

# 技術と自然科学の歴史

16 世紀－17 世紀前半の西ヨーロッパの自然科学の発達.....	4
16 世紀と 17 世紀前半のヨーロッパ諸国での自然科学発達の原因.....	4
天文学の発達.....	6
物理学の進歩.....	11
数学の発達.....	13
他の自然科学部門の発達.....	14
自然科学の発達と新しい哲学との関連.....	15
17 世紀なかばまでの自然科学の発達の総括.....	17
17 世紀後半と 18 世紀におけるヨーロッパの技術と自然科学.....	17
17-18 世紀の科学と技術の発展の概観.....	18
技術の発展.....	20
科学的研究の新らしい形態.....	23
ニュートン.....	24
ライプニッツ.....	26
ロモノーソフの科学思想.....	26
無限小解析と数学的自然科学.....	27
ラプラスの天文学体系.....	28
太陽系や全宇宙の可変性の思想.....	29
気体についての学説と熱理論の発展.....	30
光についての学説.....	31
音についての学説.....	32
電気についての諸発見.....	32
化学の発展.....	33
地質学.....	35
生物学の進歩.....	38
発生学の端緒.....	41
1789－1870 年代の技術と自然科学.....	43
1. 産業資本主義時代における科学と技術の発達の概況.....	43
資本主義と科学・技術の進歩.....	43
新技術の創造者たち.....	45
2. 基幹生産部門の技術.....	45
繊維工業における作業機.....	46

金属加工工業の進歩 .....	48
原動機 .....	49
採鉱と冶金 .....	51
化学工業.....	52
印刷工業と製紙工業。写真の発明 .....	53
農業技術.....	54
鉄道輸送.....	55
汽船.....	57
運河の建設 .....	58
航空.....	59
通信技術・電信 .....	59
軍事技術.....	60
3. 自然科学の進歩 .....	61
新しいものと古いものとのたたかい.....	61
数学.....	62
天文学 .....	64
力学.....	66
物理学、エネルギー保存則 .....	67
電気学 .....	68
光の電磁理論、マクスウェルの方程式.....	70
化学.....	70
自然誌における進化論的思想の進歩 .....	73
チャールズ・ダーウィン.....	74
生理学と心理学 .....	76
微生物学と医学 .....	76
地理上の発見.....	78
1871－1917年の技術と自然科学.....	79
1. 技 術.....	82
電気エネルギーの工業的応用.....	82
蒸気機関と内燃機関の改良 .....	82
電灯、電話 .....	84
ラジオの創成、電子工学の誕生、電気工業の形成、 .....	85
冶金の発達 .....	86
化学工業技術.....	86
運輸.....	87
空中飛行と航空 .....	89

蓄音機と映画の発明 .....	90
大量生産の実行 .....	90
農業 .....	91
軍事技術の発達 .....	91
2. 自然科学 .....	94
物理学 .....	94
数学 .....	99
天文学 .....	100
化学 .....	102
生物学 .....	103
医学 .....	105
地球にかんする科学 .....	106
自然科学の哲学的諸問題 .....	109
1917-39年の技術と自然科学 .....	111
技 術 .....	113
電力の生産と利用 .....	113
内燃機関 .....	114
機械製作 .....	115
冶 金 .....	116
化学工業 .....	117
採 鉱 .....	119
陸上ならびに水上の交通 .....	120
航 空 .....	121
ラジオ、テレビジョン、映画 .....	122
2. 自然科学 .....	123
物理学 .....	123
数 学 .....	126
天文学 .....	128
化 学 .....	129
生物学と医学 .....	130
地球についての科学 .....	132
自然科学の哲学的諸問題 .....	133

## 16世紀－17世紀前半の西ヨーロッパの自然科学の発達

16世紀とくに17世紀前半には、科学の発達に根本的な変革が始まっている。スコラ哲学と宗教的世界観とに対するねばり強い闘争が進むなかで、自然現象を研究する新しい科学的方法が作りあげられ、その後の自然科学の全発達の基礎となったいろいろの発見がおこなわれた。

### 16世紀と17世紀前半のヨーロッパ諸国での自然科学発達の原因

人間が、周囲の物質世界を研究する上での新しい時代の到来は、後に資本主義の勝利をもたらした深刻な社会的変革によって準備されたものである。

自然科学におけるこの大変革は、社会的生産と物質文化の一般の発達と直接にむすびついていて、日ましに生長する生産上の必要に刺激されて科学が発達したのである。

加工工業と採取工業の発達、輸送、建築業、軍事技術において16世紀までに蓄積された多くの発明や改良は、自然探究者たちの観察に対し大量の新事実を提供し、科学上の多くの問題を理論的に研究する動因となった。ある種の機械（水車・時計）がいよいよ広く使われたこと、火器の発明、建築技術や採鉱業の発達などといった事情が、力学の分野で研究しうる現象の範囲をひろげ、力学や数学のある種の課題の解決を切実に要求した。たとえば、砲術の実際上の必要が大砲から発射される弾丸の進行経路〔弾道〕を決定することを要求し、まさにこれによって、一般的な、物体の落下と運動の法則を研究しようという学者の考えを刺激したのである。一段と複雑になった水力技術を用いた構築物の建造は、静水力学と動水力学の研究を助長した。遠洋航海が天文学の発達（とくに経度を定める天文学的方法の研究と関連して）を促進した。羅針盤の使用は磁気現象の研究を、また眼鏡用レンズの使用は光線の屈折現象の研究をひきおこした。染色術、冶金術、製薬術（新薬の発明）のいろいろの成果は化学の分野における新知識の蓄積をもたらした、等々である。

それとともに、物質的生産の高揚が、自然探究者たちに科学研究のための新しい道具や手段を供給した。手工業技術の改善は、16－17世紀に科学の発達のためにどうしても必要な多数の精密器具の発明の準備をした。すなわち、この時代には、いっそう改善された時計が現われ、顕微鏡と望遠鏡が（17世紀の初めに）発明され、これまで人類に知られていなかったまったく新しい世界を人類の眼前にひらいてくれたし、またさらに温度計、湿度計、水銀気圧計のような物理学にとって欠くことのできない器具が（17世紀なかごろに）あらわれた

のである。皮からつくられた羊皮紙が〔植物繊維でつくられる〕紙に代わったことと、図書の印刷（15世紀）が始められたことは、巨大な役割を演じた。紙に印刷された本は、以前の羊皮紙写本よりも、はかり知れないほど安かった。したがって、印刷本の出現は、科学知識の普及と交流の面で、本当の大変革であった。

自然科学の発展における急激な変革は、社会関係と社会イデオロギーの領域における変化とも結びついてきたが、これらの変化は結局においてはおなじ物質的生産の飛躍によってひきおこされるのであった。ヨーロッパ諸国で封建的諸関係が崩壊していき、資本主義的諸関係が発達してきた結果、新しい世界観が形成され、今までと異なった精神的な要求やもった新しい型の人間があらわれてくる。この新しい世界観は、寿命のつきた社会秩序を神聖視し支持する封建的教會的文化に対し、深い敬意をもっていた。新しいイデオロギーの代表者たちは、理性を宗教の奴隷にするスコラ哲学に対して、容赦のない闘争をおこなった。

宗教的世界観が動揺し、新しい文化が確立したことは、これまで科学の前進をさまたげていた障害がたおれたことを意味した。人間の理知は、人間を押えつけていた宗教的な偏見の重圧から、また自分自身の観察にではなくスコラの“科学”の公認の権威に頼るといふ、幼い時からつちかわれた習慣から、解放されはじめた。中世のスコラ哲学の欠陥をもたない、経験にもとづく自然科学を生み出すのに好都合な条件が生まれてきた。

15世紀末から16世紀にかけての地理上の大発見も16—17世紀の西ヨーロッパにおける科学の発展を促進した。これらの大発見ははじめて経験にもとづいて、大地は球状の形をもっていることを人類に教え、多くの科学の分野（天文学、地質学、植物学、動物学その他）にかんする大量の新事実を与え、科学思想一般にひじょうに大きな革命的影響をおよぼした。新しい海路や大洋、当時は未知であった土地をつぎつぎと発見したことは、スコラ哲学の学者たちの知識が、いかに不完全であり、またときにはまったくまちがっていたことを、またいかに古い意見や観念が否定され、新しいものにかえなければならないかを明らかにした。

またさらに人文主義者たちの精力的な活動によって、ヨーロッパの学者たちが古典古代の著者たちの古典的な作品にそれまでとは比べものにならぬ程通暁するようになったという事情も、重要な役割を演じた。ギリシア語をラテン語やその他の言語に翻訳する他に、いまやギリシア語の原典も出版されはじめた。とくに重要であったのは、ヘレニズム時代の大学者たち（エウクレイデス〔ユークリッド〕、アルキメデス、アポロニオスその他）の業績——これらは大抵が中世では忘れられていたかあるいは多くの点で理解されないでいた——をずっ

と深く理解するようになったことである。この時代の特徴は多くの学者が1人で自然科学の仕事と人文科学の仕事とをあわせておこなっていたということにある。

自然科学の領域における大変革は、このように、当時の西ヨーロッパ諸国の社会生活の全体制における深刻な変化の結果であった。旧来の社会的諸関係の解体と自然科学の発生とのあいだのこのような関連を指摘して、エンゲルスはつぎのように書いている。

“近代の自然科学は、ギリシア人の天才的直観や、アラブ人の散発的でつながりのない諸研究に対して、科学として語りうる唯一のものである。これは、かの偉大なる時代、すなわち市民階級が封建制度の権力をうちやぶり、しかも封建貴族と都市市民とのこの闘争の背後に、反逆した農民と、また彼ら農民の背後にはすでに赤旗を手にし、共産主義を口にする近代的プロレタリアートの革命的先駆者の登場がみいだされた時代、大君主国をヨーロッパに建設し、ローマ教皇の精神的独裁をやぶり、ギリシア古代を再現し、それとともに新時代における芸術の最高度の発展をもたらし、そして古い世界の限界をつきやぶって、ここにはじめて本来の地球を発見したところの、あの偉大なる時代とともに始まる。

それは、世界がそれまでに体験した最大の革命であった。自然科学もまたこの革命の雰囲気の中で発展し、徹底的な革命的となり、めざめはじめた偉大なイタリア人たちの近代哲学と手をたずさえて進んだ。しかし、それと同時にそしてその殉教者たちは火刑の薪の上に、また牢獄におくられたのである”<sup>1)</sup>

## 天文学の発達

新しい科学的精神があらわれ偉大な発見がおこなわれた、最初の自然科学分野は、天文学であった。これまでは、西ヨーロッパでも、さらにかつては先進国であった東洋諸国においても、古典古代にすでにつくられていた天動説が支配的であった。この説によれば、宇宙の中心には不動の地球があり、この地球のまわりを一定の秩序で、月、太陽、惑星そして最後には恒星がまわっているというのである。さらに、宇宙は有限であって、地球を中心する球であると考えられていた。この宇宙学説の主要な原則は、すでにアリストテレスによって定式化されていたが、これの詳細な数学的な研究は、古典古代後期の学者たち、とくにヒッパルコス（前2世紀）とプトレマイオス（2世紀）によっておこなわれた。

ところが、中世におこなわれた天文観測の結果は、天動説の枠のなかにおさまらなくなった。惑星の運動を天動説の立場から説明するには、複雑なかつ人

為的な理論を創りだす必要があった。しかしそれでは天動説によつては天球上の惑星の位置を正確に予測することができなかつた。しかし、これらの観測にもとづいて天動説は誤りだという結論も、また下されてはいなかつた。

地球が宇宙の中心にあるという考え方は、キリスト教神話と完全に一致していた。この考え方によれば地球は宇宙の中心であり、聖書や福音書にかかれてある神話的事件のおこつた場所であつた。そのためカトリック教会は、天動説をその思想体系の基盤の1つとしていた。それゆゑ天動説を否定するには、地球は動かないという有力な直接の感性的観念を克服し、天文観測から正しい結論を引出すだけでは足りなかつた。このためには、カトリック教会公認の学説を否定し、教会の権威に反旗をひるがえすことが必要であつた。

封建的教會的文化が支配的であるあいだは、たんにいく人かの思想家たちが天動説の正しさについての疑惑を一般的な形で述べたにすぎなかつた。しかしながら16世紀に学者の思索がスコラ哲学や神学の束縛からときはなされはじめると、ついにこの学説を批判し、これにかわつていっそう真理に近い新しい見解にうつるための条件がつくりだされた。結局天文観測から科学的結論を大胆にひきだし、天動説を否定したのは、ポーランドの学者ニコラウス・コペルニクス〔ミコワイ・コペルニク〕(1473-1543年)であつた。

天動説の立場から天体運動を説明することが困難であつたために、コペルニクスは天動説の正しさを疑うようになったのである。彼は、古典古代の若干の天文学者が述べていた地球はあらゆる他の惑星といっしょに不動の太陽のまわりを回転しているという(地動説)仮定によつて、天体運動を説明してみようと決心した。このようなころみをしてみてコペルニクスは、地動説のほうが天文現象をいっそうよく説明することを確信し、すでに1507年ごろには地動説が正しいという結論に達していたらしい。その後の彼の全生涯をささげて、彼はこの新しい見解をくわしく仕上げ、それを有名な著作《天球の回転について》(De revolutionibus orbium coelestium)で叙述した。長年のあいだコペルニクスは、カトリック教会公認の支配的な天文学説に、公然と反抗することをおそれて、自分の本を公けにする決心がつかなかつた。コペルニクスの著書はようやく1543年になつて出版され、その初版本の一冊を彼が手にしたのは臨終の日であつた。

コペルニクスの業績の科学史上の意義はひじょうに大きい。地動説は古典古代にすでに生まれていたとはいえ、当時にあつては根拠のないかつ圧倒的多数の大学者たちが否定している単なる仮説にすぎなかつた。したがつて実際にはコペルニクスがはじめて、太陽系の構造にかんする科学的な見解を詳細に発展させ、かつこの見解が正しいことを証明したのである。これによれば地球は、他のすべての惑星とおなじように太陽のまわりを公転し、それと同時に自分自

身の軸を中心に自転する、というのである。まさにこのことによって、彼は教会のあらゆる権威が支持していた幾世紀にもわたる謬見から、科学を解放し、また自由な科学的思想のその後の発展に力強い推進力を与えた。“このときから……自然科学の神学からの解放の歴史が始まる”<sup>1)</sup>のである。

コペルニクスの地動説の確立と発展は、宗教的な偏見とむすびついた古い見解との激しい闘争のうちにおこなわれた。すでにルター〔1483–1546年〕は聖書を引用して、コペルニクス説を否定し、“聖書が示しているようにヌンの子ヨシュアは太陽には止れと命じたけれども地球には止れとは命じなかった”とのべた。他のプロテスタント神学者たちもルターのひそみになった。しかしコペルニクスの見解に対してとくに敵意のある態度を示したのは、当然のことながら、カトリック教会であった。はじめをうち教会は、コペルニクス説の普及が教会に対してもたらす危険を理解しなかった。だがこの学説が人心を得るようになると、カトリック教会はその信奉者たちの迫害しはじめた。この迫害の最初の犠牲になったのは、イタリアの有名な思想家ジョルダノー・ブルーノ（1548–1600年）である。

ジョルダノー・ブルーノは、地球は宇宙の中心ではなく動いているのだというコペルニクスの命題をさらに発展させて、思索の大胆さにおいて当時としては驚くべき宇宙像をつくり上げた。彼は宇宙は無限であり、性質が同一の物質から成る無数の天体によってみたされていると主張した。太陽は単に恒星のうちの1つにすぎない。これらの恒星である太陽は、地球と似ていて生物さえ住んでいるような惑星を、自分のまわりに公転させている。いいかえれば、彼の考えによれば地球はあまり重要でない単なる天体の1つにすぎず、無数の他の天体とともに無限でしかも中心をもっていない空間中を動いているというのである。

その後の数世紀にわたる科学の成果を天才的に予想したこの考えは、カトリック教会公認の宇宙観の全体を完全に否定することであった。ブルーノは異端として告発され監禁されたが、いかなる責苦も拷問も彼に自分の見解を放棄させることはできなかった。8年間監禁された後に、彼はローマの花の広場〔カンポ・デ・フィオレ〕で火刑に処せられた。

太陽系についてのコペルニクスの見解をさらに完全に証明したイタリアの偉大な天文学者で物理学者のガリレオ・ガリレイの活動も、カトリック教会との闘争のなかでおこなわれた。ガリレオ・ガリレイは1564年にピサの町に生まれた。その後彼はフィレンツェに住み、ピサとパドヴァの大学で教え、1610年にフィレンツェにもどってトスカナ大公の宮廷で“哲学者兼首席数学者”の地位を得た。

ガリレイの天文学上の発見は望遠鏡を用いたことと関連している。この望遠



鏡は、オランダで1608年に発見されたという報道にもとづいて、彼が独自に組み立てたものであった。望遠鏡によってガリレイは、肉眼では見えない無数の星、月面の山脈、土星の衛星、金星のみちかけ、太陽の黒点その他を見ることに成功した。初期の発見（金星のみちかけと太陽の黒点はいくらか後に発見された）の結果を、ガリレイは小冊子《星界の報告》で1610年に公表し、当時の人にきわめて大きな印象を与えた。ガリレイの発見はアメリカ大陸の発見と同じように考えられた。

ガリレイの観察は、はっきりと旧来の天文学的見解が成り立たないことを暴露し、コペルニクス説が正しいことを確証した。月と地球が似ていること（たとえばそれらの表面にある山脈）は、地球が惑星のうちの1つであるというコペルニクスの考えの採用をさまたげていたところの、地球と他の天体とは根本的に違うというその当時支配的であった考え方を打ちやぶった。土星に衛星のあることが、地球だけが天体回転の中心であるという伝統的な考えを打ちやぶり、さらに地球のまわりを他の天体（月）がまわっているからという理由で太陽のまわりを地球は公転運動することができることを疑うのは根拠がないことを証明した。というのは、土星は、コペルニクスによれば地球がおこなっているという円運動をえがいているのであるが、土星は衛星をもち、その衛星は1つでなく全部で4つもあることがわかったからである。金星のみちかけはそれが太陽のまわりをまわっていることを明らかにした。

これらの発見のあと、コペルニクス説はさらに一段と急速にひろまり始めた。ガリレイと多数のその追随者たちは、これらの発見をたくみに天動説を論破するために利用した。カトリック教会は、ジョルダノー・ブルーノがあらわれて後は、コペルニクス説が教会にとって危険なことをすでにはっきり自覚しだしたので、それがさらに普及するのを決定的に食い止めようと決めた。1616年にコペルニクスの見解は異端と認定され、彼の著作は禁書目録にいれられた。

それにもかかわらずガリレイは、相変わらずコペルニクス説が正しいという証拠を集めつづけた。1632年に、彼はついに多年の研究の結果を公表することに決心して有名な著書《プトレマイオスとコペルニクスの2大世界体系についての対話》[天文対話]を発行した。この本のなかでは、地動説が正しいことの当時存在していたすべての論拠がまとめられ、才気縦横な形で論述してあった。とくに、彼は自分の発見した力学法則（とくに慣性法則）をすでにアリストテレスやプトレマイオスの時代から地動説に対して繰り返されていた反論を論破するために利用した。コペルニクス説が禁止されたことを知っていたので、ガリレイはそれを可能な仮説の1つとして取り扱っているが、この本の内容を読めば彼が実際はどんな立場にたっているかに疑問の余地はなかった。

ガリレイの著書は、天動説に決定的な打撃を与えた。コペルニクス説の正し

いことの証明にガリレイがもちいた論証が、説得的であればあるほど、ガリレイは、古い見解の信奉者たちにいっそう大きな恐れと憎悪をよびおこした。1633年にガリレイはローマの異端審問所によびだされた。拷問にかけ厳罰に処するとおどされてやむなく自説を放棄したにもかかわらず、彼は“誤った、聖書に反する”説を抱いたかどで有罪と認められ、投獄の刑を宣告されたが、これは実際には指定された場所に居住することに改められた。

ガリレイは1642年に死ぬまで、異端審問所の監視下におかれ、自分の著作を出版する権利を奪われていた。しかし彼は学問研究をつづけ、1638年にイタリアの外（オランダ）で《機械学と位置運動にかんする2つの新科学についての議論とその数学的証明》[新科学対話]という書物を出版することに成功した。この本には、力学の分野における彼のすぐれた研究の結果が総括されている。

地動説がさらに発展し、最終的に勝利するのに大きな役割を演じたもう1人の学者は、ドイツの天文学者ケプラーである。

ヨハネス・ケプラーは1571年に生まれた。テュービンゲンにおいて学業をおえてから、彼はカトリックの側からの宗教的迫害と窮乏のためにグラーツ、プラハ（そこでは宮廷数学者の職にあった）、リンツに転々と移り住み、1630年にレーゲンスブルクで歿した。ここに彼が来たのは皇帝からの未払の俸給を受け取るためであったが、無駄足であった。

ケプラーの功績は、彼がコペルニクスの地動説体系をあるきわめて重要な点で精確にしたという所にある。コペルニクスは太陽系の構造に対する新しい見解の土台をすえたが、彼の時代に支配的であった間違った考えから完全に自由になることはやはりできなかった。とくにコペルニクスは、天文現象のおこる球面には、最も完全な形の運動、すなわち等速度の厳密な円運動だけが存在するというアリストテレスの誤った意見を、もちつづけていたのであった。それゆえコペルニクスは太陽のまわりの惑星の運動も、このような等速円運動であると誤って考えていた。

ケプラーにいたって、ようやく太陽をめぐる惑星の運動の真の法則を発見することに成功したのである。プラハに居住していたときに彼は、そこで晩年をすごし1601年に歿したデンマークの有名な天文学者ティコ・プラーエがおこなった天文観測の記録を自由に使えるようになった。ティコ・プラーエは、精密な天文観測をおこなうのが上手なことで有名であった。それ故に彼が残した惑星運動の資料は当時としては異常に完全で精密なものであった。火星の運動についてのティコ・プラーエのおこなった観測を検討することによって、ケプラーは長年の熱心な研究の結果、ついに、惑星の運動が厳密な円形でありかつ等速度であるという伝統的な考えはまちがっているという、正しい結論に達した。彼は、惑星が楕円上を動き、この楕円の焦点の1つに太陽があり（ケプラーの

第1法則)、惑星の運動速度は太陽に近づくにつれて増大する(第2法則、これによれば惑星と太陽をむすぶ動径は同一時間に同一面積を掃く)ということを示した。この法則ははじめは火星についてだけ確立されたが、その後ほかの惑星の運動にもおよぼされた。

ケプラーの発見は1609年に《因果的に証明した新天文学、すなわち名門の紳士ティコ・ブラーエの観測にもとづく、火星の運動の研究中に叙述された天体物理学》という著述のなかで公表された。ケプラーは《宇宙の調和》(1619年)という論文で、惑星の公転周期と惑星の太陽からの距離とのあいだの関係を定めたところの第3法則を定式化した。ついにケプラーの法則は、惑星の運動の正しい理論的説明を与え、精密な天文学的計算をおこなうことを可能にした。1627年に、ケプラーは新しいすばらしく精密な惑星運行表(“ルドルフ表”)を公にした。それまでにつくられた表よりも、ケプラーの法則にもとづく惑星運行の計算のほうが天文観測とあっさりよく一致したことは、地動説の正しさの重要な証明となった。

ガリレイとケプラーの業績がひじょうにはっきりとコペルニクス説を確認したので、17世紀後半以降になるとその時代の学問的な要求の水準に立つすべての天文学者はもはや、コペルニクス説が真であることを認めた。それにもかかわらずカトリック教会は、新しい宇宙観との闘争を長いあいだしつこくつづけた。

## 物理学の進歩

物理学の発達における変革は、天文学におけるよりもおくれて始まった。ただし16世紀のあいだにも、人間をとりまく物質界の探究にスコラ哲学とはまったくかけはなれた態度を示したいくつかの研究があらわれてはいる。レオナルド・ダ・ヴィンチ[1452-1519年]や静水力学のいくつかの問題(《釣合の原理》1586年)を研究したオランダの技師ステヴィン[1548年ごろ-1620年ごろ]や、とくに、自然界の磁気現象を実験的にしらべた上で著者《磁石について》のなかで磁気現象や当時知られていた電気現象の詳細な記述をおこなったイギリスの学者ウィリアム・ギルバード(1540-1603年)の研究は、その例としなければならなかった。しかしながら物理学という科学的知識の分野における決定的な変革は、ようやく17世紀の前半になっておこなわれ、おなじくガリレイの活動に関連していた。ガリレイは、実験と得られた実験結果の分析や一般化のための、精密な数学的方法の適用ともとづく新しい物理学を創設する方向へ、断固として進んだのである。

ガリレイが科学のなかにもちこんだ新精神は、たとえば物体の自由落下の問

題の研究の例にみられる。アリストテレスはかつて、物体の落下速度はそれぞれ異なっていて、物体の重さに比例するという命題をたてた。この誤った考えはアリストテレスのすべての物理学的な見解とともに中世のスコラ学者によって無批判に受け入れられていたのであり、彼らは代々これを繰り返し、実地に確かめてみようとしなかった。ガリレイは、アリストテレスの権威をものともせず、この命題の検証をおこない、これがなりたたないことを確認し、この命題のかわりにすべての物体は重力の作用の下では同一加速度で落下するというまったく正しい主張をなした。彼が発見した法則の正しいことを実験的に証明するために、彼の伝記作家の語るところによれば、ガリレイは有名なピサの斜塔から重さの異なる球を投げ落としたということである。

ガリレイは、それだけにとどまらず彼の時代に支配的であった。アリストテレスの誤った運動観のすべてに壊滅的批判をあびせ、新しい真に科学的な研究方法を使って、力学の多数の問題を解明した。彼は速度と加速度という概念を明確にし、未完成な形でではあったが、慣性法則の力の作用の独立性の法則を定式化し、等加速度運動の方程式をみちびき、抛物体の落下軌道を決定し、振子の振動の研究を始めるなどのことをおこなった。上にあげたすべてのことはガリレイを、現代の力学のなかで運動を研究する部門すなわち運動学（カインマティックス）と動力学（ダイナミックス）の開祖、とみなすための十分な理由である。

科学的研究の新しい原則がスコラ哲学との闘争のなかで生まれ、確立されたことは、物理学の嵐のような発展の時代のはじまりとなった。ガリレイの業績によって大幅に推し進められた力学の他に、物理学のその他の部門も、急速に発展しはじめた。液体とガス体の力学において重要な発見がおこなわれた。ガリレイの弟子トリチェルリ（1608－47年）は動水力学のいくつかの問題を研究し、大気の圧力の研究を始め、水銀気圧計をつくり出した。有名なフランスの学者パスカル（1623－62年）は、大気の圧力の研究をつづけて成果をあげ、気圧計の水銀柱は大気の圧力によって支えられていることを完全に証明した。その他彼は、液体中ならびにガス体中での圧力の伝播にかんする彼の名がついた法則〔パスカルの原理〕を発見した。

光学もまた急速に発展している。16世紀末から17世紀初めにかけて顕微鏡と望遠鏡が発明された。これと同時に、ケプラー、デカルトその他の学者たちによる理論光学の研究（光の屈折法則の発見など）も始められ好成績をあげている。

17世紀における実験物理学の急速な発展の特徴は、実験にもとづく自然研究を任務とする学会が生まれたことである。自然科学の問題が、ローマに1603年に生まれた“目にするどいもののアカデミー”〔アカデミア・デイ・リンチェイ〕

(字義通り訳せば山猫の目のという意味である) という名称の学会の仕事にとりいれられた。ガリレイはこの学会の会員であった。17世紀の中ごろになると、自然探究者の学会がフレインツェ、パリ、ロンドンにも生まれた。

## 数学の発達

科学的な考え方が高まり、日ましに発展する自然科学（とくに天文学と力学）が改善された数学的研究法を必要とするようになったため、16-17世紀には数学もまた急速な発展をとげた。

この時代に現代代数学の基礎もきずかれた。古代ギリシアおよびとくに中世の東洋諸国数学者はすでに代数の初歩を通じており、たとえば、1次方程式と2次方程式はとくことができたのであった。いまや、数学のこの分野においては新しい発見が急激に、ぞくぞくとあらわれた。カルダーノ（1501-76年）をはじめとする数人のイタリア数学者は、16世紀のなかばに3次方程式の解法（カルダーノ公式）を研究してまとめていた。カルダーノの弟子の1人はさらに4次の方程式の解法を発見した。17世紀の初めに、めんどろな計算を（とくに天文学において）容易にするために対数が発明された。最初の（ネーピアの）対数表は、1614年に出版されている。

それとともに、これはとくに重大であったが、代数の内容を書きあらわし、代数演算をおこなうための一定の数学的記号法が作り上げられた。この記号法がなければ、これ以上の代数学の発達はありえなかったのである。このときまで求める未知数をあらわすためにだけに代数学では文字が用いられていた。しかしそれは決して常に用いられたわけではなかった。代数的の演算は実に、ごちゃごちゃした上に長たらしい文句を使って言葉でかかれていた。この結果、代数の問題を一般的な形で書いたり解いたりすることは、実際上不可能であった。方程式がたてられて解くことができたのは、特定の数字係数のあるときだけであった。15世紀から17世紀のなかばまでのあいだに代数の演算を書きあらわすのに一定の記号（寄せ算、引き算、ベキ、根号、等号、括弧などの記号）が全般的に使用されるようになった。さらに未知数ばかりでなく他のすべての数のためにも文字記号が用いられるようになった。フランスの有名な数学者ヴィエタ（ヴィエトともいう、1540-1603年）に由来する、この新しい記号法のおかげで、代数学の問題を一般的な形で、あらわしたり解いたりすることができるようになった。（代数式があらわれたのである）。代数記号はデカルトの著作のなかで、さらに発達させられた。デカルトは代数記号を現代のものと同様におなじ形のものにしたのである。とくに彼は、未知数をあらわすために今日も使われている記号（ラテン字アルファベットの後の方の文字である  $x$   $y$   $z$

を使い始めた。

代数と同時に三角法が発達し、三角法は天文学の補助科目からしだいに数学の独立部門になっていった。以前からあった他の数学部門のいっそうの発達とならんで、この時代にはそれまでの時代に知られていなかった、いくつかのまったく新しい数学部門も発生した。

ルネ・デカルトは、解析幾何学を創設した。解析幾何学では、座標によって幾何と代数のあいだの連絡がつけられた。フェルマ [1601–65 年]、カヴァリエーリ [1598–1647 年]、デカルト、ケプラー、トリチェルリなどの 17 世紀前半の数学者は無限小解析のいくつかの特定問題を研究して、この世紀後半における微分法ならびに積分法の（ニュートンとライプニッツによる）創設のための素地を準備している。

これらの新しい数学部門の出現はひじょうに大きな原理的意義をもっていた。この新部門では、変化する量とそれにしたがって変化する諸量のあいだの関数関係が研究されはじめた。この結果、エンゲルスの的確な表現をかりれば、“運動が、またしたがって弁証法が数学に導入された”<sup>1)</sup> のである。このことは、自然界の運動過程を正確に分析できるような、数学的な方法が作られ始めたということであった。これらの新しい数学分野の発生とその発達は、人間をとりまく自然界にかんする人間の知識の、その後のあらゆる発展に対する必要条件の 1 つであった。

## 他の自然科学部門の発達

天文学や物理学とはちがって、化学、地質学、地理学、植物学、動物学などの発達は、主として新事実の蓄積とその記載ということであった。しかしながらこの点では、きわめていちじるしい成果があげられた。つまり、古典古代の著者から実際の資料やさらに理念や一般的見解を引き出すという伝統が最終的にうち破られたのである。主要な関心が直接自然を研究することに向けられ始めた。このような実験を重視したことが、既知の自然現象の範囲をいちじるしく拡大し、それらをずっと深く、正確に記述するのに役立った。

化学では、それまで知られていなかった多くの物質が発見され、それらの性質が調べられた。化学産業、鉱山業、冶金術、医術の発達が、これをすくなくならず促進したのである。鉱山業の発展にともなって、地質学ならびに鉱物学についての知識の量が増大した。この分野での最大の事件はアグリコラ（彼の姓のラテン訳）という名の方でよく知られているドイツの学者ゲオルク・パウエル（1494–1555 年）の鉱山業と鉱物学についての著作である。地理上の大発見の結果、地理的知識はおおいに広がった。これとともに地理学に関連のある特

別の諸学科も発達した。とくに地図学の科学的原理が研究され、ずっと精密な地図がつくられるようになった。地図学の発達では、科学史上にラテン名のメルカトルによって有名なフランドル生まれのゲルハルト・クレマー（1512-94年）が大きな役割を演じた。主要な地図投影法のうちの1つが、彼によって創案され、彼の名をつけて呼ばれている。

動植物学の分野において、挿絵のついた植物と動物の何巻にもわたる記述、たとえばスイスの動植物学者であり文献学者であるコンラート・ゲスナー（1516-65年）の著作《動物誌》がつくられた、植物園が、はじめてイタリアに、ついで西ヨーロッパのその他の国に設けられた。科学史上ではじめ、押葉〔乾燥させた植物標本〕がつくられだした。最初の自然科学博物館も現われる。

人体器官の研究においても、いちじるしい成果が得られた。古代と中世の医学において支配的であった見解が訂正され、人体器官の性質についての新理論と病気の新しい治療法が（たとえば、スイスの化学者、生物学者であり医師であったパラケルスス（1493-1541年）によって）作りだされた。生物学者、医学者のあいだで目立った地位をしめているのは、イタリアのジロラモ・フラカストーロ（1480ころ-1553年）である。伝染病についての彼の論文（1546年）は、伝染病学の発達における大きな道標となった。何故なら彼が、伝染の経路および伝染病とたたかう手段についての多くの問題を正確に解決したからである。完全な意味で科学的な解剖学の発生をつげる、系統的で綿密な人体解剖が始まった。主要な発見をイタリアでおこなって、《人体の構造について》という論文を発表したアンドレアス・ヴェサリウス（1514-64年）は、この学問分野における新しい考え方の創始者であった。人体における血液循環の正しい理論の基本も作り上げられた。動物と人間の生理学のこれ以後の発達のための基礎をきずいたこの発見は、イスパニアの学者ミカエル・セルヴェトウス〔1511-53年〕の研究によって下ごしらえされ、イギリスの医者ウィリアム・ハーヴィ（1578-1657年）によって完成された。

顕微鏡の発明によって、それまで人間がまったく知ることができなかった動植物の深い生態をきわめることができるようになった。生物組織の構造と器官の発生過程の顕微鏡を使った研究が始まるのである。

## 自然科学の発達と新しい哲学との関連

自然についての学問の発達は、新しい哲学の発達と密接に関連していた。進歩的な哲学思想の代表者たちは、封建的、教会的な世界観とたたかうことによって、自然科学が神学のくびきから解放されるのをたすけ、一般理論的自然観をつくり上げることをうながした。この時代の自然科学の発達に最大の役割を

演じたのは、イギリスのフランシス・ベーコンとフランスのルネ・デカルトという2人の哲学者であった。

ベーコンの学説のなかで自然科学の発達に対して最も重要なのは、彼が中世のスコラ哲学に破壊的批判をあげたことと、新しい、当時としては進歩的な経験論的認識方法をつくったことである。

デカルトの合理主義的な認識論によれば、理性が真の知識の源泉であった。デカルトの意見によれば、数学の証明のように明白な、正しい思考方法を実験のデータの研究に適用することによって、真理の確立へすすまなければならぬ、というのである。このような合理主義的認識方法は、中世のスコラ哲学の学風とはまったく両立しえなかった。それ故、これの普及もやはり、科学の発展のための途を切り開いたのである。

古い封建的教会的な世界観に対する新しい科学の闘争において、さらに大きな役割を演じたのは、デカルトの自然哲学である。デカルトの学説のなかには観念論のかなりの要素（とくに、彼は神の存在と人間に靈魂のあることを認めていた）があったけれども、彼の自然観は、事実上自然発生的唯物論の性格をおびていた。デカルトは完全に機械論的唯物論的な世界観をつくり上げようという、構想雄大な試みをおこなった。彼の説によれば、人間をとりまく全世界は物質粒子から成り立っており、これらの粒子の基本的属性は延長であるという。性質は単一であるが大いさと形状だけが異なった物質粒子は、力学法則にしたがって運動している、デカルトの考えでは、すべての自然現象が実体のこの運動によって説明できる。たとえば、彼の宇宙発生論によると、あらゆる天体すなわち恒星、太陽、惑星、彗星は物質の渦状運動によって形成された。この理論にしたがえば、太陽にまわりの惑星の公転も特別の最も微小な物質粒子のうずまき運動の結果であるという。デカルトはいろいろな種類の物質粒子の運動によって、引力、磁気、熱、光や潮のみちひきのような現象を説明した。彼は、生物の器官中におこる過程さえもこのような純粹に力学的な方法によって説明しようと試みたが、彼の意見によれば生物は、なんと意識ももたない機械のようなもの、すなわち自動機械だったのである。

力学の分野でこのときまでに達せられた成果の影響をうけてできあがった、このような機械論的唯物論的自然観は、いろいろな欠陥があったにもかかわらず、それでもスコラ哲学にくらべれば巨大な進歩であった。17世紀にひろく普及したカルテシウス（デカルト）物理学の理念は、長期にわたって古い自然観とたたかうための強力な武器となった。

デカルトと同時代の著名な人物で、デカルト批判者ピエール・ガッサンディ（1592—1655年）の活動もこの機械論的、唯物論的な態度の確立を助長した。彼は、エピキュロスの原子論を復活し、それをさらに発展させるために長年の



あいだ努力した。

## 17 世紀なかばまでの自然科学の発達の総括

17 世紀のなかばまでに西ヨーロッパ諸国では、科学の発達の上で、きわめていちじるしい成果があげられていた。スコラ的なあるいは宗教的な世界観に対するたゆまぬ闘争のなかで、実験に立脚し実験のデータの取りまとめと一般化のために数学を使う、新しいそして完全な意味で科学的な自然研究法が作り上げられた。

これらの新しい科学研究方法が作り上げられると、それに伴って、自然界にかんする人間の知識がひじょうにひろがり、精密になった。16 世紀と 17 世紀の前半には、西ヨーロッパ諸国では自然科学のほとんどすべての部門において新知識の急速な蓄積がみられ、さらにそれらのうちいくつかでは本当の革新がおこり、原理的にひじょうに重要な科学上の発見がいくつかおこなわれた。天文学と力学における達成がとくに偉大であった。自然科学のこれらの分野では、その発展は、地球と天体の理論力学の基礎をつくり上げる仕事が完全されるまでにいたった。ガリレイとケプラーの業績は、ニュートンの偉大な著作《自然哲学の数学的原理》（1687 年）の出現のための土壌を、直接に準備した。この本のなかで力学の基本法則と万有引力の法則が定式化され、また、19 世紀まで学界で通用していた自然科学の一般観念の若干が発展させられた。

このような事情は、17 世紀のなかばまでに新しい自然科学の基礎がしっかりと築かれて、これらの基礎がさらに発展して、物質世界を認識する上で当時までみられなかった成果をあげ、科学の成果を人類の利益のために利用することができるようになったということである。こうして自然界の研究に新時代が始まり、人類は、科学上のまた技術上の偉大な発見が間断なく増加し、さらにいっそう急速になる時代へと、突入したのである。

世界史 中世 8（原書、1958）  
（ソ科学・アカデミー版）1996 訳発行。

## 17世紀後半と18世紀におけるヨーロッパの技術と自然科学

17 世紀後半の科学においては、太陽中心説とガリレイ [1564-1642] の力学やデカルト派（すなわちデカルトとその追随者たち）の物理学が、決定的な勝利

をおさめた。17世紀前半にくらべると、科学的世界像は多くの点でいっそう精密なものになった。つまり、それはすでに眼に映じたままの像というよりは、むしろ自然の諸現象の間の関連を一定の約束による数学的形式であらわしたグラフの性質をおびてきた。現象のあいだの正確な量的関係を明らかにしようとする一連の理論が自然科学に現れたのである。

## 17-18世紀の科学と技術の発展の概観

科学上の結論は厳密に一義的で、量的に確定されていて、実験にもとづいていなければならないということが、自然科学の根本的要求になった。自然が無限に複雑なものであるということがほんとうに認識されたのは、もっと後の、19世紀になってからのことであって、17-18世紀の学者—自然探究者たちは、自然におけるあらゆる依存関係、千差万別の自然界はすべて引力と斥力という機械的な力に還元することができ、化学的現象はもちろん生物学的現象も、質的な特殊性をもたない微粒子の、たんなる機械的な位置変化という像によって完全に、絶対正確にあらわすことができる、と考えていた。この理念は17世紀前半にすでに世に広まっていったが、機械的な模型が古典力学の方程式に席を譲り、不確かな記述が正確な実験観測をもとにした量的計算にかわったときに、新しい形態をとるようになった。

だが、科学的思索がでたらめな仮説を排除するのは当然であるが、この時代の科学的思索はついにどんな仮説でもすべて排除するというところまで進み、科学が実験を基礎としなければならないということをお粗末な経験主義にすり変えてしまった。つまり、それは勝手気ままな宇宙創世図を排除しようとしたあまりに、世界は不変なものだとする形而上学的な観念をつくりあげ、数学的抽象を認識の先験的な形式と見なすに至ったのである。しかし一方では、17-18世紀を通じて、弁証法的な傾向が自然科学に残っていて、形而上学的な固定的考えをのりこえて、世界の統一性という理念や、物質や運動の転換と保存の理念を準備し発展させつつあった。この傾向こそ、やがて支配的となるべき理念であったが、このような理念が具体化され、論証され、それが勝利をおさめるためには、さらにきわめて多くの観測や実験が必要であって、それらは分化した自然科学のいろいろな分野においてしだいに集積されていったのである。

17世紀後半から18世紀にかけての自然科学の発展を規定したものは、まず第1にマニュファクチュア生産の技術、とくにそのエネルギー源の発達と、第2に産業革命をもたらした18世紀の技術的変革である。すでにマニュファクチュアにおいては、生産過程の比較的簡単な諸作業への分解がおこなわれていた。だが、これらの作業はまだ依然として手工業的なものであったので、自然

現象のあいだの単純な機械的関連をむき出しには示していなかった。マルクスはマニュファクチュアの手工業的基礎についてつぎのように記している。“かかる狭隘な技術的基礎は生産過程の真に科学的な分解を排除する。ただし、生産物が通過するおのおのの部分過程は、手工業的部分労働として遂行されうるものでなければならぬからである。” 17世紀後半から18世紀前半にかけて自然科学の発展にとって重要な意義をもっていたのは、分解されてはいたが実質的にはあいかわらず手工業的なものであったマニュファクチュア技術ではなくて、すでに機械を採用するに至っていたマニュファクチュアの動力技術であった。マニュファクチュア時代においては機械の役割は二次的なものであり、しかもちらほら見られたにすぎなかったのは事実であるが、それにもかかわらず、マルクスの表現にしたがえば、17世紀に機械がちらほら使用されただけでも、“当時の大数学者たちに、近代的力学を創造するための実際的な手がかりと刺激を与えた”のであった。水車は機械制工業がかたちづくられる前提となった。マルクスの言葉によると、もしも火薬、羅針盤、印刷術のような資本主義社会の発展に不可欠な前提を一応度外視すれば、時計と製粉機の製作は、機械制工業の成立を準備した二つの物質的基礎であった、とされている。

科学に対して力学上のもっとも重要な課題を提出したのは水車であった。水車は機械を扱う科学の建設者たちのもっとも重要な科学的構想の糸口となった。慣性や加速度や力といった概念は、機械がぼつぼつ使われはじめたことが土台となって、でき上がっていった。17-18世紀の科学はまさにこの分野から機械的模型を借用して[ハーヴェーが心臓をポンプとみなしたように]、これを天文学や、物理学や、科学や地質学の過程の説明に広く適用したものであった。

