

哲學研究

第四百三十四號

第三十七卷
第十一冊

相對性理論の辯證法

田邊 元

一

『理論物理学の新方法論提説』と題する最近の小著に於て私は、相對性理論の方法として複素變數函數論を原理的に採用することにより、この理論と新量子論との結合を、前者の側から準備することができはしまいかといふ疑問を提起し、その解答を試みた。もとより數物の専門知識に乏しき私の、無知なるが故に敢てし能ふ大膽極まる提案は、とんでもない誤解に立脚するものではないかを恐れて居た。しかし私としては、傳統に反するといふただそれだけの理由で、哲學者のたはごとと一笑に附されることは、之を遺憾とするものである。できるならば、數物の専門家から親切なる教を受けて、私の誤解を悟られ蒙を啓かれたいと希ふこと切ならざるを得ない。もちろんそれがためには、私みづから更に、自己の思索に反省を加へ、できるだけ誤解を除き缺陷を少なくすることを努めなければならぬ。ところでそのやうな見地からして、いま私がさしあたり補足を加へなければならぬと氣附いたのは、このあひだの小著に取揚げた相對性理論が、實は専ら、いはゆる相對性原理、すなはち特殊相對性論のみに限られ、これに對しその擴張として區別せらるる一般相對性論に、少しも觸れて居らぬといふ點である。これはもちろん、一般相對性論を私が

無視したとか、或はそれを失念して居たとかいふことを意味するものではない。反對に私は、むしろこの理論に對し、特殊相對性論に對してよりも、遙に多くの問題をみとめ、しかもそれが未だ後者に於ける如く、物理學者の間ですでに定説といつてよい程に、一致した解答が與へられて居ないことを思ふが故に、わざとこれに觸れることを差控へたのである。今日もはや特殊相對性論に異論を挟む人は、物理學者の中に居ようとは思はれない。しかるに一般相對性論に對しては、その細部に關してよりも更に一層根本的に、この理論の根柢そのものに疑問をもつ人がないではないと思はれる。例へば、すでに數年前(一九四七年)に物故し、また物理學の専門家であつたといはれないけれども、ラッセルと共同の大著 *Principia Mathematica* 三卷の著者として、少壯時に物した *A Treatise on Universal Algebra* (1938) 以來數學の基礎研究に大なる貢獻をなし、中年哲學に深入して現代英米哲學界の一代表者と認められ、特に科學哲學者として重きをなしたホワイトヘッド *Whitehead* が、みづから特殊相對性論に關心を懷きてこの理論の展開に獨自の研究を著書として發表するまでに至りながら、つひに一般相對性論に對しては賛意を表さなかつたといふ如き顯著な事實がある。更にこの理論の内容に至つては、アインスタインの立論の根柢となるいはゆる相應(等價)原理 *Principle of Equivalence* が、萬有引力の、遠心力に相應することを提説するものとして、その結果却て遠心力を獨自の固有存在に化する傾向を導き、從つて遠心力の由來する圓運動の相應者としての、地球自轉の如き廻轉運動の、絶對性の經驗を、ニュートンと共にそのまま承認するといふ結論を招く恐れがある。これは、廻轉運動を加速運動の一種として、特殊相對性論の對象たる等速並進運動に準據し、もつて一般に運動の相對性を主張するといふ見地からして、それを相對化しようとする本來の要求に、背馳することになる。これを免れるために、曾てマッハが、ニュートンの水桶の實驗は廻轉運動の絶對性を遠心力の發現によつて立證するものではなく、之を恒星天に對する相對運動に還元歸着せしめられるべきものである、と解釋した如き考方を襲用することにすれば、廻轉運動の起る「世界」空時は、常に物質をもつて充たされたものでなければならぬといふことにならざるを得ない。アインスタイ

ンはみづからマツハの相對論を繼承するものとして、このやうな方向を追つたわけである。しかしそれは、特殊相對性論が光速速度を含む變換式として表はされ、物質の存在に係はりなく従つて物質の經驗と獨立なる理論として、その意味で先驗的純粹性を保つのと異なり、力學を幾何學から引離して一般物理學の一部となし、相對性理論を非經驗的假說の一種に歸することとなる。そのやうな立場に對しては、マツハ主義者でない限り賛同しない物理學者も當然にある筈である。例へば、一般相對性論は之を認めながら、アインシュタイン理論には反對するドゥ・シッター de Sitter の説の如き、その代表的なるものであらう。このやうに、理論の一般的根柢からその内容にわたる異論を免れないところの、一般相對性論に對しては、専門外の私如きものが、なんらそれに觸れることは許されないものと覺悟して、一言もこれに説き及ぶことを取てしなかつたのである。しかも現在、量子論との結合に於て關心の焦點となる時間性の問題が、すでに特殊相對性論によつて十分にその準備資料を與へられるわけなので、量子論に相對性論を適應せしめるといふ見地から見ても、特殊相對性論に相對性理論全般を代表せしめることが、特別の不都合をもたらずものではないと考へたのである。

或はこれに對し、それでは私の問題としたのは、特殊相對性論すなはち初期のアインシュタインのいはゆる相對性原理に止まり、一般に相對性論の名をもつて呼ばれる理論の全體には及ばないのではないかといはれるかも知れない。それは或意味に於てその通りなのである。いま述べた如く、私の力が及ばないばかりでなく、専門家の間に於て現在未だ、哲學思索の手懸かりとなる程度にまで理論が成熟し確立せられて居ないといふ理由から、意識してこれに立入ることを避けた以上、それは當然の事ではなければならぬ。しかしながら、他方からいへば、私はいはゆる相對性原理だけを問題にしようと欲したのではなく、そのいはゆる特殊相對性論は飽くまで一般相對性論に對する特殊理論であつて、後者に於けるその擴張に對し出發點となり前提となるものであると考へて居たわけである。それであるから、事實上私の直接に問題としたのが特殊相對性論であつたとしても、間接には一般相對性論をも考慮したのであつて、

特殊相對性論は相對性理論全體の代表として取揚げられたのである。すなはち私の係はる所は單にいはゆる相對性原理に止まるのではなく、相對性理論全般であつたわけである。

じつさう一般相對性論が、特殊相對性論のミンコフスキに依るいはゆる空時「世界」への確立を前提して、その「世界」に於ける等速並進運動の代に加速運動を置換へ、その一種たる圓運動への相應を通じて廻轉運動の絕對性を解消し、もつて相對性理論を擴充徹底しようとした際に用ゐた手懸かりは、空時「世界」の單純要素たる「事件」「出來事」「生起事象」event の、二つの間の隔たりすなはち間隔 interval が、いかなる觀測者に對しても不變に保たれ、觀測者と獨立なる量でなければならぬといふ要請に存したのであつて、この間隔の不變性が「世界」空間の曲率の不變性に相當するものとして、萬有引力場に置換へられる遠心力複合をも、平等化するための媒介とせられたのである。かくて互に等速運動をなす觀測者の平等を確保する特殊相對性論は、廻轉ないし加速運動をなす觀測者にまで擴張せられて一般相對性論を導き、前者に據る空間時間の測定の相對性から、後者に據る力の相對性にまで、相對性が一般化せられることになつたわけである。従つて、一般相對性論は特殊相對性論ののづからなる擴張であると同時に、前者はまた必然に後者を豫想して立てられたのである。その意味に於て、特殊相對性論は相對性理論全般に對する出發點であり必要條件であつたといはれる。私が先づこれだけを取揚げて、相對性論を代表せしめたのも、單に前述の如き困難故障に由るのみではなく、かかる積極的理由があつたわけである。

しかしながら譲つて考へると、特殊相對性論から一般相對性論への擴張は、ふつうに擴張といふ概念によつて意味せられる如き平滑安易なるものでなかつたことも疑はれない。なるほどそれは、今私が「糸のづからなる擴張」と言つた如く、心理的に自然なるものではあつたけれども、しかし決して論理的に必然なるものではなかつたといはねばならぬ。アインシュタイン自身もこれを、psychologische Naturlichkeit と言はれた (Einstein, Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie §4)。すなはちそれは、ただ立場を高め視界を擴げることによつて、論理の必然なる

