトラス」と名づけた。これがもとで、一般に地図帳をあらわす呼称として、「アトラス」という言葉が使われるようになった。メルカトルの計画は 1569 年に出版された年表

ではじまる。 プトレマイオス・クラウディオス の地図に注釈をつけた改訂版が 1578 年にでき、ヨーロッパ、バルカン、ギリシャの地図帳が 1585 年と 1589 年につづいた。メルカトルの没後、子息のルーモルトがプロジェクトを完成させたが、のちに幾度か他人の手も加えられた。

メルカトルの地図は、若干不正確な点があり、未知の事実を空想力で埋め合わせているとしても、当時最高の科学水準をあらわすものであり、数学の厳密さと職人芸をかねそなえている。2 世紀にわたって、地理学者や探検家はメルカトルに計り知れぬほどの恩恵をこうむった。今日、メルカトルの地図は、きれいな斜字^{イタリック}活字とグラフィック・デザイン感覚によって、一段と芸術的に価値をたかめている。



右 初期の地図作製法の一例。くさび^{ゴッホ}と呼ばれる、これらレンズ状の平らな断片は、球体に貼りつけられて、地球儀をつくる。「くさび」はドイツのマルティーン・ヴァルトゼーミュラーによって 1507 年にはじめて採用され、今日まで地球儀の大量生産に利用されている。



左 『メルカトルの大地図』(Atlas sive Cosmographicae Meditationes de Fabrica Mundi et Fabricati Figura)から抜粋したアフリカ地図。

右 個々の断片が球面に貼りつけられた、最古のいまでも現存する地球儀。マルティーン・ベーハイムによってニュルンベルクで 1492 年に作製された。この地球儀には、もちろんアメリカは描かれていないが、たしかに日本は大西洋の向こう側に示されている。



左 メルカトル大地図のとびら。相続人によってメルカトル死後の翌年、1595 年に公刊された。これではじめて「アトラス」という言葉が地図帳に用いられた。この呼称は、策略にかかって地球を両肩で背負う罰を科せられることになる、ギリシャ神話の巨人神、アトラスに由来する。

第12章 ハンス・リッペルスハイ(1570 頃-1619)

オランダに住んでいたドイツ系の眼鏡師、ハンス・リッペルスハイは、望遠鏡の発明家とみなされている。1608 年、片や固定レンズ、片や被写体に焦点を合わせられる接眼レンズをそなえた、円筒で構成されている発明品を、リッペルスハイはオランダ政府に売りにだした。いくつかの変更をくわえ、双眼用のバージョンをつくりあげると、ようやく政府は 900 グルデンを支払った。

リッペルスハイの発明品は屈折望遠鏡の世に知られた最初の例である。しかし、私が発明者だ、というリッペルスハイの主張が実際に正しいかどうか、はっきりしない。別のオランダ人ヤーコプ・メティウスも、われこそは元祖なりと競い、ほか

でもないフランスの哲学者ルネ・デカルトによって支持されたのである。いずれにせよ、オランダ政府はリップルスハイの30年間有効な特許権の設定要求を、「多数の者がこの発明に関する知識をもっていた」、との理由でしりぞけた。

物体を拡大して見るためにレンズを利用する光学原理は、古典古代から知られていた。アラビア学者で探検家のサー・リチャード・バートンによれば、望遠鏡はイスラムの学者たちにはすでに中世以前に知られていた。13世紀に、ロジャ・ベーコン—イギリスのフランチェスコ会修道士で、哲学者兼自然科学者—は、予言めいた一節でレンズと凹面鏡との可能な組み合わせについて述べている。「このような方法ではるか彼方からわれわれはどんな小さい文字でも読めるかもしれない…太陽、月、星々も此方へ取り寄せられるようになるだろう」。イギリスの数学者レナルド・ディッゲスは、1571年に著書『幾何学演習』で「光学器具の不思議な効果」にふれている。

おそらく望遠鏡は理論と実際の両面でおおよそ300年間にわたって進歩しつづけ、完成にあとはただレンズの製造に改良を必要としていたにすぎなかった。

リップルスハイによる考案の意義は、一つには、腕のよいレンズ研磨工ならだれもが知っている、効果技法を利用した点にある。だがさらに重要なことは、望遠鏡がガリレイの研究活動を加速させ、当のガリレイはフランスの科学者ジャック・ボヴェデールを通じて望遠鏡のことを教わったという事実である。天文学の進歩につながる可能性に気づき、ボヴェデールが望遠鏡について報告書を送ると、それに基づき、ガリレイは改めてみずからの計算にしたがって望遠鏡を組み立て、「光学管」を天体の研究に創意工夫をこらして利用したのである。



上左 ハンス・リップルスハイ、屈折望遠鏡の発明家：

上中央 有名なロンドンの光学器械製作者（レンズ研磨師）、クリスト

ファー・コックスによって組み立てられた地上望遠鏡。リップルスハイは望遠鏡の原理を実用的な光学器械に発展させることで、レンズの専門家たちに、ことに天文学の道具としてレンズの利用価値が認識されたあと、彼と同じように望遠鏡をつくり、改良するきっかけを与えた。写真のモデルは、1673年につくられた、5個の入れ子管からなる望遠鏡である。対物レンズは焦点距離がほぼ3フィート（約91.5cm）、有効口径約0.3cmである。3枚レンズの接眼鏡は約45cmの視野でおおよそ14倍に拡大する。



上右 ガリレイ式望遠鏡は、リップルスハイの「光学管」の発明を下敷きにしている。ガリレイはみずから望遠鏡を組み立て、それを天体観測に利用した、最初の天文学者のひとりであった。

下左 カミュ・フラマリオン著『天の歴史』（1872年）からとった銅板画で、2枚のレンズによる望遠効果に関するリップルスハイの発見を図示している。伝説によれば、彼の仕事場の前で遊んでいた、ひとりの子供がふと、レンズが遠くの物体を近くに見せることに気づく。リップルスハイはこうして発明に偶然たどりついた

のである、と考えられた。

第13章 ガリレイ(1564-1642)

ガリレイは数学者、物理学者、それに天文学者としても、等しく天賦の才に恵まれていた。彼は研究の大半を観察と実験によっておしすすめた、最初の科学者であり、これによって近代的な科学研究法の発展にも貢献した。

両親は医者になるための教育を受けさせたいと願い、1581年、ガリレイはピサ大学で医学の勉強をはじめたが、その同じ年に科学上の最初の発見をする。ピサ大聖堂で礼拝中に、ガリレイは気流でゆれるシャンデリアにふっと注意をひかれた。規則的な振動のリズムに驚き、このような揺れを調べてみたくなった、ガリレイは、簡単な振り子を設計し、さらに振り子運動を測定するため、彼自身の脈拍を利用した。振り子運動の振動時間は、振り子の描く弧の長さに左右されないことを突きとめ、この事実から、振り子が時間測定に好適であることを推論する。のちに最初の機械時計に応用されることになった、みごとな着想である。

数学と物理学への情熱は、まもなく医学への関心をうわまわり、ガリレイは科学者の道を進もうと決心する。初期の研究は高い評価を呼び、ピサ大学で教職にもついていた。この時期に「落体の法則」を公式化した。たとえば、あらゆる物体は—空気抵抗が一定である場合は重さにかかわらず—同じ速度で落下するとなっている。

1592年、ガリレイはピサで数学、天文学の講義についてあれこれ横やりを入れる、政治上の無理難題からのがれるために、パドヴァ大学の教授に転出した。望遠鏡が発明されたことを耳にすると、ガリレイは天文学研究のために大幅に改良したものをみずから設計して組み立てた。自作の望遠鏡を用いて、月には山が存在すること、いくつかの惑星は衛星がまわりを旋回していること、太陽の表面には移動する黒点が時々あらわれることなどを発見する。

ガリレイはすぐれた研究者にとどまらない。講義も著作も同じく抜群であり、ガリレイの考えがヨーロッパの学者たちにおよぼした影響も、説得力のある明快な伝達能力で説明のつくところが多い。17世紀の20年代に、実験で得られた成果が新たな理論を数学的に公式化するための基礎となり、新理論がさらに新たな実験によって再検査されるべきだと説く、きわめて重要な著書補注6を公表している。

教会との衝突がガリレイの晩年に影を投げかけた。天体観測によって、地球が太陽のまわりを公転していることを、彼は確信していた。まさにこの事実が、地球を宇宙の中心とみなす伝統的な見解を信奉する、神学者たちを憤慨させ、ついに1633年、ガリレイはローマへ連行され、異端審問にかけられる。有罪と評決されたガリレイは、もしも見解を撤回しなければ、死刑を申し渡されることになった。老齢のうへ病気がちであった、ガリレイはやむなく譲歩する。だが、撤回のあと膝^{ひざ}から立ちあがるとき、こうつぶやいたという。「あれはやっぱり動いている」。

フィレンツェ郊外の別荘に追放され、ガリレイは自然科学や人文科学系の学者らと文通して余生を送った。ガリレイの死は、ヨーロッパじゅうの学者に悲しまれたが、教会は一最後まで頑迷に一故人を神聖な墓所に埋葬することを禁じた。



左 ガリレイによって設計された振り子時計の模型。
右 ガリレイの1632年に刊行された『天文対話』は、本の扉に描かれているように、アリストテレス、プトレマイオスおよびコペルニクスの弟子たちのあいだでかわされる論争の形をとっている。



右 ガリレイの設計図にしたがってつくられた振り子時計するガリレイの研究は、動力学の基礎を築いた。



左 ガリレイが眺めた月の絵。この絵はして見たもので、彼が月面の詳細をこれができたのは驚異である。



の模型。振り子に關

簡単な望遠鏡をとお
ほど精確に描くこと

右 制作者不明のガリレイ審問画。地球でなく、太陽が宇宙の中心であるという頑固なガリレイの主張に、教会は挑戦されたと感じる。ガリレイは太陽中心宇宙体系説の主な特徴を『天文対話』で示し、教皇パウルス5世の命令を無視して出版する。その結果として、彼は異端審問所に召喚され、1633年、異端のかどで裁判にかけられる。ガリレイは有罪と評決され、死刑と脅して自説の撤回を強要された。



第14章 ヨハネス・ケプラー(1571-1630)

天文学と光学への顕著な貢献によって、ヨハネス・ケプラーは幾多の病苦とたえない貧困に悩まされる人生を克服した。ケプラーは惑星運動の基本法則を発見し、コペルニクスの太陽系理論が正しいことを疑問の余地なく立証するとともに天文学のいしずえを築いた。さらに、ヒトの目の機能法をはじめて精密に説明することによって、現代光学の基礎を固めた。ケプラーは旧来の迷信を打破するために著しく寄与しながらも、生来の神秘主義者であり、心霊術に寄せる情熱は、しばしば科学的研究活動の妨げになるほどであった。

小児病は視力を減退させ、彼を半ば身体障害者にさせたが、精神的能力はいささかも縮減することなく、ケプラーはめざましい数学的才能によってオーストリアのグラーツ大学教授に就任し、宗教騒動が^{ぼっばつ}勃発する1597年まで在職した。その後数年間、著名な天文学者ティコ・ブラーエの助手となって研究し、ブラーエによる詳細な諸惑星の位置観測記録が、ケプラーの重要な多くの仕事に下地をつくった。

ニコラウス・コペルニクスは、地球でなく、太陽が宇宙の中心である、と1543

年に公表していた。コペルニクス説は依然としてかまびすしく論議がなされていたが、ほかのどの理論よりも観測に合致することを、ケプラーは悟った。コペルニクスの太陽中心説が真実であることを確かめたばかりか、ケプラーは理論的にも同説を発展させ、惑星運動について重要な三法則を定式化することができた。

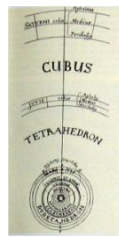
ケプラーの第1法則は、コペルニクスが信じていたように、惑星は円軌道上ではなく、楕円軌道上を運動することをつきとめる。円の中心とは異なり、楕円には[2点からなる]焦点がある。[第1法則](#)は、各惑星が公転時に描く楕円の一焦点が太陽であることを示す。ケプラーの[第2法則](#)は、惑星の距離が太陽に近くなるほど、公転速度は増すという。[第3法則](#)は、惑星の公転周期と惑星の太陽からの平均距離との平明な関係をあらわす。

ケプラーは、太陽が惑星の運動に強い影響をおよぼしていることをすばやく見抜き、それを磁力の作用に帰したが、磁力の性質または起源まで説明することはできなかった。万有引力の法則を定式化し、ケプラーの法則が重力による当然の結果であることを証明するのは、ほぼ50年後のアイザック・ニュートンを待たなければならなかった。

天文学者としてケプラーは望遠鏡の機能に魅せられ、ヒトの視力の性質について考察をはじめた。彼の研究は、目の機能や構造認識に関する将来のあらゆる進歩のために基礎を築き、光学が学問と認められることに役だった。まさしく、^{どうこう}瞳孔は、そこを^{どうこう}通って光線が目にはいってくる、絞りであると見きわめ、ケプラーは光線の屈折ぐあい^{どうこう}を記述した。

さらに、光がどのように望遠鏡内で屈折し、接眼鏡に拡大した像を結ばせるかもケプラーは解明した。この業績は、望遠鏡の新たな構造改良と同時に、眼科光学を医学公認の一分野へと発展させるための理論的基礎を提供したのである。

ケプラーは、わが家の生計をたてる手段として、星占いもしなければならなかった。後援者は大勢いたが、たいていは金離れが悪く、金策のために、たえずやっかいな旅に出るほかなかった。このような旅路でついにケプラーは倒れ、家まで送り届けられぬまに息絶えてしまった。



中央 相当長い時間をかけて認識できる惑星の動きであり、背景には恒星がまき散らされている。このような運動は、各惑星が太陽を中心とする一様な円形軌道上を公転している、という考えでは説明がつかない。ケプラーはティ

コ・ブラーエの火星観測に基づき、太陽をめぐる惑星の公転軌道が楕円である事実をつきとめることによって、不規則な動きを説明することができた。ときおり確認できる惑星の東西あるいは逆行する動きの原因は、惑星自身の運動と地球の運動との組み合わせに帰せられる。

右 規則正しい幾何学体につわるケプラーの神秘思想は、惑星の公転軌道の問題と関連している。ケプラーは公転軌道とその規則正しい幾何学体とを^{リッ}連結させ、軌道をまわる惑星によ

って呼び起こされる「天空の音楽」が存在する、と信じていた。



左 大半の研究活動がおこなわれた、ケプラーのプラハ観測所。

右 個々の惑星の目に見える運動。



第15章 ヤン・レークヴァーター(1575-1650)

ヤン・レークヴァーターは、17世紀初頭に広大なベームスター湖の干拓に成功した、技術者である。この干拓工事は、かつて治水工学の分野で完成した巨大プロジェクトのひとつであり、オランダの農耕面積に 6,880 ヘクタールを追加した。

国土の大部分がヨーロッパ西海岸の低湿地帯を埋め立ててできた、比較的小さい国家オランダにとって、地所はとりわけ重要である。自然を干拓して手に入れた地域、いわゆるポルダー（干拓地）は、数世紀にわたって、繰り返し縄張りを争おうとする、海や湖や沼の浸食作用から自衛する必要があった。オランダは世界で最も典型的なひとつの集約農業国であり、たえず新しい土地への需要がある—この点はレークヴァーター以来少しも変わっていない。

オランダ東インド会社の取締役会が極東で稼いだ富の投資先をさぐっていたとき、野心的な費用のかさむベームスター湖干拓計画が浮上する。^{プロジェクト}計画は公示されて、いくつかの候補者が入札するが、結局レークヴァーターが 1608 年 4 月 10 日に落札する。請負契約によって、環状の堤防は 1609 年 11 月 1 日に完成すべきことと定められた。

全長 38 キロにおよぶ環状堤を築くために、まずポンプによる排水作業を開始しようと、26 基の水車が一定間隔で配備された。工事は予定期限よりわずかに遅れただけで完了したが、1 カ月後に激しい冬の^{あらし}嵐が堤防を決壊し、その半分を破壊してしまう。工事はただちに再び開始され、3 年以内に^{ポルダー}干拓地を農業に利用しはじめることができ、まもなく肥沃な土壌からあがる収益は、建設工費をうわまわるようになった。

レークヴァーターは貧しい農家の出身であり、本職の大工であった。力学、水利工事、工学技術ならびに言語分野の知識は、ほぼ完全に独学である。のちには水車大工、建築家にもなった。

ベームスター湖の干拓に成功して以来、レークヴァーターは引っ張りだこになる。30 カ所以上の湖や沼沢湿原の干拓をなしとげ、ボルドー近郊の湿原干拓に助力を要請された。

まわりを沼沢湿原が取り囲む地形のために難攻不落とみられた、^{ようさい}要塞都市スヘ

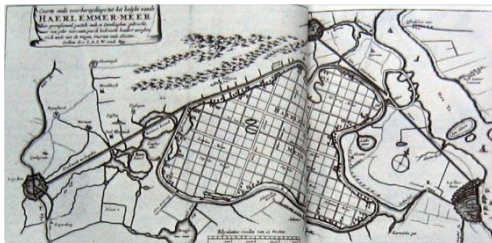
ルトーヘンボスの攻略にも参加した。レークヴァーターは2つの川を迂回^{うかい}させ、風車で動くポンプを用いて湿原を排水した結果、スヘルトーヘンボスは4カ月以内に陥落させることができた。

レークヴァーターはいろんな方面に興味をもった。家具を設計製作し、スケッチをし、木材、石材、象牙や金属に彫刻もした。さらに橋や教会の塔も建造し、そのうちアムステルダムとヴェスターケルクとゾイデルケルクとの塔には鐘をつけた。

このように数多くの成果を収めながらも、レークヴァーターは究極の野心を実現できなかった。つまり、たえまなく広がるハールレメル湖の干拓を計画したのだが、そのためには、本人の計算によれば、160基をくだらない風車によって動かされる水ポンプを必要とした。レークヴァーターの後継者たちも果たせなかった宿願は、19世紀の土木技術と蒸気ポンプの配備によってようやく実現される。少なくともその日まで、レークヴァーターはポルダー干拓の伝統的オランダ方式を新たに開花させた功績により、史上最高の技術者に列せられるにふさわしい。



左 オランダの干拓地帯。オランダは、海から8,000平方キロメートルの土地を奪うことによって、文字どおり国を建設した。この土木工学の偉業は、レークヴァーターが口火をきり、今日までつづけられている。海から農業用^{ポルダー}干拓地をうみだす原理は、レークヴァーターの時代以来ごくわずかしかわっていない。排水をおこなうポンプ基地によって堤防が築かれる。ポンプで排水されると、残余の水分が蒸発し、さらに雑草が地面にはびこるのを防ぐために、干拓地のぬかるんだ表面にアシがまかれる。排水運河も掘られる。そのあとアシが取り除かれ、排水路網が敷設され（のちにはパイプ管に取り替えられる）、最初の穀類をまくことができた。



右 レークヴァーターのハールレメル湖干拓計画。当時の水車は高い水位にうまく対処できなかったため、計画は失敗に終わる。ハールレメル湖の排水は19世紀の蒸気ポンプの開発まで待たなければなら



なかった。

上 オランダの水車。回転翼のついたカプセルが横木に据えつけられている。1本の垂直な車軸は横木を介して揚水車を駆動させ、揚水車が水位をあげるのである。

第16章 ウィリアム・ハーヴィ(1578-1657)

血液循環原理の発見、さらには心臓をポンプとみる発想は、一躍ウィリアム・ハーヴィ医師を医学の鍵^{かぎ}をにぎる人物にのしあげた。彼の著書『心臓の運動 De motu cordis』は、生理学に革命をもたらし、最も重要な医学書に数えられている。

[ハーヴィ](#)は英国フォークストンに生まれ、父親は地元の有名な実業家であった。カンタベリーの男子校に通い、のちにケンブリッジ大学で医学を専攻する。1600年頃イタリア北部のパドヴァに移り、イタリアの解剖学者で発生学の創始者でもある、ファブリキウスが当時指導していた、有名な医学部で2年間をすごした。帰国後、ハーヴィはロンドンで開業医をはじめた。

経歴は華麗きわまりない。1609年、ハーヴィは聖バルトロメオ病院で長年にわたる仕事をはじめ、1618年ジェームズ1世の侍医、のちにはチャールズ1世の侍医に任命される。しかし、研究にかけるハーヴィの野心は、あくまでも世俗的な野心よりも強かったのである。

ガレノスが2世紀に唱えたとおり、血液は心臓でつくられて、静脈と動脈を流れている、と当時もまだ信じられていた。師のファブリキウスは、大静脈に弁膜が存在することを発見したが、弁膜の機能を見きわめていなかった。ハーヴィは、生きている動物の血管を縛る、一連の実験を展開する。この動物実験によって、血液は心臓から動脈を通して流れだし、静脈を通して心臓へ還流することを、まず突きとめた。次に、大静脈弁は血液が心臓へ還流するように誘導し、心臓弁は血液がもっぱら一定の方向へ―右側から肺へ、左側から四肢へ―流れるように制御していることを発見した。

さらに、ハーヴィは、体内で循環している血液量を算定するために、流体計算を応用して、生物学に数学的手法を利用した、最初の科学者でもある。計算の結果、血液はたえず循環しているにちがいないと判明した。したがって、ハーヴィは、心臓こそが血液を循環させつづけるポンプの役を演じている、と推断したのである。

ハーヴィが発見の成果を1628年『心臓の運動』に公表するや、たちまち誹謗と論難書のあらしが著者を襲った。幾世紀ものあいだ神聖にして冒すべからざるものになっていた、既成の医学思想と相いれなかったのである。ハーヴィは論争を可能なかぎり無視し、反対者の話に乗らなかったが、職業上の名声はそこなわれた。「わたしはハーヴィが話すのを耳にした」、と友人の考古家ジョン・オーブリーは書いている、「患者はめっきり来なくなり、一般大衆はぼくの頭がおかしいと思っている、と…多くの人々がハーヴィ反対の論陣を張ったのである」。もちろん、ハーヴィの発見は30年後に世界のさまざまな大学で「大騒ぎのすえ結局」受け入れられた、とオーブリーはいう。

ハーヴィ理論にもただ一つ穴があった。すなわち、心臓から動脈を通して送りだされる血液が、再び心臓へ還流するために、どのような経路をへて静脈に達するかの問題である。ハーヴィは、毛細血管を経由して動脈は静脈と連結されるはずだ、と推論するが、これを実証することはできなかった。1661年、ハーヴィ没後4年目に、イタリアの解剖学者マルチェロ・マルピーギが蛙の肺組織に問題の毛細血管を発見し、これで最後の謎もとけた。

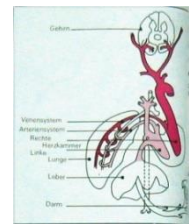
ある別の論文で、ハーヴィは卵のなかで鶏の[胚](#)が形成されてゆく過程を図示した。当の論文は1651年に動物の生殖に関する1冊の[著書](#)にまとめて刊行されたが、ハーヴィのこれまでの研究をきわだたせていた、思考の独創性がない。残念なことに、

初期の研究論文はおおかた、イギリス大内乱時に、議員派によって破棄されてしまった。

晩年、ハーヴィはほとんど研究から身を引いていた。一因は、^{つうふう}痛風と胆石に悩まされたことである。ついには脳卒中で倒れ、ハーヴィはエセックス州ヘムステッド教会の境内にある家族の墓所に埋葬された。王立内科医カレッジに遺贈された蔵書も、1666年のロンドン大火で焼失するが、そのときハーヴィ自身はすでに科学者として史上に名をとどめていた。

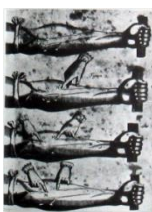


右 2世紀に生きたギリシャの医師、ガレノスが説く血液循環。この医学説はほぼ15世紀間争われることなく一般に認められていた。ガレノスによれば、3種類の血液が2つの異なる管系によって全身を流れている—静脈は紫色の血を、動脈は深紅色の血を運ぶ。肝臓は腸から摂取した栄養で血をつくり、血に「自然霊（ナチュラル・スピリット）」を授ける。一部は右心室をへて静脈に達し、あと一部は左心室をへて「生命霊（ヴァイタル・スピリット）」を吸収したあと、肺臓に源を発する、動脈に流れ込む。動脈血の一部は脳に達し、そこで「動物霊（アニマル・スピリット）」を吸収したあと、中空と信じられていた、神経に流入する。静脈と動脈との終点が心臓であるという考えを、ガレノスは認めなかった。心臓はポンプではなく、血液を暖める臓器と考えたのである。心拍と脈拍は、体が「生命霊」を吸収あるいは放出するとき、拡張と収縮を交互に繰り返すことに起因するとした。ガレノスは確かに当時の偉大な医者であったが、人間の体そのものを調べず、動物の解剖データをそのまま人間に転用した。「実験のたどる道は長く、険しいが、真理に通じている」、といったみずからの金言にもかかわらず、ガレノスは、自分自身の観察が予想した考えにそぐわない場合は、観察をしばしば無視した。彼に比肩する医者がほとんどあらわれなかったため、ガレノス説は中世にいたるまで幅を利かせたのである。



左 全身にはただ一種類の血液が循環し、酸素と栄養素を運んでいる、というハーヴィの発見を示す簡略図。血液は心臓から動脈（赤）をへて体のあらゆる部分へ流れ、静脈（青）を通して心臓へもどる。心臓から血液は肺臓へ、そして再び心臓へとまいもどる。微細な小静脈と小動脈は毛細血管を通じて結びつけられている、とハーヴィは推測した。

下左 この連続スケッチは、血液が体内で同じ方向に循環している事実を、ハー



ヴィがいかに証明したかを示す。腕を^{ひじ}肘のうで縛ることによって、静脈が浮き上がり、弁膜が「こぶ」のように見える。指先で静脈を押すと、最寄りの弁膜まで、静脈の一部が無血状態になる。

下右 17世紀の解剖学講義。ハーヴィは1615年、王立内科医カレッジの講師に任命された。



第17章 エヴァンジェリスタ・トリチェリ(1608-1647)

イタリアの物理学者で数学者のエヴァンジェリスタ・トリチェリは、「自然は真空を忌み嫌う」といったアリストテレスの命題を検証しようとする実験中に、水銀気圧計を付随的に発明した。

トリチェリはイタリアのファエンツァに生まれ、ガリレイの著作から科学の道をすすむ気になった。1641年、ガリレイの影響を受けて、トリチェリは『運動に関して』を著す。この論文に注目したガリレイは、わたしのところで秘書兼助手にならないか、と勧誘した。トリチェリは承諾し、アリストテレスの真空嫌悪説に関するガリレイ最後の研究活動に関与することになる。

アリストテレス説の正否にむけられた疑いは、鉱山の浸水を防ぐために吸い上げポンプを使っていた、鉱山労働者たちの情報によって呼び起こされた。これらの排水ポンプは真空原理をふまえている。水はもとの自然な水位よりも約10m以上はくみあげられず、その限界点はポンプの大きさや強さとかかわりなく不変であることを、鉱山労働者は経験から探りあてていた。ひょっとすれば、とガリレイは考えた、真空に対する自然の嫌悪にも限界があるのではないか。

トリチェリがガリレイの実験室で仕事をはじめてから3カ月後に、恩師はみずからの着想を実験で確かめられずに他界した。1644年、ガリレイが没して2年後に、トリチェリは実験に着手する。一端を閉じた長さ約1.2mのガラス管に水銀を満たし、開端を封じながらガラス管を逆さにし、水銀を満たした容器のなかに立てた。水銀の一部は管から流出するが、その^{くうげき}空隙に真空が生じた。この事実は、真空がほんらい自然に存在するものではなく、人為的に創出されなければならない、という意味でアリストテレスの主張を裏づける証拠であるが、さらに重要な発見へと導いてゆく。

トリチェリはしばらく実験を継続し、管内の水銀柱の高さが変化の法則にしたがっていることに気づく。当の変化は気圧の変動によって引き起こされる、したがって、外の大気圧が管内の水銀柱との均衡を支えているのだ、と的確に結論づけた。これに基づいて、トリチェリ以前の科学者たちがつねに無重力と考えていた、大気の圧力ないし重さの精確な測定をはじめてこころみた。同時に、トリチェリは思いがけなく、今日バロメーターとして知られている、気圧測定器の最初の初歩版を開発するにいたった。

水銀気圧計は、真空をつくりだすトリチェリの簡単な実験以来、さまざまな改良がくわえられている。17世紀半ばに、フランスの科学者ブレーズ・パスカルは、パリの気圧をビュイ・ド・ドーム山頂の気圧と比較するために、水銀気圧計を設計した。オットー・フォン・ゲーリケ—17世紀に活躍したドイツの技師にして物理学者—は、小型の指針を動かす^{フロート}浮球つきの気圧計をつくり、気圧計を気象予報に利用する方法を指示した。この種の計器は現在では自記気圧計と呼ばれるものになっている。ただし、水銀気圧計は、気圧の最も精確な測定をおこなえる器具であり、こ

の点に変わりはない。



左 真空をつくりだすことが可能か否かをためそうとする、トリチェリの有名な実験の立体模型(この照明効果に映える立体模型の再現がロンドン科学博物館にある)。水銀を満たして先端を封じた管を、同じく水銀のいっぱい入った容器



内に倒立させる、実験中のトリチェリがみられる。

左 トリチェリの著書『天体 De Sphaera』(1644 年刊)のとびら



左 トリチェリ以来、気圧計の形態は著しく変わった。上記の絵は、自動記録針によって気圧の推移を、ゆっくり回転する自記円筒に記録していく、自記気圧計を示す。下記の絵は、水銀を用いない、アネロイド気圧計である。アネロイド気圧計は内部を真空にした金属板の箱おり、そのふたが外部の気圧変化によってふくらんだりへこんだりす弾性変形が、てこ装置によって拡大されて指針に伝わり、感知される



できて
る。この
ことになる。

右 トリチェリ水銀気圧計の模写。

第18章 ロバート・ボイル(1627-1691)

物理学者としても化学者としても、ロバート・ボイルは、実験主義のゆるぎない信奉者であった。まっ先にガリレイによって 17 世紀初期に唱道された、斬新な実験的 ^{アプローチ} 研究法 を奉じるイギリス科学者グループの指導者に数えられる。ボイルは良識に方向づけられた単純な方法を用いながら、気体の物理的性質に関する数々の重要な発見をし、それらは以後、圧力下の気体運動を究明するために、科学者や技術者たちに利用されている。ボイルはその後、自分の発見が物質の原子構造に関する基礎理論を内包していることを指摘した。

1659 年頃ボイルは、真空の性質についてヨーロッパでおこなわれていた研究調査に興味を示しはじめる。新種の空気ポンプを設計して組み立て、それを利用してほぼ完全な真空をつくりだしたため、ボイルは独力で真空現象を研究することができた。この真空ポンプによる仮想真空(バーチャル・バキューム)を手がかりにして、重さの異なる物体も真空状態にあっては同じ速度で落下する、といったガリレイの仮説を証明することができた。さらに、音響は伝達媒体として空気を必要とし、いかに大きな音も真空に近い空間ではほとんど伝わらないことを発見した。

ボイルの実験は 1662 年、ボイル (とフランスの物理学者マリオット) の名にちなんで命名されている補注 7、いまや有名な法則の発見をもってその極に達した。いわゆる「ボイルの法則」は、気体の体積と圧力が反比例の関係にあることを示す、単純だが重要な法則である。一定量の気体の体積は、一定温度で、圧力が 2 倍にな

れば、2 分の 1 に減少することを、ボイルは見いだした。圧力が 3 倍になれば、体積は 3 分の 1 に減る。ボイル（あるいはボイルーマリオット）の法則は、気体の圧力と体積とがどのように変化しているかを算出するために、今日でも多方面に活用されている。ボイルはさらに発見を進展させた。空気は圧縮できるゆえ、微粒子で構成されているにちがいない、と推論する。この想定から出発して、あらゆる物質は 4 元素一土、空気、火、水一の組み合わせから成り立っている、という見解を否定する。むしろ物質は、「粒子」へと結合する、「素粒子」からなる、とボイルは考えた。古代ギリシャ・ローマ時代以来はじめての原子論として、素粒子が結合して粒子になるというボイルの考えは、いくつかの原子が化学結合によって 1 つの分子になると考える、現代化学の見方を先取りしたものといえる。

ボイルはつねに科学問題とまったく同じように、慈善や宗教問題とも懸命に取り組んだ。けれども晩年になると、しだいにキリスト教的理想を進めることに傾倒していった。1680 年、英国学士院院長に就任を要請されながら、ボイルははっきりしない宗教上の動機から辞退する。臨終に、「キリスト教を悪名高い異教徒たちから守ること」を課題にする、一連の学術講演のために寄金を遺贈した。このボイル記念講演は、いまでも開催されており、歴史によって証明された彼の偉大な英国科学者としての役割にかかわりなく、今後もボイルの宗教的意図にそって生きつづけるであろう。



左 ロバート・ボイルが共同創設者になった、英国学士院。もともと英国学士院は、自由な議論と実験という理想に燃える男たちのグループ名をもらって、「見えざる大学」(invisible college)と呼ばれていた。科学者のほかに、建築家のクリストファー・レンや日記作家サミュエル・ピープス卿のような、別の分野で著名な人物も参加していた。この「見えざる大学」は 1663 年に設立勅許状を与えられ、英国学士院と改名する。1680 年、ボイルは院長職をすすめられるが、辞退した。英国学士院は現在もお世界で最も重要かつ有力な学術機関のひとつである。創立以来、3 度所在地を移し、今日ではロンドン中心部の巨大なビル「カールトンハウステラス」内にある。



左 当時ヨーロッパで一般に用いられていた真空器具にならってつくられた、ボイル・フック真空ポンプの復元。ボイルのポンプはほとんど完全な真空をつくり出すことができた。球状のガラス鐘に被験体がおさめられる。ガラス鐘は、セメントで気密にすることができる、栓がある。ガラス鐘が真空になると、炎は消え、中に入れている動物は例外なく息絶えた。

右 水がポンプで上方にくみあげられる、最大限の高さを例証する、ボイルの実験。これほど長いガラス管をつくるのは無理なので、鉄でメッキをした長いブリキ管が利用された。ボイルは水槽から約 9m 上方の屋上に立って、水をポンプでくみあげる。大気圧のために、水がもはやそれ以上ポンプでくみあげられない、最高水位が存在することを実証した。



左 ボイルが気体法則の定式化のために用いた、真空ポンプその他の器具を示す、ボイル自身

の図解。両脚管（絵の右側中央）は、一定量の気体の圧力が体積に反比例することを示すために、ボイルが利用した器具の一部である。

第19章 クリスティアン・ホイヘンス(1629-1695)

天文学者、物理学者、そして数学者のホイヘンスは、科学に多大の貢献をした。天文学者として残した最大の業績は、惑星や恒星の重要な発見を可能にした、高分解能の望遠鏡をはじめて製作したことである。物理学の分野では、回転する物体にはたらく力の作用法則を記述する、ひとつの理論を構築した。この理論に基づき、特殊な振り子を設計して、はじめて精度のよい振り時計をつくった。また数学的才能は、光を一種の波ととらえさせた。光の波動説は、250 年間にわたって有力であったばかりか、いまでも光の理解に重要な要素であることに変わりはない。

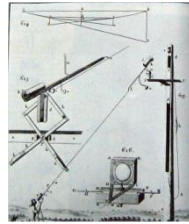
ホイヘンスはオランダのハーグで生まれた。父親は卓越した詩人、外交官であり、ヨーロッパで最も尊敬を集めていた幾人かの学者を友人にしていた。若き日のホイヘンスはなかならず、我が家にたびたび 逗留^{とうりゅう}した、ルネ・デカルトの影響をうけ、デカルトとの歓談をとおして、科学がいつかはあらゆる自然現象を説明するだろう、という固い信念がうえつけられた。この信条は終生ゆるぎなく堅持され、彼の研究活動全体に影響をおよぼすことになる。ホイヘンスは、幾多のすぐれた業績に重要な役割を果たした、自分自身の巧みな実践技能に基づき、機械論的自然観に著しく心をひかれていたのである。

たえず天体観測に興味をいだく、ホイヘンスは 1655 年、望遠レンズの新しい研磨法の開発に成功し、天文学に革命をもたらした。つまり、新式研磨法を用いて、分解能のきわめて高い望遠鏡をつくりだした結果、これまで知られていなかった細部にいたるまで、天体を観測することができ、ホイヘンスはたちどころに、土星が環にとりまかれ、少なくとも 1 個の衛星が土星の周囲を運行している事実を発見した。火星面の斑紋ならびにオリオン星雲を発見したのも、彼が最初である。

ホイヘンスの実践志向は、科学的観察を数量として表現する手段を求めた。たとえば、天文研究のために、天体間の角距離を測定する、特殊な 測微計^{マイクロメーター}を案出している。しかし、最も注目される画期的なものは、彼自身の振り理論を応用して振り時計をつくり、精密な計時のために、最初の機械時計を発明することに成功したことである。

終生ホイヘンスは病に悩まされつづけた。最後の科学的偉業は、健康をすっかり損なってしまう、新たな病の発作直前に完結した。従来のあるあらゆる研究と異なり、最後の偉業はむしろ抽象的理論的なものである。ホイヘンスはイギリスの物理学者で数学者のアイザック・ニュートンの考えを高く評価していたが、光は無数の発光粒子の流束からなるとするニュートン説には疑念をもった。対案として、光は進行

方向に沿って四方八方へ脈動する波動と考えられることを示す、代替理論をあみだした。後年になって、光が波動として実は進行方向と垂直に四方八方へ脈動することが証明されたが、いずれにせよ、ホイヘンスの唱えた光の波動説はその基礎概念を確立した。また「[ホイヘンスの原理](#)」は、相変わらず有効なものとして今日の物理学でも応用されている、理論の数学的基盤をも提供している。



下 ホイヘンスの天体望遠鏡。望遠鏡の解像力は、当時レンズの品質が粗悪であったため、非常に低かった。倍率は円筒を長くすることでも改良されたが、その方法は一定の限度までしか正常に機能しない。ホイヘンスは 2 本の短い管を使い、ひとつには対物レンズ、もう一方には接眼レンズをつけた。また、解像力を高めるために、レンズの研磨法も開発した。このように改良した器具を用いて、彼は土星をくっきり見ることに成功した。



左 ホイヘン
た家
中央 ホイ
が利用され
時計。



スが少年時代をすごし
ヘンスの改造型振り子
た、オランダの可搬置き
たホイヘンスのスケッ



右 いくつかの環をもつ土星を描い
ち。

第20章 アントニ・ヴァン・レーウエンフック(1632-1723)

専門教育をうけた科学者ではないが、アントニ・ヴァン・レーウエンフックは、原生動物や細菌類を調べた最初の人物であり、その研究が微生物学と細菌学の基礎を築いた。もともと性能のよい顕微鏡の開発をめざした、レンズ磨きに対する関心を通して、レーウエンフックは科学研究の道にはいった。

レーウエンフックの開発した顕微鏡は、当時ヨーロッパで普及していたものとは本質的に違う。普及型は、できるだけ拡大した像を結ばせようと、2 枚またはそれ以上のレンズを組み合わせていた。この複式顕微鏡は、おそらくオランダの眼鏡師ツァハリース・ヤンセンによって 1590 年頃に発明されたのであろう。十全なガラスをつくる難しさゆえに、当時の顕微鏡レンズは像をゆがめ、おまけに観察対象の端に色縞いろじままでも生じさせていた。

こうした問題を克服するために、レーウエンフックは焦点距離の短い高品質な単一レンズの製作に全力をそそぎ、レンズを一組の薄い銅板のあいだに一枚ずつ挿入していった。彼のすぐれた腕前は、大きさがピンの頭ほどもないレンズもつくっていることで明らかである。レーウエンフックは生涯のうちに、物体を 50~300 倍に拡大する、レンズを 400 枚以上みがきあげた。微細な試料を顕微鏡のもとで照明するノウハウは、企業秘密のまま、レーウエンフックが墓のなかに持ち込んでしまった。

レーウェンフックは厳格な科学的方法にしたがって研究作業をすすめていないと非難されたが、その観察と推論は驚くほど精密であった。レーウェンフックが仕事をしていた時代には、「自然発生説」（生物は無生物から発生することがあるとする説）が科学常識として世間一般に公認されていた。ウジは腐肉から、ハエは砂や塵埃（じんあい）から、オサムシは納屋に貯蔵されている小麦から生まれる、と人々は信じていた。これらの動物はすべてみずから繁殖する。オスによって授精し、メスが産みつけた、卵から 孵化^{ふか}する一ほかの昆虫の場合とまったく同様である一事実を、レーウェンフックははじめて明らかにした。アリマキが単為生殖によって繁殖する（受精せずに卵子が発生を開始する）ことも発見し、ウナギが露から、甲殻類が 干潟の泥沼から生まれるのではないことを示して、自然発生説をさらに否定した。

最も広域にわたるレーウェンフックの観察は、原生動物学と細菌学の分野でおこなわれた。雨水の試料調査でレーウェンフックは微小生物を認め、「小動物 animalculum」と名づけた。彼の意見によれば、「小動物」は「空中を浮遊する小さな塵埃とともに、風に運ばれてくる」ことがある。レーウェンフックはその後ヒトの口や腸から採取した試料を調べ、そこでも、病原菌を含む、類似の「小動物」に出くわすが、両者のつながりを認識することはできなかった。細菌の描写第一号は、1683 年ロンドン英国王立学士院(Royal Society)の会報に掲載された、レーウェンフックの手になるスケッチである。

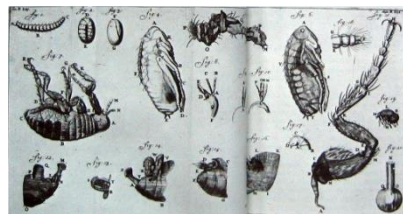
ヒト、犬、昆虫の赤血球および精子の最初の精確な記載は、レーウェンフックが学士院と 1673 年から死ぬまでとりかわしていた、交換文書に見いだされる。レーウェンフックによる発見の多くは、上記の文通書簡などをおして学会に知らされ、その後 14 巻にまとめて刊行された。

レーウェンフックの発見は同時代の人々を驚かせ、彼が自然発生説を否定したことは、ただ徐々に受容されていったにすぎないが、レーウェンフックの名声だけはあつというまに全世界に広がった。

レーウェンフックはレンズの研究を長い人生のほぼ最期までつづけた。感激と探究心は衰えを知らなかつとみえ、それがまた自然の隠れた側面を彼にかいまみさせる窓を開いたらしい。おかげで、ありとあらゆる生物の—「ちっぽけな軽蔑されて」いる、取るに足りないノミの—複雑さまでも証明したい、というレーウェンフックの願いがかなえられたのである。



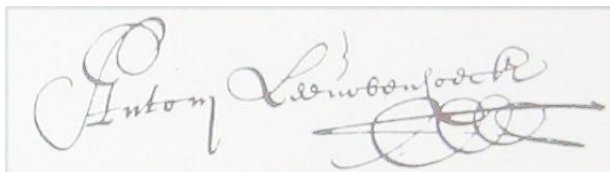
た。



成虫になったノミのさまざまな部位を描いているレーウェンフックのスケッチ。ただし、絵の上左は幼虫および 蛹^{さなぎ}の段階。レーウェンフックはきわめて才能に恵まれた素描家で、顕微鏡の観察結果について非常に精確かつ詳細なスケッチを作成し



数種の初期顕微鏡。なかに倍率 270 倍のレーウエンフック型の模写。



第21章 アイザク・ニュートン卿 (1642—1727)

アイザク・ニュートンは、その顕著な業績が近代科学の基礎をきずき、一般に史上最高の科学者のひとりと評価されている。運動の 3 法則とニュートンによって展開された万有引力説は、現代物理の礎石である。光学の分野では、光の性質に関する考察と、「白色」光はスペクトル色から成るとの発見が、重要な役割を演じている補注 9。数学領域では、有力な数学技法である、微積分法をあみだした。

ニュートン最初の偉業は、いまや力学の基礎となっている、「運動の法則」の確立であった。第 1 法則は、自由自在に動くどの物体も、外部の力が加わらなければ、当初の静止あるいは等速直線運動をいつまでもつづけるという。第 2 法則は力の概念定義を展開する。ニュートンによれば、物体に作用する力が加速度を生じさせる。その際、加速度は「物体に加えられた力の方向に生じ、その大きさは力の大きさに比例し、」物体の質量に反比例する「つまり質量と加速度の積は作用する力に等しい」。第 3 法則は、2 つの物体が相互におよぼす力、すなわち作用と反作用は、大きさが等しく、逆向きに働くことを確認する補注 10。この原理は今日ではロケットやジェット機に実際に応用されている。

運動の 3 法則の定式化後まもなく、ニュートンはごくありふれた日常の出来事からきわめて深遠な認識へと誘われた。果樹園にすわっていると、ふとリンゴが木から落ちるのに目がとまり、なぜリンゴは落下するのか、彼は疑問に思う。リンゴは、これまで知られていなかった力によって、地球に引きつけられるのだろうか？ ニュートンはこの思考の流れをさらに追いかけて、未知の力は一それが存在すると仮定すれば一惑星をも含む、あらゆる物体にかかわるものである、という命題をたてる。ニュートンはこの着想と新たに発見した「運動の法則」を利用して、宇宙に存在するあらゆる物体は、物体間の距離と反比例して変化する補注 11、ある力によって相互に引かれることを示す理論をねりあげた。彼は新たな力を「万有引力」と呼び、惑星の運行は「万有引力の法則」に基づく自然の成り行きであることを論証しはじめた。

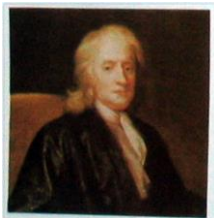
ニュートンが 1665 年に発見したものは力学の分野にとどまらない。光学研究に

よって、常^{じょう}白^{はく}色^{しよく}光^{こう}はガラス製プリズムを通るとさまざまな色に分解し、つづいて2番目のプリズムで再び白色光に結合されることを、はじめてつきとめた。色彩スペクトルに関する研究は、当時一般に用いられていた屈折望遠鏡にとって代わる望遠鏡の探求へと向かわせた。ニュートンの時代には、望遠鏡に使用されていたレンズのガラスが劣悪なため、どうしても像が一部スペクトル色によってぼやけてしまう。それゆえ、ニュートンはレンズの代わりに鏡を使用することに決め、慎重に実験を繰り返したあと、遠隔物体の拡大した像を結ぶことができる、屈曲型の反射鏡方式を考案した補注 12。この反射望遠鏡は天文学にとって計り知れないほどの価値があった。

1687 年になってようやくニュートンは運動の法則と万有引力の法則を公表した。すなわち、いまや科学史上きわめて重要な書とみなされている、『自然哲学の数学的原理』の大著となって出版された。理論と証明を根拠づける、同書の数学的解説は、ニュートンが、万有引力説を詳述するために、新しい強力な数学技法—微積分—を創出したことを示している補注 13。この計算法は、それ自体を単独に取りあげても、抜群に重要な学術成果である。もしも微積分がなければ、この3世紀間の進歩は大半が不可能であっただろう。

ニュートンは光の研究にもさらにいそしんだ。1704 年、2冊目の大著『光学』を公刊する。同書はプリズムの実験成果を叙述し、光線回折の説明にとって重要である、色の性質と可能な諸理論をとりあつかっている。ニュートンはまた、光が発光粒子の流束からなる、という前提から出発している。この粒子説は現在も光の本質を説明する際に意味をもつ補注 14。

ニュートンの偉大さは、すでに存命中にイギリス国家と内外の科学者に認められていた。1703 年、彼ははじめて英国王立学士院院長に任じられ、没するまで毎年再選されつづけた。1705 年、貴族に列せられる。死の直前、つまり、おのれを知る瞬間に、ニュートンは、いかなる伝記作者よりも鋭い洞察力をもって、人生の総決算をした。「わたしが世間の目にどう映っておるか知らないが、わたし自身は海岸で遊び、ほかの小石よりもすべすべした小石や、きれいな貝殻を見つけては楽しんでいる、ただの子供だったように思われる。真実の大海原が未知のまま、わたしの眼前に横たわっているというのに—。」



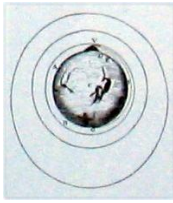
左 1688 年に組み立てられた、ニュートンの最初の反射望遠鏡。光は主反射鏡によって集められ、2.5 cm の直径をもち、45 度傾いている、小さい平面鏡に送られる。これによって、光は直角に円筒の側面にあたり、そこで像が接眼レンズによって拡大される。多くの反射望遠鏡は今日も同じ原理にした

がっている。

右 ウールズソープ荘園、リンカーンシャーにあるニュートン邸。大疫病がケンブリッジで猖蹶をきわめたとき、ニュートンはそこに引きこもった。ここで、リンゴが地面に落下するさまを観察し



たことから、落下を引き起こす、なんらかの力が存在するにちがいない、と推論したといわれる。



左 超高度から異なる速度で投げられた発射体がどうなるかを示す、ニュートンのスケッチ。物体が地面に落ちる速度を決定する法則は、惑星の運動にもあてはまる。

第22章 トマス・ニューコメン(1663-1727)

イギリスの金物商トマス・ニューコメンは、経済的にも採算があい、一定の現場仕事を片づけるのに打ってつけの蒸気機関をつくった、最初の人である。彼の蒸気機関は、新しい産業時代の機械を2世紀以上にわたって動かした、エネルギーの開発にとって^{かぎ}鍵になる重要な役割をはたした。

動力源として蒸気をさぐる科学研究は、いかにすれば神殿の門が蒸気の力で開かれるかを紀元前100年頃に解説し、簡単な反動タービンも組み立てた、ギリシャの科学者、アレクサンドリアのヘロンにまでさかのぼることができる。ヘロンのあと、蒸気力の利用にめぼしい成功例はなく、ようやく1698年、イギリスの軍事技術家トマス・セーヴァリが、「火を推進力として利用した」、揚水ポンプ機関の特許をうけた。

セーヴァリは、蒸気圧力鍋を発明したフランスの物理学者、ドニ・パパンの研究に依拠している。セーヴァリは、パパン方式を応用すると一当時の鉱業拡張期には焦眉の問題であった一炭坑から水をポンプでくみだすことも可能だと考えたのである。セーヴァリ式揚水ポンプ機関は、2個の容器と手動のコックならびに自動バルブに連結された、蒸気ボイラーからできている。この揚水機は水を上にあげることではできたが、もちろん6m以上は吸いあげられない。

ニューコメンはコーンウォールの^{すず}錫鉱山を浸水から守っていたポンプを、大きな原価要因である、馬に代えて、蒸気ので作動させようともくろみ、エンジンの開発をはじめた。ニューコメンは、セーヴァリ同様、パパンの着想である^{シリンダー}「気筒」内を往復する蒸気ピストンに糸口を求めた。パパンは実用モデルの製作に成功していたが、それ以上の展開はまだ機が熟していないと思われたのである。

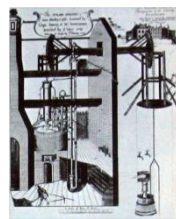
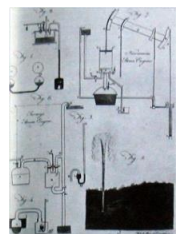
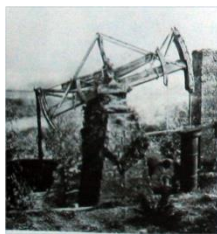
ニューコメンは故郷の町ダートマスで、ジョン・カレイー仲間の金物商人で板金細工職人一の助けを借りて、実験をはじめた。両人が世界初の実用ピストン蒸気機関を開発するまでに10年の歳月がかかった。操業開始当初の試作品は、1712年スタッフォードシャーで組み立てられた。セーヴァリの特許がニューコメンに自己の特許出願をはばんだため、やむなくニューコメンは先輩のセーヴァリと提携し、ニューコメン式鉱山揚水機関を製造し販売した。

ニューコメン機関は、ピストン行程で熱と同時にエネルギーが浪費されるが、確

かな成功をおさめた。蒸気は、ボイラーの上方にとりつけられている、垂直のシリンダーに流れこみ、重い ^{よこげた}横桁^{かん}を上下に動かす、ピストン ^{かん}桿^{かん}を押しあげることによって、改めてポンプが作動するようになる。そのあと、冷却水がシリンダー内に注入され、蒸気を凝縮させる結果、部分的な真空が生じ、冷却水が排出されるやいなや、ピストンは大気圧によって再び押し上げられる。

ピストンが下方に向かう行程でシリンダーは冷却され、上方に向かう行程では加熱される。空気や蒸気はシリンダー内にたまりがちで、時折エンジンを停止させた。それにもかかわらず、ニューコメン式蒸気機関はヨーロッパならびにグレートブリテンの全土で使用されるようになる。自動バルブの組み込みによって徐々に性能が改善され、いくつかのモデルは改造型が 20 世紀初頭まで稼働していた。

ニューコメン機関は蒸気力の開発に甚大な貢献をした。しかし、蒸気力を広範な用途に実用化するのは、ジェイムズ・ワットのために 18 世紀の終わりまでとっておかれた。



上左 ニューコメン蒸気機関。シリンダー内で動くピストンで構成されている。ピストンは、上下に動く ^{よこげた}横桁^{かん}の右側に固定されている。横桁の左側には、ポンプの柄が水ポンプの ^{フラスコ}棒^{かん}に接続されている。蒸気はシリンダーに入る。ポンプ装置の重

量がピストンを引きあげると、蒸気の流入は遮断され、冷水がシリンダーのなかに噴射されて、水が蒸気を冷却し、部分的な真空をつくりだす。大気の圧力はピストンを下へ、そしてポンプの柄を上へ押す。すると、改めて蒸気がシリンダーに流入し、全過程が繰り返される。



上中央 初期の蒸気機関の機能をあらわす銅版画。左はセーヴァリ型、右はニューコメン型。両機関はともに、蒸気の膨張によってひき起こされるエネルギーではなく、蒸気が凝縮されたあとに割り込む、大気圧のエネルギーを利用している。

上右 1782 年ダッドリー城の近くで組み立てられた、セーヴァリとニューコメンの蒸気機関。特許が部分的に重なりあったことから、2 人の発明者は共同で鉱山用蒸気機関製造業を営んだ。

下左 運転中のニューコメン蒸気機関を示す炭坑の絵。非能率的な作業であり、のちの蒸気機関に比べればエネルギーが浪費されたが、その改造型が 20 世紀にいたるまで利用された。

第23章 エイブラハム・ダービ (1678—1717)

製鉄業者エイブラハム・ダービがコークスによる鉄鉱石の製錬技術を完成させた、1709 年、イギリスのコールブルックデールに産業革命の礎石が築かれた。そのときまで、铸铁または銑鉄生産のための溶解工程は、溶鉱炉の燃料として、もっぱら木

炭に頼っていた。したがって、鉄鉱石の溶解に必要とされる高熱になれば、木炭は急速に崩れ落ちてしまうことから、1回の火入れごとに生産される鉄の量は、ごく限られたものにならざるをえなかった。そのうえ、製炭用木材に対する鉄工業界の需要によって、イギリスの森はすでに見る影もなかった。17世紀初頭から銑鉄の製造には、石炭の乾留で得られるコークスを木炭にかえようとする試みがはじまった。しかし、コークスに含まれる硫黄分が、鉄をもろくして工業資材にまわせない難点があった。

1708年、セバーン川流域のコールブルックデールにブリストル製鉄会社を創設するにあたって、エイブラハム・ダービは工場の敷地を慎重に選択した。当地域は、硫黄分の低い豊富な石炭鉱脈が存在し、鉄鉱石の鉱床も近くにあることで知られていた。ダービはコークスを利用することで、従来よりも強く加熱できる高い溶鉱炉を建てることができ、まもなく、木炭を使って溶解された鉄との価格比較にも対抗できる、高品質の鉄を生産しはじめた。

当初ダービの鉄は、おもに調理用器具や鉄金具を製造するために利用されたにすぎない。精錬場主や鍛冶屋たちが、木炭でつくられた鉄しか仕事に適さない、と決めこんでいたからである。トマス・ニューコメンが蒸気機関のシリンダーを製造してほしい、と注文に訪れたときを境に、ダービは局面の打開に成功した。

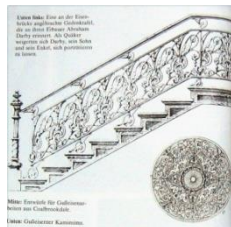
鉄の工業用途はその間に増大の一途をたどっていた。1779年、エイブラハム・ダービ3世すなわち創設者の孫と、ジョン・ウィルキンソンは、世界最初の鉄橋を、コールブルックデール近くのセバーン川溪谷に架設する。鉄橋の上をはしる道路は、5本の^{ろくざい}肋材からなるアーチで支えられ、各部品の手半分は鋳鉄であった。

ダービの事業はコールブルックデール一帯を「産業革命^{ようらん}の地」に変じた。集中する多様な製造拠点、高炉と精錬施設の建設、鉄鉱石や石炭の採掘と用水路網は、地域を工業の先端的中心地と化した。たえず硫黄臭が溪谷に垂れこめ、騒音はやむ時がない—ある工場などは精神病院とまで呼ばれた。時はうつり、鉱山は掘りつくされ、幾多の工場が移転した。用水路、精錬所、工場はもはや利用されなくなり、ついには荒廃して静まりかえる—。

ダービとウィルキンソンのかけた鋳鉄橋は、今世紀の50年代まで交通に利用されたが、土台が危うくなった。橋は完全に修復されて、いまや溪谷鉄橋博物館の呼び物となり、館内には工業発展初期の各種とりそろえた遺物が元の形で保存されている。



だ。
中央 コール



左 建設者エイブラハム・ダービを思い出させる、鉄橋にとりつけられた記念銘板。クエーカー教徒として、ダービ家の祖も、その息子も孫も、自分の肖像面をつくることを拒ん

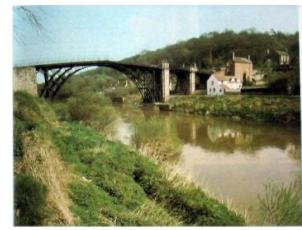
ブルックデール製鋳鉄細工の原型。



右 鑄鉄製暖炉。



上右 エイブラハム・ダービ 3 世によってコールブルックデール近くに建設された、セーヴァリ川にかかる鉄橋。



左 エイブラハム・ダービ 1 世によって高品質な鑄鉄生産のために用いられた、テレフォード近郊のコールブルックデールにあった古い溶鉱炉—1709 年にエイブラハム・ダービ 1

世に引き継がれ、このとき燃料として木炭からコークスに切り替えられた。水は池から水車をとおして導かれ、送風機を動かした。溶鉱炉は**炉頂**から交互に重なっているコークスと鉄鉱石が装入され、**不純物**を取り除くため、さらに石灰石が添加された。送風機は**炉**のなかで溶解に必要な熱度をつくりだしたのである。

第24章 ベンジャミン・フランクリン（1706—1790）

ベンジャミン・フランクリンの一生は、決断と知性で富と名声を築いた、独立独歩の古典的立志伝である。多くのベンチャー・ビジネスにくわえて、フランクリンはアメリカ独立革命に重要な役割をはたすとともに、たえまなく科学の問題に興味をいだいていた。電気の理解に顕著な貢献をしたのもフランクリンである。例の避雷針、いやそればかりか、今日でもつくられ利用されているストーブ補注 15、近視や遠視用の眼鏡レンズなどもフランクリンの発明品である。

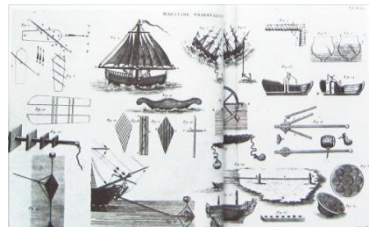
フランクリンは石鹼・ろうそく製造職人の子沢山—17 人の子供のひとりとしてボストンに生まれた。10 歳で退学し、印刷職工のもとに弟子入りする。まもなく暦、新聞、雑誌の出版業者となって成功し、一部は彼自身が執筆した。アメリカ植民地とヨーロッパじゅうの学者、政治家、作家などと活発に文通し、急速に有名な国際人となる。高潔な人柄と自由主義の理想に基づき、彼は一連の慈善団体を創立した。また、政治を社会情勢改善の手段と心得たフランクリンは、わりとすばやく、まずはフィラデルフィアで、のちには国際舞台でも政治に深くかかわるようになる。使節として彼はイギリスへ派遣され、アメリカの懸案に支持をとりつけるため、ヨーロッパで多くの時間を費やした。

旅行と文通はフランクリンにヨーロッパ屈指の科学者たちと接触させた。彼はいかなる専門教育もうけていないが、まもなく科学者と認められ尊敬されるほど、すぐれた技量と識見をもって、電気現象の研究実験をはじめた。電気理論の定式化をめざす最初の段階で、電気とは「他の物質のあいだに広がり、他の物質によって引きつけられる要素」である、と述べている。注目すべき先見の明によって、彼は 2 種類の電気をあげた。ひとつは「電気の火を過大に帯びている」物体にふくまれ、他方は「過小に帯びている」物体にふくまれている、と説く。「電気の火」というフランクリンの概念を「^{エレクトロン}電子」に置き換えれば、現代風の正と負の電荷理論に関

する精確な記述に生まれ変わる。さらに、「電荷の過大な」物体が「電荷の過小な」物体に近づけば、電気火花が飛び移り、両者に内在する「電気の火」の量を等化する事実を、フランクリンはつきとめた。今日では、電子が電荷の異なる物体間を移動する事象、つまり電子物理学の基本となる事象を説明した、最初の精確な記述であると理解することができる。

稲妻が大気中における静電気の放電によってひき起こされる、というフランクリンの最も有名な発見は、華々しい危険な実験でなしとげられた。電気をとおす絹糸で 凧^{たこ}に金属製の 鍵^{かぎ}を結びつけ、雷雨について彼は凧をあげた。すると、金属から電気の火花が散ったのである。フランクリンは命取りになる稲妻の電気エネルギーを鍵から地中へそらせ一幸運にも怪我ひとつしなかった。直接の実用的成果は、避雷針第一号の設計である。先端のとがった金属棒を屋上に立て、雷電を建造物自体からそらせ、無事に電気エネルギーを地中に放電するため、金属棒を導線で地面に接続することを提案した。フランクリンの避雷針はいまもなお広く使われている。

健康の衰えにかかわらず、フランクリンの科学や政治への関心は晩年も衰えをみせなかった。死の3年前にも、歴史上の重大文書である、アメリカ合衆国憲法の起草に参画している。フランクリンの死は、アメリカでは建国者のひとりとして惜しまれ、共和制フランスでも、自由と啓蒙の精神を具現した、傑出した科学者であり政治家としてしのばれた。



下 『海上観察』(フランクリン全集の一卷)のさし絵。全集には科学のおびただしい問題に関するフランクリンの著作がまとめられて、没後の1806年に出版された。フランクリンは長途の旅に出かけ、したがって多くの時間を海上ですごした。その際に海流、気象条件、あるいは水中における船の構造や動きについて

て詳細な研究をおこなった。

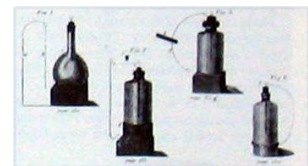


上左 『平和のありがたさ』—イギリスの日没(右)とアメリカ合衆国の歴史のはじまり(左)をあらわす、同時代の風刺画。絵の左縁に「1」と目印をつけられている人物がフランクリンである。彼は合衆国建国の父のひとりで、憲法起草に参画した。



左 絹糸で凧と結びつけられている、金属製の鍵をもつ、実験中のフランクリン。この実験によって、稲妻が静電気の放電で起こることを、フランクリンは発見した。

右 フランクリンが静電気—本人の命名によると「電気の火」—の実験に使用した諸器具。



第25章 カール・フォン・リンネ (1707—1778)

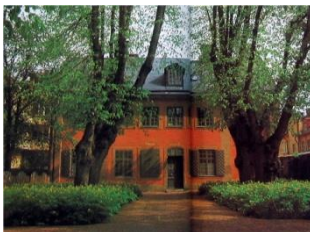
カール・フォン・リンネはスウェーデンの植物学者で探検家。植物および動物の分類法を確立し、今日も一部修正された形で用いられている。この分類体系は、「二命名法」として知られるが、どの植物、どの動物にも、ラテン語の属名と種小名との2語の組み合わせからなる、二名式名を与える方式補注 16 である。たとえば、オレンジの木は *Citrus aurantium*、レモンの木は *Citrus limon* のようにあらわされる。こうした人工体系にはそれなりの欠点があるが、同時に決定的な長所のあることを、リンネ自身は認識していた。植物学と動物学の学生たちは、一般に認められた範疇を利用すれば、たちどころに有意義な分類ができることになる。

リンネはウプサラ大学で医学を専攻したが、1730 年、植物学担当講師の職につく。1732 年にはスウェーデン科学アカデミーの委託をうけてラプラントへ探検旅行をした。1735 年に『自然の体系』、その2年後に『植物の属誌』を公刊する。オランダの自然研究者ヤン・フレデリク・グロノヴィウスは、リンネに『自然の体系』を見せられて、同書が自費出版であることにいたく感銘をうける。1753 年に出版された、リンネの著書『植物の種誌』は、いまでは植物とシダ類の体系的分類の発端とみなされている。

二名式分類法は新しい方式ではなく、もともとスイスのある植物学者で解剖学者が 17 世紀にあみだしていた。だが、それを改良し、学術的体系がぜひとも必要とされたとき、広範な採用へ道を切り開いたのは、リンネである。リンネは植物をまず第一に、花をつける顕花植物と花をもたない隠花植物とに大別し、後者を^{かし}花糸と^し雌ずいの種にしたがって小分けした。リンネの体系はほとんど内部構造に注目しない。そのことは、リンネがたとえば異常に多様な種を「両生類 Amphibia」というただ一綱に整理している、動物の分類で特に明らかとなる。

1742 年、リンネはウプサラ大学の医学教授になり、1 年後に植物学教授となる。『植物の種誌』の刊行は国際的な評価を博した。1755 年、スペイン国王は気前のよい給与を提示してスペインに定住するよう招請するが、リンネは辞退した。

リンネは快活なユーモアに富む人物であり、おおいに学生たちの心になかった。土曜日にはしばしば 150 名ばかりの学生を引き連れて田舎に出かけ、だれかが珍しい生物の個体を発見すると、リンネはトランペットの一吹きでこれを告げた。没後、彼を賛美するイギリスの J. E. スミス卿は、リンネの全原稿、植物標本、昆虫と貝の収集品を買いとり、船便でロンドンへ送った。スウェーデン王は激怒し、一艘のフリゲート艦をあとから追わせるが、イギリス船は難をのがれ、すべてのコレクションが今日ロンドンのリンネ協会に保存されている。

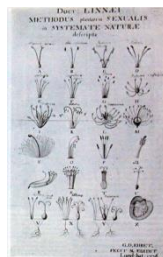


上左 リンネの肖像を浮き彫りにしたウェッジウッド焼きの円形牌。

上右 ウプサラ旧植物園にあるリンネの家。同植物園は、素人庭師、リンネの父親によって造られた。盛り上げられた花壇のひとつは、丸い食堂のテーブルに似せてつくられ、花々を皿にみたくて、客をあら



わす、低木に縁どられていた。
下左 オランダのリンネ後援者で慈善家であった、ジョージ・クリフォードによる、植物ならびに植物標本の記載書、『クリフォードの園 Hortus Cliffortianus』の口絵。本書は、図版が実物の全体模写だけでなく、標本にされた植物の各部分やさまざまな成長段階をも示すようになった最初のものであり、古典的な植物学のイラストに先鞭をつけた。



下右 リンネの植物分類体系

第26章 ジェームズ・ハーグリーブズ (1722—1778)

ジェームズ・ハーグリーブズは、多軸紡績機の発明によって紡績工程の完全機械化にむけて第一歩をふみだした、イギリスの織工である。ヨーロッパでは、羊毛を紡いで糸にするために、重みのついた糸巻き棒とスピンドル（紡錘）が、有史以前から中世まで使われていた。中世にはいると、紡車^{ぼうしゃ}がインドから導入された。この紡ぎ車は紡糸生産を加速的に機械化するとともに、いっそう均一な糸の製造を可能にした。18世紀に産業革命が始まるまで、織物はおもに家内労働によってつくられていた。織物商人は紡ぎ手と織り手に原毛や綿花あるいは亜麻を提供する。家内労働者は原料を一巻きの織物に加工して、市場取引のために商人に返せば、相場の出来高で支払われたのである。

ハーグリーブズはランカシャーでこうした家内労働者のひとりとして生活し、糸車と織機を私有していた。彼が多軸紡績機を思いついたのは1764年のことだといわれる。娘のジェニーが誤って糸車を倒したが、スピンドルはまわりつづけていた。ハーグリーブズはこれをみて、多数のスピンドルを1つの車で動かすことができるだろう、と思いついた。

ハーグリーブズは、糸が対応する1組の粗糸から紡がれる、スピンドルを8本そなえた、ジェニーと呼ぶモデルを組み立てた。8本の糸はすべて一人の手によって紡がれるようになる。ただ、こうしてつくられた紡出糸は粗くてわりあい簡単に切れたため、縦糸と直角に交わる、横糸にしか用いることができなかった。ハーグリーブズの発明[1764年]は、ジョン・ケーが杼の機械化によって織布工程の能率を増進させてから、30年ほどがたっていた。飛杼の導入は織物工業に糸の需要を高め、

「ジェニー機」はそれに応える役割をはたした。

ハーグリーヴズはついに紡績機を販売するために製造し、1 台のジェニー機が同時に回転する 30 本のスピンドルを操れるように改良しはじめた。まもなく、ハーグリーヴズの発明に生計と自立がおかされる危険を見てとった、手^て紡績工らにてこずらされる。1768 年、紡績工の一団がハーグリーヴズの家押し入り、手当たり次第に機械を破壊してしまった。そこでハーグリーヴズはノッティンガムへ移り、ある実業家と手を結ぶ。二人は、多軸紡績で靴下用の編み糸をつくる、小さな工場を建てた。ちなみに、ハーグリーヴズは遅滞なく「ジェニー機」の特許を出願することをおこたり、ようやく 1770 年に特許を取得したことから、相当な不利益をこうむった。

サミュエル・クロンプトンが 1779 年に発明した、「ミュール紡績機」は、ハーグリーヴズの「ジェニー機」を土台にしている。クロンプトンは、手紡績工のつくる品物にひけをとらない、耐裂性の糸を紡ぐように、「ジェニー機」を改良したのである。ミュール機はさらに、リチャード・アークライトが開発した「ウォーター・フレーム」（水力紡績機）の設計原理もいくつか応用している補注 17。ミュール機の操作係は一人で 1,000 本まで糸を紡ぐことができた。

1812 年にはすでに 360 カ所におよぶ工場がクロンプトンの発明を利用しているが、発明者自身はごくわずかな利益をえたにすぎない。工場主たちが所定の保証を履行しなかったため、クロンプトンは総計 60 ポンドしか受け取っていない。議会は彼にいくらか損害を補償しようと 5,000 ポンドの補助金を給付した。しかし、クロンプトンはそのほとんどをベンチャー・ビジネスにつぎこみ、ことごとく失敗に終わった。もちろん、クロンプトンの歴史的意味は異論の余地がない。ハーグリーヴズ、アークライトとともに、クロンプトンは、個人の創意工夫が 19 世紀の北部イギリスに大規模な繊維工業を可能にした、三巨頭のひとりである。



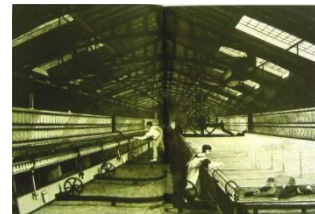
上 「ジェニー紡績機」は、産業革命と近代工業時代を始動させた、機械のひとつである。原繊維は、「ジェニー機」で一種のハーケンによってスピンドルに導かれ、そこで巻きとられる。「ジェニー機」は繊維束を引き伸ばし、撚りをかけて糸にした。

右 稼働中のサミュエル・クロンプトン式ミュール機。このハーグリーヴズ式「ジェニー機」の改良型は、張力のはるかに高い、きわ

めて細い糸を紡いだ。



上 アイルランドの小さい農家の亜麻紡ぎ部屋。ハーグリーヴズの「ジェニー機」やクロンプトンのミュール機発明以前は、田舎の家内労働で糸を紡ぎ、織られていた。



第27章 ジョン・ハンター(1728-1793)

ジョン・ハンター、18 世紀イギリスの外科医は、同国における実験医学の祖であり、外科を特別の専門領域に高めた医師である。彼の活躍によって、外科は全ヨーロッパならびに北アメリカで医学研究の正式な一部門になった。ジョン・ハンターはスコットランド紳士の子女 10 人の末っ子で、学校の専門教育はほとんどうけなかったらしい。幼い頃から自然に飽くなき好奇心をいだき、戸外で時をすごすことが多かった。1748 年、ジョンはスコットランドを出立し、すでに有名な産科医で医学講師になっていた、兄のウィリアムに手をかすために、ロンドンへ馬にまたがっていった。

ジョンの仕事は、解剖した標本をウィリアムの解剖学講義のために準備することであったが、ジョンはさっそく解剖刀で手先の器用さを発揮する。1 年とたたぬうちに、みずから外科手術をおこない、ウィリアムの弟子たちを監督できるだけの知識を身につけた。

医学の授業は当時それほどよくは系統だてられておらず、外科医は臨床や見習い期間中に経験をつみかさねるほかなかった。一般に大学卒業生である医者と、職人とみなされていた外科医とのあいだには、非常な社会格差があった。

ジョン・ハンターは 11 年間、兄のもとで解剖学を学んだ。演習のために必要な死体は、埋葬されたばかりの死体を医者や医学生のために盗掘する、いわゆる「復活させる人たち」と活発な取り引きによって手に入れた。1754 年まで、ハンターは兄の講義で助手をつとめていたが、1758 年、セント・ジョージ病院でみずから外科を教えはじめる。この時期に独自の研究もおこなった。彼の発見には妊娠 8 カ月の胎児に認められる睾丸の退行期、リンパ腺の機能ならびに胎盤の構造と機能がある。

1760 年、ハンターは外科医として軍に入隊する。フランス西海岸からベル島への遠征軍にくわり、7 年戦争の最終段階にはポルトガルで勤務した。体験によって銃創の専門家となり、当時の標準処置とみなされていた、数多くの切断が、傷の適切な治療によってしばしば避けられることを示した。こうした体験は、ハンターの最も重要な著作『血液、炎症および銃創に関する論文』（1794 年刊）に結晶し、外科医と患者の関係に革命をもたらした。

外国滞在中にハンターは、のちに 13,500 点以上の展示品を集めた、えり抜きの解剖学、生物学、病理学にわたる標本・陳列物のユニークな博物館ができあがる、収集品の基礎をかためた。1763 年ロンドンに帰国後、彼は開業し、独自の解剖学校を開設する。1776 年イギリス王ジョージ 3 世の特別侍医に、1790 年には病院の軍医総監兼監察官に任命された。その間、折々に倒れた動物の死体を手に入れるために、ロンドン塔をふくめ、さまざまな動物の見せ物小屋と交渉して、収集への情熱

を追っかけた。ハンターは外科医として軍資金をたんまりもうけると、さっそく博物館に展示する新しい標本をあさりに出かけた、といわれている。

ハンターの研究と思考は、途方もなく広い視野でうごいた。ハンターは、血液が、身体の他の構成要素と同じように、生きている物質である、という発想から出発した最初の人物である。胎児は成長過程で下等生物と同じような段階をくぐりぬけているだろう、と見当をつけた。ヒトの歯を^{とさか}鶏冠へ移植する試みをふくむ一連の実験で、組織の移植分野でも先駆的業績をあげている。ハンターはダンス中に足の^{けん}腱を切ったとき、自己実験によって、今日も適用されている腱断裂の処置法を確立した。

ジョン・ハンターの収集は、本人が願っていたように、死後も完全な状態で保存され、王立外科大学の管理下にある、ロンドンのハンター博物館（解剖博物館）の基盤になっている。もっとも 1941 年ドイツ軍の爆撃で著しく破壊されたが、収集品は創設者の意図にそって念入りに修復され、博物館は 1963 年に再開することができた。



左 義兄のロバート・ホームが描いたジョン・ハンターの肖像画。

右 トマス・ローランドソン作『解剖部屋』。このさし絵は、当時産科医で医学講師であった、兄ウィリアムのもとで解剖学研究中のジョン・ハンターを示す。ウィリアムは一番上の後方左に立ち、ジョンはウィリアムの右手横に立っている。



下左 闘鶏の頭に移植された^{けづめ}蹴爪。



下中央 麻酔導入以前の 18 世紀の外科手術。この場面はロ

ンドンの聖トマス病院での切断手術を示す。

下右 エドワード・ジェンナー—以前の生徒で種痘の発見者—にあてた手紙にしるされているハンターの署名。

第28章 ヘンリー・キャヴェンディッシュ (1731—1810)

ぼんやりしている、風変わりなヘンリー・キャヴェンディッシュは、アイザク・ニュートン以来の傑出したイギリスの科学者である。とりわけ有名な発見は、水素と酸素による水の化合であるが、キャヴェンディッシュは電気の分析と理解にも重要な寄与をしている。史上まれにみる入念な骨の折れる実験によって、小さい 2 物体間

でひきあう引力の強さを精確に測定することに成功した。

キャヴェンディッシュは仕事にとりつかれて、電気の研究では我と我が身に電気ショックを与え、激しさの度合いで電流の強さを測定するほどであった。公に認められることなど関心がなく、きわめて重要な発見を公表することさえも、ほとんど気にならなかった。彼はひとりで暮らして研究し、そのうえ、健康状態がますます悪くなると、ひとりで死ぬといって聞かなかった。

キャヴェンディッシュのごく初期の研究は、電気理論の斬新なコンセプトを数多くうちたてている。電気を帯びた二つの物体間に引力や斥力をひきおこす、静電学で重要な役割をもつ、エネルギーの本質を定義した。彼はまた「電位」という概念—今日では一般に「電圧」と呼ばれているが—を導入し、ある一定の物質がどうして電荷を蓄えられるかを研究した。電流に関する一つの基本法則を先取りして、電流が通過する電気量は、電気の導体を構成している素材しだいで、導体間に違いがありうることを示した。数年後にキャヴェンディッシュの観察は「オームの法則」として式にあらわされた。この法則は、電流の強さと電圧を導体の属性、つまり電気抵抗に関連づける原理である [補注 18](#)。

人生の大部分をキャヴェンディッシュは気体の研究にささげ、水素を空気から分離された気体として認識した、最初の化学者である。水素の特性を研究し、知られている気体のなかで最も軽いことを示した。また、酸素と水素を混ぜれば爆発を起こして燃え、少量の水が生じることも発見する。この実験によって、地上で最も豊富に存在する化合物である水が、酸素と水素の化学結合でできている事実を証明したのである。

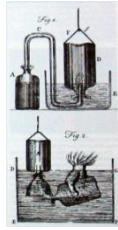
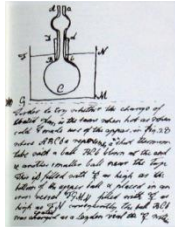
70 歳近くになり、キャヴェンディッシュは極度の厳密さを要する研究を遂行した。つまり、2 個の小さい物体間にはたらく、引力の精密な測定を企てた。質量の小さい物体のあいだではたらく力そのものが非常に小さいため、キャヴェンディッシュは特に高感度の複雑な実験を工夫しなければならなかった。軽い金属棒を、その中心に結びつけた、1 本の細い導線でするす。金属棒の両端にそれぞれ鉛の小球が固定された。そうして 2 個の大きい鉛玉を互いに棒の反対側から小球に近づける。重力によって大きい球と小さい球とのあいだにうまれる引力が、棒のねじれをひき起こす。キャヴェンディッシュはこのねじれから生じる導線のゆがみを測定することによって、重力の力の強さを算定することができた。この実験結果と、1 世紀前にニュートンによって導きだされた「万有引力の法則」の方程式を用いれば、地球そのものの質量と密度を算出することができる。キャヴェンディッシュは、地球の質量が約 650 万トンの 3 乗であり、密度は水の密度の約 5.5 倍だとはじきだした。この数字が現代の科学的方法で得られる最善の推定値に近いのは驚きである。



左 風変わりで無口なヘンリー・キャヴェンディッシュの知られた唯一の肖像。



右 18 世紀の後期につくられた、化学薬品に点火するための集光レンズ。単一レンズはジョゼフ・プリーストリ、二重レンズはキャヴェンディッシュのものである。



左 加熱されたガラスの電気的特性に関するキャヴェンディッシュの覚え書き。ガラスを通過して流れる電気量は温度の上昇につれて増大することを発見した。

中央 気体の組成を測定するためのキャヴェンディッシュ式ユージオメーター補注 19。絵の左側の装置は銅製、右側はガラス製である。

右 キャヴェンディッシュの「人工的」空気実験つまり酸やアルカリの化学反応、あるいは腐敗によって解き放たれるガス。図 1 (Fig 1.) : ガスの収集。図 2 (Fig 2) : ガスが容器に蓄えられる。

第29章 リチャード・アークライト (1732—1792)

リチャード・アークライトは、紡績の機械化に重要な革新をもたらした、水力紡績機の発明者である。さらに、動力織機工業ならびに大量生産をおこなう工場制度を創設し、産業革命を促進させた。紡績・機織^{きしよく}の機械化は、数年前にジョン・ケイの飛杼^{とびひ}とジェームス・ハグリーブスの多軸紡績機によって基礎が築かれていた。アークライトは手仕事をヒトに頼らないエネルギー源に切り替えようとくわだて、先人の方式をさらに発展させた。技術上の詳細について助力を求めるために、時計職人を雇ったあと、アークライトは自己の構^{アイディア}想を実現することに成功し、1769 年に紡績機の特許を取得する。

アークライトは紡績機を当初は馬に動かさせたが、まもなく水力に切り替えた。この水力紡績機はその後のあらゆるモデルの手本になっている。「水^{ウォーター}力^{フレイム}紡機」から紡がれた糸は、織機で縦糸として使用されるほどの強度をもっていた。アークライトは、工場制度の広範な浸透に手を貸し、18 世紀末期から 19 世紀初期にかけてとどまるところを知らない工業化への基礎をきずいた、工業企業家の草分けである。彼の工場は、時機を失することなく、紡績の各段階に適合した機械を次々と所有していった。

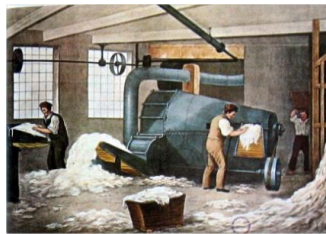
1773 年、きめの荒い毛織物が流行遅れになると、アークライトはキャラコ、すなわち平織りの白い丈夫な綿布を生産しはじめ、さっそく製品の引き合いをうけた。そのころ原綿は^{こり}梱にして西インド諸島やアメリカ南部諸州の奴隷農場から取り寄せられた。数年のうちに綿布加工は北イギリスの基幹産業となり、アークライト没後約 50 年の 19 世紀 40 年代には、綿布がイギリス総輸出量の 40 パーセントを占めていた。

アークライトは他人の^{アイディア}発想を借用し利用したことを厳しく批判された。しかし、先行の発想が経済的に利潤をあげるまで改良し、また、利用できるための環境

づくりにも彼は配慮している。1769 年の最初の特許につづいてさらにいくつか出願されるが、ことごとく異議を唱えられた。アークライトは権利を訴求するために出廷したが、訴訟にやぶれ、1785 年には特許の失効が宣言される。だが、そのときはすでに地歩をかため、裕福になっていたアークライトは、この決定にもはや^{つうよう}痛痒を感じなかった。

アークライトは一方では、紡ぎ手と織り手の手工業が阻害され、ついには壊滅する原因になった、工場制の確立に対して直接の責任があるが、他方では一般に啓蒙企業家と評価されている。ひところ数カ所の工場に計 5,000 人の労働者をかかえ、彼らのためにまずまずの労働と居住条件を提供することが必要だ、とアークライトは自覚していた。そのかわり、経営者の側からも、作業には最高水準の能率と清潔ならびに、アークライト自身が傾注している、同じ勤勉を労働者にも期待したのである。

1785 年、アークライトはジェームズ・ワットによって改良された新しい蒸気機関をはじめて綿紡績に導入し、ノッティンガムの工場にすえつけた。1786 年、アークライトはナイトの称号を授けられ、翌年にダービーシャーの州長官に任命される。ありあまる富のおかげで彼はウイラスレイ城のような邸宅をかまえ、クロムフォード教会再建資金を寄付し、いまではそこの墓地に眠っている。



上中央 はじめて人力以外のエネルギー源を利用した、アークライトの紡績機。アークライトは結局最適の動力手段として水力を選ぶことに決めた。「^{ウォーターフレーム}水力紡機」という

名称はこれに起因する。水力紡機は近代紡績工業を支えた支柱。



上右 産業革命時代の綿工場—ハーケンが回転する機械によって綿繊維を清掃するところ。いわゆる^{ワイロー}開毛機にかけてゴミをとる工程である。

下左 巻き取り機と粗紡機。

下右 ^{きじ}生地^{なっせん}捺染。

第30章 ジョゼフ・プリーストリー(1733-1804)

存命中ジョゼフ・プリーストリーは非国教会派の牧師で自由思想家として知られていたが、いまや彼の名声は、科学上の功績、なかんずく気体の研究と酸素の発見に基づいている。

1766 年、当時イギリス駐在使節として尊敬を集めていた科学者、ベンジャミン・

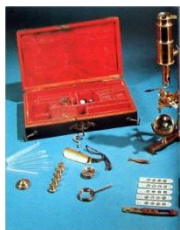
フランクリンと知りあった。この出会いがプリーストリーにとって人生の転機となる。フランクリンの政治信条に心酔していた、プリーストリーは、ますます相手の科学研究にも興味をつのらせてゆく。ほどなくプリーストリーは一心不乱に電気の研究に取り組み、翌 1767 年には、当時の研究水準とその未来展望との要約をふくむ、電気に関するまとまった科学史を出版した。同書はプリーストリーの名声を確立したが、ヨーロッパや北アメリカの科学者が書物に感心しているうちに、著者自身はすでに化学、特に気体の研究に手を染めていた。

プリーストリーのごく初期の発見物に二酸化炭素がある。そのころ醸造所のそばに住んでいたことから、穀物の発酵時に、空気よりも重くて炎を消すことができる—そのために世界初の消化器に利用されるようになる—異常な性質をもったガスが生じることを観察していたのである。ガスは水に溶解、「ソーダ水」をつくることをつきとめる。さすがのプリーストリーも、自分の発見がいつの日にか全世界に広がる炭酸入りの^{ソフトドリンク}清涼飲料産業の基礎になろうとは予想できなかったであろう。

気体への興味がつのるにつれて、彼は気体研究のために有効な補助手段を案出した。それまで化学者は水によって密閉されたガラス管のなかへ気体を単離させていたが、当の気体が水溶性でない場合にかぎってうまくゆく。プリーストリーはそこで水銀を用いて気体を採取することによって、はじめてアンモニアや水素塩化物のような水溶性の気体を確認することが可能になった。

プリーストリーの最も有名な発見は1774年、酸素の単離に成功したことである。仕事で水銀を使用していたために、彼は水銀の性質も調べるようになる。水銀は^{加熱}すれば、今日では酸化水銀と呼ばれる、安定した固体の物質になることは数年まえから知られていた。プリーストリーは酸化水銀を改めて加熱すると、再び金属の水銀になるばかりか、驚くべき性質をもつ気体が放出されることを発見した。当時、物体は「フロギストン」と呼ばれる^{物質}を放出することによって燃焼する、という通説が大前提になっていた。したがって、プリーストリーは新たな気体を「フロギストンを除いた空気」と名づけた。それは物体内にふくまれるフロギストンを解離することができるように思われたからである。換言すれば、この気体のなかでは固体が一気に燃えてしまう。ほとんど燃えない^{きくず}木屑さえもそのなかでは^{かいじん}灰燼に帰す^{補注 20}。プリーストリーは新しく発見した気体の生理学的性質もいくらか研究し、当該気体を吸い込めば快適な強壮効果を発揮することをさぐりだしている。

科学上の発見はプリーストリーに国際的な名声をもたらしたが、自由主義の政治信条や急進的な宗教観は当時の保守主義的イギリス社会では人気がなかった。あるとき、フランス革命とアメリカ革命によせる彼の共感に憤った暴徒によって、家屋敷までも焼き払われてしまった。ついにプリーストリーはイギリスを捨て、新しく独立した合衆国へ移住し、心からの歓迎をうける。新世界でプリーストリーは啓蒙の代弁者として広く賞賛されながら晩年を送った。



上右 プリーストリー用具類の収集、なかに太陽光線を化学薬品に集めるための「精巧な集光レンズ」もふくまれている。プリーストリーが発明した器具の大部分は、いまでも化学実験室で利用されている。

下左 プリーストリーと、『人間の権利』の著者である、トーマス・ペイン。プリーストリーの先鋭的な見解は、この風



刺画のタイトルが示すとおり、彼をきわめて不人気にした：「扇動、平等主義と搾取、または自称国民の友らが作戦会議を開く」。

下右 気体実験用の器具を示す、プリーストリー実験室の銅版画。プリーストリーは気体を採取するために、^{ふくろ}囊^{ふくろ}にとってかわる、ガス採取用水槽、水銀槽、ガス容器を開発した。



第31章 ジェームズ・ワット (1736—1819)

非凡な研究が産業革命を可能にした発明家のなかでも、ジェームズ・ワットはきわめて重要な位置をしめている。ワットはトマス・ニューコメンの蒸気機関を、全工程の要請に対応させ、産業革命の技術的進歩に決定的な影響をおよぼす、さらに性能のよい、信頼できる原動機へと発展させた。

ワットはスコットランドに生まれた。1755 年、科学器具製作者になろうと、ロンドンにわたる。2 年後に帰国し、[グラスゴー大学内](#)に製作と修理の仕事場を開設する。

1746 年、ひとりの顧客が、18 世初頭にニューコメンの設計した、[蒸気機関](#)の実用モデルをワットの修理工場にもちこんだ。ワットは、ピストンのシリンダー（気筒）を交互に加熱したり冷却したりする必要をなくすことに成功すれば、エネルギーの浪費がかなりおさえられ、機関の効率も改善されることに気づく。問題の解決策は一年後に見つかった。すなわち、蒸気を凝縮することができる別個の、しかしシリンダーと連結されている[小室](#)を、シリンダーにつけくわえることである。

ワットはデモンストレーションモデル 1 号機をつくるとともに、「蒸気と燃料消費削減のための新方式」として 1769 年に特許をうけた。この発明は実際に燃料費の 75 パーセントを節約し、マッシュー・ボルトン—バーミンガムの技術者で企業家—の注意をひいた。ボルトンは自分自身の工場で利用するため、ワットの特許権を共有する。

みずから商才がないことを自覚していたワットは、コインやボタンから銀メッキした金属板や銀にいたるまで、すでに良質の金属製品で有名な工場の持ち主であった、ボルトンと 1775 年に提携関係にはいったのである。いまや新たに加わったワット蒸気機関の製造は、まもなく市場に受けいれられ、急速に拡大していった。

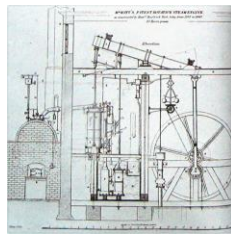
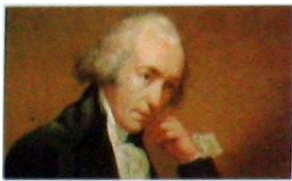
1 台はスタッフォードシャーの炭坑にポンプとして納められ、もう 1 台はシュロップシャーのジョン・ウィルキンソン鋳鉄工場に溶鉱炉運転用に据えつけられる。鉄船の発明者であるウィルキンソンは、それまで達成しえなかった精密なシリンダーの製造を可能にする、「シリンダー中ぐり盤」の開発によって、ワットの発明に不可欠な寄与をした。

ボールトンとワットは、共同経営者になった直後に、ウィリアム・マードックという若い技術者を雇い入れる。マードックの助力で、コーンウォールの錫と銅の鉱山とポンプ・エンジン据えつけの契約を結ぶことができ、当時 50 年間ほど使われていた、多くの古いニューコメン式蒸気機関が取り替えられた。ワットはたえず蒸気機関に改良と変更をかさねる。単に直線的な往復運動にとどまらず、むしろ回転運動をする、ピストン棒に対する産業界の需要をボールトンが見越せば、ワットは回転機関を実現した。その後、蒸気が交互にシリンダーの両端に送り込まれる、複動作用式ピストンを開発したことから、性能が向上し、もっぱら大気圧の力を借りてピストンを始動位置にもどしていた、従前のモデルにとってかわった。さらに、エンジン速度を自動的に蒸気の調整によって制御する、遠心调速器を開発し、圧力計をも発明した。

ワット蒸気機関は、その多面性と性能によって、イギリスの工業化が四方に広がると、多くの分野で利用されるようになる。18 世紀末にはほぼ 500 台の蒸気機関が製造され、ワットも財産家になる。1785 年、ワットとボールトンは王立協会会員に選ばれた。その五年後にワットは営業から退くが、以後も積極的に研究をつづけた。

ワットの発明にはほかに事務用複写圧縮機械、石製の胸像を複製するための器具などがある。死後、故人をたたえてウェストミンスター寺院に銅像が建てられる。ワットの記念のために、仕事率の単位が、彼の名にちなんで「ワット」と命名された。

右 ワットが特許をとつ



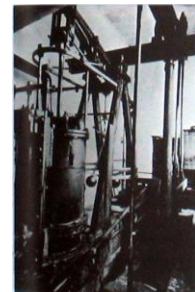
た回転蒸気機関の設計図。これはニューコメン型の改良品で、蒸気をシリンダーから分離した冷却器—復水装置(コンデンサー)—へ導いた。これによってエンジンを交互に加熱と冷却を繰り返す必要がなくなり、はるかに効率ようになった。ワットの蒸気機関はさらに蒸気の膨張を、ピストン運動の駆動力として利用した。

ピストンは可動連接棒を介して、回転運動に変える、はずみ車と連結された。今日の蒸気機関はワットの設計の直伝である。

左 ワットの屋根裏仕事部屋。



右 蒸気弁のあるボールトン・ワット機関 (1788 年)。これでボールトン工場の金属加工機かされた。



第32章 フリードリヒ・ヴィルヘルム・ハーシェル卿（1738—1822）

多くの人から偉大な天文学者と認められている、ヴィルヘルム・ハーシェルは、今日ではおもに天王星の発見者として知られているにすぎない。しかし、彼はいち早く星の体系的な観測をおこない、はじめて精確な銀河像を組み立て、遠く隔たった「星雲」も同じく「銀河系外星雲」であるとの考えを展開している補注 21。

軍楽隊員であったハーシェルの父親は、息子が 15 歳になると、生まれたドイツの町、ハノーファーの軍楽隊に手をまわして我が子を加入させた。ところが、少年は軍隊をきらい、独仏戦争のあいだにイギリスへ渡り、さしあたりハリファックスで、のちに温泉保養地バスで音楽家としてはたらく。新たな故郷で安定した生活基盤を築いたあと、ハーシェルは改めて、幼いころから大好きな仕事であった、天文学に手をそめる。1772 年、妹のキャロラインもバスで合流し、兄と天文学への関心を共有して緊密に共同作業をすることになる。

ハーシェル兄妹が借りられた望遠鏡は小さく、ほとんど明瞭な像を結ばないほど劣悪なものでしかなかった。二人は自分たちで望遠鏡をつくる決心をし、ハーシェルは 1 世紀ほどまえアイザク・ニュートンによって考案されたものと似た構造の望遠鏡を設計する。反射鏡と、余暇に手数をかけて磨きあげたレンズを使って、彼は徐々に最初の望遠鏡を組み立てていった。

