
世界科学者事典

デービッド・アボット 編／日本語版監修 伊東俊太郎

4

物理学者

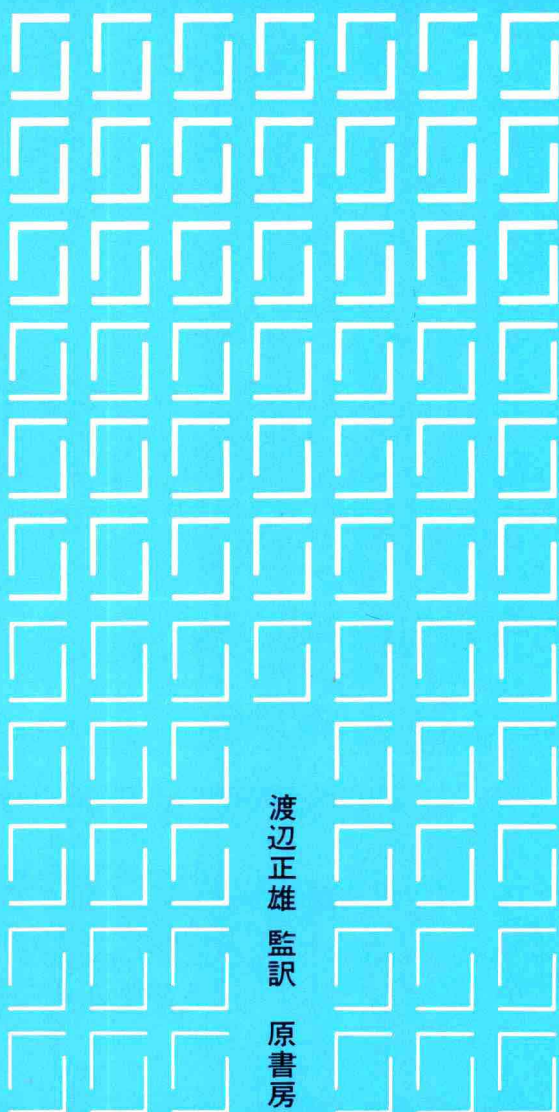
The Biographical Dictionary of Scientists

世界科学者事典

デービッド・アボット 編／日本語版監修 伊東俊太郎

4

物理学者



渡辺正雄
監訳
原書房

THE BIOGRAPHICAL DICTIONARY OF SCIENTISTS

Physicists

Edited by David Abbott

Copyright © Frederick Muller Ltd., London. 1984

Translation Rights Arranged

through

UNI AGENCY INC., Tokyo

監修者序文

現代はまさに科学技術の時代である。この方面における最近の進歩発展には、まことに目をみはるものがある。今や人類の将来は、この科学技術をいかに人間化し、人々の生活と調和したものにしてゆくかに、懸っていると言えよう。このときに当って何よりも銘記すべきことは、科学技術がどのような結果をもたらそうと、結局それをつくり出すものは外ならぬ人間であるという事実である。科学技術の背後には、それをつくり上げていった個々の科学者や技術者の抱負と不安、希望と挫折、歓喜と苦悩の綾なす「生」の具体的過程がある。このことを生き生きと我々につげ知らせてくれるものが、科学者・技術者の「伝記」であり、これを通して一見超人間的で客観的と思われる科学技術の世界が、むしろ生々しい人間ドラマの主体の所産であることを知るのである。ここにはじめて科学技術と人間の、血のかよった具体的関わりが照らし出されてくる。

今日の科学技術時代において想起されなければならないのは、こうした科学技術の人間の基盤である。科学技術は、それを生み出す人々の意志や希望や生活と無縁に成長してゆく怪物「リヴァイアサン」ではない。科学技術を、それをつくり出す人々の生き方と関わりなく発展する巨大な一箇の「メガマシーン」と考えてしまうことほど、危険な誤解はない。

科学技術の底には、生きとし生ける人間の生活、その文化的社会的な環境がある。科学技術をこうした具体的な「生」の場における人間的営みに引き戻して捉え直すことは、これから科学技術と人間との関係を考えてゆく上で、多くの貴重な示唆を与えるであろう。この『世界科学者事典』（原名「科学者伝記事典」）が、こうした科学の人間化においても、ある種の役割を果たすことが今日期待される。

さて近頃はさまざまな種類の事典が世に出されて、事典ブームの感すらある。しかし意外なことに、この科学技術時代にもかかわらず、本格的な「科学者技術者事典」というものはまだ存在していない。かつて終戦まもない昭和24年に『世界科学者事典』（山海堂）というのが上梓されたが、これは180ページほどの袖珍本で甚だ不十分なものである上に、今日では絶版で入手不可能である。『科学史・技術史事典』（弘文堂）には、かなりの数の科学者・技術者の項目があるが、人名以外の項目を多数を含まねばならなかったから、記述の詳しさに自ずと制限がある。『理化学事典』（岩波書店）その他の多くの「科学事典」にも多少の人名が収録されているとはいえ、当然のことながらその数は少く記述も短く断片

的である。『天文学人名辞典』（恒星社）はあるが、なお天文学の分野に限られている。

それゆえ本事典は、科学のあらゆる分野を包含した我が国最初の「科学者・技術者事典」であり、世界の重要な科学者・技術者についてその生涯と業績について調べるには、まずもって参照さるべきものと言える。各巻の最初には序文として「歴史的概観」があり、まず全体の展望が与えられ、最後には「用語解説」を付して専門用語の理解を助け、図解も豊富に挿入し、さらに事項別にその事柄に関係した科学者たちの名前が一括して挙げられているなどは、本事典の著しい特長であり、使う人の身になって仲々親切にできていると思う。原書がイギリスの出版であるから、我々から見ると項目の選択に多少の偏りがあるうが、この点は各巻監訳者の判断により、とくに日本人学者については適宜に人名項目の補充を行ったり、彼らの業績をくみ入れたりして、我が国の読者の便宜をはかった。また原書の記述が内容的に正確でないと分ったところは、それらを訂正して多くの改善をはかった。索引も日本版ではとくに工夫をこらして、利用しやすいようにしたつもりである。

