

天界 第十五號(第二卷)

大正十一年
二月 號

アインシュタインの相對原理(三)

山本 一 清

三、一般相對原理

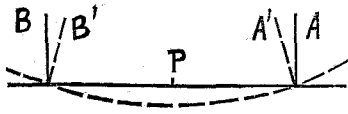
一の世界を、靜止してゐる世界と見るか、或は、一樣な速度で運動してゐる世界と見るか——この見方一つによつて、其の世界の時間と空間の觀念に違ひが生ずるといふのが、最初アインシュタインの導き出した結果であつたことは、ほぼ前述の通りである。しかるに吾人平常の經驗は、一樣運動の場合ばかりでなく、加速度を持つた運動の場合も常々起り來るものである。例へば、地球の重力によつて、物體が落下する如き、又は汽車や電車が停止の状態から、今動き始めるといふ場合の如き、何れも此等は、刻々の其の運動速度を増すものである。かゝる場合に、前述の通りの、等速運動のみを取り扱つた相對原理が、一般的には應用が出来ないのは明らかである。傳ふるところに據れば、アインシュタインは、偶々、

誤つて高い所から落下した隣人が、其の落下の途中に於ける感覺として、「一時、體重が無くなつたやうに感じた」と言つた言葉をきいて、大にささる所があつたといふ。吾人の體重は地球と吾人との引力の結果である。ニュートンに據れば

總ての物質は、其の質量の相乗積に正比例し、又其の相互距離の二乗に逆比例する力で、相引くものである。

故に、およそ如何なる物質でも——大きいものでも小さいものでも、區別なく——此の法則で引き合ふもので、引き合へば即ち、それ々が、一定の加速度を以つて運動を始める。(但し、ほかに妨害するものがなければ)故に、ニュートンの万有引力の行はれるところには常に加速度運動がある。若し此の運動が自由に實現される時は、其の世界は、刻々、速度を増す(例へば、落下する人或は物の如く)のであるが、其の世界に住んでゐる人としては、別に何の感覺も感じない。しかるに、此の加速運動が何か他から妨害されて、例へば地上に立つ人の如く落下が出来ない時は、こゝに重力といふ感覺が起る。換言すれば、一種の力を感ずる。一般に、一の物體が

圖八第



力を受けてゐると感ずるのは、即ち他から加速度を受けて居ながら其の結果としての自由な運動をなしない場合なのである。吾人は地球の表面に棲息して、常に二種の力を受けてゐる。一は地球全體の質量が吾人の體量を引く引力で、他は地球の自轉のために起る遠心力である。一は吾人を地球の内部へ落下せやうとし、他は吾人を地球表面から外界に飛び放さうとする。二つながら絶えず働いてゐる加速度である。働く方向が互ひに相反對してゐるから、吾人に現實に感ずるものは、此の二つの力の差だけである。其の結果、遠心力の殆んど無い北極や南極地方では、事實上、引力のみを感ずるし、遠心力の最も強い赤道では、重力が最も小さい。

加速度の有無（或は働いてゐる力の有無）は如何なる違ひを吾人の世界に與へるか。今試みに、吾人が地球上の北極から僅かばかり離れた場所に立つてゐるとする。第八圖に於て、Pは北極、そして其の兩側に二人

A Bが直立してゐる。但し吾人が「直立する」とは、其の場所に於いての水平面に直角に立つことである。この水平面とは、其の點に働く諸種の力の綜合された合力に直角な表面であるから、即ち、直立の方向は合力の方向と一致することになる。若し此の地球が自轉をしないものであるならば、地表に働く力は地球全質量のための引力のみであるから、水平面は、（此の極地方だけを考へるならば）圖の實線で示す通り、一の正しい平面であり、AとBとは此の同一平面に直立した二平行線として立つ。しかるに、今若し此の地球が北極Pを軸として自轉する場合を考へると、AやBに對しては、引力以外に、尙、若干の遠心力が働くから、此の場合、諸種の力の合力に對して直立するためには、點線の如く、A'及びB'のやうに傾いて立つ必要がある、水平面も亦、一の平面ではなくて、球面に似た一種の曲面となる。しかし、觀測者自らは、自分の立つてゐる場所に働いてゐる力が、引力のみか、或は引力と遠心力との組合はせか、區別がつくものでないから、A' B'の如く直立線が平行してゐない場合にも、それを氣が付かな