とくに重要なのは、時間を正確に測定できるようになったこと、またこれに関連して等速および等加速運動のまじめな実験的研究がおこなわれたことであった。オランダの学者ホイヘンス[1629-95]は前からあった分銅つき時計の構造に振子をとりつけた(1657-58年)。時計が改良されたので、学者たちは物理的過程の速さを研究できるようになった。また時計は航海中の船上で経度を求めるための重要な用具となった。[振子時計は航海用としては不成功に終り、ハリソン(1693-1776)の作ったてんぷ時計が、1760年ころに目的を達した。]振子の理論を確立したのも同じホイヘンスであった。秤の改善によって、物理学者やとくに化学者たちは、量的に正確な実験データにもとづいて議論を進めることができるようになった。

水力資源がこの時代の技術において大きな役割を演じた結果、動水力学の問題の研究を促したのは当然である。この分野での理論的探究は、過去の技術的達成を土台にしていたばかりでなく、またさらに発展する見込みをもつものであった。たとえばダニエル・ベルヌーイ[1700-82]の《動水力学》[1738]と

ベリドール [1693?–1761] の《水理建築術》 [1757] につづいて、18世紀のなかばには水力タービンの最初の理論を含んだオイラー [1707–83] の業績があらわれたのである。

実験的方法ははるかに広く適用されるようになった。スミートン [1724–92] は水車や風車の実験的研究を系統的におこなって、その測定の結果を《水力や風力についての実験的研究》 [1759] という表題の論文に発表している。理論および応用の特殊な知識部門である構造力学において、実験はとくに大きな役割を演じるようになった。ガリレイが、梁の理論について最初の理論的一般化 (1638) をおこなった後、17世紀後半にフック [1635–1703] や、マリオット [1620?–84] などの研究によって、構造力学の問題の研究がつづけられた。18世紀にはヤコブ・ベルヌーイ [1654–1705] や、オイラー、クーロン [1736–1806] の論文中に、弾性の理論が数学的に論じられている。系統的な実験方法もこの分野にとり入れられ、オランダの物理学者ミュッセンブルーク [1692–1761] の研究 [1729] や、ビュフォン [1707–1888] とデュアメル [1700–82] によって (30年代の終わりから40年代の初めにかけて) おこなわれた各種の造船用木材の試験や、ゴーチ [1732–1807] による各種の石材の試験がそれである。計算と系統的な実験方法にたよることがますます多くなった建築技術の発展の、この新しい局面の特徴は、ベリドールの《技術の科学》 [1729] や、前述のゴーチの《アーチと円天井の建築に対する力学の応用》 [1771] ととか、クーロンの《建築の静力学的問題に極大極小の法則を応用する試み》 [1773] といった入門書や研究があらわれたことである。

海洋貿易の拡大につれて、造船技術が改善され、操船上の計算の新しい方式が現われた。技術的理論的知識のこの新しい水準にとって指標になったのは、オイラーの古典的著作《船の科学》であって、これはペテルブルク科学アカデミーの依頼により1737年に書きはじめられたもので、1749年にペテルブルクで初版が出た。

## 技術の発展

エンゲルスが“産業革命”と名づけた過程の出発点は、労働者の労働対象への直接的働きかけに関して労働者の代わりをするもの、すなわち作業機もしくは道具機が現われたことであつた。

マルクスは産業革命の経過と結果を分析して、機械が生産を物理的・化学的な部分過程に分解する、という重要な事態をとくに力説した。これが生産にもっとも大きな可変性を与えるのである。“機械としては、労働手段は、自然力が人力にとってかわり、自然科学の意識的応用が経験的熟練にとってかわることを必

然たらしめる物質的実存様式を受けとる。生産過程を個々の作業に分解することは、生産方法の不断の革命化の基礎である。

近代技術、ことに蒸気機関は、分子運動の法則を大いに応用したものであり、このことは物理学の新しい諸分野が発展するために重要な意義をもつものであった。だが、いま問題にしている時期の自然科学における支配的な傾向は、まだ水車の建造とか、重さをもった物体の力学的運動のさまざまな形態を産業に応用することとかに起源をもった傾向であった。産業革命は、この時代にはまだ、自然科学の機械論的な制約を克服するための土台になることはできなかった。イギリスにはじめて現われ、大陸にも一步を踏み出しつつあった機械制産業は、主として力学の発展を促進することを科学に求めていたが、実はすでに科学をつぎの新しい段階へ発展させるための前提を作り出していたのであった。

作業機がマニファクチュア労働者にとってかわったことは、けっきょく生産の動力源の根本的な変革を導いた。初期の工場では水車が用いられた。しかし水車は産業革命の提出した課題を解決することができなかった。水力は流水の強さによって工場の規模を制約し、工場を川岸に沿うて配置しなければならず、工業の都市への集中をさまたげた。蒸気機関は工業のためにこのような難点をとり除いたのである。

産業革命に先だつ時代（17世紀後半から18世紀前半にかけて）の歴史的意義は、実に、新しい数学的実験的自然科学の進歩と密接に関連して、最初の作業機を設計するための条件がマニファクチュア技術の胎内で成熟してきた、という点にあった。これらの機械は、はじめは散発的に用いられただけで、一定の社会的条件がととのったときに初めて広く普及することができるようになったにすぎない。生産の全体制を変革した最初の発明は、紡績機械を創造したことであり、それについて織布の生産が機械化された。技術の革命は産業の動力源を改革する必要を生じ、一般用原動機としての蒸気機関の開発をもたらしたのである。

18世紀後半におこなわれたような形の蒸気機関の構造は、多くの研究と、あいつぐ改良の結果であり、エンゲルスは蒸気機関を“最初の、真に国際的な発明”と呼んだが、それは十分理由のあることであった。水蒸気によって回転する古代のヘロンの玩具を除けば、このような手探り状態の最初の段階は実にマニファクチュア時代のごく初期のことであった。

最初に現われた蒸気機関は主として炭坑から水を汲み出すために用いられた。セーヴァリ [1650—1715] の蒸気ポンプや、デボンシアの鍛冶工で仕上工のニューコメン [1663—1729] がつくった機関は、17世紀から18世紀へのさかいめごろにイギリスにあらわれたものであるが、それらは炭坑の排水用であった。ニューコメンの機関では、蒸気がピストンを動かし、このピストンが大き

な木製の揺動天秤に連結され、天秤の他の端には釣合おもりがついている。蒸気がピストンを上げると蒸気をシリンダに導くカラシとぎされ、シリンダ内に冷水が注入され、その結果蒸気が凝縮し、真空ができる。最初ニューコメンの機関が使用されたのは、水を貯水槽に汲み上げ、そこから水を水車の羽根にむけて注ぐためであった。だが、18世紀の60年代にはすでに、蒸気ポンプとしてだけでなく、多種多様な作業機を運転する原動力として使用することができる、一般的な蒸気機関を創造しようという一連の試みがおこなわれていた。1766年にバルナウル〔シベリヤのアルタイ地方にある都市〕の工場に設置された、ロシア人機械技師ポルズーノフ〔1728—66〕の機関は、それらのうちでももっとも早い例であるが、このような構造のものであったらしい。イギリスでは1764年にワット〔1736—1819〕がニューコメン機関の改良にとりかかり、シリンダから凝縮器を分離した。やがて1784年に発明されたワットの第2号蒸気機関では、蒸気の圧力が交互にピストンの両側に加えられたのである。”ワットの偉大な天才は、1784年4月に得た特許の明細書に示されているのであって、そこには彼の蒸気機関が特殊目的のためのみの発明としてではなくて、大工業の一般的原動機として記述されているという点にあらわれている”とマルクスは述べている。

1775年から1800年までの間にソホー〔ロンドンの一地区〕のワット・ボールトン工場は、総出力1,382馬力にのぼる84台の蒸気機関を木綿紡績工場のために、9台を羊毛紡績工場用に、30台を炭坑のために、28台を冶金工場その他のために製作したのであった。

蒸気機関そのものは、最初は手工業的方法によって生産されていた。機関を機械によって生産するためには、強力な原動機が必要であった。蒸気を使用してこのような原動機をつくるのが可能になった。工場には蒸気槌やその他の設備が現われて、機械製作工業の基礎となったのである。この世紀の終りにモーズレイ〔1771—1831〕は、バイト〔旋盤の刃物〕を固定する装置である摺動刃物台をつくった。この台はバイトを、旋削される表面に自動的に切込ませることによって、熟練労働者の手にとってかわった。

18世紀のイギリスで、木炭のかわりに石炭を冶金に利用することがはじまった。新しい合理的な基礎による冶金法の改善は、ヨーロッパの他の諸国でもおこなわれた。フランはレオミュール〔1683—1757〕がこの問題の研究に成功し、1772年に「錬鉄を鋼に変える術ならびに銑鉄を製練する術」という表題の著述をあらわした。レオミュールは綿密な実験によって鉄、銑鉄、および鋼の製造に関する技術的問題を明らかにしようとして、それらの物理的・化学的性質を研究したのである。

このように、さまざまな分野で科学と技術の協同作業がますます緊密におこな

われるようになったのである。

## 科学的研究の新らしい形態

科学的研究にも、新しい組織形態が採用されるようになった。16世紀から17世紀前半にかけてのアカデミーは、今日の意味でのアカデミーというよりはむしろ“学者の自由な有志的集り”であった。17世紀後半から、ヨーロッパに最初に国民的アカデミーが発生してくる。その直接の先駆はフィレンツェ〔フローレンス〕の実験アカデミー〔Accademia del Cimento〕で、1657年から1667年まで存続した。このアカデミーはそもそもの始めから、集団的な研究をその課題にしていた。だからこのアカデミーがおこなった実験を記載した書物には、あれこれの実験を提案したり実施したりした学者の名をあげることなく、実験アカデミーが一個の集団として活動し、自己の業績をアカデミー全体の仕事としてまとめている点が特徴的である。1662年にロンドンの王立学会が、1666年にはパリの科学アカデミーが創立され、さらにベルリン(1700)、ペテルブルク(1725)、ストックホルム(1739)のアカデミー創立がこれにつづく。ほとんど同時に、最初の国立天文台(パリは1672年、グリニッチは1675年)も創設された。

科学的探検もいっそう大じかけであると同時に組織的なものになった。カイエンヌ〔南米仏領ギアナの海港〕での大規模な天文観測(1671-73)や、その後の地球上各地での天文学的測地学的探検によって、科学上の多くの問題をより正確にしたり、解決したりすることができた。たとえば、フランスがおこなったペルー(1735-43)およびラップランド(1735-37)の探検の結果、地球のかたちについての観念がより正確なものになった。18世紀の50年代におこなわれた喜望峯とベルリンでの同時観測によって、地球と月との距離はいっそう正確に決定できるようになった。1769年の金星の太陽面経過は、ヨーロッパ各国において協同観測がなされたが、これにはロシアも参加し、ヨーロッパロシアとシベリアで観測をおこなった。

18世紀じゅうに地理学的探検の結果として、地球上の未知の地点に関する知識がいちじるしく拡大された。フランス、イギリスその他の国々の航海者たちは、印度洋の南部、オセアニアやオーストラリアを、またアメリカではハドソン湾沿岸地域を、これまでより詳しく調査した。中国についての知識も拡大された。ロシアでは地理学的調査が新しい段階に高められた。すなわち1720—27年に最初のシベリア探検隊が組織されたが、この探検隊の特別の課題として自然科学上の諸問題がとり上げられ、その解決には専門学者のメッサーシュミット〔1685—1735〕があった。これについて、カムチャツカ探検(1725—30)、北

方大探検(1733—43)や、1768—74年におこなわれたいわゆるアカデミーの諸探検が、国内各地で膨大な科学的資料を蒐集した。これらすべての探検の重要な特徴は、調査が組織的集団的な性格をもつ点にあった。

1751年から刊行されはじめた有名な《学問、技術および技術工芸の百科全書》は、科学と技術の分野における知識の総括を旨とするこの時代の傾向をあきらかに示している。

技術的進歩に刺激されて、18世紀後半には一連の専門的研究機関や学校がうまれた。たとえばパリの鉱山学校(1747)、パリの王立農学会(1761)、フライブルクの鉱山アカデミー(1765)、ペテルブルクの鉱山学校(1773)などがそれである。

18世紀には、先進的な自然科学はいっそう決定的に、かつ大胆に、神学的観念を否定するようになった。精密になり完全になった世界像の中には、もはや神をいれる余地は残らなくなった。精密科学は、形而上学とのつながりも大きく断つようになった。“形而上学は17世紀には(デカルト、ライプニッツ、等々を想起せよ)まだ実証的、現世的な内容をふくんでいた。この形而上学は、数学や物理学やその他この形而上学に属するものと思われていた諸科学の方面では、かすかすの発見をした。ところがすでに18世紀の初めになると、もはやこのような外観は消え失せていた。これらの実証的な諸科学は、形而上学から分離して、それぞれ独立のなわばりをつくっていった。すべての関心が実在する地上的な事物へまさに集中しはじめたそのときに、形而上学の全財産は、いまなお空想的な存在と天上的な事物だけからなっていた。形而上学は気が抜けたものになってしまったとマルクスは書いている。

17世紀の科学にもっとも大きな勢力をもっていたデカルト派の物理学は、それが実験的な根拠を欠いた、幻想的な仮説を無秩序によせあつめたものであったために、また宗教的教議とはっきり手を切ろうとしなかったために、18世紀にはすでに陳腐なものと思なされるようになっていた。この時代は、進歩的な思想家たちが理性の支配を宣言し、直接に1789年の革命を思想上で準備していた時代であり、デカルト派の[哲学]体系から絶縁した時代であった。この時代の自然科学は、まだデカルトの物理学に執着していたが、もはやデカルト派的でなくて、ニュートンの古典力学の達成を大いに利用しながら、端的に神学に反対していた。

## ニュートン

ニュートンは1643年1月4日[新暦]にケンブリッジから75キロメートル離れたウールズソープ村で生まれた。彼は高等教育をケンブリッジでおさめたが、



そこで彼にもっとも大きな感化を与えたのは、数学教授のバーロー [1630—77] であった。ニュートンは 60 年代の終りにバーローの講座を受けつぎ、30 年以上その地位を占めていた。70 年代から 80 年代にかけては、ニュートンの創造的な活動のもっともさかんな時期であり、彼の数学、力学、光学上の重大な発見はすべてこの時代になされた。ニュートンは晩年の数十年をロンドンで過ごし、そこで 1696 年以来造幣局を主宰し、また 1703 年には王立学会の会長に選出された。1727 年 3 月 31 日に歿し、ウェストミンスター寺院に葬られた。彼の古典的労作《自然哲学の数学的原理》の初版は 1687 年に出た。

《プリンキピア》は、すでにかなり世に広まっていた彼の科学上の創見の新しい面を、つきつめて徹底した明瞭なかたちで示していた。《プリンキピア》初版へのニュートンの序文には、自然科学の任務についてふれている。まず第 1 に、運動の具体的な現象を観測して、その運動の原因である力を見つけ出すことが必要であり、つぎには見出された力から出発して、具体的な運動を導き出さなければならぬ、とニュートンは主張している。《プリンキピア》の第 1 巻では、中心力の作用のもとになる物体の運動、第 2 巻には抵抗のある触媒中における運動が論じられ、第 3 巻《宇宙系について》では、前の巻で定式づけられた法則から、天体相互の引力とその運動を導き出している。《プリンキピア》で定式づけられた運動の法則は、つぎのものからなりたっている。1) 慣性の法則（“外力によってその状態を変えるように強制されないかぎり、すべての物体は静止あるいは等速直線運動の状態をそのまま維持する”）。2) 比例の法則、この法則によれば加速度は力に比例する。3) 作用と反作用は相等しいという法則。[ニュートンはこれらの法則から整然と体系づけられた結論を引き出し、さらにこれを同じように有名な引力の法則でおぎなっている。すなわち、地上で見られる重力は、月が地球をめぐって運動するさいに月を一定の軌道上に保っているものと同じ力であり、また地球が太陽をめぐって回転するさいに地球を楕円軌道上に保っているものと同じ力であり、またこれがそれ以外のすべての天体をその楕円軌道上に保っている力であって、それは牽引しあう両物体の質量に比例し、それらのあいだの距離の 2 乗に逆比例することを、ニュートンは証明したのである。17 世紀の多くの学者たちは、引力を物質一般に認める考えに近づいていたが、これを初めて明瞭に定式化し、これを厳密な計算によって証明し、引力の法則からすでにケプラー [1571—1630] によって確立されていた有名な天体力学の諸法則を導き出したのは、ひとりニュートンのみであった。

《プリンキピア》—とくにコーツ [1682—1716] の痛烈なデカルト派攻撃の序文をのせて 1713 年に出版された第 2 版は、ヨーロッパの自然科学界に激しい論争をひきおこした。デカルト派はたたかわずに降伏しはしなかった。だが、ニ

ニュートンの学説はいよいよ決定的に勝利をおさめていった。イギリスではたちまち承認された。ニュートンの力学は、応用力学的知識の発達によって生じたものであるから、おのずとその後の技術的進歩を促進するテコとなった。一方では、イギリスの支配階級は、ニュートンの学説に宗教を擁護するための武器を見出した。《プリンキピア》第2版へのコーツの序文には、“ニュートンのこのすぐれた書物は、無神論者たちの攻撃に対するもっとも安全な防禦物であり”、また“それら不信心な輩に対して、この矢筒以上に確実な武器を見出せるところはない”と記されている。事実、ニュートンの《プリンキピア》には、神学的な宣言や構想がすくなく含まれていて、たとえば彼の見解によれば、宇宙に運動をもたらしたものは“神の最初の一撃”なのである。だが、ニュートン自身の世界観には神学的傾向があるにしても、彼の科学的理念からやがて反神学的な結論がひき出されることになった。18世紀の30年代には、ヴォルテール [1694—1778] の《哲学書簡》 [1734] 中の、ニュートン学説の機智に富んで生彩の戦闘的な通俗化は、カトリック教会にとって危険きわまるものに見えたので、この書物は1734年にパリ高等法院の決定により、刑吏の手で焼却されたのであった。

## ライブニッツ

そのころ、18世紀前半のほかのヨーロッパ諸国でも、発展途上の自然科学の、神学に対する闘争が起こっていた。すでに17世紀後半にスピノザ [1632—77] がデカルト派の物理学からひきだした急進的な唯物論的結論が、激しい反撃を呼びおこしていた。スピノザに対しては、宗教のすべての擁護者はもちろん理神論者 [自然が神によって創造された後は、自己法則に従って発展すると信じた人々、ポップス、ニュートンなど] でさえもが反対した。とくに、スピノザに対してははげしく反対したのはライブニッツ [1646—1716] であった。ライブニッツは単子論という観念論的哲学大系の創始者であり、微積分法や力学の新しい理念を創始した天才であるが、デカルトとはちがって宇宙の根元を物体の運動ではなくて、広がりをもたない実体、つまり単子であると考えた。このような広がりをもたない要素に関する学説は、クリスチャン・ヴォルフ [1679—1754] によって平板化され体系づけられた。

## ロモノーソフの科学思想

クリスチャン・ヴォルフがマールブルクで、広がりをもたない要素という観念の上に建てられた形而上学の基本原理を講義していたとき、若い1人の聴講者

は、拡がりをもった物質微粒子——《物理的単子》すなわち分子と原子——の配置と運動によって当時知られていた自然科学上の事実のすべてを説明する、整然とした体系をすでに考えだしていた。これが、ロシアそして同時に世界の科学の発展に巨大な貢献をもたらしたロモノーソフ [1711—65] である。ロモノーソフは、物体が拡がりをもたない要素から構成されているかのように説くライプニッツやクリスチャン・ヴォルフの考えを認めないで、自然科学は拡がりをもった実在の世界を研究するものであり、全自然現象の根底は拡がりをもった物質微粒子なる物体の運動である、とうことを主張した。ロモノーソフは、すでにその初期の労作(1741—43)で《不可視的な [物理的] 微粒子》について書き、その運動によって化学反応の過程や、音、光、熱、引力、磁気電気の諸現象が説明されるとしたのであった。ロモノーソフはまた分子（“粒子”）がいわゆる微細な粒子すなわち原子（“元素”）からなりたっていて、複雑な物質のさまざまな化学的特性は、この分子の構成の違いによって説明される、と述べている。ロモノーソフはこの思想を発展させて、巨視的な物体の可視的運動が、微粒子の内的な不可視的運動に移ることを説いている。彼はこのとき運動恒存の原理から出発して、この原理をいっそう一般的な法則の特別の場合と見なす。すなわち、1748年 [7月5日付] のオイラーあての手紙で、彼は“運動の規則そのものをそのなかに含むもっとも一般的な法則”、すなわち物質とその運動の恒存法則について述べている。ロモノーソフは引力、磁気、光、電気についての諸労作のなかで、エーテル概念を展開し、そのエーテル概念にもとづいて電気の理論をつくり上げている。ロモノーソフは宇宙や地球や地殻が進化するという理念を予告したのであった。

## 無限小解析と数学的自然科学

17世紀には、デカルト [1596—1650] が解析幾何学をつくりあげ、また他の学者たちが一連の研究をおこなった後に、ライプニッツとニュートンがたがいに独立に微積分法を発見した。エンゲルスはつぎのようにいっている、“数学における転回点は、デカルトの変量であった。これによって運動と弁証法が数学に導入され、またそれとともに微積分法もまたただちに必然的になる。そして実際それはただちに開始され、ニュートンとライプニッツによって大体において完成されたのであるが、彼らが発見したものではないと。

18世紀の科学の発展における主流の一つは、数学解析や数学的自然科学の整然とした体系をつくりあげることにあつた。ベルリンやペテルブルクで研究したスイス人オイラーの業績のなかには、微分学と積分学や力学の著述があり、それは今日でも、ほとんどそのままの形で教科書にとり入れられている。オイ

ラーの《微分学》[1755]と4巻の《積分学》[1768—94]は数学的自然科学の近代的方法の真の宝庫をなしている。フランスの数学者ラグランジュ[1736—1813]の1788年に出版された《解析力学》は、ニュートンの《プリンキピア》が出版された1687年以来、つまり古典力学が生まれてからの百年間の成果の総決算である。ラグランジュは図形を用いなくて、純然たる解析的形式により、力学を記述したのである。

18世紀に学界のみでなく、もっと広い範囲の人々にもきわめて大きな感銘を与えたのは、天文現象を理論的に予言して的中した事件である。すなわちクレロー[1713—65]がハリー彗星の回帰時期の計算を1759年4月13日に完了して1ヵ月後に、彼の予言が的中したことは、彼の採用した力学的法則の正確さと厳密さ、すなわち科学の巨大な威力の驚くべき証拠であった。このようなすべての発見、また同じラグランジュ、クレローやその後のラプラス[1749—1827]の諸労作の厳密に体系的に組織された理論は、自然科学が神学的概念から解放され、自然界から神が徹底的に追放される過程の1段階であった。この点において、力学全体を(彼の名を冠した)一つの原理の上に構成したダランベール[1717—83]の創意は、特徴的であった。このダランベールの原理は動力学のすべての課題を、これに対応した静力学の問題に還元してしまうものである。ダランベールはその《百科全書》中の1論文で、機械的自然科学を宗教に対してきっぱりと対決させた。

科学的研究の正確さは、18世紀に数学的手段が発展しただけでなく、観測や測定がたかまったことにもかかっていた。力学的数学的方法の最初の試金石である天文学については、とくにそうであった。すなわち、ハーシェル[1738—1822]の諸発見は、この世紀の最後の3分の1期のことである。彼は1781年に反射望遠鏡を使用して、これまで知られていなかった惑星—天王星—を確認したのである。このとき以来、反射望遠鏡は屈折望遠鏡との競争に勝利をおさめるのである。ハーシェルは同じくこれを使って、土星の環は二つの同心の部分からなることを確かめ、やがて土星の二つの衛星や天王星の六つの衛星を新たに発見し、後には二重星の星表を作り、また二重星がニュートンの引力の法則に従うことを証明した。

## ラプラスの天文学体系

18世紀の天文学上の業績の頂点は、フランスの学者ラプラスの数巻の大著《天体力学》[1799—1825]を予告した著書《宇宙系解説》[1796]であった。学者たちの世界観に大きな影響を及ぼした上記の書物の根本理念は、宇宙は力学的には永続的であるという理念であった。“理性の世紀”の子であるラプラス

は、神が宇宙にときどき干渉してその永続性を週期的に修復しなければならないという、ニュートンの考えよりも遙かに進んでいた。18世紀の進歩的思想家たちは、どのような種類の非物質的能因〔神など〕もなしに宇宙が永続できることを証拠だてた。この証明は、ニュートンの発見した引力の法則をいっそう広汎な天文学上の問題に、首尾一貫して適用した結果であった。ラプラスの《宇宙系解説》の根底には、ニュートンの引力の法則が反駁し難い確実さを持ち、その法則によって、すべての天文現象を力学的数学的課題の体系として説明することができるという、確信が横たわっていた。

世界中のすべての物質的粒子の与えられた瞬間の位置と速度がわかっているならば、人間の歴史上の事件をも含めて、将来の世界の全発展のどんな小さな事でも絶対確実に予言することができる、という架空人物の形象を考え出したのはラプラスである。これが18世紀の力学的自然科学の理想であった。もちろん、歴史的発展の法則は力学的法則に還元されるものではない。ラプラスの理論は、社会の思想的発展にいちじるしい影響を及ぼしたが、ラプラス自身が力学的自然科学からひき出してナポレオンに答えた有名な言葉はとくにそうであった。この学者は、ブリュメール18日以後に大臣になり、のちには帝国の伯爵に、さらに復古王朝の侯爵になったが、ナポレオンの“神には宇宙系のなかでどんな役割をあてているのか？”という問に対し、彼は誇らしげに答えたものである。“私はそんな仮説が必要であるとは認めませんでした！”と。

分化した18世紀自然科学のすべての分野で、科学の機械論的制約は、自然が変動しないものであるという正しくない観念を導き出した。がこれと同時に、科学的世界像を統一したいという欲求や、物理的、化学的、生物学的知識の集積によって、宇宙、太陽、地球、地殻、地表面ならびにそこに住む生物の実際の発展を示す理論が現れるようになった。

## 太陽系や全宇宙の可変性の思想

宇宙の発展の問題を直接にとりあげた天文学的研究としては、カント〔1724—1804〕の労作《一般的自然史と天界の理論、一名ニュートンの原理にもとづく全宇宙の構造と力学的起原の解説の試論》〔1755〕がある。この書物の運命は悲劇的なものであった。印刷中にその出版業者が破産したため、この書物を入れたまま倉庫が封印されてしまったのである。のちに1763年に、カントは《一般的自然史》の内容を、《神の存在を証明するためのただ一つの可能な証明根拠》という表題の、あまり大きくない労作に簡単に解説した。カントの宇宙生成（進化）論は神学論の外衣をまもってはいたが、実際は一切の神学に反対するものであった。だが、カントは宗教との関係を絶つことを恐れており、そ

してこの危惧は時の経過とともに、ますます大きく彼の心をとらえるようになっていった。カントがはじめてその《一般的自然史と天界の理論》を書いたときには、まだニュートンのいう神のひとはじきを否定し、純然たる力学的原因から出発して惑星の軌道上の運動を説明しようという意図をもっていた。彼はこれを分子の力学によってやろうと試みた。カントの見解に従えば、原初の宇宙星雲の構成要素の運動は、分子の引力と斥力に支配されたのであった。これらの要素は集合して、微粒子の斥力が雲の内部の運動を回転させて渦動に変え、この渦動がしだいに全星雲の一般的な回転に移り変わったのである。星雲の中心部は火の球に変化した。他方周辺にはいくつかの引力の中心が形成されて、それらの囲りに物質を集積し、それが惑星に変化した。このようにして惑星の運動は惑星と同時に発生した。カントは同様の論法でもって、惑星の衛星の形成を説明している。また、カントの説によると、太陽はより高次のいっそう広大な系の一員であり、この系が同様に巨大な宇宙雲からかたちづくられているのである。回転する系をいく段にも重ねてしだいに巨大になってゆく宇宙の像を、カントは無限であると考えた。

このようにして、宇宙系ならびに太陽系の進化という考えは、すでにカントでは分子運動の観念と結合したのである。しかし、分子運動そのものについては、当時まだあまりわかっていなかった。分子ないし原子の理論は、18世紀にはまだやっと緒についたばかりであった。現代科学の資料に照してみれば、カントの仮説はそのままでは認められないが、当時としては進歩的なものであった

## 気体についての学説と熱理論の発展

いま論じている時代のはじめに、空気ポンプの発明者であるゲーリック [1602—86] が注目すべき発見をしている。ボイル [1627—91] とマリオットの労作は、気体論の根本法則、すなわち一定の温度のもとで気体の容積と圧力が反比例するという法則の発見をもたらした。熱に関する学説は、ファレンハイト [1686—1736] (1714) や、レオミュール (1730) や、セルシウス [1701—44] (1742) の温度計があらわれたのちの、18世紀の20年代から40年代になって、やっといちじるしい進歩をはじめた。

熱量測定 (すなわち熱現象の量的側面の研究) に関する観測技術がかなり急速に発展するようになったのは、ペテルブルク・アカデミーの会員リヒマン [1711—53] の古典的業績や、またややのちのラヴォアジエ [1743—94] とラプラスの研究以後のことである。

ロモノーソフの労作は、熱を微粒子の運動と見なす運動論的概念 (熱の運動論) を主張しかつ発展させた。ロモノーソフは、その初期 (1741—43) の論文や、ま

た後には《熱と寒の原因についての考察》[1745]において、機械的運動が熱に移行したり、熱が物体の可視的な運動に転換したりする多数の事実をあげている。ロモノーソフの見解にしたがえば、熱は微粒子の回転であった。ロモノーソフは、回転運動とならんで微粒子がまた無秩序な直進運動をすることも認めている。そしてこの種の運動によって気体の弾性を説明したのである。ロモノーソフやその他の熱の運動学的概念の支持者たちの仕事は、多くの優れた物理学者たちの間で知られてはいたが、18世紀後半の科学の世界で支配的だったのは熱素説であって、この説によれば、熱とは重さをもたない特殊な物質なのであった。熱素説をとらえたのは、とくにスコットランドの物理学者で化学者であるブラック[1728—99]であって、彼は熱容量という概念を導入し、いわゆる潜熱を発見している。19世紀前半の諸発見は、エネルギーの保存と転換の法則を含むマイヤー[1814—78]の古典的労作において頂点に達するが、これらの発見をまっけてはじめて科学から熱素という虚構を追放し、熱の力学的理論を終極的に承認させることができたのである。

## 光についての学説

この時代の初めにおこなわれた、光学の領域でのもっとも重大な実験は、ニュートンのものであった。ニュートンは硝子プリズムを使って太陽光線を分解し、それがそれぞれ違った強さで屈折するいろいろの色線からなりたっていることを確かめた。ニュートンはスペクトルのちがった部分の屈折を測定してみた。彼はこの現象ならびに彼が発見したその他の光学現象を、微細な光の粒子（微粒子）の仮説でもって説明した。すなわち、光の粒子は光源から発出して眼の網膜に光の感覚を与えるが、そのさいもっとも大きな粒子が赤色を、もっとも小さな粒子が紫色を与えるというのであった。ニュートンの粒子説に対抗したのは波動説であるが、波動説の形成にとくに貢献したのはホイヘンスであって、1690年に彼の《光に関する論述》が出版された。ホイヘンスは17—18世紀の自然科学の一般通念から出発して、あらゆる現象は物質の運動によって起こると主張した。ホイヘンスの見解によると、光の伝播の速さと光線の交叉は、光が微粒子の運動によっては説明できないということの証拠であった。したがって光がエーテル内の波の運動によって伝播するということは、音が空気の波動によって伝播するのと同様である、とホイヘンスは結論する。ホイヘンスはエーテル中の光波の伝播機構を明らかにすることによって、つぎのような波動原理を提唱した。すなわち、“波を伝播する媒質たる物質粒子はいずれも、光源点から引いた直線上にあるもっとも近い微粒子に、その運動をつたえるだけでなく、同じくそれに接触しているためその運動をさまたげる他のすべての微粒子

にも、運動を伝えなければならない。このようにして各々の微粒子の周りには、当の微粒子を中心とする波が形成されなければならない”と。ホイヘンスは波動説の上に立って、光の反射と屈折の現象を説明した。粒子論者と波動論者との論争はつぎの世紀にまでもち越された。

光という現象の量的研究の面での、18世紀における科学発展の一般的傾向の特徴は、ブグール [1698—1758] やランベルト [1728—77] が光の強度の測定を扱う測光学という、光学の新分野をきりひらいたことである。

## 音についての学説

この時代の音についての学説（音響学）は、物理学のほかの分野と同じ特色、すなわち実験技術の改善と解析学の応用によって、特徴づけられている。18世紀のはじめにソーヴール [1653—1716] は、種々の高さの音調に応じた振動数を実験的に定め、また音に音色を添える附加音（倍音）を研究した。18世紀前半のテーラー [1685—1731]、ダランベールやオイラーの仕事は、弦の振動理論を数学的に論じたものである。18世紀後半にはクラドゥニ [1756—1827] の音響学的研究が、その重要さにおいてぬきんでており、彼は薄板の振動を研究し、薄板の表面に粉末を撒いて、いわゆるクラドゥニの図形をつくった。

## 電気についての諸発見

17—18世紀は、今日のいわゆる静電気現象についての学説がひじょうに急速に発展した時期であった。（この学説について）17世紀後半にゲーリックがつくった装置は、とくに有名になった。これは台の上で回転させる硫黄の球であり、これを手で摩擦すると電氣的な反撥と牽引の現象が起るのであった。（ゲーリックがこの装置のことを記しているのは、空気ポンプによる実験や、大気圧の研究や、真空の本質についての哲学的考察のことなどを述べた著書 [1672] においてである）。

18世紀のはじめにイギリスでウォールとホークスビー [1640—1713] は、硝子球を使ってかなり大きな電気花火を得た。18世紀の20年代にグレイ [1670?—1736] は重大な発見をおこなった。というのは、良導体を絶縁してそれを帯電させたのである。彼はまた感応現象、すなわち帯電した物体の傍に置いた物体に、電気が現れる現象に注目している。電気が一つの物体から他の物体に移動するときに、電荷の消滅が観察される。つまり、一方の電気は他方の電気に関して正反対の大きさをもつのであった。この観察から、フランス人



デュフェイ [1698—1739] が提唱した、二種電気の理論が現れるようになった。彼は《硝子電気》と《樹脂電気》という考えを導入して、同名電気で帯電された物体は相互に反撥するけれども、異名の電気の際は相互に牽引する、という法則を定式化した。

18世紀の40年代になると起電機が改善されて、硝子の円筒から硝子の円板にかわった。1745年にクライスト [?—1748] とミュッセンブルークがたがいに独立に、蓄電器すなわち《ライデン瓶》をつくった。そのころリヒマンが作った験電器は、静電気分野での量的測定の出発点となった。

おなじころ、放電の研究にもいちじるしい進歩が見られた。フランクリン [1706—90] や、ロモノソフその他一連の物理学者の研究の結果、空中電気の理論が作り上げられた。ロモノソフとリヒマンは自作の《雷電機械》を使って大気の放電を研究した。この機械は建物の屋根から突き出た金属棒を、導線で特別の験電装置に結びつけたものである。ロモノソフとリヒマンは、大気中に電気が存在するのは、雷鳴のときだけではないことを発見した。リヒマンはある日、観測中に電撃を受けて死に、空中放電研究の最初の犠牲者となった (1753年)。のちにロモノソフは、電気現象の全領域を含む広い総合をめがけて、電気をいわゆるエーテル概念によって論じる、当時としてはきわめて進歩的な理論を作り上げた。エーテルの電氣的運動の概念はまたオイラーによっても発展された。

電気理論の発展における新しい進歩としては、エピソード [1724—1802] の著書《電気と磁気の理論の試み》が1759年、彼がベルリンからペテルブルクに移ったのちに発表されたことである。エピソードは電気現象と磁気現象がたがいに関連していることを確かめ、以前には経験的観測でもって十分だとしていたところに理論的計算を適用して、これらの現象を量的に処理する最初の理論を作り上げた。

静電気学が終極的な形態に完成されたのは、クーロンが1784—89年に、電荷とそれら相互のあいだに作用する力の関係をあますところなく立証した古典的実験ののちのことである。この法則は今日ではクーロンの法則、すなわち電荷を帯びた2点間の引力あるいは斥力は、両電荷の相乗積を2点間の距離の平方で割ったものに比例する、という法則として知られている。

## 化学の発展

17世紀後半にボイルは、錬金術の伝統に反逆して、化学を実用的な課題だけをとりあつかう狭い枠から解放した。ボイルは、化学的概念の各部分の調和のとれた整然とした体系を作り上げようと試み、また化学的元素に関する問題を

前面に押し出した。彼の根本課題の一つは、化学的元素をある非物質的な“原理”に帰してしまおうような考え方に、反対して闘争することであった。ボイルによれば、化学的元素とは、それ以上単純な物質に化学的に分解できない物質そのものである。ボイルは複雑な物質を化学的元素に分解し、このようにして複合物の化学的性質を確かめ、その定性分析をおこなおうとした。エンゲルスがボイルのことを、科学としての化学の創立者と呼んだのはまさにそのためである。だがボイルが、具体的に化学反応の性格について抱いていた思想は、非常に空想的なものであった。経験的知識なかんずく燃焼や、酸化や還元の過程に関するそれを集積し、組織化することが必要であった。この点に関しては、化学は生産、とくにこの場合冶金学から豊富な刺激を受けた。

科学上でも実際上でもよく知られている、燃焼や酸化と還元という現象をすべて含む、最初の一般的理論は、ベッヒヤー [1635—82] とシュタール [1660—1734] によって提唱されたフロギストン説であった。彼らは複合物からその燃焼の際に分離して出てくる特別の物質のことを、フロギストンとよんでいた。17世紀後半から18世紀前半にかけての大多数の研究者たちは、フロギストンを重さのないものと見なしたが、そのうえフロギストンは物体に結合すると、その重さを減少させるものだということを示そうとするような試みさえおこなわれた。だが、化学が正確な量的測定をしだいに広く使用するようになるにつれて、また化学実験室に秤がますます普及して不可欠の器具となり、しかもその精度そのものが増大するにつれて、フロギストン理論の枠内におさまらない、らしい観察がつぎつぎと現れるようになった。

18世紀の70年代になると、気体化学は急速な発展をとげた。50年代のなかばにブラックが炭酸ガスを発見してのち、キャヴェンディッシュ [1731—1810] は1766年に水素を、1771—72年にシェーレ [1742—86] とプリーストリイ [1733—1804] が酸素を、1774年にシェーレが塩素を、それぞれ発見した。これらの化学者たちはまた若干の他の気体をも発見している。

気体化学の進歩は、やがて最初の実際的应用を生み出した。1783年に、モンゴルフィエ兄弟 [1740—1810 と 1745—99] は、加熱された空気を充たした最初の気球を空中に揚げたのである。同年および翌1784年には、この目的のために水素を用いる試みがおこなわれた（シャルル [1746—1823] によってフランスで、イタリア人ルナルディによってイギリスで）。

これとともに、気体化学の進歩は植物の呼吸過程をいっそう深く研究することも可能にした。すなわち、プリーストリイは、植物が炭酸ガスを吸収して酸素を放出することを示した(1772年)。インゲンハウス [1730—99] はこの発見をおぎなつて、このような過程が他ならぬ太陽光の影響のもとに起こるという重要な観察をおこなった(1799年)。

酸素の発見と定量分析法のめざましい改善により、ラヴォアジエはフロギストン説がなりたちえないことを終極的に証明し、また燃焼と酸化の過程の本当の性質を明らかにすることができた。ラヴォアジエの一連の労作は、燃焼概念のみならず化学全体における根本的な大改革をもたらした。ラヴォアジエは 1777 年に《燃焼一般について》という報告で、新しい理論の基本命題をつぎのように定式づけた。1) 燃焼にさいし燃焼物はそのいかなる組成部分をも失うどころか、かえって大気中から酸素をそれに結合して、その重量を増加する。2) 酸素がなければ、燃焼は起りえない。3) 炭酸ガスは炭素と酸素の化合物である。4) 金属灰は、フロギストン理論の論者が考えるように、単体ではなくて、金属と酸素の化合物である。

化学的要素の概念が正確になり、新たに燃焼の酸化理論が完成した結果、化学的命名法がフランス革命の直前に、根本的に改革されることになった。当時学問上に用いられていた物質の名称は、俗語から転用されたものであるか、またはフロギストン説と密接に結びついていた。これらはいずれも物質間の真の関係を示していなかった。1787 年にフランスで組織された委員会は、その委員にラヴォアジエ、ギートン・ド・モルヴォー [1737—1816]、ベルトレ [1748—1822] およびフルクロア [1755—1809] をふくみそれは、ほぼ今日まで踏襲されている近代的な化学的命名法の原則をつくり上げたのである。その命名法 [1787] は、それぞれの名称で表示される諸物質の本性と、それら相互の関係をよく反映するような合理的な方式を目ざしてつくられたものであり、その出発点は単体（元素）の名称であった。それらを組み合わせて複合体（化合物）の名称がつくられた。同じ物質からできたいくつかの化合物がある場合には、その相違はそれに応じた接頭語あるいは接尾語によって示されることになっていた。（このようにして、たとえばロシア語ではそのような原則に従って、つぎの述語がつくられた。亜酸化物、酸化物、過酸化物や、亜硫化物、硫化物、等々である）。この時から“緑礬油”（硫酸）とか、“脱フロギストン空気”（炭酸ガス）というような俗称は消え去った。最初はフランス語にのっとってつくられた新化学命名法は、各国語の構造と特殊性に応じてそれぞれの国に置いて修正され、一般に認められるようになった。

## 地質学

地質学的変化の問題は 17 世紀後半の一連の著作のなかで、ことにデンマーク人ステンセン [1638—86] によって考察された。彼はトスカナ地方の地層を調査して、一連の鉱床は溶液が沈殿した結果として生じたことを証拠だてた。ステンセンは、上部の地層は下部のものよりも新しく、はじめ地層はその生成の

歴史的順位に応じて整然とした順序に重なっていたが、造山活動によって混合されたり切断されたりした、と主張した。彼は地球の地史を六つの時代に区分し、そのさい地殻（とくにトスカナ地方の地下）についてのこのような考えを、天地創造とノアの洪水の聖書の物語と調和させようと努めた。

しかしこのような考えは、すでに18世紀には学者たちを満足させなくなっていた。たとえばヴォリスネーリ [1661—1730] は《山上で見出される海中の物体について》 [1728] という著述で、海産有機体の遺物が山頂で観察される事実は、まる40日間続いたノアの大洪水という聖書の物語を引合いに出すことで説明できるものではないと見なした。フランスの学者マイエ [1656—1738] は、地球の進化という大胆な“異端的”見解を、1748年に遺稿として公表された著作で述べている。ビュフォンもその《自然史》 [1749—88] 中で、宇宙生成論と地質学の問題を考察した。ビュフォンは自然力を物質的運動の現われと見なし、宇宙の生成発展の像を動力的に描こうと企てた。ビュフォンは地球の歴史を七つの時期に区分した。第1期は、彗星と衝突した結果太陽から裂きとられて、地球や他の惑星が生成する時代であり、人類は第7期になって出現したというのである。

ビュフォンは地球の生成と動植物の地上への出現の像を描くにあたり、無生の自然から有生のそれへの移行にとくに注意を払った。ビュフォンの意見にしたがえば、動植物は有機的分子から成立しているが、無生の自然は無機的分子から成立している。有機的分子は不滅である。それらは一つの結合から他の結合へと移行して、あらゆる生命現象をかたちづくる。

