

序

アインスタインは近頃の評判人物である。相對性原理を知らぬ人でもアインスタインの名を知て居る。日刊新聞が數々アインスタインに關する記事を掲げるのは確に世間の刺戟に因ること明白である。我國に在りても既に此の如くであるが外國に於ては更に甚だしきを悟るのである。去年十月ロンドンに遊びしとき或日某書店で買物をして居た。そこに齡古稀を過ぎた老人が來てアインスタイン相對性原理の譯本を求めた。店員がこれを渡すと赤表紙を披き店の入口から讀み出して徐歩して去つた。予はかゝる書籍を購讀する人であるから何處かの教授であると思ひ店員に問うたが、何にこの本は誰れで

も讀みます、中々賣れ行き宜うございます、との挨拶に予は少々驚いたが成る程フロインドリックの「アインスタイン重力論の基礎」と題する譯本は既に賣り切れアインスタインのは既に數版を重ねたらしい。斯うして見ると英國の一般人民の科學知識は我邦に比較すれば餘程よく普及して居る。英國人は斯る空間、時間、物質の思想に革命的變動を與ふる思索に對して注意を拂ふことは當然であつて本屋で聞いたことは決して誣妄でないと思つた。

予が敬服したのは學問に國境なきことを英國人の多くが覺つてゐることである。そもそも相對性原理は獨逸で發展したもので二年前までは國民の死活問題で戰つたのであるが偏見の人は敵國の書を繙くことを恥るかも知れぬ。然し普通人であつても科學の新しき發展に就ては毫も憚ることがない。苟も

其一部なりとも翫味することを得るを以て幸福とするのである。又學者側では英國の天文學者はアインスタインの所説が正しきか否やを決定するため瘴煙毒霧のブラジルやアフリカの孤島等に日食觀測の爲め遠征を試みた。此等の觀測は果して相對性原理の的中せることを示したのであつて俗界に迄アインスタインの名を轟かしめた近因は憶ふに此日食觀測の結果がタイムス紙に因て世界に紹介せられたからである。

予は其後アメリカを巡廻してクリーヴランドの應用科學學校で始めてマイケルソンとモーレーが使用した干渉計を見た。是がエーテルの地球と共に流るゝや否を試驗する爲に設けられたものであつて、其結果を諸國の學者が論じて見たが遂にローレンツとフィッシャーの物體縮少假説に歸著した。是

得ざる趣がある。其故萬有引力論は今日萌芽したに過ぎない。將來幾多の曲折を経て完結するに至るや茲に容易に期し難いところがある。

相対性原理は突發的にアインシュタインが考へ付いたものであるかの如く思ふ人もあらんが其以前ローレンツは所謂特別相対性の方式に到達してゐた。

アインシュタインが其論文を發表する十年前に出版された「運動せる媒質内の光學」と題する小冊子に其大略は明記してある。然しアインシュタインの發展したやうな論理上哲學上完備したものでないが、恐く此論文が出て居なかつたならばアインシュタインの最初の發案は斯く整備して居なかつたかと思はれる。其故相対性原理が今日の形狀に生れる迄には胎内に在ること十年を下らざるものと爲すが至當であると考へる。而して二百餘年間懸案となつてゐた

重力論が一般相対性から脱化し來りたるは偉大なる發展であつて是にも面白き徑路を蹈んだとのことであるが一々記述するの要はあるまい。爰に一言の蛇足を付け加へたきは二千年前に著されたと信ぜらるゝ緯書中に地恒動不止而人不知譬如人在大舟中閉牖而坐舟行而人不覺也と記してあることである。此考を發展すればアインシュタインのエクイヴァレンツ、ヒポテーセに相當することは明白である。東洋方面にも是等の所説が萌芽しつゝあつたのを隋唐以來壓迫を加へて其發育を止めたのは遺憾に堪えぬ次第である。