いで、却つて北極に近づくに従ひ、平地が水面から高くあがつてゐる——即ち、北極地方は山のやうに凸起してゐると見るであらう。

又、北極を中心として、一の圓形を地面に畫くときは、地球が自轉しない場合には、此の圓周と直徑との比は、所謂圓周率で、 $3.14159\ldots$ となる筈であるのに、若し地球が自轉してゐると考へれば、圓周上の地點は、皆此の圓周に沿ふて等速運動をしてゐることとなる。そうすると、前述の特別相對原理により、圓周全體の長さは $2\pi r \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}$ の割合に

短縮したことになるけれど、圓の直徑は少しも變らないから、結局、此の場合、此の圓の圓周率は $\pi \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ より小さいものになり、最早や、こゝにはユウクリッドの幾何學は行はれず、平行線が交はつたり、三角形の内角の和が二直角でなくなるやうな非ユウクリッド幾何學の行はれる世界となるのである。

一般に、靜止してゐるか或は一様運動をしてゐる世界はユウクリッド幾何學の行はれる世界であるが、加速度を持つてゐる世界では——それが現に運動してゐるが否かの區別なく——非ユウクリッド幾何學の

行はれる世界、即ち非ユウクリッド空間となるのである。アインシュタインは、かやうに根本的に違つた世界、即ちユウクリッド空間も、非ユウクリッド空間も、要するに吾人が世界の事象を見る見方一つで、違つて來るのである——何となれば、一つの世界を加速度的のある世界と見るか見ないかは、吾人の都合によることで、世界其のものには何のかはりもないのだから——といふ考へから、前の特別相對原理に用ゐた公理を、一層、擴張し、一般化して

公理。物理學の諸法則は、おおよそ如何なる座標軸（加速度的の有無にかかはらず）で取扱つて見ても、全く同一である。

を採用するに至つた。之れを、一般相對原理といふ。一般相對原理から導き出される新しい諸關係を、實驗的に知ることの出来る三つの天體現象がある筈である。アインシュタインが發表したのは一九一五年、歐州大戰の眞最中の頃である。三つの現象は何れも太陽に關係してゐる。之れ蓋し、太陽が吾人の附近では最も大なる加速度を諸物體に與へる根元であるから。

第一は水星軌道の問題である。水量は大遊星の一

つで、橢圓軌道を畫くものであるが、太陽からの平均距離は〇、三八七天文單位で、諸遊星中、最も太陽に近い。軌道の離心率も〇、二〇六で、これも他の大遊星には類が無い大きさである。此の水星の公轉運動は、大部分、ニュートン法則で解釋することが出来る。只一つ、近日點の受ける攝動作用のみは、以前から、天體力學上の難物である。近代の精密觀測によれば、水星の橢圓軌道の近日點は、百年間に五八〇秒(角度)だけ前進する。此の内、五三七秒は金星や地球や、その他諸遊星の引力作用で説明し得られるが、残りの四十三秒は其の由つて來る原因が全く不明である。一八四五年、佛人ルベリエー(L. J. everrier)が最初に此の不合理を指摘し、次で、自ら之れを解釋せんため、太陽の近く、水星軌道の内側に、一つの未知遊星ヴルカンが在ると主張した。しかし今日に至るも此かる天體は發見されない。その他、ホール(A. Hall)はニュートンの逆二乗法則に修正を加へんとし、ニウカム(Newcomb)は太陽が橢圓體だとして之れを説明せんと試みた。一八九六年に至り、獨のゼーリグネ(H. Seeliger)は黃道光物質の全

質量を計算して、優に水星問題を處分し得ると證明したので、學界は一先づ、安定したかのやうに見えたこともあつた。しかるに吾がアインシュタインは其の一般論より推理して、水星近日點が、ニュートン法則の許す以外に、尙、百年に付き四二、九秒の前進運動をなすことを證明した。

