

アインシュタインの理論に対するその後の状勢

石原 純

緒言

世界を衝動せしめた最大の科学理論としてアインシュタインの相対性理論が出現したのは世界大戦の直後であつた。すべての人々はこの理論の深い根柢に触れて、或は疑い或は驚いた。いかにしてかような理論が生れ来つたかについて幾分でも多く知ろうとし、そしてこの理論の持ち来した新らしい仮定と帰結とをそれぞれ自分の知識として捉えようとした。併し不幸にしてその多くは彼等の前に聳える数学的障壁に妨げられて、徒らにその背後を摸索するに過ぎなかつた。そしてやがてはジャーナリズムの趨勢に引きずられて、一度はその比類のない偉大さに傾倒した理論そのものをも遂には何処かに見失つてしまつたものも尠くはないであらう。

アインシュタイン教授が改造社の招聘に快く応じて、その典雅な学者的風貌を親しく我が国の好學諸士の面前に立たしめたのは、大正十一年の冬であつた。当時争つてその講演を聴こうとした人々の数は決して尠くはなかつたし、又之に漏れた人々の間に於ても恐らく相対性理論が最も興味ある話題として語られたこと

は事実であつた。爾来十余年、之が物理学への一般的関心を高めることに大いに与^{あず}かつて力のあつたことは私の屢々^{しばしば}経験した処である。併^{しか}し今日では一般社会人はもはやこの理論への関心を余りにも早く見棄ててしまったと云つてもよいであろう。偶々^{たまたま}昨年（一九三三年）アインシュタイン教授がその職を奉じていたドイツに於てナチス政府の弾圧を受けて国外に追われたことが報道せられるに當つて、人々はさすがに教授のその後の消息について知ろうとはしたが、彼の理論的研究がどんな点に達しているかについてはもはや誰も深く尋ねようとはしない。この事情を私は尠^{すくな}からずさみしく思うのである。

勿論^{もちろん}、學術の進展は現時に於て甚^{はなはだ}だ速かであつて、決して一処に停止しない。嘗^{かつ}ての相対性理論はその絶大な任務を殆んど完全に果して、我々の物理学に対し既に一つの確固たる古典とならうとしている。この間に我々は別に量子理論の驚嘆すべき發展を経験し、問題の中心は之に關聯せる原子機構の研究に移つた。併^{しか}し之がために相対性理論が棄てられたのではなく、単に新しい領域の開拓に多忙せられたのである。しかもこの新領域に於て相対性理論がいかに利用せられるか、若^{もし}くは我々が何等かより本質的な理論に到達すべきか否かの最も重要な問題が残されている。これらの全般の状況がどんなものであるかを極めて概括的に私はここに述べて見ようと思うが、それは往年この理論に対して興味をそそつた人々に取つて必ずしも全く無縁の事柄ではないであろう。敢^{あえ}て諸氏の一読^{ゆえん}を乞^こう所以である。

アインシュタイン効果

先頃（一九三三年）二月十四日、我が南洋委任統治領土に於て日食皆既が見られ、我が国及びアメリカ

の天文学者等がその観測に赴いたことは、一般の新聞紙によって屢々報道せられた通りである。この観測の目的は日食に關聯する諸現象の學術的研究にあること云う迄もないが、そのうちの一つの主題としてアインシュタイン効果の存することも多分一般に知られているであろう。

ここでアインシュタイン効果と云うのは、太陽の近傍を通過する光線が、その真空に於ける直線的進行を妨げられて、恰も物質的粒子が太陽からの万有引力によって之に引き寄せられると同様に、僅少なながらその径路を屈曲すると云う現象である。之はアインシュタインの「一般相対性理論」に於て、万有引力の本質が論ぜられ、各々の物質の周囲にその万有引力の及ぶ有様は、空間がそれらの場処に於てそれぞれ或る曲率をもって歪んでいるとすることによって云い表わされるとし、他方ではかような空間に於ける光の径路が各々の点に於ける測地線（最短線）に沿うものであると仮定した事柄からの当然の帰結として示されたものである。アインシュタインはかような光線屈曲を既に一九一一年に理論的に導き出し、一九一五年の一般相対性理論に於て更にそれを合理的に論じたのであったが、果して事実の上に於て、之が見出だされるか否かは、実にこの理論の最も重要な検証の一つでなければならなかつた。

