

物理学・生物学（粒子と波）の進歩

Descartes, Rene (1596-1650)	3
自然諸科学の発達	3
デカルトと機械論	4
RENE DESCARTESの評価	5
コギト・エルゴ・スム <i>cogito, ergo sum</i> (143-4)	6
デカルトからエンゲルスへ	6
デカルトと近代	6
デカルトと分析の方法	7
分析・総合と下向・上向	7
デカルトの先進性とその限界—神と「宇宙発生論」	9
旧約聖書「創世記」の世界	12
アリストテレスの四元因説	12
ニュートンとプリンキピアの世界	13
内部世界とデカルトの心身問題	14
エンゲルスの「自然弁証法」	14
ベーコン FRANCIS BACON (1561-1626) — デカルトの 35 歳年輩の同時代人	16
Newton力学	17
近代力学の成立	17
デカルトとニュートン光学研究	17
ニュートンの数学研究	18
プリンキピア	18
古典物理学の完成	19
熱力学の成立と発展	19
気体分子運動論・統計力学の成立	20
電磁気学の成立	22
世紀転換期の物理学思想	23
16 世紀—17 世紀前半の西ヨーロッパの自然科学の発達	25
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	25
17 世紀なかばまでの自然科学の発達の総括	27
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	27
17-18 世紀の科学と技術の発展の概観	28
科学的研究の新らしい形態	30
ニュートン	32

光についての学説.....	33
音についての学説.....	34
電気についての諸発見	34
生物学の進歩.....	35
発生学の端緒.....	37
1789-1870年代の技術と自然科学	39
自然科学の進歩	39
新しいものと古いものとのたたかい	39
物理学、エネルギー保存則	40
電気学	41
光の電磁理論、マクスウェルの方程式	43
チャールズ・ダーウィン	43
生理学と心理学	45
自然科学の哲学的諸問題（1871-1917）	45
自然科学の哲学的諸問題（1917-1939）	47
EinsteinとPlanck	49
アインシュタイン EINSTEIN, ALBERT 1879~1955（2）	49
プランク PLANCK, MAX 1858~1947（410）	50
●量子論QUANTUM THEORY（507）.....	50
レーニンと「物理学の危機」	51
弁証法的唯物論のレーニンの段階の自然科学的前提	52
自然科学における最新の革命	52
現代自然科学の危機.....	54
自然科学の発展によって提起された哲学の諸問題.....	56
物理学の危機：古典物理学から現代物理学へ——物質・時間・空間概念の発展.....	57
世紀末の2つの暗雲.....	58
比熱と空洞輻射の問題	58
量子仮説の出現.....	59
量子力学の建設	60
特殊相対性理論の出現	61
空間・時間の概念と人間の認識の発展	62
世界と事物を「連関、連鎖」においてとらえる	63
哲学の根本問題fundamental question of philosophy（323-4）.....	64
弁証法的唯物論	65
科学一般・認識論（観念論から唯物論へ）	65
（1）物質と意識との関係についての原則.....	65

(2) 反映 (模写) の原則.....	65
(3) 認識の規準は実践であること.....	67
(4) 自然の可知性の問題—自然認識の限界の問題.....	68
(5) 絶対的真理と相対的真理.....	69
●認識cognition, Erikenntnis (367).....	70
●認識論epistemology, theory of knowledge(368-9).....	71
●感性的認識と理性的認識sensuous cognition and rational cognition (75).....	72
不可知論者たち (デュ・ボアレーモンとヘルムホルツ)	73
生物学と弁証法について.....	76

Descartes, Rene (1596-1650)

自然諸科学の発達

実験的方法の普及は天文学や力学ばかりでなく解剖学、生理学、光学、化学や数学などの諸分野が呪術的・神秘的な議論から解放され、自然の諸科学として成立可能性をひらくものであった。また自然の諸分野の認識の深化は、秘教的・神秘的自然観を克服し近代的な合理的な自然観を成立させていくうえで大きな役割を演ずると同時に、それ自身の発達そのものが近代的な自然観にささえられるという、両者が深く相互に関係しあう構造をなしているのである。

コペルニクスの「天球の回転について」が出版されたちょうど同じ年 (1543 年)、ヴェサリウスの「人体の構造について」という解剖学における画期的な労作が発表された。これはダ・ヴィンチの精神がパドヴァ大学のこのヴェサリウスに受けつがれたものであり、ついでレアルド・コロombo、ヒエロニムス・ファブリキウスらをへて、ウィリアム・ハーヴェイによって近代生理学の基礎にまで高められていく出発点でもあった。

ハーヴェイは 1628 年「動物の心臓ならびに血液の運動にかんする解剖学的研究」(暉峻義等訳、岩波文庫) を出版し、血液循環の理論を実験的に確立した。これによりこれまでの権威ある学説、ローマ時代のガレノスによる医学は完全に打破されることとなった。心臓は生命源たる精気——プネウマをやりとりする器官ではなくなり、それゆえやりとりのための中隔の壁の小孔も否定された。心臓の拡張期が活動状態とされたものも収縮期にこそ活動状態があることを、かれは豊富な実証でしめした。右心室→肺→左心房という小循環をはじめ、大動脈と大静脈が末端の毛細管でつながっているという大循環をも独創的な方法によって完全に論証した。かくて生命活動の基礎が心臓のポンプ作用としての力学的運動におかれることになった。

一方、光学研究も 16 世紀の後半においては、眼の構造や生理光学的研究という領域でし

だいに、光を観測主体からきりはなし対象化する傾向がすすんでいった。これをもっとも決定的ならしめたのは望遠鏡・顕微鏡の出現による光学装置系の設計・製作である。それまでは光の屈折は天文観測における大気層に影響を補正する特殊な問題であった。ケプラーはこの問題やレンズ、眼などを体系的に幾何学的にあつかって「屈折光学」(1604年)を著した。デカルトは「方法序説」の三つの試論の一つとして「屈折光学を著わし、スネルによる屈折の法則をはじめて定式化した。1629～33年にわたって執筆され、出版が断念され結局デカルトの死後出版された「世界論」(1664年)ではその冒頭で観測主体の意識と対象として客観的に実在する光とを区別している。「われわれが光についてもっている感覚像、すなわち眼をなかだちとしてわれわれが光について想像し形づくっている観念と、この感覚像をわれわれのうちにつくりだす対象自体のうちにあるところのもの、すなわち、焰や太陽のなかにあつて光という名でよばれているものとのあいだには、差異がありうるのだということなのである」(「デカルト」野田・神野他訳、世界の名著、中央公論社)。かくして、視覚や視線の学としての経路を幾何学的に論じる学問は、光の物理学的内容および光と物質の相互作用を論じる学問へと展開しうることになった。この分野は1660～70年代にかけて、ロバート・フック、クリスチャン・ホイヘンスやニュートンによって仕上げられることにことになる。さらに、デカルトによる解析幾何学の成立、ロバート・ボイルの化学現象からの目的論の追求なども、この期の自然の諸科学の到達段階といえる。

「新版自然科学概論」(加藤、慈道、山崎、編著)青木書店(1991)より

デカルトと機械論

デカルトはガリレオの宗教裁判の結果を知って、「世界論」の出版を断念し、かわりに「方法序説」を公刊した。ここではスコラ学の空理空論を排し「理性をよく導き、もろもろの学問において真理を求めるための方法について」論じ、「屈折光学」「気象学」「幾何学」の三つの分野をその試論として展開した。彼が研究した分野はこの三分野ばかりでなく、力学、化学、生理学、解剖学、医学、数学と広い自然の諸分野に及んだ。そして拡大し深化した自然の諸認識の成果を基礎に、神秘的魔術的自然像のかわりに新しい自然像を構成したのであった。すなわち自然界を機械じかけで力学的法則によって運動しつづけるものと考え、いわゆる機械論的自然観(機械的唯物論)を提唱したのである。このさい、機械を構成する部品に三種類の目に見えない微粒子を考え、この微粒子の力学的運動によってすべての自然の諸現象を説明しようとする力学的粒子論を展開した。ここにわれわれは古代の原子論の発展的継承をみることができる。しかしデカルトは「二元論」を展開し神の存在意義を強調することによって、みずからの哲学が宗教的・社会的場面で革新的ではなく保守的役割をはたすよう調整したのであった。かれの機械論はもともと生成し発展する自然観として構想されたにもかかわらず、今のべた制約のため、つまり教会権力との妥協

のために修正されたものになった。こののち、ニュートンの力学の体系化の影響をへて機械論は不動のものとなった。

「新版自然科学概論」（加藤、慈道、山崎、編著）青木書店(1991)より

Rene Descartesの評価

デカルト Descartes, René 1596～1650 (318-9)

フランスの哲学者、数学者、物理学者、生理学者。＜近世哲学の父＞とよばれ、合理主義哲学に道をひらいた。また解析幾何学の創始者。トゥレーヌ州の貴族出身。スコラ学の影響を受け、軍隊勤務をしたのち 1629 年以後 20 年間、当時ヨーロッパ最初の資本主義国オランダに定住して自然科学と哲学の研究、その著述にしがたがった。かれは、ほぼ同時代のイギリスのフランシス・ベーコンと同様に、知識の究極の目的は人間が自然を支配し、技術を開発し、原因—結果の関連をとらえ、人間本質を改善することにあるとした。このために、1) かれの方法論では、スコラ学的思弁によるのではなく、純粹直接的な精神の明証つまり＜直観＞にあたえられる＜明晰判明＞な観念を出発点とし、数学的方法をモデルにする分析と総合をへて、複雑なものも確実な認識にたつすると主張した。まずこれがため礎石として数学的真理をもふくめて、いっさいの知識を疑い、その結果＜疑う我＞の存在は絶対に疑いえないという自覚から＜我思う、故に我あり（コギト・エルゴ・スム）＞を直観的に確実で明晰判明な第一の真理とし、探究の出発点とした。すなわち思考する理性をもとにし演繹的に知識を組み立ててゆく合理主義をその立場にした。2) その形而上学。この＜我＞、疑い思考する我の不完全性、有限性という意識の背後には、完全で無限なものも観念、神の観念がひかえており、このことから実体としての神の存在がみちびきだされる。それとともに、精神的実体と物質的実体も明晰判明な観念であり、神とともに人間の脳裡に存する＜生得観念＞だとされて、その存在が承認される。こうして明晰判明なことが真理の規準とされて、この真なる認識があたえるものも存在を承認し、基本的なものとして神、精神的実体、および物質的実体などを生得観念と説いて立論する。ここから、かれの二元論が成立する。3) その物理学、物質的実体たる物体の属性として明晰判明にみとめられるのは＜広がり（*extention*, 延長ともいう）＞と空間における＜運動＞であり、ここから物体間の作用と反作用をもとにして説かれる機械論的自然観が展開される。かれの生理学も唯物論的にいろいろられているが、非物質たる精神との関係で深い矛盾に陥り、納得のゆく答えが得られなかった。この難問にかんしては、その後継者のうちから機会原因論が提出されるようになる。デカルトは神を無限な実体とし、そのもとに思考を属性とする精神と、広がりをもつ物体という相互に没交渉な二つの有限な実体をたてる、物心の二元論の哲学を示したが、その出発点に＜我＞をおき、思考する個人を根底

としたのは近代的な個人の自覚をあらわしたものということができる。しかし、理性による合理的な明証性を抛りどころにするその演繹的方法は、F.ベーコンの実験的帰納法を基礎とする経験論に対立して、観念論をみちびきだすことになった。他方、かれの物理学、生理学にみられる唯物論は、18世紀フランス唯物論を生む要素になった。かれの哲学がその立場にあいまいさをもったのは、社会的にはフランスにおける封建制から資本主義への交替の未成熟を反映した思想上の所産とみることができる。[主著] *Discours de la méthode*, 1637 (落合訳、方法序説) ; *Meditationes de prima philosophia*, 1941 (三木訳、省察) ; *Principia philosophiae* (桂訳、哲学原理) ; *Passiones de l'âme* (伊吹訳、情念論)。

コギト・エルゴ・スム *cogito, ergo sum* (143-4)

<われ思う、ゆえにわれあり>の意味。デカルトが主著《方法序説》のなかで、かれの哲学の第一の原理とした命題。かれはスコラ学の教える真理に疑いをかけ、真なる認識に至る方法としてまず、いっさいを疑うことからはじめた。懐疑論ではないこのような疑いは方法論的懐疑と呼ばれる。この場合、デカルトは疑っている<われ>、これを意識する<われ>の存在は、疑いえない明晰判明な事実だとし、これを真理の認識のたしかな基礎においた。この命題は<ゆえに(*ergo*)>という表現から考えられるように推理の形式をとっているが、実は<われ思う>という意識的自我の存在の直観をいいあらわしたものに他ならない。ここにしめされているのは、主体的に思考する近代的個人の自覚の立場をしめすものと評価され、かれは近代哲学の父とよばれる。しかし<思うわれ>を唯一の出発点としたことは、もっぱら思考の合理的な演繹から真理をたてることになり、ここからは合理主義と観念論とが導き出される。

デカルトからエンゲルスへ

デカルトと近代

ここで諸悪の根源として、近代主義あるいはモダリズムが取りあげられているわけですが、その原点として17世紀のフランスの哲学者で近代合理主義の祖ともいわれるR.デカルト(1596~1650)がしばしば批判の対象とされます。そこでは主に次の二点が問題となります。後にもたびたび触れますが、一つはデカルトが「考えるわれ」として自我を深く自覚し、それが相対する世界を全体として客観的に把握しようとしたこと、もう一つは世界を客観的に知る学問の方法として「分析の方法」を重視したことにかかわります。その現代におよぼす弊害としてもっぱら論難されるのが、まず後者の「分析の方法」で、それは自然界の事物を個別的、要素的にばらばらに分解し分析するあまり、現実の生き生きとした事物の発展的、総体的な把握をそこなう、いわゆる機械論的要素還元主義に陥るもの

とされます。一方、それがもたらす自然観は人間中心的で、解き明かされる客観的自然の法則性は人間による自然支配の道具とされているとされます。

デカルトと分析の方法

デカルトは例の「方法序説」の第二部で、自らの過去の論理学と数学への反省に立って、「自分の精神が達しうるあらゆる事物の認識にいたるための、真の方法」として、四つの規則を提示しています。

「第一は、私が明証的に真であると認めた上でなくてはいかなるものをも真として受け入れないこと。」

「第二、私が吟味する問題のおのおのを、できるかぎり多くの、しかもその問題を最もよく解くために必要なだけの数の小部分に分つこと。」

「第三、私の思考を順序に従って導くこと。最も単純で最も認識しやすいものからはじめて、少しずつ、いわば段階を踏んで、最も複雑なものの認識にまでのぼってゆき、かつ自然のままでは前後の順序をもたぬものの中にさえも順序を想定して進むこと。」

「最後には、何ものも見落とすことがなかったと確信しうるほどに、完全な枚挙と、全体にわたる通覧とを、あらゆる場合に行うこと。」

ここで「第1の規則」は、後に述べるように、最もデカルト的な、したがってまたその限界をもしめすことになる、有名な“明晰かつ判明”という真理の基準です。「第二の規則」は、今日デカルト批判の最大のターゲットとされる、狭い意味での「分析」の方法であり、この視点はまた、次章で触れる古代ギリシアのアリストテレスの「自然学」がその冒頭で提示する「対象と研究方法」のエッセンスでもあります。そして、「第三、第四の規則」は、そのデカルト批判の中でよく見落とされがちな、しかしデカルトにとっては上の「分析」とワンセットをなす「総合」の方法を述べているわけです。さきに触れた野田又夫氏は、デカルトの「分析の方法」を次のように要約しています。

「……一般に「分析」は「総合」にともなわれねばならないから、真理に達するための「方法」とは、まず「分析」によって明白な真な前提（原理）にさかのぼり、次いでその原理から「総合」によって、問題となっている主張を理由づけ証明する、ということにはかならない。」

分析・総合と下向・上向

実際、今日哲学用語一般としても「分析・総合」は不可分のものとして理解されているようです。しかし現実問題となると、そこから相互に対立する「レダクショニズム（要素還元主義）」とか「ホーリズム（全体主義）」批判が登場したり、あるいは「単純な、形式的古典的な分析・総合」と、「複合された、高次の、弁証法的な分析・総合」との間の論争等々が生じてくることも事実です。そこでもう少し「分析・総合」の内容をこまかくみることにします。

それは現実にもみられる、一般に複雑な具体的現象形態から、まず偶然的とみなされる諸要素を拾象して、その類・実体・要素・法則・原因、等々の抽象的、普遍的な概念あるいは本質をえぐり出す、いわば具体から普遍への「下向過程」があり、一方の抽象的、普遍的なものから再び具体的な現象形態を導き出す、「上向過程」として述べられます。現代科学の常識としても、はじめの下向過程、つまり狭い意味での分析過程については、極端なホーリズムを除けば、その必要性、必然性について反対は少なく、むしろ問題はあとの総合（上向）過程の本質的理解をめぐる発生しているようにみえます。

たとえば、「要素還元主義批判」は、多くの場合、論者が科学研究の実際を正確に理解していないこと—それには個々の研究者が、自ら日常的、無意識的に行っている研究活動の総体、本質を客観的に把握して、他者に伝えることの本質的なむつかしさの結果でもありあます—にもよりますが、一方それは「単純な分析的方法」のもつ本質的な欠陥にたいする正当な批判もふくんでいます。ここで「単純な分析的方法」とは、現象（形態）の背後に普遍的なもの、実体、要素、法則などを発見すること（下向過程）で、こと足れりとする態度です。あとに述べるように、物理学をもつばら「法則発見の学」とみる観点もその一つです。これにたいして「複合的、弁証法的分析方法」においては、そもそも下向（分析）過程で真に求められるものは、単に抽象的普遍一般にとどまることは許されず、そこから具体的現象形態およびそれらの相互の連関が内的、必然的に展開され、発生するものでなければならないことを主張します。さらに進んで、「現象（形態）」と「抽象的普遍（本質）」の両概念の間を結ぶ下向と上向の過程は最終的には統一され、両概念相互の内的、必然的な連関を見いだすことが最終ゴールであるとも言われます。