アインシュタインは其論文を發表するに當り之を理會し得るものは世界中に十二人あるのみと書店の主人に申したと註せられてゐる。其難澁なること此言によつて概略を察し得る。本書は通俗讀者の爲に書いたものであるが矢張

リ六ヶ敷ことは別に變らぬやうにある。反て數學を應用する代りに文字で表はしてあるから明確ならざる嫌はあるけれども一般讀者に對しては致方のないことである。本邦に於て特に最初より此原理に精しい桑木博士の校訂を経て同趣味を有する池田理學士の翻譯されたアインスタインの小冊子が出版せらるゝことは予の最も喜ぶところであつて本邦人も亦洽く熟讀して二十世紀の大思索である相對性原理の旨意を理會せられんことを望むのである。カル Катタ 大學のサハ氏は既にアインスタインとミンコウスキーの原論文を英譯されたから本邦に於ても同様に難讀ではあるが是等の原論の翻譯せられんことを予は切に希望する。誰も了解し得る通り通俗的の冊子では眞意に達する能はず、聯か隔靴搔痒の感があるからである。

大正十年五月十六日

長岡半太郎識す

原 序

この一小冊子は相對性理論に就て一般科學的並に哲學的立脚地から興味を感じてゐる人々に理論物理學上の數學的道具を用ひないで其理論のできるだけ精密な理解を與へやうとしてゐるのである。この講話では先づ高等普通の教養並に——短かい小冊子ではあるが——かなりの忍耐と意志の力とを讀者に假定してゐる。著者はその主要なる考を實際現はれたやうな順序と關係とで、全體として出来る丈明瞭に簡單に示すことに最大の努力を與へた。明瞭にする爲には屢繰返すことが避け得られなく思はれ、説明を美しくすることには少しも考へ及ばさなかつた。余はかの天才的理論家、エル・ボルツマンが

云つた美しくすることは仕立屋と靴屋との仕事である、と云ふ訓に従つた。この問題の根底にある難解の點が凡て讀者に取除かれて居るとは信じない。併し、物理學より隔つてゐる讀者に、恰も木を見て森を見ない旅人の如き憂のないため、この理論の實驗物理學的根據を故意に繼母のごとく取扱つた。この小冊子が人々に快よき數時間の感觸を與へんことを。

一九一六年十二月

アー・アインシュタイン

第三版に際しての附言。

この年一九一八年ユリウス、スプリングル社よりハ・ワイルの書いた詳細にして卓越せる、「空間、時間、物質」といふ題の一般相對性理論の教科書が現はれた。それを數學者物理學者に切に薦める。

(一)特殊相對論の數學的基礎は H. A. Lorentz, A. Einstein, H. Minkowski. の原論文を集めた、Das Relativitätsprinzip といふ名の本にかゝつてあるがその本は Fortschritte der mathematischen Wissenschaften (B. G. Teubner) の叢書の中にある。又同じ題の M. Laue の著が F. Vieweg & Sohn から出版されてある一般相對性論並に不變式の理論のこの論に必要な補助手段

は著者の小冊子 Die Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie (Joh
Ambr. Barth, 1916)に論じてある、この小冊子は特殊相対性論をいくらか精
密に知つてゐることを假定して居る。

目 次

長岡博士序	1
原 序	11
第一篇 特殊相対性理論について	1
第一章 幾何學の定理の物理的内容	1
第二章 坐標系	6
第三章 舊力學に於ける空間と時間	12
第四章 ガリレイの坐標系	15
第五章 相対性原理(狹義の)	17

第六章	舊力學による速度加法の定理……………	三三
第七章	光の傳播の法則と相對性原理との見掛上の不一致……………	三四
第八章	物理學に於ける時の概念に就て……………	三〇
第九章	同時刻の相對性……………	三六
第十章	空間的距離の概念の相對性に就て……………	四一
第十一章	ローレンツの變換……………	四四
第十二章	運動して居る棒と時計との關係……………	五三
第十三章	速度加法の定理、フイゾーの實驗……………	五六
第十四章	相對性理論の試験的價值……………	六三
第十五章	この理論の普遍的結果……………	六四

