

物理学的世界像

石原 純

一、自然科学的世界像の範型としての物理学的世界像

自然を我々の觀念形態として把握しようとするに當つて、そこには明らかに二つの方法が与えられている。第一は具体的直觀的方法であり、之は普通人が日常の經驗に於て行うところのものであるのに反し、第二は抽象的論理的方法であり、之は自然科学的認識を目的として行われるものである。自然科学的世界像というのは、簡単に云えば自然科学的認識を綜合せるものに外ならないから、その特質は先ず上述の二方法を比較対照することによつて覗うかがわれる。そこで最初に第一の方法を見ると、それが具体的であるとは云つても、実は自然に対する直觀がいかにして獲得せられるかを考えるならば、すべて何等なんちうかの感覺を通じてのみ可能なのであり、しかも個々の感覺器官はそれぞれ固有の作用をしかなきないものである以上、かような感覺による知識といえどもそれぞれの感覺作用の範圍内に抽象せられていのである。例たとえば一つの物体に対して、視覚によつてその形や位置や色に関する知識を得、觸覚によつてその硬さや温度に関する知識を得、その上で之等これらの抽象的知識を綜合して或る具体的直觀を形作るのである。それ故ここではおのずから抽象—綜合が

行われているのであるが、この場合に於ける綜合は単に個々の抽象的知識を同一の實在的對象に所屬するとして認めることによつてその儘直ちに成り立つものであつて、その間に殆んど何等の特別な努力をも要しないから、それが直接に具體的知識を供給するが如くに感ずるのである。

之に反して第二の方法では、同じく抽象―綜合が行われるのであるが、併しその間に多くの知的操作を必要とする点で前者と大いに異なつてゐる。先ず之に於ける抽象的知識は單に感覺的なものではない。それが何等かの感覺に依ることは止むを得ないが、之を論理的に処理し得るために我々はそこに客觀的事實として判断し得るような關係のみを求めてゆくのである。そしてその上で之等の間に何等かの論理的連結を形作ることによつて全体を或る一定の觀念形態に綜合しようとするのである。即ち第一の方法では綜合は最も簡単な素朴的な意味で行われるが、それと異なつてここでは常に論理的にのみ結果する。かような事が果してどこ迄可能であるか否かは勿論我々のあらゆる試みの後を待つて始めて知られるのであり、そこに自然科学の限界が劃せらるべきであるが、ともかくも或る範圍に於て之が可能であるのは既に我々の今日迄に經驗した處であり、そして現在の自然科学的認識から成り立つ自然科学的世界像がその範圍に於て形作られているのである。

この説明で知られる通り、自然の直觀的形像はそれが直接的な感覺とつながることによつて「自明」の感我々に与えるのに反し、その自然科学的形像は常に内部的な論理的機構が剖示されている点で、我々は之を謂わゆる「自然の本質」として見做すように習慣づけられるのである。これと共に前者が主觀的であり、後者が客觀的であるのは云う迄もない。

ところで自然科学の諸部門に於て現象間の関係を最も深く論理的に分析することのできたのは物理学であること周知の通りである。之は物理学で取り扱う物質現象がその他のものに比して最も簡単であるのによるが、ともかくも我々はそこで自然のなかから精密な数量的関係を抽象し、且つ之等を論理的に整序することに或る程度まで成功したのであって、之が前述の如き意味での自然科学的世界像の可能性を我々に啓示したのである。従つてこの事から物理学的世界像が一般の自然科学的世界像の範型であり得ることは確かである。

だが併し物理学的世界像は単にこの意味での範型であることに止まらないで、從來屢々之にそれ以上の意味が与えられた。それは即ち物理的現象をすべての自然現象の根本であると見做す一つの思考によるのである。この思考は最初には素朴的唯物論によつて導き入れられた。そこではすべて精神現象さえも肉体的物質の上に現われるものとして考えられているが、之が何故に普通の物質現象と全く異なつた形に於て現われるかはまだ少しも説明されてはいない。勿論之は自然科学以前の思考に属する。自然科学が成立してからは、それが先ず力学現象について発展し、次いで種々の物理的現象が力学的に説明せられるに及んで、謂わゆる力学的自然観なるものが形作られた。ここではすべての自然現象を力学的に解釈しようとするのであるが、物理的現象に対する力学的説明の成功によつてそれが一つの科学的世界観の如くに見られたのもそれだけの理由があつたと云われるであろう。その後物理学の発展に伴つてエネルギー論や電磁的自然観の如きが称えられたこともあるが、之等の世界観に於ける非実証的な部分を取り除いて、我々が厳に自然科学的世界像として予想せられ得るものに限定する場合に、今日では之に到達するために少なくとも物理学的方法に依拠することなしには不可能であると思惟せられるようになっていゝのは事実である。それは現に心理学などに於ても