要求に従ひ、原理の妥當する領域が擴張せられること、例へば數概念の擴張といふ如きものに於けるやうなものではなかつたのである。もちろん後者の如き場合に於ても、概念の擴張が行はれるには、はじめ制限された立場に於て否定せられた概念の適用が、より高き或はより廣き立場からして新しき假定ないし新しき解釋に依つて、改めて肯定承認せられることが必要であるのはいふまでもない。しかしその新假定新解釋といはれるものは、はじめ制限された立場で規定せられた概念の意味が、より高い立場に於て擴げられる結果たるに止まり、むしろそれは制限の撤廢を意味するのであつて、立場そのものが逆轉せられ顛倒せられることを要求する如きものではないのである。従つて、特殊の立場と一般の立場との間に、反對立があるとはいふことはできぬ。しかるに特殊相對性論の一般相對性論への擴張には、このやうな立場の逆轉顛倒といふべきものが含まれるのであつて、決して單に制限の撤廢に止まるところの、意味の擴張には盡せない。兩者の間には、單に特殊(種)一般(類)といふ分析論的關係が存するだけではなく、矛盾對立が統一せられるといふ辯證法的決斷がそれを媒介するのでなくてはならぬ。具體的にいへば、特殊相對性論の成立する空時「世界」は、空間曲率負のロバチェフスキイ・ボリアイ幾何學の雙曲線的空間であつて、平行線は一對ありそれを界として不相交線は無限に多く存する空間に相當する。しかるにこれに對し、一般相對性論の「世界」は空間曲率正の、リーマン幾何學の楕圓的空間に相當し、そこでは平行線が一つも引かれないのである。従つて兩「世界」の間には、反對ないし矛盾が存するのであつて、決して單に制限撤廢に依り、一方から他方へ擴張一般化が行はれる如きものではない。そのいはゆる擴張には、立場の顛倒逆轉といふべきものが、媒介として介入しなければならぬのである。それだからこそ、前述の如き、特殊相對性論を採りながら一般相對性論を斥けるといふ立場も成立し得るわけであつて、若し單に概念の意味擴張といふ如きものに止まるならば、その擴張に反對して相對性を特殊理論に制限するに立場が現れるといふやうなことは、一應不可解でなければならぬ筈である。そこで私の如く、特殊相對性論を一般相對性論の前提とし、前者を後者の出發點として豫定しつゝ、ただ直接に相對性理論全般に對する土台として

特殊相對性論を取扱ふ立場にとつては、その立場の可能を根據附けるために、たとひ一般相對性論の内容には立入らないまでも、この擴張そのものがいかなるものであり、それがいかにして可能であるかだけは、説明して置かなくてはならぬと思はれる。これこの小論に於て、補足を試みようとする第一の點である。

二

前節に述べた點を明にするためには、おのづから、上にもちよつと觸れた、アインシュタインのマッハ主義に由來する一般相對性論の經驗論的傾向と、特殊相對性論の場合には物質の存在に係はりなき空虚の世界空時が専ら規定の對象となる限りに於て、「世界」の先驗的構造に關するものとして認められる先驗論とが、相對立する立場の相違として問題とならざるを得ないといふことがある。兩理論の間に、單に特殊一般といふ分析論的關係が存するのでなく、更に矛盾的對立が伏在し、運動の經驗をそのまま根據附ける先驗的空時構造を承認肯定するか、或は却て運動の直接經驗事實を否定してそれを超える非經驗的假説を導入し、もつて經驗論を擴充徹底しようとする辯證法を探るかといふ對立が存するものも、またこれに聯關する。特殊相對性論を採りながら一般相對性論を斥けたり、または、一般相對性論を採用する場合に於ても、アインシュタインとは異なる宇宙論が主張せられたりするのは、これに關係があるわけである。前に觸れたドウ・シッターの宇宙論は、すなはちその代表的なるものに外ならぬ。

マッハ主義的經驗論の立場から見れば、加速運動従つて地球の廻轉運動も、恒星天に對する地球の相對運動として相對化せられ、それに依つて、前者の係はる萬有引力（重力）を、後者に屬する遠心力に等價として歸同することは可能なるわけである。従つて加速度を生ずる力の相對性が、物質の存在を媒介にして保證せられ、これにより相對性理論が一般化せられるといはれるでもあらう。しかしこの論理が整合的に貫徹せられるためには、恒星群としての物質の存在が、地球の廻轉運動を相對化する媒介となるのと相似の關係に於て、更に恒星群の運動を相對化するために、

一層遠距離に於て之を媒介すべき物質の存在することを認める必要があるわけである。ところでこの關係が悪無限に陥つたり循環論に墮したりしないためには、最後に、無窮遠に於て存在する物質を想定し、之を他の相對存在に對する媒介として絶對化しながら、しかもそれが無窮遠に存在するといふ理由をもつて、あたかもそれは存在しないのも同様であると、思惟する外ないであらう。さてこのやうな假定が、果して實證主義經驗論の相對性徹底なる要求と、相容れるものであるか。われわれはここに、明白なる二律違反を認めざるを得ない筈である。

ここに於てドッ・シッターの宇宙論は、アインスタインのマッハ主義に由來する物質的經驗論を排除し、物質と輻射との存在しない空虚の「世界」空時を取揚げ、之を物質存在の經驗を豫想せざる先驗論的理念としたわけである。とにかく兩者いづれの宇宙理論に於ても、空間に關する限り、一般相對性論の空間はいはゆるリーマン空間となり、「世界」空間の幾何學はすなはちリーマン幾何學となる。特に空虚なる先驗論的空間の幾何學としては、ドッ・シッターの球空間に代表せられるリーマン空間は、正に純粹なる空時「世界」の理念であるといはなければならぬであらう。

ところで私は、最近の小著に於て、リーマン空間を純粹空間の理念とし、ユークリッド空間にも、いはんやロバチエフスキイ空間にも、必然に含まれて居るところの力學性、特に「世界」の空時的測定の不變性、から抽象せられた純粹幾何學的空間の典型であるとしたのである。これは、いま述べたところの、空時「世界」の力學的具體化として徹底せられた、一般相對性論的「世界」が、先驗論的にリーマン幾何學的であるといふ規定と相矛盾するものではないか。何となれば、このやうに空時「世界」の力學的構造がリーマン幾何學的であるといふのは、空間と時間との相關融合としての空時「世界」の、ロバチエフスキイ幾何學的雙曲線的空間性が、之を確立したアインスタイン・ミンコフスキイの特殊相對性論の、一般相對性論にまで擴張せられると同時に、雙曲線的空間（その空間曲率は負である）から、リーマン幾何學的橢圓的空間（その空間曲率正）にまで轉換せられるのだからである。これはとうてい無視す

ることを許さない矛盾でなければならぬ。そもそもこのやうな矛盾は、いかにして發生するのであらうか。もとより、普通に見る特殊から一般への擴張に於ては、さういふ矛盾の發生はみとめられるものではない。しかるに右の如き矛盾が、當面の特殊相對性論から一般相對性論への擴張に際し現れるのは、この場合に特殊と一般との間の關係が、單に制限の有無といふ如き形式的矛盾の上に成立する對立ではなくして、主體的否定といふ内容的對立であり、正に兩者の間に立場の逆轉顛倒といふものが存することを意味するのでなければならぬ。この立場の轉換がさきに指摘した如く、特殊相對性論と一般相對性論との關係を、單に特殊一般の形式的區別に止まらしめず、辯證法的否定の二律背反的對立たらしめるのである。これにより兩理論の定立する「世界」を、雙曲線空間的と楕圓空間的として相對立せしめ、前者の絶對否定を通じて後者の理念を實現せしめるのである。さきに指摘した、私の問題とすべき第一の點は、ここにあつたわけである。

しかるに一步を進めて、更に兩理論の矛盾的對立の根柢に横はる具體的經驗事實に眼を向けると、そこには顯著なる對立が含まれることを認めざるを得ない。そもそも、特殊相對性論の係はるところの等速並進運動の相對性は、例へばわれわれが疾走する汽車の窓から眺める景觀の移動について經驗する如き經驗事實の一般的類推であつて、ただそれが光速度の不變と撞着する矛盾を調停し得る如くに設定せられたものである。すなはち光速度不變の原理と共に、相對的等速運動をなす系に對し自然法則の同形性が保たれ、何れの系も優先の特權を有することなく互に平等であるといふ、いはゆる相對性原理が、何れも經驗に基づく要請として、互に兩立するやうに結合せられたものが、すなはち特殊相對性論の内容を成す變換式たるのである。従つてそこにはなんら經驗の否定は含まれない。しかるに廻轉運動となると、經驗上その絶對性といふものが、われわれ自身の身體的體験から否定することのできない事實であるばかりでなく、前述ニウトンの水桶の實驗に於ける如く、外界の現象としても經驗上或程度實證せられるのである。これを、運動の相對性の汎通といふ心理的自然の傾向に従ひ相對化するには、上に述べた如く、遂に無窮遠に於

ける物質の存在といふ非經驗的假定を媒介として要求する外ないのである。これは經驗論の擴充、實證主義の徹底のために、却て經驗論を否定し實證主義に背くといふ逆説矛盾であること疑はれないと思ふ。ところでそれを二律背反として辯證法的に解決するために、媒介としてその指導的行動理想とせられるものが、すなはちリーマン空間なのである。それは、私がさきに指摘した如く、力學的時空でない、その空時性力學性から抽象せられた純粹空間の理念であることに依つて、却て否定的超越の理想となる。従つてそれが、雙曲線的空間に對立する楕圓的空間である以上は、個體的主體の絶對無的行爲に依り、兩者の反對對立が辯證法的に絶對否定せられ、矛盾の統一として媒介せられて、始めて特殊相對性論から一般相對性論への擴張が可能ならしめられることは、當然であるといはなければならぬ。それは正に、辯證法的にのみ思惟せられるものであるといふべきであらう。