さて、以上の議論も門外漢からみると大変抽象的でむつかしそうですが、しかしこれを科学研究の現場に移せば、ごく日常なことと関係づけられると思います。ここで改めて、さきのラザフォードに始まる原子構造の解明の過程をふりかえってみることにします。このとき α 粒子の大角度散乱という特徴的現象に着目（デカルトの第二の規定という所の、「問題を最もよく解くための小部分」のとり出しに相応）し、それをつうじてえぐり出された（分析・下向過程）原子核および電子は、あきらかにあらゆる物質原子に共通の構成要素—「普遍の実体」に相応します。物理学の関心がこの1911年のラザフォード模型でこと足れりということであれば、ある意味でそれは現実の原子を原子核と電子にばらしてみただけの「要素還元主義」といえるかも知れません。しかし物理学者の関心がラザフォード模型の段階—それだけでも歴史的画期的なステップですが—で、停止するはずはなく、ただちにつぎの研究課題に移ります。いかに必然的に原子核と（ Z 個の）電子が $\sim 10^{-8}\text{cm}$ という一定のスケールの領域に安定した力学系＝原子を形成し、現実の原子がしめす多様な特性、例えば個々の原子が発する特有の光のスペクトル構造や、固有の原子間相互作用等々をもたらすか、つまり普遍の実体（電子・原子核）と現象形態（原子）の間の内的、必然的関連を解明すること（総合・上向過程）が焦点となります。

そしてしばしばその意味が見落とされがちですが、このような総合・上向過程によって、

個々の現象過程が解明されると同時に、“多様な現象形態間の相互の連関” もはじめて解明されることになる点が強調される必要があります。反対に「総合・上向」して多様な現象形態およびそれら相互の連関を漸次解明しえないような「分析・下向」やその成果たる普遍的要素、法則等々は、そもそものはじめから大きな間違いや欠陥をもっていたことが深刻に疑われます。科学研究の現場はまさに日常的にそのような厳しい試行錯誤の場となっているわけです。

デカルトの先進性とその限界—神と「宇宙発生論」

さて以上、二〇世紀末の現在、われわれが到達した自然の階層構造の素描をみたうえで、改めて近代科学の原点とされるデカルトに立ち戻ってみることにします。そうすることによって、わたくしたちが現在不思議にも思っていないことが、本当にそうであるのか深く再考する契機をあたえられるように思います。

これまで、近代科学の「分析の方法」によって、自然現象の背後に、抽象的、普遍的実体や法則が見出されるのがつねであったわけです。さきの野田又夫氏の要約によれば、デカルトはこれを「分析」の四つの規則に導かれて人間が到達する「明白な真な前提＝原理」とみます。そこで、自然には“何故に人間が知りうる、しかし人間とは独立な、そのような真の原理が存在するのか”という疑問が本来おこってよかったように思われます。

第Ⅲ章で改めて述べるように、現代物理学の成立に最高の寄与をしたA・アインシュタインの晩年のことば、“世界の永遠の神秘は、その了解（理解）可能性である”は、このことの本質を鋭くついているように思います。デカルトがはじめに問題にしたのもまさにこの点です。彼はこの外部世界の真の原理、法則の起源を、人間の最高の善、幸福の観念の起源とともに、四つの規則によって「存在証明」があたえられた、“無限の完全性を自らのうちにもつ存在者＝神”に帰します。このことは本書では後々まで深刻に追求されることがらの一つですので、この考えがデカルトのなかで、どのように展開されているか、再び「方法序説」でみることにします。第五部の「自然学」の冒頭部分には、次のように述べられています。

「……その法則は、神が自然の中にしっかりと定めているものであり、かつその観念をわれわれの精神のなかにしっかりと刻みつけているものであって、それについて十分反省しさえすれば、それら法則が、世界において存在し生成するすべてのものにおいて厳格に守られていることをわれわれは疑いえないのである。」

さてここには、二つのことが述べられていることに気づきます。一つは世界において厳格に守られている自然の「法則」は前述の神によって与えられたとする考えです。それは17世紀の近代科学の創始者のほとんどを色濃く把える伝統的なキリスト教文明、あるいは旧約聖書の創世記の世界をはなれて考えることはできません。このことの意義については次章で述べることとなります。もう一つは、その神によって与えられた法則を人間はいかにして知りうるのかについてです。それは同じく「神が人間の精神のなかにしっかりと刻

みつけている」と考え、それを知るには外部世界の経験による必要はなく、専ら例の「分析の哲学」＝数学的悟性の力（人間に「生得的」な「真理の種子」から得るとも言います）によって見いだすことが可能とします。この考えも次章で述べるように、古代ギリシアのプラトンの「真理想起説」（アナムネシス）に連らなり、近代に入っても知性の「生得説」、「先天説」として経験論と対立する流れをつくり出すことは、さきにも触れたとおりです。

第IV章でくわしく議論するように、デカルトによって人間精神のなかに刻み込まれているものの典型とされ、やがてカント（1724～1804）にいたって先験的（経験以前の）「感性的直観の形式」にまで高められることになる「延長」あるいは「空間」概念は、今世紀の相対論と量子論の登場によって、「時間」の概念とともに、その超経験的「絶対性」が否定され、相対化されることとなります。またデカルトは、「哲学の原理」において、神の刻み込んだ自然学の第一原理、例えば慣性の法則をふくむ「三つの自然法則」や物体の衝突に関する「七つの規則」を「感性的知覚」によらずに、もっぱら例の「分析方法」による（数学的）悟性の力で導いたと主張します。実際、「哲学の原理」の第二部「物質的事物の原理」では、「われわれの感覚するものはどんなものでも、何かわれわれの精神とはちがった事物からやってくるのである」として、外部世界の存在を知る上での感性的知覚の役割を認める一方で、「感性的知覚は、……外的物体がそれ自体においてどのようなものとして存在しているかは、ときたましか、それも偶然にしか教えない、ということ。実際、このことに留意するなら、われわれは、感覚にもとづく偏見をたやすく捨て去り、ここでは専ら、自然によって自己に付与された観念に入念な注意を向ける悟性のみを、用いることになるであろう」と言います。つまり、ここではあとに述べるような時代的制約（たとえば錬金術の横行）もあって、「感覚にもとづく偏見」を徐々に取り除いていく「近代の実験」への展望を欠いていることが分かります。

そして最後には「私は自然学における原理として、幾何学あるいは抽象的数学におけるとはちがった原理を、容認もせず要請もしない、ということ。なぜなら、このようなやり方で、あらゆる自然現象は説明されるし、それらについての確かな証明があたえられることもできるからである」と述べています。また「省察」（1641年）の第六章冒頭では「物質的事物は、純粋数学の対象であるかぎり、存在することが可能である、私はそれらを明晰に判明に認識するのだから」と断言するにいたります。この確信が外的事物の本質をもっぱら「延長」をもつもの（レス・エクステンサ）とし、内的世界のそれを思惟するもの（レス・コギタンス）としたデカルトの根本思想につながることを知ることができます。

これはデカルトと同時代を生き、「自然は数学のことばで書かれている」として自然の客観的記述における数学の役割を強調しつつ、同時に経験的事実にもとづく万人に開かれた「近代の実証科学」にむけて巨大な一歩をふみだしたガリレイ（1564～1642）とも、またそれから約半世紀後、「われ仮説を立てず」（その意味については第II章参照）をかかげて、「自然哲学の数学諸原理」（プリンキピア）を打ち立てたニュートン（1643～1727）ともあきらかに異なります。それはまたデカルトの「数学主義」とも言われるものの「限界」

をしめすもので、アインシュタインが指摘する「哲学の幼年期」が陥りやすい、二つの幻想（第Ⅲ章）のうちの一つ、「思考の無制限な洞察力についてのいささか貴族的な幻想」に属するものと言わざるをえません。

このようにデカルトの自然学におけるあきらかな限界が指摘されながらも、同時に現代科学に連なる、もう一つの重要な、その先進性を見落とすわけにはいきません。それはさきの「方法序説」の自然学の、例の引用部分を受けるような形で述べられているものです。

「たとえ神が、はじめに、世界に対して混沌の形態をしかあたえなかったと仮定しても、同時に神は、自然の諸法則を定め、自然が通常のしかたではたらくように協力をあたえた、とさえ考えるならば、ただそれだけで、純粋に物質的なすべての事物は、時とともに、われわれが現在みるようなものになりえたであろうと、かの創造の奇跡をなんらそこなうことなしに、信じるのである。そしてそれら物質的なものの本性は、それらをすっかりできがった姿においてのみみる場合よりも、うえのようにしだいに生まれてゆくさまを見るほうが、はるかに理解しやすいのである。」

これはデカルトの「世界論」（1633年）や「哲学の原理」のなかにその構想が具体的に展開されている、よくデカルトの「宇宙発生論」とか「宇宙進化説」などとよばれる考えに当たります。そこでは、たとえ自然の諸法則が神によってあたえられたものだとしても、いったんそれがあたえられてしまえば、事実上神の手をはなれて、その諸法則だけの力で、（神があたえる）世界の初期状態が仮に「混沌」であっても、やがて時間が経過すれば現在みるような多様な物質世界が自然に生成されるはずだという主張とみることができます。これは言うまでもなく、これまでくりかえし述べてきた自然の抽象的普遍的諸原理（その発見の「分析過程」はいま問わないとして）から、自然の諸々の現象形態を導く、「総合（上向）過程」について述べているわけです。

注目すべきことは、ここで言う“通常のしかたではたらく”自然の諸原理は確かにデカルトにあってはその「哲学の原理」の運動法則のように、「くりかえし可能な」、その意味で「機械論的」な力学原理であるにもかかわらず、そこから長い時間の経過のなかで自然の豊富な生々した階層構造が、発生的、進化的に展開可能だという主張です（前述の「構造主義」および終章参照）。なお、そこではキリスト教会への気くばりをしめしながらも、多種多様な地上の物体の「形相」もはじめから物質のなかに個々ばらばらに、実体的にあたえられているのではなく、自動的、相互連関的に形成されるものであると言います。そして実際、彼の「世界論」や「哲学の原理」ではそのような「総合（上向）過程」の素描が、天体の運行から人間の身体、情念の形成にまでも及びます。そこではプラトンやアリストテレスの地球中心の永遠不変な有限宇宙に代わって、天上と地上を客観的、統一的に見通したダイナミックな無限に広がる宇宙が提示されます。ただ、そこには今日の知識からして、どうみても無理な説明や欠陥が多く見受けられますが、デカルトの自然観が単純に「機械論的自然観」でなかったことは十分読みとることが出来ます。

旧約聖書「創世記」の世界

「人間をあらゆる被造物の中の最も優れたものとして、自然を征服し人間にしたがわせるといふ考え方」は、西欧文明の背後にあるキリスト教の教理の一つとして近年よく強調されるどころです。つまりキリスト教とユダヤ教の聖典である旧約聖書の「創世記」の解くところでは、神は宇宙の創成にあたって、自然と人間を独立につくり、人間（アダム）を自然を支配し、管理する立場においたとされます。これはあとの議論にも関係しますので、創世記の関連部分のみをみることにします。

「初めに、神は天地を創造された。地は混沌であって、闇が深淵の面にあり、神の霊が水の面を動いていた」をもって始まる「創世記」は、天地創造の最終日、第六日目のできごととして、次のように神の言葉を記しています。「地は、それぞれの生き物を産み出せ。家畜、這うもの、地の獣をそれぞれに産み出せ」そして「我々にかたどり、我々に似せて、人を造ろう。そして海の魚、空の鳥、家畜、地の獣、地を這うものすべてを支配させよう」「産めよ、増えよ、地に満ちて地を従わせよ」こうして神は土の塵で男（アダム）を形づくり、さらにそのあばらの骨の一部から女（イブ）を作り、エデンの園で耕作に従事させます。このあと、アダムとイブが「蛇の誘惑」によって“神のように善悪を知ることになる”「善悪の知識の木」の実を食べて、エデンの園を追われるという、有名な「人間の原罪」の物語がつづきます。そして「出エジプト記」の「モーセの十戒」は、まさに神が人間に課した掟、法則となります。

「創世記」の“できごと”は、いまから 6000 年くらい前の時期が想定されているようです。それは聖書という唯一神の「啓示の書」ということをはなれてみると、**「呪われた乾いた荒野」**＝砂漠に隣接する古代イスラエルの人々の酷しい自然観、宇宙観そして人間観を物語るものとして興味深いものがあります。

以上概観した「創世記の世界」は、それを固守するキリスト教神学とつぎに述べる古代ギリシアの自然学などとのぶつかり合いをへて、中世の末期には「神が与えた二つの書物」＝「聖書」と「自然」の考え方を産み、また序章で述べたデカルトの中世的側面に深くかかわっていることが分かります。

アリストテレスの四元因説

これまでに述べたアリストテレスの視座はもちろん彼ひとりの力で一挙につくられたわけではなく、すぐれた先人達の見解の批判、継承のなかで形成されたものと言えます。事実アリストテレスの自然観の視座をなす四元因説も、そのような成果とみることができます。

そこでは、「知恵の愛求」（フィロゾフィア）としてわれわれが求める「物事の原理・原因」は、すべてつぎの四種の原因に帰着すると主張します。

- (1)「質料因」—「事物がそれから生成しその生成した事物に内在しているところのそれ」（事物の内在的構成要素）

(2)「形相因」—「その事物のそもそもなにであるか本質を言いあらわす」(事物の種差)
(3)「起(始)動因」—「物事の転化または静止の第一のはじまりがそれからであるところのそれ」(事物の転化の原因)

(4)「目的因」—「事物の終り、すなわち事物がそのためにであるそれ」(事物の目的)
そして序章で述べたように、同じく「分析の方法」にたちながら、デカルトが「神が人間の精神のなかに刻み込んだ自然の第一原理」から、森羅万象を説明しつくすことを試みたのと対照的に、アリストテレスは「われわれにとってより多く可知的でありより多く明晰であるものから出発して、自然においてより多くの明晰でありより多く可知的であるものごとへ進むのが自然的である」ことを強調します。そして天上、地上のあらゆる事物を深く分析し、その中に上述の四原因を探求し、把握することが、“真に自然を知る”「自然学」の課題であると考えます。

その観点からみると先人達はこれら四原因の探究のいずれかにおいて重大な欠陥のあったこと、そのほとんどが第三の起動因の把握において不十分であったこと、そして第四の目的因にいたっては、ごくわずかの人を除いてその視点を全く欠いていたことを指摘します。すなわち、タレスにはじまるイオニア学派や原子論では「質料因」が突出して、さきにも述べたように「目的因」などは全く立入る余地がないこと、他方ピュタゴラス—プラトン学派では現実の事物からきりはなされた数学的な「形相」の追求に陥っていることを批判します。

ニュートンとプリンキピアの世界

デカルトの「方法序説」から約 50 年おくれで、「われ仮説を立てず」として「実験哲学」を強調するニュートンのプリンキピア＝「自然哲学の数学的諸原理」(1687 年)があらわれます。これはニュートン力学の原典としてあまりにも有名ですが、その終わりの第三篇「世界体系について」では、例の「万有引力の法則」を導くに先立って、彼は「哲学することの諸規則」として次の四つをあげています。

規則Ⅰ 自然の事物の原因として、真実であり、かつそれらの(発現する)諸現象を説明するために十分であるより多くのものを認めるべきではないこと。

規則Ⅱ したがって、自然界の同種の結果は、できる限り、同じ原因に帰着されねばならない。

規則Ⅲ 物体の性質で、増強されることも軽減されることもできない、実験によって見いだされるかぎりのあらゆる物体について符号するところのものは、ありとあらゆる物体に普遍的な性質と見なされるべきである。

規則Ⅳ 実験哲学にあつては、現象から帰納によって推論された命題は、どのような反対の仮説によっても妨げられるべきではなく、他の現象が現れて、さらに精確にされうるか、それとも除外されねばならなくなるまで、真実のものと、あるいはきわめて真実に近いものと、みなされねばならない。帰納による推論が仮説によって除き去られないように、

この規則が行われなければならない。

以上をみて、われわれはニュートンが単純に「われ仮説を立てず」式の経験主義者でもなく、また容易な「仮説」論者でもないことが分ります。実際、このなかで彼は「渦動エーテル」で埋めつくされたデカルトの「世界論」に反対して、まず「真空」の存在を認め、また「慣性」と「万有引力」の双方の要素的担い手となる「あらゆる物体を構成する最小部分」（アトムに相当）の存在を諸現象から結論づけますが、そこにもニュートンの哲学を読みとることができます。

内部世界とデカルトの心身問題

この様子を“素朴な物理的思考”を前提にして画かれた図Ⅲ—①を手助けにして考えます。まず中央部に引かれたタテの点線（（1）あるいは（2））の位置を、左右どこにとるかが大きな問題です。しかし第ゼロ近似として、その右側が外部世界（自然）あるいは「物の世界」といわれるものに、そして左側がそれを認識する「我」とか内部世界とかよばれるものに対応するとします。そうすると早速左側の世界にデカルトの心身問題がでてきます。認識する我とは何か。それは「考える」心とともに、五官（図では眼で代表されている）を備えた身体からなります。そこでまず、身体は「物の世界」に入れるべきではないか、さらに心はどうか、が問われることとなります。確かに今日の脳科学の最前線が示すように、「意識は脳、とくに大脳連合野の活動であり、さまざまな意識を束ねる主体—自我—もやはり連合野の活動である」ということになってくると、タテの点線は図の左端まで漸次移動する必要に迫られてきます。

でもそれは単純な機械論的唯物論への移行ではありません。「自我」は右側の「物の世界」に連続しますが、序章で述べたように、現代物理学があきらかにしつつある「物の世界」の多様な「階層構造」のなかにあっても、人間の脳は最高度に複雑なシステムです。これだけのスケールのなかで、約百億個といわれる神経細胞が入れ子細工のように複雑な多重構造を組んで、「分業と統合」を基本原理として働く、物理、化学的なダイナミックなシステムです。そのシステムは「自らを束ねる」自我意識と、自らもその一部である「物の世界」—序章で述べたように、今日～ 10^{-16}cm の極微から 10^{28}cm に及ぶ広大な外部世界—を「識る」機能を漸次獲得する、まさにそれは数十億年の時間の経過の中で、「物の世界」＝自然がダイナミックに生みだした生物進化の最高の所産です。確かに、人間の脳構造は五官と同じく、あくまでも「地上的、歴史的に制約」された物質的存在です。

しかし一方、そのあまりの精緻さと偉大さは、「およそ知るに値することのすべては、単なる思索によってそれを見いだしうるとする信念」、つまりアインシュタインの言う「天上の、貴族的幻想」をすら生んできたことも歴史的事実です。

エンゲルスの「自然弁証法」

ルソーからおおよそ100年余りをへて、前世紀末になると、第Ⅲ章で述べたエネルギー

ークとアトミステイクの論争が象徴するように、近代科学あるいは物理学はめざましい転回の時代をむかえます。この世紀の科学を特徴づける歴史的、哲学的意義は何であったのか、それを鮮やかにえぐり出したF・エンゲルス（1820～1895）の未完の著作「自然弁証法」や「フォイエルバッハ論」は、古い観念論や素朴な唯物論の枠組みを覆す貴重な古典です。

