

# 時間の非可逆性について

石原 純

## 一 物理的現象と時間

我々の普通の経験に於て空間の總ての向きは同等と考えられるに拘わらず、時間の向きは之を逆にすることができない。物理現象に関してこの差別がいかに現われるかと云うことは、物理学理論の認識論的考察、特に因果律の本質にとって一つの重要な問題である。

物理学に於て抽象せられる現象には、時間の向きを逆にしても法則の形式が同一に残るものと、そうでないものがある。ここでは之等を夫々可逆的及び非可逆的現象と名づけておこう。例えば力学的現象で力が恒存系に属する場合は明らかに可逆的である。即ち運動方程式に於て時間  $t$  の符号を反対にしても同一の式が得られる。之に反し摩擦や抵抗による力の現われる場合には、時間の符号を変えると共に之等の力の作用も変わるから、可逆的とならない。実際には之等の力の作用が熱の発生を伴うことは周知の通りである。

可逆的現象のみを取り扱う場合には時間の向きに対し何等の差別を設ける必要のないこと勿論である。我々は之等の現象だけに就いて、何れが過去であり、何れが未来であるかを知ることが不可能である。処で実際

には、単に純粹な物理学的世界に於ても、過去と未来との区別の現われるのは、例<sup>たと</sup>えば熱現象の如<sup>ごと</sup>きによつて最も明らかに示される。この熱現象が統計力学的理論によつて總<sup>すべ</sup>て或る統計的現象即ち謂<sup>い</sup>わゆる巨視的現象として解せられることは注目すべき処である。この範圍に於て我々は恐らく總<sup>すべ</sup>ての非可逆的現象の第一の特質を統計的であるとして解することができらるであらう。統計的である限りに於て未来は単に或る確率によつて与えられ、それ以上に必然的には法則づけられないことが考慮せらるべきである。

よく知られたように、熱力学では各々の巨視的状态の確率が更にエントロピー増大の原理に従う事を仮定する。ここに時間の非可逆性が始めて本質的に現われるためである。併<sup>しか</sup>しボルツマンはこの原理の成立それ自身をも確率的であるとして、因<sup>よ</sup>つてこの原理に反する世界の可能を示し、純粹に思想的には時間の可逆性を保存させ、しかし一定の統計的世界ではそのなかにのみ存在する認識主体（人間）に対してエントロピー増大の方向が時間の非可逆性を決定するのであると解した。之<sup>これ</sup>は認識論的に極めて重要な事柄である。

併<sup>しか</sup>し従来<sup>し</sup>の統計力学では微視的な要素的粒子に關しては現象が純粹に可逆的に起ると仮定する。従つて物理学の根本法則の上では時間はやはり可逆的であると見<sup>み</sup>做<sup>な</sup>される。かような根本法則は相対性理論に於て謂<sup>い</sup>わゆる時空世界の幾何学的性質に還元せられ、そしてそこでは時間及び空間の対称性がみごとに示されるのは注目すべき処である。<sup>①</sup>併<sup>しか</sup>しこの事は万有引力の如<sup>ごと</sup>き恒存系をなす力だけが考慮せられる限りでは恐らく当然である。電磁氣力に關しては次の二つの問題が考慮されねばならない。物質媒質内に於ける電磁現象は既に統計的なものであつて、純粹に可逆的でないから、之<sup>これ</sup>を単に形式的に相対論的に論ずることは困難である。<sup>②</sup>次に簡単な振動子模型からの輻射を考える場合に、純粹に電磁論的には輻射放出の機構が可逆的であるにも<sup>③</sup>

拘わらず、輻射波そのものは逆にこの振動子への集中過程を示さない。且つ事実の上では、導線から発する電磁波の放出は既に明らかに統計的現象であるし、又個々の電子からの輻射は量子論的に論ぜられねばならないので、これ等が既に単なる相対性理論に基づく「場の単一理論」を困難にしていると考えられる。従つて今日まで試みられた形式的な単一理論が恐らく物理的事実を云いあらわすに不適當であるのは、之等の考察から明らかとなるであろう。

