

## 量子力学への理解

石原 純

### 量子力学とは何か

人間の思考は時としてすばらしく、そして輝かしく飛躍する。学問の上ではそれは屢々しばしば哲学や数学や自然科学や又はその他の科学に於ても現われるが、私はそれが自然科学に於て自然の事実からの強要によって行われるとき程大きな驚異を感じることはないと思う。昔から「真理は渝わからない」と云うような通念を人間はもっているが、ここでは新しい事実の発見によってその真理なるものも渝わかり得るのである。例えば因果律と云うものが自然科学の基礎をなすと考えられていたのに、或る自然現象に対してもはや因果律が云々せられないとするなら、これは実に驚くべき思考の飛躍ではないであろうか。そして実際に我々は現代の物理学に於てこの輝かしい飛躍に当面したのである。

問題は量子力学の発展によって提起されたのであったが、そこには実に従来の我々の思考によつては到底理解されない不思議な種子が蔵されていたのであった。

最も簡単に云うならば、量子力学もまた一種の力学である。普通の力学が我々の普通に感覚し得る物体の

運動、即ちその位置の時間的変化について論じ、之がその周囲に及ぼすところの影響（力）を考えるのと同様に、量子力学は特殊の対象について同様の現象的事実を論ずるものに外ならない。

併しここで特殊の対象と云うのは実は総ての物質の構成要素として考えられる電子の如きものを指すのであるから、普通の物体でも電子から成り立つとすれば、勿論、そこにも量子力学で論じたことが当て嵌まらなければならぬ筈で、その意味では普通の力学も総て量子力学で置き換えられなくてはならないのであり、従つて理論上から見てそれが根本的に重要となるのである。つまり、特殊と云つたのは普通の力学的対象に比較しただけの言葉に過ぎないので、即ちそこでは普通の力学に現われなかつた特殊な事実が現われるからである。

この事実を名づけて我々は一般に量子現象と喚ぶことができるであらう。上に述べた不思議な種子と云うのは、実にこの量子現象そのものに外ならないのである。

一口に云えば量子現象の特性はその不連続性にあるので、そしてこの性質が我々の理解に対して非常な困難を持ち来すのである。なぜなら、最も一般的に考えたところで、凡そ「現象」と名づけられる限りのものは、総て何等かの事柄が時間的に変化する有様を云いあらわすのであるとしか我々は解し得なかつたのであつて、而もその事柄を各々の時間に於て思考することができ且つ時間は絶えず連続的に経過すべき一つの観念形式として認められる以上、現象の時間的な不連続性が何から結果するかは到底正しくは理解されないからである。

例えば普通の力学で物体の運動は之に働く力によつて左右せられると考えられているが、力がどんなに變つ

でも運動の速度こそ変れその位置までが不連続的に変わるなどと云うことはどうしても考えられない。ところがそう云う不思議なことさえも量子現象では許されねばならないように見える事実が知られて来たので、ここに遂に普通の力学は見棄てられて、そして一方ではこの不思議な事柄を論理的に矛盾なく思考するために量子力学を必要とするに至ったのである。

### 量子現象とその特異性

量子現象は初めて輻射の問題に於て現われ、プランク（一九〇一年）によって作用量子なる量の存在が仮定されて、ともかくも事実を説明することに成功したけれども、それは決して之だけで済まされないで続々と新しい問題を生んだ。作用量子の存在によって輻射のエネルギーは不連続性を有し、それが放出されたり吸収されたりする場合に不連続的に変わるばかりではなく、空間を進行する場合にも一塊りとなつて物質粒子のように動くかの如くに見える。之は輻射を電磁的の波動として解して来た従来の思考と明らかに矛盾する。又輻射の放出や吸収が物質原子の内部に於ける電子の運動の変化によつて結果すると考えるならば、量子現象を説明する為には電子のエネルギーの不連続的な変化を仮定しなくてはならない。之がボーア（一九一三年）並びにゾンマーフェルト（一九一五年）の原子模型に於て試みられたのであった。併しそこにも勿論、論理的な矛盾は免がれ得なかつた。

かような矛盾について当時の物理学者はどんなに苦慮したか知れない。そしてその解決は漸く一九二五—六年の頃に至つて、一方ではド・ブローイー及びシュレーディンガーの波動力学の方法によつて、他方では

ハイゼンベルク、ボルン、ヨルダンのマトリクス力学の方法によって与えられ、爾後之等が一般の量子力学として発展するに至ったのである。

量子力学が上述の論理的矛盾を征服するためにいかに大胆な思考の飛躍をも辞しなかつたかを深く考えるならば、寧ろ我々の驚嘆に堪えぬものがある。それは併し決して気まぐれな飛躍ではなくて、我々の眼前の事実が之を強要するに至ったのであった。

要約して云えば、量子力学では個々の量子現象に対しての因果的記述を見棄ててしまつて、その確率論的な記述をしか行わないのである。例えば、一つの電子又は輻射エネルギーに対して何かしら因果的法則が存在するかどうかと云うことには我々は全く触れないのであり、実際に触れ得ないとするのである。我々はたかだかそれらが或る時刻に或る場処に存在すると云うことの確からしさだけを知ることが出来、そしてかような確率の間に量子力学的な関係が成り立つとするのである。だから、我々が一定の場処を指定して電子又は輻射が或る時刻にここを通過するかどうかを知ろうとしても、それは決して確定的には予期されないで、その不確定の限度を与えるものが謂わゆるハイゼンベルクの不確定性原理として示されるのであり、又他方では或る範囲内の種々の場処に於てそれらの到達すべき確率を時間的に追隨してゆくとそれは恰も波動的に変化するように現われるのであつて、ここに謂わゆるブローイーの物質波が結果するのである。

