

相對性理論をめぐる認識論的諸問題 (承前)

近 藤 洋 逸

七

周知の如く、相對性理論はアインシュタイン、グロスマン等によつて、「特殊」から「一般」へと擴張された(一九一五年)。

ところでこの擴張は、如何なる根據から、可能となり、必然となつたのであらうか。

特殊相對性理論では、既述の如く、光速度恒常則と特殊相對性原理が基礎となつてゐるのであるが、一般相對性理論に於ては一般相對性原理のみが基礎におかれる、とカッシラーは言つてゐる。^{*}そして彼はこの原理を形式的な原理であると稱し、更にこの形式性を先驗的形式へと結び付けることによつて、彼の新カント主義の「基礎付け」に利用する。

また彼は光速度恒常則を實質的なる原理と解釋するのであるから、相對性理論の「特殊」から「一般」への進展は、形式的原理が實質的原理よりも優位におかれることであり、かくしてこの進展のなから形式主義の勝利を導き出すのである。^{*}

* E. Cassirer, Zur Einsteinschen Relativitätstheorie, S.

18. 以下断りなき限りカッシラーからの引用文の頁数は本書のそれを示すこととする。

以上のカッシラーの意見に於て、特殊相對原理が形式性を背負はされ、それが更に先驗的形式と結合されてゐるのであるが、このことは、前節までのわれわれの批判からも明かであるが、全くの誤謬である。故にこゝで問題となるのは、相對性が一般運動にまで擴張され

た一般相對原理が、單なる普遍性を求める形式的要求にのみ根ざしてゐるのか、それとも一般相對原理の本質には自然自身の深き本性が反映されてはゐないか、等々の疑問である。即ち「特殊」から「一般」への相對性理論の發展の根據は、一般相對原理の本質は何か。

「特殊」から「一般」への發展の動因は、言ふまでもなく、「特殊」自身のうちに含まれてゐた。

熟知の如く、特殊相對論的力學の劃期的成果の一つとして、慣性質量の速度への依存、その可變性がある。これは慣性質量を、慣性を、孤立された個々の物體に固着された固有の性質と考へたニュートンの見地を打破し、慣性が物體の相互的運動狀態によつて規定されることを明かにし、慣性の相對化への道を拓いたのである。

ところがこのことは、慣性質量と重力質量との數量的一致を確めたエートヴェス等の實驗と矛盾する。重力質量が物體の速度に依存することは、ニュートン力學に於ては勿論、特殊相對性理論に於ても認識されてはゐなかつたからである。この矛盾は何によつて解決すべきであ

らうか。

かくてニュートン以來の重力理論の吟味が必要となり、重力と慣性力との統一の把握が、至上命令となつてくる。

慣性の力及び重力は等速度運動及び加速度運動の問題と切離せない。慣性は等速度運動を保持しようとし、重力は等加速度運動をひき起す。ところで、等速度運動と加速度運動との區別は、ニュートン力學に於ては、絶對的なものと考へられてゐる。それは孰知の如く、慣性系を基礎としてゐる。即ち外力の作用しない物體が等速度運動を演ずる舞臺として、慣性系が考へられてゐたのである。

古典力學、否特殊相對性理論に於てさへも、等速度と加速度との區別が、慣性系を基礎として絶對化されてゐた。即ち、一方に於て、速度の相對化が慣性系相互の間で行はれると同時に、他方に於ては、加速度は慣性系を土臺として絶對化されてゐた。

かくして慣性系と、これに加速された非慣性系との間には絶對的區別が設けられ、ニュートン力學の運動法則

は前者に於てのみ成立し、惰性系から非惰性系に變換するためには、適當の外力を、例へば遠心力、コリオリの力を附加せねばならなかつた。

ところで前述の如く、特殊相對性理論の内部から胚胎して來た矛盾は、重力と惰性の力との統一的把握を、従つてまた加速度と等速度との、故にまた惰性系と非惰性系との統一を必至としたのである。

この要求に應へるには、これらの間に絶對的區別を惹起した惰性系そのものの吟味がなされねばならない。

惰性系は物理的に意味はあるものの、その成立が全く近似的のものにすぎぬことは既に述べた。惰性系が意味あるためには、まつたく外力の作用しない物體を考へねばならないが、外力の影響なき物體など現實の世界に於ては近似的にしか考へられぬからである。ところですべて物體の作用は、相互の距離が増加するにつれて、弱くなるから、相互の間隔の極めて大きい恒星系はほゞ等速度運動をなし、従つて近似的意味に於ては惰性系と考へ得るのである。

だがこの近似的性格そのものから惰性系が脱却する

ことは不可能であらう。完全に外力から自由な物體は存在しないから。従つて嚴密な意味に於ける惰性系はイデー的なものとならざるを得ない。併しながら問題は、この嚴密な惰性系への近似が果して嚴密に一義的に實際に可能であるか否かにある。

加速度、廻轉を絶對的に規定するための惰性系は如何に定めるべきか。

いま相等しき二物體が相互に萬有引力を以て作用するとき、此等の物體は相互の力の作用のために加速度を以て運動する。ところでニュートンの第三法則(作用反作用の法則)によつて作用と反作用が等しいから、兩者の加速度は互に大きさが等しく、方向は反對である。然してこのことは或座標系に對してのみ、即ち兩物體の質量の中心に靜止せる座標系、又はこれに對して等速度で動く座標系に限つて可能である。

また二個以上の物體の運動體系をニュートン力學から論ずるには、それらの相互に作用する力の廻轉能率を等しくするとこの所謂不變面をきめねばならない。

ところでこれらの質量中心、不變面は、有限の物體系

では確定されることは容易であるが、限りなき全宇宙の物體系に對して如何にして定め得るであらうか。質量中心、不變面等が嚴密に規定されて始めて慣性系を論じ得るのであるが。

われ^レがニュートン力學の觀點から天體の運動を論ずるには、斯る觀測の立脚點を見出さねばならぬのであるが、このことは、如何に精巧な望遠鏡を以てしても全宇宙を觀測し得ないのであるから、全くの不可能事に屬する。しかもこの全宇宙によつて決定さるべき管の慣性系が、現實に觀測される有限な物體の體系そのものから、その極限の系として、逐次に近似されるとさへも保證されないのである。こゝに慣性系の非現實性がある。

ニュートンは廻轉運動にあらはれる遠心力を、絶對空間に由來するとしたが、この絶對空間の思想は上述の加速度的の場合と全く同様の困難に陥る。

マッハは絶對空間を宇宙の全物體系におきかへ、慣性を物體の相互作用とすることによつて、ニュートン力學を合理化したのであるが、なほ未知の全宇宙系を廻轉の絶對性の土臺としてゐることに於て、未だにマッハは

ニュートンから完全に解放されてゐたとは言へない。

だがマッハが廻轉を全宇宙の物體系に對するものとしたことは、廻轉を、慣性を、相對化したものとして、ニュートンからアインスタインへの重大なる媒介の役割を果した。然しながらマッハがアインスタインに到達するには、全宇宙系なるアルファ體的存在を止揚する必要がある。即ち絶對的性質をもつ非現實的な座標系(慣性系)を否定し、座標系を現實のうちにつし、實測可能の物質相互の間の速度、加速度、廻轉等のみを對象としなければならぬ。かくして慣性系の非現實性は、必然的にすべての座標系の相對化の要求に到達するのである。

慣性系は、既述の如く、嚴密な意味に於ては假構にすぎぬが、然しその近似的成立は物理的意義をもつてゐる。だから慣性系は近似的に成立すると考へるならば、慣性系の絶對性の近似性は意味あるものと言へるであらう。ところで古典力學では、慣性系から非慣性系への變換は、適當な力の附加、例へば遠心力の添加によつて、嚴密に規定されてゐるのであるが、然るに特殊相對性理