この方法を採ることの必要が漸次自覚せられるようになったことから見ても証せられる。従つてそれらに於て結果する一般的世界像は固より現在局限せられる物理学的世界像とは異なつたものであるとしても、なお後者がその範型として見做し得られるであろうことは恐らく確かである。この意味で物理学的世界像は自然科学にとって依然として根本的な重要性をもつに違いない。

二、力学的及び電磁的世界像

物理学的世界像の第一歩としてニュートン力学の成立と、之による物理的現象の説明とが見られることは上述の通りである。ニュートン力学は先ず最も簡単な力学的対象、即ち質点及び剛体について立てられたが、それはやがて流体及び弾性体にも応用せられ、又音及び光を弾性振動として、熱を分子的運動として説明するようになったことは周知の通りである。この中で光に関してはその弾性媒質としてのエーテルに於て問題が残され、後に之を電磁振動によつて置換えるに至つたわけであるが、併し一般に物理学に於ける之等の最初の發展は種々の現象を力学的に解釈しようとする衝動を人々に起さしめたのは確かである。音や光や熱はそれぞれ聴覚、視覚、触角を通じて直観的に捉え得る現象ではあるが、之等を論理的に觀念化せんがためには実際に力学的解釈を求めるより外には他の方法を知らなかつたからである。しかも人々が之に対して或る程度の成功を収めた上では、謂わゆる味をしめて、やがてすべての自然を単に力学的に解しようとする欲求をもつと共に、それ以外の方法を知らない限りに於て力学的自然観を高調したのは寧ろ当然であつたとも思われる。後にこの思想がその儘踏襲せられる場合に、それが屢々「機械論」として排撃せられるのを見る

けれども、併し科学の歴史に於て機械論乃至力学的世界像は自然に對する最初の論理的觀念形態として我々は十分にその価値を認めなくてはならないであろう。同様に今日の我々の物理学的世界像といえども、それが我々にとって大きな価値をもつに相違ないが、之をその儘すべての自然、特に生命現象や心理現象に適用しようとするなら、また機械論の固執に類する過誤を冒さないわけにはゆかないかも知れない。

物質の要素的粒子がすべて帯電体であることが発見されたときに、すべての物質現象は電磁的に解釈すべきであるとせられ、ここに電磁的自然觀が称えられた。この場合には併し電氣を何かしら普通の物質以外の実在であるかの如くに見做した古い思想が残されていたのである。この事は、特に普通の物質に関するニュートン力学に於て常に一定の物体に對し一定の質量が考えられていたのに反して、帯電体の力学に於てはその質量（電磁的）が速度の函数として見出だされ、更に之が実験的に証明せられた際に、ニュートン力学から帯電体力学（電気力学）への轉向が論ぜられたことによつて明らかである。併しこの轉向は実は力学に於ける何等本質的な変更ではないのであった。唯一それ以前の力学に於ては全く考慮にとられなかつたところの、六元ベクトルとしての電磁場から起る電磁氣力が作用することを考えればよいのであった。それと同時に、ニュートン力学の、時間—空間概念は相対性理論によつて修正されねばならなかつたが、かくて相対論的力学では質量の速度による変化はもはやそれが帯電体である故に存するとはせられずに、却つて運動の相対性を保持するためにどんな物体に對しても考えられねばならないようになった。即ち電磁氣力は単に物体に所屬する一種の力に外ならないのであり、電磁的質量と力学的質量とを區別することはもはや無意味と見られるに至つた。従つてこの点から云えば、電磁的世界像を特に力学的世界像から區別する必要はないであろう。

勿論物質の要素が帯電粒子であるという意味で電磁的世界像を語ることは差支えない。併し相対性理論の成立から見れば、物体に対して寧ろ万有引力が本質的に關聯して居り、ワイル、エディントン、アインシュタイン等の「場の単一理論」に於て万有引力と電磁氣力がたかだか対立的に見做されようとしているだけで、之等ではやはり電磁的なものをより根本的であるとは考えていない。(最近には中性子の如き非帯電粒子の発見もあり、且つ之を物質の根本的要素の一つと見做す説さえもある。) 即ちこの範圍に於ては電磁的世界像は広義の力学的世界像に含まれるとするのが正しいであろう。それにしても今日では我々は既にこの範圍から一步を踏み出そうとしている。と云うのは、物質の要素的粒子はもはや相対性理論だけでは取り扱うことができないので、之に対しては特殊な量子論的考察を必要とすることが明らかになつたからである。だが、この立場からは今日まで不幸にして万有引力の場も電磁氣力の場もその理論的模像を十分に闡明することができないのであつて、特に電子の如き一定の単位的要素の存在の理由を見出だすことができない以上、上の問題に対して根本的な解答を与えるわけにゆかないと云わねばならない。