第十六章	特殊相對性と經驗……………	七
第十七章	ミンコフスキイの四次元空間……………	八〇
第二篇 一般相對性理論……………		八六
第十八章	特殊及び一般相對性原理……………	八六
第十九章	重力の場……………	九二
第二十章	一般相對性公準に對する論證としての慣性及び重さの質 量の相等しきこと……………	九七
第二十一章	如何程迄舊力學及び特殊相對性理論の根柢が不十分で あるか……………	一〇五
第二十二章	一般相對性原理よりの二三の結論……………	一〇八

第二十三章	廻轉基準體の時計と測棒との關係……………	一二五
第二十四章	ユークリッド及び非ユークリッドの連續……………	一二二
第二十五章	ガウスの坐標……………	一二七
第二十六章	ユークリッド連續としての特殊相對性理論の空間時間 的連續……………	一二四
第二十七章	一般相對性理論の空間時間的連續は決してユークリッ ド連續でない……………	一三七
第二十八章	一般相對性原理の精密なる形式的表出……………	一四二
第二十九章	一般相對性原理に基く重力の問題の解法……………	一四七
第三篇	全體としての世界に關する觀察……………	一五五

第三十章	ニュートンの理論の宇宙論的困難……………	一五五
第三十一章	有限であるが終端のない世界の可能なること……………	一五八
第三十二章	一般相對性理論に依る空間の構造……………	一六七
附 錄……………		一七三
一、ローレンツ變換の簡單な出し方(第十一章の補……………		一七三
二、ミンコウスキーの四次元世界(第十七章の補……………		一八四
追 補……………		一八七
經驗による一般相對性理論の確認について……………		一八七

第一篇 特殊相對性理論に就て

第一章 幾何學の定理の物理的内容

愛する讀者よ、あなた方は少年少女の時にユークリッド幾何學のあのいかめしい建築にきつと親しんだのであらう。そして恐らくその誇らしい建物を愛よりは寧ろ尊敬の念をもつて思出すであらう。彼の高い階段をあなた方は細心な専門の先生に連れられて、幾時間も追ひまはされたであらう。かくの如き經驗をもつて居る故に此の科學の極めて末の一小定理すら誤つて居るといふものがあつたなら屹度そのものを蔑まずにおくまい。併し「然らばそれらの定理の眞であるといふ主張の意味は何であるか」とかう問はれたとき

恐らく何人も直にこの嬌慢なる確實の感じを失はざるを得まい。この問題を少し論じて見よう。

幾何學は平面、點、直線といふやうな多少明瞭な觀念を結びつけ得る若干の基礎概念と、それらの觀念にもとづいて「眞實」と承認し得る若干の單純な定理（公理）とから出發する。他の定理は皆或る是認しなくてはならぬと思はれる論理上の方法によつて、それらの公理に歸結せられる、即ち證明せられる。一つの定理が尤もと思はれるやうな風に公理から引出されたときに夫が正しい、即ち「眞實」なのである。即ち個々の幾何の定理の「眞實」であるかと云ふ問題は公理が「眞實」であるかといふ問題に歸する。併しこの問題は幾何學の方法によつて答へ得られないのみならず問ひそれ自身無意味

であるとか久しく思はれて居た。二點を通つて唯一つの直線が引けるといふことの眞實なりや否やを問ふことが出來ぬ。只だユークリッド幾何學は「直線」と名つける圖形を取扱ひ、それに二點を通つては唯一本より引けぬといふ性質を與へて居る、と云ひ得るのみである。「眞實」と云ふ概念は純粹幾何學の言表はし方には適當でない。我々は「眞實」といふ言葉をもつて、常に「實在の」對象との一致を示して居るが、幾何學はその概念と經驗の對象との關係でなく、只それらの概念の間の論理的關係を考へて居るのである。

