

## 物質と空間時間との必然的關係

石原 純

従来の哲學的見解によれば、物質と空間及び時間との關係は、或る内容と形式とのそれである。空間及び時間是我々が經驗を具象化するがために必要な形式であつて、若し之が何等かの意味で變更されることが可能であつたと想像するならば、それがために經驗の具象は亦多少の變更を伴うに至るかも知れないけれども、併し我々はその場合にでも尚お之等の形式とは独立な經驗の本質的内容を思惟することができたであらう。物質現象が空間及び時間のなかに於て起るのは、丁度舞台に於て或る演戲が行われるようなものである。それがどんな場処に現われるかは殆んど偶然でもあり、現象の如何は空間及び時間そのものには何の影響をも及ぼさない。又例えば容器に入れられた水の形体は、容器の形の如何によつて自由に変ることは免がれないけれども、併し容器の形を変えたからと云つて、それだけで水の本質は何の変化をも受けないし、逆に水に或る変化が起つたからと云つて容器は依然としてその儘であることができる。

一方に物質と、他方に空間及び時間とがこのような關係に於てあるならば、我々が空間及び時間形式をいかに完全に決定し若くは究明し得たとしても、それによつて遂に物質の性質に接觸し、之に到達することはできない。この意味で、空間幾何学は全く經驗的な物理学とは独立な一つの先驗的形式科学であつたし、單な

る運動学は實在の物体に関する力学と區別されねばならなかった。併しながらかような關係について、我々が深い注意をもって物理学の歴史を探索してゆくならば、既に種々の場合に於て之に對する將來の運命を揣摩し得べき事實に遭遇しないわけにゆかないのであった。

その第一は不思議な宇宙エーテルの問題であつた。それは一つの仮想的物質として導き入れられたものではあつたが、併しその性質（彈性的性質）は著しく普通のものとは異なつて想像されねばならなかった。そしてそれがあらゆる空間に、しかも他の物質の存在する場処それ自身にさえも充満していると云うことや、物体が動いてもその周囲並びに内部にあるエーテルが少しも動かないと云うようなことは、すべてエーテルの物質性を否定して、之に空間そのものの倂を宿さしめると云つていい。若しエーテルが空間そのものに外ならないとするならば、即ち空間と物質との間に密接な關係の存すべきことをエーテルの理論から既に覗い知ることができたわけである。

第二はファラデーの電気及び磁氣の場の理論であつた。ファラデー以前に於ては、電気や磁氣は空間を隔てて互いに力を及ぼし合うものであると考えられていた。ニュートンの万有引力の法則も亦同じ思想のもとに立てられたのであつて、要するに之等の力は謂わゆる遠隔作用として解せられていた。二つの空間的に對立する物体若くは電気、磁氣の現在の位置に於ける相互的作用は之によつて云いあらわされることができたけれども、併し之等が互いに運動して急激にその位置を變ずる場合に於ても果して同一の力が作用するかどうかは、疑問とせられなければならなかった。そしてファラデーによつて電気及び磁氣の力の作用がその中間に於ける媒質の近接的過程を通じて始めて伝達せられるものであることが明らかにせられて以来、我々はす

べて遠隔作用なるものの代りに、力の媒質的伝達を置き換えることの遙かに自然的であることを悟った。ファラデーによって示された力の「場」と云う概念は、我々が以前には「距離」の外に何ものをも見なかつた空間に一つの物理的対象としての媒質を据えさせたのであった。しかもこの媒質が光に対する宇宙エーテルと同一であり、そしてどこまでも非物質的であることが論究せられるに至つて、我々はここに空間を純粹に抽象的に維持することができないで、之を亦一つの物理的対象として見做すように余儀なくされるのであった。

併し空間を物質現象の単なる舞台とする旧来の思想が強く之に反抗した。空間内に或る物理的過程が現ぜられるためには、何等かの實在的対象がそこに置かれねばならないとするのが普通者の思惟するところであつた。この際にあつてアインシュタインはその独自の論理的の路を進んだのである。即ち光エーテルや電磁的媒質が物質性をもち得ないで、どこまでも空間と同等のものであることが我々の経験する事実であるとするならば、我々は空間そのものにかような物理的性質を帰するのが最も至当な解決である。彼がエーテルを否定したとして知られている特殊相対性理論はこの意味に於て成り立つたのであり、光速度の不変を仮定すると共に、等速運動の相対性を確立したのであった。

併しながらか特殊相対性理論は尚お、空間がいかにしてかような物理的性質を有し得るかと云う疑問に對しては何等の解答をも与えることができなかった。固よりそれが自然科学の一つの理論として認められる限りに於ては、之を経験的事実として記述しさえすれば足りるのであったが、併し我々の思惟が単にそれで満足しない、それ以上の形而上学的疑問を發することも亦当然でなければならぬ。空間を抽象的な空虚な形式的存在となし、単に幾何学的關係だけがそこに見出だされるものとしてのみ考え慣れて来た我々が、空間そ