要するに相対論的な時空世界に於ける時間及び空間の対称性は或る限られた範囲に於ける抽象によつてのみ成り立つのであつて、それ以上の現象を考える場合にはもはや之を固執することができないとしても止むを得ないのである。かような事情の下に量子現象が統計的性質のものであることが明らかにされたのは、我々にとつて極めて重要な事柄である。ここでは量子現象として我々に認識されるものが常に或る統計的結果であると云うことによつて、そこに思考せられるであろうところの個々の過程に対してはもはや従来の意味では因果関係を考えることができないと共に、それが可逆的であるか否かをも直接に知ることはできないし、そしてその代りに確率によつて定まる状態の変化のみが知られるに過ぎない。この事は同時に我々の時間、認識、かような確率状態の変化過程によつてのみ可能であることを示すのである。それ故に之が時間の可逆性を結果するか否かは我々の認識論的考察にとり根本的に重要でなければならぬ。

#### 註

- 3
- (1) 時空世界の宇宙論的考察に於てド・ジッターの解は時間と空間との完全な対称性を保つに反し、アインシュタインの解及び近時考慮せられるフリードマン、ル・メートルの解がそうでないのは別に認識論的に問題とされねばならない。

- (2) 伝導電流によるジュールの熱の発生のはきは之を明らかに示す。電媒余効、磁気履歴等の現象もまた同様である。
- (3) 之に関して最初アインシュタイン及びミンコフスキー等は形式的な式を立てたが、後にラウエ等によつてその不可なる事が論ぜられた。一般の電磁現象に対して最小作用の原理を立てる事の困難は之によると考えられる

ところで例<sup>たと</sup>えば波動力学に於ける波動方程式は形式的には一定の因果關係を示し、時間的にも可逆的である如く見えるけれども、果してそうであるか否かは尚<sup>な</sup>お考究を要するわけであり、特に更に現在問題とせられて<sup>(1)</sup>いる電磁場と物質粒子との關係の如き<sup>ごと</sup>に就<sup>つ</sup>いての根本的な解決を必要とするであらう。我々はそれ迄は尚<sup>な</sup>お早計的に結論するわけにゆかない。併<sup>しか</sup>しそれでも我々がこの問題への多大の關心を取り去り得ないのは、抑<sup>そもと</sup>も時間の可逆性を許す限りに於て一つの現象に関して原因と結果との本質的な差別を設けることが不可能となる点にある。<sup>(2)</sup>

#### 註

- (1) 併<sup>しか</sup>し波動方程式の示す過程が、輻射波に於ける如く、實在的には一方にのみ進んで、その逆過程は認識せられないことも可能である。
- (2) 相対性理論に於て超光速の不可能を結論するために、超光速をもつ現象に関しては座標系の適当な変換によつて因果の順序の逆になることが普通に挙げられているが、現象が可逆的である限りこの証明の不十分であるのは既に屢々指摘せられている(阿部良夫著『相対性理論』四五二頁参照)。

(科学、昭和十一年一月号)

## 二 量子現象に関する考察

時間の非可逆性について私が前文<sup>(1)</sup>で述べたことに対し、富山小太郎氏は量子力学理論の云い表わす意味を明快に説明せられた。<sup>(2)</sup>この事は我々の感謝に値するが、併し<sup>しか</sup>それに関して尚<sup>な</sup>お私が問題にしようとした点を明らかにするために更にここに数言を附記することも無駄ではなからうと思う。

註

(1) 科学 第六卷、二八頁。

(2) 科学 第六卷、一二五頁。

富山氏は最初に空洞内に原子と輻射とを含む体系を考え、之<sup>これ</sup>に就<sup>つ</sup>いて原子の輻射放出の過程が量子力学的にいかに表わされるかを説明した後に、「以上の過程を表わす波堆が多く<sup>の</sup>週期函数の和である点から見ても、又時間の向きを逆にすれば元の状態を表わす波動函数の得られる点から見ても、輻射放出の過程が本質に於て可逆的なることは明らかである」と述べられた。ここで注意すべきことは、輻射放出の過程の可逆性はそこに挙げられた理由からは勿論<sup>もちろん</sup>肯定せらるべきであるが、それを直ちに「本質に於て」と云う言葉で置き換え<sup>え</sup>てもよいかと云う点である。つまり私の疑問の意味は次の通りである。かような理論であらわされている関係は事実からの一つの「抽象」であつて、しかもそれは時間的に可逆的な性質をもつ抽象面である。従つてこの抽象関係が可逆的だからと云つて実在的な過程が必ずしも可逆であるとは限らないのではあるまいかと云うのである。言い換えれば、非可逆的であると見られるような他の認識が可能ではないかと云うのである。この例として私はさきに古典理論に於ける輻射放出の過程の認識を引用したのであつた。古典理論でも勿論<sup>もちろん</sup>