論に於て惰性系相互の變換さへも困難を提出したことを想起するならば、相對性理論を通過しつゝあるわれわれにとつては、惰性系から非惰性系への變換の表示が異常の困難を惹起するであらうことは想像に難くない。故に惰性系を中軸として簡單に展開する古典力學の場合とは異つて、われわれは惰性系から非惰性系への變換そのものを、第一に探求さるべき課題としなければならぬ。

かくしてわれわれは特殊相對性理論を何等かの仕方
に於て非惰性系にまで一般化しなければならぬ課題
の前におかれてゐる。ところで既述の如く、特殊相對性
理論に於て既に惰性質量が相對化されたが、これは加速
度の相對化を、従つてまた加速度系を、すべての座標系
の相對化を要求する。

さて非惰性系が考察の圏内に入りこむと同時に、われわれはこれまでの物理學（特殊相對性理論をも含めて）
が安住してゐたユークリッド的世界から追ひ立てられ
る。例へば、同一軸を中心として相互に廻轉する二つの
座標系 K, K' にて、 K の測度單位で K 自身内の物體を測る

ときは、その空間的關係はユークリッド的であるが、
 K の測度單位で K' の現象を測定するときは（例へば K' 上
に軸を中心として圓を描くとき、これを K の軸心から
見るならば、圓周上の長さがローレンツ短縮するに反し
て、直徑上の長さは短縮しないから、直徑と圓周との長
さの比が圓周率 π とならぬから）非ユークリッド的であ
り、 K から見られる K' に於ける計量的關係は K に對する
 K' の運動狀態の如何によつて變化する。

かくて一定の空間（ユークリッド空間）の、一定の座
標系の、特權的地位は完全に剝奪される。しかも以上か
らも明かであるが、この運命は、一定の空間を、惰性系
を、ユークリッドの世界を地盤とする特殊相對性理論そ
のものの内部に胚胎してゐたのである。

特殊相對性理論に地盤を提供した電磁氣學は、フェラ
デー、マックスウェルこのかた、近接作用の思想を中心概
念としたことは孰知のことである。そして特殊相對性
理論も、同時性の規定の場合からも察知される如く、近
接作用説にバック・アップされてゐる。

近接作用とは要するに事象と事象とが相合し (com-

直接に作用し合ふことにほかならない。アイ
ンスタインも言ふ如く、* およそ事象の時間空間的規定は
すべて事象の時間空間的相合 (Zeiträumliche Koiziden-
zen) に歸着される。例へば質點の運動があるときは、
結局のところ此等質點の相會すること以外は觀察され
得ない。またかく相合し接觸して始めて物理的作用もあ
り得るのである。

またわれ／＼の行ふ時間空間的測定も、われ／＼の持
つ尺度と、測らるべき他の質點との相合、乃至は時計及
びこれと同一場所同一時刻に存在する事件との相合に
ほかならない。かくて近接作用説は自然の本質をよく把
握したものと云はねばならない。

ところで座標系の導入は、此等の事象の相合の全體
の、その法則把握のためである。

各事象に對して變數の組 (x, y, z, t) を時空座標と
して對應させ、二箇の相合する事象には同一の變數値
 (x_1, y_1, z_1, t_1) を對應させる。即ち相合は座標の合致とし
てあらはされる。

いま (x_1, y_1, z_1, t_1) の代りにその函數 (x, y, z, t)

(x', y', z', t') を新しき座標として導入するときは、新舊の座標の
値が相互に一義的に對應させられ、四箇の座標の相等性
は、新座標系に於ても、二つの事象の時空的相合の表現
となるのである。

かくしてすべての物理學的事象は、その謂はヴェ
メントである相合に、座標の合致如何に歸着されるので
ある。ところでフランダエイ・マックスウェルによつて電磁
氣學に於て近接作用が科學化されたことは、右に述べ
た相合を、單なる時空に於ける合致、幾何學的相合に
とゞめず、更に相合を物理的作用の唯一の形態にまで
たかめたのである。即ち物理的作用を物體相互の直接
の、または場を媒介としての間接的作用とした。

* A. Einstein. Die Grundlagen der allg. Relativitätstheorie.
§ 3.

しかも相合は、座標系の物理的事象に對する外面性を
明かとする。事象は (x_1, y_1, z_1, t_1) によつても、 (x, y, z, t)
 (x', y', z', t') によつても記述されるからである。

勿論、外面性とは完全に無縁であることではない。異
なる座標系の導入によつて、異なる法則を得ることがあ

るから。(例へば古典力學における惰性系と非惰性系を想せよ。)座標系の選擇の如何は、それを通じて把握される物理的事象の側面の相異を惹起するから。

だがそれにも拘らず、座標系はあくまでも物理的事象の他者としてそれに外的に關係する。しかもわれ／＼はこの外的關係を通じて、それを媒介として、事象それ自身の本質の把握に向ふのであるが、この座標系の外面性は、座標系の相對性を、同格化を要求する。まさに外面性なる資格に於て。

相對化、同格化とは各座標系にて法則が同一の形であらはされることである。そしてこのことが可能であるのは、かの法則が對象自身のもつところの、觀測から獨立な客觀的性質、その本質の把握であるからである(客觀原理の貫徹)。かくして座標系の對象の本質に對する外面性からして、またも座標系の相對化同格化の要求が必至となる。

ところでこの要求は、アインシュタインによると、アプリアオリに充足されるものではない。それは「運動」とか、「座標系」とかの概念に含まれてゐて、そこから導き出さ

れる如きものではなく、その成否はまつたく經驗によつてのみ與へられると。³²

然らば如何なる經驗によつてか。われ／＼はアインシュタインの右の言葉を次の如く補足する。座標系から獨立な客觀それ自身の本質の、しかも座標系を媒介としての把握によつて。これは、認識が現象の表面からその内部へ、本質へと深化するに、應じて始めて可能となる。

(客觀原理の貫徹)

* Einstein, 'Über die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie. 1921. S. 41.

すべての座標系の相對化は具體的には如何なる過程を通じて實現されるであらうか。アインシュタインは有名な箱實驗から歸結される重力と惰性の力との相等原理 Äquivalenzprinzip の提示によつてその實現の第一歩を踏み出した。

此處でまづ注意すべきは、相等原理が單なる要請でないことである。精密なエートヴェスの實驗によつて重力がすべての物質に無差別に同一の加速度を與へること、そしてこのことから全く相異なる方法で規定された二

つの質量、即ち慣性質量、二つの物體に同一の力が與へる加速度の逆比として二物體の慣性質量の關係がきまる)及び重力質量(これは同一の重力場で二物體に及ぼされる力の比として規定される)との數量的同質性が歸結されるのである。^{*}

この數量的相等性は既に古くから知られてゐたにも拘らず、その成立の根據は古典力學ではまったく無視されてゐたのである。アインシュタインの語を借ると、「それはこの相等性の命題を *reaffirmation* したが、然し解釋しなかつた。」^{**}

だが科學にとつては、數量的相等性は本質の相等性に基けられねばならない。

ところでこの本質的相等性は、「箱實驗」からもうかゞはれるが、座標系を慣性系から非慣性系へと擴張して、はじめて把握された。

いまKを慣性系とするときは、相互に充分離れた物體はKに對して加速度を持たぬ。次にKに對して等加速された座標系K'に就ては、すべての物體は平行に相互に等しい強さで加速される。そしてこのことは、K'に關して