このやうな二律背反は、ただに廻轉運動の相對化に對し物質存在の經驗と非經驗との對立として現れるのみではない。これと關聯して、遠心力そのものについても起る。前述の如く一般相對性論に於て、地球自轉の廻轉運動を相對化するため、それに相應するものとして恒星天の近似的圓運動をそれに置換へ、この圓運動に伴ふ遠心力（すなはち慣性）をもつて、萬有引力に等價なるものとするのが、一般相對性論の根本をなすいはゆる等價原理であることは、前にも觸れた所である。さてこのやうに、引力を遠心力で置換へることは、非常に巧妙なる着想であつて、まさにアインシュタインの天才を證するものといふべきでもあらうが、しかし遠心力そのものはこれがために、一種の絶對性を有するものとならざるを得ないやうに思はれる。たとひ從來屢々指摘せられた如く、遠心力は一種特別の實在的な力であるのではなく、一般の慣性（惰性）に外ならないとしても、若しその慣性の由來するところの運動が、遠心力を他に還元する能はざる一種絶對的なるものとして保有する以上は、その運動もやはりなんらか絶對的の意味を有するものとならざるを得まい。相對性論の發展に獨自の貢獻をなした天文學者エッディントンは、その透徹せる理解と巧妙なる比喩とを以て、平易でありながらしかも深き洞察に満たざる相對性論解説の書 *Space, Time and Gravitation*

tion (1920) を著はしたが、その中でこの點を指摘し (p. 41)、遠心力の原因が問題として残ることを明言して居る (p. 153)。かくて二律背反は前述の如く有限と無窮との間にも、またそれに伴ひ相對と絶對との間にも、残ることになる。

さてこれらの二律背反の辯證法は、必然に哲學に屬するものなることは疑はれない。しかるに私は、これが私の提唱しつゝある歴史主義の立場から (拙著『數理の歴史主義展開』参照)、比較的 naturally 解かれるのではないかと、ひそかに思ふものである。この補説がそれを聊かでも明にし得るならばとみづから期するゆゑである。前世紀以來、科學哲學の一論争點となつた、力學の基礎方法に關する問題が、相對性理論に至る近代力學史の、歴史主義的辯證法的理解によつて、比較的透徹なる解決に達し得る如く思はれることは、大方の批判を私の希ふ理由である。これがこの小論の、第二の論點といふべきものに外ならない。補説に補説を加へなければならぬやうな仕儀に陥る私のだらしなさは、天才一舉に首尾全體を通觀する能はざる凡人の、限界としてやむを得ずとはいへ、深く自ら慚ぢざるを得ない所である。しかし、先づ一步を進め客觀的に地歩を踏み固めることによつてのみ、更にその次の一步が準備せられるといふことは、それこそ空間的直觀に對する時間的従つて歴史的なる行爲自覺の、特色ともいふべきものかと思はれなうでもない。讀者を煩はすことの甚しきを謝すると同時に、その寛大なる諒恕を乞ふしだいである。

三

以上述べたところの、特殊相對性論と一般相對性論との關係は、すべて普通の意味に於ける分析論理的擴張一般化として理解すべからざる、辯證法的二律背反を含むものであつて、さきに私が最近の小著に於ける意圖として述べたところの、特殊相對性論をもつて相對性理論全般を代表せしめようとする希望も、この辯證法的二律背反の内容を明にし、それを解決する見通しがついて始めて、根據附けられるものであるといはなければならぬ。これは必ずしも、

物理學そのものの立場に於て未だ解決せられて居らない、理論の内容に關する對立に立入り、専門の問題に外部から介入しようとすることを意味するものではない。しかし今日の科學に共通なる傾向として、科學そのものがその理論の内容に、その哲學的自覺を盛ることを特色とする以上は、哲學がそれに協力することは、斯學の獨立なる存在が認められる限り、その當然なる任務でなければならぬ。私はそのやうな立場から、この補説を試みるわけである。

しかしこの補説の第三の問題としては、更に最近の小著の基本的問題として論述したところの、特殊相對性論的「世界」の複素數的構造といふものが、この「世界」の雙曲線の空間から、一般相對性論的「世界」の楕圓的空間へ轉換せられる際、いかに成行くかといふことがある。この轉換の擴張に於て、特殊相對性論的「世界」の規定としての複素數的構造は、ただこの「世界」の一般相對性論化に伴ひ、おのづから同時に、楕圓幾何學的空間に包括せられるに至るものであらうか。若し然りとすれば、さういふことは、互に反對對立をなす立場の間に於て、いかにして可能なのであるか。一層具體的に、複素數的構造を簡單のために複素平面をもつて代表せしめ、時間次元 t の外に空間次元をただ一つ x だけとつて、 x - t 平面を考へるとすれば、その複素數的結合は、デカルト座標の x - y 平面と異なり、 x と t とが外的に結合せられたものでなく、内部から否定的に兩次元を滲透交徹せしめ、從つてそれは前者の如く單なる平面に止まらず、複素函数として自發自展すべき深さをもつものであるといふことが、最近の小著の解明しようとしたところであつた。さういふ自己否定的契機の動的深部の擬立體性の故に、複素平面上の直線が雙曲線的に互に背離して相交ることなく、その結果、一つの直線はいはゆる不相交線を無限に多く有することになるのである。しかるにこのやうな雙曲線的離背構造が、一般相對性論的「世界」の平行線皆無なる楕圓幾何學的空間に包括せられるとするならば、それはいかにして可能であらうか。互に雙曲線的に背離する二直線（最短線）が、楕圓的閉合範圍内に包まれるといふことは、果してできるものであらうか。その方法いかんといふことが問題にならざるを得ない。私はこの問題が、最近の小著の要點となつて居る、複素函数の解析接続に於ける收斂圓が、コーシー・リーマンの微分方程

式の様平等なる自由收斂徑路の集合全體を表はし、その内部に於てはいかなる徑路をとつてもそれらが同一極限に收斂するといふ着眼に依つて、始めて解かれるのではないかと思ふものである。雙曲線の空間の複素數的構造は、一見問題と思はれる困難を實際に孕むものではなく、却てその複素數的自發自展性に依り逆に、楕圓的空間の收斂圓の閉鎖集合の内部に包括せられることを可能にするといふのが、私の試解である。もちろん空間連續體の集合要素を單純要素たる點と解する限り、一點を中心として互に雙曲線的に背馳する二最短線が、同時にその同一點に於て相交はるなどといふことは、とうていあり得ることではない。それは明白なる矛盾でなければならぬ。しかし連續體の要素を空間的點と考へず、互に反對對立をなす過去の未來的時列の反撥緊張的統一としての、現在に於ける實驗的「出來事」と解し、これを動的緊張的「切斷」として捉へ、その含む辯證法的否定的統一が對自的に展開せられれば、私の解した如く、解析接續の要素たる收斂圓の非連續即連續なる辯證法的統一となるものとするならば、まさにこの收斂圓の自由不確定帯に於て、右の矛盾は揚棄せられるであらう。かくして特殊相對性論的「世界」の複素數的構造は、この「世界」の雙曲線的空間性を、一般相對性論的「世界」の楕圓的空間性と統一する障礙となるどころではなく、却て逆に、辯證法的統一の具體的媒介となる筈である。そのために生ずる「世界」の時間次元の不確定性こそ、量子論の時間量子性に對應するものでなければならぬ。とにかく私はさういふ意味に於て、複素變數函數論の物理學的方法としての重要性を強調したいと思ふのである。これにより、複素數的構造が、特殊相對性論と一般相對性論とを統一する媒介契機たることは、この小論の第三の問題として當然に取揚げられなければならないわけである。

以上私は、この論文に於て補説すべき三つの主題について述べた。もちろんこの三つの主題は離ればなれのものではなく、三つとはいつても實は、むしろ三即一といふべき聯關を保つのである。そのことはすでに、以上の展開に於

て顯はにされた所であると思ふ。しかのみならず、上來の問題展開は、同時に解答の展開でもあつたのである。一般に、第一義の問題といはれる如き根本的問題に於ては、いかに問ふかといふ問方は、すでに答へるべき方向を暗示し、従つて答を豫め含蓄するのである。答はずでに問の内に存するといはれるゆゑである。私の上に於ける問題の展開が、すでに解答を含み、同時に解答の展開でもあつたことは、當然でなければならぬ。しかしもちろん、問は問であつて直ちに答であるとはいはれない。そこで私は、更に次節以下に於て、答の方に目標を置き、問の展開を反復しながら、それを通じて答を展開しようと思ふのである。