アインシュタインはその計算に於て太陽の表面を通過する光線に対し角度の上で一・七五秒の屈曲が現われることを示した。併し之が観測を行うためには、通過光線が太陽自身の強大な光によって打ち消されない場合、即ち日食既の時を待たねばならない。しかもその際に太陽の縁辺又は少なくともその附近に観測に適する星が存在する場合を選ばねばならない。この効果の観測のために多くの天文学者が適当な機会を逸することのないように努力するのはこの理由によるのである。最初の観測は、今日最も有名な天文学者エディ

ントン等を含むイギリスの観測隊によつて世界大戦の終熄しゆうけきを待ち設けて一九一九年にアフリカ及びブラジルに於て行われ、始めてこの効果の實在を証明するに至つた。アインシュタインの理論が俄にわかに学界以外に広く宣伝せられるに至つたのは、実にこの観測の結果がイギリスの王立協会に於て発表せられた当時に、新聞紙が之を極めてセンセーショナルに報道したのよに由るのであつた。

エディントン等の観測の結果は理論的に計算された値と比較的によく一致していたけれども、その後各種々の補正を加えるに及んで却かえつて稍々やや大なる値を得るに至つた。爾後今日に至る迄、世界の諸処に於て適当な日食皆既が観測される毎にこの効果が検せられて来たが、尚なお全く満足な一致に達するには多少の距離が残されている。或る人々は所謂年濛いわけ気差の影響を考慮し、又は日食時に於ける月の陰影による地球大氣の冷却ひやの如ごときが論ぜられたけれども、何れも観測を十分に説明し得るに至らない。現在では出来るだけ焦点距離の長い望遠鏡を用いて観測の精度を高めることに天文学者は努力している。南洋に於ける今次の観測の結果が何を与えるかはこの意味で多くの興味をもつて期待されるのである。

アインシュタインの理論を検証し得る事實は上に述べた光線屈曲の現象のみに止まらない。アインシュタインがその理論に於て示したもののな中に、尚なお次の二つの事實がある。その一つは既に古くから知られた水星近日点の移動であつて、之に対しては以前にニューカムによつて示された値がアインシュタインの計算値と甚はなはだ近似しているけれども、前者が尚なお極めて不確定であることが漸ようく明らかになつたので、この点で理論の正否を検することは多く望み得られないと思われる。他の一つは質量の大なる恒星から發するスペクトル線が赤方に變位することであつて、これもアインシュタインが一九一一年に始めて提示した事實であり、同

じくアインシュタイン効果若くはアインシュタイン変位と各づけらるべき現象である。之についてはその後多くの観測が行われて、大体に於てこの効果の存在は認められたけれども、数値上の一致は尚お完全とは云い難い。それは同じくスペクトル線の変位を生ずる他の現象が多く混在するからであり。特に恒星大気の上昇運動の如きはドップラー効果により赤方変位を結果するのである。それ故これ等を詳細に分析してアインシュタイン変位を精確に見出だすことは困難であるに相違ないので、更に将来の周密な研究を必要とすること云う迄もない。周知の如くドイツのポツツダムに建設せられた所謂アインシュタイン塔は専らこの効果を観測する目的に供せられる設備である。我が国に於ても三鷹村の東京天文台に同様の設備の完成せられたことは、之に対する今後の研究を期待するに足りる。

宇宙論

相対性理論からの一つの驚異すべき帰結として、宇宙が或る有限な三次元球体をなすことが屢々語られた。この帰結に到達するまでにアインシュタインは彼の最初の万有引力論に於ける方程式に対して或る補足を加える必要を感じた。それは之等の式に対して無限遠に於ける不定な限界条件を避けようとしたからである。ともかくもかようにして我々の宇宙が無限に拡がるものでなく、或る有限な体積と有限な物質密度とを有すべきことを示したのは、アインシュタインを以て嚆矢とする。

併し宇宙全体を實際に観測することは我々に取つては不可能である。どんな巨大な望遠鏡も或る程度までの星をしか我々の視界に持ち来すことができるに過ぎない。それ故に宇宙全体の理論に関しては観測のみに

頼ることはできないで、先^まず理論的可能性について吟味し、そして後に何等かの事実に基づいて之を判断するより外はない。この意味でアインシュタインの解と共に可能とせられる他の一つの解はド・ジッターによって与えられたものであった。それは同じく宇宙を三次元の球体とするものであるが、時空四次元体を形作る上に於て多少の相違があり、その結果として後者では宇宙全体に於ける物質の平均密度が零となる。この外に両者の相違としては、遠方の星から来る光に関して前者が何等の変化をも示さないのに反し、後者では距離に比例するスペクトル線のドップラー変位が現われる。従^{したが}つてその何れが事実と一致するかは天文学的観測の結果に待たねばならなかった。