これら著作の中でエンゲルスは、**19世紀の科学のもたらした三つの大発見**として、「細胞の発見」、ダーウィンの「種の起源」、および「運動形態の相互転化とエネルギー恒存則」をあげています。そしてそのいずれもがこの世紀を特徴づける近代科学の諸分科の飛躍的発展・確立とこれら諸分科の間の連関の解明にまつていることを指摘します。

例えば細胞の発見と進化論の成立には、解剖学、生理学、遺伝学、発生学、古生物学等の諸分科の発展・協力が不可欠であって、まさに両者の発見は序章で述べた「分析と総合」の成果であったわけです（「運動形態の相互転化とエネルギー恒存則」のもつ同様の意義については、すでに第Ⅲ章で述べました）。

一方エンゲルスはこのような19世紀の科学の展開が哲学の世界にも決定的変化をもたらしたことを指摘します。「18世紀の唯物論は、いちじるしく機械論的であった。というのは、あらゆる自然諸科学のうちで当時は力学だけが、しかも天体および地球上の固体の力学だけが、一言でいえば重力の力学だけが、ある程度完成していたからである。……デカルトにとって動物が機械であったように、18世紀の唯物論者にとっては人間が一つの機械であった」。つまり18世紀の「啓蒙思想」の支柱をなしたフランス唯物論はこのような自然科学の水準を反映して、「やむをえない制限」のもとにあったことを指摘しています。

そしていまや19世紀の科学の展開は、上述の三大発見が象徴するように、「物質は永久の循環をなして運動する。……この循環のなかにおいては、物質のあらゆる有限的な存在様式は、それが太陽または星雲、個々の動物または動物種族、化学的化合または分解であると否とにかかわらず、おなじように一時的なものであって、そこにおいては、永久に変化し、永久に運動する物質と、それにしたがって物質が運動し変化するところの諸法則とのほかには、永久的なものは何一つ存在しない」、従って“一切の事物は相互の連関と発展のなかでとらえられるべきである”という機械論にかわる弁証法的な物質観をもたらしたと結論します（序章のデカルト「宇宙発生論」参照）。

これまで概観してきたように、このような物質観は、今世紀に入って現代の物理学のあらゆる分野で一例えば現代物理学諸分科の成果を総集したビッグバン膨脹宇宙論で、素粒子論の最先端で、物性の相転移等々において、より深いレベルから、より統一的に確認され、それは現場の研究者にとっては、いわば常識と化している観があります。N・R・ハンソンも認めるように、今日、大方の「科学哲学」が個々の「すでに完結した」理論体系のあれやこれやの特性の議論におわれて、現実の科学の全体を連関と発展の相で捉える、このような視点を欠きがちであることは不思議です。

ところで上記の「自然弁証法」には気体分子運動論やマクスウェルのエーテル模型等の、

当時の物理学の最先端の課題が含まれるなど、改めてエンゲルスの自然科学への造詣の深さに敬服させられます。しかしその一方で、個々の専門分科の記述においては、そこに時代的あるいは文献的制約がみられることも事実です。ただ、そのような制約下にあってもなおかつ、目前にめまぐるしく展開する科学全体のエッセンスを見事にとらえた事実は、とかく科学の現場の関心からそれがちな今日の科学哲学のあり方に大変示唆的です。

「物理学と自然の哲学」より(1995)

ベーコン Francis Bacon (1561-1626) ——デカルトの 35 歳年輩の同時代人

経験論による唯物論的見地と帰納法と経験的科学与を、新しく唱えた。

イギリスの哲学者、ルネサンス期の代表的人物、政治家としてもイギリス国王の大法官の地位にあったが、のち失脚した。かれの哲学は、イギリスの本源的蓄積の時代にあたって、新しい知識をもとめる要求に対応したものであった。それは、経験論による唯物論的見地と帰納法と経験的科学与を、新しく唱えたところにあらわれている。かれは、学問の目的が自然にたいする人間の支配力を増大させるところにあり、それには事物の真の原因を明らかにする必要がある、したがってスコラ学のようにドグマにとらわれて思弁のうちで概念を練りあげるのは誤りであるし、また任意の経験から結論をひきだす経験主義も役に立たないとする。そこから科学に役だつ実験にもとづく帰納法を明確にすることがもとめられ、それとともに従来の先入見をとりのぞくべきことを主張して、イドラ説をしめした。かれが近代哲学の先頭にたつ哲学者として評価されるのは、唯物論の伝統を復活させ、古代ギリシアの唯物論を高く評価して観念論の誤りを指摘しながら、自然の唯物論的概念をしめして、物質が諸分子の結合からなり、その結合の多様さから自然の多様なことが生じるとし、また物質は運動をその本質とするとみるとともに、運動をたんに機械的なものに限定しなかったなどの点である。しかし、かれの見解にも時代的制約がまつわっており、過去の神学的残物がまじっていて、その点でその唯物論は整合的だとはいえない。かれは、その社会観を《Nova Atlantis》(1627)でユートピア的にえがきだし、そこでは科学と技術にもとづく豊かな社会が展開されるとしたが、支配と被支配の人間が存在することを否定してはいない。[主著] *Novum organum*, 1620 (ノーヴム・オルガヌム,これはアリストテレスの《オルガノン》に対立して名づけられている); *The advancement of learning*, 1605; ; *Essays*, 1597) 神吉訳, ベーコン随筆集)。

「新機関」 *Novum Organum*, 1620; [科学論] *Argumentum*,

Newton力学

Isaac Newton 1643—1727 cp. René Descartes 1596—1650

近代力学の成立

デカルトとニュートン光学研究

ニュートンが研究者としての一步を踏みだした光学の分野でも力学の分野に似たような状況があった。光をエネルギー諸力の一つとして、観測主体から独立した物理的実在としてつきつめようとしたのは、すでにのべたようにデカルトであった。ニュートンの光学研究のそもそもの動機は望遠鏡の改良にあったが、光を物理的実在としたのはニュートンの場合もデカルトと同じであった。ニュートンは1666年、プリズムを用いた光の屈折の最初の研究を開始した。これは当時、単レンズからなる望遠鏡では拡大倍率を上げると色収差の強い像が結像し性能の向上が望めないことからきていた。当時、球面収差は知られていたものの、色収差は確認されていなかった。ニュートンは色収差の現象に注目し、像の回りにできる虹色の、隈どりの原因を探究したのである。それがプリズムによる光の分散実験であった。1671年かれは「光と色の新理論について」を発表した。これから1675年にかけて、光学研究を展開するロバート・フックとのいさかいがもとで光学研究の論文は1704年まで発表することがなかった。1704年フックの死後、ニュートンの光学研究の集大成ともいべき著書「光学」が出版される。ニュートンを粒子論者、ホイヘンスを波動論者などによくいうことがあるが、こうした議論が正当性をもってくるのは19世紀にはいって、光の波動論が確立してからのことである。事実ニュートンは光の本性を論じるときには注意深く、光を「運動または物体」と呼び粒子とも波とも断定はしなかった。もっとも光の直進性をのべるときや、物質と相互作用する光の分散を述べるときには、その物質や光の描像はきわめて明確な粒子像を描いてはいる。だからといって光の反射や屈折が、壁にボールが突き当たって曲げられると信じられているが、どんなに磨かれた鏡の表面でも物質の表面は凸凹をしており光は乱反射されてしまうことになるとして、**力学的アナロジーとはきっぱりと決別している**。「演繹的に証明されない仮説的な」段階では安易な結論を下さないニュートンの光学研究上の立場はきわめて今日的である。かれは徹底した体系的な光学実験の末に色収差を除去不可能という誤った結論に達する。いわゆる色消しレンズは次の世紀にドロンド、オイラーらによって世に出されるが、屈折率の異なる物質からなる2枚以上のレンズを張り合わせることで、この困難は避けられることに気づかなかったのである。しかしこの結論から、グレゴリーの反射望遠鏡を参考にして優れた反射望遠鏡を完成させ、イギリスの科学界にさっそうと登場したのである。

ニュートンの数学研究

ニュートンの数学研究は光学研究とほぼ同じ時代に始められ、有名な流率法は1666年にその基本骨格が構想された。しかしこれが論文として発表されるのは先にのべた「光学」の付録のなかであった。ためにベルリン科学アカデミー会長ライプニッツとイギリスの王立協会会長ニュートンのあいだに激しいプライオリティをめぐる争いがもちあがったのである。ケンブリッジの学生時代、ニュートンはデカルトの「哲学原理」をはじめ、フラン・バン・スクーテンの数学のテキスト、ウィリアム・オートレッド、ジョン・ウォリス、フェルマーらの論文やテキストを渉猟した。そして二項定理、無限級数の研究へと進み1669年「無限級数の方程式による解析について」（出版は1711年）、1671年「流率と無限級数の方法」（出版は1736年）を書き上げていた。ライプニッツとのプライオリティ論争は二人がドイツやイギリスを代表する科学者であったことから発した国家の威厳をかけた争いであって、現実には二人が独立に微積分法に到達していたのであった。

プリンキピア

ニュートンの力学の基本構想も1665年から1668年の実りの多い時代になされた。しかし彼は数学研究と同様その成果をすぐには発表しなかった。発表のきっかけは光学論争で不仲になったニュートンとの関係を改善しようと考えたフックの誘いにあった。フックは王立協会の書記として「遊星の天体運動を接線の方向に沿った直線運動と中心体に向かう吸引運動との複合とみる見解について、貴見をおもらしくくださるなら栄光のいたりに存じます」とニュートンに投稿をすすめたのである。そしてエドモンド・ハレーの尽力のもとで1687年、有名な大著「プリンキピア」(Philosophiae Naturalis Principia Mathematica)を出版する。ニュートンは「読者への著者の序文」で、これまで機械学(力学)は主として技術を目的としたもので、自然界の説明に用いられてこなかった、と指摘する。だから「数学的力学」をもとに「世界体系の解明」をめざし、「天体现象」をも取り扱うと宣言する。ついで「定義」「公理、または運動の法則」が示され、第1編「物体の運動について」、第2編「物体の運動について(抵抗のある媒質中における)」、第3編「世界体系について」とかれの力学的理論が全面展開される。

質量を定義して、「物質量とは物質の密度と大きさをかけて得られる物質の測度」であるという。密度は質量が定義されないと求められない量でこれでは循環論法になってしまう。こうした定義のまずさはともかくも、ほかに運動量、力、加速度など8個の基本概念が定義され、注では絶対時間、空間の概念が語られる。つづいて運動法則の第1「すべての物体は、その静止の状態を、あるいは直線上の一樣な運動の状態を、外力によってその状態を変えられないかぎり、そのまま続ける」、第2「運動の変化は、及ぼされる起動力に比例し、その力が及ぼされる直線の方法に行われる」、第3「作用に対して反作用は常に逆向きで相等しいこと。あるいは、二物体の相互の作用は常に相等しく逆向きであること」が言明される。もっともこの第2法則は運動の変化そのものであって、運動の時間的変化の割

合ではない。こうしたところどころに散見される不備は、のちに力学的諸概念の洗練と形式の整備を通じて、今日知られるようなものになる。第1編で数学的な準備を済ませると質点の運動や中心力の作用する場合などが論じられ、第2編では抵抗のある媒質内の物体の運動や流体の運動がのべられ、デカルトの渦動論が力学的に否定される。ついでケプラーの三法則が証明される。力学上でも生じたフックとのプライオリティ論争で公刊を断念しようとした第3編では万有引力の法則の証明が展開される。

マニュファクチュア期の技術的諸課題から出発した機械の学はかくして、地上の力学と天体の力学をも包含する壮大な力学的理論を創出することとなった。たとえ神の一撃を要請するニュートンの弱さがあっても、力学理論は一人歩きをはじめ、さらにその後の自然観にも強烈な影響をあたえることとなったのである。

「新版自然科学概論」(加藤、慈道、山崎、編著) 青木書店(1991)より

古典物理学の完成

古典物理学の一領域としての力学は、数多くの実験・観測事実によってその正しさが実証され、解析力学として数学的定式化の点でも、19世紀前半までにほぼその理論体系が完成されていた。19世紀に熱力学あるいは気体分子論、そして電気磁気学においても、力学原理にもとづく種々の理論化が試みられたことに、当時の古典力学の権威がいかに大きく、かつまた、あらゆる諸現象・過程の法則性が力学法則に還元できるとする機械論、ないしは力学的自然観がいかに広く支配していたか、をうかがい知ることができる。19世紀後半は、力学的自然観がなお少なからぬ影響をあたえながらも、力学以外の古典物理学の諸分科がそれぞれ独自の理論的体系化を終えて自立し、名実ともに古典物理学が完成された時代である。

熱力学の成立と発展

1924年のカルノーの定理の発見、さらには40年代におけるエネルギーの諸形態間の転化と保存の法則(熱と仕事の等価性の原理をふくむ)の発見などによって、熱力学成立の基本的前提が整った。

ところで、24年の段階で熱素説にしたがっていたサルディ・カルノーは、熱機関における動力の発生は、高温物体から低温物体への熱素の移動による、とみなしていた。熱と仕事の等価性の原理は、熱素説を否定するののものであり、したがってまた、上のカルノーの考え方も無効にする。

ドイツの物理学者クラウジウスは、この点を明確にしてカルノーの定理を熱運動説にもとづいてとらえなおし、1850年に熱力学の第一法則と第二法則を最初に定式化した。

第一法則は、エネルギー保存の法則の熱的過程への適用であるとともに、物質系の状態変化でのエネルギーの諸形態の転換において、その系の熱力学状態のみに依存する内部エ

エネルギーという状態量の存在を規定している点で、クラウジウスによるこの法則の定式化は新しい内容をふくむものであった。一方、第二法則は、熱的過程の普遍的性質である非可逆的な変化とその極限としての熱平衡状態の存在を規定したものであり、第一法則とともに熱的諸現象の本質を規定する基本原理を定式化したものとなっているのである。

これにたいして、クラウジウスに先だってカルノーの定理の基本的意義をみとめ、1848年にそれにもとづいて最初に絶対温度を熱力学的に定義していたイギリスのウィリアム・トムソンは、翌51年に第二法則を気体以外の物質系一般になりたつかたちで規定した。さらにその翌年、彼は、自然界では力学的エネルギーなどの有用なエネルギーは熱として散逸する普遍的な傾向をもつ、というかたちで第二法則性を表現した。

以後、熱力学は、主としてこれら二人の物理学者がたがいに影響しあいながら、体系的な理論として、また数学的にも明確な定式化がなされることになった。

クラウジウスは、54年に第二法則の解析的表現を初めてあたえ、つづいて、熱機関のような循環過程だけではなく、化学変化などをふくむ一般的な状態変化にも適用できるかたちで第二法則を定式化することを試みた。彼は、1865年に至って、エントロピーを独自の巨視的状态量として導入して、第二法則に「宇宙のエントロピーは最大値に向かって増大する」という表現をあたえた。こうして、熱力学は、絶対温度、エネルギーとエントロピーという基本概念を基礎に基本的な体系化を完了した。

19世紀における化学工業・技術の発達は、化学反応や物質の状態変化（相転移）などの実験的・理論的研究を刺激したが、70年代に至って、ホルストマン、ギブズ、ヘルムホルツらが、熱力学を化学熱力学の体系に拡張・発展させた。熱力学は、化学平衡、電池の起電力など、広範な物理化学的諸現象・過程の巨視的なレベルでの研究に適用され、数々の成果をうみだした。

こうして、熱力学は、その後の熱機関工学の成立・発展に寄与するとともに、物理科学技術の自然科学的基礎としての物理化学成立の基本的な前提となったのである。

気体分子運動論・統計力学の成立

化学的原子論として再生・発展した原子論は、物理学の領域では、エネルギー保存の法則の発見によって熱素説が否定されたのにともない、ようやく19世紀後半になって気体分子の動力的理論のかたちをとって本格的な展開がなされる。

その端緒を切ったのは、1856年のクレーニッヒの論文である。彼は、気体が、完全弾性的な個体球として空間内を一定の速度で直線状に運動する諸分子から成る、とみなし、気体の圧力を分子運動の力学法則から計算して、理想気体の状態方程式を導出した。

この論文に刺激されて、翌57年にクラウジウスは、クレーニッヒの計算結果をより正確なものにするるとともに、気体比熱の計算値と測定値との比較から、多原子分子の場合、分子の並進運動だけでなく、その自転や内部運動（振動）が重要な意味をもつことをはじめ

て明らかにした。さらに、彼は、気体分子の平均速度を計算し、それが毎秒数百メートルに達することを示した。

平均速度の大きさにくらべて、気体の拡散などの現象が比較的ゆるやかにおこることの矛盾を指摘されると、クラウジウスは翌年に、気体分子の平均自由行程という概念を導入し、分子は他の諸分子とのたえまない衝突の結果、頻繁にその運動方向を変えることによって、自由に並進運動できる平均の道のりは小さい、としてその異論に答えた。

ところで、クレーニッヒもクラウジウスも、すべての分子は同一の速度（平均速度）をもっていると仮定していたが、じっさいの気体分子の速度は、ある平均値のまわりに分布するさまざまな値をもっている。このことを正面にすえて気体分子の速度分布をあらわす関数（マクスウェルの速度分布則）を初めて導出したのは、イギリスのマクスウェルである(1860年)。彼は、これを使って、気体の状態方程式、平均自由行程などを計算するとともに、拡散、熱伝導、粘性の各係数の値を理論的に求めた。なかでも、彼の求めた粘性係数が気体の密度に依存しないという結果が実験的にも証明されたことによって、気体分子運動論は、とりわけイギリスにおいて大きな信頼を勝ちえたのであった。

このような発展を背景に、オーストリアのボルツマンは、熱力学の第二法則を気体を構成する諸分子の力学法則によって説明する、という基本課題を設定して、この領域の研究に加わった。すなわち、これは、速度分布関数が時間の経過とともに平衡状態のマクスウェル分布則に近づくことを力学的に証明しよう、という試みである。彼は、1872年速度分布関数から成るある関数(H関数)が時間とともに減少すること(H定理)を示し、熱力学第二法則=エントロピー増大の法則の理論的証明に成功した、と考えた。

しかし、76年になって、力学法則の可逆性とH関数の一方的な減少との矛盾(可逆性のパラドックス)を同僚のロシュミットに指摘され、ボルツマンは理論の再構築をよぎなくされた。そして、翌年に、「第二法則は、確率法則であって、それゆえに力学の方程式だけからそれを導くことは不可能である」、という原理的に新しい方向をうちだし、ある巨視的な熱学的状態に対応する微視的な状態(諸分子の速度と空間的位置によって決まる)の数の統計的算出によって、多数の粒子からなる巨視的な物質系は、確率の小さい状態から確率のより大きな状態に移行する、という表現で第二法則を確率論的統計法則として解釈しなおしたのである。このような原理的な研究をふまえ、彼は、拡散や熱伝導、あるいは化学過程をもふくめた具体的な諸問題を精力的に研究し、一定の成果をあげた。