ハーシェルの計画は単純である。要するに重要な発見は、天体の体系的な観測と同時に天体の肝要な特徴と相対的な現在位置を記録することによって、一番よく達成される、と彼は考えた。1781 年、ハーシェルの粘り強い徹底した研究法は、惑星「天王星」の発見で報いられた。当初ハーシェルは、どこか土星軌道のかなたで星の大海をよぎって動く、緑色がかった円盤を、新しい彗星にすぎないと思った。しかし、よく観測をかさねてみると、彗星にしては軌道があまりにも環状であることを知った。ハーシェルはほんとうに新しい惑星、しかも古代以来はじめての惑星を発見した事実を確認し、喜びをかみしめた。

天王星の発見によって、ハーシェルはヨーロッパじゅうに名声をとどろかせた。いまや音楽を捨て、彼は天文学者として、輝かしい成果をもたらす研究に没頭することができた。つづく数年間で最も重要な発見は、恒星の観測に基づく。たとえば、星を数える方法を考案し、それにしたがって恒星の空間分布を算定し、そこから銀河の形状を導きだすことができた。天の川は二重凸レンズの形をなし、2 枚の縁が折りたたまれた皿のようにみえると推論した。いまでは実際の形状はもっと複雑なことが知られているが、ハーシェル説は大きな進展を意味した。

ハーシェル兄妹は、天空を体系的に洗いなおすという本来の計画をつらぬき、1,500 をこえる新しい星雲を発見した。雲のように見える星雲は、天文学者にとつ

て長いあいだ ^{なぜ}謎であった。これらの神秘的な対象は、私たち自身の銀河圏のはるかかなたに横たわる、独自の銀河ではあるまいか、とハーシェルは推測し、はじめて宇宙の文字どおり無窮の広大さを指摘した。彼の想定は1世紀後によりよく証明されるが、天文学の領域を星間から銀河系間の空間へと拡大するだけの迫力はじゅうぶんあった。

ハーシェルは1816年にナイト爵を授けられる。令息ジョンによってハーセルの名前は次世代の主要な天体の新発見にも結びつけられていった。



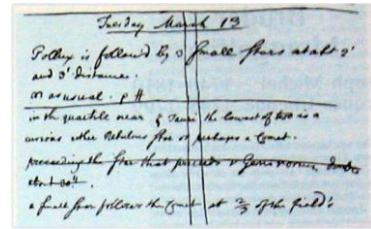
左 長さ約2mのハーシェル望遠鏡。1688頃にはじめてアイザク・ニュートンによってつくられたものと同様、反射望遠鏡である。「反射望遠鏡」なる名称は、凹面状金属鏡 ^{karano} 反射光線によって像が結ぶことに由来する。これとは異なって、屈折望遠鏡はレンズによる屈折光によって像が結ぶ。ハーシェルはもともと屈折望遠鏡を利用したが、費用が高く、扱いにくいことから、反射望遠鏡を組み立てるようになる。金属反射鏡は素人でも铸造することができるの

に反し、屈折望遠鏡のレンズは研磨した完成品を買う必要があった。

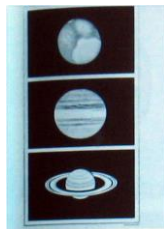


左 長さ12mのハーシェル式望遠鏡。薄鉄板の鏡胴からなり、その下端に口径1.2mの金属鏡がある。木製台架にとりつけられ、滑車方式によって天空のいかなる点にも向けることができた。費用は国王ジョージ3世がもった。

上右 1781年3月天王星発見に関するハーセルの覚え書き。「掃天観測」をおととき、ハーシェルは円盤状の形成物、したがって星であるはずを発見した。最初は彗星と考えたが、それにしては軌道があまりあることを、のちに見抜く。



こなっているがないものをにも環状であ
上左 土星環は木星の第
ハーセルのいない。



(上)と木星を描いたハーセルのスケッチ。下の絵の小さい三衛星で、黒い斑点はその影である。土星の自転周期に関する推定は、10時間14分という現在の推定から2分ほどしかずれて

左 望遠鏡の反射鏡を磨くためのハーシェル式研磨機。銀および ^{すず}錫の合金でつくられ、木炭で焼き固められ型で铸造される。次に、铸造物は溝つきの真鍮製工具工される。締めくくりに、ハーシェルは反射鏡につやほどこした。それぞれの反射鏡がそのつど望遠鏡の特件にしたがって調製する必要があるため、この方式はなかった。ハーシェルは有能な器具製作者としても名り、天体望遠鏡を製作する企業を設立した。



反射鏡は銅、た土製の鋳で仕上げ加出し研磨を殊な必要条標準化され声をかちと

第33章 モンゴルフィエ兄弟—ジョセフ・ミエル(1740-1810)／ジャック・エティアン(1745-1799)

1783 年 11 月 21 日、二人の搭乗者がモンゴルフィエ兄弟の発明した熱気球に乗ってはじめて自由飛翔を敢行したとき、空を飛びたいという数百年來の人類の夢はかなえられた。

ジョセフとジャック・モンゴルフィエは製紙業を営むかたわら、熱心に科学の問題にも携わっていた。兄弟は製紙方法を改良し、兄のジョセフは、当時ジョゼフ・プリーストリーがイギリスでおこなっていた気体研究に精通していた。

同じくヘンリー・キャヴェンディッシュによる 1766 年の水素発見にも、ジョセフ・モンゴルフィエは情報を得ていた。当の発見から、空気より 14 倍ほど軽い水素ガスは、気密の^{きのう}気嚢に封じこめれば、重荷をもちあげられることも判明した。ただ、任意量の水素を生産することは相変わらず難問であり、適当な気密の素材を見つけるのもむずかしかった。それゆえ、兄弟は熱気原理に全力を傾けるが、熱風は膨張すれば密度が減少し、それによって軽くなることまでは思いつかなかった。火の煙のなかで生じるガスが気球を上昇させる、したがって、湿った藁やそれに似た発煙性の素材が目的に最適な火をつくる、と兄弟は考えたらしい補注 22。

手始めに、二人は絹製の小さい気球をつくった。模型が大きくなると、亜麻布にはりかさねた、紙の気嚢を使って実験した。最初の公開気球飛行は 1783 年 6 月 5 日におこなわれ、全観衆が驚いたことには、発射台の下にある火によって熱風をつめた、直径 9m の大きな気球が、威風堂々と約 1,800m の高さまで浮揚した。10 分後、1 km たらず離れたところに着陸する。このニュースがパリにとどくや、学士院はただちに、首都で気球を披露するよう、モンゴルフィエ兄弟を招く。次回発射は同年 9 月 19 日、ルイ 16 世およびマリー・アントワネット臨席のもとにヴェルサイユ宮殿でおこなわれることになった。

飛翔^{ひしょう}にいとむ者はすべて思いもよらない危険をおかすと信じられ、気球飛行を企てるなどという考えは、非常識きわまりないとみられていた。いわば世紀の見ものに出演した搭乗者はアヒル、おんどり、ヒツジ各 1 名であり、気球は王室の色で飾られていた。直径約 12m の気球は、ほぼ 510m の高度に達し、3 km ばかり離れた森にゆっくり下降しはじめる。ヒツジがおんどりの羽根を踏みつけて、わずかに軽傷を負わせた以外、動物の乗客は無傷であった。

いまや有人飛行への道はととのったが、国王は、犯罪者にかぎって乗せてもよい、といって譲らなかった。幸いにも、国王の史学者、ジャン＝フランソワ・ピラートル・ド・ロジエという若い学者は、国王を説得して禁令を撤回させ、最初の有人自由飛翔に先行する、綱で地面につないだ一連の飛行実験に、搭乗者として参加することができた。そのとき、火は鉄かごに入れて気球口の下につるされ、気球に乗る人たちによって制御されり^か搔きたてられた。直径はほぼ 15m にまでのびていた。

歴史的な人類の初飛行には、ロジエとダルランデ侯爵が随行した。

25 分間で 7m 余り進んだ飛行は、まさに当時の奇跡であった。のちに熱気球は改良されるが、気球操縦の未来は、1783 年にジャック＝アレクサンドル＝カエサル・シャルルによってすべての根幹部が発明され完成された、水素気球にあった。平衡重量とガスバルブによって気球の高度がずっと簡単に制御できるからである。

モンゴルフィエ兄弟に遅れることわずか 10 日にして、シャルルはチュイルリー宮から処女飛行にとびたつた。飛行時間は 2 時間である。水素気球の歴史は 1 世紀後には操縦可能な気球を経て飛行船にまで発展する。熱気球による飛行も、1960 年代にスポーツとしてよみがえるが、これは輸送に便利なプロパンガス用ボンベによって可能になったのである。



左 モンゴルフィエ兄弟、絵の左がジャック、右はジョセフ。

右 1783 年 11 月 21 日のモンゴルフィエ兄弟の熱気球発射。

下左 気球の着陸。気球は燃えだし、破裂してゴネス村に降下する。動転した住民は、^{きのう}気嚢を巨大なフォークや石で攻撃した。

動物の獣皮と思い、堆肥

下中央 気球飛行の未来は、ジャック・シャルルによって発明された水素気球が具現した。1783 年 12 月 1 日の処女飛行は 40 km におよび、2 時間続いた。



下右 不首尾に終わった気球実験は 1785 年 3 月 26 日ジャン＝ピエール＝フランソワ・ブランシャールとボストンの開業医ジェフリズによってリールで実施された。ブランシャールとジェフリズは、ドーバー海峡を横断して航空郵便を輸送した、最初の飛行船操縦士である。

第34章 アントワヌ・ローラン・ラヴォアジエ (1743—1794)

フランスの化学者アントワヌ・ローラン・ラヴォアジエは、いまでは「近代化学の父」として知られている。パリで生まれ、早くから世の^{かつさい}喝采を博した。はやくも 23 歳のとき、ラヴォアジエは道路照明システムを改良して[アカデミー・デ・シアンス](#)から金メダルを授与され、史上最年少のひとりとして化学会員に選ばれる。ラヴォアジエは富家の出であるが、きわめて重要な科学研究の資金を調達するには、なんらかの収入に頼らざるをえなかった。1768 年に徴税請負人、すなわちフランス政府の委託で税金を取りたてる私的代理店の職をひきうける。ラヴォアジエはこの憎しみの的である徴税機関とのつながりによってどんな恐ろしい結果が生じるか

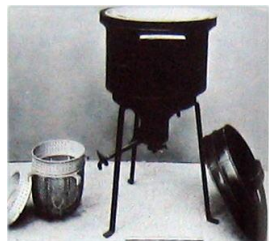
を予見できなかった。また、ジャン・ポール・マラーのちにフランス革命の指導者のひとりとなる自称科学者一の科学アカデミー選出に反対を表明することに、落ち度があるなどとも考えられなかった。

ラヴォアジエの研究はつねに入念な測定法にすぐれた特徴がある。研究方法の成果は、燃焼過程を説明する新理論の定式化にあらわれる。あらゆる物体は不思議な「フロギストン」と呼ばれる物質をふくんでいる、と科学者たちは長年にわたって信じていた。つまり、燃焼とはフロギストンが物体から逃げ去る現象である、と考えられていた。ラヴォアジエはこのようなフロギストン説を根拠薄弱とみなし、再検査することに決めた。ラヴォアジエらしい系統だった方法で、燃焼過程を探究するために、一連の実験を工夫する。さまざまな資料を空中で加熱し、入念に加熱前後の重さを計量したところ、どの資料も成分を失うどころか、しばしば空中からなにかを吸収するらしいことをつきとめる。ラヴォアジエは、燃焼を促進するという、ある気体がイギリスで発見されたことを聞き、燃焼中に大気から吸収される物質が最近確認された気体と同一である事実を証明する。ラヴォアジエはそれを「酸素」と呼び、燃焼は物体と酸素との結合であると定義した。この定義は今日も有効であり、フロギストン説はこれで最終的に否定された。

ラヴォアジエは基本的化学事象の発見だけではなく、化学事象を明晰かつ的確に表現することができる、技術用語にも取り組み、1787年、『化学命名法』と題する論文を出版している。化合物は構成元素名に基づいて命名しようという原則が、同書で確立された。ラヴォアジエの基本方式は、論理的でしかも簡明なため、すぐさま受け入れられ、現在にいたるまで化学物質の命名に用いられている。

1789年にラヴォアジエは、控えめに『化学要論』と名づけた、最初の真に近代的な化学教本のなかで、燃焼に関する研究と科学的方法論についての考えを公表した。同書はラヴォアジエ最後の重要な業績である。その後2年を待たずしてフランスは血みどろの革命に突入し、君主制を支持する収税吏は全国津々浦々まで追跡されて殺され、ラヴォアジエも革命民兵団にとらえられた。

1794年ラヴォアジエは法廷に引きだされる。ジャン・ポール・マラーが裁判官のひとりであり、もはや被告に無罪判決の見込みはなかった。マラーは科学アカデミー選出にかかわる屈辱的な拒絶からいまだに立ち直れておらず、ラヴォアジエの死刑を強く要求する。審理のあった当日の午後、ラヴォアジエはギロチンにかけられ、遺体は無名墓地に投げこまれた。



上中央 ラヴォアジエの熱量計。燃焼過程で生じる熱量を測定するための器具。

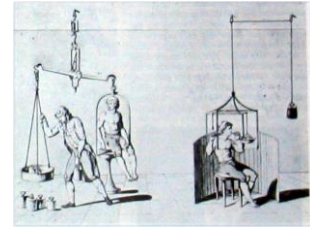
上右 ラヴォアジエが化学薬品を発火させるために利用した、フランス

科学アカデミーの大型集光レンズ。大きいレンズ（A）は2枚のガラスからなり、その間隙

には、酒^{アルコール}精が満たされている。可動レンズ（B）は発火させる物体に太陽光線を集中する。実験者は両眼を色眼鏡で保護する必要があった。



次ページ左 ラヴォアジエによって燃焼過程の研究に利用された器具。彼はレトルト内の水銀を、表面全体が赤い粒子でおおわれるまで、数日間加熱した。この加熱過程のあいだに、鐘形 ガラス内の空気量は減少した。鐘形ガラスに残っている空気は、もはや生命も燃焼をも維持しえないことを、ラヴォアジエは発見する。そのあと、赤い粉を加熱すると、再び水銀にもどった。そのうえ粉は、水銀の加熱時に消費された、同じ量の気体を発生する。ジョゼフ・プリーストリによって発見されたものとあらゆる点で同一である、当の気体は、激しい燃焼現象を可能にし、吸入することもできる。ラヴォアジエをこの気体を「酸素」と命名した。さらに酸化理論を展開し、燃焼によって物体とフロギストンとの解離現象が起こるとする見解に、ラヴォアジエは終止符をうった。



下右 ラヴォアジエの呼吸実験。身体は酸素を吸入して、肺のなかで「固定した空気」に変化させている事実を立証した。

第35章 アレッサンドロ・ヴォルタ伯爵（1745—1827）

イタリアの物理学者アレッサンドロ・ヴォルタは、静電気および電流の研究にささげた顕著な功績により世界的名声を得た。静電気を蓄えるための新しい技術ならびに今日の電池にあたる、電流を発生させる最初の装置を発明した。

ヴォルタはイタリアのコモに生まれる。高校の物理学教師をしていたときに、電気の本格的な研究をはじめた。1775年に電気盆、一種の電気エネルギーを蓄える装置を発明する。電気盆は、^{エポナイト}硬質ゴムで被^{コーティング}覆した金属板 [A] と、絶縁体の柄がついたもう 1 枚の金属板 [B] からできている。エポナイトは、乾いた布でこすれば、陰電気を帯びることが長年知られていた。ヴォルタはあらかじめ摩擦により負の電荷を帯電させたエポナイト板 [A] のうえに、絶縁体の柄をつかんで金属板 [B] を近づけると、エポナイトの陰電気が「静電誘導によって」金属板 [B] の下側には陽電気を、上側には陰電気を呼び起こすことをさぐりあてた。さらに、この陰電気は、金属板の上側と大地をつなぐ、導線によって逃がすことができ、その結果、金属板全体が陽電気を帯びることをつきとめた。このような操作を繰り返すことによって、ヴォルタは大量の陽電気を発生させた。電気盆はまたたくまに標準器具となり、今日では蓄電池—すなわち、回路で電気の蓄積に利用される装置—の基礎になっている。

電気盆の発明がヴォルタを有名にした。1794年、ヴォルタは最も著名な発明、すなわち、安定した電流を生じさせる装置である、電池の発明に成功する。数年間ヴォルタはイタリアの解剖学者ルーイジ・ガルヴァーニの実験に興味深く見守りつづけていた。ガルヴァーニが、2種類の異なる金属を動物の筋肉の近くで接触させる

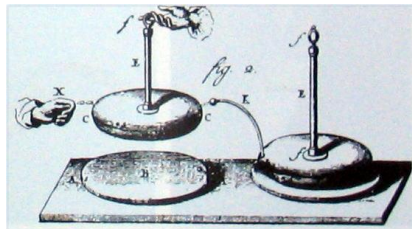
と、電流が発生する事実を発見したことにヒントをえて、ヴォルタは、動物の組織なしでも発電は可能だろうと考え、一連の実験をはじめた。

1800年、ヴォルタはついに成功した。2枚の異種の金属を塩溶液中で接触させば、電流が発生することを発見する。この発見が最初の実用電池につながった。それは塩溶液を満たした数個のシャーレと、なかに浸された接続コードとでできていた。コードの一端は銅製、他端は亜鉛製で、両者が接触すれば、発電した。ヴォルタはこのいささか扱いにくい装置を、一連の小さな丸い銅板と亜鉛板を用いることによって改善した。一对の種類の異なる金属板のあいだには、塩水にたっぷり浸された板紙盤がはさまれる。ヴォルタの金属板と板紙盤からなる電堆^{でんたい}は、のちに「ヴォルタ電堆」と呼ばれた、最初の便利な電源である。このようなヴォルタ電池は、電気分解の発見に直接結びつき、電気にあてはまる諸法則の研究に長足の進歩をとげさせた。

ヴォルタは業績に数えきれないほどの表彰をうけたが、いつまでも残る賞賛は、電圧の単位をあらわす記号「ボルト」であろう。



上中央 ヴォルタが新たな装置、蓄電器の発明を公表するために出した、手紙の1ページ。ヴォルタは、塩溶液を満たした一連のシャーレと、両端がそれぞれ銅と亜鉛で



できている、導線によって発電しうることを発見した。のちに、それほど手数のかからない方式、「ヴォルタ電堆」を開発する。これは異種の小さい金属板で構成され、両者のあいだに、塩水に浸された板紙盤がはさまれた。

上右 ヴォルタ電堆の実験を示す、フレスコ画。

下左 ヴォルタの電気盆。

下右 ヴォルタの電気盆は多量の陽電気を蓄積することができた。陰電気を帯びた表面に電気盆をおけば、電気盆の上側は陰電気を、下側は陽電気を帯びる。陰電気はそのあと導線をとおして逃がすことができる。

第36章 ジョゼフ・ブラマ (1748—1814)

数百万人にのぼる市民の公衆衛生と幸福な生活に資する発明が、工芸家具職人で技術者のジョゼフ・ブラマによってなされる。はじめて実用的なトイレット方式を案出し、大々的に商品化した「ブラマ」水洗便所がそれである。

いまや水洗便所は、汚水が自然の貯水源にしみいることを防ぐ、効果的な下水網とともに、市町村における健康保持にとって重要不可欠なものであることが知られ

ている。何世紀ものあいだ、ヨーロッパ市民は、^{じんあい}塵埃と^{ふんべん}糞便でいわば糞詰まりになる、覆いのない下水や溝をやむをえないこととして受け入れていた。したがって、富裕な市民は流水のそばや^{かみて}上手に住み、あるいは家屋の下に下水だめをつくって、ときどき清掃してもらうほかなかった。

18 世紀にロンドンの時計職人、アレクサンダー・カミングは、水洗便所の特許をとった。カミングのバルブ式水洗便所は、^{ハンドル}つまみで操作され、つまみが引っぱりあげられると、水がどっとタンクから便器にそそがれ、同時に便器の底の^{バルブ}弁を後ろへスライドさせる結果、内容物が排水管へと洗い流された。しかしこの方式は、ジョゼフ・ブラマが若い工芸家具職人のころ、得意先の家々に新しいバルブ式水洗便所の取り付け依頼をうけて気づいたように、思いどおりには作動しなかった。

1778 年、ブラマは大幅に改良し、^{ちょうつがい}蝶番のついたバルブがある、独自モデルの特許をうけた。

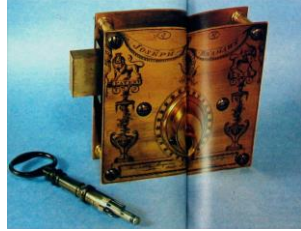
換気の悪い下水道や汚水だめで発生する、悪臭ガスの流出を必ずしも阻止するものではないが、「ブラマ」はほぼ 1 世紀のあいだ衛生設備の分野で主導的役割をはたした。下水工事は 19 世紀半ばまで実のところ真剣におこなわれなかった。猛烈な伝染病コレラが、成長しつつあるヨーロッパの都市に蔓延し、1894 年にロンドンも襲うと、やっと、効率のよい下水の再建が社会的に優先されることになる。その後 19 世紀後半中に、私たちが今日知っている、^{ウォッシュダウン}洗淨型トイレが開発された。

水洗便所を組み立て、市場に出したことは、ジョゼフ・ブラマの永遠の功績である。ただし、これ以外の発明によっても彼の名は知られている。なかでも、盗難の恐れがないと思われるほど、丈夫で複雑な「ブラマ錠」はすぐれものである。この錠前をこじあげることができたお方には 200 ギニーをさしあげます、と掲示して、ブラマはショーウインドーに陳列した。報酬は 67 年間請求されなかった。ようやく、1851 年の万国博覧会を訪れるためにロンドンへやってきた、あるアメリカの錠前師が報酬を獲得するが、その挑戦には 51 時間もかかった。

あまりの複雑さに「ブラマ錠」はひとつの問題を投げかけた。つまり、生産にも時間がかかるということ。そこでブラマは、錠前の部品を精確に規格化して製造できる、機械の製作に力を借りようと、ヘンリー・モーズリーという若い^{かじ}鍛冶屋を雇い入れた。モーズリーの機械は、19 世紀と 20 世紀の工作機械産業全体の模範になるほどであった。

モーズリーはおそらくブラマの水圧機、つまり、比較的わずかな^{インパルス}力積で圧力を徐々に規則正しく高めてゆくことができる、作業場にとってきわめて重要な機械の発明にも、決定的な役目をはたしたと思われる。さらにブラマの発明には、紙幣に数字を印刷する機械と、木材平削り盤がある。また、^{うじく}羽軸を縦方向に分割することができ、1 枚の羽が 4 片までの羽軸になり、おのおのがそれ自身の先端をもつようにできる装置も開発した。先端にはそのあと特別に設計されたホルダーがかぶ

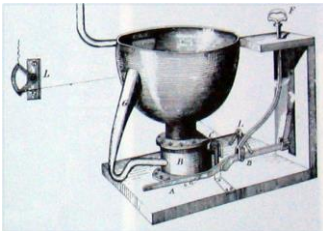
せられた。当時たいていの驚ペンは輸入に頼っていたので、まさに有益な節約措置であった。



左 1787年に組み立てられた、ブラマの特許錠。銘文に、「この錠前のありとあらゆる^{バリエーション}変化を開くためには、479,001,600個の鍵があなたには必要です」、とある。

右 1784年に出版されたブラマの著書『錠の構造に関する論文』の図版で、

ひとつの錠前の設計を示す。



左 ブラマの水洗便所（1778年作）。つまみ（F）は針金とつながれている。針金が上方にとりつけられた水槽の弁（バルブ）を開くと、便器の内容物が下へ押し流される。

第37章 エドワード・ジェンナー（1749—1823）

イギリスの地方医エドワード・ジェンナーは、貴重な種痘法の発見によって、人類のまぎれもない恩人に数えられている。

ジェンナーは村の牧師の息子としてグロスターシャーに生まれ、13歳のとき、外科医のもとに弟子入りさせられた。修業を終えるや、少年はロンドンに出て、有名な外科医ジョン・ハンターのもとで医学を学ぶ。2年後、ジェンナーはグロスターシャーに帰郷し、郷里で開業して成功をおさめ、患者たちにも敬愛された。彼はさらにハンターの生物博物館のために標本を集め、鳥の渡りをふくむ、博物の種々相についてもいくつかの斬新な観察をしている。

天然痘は、すでにジェンナーの生まれるまえから、ヨーロッパで健康をおびやかす最も深刻な危険因子であった。相次ぐ流行病は繰り返しまたの犠牲者をだした。特に天然痘は、皮膚を膿疱^{のうほう}によって破壊し、あとあとまで痘痕^{あばた}を残すことから恐れられた。生きぬいた患者たちも、痘痕のある皮膚から容貌^{ようぼう}のほぼ完全なゆがみにいたるまで、多様な陋醜^{ろうしゅう}をとどめたのである。

何世紀も以前に、中国人は、天然痘患者のはがれ落ちたかさぶたを粉末状にして健康な人間の鼻孔に吹きつけると、ある種の免疫性が得られることを発見していた。天然痘の予防接種は、17世紀にトルコとギリシャではじまった。患者の膿疱から採取した血清が、針によって健康な人々の皮膚に植えつけられた。この方法で軽度の発症におさえることができるかと期待された。レイディ・メアリー・ヴァートリ・モ

ンタギューは、イギリスの大使夫人としてコンスタンティノーブルに駐在していたとき、その方法を学んで故国にもちかえった。1721 年、夫人は自分の息子を実験台にして接種させ、首尾よく成功する。この人痘接種法は、危険というよりも命にかかわる罹患率が高かったにもかかわらず、18 世紀のあいだヨーロッパじゅうでおこなわれた。

ジェンナーは、グロスターシャーで開業していたとき、ウシから牛痘に感染した乳搾りは人間の天然痘にはかからない、という古来の民間信仰にでくわした。ジェンナー自身の観察によって伝承が事実らしいと確認される。さらに、危険のない牛痘は、人々を襲う、猛烈な形の天然痘に免疫を与えるかもしれないことも見きわめた。この可能性を 20 年間、彼は慎重な実験をかさねて検証し、ついに 1796 年、人体実験に踏みきるだけの十分な確信をもった。ジェンナーは 8 歳の少年ジェームズ・フィリップスに牛痘を接種すると、さっそく軽度の発疹があらわれた。2 カ月後にジェンナーは少年に天然痘の血清を接種する。いかなる症候もみられず、少年が免疫になっていることが確かめられた。

ジェンナーは自分の方法を「完全種痘法」と名づけた。牛痘種痘法は、体制派の多くの医師がジェンナーの行く手をさえぎろうとする妨害よりも、天然痘への恐怖が相当うわまわっていたため、急速に広まっていく。ある医師などは、病院の牛痘培養を天然痘ウイルスで汚染する嫌がらせさえするほどであった。

ジェンナーは財政上の利益を一顧だにせず、種痘の発見を公表し、その効果への信頼を固めようと、うまずたゆまず ^{けんさん}研鑽をつんだ。おかげで猛威をふるった天然痘の発病は劇的に減少するが、彼の収入と業務は打撃をこうむった。1800 年以後ジェンナーは世界じゅうから表彰され、イギリス議会も彼に 2 度ばかり相当な補償金の支払いを可決した。

^{とうそう}痘瘡 ウイルスのような微生物がさまざまな病気の発生にはたす役割は、ジェンナーの時代にはまったく知られていなかった。だが、彼の研究は細菌学への貴重な一歩となった。ヨーロッパおよび北アメリカにおける天然痘の完全な根絶と、その他の世界各地域での封じ込めと検査体制は、あくまでも彼の功績である。ジェンナーの発見は医学史上画期的なものであると同時に、医学診療における客観的科学方式の勝利にほかならない。多くの ^{まひ}麻痺あるいは死にいたる病に対する今日の免疫法プログラムは、ジェンナーの画期的発見に源を発するのである。



中央 『牛痘—または新しい予防接種のすばらしい効用』。この漫画は 1802 年に反ワクチン協会によってジェンナーに反対するキャンペーンの一環として発行された。ロンドンの天然痘・接種病院で患者たちに接種するジェンナーを描いている。種痘は、イギ

リスにはじめて導入されたとき、多くの医師に排撃され、パンフレットや雑誌で激しく攻撃さ

れた。



右 子供に種痘をしているエドワード・ジェンナーの立像。最初の種痘は1796年5月におこなわれる。ジェンナーは、牛痘にかかった搾乳婦の手の傷から痘苗^{とうびょう}をとって、健康な子供の腕に注射した。種痘は、ほんの数日間でおこなわれ、非常に軽い病気をひき起こす。のちにジェンナーは、以前の種痘の膿疱^{のうほう}から取った痘苗を使って接種をおこなえることを突きとめた。

左 ジェンナーの研究は結局しかるべき評価を得て、ジェンナーに多数の表彰と栄誉をもたらした。この18カラットの金製かぎタバコ入れは、ロンドン市の名誉市民授与式で、「種痘の発見および公共への種痘導入に発揮された力量と忍耐の…記念として」贈られたものである。

第38章 ニコラ・アペール (1750—1841)

密封容器に食品を保存する技法は、フランスの料理人ニコラ・アペールによって初めて実用化されたことから、アペールは「缶詰の父」と呼ばれる。

1795年、フランス革命につづいて勃発^{ぼっぱつ}した戦争と動乱のさなかに、フランス政府（総裁政府）は、輸送しやすい食料品を確保するために、斬新な食品貯蔵法の開発に懸賞をつけた。シャロン・シュール・マルヌ出身の料理人で、菓子製造人兼酒造家のニコラ・アペールは、この課題に挑戦する決心をする。14年の歳月をついやし、ついに1810年、1万2千フランの賞金を請求することができた。翌年アペールは、求められたシステムの説明書を、『あらゆる種類の動物および植物性食材を数年間保存するための加工法』と題して出版した。

スープ、シチュー、果物類といった食品は、ガラス瓶かジョッキのなかへ気密にして密封すれば、腐敗が防げることを、アペールは発見する。ジョッキは中身とともに数時間熱湯に浸さなければならない。そのあと、針金で固定されたコルクで密封され、封蝟^{ふうろう}でふさがれる。この保存加工法の成功は、科学的説明がないが、ともかくうまくゆくという事実によって実証された。微生物と腐敗との関係は、別のフランス人で細菌学分野の先駆者、ルイ・パスツールが発酵過程を究明するまで、あと50年ばかり未知のままであった。

アペールは獲得した懸賞金で世界初の缶詰工場を建設し、同社はアペール商会として1933年まで存続した。アペールはほかにも無酸性ゼラチン抽出法や現代の肉固形スープの原型を開発し、蒸気滅菌器を改良した。同じ時期、すなわち1810年に、ピーター・デュランという商人もイギリスでガラス、陶器、ブリキ容器などに食品を保存する方法の特許をとったことで、ブリキ缶が誕生した。1813年までにデュランは英国海軍と肉の缶詰を供給する契約を結んでいる。1815年以降、アペールは自社の工場でブリキ容器を使用しはじめた。

容器は、薄いブリキ被膜でおおわれた、薄鋼板でできている。衛生と安全面は19世紀のうちに改善された。缶詰製造は、4時間から5時間の調理時間が殺菌のために必要とされたため、さしあたり時間のかかる仕事であった。19世紀後半になると、

熱湯に塩化カルシウムを添加して温度を摂氏 17 度あまりあげることによって、調理時間が短縮された。これで缶詰工場は、1 日の平均生産高をおよそ 2,500 缶から 20,000 缶にふやすことができた。20 世紀初めには現代ふうの缶が導入され、デュランやアペールの用いた、蓋^{ふた}をはんだで接合する方式は、時代遅れになってしまった。

缶詰は 1819 年に合衆国に伝えられたが、やっと南北戦争によって広く普及するようになる。1895 年から大量生産が開始され、近代工業は、生活様式が少なからずパック詰めインスタント食品に基づいている、消費社会へと切り替わっていった。缶詰の少なからぬ利点は、ビタミン類が大部分破壊されない点にある。



上 缶詰用の食品を煮つめて保存可能な状態にする実験室（上図左）。缶がつめられて密封される作業場（上図右）。アペールの缶詰製造法は数 10 年間食品を保存した。彼はいやになるほど清潔を重視し、また、新鮮な産物しか加工しなかった。



左 アペールの製品が積み込まれていた、フランスのブレスト港。アペールはそここの海運局と親交を結んだ結果、フランス海軍にも自社の保存食品が採用された。

右 今日の缶詰生産。缶詰の食品は、巨大な圧力釜^{がま}に似た、滅菌装置^{レトルト}のなかで煮たきされる。缶が 10 分ないし 30 分間摂氏約 120 度



で加熱されることにより、中身は煮え、殺菌されて、新鮮さをそこなわない。缶詰は滅菌装置から出てくると、冷水で洗われ、コンベヤーベルトでラベルをはる機械へと運ばれていく。

右 1811 年に出版された、缶詰製造に関するアペールの著書のとびら。



第39章 ジョゼフ＝マリー・ジャカル（1752—1834）

はじめて自動織機を発明したのは、フランスの絹織り工ジョゼフ・ジャカルである。発明者にちなんで「ジャカル機」と命名され、同機は大量生産へ通じる、繊維工業で最も重要な時期を切り開いた。

17 世紀末、フランスは、さまざまな織機の改良品がもちこまれる、絹織物工業の中心になっていた。機織補助者がおかす人為的な誤りを避けるために、どうすれば紋様が 100%自動的に機械へ組み込めるかという問題についても工夫がかさねられ

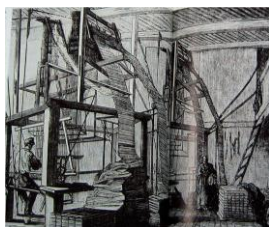
た。1730 年前後に、円筒上の^{せんこう}穿孔 巻紙からなる、対応装置が考案された。同装置は世に認められなかったが、ジャカルに名案を思いつかせ、1790 年から 1801 年にかけてジャカルは装置をさらに発展させた。

ジャカルはリヨンに^{しよっこう}織工 の息子として生まれた。1790 年、彼は 50 年まえにジャック・ド・ボーカンソンによってつくられた織機を分解検査し、修復するよう依頼を受ける。ボーカンソンは自動機械装置の初期発明家であり、それらはのちに近代産業で利用された。ボーカンソンは絹産業の検査官になると、絹織りの機械化に興味をもちはじめ、水もしくは動物を動力とすることができる、^{りきしよくき}力織機 をつくりだした。自動制御は、^{たていと}経糸 に連結した ^{フック システム} 鉤針 装置 を制御する、穴あきカードによって達成される。ボーカンソン紋織機は最後に、ボーカンソン自身がパリに設立した、18 世紀発明博物館に搬入されたため、ジャカルはそこで同機を研究することができた。

ジャカルが共和制支持派の側に立って戦った、フランス革命の混乱は、いつとき実験の中断を余儀なくさせるが、ジャカルは可及的すみやかに実験を再開した。1801 年のパリ万国博覧会には絹織り機の新しい改良型を展示し、1805 年にジャカル機の決定版をつくりあげた。本機はボーカンソンの「^{パンチ}穿孔 カード」方式と、穴をあけたカードの紋様に対応する糸だけを選択して引きあげる、バネつき針とを連結させたものである。この方法で、テーブルクロスやベッドカバーに仕立てられる、^{きんらん どんす}金欄 緞子 のような絹地に、きわめて複雑な紋様を織ることができる。

絹織り工たちは、ジャカル機に職を奪われないかと恐れ、発明者を個人攻撃し、機械を次々に焼却した。しかし織機の性能が明らかになるにつれて、騒動はおさまっていった。ジャカル機は国の管理に移され、ジャカルは販売利益の配当と、さらに国家年金もうけとった。

力織機の発展は、イギリスでは、1785 年に未熟なモデルに最初の特許が与えられて以来、特筆すべき前進がなかったが、ジャカル機の導入は、産業に飛躍的発展をもたらした。織機の台数は、1813 年と 1833 年のあいだに、2,400 台から約 100,000 台にもふえた。



左 ジャカル機で織られた、ジョゼフ・マリー・ジャカルの肖像。

中央 初期型式のジャカル機が使われている、1830 年ころのリヨン絹工場。ジャカル機は当初、絹織り工たちの抵抗

にあうが、19 世紀初頭にはフランスをはじめ、諸国の繊維工場に広く普及していた。

右 ジャカル機は、19 世紀の 70 年代初期に織られた、このバイエルン地方の絹織物が証明

するように、非常に複雑な紋様を織りだすことができた。



左 現代の繊維工場で作業中のジャカル機。^{たていと}経糸の引きあげを制御する、ジャカールの「パンチカード」方式は、元来絹織物のために開発されたが、今日ではあらゆる種類の布地に複雑な模様を織りだすことができるようになっている。

第40章 ベンジャミン・トンプソン卿（1753—1814）

ベンジャミン・トンプソンは最初の近代的な熱理論をうちたてた。彼の研究は、熱が物質にふくまれる一種の流動体だとする見解〔熱物質説〕をくつがえし、熱はむしろ運動体であることを示す補注 23。トンプソンは機械エネルギーが熱エネルギーに変換しうることを実証して、熱力学の発展とさまざまな熱機関の発明に道をひらいた。

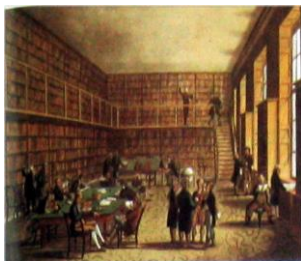
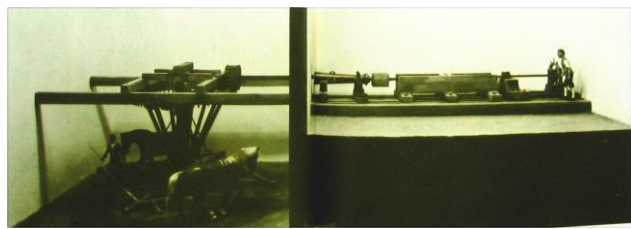
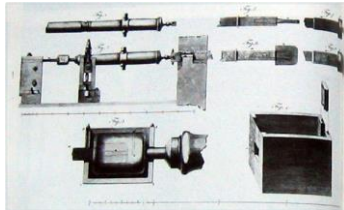
トンプソンはマサチューセッツ州ウーバンに生まれる。アメリカ独立戦争が勃発^{ぼっぱつ}したとき、彼はイギリス軍に味方し、妻子を捨て、イギリスにわたり、政府の役人として働いた。アメリカ独立革命軍が勝利をおさめるとともに、トンプソンは追放の身となる。彼はヨーロッパじゅうを旅行し、結局、バイエルン選帝侯治下の行政官になり、1780年、選帝侯によって伯爵に叙せられ、ランフォード伯を名のった。

その後トンプソンは著名な科学者となってイギリスに帰還し、王立科学研究所—今日まで斬新な科学的創案のために世界できわめて重要な審議の場になっている団体—を創設した。しかし、トンプソンは相変わらず定住せず、さらに数回旅をかさねたあと余生をフランスですごした。

バイエルン選帝侯に仕えていたとき、トンプソンは軍の装備についても責任を担っていた。砲身の製造を監視している間に、熱理論の着想がうかぶ。大砲の穿孔作業で、金属の延べ棒がゆっくりと回転する大きなドリルでくりぬかれていた。ドリルが金属にくいこんでいくとき、大量の熱が発生するために、工員はたえず延べ棒に冷水をそそぐ必要があった。トンプソンは従来の科学的説明を承知していた。つまり、ドリルの回転運動は、金属からいわゆる「熱素」を解き放ち、遊離したカロリックが熱となって空気中に現れるというわけである。ところが熱は、^{せんこう}穿孔作業が継続しているかぎり放出され、しかも金属中にふくまれうるよりもはるかに大量の熱が発生していることを、トンプソンはつきとめた。この事実から、ドリルの機械的運動が熱に変換されること、したがって、熱は運動の一形態である、と推論し

たのである。

こうして熱ははじめて機械エネルギーの異なる一形態だと考えられた。トンプソンの考察はこれだけにとどまらない。どれほどの熱量が、与えられた機械エネルギーの量から発生するか、彼は精確に算出しようとする。実験は途方もなく困難なことが明らかになり、トンプソンのだした答えは非常に不正確なものであった。彼はしかし、いまでは「熱の仕事当量」と呼ばれている概念をたてることによって、後年に熱と機械エネルギーの相互変換でさまざまな応用を見いだすにいたる、工学部門の創設に寄与したのである。その最も有名な応用例は、蒸気機関と内燃機関である。トンプソンの熱理論は、物理学の新しい部門—現在の熱力学—の発展にも役だった。



上中央 トンプソンが砲身の実験に使った器具を示す、本人の製図。

上右 熱の性質に関するトンプソンの砲身実験の模型。

中左 王立科学研究所の図書館。

中中央 ランフォード式ストーブのまえで暖をと

るトンプソン。

中右 トンプソンの湯沸かし。

下左 トンプソンの多炎燃焼器とアルコールランプ

下右 トンプソンは種々の料理器具を設計した。上図は、携帯用の炉によって熱せられる(B)、大型シチュー鍋(A)にのせたソースパン(C)。下図は、携帯用の炉。



第41章 ウィリアム・マードック (1754—1839)

ウィリアム・マードックは自身についてこう語っている。「思いあがりでなく、わたしはガスを経済的な目的に利用しようと思いつき、また実現した最初の人間である、と主張することができるようになります」。事実、ガスを燃料や光源として使う、あらゆる形の業務用と家庭用の利用は、マードックが 18 世紀最後の 10 年間にイギリスでおこなった、数々の実験に帰することができる。

マードックはスコットランドの水車大工の息子として生まれ、父親の仕事を学び

とった。1777 年、バーミンガムへ移り、マシュー・ボールトンとジェームズ・ワットが経営するソーホー工場ではたらく。2 年後にマードックは、^{すず}錫 鉱山の排水ポンプを動かすワット式蒸気機関の取り付け作業を監督するために、コーンウォールへ派遣された。

その後、マードックはレッドルースに居をさだめ、燃えている石炭から発生するガスを利用できないものか、調べはじめる。マードックはイギリスで産出されるありとあらゆる種類の石炭を、一本の金属管が炉から居間に通じている、自宅裏庭の鉄製レトルト式炉でテストした。1792 年 7 月 29 日、居間ではじめてガスの炎に点火した。1799 年にバーミンガムへもどったあとも、実験をつづけた。適切な貯蔵方法、^{ガスマントル}白 熱 套、ガス浄化システム、安全対策などを開発するまでに、まだまだ長い道のりがあることを、彼は知っていた。

ボールトンとワットは、すでに酸素と水素製造のためにレトルトと浄化装置をつくりだし、マードックの進展に強い関心をよせていた。しかし、すでに訴訟が係属中のうえに、特許がそもそも認められるかどうか疑わしく思われたので、ボールトンとワットは特許の申請をためらっていた。その後 1801 年に、フランスの技師フィリップ・ルボンがパリで実験をおこなっているとの情報が聞こえてくる。ルボンは 1799 年、木炭の乾留によって得られるガスを燃料として利用する製品を、「熱ランプ」と名づけて特許をうけていた。イギリス人たちは計画の実現を急ぎ、1802 年、自社のソーホー工場の建物にアミアンの平和を祝してガス灯をとりつけ、点灯した。翌年には鑄造所全体がガス灯で照明される。ガスの悪臭はしばらくして完全に除去され、工場も一般家庭もこの新方式を採用しだす。そのころボールトンとワットは照明および暖房器具を市場にだしはじめた。1810 年、マードックはソーホー工場の共同経営者となり、1830 年に隠退するまでつとめあげた。

マードックはきわめて創意に富んでいた。蒸気機関車の模型さえ製作するが、共同経営者たちはそのような蒸気力の利用を軽薄で無責任なことと考えた。ワットが特許権をにぎっているかぎり、なにびとも蒸気を動力とする乗り物を開発することはできなかった。

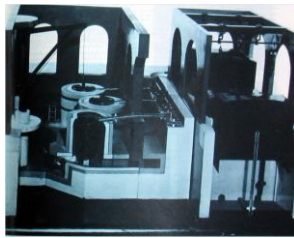
ワットが 1781 年に特許権を取得した、ロータリー・エンジンは、事実上マードックによって考案された、と現在では考えられている。マードックの^{スライドバルブ}すべり 弁の発明が、ワット式蒸気機関の複雑なバルブ系統を簡素化し、改良したことは確かである。はずみ車を設計し、補強構造を必要としない、自律の蒸気機関をはじめて製作したのも、マードックであった。さらにマードックの発明品には、基本製法がいまも利用されている鉄しっくいとか、蒸気銃とか、バーミンガムの自宅の呼び鈴を鳴らした、圧搾空気の利用法などがある。



左 1840 年のロンドン、リージェント街。導入後 20 年以内に、ガス灯が

ほとんどのロンドン通りにともされた。

右 1870 年頃、陸・海軍クラブの室内照明にガス灯利用。



左 『パルメル街のガス灯一瞥』(1809 年)、この漫画は新たな道路照明に対する反応に辛辣な寸評をくわえている。
右 コーンウォールの作業場を照明するため、マードック自身によって設計されたガス装置の模型。ガスは石炭の乾留によって得られた。

第42章 ジョン・ラウドン・マカダム (1756—1836)

スコットランドの測量技師ジョン・ラウドン・マカダムは、19 世紀に最も普及した道路舗装法、つまり砕石舗装の発明者である。

18 世紀の終わり頃、ヨーロッパの道路建設は、ローマ帝国の全盛期以来もはや経験したことがないほど重要になってきた。商工業の成長とともに、都市を結ぶ貨物輸送の増加は、航行可能な河川の利用増大と運河の建設につながった。また、優良な道路舗装の必要性も痛感される。整然とした走路がないかぎり、信頼しうる駅馬車の定期便は確立のしようがなかった。初期の駅馬車は、平均すれば、ほとんど速歩以上の走行速度をだせない状況にあった。

近代道路建設の最初の先駆者は、1775 年道路ならびに橋架の監査官となった、フランスの技師ピエール＝マリ＝ジェローム・トレサゲである。トレサゲは、交通量にたえる、平らな石を敷きならべた強い路盤と、中央がやや高く盛りあがった路頂と、砕石の路面によって構成される、水はけのよい工法をあみだした。トレサゲの努力によって、フランスは 1800 年までにヨーロッパ最高級の道路網を保有するにいたった。

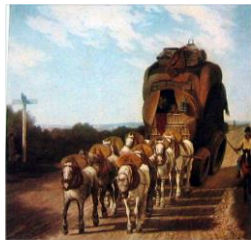
トレサゲと同時代のイギリス人にジョン・メトカーフがいた。メトカーフは、排水溝システムを利用し、湿地帯に丸太道を敷設する。トレサゲとともに、メトカーフは次世代の道路建設者のよい手本となった。次代の傑出した代表格が、ジョン・マカダムと、すばらしい独学の技術者にして架橋技師のトーマス・テルフォードである。

テルフォードは道路建設ではトレサゲの基本工法を大部分継承している。これに対してマカダムは、道路建設の改善方法について、独自の理論をたてた。路盤ではなく、むしろ路面こそ、交通の荷重を支持しなければならない主要部とみたのである。

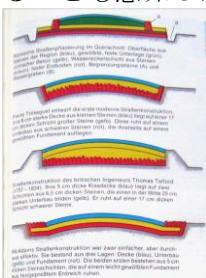
マカダムは、排水を容易にするため、路床が周囲の地面よりわずかに高い、道路を設計した。両わきに側溝がつけられ、路床はびっしり並べておかれた大きな砕石。

できている。道路は約 5.5m 幅で、中央が 7.5cm ほど高くされている。とりわけ重要な路面は、小さく砕かれた花崗岩か緑色岩—170g より軽い断片—で築造された。もとの碎石層が通行によって押しつぶされると、そのつど新たな層がつみあげられた。このようにして路面は圧力でおのずから踏みかためられる。それまで無数のわだちや穴ぼこをつくって通っていた、荷車や馬車の車輪の鉄製 外縁^{そとぶち}は、いまや路面をいっそうしっかり踏みかためるために役だったのである。

新式道路のおもな欠点は、旅人が日照りのとき頭のとっぺんから足のつま先までほこりにまみれることである。他方、実用的な利点は明白であり、1823 年、道路建設にかかわる議会の質問が、公式に「マカダム工法」が採用にされるきっかけとなった。1827 年、マカダムは英国道路業務の主任監督官に任ぜられ、さまざまな能力にくわえ、組織と管理の才能ももちあわせていたおかげで、偉業をなしとげることができた。1840 年のイギリスには、ほぼ 8,000 カ所に料金所がある、44,000 km 以上の有料高速道路があった。最高 12 頭の馬にひかれる、新しい快速駅馬車は、鉄道の台頭によって駆逐されるまで、我が世の春を謳歌していた。マカダム工法は他の諸外国、特に合衆国にもすばやく採用され、自動車が発達するまでもちつづけた。マカダムの名前は、英語ばかりか、ドイツ語の言語慣用にも「マカダム道」や「マカダム道にする」という単語ではいりこんでいる。自動車時代になった現在も、必要とされる新しい舗装材のことを「タールマカダム」あるいは「アスファルトマカダム」と呼んでいる。



上右 1840 年ごろ碎石を敷きつめた道路を通る馬車。マカダムの道路舗装法は、重い荷物を高速で輸送することを可能にした。マカダムの道路は「ローマ道」のように中央がやや高く盛りあがっていたので、乾いた状態を保つことができた。この点が 堅牢^{けんろう}な路盤よりも重要な成功の秘密である。簡便なマカダム道は、いっそう迅速に、安く建設されることも意味した。



中左 さまざまな道路舗装法の比較：

ローマ道の舗装断面図。地元の石でこしらえた表層（青）、アーチ形の堅牢な基層（緑）、ローマ式コンクリート（黄）、石の防水層（茶）、しっかり固められた地盤（赤）。境界石(A)と排水溝(B)。

ピエール・トレサゲは最初の近代的な舗装道路を設計した。小石を敷きならべた 8 cm 強の表層（青）は、大きな石の厚さ 17 cm の基層をおおう。基層は重い石をならべた路盤（赤）のうえに置かれ、路盤はアーチ形の路床にすえられる。

イギリス技師トーマス・テelford（1757—1834）の道路舗装。厚さ 5 cm の砂利の表層（青）は、中央が 25 cm 強の基層を形成する、厚さ 6.5 cm の石からなる 2 層（黄）のうえにある。この基層は、重い石を敷きかさねた厚さ 17 cm 層のうえに置かれる。マカダムの道路舗装は単純ながら、きわめて実用的である。それは 3 層からなる。表層（青）、基層（黄）および路盤（赤）。表層と基層は、5cm の碎石層で構成され、しっかり踏み固められた土壌のややアーチ形になっている路盤にかぶせら



れる。



下左 鉄筋コンクリート舗装の都市高速自動車道—東京高速道路4号線の省スペース区間。現代の高速自動車道は、重い荷重にも堪えうるように、1mの分厚い路盤と、厚さ25cmの鉄筋コンクリートの路面をもつ。地方道は今日でもマカダム工法でつくられている。
左 マカダムを商売上手な野心家の道路建設者として鋭く批判した、風刺画。

第43章 ロバート・フルトン（1765—1815）

アメリカの発明家ロバート・フルトンは、営業輸送で成功をおさめる、最初の蒸気船を建造した。潜水艦の初期開発段階での進歩も、彼に負うところが大きい。

フルトンは数年間イギリスで生活し、1797年にパリへわたる。当時イギリスとフランスが交戦中であったことがフルトンに、炸薬^{さくやく}を軍艦の船殻^{せんかく}下にとりつけるための潜水艦構想を発表する機会を与えた。デービッド・ブッシュネルというもう一人のアメリカ人が、最初の潜水艦、人力推進・1人乗りのカプセル、「タートル号」(Turtle)をつくり、アメリカ独立戦争中にイギリスの軍艦に数回攻撃をくわえたが、戦果はおさめられなかった補注24。

フランス当局は当初この種の陰險な作戦にひるむが、1801年、フルトンが「ノーチラス号」(Nautilus)と命名する試作モデルのテストを許可した。ノーチラス号は、鉄製の肋材^{ろくざい}に固定された銅板でつくられ、4名を乗せて3時間水中にもぐることができた。スクリューは手動であり、簡単な展望塔をそなえていた。フルトンの潜水艦は、遺棄されたスクナー型帆船なら沈められるが、本物の軍艦に出撃すれば、船足が遅すぎるということが明らかになった。その間にフルトンは駐仏アメリカ公使ロバート・R・リヴィングストンと知りあいになる。リヴィングストンはニューヨーク州で蒸気船会社に関与した経験があり、二人は協力しあうことに決めた。

フルトンは船の両側に外車（外輪）と8馬力の強いエンジンをつけた全長20mの船を設計する補注25。同船は1803年に建造され、セーヌ川で試航した。その結果、船体がエンジンを支えるには弱すぎると判明したため、設計が改良され、フルトンは、いっそう強力なエンジン〔ワットの蒸気機関〕をイギリスからアメリカへ直送するように注文したあと、1806年ニューヨークへ帰還した。

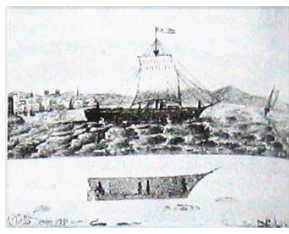
実用的な蒸気船開発の歴史は長い歳月をさかのぼることができる。スコットランドの発明家ジェームズ・ワットが18世紀の70年代に改良した、蒸気機関が結局は着想の実現を可能にしたのである。アメリカのジョン・フィッチは、つづく1780年代に一連の蒸気船を建造する。フィッチはまず機械仕掛けの櫂^{オール}でこころみたが、そのあと外車に切り替えた。外車船第2号でフィッチ最後の汽船は、定期旅客便と

してデラウェア川に就航するが、赤字事業に終わった。

フルトンとあるいはイギリスで知りあったかもしれない、スコットランドの技術者ヘンリー・ベルは、1800年に蒸気船の企画書を英国海軍省に送付した。だが、ヨーロッパ初の蒸気船といわれる、ベルの「コメット号」がスコットランドのクライド川で処女航海したのは、やっと1812年のことである。実は1802年、イギリスの機械技師ウィリアム・サイミントンが建造した、全長約17mの外車船「シャルロット・ダングラス号」がすでに進水していた。さらに数年間、引き船としてスコットランドの運河で首尾よく運転していた実績から、「シャルロット・ダングラス号」を実用的な最初の蒸気船と呼ぶことができるかもしれない。

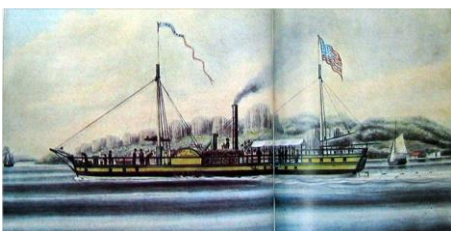
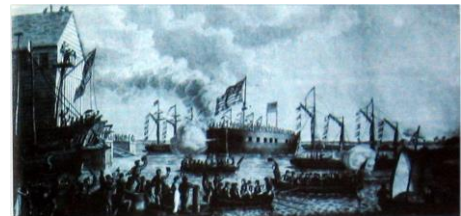
いずれにせよ、営業運航に成功した最初の貨客船は、1807年ハドソン川に進水した、フルトンの全長ほぼ50mの「クレアモント号」である。フルトンは基本設計の細目を種々修正し改良をくわえたあと、さらにアメリカの別な河川で操業する外車船を建造していった。また、イギリス軍による海上封鎖がおこなわれた1812年から1814年にかけて、ニューヨーク港を守るために、フルトンは蒸気で動く最初の軍艦もつくった。

晩年、フルトンは潜水艦の構想をさらに発展させようと多大の精力を傾注した。100名の乗組員を収容可能な蒸気潜水艦の開発計画に、議会の支持をとりつけることに成功した。彼が没したとき、計画は未完成であり、決して完成することもなかったが、フルトンの「ノーチラス号」にはいわば記念碑が建てられた。すなわち、ジュール・ヴェルヌの空想科学小説『海底二万マイル』に出没する潜水艦は「ノーチラス号」という名前をつけ、それが今や原子力潜水艦第1号の名づけ親にもなったのである。



右 1801年にフランス軍のためにつくられた「ノーチラス号」。水上は普通船のように見える。水中航行のために甲板に折りたたまれるマスト、さらに展望塔、そして海水（または清水）を満たしたり空^{から}にし^ることができる、底荷^{バラスト}タンクをそなえ、最初のモデルでは、

動輪ベルトによってスクリューのプロペラ軸を始動させる、乗組員4名の居場所があった。潜水艦は4名の乗組員と2本のろうそくが3時間の航行に堪えるだけの十分な酸素を保有するように設計されていた。フルトンはのちに^{しんちゅう}真鍮製の圧搾空気タンクを備蓄としてとりつけた。



右 1814年10月29日、ニューヨーク港での「デモロゴス号」進水式。正式には「フルトン1号」と名づけられたが、ともかく蒸気機関を動力とする最初の軍艦である。「デモロゴス号」は、二重の船体のあいだに外車（外輪）をそなえる、浮かぶ要塞であり、対イギリス戦（1812年

—1814 年)に出撃するために建造された。

左 フルトンの蒸気船「クレアモント号」。全長 50m、時速 5 海里

第44章 イーライ・ホイットニー (1765—1825)

イーライ・ホイットニーは綿繰機の発明によって、19 世紀にアメリカ南部諸州の綿花栽培農場に富をもたらす基盤をつくった。のちにホイットニーは、あらゆる製造業が依拠することになる、技術方式や労働方法も開発した。

ホイットニーはマサチューセッツ州の農家の息子で、幼いころから農業機械の取り扱いに才能を見せた。イエール大学を卒業し、27 歳で機械工学の専門領域とヨーロッパにおける技術開発の最新知識を会得していた。ホイットニーは卒業後、教師の口を求めてジョージア州にいくが、計画は水泡に帰す。ところが農場経営者フィネアス・ミラーと親交を結び、綿花取引について知識を身につける。リチャード・アークライトによる技術革新のおかげで、イギリスの綿糸紡績工場は、原綿の需要を急増させていた。問題は適した一定品種の綿花をたっぷり栽培することにある。長繊維種の種子毛を取り除くことは簡単であるが、その品種は海岸近くでしか栽培できなかった。内陸で育つ品種は短繊維であり、種子毛がしっかり ^{さくか} 蒴果に密着しているため、手間ひまかけてやっと分離することができた。

ホイットニーは瞬時に綿繰機の着想がうかび、数日のうちに試作品をつくった。基本的発想は驚くほど簡単である。綿花は漏斗をとおして機械に送りこまれ、ローラーに並んでとりつけられている、^{ワイヤフック} 金網鉤にとらえられる。ローラーが回転すると、蒴果はもぎ取られ、^{フック} 鉤の配列に対応した細かい溝がある、木製の隔壁に押しつけられる。機械の裏面には、剛毛でおおわれた別のローラーがあり、それが逆方向に回転して、種子繊維を金網鉤からすきとっていくのである。

ホイットニーとミラーは、新しい綿繰機を市場にだすために、業務提携をした。綿繰機によって、農場主らはすばやく富をきずく手だてが与えられ、さっそく便乗した。ところがホイットニーとミラーに約束の利益配当金をいざ支払う段になると、農場主は出し渋る。そのうえ、特許を取得していたにもかかわらず、機械が非合法に模造されることを、実際上くいとめられなかった。ホイットニーの綿繰機は構造がいたって簡単なので、村の ^{かじ} 鍛冶屋や大工にも造作なくつくれたのである。5 年とたたぬうちに事業はつぶれてしまう。

長期間にわたる交渉のすえ、ホイットニーとミラーは 1800 年以後に総額 90,000 ドルの補償金をノースカロライナ、サウスカロライナおよびジョージア各州から引きだすことができた。その間に、ホイットニーは新たな課題に手をつける。1797 年、各部品が相互に互換できる、1 万丁のマスカット銃を 2 年以内に納入すべき契約を合衆国政府と結んだ。従来、武器はそれぞれ職人によって個別につくられていたので、1 年間に 250 丁以上のマスカット銃を生産することは、どこの兵器工場で

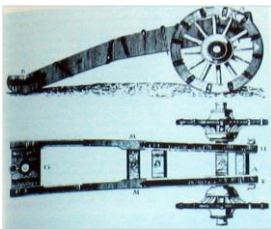
も不可能であった。部品についても事情はまったく同様である。

あらゆる銃部品が規格化された ^{かたいた}型板 にしたがってつくられ、精密に設計した装置と組み立て器具が利用されれば、熟練した高度の技能をもつ銃工が不要になるばかりか、生産全体が加速される、とホイットニーは明確に見通していた。それゆえ彼はコネティカットに自前の銃工場を創設する。ようやく 1801 年になって、ホイットニーは、無作為にとりだした補充交換部品から、完璧に作動する銃を組み立てることに成功し、互換方式の実効性を証明することができた。

イーライ・ホイットニーの方式は、まもなくほかの生産部門、たとえば時計製造にも応用される。ヨーロッパにおける類似の開発は、工作機械産業の初期歴史で特別な役割をはたした、イギリスの機械技術者ヘンリー・モーズリーの旋盤の発明 ^{せんこう} (1797 年) につながった。旋盤が ^{せんこう}穿孔 とねじ切りに新たな精度規格を可能にしたのに対し、他方のホイットニーによって、製造と分業との規格化に必要な諸条件が作りだされた。こうした 2 つの要素が 19 世紀ならびに 20 世紀の大量生産方式の基本となったが、ホイットニーの銃工場はまさにその先鞭をつけたのである。



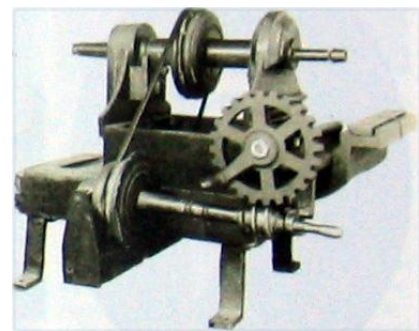
左 綿繰機。この発明以前は、1 ポンドの綿の実を加工するのに、3 時間の手仕事が必要であった。ホイットニーの機械では、^{きくか}蒴果 が ^{ワイヤフック}金網鉤 のついたローラーにとらえられ、回転によってもぎ取られる。裏面の剛毛におおわれたローラーは、逆方向に回転して、金網鉤から 種子繊維 をすきとった。



左 ホイットニーの互換可能な部品で構成された大砲の設計図。

右 金属を精確な原型にしたがって切削する、ホイットニーの特許フライス盤。フライス盤はひとつの歯車を有し、歯が鋭く研がれ [切刃になっ] ている。 [軸にはめられた] フライス が、 [定位置で]、金属の

うえに ^{クランプ} [締め具] で固定された ^{かたいた}型板 の縁にそって回転し、可動テーブル上の工作物 [すなわち金属] を切削する機械。フライス盤を使えば、どの構成部分も特殊技能工によってノミで削り取られる必要がなくなった。



第45章 ジョゼフ＝ニセフォール・ニエプス (1765—1833)

写真画像をとり定着した先駆者は、ジョゼフ＝ニセフォール・ニエプスである。

写真は中世初期のカメラオブスクラにまでさかのぼる。初めのうち カメラオブスクラ は、一つの側面にごく小さい穴のある暗い箱または部屋で構成され、穴をとって外部の光景を逆さにした映像が向かい側の内面に映しだされた。穴にレンズを

組みこむと、映像はいっそう鮮明になった。のちのモデルは、直立している映像を壁面にうつすために、プリズムや鏡を用い、カメラオブスクラは2世紀間おおいに利用された。19世紀初期までに種々の感光性化学溶液が知られるようになり、画像の定着が実用可能となった。

ニエプスは、革命で財産の多くを失った、フランス王党派の出身である。ナポレオンの軍隊に服役したが、彼は健康をそこねて退役の憂き目にあい、シャロン・シュル・ソーヌにある田舎の領地へ帰還した。ここでさまざまな科学研究に取り組み、1813年には、ドイツの発明家アーロイス・ゼーネフェルダーが数年前に開発した、石版印刷に関心をむける。だが、石版に適した石がソーヌ川渓谷では手にはいりにくく、格別スケッチの才能もないことから、ニエプスは光の力を借りて絵を制作してみようと決心する。

1816年頃、ニエプスはカメラの実験を開始した。当の写真製版法に彼は「ヘリオグラフィ写真石版法」という名前をつけた。気が遠くなるほど長く露出したあと、塩化銀を用いた感光紙に結像させた。しかし、画像を定着させる試みは失敗に終わり、ガラスやすす錫のような別の材料で実験し、それらを使って感光板をつくりはじめた。

1822年、ニエプスは一種のアスファルト溶液、すなわち光にさらされると堅くなる、いわゆるどれきせい土瀝青を利用しはじめる。1826年までにニエプスは、すでに腐刻された画像をガラス板のうゑに編集し、ガラス板を通過して光が、アスファルト溶液を塗布した、銅または錫板にさしこむことによって、コピーをつくることのできるまでに、写真石版法を発展させていた。ガラス板をとおって光がもれてくるところでは、日光がアスファルトを硬化させるが、影におおわれている箇所[未感光部分]は、ラベンダー油と白油の混合液で慎重にぬぐい取られた。ガラス板はいまや腐刻され、コピーがつくられることになった。この方法では画像が被写体の鮮明度と明るさを若干失うが、ニエプスの銅版写真法は、有効な写真凸版技術補注 26 への長い道のりに決定的な第一歩を踏みだした。

同じ1826年に、ニエプスははじめて世界に認められる写真撮影に成功した。自分のカメラを使って、ニエプスは感光性錫板を数時間露出し、屋根裏の仕事部屋から見晴らす景色のネガ陰画を錫板のうゑに定着することができた。次の目標は、ポジ陽画をじかに写すことができる、プレート板をつくることであつたが、実行不可能な計画だと判明した。

その後、ニエプスはほとんどシステムの発展に成果をおさめられず、頑として秘法を後生大事に守っていた。そうこうするうちに、c2 写真石版法を完成するために連携しようと誘いかけてくる、若いパリの画家ルイ＝ジャック＝マンデ・ダゲールに彼は悩まされる。ついに1829年、ニエプスは画家との提携に合意した。これで初期写真史に新たな一章がくわわったが、結末を待たずにニエプスは他界する。

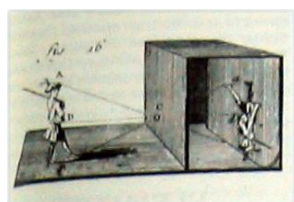


左 1820 年頃のパリ、シャーンジュ橋とノートルダム橋。絵の右端には、シャルル＝ルイ・シュヴァリエ、1825 年から 1835 年までニエプスのためにレンズをみがいた、眼鏡商の店が見える。

右 『知られざる発明家の伝説』、写真の発明に関する



る逸話。ある日知らない男がひとり眼鏡商シャルル＝ルイ・シュヴァリエの店を訪れ、画像を定着する方法を発見した、と主人に話す。



証書の原本。



下右 カメラオブスクラと感光性塩の革新をへて、肖像写真にまでいたる、

下左 カメラオブスクラ。

下中央 ニエプスの息子とダゲールが、写真術発明に関する利用権を終身年金と引き換えに譲渡する、と羊皮紙にしるされた

化銀発見から、ニエプスとダゲール写真の歴史とその使い方。

第46章 ジョン・ドルトン (1766—1844)

イギリスの化学者ジョン・ドルトンは数世紀にわたる科学研究の成果をまとめ、近代的原子説を確立した。彼の考えは化学を純粋な科学とし、最も基礎的な化学過程—原子の結合による化合物の生成—のいっそう深い理解に寄与した。ドルトンは原子の質量を主要な識別標識のひとつとして特に重視した。さらに原子量の強調は、基本的化学反応の最初の量的記述へとつながっていく。

ドルトンは敬虔なクエーカー教徒の出であり、12 歳になるかならぬうちに教師になるほど、才能にも恵まれていた。家族の友人に感化されて、ドルトンは気象学に興味をもつようになる。この分野で幾多の研究をかさね、1793 年『気象に関する観測と小論集』と題する決定版を発表した。

科学の問題で他人の研究を無視するようなまねはしないが、ドルトンは推論を受け入れて利用するまえに、必ず自力で確かめた。オーロラ（北極光）に関する著書のなかでこう書いている。「わたしはほかの人たちの成果を疑問の余地なしと思って、何度もだまされてきたので、可能なかぎり、自分自身の経験によって証明できるものだけを書く決心をした。」

1808 年、ドルトンは原子説を『化学哲学の新体系』と題する著書で公表した。ドルトン説は、3 点の主要な命題に立脚している。第一は、すべての物質は微小の、分割できず、破壊できない微粒子、つまり原子から成り立っているということ。第

二は、同一元素の原子は、質量をふくめ、あらゆる面で等しいが、他のあらゆる元素の原子と異なることが確認される。第三命題はいう—諸元素が化合するとき、それぞれの原子は単純な数の比率、たとえば 1 対 1、2 対 1 あるいは 4 対 3 などで結びつく。

ドルトンが明快な文体で叙述すると、彼の原子説はいたるところで異論なく化学者たちに受け入れられた。「原子」という概念は、ギリシャの哲学者デモクリトスに由来するゆえ、まるきり未知のものではなかった。しかし、ドルトンによってはじめてなされた矛盾のない理論の完全な定式化は、飛躍的發展である。新説の最も重要な要旨は、各原子が質量によって相互に区別されるという仮説であった。質量は測定可能であり、ドルトンは量的原子説を唱えた最初の科学者である。

「ドルトンの原子説」は、なぜ成分元素がつねに一定の質量比で結合して化合物を生成するのか、その理由をも明確に解明している。たとえば化学者たちは、なぜ炭酸銅のような物質が、製造とかわりなく、つねに銅 5、酸素 4、炭素 1 といった同じ質量比を示すかについて、ながらく頭をひねっていた。各元素は相互に原子対原子の単純な数の比率で結合すると説く、ドルトン説が難問に答えをだした。なぜなら、同一元素の原子がすべて「固有の」同じ質量をもつとすれば、原子と原子が結合する、化合物もまた一定になるはずだからである。

ドルトンは、ある化合物を構成している諸元素の質量比からさまざまな原子の相対質量を算出しようところみ、はじめて「原子量表」を作成した。のちに原子量表から、化学元素の主要な周期系を作成することが可能になった。ドルトンはさらに元素の表記法も開発し、さまざまな元素の原子をあらわす明瞭な記号をつくり、化学反応の図示に利用したのである。

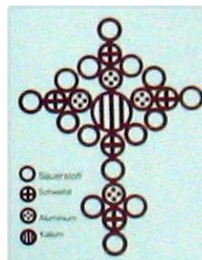
ドルトンは自身の研究がもたす、おさだまりの名声をきらった。クエーカー教徒の彼は、世の^{かつさい}喝采を避け、王立協会（英国学士院）会員に指名されることさえ拒んだ。結局、ドルトンの信奉者たちが、本人に知らせないで、1822 年に彼を会員に選出し、1832 年には、オックスフォード大学から授与された博士号をうけるよう、ドルトンは説得された。同僚らはその後まもなく国王の拝謁を賜る手配もした。ドルトンは、この願ってもない機会に要求される、華麗な宮中服をまとうことをこわった。国王の拝謁にふさわしい、オックスフォード大学の^{ガウン}正服にもまた問題があった。正服が^{ひいろ}緋色で、クエーカー教徒は赤を着ない定めになっていたからだが、ドルトンは友人たちを失望させたくもなかった。先天性色覚異常をほのめかしながら、わたしには正服が灰色に見える、とドルトンはいいそえた。これはおそらく、彼が一生のうちにあえておこなった、唯一の^{ぎまん}欺瞞であったかもしれない。



右 1808 年から 1810 年にかけて作成された、ドルトンのさまざまな元素の原子記号と原子量。著書『化学哲学の新体系』のなかで、ドルトンは、原子が「複雑な原子」に結合する、化学反応の経過を説明している。ちなみに、

ELEMENTS			
Hydrogen 1	Strontian 86		
Air 8	Barytes 86		
Carbon 5	Iron 56		
Oxygen 8	Zinc 65		
Phosphorus 31	Copper 64		
Sulphur 32	Lead 207		
Magnesia 24	Silver 197		
Lime 56	Gold 197		
Soda 46	Platina 197		
Potash 55	Mercury 200		

「複雑な原子」はいまでは「分子」と呼ばれている。「元素」と表示されたマグネシア[原文ではマグネシウム Magnesium となっている]、石灰、ソーダ、カリ、酸化ストロンチウム、重晶石は、その後まもなく、化合物であることが発見された。



左 『沼気^{しょうき} (不純なメタンガス) を採集するドルトン』、フオード・マドックス・ブラウンの描いたフレスコ画。

中央 ドルトンが実験に使ったいくつかの器具。ドルトンは自分自身が使うためにも、他の化学者たちのためにも、数多くの器具をつくった。

右 カリウム - アルミニウム - 硫黄分子[一般にカリ^{みょうばん} 明礬として知られている]をあらわす、ドルトンの図示と、そこに見いだされる元素の記号説明。

第47章 ジョルジュ・キュヴィエ (1769—1832)

フランスの動物学者ジョルジュ・キュヴィエは、動物分類の系統化に重要な役割をはたした。キュヴィエは 18 世紀中葉にスウェーデンの博物学者リンネによって展開された体系的分類をかなり修正すると同時に、比較解剖学を近代科学として基礎づけた。さらに化石を研究し、古生物学を独立した一部門とするための基礎もつくった。

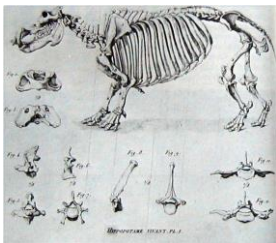
キュヴィエはフランスのモンベリアルに生まれた。ドイツのシュトゥットガルトで解剖学を学んだあと、軟体動物について重要な論文を書き、パリ自然史博物館の館員に招かれる。博物館で動物学の研究を数年間つづけ、彼は同世代の傑出した科学者であることが実証された。1805 年に『比較解剖学講義』を完成し、1810 年には『科学の歴史的進歩録』を出版する。キュヴィエは多数の化石収集 (キュヴィエ自身が発見し命名した「翼竜」をふくむ) を整理し、系統だてて研究をはじめた。

まもなくキュヴィエは、化石の発見場所が地中深くなればなるほど、ますます現存する動物の形態とかけはなれていくことに気づいた。キュヴィエと同時代のジャン＝バプティスト・ラマルクは 1809 年に、一部はダーウィンの進化論を 50 年ほど先取りする、簡単で基本的な進化論をたてた。キュヴィエはこのような進化論を認めることができず、化石の時代系列を「天変地異説」で説明した。天変地異説は、創世記にも、天地の創造は紀元前 4004 年 10 月 26 日午前 9 時に起こったと説く、アッシャー司教の有名な 1654 年になされた計算にも合致する利点があった。キュヴィエの唱える天変地異説によれば、ノアの洪水は激変動因としてすべての種を根絶し、残骸を堆積床に残したことになる。

キュヴィエは天変地異説を新しい複雑な体系的学説に展開した。種は時がたつう

ちに新種にまで発展することがあるとみる、突然変異説を彼は否定した。キュヴィエからすれば、いかなる種も、造物主が創造したまま、不変なのである。淡水動物や塩水動物もパリ周辺の岩石に発見されたという 0 厄介な事実は、一連の大 変 災が全地域を廃墟(はいきょ)にし、その後に来住する種が新たに集団化したと想定すれば、無難にすり抜けることができる。いずれにせよ、大 変 災の結果は、新しい種による発達の継続が明らかに示すように、自然をますます複雑なものにした。たとえキュヴィエの根本命題「天変地異説」は行き詰まったとしても、化石の記載と分類領域における彼の功績をなんら傷つけるわけではなく、事実キュヴィエはそこから動物界を 4 群にわけた構想を発展させている。すなわち、放射動物(クラゲ、ヒトデなど)、関節動物(虫、昆虫など)、軟体動物(カタツムリ、コウイカなど)、脊椎動物(すべての高等動物)を 4 群としてあげた。キュヴィエの分類はまもなく退けられたが、古い考えと新しい考えとの変わり目をつくったといえる。彼の著書『体制によって分類された動物界』(1817 年)は、リンネによる方式「すなわち人為的分类」の決定的な改訂であった。キュヴィエのもうひとつの偉業は、「相関原理」の理論補注 27 である。相関原理から、動物の体格と各器官およびそれら相互の「協力」が、動物を「生存条件」に適応させるために役だっていることが明らかになる。この点で、動物の体格が動物の生き方を決定すると説く、当時有力であった他の理論と区別される。

キュヴィエはパリに流行したコレラの第一波でたおれた。天変地異説への固執にもかかわらず、現生種と化石種との比較に成功したのは、キュヴィエがはじめてである。彼によると、生物体の一部、たとえば骨が現存すれば、生物を完全に復元可能にする原則が、まさに相関原理なのである。理論を実地に応用して、キュヴィエはいくつかのセンセーショナルな成果をおさめている。



中央 キュヴィエの『化石骨に関する研究』(1824 年)から**抜粋**した、現存するカバの解剖学的研究。個々の骨の形態を、その機能を顧慮しつつ、生体の他の部分に関連づけて調べれば、すべての動物を一部分から復元することができる、

とキュヴィエは考えた。これは特に化石骨の収集にとって重要であった。しかし、多くの解剖組織の機能的意味と関連は知られていなかった。したがって、キュヴィエは機能の関連原理よりも、むしろ現生動物についてもちあわせていた広範な解剖知識に頼らざるをえなかった。



上右 キュヴィエによって描かれたカバの化石断片。最も大きい断片(9)を下あごの左部分の断片であり、断片 12~17 を歯と彼は同定した。これらの歯は、カバに似ているが、豚よりも小さい種のものである。

左 パリ自然史博物館でのドードー復元を示す絵。[ドードー](#)は 1681 年ごろに絶滅したが、残存する骨格と古い記録を手がかりに、まだ

復元は可能であった。

第48章 トーマス・ヨハン・ゼーベック (1770—1831)

ドイツの物理学者トーマス・ヨハン・ゼーベックは、近代工業と温度測定に広範な影響をおよぼした単純な現象、「ゼーベック効果」の発見者である。

青年科学者として、ゼーベックは、ヨハン・ヴォルフガング・フォン・ゲーテの有名な色彩論の定式化に協力した。その後、ゼーベックの名で呼ばれる熱電効果を発見する。1821年、2種類の異なる導体—銅線とビスマス線—を組み合わせた閉回路の近くにある磁針が偏向するのをふと見かけた。この事実からゼーベックは、2種類の導体の両端を「はんだづけして」接合した回路には、両接点のあいだに温度差があれば、電流が発生すると推論した。

ゼーベックの発見は、熱電気分野における以後の研究基盤となり、「ペルティエ効果」—つまり「ゼーベック効果」の裏返し—と表裏一体の関係にある。1834年、フランスの物理学者ジャン・シャルル・アタナス・ペルティエは、ゼーベックが用いたものと同じような閉回路で、電流の方向に応じ、一方の接合点で吸熱が、他方の接合点で発熱が起こることを発見した補注 28。

ゼーベック効果の実用化といえば長らく熱電対^{ねつでんつい}だけであった。熱電対は近年、絶対零度近くから摂氏 1,700 度まで測定できる、高感度の温度計測器に発展している。こうした計測範囲の広い精密機器は、現代の工業生産にも、科学実験にとっても、きわめて重要である。

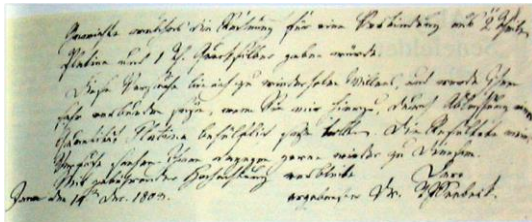
20 世紀初頭には理論上、ゼーベック効果は発電に、またペルティエ効果は冷却装置に利用できることが知られていた。しかし、理論を実用に供するためには、1950 年代になってようやく開発された、一定の合金が必要とされたのである。それ以後、合衆国、旧ソ連、ヨーロッパでの研究は、熱電気の応用にさまざまな可能性をもたらした。たとえば、遠隔地でもラジオに電力を供給できる、ソ連の石油ランプ発電機から、放射性物質が熱源として利用される、放射性同位体^{ラジオアイソトープ}発電機にいたるまで、多岐にわたっている。これらの発電機は北極地方における自動気象観測所のエネルギー供給に利用され、あるいは衛星や月面での宇宙探査用具の操作と、入手した情報の地上への伝達などに利用された。冷却法〔熱電冷却〕は主として、常時一定の低温を必要とする、実験室や種々の技術的実験に利用されてきた。

実際の応用に不可欠な合金の原価高と品不足のために、これらの技術は今日まで業務に活用され、私用にはわずかに利用されているにすぎないが、時代とともにますます広い用途を見いだすであろう。ゼーベックによる 1821 年の発見は、21 世紀

テクノロジー
の科学技術に欠かせないものになると考えられる。



左 『光と色』、ジョゼフ・マロード・ウィリアム・ターナーの油絵（1843 年）。イギリスの画家ターナーは、ゲーテがゼーベックと共同で展開した色彩論に多大の影響をうけた。ターナーは 1840 年に刊行された『色彩論』の英語版を所有して、しばしばゲーテの色彩論を引きあいにした。同理論によると、色彩は、光と影の微細な差異と同じように、不可分の顔料で構成されている。ゲーテはプリズムによる白光の単色ビームへの分光を目の錯覚と考えた。ゲーテの理論は、白光が吸収され反射される一連の色彩からなる、と主張したニュートンに対する直接攻撃として定式化されたものである。ゲーテの色彩論は科学的価値が少ないが、ヨーロッパ印象主義の芸術家に多大の影響を与えた。



下左 プラチナと水銀に関する実験をしるした、ゼーベックの手紙。
下中央 ゼーベックの研究成果の一つ—熱機械による

発電機。それは後進諸国におけるラジオ放送局やテレビ中継局用の発電に排気ガスを利用するものである。

下右 ゼーベック効果は冷凍工学でヘリウムを液化するために利用されている。

第49章 アーロイス・ゼーネフェルダー（1771—1834）

ゼーネフェルダーはプラハに生まれた。若いころ戯曲を書きながら、それを出版するだけの資力がなかった。そこで、彼はみずから印刷しよう決め、銅版を2枚買いこむが、結果はかならずしも思わしくなかった。こうして 1796 年のある日、ゼーネフェルダーは、ある洗濯リストを石灰石の板に書きとめるため、たまたま油性鉛筆を用いた。最初は、周囲の石面を腐食させて除去すれば、文字がレリーフのように浮きでてくるだろう、と考えた。この発想をさらに追いつづけ、ついに石版印刷術にたどりつくのである。

ゼーネフェルダーはいろんな方法で自分の考えをためしはじめ、金属ばかりか、ありとあらゆる石種を利用する実験に2年の歳月をついやした。最後に、平版印刷法—石版印刷の古典的方法—to たどりつく。「平版印刷法」は、水と油が互いに反発する原理に基づいている。再現すべき線描〔文字・図形〕は、脂肪性インクまたは油脂クレヨンでじかに石灰石のうえに描き、その石灰石をすっかり湿らせると、線描によって保護された個所は水をはじく。次の作業工程で、油性の印刷インクが塗られる。インクは多孔質の石灰石の湿った表面には付着しないが、線描の脂肪をふくむ箇所〔文字・図形部分〕にはよく付着する。

増し刷りの部数は無制限であり、原版はあらゆる細部にわたって注目すべき精密さで複写される。石版石から紙に転写されたデザインは、さらにまた真新しい石版石の表面に、しかも好きなだけ何度でも、加圧して転写することができた。この方法でいくつもの増し刷りが同時に大判用紙に印刷することもできた。

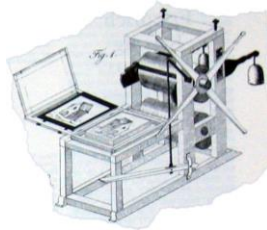
石版印刷はまず実用ならびに商業目的に利用され、ゼーネフェルダーが著書『石版術全書』（1818年）を出版すると、ひときわ広範囲に知られるようになる。その後、ドイツのある楽譜出版業者は、職人を育成することができる、石版印刷作業場をオッフェンバッハに設立するために、彼を招いた。完全に機械化された石版印刷機を開発することが、ゼーネフェルダーのかねてからの念願であったが、夢は死後数年してようやくミュンヘンで実現した。

1820年代に、フランスの画家テオドール・ジェリコーとユージェン・ドラクロアは、石版印刷が芸術の媒体になる可能性をはじめて見抜いた。高齢のゴヤも、有名な『闘牛』の連作に石版印刷を使った。版画家、風刺画家、油彩画家として多才なオノレ・ドーミエの最も重要な作品は、ほとんど石版画である。ドーミエは、絵をまず脂肪性インクで転写紙に描いておき、これを石版石表面に加圧して転写し、印刷版とする方法〔転写石版〕を利用したことが、微妙な材質感を著しく引き立たせたのである。色彩石版または油絵風石版画の技法は、19世紀半ばに開発された。それは多数の石版石、1種類の色に対してそれぞれ1枚の石を用いた。この技法の一番有名な最高傑作は、アンリ・トゥルーズ＝ロートレックのポスターである。

印象主義以来、石版印刷は近代芸術のあらゆる主義・流派で変わることなく重要な芸術的表現手段であった。ピカソやヘンリー・ムーアにも活用された。石版印刷の技術上の複雑さと精妙さは、時とともにいよいよ増し、いまや最善の結果をおさめるためには、職人としての力量と経験が必要とされる。石版印刷は今日もおきわめて用途が広く人気のある印刷法である。



上中央 石版印刷。再現しようとする線描は、脂肪性インクかクレヨンで石版石に描かれるため、印刷インクは付着するが、残りのたっぷり水にぬれた部分でははじかれる。



上右 ゼーネフェルダー著『石版術全書』（1818年）の口絵。

下左 ゼーネフェルダーの著書、ドイツ語版から抜粋した石版印刷機の挿し絵。

下中央 石版印刷による、ゼーネフェルダーの著作、英語版の口絵。

下右 色彩石版画の主要な代表者、トゥルーズ＝ロートレックのポスター。

第50章 フリードリヒ・ケーニヒ(1774-1833)

ドイツの印刷業者で機械技術者のフリードリヒ・ケーニヒが発明した、蒸気機関で動く高速印刷機は、ほぼ 300 年間大きな変化のなかった、印刷技術に一大革命をもたらした。

印刷原理は 15 世紀中葉にヨハネス・グーテンベルクによって確立されて以来、さまざまな改良と工夫がくわえられてきたが、18 世紀末には、広報紙の需要や文学への関心が、現存する手動印刷機ではもはや対処できないほど高まっていた。1803 年から 1811 年にかけて、ケーニヒは、一連の歯車で作動する、印刷機の完成に没頭した。この歯車は平らな加圧盤（印刷しようとする紙を組版くみばんに加圧する平板プレート）を上下させると同時に、加圧盤の下で版盤を前後に往復運動をさせ、その間にインクローラーが活字に印刷インクを塗る仕組みになっていた。

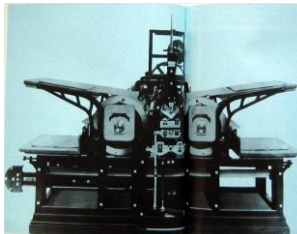
自動式凸版印刷機は使ってみるとパツとせず、ケーニヒはアンドレーアス・バウアーという技術者とともに平らな圧盤に代わって円筒形の圧胴原理を採用した。圧胴は枚葉紙を巻きこんで回転し、圧胴と協調して水平に往復運動をする、版盤の活字に紙を加圧する。版盤の前進運動が完了すると、圧胴はもちあがり、印刷された紙を解放する。その間に版盤はインクローラーの下を逆戻りし、工程を繰り返す準備ができています。この型式の営業用蒸気駆動高速印刷機は 1814 年、ロンドン・タイムズを印刷するために据えつけられた。同機は 2 個の圧胴を有し、1 面が 2 部ずつ 1 工程ごとに印刷でき、1 時間あたり片面印刷 1,000 枚の実績をあげた。

4 年後にケーニヒとバウアーは、1 枚の紙が 2 圧胴機構をくぐることによって、両面刷りが可能になる、高速印刷機をつくりだした。紙は相変わらず手で印刷機に供給しなければならなかった。1824 年によくこの給紙過程も、くわえづめグリッパ方式を取り入れた、イギリスの発明家ウィリアム・チャーチによって自動化された。チャーチは最初の実用的な植字機も開発している。

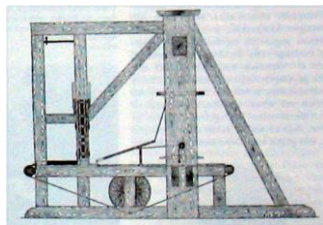
ケーニヒの高速印刷機は 1846 年、輪転機の発明とともに、開発の最終段階にはいった。アメリカの発明家で印刷業者のリチャード・ホーは、平らな版盤をさらに円筒状にした輪転式回転胴に置き換え、そのために 1790 年以来知られていた方式であるステロ版（鉛版）製版を利用した。輪転印刷の場合、印刷版は、回転胴に適合するよう、円筒形の組版に調製される。紙は圧胴と〔活字を固定させた〕回転胴とのあいだに通されて、1 時間あたり片面刷り 8,000 枚まで、高速に大量印刷することができた。改良型は、1 時間に両面刷り 18,000 枚ほどの能力があった。

ついに 1865 年、ウィリアム・バロックという別なアメリカの発明家が、連続巻き取り紙と、判型どおりに裁断することができる、自動裁断機を補完した。以後、1 時間に 12,000 部の新聞がつくられるようになる。成長をつづける新聞産業は、これで現代生活の本質をなすひとつの特徴である、情報の迅速な伝達に不可欠な技

術条件をそなえるにいたった。



左 1814 年ロンドン・タイムズのためにつくられた高速印刷機。同機のインクローラーは 糖蜜 と 膠 でコーティングされていたため、印刷用黒インクが
いっそう均一によく塗布された。印刷用黒インクが
革張りの 馬棟 で手動印刷機に塗りつけられていた、
旧来の方法にくらべれば、これは本質的な改良であ
る。



下左 『ロンドン・タイムズを読んでいる』。ケーニヒの印刷機のみごとなでさばえは、タイムズ社から 2 台の注文をひきよせる。
1814 年 11 月 29 日、高速印刷機で印刷された、最初の新聞が発行

された。

下中央 ケーニヒ最初の自動凸版印刷機は、1811 年にズールで製作された。さらに発展したモデルは、紙をくわえて回転し、平らな版盤に加圧する、圧胴をそなえている。

下右 タイムズ社の印刷所。据えつけられた印刷版が見える。

第51章 アンドレ＝マリー・アンペール(1775-1836)

フランスの物理学者で数学者のアンдре＝マリー・アンペールは、電気と磁気の関係の重要性を認識した先覚者であり、最初の電磁石を開発し、磁気作用を説明する理論を提唱した。

アンペールはポレミユ村に生まれた。青少年時代は二重悲劇の暗い影におおわれていた。筋金入りの君主制主義者であった父親は、共和制政府に反抗するリヨンの暴動にくわわったすえ、反逆罪の宣告をうけ、公衆の面前で処刑された。18 歳になったばかりのアンペールは、この厳しい試練からまだ立ちなおれないでいた数年後に、若い愛妻が 謎 の病気で急死する。新たな衝撃に打ちのめされ、アンペールは数年間家にひきこもって暮らし、心の健康をおびやかす、抑鬱 症 とたたかっていた。しかし徐々にではあるが、自然科学や数学への興味がふたたび目ざめ、1809 年にアンペールはすっかり健康を回復し、パリで数学教授の職についた。

1820 年、科学界は重大な発見に驚かされる。無名に近いデンマークの物理学者ハンス・エルステッドは、磁針を電気の流れている針金に近づけると、振れることに偶然気づいたのである。まさに磁気と電気との関連を示唆する最初の指摘であった。アンペールはすぐさまエルステッドの実験を綿密に制御された条件のもとで繰り返し、エルステッドの最初の公表後 1 週間以内に、電流の磁場で自由に動きうる磁針の偏向方向と電流方向との関連を早くも「泳者の法則」として確立した。つまり、

視線を磁針のほうに向けながら、電流とともに泳いでいると考えれば、磁針の北極は泳者の左手方向に動くというものである。

いわゆる「右手の法則」もアンペールの発見した法則だとされている。すなわち、右手の親指、人さし指、中指をそれぞれが互いに直角をなすように伸ばし、人さし指を磁場の方向に、親指を「磁針または導線の」運動方向に向けると、電流は中指の方向に流れる。

アンペールは研究をつづけ、導線は電流を通せば、まったく磁石同様にふるまい、磁気の極性は電流の方向に左右される事実をさぐりだした。アンペールの最も有名な実験では、固定されたものと、自由に動けるものと、計2本の同じ導線が用意された。前後に並べた2本の導線に同方向の電流を流すと、可動な導線は固定された導線に引き寄せられた。逆方向の電流を流せば、導線は反発しあった。2本の導線は、同じ極が相互に反発し、逆の極が引きあう、2本の棒磁石（永久磁石）と事情はまったく同じである。アンペールはこの実験で、磁気と電気とあいだに相互作用が存在する事実を証明した。実用レベルでは初歩的なアンペールの電磁石は、今日の工業で広く使われている、高度に発達した強力電磁石の前身である。

電気と磁気が相互に連係している事象を発見したあと、アンペールは、電流こそが磁気ほんらいの起源であると確信した。1823年、磁石の性質は、無数の微小な電流[分子電流]が磁石のなかで循環している、と仮定することによって説明される、注目すべき数学的理論を発表する。しかし同時代の人々は、この理論をあからさまな疑いのまなこでうけとめた。アンペール没後60年にしてようやく、「^{エレクトロン}電子」と呼ばれる、陰電荷をもつ素粒子の発見によって、彼の理論は根本的に正しいことが明らかになる。

電磁気の理解に寄与した、アンペールの功績は、電流の単位「アンペア」が彼の名をとったことで、再評価されているのである。



左 パリ理工科学校。ここで、アンペールは1809年に数学の教授となり、彼の最も重要な研究をなした。

上中 ゲー・リュサックがフランス王立研究所を代表してアンペールにあてた手紙。科学アカデミーは、電磁気の研究をつづけられるよう、貴兄に1,000フランをだす用意があります。

上右 線形誘導電動機のコイル。アンペールはエルステッドによって発見された電気と磁気の間を定義した。電流によって引き起こされる磁針の動きは、事実上、最初の電動機、人類のきわめて重要なエネルギー源の前身であった。電動機は多種多様な大きさ、種類があり、多方面に利用されている。線形誘導電動機は、たとえば高速車両、織機、航空機の発射装置、ミサイル発射装置などに用いられている。

第52章 ハンフリー・デイヴィー卿(1778-1829)

ハンフリー・デイヴィーは安全灯の発明者として広く鉱山労働者に知られていたが、ガス、特に「笑気^{しょうき}」とも呼ばれる、亜酸化窒素〔一酸化二窒素〕の特性についても重要な発見をしている。しかしながらデイヴィー最大の業績はなんといっても、電気分解による金属析出法の開発である。

デイヴィーはイギリス南西海岸の漁村ペンザンスに生まれた。17歳のとき、医学を身につけるため、地元の外科医兼薬剤師のもとに弟子入りさせられる。数年とたたないうちに、デイヴィーの関心は医学から化学へと転じた。特にガスの研究に彼は全身全霊をささげ、この分野でまもなく国際的評価を得るようになった。