第二は皆既日食の時に於ける星像の移動である。大なる加速度の空間に於いては光が直進しないで、或る一定の曲線を畫くといふことは、此の空間が非ユークリッド的であることから明かである。故に、日食の時、太陽の近傍を通過して地球に達する恒星の光は、最大値として一・七五秒の屈折をする。アインシュタインは推理したのである。之れを觀測上から確かめるため、獨のフロインドリヒ(E. Freundlich)は、早くも一九一四年八月二十一日の歐露の日食地へ遠征したけれど、之れは大戦勃發のため計畫は實行せられなかつた。英國ではケンブリヂ大學のエディントン(A. S. Eddington)教授が一九一七年アインシュタインの理論を國內に紹介し、一九一九年五月二十九日、南太西洋を通過した皆既日食には自らアフ

リカの一孤島ブリントペに遠征を試み、グリーンニチ天文臺から南米ブラジル海岸に出張したクロンメリン(A.C.D.Cronmelin)氏と東西相應じて寫眞觀測を遂げた。其の結果、同年十一月六日、英國の王立學會ロイヤル・アストロノミカル・ソサエティと王立天文學會の聯合會の席上でエディントンエディントンは寫眞版上に於ける星像の移動はほゞ一、七秒であるを發表したので、席上のトムソン(J.J.Thomson)教授始め多くの碩學等、「之れニウトン以來の大發見である」と喝采した。これは忽ちにして世界の隅々にまで電報せられ、アインシュタインの名は俄かに高くとなへられるに至つた。

第三は太陽光線中に於ける光波の變動である。光は物質原子中の電子が振動して發するものであるが、此の振動は頗る精密な週期を以つて行はれ、殊に之れが太陽の如き絶大なる重力の働く所で行はれるとき、一般相對原理によれば、振動週期の變化、従つて光波の波長の變動を起すものである。其の變動の分量は、一般に波長の百萬分の二であるから、今日、恰も分光學上から觀測し得られる限界に、危い所で、達してゐる。此の觀測は、今日までに各國の

物理學者や天文學者によつて、屢々試みられたが、近頃までは、實驗の結果から見て、相對論に對する賛否相半ばしてゐた。昨年、獨のグレーベ(Grebe)氏や佛のペロー(Peilot)氏等の肯定的結果が發表せられ、學界はほゞ將來を樂觀したかの觀があるが、しかし又、米のセント、ジョン(C.E.StJohn)氏の如き、實驗上の確かな證據から、之れを否定してゐる人も無いでは無い。

兎に角、右の如くアインシュタインが自ら導き出した三つの現象が、實驗的に大體確かめられたので、一般相對原理の信用は益々大きくなつて來た。

ニウトンに據れば、「物質の在るところに引力あり」といふのであるが、アインシュタインは之れを改めて、「引力あるところに加速されたる空間あり、加速されたる空間は非ユウクリッド空間なり、故に物質の存在するところは非ユウクリッド空間なり」と證明したのである。二千年の昔から今日まで、吾人の直接經驗し得る空間はユウクリッド幾何學の行はれる空間であり、たとひロバチエフスキヤリーマン等の開いた非ユウクリッド幾何學はあつても、要するにそれは

純粹數學上の遊戲のやうに思はれ、其の現實味は、一般に大に輕視せられてゐた。しかるにアインシュタインの一般的理論出づるに及んで、總ての物質世界は非ユウクリッド空間と結び付けられたものとなり、今までのユウクリッド幾何學が、どこかで行はれるならば、それは只、物質の存在しない眞の空虚な場所に於いてのみ行はれるべき筈であるを證明せられたのである。吾人は百年の長夢より今俄かに覺めたる心地して、誰も皆若干の驚きと狼狽を感ぜない者はあるまい。

アインシュタインの宇宙論は興味多い。彼れに従へば、啻に地球や太陽や月や遊星や、これ等一つ／＼が物質そのものであるばかりでなく、全宇宙に擴がる星辰界は實に絶大なる物質群である。しからば、こゝにも相對論の結論として非ユウクリッド空間があり、光は直進せず、平行線は交はり、三角形は二直角以上の内角を持つのである。吾人が宇宙の大きさや廣さを知らんがために設ける尺度は、長さの尺度も、時間の尺度も、皆宇宙全體に含まれる物質の總量によつて規定される或る曲率を持たざるを得ない。