こうして、ボルツマンは、熱力学の第二法則を力学法則に機械的に還元することはできないことをあきらかにするとともに、分子・原子の微視的運動形態からそれらの集合体としての巨視的物質の運動形態への質的移行の結節点の内容を鮮明なものにしたのである。

マクスウェル、ボルツマンらによってその基礎がすえられた統計力学は、アメリカのギブズによって見事な理論体系にしあげられ(1902年)、今日の量子統計力学の確立につながったのである。

電磁気学の成立

電磁気学は、1800年のヴォルタの電池の発明に端を発した、19世紀前半における電流の磁気作用にかんするエルステッドやアンペールらの研究、およびファラデーによる電磁誘導の研究を直接の源流として、19世紀後半に至って理論的に体系化された。

イギリスのファラデーは、静電気現象をも含め電磁気現象を、空間にひろがった電氣的、磁氣的な力線を媒介とする近接作用の考え方にたって、説明することを試みた。

これにたいして、ドイツのウェーバー、ノイマンらは、40年代から、アンペールの考え方を継承して電磁力を遠隔作用と考え、ニュートン力学の見地から理論展開をおこなった。たとえば、ウェーバーは、電流が帯電粒子の運動からなるとして、電流要素間にはたらく力を導出し、電磁誘導現象をも同じ観点から定量的に表現した。大陸を中心になされたこのような研究は、電気力学と呼ばれた。

以上の二つの流れのうち、19世紀後半における電磁気学成立に寄与したのは、基本的には前者であり、その中心的存在となったのはイギリスのマクスウェルである。とはいえ、電気力学派の帯電粒子の運動論に由来する実体的な荷電粒子の描像は、その後の電子論の形成に重要な基礎をあたえたのである。

マクスウェルは、1855-56年に、ファラデーによる力線を非圧縮性流体の流線との物理的アナロジーのもとで数学的に表現することによって、電磁気の諸現象を統一的に説明することから出発した。

彼は、たくみな流体力学的モデルを使って、アナロジー的に電磁誘導の数学的表式を導出したのにつづいて、電気を通さない誘電体中での電気力による粒子の変位の時間変化が電流と等価な働きをすることを見いだした。変位電流と呼ばれるこの新しい物理量の導入によって、彼は、媒質中での電氣的粒子の振動が空間内を伝播する可能性を発見し、その伝播速度が光の速さに等しい電磁波の存在を予言するとともに、光が電磁波の一種である、と結論づけた。

さらに、マクスウェルは、1864年の論文では、媒質の力学的モデルによる理論構成に代えて、演繹的な理論体系を叙述し、電磁場をエーテルをもふくむ物質的実体が担う一つの状態とみなした。このように、近接作用を担う場の概念を基礎に構成された電磁理論は、古典力学の遠隔作用論とは異質な理論体系として構成されたのである。

1888年、彼の予言した電磁波の存在が、ドイツのヘルツによって実験的に検証されたことによって、光の電磁波説をふくめ、マクスウェルの電磁理論は急速に受容されることとなった。それとともに、電磁場を担う物質的実体（エーテル）の力学的構造をあきらかにする試みが、ウィリアム・トムソン（ケルヴィン卿）らによってなされたがことごとく失敗に帰し、1905年にローレンツが電子論を発表するにおよんで、電磁場は空間に内在する独立した物理的実在とする考え方が定着するようになったのである。

世紀転換期の物理学思想

以上のように、19世紀後半に成立した古典物理学は、それぞれ古典力学とは異質な概念や考え方を内包していた。換言すれば、あらゆる自然現象が力学法則によって説明可能だとする力学的自然観の正当性は根底から問いなおされることになったのである。

もっとも、19世紀末にいたっても、前述のケルヴィンのように、電磁場（エーテル）の力学的モデルの構築を執拗に追求した機械論の流れがいぜんとして存在していた。また、ヘルムホルツらによる、力学、電磁気学、そして熱力学をふくめてそれらを一般的な理論形式（解析力学の数学的形式）のもとに統括しようとする試みは、熱力学の第二法則の非可逆性を包摂することはできなかった。

また、とりわけ1880-90年代における熱力学の物理化学領域での数々の成果にくらべて、分子運動論・統計力学は、その対象がほとんど気体にかぎられており、またその数学的取扱の困難さのために、必ずしもそれに匹敵できるほどの成果をうみだしていなかった。

こうした諸事情は、機械論あるいは力学的自然観にたいする機械的な反発をまねき、ひいては原子・分子仮説＝原子論を否定し、したがってまた**物質そのものの客観的実在性をも否定する考え方を誘発した**。

物理化学の成立期における中心的存在であったオストヴァルトは、90年代にいたって、熱力学の本質をエネルギー論に一面化し、物質概念を捨てさってエネルギーを唯一の実在とみなすエネルギーテイクを主張し、ボルツマンの原子論的立場にたいする強力な反対者として登場した。

ところで、オストヴァルトの科学思想に大きな影響をあたえたのは、実証主義者マッハの認識論であった。マッハは、力学をあらゆる物理学の基礎とみなす見解を否定し、ニュートン力学にたいする根底的な批判的検討をすすめるなどの積極面をもちながらも、他方では、物質をわれわれの感覚から独立した客観的実在とみる唯物論を否定し、感覚要素とその複合を科学の基本的な認識対象とみなしていた。したがって、科学の任務は、彼にあっては必然的に、感覚によって直接観測可能な諸量間のできる限り簡潔で包括的な関数関係を見出すことにあるとされたのである。

このような主張にたいして、原子論を敢然と擁護してたたかったボルツマンは、人間は感覚データからその背後にあるもの（仮説）を推論する能力をもっており、つねにそれを客観的事実にしたがって修正しながら守り育てていくことこそが重要であることを強調した。また、「自然現象の総体が疑いもなく力学的に説明しつくされうる」、という見方はすでに克服されていること、したがって、オストヴァルトは「もはや全く存在していない見地にたいして反駁している」にすぎない、と反論した。事実、ボルツマンの結論は、前述のように、巨視的物質系の非可逆性を原子・分子の力学的運動法則に一元的に還元することはできないことを示していた。それと同時に、彼は、マクスウェルの粘性係数の導出や気体比熱の比の説明など、分子運動論によってしかできない事例をあげるとともに、熱

力学の巨視的理論——ギブスの解離理論やファン・デル・ワールスの状態方程式など——も分子論的見地なしでは達成できないことを指摘したのである。

しかし、物理・化学領域での熱力学の数々の成功と、当時におけるマッハやオストヴァルトの権威は、大陸における原子論の発展に影を落としていた。マックス・プランクでさえも、主として熱力学の研究に従事していた 90 年代中頃までは気体分子運動論にたいして懐疑的態度をとり、91 年の学会ではマッハやオストヴァルトを支持していたとされる。90 年代なかばになって、彼は、エネルギー一元論の一面性を批判して、エネルギーが科学の発展になんらの実証的な寄与もなしえない誤った理論であることをくわしく論証した。その後、1900 年に熱輻射のプランク公式をボルツマンの統計力学によって根拠づけ、エネルギー量子の導入をもって 20 世紀現代物理学の端緒を築いたプランクは、積極的な原子論者として、「世界の真の唯一の要素は感覚である」とするマッハの哲学をしりぞけ、「物理学的世界像は、現実の、われわれとはまったく独立した、自然の諸過程を反映している」（1908 年の講演）、という唯物論的見解を前面に押し出した。つづいて「熱学、化学、電子理論の領域においては、原子の運動理論はもはや単なる作業仮説ではなく、確固として持続的な根拠をもつ学説である」（1910 年の講演）、とする積極的な主張をおこなったのである。

一方にボルツマン、他方にマッハとオストヴァルトを擁して、アトミスティック（原子論）とエネルギーとあいだで激しい論争が展開されていた 19 世紀末に、新たな物理学上の諸発見——X 線、放射能、電子の発見、およびマイケルソン＝モーリーの実験など——があいつぎ、物理学は古典物理学の枠内にはおさまりきれない原理的に新しい諸対象に直面した。

フランスの偉大な数学者ポアンカレは、こうした事態をまのあたりにして、物理学の「あらゆる原理」が「危機に瀕している」、と指摘し、物質の客観的実在性に疑問を呈してマッハやオストヴァルトの見解にくみした。彼らの思想に対して、レーニンは、科学者たちが「唯物論と、その一面的な「機械論的性格」と闘争し」、物質の客観的実在性を否定する観念論へと転落した、と根底的な批判をおこなったのである（「唯物論と経験批判論」）。

ところで、力学的自然観の正当性を主張し続けたケルヴィンは、1900 年プランクの量子仮説が発表される直前におこなった講演で、19 世紀の力学理論が大きな成功をおさめたことを誇示しつつも、「熱と光の力学的理論」の輝かしき成功に影を落としている 2 つの暗雲として、光エーテル理論にまつわる謎と熱の分子運動論のエネルギー等分配則をめぐる難点とを指摘した。第 1 の暗雲からはアインシュタインの相対性理論が、第 2 のそれからはプランクの量子仮説が姿をあらわした。ケルヴィンの指摘ははからずも、今世紀における物理学革命の端緒を予言するものとなったのである。

「新版自然科学概論」（加藤、慈道、山崎、編著）青木書店(1991)より

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た。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いたが、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的“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うでいた——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”¹⁾

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、きわめていちじら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。

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隨者たち) 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、クローンの《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。

科学的研究の新しい形態

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ジュミット〔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、国内各地で歴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、調査が組織的集团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目ざす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、かずかずの発見をした。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、また宗教的教義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の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の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の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》—とくにユーツ〔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みえたので、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。

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

ゲール [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ェール [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、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、静電気の分野での量的測定の糸口となった。

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、空中電気の理論がつくり上げられた。

ロモノー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。ロモノーソフとリヒマンは、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)。のちにロモノーソフは、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つくり上げた。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、エピーヌス [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。エピーヌス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。

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った。顕微鏡解剖学の創始者の 1 人マルピーギ [1628—94] の著書をみれば、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っきりと知ることができる。このイタリアの学者は、彼自身がかつても単純と思った現象（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った。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った。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、またそののちでき上がった液汁が、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とになったのである。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上にもっとも有効なのは人為分類法、すなわちスウ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った。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）の個数と配置を採った。彼の体系はばく大な数の植物にわたっていた。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った、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ったからである。

リンネによれば、基本概念は種であった。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った。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、たがいに似かよっ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。そののち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、純粋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、また一もつとも重大なことであるが一前成説と、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。

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”¹⁾ 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。

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つた。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つた。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つた。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ド〔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、リービッチ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。

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切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、現在の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方々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”¹⁾。

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”¹⁾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年に電弧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、ヴォルタの電弧と名づけられた。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の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”¹⁾発見がなされようとしているとのべている。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。

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、生き生きと生きるためにたまたま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、ということ的支持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’不変なものともみることを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”¹⁾とのちにレーニンが書いている。

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、彼は事実と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

て解釈した。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いたが、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。

自然科学の哲学的諸問題（1871-1917）

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ぐ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よう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、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さった。新カント派のH. コーエン〔1842－1918〕は1896年に、電気の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、純粹に約束ごとの、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い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. チミリヤ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

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っ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、客観的な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”¹⁾。

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、その学説が客観的な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学と和解できるのだ!”²⁾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。

自然科学の哲学的諸問題（1917－1939）

自然科学の発達全体として、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。複雑なものは必ずしも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の方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、微視的対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たった。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かつたり、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”や微視的対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ざまに、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. ミチューリン、I. P. バーブロフ、N. E. ジュコーフスキー、V. L. コマローフ [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。

EinsteinとPlanck

相対性理論と量子力学

アインシュタイン Einstein, Albert 1879～1955 (2)

ドイツの理論物理学者。相対性理論（1905～16）の発見によって1921年にノーベル物理学賞を受けた。このほかに、光の粒子性を基礎づけた光量子説（1905）など多くの画期的な論文を発表した。ヨーロッパ各地で大学教授を歴任した後、カイザー・ウィルヘルム研究所の物理学部長（1914）。1933年に、ナチスに追われてアメリカに移り、プリンストン大学高等研究所の研究員になる。ナチスドイツに先がけて原子爆弾を開発することの必要

性をルーズベルト大統領に訴え、アメリカにおける原子力開発の端緒を開いた。そして相対性理論の論理的帰結である質量とエネルギーの保存則は、原子爆弾という悲劇的なかたちで全世界の人びとの前に確証された。自分の研究の成果が人類に計り知れない悲惨をもたらしたことの深刻な反省は、その後かれを、平和運動などの社会活動に意を用いるようにさせた。その哲学的見解では、はじめマッハ主義に共鳴していたが、のち（1920年代）にはこれから離れ、また論理実証主義をもって物理学の諸成果を解釈するのを拒否し、世界の客観的存在とこれの認識の可能なこと、自然のすべての過程が因果的相互依存関係にあることの確信のうえにたった。

プランク Planck ,Max 1858~1947 (410)

ドイツの理論物理学者。キールの生まれ、ベルリン大学教授、のちカイザー・ウィルヘルム研究所の総裁。その間、**1918年**に量子仮説の導入によってノーベル物理学賞をうける。**量子仮説の導入は1900年**のことで、この仮説は固体を熱していく場合に、固体から放射される光（熱輻射）の性質を説明するのに必要であって、当時は熱輻射の説明に長波長の側でよく実験に合うレイリー・ジーンズの式と、短波長の側で合うウィーンの式があり、プランクは全波長領域で実験によく適合する新しい式を提唱した。この式の理論的基礎づけのために、エネルギーの不連続性、すなわちエネルギー量子が仮定された。この量子の導入は、それ以後の物理学に決定的な変革をもたらした量子論への第一歩であった。かれのこの量子仮説は、それまでのすべての物理学の理論を根底からくつがえすものであり、こうした変革に影響されて19~20世紀の境から物理学的観念論があらわれる一因をなしたが、プランクは物理学的理論の客観的性格を疑わず、マッハの思惟経済説などに反対した。

〔主著〕Vorlesungen über Thermodynamik,1897 ; Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung,1906 ; Die Einheit des physikalischen Weltbildes,1909（田辺訳,物理学的世界像の統一）。

●量子論quantum theory (507)

1900年の量子の発見によって、古典物理学の概念がそのままでは微視的領域でなりたたないことが明らかになると、古典物理学を変更して新しい理論をつくることが課題となった。1913年にボーア(Niels H.D.Bohr, 1885~1962,デンマークの物理学者)は、原子の中の電子のとりうる軌道を、量子の考えと結びついた特殊なものに制限し、また光の放出も量子的に起こると仮定し、それ以外は古典論を使って原子スペクトル、元素の周期律、元素の安定性などを説明した。またド・ブロイ(Louis-Victor de Broglie, 1892~、フランスの理論物理学者)は1923年に粒子性と波動性とは光だけでなく、電子などすべての物質に

もあてはまると考え、その予想はまもなく実験によって確かめられた。ここまでの段階を前期量子論といい、古典論と量子論との折衷である。ハイゼンベルク(Werner K. Heisenberg, 1901～、ドイツの理論物理学者)とシュレーディンガー(Erwin Schrödinger 1887～1961, オーストリアの理論物理学者)は、1925 から 26 年にかけて新しい理論体系をつくった。これを量子論あるいは量子力学といい、分子・原子・原子核など微視的对象にたいしてなりたつ量子論では、状態と観測の概念が古典論とまったく異なり、これが量子論の論理構造の基礎となっている。大ききのない1個の粒子を考えると、その状態は、古典論ではその粒子の位置と速度によってあらわされるが、量子論では粒子的性質と波動的性質とを同時にそなえた波動関数というものであらわされる。このことから一般に二つの量のあいだに不確定原理があらわれ、二つの量を同時に精密にはかることはできなくなる。量子論によって、化学反応および多くの生命現象、天体現象の法則の基礎が明らかにされ、量子論は物理学・化学・生物学・天体物理学などを結びつける中心的存在となっている。量子論を素粒子の生成・消滅のように粒子数が変わる場合にまで拡張したものを、場の量子論という。→量子、不確定原理、相補性

レーニンと「物理学の危機」

(『唯物論と経験批判論』によせて) 1982 年から)

レーニンは、自然科学の専門家ではもちろんなかったが、彼が弁証法的唯物論の立場で「物理学の危機」にとりくんだ研究成果は、後世の物理学者が物理学のその後の歴史的な発展の結果をもふまえて、その正しさを断言できるだけのすばらしい内容をもっていた。

第1の問題は、「物質は消滅した」という議論である。これまで不変なものと考えていた元素が変化することが明らかとなったり、物質の究極的要素とされた原子が、電子などから構成されていることがわかったりしたことから、マッハ主義者を先頭にする観念論学派は、「物質は消滅した」ととなえだし、これが、実際に物質的自然にとりくんでいる物理学者にも一定の影響をおよぼして、物理学の危機を加速した。

この問題にたいして、レーニンの答えは明確だった。レーニンが、物質の哲学的概念を明確に定式化して(「人間の意識から独立に存在し、この意識によって反映される、客観的実在」、物質の構造や性質についての自然科学の認識がどんなに変化しても、それは、哲学的な意味における物質の客観的な実在性には、なんの影響をもおよぼすものでないことを、明確にしたことは、物理学の危機を打開するうえできわめて重要な意味をもつことだった。

元素や物質の不変性が否定されたぐらいで、これを「物質の否定」という観念論の証明だと思いこんだマッハ主義者たちが、もし今日の物理学が明らかにしている、物質を構成している素粒子が変転きわまりない相互転化を不断におこない、エネルギーに転化して消

滅してしまったりする場合さえある事実や、どんな素粒子も、特定の条件のもとでは、光と同じような波動としてあらわれる事実などを知ったら、どんな喝采をさけぶだろうか。こういう意味では、現代の物理学は「物質の消滅」の無数の実例を提供しているが、これはすべて哲学的には、客観的実在である物質の実在的な運動の一形態にほかならず、物質から非物質への転化や物質の消滅をしめすものではけっしてないのである。

第2の問題は、「物質のない運動」という議論である。これは、一口にいえば、物質を消滅させて、観念論の立場におちこんだ物理学者が、その観念論と自分たちが研究している自然の諸法則とを両立させようとして、となえだした議論だといってよいだろう。