四

一般相對性論が特殊相對性論の擴張であるといはれる場合に、そのいはゆる擴張が、ふつうに擴張の概念によつて理解せられる如く、單に特殊に附隨する制限を撤廢することにより必然に一般が現出するといふことを意味するものでなく、かかる分析論理的一般化の、理論内部に於ける内面的發展たと異なり、特殊から一般への推移に、立場の逆轉顛倒が媒介として要求せられ、その際一般化は、その逆轉顛倒を遂行する實踐的主體の自覺に於ける、對自的轉換の辯證法的統一としてのみ可能なることが、私をして最近の小著に對するこの補説を草せしめる理由の最たるゆゑを、第一節以來私は強調したのである。ところで、このやうな立場の逆轉が介入することによつて始めて、特殊から一般への擴張が可能であるといふことは、この逆轉に先だち特殊と一般との間に、立場の矛盾が存することを前提するのはいふを俟たない。それ故私は、論旨を明ならしめるため、すでに前に、かかる矛盾對立のいかなるものであるかを、具體的に説示したわけである。この論文の要旨はもはやそれで盡きて居るともいはれる。すなはち、特殊相對性論の係はるところの等速並進運動の相對性は、われわれの日常經驗の否應なく承認するところであつて、ただそれが光の傳播といふ特殊の運動現象に關し、同時にこの現象が觀測一般の前提條件であるといふ特別の事情に由り

行詰まるのに鑑み、一見矛盾する光速度不變の假定と等速並進運動相對性の要請とを、統一するところの變換式を掲げることにより、特殊相對性論が確立せられることになつたのである。その場合、等速並進運動の相對性も光速度の不變性も、共に經驗事實に基づき、ただその經驗事實の汎通を、經驗の現實範圍を超えて原理として要請する限り、假説といふ意味を賦與せられるに過ぎない。尙くまでその立場は經驗の妥當を承認するのであつて、それを否定するといふことは全然ないのである。もちろん、兩假定兩原理が互に矛盾するものである以上は、ただ雙方を同時に承認肯定するためそれを互に衝突撞着せしめるのみでは、それらを兩立せしめることができる筈はない。ただその矛盾の渦中に身を投じて、雙方を交互に否定せしめつつ、却て同時に夫々を對者の緊張契機として復活せしめることにより、絶對否定的に雙方を活かし統一する變換構造を、理論の内容とするのでなければならぬ。しかしそこでは、各原理が交互否定的に否定せられつつ契機として共に活かされ肯定せられるのであるから、夫々がその基づくところの經驗事實の基底に關して否定せられるといふことはいふ筈である。特殊相對性論はかかる内容を有するものとして、經驗論的であり實證主義的であるといつても決して誤ではない。始めてこの理論を創始したアインシュタインが、みづからマツハとの親近を強く感じて居たことは自然であるといはねばならぬ。

しかしながら一般相對性論になると、事情は特殊相對性論に於ける如く簡單ではない。なるほどアインシュタインは、この理論の建設に當つても、マツハの實證主義經驗論を繼承するものと自ら信じて居たのであらう。従つて上に私の指摘した如き矛盾が、マツハの實證主義に潜在することを洞察してそれを批判し、よつてもつて、マツハを超える立場にまで超出するといふやうなことがなかつたのは、ぜひもない所である。一般相對性論ないしそれに基づく萬有引力論が、實證主義經驗論の立場で特殊相對性論を擴張し一般化することにより達し得るものではなく、その間に立場の轉換を媒介として要求し、従つて實證的經驗も一たび否定せられて、先驗論的純粹空間（すなはちいはゆるリーマン空間）が、その立場の轉換を積極的に指導する理念となるべき理由などは、アインシュタインにより自覺せられて居

なかつたのも當然でなければならぬ。彼の一般相對性論的「世界」が、特殊相對性論的「世界」のロバチエフスキイ幾何學的雙曲線の空間と反對對立をなし、或はユークリッド的平直空間に對しても矛盾對立をなす如き、リーマン幾何學的楕圓的空間でなければならなかつたといふことは、なんら先驗論的理由によつて根據附けられたものではなく、ただ數學的形式論を手懸かりとして經驗論的實用主義に導かれたものに外ならなかつたのも怪しむに足りない。私以上に指摘した如き、リーマン空間が純粹空間として空時「世界」の力學性からさへ洗淨められた純粹幾何學的理念でありながら、しかも却て最も具體的な力學的一般空時「世界」の契機となり、その構成原理となるといふ如き二律背反的矛盾は、とうていさういふ立場からは理解すべくもない筈である。アインシュタインの一般相對性論に對する疑問と異論とは、このやうなその立場の不透明に由來する所多いのではないであらうか。彼以外の物理學者も、この原理的根柢問題に對して關心を懷くこと意外に少ないやうに思はれる。

等速並進運動については、その絶對性を實證すべきならぬの經驗事實もない。われわれの經驗する等速並進運動はすべて相對的なのである。そこにはその絶對性を主張すべきいかなる根據も與へられはしないのである。しかるに廻轉運動になると、地球の自轉を證明するものとして重要なる意味を認められたフーコー振子の實驗といふ如きものがある。振子の振動面が、地球の自轉の結果として、子午面に對し自轉と反對の向きに一定の角速度で廻轉するといふ事實は、これに外ならない。われわれの身體の廻轉に際して起る生理的變化とそれに關係する有感覺とが、身體の並進運動の場合に於けるそれらとは質的に異なるものがあり、その過激なるものが後者の場合になき神經や生理機能の障害を惹起することは、隠れもなき事實ではあるが、いまこれら自覺に基づく事實はすべて主觀的として排除するとしても、なほその容觀性を疑ふことのできぬフーコー振子の實驗の如きは、前述水桶の實驗などにもまさりて一層直接に、物理學上無視することを許さざる實證と認められなければならぬものであると思はれる。ところで、等速並進運動と廻轉運動との間に、このやうな本質的相違が存することの由來はどこにあるかといへば、前者は純粹な

る運動現象であるのに對し、後者に於ては、一般的に加速度が含まれ、しかして運動（静止）の變化としての加速度の原因が力と呼ばれる以上は、それは純粹運動學の範圍に編入せられない力學的現象に屬することに由るものと解するより外はない。すなはち、等速並進運動は純粹なる運動として全く相對的であるけれども、廻轉運動ないし一般に加速運動は、その原因となる力のために、絶對的と認められなければならぬわけなのである。之を約言すれば、純粹運動は相對的であるけれども、力は絶對性を保つといつてよいであらう。

力の概念が、力學の近代的發展に對し顯著なる動機となつたものであることは、改めていふまでもないと思ふ。ヒュームの因果性批判にも比すべき、力概念の批判が、キルヒホッフやマッハによつて行はれ、それを徹底したヘルツが、この概念を排除して、独自の力學體系を建設したことは周知の通りである。しかしそのやうな批判的立場も、その標榜する經驗記述の主張を貫徹することができず、力に代る別の實體的概念をひそかに保有しなければならなかつたことは、ヘルツの質量概念の例が之を示す。彼は遠隔作用の力を排除して、物質の運動をすべて接觸強制運動に還元するために、空時を充たすものとして質量の全體的連結を考へたのであるが、それは現實の經驗を超えて非經驗的なる假定を含むものたらざるを得なかつたのである。そこで一層批判を具體的にして、前掲の物理學者たちのヒュームの經驗論實證主義の傾向に反對し、まさにカントの意味した「實驗的方法」に従ひ、經驗と假說的構成との綜合を企圖したのは、ボルツマンであつた。その周匝綿密なる『力學原理』Vorlesungen über die Prinzipie der Mechanik (1897-1904) が、近代力學の根本文獻であることは隠れもない事實である。だがそれにも拘らず、カントの批判哲學の內的二元性にも比すべき、經驗と近似的構成との分裂の傾向がそこに内藏せられ、未だヘーゲルの歴史主義の辯證法に依つて統一が齎さるるには至つて居ないことも、またカントに於けると同様である。

ところでアインシュタインの相對性理論は、彼自身の自覺する所に従へばマッハの精神を繼承するものといはれるのであるけれども、しかしその方法が單なる實證主義に止まらず、經驗の含む二律背反を、觀測操作の主體的行爲を必