然^{しか}るに近来非常に遠方の銀河系外星雲に関する多くの研究が甚^{はなはだ}だ進んで来た。今日算^{かぞ}えられている之等の星雲の数は恐らく百万にも及ぶと称せられているが、それらは何れも我々の銀河と同様な体系を形作るものであり、その中で観測せられた最も遠い星雲は実に数億光年の距離にあるとせられている。更に之等の星雲のスペクトルが詳細に研究せられるに及んで、ハッブルは一九二〇年に於てすべて之等の星雲は何れも非常に大きな速度で我々から遠ざかり、且^かつその速度は星雲までの距離に比例して増すと云う極めて顕著な法則を見出^み出した。

この事実が恰^{あた}も上に述べたジッターの解に相当していることが対照せられて、ここに宇宙論の問題が俄^{にわ}かに活気を呈して来た。併^{しか}しジッターが物質密度を零と見^み做^なしているのに反し、実際に於てはたとえ小さくとも或る有限な物質密度が存在することは事実でなければならぬ。ハッブルは遠方の星雲の分布状態を推定して、宇宙に於ける平均密度を 1.5×10^{-31} グラム毎立方^{センチ}糶と計算した。(この値に相当してアインシュタ

インの宇宙の球半径は 8.8×10^{10} 光年となる。それ故この点で尚お事実と一致するような理論を求めることができるであろうか。之が当面の問題でなければならなかった。

ここに幸にしてフリードマン及びルメートルの研究が現われた。前者は一九二二年に公けにされ、単に数学的問題として取り扱われたが、後者は一九二七年に多分独立に同じ問題を論ずると共に、天文学上の事実との対比をなして始めてハッブルの見出だした関係を説明することに成功した。之等の理論に於ては、上述のインシュタイン及びジッターの両者が宇宙の半径を一定と仮定したのに反して、之を時間の函数と見做したのであつて、その特殊な解としてルメートルは次の性質を有するものを見出だした。即ち宇宙の球半径は或る極限の場合にインシュタインの論じたものと一致するが、この状態は恐らく不安定であつて、何等かの原因により半径が少しでも大きくなれば、以後続いて益々増大し、之に反して半径が極限値より少しでも小さくなれば、引続いて益々減小すると云うのである。そしてハッブルの關係は前者に於ける当然の結果であり、従つて我々の宇宙は現に絶えず膨脹拡大しつつあることを示すのであるとせられた。

之は実に驚くべき一つの結論と謂わねばならない。誰が今日までかような宇宙空間の膨脹を想像し得たであろう。宇宙と共に我々自身までもが絶えず膨脹しているのではないか。それは余りにも不思議なお伽物語である。併し果してかようなことが事実であるとしたなら、何が宇宙の最初の膨脹を結果せしめたのであろうか。エディントンは之に答えて云う。物質が一樣な密度で分布されているなかに何等かの原因でそれが個々の点の周りに凝集して星雲が形作られるとすれば、之が宇宙をして膨脹に向わしめるのであると。この關係は尚おその後数学的に種々論ぜられると共に、ルメートルの解いた場合以外のものも多く考えられたが、天

文学上の事実としては僅かにハッブルの法則だけが知られているに過ぎないから、それ以上に進んで之等を判断することは今日に於ては不可能である。

尚おハッブルの法則を宇宙空間の性質から導き出す代りに、単に宇宙間に散在する物体（星雲）の拡散によるとして説明するミルンの説なども提出されたが、併し宇宙論が相対性理論と關聯した一つの興味ある題目たることはその儘残るであらう。

場の単一理論及び相対論的量子力学

一般相対性理論が万有引力の場を空間の幾何学的状態に帰着させた後に於て、電磁場をも同様に後者のなかに取り入れることができないであらうかと云う問題、即ち真空に於ける力の場を総て単一的な理論によって表わそうとする試みは、既にアインシュタイン自身によって始められたけれども、之を可能ならしめるためにリーマン幾何学を更に拡張して新たな幾何学を構成しようとする一つの数学的方法を實際に行つたのは、ワイルに始まる。リーマン空間では或る微小な長さを平行移動によつて他の点に移してもその長さは変らなると考えられるのに反し、ワイルは長さの変化を考え、その変化の割合を位置の函数であると仮定し、之等を定めるために或る測度なる量を導き入れた。後にエディントンは更にこの理論を一般的に拡張して一つの体系を形作つたが、之等と全く別にアインシュタインは所謂遠隔平行性なるものを定義して新たな幾何学的關係を展開した。ワイル・エディントンの理論では微小線分の長さも平行性も共に空間内の各々の点に於てのみ定められるので、謂わば完全に近接的な幾何学であるが、一方でリーマン幾何学は平行性の近接的定義の