1200名にも及ぶ人名について、かなり詳しい伝記的記述を擁し、しかも近現代に重点をおいた本事典によって、世界の科学者・技術者についての我が国における情報ギャップが、相当部分うめられたことは間違いないと自負している。科学技術を研究し、評価し、その人間的在り方に関心を寄せている多くの読者のお役に立つことを冀うものである。

最後に、読者のために出来るだけ正確で分り易い訳文をつくるべく努力された各巻の監訳者・訳者のご協力に深く感謝したい。またこの種の大がかりな出版を企図し、実現した原書房社長成瀬恭氏の決断に敬意を表し、その編集に力を尽された寿田英洋氏をはじめとする出版社の方々に謝意を表する次第である。

1985年10月30日

伊東 俊太郎

物理学の歴史

物理学は、理論と実際とがたがいにしっかりと絡み合った分野である。このことはずっと昔からいえることであって、物理学者たちが観察や実験の結果の解釈に努力してきたのは、宇宙のふるまいを支配する根本法則に到達しようとしてのことであった。物理学者たちが研究対象とする物質とエネルギーは、生物界であれ無生物界であれ、また大は銀河宇宙から小は原子の内奥にいたるまで、あらゆる事物、あらゆる過程に姿を現わすものである。

物理学の歴史は、けっしてまっすぐで安楽な道をたどってきたわけではなかった。新しい方向への探究は、しばしば袋小路に達着する。事物の新しい見方は、結果として、それまで受け容れられていた理論体系を捨て去ることにもつながる。アリストテレスの理論体系も、ニュートンの体系も、アインシュタインの体系ですらも、「真」ではなかった。物理学が述べること、「法則」の内容は、ある限られた時代の要求を満たすもの、もしくは、その時代の既存の知識の状態からしてありうると考えられるもの、であるにすぎない。物理学者が発する問いは、「それは真か？」であるよりは、むしろ「それでうまくいくか？」という問いである。

物理学は多くのより糸——力、熱、光、音、電気、磁気など——によってあざなわれており、それらは往々にして別々に探究されているが、究極のところではすべてがたがいに依存し合っている。したがって、物理学の歴史を理解するには、個々の分野での発見の系譜を別々にたどるだけでなく、そのあとで相互の結びつきを見出すことが必要である。そこに現われるのは、天才と忍耐の物語であると同時に、挫折と不運の物語でもある。しかし、それがどれほどこみいった物語にみえようと、すべての物理学者は、全宇宙に生ずるあらゆる現象についての唯一かつ究極的な説明の創建に一役買おうとしてきたのであり、また今もそう

しようとしているのである。この目標は到達しない目標であるかもしれないが、しかしこの目標ゆえに、物理学は、かつてそれが誕生した昔も今も、活発な生命を保っているのである。

力と運動

力と運動の本性に関して、物理学はめざましい理解を示した。そのめざましい勝利は、科学的方法の出現を画す出来事でもあった。物理学の他の分野のほとんどがそうであったように、この分野の発展も古代ギリシアに始まった。

磁気現象などの観察を別にすれば、楽音と振動弦の長さとの関係についてなされた発見は、物理学史上最初になされた発見のひとつである。ピュタゴラス Pythagoras (前582頃-497頃) は、調和音を与えるのはその長さが簡単な整数比（たとえば $2:1$, $3:2$, $4:3$ など）をなす2本の弦であることを見出した。この発見から、すべての説明は数のうちに見出されるという信念が育った。この考えはプラトン Platon (前427頃-347頃) によってさらに発展させられ、いかなる結果の背後にも、数学的形式で表現される原因が存在する、という確信となった。天体は円運動をするにちがいない、なぜなら円はもっとも完全な幾何学的図形だから、とプラトンは考えた。

デモクリトス Demokritos (前470頃-380頃) は、すべては原子（アトム）と呼ばれる分割不可能な微小粒子からなると考えた。この考えによれば、物質の性質はそれを構成する原子の性質に依存し、原子は不変の根本的な自然法則によってその結合の仕方を決められている。

物質の本性についての第3の見解はアリストテレス Aristoteles (前384-322) によって与えられた。彼は、観察されるままの世界を、原子や数学といった抽象に頼らずに解釈しようと努力した。

彼の考えによれば、物質は四つの元素——土、水、空気、火——からなり、第5の元素であるエーテルが天界を構成している。運動が生ずるのは、物体が諸元素の織りなす秩序のなかで自らのあるべき場所を占めようとするからである。たとえば岩石は、空気と水の層を突きぬけて大地へと落下し、空気は水中を泡となって上昇し、火は空気中を煙となってたち昇る。

これらのどのアプローチにも見るべきものがあり、物理学は、いずれからも何がしかを吸収してきた。プラトンは基本的には正しかった。ただ彼の幾何学がまちがっていたのである。たとえば、諸惑星は、円軌道ではなく楕円軌道をめぐるのである。デモクリトスの予言のとおり原子はたしかに存在するし、原子によって物質の諸性質は説明される。アリストテレスが強調した観察ということ、物理学や他の多くの科学での主役となっている。とりわけ生物学ではそうであり、アリストテレスはその創始者ともくされてよい人物である。

