

理論相互の關係

マックス・プランク著
石原純訳

各^{おのおの}の科学の發展は能く知られたように系統的に唯一の点から単一的に豫想せられた試図に従ってなされるのではなく、却^{かえ}つてそれは実用的根拠から、之に含まれた問題の多方面性に相応して、多少とも同時に種々の点に於て起り、そして之に従事する研究者の数と素質とに従つて種々の場處で種々の方法に於て且つ種々の調子に於て促される。それであるから、多くの理論が屢々^{しばしば}最初には本質的に互いに独立發展しながら、それらがだんだんに拡張せられ完全にせられるに従つて、始めて相互の接触を生じ影響し合い、事情に応じては互いに結合するものもあるし互いに争鬭し合うものもある。ところでここに数学的科学と經驗科学との間に本質的の相異があらわれる。前者では二つの異つた理論は、若し両者とも正しいならば、決して互いに矛盾することはない。それ故に数学に於ては理論の反対と云うことはあり得ないで、たかだか方法の反対があるだけである。例えば、代数と幾何とは最初全く互いに独立に發展したものであるが、併し^{しか}代数の理論が幾何学の理論に矛盾するとうようなことはもともとあり得ないのである。經驗科学としての物理学では之に反して、二つの理論が或る独自性をもっていたものが、漸次拡張するに従つて互いに衝突し、之等を相容れるようにするためには両方とも変更されなければならないと云うようなことが、屢々^{しばしば}あらわれもしたし、又現に今でも存在している。このように異なつた理論を互いに適応させてゆくことが即ち之等をより高い一つの單位にまで実らせ且つ發展させるところの主要な胚種なのである。なぜなら各^{おのおの}の科学の主目的はそのなかに育つところのすべての理論を唯一のものに融合させることに存するのであつて、ここに科学のあらゆる問題が一義的の位置と解決とを見出すからである。それ故、科学に含まれる理論の数が減縮されればされる程、科学はその目的に近づくのであると云つてもよいであらう。物理学の歴史はこの適応並びに融合過程に対して沢山の示教に富んだ例

を供与する。この短い記述に於ては只必要なだけの歴史的発展を考え、それ以外には主題に応じて単に物理学理論の状態について話して見よう。

今日物理学に於ては尚お三つの異なった種類の理論を区別することができる。即ち弾性論、流体力学、音響学を含めた力学と、磁気学及び光学を含めた電気力学と、もう一つは熱力学とである。之等の三つの理論は従来各或る独自性を保っていたのであるが、之等が相互に接触して、一部分は補足し合い、一部分は併し或る程度まで背反するような点の数が既に今日では非常に多くなり、殊に実験的研究の速かな進歩のお蔭で常に増加している。

最も古く且つ早く発展するに至った物理学的理論は力学であって、それ故にそれは本来物理学に於て唯一の主権を要求し、多くの物理学者の批判によっても今日尚おこの要求が是認せられている。ガリレイ及びニュートンによって根柢を置かれ、オイラー及びラグランジュによって完成せる形式に持ち来されて、力学はもはや之れ以上の円熟完成を望む必要のない程の、そして数学的理論と匹敵することのできる程の一つの形像を供与している。だが、正に古典的力学に固有なこの終極的完成の特質に於てこそ、それ自身をもっと成長させ、一層発展させることの不可能性が存在するのである。ところが運動現象以外に尚お沢山の他の現象を克服しなければならないところの物理学の一般的問題は之を要望しているのであって、実際に力学の発展への衝動は外部から来なければならなかった。そしてそれは電気力学的理論から来たのであった。この理論が最初には古い豊熟した力学と或る関係に立っていたが、それがいかにして漸次にそれから離れて独自の軌道を取って進み、最後には却ってこちらから古典的力学の方へ革命的影響を及ぼし得た程に遙かに外ずれてしまったかを見るのは、実に興味ある事柄である。

上に述べた通りに電気力学の発展は到る処に力学の影響のもとに立っていたとは云え、それは併し大陸では海峡の彼方とは全く異なった方法で進んで来た。ドイツではガウスの方向がその手本になっていた。彼は数学者並びに天文学者として電気作用をニュートンの万有引力法則と対比し、従って電気の根本法則をこのニュートンの遠隔作用法則の一般化に求めた。彼によれば電気力学に於て根本となるものは電氣量若しくは電氣的質量であって、それは物体の質量に対比するものであり、又ニュートンの法則に対して電氣的根本法則の一般化なるものは、二つの電氣的質点が互いに及ぼす力が質量の大いさと距離との外にその符号、並びに速度にも関すると云うことに存するのであった。かような電氣的根本法則の