重力の場が存在し、K'が加速されなかつた場合の結果と全く同一である。

勿論この判断は重力がすべての物體に同一の加速度を與へる事實を基礎として始めて可能ではあるが。

かくしてK'が静止して重力場が存在すること、Kのみが一つの正當な座標系であつて重力場が存在しないことは、物理學的には同格的に肯定されねばならない。このことをわれわれは狭義の相等原理と呼ぶのである。

即ちKに於ける慣性運動は、K'からは同質の重力場内の運動となり、逆にK'に於ける同質な重力場内の物體の運動は、Kの導入によつて慣性運動に轉化される。かくしてわれわれは慣性の力と重力との本質的同一を座標變換を媒介として認識するのである。何となれば同一の物體の運動が、Kにては慣性運動として、K'からは慣性と重力との結合のもとに於ける運動として、あらはれるからである。

然しながらこの判断の基礎に、物體の運動自身の、座標系から獨立な客觀性が横はつてゐることを忘れては

ならない(客觀原理の貫徹)。このテーゼのもとに於て始めてわれ／＼は慣性と重力との本質的同一性に達するのである。

* ニュートンの運動方程式は重力場にては

$$(\text{慣性的質量}) \cdot (\text{加速度}) = (F) = (\text{重力場の原}) \cdot (\text{重力的質量})$$

である。この式から明かな如く、慣性質量と重力質量が數量的に等しきときのみ、加速度は物體の性質に無關係となる。

** Einstein, Über die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie. S. 44.

ivertischtheorie. S. 44.

慣性質量と重力質量との量的同一性から質的同一性への進展の横杆となる上述の「相等原理」は、同質的重力場は座標變換で消去され、また逆に慣性系から座標變換で作り得ること、そしてこれに依つて生ずる所謂見掛上の力 (artificial force) と同質的重力場に於て生ずる力との、力としての同一性を主張するのである。

ところでこの「見掛上の力」の思想は決して無根據な假構乃至假説ではない。それは先づ場の同質性によつて可能となる。何となれば異質的な力の場合は單なる座標變換では消去され得ないから。そしてまたそれは重力場特有の性質、即ちワイルの言葉を借るとその非實體性的のために、座標系と物體との相對運動のみが認識されることに基けられてゐる。

換では消去され得ないから。そしてまたそれは重力場特有の性質、即ちワイルの言葉を借るとその非實體性的のために、座標系と物體との相對運動のみが認識されることに基けられてゐる。

故に上述の K' が加速系であつて物體が慣性運動するとも、又は K' が靜止して物體が重力場のために加速されたとも考へられるのである。かくてわれ／＼にとつては、物體と座標系との相對運動のみが、従つてまた物體の慣性と座標系のおかれてゐる重力場との統一のみが意味をもつのである。重力及び慣性の力との質的同一性とはまさにかくの如きものにほかならない。そして何よりもわれ／＼は「見掛上の力」が單なる假構でなく、物理的根據を持つてゐることを銘記せねばならない。

相等原理によつて既述のすべての座標系の相對化の、必至的要求は具體化の第一歩を踏み出した。即ちこの原理によつて座標系に對する、加速度運動、廻轉運動の完全な相對化が行はれ、重力場の導入如何によつて同一の座標系が慣性系とも非慣性系とも考へられ、かくて座標系の相對化の第一歩が實現する。

そしてこの相對化の要求は、重力惰性力の同一性の本質的解明を與へ得たことに於て、自己の正當性を實證するのである。かくの如く座標系の相對化の要求は、相等原理と統一されることによつて、重力と惰性の力との量的同一性を質的同一性にまで推轉させ、同時にこのことに於て自己の眞理を提示するのである。かくして重力惰性力の量的同一性、座標系の相對化、相等原理は、齒車の如く相互に噛み合ひつゝ、そして相互に他を根據付けながら、一般相對性理論の全メカニズムを展開して行く。

さて重力と惰性の力との本質的同一性は、前者のもつ外力の性格を惰性の内面的な力との統一にもたらず。

更に「見掛上の力」と自然力としての重力との同一性の主張によつて、相等原理は特殊相對性理論から一般相對性理論への媒介の環となる。即ち物質の分布によつて生ずる自然力としての非同質的な重力場も、その微小域を考へれば、同質的であるから、適當な座標變換のために（此處に相等原理がはたらく）、力の存在しない世界へ、換言すれば特殊相對性理論の世界にうつるからで

ある。

かくの如く相等原理は見掛上の力と自然力との同一性を主張するのであるが、然し他方に於ては物質分布により生ずる自然に存在する重力場と同質的な見掛上の力場は、座標變換によつて區別される。即ち後者は適當な座標變換で惰性系にうつるが、非同質性を本質とする前者にては、このことは不可能なのである。

しかもこの座標變換は同格な座標系間の變換であり、そしてこの同格性は相等原理によつて保證されてゐた。こゝに複雑な統一がある。見掛上の力と自然力との同一性は相等原理によつて主張されるが、しかも兩力の差別性が、相等原理に發する同格な座標系相互の變換によつて明かとされるのである。同一性と差別性との統一が此處に見られる。

かくしてわれわれは或座標系から任意の他の座標系への移行によつて、ただか重力場の變化即ち共變性を認識し得るのである。これをE・R・ノイマンは一般相等原理と呼んでゐる。^{*}

以上によつてわれわれは座標變換に對する重力場の

共變性を知つたのであるが、一般相対性理論の中核である一般相対原理は、自然法則の重力に對する一般的共變性を、即ち重力場が座標變換によつて變化する限りに於て自然法則が變形することを主張する。然らば一般相対原理から一般相対原理への進展は如何にして可能であるか。

* E. R. Neumann, Die Relativitätstheorie. S. 140.

既にわれわれは、特殊相対性理論の重要な成果として、エネルギーと惰性質量との同一を知つてゐた。ところで今われわれは同等原理によつて惰性質量と重力質量との同一を得るのである。

このことからわれわれは次のことをひき出す。——適當な座標系に於てはすべての形態のエネルギーも重くなり、逆にすべてのエネルギー形態も反作用として重力作用を及ぼす。かくして質量とエネルギーは同一となり、前者は一般相対性理論に於ては、後者の特殊な現象形態と解釋されるのである。

ところで周知の如くエネルギーは自然現象のすべてを貫通する普遍的な測度概念であり、自然法則の普遍的

な基礎であるから、重力場に對する自然法則の共變性は、このエネルギーの共變性を媒介として當然にも保證されるのである。

以上は自然法則の共變性の、エネルギーを通じての内容的保證であるが、この共變性はメトリックを通じて形式的にも保證される。即ち測定の標準となる二次微分形式

$$ds^2 = g_{\alpha\beta} dx^\alpha dx^\beta$$

の係数 $g_{\alpha\beta}$ が重力ポテンシャルであると同時に計量的關係を規定する($g_{\alpha\beta}$ が事象相互の interval をあらはすから)のであるから、重力場は計量關係を通じて自然法則(計量關係なき自然法則は存在しないから)に可變性を與へる。

然し $g_{\alpha\beta}$ が不變であることから、 $g_{\alpha\beta}$ は二次の共變テンソルとなり、更にテンソルが座標變換に對して共變性をもつことから、重力場の計量關係を媒介として自然法則に與へる影響も、單なる無規則的な可變性ではなく、共變性を與へるのである。かくて自然法則の重力場に對する共變性は計量關係を媒介として形式的にも保證され

る。

* δ を不変とおくことは單なる假定ではない。アインスタインも言ふ如く、例へば同一元素のスペクトル線が確定した形をもつことから δ を不変とおくのである。

Einstein, Vier. Vorlesungen über Relativitätstheorie.