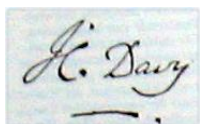
初期の発見のひとつは、窒素と酸素の化合物である、亜酸化窒素と呼ばれるガスであった。デイヴィーは未知の化学物質に対して臭覚と味覚テストをこころみることを好み、それでガスの異常な性質にいくつかぶつかった。亜酸化窒素ガスを吸入すると、まず極度の幸福感にひたった。そのあと、ますます感情を制御できなくなり、笑ったりむせび泣いたり、ほとんど意識がなくなるまでになった。いわゆる「笑気」の効果に関するデイヴィーの報告は、亜酸化窒素が初期麻酔剤のひとつとして使われるきっかけになった。ただし、笑気発見による直接の効果といえば、ロンドン王立研究所講師へのデイヴィー自身の任用である。

同研究所につとめているあいだに、デイヴィーは、一対の電極を電解質溶液に挿入し、[外部電源から]電流を通じて、水を水素と酸素に分離する、「電気分解」と呼ばれる、新しく発見された操作について情報を耳にした。デイヴィーは水以外の化合物も同じ方法で分解できないか考えた。この着想をためすために、彼はまず空前の強力な電池を組み立て、それを用いて、一般に入手可能な鉱物について一連の実験を開始した。ただちに華々しい成果があらわれる。電流を熔融状態のカリに流すと、デイヴィーが「ポタシウム」と呼ぶ、金属の小球体が生じた。その後まもなく、炭酸ナトリウムからナトリウムを単離させ、翌年にはストロンチウム、カルシウム、マグネシウム、バリウムを単離することに彼は成功した。多くの新しい金属の発見はそれだけでも偉大な業績であるが、デイヴィーの研究は、電気分解を産業に取り入れることにも寄与した。電気分解は、種々の金属を鉱石から、ナトリウムを炭酸ナトリウムから単離するために、いまもよく利用されている。

デイヴィーの科学的名声は上記のような発見に基づくが、彼が地域住民のあいだで有名になったのは、鉱山労働者のために発明した新型ランプに起因する。当時、鉱山労働者のおもな死因のひとつは、蓄積した地下ガスがキャンドル・ランプによって発火する坑内爆発であった。最も頻繁に発生した坑内爆発は、においを出さず、したがって鉱員に気づかれない、メタンガスの発生による。1815年、鉱山の安全問題にとりくんでいた団体は、デイヴィーに助言を求めた。デイヴィーは、キャンドルの炎が高温である点が問題だと即座にさとる。もしも炎の温度がガス、たとえば

メタンの発火点よりも低ければ、爆発は起こらないだろう。結局デイヴィーは、酸素の流入を維持しながら、熱が分散する、薄い金網で炎をかこむことを思いつく。当該ランプには、メタンが発生するや、たちまち炎が青みをおびて燃え、鉱員に警告するという付加利点もある。「デイヴィー・ランプ」、とイギリスで呼ばれる、安全灯は多くの人命を救い、他の科学業績をほとんど知らない人々からも賞賛を博した。

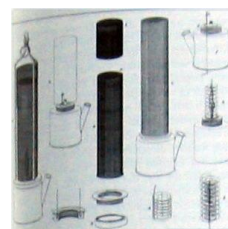
デイヴィーは我が身にほとんど思いやりがなかった。未知の化学物質を吸入し、味をみる習慣によって健康をむしばみ、33歳ですでに部分的障害者であった。たびたびヨーロッパを旅行し、快復をはかるが、時すでに遅かった。1829年、いつとき居をさだめたローマで、デイヴィーは何度か卒中の発作を起こし、数カ月後に他界した。



中央 仕事をしているデイヴィー。
右 19世紀初期の電解器具。

左 デイヴィーの電槽と電解器具。

右 『ハンフリー・デイヴィー卿の作品集』からとつ



た安全灯のさし絵。A:標準細目金網安全灯。C:銅製ほや灯。D:坑内ガスが大量に発生する場合に使用される、ブリキ鏡のついた安全灯。J:発火しやすいガスで、空気供給が不十分でも爆発の危険がある場合に利用された、小さい白金製の金網。

上 デイヴィーによって設計された鉱山労働者のための安全灯。

第53章 ジョージ・スティーヴンソン(1781-1848)

イギリスの発明家で機械技術者のジョージ・スティーヴンソンは、独学で知識を習得し、最初の実用的な蒸気機関車をつくりあげた。鉄道技術の全分野にわたる発明が鉄道時代の端を開き、この功績にふさわしく、スティーヴンソンは「鉄道の生みの親」と呼ばれている。

スティーヴンソンは機械工の息子としてノーサンバーランドに生まれた。父親と同じように、ジョージも炭坑にはいり、ニューコメン式エンジン補注 29 を操作し

た。ジョージ・スティーヴンソンは正規の教育をうけなかったが、青年になって夜学にかよい、読み書き、のちには加減乗除も習った。

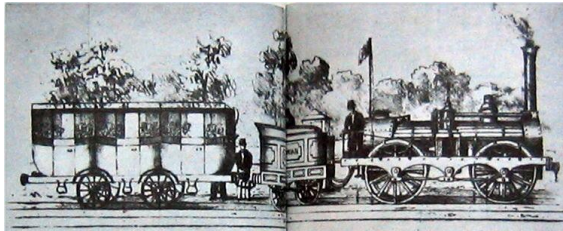
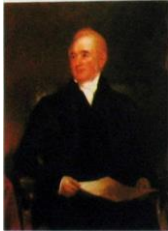
スティーヴンソンは青少年期に蒸気機関車の夜明けを体験する。世界初の鉄道用蒸気機関車は、1804年にリチャード・トレヴィシックが製作した「ニューカッスル号」である。トレヴィシックは、コーンウォール出身の炭坑技師で、蒸気機関に高圧蒸気を導入した補注 30。ジェームズ・ワットの意見によれば、絞首刑に値する前代未聞の発明である。ワットは、1平方インチあたり5ポンドよりも高い、圧力をいっさい認めなかった。ワット蒸気機関は5ポンド／インチの圧力で作動し、ワット自身はそれを、思慮分別にしたがって遵守しなければならぬ、安全の限界だと考えていたのである。トレヴィシックは採掘用プランジャー・ポンプ補注 31の蒸気機関に1平方インチあたり145ポンドまでの圧力を用い、しかもそのことは同時にはるかに小さいシリンダーと、したがってわずかな可動部品ですむ利点があった。トレヴィシックは同原理をさらに蒸気機関車の製作にも応用した。その成果が「ニューカッスル号」である。同号は、ウェールズの製鉄所で既存の馬車鉄道に投入すべく設計されたが、あまりにも重く、鑄鉄製レールを壊してしまった。

スティーヴンソンは当時キリングワース炭坑で主任機械工をつとめ、手に負えない機械さえも意のままにすると評判になっていた。炭坑主から、石炭を炭坑から運びだすために、機関車を設計するよう依頼を受ける。スティーヴンソンはさまざまな既存の設計に改良をくわえ、1814年「ブリュヒャー号」補注 32を建造し、当時最も成功した「トラベリング・エンジン」となる。その後まもなくスティーヴンソンは重要な発見をした。すなわち、余分な蒸気を細い管をとおして煙突に送りだせば、ボイラー内の通風が著しく強まること。この発見（蒸気の噴出技術）は、格段に速い機関車を製造する可能性を開いた、機関車建造史上最も重要な革新である。

次の数年間、スティーヴンソンは寸暇を惜しんで、レールの接合、軌道、転轍機、いっそう合理的な機関車の設計などの問題をふくめ、種々の角度から鉄道建設に取り組んだ。1822年、当時立案の段階にあった、全長12kmのストックトン・ダーリントン間鉄道の会社顧問技師になる。1825年に路線の開通式がおこなわれたとき、スティーヴンソンの「ロコモーション号」は世界初の旅客列車を最高時速19kmで牽引した。しかし、ストックトン・ダーリントン鉄道はまず第一に貨物輸送を念頭においていた。旅客サービスは5年後にリヴァプール・マンチェスター間の鉄道開業とともに始まり、その建設にもスティーヴンソンは技術者として従事した。

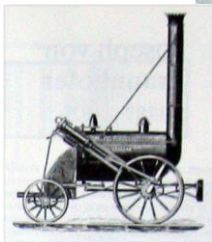
リヴァプールとマンチェスター、両都市を結ぶ新鉄道会社の取締役会は、開業1年前に、最適の機関車を選定する目的で、レインヒルの敷設されたばかりの区間で競技会を実施することに決定した。競技会のために、スティーヴンソンは20年間積みあげてきたあらゆる経験をくみいれ、「ロケット号」を組み立てた。その性能は競争相手をはるかにしのぎ、時速48kmという当時では驚異的な速度を達成する。鉄道時代本番の幕開きは、1830年9月15日、真新しい蒸気機関車が8両編成で600人の旅客を乗せてリヴァプールを出発した、リヴァプール・マンチェスター間の路線開業日である。

リヴァプール・マンチェスター鉄道の財政ならびに技術上の成功は、欧米における鉄道建設の急激な進展をさそう引き金となった。ジョージ・スティーヴンソンは最期まで数々の大きな鉄道会社の顧問として活躍した。



左 スティーヴンソンの蒸気機関車「カレドニアン号」。1833年、草創期の列車としてリヴァプール・マンチェスター区間を走った。

下左 スティーヴンソンの「ロケット号」、革新的な蒸気ボイ



ラーの構造をもつ先駆的機関車。直径 7.5 cmの煙管 25 本が火室から抗圧性外板金属（耐圧外殻）をとおって斜めに走っている。1 平方インチあたり 40 ポンドの蒸気圧で、ロケット号は 97 kmの区間を時速 22.5 kmで進むことができた。



下右 1825 年のストックトン・ダーリントン鉄道の開業光景。全長 60 kmの区間を、スティーヴンソンの「ロコモーション号」に牽引されて、世界最初^のの旅客列車が走った。

第54章 ヨーゼフ・フォン・フラウンホーファー(1787-1826)

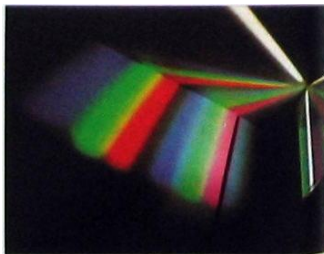
ヨーゼフ・フォン・フラウンホーファーは短い生涯でヨーロッパの名だたるレンズ・プリズム研磨工になった。今日では分光學—惑星あるいは加熱した物質などから放射される光を測定解析し、それらがどのような元素で構成されているかをつきとめることができる分析法—の創設者のひとりとして知られている。フラウンホーファーは南ドイツのシュトラウビングに生まれた。14歳のとき、ミュンヘンのある眼鏡職人のところへ年季奉公に出されるが、こっぴどく搾取された。やがて幸運なめぐりあわせがフラウンホーファーの人生を一変させることになる。老朽化した宿泊所が突如崩壊し、その下敷きになってしまったが、まるで奇跡のように、フラウンホーファーは傷ひとつ負ってはおらず、劇的な救助活動の焦点になったのである。選帝侯はフラウンホーファーの悲惨な運命に心をうごかされ、少年に年期奉公をまぬがられるだけの賜金をさずけ、しっかりした専門教育がうけられるように配慮した。1806年には、かつての少年も、有名なミュンヘン光学研究所の一員として迎え入れられるまでになっていた。

フラウンホーファーは新しい仕事につき、レンズの研磨と光学設計上^{かんぺき}完璧なプリズムの製作で、まもなく才能を買われた。ヨーロッパじゅうの天文学者や科学者たちが彼の仕事ぶりを聞きつけ、多種多様なレンズやプリズムについて研究所に問

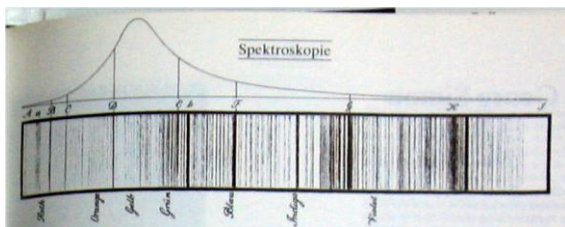
い合わせが殺到した。多くの重要な発見はとりわけフラウンホーファーがつくったレンズの品質の賜物である。1817年、彼はエストニアのドルパートにあるロシア天文台のために直径 24 cmの対物レンズを製作した。望遠鏡が完成するや、天文学者は数年とたたぬうちに 2,000 余の新しい連星を確認することができた。フラウンホーファーは業績が認められ、1823 年ミュンヘン研究所の所長に任命される。

フラウンホーファーは 1814 年、プリズムのテスト中に、最も有名な発見をした。太陽光が分解されてあらわれる、色彩スペクトルのなかに、多数の暗線が交差していることに気づいた。以前にも少数の暗線が科学者たちに観測されていたが、フラウンホーファーは抜群に高性能な自家製プリズムのおかげで 500 本以上の暗線を確認できた。彼は 7 本のひととき鮮明な暗線に A から G までの記号をつけ、位置と波長を測定した。その後、他の暗線の波長もほとんど残らず測定することに成功した彼に敬意を表して、暗線は「フラウンホーファー線」と呼ばれる。暗線の意味に興味をいだき、フラウンホーファーは^{せいぼう}星芒の分析をつづけた。望遠鏡を恒星にむけ、焦点にプリズムをすえる。プリズムによって分光された光芒も、一連の暗線をとどめいた。ただ暗線の位置は、太陽スペクトルのそれと異なっている。

フラウンホーファーは 39 歳で結核のため夭折した結果、研究活動を完成させ、フラウンホーファー線の意味を説く夢はかなえられなかった。数年後、彼がつきとめた種々のスペクトル線は、太陽や恒星をつつむ大気中の[気体原子や分子による]吸収現象であると解釈された。フラウンホーファーの発見はいまでは分光学の基礎をなしている。現在の天文学者たちは、星芒のスペクトル線を調べることによって、星の化学構造を精確に分析することができる。たとえば、太陽には地上で知られている 92 元素のうち少なくとも 70 種が存在することがわかっている。化合物の分析にも、化学者は分光学を応用することができるのである。



上中央 オーバーバイエルン地方のベネディクト・ボイエレンにあるウツシュナイダー光学研究所。フラウンホーファーはここでレンズの研磨とプリズム製作の技術を完成させ、

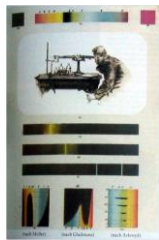


1818 年に単独の研究所長となる。

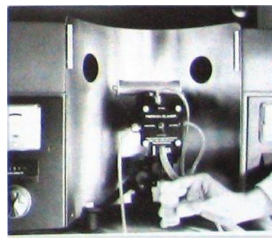
上右 回折格子——一連の平行な溝をびっしり等間隔にきざんだもの [いわゆる平面格子]。光は、一定の角度で回折格子に当たると、一連のスペクトルに回折される。回折の強さは、光の波長と開口部の幅に左右される。異なる色彩は異なる波長をもつので、光はスペクトルの形

であらわれる。回折格子は、色をプリズムよりもよく分解するため、いまでは分光学で好んで用いられている。

下左 太陽スペクトル図。



(10) の吸収スペクト



左 分光器による観察(1)：マゼンタ・スペクトル(2)、その表面色(3)、その溶液色(4)。ナトリウム(5)、タリウム(6)、インジウム(7)の放出スペクトル。インジゴ(8)、塩化クロム(9)、マゼンタル。

中央 フラウンホーファー自身の分光器とプリズム。

右 吸光光度分析器。

第55章 ゲオルク・ジーモン・オーム(1787-1854)

ドイツの物理学者ゲオルク・ジーモン・オームは、電流に関するきわめて重要な基本法則を発見しながら、存命中は長らく故国で無視された。「導線に流れる電流の強さは、導線の両端の電位差に比例し、抵抗に反比例する」という「オームの法則」は、電気の研究を量の科学へ変換するために役だった。

オームは子供のころから将来は科学者になり、ドイツの有名大学につとめたいと考えていた。機械技師の父親から基礎的な実地技能をたたきこまれたことが、のちのち科学の実験作業にとってかけがえのない、貴重な財産になっていることがわかる。一家は貧しく、有力な縁故がないことから、ゲオルク・ジーモン・オームは大学の職につけず、地方の学校教員になった。

オームはとりわけ電流に興味をもった。当分野は、ヴォルタが信頼できる電源として最初の電池を発明したことによって、重要な進歩をとげたばかりであった。オームは研究に必要な器具を購入する余裕がなく、さまざまな導線をはじめ、いっさいの用具を自分でつくった。

オームは熱エネルギーの移動率に関する重要な発見についての情報を耳にし、類似の関係が電気エネルギーにも当てはまるにちがいないと推測した。実験データを丹念に記録しながら、オームは、さまざまな強度と長さの導線に電流をとおして、仮説を検証した。導線が同種の金属であれば、長さや厚みが減少するにつれて、電流の強さは増大することを発見する。この実験結果に基づき、個々の素材に対して標準の長さや断面積に換算して定義する量を、「電気抵抗」と名づけて、記述することにした。

1827 年、オームは数々の実験をとおして、抵抗と電流の強さと電圧のあいだに、単純な関係が存在する事実を証明することができた。オームの有名な法則はいう。電流の強さは電圧に正比例し、抵抗に反比例する、と。この法則を使えば、科学者は電気回路における電流の強さ、電圧、抵抗、そしてこれら相互の可変性を、はじめて定量的にはじきだせるようになった。回路の構成部分、たとえば抵抗を変更す

ることによって、いまでは電気回路を特殊な機能のために設計することができる。オームの法則は、電気論に重大な進歩をもたらしたばかりか、電気工学の支柱ともなった。

オームは大きな発見をしたことを自覚し、これを大学への任官にも利用しようと決心した。ただ純粋な実験に基づく研究根拠は、学会から低く評価されるやもしれぬとの不安から、オームは、法則の理論根拠を明らかにしよう、と不幸な決意をかためる。発表論文では、輝かしい実験結果は短くふれるにとどめ、疑わしい数式で成果を裏づけるために、論文の大半をさいてしまった。学術的名声を不動にするどころか、刊行物は有害になった。ドイツの学者連中はオームによる発見の意義を無視し、その冗長な数学的推論を物笑いの種にするばかりであった。オームはあまりにも厳しく批判され、教師の職さえ捨てざるをえなかった。

つづく数年間、オームは貧困と孤独のうちにすごすが、外国でオームの発見はうわさと呼ばれ、しだいに画期的なものだと認められてゆく。ついに、オームはヨーロッパ各地の学者から祝辞をうけ、1842年ロンドン王立協会会員になったのは、望外の喜びであった。ヨーロッパ世論がオーム側に転ずるや、ドイツの学者たちはあらためて研究の実験根拠を再考しはじめ、発見のすぐれた価値が怪しげな数学よりもはるかに大きいことを、徐々にうけいれるようになる。1849年、世を去る5年前に生涯の夢がかなえられ、オームはミュンヘン大学の教授職についたのである。



中央 電流の強さは線状導体の電気抵抗に左右されることを証明した、1825年から1840年にかけての実験でオームが使用した器具の原物。オームは電源として最初は電池でなく、真鍮棒を介してつながれた[ライデン瓶](#)を利用した。

上右 極度に弱い電流の測定に用いた、オームの検流計。

下右 [可変抵抗器](#)、オームの法則のモダンな応用例。こうした可変の電気精密測定抵抗器の調節は、ひねりスイッチまたはプラグによっておこなわれる。可変抵抗器は、電動機の始動、その出力制御、発電機によって発生した電磁場の調整、ラジオ受信機、光度の変更などに用いられ、実験室でも、多くの工業分野、特に電気メッキにも、よく利用されている。



第56章 エドワード・サビン卿(1778-1883)

エドワード・サビン卿、イギリスの天文学者で陸軍軍人は、磁気現象を図示するとともに、太陽の黒点活動を地磁気 ^{じょうらん}擾乱現象〔磁気あらし〕と関連づけた、最初の科学者である。

エドワード・サビンは、軍人として成功した経歴に首尾よく科学活動を結びつけ

ることができた。専門教育はウリッジの英国陸軍士官学校でうけた。1813 年カナダに駐屯し、1814 年アメリカ独立戦争中フォートエリーの包囲攻撃に参加した。そのころすでに科学、特に天文学と地磁気の研究に強い興味をよせていた。

サビンは 1816 年イギリスに帰国した。1818 年および 1819 年から翌年にかけて、[北西航路](#)を開くため、二度にわたる北極地方調査隊にくわわる。さっそく彼は科学資料を記録し総合する、非凡な能力を発揮したことから、地球の形状をつきとめる任務をおびた。長期調査計画には、地表の広い地域に散在する、17 個所の格好な地点で磁気振り子補注 33 を使用する必要があった。1825 年にサビンは成果を公表するが、彼の知りえなかった、多様な地球の密度が原因で、のちに不正確なものと判明した。

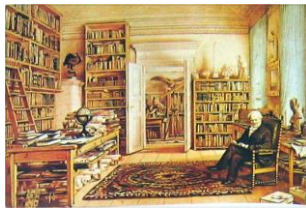
成功したのは、信号弾発射によるロンドンとパリ間の距離を測定する実験である。測定値は誤差 6 分の 1 秒以内という正確さだった。1834 年、サビンは英国の磁気図第一号をしあげた。

地磁気の周期的変動原因は、ドイツの発見家で科学者のアレクサンダー・フォン・フンボルトにとって、長年の関心事であった。このいわゆる「磁気あらし」のあいだ、磁針は不規則にふれ、オーロラー北極光や南極光—があらわれる。フンボルトは磁気観測所網を世界に張りめぐらすことを提案するとともに、植民地の領有が両半球におよんでいる、大英帝国に協力を求めた。サビンによるとりなしの甲斐あって、同提案は 1839 年に採択され、1840 年に全観測網がたちあがった。

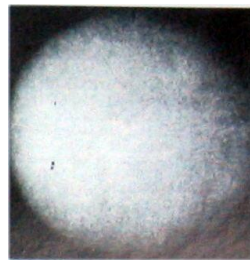
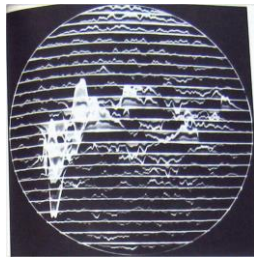
各観測所から送られてくる膨大な情報を調査分析するために、陸軍省はサビンのもとに助手として小分隊を配属した。スタッフは 20 年間資料を整理し目録を作成した。サビンはすべてを要約し、『異常な磁気 擾乱^{じょうらん} 日における観察記録』(1843)をはじめ、多数の科学論文で観測結果を発表する。著作総数は驚異的であり、サビンの異常な精励と数限りない事実の收集整理能力を示している。サビンは特に磁気あらしの経過をたどり、それが 10 年ないし 11 年の周期で起こっている事実を確認した。

ドイツではその間に、化学者でアマチュア天文学者のザームエール・ハインリヒ・シュヴァーベが、日々観測した太陽黒点の数を 1826 年以来克明に記録し、黒点も 10 年ないし 11 年周期で特に頻繁に出現する事実を発見していた。サビンはシュヴァーベの観測結果を見て、黒点現象と磁気あらしの頻度とは相互に関連づけられることを悟った。

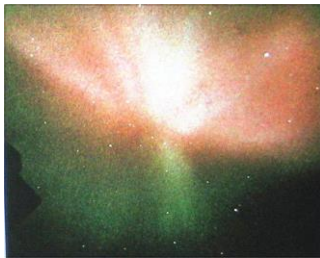
太陽の黒点と磁気あらしの周期的関連を発見したことは、科学的にきわめて価値があり、地磁気の重要な記録文書とともに、サビンの名声を確立した。



アレクサンダー・フォン・フンボルト、ドイツの自然科学者で発見家は、自然地理学と地球物理学を創設した。



上左 地球の磁気圏。今日の考えによれば、広大な磁場の中心としての地球の磁気圏。磁気圏は放射に対して壁を形成する。また磁気圏の形は、尖端[磁気圏尾]が太陽から離れてゆく方向を指す、滴形（涙形）をなしている。太陽風^{ふう} (V)、一種の素粒子流^{補注 34} が



地球磁場に衝突すると、衝撃波が発生し、衝突波面内側の擾乱領域が磁気圏界面 (Z) と境を接している。

上中央・上右 地球磁場の起源は依然として解明されていないが、いまでは地表近くにおける地球磁場の方向と強さは測定できる。太陽磁気図 (左) と、同じ日にとった太陽の写真 (中央)。磁気の活動は黒点のまわりが最も強い。

下 北半球のオーロラ、北極光。

第57章 ルイ＝ジャック・マンデ・ダゲール(1789-1851)

ルイ＝ジャック・マンデ・ダゲールは、自分の名をつけた、「ダゲレオタイプ」の発明者である。それは最初の実用型写真術であり、現像速度と画像の鮮明度によってどの方法よりもまさっていた。19 世紀半ばまでダゲレオタイプは最も広く用いられていた写真法である。

ダゲールは元来パリの舞台背景画家、舞台装置家であったが、カメラオブスクラで映した映像の定着をみずからの目標とさだめた。ジョゼフ・ニエプスが [1826 年に] はじめて写真術の確立に成功したと聞くと、ダゲールは長い議論のすえにやっとニエプスを説得し、共同研究によってニエプス法を発展させる契約にこぎつけた。最大の問題は、ニエプス法で 7～8 時間かかる、露出時間の短縮である。研究はニエプスの死まで共同でおこない、あとはダゲールが単独で初志をつらぬいた。

ダゲールは片面だけ銀メッキした銅板を用い、銀メッキの表面をヨウ素の蒸気にさらして、感光性のヨウ化銀被膜を生成させた。このような乾板を最初カメラでためてみると、なにもあらわれない。しかし、何枚か用済みの板を、少し水銀がこぼれていた、戸棚にしまっておくと、画像が浮きあがってくるではないか。まったくの偶然によって、水銀蒸気が潜像の現像に利用できることが発見された。その後ダゲールは、チオ硫酸ナトリウムの濃い水溶液を [定着液として] 使えば、未感光のヨウ化銀が溶けて除かれ、画像が定着することをつきとめた。

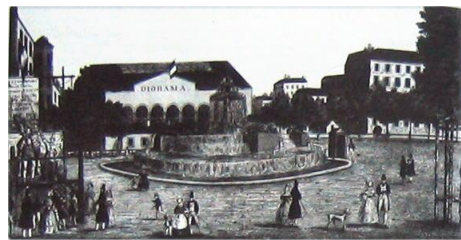
1837 年、ダゲールは注目すべき成果をおさめた。「ダゲレオタイプ」は、再現の質と画像の鮮明さできわめて現実に忠実であり、露出時間も 20 分にまで短縮された。

1839 年フランス政府は、ダゲールと、父親から共同事業の持ち分を相続していた、ニエプスの息子に対して、世界に無料で開放する、発明の公開と引き換えに、終身

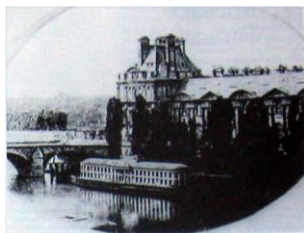
年金をあたえた。まだ年が改まらぬうちに、エジプトのピラミッド、ギリシャの古代記念建造物、さらにアメリカ諸都市の^{ダゲレオタイプ}銀板写真がつくられた。

つづく数年間に、溶液[写真乳剤]の感光性とカメラレンズの品質向上によって、発明はさらに発展する。なかんずく露出時間を30秒以下に短縮することに成功すると、ダゲレオタイプは肖像撮影に利用できるようになり、また動体の撮影も目前に迫ってきた。

^{ダゲレオタイプ}銀板写真は実用面でさまざまな不都合があった。まず、撮影のたびに一枚の金属板が必要なため、コストが高いこと。次に、個々の画像は一回限りで、複製ができない補注35。そればかりか、鏡像のように左右が逆になっている。1860年前後にこの写真術「ダゲレオタイプ」は、発展の極に達し、徐々に、イギリスでウィリアム・ヘンリー・フォックス・トールボットによって考案された、^{ネガ}陰画から陽画をつくるという柔軟な「カロタイプ」にとりかえられていった。



■上中央 パリ貯水塔広場。背景に、透明キャンバスに描かれた風景画の前に立体模型を配した、ダゲールのジオラマ館が見える。



上右 3種の初期ダゲレオタイプ写真機。



中左 紙に印刷されたフランス王ルイ・フィリップの^{ダゲレオタイプ}銀板写真。

中中央 ダゲールがはじめて露出に成功した写真の一枚:チュイルリー宮、1839年。

中右 初期ダゲレオタイプ:ヨウ素と臭素の蒸気で処理されて、みがきあげ、銀メッキされている銅板写真。

下 模造品に注意を呼びかける、ダゲールの保証章。

第58章 マイケル・ファラデー(1791-1867)

マイケル・ファラデーは一般に科学史上最大の実験者とみなされている。数学知識の不足は、自然界にはたらく物理法則をとらえる天賦の才で補われた。彼の名声

は主として磁気と電気との相互関係に関する洞察、および量的な電気分解の法則の発見に基づいている。

ファラデーはロンドン近郊の貧しい賃金労働者〔鍛冶工〕の家庭に 10 人兄弟のひとりとして生まれた。初等教育しかうけられず、14 歳で製本屋へ年季奉公に出されたが、そこの主人は少年に勉学を奨励した。ファラデーはロンドン王立研究所にもおとずれ、著名な講師ハンフリー・デービーの講義を聴講する。ファラデーは深く感銘を受け、講義は一度も欠かさず入念にメモを取り、のちに自分自身のスケッチをそえて図解した。王立研究所に就職できないかと期待しつつ、彼は数冊のメモをデービーに送り届ける。1813 年、デービーから私設助手のいすを提供され、ファラデーは天にもものぼる心地がした。

着任直後、ファラデーはデービーにつきしたがってヨーロッパ周遊旅行にでかけた。そのとき科学の研究活動をじかに観察し、ヨーロッパ屈指の学者たちの議論に同席する機会にも恵まれた。ロンドンに帰ると、ファラデーは王立研究所で独自の研究活動をはじめようと決心した。

1 年後にファラデーは最初の重要な発見によって、馬蹄形^{ばてい}磁石の両極間に電流が通じている導線をおけば、電気と磁気の力は機械的な運動に変えられることを証明した。力の交互作用によって、導線は回転するのである。

この発見で科学者としての名声は確立したが、ファラデーは以後もデービーの助手として仕えるかたわら、教授の電解実験に興味をいだき、同じ領域で自主的な研究をはじめた。水に電流を通じると、水の成分である酸素と水素に分解されることは、すでに数年前から知られていた。デービーは、電気分解がいろんな化合物の溶液にも応用できることを示し、ありきたりな化学塩から従来知られていなかった多数の金属を単離することに成功する。ファラデーは独自の丹念な実験結果をよりどころにして、電気分解を「電気量」の概念で表現した。「ファラデーの電気分解の法則」は、電気分解で遊離する元素の量が、電流の強さ、および元素自体の原子量と化学反応性とによって決まることを示している補注 36。

電解領域での成功にもかかわらず、ファラデーの関心はとりわけ磁気と電気の連係にむけられていた。電気が磁気を発生させるなら、逆に磁気で電気もつくれると信じた。1831 年、一連の歴史的な実験をかさねて電磁誘導―導体と磁場との相対的運動、あるいは、導体が内在する、磁場自体の変化による電気の発生―を発見した。彼のもっとも有名な実験では、絶縁された導線からなる 2 本の巻き線でくるんだ軟鉄環が利用された。一方の巻き線の両端は、電流をはかるために、検流計とつながれている。他方の導線が電池とつながれると―ファラデーは鉄が一時的に電流によって磁化されると承知していたが―何事も起こらないようにみえた。ところが、回路が閉じられたり遮断されると、検流計は衝撃電流^{インパルス}を記録する。鉄の磁気強度が増減しているあいだに、しかもそのときにかぎって、誘導電流が生成されることを、ファラデーは確認した。彼はこの発見〔「ファラデーの誘導法則」〕を、最初のダイナモ、すなわち、いまでは家庭用や工業用の電気需要をほとんどまかなっている、

強力な発電機の原型をつくりだすために利用した。

研究をつづけるうちにファラデーは、磁気を説明するために、おのずから「力線」という概念を思いついた。さらに、磁力は磁石の両極からあらゆる方向に延び、一種の「力の場」を形成している、と彼は想像した。力線とは、磁力の強さが等しい、すべての点を結ぶ線である。この方法で磁場を描くことができた。ファラデーの没後、故人の考えは、電気と磁気の性質および交互作用に関する最初の完全な数学的定式化、いまでいう[電磁場理論](#)へとさらに発展したのである。



上中央 ファラデーの実験室。

上右 ファラデーの検電器。陰電気をおびたガラス棒は、検電器の金属頭部に近づけると、頭部の陰電気を下方の金箔^{きんぱく}へはねかえす結果、金箔は互いに反発しあう。ガラス棒を取り去れば、陰電気は新たに分散し、

器具は中性となり、金箔がだらりと垂れさがる。しかし、除去まえに、ガラス棒が金箔に接触すれば、いくらか負電気が大地に逃げる。そのあと、ガラス棒を取り去れば、検電器は陽電気をおび、金箔は相互に反発する。



中左 ファラデーが電磁誘導を発見したときに用いた巻き線。巻き線が検流計とつながれ、電流を通して磁化されると、検流計は^{インパルス}衝撃電流を記録した。ただし、回路が閉鎖または遮断されるときにかぎって起こる現象である。このようにして、磁場が時間とともに変化するかぎり、電場は磁場によって創出されることを、ファラデーは示した。

下右 ファラデーが磁石による電気の発生を明らかにするために使った、ロッドとコイル。ロッドは絹でおおわれた銅線を巻いてある軟鉄の円筒である。銅線の一端には銅の円盤があり、他端は円盤にほとんどふれないようにゆがめられている。ロッドが強力な磁石のうえに置かれると、銅線の両端は一時的に遠ざかる。ロッドがふたたび取り去られるときも、まったく同様である。誘導電流が発生して、両端が互いに反発しあっていることは、2本の銅線が離れようとするときに生じる、明るい電気火花によって観察することができる。



第59章 サミュエル・モース(1791-1872)

19世紀後半、通信事業の発展に不可欠な実用的電信システムは、職業画家で科学愛好家のサミュエル・モースによってはじめて案出された。

カルヴァン派牧師ですぐれた地理学者を父にもつ、サミュエル・モースは、イェール大学^{カレッジ}卒業後、1810年にイギリスへわたり、美術を学ぶ。1815年帰国とともに、彼は絵の道にはいり、初期アメリカ美術史上最も著名な肖像画家のひとりになった。

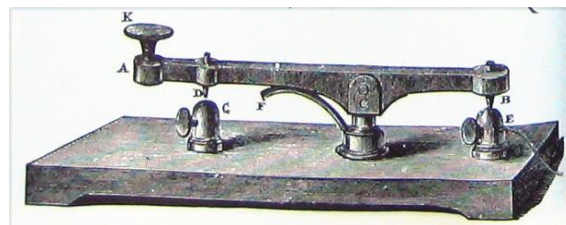
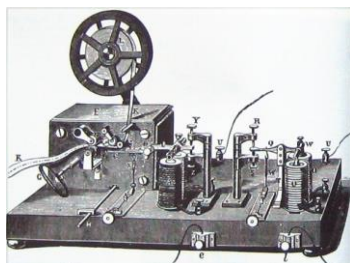
当初からモースは美術のかたわら、科学、なかんずく電気に関心を示していた。1832 年、2 度目のヨーロッパ訪問から帰郷する際、彼は船上でジョゼフ・ヘンリーの電磁石の開発について話しているのを小耳にはさんだ。ヘンリーは 1831 年に世界ではじめて ^{インパルス} 衝撃電流 を全長 1 マイル [1.6093km] の電線に送ることに成功していた。衝撃電流は、電池によって発生させ、電線他端で ^{アーマチュア} 電機子 に固定されているベルを鳴らしたのである。モースは有線電信装置の操作に電磁石を利用する着想がひらめいた。電磁方式の送信機と受信機を設計しはじめ、1835 年にモースの原型機を開発した。1837 年、モースは新たな発明に専念するため、すっかり画業を捨て、1 年以内に、短点と長点の組み合わせで文字や数字をあらわす、「モールス符号」を考案した。

いまや不撓不屈の精神でモースは長距離電信線の敷設にとりかかり、議会を開発計画の支援に踏みきらせることができた。送電線は鉄線につくられ、鉄線がガラスの絶縁体に被覆されて電柱間に張りわたされた。このような送電線が、ほぼ 60 km の距離をへだてた、ボルティモアからワシントンへ通じたのである。

電信の普及ははじめ抵抗にあった。人々は遠距離送電線の不都合な影響を恐れ、南部農民の一团などは、悪天候と不作つづきの元凶だとのろい、送電線を全部破壊してしまった。しかし、電信はアメリカ西部開拓に重要な役割をはたしていた。

モースは際限のない裁判ざたに巻きこまれ、自分の特許権のために競争相手の訴えと戦い、ついに 1854 年、合衆国連邦最高裁判所はモースの特許権を認めた。ただ、自身の発明に他人の貢献をいっさい認めなかった点は、通常モースの最も悪い性格面であるとみられている。特に、ジョゼフ・ヘンリーによって発明されながら一度も特許をうけなかった、信号が一定間隔で増幅される継電器システムがなかったとすれば、計画はすべて水泡に帰したであろう。

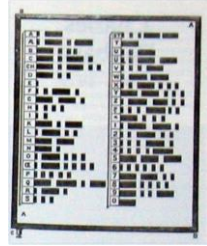
モールス符号をうちだす ^{キー} 電鍵 は、ほとんど当初の形を維持しているが、受信機は、符号を連続した巻き取り紙にうちぬく、一種の針からはじまり、一連の発展段階をへた。針は印字機にとりかえられ、1855 年頃になると、訓練をつんだモールス技手は、簡単なヘッドホンで難なく音声記号を「読み」、書きとめられるようになった。ヨーロッパでは、外国語の伝達を国際的な枠組みのなかでおこなえるように、モールス符号もそれに対応して部分修正された。



中央 技師が電鍵を押せば、電流は電磁石(A)から電機子(B)をとって流れ、電機子がレバー(C)を引く。ひときわ長い腕の端(E)は、上方に押

しあげられ、はがねの先端は金属円筒の浅い溝に押しつけられる。先端と円筒のあいだで、紙テープ(K)がほどかれて、符号がうちぬかれる。

前ページ右 モールス電鍵。



上左 1871年のロンドン電信交換局。またたくまにモースの発明品は広く普及し、それによって女性の職場が創出された。

上右 モールス符号。短点と長点は、送信機の電鍵を押す時間を変えることによって伝えられた。多くの電信技手が符号の習得に苦勞した結果、モースは送信板を考案する。送信板は、長さがモールス符号に対応し

ている、金属線條をそなえた、非伝導性の象牙^{ぞうげ}でつくられている。線條はその下の金属板に、象牙板と同じ高さになるように、はんだづけされた。固定ねじ(C)は金属を電池と接続する。電信技手が送信機に接続された棒で送信板をなぞれば、金属にふれるたびに回線がつながるのである。

下右 モースによって組み立てられた受信機の模作。



第60章 チャールズ・バベッジ(1792-1871)

イギリス生まれの数学者、チャールズ・バベッジは、なかんずく速度計、機関車の前部に取りつける排障器、検眼鏡などを開発した、想像力豊かな発明家である。しかし、いかにも科学技術の幻視者らしいバベッジ最高の業績は、計数型計算機(デジタル・コンピューター)の構想であった。

歴史で知られる最初の計算機は、動かせる珠^{たま}をはめこんだ数本の桁^{けた}が枠^{わく}のなかに固定されている、アバクス[一種のそろばん]である。珠の列はそれぞれ一定の数値を担っている。アバクスはおそらく5,000年前にバビロニアで考案され、いまもなお近東および極東の商人や店主に利用されている。精通者はアバクスで複雑な足し算を驚くべき速度で計算することができる。

1642年、フランスの数学者で哲学者のブレーズ・パスカルが最初の加減計算機をつくった。乗除算もできる計算機は、1694年、ゴットフリート・ヴィルヘルム・ライプニッツによって開発されるが、まだ一般に利用できるほど信頼のおけるものではなかった。

裕福な家に生まれた、チャールズ・バベッジは、ケンブリッジ大学に学んだ。イギリスでは科学が政府、教育機関によってなおざりにされていると主張する、若手の科学者グループにくわわるようになる。数学は大学で相も変わらず厳格にニュートンに依拠して指導され、ヨーロッパで新世代の数学者たちがのこす業績はほとんど無視されていた。

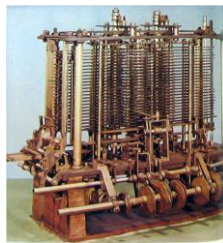
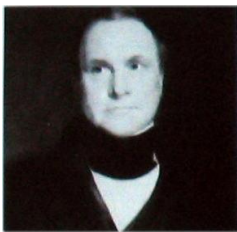
1830年、バベッジは『イギリスにおける科学衰退に関する省察』を出版した。同

書には、会員数を制限して自己満足に陥っているとみる、著者の王立協会に対する論難も収録されている。翌年バベッジは「イギリス科学振興協会」の設立に参加したが、当協会はまたたくまにあらゆる科学分野における進歩的な激しい討論の場となり、研究にとって不可欠な刺激をもたらすとともに、科学の学術的地位をたかめた。

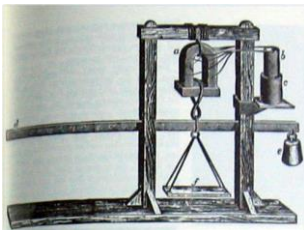
バベッジは何年間も計算機の問題に没頭した。1823年に小数第20位までの容量をもつ計算機の製作にとりかかり、1834年には「^{アナリティカルエンジン}解析機械」の構想がうまれていた。複雑な図柄を絹織り機に^{インプット}入力するために、ジョゼフ＝マリー・ジャカールが開発したような「^{パンチ}穿孔カード」を使えば、複雑な数学・代数問題に対する命令も計算機に入力させられるにちがいない。そのような「解析機械」は独力で演算するヒトよりも迅速正確に答えをはじきだせる、とバベッジは見抜いていた。

バベッジは、データを記憶装置に入れ、結果（答え）を比較して呼びだせば、要求されたデータをプリントアウトする計算機を心に描いていた。さらに計算機自身のプログラムも、したがって処理データじたいも修正できることになっていた。バベッジは人生後半の37年間を大半このような計算機の開発にかけた。その課題は途方もなく複雑なことが明らかになり、気が遠くなるほど精密な作業を必要とした。バベッジの研究はもともと公金をもって支援されたが、政府は1842年に助成金の支給をうちきり、その後バベッジは自費で力のかぎり仕事を進めなければならなかった。

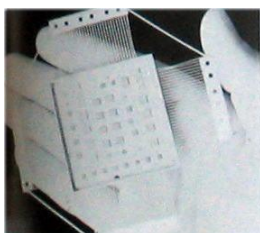
晩年、バベッジは仕事の重要性がさほど認められないことに憤慨し、また心に描くイメージを実現できないことに失望していた。試作モデルに組みこまれていた、ホイール、歯車、導線、レバー、カムなどの機械システムでは、バベッジがもくろむ高度な問題を解くために、必要な精度と柔軟性の組み合わせを実現することは、とうていおよばぬ願いであっただろう。しかし、コンピューターをついに可能にした、第二次世界大戦中の電子工学の進展は、とどのつまりバベッジの創意を正しいと認めたのである。



右 バベッジの「^{アナリティカルエンジン}解析機械」、現代の計算機とコンピューターの源流。データは柱状に配列されたホイール（輪）に記憶された。それぞれのホイールは10の異なる位置に移動させることができる。各位置はひとつの小数位に対応する。計算機は一連の^{パンチ}穿孔カードでプログラム化される。レバーが前後に動かされることによって、数値問題はホイール・システムに記憶させることができた。



左 飛行便の複雑な予約手続きを簡素化するために利用される、コンピューター。この絵は、「ユニセット機」が航空路標識コンピューターのために予約を記録している、英国ヨーロッパ航空の予約事務所を示す。



右 マイクロコンピュータ。今日のコンピュータはもはやほとんどかさばった「解析機械」を思いださせない。60年代初期の電子素子と回路の縮小が、マイクロコンピュータの製作を可能にした。微小なシリコンチップが使われるにつれて、いまや回路の小型化は、この写真のコンピュータさえも比較的大きくみえるほどになっている。

第61章 ジョゼフ・ヘンリー(1797-1878)

想像力も行動力もともに旺盛なアメリカの科学者、ジョゼフ・ヘンリーの生涯をかけた仕事は、数多くの発明と発見を実らせた。最大の果実は、強力な電磁石（これが初歩の電磁式電信につながった）、最初の電磁式電動機の製作、そして電気回路の設計に格別重要な「自己誘導」の発明である。

ヘンリーはオールバニー・アカデミーで医学を学びはじめたが、専攻分野を工学に変えた。卒業とともに母校で理科と数学担当の講師になる。そのころヘンリーはヨーロッパにおいて電磁気分野でなされた発見、特に、鉄心のまわりにコイルを巻き電流を通すことによって、電磁石をつくる努力にとりわけ興味をいだいた。1829年、ヘンリーはヨーロッパ型の設計を改良する仕事にとりかかる。磁石の強さ〔磁場の大きさ〕はけっきょく導線の巻き数による、とみきわめられた。導線を妻の絹製ペチコート糸で絶縁すれば、短絡を避けながら、巻き数をふやせることを思いつく。結果は評判となった。ヨーロッパで最も強力な電磁石さえ9ポンドをやっともちあげられるのに対し、ヘンリーの電磁石は優に2,000ポンドをこえた！

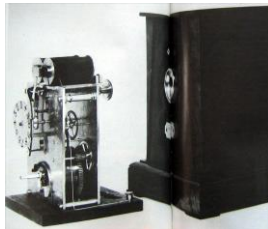
電磁石の実用価値は磁力だけに限定されないことに気づき、ヘンリーは遠距離通信に電磁石を使えないか、可能性を探った。彼の計画は、まず小型の電磁石を長さ1マイル余りの導線をとおして先方の電池につなぎ、次に、電池のそばで待機しているオペレーターが回路を閉じたり開いたりすることによって、電磁石の磁場を断続させることができるというものである。したがって、電磁石が金属棒を引きつけては斥ける現象を利用して、情報を信号で送る、発信リズムを取り決めればよい。ヘンリーはさっそく着想を実行に移し、1831年までに最初の電磁式電信機を完成していた。しかし、科学の発見は全人類の財産であると信じ、ヘンリーは発明の特許を申請しなかった。その後1844年、サミュエル・モースは、ヘンリーの助けを借りて、電信機の特許第1号を組み立てた。

ヘンリーのさらに重要な発見は、自己誘導である。1830年、コイルに流れる電流は電圧〔起電力〕を他のコイルに〔相互〕誘導するばかりか、自身のコイルにも〔自己〕誘導することを、彼は論文に発表した。コイルの電圧は、全体としてみれば、つまり本来の電圧と自己誘導電圧の組み合わせである。この発見は、電気回路の設計、特に一定の定常電圧が問題になる場合、きわめて重要であった。

ほぼ同時期に、ヘンリーは、電磁気に関する当時の知識に基づいて、実用目的に

利用可能な最初の電動機を設計する。この〔振動型〕電動機は、電気エネルギーを機械エネルギーへ効率的に変換した最初の例であり、日常生活に革命をもたらした。ヘンリー式モーターは今日では冷蔵庫、電気掃除機、電気かみそりなど、無数の現代器具に原動力として用いられている。

ヘンリーは全生涯を科学にささげ、科学を社会に役立てるためにつくした。1846年には新設されたスミソニアン研究所の初代所長に選ばれ、みごとな管理者であることを実証する。ヘンリーは、モールス式電信機を使って気象通報を全州から収集するため、みずからの影響力を活用した。現在の米国気象課は、そのシステムに基づいている。

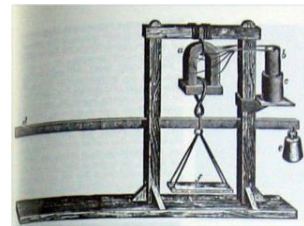


左 チャールズ・ホイーストンの数字式受信機。サミュエル・モースとヘンリーは、電磁式電信機の創始者をめぐって激しい係争をした。ホイーストンもまた、1837年に磁針電信機を発明したため、紛争にまきこまれた。

右 1 トンの重量をもちあげることができた、ヘンリー



一の強力電磁石。馬蹄形磁石(a)は、絶縁された導線が幾重にも巻きつけられて、その両端がガルヴァーニ電池にはんだづけされている。ガルヴァーニ電池には希薄酸槽(c)も入っており、それが可動梁^{ばり}のうえに置かれている。電池の電流が蹄鉄を磁化する結果、この蹄鉄^{ばり}は、はかり(f)がつかさっている、鉄片を支えることができた。



上 サミュエル・モース。ヘンリーの電磁式電信機はモースに6年先んじた。

第62章 ウィリアム・ヘンリー・フォックス・トールボット(1800-1877)

ウィリアム・ヘンリー・フォックス・トールボットが写真術の向上発展に寄与した重要なものは2点ある。陰画から陽画をつくる方法と、写真感光層に生じる「潜像」の現像である。これらの発見は写真術に革命をもたらした。被写体が迅速かつ正確に写され、好きなだけ何度も複製できることになった。

フォックス・トールボットはケンブリッジ大学で自然科学を学んだ。イメージ(像)を記録する実験を彼はカメラオブスクラで開始した。硝酸銀と塩化ナトリウム(食塩)との水溶液に交互に浸して感光性をもたせた紙を利用した。この紙は、塩化銀にしみこませると、光にさらされた個所が黒く硬化する。カメラにとどく光の量は、レンズがむけられた被写体によって決まる。場所が暗ければ暗いほど、侵入する光は少なく、したがって感光紙も黒化しなくなる。露光していない塩化銀を濃厚な塩溶液で洗い落とせば、陰画〔「紙ネガ」〕ができる。ネガと別の感光紙を重

ねて強い光を当てること〔つまり密着焼きつけ〕によって、1枚のネガからいまや任意の数のポジ画像がつくられるようになった。

結果は満足すべきものでなく、露出時間も20分かかったが、1835年までに、フォックス・トールボットは、「写真映りのよい線描」と称する、有効なシステムを手中にしていた。1839年、ダゲールの実験についてうわさを耳にするや、トールボットは急遽発明を公表し、特許を取得した。1840年、はるかに短い露出時間でまず目に見えない像が形成される事実に偶然ぶつかり、彼は「潜像」の原理を発見する。このネガ像はそのあと化学溶液に浸して「現像する」ことができた。

フォックス・トールボットは自己の案出した最終方式を「カロタイプ」と命名した。1844年から1846年にかけて彼は最初の写真入り本、全6巻を刊行する。残念ながら当時はまだ、定着浴の痕跡をすっかり洗い落とすことがいかに大事な保存条件であるかを知らなかったため、トールボットのカロタイプ写真は数年以内に色あせてしまった。

フォックス・トールボットは1851年に最初の「フラッシュ撮影」もおこない、そのとき^{せんこう}閃光を放つために、^{びん}ライデン瓶を利用した。

フォックス・トールボットにつづく写真術の重要な発展は、明るい場所ならほとんど^{スナップショット}瞬間撮影さえ可能にした、コロジオン湿板法である。同法は、フォックス・トールボットのカロタイプを仕事に役立てようとした、イギリスの銀細工師で肖像彫刻家、フレデリック・スコット・アーチャーに由来する。完全に透明なネガこそが非常にすぐれた利点をもつことにすばやく気づき、アーチャーはガラス板にコロジオン溶液を塗布して感光性を与えることに成功した。1851年アーチャーはコロジオン湿板法（湿板写真）の発見を発表した。

湿板法でつくられる^{ポジ}陽画は品質が抜群だった。欠点は、ガラス板が湿っているうちに撮影して現像しなければならないこと、したがって完全な設備をもった暗室が近くになければならぬ点であった。

湿板写真術は20世紀前半にいたるまで一般に用いられ、特にプリントの高画質が問題になる場合に利用された。これと平行して開発された、^{かんばん}乾板写真術が1871年に出現し、つづく数年のうちに著しく改良された。



左 ラコック・アベイ、フォックス・トールボット家の邸宅。このなかにはフォックス・トールボット博物館がある。

右 ラコック・アベイの張り出し窓、



1835年、フォックス・トールボット撮影。この陽画は現存する最古のネガに基づく。ネガ像が撮影された紙は、塩化銀を繊維に沈澱させるために、まず塩化ナトリウムと硝酸銀の水溶液に浸された。露出時間は20分必要とされた。



上左 ラコック・アベイの御者のカロタイプ写真、1840年、フォックス・トールボット撮影。潜像と現像



の発見は、露出時間の劇的短縮を可能にした—この場合は3分。

上中央 『自然の鉛筆』第1巻、写真がさし絵として使われている。定着液が完全に洗い落とされていなかった結果、カロタイプ写真は急速に色あせた。

上右 手回しオルガンをもつ少年のカロタイプ写真。

下左 エイブラハム・リンカーンの湿板写真、マシュー・ブレイディー撮影。

第63章 フリードリヒ・ヴェーラー(1800-1882)

有機物の尿素が人工的に合成可能である、というドイツの科学者フリードリヒ・ヴェーラーによる一見さりげない発見が、有機化学と無機化学全体に革命をもたらす重大な契機になった。

フリードリヒ・ヴェーラーはアッシャースハイムに生まれ、マールブルク大学医学部卒業後、少年の頃から関心の的であった化学を敢然と選ぶことに決めた。1823年、ストックホルムに赴き、スウェーデンの化学者イエンス・ヤーコブ・ベルセーリウスのもとで一年間化学の終業をつむ。

ベルセーリウスは当時ヨーロッパで最も著名な指導的実験化学者のひとりであった。元素分析を基礎づけ、化学の表示法〔化学記号〕を導入し、今日も広く利用されている、一連の実験技術や器具も開発した化学者である。

1825年、ヴェーラーはドイツに帰国し、ベルリン大学の非常勤講師となった。その後も実験に取り組み、1828年、まさきに本人自身を当惑させた発見をする。シアン酸アンモニウムの水溶液を試験管で加熱したところ、無機化学物が尿素、つまり尿中にふくまれる、主要な有機化合物に変化していることを確認したのである。

ヴェーラーも同世代の化学者と同じく、生命現象の物理的機械論的解釈をこばみ、かわりに非物質的原理、すなわち、あらゆる生物にやどる、独自の「生命力」を認める、「生氣論」を教えこまれていた。ヴェーラーの発見は生氣論に根本から疑問を投げかけ、他の科学者たちに多数の有機化合物を合成させるきっかけとなった。生氣論は、結局、基本法則が有機物にも無機物にも等しく当てはまる、新しい化学に置き換えられた。

1832年、妻に先立たれたあと、ヴェーラーはユストゥス・フォン・リービヒに招かれ、研究方法の系統だった近代的教育で有名なギーセンのリービヒ実験室〔化学薬学研究室〕で共同研究をはじめた。正反対の性格にもかかわらず、両者の共同研究は実り豊かな成果をあげた。

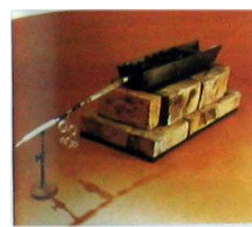
二人のおもな研究対象は、分子構造と、分子を形成する原子結合であった。すでに 1824 年、リービヒが爆発性化合物の雷酸銀に取り組み、ヴェーラーが安定した化合物シアン酸銀について研究していたとき、両人は知り合いになっていた。雷酸銀とシアン酸銀、2 個の異なる化合物が実は同じ元素を同じ割合でふくんでいたのである。この発見は、分子中の原子の立体的な配列が、物質の種類と性質に決定的な力をもつという認識に導いた。ベルセーリウスは、この研究に端を発し、「異性」概念を展開した。異性とはすなわち、分子式が同じでありながら、分子中の原子の配列が異なることに起因する、化学的性質の違った化合物が存在することをいう。

もうひとつ重要なヴェーラーとリービヒの研究は、苦扁桃油（ベンズアルデヒド）に関するものである。苦扁桃油がいかに多くの化学反応をへても、基本の原子集団は変化することなく残ることがつきとめられた。このような原子団を彼らは「基」と呼んだ。基の理論は、有機化合物の反応を説明しようとする、最初の試みである補注 37。

1836 年からヴェーラーは終生ゲッティンゲン大学教授として化学を担当した。1845 年、アルミニウム精製法を発見し、軽金属工学の基礎もきずいている。ヴェーラーは研究者としてばかりか、教師としても次世代の化学者たちに決定的な影響をあたえた。まさに化学はヴェーラーに負うところが多いのである。



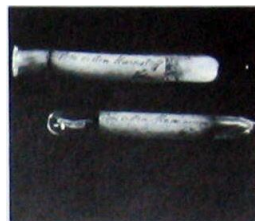
上左 実験室に陣取るユストゥス・フォン・リービヒ（1845 年）。リービヒとフリードリヒ・ヴェーラーは多くの有機化学物質の分析と合成を共同で研究した。
下左 フリードリヒ・ヴェーラーの初期肖像。



上右 水と二酸化炭素の吸収器をそなえた元素分析用のリービヒ炉。

下中央 ヴェーラーの発見例：合成された尿素（上）と純粋アルミニウム（下）。

下右 さまざまな近代の薬品—合成有機化学製品。薬品産業は、有機化合物が実験室で合成できるというヴェーラーの発見が生みだした、数多くの重要な副産物のひとつである。



第64章 クリスティアン・ヨハン・ドップラー(1803-1853)

オーストリアの数学者で物理学者のクリスティアン・ドップラーは、音源の運動によって、観測者が聞く、音の高さがいかに変化するかをはじめて発見した。

ドップラーはザルツブルクに生まれた。卓越した能力をもちながら勤め口が見つからぬため、アメリカへ移住する決意をかためるが、出発の数日前、プラハ大学数

学講座担当教授に招かれ、即諾した。

プラハに在職中ドップラーは、一般に知られていながら謎めいている、音波に関する現象の原因究明に興味をもった。何年も前から、観測者は音源が近づくとつれて高く、音源が遠ざかるにつれて低音に感じることは知られていた。たとえば警笛は、自動車が静止している観測者に向かって接近してくるとき、車がとまっている場合よりも高く聞こえ、車が遠ざかるときは低く感じられる。また、車が観測者のかたわらを通り過ぎる瞬間には、音の高さが急変する。

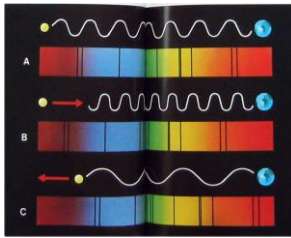
ドップラーは最初こう音質の説明をした。静止している音源は、そこから外へ向かって広がる、連続的な球状音波の中心点であると想像することができる。音波と音波との間隔が音の高さを決定する要因である。音源が移動する場合、音波の間隔は、音源の移動速度に応じて、前方では狭まる。音源後方の音波は逆に、音源が遠ざかるほど、音波の間隔が広がる。音源前方の音波はいちだんと短い間隔で観測者の耳に達するから、観測者は音源後方の音波よりも音域が高いと感じることになる。

ドップラーは 1842 年「ドップラー効果」の理論根拠を展開すると、オランダの同僚たちに理論を実験で確かめてもらうことにした。同僚らはかつておこなわれた最も風変わりなひとつの科学実験を企画する。一団のトランペット奏者が、速度を変えて行きつ戻りつする、鉄道車両に乗りこみ、高さの異なる音をかなでる。正確に音符の音域を確認することができる、絶対音感をもつ音楽家たちが、路線沿いのさまざまな地点にすわり、列車が接近あるいは遠ざかるたびに、聞こえてくる楽音を書きしるした。実験は 2 日間つづく。素朴な方法にもかかわらず、結果はドップラー説を疑問の余地なく裏づけた。

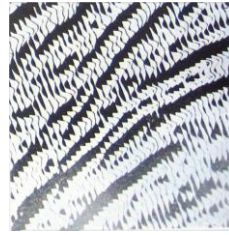
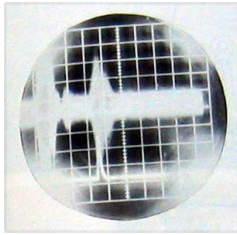
この成功に勇気づけられて、類似の効果が光波にも見いだされるだろう、とドップラーは予言するが、歳月をついやしながら、仮説の検証に成功しなかった。光波に関するドップラー効果が解けたのは、やっと数年後のことである。光源が高速で観測者から遠ざかるとき、^{レッドシフト}赤方偏移^{ブルーシフト}があらわれ、光源が観測者に近づけば、^{ブルーシフト}青方偏移^{レッドシフト}があらわれることが判明した。まもなく天文学者たちは多数の星や銀河系内星雲でレッドシフト、つまり、天体が地球から遠ざかる速度をあらわす間接証拠を観察した。さらにドップラー効果の分析をすすめると、膨張する宇宙が推論された。この認識はさらに宇宙起源説の一つ、いわゆる「ビッグバン」に通じる。同宇宙論によれば、単一の巨大な「分子」が爆発し、その断片が投げだされて、膨張宇宙を形成したとき、宇宙は誕生したのである。



右 19 世紀のプラハ。数学の教授としてプラハ大学に在任中、ドップラーは音波に関する重要な研究をおこない、彼の名で呼ばれる効果を発見する。



上左 ドップラー効果は、天体の運動を地球と関連させて決定するために利用される。動いている光の波長は、接近時に短くなり、離隔時に長くなる。天体の光をプリズムによって観察し、レッドシフトを示せば、光源が遠ざかっていることを意味する。ブルーシフトなら、光源は近づいている。A：地球と同じ速度で運動する光源で、スペクトル線は正常な位置にある。B：光源は地球に接近中であり、スペクトル線はブルーシフトを示す。C：光源は地球から遠ざかり、スペクトル線はレッドシフトを示す。



下左 ドップラー電波探知機は、雨滴や雪片の動きを測定するために利用される。広い緑色線上のレーダー・パルスの位置、大きさ、動きは、雨滴や雪片の高さ、大きさ、数および、それらが

上方または下方に動く速度を表示している。速度は、振動数が走行列車の音の高さに似た変化をする、エコーの変動によって測定される。

下中央 シュリーレン法によって肉眼で見えるようにされた、脈拍の音波。これは、光線の偏向を利用して、屈折率の「わずかに」変化する部分を可視化する、光学的方法である。

下右 海底調査で反響した音波の図示。

第65章 ジョゼフ・ホイットワース卿(1803-1887)

ジョゼフ・ホイットワース卿による数々の発明は、工作機械の発展継続に不滅の足跡をのこした。特に、真っ平らな金属面の製作に成功した、最初の技術者であり、ねじ山の統一規格を導入した。

ジョゼフ・ホイットワースは大マンチェスター州のストックポートに生まれ、14歳のときに、綿紡績工場をもつ、叔父のもとへ年季奉公にだされた。1821年、マンチェスターに出て、まず機械工として働き、1825年、ヘンリー・モーズリーの工場で修業しようとロンドンへ移る。1833年、マンチェスターにもどり、自営の工作機械工場を設立した。

1850年には、ホイットワース工場は無類の品質と精度を誇る機械製作で国際的に有名になっていた。1851年に催されたロンドン万国博にも、ホイットワースはイギリス一番の工作機械製作者として臨席している。精密が彼の基本方針であり、草創期に、10万分の1インチの精度まで測定できる、精密測定器具を設計した。次に、それぞれの工場が独自の型を競っていた時代に、彼はねじ山の規格統一計画を提案する。1860年までに、ホイットワースによって作成された規格は、イギリス全土で一般に採用されるようになった。

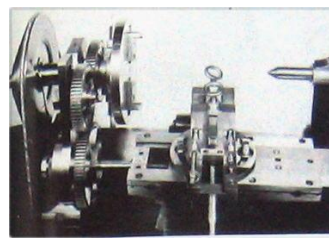
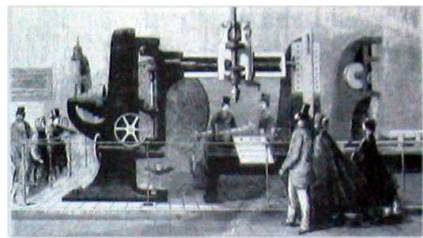
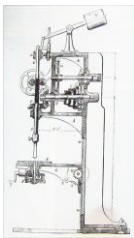
同世代の多くの技術者と同様、ホイットワースも多岐にわたる工業技術部門で活躍した。イギリスで十進法の利点を指摘した最初のひとりでもある。ホイットワース

スによる堅固な切り刃の開発は、フライス盤および平削り盤の効率を著しくあげた。1835 年に編み機をつくり、1842 年には道路清掃機を発明している。

クリミア戦争の^{ぼっぼっ}勃発は、1854 年、彼の注意を兵器や軍事装備にむけた。当時普及していたエンフィールド銃はさほど信頼できず、ホイットワースは標準口径を開発し、腔綫をつけた銃身の規格を統一した。陸軍省はホイットワースが提案した 12 mm口径の施条銃を拒否した。ところが、グレートブリテンの「国立ライフル協会」は、現存するなかで最も命中率の高い銃と評価し、フランス陸軍はホイットワース銃を射撃の練習用に採用した。

ホイットワースは、ほぼ 10 kmの射程がある、施条野砲も開発するが、この投入も当局からはばまれた。成功をおさめたのは、大型野戦砲用に可鍛性^{スチール}の鋼鉄を製造する新しい方式である。この製法は野戦兵器の生産に甚大な影響力をおよぼし、ホイットワースの工場を視察した米国委員会の見解によれば、他のいかなる製法よりもすぐれていた。

ホイットワースは幾多の発明によって多くの表彰をうけた。莫大な財産は大半を奨学金あるいは工業専門学校や研究所に研究用基金として寄付し、工学の振興に役だてることに決めていた。



上左 今日も広く用いられている、ホイットワースのボール盤。製作費用はかからないが、ドリル刃と台が上下にし



か動かぬため、効率は劣る。

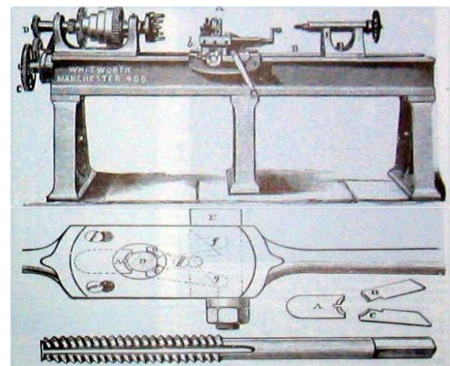
上中央 ホイットワースの自動ボール盤。ドリル刃と台は、水平にも垂直にも、どの点でも動かすことができる。

上右 ヘンリー・モーズリーの旋盤。以後の器具すべての原型である。

下左 「黒ん坊^{ジンクロ}」と俗称される、ホイットワースの平削り盤。

下右(上側) ホイットワースのねじ切り旋盤。

下右(下側) ホイットワースのダイス回しとねじタップ。



第66章 イザムバールド・キングダム・ブルーネル(1806-1859)

イザムバールド・キングダム・ブルーネルほど、19 世紀のたゆまぬ行動力と発明の才を具現した人物も少ない。技術者、設計者、建設者そして夢想家である。

ブルーネルは、英国南部の港市ポーツマスで、フランス技師の息子として生まれたが、父親の王党派支持が災いして、1793 年に余儀なくフランスを離れた。1799 年イギリスに定住し、幾多の発明によって名をなし、1843 年に完成した最初のテムズ川河底トンネル工事で騎士の爵位を授けられた。幼いころからイザムバードはいろんな技術問題に熱烈な興味をしめし、19 歳のとき、父親のテムズ川トンネルプロジェクト事業にくわわり建設主任をつとめた。

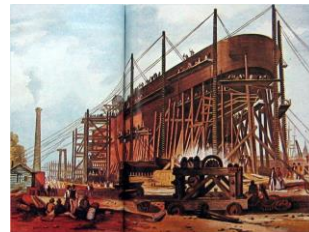
1833 年、ブルーネルは新設された鉄道会社「大西部鉄道」の技師に任命される。彼のはたした偉業は、ロンドンからブリストルにいたる最初の鉄道路線―数多くの鉄橋とトンネルと駅がある区間―の計画策定および建設である。

ブルーネルが成し遂げた最大の功績はなんといっても造船にある。この部門では、法外な規模で実行に移された、彼の急進的思想が二つの成功と、一つのとんでもない失敗をもたらす結果になった。まず、ブルーネルは最初の大西洋横断汽船、「グレート・ウェスタン号」を建造して大当たりをした。この木造外輪船は、1837 年の進水時には世界最大の船であった。二隻目の巨船「グレート・ブリテン号」は、世界最大の鉄造船であり、外車（外輪）ではなく、スクリュープロペラで動く、最初の大洋航路船である。3,270 トンの同船は、1843 年に進水し、首尾よく大西洋を定期運航していたが、1846 年アイルランド海岸で座礁する。だがこの海難さえ、乗客を狼狽^{ろうばい}させるものではなかった。船体が木造ならば解体もしようが、鉄製のグレート・ブリテン号は破損しなかったからである。鉄船は世界に認められた。

ブルーネルの第 3 船「グレート・イースタン号」は、汽船史上最も大胆な資金運営によって失敗した。本船は 4,000 名の乗客のために贅^{ぜい}をつくした設計がほどこされた。オーストラリアへ往復の旅に出るために、たっぷり石炭を備蓄し、[両側に 1 対の] 外車と [船尾に] スクリューも装備したうえ、革命的な刷新として、将来のあらゆる定期船の模範となる、二重の鉄製船体までもそなえていた。不運につきまとい、船が時代よりはるかに先んじていた実情から、資金調達がきわめてむずかしく、あやうく進水式までこぎつけられないところであった。「グレート・イースタン号」は客船として採算上失敗に終わったが、大西洋横断ケーブルを敷設したことで有名になる。同船は 1872 年リバプールにドック入りしてそのまま錆びつき、1888 年に解体された。運命の皮肉か、この不運な船が新しい海運時代の先駆けになるのである。

ブルーネルは最後の大きな夢がついに粉みじんにうち砕かれるさまをもはや見とどけることはなかった。爆発が起こり、火夫たちを死なせた、グレート・イースタン号の悲惨な処女航海の数日前に、ブルーネルは過労と金銭の悩みから疲労困憊して没したのだった。堅牢^{けんろう}で強力な蒸気機関をもつグレート・イースタン号は、それでも自力で修繕のために入港することができた。ブルーネル最期の巨船は、輝かしい経歴に不幸な終止符をうったが、けた外れな数々の偉業は、歴史に長く彼の名を残すことになった。ブルーネルは全長 1,600 km をこえる鉄道線路、壮麗なクリ

フトンのつり橋をはじめとする多数の「^{きょうりょう}橋梁」、クリミア戦争で使われたプレハブ方式のベッド 1,000 台を収容する病院もつくった。ほかにも多数の技術革新をはかっている。ブルーネルの弱点は、仕事を人任せにしたり金銭を扱ったりすることが、からっきしできない点にあった。



上中央 「グレート・ウェスタン号」、ブルーネルの最初的大型汽船は、1837 年に大西洋をわたる処女航海に出帆



した。
上右 当時、船体の大きさと威容のために「レビアタン」[補注 38]と呼ばれた、「グレート・イースタン号」の建設。4,000 名の乗客あるいは 10,000 名の

兵士を運ぶために設計された。空前の大型蒸気機関 4 基が外車とスクリュウの駆動装置として用いられた。

下左 ブルーネルが斬新な塔を設計した、クリフトンつり橋の色刷り。橋はブルーネルの死後に完成した。

下右 処女航海中の「グレート・イースタン号」（1857 年）。

第67章 ジェームズ・ナズミス(1808-1890)

スコットランドの技術者ジェームズ・ナズミスは、大規模な機械製作の発展に一番重要であった、蒸気ハンマーの発明者である。

ジェームズ・ナズミスは、「工作機械産業の父」とうたわれるヘンリー・モーブリーのロンドン工場で腕をみがいた、天分豊かな若手技師グループの一員であった。

ジェームズ・ナズミスはすでにエディンバラですごした少年の頃から工学技術に興味をもっていた。少年は、スコットランド出身の肖像・風景画家にして建築家であった、アレクサンダー・ナズミスの息子である。ジェームズ・ナズミスは晩年になって、父からうけた芸術上の感化は機械技術の設計にとって計りしれない価値があった、と述懐している。17 歳で早くもジェームズは蒸気機関の模型をつくり、技術講習会の講義でそれを実演用として利用した。19 歳のときに普通サイズの蒸気自動車を組み立て、目撃者の報告によれば、よく作動したらしい。1829 年、モーブリーが死去する 2 年前に、ナズミスはロンドンにおもむき、師の助手をつとめて、工作機械製作の最新技術を習得した。1834 年、ナズミスはエディンバラにもどり、いくつかの注文にこたえたが、3 年後に、当時産業の一大拠点として地位をかためて

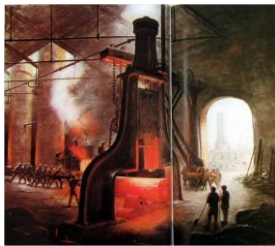
いた、マンチェスターへ移る決心をする。

ナズミスは町はずれの約 2.5 ヘクタールの地所に、のちのブリッジウオーター鑄造所を設立した。当所で蒸気機関車、蒸気機関、水圧機、水力ポンプが製造された。ナズミスはさまざまな既存の機械と既知の製作方法を改良発展させたが、ついに 1839 年、とりわけ有名な発明をした—蒸気ハンマーである。これはイザムバード・キングダム・ブルーネルの依頼によって、鉄造船「グレート・ブリテン号」の巨大な外車の主動軸を鍛造するためにつくられた。ただし、当初計画の外車は結局とりやめになり、ブルーネルはかわりにスクリュープロペラを用いた。しかし、とてつもなく大きい力を制御しながら加えることができる、蒸気ハンマーは、すぐさま重工業に広範な応用領域を見いだした。

「蒸気ハンマーは、驚くほど高度な圧力調整能力がある」、と 1851 年に開かれた大博覧会のカタログに記載がある。「一方では、莫大な衝撃力をだすことができ、他方では、ちょうど卵の殻が割れるぐらいに、衝撃力を低下させることもできる」。

蒸気ハンマーはまた ^{パイルドライバー} 杭打ち機 直系の前身でもあり、その直立垂下式シリンダーは ^{マリエンエンジン} 船舶機関 の標準構造物として利用された。

晩年の 30 年間は実業界から引退し、生涯いだきつづけていた趣味の天文学のうちこんだ。ナズミスはニュートンの反射望遠鏡とフランスのカセグレン式反射望遠鏡を組み合わせて、独自の望遠鏡 [1827 年] をつくりだし、月面図製作 [1851 年] に重要な貢献もした。しかしながら、彼が歴史に名をとどめるのは、蒸気ハンマーの発明である。蒸気ハンマーは産業界の趨勢になった大量生産方式を、機械による機械の製作にまで発展させる、まさに礎となった。



上中央 ナズミスの蒸気ハンマーが稼働しているところ。突出している ^{かなしき} 金敷 が、二つのハンマー誘導装置をもつ、台座にのっている。この ^{トラース} けた組 の上方に一本のピストンを封入した蒸気ハンマーがある。ピストンに固定されたハンマーは、

蒸気がシリンダー内に流入すれば上昇し、蒸気が流出すれば下降する。

上右 ナズミス蒸気ハンマーの小型モデル。

左 観測者は動く必要がなく、天体のどの方向にも自由に向けることができる、自家製望遠鏡をのぞいている、ナズミス。この望遠鏡は、ニュートン式反射望遠鏡と、17 世紀のフランス天文学者の名にちなんで呼ばれる、カセグレン式反射望遠鏡との原理が統合されている。ナズミスの望遠鏡は、極軸の上端にある、接眼レズが見かけの星の運行を容易に追尾することができる、現代のクード方式の基礎をつくった。

平面鏡のついた赤緯軸は、極軸に対して垂直である [補注 39](#)。

右 ナズミスのいわばカセグレン・ニュートン式望遠鏡をうつした、この部分写真は、架台との関係で接眼レンズの位置を示している。



第68章 ルイ・ブライユ(1809-1852)

幼児期に視力を失ったフランス人ルイ・ブライユは、目の不自由な人たちの読み書きに革命をもたらす、点字法を開発した。ブライユの点字は突起した点を一定の方式で組み合わせた、計 63 文字からなり、すばやく簡単に読めるために、いまでは全世界に普及している。

ブライユは皮革職人の息子であった。3 歳のとき、父の仕事場で皮を切っているときにナイフが手からすべり落ち、顔にけがをして失明した。少年時代に彼は障害を克服しようと全知力をそそぎ、ついにチェロとオルガンをひく、才能のある音楽家になった。10 歳でパリ国立視覚障害児施設の奨学金をうけた。同校の創設者バレンティン・アユイは、通常のローマン体活字を紙に浮きあがらせるシステムを開発していた。しかし、アユイ方式は、障害者が読むには手間がかかりすぎるということが明らかになり、そのうえ障害児に書くことを教えられる望みもなかった。

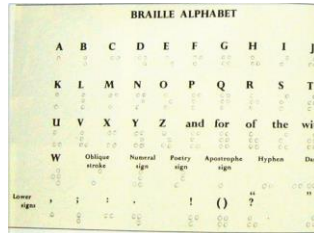
1819 年、フランス陸軍大尉、シャルル・バルビエは、通信を戦場で夜も読み書きできる、いわゆる「夜間書体」を考案した。12 個の突起点からなる基本型をいろいろな形に変えたものである。ブライユは 15 歳のときに偶然このシステムを知り、視覚障害者のために手をくわえはじめた。12 点 ^{ドット・コード} 文字を 6 点式にへらし、読み取り速度をあげるため、基本のアルファベットと一連の略語を考案した。

ブライユ点字法は 1829 年にはじめて公表され、つづく 8 年間に改良され磨きがかかった。ブライユが教師になっていた国立施設で非公式に採用されるが、彼が結核で死去する時点でも、まだ一般に認められるにはほど遠い状態であった。

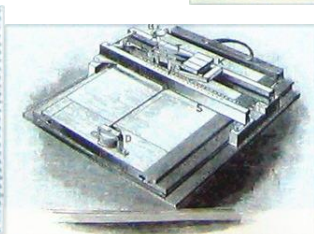
その間に、いくつか別の点字法がためされたが、徐々にブライユ構想の明快さと実効性の価値が認められ、ブライユ法へ回帰していった。新たな変更と改善は正確にブライユの路線に基づき、1932 年、ブライユのアルファベットは英語圏の世界で標準法に指定された。

その後ブライユ点字法は多数の言語、記譜法、一種の速記文字ならびに科学や数学などの特殊文字にも用いられた。視覚障害者は、2 枚の金属板のあいだに誘導装置とともに紙に、点筆で突起点を押しつけてゆけば、点字を書くことができる。まず右から左へ書く。点字された紙を裏返せば、左から右に読むことができる。

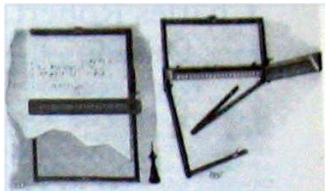
ブライユ点字タイプライターもいろいろあるが、第一号機は 1892 年に発明され、原理は以後も変わらない。点字印刷は亜鉛板に点字を製版し、これを紙面に圧印する。ブライユ点字の欠点は、識字後に視覚を失った人々には習得しにくいことである。この理由から代替方式が時折いまでも利用されている—英国人ウィリアム・ムーアが 1845 年に開発したムーア文字である。ローマン体活字の輪郭が部分修正されたもので、習いやすく、簡単な読みとりのためには十分である。



一段左 ブライユが点字を発明するまで、視覚障害者たちは収容施設にかくまわれ、そこで手仕事によって生活費を稼ぐことが多かった。
一段中 最初の点訳聖書。1840年スコットランドのジェームズ・オール



ストーン作。
一段右
ブライユ
点字アル
ファベッ
ト。



二段左 ブライユの発明を祝う記念切手。
二段中 ブライユ点字タイプライター。



二段右 ブライユ点字アルファベットの使うデュソの筆記器具。
三段中 ブライユ点字がマニラ紙に打ちだされた突起点を手で触って調べているところ。
三段右 識字後に失明した人たちのために1845年に開発されたムーン文字。
四段 ピカソの彫刻とシカゴの広場の配置図を示すブライユの点字モデル。

第69章 チャールズ・ロバート・ダーウィン(1809-1889)

チャールズ・ダーウィンが発表した『種の起原』は、単に生物学上の通説をくつがえすだけにとどまらなかった。自然淘汰による進化理論は、哲学や宗教思想に長く尾をひく影響をおよぼすとともに、経済学、人類学、遺伝学など、現代科学に道を開いた。

ダーウィンに医学か神学を学ばせようとした、父の試みは失敗に終わるが、エディンバラ大学〔医学部〕とケンブリッジ大学〔神学部〕に学ぶあいだに、息子は博物学への関心をうながす教師たちに出会った。1831年、チャールズ・ダーウィンは、要請を受け、政府の測量船「ビーグル号」で世界を周航する調査団に自然研究者として加わることになった。

ビーグル号はまずアフリカ西方のケープベルデ諸島へむかい、そこから南アメリカへまわった。ブラジルで、ダーウィンは熱帯雨林を踏査し、バイアブランカ近くではじめて化石―すなわち「メガテリウム」と呼ばれる、絶滅したオオナマケモノ

の頭蓋骨一を発見した。3年間、測量船が南アメリカの海岸にそって行きつ戻りつしているあいだに、ダーウィンは地質と生物の観察と記録をし、種々さまざまな標本を収集した。

1835年、ビーグル号はガラパゴス諸島に到着した。そこですごした4週間は遠征で最も意義深い期間であった。ダーウィンは島々で、それぞれが独特の採餌形態に適應している、約14種のフィンチを記録した。「種子をついばむ鳥」はオウムのような強いくちばしをもち、食虫生物のくちばしは、さらに鋭くてとがっている。明らかに同族種と思われる鳥のあいだの重要な違いは、もともと同一の種から複数の種が発生したことを指し示しているようだった。これと似た相違点は、異なる島に生息するカメ同士のあいだにも認められた。

1836年10月イギリスに帰国すると、ダーウィンは、一つの種がどうして別の種に変異または進化するのか、これを説明できる理論をまとめはじめた。ダーウィン以前の進化論として、動植物は所与の条件に応じて形質を獲得したり消失したりすると信じるフランスの生物学者、ジャン＝バプティスト・ラマルクの唱えた説補注40が特筆される。しかし、当時の主流をなす見解は、いかなる種も神の創造行為にまで直接さかのぼる、あらゆる種の万代不易を信奉していた。

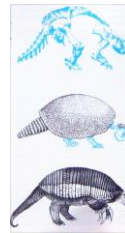
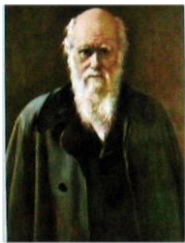
ダーウィンは、「種の突然変異」と呼ぶ、一連の記録をはじめた。地理的または物理的境界によって切り離されている区域には、同系ではあるが、異なる種が存在する事実をつきとめた。さまざまな地域内で生息する動物たちは、類似の方法で順應していた。それが最も顕著に認められたのはオセアニアであり、タスマニア・フクロオオカミのような有袋類とハリモグラが、別の地域に住む高等な哺乳動物と同じように進化していた。そのうえさらに、ダーウィンは収集した化石も、現存種と類似していた。

こうしたすべての事実は、進化過程の存在を示す強力な証拠であるが、その機械論は説明していなかった。人口はその維持に必要な食料を生産できるようになると、ひととき急速に増加すると推論している、トマス・マルサスの『人口論』を読んだあと、ダーウィンは問題をといた。同書の基本的な誤りは、人間が需要に応じて食糧供給をふやすことができるの対し、植物や動物にはそれができないため、動植物の数は自然条件にしたがって増加する、とみる想定である。ダーウィンはこれに対して、動植物は栄養獲得に最適な形質をそなえて、生きのび繁殖する最善の機会をもつとともに、子孫はそうした形質をうけつぐことを論証した。換言すれば、自然淘汰が起こるということである。

次の20年間に、ダーウィンは種が現実には変わる証拠をつみかさねた。しかし、発見の公表は差し控えていたが、1858年不意にマライ半島からダーウィン自身の自然淘汰説を驚くべき明快さで説明している、博物学者アルフレッド・ラッセル・ウォレスの論文を受けとり、どきりとした。両者の友人である研究者たちは、共同論文がリンネ学会で発表されるように手配し、翌年、ダーウィンは大著『自然淘汰に

『種の起原』を出版した。第一版ははやくも発行当日に売り切れる。これほどの旋風をまきおこした著作も珍しく、著名な科学者、政治家、および教会の指導的人物たちがすさまじい議論にまきこまれていったのである。

ダーウィンは進化論についてさらに研究をつづけ、ヒトそのものがサルに似た霊長類の系統をひく、という当時うけいれがたい可能性を追究した。ヒトと動物との体格や行動の類似点を研究し、1871年に『人類の起源』を出版する。最初はいたるところで激しい拒否反応にあったが、ついに同書は学術的に高い評価をうけた。



上中央 オーストラリアのシドニー港に停泊するビーグル号。

上右 絶滅したグリプトドン（オオアルマジロ）とアルマジロ（下）の骨格（上）と骨の甲羅（中央）。ダーウィ

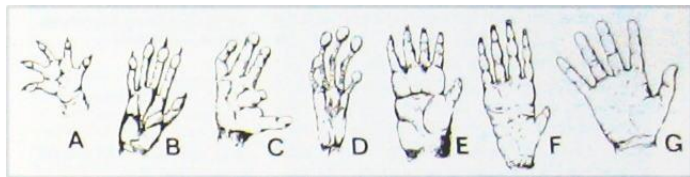
ンはグリプトドンの化石の残骸を南アメリカで発見し、アルマジロとの類似性から、両種は類縁関係にあるにちがいない、と推論した。絶滅種と現存種との類似は、進化過程を示す要因の一つであった。



下左 ダーウィンが旅行中に南アメリカ海岸沿いで観察した、ヤシの木3種。

下右 哺乳動物の手の進化。A：フクロネズミ、B：ツパイ、C：ガラゴ、D：メガネザル、E：ヒヒ、F：オランウータン、G：ヒト。握力—霊長類の弁別素性—は下等哺乳動物（A、B、C、D）では弱い、高等霊長類ではしだいに発達する。ヒト

には比較的短い4本の指と1本の長い親指があることが、握りやすくしている。



第70章 サイラス・ホール・マコーミック(1809-1884)

刈取機は農業の機械化にとって真っ先に必要なものであった。それはヴァージニア農夫の息子、サイラス・マコーミックによって発明され、北アメリカやオーストラリア原野の大規模な開墾を可能にしたのである。

産業革命は、食糧の供給をうけなければならない、都市住民に少なからぬ繁栄をもたらしたが、農業の機械化は、工業よりもはるかに遅れていた。北アメリカでは、農業のために新たな処女地が開かれ、機械化は特に急を要した。性能のよい鋤と打穀機が開発された。しかし、穀物を鎌で刈るために、大勢の季節労働者がにわかに必要とされる収穫期には、とりわけ鎌の機械化が重要課題となった。

18世紀の終わりから、機械仕掛けの刈取機を設計する、いくつかのむなしい試み

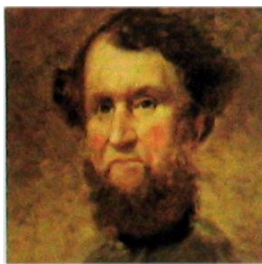
がおこなわれ、農業のかたわら 鍛冶^{かじ}屋を営む、サイラス・マコーミックの父親も実験をかさねていた。サイラスは機械の知識を父の作業場で体得する。1831年、22歳の青年は刈取機をはじめて組み立てた。それはすでに以後の改良型モデルの基本的特質をすべてそなえていたが、まだいくつか欠点もあった。

マコーミックは1834年に最初の特許を取得しながら、1837年の銀行倒産が家族の生活基盤をおびやかすまで、いっこうに発明を事業に生かそうとはしなかった。その後10年間にわたって彼は刈取機に種々の改良をくわえ、年間に50台ほど販売する、小規模な生産企業を立ち上げた。1844年、刈取機の将来は、大規模な小麦栽培の可能性をひめる、中西部の平坦な大草原の開拓にあると見越して、マコーミックはシカゴに工場を創設し、初年度に800台を販売した。

ところが1年とたたぬうちに、マコーミックの最初の特許期限がきれ、商売がたき^{しれつ}は特許の延長に異議を唱えるために団結した。マコーミックは法廷闘争にやぶれ、熾烈^{しれつ}な競争が二社のライバル会社間で展開する。マコーミックは精力的な販売法で優位にたち、さらに徹底した大量生産をめざすとともに、顧客に手厚くクレジットを設定した。大規模な宣伝を展示用モデルで演出もし、まもなく競争相手をはるかに引き離れた。1851年のロンドン大博覧会でマコーミックの刈取機は強烈な印象を与え、1855年のパリ万国博覧会では大顕彰メダルを授与された。1860年までにマコーミックの刈取機は、農業の先進国ばかりか、開発途上国の農家にも知れわたっていた。シカゴ工場は、需要と歩調をあわせるため、年間4,000台以上の機械を生産した。

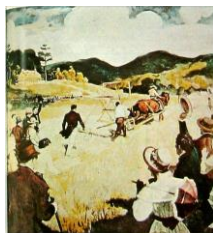
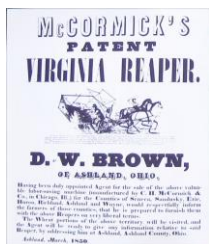
当時シカゴは商業中心地として、また、アメリカの新設鉄道網の分岐点として飛躍的に膨張していた。川の兩岸には木造の倉庫や工場や労働者の住宅が雑然と寄り集まり、結局これらが恐るべき火の手に油をそそぐこととなり、1871年、町は灰燼^{かいじん}に帰した。

マコーミックの工場も焼け野が原になった。これにくじけることなく、彼は工場の再建にとりかかり、世を去るとき、マコーミック・ハーヴェスティング・カンパニーは工業史上最大の営利企業に名をつらねていた。マコーミックは、発明の才を人類全体の利益のために商才と結びつけた、男の範例である。



右 大草原でマコーミックの刈取機を使って収穫する、19世紀中葉の場景。刈取機の発明まで、農夫は自分自身が鎌で刈ることができる分しか、小麦を栽培しなかった。それ以上必要な穀物は、ヨーロッパから輸入せ

ざるをえなかった。マコーミックの発明は、大草原を農業経営のために切り開き、合衆国とカナダの繁栄に甚大な貢献をした。



上左 マコーミック製刈り取り機の広告。

上中央 オベド・ハシの刈り取り機は、特許をうけた最初の刈り取り機であった(1833年)。



上右 バージニア州スティールの旅籠^{はたご}でおこなわれた、マコーミック製刈り取り機の公開実演(1831年7月)。

下左 多頭立ての馬車でひかれる、1890年の多目的刈入機。この巨大機はマコーミックが最初の刈取機を発展させたもの。小麦の刈取りから結束までできる「バインダー」。

第71章 アイザク・ピットマン卿(1813-1897)

速記法はこれまでたえず活用され、すでに古来から使われていた。しかし覚えやすく、すらすらと書ける、最初の速記法を考案して、急速に発展する実業界の需要にこたえたのは、アイザク・ピットマン卿の功績といえる。

速記の歴史は、クセノフォンが紀元前4世紀にソクラテスの思い出をつづるために速記を用いた、ギリシャ時代にはじまるとされている。ローマ時代の解放奴隷マルクス・トゥリウス・ティロによって案出された、ラテン語の「ティロ式速記」もあった。

16世紀以来、さまざまな方式が公私の目的に利用された。17世紀にサミュエル・ピープスは、セルバンテス作『ドン・キホーテ』の最初の英訳者、トマス・シェルトンによって開発された速記文字で、古典風の『日記』を書いている。このあまり知られていない速記法が、ピープスに多くのおもしろい無分別な言動を臆面もなく赤裸々に挿入させた。同時代にウィリアム・メーソンによって考案された別の速記法は、イギリスの国会議事録を記録するためにはじめて利用されている。

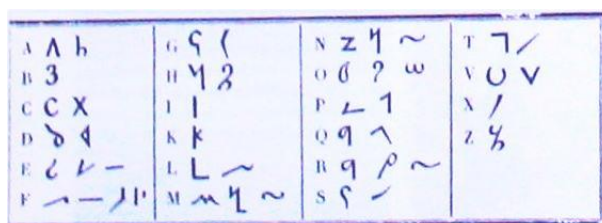
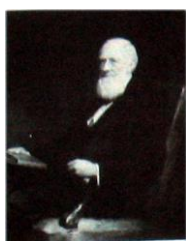
残念ながら、初期の方式はいずれも記号数が多く、しかも大半が複雑な記号で構成されていたため、習熟に長い時間がかかった。19世紀初期のビジネスライフの拡大によって、速記者をすみやかに養成できる、新たな方式がますます緊要になってきたと思われる。速記者サミュエル・テーラーは1786年に古い速記法の一つを翻案した。英国ウィルトシャー州トロブブリッジの学校教師、アイザク・ピットマンが習得したのは、そのテーラー式速記である。

ピットマンはテーラー式文字の難点や弱点を見抜き、話し言葉と書き言葉の基本音声の科学的分析をおこなって、ふさわしい表音記号の開発にとりかかった補注41。ピットマン方式は母音16、単純子音25、二重子音24種を記録することができる。子音は、ゆるやかな曲線とまっすぐな直線で組み合わせられた、簡単な幾何学形で形

成された。母音は点と線を用いて子音のわきに並置された。

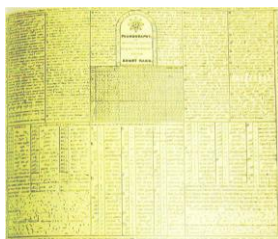
1837 年、ピットマンは教本『速記表音文字』を出版した。ピットマン式速記法はイギリスで急速に普及し、彼は次々と続編を刊行した。さらに速記研究所も創立する。1852 年に彼の兄弟、ベン・ピットマンは同速記法を北アメリカに紹介し、当地でいくつか変更がなされた。1889 年には、速記法を利用する者のうち、95%をこえる人々がピットマンによる表記法を用いていたとの調査結果がある。ピットマン方式はロマンス諸語にも、いくつかの東洋の言語にも翻案された。

ピットマン式速記と太刀打ちできる、唯一の現代的速記法は、ジョン・ロバート・グレッグの考案したものである。グレッグ式速記はいつそう丸みを帯びた記号補注 42 を用い、合衆国では今日最もよく普及している。しかし、アイザク・ピットマンの発明はいささかもその価値と効用を失っていない。



上 中 央
19 世紀の
速記。18
世紀中葉
以降、おも
に個人使
用のため

に考えられた、多くの速記法がヨーロッパや合衆国で開発された。たいていの速記文字は、置き換えようとする、普通文字よりも長たらしく、いくらか長く使用されたものさえ、ごくわずかであった。



上右 ローマ元老員で議事録をとるために使われた、「ティロ式速記記号」。すべての文字は部分的特徴に省略され、あとで相互につなぎ合わされた。

下左 『ペニー・プレート』は、1840 年に出版された、ピットマンの『表音速記法』第 2 版。同書は、ピットマンが英国大蔵省に、郵便料金前納の手紙を同封物といっしょに送るために、最初の提案として提出した、



