

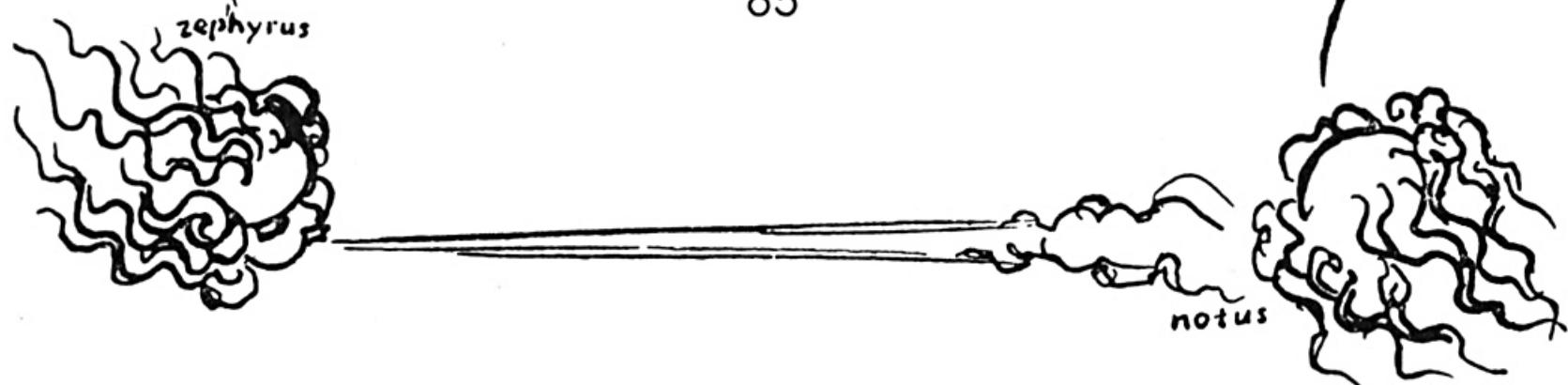
朝永振一郎著

物理学とは何だろうか

上

岩 波 新 書

85



目

次

序 章

第 I 章

1 ケプラーの模索と発見	23	21	1
火星の謎とケプラー(32)			
2 ケプラー法則の発見(42)			
3 ガリレオの実験と論証			
慣性の法則(66)			
自然法則と数学(78)			
4 ニュートンの打ち立てた記念碑	58		
変化の相で運動をとらえる(90)			
ニュートン力学の性格(98)			
万有引力(110)	87		
科学と教会	115		

目 次

5 錬金術から化学へ	123
第Ⅱ章	135
1 技術の進歩と物理学	137
2 ワットの発明	144
3 火の動力についての省察	153
4 熱の科学の確立	174
「カルノーの原理」の復活(176)	
熱法則の数学化(186)	
エントロピー概念の誕生(213)	
エントロピー増大則の広がり(228)	
引用出典	239

下卷 目 次

第三章

- 1 近代原子論の成立
- 2 熱と分子
- 3 熱の分子運動論完成の苦しみ

科学と文明
解 説

序

章

序 章

こんにちわれわれの生活のいたるところに物理学はしみこんでいます。私がいまこの原稿を書いているマンションの小部屋を見わたしても、天井には螢光燈がついており、たなには電話機とラジオとテープのカセットが並んでいる。わきにある電気冷蔵庫はかすかな音をたて、ガス台の上では換気ファンがまわっている。さらに窓から眺めると、電柱から電柱へと何本も電線が張られていて、電流がエネルギーや情報を運んでいるのです。そして向うのビルの屋上には、極超短波通信用のアンテナが高く立っており、その下には多分モータード汲み上げた水が溜められているだろうタンクが見えます。そうしたビルにしても、いま私のいるこのビルにしても、その壁のなかには、物理的に強度を計られた鉄の骨が、物理法則に従つて計算された方式で組み上げられていて、地震にも暴風にも耐えるように建物を支えていりましょう。物理学という学問は、現代文明を支える骨組として、なくてはならぬ要素になっているのです。

それでは、そんないろいろなものをわれわれのまわりにつくりだす物理学という学問はいったい何なのでしょうか。それは、いったい、いつ、どこで、だれが、考えだしたもので

しょうか。そして現在物理学者とよばれる人間はいったい何をどういうつもりでやっているのでしょうか。そしてそれが将来何をわれわれにもたらすでしょうか。

物理学者が物理学をつくりだすとき抛りどころにする数学では、先ず、あつかう対象の定義からはじめるのが常でした。近代になつて、対象を定義することなく、無定義なものに対する公理群から出発することも行なわれます。しかし物理学を定義することも、それにはかかる公理群を定めることも不可能です。なぜなら、物理学という学問は、現在にいたるまで絶えず変化しており、将来も変化するにちがいないからです。