S. 11. 参照

以上によつて自然法則の重力場に對する共變性は一般的に保證されるが、然しながらわれわれの得る實際の自然法則が果して共變性の條件を充足するか否かは、まつたく其法則が對象自身の客觀的な本質を把握してゐるか否かにかゝつてゐる。

普遍的な自然法則は座標變換のために變るが、この共變性の仕方、即ちその法則そのものは變化しない。これが數學的に表現されるとテンズルの特性となるが、この共變性のもつ不變性、即ちその變化の仕方、そのものこそ對象自身の本質を表現するものにほかならない。かくの如きすべての座標系に對する自然法則の共變性の意味に於ける不變性を主張する一般相對原理は、テンズル計算の武器を以て、座標系のもつ客觀への外面性を克

相對性理論をめぐる認識論的諸問題

服するのである。即ちすべての座標系に對する對象の關係の變化をテンズル方程式で與へ、これによつて對象と座標系との外的關係を止揚し、對象自身の座標系から獨立にもつところの本質を把握する。

かくの如く一般相對原理には客觀原理が本質として貫徹されてゐる。それはすべての座標系に關して對象を把握すること、即ちすべてのアスペクトからする對象の全面的認識を主張するのである。

例へば一般相對性理論に於ける自由質點の運動方程式はテンズル方程式としてあらはされる。それは最小作用原理をあらはす變分方程式

$$\delta \int \delta s = 0$$

を解いて求められる。即ち

$$\frac{d^2 x^i}{ds^2} + \left\{ \begin{matrix} i \\ jk \end{matrix} \right\} \frac{dx^j}{ds} \frac{dx^k}{ds} = 0$$

である。この方程式は測地線の方程式とも呼ばれ、特殊相對性理論のユークリッド的世界に於ける直線の一般相對性理論に於ける擴張にほかならない。

右に述べたテンズル方程式の第一項は慣性を、第二項は萬有引力(重力)をあらはしてゐる。そしてこの兩項の

統一に於て始めてテンズルが成立することを示すこの方程式は、重力と惰性の力との同一を導來する既述の相等原理からの當然の結果と言へるであらう。

この方程式の導出に於ては、この不變を前提とするが、この實在的な根據に就ては簡單ながら既に註のなかで述べておいた。

また自由質點の經路が測地線（この曲線の特質はその線に沿ふてはその曲線の方向が變らぬ。また充分に近接せる二點間を結ぶ測地線はその二點を結ぶ最短線である）で與へられてゐることは、特殊相對性理論に於てこの經路を直線として形象的に把握することよりも、更に深く對象の本質そのものに喰ひこんでゐる。惰性系に於て直線を描く自由質點も、加速系からは、従つてまた重力場では曲線となる。然しこの變化によつても直線のもつ最短線の性質と方向の不變性は保存される。即ち直線の測地線としての性質は座標變換によつても不變である。それは自由質點の經路の本質なのである。

以上の如く一般相對性理論に於ては、座標變換の機能を最大限に發揮することに於て却て對象の本質へ浸透

し、かくして例へば惰性と重力との統一にも到達するのである。

一般相對性理論の重要な成果は多々ある。物質の存在しない點の重力場の方程式はラプラス方程式の擴張たる

$$R_{\mu\nu} = 0$$

であたへられる。物質内の重力場の方程式はポアッソンの方程式の擴張として

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} + \lambda g_{\mu\nu} = -\kappa T_{\mu\nu}$$

で與へられる。但し κ は萬有引力常数に關してきめられる常数、 R はリーマン・クリストッフエル・テンズル $R^{\lambda\mu\nu\rho}$ から導來されるテンズルである。そして

$$R^{\lambda\mu\nu\rho} = 0$$

となることがその世界のユークリッド性従つて力なき世界、乃至は擬ユークリッド性、従つてまた見掛上の力の場（同質的場）の本質的條件なのである。即ち $R^{\lambda\mu\nu\rho}$ は空間の本質、場の本質を把握してゐる。故にまたこのテンズルから導來される $R^{\mu\nu}$ は世界（時空連續體）の計量的性質及び力の場と不可離の關係に立つてゐるのである。

ところで $\gamma_{\mu\nu}$ は物質のエネルギー運動量テンズルとして物質自身に關する。故に右述の場の方程式の左邊は時空連續體の計量的性質と重力ポテンシャルを、右邊は物質自身の運動状態を示してゐる。そしてこの兩邊からなる方程式は、計量的關係の基礎となるところの二次微分形式

$$R_{\mu\nu} = g_{\mu\alpha} g_{\nu\beta} R^{\alpha\beta}$$

に於て $g_{\mu\nu}$ が計量關係を規定するインターヴァル ds の係數であると同時に重力ポテンシャルを示すことと共に、時空連續體の性質が物質によつて決定されることを明確に示してゐる。

だが勿論この逆は成立しない。何となれば時空によつて物理的狀態たる重力場や物質が作り出し得ないことは、時空座標の變換によつて生ずる力の場がたかだか同質的のものであり、物質によつて作られる自然力として重力の場が非同質であることから明瞭であらう。

一般相對性理論は以上の如く對象のリアルな本質を把握するのであるから、それが水星の近日點の移動、重力場に於ける光の彎曲、重力によるスペクトル線の赤方

變移に於て、自己の實驗的證據を見出したのは當然のことであらう。

八

前節に於て一般相對性理論のスケッチを與へた。本節以下に於ては哲學者達のこれに加へた「基礎付け」、乃至は「批判」の吟味にうつるであらう。

新カント主義者カッシーラーにとつては、前にも既に述べたが、一般相對原理はまつたく思惟の要請にもとづく形式的原理にすぎなかつた。

然しながらわれわれにとつては、一般相對原理は、情性系の非現實性の認識、實驗に支持された情性質量と重力質量との同一、等々の實在的な根據の上にうち立てられた原理であり、そして對象の本質の、それ自身に於ての、即ち座標系から獨立の認識を、その本質とすることは、前節からの説明で明かである。

かくの如く絶對運動の否定、すべての座標系の相對性は實にリアルな根據をもつてゐるのである。若しノイマンのアルファ體が實存し、觀察され得るならば、われわれは相對性の要求を撤回しなければならぬであらう。

故に座標系の相對性と必然的に聯關する不變性、共變性も單なる思惟の要求する形式的なものではない。

この相對性の要求はまた對象の本質自身の把握を志向する。若し物質の運動が完全に座標系にのみ依存し、その固有の獨立の性質を持たなかつたならば、不變性の、共變性の認識は原理的に不可能であつたであらう。

故に相對性の徹底による絶對運動の否定は、運動の客觀的存在の單なる消去ではなく、座標系に對する運動の外的關係に絶對性なきことを、即ちノイマンのアルファ體の如き存在の否定を、確認するにすぎない。

従つて何が共變的か、不變的かの決定も形式的に天下りの決定されるものでないことも當然である。例へば計量の基本形式

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu$$

のみの不變性は、アインスタインも主張する如く、^{*}原素のスペクトル線の明確な形の存在に根據をもつてゐる。

また自由質點の運動経路が測地線を描き、座標變換で反變ヴェクトルの性質を示すことも、まつたくその運動のもつ本質の露呈にほかならない。

重力場の強さを示すクリストッフエル記號 Γ がテンズルでないことも、重力場が局所的には座標變換で消失することに照應してゐる。

ところがカッシャーにとつては、相對原理はアプリア形式の原理であり(三八頁)^{*}、また「或物は決して不變であることはなく、常にたゞ或基本的關係と函数的依存性のみが不變である。そしてこれらをわれわれは、われわれの數學と物理學の記號的言語で一定の方程式のうちに固定する」(四〇頁)と。

言ふまでもなくカント主義者としての彼の語る基本的關係、函数的依存關係は對象自身のそれではなく、純粹形式として主觀のうちに源泉を持つてゐる。かゝる形式主義を墨守するカッシャーが「眞の客觀性はもはや何處にも經驗的規定性のなかに存在するものではなく、規定そのものの仕方、機能のうちにある」(四二頁)と主張するのは當然であらう。

彼に於ては「……眞理と普遍性は、これらすべての測度を交互に對應させ、そして一定の規則に従つて相互に照應させられることに於て成立する」(四二頁)。即ち單

なる外的對應によつて、眞理と普遍性が獲得されるのであり、對象、自身のもつ本質、法則などは、彼に於ては、完全にシャット・アウトされてゐる。かくしてベツツォルドの如き主觀主義者に對しては一應の正しき批判力をもつカッシーラーも、形式主義の固疾のために、遂に眞の客觀性にまでは達し得ないのである。

* Einstein, Vier Vorlesungen über Relativitätstheorie, S. 41.