「物質のない運動」論は、物理学の発展の特定の段階——物理学が、研究している物質の構造や性質についての明確な認識をまだあたええないでいる段階で、そういう認識を本来不可能なものとして原理的に放棄してしまうという動機であられることもある。坂田昌一氏は、ある論文のなかで、20世紀の初頭の物理学の危機が打開されて、量子力学が成立した最初の段階で、その解釈をめぐる物理学者の哲学的混乱が生まれたとき、量子力学の創設者たちの一部（ハイゼンベルク）に、物理学は、物質の本質や構造を問題にせず、「知覚の関連の形式的記述」のみにとどまるべきだという議論があらわれたことを紹介している（「理論物理学と自然弁証法」1947年）。これは、物質の存在を積極的に否定するわけではないが、その客観的な認識をあきらめ、運動のにない手は無視して運動の現象だけを問題にせよ、とする点では「物質なき運動」の不可知論的変種といってよいだろう。

自然の弁証法（FT,1988）より

弁証法的唯物論のレーニンの段階の自然科学的前提

社会的＝歴史的な要因とならんで、弁証法的唯物論のレーニンの段階の発生のうえで大きな役割を果たしたのは、19世紀と20世紀の交代期に生じた自然科学上の新しい情勢である。

自然科学における最新の革命

この情勢の特徴は、まず自然科学における最新の革命が、19世紀のなかごろと後半に起こった革命とひどくちがっているということである。この最新の革命の本質は、まず物理学が原子内の現象（極微現象）の分野に浸透したことである。これに関連して物質の構造と性質についての古い見解が根本的にうちくだかれてしまった。すでに、17-18世紀につくられていた物理学的世界像の限界が暴露された。新しい物理学的世界像の土台となったのは、もはや力学的に理解される原子、不変の質量をあたえられた原子ではなく、その特色の性質（可変的な質量、おどろくべき運動速度、放射崩壊のさいに分離する能力、等々）をもった電子であった。

三つの決定的な発見が自然科学における最新の革命の一般的性格と主要な方向を規定した。第一に、物質に、つまり原子の電子殻に深く浸透してゆく能力をもっているレントゲン線の発見(1895年)。第二に、放射能の発見(1896年)。この発見は放射能の物質的な担い手たるラジウムの発見(1898年)をもたらした。第三に、あらゆる原子の一般的な構成部分としての電子の発見(1897年)。

第一と第三の発見は原子の外側の領域——原子殻——を深くきわめる可能性をあたえ、第二の発見は、科学が物質の最深の(中心の)領域——原子核——を深くきわめる道を切り開いた。

物理学の分野におけるこれらの発見は、原子と化学元素を絶対に無変化で、転化せず、分割されず発展の能力のないものとみる古い、形而上学的な見解を根本的に破壊してしまった。これらの発見のそれぞれが原子の二つの領域(核あるいは殻)のうちの一つに通じる道を開いたということは、なぜこれら三つの発見のうちの一つだけをあげるにとどまてはならないかを説明するものである。たとえ、三つの発見のそれぞれが、個々に、原子の可変性、可分性、被破壊性を証明し、そのことによって物質の構造とその粒子についての古い、形而上学的見解を粉碎し、物質とその粒子についての新しい、その内容からみて、弁証法的な見解を主張しているにしても、そうである。

20世紀の物理学のその後のすべての発展は、実際には三つの発見の継続であり、深化であって、これらの発見のうち自然科学において始まった革命の本質が現れていた。すなわち、原子の電子殻の研究は量子力学の創設をもたらした、核の研究は核物理学をもたらしたのである。科学の発展のこの二つの方向は「素」粒子物理学で一致した。

物理学が物質の奥底をきわめたことが、この科学を、現代自然科学の指導部門に変えた。17-18世紀には、そういう指導部門は力学であり、力学は自然科学の他のすべての部門にその痕跡をあたえ、自然科学全体に力学的性格をあたえた。19世紀には、自然科学における指導的役割は、物質の運動のもっと複雑な(超力学的)形態を研究する自然科学のグループ、すなわち物理学、化学、生物学へ移った。20世紀に、自然科学の決定的な部門となったのは物理学であった。すなわち、物質のもっとも基本的な(既知のものなかで)種類、存在のもっとも普遍的で基本的な形態(物質と運動に依存する時間と空間)、自然現象の合法的な関連のもっとも普遍的な型(静力学的合法的な型と動力学的合法的な型、その他)を研究した物理学部門であった。

20世紀の自然科学における物理学の指導的役割は、物理学が物質の最も普遍的、基礎的な性質や物質粒子相互の関係を明らかにしたことによって決定された。これは、あらゆる形態の物質運動の起源の問題、生命の担い手や物質の最高の産物——思考する頭脳——をも含めた、物質的構成物の起源の問題の解明を助けた。こうして物理学は、最下級のもっとも単純な(既知のものうちで)段階から、最高のもっとも複雑な段階までの自然の弁証法的発展の道を明らかにすることを助けた。

もっとも重要な新しい問題を提起したのは、生物学であった。発展観の問題が新しい条

件のもとで重要な意義をもつようになった。ダーウィンのときから発展の思想は生物学だけでなく、他の自然科学にも浸透した。いまや、**弁証法に敵対したのは、自然を不可変のものとする形而上学的見解よりも、むしろ自然の発展を機械論的にみる見解であった。**このことは、歴史的に形成された二つの可能な発展観の問題を全面的に解明し、形而上学的、機械的な運動観に対立した弁証法的発展観を基礎づけるという課題をマルクス主義哲学に課した。

自然科学の最新の革命は、生物学の分野にもおよんだ。この分野で指導的な役割を果たしたのは、**イ・ペ・パブロフが条件反射の発見**にもとづいて創始した動物と人間の高次神経活動の客観的な研究方法であった。このおかげで、生物の肉体的活動ばかりでなく、心理活動も自然科学の研究の対象となった。すべてこれは、たとえば、意識対物質の関係のような哲学の根本問題に直接に関係があり、哲学的概括を必要とする新しい膨大な自然科学的素材を提供した。

現代自然科学の危機

19世紀と20世紀の交代期の自然科学上に生じた情勢を特徴づける重要な現象は、現代自然科学の危機であった。自然科学の内部での唯物論と観念論の闘争は、この時期にまったく新しい特徴をもつようになった。19世紀末までの自然科学ではほとんど全一的に唯物論が支配していたが、この唯物論は、自然発生的な、歴史的に形のととのっていないものであるか、形而上学的または機械論的なものであるか、ときには俗流唯物論であるかした。19世紀末までの哲学的観念論は自然科学の真の成果のおもな反対者であった。観念論者は、自然科学上の発見が唯物論の立場を強化し、観念論に敵対的な唯物論的自然観の自然科学的支柱を強めるものと考えた。だから、19世紀末まで、概して、観念論者と不可知論者が寄生していたのは、科学の弱点と困難であり、多くの自然科学表象の欠陥であり、とくに、自然の弁証法を確証した科学的発見そのものの客観的内容にそむいて、科学者の頭を支配しつづけていた形而上学的思考方法の限界であった。

19世紀と20世紀の交代期に、自然科学の歴史上はじめて本質的に新しい、19世紀とは根本的にちがった情勢が生じた。その当時、観念論がしがみついていたのは、科学の弱点や欠陥、科学的研究方法の限界ばかりでなく、科学のなかに最新の革命をひきおこした科学のもっとも新しい成果でもあった。

自然科学のうえに生じた新しい情勢の特徴は、観念論者が唯物論とのたたかいに形而上学の壊滅、とくに物質とその構造についての古い形而上学的見解の壊滅を利用したということである。彼らは、原子は不変で、質量は恒常的であるなどという古い観念を破壊した物理学上の新しい諸発見を自分の同盟者に変えようとたくらんだ。このような策動を容易にした事情は、科学者が弁証法を知らなかったことであり、ブルジョア的世界観の影響を受けたため、科学者が弁証法的唯物論と縁がなかったことであり、また自然科学者のあい

だの唯物論の多くの擁護者が物質と運動、空間と時間、因果性、原子と電子についての形而上学のおよび機械論的見解を擁護していたことである。このような情勢のもとで、観念論者は形而上学の壊滅を唯物論の壊滅であるかのようにみせかけようと試み、唯物論を科学から駆逐し、唯物論を観念論と不可知論とでとりかえる方針をとった。観念論哲学の、この種の反動的な傾向は、帝国主義がもたらしたあらゆる分野の全般的な反動に余儀なくされたものであって、現代物理学の危機とともに自然科学全体の危機をも生みだした。これに関連して、生物学の分野にも、ダーウィン主義と反ダーウィン主義の闘争、また同時に唯物論と観念論、弁証法と形而上学との闘争が、急速に強まった。

独占前の資本主義の情勢のもとでは、エンゲルスが示したように、自然科学のあらゆる分野に作用していた主要な矛盾は、形而上学のとりこにとどまっていた自然科学の陳腐な思考方法と、自然に内属する弁証法の発見を助けた自然科学上の偉大な諸発見の真の内容とがまったく照応していないことであつた。これは、自然科学の発展における主観的要素（科学者の思考方法）と客観的要素（発見の内容）との矛盾であり、形而上学（科学者の頭を支配していた）と弁証法（それぞれの科学的発見のなかへ自然発生的に分けいつていた）との矛盾であつた。この矛盾からの出口は一つあつた。すなわち、科学者自身が唯物論的弁証法を習得することであつた。このことだけが、19世紀の理論的自然科学をみだしていた混乱と矛盾に終止符をうつことができたであろう。

エンゲルスが19世紀——その当時の自然科学では唯物論が支配していた——の自然科学の発展のうちに発見した矛盾は、20世紀の新しい歴史的条件のもとで、さらにいっそう激化した。いまや帝国主義の時代には、反動哲学の代表者は、一般に唯物論を自然科学から駆逐し、それを観念論と不可知論でとりかえるために、この不照応を利用し、激化させたのである。科学の進歩そのもの、弁証法的な性格をもつ物理的諸過程の客観的内容を明らかにすることそのものが、科学者たちの解釈の仕方にはかかわりなしに、自然科学上の革命から、科学の成果から、科学の進歩から反動的な認識論的結論を引き出すために利用される。このようにして、帝国主義時代の自然科学の発展のうえに新たな、さらにいっそう深い矛盾が発生したのである。

観念論は、これまでどおり唯物論の猛烈な敵であつたが、いまや、観念論が利用したのは、古い形而上学的な物質観や自然観の限界および弱点それ自体ではなく、物理学の最新の発見の結果、これらの見解が崩壊したという事実であつた。「物理学的」観念論者は、古い唯物論の形而上学の見解をしりぞけ、観念論的傾向の形而上学を擁護したのであって、そのことは、たとえば、弁証法の構成要素としてのわれわれの知識の相対性のモメントを絶対化したり、研究される物理的諸現象の量的側面を誇張したり、絶対化したり、あげくのはては量的側面を物質そのものから断ち切ったりしたことのうちにあらわれたのである。

多くの自然科学者にとっては、19世紀の末から物理学上におこつた新しい現象の真の意味は、不可解な、説明できないものにとどまっていた。一部の科学者にとっては、物質とその微粒子の構造や性質についての時代おくれの古い考えとともに、自然科学の基礎、

その要石そのものも崩壊し、科学的認識の土台全体が崩壊しつつある、と思われるようになった。「物質は非物質化されつつある」、「物質は消滅した」——このような意見は、依然として哲学的にまとまった世界観をもっていない自然科学者のまったくの茫然自失ぶりを証明するものであった。そればかりでなく、一部の科学者にとっては、科学は一般に今後の発展の可能性をくみつくしてしまい、行きづまり、八方ふさがりの状態におちいった。科学の完全な破産がやってきた。物理学の危機は科学の滅亡の直接の兆候である、と思われるようになった。他方では、この種の懐疑主義とは反対に、実証主義的な主張が述べられ、観念論の大流行はなんの重大な意義をもたず、科学の発展になんらかの影響をおよぼすことはできないで、危機全体が偶然的な性格をもっているかのようにいわれた。

自然科学の発展によって提起された哲学の諸問題

物理学者のあいだばかりではなく、他の自然科学部門の代表者のあいだにもみられた理論的混乱は、現代物理学には、なにがおこっているか、自然科学が再開している危機の本質はなにか、という問題に明快な深味のある解答をあたえることを、マルクス主義哲学者に要求した。第2インタナショナルのマルクス主義理論家たち（プレハーノフ、その他）は、この問題に解答をあたえようと試みなかった。なぜなら、彼らは現代の自然科学には眼もくれず、自然科学の新しい業績と哲学とにつながりがあることを知らず、現代の観念論哲学が科学の新しい業績をうまく利用しようとしていることを暴露することなしに、この哲学を批判したからである。

自然科学の最新の革命と危機によって提起された哲学問題に対しては、レーニンがその著作のなかで解答をあたえた。

彼は、その論文〈わが解散論者たち〉（1911年）のなかで、現代の物理学は弁証法的唯物論が仕末をつけなければならない、新しい重要な、かつ複雑な諸問題を提起したと書いている。

自然科学の革命と危機の情勢のもとで新規におこった、哲学と自然科学との相互関係についての一般問題は、このような問題の部類に含まれていた。一方では、自然科学と弁証法的唯物論とが、他方では、自然科学と観念論や信仰主義とが、根本的に対立していることが明白になった。これに関連して、すでに述べたような、現代物理学の危機の本質、危機を生みだした諸原因、危機克服の道と方法についての問題もおこったのである。

科学の理論、仮説、概念の客観的意義はどうか、科学そのものとその業績の客観的価値はどうか、すでにできあがっている科学の基礎には恒久性があるかどうか、——これがとくに問題となった。このような問題は、従来のすべての概念と原理が、物理学上においてきわめて深刻に打破されたことによって、科学者に文字どおり押しつけられたものである。まさになにが、このように打破されたか、矢つぎばやに新しい発見がおこなわれているなかで、なにが依然として恒久的で不動なのか——まさにこれが、きわめてさまざまな傾向

の哲学者と自然科学者が自分に課した問題であった。それまでに絶対的真理とみなされていた従前の考えが、絶対的性格を失い、その相対性を暴露したという事実は、ほとんどすべての科学者にとって明白であった。しかし、この相対性性格はなにか、科学的見解にはなにか絶対的なものが含まれていたか、——まさにこのような問題が意見の相違をひきおこしたのである。だから、真理とはなにか、という古い認識論上の問題がふたたび発生したわけである。

以前に科学によって発見されていなかったような性質をもち、やはり以前には知られていなかった種類の物質が発見されたため、物質の問題、物質と運動との相互関連の問題が、きわめて切実なものとなった。一部の自然科学者は、あらゆる種類の物質、その性質、その運動形態は可変的であるにもかかわらず、万有の実在的な基礎としての物質そのものが恒存するのか、もし恒存するとすれば、物質のどのような性質と現象のなかで、このことを明らかにすることができるのかという問題が当面した。

空間と時間に関する物理学の考えが変わりやすいことが、実在的な空間と時間の性格、運動する物質と両者〔空間と時間〕の関係の問題をひきおこした。自然現象の新しい型の合法的な関連（函数的な相互関係と依存関係によって数学的に表現される）の発見は、自然の合法性、原因と結果の相互作用、等々の科学的理解を深める課題を提起した。

パプロフ学説も、ダーウィン主義や新しい物理学とならんで、**決定論の原則を、また自然における因果性と必然性の問題を哲学的に解明する課題を提起した。**

この学説は、**高次神経活動の反射的性格を明らかにし、「生理学的」観念論のふり返しと**のたたかいでは、弁証法をこの理論にさらにいっそう適用することによって、反映論を全面的に展開させることを、マルクス主義哲学のとくに緊急な課題とした。

こうして、現代の自然科学にとってきわめて重要な意義をもつ諸問題を解明することが、マルクス主義哲学のレーニンの段階の一つの特徴をなしていたのである。

マルクス主義は、自然科学における最新の革命によって提起された哲学問題に、弁証法的唯物論の立場から「仕末をつける」ために、この問題の解決にとりかからなければならなかった。

その結果、マルクス主義哲学は、自然科学の新しいいっそう高い発展段階に照応した、いっそう高い段階にのぼらなければならなかった。

世界哲学史：9（ソビエト科学アカデミー版）（1962）

物理学の危機：古典物理学から現代物理学へ——物質・時間・空間概念の発展
20世紀初頭の物理学の危機...物質は消滅した？

世紀末の2つの暗雲

1824年生まれのイギリスの物理学者ウィリアム・トムソンは、19世紀物理学の発展になってきたひとりであるが、その世紀末に比熱とエーテルの2つの問題を指摘した。それは19世紀を通じて熱・電気・磁気・光などの諸現象の認識にとって有効であったひとつの自然観、すなわち力学的自然観では説明しきれない現象であった。世紀転換期、これらの問題の解明を通じて、それまでの物質・時間・空間などの物理学の基本概念は変革を迫られ、現代物理学の基本概念としてより豊かな内容をもつものへと発展させられることになる。

しかしまた、同時にそれはさまざまな観念論哲学を登場させることにもなった。ともあれ、そのなかで素朴実在論をこえる新しい哲学すなわち弁証法的唯物論がよりいっそう発展したことは重要である。そして現在、現代科学の発展はその弁証法的唯物論をよりいっそう深め豊かにしていると考えられる。

比熱と空洞輻射の問題

比熱やそれにつづく空洞輻射の問題の解明にあたって、それまでに知られていた力学法則にもとづいて運動する調和振動子のようなモデルを想定した微視的状態の考察では、実験結果と一致する結論をあたえられないことがわかった。

たとえば固体（結晶）の比熱についてこう考えられた。固体を構成する各原子がその平衡点の近傍に束縛された固有振動数をもつ3次元調和振動子によって記述され、固体はこのような調和振動子が無数に集まっているとみなされるならば、固体1モル当たりの比熱は $3R$ に等しいことになり（ R は気体定数）、その数値は約5.8カロリー／度・モルで温度や原子の種類（振動数）によらない定数となるはずであった。ところが、しだいに広い温度領域にわたって精密な比熱の測定がおこなわれるようになると、低温での測定値をが $3R$ の定数からずれていることがあきらかになってきた。

空洞輻射の問題についても同様であった。ヴィーンの場合は、気体分子運動論に対応するモデルを想定してマクスウェルの速度分布則を利用し、広い波長領域にわたって高精度で成り立つ空洞輻射のエネルギー強度分布式、すなわちヴィーンの分布式（1896年）を得た。しかしのちに、この分布式も実験結果と一致しない領域のあることがわかった。レイリーやジーンズの場合は、熱輻射が広範囲の波長領域にわたる電磁波であることから、熱輻射をマクスウェルの法則にしたがうエーテルの力学現象としてとらえた。その結果、レイリー（1900年）＝ジーンズ（1905年）の分布式は、低い振動数または高い温度領域でのみ実験結果と一致していた。