ペニー切手に対する補足として刊行された。『ペニー・プレート』は 15cm×20 cm のスペースにピットマンの速記記号をすべてのせている。彼はまた速記教材も郵便で提供した一まさに最初の通信講座である。生徒は「[1 ペニー郵便制](#)」で聖書の詩句を速記でピットマンあてに送れば、訂正してもらえた。

下右 女性速記者、1922 年。

第72章 ヘンリー・ベッセマー卿(1813-1898)

イギリスの発明家で技術者のヘンリー・ベッセマー卿は、はじめて成功した鋼鉄の大量生産法について特許をとった。ベッセマー式転炉は、急激に発展する科学技術にこたえ、安価な良質鋼の生産を実現した。

鉄を堅牢^{けんろう}な鋼に変える技術は古代から知られていた。19世紀初期までに、製鉄業者と製鋼労働者は多様な用途にあわせて多様な鋼合金をつくることができたが、ただ生産量に限りがあった。

ベッセマーの発明は本来ならば、6年前に類似の方法を開発していた、ウィリアム・ケリーというピッツバーグの製鉄業者に先を越されていた。原理は、熔融銑鉄を入れた転炉に炉底の穴から「圧縮」冷風を吹き込むことにある。激しい炎の発生が、まずスラグを吹き飛ばし、次に銑鉄中の付随元素を燃焼し除去するのである補注 43。

ベッセマーは、ケリーの仕事についてなにも知らなかったが、クリミア戦争で使う回転可能な新型榴弾^{りゅうだん}を発明したとき、問題にぶつかった。当時の鑄鉄でできた砲身は、榴弾にたえられるだけの強度をもっていなかった。そこで強力な鑄鉄の製造にむかい、実験は、ベッセマーの名をとどめる、製鋼法へとまっしぐらに導いていった。「ベッセマー転炉」は、錬鉄よりもすぐれている、炭素含有量の低い鋼をつくりだし、イギリスの製鉄業者たちも進んで提供された特許実施権^{ライセンス}を買入れた。

不幸なことに、ベッセマーは、リンと硫黄をほとんどふくまない、鉄鉱石を研究資料にしていた。イギリスや西ヨーロッパにおける鉄鉱石は、当時の未熟な処理過程では除去しえないほど、多くのリンと硫黄分を含有している。製鉄業者の憤慨に直面し、ベッセマーはライセンスを買戻すほかなかった。しかし、「ベッセマー製鋼所」[1859]を設立して、スウェーデン産の無リン鉄鉱石を加工し、競争能力のある価格で鋼を生産した。

リン問題は結局、若いイギリスの冶金^{やきん}学者シドニー・ギルクリスト・トマスが、石灰石とマグネシウムで内張りされた転炉で熔融銑鉄を熱すれば、硫黄やリンは原鉱から除去できることを発見した、1878年に解決した。この方法はトーマス法と呼ばれる。

合衆国ではウィリアム・ケリーがそのあいだもケリー法に磨きをかけていたが、ベッセマーの開発を聞き知った1857年によりやく特許をうけた。1862年、ケリーは自分自身の製鋼所を建設しはじめ、2年後に商業規模の製鋼を開始した。「ケリー・ニューマチック・プロセス・カンパニー」は、ベッセマーの特許で操業していた、競争相手の企業と1866年に合併し、合衆国における鋼生産に革命をもたらした。

ベッセマー転炉は、ジーマンズ＝マルタン法[平炉法]に徐々におされてゆくが、特に鉱石精錬の準備段階で、いまもなお利用されている。ただし、空気にかえて、今日では酸素が吹き込まれている。これによって窒素が取り除かれ、いっそう柔軟で可鍛性のある鋼ができるようになった。



上左 スラグ噴出中のベッセマー転炉（19 世紀末、シェフィールドのベッセマー製鋼所）。

上右 ベッセマーによって発見された安定装置つき客船。

下左 ウィリアム・ケリー—ベッセマ



ーと同時代のアメリカ人—は、同じく精鋼用転炉を発明した。

下右 ベッセマーが開発した製鋼装置の模型。熔融銑鉄は槽(C)をとおって転炉(A)へ送られる。槽は耐火粘土で内張りされている。



第73章 カール・ツァイス(1816-1888)

カール・ツァイス、光学技術者にして精密機械工は、物理学者エルンスト・アッベと共同で、19 世紀後半に近代光学技術を築いた。

カール・ツァイスはワイマルに生まれる。1846 年、イエーナに光学器械工場を設立した。顕微鏡とレンズの当時最も進歩的な製作者のひとりであり、自社の器械を完ぺきなものにし、最良質製品であるとの世評をかちとるには、科学的調査研究が不可欠なことをわきまえていた。この理由から、ツァイスは 1866 年に物理学者エルンスト・アッベを招き入れ、アッベはたちまち光学分野で一流の専門家になった。

顕微鏡の開発は、17 世紀末オランダのレーウエンフックによる先駆的な仕事のあと、遅々として進まなかった。特に色収差の問題が、レンズ製作者を相変わらず苦しめていた。色消しレンズはまずオランダで開発されたが、それも高倍率の顕微鏡にはほとんど使えなかった。イギリスのワイン販売業者でアマチュア研究家のジョゼフ・ジャクソン・リスターは、色消しレンズを製作するための科学原理を究明した結果、色ずれ〔色収差〕とレンズの湾曲によってひきおこされるゆがみは、ずれが正反対のレンズを組み合わせることによって大幅に補正されることをつきとめた。

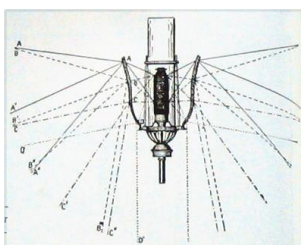
光学がこのような水準にあった時期に、エルンスト・アッベは研究をはじめた。しばしば精密さに欠ける伝統的な製法を捨て、かわりに、すべての光学器械が、最新の科学と経験の知識を最大限にいかした精確な青写真にしたがって入念に企画調製されるとの原理を、アッベはカール・ツァイス社に導入した。

ガラス部門を担当した化学者、オットー・ショットの仕事も、同じくツァイス社の成功に重要な貢献をした。ショットは光学器機用にほぼ 100 種のガラスと 1 種類の耐熱ガラスを開発した。

アッペはその後も学会で要職についていたが、1878年に大学附属天文・気象台長となる。この職務を彼はツァイスとの共同経営に結びつけ、顕微鏡検査のきわめて重要ないくつかの刷新と、望遠鏡、カメラ、その他さまざまな光学器械用レンズの製作に広範な革新をもたらした。

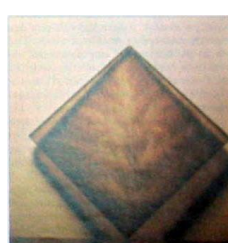
アッペの業績には、顕微鏡の結像に関する包括的な理論構築や、いわゆる「アッペ数」の定義などもある。アッペ数にしたがえば、媒質に左右される屈折率の変化は、屈折による色の分散によって測定される。さらに、分解能を高めると同時に倍率をあげるために、物体とレンズのあいだに油を一滴挿入する、油浸対物レンズを発明した。初期のアポクロマート顕微鏡（レンズにもはや色収差が生じない顕微鏡）は、イエーナのツァイス工場で作られた。

ツァイスの死後、アッペは工場の所有者になったが、3年後に、科学研究と社会改善を目的として設立した、「カール・ツァイス財団」にその所有権を寄付した。事業はのちに利潤分配を基本にして大学、経営陣、全従業員、3者の協同組合経営として受けつがれることになった。第二次世界大戦以後、イエーナ工場〔通称「カール・ツァイス・イエーナ社」〕のほかに、シュトゥットガルトを所在地とする西ドイツの工場もある。ツァイス財団は1949以後ブレンツ河畔ハイデンハイム〔の「カール・ツァイス・オーバーコッヘン社」〕にある。



上左 エルンスト・アッペ。
上中央 ハロフェーン球とヴェルスバッハ・マントル、つまり光を一様に拡散させるための器具 2 点の断面図。ハロフェーン・ガラスは表面にレンズ状の

模様をつけている。ヴェルスバッハ・マントルは、ガスの炎にさらされとき明るく輝き、ガス灯の光度を高める、〔不燃性の〕硝酸トリウムと硝酸セリウムの混合物からなる、白熱ガスマントル〔1885年考案〕。



上右 イエーナのツァイス工場で労働者が溶融ガラスのはいった容器を炉から引きだそうとしている。ガラスは、ゆっくり冷却させ、その間に必要な光学ガラスに加工することができる。

下左 オットー・ショット博士。

下中央 ツァイス天文台とツァイス事務総局の光景。

下右 現代の光学ガラス：日光で葉の模様が浮きでる、フォトクロミックガラス。

第74章 ジェームズ・プレスコット・ジュール(1818-1889)

イギリスの物理学者ジェームズ・ジュールは、大学教員への道をめざさず、生涯一愛好家にとどまったが、このうえなくひたむきな科学者と認められている。丹念な研究活動は、いまや熱力学など多くの工学部門で重要な役割を演じる、「熱の仕事当量」という重大な発見によってむくわれた。さらに、^{きよく}極低温をつくり出すために後日応用されることになった原理も確立し、現代の低温学に道を開いた。

ジュールは、サルフォード出身の成功した、ビール醸造者の息子である。裕福な父親のおかげで、ジュールは一番の関心事である実験科学にうちこむことができた。17歳のとき、マンチェスター大学でイギリスの化学・物理学者、ジョン・ドルトンのもとで短期間学んだあと、まもなく自修をはじめた。またたく間にジュールは熱学に好奇心を燃やし、一生涯そのとりこになった。

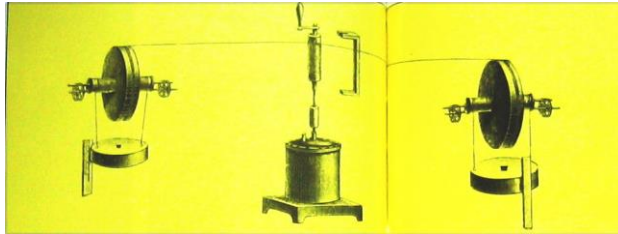
ジュールは、ありとあらゆる力学的な過程によってひきおこされる、熱の変化を測定するために、数年の歳月をかけた。水に関する実験では、水面を激しく波立たせるために、木製の櫂を用いて、毎回その前後に水温を計測した。また水を摩擦によって熱しようと、細孔に水を流しもした。どの実験でも発生した熱量を算出した。

1843年、ジュールは実験の成果を公表した。一定量の仕事は常に変わらぬ一定の熱量を発生することをつきとめていた。ジュールは、1カロリーと呼ばれる熱量の単位を発生するために必要な仕事の量を、「熱の仕事当量」と名づけ、それが41,800,000エルグであることを算出した(1エルグとは1グラムの質量を1cmだけ動かすために必要な仕事である)。この発見は注目すべき業績であるが、ジュールの幻滅したことには、ささやかな注意をむける科学者さえほとんどいなかった。論文も種々の専門誌に掲載をことわれ、ジュールはマンチェスターのまばらな聴講者のまゝで発見したことを紹介し、そのあと地方新聞に依頼して講演の報告記事をのせてもらうしかなかった。しかし、ウィリアム・トムソンという若手ながら声望のある物理学者、のちのケルヴィン卿がジュールの研究に興味を示したことから、運が開けた。トムソンはジュールの方法と答えを精査し、きわめて根拠の確かな感銘深い研究である、と明言した。これに基づきジュールは学会で信用されはじめる。まもなくジュールの功績は広く一般に認められ、新しい度量単位(10,000,000erg相当)がジュールの名にちなんで呼ばれるようになった。熱の仕事当量はいまでは4.18ジュール(j)ということができる。

トムソンがジュールの研究によせる関心は、両者の実りある共同研究へと導いた。気体は「管内で細孔栓を通して」自由に「仕事をせずに」膨張できる場合、気体の温度はわずかに降下することを、共同実験で証明した。いまでは「ジュール＝トムソン効果」として知られる、この現象は、気体分子相互間にはたらく、わずかな引力によって説明される。気体が膨張しているあいだは、この引力にうちかち、離れようとする分子によって、熱エネルギー(わずかな熱量)は吸収される。ジュールとトムソンは発見を1852年に発表し、19世紀の終わりまでに新しい工業、すなわ

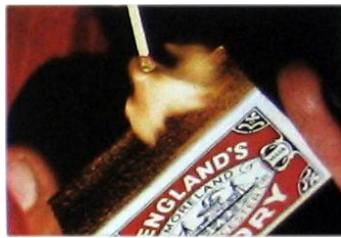
ち冷凍工学の基盤を築いた。ジュール＝トムソン効果の応用によって、水素とついにはヘリウムのような気体が液化され、そのとき発生する極^{きよく}低温は、新しい科学部門、冷凍学の出発点となった。

ジュールはいかなる学術機関の教職にもつかなかった。当初、彼の研究は容易に受け入れられなかったが、当代きっての科学者数人から賞賛を博した。晩年、ジュールはロンドンの英国学士院会員に選ばれ、科学振興協会の会長に就任する。ジュールはひたむきな愛好者として、本職の当代科学者よりも物理学に多大の貢献をしたことに満足していた。



上右 熱の仕事当量を測定するためにジュールが用いた器具。計量計のかたわらにつるされた 2 個のおもりが、

〔水を入れた〕円筒容器中の羽根車を回転させて、〔水の〕温度を測定できる高さにまで上昇させた補注 44。



下左 ジュールの電磁石。彼は最初の実験でこれを水中で別の磁石の両極間につるし、その回転から、温度の上昇、電流の強さならびに発生した力学的エネルギー

をはかることによって、熱の仕事当量を確かめるために使った。

下中央 ジュールが^{エネルギー}仕事と熱との関係を確定するために用いた器具。この器具は絶縁された水容器のなかに入っている羽根車の軸からなる。降下するおもりがクランクをまわす。羽根車の摩擦は熱を発生させ、水温の上昇をひきおこし、その上昇温度が測定される。おこなった仕事はこうして発生した熱と関連づけられた補注 45。

下右 化学反応による熱の発生例。安全マッチは通常、硫黄と、塩化カリウムのような種々の酸化剤をふくんでいる。摩擦面は赤リンをふくむ。万能マッチは硫化リンを含有し、特殊な摩擦面を必要としない。

第75章 イライアス・ハウ(1819-1867)

ミシンは、広く家庭用にも工業用にも使われる、最初の大量生産器具であった。発展性のある裁縫ミシンをはじめて考案したのは、アメリカの機械製造技師、イライアス・ハウである。

紡績と製織工程は 18 世紀の後期にほとんど機械化されたが、衣類は依然として完全に手縫いのままであった。実用ミシンをつくる初期の試みには、パリの仕立屋バルテルミ・ティモニエが 1830 年に特許をとった、単一糸縫製モデル〔環縫いミ

シン] がある。ティモニエは、フランス陸軍に制服の納入契約を履行するため、80 台の機械と工場を建設したが、生活の糧を奪われると恐れた、仕立屋や縫い子たちは機械をすべて破壊しつくしてしまった。

それから 16 年後のアメリカで、綿業機械工場につとめていた技師イライアス・ハウが、いちだんと精巧なミシンの設計を完成させた。それは本縫い装置をもち、一下糸は中がまに入れられ、上糸は針棒にとおされた—2 本の糸を使う。ハウは特許をうけたが、裁縫業者を説得して新しいミシンに投資させることはできなかった。やむなく家族をつれてイギリスへ旅立ち、当地でイギリスの特許権を 250 ポンドで売りさばいた。

それにもかかわらず、ハウはミシンを^{かんべき}完璧なものに近づけようと努力をつづけ、財政状態はますます^{ひっぱく}逼迫していった。破産にひんして合衆国に帰国すると、多くの人々によって特許権が侵害されていた。ただ衣服製造業者たちの抵抗だけはおさまっていた。

つづく数年間、ハウは権利を守るために訴訟を起こした。訴訟相手には、その名前が家庭用ミシンの同義語にさえなった、メリット・シンガーもいた。技師シンガーは〔弁護士〕エドワード・クラークと協力関係にはいった。シンガーは、以後のあらゆるミシンの原型となる、改良型ミシンを組み立て販売した。

シンガーとクラークの売り出した最終型ミシンには、12 種ほどの特許が組みこまれ、企業は 1860 年までに世界最大のミシンメーカーになった。シンガーとクラークは、現代販売技術に大きな影響をおよぼす、分割払いも導入している。

イライアス・ハウはついに損害を補償された。1854 年、ハウはシンガーに対する特許権侵害訴訟に勝訴する。新たな別のミシンが市場にでるのを防ぐことはできなかったが、ハウは 1867 年の死亡時点まで、合衆国で販売されたいっさいのミシンについて特許権使用料を受け取った。

ミシンの普及に基づく社会効果も相当なものであった。以前は個々に徒弟らとともに働いていた、仕立屋や縫い子は、いまや作業場や工場を設立し、職業教育をうけた労働者を雇用しはじめるようになった。

世紀の変わり目ごろ、繊維産業は、空腹を満たすにもたりない、「飢餓賃金」で悪名が高かった。特に合衆国では、賃金と労働条件を改善するために、繊維産業は急進的改革ならびに労働組合連合の焦点となった。家庭では、ミシンは最も古い省力器具のひとつであった。



右 1845 年、ハウはボストンのクインジー・ホール製造会社の競技会で最も優秀な女性裁縫師 5 人と対戦した。ハウは 5 つの縫い目を裁縫師たちより先に仕上げ、彼の仕事が最高と評価されるが、工場の所有者たちは 1 台の機械も買わなかった。



上左 1856 年、アメリカのジェームズ・ギブズによって考案された環縫いミシン[補注 46]。

上中央 バルテルミ・ティモニエの単一糸型（環縫い）ミシンの発明を祝う、「ル・プティ・ジュールナル」の第一面。

上右 ハウの最初に成功した本縫いミシン（1845 年）。針は水平に動き、機械は手動ハンドルで動かされた。



下左 シンガー・ミシン使用説明書の表紙。足踏みペダルはシンガーによって導入された革新の一つである。

下右 1854 年に組み立てられた最初のシンガー・ミシン。ハウの機械と異なり、針が上下に動くため、布地が扱いやすく、曲がった縫い目も縫うことができた。

第76章 ジャン・ベルナール・レオン・フーコー(1819-1868)

フランスの物理学者ジャン・ベルナール・レオン・フーコーは、地球が自転している事実を実験で証明した、最初の人である。光速度の精密な測定をはじめておこない、光の速度はその通過する媒質によって異なることも証明した。

フーコーはパリの裕福な家庭に育ち、医学を専攻した。医者になりたてのころ、フーコーは傑出した若い物理学者アルマンド・フィゾーと親交を結び、物理学に対する友の情熱に心を奪われた。フィゾーに励まされ、最初はためらいがちに、自分も物理の研究をはじめたが、しだいに自信を深めてゆく。

1840 年代のはじめ、フーコーはフィゾーの助手として光速度の測定実験にかかわった。フィゾーの実験結果はおおよそ正確としか評価できないことから、フーコーは光速度測定に独自の方法を開発しようと決心した。光速度は文字どおり超高速ゆえに、光が非常に長い距離を進むために要する時間を精密に測定することが肝要だ、とフーコーは悟った。その種の実験がおこなえる装置として、一方は固定し、他方は回転可能な計 2 枚の鏡を用いた。つまり彼の考えは、光線を 2 枚の鏡のあいだで相互に反射させて、長い光路の ^{シミュレーション} 模擬実験することであつた。空気中における光速度の測定は、今日の最も精密な測定値とわずか 1% の違いもない。

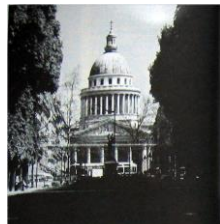
フーコーはさらに研究を発展させる。本質的に同じ方法を用いて、空気以外の媒質でも光速度を測定した。特に、光速度は水中で低下する事実を実証した。光が水中では空気中よりも遅く ^{でんぱ} 伝播するということこの実験結果は、光の性質に関する泥沼の論争を打開した。光速度の違いは、光の波動説を裏づける有力な証拠となり、光は発光微粒子の流れである、とニュートン以来主張してきた物理学者の誤りを論証することになった。

フーコーの最も著名な研究活動は、劇的な実験で、地球の自転を示す、明白な証

抛を実演してみせた、1851 年からはじまった。振り子は、たとえ固定点がどう動かされようとも、つねに同一平面上で振動しつづける傾向があるとの観察から、非常に長い振り子は、地球がその下で回転しているかぎり、同一平面上を振動しつづけるなければならない、とフーコーは理論的に想定し、これを直接実証する方法を案出した。地球が回転するならば、振り子実験の観測者も同じように回転し、振り子の振動面だけは変わらずに一定しているだろう、と彼は考えた。したがって、観測者からみると、あたかも振り子の振動面が回転するようにみえるであろう。要するに、観測者は地球の自転作用そのものを眺めていることになる。

フーコーの着想は人々の心を動かした。ナポレオン 3 世も、実験をパンテオン教会で高いドームを活用しておこなってよい、と許可した。フーコーは長さ約 60 メートルの鋼鉄線に大きい鉄球をつるしてドームの中央にかけ、軽く砂をまいた床にちょうどふれる、先端の鋭くとがった鉄針を鉄球の最下部にとりつけた。こうすれば振り子のどんな振動面の変化も砂に示されるはずである。

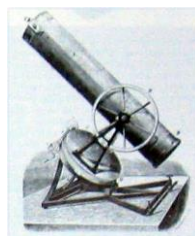
大勢の群衆が実験を見ようとつめかけ、フーコーが振り子を動かす 1 時間前から、振動や空気の動きをいっさい排除するために、全員 ^{かたず}固唾をのんで立ちつくしていた。フーコーはおもむろに大型の振り子をゆらす。しばらく振動面の変化は認められなかった。そのあと、ごくゆっくりと、息をこらしていた観衆は、砂に描かれる軌道が変わることに気づく。振り子の運動面は明らかに回転していた。はじめて地球の自転が文字どおり目撃されたのである。



上中央 パンテオン。

上右 ガスを光源として電気に置換する、フーコーの調整器。

下左 地球が自転することを見せるために、フーコーが 1851 年に使った「フーコー振り子」。重さは



11 ポンドで、長さ約 60m の鋼鉄線につるされた。

下中央 フーコーの望遠鏡。1857 年、フーコー

は反射望遠鏡に ^{とぎん}鍍銀 ガラスを用いる現代技法を導入した。ガラスの表面に銀をかぶせる、この「銀めっき鏡」は、容易に製造でき、曇りや傷があらわれると、改めて銀をかぶせることめ、金属鏡よりもすぐれているとわかった補注

ができるた
47。

下右 パンテオンにおけるフーコーの実験を示す、『プチ・パリジャン』紙第一面。

第77章 クリストファー・レイサム・ショールズ(1819-1890)

最初の市販実用型タイプライターは、アメリカの印刷業者で新聞編集者のクリス

トファー・レイサム・ショールズによって発明された。タイプライターは、事務所や行政機関の日課に革命をもたらし、女性に実業界への門戸を開くなど、めざましい社会効果があった。

ショールズは徒弟奉公を終えて印刷業者となり、その後ウイコンシンへ転居して、「ウイコンシン・エンクワイアラー」の編集者になった。1860年代のはじめ、彼はまず「ミルウォーキー・ニュース」、次には「ミルウォーキー・センティネル」の主筆をつとめ、この時期に地方政治にもかかわった。そのうち港湾職員に転職して、発明の才をためすために、余暇を活用することにした。

友人サミュエル・W・スレと共同して、ショールズは1864年に自動の^{ナンバリング・マシーン}番号印字器の特許を取得した。それを知って、発明仲間のカルロス・グリッデンは、同じ原理に基づきタイプライターをつくってみよ、とショールズに提案し、ロンドンでジョン・ブラットが設計したタイプライターに関する記事にも注意をうながした。

ショールズは構造を改良できる、と明らかに確信し、コンパクトで効率のよい高速タイプライターの製作にとりかかった。スレとグリッデンと連携して、1868年タイプライターに関するショールズ最初の特許を申請した。当時の機種でもペンより速く書けた。次の5年間、ショールズは機械の改良に取り組み、基本設計にさらに別な要素を付加し、2個の新たな特許を取得した。

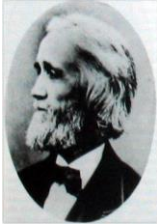
いざ発明を企業化する段階になって、ショールズは必要な資本が調達できないことを思い知らされた。やむなく1873年、ニューヨーク州の銃器製造会社、「レミントン父子商会」に特許を売却する決心をした。その結果、1874年に市販された、最初の商業用に生産されたタイプライターは、「レミントン」—タイピスト世代にはなじみの名前—になっている。すでに現代タイプライターの特徴をほとんどそなえ、キーボード上の文字配置もほとんど変わっていない。キーをたたくと、これに連結するタイプバーがインク・リボンを打ち、タイプバー先端の活字がプラテンに巻いた紙に印字される。行と文字の間隔はつねに変わらず、プラテンは紙を送って定位置にたもった。

当時のレミントン機の主な欠点は、大文字しか打てないことにあった。さらに不便な点は、活字がプラテンの下側を打つため、キャリッジをあげなければ、タイプした行にもどれなかった点にある^{補注 48}。それにもかかわらず、レミントン式タイプライターは、19世紀末期のすさまじい経済興隆のおかげですぐさま大当たりをとった。マーク・トウェインは、タイプライターを買って、出版社にタイプした原稿を提出した、最初の作家である。

ショールズは、働けるうちは発明とその完成にいそしんだ。二重キーボードの開発によって、大文字と小文字を一つの機械にまとめようとした。ようやく1878年に導入された、シフトキーが問題を解決し、十指法によるブラインドタッチ方式の開発も可能にした。

1890年になると、別のアメリカ人発明家、ジョン・N・ウィリアムズが前面打ちタイプライターを考案したことによって、キーをたたきながらタイプした文面が読

めるようになる。この原理はあらゆる有力銘柄に採用され、これで手動タイプライターの核心をなす細目はすべて完成した。



右 1830 年のバート式タイプライター。オースティン・バートはタイプライターで最初の米国特許を取得した。この「タイポグラファー」は、[キーボードをもたず、]バネで円形キャリッジのうえにとめられた、プランジャーに活字がとりつけられている。キャリッジは手で回転させて[文字を選び]、下方の用紙に押しさげて印字した。



左 初期のタイプライター。左：「ランバート」、1900 年。中央：「コロンビア」、1886 年。右：「ブリッケンスデルファー」、1893-1910 年。「コロンビア」はキーの代わりに活字円盤をそなえ、活字の幅にしたがう字間調整機能がある。

下左 装飾をほどこしたショールズの

とグリッデンのタイプライター。キーボードはピアノの鍵盤と同じように作動する。

下右 ショールズの初期タイプライター(1868 年)。



第78章 グレーゴル・ヨハン・メンデル(1822-1884)

遺伝学は、1858 年から 1866 年にかけてオーストリア修道院の菜園で修道士グレーゴル・メンデルによって遂行された、研究計画に起源がある。

農家に生まれた、本名ヨハン・メンデルは、子供のころから自然科学に強い興味を示していた。おそらく抑えがたい知識欲にいざなわれてアウグスティノ隠修士会にはいり、そこでグレーゴルと名のつた。アウグスティノ会修道士たちは教師として敬愛され、メンデルもまた教員免状をとるために大学へ派遣されることになった。

メンデルは免許を取得できずに終わるが、さらにウィーン大学で自然科学の研究をつづけ、1854 年にブリュンの修道院へもどった。その 2 年後、修道院の菜園で体系的な遺伝の研究をはじめ、8 年後に完結させた。とりわけ植物の交配に興味をいだくメンデルには、従来の実験がいずれも統計的分析に十分な成果をあげていないことが、はっきりとみえてきた。彼は研究対象に栽培エンドウを選び、十中八九見うけられる、7 種類の特徴的な変異を明らかにした。

変異とは、たとえばエンドウの色（緑か黄か）、外観（丸種か皺^{しわ}種か）、茎の長さ（長いか短い）などに関するものである。メンデルは実験を慎重におこない、花をみずから受粉させ、他家授精から守った。結果はたえず克明に記録した。植物の有性生殖は 17 世紀以来知られていたが、品種の異なる 2 個体間の交雑では、中

間的形質をもつ雑種が生まれるものと考えられていた。メンデルはこの通説をまもなくくつがえした。茎の短いエンドウと茎の長いエンドウを交配させた場合、第1代には ^{なかほど} 中程の長さでなく、もっぱら長い茎だけがあらわれることを発見した〔優性の法則〕。この場合、メンデルの用語を使えば、長茎の形質は「優性」であり、短茎の形質は「劣性」である。メンデルが「F1」〔補注 49〕と呼ぶ、雑種第1代が互いに交配すれば、潜在する劣性形質が次の世代に伝わり、ふたたび一定数の短い茎を出現させる〔補注 50〕。短茎エンドウと長茎エンドウの比率はつねに1対3であることをつきとめた。変種は簡単な統計則にしたがって発現するため、変種の割合も数世代をこえて計算できた。

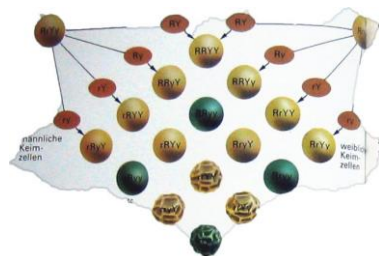
この事実から今日メンデルの第一法則として知られている理論を展開した。すなわち、異なる 形質 をもつ、両親の子孫は、当該形質に関して互いに全員が等しく、それも両親の間であるか、多かれ少なかれ両親の片方に似ているかのいずれかである。各形質には一定の 遺伝子 が対応し、各遺伝子是一个または数個の形質に影響をおよぼす。メンデルは1865年に2冊の論文で発見の成果を発表するが、ほとんど反響をえられなかった。しかし、その重要性は自然淘汰の発見に匹敵するものである。

1869年メンデルは修道院長に選出され、それ以来ほとんど修道院の管理と公務に明け暮れていた。院長がかつて科学研究にたずさわっていたことさえも忘れ去られていたが、1900年、相互にかかわりなく研究していたドイツ、オーストリア、オランダの植物学者がほぼ同時にメンデルの論文を偶然に再発見した。3名の科学者はいずれも植物栽培に取り組み、自分らの研究成果が無名のオーストリア聖職者によって30年もまえに先取りされていた事実を確認して驚いた。

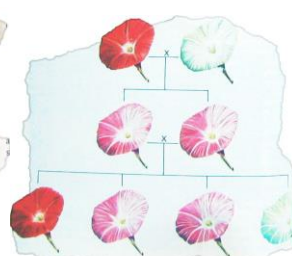
メンデルの作業はきわめて綿密であり、同じ原理が動物の形質遺伝にも当てはまることが確かめられた。「メンデルの法則」という概念が「遺伝学」と同義語になったことは、メンデルの科学業績が死後にどれほど高く評価されたかを如実に示している。彼の諸発見は遺伝学分野における以後のあらゆる発展の基礎になり、現代生物学の全部門、特に生化学、生理学、医学および発生学に大きな影響をおよぼした。



とかかわり



右 白と赤の花色は、融合遺伝では、最初ピンクの花色をうみだし、2代目には1個の赤、2個のピンクと1個の白の花ができる、つまり1:2:1の割合になる。



中央 種子の丸種(R)、皺種(r)、黄色(T)、緑色(y)の遺伝子によって例証された、メンデルの第二法則、「分離の法則」。各遺伝子はほかの遺伝子なく受けつがれる。

の後代または雑種世代に



左 未来の理想像—ヒトにおける淘汰の結果。

右 倍数性（染色体の基本数の整数倍）はトマトの場合：(1) 24 の染色体をもつ普通の二倍体葉。(2) 染色体 36 の三倍体葉。(3) 染色体 48 の四倍体葉。倍数体植物は通常二倍体よりも大きくて強い。



第79章 ルイ・パストゥール(1822-1895)

フランスの化学者ルイ・パストゥールは、細菌の存在が発酵と病気の原因であることを証明する、先駆的な研究によって微生物学を創設した。もしかすれば彼の名が最もよく知られているのは、きわめて恐ろしい病気—狂犬病—の予防接種発見かもしれない。

パストゥールはドールに生まれた。1844 年、パリの高等師範学校で化学を学びはじめた。ふさわしい学術論文のテーマを探しているうちに、パストゥールは結晶学に転じた。学位取得後、物理学教師に就任するが、彼の関心は結晶学の研究、特に 2 つの物質—発酵するワインとともに樽に沈澱生成する酒石酸、および産業副産物の**ブドウ酸**—の反応に集中した。酒石酸とブドウ酸は、化学組成も構造も同じであるが、水に溶解すると、際だって異なる。[直線偏光状態の] 光線が酒石酸を透過するとき、光[の偏光面]は回転する。ブドウ酸にはこの現象[つまり旋光性]があらわれない**補注 51**。パストゥールはこの相違を両物質の結晶状の構造に帰した。なお、今日でいう、酒石酸の「立体異性体」として、光学不活性な「メソ酒石酸」がある。

立体異性体に関する研究は、パストゥールの科学的名声を不動のものにした。その後、砂糖大根からアルコールを蒸留するのに苦心していた、ある蒸留酒製造業者の問題提起で、発酵と腐敗現象に没頭した。当時はまだ発酵現象の原因が知られていなかった。発酵は、たとえばワインやビールの製造では「よい」が、ミルクがすっぱくなる場合は「悪い」としか区別がつかなかった。パストゥールは、「よい」発酵の場合には酵母細胞しか存在しないが、「悪い」発酵にはさらに棒状微生物が存在することを発見した。

パストゥールの研究はいくつかの重要な帰結を導きだした。ビール、ワイン、ミルクのいずれにせよ、液体を必要にして十分な温度に熱することによって、彼は微生物を死滅させ、保存性を改善した。この処置はいまでは「パストゥール殺菌法（低温殺菌法）」**補注 52**といわれる。

次に、これらの生物は空中に存在し、自然発生しないことを、パストゥールは立証した。さまざまな液体を、白鳥の首フラスコで十分に煮沸し、蒸気が空気を吐き出してしまったあと、彼は白鳥の首に封をした。すると、液体はいつまでも透明であつた。首がこじあけられ、空気が侵入できるようになると、液体は混濁し、発酵

しはじめた。

発酵経路についての研究は、微生物が病原体である、とパストゥールに推測させることにもなった。1865 年、政府の依頼にこたえて、当時フランスの絹産業を壊滅の危機に陥れていた、2 種のカイコ病を調査した。パストゥールは病因として細菌をつきとめ、予防処置を導入した。

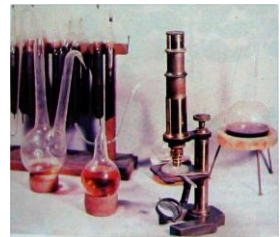
パストゥールは炭疽^{たんそ}や鶏ペストのワクチンもつくった。一番名高い研究は狂犬病撲滅のためにささげられたものである。人体がすでに感染していても、予防接種は役にたつかもしいと考へ、狂犬に 14 箇所かまれた、9 歳のジョゼフ・マイスターに劇的な実験をおこない持論を証明した。パストゥールは、かまれて 60 時間たつ少年に、狂犬病で倒れたカイウサギの^{せきずい}脊髄溶解液を注射した。何度か注射をかさねると、少年は元気を取りもどしたのである。

ルイ・パストゥールの仕事は一生涯多くの抵抗にぶつかった。特に、微生物学の画期的業績は、自己の理論を反論の余地がないものと過信する、保守派の科学者たちからあしざまに攻撃された。しかしパストゥールは、いかなる科学上の事実も単なる仮説や予見ではなく、観察に基づかなければならない、と常づね心にとめて、研究成果の正しさを裏づけることができた。幾多の表彰が授けられたが、最大の報奨はおそらくパストゥール研究所の設立であり、彼は死ぬまで所長をつとめた。



左 酒石酸の塩結晶、右旋性で光学活性。

右 食物が腐敗するとき、空中に存在する微生物に原因があることを証明するために、パストゥールが使った器具。曲がった首に細菌が封入されている、「白鳥の首フラスコ」に無菌ブイヨンを入れ



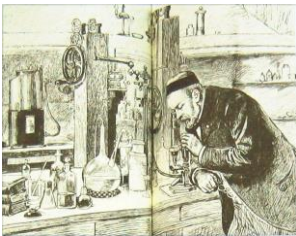
ると、細菌が到達するやいなや、ブイオンはたちまち悪化

した。パストゥールはのちに、ワインを腐敗させる細菌は、発酵過程の終了以前に、ワインを摂氏 55 度ないし 60 度に加熱すれば死滅することを探りだした。同様の処理法、いわゆる「パ

ストゥール殺菌法」は、いまではミルクの殺菌に利用されている。

左 実験室で研究しているパストゥール。

右 パストゥール(中央にすわっている)、看護要員と、パストゥールが狂犬病の予防接種をして救った、数人の子供たち。



第80章 エティエンヌ・ルノアール(1822-1900)

フランスの技術者エティエンヌ・ルノアールは、最初の内燃機関を設計した。ま

た内燃機関によって走る、最初の乗り物—現代自動車に直結する車—も製作したといわれている。

機械化してゆく道路輸送機関の初期史に認められる皮肉は、当時最も発達した技術力と専門知識をもつ国イギリスが、ほかのどこの国よりも、自国の進歩を阻害していたという事実である。つまり 1865 年に成立した法律〔通称「赤旗法」〕の効果にはほかならない。同法が効力を有するあいだ—1896 年にやっと完全に撤廃されたが一、自動推進式車両はすべて、イギリスの道路では 3 名の乗務員によって運転することが義務づけられていた。乗務員のうち 1 名は、とりわけ馬車の御者に警告するために、赤旗をもって先頭を行進しなければならない。最高制限速度は都市圏で時速 2 マイル、州道で時速 4 マイルであった。この法規制の結果として、内燃機関発展に資する研究は、ほとんどすべてがフランス、ドイツおよびオーストリアでおこなわれた。

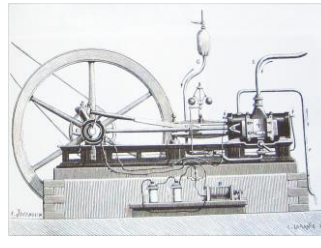
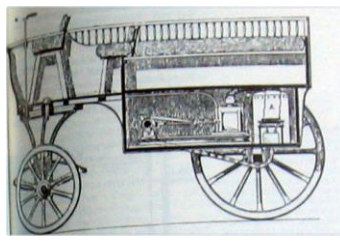
実際に自動車といえる最初の車は、1769 年にフランスの砲兵将校ニコラ＝ジョゼフ・キュニョによって発明された、蒸気三輪車である。それは時速 3.5 km の速度をだすことができたが、蒸気ボイラーが小さく、水を補充するために、何度もとまらなければならなかった。一段と軽量で効率のよい蒸気機関を組み立て、蒸気三輪車はいっそう有効な輸送手段となった。しかし、最高時速 48 km を達成したとはいえ、エンジン音がうるさく、大量の汚染源になったうえに、路面を著しく損傷した。

熱効率の悪さ、さらには扱いにくいパイプ、シリンダー、ボイラーなどが必要な蒸気機関の欠点は、燃料を直接利用できる、新型 ^{エンジン} 機関の設計へと発明家たちを競わせた。将来の機関は、蒸気機関のように別個のタンクではなく、シリンダーじたいのなかで燃料を燃焼させることになり、燃料は、ガスか蒸気の形でエンジンに送り込まれ、急速燃焼によって、シリンダー内のピストンを動かす機械的エネルギーに変わらなければならなかった。このような現代自動車の最初の原型が、まさに 1862 年、フランスでエティエンヌ・ルノアールによって製作された車であった。

着想に富む発明家、ルノアールは、ベルギーに生まれた。内燃式原理に基づくエンジンの製作にはじめて成功した。ルノアールのエンジン〔ガス機関〕は、本質的には蒸気機関の変形であり、2 サイクルエンジンであった。空気と石炭ガスの混合気が、はずみ車で作動するピストンによって吸入される。ピストンがシリンダー内を半ばまで進めば、ガスの供給はたたれ、電気火花が混合燃料に点火する。ピストンは点火燃焼（爆発）によって往復行程を完了させ、その後、はずみ車によって再びシリンダー内に押しもどされた。

ガス機関は広く市場にだされた。ルノアールはのちに液体燃料、たとえばテレピン油に切り替え、それを乗り物にとりつけた。同車で 10 km の距離を走るには約 3 時間かかった。ルノアールはのちにエンジンをモーターボート用に改造したが、新たな用途に大きな将来性があるとは認めていなかったらしい。





左 1865 年の法律が施行されているところ。馬車の御者やその他の道路使用者に注意を呼びかけるために、ひとりの男が赤旗をもって車のまえを歩いている。

同法はイギリスで 31 年間効力をもち、イギリス製自動車の開発に障害となった。

中央 ルノアル最初のガスとガソリン ^{エンジン} 機関、1860 年と 1863 年のあいだに制作された。

右 ルノアル最初のガス機関（1860 年）の内部部品。馬力は小さく、熱効率も 4% にすぎなかった。

第81章 ウィリアム・ジーメンス卿(1823-1883)

ドイツ生まれの技術者ウィリアム・ジーメンス卿は、ジーメンス＝マルタン製鋼法の創始者である。当方式〔平炉法〕は、ベッセマー式転炉より効率の点でも製品の質でもすぐれていたもので、19 世紀後期から 20 世紀初期にかけておもに用いられた製法である。

ウィリアム・ジーメンスはドイツ名カール・ヴィルヘルム・ジーメンスとしてハノーファー近郊に生まれた。4 人兄弟の次男で、兄弟そろってすぐれた科学者、発明家である。長男のヴェルナーはプロイセン砲兵隊で教育をうけた技術者、電信工学分野の専門家であった。ヴェルナーは地下および水底ケーブルの絶縁体にグッタペルカの使用をつらぬき、ベルリンからフランクフルト・アム・マインにいたる、ドイツ最初の電信回線を架設した。

ウィリアムはマクデブルク工業専門学校卒業後、兄ヴィルヘルムの発明した電気 ^{めっき} 鍍金法を売りこむために、1843 年ロンドンへわたった。首尾は上々だったことから、ウィリアムはイギリスに移住して発明家になろうと決断する。

厳しい仕事と金銭的苦境の時期がつづくが、ようやく 1851 年にウィリアムは水道用 ^{メーター} 量水器を発明し、それがまたよく売れた。1847 年以降、弟フリードリヒの援助を得て、いわゆる「再生原理」の応用法を兄弟で探りはじめた。要するに、ふだん工業過程で排気とともに逃げてい、熱を蓄えて利用するという着想なのである。熱い排気は無蓋の ^{レンガ} 煉瓦室を通過させて、燃焼に必要な空気が煉瓦室を通して引きこまれ、熱せられる。これによって溶解炉の温度と ^{パワー} 仕事率は劇的にあがった。

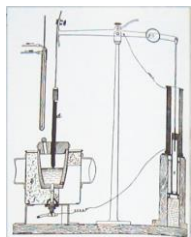
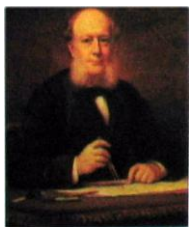
ヘンリー・ベッセマーが製鋼法の特許をうけた同じ年の 1856 年に、ジーメンス兄弟も金属の精錬加工に使用可能な蓄熱室に関する最初の特許を取得した。2 年後に兄弟は再生原理を、ウィリアムが特許をもつ、製鋼用の平炉に応用した。ただし、当時の蓄熱法には、いくつかの欠陥があった。排気を平炉から蓄熱室へ送り、のちに熱風が平炉へ送り返されてくる、導管システムが複雑であり、一部しか実効はあ

がらなかった。

解決策は 1864 年、フランスの技師ピエール＝エミル・マルタンによって見いだされた。すなわち、炉をガスで加熱し、炉の左右下端に一組の蓄熱室をとりつける。一方の蓄熱室では空気が、他方の蓄熱室ではガスが熱せられるものであった。ジーメンズ＝マルタン法〔平炉法〕が産業界でベッセマー転炉にとってかわった。同法は安上がりで、しかもいっそう良質な鋼を生産し、製鋼産業の成長につれて生じる、莫大な量のくず鉄も加工することができたからである。

ウィリアム・ジーメンズは 1859 年にイギリス市民になった。1850 年以降、兄ヴェルナーがベルリンでおこした会社、ジーメンズ・ハルスケ社のロンドン支店長をつとめた。同社は電信機械製造を専門にし、世界的な評判をえた。1875 年には最初の大西洋横断ケーブルを敷設している。ウィリアムは 1878 年、鉄鋼を溶かすために、世界ではじめてアーク放電を用いた。

晩年、ウィリアム・ジーメンズは電気照明の分野でさまざまな改良をほどこし、北アイルランドにポートラッシュ電気鉄道を建設して、鉄道路線網の電化に道をつけた。



右 ジーメンズによって開発されたロンドンの電気炉。一端が銅線によって電流につながれている炭素のつぼでできている。電流は、水冷式金属電極をとって流れだし、抵抗が高く伝導率の低い物質を粗く積みかさねた層を通過すると、1 時間に 1 ポンドの鉄をしっかりと溶解するほど、高い温度を発生した。



左 マルタン製鋼所Ⅲのジーメンズ＝マルタン式平炉

右 ジーメンズの電気鉄道 (1879 年)。車両は小型電動機をそなえた機関車によってひかれた。電力の供給は、2 本の絶縁されていない



外側のレールと、1 本の絶縁された中央のレールを通しておこなわれる。ボイラーも発火性の燃料も不要になったことから、車両火災の危険は除去された。列車は脱線すると、電力の供給が遮断される結果、たちまち停車する。

左 ポートラッシュ電気鉄道のタービン—水力電気で動いた最初のタービン。鉄道は 1883 年に完成。電気設備の仕事はジーメンズが指揮した。水力タービンはジーメンズの発電機を動かし、発電機は路面電車の電動機にエネルギーを供給した。

第82章 **グスタフ・キルヒホフ(1824-1887)**

ドイツの物理学者グスタフ・キルヒホフは分光学の基礎を築いた。分光器の発明

およびスペクトル線がもつ意味の解明は、化合物の分析に新しい強力な方法を創出した。さらにキルヒホフは、天体の組成をつきとめるためにも、新たな方法〔分光分析〕で星の光を調べることができることを示した。

キルヒホフはケーニヒスベルクに生まれる。大学卒業の直前に、振動電流が〔伝導体の性質に依存せず〕光速に等しい速度で伝わることを証明して、物理学界に最初の大きな貢献をした。1854 年、30 歳でハイデルベルク大学の物理学教授に任命された。当時キルヒホフはとりわけ白熱状態にまで熱せられた物質の反応に関心があった。傑出した化学者ローベルト・ブンゼンと共同で、加熱したさまざまな化学物質から発する光の分析をこころみようと、キルヒホフは重要な一連の実験をはじめた。キルヒホフは光をまず狭い^{スプリット}隙間に通すことによって、プリズムで光をスペクトルに分解しようとした。こうして得られるスペクトルは、多数のさまざまな色をしたスリットの像にほかならず、それぞれが分解された光の異なる波長を示す、容易に同定できる線としてあらわれた。キルヒホフの簡単な一連の処理方式は最初の実用的な分光器をうむとともに、数々の重要な発見へと導いた。

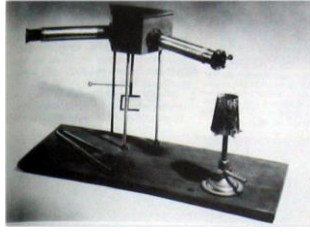
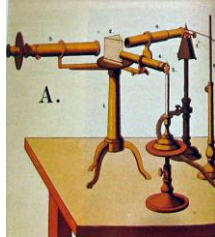
ブンゼン自身は 1857 年に、どこの化学実験室にも基本装備として欠かせない、有名な「ブンゼンバーナー」を発明した。キルヒホフにとって重要なバーナーの特徴は、非常にわずかな光しか放射せず、しかも化学物質の効率的な加熱装置であるという点にあった。青白い炎は、赤熱する物質のスペクトル線をそこなう背景をほとんどつくりません。

キルヒホフは、分光器で調べた化学物質がすべて特有の多彩な線状模様を結ぶことを、すばやく探りだした。アルカリ金属、たとえばナトリウムは、二重の輝線があらわれ、いかなるナトリウム化合物もスペクトルに同様の線をふくんでいる。それゆえ、キルヒホフは未知の物質をただ加熱して、そのスペクトルを分析することによって、組成を確認できる、新しい重要な方法を発見したことに気づいた。

キルヒホフは 1859 年、既知のあらゆる元素とまったく異なるスペクトル線を示す、鉱物を偶然に発見し、手法の改良にとりかかった。問題の鉱物はまぎれもなく新しい元素、分光分析によって発見された、最初の元素であった。キルヒホフはこれを 1860 年に公表し、新たな元素を、その最も顕著なスペクトル線の色にちなんで、「セシウム」[補注 53](#) と命名した。その後まもなく別の新しい元素、「ルビジウム」[補注 54](#) も発見する。きわめて鋭い洞察力で、キルヒホフはスペクトル分析を星の光にも応用できないかと検討しはじめた。太陽や恒星の光のスペクトル線を分類していた、ヨーゼフ・フォン・フラウンホーファーの仕事をまず研究した。フラウンホーファーは意味合いを把握していなかったが、キルヒホフは、フラウンホーファー線[補注 55](#) が分光器で分解した元素のスペクトル線に正確に対応することを認識した。つまり、実験室で化合物の分析に役だつ、同じ手段が、天体の組成を究明するためにも使用できることになる。キルヒホフはさっそく太陽スペクトルの調査にとりかかり、やがて多数の元素を、わけても金を同定した。

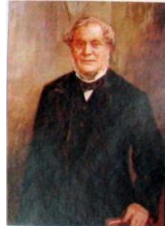
キルヒホフの研究が草分けとなって、分光学は分析化学の標準研究法になったば

かりか、天文学者たちに恒星はもちろんこと、はるかかなたの銀河についても組成の究明を可能にした。現代の最も好奇心をそそる発見の一つに、星雲を構成する、光り輝く星間ガスのまにまに、複雑な有機体の生命に必要な分子が漂っているという指摘があるが、これも分光分析によって見いだされた。つまり、分光分析は、宇宙のきわめて魅惑的ななぞ—地球のそとにも生命は存在するか—の解明にも、私たちを一步近づけたのである。



上中央 初期の分光器。コリメーター—光が入ってくる、スリットのある円筒—、望遠鏡、スペクトル線測定用の測微計をそなえた円筒で構成されている。

上右 キルヒホフとブンゼン合作



の分光器（1860年）。

下左 C2 分光器およびその光源とプリズムとの相対的配置。現代の分光器は感度が高く、それぞれが特別な放射形を調べるために特殊化されている。C2 分光器は可視光線を分析する。

下右 ローベルト・ブンゼン。

第83章 ケルヴィン卿、本名ウィリアム・トムソン(1824-1907)

ウィリアム・トムソンは驚くべき科学の天才であった。1892年には多彩な業績が認められて貴族に列せられ、以後ケルヴィン卿と称した。なかんずく有名なものは、摂氏-273度にあたる絶対零度の概念に基づく、新しい温度目盛りの発見である。「ケルヴィン温度目盛」は科学者たちに熱の研究分野で長足の進歩をとげさせるとともに、極低温における物理事象の理解をうながした。

トムソンは北アイルランドのベルファストに生まれた。天賦の才能に恵まれ、家族がスコットランドに移住すると、わずか10歳でスコットランド南西部のグラスゴー大学に入学した。まだ子供のうちに優等賞で大学を卒業し、ただちにフランスの実験室ルニョーのもとで研究をはじめた。1846年、弱冠22歳になったばかりにグラスゴー大学の数学教授となり、最期までつとめあげた。

間断なき知識への渴望がトムソンを科学技術の幅広い学際的研究に駆りたてていった。地質学では地球年齢を推定して物議をかもした。いっぽう熱狂的な帆走者として、トムソンは数々の航海用具、なかんずく新型羅針盤、音響測深器、潮汐算定器などを考案する。トムソンは海底電線の敷設を研究指導し、騎士の爵位を授けると同時に、海底電信受信機の特許をも取得した。だが最大の発見といえば、熱と温度に関するものである。

トムソンは、ジェームズ・ジュールが「熱の仕事当量」の測定についておこなった研究の重要性をはじめて認めた、科学者のひとりである。つづく数年間、トムソンはジュールとの共同研究でますます熱の性質に興味がわいてきた。ジュールとトムソンは、たとえば細孔を通して気体を膨張させるとき、[外界との熱の交換が無視でき、] 仕事をともなわない [不可逆的な] 断熱膨張の過程において、気体に温度変化が生ずる現象、つまり「ジュール＝トムソン効果」を発見した。このジュール＝トムソン効果は水素やヘリウムのような気体の液化に直結し、さらに後年、現代冷凍工学へとつながっていった。

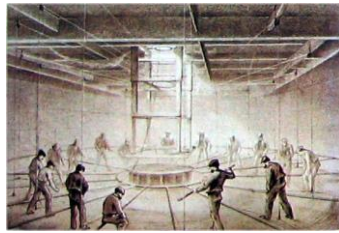
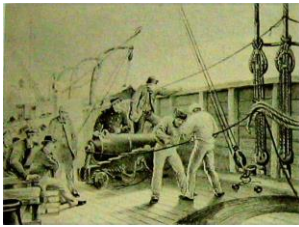
トムソンは特に、フランスの物理学者ジャック・シャルルが 1787 年に発見した、「シャルルの法則」に興味をもった。冷却中の気体は温度が 1 度下降するごとに、気体が摂氏零度で占める体積の 273 分の 1 を失うことを、シャルルは発見していた。この法則にどのような含意^{がんい}があるのか、科学者たちは長年頭をひねっていた。気体は -273°C でもはやまったく体積がなくなることなのか？ 1848 年トムソンは、 -273°C で零点^{ゼロ}に達するのは体積でなく、おそらく気体分子の運動エネルギーである、と提唱して問題を解決した。トムソンによると、これは個々の物質の特性に依存せず、全物質にあてはまる。各物質の温度はその分子の運動によって決定されるゆえ、分子の運動がやめば、それ以上の温度降下は起こりえない。したがって、温度の絶対零度は摂氏 -273°C にある、と推論した。

こうした考えから出発して、トムソンは、目盛りが摂氏温度目盛りに 273 度をくわえたものに相当する、絶対零度を基準にする新しい温度計を開発した。「絶対温度目盛」あるいは「ケルヴィン温度目盛」と呼ばれるものである。ケルヴィン温度目盛によって測定された温度は、記号 K で表示され、「ケルヴィン度」という。

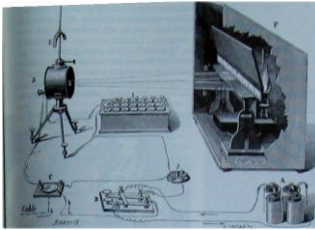
絶対温度という概念は、熱の研究に顕著な進歩をもたらしたことがわかる。たとえば、スコットランドの数学者ジェームズ・クラーク・マクスウェルに気体運動論への基礎を提供し、さらに気体運動論から、多数の気体分子の正確な速度分布状態を算出する、いわゆる「マクスウェルの速度分布則」を導くことを可能にした補注 56。

トムソンは幾多の業績によって国際的名声を博したが、^{よわい}年齢をかさねるにつれて次第に反動化し、物理学の基礎研究はすでに完結し、もはやほとんど新たな発見の余地はないと信じる、ヴィクトリア朝風思想集団の指導者になった。20 世紀初頭の放射能に関する先駆的研究も、新しい科学時代の曙光^{しょうこう}さえも、彼の反動的信念をゆさぶるものではなかった。19 世紀が輩出した偉大な科学の開拓者—トムソン—は、科学史上まれにみる重大な革新に逆らう、頑固一徹な敵対者となって生涯を終えた。





上 「グレート・イースタン号」による1866年の大西洋横断ケーブルの敷設。ケルヴィンは海底電信に多大の貢献をし、プロジェクトを指揮する電気技術者にもなった。左：はじめて切れたケーブルを接合している。右：ケーブル



をほどこいて海底に敷設するところ。
中 ブレスト港に設置されたケルヴィンの受信機。これで長距離電信が可能になった。受信機は、鏡式^{ガルバノメーター}検流計と、凸面鏡の後方に固定され、非常に細い導線を巻いたコイルの内側につるされている、ごく小さい磁石とで構成されている。鏡にむけられたランプは、電流が磁石を偏向させると、左から右へ移動する光のスポットを^{スケール}目盛板上に反照する。それゆえ、モールス信号で送られてくる電信を記録することができた。のちにこの受信装置は、電報を直接伝送する、ケルヴィンの「サイホンレコーダー」にとってかわられた。超伝導^{補注 57}—ケルヴィンの絶対温度計によって可能になった発見。



下左 このコイルは室温で電気抵抗が高い。回路を流れる電気はごく微量で、電球がかすかにもる。

下右 コイルは液化窒素のはいった容器に沈められ、100° K よりもはるかに低温に冷却される。電気抵抗は低下し、かなり大量の電気が回路に流れる結果、電球は明るく輝く。

第84章 ジョゼフ・リスター(1827-1912)

ジョゼフ・リスターは消毒を病院の診療に導入したイギリスの外科医である。リスターの消毒法は医学に画期的な進歩をもたらした。それまで高い死亡率にあえいでいた外科は、まさしく人命救助の医術に一新したのである。

ジョゼフ・リスターはエセックスに生まれた。1848年、ロンドン大学付属カレッジで医学を学びはじめ、1852年にドクターの学位をとり、王立外科大学の特別研究員となる。1年後、エディンバラへ転居し、当時最も著名な外科医、ジェームズ・サイムの助手職についた。

リスターはとんとん拍子に出世し、1861年、グラスゴー王立診療所の外科医となった。彼はあらゆる刷新に開かれた態度をとり、幾多の新しい療法や手術法を開発したが、敗血症や^{えそ}壊疽によって、手術の死亡率が高いことに、リスターは愕然とする。こうした実情に応じて、いつもはただ簡単な手術しか考慮されなかった。確かに、どの外科医も感染を防ぐために得意な手だてを講じていたが、病気と衛生の相関関係を認識する者はほとんどいなかった。

注目すべき例外は、イグナーツ・ゼンメルヴァイスー「母たちの救世主」として

知られるようになった一オーストリア・ハンガリー帝国補注 58 の婦人科医である。

ゼンメルヴァイスは、婦人科病棟における産褥熱^{さんじょく}の高い発生率を、たいてい午前中は死体を解剖している、医師と医学生たちの非衛生な習慣と関連づけた。1846年、ゼンメルヴァイスが塩素殺菌した水による徹底的な洗浄プログラムを導入するや、産褥熱の発生率は劇的に低下した。この消毒法を無視する、同僚らに対するゼンメルヴァイスの激しい糾弾は、数多くの敵をつくった。その結果、ついには研究成果もほとんど無視され、ゼンメルヴァイスは精神病院で、しかも皮肉なことに敗血症にかかって世を去った。

フランスの化学者で微生物学の開拓者、ルイ・パストゥールの論文を読み、1865年、リスターははっと消毒法を思いついた。単純骨折ならいつもすばやくきれいに完治するが、骨が皮膚をつらぬいて損傷する、複雑骨折はいやおうなく化膿する事実、リスターは長らく悩まされていた。ところが発酵は、空気中におびただしく存在する、微生物による「糖類の嫌氣的分解」現象であることをパストゥールがすでに証明していた。発酵と腐敗は、傷の化膿に似た現象なのだ、とリスターはさとする。つまり、傷口を空気から保護し、空中にいる微生物を死滅させることが問題なのであった。

そこでリスターは、下水道の消毒に効き目があった石炭酸を選び、1865年8月に最初の消毒手術を実施した。創傷と接触する可能性のあるものはすべて石炭酸で殺菌された。この「石炭酸消毒法」は結局、リスターが担当する、外科の男子病棟全体で、傷の手当や消毒にも用いられるようになった。化膿、敗血症、壊疽^{えそ}は著しく減少し、1867年にリスターは成果を発表した。傷と組織の治癒過程にも立ち入りながら、当該論文は、非衛生的な最悪の汚染病棟がいかんして模範的な安全病棟になったかを説いている。

大半の医者はなんの感銘もうけなかった。大多数の外科医はリスターの消毒法を手間がかかりすぎると思い、看護婦も手なれた作業手順がくるうと感じた。そのうえ多くの人々は、感染が病原体などによってひき起こされるわけがないと信じて疑わず、化膿は毒氣^{ミアスマ}—「不吉な」空気—との接触が原因であると考えていた。残念なことに、石炭酸は、特にリスターが使用した高分量の場合、かなり刺激作用もあった。

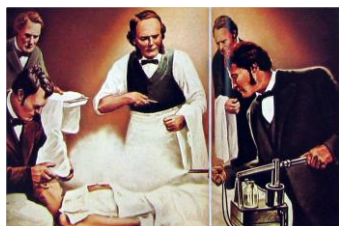
リスターはしかし失望しなかった。国の内外で消毒法について講義をし、同時にパストゥール理論を支持してまわった。両人のあいだに親密な友情もめばえた。リスターは1877年、ロンドン南部にあるキングズ・カレッジ・ホスピタルの外科医長に就任したとき、消毒法を大々的に実演してみせる機会ができた。リスターは骨折した膝蓋骨^{しつがいこつ}を針金で接合する技術を考えだした。まかり間違えば、単純骨折が複雑骨折になりかねない手術である。リスターが消毒による傷の手当てに習熟していたおかげで、骨折はみごとに完治した。

リスターは各方面から表彰をうけた。消毒治療法の普及につくした功績にもかか

わらず、リスターはつねに他人の先駆的な仕事、とりわけイグナーツ・ゼンメルヴァイスの業績を認めたことは、特筆すべき功労といわなければならない。



上中央 1528 年のドイツ木版画。傷を^{しょうしゃく}焼灼している。リスター以前には、外科は死亡率の高い原始的な技術であった。消毒法と基本的な衛生処置の欠如から、^{えいそ}壊疽の発症は避け



られなかった。手術中のショックも死亡原因であった。

上右 19 世紀初頭のロンドン聖トマス病院にあった大手術室。外科医はフロックコート姿で登場し、医学生の見守るまゝで手術をおこなった。

下左 リスターが石炭酸スプレーの使用について、すなわち、はじめて広く普及した消毒創傷治療に指示を与えている。

第85章 ジョゼフ・ウィルソン・スワン卿(1828-1914)

イギリスの化学者ジョゼフ・ウィルソン・スワン卿は、乾板を発明して写真の現像に顕著な貢献をした。さらに合成繊維の工業生産にむけて下準備をしたが、とりわけ白熱電球開発の先駆者として知られている。

19 世紀中葉における発電機の発展は、電気エネルギーのさまざまな用途を、たとえば家庭照明のために開拓させた。炭素電極を用いる[アーク灯](#)はすでに存在したが、たえず専門家の点検整備が必要であった。そのうえ、アーク灯は極端に大きく、通常の必要光度をはるかに超える、明滅光を放った。光源として白熱の導線を利用した、この白熱灯は、現代の白熱電球の原型である。特にフランスとロシアで、耐用期間の長い素材が研究されていたが、最初の注目すべき実験を企てたのは、イギリスの物理学者で化学者のジョゼフ・スワンであった。

スワンは白熱電球をつくる実験を 1860 年頃からはじめ、その際に「炭化紙片のフィラメント」を使った。つまり、真空にしたガラス球のなかに、焦げた 1 枚の紙を 2 個の電極間においた。真空状態にする目的は、フィラメントが急速に酸化するのを防ぐためである。

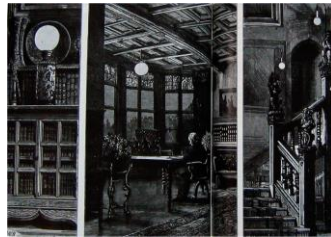
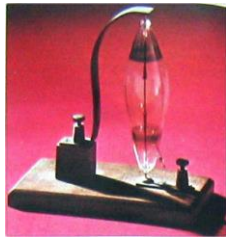
スワンはさっそく現実の難しさ、特に真空に関する難問に^{ほうちゃく}逢着した。規則正しく確実に電気を供給する電源がないことも、電球を短寿命にする要因になっていた。それでもスワンは当初の構想を発展させ、1878 年、炭素線電球は、効率もよく実用的になり、12 月 18 日ニューカッスル化学協会の催しに展示された。

スワンはこの開発段階でトーマス・アルヴァ・エジソンの研究とほぼ並行しながら進展したが、エジソンの最初の白熱電球は 1879 年 10 月 21 日にともった。エジ

ソンとは違って、スワンは発明品をやっと 1881 年から商業ベースにのせた。スワンとエジソンによって白熱電球の基本型は確立された。後進の発明家にゆだねられた課題は、ただわずかにタングステンと、真空の代わりに希ガスを使用して、電球を今日の水準にあげることであった。

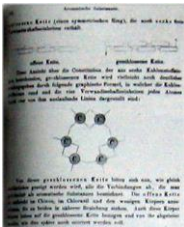
スワンはいちだんとよいフィラメントを探しているうちに、1845 年頃に発見され、のちに火薬生産の基盤となる不安定な化合物、ニトロセルロースにゆきあたった。ニトロセルロースは丈夫な繊維状につくりあげることができたが、きわめて発火しやすい。スワンは、ニトロセルロース溶液を小さい穴の格子にとおして繊維^{フィラメント}条に仕立てあげたあと、化学的に不活性なセルロースにもどす方法を開発した。スワンはこの製造法をただフィラメントに限定利用したにすぎないが、同原理は、のちに人造絹糸^{けんし}—はじめて工場生産された合成繊維—の製造に活用された。

スワンの別な発明は写真に関するものである。臭化銀溶液は加熱すれば感光度をます事実をつきとめ、1871 年までにスワンは有効な写真乾板の開発に成功した。それは新時代の幕開きであった。1878 年、彼は印^{ブロマイド}画紙を発明して特許を取得した。この種の黑白印画紙はいまも引き伸ばし用に広く用いられている[補注 59]。



上中央 真空にされたガラス容器に炭素フィラメントを封入した、スワンの白熱電球。

上右 スワンの電灯によって照明されている私宅。左：図書室。中央：図書室の張り出し窓。右：階段吹き抜け。



下左 電気による街路照明、1881 年、ロンドン市長の公邸。

下右 グラビア印刷によってつくられている『パリ・マッチ』補注 60 の印刷所。同所の輪転方式では、版が酸によって銅板製の回転胴^{エッチング}に食^{エッチング}刻される。この回転胴（版胴）が回転すると、インクが塗られて、食刻された図柄を「継ぎ目のない」巻取紙に転写する。巻取紙は、それぞれ異なる色を塗った、4 個の版胴によって順次印刷される。グラビア印刷法は特に発行部数の多いグラビア雑誌に適している。同法の開発はそもそもスワンのもう一つ別な発明—「カーボン印画紙」補注 61—の賜物^{たまもの}なのである。カーボン印画紙のゼラチン層は、感光性溶液でコーティングされ、印刷すべき像の陽画（ポジフィルム）を通過する光にさらされる。ゼラチンは光の量に比例して硬化する。そのあと、カーボン印画紙は回転胴に巻きつけられ、未感光のゼラチンが[温湯で]洗い落とされ、腐食液が塗られるのである。

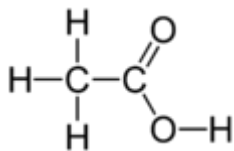
第86章 アウグスト・ケクレ(1829-1896)

ドイツの化学者アウグスト・ケクレ・フォン・シュトラドニッツは、近代有機化学構造論の基礎を確立した。彼の最も有名な発見は、染料工業できわめて重要な化合物であり、化学において他の複雑な化合物の合成にもしばしば用いられる、ベンゼン分子のユニークな構造であった。歳月を経るにしたがって改善と修正がくわえられてゆくが、ケクレによる切れ味鋭い化学構造の解明は、いまもなお有機分子を表現するために利用されている。

1852年に博士号をとったあと、ケクレは広くイギリスとフランスを旅してまわり、さまざまな学者と出会って、化学の斬新な研究対象にいくつかふれた。1856年、ドイツに帰国すると、ケクレはハイデルベルク大学の講師に着任し、自分自身の個人実験室をしつらえた。旅行と議論のすえ、ケクレは、個々の原子や分子が化学結合をつくる際の基準となる、原子価の概念に興味をそそられた。およそ1855年頃まで、化学者たちは分子の原子構成を、単に各元素の原子数を一定の慣習的配列にしたがって列挙することによって表示していた。この方法では、水は H_2O とあらわされる、すなわち水素(H)原子2個が酸素(O)原子1個と結合していることを意味する。ケクレはしかし、このような固定した原子の組み合わせが、相互に結合した原子構造よりも有意義に表記できないものかと考えた。そうなれば、個々の分子ばかりか、新たな化合物への組み合わせについても、はるかに多くの情報を化学者に提供することになるだろう。

こうした構造式の着想を精査するために、有機化学の中心をなす元素である、炭素の化学構造を分析しはじめ、1858年、ケクレは炭素原子の原子価について画期的な論文を発表した。炭素原子は4価である、と説明した。換言すれば、炭素1原子は他の元素原子4個と結びつくことができる。さらに重要なことは、4本の炭素結合のうち最大3本までが他の炭素原子と結合できるため、炭素原子の長い鎖が形成される可能性があるというケクレの証明である。スコットランドの化学者アーチバルド・クーパーは、「有機化合物の構造を」原子間の化学結合手の短い線であらわそうと提案した。

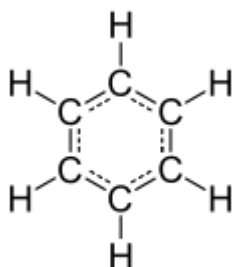
こうして化合物の構造は簡単な方法で表示されるようになった。たとえば、情報量の乏しい水の分子式 H_2O は、1つの化学結合がそれぞれ2個の水素原子を1個の酸素原子に連係していることを示す、表記法に変えられた。水の分子はしたがって $H-O-H$ とあらわされる。さらに複雑な構造の場合、2重や3重結合は2重と3重の線であらわされる。たとえば酢酸(CH_3COOH)に例をとってみよう。一方の炭素原子は、炭素結合4本のうち2本だけが単結合で、あとは2重結合(したがって合計4本の結合)である。酢酸の構造はしたがって次のように表示される：—



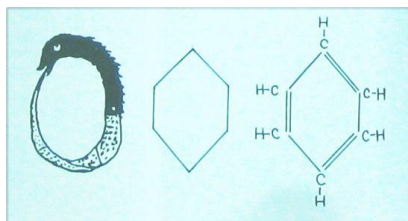
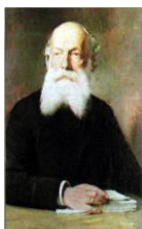
「ケクレ構造」による非常な進歩にもかかわらず、重要な炭化水素—ベンゼン—

の構造は化学者にとって謎のままであった。^{なぞ}初期合成染料の開発にしめるベンゼンの重要性は、問題の解決を緊急不可欠なものにした。化学者はベンゼンの分子式が C_6H_6 であると知りながら、はたして 12 個の原子が互いにどうつながっているのかわからなかった。

再度ケクレは難関を突破する。1865 年、夢うつつに原子が蛇のようにとぐろを巻き、環をつくっているさまを眺め、とっさにケクレは答えを見つけたとさとした。要は、それぞれが単一の水素と結びついている、6 個の炭素原子で構成された環という着想である。ケクレは分子を下記のように表示した—

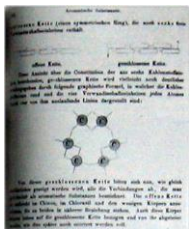


ケクレの考えが発表されて以来、はるかにきめ細かい原子価論が展開されてきた。しかしケクレ式は分子の簡単ながら明確な表示を呈示することから、いまでも化学者たちに利用されている。ケクレの構造式が伝える付加情報は、特殊な性質をもつ物質の新たな合成法開発への道しるべとなったといえる。



上中央 実験室にいるユストゥス・フォン・リービヒ。近代有機化学の創設者のひとり、リービヒは、化学のために建築の研究を断念するよう、ケクレを説いた。

上右 おのれの尻尾にかみ



ついている、蛇はケクレにとって、ベンゼンの環状構造を考案する、啓示になったという。ケクレ自身の言葉でこう話されている。「私は…半ば眠りにおちていた。いくつかの原子が目のまををあちこち飛びかっていた…まるで蛇のように巡回したり巻きつきながら。突然、一匹の蛇が自分の尻尾にかみつくなが見え、その映像は、あざけるように、私の眼前でぐるぐる回転した。雷にうたれたごとく、私は目をさまし、一晩がかりで夢にみた仮説のあとを追いつめていった」。ケクレは同僚諸氏に対する次のような勧告で報告を結んでいる。「諸君、夢みることを覚えよう、もしかすれば私たちはそのとき真理を見いだすかもしれない」。



中左 ケクレの『有機化学の手引き』（1861 年）から引用したベンゼン分子の図示。

下左 現代技術によって明らかにされたベンゼン分子の 6 角形構造。この X 線撮影はヘキサメチルベンゼンを示している。ヘキサメチルベンゼンは、6 個の炭素原子で構成され、それらが互いに連係して 6 角形を形成しているが、個々

の炭素原子は、3 個の水素原子をとまう、別の炭素原子と結びついている。水素原子はあまりにも小さく、映像にはあらわれない。

第87章 ジェームズ・クラーク・マクスウェル(1831-1879)

ジェームズ・クラーク・マクスウェルは史上ひととき傑出した数学者だと認められているが、むしろ物理学への貢献によって名高い。数ある業績のなかで特に重要なものは、「マクスウェル方程式」による電磁場論の数学的定式化である。さらに、気体分子運動論にも重要な貢献をしている。

マクスウェルはケンブリッジ大学で数学を学び、あらゆる試験に抜群の成績をあげた。数学の天才として誉れ高く、卒業後わずか数年にして、最初はアバディーン大学 [1856–60]、のちにロンドン大学キングズ・カレッジ [1860–65] の教授に任命された。若輩にもかかわらず、その力量はすでに最高水準に達していた。1856 年にアバディーン大学へ招聘されて以来 10 年のあいだに、マクスウェルは物理学で最も顕著な業績を残すことができた。

マクスウェルはまず気体の動きに取り組んだ。気体がたえまなく運動している多数の微小な粒子—原子または分子—から構成されていることは、かなり以前から知られていた。マクスウェルはこのような気体分子の運動が偶然にしたがっていると仮定し、その考えを統計学的方法で反論の余地なく証明した。全体としての気体に対してどのように「平均」速度が確認できるかを示す、個々の気体分子間における速度分布を記述する有名な方程式 [マクスウェルの速度分布則] を導出したのである。温度上昇は気体分子平均速度の増加であり、温度下降は逆にその低下であると解釈される、とマクスウェルは説明した。

マクスウェルの研究によって、熱を一種の流体とみる古い概念は最終的にすてられ、動いている分子の運動論がゆるぎなく確立された。そればかりか、重要な哲学的含蓄もみのがせない。マクスウェルは、気体の運動が、気体分子の統計に基づく動きによって決定されることを証明した。つまり、統計は確率の原則に立脚しているゆえに、気体内の熱伝導に関する法則や見解は絶対なものではありえない、と立証されたことになる。法則が確認される公算がつねにきわめて大きいとしても、法則が破られるという小さいが、意味のある確率も依然として存在する。これは、古典物理学の決定論的論理を超え、現代物理学の広範な領域にひろがる確率論的基礎づけへと踏みだす、重要な一歩であった。

気体分子運動論をしあげた直後に、マクスウェルは最大の偉業をなしとげる。すなわち、物理学者マイケル・ファラデーの電磁場に関する考察 [いわゆる「ファラデーの媒質理論」] をさらに発展させ、すっかり数学的に定式化する。この「マクスウェル方程式」によって、電場と磁場との堅いきずなを反論の余地なく証明し、「電磁気学」の概念を学術語にくわえた。

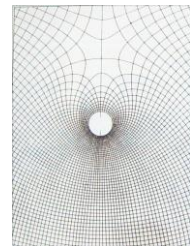
マクスウェルは上記方程式を用いて、電流によって電磁場が誘導され、電磁場は

その発生源から一定の速度で電磁波を放射していることを証明した。この電磁波の速度は時速 299, 756 km に達する、つまり、ほぼ光速に相当すると算出した。マクスウェルはこの点からただちに、光も一種の電磁波であり、可視光線ははるかに幅広い電磁スペクトルのごく一部にすぎない、と推論した。いまやマクスウェルのめざましい業績は、彼の描いたスペクトルが多方面から使用されている事実によっても裏書きされる。レーダーやラジオの長波から X 線の超短波にいたるまで、さまざまな電磁波の運動に妥当する法則が、電磁場の基本法則である「マクスウェル方程式」にきわめて単純明快に表現されているのである。

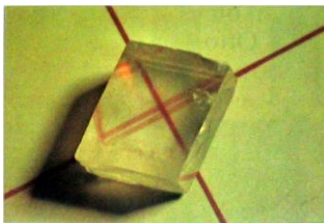
マクスウェルはケンブリッジ大学に創設された実験物理学講座の教授に招かれ、惜しくも早世する数年前、いまや世界的に有名なキャヴェンディッシュ研究所の設立にも参画し、初代研究所長として最初のスタッフをつのった。苦しみをかかえ、不治の病と知りながらも、マクスウェルは冷静にうまずたゆまず研究をつづけた。存命中も高く尊敬されていたが、真の偉大さは没後によりやく認識される。彼の仕事が科学にとってどのような意味があるか、それは後世の発見と開発がやっと全容を明らかにしたのである。今日ではマクスウェルをアイザック・ニュートンとアルベルト・アインシュタインの直後に位置づける者が多い。



右 攪乱された場における力線図形（マクスウェルの『電磁気学』[1873] から引用）。マクスウェルは、電場と磁場が、一種の光波になって振動する、量であることを示した。電場（動く電荷）と磁場（変化する磁気強度）とは、不可分の関係にあり、互いに独立してあらわることができない。電場の強さと磁場の強さは、互いに垂直な平面上を横方向に変化する。「マクスウェル方程式」は、光波が空気中の粒子の変位によって振動する、という理論を



くつがえした。



■左 氷州石の結晶による二重屈折は、光の振動面が不断に変化するという理論の例証になる。

右 視覚の三色理論—つまり、目は赤、青、緑の光に対して異なる受容神経をもっていること—を図解するために、マクスウェルが 1869 年に撮影した、最初のカラー写真。



左 赤外部の光—すなわち、マクスウェルがその存在をはじめて想定した、電磁スペクトル領域の一部—を使って撮影された、イギリス田園地方の風景写真。空中写真の場合、赤外線は、大気中のもやを透過し、また植物が病気にかかっているかどうかを識別したり、隠れた物体を明らかにしたりする。人間の目には見えなくても、赤外線は夜間撮影に利用することもできる。

第88章 ニコラウス・オットー(1832-1891)

世界初の4サイクル式内燃機関は、将来のあらゆる自動車エンジンの基礎になる、機能原理を確立した。それはドイツの技術者ニコラウス・アウグスト・オットーによって組み立てられ、「オットー機関」と呼ばれるようになった。

「内燃機関」とは、燃料を機関本体の外部にもうけた燃焼室でもやす、蒸気機関〔つまり外燃機関〕と異なり、燃料を気筒^{シリンダー}内で燃焼させることからうまれた用語である。

4サイクル^{エンジン}機関では、4行程に対応する〔クランク〕2回転ごとに、1度だけ点火が起こる。1行程とはピストンの上行または下行の1過程をいう補注 62。第1行程：燃料と空気の混合気吸入。第2行程：圧縮。第3行程：点火と燃焼（作動行程）。第4行程：燃焼ガスの排気。

4サイクル機関の原理は、ガス状燃料の圧縮が決定要素であることを認識した、フランスの技術者アルフォンス＝ユジェン・ボー・ド・ロシャ〔1815－93〕によってはじめて定義された。ロシャはいくつか特許をとったが、みずからエンジンを組み立てたことはない。ニコラウス・アウグスト・オットー—ホルツハウゼンの旅館経営者の息子で独学者—は、ロシャとかかわりなく、独自に実験をはじめたらしい。オットーは1861年に簡単な2サイクルガス機関をつくり、その後数年間にわたって改良をくわえた。1867年、彼はガス機関をパリ万国博覧会に出品して、金賞を獲得した。

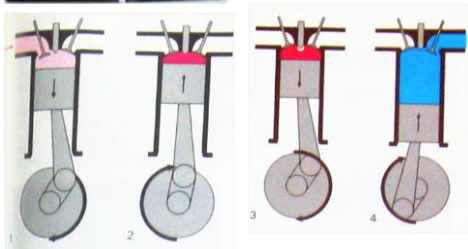
5年後の1871年、オットーは仲間の技術者オイゲン・ランゲンと共同して、ドイツ〔補注 63〕にガス原動機製作会社を設立した。ランゲンはのちに懸垂式モノレールの構想をうちだした。オットーとランゲンは、技術主任としてゴットリープ・ダイムラー技師を迎え、自分たちは4サイクル機関を実用化する課題に専念した。

最初の「オットー機関」は1876年に製作され、翌年ドイツで特許権があたえられた。オットー機関は現在の基準からみれば騒々しく、燃料消費も非常に高いが、そのすばやい成功を傷つけるものではなかった。17年間のうちに、ほぼ50,000台が、主として軽工業の小企業向けに販売された。もちろん、オットーはさらに改良をかさね、なかんずく連動する気筒^{シリンダー}の追加は、エンジンの作動をいっそう安定させた。のちには燃料をガソリンに切り替える実験がおこなわれるようになった。

この間に、ボー・ド・ロシャはフランス裁判所に特許権確認の訴訟をおこし、1886年、ドイツ帝国最高裁判所は、オットーの特許権保護を取り消す旨の判決をくだした。これによって、オットー機関を発展させる可能性がすべての発明家に開かれた。自動車の駆動に応用されることは、もはや時間の問題にすぎないほど、オットー機関の機能原理は、自動車エンジンの運転構造をほぼあらゆる細目にわたって確立していた。オットー機関をさらに発展させた技術者のなかで、最も注目すべき人物は、オットーとランゲンのもとを離れて独立したゴットリープ・ダイムラー、それにカール・ベンツである。



上右 オットーとランゲンがつくった2サイクル・ガス機関。ガスと空気の混合気は、ピストンがあがるとき、垂直のシリンダー内に吸入される。そのあと混合気が点火され、それでピストンは完全に上端〔「上死点」〕まで押しあげられる。気圧によってピストンはそのあと再び下行するとともに、連接棒補注 64 が推進力をクランクからクランク軸へと伝えた。



中 ディーゼルエンジンの4サイクル機関。1. 吸入行程：ピストンは開いた吸気弁をとおして空気をシリンダー内に吸入する。ピストンが運動を完了すると、吸気弁は閉じる。2. 圧縮行程：ピストンは上に動き、空気を圧縮して加熱する。3. 爆発・膨張行程：最大圧縮時に、燃料が噴射して、混合気が点火し、爆発によってピストンを押しさげる。4. 排気行程：ピストンが完全に下端〔「下

死点」〕に達するや、排気弁は開き、次にピストンがあがるにつれて、燃焼した混合気〔排気ガス〕がシリンダー内から押しだされる。

下 1893年、ドゥリユー補注-65の4サイクルエンジン車。その4馬力エンジンは、摩擦駆動と単一の気筒をもっていた。



第89章 ウィリアム・クルックス卿(1832-1919)

「クルックス管」はX線および電^{エレクトロン}子発見の基点となった。陰極線の研究にクルックス管を用いたのは、新元素タリウムを発見し、放^{ラジオメーター}射計も発明した、イギリスの化学者にして物理学者ウィリアム・クルックス卿である。

ウィリアム・クルックスはロンドンに生まれ、王立化学大学で〔有機化学を〕学んだ。その後、王立研究所で知りあった物理学者マイケル・ファラデーによって、当時おもに光学と分光学に取り組んでいた、物理化学の分野へ転向するように説得された。

ファラデーの助言にしたがい、クルックスは分光分析に取り組み、セレン化合物と鉍物を研究しはじめた。その研究成果は1861年、鉛に似た新しい金属、タリウムの発見である。ひきつづきタリウムとその性質を詳細に探究し、研究の副産物として放射計が発明された。放射計は、羽根車に似た構造をもち、どの羽根も片面が黒く塗られ、他面はみがかれている。光が羽根に向けられると、黒塗りの側面はつや出し面よりも多くの光を吸収して、分子を^{励起}させる結果、羽根が回転しはじめる。このような方法で「投射線」（陰極線）の強度を測定する装置である。

クルックスのもうひとつの発明は、スピンサリスコープ、つまりα粒子による^シ

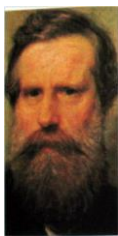
シンチレーションを観察するための放射線検出装置である。いまでは、この大規模な改造型〔シンチレーション計数管〕が、放射性物質から出る α 粒子の放射を測定するために利用されている。

クルックス最大の業績はしかし陰極線についての研究である。1887年、特に目的にあわせて設計した、真空度の高いクルックス管内の2個の電極によって発生する、電気の運動を研究しはじめた。クルックスは高電圧と真空吸い出しポンプを利用した。内部圧力が低下するにつれて、緑色の輝きが管内に見え、電流が流れだす。灼熱した「ガス」は線条に分かれ、カソード（陰極）付近には、「クルックスの暗黒部」と名づけられる領域が形成される。管内では、小さい羽根が、明らかに陰極から陽極に移動する微粒子に動かされて、回転しだした。

この結果に基づいて、クルックスは、固体でも液体でも気体でもなく、「^{ウルトラガス}超気体」状であり、高真空の条件下で生じる、「物質の第4状態」を仮定した。つまり、粒子は気体分子と同じ次元と質量をもつが、帯電した状態にあると考えたのである。事実1897年、イギリスの物理学者J. J. トムソンは、クルックスのいう帯電粒子が^{エレクトロン}電子、すなわち水素原子の1/1,800しか重さがない微粒子であることを発見した。ドイツの物理学者ウィリアム・レントゲンも、クルックス管を使って陰極線を研究しているうちにX線を発見した。

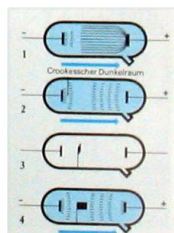
陰極線の実験研究とクルックス管の設計が、クルックス最大の学術的偉業である。晩年には理論研究に重点を移すが、彼は一般に才気あふれる実験者と評価された。クルックスは多くの出版物を編集し、世界人口の増加から予見される大規模な食糧危機の脅威についても講演活動をしていた。

残念なことに、クルックスは心霊主義^{スピリチュアリズム}への傾斜によって仕事が左右された。霊媒やオカルト現象の研究に多くの時間をさき、生涯を終えるころには、風変わりなヴィクトリア朝の賢人と評判になっていた。ところが、彼の開発したいくつかの装置はいまも使用されている。特に、クルックス管はブラウン管の基礎になった。



上中央 タリウムとタリウム塩。

上右 クルックスのラジオメーター。この放射計は羽根車に似た構造からなり、どの羽根も片面が黒く塗られ、他面はみがきあげられている。羽根車は石英またはガラス球のなかに封入された。熱源から放射される光によって、羽根車は、みがいた表面が指す方向へと回転する。



下左 クルックス管。凹面のカソードが電子線を管内のターゲットに焦点をあわせる。

下中央 管内の圧力が低下すれば、ガスの色が変わり、さまざまな輝線が形成される。

下の管内の金属十字が陰極線をさえぎり、影をつくる。

下右 電気が流れている管を真空にすると、輝き(1)は消え、あとに暗黒部(2)を残す。暗黒部の羽根(3)は、陰極^{カソード}から放射する粒子にあたって、回転をはじめる(4)。

第90章 ゴットリーブ・ダイムラー（1834－1900）

ダイムラーはカール・ベンツと並んで自動車時代の父と呼ばれる。気化器^{キャブレター}を発明して最初的高速ガソリンエンジンを実現させるとともに、ダイムラーは自動車の初期発達段階全般に不可欠な貢献をはたした。

ゴットリーブ・ダイムラーはドイツのショルンドルフに生まれた。銃工として見習修業をしたあと、技術者になろうと決心する。ダイムラーはイギリス、フランスならびにベルギーで勉強した。38歳のとき、ニコラウス・オットーがケルン市のドイツ(Deutz)に設立した、ガス原動機製作会社の技術主任になった。ダイムラーの研究助手にヴィルヘルム・マイバッハという若手の技術者がいた。ダイムラーとマイバッハは、内燃機関には道路車両の駆動装置となる可能性があると考えたが、オットーはそのような開発に懐疑的であった。意見の対立は1882年に頂点に達する。ダイムラーとマイバッハは退職を申し出で、オットーは、ダイムラーのような「話にならん強情者」は手に負えない、といいはなった。

ダイムラーとマイバッハは、バート・カンシュタットにエンジン試験工場を設立し、軽量的高速回転内燃機関、ガソリンで動く4サイクルエンジンの開発に集中した。ダイムラーが以前オットーのために製作していた、ガソリンエンジンは、毎分わずか130回転に達したにすぎなかった。効率のよい点火装置と、動力用燃料を気化し、それを空気と混合させる、気化器^{キャブレター}をそなえた新型エンジンは、毎分900回転に達した。1885年、ダイムラーとマイバッハは新型エンジンを木製自転車に搭載し、最初の原動機つき二輪車をテストした。

翌年秋、ダイムラーとマイバッハはエンジンを馬車に搭載し、このダイムラー車でカンシュタットからエスリングゲンまで走行し、時速ほぼ18kmを達成した。1889年型ダイムラーははじめての4輪車で、いくつかの革新的装置をとりいれている。すなわち、車輪を回転させるためのベルト駆動装置、方向制御装置、4段変速装置である。さらに、同4輪車は鋼管フレームのうえに組み立てられていた。

これで自動車は商業的に利用できるようになり、やっと新たな発明品の生産と販売にとりかかれた。1890年にダイムラー・モーター会社が設立される。製品の品質と性能はまたたくまに広く知れわたった。1894年、パリとルーアンを結ぶ区間で、第一回国際「馬なし馬車競争」がおこなわれた。出走車102台のうち15台しか目的地に到達しなかったが、完走車は例外なくダイムラー・エンジンで動いていた点が特筆される。ツェペリーン伯も1890年代に硬式飛行船の初実験にダイムラー・エンジンを使った。

1896 年、ダイムラー社は最初のトラックを生産した。しかし企業が全盛をきわめるのは、1900 年、すなわちダイムラーの没年に、最初の現代的な車と一般にみられている、「メルセデス」[補注 66](#) の製造を開始したことによる。デザインは魅力的で、当時の発展段階では最高の 24 馬力エンジンを搭載していた。

ダイムラー社はイギリスなど外国にさまざまな子会社を開いた。結局 1926 年、カール・ベンツ社と合併し、製品はそれ以後「メルセデス＝ベンツ」と呼ばれる。マイバッハは重要な技師兼設計者としてとどまり、1909 年、息子とともに航空機エンジン製造工場を創立し、ツェペリー航空機整備工場の下請け業者になった。



上中央 ダイムラーとマイバッハのパート・カンシュタット作業場。
上右 ダイムラーが 1879 年



にニコラウス・オットーのガス原動機製作会社で開発したガソリンエンジン。

下左 最初の 4 輪自マイバッハ。

動車に乗ったダイムラーと

下中央 パート・カンシュタットにあったダイムラーの自動車工場。

下右 1899 年製ダイムラー車。

第91章 ドミトリー・メンデレーエフ(1834-1907)

ロシアの化学者ドミトリー・メンデレーエフは、原子量に基づく化学元素の基本的な相互関係を発見した。これによって作製した元素の「周期表」は、今日では近代化学の屋台骨とみなされている。メンデレーエフの周期表は、類似した化学的物^{バックボーン}理的性質をもつ「同族元素」を確認させ、それまで発見されていなかった元素の存在を化学者に予言させた。メンデレーエフが明らかにした、原子量の基本的重要性は、原子構造および物質の運動や性質の決定におよぼす原子構造の意義について、物理学に新たな目を開かせることになった。

メンデレーエフはシベリアのトボリスクで育ち、ペテルブルグ、現在のレニングラードで自然科学を学んだ。同期の首席で卒業し、フランスとドイツで研究をつづけ、1866 年、彼は著名な化学者となってロシアに帰り、出身校ペテルブルグ大学の教授になった。既存の教科書に不満をいだき、メンデレーエフは独創的な『化学の

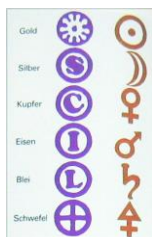
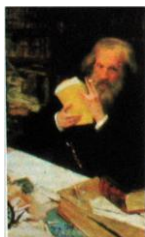
原理』を執筆し、1870 年に出版された同書は、いまや化学の古典になっている。著作の下準備をする過程でさまざまな化学元素間の関係を探究し、各元素の性質に共通するしるしを追い求めた。メンデレーエフ以前にも、同様な試みをおこなった化学者がおり、イギリスの化学者ジョン・ドルトンが原子量概念を導入して以来、いくつかの基本パターンを発見できると期待して、繰り返しさまざまな元素の原子量と原子量とのあいだに算術的つながりが探し求められてきた。だが、問題の解法^{キー}を見だし、元素の周期系をはじめて確立したのは、メンデレーエフである。

当時知られていた 63 個の元素を原子量にしたがって整理して表にまとめることで、メンデレーエフはさまざまな先人を超えたわけではない。彼の歴史的業績は、元素のある性質が周期的に繰り返しあらわれる事実を、一覧表から読みとった点にある。特に、メンデレーエフは元素の原子価―すなわち化学結合をつくる際にはたらく電荷数の規則的な上がり下がりを見きわめた。元素の化学的物理的性質が縦の行から行へと規則的に変化し、しかも周期的に反復されることを発見した。こうした性質の周期的現出から、メンデレーエフは自身の分類を「元素の周期表」と名づけ、この名称は現在も用いられている補注 67。

メンデレーエフは学会で高い評価をうけていたにもかかわらず、彼の周期表は疑いのまなざしで見られた。しかし 1871 年、メンデレーエフは決定的な理論の証明に成功し、労作はまもなく一般に認められた。『ロシア化学学会誌』に発表された歴史上重要な論文で、メンデレーエフは、将来発見されるはずだと考えた元素をあらわす、周期表の空欄を同定した。さらに、空欄の位置は、新元素が周期表の隣接元素と似た性質をそなえていることを示唆していると説明し、新元素のかなり詳細な記述までした。4 年後にそれらの第一号、ガリウムが発見され、まもなく他の空欄も次々にうめられ、メンデレーエフの予言は的中した。こうして彼の周期系は、いかなる科学理論もくぐらなければならないテストに合格した一検証可能な新事実を首尾よく予言していたのである。

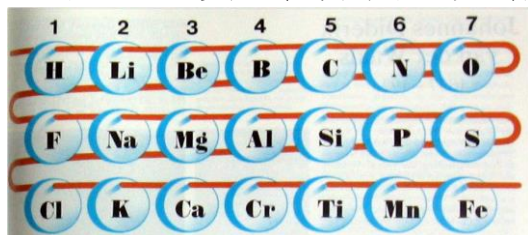
突如としてメンデレーエフは名声を天下にとどろかせた。次々に栄誉をたたえられ、たびたび海外へ旅行した。外国では人望のある化学者であったが、ロシアではさほど人気がなく、ことに政府は、彼の自由と平等主義への擁護に不信の念をいだいていた。

メンデレーエフはロシア革命の 10 年前に没した。1955 年新たに発見された元素が、遅ればせながら、彼の名にちなんで「メンデレビウム」補注 68 と命名された。



中央 錬金術師は水銀から金を精製しようとした。水銀の記号がフラスコに表示されている。原子とその不可分性という概念があらわれる以前は、魔術や奇跡によって物質は別の物質に変えられるものと信じられていた。水銀のような物質を金に変えるという「賢者の石」の探索は、600 年の長きにわたって錬金術師たちの関心をひいた。

右 錬金術師は元素と考えた物質の記号として線画を用いた（右）。記号は占星術に由来し、惑星とつながりがある。これらは錬金術師の隠された知識の一部であり、秘法を授けられた人々だけが利用できた。こうした記号は、ジョン・ドルトンが原子論を仮定したとき、左側の記号に置き換えられた。しかし、ドルトンの記号も扱いにくいことがわかり、結局アルファベットの文字からなる現行の化学表記法に切り替わった。



			Ti=50	Zr=90	?=180
			V=51	Nb=94	Ta=182
			Cr=52	Mo=96	W=186
			Mn=55	Ru=104,	Pt=197,
			Fe=56	Bu=104,	Ir=196,
		Ni	Co=59	Pl=106,	Os=196,
			Cu=63,	Ag=108	Hg=200,
			Zn=65,	Cd=112	
			?=68	Ur=116	Au=197?
			?=70	Sn=118	
			As=75	Sb=122	Bi=210
			Se=76,	Te=128?	
			Br=80	I=127	
			K=39	Rb=85,	Cs=133
			Ca=40	Sr=87,	Ba=137
			?=45	Ce=92	
			?Er=60	La=94	
			?Yt=60	Di=95	
			?In=75,	Th=118?	
H=1	Be=9,	Mg=24	Ti=50	Zr=90	?=180
	B=11	Al=27,	V=51	Nb=94	Ta=182
	C=12	Si=28	Cr=52	Mo=96	W=186
	N=14	P=31	Mn=55	Ru=104,	Pt=197,
	O=16	S=32	Fe=56	Bu=104,	Ir=196,
	F=19	Cl=35,	Ni=59	Pl=106,	Os=196,
			Cu=63,	Ag=108	Hg=200,
			Zn=65,	Cd=112	
			?=68	Ur=116	Au=197?
			?=70	Sn=118	
			As=75	Sb=122	Bi=210
			Se=76,	Te=128?	
			Br=80	I=127	
			K=39	Rb=85,	Cs=133
			Ca=40	Sr=87,	Ba=137
			?=45	Ce=92	
			?Er=60	La=94	
			?Yt=60	Di=95	
			?In=75,	Th=118?	