三、エネルギー論及び統計力学

物質現象の力学的説明が漸次成功して来たのに伴つて、それは之等の現象を論理的に精密に分析するため唯一の有効な方法として考えられたのは前述の通りである。併し当初に於ては比較的複雑な現象に対して完全な力学的説明を見出だすことの困難であつたのは云う迄もない。そこでかような場合には何等かの力学的類推をもつて満足するより外はなかつた。光に対して弾性媒質としてのエーテルを仮定し、又熱や電氣

を一種の流体として論じようとしたのは何れもこの類である。ところが類推によつては或る程度までば事実を記述することができるけれども、その儘どこ迄も進むことが困難にされる。従つて或る点までゆくと、いつもそこに記述せられつつあるものの「本性」は何であるかという問題が提起されて来る。多くの物理学書を見ると、かような「本性」なる語がいかにも漫然と無造作に用いてあるが、それは実は「類推を超えた本質的な説明又は記述」という意味に解すべきであると考えられる。光を弾性波とするのはなお類推の説明であるが、之を電磁波と解するのはその本質的な説明なのであり、又電気を流体と見るのは類推であるが、帯電現象を電子の分布によつて説明するのは本質的であると云うが如きである。更にここに云う「本質的」なる語の意味は『一つの論理的体系としての自然科学的理論の上で他に換え難い』ということに帰着するのである。尤も自然科学的理論が幾通りも可能であるとするマツハの立場からすれば、それは最も思惟経済的であるというような制限によつて規定されるわけであるが、ともかくも単なる類推を超えた或る一定の説明と見做すべきである。

ところで上述のように力学的説明のまだ完全に行われぬような現象に対して類推の説明をもつて満足する代りに、なお何等かの他種の、幾分でも「本質的」な説明がありはしないかと云うことも考えられるわけである。そして之がエネルギー原理の発見によつて謂わゆるエネルギー論の形式に於て一つの解答を得ただと解せられる。即ちエネルギー論ではすべての現象的变化をエネルギーの分布及び様態変化によつて説明しようとするので、それは或る場合にその变化を一義的に決定することはできないとは云つても、もはや類推を超えた本質的な説明に属することは確かである。物質原子間の物化学的親和力の如きは最初は力学的類推

に於て一種の力として考えられたのであるが、この力の本質的説明はなお不可能であったのに反して、エネルギー論に於ては之を全く熱力学的に考察してその数量的記述を可能ならしめたことなど、その一つの功績をもの語るものである。

エネルギー原理が自然科学に於ける一つの根本原理と見做されると共に、エネルギー論は確かにその適用範囲の広さを誇ることはできたが、併しエネルギーの変化だけで自然現象を十分に記述することのできないことが明らかである以上、それが世界像の全体を満たし得ないこと勿論である。この事は特に熱現象に関してボルツマンによつて強調せられ、そこに原子論的考察の缺くことのできない多くの理由が指摘せられた。そして之に関して謂わゆる統計力学が形作られるに至つたのは能く知られた通りである。つまりここではエネルギー論は現象の説明又は記述の一階梯としては役立つけれども、之を更に精密に記述するためには結局その力学的説明にまで到達せねばならないことが示されたのであった。

併し同じく力学的説明とは云うものの、統計力学は普通の力学と多少とも趣きを異にする。即ち統計力学に於ては常に極めて多数の、互いに等しい力学的対象を取り扱うのであり、且つ之等の対象の個々のものに対してその性質を理論的には規定するが、實際上之等を一々視察することなく、単に之等の対象の全体が示す統計的状态のみを論ずるのである。そこでかような統計的状态を巨視的と称し、之に対して個々の対象の状態を微視的と名づけている。ここで微視的というのは、どこ迄も巨視的に対立する概念であつて、従つて個々の対象の状態を實際上何等かの方法で観測しようとする場合には、それはもはや微視的ではないのである。