「空洞」内の孤立保存系の平衡状態<sup>（へいこうじょう）</sup>に対しては時間的に可逆的な数学的表現が与えられるに違いない。併し要素的過程としては原子からの輻射放出に対立して逆に輻射波が原子に集中することが可能として認められない限り可逆的と見做<sup>（みな）</sup>すわけにはゆかないのである。一つの理論に抽象される限りに於て可逆的な関係を示すような現象でも具体的には非可逆と見ねばならないと云う例は他にも多く求められるであろう。

それで問題の解決方法は寧ろ富山氏の文の後半に記された処に依らなくてはならないと思われる。そこで富山氏は量子現象の測定に於ては常に予期されない不連続的な変化が伴うことに対するノイマンの論証を引用された。之は量子現象に於ける極めて大切な事実である。但しことでは「測定」と云う言葉が用いられているけれども、測定と云うのは結局測定せられる対象と測定器械の役目をなす対象との間の交互作用の過程に外ならないのである。しかも之等の兩対象は、測定の目的に関してこそ互いに異なる立場に置かれてはいるが、客観的には共に量子力学的対象として存在するものであり、その間に何等<sup>（なんら）</sup>の差別もないのである。（シュレーディンガー<sup>（1）</sup>は測定対象と測定器械との相違を説明して、測定器械と云うのは、「我々が測定を行う前に、若し必要であるならば、事情に応じて再びその中性的な始原状態に戻す」ことのできるようなものに外ならないので、何れを器械とするかはこの意味での外見的な差別に過ぎない事を示している。）だから、測定の結果として非可逆的な、不連続な変化が起るといふことは、即ち任意の二つの量子力学的対象の間の、例えば原子と輻射との間の交互作用の過程がそうであるとしてのみ認識されることを意味する。言い換えれば、原子と輻射とに対してそれぞれ<sup>（それぞれ）</sup>の波動函数が知られていたとしても、原子が輻射放出を行う要素的過程は非可逆的であると見做<sup>（みな）</sup>さなくてはならないであろう。

(1) Naturwissenschaften 23 (1935) 825.

富山氏はこの測定に関する考察の終りに、「 $\psi \rightarrow \psi'$ 」の変化は不連続ではあるとしても、 $u_1$ が混合ではない以上この変化を非可逆的とすることは出来ない」と云われているが（ $\psi$ は量  $A$  の波動函数、 $u_1$ は  $A$  に属する固有函数の一つ）、かような変化は量  $A$  に対する一つの予期 (Erwartung) を示すだけのものであって、それはやはり或る抽象でしかないと考えられる。<sup>(1)</sup> それ故この事から「従つて測定による変化が過去と将来とを区別する本質的な非可逆的なものであるとの主張には幾分疑問の点がある」とするのは、同じく抽象と具体的認識との間の混淆があると思われる。

## 註

(1) 我々の「現実的」な観測として記録されるものは  $\psi \rightarrow \psi'$  の如き個別的な変化ではなくて、何処までも  $\psi = \sum c_n \psi_n$  なる統計的混合の状態であるからである。

併し「時間の非可逆性が何れの非可逆的变化に於て認められる性質のものであるか……という問題に就いては尚お更に立ち入った考察が必要であると思われる」と云われるのは正にその通りであろう。私は量子力学に於て抽象せられた限りの「時間」の非可逆性については上述のような要素的過程の非可逆性から帰結されてもよいであろうと考える。併し現在の量子力学で思考せられている「時間」が単にその数学的表現に於けるパラメーターであつて、実在的に測定せられる二つの時刻の間隔として意味づけられていないことは、

富山氏が指摘せられた通り、又上に引用せるシュレーディンガーの説述に於ても甚だ強調せられている通り、<sup>(1)</sup>理論の根本的缺陷<sup>けつかん</sup>であつて、之が正しく解決されない限り時間の非可逆性について決定的に答えられないのは勿論<sup>もちろん</sup>である。それにしてもかような測定せられる時間が抽象的なパラメーターとしての時間と何等か<sup>なんら</sup>の關係に於て結びつけられるとするならば、上に挙げたその非可逆性が實在的な時間認識に対しても引き移され、そしてこの意味で量子現象が認識論に特殊な役目をすることも可能となり得るでもあろう。

註

(1) Naturwissenschaften 23 (1935), 848.

