

# アインシュタインの宇宙論と思惟の究極

石原 純

—

私たちがこの現実生きて審つひさにそのありの儘ままの姿を見てゆきますと、そこにすべての完まったきものを見出だし得ないことに、しみじみと悲哀を感じずにはいられません。深く考えるものに取りてそれはまた堪え難い苦悩なのであります。永遠なるものへの憧かれ、究極なるものへの理想を求めることは、ほんとうに私たちのいのちの救いでなければなりません。

私たちはこの現実何故に完まったきものを見出だし得ないかを尋ねて見る必要があります。それは恐らく現実にはたらく私たちの個性そのもの、従つてまた対象を接受する感性そのものに於ける缺陷に基づくのであります。私等は自分たちの貧しいいのちのなかに、完まったきものおもかげの俤を探りもとめて、その究極としての普遍的な神性を想像し、敬虔な祈祷をもつて之を思慕讃仰することによりて、そのはるかな理想への道たじを辿らうとしています。なおまた私たちは個々の異なる感受性のなかから永久的な不変的なものを引き出し、あらゆる自然の相を確実に認識することに努めています。この認識の成果としての自然科学はその絶対的な普

遍的な意味に於て、直ちに私たちの理想的神性に属する知識でなければなりません。かようにして科学に於ける崇高厳肅な感じは宗教に於けるそれと相通するものであることが了解せられるでしょう。そこに私たちは自分等の思惟の究極の向う処を仰視することが出来ます。

## 二

究極なるものを求めてゆくとき、私たちは先ず自分等のいのちの棲息する現実の宇宙の大きさと深さとその内容の細かさとに眼を惹かれずにはいられません。あの燦然としたおおくの星を包容する天空はどこまで大きく広いのでありましょうか。顕微鏡下に錯雑するいろいろな物質の組織はどこまで細密なのでありましょうか。私たちは次いで現象の諸相をながめます。そうしてそのあらゆる変転を現前する時相は果して何れの遠きに始まりて、いつまで続いてゆくのであろうかを思い究めますと、そぞろに神秘の世界に導かれずにはいられません。

併しながら神は現実を離れて天上に孤立するものではないのです。私たちの勝手気儘な想像がほんとうの神を生むものではないからであります。私たちの普遍的な思惟の究極こそ神の知識と合致するものなのです。私たちのひたすらな努力が之に向うときに、いままで神秘のなかに閉じられていたものもやがて私たちの現実のまえに啓かれるようになるのです。そうしてぼんやりとしていた想像の幻影が、寧ろ瞭きりした実在のすがたとしてあらわれるようになります。思惟の究極を必然なものとして私たちに持ち来すときに、私たちはしみじみと科学の驚異を自分ながらに感得せずにはいられません。

「今日の幾何学者は無限の距離に於て実際に存在する空間の性質に関して何ごとをも知りません。彼は現在の空間が永劫えいごうの過去及び未来に於てどんな性質をもつかを知りません。……彼は只此、処と現在、とに於けるものとしてそれを知っているだけです。けれど彼の範囲を超えて今何ごとをも知らない彼、処と彼時とがあります。やがては夫れそを知るときが来るでありますよ。」

これは今から五十年前に新しい幾何学の研究者であったクリッフォードが云うた言葉でした。その当時の人々に先だつて彼は既にユークリッドの幾何学の成り立つ空間とは異なつた性質をもつた一般の空間について多くを知っていたのです。併ししかそれが私たちの経験する實在の空間とどんな関係をもっているかはまだ当時に於ては判りませんでした。

細微な物質の究極として私たちは、分子や原子や電子を知るようになりました。それらはたとえどんなに顕微鏡でも見ることが出来ないし、またその一つひとつを取り出すことも出来ませんけれど、いろいろな現象から推してそれらの存在はもはや疑うことの出来ないものとなつてしまいました。数十年前の「仮説」はいまではもう実在的な事実となつて居るのです。電子の研究は日毎に精細になつて来ました。直接に物指をあてて測ることは出来なくとも私たちは電子球の直径が凡そおよ0.000000000000000000000000000037センチメートル 糰つぶばかりあることを知っています。電子の一粒を天秤てんびんに載せなくても、その質量が0.000000000000000000000000000000009グラム 瓦程であることを測定することが出来ました。かようにして小さな究極の世界はかなり私たちに親しくなされました。

之に反して限りなく大きな宇宙の空間に関しては私たちの知識は著しく貧しさを感じます。どんな優れた

望遠鏡もはや或る星よりもっと幽かな光を送るものを見出すことは出来ません。そうしてそれからは光の外に何の物理的作用をも私たちに伝えては来ないのです。私たちはどうしてそれよりも遙かな宇宙の限界を知ることが出来るでしょうか。私たちの現に観測している最も遠い星は渦状星雲というものであって、その距離は恐らく数億光年（一光年は光が一年間に通過する距離です）ぐらいであろうと思われています。これ程な遠い空間ではあっても、そののかなかたにもはや星が一つも存在しないとはどうしても考えられないのです。それならばどこまで星が拡がっているでしょうか。若し星の拡がっている場処が或る距離までで終るとしたならば、それを躓<sup>つ</sup>えて何もない空間がやはりどこまでも限りなく続いているでしょうか。