量子仮説の出現

1896年ごろから熱輻射研究にとりくんだプランクは、1900年に、量子仮説を導入したエネルギー強度分布式を提出した。それは、ヴィーンの分布式のもつ限界、すなわち実験によってあきらかになった低い振動数領域での測定値からのいちじるしいずれを救うための試みであった。

プランクの量子仮説は、熱平衡状態のもとにある個々の調和振動子がマクスウェル=ボルツマンの統計則にしたがって平均エネルギーを得る、その過程の考察から生まれた。それまで、調和振動子の運動状態を考察するとき、その平衡点からの変位および運動量は、任意の実数値をとるものとされていた。そのために、それに対応して力学的エネルギーも連続的な正の実数値をとるとされた。ところが、プランクの量子仮説はこうした力学的エネルギーの連続性を放棄して、不連続のエネルギー値を導入することであった。それは、振動数 ν の調和振動子の力学的エネルギーの場合には、最小エネルギー要素 $h\nu$ の整数倍に量子化された不連続な値をとると仮定していた。この定数 h はプランク定数とよばれた。

こうした量子仮説を導入したプランクの分布式は、ヴィーンの分布式とレイリー=ジーンズの分布式をそれぞれの適応領域を生かしてつなぐものとなり、測定値とよく一致した。しかし、プランクの量子仮説の産みの苦しきは、この分布式を提出したあとに訪れた。すなわちそれは、この式をたんなる「運よく選ばれた外挿公式」にとどめることなく、この式の示す「真の物理学的性格」を解明する過程でもあった。科学の本道は、この量子仮説を自分の探究に役立たせ採用させていった研究者たちの研究の結果、それが真に物理的な考えであることを証明することになった。その一方で、それまでの力学法則からでは説明しきれない、プランクの言葉によれば、「何らかの妥当な形で古典論の枠内にはめこもうという、あらゆる努力をはばみさからう」ような物質の新たな存在形態の発見に直面して、物理的世界の客観的実在性の否定に転落してゆく人々もいた。

1909年に発行された「唯物論と経験批判論」のなかでレーニンは、そうした「物理学的」観念論の立場にたつ科学者たちの考えを批判した。とくにマッハを批判して、マッハの議論は自然科学の陣営から信仰主義の陣営への移行であると指摘していた。マッハ主義者（経験批判論者）は、知識の源泉を感覚であると考えた。この点は、唯物論者も同じである。ところがその先、マッハ主義者は感覚・知覚・経験の成立するそもそもの前提としての客観的実在をみとめない。彼らは、物または物体とは感覚の複合であるとする。そのために、科学のすべての課題は感覚を分析し、感覚的データを記述し、感覚と感覚とのあいだの関連をみつけだすこととした。

こうした観念論者の批判のために、本書でレーニンは、「物質とは、人間にその感覚においてあたえられており、われわれの感覚から独立して存在しながら、われわれの感覚によって模写され、撮影され、反映される客観的実在を言いあらわすための哲学的カテゴリー」

と、物質の哲学的概念を明確にした。

レーニンは、観念論者のいう「物質が消滅する」ということについても、それはわれわれの物質についての知識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にほかならないとのべた。かつて絶対的、不変的、根源的と思われていたような物質の性質は消滅しており、そしてこれらの性質はいまでは、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と。

量子力学の建設

プランクの量子仮説から5年後の1905年、アインシュタインは光量子仮説を提出した。それは、プランクの量子仮説に実在的意味をあたえると同時に、光の本性についての新たな問題、すなわち光はマクスウェルの電磁理論にしたがう「波動」であると同時に「粒子」でもあるという問題を生じさせた。この新たに生じた問題は、量子力学の建設によって解決され、古典力学的状態と異なる量子力学的状態における物質概念を発展させることになった。

その量子力学の建設は、波動力学と行列力学の2通りの方法で着手された。一方の波動力学の建設は、アインシュタインの光量子仮説に触発されたドゥ・ブローイーの理論研究によって、1924年に提出された物質波の概念にはじまった。1926年から27年にかけてシュレーディンガーは、物質粒子に伴う物質波（波動関数）がみたすべき波動方程式を提出した。この理論はアインシュタインやドゥ・ブローイーの提出した関係を特殊な場合としてふくむ、より一般的な内容をもっていた。

他方の行列力学の建設は、こうした波動力学の建設とまったく独立してなされた。それは、19世紀末からの諸発見、すなわち、放射性物質の発見、電子の発見、放射線の本性感明の研究などと密接に関連してすすめられた原子構造の探究からうまれた。具体的には、ラザフォードの原子核の発見をきっかけに、原子核のつくるクーロン力のもとでの原子内電子の運動を解明する過程から形成されたといえる。

1913年にボーアは、実験的に証明されている原子構造の安定性や原子から放出される放射線の性質を説明するために、量子仮説を採用した原子構造論を提唱した。そののち、彼は水素スペクトルからひきだされた量子論と古典電磁力学との間の特徴的な関係を追及して、「対応原理」を定式化した。この「対応原理」を指導原理として、ハイゼンベルクは行列力学を建設した。そこでは、電子の座標のかわりに、古典的軌道運動のフーリエ係数に対応する変数の集合が採用された。その変数は原子の2つの定常状態と関連しており、それらの定常状態間の遷移確率の大きさをあたえた。そして、この種の係数の集合が、線形代数学にでてくる1つの行列（マトリックス）に対比された。古典力学のすべての量は対応する行列を指定され、そのために、古典力学の運動方程式は古典的変数の関係式を行列のあいだの関係式にうつしかえて採用された。

こうして、それぞれ独立に建設された波動力学と行列力学との数学的な等価性は、シュレーディンガーによって、1926年に証明された。さらに、量子力学的対象を古典力学的対象から本質的に区別する量子力学の解釈が、翌年にボーアとハイゼンベルクの導入した「相補性原理」によって確立された。その結果、古典力学的状態と異なる量子力学的状態における物質概念がつぎのように発展させられた。ある時刻に一定の波動関数で記述される電子は、その位置と運動量の値を同時には確定しえない。その意味で、電子はもはや古典力学的な物質概念ではありえない。また、その電子の位置測定をした場合、測定値 \dot{x} が得られる確率は、波動関数 $\Psi(\dot{x})$ の絶対値の 2 乗によってあたえられるとされた。

特殊相対性理論の出現

“世紀末の 2 つの暗雲” のもう 1 つは、エーテルの問題であった。この問題は、マクスウェルの電磁理論の基礎であった光の媒質としてのエーテル仮説をゆるがし、ついにはニュートンの主張した数学的で真に絶対的な時間や空間の概念を変革するアインシュタインの特殊相対性理論を出現させることになる。

光とは何か。この問いにたいし、それまで光は普遍的な媒質エーテルのなかにおこる横波であり、エーテルは全宇宙に充満し、すべての運動の背景として静止していると考えられた。1870年代末にはじまる光の速さを精密に測定しようとするマイケルソンの関心は、測定したその光の速さにおよぼす地球の運動の効果の発見をめざしていた。ところが、モーレーとともにおこなったその実験は、効果発見にすべて否定的な結果をあたえた。

こうして、絶対静止の状態にあるエーテルにたいする地球の相対運動が検出されない結果をみて、2通りの見解がとられた。1つは、ローレンツのものである。彼は、絶対静止エーテルを前提にして原子論的電気力学を完成させており、理論と実験の整合性をはかるために、ローレンツ収縮の仮説を提出した。もう1つは、1905年に発表されたアインシュタインの見解であった。それは、第1の要請として「相対性原理」をおいた。その内容は、電気力学の現象が力学の現象と同様に、絶対の静止という考え方を立証するような性質をもっていないように見える、というものであった。さらに、力学の方程式が成り立つすべての座標系に対して、電気力学や光学の法則がいつも同じかたちでなりたつとした。また、第2の要請としては、「光速不変の原理」をおいた。それは、光がつねに真空中を一定の速さ C で伝播し、この速さは光源の運動状態には無関係であるとしていた。

こうしたアインシュタインの2つの原理を承認することによって、光の媒質としてのエーテルは排除され、エーテルの絶対静止系も意味をもたなくなった。そしてなによりも重要なことは、このアインシュタインの理論が提起している時間・空間概念の発展にあった。それは、外界のいっさいと無関係に均一に流れ、つねに同じ形状をもち、不動不変のも

のとされたそれまでのニュートン力学に採用されていた絶対的な時間・空間概念から、「走る時計は遅れる」、運動物体の長さは短縮する」という新たな、光速に比べて無視しえない速さで運動する物体の存在形態を認識するために必要な時間・空間概念への発展であった。

「新版自然科学概論」（加藤、慈道、山崎、編著）青木書店(1991)より

空間・時間の概念と人間の認識の発展

（『唯物論と経験批判論』によせて）1982年から）

レーニンは、『唯物論と経験批判論』のなかで、空間と時間にかんする「人間の表象」の発展、変化についてのべたが、実際、人類の歴史のなかでも、この1世紀ぐらい、この問題での人間の認識が短時間に大きく変化したことはないだろう。人間は、この1世紀のあいだに、空間的にも時間的にも画期的にその認識をひろげた。いまでは、空間的には十億以上の銀河をふくむ百億光年の彼方まで視野をひろげるようになったし、時間的にも、約二百億年以前も過去にさかのぼって、その時点での“宇宙”の運動の理論的な復元を試みるところまで到達した。

しかし、この分野での変化と発展は、そうした認識と視野のひろがりだけにあったのではない。私たちが生きている世界の空間と時間の構造そのものについての認識に、根本的な変化がおきたのである。それを、もっとも集中的にあらわしたのが、アインシュタインによる**相対性理論の発見**であった。これは、**空間と時間についてのこれまでの常識的な考え方——空間や時間を、運動する物質と無関係に存在している不変不動のわく組みのように考えていた見方を、大きくうちやぶるもの**だった。

空間＝時間概念のこうした発展は、認識論、真理論にとってなにを意味するか。もし空間と時間が、カントなどのいうような「人間の直観形式」であるなら、それが、新しい発見によって変化するなどということは、ありえないはずである。人間が2千年以上ものあいだ、科学的認識の基礎として保持しつづけた空間や時間の認識が、新しい発見や研究によってより正確なものに発展するということ自体、空間と時間が客観的な実在であって、人間の認識がその反映であることを、立証している。

マッハ主義者（ポアンカレなど）は、人間が空間についてのある幾何学を選ぶのは、その方が「便利である」からだと主張した。しかし、アインシュタインの相対性理論が、今日その真理性をひろく承認されているのは、それが人間の思考にとって「便利」だからではなく（それは反対に、人間の思考を複雑で「不経済」にしたといえるだろう）、実在する空間＝時間をより正確に反映したものであることが、「実験的事実」によって確認されたからである。

私たちが生活している日常的な世界では、人類が二千年来保持しているユークリッド的

な空間＝時間の概念で、客観世界を十分近似的に反映しているから、それでだれも不便を感じない。問題は、物体の速度が光の速度に近いような超高速の世界や、天文学が対象にする巨大なスケールの世界においてである。ここでは、相対性理論がえがいた空間＝時間の構造をぬきにして、物質の運動を論じるわけにはゆかないことが、「実験的事実」で明らかにされている。

レーニン¹は、人間の認識の限りない前進について、「電子は、原子と同じように、きわめつくすことができないもの」だと書いた。このことは客観的実在である空間＝時間についても、いえることである。たとえば、素粒子の多くは極度に短命で、その生涯はほとんど内容のないはかないものにみえるが、このきわめて短い時間におこされた運動の内容は、その充実ぶり、複雑さの点では私たちの想像を絶するものがある。

素粒子のなかで、もっとも寿命が短いのは重粒子と呼ばれるグループで、その多くは百億分の一秒台の寿命しかもっていない。ところが、百億分の一秒というと、光の三分の一の速さで走ると、約一センチメートル走ることができる。固体や液体のなかでは、原子核どうしはだいたい一億分の一秒センチメートルぐらひはなれて存在しているから、一生に一センチ走れるということは、約一億個の原子核をおとずれることができるということである。この計算をした物理学者が、素粒子の生涯を人間の生涯とくらべて、われわれ人間が生涯のうちに一億人に会おうと思ったら、時速百キロで自動車を走らせ、24時間不眠不休で、十メートルに一人の割で人に会うとしても、百年かかってやっと目的が果たされると書いていた。これは「素粒子の生涯の複雑さ」とともに、時間や空間のもつ無限に深い内容を理解するためにも、実感的な足がかりになる話だと思う。

自然の弁証法 (FT,1988) より

世界と事物を「連関、連鎖」においてとらえる

(『社会主義入門』1983年から)

エンゲルスが、弁証法的な見方の第1としてあげた、世界と事物を「連関、連鎖」においてとらえるという問題で、私自身が勉強して非常に印象的だったのは、20世紀の原子核物理学の発展が、星・銀河・宇宙という天文学的世界の秘密のとびらを開いていった筋みちだった。

いまでは、太陽のような星が光と熱をだしているのは、星の内部で、水素爆弾と同じ熱核反応(水素が融合してヘリウムとなる)を、不断に巨大な規模でおこなっているためであることは、広く知られている。また、誕生から終末にいたる星の進化とその生涯をたどることも、できるようになった。星の進化の理論は、だいたい1930年代から50年代にかけてつくりあげられたものだが、その根底には、原子核物理学の最新の成果を駆使した理

論的追求があった。さらに、銀河や宇宙の研究にしても、原子核や素粒子の理論をめぐりにしては、一步もすすめない、というのが、現状である。

地上の実験室のなかでの、顕微鏡でもとらえない物質のもっとも微細なしくみの追究が、星・銀河、さらには宇宙という、もっとも巨大な物質世界の謎の解明につながったわけである。ここには、私たちが生きている世界のあらゆる部分が無数の「連関、連鎖」で結ばれていることの、きわめて壮大なスケールでの確証があった、とあってよいだろう。

自然の弁証法 (FT,1988) より

哲学の根本問題 fundamental question of philosophy (323-4)

エンゲルスの有名な言葉がある。＜存在に対する思考の、自然に対する精神の関係という問題、哲学全体の最高の問題＞は＜なになが本源的なものか、精神かそれとも自然かという問題である。＞＜この問題に、あれかこれかどう答えるかにしたがって、哲学者たちは二つの大きな陣営に分かれた。自然にたいして精神の本源性を主張し、したがって結局、何らかの仕方の世界創造をみとめた人々は、…観念論の陣営をかたちづくった。自然を本源的なもののみた他の人々は、唯物論の種々の学派に属する＞(《フォイエエルバッハ論》)。これが哲学の根本問題である。そして従来、哲学史でこれら相対立する立場が、たがいに闘争してきた。意識と存在・精神と自然、これを別の言葉でいいかえれば、存在するいつさいのもの(精神的存在も物質的存在もふくめて)のもっとも普遍的な対立は、意識と物質であるから、哲学の根本問題はこれら両者のどちらを根源的とするかにあるということが出来る。この問題には二つの面がある。一つは、どちらが根源的かということであり、他は知識が世界そのものとどういう関係にあるか、知識は世界に照応したのものとしてあるのか、それを正しくとらえるのか、ということである。観念論は、意識を物質から引きはなして自立させ、これを神とか絶対理念とか意識一般とし、そこに客観的観念論または主観的観念論を成立させる(→観念論)。唯物論は、物質に基礎をおき、ここから意識もまた成立するものとみる。しかし、マルクス主義以前の唯物論では、意識はたんに受動的なもの、外界を写しとるにすぎないものであるとか、意識もまた物質と同一のものであるとしか考えなかった(→唯物論)。これらにたいするマルクス主義の哲学の特徴は、1) 意識は物質の産物であって、物質は根本的・永遠的存在であるのにたいして、意識は二次的であり永遠なものではないという制限をみる。2) 意識は物質の変化・発展から生じ、物質の組織が感覚器官、神経組織、脳髄を出現させたことによって産出されたものであるとする。3) 意識はその機能にあつて外的世界を反映し(まず感覚で、やがて思考をもって)、外的世界の運動・本質・法則をとらえることができ、そのことによって外的世界に働きかけ、これを変革する機能を発揮することを明らかにする。4) したがって、意識はたんに受動的なものではなく、それ自身、相対的な独立性をもっていることをみとめる。ここにみられるように、マルクス主義哲学は物質と意識とを、絶対的に分離し対立したものとはみない。

意識は物質なしには存在せず、物質の産物なのであるから、またそれは物質をみずからのうちに正しく反映することのできる関連をもっているのである。しかし、この反映は人間が外的世界に働きかける実践の過程を通してしだいに深められ前進させられる。したがって、マルクス主義の唯物論で、物質と意識との対立をきわだたせるのは、哲学の根本問題として、そのどちらかに根源的なものをみるという哲学の基本的な対立を明らかにする点で提起されるものである。→哲学

弁証法的唯物論

科学一般・認識論（観念論から唯物論へ）

自然弁証法の基本的原理—唯物論の見地

現代自然科学の土台となっている唯物論の基本原則は、次のようなものである。

（１）物質と意識との関係についての原則

物質と意識、主観と客観、の関係において、どちらの方が根本的なものか、という問いに対する回答の如何によって、世界観が唯物論と観念論にわかれる。唯物論は、物質・客観の方が根源的・第一次的であって、意識・主観は派生的・第二次的だとみなす。意識や主観は、物質によって決定づけられるのもの、物質の発展進化の最高の段階たる人間の脳髄——脳髄もまた物質の一つである——においてはじめて現れたもの、脳髄の機能によるもの、とみなすのである。観念論は、意識や観念が根源的なものであって、これが物質や客観的実在を決定づける、とみなしている。たとえば、机という観念（意識）があるものだから、机という物質があるように思われてくるのだと主張する。これにたいして唯物論は、では一体、その観念はどこでどうして得られたのか、脳髄においてその機能たる思考作用が客観的実在を反映することによって、得られたものではないのか、脳髄という物質と客観的実在たる物質とがなければ、観念はあり得ないのではないのか、と反駁する。

（２）反映（模写）の原則

意識や概念は、人間から独立に存在する客観的実在を、人間の脳髄の機能（＝思考作用）がうつしとったもので、客観的実在の多かれ少なかれ正確な反映（模写）である。この反映は対象の完全に正確な反映ではないが、しかしそれに近似したものである。認識の発展とともにこの近似度はたえず高まってゆく。この近似度は、一定の歴史的時期をとってみると、いろいろな条件によって制限されている。たとえば、研究に対する社会的な必要の程度（一例をあげると、原子爆弾の研究を必要とする国では、原子力の研究が強力に推進される）や、実験機械ならびに研究設備の発達程度によって、制限されている。だから、一定の歴史的時代に到達できる対象への近似度は、つねに一定の限界内におかれているの