即ち以前には電子や輻射エネルギーが或る場合には粒子の如く、他の場合には波動の如く、互いに矛盾した性質を示すとして考えられたのに反し、ここでは之等の両性質をその固有性とは見ないで、単に観方の相違によるとして解釈するのである。粒子的に見ればそれは不確定性原理で制約せられ、波動的に見ればその

変化が波動方程式で規定されると云うのはこの故である。

量子現象に対してなぜ上述のような特異性が現われるかと云う理由に就いて、ハイゼンベルクは次の事情を挙げた。

我々が或る一つの電子の運動状態を出来るだけ精密に知ろうとするには、例えば波長の十分小さい光を之に当てて見ると云うような手続を必要とするのであるが、かような光を当てることによって電子の運動は忽ち不連続的に変化してしまつて、それが既に以前の、即ち観測しようとする状態からは外ずされることとなる。その外のどんな可能な方法を考えたとしても、電子の純粹に客観的な状態と云うものをその儘で観測することはできない。言い換えれば、總ての量子現象に対しては、その純粹に客観的な状態は我々の不可知な領域に属すると云うのである。尚お云い方を換えれば、量子現象の観測には同じく何等かの他の量子現象を利用しなければならぬのであるから、そこには常に両者の交錯せるもののみが現われて、個々のものを独立に存続せしめることが不可能であるのである。

### 量子力学の影響とその効果

量子力学は我々の思考上に異常な旋風を捲き起した。或る人々は之によつて自然現象の因果性を否定しなければならぬと云う。併し上の説明で多分明瞭であると思うが、それはかような因果性を全く否定しているのではない。個々の量子現象に対しては、たとえ因果性があるとしても、かようなものを我々が原理的に観測し得られないことを示しているに過ぎない。

我々の観測し得るのは量子現象に関する確率的な事実だけであつて、従つて若しその他の総ての現象をも量子現象の集まりであると見做すならば、やはり理論的にはそうであると考えなくてはならないのであるが、併しそれらの場合にはもはや殆んど必然に近い蓋然的な法則の形に於て依然として因果律が成り立つと見て差支えないのである。

又或る人々は個々の量子現象がかような因果律の埒外に立ち、しかも之が総ての現象のうちの最も根本的なものであると云うこと理由で、自然の最奥には法則的に律せられない自由な、且つ神秘的な世界が横たわつていると云う。そしてそれなしには恐らく人間の自由意志の如きも説明せられないと云う。併し之等の言葉はもはや明らかに物理学の領域から逸脱したものであつて、その正否については物理学の理論は何等の与かり知る処ではないのである。我々は之を一種の世界観として見做すことはできるであらうが、それが量子力学から当然帰結されるとするのは誤りである。なぜなら、之と同等な権利をもつて個々の量子的対象が我々には不可知な何等かの因果法則によつて束縛せられていてと云うことも決して思考し得られないことはないからである。

量子力学が物理学の上に持ち来した効果は非常に大きい。即ち原子物理学はそれのお蔭ですばらしい進歩を遂げるに至つた。上に述べたようにボーア及びゾンマーフェルトの原子模型は或る程度迄スペクトルに関する事実を説明するに役立つたが、それが本質的には論理的矛盾を含んだばかりでなく、それ自身やがて行詰りを感じねばならなくなつた際に、量子力学の出現が之を救つて更に原子構造に関する奥深い関係にまで我々を導いてくれた。電子の旋廻に関する問題や多粒子問題や分子スペクトルの理論などその主要なもので

ある。之等これらに対してイギリスの若い物理学者ディラックの貢献は恐らく最大であつたと云つてよいであろう。

特に興味のあることは、最初ディラックの理論から電子に対して負のエネルギーを有する状態の結果することをもつて人々はその理論の一難点と見做みなしていたのに反し、陽電子なるものの発見以来、却かえつてそれがこの負エネルギーによつて説明せられるに至つて、理論の輝かしい勝利が叫ばれたことである。即ちディラックに依れば、空間は本来到る処負エネルギーの電子で充満されているのに、他の電子又は輻射によつて之が正エネルギー状態に移されると、そこに空孔を生じ、この空孔それ自身が陽電子として現われるのであると解せられた。

又量子力学によつて示された物質粒子の波動性は実験的にも確められ、爾後X線や $\gamma$ 線の如き輻射線と全まったく同様に電子の如ごときものをも種々の場合に利用することができるようになった。この点で最も重要なのは、物質粒子の波動性に基もとづいて之が他の原子に衝突して原子核の破壊を結果させることのできる可能性が理論的に明らかにされたことである。そして之と同時に核破壊の実験が盛んに行われるようになり、最近数年の間に或は中性子なるものの発見を由来し、或は人工放射能なる新しい現象の発見に導き、今や物質の最も中心的な秘密を内蔵する原子核の構造が漸ぜん次明じらかにされようとする形勢にある。元素を転換させることなどは今日ではもはや不思議でも何でもない極めて普通の事柄に帰してしまつた。量子力学から、惹ひいては原子物理学の近時のかような発展は実に驚嘆するの外はないであろう。

(讀賣新聞、昭和十年)

- 
- 『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。