ビュフォンの生物学的研究の根本理念は、有機的自然の統一性という考えであった。ビュフォンはこの理念を展開するにあたって、中間的な過渡的形態が存在することをとくにしばしば強調し、その実例として、ときにはまったく根拠のない説を挙げている。すなわち、ビュフォンはペンギンが魚類と鳥類との中間段階であり、コウモリが哺乳類から鳥類への過渡的形態である。等々とみなした。ビュフォン時代には、有機的自然の統一性という考えに立脚した真に科学的な分類法がまだなかったのだから、動植物の種の発展に関する彼の観念はまだきわめて漠然としたものであった。ビュフォンは生物体と環境のあいだに関連のあることを指示している。おのおのの動植物の種は、それぞれ一定の地理的環境すなわち地域の性格や、風土や、食物に関する一定の物理的・化学的現象の総体をもち、それが任意の生物体の構成を規定しているのであると。

この宇宙生成論的見解は、聖書の伝説にしたがった自然想創造図に対立するものであるが、ビュフォンの著書とともにひじょうに広く流布した。《自然史》は反動的な層、とくに教会の激しい敵意をよび起こした。パリのソルボンヌ大学は、ビュフォンの書物を禁止し、ビュフォンを厳しく処罰することを要求し

た。

ロモノーソフは《金属が地震によってできたということについて論文》[1757]、また 1763 年に発表された論文《地層について》のなかで、地殻の種々の要素の起源や、構造と進化の大体の規模を述べている。ロモノーソフは宇宙や、地球、地球が進化するという原理をつぎのように定式づけた。“現在地上にある物体やまた宇宙全体は、創造の当初には、今日われわれが見るような状態にあったのではないことを銘記すべきである。そこには大きな変革があったのである。そのことは歴史をかえりみ、古代の地理を現在と対比し、現に起っている地表の変化を見れば、明らかである”と。ロモノーソフは“宇宙のもっとも大きな物体である惑星や、恒星そのものでさえ変化し、天空で消え去り、新たに出現する”ということあげて、地球も不断の変化を蒙らないわけにはいかなないと考えた。ロモノーソフは“すべてのものは、当初から造物主によって、われわれが今日見るとおりにつくられたものだ”という説は、“科学の成長”にとってはきわめて有害であると見なした。

18 世紀後半に、地質学的変化の要因の問題に関して、学者たちは大きく二つの派に分かれた。“水成論者”の見解によれば、地上のあらゆる地質学的過程は水の作用によって説明されるものであった。この見地に立つもっともすぐれた代表者は、フライブルク鉱山アカデミーの教授ヴェルナー [1749—1817] であった。“水成論者”に反対した一派は“火成論者”と呼ばれた。

水成論にくらべると、火成論は地質学の発展の一段高い段階であった。スコットランドのハットン [1726—97] は、その一部分が 1785 年にはじめて公刊された《地球の理論》のなかで、エディンバラ近辺での自分の観察を記し、岩石層の発生は雨水、河水、波浪、地球内部の高温、その他現在でも作用している要因の作用の結果であると主張した。ハットンによれば、岩石が河水によって浸蝕され、この岩石の破片を河水が海に運搬することと、陸地を新しく形成するところの地下の火山力によって地殻が隆起し、その結果、新たな陸地が形成されること、この二つが根本的な要因であった。対立する諸要因（岩石の水による崩壊と、火山作用による岩石の生成）の相剋が、地表ならびに内部の進化を解明するものである。このような解釈をとれば、地球の年齢をひじょうに長い年代でもって測ることが必要になる。18 世紀にはまだ地質学者たちは、伝統的な聖書の数字にしたがって、数千年で十分だとするのが大勢であった。ハットンは地球の科学に対し、数百万年ないし数兆年をもって数える、巨大な地質学的年代を予見したのである。

他の自然科学部門におけるのと同様に、地質学においても分類の問題がもちあがることになった。ヴェルナーは、鉱物の特性にしたがって、その自然分類の体系を樹立しようと試みた。ヴェルナーによれば、もっとも重要なのは内的な

化学的特徴であるが、これを確定することはひじょうに困難なことである。だから、実際には視覚や触覚等々によって捉えられる外的な特徴を、手引きにするほかはない。鉱物の物理的特徴、すなわちその磁氣的、電氣的等々の特質は、ヴェルナーの体系では、たいして重要な役割を演じてはいない。ヴェルナーは、鉱物の外的な特徴を記述するにあつて、たとえば“緻密な”、“斑紋入りの”、“くすんだ”、“縫合された”のような、一連の術語ないし概念を導入して、種々の色やニュアンス等々に、いっそう正確な規定を与えようとした。これらの規定は不十分ではあつたけれども、鉱物誌にとってのみならず、いくつかの一般の理論の生まれるためにも基本になつたのである。ヴェルナーは、石炭層の自然発火から起つた地中の火が沈澱物を熔融し、そして火山に転化すると考えた。

鉱物分類法が整備されていくのと足並をそろえて、結晶学もロメ・ド・リール [1736—90] とアユイ [1743—1822] (18世紀の70—80年代) の労作において確立された。

18世紀の終わりから19世紀のはじめにかけて、地質学上の知識が進歩する上で大きな意義をもっていたのは、広い地域にわたって地球の内部が記述されたことである。たとえばロシアでは、1768—74年のアカデミーの探検旅行のとき、パラス [1741—1811] は、重要な地質学的資料を集めてきた。パラスは地中で発見された生物体の遺物を観察したが、これは従来の不確かな自然哲学憶測から、事実立脚し整然とした地質学的理論への転換を促進するものであつた。それにもかかわらず、幻想的な仮説にもまだ大きく余地を残していた。たとえば、マンモスやサイ(犀)や、野牛がシベリアで発見された事実を、パラスは熱帯地方の火山の爆発の結果、印度洋の海水が北方に突進し、そこに南方の動植物を携えてきたという、地質学的大変動によって説明したのである。

## 生物学の進歩

生物体の研究は、顕微鏡の発明後にはじめて可能になつた。顕微鏡解剖学の創始者の1人マルピーギ [1628—94] の著書を見れば、顕微鏡の使用と科学的生物学の形成のあいだに、直接の関連のあることをはつきりと知ることができる。このイタリアの学者は、彼自身がもっとも単純と思つた現象(植物や下等動物の解剖と生理)からはじめて、しだいにいっそう複雑な生命現象に進もうとした。マルピーギのおかげで顕微鏡は、動植物の極微の構造の研究を可能にする道具になつた。マルピーギの植物学に関する思想を述べた重要な著作は《植物解剖学》 [1675—79] である。マルピーギはその世界観に照して、植物を一つの全体と見ようと努めた。このような考え方から、彼は植物の個々の器官の機能に注意を向けることになつた。マルピーギにおいては、解剖学的記述が、生

理的過程を確定しようとする試みと、密接に結びついている。マルピーギは植物学の著書で、栄養物質がどのようにして葉に到達し、そこで熱と空気のはたらきをうけてつくられるか、またそののちで上がった液汁が、どのようにして葉から植物の全細胞に還流してそれを成長させるか、について述べた。このようにしてマルピーギは、植物体内には、根から葉へ上昇するものと、葉から細胞へ下降するものとの、二つの流れが存在することを認めた。

マルピーギはまた動物や人間の研究にも、顕微鏡を応用した。彼の発見は解剖学と生理学の全分野に例外なくわたっていた。彼は有機体の肺臓の構造や、腎臓と皮膚の構造を明らかにし、その内部で行なわれる基本的な生理的過程を発見した。

イギリスの自然探究者フックのもっとも大きな貢献の一つは、顕微鏡の発明後に人類が発見するようになった世界についての、まだ体系的ではないが、ひじょうに広い範囲の現象を含む像を創り出したことである。1665年に彼の著書《ミクログラフィア、一名拡大鏡による微小物体の物理学的記述》が出版された。フックは顕微鏡の対物鏡の下に、金属片、糸、織布、砂、結晶、かび、イラクサの細毛、クモの脚、蜜蜂の吻、植物の一部などを置いてみた。彼はこれらのすべての対象を、きわめて詳細かつあざやかに記述している。生物学はまだ顕微鏡を組織的に応用するに至っていなかったが、この最初の顕微鏡的観察が雑多な対象に向けられたということこそ、将来重要な科学上の発見をもたらすものになったのである。フックは、つぎつぎに植物の多種多様な部分（ヤハズアザミの茎、ワラビのけば、木繊維など）を調べて、その細胞組織を認めたのである。

顕微鏡の使用による最大の発見は、オランダの生物学者レーエンフック [1632—1723] によってなされた。それらの発見は、なんら一貫した論理なしに雑然と集められた《書簡集》（雑誌に発表された）中に述べられている。レーエンフックは一つの書簡の中で、ほこりの構造を記述したり、植物の生理や、葡萄酒の中の沈澱や、血液循環や、昆虫等々について述べたりしている。結晶の分析から、顕微鏡下で観察された昆虫の器官の記述に移るかと思えば、つぎには種類のもっとも異なった別の対象に移る、というぐあいである。レーエンフックがとくに多くの注意を払ったのは、昆虫の構造の記述であった。このことは一部は、レーエンフックの顕微鏡が彼自身の手で改良されて、150—300倍の拡大率をもつようになっていたためである。レーエンフックのもっとも大きな発見は、生物現象のまったく新しい領域を見出したことである。すなわち、1675年に彼は顕微鏡を通して、これまで何人も見たことのない、バクテリアを含む微生物の世界を認めたのである！

マルピーギとレーエンフックの業績は、顕微鏡の発明と改良によるだけでなく、

彼らが顕微鏡的研究方法をつくり上げたことにもとづいていた。この研究方法の最大の代表者は、オランダのスワンメルダム [1637-80] であった。スワンメルダムは、精巧な実験によって、生物体の微細な解剖学的細部を見きわめ、生物学的知識をひじょうに拡大した。彼は、下等動物の生活活動に関する、新しい領域を研究した。

マルピーギ、フック、レーエンフックやスワンメルダムの顕微鏡的研究は、生物体や個々の器官、ことに生殖器の構造についての理解を正確なものにした。科学のもっとも重要な課題は、これらの解剖学的生理学的資料を利用して、動植物学者が集めた膨大な経験的材料を整理することにあつた。材料は急速に増加した。何を基礎にしてこれを体系づけるべきか、という問題が起つた。自然分類法、すなわち器官の総体から出発して、植物や動物のあらゆる基本的特徴に関して真に類縁のものを類縁のものとして示す分類法は、まだ十分な土台をもっていなかった。この時代には、まだ種が不変なものとして認められていて、個々の種のあいだの形態的類縁、すなわち実際の血のつながりとは無関係な類縁が、多少とも気ままに選ばれたある一つの特徴にもとづいて、つけられていた。

このような状況のもとでは、もっとも詳細でしかも実際にもっとも有効なのは人為分類法、すなわちスウェーデンの自然探究者リンネ [1707-78] の、広く用いられ、そしてこの時代の生物学の知識を総括していた分類法であつた。リンネは、科学の課題はつまるところ事実の体系化に帰着すると考えた。彼は次のように記している。“方法的な分類と適切な命名とを用いるときに、対象は区別され認識される。だからわれわれの知識の土台になるのは、分類と命名である”と。

リンネはその提唱になる植物分類法の基礎に、花の雄ずい（蕊）の個数と配置を採つた。彼の体系はばく大な数の植物にわたつていた。18世紀の60年代のはじめに、リンネは自分の採集帳の中に記載された種が、約9千にのぼるとみている。

リンネが提唱した動物分類法は、植物分類法にくらべると、より人為的ではないが、同時にきわめて浅薄なものであり、下等動物に関してはことにそうであつた、というのは顕微鏡による研究をほとんど利用していなかつたからである。

リンネによれば、基本概念は種であつた。リンネの言葉にしたがうと、種とは神によって創造されたままの原初の雌雄の組を反復するところの、不変な特徴を持つ個体の集合であつた。これからつぎの定式が出る。“当初に無限な存在者 [神] がつくり出しただけの種が存在する”と、もろもろの種は属に総括される。“おのおのの属は、われわれの知っているとおりにつくられた”と。つぎに属は目にまとめられ、目は綱にまとめられる。綱は生殖器の構造に関して、たがいに似かよつたもろもろの目の総体である。



これら生物種が不変であるとする絶対命令的な立場とならんで、リンネにはこれと相反する見方の先駆をなす別の指摘も見られる。18世紀の50年代に、彼は若干の類似の種について、“これらすべては、以前にはただ一つの種であった”と書き、さらにつけ加えて、“これらの種の一つが、他の種からどのようにして生じたかということは、将来われわれによって説明されるだろ・・・”といている。

リンネは動植物の人為分類法をつくりあげたけれども、これは自然分類法に到達するための第一歩にすぎない、と注意している。だが、リンネは個々の種の自然的な連関と自然的な分界を確立する十分な、有機体の構造の観念をもっていなかった。彼はつぎのように書いている。“わたしは、自分が自然に与えた秩序の正当なことを証明することはできないが、わたしの後を継ぐ者たちが、その証明を見出して、わたしが正しかったことを確かめてくれるだろう”と。

リンネと同じ時代のフランスの植物学者B. ジュシウ [1699—1777] は、1759年に自然の体系にしたがって植物を配列する最初の試みをおこなった。そのうち1788 [89?] 年に、彼の甥のA. ジュシウ [1748—1836] は、リンネの自然分類に関する案をもあわせ利用して、この体系の原理を詳述した。

## 発生学の端緒

生命の形態が変動せず、たんに反復するにすぎないという理念は、18世紀の生物学者たちが個体発生（動植物体の発生の瞬間から、生涯の終わりまでの個体的成長）を考察する際に広く用いられていた。彼らは、生物体の発展とは、成体に完全に類似した胚が、純粹に量的に増大すること、すなわち生物体は胚の中にいわば前もって存在している、つまり、あらかじめ形づくられていることだと思った。

このような前成説の支持者の中に、ライプニッツがいた。ライプニッツに続く世代では、ハラー [1708—77] が前成説 [極端にすると、入れ子説になる] の最大の擁護者であった。彼の説にしたがえば、卵はその中に、眼には見えないが完全に形成された第2代の生物体を含み、その中には同じく完全に形成された第3代の胚を、さらにその後続く諸世代の生物体ならびに萌芽をともに含んでいるというのであった。

発生学は、その実験的資料が集積されるにしたがって、前成理論に対する闘争を開始した。この途での最初の大きな進歩はカスパー・ヴォルフ [1733(34?)—94] の業績であり、彼ははじめはドイツで、1766年以降は死に至るまでペテルブルクの科学アカデミーで研究した。ヴォルフはその発生学の諸論文で、前成説に対しきわめて決定的に反対した。

彼はこの理念が、真の自然法則の探究をさまたげる反動的な勢力であると見なし、また「もっとも重大なことであるが」前成説と、自然が不変であるという形而上学的観念とのつながりを、はっきりと見抜いていた。ヴォルフは記している、“以前は、自然とはおのずから創造もすれば崩壊もするものであり、そうすることによって永遠の変革をよびおこし、つねに更新されながら現れるものであった。ところがいまでは、自然は生命のないかたまりであり、このかたまりから、自然の全殿堂が、けっきょくはボロボロに崩れてしまうときまで、その部分がつぎからつぎへと消滅し去るものとなりはてているのである”と。

カスパー・ヴォルフは前成説に対して、胚が成体に変化するにつれ、より単純な要素から器官が発展してくると説いて、その後成説を対置した。彼は前成説を反駁しようとして、胚はその組織の点では成体とちがわないと説く学説さえも否定した。そこから、有機的発展の起点は無機物であるという学説が生まれた。しかしながら実際には、この見解は無機物から生きている組織への移行を空想する一連の像を生んだ。

一般の人々の世界観に直接の影響を与えたのは、カスパー・ヴォルフの発生学上の仕事のような綿密な研究よりも、地上の生命の進化を総観した著作であった。このような著作のよい例は、まえに述べたビュフォンの《自然史》である。

いま述べている時代の自然科学の顕著な特質の一つは、すでに述べたように、自然現象の力学的解釈が支配的であったことである。このことをよく示しているのは、生物体内の物理的力学的過程を、いっそう深く探究しようとする一連の試みがなされたことである。ガリレイの弟子のイタリア人ボレリ [1608—79] はその著書《動物の運動について》 [1679] で、力学の法則の見地から、生物の運動を系統的に研究しようとする試みをおこなっている。この方向におけるつぎの段階は、イギリスのヘールズ [1671—1761] の《植物静力学》 [1727] であって、この書物では植物体内での水分や液汁の運動の状態が研究されている。血管中の血液の運動の力学は流体力学の観点から、18世紀20年代の終わりに、ペテルブルク・アカデミー会員のダニエル・ベルヌーイとオイラーによってくわしく研究され、またややのちにもう一人のペテルブルク・アカデミー会員ヴァイトブレヒト [1702—47] にも、初期の単純な力学的見方に修正を加えた研究がある。

\* \* \*

17—18世紀における自然科学の発展は以上のものであった。その根底には“ニュートン・リンネの世界観”すなわち自然は変動しないという概念が横

たわっていた。だが、早くも18世紀には、科学的思索のいくつかの顕著な達成が、この観念に突破口をあけていた。この時期全体を通じての自然科学は、ときには誤謬をおかし、ときには正道を踏みはずし、またときどきは神学と妥協しながら、それにもかかわらず客観的真理の認識へと前進し、確実な自然概念に近づいていったのである。

世界史近代3 第26章（ソビエト科学アカデミー版）（1961）  
東京図書より

## 1789—1870年代の技術と自然科学

ヨーロッパと北アメリカにおける資本主義の勝利とその確立は、科学と技術の発達をうながした。マルクスとエンゲルスが指摘しているように、ブルジョアジーは、“生産用具を、したがって生産関係を、したがってまた社会的諸関係全体を、たえず変革せずには”<sup>1)</sup> 存立することができなかつたのである。

近代史のうちここで扱かう時代は、なによりもまず、機械による大規模生産とこれにふさわしい機械技術がつくり出されたことを特色としている。

### 1. 産業資本主義時代における科学と技術の発達の概況

#### 資本主義と科学・技術の進歩

物質的生産の領域での技術の進歩は、応用科学および精密自然科学の進歩と切りはなすことができないほど密接に結びついており、その結果は労働生産性の向上をもたらした。資本家たちはそれによって、改良された技術を自己の企業に取り入れ、生産原価を引き上げ、労働者の搾取率を引き上げ、企業利潤をますなどして、同業者との競争における自己の地位を強固にすることができるようになった。

応用科学上のいろいろな進歩は、工場制大生産の技術過程の本質そのものから必然的に生まれてきたものである。“機械制生産の原則とは要するに生産過程をその構成諸段階に分解し、そこから生まれる諸問題を、力学・化学などを応用すること、つまり自然科学によって解決することであるが、この原理がいたるところで決定的なものとなっている”<sup>1)</sup> とマルクスは書いている。

産業資本主義の発達は、国際関係の急速な拡大と世界市場の形成に有利にはたらいだ。こうして諸生産部門が一地方一国の範囲内にとじこもることがなくなったので、それがこんどは技術の進歩をうながした。

このようななかで、生産の集積と集中の傾向がだんだんとみられるようになった。産業と運輸の分野の多くの企業、たとえば大きな鉄道会社は、資本の集中（通例は株式会社のかたちをとる）が一定の水準に達したときに初めて組織されることができたのである。

しかし資本主義的生産の技術上の進歩は、周期的におこっては生産力の大瓦解をひきおこす商工業恐慌が始まった 1825 年以降は、とくに不均衡であった。恐慌と不況の時代には、新発明の採用が広範囲におこなわれることがほとんどできなかつたからである。

技術の発達は、国々によって不均等であつただけでなく、一国の内部の個々の生産部門のあいだにおいても、不均衡であつた。企業主たちが新技術に目を向けたおもな動機は利潤の追求ということであつたから、おくれた手労働による生産手段を維持しておいたほうが、むしろ有利であるとわかつたときはかならず、機械技術の採用を拒否したのである。というのは、手労働による技術というものは、新たな設備投資を必要としなかつたからである。本章で扱かう時期のほとんど全部をしめる 19 世紀 60 年代までのあいだ、資本主義の最も発達した国々でさえも、機械生産は（西ヨーロッパ諸国のマニュファクチュアや資本主義的家内労働における）雇用労働者ばかりか、（アメリカ合衆国南部や諸植民地のプランテーション経営での）奴隷や、（ロシアの）農奴によつた手労働の補充として用いられていたのである。

ヨーロッパの資本主義的な会社による大規模な強制労働力の採用と、最も原始的な手労働用具の使用の例として、スエズ運河の建設をあげることができる。この工事では、1864 年まで一貫して、浚渫機（しゅんせつき）その他の機械はほとんど用いられたことがなかつた。

しかし資本主義社会では、科学的・技術的思考の成果が、支配階級によつて勤労者を圧迫するための補助手段として利用された。マルクスは《資本論》第 1 巻のなかで、資本家の側になんらかの必要ができたとき、つまりストライキその他の場合に、労働者を自由に解雇できるようにするために、資本家の手によつて新しい技術制度が取り入れられた多数の例を引用している<sup>1)</sup>。

技術的成果は労働者に新しい苦しみをもたらした。すなわち労働日の延長、ずっと安くつかえる婦人や子供の労働によつて男子の労働を広範な規模で駆逐すること、労働の強度の増大、失業者の急増、労賃の低下がそれである。新発明は企業主によつて、きわめてひんぱんに労働者の死活の利益をおびやかすために用いられたのである。

この場合、発明家と技術進歩の擁護者たちには、責任がほとんどなかった。というのは機械技術それ自身は、自然の諸力に対する人類の巨大な勝利をしめしているのであって、ただそれを資本主義的に用いたことが、働く人々を機械の付属物にかえたのである。

### 新技術の創造者たち

科学・技術の成果を利用する場合に資本家たちは、普通、科学の発達にほとんど関心をしめさず、この仕事を会社にやとわれた技師・職長、または会社から補助金をもらっている学者にまかせたのである。

だが、資本主義的な企業主のうちには、科学技術の発達をおしすすめようとつとめた進歩的な活動家も認められた。企業主のうちには、たとえば18世紀末にフランスへ蒸気機関を導入したことで知られているペーリュエ(1742-1818)や、化学産業の発展に少なからぬ役割を果たしたシャプタル(1756-1833)などのような学者や発明家もいた。しかし企業家の大部分は、このような技術者(あるいは発明家)でもあり、資本家でもあるという特徴をもってはいなかった。18世紀から19世紀の著述家たちは——そのなかには熱烈なブルジョアジー支持者もはいつているが——工場主たちが、力学や化学などの問題についてはなはだしく無知であったことを暴露している。19世紀前半のイギリス、ドイツ、フランスの特許申請に多くの工場所有者の名がみえているにしても、たいていの場合は彼らが、ただ発明家の特許申請権を買いとり、その人たちからすべての利益を奪いとっただけであり、発明家当人は通例きわめて貧しいため、自分の“仲間”である資本家にやとわれて働かなければならなかったのである。

ヨーロッパ諸国とアメリカ合衆国では、発明家の大部分が、労働者や手工業者、農場経営者、軍事技術者、鉱山技師、工場や鉱山の勤め人の家庭の出身であった。労働者あるいは手工業者の出身に属する者に、たとえば蒸気力による交通機関の発達にきわだった役割を果たしたジョージ・スティーヴンソン(1781-1848)やフルトン(1765-1815)、完全な刃物台(バイト取付装置)の発明者モーズレー(1771-1831)、新式織機の創始者ジャカール(1752-1834)その他大勢の人がいた。彼らの中には独学者もいた。彼らとならんで、ヨーロッパ各国に設けられていた軍あるいは市民の専門的な教育機関で教えをうけた大学者や技術者たちも、科学・技術の数多い問題の解決につとめた。

## 2. 基幹生産部門の技術

19世紀における科学・技術の発展の出発点となったのは、18世紀の60年代からイギリスで始まり、織物生産における作業機の発明(ハーグリーブス

〔1745-78〕、アークライト〔1732-92〕、クロンプトン〔1753-1827〕らの発明〕とその普及、および1780-84年のウォットによる汎用蒸気機関の製作をもたらした産業革命であった。

ウォット式蒸気機関は、1785年から1800年までのあいだに、イギリスの繊維工業に93台。冶金工場に28台、鉱山や炭坑に52台、その他の部門に48台すえつけられた。蒸気機関はフランスやベルギーからロシアにいたるヨーロッパ大陸にも、さらにアメリカ合衆国においても普及し始めた。

この2,30年間に、冶金や金属加工の分野においても、きわめて重要な変化が認められた。まずイギリスで、ついでヨーロッパ大陸において、ますます多くの鉱物性燃料が溶鉱過程（鉱石から銑鉄の精錬）に使用されるようになった。1784年にコート〔1740-1800〕が初めておこなった、反射炉の炎のなかで銑鉄を練鉄に転換するパドル法がひろまっていった。

イギリスの産業革命は、大工業が機械そのものの生産に機械を使用し始めるようになった、19世紀の前半に完了した。“そこで初めて大工業はその適当な技術的基盤をつくることができ、自分自身の足で立つにいたった”<sup>1)</sup>とマルクスは書いている。

### 繊維工業における作業機

18世紀末から19世紀の初めにかけての特徴は、綿紡績生産用の作業機が、さらに改良されていったことである。これらの機械は、蒸気機関をつかうように設計されていた。たとえばカートライト（1743-1823）の力織物は、蒸気機関で運転された。同じころ蒸気機関も、綿糸紡績機用に改造されて使われるようになった。“その後も年々改良を加えたこれらの発明によって、イギリス工業の主要部門における機械作業が、手労働に対して勝利をおさめたのである”<sup>1)</sup>とエンゲルスは述べている。19世紀20年代にはイングランドとスコットランドで、すでに14,000台以上の蒸気織物が動いていた。

力織物を製作するためには、マニュファクチュア時代に装置の大部分の材料となっていた。木材とはちがった材料が必要となった。まず19世紀最初の10年間に、あまり場所をとらない鉄の台架をもった織機が導入された。ついで他の繊維用機械も、また鉄でつくられ始めた。

1825-30年には、すでに織機の構造にいくたの改良をほどこしていたイギリスの機械師ロバーツ（1789-1864）が、ミュール機（自動紡績機）を発明した。この機械によって、きわめて細い番手にいたるまでの各種の綿糸をつくる複雑な作業工程が自動的におこなわれ、かつ調整された。数年おくれて（1833年）、リング精紡機が現われたが、これは構造上ではアークライトの紡績機をもとにしてつくられたものである。

18世紀末アメリカのホイットニー（1765-1825）によって発明された、綿花から綿の実をとりのぞく装置の“ジン”〔cotton gin〕は、アメリカでいろいろに改良されて高い生産性をもった機械となった。この綿花清浄機の採用は、綿花プランテーションにおいて黒人奴隷の手労働を、野蛮なやり方で浪費することとからみあっていた。“ジン”も、奴隷によって動かされたのである。

織物の手捺染は、機械捺染にだんだんとおきかえられていった。1823年にイギリスのパルマーが、また1834年にはフランスのペルロー〔1798-1878〕が、それぞれの更紗染〔さらさぞめ〕機械を考案した。フランスで発明された1度に3種または4種の色彩を捺染する機械が、ひろく使われるようになった。この機械は捺染工50人分の仕事をおこなったが、取り扱いはずか2人でまにあった。

すでに1810年にナポレオンは、フランスに亜麻織物生産をおこそうとして、すぐれた構造をもつ亜麻紡績機を懸賞づきでつのがつた。そしてジラル

（1775-1845）が出した構造が、最優秀であることが立証された。ところが、ジラルその他の設計者の亜麻紡績機が最もひろく用いられたのは、ナポレオンがフランス産業を盛り立てようと望んだ、当の競争相手であるイギリスであった。重要な改良が、絹糸製造業と絹織物業でもおこなわれた。1804年にはリヨンの有力な絹織物工場主の提案によって、ジャカールが織出し地模様のある布をつくる織物を製作し、この機械はその後大いに普及した。

紡績製品や織物製品を材料とする部門すなわち編物工業、レース工業、裁縫工業の部門もまた機械化された。かなり複雑な織物機械がすでに16世紀につくられていたが、それらはすべて手で動かされていた。だが、19世紀後半になると、蒸気機関で運転されるさまざまな織物機械が使われ始めた。

裁縫機械の発明は、それまで手労働が支配していた縫製、製靴、その他似たような工業の機械化にとって、重大な意義をもっていた。19世紀30-40年にはイギリスとアメリカだけで、このような機械について約30もの特許申請がだされている。このなかでも決定的な成功をえたのは、1847年のハウ（1819-67）の発明であった。しかしハウは初めのうちその発明を、アメリカでもイギリスでも実際に具体化できなかつた。この発明は、のちに補足的な改良をほどこした他の発明家の仕事をまっけて、ようやく実地に使用されるようになったのである。このような発明家の1人がアメリカのシンガー（1811-75）であつて、彼はひろく知られた裁縫機械生産会社を設立した。その製作品である裁縫機械は、もっぱら人力で運転されたので、そのためマニファクチュアや家内仕事へ急速にひろめられた。

19世紀の資本主義的工場制大生産は、多数の同種の機械による協業という形をとつて、または機械体系という形をとつていた。いずれの場合にも、工場制

が旧来のマニファクチュアとちがう点は、機械類が中央部に据付けられた原動機である蒸気機関に連結されたベルトなどの機械的伝導装置で、すべて運転されるということに明らかに現われていた。機械を使う生産方式は、加工材料が異種のたがいに補足しあう諸機械によっておこなわれる、一連の相互に結合しあう生産工程を通るようにした。このときに、ずっと後になって完全な発達をとげたところの、生産工程の自動化と連続化という傾向がすでに現われていたのである。

### 金属加工工業の進歩

各種の機械や器具は、主として金属でつくられた。このためこれに応じて機械製作工業が独立の生産部門として発展するようになった。18世紀末や19世紀初めには機械類は、基本的にはまだ手でつくられていた。しかし、だんだんと事情が変わっていった。鍛造され、鍛接され、切削され、穴あけされ、鋳造されなければならなかったぼう大な量の金属加工は、マルクスが書いているように、“マニファクチュア的な機械製作法によってはおこなうことができず、ばけもののように大きい機械”<sup>1)</sup>を必要としたのである。

機械による機械の製作は、16-18世紀のマニファクチュア時代の技術成果のうえにきずかれた。この16-18世紀にはすでにかなり複雑な構造をもつ、ボール盤・旋盤が使われていた。産業革命の開始以来、これらの工作機械は、蒸気機関を備えた工場制生産に応じていちじるしく改良された。18世紀末にはモウズレーが、改良された移動刃物台を発明し、これが19世紀初めの10年間に自動式にあらためられ、また形を変えて旋盤用から他の工作機械に取り入れられた。

新型の金属加工機械も現われてきた。1817年ロバーツは、来飽き部品の平面を削りだすための最初の平削り盤の一つをつくった。1818年にはホイットニーが、多くの切削刃のあるカッター（フライス工具）のついた工作機械。つまりフライス盤をつくった。さらに1835年には、イギリスの技術者ホイットワース（1803-87）が自動ネジ切り盤の特許をとった。また1839年にスイスのボドマー（1786-1864）は、立て旋盤（機械の大型部品を加工するための垂直主軸をもった旋盤）の特許をえた。この時期には、またイギリスの技師ナスミス（1808-90）が立て削り盤（刃物が垂直方向に運動する工作機械）をつくった。ひろく用いられるようになった蒸気ハンマーの設計も、またナスミスのおこなったものである。うえにあげたような金属加工機械のほか、鋳締機や研磨機、さらにその他の工作機械がこの時代に改良された。

機械による機械の大規模な生産を促進した重要な技術的要因となったのは、機械部品を標準化して交換できるようにすることをもとめる傾向であった。す



でにマニュファクチュア時代の短銃や小銃をつくる兵器工業では、旧式撃鉄銃や小銃その他のものの部品の標準化がおこなわれていた。この種の生産方式の創始者の1人が、アメリカ陸軍のために撃鉄銃を製造した。前に2度も名のでてきたホイットニーであった。

部品を標準化し交換できるようにするという方式は、一般の機械製作企業にもだんだんと広範に導入されていった。1841年にホイットワースは、機械用ネジの標準規格を制定した。その後1869年にはアメリカの技師セラース

(1824-1905)がネジ規格を改善し、それを普及した。ホイットワースはまた新式施条銃の発明者でもあった。さらに“きわめて小さい部品や、またマイクロメーター的な部品のたいていのものが、その精密度という点でホイットワース氏に競争できるものが、なかったということは、よく知られているところである。彼は技術者用測定工具も、施条銃も、部品の工作という点でのすばらしい見本であった”<sup>1)</sup>とエンゲルスは書いている。

### 原動機

〔締切りを早めて〕蒸気をよく膨脹させるようにしたピストン式複動〔ダブル・アクティング、ピストンの両側に蒸気をはたらかした〕機関が、この時代全体をつうじての原動機の基本型式であった。

蒸気機関には欠くことのできない要素である、蒸気発生用ボイラーと伝動機構がたえず改善された。設計者たちは、ボイラーの蒸気能力の増大、蒸気の初期圧力の上昇、蒸気を何段にも膨脹させる原動機（コンパウンド・エンジン、複式機関）の導入、過熱蒸気の採用、ピストン速度の増加その他によって、蒸気動力装置の機能と経済性の増大につとめた。すなわち、彼らは“はずみ車”という初期ワット機関の伝導装置の特徴であった部品を廃止し、蒸気分配装置の滑り弁をシリンダー弁にかえる、等々のことをおこなった。

蒸気動力の分野でのすぐれた発明家の1人は、1804年に2シリンダーの複式蒸気機関をつくった。ウールフ(1766-1837)であった。彼は一つのシリンダーから出た蒸気をつぎの大きなシリンダーに入れ、2段におこなわせた蒸気の膨脹を利用して、機関の効率を3倍以上にも大きくした。

初期蒸気圧力の高い機関装置をつくりあげる試みは、すでに18世紀末に始まっていた。19世紀初めの2、30年間には、高圧蒸気機関がアメリカのエヴァンス(1775-1819)によって、またイギリスのトレヴィシック(1771-1833)などによってつくられた。つづいてアメリカのパーキンス(1766-1846)とドイツのアルバン(1791-1846)の試作がおこなわれた。最初は1822年に、2度目は1828年に、40ないし50気圧に達した今日の意味でも高圧と呼ぶことのできる高圧蒸気動力装置がつけられた。ロシアでも同じころ高圧ボイラーの建造に、リト

ヴィノフ（1785-1843）が従事していた。これらの人々全部が、2－5気圧の圧力を高圧としていた当時の技術水準を高めたのである。19世紀の後半、とくに50年代にフランスでイルン（1815-90）のおこなった研究ののちには、過熱蒸気が機関の効率をさらに高める目的で使われ始めた。

19世紀後半における二、三の蒸気機関は、1,000馬力以上の能力をもっていた。工場や多くの炭坑には、ボイラー部門と機関部門がおさめられる特別な建物がたてられた。工場用蒸気機関は、生産現場内に設けられた伝動主軸へ動力を伝え、この主軸からのベルト伝動によって、それぞれの作業機うごかされた。

定置式蒸気機関とならんで19世紀の30年代から、可搬式ではあるが自力では移動できない蒸気動力車が実用化され、農業や建設工業などに使われた。

生産の集積と集中がすすむにつれて、機械的な伝動法では、工場の中央動力所から職場の作業機へうまく動力をつたえるという目的にそぐわなくなってきた。輸送上の面からもまた原動機に対し、いくつかの要望が新たに出されてきた。というのは、いろいろな地域間の国際貿易や交通が急激に増大したので、よりいっそう改良された輸送手段をもとめる必要性がおこったからである。これと関連して、科学・技術的思想は、新しいもっと軽い動力源を見つけることに向けられた。このような動力源となったのが、内燃機関だったのである。

このような型の原動機を研究していた二、三の発明家たちは、急速な資本主義的大工業の発展によって、零落を運命づけられた中小企業へのテコ入れという空想的な期待を、この種の原動機の採用にたくしていた。だが実際には、フランスのルノアール（1822-1900）、ドイツのオットー（1832-91）とランゲン（1833-93）が、それぞれガスで運転することを試みた初期（1860-67年）から液体燃料で運転された後期まで、内燃機関の発達にかえって、機械制資本主義的大生産の発展をおしすすめたのである。

電気エネルギーを動力に利用する最初の試みがおこなわれたのは、かなり早い時期のことであった。19世紀後半に最も普及していた電源は、各種（ダニエル〔1790-1845〕、グローブ〔1811-96〕、ブンゼン〔1811-99〕など）の方式の電池であった。ファラデー〔1791-1867〕による電磁誘導の発見は、発明家たちに磁石発電機によって電流をつくる新しい方法をしめした。この種類（ピクシー兄弟やクラーク）の機械では、永久磁石によってコイルの巻線内に電流を発生させた。あとになって、シテーレル（1843年）やアライアンス会社（1856年）の電磁石発電機が現われた。これらの発電機のうち、アライアンスは製品は蒸気機関で運転された。

同時に発動機すなわち電気エネルギーを機械エネルギーに変える機械が発達した。1820－30年代には、それらはまだ研究室内の小さな装置（バーロー〔1776-1862〕、ヘンリー〔1797-1878〕、リッテル〔1776-1810〕などの原動機）

にすぎなかった。これらの原動機への電流源としては、ガルヴァーニ電池があてられた。1834年に、すぐれた学者であり設計者である、ペテルブルク科学アカデミー会員のヤコビー(1801-74)がつくった電磁石電動機が実用に供された。1838年にはネヴァ河で、ボートの水かき車をまわすためにこの電動機が用いられたのである。

しかしこの分野でしめされたヤコビーとその協力者たちの考えは、当時の技術水準をぬきんでていた。経済的な点では、うえにのべたものすべても、またつづいて現われた多くの電磁石電動機もともに、能力が小さいかわりにかさばるため、きわめて引き合わないものであった。

### 採鉱と冶金

19世紀の機械製作工業や金属加工工業の急速な伸びは、鉱石や石炭の採掘、製鉄、製鋼の需要を急激に増大させた。さらに冶金業の発展重要な役割を果たしたのは、鉄道建設であった。レールやとめねじ、人工建造物(橋梁など)の部分品に対する莫大な需要は、冶金業に新しい技術工程、なかんずく製鉄、製鋼の新方法を取り入れることを必至としたが、60年代に鋼レールの使用が始まってからはとくにいちじるしくなった。

この場合、採鉱業は60年代までその基本的作業が依然として伝統的な手労働によっていたため、その発達はいちじるしく外延的なものにとどまっていたのに対して、冶金工業のほうでは技術上のすばらしい進歩がみられたのである。

溶鉱炉の構造はいっそう完全なものとなり、大型化され、原料を炉頂に運ぶための特殊な物上げ設備が使われ、また原料を装入する装置が改良され、炉壁を水で冷やす方式が採用されなどした。熱風の使用、すなわち溶鉱炉へおくりこむ空気を予熱したことも、ひじょうに大きな意義があった(1828年にニールソン〔1792-1865〕が、1829年にペテルブルクのアレキサンドロフ官立工場の技師たちが、1831年にファベル・デュ・フォールなどがおこなった)。

送風問題には、溶鉱炉からでる高温度の廃棄ガスの利用という、もう一つの問題が関連していた。以前はこのガスを無駄に空中へ放出していた。1814年にフランスの研究者ピエール・ペルチェは、溶鉱炉や精錬炉からでる廃棄ガスの温度や発熱量を、溶鉱炉や鍛造炉への送風を予熱するために利用する各種の方法についての著作を公刊した。この方面の発明は、〔ドイツで働いていた〕イギリス人技師カウパー(1819-93)が1857年に、空気予熱装置をまとめたことによって完成した。

ロシアの技術者たちも。製鋼業の発展と伝統的な経験にたよっていた鋼鉄生産を科学的な方法におきかえる事業に、大きな貢献をした。

高級鋼の生産と金属学の創始者の1人アノーソフ(1797-1851)は、ダマスカ

ス鋼（高級刃物鋼の一種）の顕微鏡による検査を初めておこない。これをつくる新しい技術工程を提案した。アノーソフの後継者アブーホス（1820-69）は、引張り強さの大きい鋳鋼製品の製造法を研究して、合金鋼すなわち一種ないし添加金属（クローム、マンガン、チタンなど）を入れて、いちじるしく性質を改良した鋼の精錬法開拓者の1人となった。

ますます増大の一途をたどる鉄と鋼—精錬金属—に対する需要は、製鉄や製鋼の技術をつぎつぎと改良していくだけではなく、この技術を急激に変革することをもさしせまって必要な事とした。19世紀50年代のなかばに、イギリスの発明家ベッセマー（1813-98）は、銑鉄を鋼に精錬する新しい方法を発明した。ベッセマー法による精錬は、特殊な転炉（コンヴァーター）内で〔短時間に〕おこなわれた。この炉のなかに熔融銑鉄を入れてから、炉の壁をとおして空気がふきこまれた。銑鉄にふくまれている過剰な炭素や二、三の不純物が、このとき急速に燃失し、こうして得られた鋼は鑄魂につくられた。

19世紀60年代に、フランスの技術者エミール・マルタンとその子ピエール・マルタン〔1824-1915〕は、ドイツ人の技術者ウィリアム・ジーメンス〔1823-83、イギリスへ帰化〕とフリードリヒ・ジーメンス〔1826-1904〕兄弟の発明した（送風加熱用の）畜熱室をつけた反射炉内で、溶鋼をつくった。マルタン炉という名がつけられたこの炉は、1864年に業界へ導入された。鋼はこの炉のなかで屑鉄（スクラップ）といっしょに銑鉄を精錬することによって得られたのである。1865年から70年までのあいだ、ベッセマー法とマルタン法が用いられた結果、—実はこれらの方法が本当にひろまったのは、この年代よりもっと後のことであるが—、世界の鋼生産高は70パーセントも増加した。

非鉄金属の分野での重要なできごとは、ドイツの化学者ヴェーラー（1800-82）による1827年のアルミニウム新製法の導入であった。初めのうちは、アルミニウムの価格が貴金属と同じであった。アルミニウムの生産技術に対する1854-65年のフランスの化学者デュヴィーユ（1818-81）と、ロシアの化学者ベクトーフ（1827-1911）による改良のあとで、ようやくその生産費が急激に下げられた。しかしアルミニウムをひろく応用するようになったのは、ずっと後の時代のことである。

## 化学工業

産業革命以後、いちじるしい進歩をとげた新生産部門のなかで、めだった位置をしめしたのは化学工業、なによりもまず硫酸、ソーダ、苛性ソーダー、塩素、塩酸と硫酸をつくるために必要なその他の物質、ガラス、爆発物、染料。漂白剤、人造肥料、医薬などを生産するいわゆる基幹化学工業であった。

18世紀の終りにフランスのルブラン（1742-1806）が、工業的に硫酸ソーダ

から炭酸ソーダを生産し始めた。このルブラン法は、19世紀60年代までソーダ工業界を支配したのであるが、それ以後はベルギーの発明家ソルヴェー（1838-1922）による比較にならぬほど生産性の高い“アンモニア法”にとって代えられた。

硫酸工業が、19世紀の初め以来発展するようになったのは、シャプタンそのほか2、3名の化学者の研究によってである。初め硫酸の生産には硫黄を原料として使っていたが、後には黄鉄鉱（硫化鉄）を利用するようになった。