そもそも物理学にかぎらず科学というものは、いつの時代においても、その前の時代のそれを踏まえて進められ積み重ねられてだんだんにできてきたものです。あるときは前の時代の考え方を踏襲しつつそれをより堅固に密度高く仕上げ、あるときは前の時代の狭隘な考えを打破することによつて新天地を開いていく、科学とはこうして変化していくものです。ですから、こういう変化のなかで物理学者がいつたいどういうことをどういうやりかたでやつてきたか、あるいは、やつてているか、という話ならばできないことはないでしよう。

このとき、物理学の定義はできないといつても、その対象やゲームのおおよそのルール

や守備範囲ぐらいは規定しておかねばならないでしょう。これもだんだん変わることを予想しつつ、先ずさしあたりのところでは、

「われわれをとりかこむ自然界に生起するもろもろの現象——ただし主として無生物にかんするもの——の奥に存在する法則を、観察事実に拠りどころを求めつつ追求すること」これが物理学である、としておきましょう。ここで「無生物」といきらす「主として」という語を入れましたのは、ご承知のように、現在、生物物理学といったものがあるからです。また、「観察事実に拠りどころを求めつつ」という句をはさんだのは、もっぱら思弁を論拠とするやりかたと異なることを強調したいからです。そして「自然界」とか「現象」とか「法則」とか、あるいは「奥にある」とか「観察」とか「思弁」とか、そういう言葉は何を意味するか、といった点は、常識にまかせて漠然としたままにしておきます。定義を行なうかわりに無定義のものの公理群から出発する数学者の故知を拡張して、無定義のものにかんして語るこの物語全体をもって「物理学とは何だろうか」という問の答にかえようというのがこの本の魂胆です。

それでは、最小限いまいったようなルールをそなえた物理学というゲームが成立したのは、いったいどこでいつごろのことだったのでしょうか。おおかたの学者の考えでは、ほぼ十六世紀から十七世紀にかけてのヨーロッパでそういうことが起つたことになっています。しかし、さつきいましたように、これとても、それより前の時代の学問をふまえて進められてきたのはいうまでもないことです。ただそれ以前には、自然法則を追求するにしても必ずしも観察に拠りどころを求めていたとはいいがたく、頭のなかだけで考えをめぐらす思弁的な、あるいは神秘的な哲学、そしてまた何事も神の御心にあると信じる宗教といったものと自然科学とはまだはつきり分化していなかつた。それのみならず、現在では学問のなかに入れられないもの、すなわち呪術とか魔法とかいうものも入りまじっていたのです。

ところで、この最後の二つのものは、学問のなかには入れられぬといつたものの、物理学や、それと兄弟関係にある化学の誕生に対しては無視できない役をしています。すなわち、物理学に対しては占星術が、化学に対しては鍊金術が切つても切れない関係にあつたのです。この鍊金術や占星術というものは、人間が金属を精鍊することを知り、天文学が日蝕や月蝕の予言を可能にしたところからそのきざしを持っていたにちがいありません。しかしそれが

後世ヨーロッパで流行するような体系にととのえられたのは、紀元前一、二世紀ごろ、ナル河口のアレキサンドリア市であつたといわれます。

もともとこの都市は、ギリシャの辺地マケドニヤから現われた有名なアレキサンドロス大王が開いたものだといわれています。アレキサンドロスは、当時内戦によつて互いに争いを事としていたギリシャの都市国家を統一しましたが、この成果を堅固にするためでしょか、その余力を駆つてギリシャの宿敵ペルシャの征服を企て、ペルシャ王ダリウスの軍を打ちやぶり、さらにインドの西北部まで大遠征をやつたことは皆さんご承知でしょう。彼がエジプトのナイル河口の地に自分の名を冠したこの町をつくったのはこういう時代、つまり紀元前四世紀ごろのことでした。そして、この都市は、背後にナイルの三角州という肥沃な地をひかえ、前方は地中海に向つて開けているという有利な地理的条件もあつて、地中海沿岸から、遠くペルシャ、アラビア、インドにまで通商の網をひろげた賑かな国際都市になりました。さらに、この町の創始者アレキサンドロスは、少年のころ、父王のはからいでアテネの哲学者アリストテレスを家庭教師に仰いだこと也有つてでしょう、みずからも学問を愛する心深く、この都市に学堂や大図書館をつくり、大いに学術を奨励したのです。