のものに之れ以外の物理的性質を付与することの困難を感じるのも必ずしも無理ではない。之が特殊相対性理論に於けるエーテルの否定に対して、人々が尚お十分の諒解に躊躇せずに行なかつた理由である。ところがその後一般相対性理論の完成に際してこの事情は少しく変更されるようになった。そこでは万有引力の場を完全に空間の歪みとして、即ちその幾何学的性質によって云いあらわすことが可能にされた。云い換えれば、万有引力は一つの物理的作用として我々にあらわれるに拘わらず、ファラデーの電磁場理論に於けると同様に、之が空間の状態によって説明せられるばかりでなく、この空間状態は純粹に幾何学的に云いあらわされて、それ以外の何等の物理的要素をもそこに加える必要がないようにせられた。之は実に我々の自然解釈に取つての一大発見でなければならなかつた。だが、幾人の哲学者がよくここに注目し得たであろう。万有引力に関する限り、我々はこの立場に於てもはや空間を単なる現象舞台として見做すわけにはゆかなくなつた。空間なる舞台若くは容器のなかに万有引力なる現象が行われるのではなくて、空間そのものの幾何学的変化が万有引力現象に外ならないと云うことになるのである。従つて若し物質を万有引力の場の源泉として見做すならば、物質は即ち周囲の空間状態に全く依存すると云わなければならぬ。質量の相対性の如きも亦之によつて始めて正当に根拠づけることができたのであらう。

物質の作用が万有引力だけであつたとするならば、我々の問題は既に一般相対性理論によつて解決されたとすることができたのであつた。併し我々は万有引力の外にもう一つの力、即ち電磁氣力を知っている。そして一般相対性理論に於て電磁氣力の場は尚お空間幾何学以外の或る物理的要素としてそこに残されていた。若し我々がここに述べ来たところの思考径路を更に完全に進展せしめようとするならば、我々は当然電磁

氣力をも空間幾何学のなかに包括せしめなければならぬのであった。だが万有引力や電磁氣力の法則は既に經驗的、少なくとも近似的には知られているのであるから、之を勝手に変更することは許されない。我々が上の目的のために採り得る方法は、空間幾何学の適當なる変更より外はないこと明らかである。最近に伝えられたアインシュタインの新理論は即ち新しい幾何学の発見によつて之に成功したところのものである。

一般相対性理論に於て用いられた空間幾何学は謂わゆるリーマン幾何学であつた。之に於てはユークリッド幾何学の性質が單に微分的空間範圍に於て成立するだけであつて、有限範圍に対してはもはや一定の關係を立てることができない。互いに有限距離だけ隔たった二つの微小な線分は、それらの長さを比較することはできるけれども、方向に関しては何等の規定をも設けることができない。なぜなら、一方の線分を平行に移動させて行つても、その通路の如何によつて他の場処まで到達する間に異なつた變化をあらわすからである。それ故互いに遠方にある二つの線分が平行であると云うようなことは、リーマン幾何学では一定の意味をもつことができない。つまり遠隔平行性の定義が缺けているのである。之をユークリッド幾何学に於て常にその可能であることと比べると、後者が遠隔的に意味をもつに反して、前者は近接的にしか空間の性質を決定しない。そして我々がユークリッド幾何学からリーマン幾何学に移つたと云うことは、丁度力に対して遠隔作用の理論から近接作用のそれに移つたのと同様の類推を見出すことができる。

電磁氣力をも空間の幾何学的性質として云いあらわそうとする最初の試みは、既に一九一八年にワイルによつて企てられ、一つの新しい幾何学が彼によつて立てられたことは注目すべき處である。彼はリーマン幾何学に於ける微小な線分の長さの絶対性をも否定して、之が空間の場処を異にするに従い近接的に變ずる

ことを仮定し、依つてリーマン幾何学の近接性を尙お一層拡張しようとしたのであった。純粹に幾何学的理論として見るときに、之は極めて興味ある思考であつたけれども、實在の空間が果してこの性質を所有し、物理的現象がその幾何学的変化によつて完全に云いあらわされ得るかどうかについては、尙お疑問が残されねばならなかつた。なぜなら、ワイルの理論によれば、空間の一点から或る曲線径路に沿うて微小線分を動かす、再び旧の点に戻れば、一般にはその長さを変化するからである。能く知られた通りに之等の理論に於ける空間と云うのは、三次元空間と時間とを融合して形づくられた四次元連続体、即ちミンコフスキーの謂ゆる世界空間である。従つて上述の長さの変化と云ううちには、単に我々の物指の長さばかりでなく、時間の変化をも含んでいることは云うまでもない。我々は之等に対する最も基準的のものを物質原子の性質に於て見出だすより外はないが、併しワイルによれば之等の原子の性質も原理的にもはや一定不変のものとすることができない。アインシュタインは之をワイルの理論の難点として指摘した。