らには理論に於て展開することにより、辯證法的内即外、外即内の統一によつて解消しようとしたものである以上は、むしろそれはすでに辯證法的といはれるべきものではなかつたかと思はれる。とにかくボルツマンがマツハに少なからず同情を表し、またヘルツのマツハを超える構成形象が、完全に合理的明晰一義の思惟法則に適合することを求めたのを稱揚しながらも、それが遠隔作用の力をマツハ同様に排除してこれを強制運動の聯關に還元しようとした結果、全く經驗に現れない非現實的運動を含むに至つたことを難じて敢然とこれに反對し、力の根本存在性を認めただのに對して (Boltzmann, Op. cit. I. S. 38. [1])、むしろヘルツを修正する如き立場から、飽くまで力を經驗と相即せしめ、經驗に屬する事實と相關對應せしめることに依り、ボルツマンを否定超越しようとしたアインスタインの一般相對性論こそは、ボルツマンのカント的新古典力學をヘルツの方向へ徹底し一元化してそれを現代化したものであると解せられるでもあらう。そのいはゆる現代化とは、觀測操作の理論化といふ、主體と客觀との相關的統一を顯揚することに外ならない。それは辯證法的歴史主義といつてもよい。シェリングの知的直觀にも比すべきヘルツの並立共存的全體觀を、ヘーゲルのに歴史的辯證法により動的局所的に媒介組織しようとしたアインスタインの一般相對性論は、當然ヘーゲルに比せられると私の思惟するゆゑんである。アインスタインのボルツマンとヘルツとに對する關係は、ヘーゲルのカントとシェリングとに對する關係に相當する所がある。何れも、批判と直觀との辯證法的行爲自覺に於ける統一である。今日の新量子論が、その傾向の更に一段と高度なる具體化たらんとしつつあることは改めていふまでもあはれず。

五

特殊相對性論が上述した如き意味に於て純粹の運動に係はるのと異なり、一般相對性論が更に力をも取扱ひ、それの絕對性を相對性に解消しようと思圖するものなること、右の如くであるとするならば、それが、純粹運動の場合に

は解消すべき絶對運動の經驗なるものなく、ただ經驗論實證主義を忠實に徹底すれば、すなはち特殊相對性論が達成せられたのとゆきかたを異にし、これと質的對立をなす所あるべきは、理の當然でなければならぬ。相對性理論の擴充として一方から他方へ進むには、決してふつうの意味で特殊から一般へ擴張を行ふといふことだけでは足りないのである。そのためには、兩者の間に伏在する質的對立が、立場の逆轉顛倒に依つて飛躍的に打越えられなければならない。これがすなはち、前に掲げ出した一般相對性論の根本課題に外ならぬ。

ところで、そのいはゆる立場の逆轉といふのは、いま述べたやうに、純粹運動の場合には絶對運動の經驗といふべきものは事實上存在しないのであつて、單に經驗論の徹底が相對性論へ導くのに反し、廻轉運動とその原因たる力とは、絶對性が經驗事實に基つき想定せられ、従つて若し單に經驗の立場に止まるならば、それらに關しては、相對性論よりもその反對たる絶對性論の歸結せられることこそ、論理の必然であつたといはれなくはあるまい。しかし驟つて考へると、力といへどもそのまま直接に經驗せられるものでないことは疑はれぬ。心理的經驗の主觀性を超えて客觀的なる物理現象の立場では、力といふものは經驗せられないのである。經驗せられるのは、力に由來すると解釋せられるところの運動の變化、すなはち加速度以外にはない。ただこれに對する原因として力が假定せられるだけなのである。それ故、經驗を出發點としてできる限りにこれに立脚し、避けられるだけ假説を作ることとを避けるといふ、經驗科學に固有なる實證主義の近代的立場に立つ以上は、力の假定もまた、能ふ限り經驗との對應に置換へられることが要求せられなければならぬ筈である。これ特殊相對性論が廻轉運動にまで擴張せられることは、「心理的自然」の要求なのであると上に言つたゆゑんである。しかし當時も注意した通り、このアインシュタインのいはゆる「心理的自然」が、ただちに論理的必然と一致するとはいふことはできない。論理の立場に於ては、われわれは論理の同一性の要求上、運動狀態の變化に對し、その原因を求めなければならぬのであつて、それに應ずるものが、すなはち一般に力と呼ばれるものに外ならない。ただその際、經驗を超えその背後または奥底に、無媒介に實在する自由發動主體

を思惟するところの擬人論を排する以上は、どこまでもそれを、結果としての運動現象の相關的全體、すなはち發動作用の傳播する媒介的全體をもつて、置換しなければならぬわけである。いはゆる力場これである。マクスウェルの電磁場理論の實驗的檢證者であつたヘルツが、物質の力學にも力場に相當する質量の連結を考へ、ただに可視的物體としてのみならず隱在的質量として、質量的全體的聯關を想定しようとしたのは、自然の事であつたといはねばならぬ。力場はその存在性に於て、どこまでも、そこに現れる運動に即するものとして經驗的でありながら、しかもその運動の相關的全體の可能範圍を極限的に包括するといふ意味に於て、現實經驗を超える理念的構成たるのである。それはまさに、經驗的・理性的といふ二重性をもつ。これを直接に一眞化するヘルツの質量聯關は、知的直觀に比されるゆゑんである。むしろこの二重性は、歴史主義的辯證法的なるものとして、あたかも數學に於ける有理數と無理數との相關的統一としての實數體系にも比せられるであらうか。近代解析數學が實數連續體の切斷、ないし極限に依る構成に伴ひ、發達した如く、近代力學も力場の二重概念に伴ひ發達したものなること否定しがたい。初めはニュートン力學の遠隔作用論の比論に従ひ規定せられた靜電氣平衡が、電流の動電力、それに伴ふ感應磁力の、いはゆる電氣力學の樹立を促しこれへと進んだ際、フロラディ・マクスウェルの電磁場が之を新しき立場に推進するに及び、始めて電氣力學が確固たる基礎を興へられ、かへつて遂にこの電磁場論が一般力學の力場的組織を促しヘルツの力學を導いたことは、まことに顯著なる事實であつた。しかしヘルツの力學觀の一重性が矛盾を含むことを批判したボルツマンが、これに對し飽くまで力學原理の二重性を主張したことは、更に一層重要視すべき所でなければならぬ。さきに私が之をカントの批判哲學に比したゆゑんである。かくして批判主義化せられた場の力學こそ、力の超越的實體化する獨斷論と、それに反對した實證主義經驗論的力學の自己矛盾的懷疑論との、何れをも否定して、綜合的に經驗的・理念的なる批判論の立場を力學に確保しようとしたものであるといはなければならぬ。ボルツマンの力學が古典的意味を認められるゆゑんであらう。

アインシュタインが自らマツハ的傾向と認めたものも、特殊相對性論から一般相對性論に進む間に、力の相對性を問題とする限り、必然に單なる經驗論の立場を超えなければならなかつたことは、すでに前述した所に依つて明にせられたものと思ふ。彼が、從來絕對廻轉運動の證據と認められた重力をば、情性に外ならないと解せられるところの遠心力に、等價相應するものとして、これにより置換へようとしたことは、まさに經驗論を徹底するに、經驗論の否定超越をもつてしたものと解せられる。この辯證法こそ、ヘルツの一元論に近づきながらその矛盾獨斷を免れ、しかも之を批判したボルツマンになほ殘留したところのカント的内在二元論を、遂に突破する地下道となつたものでなければならぬ。カント的内在二元論に於ては、經驗と理性とは何れの一方も他方を制壓して自己獨裁を行ふことは許されず、どこまでも互に相協力することが必然として要求せられるのであるけれども、しかし理性の先驗性が本來的なるものとして承認せられ、たとひその妥當はどこまでも經驗の範圍に限定せられるとはいへ、決して理性そのものの契機としてその内部に經驗が入込みそれを媒介するといふことがない以上は、理性は飽くまでその先驗形式を、質料たる經驗と獨立に固有し、經驗を一方的に制約するのであつて、それが逆に經驗により制約せられるといふことはないのである。従つてそのため、經驗の範圍に理性の權能が局限せられる限り兩者の協力も行はれ、認識が可能なのであるけれども、しかし經驗の可能的全體といふ理念的極限に至ると、兩者が夫々自己の固有性を主張し、内在的と超越的といふ相對立する要求をもつて、夫々が互に他を否定し合ふために、必然に内的分裂が惹起せられる。これがカントの二律背反的辯證論に外ならない。その内的矛盾が突破せられ二律背反が解決せられるためには、理性の先驗性が靜的固定から動的歴史性に轉ぜられ、各現在の經驗に即してそれに對する先驗的統一の權能は認められながら、しかもその規定は過去の經驗を媒介とし、それを未來の革新性に照らして交互否定的に揚棄する行爲に依つて、現在の歴史に相對的なる限りの先驗性を保有するものと限定せられなければならないのである。かくして經驗と理性との媒介は交互的となり、兩者が經驗的と先驗的とに對立するのは、全く現在に相對的なる關係と解せられることになる。すな

はち互に歴史的實踐的に相媒介せられて、兩者は動的統一にもたらされるのである。これがヘーゲルにより開始せられた歴史主義的辯證法に外ならない。アインスタインの一般相對性論は力學の範圍に於て、マツハを徹底することによりマツハを超え、しかもそのやうな立場に立つヘルツの全體觀的一元論を局所的に空時的相對論化して、之を批判したボルツマンのカント的内在二元論をも辯證法的に統一すること、ヘーゲルに比すべきものがあるといふのが、すなはち私の提出しようとする解釋である。