(科学、昭和十一年四月号)

### 三 理論の抽象性と具体的現実

私は上文で時間の非可逆性について論じ、そのなかで或る現象に対する理論が時間的に可逆的な形式の記述をとつていても、その事から直ちにこの現象に対応する具体的現実が同じく可逆的<sup>(1)</sup>であるとは結論されないと云うことを述べた。なぜなら、この場合に理論で記述されているのは具体的現実の一つの抽象面であつて、従つて現実的には非可逆的であつても、その可逆的な要素だけが抽象せられ得るからである。

註

(1) ここで云う「可逆的」なる語の意味は、私が最初の文で明記したように、時間の向きを逆に取つても現象の法則が変らないと云うことである。普通に熱力学的に可逆的過程を定義する場合には之とはやや異なつて居り、従つて多少と

も異なつた内容を含んでいるが、それはここでは問題としない。

ところがこの説明に対して次のような一つのパラドックスの起されるのを私は経験した。理論は事実の記述であるから、既に事実の上で現象が時間的に非可逆的であるのに理論に於て可逆的であるなら、それは理論そのものが誤っているのであると。

このパラドックスは理論の抽象性を無視しているのに起因するのである。一つの理論は必ずしも具体的現実の全体を記述するものではない。併し<sup>しか</sup>その或る抽象せられた変化乃至現象を云いあらず限りに於て理論は正しいと見做<sup>みな</sup>し得るのである。例えば天体の軌道運動は質点運動の法則によつてあらわされる。この場合に天体はかような運動に關しては質点として抽象せられ得るのであつて、そして之<sup>これ</sup>に關する限り質点運動の法則は正しく事実を記述していると云つてよいのである。併し<sup>しか</sup>この事の故に天体は一般に質点であると結論せられないのは勿論<sup>もちろん</sup>である。

私の論じようとするのは時間の非可逆性の問題であるから、それに関係して考察を進めて見よう。すべて純粹に古典力学的に取り扱われる現象は可逆的であると考へられている。併し<sup>しか</sup>之<sup>これ</sup>は勿論<sup>もちろん</sup>保存力の場に於て起る運動に限られる。摩擦、流体抵抗、輻射放出等の伴う場合にそうでないのは云う迄もなく、そしてこれ等は何れも多数の要素的対象の集団の上に現われる統計的現象として解せらるべきことも周知の通りである。電磁気力の場合に於てもジュール熱の如き<sup>ごと</sup>を伴う限りに於てそれは非可逆的であること明らかである。

私が前文で述べた原子の輻射放出に於ても実は同じ事情が含まれていたのであつた。ここでは輻射が古典

的な波動方程式であらわされる限りに於てそれは可逆的であり、そして実際に波動として示す諸現象を記述する上に於てこの波動理論は正しいと云うことができるが、併しそれは私が既に指摘したように輻射の一つの抽象的性質であつて必ずしもその具体的全体を記述するものではない。即ち原子から四方への輻射放出はそれであらわすことはできても、逆に輻射波が原子に向つて集中しないと云う事実によるその非可逆性をあらわしてはいないのである。この事は波動現象としての輻射を抽象することによつて、同時にかような波動源としての原子模型を数学的に思考しているのに依るのである。それは抽象的波動理論としては誤でないけれども、具体的事実には適応していかないのであつた。恰も上に引例したように軌道運動を論ずる限りに於て質点としての天体模型を数学的に思考することは許されるけれども、之を離れてはもはや天体は質点であり得ないのと全く同様である。輻射の場合に於てはその波動が古典理論で取り扱われるとしても、實は之を決して単一な原子から発すると見る事はできないので、常に多数の原子からの輻射の統計的狀態として波動が現われるのであり、そしてこの事が一方では波動としての抽象を許すと共に、他方では放出機構の非可逆性を結果するのである。量子理論では光量子を考えることによりこの放出機構の非可逆性を更に進んで個々の可逆的な要素的過程に分析していることは云う迄もない。

ここまでの考察で明らかにされた点は、我々の物理学に取り扱うすべての現象に於て統計的に非可逆性を結果する場合に何れもその要素的過程としては可逆的なものが思考せられていることである。私はこの事が恐らく我々の思考そのものの一つの特性を示すものではないかとする点で、之を軽々に見遁がしてはならないと思う。その中で併し真に要素的であると見做すべきものは量子的対象であつて、従つてそれに就いて