アインシュタインの新幾何学に於ては、長さの計量に対してリーマン幾何学の規定をその儘用いることができると同時に、更に後者に於て缺けているところの遠隔平行性を成立せしめることによつて、却つて一步をユークリッド幾何学に近づかしめた。之は単に世界空間の幾何学的性質をより簡単ならしめたと云う点で著しい発見であるばかりでなく、実に物理的関係に於て我々に多大の満足を与えるに十分であつた。なぜなら、世界空間に於ける一つの線、謂わゆる世界線なるものは物体の運動を記述するものであつて、その各部分の方向は運動速度によつて決定せられるものであるので、従つて我々が今アインシュタインの新幾何学に於て遠隔平行性の意味を恢復することができたのは、即ち一般相対性理論に於て失われているところの「相

「対的静止」の概念をここに再び獲得することになるからである。この概念は我々のすべての物理学測定法にとつて恐らく大切なものの一つとして見做されるであろうし、之なしにはその十分な理論が基礎づけられ得るかどうかは却<sup>かえ</sup>つて疑わしいのであった。

ともかくもアインシュタインの新理論は、物質の根本的性質たる万有引力並びに電磁氣力を完全に空間時間連続体としての四次元世界の幾何学的性質、即ち謂<sup>い</sup>わゆる「計量的の場」によつて置き換えるための一つの適切な路を我々に指示したものである。若<sup>も</sup>し我々が更に進んで物質の構成的要素たる電子及び陽子の存在を場の理論から意味づけることができたとしたならば、そこにこの理論の眼覚ましい勝利を見ることができたのであろう。併<sup>しか</sup>しいずれにしてもかような場の理論は、物質と空間及び時間との關係を従来の見解とは全く異なつて解釈させるであろうことは既に明らかである。なぜなら、空間時間連続体の可能な状態変化が物質の存在と必然的關係に於て結びつけられねばならなかつたからである。我々はこの両者を抑<sup>そ</sup>も本質的に同一な事実の両面的表現と見做すべきである。物質の存在は空間時間連続体の一定の幾何学的状態以外の何もでもないのであつて、我々は物質現象の理論を立てるに當つてもはや空間時間連続体の幾何学的性質以外に何等の物理的要素を附加する必要はないと云つてもよいであらう。空間及び時間はそのなかに物質を容れ得るところの形式ではなくて、それ自身が物質を形づくるところの要素なのである。

従来哲学的には、物質及びエネルギーを共に実体として見做して来たが、この思想の中には幾分か二元的の曖昧さを含んでいた。恐らくエネルギーなしに物質は存在し得ないのであるが、之に反してエネルギーは物質を離れても独自の存在する。この意味ではエネルギーをより一般的な実体として称すべきように見える

けれども、併し一元的にエネルギーのみを仮定しようとするならば、それだけによつて物質の存在を導き出すことはできない。この困難をいかに処理すべきかについて、従来の物質理論はまだ明瞭にも語らなかつた。只我々は独自のエネルギーの存在を「力の場」によつて説明し、そして「力の場」の源泉を物質に帰することによつて、両者の間の関聯を求めることができたに過ぎなかつた。聰明な思索者はここに既に、両者に共通な「力の場」なるものが寧ろ終局的実在であるべきことを透察し得たでもあろうけれども、併し時期は尚お熟しなかつた。なぜなら、「力の場」も亦決して一元的存在ではなくて、却つて我々が經驗的に知り得た種々の有様、即ち万有引力とか電磁氣力とかに属するものが互いに独立に見出だされていたに過ぎないからである。

ところでこの問題は当然アインシュタインの新理論、即ち「場の単一理論」によつて漸く解かれたと云つてよいであろう。繰返すまでもなく、上述の力の場はすべて空間時間連続体の計量的の場に歸せられてしまつた。今我々は物質もエネルギーもこの基礎的な一元的の場から導き出すことができる。それ故我々が実体と名づけようとするところのものの根本を空間時間連続体そのものに歸してもさし支えがないばかりでなく、それ以外に何等の実体的要素を仮定する必要がない。即ち我々は斯う結論することができる。

「空間と時間と、それが我々の物理学的世界に於ける唯一の実在である。物質もエネルギーも空間時間連続体の或る変形としてあらわれるところのものである。」

(思想、昭和四年四月号)

(附記)この文は、ここで説明せられたアインシュタインの理論が公けにせられた當時に書いたものであるが、その後アイ

ンシュタインは再び四次元リーマン空間に於ける五元ヴェクトルを考えて、万有引力と電磁気力を説明しようとした。なおこの外にも同様な試みは種々行われ、その中には我が国の広島文理科大学の三村剛昂、岩付寅之助及びその共同研究者によって発展せられつつある波動幾何学の如きも数えられる。併し<sup>しか</sup>之等の一切はなお実証的基礎を缺いているし、現時の物理学では量子論的思考なしにはその根本を解くことのできないことが一般に認められている。なお実在の問題に関しては「現代物理学に於ける時間空間概念及び実在の本質」を参照せられんことを望む。

- 
- 『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。