統計力学が常に巨視的状态のみを追究する結果として之に関する法則が確率論的な意味をもつことは当然

であるが、そのお蔭で熱力学の第二法則によって記述せられた事実の如きが絶対に必然的なものではなく、単に大きな確率をもつものでしかなく、実に物理学史上の顕著な発見であった。なぜなら、嘗て力学に於てその法則が時間に關し一定の微分方程式として確立せられて以来、この力学的世界像から見て少なくとも物質現象はその始原條件と限界條件とが与えられるならば常に時間的に一定の過程をもつて必然的に行われること、即ち嚴密な因果關係の成り立つことが予想されたのであり、熱力学の第二法則の如きもまたそれが經驗的に知られた際には同様な意味に於て必然的過程をあらわすと考えられていたからである。實際上、この時以前にはすべての物質現象が上述の如く必然的な因果關係をもつて法則づけられる限り、物質的全宇宙は決定論的な唯一つの運命を辿るより外はないと信ぜられていた。即ち若し万能者が現在の宇宙の状態を十分審かに知悉することができれば、それから任意の未来の状態を精密に予測することができると考えられていた。だがしかしここで状態と名づけられたものが何等か巨視的なものを意味するとするならば、この命題は誤っている。そこには同一の巨視的状态をあらわすところの多数の、互いに異なつた微視的状态があり得るので、後者がいかに變化するかは決して前者からは決定されないからである。つまり個々の微視的对象に対する必然的な因果關係から直接に物質的全宇宙の巨視的状态の決定論を導き出してはならないのである。エネルギー散逸による宇宙の死滅が論ぜられたのは、即ち統計力学以前の一理論であつた。

物理学的世界像は物質の種々の状態を、法則によって互いに論理的に連結される適當な概念(物理的量)で記述するところのものであると解せらるべきであるが、エネルギー論に於けるエネルギー概念だけでは記述がなお不十分であり、力学的(電磁的を含む)諸概念を用いなくてはならないのは上述の通りである。しか

もこの場合になお巨視的状态及び微視的状态を差別せねばならず、前者に対しては統計的確率論的法則だけが求められることを明らかにしたのは統計力学の功績である。

四、相対性理論

物理学の歴史に於て相対性理論の出現はその一大革命を持ち来したものと見て見做されている。ここで革命と考えられたのは、それ以前に力学的世界像の輝かしい勝利によつて物理学の動かすべからざる基礎として一般に認められたニュートン力学が著しい変更を余儀なくせられたことによるのであった。殊にこのニュートン力学が足場として存立していたところの時間及び空間概念に対して新たな内容が与えられねばならなかつたことは、古典哲学者乃至は物理学者に対して異常な衝撃を経験せしめたのであった。併しこの事は物理学の発展にとつて極めて意味深いものであり、それは後の量子論に於て再び同様な意味での発展として繰返されたのである。

力学に於ける時間、空間及びその他の力学的概念を我々がなぜ物理学全般に於ける根本的なものとして見做すかと云うならば、本質的にはそれらを用いて我々が力学的世界像を形作ることによつて種々の現象を説明理解することができる故であるが、更に附随的にはそれらが我々の直観と直接的な繋がりをもつという事情にもよるのである。純粹に物理学的には電磁場の如きも同様に根本的であるべき筈であるにも拘わらず、古い頃には狡義の力学的現象の方が何かしらより根本的であると考へ、マクスウェルが電磁理論を形作るようにする場合にもその力学的類推をもつて出発した如きも、すべて直観との繋がり如何によると見るべきで

ある。勿論^{もちろん}純粹な物理学理論に於てはすべての概念は単に法則を通じて論理的に連結すればよいのであつて、それと直観との関聯は少しも問題とはせられない。

併し^{しか}それにしても我々は最初から直観と全く離れた物理学的概念を思考することに困難を感ずるのは当然である。実際にかような概念は物理学の発展に伴つて始めて導き入れられるのであつて、それ迄は出来るだけ直観に即する概念を採用することが却つて自然的な思考過程に属すると云わねばならない。之は物理学の発展それ自身がいかなるものであるかを理解するのに極めて重要な事柄である。ニュートン力学に於ける絶対時間や絶対空間の概念はこの意味で先ず直観に即するものとしてそこに導き入れられたのであつた。カント哲学に於て時間及び空間を経験記述の先験的形式として見做^{みな}したのもやはり同様の意味に解すべきである。だから、かような記述形式として予め与えられたものが記述内容としての自然現象から規定されることは本末顛倒であるというような批難が屢々^{しばしば}相対性理論に向つて発せられたこともあるが、それは自然科学の真相を知らないものの言葉でしかない。つまり最初に直観に即して思考せられた概念がその儘^{まま}自然科学の論理的体系を矛盾なく形作るために適応しているか否かは決して予め断定されるわけにゆかないからである。