* 以下断りなき限りカッシーラーからの引用文のページ数は Zur Einsteinschen Relativitätstheorie からのものである。

だが事象そのものの持つ事實としての迫力の強烈さは、カッシーラーをして暗黙のうちにレアリテートへの讓歩を他方に於ては餘儀なくさせてゐる。例へば「觀察によつては決して確認され得ない特別な物理的對象」(アルフツ體を謂ふ……筆者)に對するかかる存在の要請は、認識論的立場からは、稀にみる變則であつたし、どこまでもさうだつた(四二頁)と言ひ、また「かかる座標系〔情性系の如き特殊な座標系……筆者〕が存在しない」とを經驗が教へた(四四頁)とも述べてゐる。

不變式、共變式に就ては既に述べたが、普遍的な自然法則が座標變換によつて不變乃至は共變であるべきは、カッシーラーも語る如く、法則の普遍性から分析的に推論されることであるが、然しかゝる不變性、共變性が存在せねばならぬとの要求は綜合的である(四五頁)。然らばこの要求は如何にして充足されるか。

カッシーラーは「これはかかる理論〔相對性理論……筆者〕の論理的認識論的 Grundbestand に屬する」(四五頁)と答へる。だがこの解答は空虚な循環論ではないか。彼は「何故に相對性理論は不變性を認識し得るか」の問ひに對して「この理論は、不變性を認識することを本質とするから」と答へるのだから。まつたく美事な教儀問答ではある。

だが既述の如く、對象自身の認識からの獨立性、及び對象自身に於ける普遍性と特殊性との統一——この現實の事態こそ、不變式、共變式を可能ならしめる。

相對化の徹底は、あらゆる個別的なアスペクトからする對象の全面的認識であり、對象のもつ特殊性の展開である。また客觀化は、對象の本質の把握、即ち普遍性の

認識である。故に相對性理論に於て展開された相對化と客觀化の關係は、普遍性と特殊性との統一として、實在する對象自身のうちに認識されるのである。然るにカッシラーにあつては、この關係は専ら「物理論思惟の特有性」(四七頁)にのみ求められてゐるが、これは形式主義者の彼としては當然のことであらう。

以上の如く一般相對原理を完全に形式的に理解するカッシラーは、相對原理と不可離の關係にたつ座標系及びこれの變換を、まつたく「純粹に觀念的」(六七頁)であると形容するのは必然のことであらう。そしてまた座標變換を基軸とするアインシュタインの重力論のなかに、以上のことから、觀念的モメントを輸入するのである(六七頁)。

然しながらこのことは、彼が座標系の物理的意味を完全にはき違へてゐることを暴露してゐる。座標系の物理的現象に對する關係は外的ではあるが、しかしこの關係は客觀のうちにおける客觀的關係(物理的裝置による對象の觀測實驗)であり、そこには觀念性を云々する餘地はまつたくないのである。そしてこの外面性も座標の變

換のために止揚される。

座標系を純粹觀念的と考へるカッシラーはまた、一般相對性理論に於て座標系がユークリッド的な剛體的なものに制限されないことをとらへて、「有限で *finite* な座標系の物の形態 (Dingeform) が破壊され、かくてまさしく自然のより高き客觀形式へ、自然とそれの法則との純粹な體系形式へ向つて肉迫しようと欲する」(七三頁)と述べてゐる。即ち彼は座標系のもつ物の特殊形態(剛體性)の否定にのみ力點をおき、そして剛體性の否定があたかも物質の獨立性の消失であるかの如くに想つてゐるのである。これは彼が物の存在をまつたく一面的に解し、物の多様な豊富な形態を無視するところに發してゐる。そしてまた彼の謂ふ體系「形式」がもともと悟性のうちにのみ源泉をもつてゐるのであるから、剛體性の止揚が直ちに形式的觀念論の勝利と考へられるのは當然のことであらう。だからまた彼にあつては、この剛體性の止揚が何故に必然的となつたかの客觀的根據はまつたく無視されてゐるのである。

慣性系のみを中心とするニュートン力學及び特殊相

對性理論に於ては、剛體の形態や光線のもつ直線性が保持されるのであるが、一般相對性理論に於て非惰性系にまで視野が擴張され、重力場が登場して來るときは、直線性は座標變換によつて保存されなくなる(例へば光線は重力場では彎曲する)。且またすべての座標系の同格性の認識から、座標系の客觀自體に對してもつ外的關係から、座標系をユークリッド的な直線的剛體的のものにのみ制限することが不可能となつたのである。だが残念ながらカッシラーにあつては此等の事情がまつたく看過されてゐる。

一般相對原理に於ては、周知の如く、ニュートン流の絶對的(物に固有固着された意味の)な重力の概念は加速系への變換のために消去乃至は變化し、また絶對空間又はアルファ體のうちに土臺を持つてゐた惰性も、加速度が相對化されることから、その絶對性の支持點を、一義的な規定性を喪失し、かくして不變的な「力」概念が背景に、退くと共にその代役としてリーマン幾何學を本質的武器とする一般相對性理論が登場する。この現象はカッシラーには物理學の解消、觀念的な幾何學の制覇と

考へられるのである。彼は言ふ——「さきにニュートン流の重力理論に於て力の動力學が遂行したところのものを、アインスタインのそれに於ては純粹な運動學——相互に運動する相異なる座標系の觀察——が行ふ」(六七頁)。

このカッシラーの意見が既述のテュリングのそれと完全に一致するのは興味がある。

なるほどニュートンのな力の概念は、座標系の一般化のために消去され、或はその一義的規定性を失ふのであるが、われわれはこの外見的消去乃至は變轉に迷はされてはならない。

アインスタインは決して物質自身の力を、作用を抹殺してはならない。何よりも計量の基本形式を考へてみるがよい。その係數 $g_{\mu\nu}$ は計量關係を測定するかの係數であると共に、重力ポテンシャルを表現する。そして $g_{\mu\nu}$ は座標變換のために共變テンソルとして一定の變換をなすと共に、それは重力ポテンシャルとして物質の分布によつて決定される。しかも物質分布によつて生ずる非同質的場は決して座標變換によつては消去され得ないこと

を記憶してゐるならば、われわれは相對性理論からディナミクの消失、物理學の幾何學への解消などを導き得ない筈である。

また既述の如く自由質點の運動経路は測地線を描くものとして、座標系への外的關係を止揚されて、客觀的に規定される。そして外力の作用する質點の運動はそれぞれ測地線からの *Abweichung* として認識される。かくしてアインシュタインに於ては、力學的運動が幾何學的形象を通じて把握されてゐるが、しかしこの幾何學はリーマンのそれであり、その計量基本形式の係数 $g_{\mu\nu}$ は、前述の如く物質分布によつて決定されるのである。謂はゞ幾何學的的外皮のうちには、その本質として、物理學的なるものがひそんでゐる。