上左 イギリスの化学者 J.A.R. ニューランズが 1865 年に提唱した、「オクターブの法則」。元素を原子量の順に表で

Ekasilicium	Es	Germanium	Ge
(1871 von Mendelejew vorausgesagt)		1886 entdeckt	
Atomgewicht	72		72.3
Atomvolumen	13		13.2
Spezifisches Gewicht	5.5		5.47
Schmutziggraues Element, bildet weißes Oxyd	EsO ₂	Grauweißes Element, bildet weißes Oxyd	GeO ₂



配列すると、性質の類似する元素が規則的に 8 番目ごとにあらわれた。

上右 元素が原子量順に配列されている、メンデレーエフの表。それぞれ縦の行にならぶ元素は、同種の反応を示す。その

時まで未知の元素には疑問符がつけられている。

下左 1886 年に発見された元素、ゲルマニウムの性状と、メンデレーエフによって予言されたエカ・ケイ素との比較。

下右 結晶性のリン化ガリウム。これは、メンデレーエフ周期表の空欄に適合する、最初の元素として発見され、彼が予言したとおりの性質をそなえていた。

第92章 ヨハネス・ディデリク・ファン・デル・ワールス(1837-1923)

オランダの物理学者ヨハネス・ファン・デル・ワールスは独学者であった。1910 年、実在気体の運動に関する研究でノーベル物理学賞を受けた。圧力、体積、温度を考慮に入れた「ファン・デル・ワールスの状態式」によって、物理学者ははじめて異なる条件下にある気体の運動について詳細な予測ができるようになった。いまやファン・デル・ワールスの状態式は、気体が重要な役割をはたす、ほとんどすべての工学技術分野で実地に応用されている。周知の実例は、食品の冷蔵や冷凍である。

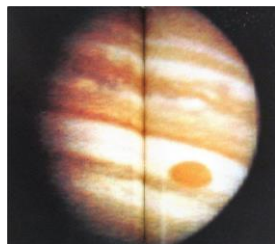
ファン・デル・ワールスはライデン市の貧しい家に生まれた。数学、物理学および化学の必要な知識を独学で身につけ、1862 年ライデン大学に入学を許可された。ファン・デル・ワールスは、科学現象の根底にある、物理的プロセスを把握する、^{けう}希有な才能があり、そのさいに卓越した数学の能力も役だった。ライデン大学に提出した気体と液体の運動に関する学位論文補注 69 は、説得力のある彼独自の洞察によって、ちょっとしたセンセーションをまきおこした。これは、のちにファン・デル・ワールスが名声をきずくことになる、画期的な発見の前触れであった。

研究成果が好感をもって受け入れられたことに勇気づけられ、ファン・デル・ワールスは、学会で当時一般化していた気体運動の不十分な記述の改訂にとりかかった。すべての知識はつまるところ唯一の学説、すなわち、一定量の気体の圧力、体積、温度〔絶対温度〕のあいだに成り立つ変化の関係を説明する、ボイル＝マリオットの法則に基づいていた。この法則は 1662 年にイギリスのロバート・ボイルによって（また独自にフランスの物理学者マリオットによっても）定式化されたものであり、有効な近似値を提供するが、いずれにしても正確ではなかった。学者はこの限界に気づき、ボイル（＝マリオット）の法則はいわゆる「理想気体」の場合にかぎって厳密に成り立つと考えるようになったが、このような気体が存在しないことを大目にみていた。

ファン・デル・ワールスは、なぜボイルの法則が「実在気体」のとき厳密には妥当しないか、その理由をさぐりあてる研究にとりかかった。ボイルの法則は、2 つの重要な前提から始まる、気体分子運動論を主たる根拠にしていることがわかった。第一に、気体分子間にはいかなる引力もはたらいていないこと、第二に、気体分子そのものは位置をつきとめられるが、輪郭のはっきりした形態はもたないことである。ファン・デル・ワールスは、分子間にわずかな引力が存在し、分子は微小ながらも、一定の形態を保有することを知るにいたり、2 つの前提に納得できなかった。

数年間綿密な研究をかさね、ファン・デル・ワールスは 1873 年、広範囲に実在気体の運動をとらえる状態式を示した。これによって気体の圧力、体積および温度の変化が驚くほど正確に確定される。

この画期的業績に直接つづくものとして、水素とヘリウムはジュール＝トムソン効果だけでは液化できず、まず別の手段を使って一定温度以下に冷却する必要があることに気づいた、オランダの物理学者ハイケ・カマリング・オンネスのヘリウム液化法の発見[補注 70]がある。



上左 ヨハネス・ファン・デル・ワールス（右）とハイケ・カマリング・オネス（左）。

上中央 ファン・デル・ワールスの状態式は、木星のような巨大惑星における気体の物理学的構造を決定するために利用することができる。



上右 葉片状グラファイト。炭素原子の層は、弱い「[ファン・デル・ワールス力](#)」によって結合される。これがグラファイトの油性組織をひき起こす主な原因となる。

下左 ケンブリッジのキャヴェンディッシュ実験所にあるヘリウム液化装置。カマリング・オンネスは、水素とヘリウムの液化に必要なデータを検証するために、ファン・デル・ワールスの状態式を利用し、ついに低温学（低温物理学）を開拓した。低温学は外科、環境保護、放射源の探知やエネルギーの供給にも利用されている。



下右 液化水素を推進力とする、アポロ II 号の発射。宇宙工学は特に低温学に依存し、液体酸

素と液体水素が組み合わせられたものが、ロケット推進薬として用いられる。宇宙医学では、液体水素は吐き出す炭酸ガスから酸素を再生するために利用されている。

第93章 ウィリアム・ヘンリー・パーキン卿(1838-1907)

インジゴ（藍）のような植物系あるいはその他の天然染料による染織は、すでに古代の中国やエジプトで知られていた。現代繊維工業で用いられる、多彩な合成染料の発達には、イギリスの若い化学者ウィリアム・ヘンリー・パーキンが 1856 年に合成タール染料「モーヴェイン Mauvein」を発見したことからはじまる。

1845 年王立化学大学がロンドンに創立されたとき、ホルムアルデヒドなどを発見した有機化学分野の専門家、アウグスト・ヴィルヘルム・フォン・ホフマンが初代指導教官として招かれた。ホフマン教授は、アニリンとして知られている化合物をふくむ、特にコールタールの性質と製品について幅広い研究をした。

1853 年、ウィリアム・パーキン 15 歳で王立化学大学に入学し、まもなくホフマン教授の実験助手に^{ぼってき}抜擢された。1 年後、パーキンはホフマンの提案にしたがい、コールタールの副産物から合成キニーネをつくる可能性を探る、研究計画にとりかかった。

当時キニーネの組成は知られていたが、複雑な分子構造は理解されていなかった。したがって、キニーネの合成をめざすパーキンの野心は、いまだ実現にはほど遠かった。アニリンに一連の化学反応をほどこし、彼はキニーネの合成をこころみだが、偶然にも紫色にきらりと光る、黒みがあった、名状しがたい粘性の液体が得られた。少量のアルコールを添加すると、液体は青みを帯びた紫色に変色した。

パーキンはさっそく染料としての適性検査用に見本を送り、好ましい回答がでるや、特許を申請した。発見して 1 年後の 1857 年、パーキンは弱冠 18 歳であったが、特許権を取得して大学を去り、父親と兄弟のトマスと共同でハローに化学工場を設立し、アニリンを製造しはじめた。

フランス染色業者たちの熱烈な反響によって、企業は急速に拡張した。染料は「モーブ mauve」[補注 71](#) と呼ばれ、当時のモードはもはやタール染料モーヴェイン抜きには考えられなかった。23 歳のときには相当な資産家であったばかりか、パーキンは合成染料の大家ともみられていた。パーキンの成功は応用研究の時代をひらき、特にフランスとドイツで、多くの化学者が熱心に彼を手本とした。恩師ホフマンさえもこれに追随して、赤味紫色の染料を開発し、折しも 1859 年に[フランス軍](#)がオーストリア軍を破った戦勝地である、イタリアの町を祝って「マゼンタ」と命名するほどであった。

学術研究の工業利用は、保守的なイギリスの企業家にうさんくさく思われた結果、ドイツが応用化学の世界的中枢におどりでた。現在のドイツ化学コンツェルンの大部分は、パーキンの功績に基づいている。パーキン自身は 35 歳で実業界からしりぞき、余生を研究に没頭することができた。

パーキンは引退後 1 年たらずのうちに、あたかも刈り取られたばかりの干し草みたいな心地よい香りがする香料、クマリンの合成に成功した。この発見は合成香料の工業生産に先鞭をつけた。またもやパーキンの研究は故国だけでなく、全ヨーロッパから注目され、いちだんと発展していく。死去の前年、ちょうど最初の発見から 50 年目を迎えた 1906 年に、パーキンはナイト爵を授けられた。



上右 パーキンがつくったオリジナル染料：—
 その中の右画像 セイヨウアカネの根から得られる赤の天然染料にとってかわった、アリザリンの瓶。
 その中の中央画像 最初の合成染料、モーヴェイン。
 その中の右画像 モーヴェインで染められた糸。



下左 1870 年、アニリン＝ブルーの製造。1856 年パーキンのモーヴェイン発見は化学者たちをアニリン研究にかりたてた。有機化学の進歩は、多くの新しい染料の発見を可能にするとともに、新たな化学工業の基礎を形成した。

下中央 フランスの芸術家ジャン・リュルサが 1961 年に制作した、挿絵のゴブラン織り断片は、合成染料によってだせる、色彩のニュアンスをみごとに発揮している。

下右 混合染料のペーパークロマトグラフィー分析。特別な溶媒をくわえると、種々の染料が異なる速度で濾紙上に拡散するため、分離、分析をおこなうことができる。

第94章 エルンスト・マッハ(1838-1916)

オーストリアの物理学者で哲学者のエルンスト・マッハは、空気力学の先駆者であり、その研究は航空学と超音速航空機の発達に重要な影響をあたえた。科学分野への最大の貢献は、実証論の復活と発展継続である。

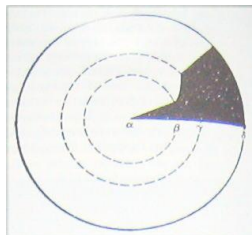
マッハは 1864 年グラーツ大学数学教授に就任、1867 年物理学担当の教授としてプラハ大学に転じ、以来 28 年間在籍した。最も影響力の大きい主著、『力学—その発達の批判的歴史的記述—』は 1883 年に刊行され、力学の諸概念は経験・観察によって正しさが確かめられる場合にかぎって有効である、と彼は論じている。想像ないし直感的推論に頼ることは、マッハにとって、形而上学に陥るとことを意味した。マッハは思考過程をさらに『感覚の分析への寄与』（1886）で発展させ、われわれが着想を導きだし、理論を展開する基になる、実験資料それじたいは中立だと主張した。したがって、知覚心理学では、調査される現象は、もっぱら観察者の経

験に基づく概念から究明され、理解することができるにすぎない、という。

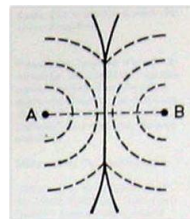
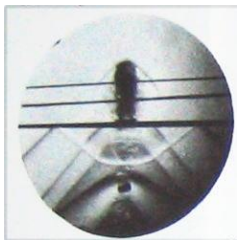
実証主義の伝統では、仮説と理論は、客観的認識の収集に有用な手段となるか、それともなりえないかが判明する、ただの「思弁」（便利な虚構）にすぎない。当時はまだだれも個々の元素を観察していなかったため、実証主義者にとって、原子論はひとつの「思弁」にすぎなかった。マッハ自身も原子論反対派の最右翼になった。原子の存在が経験的に証明されないかぎり、彼の考えによれば、客観的存在とはみなされない。同様の理由から、ニュートン物理学における絶対時間や絶対空間の概念も否認した。マッハはこのような思弁を科学本来の課題とは考えなかったのである。

マッハの知的威信とあらゆる理論構成に対する妥協のない批判的立場は、物理学と心理学の将来の発展ばかりか、現代哲学の経験主義学派にとっても指針となった。これに対して、マッハを非難する人々は、実証主義とはしよせん現実からの逃避であり、現実への接近ではないと指摘する。なぜなら客観事象の観察も結局は人間の思考現象としてのみ意味と効力があるのだから、と批判した。

「マッハ数」は、風洞中の物体の運動に関するマッハの先駆的研究を高く評価してつくられた用語であり、弾丸とか飛行機とかロケットの速度が気体空間（ふつうは大気）で音速を何倍こえるかを示す。マッハ 1 のとき、音速の壁が打ち抜かれ、これを超えるものが超音速である。たとえばマッハ 2 は音速の 2 倍に相当する。特有の爆発音「ソニックブーム」は、亜音速から超音速への移行時に、音速の壁を突破することによって発生する。



上右 マッハが不規則な黒い刻み目のついた白い円盤をまわすと、2 本の色がついた帯が見えるようになった。この「マッハ帯」は、測光器によって確認できないことから、物理現象でなく、観察者の神経医学上の抑制が原因である、と彼は推論した。マッハ帯はつまり客観ではなく、主観によるものとみなされる。



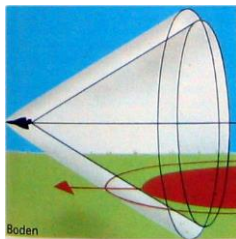
中左 マッハが撮った衝撃波の写真。左：ボール紙。右：弾丸。
中中央 同時に爆発した、2つの電気火花（A、B）によってひき起こされる



衝撃波。

中右 静止した音源は、同心円を描いて音波を放射する。亜音速の場合、放射される円形の音波は、音源が動くにつれて位置がずれていく。円 1 は位置 1 にある音源から放射されている。（図解の飛行機はマッハ 0.8 で飛んでいるため、それぞれ円の限界を決して突破することはない）。しかし、超音速航空機はすべての円を飛びこえる。

下左 飛行機から発生した音波のシュリーレン法による写真撮影。



左 飛行機の機首と後部が、円形の衝撃波を発生させる、音響源のはたらきをする。色刷りの領域で 2 度ソニックブームが聞かれる、1 度目はアウトラインで。

右 ^{ふうどう}風洞における超音速航空機の空気力学試験。



第95章 フェルディナント・フォン・ツェペリー伯爵(1838-1917)

操縦可能な気球を長距離旅客輸送に使用できる交通手段にした、「硬式飛行船」[補注 72]の誕生は、コンスタンツ出身のドイツ人将校ツェペリー伯爵によるところが大きい。

18 世紀末期、モンゴルフィエ兄弟と J. A. C. シャルルによる自由気球の開発後、操縦可能なモデルー風などの気候要因に左右されずに操縦し誘導できるモデルーが久しく追い求められていた。多かれ少なかれ実用的な幾多の提案があったが、初期の設計で最も先見の明のあるものは、フランスの軍事技術者ジャン＝バティスト＝マリー・ムニエ将軍の作品である。ムニエ 1785 年制作のデザインには、すでに操縦可能な気球のあらゆる基本要素—流線型、係留索付きのゴンドラ、方向舵—がみられる。ただし推進力がなかった。

1850 年パリの競馬場で、フランスの時計職人が、一組のプロペラをぜんまい装置で動かす模型を実演してみせた。力学的エネルギーによって離陸した、この最初の気球は、フランスの技術者アンリ・ジファールがつくったものである。コークスを燃料とする、軽量の蒸気機関を用いて、プロペラを回転させた。ジファールは 1852 年 9 月 24 日に競馬場を飛び立ち、たっぷり 27 km を飛行して無事トラップに着陸した。ただジファールの飛行船[半硬式飛行船]は、きわめて穏やかな気象条件でしか飛べなかった。

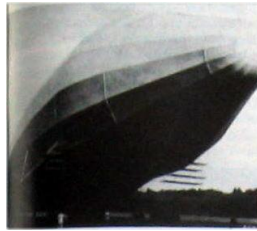
ゴットリーブ・ダイムラーによる 4 サイクルガソリンエンジンの発明は、さまざまな型式の飛行船を試作する新たな実験へとかりたてた。ブラジル出身の航空技師、アルベルト・サントス＝デュモンは比較的小規模に軟式飛行船を建造して、相当な成功をおさめた。1901 年 10 月、デュモンは「6 号機」でサン＝クルーの航空クラブからエッフェル塔に飛び、塔を旋回して 30 分以内にふたたびサン＝クルーに帰還し、一着の飛行船操縦者に贈られる 10 万フランの賞金を獲得した。「9 号機」はきわめて小さく、デュモンは個人用の輸送手段として利用し、ひょいとパリの路上にさえとめた。

しかし未来は、硬式飛行船の大量生産にあった。硬式飛行船の建造は、^{フ レ ー ム}船体骨組みに必要とされる、アルミニウムの生産増大によって可能になった。フレームは布張

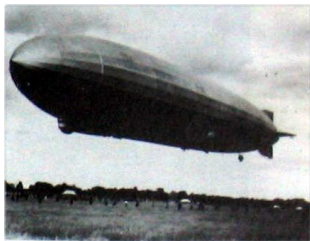
りされ、内部には浮揚ガスを詰めるためのガス袋（^{きのう}気嚢）が収納されている。ツェペリーンは南北戦争〔1861-65〕のあいだアメリカに滞在し、軍事情報部で気球の使用を研究した。彼ははじめて1898年に気球デザインの特許をとり、次の2年間、ボーデンゼー補注73に浮かぶ浮動格納庫でツェペリーン飛行船第1号を製作した。いまや「ツェペリーン」といえば、飛行船をあらわす代名詞にまでなっている。1900年7月2日の処女飛行は歴史上重要な出来事であるが、つづく10年間にまだ解決すべき問題が多々残されていた。

第1次世界大戦はツェペリーン飛行船の発展を加速させた。約100隻^{そう}が建造されて、その多くがイギリス東部を空爆し、数隻はロンドンにまでも到達した。飛行船は多大の破壊と人命の損失をもたらしたが、対空防衛が改良されると、しだいに撃墜される数が増えてきた。発明者は硬式飛行船の大規模な建造と1918年後の長距離旅客輸送の開業を待たずして没した。

1918年から1937年までのあいだで最も有名な大型旅客飛行船は、「ツェペリーン伯号」であり、144回大西洋を横断し、飛行距離は一完全な無事故記録で一160万キロ以上に達した。ただその間に、陸上あるいは海上に、何度か墜落している。最大の劇的惨事は「ヒンデنبルク号」に起きた。同号は長さ245m、乗客70名と相当な貨物を収容することができる、史上最大の飛行船であった。1937年5月、就航わずか1年でレークハースト着陸時に爆発炎上した。船内にいた内の35名が命を落とす。この事故を最後に飛行船時代は終わりを告げ、「ツェペリーン伯号」じたいはひそかに回収される憂き目にあった。



上中央 ドイツの空軍力増強を揶揄する1908年のフランス漫画。フランス語でこう書かれている：「新しい軍馬にまたがるヴィルヘルム二世…われわれの将来は空中にあ



り！（月に注目せよ！）」
上右 「ドイツ号」、初期ツェペリーン飛行船の一隻。
下左 ヴァルネフォルト中尉の英雄的行為。絵は連合国の飛行機による最初のツェペリーン飛行船撃墜を描

いている。6発の爆弾によってベルギー上空で飛行船が火をふきながら墜落してゆく。

下中央 「ツェペリーン伯号」。

下右 グッドイヤー・タイヤ・アンド・ラバー会社の広告飛行船。このアメリカ企業は1924年にドイツのツェペリーン飛行船の特許を取得した。

第96章 ジョン・ボイド・ダンロップ(1840-1921)

スコットランドに生まれた獣医ジョン・ボイド・ダンロップは空気入りゴムタイヤを考案して、なかんずくサイクリングを大衆スポーツ化するとともに、モータリゼーションを急速に加速させた。

スペインの征服者らは南米に上陸したとき、アマゾン川流域でインディアンがゴムノキ、詳しくはパラゴムノキの樹皮に刻み目を入れ、流れ出るラテックス(乳状液)を集めて、はずむボールをつくり、あるいは外套に塗って防水処理し、またラテックスから靴をつくる光景をまのあたりにした。やがて生ゴムはヨーロッパでも需要の多い天然素材となる。生ゴム利用の指針となる最初の進歩は、スコットランドの化学者、チャールズ・マッキントッシュによってなされた。19世紀初頭、生ゴムはコールタールの蒸留液に溶解させて防水に使えることを発見し、彼は防水布を「マッキントッシュ」と名づけ、ゴム引き防水レインコートもその名で呼ばれた。

しかしながら、ゴムは寒冷時に硬化してもろくなり、暑中は柔らかくなる難点があった。コネティカット出身のチャールズ・グッドイヤーは、粘着性や天候に左右される性質を取り除く努力をしていた。1839年、はからずも硫黄とゴムの混合物をストーブの熱した鉄製の熱板にたらししてしまった。あわてて削り落とすと、粘り気がなくなっていることに気づいて驚く。この硬化したかたまりが高温および低温条件に対してどのように反応するかを調べたところ、試料は変化なく安定していた。生ゴムに硫黄を混ぜて加熱する操作は「加硫」と命名された補注 74。加硫法とともに現代ゴム産業の発展がはじまり、グッドイヤーは1844年合衆国で発明の特許をとった。ところが特許権はたえず侵害され、次々と手間のかかる訴訟を起こさなければならなかった。ヨーロッパでも同様な困難があった。とどのつまり、グッドイヤーの発見で甘い汁を吸ったのは他人であり、本人はあり金をすっかり訴訟のために使い果たし、借金で首がまわらなくなって死去した。しかし彼の加硫法は、今日まで本質的に変わらず、きわめて堅く丈夫な製品から、きわめて柔らかく弾力性のあるものまで、多種多様なゴムの生産を可能にしている。

その後まもなく初期の自転車は硬質ゴムタイヤをとりつけ、1845年初頭、路面の凹凸による衝撃をやわらげる、乗り心地のよい空気入りタイヤに、ロンドンで特許があたえられた。このタイヤは一度も生産されることなく、ようやく1887年、ベルファストに居をうつした、スコットランド人ジョン・ボイド・ダンロップが、息子の三輪車用に空気タイヤをつくった。その1年後、ダンロップはタイヤの内部に柔らかい、空気を入れて膨らませることができるゴム製チューブをはめ込んだ、堅牢な外殻の特許をとった。1890年までに、空気タイヤの生産はベルファスト工場でフル操業していた。
トレッド

空気タイヤはたちまち自転車を流行させ、前・後輪の大きさが等しい型に定着してゆき、それが今日まで標準仕様になっている。空気タイヤはまたたく間に新規自

自動車にも使用され、これがまた交通網の改善と路面改良への要求をうみだすようになった。自動車時代はとりわけダンロップの発明に端を発している。「ダンロップ・ラバー会社」は一現在も存続するが—最も有名なタイヤメーカーの一つになった。



上右 グッドイヤーはたまたま硫黄を混ぜた生ゴムをストーブの鉄製熱板にこぼすと、粘り気がなくなっていることに気づく。専門教育をうけていなかった、グッドイヤーは、たいてい試行錯誤の実験を積みかさねた。ゴムでほとんどすべてのものがつくれる、という固着観念が、彼を何度も破滅寸前まで追いやった。



下左 ダンロップのタイヤ広告（1898年）。空気タイヤはまもなく自動車の標準装備になった。

下中央 空気タイヤがとりつけられた自転車を見

せるダンロップ。

下右 ダンロップ・タイヤは1910年、自動車の車輪のリムにとりつけられた。

第97章 ローベルト・コッホ(1843-1910)

感染症は目に見えない力によるものではなく、寄生生物に起因することを証明して、ドイツの医師ローベルト・コッホは、現代殺菌学の祖になった。

コッホはクラウスタールに生まれ、ゲッティンゲン大学で医学を学ぶ。当時の医学部では細菌学を教えていなかったが、ルイ・パストゥールの発見が多大の関心と論議を呼んでいた。1866年に卒業したあと、コッホはヴォルシュタインで開業するかたわら、ささやかな実験室を設けて、医学に革命をもたらす研究をはじめた。

毎年ヒツジやウシを激減させる、炭疽病の研究にコッホは専心した。炭疽病がおそらく棒状の微生物によってひき起こされることは、すでに知られていたが、ある季節に限って突然発生する点がなぞにつつまれていた。コッホは当該微生物の培養法を開発し、それらの菌を顕微鏡で検査した。炭疽菌は、未使用の牧草地で数年間休眠しつづけることができ、のちに草をはむ家畜群に感染する、孢子を形成させている事実を発見した。さらにコッホは、炭疽病にかかっているヒツジの血液や純粋培養菌を使って、マウスにも感染させ、しかもマウスからマウスへと数回感染させた。そのつど、感染したマウスの血中には棒状微生物が検出されたが、健康なマウスには存在しなかった。

炭疽病の突発を微生物の現存と生 ^{ライフサイクル} 活 環に関連させた研究成果は、1876年に公

表され、医学界に大きな反響をよんだ。創傷感染による病気の伝播に関する炭疽菌感染経路やその後の研究から、コッホは特定の微生物を病原体と同定するための基準を導きだすことができた。同定の基準は、特定の病原体があらゆる個々の事例で必ず検出されること、病原体が数世代にわたって培養で育成しうること、さらに病原体が健康な生物に同様な病気を引き起こすことを前提としている。若干の例外を除けば、これらの条件〔コッホの三原則〕は、現在も細菌学的診断の基礎になっている。

高まる名声のおかげで、コッホはドイツ帝国衛生院に招聘された。彼はベルリンに実験室を設け、妻と娘に助手をつとめさせて、多くの微生物学技術、たとえば培養法、水蒸気による器具の殺菌法などを開発した。さらに結核菌の発見にも成功した。

外国でもコッホの仕事に興味をもちはじめた。コッホは多くの政府から風土病に取り組むように依頼された。エジプトではアメーバ赤痢、インドではコレラ菌ならびに伝染病の発生と蔓延の原因を発見した。さらに牛疫、睡眠病、腺ペストの病原体を発見する。1905年、コッホは人類の苦しみを根絶やしにするために果たした挑戦にノーベル生理医学賞を贈られた。



上中 ベルリン伝染病研究所のコッホ実験室。
上右 これらのヒツジも、炭疽菌で汚染された土壌の草をはめば、1日か2日で死ぬだろう。細菌は感染したヒツジ



の血液内で急速に増殖し、抵抗力のある胞子を形成する。感染した死体が葬られれば、胞子は数年間生き残り、別の動物をおかす可能性がある。したがって、唯一の確実な方法は、病原体で汚染した死体を焼却することである。



中左 結核の予防接種を監視するコッホ。彼は1882年に結核菌を発見し、それでノーベル生理医学賞をうけた。

中右 結核菌の顕微鏡写真。

下左 1907年アフリカを医学探検旅行中のコッホ。写真はワニを解剖するコッホを示す。ワニの血は睡眠病に対する解毒剤をふくんでいる。

下右 炭疽病原菌のいろんな生育段階を図示する、コッホの線描。図形2：糸状体をなして成長する細菌。図形3：糸状体が長くなり、微細な胞子を形成する。図形4：糸状体が分岐して微小胞子を放出。図形5a：新しい細菌の生育段階。図形5b：5aと同じ事象が拡大されている。

第98章 カール・ベンツ(1844-1929)

試運転に成功した、世界初の自動車は、1885年にドイツの技術者カール・ベンツの工場で製作された自動三輪車である。

ベンツはカールスルーエに生まれ、当地の工業専門学校を卒業後、機械の製図工として働いた。みずから最初の自動推進式車両をつくりはじめたとき、この種の車と内燃機関には大きな未来がある、と彼は確信していた。

1883年、ベンツは自分が設計した2サイクル・ガス機関の生産工場をマンハイムに設立した。さらに、ガス機関を車両の原動機に発展させ、しかもガソリンエンジンに切り替えようところみたことから、彼は厳しい批判をあび、破産の危機にひんした。やっとのことでベンツがつくった車は、大きい2つの車輪に伝動チェーン装置がとりつけられ、前面に操縦するための小さい車輪をもつ、馬蹄形の鋼鉄製フレームで構成された。

ベンツは1885年の初めに、むしろ巨大な乳母車に似た、この奇妙な造りの三輪車を工場敷地内を4周させると、2個のチェーンの一方が切れ、車は動かなくなってしまった。同年、ベンツは興奮のあまり操縦を忘れて、改良試作品を公開試乗中に壁に衝突させ、最初の自動車事故を起こした。

バーデン大公国補注75には、「点火動力用燃料で動く輸送手段」を道路交通から排除する規定があった。したがって、車を路上で運転するために、ベンツはまず当局の許可を申請しなければならなかった。ようやく許可がおりると、時速約15kmで町なかを運転し、衆目を集めた。当時、ベンツはゴットリーブ・ダイムラーのパート・カンシュタットでの実験についてまだなにも知らず、ダイムラーも、1885年の終わりにパリでベンツの車を見かけるまで、ベンツの業績をまったく知らなかったが、晩年二人のあいだには、自動車の創始者をかけた必死の抗争が展開される。しかし、両社は1926年メルツェデス＝ベンツ車を生産するために合併した。

実のところ、ダイムラーはおそらく一種の機械化した馬車を念頭に浮かべていたのに対して、ベンツはまったく新しい車の型式を構想していた。その反面、最終的に駆動力として利用されたのは、ダイムラーの高速回転内燃機関であった。専門家たちは両者の功績を対等に評価している。ベンツは1887年にパリではじめて車を販売し、1年後には自社の工場で50人の労働者が動力三輪車の組み立てに従事していた。ベンツが最初の四輪構造型を製作したのは1893年である。

1885年から1895年にかけて、有名な自動車工場の多くがヨーロッパに設立された。合衆国では1879年以来、弁護士で発明家のジョージ・ボールドウィン・セドンが実際には一台も組み立てずに出願した、自動車の特許が懸案のままになっていた。アメリカではじめて製作された、ガソリン機関をそなえた自動車は、1893年にマサチューセッツ州スプリングフィールド街を走った、おそらくドゥリエー兄弟

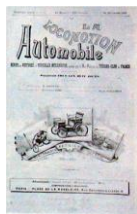
(チャールズ・エドガーとジェームス・フランク) の車であろうが、この説には異論の余地がある。



上左 最初の四輪自動車に乗っているベンツ。

上中央 ベンツによって1885年に組み立てられた、最初の三輪車。

上右 ベンツが1893年につくった最初の四輪自動車。



下左 フランスの雑誌『輸送自動車 La Locomotion Automobile』(1896年刊行)の第一面。挿絵は左から右へ、電気三輪車、ガソリンエンジン四輪車、客車をひく煙突つき四輪自動車を示す。

下右 婦人が運転する四輪自動車。

第99章 ヴィルヘルム・レントゲン(1845-1923)

ドイツの物理学者ヴィルヘルム・コンラート・レントゲンによるXまたはレントゲン線の発見は、医学の治療と診断に革命を起こした。そのうえに、X線は科学や産業の多くの分野にとって重要な補助手段であることが明らかになっている。

レントゲンは放校処分になって正規の教育課程を修了することができなかった。その結果、大学にも入学できず、やむなくチューリヒの工業専門学校で工学技術(エンジニアリング)を学んだ。しかし、著名なドイツの物理学者アウグスト・クントの助手をつとめたことが転機となり、レントゲンはまもなく技術者への道を断念した。レントゲンは物理学のいろんな領域を紹介され、応用分野ではなく、むしろ基礎研究をおこなう決心をする。のちに[1888年]、ヴェルツブツク大学の教授に就任し、1895年、ミュンヘン大学物理学研究所長のときに、レントゲンは歴史的発見をした。

レントゲンは[クルックス管補注 76 を用いて]陰極線の性質を研究していた。両極間に高電圧をかけると、放電管の陰極に陰極線が発生する。特に、陰極線が一定の化学薬品に引き起こす、冷光現象補注 77 に彼は興味をもった。さらによく観察できるように、実験室を暗くし、管を黒い厚紙でおおった。管のスイッチを入れると、部屋の他端にあるバリウム化合物に冷光現象が起こることを確認して驚く。バリウム化合物が陰極線にさらされると、蛍光を発することは知られていたが、レントゲンは、その陰極線が放電管をかこむ厚紙の覆いを決して透過することができないことを突きとめた。

さらに追跡調査の結果、クルックス管のスイッチを入れると同時に、物質は隣室

にあっても蛍光を発しはじめることが判明し、レントゲンは、周知の陰極線のほか未知の放射線が放電管から放射されているにちがいないとの結論に達した。未知の放射線はたいていの不透明体を透過するらしく、人間の目にはとらえられない。実験をかさね、彼はこの神秘的な放射線がかなり分厚い板紙や薄い金属板さえも透過することを見いだした。本性が不明であったことから、レントゲンは「X 線」と命名した。

レントゲンは X 線で驚くべき撮影が可能であることを発見する。この劇的发现が 1896 年、X 線についておこなった最初の公開講義の中心テーマになっている。数々の実験を説明したあと、レントゲンは聴衆のひとりを壇上に招き、ヒトの手を X 線で撮影した。現像された写真はきわめて鮮明に手の骨をあらわしていた。レントゲンの公開実験は大成功であった。その数日後、X 線はアメリカで、ある男の脚に撃ち込まれた弾丸の位置をつきとめるために利用された。

X 線の重要性は医学的診断にとどまらない。X 線の性質に関する科学研究は放射能の発見にも直結した。したがって、レントゲンの研究は、主要な新しい医学技術を築いたばかりか、原子および原子核の研究にも重要な役割をはたしたのである。

レントゲンは、ノーベル物理学賞をはじめ科学的功績の顕彰をうけたが、X 線に関する研究成果のいかなる側面にも特許をとることを断固として拒否した。発見が人類にもたらす計りがたい価値こそが、彼にとってかけがえのない報酬と考えたのである。このような理想主義は手痛い返礼をうけ、1920 年代のインフレ時代に、レントゲンは極貧にあえぎつつ没した。



上右 レントゲンの妻の手をうつした初期レントゲン写真の 1 枚。X 線は皮膚を透過するが、骨と金属製の指輪には吸収される。レントゲンの撮影した写真は、レントゲン線の最も重要な応用分野のひとつ—医学診断—を予示していた。発見後数カ月にして早くもレントゲン線は歯科学、骨折あるいは異物、たとえば弾丸を探り当てるために利用された。造影剤の助けを借りれば、内臓の撮影もでき、腫瘍を確認することができた。



中左 19 世紀末期のドイツの葉書。レントゲン線は広く一般大衆の想像力をかきたて、レントゲン線には、たとえば粗製金属を金に変えるとか、学習の



補助に図表を学生の脳裏に焼きつけるといった、神秘的な力があるとみなされた。

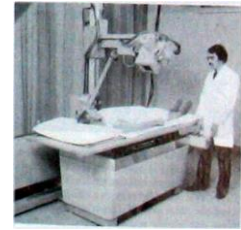
中右 1903 年のレントゲン装置。レントゲンは、内臓とその実物大の写真をうつすために、平行の X 線を使用した。

下左 レントゲンの最初の X 線装置。



左 第一次世界大戦でレントゲン検査を受けるドイツ兵士。

右 断層X線写真法、全身検査のための方式。装置は患者の撮影がさまざまな角度からできるように設計されている。



第100章 アレクサンダー・グレアム・ベル(1847-1922)

電話の開発は、天賦の才に恵まれ、着想豊かな発明家アレクサンダー・グレアム・ベルの最もよく知られた業績であり、おそらく情報伝達の分野で核心をつく革命をもたらしたのは、ベルである。

アレクサンダー・ベルはスコットランドのエディンバラに生まれた。父親は 1870 年に北アメリカへ移住する決心をする。若いアレクサンダーはやがて聴覚障害者に発音を教える非凡な才能を発揮し、25 歳で聴覚障害者のための教員養成所をボストンに開校した補注 78。そのわずか 1 年後にボストン大学は彼を発声生理学教授に任用した。

言葉と情報伝達によせるベルの関心は、ヒトの声がどのように伝播するかという問題に、おのずからひろがっていったらしい。しかし問題の領域を研究する科学者は、ベルひとりではなかった。草創期には、送受信機を製作しながら、まだ聞き取れる音声の伝送までにはいたらなかった、ドイツの発明家フィリップ・ライスがいる。

エリシャ・グレーは、ベルと似た構想で研究し、同様な技術原理に基づいた結果、二人は特許権を争うことになる。端緒はともに、いくつかの電^{メッセージ}信文を同時に一本の電線をとおして伝えようとする試みから、電話機という着想がうまれた。技術上不十分な点はあるが、この方法でヒトの声も伝達されるにちがいない、と両者は推論した。

根本問題は、声の振動を電気信号に変換し、信号を送信機から電線をへて受信機に伝え、そこで音として聞こえるようにすることであった。ベルと、協力者の電気技師ワトソンは、中央に一片の鉄を固定した、振動皮膜に関する実験をした。音波は皮膜をふるわせることによって、鉄片を振動させ、この振動が電磁コイルに電流を誘導する。同じく受信機側では、電磁石が皮膜をふるわせ、その振動を空気に伝え、音声として聞こえるようにすることができると考えた。

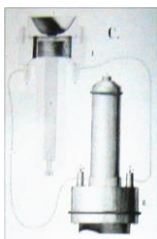
当初は成功しなかったが、ベルもワトソンも方針は正しいと確信していた。1876 年のはじめベルは仕様書に自信をもち、2 月 14 日に特許を出願し、3 月 7 日に承認された。その 3 日後、ベルは電話による第一報を助手に伝えることができた。「ワトソン、頼むからすぐきてくれ、君が必要だ」。ベルはバッテリーの酸をズボンに

こぼしていた…。

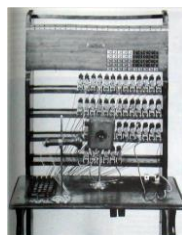
同じ2月14日に、ただし2時間遅れて、エリシャ・グレイも特許庁に発明の特許出願をした。グレイは一点でベルよりも進んでいた。すなわち、グレイの特許は、金属振動板を仕様書に指定していた点で、ベルのものよりすぐれていた。ところがベルは、有効な電話システムの可能性とその商業価値について、グレイよりも格段明確に認識していた。

数カ月にわたる努力のあと、ベルとワトソンは発明品を始動させることができた。振動皮膜は鋼製振動板に取り替えていた。ただ送話器にはまだ難点があったが、それも結局、トマス・アルヴァ・エジソンが特許権をもつ、「炭素送話器」の発明によって解消された。炭素送話器は、振動板[のついている可動電極]と固定電極と、そのあいだに介在する炭素粉で構成されており、音響入力によって振動板が振動すると、炭素粉に疎密が生じ、炭素粉の電気抵抗が変化し、それによって電源から供給される比較的強い電流を制御する[つまり、音声の振動が電流の強弱に変換されるのである]。

発明心旺盛なベルは航空学の問題にも取り組んだ。大きい正四面体の^{たこ}凧を組み立て、合衆国航空実験協会の創立に参加している。水中翼ボートも製作し、1918年世界最速記録を樹立した。さらに、音声を録音することができる初期蓄音機的一种、グラフォフォンも発明した。聴覚障害者に関する研究は、ベルにとって、成功期にも最も意義のあるものであった。グラフォフォンのもたらす利益配当金で彼は^{ろうあ}聾啞教育促進米国協会を設立し、今日ではベルの名をとって「アレクサンダー・グレアム・ベル協会」と呼ばれている。電話機の発明者よりも、むしろ聴覚障害者の教師として記憶にとどめられたい、とベルは述べたことがある。



上左 ベルが市場に出した電話機。1877年、ベルは受話器と送話口の振動皮膜を鋼製振動板に取り替えた。これ以外の改良は、永久磁石が当初用いられた電磁系よりも、振動板の振動をはるかによく伝えることを発見した、トマス・ワトソン助手によってなされた。永久磁石は硬質ゴム管のなかに入れられ、フランス式電話があらわれるまで、受話器の標準型になっていた。



上右 1892年ニューヨークとシカゴ間の電話接続をテストするベル。

下左 ベル式電話のテスト。受話器と送話口は構造が

類似している。

下中央 わずかな接続しかない電話交換器。

下右 恋する人たちのために発明された電話。

第101章 トマス・アルヴァ・エジソン(1847-1931)

トマス・アルヴァ・エジソンという名前はまさしく発明と同義語である。生涯の終わりには、白熱電球、炭素受話器、蓄音機、初期の機能的な映画撮影機であるキネトグラフなどをふくむ、1,093 件の特許を取得していた。エジソンはもっぱら発明を目的とする最初の施設—企業研究所—も設立した。

エジソンの学校時代は、授業についてゆけない子供として退学させられ、わずか 3 カ月で唐突に終止符をうった。実は猩紅熱^{しょうこう}によって難聴になっていたにすぎない。あとは母親から教育をうけ、限らない知識への渴望を呼び覚まされ、これが少年の終生変わらぬ基本的特徴ともなった。すでに 10 歳にしてエジソンは家の地下室に最初の実験室をしつらえ、化学と電気の基礎知識を自修した。

12 歳のとき、デトロイト行き鉄道路線の列車内で新聞を売り、少年ははじめて金をかせいだ。16 歳までに電信技術を独習し、臨時の電信技手として数年間各地を転々とする。そのかたわら実験もおこない、たえず最新の技術情報を収集するように心がけていた。やがてエジソンは、壊れた器具をぴたりと直す魔法使い、と噂されるまでになる。1869 年、新しい電信による相場表示機を修理するために、ウォール街の金取引所に呼び寄せられ、エジソンはさっそく器械の整備をまかされた。

1876 年にはエジソンは自分の研究所、本人がいう「発明工場」を設立することができた。同所でエジソンは依頼された研究や、自分自身が興味をもつ研究をおこなった。発明工場はニュージャージー州のメンローパーク村に設置され、この世界初の企業研究所で、エジソンは有名な数々の発明をした。第一号は 1876 年、アレクサンダー・グレアム・ベルが同年に発明した電話の基本改良となる、「炭素送話器」である。蓄音機—最初の実用的な蓄音機—が 1877 年につづく。エジソンは鋼鉄針と振動板を使って、スズ箔を巻きつけた円筒^{シリンダー}に音を録音・再生した。蝋^{ろう}を塗った円筒（蝋管）と円盤型レコードはのちに他の人たちによって発明された。

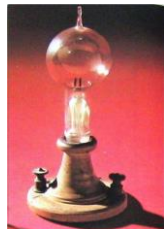
その後、エジソンは白熱電球の開発にむかう。当該領域ではイギリスの発明家、ジョゼフ・スワン卿がほぼ 20 年前に研究をはじめていた。1 年あまりエジソンは燃焼時間の長い適当なフィラメント（繊維）を系統だてて探し、結局、乾燥させた木綿糸を使った。スワンは実用になかなう電球をつくった最初の発明家であるが、1 個の電球が消されると、回路が遮断されたことから、並列配線の必要性に気づいたのは、エジソンである。わけても電力供給システム開発の必要性を明確に認識していた。ニューヨークのパール・ストリートに建設された、世界最初の発電所は、エジソンの構想が基礎になっている。

1887 年、エジソンはニュージャージー州ウェストオレンジにエジソン研究所を建てた。メンローパーク村の研究所より 10 倍ほど大きい、この技術センターで、彼は以前の発明品を改良し、新たな発明もした。ここですぐにも使える最初の映画撮

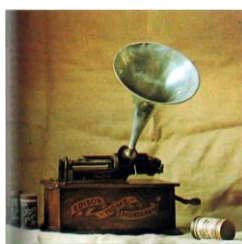
影機「キネトグラフ」を完成させ、1891年に特許をうける。キネトグラフは、ジョージ・イーストマンによって開発された、ミシン目をつけたロールフィルムを用いた。ロールフィルムは水平にキネトグラフにかけられ、現像されたあと、キネトスコープのぞきからくりの原理に基づく再生機—で見ることができた。だがキネトグラフは、パリのリュミエール兄弟が〔1895年に〕発明した、スクリーン上に映写する、「シネマトグラフ・リュミエール」にまもなく追いこされた。

生涯のうちにエジソンは巨万の富を得て失った。多くの子会社を設立し、自分の発明したものだけではなく、他人の発明品も市場に出した。何件か他人の着想を不当にわがものとし、ただ最後の仕上げだけをして、特許権を取得したととがめられた。

エジソンは本質的には、信頼できる成果で名を売る、まったく実用に照準を合わせた発明家であった。例外として、科学理論に対する当人の反感にもかかわらず、抽象的な発見にエジソンの名前がつけられている—いわゆる「エジソン効果」である。この熱電子効果とは、熱陰極（白熱導体補注 79）から熱電子が放出される現象のことをいう。エジソン効果はのちに電子管開発の基礎になった。



上中央 エジソンの白熱電球（1870年）。40年間にわたる実験の結果、機能的な炭素フィラメントの電球がつくりだされた。特殊な真空ポンプの開発も、信頼できる炭素フィラメントと同様、重要な役割をはたした。さもないと、フィラメントは酸化し、焼き切れてしまっだろう。さらに気密のソケットも開発する必要があった。



上右 1844年、ニューヨークのパールストリート発電所。エジソンの直流供給システムに基づいている。

下左 研究中のエジソン。

下右 1896年作、エジソンの家庭用蓄音機。録音と同時に再生もできた。

第102章 イワン・ペトヴィチ・パヴロフ(1849-1936)

ロシアの生理学者イワン・ペトヴィチ・パヴロフは医学の発展、特に消化生理の研究に多大の貢献をした。ことに条件反射の発見で名をなし、動物行動学と学習理論はあとまで大きな影響をうけた。

パヴロフは中部ロシアの小さいリャザニ村に生まれた。化学と生理学を学び、1879年に博士号をとる。その後2年間ドイツに留学して、血液循環および消化生理学を研究した。

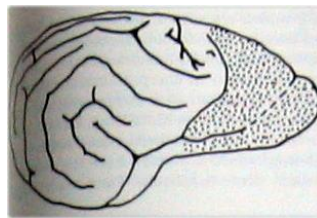
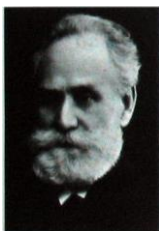
帰国後、パヴロフはまず環状血管について独自の研究をはじめた。その研究は耳目をあつめ、1890年、パヴロフは軍医大学校生理学教授に任命された。そこでパヴロフ教授は犬を使った有名な一連の実験をはじめた。まず犬の食道と胃にゴム管を通す。餌が^{えさ}ゴム管を通して食道に達すると、やはり胃液は分泌され、胃からゴム管を通して胃液を取り出すことができる。犬の知らぬ間に、胃に達した食餌^{しょくじ}は、正常に食べる場合よりも、はるかに消化時間がかかる。さて、鐘の音のような音響信号を知らせたあと、あるいは知らせながら食餌を与える操作を数回繰り返せば、食餌を与えなくても唾液分泌過多が起こる。パヴロフはこの現象を「条件づけられた」反射とよび、その学習過程を「条件づけ」とよんだ。このような「条件反射」は、たとえば痛い刺激をうければ、さっと四肢を引っ込める生得の自然反射〔すなわち無条件反射〕とは異なり、学習してはじめて形成される。犬が肉を食べるとき唾液を分泌するのは、無条件反射である。肉を見て唾液を出せば、それは条件反射である。まったく肉を見ずに育てられた犬は、肉を食餌と同定しないので、まるきり肉に反応しないことを、パヴロフは証明した。

学習心理について研究をかさねた結果、パヴロフは中断が条件反射の習得をさえぎる事実を見きわめた。今日の用語でいう、「外制止」は、いかなる研究過程ないし学習過程にも必要である、休息と平静の必要性に対応している。パヴロフは「内制止」も発見した。内制止は、鐘の合図に対する反応のような条件反射が学習されたあと、食餌があてがわれなくなると発生し、ついには犬の唾液分泌過多もなくなる。刺激に対する反応は、忘れられるのではなく、制止されるのである。

パヴロフの最も重要な発見のひとつに、条件反射を生起させる脳の部位はかなり高度に発達した動物だけに存在する、という認識がある。パヴロフはしたがってこの理論を人間の行動様式にも適用しようとした。彼の見解によれば、精神病患者は自分たちに影響をおよぼす刺激をすべて有害あるいは脅威とを感じるからこそ、世間から離れて閉じこもるのである。

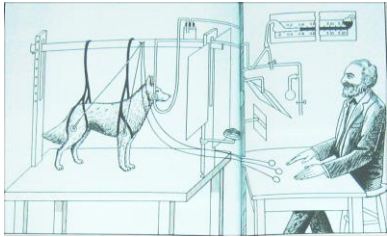
パヴロフの研究はしばしば洗脳と取り違えられてきたが、事実は、驚いて思わずおこなうまばたきからはじまり、赤信号を見てブレーキをかけるにいたるまで、数多くの日常的反応が条件反射であることが確認される。

パヴロフは実験研究を生涯つづけた。彼はマルクス主義とソビエト体制の率直で激しい批評家であったが、政治には無関心であるとみなされていた。ロシアであらゆる科学の表彰をうけ、1904年、パヴロフは消化生理に関する研究に対してノーベル生理学・医学賞が授与された。



中央 パヴロフ
(中央)を取り巻く、実験室の助手
たちと1匹の犬。
右 脳内で制御
機能をもつ神経

中枢を位置づけるために、パヴロフは唾液分泌の条件反射を利用した。前頭葉（点を打った部分）を摘出すると、触覚刺激による条件反射は消失し、二度と回復させられなかった。他方、以前に確立していた視覚や聴覚反応は、手術後まもなく回復し、さらに新たな条件反射を定着させることにも成功した。



左 条件反射のあいだに分泌した、唾液量を測定する、パヴロフの実験装置。器具は基本的に2つの部分からなる。条件反射が誘発される、犬の檻と、犬の唾液がポンプでくみあげられ、集めて測定される、観察部である。

中央 鬱病^{うつびょう}患者の隔離と絶望。精神病は、それまで興奮を呼び起こしていた、有害な刺激に満ちあふれる世界に対する防衛反応が形成されることによって起こる、とパヴロフは信じた。外部刺激の影響を排除するという条件のもとで、精神病患者に治療をほどこすロシア方式は、パヴロフの考えに基づいている。

右 晩年、パヴロフはソビエト政府と対立していた。

第103章 アントワヌ・アンリ・ベクレル(1852-1908)

いまでは「放射能」として知られている現象の発見によって、フランスの物理学者アントワヌ・アンリ・ベクレルは、新しい原子力時代の幕を開いた。彼の歴史的なウラン化合物の実験は、原子そのものにやどる、うずもれた巨大なエネルギー源を、人類にはじめて指し示した。

ベクレルの放射能発見とその後の研究は、ウラン原子から放出される放射線が微小な荷電粒子を含有することを証明して、現代の原子論を築いた。

ベクレルはパリに生まれた。父も祖父も著名な物理学者で、息子もまた物理学を学んだ。卒業後、父と同じく蛍光をテーマにした、独自の研究活動をはじめた。1896年、科学と人類の未来にきわめて重大な結果をもたらす定めにあった、放射能現象をベクレルはひょんなことから発見するのである。

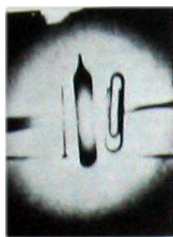
その数年前、ドイツの物理学者ヴィルヘルム・コンラート・レントゲンは、厚紙や金属箔^{はく}などを透過することができるらしい、新種の放射線を発見していた。適切な名称が思いつかばず、レントゲンはそれをX線と名づけた。レントゲンの発見はベクレルの好奇心をそそり、自身の研究している蛍光物質にもX線や可視光線を放射するものがあるのではないかと思いつく。ベクレルは当時ウラン化合物の一種、ウラニル硫酸カリウムを研究していた。ベクレルは着想を確かめるために、一定量のウラン塩を日光にさらしたのち、金属箔にくるんだ。そのあと暗室に搬入し、写

真乾板のそばに置く。もしも物質が可視光線のほかにX線もいくらか放出しているならば、X線は金属箔を透過し、写真乾板にくっきり浮かびあがるはずだ、とベクレルは考えた。

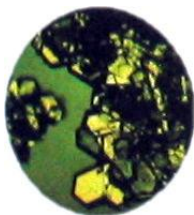
乾板は現像してみると、ひどく黒ずんでいることがわかり、ベクレルは狂喜した。幾日も曇天がつづいたにもかかわらず、彼は実験を繰り返し、乾板が初回とまったく同じようにひどく曇りがあるのを確認して驚く。そこで、絶対に光がとどかず、蛍光を発することができないように、しっかり密閉した暗箱にウラン化合物を入れて、近くに写真乾板を置く。またしても乾板は完全に黒くなった。いまや放射線が蛍光とはかわりなく物質から放出されていることに、疑問の余地がなくなった。さらに研究をすすめた結果、どうやらウランをふくむ化学物質だけが、天然の放射線源であるらしいことが判明した。

1899年、ウラン放射線は磁場によって偏向させることができるゆえに、少なくとも一部は、微小な荷電粒子で構成されており、したがってレントゲンの発見したX線と同一ではないことを、ベクレルは証明した。つづく数年間のうちに、同様な放射線を放出する、新たな元素が発見された。最も重要な元素は、キュリー夫妻（マリー夫人とその夫ピエール）が1898年に発見した、ラジウムである。マリー・キュリーは放射線「が物質から自発的に放出される現象」を「放射能」と呼んだ。

ベクレルの研究はスリルにとむ連鎖発見の端緒を開くことになる。新種の放射線、いわゆる「ベクレル線」がX線でない事実が明らかになるや、ベクレル自身をはじめ物理学者はこぞって本性の究明に熱中した。ベクレル線はレントゲン線と類似しているが、後者よりも強い、電磁放射線とともに2種類の微小な荷電粒子をふくんでいることが、まもなく明白になる。今日では「ガンマ線」（ γ 線）と呼ばれている。この発見は、放射性物質の原子そのものがさまざまな放射線の形でエネルギーを放射していること、それゆえ原子がある種の内部構造をもっているにちがいないことを暗示していた。ベクレルの γ 線は、現在までつづいてる、とどまるところを知らぬ科学の進歩と同時に、原子時代へと導く起爆剤になったのである。

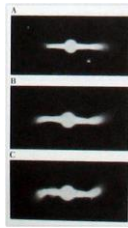
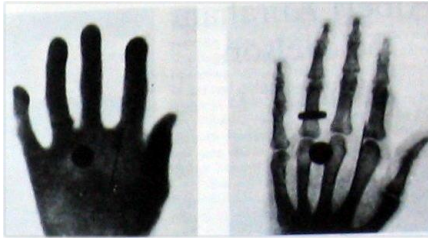


上中央 ラジウムから放射されるベクレル線を撮影した影像。明るい部分は放射線が強い。
上右 蛍光の研究に多くの歳月をさ



あげた、ベクレルの父が1857年におこなった、放電管の実験。放電管の両端にある電極間に、内部の気体をイオン化するほど、高い電圧がかけられた。管内の電圧をさげると、気体は発光しはじめる。ネオン灯や水銀灯のような蛍光を発する管は、放電管の現代例である。

下 ウラニル硫酸カリウムの結晶。



左 手の X 線写真。
左の写真はベクレルの γ 線で、右の写真はレントゲンの X 線で撮影されたもの。当初、内部の肉体構造は X 線の代わりに

γ 線で検査することができると考えられた。X 線は複雑な装置を必要とするが、 γ 線は少量のラジウムで発生させられるからである。しかし、写真が示すとおり、 γ 線は肉とほとんど同じように骨までもあっさり透過してしまう。

中央 磁石によるラジウム線の偏向。A: ラジウム線は、放射線源がある、放電管の両側の細隙から出てくる。近くに磁石はない。B: 放電管のすぐ下に電磁石がある。C: さらに強力な磁石を使った同件事象。

右 晩年のベクレル。

第104章 アルバート・アブラハム・マイケルソン(1852-1931)

ドイツ生まれの米国物理学者、アルバート・アブラハム・マイケルソンは、光速度の精密測定によって物理学に寄与した。また、絶対静止の「エーテル」[補注 81](#)という当時信じられていた仮定にも疑いを投げかけ、エドワード・W・モーリーと協力して 1887 年におこなった、マイケルソンの有名な実験は、アインシュタインの特殊相対性理論をうむ経験的根拠になった。

マイケルソンは 17 歳で合衆国海軍兵学校に入学し、卒業後、母校の科学担当講師になった。まもなく光速度測定の問題に魅せられて、海軍兵学校を辞し、光学の最新理論と取り組むことにする。ヨーロッパ、特にフランスとドイツで知識を広め、アメリカに帰国して実験をはじめた。

はやくも 1882 年、最初の一連の実験で光の速さを毎秒 299,789 km とした、マイケルソンの光速度測定はきわめて精密であることが証明され、ようやく 50 年後に、しかもマイケルソン自身によって修正された。

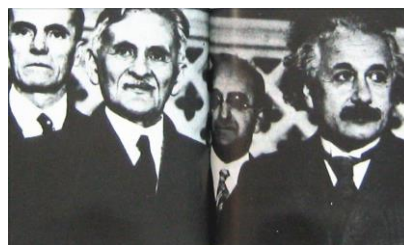
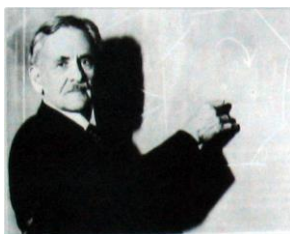
実験のためにマイケルソンはいわゆる干渉計を開発した。「マイケルソン干渉計」は光線を 2 つに分け、異なる方向に導いたのち、再び重ね合わせる仕掛けになっている。会合した 2 本の光線束は、異なる光路を同じ速度で進んだとすれば、位相がずれているために、明暗の縞模様、つまり「干渉縞」が見られるはずであり、2 光線束が等距離を異なる速度で進んだ場合にも、干渉縞があらわれるにちがいない、とマイケルソンは考えた。このような考えから彼は、絶対静止のエーテルに対する、地球の相対速度を測定するために、干渉計を利用しようと企てた。

マイケルソンは光線の一部を地球の回転方向に、また一部をそれと直角方向にエーテルを通して誘導すれば、一方は他方よりも速いはずである。二つの光が等距離を進んだあと、再び両者を重ね合わせれば、位相差の度合いが干渉縞から読み取れる

であろう。これによって、エーテルに対する地球の回転速度を測定することができる、と推測した。

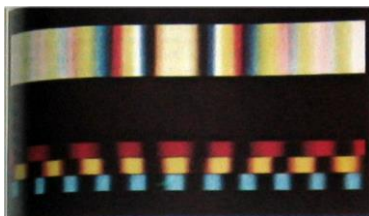
マイケルソンの最初の実験では、なんらの干渉縞もあらわれなかった。失敗を繰り返したあと、1887年、友人で同僚のエドワード・モーリーと力を合わせることにした。二人は実験ミス为了避免のために、厳格な予防措置を講じたが、またもや干渉縞があらわれない。当惑しきったマイケルソンは、努力もすべて水泡に帰した、と認めるよりほかなかった。しかし、この有名な「マイケルソン＝モーリーの実験」は、否定の結果がときには肯定の結果に勝るとも劣らないほどの価値あることが明らかになる、一つの範例となった。実験の失敗に対する最も納得のゆく説明として、まもなく専門家たちのあいだで、「エーテル」といわれるものがまったく存在しない、という急進的な主張がなされ、これがまた当然のごとく新たな問題を投げかけた。光は当時エーテル中の振動と定義されていた。媒質〔つまりエーテル〕のないところで、はたして振動は伝わるものであろうか？ マイケルソンは光と空間の性質について諸説を呼び、18年後にアインシュタインの特殊相対性理論で頂点に達する。アインシュタインはマイケルソンの実験結果を経験上の基礎として受け入れ、光速度はつねに不変である、という事実から出発したのである補注 82。

世に知れた上記実験につづく数年間、マイケルソンは改めて生涯の関心事に没頭し、光速度のさらに精密な測定法をねりはじめた。不運にも決定的な実験にとりかかれないうちに没し、完成は助手たちにゆだねられた。1933年にその成果が公表された一秒速 299,748 km。つねに精密さを求めて努力した科学者にとって、これ以上みごとな確認は望めないほど、今日の精密測定値 [299,792,458m/s] とごくわずかな誤差しかない。



上左 アルバート・アブラハム・マイケルソン。
上中央 アメリカの化学者・物理学者、エドワード・モーリーは、

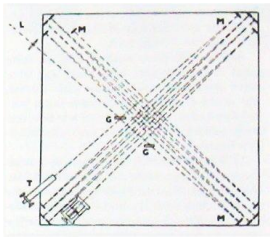
マイケルソンとともにエーテルに対する地球の相対運動を検証する目的で実験をおこなった。



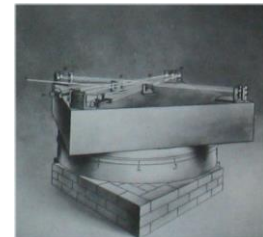
上右 マイケルソン（左から二人目）とアルベルト・アインシュタイン（右）。アインシュタインはマイケルソンの実験が特殊相対性理論に重要な影響を与えたことに恩義を感じていた。

下 地球がエーテル中を回転している以上、光はあるときはエーテルとともに、あるときはエーテルと逆方向に動くだろう。このことから生じる速度差は、干渉のずれでわかるにちがいない。実験で干渉のずれが見られないと、マイケルソンは自分の装置

が不十分なのだと確信した。



左 図表は、L から出た光が (M と G) ^{補注 83} で一部は反射し、一部は透過し、交差する光線となって転送される様子を示している。光速度が識別できるほど変化せず、しかも観察者の位置に左右されないことが、T で読み取れた。



右 マイケルソンとモーリーが光速度測定実験のために組み立てた、鏡をそなえた回転テーブルのスケッチ。

第105章 アルフォーンズ・ベルティヨン(1853-1914)

フランスの警察官、アルフォーンズ・ベルティヨンは、はじめて広く用いられるようになった、犯罪者の鑑定方式を考案した。

アルフォーンズ・ベルティヨンは医者の子としてパリに生まれる。父は技術に興味をいだき、正確な人体測定ができる、数多くの器具を設計した。また母方の祖父は、人口統計学者で関係文献を執筆している。

専門教育をうけていないベルティヨンは、1879 年、提供された唯一の職についた。警視庁の事務員として、用紙に書き込み書き写すことが仕事であった。当時はまだ犯罪解明や個人識別の体系的な方法がなかった。漠然とした供述とか、新たに写真なども導入してなんとか対処していたが、写真も性能不良のため識別には役立たなかった。

こうした非科学的な方法にベルティヨンは怒りを覚えた。父と祖父から教わったすべてのことに反していたからである。ベルティヨンは知識を駆使して独自の身体測定法を開発する。測定項目は、頭および右耳の長さ、幅、肘から中指までの長さ、左足の長さ、中指と人さし指の長さ、身長、胴の長さ、腕をひろげたときの中指先から中指先までの長さ、合計 11 項目におよんだ。

補完のためにベルティヨンは顔写真を考案した。2 枚の写真、正面像と側面像とからなり、目の色、毛髪の色、毛髪の生え具合のような個別的特徴に関する所見がそえられた。側面像は、表情をゆがめてもさほど変化しないために、重要視された。

ベルティヨンは警視總監に人体測定法を呈示した。回答はベルティヨン博士あてに手紙で寄せられ、ご子息はどうも気が狂っているらしい、とほのめかしていた。新總監の任命まで待つがよい、と父親に忠告され、事実またベルティヨンは新總監によって人体測定法の利点を具体的に説明する機会が与えられた。正確な識別を実行するため、彼は 3 か月の猶予をもらい、記録を迅速にたどることができる、カード・システムを確立した。1883 年 2 月、ベルティヨンの初鑑定はみごとに成功した。

人体測定法は、「ベルティヨン式人間識別法」とも呼ばれ、まもなく全ヨーロッパと合衆国でも採用された。1888 年、司法鑑識局がベルティヨンの指揮下に組織された。彼は犯罪解明にあたって、憶測の代わりに、科学的方法を用いる先駆者となった。犯罪現場の再現に、計量写真撮影術も開発する。すなわち、所定の地点に物

差しの目盛りを置くことによって、死体、足跡、血痕その他の手がかりについて、大きさの割合と距離が正確に記録される。以前はスケッチしか方法がなかった。文書の分析に密着写真術も導入する。つまり、写真乾板を文書のうえに置き、両者を数秒間ガス灯に露出すると、現像された乾板は、たとえば消しゴムで消し去るなど、なんらかの方法で改竄された文書の個所をくっきりと示した。

ベルティヨンの経歴に認められる暗部は、悪名高いドレフュス事件で果たした役割である。ベルティヨンは「ベルティヨン式人間識別法」を筆跡に適用しようところみ、鑑定人として召喚された。有罪を方向づける文書がドレフュスのものであるとするベルティヨンの立証は、きわめて疑わしかったが、被告人の有罪判決に決定的な役割を演じた。その後、文書は偽造だったことが明らかになる。

ベルティヨン式人体測定法は結局、英領インド文官のウィリアム・ハーシェルが14年前に発見した、指紋検出法にとりかえられる。指紋法は、わずらわしい計測の手間をはぶくが、一般に使えるようになるには、分類システムを必要としていたのである。

ベルティヨンは指紋法を決して完全には理解せず、ベルティヨン方式が排除されかねないと恐れて拒否反応を示すが、なぜか人相書に指紋を取り入れた。こうしてベルティヨンは、指紋だけを証拠に容疑者の罪を認めさせることができた、ヨーロッパで最初の刑事になった。



上左 「顔写真」。ベルティヨンは、側面像を採用して、しかめっ面などによる表情のゆがみを無力化しようとした。

上中央 山のように積みあげられた証拠物件にかこまれ、人体測定法について講義するベルティヨン。



上右 指紋は類型によって弓状紋、蹄状紋、渦状紋に分類される[補注 84]。この体系はフランシス・ガルトン卿によって導入された。

下左 1899年パリ警視庁での人体測定法の教示。

下右 デュッセルドルフ警察の指紋専門家。指紋は人体測定法より信頼でき、手間がかからないため、現在の鑑識課は指紋検出法を用いている。

第106章 オトマル・メルゲンターラー(1854-1899)

ライノタイプ行塊鋳植機は、ドイツ生まれのアメリカ技師、オトマル・メルゲンターラー[補注 85]が発明したものである。このライノタイプは世界初の自動鋳植機

[補注 86]であり、同機の採用によって新聞および印刷産業は革新された。

完全自動鑄植機の設計には、実用上の難点をいくつか克服しなければならなかった。単に1字ずつではなく、1行分をまとめて、しかも段の幅にきちんとおさめ、字間をそろえて鑄造する必要があった。そのうえ全体に採算がとれるようにしようとすれば、手組み植字にくらべて格段の高速化が要求された。

ドイツに生まれたオトマル・メルグエンターラーは、時計職人のもとで見習修業をするかたわら、夜間学校で工学技術を学んだ。18歳で合衆国に移住したあと、ボルチモアの親戚が経営する機械組み立て修理工場に働きながら、彼は自動鑄植機を製作する技術問題に興味をもちはじめた。活字を混^{こんぎょう}凝^{しけい}紙の紙型から鑄造する試みに失敗したのち、メルグエンターラーは1886年にライノタイプ（自動欧文鑄造植字機）を組み立てた。

1行分の母型が集められ、[母型に溶融した活字合金が注がれて]活字が行単位で一度に鑄造される。いわゆる文選は、植字工がキーボードをたたいて個々の母型を拾い集めることによっておこなわれる。くさび形装置が字間をそろえ、段の幅を適当に調節する。鑄造が終わると、活字の各母型は貯蔵庫にもどり再使用にそなえた。

メルグエンターラーの発明はたちまち成功をおさめた。彼のライノタイプは毎時5,000字を植字することができるのに対し、伝統的な手組みではせいぜい1,500字程度にすぎなかった。特記すべき唯一の競合機は、アメリカの発明家トルバート・ランストンが1887年に特許を取得した、モノタイプである。今日までこの2方式が最も広く用いられている主導的な鑄植機として共存している補注 87。

モノタイプは一字ずつ活字を鑄造していくが、そのさい、(キーボードで紙リボンに小さい穴をあけておき、その配列で文字を記憶させ、このリボンを別個の活字鑄植機にかけることにより1字ずつ活字を鑄造し組版していく機械)穴をあけた紙リボンが活字鑄植機を操作する。すなわち、まずキーボードによって、文字に対応した、穴が紙リボンに打ち抜かれる。次に、この紙テープを別個の活字鑄植機にかけると、鑄型枠^{いがたわく}が対応した母型を拾い出して鑄口のまえに移動し[1字ずつ活字を鑄造し組版し]ていく[補注 88]。[モノタイプとは、キーボードで紙リボンに小さい穴をあけておき、その配列で文字を記憶させ、このリボンを別個の活字鑄植機にかけることにより一字ずつ活字を鑄造し組版していく機械のこと。]結局モノタイプは毎時10,000字以上を鑄植することができた。ライノタイプとモノタイプ—2種類の^{ホットメタル}鑄造活字方式の柔軟性と適応性は、20世紀後半まで確実に生きのびさせたが、いまや高度に発達した新しい印刷技術は、ますますコンピューター・プログラムと電子操作を用いるようになっている。





上左 日刊紙『ニューヨーク・トリビューン』社で、ライノタイプ実演中のメルゲンターラー。ライノタイプ方式が考案されたとき、ロボットが植字している情景を示す、漫画がイギリスの専門紙にあらわれた。



多くの印刷工が生存を脅かされると恐れた。今日では電算写植によって同様の危険が迫っている。

上右 ライノタイプ法で鋳造された活字の一行。

下左 書体が異なる4種類の母型貯蔵庫をもつ、1911年製ライノタイプ式鋳植機。

下右 自動鋳植機は、印刷産業の革命とともに、社会に重要な影響をもたらした。新聞もはじめて住民居住地域に広くいきわたるようになる。



第107章 パウル・エールリヒ(1854-1915)

ドイツの細菌学者パウル・エールリヒは、化学療法の先駆者である。一定の生体組織が化学物質と特異な親和性をもつことを発見し、エールリヒは、化学物質を用いれば狙いどおり病原体だけを殺せるのではないかと推理した。こうして化学療法剤第1号—梅毒によく効く合成医薬品「サルバルサン」が誕生した。

パウル・エールリヒは東プロイセンの生まれで、ライプチヒ大学で医学を学び、1878年に学位を取ったとき、すでに化学物質の体細胞への影響について研究をはじめていた。

同研究によって、エールリヒはベルリンのフンボルト大学付属病院シャリテの主任医師に任命され、そこで臨床業務に優先して細菌学の研究をつづけた。彼の研究に感銘をうけた、ドイツの微生物学者ローベルト・コッホは、エールリヒに伝染病研究所のポストを提供した。いまやエールリヒは研究所でのびのびとつとめることができ、ジフテリアの研究にむかった。

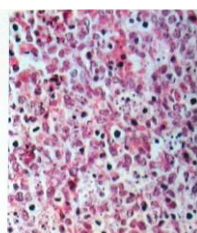
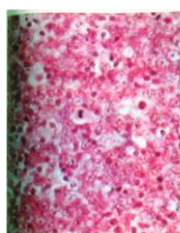
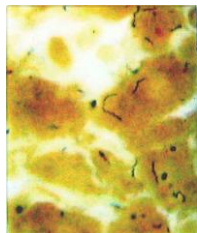
もうひとりのコッホ門下生、ドイツの医師エーミール・フォン・ベーリングは、破傷風とジフテリア毒素が体組織を刺激して「抗毒素」—すなわち毒素を中和する能力のある抗体—をつくることを実証していた。ベーリングの発見[1892年]のおかげで、大量の抗毒素が動物の血清中に産出され、この抗毒素血清が治療目的に使用された。エールリヒはこうした研究に加わり、ウマにジフテリア抗毒素血清を大量につくらせる道を開いた。

この成果により、ドイツ政府はエールリヒをフランクフルト・アム・マインの国立実験治療研究所所長に任じ、そこで彼はすべてをまったく自由に裁量できた。エールリヒが血清学を専門にしたい旨を予告すると、血清銀行をもうかるとふん

でいた、同僚たちは失望した。しかし、抗毒素は限定された範囲でしか適用できず、梅毒や、たとえば睡眠病のような原生動物によってひき起こされる病気には、治療効果がないに等しい、とエールリヒにはよくわかっていた。

抗毒素のような有機物質が予防のために接種できるとすれば、同種の抗菌力をもつ薬剤も合成されるにちがいない。ことに微生物がその化学薬品に親和性を示すならばなおさらだ、とエールリヒは考えた。とりわけ彼が関心をよせたのは、当時蔓延^{まんえん}していた危険な梅毒の治療薬開発であった。エールリヒは、梅毒のスピロヘータ^{補注 89}に似ている、睡眠病の病原体^{補注 90}にヒ素化合物を用いて成功したという症例報告を目にした。ヒ素化合物は人体に害をおよぼすため、エールリヒは梅毒病原体に対する無害な薬剤を探究しはじめた。600 以上の化合物を調べあげ、要求どおり抜群の適合性が認められる化合物を発見した [1910 年]。この梅毒治療薬は「サルバルサン」という商標名で世界市場を獲得し、エールリヒは大金をかせぐが、財産にはまるで無関心であった。

エールリヒにはおびただしい栄典がすべての工業先進国から授与された。サルバルサン発見の 2 年前 [1908 年]、すでに免疫に関する研究^{補注 91}に対してノーベル生理医学賞が贈られている。



上中央 梅毒病原体—梅毒トレポネマ・パリズム—の顕微鏡写真。病気の後期には、潰瘍^{かいよう}が身体のさまざまな個所にあらわれ、健康な組織を破壊する。心臓、大動脈、骨、肝臓などの諸

器官がおかされ、さらに人格変容や進行性麻痺性をともなう神経系の発病にもつながる。病原体は母体から胎盤の血液循環を通して胎児に感染することもある。



上右 ガン治療における化学療法の応用。左の顕微鏡写真は、治療前の悪性リンパ腫（リンパ節に原発する腫瘍^{しゅよう}）の細胞を示す。右の写真は、化学療法による治療後の同じ腫瘍細胞を示す。

下左 エールリヒと秦佐八郎^{はたさ はちろう}はサルバルサン 606 号の開発を共同でおこなった。

下右 医薬品の製造と包装には厳格な衛生規則が適用される。



写真のモダンな薬品工場では、どの作業過程も十全な無菌状態のもとでおこなわれている。

第108章 チャールズ・アルジャーノン・パーソンズ卿(1854-1931)

チャールズ・アルジャーノン・パーソンズ卿は、19 世紀最後の傑出した技術者である。特に工業技術の発展に寄与したのは、蒸気タービンの発明であった。パーソ

ンズの蒸気タービンは、大量のエネルギーを発生させ、蒸気の熱エネルギーを利用するためにきわめて効率がよい。

チャールズ・パーソンズはダブリンとケンブリッジ大学で数学を学ぶ。卒業後、機械製造会社で4年間の年季勤めをした。1884年、若い共同経営者としてゲーツヘッドの工場にはいった。同社〔クラーク・チャップマン会社〕は、相変わらず伝統的な蒸気機関のはずみ車からベルトを介して駆動させる、発電機の製造を専門にしていた。

もしも蒸気で発生するエネルギーを発電機内で直接利用するならば、性能は相当向上するはずだ、とパーソンズはみた。流体エネルギーを羽根車によってそのまま回転エネルギーに変換する、タービンの原理に基づく機械を組み立てようと決心する。水（水車）や空気（風車）のような流体エネルギーは何世紀も以前から利用されてきたが、パーソンズの計画する蒸気タービンには耐熱性の鋼合金が不可欠なため、蒸気エネルギーは19世紀末になってようやく現実利用できるようになった。

パーソンズが1884年につくった蒸気タービンは、圧力容器から、蒸気が高速度で案内車をへて羽根車に噴出し、羽根車が回転しはじめる仕組みになっている。蒸気はタービンを通過するとき熱を帯びて膨張するので、出口は入口より大きく、したがって羽根車も大きくつくられた。これは蒸気エネルギーを最大限に利用するための新たな工夫である。

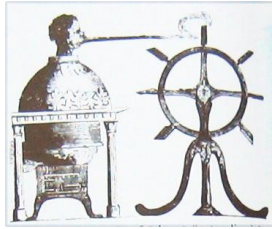
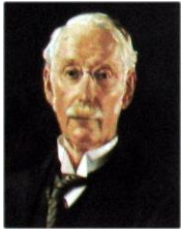
蒸気タービンは、従来の最高速度であった毎分1,500回転に対し、180,000回転にまで達し、100ボルトで出力7.5キロワットを記録した。パーソンズは蒸気タービンによる発電の潜在力を知悉していた。1889年、将来の開発を完全に掌握するため、自営の会社を設立する。2基のパーソンズ式タービン発電機がフォース・バンクス発電所〔イングランド北東部タイン＝ウイア州の州都ニューカッスル〕に取りつけられ、1900年に操業を開始したときには、蒸気タービンをそなえる世界最初の発電所であった。その後、都市の発電所はますますパーソンズの蒸気タービンに切り替えられていった。いっそう大規模な強力で性能のよいタービン発電機が組み立てられ、あらゆる大口消費者のために最も普及した発電機となった。

当初からパーソンズは蒸気タービンが船用機関にも適していることを知っていた。ウオールゼンドに専門の別会社を設立し、約30mの実験船、「タービニア号」を建造した。試行錯誤のすえ、蒸気タービンから直接回転させることができる、スクリュープロペラ軸の妥当な組み合わせを見いだした。1897年補注92、ヴィクトリア女王在位60年記念の観艦式にパーソンズは自分の船を披露した。「タービニア号」は34.5ノットでさっそうと艦隊のそばを通りすぎ、ほかのどの船よりも7ノットばかり速かった。

1905年までに、蒸気タービンは船用機関として戦艦にも客船にも使われ、若干の技術的変更をくわえて小型貨物船にも用いられるようになった。

パーソンズは生涯で合計300件の特許を取得した。光学にも興味をもち、科学器具用レンズの製造を専門とする企業をいくつか起こした。しかし、パーソンズが産

業の発展に貢献した最大の功績であり、パーソンズの名を後生にとどめる発明は、蒸気タービンであった。



上中央 1629年にイタリア人ジョヴァンニ・ブランカが発明した、最初の衝動タービン。木製歯車装置を通してパウンディング・マシンを作動させるように工夫されている。まるい釜が下から熱せられると、彫

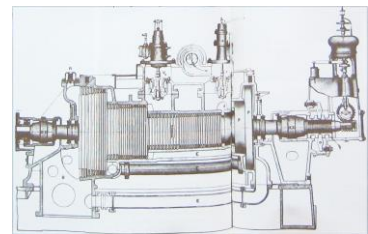
刻がほどこされた蓋のノズルから蒸気流が管を通して吹き出す。圧力は蓋にある噴射ノズルで減殺される結果、蒸気は高速に達し、この高速蒸気流が車に取りつけられた羽根にあたるや、急激に減速する。羽根は蒸気噴流の衝動によって回転をはじめる。こうして流体エネルギーが回転エネルギーに変換された。

上右 「タービニア号」、当時の世界最速船。蒸気タービンで駆動した。



下左 原子力発電所に建設された4基のタービン発電機(出力500メガワット)中の1基。タービン発電機はいまやエネルギー産出の重要な基礎になっている。

下右 ウェスティングハウス・パーソンズ式反動蒸気タービン。A、S：蒸気入口。B：蒸気出口。P：バランス・ピストン。T：調整装置。R：安全弁。V：一次給気弁。Vs：二次給気弁。



第109章 ジョージ・イーストマン(1854-1932)

ロールフィルムとコダック・カメラの発明によって、アメリカの企業家ジョージ・イーストマンは、写真を大衆に普及させた。セルロイドを支持体とするロールフィルムは、映画の発展にも重要な役割をはたした。

イーストマン青年は銀行、保険業に従事していたが、1880年写真業界へ鞍替えする。写真は当時、カメラマン自身が感光板を現像してプリントをつくるために、相当な設備と技能や経験を必要とする、まだ専門家の仕事であった。いま現像と焼き付けをもしアフターサービスとして提供すれば、広く一般人を写真に誘いこむことができるだろう、とイーストマンは考えた。写真簡素化への手始めは、柔軟なフィルムの導入であった。当初のフィルムは、ゼラチンを基にした写真乳剤補注 93 が薄く塗布されている、紙テープでつくられた。この感光性フィルムは、カメラに装填し回転してとめることができる、リールに巻かれたので、連続的な撮影が可能になった。

「あなたがボタンを押せば、あとは私たちがお世話します」—これは、イースト

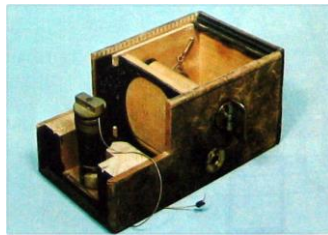
マンが 1888 年にコダック^{ボックス}箱型カメラを発売したとき、イーストマン社の採用した広告用スローガンである。この簡便な、有名になって当然の携帯用カメラは、ロールフィルムをすでに装填し、すぐに使える形で販売された。ロールフィルム 1 巻で 100 回撮影でき、すべてを撮り終え、カメラはそっくりそのままイーストマン社に送り返された。会社でフィルムが取り出され、ネガ像が現像される。ゼラチン・フィルムはそのあと紙テープからはがされ、ネガ像が透明な裏引き層〔ハレーション防止塗布層〕に張り替えられた。

1 年後にイーストマンは、紙テープをニトロセルロースの透明な裏引き層と取り替えた、柔軟フィルムの改良版を売り出し、ゼラチン^{ネガ}陰画の^{モンタージュ}合成が不要になった。いまや、多少の常識さえあれば、だれもが明瞭な写真を撮れるようになった。イーストマンの工場は、需要と歩調をあわせるため、急速に拡大しなければならなかった。イーストマンは可能なかぎり現代の大量生産方式を駆使し、ヘンリー・フォードに先駆けてベルトコンベヤーを採用した。

エジソンの発明したキネトグラフ―最初の有効な映画撮影機―はイーストマンのロールフィルムを用いた。こうしてイーストマンは副次的に映画史にも寄与している。「[イーストマン・コダック社](#)」は、つねに最も重要なフィルム製造会社であり、写真産業をリードする企業になった。「ブローニー」は子供用の簡単な箱型カメラで、1900 年に発売された。

イーストマンはかせいだ財産の半分をマサチューセッツ工科大学やニューヨーク州ロチェスター大学などの教育施設に寄付した。死後―イーストマンは 77 歳で自殺した―ロチェスターにある邸宅はフィルム・ライブラリーと写真博物館に改造された。イーストマンのニトロセルロース・フィルムは 1951 年まで使われていたが、品質が突然劣化し、大きな火災原因となるため、その保存はもちろんフィルム・ライブラリーに相当な問題をつきつけた。しかし、古いフィルムを保存する唯一の安全策は、不燃性のフィルムに複製することしかなかった。

イーストマン・カラー、つまり今日最も広く用いられているカラーフィルム法〔カラー・ネガ・フィルム型〕は、イーストマン・コダック社の実験室で 1952 年に開発された。



左 ジョージ・イーストマン（左）とトマス・アルヴァ・エジソン、1928 年撮影。エジソンはイーストマンの柔軟フィルムを映画撮影機に使用して、映画撮影を現実化した。

中央 「コダック・ガール」が写っている、コダック・カメラの初期広告。

右 コダック 1 号、イーストマンの最初のカメラ。



左 最初のコダック・カメラで1888年に撮影した写真。写真の下にカメラマンの影。

中央 コダックの使用説明書つき広告の切り抜き。

右 ニトロセルローズ・フィルムをつくっていた、長さ約60

メートル、幅1メートルのガラス台。

第110章 ニコラ・テスラ(1856-1943)

天分豊かで風変わりなクロアチア生まれの電気技師、ニコラ・テスラは、磁気と電気の理解に著しく寄与するとともに、着想豊かな発明家であった。とりわけ、みずから発見した回転磁界の法則を適用して、最初の誘導電動機を組み立てたことで有名になった。

科学の問題にテスラは少年のころから心を奪われ、オーストリアのグラーツ工業大学で工学技術を学んだ。テスラは学部の学生時に「グラム発電機」が作動しているのを見た補注 94。この発電機は電動機としても使えることが知られていたが、激しく火花を飛び散らす欠陥があった。この難点がテスラに一段とよい電動機をつくらせるきっかけとなった。

テスラは、交流一流れの向きが周期的に変わる電流—によって回転磁界をつくれれば、電動機を動かすことができると考えた。当時、交流は高い電圧を発生させるため、多くの人々に危険視されていた。テスラは逆に、直流よりも多面的な交流〔多層交流〕でしか実現できない、電気工学にとって夢物語のような発展の可能性があるかと予見した。

テスラは1882年コンチネンタル・エジソン・カンパニーの技術者としてパリに赴任し、1年後には最初の誘導電動機を組み立てた。電動機、発動機、それに周波数を変えないで電圧を変換する変圧器によって、彼は交流システムの端緒を開いた。

1884年、テスラは合衆国へ渡る。エジソンの研究助手として企業研究所に雇用されたが、二人の共同作業は長続きしなかった。エジソンは直流システムの揺るぎない擁護者で、テスラが1年後に交流システム一式をアメリカの製造業者ジョージ・ウエスティングハウスに販売したことから、エジソンとテスラのあいだに深刻な確執が生じた。

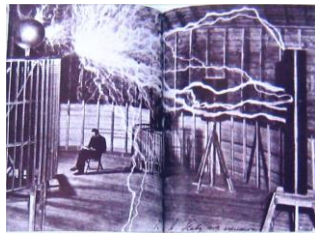
テスラ＝ウエスティングハウス・システムが大量の電気を発生させることに適している事実は、1893年、交流発電機がシカゴ博覧会の照明に使用されたとき、明らかに実証された。その結果、ナイアガラの水力発電所でも、[同方式](#)が採用された。

テスラは自身の実験室をしつらえ、とりわけ遠隔操縦ボート、無線アーク灯、長距離のラジオやテレビ中継にいまも用いられている、高周波誘導コイル「テスラコ

イル」[高周波高電圧変圧器]などをそこで発明した。すべての企画が成功したわけではない。テスラの最も野心的な事業、すなわち音声と映像を世界中に伝えようと、1900年にはじめた地球規模の通信システムは、出資者たちが援助を打ち切るや、断念せざるをえなかった。

テスラは発明からほとんど金銭的利益を受けず、特許権を取得しようとさえしなかった場合が多い。むしろテスラは世間の注目に^{デモンストレーション}関心があり、常軌を逸した行動、筋の通らない予言、異彩を放つ公開実験などで新聞記者の寵児^{ちょうじ}になった。

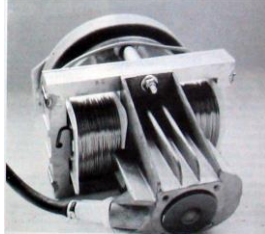
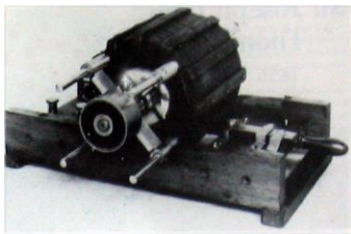
1917年、テスラは電気分野での功勞により、アメリカ最高の榮譽である、エジソン^{メダル}牌を獲得した。テスラはつねに夢想家であり物理学の天才と認められ、彼のメモ帳のなかに、いまもなお科学者たちは新たな発見や発明の示唆を探し求めている。



上中央 人工的に電光を発生させる実演のかたわらで、テスラは読書にふけっている。

上右 1895年、ベルリンのウラニア天文台においてテスラが廷臣たちの前で披露した、「未来の光」。この銅版画は、

遮断された回路を閉じて、両手にもつガイスラー管を輝かせている、ハインリヒ王子を示す。



下左 実験用に組み立てられたテスラの誘導電動機。直流電動機と異なり、誘導電動機は電動子(回転子)にいかなる電気の接続(結線)ももたない。その代わり、交流によって、固定子に回転磁界がつくられ、その回転磁界が、[固定子の内部にある]電動子(回転子)に電流を誘導する。

下右 現代の線型誘導電動機—これによって携帯用圧縮機(ポータブル・コンプレッサー)が動かされる。本質的にはテスラの設計に酷似している。

第111章 ジョーゼフ・ジョン・トムソン卿(1856-1940)

イギリスの物理学者ジョーゼフ・ジョン・トムソンは、電子の本質を解明し、電気および原子に関する従来の観念に大変革を起こした。電流の基本単位である「電子」[補注 95]は、原子構造にも、したがって物質のあらゆる性質にきわめて重要な役割を演じている。

トムソンはマンチェスターに生まれた。1876年、ケンブリッジ大学で自然科学の研究に奨学資金をうけ、同大学に終生とどまり、急速に昇進した。27歳になるかならぬうちに、卓越した物理学者ジョン・レイリーの教授職を引き継ぎ、キャヴェン

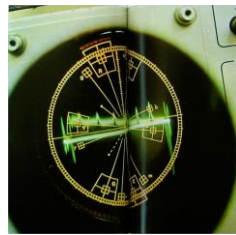
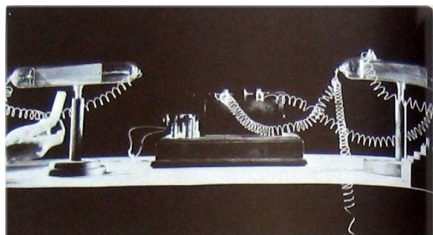
ディッシュ研究所補注 96 の所長をも兼任した。同研究所は、トムソンの先見の明によって、原子物理学の著名な国際センターになった。

トムソンの偉大な発見の出発点は、陰極線への関心である。真空管のなかで1対の電極間に電流を流すと、陰極線がカソード（負極）のまわりに生じることは、数年前から知られていたが、その正体は、光線やX線と異なり、電磁波ではない、とトムソンは推測した。1897年、陰極線は、疑いもなく、微小な負の電荷を帯びた「微粒子」の流れである、とトムソンは論文で公表した。彼の名づけた「微粒子」は、のちに「電子」と呼ばれるようになった。

電荷と質量の関係を測定して、トムソンは、電子が個々の原子よりもはるかに小さいことを証明した。電子が原子より小さいとすれば、電子は原子の構成要素である可能性が大きい。このような論拠から、原子は、無数の電子が全体に散在している、正の電荷を帯びたかたまりである、とトムソンは推論した。この推理〔つまり無核原子模型〕は、まもなく一段と精密な太陽系モデルにかえられるが、ともかく、原子を正と負の電気概念であらわそうとした、最初の近代的な試みであり、現在の複雑な数学的理論の草分けとなった。

電子（「微粒子」）とその原子構造内の役割に関するトムソンの仮説は、電子の発見から数年後に検証された。ドイツの化学者オイゲン・ゴルトシュタインは、真空放電管〔の陰極に子孔をあけて^{アナール}〕放電させるとき、陰極線のほかに、陰極線とは反対方向に子孔を突きぬける放射線が存在することを証明し、ゴルトシュタインはそれを「カナル線」と命名した。その後まもなく、カナル線は正電荷の素粒子、つまり電子を取り去った原子の残部であることが実証された結果、電子を「原子を構成する微粒子」とみるトムソンの見解が裏づけられた。

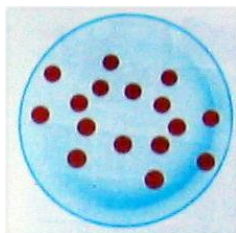
科学に果たしたトムソンの重要性は、本人自身の研究に劣らず、門人への影響にも根ざしている。トムソンはすばらしい教師であり、キャヴェンディッシュ研究所に若い世代の最高頭脳をまわりに集めた。彼の指導のもとで研究した多くの人びとが、世界有数の大学で教授になり、7名の門弟は、トムソン自身が1906年に受賞した、ノーベル賞をうけている。



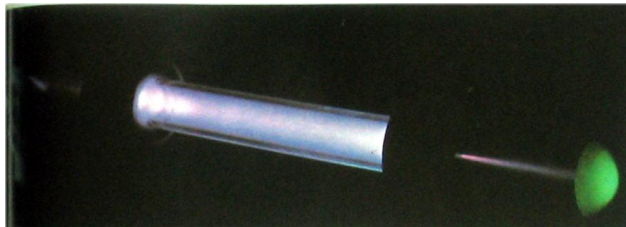
上 陰極線がアノード（正極）を通過することができる、トムソンの設計した放電管の一つ。磁場と静電場によって

陰極線が屈曲することから、トムソンは、陰極線が—いまでは電子として知られる—粒子でできている、と確信した。

右 テレビ中継テストでの極座標系。トムソンの研究は、現代の科学技術で陰極線管の多方面にわたる応用、たとえばテレビ、レーダースクリーン、コンピューター・イメージングなどを可能にした。



上左 トムソンの原子模型。原子は、正電荷の球体中に分布している、負電荷の「微粒子」（電子）で構成されている。



上右 放電管の内部。

いちばん明るい放電は、放電管の陰極（カソード）からアノードへ移動する、電子の流れである。オイゲン・ゴルトシュタインは、陰極に小孔をあけると、粒子線がこの小孔を突きぬけて陰極背後のスクリーンに到達し、そこで発光点を形成することを発見した。この粒子線は陰極線と反対方向に移動する。ゴルトシュタインはそれを「カナル線」と名づけた。カナル線は、もともと放電管のなかに存在した、気体の正電荷原子—電子を取り除いた原子—「正電荷をもつ陽イオンまたは原子核からなる粒子線、つまり「陽極線」の一種】であることが判明した。