い。物質が無限でない限り、吾人の認める宇宙の空間と時間とは有限となるべく餘儀なくされる。アインシュタインは、かくして吾人の宇宙の擴がり、直徑三億光年の範圍を出でないと結論した。但し此の距離は、今日の天文學に於いては、尙、器械力の及ばないところであるから、直接に觀測から確めることは出来ないが、實驗に先つて、純理論者の到着した此の結論は、大なる驚きと望みを以つて迎へらるべきものであらう。

四、餘 論

アインシュタインの相對論の影響するところは實に大きい。世には此の論を強いて物質世界にのみ限るべきものと、獨りぎめに決めてゐる學者もあるやうであるが、自分が思ふに、之れは大なる誤りである。アインシュタインの論は、いかにも其の出發に於いて、物質界の諸問題を解かんとするにあつた。又彼れの推論は、其の後も常に物質界に形の上の論據を置いてゐる。しかし彼れが物質を論ずるのは、或る程度以上、眼に見ゆる其の形を便利として借りたまでである。むしろ彼れの論は、其の根底に於いて、

吾人の認識問題に觸れてゐる。近世哲學の祖カントは認識論の根本として、吾人に時間及空間の先天的範疇のあることを指摘した。しかしアインシュタインによれば此の時空の範疇は、それ自身、先天的に備はるものではなくて、全く後天的の經驗と約束から出て來たものである。時間空間の規範が、吾人の運動認識によつて變動するばかりでなく、時空は相互に交換されるべき、約束上の區別に過ぎない。

デカルト以來、世の哲學者乃至物理學者は、此の可視世界を説明するのに物質と運動のみを必要とした。「我れに物質と運動とを與へよ。我は宇宙を創造せん。」これは實にデカルトの宣言であつた。其の後三百年、世の學者は皆此の流れを汲み、物質の存在と其の運動とを、時間空間の範疇内に於いて處分し終はることに着々成功しつゝあつた。たゞ思ひがけなくも、前世紀以來、空間エーテルの問題が、先づ學界の些細なる低流から頭を上げて來て、遂に物理學の本據をつき、世紀末の學者達は之れがために七轉八倒の醜態を演じた。問題は總て相對論によつてのみ解かるべき筈であつたのである。

相對原理は世界の絶對認識をこばむ。時間と空間とは共に相對的のものである。否、それのみでない。質量さへも相對的であることを證明し、こゝに全く物質そのものゝ絶對存在は無意味の言葉となつたかの如くである。只、こゝに一つ不思議の絶對性を維持してゐるものがある。それはアインシュタインの所謂「物理學の諸法則」である。此の法則そのものは、吾人の認識形式の如何にかゝはらず、常に同價に存在する、——しからば此の法則とは抑も何であるか。

今こゝに、ミンコフスキの四次元の世界を想像する。此の世界に存在する一物體の狀況は完全に、此の世界に於ける一の曲線を以つて表はすことが出来る。第二の物體も亦同様に第二の曲線で表はされる。若し此二つの曲線が何れかの點で相交はるとすると、それは即ち二物體が其の瞬間に同一の四次座標を持つ時であり、換言すれば、こゝに物理學的法則が行はれるのである。即ち、一般に物理法則とは四次空間の曲線の交はりとして表はされるべきものであり、之れは即ち物と物との直接交渉である。此

の直接交渉が存在することは其れ自身絶對であつて、何等、時空の座標軸の都合によるものでない。これは實に吾人の體驗である。即ち換言すれば、吾人の直接經驗は即ち「物理的法則」そのものであつて、絶對の存在であり、決して座標の相對關係によつて消失するものでない。デカルトの「物質と運動」は大迷誤に違ひないが、彼れが最初に立ち歸つた「吾れ思ふ、吾れ在り(Cogito ergo sum)」は即ち絶對の存在として、誰もそれを否定することは出來ない。

絶對關係の否定とは決して認識の無價值を意味しない。吾人が何等かの座標を持つてゐる限り此の座標軸による認識は、それ自身の價值を持つてゐる。總ての科學は經驗より出發する。そしてそれ等相互の關係を見出すのに大なる使命がある。吾人が時空の座標を持つ間は、やはり科學は必要である。之れによつて毎日其の經驗を處分し、關係をつけて行く。只此の處分や關係が、自己の座標にのみ有意義であつて、他の座標所有者には、又他の處分や關係が意義を持つことを認めなければならない。法則その