さらにアレキサンдрорスの没後、司政官のプトレマイオスがここに王朝を開いた後にも、王の学問愛好心と学者保護の政策とが功を奏し、ギリシャ本土から多くの知識人がここに移り住み、ギリシャ文明の中心はアテネからここに移ったといわれています。いわゆるヘレニズム文明の開花がここで起つたのです。この地で活躍したギリシャ人のなかには、幾何学で有名なユークリッドや円錐曲線論のアポロニウス、そして、天動説を大成して盛名をあげたプトレマイオス＝クラウディオスたちがいます。またアリストテレスもしばしばアテネからこの地を訪れたと伝えられています。

* 円錐曲線というのは、円錐をほうちょうで切つたときあらわれる曲線のことです。円、長円（楕円）、双曲線、放物線がそれに属します。ユークリッドの幾何学が直線と円を対象にしたのに対し、アポロニウスはこれらの曲線の幾何学を展開したのです。

しかしここではギリシャ風の学術のほかに、ペルシャやアラビアなどの東方系のもの、地ものとのエジプト系のものなども当然行なわれていました。そしてやがて、それらのものが混り合つて、ある種の不思議な混合物も生まれてきました。それは、金属精錬の技術や天体観測のそれと、古い文明のなかにあつた思弁的、神秘的、呪術的なものが絡み合い、おまけに

人の心の深層にある欲望や不安といったものもそれに縛れ合って、そこにどろどろとした奇妙な複合体をつくったのです。具体的にいいますと、それがすなわち鍊金術や占星術といわれるものです。そして、それらの術がローマを経てヨーロッパに入ったのは、ほぼ十二世紀ごろだというのが通説になっています。

さて、これら二つの術はやがてヨーロッパ全域にひろまり、十六世紀ごろになるとヨーロッパの諸侯は、ほとんどみな占星術師をかかえていたといわれます。当時の不安定な政治情勢下で重大な政策決定を下さねばならないとき、彼らはいつもその占いによつて行動をきめていたのです。なかでも有名なのは、プラハに首都を持つ神聖ローマ帝国のルドルフ二世(Rudolf II 1552–1612)という皇帝でした。彼は鍊金術と占星術の異常な愛好者で、宮廷の近くに大研究所をつくってヨーロッパじゅうから鍊金術師や占星術師を招聘し、そこでそれぞれの研究をさせていました。ルドルフ二世がこのような研究所をつくったのは、星占いを政権維持に役立てるためと、金きんをつくることによつて財政の改善を行なうためだったのでしょうかが、この皇帝は少し頭が変だったらしく、最後は半気違いになつたという話です。しかし、にもかかわらず、いや、だからこそ、この人物は天文学の進歩に対して非常に大きな貢献を

したのです。それは何ともおかしな話ですが、ある意味では、こういう事実こそ歴史のおもしろさだ、ともいえるでしょう。

それはこういう話です。天文学に画期的な展開をもたらし、眞の意味で近代的な物理学誕生のきっかけをつくったドイツ人学者ケプラー (Johannes Kepler 1571-1630) の偉大な研究は、この皇帝の庇護のもとに、この皇帝の研究所において完成されたという事実です。

自然現象のなかに一定の法則があるだろうという点にかんして最も早く人目を引いたのは天体の運動でしょう。事実、原始的なやりかたながら天体観測が行なわれ、そこに天文学といふ学問が成立したのは有史以前にまでさかのぼることができるように、たとえば、中国やオリエント、エジプトはいうにおよばず、アメリカ大陸のインカやマヤの遺跡には天体観測に用いられたにちがいない建造物の跡が見られるとか。こうして天体の運行に法則性が見られ、その法則から星の動きの予知が可能であることがわかると、それを地上の人間世界の出来事の予知に結びつけることができるのではないか、こういう望みを、いろいろな不安にかこまれて生きていた古代の人々が持ったのは自然でしょう。

そして、地上世界の気候の移り変わりと天体運行とが密接に関係している経験から暦をつ

くる方法が考案され、それが人々に大きな利益をもたらしたように、もつとひろく人間の運命や社会の出来事を天体と関係づけて占う方法があるにちがいない、と多くの人が信じたのも無理ないことです。