計量關係そのものが物質分布によつて決定されるのであるから、アインシュタインに於てわれわれは、カッシーラーとは反對に、メハニクのディナミクへの止揚、統一を看るべきであらう。物理學の幾何學化ではなく、幾何學の物理學化をひき出すべきであらう。

この事實はカッシーラーの思想のプリズムを通過する

ときは、まつたく逆の映像を結ぶ。これは彼が幾何學の抽象性を純粹な觀念性と誤認し、幾何學のユークリッドからリーマンへの發展を、物質のもつ空間的關係の本質への認識の深化として理解せず、却つて抽象への昇華と現實からの背離と理解したことに發するのであらう。

かくしてカッシーラーは現代物理學の特色を物質の解消にあるとし、物質の基底を缺いだ單なる普遍的關係の學、「*Prinzipien* の學」(六九頁)を現代物理學の典型と解釋するのである。

* 本稿第一節参照。

およそ科學論をなすにあつて、何等かの哲學的立場に立つことを避けることは不可能である。N・ハルトマンの「無立場の立場」の如きは卑怯な折衷主義であらう。だがいづれの立場を選ぶかは、當の科學そのものに對する理解力に於て、またそのもたらす認識論的結論に於て、重大な差異を與へる。

H・ディングラーはその不幸な實例であらう。彼が師マッハの實證主義から繼承した現象主義は、相對性理論の完全なる誤解、それへの全面的反撥を導いた。些か冗

長ではあらうが、不幸なりし科學論のモデルとして、ディングラーの一般相對原理に關する所論を追跡しよう。

* H. Dingler, Kritische Bemerkungen zu den Grundlagen der Relativitätstheorie (Physik. Zeitschr. 21. Jahrg. S. 668-675, 1920) 以下のディングラーからの引用文の頁数は本論文の別刷のそれを示す。ディングラー批判として
 ① E. Reichenbach, Erwiderung auf H. Dinglers Kritik an der Relativitätstheorie. (Physik. Zeitschr. XXXI. 1921. S. 379 ff.) が要を得てゐる。以下の筆者のディングラー批判もライヘンバッハに據るところが多い。

彼は幾何學と物理學との絶對的峻別から議論をはじめめる。「先づ幾何學的圖形の運動と、現實の物體の運動との間に鋭い區別を設けるべきである。前者は運動學に屬し、後者は力學に屬する。相對性理論では絶えず両者が混同されて、明瞭さをひどく傷けてゐる。座標系は、幾何學的圖形であつて、現實的物體ではない。座標系は現實の物體に verankern される必要はない。現實の過程に對しては、それに關係してゐる座標系が如何に動くかは、まったく無關心である。何となれば、そして此處

相對性理論をめぐる認識論的諸問題

に原理があるのだが、考へられたものにすぎぬ數學的幾何學的規定が現實に作用することは出来ぬからである。……故に私は諸君が此處に座してゐると同様に、思考のうちで任意に加速された座標系に關係させても、それに就ては少しも諸君が氣付かぬ様にすることが出来る」(六七頁)。

かくてディングラーは幾何學的圖形を現實の物體から絶對的に峻別して無縁なものとする。勿論、この兩者の一應の區別は正當ではあるが、然し彼の如くに兩者を無縁に引裂くことは、現實に幾何學を如何に適用すべきかの問題に關して無用の困難と困亂をひきおこす。即ち彼は幾何學を現實に適用するにあつて、まったく無媒介に直接におしつけるのである。しかも彼が幾何學を現實から絶對的に孤立したことから、彼の幾何學は空虚な空間にのみ成立するユークリッド幾何學に制限され、かくしてこの「おしつけ」は悲惨な結果を、即ちリーマン幾何學を本質的武器とする相對性理論のまつたき誤解、その否定を、生みだす。

またこのことと關聯してゐるが、彼はユークリッド的

な幾何學的圖形の運動を、現實の物體の運動の如何の吟味なしにそのまゝ運動學(物理學の一部門としての)とし、兩者の媒介的關聯を無視する。これは彼の幾何學と物理學との無反省な分別を裏返した他の半面である(無媒介の分別と無媒介の同一化)。だからまた物體の運動形態がユークリッドの領域を越える相對性理論がディングラの理解力の彼岸にあつたのも當然のことであらう。

ところでわれわれが幾何學で用ひる座標系と物理學での座標系とは、前者が後者の抽象化と一般化であるからには、兩者の差別と同一を同時に認識せねばならない。しかも如何なる幾何學が適用されるかは、まったく當の現實の物理的空間の構造そのものによつてのみ決定されるのである。然るにディングラは幾何學をアブリオリにユークリッドのそれに制限し(これは前述の如く幾何學の物理學からの峻別、その形而上學化に由來する)、しかもこの幾何學をそのまゝ直接に運動學とする。

だが物理學に於ける幾何學、従つてまたその座標系が

ユークリッド的なものに制限されないことを、最も雄辯に相對的理論が實證した。實に、物理的座標系とは、現實の物體、例へば光線、固體物指、時計等による現實の物體の測定である。故に此等の物理現象の物理的特性、例へば光速の恒常性の考慮なしに、物理的座標系を論ずることは當初から誤つてゐる。運動學といへども物理的現象から無關係に論ずることは出来ない。相對性理論の運動學が光の特性を基礎としてゐることは周知のことである。従つてまた幾何學と物理學との聯關を誤つたディングラが反相對性理論の陣營に加はつたとて、まことに不可思議のことではない。

さてディングラは前述の引用文のうちで、現實の物理現象の座標系の運動に對する無關心性を語つてゐるが、客觀の獨立性を認めるわれわれにあつても當然のことである。ところがこの座標系のとり方、その運動狀態の如何によつて同一の物理現象もそのアスペクトを變ずるところに一つの困難がある。そしてこの困難を克服したものは、皮肉なことにディングラの嫌惡する非ユークリッド的なリーマン幾何學以來の發展を用

ひた相對性理論なのである。

さてディングラーの第二の命題は「各運動物體に對して純運動學的に座標系を規定して、その物體がこの座標系に關して任意の運動を描く様になし得る」(七一八頁)ことである。そして彼の課題は——「如何にして現實に於ける運動の規定を一義的になし得るや」(八頁)である。

この課題に解答を與へたものこそ、ほかならぬアインシュタインその人であるが、ディングラーも「この問題を私の原則に従つて觀察しよう。そしてそのとき如何に簡單にすべてが明瞭になるかに人は驚くであらう」(八頁)と自信ありげに語つてゐる。しかも彼はこの問題の解釋によつて相對性理論を反駁しようとするのである。

惰性系に對する相對原理は、力學に關する限り既にニュートンに於て完成され、力學電磁氣學を通じてそれは特殊相對性理論に於て確立されたのは周知の事柄である。この相對原理の説明としてよく引用されるのは列車の運動である。——等速直線運動する列車内では地球上にそれが靜止する場合と全く同じニュートン力學の法

則が成立する。然るに列車が加速度を得るとき、例へばブレーキで急停車するときは列車内の物體に前方に向つて力が作用することは誰しも經驗するところである。これによつて列車の地球に對する運動が等速なりや否やを識別し得るのであるが、ところが此例はディングラーによると、相對原理の事例としては「全く誤つてゐる」(九頁)。等速直線運動する列車内の物體は、それと運動を共にしてゐるが、加速度が列車に加はるときは、列車のみが加速され、列車内の物體は加速されない。故に二つの場合は「一般には比較不可能である」(九頁)と言ふ。何となれば比較するには、いづれの場合にも列車内の物體は等速度の場合も加速度の場合も共に列車に依存するか、然らざれば共に獨立であるかでなければならぬ。