しかしながら、いずれの見解も、もっぱら推論にもとづいてうち出されたものであった。正しいかどうかを実験によって確かめるということはほとんどなされなかった。そこに登場したのがアルキメデス Archimedes (前287頃-212) であった。彼は、生ずる結果を測定しそこから一般法則を導く、というやり方で、槌子の法則と浮体の原理を発見した。そして、自分の発見した諸法則を利用していくつもの滑車を組合わせた装置を製作したり、ヒエロン王の王冠を水に浸すという方法によって、その黄金の純度を試験することができたのである。

こうしてアルキメデスは、物理学に科学的方法を導入した。その後、物理学者によってなされた主要な業績のすべては、観察と実験を数学的に解釈するという形をとることになった。アルキメデスはこの方法を展開して静力学の基礎を築いた。それは、どのような力が働けば釣合いが達成されるかを明らかにする学問である。しかし、運動が理解されるのは、まだずっと先のことであった。

西暦100年頃、ギリシア文明は崩壊し、その後何

世紀も、物理学は足踏み状態が続けた。アラビア人たちはギリシア人の成果を絶やさずに保存はしたが、彼らの手で物理学を発展させることはほとんどできなかった。一方ヨーロッパでは、「暗黒の時代」が科学的精神を覆い隠してしまった。1200年頃、アラビア圏からのギリシアの知的遺産の移入によって、ヨーロッパにおける探究の精神には再び火がともされた。しかし、アリストテレスの考え方、とりわけその運動概念が支配的であったため、進歩は幾分妨げられた。アリストテレスは、重い物体はその重さゆえに軽い物体より速く落下する、と考えていた。また、投げられた石が運動し続けるのは、石によって押しのけられた空気が石の背後にまわり込み、石をうしろから押すからだ、と唱えていた。この説明は、自然は真空を嫌う、というアリストテレスの確信から導かれたものであった（彼が天界に第5元素を考えたのも、この確信のゆえである）。

落下物体に関するアリストテレスの考えを最初反証したのは、おそらくステヴィン Simon Stevin (1548-1620) であった。彼は重さの異なるおもりを同じ高さから落とし、それらが同時に地面に達することを見出した、と思われている。同じ頃ガリレオ Galileo Galilei (1564-1642) は、斜面に沿って球をころがすことによって、「落下」物体の速さの測定を行ない、重力による物体の運動を支配する法則を発見した。この仕事を最高の段階にまで仕上げたのはニュートン Isaac Newton (1642-1727) であった。ニュートンはその運動の3法則のなかで、力と運動の理解を達成し、それらを質量に関係づけ、慣性および運動量の存在を明らかにした。こうしてニュートンは、投げられた石がなぜ運動し続けるのかを説明し、また物体の落下法則が、彼のもっと一般的な法則の特殊ケースであることを明らかにした。彼はさらに、地球-月系の運動および関連する諸量についての既存の知識にもとづいて、万有引力の法則を導いた。この法則は、ケプラー Johannes Kepler (1571-1630) が経験的に見出した、惑星運動の3法則を数学的に基礎づけるものであった。

1687年に発表された、ニュートンの運動法則と

万有引力の法則は、力と運動にかかわるあらゆる観察事実を説明しようとする根本法則であった。科学的方法のこの勝利は、「理性の時代」の幕あけを告げるものであった。ただし、その理性はギリシア的理性ではなく、すべては観察や実験によって支えられた根本法則からの演繹によって、説明することができるという信念を意味した。こうして、爆発的な発見が物理学にもたらされ、それは今日まで続いてきた。力と運動にかかわる分野での重要な進歩は、ホイヘンスChristiaan Huygens (1629-1695)による振子の法則、および運動量保存の原理の発見や、キャヴェンディッシュ Henry Cavendish (1731-1810) による重力定数の値の決定によってなされた。

物質のふるまい

物理学が基本的に問題とするのは物質とエネルギーである。物質のふるまいについての研究も、古代ギリシア、つまりアルキメデスの浮体に関する研究から始まった。力と運動の場合と同様、ギリシア以後、最初の前進をもたらしたのはステヴィンであった。彼は、液体の圧力がその深さと面積に依存することを発見した。この発見をさらに発展させたのはパスカル Blaise Pascal (1623-1662) であった。パスカルは、閉じた容器内の液体に加えられた圧力はその全域に伝わり、任意の点で考えた面に垂直に作用することを見出した。このパスカルの原理は、水力学の基礎である。彼はまたトリチェリ Evangelista Torricelli (1608-1647) が1643年に発明した水銀気圧計についての研究を行ない、水銀柱を支えているのは大気圧力であること、水銀柱の上部には真空が存在することを明らかにした。こうして、真空は存在しないというアリストテレスの主張は退けられた。大気のおよぼす巨大な圧力は、その後ゲーリケ Otto von Guericke (1602-1686) によるいくつかの見事な実験によって証明された。

固体物質についても研究がなされた。弾性に関する基本法則は、1678年にフック Robert Hooke (1635-1703) によって発見された。彼はこの年、

物体に加えられる力（応力）は、それによって生ずる伸び（ひずみ）に比例する、ということを示した。のちにヤング Thomas Young (1773-1829) は、どんな物質にも固有の定数——ヤング率として知られている——を考えることができ、それによって一定の応力に対して生ずるひずみの大きさが決まる、ということを示した。

ついで、流体（液体および気体）の運動にもなって生ずる諸現象が探究された。ベルヌーイ Daniel Bernoulli (1700-1782) は、流体の圧力はその速度に依存する、という発見によって流体力学を確立した。このベルヌーイの原理は浮揚現象を説明するものであり、やがては空気より重い飛行機械の発明を導くことになった。また、エネルギー保存の考えや気体分子運動論にもつながるものであった。