しかるにアインスタイン自身は、相對性理論の擴充に熱心なる餘り、特殊相對性論によつて準備せられた、空時「世界」の二つの出來事の間隔が不變でなければならぬといふ條件を、數學的形式主義の立場から一般化し、之をそのまま一般相對性論の重力場にまで擴張適用することによりその理論を展開したのである。その際、さきに指摘したやうな非經驗的なる力の概念のために起る、純經驗的なる特殊相對性論からそれに對する反對の立場への轉換、或は一層適切には立場の顛倒が、必要であるといふことには、十分注意しなかつたものと思はれる。ただ經驗論的に重力を遠心力と等價としこれに相應せしめるだけで、數學的形式の一般化を媒介とし、特殊相對性論から一般相對性論への擴張が可能であると思惟したわけである。そのために必要なる辯證法的思考を自覺せず、同一性論理の立場に立つものと自ら信じたのである。私が上にシェリングの知的直觀に比したところのヘルツの全體觀的力學に、アインスタインの一般相對性論が酷似するといはれるゆゑである。

このやうなわけで、特殊相對性論の「世界」の雙曲線の空間性に對して反對對立をなし、或はその「世界」をしばらく複素空間とせず、ユークリッド的平直空間と看なすも、なほこれと矛盾對立をなすべき楕圓的リーマン空間が、一般相對性論の「世界」の性格でなければならぬといふ甚だ重要な問題は、具體的に問題として取揚げられることなく、ただ一般的に數學の二次形式論 (Theorie der quadratischen Formen) から導出せられたもの如く思はれる。そもそも特殊相對性論は、古典力學のガリレイ・ニュートン變換を空時「世界」へ擴張し、前者の空間座標に加へ

るに、具體的には虚數軸にとられるべき時間座標を以てすることにより、微分二次形式の變換に對する不變式を、「世界」座標にまで推擴したのである。すなはち古典力學に於ける空間距離の二次不變式 $ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$ の代りに $ds^2 = -dx^2 - dy^2 - dz^2 + dt^2$ なる二次不變式を置換へ、之を「出來事」の間隔距離の二次不變式とする。しかるにこのやうな微分二次形式は、數學的に更に一般化せられれば、一般的同次 (uniform) 二次形式となると同時に、夫々それに相當する係數をもつことになる。すなはち $ds^2 = g_{11}dx_1^2 + g_{22}dx_2^2 + g_{33}dx_3^2 + g_{44}dx_4^2 + 2g_{12}dx_1dx_2 + 2g_{13}dx_1dx_3 + 2g_{14}dx_1dx_4 + 2g_{23}dx_2dx_3 + 2g_{24}dx_2dx_4 + 2g_{34}dx_3dx_4$ の如きものが、その一般式である。g は「世界」空時點に相對的なる量であり、從つてその點の座標の函數であつて、いはゆるテンソルと稱せられるものであるが、それは特殊相對性論的「世界」に屬する限り、0 又は「1」の定數を不變的にその値とするのであるけれども、一般相對性論的加速運動の「世界」に於ては可變的となり、それに從ひ「世界」空間は曲率正の曲空間となる。そこでアインスタインは、一般相對性論的「世界」に於て、すべての「世界」座標系に對し一様に妥當する如き自然法則を表はす方程式、すなはち任意の置換に對して共變的なる方程式を求めて、リーマンを始め純粹數學者の豫め發展せしめて置いたテンソル解析、絶對微分學の結果に基づき、一般共變式を決定したのである。かくして力學は純粹數學、幾何學を、みづから固有の原則に依つて選擇し規定し、その限りに於て力學即幾何學の理想を實現した。その具體的なる成果が、すなはち一般相對性論に外ならない。巨視的自然の力學はこの理論に於て、最高の完璧に達せんとしたものと考へて差支ないわけである。エッディントンがアインスタインの萬有引力の法則をもつて、すべての力學の法則を包括する最高の法則であるとしてつたのも (Eddington, op. cit. p. 139) その意味に於て正しと思はれる。

ト

數學が上述の如く専ら物理學の手段方法として、單に後者の實用主義的立場からその可能性に從ひ選擇採用せられ

ることは、自然發生的事實であつて、なんら非難すべきことではない。しかし哲學の立場から一層深く考へると、ここに止まるわけにはゆかぬものがある。何となれば、立場の轉換なくしてただ在來の制限を除くだけで、特殊相對性論的「世界」から、これと反對ないし矛盾の對立をなす一般相對性論的「世界」へ移ることは、上來私の論じた如くとうていできるものではないからである。兩者の聯絡には、矛盾の交互否定即突破緊張の辯證法的統一がなければならず、その突破超出には、特殊の立場の內的矛盾に由る没落破滅がその一般的立場に於ける復活緊張への媒介とならなければならぬのである。具體的にいへば、特殊相對性論の立脚するところの經驗論は、地球の廻轉運動が相應すると思惟せられるところの恒星群の圓運動を更に相對化するために、遂に無窮遠に位置するにより存在即非存在といはれるべき、非經驗的假説的概念を導入承認しなければならぬわけである。これはすでに前にも指摘した通り、明白なる立場の矛盾ないし顛倒でなくして何であらう。一般相對性論の經驗論徹底とアインスタインにより思惟せられた數學的形式論的擴充とは、決して連續的に一方から他方へ推移せられるわけのものではない。實は經驗論を否定顛倒することを通じて、始めて超越的に後者の先驗論的構成が達成せられるのである。特殊相對性論から一般相對性論への擴張は、決してふつうの制限撤廢に依る同一性論理的一般化によつて行はれるのではなく、前者の否定超越が後者を實現せしめるといふ辯證法に由來するといはなければならぬ。單に「世界」空時の間隔不變を表はす微分二次形式を、數學的形式論に依り一般化することは、之を被ひ隠して、問題を問題としてあらはならしめなかつたのではないか。しかしその間には矛盾と顛倒とがあり、従つてその止揚統一は、辯證法的否定媒介に依る外なかつた筈である。この否定的媒介こそが、特殊相對性論的「世界」の雙曲線的空間性ないし平直空間性に對し、反對對立或は矛盾對立をなすリーマン幾何學の楕圓的空間性を、一般相對性論的「世界」の性格として必然なるものたらしめるのである。けだしその純粹空間としての理想的性格はまさに、經驗的なる特殊相對性論的「世界」の否定的媒介としての役目を果たすために必要なる條件、たるのでなければならぬからである。物理學の立場から數學的形式主義に

基づき採用せられたものと思惟せられるところの、一般相對性論的「世界」のリーマン空間性は、この理論の確立に對し、決して單に經驗論實證主義の立場から便宜上採擇せられた假定ではない。それは辯證法的必然性をもつて歴史主義的に自覺決斷せられた先驗的規定たるのである。しかしそのいはゆる先驗性は、ボルツマンの『力學原理』に於ける如く經驗に對し二律背反的矛盾を残すものではなく、飽くまで歴史的に經驗と媒介せられるものでなければならぬから、その規定はどこまでも經驗と相對應せしめられることを實驗行爲に對して要求し、それ自身實驗に負課せられるものと解せられるのである。リーマン幾何學に從つてテンソル解析に依り展開せられた一般相對性論は、決して單にいはゆる先驗論的構成に止まるものではなく、同時にその幽微なる數學的展開は、經驗と媒介せられ實驗觀測と相關性を保たしめられる。本來純粹數學と經驗との中間に位置して、兩者の媒介をなすべき任務を課せられたところの力學は、その構造上歴史的であり、その理論の内容に觀測主體の行爲自覺を顯はに盛るものである以上は、當然に辯證法をその構成原理とするものでなければならぬのである。一方に力學を先驗論的構成に化して數學の一分科たらしめようとする傾向のあるのは、明に力學の固有性否定を導く危険の存在を思はしめるものであると同時に、他方力學を純粹に經驗記述たらしめ實證主義に終始せしめようとする經驗論もまた、力學の學的性格を否定するか、或はみづから經驗論を拋棄するか、ディレンマに陥ることを免れない。ただ辯證法的に兩者を媒介し、交互否定即突破緊張の統一を實踐する歴史主義の立場のみ、能く力學を確立すると思はれる。その現在に於ける最も具體的な成果が、すなはち一般相對性論に外ならぬといふべきであらう。その有する具體性には、古典力學の場合に認められなかつた更に特別の證左があるのである。次にそれを指摘しよう。

古典力學の一應の批判的完成ともいふべきものとして、ボルツマンの『力學原理』が、古典的地位を認められた一代の名著であることは、今まで私の幾度も觸れた所である。この書の中に彼は、古典力學的原子論を支持して、之を非經驗的といふ理由の下に斥けるところのいはゆる現象論學派、ないしエネルギー論學派に反對したことは、顯著な