みを認め長さを不変とするのに対し、他方でアインシュタイン幾何学は更に遠隔的に平行性を定義するのであった。併しアインシュタインは最近に至つて再びこの試みを見捨てて、リーマン空間に復えると共に、四次元空間に於ける五元ヴェクトル（五つの独立成分を有するヴェクトル）を考へてこの問題を解こうとしている。場の単一理論はかくて形式的に種々の試みが重ねられて今日に至つては、何れも具体的な事実による検証を缺く点で確定するに至らない。それと同時に他方では、万有引力や電磁力に対して連続的な場を考へることは既に古典的な思想に属することが示されている。なぜなら、物質の総ての構成要素に対して今日では連続的な作用量の存在しないことは全く明瞭であり、それらは本質的には悉く量子論の下に論ぜられねばならないことが確實であるからである。それ故に、場の単一理論によつて古典的相対性理論は恐らくその完成を期することができであろうけれども、それにも拘わらず我々の物理学に於ては尚お新しい重要な問題が引き継がなければならない。それは所謂相対論的量子力学である。

近年に於ける量子力学の眼覚ましい發展は実に我々の前に微妙な物質原子の世界の多くの神秘を暴かしめるに足りた。併し量子力学の根本方程式は最初は寧ろ便宜的に古典力学に従つて形作られたので、之を更に相対性理論に合致するように改めることは恐らく多くの微細な現象の究明に役立つであろうことが考えられる。なぜなら、原子構造論に於て既にボーアやゾンマーフェルト等により相対論的力学を取り入れることにより一層微細な事実を説明することのできたのは能く知られている処であるからである。かような意味での相対論的量子力学の端緒は先ずディラックの電子論として試みられ、電子の性質の説明に関して既に多くの成果を収めたと共に、尚お最近に発見せられた陽電子に関する理論的な問題の如きもこの圈内にその解を求

められようとしている。一般の相対論的量子力学に就いては尚お極めて根本的な困難が横たわつてはいるが、恐らく上に述べた場の単一理論の如きも更に之と相俟つて真の解決に到達し得るのではないであろうか。原子内部に潜む未知の事実が将来に於て之がために我々を意外な点で扶けるに至らないとは限らないであろう。ともかくも相対性理論は之が関聯せる限りのあらゆる方面に於てその最も輝かしい勝利を示して来た。恐らく将来に於てもそうであるうことを我々は十分に期待している。我々の現時の物理学から之を取り除くことはもはや到底不可能であるばかりでなく、勿論、永遠の至宝としてそこに残されるに相違ない。只ここに附言すべきは、嘗て相対性理論がその最初の足場としたところのマイケルソン・モーリーの実験が近時屢々モーリーの共同実験者であつたミラーによつて繰返されて、所謂エーテル流動（地球に対するエーテルの運動）の存在が再び主張されていることである。同じ実験は近くドイツのヨースやアメリカのケネデーによつても行われ、何れもエーテル流動の否定が確かめられているに拘わらず、独りミラーの実験にのみ之が現われることは、いかにしても疑問を免がれない。ミラーの結果は地上の高さによる変化等をも含み甚だ複雑である、何等かの混在せる影響が実測せられていとも考えられ、尚お精細な検索を必要とすること云う迄もない。その最後の結果がどうなるかは予測されないが、併し恐らく大多数の物理学者は之によつて相対性理論の基礎を覆すようになることをあらゆる手段をもつて避けるに努めるであらうことは、今日極めて明瞭である。彼等は即ちこの理論を危うくすることなしに事実を説明するに足りる何等かの解釈を探すに相違ない。それ程相対性理論は今日の物理学に缺くべからざるものになつて居り、この一事実をもつてそれを動揺せしめるには余りに大きく成長しているのである。これが実際に於てこの理論に対する現時の状勢に外ならない。

(改造、昭和八年四月号)

-
- 『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。