もの、即ち絶對そのものは獨り宗教と藝術に於いて獨自の存在を許すべきものである。(一九二二、二三二)

返事をかねて

御手紙うれしく拜見いたしました。

新年のよろこびを申し上げます。

今の世の中は御互ひに面會の機會が與へられないでも、通信によつて充分に其の意を達します。御手紙を頂けば、もはや御目にかゝつたも同様に喜ばしう存じます。

私の病氣は全くなほりましたから御安心下さい、同好會の用事もありますが、此頃は天氣が好いものですから、去月二十九日に岡山から歸りました其の晩から毎夜一回も觀測をしない夜はありません、夜晝の區別なく働いて居ります、達者で仕事をすることが出来るのは有難いことです、尙一つ其の上に私はあちらこちらに星の結んでくれる友人が多いことを無上にうれしく思ひます、京都は寒いところで、夜中には赤インキが凍つてザク／＼言ふのです、しかしこんなことは星を見る樂しみに比ぶれば何でもありません、三日も曇りがつゞけば、もはや言ふに言はれぬ淋しさで、「天界」を愛して下さることを御禮申す、それなのに毎號の發行が遅れ勝ちですみません、別に大した事情もないのですが、いろんな手違ひから今迄はいつも遅れました、今後は印刷場の方にも特に御願ひして、

おくれないうやうに致します。

「星座の親しみ」はまことに御恥かしいやうなものが、第一版の五百部は飛びやうに賣れてしまひました、私自らも之れを不思議に思つてゐます。今度改版の序でを以つて殆んど全部を書き改めました、近い内に第二版として出版します、この本は、言はゞ私の「天文詩集」でも言ふべきもの、第一巻なのです、第二巻としては「遊星の輝やき」と言つたやうなものを近い内にかけたいと思つてゐます。

あなたが女學校に勤めてゐらつしやるさ伺ひましたが、私の経験から見れば、若い女學生たちはまことに純な心をもつて星を愛するものです、何卒あなたの御力で○○の町に星を識り宇宙を友とする娘達が一人でも多く出来ることをいのります。

實地觀測をやつて頂きますについて、少し細かいことは四五日後に申上げます。

天文學の參考書として邦文のものは何か今までに御讀みになつた本が御座いますか、誠に少ないので御氣の毒です、しかし幸ひにあなたは英文を御讀み下さるので結構です、その内に適當なものを御紹介申しませう。

先は右、さりあへず御返事をかれて

大正十一年一月六日

○○○○様

山本 一 清

御手紙は左記へ頂きます方が早く拜見が出来ます、一寸御注意までに、

「京都市西三本木 山本」

星から星へ

維納天文臺 J. パリザ

パリザ博士は一八七四年以來、奧國ウイenna天文臺に在つて、二七時の大望遠鏡により、天體寫眞觀測の方面に活動し、百十二個の小遊星を發見しました。(天界第一卷第二二頁参照) 昨年引退しました。(山本)

ギリシャの神話によりますと、昔、デダルスは其子イカルスを連れて、クレタ島のミノス王の國から逃れ出やうとしたとき、空中を通るより外には一つも道がありませんでした。デダルスは、自分と息子とのために、翼を作つて逃れましたが、イカルスは海の上を飛んでゐるとき誤つて墜落し、デイダルスのみ陸地に達したといふことであります。

此の話は、多分、何等かの事實を背景として居りませうと思ひますが、しかし決して、其の時代の人が、既に鳥のやうに空中に昇つて、飛ぶことが出来ると思つてゐたといふものではありません。四千年後の今日、人々の此の夢は成就したのであります。此の不可能と思はれた事が、突然に、又何の準備もなしに出来たではありません。それに先立つて他のいろ／＼な發明が行はれたのです。最初、十八世紀の末に風船玉が出来、それで空中に昇ることが出来るやうになりました。次ぎに蒸氣機關が發明され、又、船の推進螺旋が出来、最後に爆發發動機が作られて、重さは非常に小さくて、しかも