は尚<sup>な</sup>お立ち入った考察を必要とするのである。私が時間の非可逆性の問題に於て之<sup>これ</sup>に触れようとしたのもその意味に外ならない。

量子力学的対象の要素的過程がシュレーディンガーの波動方程式の如<sup>ごと</sup>きものによつて記述せられる限りに於て可逆的であることは曩<sup>さき</sup>に富山氏も注意せられた通りである。併<sup>しか</sup>し之<sup>これ</sup>も一つの理論的抽象であつて、従つてその場合の可逆性から直ちにかような現象の具体的認識もまたそうでなければならぬとするこの早計であるのは私が上に述べたことによつて明らかであると思う。富山氏はそこで測定の非可逆性に関するノイマンの論証を示された。この場合の非可逆性はそれがエントロピー原理に基づく点で本来は熱力学的の意味で云われているのであるが、併<sup>しか</sup>しそれが時間の非可逆性の認識に結びつき得ることは当然であろう。尚<sup>な</sup>お富山氏は一つの量  $A$  の波動函数  $\psi$  が実際に測定の後には  $A$  に属する固有函数の一つである物に変わらずることを取り出して、この変化が不連続ではあつても必ずしも非可逆的ではないことを指摘されたが、この場合は実は  $\psi \rightarrow \psi'$  が或る確率を以てしか実現しないと云うことが我々の認識結果である以上、この変化を逆に起させることがたとえ可能であつても、それは一層小さい確率を以てしか実現しないと云う点で之<sup>これ</sup>を非可逆的と解せねばならないであろう。若<sup>も</sup>しかのような確率を無視して偶々<sup>たまたま</sup>変化が可逆的に起つたでもあろう一つの場合だけを取り出して考えるとするならば、そう云う可逆的過程の各々に対して我々は量子力学的に何等<sup>なんら</sup>の法則をも立てる事はできないのである。それ故に一方では我々の實在認識が何等<sup>なんら</sup>かの法則によつて始めて結果し得ると云うこと、そして他方では時間の可逆性に対する我々の判断が時間の向きによる法則の不変性によつてなされねばならないと云うことを考慮に取るならば、何等<sup>なんら</sup>の法則をも帰し得ない  $\psi \rightarrow \psi'$  なる変化から現

象の可逆性を導き出すことは不可能であることが知られるであろう。解り易く云えば、例えば先ず二つの物体  $A \cdot B$  を並置し、次にその順序を置き換えて  $B \cdot A$  となす如き操作は、たとえ可逆的であっても、操作それ自身に何等かの自然的法則が伴わない以上、之を可逆的自然現象であるとは云い得ないのである。この外に時間に就いては思想的な数学的パラメーターとしてでなく、實在的に時間間隔を測定する方法にまで立ち入って考察する必要のあることは前文で述べた通りである。

### 註

(1) 科学 第六卷 一二五頁。

以上に於て結局私は前文の趣旨を繰返すに止まつてしまった。唯一私はここでは理論の抽象性と具體的現象との相違に関する誤解を取り除きたかったのである。この事は自然科学的認識にとつては甚だ重要であると思う。自然科学的認識として我々の世界像は個々の抽象理論の綜合の上に成り立つものであるが、個々の理論のなかには必ずしも綜合せられたものと合致しない要素を含む。併しそれは理論の誤りではなく、却つて専ら抽象によつて結果するのである。時間とか空間とか又はその他の根本的概念の理解にとつてこの事は特に注意せられねばならない。万有引力に関する二体問題が平面的に取り扱われ得るからと云つて、かような二体の存在する空間は平面であると結論せられないのは余りに明白である。相対性理論が時間及び空間座標の対称性を示すからと云つて、時間座標と空間座標とは互いに同等であると結論されるか否かは決してそれだけでは決定せられない。寧ろ我々は他の統計的諸現象から時間の非可逆性を導き出すのである。又之等

に對立して微視的な要素的過程が可逆的に記述されているからと云つて、之等の要素に對して我々が全く過去と未來とを差別的に認識出来ないとは断ぜられない。そこに量子力学上の測定操作が考慮せられねばならないのであるし、更にそこには時間認識に関する根本的な疑点の存することも既に記した通りである。併しそれにしても時間の非可逆性なるものは純粹に思想的な要素に於てではなく、之等を現実的に認識するため何等かの方法それ自身に關して始めて現われるものではあるまいかと私は想察している。