他に流体の流れについての理解を前進させた重要な業績としては、ストークス George Stokes (1819-1903) の発見があげられる。彼は流体の運動をその粘性に関係づける法則を見出した。またマッハ Ernst Mach (1838-1916) とプラントル Ludwig Prandtl (1875-1953) は、さまざまな表面に沿った流体の流れについて研究し、航空力学の核心となるような諸発見を行なった。

光をめぐる諸現象

ギリシア人たちは、光が直進することに気づいていた。しかし彼らは、光線は目から発し、見られる対象へ伝わると信じた。エウクレイデス Eukleides (前325頃-260)、ヘロン Heron (60頃 活躍)、プトレマイオス Klaudios Ptolemaios (2世紀に活躍) らはみなこの意見だった。しかし彼らは、光学が本質的に幾何学の問題であることを理解して、反射の法則を発見し、屈折を研究した。

イブン・アル・ハイサム（アルハーゼン）Abu' Ali al-Hassan Ibn al-Haytham (ラ) Alhazen (965-1040頃)の研究によって、光学は大きな進展を遂げた。彼はおそらく中世最大の科学者であり、光線は光源から発し、対象物で反射して目にやって来ることを知っていた。彼は曲面鏡やレンズに

よってつくり出される像を研究し、それに関する幾何光学を築いた。イブン・アル・ハイサムの諸発見がヨーロッパに伝わるのは何世紀ものちのことであり、ヨーロッパで彼を超える業績が生み出されたのは、ようやく17世紀になってからであった。1608年にオランダで屈折望遠鏡が発明され、ガリレオやケプラーによってすぐさま改良を加えられた。1621年にスネル Willebrord Snell (1580-1626) は、屈折を支配する法則を発見した。

次の大きな前進はニュートンによってなされた。彼は1668年に反射望遠鏡を発明しただけでなく、その2、3年前に、白色光がプリズムによって色スペクトルに分解することを見出した。ニュートンは自分の光学研究の成果を、1704年に一冊にまとめて公刊した。光は粒子の流れであるという彼の主張は、大きな論争を呼び起こした。ホイヘンスは、光は波動であるという見解を唱えていた。この見解は、グリマルディ Francesco Grimaldi (1618-1663) の回折現象の発見によって力を得ていた。しかしニュートンの名声のゆえに、光の粒子説は次の世紀を支配した。1801年にヤングは干渉原理を発見した。これは、光が波であると仮定しなければ説明のつかないものであった。光の波動説が確認されたのは1821年であった。この年フレネル Augustin Fresnel (1788-1827) は、マリユス Étienne Malus (1775-1812) によって1808年に発見された偏光現象の研究から、光の正体が横波——波動説において、それまで考えられていたような縦波ではなく——であることを明らかにした。

ニュートンによって発見された光のスペクトルは、1814年になるまで単なる好奇の対象の域をほとんど出ることにはなかった。この年フラウンホーファー Joseph von Fraunhofer (1787-1826) は、太陽のスペクトルを（現在フラウンホーファー線として知られている）何本もの暗線が横切っているのを発見した。彼はその暗線を説明することはできなかったが、より明確なスペクトルを得るための回折格子や、そのスペクトルを研究するための分光器を発明した。暗線の説明を与えたのはキルヒホフ Gustav Kirchhoff (1824-1887) であっ

た。彼は1859年に暗線が太陽大気中に存在する諸元素によって生ずることを明らかにした。キルヒホフはブンゼン Robert Bunsen (1811-1899) と共同で、諸元素が固有のスペクトルを示すこと、したがってスペクトルから元素の同定が可能であることを見出した。いくつかの新元素がこの方法で発見された。1885年にバルマー Johann Balmer (1825-1898) は、水素のスペクトル線の各振動数間の数学的關係を見出した。これはのちに、原子構造についての革命的な理論に決定的な証拠を与えることになった。

一方、何人かの科学者、とりわけヤング、ヘルムホルツ Hermann von Helmholtz (1821-1894)、マクスウェル James Clerk Maxwell (1831-1879) らは、色の現象を研究した。彼らの研究から、光の三原色理論が確立された。それによれば、目は光に含まれるさまざまな量の赤、緑および青の色に反応し、それらを混ぜ合わせることによって任意の色の印象を得る。この考え方は、カラー写真など今日用いられている色の再生技術に直接つながっている。

光の速さは、1862年にフーコー Jean Foucault (1819-1868) によって初めて正確に測定された。彼の得た値は、正しい値から1%もはずれていなかった。これは、マイケルソン Albert Michelson (1852-1931) とモーリ Edward Morley (1838-1923) の有名な実験への道をしつらえた。それは、光速を、たがいに垂直な二つの方向で測定する実験であった。彼らの目的は、エーテルと呼ばれる媒体が存在してそれが光波を伝える、という理論をテストすることであった。もしエーテルが存在するなら、得られた二つの値は互いに異なるはずであった。マイケルソン-モーリの実験は1881年に行なわれ、さらに1887年に繰り返された。2度とも（またその後の追試のたびに）結果は否定的であった。それはエーテルが存在しないことを証明していた。

もっと重要なことは、マイケルソン-モーリの実験が、光速は観測者の運動によらず一定であることを示したことであった。この結果とすべての運動は相対的であるという要請とから、アインシュ

タイン Albert Einstein (1879-1955) は1905年に特殊相対性理論を演繹的に導いた。特殊相対論の結論の核心は、観測者に対して運動する系においては、長さ、質量、時間が速度とともに変化することであった。その効果がはっきり現われるのは、系の速度が光速に近い場合だけであり、低速ではニュートンの諸法測が成りたつ。特殊相対論は、原子構造に関する、新しい理論の形成に決定的な役割を果たした。またそれは、質量とエネルギーの等価性という考えを導いた。この考えは、のちに核反応の巨大な威力を説明するのに用いられた。1915年にアインシュタインは一般相対性理論を発表した。そこで彼は、重力が空間をひずませることを示したが、それは水星の運動がニュートンの法則に厳密には従わないという変則事実を説明するものであった。アインシュタインのこの理論は、1919年の日蝕時に、太陽の重力によって恒星からやってくる光線が曲げられることが明らかにされ、劇的なかたちで確認された。