右 トムソン（左）とアーネスト・ラザフォード。ラザフォードは、人工的な原子崩壊にはじめて成功した、ニュージーランド生まれの核物理学者。ラザフォードは元キャヴェンディッシュ研究所のトムソン門下生のひとりであった。



第112章 ハインリヒ・ルードルフ・ヘルツ(1857-1894)

短い人生のなかで技師をめざしつつ物理学者になった、ドイツのハインリヒ・ルードルフ・ヘルツは、通信革命の枢要な礎を築いた。めざましい一連の実験で電波の存在を発見し、どうすれば電波が送られ、受けられるかを示した。ヘルツの発見から50年とたたぬうちに、無線通信がはじめて地球規模の即時伝達手段になった。

ヘルツはハンブルクに生まれ、技師になるための教育をうけた。物理学の大御所ヘルマン・フォン・ヘルムホルツに激励され、ヘルツは工学技術から物理学へ転じ、ヘルムホルツに師事する。1883年にはキール大学の私講師となり、研究課題に没頭するまでになっていた。ヘルツは特に、ジェームズ・クラーク・マクスウェルが定式化した、光の電磁理論〔1864〕に興味があった。

そのころベルリン科学アカデミーが電磁気に関する特殊研究に懸賞金をかけたことから、ヘルムホルツはヘルツにぜひ応募するように迫った。弟子の決断は、はからずも電波とその送信法の発見へと導き、歴史的成果をはぐくむ結果になった。懸賞金をねらうには振動電流の研究が必要であった。1888年、ヘルツは振動電荷〔「電気振動」〕を、マクスウェルの有名な電磁方程式の予言と連関させる、すばらしい着想が脳裏にひらめいた。ヘルツの組み立てた実験器具は、2個の金属小球を向き合わせて連結した回路で構成されている。前後に流れる電流によって、2つの小球は交互に荷電する。やがて電荷が極限に達すると、両球のあいだに火花が飛ぶ。これを観察したヘルツは即座に、電気振動から電磁波が生じると予測していた、「マクスウェル方程式」に立ち戻る。ヘルツは、定常的に振動する電荷〔電流〕を発生

させることができる回路を、自分が偶然つくっていたことを悟った。そして、火花が飛び移るとき、目に見えない電磁波[電波]が実験室じゅうに脈動しているのか、と疑問がわいてきた。

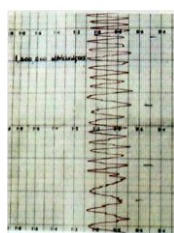
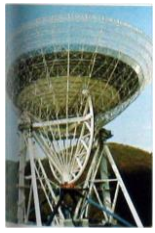
ヘルツは問題を確かめるために、一個所がわずかに途切れている、簡単な針金の輪を用いた。さまざまな置き場所を選び、そのつど飛び移る火花によって電磁波の存在が確認されるばかりか、位置に応じて異なる火花の強さを手がかりにして、ヘルツは電磁波の強度と形態を「描く」ことができた。その結果、電磁波の波長は 60 cm をくだらない—可視光線の波長の 100 万倍—と導きだした。

「ヘルツ波」[補注 97](#) 応用の華々しい歴史は、8 年後の 1894 年、長距離間の情報伝達に利用した、イタリアの物理学者グリエルモ・マルコーニによって開かれた。1901 年 12 月 12 日、マルコーニ無線電信会社は「ヘルツ波」でイギリスから大西洋をへてニューファンドランドにいたる最初の無線通信を確立した。残念なことに、ヘルツ自身は無線通信の産声を待たず、すでに 7 年前に亡くなっていた。



上中央 ドイツの自然科学者ヘルマン・フォン・ヘルムホルツは、光学、音響学、熱力学、電気学の諸分野で活躍した。電磁気に関する懸賞コンテストに、弟子のヘルツは発振器[「ヘルツ共振器」]を考案して、ジェームズ・クラーク・マクスウェルが予言した電磁波の存在を実証することができた。

上右 無線通信の根本原理。送信機(下)の 2 球間に飛び移る火花は電波を発生させ、電波が再び受信機(上)で火花を飛び移らせる。



下左 無線の時報を試聴しているところ(1913 年)。信号は秒刻みでエッフェル塔からモールス信号で送信された。

下中央 現代の電波受信機—西ドイツの電波望遠鏡。

下右 イギリスのジョドレルバンク電波天文台の電波望遠鏡によって記録された、[クエーサー](#)

3C273 からの電波放出。クエーサーは、極度に強い大量の電波を放出している、恒星に似た天体である。この記録で特定されるクエーサーの電波強度は、地球との距離を勘案すれば、クエーサーがほぼ 200 個の銀河を集めたくらいの明るさであることを示唆しているらしい。

第113章 ルードルフ・ディーゼル(1858-1913)

発明者にちなんで名づけられた「ディーゼル機関」は、石油精製の副産物(軽油または重油)を燃料とする、最も経済的な熱機関である。工場であれ、海上、路上、レール上、あるいは田畑や発電所であれ—ピストンの直径が 1 メートル以上あり、1 気筒ごとの出力が 4,000 馬力もの超大型から、模型原動機用の超小型ディーゼル

まで、私たちはいたるところで、ありとあらゆるディーゼル機関に出会う。最新流行の型式は、排気ガスにふくまれる有害物質の減量化をめざして設計されている。

ルードルフ・ディーゼルは、両親ともドイツ人の息子としてパリに生まれ、当地でプロテスタント系の学校に通い、12歳のときすでに学業優秀のため表彰された。1870年、普仏戦争の勃発により、ディーゼルー家は当てのないイギリスへ追放された。息子ルードルフはその後まもなく叔父を頼ってアウグスブルク補注 98 に移住し、そこで実業学校へ通い、圧縮発火器を目にする。空気の圧縮によって熱、いやそれどころか、火さえつくることができることが、少年に深い感銘をあたえ、もしかすれば発明への最初のきっかけにさえなったのかもしれない。刻苦勉励のすえ、ルードルフは早くも15歳のとき首席で実業学校を卒業し、技術者になる決心をかためて、ミュンヘン工業総合大学に入学する。学費は奨学金と課外授業でまかかった。

1878年、ディーゼルはミュンヘン工業総合大学で蒸気機関とその効率の悪さに関する講義を聴講している。これがディーゼルに効率の高い熱機関をつくりたいと思わせる刺激になったのであろう。改良の方途を示したのは、同じく発見者の名で呼ばれる、「カルノー・サイクル」（可逆サイクル）に熱エネルギーをうみだす最善の可能性があると考えた、フランスの物理学者サディー・カルノーである。＞ディーゼルは大学卒業後、まずリンデ製氷機工場の設立に協力するため、パリへもどる。10年間、リンデのために技師、設計者、考案者として働く。しかし効率の高い新型エンジンを発明したいという夢は、頭から離れなかった。特に、大型蒸気機関を買う余裕がない、小規模産業に役立つものをつくりたい、とディーゼルは願った。多方面に利用できる電動機がなかった当時の事情を考慮すれば、創作動機に社会への感受性もあらわれており、それが晩年ディーゼルに社会批判的な作品さえも書かせたのである。

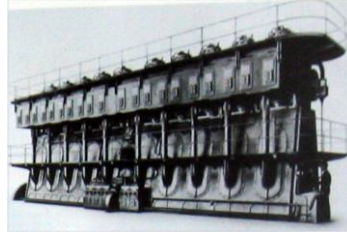
ディーゼルは数年間まず理論面から新型エンジンに取り組み、1892年に最初の特許を出願する。ほぼ同時期に、極力広範囲に呼びかけるため、理論的考察について著書も刊行する。限られた自己資金では決して原動機を製作できない、とわかっていたからである。彼は真っ先にリンデに相談をもちかけるが、断られる。次にアウグスブルク機械製作所(MAN)のハインリヒ・フォン・ブツとエッセンのクルップを頼る。苦勞のすえようやく、エンジンを市場に出せるまで開発し製作できる契約を結ぶことに成功した。

すでに1893年8月10日、燃料をはじめて内燃機関へ噴射するが、圧力計が爆発的に破裂してしまった。ようやく1895年、広範な変更と新たな設計によって実効率を証明してみせることができた。引き続きアウグスブルクで製作され、1897年2月17日に公式の作動検査をうけた、2度目の改良試作機は、26%というセンセーショナルな熱効率を達成した。続々とあがるディーゼル機関の大成果は、ありとあらゆる困難や抵抗にもかかわらず、もはや押しとどめようがなかった。

ルードルフ・ディーゼルは百万長者になるが、特に、特許権利用会社「全ディーゼル機関協会株式会社」への出資による莫大な損失、不運な不動産取引とその関連

訴訟で財産をほとんど失った。おまけに、ディーゼルと発明家の榮譽をめぐって争い、怪文書を公表ないしは予告する、科学者たちとの対決がつけくわわっていた。

1913 年、ディーゼルは破産をはっきりと自覚する。誇り高きディーゼルは、友人たちに頼ることもなく、アントワープからイギリスへわたる船から波間に身を投じた。



上中央 工場で電動装置の原動力として使われた、初期の固定ディーゼル機関。

上右 貨客船用ディーゼル機関。このエンジンは



毎分 132 回転で 7,300 馬力の出力をもつ。

下右 現代のディーゼル・クレーン車。ルードルフ・ディーゼルの初期目的に反して、ディーゼル機関は、おもに高性能モーターに使用され、標準車にはほとんど使われていない。

第114章 マックス・プランク(1858-1947)

ドイツの理論物理学者マックス・プランクは現代量子論の基礎を築いた。量子論は、アインシュタインの相対性理論とともに、20 世紀冒頭に宇宙観を根本から書き直す、新たな地平を切り開いた。プランクは熱や光のような電磁放射を古典的に連続波とみなさず、電磁波は不連続であり、微小な粒子つまりエネルギーの「量子」からなると仮定した補注 99。この魅力ある簡単そうな考えが、原子科学への複雑で根本的に新しい立場をうみだした。

プランクはミュンヘン大学に物理学教授として在職していた、1900 年に量子論の中核をなす仮説をたてる。数年にわたって彼はエネルギーと放射に関する熱力学的研究をすすめていた。古典物理学の独断論では、このエネルギー [加熱物体が放出するエネルギー] がなぜこれほど不規則に熱放射の波長 [または振動数] に分布するのか、説明できなかった。幾人かの卓越した物理学者は、観察されたエネルギー分布の近似値を見いだすために、複雑な方程式をたてていた。プランクも多くの同僚に劣らず保守的な科学観をもっていたが、少なくとも大胆奇抜な着想を実験してみるだけの覚悟はできていた。こうしてまったく的はずれとみえた考えが、問題解決の鍵を提供することになる。

プランクは熱放射の本質に関する従来の仮定をすべて退けることに決め、熱放射は、彼が「量子」と呼ぶ、ごく小さいエネルギーの「粒子」からなる、という完全に新しい前提から出発した。この画期的な着想を加熱物体の問題に適用し、すぐさ

ま、エネルギー分布の正確で簡単な表現を見いだした。すなわち、放出されるエネルギーは放射の振動数に比例する。比例係数は普遍定数であることが立証され、一般に「プランク定数」（あるいは「作用量子」）と呼ばれている。当の定数はプランクにとって数学値にすぎなかったが、科学者たちはまもなく「プランク定数」が、自然のいくつかの基本的メカニズムを支配している、諸法則に重要な役割をはたしていることに気づいた。

量子論は、すぐには受け入れられなかった。プランクも自分自身の基本前提をほとんど信じていなかったほどであり、量子論がきわめて多くの懐疑に行き当たったのも不思議ではない。しかし、量子論は有効な新理論がそなえるべき条件を満たしていた。つまり、確認可能な事実を説明していた。それゆえ科学は量子論を無視するわけにはいかなかった。1913年、デンマークの物理学者ニールス・ボーアは量子論を原子構造に適用し、華々しい成果をおさめた。プランクが開示した、放射の不連続性は、量子数によって特徴づけられる安定した電子軌道が存在するという仮定へと広がった。原子の新しい量子モデルは、それまで謎であった数々の現象を説明し、現代原子論の出発点となったのである。

以後、科学は量子論を応用して急速な進歩をとげた。それらの指導原理と数学的推論はしばしば複雑であるが、量子論は小宇宙研究のために強力な新しい手段を提供した。それまで原子の小宇宙は、未知の不可解な法則に支配される、縁遠い予測のつかない世界と思われていた。プランクの理論は、こうした見かけの神秘が、感覚界の法則を適用不能な領域に当てはめようとする、不合理な試みに起因することをあばいた。原子より小さい世界を記述するには、量子論に基づく新たな一連の法則が必要なのである。この基本が理解されるや、原子と分子の本質を探る研究に長足の進歩がみられるようになった。

量子物理学の誕生とともに、感覚界に関する理論が、原子の小宇宙内部の委曲をつくした正確な知識から、はじめて展開できることにもなった。いまや量子論は多くの領域に適用されている。原子核研究者は、自然における最小の粒子群、すなわち原子核の内部構造を構成している粒子の理解を深めるために、量子論を利用した。宇宙物理学者は、恒星や銀河を形成している、巨大な宇宙空間に存在する原子と分子の動きを記述するために、量子論を利用した。プランクの偉業は、考えうる最小のものから最大のものまで、ありとあらゆる自然現象の理解に役立つ理論を展開したことにある。



$$E=h\nu$$

右 量子論。それはあらゆる事象が不連続であることを突きとめる。いかなる形のエネルギーも、微小な単位量—量子と呼ばれる—で放出される。量子は存在する最小のエネルギー単位量である。物質は量子単位でエネルギーを吸収あるいは放出する。エネルギーの量子放出は、放射振動数に比例している。比例係数 h 、すなわちプランクの作用量子 [いわゆるプランク定数] は、普遍的定

数であることが判明した。それによれば、たとえばX線のような高周波放射の量子は、電波などのような低周波放射の量子よりも多量のエネルギーをもっている。



左 量子論を使えば、上掲の複写されたオリオン

星雲のような天体から放射、吸収される、エネルギー量を計算することができる。

右 第一回ソルベー会議補注 100 (1911 年、ブリュッセルにて)。プランクは後列 (左から 2 人目) に立っている。アーネスト・ラザフォード、マリー・キュリーおよびアルベルト・アインシュタイン (後列、右から 2 番目) も参集した。

第115章 スヴァンテ・アウグスト・アレニウス(1859-1927)

スウェーデンの化学者スヴァンテ・アウグスト・アレニウスは現代の物理化学を創設したひとりである。電解質—水に溶けて電流を導く化学物質—は、電荷をもつごく小さい粒子、いわゆるイオンからなることをはじめて提唱した。アレニウスの電離説は、化合物とその溶液中における挙動を理解するために、不可欠な貢献をした。

アレニウスはヴィークに生まれ、近くのウプサラ大学で学ぶ。学部の学生時代に早くも電離説の定式化にとりかかった。アレニウスの生まれるおよそ 1 世紀前に、一定の化合物は、水に溶解すると、電流を伝えることができる事実に、科学者たちは気づいていた。さらに注目すべきなのは、溶液が電流の作用で、しかも往々にして本来の構成要素に分解するという発見であった。

水に溶解したとき、化合物はどのような性質によって電流を導くのかどうかが決まるのか、アレニウスは基本的な問題をたてると同時に、答えは化合物の構造となんらかの関係があるにちがいない、と直感した。アレニウスが 1883 年に展開した電離説は、簡明かつ革命的であった。[ある溶媒に] 溶かすと、その溶液が電気を導く化合物、いわゆる「電解質」は、他の化合物と構造に違いがある。つまり、電解質は、「イオン」と呼ばれる、極小の荷電粒子で構成されている。固相では、電解質は陽イオンと陰イオンとのあいだで引きあう [静電] 引力によって結合しているが、溶媒のなかではイオンが解離し、自由に溶液中を漂流^{ドリフト}する。電気分解中に陽極と陰極を溶液に挿入すれば、陽イオンは陰極へ、陰イオンは陽極へ移動する。イオンの移動が、電気分解に特有な電流の流れを形成するのである。

さて、電解質が電解中にどのように分解するかを、アレニウスはさらに説明する必要があった。イオンは電荷をもつ原子 [または原子の集団] であり、この電荷は電解中に一方の電極に到達すれば中和されて、各元素の荷電していない通常の原子

になる、と彼は仮定した。

アレニウスの説には露骨な不信感が示された。ほとんどの科学者は、なぜイオンが電荷をもたない対応原子の化学的性質をいっさい示さないのか、あるいはどうして原子が帯電するかについて説明ができていない、と指摘した。批判のあらしにもかかわらず、アレニウスは自説の妥当性を確信し、1884 年、哲学博士の学位請求論文としてウプサラ大学にペーパーを提出する。審査官のひとりであった著名な化学者ペール・クレーヴェは、イオン説に反対し、アレニウスが審査にできるだけ悪い評点で合格するように、自己の影響力を利用した。

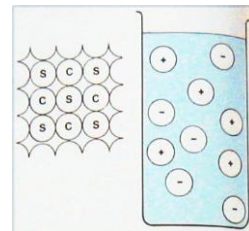
しかし、アレニウスを簡単に黙らせるわけにはいかなかった。アレニウスは用心深く学位論文の写しを名だたる化学者たちに送り、不人気な理論を支持するだけの十分な想像力と勇気をもつ学者を幾人か見いだした。こうした人々の助力で、アレニウスはいろんな大学に職を得て、電離説を精緻なものにしあげ、さらに発展させる時間の余裕と研究設備が与えられた。1897 年に劇的転回が起こる。イギリスの物理学者トムソンが電子を発見し、電子こそが電荷の基本粒子であることを確認した。ほぼ同時期に、パリのアンリ・ベクレルは放射能を発見し、一定元素の原子は自然に崩壊し、その際になかはずく電子を遊離させることを示した。したがって、原子が不滅・分割不能の微粒子 [ドルトンの原子説] などではなく、ある種の内部構造をもっていることが、はじめて明らかになった。ベクレルの発見は、この「原子構造」が電子の原子内存在に依拠する補注 101 ことを証明している。

ついに、電荷をもつ原子というアレニウス説にも、説明がつくようになった。たとえば、金属ナトリウムの原子が電子 1 個一すなわち 1 価の陰イオン^{せいち}を失えば、原子は全体として正電気を帯びる。逆に、塩素原子が 1 個の余分な電子を取得すれば、全体として負電気を帯びるようになる。したがって、食塩—ナトリウムと塩素の化合物—は、正電気と負電気の静電引力によって結合した、ナトリウムイオンと塩素イオンのかたまりとみなすことができた。電子は原子の内部構造に所属するものなので、電子の増減が原子の性質を変えることは、もはや驚くにはあたらない。塩水のなかで解離したナトリウムと塩素のイオンは、したがって、水中で激しい反応を示すナトリウム、あるいは有毒な黄緑色の気体である塩素の特性をなんら示さないわけである。

長い歳月をへて突然アレニウスは世間の賞賛を博すことになった。1903 年、ノーベル化学賞が授与された。アレニウスが格別満足に思ったことは、電離説を誉れ高いノーベル賞にふさわしいとした選考委員会に、以前の審査官ペール・クレーヴェがくわわっていた点である。



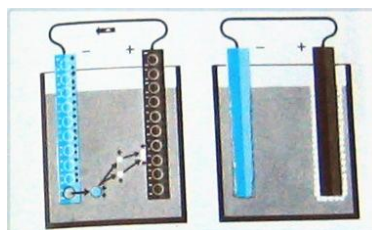
右 アレニウスによって視覚化された塩化ナトリウム。固体の結晶状態（左）では、ナトリウムと塩素が、正のナトリウムイオンと負の塩素イオン間の引力で結合する。溶液中（右）では、イオンが解離し、自由にそのなかを移動する。





左 電気めっき器から銅めっきしたプレートを取り去っている。電気めっきの原理は、荷電したイオンが逆の電荷をもつ電極に移動する現象を基本にする。銅めっきの場合、陽極(アノード)は純粋な銅からなり、めっきしようとする金属は陰極(カソード)のはたらきをする。両極は銅の塩溶液に浸される。電流が貫流すると、陽極(アノード)の銅は解離し、正電気を帯びた銅イオンの形をとって溶液中を移動し、薄い被膜として陰極(カソード)に析出〔「電着」〕する。

右 一般にバッテリーとして知られている、簡単な電解槽。これは希硫酸に亜鉛と銅の棒で構成されている。左図：2 個の棒が接続されると、電流は上方の矢印の方向に流れるが、水素イオンは銅に向かって下方の矢印の方向に動く。右図：最後に水素気泡が銅を完全に絶縁し、電流の流れをとめる。これを「電極の分極」という。



左 帝国金属工業ジェームズ・ブリッジ製銅所株式会社（英国バーミンガム）の電解精製器具の部分写真。

第116章 ウィレム・アイントホーフエン(1860-1927)

心臓の活動電流について研究する補助手段として、オランダの医師ウィレム・アイントホーフエンは、心電計を発明した。この高感度な弦線検流計は心臓病の検査と診断の標準機器になった。

ウィレム・アイントホーフエンはユトレヒト大学で医学を修め、1885 年に докторの学位を取得し、同年ライデン大学生理学教授になる。

アイントホーフエンのおもな学術上の関心は心臓、特に心筋収縮と血液駆出のたびごとに強さが変化する、活動電流にむけられた。動物や人間にみられる活動電流の変化を記録した、さまざまな実験報告を彼は読みあさるが、当時の計器は十分な電流感度がなかった。アイントホーフエンはまずは毛管電気計で、次に反照検流計を用いて測定精度をたかめようと試みた。

ついにアイントホーフエンは 1903 年、弦線検流計—活動電流の変化を 1 ミリボルト単位で記録することができる、高感度の計器を思いついた。「弦線」は、電磁石の両極間に張られた、銀めっきの水晶線で構成されている。電極が患者の四肢に貼付され、四肢は、イオン流によって心筋収縮の前後に発生する電流を捕捉し、電流の強さと方向に応じて正^{プラス} または 負^{マイナス} の方向にふれる、弦線を通して伝える。アイントホーフエンが「心電計」補注 102 と名づけた、この計器で、心筋の収縮と弛緩^{しかん}時に生じる、変化を記録することができた。

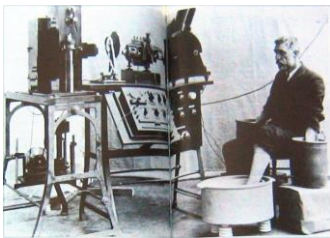
アイントホーフエンは電位変化の連続曲線のさまざまな点に P、Q、R、S の文字でしるしをつけ、T、R は、心臓の入口弁が閉鎖し、収縮の最終段階が血液駆出では

じまる、いわゆる収縮期にあられる、心電図のよく知られたスパイク波形を標示する。

「心電計」は心筋の収縮ではなく、筋肉細胞膜の分極と脱分極—膜の内側と外側におけるイオン濃度の変化—を測定する。これを記録するために、数個の電極が胸部や手足に貼付され、データは、「アイントホーフェンの三角形」と呼ばれる、図表に組み合わせられる。

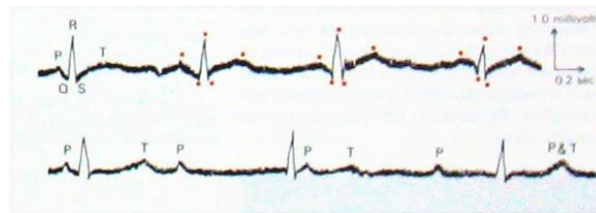
心電図補注 103 では、正常な心臓活動の波形曲線と振動数が基礎にされているので、標準とのいかなるずれも、心臓拡張、冠状動脈血栓、心遮断などの病気、あるいは構造上の異常を推論させることになる。

正確な測定結果のために、心電計はまもなく病院にとって貴重な診断用具となった。やがて心電計は電子機器が装備され、増幅管や陰極線オシログラフも利用するようになるが、原理は変わっていない。アイントホーフェンはみずから正常または異常な電気心臓曲線について多くの調査をおこなった。1906 年アイントホーフェンは「遠隔心電図」と呼ばれるシステムを開発し、それによって地方の病院で記録された心電図が実験室へ電送され、彼は居ながらにして心臓患者の病状変化を検査することができた。1924 年、アイントホーフェンはノーベル医学賞を受けた。



左 1911 年にケンブリッジ計器会社でつくられた心電計。

右 英国学士院（ロンドン）でのアイントホーフェン式弦線検流計の展示。ブルドッグが前足と後ろ足を塩溶液のはいた容器に入れることによって、電気回路が形成された。検流計の弦線は、明らかにあまり規則的でない、心拍のたびに振動した。

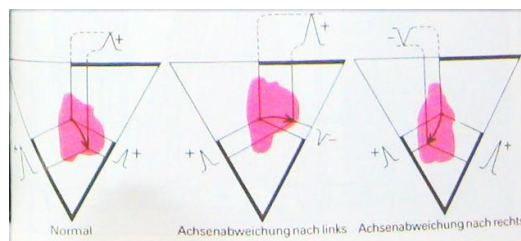
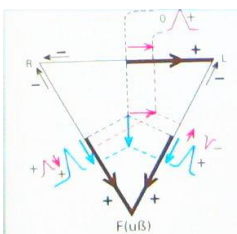


左 アイントホーフェンが自分の発明した弦線検流計と並んでポーズをとっている。

右 正常な心電図の PQRST 映像（上）と心遮

断の波形曲線（心室と心房の無秩序な収縮）との比較。P 波補注 104 は正

常な経過をたどっているが、刺激伝導系の興奮拡張が遮断されるために、心室が調整されないで勝手に収縮する。このような場合、心臓ペースメーカーがはめ込まれる。



左 アイントホーフェンの三角形は、心電図の評価に利用されている（医師はこれを念頭において診断する）。心臓の電気刺激は、三角形の中心から発し、そこから外へ伝わると推量される。一方への（太字印刷の矢印によって示された）動きは「+」、他方向への動きは「-」と呼ばれる。プラ



スの表示は、心電図曲線における上向きのふれを、マイナスは下向きのふれを示す。心臓欠陥もしくは心臓障害は、心電図曲線の異常な経過から読み取られる。

左 心電図をとっている患者。右足のコードはアースである。

第117章 パウル・ニプコー(1860-1940)

若いドイツの科学者パウル・ニプコーが発明した「ニプコー円板」は、あまりにも時勢に先んじていたため、だれひとりとして有益な使い道を思いつかず、発明者本人も定年まで鉄道技師として働いた。ニプコー円板は、画像走査と画素への分解によって、像の明暗度を電気信号〔映像信号〕に変え、この信号を送る問題を解決した。

人間の声を電気信号に変換し、これを有線で送出することが可能になると、科学者らは時を移さず視覚映像を伝送する方途を探りはじめた。しかし、実質上3点の困難があった。明暗度（光）の電気信号への分析と変換、電気信号の伝送、受像機側で電気信号に対応した明暗度（光）への再変換、これら3点である。

1873年、イギリスの技師ジョージ・メイは金属セレンが半導体であり、照射する光の量によって伝導率が変化する事実を発見した。セレンを使えば、光エネルギーも電気エネルギーに変換できる。この理由から、セレンは、テレビ中継に不可欠な構成要素である、^{ひかり}光電池の基礎になった。

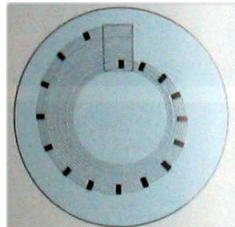
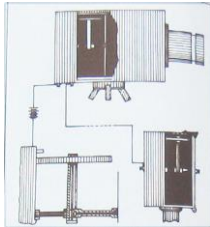
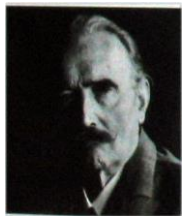
テレビの実現に踏み出す最初の重要な第一歩は、機械的走査機構の発明である。これを可能にした装置が1884年に考案されたニプコー円板なのである。パウル・ニプコーは、ラウエンブルク補注105出身の技術研究家であった。ニプコーの回転式金属円板は、一連の四角い穴が螺旋状に配列されており、被写体と強い光源とのあいだにおかれた。円板が速く回転すると、画面を構成する画素がつぎつぎに穴をくぐり抜けてくる光線によって「走査」される。光の明るさは、水平の走査線に細分された、画素の明暗度に対応する。光電池補注106は光の強弱を電流の変動に変えたのである補注107。

画像の再生は「走査」と似たようなことが起こる。光電池の衝撃補注108が管内で対応する光を放射させる。光線は、送信側の円板と同時接続される、別の回転式円板から入射することによって、画像が再構成された。

ニプコーは、ニプコー円板を基礎にした、完全なテレビシステムの特許を取得したが、これを実現できるだけの技術が当時はまだなかった。

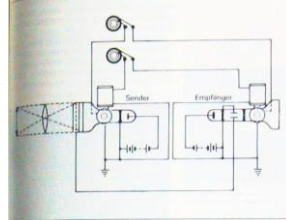
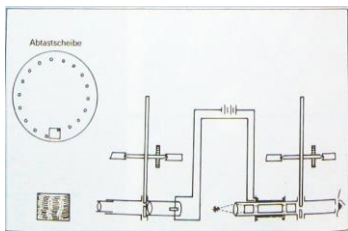
走査原理は写真電送ではじめて応用された。この写真電送には、回転ドラムから回転鏡まで、さまざまな技術が利用された。「有線」画像はすでに1907年にロンド

ンとパリ間で電送されていた。セレンをはるかに高感度な物質と取り替えたことが電送システムの重要な改良となり、結局、電子式走査機構が機械的走査機構（ニプコー円板）にとってかわった。



中央 ジョージ・ケアリーが 1880 年に設計した初期の走査装置。画像はセレン電池によって走査され、信号電流は単一の電線で送られた。この方式には走査、電送および受像のあいだに「同期」の関係がなかった。

上右 ニプコー円板の穴は画面の微小区画〔画素〕を「走査」する。この画素が組み合わさって走査線 20 本の 1 画面が構成された。



中段左 走査円板、送信機（中央）および受信機（下右）に関するニプコーの特許（1884 年）。送信機は感光性セレン電池をそなえているが、受像は磁場内で偏向した光の回転面によって達成された。

中段中央 A. A. キャンベル・スウィントンの走査装置（1911 年）：光電池のモザイク型スクリーンを用いて、そこに画像が集められた。陰極線がスクリーンの裏面を走査し、その陰極線は電磁気で受像機の陰極線と同期化された。当該方式は今日のハイビジョンテレビへの道を開いた。

中断右 テレビ部品。

下左 「電子コピー」がつくられる、テレビカメラの撮像管（左）。受像管（右）で可視画像が生じる。

下中央 画像の分解は、テレビ受像面の水平な走査線でわかる。

下右 イーザク・ショーエンベルク、ロシア生まれの科学者は、走査線 405 本のテレビシステムをはじめて開発した。



第118章 ヴィルヘルム・ビェルクネス(1862-1951)

ノルウェーの物理学者ヴィルヘルム・ビェルクネスは、気象学に確固とした科学的基盤を確立した。息子ヤコブとともに、天気予報が現代方式に体系化される礎石となった、移動性の気団や前線などの概念を定式化した。

気象学は大気の変化による天候状態とその影響を研究する学問である。気象学の

最も重要な応用形態は、天気予報である。

対流圏の構造、気温変化および気流について、一段と多くのことが知られるようになる 1920 年代まで、気象学者たちが気象状況を分析する手がかりとして使えるデータは、ごくわずしかなかった。従来さほど科学的に処理されなかった領域を開拓する仕事は、大部分がノルウェーの気象学者グループ、特にヴィルヘルム・ビェルクネスによって引き受けられた。

ビェルクネスはオスロで数学教授の息子として生まれ、流体動力学にうちこむ父親の感化を受けて、さしあたり協力していた。やがてハインリヒ・ヘルツの助手としてドイツに渡る。1893 年ビェルクネスはスカンジナビアにもどり、ストックホルム大学で力学を担当する、最初は講師、次に教授となった。そこで流体動力学と熱力学に関する知識を、彼は大気圏内の巨大な気団の運動に応用しはじめた。海洋と気団を、太陽熱によって動き、みずから摩擦熱を発生させる、熱力学体系とみなした。ほぼ一様な性質をもつ大気や海水の広大なかたまりの移動も、地球の回転によって引き起こされる。ビェルクネスはさらに熱力学的原理を気流と海流の循環に適用して、気流と海流が、陸風や海風、山風や谷風、それに高圧域と低圧域の発生原因にもなっていることをつきとめた。

1904 年、ビェルクネスは上記の理論を実際の天気予報に役立てる計画をねりあげた。気象学者に大気圏全体の変化がわかるように、一定の短い間隔をおいて、ありとあらゆる高所で大気の観測をおこなうべきだとした。全世界に広がる気象観測所の連携体制と、さらに航空観測もくわわってはじめて計画が実現される、とビェルクネスは認識していた。

1912 年、ビェルクネスはライプツィヒ大学の教授兼地球物理研究所の所長に就任する。戦争の勃発とともに作業環境はますます悪化した。同じく卓越した気象学者になっていた、長子のヤコブとともにノルウェーに帰国し、ビェルクネスはベルゲン大学地球物理研究所の管理を引き受けた。

ノルウェーは戦争によって多数の重要な情報源をたたれ、気象通報もとどかなかった。そのためにヴィルヘルムとヤコブ父子は、ノルウェー全土に緊密な気象観測網を張りめぐらし、各地の観測所から得たデータで理論を根拠づけ、天気予報のすぐれたシステムを開発することができた。

ビェルクネス父子はさまざまな緯度から流入する気団を分析した一大きい気団は、熱帯か北極かからやってくる。各気団は、父子が「ビェルクネス前線」と名づけた、鮮明な境界面によって仕切られている。前線はしばしば天候の変化をもたらすゆえ、今日では身近な用語になっている。

前線の分析から予報も展開される。寒気団に張り出す温暖前線は、必然的に曇りと長雨か降雪をもたらす。他方、暖気団に張り出す寒冷前線は、しばしばにわか雨や突風を伴う。ビェルクネスの前線理論は、いくらか修正されたが、現代天気予報の基礎をなしていることに変わりはない。ヴィルヘルム・ビェルクネスは、1932 年に定年退官するまで、オスロ大学の教授をつとめた。ヤコブは 1940 年、ヒトラ

一国防軍がノルウェーに侵攻したとき、アメリカに亡命し、カリフォルニア大学に米国空軍気象学演習を開設した。



上中央 気象観測の先駆者たち（1862 年）。絵はイギリスの科学者、ジェームズ・グレイシャーが酸素不足のために意識を失って後方へよろめき、パイロットが調整弁を歯で懸命に開けているところを示す。グレイシャーは気圧計の示度を記録

したあと、高度 8,700m で気絶した。

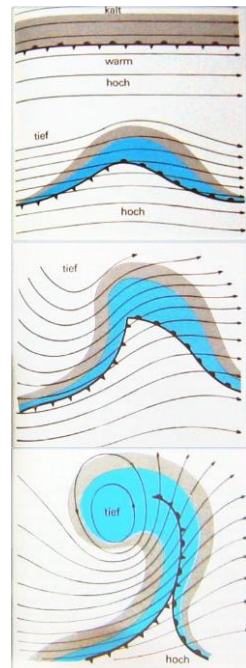


上右 1919 年のベルゲン気象観測所。ヤコブ・ビェルクネス（左）とトーア・ベルシェロン（右）。ベルシェロンは 2 つの前線がぶつかり、暖気団を上方に押し上げる一閉塞前線の現象を発見した。

下左 英国気象庁の探測気球。

下右 低圧域の発生。この現象は、暖気団が寒気団に隣接し、両者の衝突で風の回転が生じるとき、頻繁に起こる。2 つの

気団は通常なら同一方向に移動するが、両者が逆方向に移動する場合も、結果は似ている。暖気団の小さい出っ張りが発達し、寒気団にもぐりこむ。頂点にやや低い気圧帯が発生する。暖気団の出っ張りはますます大きくなり、くさび形を呈し（第 2 図）、その際、あとを追って移動する寒冷前線（左）は、徐々に温暖前線（右）に対して差をつめていく。冷たい空気は暖かい空気を上に押しあげて、雲が形成され、雨か雪が降る。2 つの前線がぶつかり（一番下の絵）、暖気は上に押しやられて、閉塞前線が形成される。風は、低圧域（中央上）のまわりを（北半球では東へ）回転する。低圧域は直径が 2,000 km に達することがある。



第119章 リュミエール兄弟—オーギュスト(1862-1954)とルイ((1864-1948)

映画および映画産業は、リュミエール兄弟が短編映画を新たに開発した撮影機兼映写機「シネマトグラフ」で上映した 1895 年に、パリのカフェで誕生した。

動画を映し出す技術といえば、人類最初の影絵芝居の試みにまでさかのぼる。のちになって「魔法灯(ラテルナ・マジカ)」[補注 109](#)は、スライドがハンドルでまわされ、あるいはスライド自体が動きを組み入れて、精妙な運動効果を発揮した。「回転のぞき絵」[補注 110](#)—コマ続きの絵を内面に張りつけた円筒を回転させ、円筒のすき間からのぞくと、連続した出来事に見える、子供のおもちゃ—は、映画直系の前身であった。同じ原理が、トマス・アルヴァ・エジソンによって発明されたキネトスコープの基礎にもなっている。しかし、オーギュストとルイのリュミエール兄弟こそ、映画の先駆者と呼ぶにふさわしい。

リュミエール兄弟は、写真家に転じた画家の息子として、ブザンソンに生まれた。兄弟は科学への興味と才能をのばした。すでに青年のころ乾板^{かんばん}を開発し、工場を設立経営して莫大な利潤のあげた。二人の関心は主として写真技術を改良し、効果的なカラー写真術を開発することに向けられた。1894年、エジソンのキネトスコープ〔のぞき回転盤〕に刺激をうけて改良型映写機の組み立てを思い付き、兄弟はそれを「シネマトグラフ」と命名した。エジソン方式は1秒46コマを映写するが、彼らは速度を毎秒16コマに落とすことによって、フィルムの使用量を節約した。シネマトグラフは撮影機としても、映写機としても利用できた。

最初の映画、すなわちスクリーンに映写された動きのある画像は、まったく新しい次元の体験であった。この歴史的な事件は、オーギュストとルイのリュミエール兄弟がシネマトグラフをはじめて観客に見せた、1895年12月28日、パリのブルバール・デ・キャピシーヌのグラン・カフェで起こった。昼休みに憩うリュミエール工場の労働者たち〔『リュミエール工場の出口』〕や、乳を飲むひとりの赤ん坊〔『赤ん坊の食事』〕をとった記録映画や、庭師がホースで散水してびしょぬれになる喜劇など、作品10本の20分間番組が上映された。フィルム自体は手でカットされ、送り穴があげられていた。

リュミエール兄弟がつくった最初の映画のなかに、駅に到着する列車が、カメラに向かってまっしぐらに突進してくる一コマがある〔『列車の到着』〕。この迫真の場面は観客を圧倒し、数人の女性が気絶し、全体にパニックが起こったほどである。しかし、このような発明の力を裏づける証拠さえ、どうやらリュミエール兄弟には、シネマトグラフが決してカゲロウのようなはかないものじゃないとは思えなかったらしい。

最初の公開上映に、魔術師ジョルジュ・メリエスも、観客のなかにまじっていた。メリエスはつづく数年のうちに幻想的映画を数本製作し、その比類なき様式と個人の魅力によって初期映画史に確固たる地歩を占めた。メリエスはリュミエールの発明に感激してオーギュストに駆け寄り、私の全財産と引き換えにこれを買いたい、と申し出た。すると、オーギュスト・リュミエールはこう言ってことわる。「お若いの、私の発明品が売り物でないのを感謝すべきだろうねえ。破産することは請け合いだから。こいつはしばらくのあいだ科学の珍品として売り込めるかもしれんが、あとはまあ、商売上いかなる未来もないよ」

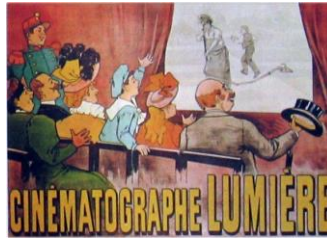
先鞭^{せんべん}をつけながら一ニュース映画も記録映画もはじめてつくったが一リュミエール兄弟は1898年以降ほぼ完全に映画製作から引退した。だが記録資料を収集し、創作を上映するために、二人はプロの撮影班を全世界に派遣した。リュミエール兄弟による最初の公開上演から5年とたたぬうちに、すべての先進国で映画製作者が競って活動し、20世紀の主要な娯楽産業のために道を開いた。



上左 リュミエール兄弟のリヨン写真乾板工場で感光乳剤を調合しているところ。

上中央 1896 年製リュミエール兄弟のシネマトグラフ。これは撮影、プ

リント、映写の複合機であるが、最大の新機軸は、映画フィルムを一コマずつ輪動させる、かき落とし爪^{づめ}にある。



上右 リュミエール兄弟、オーギュスト（左）とルイ（右）。

下左 イギリスで夜の興行にはじめて使われたシネマトグラフ。

下中央 ジョルジュ・メリエスの映画『リップ・バン・ウインクル』の 1 場面。メリエスはプロの魔術師であったが、シ

ネマトグラフの最初の公開上映に参加した。メリエスは、カメラのシャッターが街頭場面を撮影中に動かなくなったとき、トリック撮影で魔術的な効果をあげることができる可能性に気づいた。彼のいくつかのトリックは今日でも専門家を啞然^{あぜん}とさせるほどである。

下右 リュミエール兄弟のシネマトグラフを宣伝する、最初の映画ポスターの一枚。

第120章 チャールズ・マーティン・ホール(1963-1914)

軽くて用途の広いアルミニウムも 19 世紀末期まで利用されなかった。アメリカの化学者チャールズ・マーティン・ホールが熔融塩電解法を発明して以来、金属アルミニウムは苦もなく生産され、科学技術や工業に利用されるようになった。

アルミニウムは地殻中の存在度 3 位の元素であるが、純粋な形ではなく、大部分が長石、雲母^{うんも}、片麻岩、花崗岩^{かこう}、粘土などのなかに混在する。アルミニウムは 1825 年にはじめてデンマークの化学者ハンス・クレスティアン・エルステッドによってアルミナ（酸化アルミニウム）から単離された。ただし、微量の不純な金属しかつくられなかった。

20 年後に、ドイツの物理学者フリードリヒ・ヴェーラーが精製アルミニウムの生産に成功するが、これまた少量しか単離できなかった。フランスの化学者アンリ・サント・クレール・ドビーユは、ヴェーラー法をさらに発展させ、1854 年には比較的多量のアルミニウムが生産された。ようやくアルミニウムはいくらか商取引に利用されるようになるが、ただ 1 ポンドが 100 ドルもし、したがって希少価値のある金属とみなされた。ナポレオン 3 世はアルミニウム製の食器類を注文している。

オハイオ州に生まれたチャールズ・マーティン・ホールは、オーバーリン・カレッジで自然科学を学んだ。アルミニウムの安価な精錬法を発明すれば金持ちになれる、

と教授のひとりが示唆したことから火がつき、ホールは問題に取り組みはじめた。イギリスの科学者ハンフリー・デイヴィーによって発見された熔融分析が、ホールの開発した精錬法の基礎をなした。ホールはいまやアルミナを溶かす溶媒が必要となり、氷晶石がアルミニウム冶金の融材として好適であることを、まったく偶然につきとめた。

卒業1年後の1886年に、ホールは最初の実験をおこない、純粋なアルミニウム粒を生成させることに成功した。いくつかの^{インゴット}鑄塊が得られるまで、彼は電気分解をつづけた。ついに、アルミニウムは工業的生産方式で採取可能になった。

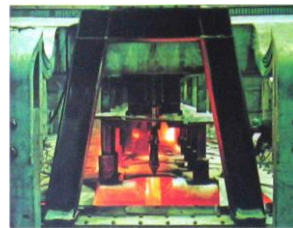
不思議なめぐりあわせで、ホールと同じ年に生まれ、同じ年に亡くなった、若いフランスの化学者ポール・ルイ・トゥサン・エルーは、ほぼ同時に同様なアルミニウム電解採取法を発見した。二人とも特許を申請するが、ホールはエルーよりも一足先に商業上の可能性を追求した。しばらく両者は訴訟で優先権を争ったが、結局アルミニウムの製法を「ホール・エルー法」と表示することで和解した。エルーは電気溶解炉も考案し、今日まで広く用いられている。

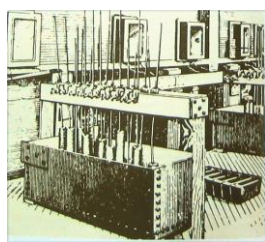
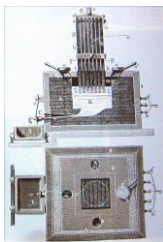
ホールは1888年、合衆国でアルミニウム生産の独占権を半世紀以上維持することができる、「ピッツバーグ還元^{リダクション}元会社」を設立するために、北米実業家借款団(コンソーシアム)に入会した。ピッツバーグ還元元会社は最初の大規模な工業会社として、1895年以来ナイアガラ滝の水力発電所で発電されはじめた、安価な電力を有利に利用できた。アルミニウムの用途と需要は着実に増えていった。第一次世界大戦のはじまった頃には、アルミニウムの価格は1ポンドあたりわずか18セントにまで下落していた。1907年、「アルミナム・カンパニー・オブ・アメリカ」(略称アルコア Alcoa)と社名が変更されたが、会社はいまもまだホールによって1886年に生産された最初の貴重な^{インゴット}鑄塊を保有している。

エルーはアルミニウム工場をスイスのライン^{ぼくふ}瀑布近くのノイハウゼンに創設した。新しい金属はヨーロッパではアメリカほど早くは浸透しなかった。最初アルミニウムは交通機関に利用され、第一次世界大戦では新たな強いアルミニウム合金がツェペリーン飛行船の骨格に用いられた。その後アルミニウムは、軽くて丈夫な金属が要求される、あらゆる分野で採用されるようになり、さらに延性や展性にも富み、さびないことがわかった。アルミニウム合金は、調理用器具、建築および運輸部門に広く使われている。今日もっとも重要なアルミニウムの原料鉱石になっている、ボーキサイトは、最新の需給見積もりによれば、今後数世紀間は優に産出可能である。



左 チャールズ・マーティン・ホール。
中央 ポール・ルイ・トゥサン・エルー。エルーはホールとは独立に、同様なアルミニウム製法を発見した。
右 現代アルミニウム精錬所の電解槽。





左 電気分解によってアルミニウムを採取するエルー炉。構成要素はホールの電解槽に似ている。すなわち陽極(アノード)として炭素棒、陰極(カソード)として炭素張りの鋼鉄製のつぼが使われた。融解したアルミニウムは炉の底に沈殿し、湯口から流し出すことができた。

右 1888 年、アルミニウムをはじめて工業生産した、ピッツバーグ社の電解槽。槽には溶融氷晶石が入れてあり、

そのなかで酸化アルミニウム(アルミナ)がまず溶解したあと、酸化アルミニウムと氷晶石の融解塩に電流が通された。

第121章 レオ・ヘンドリック・ベークランド(1863-1944)

「ベークライト」は最初の熱硬化性樹脂であり、まさしく現代合成プラスチック技術の先駆けであった。ベークライトはベルギー出身のレオ・ベークランドによって合衆国で発明された。

19 世紀における有機化学の発達は多くの重要な成果をあげ、そのなかには工業に利用される合成物質が多数ふくまれていた。人工的可塑性物質をつくろうとする最初期の試みに、低温ゴム加硫法も発見した、イギリスの化学者アレクサンダー・パークスによる「パークシン」の開発がある。パークスはくず綿からニトロセルローズをつくる製法を引き継ぎ、ニトロセルローズにヒマシ油と樟脳を混入することによって、成形し硬化することができる、柔軟性に富む物質をつくりだした。この方式は工業的製法に適さず、パークシンを市場に出すために設立したパークスの会社は、2 年後に破産してしまった。

アメリカの発明家ジョン・ウェスリー・ハイアットはパークスの方法を用いて、ビリヤードボールの象牙にかわる素材を発明した者に贈られる、賞金 10,000 ドルを獲得しようとした。ハイアットは合成原料の量をさまざまに変えて実験し、耐熱性と耐圧性を向上させた。短期間のうちに人造ビリヤードボールをつくることができ、賞金を得た。ボールの素材、いちばん最初の合成物質(プラスチック)を、ハイアットは「セルロイド」と命名した。

セルロイドは驚くほど万能なことが明らかになった。摂氏 100 度で軟化して加工しやすくなり、冷却すれば、強度を減少させずに、成形することができる。さらに、薄い柔軟な帯状に伸ばし、シャツのカラーやロールフィルムに加工できる。唯一の欠点は、きわめて発火しやすいことであった。

セルロイドは熱可塑性に富む。すなわち、加熱[90℃以上に]すると軟化するが、これがまたセルロイドの用途を限定した。それゆえ、いったん冷却すればもはや軟化しない、適当な合成物質の開発が試みられた。最初に実験をおこなったのは、1872 年、ドイツの化学者アドルフ・フォン・バイヤーであった。フェノール(石炭酸)と種々さまざまな[アルデヒド](#)との反応を研究しているうちに、バイヤーは濃密な粘

着性の沈殿物を確認した。しかし、この合成樹脂の用途は、レオ・ベークランドが合衆国で研究をはじめるまでわからなかった。

ベークランドはベルギーのガンに生まれ、1889 年、合衆国へ移住するまで、ガン大学で講師をしていた。合衆国では写真の研究に取り組み、「ベロックス Velox」—人工照明のもとで現像することができ、急速に大当たりした印画紙の商標—を発明した。ベークランドはしかし特許と工場を、1899 年に百万ドルでジョージ・イーストマンに売却した。

ベークランドは以後シェラック補注 111 にかわる代替物を研究しはじめた。やがてフェノールとホルムアルデヒドからつくられた樹脂を調べてみる。まず圧力を加えて加熱すると、成形し硬化させることができる、柔らかい固体が得られた。このフェノール樹脂は、電気絶縁性にすぐれているため、プラグなど電気器具に使用できた。そのうえ耐熱性、耐食性もそなえている。ベークランドは同樹脂を「ベークライト」と名づけた。

ベークライトは用途の広い素材であることが証明され、ラジオや灰皿から家具にいたるまで、多くの家庭用器具に使用された。ベークライトはまたプラスチック産業のはしりでもあり、その製品は 20 世紀の目印になった。



上左 セルロイドとローラ・ベアリングの発明者、ジョン・ウェスリー・ハイアット。

上中央 実験室で研究するレオ・ベークランド。

上右 セルロイドでつくられたシャツのカラー。万能合成物質の数多い用途の一つ。

中左 ブッシュ・ラジオ (Bush radio) とベークライト製外箱。プラグもベークライトで絶縁されている。

中右 ベークライトポリエステル樹脂でコーティングされた車体。

下左 耐熱性ベークライトの握りがついている電気アイロン。

とでベロックス印画紙を現像している。ベロックス塩化銀乳剤の性質が、水洗いを不要にし、リント速度をあげた。



下 人工照明のモックス印画紙に塗布調色を改良し、プ



第122章 ヘンリー・フォード(1863-1947)

アメリカの工業企業家ヘンリー・フォードが自動車工場に導入した、ベルトコンベヤー式製造法は、社会に幅広い影響をおよぼした。生産体制を革新し、車を平均的

な一般市民にも手が届くものにしたのである。

フォードは、19 世紀中葉にアイルランドからアメリカへ移住し、ミシガン州に住みついた、農家の出である。多くのアメリカ開拓期の工業家や発明家たちと同様、フォードも村落共同体で一般におこなわれていた学校教育しか受けていないが、若いころから機械の取り扱いに非凡な能力を発揮し、デトロイト機械工場の見習からデトロイト・エジソン・カンパニーの主任技師にまで出世した。1899 年、共同経営者としてデトロイト自動車会社に転出する。フォードは 1892 年に自分の手で車を 1 台組み立てていた。

当時、自動車はまだ一般にぜいたく品であった。初期の自動車工場は主として各車を個々に注文生産していた。フォードは、部品の製造ならびに組み立てを規格化することで、原価の削減をはかろうと努力した。市場は販売価格の低下によって拡大し、利潤があがることで、ふたたび価格をさげられる。この好循環が安価な車と莫大な利潤をうむだろう、とフォードは読んでいた。

しかし、同時代人はこのような考えを愚にもつかないこととみなした。フォードは自分自身のレーシングカーをつくるために、デトロイト自動車会社を去った。フォードのレーシングカーは大成をおさめ、資力の豊かな共同出資者らの注目を集め、1903 年「フォード・モーター会社」を立ち上げることができた。しかし、平均的な市民のための車という構想を認めない、株主や重役陣の反対に直面し、フォードは相変わらず初期の目標からかなり隔たりがあった。結局、彼は初志をつらぬき、買い得な「フォード T 型モデル」が 1908 年に生産された。

T 型の車台とエンジン・ユニットに対して 1 本の主要組み立てラインがあった。車体ユニットは別に組み立てられ、エンジンと車台の点検後に、滑走路へおろされ、車台にのせられ、ねじで固定される。これが完了すると、車はそのまま走り去ることができた。フォードの基本的な考^{コンセプト}えは報いられた。安価なフォード車は、中流の購買者層に、たえず拡張する巨大な販路を見いだしていった。

フォードは労働賃金をあげ、労働時間を短縮し、利益配分制を導入した。また、利潤は企業の拡充に使うべきである、と当時としては珍しい意見を述べ、ほかの株主連中は利潤を自分らのあいだで配分しようとした。フォードは抵抗が気に入らず、結局すべての株主から残らず株を買いしめた。

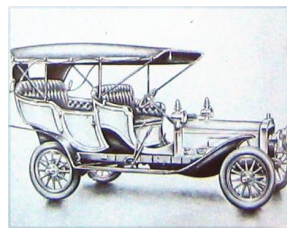
1932 年には、500 ドル以上を自由に使えるアメリカ人なら、だれもが自動車を 1 台買えた。毎日 1,000 台の車が流れ作業で生産された。1908 年から 1927 年のあいだに、合計 1,500 万台の T 型フォード車がデトロイトの工場から出荷され、クラシックカーの生産が打ち切られたとき、T 型車の価格は 290 ドルにまでさがっていた。

フォードはこうして大量生産の利点を消費者にはっきり示した。T 型車の生産が中止されたのは、もっぱら市場が変化したためである。消費者はさらに特別な快適さと、社会的地位を誇示するために、時々の最新ファッションにみあうモデルを望みはじめた。もはや二度と T 型車のように安く、耐久力のある、広範な社会層に役立つ車はあらわれないかもしれない。市場は、急速な消耗をあらかじめプログラム

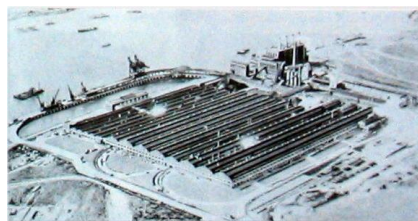
化している車を求め、さすがのフォードも、市場の要求に屈服するほかなかった。

ヘンリー・フォードはその後みずから築いた広大な企業帝国に財政的支配権を温存していた。古参発明家によくありがちなように、新たな理念に不信の念をいだきながらも、彼はさらに別な車と新型エンジンを開発した。ただし、フォード社は自動車メーカーとして徐々に指導的地位を失っていった。

フォードは私財の大半を「フォード財団」に寄付した。財団はいまや学芸の奨励から飢餓の救援まで、多彩な課題に心をくばる、アメリカ有数の慈善組織である。フォードは政治にも携わり、上院議員に立候補するが、落選した。技術と工業での果断な組織力が、フォードの名声を確立したのである。



上左 T 型車で郊外へピクニックにでかけている光景。廉価な自動車は広範な階層にこのような家族ドライブを可能にした。



上中央 T 型車。

上 最初の 1896 年製自動車を運転している、ヘンリー・フォード。

下左 T 型車が組み立てられた、初期ベルトコンベヤー

のの一つ。この生産方式は、比較的に未熟な労働者を部品の組み立てに起用できることによって、経費を削減し、さらに各労働者が特定の仕事に限定されたため、時間も節約した。時とともに、労働者の専門化は生産速度をあげ、精度を高める結果、単価をさげることができた。どの部品にも、原価の観点から合目的性、簡単な操作と整備に注意が払われた。製造原価が著しく削減された、遊星歯車装置は、最高の好例である。

下右 ダゲナム（英国）のフォード工場、1937 年。



第123章 ライト兄弟—ウィルバー(1867-1912)とオービル(1871-1948)

人類初の操縦可能な発動機つき航空機は、独学の機械工で自転車製造業者であった、オービルとウィルバーのライト兄弟によって、合衆国で製作されて飛んだ。

オービル・ライトとウィルバー・ライトは、早くから機械類に興味をもち、いかに装置が作動するかを、みずからさぐり当てようとした。若いころ、兄弟は共同でまず印刷器具を、のちに自転車を製造販売した。新規事業の成功は二人に私的道楽—空気よりも重い、「空飛ぶ機械」づくりの夢—に打ち込む余裕を与えた。

1899 年ライト兄弟は自分たちの構想をためすために複葉^{だこ}翼を試作し、しだいにを

あげてくると、3機の複葉グライダーを製作した。その際に、輝かしい滑空飛行をかさねたあと墜落死した、ドイツの航空技術者オットー・リーリエンタールのような先駆者の滑空体験を生かした。ライト兄弟は1902年に3機目のグライダーを製作したとき、すでに操縦性と安全性の問題をほぼ解決していた。

いまやライト兄弟は、従来のいかなる推進装置よりもはるかに軽量のガソリンエンジンと、同じく性能のよいプロペラの設計に、発明の才を振り向けた。1年後の1903年末には、最初の持続飛行を敢行することができた。兄弟が「フライヤー1号」と呼び、のちに「キティーホーク」と改名した飛行機は、12月14日、ノース・カロライナ州キティーホーク村付近の慎重に選んだ平地へ運ばれた。ウィルバーが操縦したが、離陸に判断ミスがあり、実験は失敗に終わる。3日後に再試行し、今回はオービルがパイロットをつとめた。12月17日、オービル・ライトが腹ばいになってフライヤー1号を操縦し、12秒間滞空したことは、歴史的な事件であった。同じ日に二人はさらに3度飛行をこころみ、ウィルバーがパイロットとして59秒間という最高記録を達成した。

地方も全国の報道機関も、人類初の動力飛行という事件にほとんど関心を示さなかった。しかし、ライト兄弟はいまや自分たちの研究が間違っていないと確信を深めた。1904年に「フライヤー2号」、1年後には、処女飛行シリーズの極に達した、「フライヤー3号」を製作し操縦した。3号機で、空気より重い航空機が、空気を決定的に征服した。一連の試験飛行によって、横傾斜、旋回、出発点への帰還および宙返りを実演して見せたのである。

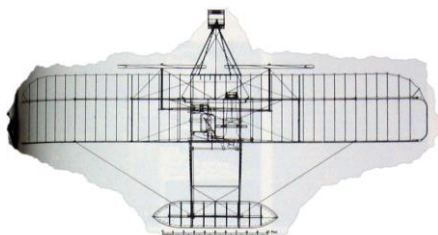
相変わらずライト兄弟の飛行はほとんど注目されず、頑固に信用がおけないとか、誇張された夢物語にすぎないとみなされた。「飛行士か嘘つきか?」、と疑問を投げ、疑い深い新聞の見出しもあった。そこで兄弟は空気力学の実践的知識を基礎づけるために、理論問題にも取り組んだ。1908年、ウィルバーがヨーロッパ各地を巡回して新たなデモ用モデルを公開したとき、ようやくその性能が公に評価された。合衆国で同年、オービルが陸軍と納入契約を結ぶためにおこなった試験飛行で墜落し、ライト兄弟ははじめて大きな挫折^{させつ}を味わう。乗客のトーマス・E・セルフッジ中尉は死亡し、オービル・ライト自身も重傷を負った。

失敗にもめげず、ライト兄弟は実演飛行をつづけ、航空機生産に関する免許協定をヨーロッパで結んだ。アメリカ陸軍は1909年に軍用機を1機発注した。以後2年間、ライト兄弟は航空機製造に指導的地位を保持するが、その後は新しい特許をもつ確固としたライバル企業がイニシアチブをとり、ライト兄弟の基本的な発想も新たな技術開発によって追い越された。しかしながらライト兄弟は、多くの人々が不可能と思ったこと、すなわち、空気力学上の見地に立って組み立て、空気よりも重い、発動機と制御装置をそなえた機械による有人飛行を実現した。のちのあらゆる航空学の発達、ライト兄弟の人類初の飛行機シリーズに由来するといえよう。



上左 ノース・カロライナ州
キティーホークにおけるラ
イト兄弟の初飛行。

上右 1892 年ころに大空を

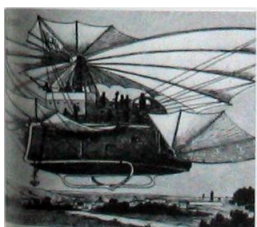


滑空しているオットー・リーリエントール。リーリエントールは木綿張りの柳材翼小骨を組んでグライダーをつくり、体重を風向きに逆らうように移動させて、グライダーを操縦した。彼の成功は、

固定主翼をもつ発動機つき航空機に道を開いた。滑空中に突然^な風にあい、リーリエントールは 1896 年に墜落死した。

中左 オービル・ライト(左)とウィルバー・ライト(右)。

中右 ライト兄弟の飛行機設計図。



下左 ライト兄弟の飛行は空想をかきたて、空の旅の未来について多くの推測を呼んだ。この「2000 年の世界」と題するイラストは、定期航空機を描いている。

中右 1908 年、フランスの Les Hunaudieres で実演飛行中のウィルバー・ライト。

第124章 マリー・キュリー(1867-1934)

n

ポーランド出身の化学者マリー・キュリーは非常に勇敢であり、ひたむきな女性であった。マリーとその夫ピエールは、科学史上このうえなく有名な協力関係を築いた。夫妻は共同で放射性元素ポロニウム、さらに別の新元素ラジウムを発見した。両人の研究は、マリー・キュリーが「放射能」と呼んだ、現象の存在を確認し、原子力時代の到来を告げることになった。

マリー・キュリーは、ポーランド大学に入学できず、1891 年故郷の町ワルシャワを去った。パリへ旅立ち、ソルボンヌ大学で学ぶために、十分な資金を自力でたくわえた。ひどく貧しく、しばしば餓死寸前に追い込まれながらも、マリーは同期の最優等生になる。1894 年、修了試験に合格直後、天分豊かな若いフランスの物理学者ピエール・キュリーと知り合い、1 年後に結婚した。

ウラン化合物からどうやら自発的に放出しているらしい、新種の放射線をアンリ・ベクレルが発見したとのニュースは、キュリー夫妻を興奮させた。夫妻は独自の調査を繰り返し、特定の化合物は、ウランの含有量によって説明されるよりも、はるかに多くの放射能を放出していることをつきとめた。特に、ウランの原鉱石ピッチブレンドの極度に高い放射量について頭をひねった。キュリー夫妻は特殊な研

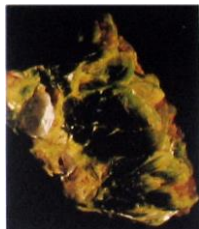
究をつづけ、1898 年、マリーの祖国ポーランドに敬意を表して「ポロニウム」と名づけた、新元素の発見によって報われる。ポロニウムはウランよりも 100 倍の放射能を放出するが、それだけではピッチブレンドから出ている全放射エネルギーの説明をすることができなかった。そこでキュリー夫妻は、ピッチブレンドがひととき強烈な放射性元素を一たとえ微量にせよ一含有しているちがいないと確信し、この神秘的な元素を「ラジウム」補注 112 と命名した。二人は「ラジウム」の存在を検証しようと固く決意し、数トンのピッチブレンドから試料を抽出するために 4 年間をついやした。キュリー夫妻はまず相当な鉱石の在庫を用意する必要があった。幸い、チェコスロバキア鉱山の廃棄物の山に大量の鉱石が見つかり、鉱山所有者も無用の長物が売れて喜び、キュリー夫妻は有り金をはたいて買った。その後、二人は住まいの近くに老朽化した木造小屋を借りた。4 年間耐乏生活を送りながら、数トンのピッチブレンドを繰り返し精製し、ついに 1902 年、10 分の 1 グラムの新元素を手に入れた。

1903 年、マリーとピエール・キュリーは、ノーベル物理学賞を受賞するが、病と疲労のあまり授賞式に出席できなかった。しかしマリー・キュリーは、ラジウム原子が放出する、途方もないエネルギー量に魅了され、さらに詳しく真相を究めようと燃えていた。だが 1906 年、夫ピエールが交通事故で死亡するという過酷な悲運にみまわれる。夫人は持ち前の気力で夫の後任としてパリ（ソルボンヌ）大学の教授—女性初の教授—に就任し、研究を継続すると同時に講義もした。1911 年、マリー・キュリーはノーベル化学賞を受賞し、自然科学の研究ではじめて 2 度ノーベル賞が贈られた。

晩年はパリ大学ラジウム研究所の運営に献身し、同研究所はまもなく核物理学および化学の重要な中心になった。キュリー夫人は X 線とラジウムの医学分野での応用に先駆的な仕事を果たした。癌^{がん}の治療で、ラジウム療法はまなもく大きな意義をもつことになる。マリー・キュリーは、多年にわたって放射能にさらされていた、過酷な研究活動のために高い代価を払わなければならなかった。1934 年、白血病で倒れたのである。



上中央 キュリー夫妻の実験室で炭酸ナトリウムを用いてピッチブレンドから不純物を取り除いているところ。長い歳月をついやして、キュリー夫妻は 10 分の 1 グラムのラジウム



を手に入れた。

上右 ピエール・キュリー。

下左 実験室内のマリー・キュリー。

下右 リン灰ウラン鉱—紫外線のもとで蛍光を発する、放射性ウラン鉱物。



左・中央 ピッチ
ブレンドから放
出される透過性
の放射線は、この
鍵のような物体
を、不透明な物質
にくるんだ写真

乾板と一塊りの鉱石とのあいだにおくと、その物体までも放射性にする。

右 ベルリンのフンボルト大学付属病院シャリテのラジウム研究所。患者は密閉された部屋に案内され、そこでラジウムから放出される放射線を吸い込んでいた。その危険性が認識されるまで、ラジウムは医学で無選択に利用された。

第125章 ウォーレス・クレメント・セービン(1868-1919)

アメリカの物理学者ウォーレス・C.・セービンは、残響時間を算出することができ、法則を定式化し、これを講堂の建設に利用した。建造物内の音響効果はもはや偶然はでなく、科学的要因に基づくことになった。

19世紀末まで、講義室や劇場の音響効果は、まったく運しだいの事であり、しばしば誤った理論に頼っていた。コンサートホールが完成するまで、音響効果はほとんど予測がつかなかった。音響上の顕著な失敗作は、ロンドンのロイヤルアルバートホールであり、その荘厳な設備は残響と悪名高い反響をひき起こすことで、幾世代もの音楽家と演奏会の常連らに知られていたが、当の欠陥が最近やっと新しい技術によって除去された。

科学に基礎づけられた音響効果の理論がいかに必要不可欠なことかは、ハーバード大学に1895年フォッグ美術館が落成したとき、いみじくも明らかになった。講演会場の音響効果がきわめて悪く、講師の声が多く席でまるきり聞こえない。若い物理学者セービンは、この問題を調査研究するよう委託された。

セービンは経験的方法で仕事にとりかかった。パイプオルガンの音響が講演会場でいつまで聞こえるかを測定し、5.62秒間とわかる。数人の助手の手を借りて、隣接の劇場から座席に置くクッションを全部借りてくる。クッションが次々と会場に持ち込まれ、座席に置かれるにつれて、残響時間は短くなった。すべての座席にクッションがそなえつけられると、残響時間は2.03秒に短縮した。セービンは通路と演壇にもクッションを敷きつめ、さらに後ろの壁にも天井までクッションを積みあげる。個々の音の残響は結局1.14秒にまで減少した。

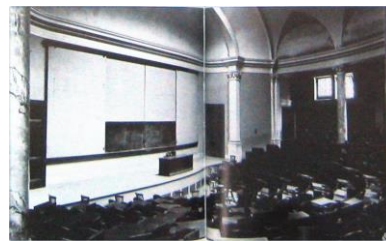
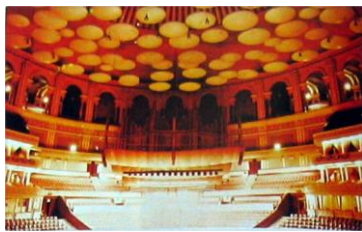
セービンは、残響時間と使用したクッションの全長との関係を示す、グラフをつくった。この関係から、のちにセービンの法則と呼ばれる、公式[「セービンの式」]を導きだした。つまり、残響時間を乗じた部屋の総吸音は、部屋の容積で異なる、定数であるという。クッションの長さがあまりに煩雑すぎることが判明した結果、

セービンは開いた窓の吸音力を度量単位に選んだ。各物質の吸音係数はこれとの比率で決められている。

セービンの法則は、そのあと建てられたあらゆる講堂の設計に影響を与えている。同法則にしたがって建設された最初のホールは、1900年に開業した、ボストン・シンフォニー・ホールである。現在でも交響楽に最適の国際コンサートホールとみられている。

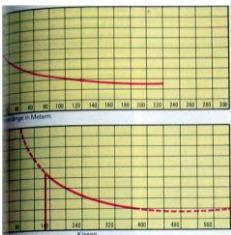
コンサートホールはいまや残響の最適な強さと長さにぴったりにあうように建てることができる。この適合性はおおむねホールの利用目的による。たとえば、合唱曲は交響曲よりもはるかに長い残響を必要とする。セービンはさらに2つの要素を顧慮しなければならないと指摘した。一つは、直接の音波と反響した音波がかさなれば、干渉があらわれる点である。大きい、滑らかな、音を反射する表面で干渉が起こる。こうした干渉現象は布張りのような消音材、または反響面の細分によって排除することができる。もう一つは、共鳴の問題であるが、これは共鳴しにくい建材を用いることによって弱められる。

セービンは実践を志向する科学のすばらしい教官であり、ハーバード応用自然科学系大学院（のちにマサチューセッツ工科大学に統合された）の創設に参加した。彼の音響学に関する論文集は、没後の1922年に出版された。



上中央 ロンドンのロイヤルアルバートホール。反響と残響のために長らく不評を買っていた。1969年、最悪の

反響効果を除去するために、100個以上のガラス繊維製シャーレが丸天井につるされ、長さ20メートルの反射鏡がオーケストラ席の上方にとりつけられた。



上右 ハーバードの元フォッグ美術館（現ハント・ホール）の講義室。
下左 音響継続時間と敷かれたクッションの長さとの関係



（上）、および代数によって拡大された同じ曲線。曲線の実線部は実験によって得られた結果をあらわし、右側の点線部は、部屋の壁の理論的吸音力を算定している。

下中央 残響を弱める、合板を張った「ヘルムホルツ共鳴器」。

下右 ロンドンのロイヤルフェスティバルホールの座席は、上にあげると、すわっている人物とまったく同じ音量を吸収するように設計されている。残響の継続時間は、ホールが満席か空席かにかかわらず、ほぼ同じである。

第126章 カール・ラントシュタイナー(1868-1943)

輸血の安全と効果は、相互に適合する血液型を使用するかどうかにかかっている。オーストリア生まれの医師、カール・ラントシュタイナーが ABO 式血液型を発見した 1900 年以降、血液型の分類が可能になった。

ウィーン大学衛生学研究所の研究助手として、ラントシュタイナーは、さまざまなヒトの血を混合するとなぜ、あるときは凝集を起こし、あるときは凝集しないかの問題を追究した。彼は実験室の同僚たちから採血したサンプルを集め、そのつど 2 つの試料を混ぜあわせた。いくつかは凝集し、他のいくつかは凝集しなかった。

1900 年、ラントシュタイナーは研究成果を発表した。A、B および O 型と名づける、異なる血液型の存在をつきとめていた。第 4 群の AB 型は、翌年に発見された。血液型はいわゆる抗体によって分類される。A 型の血清は、B 型の血球を凝集させるか破壊する、凝集素を保有していた。B 型の血清は、抗 A 凝集素を保有し、AB 型の場合にはこれに反してまったく凝集素がない。O 型の血清は抗原が存在しないが、抗 A と抗 B 凝集素を保有している。

上記の事実から安全な輸血法が確立された。A 型のヒトは A 型と O 型のヒトの血液をもらい、B 型の受血者は B 型と O 型の供血者から、AB 型の受血者はすべての血液型から輸血をしてもらうことができ、O 型は同じ O 型としか適合しない。この基準にしたがわない輸血は、血管内に注入された血液が凝集するばかりか、腎不全を招く可能性がある。

ラントシュタイナーの発見は血液銀行の設立、さらには従来考えられなかった手術や、たとえば黄疸^{おうだん}にかかった新生児などにほどこす、全血交換などを可能にした。

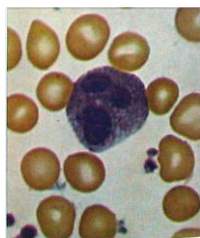
血液型は遺伝性だから、父子関係の否認証明に利用される。子供の血液が母親の血液にも、父親と思われた人物の血液にも存在しない抗体を保有しておれば、当の男性は父親であるはずがない。ただし、父子関係存在確認の積極的な証明は、いままでのところ不可能である。法医学は血液型の発見でほかにも重要な証拠方法を手中におさめている。

ラントシュタイナーは業績が認められてウィーン大学病理学教授に招聘^{しょうへい}された。ところが勤務条件に不満をいだき、まずデン・ハーグ病院へ、次にニューヨークのロックフェラー医学研究所へ移った。同研究所で医学のためにいくつかの重要な貢献がなされた。たとえば MN 血液型(1927 年)、そして 1940 年には Rh 血液型因子も発見した。

Rh 因子は、当初リーサスザル(アカゲザル)で発見したことから、「リーサス因子」と命名された。ラントシュタイナーの研究仲間フィリップ・レヴィーンは、Rh 因子と、新生児に発症する、危険な黄疸^{おうだん}との関係に気づいた。Rh 因子陽性の妊婦が Rh 因子陰性の胎児を身ごもると、抗 Rh 抗体が形成され、この抗体が以後の妊娠で胎児に黄疸、脳障害あるいは流産さえひき起こす。Rh 因子の発見によって、予防処

置がとれるようになった。初回の妊娠後、母親に全血交換をおこない、それによって、拒絶反応を起こす恐れがある、胎児の血球をすべて除去することができる。

ラントシュタイナーの研究は、無数の人命を救ったばかりか、免疫化学の一角をささえる支柱でもある。ラントシュタイナーは世間の注目をきらう内気な男であり、生活時間をほとんど血液の研究にささげた。1930年にノーベル生理医学賞を受賞している。



上中央 子羊を供血者としていた、18世紀の輸血。いくつかの死亡例がかさなり、動物はもはや供血者として使われなくなった。

上右 人血の顕微鏡によるマイクロ写真。抗体は赤血球（オリブ色の斑点^{はんでん}）の内壁に存在する。核を形成している大きい

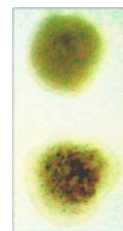
物体〔細胞〕は、白血球である。



Reine Blutkörperchen in Salzlösung	Anti-B Serum mit A-Bestimmung	Anti-A Serum mit B-Bestimmung
A	-	+
B	+	-
AB	+	+
O	-	-

+ = Zusammenballung - = Keine Zusammenballung

中左 他の身体的特徴と同様、血液型もメンデルの法則にしたがって遺伝する。二人の血液型適合一特に種々の下位区分を考慮に入れて一は、二人の間柄が近いほど大きい。したがってハプスブルク家の人々の場合のように、近親相姦が支配的な家族（ここではスペインのカール五世で例示した）は、同じ身体的特徴一本例では突出した鼻や有名な下唇^{したくちびる}



一ばかりでなく、同じ血液型をもっている。

中右 ABO式血液型分類による血液検査の同定テスト。



中右 適合する血液型を混合すれば、いかなる反応も示さない（上）が、血液型不適合の場合には凝集が明らかに認められる（下）。

下左 安全な輸血法がなければ、病院で人工心肺を使うこ

ともできないであろう。

下中央 機械化された血液型検査。

下右 イギリスの献血者バッジ。

第127章 フリッツ・ハーバー(1868-1934)

アンモニア合成は、はじめて空中窒素の固定に成功したため、化学にとっても工業にとってもはなはだ重要である。アンモニア合成法はドイツの化学者フリッツ・ハーバーによって発見され、彼の名をとって「ハーバー法」と呼ばれた。同法は今日も用いられ、農業生産を革新することになる、化学肥料産業の基礎をつくった。

窒素は、大気の 78% 余りを構成する、無色、不活性な気体である。また、窒素は生命に不可欠な元素であり、複雑な循環 [いわゆる「窒素循環」] をしている。動物は窒素を直接あるいは間接に植物から摂取し、植物は植物で窒素を土壌から、たとえば硝酸塩のような塩^{えん}の形で取り込んでいる。これらの塩は、収穫量をあげるために使用される、化学肥料のベースになっている。

20 世紀初頭になると、窒素の天然資源、たとえばチリ硝石、あるいは堆肥や糞尿^{たいひ ぶんりょう}のような有機硝酸塩では、もはや工業や農業の需要をまかなえなかった。新たな窒素源が必要となり、フリッツ・ハーバーは大気の莫大な窒素分を利用できないものか検討をはじめたのである。

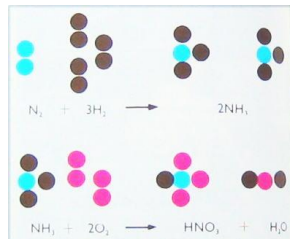
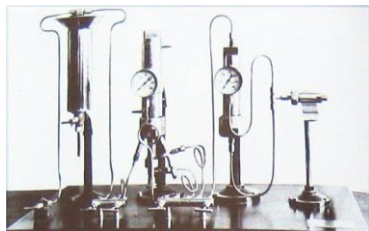
ハーバーはブレスラウ^{補注 113}に生まれ、自然科学の知識を自学自習によってみごとに身につけ、カールスルーエ工業単科大学の講師となった。熱力学と電気化学分野の研究に着手し、その業績が認められて教授に昇進した。

熱力学の研究によって、ハーバーは化学的な方法で空気中の窒素分子から窒素化合物をつくることを思いつく。気体の窒素と水素によるアンモニア合成は、気体をまず活性化するために、高温を必要とする点が、アンモニアの生成をはばむ障害になった。ハーバーは、窒素と水素の混合物を加熱し、これを高圧下で触媒（化学反応を促進させ、それ自身は消費されない物質）に通すことによって、問題を解決した。アンモニアはそのまま化学肥料として使用され、あるいは窒素を含有する化学物質に加工することができる。

実験室規模のハーバー式アンモニア合成法 [「ハーバー法」] は、研究化学者カール・ボッシュによって大規模な工業的製法、いわゆる「ハーバー＝ボッシュ法」[アンモニアの接触合成法] へと発展した。

筋金入りの愛国者として、ハーバーは第一次世界大戦中に毒ガスの開発に参加し、1918 年以後は海水から金を抽出してドイツの賠償金支払いに役立てようとする計画にも参画した。1918 年、アンモニア合成法でノーベル化学賞を受ける。同僚カール・ボッシュは 1931 年、高圧科学技術の開発 [特にアンモニア合成の触媒に関する研究] に対して、ノーベル化学賞を受賞した。

1920 年代にハーバーは研究所 [カイザー・ヴィルヘルム研究所] を物理化学と産業への利用のためにおそらく世界の先端をいく科学施設に発展させた。彼は外国でも名声を博し、あらゆる国の科学者による協力体制を築こうと尽力した。1933 年ヒトラーの政権掌握後、ハーバーは反ユダヤ政策の最初の攻撃目標にされていると感じた。年が変わらぬうちにイギリスへ亡命し、ケンブリッジ大学につとめた。しかし健康状態が急速に悪化し、冬場を南国ですごさねばならなくなり、旅行中に 1934 年ハーバーはスイスで客死した。

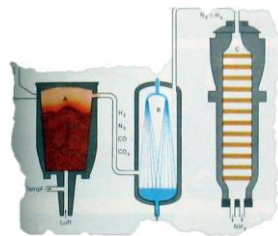


上中央 1908 年、アンモニア連続合成のために使われた、ハーバーの実験器具。

上右 硝酸塩の工業生産が依拠した化学反応。

上：ハーバー＝ボッシュ

法—窒素 1 分子が水素 2 分子と化合してアンモニア 2 分子をつくる。下：オストヴァルト法では、アンモニア 1 分子が酸素 2 分子と化合して硝酸と水ができる。アンモニアは、触媒として機能する、加熱したプラチナの金網に通される。アンモニアの大半は硝酸の生産に用いられ、硝酸じたいは多くの窒素化合物の製造原料となっている。



下左 化学肥料がなければ、世界の小麦生産は、今日の水準を維持することができまい。写真は、サスカчевン補注 114 の小麦畑と、現場で必要な化学肥料を生産している、化学会社を背景に映しだしている。

下中央 チリの大鉱床から爆破されるカリッシュ（ナトリウム硝酸塩）。ハーバー法が発見されるまで、カリッシュ層は硝酸塩の主要供給源であった。

下右 ハーバー＝ボッシュ法。水蒸気と空気が交互に熱いコークスを通して塔 (A) に吹き込まれ、そのときに混合ガス（水素、窒素、一酸化炭素および二酸化炭素）が生じる。次の塔 (B) では、酸化炭素が洗い落とされて、窒素と水素が残留する。残留気体は圧縮され、反応塔 (C) へポンプで送られ、そこで窒素と水素が化合してアンモニアになる。

第128章 アーネスト・ラザフォード卿(1871-1937)

アーネスト・ラザフォードが現代自然科学のために寄与した最大の貢献は、放射性崩壊（放射壊変）時における元素の研究と表現にある。それによってはじめて原子核模型（核モデル）を構築できるようになった。ラザフォードの研究は、現代物理学の支柱であり、複雑な科学問題に対してだれにでもわかる答えを見いだす、創造的思索家の注目すべき才能の範例でもある。

ラザフォードが生まれる数年前に、両親はイギリスからニュージーランドへ移住した。アーネスト・ラザフォードは父の農場でともに働くことが好きであったが、前途有望な生徒でもあり、ニュージーランドのカンタベリー・カレッジで奨学金をうけ、1882 年に成績最優秀で卒業した。その 3 年後には別の奨学金を得てケンブリッジ大学キャベンディッシュ研究所の研究生となった。

同研究所長であった物理学者ジョーゼフ・ジョン・トムソンに、新たに発見されたX線を研究せよ、とラザフォードは励まされた。この激励がきっかけとなって、終生ラザフォードは放射能と原子構造に関心をもつことになった。

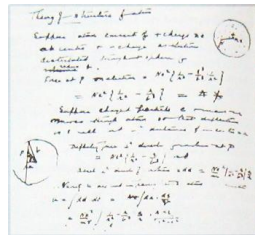
X線に関するレントゲンの研究は、ラザフォードの好奇心をそそった、放射能の発見へと直結してゆく。ラザフォードはウラン放射線の研究をはじめ、それが3種の要素から構成されていることを発見した。2種の放射線は、彼が「 α 線」、「 β 線」と呼ぶ、微粒子のつくるビームである。第3種は、彼が「 γ 線」と命名した、高周波の電磁波である。ラザフォードは、イギリスの化学者フレデリック・ソディと共同でおこなった、その後の実験で、ウランやトリウムのような元素が放射性崩壊のあいだに自然に別の元素に変換することを証明した[放射性変換説]。さらに、中間生成元素はいずれも一定の速度で壊変する結果、最初に存在した放射性原子の半数は、ラザフォードが「半減期」と呼ぶ、定まった寿命があると説いた。

ラザフォードの発見はセンセーションを巻き起こし、多くの科学者はラザフォードの元素崩壊説をまるで中世の錬金術だといって嘲笑した補注 115。1904年に基本文献『放射能』が出版されてようやく、ラザフォードの業績はしかるべき世界的賞賛を得た。

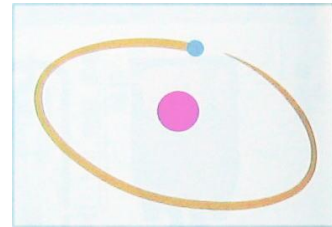
ラザフォードはその後も実り多い活躍をつづけた。7年間に80本以上の科学論文を発表した。最も重要なものは、ラザフォード最大の科学業績である、原子核模型へと導いた、 α 線と β 線に関する研究であった。

ラザフォードは原子の探究法をさがし求め、この目的のために原子を照射してみようとした。照射にはとりわけ、目標と同じくらいの小さい発射体が必要とされた。ラザフォードは α 粒子のビームを発射体とすることに決め、ラジウム元素を放射線源に選ぶ。1909年、きわめて薄い金箔^{きんぱく}を α 粒子のビームで照射する、歴史的な一連の実験を開始した。粒子の大部分は金箔を通り抜けるが、時々なにか堅いものに当たったかのように、散乱する粒子があった。粒子が金箔の原子と衝突するとき生じる、模様を調べることによって、ラザフォードは、原子じたいの内部構造について詳細なイメージをつくりあげることができることに気づいた。その結果、原子の全正電荷と質量の大部分は、直径が原子全体の直径に比べて1万分の1にも満たない、きわめて小さい中心の原子核に凝縮していると推論した補注 116。負電荷をもつ電子は、太陽系の惑星が太陽をめぐるように、原子核の周囲をまわっているのである。

ラザフォードが微小な太陽系とみなす原子の模型は、原子物理学の新たな進展の基礎になったといってよい。歳月を経るにしたがって複雑な数学理論によって修正されるが、「ラザフォード模型」は、原子の内部機能を視覚化する単純明快な表現であることに変わりはない。



上中央 原子構造に関するラザフォードの最初の覚え書き。
 上右 ラザフォード模型にしたがった、最も単純な原子—水素の模型。原子の質量は正電荷をもつ原子核に凝縮され、電子は、太陽をまわる惑星のように、原子核の周囲を回転している、とラザフォードは提唱した。

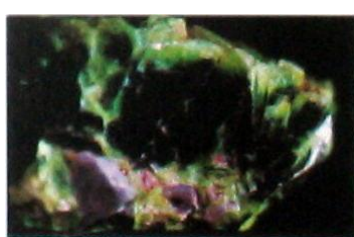


中左 ケンブリッジ大学内にあるキャヴェンディッシュ研究所のラザフォード研究室。

中中央 炭素 14 による骨の年代測

定。ラザフォードが発見した、放射性元素の半減期は、考古学や地質学上の発掘品の年代を決定するために利用されている。放射性炭素 14 と全炭素含有量との比率が年代測定の決め手になる。

中右 ラザフォードが 1919 年に α 粒子を用いて窒素の核壊変（崩壊）—最初的人工的要素壊変—をなした、器具。



下左 ラザフォードが自分の使った用具を見せている。

下右 ウラン鉱石、リン灰ウラン鉱。

第129章 グリエルモ・マルコーニ(1874-1937)

多くの科学者が無線通信あるいは無線放送に理論と実践の両面から重大な貢献をしてきた。イタリアの物理学者グリエルモ・マルコーニは、それまでのあらゆる考えを自分独自の考えと結びあわせて、無線電信を現実化した。

1860 年頃、イギリスの科学者クラーク・マクスウェルは、いわゆる「エーテル」のなかで電波を発生させることができる可能性を予言した。その 20 年後にヘンリヒ・ヘルツが「電気振動から起こる」電波の存在を実証し、のちに電（磁）波は彼の名にちなんで「ヘルツ波」と呼ばれるようになった。ヘルツはその後の実験で、ヘルツ波の伝達距離を拡大することに成功し、1894 年、イギリスの科学者オリバー・ロジ卿は半マイル離れた地点にモールス信号を送信した。

ロシアの物理学者アレクサンドル・ステパノヴィッチ・ポポフ—祖国では無線電信の真の発明者「ラジオの父」とされている—は、ヘルツ波によって遠く隔たる船のあいだで通信ができることに気づいた。1895 年、ポポフは大気中の電磁波を探知するために受信機を組み立て、電気信号もこれで受信できると予想した。翌年ペテルブルグ大学で、情報がさまざまな地点間で送受信される、公開実験を企画準備

した。

その間にポポフとかかわりなく、若いイタリアの科学者グリエルモ・マルコーニも1894年に同一の問題を研究していた。マルコーニは送信機を長い導線につなぎ、その一端を棒の先にのせた金属板に接続し、他端を接地すれば、信号の到達距離をのばせることを発見する。同じようなアンテナの原型が受信機にも連結された。1895年9月、送信機と受信機のあいだに山をはさむ、視界を超えた信号の伝達に成功する。さらに、アンテナを金属箔で包めば、電波を細いビームに反射させられることもつきとめた。イタリア政府が研究に関心を示さないために、マルコーニはロンドンへ渡った。アイルランドのいとこの支援で、彼は最初の特許を出願し、さらに英国郵政省の関心に勇気づけられてシステムを改善し、ブリストル海峡を越えて信号を15 km送れるまでになった。いとこと共同で、無線通信の可能性を実演するために、マルコーニは会社「無線電信および信号会社」を設立した。1899年、マルコーニは、ドーバー海峡を隔ててフランス側と50 kmの距離を交信する、無線局を創設した。

当時、無線送信は地表の湾曲によって最大限300 kmまでの範囲に限定される、と考えられていた。マルコーニが1901年12月11日 コーンウォール から約3,000 km離れた ニューファンドランド へ送信したとき、世間はあっと驚いた。この実験にマルコーニは コヒーラー—金くずを詰めたガラス管—を受信機として使った。そのときはまだこの長距離無線電送に科学的な説明がつかず、高層大気に電磁波を反射する層—電離圏—が存在すると仮定された。

マルコーニは発明家のだれよりも無線通信の構築に努力した。特に、いっそう波長の短い電波を発生させる反射装置の使用に専念した。マルコーニの考案した凹面鏡指向性空中線(ビームアンテナ)は、はるかに強い電気信号を発信することができ、電波障害も起きにくかった。グレートブリテン島に設立された「マルコーニ無線電信社」は、いまでも世界有数の電子機器メーカーである。1909年、マルコーニはカール・フェルディナント・ブラウンとともにノーベル物理学賞を授けられた。ブラウンは重要な発明を付加し、最初のマルコーニ送信機の有効範囲を相当拡大することができた。



左 マルコーニが1895年に無線電信の初期の実験で用いた送信機の複製品。

中央 マルコーニが1901年ニューファンドランド州シグナル・ヒルで、コーンウォール州ポルフから送られてくる、最初の無線信号を大西洋のかなたで受信し

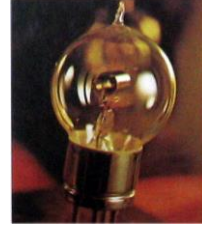
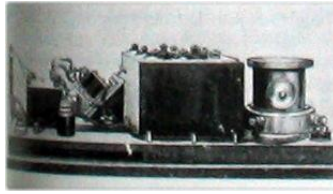


た器具と、マルコーニ本人。

右 無線装置は1920年代のはじめに重要な娯楽媒体となった。

下右 1901年の移動実験送信機。乗り物が動くとき、アンテナは水平に横たわるように折り返された。車両の後ろぎわにマルコーニとジョン・アンブローズ・フ

レミング教授が立っている。フレミングはダイオード、つまり熱電極と冷電極をもつ2極真空管を発明した。このダイオードは、電流を一方向だけに流れるようにする、整流器である。



左 1922年製マルコーニフォン・ラジオ受信機。ヘッドホンが使用され、商業生産された最

初のラジオである。

中央 いくつかの通信を同時にとらえた、マルコーニの同調受信機。

右 オーディオン真空管すなわち初期の3極真空管。ダイオードのフィラメントとアノードとあいだに入れた薄い針金格子が、電子の流れを制御できることを発見した、リー・デ・フォレストが1906年に考案したものである。格子の弱い負電荷が電子を反発して、電子がアノードに達するのを阻止する一方、弱い正電圧は電子を加速する。これによって大幅な増幅効果があげられる。

第130章 アルベルト・アインシュタイン(1879-1955)

アルベルト・アインシュタインはすでに存命中から人類史上まれな天才と認められ、相対性理論によって時間と空間の概念を根っこから変革した。

アインシュタインは南ドイツのウルムに生まれる。特別に優秀な生徒ではなかった。余暇にヴァイオリンを習った。彼はきわめて豊かな才能を示し、音楽に愛着を深めるとともに、音楽は終生の友となった。前世紀末に一家はスイスへ移住し、アインシュタインはチューリヒ工科大学を—ただ数学を除き—あまり芳しくない成績で卒業した。大学関係の職にはつけず、やっとなベルンのスイス特許局に就職した。

勤務に追われることもなく、彼は自身の研究にたっぷり時間がとれた。ただ紙と鉛筆をととのえて、自然科学の土台をゆるがせる理論を着々と構築しはじめた。純粋な頭脳労働と数学的演繹によって、完全に新しい世界像を展開する。アインシュタインが『特殊相対性理論』と表題をつけた論文は、1905年に出版され、時間と空間についてアイザック・ニュートン以来一般に認められていた見解に疑問を投げかけた。アインシュタインは、体積測定と時間測定とが相互依存関係にあり、エネルギーと質量とのあいだに等価性があることを同書で論証した。

1916年、アインシュタインは『一般相対性理論』で、質量の存在によって時空の構造、つまり幾何学が影響をうけると想像して、重力の幾何学的理論を展開した。これにしたがえば、空間の曲がり方（空間曲率）は支配的な重力の度合いなのである。このような新理論は激しい論争を巻き起こした。たいていの科学者はアインシュタインの論文が理解できず、著者の数学的論述をあとづけることができた科学者さえも、推論がまったく常識に反すると思われるため、受け入れようとしなかった。アインシュタインは理論をことごとく頭のなかで展開したが、いくつかの簡単な実

験で理論が検証されることを知っていた。1919年、予想どおりの実験結果が公表されるや、いまや論争ではなく、センセーションが巻き起こった。学会がついに論文を信用しはじめると、人々はアインシュタインがアイザック・ニュートン以来の科学思想にとてつもない革命を起こしたことを悟った。

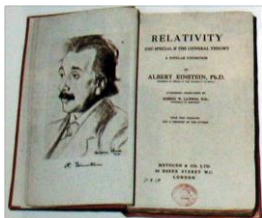
最初の論文を公表して9年後に、アインシュタインは物理学教授としてベルリン大学に^{しょうへい}招聘され、20年間在任する。在職中、広くヨーロッパ諸国と合衆国を旅行し、自身の研究ばかりでなく、政治や社会問題についても講演した。彼は公の場に姿を見せることをきらったが、ナチの台頭に反対して戦い、パレスチナにユダヤ人国家を建設する運動を支援するために、個人的な声望を利用した。

ナチ党は1933年、政権を掌握すると、アインシュタインの財産を押収し、海外旅行中の彼からドイツ市民権を^{はくだつ}剥奪した。合衆国は市民権を奪われた者を温かく迎え入れる。同年アインシュタインはプリンストン大学高級研究所の研究員となり、死にいたるまでそこにとどまった。

合衆国へ亡命後、アインシュタインはヒトラー本人によって、ユダヤ人などが相対性理論を展開できるわけがない、と個人攻撃をされた。そればかりか総統はアインシュタインに、第一次世界大戦で戦死したドイツ将校の論文を盗作した、という罪さえきせた。