しかし、そういう願望をはなれても、だれもが夜空にかがやく星の規則正しい運行を見れば、深い神秘感に打たれ、自然の奥の奥の深いところに何か大きな力があつて、それがああいうふうに星を正しく動かしているのだということを実感させられるでしょう。そしてその奥深いところで自然界を統べている法則はどんなものかと問いたくなるでしょう。幸にして星の動きは自然現象のうちで最も規則正しいものです。ですからおそらく有史以前から、そういう問に答を求めて星の動きの規則を追求しつづけた人がいたにちがいありません。しかも、その追求は、ただ目にうつる天体運動の規則といった現象面だけのものでは満足できず、さらにそれを、世界の構造、現在の言葉でいえば宇宙^{*}論にせまる深い間に進めていかざるをえなくなつたのです。

* 現在の用語では世界とは地球上を指すのが普通ですが、当時世界といふことばは宇宙を意味しました。

このような間に答えるものとして、アレキサンドリアの天文学者プトレマイオスの世界大系があつたことはさきほどちょっと触れました。それはいわゆる天動説であつて、地球中心の宇宙論です。それによれば、地球をめぐって月、水星、金星、太陽、火星、木星、土星という七つの惑星が運行している、というもので、その運行のしかたは、周転円運動といつて、二つの円運動の合成だと考えられました。なにしろプトレマイオスがこの宇宙論をまとめた著書は、全部で十三巻におよぶ大著です。ですから彼の説を事こまかに紹介する力は私にもありません。しかしそれはおおよそ次のようなものと理解してよいでしょう。

ご承知だと思いますが、われわれが天空に見る星には恒星と惑星とがあり、恒星は一定不变の配置すなわち定まった形の星座をつくりながら一斉に天をめぐります。そのさまは、われわれを覆つて一つの巨大な球があり、それがその表面に恒星を付着させながら回転しているかのようです。このとき星座は、その形のみならずその大きさも一定しており、地上でそれを見る場所や時間に關係することはありません。このことは地球がその天球の中心に位置することを暗示するように見えます。一方、惑星のほうは、星座のような不变の配置を持つていません。それらは、てんでに星座の間を縫いながら、あるときは星座を追いこし、ま

たあるときは星座の間を退行する、といった運動をくりかえします。惑星たちが天球面上に描くこの行きつ戻りつを見ると、その動きを単純に地球のまわりの円運動と考えることはできません。

そういう理由でプトレマイオスは、惑星の運動を二つの円運動の組合せだと考えました。すなわち彼は、地球を中心とする円周を想像し、この円周上に中心を持ちつつ動いていく別の小さな円を考え、そのような円の上をそれぞれの惑星はめぐっているのだとしたのです。このとき小さいほうの円はそれ自身大きいほうの円周上をめぐりますから「周転円」と名づけ、大きいほうの円はその上で周転円の中心を動かせますから「搬送円」と名づけます。この考えはどうも少し複雑すぎ、いささか人為的にも見えますが、とにかく当時の観測技術の範囲では、われわれが仰ぎ見る天球面上での惑星運動は、この大系によつて完全に理解できるのでした。

* ここで、天球面上での惑星運動というのは、一日ごとに東から出て西へ入る見たままの惑星運動ではなく、天球自体の運動をそれから差し引いたものです。太陽を例にとると、毎日われわれの頭上を過ぎていく運動ではなく、一年かかって天球上のものとの位置に戻るその運動のことです。

・ プトレマイオスがこの宇宙論を大成したのは二世紀ごろのことでしたが、この学説はその後長い間、すなわち十六世紀になつてコペルニクス(Nicolaus Copernicus 1473-1543)が地動説を唱えるまで、支配的に多くの人に信奉されていました。

ご承知のように、コペルニクスの地動説は、太陽のまわりを水星、金星、地球、火星、木星、土星がまわっているという太陽中心の世界大系です。このコペルニクスの考え方を一口でいえば、天球面上で惑星が前進したり後退したりするのは、プトレマイオスの主張のようにそれが周転円運動をするからではなく、それを見ているわれわれの住み家すなわち地球が動いているからだ、という説明です。もう少しくわしくいうと、天体の日周運動は地球の自転による見かけ上の運動であり、年周運動はその公転による見かけ上の運動だということです。このとき、地球が動くにもかかわらず、星座の大きさが不变に見えるのは、天球が非常に大きく、その大きさに比べれば、地球はいつもその中心にあると考えてもよいからだ、これがコペルニクスの考えです。

このコペルニクスの考え方を純粹に数学的立場から見れば、それは要するに、天体を見ている視座を地球から太陽に移しかえることによつて、惑星運動は周転円運動でなく、より