電気と磁気

電気と磁気の現象を最初に研究したのは、古代ギリシアの哲学者タレス Thales (前624頃-546頃) であった、と考えられている。彼は、古代ギリシア人たちによって、自分たちの科学の祖とみなされた人物であった。タレスは、一片のコハクを擦るとそれが軽い物体を引きつけて持ちあげること、つまり摩擦によってコハクに静電気が生ずるという現象を見出した。“electron” (電子) とか “electricity” (電気) という語は、この発見に由来している (「エレクトロン」とはギリシア語でコハクを意味する)。彼はまた、マグネシア地方で発見された磁気を帯びた鉱石、つまり磁石片が相互におよぼす効果をも研究した。電気と磁気の研究の歴史が同じ源から発しているというこの事実には、いかにもそれらにふさわしいことであった。なぜなら、両現象が互いにつながっているという、やがてなされることになった発見こそ、物理学におけるもっとも重要な発見のひとつであったからである。

しかし、その後のほぼ2000年間、それ以上の進展はなかった。コハクの不思議なふるまいは、長いこと単なる好奇の対象でしかなかった。しかし、やがて磁石が羅針儀をつくるのに用いられ、そこからペレグリヌス Petrus Peregrinus (1200年頃活躍) は、磁石に北極と南極があること、両極は互いに引き合ったりしりぞけ合ったりすることを発見した。ギルバート William Gilbert (1544-1603) は、初めて地球の磁気を説明するとともに、電気の研究をも手がけ、コハクのほかにも、擦るものを引きつける物質があることを見出した。

その後、デュフェ Charles-François Dufay (1698-1739) は、擦られて荷電された物質が、ちょうど磁極と同じように、ものを引きつけるだけでなく、しりぞけることをも発見した。フランクリン Benjamin Franklin (1763-1806) は、正電荷と負電荷が電気の過剰ないし不足によって生ずるという考えを提唱した。クーロン Charles Coulomb (1763-1806) は、磁極間および電荷間に生ずる力を測定し、磁力も電気力も同じ逆自乗則に従うことを見出した。

1800年にヴォルタ Alessandro Volta (1745-1827) が、電池を発明して大きな一歩が踏み出された。今や電流源が獲得されたわけで、1820年にはエールステズ Hans Oersted (1777-1851) が、電流によって磁場が作り出されることを発見した。この電流の磁気作用の発見は、すぐさまファラデー Michael Faraday (1791-1867) によってとりあげられた。ファラデーは、磁力線が電流をとり囲んでいるにちがいないと考えた。彼はこのような考えにもとづいて、1821年に電動機の原理、1831年に電磁誘導、すなわち磁場の変化によって電流が作り出される現象を発見した。ヘンリー Joseph Henry (1797-1878) も、同じ頃同じ現象を独立に発見した。

これと並行して電気学における重要な理論的発展も開始されていた。1827年にアンペール André Ampère (1775-1836) は、磁力と電流の定量的関係を表わす法則を発見し、また電流と起電力 (EMF) の概念的区別を行なった。同年、オーム Georg Ohm (1789-1854) は、電流、電圧、抵抗

の関係を表わす有名なオームの法則を発表した。キルヒホフは、のちにオームの法則を網目状の電流回路に拡張した。彼はまた、静電ポテンシャルと起電力とが同じものであることを示して、静電気と電流電気を統一した。

1830年代にはガウス Carl Gauss (1777-1855) とヴェーバー Wilhelm Weber (1804-1891) が磁気の適切な単位系を定義し、電気についても同じことを行なった。1845年にファラデーは、物質が常磁性もしくは反磁性であることを発見し、ケルヴィン卿 Lord Kelvin (1824-1907) は、ファラデーの仕事を発展させて、より完全な磁気理論を築いた。磁気の原因が最終的に説明されたのは1905年であった。この年ランジュヴァン Paul Langevin (1872-1946) は、磁気が電子の運動によるものであることを明らかにした。

電気と磁気の統一的把握は、マクスウェルによる見事な理論的総合のなかで最終的に達成された。1855年から1873年にかけて彼が発展させた電磁気学理論は、電場と磁場が波動を形成して伝播すること、光がそうした電磁放射であることを示した。マクスウェルは、ほかにも同様の電磁放射が存在するにちがいないと予言し、やがてヘルツ Heinrich Hertz (1857-1894) が、1888年に電波を作り出した。また X 線および γ 線がその後まもなく偶然的に発見された。

熱とエネルギーの本性

熱の測定と、したがってまた熱を理解することに向けての第一歩は、ガリレオによって踏み出された。彼は1593年に、はじめて簡単な温度計を製作した。この器具は次第に改良され、1714年にファーレンハイト Daniel Fahrenheit (1686-1736) は水銀温度計を発明し、カ氏温度目盛 ($^{\circ}\text{F}$) を考案した。この目盛は、物理学のなかでは1742年にセルシウス Anders Celsius (1701-1744) によって提唱されたセ氏温度目盛 ($^{\circ}\text{C}$) にとってかられた。