1842年、ロシアの傑出した化学者ズィーニン（1812-80）が、カザン大学の実験室で、石炭タールの精製によって得られたニトロベンゾールから、合成法でアニリン染料をつくった。この発明は当のロシアではなく、技術いっそうすすんでいたヨーロッパ諸国で、巨大な実用上の成果をもたらした。すなわち、これらの諸国では、一時イギリスで活動していたドイツ人化学者ホーフマン（1818-92）とその弟子パーキン（1838-1907）らによって、一連の新発見がおこなわれた。パーキンは1856年にモーヴェインを発見し、ひきつづきポーランドのナタンソン〔1832-84〕とフランスのヴェルガンがフクシンを、ホーフマンはローズアニリンその他いくつかの人造染料を発明した。これらの諸業績の結果、化学生産の特殊部門としてのアニリン工業をおこすことができるようになった。

工場数の増大、夜業あるいは深夜業の労働の組織化、そしてまた商業と都市の急速な成長が照明のために新しい光源の必要性を呼びおこした。18世紀末のイギリスにおけるムルドッグ〔1754-1839〕の、およびフランスのルボン〔1769-1804〕による実験が成功したのち、ガス灯が照明の基本となった。

### 印刷工業と製紙工業。写真の発明

19世紀最初の2、30年間からおもにイギリスで、多くの型の活字鑄造機が現われた。また、ケーニッヒ〔1774-1833〕その他の発明家によって活版印刷機が改良され、迅速な印刷のできる機にかえられた。つづいて、19世紀60年代にはアメリカ合衆国とヨーロッパで、輪転印刷機が使われるようになった。この機械は巻取紙からほぐれる紙を、印刷版面をはめこんだ二つの円筒に押しつけてその両面へ同時に印刷するものであった。このような改良の結果として、活版印刷所の生産性は急激にあがった。

印刷術の発達は、製紙工業の嵐のような成長をうながした。1799年、ルイ・ロベールによってフランスで特許がとられた最初の“自動ためすきからくり”（紙すき機械）につづいて、製紙工程に高い生産性を与えるところの一連のほかの発明がおこなわれた。製紙用の原料も変わった。ぼろを使う伝統的な方法は相変わらず残っていたが、しかしそれとともに1844年F・ケレンによってド

イツで初めて考案された。木屑をこねた材料からの製紙が、だんだんとひろまり始めた。

むかしからの版面技術や、18世紀末－19世紀初めにうみだされた石版印刷法とならんで、電鋳法と写真術にもとづいた化学的かつ写真機械的な装置による製版法が用いられた。

19世紀における科学・技術上の最もすぐれた発明の一つが、写真術つまり感光性をもたせた金属板上に像を固定（定着）させる技術であり、これはヨーロッパの多くの学者や発明家の研究活動の成果であった。この分野での研究は、すでに18世紀末から始まっていたが、実用化されたのはやっと19世紀30年代以降のことである。この30年代以降という段階の実験面での決定的成功は、フランスの研究者ニエプス（1765－1833）とタゲール（1789－1851）によって果たされた。タゲールの名にちなんで、その方法自体へタゲロタイプという名がつけられた。しかしタゲロタイプはひろくは普及しなかった。というのは、撮影のつど沃化銀でおおわれた不透明な金属板上に、たった一つの像ができるだけで、この像を何枚も複製することが不可能だったからである。陰画から感光紙上へ欲しい数だけ陽画を焼付けることができる、改良された方法が40年代に完成されたのち、ようやく写真術がひろく用いられる時代が始まったのである。

### 農業技術

農業への機械技術の導入は、工業の場合よりもずっとゆるやかにおこなわれた。農業機械や農器具（単土歴犁〔たんれきり〕あるいは多土歴犁〔たれきり〕、碎土と除草をおこなう中耕機、播種機、刈取機、結束機）は、普通、家畜によって牽引されるようにつくられていた。19世紀50年代から、蒸気トラクター、あるいは当時“自走動力車”や“蒸気すき”と呼ばれていたものが、いくつかが普及した。この種の機械の発明者のうちで最も有名な者の1人が、イギリスのファウラー〔1826－64〕であった。だがこの時代の農業経営で常時使われたのは、脱穀その他二、三の仕事に用いられてた動力車だけであった・

19世紀30－40年代の農芸化学の成果は、農業の実際面にますます広く用いられるようになっていった。人造肥料、排水その他の土地改良、多圃式輪作体系や合理的な新しい土地利用法も、だんだんおこなわれるようになった。1838年、イギリスでは王立農業協会が創立されたが、この団体は18世紀の農業合理化論者の伝統をおしすすめて、土地改良とか耕作、播種や収穫の作業、人造肥料の使用、または新しい家畜品種の固定というような諸分野での成果を普及しようとしてつとめた。そのためこの協会は、出版とか展覧会の開催などによって活動した。イギリスの学者で発明家であるデーヴィ（1778－1829）は、この方面で多くの仕事をした。

ヨーロッパにおける農芸化学の発展にきわだった役割を果たしたのは、ドイツの化学者リービッヒ（1803-73）であった。大胆な結論をふくみ、叙述のすばらしいその著作《農業と生理学とに應用された有機化学》（1840年）は、既存の農芸化学的な考え方に革命をまきおこした。このときまで、農学者や化学者の大多数は、たとえばドイツの農学者テューヤ〔1752-1828〕は、土壌の肥沃度がそのなかにふくまれた腐しよく性有機物の量によってすべて決定されると考えていた（しかしフランスの化学者ブーシゴ〔1802-87〕は、すでに30年代にこの見解を批判していた）。リービッヒは、さまざまな鉱物性物質によつた、きわめて完璧な植物養分表を公けにした。彼は人造肥料、なかでも磷酸塩の使用を強調したが、このことは後に過磷酸工業の発展の基礎をきずいた。リービッヒは“最小養分律”を提唱した。これによれば、植物の必要としている諸要素のうち、最もわずかししか土壌中に含まれていない養分の量によって、収量が規定されるというのであった。

リービッヒの農芸化学にかんする学説は、もともと一定の限界をもっていた。彼は収量の増大に影響を与えるさまざまな要因のすべてを勘定に入れてなかったし、また農業に特有なものであるかのようないわゆる“収量逡減の法則”の支持者の意見に賛成していた。だが彼の最大の功績は客観的にみて、自然科学の観点から当時の農業の欠陥を指摘したことにある。地主と資本主義的農業経営者による地力の略奪は、豊作をもたらすのに必要な源泉を事実上破壊した。農業の資本主義的な経営は、マルクスの表現に従えば、“土地から略奪する”<sup>1)</sup> 技術に転化されていたのである。

当時の社会条件が、農業技術の全面的な発展をさまたげていた。農業機械と改良された農業技術は、大面積の耕地で利用されるとき初めて効果をあげた。零細な農業経営では、機械や化学肥料などの広範な使用は高くついて、手がだせなかった。それゆえ農業経営の合理化は、資本化家的経営や地主経営という、せまい範囲内だけにとどまっていた。新しい農業技術の採用は、農民層の分化と農業賃労働者数の増加を早めた。レーニンは、“農業における機械の系統的な使用は、蒸気織機が手労働のクスターリである織匠を駆逐したのと同じように、仮借なく、家父長制的な‘中’農を駆逐するのである”<sup>2)</sup> と書いている。

### 鉄道輸送

産業革命と国内市場および外国市場の成長は、大工業やそれによつてつくられた国内・国際的交易によつて、もはや我慢のできないものとなっていた輸送・通信手段の急激なたてなおしの必要性を条件づけた。

陸上輸送に蒸気力が採用され始めたのは、18世紀末のことである。作業場内の馬車用木造軌道が、マニユファクチュア時代に西ヨーロッパにも東ヨーロッ

パにも、すでに存在していた。産業革命が開始されたのち、この木造軌道は鑄鉄軌条によっておきかえられた。

ウォットの弟子ムルドック〔1754－1839〕と鉦山技師トレヴィシック〔1771－1833〕は、自分たちのつくった蒸気機関をとりつけて、18世紀80－90年代に初めて蒸気輸送車の建造に成功した。1803－04年にトレヴィシックは、南ウェールズのメルティール＝ティドフィルの作業場内馬車鉄道に、世界最初の蒸気機関車を走らせた。

周辺にぎざぎざのない〔平滑な〕動輪をつけた機関車の実用化に決定的な成功をおさめたのは、イギリスの発明ジョージ・スティーヴンソンであった。1814年に彼は、その第1号機関車を建造した。

1825年には、スティーヴンソンが建設した延長56キロメートルにわたるストックトン－ダーリングトン間の鉄道が開通したが、これは客車と貨車の混合列車が運行した世界最初の公共鉄道である。この線路には、鑄鉄軌条の部分かと練鉄軌条の部分とがあった。機関車による牽引が、挽き馬とロープによる牽引とならんで使われていた。正確な運行表はなかった。

蒸気牽引だけで完全に運転された最初の公共鉄道は、1829年スティーヴンソンによって建設されかつ彼の発明した蒸気機関車を使用した、長さ約50キロメートルのマンチェスター－リヴァプール鉄道であった。これに続いて1831年にアメリカ合衆国が、1832年にはフランスが鉄道の機械化に着手した。ロシアでは1837年に、ペテルブルク－ツァールスコエ・セロ間の最初の公共鉄道が開通した。しかしすでにそれ以前の1833－35年に、教育はうけなかったが才能のある機械師チェルパーノフ父子〔1774－1842と1803－49〕がニジニタギリスク工場で最初の蒸気機関車を建造していた。1840年に世界の鉄道延長は約9,000キロメートルになり、1850年には40,000キロメートル、1860年に110,000キロメートル、1870年に、210,000キロメートルとなった。

鉄道輸送に対して提起された新しい諸要求（運行速度と列車の標準積載量の増大など）は、蒸気機関車の構造をいっそう改良することをうながした。この改良は、機関車ボイラー内の蒸気圧力の上昇、蒸気発生量の増大や、機関シリンダー内の蒸気の2段膨脹の導入などであった。

車両の構造もまた改善された。60年代には旅客用寝台車が現われ、貨物用には、さらに貨車の特殊型式（液体輸送のためのタンク車、冷蔵庫など）ができた。60年代の終わりには、アメリカのウェスチングハウス（1846－1914）によって空気ブレーキが発明された。このブレーキはのちに改良されて、自動的なものになった。同時に線路の各種付属設備や鉄道橋などの構造が新しく考案された。20年代以降の軌条生産の基本的な材料となったのは、パドル法によってつくられた練鉄であったが、60年代以降には鋼〔とくにベッセマー法の〕



軌条が次第にひろまっていった。

19世紀初めの鉄橋架設には、鑄鉄が主材料に使われていた（1815-19年に技師レンニー〔1761-1821〕がテムズ河上にかけてサウス・ワース橋、マンチェスター-リヴァプール鉄道の諸橋梁）。しかし、後には練鉄が主材料となった（1819-26年にテルフォード（1757-1834）によってかけられた北ウェールズのメナイ吊橋、1845-50年にロバート・スティヴンソン〔1803-59〕が同所にかけてえられた桁橋、1851-55年にかけてられたレーブリング父子〔1806-69と1837-1926〕のナイアガラ吊橋その他）。19世紀前半に、とくにアメリカで練鉄製の接手金物をつけた木造トラス（ハウ〔1803-52〕方式）の橋が多く建造された。40年代からは、各種方式の練鉄製トラスの橋が普及した。橋脚の間隔が大きくしかも重いものを通さねばならないような橋は、それを設計するとき正確かつ信頼できる計算方法が必要であった。世界の工学はこの方法の創設という点で、ロシアのすぐれた技術者ジュラフスキー（1821-91）に多くのものを負っている。

無軌道輸送の面では、蒸気機関はあまり普及しなかった。蒸気機関付きの3輪車と4輪車（乗用自動車とバスの元祖）が、この時期全体をつうじておもにイギリスでつくられたことは事実である。しかし、このような蒸気機関による道路輸送に対して、旧来の荷馬車業者やそのころ生まれたばかりの鉄道輸送業者たちが、統一戦線をはって反対したので、蒸気輸送車の線路の経営者たちは競争に堪えることができなかった。

## 汽船

蒸気船の出現したのは、18世紀最後の2、30年のことである。当時ヨーロッパの多くの国々の発明家たちが、船を運行させる装置として、櫂を、のちには外輪（水かき車）をつけた、初めての蒸気船の設計を研究していた。

初めて汽船が実用化されたのは、1807年にアメリカのフルトンが建造した河船“クレルモント”号である。イギリスで初めて蒸気船が使われたのは1812年から、ロシアでは1815年からであった。蒸気船の構造はその後長いあいだ既成の帆船の型式をそのまま取り入れており、そのうえ蒸気船には、補助の帆走設備が相変わらずついていた。

大きな役割を果たしたのは螺旋推進機の導入であり、これは1826年チェコの発明家レッセル（1793-1857）によって、またすこしおくらせてスウェーデンの技師エリクソン（1803-89）によってとなえられたものである。

19世紀40年代から練鉄が、汽船の外側板の材料として、またそののち船体材料として用いられ始めた。

イギリスと北アメリカとのあいだに、またイギリスとその東インド領、エジ

プトなどのあいだに、汽船の定期航路が設けられた。これらの航路につけるために、排水量の大きい大馬力の高速船が建造されるようになった。1838年には、ブリストルからニューヨークへの航路のために汽船“グレート・ウェスターン”号が建造された。この船は長さ65メートル、巾11メートル、排水量約1,500トン、機関の出力は400馬力であった。その20年後技師ブリュネル(1805-59)の設計によって、インドとの海洋交通のために建造された汽船“グレート・イースタン”号は、長さ207メートル、巾25メートル、排水量27,000トンあまり、2基の機関の総出力は8,000馬力であった。

海洋航路の所要日数もますます短縮された。1818年に大西洋を横断した最初の汽船“サヴァンナ”号は、北アメリカからリヴァプールまで27日を要したのに、“グレート・ウェスターン”号は北アメリカへの航路を14日半で終えた。70年代になると大西洋横断の平均所要日数は、7日半から8日となった。

当時、世界の船舶総トン数中にしめる汽船の割合はわずかなものであった。1851年には、汽船の総トン数は30万トン、帆船総トン数は940万トン、1871年にはそれぞれ240万トンと1,530万トンであった。つまり70年代の初めにおいてさえ、汽船は世界の商船総トン数のわずか16パーセントだけしかしていなかったのである。

### 運河の建設

世界貿易の発展にとって大きな意義をもっていたのは、運河その他の人工の水門、貯水池などの諸施設の建設とか、自然のままだった河川航路の改修と整備であった。

河川工事の施工にあたっては、伝統的な手道具とならんで蒸気機関つきの浚しゅんせつ機とか、強力な起重機その他の機械類がだんだんと用いられてきた。

1869年スエズ運河が開通した。その延長は164キロメートル、巾は底面22メートル、上面は60ないし、100メートル、水深は初め平均7.5メートルであった(これはのちに掘り下げられた)。この運河は、一躍して巨大な国際的意義を獲得した。喜望峯まわりの旧来の航路にくらべると、イギリスあるいはオランダからインドに達する航路は、ほぼ13,000キロメートル短縮された。極東やオーストラリアまでの航海所要日数も、快速船で15-22日間、貨物船なら27-40日間短縮された。

スエズ運河の利用から経済上および政治上のおもな利益をせしめたのは、初めはフランス、のちにはイギリス(とくに1882年のエジプト占領後)であった。

## 航空

1783年にヨセフ（1740－1810）およびエティエンヌ（1745－99）のモンゴルフィーユ兄弟が、加熱した空気をつめた気球を、同年、物理学者のシャール（1746－1823）が水素をつめた気球を発明した。こうして、水素気球が19世紀には、空を飛ぶ基本的な手段となった。1794年に、連合軍に対して戦っていたジャコバン党国民公会軍が、偵察を目的に初めて繫留気球を利用した。国民公会軍は当時すでに、特別気球中隊を編成していた。

そのご数十年にわたって、ロシアを含むヨーロッパの少なからぬ発明家たちが、気球を操縦できるようにしようと試み、また〔気球や飛行船に対して〕空気より重い航空機械をつくろうとくわだてた。気球を人力で操縦しようとする最初の試みは、完全な失敗に終わった。1852年にフランスのジフェール〔1825－82〕が出力約7馬力の蒸気機関をつけた気球の試練飛行をおこなったが、その実験結果はとても期待のもてるものではなかった。

イギリス、フランスその他の諸国では、蒸気力による飛行機やヘリコプターの設計が研究された。二、三の技術者（たとえば、1824年のイギリスのヘンソン）は、植民地と本国とを結ぶ定期空路のための航空機を設計した。

だが実際に成功したのは、気流に沿って放たれた自由気球だけであった。このような気球を飛行に利用できたのは、ごく例外的な場合（たとえば1870－71年のプロイセン軍のパリ包囲のときにフランスの愛国者によっておこなわれた）だけであった。

## 通信技術・電信

ジャコバン党の国民公会時代に、発明家シャツペ〔1763－1805〕によって発明された視覚信号機による遠隔通信はフランスで採用され、19世紀の第1・四半期には、すでに18世紀90年代にクーリビン〔1735－1818〕によって視覚信号が改良されていたロシアを含む、全ヨーロッパ大陸にいちじるしく普及することになった。

通信機械の指針が指し示す位置で信号を伝える方式の、電磁作用による遠隔通信法を発明した功績は、1832年初めてこの機械をつくったロシアの設計者シリング（1786－1837）に帰せられる。シリングの方式をクック〔1806－79〕とホイートストン〔1802－75〕が借用し、それにいくらか改良が加えられたものが、1837年にイギリスで実用化された。

指針式受信機は受けた信号を記録することができなかつたために、使用する場合に不便なものであった。そのため各国の発明家たち（アメリカのモールス〔1791－1872〕、ドイツのシュティンゲル〔1801－70〕、ロシアのヤコビー〔1801－74〕）は、“自記”受信機をつくろうと努めた。これらの人々のつくった受信

機のうち実際に普及したのは、オーストリアとドイツで研究されたところのきわめて整然とし、かつ経済的なアルファベット信号（1844年制定）を使ったモールス型のものであった。この信号は国際的な承認されるようになったが、これは暫定的に“モールス符号”と呼ばれている。

つぎの2, 30年間の成果としては、受信文を印刷できる電信機を発明（1850年）したヤコビーがあげられる。しかし実際に広く用いられたのは、アメリカの設計家ヒューズ（1831-1900）が1855年につくった印刷電信機であった。

40年代から、最も発展した資本主義諸国相互のあいだとか本国と植民地のあいだに、通信用の海底ケーブルの敷設が始める。1850-60年には、イギリスはヨーロッパ大陸の諸列強やアメリカ、インドとケーブル線および架空線によって結びつけられた。

この時代の最終期に、電話をつくる諸実験が始まった。この仕事の開拓者はドイツの設計家ライス〔1834-74〕であった。彼は1861年に自作の最初の電話機を実演してみせた。しかし電話通信の問題が実際的に解決されたのは、これより少しおくれた19世紀70年代のことである。

## 軍事技術

軍事技術および戦争に関連のあるすべての技術部門一般が、この時期にとくに急速なテンポで勃興した。なによりもまず第1に、銃砲が進歩した。

19世紀までは、銃口から弾丸をこめる滑腔の火打石発火銃が使用されていた。19世紀20年代以降は、銅の雷管が一般的に用いられるようになった。1823年にフランスのレフォショー〔1802-52〕が、銃身の後部にある薬室から弾丸をこめる小銃、すなわち後装銃を発明した。1836年にはドイツのドライゼ〔1787-1867〕が、先駆者たちの多くの経験を生かして、いわゆる旋条をもち、かつ遊底をつけた撃針発火銃をこしらえた。これは雷管と発射装薬をいれた薬莖を弾丸と一体にしたもの、すなわち実包を銃身後部の薬室からこめるものである。雷管は撃針の打撃によって発火される。1840年以降ドライゼ銃がプロイセン陸軍に採用され、1866年には構造が類似しているシャスポー旋条銃がフランス陸軍の兵器となった。エンゲルスは“普仏戦争で、どちらも旋条式後装銃を用いた二つの軍隊が史上で初めて対峙することになった”<sup>1)</sup>と書いている。

砲兵は19世紀最初2, 30年間はまだ、球状の鑄鉄あるいは青銅製の砲丸を砲口から装填する滑とう砲を使っていた。19世紀40年代以降、楔形ないしピストン形の閉鎖機がつき、薬室から装填する椎の実状の破裂弾を発射するところの腔綫砲が実用化された。ベッセマー冶金法が導入されてからは、大砲は鋼鉄によって鑄造され始めた。しかし、溶鋼を鑄型へ流しこんで大砲を製造する実験に初めて成功したのは、それよりずっと早いアブーホフであった。

時期を同じくして新しい爆薬がつくられた。1846—47年には、この分野で二つの重要な発明がおこなわれた。スイスのシェーンバイン〔1799—1868〕は綿火薬をつくりだし、イタリアのソブレロ〔1812—88〕はニトログリセリンを発明した。1862年にはスウェーデンのノーベル〔1833—96〕がニトログリセリンの工場生産を組織し、そののちダイナマイトの製造をおこなった。

最初の軍用汽船は、1814年フルトンによって建造された。しかし舷側に水かき車があることが、軍用汽船をあまりにも脆弱なものにしていた。プロペラ式汽船が使われるようになった19世紀40年代になってやっと、海上戦における決定的な変革がおこなった。50年代に最初の装甲艦が出現したが、容積がばかでかく速力のおそいものであって、それはむしろ浮砲台ともいべきものであった。装甲艦の新たな発展は、南北戦争のときのアメリカでおこなわれた。

エンゲルスはこう書いている、“近代的な戦艦は、たんに近代的大工業の一産物であるばかりでなく、また同時にその一つの見本であり、一つの浮工場——もちろん、とくに貨幣浪費を生みさすところの——である。大工業が最もよく発達した国が、ほとんど完全にこのような艦船建造の自主独立性をもっていた”<sup>1)</sup>と。

電気で爆発させる水雷の製造には、シリングとヤコピーがめざましい役割を果たした。改良された水雷や地雷はクリミア戦争のとき、ロシア軍によって利用されていた。

### 3. 自然科学の進歩

#### 新しいものと古いものとのたたかい

多かれ少なかれ封建＝絶対主義体制の支配が維持されている諸国の自然科学研究者たちも、またブルジョア革命を経過した諸国の研究者でも、ほとんどすべての者が伝統的な宗教的観念と衝突するのを避けようと努めた。自然科学者が、その自然発生的な唯物論的諸結論を宗教的＝観念論的な、ないしはスコラ的な言いまわしのなかにつつまこんでいることも稀ではなかった。その無神論を公然と主張したのは、彼らのうちのごく少数の人々だけであった。たとえば、フランスの著名な天文学者ラプラス〔1749—1827〕は、ナポレオン1世に神の存在について尋ねられたとき、“階下、わたしはそんな仮説を必要としてはおりません”とおごそかに答えている。

政府の御用科学には、生物界における“不滅の靈魂の保有者”たる人間——“神の子”——の独占的な地位を、うちこわすなどという決断力はなかった。たとえば、フランス革命の時代に思想家としての道をあゆんだラマルク〔1744—1829〕ですら、人間の祖先が高等な哺乳類と同じものであることを容認する

ことができるなどとは考えていなかった。

さらに、宗教＝哲学的な問題とはほとんど関係がないと思われる自然科学においてさえ、新しい進歩的な思想はたえず、保守主義者たちの抵抗にぶつかった。分子論・原子論の熱烈な支持者 1 人であるフランス化学者ジェラルム〔1816－56〕は、自分の結論をパリの科学アカデミーに提出しようとしたとき、リービヒからつぎのように注意されたのであった。“アカデミーはむかしから、科学の諸法則を決定する権利は自分たちだけのものだと考えている。……若い人たちが年よりのお偉方に、若い人たちの流儀に従って取り扱うように要求したりまたはそうさせようと望んでも、ほとんどまったくその効果は期待できないであろう”と。

それにもかかわらず、社会発展の客観的過程によって有利な影響をうけたところの科学における新しいものは、つぎつぎと勝利をおさめていった。工業や輸送や農業の側から提起された技術的＝経済的な諸問題を解決するには、自然現象に対する新しい分析視角が必要であった。自然に対し巧みに働きかけるためには、その運動の諸形態や、さまざまな化学物質、さらに動植物の個々の種のあいだの、相互関係と相互作用とを実験という手段で解明し確認する必要があった。

交易と国際関係の発展、新たな地理上の発見とその探検は、たくさんの事実に関する新知識を科学界のもちこんだ。これらの知識によって、以前から残されていた自然界を理解するための空白がうずめられ、また時間と空間における自然現象間のあらゆる関連の存在が確認できるような“不足していた環”を挿入できるようにした。地下をおどろくほど深く掘ることも稀ではなかった採鉱作業の実際が、地質学や古生物学を新しい事実資料によって実り豊かなものにした。品種改良者——農業技術者、畜産家——の仕事も、博物学者の進歩的な見解を事実資料を基礎づける上で重要な役割を果たした。

## 数学

科学・技術に関する高等教育のなかで、数学は顕著な地位をしめていた。自然科学や技術、すなわち物理学、化学、天文学、測地学、熱力学、機構学、建設工学、弾道学などの領域から提起された実際上の課題を解決するために、数学を使う必要性が急速にましてきた。しかし新しい数学上の研究というものは、その時代の直接的実地的な要求によっておこるだけでなく、また科学としての数学の発展の内的論理にもよるものである。

18 世紀最後の 10 年間に、無限小解析の方法が完全な域に達した。地球と天体の力学の領域で誕生した新しい数学の方法が、フランスの数学者ラグランジュ（1736－1813）と彼の学派により、発展し充実した形で物理学や天文学に応

用された。無限小解析に厳密な基礎づけをおこなったコーシー（1789–1857）の仕事も、また大きな意義をもつものであった。

力学や物理学の新部門にとっての基本的な数学的手段として、この2、30年のあいだに偏微分方程式が精力的に研究された。

複素数の幾何学的解釈とその利用も、数学上の重要な成果であった。この領域での基本的な功績な、デンマークで研究していたノルウェー人ウェツセル（1745–1818）——またベクトル計算の創始者の1人であった——と、フランスの数学者アルガン〔1768–1822〕などに帰せられる。コーシーが複素変数関数論の基礎をきずいたのは、19世紀の第1・四半期紀のことである。複素数について初めて正確な一つの説明を与えたイギリスの数学者ハミルトン（1805–65）も、一方ではまたベクトル計算の創始者の1人でもあった。ベクトル計算ならびにその後のテンソル計算の方法が、19世紀40年代におこったことは、理論物理学の発展と力学問題の解決における数学の応用に巨大な役割を果たした。

数学の対象がひろがったので、その論証、すなわちその出発点をなす論点に再検討を加え、定義と証明の厳密な体系をつくること、またこれらの証明に用いられる論理的方法の批判的研究とか、またときにはきわめて抽象的な数学の理論構成にあたって、特別に重要な概念の正確さとその一貫性などの課題が提起された。

すでに18世紀なかばに生まれていた確率論（ある種の偶然事象の確率をあらかじめ与えておいて、それに何らかの方法に関連している他の偶然事象の確率を計算する数学の分野）は、18世紀末と19世紀初めにフランスの学者ラプラス、ルジャンドル（1752–1833）、ポアソン（1781–1840）およびドイツの学者ガウス（1777–1855）の諸業績でさらに一段と発展をとげた。確率論はこの時期になると、自然科学（天文学）や技術（測地学、弾道学）に応用された。

19世紀初めに、多数の偶然的要因の作用の結果いろいろな法則性が発生する諸条件を指摘する。確率論の一連の定理が研究された。ラプラス定理（1812年）や、ポアソンの定理（1837年）などがそれである。“大数の法則”という用語は、ポアソンの著述に初めて用いられたものである。

確率論の発展とその実際問題への応用の第2段階は、ロシアの数学者オストログラッキー〔1801–61〕（数理統計学の諸問題）、ブニヤコフスキー〔1804–89〕（統計、社会統計、保険事業への確率論の応用）、および1843年にポアソンの定理に厳密な証明を与えたチェビショフ（1821–91）などの名と切りはなしがたく結びついている。チェビショフはその著書《平均値について》（1867年）のなかで、ひじょうに一般的な仮定のもとに、大数の法則をきわめて簡単

に証明した。

18世紀末と19世紀初めに、幾何学の新しい方向がいくつか形成された。無限小解析の方法、なによりもまず微分学的方法によって幾何学的図形を研究する微分幾何学の発展に大きな役割を果たしたモンジュ（1746—1818）は、また立体を平面のうえに表わす方法を研究する図法（画法）幾何学の創始者でもあった。図法幾何学の進歩は、機械設備、建物、産業用ならびに輸送用施設などの図面を作成するという。実際の課題と直接結びついていた。曲面の内部構造をしらべたガウス〔1777—1855〕はの仕事もまた、重要な意義がある。

しかし、古代ギリシアの数学者エウクレイデス〔ユークリッド〕（紀元前3世紀）の時代からひきつがれてきた幾何学的概念の基礎は、19世紀20年代までは一貫してゆるがすことのできないものとされてきた。そこへロシアの大数学者ロバチェフスキー（1793—1856）が、非ユークリッド幾何学の体系を提起し、これを発展させることによって数学に真の革命をもたらしたのである。ロバチェフスキーは非ユークリッド幾何学の基礎として、与えられた直線外の1点をとおって、その平面内にこの直線と交わらない幾つかの直線をひくことができるという公理をおいた。少しおくれた1832年に、ハンガリーの幾何学者ボイヤ（1802—60）も、ロバチェフスキーと別に、同様の結論に到達した。普通のユークリッド幾何学とならんで、非ユークリッド的幾何学体系が可能だという考えはガウスもまたもっていた。

幾何学的理論の真理であるかどうかは、ただ実験によってのみ確かめられると考えていたロバチェフスキーは、将来の実験的研究が、ある種の現象の研究、たとえば天体の観測において、一般に認められているユークリッド幾何学の成り立たないことが、実際の空間の本性によって暴露されるであろうという見通しをのべた。科学の発展は、みごとにこの推論の正しいを確認した。

1854—66年にリーマン〔1826—66〕は、新しい非ユークリッド幾何学である、いわゆるリーマン幾何学を提起した。それはまた、その後の科学の発展過程において、現実的な解釈が与えられた。

## 天文学

天文学は、自然は不変なものであるという考え方が、18世紀後半に早くもゆらぎ始めた最初の科学部門である。このころにカントつづいてラプラスが、赤熱した星雲から太陽系は発生したのだというのが学説を提起したのである。カント＝ラプラスの理論が、科学に与えた革命的影響は巨大なものであった。宇宙は初めて、生成と変化と発展の過程にあるものとして、つかまれ始めた。

18世紀末—19世紀初めの、宇宙論の最も進歩的な傾向にとって特徴的なことは、形而上学や神学的スコラ的解釈——たとえば、ニュートンでさえ、最初の



“神のひとはじき”が宇宙系を運動に駆りたてたという仮説によって、この形而上学、神学的スコラ学に敬意を表していた——から、みずからを解放しようと努めたことにあった。

その後の2, 30年間に天文学が到達した最も重要な成果は、“恒”星固有の運動を明らかにしたことと、はるかに遠いところにある恒星や星雲を形成している物質が地球上の物質と化学的に同一のものであるということ、スペクトル分析で明らかにしたことである。

天文学の基本部門の一つとして、最も完全な数学的方法を使うことによって、天体の運動を研究する“天体力学”が確立された。技術の進歩、とくに光学機械の製作技術の進歩は、強力な天体望遠鏡をつくることを可能にした。イギリスの天文学者で光学者でもあるウィリアム・ハーシェル（1738—1822）とその息子ジョン・ハーシェル（1792—1877）は、このような望遠鏡を使って天文観測にすばらしい成果をあげた。1782年ウィリアム・ハーシェルによってつくられた反射望遠鏡は、鏡径が122センチメートルもあった。1845年には、イギリスの天文学者パーソンズ（ロス卿）〔1800—67〕が、鏡径182センチメートルの望遠鏡をつくって、ハーシェルを追い越した。改良された望遠鏡の助けをかりて、ハーシェルは、天王星を発見し、多くの惑星の衛星を明らかにした。彼はまた星雲や星団を多数発見することによって、宇宙における恒星の分布と銀河の構造を研究した。ジョン・ハーシェルは3,000以上の2重星を発見し、5,000あまりの星雲や星団にかんする目録をこしらえた。

天文学研究に新しい科学的方法を適用してみのり多い成果をあげた好例としては、太陽からの距離が天王星よりずっと遠いもう一つの太陽系新惑星の存在を、フランスの天文学者ルヴェリエ（1811—77）およびほとんど時を同じくしてイギリスの天文学者アダマス（1819—92）が、1845年に理論的に証明したことがあげられる。事実、この惑星は1846年にドイツの天文学者ガレ（1812—1910）によって、ルヴェリエとアダマスの指摘した位置に発見され、海王星という名が与えられたのである。

ロシアの天文学者V. Ya. ストルーヴェ（1819—1905）とその息子のO. V. ストルーヴェ（1819—1905）、ペレボーシチコフ（1788—1880）、プレディーヒン（1831—1904）も世界の天文学の発達に大きな貢献した。世界でも最良の天文台の一つである。プルコフスキー天文台の建設が完了すると、ロシアの天文学者たちの研究は、一段と成果をあげてすすめられた。

天文学、物理学、化学の歴史上できわめて大きな意義をもっているのは、分光器の発達である。最初の分光装置は、ドイツの熟練したレンズ職人フランホーフエル（1787—1826）によって19世紀初めにつくられた。さまざまな光源のスペクトルを観測したなかで、とくにフランホーフエルが研究したのは、太

陽、金星、月その他二、三の星のスペクトルであった。ドイツの学者キルヒホッフ（1824－87）とブンゼン（1811－99）は、フランホーフェルその他のこの分野での多くの先駆者の研究をおしすすめ、スペクトル分析の基礎をきずいた。

キルヒホッフとブンゼンによる研究の最も重要な諸結果は、1859－62年に公表された。分光技術は急速に進歩した。すなわち化学者たちは、地上物質のスペクトル分析によって、新たな稀元素を発見し、天文学者たちは天体の性質を研究するために、分光器を利用した。

## 力学

工業や建設、輸送、その他の物資生産部門の諸要求を結びついて、19世紀の学者たちの大きな関心は、熱力学や光学などという物理学の各部門と相互にかたく結びついて発達しつつあった。理論力学や応用力学に向けられた。

力学の発展における最も特徴的なことは、一方で数学への接近であり、他方では実際面とのつながりをますます深めていったことである。

新しい建築材料（とくに金属）を使った巨大な工場施設の建築は、従来の建築作業の経験だけにたよっていることを不可能なものにした。大工場企業や輸送に使用される機械は、大きな出力とスピードをもっており、それにはマニュファクチュア時代の力学が使いものにならなかった。機械や工場施設の設計者たちは、静力学的荷重とは異なった。大きな慣性力や振動をひきおこす、いわゆる動力学的荷重を、計算する必要にせまられたのである。

実用面からの要求によって、学者たちの注意が、従来は十分に研究されてはいなかった動力学（[ダイナミクス]、理論力学の一部門で、物体に外力が加わるときの運動法則を調べる）や運動学（[カイネマチクス]、その運動をひきおこした力とは無関係に運動だけを調べる力学の一分野）に向けられた。

物体の弾性的性質にかんする数多い研究の実施、弾性理論の研究とか、また材料力学、流体力学、水力学の諸問題の研究が発展したのも、まったく同じ実用面からの要求という理由によるものである。19世紀の初めの2、30年代にみられた力学の決定的前進という点で重要な意義をもつものは、ラグランジュの仕事、とくに彼の著者《解析力学》（1788年）であった。

機械や機関とか技術的装置の働きを調べ、その計算法を研究する応用力学、すなわち当時のいわゆる“実用”力学がおこってきたのは、18世紀末の2、30年間から19世紀の第1・四半期のことである。すでに18世紀末にはフランスで、独自の機構理論が芽生えていた。クーロン（1736－1806）の《単一機械理論》は、1781年に出版された。モンジュとその同志たちが、“エコール・ポリテクニク”を創設したとき、モンジュの提案に従って機構理論についての講座がとくに設けられた。クーロンとモンジュによって始められた理論力学と応

用力学の分野における研究は、ナヴィエ (1785–1836)、ヤング (1773–1829)、ラメー (1795–1886)、サン・ヴナン (1797–1886)、レッチェンバッヘル (1809–63) その他の、この分野で活躍した多くの学者たちによって引きつがれた。

ロシアの数学者、力学者、技術者も、応用力学の諸問題、とくに機構理論の発展に大いに貢献した。1806年にゲーリエフ [1766–1813] は、論文《平衡の一般法則とその機械への応用》を発表した。オストログラッキー (1801–61) は、物理数学や天体力学の研究のほかに、応用力学についての一連の研究をもおこなった。とくに彼は、弾性理論の発展に多くの価値ある仕事をしている。機構理論は高等数学と理論力学の分野でのすぐれた革新者であり、これらの学問を生産に応用する問題においても、大胆に新しい道を切りひらいたチェビシヨフ [1821–94] の仕事のなかで、それは最も完全な発展をとげた。彼の論文《平行四辺形の名で知られている機構の理論》[1854年] は、世界の科学に1時代を画すものであった。

### 物理学、エネルギー保存則

蒸気機関の普及とその働きの研究は、熱力学、すなわち動力としての熱にかんする研究の発達をうながして、これが熱工学の理論的根拠となった。

フランスの学者カルノー (1796–1832) ——熱力学の創始者の1人——は、“熱から運動を得る”問題と熱を高温から低温に移すときに“動力”(有効な仕事)を得る可能性についての問題を研究した。彼の生前(1824年)に発表された論文《火からの動力およびこの力の発生に適当な機械に関する考察》は、長いあいだ学界に認められなかった。1834年になってようやくクラペイロン

(1799–1864)がこの考えを再論して、整然とした数学的形式をそれに与えた。

19世紀のなかばに、このような思想は、のちにケルヴィン卿という名で有名になったイギリスの科学者ウィリアム・トムソン (1824–1907) や、ドイツの物理学者クラウジウス (1822–88) によって、熱とは分子の運動であるという考えにもとづいて作り直され、発展させられた。熱力学理論と熱エネルギーの力学的エネルギーへの転換という問題は、ドイツの自然科学者で医者でもあったマイヤー (1814–78) の業績によって最終的に仕上げられた。当時まだ“エネルギー”という言葉がなかったので、マイヤーその他の学者は“力”という表現を使っていた。“エネルギー”という言葉は、現在のような意味で初めて使ったのは、19世紀60年代のウィリアム・トムソンであった。

熱の仕事当量の確定は、各国同時に、しかも多くの場合たがいに独立して活動したたくさんの研究者の功績によるものであった。すなわち、イギリスのジュール (1818–89)、グローブ (1811–96)、デンマークのコールディング (1815–88)、ドイツのヘルムホルツ (1821–94) などがそれである。

マイヤーの研究は、力学的運動を熱に転換する問題だけにとどまらなかった。彼は、最初ロモノソフ〔1711－65〕によって一般的形態で述べられたエネルギー（“力”）の保存と転換のいっそう一般的な法則を論証し（1824年）、それを実験によって証明した。ほかの多くの学者たちもまた同じような結論に到達した。エネルギー保存側と転換法則の立証には、熱力学分野における研究、電流の熱作用・化学作用についての観察や、化学領域におけるいくつかの発見が役にたった。1847年ヘルムホルツはエネルギー（“力”）の保存則と転換法則に数式的表現を与えた。このようにして、あらゆる形態のエネルギー——力学的、熱、電気、磁気の各エネルギー——は、たがいに移行することが確かめられたのである。

19世紀40年代のこれらの諸発見の結果は、すばらしいものであった。“物理学は、すでに天文学が到達していたと同じように、運動する物質は永遠に循環しているのだということを科学の最後の結論として必然的に指し示すところの一つの成果に到達したのである”<sup>1)</sup>。

熱力学の発展についていえば、カルノー、トムソン、クラウジウスの研究の結果から、現在ひろく使われている熱力学第1および第2法則の定式化がみちびきだされた。しかしトムソンとクラウジウスは（地上における実験という条件下で）閉じた系については認められる法則性を、全宇宙の法則性にまでおしひろげて、熱力学の第2法則から、宇宙の“熱的死滅”の不可避性という、まちがった結論をひきだした。エンゲルスは《自然弁証法》のなかで、このような概念の成り立たないことを証明している。物理学と天文学における最近の発見は、エンゲルスの見解が正しいことを裏書きしている。

## 電気学

電気磁気学の大きな進歩は、ないよりもまず電磁現象の実用面での利用と結びついている。“我々が、電気についていくらかでも合理的なことを知り得たのは、ようやくそれが技術的に応用できることが発見されて以来のことである”<sup>1)</sup>とエンゲルスはのべている。

18世紀から19世紀に移るころ、イタリアの物理学者ヴォルタ（1745－1827）はガヴァーニ（1737－98）の先駆的実験に正しい説明を与え、“ガルヴァーニ電池”をつくった。この電池は長いあいだ唯一の電流源として用いられた。

ガルヴァーニとヴォルタの実験を続けることによって、ロシアの学者ペトロフ（1761－1834）は、当時としてはいちじるしく大きい電池をつくり、さまざまな生産や生活分野に電気を利用する可能性についての一連の重要な研究をおこなった。とくに彼は、1802年に電孤現象を明らかにした。数年後にこの現象は、イギリスの学者デーヴィ（1778－1829）によって観察され、ヴォルタの電

孤と名づけられた。照明を目的とした電弧の実用化（アーク灯）は、19世紀の40-50年に始まった。

1820年デンマークの物理学者エルステッド（1777-1851）は、磁針に対する電流の作用について重要な観察をおこなった。電気力学の創始者であるフランスの学者アンペール（1775-1836）は、さらに研究の歩をすすめて、良導体を流れる二つの電流間に働く相互作用を明らかにし、それらを計算し、電流もまた磁場をつくることを確かめた。

1831年にイギリスの大科学者の1人であるファラデー（1791-1867）が、閉じた導線が磁力線をよこぎってうごかされるとき、導体内に電流が発生することに気がついて、電磁誘導の現象をみだし、それを記録した。このきわめて重要な発見によって、発電機と電動機をつくることができるようになったのである。

ファラデーの発見後まもない1833年に、ロシアの物理学者レンツ（1804-65）は、電磁誘導と電磁回転の法則を一般化して誘導電流の方向（レンツの法則）を確立したが、1838年にはさらに、電気工学にとってきわめて重要な、発電機の方式と電動機の方式が電気機械としてはたがいに逆であるという原理を定式化し、同一機械と発電機と電動機の両方に実際に働かせて、この原理を実証した。

レンツは電磁気についての一連の研究をヤコビーといっしょにおこなった。

電流の磁気的研究と同時に、その熱作用も調べられた。1821年、ベルリン大学の教授であったゼーベク（1770-1831）が、熱電気現象をみつけだした。彼は異種金属からできている導体接合点をあたためるとき、その回路に電流が発生することを証明した。1834年にフランスの物理学者ペルティエ（1785-1845）は、熱電気作用の逆の現象、すなわち異種の2良導体の接合点を通じて流れる電流の向きに応じて、熱を放出したり吸収したりする現象を確かめた。1841年にジュールはレンツより少しおくれて、電流が導体を流れるときの熱作用の法則をみつけた。これがいわゆるジュール=レンツの法則である。

19世紀の20年代の中ごろ、ドイツの物理学者オーム（1787-1854）によって確立された、電気回路の抵抗の大きさと起電力と電流の強さとのあいだの定量的関係は、電気工学の実際面に大きな意義をもつものであった。

電磁気現象の分野における理論的研究を促進したのは、電気測定の進歩であった。ガウスはウェーバー〔1804-91〕の協力を得て、cgs系に基礎をおいた電磁単位の絶対系をつくった。また多くの人々が、磁気測定のために精密な器械をこしらえたり、磁場をはかる新しい方法を考え出したりした。