相対性理論は時間及び空間概念に関して始めてこの事を明らかにした点で物理学史上に於ける最も重大な意味をもつものである。そこでは即ちニュートン力学の絶対時間及び絶対空間が棄てられて時間及び空間の相対性が確立せられ、同時刻や長さの判断がすべて之に依らねばならないことが示された。それは勿論^{もちろん}我々の経験的事実を論理的に矛盾なく記述するために必要であるとして結論せられたのである。この結果として謂^いわゆる「時空世界」の本質が闡明^{せんめい}せられ、更に一般相対性理論に於てはこの世界をリーマン空間として考え

ることによつて万有引力現象の説明に成功したことは寧ろ驚くべき理論的發展であつた。だが、それと同時にこの場合に於ける時間や空間はもはや直観から甚だ遠ざかったものとなつたことは当然であり、殊に世界空間に於ける曲率と物質の質量分布との間の直接的関聯の如きは到底直観的には理解し得られないであろう。相対性理論に基づく宇宙論的考察に至つては物理学的に導き出されたところの一つの痛快な帰結と見做されるに十分ではあるが、之が果してどこ迄經驗的事実と一致するかはなお大いに疑問の余地がある。遠方の星雲の視線速度が宇宙膨脹なる理論的結果と相容れるようにも見えるが、この点についても近時の観測は必ずしもこの理論に味方しないことが既にハッブルによつて指摘せられてゐるし、またミルンの如く全く異なる説明を意図している人もある。更にかような宇宙論的問題に関しては、現時の物理学的世界像のなかになお何等かの根本的な変更を必要とするであろうことを最近にディラックも指摘している。しかもそこでは万有引力常数の如きものが真の普遍的常数でないことまでも考えられてゐるので、之等はおおむねば想像の域に属するとは云え、万有引力の問題については更に深く検討せらるべきものを残してゐる如く見える。

註

(一) P. A. M. Dirac, Nature 139 (1937), 323.

この事は別に相対性理論と量子論との融合の問題からも視られる。量子論は原子内部の現象の研究から起つたので、そこでは主として電磁場が考察の対象となり、之に比べて万有引力の場は殆んど無視せられても差支えないのであるが、併し少なくとも電子の理論に関し相対性理論の必要であることは既にディラックの電子論などの場合に明らかに示されている。他方で量子論から離れて、単に相対性理論の範囲に於て万有引力

の場と電磁場とを融合せしめようとするところの「場の単一理論」の試みは、たとえ形式的には成り立つも、到底実際上の事実には適合し得られないであろうということは、近時物質のすべての要素的現象が量子論的考察なしには全く説明せられないことが益々明瞭となるに従って、一般に肯定せられるようになった。之等の事情は何れも相対性理論と量子論との何等かの融合を是非とも必要と認めしめるものであつて、万有引力の場や電磁場をもその上で改めて考えなおさなくてはならないことも予想されるのである。ここに近い将来の、併し今日に於てなお全く我の々の観察を超える困難な問題が残されている。

五、量子論

相対性理論と相並んで量子論が近時に於ける物理学の革命の双壁として見做されることは周知の事実である。相対論的力学に対比してニュートン力学を普通に古典力学と称しているが、これ等の力学で取り扱いはる対象は物質の要素的粒子に比べて大きなものに限られ、要素的粒子そのものに対してはその儘適用せられないことが漸次明らかになって来た。そしてそこでは量子論に基づくところの特殊な量子力学が形作られるようになった。それ故今日ではかような要素的粒子に関する新しい物理学と、それ以前に知られていたものとの區別して後者を屢々古典物理学と称している。この意味では相対性理論もそれだけではまたこの古典物理学に属する理論なのである。

量子論は最初に光のエネルギーに於ける粒子的性質が種々の実験的事実のなかに認められることによつて導き入れられたものであるが、それが原子構造の理論に於て原子の安定性を説明するために缺くことのできな

いものであることが明らかにせられてから、原子に関するすべての現象について漸次その本質的關係が審かにせられるようになった。併しその最初に於ては之等の対象に對する古典的思考と之をいかに調和せしめ得るかについて異常な困難が存在した。既に光に關しては我々は古典的に之を波動として見做して多くの事實を説明することが完全に成功していたのであるから、いかに新しい事實が之に對して粒子的性質を強要するとは云え、波動的エネルギーが空間的に拡がることなく粒子として集中すると考えることは明らかに波動性と矛盾する。又原子内に於ける電子の運動を一方で古典力学的に取り扱ってその軌道を決定しながら、他方では原子の諸性質が恒常不変であるという事実からして、たとえ電子が曲線的軌道を描くとしても、電磁論的に当然結果すべき輻射が之から全く放出されないとするのは同じく理論的矛盾を冒すものである。之等の矛盾をいかにして取り去ることが出来るかは容易に見究められなかつたが、漸くにしてハイゼンベルクのマトリクス力学及びド・ブローイー、シュレーディンガーの波動力学によつて始めて之が可能とせられ、依つて之等に基づいて一般的な量子力学が生れたのは能く知られた通りである。