である。しかし、こういう歴史的時代が無限といってもよいほどにつみかさねられると、人間の認識の対象への近似度も、限りなくたかまってゆくはずである。対象の客観的真理が曲線上にあるとすれば、われわれの認識はその漸近線上を進んでいる、ということが出来る。漸近線はこれを限りなく延長することによって、限りなく曲線へ近づいてゆくからである。認識は客観的真理を、一つの段階から次の段階へと、漸近的にとらえてゆくものなのである。

ところで、このように限りなく対象への近似度をたかめてゆくわれわれの認識が、一体どういう形で対象を反映しているのかというと、写真のように直接的に単純に反映しているのではなくして、思考作用によって概念や法則を形成しつつ、対象へ近づいているのである。対象から直接にわれわれにあたえられるものは、五官に生じる感覚である。色、形、大小、重さ、硬さ、冷熱、味、臭気、といったふうな直接的感覚であって、これらもまた対象の反映である。しかしながら、われわれは、こういう直接的感覚だけにたよっていては、対象の表面的・皮相的な反映しかできない。そこで思考作用はこういう感覚をもととして概念を形成する。たとえば、人間とか馬とか桜とかいう概念を、個々の人間・馬・桜をもととして形成する。そして、こういう種概念をもととして属概念をつくり、属概念から類概念をつくる、というようにだんだんと一般的普遍的な概念をつくってゆく。

われわれの思考作用（認識作用）は、感覚から概念へと移行するにあたって、多かれ少なかれ感覚からはなれざる。概念が個別から種、種から属へと、一般性・普遍性をたかめるにしたがって、感覚からの遊離度もたかくなってゆく。感覚からはなれざる度合に応じて、具体的概念から抽象的概念へと移っていくわけである。直接的感覚から非常にはなれさった概念は、非常に抽象的である。たとえば、人間・馬・犬という概念よりも食肉目とか哺乳類とかという概念の方が抽象的であり、動物とか植物とかいう概念になるとさらに抽象的である。自然科学上の概念には抽象度のたかいものがきわめて多い。たとえば、動電力とかエネルギーとか原子価とかいう概念は、かなり抽象的な概念である。ところで、この直接的感覚から甚だしくはなれさった抽象的概念の方が、直接的感覚などよりも対象をずっと正しく深く本質的に反映している。このことを一つのわかりやすい例で説明しよう。

われわれの眼に生ずる色彩の感覚は、客観的実在たる光が、眼の網膜に作用することによって生じたものである。この場合、光は特定波長の輻射エネルギーとして、眼に作用している。しかるに、これによって生じた感覚は輻射エネルギー（輻射波）という客観的実在からはいちじるしくかけはなれた赤とか緑とかいう色彩感覚である。色彩感覚は、実在的对象から感官（眼）に直接的にあたえられた反映であるが、客観的実在をそのままの姿では反映していない。感覚というものは、実在的对象をその本質的な形、真実の姿では反映していないのである。しかるに、われわれの思考作用は、かかる感覚が生じた原因を追求していった、赤とか緑とかいう色彩感覚をひきおこした客観的実在は、一定波長の輻射エネルギーであることをつきとめるようになる。そして、この「一定波長の輻射エネル

ギー」 という概念は、赤とか緑とかいう直接的感覚よりも、正しく深く本質的に、実在を反映しているのである。

人間脳髓の思考作用による意識（すなわち認識）は、客観的実在の反映であるが、逆は必ずしも真ではない。すなわち、客観的実在の反映は、人間脳髓における意識であるとはかぎらない。反映ということは、脳髓や感官にかぎらず、あらゆる物質にそなわっている一般的性質だと考えても、不合理ではないのである。一つの物質 A が他の物質 B の影響によってなんらかの変化を被ったとすれば、その変化は A が B を反映することによって生じたのだといっても、不都合ではないのである。リトマスという色素は、酸類にあえば赤色に変化し、アルカリ類にあうと青色に変化する。これは、リトマスが自己の外部の物質を反映する形式だといっても、不合理ではないのである。

客観的実在を反映する仕方にも、ひくい段階のものからたかい段階のものまで、無限に多くの質的段階がある。思考作用（すなわち意識）は、その最高段階における反映の仕方であって、物質の進化の最高段階たる人間脳髓という特殊な物質の特殊な機能である。動物の意識と人間の意識とは、質的な発展段階を異にしているが、しかし絶対的にちがうものではない。アメーバのような下等動物のごく初歩的な反映形式と、無機化合物における反映形式との間にも、絶対的な差別はないのである。無機物質にもそなわっている下位の反映形式と、人間の意識という反映形式とを、絶対にちがうものとみなすことは、人間の意識を、ほかの物質からは絶対的に独立に存在するものとみなすことであって、意識を絶対的なものとみる観念論への道をゆるすことになってしまう。

人間の意識は、物質の反映形式の下位のものから、連続的に、たんなる量的な変化によって、生じたものではない。それは、下位の反映形式から量的変化にともなう質的飛躍の段階をたくさん通過して生じたものである。物質の反映形式の下位のものから、その最高形式としての人間の意識が発生してきた具体的径路をあきらかにすることは、今後の自然科学に課せられた重大課題なのである。

（3）認識の規準は実践であること

さきにも述べたように、われわれの自然認識（自然科学）は、社会的実践上の、とくにそのなかでももっとも根底的な実践活動たる生産的実践上の、必要から発展したものであった。それは、生産的実践から生みだされ、生産的実践に方針をあたえるべきものなのである。人間は生産的実践のなかで自然を変化させ、自分自身をも変化させているが、人間による自然のこの変化こそが、自然認識の原動力である。われわれは、自然を変化させる実践（いいかえると生産的実践）を向上させた度合に比例して、自然認識を発展させることができたのである。だから、われわれの自然認識は生産的実践によって根本的に制約されているわけなのである。

現代自然科学がその認識の真理性の規準を実験と観測においていることは、周知の通りである。自然認識にとっては、実験と観測という実践を介して、対象による検証（検算）をおこなうことが、もっとも重要なことである。しかるに、この実験と観測という実践—

—自然認識という認識活動にとくに特徴的な実践——もまた、あらゆる人間的実践のなかでもっとも根本的なものたる生産的実践によって（なかんずく生産技術によって）、制約されている。実験および観測の手段は生産技術に依存しているからである。したがって、われわれの自然認識は、社会的生産活動という実践によって、根柢的に制約づけられているということができるのである。自然科学は生産技術に根本的に依存しているのである。従来しばしば、技術の進歩は自然科学の進歩に依存する、というように主張されてきたが、より正しくは、自然科学の進歩は技術の進歩に依存する、とうべきなのである。

（４）自然の可知性の問題—自然認識の限界の問題

われわれの認識は自然界をあますところなく正しく認識できるかどうかという問題、すなわちいわゆる自然認識の限界の問題、は重要な問題であるが、これもまた、認識の規準としての実践（実験と観測）をもってくることによって、解決される。

自然科学者のなかのあるものは、カント哲学の影響を受けて、人間の自然認識は限定されている、自然を絶対的に正しく認識することはできない、と考えている。哲学者カントは、客観的対象を「物自体」とよび、物自体がわれわれの感官に作用して作りだされた感覚を「現象」とよんだ。そして、人間の思考作用は現象から観念をつくって認識を形成してゆくが、「物自体」と「現象」とは原則的に絶対的にきりはなされたものなので、人間の思考作用をもってしては現象を知ることができるだけであって、物自体を知ることにはできない、と主張した。つまり、客観的自然界は絶対的に不可知だ、とみなしたのである。このような哲学（世界観）は不可知論と呼ばれている。

自然科学者たちの間でカント的不可知論が信奉されている一因は、自然科学においては、これまでにいろいろな学説の交代がたえずおこなわれてきた、という事情にもとづいている。以前には正しい説明（または反映）と考えられていた学説も、今日では正しくはなくなっている。こういう事情は、弁証法を知らない自然科学者たちを、人間の思考作用は仮説をつくることのできるだけであって、自然現象の本性或真相は永久につかまえることができないのだ、という不可知論へみちびきこんだのであった。

不可知論を信じている自然科学者は、その信念の第一の論拠として、人間の感官の限界性をあげている。かれらは、感官によって直接感覚できる能力、すなわち感官の能力、は非常に制限されたものだということをあげて、人間の感官をもってしては、過去のもの、きわめて微小なもの、あまりに遠方にあるもの、などはいずれも認識することができないから、自然界のあますところなき正しい認識は絶対的に不可能だ、と主張するのである。19世紀の有名な自然科学者であったヘルムホルツは、人間の眼の構造は対象の不正確な知識しかあたえないから、正しい認識に対する限界がここから生ずる、と考えていた。

しかしながら、このような不可知論的見解にたいして、自然弁証法はつぎのように答えるのである。

たとえば、蟻はわれわれ人間とちがう構造の眼をもっていてかれらには紫外線が見えることがわかっている。ところが、人間の眼には見えないこの紫外線を認識した程度は、わ

われわれの方が蟻よりもはるかに立ちまわっているのである。われわれが蟻よりもずっと正しく紫外線の本性を認識していること、人間の眼には見えない紫外線が蟻には見えることを証明できること、——これらのことは人間の眼の特殊な構造が、人間の認識に絶対的な制限を加えるものではないことを実証している。われわれは自分の目の不完全な点を、思考作用でもって補って、紫外線に鋭敏に感ずる写真乾板をつくり、これを用いて紫外線の存在やその性質を認識しているのである。

自然認識の限界を、人間の感官の性質から論断しようとする人々にたいしては、自然科学がこれまでになしとげた実績をあげてみせるだけで十分である。顕微鏡や電子顕微鏡は、人間の肉眼では見分けられないような微細な物体をも認識させる手段となっている。われわれは思考作用を駆使することによって、顕微鏡や電子顕微鏡を用いても見ることのできない分子を認識し、今日ではその形までも推定できるようになっている。さらにもっと微細な原子、原子核、素粒子、というような物質さえも、今日では認識の対象になっているのである。だから、人間の感官の構造上の欠陥は、人間の認識に多少の困難をあたえることはあるとしても、これに絶対的な制限を加えるものではないのである。

すでに述べたように、われわれの自然認識はつねに歴史的制約をうけている。われわれはこの制限の範囲内でのみ、客観的実在を近似的に反映できるにすぎないのである。だから、一つの時代をとってみると、そこにはつねに未知の領域、未開拓の分野、未研究の現象が存在する。その時代の人々にとっては、これらの領域や現象は、不可知な「物自体」である。しかしながら、われわれの自然認識は歴史の前進とともに進んでゆく。前の時代の人々にとっては不可知な「物自体」であったものも、次の時代の人々にとっては既知の客観的実在となる。アカネという植物のなかに存在する色素アリザリンは、古い時代から衣服を美しい赤色に染める染料として使われていた。しかし 19 世紀中ごろまでの化学にとっては、この色素は未知のもの、赤色の感覚（すなわち「現象」）をあたえる不可知な「物自体」、にすぎなかった。ところが 1869 年ごろに科学者グレーベが、この色素の化学的構造（分子のなかの原子の配置）をあきらかにし、その知識にもとづいてアリザリンの人工的合成に成功してからは、それはもはや「物自体」ではなくなってしまった。絶対的に不可知な「物自体」というようなものは、たえず前進する人間の認識の前には存在しないのである。

（5）絶対的真理と相対的真理

われわれの意識から独立に存在する客観的実在を認める、という唯物論の第一原則から必然的にみちびきだされることは、主観から独立な、客観的真理の存在ということである。観念論者は、なかでもカント主義者は、「客観的真理というようなものは存在しない、なぜかといえば、あらゆる真理は、われわれ人間によって認識されたかぎりでの真理であって、主観の思考作用に依存しているからである」と主張する。これにたいして自然弁証法論者は、「真理の内容が主観にのみ依存するならば、人類（認識する主観）が発生する以前にも地球は存在していたという自然科学的認識は、真理ではないことになるのか？」と反問し

て、かかる主張のでたらめなことをあばきだす。

われわれの自然認識は客観的真理をあらわすものではあるが、全面的に正しくそれをあらわしてはいない。われわれの現在の自然認識と客観的真理との関係は、絶対的真理と相対的真理の関係だということができるのである。

客観的真理の存在を認めるということは、意識から独立な絶対的真理を認めるということである。ところで、この絶対的真理というものは、すでに述べたように、一度に完全に全面的にとらえられるものではない。われわれの自然認識は、認識の対象が無限にたくさんあることによって、且つまたわれわれの認識手段（実験装置や設備）がつねに完全無欠のものではありえないことによって、つねに不完全なものたるべく制約されている。われわれの自然認識は客観的真理（＝絶対的真理）を反映してはいるが、その反映はつねに不完全な反映なのである。それゆえ、われわれは自己認識を相対的真理とよんで、それが客観的実在の全面的に完全に正しい反映ではないことを意味させているのである。

われわれがもっている相対的真理は、絶対的真理からまるできりはなされたものではない。相対的真理のなかにはつねに絶対的真理の小粒がふくまれ、この小粒はたえず増大している。相対的真理は、人間の認識の無限の前進過程によって、絶対的真理へ無限に近づいてゆく。相対的真理の無限の総和が絶対的真理となるのである。相対的真理は絶対的真理の不完全な近似的な反映であって、この近似度は自然認識の歴史的前進とともに、無限にたかまってゆくのである。

形而上学的唯物論者は、われわれの自然認識（自然科学）の相対的性質を認めず、相対的真理と絶対的真理とを直ちに同一視する。かれらは自然認識の歴史的發展性を認めず、一度得られた認識は絶対的に正しいもの、不動のものと考えてしまう。だから、自然科学の歴史的發展途上でいろいろな学説が交代する現象をだだしく理解できないで、われわれの思考作用をもってしては絶対的真理（客観的真理）などはとらえることができないのだ、という不可知論（観念論の一種）への道をゆるしてしまうのである。形而上学的な唯物論では、唯物論の見地を守りぬくことができず、どうしても観念論の混入を許すようになることは、この一事によってもよくわかるであろう。

これに反して、観念論者たちは、われわれの自然認識の相対性だけをみとめ、それが絶対的真理を反映している点のみとめない。だから、彼らは絶対的真理（客観的真理）の存在を否定する。かれらにとっては、あらゆる知識は相対的なもの、仮説的なものであって、客観性をもたないものである。しかし、このような見地にたつときは、空想や妄想が自然科学的法則とまったく同一視されることになってしまうのである。

●認識cognition, Erikenntnis (367)

認識という語は、知識と同義であるが、知識は知る作用よりも、知った成果をさしているが、認識は成果とともに、知る作用をもふくめた意味をもつ。人間は認識過程を通じて歴史的に客観世界（自然・社会）についての認識（知識）をえていき、この成果にもとづ

いて客観世界に働きかけ、これを変化させ改造する。認識の意義は、たんに客観世界について知るといふ知的満足につきるのでなく、人間の実践に、その実際生活に役だつところにある。この知的成果と実践・生活との相互関係があつてこそ認識は発展していくのであり、思弁のうちだけでそれが磨かれるのではない。しかし、認識と実践との関連を重視することは欠きえないが、認識過程は単純ではないから、たとえば感覚から思考による精錬をへて成立するところからみても、思考そのものがたどる諸段階の研究をないがしろにすることはできない。認識について考察する哲学の分野は、認識論とよばれる。→認識論

●認識論epistemology , theory of knowledge(368-9)

これが問題にするのは、認識の成立するみなもと、認識の過程がとる形式と方法、真理とはなにを意味するか、などについての考察である。epistemology の語の使用は、スコットランドの哲学者フェリア(J.F. Ferrier, 1808～64)が 1854 年の著《Institutes of metaphysics (形而上学要綱)》で用いたのにはじまり、ドイツの Erkenntnistheorie のほうは、カント直後のその哲学の継承者ラインホルト(K.L. Reinhold, 1758～1823)によるといわれている。しかし認識論的考察は、哲学の歴史を通じて古代からおこなわれていたことは、ギリシア哲学・中国の儒教その他・インドの哲学・仏教にみられるところである。ただし認識論がとくに独自の問題として前面的にでてきたのは、近代のことである。これには、資本主義の発生・成立・発展、つまり工業生産にともない人間の自然にたいする関係、人間による自然の利用の拡大、その必要性にともない、旧来のように認識は単に神からさずかる啓示にもとづくものという宗教的教義から解放されることがもめられ、そこから資本主義生産の独自の要求と、これにとまなう宗教的認識論にたいするイデオロギー上の闘争から、認識の成立・その本質・その獲得方法の新たな探求が求められてきたことによる。このさい、とくに注目されるのは、17 世紀の F.ベーコンいらいすすめられてきたイギリスの経験論であつて、それはロックの《人間悟性論》(1690)に結実されたのであり、これは認識論を体系的に説いた最初の著作である。それいらい、カントにみられるように、認識論でかれのいう<コペルニクス的回転>という見解もだされた。19 世紀後半から 20 世紀にかけては認識論への傾倒がいちじるしいたかまりをみたが、それは、過去の時代とはちがって、社会的には労働者階級の攻勢がつよまり、資本家階級との階級闘争が激化していくなかで、資本主義擁護のため唯物論に対抗する思想上の武器として観念論的認識論がとりあげられてきたことによるが、またそれとならんで理論的には、自然科学(とくに物理学)の急速な発展がもたらした科学知識についての検討が求められるようになったことからでもある。この傾向は今日にもつづいており、世界観ぬきの認識論に哲学を限定しようとする新実証主義、分析哲学などに代表されている。

認識論において、認識の起源をどこにみるかによって、合理論と経験論が分かれ、前者は数学の知識を典型的なものとし、確実で真なる認識は思考によってえられるとして観念論の傾向をつよくうちだし、この思考がつくる認識とは人間をこえた、いわば神的世界な

いし絶対理念の世界からの分身としての人間の思考がかけられるものだとし、客観的観念論による認識論になっていく。後者は、感覚を通してえられる経験が認識の源泉をなすとみる。経験論は、一方では経験は外的世界から生ぜしめられて、それにもとづいて外的世界を知る手がかりとなるとみなす唯物論的な見地と、経験とは意識上の事実であり、外的世界とはなんら関係のないものだとする観念論的な見地とが分かれる。このほうの認識論は主観的観念論を成立させる。これらの諸学説からみられるように、観念論は、哲学の根本問題から分かれたる唯物論と観念論という世界観の対立と無縁ではなく、世界観から規定されて成立するとし、またそれを認識論のほうから固め、ないし批判していくという関係を持ち、両者は哲学の別個独立の領域ではなく、相対的にだけ分かれているのである。したがって、認識論のみに哲学をみて、世界観を切りはなすのは、世界観の側を覆いかくしているだけで、新実証主義など一連の立場は、じつは主観的観念論なのである。