## 光の電磁理論、マクスウェルの方程式

19世紀の最初の約30年間に、光学の学説上に革命がおこった。イギリスのヤングとフランスのフレネル〔1788―1827〕の研究の結果、光は多くの光粒子からなるとみなしていた旧来のニュートンの粒子説が否定された。そして新しい基礎づけと、新しい物理学的・数学的解釈に従って、光をエーテルの運動の波とみるホイヘンス〔1629―95〕の考えが復活された。19世紀における物理学の偉大な成果は、1865年イギリスの学者マクスウェル（1831―79）によって発表された光の電磁理論であるが、これは電磁気学、熱力学、光学の各分野でさまざまな国の多くの物理学者によってなされた実験と理論的構造を総合したものである。

エルステッドとファラデーのあとをうけてマクスウェルは、電磁場の理論を展開した。新しい学問の数学的表現となったのは、電磁気理論にも光学現象にもひとしく関連し、かつ電磁場の構造を記述する方程式系であった。マクスウェルの方程式の基本的な結論として、光速度で伝播する電磁波の存在がみちびきだされ、こうして光と電磁気を結びつけることに成功した。その後電磁波の存在はヘルツ（1857―94）によって実験的に確かめられ、無線工学の基礎となった。

マクスウェルの物理学的・数学的理論は、自然科学や工学のその後の発展に重要な役割を果たした。しかしながら、マクスウェルの理論は、すべての電磁現象の完全な特徴づけを与えるものではなかった。19世紀のすべての物理学者と同様に、マクスウェルもやはりエーテルの存在を仮定することから出発していた。エーテルはフロギストン（燃素）や熱素のような仮想的な“重さのない流体”のうち生き残った最後のものであったが、やがてそれらと運命をともにしなければならなかった。

《自然弁証法》のなかでエンゲルスは、電気の領域において“ドールトン（1766―1844）の発見に比すべき”発見すなわち原子論という“科学全体に1中心点を与え、研究に確固とした基礎を与える”<sup>1)</sup>発見がなされようとしている。エンゲルスの予想は、電子論が研究され、電気が原子の構造と密接に結びついていることが明らかになったときに立証された。

## 化学

この時代に、理論化学と応用化学が確立された。学問の分野で19世紀の化学ほど、理論と実際がたがいに連れいし、たがいに豊かにさせあいながら、輝かしい前進をつづけた例をみつけることはむずかしい。

化学の新しい考え方は、ラヴォアジエ〔1743―94〕、モンジェ、ベルトレ〔1748―1822〕、フルクロア〔1755―1809〕、ギトン・ド・モルヴォ〔1737―1816〕、

ヴァンデルモンド〔1735-96〕やその他のラヴォアジエの弟子と協力者たちの業績によって最終的な勝利をおさめた。フランスの学者たちは、まず“酸素”や“水素”などの術語を導入して、化学の新しい用語を定めた。彼らは燃素説を否定し、エンゲルスの言葉に従えば、“フロギストン（燃素）説形態でさかだちしていた全化学を初めて足で立たせた”<sup>2)</sup>のである。

科学としての化学は、物質が分子原子から成るという理論が勝利をおさめたときに初めて、十分な発展をとげられるようになったのである。物質の原子的構造理論は、イギリスの学者ドールトン（1776-1844）の仕事によって大きく発展した。ドールトンは異質の原子はちがった重さをもたねばならず、化合物は原子が一定の割合で結びついたものであると説いた。実際には、若干の物質の原子量をきめる実験に、ドールトンはほとんど成功しなかったが、彼の考えは化学の発展に大きな影響を与えた。現在の原子量の値にちかい46個の元素の比較的正確なデータは、1814-18年にスウェーデンの化学者ベルセリーウス（1779-1848）によって発表された。

ドールトンの原子論は、気体状態の基本法則の研究に興味をもっていたフランスの化学者で物理学者でもあるゲー・リュサク（1778-1850）によって支持された。ドールトンとゲー・リュサクはたがいに独立に、気体や蒸気は同じように温度を高めれば、同じように膨脹するという結論に達した。

1811年にイタリアの化学者アヴォガドロ（1776-1856）は、体積のひとしい気体中には同数の分子が含まれるという考えを述べた。1814年にアンペールは、物質の分子と原子を区別することを熱心に主張した。しかし、これらの先駆的な考えは、当時はまだ承認されるにいたらなかった。

分子・原子的な考えを化学（とくに気体論）にしっかり取り入れるための論争が、40-50年代に活発におこなわれた。フランスの化学者ジェラル（1816-56）は、アヴォガドロとアンペールの考えを実験的に確かめた。クラウジウスもジェラルとは独立に、同じような結論に達した。最後に、イタリアの物理学者カニッツァーロ（1826-1910）はこれを、同じ条件のもとでは同体積のすべての気体は同数の分子を含むという形の法則として定式化した。これによって分子中に含まれる原子の数を正しく定めることができるようになった。化学式を表す方法もまたカニッツァーロによって考え出されたものである。

この世紀の20年代に、リービヒ、ヴェーラー〔1800-82〕その他の研究者によって、同じ組織、同じ分子量をもついても、その化学的・物理的性質は少なからずちがう物質のあることが、明らかにされた。この性質をもつ物質は、ベルセリーウスの提案（1830年）に従って、異性体と名づけられた。1848年にフランスの有名な研究者パストゥール（1822-95）は、化学的に同じであるのに物質的性質のちがう物質があるという結論を得た。分子は3次元的にひ

ろがった構造をもつことが確かめられた。

19世紀の50年代の終わりから60年代の初めにかけて、新しい物質構造論がロシアの学者ブトレーロフ（1828–86）によって提出された。同時に彼は、異性体の科学的証明を与えている。ブトレーロフは“複合粒子の化学的性質は要素粒子（原子——編注）の性質、その数や化学構造によって定まる”と書いている。ブトレーロフの化学式は、化学物質の分子のなかで原子がどのように結びついているかを示した。この構造理論によって、何千何万という複雑な有機化合物と無機化合物を分類することができるようになった。ブトレーロフの輝かしい理論は、一連の有機化合物をその構造式に従って合成できたことにより、実際に確認された。

1865年にドイツの化学者ケークレ（1829–96）は、有機物質の分子は空間中の原子系と考えられるという結論に達した。

ジェラールおよびカニッツァーロの研究にもとづいて、イギリスの化学者フランクランド（1825–99）は1852年に原子価の考え、すなわちいろいろな化学元素の原子は化学的に結合するときに、きっちりと定まった数の水素原子（この原子価を1にとる）またはその他の1価の物質の原子と結びつくという性質を発見した。

そのほかに、電気化学現象が理論化学と応用化学の面で脚光をあびてきた。イギリスの学者デーヴィの研究の結果、早くも1807年にそれまでは分解できないと考えられていた苛性アルカリを電気分解して、遊離したカルウムとナトリウムがつくられた。これより2年前の1805年にドイツのグロートゥス（1785–1822）は、電流による水の分解過程に初めて正しい理論を与えた。ベテルブルク科学アカデミーの会員ヤコビーは、電気化学に大きな貢献をした。1830年代の終りに彼が電気メッキ法の基礎を与え、これより電流を使って薄肉浮彫の複製をつくったり、製品の表面を薄い金属膜でおおうことができるようになった。

以前には化学において、有機化合物は生体の生活作用のみによって生成されるといった、非科学的な生気論的見解が長いあいだ支持されていた。1828年にヴェーラーは、無機物質から尿素を合成して、この種の考えを打破した。このとき以来、合成有機化学が理論面でも実際面でも急速な発展をとげた（ヴェーラー、リービッヒ、ズィーニン、ホーフマン、ベルトロ〔1827–1907〕その他の業績）。

化学史における最大の出来事は、天才的なロシアの化学者メンデレーエフ（1834–1907）のおこなった化学元素の周期律の発見である。

メンデレーエフは、当時知られていたすべての元素を原子量の大きさの順にならべて、元素の性質や元素のつくる化合物の型が似ている元素は、規則正し



い間隔をおいて配列され、そのことが周期的に繰り返される配列をつくっていることを明らかにした。似ている元素がつぎつぎにならぶように、いくつかの群に分けると、化学元素はおのずと一つの表をうながすが、この表を元素周期律表と名づけた。“簡単な物質や複雑な物質、あるいはそれらから合成されたものに表われる元素の物理的・化学的な性質は、その原子量に周期的に依存している”とメンデレーエフは書いている。

メンデレーエフの発見は、その後の化学と物理学のあらゆる発展に大きな影響をおよぼした。周期律表はすべての元素の相互関係を確定し、物質の構造をいっそう深く調べることができるようにした。とくにこのことはその後明らかにされた放射能現象の解明や同位元素の発見に重要な役割を演じた。

メンデレーエフは、彼の発見した周期律から出発して、当時まだ知られていなかった2, 3の元素の性質を予測した。三つの元素すなわちガリウム、スカンジウム、ゲルマニウムは、19世紀の70-80年代になって学者たちの手で発見されたが、それらの性質はメンデレーエフの予言したものと完全に一致していた。1898年にメンデレーエフは“元素がたがいに移りかわることを実証するデータを確認する仕事にみずから参加することができるならば、どんなに面白いことだろう。なぜかという、そのときにこそ周期性の理由がみいだされ、理解される、と期待できるからである”と書いている。この予言は実現された。物質の構造についての現在の学説によって、元素の周期律表はさらに新しい深い説明が与えられたのである。

### 自然誌における進化論的思想の進歩

この時代は、あらゆる自然科学の分野での進化論の勝利の時代であった。18世紀末のブルジョア革命のときに、フランスでラマルク(1744-1829)とジョフロア・サンティレール(1772-1844)は進化論的な考えを発展させた。これらの学者の考えは、18世紀の宗教的・形而上学的観念に対して大きな打撃を与えた。

ところが、フランスの自然科学者キュヴィエ(1769-1832)によって初めて提唱された、一見したところひじょうに急進的に見える《大変動説》[1821年]も、本当は反動的なものであった。この説は、つぎのように断言する。地球上には周期的に大変動があり、そのときにあらゆる生物は死にたえるが、神の“創造行為”のおかげで、動物群や植物群がふたたび新たにつくられるのである。しかし大変動説は、自然科学者には受け入れられなかった。

地質学と化石学においても、イギリスの科学者ライエル(1797-1875)の研究発表によって、大変動説は致命的な敗退をこうむった。1830-33年に出版させたライエルの主著《地質学原理》は、地球表面は自然法則に従って発達し、

飛躍しない、という学説を含んでいた。この学説（著者はこれを“実説”と呼んだ）には、もちろん限界があり、さらに機械論的なところもあった。ライエルは、地上に働く力は質的にも量的にも連続的であると書いている。しかし、彼の考えは客観的に見れば、唯物論的な性格をもっており、神といったものの介入を許さなかった。

19世紀の生物学の最大の成果は、細胞学の発達である。動植物体の構造や発達の基礎には、細胞という、一定の形をもった、生きた有機体がある、というのがその見解である。この細胞論成立のためには、ペテルブルク科学アカデミーの会員ベア（1797–1876）とガラニノフ（1796–1865）、またはチェコの生物学者プルキーニ（プルクネー）（1787–1869）の業績が役立った。動植物の細胞の構造や発生が、たがいに類似していることを証明し、細胞論を最終的に確立したのは、ドイツの学者シュヴァン（1810–82）とシュライデン（1804–81）であった。

細胞論の意義はつぎの点にある。まず、すべての多細胞生物体の構造と発達の統一的な原理を与えて、きたるべき進化論の根本思想の一つとなったことである。また、細胞論の勝利によって初めて、比較解剖学、生理学、発生学が確固たる地盤に立つようになったのである。

進化論的な考えの確立と発展のためには、生物体の胚についての学問である発生学の進歩が、大きな意義をもっている。発生学発展のための重要な学者はベアとその後継者たち、ペテルブルク科学アカデミーの会員ヴォルフ〔1733–94〕、ドイツの科学者メッケル〔1781–1833〕、ペテルブルクの科学者パンジェル〔1794–1865〕などである。ベアの重要な業績《動物発達史》は、1828–37年に出版された。考え方に首尾一貫しないところや観念論に譲歩しているところがあっても、ベアの仕事は多くの点で進化論の勝利のための基礎を用意したのである。

### チャールズ・ダーウィン

イギリスの大学者チャールズ・ダーウィン（1809–82）は、現在のすべての生物——植物、動物、人間——は、何百万年にもわたる発達の結果であると主張しても、宗教的・形而上学的思想に決定的な打撃を与えた。その学説の根本原理を含んでいるダーウィンの主著《自然淘汰による種の起源》は、1859年に出版された。

この学説を仕上げるための出発点となった資料は、まず第1に、人類古来の農業上の実際的観察であり、つぎに大部分は彼自身が直接におこなった地理学的探検の際の動植物のいろいろな形態の研究であり、それらはきわめて巧妙にそれぞれの自然条件に適応していたのである。ダーウィンはその結論において、

動植物の種は不変なものではなく可変的なものであり、現在の動植物界は長いあいだの発達の結果形成されたものであって、いま生きている動植物は以前のものから、淘汰と変異が蓄積された結果生じたものであることを述べている。

ダーウィンは、自然淘汰つまりその生物の生活に有利な性質が自然条件のなかで選択され蓄積されることと、人類がその経済的利益のためにおこなう人為淘汰とに区別した。自然淘汰というものは、ダーウィンの考えによると、環境に最も適応した個体が、生存し生きぬくためにたたかうなかで起ったものだというのであった。

動植物進化の基本法則を確立したのは、ダーウィンであった。また彼は、いわゆる生物の合目的性、つまり生物がいろいろな環境条件に比較的完全に適応するということが実は自然に原因をもつことを見いだした。

ダーウィン主義が18世紀の“ヴォルテール主義”と同様、反動どものきわめて激しい非難をまきおこさざるをえなかったのは、まさにこの合目的性こそ、“全智全能の造物主”なるものがあって生物界を地球上の生活条件にとくに適応するように創造したのだ、ということをサポートするための最もよく用いられる論拠であったからである。

他方、ダーウィンの学説はマルクス、エンゲルスその他すべての進歩的な活動家や学者の熱心な支持をうけた。

“ダーウィンは、動植物の種を、なんら関連のない、偶然的な、‘神によって創造された’不変なものとする見解にとどめをさし、また種の可変性と種相互の継承性を確定して、初めて生物学を完全に科学的な基礎のうえにすえた”<sup>1)</sup>とのちにレーニンは書いている。

それとともに、マルクス＝レーニン主義の建設者たちは、1度ならずダーウィン学説の弱点についてもものべている。ダーウィンがキュヴィエの大変動説を批判したのは正しかったが、彼は事実反して自然界や社会には一足とびの飛躍的变化はまったくないと主張した。彼は、社会についての若干の反動的な学説、とくにマルサス(1766-1834)の“人口論”に対してまったく無批判的な態度をとった。

ダーウィン学説は、進歩的な自然科学者たちの仕事によっていっそう発展させられた。ドイツの学者ヘッケル(1834-1919)や、ブラジルで研究したミュラー(1821-97)は、個体の胚からの発達(個体発生)の際、種の発達(系統発生)つまりその個体がすでに死滅した祖先からこの生物に達するまでの過程を繰り返すという、発生学の法則をうちたてた。最近の研究によると、系統発生と個体発生とのあいだの関係は、ヘッケルやミュラーが考えたよりもはるかに複雑なものであるが、ともかく両者のあいだに関係をつけたのは彼らの功績である。

ロシアの科学者たち、V.O.コヴァレフスキー [1842-83]、A.O.コヴァレフスキー [1840-1901]、メチニコフ [1845-1916]、セーチェノフ [1829-1905]、ティミリャーゼフ [1843-1920] は、いっそうこの理論を深め、それらの唯物論的な諸要素を発展させることによって、進化論の発展に大きな貢献をした。

### 生理学と心理学

自然発生的な唯物論的思想と観念論や宗教的な見方とのたたかいは、生理学と心理学との分野でとくに激しくなった。進歩的思想の特主たちは、しばしば単純な機械論的解釈にたよりはしたが、それでも伝統的な宗教的・形而上学的思想を反ばくするのに貢献したことはうたがいない。

フランスの生物学者ベルナール (1813-78) は、生理現象を化学反応に帰着させることをくわだて (しかし、これは機械的唯物論以上には高められなかった)、つねに実験に依拠する生理化学の創始者の1人となった。かなり以前から、イギリスのベル (1774-1842) とフランスのマジャンディー (1783-1855) は、知覚器官から脳に、また脳のある部分から器官や筋肉への指令の伝達における、神経の機能について研究していた。この研究によって、初めて脳の支配機構に光があてられたのである。

18世紀に着手された心理学を独立の科学部門としてうち立てる試みは、19世紀後半になって完成された。心理学のとりあつかう分野は、かなりひろくなった。隣接科学からの影響によって、実験がおこなわれた (ウェーバー [1804-91]、フェヒナー [1801-87]、ミラー [1801-58]、ヘルムホルツ [1821-94] らの仕事)。しかし、心理学上また精神物理学上の多くの法則の発見を生み出した実験の導入は、心理学においては他の科学部門におけるよりも、反動的観念論・二元論的傾向と進歩的唯物論・弁証法的傾向とのあいだの闘争が激しかったので、その効果もきわめてかぎられていた。実験心理学の多くの学者たちは欠点の多い方法論的見地に立っていたので、実験結果を先入観にとらわれ間違っ解釈した。

心理現象の自然科学的・唯物論的な解明は、セーチェノフとその後継者たちの、ロシアの進歩的生理学派によっておこなわれた。観念論や二元論と妥協することなくたたかひながら、セーチェノフは、意識的無意識的生活のすべての行動が、その本性上、反射であると確信していた。条件反射についての学説は、高次神経活動のいろいろな現象がすべて生体と環境のあいだの不断の相互作用の結果であることを示した。

### 微生物学と医学

資本家とブルジョア地主たちの政府は、公衆衛生に関してどのような処置

もすすんでとろうとしなかったけれども、それでもなおこの問題に関心を向けざるをえなかった。それは、伝染病が定期的にまんえんし、これを不可避免的な“神罰”とみなしていた時代の水準以上に医学が進歩しなければ、産業や商業また産業資本主義時代の都市生活が、まったく不可能だったからである。さらに、動植物の流行病やいろいろな病気を予防する実際的な手段をさがしださないかぎり、資本主義的大農業を発達させることが困難だったからである。

この時代のはじめにおける医学上の2, 3の発見（イギリスの医者ジェンナー〔1749－1823〕による1796年の種痘、マラリア特效薬としてのキニーネの採用）は、実験的観察によっておこなわれたもので、民間医学に根ざしたものであるが、当時はまだ科学的に体系化されなかった。19世紀前半になって初めて医学は、自然科学の発達と新しい器具の使用によって、真の科学になったのである。

発達した有機化学と精密な医療器具とのおかげで、臨床医学に診断用の新しい方法（血液、筋肉、分泌腺の化学的分析、体温計、検眼鏡、喉頭鏡などの使用）が追加された。

ピロゴフ（1810－81）は初めて外科学に実験解剖学的傾向を導入したが、これは大きな意識をもっていた。ピロゴフはその著作《一般野戦外科原理》（60年代の中ごろ）のなかで、傷の化膿を予防することにかんする自分の観察を総括して、多くの点で消毒論の創始者たちの結論の先駆をなした。しかし消毒剤、すなわち感染をふせぐ薬剤の使用は、久しいあいだ医学がまったく手の施しようがなかった伝染病の原因を明らかにしたパストゥール〔1822－95〕らの発見がなされるまでは、科学的基礎を欠いていた。その後70年代の終わりになって、パストゥールは免疫に科学的解釈を与え、予防接種のいろいろは方法を研究した。パストゥールの発見にもとづいてイギリスの外科医リスター〔1827－1912〕は、化膿を予防する新しい薬剤として、石炭酸を実用化した。その後のこの種の薬剤としては、硼酸やヨードフォルムが用いられるようになった。医学のこのような進歩によって、死亡率や罹病率は減少したが、国によってまた社会階級によってその効果は、はなはだ不均衡に現われた。

基礎医学の建設のために大きな役割を果たしたのは、動植物構造の細胞説の成果であった。フィルヒョウ（1821－1902）は、いわゆる細胞病理学の基礎をきずいた。フィルヒョウの細胞病理学の基本となる原理は、一面的ではあったが、このドイツの学者であり政治家でもあった人物によって、人体器官の基礎的病状についての命名、術語、分類がほとんどでき上った。しかし、彼は人体を、個々に生活動をしている細胞の単なる集団と考え、医者が病人の身体を全体として研究することの重要性を過小評価し、病状の進行における神経の（反射）作用を見のがした。

## 地理上の発見

世界市場の急速な拡大と植民政策のいっそうの強化をともなった産業資本主義の発展は、地理上の探検を刺激した。多くの勇敢な探検家たちが、いろいろな困苦、欠乏、危険にうちかって、地理上の“空白〔未記入地域〕”を減少することをめざしたが、その大多数のものは“一攫千金”を夢みた植民地支配の“威光”を示そうという目的はまったくもっていなかった。しかしながら、資本主義国家の資本家たちや政府が地理上の成果を利用したのは、まさにこのような目的のためである。

遠征には各種の部門の専門家が参加し、遠征隊の得ためざましい新事実は、世界の地理学に多くの貢献をした。すでに19世紀の初めには、地理学者たちは南極大陸をのぞく他の諸大陸の輪郭や大体の地形について、正しい観念をもってきた。だが、大陸内部の地域にはまったく未踏の地が多く、調査されたのは大部分が海岸沿岸地域にすぎなかった。

19世紀前半には数多くの世界一周旅行がおこなわれたが、なかんずく1803－06年の世界探検隊に参加したロシア人の航海者クルゼンシュテルン（1770－1846）とリシャンスキー（1773－1837）は、きわめて大きな役割を果たした。またベリングスハウゼン（1778－1852）とラザルフ（1788－1851）の探検隊が1820－21年に南極大陸を発見したことは、特に意義ぶかい出来事である。その後南極大陸はイギリスのウェデルが1823年に、またロス〔1800－62〕が1844年におこなった探検や、フランスの研究者ジュールビリ（1790－1842）の探検によって、調査がすすめられた。

アジア大陸は、まずロシアの探検家が調査した。ブランゲル（1796－1870）、アンジュ（1796－1869）、マチューシキン（1799－1872）はアジアの北東海岸の状態を、またペーリトケ（1797－1882）、パツーツフ（1800－35）たちは北氷洋の島々を調べて記述した。19世紀の40年代になると、科学アカデミーの会員ミッデルドルフ（1815－94）は、イエニセイ河流域、ヤクーツ、シベリア北東海岸にわたる広大な地域を調査した。ミッデンドルフの研究は、凍土学という新しい学問の土台になった。

19世紀の同じ年代に、チハチョフ（1808－90）がアルタイ山脈とクズネツ地方を調査したことは、とくに重要なことである。このクズネツという地名は彼の命名したものである。19世紀のなかばになると、ネベリスク（1813－76）はサハリンが実際は島であることを明らかにし、またアムール地方を調査した。

セミョーノフ（1827－1914）、セベルツォフ（1827－85）といった旅行家たちが、天山地方や中央アジア地方の探検したのは、19世紀50－60年代のことであり、またブルジェワーリスキー（1839－88）のウスリー地方への探検や、中

中央アジアへの最初の旅行などがあったのは、60-70年代のことである。

アフリカ探検は19世紀の第1・四半期に始められた。この世紀なかばまでは、赤道から北へ向かっておもな調査がおこなわれ、50-70年代には中央アフリカと南アフリカへとすすめられた。イギリス人リヴィングストン（1813-73）の調査は、きわめて重要なものである。この勇敢な旅行家は40年代からその死にいたるまで探検を続けた。彼はアフリカの南端から赤道にいたる広大な地域を調査した。人道主義者であり無欲な研究者であり、またアフリカ諸種族の友人であったリヴィングストンのこの発見は、たちまちイギリスの支配階級によって“暗黒大陸”に対する植民地的収奪のために利用されたのである。

19世紀初めの数十年間に北アメリカではミシシッピ河とロッキー山脈のあいだの地域や、太平洋沿岸のひろい地帯が調査された。50-60年代ごろからアメリカとカナダに新しい耕地が開拓されたこと、大規模な鉄道敷設、カリフォルニアの砂金層の発見などにつれて、しだいに北アメリカの内部地域のいっそうくわしい調査研究がすすめられていった。

また、オーストラリアにおいては、その経済的開発と関連してきわめて重要な調査がおこなわれた。スチューアート（1815-64）の探検は重大な意義をもつものであり、彼は1862年オーストラリア大陸の横断に成功し、その内陸地方を研究した。

南アメリカでは19世紀の初めに、フンボルト（1769-1859）がすばらしい地理学上の発見〔アマゾン・オリノコ分水嶺踏査など〕をした。

これらの地理学的調査の輝かしい成果は、地理学の発達に大きな影響を与えたが、これによって地理学はさらにこまかい部門に分化するようになった。フンボルトは多面的な学者、自然探究者、旅行家であったが、（アメリカ以外にアジア、ロシアを調査した）地球物理学の創始者の1人ともなった。彼は当時の進歩的な学者ラプラス、ガウスたちと交際し、一連の唯物論的・進化論的な学説を提起して地理学上の最も進んだ潮流の始祖となった。フンボルトは、地理学上の個々の現象を地球上の場所の相違による変異としてとらえ、気候学、植物地理学における法則性を確立した。地理学におけるこの進歩的な潮流は自然科学のほかの分野、すなわち地質学、生物学などの進歩的な学説と結びついていた。

## 1871-1917年の技術と自然科学

19世紀の最後の四半期に、資本主義は独占の段階に投入した。この独占段階における資本主義の特徴は、生産力発展の不均等性がいちじるしく激化し、技術が量的にも質的にも発展するひじょうに大きな可能性が生まれたこと、技術の進歩を人為的に抑制する可能性がさらに大きくなったことである。

資本主義が帝国主義的段階へ移行したことによって、国際間のさまざまな経済的結びつきがひじょうに強くなっていくようになった。地球上のすみずみまで資本主義はますます深く浸透していき、植民地を強奪し、新しい原料地域や市場をもつようになった結果、鉄道の敷設や汽船の建造がさかんにすすめられ、運河やトンネルに開さく、巨大な橋梁や工業用施設や公共用の建物（大停車場、商業施設など）の建設がおこなわれるようになった。世界再分割のための戦争は、軍事的発展を急速にし、兵器生産を改善し、あらゆる手段でそれを拡大する刺激となった。

重工業、輸送、建設、軍需工業の要求をみたすためには、鉄鋼生産の生産性を高める新しい方法の開発し、非鉄金属の精練と有用鉱物（燃料や鉱石）の採掘を増大し、化学工業を育成し発達させ、たくさんの新式の工業設備を生産することができるようにし、機械製作工業の各部門において、1台1台の生産から連続生産、大量生産に順次きりかえることが必要となった。蒸気中央動力所はほとんど100年のあいだ産業界の基本動力源であったが、電動機類に駆逐され始めた。この電動機類の使用は、機械制工業がさらに改善されるための洋々たる将来をひらいた。重工業は、1国の経済力ならびに軍事力の強さを、すなわちその国が支配国家であるか、あるいは従属国家であるかを定めることになるので、第1級の重要度をもつようになっていった。

技術の加速度的な前進は、科学上の研究成果をだんだんと大きく利用しなければおこりえなかった。今世紀の初めには、技術上の問題点を解決するのに簡単な実験だけでたいていは十分であったが、しだいに生産過程の理論的考察と技術上の精密な計算がこれに加わってきた。数学はますます広くいろいろな応用科学で用いられるようになり、自然科学のさまざまな部門における新発見は、産業の主要部門の発展にますますめざましい影響を与えていった。たとえば、電気の性質の研究成果は電気工学の理論的基礎となり、通信連絡や作業機の動力装置に、また冶金工業、機械製作工業や化学工業の諸企業（金属の加熱溶解・精練・溶接、メッキ、水素・塩素の工業的製造その他）における多くの生産工程で、電気エネルギーが用いられるようになった。また有機化学と無機化学の成果は、人造繊維、人造液体燃料、プラスチックなどの工業生産の発生と拡大の基礎となった。さらに力学の進歩は、機械装置や技術設備を設計する仕事を根本的に改良するのを促進させ、弾道学と航空が完成してゆくのをうながした。

技術のこのような発達と密接に関連して、自然科学もこの時期に巨大な質的



飛躍をとげた。実験的な研究をおこなうための新しい手段があらわれ、きわめて複雑な理論上の問題がつぎつぎに発生しては解決されていった。科学の個々の分野は、さらにせまい専門へとしだいに分化されていき、しかもこれと同時に一種の総合化がおこなわれた。その結果、ばらばらに発達してきた諸科学を、境界諸科学（物理と化学の境界にある物理化学、生物学と化学の接合点にある生化学、天体物理学、地球化学）が結びつけるようになった。

いろいろな国の学者のあいだの交流が深められ、共同の努力による解決がみられるようになった。国際度量衡局（1875年）、国際測地学会（1896年）、万国学士院連合（1900年）などの常設組織もつくられ、1912年にはパリに国際時報局が創設された。

この時期の大規模な研究活動全体のなかには、三つの主要な方向がみられた。すなわち、物質構造の探究、エネルギー問題の研究、新しい物理学的世界像の創造である。これらの科学的研究は、多くの点で、これに先立つ時代の研究によって準備されたものであり、物質的生産の必要にせまられ生み出されたものではあるが、この三つの方向のそれぞれにおいて、きわめて重要な発見をおこなった（放射能現象の発見、複雑な原子構造の解明、化学元素の転換その他）。これらの発見は、当時支配的であった機械論的物質観の枠におさまりきれなかった。こうしてそれまでの考え方が根本的に破壊されるにつれて、自然科学の主要部門における現代の見解の基礎をなす、新しい原理が形成されるようになった。

ところが、技術も科学も、妨げなしに、また均等に発達したのではない。独占資本主義の下では最大限利潤の獲得が、発明や技術上の改良を生産に応用するかどうかを決定するにあたって、最も重要な基準であった。研究活動や発明の仕事が、鉱工業の大企業体から資金を出してもらっている研究室、研究所、設計事務所に徹底的に集中された結果、膨大な数の研究者、発明家、設計者がこれらの大企業体の監督下におかれることになり、彼らの仕事の全方向と利用法が、大企業体の意志によってきまることになった。多数の大がかりな、技術全体にかかわるような国民経済上の施策は、技術思想が大きく進歩したおかげでまったく解決しやすくなっていたのに、これらの独占連合体によって妨げられたり、あるいは挫折させられさえもした。独占価格が一時的に安定したり、深刻な過剰生産恐慌がおこったりすると、それが技術の進歩を妨げ、技術的進歩の発展をいっそう強く不均衡にさせ、一面的にさせ、そうすることによって技術の進歩に否定的な影響を与えた。植民地や従属国は、意識的に技術改良の範囲外にとり残された。ヨーロッパやアメリカ合衆国の急激な進歩と、アジア・アフリカの被搾取諸国の技術的な立ち遅れとのあいだの断層は、いよいよ驚くべきものとなってきた。

自然科学の発展は、機械論的な、また形而上学的な考え方によっても妨げられていた。このような考え方は、当時の大勢の学者たちのあいだにひろまっていたが、それは、19世紀末から20世紀初めの革命的な諸発見を説明したり、総括したりすることはできなくなっていた。自然科学の進歩と対置されていたのは、人間の知識は相対的なものだとか、物質は“消滅する”とかいった類のまちがった、観念論的な結論であった。

## 1. 技 術

### 電気エネルギーの工業的応用

この時代に解決されたきわめて大きな技術的問題のうちの一つは、工業と運輸の新しいエネルギー源である電気エネルギーの獲得と利用であった。そのための最初の前提となったのは、発電機の発明(1870年のZ. T. グラム [1826-1901]、1873年のF. ヘーフナー＝アルテネック [1845-1904]、その他)であり、これが電気エネルギーの発生機としてばかりでなく、電気エネルギーを機械エネルギーに変換させる原動機としても使えることがはっきりしたことであった。もう一つのきわめて重要な前提は、遠距離へ導線によって電気エネルギーの輸送ができるようになったことである。90年代初めまでにこの課題がうまく解決された結果(M. デブレ [1843-1918]、D. A. ラーチーノフ [1842-1902]の業績、とくに、最も経済的で技術上効率の高い3相交流方式の実際の面でM. O. ドリーヴォ＝ドブロヴォリスキー [1862-1919]があげた業績)、電気エネルギーの生産を発電所という特別の企業に集中することができるようになった。このようにして工業企業は、自家用の動力発生所をそれぞれに設備する必要がなくなり、外部から電気エネルギーをうけて、電動装置のついた作業機へそれを送ることができるようになったのである。発動装置は、最初は全部の機械に共用(1台の発動機から伝導装置を通じて)のものであったが、後には機械群別(出力に見合った小数の機械グループを動かす数個の発動機からなる)のものとなり、最後には各個別のもの(各作業機ごとに別々の発動機がつく)となった。発動機が導入されてから、機械の作業速度が増大し、生産性は向上した。そしてこれにつづいて、生産設備の自動化に対する広範な見通しがひらかれたのである。

### 蒸気機関と内燃機関の改良

電気エネルギーの生産量を増大するためには、発電機を実際に運転する第1次原動機の出力を増大しなければならなかった。機械製作者は、蒸気機関の効率を向上し、その性能を数千馬力にまで高めることに成功した。同様にして

ボイラーの構造も、蒸気発生力をいちじるしく増大し、蒸気の使用圧力を高めるなどのさまざまな改良がおこなわれた。イギリスの“バブコック・アンド・ウィルコックス”会社、アメリカのスターリング会社、またロシアのV. G. ジューホフ〔1853―1939〕やドイツのガルベ〔1847―?〕の設計し製作したいわゆる水管式ボイラーは、その構造の点でとくに優秀であった。この種のボイラーのうちの最大のものの伝熱面積は、1,000―2,000平方メートルに達していた。

しかし、ピストン式蒸気機関をもった動力装置には、いちじるしい欠点があった。それは、工業でも輸送でも高速原動機をますます必要としつつあったのに、この式の機関は比較的小さい速度のままであったからである。またピストン式機関の製作には多量の金属が費やされ、その重量を軽減することがたびたび試みられはしたが、それでも必要な効果をあげることはできなかった。ところが当時生まれ出ようとしていた自動車輸送と航空のためには、このことがとくに重要であったのである。原動機の巨大な容積をおさえることもうまくいかなかった。たとえば、1898年にニューヨークに出力3万キロワットの発電所を建設したとき、12台蒸気機関と87基のボイラーを据え付けねばならず、このために数階の建物が必要になった。このような事情のため、もっと高速度の、もっと小容積でかつ経済的な新型の第1次原動機を探求しなければならなかったのである。

1883年にスウェーデンの技師G. ラヴァル〔1845―1913〕は、最初の1段式蒸気タービンの設計を世にとつた。彼の建造したタービンは、500馬力に達する性能を持ち、毎分3万回という回転数まで出したが、蒸気消費量が大きく、回転数の直接制御が不可能であったために、あまり普及しなかった。1884―85年に最初の多段式蒸気タービンを提案したイギリスの技師C. パーソンズ〔1854―1931〕の諸業績は、ラヴァルのものよりはうまくできていた。しかし蒸気タービンが広く用いられるようになったのは1899年からで、すなわちドイツのエアベルフェルトの火力発電所での実験が好成績をあげてから以後のことである。

水力タービンの新しい構造が考え出されたのも、この時代のことである。このようなタービンは、とくに、ナイアガラ水力発電所に据え付けられた。この発電所は1896年に竣工したもので、この時代最大の発電所の一つであった。

これらのタービンのほかに、とくに重要になったのは、内燃機関である。80年代のなかばに、ドイツの発明家G. ダイムラー〔1834―1900〕とK. ベンツ〔1844―1929〕は、エンジンを使った無軌道輸送の要求を満足させる。液体燃料（ガソリン）で作動するところの軽い内燃機関を試作して発表した。1896―97年には、ドイツの技師R・ディーゼル〔1858―1913〕によって、最も高い効率をもつ内燃機関が発表された。1899年には、この形式のエンジンが重い液体燃料〔重油〕によって作動できるように改良された。それ以来このエンジンは、

工業と輸送のあらゆる部門でひじゅうに広く普及した。

## 電灯. 電話

大工業企業の建設、大都市の発展と電力生産の進歩によって、電気工学の重要分野の一つである電気照明が発生し発展するようになった。

1875年にロシアの発明家P. N. ヤーブロチコフ〔1847-94〕がアーク灯（“電気ローソク”）の構造を考え出した。この灯火は、電気の応用上の新部門の始まりを実地の上で告げたものであり、たちまちのうちにひろく普及するようになったが、80年代なかばごろには、いっそう便利で経済的な白熱電灯によって、あっけなく駆逐されてしまった。白熱電灯の最初のもは、ガラス球のなかにはそい炭素棒を入れたものであり、ロシアの電気技術者A. N. ロドゥイギン〔1847-1923〕によってすでに1873年に発明されていたが、材料上の困難がその改良を妨げた。この形式の電灯が実際に利用されたのは、アメリカの発明家T. A. エディソン〔1847-1931〕が1879年に炭素線をつけた真空白熱電灯を世に問うてからのことである。その後いろいろな国の多くの発明家が、白熱電灯の構造に改良をほどこした。とくに、ロドゥイギンによって金属線電灯が考案されたが、そのうちには現代の電球生産でも使われているタングステン線の電灯もあった。

灯用ガス工場を経営していた諸会社は、電気照明の導入に抵抗した。しかしながら、このときにガス照明器具を改良するいくつかの試み（たとえば、白熱するとあかるい光を発散する改良型マンツルの導入）がおこなわれたけれども、電気照明が広く普及するのをおさえることはできなかった。それでもガス照明は多くの国で、その後もかなり長いあいだ使われた。

電気工学のもう一つの領域である電気通信技術も、この時代には電灯におとらずさかんな発達をとげた。有線電信装置が改良されたほかに、80年代初めまでに、電話装置の設計と実用の面でも大きな研究成果があげられた。電話装置の最初の特許は1876年にアメリカの発明家A. G. ベル〔1847-1922〕が獲得し、2年後にエディソンと、アメリカではたらいっていたイギリス人ヒューズ〔1831-1900〕がエディソンとは関係なく独自に、新送話器の構造を世に問うた。この最も本質的な部分は、ベルの装置には欠けていたものであって、ベルの装置の根本的な欠陥である通話距離の制限をとりのぞいた。これにつづいて電話通信は、世界の多くの国々へすみやかに普及しはじめた。最初の電話局は1877年にアメリカにつくられ、2年あとにはパリに、1881年にはベルリン、ペテルブルク、モスクワ、オデッサ、リガ、ワルシャワにたてられた。1889年にアメリカの発明家A. B. ストロージャーは自動交換式電話局の特許をえた。同様の発明が、ロシアでK. A. モスツィツキー（1887年）とS. M. アポー

ストロフ（1895年）によっておこなわれた。

### ラジオの創成．電子工学の誕生．電気工業の形成．

ラジオの発明も、19世紀末の重要な技術上の成果の一つとなった。これは、1887-88年にドイツの物理学者H. ヘルツによって最初に発見された電磁波（ラジオ波）の利用にもとづく無線電気通信である。

このような通信を実際にするという問題は、すぐれたロシアの学者A. S. ポポフ〔1859-1905〕によって解決された。1895年5月7日に彼は、世界最初の無線電信機を実演してみせた。1896年3月に彼によって250メートルの距離で無線電報が初めて通信され、1897年には5キロメートルへだてた2船舶間で無線電信による連絡が実現され、1899年には約43キロメートルの距離で、長時間にわたる安定した無線電報の送受信が成功した。

ポポフの実験は、きわめてわずかな支持しかえられなかった。この当時同じ分野で、イタリアの技師G. マルコーニ〔1847-1937〕がずっと好条件で研究をおこなっていたが、彼は1896年6月に無線で“電気インパルスを送達する方法”に対する特許をとった。イギリスの有力な資本家グループが経済的援助を与えたおかげで、彼は実験遂行や無線装置完成のための多額の資金、研究室、研究員を確保することができたのである。（マルコーニは初めは、ポポフの装置にひじょうに似ていた）。1911年にマルコーニは、英仏海峡を越える通信に、また1901年には大西洋横断通信に成功した。

20世紀初めになると、電気工学のさらにもう一つの部門である電子管技術も生まれた。この方面での最初の実際上の前進は、無線通信装置の改良と関連したものであったが、1904年にイギリスの学者J. A. フレミング〔1849-1945〕によってなされた。彼は2極真空管（ダイオード）の構造を考察し、これを無線受信機の検波器（電波の周波数をかえる装置）として利用することを提案した。1907年にアメリカの設計技師のフォレストは、検波器としてだけでなく微弱な電波を増幅するためにも使える。3極真空管（トリオード）を世に問うた。その後、3極真空管の性質の研究にさいして、それが減衰しない持続電波を発生しうるということが発見されて、ほかの形式の発振装置にくらべるとずっと簡単で経済的で、かつ有望な無線送信機用の真空管発振装置を設計することが始まった（1913年にドイツのA. マイスナー、その他）。この同じ時期に、交流を直流にかえるための水銀整流器が使用され始めたことが、工業的電子管技術に端緒をひらいた。

電気エネルギーの産業への適用、発電所の建設、都市の電気照明の普及、電話通信の発達その他が、電気工業をすみやかに発展させることになった。レーニンの規定によれば、電気工業は、“技術の最新成果にとって、19世紀末から

20世紀初めにかけての資本主義にとって、最も典型的な産業である”<sup>1)</sup>。独占体が最も急速に発展したのは、まさにこの電気工業、とくにドイツとアメリカのそれにおいてであった。

### 冶金の発達

電気工業のような新しい部門と同時に、古くからの工業部門、とりわけ冶金が根本的に更新された。機械製作工業、造船工業、軍要工業、鉄道は大量の鉄鋼需要を生み出した。そのため、冶金技術は巨大な前進をとげた。溶鋳炉の構造がいちじるしく変化し、その大きさもいちじるしく増大した。銑鉄を鋼に転換するベッセマー法とマルタン法に、多くの改良が施された。1878年にはイギリスの発明家S. G. トマス〔1850-85〕が、含磷銑鉄を鋼に転換する新しい、いわゆるトーマス法をはじめ、これによって硫黄と磷を銑鉄から除去できるようになった。この除去は、ベッセマー法あるいはマルタン法による製鋼では不可能なことであった。1898-1900年にはイタリアのE. スタッサーノ〔1895-1922〕とフランスのL. エルー〔1863-1914〕が、それぞれ、実用に適した2種の電弧精練炉の構造をつくり上げ、いずれもその後ひろく普及した。誘導精練炉の出現も、この時代のことである。

鉄冶金におけるよりもいくらか早く、同様な仕事が非鉄冶金においておこなわれ始めた。80年代に、アルミニウムをつくる電解法が始められ、その結果この金属がひろく用いられるようになった。すでに1878年に初めて使用されていた銅の電解精練法も、いちじるしく改善された。ロシア最初の電気精銅工場は、1890年に建設された。

### 化学工業技術

この時代の最大の特色の一つは、ほとんどすべての主要な生産部門で、原料の化学的処理方法がおこなわれるようになったことである。プラスチック、絶縁材料、人造繊維などの合成化学は、機械製作工業、電気機器の製造、繊維工業にとって実用面で重要なものになり始めた。1869年にアメリカの化学者J. ハイアット〔1837-1920〕がセルロイドをつくり、1906年にL. ベークランド〔1863-1944〕はベークライトをつくった。その後、カルボリートやこれと同系統のほかのプラスチックもつくられた。90年代以降、フランスの技術者H. シャルドネ〔1839-1924〕によって発見された硝酸セルロースから人造繊維を製造する方法（1884年）にもとづいて、いわゆる人造絹糸の生産が始まった。その後、K. ステルンとC. ゴッフエムの研究（1903年）によって、ビスコースから人造絹糸生産を始めることができるようになった。