量子力学に於ては古典力学で用いた諸概念を一応棄て去つてしまつて新たな抽象的概念から出発すること
を正しいとするから、それだけ殆んど全く直観から離れてしまう。併しそこに論理づけられた關係が十分に
我々の観測の結果と一致するという点で満足的なものであると見做されるのである。物理学的世界像が最初
は直観に即するものとして形作られ、それが漸次發展するに従つて直観から遠ざかる傾向を著しくすることは
既に上に繰返して述べたが、この事が量子力学に至つてその一つの頂点に到達したのはその対象として取り
扱うものが物質及び輻射の窮極的要素であることから見て肯かれるでもあろう。かような要素に關しては固

よりそのどんな性質といえども直接に直観に上すことのできないのが当然である。それにも拘わらず我々は普通の物質的対象に向つて古典的に直観に即した諸概念を与え、しかもそれによつて或る程度まで物理学的世界像を形作ることに成功したところの経験によつて、之をその儘かような要素的対象の上にも試みようとしたのである。それは単なる習慣に外ならないとは云うものの、まだ何事も知らない場合の試みとしては決して無理ではない。だが併しかくして我々の知り得たところのものは、かような対象を一方では波動となし他方では粒子としなければならぬと云う矛盾的知识に外ならないのであつた。そこでこの矛盾を取り除くには直観に即する力学的概念を棄て去らなくてはならないという結果に到達するのである。

力学的概念を固持することの困難は謂わゆるハイゼンベルクの不確定性原理によつて明確に示された。ここでは例えば電子の位置と運動量とを同時に精密に測定する様な方法は原理的に存在しないことが証せられている。それ故に若し電子の運動状態なるものを古典力学的にその位置と運動量とによつて定義しようとするならば、之はいかなる測定によつても決定せられないことになる。ところが我々の物理学的世界像に於ていかにしても厳密に測定せられないような状態なるものを記述する必要がないばかりでなく、之を包容しようとすることはその論理的構造を完全ならしめる為に却つて不都合でさえあると考えられる。我々は単に観測の結果を論理的に矛盾なく記述すればよいのであつて、従つて寧ろこれがために必要な概念だけを設定することを適当とするのである、そしてこの結果として之等の概念が直観を離れることは止むを得ないとするるのである。

記述を観測に適應するようにのみ制限するという点で量子力学の方法は実証論的であると云われている。

従つてそこでは観測に与^{あず}かり得ないような問題を謂^いわゆる仮現問題(Scheinproblem)として排斥するのである。原子内に於て電子の個々の運動がいかに起るかというような問題は明らかに仮現問題である。なぜなら、之を観測しようとして何等^{なんら}かの手段を之^{これ}に施すならば電子の運動は必然的に攪乱^{かくらん}せられてしまつて、従つてその儘^{まま}の状態を観測することは不可能であるからである。この事は電子が物質の窮極的要素の一つであり、之に作用するものは他の同様な要素又は輻射の要素としての光子より外にはないこと、並びに我々の観測は観測対象に対する何等^{なんら}かかような作用を待たずには行われ得ないことから結果するわけである。かようにして古典概念をその儘^{まま}固持しようとする、量子的現象に於て多くの仮現問題に逢着するのであつて、之等^{これら}の解答はいかなる実験的手段によつても得られないのである。量子力学が実証論的であるとせられるのは、そこに之等^{これら}の仮現問題が一掃せられてゐるのに依るのである。

上の説明で観測手段が観測対象の状態を攪乱^{かくらん}すると云う事情の存することが知られるが、之^{これ}は量子現象の一つの特質であつて、それが古典物理学的現象と差別せられる所以^{ゆゑん}である。能^よく知られてゐるようにこの場合に於て或る一つの量(例えば位置)を正確に測定すれば、之^{これ}と対立する一定の他の量(運動量)は同様に正確には測定し得られないようになる。即ち対象の状態なるものをかような二つの量の一定の値によつて規定しようとすることは不可能なのである。それ故この意味での量子的対象の状態を思考したり又はその変化を支配する法則の存否を問うのは何れも仮現問題であつて、それは実証論の域を超えている。更にかような考察から量子的対象に対しては因果律がもはや成り立たないと云う主張や、或る場合には電子は自由意志をもつて自由に行動するとも見られると云う空想的放言さえも称えられたことがあつたが、之等^{これら}が上述の仮現