一定の形式は特にウェーバー、リーマン、及びクラウジウスによって立てられた。イギリスに於ける電気力学の発展は全く之と異なつてなされた。ここではファラデイが彼の天才の印を之に押し^もた。彼は数学的若しくは天文学的起原からの豫断に影響され^もないで、電気現象を直接に彼の直観の上に働^もらせ、之を弾性の現象と結合させたのであつた。彼はこの現象に於て根本を荷電に見^{かえ}ないで、却つて一つの帯電体から他のものに走る電気指力線にあるとなし、中間媒質に於ける或る力学的張力を之に相応させた。遠隔への直接作用はそこに全く取り除かれて^いる。マクスウェルがファラデイの仮説を数学的形式に持ち来^した際に、彼は再び力学的思考によって指導されたけれども、それはガウスのとは全く異つていたのであつて、それ以来この理論はすべての遠隔作用論に對等となり、遂には之に打ち勝つてしまつた。しかもこの勝利は丁度、古典的力学に對して従来最も不十分であつた範圍、即ち純粹真空に於ける現象に於て特有的に得られたものである。

但し自然に於ては純粹真空はまるで作られ^{しか}はしないけれども、併しいろいろな經驗、そのうちにも最も信用し得るフィゾーの光学的測定などによれば、非常に稀薄な空間に於ける電気力学的、殊に光学的過程はそのなかに含まれる氣體殘餘の性質に完全に無關係であり、従つて實際上に定義せられた意味で純粹真空の物理学について云々することのできるの^がわかる。ところがここには遠隔作用論は役に立たないのであつて、遠隔作用の思想とは根本的に異なつた複雑な假定、即ち純粹真空が「偏極し得る」ものであると云うような假定を導き入れなくてはならない。マクスウェルの電気力学は之に反して丁度すべての媒質中の最も簡単なこの真空に對してやはり最も簡単な^か且つ最も見易い形式を取る。

さてマクスウェルの方程式がこの範圍に於てその最も美しい勝利を祝つたにも拘^{かか}わらず、その力学的基礎づけの種々の試みに對しては、之が固よりエーテルなる一つの物質的実体の存在を假定しなければなら^もないために、時を経るに従つて、だんだんと大きな困難があらわれて来て、遂に今日では恐らく一般に、矛盾のないエーテルの力学的理論は、簡単なマクスウェルの方程式を絶対に精確なものと見做すならば、之と全く相容れることのできないことを認めるようになった。そこで之によつて古典的力学と電気力学との間の罅^{きげき}が到底架橋せられないものとなつてしまつたので、その上では之等の両理論の適用範圍を嚴格に互いに局限する^もか、若しくはそれらの一方を変更するかより外には路がなくなつた。だが、第一の路は間もなく進む事のできない^のが解つた。なぜなら、既に電子運動の範圍

に於て力学と電気力学とは互いに干渉せずにはいられないからであって、それ故に丁度この範囲に於て判断の方向が指示せられ、先ず最初に古典的力学の法則からの外^はずれが見出され、之が電子の惰性的質量の変化の確定に於て云いあらわされた。アイン^カスタインの相対性理論は、力学を全く一般に電気力学に適應せしめる問題の簡単^かな且つ完全な解決を含んでいるが、それは一度^{ひとた}びは古典的力学の内容を之が実用的に資する部分まではその儘保存し、そしてそれ以上に電気力学の要求を完全に計算に入れている。相対性原理によって力学に引き入れられた変更は最も本質的な成分として、古典的力学には全く知られなかった一つの新しい普遍的常数、即ち純粹真空に於ける光速度を含んでいる。

かようにして力学と電気力学とは今日相対性原理の記号のもとに単一の理論に結合し始めた。私はそれを以後簡単に「新力学」と呼ぼう。それにしても併^{しか}し理論物理学の最後の大きな問題として、新力学を熱理論と融合せしめようとする^なことが尚お残されている。この問題は同様に既に有力な手懸を得ているが、併^{しか}し尚お前者とは比較にならない大きな困難が提起されている、なぜなら力学に於て成立する法則の種類は一部分熱理論のそれらと全く異なっているからである。中でも力学的説明には殆んど近づき難いものであって、しかもすべての熱現象に附随するところの特質は非可逆性である。即ちすべての熱及び化学的過程は一方の方向に進むのに反して、新力学の方程式に於ては時の符号は全く何の役をも演じない。云い換えれば新力学的過程、即ち力学並びに電気力学的過程は前方にも亦後方にも進むことができる。この根本的相違は最初にクラウジウスが明らかに認めただのであったが、それが一般に承認せられるのには久しい時を要した。なぜなら現時に至るまでエネルギー論の方面から、非可逆性を全然否定して融合を果そうとするつもりで、いろいろな試みがなされたからである。非可逆性の言明は熱理論の第二法則に見出だされる。之は即ち、^{おのおの}各の熱的^{あず}化学的過程に於て過程に与かる物体の全エントロピーが増大すること、そして只可逆的過程の理想的極限の場合に於てだけそれが一定に保たれることを云いあらわしている。この法則が熱理論並びに物理的^な化学に対して非常な効果をもつことは、久しい間之を力学的見地から解釈することのいかにしても打ち勝ち難い困難と特有の対照に置かれていた。ボルツマンは多望^かな且つ唯一の可能的と思われる遁路を示して之を留保した。けれどもその際に第二熱法則の純粹な力学的説明は見棄てられて、従来独り許容されてる絶対的力学的法則性の代りに、単に統計学的の法則性が導き入れられ、