る事實である。彼の論集 *Populäre Schriften*, (1905) に於ては、更に活潑なる批判と論争とを展開して原子論のために奮闘した。彼が熱力學氣體運動論の最も有力なる組織者であつたことを思へば、これは當然の努力であつたわけである。實に彼は原子論の上に確率統計的方法を建てて、これらの物理學的部門に新しき時代を開いたものといれる。しかして確率統計の方法が、經驗的事實と先驗的構成との間に、實在的即觀念的なる綜合統一を企圖するものなることを思ふならば、彼の立場が批判主義的であつたと私のさきに解釋したゆゑんは、この理由によつても當然に首肯せられるであらう。彼が今日の原子物理学の確率統計的方法に路を開いた最も有力なる先驅者の一人であつたことは、隠れもなき事實であると思ふ。ところで彼は、このやうな古典的統計力學を建てるのに、原子（むしろ物質分子）の古典力學的モデルを用ゐたことは、右の論集に収録せられたマクスウエルの電氣氣學の敷衍や、熱力學第二法則の解説などの明に示す所であつて、彼の主張した原子論は、かかる力學的模型の比論を、物理学理論一般の構造と看なすための不可缺條件であつたのである。かくて彼の古典力學的原理が、經驗の補足としての先驗的構成に對する支柱であつたことは明白である。しかしそのやうな、經驗と先驗的構成との綜合が、古典的遠隔作用の力の概念に於て、内の二元の分裂といふ破綻を示すことはさきにも示した通りである。これはカントの批判主義が、なほ實體としての物自體の概念を殘留せしむるに由つて、獨斷論を完全に脱却するに至らなかつたものであると評せられる如く、ボルツマンの批判主義的力學體系をも、實體的原子概念の保存に由つて、なほ獨斷論の殘滓を留むるものたらしめたものであるといはれても、やむを得ないであらう。この不徹底を清算するには、原子の實體的存在を否定して、原子を先驗的世界構成の契機と化し、「世界」の形式的構造そのものに固有なる規定と考へる外ない。かくして始めて獨斷論的假定を脱却し、すべてを経験に媒介することができるのである。ところで今日の新量子論に於ける素粒子は、もはや實體としての原子を意味せず、「世界」構成の形式的要素の非連續的不可分統一を意味する。それは對立契機の矛盾的統一として、不確定性を内含する辯證法的客觀即主體の個體的存在である。従つて之を要素とする確率統計

も、位置・運動量の相關に由る時空的記述の不確定性に基つくものとなり、新しき統計力學は實體的でなく機能的なるものとなる。そのやうな素粒子論の形式的構造が相對性論によつて準備せられるといふことこそ、私の前著に於ける提説であつたわけである。

上述した所に據れば、一般相對性論は、ボルツマンの力學に於ける實體的原子の遠隔作用に伴ふ破綻を、二律背反として辯證法的に超越突破すべく、遠隔作用力に加速運動を置換へ、かかる加速運動の一種として圓運動に附隨する惰性と解せられるところの、いはゆる遠心力を、遠隔作用力としての引力に等價相應するものと解釋して、先驗的構成を經驗に媒介したのである。かくてそれは、經驗と獨立なる先驗的數學的理想像として、經驗を規制しながら、しかも自らに經驗を滲透せしめるところの媒介原理であるといふことになる。經驗に立脚する特殊相對性論の雙曲線幾何學的「世界」空間が、純粹空間と看なさるるリーマン空間の、楕圓幾何學的構造と反對對立をなしつつ、しかもこれと否定的に媒介せられ、辯證法的に統一せられる發展の歴史的自覺が、すなはち一般相對性論に外ならないと解せられるわけである。それが巨視力學の現在に於ける最も具體的なる段階と考へられるものであるゆゑこそ、私の上來示さうと試みた所である。しかもまたそれが、相對性理論の一般形態として、最近の著書に私の示した如く、量子論との統合を自らの側から準備するものであるとするならば、その統合こそが物理學の世界像の具體的なる完成に相應するものであることは、もはや疑を容れぬ所であらう。

ところでここに問題となるのは、特殊相對性論的「世界」の複素數的構造が、一般相對性論的「世界」に對しいかなる意味を有するかといふことである。前に私が、この論文の第三の問題として掲げたもの、これに外ならない。私はすでに前著に於て、複素數的構造が特殊相對性論的「世界」の必然的なる規定に屬することを主張し、時間の雙曲線的構造は、「世界」の空時的統一が否定媒介的でないければならぬことを必然に歸結せしむるが故に、「世界」は單に實數的に構成せられるのみでは抽象性を免れず、之を具體的ならしめるためには複素數的であらねばならぬゆゑんを

述べた。さて私はその書中に示した所に據れば、複素数の實數に異なる最も顯著なる特色は、前者が虚數要素として自己否定の契機を含むに依り、自己自身に於て否定媒介の發展をなす動的體系として深きをもち、從つて後者に於ける如く函數が二つの數系列の外的對應關係として思惟せられるのでなく、複素數體系自身が內的に對立媒介を含みて、複素函數をみづからの内より自發的に發展せしめるといふことであつた。それであるから、特殊相對性論的「世界」の複素數的構造は、おのづから「世界」の自己否定的媒介統一なることを意味するのであつて、その曲率負なる雙曲線的要素は、交互乖離背反的なる二方向の、往即還なる圓環的統一でなければならぬ筈であつた。ところでこの圓環的統一こそ、リーマン空間的なる一般相對性論的「世界」の構造に外ならない。之を普遍として、特殊相對性論的「世界」の特殊にそれを媒介するのは、すなはち複素函數論の辯證法的要素として自己否定的統一たるべき個體でなければならぬ。かくして一般相對性論の「世界」が普遍でありながら、それが具體的普遍として特殊「世界」に媒介せられるために、ふつうの意味で有の立場の普遍と特殊とが同一性論理に従ひ包攝關係を有するのとは異なり、絶對無の無限の深底から、自己否定的無の統一として發展するところの個體の歴史的實踐こそが、まさに兩者を媒介すべきものなるゆゑんを知ることが出来る。これにより、一般相對性論的「世界」の普遍性は、特殊相對性論的「世界」に當然附随するところの、複素函數論の個體的收斂圓的構造を媒介にして、始めて具體化せられるわけである。前者に私の解釋した、複素函數が收斂圓を、非連続即連續的要素として、解析接続に於て自らを發展せしめるところの歴史的運動こそ、一般相對性論的「世界」の具體相でなければならぬ。一般相對性論は單に運動の相對性に係はるのでなく、力を相對化しようとするものであるから、表面に止まらず内部深底から發展する局所的渦動的統一を、その「世界」の構造とする筈である。今やその論理的規定の三一的辯證法的否定媒介の關係は、殘なく確定せられたと思ふ。

かくして、相對性理論の複素函數論的構造が根據付けられた結果、私が最近の著書の主題としたところの、新量子論との調和を準備すべき、相對性理論の複素函數論に基づく解析接続的構造は、今や、ただに前者に於ける如く、特

殊相對性論に相對性理論全般を代表せしめるため、結果に於て一般相對性論を無視する如き抽象性に陥ることを免れるだけではなく、却てそれが一般相對性論の必要なる條件となるゆゑんを示したことにより、一貫的にその論理的關係を開明し得たものと思ふ。さきに述べたボルツマンの古典統計力學の實體的原子論を否定して、先驗的世界構成の形式的要素を、機能的原子として立する新量子論的統計力學こそ、相對性理論の複素函數論的構造と相俟ち、もつてその具體性を發揮するものでなければなるまい。(一九五五、七、一〇)

(筆者 京都大學名譽教授〔文學部、哲學〕)

(丁)

THE OUTLINES OF THE MAIN ARTICLES IN THIS ISSUE

The outline of such an article as appears in more than one number of this magazine is to be given together with the last instalment of the article

Dialectic of the Theory of Relativity

by Hajime Tanabe

In his recent work, "An Inquiry into a New Methodology of Theoretical Physics", the writer of the present paper argued in the first place, that the system of complex numbers, unlike the system of real numbers, has the moment of self-negation in itself, so that a function in the former system is to be interpreted not in terms of the external relation of correspondence between the variables, as in the case of the latter, but in terms of an internal self-development. Complex numbers themselves as a whole are thus understood to develop dynamically into functions of the complex variables. The writer asserted also that the analytic continuation of the functions of complex variables in circles of convergence, based on the so-called Cauchy-Riemann's differential equation, represents the structure of spatio-temporal union of the "world" of relativity theory, and that the clue to the solution of the present-day problem of the theoretical physics of uniting the relativity theory and the quantum theory is to be found on the very side of the relativity theory. This contention is founded upon the fact that time in the relativity theory is conceived to be the unity of contradictories, i. e. the unity in the present, of the past and the future which are opposed to each other by mutual negation, and thus it is represented on imaginary axis, while space is represented on real axes. Now this structure of the "world" of relativity theory, as represented by the system of complex numbers,

was what had already been revealed by the special theory of relativity itself or the theory concerning the relativity of uniform translatory motion, without the arrival of the later-developed so-called general theory of relativity which includes the theory of universal gravitation. This is the reason why the present writer treated only the special theory of relativity, and not the general theory, in the said work.