その当時、熱はカロリックと呼ばれる流体と考えられていた。この流体は、物体が熱せられたり

冷やされたりするに応じて、物体に流れ込んだり物体から流れ出たりするものとされた。この考えは、1781年にラムフォード伯 Count Rumford (1753-1814) が反証し (熱運動論)、さらに1798年に砲身の中ぐりの実験にもとづいてその誤りを明示したのちでさえ存続した。すでにブラック Joseph Black (1728-1799) は、物体内の熱量、諸物質の潜熱と比熱に正しい定義を与えていた。ブラックによって決定された数値は、蒸気機関の改良に利用され好結果をもたらした。同じくカロリック説の信奉者であったカルノー Sadi Carnot (1796-1832) は、1824年に、熱機関によって生み出される仕事の量が、機関の作動温度だけに関係することを発見した (カルノーが後にカロリック説を放棄したことは、その遺稿のなかに見い出される)。

このカルノーの定理の正しさは、それがカロリック説にもとづいていたからといって損なわれるものではなかった。しかし、それが示唆するように熱が仕事を生むとすれば、熱は流体ではなく運動の一形態である可能性が出てくる。また、エネルギーがある形態から別の形態へ (たとえば熱から運動へ)、総量を変化させずに転換するのではないか、という考えも登場してきた。エネルギー諸形態の相互転換および保存原理は、1840年代に何人かの物理学者たちの手で確立された。最初にマイヤー Julius Mayer (1814-1878) がこの原理を一般的な形で定式化し、熱の転換によって得られる仕事の大きさ (熱の仕事当量) の理論値を得た。ヘルムホルツはこの原理に、より確かな科学的基礎を与え、ジュール James Joule (1818-1889) は熱の仕事当量の正確な実験的決定を行なった。クラウジウス Rudolf Clausius (1822-1888) とケルヴィンは、熱と仕事を支配する理論を発展させ、熱力学を創始した。そこからケルヴィンは、今日彼の名を付して呼ばれる絶対温度目盛 (K) を提唱することができた。

熱と運動の等価性という考え方から、気体の分子運動論が導かれた。1845年から1868年にかけて、ウォーターストン John Waterston (1811-1883)、クラウジウス、マクスウェルおよびボルツ

マン Ludwig Boltzmann (1844-1906) らの手で発展させられた気体分子運動論は、あらゆる熱現象を分子の運動という観点から理論的に記述する理論であった。

19世紀のあいだに、熱が放射によって伝えられることも理解されるようになった。物体がどのように熱を交換するかについての先駆的な理論研究は、1791年にプレヴォー Pierre Prévost (1751-1839) の手でなされていた。また太陽の熱放射が赤外線であることは、ハーシェル William Herschel (1738-1822) が1800年に発見していた。1862年にキルヒホフは、完全黒体——あらゆる振動数の放射線を吸収、放出する理想物体——の概念をうち出した。1879年にシュテファン Josef Stefan (1835-1893) は、黒体が放射するエネルギーと温度の関係を表わす法則を発見した。しかし物理学者たちは、放射の振動数分布を温度に関係づけることはできなかった。温度が上昇すると放射の振動数分布の極大は高振動数側に移動し、したがって熱せられた物体は、次第に赤から黄へさらに白へと色を変える。レーリ卿 Lord Rayleigh (1842-1919) とヴィーン Wilhelm Wien (1864-1928) は、この現象について理論をたてたが完全なものではなかった。ついで1900年にプランク Max Planck (1858-1947) が、この現象を説明するには、放射が量子と呼ばれるそれ以上分割できない単位からなり、その単位のエネルギーは放射の振動数に比例する、という仮定が必要であることを明らかにした。

プランクの量子論は物理学に革命をもたらした。それは、熱放射および光を含めた他の電磁放射が、それまで考えられてきたような波ではなく、分割不可能なエネルギーの粒子からなるにちがいないということを明らかにした。1905年にアインシュタインは、量子論を用いて光電効果をたちどころに説明してみせた。量子論は、1920年代初期にフランク James Franck (1882-1964) によって実験的に確証された。

熱研究に関連して同じ頃進展をみたもうひとつの分野は、低温科学である。1852年にジュールとケルヴィン（トムソン）は、彼らの名を冠して呼

ばれている効果（ジュール・トムソン効果）を発見した。この効果を利用すれば、気体の断熱膨張によって冷却状態をつくり出すことができる。デュワー James Dewar (1842-1923) は1877年以降、この効果を利用して気体を液化するための実用的な方法の開発に努力した。カマーリング・オンネス Heike Kamerlingh-Onnes (1853-1926) は、絶対零度に近い温度をつくり出すことに初めて成功し、1911年には超伝導現象を発見した。

音

音の研究は古代ギリシア人たち、とりわけピュタゴラスによってかなりの基礎を固められた、物理学の一分野である。彼らは、真空中では音は伝わらないだろうことを正しく推測した。これはやがて1650年にゲーリケによって実験的に証明された。空気中での音速の測定はガッサンディ Pierre Gassendi (1592-1655) によって、また他の物質中でのそれはクント August Kundt (1839-1894) によってなされた。クラドニ Ernst Chladni (1756-1827) は、発音体表面の振動がどのように音波をつくり出すのかを研究し、ドップラー Christian Doppler (1803-1853) は1845年に、音の振動数（きこえる音の高さ）が音源と観測者の相対運動に応じて変化することを発見した。ドップラー効果と呼ばれるこの現象は、光やその他の波動現象においても生じることが見出され、天文学の研究ではとりわけ重要な役割を演じている。

原子の構造

原子の存在は、19世紀のあいだに化学者たちによって理論的に明らかにされた。しかしその最初の実験的証明と、原子の大きさの最初の見積りは、1909年にペラン Jean Perrin (1870-1942) によってなされた。

今世紀の物理学が主に目指してきたのは、原子の内部構造を決定することであった。その出発点となったのは、1897年のトムソン J.J. Thomson (1856-1940) による電子の発見である。彼は陰極