#### 註

(1) 物質現象以外に於て生物現象が時間の非可逆性を特質づけることは特に記す迄もない。

(科学、昭和十一年八月号)

### 四 量子現象の観測と主観及び客観の問題

以上の説述に關して、渡辺慧氏は『科学』第六卷第八号に於て、更に新たな注意を記された。その要点は、量子現象の要素的過程が可逆的である限りに於て、この現象はどこ迄も具体的に可逆的であるとしなければならぬと云うこと、並びにこのように要素的過程が可逆的であるにも拘わらず測定操作が非可逆的として現われるのは、ここでは量子状態の或る集合が取り扱われるからであつて、この操作を「再統計化」と称するならば、かような再統計の結果が非可逆的であるのによると云うことを指摘せられた。要素的過程の可逆性と測定の非可逆性とを明確に區別する必要のあるのは渡辺氏の言の通りである。併し私の前述の論旨を

もう一度ここに引用すれば、量子現象の要素的過程そのものは直接に我々の観測に入り来るものではなくて、却つてそこで実際に行われた測定の結果を「記述する」ために必要な過程として「思考」せられたところのものに外ならない。この意味でそれは依然として一種の抽象と見做すべきであり、具体的現実として認識せられるものは測定の結果であるとするのが適切であろう。勿論この場合に抽象とか具体的現実とかの差別は、用語の問題であるとも云われるかも知れないが、私が前文で意味させようとしたそれらはここで説明したようなものを指すつもりである。且つ要素的過程を記述するのに用いた時間は、上にも注意されたように、単にその数学的表現に於ける一つのパラメーターに過ぎないのであって、之に反して実在的に認識せられる時間は或る事象の測定によつて始めて指示せられた時刻の間の隔たりとして見られなくてはならないことを考え合わせると、かような測定行為を除外して思考せられた要素的過程を一種の抽象と見るのは至当でもあつてであろう。

渡辺氏の注意に於て指摘せられたもう一つの重要な点は、観測者と被観測者との区別である。この区別を明確にしたという処に量子力学の根本的な特徴の一つの存することは云う迄もない。渡辺氏の云われる如く、「この観測者と被観測者との間の境界を何処に設けるかに就いて自由があるとしても、このことは決してその境界を没してしまつてよいということではない」。即ち観測者としての主体と、被観測者としての客体がここで厳然として区別されねばならないのである。

ところがこの事は往々にして種々の誤解を招く不幸に陥つた。最も通俗的には観測者の観測行為を恰も我々の主観であるかの如く解し、量子力学的測定によつては被観測者の客観的状态なるものは認識不可能で

あつて、之と主観との交互作用のみが知られるというように説明する。併しこの場合に主観なる語を用いるのは少なくとも不穩当であると私は考える。客観に對立すべき主観なる概念は、或る何等かの個人的特質が之に歸せられねばならないのであつて、即ち我々人間にとつて必ずしも普遍的であり得ない内容を有するものである。ところが量子力学的観測は何等の意味に於てもそうではない。即ちその際の観測器械の記録は純粹に客観的普遍的な内容をもたなくてはならない。ただ併しそれは被観測對象の客観的狀態にのみ関するものではなくて、観測器械それ自身の狀態にも関するのであり、即ち兩者の間の交互作用を記すものである。だからかような記録から被観測對象の客観的狀態を知ることとはできないと云うに外ならない。

抑も観測と名づけるものは、一般に對象が観測器械に及ぼす作用を見ることであつて、之は何も量子力学的観測に限られたわけではない。唯々併し從來に於て我々はかような場合の観測器械の記録から對象の客観的狀態なるものを推察し得ると考えていたのである。望遠鏡で星を觀望する場合に、望遠鏡内の星の像はこの星から来る光線と望遠鏡レンズとの交互作用によつて得られたものには違いないが、この像から光源たる星の狀態を我々は推論し得るのである。併しかような推論に困難を生ずる場合が量子論以前に全く経験せられないわけではなかつた。例えば一つの帯電体の電場の強さを知らうとするには、この電場内に或る微小な電氣量を持ち來して之に働く力を観測しなくてはならないのであるが、この場合の観測器械としての電氣量はいかに小さくとも之を前者の電場内に持ち來すことによつてその電場は既に幾分でも攪乱せられるわけであるから、かような攪乱の存しなかつた純粹な客観的狀態はこの観測操作によつて観測することはできない。更に荷電に對して常に電氣素量が存在するという事實を承認した上では、一電氣素量を有する電子