1899-1900年にはロシアの学者I. L. コンダコーフ〔1857-1931〕の研究

によって、炭化水素から人造ゴムをつくることが可能になった（しかしこれを実際におこなったのは、もっと後のことでドイツの工業であった）。アンモニアを製造するためのいくつかの工業的方法が提案されたのも、同じころであった。アンモニアは染料・肥料・爆薬の製造に必要な硝酸や、その他の窒素化合物の生産のために基礎材料となるものである。なかでも最も成功したのは、高压下での窒素と水素の合成によってアンモニアをつくるというドイツの学者F. ハーバー〔1868-1934〕とK. ポッシュ〔1874-1940〕の方法であった。この方法が完成され工業化されたのは、1904-13年のことである。

19世紀末に多くの国々で、内燃機関が普及し、軽い液体燃料の需要が増大したために、ガソリンの生産量を高めうるような石油精製法の探究が始まった。この探究は、いわゆるクラッキング法、つまり高压高温下で石油分溜法が導入されて終わりをつげた。この方法の基礎はD. I. メンデレーエフ〔1834-1907〕がおいたのであるが、その後ほかのロシアの学者や技師によって、とくにV. G. シューホフの手によって（1890-91年にかけて）発展させられた。同じような研究がアメリカでもおこなわれた（パートンの業績その他）。アメリカでは1916年に、この方法が実用化され工業生産にうつされた。

さらに、第1次世界大戦の直前に人造ガソリンがつくられた。ロシアの化学者たち（A. E. ファヴォールスキー〔1860-1945〕の学派）はすでに1903-04年に、固体燃料から軽い液体燃料をつくる方法を発見していたが、帝政ロシアの技術的に遅れた工業は、このロシア人の技術思想の最大の達成を利用できなかった。石炭から軽い液体燃料を生産する工業的方法の完成は、10年後にドイツの技師F. ベルギウス〔1884-1949〕によっておこなわれた。このことは、天然石油資源をもたないドイツにとっては、経済上ならびに軍事上、大きな意義をもっていた。

## 運輸

鉄道網が急激に発展し（1875年の29.4万キロメートルから1917年の114.6万キロメートル）、その輸送量がいちじるしく増大し、車両重量と列車速度を増加することが必要となったことは、鉄道技術の改良をうながした。

19世紀末の数十年間に、鑄鉄軌条から鋼鉄軌条への移行が完了した。鋼は橋梁においても鑄鉄を駆逐していった。1874年にJ. アイドスがアメリカのセント・ルイス市でミシシッピ河をまたぐアーチ橋を架設したが、この橋が“鋼鉄橋時代”の始まりとなった。その数年後に、ニューヨークにブルックリン“吊”橋が架設された。中央径間486メートルのこの橋の通行部分は、鋼鉄ケーブルで支えられている。1917年には、すべて合金鋼（高炭素の）でつくられたヘル・ゲイトのアーチ橋がニューヨークにかけられた。ヴォルガ河（1879年）とエニ

セイ河（1896年）にまたがるきわめて大きな鋼鉄橋をつくったのは、ロシアのすぐれた技師N. A. ベレリユブスキー〔1845-1922〕とその弟子たちであった。前世紀の80年代から、橋梁の建設に鋼鉄とならんで鉄筋コンクリートが、いよいよ広くもちいられるようになった。

アルプスを横断する、主として鉄道用の大規模なトンネルも貫通した。1880年には、長さ約15キロメートルのサン・ゴタルド・トンネルの建設が終わり、また1905年には長さ約20キロメートルのシンプロン・トンネルができあがった。ロシアでザカフカス鉄道のスラムスキー山脈を貫通する4キロメートルのトンネルがつくられたのは、1890年のことである。最も重要な水底トンネルは、1885年に完成した7キロメートルもあるイギリスのセヴォーン・トンネルである。また1905年には長さ約20キロメートルのシンプロン・トンネルができあがった。ロシアでザカフカス鉄道のスラクスキー山脈を貫通する4キロメートルのトンネルがつくられたのは、1890年のことである。最も重要な水底トンネルは、1885年に完成した7キロメートルもあるイギリスのセヴァーン・トンネルである。

蒸気機関車の馬力、牽引力、速度、重量、大きさ、急激に増大した。機関車の構造の改善の特徴は70年代と80年代の蒸気の多段膨張（フランスのA. マレー〔1813-85〕、ロシアのA. P. ボロヂーン〔1848-98〕、ドイツのA. ボリス〔1852-1906〕、イギリスのウェブとウォルスデルその他）と、その後には高温の過熱蒸気（1898年のドイツの技師W. シュミット〔1858-1924〕による）が利用されたことである。鉄道運輸には自動式ブレーキ（1872年）が導入され、自動連結器（1876年）の構造も考察された。

19世紀の最後の3分の1期に、鉄道に電力牽引を使おうとする試みが始まった、この領域での実験は、70年代から80年代の初めにわたって、ドイツのW. ジーメンス〔1816-92〕ロシアのF. A. ピロッキー〔1845-98〕、アメリカのエディソン、S. フィールド〔1819-92〕、L. ダフト〔1843-1922〕がおこなっている。1881年にはドイツで最初の市街電車線が開通し、1892年からは、ロシアで市街電車線の建設が始まった。90年代には多くの国々で、郊外ならびに都市間の電気鉄道ができた。しかしながら電化区間は、鉄道網のうちきわめてわずかな部分であった。電化に対して鉄道、石炭、石油の諸会社がさかんに反対運動をおこなったからである。

19世紀末には新型の輸送機関である自動車が生まれた。1885-86年に、ドイツの技師ベンツとダイムラーが最初の自動車をつくったが、90年代からは多くの国々で、自動車の工業生産が始まり、そのため、舗装道路の建設がさかんになった。自動車の成功に少なからず役立ったのは、1895年にアイルランドの発明家J. ダンロップ〔1840-1921〕が空気入りゴムタイヤを発明したことであ



る。ガソリン機関をつけた最初の自動車が登場してから、30年もたたないうちに、全世界における自動車の数は200万台に達した。

船舶の技術的発展における進歩もまた、大きかった。60年代終わりからすでに海洋船舶に多段膨張式のピストン式蒸気機関が用いられ始め、1894-95年には、ピストン式機関にかわって蒸気タービンを使う最初の実験が試みられた。近海用、外航用の汽船の馬力と速度がいちじるしく増大して、大船舶が大西洋を横断して7日、6日、のちには5日で航海するようになった。蒸気船の建造とならんで内燃機関をつけた船舶、すなわち内燃機船の建造が発達した。最初の内燃機船である油槽船“ヴァンダル”号が、ロシア人の設計者によって1903年に建造された。西ヨーロッパでの内燃機船の建造は、1912年に始まった。

1914年には、81キロメートル余の長さをもつパナマ運河の建設が完成した。この運河のおかげで、ニューヨークからサンフランシスコまでの海路はほぼ1万5,000キロメートル、ニューヨークから横浜までは8,000キロメートル短縮された。

### 空中飛行と航空

19世紀と20世紀のさかいに、操縦ができる飛行装置についての人類の長いあいだの夢が実現した。まず最初に、空気より軽い操縦可能な飛行装置である飛行船を建造する問題が解決された。1896年以降、ドイツの設計技術G. ゼールフェルトがこの装置に液体燃料で作動する内燃機関を用いてからのちは、多くの国で種々の方式の飛行船が建造されだした。しかしながら、航空運輸の発展における決定的な役割を果たしたのは、空気よりも重い飛行装置である飛行機であった。

航空の問題を理論的ならびに実用的に解明する上で最大の意義をもっていたのは、ロシアの学者や発明家たち、D. I. メンデレーエフ、M. M. パモルツェフ [1851-1916]、S. K. ジェヴェツキー [1843-1938]、K. E. ツィオルコフスキー [1857-1935]、とくに現代の動水力学と航空力学創始者であるN. E. ジュコーフスキー [1847-1921] のあげた空中飛行と航空の諸問題にかんする研究業績であった。ドイツの技師O. リリエンター [1848-96] も、飛行技術の開発に重要な貢献をした。

蒸気機関をつけた飛行機を製作する最初の試みは、1822-85年にロシアでA. F. モジャイスキー [1825-90] が、1890-93年にフランスでC. アデル [1841-1925] が、1892-94年にアメリカでH. アクシム [1840-1916] がおこなった。航空事業が大きく発達することが可能になったのは、軽量で小容積のガソリン機関を飛行機に据え付けるようになったときからであった。この機関は1903年にアメリカでライト兄弟 [兄：1867-1912、弟：1871-1948] によって

最初に用いられた。初めは、飛行機はスポーツ的な意義しかもたなかったが、後には軍事にも使われた。

### 蓄音機と映画の発明

蓄音機と映画の発明もまた、この時代のすぐれた業績であった。機械的な録音と音の再生のための装置であるフォノグラフ〔管式蓄音機〕は、1877年にエディソンによって世に問われた。この領域でのその後の研究の結果、グラモフォン〔円盤式蓄音機〕とさまざまな構造をもつ機械録音装置が現れるようになった。

映画の撮影機と映写機の製作・上映の実験に最初に成功したのは、1895年にパリで公開実験をしたリュミエール兄弟、ルイ〔1864－1948〕とオギュスト〔1862－1954〕であった。同じころにリュミエールとはまったく別に、映画装置の設計についての研究がロシアもふくむ他の多くの国でおこなわれた。短期間のうちの映画は、かなり広く普及した。

### 大量生産の実行

19世紀の終わりには、規格化された製品を大量に流れ作業で生産する方式があらわれて、急激に発展しはじめたが、この方式は、加工用機械と作業場所とを生産工程の流れに応じて配列し、またその加工過程自体を多数の単純な工程に分解して、それを絶えまなくおこなわせるということである。最初、この方式は缶詰工業、マッチ工業やこれらに類似した企業などのかぎられた分野に導入されたのであったが、その後多くの工業の部門に普及した。とくにこの方式が広く適用されたのは、自動車製造工業で、それは自動車の需要が激しくふえたことと、自動車の部分品や部品組立品を設計したり製作したりするとき、互換性と規格化（標準化）の原理を実施するのに、きわめて好都合な条件があったためである。この流れ作業による大量生産は、1912－13年にアメリカのH. フォード〔1863－1947〕の自動車工場、運搬作業と生産工程にコンベヤーを用いて、初めて完成された形をもつようになった。

大量生産は工場設備の性格をかえた。いろいろな自動機構のついた専用機械が機械製作工業、とくにこまかい規格部品（ネジ、座金、ナット、ボルトなど）の製造のために導入され、繊維工業（イギリスの設計家J. ノースロップ〔1854－〕の自動織機、1890年）やその他の工業生産部門にも導入された。

資本主義の条件下では、これらの技術革新はそれ自体としては進歩的意味をもっていたが、労働強度を激しく引き上げることによって労働者の搾取を強化する手段の一つとなった。作業をこまかく専門化し、コンベヤーの運転速度をはやめることは、労働者たちがその作業をますますはやいテンポでおこなわれ

なければならぬようにし、また作業を単純化することは、企業家たちに不熟労働者を利用できるようにした。資本主義的生産の組織方法は、アメリカの技師F. W. テーラー〔1856―1915〕によってこまかく仕上げられた。“同一の9―10時間という労働時間に、労働者から3倍の労働がしぼりとられる…”<sup>1)</sup>とレーニンが労働の強度を高めるアメリカの方式について書いている。

## 農業

19世紀末には、化学工業が進歩したために鉱物性肥料（いわゆる人造肥料）を広く使用する基礎がつくられていた。人造肥料使用の徹底的な拡大は、その他の農業技術の改善とあいまって、農作物の収穫率をいちじるしく高めた。また70年代からとりいれられた青草肥料をサイロに入れるやり方が、牧畜の生産性を引き上げるのに役立った。

農業技術の発達とともに、播種機、草刈機、刈取機、結束機、簸（ひ）別機などの農業機械も改良されていった。しかし、この時期のほとんどすべてを通じて、これらの機械の牽引にはまだ馬が利用されていた。当時存在していた蒸気機関をつけた車輪式の重い牽引車（トラクター）は、畑のたがやされた土の上での仕事に適するようにかえられていなかった。無限軌道式の牽引車ができたために、この部面での状態は改善された。しかし、1888年にロシアでF. A. ブリノーフ〔1827―99〕が最初にこのような牽引車をつくってからそれが農業で実際に使用されるまで、約20年かかった。1906年にやっと、アメリカで内燃機関のついたトラクターがあらわれ、1907年からこれが実地に農業に利用され始めたのである。しかも、これが大量につくられるようになったのは、さらにずっとあとの第1次大戦中のことであった。

## 軍事技術の発達

技術思想のひじょうに偉大な成果は、広範な人民大衆の暮らしを楽にすることができるものであり、またそうあるべきはずのものであるが、それがいちばん早く応用されたのは、人間と物質的財貨とを絶滅する使命を課されている軍事技術であった。帝国主義時代の軍事工業はきわめて急激に発達し、軍事技術の成果はひじょうにいちじるしいものがあつた。

この時期の軍事技術の特徴の一つは、銃火器の自動化であつた。1883年にアメリカの技師H. マクシムが初めて発明した重機関銃の構造はいちじるしく改善され、マクシムとホチキス〔1828―85〕の重機関銃、ルイス〔1858―1931〕、ヴィッカーズその他の軽機関銃もあらわれた。日露戦争のあとには、ヨーロッパ諸国の軍隊で機関銃がさかんに用いられ始めた。第1次大戦の始まりまでには、いくつかの形式の自動小銃もまたつくられていた。大砲にも自動化の傾向

がみられた。世界大戦直前とその最中に、半自動式あるいは全自動式の新しい速射砲がつけられた。大戦が始まる前には大砲の最大射程は16-18キロメートルであったが、1917年にはほかに類のないドイツの“巨人”砲（“大ベルタ砲”）が120キロメートルの距離からパリを砲弾した。重砲を大量に使用したので、大砲を移動するための機械牽引を発達させることが必要となった。内燃機関をつけたさまざまな形式の牽引車が使われ始めた。敵の飛行機の襲撃に対する戦闘が、高射機用銃と高射砲の出現をうながした。爆薬の生産も、巨大な規模に生長した。この領域でも新発明がなされ、また重要な技術的改良がおこなわれた。とくに、1884年には無理火薬が発明された。爆薬生産の主要原料となったのは、窒素化合物（硝酸塩）である。大戦以前には硝酸塩はヨーロッパ諸国では、輸入品のチリ硝石か、あるいはコークス工場の副産物からつくられていたが、大戦の当初からドイツ沿岸が封鎖されたため、ドイツ工業は空気中から化合した形の窒素を（ハーバー・ボッシュ法によって）取り出すことを完成しなければならなくなった。1913年には、大化学企業連合体の“バーデン＝アニリン・ソーダ工場”は全部で3,000トンの化合した形の窒素しかつくれなかったのに、1918年にはその産額は27万トンにも達した。

1915年にドイツ軍が初めて戦闘用に毒ガスを使った。連合軍もまた窒息性、催涙性、びらん性その他の毒ガスの生産をさかんにした。化学砲弾や特殊のガス放射機もつけられた。

毒ガス防禦のために、すべての国の軍隊にガスマスクが導入され、ガス待避所もつけられ始めた。ロシアでは有名な学者たちが、ガスマスク製造作業を指導した。どのガスにでも使えて、しかも製造が容易なことですぐれている木炭ガスマスクが、1915年にN. D. ゼリンスキー〔1861-1953〕によってつくりあげられた。

世界大戦は、ある意味では最初の、“発動機の戦争”であった。前線に補給をするために自動車輸送が広く使われ、戦車や装甲自動車といった新兵器もあらわれた。

戦車を使おうという構想は、戦争が始める前にすでに多くの国で生まれていた。ルヴァスール〔1863-1922〕がフランスで（1903年）、大化学者の息子のV. D. メンデレーエフ〔1886-1922〕がロシアで（1911年）、プールシティンがオーストラリアで（1912年）、それぞれ無限軌道をつけてどんな所でも通れる装甲車の設計を発表した。世界大戦の開始後に戦車の新しい設計が、イギリスの発明家トリットン〔1876-1946〕とウィルソン〔1874-1957〕によって提案された。1916年9月15日のソンムの会戦で初めて使われた戦車はまもなく、1914-15年にはまだ難攻不落のようにみえた防禦線を突破しうる強力な手段になった。すべての交戦国で、機関銃や小口径の大砲をつけた装甲自動車が、いちじ

るしい発達をとげた。

飛行船や飛行機も軍用に広く用いられた。ドイツは熱心に、ツェッペリン〔1836－1917〕式とシュッテ〔1873－1940〕＝ランツ〔1973－1921〕式の硬式飛行船と、パルセヴァール〔1861－1942〕式の軟式飛行船の航空隊を戦争のために準備した。大戦中にドイツ軍司令部は123隻の飛行船を就航させ、それに約800回の飛行をおこなわせた。最大の飛行船の容積は6万8,500立方メートルにも達していた。しかしながら、飛行船を使う試みは成功しなかった。飛行船のかなりの部分が連合国の高射砲と飛行機によってうちおとされたり、あるいは繫留所や格納庫内で空からの爆撃によってこわされてしまった。このため、軍用飛行機のほうがずっと大きな意義をもつようになった。

戦前には、飛行機は将来主として空中偵察の機能を果たすだけだろうと考えられていた。ところが1915年の夏以来、飛行機に機関銃が取り付けられ始め、戦闘機の機能を果たせるようになりだした。戦争が終わるまでには、戦闘機は、時速190－220キロメートルにも達する速力を出せたが、このような速度は以前には特殊な競技用飛行機にとってさえ最高記録と考えられていたものである。

飛行機はまた爆撃のためにも使われた。すでに1913年に設計家I. シコルスキー〔1889－〕はロシアで、最初の4発飛行機“ルースキー・ヴィーチャジ”号をつくりあげた。その翌年に彼は、エンジンの総出力が400馬力で搭載量が1.3トンもあるもう一つの、大きな4発飛行機“イリア・ムーロメツ”号の建造を終えた。大戦の初めまでに同形式の飛行機の第2号機があらわれ、1916年にはV. A. スレサレフ〔1884－1921〕の双発飛行機“スヴァトゴール”号ができた。その後、交戦国は爆撃機を改良した。たとえば、ドイツの爆撃機“R-43-48”は時速105キロメートルにおよぶ速力が出せ、搭載量は4.2トンであった。海戦用の飛行機も発達しはじめた。最初的水上飛行機（飛行艇）の一つは、1913年にロシアの設計者グリゴローヴィチ〔1883－1938〕によってつくられた。

海上作戦をおこなうために、多くの国において（すでに大戦の数年前から）普通の形式の装甲艦や、強力な装備と装甲をもったいわゆるドレッドノート型といった大型の水艦艇の建造がさかんにおこなわれた。

内燃機関と電動機を使うことによって、人類のむかしからの夢である水中航行が可能になった。しかし、この水中船もまた、もっぱら戦争の手段として用いられた。潜水艦の建造は、いろいろな国で19世紀の末に始まった。これらの潜水艦は浮上状態のときは内燃機関によって運行され、潜航状態のときは蓄電池からエネルギーを受ける電動機によって運行された。潜水艦の建造に特別な注意を払ったのはドイツで、世界大戦に突入したときには、すでにその生産は高度に組織されていた。ドイツ潜水艦の活躍は敵国と中立国の商船隊に、大き

な損害を与えた。

通信手段のうちでは、電通信、電話、光学的通信装置、無線が軍用に広く利用された。すべての国の旅団以上の兵団や独立部隊、水上艦船、潜水艦、飛行機、戦車などには無線通信機が装備されるようになった。潜水艦や魚雷やブレンダー（焼夷船）を無線で遠隔操縦する最初の実験がおこなわれたのも、このころであった。同様の実験は、飛行隊でもおこなわれた。

世界大戦はありとあらゆる種類の自然科学と技術の知識を利用する軍事技術の巨大な発展を呼びおこした。レーニンはずぎのように記している。“…技術の最も強力な達成が、こうも大規模に、こう破壊的に、こうも精力的に数百万の人命の大量屠殺に利用されたのは、歴史上はじめてのことである”<sup>1)</sup>

## 2. 自然科学

### 物理学

19世紀末の数十年間と新しい世紀、20世紀初めの特徴は、物理学に根本的  
は変革がおこったことである。それは、ほかの科学の発達にも巨大な影響を与  
えた真の革命であった。物質の構造、空間、時間、運動についての考え、物理  
的過程の連続性と不連続性についての考えは、根本的から変わった。放射性崩  
壊が発見され、相対性理論がつくられ、量子論の基礎がすえられた。

物理学上の諸見解の急激な変革のきっかけとなったのは、イギリスの物理学  
者 J. C. マックスウェル [1831-79] が、光は一種の電磁振動であるという  
理論をふくむ、電磁現象の一般理論（電気力学）をつくりあげたことである。  
この領域でのマックスウェルの初期の仕事は、19世紀の60年代のことで、彼が  
自分の理論をいっそう系統的に叙述したのは、1873年であった。マックスウェ  
ルの主張は、その後世界中の多くの物理学者の研究によって、かがやかしい確  
認をうけた。1886-89年に実験室で電磁波を発生させたドイツの物理学者 H.  
ヘルツ [1857-94] や、固体については1899年に、気体については1907-10  
年に光圧の存在を実験的にたしかめたロシアの科学者 P. N. レーベヂェフ  
[1866-1911] の業績は、その例である。

電気力学と平行して、ひろい範囲の自然現象を原子論的な考えにもとづいて  
説明しようとする、物質の運動学的理論が順調に発展した。この理論の研究に  
も、マックスウェルは重要な貢献をした。彼は、与えられた温度において、あ  
る量の気体の分子総数のどれだけの部分が、一定範囲内にある大きさの速度を  
もつかをたしかめる法則をみつけた（マックスウェルの“速度分布の法則”）。  
とくに重要なのは運動論をいちじるしく前進させたオーストラリアの物理学者

ルーヴィヒ・ボルツマン〔1844－1906〕の研究であった。運動論の前進の基礎となり、またこの時代の物理学の発展の特徴の一つとなったものは、確率の概念、ならびに統計的方法がひろく用いられたことであった。統計的方法にもとづくことによって。ボルツマンは、古典的な熱力学と、個々の物質の内部構造にだけすべての注意を集中していた原子論とを一つにまとめることができたのである。ボルツマンが仕上げた、すべての熱過程についての研究の基礎である、いわゆる熱力学の第2法則の統計的、確率的な説明は、科学上のすぐれた業績であった。

電子の発見は、電気にかんする学問の大きな前進であり、この電子は原子より小さい“素粒子”のうちで、その存在があきらかにされた最初のものであった。1878年にオランダの物理学者H. A. ローレンツ〔1853－1928〕は、マックスウェルの電磁波理論と原子論の考え方を統一する。電子論的物質理論の研究を始めた。1891年にイギリスのG. ストーニ〔1826－1911〕は、電気の“原子”というべきものをあらわすのに、“電子”という用語を導入した。1895年にローレンツは初めて、電子論に完成した数学的形式を与えた。2年後にイギリスの物理学者J. トムソン〔1856－1940〕は、いわゆる陰極線が水素原子の質量より、比較にならぬほどに小さい質量をもつ荷電粒子であることを、実験的にたしかめた。のちに、この粒子が電子にほかならないことがあきらかにされたが、20世紀の初めには、高速で運動している電子の質量は、その速度に依存するということが判明した。このようにして、原子はこれ以上分割しえずとか、質量は不変であるとかいう旧来の概念を打ち破る準備がおこなわれていった。

陰極線の発見につづいて19世紀の終わりに、いくつかの新しい種類の放射線が発見された。1895年に、ドイツの学者W. K. レントゲン〔1845－1923〕は、今日彼の名をつけて呼ばれているが、彼自身はエックス線と名づけた放射線を発見した。1896年にフランスのA. ベクレル〔1852－1908〕が、ウラン塩の放射能を発見した。1896年に、ピエール・キュリーとマリア・スクウォドフスカ＝キュリー（ポーランド生まれ）の夫妻〔ピエール：1859－1906、マリア：1867－1934〕はパリで、放射性物質の研究を始めた。1898年に、2人はラジウムとポロニウムを発見し、それに関連する放射性崩壊の現象を発見した。それからまもなく、イギリスの物理学者E. ラザフォード〔1871－1937〕は、放射性元素が崩壊するとき、3種類の放射線が放出されることをたしかめ、それらをギリシア語のアルファベットの初めの3つの文字であらわした。のちに、アルファ線は正の電荷をもつ粒子で、ベータ線は“陰極線”と同じもの（すなわち電子）であり、ガンマ線はきわめて短い波長の電磁波であることがあきらまになった。陰極線とレントゲン線の性質を解明するために、フランスの物理学者J. ペラン〔1870－1942〕も、1895－98年に多くのことをなした。

宇宙線、あるいは最初は“高度放射線”と呼ばれていたものが発見されたのは、1909-13年のことである。すでに1900年ころにイギリス人のC. ウィルソン〔1869-〕は、気体のイオン化を完全に防ぐことができないことから、浸透力の強い特別な放射線が存在すると予言した。1909年〔10年と書いたのが多い〕にスイスの科学者A. ゴッケル〔1860-1927〕は、4,000メートルの高度ではイオン化がいちじるしく強くなることをあきらかにした。まもなく、アメリカで研究していたオーストリア人のV. F. ヘス〔1883-〕は、この結果を確認し、放射能と同じような“高度放射線”の存在を予測した。ドイツの地球物理学者W. コールヘルスター〔1887-1946〕は、9,000メートルの高さではイオン化は地上の10倍強いことをあきらかにし、そのことによって宇宙空間から地球上に浸透してくる特殊な宇宙線のあることを決定的に証明した。

1903年にラザフォードとアメリカの物理学者ソディ〔1887-1956〕は、放射能の一般理論を提出した。1914年にソディは重要な発見をした。彼は、化学的性質がたがいにはほとんど異ならず、元素周期律表の同一場所に位置するが、それらの原子量は異なるところの元素（同位元素）が存在することを、あきらかにした。

このようにして、それまで物質の最も簡単な、それ以上分割できない粒子と考えられていた原子は、人知の極限であったのが、いまでは物質を新しく、もっと深く理解するための出発点にかわった。1911年にラザフォードは初めて、原子の“惑星”理論を提出した。それによると、原子は太陽系と似たものであって、正電荷をもつ核のまわりを、負電荷をもつ粒子である電子が運動しているというのである。

1913年に、デンマークの物理学者ニールス・ボーア〔1885-62〕は、量子論的な考えから出発して、ラザフォードが提案した原子の惑星模型を修正した。つまり、電子がある状態から他の状態へ、ある軌道から他の軌道へ、飛躍的に遷移するという考え方を、導入したのである。

電磁現象の研究はまた、空間、時間、運動についての考え方にも決定的な変革をもたらした。1905年にドイツの学者A. アインシュタイン（1879-1955）は、《運動物体の電気力学について》という論文を発表した。それは、いわゆる特殊相対性理論の基本的な命題を内容としたものであった。1916年に同じく彼によって、一般相対性理論の諸命題が、初めて定式化された。

これらの理論的探求の下準備となったのは、1881-87年にアメリカでおこなわれたA. マイケルソン〔1852-1931〕とE. モーリ〔1838-1923〕の実験であった。実験者は、光が、動かない力学的エーテルという特殊な“普遍媒質”のなかのを伝わるという立場から出発した。したがって、地球上にのっている観測器械が地球といっしょに動く方向に、もし光線が伝播するとすれば、この



光の速さは、その方向と垂直な方向に伝播する光の速さよりいくらか小さいはずである。地上の条件のもとでは、このような効果を直接観測によってあきらかにすることは、光の速度が大きいので不可能である。しかしながら、特別な装置（干渉計）のなかでは、光線を異なった進路（地球の運動方向とそれに垂直な方向）を走る二つの光線に分けて、あとでふたたび一つの光線にまとめることができる。マイケルソンの干渉計は、特別に精密きわまるもので、光線のいろいろな進路におけるささいな変化でも、それがおこりさえすれば、とらえることができた。ところが、地球の運動の影響はいささかも認められなかった。1892-93年にアイルランドのJ. フィツジェラルド〔1851-1901〕とオランダのローレンツは、たがいに別々に、装置が地球の運動方向に縦の収縮をうけ、そのため光の走る距離のちがいがとらえられなかった。すなわち距離の短縮は装置の相殺されると仮定して、この意外な結果を説明しようと試みた。ローレンツは、運動の速度によってかわるこの収縮の大きさが計算できるような式をだした。しかしながら、これでもまだ科学によって発見されたこの現象を、すっかり説明できたわけではなかった。というのは、説明の前提が、絶対不動のエーテルを認めることにあったのに、そのようなエーテルの存在は、物理過程にはまったくあらわれていないからであった。

アインシュタインは、自分のたてた特殊相対性理論のなかでマイケルソンとモーリの実験結果に、ちがった解釈を与えた。彼は、光線が地球の運動方向にそって伝播するか、それともそれに垂直な方向に伝播するかに関係なく、光の速さはつねに一定である、と考えた。どんな運動もこれに関係をもたなければならぬ、普遍的な、不動の“普遍媒質”としての力学的エーテルはまったく存在しない。光線の運動が慣性的等速直線運動をしているどんな物体に関係しようとも、光の速さは同じであるというのである。アインシュタインのこの理論から、運動に際して物体はその大きさがかわるだけでなく、時間の経過そのものもまた変化する、ということがでてきた。ある運動条件のもとでは同時的な運動が、別の運動条件のもとでは、すなわち別の基準系に従えば、非同時的なものとなる。現象の同時性は絶対的なものではなく、物質の運動条件に依存している相対的な性質である。

このように、空間はなにか“からっぽないれもの”のようなもの、つまり物質の運動と関係のない絶対不変な本質であるという空間にかんする古い考え方を、すてなければならなくなった。時間は、それ自体物質やその過程にまったく無関係な、からっぽの“絶対的な継続”であるといういままでの考え方も、すてなければならなくなった。空間と時間の性質は、物質の運動に依存しており、またたがいに密接に結びついているものであることがわかった。

空間と時間のこの新しい観念がうちたてられた結果、力学の法則の定式にも

本質的な変更が加えざるをえなくなった。古典的なニュートン力学の法則とは異なり、新しい“相対論的力学”では、相対運動の速度はちがったやり方で、もっと複雑に組立てられている。ニュートン力学では、運動の速度は零から無限大までの任意の値をとりうるが、“相対論的力学”では、これは毎秒約 30 万キロメートルにひとしい真空中の光速度をこえることはできない。また、物体の質量を不変なもののみならずすることはできない。すなわち、質量は運動の速度に依存する。質量とエネルギーとのあいだの、より深い内部関係もあきらかにされたのである。

1907-08 年にドイツの学者 H. ミンコーフスキー [1864-1909] は特殊相対性理論を新しい形でのべた。彼は、世界を時間が第 4 番目の座標である 4 次元時空多様体と考えることを提唱した。しかし、これによって、あらゆる物質的なものが存在する現実の空間が 3 次元であるという事実が否定されたのではなく、空間と時間のあいだに密接な結びつきのあることが強調されたのである。

つぎの一步は、これもまたアインシュタインによって仕上げられた一般相対性理論であった。特殊相対性理論は、等速直線運動だけに適用されていたが、一般相対性理論は加速度運動や重力（引力）現象をも包括していた。それは空間と時間の性質と物質とが、なおいっそう密接に結びついているという結論をだしたのである。

連続性がすべての自然過程の基本的性質だという古い考え方をゆるがしたもう一つの重要な発見が、両世紀のさかいめにドイツの物理学者マックス・プランク [1887-1947] によってなされた。1900 年 12 月 14 日の彼の講演「正常スペクトル中のエネルギー分布則の理論によせて」は、量子物理学の始まりとされている。1896 年 W. ヴィーン [1864-1928] が提案し、短波長についてだけなら正しいことがわかっていた。熱輻射スペクトルにおける分布の公式と実験データとのあいだのくいちがいを解明しようと試みて、プランクは、輻射がエネルギーの連続的な流れではなく、振動数に比例するエネルギーの定量、つまり“量子”からなりたっているという結論に到達した。5 年あとにアインシュタインは、光子と呼ばれるようになったこれに似た光の量子の概念を定式化した。

このように、自然科学の発達におけるこの時期の主要な特質は、原子論が真にめざましく前進したことであった。原子論は物理学および化学の全領域に浸透して、新しい量子論という形態をとった。いままで絶対的に簡単なもの、絶対不変なもの、また発生的にみてたがいに関連のないものと考えられていたもろもろの原子は、その内部構造の点でもその性質が変化したり、また互いにうつつたりする点でも、複雑なものであることがあきらかになった。物質の運動法則において、連続性と不連続性（断続性）が密接にむすびついていることが

あきらかにされた。人間の思惟が物質の奥底にまでせまる新しい、きわめて広大な展望がひらけたのである。

実験物理学、とくに気体の液化の研究と低温の作用下でおこなわれる現象の研究もいちじるしく進歩した。1877年にフランスのL. カイユテ〔1832-1913〕および、彼とは全然別個にスイスのR. ピクテ〔1846-1929〕がこまかい滴（霧）の形で液体酸素をえた。1年たってピクテは水素を液体の状態にかえ、また同じ年にイギリスのG. デューアー〔1842-1923〕は、液体状態にかえた気体の温度をたもたせる容器（“デューアーびん”）を発明した。1883年にはポーランドの物理学者Z. W. ヴルブレフスキ〔1845-88〕とK. オリシェフスキ〔1846-1915〕が、計測ができるほどの量の液体酸素をえることに成功し、さらに窒素と炭酸ガスを液化した。1908年にはオランダの物理学者H. カーメルリング・オンネス〔1853-1926〕が、初めてヘリウムを液体の状態にかえることができた。これらの成果は技術的な意義をもつだけにとどまらず、低温物理学の発展によって、まったく新しい現象、たとえば1911年にカーメルリング・オンネスが発見した超伝導の現象が、観察できるようになった。超伝導の現象とは、極低温では、ある種の金属や合金の電気抵抗が零になることである。1890-95年にロシアの学者E. S. フョードロフ〔1853-1919〕とドイツのA. M. シェーンフリース〔1853-1928〕は、理論結晶学の著作で、結晶内の原子配列の可能性の法則を理論的に確立した。（230の“理論対称群”）。1912年にレントゲン線を使って、これらの法則がそれぞれ実験的に裏づけられた。

## 数学

物理数学の進歩とその実際的な応用は、自然科学の数学的な方法がいちじるしく改善され、抽象化と普遍化のきわめて高い段階へ移行することなくしては、不可能であったろう。力学と理論物理学の問題を解決する必要は、多くの場合、同時に新しい、純数学上の問題の解決をもたらした。たとえば、固定した点のまわりの剛体の回転についてのS. V. コヴァレフスカヤ〔1850-91〕の仕事、また、運動の安定性についてのA. M. リャプノーフ〔1857-1918〕の業績は、力学と天文学にとって基本的意義をもっていたが、それは純粋に数学的にいってもそれに劣らぬ重要性をもっていた。航空が進歩したのは、N. E. ジュコーフスキー〔1847-1926〕やS. A. チャプリイギン〔1869-1942〕その他の学者たちの航空力学の研究で、問題が一般的、数学的な形で提起されたおかげであった。その研究とは、たとえば1906年に提唱され、航空力学のあらゆる計算の基礎となった、飛行機の揚力をきめるためのジュコーフスキーの公式とか、また翼とプロペラの理論にかんする1910-13年のジュコーフスキーの業績とか、気体力学という新しい科学の基礎をきづいたチャプリイギンの業

績〔気体の流れについて〕(1902年)などである。

ところが、純数学的な研究がしばしば、力学とか理論物理学への実際的な応用にさきだっていることもあった。非ユークリッド幾何学は19世紀の前半にあらわれたが、それが一般に認められたのはようやく1868年で、イタリアの幾何学者E. ベルトラーミ〔1835-1900〕の研究のおかげによるものであり、現実的に物理学的に説明され応用されたのは、それからさらにほぼ50年たってから、つまりアインシュタインの一般相対性理論によって初めてなされたのである。確率論についても同じことであつた。確率論の完成に重要な地位をしめるのは、数学のペテルブルク学派(P. L. チェビシヨフ〔1821-94〕、A. M. リャプノフ、A. A. マルコフ〔1856-1922〕)である。1906年にマルコフは、独立な偶然量の研究から、特別な形で関連している量(“連鎖量”)の研究に移っていった。後になって、プランク、M. スモルホフスキ〔1872-1917〕、アインシュタインなどの研究で、初めてマルコフ過程の実際的な意義の全体があきらかになった。

数学発展の特色の一つは、問題の取扱い方をまえよりもはるかに一般的にするようになったことであり、これにともなつて、出発点となつた原理の研究とその論理的基礎づけの厳密性を高めようとする傾向が強まつた。

このような一般化がおこなわれたのは、数論(R. デデキント〔1831-1916〕、L. クロネッカー〔1823-91〕)、関数論(K. ヴァイエルシュトラス〔1815-97〕)、群論(S. リー〔1842-99〕)である。70-80年代には、ドイツの数学者G. カントール〔1845-1918〕が新しい一つの抽象的な分野である集合論を創始し、これとならんで、記号論理学(E. シュレーダー〔1841-1902〕、G. フレーゲ〔1848-1925〕、G. ペアーノ〔1858-1932〕、B. ラッセル〔1872-〕、A. ホワイトヘッド〔1861-〕の研究で)も発達していた。

ドイツの数学者D. ヒルトベルト〔1862-1943〕は、その著者《幾何学の基礎》(1899)で、幾何学のいろいろの型がありうることを検討した。1906年には、フランスの数学者M. フレッシュ〔1878-〕が《抽象空間論》を発表した。20世紀初めには、幾何学的な図形のもつ最も一般的な性質をしらべる位相幾何学も非常な勢いで研究され始めた。イタリアの数学者T. レヴィ・チーヴィタ〔1873-1942〕とG. リッチ・クルバーストロ〔1853-1925〕は、1901年にいわゆるテンソン計算の基礎をつくりあげたが、これはそれまでにできていたベクトル計算を拡張したものであつた。1902年には、A. ルベーク〔1875-1941〕が積分の概念を普遍化した。

## 天文学

物理学のめざましい進歩の特徴であつた新しい器具の出現や、新しい観測

手段の利用は、その隣接領域である天文学にも影響をおよぼした。天文学界に、天体物理学という新しい独立分野が生まれた。すでに 1859 年に発明されていたスペクトル分析の方法を使って、イギリスの天文学者 J. ロッキアー [1836-1920] は 1868 年に、その当時知られていた地球上の元素のどれのものでない線を太陽のスペクトルのなかにみつけ、この線にあたる元素をヘリウムと名づけた（太陽を意味するギリシア語のヘリオスから）。1895 年にはイギリスの化学者で、物理学者のウィリアム・ラムゼー [1852-1916] が、実験室でこの気体を発見した。スペクトル分析は太陽以外の星の研究に用いられ始め、イギリスの天文学者ウィリアム・ハギンズ [1824-1910] は星の化学成分のなかに、地球上の大多数の元素があることの発見に成功した。ハギンズはわれわれの銀河系の外にある星雲の研究をスペクトルを用いておこなう方法の基礎をすえた。このスペクトル分析の方法によって、星の温度と運動方向をきめることも始められた。

写真撮影がますますさかんに用いられるようになったことは、新しい小惑星 [アステロイド] の探索、太陽の紅焰 [プロミネンス] の研究、恒星表の作成に重要な役割を演じた。喜望峰の天文台長 D. ギル [1843-1914] が 1885-96 年に集めた資料は、1896-1900 年にオランダの天文学者 J. C. カプタイン [1851-1922] によって完成された大きな恒星表（南天の 45 万 4,875 個の星）の基礎になった。

1887 年にパリで開かれた天文学会議で、すべての星の恒星表をつくることについての決議が採択された。この仕事には、プルコヴォ天文台をふくむいろいろな国の 18 の天文台が参加した。その結果 200 万近い恒星が登録された。

80 年代と 90 年代には、ロシアの天文学者 F. A. ブレヂーヒン [1831-1904] の研究によって、彗星の形についての理論と、流星群の生因および周期彗星の形成の理論がつくられた。これらの理論は天文学の発展に大きな役割を演じた。

ロシアの天体物理学者 A. A. ベロポリスキー [1854-1934] の研究のおかげで、天体（太陽、木星、土星）上の物質の運動にかんする膨大な資料が集められた。ある種の受信機でうけとった波動の周波数の変化と、波動源に対してのこの受信機の速さとのあいだの関係をあきらかにする。いわゆるドップラー原理を利用して、ベロポリスキーは、ひじょうにたくさんの星の光の速度（つまり観測方向にそっての運動の速さ）を定測した。これは、星晨天文学の問題の究明にきわめて大きな意義をもった。1900 年に、ベロポリスキーが光波についてドップラーの原理のなりたつことを実験的に証明したことは、天体物理学にとってのすぐれた貢献であって、天体物理学に、しっかりした基礎を与えたものであった。

## 化学

この時期には、化学もひじょうに進歩発展したが、それには自然科学の他の領域においてと同様に、物理学の大きな影響があった。

1869年、D. M. メンデレーエフによって発見された元素の周期律表は、いろいろな国の多くの学者の研究によって確証された。1875年にフランスのルコック・ド・ボアボドラン〔1838-1912〕はガリウムを、1879年にスウェーデンのニールソン〔1840-99〕はスカンジウムを、1886年にドイツのC. ヴィンクラー〔1838-1904〕はゲルマニウムをそれぞれ発見したが、これらの元素の存在は、いずれも周期律からみてメンデレーエフが予言していたものであった。チェコスロヴァキアの化学者B. ブラウネル〔1855-1935〕も、その後さらに周期律表を裏付け根拠づける立派な仕事をした。1894年には、W. ラムゼー〔1852-1916〕がJ. レーリ〔1842-1919〕と協同して、それまで知られていなかった空気の組成の一つであるアルゴンを発見し、1895年にヘリウムを、1898年にはクリプトン、クセノン、ネオンを(M. トラヴァーズ〔1872-〕とともに)発見した。これらの“稀”ガスは、周期律表の新しい族(“O族”)を形成した。

周期律の本質と意義は、元素の放射性崩壊が発見され電子論が確立したおかげで、新しい光をあびることとなった。諸元素が原子核の外にある電子の数のちがいによって区別される最初の原子模型をつくる可能性ができた。原子のなかのこのような電子の数は、元素の“順序数”または“番号”〔原子番号〕、すなわちその元素が周期律表においてしめる位置に対応することが、あきらかにされた。1913-14年にイギリスの物理学者H. モーズリ〔1887-1915〕は、元素のレントゲン線スペクトルとその“順序数”、すなわち原子核の電荷との一義的な関係を確立した。

この時期の初めには、元素は不変であるという確信が、ほとんど一般に通用していたにもかかわらず、電子論と量子論の考え方にもとづいて、成り立ちからみた元素相互間の関係を規定するみちや、元素相互の転換を説明するみちがひらけてきた。

化学と物理学の密接な結びつきは、物理化学という特別な分科の形成をひきおこした。この物理化学のうちのある部門(たとえば、化学過程との関連をしらべる熱化学)はすでに以前からあったが、その他の部門はこのときに初めて盛んになった。

化学は、物理的・化学的な平衡や過程の定量的研究によって、厳密な数理科学の水準にぐっとちかづいた。1876-78年に、アメリカの科学者J. ギブズ〔1839-1903〕は、広範な物理現象・化学現象にあてはまるいわゆる相律を定式化した。1884年にオランダのJ. H. ファント・ホフ〔1852-1911〕は、《化学力学の研究》をおおやけにした。ギブズの使った物理現象・化学現象の