線が分割不可能な電気の微小粒子の流れであることを明らかにした。ついでタウンゼンド John Townsend (1868-1937) とミリカン Robert Millikan (1868-1953) が、電子の電荷と質量を見出した。

一方もうひとつの重要な発見が、ベクレル Antoine Becquerel (1852-1908) の1896年における放射能の検出によってもたらされた。3種の放射能が見出され、それらはラザフォード Ernest Rutherford (1871-1937) によって、アルファ (α)、ベータ (β)、ガンマ (γ) と名づけられた。ベクレルは1900年に、 β 粒子が電子であることに気づいた。ラザフォードは1903年に、放射能が原子の崩壊によって生ずるという説明を与えた。1908年には α 粒子がヘリウム原子核であることをつきとめ、ついで1911年にはガイガー Hans Geiger (1882-1945) と共同で、核とそのまわりの軌道をめぐる電子からなる原子モデルを提唱した。さらに1914年には陽子を見出し、1919年には窒素原子に α 粒子をぶつけることによって、初の人工的な原子崩壊を達成した。

原子の基本構造の解明に貢献した、ラザフォードの開拓的仕事を援護したのは、X線技術であった。X線は1895年にレントゲン Wilhelm Röntgen (1845-1923) によって発見されていた。1912年にラウエ Max von Laue (1879-1906) は、結晶を通過したX線が回折を起こすことを示し、X線が電磁波であることを明らかにした。ブラッグ Lawrence Bragg (1890-1971) は、X線回折を用いて結晶内の原子配列を決定する方法を開発した。ブラッグに影響されてX線スペクトルを研究したモーズリ Henry Moseley (1887-1915) は、1914年に、各元素は、原子核内の陽子の数、したがってまた核のまわりの電子の数に等しい固有の原子番号をもつことを見出した。

1913年、ボーア Niels Bohr (1885-1962) は、ラザフォードの原子核モデルとプランクの量子論との見事な総合をなしとげた。電子は、核のまわりのとびとびのエネルギー準位にある軌道をまわらなければならない、ということを彼は明らかにした。原子が放射線を放出あるいは吸収するに依

じて、電子は一つの軌道から別の軌道へ移り、一定個数のエネルギー量子をはき出したりとり込んだりする。その際、エネルギー量子は特定波長の放射線を発生し、それが放射線スペクトル中に何本かの固有の線をつくり出す。ボーアの理論は、以前バルマーによって見出されていた水素のスペクトル線の存在と、スペクトル線相互の関係を説明することができた。

続けざまになされたこれらの諸発見によって、原子の姿はこのうえなく完璧に描き尽されたかにみえた。しかしまだ先があった。1923年にド・ブローイ Louis de Broglie (1892-) は、量子論とアインシュタインの質量-エネルギー等価式を結びつけることによって、電子は、核のまわりであたかも定常波を形成しているかのごとくにふるまう、ということを見出した。この発見はシュレーディンガー Erwin Schrödinger (1887-1961) によって理論的な検討を加えられ、1926年の波動力学の出現を導いた。またその翌年には実験的にも確認された。波動力学は、電子が粒子としても波としても存在することを示しただけでなく、電磁的量子すなわち光子 (フォトン) が粒子的にも波動的にもふるまうことを示して、プランクの量子論と古典物理学とを折り合わせた。ちなみにフォトン は、1923年のコンプトン Arthur Compton (1892-1962) の実験によってX線のなかに見出され命名されたものである。

原子構造の研究で傑出した業績を遺したのはハイゼンベルク Werner Heisenberg (1901-1976) である。彼は1927年に、原子内電子の位置と運動量はその両方を同時に正確に知ることはできず、つねにある程度の蓋然性ないし不確実性がつきまとう、ということを見出した。彼のこの不確実性原理は、波動-粒子の二重性からの帰結であり、原因-結果の一義的・決定論的關係を否定するものである。したがって普遍妥当の法則を目指す科学のなかでは、うまくおさまらない概念である。

原子の内部構造の研究は、さらに核の解明へと発展した。陽子以外の核に関係する一連の粒子の発見が、1932年のアンダーソン Carl Anderson (1905-) による陽電子の発見およびチャドウ

イック James Chadwick (1891-1974)による中性子の発見によって開始された。

この分野の研究は、粒子加速器の発展に助けられた。その発展の出発点となったのは、コッククロフト John Cockcroft (1897-1967)とウォルトン Ernest Walton (1903-)による高電圧発生装置の製作であった。この装置を利用して、最初の人工的核変換が達成されたのは1932年であった。それはやがて1939年のハーン Otto Hahn (1879-1968)による核分裂の発見や、1942年のフェルミ Enrico Fermi (1901-1954)による核連鎖反応の成功へとつながった。

現代物理学

今世紀後半の物理学者たちは、いくつかの前線で進歩を達成してきた。バーディーン John Bardeen (1908-), ショックリー William Shockley (1910-) およびブラッタン Walter Brattain (1902-)による1948年のトランジスタの発明は、きわめて重要な開拓的業績であった。またそれに続く種々のマイクロエレクトロニクス機器の開発も重要である。活発に研究されてきたいまひとつの分野は超伝導である。バーディーンらは1957年に、この現象の説明に成功した。ジョ

セフソン Brian Josephson (1940-)によって発見された超伝導体のトンネル効果は、超高速コンピュータへの道を拓くものであった。1960年のメイマン Theodore Maiman (1927-)によるレーザーの発明や、それに続くホログラフィーへの応用——これは1947年にガボール Dennis Gabor (1900-1979)が予言していた——も、実用面で重要な意味をもつ業績であった。