1939年には、ドイツで相対性理論を用いて恐ろしい破壊兵器がつくられるかもしれない、とアメリカの科学者たちはおびえた。恐怖の根拠は、エネルギーと質量の等価原理にあり、同原理によれば微小な物質粒子が途方もないエネルギー量を発生させることができる。つまり、予期しない破壊力をもつ新爆弾製造の可能性が開かれていたからである。戦争の危険に脅威を感じた、アメリカの科学者たちはアインシュタインを説得して、ルーズベルト大統領に書簡を送り、合衆国による対抗兵器の開発を提案させようとした。平和主義の信念とナチの暴虐に対する根深い拒絶とのあいだで心を引き裂かれながらも一部は新兵器が抑止力になるとの期待からアインシュタインはついに同意する。彼の書簡は意に反して世界初の原子爆弾の製造に直結し、1945年、このような破壊兵器は投入すべきでないとする、アインシュタインの必死の訴えにもかかわらず、日本に投下された。

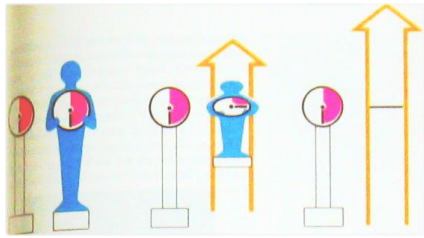
アインシュタインは最後の数年をプリンストンに引きさがってすごし、当地で研究と教育をつづけた。天才的な科学業績と、それに劣らぬ人道的な考え方のために、アインシュタインは最期まで全世界から賞賛と尊敬を博した。



左 アインシュタイン著『特殊および一般相対性理論』、最初の英語版(1920)の扉。



右 日食。『一般相対性理論』で、太陽重力による光線の屈曲は、ニュートンの古典物理学が推量していた値の2倍である、とアインシュタインは主張した。日食の精密な研究がこの説の正しいことを実証した。



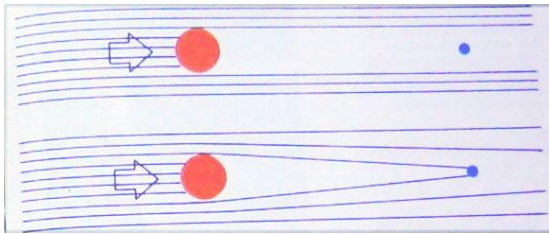
「アインシュタインはむずかしい、ただ信じるのがむずかしいだけだ」

相対性理論から、運動する物体は重く、短く、遅くなる、と推論される。物体の慣性抵抗は、物体の速度が光速に近づくほど、それだけいっそう高い値をとる。こうした相対的な質量変化は実験によって検証されている。

空間の曲がりかたを支配的な重力の度合いと仮定するのは、光も、物質体のように、重力の影響をうけることを前提にし

ている。

1918 年の日食観測は、太陽の重力場を通る星の光が現実には曲がった経路をたどっていることを証明した。



中左 一般相対性理論が展開される以前（上）と、以後（下）に推定された、星光の偏向。

中右 死が間近い時期のアルベルト・アインシュタイン。



中右 火星へ向かう宇宙探査機。宇宙探査機は何百万キロも飛ぶが、その飛行軌道は「アインシュタイン方程式」にしたがってプログラム化されている。

$$E=mc^2$$

下左 静止している物体粒子のエネルギーは、質量と光速の 2 乗の積に等しい、とするアインシュタインの方程式。この方程式は、微小な物質粒子でも莫大なエネルギー量を発生しうるという意味をふくみ、原子爆弾製造の科学的な基礎となった。

第131章 マックス・フォン・ラウエ(1879-1960)

ドイツの物理学者マックス・フォン・ラウエはX線結晶学を確立した。結晶の内部構造がX線を回折させるために利用できることを実証するとともに、X線の波動性を証明したばかりでなく、多くの結晶や結晶性物質の構造を究明する手段をも発見した。

フォン・ラウエはプファッフエンドルフに生まれ、シュトラースブルク大学で理論物理学を専攻して、1903 年ドクターの学位を取得し、輝かしい学究の道を歩みはじめた。

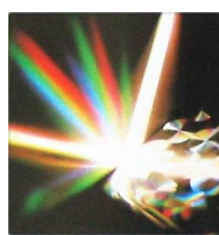
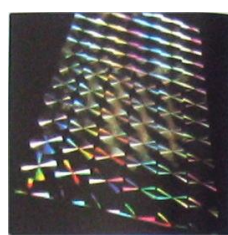
ミュンヘン大学に赴任後まもない 1909 年、ラウエは世界に名をはせる研究に取り組んだ。X線は、1895 年の発見以来、科学者に謎を^{なぜ}かけていた。X線は粒子の流れで構成されている、と幾人かの研究者は主張するが、光に似た一種の波である、と信じる者もいた。フォン・ラウエも同じく X線の波動性を出発点としたが、波長が光の場合よりもはるかに短いと考えた。これを証明するために、彼は実験をはじ

めた。数年前から、自然光の波長はいわゆる回折像〔回折縞〕によって、しかも、びっしり 平行な溝 がきざまれたガラス製の回折格子を用いて測定できることが知られていた。光の波長が短ければ短いほど、回折像を結ばせるためには、格子線の間隔を狭める必要があった。フォン・ラウエは必要とする格子線が微細なものでなければならぬことがはっきりした。当時はそれほど精緻な格子をつくる技術がなかったが、もしかすれば自然のなかに同様なものが存在するかもしれない。結晶は格子状の原子配列をもち、いわゆる結晶格子は、機械によって調製されたどの格子よりも、格段に目がつんでいる。したがって、X線を結晶に照射すると、回折像を結ぶにちがい。ただし、実際には格子面が3次元のため、回折像は異常に複雑だとしても、写真乾板に記録すれば、X線の波動性は疑いもなく証明されるであろう、とフォン・ラウエは推論した。

1912年、フォン・ラウエは上記推論を硫化亜鉛の結晶でテストし、華々しい成功をおさめた。写真乾板には複雑な明るい斑点模様〔「ラウエ斑点」〕—まぎれもない回折像が認められた。

ラウエの初回実験につづく数年間、他の科学者もこぞって「ラウエ法」を利用した。構造が知られている結晶を用いて、回折度を測定することによって、X線の波長ははじめて算定することができた。さらに重要な点は、既知の波長をもつX線で回折像を分析することによって、未知の結晶構造をさぐり当てられる可能性である。この方法は、さまざまな結晶体の化学合成について重要な解明と、さらに近年は核酸のような生命に不可欠な生物分子の構造についても情報を提供している。

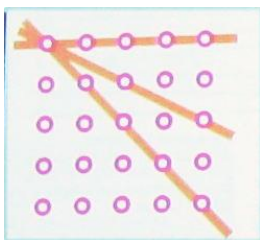
フォン・ラウエは1914年にノーベル物理学賞を受賞した。その後まもなくベルリン大学理論物理学教授に任命され、第二次世界大戦の初期まで在籍したが、ナチ政権への抗議から辞職した。ヒトラーの敗北後によりやく学究生活に復帰し、マックス・プランク研究所の戦後の初代所長になった。



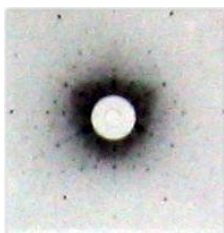
上中央 在来の回折格子には、一連の間隔の詰まった平行線がきざまれている。回折像の回折は、光の波長に左右される。

上右 白光の着色した部分は、回折格子によってさまざまな角度に反射され、光線は扇形に広がってスペクトルを生じる。

下左 光よりはるかに短いX線の波長は、結晶格子の規則的な原子間隔と同程度である。いろんな角度からX線は間隔の規則正しい原子にあたり、予想できる仕方で回折する。それゆえに、結晶構造をつきとめることができ、「X線の回折」はほとんどあらゆる自然科学に利用されている。



下右 フォン・ラウエ（左）とミュンヘン大学物理学部の同僚たち。



左 単独シリコン結晶のX線回折像。

中央 ウィリアム・ヘンリー・ブラッグとその息子ウィリアム・ローレンス・ブラッグによって最初の結晶構造解析に利用された、X線電離分光計。ブラッ

グ父子はX線による結晶研究の先駆者である。

右 1959年、ヴェルナー・ハイゼンベルクと同席する、フォン・ラウエ（左）。ハイゼンベルクは不確定性原理の発見によって量子力学に多大の貢献をした。〔力学で正準共役の関係にある〕2つの量、たとえば位置と運動量を、同時に精密に測定することはできないという。

第132章 オットー・ハーン(1879-1968)

ドイツの化学者で物理学者のオットー・ハーンは、原子炉の開発に通じる、重大な発見に成功した。ハーンは終生変わらぬ友情のきずなで結ばれたリーゼ・マイトナーとの共同作業で、重い元素の原子核が小さい原子核に分裂し、そのときに莫大なエネルギー量を放出させることができる、核分裂の過程を明らかにした。

ハーンはフランクフルト・アム・マインに生まれ、マールブルク大学で学んだ。1901年 докторの学位を取得したあと、ロンドンとケンブリッジ、両大学の優秀な学者数人と数年間共同研究をした。1906年ドイツに帰国した直後に、著名なカイザー・ヴィルヘルム化学研究所所長に任命される。

すでに研究活動の初期段階でハーンは原子構造、特に原子核の反応に興味を示した。カイザー・ヴィルヘルム化学研究所へ招聘されてまもなく、オーストリアの女性物理学者リーゼ・マイトナーと知り合い、女史の精力的な天性が共同研究にすばらしい補足の役を演じた。

1938年、リーゼ・マイトナーがスウェーデンへ亡命を余儀なくされた直後に、ハーンはとりわけ重要な発見をした。数年間、中性子を照射した場合のウラン原子の反応を詳しく調べていたハーンは、ウラン原子がなにか別な元素の原子に変わっていると推量した。一連の用意周到な実験を繰り返した結果、確かに新しい元素、すなわち放射性型の金属バリウムが創出されることを検証した。ウラン原子は極度に重く、多数の陽子と中性子からなる大きい核をもっている。この原子核は明らかに中性子の衝突によってはるかに軽い元素に壊変する。こうした現象は、ウラン原子の核が実際に分裂し、はるかに軽い原子の核となり、その際に中性子と莫大なエネルギーを放出する過程である、と考えてはじめて説明がつく。この過程をハーンは「核分裂」と呼んだ。

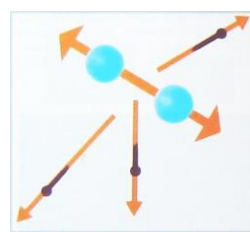
ハーンは歴史的実験をリーゼ・マイトナーと共同でおこなっていたとすれば、自分の考えをただちに公表するだけの自信がもてたかもしれないが、現実にはためらった。実験結果の解釈に自信がなく、きわめて革命的な理論の発表によって、彼は

笑いものになることを恐れた。リーゼ・マイトナーはハーンの代わりに改めて決断を引き受け、ストックホルムから結果を再検査のうえ核分裂に関するハーンの論文を一流科学誌に発表した。リーゼ・マイトナーは、分裂過程のあいだにウランの一部が莫大なエネルギー量に変わることも見きわめていた。

核分裂の過程はさっそく原子炉の機能原理としてとりあげられた。成功した最初の原型は 1942 年シカゴに、イタリアの物理学者エンリーコ・フェルミを中心的指導者として、建設された。ハーンは研究がまず平和目的に利用されたことを多いに喜んだ。ことに人類の未来に莫大なエネルギーの供給を約束したのでなおさらのことであった。しかし、合衆国が最初の原子爆弾もつくったとの知らせに、満足感はゆらいだ。1945 年、原爆が日本の都市に投下されると、ハーンは深刻に責任を感じた。罪悪感が生きづらくさせ、彼は自殺さえ考えたが、徐々に罪の意識は、核兵器の新たな発展に抵抗しようとする、固い決意に変わっていく。1945 年から 1968 年に没するまで、ハーンは核技術の軍事利用に反対の意思を表明しつづけた。



照射すると、瞬時にきわ
117 ウラン 236 になる。



中央 リーゼ・マイトナー、
1949 年。

右 核分裂による連鎖反応。
ウラン 235 の比較的安定した原子核に余分な中性子を
めて不安定な同位体補注
この不安定な核は爆発し、

そのあと周囲のウラン原子を照射しうる、多数の中性子を放出する。



左 ハーンが核分裂の公開実験に使った装置。



右 1959 年、オットー・ハーンとリーゼ・マイトナー。

核エネルギーの平和利用と軍事利用の対照的な写真。左：1964 年以来稼働している、原子力発電所ハンターストーン「A」。それぞれ三百万ワットの発電力をもつ、2 基の原子炉がある。右：1945 年、「A」爆弾爆発後の広島。



図解 1 ウラン 235 の比較的安定した原子核は余分な中性子を衝突させることによって、原子は一瞬のうちにきわめて不安定なウラン 236 に壊変する。



図解2 核は爆発して新たな中性子を放出し、これらの中性子が順次に周囲の別なウラン核を分裂させることができる。

第133章 アレグザンダー・フレミング卿(1881-1955)

ペニシリンの発見は実験室での思わぬ事故の賜物ともいえるが、事故の意味するところをすばやく見抜いたのはスコットランドの細菌学者アレグザンダー・フレミングである。その結果、フレミングは多数の抗生物質をはじめて開発し、感染症の治療に革命をもたらした。

フレミングはスコットランドのロックフィールドに生まれた。ロンドン大学のセント・メアリーズ病院医学校に学び、1906年に学位を取得する。フレミングは同校にとどまり、細菌学の研究を専門にした。

第一次世界大戦中、フレミングはしばらく軍医として野戦病院に動員された。おもな難問は化膿^{かのう}した傷であり、組織を損傷せずに感染を防ぐ、殺菌薬がぜひとも必要だ、とフレミングは痛感した。

戦後、母校に復帰し、彼は持ち帰った課題に没頭する。1928年、ブドウ球菌^{のうよう}一なかんずく敗血症や膿瘍^{のうよう}をひき起こす細菌群一を調べていた。短い休暇のあと、培養菌〔ブドウ状球菌〕に蓋^{ふた}をするガラス板がずり落ちて、カビが生じていることに気づいた。

フレミングは培養菌を投棄しようとしたが、ちょっと調べてみる気になり、カビが形成されていた周辺で、細菌が死滅している事実をつきとめたのである。

フレミングは事故とみえた出来事の意味を悟った。真菌類に属するカビ、「ペニシリウム」は、細菌を溶かして死滅させる、物質を分泌していた。カビは確かに医療習俗で何世紀にもわたって尊重され、カビの生えたパンやクモの巣などが化膿した傷の治療に使われていたが、この民間療法の科学的根拠を究明する研究者は、まだ一人もいなかった。

さて、フレミングは抗殺菌性物質^{させつ}を「ペニシリン」と名づけ、多量に単離しようところみた。しかし、ペニシリンは非常に不安定なことがわかり、適当な化学的対抗手段も見当たらずため、フレミングの計画は挫折する。

10年の歳月が流れ、第二次世界大戦が突発した。科学者たちは再度、炎症した傷口を治療するために、殺菌剤の研究をはじめた。ペニシリンに関するフレミングの論文が、オーストラリア出身の病理学者ハワード・フローリーと、ドイツ生まれの英国生化学者エルンスト・チェーンによって再発見される。二人が当時勤務していたオックスフォード大学には思いがけなくペニシリンのサンプルもいくらかあった。彼らはさらに研究をかさね、ペニシリンの不安定性を取り除くこと〔半合成ペ

ニシリンの開発]に成功した。ペニシリンは組織に対して完全に無害であるが、身体からすばやく排出されるため、薬効をあげるには、数日間投与する必要があることも、フローリーとチェーンが発見した。1940年、急性敗血症にかかった警官が、ペニシリンで治療を受けた最初の患者である。その迅速な快復を見とどけるや、合衆国が率先して、ペニシリンの大量生産が開始された。

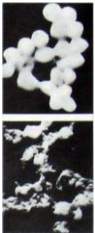
アオカビ以外の真菌類も抗細菌抗生物質をつくることを見いだされ、ペニシリンおよびその誘導体に対して「抗生物質」[補注 118](#) という新語がつけられた。ペニシリンとその誘導体は、人々に知られている最も有効な医薬品の一つであることが実証された。フレミング、フローリーおよびチェーンはそれぞれの研究に対して1945年にノーベル生理医学賞を受賞した。



上中央 第一次世界大戦中の多くの死亡は、壊疽と敗血症に原因があった。

軍医としての経験がフレミングに、傷口を汚染する細菌に対抗する、薬剤をさがさせた。

上右 成長する胞子囊の先端を示す、アオカビ（ペニシリウム・ノターツム）の顕微鏡写真。抗生物質ペニ



シリンは、ほぼ球形の胞子からつくられる。アオカビは培地に拡散し、培養後そこから分離抽出される。

下左 抗生物質のはたらきを明示する写真。黄色ブドウ状球菌—すなわち、多くの炎症や感染

の原因となる細菌—の細胞。ペニシリンの誘導体 Cloaxillin による治療前と治療 20 分後の様子が示されている。

下中央 フレミングの最初の培養モデル。

下右 抗生物質は感染症に対する最も強力な薬剤である。この写真はトラコーマー4 億人以上の人々がかかる眼病—に抗生物質オーレオマイシンで処置した、治療前後のインドの少女を示している。

第134章 ロバート・ハチングズ・ゴダード(1882-1945)

ロバート・ゴダードは宇宙時代のパイオニアである。彼の発明した世界最初の液体（燃料）ロケットは、宇宙飛行士、宇宙ステーション、衛星などを地球周回軌道へ発射する、現代の強力なブースター開発に直結した。

ゴダードは幼年時代をボストンで過ごし、工学技術と物理学を学び、1911年に学位をとった。物理学の深い知識を身につけたゴダードは、幼年期の夢である宇宙飛行を実現しようと決意する。あらゆる関係文献を調べ、いまやこの分野では古典になっている、簡潔な教本を1919年に刊行した。[同書](#)に、宇宙への道はロケット・

ブースターによって達成されるだろう、と見解が示されている。

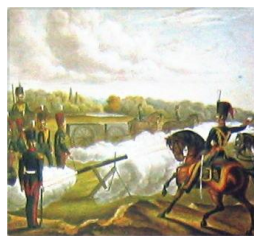
1920 年代前半にゴダードは飛躍的な成果をあげた。火薬で推進されるロケットは数世紀前から知られていた。その火薬推進ロケットは、全体として信頼できず、効率が悪く、確かに大量の有用荷重を宇宙へ打ちあげるには適していなかった。ゴダードは新しい推進薬の試作を決断し、液体の使用を思いつく。ガソリン用と液体酸素用—2 基の燃料タンクを組み立てようと構想した。両タンクの内容物が特別に補強された一つの燃焼室で点火されると、燃焼する混合物で生成される、膨張ガスによって莫大な推進力が発生する。

1926 年、ゴダードはマサチューセッツ州オーバーンの空き地で最初の液体推進薬ロケットをためした。発射台は水管でつくった簡単な台架である。ロケットじたいは長さ約 1.2m、直径約 15 cm であった。この初回テストは完全な成功をおさめた。1929 年、ゴダードは気圧計、温度計、小型カメラを装備した、前回よりも大きいロケットを発射した。

しかし、ゴダードの先駆的な研究は一握りの人たちにしか評価されなかった。たいていの人々は彼を変人と思い、騒々しい実験にただ驚かされるばかりであった。二度目の成功した発射は世間の憤慨を買い、ついに警察は実験の中止を命じた。

幸い、チャールズ・リンドバーグはゴダードの企画に興味をもち、研究がつづけられるよう、ゴダードのために資金を調達した。ニューメキシコ砂漠でゴダードは、新たな燃料システムならびにロケットを制御するための精巧な尾翼装置のテストと改良に取り組み、長年粘り強い研鑽に明け暮れた。この実験期間にロケットを高度約 2.5 km まで打ちあげ、1935 年に「液体」ロケットははじめて超音速に達した。ゴダードは、まったく孤立無援の状態で、現代ロケット技術の数多くの基本部を開発したのである。

米国政府はしかしゴダードの研究を無視した。ドイツではロケット技術陣が 40 年代にロケット弾「V2 号」[補注 119](#) 製作のために豊富な資金を得ていたの対し、ゴダードは、航空母艦の甲板から発進する海軍航空機のために、小型ブースターを設計するよう協力を求められた。ようやく 1945 年、ペーネミュンデ[補注 120](#) 占領後に、米国政府はロケットに関心をもち始める。だが時すでに遅く、アメリカ最大のロケット専門家はボルチモア病院の病床にあり、まもなく喉頭癌こうとうがんで帰らぬ人となった。



中央 1845 年、ウリッジ (ロンドン) でのロケット発射。弾頭をつけた最初の長距離軍用ロケットは、19 世紀初頭にグレートブリテンでつくられ、それらは 3 km 飛ぶことができた。

右 液体推進薬をそなえた最初のロケットと並んで立つゴダード。彼は同機を

1926 年に設計し製作した。発射装置は中程度の太さの水管でつくられた簡単な構造であった。



発射はマサチューセッツ州にあるおぼの農場の空き地でおこなわれた。
左 ケーシング（外被）がとりはずされている、ロケットを調節している、ゴダード（左）と 3 名の助手。ニューメキシコ州ロズウェルの作業場で。



右 ゴダードの後期の仕事はほとんどすべて自費によってニューメキシコでおこなわれ、同所で彼はロケットを打ちあげ、ほぼ 2.5 km の記録高度を樹立した。

第135章 ニールス・ボーア(1885-1962)

20 世紀初頭に原子構造の研究は急速に進歩した。デンマークの物理学者は、はじめて量子物理学の成果を導入した原子模型を提唱して、当時のめざましい躍進に寄与した。ボーアの研究は数多くの自然現象、とりわけ、いかに原子が光を独特な波長のスペクトルで放射しているかを説明した。現在もわれわれの原子に関する知識の多くは、ボーアの描いたイメージに基づいている。

ボーアはコペンハーゲン大学生理学教授の息子である。1911 年、同じコペンハーゲン大学で理論物理学を研究して学位をとり、ひきつづき 5 年間、研究奨学金を得てケンブリッジ大学ですごした。そこで知り合ったアーネンスト・ラザフォードに感化され、原子構造への関心が呼び覚まされる。1913 年、ボーアは画期的な新理論を展開し、国際的に名をあげた。

ラザフォードによれば、原子は一種の微少な太陽系であり、正電荷をもつ原子核が負電荷をもつ電子の周囲をまわっている。しかし、ラザフォード説の決定的な欠陥は、周知の物理学的法則によれば、円を描いてまわる荷電粒子が電磁波を放出し、エネルギーを失い、中心へ螺旋状に移動しなければならないという点である。もしもラザフォードの太陽系原子模型に正当な根拠があるとするならば、電子がどのようにしてエネルギーを放出するのか、新たなメカニズムを展開する必要があった。

ボーアは水素を範例として選んだ。水素は原子核に唯一の正電荷をもち、原子核を周回する電子も 1 個しかない、最も単純な原子で構成されている。さて、原子が最もエネルギーの低い定常状態〔つまり「基底状態」〕にあるかぎり、電子はエネルギーを放出せず、したがって際限なく原子核を周回しつづけることができる、とボーアは説明した。電子と原子核との距離には異なる作用状態が対応している。エネルギー因子—いわゆるプランクの「作用量子」—が吸収され、電子が核から隔たった軌道へ遷移すると、原子は[活発](#)になる。逆に、電子がさらに内側の軌道へ遷移すると、原子のエネルギー状態（「[エネルギー準位](#)」）は電磁波の放出によって低下（「縮退」）する。このような変化は、「量子化された」エネルギーの増減に応じて、一足飛びに起こるのである[補注 121](#)。

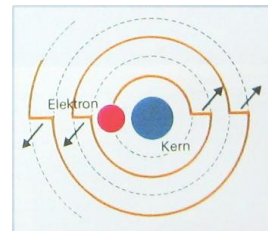
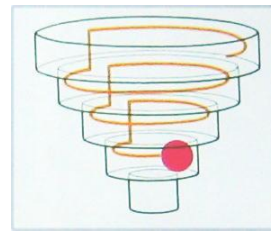
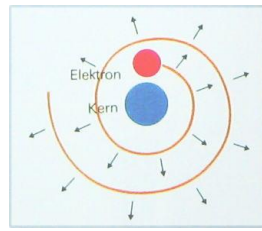
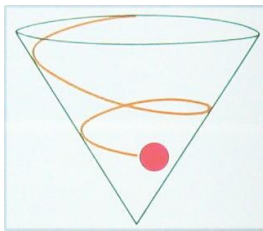
原子のさまざまな「エネルギー準位」というボーアの概念は、現代原子論にとっ

て不可欠なものになっているが、1913 年当時には、多くの科学者があからさまに疑った、革新的な発想であった。

1940 年、ボーアにとって自己の名声がおびやかす脅威となった。ドイツ軍がデンマークに侵入したとき、ボーアはヒトラー第三帝国の原子研究にとって貴重な協力者にみだてられていた。ボーアは、大多数の同胞と同じように、ナチズムの断固たる敵対者であり、敵の要求を拒絶して何度も逮捕と禁固刑を招く危険をおかした。1943 年もはやこれ以上逮捕を逃れられないと知り、スウェーデンへ亡命した。ノーベル賞牌^{しょうばい}補注 122 はあらかじめ酸に溶かし、その瓶を注意深くアパートに隠した。数年後に帰郷すると、ボーアは酸から金を還元し、賞牌を新たに鑄造させた。



上左 今日の物理学者が図示する、ウラン原子。原子核は 143 個の中性子（ウラン 235）または 146 個の中性子（ウラン 238）と 92 個の陽子^{プロトン}からなる。それぞれが（内から外へ）2、8、18、32、21、9 および 2 個の電子^{エレクトロン}をもつ 7 個のシャレと見なすことができる、軌道を描いて原子核の周囲をまわっている、92 個の電子がある。



中 「ボーアの原子模型」は、「ラザフォード模型」に比べ、電子が定まった軌道を描いて原子核を周回している点で、一歩前進している。球が漏斗のなかで旋回させられるように、ラザフォードの原子模型では、電子が、たえずエネルギーを失いながら、内側へと螺旋状に動く。

定まった軌道をもつボーアの原子模型では、電子は、階段状の漏斗内にある球と同じように、「量子化された」エネルギーの増減に応じて、軌道をとびとびに変更する。

下左 ボーアが 1920 年命された、理論物理次大会。第一列に着は（左から右へ）：ヴグ・パウリ、パスクン、ヴェルナー・ハマックス・ボルン、トナー、オットー・シュテルンおよびジェームス・フランクである。



年に所長
学研究所
席してい
オルフガ
アル・ヨ
イゼンベ
リーゼ・



に任
の年
るの
ン
ルダ
ルク、
マイ

下右 ボーア（右から二人目）はロモノーソフ記念国立モスクワ大学から名誉博士号を贈られる。

第136章 ジョン・ローギ・ベアード(1888-1946)

今日のテレビシステムには、アマもプロも、大ぜいの人に関与してきたが、1925年、屋根裏の仕事場で最初の生中継に成功したのは、スコットランドの発明家ジョン・ローギ・ベアードである。1年後にこの世界ではじめての実用的なテレビシステムは、ロンドン王立研究所で公開された。

一途な情熱に燃える科学愛好家ジョン・ローギ・ベアードは、1884年にドイツの科学者パウル・ニプコーによって考案された走査円板こそが有用なテレビ中継システムの基盤であると確信した。

グラスゴー大学卒業後、ベアードはセールスマンとなって生活費を稼ぐかたわら、みずからの着想に財政支援を求めようとこころみた。あいにく新規の電機産業界にはこの種の企画に期待をよせる企業はなく、ベアードは乏しい自身の収入に頼って研究をつづけるほかなかった。そのためにたいていは極貧生活を送っていた。1924年マルタ十字架の輪郭を約 3、5m 先へ送ることができた、最初の成功に彼は意を強くした。古い茶箱、ケーキ焼き用鉄板、くず鉄のなかから拾いあげた電気器具部品、何本かの編み棒、自転車ひも ふろろうのランプ、針金、紐と封蝋などで組み立てた、幼稚な装置を使って実験をつづけた。最も重要な部品は、ボール紙製のニプコー・ディスクであった。

1925年10月2日、ベアードは屋根裏部屋で、腹話術師が捨てた人形の頭の識別可能な映像を送ることに成功した。ベアードは一階の事務所に駆けおり、使い走りの少年を引っぱって駆けあがり、明るいランプの下に少年をすわらせる。はじめてテレビで中継された、少年の映像はベアードを一夜にして有名にした。いまや研究の継続にいそぎ必要な資金も、ベアードは意のままになった。1927年ロンドンからグラスゴーへ、1928年にはロンドンからニューヨークへの中継に成功した。

ベアードの「機械的」システムは、テレビ技術の重要ではあるが、初歩の発展段階にとどまった。ある限界点を超えて、「ニプコー円板」のちらつく画面は本質的に改善されえなかった。年老いたニプコーは、ベアードの発明品を実見し、テレビはいまや技術的に考え直す時期にきている、と所見を述べた。この新規開発は、原理としてすでに存在していた、電子式走査が礎になった。

電子線が静電偏向または電磁偏向をおこない、蛍光板に可視像を描く、陰極線管は、1897年にドイツの物理学者カール・フェルディナント・ブラウンによってクルックス管から開発された。陰極線管は初期のテレビ撮像管「アイコノスコープ」の基礎になった。ロシア生まれの発明家ウラジーミル・ズヴォリキンむとんじやくは、合衆国に移住して4年後の1923年にアイコノスコープの特許を申請し、その1年後に受像管「キネスコープ」の特許をも取得した。したがって机上では、ベアードが技術革新に成功したとき、すでに最初の電子テレビシステムは存在していた。ズヴォリキンは営利に無頓着ではあったが、デザインをさらに改良し、1929年に実用的な実演用モデルを組み立てている。

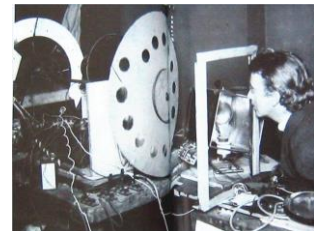
電子式テレビの画像鮮明度は、機械的走査方式よりはるかにまさっていた。現代のあらゆるテレビシステムはズヴォリキンの研究に基づいたものである。ズヴォリキンはさらにカラーテレビ、電子顕微鏡、夜間にも使用できる、さまざまな赤外線装置の開発にも重要な貢献をはたした。休みなく働く発明家ベアードは、自分のテレビシステムがイギリスとドイツで活用されるようになり、そのあと電子式走査方式に切り替えられてゆく変転を体験した。しかし、ベアードは動揺することなく実験をつづけ、晩年には立体テレビ、カラーテレビ、さらにテレビ画像の映写幕への射影について可能性を探っていた。



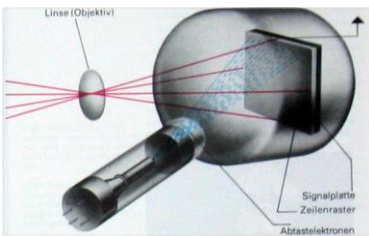
上左 人間の顔をうつした走査線の数が 30 本の走査パターン。

上中央 ベアードと彼の中継装置。

上右 送信機にむかうベ



アード。このとき、パウル・ニプコーの設計に基づく円板を使って、顔の映像を伝送した。



下左 ズヴォリキンのアイコノスコープ。光（赤）は光電性の電極に導かれ、この電極はうけた光に

比例して充電されたあと、電子ビーム（青）で順次走査される。これによって光学像の空間的継起が電気信号の時間的継起に変換される。

下中央 1928 年頃に完成した、ベアードの電機機械式テレビ（走査線 30 本）。これははじめて店で買えるようになったテレビ受像器であり、英国放送協会でも一時実験放送用に使用された。

下右 研究の最新成果を示すベアード。1929 年、彼はカラー映像の中継に成功した。

第137章 イーゴール・イワノビチ・シコルスキー(1889-1972)

イーゴール・シコルスキーはロシア出身のアメリカ航空技術者であり、航空機産業の最も重要な先覚者に数えられる。世界最初の 4 発機を製作し、1930 年代には水上機の開発にも参加して指導的な役割をはたした。しかし、シコルスキーはなによりもヘリコプター開発の主導者として知られている。

シコルスキーはキエフに生まれた。ヨーロッパ研修旅行で特に彼の関心をひいたのは、航空産業が 1903 年のライト兄弟による人類初の動力飛行で活気づいた、その躍進ぶりであった。航空機の未来は垂直飛行にある、とシコルスキーは固く確信

し、帰国後ただちにヘリコプターの設計に着手した。

計画実現に必要な技術も資材もないと実感するや、シコルスキーは計画を見合わせ、従来どおりの固定翼機の設計と改良に取り組んだ。1912年、サントペテルブルグの主任設計者に任命された。1年後にシコルスキーは、主翼の長さ28mで4発エンジンの巨人機、「グランド号」を製作した。乗組員と乗客のために囲いをしたキャビンがあり、同機は時代を10年先取りしていた。

第一次世界大戦でシコルスキーはグランド号に似た一連の軍用機をつくった。一時期、シコルスキーは自分の発明機を操縦できる、ただひとりのロシア人であったため、テストパイロットと主任教官を兼務した。この種の大型機が合計75機生産された。

1917年の十月革命とドイツ帝国崩壊後、シコルスキーは、ヨーロッパに航空機発展の大きな未来はないと見限り、1919年ほとんど裸一貫で合衆国へ移住した。

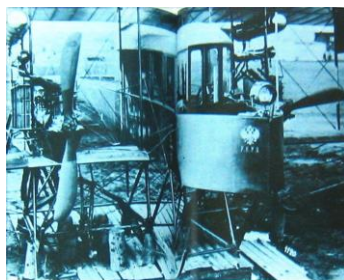
悪戦苦闘の時期がつづく。シコルスキーは、少額の出資をするか労働力を提供する数人の仲間と、シコルスキー航空機会社を設立した。20週間無給で同社の1号機が製作され、チャーター飛行便として賃貸した。次に、シコルスキー航空機会社は最初的水上機を開発して成功をおさめ、1928年、ユナイテッド飛行機製作会社に子会社として合併することができた。つづく10年間に有名な一連の「クリッパー」飛行艇を生産し、同艇は水上に着陸可能なことから、大西洋横断の旅客輸送や郵便業務に用いられた。

1930年代の終わりになると、空港はますます大型化し、滑走路がますます長くなるとともに、長距離航空機の新世代が到来し、飛行艇の時代は終幕を迎えた、とシコルスキーは悟った。最初の実験から30年を経て、彼はその間に仕入れた新たな航空力学の情報と資材研究によって開発が可能になっていた、ヘリコプターに再び挑戦する。同時期の重要な革新に、スペインの航空技術者フアン・デ・ラ・シエルバが1928年に発明した、オートジャイロがある。「オートジャイロ」は在来のプロペラで推進し、ただ前進飛行に伴って吹きつけてくる風だけでまわる、回転翼によって揚力が発生する、ヘリコプターに似たものだが、空中の一個所にとどまることはできなかった。

1937年、ヘリコプターはドイツで開発された。したがって、シコルスキーが1939年に設計して操縦した原型機は、世界初のヘリコプターではない。だが、シコルスキーのVS-300型は、空中停止し、垂直に離陸と着陸ができ、後方飛行も側面飛行も可能であった。そのうえ、単一回転翼をそなえた最初のヘリコプターでもあり、将来のあらゆる発展の基礎を築いた。1941年にシコルスキーは改良型を製作したが、第二次世界大戦中はすべての計画が中止された。1945年、再び仕事にとりかかるが、もっぱらヘリコプターの設計製作に専念した。

第二次世界大戦後、ヘリコプターはさまざまな救助救援活動に不可欠なことが明らかになった。空中停止が可能^{ホバリング}なため、ヘリコプターは軍事技術に新たな地平を開き、ベトナム戦争で重要な役割を演じた。その発明家シコルスキーは、航空史上傑

出した革新者の一人として名をとどめるであろう。



上中央
ヘリコプ
ター1号機
を操縦す
るシコル
スキー。
上右 シ
コルスキ



ー最初の4発機、「グランド号」。尾部、操縦士席、および機体内に搭載されたエンジンが見える。

下左 シコルスキー型ヘリコプターが、ニューヨーク市民防衛演習の一環として、満載した1台のトラックを空輸している。

第138章 ジェームズ・チャドウィック(1891-1974)

イギリスの物理学者ジェームズ・チャドウィックは中性子の発見で知られる。中性子は、原子核の重要な構成要素であり、電氣的に中性という点で、ほかの素粒子と異なる。後日この特性によって、中性子は「射出粒子」として、原子内部を探るために利用されるようになった。

チャドウィックはマンチェスターに生まれ、故郷のマンチェスター大学で物理学を学んだ。1911年に卒業後、ケンブリッジ大学に移り、アーネスト・ラザフォードのもとで研究した。ラザフォード教授に勧められ、チャドウィックは原子構造の研究にとりかかった。奨学金をもらってヨーロッパを旅行し、まさにドイツ滞在中に第一次世界大戦の火蓋が切られ、抑留の憂き目を見る。チャドウィックは1919年やっとケンブリッジに帰還し、ラザフォードと共同研究を再開することになった。

さまざまな科学者が1920年代に集中的な研究をしたにもかかわらず、原子構造論はいまだ満足すべきものではなかった。ラザフォードの太陽系原子模型を基礎として一般の想定によれば一電子がその周囲を回転している、原子核の構造がとりわけ注目の的になった。原子核は、負電荷の電子によって束ねられる、正電荷の陽子からなる、と考えられていた。この説にしたがえば、たとえばヘリウム核は、質量数4、電気素量2で、4個の陽子と2個の電子で構成される。負の電荷をもつ電子は、正の電荷をもつ陽子2個を中和するものと推定された。しかし、同理論に対して重大な反論があり、チャドウィックは、単純明快な理論を導き出せる、電氣的に中性の素粒子を探る研究にくわわった。

1932年、チャドウィックは、金属ベリリウムに α 粒子（ヘリウム核）を衝撃したときに出る、強烈な放射線を調査していた。ベリリウムは二次粒子を放出し、次は二次粒子がパラフィン炭化水素の隣接する標的核から陽子を放出させる事実を明らかにした。チャドウィックが複雑な計算によって証明するところによれば、当の反応は、 α 粒子が一陽子とほぼ同じ質量で、電氣的には中性〔すなわち電荷0〕の一ある粒子をベリリウム原子の核から放出している、と仮定してはじめて説明される。もしも放出される粒子が電気を帯びておれば、パラフィン炭化水素の陽子によって吸収されるであろう。チャドウィックはこの新しい粒子を「中性子」と名づけた。

チャドウィックの発見が主要な突破口となり、中性子はまもなく研究の貴重な補助手段であることが判明する。中性子は、電荷をもたないため、電場によって偏向せず、しかも陽子に比べて質量がやや大きい（したがって、原子を構成する素粒子の標準からすれば、大きくて重い）によって、原子の究明に最適な手段となった。今日の物理学者は、原子に中性子線を照射して、原子の内部を以前よりよりはるかに深く透視することができる。中性子の研究はやがて核分裂の発見と最初の原子炉へとつながり、さらに、原子核の構造について矛盾のない説明をも可能にした。たとえば、いまやヘリウム核は2個の陽子と2個の中性子で構成されている、という前提から出発することができた。

チャドウィックは1935年にノーベル物理学賞を受賞した。その後も学者の道を歩み、リバプール大学の物理学教授となり、1945年には騎士の爵位を授けられるが、みるべき成果は収められなかった。原子核の構造について新たな認識を伝え、核の莫大なエネルギーを発生させるための重大な補助手段になった唯一の発見、まさに「中性子」が、天下にとどろく賞賛をチャドウィックに保証したのである。

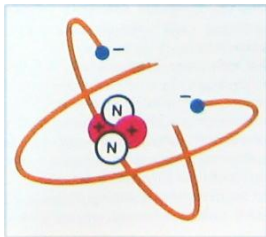


上右 1937年、第7回ソルヴェー物理学会議。チャドウィックは第一列の右外側に着席している。出席者にはさらに次のような人々がいた。ジョリオ＝キュリー夫妻（フレデリクと

イレーヌ）、マリー・キュリー、ラザフォード卿、ニールス・ボーア、ジョン・ダグラス・コッククロフト、アーネスト・ウォルトン、エンリーコ・フェルミ、ルイ・ド・ブロイ、ヴェルナー・ハイゼンベルク、リーゼ・マイトナー、エルヴィーン・シュレーディンガーなど。



下左 原子核の探究に中性子を射出粒子として使用。同種の電荷は相互に反発し、異種の電荷は吸引する。正電荷の粒子、たとえば α 粒子は、原子核によって偏向する（上）。負電荷粒子は外側の電子殻によって偏向する（中央）。電荷をもたない中性子は電磁障壁を透過し（下）、原子核から粒子を放出させる。この事実によって科学者は核の構成を推論することができる。



左 ヘリウム原子の核は2個の陽子と2個の中性子からなり、核の正電荷は2個の中性子によって平衡がたもたれている。

右 中性子の衝撃でおこる核分裂は、原子爆弾の製造につながった。

第139章 ルイ・ヴィクトール・ド・ブロイ(1892-[1987])

フランスの物理学者ルイ・ド・ブロイは、物質が粒子性と並んで、光と同じように波動性もそなえることをはじめて提唱した。「物質波」というド・ブロイの考えは、現代物理学、なかんずく原子構造や原子核構造の分野で、いくつかのきわめて重要な進歩を先取りしている。特に、ある一定の状況で非論理的にふるまうようにみえる、電子、陽子、中性子といった素粒子の新たな理解につながった。素粒子に波と個体粒子との二面性を認めることによって、科学者たちはついに素粒子の奇妙な挙動を説明しはじめることができた。

ド・ブロイはディエップ〔フランス北部〕に生まれた。ソルボンヌ大学で歴史を学び、卒業後ようやく自然科学に取り組んだ。第一次世界大戦中に通信技師として活躍し、ますます理論物理学に興味をおぼえた。1924年に刊行されたド・ブロイの[ドクター論文](#)は、自然科学の思考基盤にあとまで大きな影響をあたえた。

多くの若い理論家と同様、ド・ブロイも、アインシュタインの相対性理論とマックス・プランクの量子論に魅せられた。この重要な両理論は、20年代にようやく漠然と認識されはじめたにすぎないが、まぎれもなく物理学に革命をもたらしていた。特に、光は微小な粒子〔光子^{こうし}〕の集団としてふるまうことがある[補注 123](#)、という[アインシュタインの証明](#)から、もしかすれば任意の物質粒子も波のようにふるまうかもしれない、とド・ブロイは推論した[補注 124](#)。一連の複雑な数学的推論によって、固体粒子の運動量は、ふつう光波や音波を測定している、波長に完全に関連づけることができることをつきとめた。電子の波動性は、さらに、なぜ原子核の周囲をまわる円運動に限定されるのか、これまで謎であった電子の動きも解明した。

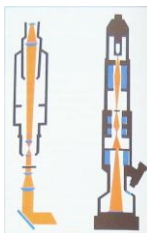
さらに入念な数学的検査によって、ド・ブロイは、たとえばサッカーボールのように大きな物体では、波長が識別できないほど短いことに気づいた。電子のような微粒子の場合には、波長がほぼX線と同じぐらいであり、したがって、干渉と回折像によってつきとめられるにちがいないと考えた。

1927年、ド・ブロイの仮説は立証された。電子線の研究中に、二人のアメリカ人物理学者、クリントン・デヴィッソンとレスター・ガーマーはまったく偶然に、電子線がある条件のもとで写真乾板に複雑な模様を描き出す事実気づいた。驚いたことに、模様は電子線の回折―つまり〔粒子ではなく〕、もっぱら波にあらわれる

現象一によるものであった。一般に微少な固体粒子とみなされていた電子が、ともかく「物質波」のようにふるまっていることは、疑う余地もなかった。

いまやド・ブロイは大胆な仮説が検証され、国際的な評価とともに当然の報奨としてノーベル物理学賞を受賞した。ド・ブロイは最初の正当な認識を提示したが、この発見の意味するところをさらに究明する課題は、他の科学者にゆだねられた。オーストリアの物理学者エルヴィーン・シュレーディンガーは波動力学を創始し、一連の波動方程式を展開する [1926 年]。いわゆる「シュレーディンガー（波動）方程式」を用いて、電子の運動とエネルギーがきわめて正確に記述された。まもなく原子構造も物質波の形で記述され、物質の内部構造について格段に正確な理論が可能となった。

「物質波」という新しい概念は、種々の重要な応用成果をあげた。初期の応用に顕微鏡検査法がある。科学者たちは電子が可視光線よりもはるかに短い波長をもっていることを知るや、レンズの働きをする磁場によって、電子線を焦点に集める、顕微鏡がつくれないものかと研究しはじめた。1937 年、ジェームズ・ヒリアーとアルバート・プレバスがカナダではじめて実用可能な器具を組み立てた。当時最良の光学顕微鏡は、物体を 2 千倍に拡大したが、彼らの原型機は 7 千倍に達した。現在の最も強力な電子顕微鏡は 2 百万倍にまで拡大でき、ウイルスのような微小な物体の表面構造、あるいは分子構造さえ目に見えるようにすることができる。



上中央 電子が^{きんぱく}金箔を透過することによって生じ、電子の波動性を証明する、回折リング。
上右 クリントン・デヴィッソンは、電子線が回折像をつくることができる事実を 1927 年に偶然発見して、ド・ブロイの仮説を裏づけた。
下左 光学顕微鏡（左）と電子顕微鏡（右）との比較。光学顕微鏡と電子顕微鏡の解像力の差は、ド・ブロイをうつした 2 枚の肖像で明らかのように、粒子の粗い陰画と微粒子の陰画とに基づく写真の鮮明度の違いに対応している。

上中央 電子顕微鏡。電子は加熱された金属から放出され、高電圧によって真空中で加速され、強力な磁気レンズによって焦点に

集められる。

下右 アポロ宇宙飛行士がかぶったヘルメットのシリコンゴム複製の電子顕微鏡写真。先の丸くなったスパイクは宇宙線^{こんせん}痕跡の複製である。

第140章 ロバート・ワトソン=ワット卿(1892-1973)

レーダー(電波探知機)の原理は多数の科学者によって開発されたが、レーダーの実用化はスコットランドのロバート・ワトソン=ワットが端を開いた。第二次世界大戦で敵機の位置を測定する必要に迫られ、レーダー、特に目標の位置、高度および速度をつきとめる能力の研究が急がれた。レーダーは、ドイツ軍に対する連合国の勝利に大きな役割を演じ、戦後は非軍事用にも広く利用されるようになった。

ワトソン=ワットはスコットランドのブリーキンに生まれ、ダンディー・ユニバーシティカレッジの工学技術課程を修了した。学生るとき無線電信に興味をもち、1915年ロンドン気象庁の研究部に就職して、発達するあらしの位置を無線電信でつきとめようとする開発事業にたずさわった。その後ワトソン=ワットは国立物理研究所無線部長をつとめ、ラジオビーコンと航法計器の開発に取り組んだ。航空省が当時いちだんと興味をつのらせていた、無線工学の部門である。

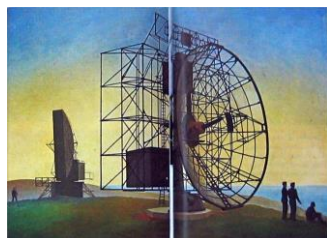
レーダー“radar”とは、“RADio Detection And Ranging”の頭字語であり、短波による距離測定と標的探知を意味している。強度に集束された電波[電波ビーム]は、障害物(標的)に当たって跳ね返り、反射波として受信される。電波の伝わる速度はわかっているゆえ、その往復所要時間から距離を割り出すことができる。電波は、継続と間隔が一定している、パルスとして発射される。反射波は、電子線が1m/sで円形の蛍光板(スクリーン)を流れる、ブラウン管で表示される。パルスの発射と反射波の受信は、そのつど鋸歯が円周内にあらわれるように、電子線を偏向させる。鋸歯の角度間隔から、パルスの所要時間と同時に標的の距離が算出される。

空襲による英国の危機がレーダーの開発を優先させ、ワトソン=ワットの研究活動は政府から気前よく助成金をうけた。やがてワトソン=ワットは航空省ならびに航空機生産省の科学顧問に任命された。1935年までに、60 km離れた航空機の位置を特定できる、有効距離の長いレーダーシステムを彼は開発していた。1938年にはすでにレーダー基地全体のネットワークが確立していた。

次の決定的な進歩は、1939年、実用周波数の高いマイクロ波発振器—多重空間式マグネトロン—の導入によってもたらされた。この最高機密に属する発明が、重大な時局に英国をレーダーの研究で優位にたたせた。マイクロ波は細いビームに集束でき、この電波ビームはきわめて精密な位置を特定し、雲や霧が出てても支障なく機能する。マイクロ波レーダーは、はるかに小型のアンテナで送受信可能な利点もあることから、携帯レーダーの可能性を開いた。ブリテンの戦闘[1940年秋]で、英国空軍は、迎撃管制レーダーのおかげで、数に劣る味方の戦闘機を最大限に活用することができた。ドイツ空軍はまもなく夜間攻撃に限定するほかなくなった。いまや英国戦闘機はマイクロ波レーダー装置自体を機体に装備し、暗やみでも標的を攻撃することができた。ドイツの報復兵器、V1号とV2号ロケット弾を防御するために、改めてレーダーが1944年に投入される。その結果、V1号を何発か迎撃し、V2号の軌道を発射地点まで逆探知することができた。1944年、英米連合軍のノルマンディー上陸作戦にも、ドイツ防衛施設への攻撃は、戦争の最終段階でみせたドイツ本土

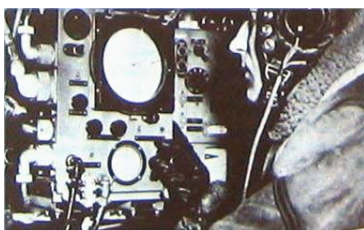
空爆と同様、レーダーを駆使して敢行された。

戦後、レーダーは非軍事目的にも向けられた。船舶、航空機、衛星、ロケットなどの航法に計り知れないほどの役割をはたしている。竜巻、ハリケーン、暴風は 300 km以上の距離から発見できる。交通警察官は通過する乗り物の速度をレーダーで測定することができる。レーダーは惑星表面の探査や惑星間の精確な測距にも利用される。ワトソン=ワットは、草分け的な業績によってレーダーの多方面にわたる用途を可能にしたため、「レーダーの父」と呼ばれるのも当然である。

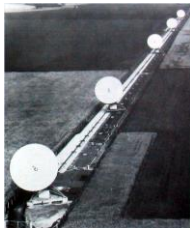


上中央 第一次世界大戦中の沿岸レーダー基地の絵。

上右 レーダースクリーンに表示されたロンドン空港の写真。レーダーは、可視光線を必要としない、電子の目をもっている。その価値は夜や霧のなかを飛ぶ航空機にとって計り知れない。



中左 第二次世界大戦で航空機出撃に使用されたレーダーシステム



H28 の陰極線管と管制装置。

中右 このランカスター重爆撃機の下側にはっきりと見える張り出しには、H25 レーダーシステムの回転アンテナがおさめられている。

下左 ケンブリッジ大学のムラード電波天文台の巨大な電波望遠鏡。放物面筒アンテナは天体から送られてくる信号をとらえ、それらの距離を測定している。

第141章 ウォレス・ヒューム・カロザーズ(1896-1937)

デュポンという総合化学・繊維メーカーの研究化学者、ウォレス・ヒューム・カロザーズは、はじめて純正な合成繊維「ナイロン」を発明した。この生産とともに合成繊維工業の発展がはじまった。

人類最初の化学繊維補注 125 は、イギリスの化学者ジョーゼフ・スワン卿によって、ニトロセルロースからつくられた。それは白熱電球に適したフィラメント探究の副産物であった。スワン法はフランスの化学者イレール・ベルニゴー・ド・シャルドネに受け継がれた。パルプ溶液が細かい小孔から紡糸浴へ押しだされ、より糸にされた。糸は、可燃性を減少させるために、脱硫される。当製品は当初「人造絹糸」あるいは「シャルドネ絹」と呼ばれ、のちに光沢があるという理由で「レーヨ

ン」補注 126 と改名された。

多種多様なレーヨンが開発されるが、いずれも完全に満足のゆく絹の代用品とはならず、おまけに生産コストも相変わらずわりに高く、燃えやすかった。第一次世界大戦以後、絹に劣らず良質で、しかも安く生産できる、製品が真剣に探究されはじめた。それは特に、天然絹糸の最も重要な供給国である日本と政治・通商関係が悪化しはじめていたアメリカにとって、ひとときわ急を要する問題であった。

重合、つまり小さい分子が互いに多数結合して巨大な分子、すなわち高分子を生成する化学反応—当時、プラスチック産業で広く普及していたプロセス—に注目が集まった。この研究に参加した化学者に、アメリカの世界的な化学工業会社デュポンの基礎研究部長、ウォレス・ヒューム・カロザーズがいた。

カロザーズはイリノイ大学とハーバード大学で有機化学を学び、32 歳で基礎研究部長となった。専門分野は、はじめに香料の分子構造を研究しているとき見つけた、重合であった。カロザーズは 30 年代の前半に、アジピン酸とヘキサメチレンジアミンとの縮重合によるポリアミド系の合成繊維、「ナイロン」を開発した。しかし、初期のナイロンはあまりにも弱すぎる事が判明する。1935 年に紡糸法を改良したあと、カロザーズは、重合体^{ポリマー}を溶融し、レーヨン繊維と似た方法で紡糸口金(スピナレット)から押し出すこと [つまり「溶融紡糸法」] によって、ナイロン糸を生産した。

化学的に処理された天産物でできている、レーヨン [再生繊維補注 127] とは異なり、ナイロンは完全に化学物質から抽出される [合成繊維]。ナイロンは、すぐれた弾性と強度のために、工業用にも衣服にも使用される。ナイロン製品は、油脂、汚れ、種々の洗剤に対しても抵抗力がある。

当初カロザーズの発明は企業秘密にされていた。カロザーズ本人は重症の鬱病^{うつびょう}に苦しみ、研究完成の 2 年後に自殺した。1939 年、ちょうど第二次世界大戦のはじめに、デュポン社は新しい合成繊維の生産開始を公表した。ナイロンは、限らない用途が見込めるアメリカ国軍へ、特にパラシュートの素材としてほぼ独占的に出荷された。

最初のナイロンストッキングは 1938 年に生産された。その後、ナイロンは靴下や下着類の主要素材として、あっというまに絹にとってかわった。さらに、釣り糸、ブラシ、ベッド用布類、外科用縫合糸にも使われた。ナイロンは粉末化して、プラスチックのように加熱成形することも可能である。

デュポン社が特許権を握っていたので、他社の研究実験室は、同じく重合体から繊維をつくる努力を強化した。「テリレン」[ポリエステル繊維] (米国では「ダクロン」と呼ばれる) は 1941 年に英国で、「オーロン」[アクリル繊維] は 1950 年代に米国で開発された。

化学繊維は数多くの天産物を模倣し、ときにはそれにまさることもできた。縮まず、虫がつかず、一般に丈夫で、着心地をよくし、しわを寄りにくくするために、天然繊維と組み合わせることもできる。他方、化学繊維の織物は熱によってパーマ

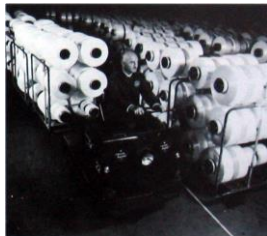
ネットプリーツがつけられる。化繊は衣料や家具部門に加えて、工業素材としても広範囲に用いられている。



上中央 ナイロン分子は炭素と水素と酸素原子の組み合わせの繰り返りで成り立っている。個々の分子は上に図示されているグループの 100 倍以上のもので構成される。ナイロンの長繊維は 100 万個以上の分子を含有し、長繊維が引っぱられると、各分子がそれぞれ応分の緊張を吸収する。

上右 完全な合成繊維の誕生。デュポン社の化学者ジュリアン・ヒルが、30 年代のはじめにデラウェア州ウィルミントンで、溶融した試料が試験管から引き出される様子を見せしている。シロップのような試料がガラス棒に粘着し、細い繊維—ナイロンの前身—に引き伸ばされている。

下左 溶液が一連の紡糸口金を通して押し出されることによって、アセチルセルロースの糸が紡がれる。溶液が出てくると、溶媒は蒸発し、固いフィラメントが残る。このいわゆる「乾式紡糸法」は、レーヨンの製造に利用されている。



下中央 労働者によって敷設されている、直径 45 cm の導管も、押し出し成形されたものである。固体樹脂は加熱室を通過させ、溶融した原料が注文に見合った口径の穴から押し出される。

下右 インペリアル・ケミカル・インダストリーズ(ICI)にあるナイロン糸巻き。

第142章 ジョン・ダグラス・コッククロフト卿(1897-1967)

ジョン・ダグラス・コッククロフト卿は世代を先導した科学者であり、現代核物理学の父に数えられている。同僚アーネスト・トマス・シントン・ウォールトンと協力して、核物理学にとってきわめて重要な研究器具、コッククロフト＝ウォールトン粒子加速器を開発し、二人はそれを用いて 1932 年にリチウム原子核を分裂させた。人工的に誘導した最初の核分裂である。コッククロフトとウォールトンはこの功績によって 1951 年にノーベル物理学賞を受賞した。

コッククロフトはヨークシャー州に生まれ、1914 年マンチェスター大学で数学を学びはじめた。講師のひとりにはアーネスト・ラザフォードであった。そのわずか 1 年後に、コッククロフトは通信兵として英国砲兵隊に召集され、第一次世界大戦後に電気工学を学んだあと、ケンブリッジ大学で数学を修めた。

卒業後の 1922 年、アーネスト・ラザフォード教授のまわりにつどう有名な研究チームの一員として、コッククロフトはキャヴェンディッシュ研究所に入った。おもに基礎理論を専攻した、物理学者などの科学者グループへ、コッククロフトは貴重な応用能力をもちこんだ。コッククロフトとウォールトンは 1929 年陽子加速器

の製作に着手する。 加速器は、荷電粒子を「電磁場による力」で超高速に加速して、その運動エネルギーを大きくするための装置である。この狙いは、きわめて強い電圧のなかに、荷電粒子を走らせることによって達成される。粒子の軌道周囲に生じる、「静」電場が粒子を加速するのである。原子構造の研究範囲が広がると、物理学者は、原子核を衝撃するために、相当量の高エネルギー粒子が必要となり、これが機能的な加速装置の設計をうながすことになった補注 128。

アメリカの原子物理学者、ロバート・ジェミソン・ヴァン・デ・グラーフは 1931 年にはじめて粒子加速器、「ベルト起電機」補注 129 を考案した。その 1 年後にコッククロフトとウォールトンは陽子加速器の実験に成功した。陽子加速器は、水素イオン（陽子）の電流が流れる、真空管で構成されている。一連の整流器は一方方向にのみ電流を通し、一連のコンデンサーは電圧を一定に維持する役目になる。整流器とコンデンサーの組み合わせ装置は、誘導起電機のはたらきをする。コッククロフトとウォールトンは、リチウム原子がそれぞれ 2 個のヘリウム原子に転換するほど、多量のエネルギーをリチウム原子に与えるだけの強い電圧が得られるまで、陽子を加速することができた。これは人工核変換の最初の例であった。

「コッククロフト＝ウォールトン加速器」は長年世界じゅうの研究実験室で用いられた。原子核研究以外にも、粒子加速器は工業で、たとえば金属ケーシングのひび割れを検出するために、あるいは医学で癌^{がん}の治療にも利用されている。現在の加速器は、粒子に数百万ボルトのエネルギーを与える、巨大な構造をもつことが多い。

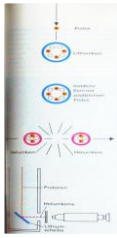
コッククロフトは第二次世界大戦直前に、ロバート・ワトソン＝ワットの発明をうけて着手された、レーダー監視システムの構築にも参加した。大戦中の 1941 年、コッククロフトは防空研究開発局の主任指導監督官に任命され、1944 年にはカナダ学術会議原子力部長の任を引き受けた。こうしてたどるべき経歴の第二章が示され、コッククロフトはすぐれた科学行政官であることが明らかになった。1946 年から 1958 年にかけて、英国ハーウェルに新設されたイギリス政府原子力研究所長をつとめた。1959 年、ケンブリッジのチャーチルカレッジ初代学長として学界に復帰する。コッククロフトはこの新設大学を抜群の学術機関にしあげ、在職のまま、70 歳で突如他界した。



中央 原子核を分裂させた男たち。左から右へ：アーネスト・ウォールトン、ラザフォード卿、ジョン・ダグラス・コッククロフト。

右 高速度に加速した陽子でリチウム原子核を衝撃す

るために、コッククロフトとウォールトンが用いた放電管。



上左 コッククロフトとウォールトンは高エネルギー水素原子核（陽子）を非常に細いビームにしてリチウムの標的に当てた。直撃されたリチウム原子核は破壊する。核分裂片はヘリウム原子核であることが判明し、それらの蛍光板への衝突は顕微鏡（下図）で追跡することができた。放出されるエネルギーは少量の物質崩壊に起因する。

上右 欧州原子核共同研究機関「セルン」のジュネーブ本部にある巨大な粒子加速器。

下 後期のコッククロフト=ウォールトン型陽イオン加速器（左）と大寫しにされた加速螺旋管（右）。



第143章 ジョリオ・キュリー夫妻—フレデリック(1900-1958)とイレヌ(1897-1956)—

フランスの物理学者ジャン・フレデリック・ジョリオは、ラジウムの有名な発見者キュリー夫妻（ピエール・キュリーとマリー・キュリー）の長女イレヌ・キュリーと結婚し、姓をジョリオ・キュリーとあらためた。フレデリックとイレヌの二人も相協力して放射能の人工生成法を発見し、顕著な業績をあげた。ジョリオ・キュリー夫妻の研究は、いまや医学や工業や科学研究の分野でさまざまに応用されている、一連の人工放射性同位体の生産へと直結していった。

フレデリックはパリ〔市立高等工業物理化学学校〕で機械工学と化学を学び、卒業直後の1925年、マリー・キュリーの研究助手の一員となる。まもなく、助手仲間であった、キュリー教授の娘イレヌと婚約する。二人は1926年に結婚し、共同研究をはじめた。

1934年、ジョリオ・キュリー夫妻はほとんど偶然に最初の人工放射性元素をつくりだし、歴史的発見をした。夫妻は、 α 粒子でアルミニウムのような軽金属の標的を衝撃して、その効果を分析していた。驚いたことに、微小なアルミニウムの標的が、 α 粒子による激しい衝撃をうけたあと、放射能をもつように見えることを確認した。さらに慎重に分析すると、標的はもはやアルミニウムだけで構成されておらず、一部がリンに変換していることをつきとめる。リンの原子核はしかし通常よりも中性子の数が多く、したがって、はるかに重く、不安定であり、放射能をもっていた。同様に、ホウ素を衝撃すると放射性窒素が、マグネシウムを衝撃すれば放射性ケイ素が生じた。このようにして夫妻ははじめて人工放射能をつくりだした。1935年ともにノーベル化学賞を受賞した、夫妻の発見は、ウランのような重い元素だけではなく、放射性同位体に変換すれば、いかなる軽い元素も放射能をもつという説得力のある証明であった。

戦争の危険がいよいよ差し迫った、30年代の終わりに、ジョリオ・キュリー夫妻はウランの核分裂に取り組みはじめた。ウラン原子核の分裂によって大量のエネルギーを放出させる方法は、原子炉の基礎になっている。事実、最初の実用的な原子炉構想に急速な進歩をみせていたとき、ジョリオ・キュリー夫妻は、ドイツ軍の占領によって不意に研究の中断を余儀なくされたのである。

夫妻はナチスの激しい反対者であり、核研究について些細な情報さえも敵に入手させまいと決心した。原子炉と最初の原子爆弾製造に必要な不可欠な鍵は、水素原子が通常よりも重い同位体—すなわち「重水素」補注 130—で置換された「重水」の製造にある。重水は原子炉で、[高速] 中性子の速度を落とすために、減速剤として使われる。減速された低速中性子は、はるかに核分裂を引き起こしやすい。そのころ十分な量の重水をまかなえる工場施設はノルウェーにしかなく、フレデリックはフランスの国防大臣に在庫を買い占めるよう説得し、貴重な貨物がこっそりパリへもちこまれた—ノルウェーが侵略される1カ月前のことだった。フランスが占領されると、フレデリック・ジョリオ・キュリーは重水が英国へ移送されるように手配した。

ジョリオ・キュリー夫妻は第二次世界大戦中も祖国にとどまり、抵抗運動に身を投じて、核研究にかかわるフランス人の経験をわがものにしようとする、ドイツ側の努力を挫折させた。

戦後、ジョリオ・キュリー夫妻は政治的にフランス当局からにらまれ、研究を妨害された。占領期間中の圧力のもとで、以前からの左翼傾向に拍車がかかり、夫妻が戦後共産党に入党[42年]したのが原因である。1948年、二人はヨーロッパ最初の原子炉建設に関与し重責を果たすことが許されたが、まもなく説明もなく解任される。その後、過去の業績と戦時中の勇ましい抵抗にもかかわらず、体制側の学界から無視されつづけた。



上中央 実験室で研究している、ジョリオ・キュリー夫妻。

上右 小型核バッテリー。とりわけ心臓ペースメーカーに使われる。

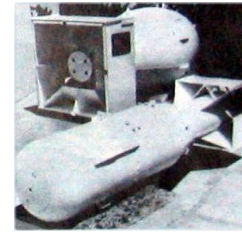
下左 放射性同位体、ラジオアイソトープ (RI) を患者に投与して体内から出る放射線強度を検査するために、腎臓と心臓につけられている探知機。



下右 脳の着色されたX線断層撮影。映像は、放射性物質を静脈に注射したあと、組織にX線を照射することによって生じる。赤は最大の放射能を、黒は放射能が存在しないことを示す。



左 ごみ缶に詰めかえられている、放射性廃棄物。
 右 長崎に投下された爆弾「ファットマン」補注 131 (下) は、プルトニウムの放射性同位体 (質量数 239) をベースにしている。



第144章 エンリコ・フェルミ(1901-1954)

イタリアの物理学者エンリコ・フェルミは、人類初の原子炉を設計製作して、原子力時代を築くひとりになった。なかんずく、核の連鎖反応を制御装置によって安全に操作する問題を解決したのが、フェルミなのである。

フェルミはローマに生まれ、ピサ大学で物理学を専攻し、1922 年に博士号を取得する。彼は中性子の研究活動に没頭し、この功績により 1938 年ノーベル物理学賞の受賞者に選ばれた。当時のイタリア首相、ムッソリーニはフェルミに、ファシスト党の制服を着用してストックホルムのノーベル賞授与式に臨めと要請した。筋金入りの反ファシストであったフェルミは、断固としてこれを拒む。イタリア報道機関は猛烈な非難活動を展開しはじめ、フェルミはやむなくユダヤ人の妻とともにストックホルムからアメリカへ渡り、シカゴに定住した。

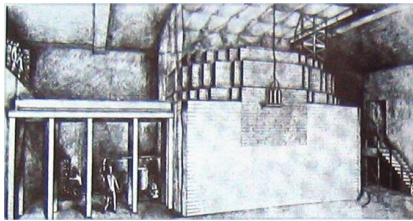
放射性ウラン元素は莫大なエネルギーを格安に供給する道を開くはずである、と科学者たちにはわかっていた。問題は、核爆発を誘発せずに、エネルギーを利用する点にあった。ウランの原子核分裂がエネルギー源である。核分裂、すなわち、ある元素の原子核が異なる元素の新しい原子核 2 個補注 132 に分裂するとき、中性子とエネルギーが熱と光の形で放出される。中性子はさらに別な原子核の分裂をひきおこすとともに、理論上は分裂エネルギーの恒常的な流れをつくる、自動継続型の連鎖反応をおこす可能性がある補注 133。特に、連鎖反応が異常に加速することは、過熱とついには核爆発をまねきかねないので、ぜひとも阻止する必要があった。

フェルミおよびアルベルト・アインシュタインを含む、数人の著名な科学者たちは、核分裂の過程が恐るべき兵器—原子爆弾—の製造に利用されかねないことに気づき、書簡をもってルーズベルト米国大統領に、ヒトラーがこの種の兵器をつくらせる危険性について注意を喚起した。米国政府はただちに呼応し、機能的な原子炉第一号の設計を任務とする、研究チームの指導者にフェルミを任命した。フェルミは中性子物理学の知識によって、まもなく、連鎖反応を制御する方法をみいだした。つまり、原子炉の作動状態を制御するために、炉内に出し入れして反応度を加減することができる、中性子を吸収しやすいカドミウムの棒〔制御棒〕を用いることにしたのである。

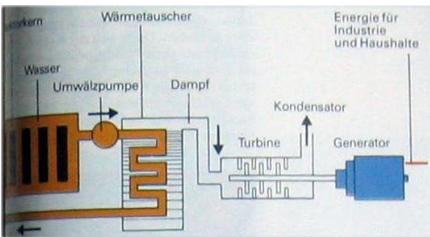
フェルミ研究班は製作にとりかかり、1942 年に最初のテストをおこなうことがで

きた。フェルミには重大な瞬間であった。彼の設計に欠陥があれば、原子炉は一瞬にして原子爆弾と化し、シカゴを広範囲に破壊するかもしれない。12月2日、シカゴ大学の運動場で炉内のカドミウム棒が抜かれ、核分裂がはじまった。制御棒がさらに引きだれると、自動継続型の連鎖反応がおきた。しかるべき調整によって、フェルミの考えは正しく、原子炉が順調に作動していることが、まもなく明らかになった。成功を伝える暗号電報が政府に打電される：「イタリアの航海士、新世界に入港す」。フェルミの業績は確かに新世界の前触れであった―無尽蔵なエネルギーの約束に、潜在的な危険が暗い影を落とす、新世界の！

フェルミの歴史的実験以来、原子炉の技術は予想外に発展し、出力を制御し放射強度を点検するために、新しい複雑な制御装置をつくりだした。しかしながら、わずか一件の核事故さえも町全体を破壊しかねない危険と、死をもたらす核廃棄物の貯蔵問題は、フェルミ時代には想像もつかなかった、公開討論の対象となっている。核エネルギーの利用を促進すべきか、制限すべきか、それとも完全に中止すべきか、人々ははじめて真剣に討議しなければならない時期にさしかかっている。



上中央 1942年12月2日に連鎖反応をおこした原子炉のスケッチ。これは世界最初の原子炉である。
上右 直径約60cmのウラン精鉱。



中左 原子力発電の工程図。

中中央 英国ウィンフリスの加圧水型原子炉のボイラー内の核燃料板。
「チェレンコフ放



射」補注134が明瞭に認められる。

中右 現代のガス冷却（式原子）炉の燃料要素。

下 「ノーチラス号」、世界初の米国原子力潜水艦（1955年）。

第145章 フェリクス・ヴァンケル(1902-[1988])

ガソリンの熱エネルギーが、往復式ピストン運動を経由することなく、直接に回

転エネルギーに変換できれば、燃料と空間は大幅に節約されるだろう、と多くの技術者が気づいていた。事実いくつかのエンジンが組み立てられたが、フェリクス・ヴァンケルの設計したものほど、首尾一貫して回転ピストンの原理に基づくエンジンはなかった。

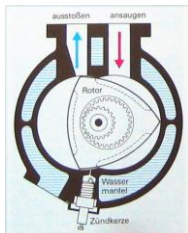
フェリクス・ヴァンケルはドイツのルールに生まれる。1930 年代終わってから第二次世界大戦のあいだ回転弁とバルブ密封技術の研究にはげんでいた。1951 年、ネッカルズルム・モーター製作所に入社し、ロータリーエンジンを設計しはじめた。1957 年までに実用試作品をつくり、必要な特殊工具も含め、一連の特許を出願した。

ヴァンケルのロータリーエンジンは、従来のニコラウス・オットー式 4 サイクルエンジンと異なり、ピストンが気筒^{シリンダー}内で往復運動をしない。その代わりに、三角形のピストンがローターそのものになっている。ローター（回転ピストン）は、中央がやや狭い楕円形のケーシング（ローターハウジング）内で回転する。ローターの 3 個の頂点は、ぴったりとケーシング内壁に密接している結果、3 つの互いに隔離した三日月形の小室ができる。ローターがまわると、気化器が相前後して各室へ燃料と空気の混合気を送りこむ。混合気は圧縮されたあと、点火プラグによって点火し、膨張し、排気弁を通して放出される。吸気および排気弁は、ローターの回転によって自動的に開閉する。こうしてロータリーエンジンは 1 回転中に 3 回の有効作業をおこなう補注 135 が、オットー機関では 4 サイクル〔ピストン往復〕ごとに 1 度の有効作業しかない。ローターと連結している中心軸がローターを回転させる。ローター自体は歯車装置^{ギア}によって出力軸と接続している。ローターの内歯歯車は、出力軸の歯車〔固定外歯〕より歯数が 3 倍多く、したがって、出力軸はローターよりも 3 倍早く回転する。

このような性状をもつエンジンはきわめて静かに作動し、同じ出力のオットー機関と比べれば、はるかに小型である。ヴァンケル機関（ロータリーエンジン）は、未来のエンジンとなりうる長所を、さらに 2 点そなえている補注 136。燃費がよいこと。部品が少ないために生産費が低いことである。

主要な問題は、回転エンジン（ローター）の頂点がケーシング内面に密接しなければならない点にある。3 個の空間相互のいかなる連結も、圧力の減少とともに効率の低下をきたす。それゆえヴァンケルはバネつき密封板システムを設計した。

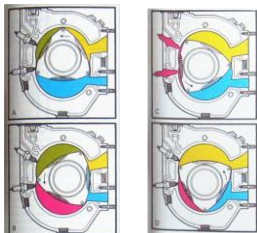
ヴァンケル^{エンジン}機関で動く最初の車は、1968 年ドイツで製造された。オットー機関をしのぐヴァンケルの優越性は、外国の自動車メーカー、とりわけ、アメリカのジェネラルモーターズ、イギリスのロールスロイス、イタリアのアルファロメオ、フランスのシトロエン、日本のトヨタなどにライセンスを取得させるきっかけとなった。あるメーカーは、80 年代には自社で生産される 10 台のうち 8 台の車がヴァンケルエンジンを搭載するだろう、と予測している。



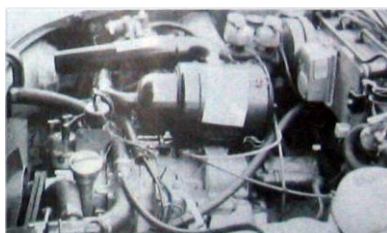
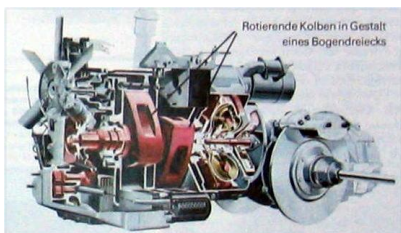
上中央 ヴァンケルエンジンの断面図は、燃焼室内の回転ピストン（ローター）、主要軸、歯車装置、それに水冷フィンを示している。

上右 ヴァンケルエンジンの内部構造。ローターが中央の歯車（出力ギア）のまわりを回転するとき、三角形の3つの頂点はケー

ーシング内面と不断に密接している。空気と燃料の混合気は吸気口を通して吸入され、ローターの回転中に圧縮される。次に、混合気は点火プラグによって爆発し、動力がうまれる。排気口を通して排気ガスは排出され、再び全行程が繰り返される。



中 ドイツ NSU 社製ヴァンケルエンジンの4サイクルシステムの行程。燃料（黄）が入り、圧縮される（茶）。2個の点火プラグが同時に燃料（いまや赤）に点火し、最後に、排気ガス（青）は回転ピストンによっ



て放出される。

下左 NSU 社製 R080 に使用されたヴァンケルエンジン。

下右 NSU 社製 R080 の概観。

第146章 ジョン・ロバート・オッペンハイマー(1904-1967)

ジョン・ロバート・オッペンハイマーは管理者、物理学者、数学者、研究者ならびに教育者として傑出していた。なかんずく、第二次世界大戦末期に世界発の原子爆弾を開発した、マンハッタン計画の指導者としてよく知られている。

オッペンハイマーはニューヨークに生まれ、ハーバード大学で古典語学、オリエント学および自然科学を学び、1925年に卒業した。ひきつづき、原子核研究の当時世界の中心であった、ケンブリッジ大学キャヴェンディッシュ研究所のアーネスト・ラザフォードのもとでしばらく研究するために、イギリスへ渡った。計4年間ヨーロッパですごした。オッペンハイマーは特に量子論と波動力学に興味をもち、やがて、不世出の知性豊かな理論物理学者と認められるようになる。さらに、いくつかの論文を発表して脚光を浴び、多くの卓越した科学者から研究活動に参加するよう招請された。

1929年、オッペンハイマーはバークレーのカリフォルニア大学とカリフォルニア工科大学からの^{しょうへい}招聘に応じた。以後18年間はオッペンハイマーの理論物理学者としての絶頂期である。彼の分析は中性子、陽電子、^{ボジトロン}中間子など、原子を構成するさまざまな素粒子の発見を先取りした。オッペンハイマーはまたすばらしい教師であ

り、アメリカえり抜きの物理学者を多数育成している。

ナチ党の政権掌握とスペイン内戦の勃発^{ぼっぱつ}後は一步も譲らない反ファシズムの立場をとった。その時期にもオッペンハイマーは特殊な研究計画をつづけ、マックス・プランク量子論が原子物理学におよぼす影響を調べていた。

30年代の核物理学は、核分裂によって放出されるエネルギーで連鎖反応を引き起こすことができる、と考える水準にまで達していた。ウランは核分裂に好適な物質とみられ、約30gの核分裂はトリニトロトルエン (TNT) 600^トの破壊力に相当するだろうと見積もられていた。

しかし、このような爆弾を製造するには、時間のかかる研究をしなければならなかった。核分裂にとりわけ適した、不安定なウランの同位体、たとえばウラン235 (235U) のような純粋ウランを単離し濃縮することもむずかしかった。のちにプルトニウム239 (239P) が適当な代替物として発見された。ルーズベルト米国大統領は1941年12月6日、日本の真珠湾攻撃とアメリカ参戦の前日に、アメリカやイギリス、それにイタリアの物理学者エンリコ・フェルミのようなファシズムを恐れて亡命してきた一流の科学者たちが参画し、原子爆弾を現実^{えんきよく}に開発する任にあたる、「マンハッタン工兵管区」と婉曲^{えんきよく}に命名された計画を立ちあげる決定をくだした。1942年6月以降、ジョン・ロバート・オッペンハイマーが指揮をとり、その後公式に「Y計画」と呼ばれるようになった。

準備作業はさまざまな場所でおこなわれたが、同時に、オッペンハイマーの指揮で、研究プロジェクト全体をニューメキシコ州ロス・アラモスに移す計画がすすめられた。難題は限りなく、一点の問題解決は無数の新たな問題を投げかけた。十分な数量のウラン235とプルトニウム239を得ることも、相変わらず悩みの種であった。1945年4月、ルーズベルトが急死し、トルーマンが大統領に就任したとき、ヨーロッパにおける勝利はもはや時間の問題であり、日本が攻撃目標になっていた。

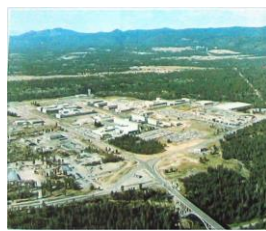
1945年7月16日、プルトニウム爆弾がニューメキシコ砂漠で炸裂^{さくれつ}した。爆発力は2万^トのTNTに匹敵し、あらゆる予想をうわまわった。同年8月6日、最初のウラン爆弾が広島に、その3日後にプルトニウム爆弾が長崎に落とされた。生き地獄と化した両都市の惨状は筆舌に尽くしがたく、8月10日、日本はついに降伏した。

戦後、オッペンハイマーは米国原子力委員会一般諮問委員会の議長になるが、他の委員とともにさらに戦慄^{せんりつ}すべき兵器—水素爆弾—の開発に決然と反対し、国家に奉仕する科学の役割について基本的問題を提起した。

水爆反対が少なくとも一理由となつて、オッペンハイマーは1953年に人物保証^{はくだつ}を剥奪された。冷戦構造のなかでマッカーシー補注137時代の肅清が頂点に達し、オッペンハイマーは、30年代に反ファシズム左翼急進派と連携したとして、共産党^{シンパ}の同調者と指弾をうけるにいたった。

オッペンハイマーは引き続きプリンストン高等研究所所長にとどまったが、上記の事件で輝かしい経歴は終わりを告げた。オッペンハイマーは、学問の良心と政治

の要請とのほざまで妥協を探らざるをえない、科学者の象徴になった。最期の数年間、彼は人間の知的および道徳的不可侵性の問題を定義しようとした。1963年、オッペンハイマーはジョンソン大統領から米国原子力委員会のフェルミ賞を贈呈されたが、これは50年代の差別待遇に対する暗黙の謝罪と一般にうけとられている。

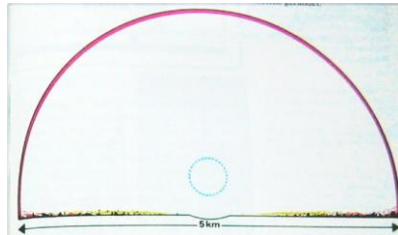
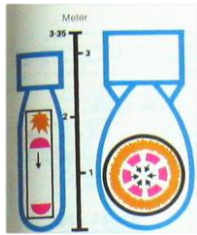


上中央 「エノラ・ゲイ」—広島に人類初の原爆を投下した爆撃機 [B29] で、パイロットの妻の名前にちなんでつけられた。

上右 ロス・アラモス研究センター。総面積 48 平方kmにおよび、実験室、技術センターならびに管理棟、住宅、買い物施設がある。

中 「リトルボーイ」と「ファットマン」、広島と長崎に投下された爆弾。両者の場合、未臨界量の核分裂性物質が通常の爆薬とともに点火された。

下 超高速カメラで撮影



された、ネバダ砂漠における原爆の実験爆発当初のミリセカンド。撮影の瞬間にはまだ音波も圧力波も、また破壊もいっさい発生していない。



第147章 チェスター・フロイド・カールソン(1906-1968)

アメリカの技術者チェスター・フロイド・カールソンは静電式複写機を発明した。操作が簡単なうえに、きわめて高速であり、複写工程に謄写版原紙も化学溶液も専門家も必要としない、最初の複写機である。

現代のビジネスライフと学術研究の需要に応じて、種々さまざまな複写システムの発明がうながされた。あるものは、複写をはじめるまえに、まず謄写版原紙を特殊な用具のうえで書く必要があった。またあるものは、熱または赤外線に基づき、この「サーモファックス」と呼ばれる複写法では、原本のうえに複写用紙を重ねて、赤外線が照射される。活字体文字の黒が熱または赤外線を吸収して温度が上昇する結果、複写用紙の感熱層が発色反応を起こし、文字を再現するのである。

「ゼログラフィー」すなわち静電式複写法は、上記とまったく異なる原理に基づいている補注 138。それは最初チェスター・F・カールソンによって探求された。カールソンはカリフォルニア工科大学に学び、のちにニューヨークの大手電子機器企業の特許部に勤め口を見つけた。青写真と特許説明の写しをつくることが恒常的な課題であり、大きな仕事の妨げになっていたので、カールソンは高速で、読みやすい、安価な複写法を求めはじめた。

カールソンは 4 年のあいだ静電式複写法を開発しようと種々の可能性を探り、

1938 年にはじめて同方式による文書のコピーを作成した。この転写法は、電流を暗所では通さないが、明所では〔電気抵抗が低下して〕伝導性を示す、半導体のセレンを利用した。カールソン方式では、コピーすべき文書が鏡によって読みとられる。鏡はその写像を、荷電セレン〔補注 139〕を塗布した亜鉛板上に反射する。写像の暗部が反射される個所では、セレンは静電荷を保持するが、明所では光^{ひかり}伝導性になる。

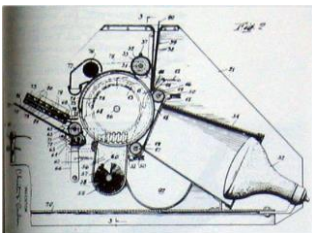
その後、正電荷を帯びた（暗い）個所だけに付着する、負電荷の着色微粉末〔現像剤トナー〕を、亜鉛板〔またはドラム〕にふりかける。そうすると、粉末は逆の＋電荷を与えられた印刷用紙にひきつけられて、粉像が紙に転写される。結果は原文書の鮮明なコピーである。

カールソンは、最初の実用複写機を製作したあと、財政支援を求めて 6 年間むなしい努力をかさねる。ようやく 1947 年、最後の短い研究期間をへて、ニューヨークのある小企業―ハロイド社―が生産・販売権を譲り受けることに同意した。やがて、ハロイド社は巨大なゼロックス社へと発展し、カールソンも特許料と株式配当金のおかげで富豪になった。

ゼロックスその他の複写機は、いまや事務所の標準装備になり、あらゆる字体と線画の鮮明なコピーが作成される。今日ではカラーコピーも、拡大や縮小も可能である。



上中央 最初のゼログラフィー方式によるコピーは、1938年10月22日、カールソンとオート・コルナイによって作成された。当



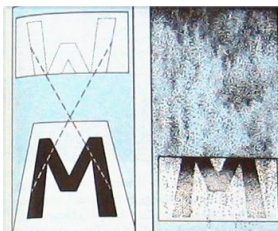
時「電子複写法」として知られた方法は、合成樹脂粉を用い、文字は蠟紙に定着された。

上右 ゼログラフィーの初期段階（1948 年）には、プリントはセレン板からはがされ、そのあと、着色微粉末を印刷用紙に融着させるために、加熱された。

中左 カールソンの電子複写機の特許申請図面。

中右 カールソンのオリジナル機。特許は 1940 年

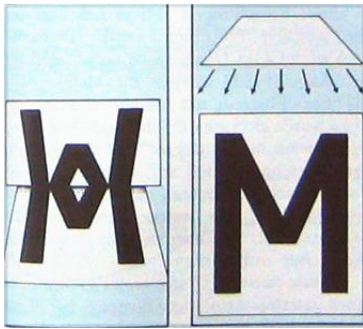
に出願された。



下 現代複写機の工程。方法は本質的にカールソンのオリジナル機に似ている。

1) コピーすべき文書の光像は、レンズを通して〔絶縁性〕光導電体層表面、たとえばセレン〔半導体〕でおおった静電荷の亜鉛板〔ドラム〕上に投影される。光のあった部分は半導体層が光の影響に応じて放電する結果、静電潜像が形成される。

2) 静電潜像に合成樹脂粉〔トナー〕をふりかけると、その粉末は亜



鉛板の帯電部分に、それぞれの電荷に応じて、付着する。

左 現代複写機の工程—3) この粉像は、同じく電荷を帯びた印刷用紙に転写される。

4) 転写された粉像は熱を加えて紙に定着させる。

右 ランク・ゼロックス 3600 コピー機—時間工率からそう名づけられた。さらに最近の複写機は2倍の仕事量をこなし、自動的に仕分け、縮小し、写真をコピーすることができる。



第148章 フランク・ホイットル卿(1907-[1996])

若いイギリスのテストパイロットで航空技術者フランク・ホイットルによるターボジェットエンジンの開発は、軍用機や誘導ミサイルにはじまり、旅客機、ヘリコプターにいたるまで、全航空産業に革命をもたらした。ピストン内燃機関〔ピストンエンジン・プロペラ推進システム〕に比べて、ジェット推進機関（ターボジェットエンジン）は、驚異的な推力のわりには小型軽量で機動性に富み、この利点のちに超音速飛行をも可能にした。

1921年、「英国航空機工場」の技術者 A. A. グリフィスは、燃焼ガスをタービンのなかで完全に爆発させて発生した動力がプロペラ、圧縮機および補助駆動装置に送りこまれる、最初的气タービンエンジン補注 140 をテストした。この実験が若い空軍大尉フランク・ホイットルをターボジェットエンジンの設計へと駆りたてた。1930年、ホイットルはターボジェットエンジン最初の特許説明書を提出した。ターボジェットエンジンでは、圧縮機が流入空気を燃焼室内よりも高い有効圧力まで圧縮したのち、燃焼室に導き、燃料を加えて可燃混合気を燃焼させる。こうして得られた燃焼ガスを、〔圧縮機駆動用のタービンを通したあと、〕ジェットノズルから間断なく噴射させる。この噴射による恒常的超過圧の反動が、じかに推力として利用された。

当初、ホイットルは計画についてイギリス航空省の関心をひきつけることができず、補助金も得られなかった。また、適当な耐熱性の合金も、容易に見つからなかった。やっと 1935 年、ホイットルが新設の企業「ジェット研究有限会社」に配置換えされたとき、事態は好転したらしい。

その間にドイツでは、「ハインケル飛行機製作所」の社主、エルンスト・ハインケルが 1936 年に航空設計士ハンス・フォン・オハインを雇用し、ジェットエンジンの開発を命じた。オハインはホイットルといっさい無関係に研究しながら、同じ原理に基づいていた。豊富な資金にものをいわせ、オハインは急速に成果をあげ、1939 年 8 月 27 日、「ハインケル 178」が史上初のジェット機として離陸した。

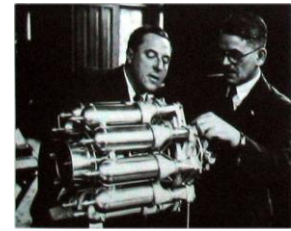
「ハインケル 178」は完全な成功をおさめるが、第二次世界大戦の開始とともに、

ドイツ当局は、ロケットの開発に全力を傾注せよ、と決定をくだした。オハインは1942年に最初のジェット戦闘機、「メッサーシュミット 262」を開発したが、戦局を転換させるには遅すぎた。

ホイットルは1937年 はじめてターボジェットエンジンを試運転し、1941年5月15日には同エンジンを搭載した「グロスターE28/39」が処女飛行した。1カ月後に試作モデルがアメリカに空輸され、米国初の実験用ジェット機「XP-59A」に搭載するエンジンのひな型となり、同機の処女飛行は1942年10月におこなわれた。その後、懸命の作業がはじまり、数機のジェット機が大戦末期に投入されたが、これもまた戦争の結果にもはやさしたる影響を与えなかった。

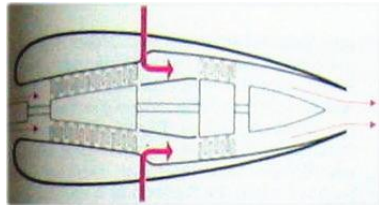
大戦後にホイットルのターボジェット機は急速な発展をとげる。朝鮮戦争中[1950ー53年]にはじめてジェット戦闘機が大規模に投入された。民間航空にもジェットエンジンが導入され、いつのまにかプロペラ機をほとんど駆逐してしまった。

左 第二次世界大戦末期に投入された、英国の双発ジェット戦闘機「ミーティア・マーク Meteor Mark III」。

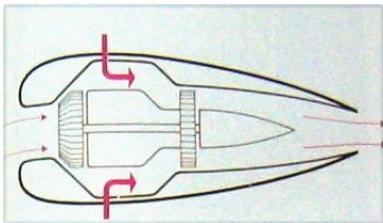


右 ホイットル（右）が産業担当通信員に

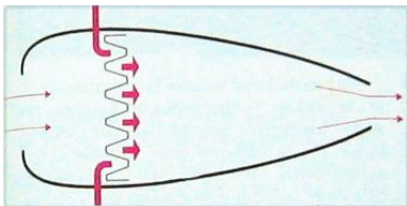
初期のジェットエンジンを説明している。



E 1 ターボプロップエンジン。延長されたタービン軸は遊星歯車装置を経由してプロペラを駆動させる。ターボプロップエンジンは飛行距離が限定された低速機に利用されている。

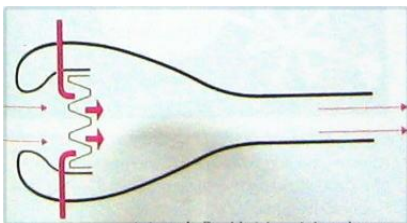


E 2 ターボ圧縮機と唯一の噴射口をもつターボジェットエンジン。流入空気は圧縮されて燃料室へ送られ、そこで燃料をまぜ、点火して燃焼させる。超過圧で噴出する燃焼ガスは、推力として利用される。その際、噴出する燃焼ガスは、まず1段または多段式軸流タービン〔圧縮機駆動用タービン〕を貫



流したのち、加速噴射口から外へ噴射する。

E 3 ラムジェットエンジンは、散気筒、燃焼室およびジェットノズルのみで構成され、エンジン自体は可動部品をそなえていない。燃焼空気は、高速前進運動によってエンジンが始動するまえに生じる、動圧で引き込まれる。ラムジェットエンジンは自力では離陸できず、まず牽引してもらわなければならない。ラムジェットエンジンの経済性は高い超音速になってようやく発揮される補注 141。



E 4 パルスジェットエンジンは、まず圧搾空気と燃料で満たされる、燃焼室で構成されている。点火によって混合ガスが突然して、流出ノズルから後方に噴出し、その際に短い推進パルスが生じる。そうして燃焼室内の圧力が低下

すると、前方の空気取り入れ口の逆止弁が再び開き、新鮮な空気が流入し、燃料が吸引される。



左 ドイツの「ハインケル 178」。ターボジェットエンジンを搭載した世界で最初の飛行機。

右 最初のジェット戦闘機「メッサーシュミット」の原型。ハインケル機を発展させたもので、第二次世界大戦に限られた範囲で投入された。

下右 デ・ハビランド・コメット 4C 型機、民間航空最初のジェット機。イギリスで開発され、1952 年にロンドン—ヨハネスバーク間の旅客輸送に就航した。



第149章 エドウィン・ランド(1909-[1991])

エドウィン・ランドは、露光した直後に陽画が得られる、ポラロイド方式を発明した。ジョージ・イーストマンによるロールフィルム発明以来、写真技術史上最大の進歩とみられる。

物理学者エドウィン・ハーバート・ランドは、ハーバード大学在学中すでに偏光の性質に関心をよせた。自然光の電磁場ベクトルの振動面（振動方向）は、通常なら考えられるあらゆる位相をとる（非偏光）。しかしながら特定のプリズム配列は、一平面内の振動だけを通過させる（直線偏光）。偏光した光線は、最初の偏光プリズムに対して 90 度回転させた、第二の偏光プリズムを通せば、完全に消える。この現象は一平行な層をなし、偏光力が強い、結晶の薄層でできている一偏光フィルターで活用されている。

当時の偏光器具はきわめて高価であったため、ランドは合成物質による偏光フィルターの製作にとりかかり、1932 年には製品を完成させていた。ランドはその仕事に時間を奪われ、大学を卒業することができなかったが、偏光とその用途について研究をつづけた。1937 年マサチューセッツ州にポラロイド社を創設し、さらに発明を発展させ、生産品目をひろげた。偏光フィルターは多くの学術器具や光学器具、たとえば写真機に邪魔な反射光を遮断する付属フィルターとして、あるいはサングラスなどにも用いられている。

1941 年、ランドはさらに別種の偏光子を開発し、自動車のヘッドライトに適したシステムを実演し、また立体映画映写法を考案した。第二次世界大戦中には、偏光子を軍事目的、たとえば距離計や望遠照準器に適合させ、また暗視装置のような光学器具の製作にも従事した。

1948 年、ランドは自分の発明したなかでおそらく最も著名なもの—「ポラロイド・ランド・カメラ」—を商品化した。ポラロイド写真は、いわば独自の現像室をもち、露光後 1 分たらずで完成した陽画をつくることができる。このような特殊器