後の場合には列車が等速度加速度のいづれの時きも、列車がその内にある自己とは獨立な物體に對する運動状態は直ちに認識される。かくてその運動は加速度か否かの判別ばかりでなく、等速度の場合にもその速度の幾何なりやが認識され、相對原理は成立しなくなる。

だがこのディングラーの解釋の誤りは相對性理論からは明白である。列車内の物體が列車に對して獨立な場合(例へば自由質點)にも、列車の運動状態を一義的に決定し得ないからである。何となれば列車が重力の場に静止する場合も、列車が重力のない處で急停車するときも、まつたく同じ作用が生じ、その間の差別は原則的に不可能であるから。これは既述の重力と惰性力との相等性による。故に列車内の自由物體から列車の運動状態に一義的な判定を與へ得るとのディングラーの主張は誤である。列車内の觀測者にとつてリアルなものは列車とこの車内の物體との相對運動のみである。

さて前の場合には車内の物體はすべて列車と運動を共にするから、運動が直進である限り列車の運動状態の區別(等速度か、加速度か)は不可能であるとディングラーは言ふ。そしてこの加速された例として、列車が大きな物質のためにニュートンの法則に従つて摩擦なしに突然強く引かれる場合、即ちすべての物體が等しい加速度を得る場合を擧げてゐる。これはアインスタインの有名な落下箱内の思考實驗と同じである。

ところで此實驗の説明はわれわれにとつてはニュートンの力學を以てしては充分には與へ得ないのである。何となれば落下體上に座標系をおくときは、その系に於てはニュートン力學が成立するのであるが、それにも拘らずその系は惰性系(例へば地球は大まかな近似では惰性系である)に對しては加速度をもつて運動してゐるから。故にこの場合の座標變換はガリレイ・ニュートンの相對原理の圏域を逸脱してゐると言つてゐるのである。ニュートン力學にとつては落下體上の座標系で重力が惰性の力によつて *Kompensieren* され、かくして惰性系が生ずることは、まつたくの現象であり、偶然であるにすぎない。

要するにディングラーの提示した例はニュートン力學の相對原理を越えた困難ではあるが、然しこの困難を克服したものがこそ一般相對原理を樹立したほかならぬアインスタインその人だつたのである。故にディングラーのあける例は、彼の意志に反して、相對性理論の反證にはならない。却つて落下體の思考實驗は(既述の如く)重力と惰性の力との同一性の手が、りを與へ、相對性の

一般化に土臺をきづいたとも言へるのである。

さきに考察した列車急停止の二つの場合はまったく極限的なものである。車内の物體が完全に車體から自由であることも、また完全にそれに束縛されてゐることも、現實にはあり得ないから。現實には物體と車體は重さ以外に摩擦とか其他の物體的作用によつて結合され、謂はゞ部分的に束縛されてゐる。しかも注意すべきは列車を急停止するブレーキの作用が質量に比例する重力惰性力とは全く異なる種類の力であることである。そしてこの力が列車内の物體に車體と同一の急停止の効果を與へないのは、まったくその物體のもつ惰性と、物體と車體が部分的にのみ束縛されてゐることによる。

ところで前述の極限的な場合に説明した如く、相互に等速運動する諸物體(例へば列車とその中の物體)があるときは、その等速運動を加速度運動に變化させるためには、質量に比例する力、例へば重力を以てしては不可能である。故に物體相互に加速度を與へるためには質量に比例しない力、例へば摩擦力が必要となる。かくてブレーキによる列車急停止から列車の地球に對する運動

の變化を知るのは、このブレーキの力が質量に比例しない力であることによる。このことからわれわれは惰性系から加速度への變換による力の、運動状態の變化の、實測が重力惰性力の圏域を越える必要を知るのである。

だがいづれの場合にせよ以上のことから明かに列車急停止の實例は相對性理論を支持するものとこそなれ、決してそれを論駁するものではないのである。

相對性理論に反對して古典力學を固執するディングラーは、絶對空間、惰性系の確立に力をそゝいでゐるが、然し悲しいことには彼が與へる惰性系固持の論據は、次に述べるが、まったく古典力學で使ひ古されたものの拙劣なイミテーションにすぎず、そして相對性理論が實證的に論駁した當のものなのである。

彼は宇宙の惰性系の運動状態は(廻轉運動を除いて)恒星系全體に關係して定められると言ふ。「すべてのものが關係せしめられる最後の座標系として恒星系を特徴付ける」(十一頁)。

此處で彼は天文學の實測によつて漸次に近似的に認識される近似的な惰性系の極限として恒星系を考へ、し

かもこの極限たる非現實的な座標系を力學理論の出發點としてゐるのであるが、然し彼が其處で前提してゐること、即ち數多の恒星にニュートン力學を適用しつつ近似する方法が一定の極限に收斂することが先づわれわれにとつては疑問であるし、且つまた收斂するとしても恒星が異なる順序で觀察されるに従つて異つた極限に近迫するかも知れないのである。

ところがデイングララーはこれらの近似が唯一つの極限(これをデイングララーは固定空間、Festraum と呼ぶ)に達することをアブリオリに想定してゐる。だがこれはまつたく彼のドグマにすぎない。科學はかゝるデイングララーのアブリオリとは無縁である。

さてデイングララーの輕蔑するアインスタインはまつたく現實的な仕方では惰性系を論じてゐる。彼の相等原理によると各 Punktereignis に對して惰性系があり、そして物質分布のために生ずる重力場内の各 Punktereignis にはそれ特有の惰性系はあるが、然し場の全體を通ずる共通な惰性系はない。即ち所謂局部惰性系のみがある。しかもこのことは單なる假説ではなく、惰性質量と重力

質量との同一性の事實にバック・アップされて、その現實性を保證されてゐるのである。アインスタイン力學のニュートン力學に對する現實的優位は此處にもある。

またデイングララーはフォーコー振子の廻轉を絕對廻轉と考へ、これに生ずる廻轉面によつて恒星系(惰性系、固定空間)の方位(Orientierung)を定めようとする。「かくてわれわれは、絕對に、方位付けられた平面の定義を得る」(と彼は書いてゐる(十三頁))。だが彼のこの着想はニュートン及びマッハの蒸し返しにすぎぬ。この考への歸するところはノイマンのアルファ體であり、これのもつ絕對性の性格から生ずる困難は既述の加速度の場合と同様である。かくて此處に於てもレアリテートへの肉迫を本質とする物理學はデイングララー的思辨を排しつゝ、アルファ體なき立場(相對性の立場)にうつらねばならなくなる。

かくの如くデイングララーは惰性系、固定空間のために全精力を傾注するのであるが、他方に於てはわれわれがデイングララー批判の冒頭に引用した彼の言葉のうちには座標系の對象に對する外面的相對性の思想が主張さ

れてゐるのである。この矛盾は何のためであらうか。恐らく前に述べた彼の幾何學と物理學との峻別、座標系の幾何學化觀念化に由來するのであらう。固定空間は物理學天文學のことであり、座標系は觀念的な幾何學のことであると。だがそれにしては彼に於て純幾何學的立場からの相對性の展開がなされてゐないのは何故であらうか。多分彼がユークリッド幾何學のみに固執して、座標系の相對性を中軸とするリーマン幾何學を排除したためであらう。ところでリーマン幾何學が物理的意味をもつたのは、物質分布のために生じた重力場内の物體運動を(物理的)座標系の相對化を通じて客觀的に把握した相對性理論に於てであつた。即ち幾何學の物理學への統一を志向したとき始めて物理的空間がリーマン的であることが知られたのであるから、幾何學と物理學とを形而上學的に絶縁する、ディングラーがリーマン幾何學を拒否し、かくて一方では座標系の相對化を單なる觀念にとゞめ、他方では固定空間、ユークリッド空間に固着したことは當然のことであらう。