唯物論にたつ認識論は従来、本質的には観想的立場にあるもので、経験によって受動的に意識が外界を映すにすぎないという見方に限定されていた。しかし認識過程はただ眺めることで成立するのではなく、人間の生産活動、その階級闘争など社会生活上の実践とむすびついており、認識の根本をなすのは実践にほかならない。そこで、社会的実践が発展するにともない認識の進歩もえられてきたのであり、また認識が実践に適用されることで、認識の力・その真偽がためされ、そのことで認識がさらに発展される。これらのことから、認識論の研究には、人間の生産活動、諸科学や技術の発展とむすびつけられて、認識の起源・本質・諸形式が明らかにされることが必要なのであり、それにもなって真理とはいかなるものかも提示できる。このような認識論をしめしだしたのが、マルクス主義の唯物論的認識論である。

●感性的認識と理性的認識 *sensuous cognition and rational cognition* (75)

古くから認識の源泉、真なる認識の拠りどころをもとめて、二つの立場、経験論と合理論との見解がみられる。すなわち、感性的認識に重点を置く立場、感覚をみなもととし、これにもとづく認識を主張したのが経験論であり、他方、理性的認識の側に重点をおく立場、感覚による認識を低くみるとか、または真なる認識の資格はないとかとして、思考の側にのみ拠る知識（この知識の典型の一つを数学に見いだす）をとりあげる合理論が、たがいに対立しながら説かれてきた。ヨーロッパの哲学史では、プラトン、アリストテレス、中世のスコラ学は合理論の立場をしめし、中世後期の实在論・唯名論の普遍論争は、合理論と経験論の対立のいちじるしい例であった。経験論は近代にはいって、とくに F.ベーコン、ロックらによって唱えられ、また合理論はデカルト、スピノザらによって主張された。ふつう、カントがこれら両論の統一を試みたとされる。しかし、かれは、認識活動をする人間の意識における、感性および悟性・理性に先天的形式なるものをたてて、これで主観的観念論の見地のもとで統一総合をはかったのであって、そこには客観的实在（物自体）は不可知だとする不可知論が結果していた。マルクス主義の唯物論哲学が出現して、認識

の過程を唯物論による弁証法的見解をもってとらえ、感性的認識の側と理性的認識の側とを正しく統一的に理解し、認識の全面的把握を勝ちえた。人間の認識は、なによりもまず、感覚を通じて客観世界とむすびつき、この世界を認識する発端をうる。このさい、人間の物質的生産活動なる実践が人間を客観世界とむすびつけるのであり、これに応じて感覚は人間にその世界のありさまを伝える。感覚は外界対象のさまざまな外面的性質を伝える(冷熱・色・香・硬軟などの区別や諸対象の相違や変化や関係など)。これら多くの感覚、これらによる観念が、生活の実践のなかで積み重ねられていくことで、人間の思考作用(これには言語の役割が大きい)の発展があり、一般的・概括的な認識が生じてくる。すなわち、概念・判断・推理・結論などという抽象的・論理的操作である。感性による認識はその集積の結果として、感覚にもとづく多様な外界対象についての認識に概括・一般化されて、外面的な事物の認識がたんにこれにとどまらずに、それら事物の内部にひそむ本質、そして法則をとらえうるようになる。これは理性(思考作用)による認識であり、こうして、認識は感性的なものからはじまって、理性的なものへと発展する。ただし、理性的認識が諸事物の本質・法則をとらえるといっても、これは感性的認識をまたないでは成立しないことは上述にみるとおりであり、これら両者を分離して別個の認識とするのは誤りであることが、マルクス主義唯物論の認識論で明らかにされる。

不可知論者たち(デュ・ボアーレモンとヘルムホルツ)

自然弁証法の第6章～第11章は、当時の自然科学者のあいだで真剣に討論されていた、いわば第1線の問題をとりあげる構想で、そのほとんどが、前年のドイツ自然科学者・医学者大会での討論に関連した問題だった。

「6. 認識の限界。デュ・ボアーレモンとネーグリ——ヘルムホルツ、カント、ヒューム。

7. 機械論。ヘッケル。

8. プラスティドゥールの霊魂——ヘッケルとネーグリ。

9. 学問と教えること——フィルヒョー。

10. 細胞国家——フィルヒョー。

11. ダーウィン主義的政治学と社会学説——ヘッケルとシュミット。——労働による人間の分化。自然科学への経済学の適用。ヘルムホルツの『仕事』(『通俗講演集』第2集) 最初の章は、自然科学における不可知論の批判である。

最初に名前があがっているデュ・ボアーレモンが、ネーグリに先だって、5年前の1872年、ドイツ自然科学者・医学者第45回会議で、「自然認識の限界について」と題して講演していたことは、すでに紹介した。彼が2つの「限界」を提起していたこともその時述べたことだが、デュ・ボアーレモンは実力も業績もある自然科学者であるだけに、その議論のすすめ方は、たんにカント流の物自体に逃げるといった「哲学的な」ものではない。

第1の限界——物質の究極の単位や物質界の始原の問題では、人間がそれを認識できるとすると、いやおうなしに自己矛盾におちいることを指摘する。哲学的原子、つまり、「それ以上分割できない実体」がもし存在するとしよう、それが実在するなら、いかに小さくとも一定の空間を充たしているはずだが、そうだとすれば何故それ以上の分割が不可能だといえるのか。反対に、空間を占有しない幾何学的な中心点のようなものだというのなら、そのような「点」が作用を遠方におよぼす中心力のない手となるのが、どうしてできるのか。こういう矛盾におちいるのは、われわれが、本来認識しえない物質の本性——究極の実体を認識できると想定した結果である。こういった論法である。

第2の限界——人間の意識の成立の問題では、精神現象に対応する物質現象は自然科学の進歩とともに次第に解明できるだろうが、それらの物質的過程についての知識がいくら精密になっても、因果法則のらち外に立つ精神現象そのものの説明にはなりえない——「われわれが脳について獲得しうる最高の知識である、脳の解剖学的知識がそこにあばいてみせるものは、運動している物質以外の何物でもない。どんなに物質微分子の配列と運動を工夫しても意識の国へ橋をわたすことはできないのである」と主張する。

これがデュ・ボアーレモンの不可知論である。ここには、**弁証法を知らない自然科学者の弱点が典型的な形で現れていた**が、一応自然科学の当時の達成を考慮に入れて、展開されている議論であっただけに、エンゲルスがこれと直接切り結んで不可知論批判を執筆したら、相当読みごたえのある論戦になったことは、間違いないだろう。

たとえば、第2の限界としてあげた脳の解剖学的知識と精神現象の本質の問題でも、その理論的な解明のためには、脳の生理学の高度な発展とともに、**脳内の諸物質の物理的、化学的、生理的な運動形態と、それらの運動形態と結びつきそれらに基礎をもちながら、思考その他の精神活動を物質のより高度な新しい運動形態としてとらえる弁証法が不可欠である**。エンゲルスは、すでに第3局面での覚え書のなかで、この問題を取りあげ、「それらの副次的形態がそこにあるというだけでは、それぞれの場合の主要形態の本質はつくされない。われわれはいつかはかならず思考実験によって脳内の分子運動と化学的運動とに『帰着させる』ようになるだろう。しかしそれをもって思考はつくされたことになるであろうか？」として、**脳の機能は化学的・物理学的などの低次の運動形態に解消しえない独自の運動形態である**ことを、明確に論じていた。デュ・ボアーレモンの立論には、低次の運動形態からより高次の運動形態へ橋をかけることを可能にする、まさにこの**弁証法**が欠けていたのである。

ヘルムホルツも専門の分野では大きな業績をあげた19世紀後半の代表的な生理学者の一人だったが、哲学的には不可知論の立場にたち、「事物についてのわれわれの表象は、事物にたいする記号以外のなにものでもありえない」という「記号」論を主張した。

エンゲルスは以前からその哲学的立場を批判していた。「1853年以来ヘルムホルツ君はずっと続けて物自体を繰り返しかえし論じていながら、いまだにそれに決着をつけていない」（エンゲルスからマルクスへ 1876年5月28日 全集第34巻18ページ）。また数年後

に書いた覚え書「認識」では、ヘルムホルツが人間の感覚器官の不完全性を不可知論の「証拠」としてもちだしたことに、的確な批判をくわえた（同前 547～548 ページ）。

（注）ヘルムホルツの不可知論については、レーニン『唯物論と経験批判論』に詳細な批判がある（第4章「6『記号論』（または象形文字論）とヘルムホルツの批判」）。レーニンはこの書で、ヘルムホルツを「自然科学上の一流の大人物であるヘルムホルツは、大多数の自然科学者と同様に哲学上では首尾一貫していなかった。彼はカント主義に傾いていたが、しかしその認識論で首尾一貫してこの観点を維持したのではなかった」と、唯物論と不可知論の間での動揺ぶりを具体的にしめし、「ヘルムホルツの不可知論もまた——ハックスリのバークレ主義的非難とはちがったカント主義的非難を伴った『恥ずかしがりの唯物論』に似ている」としている。

『自然の弁証法』の1章として不可知論を批判するというエンゲルスのこの構想は実現されてなかったが、その後『フォイエエルバッハ論』（1885年）および『空想から科学へ』英語版序論（1892年）で、不可知論批判を展開したことは、よく知られている。エンゲルスが、とくに後者で、自然科学と不可知論を結ぶつけようとした人々（ハックスリ、デュ・ボアーレモンやヘルムホルツ）をも批判の対象としていたことは、明白である。彼は、認識不可能とされていた「神秘的な対象」が科学の進歩とともに「把握され、分析され、さらにそのうえ再生産されている」事実をあげ、蛋白体や有機的生命もやがてはそうなるだろうということを示したうえで、自然科学のすべての結論を受けいれながら、認識不可能な「物自体」なるものにあくまで固執する「わが不可知論者」について、結論的に次のように述べている。

「彼が科学者であるかぎりでは、つまり彼がなにかを知っているかぎりでは、彼は唯物論者なのである。だが、彼の科学の外では、それについて彼がなにも知らない領域では、彼は自分の無知をギリシア語に翻訳して、それを不可知論（アグノスティシズム）と名づけるのである」。

中略

弁証法の内容を形而上学との対立のなかで展開することは、最初の覚え書「ビューヒナー」以来、エンゲルスの弁証法論の基調をなしてきた問題で、『反デューリング論』の「序説」では、すでにまとまった形で展開されていた。それをあえて整理していえば、形而上学の、事物とその概念を、（イ）個々ばらばらな、ひとつずつ順次に、他のものと無関係に考察されなければならない、（ロ）固定した、不動の、一度できあがったらそれっきり変わらない研究対象としてとらえ、（ハ）ものごとを「媒介のない対立」において考える思考方法にたいして、弁証法的な思考は、事物とその概念的模写とを、本質的に（イ）それらの

連関、連鎖において、(ロ) 運動、生成と消滅において、(ハ) 固定した対立や不動の境界線にとらわれないで把握することを、最大の特質としていた。「世界の全体、その発展と人類の発展、さらにこの発展の人間の頭脳における映像を正確に示すことは、弁証法的方法によって、生成と消滅、前進的または後退的な変化の全般的な交互作用にたえず留意する場合にだけ、達成することができるのである」。

エンゲルスは、その6年後に、『反デューリング論』の新版のために序文を書いたときにも、「弁証法的自然観の核心」として、もっぱら「一般的性質」に属する諸問題を語り、法則については触れなかった。

このように、「連関の科学としての一般的性質」を形而上学との対立のなかで明らかにすることは、エンゲルスが引き続き第1義的な意義をおいたことであって、このプランも、まず弁証法の「一般的性質」を展開した後に、そのことを前提にして「諸法則」にすすもうとしていた。弁証法的な思考の基本と弁証法の諸法則との関連を、こうして総合的にとらえることは、弁証法の把握と理解にとって、核心をなす点の一つであると思う。このことの無理解は、弁証法の見地の定式化にあたってのさまざまな矮小化や一面化、単純化の源泉ともなる。スターリンによる弁証法の4つの特徴の定式化などは、その典型の一つであろう。

エンゲルスは続いて、この論文の主題である「弁証法の諸法則」にうつり、(1) 量から質への転化、またはその逆の法則、(2) 対立物の相互浸透の法則、(3) 否定の否定の法則の3つの法則を一般的な法則としてあげる。エンゲルスによれば、この3つは、ヘーゲルが『論理学』の3つの部で、それぞれ中心法則として「観念論的な流儀」で展開していたものである。エンゲルスは、ヘーゲルの誤謬は、これらの法則が「思考法則として自然と歴史とに天下りの押しつけられていて、自然と歴史とからみちびきだされてはいない」という点にあったこと、「事柄をひっくりかえしさえすれば、観念論的哲学ではことのほか神秘的に見える」弁証法の諸法則はたちどころに簡単明瞭となること、ヘーゲル自身、その諸法則の説明のためには「何百もの箇所から自然と歴史とから弁証法の諸法則の最も適切な個別的例証をあたええていること」、そして自分のここでの目的が、弁証法のハンドブックをつくることではなく、「ただ弁証法的法則が自然の現実の発展法則であり、したがって理論的な自然研究にとっても有効であること」の検証にあることなどを、まえおきの解明して、本論にすすんでいる。

自然の弁証法 (FT,1988) より

生物学と弁証法について

日本での生物学論争のなかではなばなしかったもののひとつに、現代生物学の機械論的傾向にたいする反省あるいは批判として展開された「弁証法的生物学」の主張があった。それは遺伝学におけるワイズマン的な粒子論や進化学における突然変異・自然淘汰説への

批判、発生学においてみられた機械論から全体論への転向への反省などを契機としていた。そして全体としては機械（論）的生物学（学）を批判し克服する立場として、機械（論）的方法に代わる弁証法的方法と弁証法的世界観の優位を主張し、少なくない批判的成果を生み、一部ではさらにそれ以上の積極的な功績をのこした。

しかしその反面では否定的な結果しかもたらさなかった部分も大きく、全体として「弁証法的生物学」の建設には至らなかった。そしてとくに、細胞以下のレベルの生物学においては、機械論的な立場にたち、形式論理だけを方法論とした徹底的な分析主義によって、かつてない貴重な成果がもたらされた。そのことは否定できない事実である。このことから、反弁証法論者（というよりも哲学無用論者）は、弁証法の敗北、機械論の勝利を宣言しようとする。たしかに、少なくとも細胞レベル以下の生物現象の研究においては、弁証法は姿を消し機械論が横行しているようにみえないことはない。

しかし、それでは、そのレベルで浮かび上がってきた生命像ははたして完全に機械的であるか。いいかえれば、そのレベルには機械的世界観で矛盾なく把握できる事象しか存在しないか。弁証法は見いだされないか。答は否である。それどころか、非（または反）弁証法的「立場」で分析主義的に進められた研究の成果として、いたるところに生命の弁証法的なすがたが浮かび上がり、弁証法的世界観を豊かにする素材を無数に提供している事実がある。それは本書のいくつかの論文で具体的に示される。

このような事実は、論争のなかですでに指摘されていたことである。機械的（あるいは形式論的）唯物論の立場にたつ科学者の研究成果として、**弁証法的な世界像が浮きぼりにされた例**が科学史上に数少なくないことに気づかれていたからである。**生命の起源、細胞の進化、代謝の調節、発生の機構、遺伝の安定と変異、動物の行動、免疫の理論**などなどの研究の成果に、われわれはその例を数多くみる。それらの少なくとも大部分は徹底した分析と、形式論理の積み重ねによって達成されたものであった。こうした事実を素直にみるならば、生物の研究にとって弁証法は無用あるいは無効なのではないかとの疑問が生じるのは、しごく当然のことであった。こうした疑問にたいして当時与えられた説明は、「機械論者でもマジメに研究をすすめていけば、自然自体のもっている弁証法に導かれて、無意識のうちに弁証法的自然観に達するのだ」という説明であって、筆者もそう考えていた時代があった。しかし、いうまでもなくこれは苦しい弁明であった。もし右の説明が正しいとするならば、科学研究にとって必要なのはマジメな態度であって弁証法ではないことになるという皮肉な反論もありえたからである。

このような弁証法理解のあやまちは、自然科学研究における弁証法を機械論（あるいは形式論）に対立する立場ととらえるところにあった。

唯物論か観念論かは、明らかに立場のちがいであり、それは論理によって正否が証明されるたぐいの対立ではない。それは生氣論論争のなかですでに例証されたところである。すなわち、生氣論者は、超自然的な目的因を仮定して実在を説明するが、その誤りが唯物論（科学）によって暴露されても、その生氣論をすてることはない。目的因のかたちをか

えてかぎりなく抵抗をつづける。それは、かれらの目的因が無規定なもの、あるいはあらかじめ規定しえないものとして設定されているからである。このように、**観念論は唯物論によって論理的に論破されるものではない。これが立場のちがいである。**

しかし**自然における弁証法**はそうではなく、エンゲルスが19世紀の科学を評価したなかでいっているように、**科学研究の成果として、したがって客観性をもって、明らかにされてくるもの**なのである。いいかえれば、科学が進歩すればなんびとによっても無視・否定されえないものとして、あらわれてくるものなのである。

したがって、科学研究において必要なことは、**厳密な唯物論的（科学的）態度**である。という意味は、対象についての分析（実験といってもよいが意味があいまいになるおそれがあるのでここでは避ける）が可能であり、**分析によって未知の知見がえられる条件にあるときには徹底した分析をおこなうことこそが必要であり、分析を回避して、あらかじめ用意された「弁証法」を代置することは正しくない、ということである。**分析によって自然についての認識を深めることが可能であるとする思想は唯物論の立場であり、これを否定する思想は、たとえ自然についての**弁証法的な見かた**をもっていたとしても、**観念論の立場**である。かつての自然哲学がそれであり、今日散見される自然・人間一体論もその亜流である。分析をこのように、**第一義的には唯物論の立場からでた方法論**であるとする思想は、なんでも分析しさえすればよいと信じて無意味な分析を終始くりかえしている**分析主義**とはまったく別物であることは論をまたない。

日本の生物学論争のなかで展開された**弁証法論者**のなかの一部に、自然の**弁証法**の把握が**実験の補い**あるいは**代用**になるかのような幼稚な誤解があったのは、右のように、**弁証法**をまず**法則**としてとらえるのでなく、**たんなる方法**としてとらえたところに原因があったように反省される。ルイセンコ論争や二つの**遺伝学論**においても、この理解の不足があらわれていたことは否定できない。

現代生物学の構図、佐藤七郎編、（大月書店）1976より