材は、感光層シート（陰画紙^{ネガ}）、受像層シート（陽画紙^{ポジ}）、露光後均一に拡散し、両シートを一体化させる、処理液「を含むさや状の袋」でできている。「露光によって感光層に」白黒の潜像が生じると、処理液は露光の程度に応じてハロゲン化銀を「銀に還元し、目に見える黒化、つまり」現像するとともに、現像されなかったハロゲン化銀は、「処理液中のハロゲン化銀溶剤に」溶解され「銀錯体とな」る。溶解した銀錯体は受像層シートへ転写されて、ポジ画像をうむ補注 142。最後に 2 枚のシートを引き離すことができる。ポラロイド方式はアマやプロの写真に多用されるばかりでなく、科学や産業でも利用された。フィルムはロール、パック、バラの形などがあつた。

1963 年にポーラカラー方式が導入された。多層インスタントカラーフィルムは、感光乳剤と色素現像薬、すなわち、色彩も再現し、潜像の現像もする物質でできている。このフィルムは 1 分以内に安定したフルカラーの写真をつくることができる。

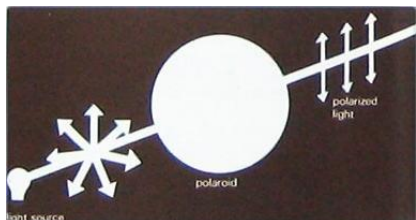
化学、電子工学および光学分野での新たな革新は、ランドが 1972 年に発表する、SX-70 方式へと導いた。SX-70 型カメラは、完全自動式であり、同期調整された過程ですでにネガから剥離^{はくり}されている、完成したカラー写真を提供する。1977 年、ランドは「ポーラビジョン」—その場で現像される幅の狭い（8 ミリ、16 ミリの）フィルムを用いた最初のシステム「映写機」—を市場にだした。フィルムは露光、現像されて、密閉したカセット内から取り出すことなく、そのまま上映される。色彩現象を研究するうちに、ランドは色知覚の理論根拠を評価しなおす気になり、ひきつづき実験作業をかさねて「レチネックス」理論をたてた。

ランドはこうしたあらゆる領域で検査をつづけ、つねに応用面の成果をあげようと努力する、すぐれた科学者の模範になった。



上中央 アクリル樹脂の光学的応力解析。右半分は偏光フィルターでおおわれている。フィルターごしにさしこむ光は偏光し、張りつめた部品の模様を示す。

上右 ロールフィルム・カメラ「モデル 95」—最初のポラロイドランドカメラ。1948 年



に 40 型フィルムとともに市場にだされた。

下左 偏光の過程。ランプ光の振動面は、車輪のスポークのように、あらゆる方向に動く。偏光を生じさせる物質は、一定面内の振動だけを通す結果、図表が示すように、直線偏光が発生する。

下右 ポーラロスコープを通せば、継続的負荷をうけるボールベアリングには、恒常的な圧力の線にそって、明暗の縞^{しま}が認められる。



左 革命的ポラロイドランドカメラ SX-70。

右 露光された SX-70 型フィルム画像は、カメラで自動的につくりだされた直後には、青緑色に見える。数瞬間以内に、きわめて明

るい日光のなかでさえ、カラー写真があらわれる。数分もすれば、完全に鮮明な写真となる。

第150章 ジャック・イヴ・クストー(1910-[1997])

フランスの海底探検家ジャック・イヴ・クストーは、海洋生物の映画で知られている。これまで探究されなかった世界は、クストーの発明—潜水具「アクアラング」[補注 143](#)—によってあばかれるようになった。

海洋生物を観察しようとし、あるいは魚のように自由に泳ぎたくても、ヒトにはその際ぜひとも克服しなければならない問題がある。ちょうど適度な圧力、つまり、ヒトは深くもぐるほど高圧の空気をたえず補給する必要がある。さもないと、肺は空気を摂取することができない[補注 144](#)。

時代が経過するうちに、[潜水器](#)や潜水服は開発された。しかし、水面下を自由に泳ぐには、身に背負うことができる、空気の蓄えが必要である。ガスを圧縮する技術が開発されると、簡単な酸素吸入装置はつくられたが、危険きわまりない代物であった。

この問題は、フランスの海軍士官—1941 年にはじめて水中漁獲の記録映画を撮影した、経験豊かなダイバー—ジャック・イヴ・クストーの関心をひいた。当時のフランスはドイツ占領下にあり、反ナチス海軍秘密情報機関につとめていたクストーは、敵艦に妨害工作をおこなう抵抗戦士のためには、自給式呼吸システムがおおいに役だつであろうと見抜いた。その潜水器は、空気を適正な圧力で、そのつど必要な量を送るものでなければならない。

1942 年、クストーは、自動減圧弁を専門に扱っているフランス技師、エミル・ガニャンに出会い、家庭用ガスを自動車へポンプで送るためにガニャン自身が開発した弁をみせてもらった。二人は弁を圧縮空気ボンベに適合させて、弁が環境水圧に応じて空気供給を調整するようにした。新鮮な携帯空気は、圧力調整弁を通して吸い込まれ、逆止め弁を通して周囲の水中に吐き出される。二つの弁は、空気圧の差を最小限におさえるため、並べてとりつけられた。さもないと、圧力差によって空気の補給が遮断されかねないからであった。

クストーはパリの試験用水槽のなかで「アクアラング」の実験をした。発明がドイツ当局に知られないよう、実験は極秘裡におこなわれた。1943 年、クストーはフランスのリビエラにある人里離れたところで潜水器の海中テストをした。彼が海に

はいっているあいだ、妻とダイバー仲間は事故にそなえて岸边に待機していた。クストーは自由に息をしながら魚のように泳ぐことができた、最初の人類である。1回目の実験で水深 20m 足らずに達し、実験をかさねるたびに深くもぐっていった。

自給気式潜水器「アクアラング」は、クストーにそれまで予期しなかった展望を開いた。扱いにくいスノーケルから解放され、彼は海中で、まず沈没船を撮影しはじめた。この同目的のために、英国のもと掃海艇であった、「カリプソ号」の指揮を引き受ける。クストーは、カリプソ号を海洋調査船に改造し、今日もあらゆる可能な映画企画に利用している。

生物学の専門教育を受けていないが、クストーは海洋生物学の研究に手をそめた。1953 年に水中で世界最初のテレビ撮影をし、視聴者をクストーの観察に参加させた。以来、彼のフィルムは世界的な人気を博している。

このほかクストーが考案したものに、「コンシェルフ」がある。コンセルフとは、ダイバーが長い調査期間に住める、一連の海底居住設備のことである。第一棟は 1962 年に完成した。

いまでもクストーは海洋研究に献身し、特に、海洋汚染と海洋資源の乱獲問題に取り組む、そのためにクストー協会をアメリカに設立している。^{けいもう}啓蒙的でおもしろい彼の映画は、人々に海洋をいちだんと深く理解させ、彼のアクアラングをつければ、ヒトも魚のように泳ぐことができる。



上右 最新のアクアラング。

下左 クストーの潜水艇。この自由に泳ぐ深海潜水調査艇は、外側に機械仕掛けの腕をそなえ、噴射水流によって推進する。乗組員 2 名で 300m まで潜水することができる。

下右 紅海のへんびな Sh'ab Rumi 礁ぞいのコン



シェルフ
Ⅱ。クス
トー第二
の海底居
住群は全
体がヒト
デの形を

した管で構成され、一軒の家というよりもむしろ村落に似ている。1943 年に 5 人がそこで 1 カ月間生活した。彼らは潜水能力や肉体条件からではなく、機械工、調理師あるいは科学者としての技能に基づいて選ばれた。クストーは深度記録を破るためではなく—コンセルフの位置は海面下約 11m にすぎず—未来の海底社会の可能性を確かめようとしたのである。

第151章 クリストファー・コッカレル(1910-)

ホバークラフトは、車輪がなく、空気の噴流によって機体の平らな下面のしたに生じる、圧縮された空^{エアクッション}気層に支えられて水面（または地面）近くを浮上して航走する。実用向きのモデル第一号は、1959年、イギリスの技術者クリストファー・コッカレル卿によって建造された。

イギリスの商品名「ホバークラフト」は、今日では「エアクッション船」の広く普及した類義概念になっている。機体と水面とのあいだに空気層を保持して航走させる「船」を計画した先覚者は、英国海軍最初の魚雷艇を設計した海軍技師、ジョン・ソーニクロフト卿である。1877年にソーニクロフトは、空洞のある船底へ空気をポンプで送ることができる、船の特許を取得した。船腹にはたらく空気抵抗を減少させることを主眼にしていた。主要な難関は、クッション効果をもたらす、圧力を維持する点にあった。1950年代の初頭まで、ごくわずかな進歩しかみられず、技術者数人が改めて難問に挑戦しようと決心した。

その一人が、造船部門へ^{くらが}鞍替えしていた、電子工学技術者クリストファー・コッカレルである。水と船腹間の摩擦が空気の間層を介して減少すれば、船の速度は著しく加速されると見抜いた。コッカレルは、ソーニクロフトの構想に依拠しながらも、空気が周辺スリットを通して斜めに内側へ放出されるように変更した補注145。この方法では、「エアカーテン」、すなわち、空^{エアクッション}気層の解放側面に噴き出すことができる、「空気噴流」が発生し、そのあいだじゅうずっと圧力は変わらず一定し、船は水面から浮上をつづける。

コッカレルは自分の考えをまず熱風送風機、調理用はかり、それに数個のブリキ缶でためした。小さい缶をなかに収めた一対の缶に、送風機で空気を吹きつけると、単一の缶の場合よりも相当大きい重量をあげることができた。この実験結果で理論の正しさが裏づけられ、コッカレルは、イギリス政府の財政支援を期待して、計画書を提示し説明した。コッカレルの発明から積載能力の高い新式水陸両用車両が開発される見通しは明白であり、政府も財政支援を認めた。

1959年6月、実用化可能な最初のホバークラフトが大々的に公開された。その「SR1号機」は申し分なく水陸を航走したが、走行面から約20cm浮上したにすぎず、したがって、ほとんど障害のない区間でしか使えなかった。

再びコッカレルは解決策を見だし、硬い下面にフレキシブルスカートを着着することを提案した。SR1号機で詳細にテストしたところ、厚さ1.20mのスカートを装着すれば、高さ1.20mの波浪や1.05mの陸地障害をスムーズに乗り越えられることが判明した。

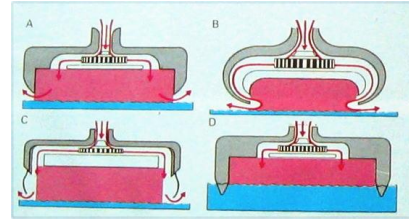
ホバークラフトは従来ヒトをよせつけなかった地域、たとえば生い茂った草地、雪原や湿地、あるいは砂漠の砂地などでも、特に真価を発揮した。さらに水陸両用車両として利用できる。ただ現実には、水上用と陸上用とは違った構造にする必要があることがわかった。

ホバークラフトは近い将来に普通の乗り物にとってかわることはまずないとしても、積載能力や水上での高速性といった長所と役割をもっている。ホバークラフ

トは、将来どのような様相を呈するにせよ、21 世紀の旅客・貨物輸送に重要な役割を果たすことだけは、確かなように思われる。



上中央 周辺噴流原理の最初の公開実演で、コッカレルはブリキ缶、送風機、調理用ばかりを使用した。一対の入れ込めた缶に空気を吹

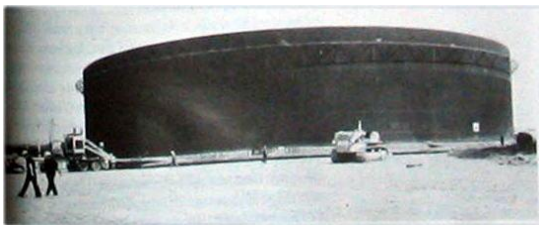


きつけることによって、ただ 1 個の缶の場合よりもはるかに大きい圧力を得た。

上右 4 種のエアクッション形成法。プレナム補注 146・チェンバー (A) へ空気が送りこまれ、空気は単純に艇体下面のしたから抜ける。初期の周辺噴流型 (B) では、空気は周辺スリットを通して斜めに放出される。フレキシブルスカート (C) はホバークラフトを高くする。水陸両用車両 (D) の場合、空気は船首と船尾だけで噴出させ、それによって、もちろん抵抗が強まることをい



中左 ホバークラフトを池でテストしているところ。コッカレルは写



真右側に見える。
中中央 最初
のホバークラ
フト—SR1 号—1959
年製作。
中右 小型二人
乗りホバークラ

フト船、1978 年。

下左 エアクッション原理を使えば、こうした 530t タンクのような重い容器も輸送することができる。

下右 現在最大のホバークラフト、「アン王女」。重量 300 トンで、416 名の乗客を輸送することができる。

第152章 ヴェルンヘア・フォン・ブラウン(1912-1974)

ヴェルンヘア・フォン・ブラウンは、アメリカ最新のロケットエンジンを数多く設計し、人類初の有人月面着陸を成功に導く宇宙飛行作戦を展開した、宇宙用ロケットの先駆者であり、アメリカの宇宙計画立案者である。フォン・ブラウンは、すぐれた工学技術の専門知識を、宇宙空間に降り立つ人類の明確な未来像と結びあわせた。

フォン・ブラウンは[チューリヒ](#)の学校に通い、ベルリン工科大学で機械工学を学ぶために、1930年ドイツへ帰国した。在学中、ロケットづくりに目の色を変える熱狂的なアマチュア集団、「ドイツ宇宙飛行協会」の創立会員となった。協会は設立後2年間に80回以上の発射に成功し、ロケットは高度1.5kmにまで達した。1932年にはドイツ国国防軍がロケット製作者に注目し、翌年、ヒトラーが政権を掌握すると、国防軍は総統にロケット研究センターの設立を進言し、バルト海沿岸のペールミュンデにセンターが建設された。同時に、非軍事用ロケットの実験・研究は禁止された。フォン・ブラウンは新設センターにスカウトされた、最初の技術陣の一人であり、30年代の終わりから戦時中にかけて、強力なロケットエンジンの開発に重要な役割をはたした。

フォン・ブラウン最大の功績は、最初的大型液体長距離ロケット弾、V2号である。幸いV2号は完成時期が遅すぎ、もはや戦争の行方を左右しえなかった。ドイツ降伏後、ブラウンはペールミュンデを去り、アメリカ進駐軍に投降する。従前の仕事やナチ黨員であった経歴にもかかわらず、彼は暖かく米国に迎え入れられ、まもなくアメリカのミサイル研究チームのカギを握る重要人物になった。

50年代はフォン・ブラウンが米ロケット技術開発に主導的役割を演じた。彼の初期設計はV2号に基づくものであったが、新型ブースター[補注 147](#)はまもなくV2号の比較的限定された能力をうわまわるようになった。1958年、フォン・ブラウンは4段ロケット「ジュピター」を完成させて、アメリカ最初の人工衛星を打ちあげた。主として軍用ミサイルを開発していたが、フォン・ブラウン本来の関心は、人類がいつの日にか地球外の星に到達する、有人宇宙飛行の領域にあった。やがて夢を実現する機会が訪れる。合衆国議会が最初の文民組織、アメリカ航空宇宙局 NASA を設立し、有人宇宙飛行の研究計画を委託した。初の研究所員にアメリカ随一のロケット専門家ヴェルンヘア・フォン・ブラウンもくわわった。

つづく数年間、三大宇宙プロジェクト—マーキュリー、ジェミニおよびアポロ計画—の指揮にあたった。フォン・ブラウンの偉業は、月面着陸のシナリオを描き、宇宙船を歴史的旅路に送りだす、巨大ブースターを設計したことである。

フォン・ブラウンの月面着陸構想は、精巧で斬新な3つの部分からなる宇宙船を必要とした。すなわち、燃料とエネルギーの供給ならびに救命システムをそなえた機械船（サービスモジュール[補注 148](#)）、司令船（コマンドモジュール）、着陸船である。彼の計画は次の通り—まず宇宙船を月の公転軌道に乗せ、そのあと、月着陸船を司令船と機械船から切り離す。アポロ宇宙飛行士3名のうち2名が、着陸船で月面に降り立つ。帰還は、着陸船を慎重に離昇させ、「母船」[司令船+機械船]とのランデブーとドッキング作戦を展開する。その後、着陸船は船外投棄することができ、母船は「—機械船のエンジンを噴射し—」月の軌道を離れて地球へむかう。大気圏突入まえに、機械船を切り離し、司令船だけが、乗員とともに、[パラシュートで減速しながら]太平洋用の定められた海域に着水する。

この新奇な構想は輝かしい成果をおさめたが、そのためには、40tの宇宙船を運ぶことのできる、ロケットが必要であった。フォン・ブラウンの解答は、かつて製

作されたことのない強力な打上げ用ロケット—全長 85.7m、2890t の有用荷重をもつ発射質量、推力 3,400,000kp [=kilopound] で、5 基のエンジンが毎秒 13.5t の燃料を燃焼する—「サターンV型ロケット」であった。

アポロの月探査が世界中の報道機関に大きくとりあげられている間に、フォン・ブラウンはすでに有人火星飛行計画を作成していた。だが極端な予算削減措置によって、NASA はあらゆる宇宙飛行計画の包括的中止を余儀なくされる。悲痛な失意と諦念のうちに、ブラウンは NASA を去り、最期まで民間産業 [フェアチャイルド社] ではたらいた。



上左 ロンドをねらって、ペールミュンデから発射された、V2 号。

上右 ヴェルンヘア・フォン・ブラウン（右から二人目）。前景にすわっているのは、1923 年に出版した『惑星空間へのロケット』によってドイツ国内に改めて宇宙飛行への科学的関心を目覚めさせた、

ヘルマン・オーベルトである。オーベルトは、当時の技術手段でも大気圏を超えて飛行可能なロケットを製作しうる、と主張した。さらに、惑星空間への有人宇宙飛行も予言していた。



下左 アメリカ最初の科学衛星「エクスプローラー1 号」を地球周回軌道へ乗せたブースター、「ユピテル1 号」の夜間発射。ユピテルは、米国の V2 号対抗兵器—「レッドストーン」地对地弾道ミサイル—を発展させたものである。

下右 建造中の巨大なサターンV型ロケット。同ロケットは有用荷重 120 トンを [第 1 段と 2 段の推力で] 相当高度な地球周回軌道へ乗せ、 [第 3 段の推力で] 45 トンを月への軌道に乗せることができた。



第153章 ジョーナス・ソーク(1914-[1995])

アメリカの免疫学者ジョーナス・ソークは、ポリオ（脊髄性小児麻痺）のワクチン開発にはじめて成功した。この恐ろしい病気が世界各地で流行していたときに、彼はワクチンを発見したのである。

ジョーナス・ソークは織工の息子としてニューヨークに生まれ、ニューヨーク大学で医学を専攻し、1939 年に卒業した。当初からソークはウイルス—電子顕微鏡でなければ見られない、あの寄生する微小構造体—に興味をもった。1942 年ミシガン大学で研究奨学金を得て、インフルエンザウイルスについて研究をつづけ、ついに疫学講座の助教授となった。

1947 年、ソークはピッツバーグ大学に移り、細菌学の研究教授とウイルス研究実験室長を兼務した。この時点でソークの関心は、まだ予防手段のなかった、ポリオにむきはじめた。

ポリオは地球規模で広がり、1950 年には欧米で数種の疫病が突発した。ポリオウ

ウイルスは[のどから侵入し] 脊髓を侵すことによって、[上下肢などに] 弛緩性麻痺まひをおこし、麻痺はしばしば元どおり回復するが、重症の場合は顕著な障害を残す。

逆説的に響くかもしれないが、衛生面の改善で確かに伝染の危険性は減少するが、疫病発症の可能性は増大する。開発途上国では、幼児はウイルスと接触し、ウイルスに対して免疫になる。衛生水準が高い場合には、自然の抗体はめったに獲得されず、したがって、いったん病原体がそこにもちこまれると流行する。さらに、麻痺をともなう重患の発症率は、幼児よりも年長児がはるかに高いのである。

1953 年ソークは試用ワクチンを開発したことを発表した。「ソークワクチン」は、ホルマリンで不活化されている、当時知られていた 3 種類の小児麻痺病原体（ポリオウイルス）からなり、いくらかペニシリンも含有していた。ソーク本人と妻と 3 人の子供が最初の被験者として接種され、安全で有効なことが実証された。1 年後に、「国立小児麻痺まひ財団」に支援された、集団実験がほぼ 2 百万人の児童を対象に実施された。

腕に注射するソークワクチンのほかに、1961 年、ウイルス学者アルバート・セービンが経口投与のワクチンを開発し、これが現在一般に用いられている。「セービンワクチン」は、免疫効果を保持しながら、毒性を失うまで、人為的な条件もとで培養した、[生きた] 弱毒病原体である補注 149。ポリオの予防接種は、今日では子供に対する定期接種計画に組みこまれ、罹患率は大幅に減少している。ソークはその後ガン研究にむかい、カリフォルニア州ラ・ホーヤで「ソーク生物学的研究所」を主宰している。



上右 エジプトの石板は、片足が小児麻痺で湾曲している、聖職者をあらわしている。
上中央 ピッツバーグ大学で開発された、新しいポリオカラーテストの結果を調べている、ソーク。ウイルスが血液に含まれているかどうか、またどの程度の抗体が存在するかが、テストで確認できる。



上右 1954 年の集団予防接種をおこなっているソーク。
下左 ポリオウイルス II 型の電子顕微鏡写真。
下中央 クロマトグラフィーで血清の成分を検査中のソーク。
下右 ポリオは呼吸麻痺をひきおこすことがある。その場合、患者は「鉄の肺」のなかに横たわらなければならない。

第154章 チャールズ・ハード・タウンズ(1915-)

アメリカの物理学者チャールズ・タウンズ技師は、マイクロ波の増幅法を発明し、のちに同じ手法を光領域に拡張するとともにレーザーの開発に道をつけた。

タウンズはサウスカロライナ州 [グリーンビル] に生まれ、故郷の町の [ファーマン] 大学で物理学を学ぶ。1935 年に卒業し、その後 4 年間研究活動をつづけて、高名なカリフォルニア工科大学でドクターの学位をとった。戦時中タウンズはベル電話研究所につとめ、新しい軍事用レーダー装置の開発にあたった。

ベル電話研究所に在職していたとき、タウンズはマイクロ波物理学について広範な知識を修得した。マイクロ波とは波長 1 デシメートル以下の電磁波である。レーダーや通信システムにとって、マイクロ波（極超短波）は非常に有用であるが、当時は人為的に発生させるのがむずかしく、幾多の物理学者がこの問題を克服しようとしてみている。ベル電話研究所を去り、コロンビア大学自然科学部に奉職していたタウンズも、マイクロ波発振装置の研究にくわわった。

1951 年、タウンズは独創的なすばらしい考えを思いつく。多くの同時代人が新型電子回路を開発しようとしている間に、タウンズは、励起状態補注 150 にある適切な物質の分子が、[外から入射した光の] 弱い高周波電磁場によって、励起する電磁場と同じ周波数、同じ位相の電磁波 [光] を [ねずみ算的に] 誘導放出することに気づいたのである。この「誘導放出」は、物質の分子または原子が、励起状態からエネルギーの低い状態に遷移することで起こる現象である。

1953 年にタウンズはマイクロ波増幅器を完成させた。装置は金属棒の円筒状ケースで構成され、そのなかへアンモニア分子流を通過させ、加熱によってさらに速く振動させる。金属棒は交互に正ないし負に荷電されることによって、電場がつけられ、アンモニアの励起状態にない分子を励起分子から引き離す。励起分子は集束した分子線（分子ビーム）となって空洞共振器へ導入される。ここで励起状態にあるアンモニア分子が外から入射したマイクロ波の刺激によって位相および振動数が一致するマイクロ波を放出して、[つまりアンモニア分子の「誘導放出」によって、] 入射波を増幅する。タウンズのマイクロ波増幅器または発振器は、英語名 Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation（誘導放出によるマイクロ波の増幅）の頭文字をとって、Maser（メーザー）と呼ばれる。

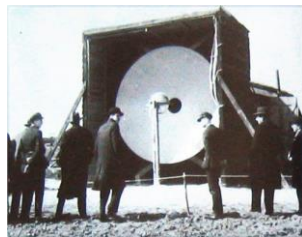
メーザーはまもなく受信用増幅器として、特に弱いマイクロ波信号の受信施設、たとえば人工衛星の無線連絡や電波望遠鏡などに利用されるようになった。

1957 年、マイクロ波増幅法は光波にも転用できるはずである、とタウンズは推論した。この示唆にしたがい、アメリカの物理学者セオドア・メイマンは、3 年後にはじめて「光メーザー」、今日でいう「レーザー」—Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation（誘導放出による光の増幅）の略語—を開発した。

メイマンは内側に鏡面を張りつけたシリンダーを用い、なかにはクロム原子を埋めこみ、前面が鏡になっている、磨きあげられたルビー棒がはめられている。ルビー棒は、周期的に衝撃電流で作動する、螺旋状のフラッシュランプに囲まれている。シ

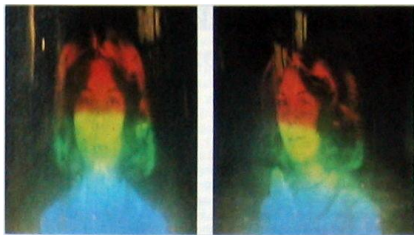
リンダーはフラッシュランプの光をすべてルビー棒に集中する。ルビー棒の前面から発振する「レーザー」光は、シリンダー前額面の穴を通してシリンダーから出てゆく。指向性の鋭い、ほぼ完全な平行「レーザー」ビームは、長距離を経ても取るに足りない面散乱しか生じないために、精密な距離測定、たとえば地球と月との距離が誤差 10 cm 程度まで正確におこなえる。

メイマンの最初の試作品以来、レーザー光線はほとんどあらゆる分野に使いみちを見いだした。科学研究では光の性質について新たな知見を伝え、産業では情報技術、特殊溶接や穿孔法^{せんこう}などに利用されている。レーザー光線はホログラフィーでも、立体像を再生するために活用される。軍事分野では、新しい航法や遠隔操作システムに応用されている。医学ではむずかしい網膜手術に用いられ、いつかガン治療でも革命的な役割を演じるかもしれない。



上右 ドーバー海峡を隔てたマイクロ波の通信実験(1931 年)。写真はフランス側カレー受信局を示す。周波数範囲でマイクロ波が高周波に属することは、広い帯域の周波数変調が搬送できることを意味している。したがって、数千本の長距離電話が同時に唯一の高周波ケーブルで中継され、高周波ケーブルは同様に白黒やカラー

のテレビ放送の中継にも利用される。マイクロ波の別な利点は、波長が短いので、その信号波は比較的小型の反射鏡によって放射することができる。レーザー発明のきっかけをつくったのは、メーザー、すなわちマイクロ波増幅器「または発振器」である。



中 ホログラフィー、レーザー光線で作られる物体像の立体的再生法。コヒーレント光を被写体にあて、被写体を透過した回折光「信号波」が、同じ光源から「半透鏡を介して」得られたコヒーレント光「参照波」とともに、写真乾板「感光材料」に照射される。すると、信号波と参照波とのあいだで干渉が起きる。露光・現像した乾板つまり「干渉縞を記録している」ホログラムを別のコヒーレン

ト光「再生照明光」で照明すると、物体を直接観察する場合と同様に、観察方向につれて変化する、立体像が再生される。



下左 1962 年、レーザー光線が月面に照射された（画面右下の明るい部分）。反射は地上でも気づくほど明るかった。

下右 レーザー光線はアメリカのガン手術で解剖刀の代わりをしている。レーザー光線を使えば、ガン細胞をピンポイントで破壊することができる。したがって、多くの複雑な手術で、たとえば網膜剥離^{はくり}の場合、網膜の縫合に用いられる。



第155章 フランシス・クリック(1916-) ジェームズ・ワトソン(1928-)

生物学における 20 世紀最大の発見は、DNA 構造の発見である。いくつかの科学者グループがこの問題に取り組んでいたが、答えをみつけたのは、イギリスの生物物理学者フランシス・クリックとアメリカの生物学者ジェームズ・ワトソンであった。ワトソン＝クリックの二重らせんモデルは、一つの細胞がいかに自己自身と等しい二つのコピーに分裂し、遺伝情報がいかに貯蔵されるかを示した。

デオキシリボ核酸 (DNA) は、細胞核の基本成分である。DNA [補注 151](#) は遺伝に重要な役割をはたしているとかかなり以前から推測され、DNA は遺伝子—つまり遺伝形質を規定する因子—の本体であるとみられていた。しかし、その構造については、プリン塩基 (アデニンとグアニン)、それよりも小さいピリミジン塩基 (チミンとシトシン)、および糖 (デオキシリボース)、リン酸で形成されているという以外、ほとんど知られていなかった。要するに、こうした化学物質がなんらかの方法で結合し、とてつもなく大きな分子—巨大分子—を形成している、と考えるしかなかった。

ジェームズ・ワトソンは、英国の生物物理学者モーリス・ウィルキンズに DNA の X 線構造解析を示されて、DNA に関心をもつようになった。1951 年、ワトソンはタンパク質の 3 次元構造を研究するため、キャヴェンディッシュ研究所に留学し、そこで同僚のフランシス・クリックと親しくなり、一緒に DNA の秘密を探りはじめた。

DNA 研究は一般にさほど真剣におこなわれていなかったが、幾人かの科学者、特に、モーリス・ウィルキンズとカリフォルニア理工科大学のライナス・ポーリングは着実に成果をあげていた。

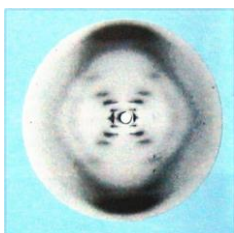
DNA は一本鎖のらせん構造をもつ、とライナス・ポーリングが推測を発表した時点で、クリックとワトソンは本格的に研究をはじめた。クリックとワトソンは、らせんが二本鎖で構成されていると確信していた。DNA のあらゆる構成要素の忠実な構造モデルをこしらえて、各要素を組み合わせようとしたが、当初は失敗する。モデルはバラバラに壊れるか、既知の化学や結晶学の認識と合致しなかった。

1953 年早春、アデニン—チミン結合とシトシン—グアニン結合は構造が等しいことを、ワトソンが見きわめた。自然界でアデニンは必ずチミンと、グアニンはシトシンと結びつくならば、なぜ等量の成分が^{ついで}つねに見いだされるかの説明がつく。また、等しい対合はなんの問題もなく二重らせん構造にきちんと挿入される。さらに、[二本の鎖](#)は補足しあう一対の鎖であり、一方が他方の構成の型紙として役だつ[補注 152](#) ことを意味する。

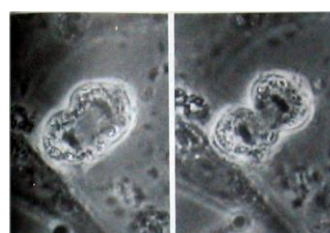
こうしてクリックとワトソンは有名な「ワトソン＝クリックのモデル」をつくることができた。結晶学のデータも立体化学の法則も満足させるものであった。モデルの骨格は 2 本の糖—リン酸の長い鎖である。鎖 2 本のあいだに塩基が、まるでしごの段のように、^{つい}対になって配列している。1953 年 4 月 2 日、クリックとワトソンはイギリスの雑誌『自然』に論文を送り、発見を公表した。

DNA 構造の解明は 20 世紀の最も好奇心をそそる発見である、と考える人が多い。二重らせん構造は、細胞分裂がどのように進展するかだけではなく、遺伝情報がどのように記録されるかまでも説明する。DNA 鎖の各集団または単位が、タンパク質の基本成分であるアミノ酸の遺伝暗号なのである。「[遺伝暗号の単位](#)」が次々に配列されてアミノ酸の鎖をうみだし、それらが、構造に応じて、決まったタンパク質を形成する。

1962 年、クリックとワトソンはモーリス・ウィルキンズとともにノーベル生理学賞を受賞した。



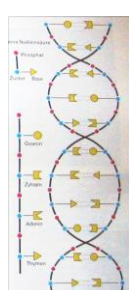
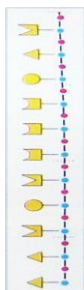
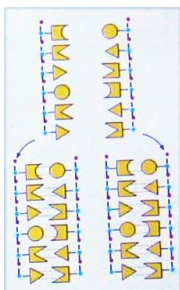
上左 1952 年におこなわれた、デオキシリボ核酸 (DNA) 分子の歴史的 X 線構造解析。鮮明に黒い十字を映しだしている、この写真は、らせん



形態を推測させ、DNA の二重らせん状構造の発見を検証した。

上中央 ケンブリッジ大学キャヴェンディッシュ研究所で、DNA 分子モデルのそばに立っているジェームズ・ワトソン (左) とフランシス・クリック (右)。

上右 ガン細胞の分裂。すでに 2 つになった染色体は、細胞の両極に黒いかたまりとなって見える。



中左 細胞分裂で 2 本の染色体繊維がほぐれ、それぞれが 1 本の新しい繊維 (糸) をうみだす。塩基 (黄色) は一定の方法でしか結合できないため、新しい繊維における塩基の配列順序はあらかじめ定まっている。結果は要するに原型に等しい 2 個の染色体である。

中中央 各アミノ酸は DNA 分子内の[塩基 3 個の集団](#)によってプログラム化される。片端から読まれて、既定のアミノ酸配列順序が生じ、これがタンパク質の構造を規定する。

中右 染色体は、糖 (デオキシリボース)、リン酸、塩基からなる、ヌクレオチド (上左) で構成されている。糖とリン酸の骨格はつねに同一であるが、4 種の可能な塩基が存在する。多数のヌクレオチドが結びついてポリヌクレオチド鎖 (下左) を形成する。このようなポリヌクレオチド鎖が 2 本、らせん状に巻きついて DNA 分子を構築している。2 本の鎖間の塩基は互いに水素結合 (点線) によって接合する。グアニンは必ずシトシンと、アデニンはチミンと組になる。

下右 DNA モデル。着色球は異なる原子をあらわす。



第156章 クリスティアーン・バーナード(1922—[2001])

南アフリカ共和国の医師クリスティアーン・バーナード博士は、1967 年 12 月ヒトからヒトへの心臓移植にはじめて成功した。患者は手術後 18 日間しか生存しな

かったが、博士自身や他の外科医による、数多くの成功例へと道をひらき、生体の免疫応答〔いわゆる拒絶反応〕について認識を広げることになった。

移植手術には問題が二点ある。まず第一点は外科に特有の問題である。外科技術は移植組織の血管と患者の血管とが相互につながる（吻合）^{ふんごう}まで進歩し、さらに個々の執刀者が手技に習熟しなければならない。手術が迅速に完了しなければ、移植体は壊死^{えし}するからである。

第二の問題はさらに複雑である。身体は、外来物質、いわゆる抗原の侵入に反応して、血路に防御物質、抗体を形成させるのである。

移植された組織または臓器は、多数の抗原を含んでいる。抗原は遺伝によって受け継がれ、提供者と受容者の血縁関係が遠ければ遠いほど、移植組織が拒絶される危険率は増す。初期の皮膚移植は、移植体がたいてい患者自身のもの〔自家移植〕だから、成功した。一卵性双生児は同一の抗原をもっているため、相互に拒絶反応が起こらない。

移植体が拒絶されるかいないかは、組織様式にもよる。移植された角膜がつねに受け入れられるのは、血液の補給を受けないからである。リンパ球—組織の拒絶反応因子でもある、白血球の一種〔無顆粒白血球〕—は、抗体を形成する。ただし、このリンパ球は角膜と接触しないので、拒絶反応は起こりえない。輸血というもっとも一般的な組織移植の場合、抗原は赤血球のなかに存在するが、抗原の数が少ない。したがって、適合する血液をもつ提供者^{ドナー}を見つけることは、かなり簡単である。

腎臓、肝臓あるいは心臓のような複雑な臓器になると、適合体ははるかに少ない。一卵性双生児を除き、受容者の抗原と同じ抗原をもつ提供者が見つかる可能性は、現実問題としてゼロに近い。それゆえ外科医たちは、もっとも強い拒絶反応をひきおこす、あの抗原群〔主要組織適合（抗原遺伝子）複合体〕に注意力を集中し、その領域内で適合するものをさがすことになる。臓器を移植しようとする患者は、免疫反応を抑制するために、ステロイドのような免疫抑制剤やラジウム療法などもうける。

腎臓は移植に成功した最初の臓器である。1960年代には肝臓、肺臓、脾臓^{すいぞう}の移植がおこなわれた。1967年12月、はじめて心臓移植に成功したとのニュースが世界をかけめぐった。5時間の手術を率いた医師は、ケープタウンのグルート・シュール病院の心臓専門医、クリスティアーン・バーナードであった。

南アフリカ共和国の指導的な外科医、バーナードは、ケープタウン大学とミネアポリス大学で学び、心肺外科医として広範囲に手術の革新をおこなった。たとえば、直視下心内手術を導入し、新たに人工心肺を開発した。

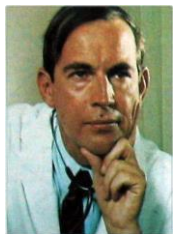
世紀の華々しい偉業は、バーナードが手始めに犬の心臓を移植した、長年にわたる研究と実験の極致といえる。バーナードの患者—不治の心臓病に苦しむ糖尿病患者—は、南アメリカの食料雑貨商ルイス・ウオッシュカンスキーであった。臓器提供者は、自動車事故で致命傷をおった、24歳の女性である。提供者と受容者は血液

型が同一であり、臓器の適合性が高いと考えられた。

手術前の3時間、女性の心臓は、酸素を添加した血液のなかに冷却して保存された。この移植体は、受容者の心臓に比べて約半分ほどしかないため、はるかに大きい身体に血液を循環させる中枢器官とするには、種々の困難があった。手術のあいだ人工心肺を使って、患者の生命は維持された。バーナードは電極を接続して移植した心臓が鼓動をはじめたとき、外科の観点から手術が成功したことを確認した。

しかし、ウオッシュカンスキーは18日後に死亡した。死因は、免疫反応を抑制するためにほどこした、薬剤とラジウム治療に帰せられる。患者は両側肺炎—術後に多い病気—にかかり、これに対してもはや生体の防御反応が起こらなくなっていた。

移植手術はそれ以来バーナードをはじめ多くの外科医によって、欧米や日本で実施された。心臓移植による生存率は依然として低いが、1年以上健在な患者もあらわれている。



上 腎臓移植。右の写真は、移植直前の腎臓を示している。腎臓はテープを用いて慎重に動かされる。腎臓は生きている提供者または死体から摘出されると、ただちに

殺菌した等張液を灌流^{かんりゅう}させる〔補注153〕。左の写真は、灌流液が〔カニューレという管を通して〕移植体の動脈内に注入されているところを示す。灌流した部位は明るくなっている。灌流は、空気が移植体に侵入するのを防ぎ、生存能力を高める。術後の色調回復は、腎臓の血液循環に異常がないことを、いち早く知らせるのである。



下左 直視下心内手術〔補注154〕。外科医（上右）が患者の心臓を手術しているあいだ、人工心肺（下左）が心臓の循環機能と血液の酸素補給をひきうける。人工心肺が発明されるまで、心臓はせいぜい10分ぐらいしか開くことができず、しかもそのとき、患者の身体は、新陳代謝を低下させるために、標準体温以下にさげておく必要があった。バーナードは南アフリカ共和国で心臓外科を文字どおり先導していた。



下右 執刀中のバーナード。

第157章 索引

アルベルト・アインシュタインが1900年初頭に劇的な相対性理論をまとめた、チューリヒの実験室。アインシュタインは相対性理論でニュートン学派による硬直した思考枠から科学を完全に解き放った。相対性理論の発表はまさしく空間と時間の概念に新たな地平を開いたといえる。

Wissenschaftler und Erfinder

A

Agricola, Georgius (1494-1555)



Ampere, Andr Marie (1775 1836)
 Appert, Nicolas (1750 1841)
 Archimedes (285 212 v. Chr.)
 Aristoteles (384 322 v. Chr.)
 Arkwright, Sir Richard (1732 1792)
 Arrhenius, Svante August (1859 1927)
 B
 Babbage, Charles (1792 1871)
 Baekeland, Leo Hendrik (1863 1944)
 Baird, John Logie (1888 1946)
 Barnard, Christiaan (geb. 1922)
 Becquerel, Henri Antoine (1852 1908)
 Beil, Alexander Graham (1847 1922)
 Benz, Carl (1844 1929)
 Bertillon, Alphonse (1853 1914)
 Bessemer, Sir Henry (1813 1898)
 Bjerknes, Vilhelm (1862 1951)
 Bohr, Niels (1885 1962)
 Boyle, Robert (1627 1691)
 Braille, Louis (1809 1852)
 Bramah, Joseph (1748 1814)
 Braun, Wernher von (1912 1974)
 Broglie, Louis-Victor de (geb. 1892)
 Brunel, Isambard Kingdom (1806 1859)
 C
 Carlson, Chester F. (1906 1968)
 Carothers, Wallace Hume (1896 1937)
 Cavendish, Henry (1731 1810)
 Chadwick, Sir James (1891 1974)
 Cockcroft, Sir John Douglas (1897 1967)
 Cockerell, Sir Christopher (geb. 1910)
 Cousteau, Jacques-Yves (geb. 1910)
 Crick, Francis (geb. 1916)
 Crookes, Sir William (1832 1919)
 Curie, Marie (1867 1934)
 Cuvier, Georges (1769 1832)
 D
 Daguerre, Louis-Jacques-Mand (1787 1851)
 Daimler, Gottlieb (1834 1900)
 Dalton, John (1766 1844)
 Darby, Abraham (1678 1717)
 Darwin, Charles Robert (1809 1882)
 Davy, Sir Humphry (1778 1829)
 Demokrit (460 370 v.Chr.)
 Diesel, Rudolf (1858 1913)
 Doppler, Christian Johann (1803 1853)
 Dunlop, John Boyd (1840 1921)
 E
 Eastman, George (1854 1932)
 Edison, Thomas Alva (1847 1931)
 Ehrlich, Paul (1854 1915)
 Einstein, Albert (1879 1955)

Einthoven, Willem (1860 1927)
 Empedokles (490 430 v.Chr.)
 F
 Faraday, Michael (1791 1867)
 Fermi, Enrico (1901 1954)
 Fleming, Sir Alexander (1881 1955)
 Ford, Henry (1863 1947)
 Foucault, Jean-Bernard-L on (1819 1868)
 Fox Talbot, William Henry (1800 1877)
 Franklin, Benjamin (1706 1790)
 Fraunhofer, Joseph von (1787 1826)
 Fulton, Robert (1765 1815)
 G
 Galilei, Galileo (1564 1642)
 Goddard, Robert Hutchings (1882 1945)
 Gutenberg, Johannes (1400 1468)
 H
 Haber, Fritz (1868 1934)
 Hahn, Otto (1879 1968)
 Hall, Charles Martin (1863 1914)
 Hargreaves, James (1722 1778)
 Harvey, William (1578 1657)
 Henry, Joseph (1797 1878)
 Herschel, Sir Friedrich Wilhelm (1738 1822)
 Hertz, Heinrich Rudolf (1857 1894)
 Hippokrates (460 375 v. Chr.)
 Howe, Elias (1819 1867)
 Hunter, John (1728 1793)
 Huygens, Christiaan (1629 1695)
 J
 Jacquard, Joseph-Marie (1752 1834)
 Jenner, Edward (1749 1823)
 Joliot-Curie, Fr d ric (1900 1958)
 Joliot-Curie, Ir ne (1897 1956)
 Joule, James Prescott (1818 1889)
 K
 Kekul , August (1829 1896)
 Kepler, Johannes (1571 1630)
 Kirchhoff, Gustav (1824 1887)
 Koch, Robert (1843 1910)
 Koenig, Friedrich (1774 1833)
 Kopernikus, Nikolaus (1473 1543)
 L
 Land, Edwin (geb. 1909)
 Landsteiner, Karl (1868 1943)
 Laue, Max von (1879 1960)
 Lavoisier, Antoine-Laurent (1743 1794)
 Leegliwater, Jan (1575 1650)
 Leeuwenhoek, Antoni van (1632 1723)
 Lenoir, Etienne (1822 1900)
 Linn , Carl von (1707 1778)
 Lippershey, Hans (1570 1619)

Lister, Joseph (1827 1912)
 Lumière, Auguste (1862 1954)
 Lumière, Louis (1864 1948)
 M
 Mach, Ernst (1838 1916)
 Marconi, Guglielmo (1874 1937)
 Maxwell, James Clerk (1831 1879)
 McAdam, John Loudon (1756 1836)
 McCormick, Cyrus Hall (1809 1884)
 Mendel, Gregor Johann (1822 1884)
 Mendelejew, Dimitrij Iwanowitsch (1834 1907)
 Mercator, Gerhardus (1512 1594)
 Mergenthaler, Ottmar (1854 1899)
 Michelson, Albert Abraham (1852 1931)
 Montgolfier, Jacques-Etienne (1745 1799)
 Montgolfier, Joseph-Michel (1740 1810)
 Morse, Samuel (1791 1872)
 Murdock, William (1754 1839)
 N
 Nasmyth, James (1808 1890)
 Newcomen, Thomas (1663 1729)
 Newton, Sir Isaac (1642 1727)
 Niepce, Joseph-Nicéphore (1765 1833)
 Nipkow, Paul (1860 1940)
 O
 Ohm, Georg Simon (1789 1854)
 Oppenheimer, J. Robert (1904 1967)
 Otto, Nikolaus August (1832 1891)
 P
 Paracelsus (1493 1541)
 Parsons, Sir Charles Algernon (1854 1931)
 Pasteur, Louis (1822 1895)
 Pawlow, Iwan Petrowitsch (1849 1936)
 Perkin, Sir William Henry (1838 1907)
 Pitman, Sir Isaac (1813 1897)
 Planck, Max (1858 1947)
 Priestley, Joseph (1733 1804)
 R
 Röntgen, Wilhelm Conrad (1845 1923)
 Rutherford, Sir Ernest (1871 1937)
 S
 Sabine, Sir Edward (1778 1883)
 Sabine, Wallace Clement (1868 1919)
 Salk, Jonas (geb. 1914)
 Seebeck, Thomas Johann (1770 1831)
 Senefelder, Aloys (1771 1834)
 Sholes, Christopher Latham (1819 1890)
 Siemens, Sir William (1823 1883)
 Sikorski, Igor Iwanowitsch (1889 1972)
 Stephenson, George (1781 1848)
 Swan, Sir Joseph Wilson (1828 1914)
 T

Tesla, Nicola (1856 1943)
 Thompson, Sir Benjamin (1753 1814)
 Thomson, Sir Joseph John (1856 1940)
 Thomson, William, Lord Kelvin (1824 1907)
 Torricelli, Evangelista (1608 1647)
 Townes, Charles Hard (geb. 1915)
 V
 Vinci, Leonardo da (1452 1519)
 Volta, Alessandro (1745 1827)
 W
 Waals, Johannes Diderik van der (1837 1923)
 Wankel, Felix (geb. 1902)
 Watson, James (geb. 1928)
 Watson-Watt, Sir Robert (1892 1973)
 Watt, James (1736 1819)
 Whitney, Eli (1765 1825)
 Whittle, Sir Frank (geb. 1907)
 Whitworth, Sir Joseph (1803 1887)
 Whler, Friedrich (1800 1882)
 Wright, Orville (1871 1948)
 Wright, Wilbur (1867 1912)
 Z
 Zeiss, Carl (1816 1888)
 Zeppelin, Ferdinand Graf von (1838 1917)

補注(訳者による)

- 1) 極微の「アトム」は無数に存在するはずであり、そのためにはアトム相互の間を区切る「空虚」も存在しなければならない。
- 2) 「バウアーBauer」はドイツ語、「アグリコラ Agricola」はラテン語で、ともに「農民」を意味する。
- 3) 地図投影法とは、地図製作のために、球面である地球表面を平面に展開する方法。実際には球面上の経線・緯線を平面上の対応する経線・緯線に変換する方法。球面を平面に変換、展開するには形、角、面積など、なんらかのひずみをともなうので、地図の利用目的に応じた投影法が考えられている。たとえば、円筒図法、円錐図法、方位図法、多面体図法など。
- 4) 「メルカトル Mercator」はラテン語、「クレーマーKremer」はフラマン語、ともに「小売商人」を意味する。
- 5) メルカトル図法(正角円筒図法)は、赤道に沿って地球に接する円筒面上に地図を投影したもので、地球上の角関係が図上の角関係と等しくなる点に特徴がある。図上の二点間を直線で結んだものは、ただちに二点間の等角航路を示すゆえ、航海に好適。
- 6) 23年に科学方法論に関する論争の書《黄金計量者》を出版している。
- 7) ボイルが1662年に発見した関係が、1667年マリオットによっても再発見されたことによる。
- 8) アリマキの単為生殖は、『生物学事典』などによれば、スイスの生物学者ボネ(Bonne)の発見とある。
- 9) ニュートンはプリズムを通して太陽光が赤、だいだい、黄、緑、あい、紫の色光に分解されることを観測した。
- 10) 換言すれば、「物体Aが物体Bに力(作用)をおよぼすと、AはBから同じ大きさで逆向きに働く力(反作用)を受ける。つまり作用、反作用は、2物体を結ぶ直線に沿って逆向きに働き、大きさは等しい」、ということ。
- 11) 詳しくは、二物体間に働く「万有引力」は、両物体の質量の積に比例し、距離の2乗に反比例する。
- 12) 反射望遠鏡とは、対物鏡に凹面反射鏡を用いた望遠鏡。反射光線を接眼部へ導くために種々の方式がある。ニュートン式は、主反射鏡(対物鏡)のまえに平面鏡がプリズムを置き、主軸と直角に光線束の中心を曲げ、側方に焦点を結ばせる。
- 13) 微積分法の創始者はだれかをめぐって、ニュートンとライプニッツとのあいだで長らく論争が展開された。
- 14) 1905年アインシュタインの光量子仮説により、光は波動と粒子の二面性をもつとされている。
- 15) 前開き式鉄製ストーブ。

- 16) 属名は頭文字を大文字にした名詞で、次に種小名を形容詞またはその相当語(小文字)で書く。「二名法」ともいう。
- 17) 「ミュール」(ラバ)とは、ハーグリーヴズとアークライトとのアイデアのいわば交配から生まれたという意味をもつ。
- 18) $I=V/R$. 線状導体の2点間を流れる定常電流の強さは、2点間の電位差に比例し、抵抗に反比例するという法則。
- 19) 閉端に封入した白金線に電流を通して気体成分を分析し、電氣量を測定する装置。
- 20) フロギストン説はベツヒャーの理論を継いだシュタールが1703年に唱えた説。物体が燃えるとき、あるいはさらに強く焼いて灰にすると、物体のなかからフロギストンが逃げ去るという。本例では酸化水銀—フロギストン=水銀ということだろうか。プリーストリは空気を「フロギストン化された空気」(窒素)と「フロギストンを除いた空気」(酸素)とに分けている。
- 21) 星雲は、1930年頃まで、おもにガス状物質からなる小型の「銀河系内星雲」と、無数の恒星やガス状物質が集まった大型の「銀河系外星雲」とに大別されていたが、両者は本質的に異なり、現在では前者を「星雲」または「ガス星雲」(Sternnebel, nebula)、後者を「銀河」(Galaxie, galaxy)と呼んで区別している。
- 22) 要するに、煙が空に立ちのぼるさまを見て、多量の煙を発生する湿ったわらなどを燃やし、それを閉じこめた気球をつくる発想を得たわけである。
- 23) 熱は物質を構成する粒子の運動である、という「熱運動説」をトンブソンは提唱した。
- 24) 敵艦の船底に時限爆薬をとりつけようとして失敗に終わった。
- 25) 外車船には船の両側に外車をとりつけた船側外車船と、船尾に外車がついている船尾外車船とがある。「外輪船」ともいうが、専門用語としては「外車船」が一般的。
- 26) 像を形成した金属板を腐食して凹凸のある印刷用原版をつくる写真法。
- 27) 「キュヴィエの原則」とか、相関または結合の原則とか、相関の説ともいう。
- 28) 要するに、ペルティエ効果とは、2種類の異なる金属または半導体の接合面を通じて電流を流すとき、その接合点に発熱または吸熱が生じる現象をいう。ゼーベック効果とは、2種の金属線を接続して閉回路をつくり、二つの接合点を異なる温度に保つと、二つの接合点の間に起電力が生じて電流が流れる現象をいう。両効果とも、電流法を逆転すれば、吸熱は同僚の発熱に変わる。
- 29) 炭坑の排水に使われる、いわゆる「大気圧機関」。
- 30) 1800年、高圧蒸気機関を設計。
- 31) シリンダー内をプランジャー(棒ピストン)が往復し送水するポンプ。
- 32) ゲプハルト・レーベリヒト・フォン・ブリュヒャー(1742 - 1819)はプロイセンの将軍で、英将ウェリントンと協力して、ナポレオン軍をワーテルローに破った。
- ① 煙管は、火室で発生した火気を通過させる管。これによってボイラー水に熱を伝える。
- 33) 磁器モーメントを測定する装置。
- 34) 詳しくは太陽コロナから惑星間空間に放出されている希薄な荷電微粒子流(プラズマ流)。
- 35) ダゲレオタイプは「銀板」上に直接ポジ像をつくるため、画像の複製ができない。
- 36) ファラデーの(電氣分解の)法則:(第一法則)電氣分解によって電極で反応(生成または析出)する物質の量は、流れた電氣量(電流と時間の積)に比例し、(第二法則)1グラム当量(化学当量)の物質を析出するのに要する電氣量は、物質の種類によらず常に一定(96485クーロン)である。この値は電氣化学の基礎となる値で、ファラデー定数(記号F)という。なお、化学当量とは化学反応性に基づいて定められた元素(単体)または化合物の一定量のこと。
- 37) 化学反応によっては変化をうける場合もあり、厳密にはここでの「基 Radikal」の概念は成立しない、とされている。
- 38) 海にすむ巨大な怪獣を意味する。
- 39) 望遠鏡の架台に、地球の自転軸(地軸)に平行な極軸と、これに直交した赤緯軸をもうけ、望遠鏡をこの軸にさらに直交させて取りつける。望遠鏡は直交した2軸で自由にどの方向にでも向けることができるのである。
- 40) 「ラマルキズム」と呼ばれる進化論は、器官の用不要説と環境の影響による変異の遺伝的転移を2大要素にしている。
- 41) それまでの綴字式から表音式に切り替えた点に、ピットマン式速記術最大の新鮮さがある。
- 42) 速記の記号には、点や線を組み合わせたもの(幾何派 geometric)と文字を簡略化したもの(草書派 cursive)の2系統がある。ピットマンは幾何派、グレッグは両派を折衷した半草書派 semi-cursive に属す。
- 43) 空気中の酸素によって銹鉄にふくまれるケイ素、炭素、マンガンなどが燃焼する。
- 44) おもりの降下した距離から重力による仕事を求める一方、水の温度上昇から発熱量を計算する。1847年「熱の仕事当量」を初めて測定した、有名な「ジュールの実験」である。
- 45) 熱はエネルギーの一形態、正確にはエネルギーの移動における一形態である。
- 46) 先端に糸(上糸)のついた針が布を貫通したとき、この上糸に糸輪をつくり、これに次の縫い目の上糸をとおして鎖

状になるような縫い目をつくる縫い方を「環縫い」(chain-stitch)といい、別の下糸を使用して上下の糸を絡みあわす方法を「本縫い」(lock-stitch)という。

47) 1930 年代にジョン・ストロングがガラス面にアルミニウムを真空蒸着する方法を開発。これによって、10 日ほどで再鍍銀(とぎん)しなければならなかった反射面が約 1 年もつようになり、紫外部の反射率も著しく向上した。

48) キャリッジ(用紙巻きつけ部)に、ゴムのプラテンがついていた。

49) F は filial「雑種(世代)」または独 Filialgeneration「雑種世代」の意。F₁, F₂: 雑種第 1 代、雑種第 2 代。

50) つまり、優性形質をあらわすものと劣性形質をあらわすものが分離してくるという、いわゆる「分離の法則」である。メンデルの法則にはもう一つ、各形質が無関係に遺伝するとする「独立の法則」がある。

51) 酒石酸 C₄H₆O₆には(1)右旋性の L-酒石酸。(2)左旋性の D-酒石酸。両者の鏡像異性体として(3)DL-酒石酸、旋光性はなく、分割すれば(1)と(2)になる。さらに立体異性体として(4)メソ酒石酸が存在する。

52) 繰り返し低温で熱処理し、殺菌や発酵防止をはかる方法。

53) ドイツ語 Cäsium の語源である、近代ラテン語 caesius は「青みがかった灰色」の意。

54) ドイツ語 Rubidium、近代ラテン語 rubidus:「赤い」。

55) 太陽スペクトルにあらわれる黒線。

56) ボルツマンが「マクスウェルの速度分布則」を一般化した「マクスウェル=ボルツマンの統計」は、さらに「ギブスの統計」へと発展していく。

57) ある種の金属や合金、あるいは半導体や有機化合物などの温度をさげていくと、ある温度(転移温度)以下で電気抵抗が突然 0 になる現象。1911 年カマリング・オネスが発見。

58) 1867 年から 1918 年まで存続したハプスブルク家の君主国。

59) 初期の引き伸ばし用印画紙には臭化銀(ブロマイド)乳剤が用いられたが、現在は純臭化銀乳剤に限らず、塩臭化銀、塩臭ヨウ化銀など混晶の乳剤が多用されている。なお、密着焼付用の黒白印画紙には、塩化銀の写真乳剤が用いられた。

60) 第 2 次大戦後のフランスを代表する大衆グラフ週刊誌。

61) Kohlepapier, carbon tissue:ゼラチン溶液に顔料、セッケン、グリセリン、砂糖などを混合分散させてバライト原紙に塗布したもの。

62) 行程とは、往復機関のシリンダー内でピストンが最上位置(上死点)から最下位置(下死点)まで、あるいは下死点から上死点まで動く距離およびピストンの運動であるといえよう。なお、1 サイクル(循環過程)は 4 行程からなる。

63) Deutz:国名ではなく、ドイツ、ケルン市の一区域名

64) Pleuelstange, connecting rod:ピストンまたはピストン棒とクランク - ピンとを連結する棒。ピストンの往復運動をクランク軸の回転運動に変換する。

65) チャールズ・エドガー・ドゥリエー(1861-1938):アメリカの発明家。アメリカで弟ジェームズとはじめて内燃自動車を製作した。

66) ダイムラーの娘 Mercedes(ドイツ語読み「メルツェーデス」)という名にちなむ。

67) 要約すれば、「元素の性質は原子量の周期関数である」としてメンデレーエフは周期律表を作製した(1869)。

68) 元素記号 Md、原子番号 101。超ウラン元素の一つ。

69) 『気体と液体の連続性について』(1873)。

70) 臨界温度が常温より低い気体は圧縮だけで液化することができない。たとえば水素、ヘリウムなどは、あらかじめある温度まで予備冷却したあと、ジュール=トムソン効果つまり断熱膨張による温度低下を利用して液化させる。

71) mauve は藤色染料で、語源はラテン語の malva(ゼニアオイ)。

72) 飛行船には骨格の有無によって硬式と軟式の区別がある。硬式飛行船は軽合金材で流線型船体の骨組をつくる。軟式飛行船は、気囊(きのう)部に骨組を用いず、ゴム引布などでつくられ、折りたためる。

73) ドイツ・オーストリア・スイス国境に横たわるドイツ最大の湖。

74) 「加硫 vulcanisation」の命名者は、イギリスのゴム工場経営者トマス・ハンコック。

75) ドイツの南西部にあり、現在はバーデン・ヴュルテンブルク州の西辺をしめる。

76) クルックス管:陰極放電管(2 つの金属電極をもち、管内に減圧気体を封入した、ガラス製の放電管)

77) Lumineszenz, luminescence:物質が外部からのエネルギーを吸収して、発熱を伴わずに発光する現象。外部からの刺激を除いたあとに蛍光体が発する残光のうち、減衰時間の短いものを蛍光、長いものを燐光といって区別するが、厳密な区別はむずかしく、両者を含めてルミネセンス(冷光)と呼ぶこともある。

78) 父アレクサンダー・メルヴィル・ベルは、発声器官の位置表示の記号によって言語音をあらわす、視話法を創案している。祖父も発声生理学者で、最初は父を助けて耳や口の不自由な人々の教育にあたった。

79) 詳しくは、高温に熱せられた固体の導体または半導体。

80) のちに熱電子現象について実験、研究を深めたイギリス物理学者の名をとり、リチャードソン効果とも呼ばれる。

- 81) 元来はギリシアの自然学概念。月下の世界を構成する原質一土、水、空気、火一に対して、月より上の世界(天空)を構成する原質が「精気(エーテル)」と呼ばれた。つまり、真空を認めないギリシア的自然観によれば、天空にはエーテルが充満していると考えられた(1 章「エンペドクレス」参照)。このような形而上学的な概念を脱し、エーテルに物理学的な実体を与えたのは、ケプラーにはじまる近代光学である。特にホイヘンスが光の伝播を媒介する媒質として仮定し、マクスウェルによる光の電磁波説以後、電磁場の媒質として宇宙を一様に満たしていると考えられるようになった物質がエーテルである。オランダの理論物理学者ローレンツは 1892 年、電磁場をになう「絶対静止エーテル」と荷電粒子からなる物質とが世界を構成しているとした。
- 82) アインシュタインはエーテルに対する相対速度という考えを否定し、光の速度はいかなる慣性系からみても同じであるという「光速不変の原理」を前提とした時空論をあみだし、特殊相対性理論を展開した(1905 年)。
- 83) 詳しくは、光源 L から出た光は、半透鏡 G で直角方向の二つの光に分けられ、鏡 M で反射されたあと再び G によって望遠鏡 T へと導かれ、ここで干渉を起こすと考えられる。
- 84) ほかに、いずれにも属さない変体紋がある。
- 85) 英語音ではマーゲンターラー。
- 86) 活字を自動的に選び、鋳造し、版に組む機械の総称。活字を 1 字ずつ鋳造するモノタイプと 1 行分鋳造するライノタイプとの 2 種がある。
- 87) オフセット印刷が主流となった現在は電算植字法が優勢。
- 88) 活字をつくるには、字面を形成する母型と、活字の体(ボディ)をつくる鋳型との組み合わせが必要。
- 89) 詳しくはスピロヘータ科トレボネマ属細菌の一種トレボネマ・パリズム。
- 90) トリパノソーマ。
- 91) 抗原抗体反応を理論づけた「エールリヒの側鎖説」。
- 92) 原文は「1887 年」とあるが、誤りであろう。
- 93) 感光性ハロゲン化銀粒子をゼラチン水溶液に懸濁したもので、感光乳剤ともいう。
- 94) ベルギーの電気学者グラム(1826-1901)は「グラム発電機」を 1870 年に発売した。
- 95) 「電子」(エレクトロン)という用語は、1891 年にアイルランドの物理学者ストーニーが、電荷の量はある量(電気素量)より小さく分解できないことを発見し、この電気素量に対して命名したもの。電子 1 個の電荷に等しい電気量の単位。
- 96) ケンブリッジ大学内にある物理学研究所(1874 年創立)。
- 97) 電磁波を応用分野では主として電波と呼ぶ。電磁波は物理学の対象としての電波の呼称である。物理学上では一般に電波だけでなく、可視光、X 線、 γ 線も電磁波にふくまれ、物理学で電波といえば、周波数 300 万 MHz 程度までの電磁波をいう。「ヘルツ波」とは要するに電磁波、特にここでは応用面から電波を指していると考えられる。
- 98) ドイツ、バイエルン州の古都
- 99) 古典理論では、エネルギーは無限に分割できる連続量と信じられ、したがって「量子」の存在など想像されなかった。
- 100) ドイツの物理化学者ネルンストの提案に基づき、ベルギーの工業化学者ソルベスポンサーとなって発足した物理学の国際会議。
- 101) 「原子の化学的性質はほぼ最外殻の電子配置によってきまる」ともいわれている。
- 102) エレクトロカルディオグラフ(Elektrokardiograph)。
- 103) Elektrokardiogramm
- 104) 心筋の興奮によって生じる。
- 105) ドイツ、シュレースヴィヒ＝ホルシュタイン州南東部の一地域。
- 106) 半導体に光を当てたとき、光電(こうでん)効果で起電力が生じるのを利用した電池。なお、光電効果とは物質が光を吸収して光電子を生じる現象、またはそれに伴う光伝導や光起電力効果を指す。
- 107) 「走査」(Abtastung, scanning)とは、現在では「線上をたどって調べる(データを取り込む)こと」をいう。「画像の電送のように平面に広がった情報を伝達する場合、面を細い走査線に分けて、この線上をつぎつぎに走査して全面をカバーする」(化学大辞典)。しかし、電子技術の未熟な当時は、カメラ側で画面を構成する画素(光を電気に変える光電素子の 1 個 1 個と考えてよい)から電気信号を同時に送出できず、それぞれの画素から得られる信号を順序よく、すばやく切り替え、1 本の伝送線で受信機まで送り、そこでカメラ側と同じ手順で再び画像に組み立てていた。したがって本文でいう「走査」とは、画素から得られる信号を順序よくスピーディーに切り替えることを意味する。原理を要約すれば、カメラ側で被写体を撮像し、画素に分解、「走査」して電気信号(映像信号)を発生させ、受信側で映像信号から走査によって画像を組み立てるのである。
- 108) 短時間だけつづく電流。
- 109) キルヒアーが 1636 年に発明したとされる幻灯機。ただし、現在の幻灯と異なり、光源とレンズの外に種板を置き、

正立像を写したすもの。

110) 独 Stroboskop、英 Zoetrope。

111) カイガラムシの分泌する樹脂状物質。

112) ラテン語 radius(光線)にちなむ。

113) 1945 年までドイツ領。現ポーランド南西部オーデル川に臨むシュレージエンの中心都市ブロッツワフ。

114) カナダ中南部の州で世界有数の農作地帯。

115) ある種の原子核は α 線などを放出して別の原子核に変わる、とラザフォードが主張する「変換」を、かつて錬金術師が卑金属を貴金属に変えようと夢見た、「変成」と取り違えたのであろう。

116) α 粒子が 90° 以上も大角度に散乱するには、原子内部に強力な電場をもつ 1 点に凝縮した正電荷の原子核が存在すると考えた。要するに、「ラザフォード散乱」—クーロン力(2 つの点電荷あるいは磁荷のあいだにはたらく力)による荷電粒子の散乱—から、トムソンの無核原子模型と異なる、有核原子模型、いわゆる「ラザフォード模型」を推論した。

117) 原子番号が等しく、質量数が異なる核種を、互いに同位体(アイソトープ)という。核種とは、原子核の状態すなわち原子番号および質量数で原子を分類したときの原子の種類をいう。

118) アメリカの微生物学者ワクスマンが 1941 年に提唱。

119) 報復兵器第 2 号、1 段式液体ロケット。

120) ドイツ北東部、ペーネ川の河口の島にある村で、大戦中ミサイル・ロケットの研究所があった。

121) ボーア理論の核心は、原子が定常状態にあるかぎりには古典力学によるが、光の放出、吸収がともなう場合などは量子仮説によって説明されるという点にある。

122) ボーアは 1922 年にノーベル物理学賞を受賞している。

123) 光は電磁場の波動であるが、「光子」として粒子の性質ももっている。「光子」(Photon)は、「光量子」、「フォトン」ともいい、光(一般に電磁波)のエネルギーをになう基本的粒子。

124) ド・ブロイは、つまり、アインシュタインの光量子仮説の基礎にある式 $E=h\nu$ 、 $p=h/\lambda$ が、任意の物質粒子や光に適用できる一般式であることを明らかにした(E :エネルギー、 h :プランク定数、 ν :光の振動数、 λ :波長、 p :運動量)。

125) 化学繊維(略称化繊)—または広義の人造繊維—は、天然繊維に対して人工的に作られる繊維の総称。狭義の人造繊維は、合成繊維を除いた人工的な繊維を指す。化学繊維は、合成繊維、半合成繊維、再生繊維、無機繊維に分類される。

126) 英語 rayon、独語 Reyon<ラテン語 radius(光沢)。

127) 再生繊維は、天然の繊維や高分子をまず溶解したのち、細いノズルから紡糸して繊維としたもの。

128) 加速装置には、(1)静電場で加速する静電加速器(コッククロフト=ウォールトン加速器とヴァン・デ・グラーフ型加速器)、(2)高周波電場で加速する高周波加速器、(3)時間的に変化する磁場で加速する装置に大別できる。

129) 「ヴァン・デ・グラーフ起電機」ともいう。要するに、高圧静電発生装置である。

130) 質量数 2 の水素の同位体。質量数 3 の同位体も含めて総称するときもある。

131) "Fat Man":長崎に投下された原爆のコードネーム。

132) 3 個に分裂する 3 体分裂もある。

133) つまり、中性子が仲立ちとなって連鎖反応をおこす。換言すれば、中性子は「連鎖担体(キャリアー)」である。

134) 荷電粒子が物質のなかを光速よりも早い速度で通過するときに生じる電磁波の放射。

135) ローターが 1 回転するあいだに、3 回の膨張行程があり、出力軸は 3 回転するということ。

136) 現在の実状にはあわないかもしれない。

137) 共和党上院議員(1909-57)、「赤狩り」で有名。

138) ゼログラフィー(独 Xerographie、英 xerography)は、エレクトロフォトグラフィー、静電写真ともいわれ、一般に、電子的かつ静電気現象を利用した、乾式写真方法の総称となっている。

139) 1938 年、カールソンは亜鉛板上に熔融塗布した硫黄層に摩擦帯電で静電荷をあたえたが、その後、米国ゼロックス社により、コロナ放電を利用してセレンを荷電させるようになった。

140) つまり、爆発燃料方式のガスタービン。のちに連続燃焼方式が効率のよいことが判明する。

141) したがって、ラムジェットエンジンは、超音速巡航速度に達するまで、ブースターロケットなどの推進装置で加速する必要がある。

142) 詳しくは、銀錯体が現像核を含む受像層へ転写されたあと、銀に還元され、銀画像が形成される—銀塩拡散転写法。

143) Aqua-Lung(「水中の肺」の意)という商標で 1946 年に市販された。

144) 身体全体が水圧におされているので、呼吸するには、水圧と同じ圧力の空気が要求される。

- 145) つまり、エアクションの形成法が「プレナム・チェンバー」(圧力室)型から「アニュラージェット」(周辺噴流)型に変更された。
- 146) plenum: 容器内の気体圧が外気圧より高い状態または場所をいう。
- 147) booster: ロケット、ミサイルの発射時に推力の主要源として用いられるロケットエンジン。
- 148) モジュール(module): 宇宙船の一部ではあるが、それ自体が母船から独立して行動できる機構をもつもの。
- 149) つまり、セービンワクチンはポリオの経口弱毒生ワクチン、ソークワクチンは不活性化ワクチンである。
- 150) 励起状態とは基底状態(最もエネルギーの低い定常状態)よりエネルギーの高い状態をいう。
- 151) ドイツ語では Desoxyribonukleinsäure(DNS)という。
- 152) 一方の塩基配列が決まれば、他方の配列も必然的に決まる。
- 153) 臓器洗浄を確実にするため、血清、希釈した薬液を組織内に注入すること。
- 154) 人工心肺によって心臓からの血流をそらせ、心臓内部を直接見ながらおこなう外科手術。

第158章 訳注

エンペドクレス

1. 要するに「球状の」混合物のこと。*訳者による注釈または補足は、おおむね本文中の[]内に表記するが、適宜ハイパーリンクを用いて示すことにする。
2. つまり、4 元素の混合比が 1 対 1 対 1 対 1 の結合体。
3. いわゆる「月下の世界」の意。
4. つまり、月より上の世界。

アリストテレス

5. 「産婆術」ともいう。
6. 狭義のアリストテレス学派のことを指す。ギリシャ語の peri-patein とは「あちこちうろつく」の意。

アルキメデス

7. ギリシャ語形「シュラクサイ」

グーテンベルク

8. 活字ケースのこと。

パラケルスス

9. スイス北部の州
10. ヴィルヘルム・フォン・ホーエンハイムを指す。
11. つまり全身療法
12. この丸薬は「同種療法の先取り」と評価することができる。
13. オーストリア西部に位置する州およびその州都

ケプラー

14. いわゆる「楕円軌道の法則」
15. 「面積速度の法則」: 惑星が太陽を公転するとき、太陽と惑星を結ぶ動径が一定の時間には一定の面積を描く。したがって、動径の短い近日点の近くでは速く、動径の長い遠日点の近くでは遅く動く。
16. 「調和法則」: 各惑星の半長径の 3 乗と公転周期の 2 乗との比が惑星によらず一定であるとする。ただし、厳密ではないらしい。

ハーヴィ

17. 詳しくは『動物における心臓と血液の運動に関する解剖学的研究 Exercitatio de motu cordis et sanguinis in animalibus』、邦題は『血液循環の原理』。

18. 9人兄弟の長子として生まれた。

19. 動物の胚(Embryo)とは、一般に、卵割から摂食可能な幼生または幼体の直前までを指す。

20. 『動物の発生に関する研究 Exercitationes de generatione Animalium』

21. チャールズ 1 世の専制政治に反対して、清教徒を中心とする議会派と王党派のあいだで起こった内乱(1642—49)。

ホイヘンス

22. 「面積速度の法則」：惑星が太陽を公転するとき、太陽と惑星を結ぶ動径が一定の時間には一定の面積を描く。したがって、動径の短い近日点の近くでは速く、動径の長い遠日点の近くでは遅く動く。

23. 光の波動説(1678 年発表)で、光波の進行状態を作図するのに用いた原理。「ホイヘンス=フレネルの理論」をへて「キルヒホフの回折理論」へと展開していく。

ニュートン

24. つまり「慣性の法則」

25. つまり「運動の法則」

26. つまり「作用反作用の法則」

27. 原題: Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica

ニューコメン

28. 「大気圧機関」とも呼ばれる。

29. 熱効率のこと

ダービー

30. 一般に「高炉」という。

31. 装入口にあたる。

32. 鉱滓のこと

33. 熱風炉を指す。

ハーグリーヴズ

34. いわゆる「ジェニー紡績機」

35. 原因は撚りが弱かったためである。

36. つまり飛杼の発明(1733 年)

ハンター

37. 死体盗掘人のこと。

38. 「1756～63 年にイギリスの財政援助を受けるプロイセンとオーストリア・ロシア・フランスおよび その同盟国との間に行われた戦争。フリードリヒ大王のすぐれた指導とロシアの離反とにより、プロイセンはシレジア領有を確保、他方、その間フランスはイギリスとの植民地戦争に敗れ、カナダ・インドを喪失。」(広辞苑)

リーストリー

39. 摂氏 300～400 度に加熱すればの意。

40. 詳しくは可燃性元素のこと。Phlogiston(フロギストン)は近代ラテン語で、「燃えやすいこと」という意味をもつ。語源はギリシャ語の phlox(「炎」)。なお、「フロギストン」は「燃素」と訳されることもある。

ワット

41. ワットは大学付属の器械製造人として活動した。

42. 「大気圧機関」ともよばれる。

43. 分離凝縮器のこと

モンゴルフィエ兄弟

44. 青と金色

ラヴォアジエ

45. 科学アカデミー

46. フログiston(Phlogiston)はギリシャ語の phlox(炎)に由来する。

47. 仏 oxygene 英 oxygen 独 Sauerstoff、原義は「酸をうみだす」。酸素はすべての酸にふくまれていると信じられたことによる。

48. 詳しくは、モルボーLouis Bernard Guyton de Morveau(1737 - 1816)が提唱し、ラヴォアジエ、フルクロア Antoine Francois de Fourcroy(1755 - 1809)、C. L. ベルトンらとともに刊行した共同著作。

ブラマ

49. 鍵の前後方向の運動によって作動する。

ジェンナー

50. 第6子

51. 天然痘に似た、ウシの軽い病気

52. 「完全種痘法」(英 vaccination、独 Vakzination)は、牛痘を意味するラテン語 vaccinia からの造語。接種をつづけても反応が出なくなるまで種痘する方法。

アペール

53. 奴隷制度廃止問題を発端にアメリカの北部と南部のあいだに起こった内乱。北部が勝ち、奴隷制度は廃止された(1861~65年)。

ジャカード

54. Jacquard: 英語読みでは「ジャカード」、したがって「ジャカード(紋織)機」という。以下同じ。

55. いわゆる drawboy、すなわち、機の上端にすわって、織機の通糸を操作していた少年のこと。

56. いわゆる「紋紙」

57. 国立工芸博物館

トンプソン

58. ラボアジエが命名。カロリック(熱素)説とは、熱の本性を物質とみなす、熱物質論の一つ。

マードック

59. すなわち、ボールトン=ワット商会

マカダム

60. 土木・建築技術者

61. 「マカダム道」のこと

62. Makadam

63. makadamisieren

64. Teermakadam

65. Asphaltmakadam

フルトン

66. “Twenty Thousand Leagues under the Sea”(1870)

ホイットニー

67. 詳しくは送り台つき旋盤

68. 要するに互換性部品生産方式

69. 綿花の長繊維(lint)

70. フライス(fraise)とは、要するに、「金属を切削する円筒状の回転式刃物」(広辞苑)のこと。

ニエプス

71. Camera obscura:「暗い部屋」という意。

キュヴィエ

72. 代表的な著書は、『無脊椎動物の体系』(1801)、『動物哲学』(2 巻、1809)、『無脊椎動物誌』(7 巻、1815～22)。

73. インド洋モーリシャス島などに生息していた巨鳥

ゼーベック

74. 熱起電力を熱や温度の測定に利用する素子で、1 対の金属からなる。

ケーニヒ

75. 組版を置く平らな台

76. 平圧式印刷機

77. 円圧式印刷機の原理

アンペール

78. 「右手の法則」(Rechtehandregel; recht-hand rule)といえば、通常フレミングの磁場の誘導電流に関する法則を指す。

デイヴィー

79. 炭酸カリウムの俗称、特に木灰から得られる不純なものをいう。

80. potassium: カリウムのこと

スティーヴンソン

81. 煙管は、火室で発生した火気を通過させる管。これによってボイラー水に熱を伝える。

オーム

82. ライデン大学の物理学者ミュッセンブルークが 1746 年に放電実験に用いた、蓄電器の一種。

サビーン

83. 大西洋と太平洋を結ぶ、カナダとアラスカの北極沿岸航路

84. 換言すれば、地球磁場の勢力範囲ともいうべき空間

85. 放射(Strahlung): 電磁波を放出すること、または物質から放出された電磁波および粒子線の総称

ダゲール

86. 銀板写真法。なお、ダゲレオタイプ(daguerreotype)には、1) 銀板写真法と 2) 銀板写真法で撮った写真をさす場合がある。

87. まず紙ネガをつくり、そのあと日光で密着焼きつけをしてポジをつくる、初期のネガポジ写真法。

ファラデー

88. 「マクスウェルの方程式」をさす。

モース

89. いわゆる「トン」、「ツー」を組み合わせて文字に代用する電信符号である。

90. 次の文章で明らかなように、テープ印字方式をへて、直接音響で読みとる音響方式へ移行する。

ヘンリー

91. つまり磁性体

92. 電磁石の両極にわたした鉄片をさす。

トールボット

93. calotype とは初期のネガポジ写真法を意味する。要するに、紙ネガをつくったあとで太陽光で密着焼きつけをしてポジをつくる方式をいう。calotype はギリシャ語で「美しい絵」を意味する。開発者 Talbot にちなんで、「トールボタイプ」(Talbotype)とも呼ばれるが、日本では「タルボット」―「タルボタイプ」ということが多いらしい。

ホイットワース

94. らせん状に彫った溝

ダーウィン

95. finch: アトリ科の鳥

96. Samenfresser, seedeater: アトリ科の数種の通称。ヒメウソ、マメワリ、セイオウチョウなどの類。

ピットマン

97. 1 通 1 ペニーで郵便を扱う制度(1680)

ベッセマー

98. ベッセマー法は酸性耐火物で、トーマス法は塩基性耐火物で転炉が内張りされているために、前者を「酸性転炉法」、後者を「塩基性転炉法」とも呼ぶ。

ツァイス

99. 広義の球面収差。5 種類に大別した光線収差、「ザイデルの 5 収差」: 球面収差、コマ収差、像面湾曲、非点収差、および歪曲では、コマ収差に当たる。

ジュール

100. イングランド北西部

101. 熱に関係する現象を扱う物理学、化学などの領域を総称して「熱学」という。ただし現在では通常、熱力学、統計力学などと理論体系を明示した呼び方をする。

フーコー

102. 糸に重いおもりをつるしてつくった周期の長い振り子のこと。

メンデル

103. 「ゲン」Gen(ドイツ語)>「ジーン」gene(英語)

104. 対照的な親の形質が混じり合って子にあらわれる遺伝。なお、メンデルは完全な優勢か劣勢を示す遺伝子しか扱わなかった。

パストゥール

105. ブドウ酸は、ラセミ酸あるいはパラ酒石酸ともいわれる。

キルヒホフ

106. すなわち線スペクトル。通常、原子の不連続スペクトルをさす。

スワン

107. 炭素の電極 2 個のあいだに電圧をかけたときに起こる放電の光を用いた電灯

クルックス

108. 励起: 量子力学では、ひとつの物質系、たとえば分子などの系が、エネルギーの最も低い安定した状態から、他との相互作用によって、いっそう高いエネルギー状態に遷移することをいう。

109. 物質が光、放射線、電場などの刺激をうけて発光する現象をルミネセンス(冷光)といい、特に放射線による場合をシンチレーションと呼ぶ。

110. 羽根を回転させる陰極線粒子のこと。

111. 『ケミカルニュース』など

メンデレーエフ

112. 存在するはずだと考えた、仮想元素の意。

ファン・デル・ワールス

113. つまり、気体分子間にはたらく弱い引力

パーキン

114. 詳しくはフランス・サルディニア連合軍。オーストリアは敗戦の結果ロンバルディアを失った。

ツェペリー

115. ほぼ同時期にあたる、1783 年のこと

116. 空気より軽い水素またはヘリウム

ダンロップ

117. トウダイグサ科の高木

コッホ

118. 菌類や植物が無性生殖の手段として形成する生殖細胞

ベント

119. 1 汽筒 4 サイクルのガソリンエンジンを搭載した「動力三輪車」であった。

ベル

120. Johann Phillip Reis はこの送受信機をすでに「テレフーン Telephon」と名づけていた。

エジソン

121. つまり「スズ箔蓄音機」

122. peepshow と呼ばれる映写販売機で、連続写真としてみることができた。

123. すなわち「撮影機兼映写機シネマトグラフ」

マイケルソン

124. エーテル系からみた地球

パーソンズ

125. タイン＝ウイア州東部

イーストマン

126. 1880 年イーストマン乾板会社設立、1892 年イーストマン・コダック社創立(社名変更)。

テスラ

127. つまり回転界磁型の交流発電機瀑布

トムソン

128. アーネスト・ラザフォードが 1911 年に提示した、原子核を中心とする原子構造のモデル。

ヘルツ

129. 英 quasar、独 Sternarutige。準星、QSO(quasi-stellar object)ともいう。

ディーゼル

130. 『蒸気機関や従来の内燃機関に代わる合理的な熱機関の理論及び構造』(1893)

プランク

131. 正確には「プランクの量子仮説」

アレニウス

132. 希薄電解質溶液の電気伝導に関する論文

133. 銅イオンをふくむ電解液

アイントホーフェン

134. 神経や筋などの興奮性細胞は刺激に応じて、興奮部位が静止部位に対して負になる一過性の電位変化を「活動電位」と呼び、活動電位が生じる結果流れる電流を「活動電流」という。

ホール

135. 8.23%。酸素、ケイ素につぐ。

ベークランド

136. 一般式 $R-CHO$

キュリー

137. 分別結晶法によって精製する。

ラントシュタイナー

138. 「抗体」(Antikörper, antibody)とは、生体内に抗原が侵入すると、抗原に対抗して動物ではおおむね血清中に形成され、抗原と抗原抗体反応を起こす物質の総称。

139. A 抗原に対応する抗体

ラザフォード

140. ラジオカーボン・デーティング(radiocarbon dating)

マルコーニ

141. 電波とは周波数が数テラヘルツ(THz)程度以下の電磁波をいう。

142. イングランド南西端の州

143. カナダ東端の州

144. coherer: 鉱石検波器の一種

アインシュタイン

145. シオニズム: ユダヤ人の国家再建運動をさす。

ラウエ

146. 「回折」(Beugung, diffraction)とは、波動の進行方向に障害物があると、波が障害物のうしろに回りこむ現象をいう。回折現象は波を示す特性である。

147. ふつう「格子線」といわれ、格子線の密度は、通常1mm間隔に 600～2,000 本である。

フレミング

148. β - ラクタム系の抗細菌抗生物質

ゴダード

149. 『超高層に到達する方法』(A Method of Reaching Extreme Altitudes)

ボーア

150. いわゆる「励起状態」(独 angeregter Zustand, 英 excited state)

151. 独 Energieniveau、英 energy level

ベアード

152. iconoscope: 初期のテレビ撮像管。1933 年アメリカの V.K.Zworykin が発明した。

シコルスキー

153. 現ウクライナの首都

154. したがって動力駆動ではない。

チャドウィック

155. 電気素量(Elementladung): 電荷の最小単位。電子 1 個のもつ電気量に等しく、すべての電気量はこの整数倍である。

ブロイ

156. 『量子論の研究』

157. アインシュタインの光量子仮説をさす。

ワトソン=ワット

158. 「マグネトロン」(Magnetron)は「磁電管」ともいう。マイクロ波すなわち極超短波を発振する電子管の一種。周波数が高くなると、コイルなどの代りに金属壁でかこまれた空間を用い、これを特に「空洞共振器」という。

カロザーズ

159. 単量体(モノマーMonomer)のこと

160. つまり重合体(ポリマーPolymer)のこと。

ジョリオ=キュリー

161. ポロニウムの α 線で衝撃する

カールソン

162. 感熱層を塗布した専用の複写用紙

クスター

163. 海面上から空気を送る他給気式潜水器

コッカレル

164. ブリティッシュ・ホバークラフト社の商品名

ブラウン

165. スイス北部の州およびその州都

タウンズ

166. coherent light: 干渉性(coherence)をもつ光をいう

クリック／ワトソン

167. アデニンーチミンとシトシンーグアニンの塩基配列

168. 遺伝暗号の最小単位で、1 つのアミノ酸を規定する 3 連塩基をコドン(Codon)という。

169. コドンまたはトリプレットといわれる。

以上

第159章 目次

はしがき	5
エンペドクレス(BC490-40)	6
デモクリトス(BC460-370)	8
ヒポクラテス(BC460 頃-375 頃)	10
アリストテレス(BC384-322)	12
アルキメデス(BC287 頃-212)	15
ヨハネス・ゲーテンベルク(1400 頃-1468)	17
レオナルド・ダ・ヴィンチ(1452-1519)	19
コペルニクス(1473-1543)	21
パラケルスス(1493-1541)	23
ゲオルギウス・アグリコラ(1494-1555)	25
ゲルハルドゥス・メルカトル(1512-1594)	27
ハンス・リッペルスハイ(1570 頃-1619)	29
ガリレイ(1564-1642)	31
ヨハネス・ケプラー(1571-1630)	33
ヤン・レークヴァーター(1575-1650)	35
ウィリアム・ハーヴィ(1578-1657)	37
エヴァンジェリスタ・トリチェリ(1608-1647)	40
ロバート・ボイル(1627-1691)	42
クリスティアン・ホイヘンス(1629-1695)	44
アントニ・ヴァン・レーウエンフック(1632-1723)	46
アイザク・ニュートン卿(1642-1727)	48
トマス・ニューコメン(1663-1727)	50
エイブラハム・ダービー(1678-1717)	52
ベンジャミン・フランクリン(1706-1790)	54

カール・フォン・リンネ(1707—1778)	56
ジェームズ・ハーグリーヴズ(1722—1778)	58
ジョン・ハンター(1728—1793)	60
ヘンリー・キャヴェンディッシュ(1731—1810)	62
リチャード・アークライト(1732—1792)	64
ジョゼフ・プリーストリー(1733—1804)	66
ジェームズ・ワット(1736—1819)	68
フリードリヒ・ヴィルヘルム・ハーシェル卿(1738—1822)	70
モンゴルフィエ兄弟	72
ジョセフ・ミエル(1740—1810)／ジャック・エティアン(1745—1799)	72
アントワーヌ・ローラン・ラヴォアジエ(1743—1794)	74
アレッサンドロ・ヴォルタ伯爵(1745—1827)	76
ジョゼフ・ブラマ(1748—1814)	78
エドワード・ジェンナー(1749—1823)	80
ニコラ・アペール(1750—1841)	82
ジョゼフ＝マリー・ジャカール(1752—1834)	84
ベンジャミン・トンブソン卿(1753—1814)	86
ウィリアム・マードック(1754—1839)	88
ジョン・ラウドン・マカダム(1756—1836)	90
ロバート・フルトン(1765—1815)	92
イーライ・ホイットニー(1765—1825)	94
ジョゼフ＝ニセフォール・ニエプス(1765—1833)	96
ジョン・ドルトン(1766—1844)	98
ジョルジュ・キュヴィエ(1769—1832)	100
トーマス・ヨハン・ゼーベック(1770—1831)	102
アーロイス・ゼーネフェルダー(1771—1834)	104
フリードリヒ・ケーニヒ(1774—1833)	106
アンドレ＝マリー・アンペール(1775—1836)	108
ハンフリー・デイヴィー卿(1778—1829)	110
ジョージ・スティーヴンソン(1781—1848)	112
ヨーゼフ・フォン・フラウンホーファー(1787—1826)	114

ゲオルク・ジーモン・オーム(1787-1854) 116
 エドワード・サビン卿(1778-1883) 118
 ルイ＝ジャック・マンデ・ダゲール(1789-1851) 120
 マイケル・ファラデー(1791-1867) 122
 サミュエル・モース(1791-1872) 124
 チャールズ・バベッジ(1792-1871) 126
 ジョゼフ・ヘンリー(1797-1878) 128
 ウィリアム・ヘンリー・フォックス・トールボット(1800-1877) 130
 フリードリヒ・ヴェーラー(1800-1882) 132
 クリスティアン・ヨハン・ドップラー(1803-1853) 134
 ジョゼフ・ホイットワース卿(1803-1887) 136
 イザムバード・キングダム・ブルネル(1806-1859) 138
 ジェームズ・ナズミス(1808-1890) 140
 ルイ・ブライユ(1809-1852) 142
 チャールズ・ロバート・ダーウィン(1809-1889) 145
 サイラス・ホール・マコーミック(1809-1884) 148
 アイザク・ピットマン卿(1813-1897) 150
 ヘンリー・ベッセマー卿(1813-1898) 152
 カール・ツァイス(1816-1888) 154
 ジェームズ・プレスコット・ジュール(1818-1889) 156
 イライアス・ハウ(1819-1867) 158
 ジャン・ベルナール・レオン・フーコー(1819-1868) 160
 クリストファー・レイサム・ショールズ(1819-1890) 162
 グレーゴル・ヨハン・メンデル(1822-1884) 164
 ルイ・パストゥール(1822-1895) 166
 エティエンヌ・ルノアール(1822-1900) 168
 ウィリアム・ジーメンス卿(1823-1883) 170
 グスタフ・キルヒホフ(1824-1887) 172
 ケルヴィン卿、本名ウィリアム・トムソン(1824-1907) 174
 ジョゼフ・リスター(1827-1912) 176
 ジョゼフ・ウイilson・スワン卿(1828-1914) 178

アウグスト・ケクレ(1829-1896) 180
ジェームズ・クラーク・マクスウェル(1831-1879) 183
ニコラウス・オットー(1832-1891) 185
ウィリアム・クルックス卿(1832-1919) 187
ゴットリープ・ダイムラー(1834-1900) 189
ドミトリー・メンデレーエフ(1834-1907) 191
ヨハネス・ディデリク・ファン・デル・ワールス(1837-1923) 193
ウィリアム・ヘンリー・パーキン卿(1838-1907) 195
エルンスト・マッハ(1838-1916) 197
フェルディナント・フォン・ツェペリー伯爵(1838-1917) 199
ジョン・ボイド・ダンロップ(1840-1921) 201
ローベルト・コッホ(1843-1910) 203
カール・ベンツ(1844-1929) 205
ヴィルヘルム・レントゲン(1845-1923) 207
アレクサンダー・グレアム・ベル(1847-1922) 209
トマス・アルヴァ・エジソン(1847-1931) 211
イワン・ペトヴィチ・パヴロフ(1849-1936) 213
アントワーヌ・アンリ・ベクレル(1852-1908) 215
アルバート・アブラハム・マイケルソン(1852-1931) 217
アルフォーン・ベルティヨン(1853-1914) 220
オトマル・メルゲンターラー(1854-1899) 222
パウル・エールリヒ(1854-1915) 224
チャールズ・アルジャーノン・パーソンズ卿(1854-1931) 226
ジョージ・イーストマン(1854-1932) 228
ニコラ・テスラ(1856-1943) 230
ジョーゼフ・ジョン・トムソン卿(1856-1940) 232
ハインリヒ・ルードルフ・ヘルツ(1857-1894) 234
ルードルフ・ディーゼル(1858-1913) 236
マックス・プランク(1858-1947) 238
スヴァンテ・アウグスト・アレニウス(1859-1927) 240
ウィレム・アイントホーフェン(1860-1927) 243

パウル・ニプコー(1860-1940) 245
 ヴィルヘルム・ビエルクネス(1862-1951) 247
 リュミエール兄弟 250
 オーギュス(1862-1954)とルイ((1864-1948) 250
 チャールズ・マーティン・ホール(1963-1914) 253
 レオ・ヘンドリック・ベークランド(1863-1944) 255
 ヘンリー・フォード(1863-1947) 257
 ライト兄弟 260
 ウイルバー(1867-1912)とオービル(1871-1948) 260
 マリー・キュリー(1867-1934) 262
 ウォレス・クレメント・セービン(1868-1919) 264
 カール・ラントシュタイナー(1868-1943) 266
 フリッツ・ハーバー(1868-1934) 269
 アーネスト・ラザフォード卿(1871-1937) 271
 グリエルモ・マルコーニ(1874-1937) 274
 アルベルト・アインシュタイン(1879-1955) 276
 マックス・フォン・ラウエ(1879-1960) 279
 オットー・ハーン(1879-1968) 281
 アレグザンダー・フレミング卿(1881-1955) 283
 ロバート・ハチングズ・ゴダード(1882-1945) 285
 ニールス・ボーア(1885-1962) 287
 ジョン・ローギ・ベアード(1888-1946) 289
 イーゴール・イワノビチ・シコルスキー(1889-1972) 292
 ジェームズ・チャドウィック(1891-1974) 294
 ルイ・ヴィクトール・ド・ブロイ(1892-[1987]) 296
 ロバート・ワトソン=ワット卿(1892-1973) 298
 ウォレス・ヒューム・カロザーズ(1896-1937) 300
 ジョン・ダグラス・コッククロフト卿(1897-1967) 302
 ジョリオ・キュリー夫妻 304
 フレデリック(1900-1958)とイレエヌ(1897-1956) 304
 エンリコ・フェルミ(1901-1954) 306

フェリクス・ヴァンケル(1902-[1988])	308
ジョン・ロバート・オッペンハイマー(1904-1967)	310
チェスター・フロイド・カールソン(1906-1968)	312
フランク・ホイットル卿(1907-[1996])	314
エドウィン・ランド(1909-[1991])	317
ジャック・イヴ・クストー(1910-[1997])	319
クリストファー・コッカレル(1910-)	321
ヴェルンヘア・フォン・ブラウン(1912-1974)	323
ジョーナス・ソーク(1914-[1995])	325
チャールズ・ハード・タウンズ(1915-)	327
フランシス・クリック(1916-)	330
ジェームズ・ワトソン(1928-)	330
クリスティアーン・バーナード(1922-)	333
索引	335
補注	338
訳注	344