グラフによる研究方法が初めて発展させられたのは、ロシアの化学者N. S. クルナコフ（1860–1941）の物理的分析・化学的分析にかんする1871–73年の研究であり、実際面への重要な応用（とくに合金の研究にあたって金属組織学に）がなされたのは、19世紀末から20世紀初めにかけてである。

物理化学のもう一つの分野である電気化学においては、電気分解の理論の創設がきわめて重要なものであった。この理論によれば、溶液が電解質である（すなわち電流を伝える）物質は、溶解するさいに、電荷をもった粒子、すなわちイオンに分かれる。電気分解の理論が初めて一般的かつ系統的な形で叙述されたのは、1887年にスウェーデンの化学者スヴァンテ・アレニウス〔1859–1927〕によってである。

結晶の物理的（光学的）性質の研究の結果、立体化学が生まれた。化学的に同一の組成をもつ結晶に光学的性質の異なるものがあることを説明するために、2人の学者（オランダのファン・ホフとフランスのA. J. ル・ベル〔1847–1930〕）は別々に、1874年に、分子内における同一数の原子の空間的配列が異なるという考えをとなえた。その結果（60年代につくられた古典的な化学構造論にみられるような）2次元的な“構造式”で化学的関連をあらわすこととならんで、空間の3次元をすべて考慮に入れた化学の立体構造式があらわれた。

## 生物学

生物学の分野では、この時代は、進化論がさらに発展したことをその特徴としている。C. ダーウィン〔1809–82〕の著作《人類の起源》（1871）の基本的な諸命題は、化石人の遺骸がたくさんに発見されるにおよんで確証された。すなわち、90年代にオランダのE. デュポア〔1858–1940〕がジャワ島で猿に似ている生物（ピテカントロプス）の骨の一部分を発見した。このピテカントロプスは、長年にわたる論争の後に、猿から人間へ移行する中間形態と認められた。またいわゆるハイデルベルク人の遺骨の発見は、1907年のことである。

古生物学へ進化論的方法を初めて適用したのは、V. O. コヴァレフスキー〔1842–83〕である。彼は1869–74年に哺乳類の進化過程を、環境条件の変化と関連させて説明した。ベルギーの学者L. ドロ〔1857–1931〕はこの研究を継続して、成果をあげた。ドロは自分をコヴァレフスキーの弟子と考え、1909年に出版した著者をコヴァレフスキーの記念にささげている。

発生学の領域における研究も、進化論の論証に大きな意義をもっていた。A. O. コヴァレフスキー〔1840–1901〕（古生物学者の兄）は、60年代のなかばに始めた無脊椎動物の発生についての古典的な研究によって、I. I. メチニコフ〔1845–1916〕は同じ分野での研究によって（1866–86年）、世界中の多くの発生学者のあいだで名誉ある地位を与えられた。メチニコフはその後、比較病

理学の研究へ移った。ちょうどこのころ、進化論の普及と啓蒙に多くの貢献をしたドイツの学者E. ヘッケル〔1834–1919〕は、個体の胚からの発達（個体発生）は種の進化（系統発生）を短縮した繰り返しであるという、いわゆる生物発生の法則を定式化した。その後の研究はヘッケルの定式が図式的なものであることを示したけれども、一定の歴史的段階ではこの説は、生物学上の種のあいだの類縁関係の探究と発見とをたすけたのである。

前代の最も重要な業績は、生物体が細胞から構成されていることの発見であったが、この発見は、細胞の構造・発育・機能についての特殊な科学分野である細胞学を生んだ。細胞学とその関連分野である組織学（生物体の組織についての科学）における進歩によって、一連の大規模な研究をおしすすめることができるようになった。すなわち、細胞分裂と動植物の受精現象の研究、細胞核の構造と働き、細胞核の要素である染色体の解明がそれである。

実験はいよいよ重要なものになっていった。発生学では80年代以来、フランスの学者L. シャブリ、ドイツの研究者O. ヘルトヴィヒ〔1849–1922〕とW. ルー〔1850–1924〕などが、胚のいろいろな発生段階において外部から干渉を加えることを、すでに試み始めていた。1901年にアメリカのJ. レーブ〔ロエブ、1859–1924〕により、人工単為生殖、すなわちあらかじめ受精せずに卵が発生できることがヒトデの例で示された。のちにフランスのI. デラージュ〔1854–1920〕も同じ生物によって同様の実験をおこない、1910年にはフランスのE. バタイヨン〔1869–〕が脊椎動物について同じ実験を試みた。1909年に、アメリカの生物学者T. モーガン〔1886–1945〕はショウジョウバエを使って、遺伝法則を解明するために組織的な実験を始めた。モーガンは自分の観察にもとづいて、遺伝を染色体理論で説明しようと試みた。しかしこの理論の根底には、遺伝変異が生物体の生活環境とは無関係に発生するという、非科学的な考えがふくまれていた。このモーガンの見解は、モーガンよりも以前に“遺伝形質”（“ネオ・ダーウィニズム”）をとんでいたドイツの生物学者、A. ヴァイスマンの見方に同調するものであった。

この時代の生物学の実験的な傾向を特色づけるものは、ひじょうに多くの新しい器具・装置がつくられたことである。この方面で多くのものが19世紀の後半と20世紀初めに、フランスの研究者E. J. マレによってつくられた。彼は心臓博動記録機やほかの記録式計器の発明者であり、また昆虫の飛行状況の研究に写真を使った。この方法は、映画が発明された後に、さらにいっそう発達をとげた。

循環器系統の生理学（1883年以後）と消化作用系統の生理学（1879–97年）で古典的な実験研究をおこなったのは、すぐれたロシアの学者I. P. パーヴロフ〔1849–1936〕である。パーヴロフは、生理過程の進行に与える神経系統



の影響に特別な注意をはらって、その後に高次神経活動の系統的な実験研究をおこない、条件反射理論をうちたてるにいたった。条件反射についての最初の報告をパーヴロフは、1903年にマドリードの国際医学大会でおこなった。

物理学と化学の緻密な方法によって生命現象を研究することが、ますます生理学の分野の研究の特徴となっていっていった。光合成、つまり太陽エネルギーの作用下でおこなわれる緑色植物の栄養同化についてのK. A. チミリャーゼフ〔1843—1920〕の研究は、この分野においてきわめて大きな意義をもっていた。彼がこの研究の端緒をひらいたのは、葉緑素のスペクトル分析をみつかった学位論文を出した1871年であった。

一連の学者が植物の呼吸と醗酵という化学過程の本質の究明にあてた研究や、その他生化学にかんする業績は、非科学的な生気論的考え方をくつがえすのに役立った。

1875年に、I. V. ミチューリン〔1854—1935〕は、植物の新品質の雑種育成と栽培について好効果をあげた実験を始めた。この実験がミチューリンとその弟子たちによってさらにずっと大規模につづけられて理論化されたのは、つぎの時代になってからのことである。

## 医学

医学と、19世紀後半に独立の部門となった隣接部門の細菌学においても、実験を適用したことがきわめて重要な結果をもたらした。

パストゥール〔1822—95〕が鶏コレラの予防接種（1880年）、炭疽病の予防接種、狂犬病予防接種（1880—85年）の実験をしたのは80年代のことである。1883年のI. I. メチニコフによる食細胞作用の発見は、医学の領域を越えた大きな意義をもっていた。食細胞作用というのは、特殊な細胞（ファゴツィト）が細菌やこわされた細胞の残りかすなどの異物を呑みこんだり、消化したりする作用のことである。

パストゥールと平行してドイツでは、R. コッホ〔1843—1910〕が、綿密に仕上げられた細菌の培養法と染色法をつかって、研究をすすめていた。1882年にはコッホによって結核の病源体が、1883年にはエジプトとインドへの旅行のときにコレラの病源体が発見された。コッホの助手G. T. A. ガフキー〔1850—1918〕は1884年に腸チフスの桿菌を発見し、これと同じ年のドイツの学者F. レフラー〔1852—1915〕はジフテリア菌をみつけている。コッホのもう1人の弟子で日本人の北里柴三郎〔1852—1931〕は、1894年に（フランスの学者A. イェルサンと同時に）ペストの病源体を発見した。

この世紀の終わりには、微生物が分泌する毒素——トキシンの研究がすでに始められていた。1888—90年に、E. ルー〔1853—1933〕はイェルサンと共同

で、ジフテリアの毒素をとりだした。1892年にはコッホの弟子E. ベーリング〔1854-1917〕が抗ジフテリア血清を世に問い、これはただちに実用に供せられた。

梅毒の研究でも、大きな業績があげられた。E. ルーとI. I. メチニコフは梅毒を、猿を使って実験的に研究した。1905年に、F. シャウディン〔1871-1906〕とE. ホフマン〔1868-〕は、共同で梅毒の病源体であるスピロヘータ・パリダを発見した。1907年に、P. エールリヒ〔1862-1922〕は606回の実験を経て、梅毒の治療薬サルヴァルサンをつくりだした。

診断法に血液検査（1896年の腸チフスに対するF. ヴィダル〔1862-1929〕の反応、1906年の梅毒に対するA. ヴァッセルマン〔1866-1925〕のような新しい方法が加わった。また化学の進歩は治療に、フェナセチン、アスピリン、ピラミドン、ヴェロナール、その他多くの新しい薬を供給した。

寄生虫学者によっても、重大な研究がおこなわれた。1880年にフランスの医者A. ラヴラン〔1845-1922〕は、アルジェリアで病兵の血液検査中に、マラリアの病源体である最も単純な寄生虫（いわゆるマラリア病源虫）を発見した。しかしラヴランには、この寄生虫の生活史の全貌は不明のままであった。約20年を経てインドに駐屯していたイギリスの軍医R. ロス〔1857-1932〕は、小鳥の血液中にラヴランが発見したのと同じような血液寄生虫を発見し、さらにこの寄生虫は、蚊が刺すときに伝染することをあきらかにした。このことは、マラリアの場合にも同じような生活史があるだろう、という考え方にロスを向かわせた。ロスの仮定を確証したのはイタリアの動物学者B. グラッシ〔1854-1925〕で、彼は1899年に（A. ビンヤーミ〔1862-1929〕、G. パスティアネッロ〔1862-〕と共同で）マラリア病源虫の複雑な生活史の全貌を記述した。

これらの研究やその他の医学界における実験的性格をもつ研究の成功を促進したのは、設備のよく整った大規模な学術研究センターの発展であった。このような研究所の最初のもものは、国際的に応募された資金によって1888年に創立された。パリのパストゥール研究所であった。この研究所の仕事には各国の学者が参加した。メチニコフもここで長年にわたって働いた。パストゥール研究所の形式にならって、ほかの国々でも同様な研究所が創設されるようになった。

### 地球にかんする科学

自然科学全体の特徴である学問分野の細分化は、地球にかんする科学にもあらわれた。これまで地理学という用語でまとめられていたものが、独立した各分科の集まった複合体となった。すなわち、地球の気圏、水圏や地殻の研究に物理学的研究の厳密な方法を適用する地球物理学、また地球上のいろいろな地域にちらばっている植物や動物の分布を研究する植物地理学や動物地理学、

さらに生物体とその環境の相互作用の研究を対象とする植物生態学と動物生態学が、形づくられた。その後、地球物理学の内部には、その各部門が専門化する傾向があらわれ、気象学、気候学、海洋学、地震学等々が分離していった。

同じころにおこっていた地質学の細分化とならんで上記の諸分野が進歩した結果、地理学の対象を明確に定義することがどうしても必要となった。その結果つぎのような二つの見解が生じた。一方は、地理学とは地球上のある特定区域の特色を総体的に研究する学問（景観地理学、すなわちその地域にとって典型的なあらゆる自然要因の総体についての科学としての地理）であると考えている見解であり、他方は人文的要因の研究に特別の注意をはらおうという傾向であった。後者は90年代にヴィダル・ド・ラ・ブラシュ〔1845－1918〕とその学派が、“人文地理学”（*geographie humaine*）という特殊分野を創設しようと試みたことであらわれている。

V. V. ドクチャーエフ〔1846－1903〕の“自然帯”についての学説（1899年）は、地理学上の諸問題の総合的な取り上げ方にとって典型的なものであった。ドクチャーエフは新分野である土壌学の創始者の1人として活躍した。土壌学とは、土壌の生成過程ならびに物理的・化学的・生物学的要因と、人間の活動をふくめた全体の作用によって土壌内におこる変化を研究する学問であり、このことが土壌学を、地質学や土壌にかんする純粋に応用的な農芸科学と区別するものである。

進化論の影響のもとに、地質学的な諸現象をその相互関連において考察した新しい理論や仮説が生まれた。

70年代には、オーストラリアの地質学者E. ジュース〔1831－1914〕の著作《地相論》があらわれてから、いわゆる収縮説（地球が収縮するという仮説）が広く普及しはじめた。その当時にあつては、この仮説は有益な意義をもっていたけれども、地球の発達史をあまり簡単に図式化しすぎたため、地球に変遷上の多くの特殊性を説明するには不十分なものになった。これは20世紀の初めに、つぎのもっと完成された仮説によっておきかえられた。

ロシアの地質学者、N. A. ゴローフキンスキー〔1834－97〕、ドイツの学者J. ヴァルター〔1860－1937〕その他を初めとする一連の学者の研究によって、層位にかんする（沈澱物の堆積の諸条件に左右されてできた地層の特性についての）学説が形成され発展させられた。1880－90年代にはロシアでA. P. パーヴロフ〔1854－1929〕が、またオーストラリアでM. ノイマイル〔1845－90〕が比較層位学と古地理学の基礎をきずいた。19世紀の中ごろから、偏光顕微鏡を使った岩石の顕微鏡分析法が導入されて以後、火成岩の生成過程における鉱物の相互関係をたしめようとする多様な研究がおこなわれた。これらの研究（そのうちとくに重要なのは、ロシアの研究者E. S. フォードロフ〔1853－1919〕

とF. U. レヴィンソン＝レシング〔1861－1939〕の業績である）は、岩石学の発展のためにきわめて重要な意義があった。この時代におこなわれた、地球上のさまざまな区域の地質学上の大規模な研究（いわゆる地域地質学）は、世界の地質図を作成することを可能にし、学問に同じように重要な貢献をした。

この時代におこなわれた多数の研究の主要な特徴は、起原論的な原理、つまり進化論の原理であった。この原理が、陸地と海洋の形成と配置、大陸の発生、地形の形状と発達、その他の研究に適用された。20世紀初めに生まれた若い科学である地球化学も、進化の原理から出発した。この分野での最初の業績は、ノルウェー人のV. M. ゴルトシュミット〔1888－1947〕（1911年）と、地殻鉱物の進化を研究したV. I. ヴェルナーツキー〔1863－1945〕（1908年および以降）がおこなったものである。

地球にかんする科学の分野にも、物理学の新発見の影響が、急速にあらわれた。すなわち、イギリスの地質学者であり地球物理学者であったJ. ジョリ〔1857－1933〕は初めて、地球内部の熱のしくみにとって放射能元素がもつ意義に着目した（1909年）。

地球表面のまったく調査されていない部分が比較的少なくなってきたので、地理学者、地球物理学者、地質学者その他の専門学者たちの注意は、“横に広く”、新しい地域に向けられるよりも、むしろ“縦に深く”すでに知られている地理的区域の具体的な材料をより完全に研究するという方向に向けられた。今までより遙かに大きい規模で、専門的な観測隊が、とくに海洋学的観測隊が派遣されだした。イギリス人は“チャレンジャー”号で1872－76年におこなった世界一周の大学術探検につづいて、その他の多くの学術探検がおこなわれた。海洋の自然地理学的研究の分野では、S. O. マカーロフ〔1848－1904〕が、コルベット艦“ヴィーチャジ”号で1886－89年に太平洋を航海したときに、多くの貢献をした。

数多くの北極探検のうちとくに重要なのは、1878－79年にロシア人の積極的な参加のもとにスウェーデン人が組織した。“ヴェーガ”号によるA. ノルデンシェルド〔1832－1901〕のヨーロッパとアジアの北岸沿いの航海と、1893－96年に氷塊中を“フラム”号にのって漂流したF. ナンセン〔1861－1930〕の探検である。ナンセンは北極へ450キロメートルの距離に近づいている。スウェーデン人のS. A. アンドレ〔1854－98〕が、1897年におこなった操縦可能な気球による北極への飛行は、成功するにいたらなかったが、アメリカのR. E. ピアリ〔1856－1920〕は、1898年に始めた多くの試みの後に、1909年に北極点に到達することに成功した。1912－14年にロシアの研究者G. Ya. セドーフ〔1877－1914〕は、“聖フォーカス”号で北極地方の探検をおこなった。ところが“聖フォーカ”号は、氷にはさまれて、困難な漂流をおこなうこととなった。セド

ーフ自身もそりで北極点へおもむこうと試みて死んだ。南極大陸のいろいろな区域の調査のために、イギリス人、スコットランド人、スウェーデン人、ドイツ人の共同探検が、1901-04年におこなわれた。このときの隊員であったイギリス人のR. スコット〔1868-1912〕は、1910年に第2次南極探検隊を組織した。1912年の初めに、彼はようやく南極点に到達したが、その帰路で不幸な最後をとげた。スコットよりも1カ月前、1911年12月14日に、ノルウェーの極地探検家R. アムンセン〔1872-1928〕が南極点に達していた。

地球上のあまり調査されていないその他の区域のうちでこの当時、精力的に調査されたのは、中央アジアであった。すなわち、1867-88年に5回にわたって大探検をおこなったN. M. プルジェヴァーリスキー〔1839-88〕、P. K. コズロフ〔1863-1935〕、P. P. セメヨーノフ=チャンシャンスキー〔1827-1914〕、スヴェン・ヘディン〔1865-1952〕などによる調査である。ニューギニアのその他の太平洋諸島における1871-83年のN. N. ミクルーホ=マクライ〔1846-88〕の調査も、大きな学術的意義をもっていた。

### 自然科学の哲学的諸問題

自然科学の進歩は、複雑で激しい思想闘争を通じておこなわれた。唯物論を否定するたくさんの哲学思潮があらわれた。まず第1にあげるべきものは、“カントに帰れ”というスローガンをかかげる新カント派であった。1872年にライプツィヒの自然科学者と医者との大会で、ドイツの生理学者E. デュ・ボア・レモン〔1818-96〕が《自然認識の限界について》という講演をおこない、そのなかでつぎのようにのべている。自然探究者は“物質界の神秘”を前にして、今日未知なものもいくつかは認識しうるという希望を失わないでいながら“男らしく頭をさげて”“ingnoramus”（“知らない”）というのが普通になっていますが、物質、力、意識などのような世界の謎については、自然探究者は永久に“ignorabimus”（“決して認識できない”）といわねばなりません、と。

新理論と称するものをついであらわれてきた種々様々な形の観念論的な思潮を、K. A. チミリヤーゼフは辛らつに新蒙昧主義と名づけた。

このような観念論者の多くは、科学の新発見を自分勝手に解釈しようと試みた。これまで本源的でわからないものと考えられていた物質のいくつかの性質が、その後に、物質の一定の状態にのみ固有なものであることがわかったということから、彼らは“物資は消滅する”とか、あるいはすでに消滅したという結論をくだした。新カント派のH. コーエン〔1842-1918〕は1896年に、電気理論は物質の理解に“きわめて大きい変革”をもひきおこし、そして“物質の力への変換によって観念論の勝利”をもたらしたと断言した。他の哲学者は、新しい発見が普遍的かつ根本的とされていた法則の再検討を必要としているこ

とにもとづいて、自然科学の法則は、一般に、たんなる約束にすぎないと断定した。

70年代にE. マッハ〔1838―1916〕とR. アヴェナリウス〔1843―96〕は、“経験批判論”という名で呼ばれている哲学理論をとらえた。そして彼らは、経験批判論は自然科学の基本的な傾向を反映するものであり、“自然科学の真の哲学”であり、科学の発展によって提起されたすべての問題に解答を与えるものだとして主張した。経験批判論は、自然科学の基本的な哲学的諸問題の正しい解決をもとめて成功しえないでいたいく人かの大学者に支持された。

“経験批判論者”は、自然科学の概念や理論は客観的な意義をまったくもたないであり、純粋に約束ごとの、勝手につくり上げた、補助的な構想であって、それは、感性的知覚が与えたものを体系化するためとその検討を便利にするためにつくられたものである、と公言した。彼らはまた、主体の感覚のほかには、何ものも存在しえないものだから、いかなる客観的真理も存在しないと断定した。

世界は“要素”からなりたち、この“要素”はわれわれの感覚にほかならなると主張することによって、彼らは物質の客観的な存在を否定した。

L. ボルツマン、M. プランク、H. ローレンツ、A. G. ストレートフ、K. A. チミリャーゼフなどの多くのすぐれた学者たちはこのような見解に反対した。彼らの発言は、反動的なイデオロギーの攻撃から科学を擁護するのに、また、科学的認識の多くの重要問題を解決するのに、大きな役割を演じた。しかしながらこれらの学者たちには、自然科学のなかに生じた情勢全体をあますところなく哲学的に分析することは、できなかった。彼らは唯物論者であり、しかもさらに弁証法のいくつかの命題を擁護しさえしたけれども、統一された哲学的体系としての弁証法的唯物論の水準にまで達することはできなかった。

物理学の領域での新しい科学的発見に哲学的な解釈を与えるという、偉大な歴史的任務をなしとげたのは、レーニンである。1909年に発表された著者《唯物論と経験批判論》のなかで、レーニンは弁証法的唯物論の見地から、自然科学の発展過程において生じてきたすべての根本的な哲学的諸問題に答えた。レーニンは、それと同時に物理学の成果にもとづきながら、弁証法的唯物論を一段と高い段階へひきあげた。彼は、非常な深遠さをもって、反映論としての認識論、客観的真理、相対的真理ならびに絶対的真理にかんする諸問題を究明した。物質の哲学的概念を明らかにしながら、レーニンは、物質が人間から独立に存在しながらも、感覚を通じて人間にうけいられる客観的な実在であることを示した。

レーニンはつぎのように書いている。“‘物質は消滅する’ということは、これまでわれわれが物質をそこまで知っていたその限界が消滅するということで

あり、われわれの知識がいつそう深くすすむことである。かつては絶対的で、不変で、根源的とおもわれていたような物質の性質（不可入性、慣性、質量など）は消滅し、いまではそのような性質は相対的な、物質の若干の状態にだけそなわっているものであることが、あきらかになっている。なぜなら、物質の唯一の‘性質’——哲学的唯物論はそれを承認することと結びついている——は、客観的実在であるという性質、すなわち、われわれの意識のそとに存在するという性質だからである”<sup>1)</sup>。

科学の基本的な諸問題を検討して、レーニンは“経験批判論者”の主張に反して、自然科学は“無党派的”ではなく、その全内容によって、どんな形式のものであれ、観念論に対しては反対の立場をとることを疑う余地なく証明した。それと同時に観念論は、その本質において、自然科学と事実上対立するものである。レーニンは“自然科学は、その学説が客観的実在を反映していることを無意識的に認めているが、そういう哲学だけが自然科と和解できるのだ!”<sup>2)</sup>といている。自然科学は、唯物論のより高度で徹底的な形態である弁証法的唯物論に向かって、ひたすら前進している。この前進は直線的なものではなく、数多くの後退をとともなうジグザグな形をとるものであり、しばしば手さぐりでおこなわれるが、しかし、不可避免的に、自然科学のただ一つのこの正しい哲学的基礎へと向かっていく。というのは、自然発生的な自然史的唯物論では、科学の進歩のために、すでに不十分だからである。

レーニンの研究の結論は以上のようなものであるが、それは科学のその後の全発展によって見事に証明されている。

ソビエト科学アカデミー版（1960）  
世界史近代 11 第 29 章（1965，日本語訳）

## 1917—39年の技術と自然科学

10 月社会主義大革命がおこり、第 1 次世界大戦が終了したことは、技術史と科学史での新しい時代の出発点となった。

この新しい時代の第 1 の特徴は、産業が量的にも質的にも急激に発展したこと、産業の科学的、技術的な基盤も同じようにさかんに発達したことである。技術の分野では、産業企業と交通機関が電化され、機械体系の自動化が始まり、内燃機関がさかんに使われ、流れ作業による大量生産が普及し、化学工業で生産方法が改善されたことなどが最も重要なことであった。科学の分野では、核

物理学が最も重要な地位をしめるようになった。原子の構造と核反応のメカニズムの探究や、微視的現象に特有な法則の研究は、他の科学の分野にその変革をせまるような影響をおよぼし、人類を 20 世紀なかばにおこなわれた大発見や新理論へとみちびいたのである。

科学と技術の発展のもう 1 つの重要な特徴は、対立した 2 つの社会経済体制が存在することによって技術上・科学上の知識を実際化するときの社会的目標に根本的な相違が生じたことである。社会主義体制が周期的な恐慌と生産の無政府状態をとり除き、経済発展の連続性、社会的に有用な労働への住民の従事、学問上の研究と国民経済上の要求とのあいだの全面的な結びつきを確保したので、ソビエト連邦では、ひじょうに大規模な改造を本当に実現することができるようになった。レーニンの表現にしたがえば、ソ連邦は革命前の時代には“信じられないほど、また見たこともないほど遅れた国、イギリスの 4 分の 1、ドイツの 5 分の 1、アメリカの 10 分の 1 しか現代的生産用具を装備していない、貧しい、なかば未開の国”<sup>1)</sup>であったのが、未曾有の短時間で、破壊された経済を復興することができ、しかも 30 年代のおわりには、世界で最も強力な工業国の 1 つとなることができたのであった。ところが資本主義諸国では搾取体制が、すでに社会的進歩の道をはばむものへ転化していた。資本主義の全般的危機は、科学・技術の発達を人為的にさまたげることがを不可避にした。この人為的な抑止というのは技術が停滞したということではなかったが、自然科学の知識と技術上の先進的な試みの実際面への応用が、独占企業体間の競争によって刺激されますすすむ経済の軍事化に従属させられたため不均等な一面的な性格をおびていたのである。科学者と技術者の考究の巨大な成果は、まず第 1 に軍需産業の改善と拡張へ向けられた。生産過程の複雑な機械化と自動化の数多くの体系は、資本主義的生産の条件の下では、失業者の急速な増加の原因となり勤労大衆の搾取と抑圧をいっそう強める手段となった。

この時代の第 3 の特徴は、科学・技術の社会的重要度が急激に高まったことであった。資本主義の堤灯もちたちは、科学・技術によって資本主義社会をまるで奇蹟のように“社会的利害関係の調和した社会”に変化させることができるなどと公言していた。だが、資本主義諸国の進歩的な学者や技術者は、自分たちの体験のなかで、科学探究の仕事の性格を資本主義がねじまげていること、現代の自然科学の発見や理論はブルジョアジーのイデオログたちの反動的な結論とは決して一致しないこと、また科学研究の成果と技術上の達成の利用はますますいっそう軍国主義の目標に従属させられていくことを確信させられた。



## 技 術

### 電力の生産と利用

この時期には電力が、新しい技術を開発し、動力を大量に必要とする新しい産業部門を成立させ、技術過程を機械化および自動化するいろいろな方式を実施するための決定的な要因の1つとなった。総発電量と、電力を消費する企業の生産能力の増加を上まわる発電所の出力の増加とが、工業発展の最も重要な指標とみられるようになった。国民経済の電化は、自然のエネルギー源のいっそう有効な利用と生産力の合理的な配分をもたらしたことによって、技術進歩の基盤となった。この場合の指導的な傾向は、大工業地域や農業地域へ電力を集中的に供給するところの、いわゆる地域発電所の建設がさかんになったことであった。

同時に、発電設備の容量が増しその構造が改善され、電力生産の経済性が向上した。19世紀のおわりから20世紀のはじめにかけて火力発電所の主原動機であったピストン式蒸気機関は、もっと経済的で高速で容積も小さい蒸気タービンにしだいにとりかえられていった。また高度な特性をもつ蒸気を発生するように考察された蒸気ボイラーが設計され、実用化された。たとえば、アメリカで設計された蒸気と水の混合物を何回も強制循環させるラムونت・ボイラーや、ドイツではじめて発明され、1934年からソビエト連邦でも、L. K. ラムジーン〔1887—1948〕の設計によって製作されたドラムのない貫流ボイラーをあげることができよう。火力発電所では、石炭をあらかじめ機械処理し、それを火室のなかへ機械で送りこむ方式が普通となった。燃焼技術も改良され、それに応じて比較燃料消費量が減少した。すなわち、1キロワット時の発電に要する石炭消費量が、1939年には1918—22年とくらべてほぼその2分の1になった。また、発電機の設計ならびに製作も進歩した。発電機の単位出力は5万ないし10万キロワットに増大し、効率が上昇し、合理的な冷却方法が導入された。とくに、水素冷却法は、発電機の大きさをいちじるしく減少させ、しかも手入れせずに運転できる期間を延長した。

この時期では、総発電量の約80パーセントが火力発電であった。ソビエト連邦では、発電をおこなうばかりか建物や産業設備の暖房用の蒸気をも供給する火力発電センターを建設したことが、とくに特徴的であった。だが水力資源を豊富にもったソ連邦やその他の国では、火力発電所の他の水力発電所もますますさかんに建設されるようになった。1932年に運転を始めたドニェブル水力発電所は、その後ながらヨーロッパ大陸最大のものであった。1936年にはアメリカのコロラド河にあるボールダー・ダム水力発電所が運転を開始した。これは当時最大の山地水力発電所であり、ダムの高さは222メートルである。落差

の小さい平地の大河川に水力発電所を設けることは、高速の回転翼車をもつ水力タービンの出現によって促進された。このタービンは1912年にオーストラリアのブルン高等工業学校教授カプラン〔1876－1934〕が発明し、長いあいだ設計上と試験上の苦勞をかさねてようやく、20年代に工場生産にうつされたものである。

この時代に、共同送電網をつかった配電方式の建設が、同じ様に広範に実用化された。この共同送電網のおかげで、需要の変動に応じて消費者のあいだに電力を配分することがうまくでき、各発電所をその最も有利な条件で運転することができるようになった。アメリカでは20年代から、またその他の国では30年代から〔水力〕発電所運転の自動化と遠隔操縦がさかんに普及されはじめた。ソビエトではこの時代の末期に自動化された発電所（エレヴァン水力発電所とイバニコフスカヤ水力発電所）が運転を開始した。

### 内燃機関

電化が進歩したため、大多数の産業部門の動力経済では電動装置が主として用いられるようになった。だが、電動装置は、据付式の作業機を稼働させることを簡単、便利、廉価にするという問題はうまく解決できたけれども、輸送、建設、農業で可搬式機械を作業させるときにでてくる要求を、完全には満たすことができなかった。

これらの要求をほとんど満たしたのが内燃機関である。1920年にはすでに、内燃機関の総馬力数が第1次原動機総馬力数のほぼ75パーセントに達していた。内燃機関は、産業企業、揚水ポンプ所、地域的な発電所などの据付式動力発生装置として用いられていたが、その主たる用途はまさに輸送用原動機としてであった。これは、電動機にくらべて、電流をひきこむための複雑な設備を設ける必要がないという点ですぐれていたし、また蒸気機関にくらべると、始動に時間のかからないこと、容積の小さいこと、単位出力あたりの重量が少ないこと、さらに熱効率のいちじるしく高いことが、有利であったのである。

内燃機関に対するひじょうに大きな需要をもったのは、自動車工業およびトラクター製造業であった。さらに内燃機関は海上輸送ならびに河川輸送でもまた軍事技術とくに航空機用としてもひろく使用された。航空関係の要求によって20年代のはじめから、高張力の軽金属でつくられた特殊構造が開発されるようになり、その上いわゆる過給の手段によって馬力が高められたりなどしていた。

同じころに、これらのピストン式発動機とならんでガスタービンとジェット・エンジンが、専門家の注意をますますひき始めた。

ガスタービンを設計し製作しようとした最初の試みは、実用価値の比較的小

さいものであったが、ロシアにおいてすでに 19 世紀 80 年代のおわりに、P. D. クジミーンスキー [1840-1900] によっておこなわれていたのであり、ついで 20 世紀のはじめにフランスで R. アルマンゴと C. レマールが、またドイツで G. ゴールツヴァルトがおこなっている。その後、発動機製作のこの新部門にとって重要な理論がつくり上げられ、最適作動条件がさだめられ、また、燃焼室からの噴出ガスがタービン翼にあたったときに生ずる大きな圧力に長時間耐えられる耐熱合金が発明された。さらに、30 年代の後半には、スイスとソ連 (V. M. マコーフスキー [1870-1941] の設計) でほとんど同時に、実際の技術面からの要求をみたす据付式の組合せガスタービン装置が生み出された。

ジェット・エンジンは K. E. ツィオルコーフスキー [1857-1935]、もつと後の R. エスノ＝ペルトリ [1881-] (フランス)、R. ゴッダード [1882-1945] (アメリカ)、H. オーベルト [1894-] (ドイツ) その他の人々の理論的研究を基礎として、その構造がさだめられた。液体ジェット・エンジンおよび気体ジェット・エンジンのいろいろな型の探究が、ソビエト (F. A. ツァンデン [1887-1933]、B. S. スチャーチキン [1891-]、I. A. メルクーロフ)、ドイツ (H. オハーイン、E. センゲル)、フランス (S. レデューク [1856-1937])、イギリス (F. ホウイットル [1907-]、A. グリフィス) でおこなわれた。1928-30 年にはオーストラリアの技師マックス・ヴァリエ [1895-1937] が自動車用のジェット・エンジンの実験を試みている。1926 年にアメリカで、また 30 年代にはドイツとソビエトで、はじめて液体燃料をつかったロケットの打ち上げがおこなわれた。30 年代のおわりには、飛行機にジェット・エンジンを取りつける試みがおこなわれたが、このことはつぎの時代にジェット・エンジンが広く用いられるようになる土台となった。

### 機械製作

国民経済のさまざまな部門で機械に対する需要が絶えまなく増大したため、機械製作工業の技術の改善とその専門分化がもたらされた。すなわち使用材料の種類がふえ、新しい生産設備や新しい生産方法が開発され、生産品の品質管理に有効な新方法が採用されたりなどした。機械製作技術での最も重要な革新は専門化された流れ作業による大量生産法であった。この大量生産法は、その発達の第 1 段階である 19 世紀のおわりでは、複雑な作業を、手労働によるか万能型の機械をつかっておこなう一連の簡単な基本的作業へ分解することにあつたが、この時代のはじめになると大量生産法はすでに専門化された機械、1 つの作業からそのつぎの作業への運搬を機械的な手段によっておこなう方式、基本的な技術過程を合理的に実現する綿密に計画された方法などを駆使していた。流れ作業による大量生産と大規模シリーズ生産にもとづく機械製作工業におい

てとくに、半自動化または完全自動化された金属加工用機械への切りかえがさかんにおこなわれた。これらの工作機械は、硬質合金工具をつけた生産性が高いものであり、いわゆる総合工作機械〔トランスファー・マシン〕もその1つである。このような工作機械はまず最初にドイツにあらわれ、すこしおくれでアメリカの自動車工場で用いられ、1935年からはソビエトでもつかわれ始めた。複雑な鋳造作業（鋳物砂の調整、鋳型製作、湯の注入、製品の整理など）の機械化、電気溶接法の開発と改良、鍛造職場の巨大で不経済な蒸気ハンマーにかわる生産性が高く作業上も便利な水圧プレスの採用が普及したのは、主としてこのような機械製作部門の要求によるものであった。工場内の検査部では、レントゲン線ならびに超音波による欠陥検査法が利用されはじめた。この超音波法はソビエトの物理学者S. Ya. ソコロフ〔1897—1957〕により1928年にはじめて提案されたものである・

製品の大量生産には製品の規格化、型式の統一、最適構造ならびに最適材料の選択、部分品ならびに部分組立品の互換性の確保、機械製作工場における専門機械群の効果的な利用等がどうしても必要であった。工業製品の規格化の仕事は、まずイギリスで（1901年）、つぎにアメリカとドイツで（1917年）、フランスで（1918年）、ソビエトで（1924年）、日本その他の国々で大規模なものとなり、国家の法規と同じように扱われるようになった。

これと同時に、比較的大きなまとまった生産循環の範囲で作業工程を自動化することが、しだいに導入されてきた。これの初期の実例の1つは、1926年に作業を始めたアメリカの“A. O. スミス会社”における自動車ボディーの製造であった。倉庫から材料を出すところから塗装乾燥さらに完成した製品の積重ねにいたるまでのすべての運搬ならびに製造作業が、この工場では作業員が直接に手を触れることなく実施された。ただわずかの補助作業、たとえば吊下げコンベヤーに完成したボディーをつかませることや組立てコンベヤーへいくつかの部分品をのせることなど、それに機械装置の調整や故障修理がそれぞれの受持工員によっておこなわれただけであった。

30年代になると一連の国々で、自動工作機械が採用されていくにつれて自動工作系列をつくろうという傾向があらわれた。このような系列の最初のもは、5台の工作機械によつての各種部分品加工作業を一貫しておこない、しかもこの作業のあいだを機械的運搬装置でむすんだものであつて、1937年にソビエトの発明家I. P. イノーチキンが提案し、彼によつてその後トラクター製造工業において実現された。

## 冶金

高圧、高温、高速の技術が発達したので、冶金業の量的、質的な発展がも

たらされた。鋳工業、建設業、農業のさまざまな部門は、力学的性質が改良され、さらに耐熱・耐酸・耐蝕などの特性をもつ鉄や鋼を要求した。これらの要求を満たすために、冶金サイクルの作業過程が改善され、これまでにできあがっていた物理的・化学的・また技術的な原則が再検討され、重労働を要する作業が機械化され、自動制御や自動生産管理の方式が採用された。製鉄や製鋼の過程を集約化することが必要であったため、酸素を強化した送風方式の採用がうながされた。このような送風方式は熔解をはやめ、燃料を節約し、スラッグと廃気の成分を改善する助けとなった。スラッグと廃気はそれぞれに、建設材料製造企業と化学工業企業のための原料であった。多くの種類の高級溶鋼に対する同じように大きな需要によって、これを製造するためのマルタン製鋼法がとくに重要になり、いろいろな型式の電気精錬炉がひろく普及するようになった。

この時期全体において、鉄鋼業が、すべての冶金業のなかで首位をしめていた。鋳鉄と粗鋼は金属全体の消費量の90パーセント以上に達していた。ところが、まさにこの時代に非鉄金属の冶金が改良されたのである。とくに重要であったのはアルミニウムの普及であり、この金属は航空機と自動車の製造業に、また発動機製作や電気産業などにひろく利用された。1914年までにアルミニウム工業は、スイス、フランス、イギリス、ドイツ、オーストリア、イタリア、ノルウェー、アメリカ、カナダなどでおこなわれていたが、20年代と30年代の変わりめには、アルミニウム工場は、スペイン、スウェーデン、ハンガリーに、またすこし後になって日本にも建設された。これらすべての国々のアルミニウムの年産額は1913年の6万5,500トンから1939年には69万5,000トンに増大した。

ソビエト連邦におけるアルミニウム生産は30年代から始まった。1930-34年に、レニングラードのアルミニウム試作工場、ヴォルホフ・アルミニウム・コンビナートと当時ヨーロッパ大陸においてはこの種類の生産コンビナートの最大なもの1つであったドニェプル・コンビナートが操業を始めた。1939年には、カーメンスク＝ウラリスキー工場が、その最初のアルミニウム地金を出荷した。

## 化学工業

化学の分野におけるいろいろな研究によって、各種の合成物質が得られるようになり、また良質の人造液体燃料、肥料、軽工業用原料、機械製作用特殊材料の消費がますます増大したことは、化学工業の急速な成長の原因となった。つぎのような化学工業の新しい領域が発生し確立した。それは、アンモニア合成、メタノール（メチル・アルコールつまり木精）合成、人造液体燃料ならびに人造ゴムの生産、人造繊維ならびにプラスチックの製造などであった。

アンモニアは窒素肥料ならびに硝酸の生産につかわれる。最も簡単な窒素と水素の化合物であるが、その合成はドイツで1913年に、F. ハーバー〔1868－1934〕とK. ボッシュ〔1874－1940〕によりはじめてなすとげられていた。しかし、他の国へこの方法が普及したのはこの時代になってからのことである。1923年にはやはりドイツで、フランスの化学者G. パタールの特許によって、メタノールの工業的合成が始められた。メタノールは有機染料、ラッカー、医療材料、無煙火薬などの生産にひろく用いられるものである。

これらに劣らず重要で、とくに石油の天然資源のない国にとって重大な問題は人造液体燃料の合成であった。このような種類の最初の試みをしたのは、ドイツの技師F. ベルギウス〔1884－1949〕で、彼は1913年に高圧のもとで石炭に水素を添加しながら加熱してガソリンをつくる方法を完成した。1922年にF. フィッシャー〔1877－1947〕とH. トロプシュ〔1889－1935〕が提案し、1925年からドイツ、フランス、日本その他の国で実際生産がおこなわれたのは、低圧で特殊触媒をつかって水素と酸化炭素の混合物から人造ガソリンを得る、いっそう改善された製造方法であった。

これと同時に、重油から発動機用軽油をつくるクラッキング法の改良もつけられた。すでに1891年に、ロシアでV. G. シューホフ〔1853－1939〕が研究し、のちにV. M. バートンの企画によってアメリカの石油産業で実施された熱クラッキング法のほかに、N. D. ゼリーンスキー〔1861－1953〕が1918年クラッキング過程を根本から改善する方法を世に問うた。これは触媒クラッキング法の1つで、それによって航空機用の高級ガソリンを大量に生産できるようになった。アメリカで働いていたフランス人技師E. ウードリ〔1892－〕が特許をもつ技法に従って触媒クラッキング法を工業的に開発することは、30年代の後半から始まった。

自動車、航空機、電気用品の製造などの、ゴム製品を大量に使用する産業部門の発展から人造ゴム合成についての研究を急速に進めることが切実な必要となった。ドイツで1914－18年の第1次大戦中に製造されていたメチール・ゴムは、原価があまりにも高くつきしかも品質が劣っていたから、その生産は終戦になるとただちに停止された。その後は10年以上も、あらゆる国のゴム工業がもっぱら天然ゴムだけを原料としていたのである。合成ゴム生産の工業的な方法の完成という難問題が満身に解決されたのは、ようやく20年代の末になってのことであった。このときに、ソ連邦国民経済最高会議がおこなった国際コンクールにおいて、S. V. レーベヂェフ〔1874－1934〕の方法が高い評価を得たのであり、この方法は1932年からソビエトの化学工業で実用化された。おなじような研究が1926年から、ドイツの化学コンツェルン“I. G. フェルベンインドゥストリー”の研究所でおこなわれていた。これは、1936年に完成し、最

初の製品ブナゴムを製造した。ついに、アメリカの J. A. ニューランド [1878-1936] と W. H. カロザース [1896-1947] が 30 年代にネオプレン生産法を提案しているが、これがアメリカの産業界によって工業化されたのはずっと後になってからである。

セルローズを原料としたビスコース人絹とアセテート人絹の生産がひろく普及し、また 30 年代後半からは有機合成の重合製品、すなわちいわゆる高分子化合物あるいはポリマー物質からつくられる人造繊維の生産がひろく普及した。この群のなかでとくに重要な地位をしめたのは 1938 年に、アメリカではカロザースにより、ドイツでは P. シュラックにより、ほとんど同時に発表されたナイロン（カプロン、ペルロン）である。これは、機械的な強度が大きく、弾力が強く、耐磨耗性がすぐれていて、濡れたり乾いたりを繰り返しても損傷に対する抵抗力が大きい。多くの種類のプラスチックは製造の基本となる合成樹脂の生産も、おなじくさかんに広まるようになった。プラスチックは初めのうち、比較的せまい範囲で天然材料の代用品として使用されていたが、まもなく自動車生産と航空機生産で、さらに化学工業や建設業などの産業部門での構造材料として独自の重要性をもつようになった。