前述の相對原理の例としてディングラーがあけた列

相對性理論をめぐる認識論的諸問題

車の問題で、列車が巨大な物質のために萬有引力によつて加速される例を述べてゐるが、これは重力と慣性との同一性の手がかりを與へる思考實驗である。ところがディングラーはこの例を效果的に利用しないで、他の箇處に於てまつたく誤つた仕方である。同一性の證明を與へてゐるのは、彼の科學理論家としての能力を疑はしめるものがある。

秤の兩端に二箇の同じ重さの物體を吊下けて、彼は次の如く説明する。——然し私は二つの平衡状態にある物質をもつた靜止せる秤を次の如く考へることが出来る。——物質は地球の重力により下方に向つて或加速度を得る。それがこの加速度を實現しないのは、恰度同じ大さで方向の逆の、上方への加速度に作用されるからである。兩者が自己を止揚するために秤は靜止する。ところで然し上方に吊上げるのは重力によつてではなく、或近接力(例へば私の手等)によつてなされる。兩物質に對して上方への加速度を與へ、樞子の廻轉點に加へられる吊上げに關しては、兩物質は重力質量ではなく、慣性質量である。然し勿論秤のフレが起り得ないのだから、

秤は平衡状態にあり、かくして兩物質が同一惰性質量であることが分る」と*。

* H. Dingle, Grundlagen der Physik, 1919, S. 94.

このディングラーの誤謬は、上方に物質を引上げ重力を相殺する力(例へば彈性か、私の手)が惰性質量に比例すると考へたところにある。重力を相殺するための吊上げ力はまつたく重力質量によつてのみ定まるのであつて、惰性質量の出場する場所は以上の現象のうちには何處にも存立しないのである。上記のディングラーの珍説は物理學の「基礎」を論ずる彼にとつては甚だ不名譽なことであらう。

以上の如くディングラーの反相對性理論の論據はまつたく古典力學で使ひ古されたもの、模造、改惡品にすぎない。彼のこの誤謬は彼のもつ哲學から、即ち實證主義の低俗な經驗主義から、現象の表面にのみ吸着する現象主義から、マッハの持つ惡しき半面の繼承から發したものであらう。その弱點は幾何學と物理學との關聯に就ての彼の無理解のうちに集中的に表現されてゐる。

さてディングラー批判で最後に觸れた重力的質量と

惰性的質量の同一性に就てあるが、これはまづエートヴェスの實驗によつて量的同一性が確認され、更にこれが非惰性系の導入による座標系の擴張を通じて本質的同一性にまでたかめられるのである(質と量との統一)。ところでカント主義者カッシーラーにあつては、この展開が無視されて量的同一性のみが重要であり、これが無媒介に直ちに質的同一性と宣告したのがアインシュタインの功績と考へ、所謂量の、Fehlens、を強調してゐる。

カッシーラーは言ふ——「いまや漸く物質の及び重力の『本質』についての疑問が、一定の物理的現象の『本質』は、純粹にその量的關係に於て、及びその數量的コンスタントであらばされて盡されるとする他の認識論的問題提示のために押しやられる」(六八頁)。また曰く「一般に惰性質量と重力質量の間に見出される數值的比例がそれ(一般相對性理論……筆者)にとつては兩者の物理學的相等、本質的同一性の表現となる」(六八頁)。「この數值的同等性は物理學者には本質の同等を意味する」(六九頁)と。

だが以上のカッシーラーの解釋は物の半面にのみ固着

した誤謬である。量の同一性から質の同一性に至るまでには、座標系の相對化が、物理的根據に支持されながらその發展の媒介として入り込んでゐるのである。そして同一對象が、座標系の如何によつて、情性の力とも、重力とも見られることから、兩者の質的同一が歸結されるのである。其處には客觀原理が貫徹してゐる。そして何よりも量的同一性と質的同一性とは直接的同一ではなく、發展を通じて統一がなされてゐることを忘れてはならない。カッシーラーが質の半面を看過したのは彼のもつ量の Feichism に由るのであらう。

上述のディングラーと同じくマッハの弟子であるベッツォールドがアインスタイン擁護の立場にあるのは、ディングラーのそれと對比して興味がなくはない。然しこのベッツォールドも、彼のもつ感覺主義（實在を感覺の複合に解消する）から幾多の誤謬を生み出すのである。その若干に就ては既に述べたが、此處でいま一つ附け加へておかう。

前節に於て座標系の相對性を導出するとき、事件の相合、(Koinzidenzen) に關して述べた。ところでベツォ

ールドによると、アインスタインの功績は「感覺の相合」(Koinzidenzen von Empfindungen) のみを経験可能な實在としたところにあると。^{*} 感覺の相合とは「感覺の複合、特に感覺、記憶の複合體である」と彼は述べてゐる。此處にベツォールドの主觀主義、感覺主義が露骨に姿を現してゐる。

然しながらライヘンバッハ^{**}にまつまでもなく、われわれにとつては、感覺相互の相合と、感覺される實在物相互の相合とは嚴密に區別されねばならない。感覺に於て同時に生起するもの必ずしも客觀的に同時的ではなく、對象が客觀的に相接すること、感覺相互が合致することとは全くの別のことである。

感覺の集合の順序が一次元的であり、客觀的事物の集合の集合の順序が四次元的であることから、以上の區別が當然であることが分るであらう。

客觀的相合は、例へば音の感覺と光の感覺との合致であるが、客觀的相合とは實在する物の、例へばアトム相互の衝突の如きものである。

またこのことから客觀的相合の形式である時間空間

が主觀的に基礎付けられぬことも、またその客觀性の必然性も明かである。

* Petzold, Die Stellung der Relativitätstheorie in der geistigen Entwicklung der Menschheit. 1921. S. 64.

** Reichenbach, Philosophie der Raum-Zeit-Lehre. S. 327.

ところで相對性理論で相合(言ふまでもなく客觀的相合)と呼ばれてゐるものにも、二種の區別がありはしないだらうか。

(1) 物指を對象に相接して測量する如き場合の物指と對象との相合、これはまつたく外的の相合で、wirdichな物理的交互作用がない。

(2) 所謂ファラデー流の近接作用、電磁波によるエネルギーの傳播の如き。そこには物理的作用がある。

ベツツォルドでは殆んど(1)のみが、しかも感覺主義的に歪曲されて、考へられてゐるにすぎず、(2)は無視されてゐる様である*。

* この區別は他の「批判家」に於ても無視されてゐる様である。この區別は現實の物理的相互作用と單なる外的對應との差別を示すものとして意義あるものと考へるが。

ところが(2)は(1)に劣らず、相對性理論の最も重要な思想の一つであり、アインシュタインがファラデー、マックスウエルの發展的繼承者と言はれるのもこのことによるのである。

すべて運動は有限速度で傳播し、しかも相接する物體乃至は場を通じて他へと波及すること、これが近接作用の原理であり、そして微分幾何學が相對性理論に於て效果的に適用されたのも、まさしくこの原理を基礎としたからである。

ところがこのことがベツツォルドに於て完全に無視されてゐるのは、彼が自然法則を「相合を相互に一義的に對應させる」*ことによつて成立すると考へてゐる事情からも、至極當然のことであらう。彼に於ては、相合を、しかも感覺的相合を、點的に外面的に對應させることが、自然法則の本質なのであるから、對象相互の實在的な作用は眞實には把握され得ないのである。

* ベツツォルド、前掲論文、六四頁参照。

(未完) 一九三七・一〇、一九