それにもかゝらず幾何學の定理を「眞實」として示さうと思ふわけは容易に説明せられる。幾何學の概念には自然に於ける多少精密な對象が之に相當して居る。そしてそれらの對象が疑もなくこれらの概念を生ずる唯一の原

因である。併し幾何學としてはその建築に出来る限りの論理的統一を備へるため、かういふ道からは隔たるやうにしなければならない。たとへば距離といふときは一の實際的剛體の上の二點を見るといふ様なことが我々の考の習性に深く沁みこんで居る。更にまた我々の習慣では觀測の位置を適當にとつて、三點の見掛上の視點を片目で見通すことが出来れば、その三點が一直線上に在ると考へる。

我々の考の習慣に従つてユークリッド幾何學の定理に一の定理、即ち實際的剛體の二點には、たとへその物體がどのやうな位置の變化をしても、其二點には常に同じ距離が相當する、と云ふことを附け加へるとせよ。然らばユークリッド幾何學の定理より出て實際的剛體の取り得る相對的位置に關する定理

となつたのである。斯様に補足された幾何學は物理學の一部門として取扱はれる。かく解釋された幾何學の定理の「眞實」については今や正しく問ひ得るのである。何となれば我々が幾何學の概念を結び付けたそれらの實在の事物に對しそれらの定理が適合して居るか否かを問ふことが出来るからである。幾らか不精密であるが、このことは、この意味で幾何學の一定理が「眞實」であることと云ふことはコンパスや定規で作つた作圖とその定理とが適合するといふことであると云表はし得る。

こんな意味で幾何學の定理の「眞實」なることを證明するのは勿論かなり不完全な經驗にだけたよることになる。先づ幾何學の定理のその眞實を假定しよう。そして第二篇に於て（一般相對性理論に於て）その眞實には制限が

あること及びどれ程の制限があるかを見ることにする。

(一)それで一直線も自然の對象に結付けらる。A・Oの二點が與へられて距離 $\overline{AB}$ ・ $\overline{BO}$ の和が出来る丈小さくなるやうにBを選んだとき剛體の三點A・B・Oが一直線にある。この不完全な示し方でも現在に目的に對し十分であらう。

第二章 坐標系

隔りといふことのかういふ物理的解釋に基づいて我々はまた剛體の二點間の隔りを測定することが出来る。そのため一の距離(棒S)を要する。それを始終單位の測棒として使ふのである。今ABを一剛體上の二點とせよ。然らばそれを結び付ける直線は幾何學の法則により作ることができる。そこでその結合線の上を距離SをもつてAより始まりBに到るまで繰返し測つて進

んで行く。その繰返す數が距離ABを測つた數である。是が凡ての長さの測定の基礎である。

凡て一事件或は一對象の場所を空間的に記述するのはその事件或はその對象と一致する一剛體(基準體)上の點を極めることに基つてゐる。このことは嘗に科學的な記述にとつてのみならず、日常生活にもあてはまる。「東京驛に於て」といふ場所の取極めを分析するならば、次の意味になる。地面が場所の取極めを基準させる剛體であつて「東京驛」はその上の明瞭な點で、それに名が與へられて居るのである。そしてその點と事件とが空間的に一致してゐるのである。(二)

場所決定のこのやうな原始的方法は只剛體の表面に於ける場所のみを取扱

ならばFは常に πR^2 より小さい。Fはrの増すと共に零より「世界半徑」により定められる極大まで増す、それから更に球の半徑を増大すればFは次第に減少して遂に零に至る。出發點より出た放射形の直線が始めは互に遠ざかるが後には互に近づく。終には出發點の「反對の」點に至つて一致する。それらの直線はそのとき全球空間を通過する。即ち容易に知り得る如く三次元的空間は二次元の（球表面）と全く同様である。それは有限（即ち有限の容積）であるが併し終をもたぬ。