## 採 鋳

この時代は採鋳技術の歴史の上では、機械設備が広く採用されて、ひじょうに大きな労力をつかう技術的な過程や輸送過程をいちじるしく機械化した時代であった。

石炭産業ではこれまで技術的な改善の水準が他の部門よりもひくかったのであるが、石炭や鋳石の掘削、積込、運搬の作業は、削岩機、採鋳搬出組合せ機械、連続積込み機、ベルト式コンベヤー、バケット式コンベヤーなどをつかって、ますますさかんに機械化されはじめた。30 年代からドイツ、イギリス、アメリカ、ソビエト連邦において、石炭や鋳石を鋳層から掘りだして運搬装置へ積み込むための組合せ採鋳機械がつくられるようになった。この機械にとくに大きな注意をはらったのは、ソビエト連邦で、この機械の製作と操作が 1932 年に始められていた。A. I. バフムーツキー [1893-1939] の石炭採掘組合せ機械と N. A. チハチョーフ [1903-42] の掘削搬出組合せ機械がつくられていたのである。これらをソビエト以外の国でつかうことがむずかしかつたのは、主として既存設備を廃棄しなければならないことから来る一連の経済的な理由によるものであった。1935 年には採鋳技師 V. S. ムチュークが、地下の採炭作業の水力による複合機械化法を提案した。これらの方法は 40-60 気圧の水を噴射して炭層をこわし、つづいて、できた水流によって石炭を運び出すというものであった。1939 年になって、この方法はドンバスの炭坑の 1 つでの実地試

験に見事に成功した。

泥炭採掘はなかば手工業的な小営業から燃料採取産業の発達した部門へと変化することによって、成長し、かつ技術的に改善された。1914年に技師R. E. クラッソーン〔1868―1926〕が提唱していた泥炭の水力採掘法が、20年代のはじめにレーニンの指示と直接の援助によって、ソビエト・ロシアではじめて実施された。同じころ多くの国々で、掘削機による泥炭採掘、すなわち多数のバケットをつけた掘削機をつかう、鉞層からの泥炭掻き取りがおこなわれ始めた。ソビエト・ロシアではこの方法以外に、後になってもきわめて重要な意義をうしなわない“輪削”法が完成された。この方法では上部の泥炭層がつぎつぎに切り取られ、つぎに“フライス胴”という特殊装置によってパン屑のように細かくさくれるのである。

ソビエト連邦では石油の採取技術も大きく進歩した。すなわち、技師M. A. カペリュースニコフ〔1886―?〕が1922年に発案し、のちに技師P. P. シュミーロフ〔1901-42〕を主班とするバクーの専門家グループによって改良された、タービン掘削機をつかう油井掘削が採用された。さらに深井戸ポンプが採用されて、1925年には海面下の掘削が実施され、また完全に密閉して気圧を下げた状態での石油抽出と予備加工の方法が実施された。

### 陸上ならびに水上の交通

産業製品の総量が増大するにつれて、陸上ならびに水上のいろいろな手段によって輸送される貨物量も増大していった。自動車輸送は力づくで発達し、都市内ばかりでなく諸都市間の連絡のためにもつかわれ始めた。1938年には、アメリカ、カナダ、フランス、イギリス、ドイツ、ソビエト連邦において、600万台以上の貨物自動車と約3,150万台の乗用車、タクシー、バスが運行されていた。道路建設も強化され、巨大な自動車用橋梁が建造された。30年代からアメリカ、すこしおくれてヨーロッパ諸国とくにドイツで、“高速”自動車道路の建設が始まった。この専用道路は、自動車の基本的な流れを中絶せずに横断したりほかの道路と接続する設備をそなえていた。

鉄道輸送はいままでとおなじく、各種の輸送機関中での王座をたもっていた。全世界の鉄道線路延長の合計は1917年の114万6,000キロメートルから1938年には132万9,000キロメートルに達した。鉄道線路には、駅と駅のあいだの列車運行を管理するための自動設備である自動信号機や、また線路上の信号機からの停止信号によって列車を自動的に停車させるためのいろいろな装置が設備された。1925年からアメリカで、つづいてその他の国々で、いわゆる集中運転指令の実施が始まった。この方法は、ただ単一の中央指令所から運転区域中のすべての駅の転轍器と信号を駅員の関与なしに管理するものである。積載基



準重量を高め、列車運行速度を増加するために、線路の構造を強化する研究がおこなわれた。さらに固体燃料を火室へ機械で供給する装置をつけた。大馬力の蒸気機関車が建造された。機関車の熱効率を上げる目的で、まず 20 年代にピストン式蒸気機関のかわりに蒸気タービンをつかう機関車の建造が試みられ、またほとんど同時に常用気圧を数十気圧として設計された蒸気ピストン機関車の建造が企てられた。廉価な水力電気エネルギーの豊富な資源にめぐまれヨーロッパ大陸諸国では、鉄道の電化が急に進められた。1938 年には幹線の電化率が、スイスで 75.9 パーセント、イタリアで 28.1 パーセント、スウェーデンで 19.9 パーセント、オーストラリアで 12.6 パーセントとなった。ソ連最初の電化路線であるバグーサブンチースルハヌイ郊外鉄道は、1926 年に営業を始めた。ほとんどこれと同じ時期に、ソビエト連邦において最初の幹線用ディーゼル機関車が Ya. M. ガツケル教授 [1874-1945] の設計 (1924 年) によって建造されたが、これは鉄道ディーゼル実用化のはじまりとなった。しかし、ディーゼル機関車はその後長らく、主として駅構内の車両入換え作業や郊外線の運行に用いられていた。アメリカの鉄道では、ディーゼル機関車を通常の列車用としてつかう試みが始められたのはようやく 30 年代の末になってである。

この時代には、海上ならびに河川の輸送に内燃機関がいよいよ広く使用された。1918 年から 1928 年までで、内燃機関を動力とした船の総トン数は、10 倍に増した。1927 年には、全世界の造船所で艤装されたディーゼル船の総隻数は同一期間中に建造された蒸気船の隻数をはじめて凌駕した。

## 航 空

飛行機製作の発達のテンポもきわめて急速に上昇した。大規模な空気力学的研究、単葉全金属構造へしだいに移行していく航空機の空気力学的な形状の探究と合理的な選択 (1920 年にドイツで H. ユンカース [1859-1935]、1923-24 年にソ連邦で A. N. トゥーポレフ [1888-])、発動機馬力数の向上と発動機の 1 馬力当り重量の軽減、製作技術のいちじるしい改善——これらのすべてが飛行速度 (1922 年の毎時 300 キロメートルから、1939 年の毎時 755 キロメートルまで) と飛行高度のいちじるしい向上をもたらした。飛行機の技術的な性能がいだいに改良され、航空計器がつかわれるようになり、操縦的が向上したために可能となったのが、この当時としては記録的な、アメリカの飛行家 C. リンドバーグ [1907-] による 1927 年の大西洋無着陸横断飛行、ソビエト飛行家 M. M. グローモフ [1899-] による 1934 年の周回距離 1 万 2,000 キロメートルをこえた飛行、さらには 1937 年におこなわれたソビエト飛行家 V. P. チカーロフ [1904-38]、G. F. バイドゥコーフ [1907-]、A. V. ベリャコフ [1897-] のモスクワ-ポーランドの間の、またグローモフ、A. B. ユー

マシェフ [1902-]、S. A. ダニリン [1899-] のモスクワ-サン・ジャシントン間の北極横断飛行である。

20年代のはじめまでに、民間の定期輸送飛行もひらかれていた。すなわち1918年にニューヨーク-ワシントン間の郵便旅客航空路が営業を始め、1年後に同様な航空路がベルリンとワイマールをむすび、1923年にはモスクワ-ニジニ・ノヴゴロト間にソビエト最初の全長420キロメートルの航空路がひらかれ定期運航を開始した。30年代には民間航空が、地球の大部分の地域で国内・国際交通路の役割をすでに果たしていた。とくに1937年におけるソビエト連邦の航空輸送路の全長は9万3,300キロメートルに達していた。だが、この時期には、航空は郵便や旅客の輸送だけにつかわれていたものであり、貨物の飛行機による輸送はもっと後になって始められたのである。

### ラジオ、テレビジョン、映画

ラジオ技術の分野における1時代前の研究が、無線電信電話方式を実際面へ広く応用するための準備となっていた。この無線電信電話方式のなかには、レーニンが“ことはきわめて重大だ！”<sup>1)</sup>と評価したところの、ラジオ放送がふくまれている。ラジオ放送の最初の試みは、1919年にまずソビエト・ロシアでおこなわれた。ついでにラジオ放送局が、アメリカ(1920年)、ソビエト連邦、フランス、イギリス(各1922年)、ドイツ(1923年)、イタリア(1924年)その他の国々開設された。

短波ならびに超短波の性質を研究し利用できる範囲を確定することも、これに劣らぬ重要性をもっていた。この研究にもとづいて、20年代に無線通信の到達距離を何倍かにのぼすことが現実に可能となり、30年代には電波方向探知とラジオ航行の(ソビエトのL. I. マンデリシュターム [1879-1944] とN. D. パパレークシ [1880-1947]、イギリスのR. ウォットソン=ワット [1892-] などによる)方法と技術が提案された。

20年代のなかばごろから、テレビジョン放送が実施されはじめた。当初は(イギリスのJ. ビアード [1888-1846]、アメリカのC. ジェンキンス [1867-1934]、ソビエトのP. V. シャマーコフ [1885-] などの)機械的な送受信方式によっておこなわれたが、30年代になるとアメリカのV. L. ズボレイキン [1889-] やソビエトのP. V. チモフェーエフ [1902-] が提案した電子管方式をつかったさらに改善された方法で放送されるようになった。

この時代には映画技術も同じく速やかに改良された。20年代には、画像に伴なう音を蓄音機のレコード盤へ別箇に吹き込んで、映写に同調する再生をおこなおうと試みて失敗をくりかえしたのちに、ドイツ、アメリカ、ソビエト連邦では映画フィルムへ録音するという光学的な方法を完成することに成功し、発

声映画の広範な普及の端緒をひらいた。30年代には天然色映画の生産も始められた。

## 2. 自然科学

### 物理学

1920年代と30年代における自然科学の基本的思想と実験的研究法との発展の最も重要な傾向は、原子物理学・核物理学が発達したことと、原子・原子核の研究によって作りだされた概念や方法を自然界についての学問のすべての分野とくに天体物理学、化学、生物学へ適用したことであった。

A. アインシュタイン [1875-1955] が 1905 年に定式化し、さらに 1916 年に新しい重力理論すなわち一般相対性理論のなかで加速運動へと拡張した相対性原理は、1919 年には天文観測によって確認された。20 年代のはじめに A. A. フリードマンは、一般相対性理論の考えを発展させて、宇宙の半径が時の経過につれて変化すると推定した。20 年代と 30 年代には、一般相対性理論にもとづいた相対論的宇宙論が発達した。特殊相対性理論についていえば 20 年代の終わりに、新しいひじょうにひろい適用分野がひらかれた。電子その他の素粒子の運動と転換についての相対論的理論がおこった。微視[ミクロ]世界相対性理論を適用できるようにしたのは量子力学であって、これは 20 年代の物理学の最大の理論的総括である。

すでにこの世紀のはじめに物理学者たちは、元素を原子量が増加する順にならべたとき、元素の化学的性質が周期的にくりかえして現われることを説明できるような原子模型をつくる努力をかさねていた。その結果、原子核のまわりを種々の軌道に沿って電子が運動しているという像がつくられた。だがこの図式にはこれをさらに発展させたとき、重大な矛盾のあることが明らかになった。古典的な電気力学の考えによれば、閉じた軌道にそって運動している電子エネルギー放出は避けられないので、電子はエネルギーをうしなって結局は原子核へ落ちこんでしまうことになる。このような像は原子の安定性と矛盾する。この矛盾を除くため 1913 年に、ニールス・ボーア [1885-1962] はつぎのように考えた。電子は、古典的な電気力学の法則にしたがわないで、原子核のまわりの同一軌道を運動するときにはエネルギーを放出せずに、1つの軌道から別の軌道へ移るときに放出するのであり、その際に注意すべきは原子のなかには難散的(不連続)な系列になった一定の軌道だけが存在できる、というのである。しかし、これらの軌道はどのようなものか、また電子はどうしてこれらの軌道の1つにだけそって動くのかという問題は未解決のままであった。

20年代のなかばにルイ・ド・ブロイ [1892-] が、電子の運動は波動過程、すなわち“物質波”に関連しており、また電子は整数個の物質波がはいるような軌道にそってだけ運動できるのだということを想定した。その後まもなくアーウィン・シュレーディンガー [1887-1961] は、ある種の数量、すなわち波動関数の振動を記述する波動方程式をたてた。この方程式を解けば電子の最初の位置が与えられ、さらに電子にはたらく力がわかっているならば任意の各瞬間における電子の位置を決定することができる。このようにして素粒子は波動性をもつことが示された。ヴェルナー・ハイゼンベルク [1901-] が立証したところによればこのように波動性と粒子性が組み合わさっているために電子その他の素粒子の位置と速度とは、同時に無制限の正確さで決定することはできないということになるのである。

20年代のおわりになって、相対性理論の関係式を考えに入れた、電子（ならびにその他の素粒子）の運動の理論をつくらうとするいろいろな試みが企てられた。これらの試みのうちで、最も重要なものはポール・ディラック [1902-] の相対論的量子力学であった。ディラックは相対性理論の関係式から出発して、シュレーディンガーの波動方程式を修正したのである。ディラックの方程式により、電子エネルギーは負の値をとりうることがみちびかれる、電子エネルギーの正の値のそれぞれに対し、エネルギーの負の値が対応している。しかしながら、負のエネルギーという考えは、何らの物理学的意味をもたない。そこでディラックは、相対論的波動方程式が、電子だけでなく電子とは電荷がちがう（電子の電荷が負であるに対して正の電荷をもつ）ほかの素粒子の動きをも表現するものであり、このような素粒子は負のエネルギーをもった電子のように動くはずであると想定した。まもなくこのような素粒子が実際に発見され、陽電子（ポジトロン）と名づけられた。ある条件のもとでは、電子と陽電子が電磁放射の粒子（光子）に転化し、また光子から電子と陽電子が発生することができるのである。

光子、電子、陽子、陽電子につづいて、電荷をもたない素粒子である中性子が発見された。この発見によって、元素の周期律を物理的に完全に解釈することができるようになった。すなわち、さまざまな元素の原子核は、元素の原子番号、つまりメンデレーエフ表における元素の順序数値にひとしい数の陽子をふくんでいる。これ以外に原子核には中性子がふくまれているので、元素の原子量はその元素の原子番号と相違している。このとき、原子核内に同一数の陽子をもちながらちがった数の中性子をもつ原子、言いかえれば、原子番号が同一で周期律表の同一のわくに位置していても原子量のちがう物質のあることが判った。このような物質は同位元素と名づけられた。

原子核の研究はアルファ粒子をつかっておこなわれた。アルファ粒子は、30

年代に明らかになったのであるが、2つの陽子と2つの中性子とからなっている。原子核にアルファ粒子をぶつけると、原子核反応をひきおこして、ぶつけられた核の組成が変わり、研究している同位元素をほかの同位元素に転換することができる。1934年にジョリオ＝キュリー〔フレデリック〔1900－58〕とイレーヌ〔1897－1956〕夫妻は、原子核が順次崩壊し中性子やその他の粒子を放出する放射性同位元素を衝撃によって得て、人工放射能を発見した。

放射性同位元素の技術、生物学、医学への応用は、きわめて大きな意義のある多くの発見をもたらした。物理学自体でも、放射性同位元素によって実験研究の分野がいちぢるしく広げられ、そのおかげで新しい型の素粒子と、従来発見されていた重力場や電磁場の他に新しい場を発見することができるようになった。

これらの一連の発見のうちでとくに重要なのは、宇宙空間から地球表面にふりそそぐ粒子の流れである宇宙線の研究であった。30年代にはまだ、宇宙線の発生の事情は明らかでなかった。（今日でも完全に解明されているとはいえない）。

原子核ならびに素粒子の研究において宇宙線は、当分のところ実験室内では決して得られない。高エネルギー粒子のいわば巨大な源泉として役立っている。この高エネルギーの粒子が原子核にあたると、いろいろな核反応過程をひきおこす。このときにできる粒子のなかに今まで知られていなかった多くの新しい粒子があることがわかった。それらは写真撮影することができ（とくに厚い層の乾板をつかえば、厚い乳剤層のなかで粒子の飛跡がたどれる）、また装置をラジオ・ゾンデで高く上げれば、いろいろな高度、いろいろな大気層中での宇宙線のなかのいろいろな粒子の数をかぞえることができた。その後になって宇宙線の研究とならんで、加速器内で高いエネルギーをおびる粒子の研究が始められた。

30年代に発見された素粒子のうちには、いろいろな種類の間接子があり、これらの質量は電子の質量の数百倍に達しているが、陽子や中性子の質量よりは小さいことが判った。30年代のなかばに、1つの種類の間接子のおかげで、原子核内ではたらいで、核粒子である陽子と中性子を結びつけている力の本性を部分的に解明することができるようになった。つまり核力は核半径の大きさに近い領域で、いくつかの特定の間接子によって伝達されるのである。

30年代のおわりに核物理学は、ラウニウムの原子核を分裂させてエネルギーを得る寸前のところにまで近づいた。すでに1939年には、ウラニウムの原子核が中性子線に照射されたとき、2つのほぼひとしい部分に分裂して同時にひじょうに大きなエネルギーを放出し、メンデレーエフの周期律表のほぼ中央の位置する元素の原子核を与えることが、知られるにいたった。またさらに、この

ような分裂によってつくられ中性子は、隣りのウラニウム原子核を同様に核分裂させることができ、したがってこの過程の連鎖的反應をひきおこすということも知られるにいたった。さらにおなじ 1939 年に、F. ジョリオ＝キュリーなどの物理学者がすでに、ウラニウム分裂の連鎖反應をおこして核エネルギーを解放する装置の様式を完全に具体的に記述していた。このような事情は、物理学上の発見の重要性が増大しつつあることを示し、あわせて人類将来の運命に対する学者の責任がそれに応じて増大しつつあることを明らかにした。

## 数 学

数学の分野における研究も、広範な分野で展開された。数学発達のこの特徴は、自然科学の諸問題に数学を種々様々な、しばしば思いもかけないやり方で応用するようになったこと、ならびに相互の関連がまったくないかのようにみえた分野のあいだに、数学的な概念と方法の深い相互浸透がおこなわれるようになったことである。たとえば、以前には数学的での最も抽象化された領域の 1 つであるとされていた群論が、量子力学に応用されるようになった。また、関数解析が急速に発達したが、この関数解析とは、古典的解析学、集合論と関数論、高次元の幾何学、線型代数学などの若干の考え方をまとめることによって、作り出されたものである。関数解析は、18 世紀にすでにつくられていた変分法、19 世紀から 20 世紀のはじめにかけて創設された積分方程式論と、19 世紀のなかばにあらわれていた演算子法を、その構成部分としてふくむことによって、現代の物理学、すなわち場の理論や量子力学などの重要な研究手段となった。

集合論と実関数論も、ほとんど数学全体へ強い影響を与えつづけていたし、さらに、この両者へ密接に関連している位相幾何学もそうであった。たとえば、実関数論的な概念は確率論の公理の構成に利用されたが、この確率論の異常な発展とその自然科学ならびに技術への広範な応用は、この時代の数学的での最も注目すべき特徴の 1 つとなった。位相幾何学的方法はますます大々的に微分方程式の定性的理論へ浸透し、以前には学者の手におえなかった変分法の難問題の解決に手際よく適用された。

結果からみてさらに大きく注目すべきことは、数学の原理自体と、何よりもまず無限集合論の論理的な難点が深く研究されたことである。この方向への探究は、しばしば数理哲学のいろいろな学派のあいだで、鋭い論争の形をとった。数学の原理の分析には数学的な論理の詳細な研究が必要であり、この研究は以前にはときどき注意が払われていただけであったが、この時代になると指導的な数学の領域の 1 つへときわめて急速に変化した。証明の一般論ならびに構成的論理学の創設、形式的な演繹法の完全性問題の分析などがこの領域での成果

のうちのいくつかであり、数学での最も傑出した業績とみなされている。

数学におけるほかの多くの重要部門も順調に発展した。数論の領域での解析的な研究法の適用によってうまれた発見にはすばらしいものがあった。相対性理論を高次元空間の微分幾何学に適用したことは、微分幾何学の発展をおおいに助長した。相変わらず数学的自然研究の主要な道具であった偏微分方程式論においても、新しい重要な諸問題が設定され、しかも解決された。近似計算法も、ほかの科学や技術の影響をうけて、ひじょうにさかんに研究された。

最大の成果は、ドイツ、フランス、ソ連邦、アメリカに形成された数学の諸学派による研究業績である。

ドイツでは数学者D. ヒルバート [1862–1943] が有力な学派を指導していたが、だが、30年代にはファシスト体制のもとで、この国の数学の発展がいちじるしくさまたげられ、多くのドイツ人数学者が祖国を離れた。

フランスの数学学派は、J. アダマール [1865–1964]、A. ルベーク [1875–1941]、ボレル [1871–1956] によって指導され、従前どおりのめざましい地位をしめていた。30年代のなかばになると、N. ブールバッキという集団名で発表した若いフランス数学者の集団 (A. ベイユ [1906–]、J. デュドンネなど) が有名になった。

ソビエト数学学派も大きな成果をおさめた。ソビエトの数学者たちは、きわめて広い範囲にわたる研究をおこなった。関数論、位相幾何学、抽象代数学、数論、確率論、微分方程式などの一連の領域において、世界的な意義をもった成果が得られた。水力学ならびに空気力学、理論物理学などの問題へ数学を適用したことによって、注目すべき結果が得られた。年長の世代の学者 (S. N. ベルンシュチェイン [1880–]、N. N. ルージン [1883–1950]、I. M. ヴィノグラードフ [1891–]) たちとならんで、もっと若い研究者 (P. S. アレクサーンドロフ [1896–] M. V. ケールドウイシ [1911–]、A. N. コルモゴロフ [1903–] M. A. ラヴレーンチェフ [1900–]、L. A. ルュスチュールニク [1899–]、P. S. ノーヴィコフ [1901–]、I. H. ペトロフスキー [1901–]、A. Ya. ヒーンチン [1894–1959] など) たちも数学の発展に役割を果たし、業績をあげた。

同時に、G. バーコフ [1884–1944]、N. ウィーナー [1894–1964] などの学者を指導者とするアメリカの数学学派が顕著な地位に躍進した。この学派の研究の発展のためには、たとえばR. クーラン [1888–] やJ. フォン・ノイマン [1903–57] のようなドイツ人の大数学者の一群が、アメリカへ移って永住したことが大きな意義をもっていた。

## 天文学

数学の進歩、とくに物理学の進歩と直接に関連して、天文学も発達した。すなわち、新しい物理学理論の重要な多くの命題を、天文学上の観測が確認したのである。また同時に、天文学上の観測のいくつかの結果は、理論物理学の新しい一連の命題を導入することによってはじめて正しく解釈できるようになった。つまり、古典（ニュートン）力学の立場では説明のつかなかった水星の異常な運動、1919年にはじめて発見された太陽引力の場において星からの光線がまげられる現象、大密度の星のスペクトルで20年代にみつけられたスペクトル線が赤色へ向けてずれる現象（いわゆる重力による赤方変位）などである、これらの現象は、すべて相対性理論にもとづいて説明することができるようになったのであり、またこれらの現象が相対性理論の直接の裏付けとなった。

天文観測は、宇宙が化学的に同一な種類の元素から成立しているという学説に対し、新しい証明を与えた。実は以前からスペクトル分析によって、星は地球上にある元素と同一の元素から成立しているということがわかっていた。それなのに、いくつかのガス状星雲のスペクトルにおいて、地上でわかっている元素のいずれにも対応しない線がいくつか観測された。このためはじめはこれを、仮想の元素“ネブリウム”によるものとして説明していたが、1927年にこれらのスペクトル線は、実験室では再現できない状態にある酸素ならびにすでにわかっている他の諸元素に対応するものであるということが確認された。

この時代におこなわれた多くの発見は研究用の器具と方法が改善されたことによって可能になったものである。1915年にすでにアメリカのウイルソン山天文台へ据付けられた鏡径254センチメートルの巨大な反射望遠鏡は、ながいあいだ世界第一であった。その後、望遠鏡の改善にはB. シュミット [1879-1935] とD. D. マクスートフ [1896-] がいちじるしい貢献をした。1930年にフランスの天文物理学者B. リオー [1897-1952] が“コロナ・グラフ”を発明した。この機械によって、太陽コロナを日蝕のときだけではなく常時観測することができるようになった。

あたらしい観測にもとづいて、天文学上の知識が蓄積がいちじるしく広げられた。星の距離をさだめるように、いわゆる物理学的変光星“オフエウス種変光星”の観測が大きな役割を演ずるようになった。この種の星については、すではやくからそれらの“光度”、すなわち観測者からの距離に関係ない明るさが光輝変化の周期に厳密に存在していることが観測されていた。いくつかの変光星は宇宙における距離をはかるための“里程標”のようなものとなった。

宇宙の研究し得る部分の半径はひじょうに増大した。1930年には写真撮影によってわれわれの太陽系の第9惑星である冥王星が発見された。この星の存在は以前に適切な計算の結果として予告されていたのである。さらに、天文学者



の目はもっとずっと遠くまでつき進んだ。われわれの恒星系の外に、これまで原始物資の集積と思われていた、ほかの銀河系の集合がみつげられた。これらの“集積”がまさに“銀河系外”の（つまりわれわれの銀河系の範囲外にある）恒星系であることは、1920年にK. ルンドマルク [1889-] により、アンドロメダ星雲についてはじめて指摘された。その後、銀河系外の星雲にいろいろな種類があることがわかった。すなわち、観測が最も容易である渦状星雲や、数はずっと多いが観測は比較的困難である楕円状星雲などである。このこととともに、星雲の一部分は別の本性をもち、ガスや固体状の塵のような物質の集積であることが確認された。またその後の観測により、銀河の集積、つまり“超銀河”が存在していて、それらはさらにいわゆる“メタ銀河”系の構成要素であることも確認された。

われわれの銀河系の構造は、きわめて複雑であることがわかった。銀河系のそれぞれの部分における恒星の分布は一様でなく、また恒星自体もその大きさ、密度、温度が多種多様である。光度がきわめて大きく直径が太陽の直径の千倍もあるかとおもうと、光線の性質のちがいでにより“白色”とか“赤色”と名づけられた矮星がいくつもみつげだされた。シリウスの衛星である“白色矮星”は、すでに1915年にアメリカの天文学者W. アダムス [1876-1956] が研究していたが、その研究によればこの星の直径は4万キロメートルとそれほど大きくないのに、密度はわれわれの知っている最も重い金属のほぼ2千倍に達するのである。その後、もっと大きな密度をもつ“矮星”がほかにいくつか発見された。

1927年にはオランダの天文学者J. オールト [1900-] が、われわれの銀河系が回転していること、およびそれぞれの銀河系がたがいに遠ざかっていくこと、すなわちそれぞれが互いに散らばっていくことを最終的に確定した。

一時代前の中心課題であったわれわれの太陽系の起原という問題は、この時代になると、一般の宇宙進化論の部分的な問題となってしまった。

## 化 学

この時代に化学の分野では、産業的に重要な意義をもつ多くの新物質を人工合成する面でたゆまぬ進歩がなしとげられた。

これまでででき上がっていた物理化学のほかに、あたらしい境界部門である化学物理学があらわれた。この部門では量子力学や電子理論の最新の成果が応用された。N. S. クルナコーフ [1860-1941] が仕上げた物理化学的な分析法は、物質の物理的性質と化学的性質を相互に関連させて研究し、それにもとづいて、一定の性質と構造〔組成〕をもった合成物（建設材料や合金）を得ることができるようにしたものであったが、これはひろく普及した。いわゆるコ

ロイド状態の物質を研究するコロイド化学も独立した部門としての形をととのえた。コロイド状態とは物質の微粒子が液体あるいは気体の媒質中に浮遊混和した状態のことで、たとえば水中での微量の脂肪の状態また空気中での燃料の不燃焼部分などの状態がそれである。

化学反応理論の一般化が高い段階に達した。とくに連鎖反応の理論がはじめてN. N. セミョーノフ [1896-]。S. N. ヒンシェウッド [1897-] によってまとめられた。おなじように、触媒現象（反応の最終生成品中には存在しない物質の影響による反応速度の変化）の理論も総括された。

有機物合成の領域では、重合に関連した業績が特別な地位をしめていた。いわゆる高度重合をした分子は幾千の原子でつくられているのであるが、これらの原子は一種の連鎖となり、またこの連鎖が今度は少数の原子のおなじような結合の繰り返しからできているのである。いろいろな結合によるこのような“原子の首飾り”は、人造ゴム、各種のプラスチック、人造繊維などを形成している。

同じ時期のあいだに殺虫剤、すなわち害虫撲滅のための化学的物質をつくる研究が、實際上重要な意義をもつようになった。

### 生物学と医学

生物学へ化学的な研究法と物理学的な研究法をひろく応用するようになったことが、生物化学や生物物理学のような境界部門の創設をもたらした。化学的に純粋な有機物質を分離したことや蛋白質と核酸の構造の研究が進歩したことと、さらに物質代謝過程の新しい効果的な研究法が完成されたことは、20年代と30年代にこの領域であげられた最も重要な成果の一部である。

20年代のなかばには、いろいろな酵素（生物体内に存在して化学作用を促進するもの）が十分に純粋な形で得られ、酵素の成分と有機体への作用の性質を正確に知ることができるようになった。またインシュリンとチロキシンをはじめとする。新しい内分泌物が発見されて研究された。さらにオーキシンがみつけられ、ヘテロオーキシンが人工的につくられた。ヘテロオーキシンは植物細胞の伸長をたすける物質である。

同じころに、ビタミンの系統的な研究が始められた。“ビタミン”という用語はすでに1912年にK. フンク [1884-] が、“これが欠乏すれば病気が治らなくなるある未知の物質”をビタミンと呼ぶことを提案して、使い始めていた。いわゆるビタミンの多い物質が治療に効果のあることはこれまでも多く知られていた（たとえば極東地方に多い“脚気”病へ用いた米糠や壊血病へのレモン汁）。だが、ようやくこの時代になって、ビタミンB（1927年にヤンセンとドナート、1936年にR. ウィリアム [1893-] とG. クライン [1892-]）とビタミ

ンCすなわちアスコルビン酸（1927年にA. セント＝ジェルジ [1893－] が分離され、ついでそれらを化学的に合成することができるようになったのである。まもなくビタミンDが得られ、1929－31年にはビタミンAも分離された。

抗生物質の研究でもいちじるしい成功がおさめられた。抗生物質とはかびその他の生物体が正常な代謝でつくる天然生成物であって、細菌の発育を阻止する性質をもつものである。1924年にR. J. デューボ [1901－] は土壤中の細菌によってつくられるがクラミシジンを得た。すぐつづいてS. A. ワックスマン [41888－] が、放射状菌からストレプトマシンをつくった。1929年には、A. フレミング [1881－1955] が、青かびにふくまれていて細菌を破壊する作用のある物質を記述し、それに“ペニシリン”という名称をつけた。1938年になると、H. W. フローリ [1898－] とE. チェイン [1906－] は化学的に純粋な形のペニシリンの分離に成功した。

抗生物質の発見とその研究という仕事に並行して、抗生物質に類似した性質をもつ人工合成物質（ストレプトシン、スルファゾル、スルフィジン）の作用が研究された。

ヴィールスの研究では、レントゲン線と、すこし後になるが電子顕微鏡の応用が大きな威力をふるった。ヴィールスの結晶がF. C. ボウデン [1908－]、W. M. スタンレー [1904－]、N. W. ピーリ [1907－] によって、また細菌性ヴィールス、すなわちバクテリア・ファージの結晶がF. H. デレ [1873－1949] によって得られた。電子顕微鏡は細胞の微細構造をも観察できるようにした。物質代謝過程の研究は“印をつけた原子”（同位元素）の方法が導入されてから、いちじるしく進められた。これはハンガリーの学者G. ヘベシー [1885－] がはじめて植物生理学の研究へ適用したものである。

細胞の微細構造についての科学（細胞学）は、生物体の遺伝と個体発生の問題を解決するために、応用されて成果をあげた。生物体の構造と形成についての学説には、2つの方向があらわれた。その1つでは記述的な比較解剖学が、進化過程の経路と法則を探究する進化論的形態学へと変化した。もう1つの方向として進化論的生理学がうまれた。胚の発達についての科学（発生学）は、個体発生の法則と形成現象の制御論を確立するための実験への道をたどり始めた。

診断学には、レントゲン照射、研究室での臨床分析や特殊の装置つまり心臓のはたらきを調べる心電計や脳の病状をしらべる脳波計などのデータにもとづく客観的な診断法が普及しはじめた。

生物の組織を物理的にまたは化学的に刺激して研究すること、とくに電気生理学の領域で大きな進歩がおこなわれた。

I. P. パーヴロフ [1849－1936] とその学派による高次神経活動の研究は、

生理学に対してもまた医学に対しても重大な意義をもっていた。パーヴロフのまとめた条件反射理論によって、外部刺激による要因（外来影響）とそれに応じた生物体の活動のあいだのつながりを明らかにすることができるようになった。生物体と外来影響とのあいだの相互作用の問題は、進化論の根本問題を研究する上で中心的な位置をしめるにいたった。

畜産学上の新発見にもとづいて、家畜の繁殖、飼育、経営、利用にいちじるしい成果があげられた。とくに家畜の品種改良の新しいやり方が重大な意義をもった。

多くの国々で、農用植物の栽培に用いる農業技術上の新しい総合的な方法や処置が案出された。たとえば、アメリカではとうもろこしの耕作とその品質の選択に大きな研究がおこなわれ、またL. バーバング [1849-1926] は広く栽培植物について新品質を固定するための仕事をつづけた。ソビエトの農業技術は、K. A. チミリャーゼフ [1843-1920] とミチューリン [1855-1935] の植物生長についての学説と、V. V. ドクチャーエフ [1846-1963]、P. A. コーストウイチェフ [1845-95] その他の学者の、土壌改良と肥沃性増進法についての学説とを総合した農業生物学の成果に立脚していたチミリャーゼフとD. N. プリャーニシニコフ [1865-1948] などのソビエトの自然探検家たちの仕事によって、植物の育成、施肥、病害予防に化学薬品を用いる問題が解明された。

### 地球についての科学

物理学や化学のすぐれた研究成果は、地球についての諸科学の発達にも影響を及ぼした。有用鉱物の探査にあたり、鉱脈試掘作業の新しい多くの実施方法や装置と器具ができた。物理学と化学は、地球の構造と発達についての根本的な考え方に影響を与えた。

放射性崩壊過程の研究が、地熱の本源について、またこれに関連した地表面の起状のでき方についての今までの考え方を再検討しなければならぬようにした。この時代のはじめにV. I. ベルナツキー [1864-1945] とF. U. クラーク [1847-1931] は、地球の化学元素の分析、組合せ、移動を研究する地球化学という新しい科学の基礎をきずいた。同じベルナツキーによって、地球と恒久的な相互作用をもちその外貌を変形させる生物体総体をさす“生物圏”という用語が、提案された。また土壌学は生物界と無生物界のあいだの相互関連を研究することの中心をなしている科学であるが、この科学も総合的な性格をおびてきた。

同じような総合研究の傾向が、地理学の分野にもあらわれた。地理学は“景觀”の具体的な特性、すなわち地球上の一定の地域の自然条件の総体を研究し

ようというのである。これによって地理学は生物学へ近づいていった。生物学では、一定の環境での動植物分布の原則という、生態学の原理がいよいよ大きな意義を加えた。

一時代前に、地図上には“未踏査地”がほとんど残らなくなっていた。そのためこの時代には、地球上のよく調査されていない区域を深く研究することに、注意が集中された。この点にかんしては、航空とラジオが与えてくれる新しい技術的手段が、研究者に大きな便宜を与えた。たとえばソビエトでは航空とラジオ通信がひろく用いられたので、極地研究家の I. D. パパーニン [1894-]、E. T. クレンケリ [1903-]、P. P. シルショーフ [1905-53]、E. K. フョードロフ [1901-] は、固定地点という条件下で北極地方を研究して成果をあげ、また 1937-38 年には氷塊上のソビエト極地観測所“北極”で英雄的な漂流をおこなうことができた。

地球の大気圏の研究者、すなわち気象学者ははじめて、自動器械をつかって大気の高層部を系統的に研究しだした。1930 年からソビエトの学者 P. A. モルチャーノフ [1893-1941] のラジオ・ゾンデがつかわれ始めた。これはそれぞれの大気圏の気温と気圧の数値を記号に直して地上観測所へ送信するものであった。総観気象学的な研究の“前線”をつかう方法は 1918-20 年にノルウェーの学者 V. ビャークネス [1862-1951] が提案したものであって、大気中の気団のそれぞれの部分のあいだの境界面（“前線”）の研究にもとづいており、天気図作成の方法を総合的な方向へ改良した。気象学者にとって長期天気予報をおこなう業務が容易になった。

海底の観察にも新しい手段が発見された。1923 年にフランスの物理学者ランジュバンは、深さの測定をおこないかつ海底の起伏を自動的に記録する“圧電気応用の反響測深機”を発明した。1929-30 年にはアメリカの W. ビビー [1877-] と W. M. バートン [1865-] によって、球形深海潜水器をつかう最初の試みがおこなわれた。この潜水器はケーブルでつないだ鋼製の室であり、観測者がそのなかにはいって 923メートルの深さにまで潜水することができた。

### 自然科学の哲学的諸問題

自然科学の発達は全体として、レーニンが予言したように、弁証法的唯物論の正しいことを確認することになった。複雑なものは必ず簡単明瞭なものに帰着できるという素朴な見解は、新しい発見の影響をうけたために究極的に崩れ去った。科学の発展の性格自体が、学者に唯物論と弁証法で結論を下すようにしむけた。以前ならば、とても科学的な認識をすることのできなかつた領域へ、研究者たちが踏みこみ始めた。彼らによって、質的に独特な、また伝統的な解釈からみると異例ともいえる法則性をもった微視（ミクロ）の世

界と、さらにまた巨大な宇宙的規模の世界が、大きくひらかれた。微視の世界で物理学者は、微視的对象の粒子的な性質と波動的な性質との相互関連、すなわち物質構造の不連続性と連続性の統一をあらわす自然の客観的な弁証法的過程へと直接つきあつた。素粒子論は微視の世界の不尽性とその統一という哲学的な問題の解決にぎりぎりのところまでせまった。電子は古典物理学での簡単な“小さい球”ではなくなった。原子内の電子の状態は同一であるとしていた従来の形而上的な観念がやぶられた。電子のいろいろな量子力学的状態のあいだには、一定の差違のあることもわかった。量子力学は、微視の世界における現象の新しい、古典力学のときとはちがった、因果的な制約性があることを明らかにした。

光はエネルギーであるという考えに反して、新しい実験的な発見と理論的な総括は、光は物質の一種であり、また物質は2つの物理的形狀（物質と場）にあるという唯物論的な結論を下すことができるようにした。一定の条件のもとでは物質の素粒子は、“消滅”して場の量子に変わることもあり、反対に、場の量子から“発生”することもある。時間と空間についての物理的な理論としての相対性理論の結論は、空間と時間は物質の存在の客観的な形状であり、また運動している物質と空間、時間が分離できないという弁証法的唯物論の結果に完全に一致していた。天文学は、いままで不明であった恒星系とその進化の法則をみつけだして、宇宙が物質的に同一であり、物質の形状とその運動はすべて変転きわまりなく、物質は無尽蔵であり、宇宙の進化の法則は客観的なものであり、宇宙とその構造が無限であるといった弁証法的唯物論の命題を新しい具体的な内容でみたした。化学はあらゆる新物質を研究したりあるいは合成したりすることによって、超自然的な造物主があるという宗教的ドグマが成り立たないことを明らかにした。

生物学も、生命現象の客観的な法則をみつけることと生物体の遺伝の性質を変えることで、大きな成果をあげた。ここでは、生物体と環境との相互関連についての研究、生物体の歴史的発展の法則性についての研究が重要な意義をもった。生理学と心理学での肉体と精神の対応の問題は唯物論的に解決された。全体としての自然科学はその客観的内容で、反宗教的、非観念論的、非形而上学的な世界観の基礎をいよいよ強固なものにした。しだいに多くの自然探究者たちが、宗教的、観念論的なまた不可知論的な先入観から解放されていった。

同時に、反動哲学の代表者たちは、科学の発達の高難さを利用し、またそれをねつ造して、自然科学上の新発見や新理論を観念論や信仰に有利なように解釈しようと試みた。いわゆる新実証主義者たちは、物質の“消滅”を証明し、自然科学の理論を純粋に論理的な構成と数学的な方程式の組合せへ帰着させようとした。微視の過程ではエネルギー保存則が“壊れている”とか、“純粋”な

運動から物質が“消滅する”とか、時間的ならびに空間的に宇宙は有限であるとか、膨張する宇宙は神によって“創られた”とか、因果律や法則性は“壊れている”とかなどと最新の発見からいえる、といった多くの誤った結論もあらわれた。

新実証主義者の影響をうけて、若干のブルジョア大学者すら、物質的な対象自体に固有な現実の矛盾をみななかったり、あるいはみることをおそれたりしていたので、自分たちに解決できない論理的矛盾にはまりこんだ。たとえば、“不確定性の関係”や微視的对象の波動性と粒子性の組合せの問題を、微視の世界の現象の因果的制約の問題と関連させて検討しながら、N. ボーア、P. ディラック、A. H. コンプトン [1892-1962]、G. J. ジョーダン [1877-1943] は、電子が“自由意志”をもちどのように運動するかを自分で決めるとか“自然は選択する”とかいう、観念論的な結論に到達した。イギリスの物理学者A. S. エディントン [1882-1944] は、まるで“不確定性関係”が因果律を否定し、聖書のドグマを科学的に“証明”しているなどと断言するまでにいたっている。フランスの唯物論的物理学者ランジュバンはこのような反動的議論を“知的墮落”と断罪している。

資本主義諸国のその他の多くの学者、生物学者、天文学者、化学者、数学者たちも観念論と宗教のために譲歩をした。このことは科学の発展をさまたげ、資本主義諸国では自然科学の哲学的な諸問題の領域での危機が、ますます深刻化し先鋭化していることをはっきりと示した。

ソビエトでは、科学の発展にとって弁証法的唯物論の重要なことをただちには認識しない古い学派の学者たちのほかに、10月革命の最初の唯物論の立場にたった多くの学者がいた。このことはK. A. チミリャーゼフ、I. V. ミチュエリン、I. P. バーブロフ、N. E. ジュコーフスキー、V. L. コマロフ [1869-1945]、K. E. ツィオルコーフスキー、A. E. フェルスマン [1883-1945]、N. S. クルナコーフ A. F. ヨッフエ [1880-1960]、S. I. ヴァヴィーロフ [1891-1951] などのソビエトの自然探究者の活動にとくにはっきりとあらわれた。ソビエトでの社会主義建設の進展、共産党とソビエト政府の科学の全面的発展を目標とした決定と施策は、ソビエトのあらゆる学者およびブルジョア諸国の進歩的な学者（フランスのP. ランジュバン、ジョリオ＝キュリー夫妻、イギリスのP. ブラケット [1897-]、J. バーナル [1901-]、コーンフォース [1909-]、など）に大きな影響をおよぼした。進歩的な学者たちは弁証法的唯物論に立脚して、科学上の発見が進歩的な世界観と一致し、観念論者の見解を完全に反駁していることを示した。

ソビエト科学アカデミー版 (1962)  
世界史現代6、第28章 (日本語訳、1966)