理論物理学の主力は、依然として原子構造の研究に向けられている。物理学者たちは、高エネルギー加速器を用いて実験的に発見した多種の素粒子を互いに関係づけることができるのではないかと期待している。それはおそらく、すべての素粒子を、現在のところはっきりと確認されていないクォークと呼ばれる基本粒子をもとにして、統一的に把握する仕事となるだろう。またその仕事は、自然界の四つの基本的な力ないし相互作用——重力、電磁氣的相互作用、弱い相互作用、強い相互作用——に関する統一的理解をもたらすのに役立つことにもなろう。もしそうであれば、物質とエネルギーの本性について根本的な理解が得られるのは、そう遠くないことであろう（なお、1985年末、第5の力「ハイパー・チャージ」の発見が報じられた）。

目次

アインシュタイン 21	キャヴェンディッシュ 65	
アップルトン 23	ギルバート 66	ゼーマン 106
アッペ 24	キルヒホフ 67	
アームストロング 25		ゾンマーフェルト 107
アラゴー 26	クラウジウス 69	
アルヴェーン 27	グラショウ 70	タウンズ 108
アルキメデス 28	クラドニ 70	タウンゼント 108
アンダーソン, C. D. 30	クリッツィング 71	ダニエル 109
アンダーソン, P.W. 31	グリマルディ 71	タボーア 110
アンペール 31	クルックス 72	
	グレーザー 73	チャドウィック 113
イェンゼン 33	クーロン 73	
イブン・アル・ハイサム 33	クント 75	ディラック 114
		ティンダル 115
ヴァン・アレン 35	ケネリー 76	デヴィッソン 116
ヴァン・ヴレック 36	ゲーリケ 76	テスラ 117
ヴァン・デ・グラーフ 37	ケルヴィン 78	デゾルム 118
ウィルソン, C. T. R. 38	ゲルマン 79	デモクリトス 119
ウィルソン, K. G. 39		デュワー 120
ヴィーン 40	コッククロフト 82	
ヴェニング・メイネス 40	コリオリ 83	ドップラー 122
ヴェーバー 42	ゴルトシュタイン 83	ド・ブローイ 122
ウォーターストン 42	コンプトン 84	トムソン, G. P. 123
ヴォルタ 44		トムソン, J. J. 125
ウォルトン 45	サザーランド 86	トムソン, J.J. 125
	サハロフ 86	朝永振一郎 126
江崎玲於奈 47	サビン 88	トランスキー 127
エールステズ 47	サラム 88	トリチェリ 128
オッペンハイマー 49	シーグバーン 90	ニコル 129
オーム 50	シモン 90	ニュートン 130
オルター 51	シャルル 91	
オングストレーム 51	シュタルク 92	ノービリ 135
	シュテファン 93	
カー 52	シュテルン 93	パイエルス 136
ガイガー 52	ジュール 95	ハイゼンベルク 136
カイユテ 54	シュレーディンガー 96	パウエル 138
ガウス 55	ショー 98	パウリ 139
カピッツァ 55	ジョセフソン 99	パークラ 140
ガボール 56	ショーロー 100	パスカル 141
カマーリング-オンネス 57	シンプソン 101	バーディーン 142
ガモフ 58		バーバ 143
ガリレオ 60	ステヴィン 103	ハリソン 144
ガルヴァーニ 62	ストークス 103	バルマー 144
カルノー 63	ストーニー 104	ハーン 145
	スネル 104	

- ピクシ 147
 ピパート 147
 ビュラード 148

 ファブリ 149
 ファラデー 150
 ファーレンハイト 153
 フィゾー 154
 フィッチ 155
 クローニン
 フィッツジェラルド 157
 フェルミ 157
 フォルタン 158
 フォン・ノイマン 159
 フーコー 160
 フック 162
 ブラウン 163
 フラウンホーファー 164
 ブラケット 165
 ブラック 166
 ブラッグ, W. H. 166
 ブラッグ, W. L. 166
 フランク 167
 ブランク 168
 フランクリン 170
 ブラントル 173
 ブランリー 173
 ブリッジマン 174
 フリッシュ 174
 プリュッカー 176
 プリングスハイム 176
 ブルースター 177
 ブルームバーゲン 178
 プレヴォー 178
 フレネル 179

 ベインブリッジ 181
 ヘヴィサイド 181
 ベクレル 182
 ベーコン 183
 ヘス 184
 ベーテ 185
 ベラン 186
 ヘルツ 187
 ヘルツベルク 188
 ベルヌーイ 188
 ヘルムホルツ 189
 ペレグリヌス 191
 ヘンリー 191

 ボーア, A. N. 192
 モッテルソン
 レインウォーター
 ボーア, N. H. D. 193
 ボアソン 194
 ボイズ 195
 ホイートストーン 196
 ホイヘンス 197
 ボインティング 199
 ボーデン 200
 ボルツマン 1201
 ボルン 202

 マイケルソン 205
 マイトナー 206
 マイヤー 208
 マクスウェル 209
 マッハ 212
 マリユス 214

 ミリカン 216

 メイマン 218
 メスバウアー 218

 モーズリ 220
 モット 221
 モーリ 221

 ヤング 223

 湯川秀樹 225

 ライマン 227
 ラウエ 228
 ラザフォード 230
 ラマン 233
 ラムフォード 234
 ランジュヴァン 235
 ランデ 236

 リサージュ 238
 リッター 238
 リュードベリ 238
 リンデマン 239

 ル克蘭シェ 240
 ルンマー 241

 レーナルト 242
 レーベデフ 243
 レーリ 244

 レンツ 245
 レントゲン 246

 ロッジ 248
 ローランド 248
 ローレンス, E. O. 249
 ローレンス, L. V. 251
 ローレンツ 252

 ワインバーク 255