熱及び化学的の測定から得られた總ての数を無数の箇的作用の結果として解したのであった、そこで物質の原子的構成部分の間の要素的作用に相当する箇々の量に対しては、力学的法則がその儘成立することができ、従って之等に対して時の符号は後方でも前方でも差支えないのに反して、無数の要素的過程の集合作用から結果する全体の量は確度計算法の法則に従うのであって、之は力学の法則とは全く独立であり、そのために力学には知られていない新らしい要素を理論物理学に引き入れるのである。この見地から見れば、熱理論の第二主則は単に一つの確度法則であり、エントロピーは確度の大きいさに対する一つの尺度であって、エントロピーが増大すると云うのは単に、確度の小さい状態に確度のより大きい状態が続くと云うことに外ならない。然うすれば時の符号は、確度の大きな状態がいつも後に起ると云うことによって決定される。

確度法則の特性は、それが除外例をも許すと云うことであって、それ故かような除外例の確定は原子的統計学的見解の一つの重要な問題を形作る。之に対する最も鋭敏な試金石は平衡状態の研究によって供給される。なぜなら力学では平衡は絶対的不変の状態をあらわすのに反して、統計学的平衡は絶えず不規則な、多少とも眼につく動揺に支配されるところの謂わゆる可動的平衡であって、しかも平均的動揺の大きいさは確度計算法の法則から数量的に精密に導き出されるからである。ここにいつでも統計学的理論は最も明瞭に証明されるのであった。捉われない見物者には謂わゆるブラウンの分子運動の外観は実に最も驚くべく、又最も確かにはたらく。そこでは全く一様な密度及び温度をもった静止せる液体がその内部に於て之に浮遊せる微粒子のいつまでも絶えない非常に活潑な乱雑な舞踊を示すのである——これこそ純粹の力学の立場からは全く説明のできない、統計学の立場からはあらゆる微細の点までも豫め計算することのできる事実である。

かようにして力学と熱理論とが最初に互いに衝突し合ったところの強い反対が、すべての熱及び化学的現象に於て絶対的法則性の仮定を原理的に担否し、原子論的考察方法を導き入れ、之に特有な新らしい自然常数即ち原子量をもって論ずることによって始めて打ち勝たれた。併しながら之は、力学が熱理論をその全範囲内に包括しようとするときに、忍ばねばならない唯一の且つ最も重大な犠牲ではないように見える。なぜなら物質の不連続性だけではそれが恐らく尚お果されないからである。熱輻射、比熱、電子放射、放射能の法則並びに尚お多くの他の経験は相一致して、物質自身ばかりでなく、物質から起る作用（かような区別をな

し得る限りに於て)も亦不連続的性質を有し、更に新らしい一つの自然常数、即ち作用量子によって特質づけられることを示している。この常数は数量的に非常に小さくて、古典的力学の結果はすべての粗大な過程に対しては之を引き入れてもそれ程目立って変らないのであるが、併し原則的に云うならば、それは従来の理論の機能に未知のものを加えるわけであって、抑も作用量子の本来の意味が今日までまるで解らないのは、電子や原子がまだまだ天体と或る類推を示すのと比較にならないばかりでなく、更に一層困難なことには、作用量子の従属せしめられるべき地位がまだ少しもはっきりと云うことのできない点で、之を取り扱うのに不便が感ぜられなくてはならない。だから、古典的理論が現在では尚おこの闖入者の採用に対してあらゆる力をもって反抗することも亦驚くには足りないことであり、何れにしても両面的の同化作用が完了するには年数を要するにちがいない。それにしても、作用量子が、どんな名称、どんな形式であれ化学的原子量のように、一般力学の積分要素を形作るような時期が来るであろうことは、少しの疑も容れる餘地がない。なぜなら、力学並びに電気力学と共に亦静止及び輻射熱の学が唯一の単一的理論に鍛合させられない限りは物理学的研究は止むことはできないからである。

(1915年「現代の文化」所載)

-
- ・『世界大思想全集』第48巻（春秋社，1930年12月）所収。
 - ・底本は縦組みであるが，数式を考慮して横組みにした。
 - ・旧漢字は新漢字に、旧かな使いは新かな使いに変更したが，一部旧漢字のままにしたところもある。
 - ・PDF化には $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X} 2_{\epsilon}$ でタイプセッティングを行い、`dvipdfmx`を使用した。

- ・科学の古典文献の電子図書館「科学図書館」

<http://www.cam.hi-ho.ne.jp/munehiro/sciencelib.html>

・「科学図書館」に新しく収録した文献の案内，その他「科学図書館」に関する意見などは，

「科学図書館掲示板」

<http://6325.teacup.com/munehiroumeda/bbs>

を御覧いただくか，書き込みください。