の場を観測するために観測器械として同じく一電気素量を有する他の電子を持ち来さなくてはならないのであるから、この方法では明らかに電子の場を客観的に知ることは不可能である筈である。この問題は量子論以前には殊更に見遁がされてその困難に触れずに残されていたのであるが、実は量子力学を待つて始めて解決さるべきものでしかなかったのである。つまり電子の客観的状态なるものは電場に関して既に観測不可能であることを最初から知らねばならなかった筈である。

又例えば大気中の温度を測るために寒暖計を持つて来るとすれば、いかに小さくとも寒暖計が熱容量を有する限りに於て大気の温度は攪乱せられる筈である。この場合に寒暖計を幾らでも小さくしてゆくと考えれば、十分に小さな寒暖計として我々は恐らく或る物質の微粒子を以て役立たせることができるであろう。即ちかような微粒子は大気の間であつて謂わゆるブラウン運動を行うから、之を観測して温度を計算することがができる。併しこの際に我々はもはや一定の場処を確保することはできない。言い換えれば微粒子の運動の拡がる範囲だけ場処の指定が「不確定」になるのであり、その上に我々の観測する処のものは或る統計的结果に外ならないのである。この例は量子力学に於ける不確定性と対比して特に興味があり、且つ深く啓示せられるものであると思われる。

量子力学に於ける不確定性と、従つてそれから結果する測定の非可逆性は之と全く同様である。その際に我々は対象と観測器械とを区別しなければならぬが、観測せられる処のものが両者の交互作用に外ならないということはどこ迄も確かである。ただ我々が観測器械として役立たせ得るためには、之を随意に中性的状態に持ち来すことができなくてはならないから、被観測的对象が微視的であるのに対し、何れにしても巨

視的であることを要する。勿論<sup>もちろん</sup>ここで、観測器械として微視的な量子力学的対象（例えばハイゼンベルグの不確定性原理の説明に於ける如く<sup>ごと</sup>電子の運動を観測するために役立たせる光子は之<sup>これ</sup>である）を採ってもよいが、そこで実際に観測せられ得るものはこの対象に現れる巨視的概念であつて、微視的概念ではない。そしてかような巨視的概念だけが我々の物理法則に入つて来るので、従つてそれが統計的關係となるのである。

この事は丁度<sup>じやうど</sup>上の大気の温度測定の場合に於ても見られるので、即ちそこでブラウン運動を行うような微粒子を観測器械として用いたが、若し<sup>もし</sup>その代りに大気分子それぞれ自身を観測器械として用いようとするなら、その微視的状态を観測したのでは、たとえその観測が可能であるとしても、我々はもはやそれから温度なる巨視的概念について帰結することはできなかつたであろう。即ちこの例と量子力学的測定とに於てかような事情は全く同様に成り立つが、ただ分子の場合にはその微視的状态を別に観測することが可能であると考えられたのに反し、量子力学ではその対象の微視的状态を観測する方法が原理的にあり得ないとする点に一つの根本的な相違が見出だされるのである。

以上の考察によつて、量子力学的現象の要素的過程は時間的に可逆的な形式で云いあらわされてはいるが、之<sup>これ</sup>は我々の実際上の測定の結果を予想するための謂<sup>い</sup>わゆる「予期目録」に過ぎないのであつて、測定それ自身は常に巨視的に行われねばならないことにより、渡辺氏の言うところの「再統計化」が必要となり、従つて熱力学的の意味で非可逆的となるといふことが大体明らかになされたと思われる。また測定なる行為に於ては主体と客体とが区別されるが、併し<sup>しか</sup>そこに現われるのは一方で微視的な量子力学的対象と、他方で巨視的な観測器械との間の交互作用に外ならないので、ただ後者が常に巨視的であることにより測定<sup>の</sup>非可逆性が

結果するのである。しかも量子力学的対象は原理的にかような方法でしか観測することができないから、私  
が上に述べたように、その具体的現実の現われとしては非可逆的となり、可逆的な要素過程の記述は一つ  
の抽象面として解されるべきであると考えられる。更にかような相互作用は物理学的にどこ迄も客観的關係  
として見做さるべきものであって、何等の意味に於てもそこに主観が関与するなどというのは誤りである。

- 
- 『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 $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}_{2\epsilon}$ でタイプセットを行い、`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。