球空間に尙ほ變種がある。即ち「橢圓空間」があることも注意すべきである。それは二つの反對點が同一なる（互に區別せられぬ）球空間として考へ得られる。即ち或程度まで橢圓世界は中心對稱性を帶びた球世界と見做し得る。

終端を持たない閉空間といふものを考へ得べきことは上述によりて之を知る。それらの中でも球（又は橢圓）空間は凡てその點が平等な値であるといふ單純性により特に優れて居る。上述により天文學者及び物理學者にとり我々の住んで居る世界が無限であるか又球世界の様に有限であるかといふ極めて興味ある問題を生じた。吾人の經驗はこの質問に答ふるに甚だ十分でない。併し一般相對性理論はこれにかなりの正確をもつて答へることを許した。そして第三十章に於て示した困難も解けた。

第三十二章 一般相對性理論に従ふ空間の構造

一般相對性理論に従へば空間の幾何學的特性は獨立的のものでなく、物質によりて定められる。それ故に物質の状態を既知として觀察の基礎として初めて、世界の幾何學的構造に關し幾分を説明し得る。適當に撰擇した坐標系にては星の速度は光の傳播の速度に比して小さいことを經驗により知つてゐる。それ故に全體としての世界の性質は物質が靜止せりとして取扱つて粗ば近似値にて知ることが出来る。

我々は既に以前の考察よりして測棒と時計との關係が重力の場により即ち物質の分布により影響されることを既に知つて居る。このことにより我々の世界にてユークリッド幾何學の精密なる適合が到底問題でないことは明かである。併しユークリッドの世界と我々の世界とがあまり差のないこともそれ

自身考へ得られる。我々の太陽の大いさの質量すら周圍の空間の測尺に唯全く僅少の影響を與へるといふことを計算により知るので、この考は一層確に思はれる。幾何學的に見て、我々の世界が個々のところどころにて不規則に曲つた表面と同様であると考へ得る。併しその表面は平面と何處でも著しく異ならないとする。恰も弱い波により亂された湖の表面と同様にある。

このやうな世界は準ユークリッド的と名付けて至當である。それは空間的に無限であるでもあらう。併し計算によれば準ユークリッド世界にては物質の平均密度が零であらねばならぬことになる。即ちこのごとき世界はいたるところ物質をもつて群集されて居ない。即ちそれは第三十章に描いたやうな不満足な姿を示すものであらう。

併しこの世界にて物質の平均密度が零より異なるとすれば、たとへ其の差が如何様に小なりともその世界はもはや準ユークリッド的でない。計算によればむしろ物質が同じやうに分布されて居るならば世界は必然的に球的（或は橢圓的）でなければならぬであらうといふことを示す。物質は實際個々不平等に分布されて居る故に實際の世界は球的關係よりことなる。故に夫は準球的であらう。併し世界は必然的に有限でなければならぬであらう。理論は世界の空間的擴がりとその中の物質の平均密度との間の簡單なる一つの關係⁽¹⁾さへ供給する。

(1) 世界の「半径」 R に對し、方程式

$$R^2 = \frac{2}{K\rho}$$

がある。 KG を用ゐるとしては $\frac{2}{K} = 1.08, 10^7$ 、 ρ は物質の平均密度である。

譯者附言

「トンよりアインシュタインへ」は岡氏の譯近日出版せられるといふ。特殊相對性理論は水野博士の電子論、本多博士川北教授の物理學通論、日下部博士の物理學汎論等の中に出てゐる。

大正十年六月

譯者識す

大正十年七月一日印刷
大正十年七月五日發行
大正十年八月一日七版發行

(相對性原理奥付)
定價壹圓五拾錢

版權所有

印刷者	發行者	經售者	寄附者
多川寅次郎	東京市神田區南神保町十六 岩波茂雄	池田芳郎	桑木彥雄
東京市神田區宮本町五			

社正中

發行所

東京市神田區南神保町

岩波書店

電話九段二八〇・二八一番
振替東京二六二四〇番