The relation of these two theories, however, is not so simple as the terms "special" and "general" might suggest. The usual passage of the special (the particular) to the general is what is called generalization, i. e. the "extension" of species to genus performed through the removal of the restriction on the former. But the "expansion" of the special theory of relativity to the general theory of relativity is neither a mere generalization nor an extension. It requires the reversion of the standpoint. The expansion of the relativity theory is therefore considered to have been possible, not with the analytic logic in which species can be formally extended to genus, but only by following the line of dialectic as a logic of the unity of contradictories. But then, might not the above assertion that the structure of the world of the special theory of relativity is adequately represented by complex numbers be denied by this reversion of the standpoint? Besides, the relativity theory which present-day physicists seek to integrate with the quantum theory is not limited to the special theory, but is expanded to the general theory. Thus the said assertion of the present writer might seem to be brought to a dilemma. It is the aim of this paper to try to reveal the dialectical structure of the relativity theory itself and thus to break through this apparent difficulty.

This task comprises three stages or three themes. The first theme to be maintained is that the relation of the special and the general theories of relativity is, as explained above, not an identity-logical relation between species and genus, but that it pre-supposes a reversion of the standpoint; it is not a subsumption but a dialectical relation and

the unity of contradictories. Of course the rotation which is treated in the general theory of relativity is but a sort of motion ; but it is something which corresponds as the equivalent to the circular motion with acceleration, in distinction from the uniform translatory motion treated in the special theory of relativity. The former is thus regarded as a universal which comprehends the latter in itself as a particular, and so it would be natural that the special theory of relativity is expanded to the general. But what the writer means by the term "natural" is the "psychological naturalness" in Einstein's sense of the term and not the "logical necessity". This expansion could only be accomplished through a volitional decision. Namely, it needs a volitional act to overcome the difficulty of the reversion of the standpoint. To speak more concretely, while the "world" of the special theory of relativity is the so-called hyperbolic space whose space curvature is negative and in which it is possible to let pass through a point not on a given straight line an infinite number of lines not intersecting the given line, the "world" of the general theory of relativity is the elliptic space whose space curvature is positive and where there is no parallel line and straight lines always intersect. These two make indeed a contrary opposition. This is why these two standpoints are said to be contradictory to each other. To clarify this point makes the first stage of the discussion. In the second stage, this opposition is examined more thoroughly.

Why, we should ask, is it that, though the uniform translatory motion treated in the special theory of relativity and the accelerated motion or rotatory motion treated in the general theory of relativity seem apparently to have the difference of the particular and the general, these two motions should be explained from the opposed standpoints as stated above? It is because, the writer asserts, while in the former the relativity of motion is self-evident by experience and we need not go to the back or the depth of experience, in the latter force which can not be directly experienced is supposed to be in the back or the depth of

experience as the cause of the change of the motion which is called acceleration. Moreover, that the existence of force, in spite of the fact that it can not be directly experienced, is the reason why we understand the rotatory or circular motion as the absolute, unlike the uniform translatory motion, leads us inevitably to the antinomy between our demand of regarding force as relative and that of admitting its absoluteness. In the general theory of relativity, seeking to expand the theory from the relativity of the uniform translatory motion of the special theory of relativity to the relativity of force, we must run on the rock of the absoluteness of force. The theory of relativity can establish itself only when it breaks through this difficulty.

The idea of force has been a stumbling block of modern dynamics. The 19th century methodology of dynamics has been developed with this antinomy as its motivation. Though the change of the state of motion can be directly experienced, the demand to seek the cause of the change and to explain it can not be satisfied unless we assume the action of force which does not belong to experience. This is why the phenomenon of motion has been thought to have a close connection with the action of force. Especially when force was thought to act among all sorts of bodies as universal gravitation, and moreover when the magnitude of force was represented in a very simple proportion to mass and distance, the Newtonian classical dynamics was established as dynamics of the whole inorganic nature. It goes, however, against positivism, the chief assertion of modern science, to try to explain the phenomenon of motion in terms of force which can not be directly experienced. So in the latter half of the 19th century, in the tendency towards the thoroughgoing purification of scientific thought, a movement arose, that of the Descriptive School as represented by Kirchhoff and Mach, in which they expelled the idea of force from dynamics, rejected the explanation by it, and regarded only the clear and distinct description of the experience of motion as the task of dynamics. Especially Mach, making

wide and deep researches into epistemology and methodology, published the noted work on the history of mechanics which had a great influence on the succeeding thinkers. Einstein believed himself to be under the influence of Mach, and the relativity theory is regarded to be a development of Mach's positivism and empiricism. Against Newton, who took the rotation of the earth to be an absolute motion, Mach contended that it is but a motion relative to the fixed stars. And this idea was adopted into the general theory of relativity.

But if we pursue this way of thinking still further, we will have to interpret the motion of the heavens of fixed stars as the relative motion to a matter outside of them, and therefore at last we will have to be led to a dilemma of considering its motion to be a motion relative to a matter which may be regarded non-existent lying at an infinite distance not to be directly experienced by us. This is an antinomy: in making the empiricism thorough-going, we have to transcend the experience and turn ourselves to an a priori conception. Dynamics is to be regarded as a unity of duality of experience and the a priori, which Kant considered fundamental in his criticism. Boltzmann's "Vorlesungen über die Prinzipien der Mechanik" (1897-1904) is a masterpiece representing this unity.

Boltzmann, who in mechanics is comparable to Kant in philosophy, thus overcame Mach's empiricism which was in the tradition of Hume. But as Kant could not get rid of the remains of dogmatism because of the assumption of things-in-themselves, Boltzmann could not make his criticism thoroughgoing by reason of his assertion of the existence of atoms as the substance and of his assumption that their actions conform to the laws of classical dynamics. Hence mechanics needed to pass Hertz's monistic standpoint, on which the idea of force was rejected and replaced by the connection of masses, and ultimately reduce to the total compulsory motion—a standpoint comparable to Schelling's of intellectual intuition. Boltzmann's immanent dualism which is comparable to

that of Kant is brought, by way of Hertz' system, to a dialectical unity. Comparable to Hegel, who is a synthesis of Kant and Schelling, is Einstein in the general theory of relativity, who can be understood to be a synthesis of Hertz and Boltzmann in the history of mechanics. There in Einstein, the apriori conception is not taken to be independent of experience and onesidedly to determine the latter, as in the case of Kant and Boltzmann, but is thought to presuppose the experience of the past as the medium, and to be determined by the act of the present which innovates the past experience towards the future. Here the apriori and experience determine each other *historically*, and mutually interpenetrate. Hegel's characteristic is found indeed in this historicistic dialectic. The general theory of relativity is near Hertz's mechanics in a way, but it is to be compared to Hegel's thinking in that Hertz's view of totality is not here taken and that, based on local observations, the self-consciousness of the act of observation in the historical connection is theorized. The development of that theory by the aid of the tensor analysis may be analogous to the development of Hegel's logic from his Phenomenology of Mind.

So far the outline of our second theme. Let us now state our third theme in brief. It concerns the problem how the structure of the "world" of the special theory of relativity represented by complex numbers, or its structure of hyperbolic space, is preserved and comprised in the "world" of the general theory of relativity, i.e. the elliptic space, which is contrary to the hyperbolic space. This problem would meet an unsolvable difficulty, if the relation of the special and the general theories of relativity were thought to be that of species and genus in the identity-logic. If so, in the "world" of the special theory of relativity, the structure represented by complex numbers would have to be abolished in order that that "world" might be comprehended in the "world" of the general theory of relativity. In other words, the elliptic space of the latter would not comprehend the hyperbolic space

of the former without ruining itself. Thus from the view of the identity-logic, the special and the general theories of relativity contradict each other and can not be united. In order to make this unity possible, we must recognize a reversion of the standpoints of these two, convert the contradiction into an absolute negation, admit the contradiction as a contradiction, make it a moment of mutual tension, and bring it to a unity. This conversion-negation-resurrection-unification is just the act of the individual subject. This self-contradictory unity is indeed the individuality which unifies arbitrary paths of convergence as an open set into a circle of convergence, along the path of a function, as seen in the theory of functions of complex variables. As the relation of the special and the general theories of relativity is not equivalent to that of species and genus of the identity-logic, and contains a contradiction between them, the individual subject should be the medium to perform the negation and reversion. That is to say, only the dialectical trinity of genus, species and the individual can bring these theories into completion. Since the self-contradictory unity of the individual subject as the nucleus of this trinity is the discontinuous continuous unity of the circle of convergence, the medium to unite the special and the general theories of relativity should be considered to be the theory of functions of complex numbers. This is the point of the third theme of this paper.