問題から出発する限り、物理学的に無意味であることは明らかである。これに反して実際に量子力学ではそれらの代りに量子的対象の状態を単に謂わゆる波動函数によって記述するのである。これはその対象が或る空間的位置に見出だされるところの確率の分布を示すものとして解せられるのであって、波動函数に対してシュレーディンガーの波動方程式が成り立つのはかような確率分布の変化する因果関係をあらわしていると思われる。この因果関係はしかし確率に関するものであるから、個々の電子の過程を決して決定論的に規定するものではない。ここに因果律に関する古典哲学的思考への根本的な変革が必要とせられるのである。

カント哲学では時間空間形式と共に因果律もまた自然現象の科学的記述のために缺くことのできない範疇として見なされた。因果律なしには現象を論理的に整序することは不可能であると考えられ、この事から人々はすべての自然現象に対しては必ず之を支配すべき必然的因果関係が存しなければならないことを原理的に予定した。之に反してヒュームが単に因果関係を一つの経験的叙述であるとしたのは、寧ろ量子力学的思考に近いと云うべきであろう。つまり量子力学の把持する実証論的立場から見れば、古典物理学に於て必然的な因果関係が肯定せられたのは之によつて経験と一致する記述が可能とせられたからに外ならないのであって、之に反して量子的対象に関しては統計的關係のみが因果的に整序せられることとなるのである。対象の個々の過程については我々は何事も因果的に語ることができないし、又物理学的世界像に於ては之について語る何の必要をもたないとするのである。この意味で、量子力学は統計力学に於けると同じく統計的結果のみを記述するのであるが、併し統計力学に於ける微視的状态なるものをここでは全く思考の範囲に持ち来さないのである。

量子力学は原子及び分子に関する多数の問題をみごとに解決してその非常な威力を我々に示したけれども、その理論的根柢に於てなお種々の未解決の問題を含んでいる。その最も顕著なものは、之と相対性理論との完全な融合である。即ちシュレーディンガーの波動方程式は最初に古典力学の一般的形式から導かれたことにより、相対論的力学の関係を満足しないし、その後ディラックの電子論に於ては特殊相対性理論を満足するように補正せられたけれども、なおそれ以上に及ばない。相対論的量子力学の試みは電磁場の量子化の問題を中心として種々の人々によつてなされてはいるが、今日なお満足な結果に到達しない。又他方で原子核内の現象を取り扱う核物理学が漸く展開されようとしているが、そこでは現象的事実についてなお不明な点も残されているので、上の原理的問題との関聯も十分には論じ難い。今日理論的に全く解決の手がかりを得ない問題としては、なお物質的粒子の存在の事実をいかにして理論のなかに取り入れるかと云うことであつて、之が恐らく量子電気力学の困難とも關係してはいはしないかとも想像されている。一種の近似的思考の下にはあるが、エディントンが相対性理論と量子論とを結びつけて、陽子と電子との質量の比を純粹に理論的に導き出したことも、上の問題との関聯に於て注目するに足りる。併し何れにしても現時の物理学的世界像が物質現象に対し窮極的な論理的分析にまでいかに深く立ち入っているかということに対する大体の有様を之等によつて窺い知ることができるのであらう。

六、生物学及び心理学との関聯

物理学的世界像の發展の有様を概観すると、それが力学的世界像に始まり、之をすべての物理現象に拡張

するに當つて力学的類推がいかに有効に働いたかを知ることができる。勿論新らしい現象の本質的關係が明らかになるに従つて、かような類推は棄て去られなくてはならないが、併し類推は本質をあらわすことができないうと云う理由で、最初の手がかりとしての類推の重要性を無視することは甚だ誤つて居り、それは少なくとも科学の發展の歴史的真相を知らないもののである。マクスウェルの電磁理論の完成に達する迄に力学的類推がいかに重要な役目を荷なつたかを見るがよい。又ボーアの原子構造論に於ける電子軌道の如き力学的思考が先ず準備せられなかつたならば、量子力学の驚異的出現はいかにしても望まれなかつたであらう。今日では光子に対して波動であるか粒子であるかを問うことはもはや仮現問題として見らるべきにも拘わらず、かような力学的設問がド・ブローイー及びシュレーディンガーに於ける波動力学的思考の出発点とせられたことも周知の通りである。かくて類推が吾々の思考發展の過程に於ていかなる役目を演ずるかを深く考うべきである。

物理学的世界像が自然科学的世界像の範型として重要であることを私は最初に述べたが、生物学や心理学に於て取り扱われる複雑な対象に対して之等を先ず科学的に考察するために大いに物理学的思想が取り入れられねばならないことは上述の關係から見ても寧ろ当然である。生物学に於ては、その生理現象の研究に対して物理学及び物化学的知識が専ら利用せられて近代の生理学を形作るに至つたが、生命現象を理解するために之だけでは不十分であることが漸く痛感せられて、例えば目的論や全体性理論の如きが称えられるようになった。この目的論に於ける合目的性なるものは、之が主觀的の意味に於てではなく、純粹に客觀的に解せられる限り、物理学に於ける変分法則の云い表わす内容と対比せらるべきものであることは既に屢々指摘さ

れている。又生命体に於ける全体性なるものも、それは多種多様の細胞集団の上に現われる一つの機構に外ならないのであるから、その機能的素質は各々の細胞と之等^{これら}を連結する法則とのなかに見出だされねばならないわけである。それは恰も^{あたか}数箇の原子が一つの分子を構成することによって個々の原子に全く見られない全体性的性質（例えば分子スベクトルの如き^{ごと}）を示すことと同様である。更に巨視的物質に関しては原子及び分子の集団としての物体に於ていかに多くの全体性的性質が現われているかをもうべきである。生物の場合に特に挙げられている時間的全体性などもまた物質に於ては余効及び履歴現象として現われている。勿論^{もちろん}物質の之等^{これら}の性質自身すらも今日に於てはその理論的考察になお多くの困難を伴っているのであり、まして、生物体に関しては一層の困難のあるのは云う迄もないが、併し^{しか}之等^{これら}の点について類推的思索が大いに進められることは決して無意味には止まらないであろう。

生命現象に於ける最も顕著な特殊性は恐らく細胞集団としての生命体の主権的体制化であると考えられるのであって、精神現象の如き^{ごと}も専ら^{もっぱ}之に^{これ}依存するのであるが、この点については物質現象に於てその類推をすら見出だすことが困難である。ここでは恐らく全く新しい関係が思考せられねばならないのであろう。勿論^{もちろん}この主権的体制化の主体と見られる脳体組織の如きは極めて微妙なものであり、既に量子現象に対して我々の経験した如く^{ごと}各々の観測手段が被観測体に攪乱^{かくらん}を及ぼすというような事情がここでは一層顕著であるとも推察せられるので、我々がどこ迄その本質的関係を明らかにし得るかは俄かに^{にわ}予想せられないけれども、それにしても我々が量子力学に於て観測可能な事実を論理的に整序し得たことから見て、その方法はこの場合にも極めて重要視せられねばならないに相違ない。

量子力学の非決定論的帰結を自由意志の問題に結びつけようとする試みは近時多大の興味をもって眺められた。従来の物理学的世界像が全く決定論的な原理をのみ支持していた間に、量子力学が非決定論的世界への一つの通路を拓いたかの如くに見えたことからして、自由意志の模型をここに求めようとしたのは必ずしも無理ではないであろう。併し自由意志に関してはなお精緻に観察されねばならない極めて複雑な微妙な関係が含まれているので、決してさほど簡単な複雑な対比をもって満足せらるべきではない。この問題についてはここに立ち入って論ずるわけにはゆかないが、私は寧ろ意識内容の転換の自由性に於て（即ち或る時には例えば眼前の物体を、そして直ぐ次の瞬時にはその他の何ものかを意識に上すと云うような自由な転換の可能性において）、自由意志の根柢が存するのであり、従ってかような意識転換の機構が先ず問題とせられなくてはならないのではないかと考える。

最後に繰返しておきたいことは、未解決の現象に対して既知のものからの類推を手がかりとして進むことは大いに必要であると共に、併しこの類推は、いつ迄も固執されることなく適当な時機に新しい思考への転換が行われねばならないと云うことである。この新しい思考は漸次我々の直観から離れる傾向をもってはいるが、それは現象機構が複雑になるからであって、我々の自然科学的世界像は順次この階段を踏み上ってゆくのである。

（科学、昭和十二年四月増刊号）

-
- 『自然科学的世界像』（岩波書店、一九四〇年二月、第四刷）所収。
 - PDF化するにあたり、旧仮名遣いは新仮名遣いに改めた。
 - 旧漢字は新漢字に改めた。
 - 読みやすさのために、適宜振り仮名をつけた。
 - PDF化には`LATEX 2ε`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。