空間から更に時間に移つてゆきますと、私たちは尚<sup>な</sup>お一層直接の知識を得る手段が限られてしまいます。私たちは過去へも未来へも一步も踏み出す事が出来ません。只過去に何事があつたかは、僅かに記録の存する限り知ることが出来るだけです。地質学的に若くは天文学的に遺された現在の状態のなかにその記録を読み得るとすれば、それによりて辛<sup>かろ</sup>うじて稍<sup>や</sup>々遠く遡ることが出来るでもありません。けれどその外にもう何の手段も見出だせないのです。未来に亘りてはその最も近い明日でさえ私たちは絶対に経験することが出来ません。どうしてこの世界の初と終とを究めることが出来るでありましょうか。

私はここで次の重要な事項に注意を喚<sup>め</sup>び起したいと思ひます。若し自然法則が単に経験的事実を統一した関係に過ぎないならば、之から私たちの経験を超越する範圍に對し或る結論を導くことは全然無意味に帰するでありましょう。経験の達し得ない処に尚<sup>な</sup>お自然法則が意味をもつためには、之に相當する理由がなくてはなりません。即ち自然法則は経験的事実に合致すると云ふことの外に、尚<sup>な</sup>お思惟の或る要求を満足する

ことが必要なのであります。之れあるがために私たちは思惟の究極として超經驗的事実を予察することが出来るのです。

#### 四

自然法則の満足すべき思惟の要求は何であるかと云うことに對して、私は絶対、普遍、實在、必然などの諸性質を自然に附与すべきことに外ならないと思ひます。之等は皆同一の本質の種々のあらわれとも見做すことが出来るのですが、要するにそれが自然を直接に神に属するものとして認め得る最も適切な表徴であると私は信じます。相対性原理が自然法則の絶対性を由来すべきことを私は既に論じました。この意味に於て私はその原理を自然法則の体系の基礎におくことの至当であることをも思ふのであります。

狭く限られた空間及び時間のなかで私たちの經驗的事実と一致する様に見出だされた自然法則は、之を限りなく広い範圍に押し拡げたときに尚<sup>な</sup>お誤を生じないかどうかは、頗<sup>すこぶ</sup>る注意しなければなりません。地平面上に描いた小さな三角形がユークリッド幾何学に従うこと、即ちその内角の和が二直角であることを經驗したとしても、地平面をどこまでも広く想像したときに、それは最早ユークリッドの平面ではなく、却<sup>かえ</sup>つて之と異なつた球面になることを見出だすでしょう。地平面の極めて狭い部分しか經驗し得ない觀測者にとりて、之が球面であることを結論するためには、地球構造に関する必然的な或る指導原理が必要であつたのでしよう。私たちの宇宙に対するのも之と全く同様であります。

いろいろな理論の可能性がある場合に、經驗に依ることなしに、どれが最も適切であるかを判断すること

は極めて困難な問題です。私たちは宇宙論の如き場合に多くかような難しさに逢着しなければなりません。

## 五

私はアインシュタインの宇宙論を述べる前に先ずボルツマンの宇宙論を簡単にここに説明しておく必要があると思います。

ボルツマンは奥國オーストリアに生れた人で十九世紀後半に於ける最も偉大な理論物理学者の一人です。彼は熱力学の原理から気体論の研究に入り、遂に統計力学を大成して自然現象の非可逆性の説明を見出だしたのでした。

熱力学第二法則は自然現象の非可逆的であることを示しています。自然に於て物体の所有するエネルギーは物体の間に現われる摩擦や抵抗によつて熱のエネルギーに變つてゆきます。また熱はつねに温度の高い処から低い方へ移動して行つて、平衡状態をつくらうとします。熱が到る処に平均されてしまつた後には、もはやエネルギーの移動は起そうとしても起らないのです。エネルギーは失われなくとも自然はかようにして終に死滅してしまわなければなりません、斯う云う自然死滅の説は熱力学の経験から論結されたものであります。之はその死滅のみをも語るだけであつて、自然創生の因由には少しも触れていません。何の原理に従つて自然は今在る状態に導かれたのでありましょうか。この原理が何か求められたとしてもそれは熱力学の法則に矛盾しはしないでしょうか。この問題は恐らく嘗て物理学の歴史にあらわれた最も困難な問題の一つに違いなかつたのです。

ボルツマンは自然の非可逆性を「偶然」の法則によりて説明しようとしたのです。すべての物質はたくさん



然の法則から計算するならば、それに基づいて生命保険の予想が安全に成り立つことを私たちは経験しています。人間の数が多ければ多い程その安全さは増すのです。けれどもどんなに確実に生命保険は成り立つにしても、それは畢竟偶然の法則に支配されるのであって、従ってすべての人間がその予想された壽命をもたない偶然さも決して零ではないのです。ボルツマンが指摘したように、地上のあらゆる人間が同時刻に自殺をするとか又は何かの天災で一時に死滅するとか云う偶然さの如きも決して絶対には云い切ることは出来ません。どんなに稀有な場合だとしてもそれが起る偶然さはやはりいくら存在しているのです。若し人間の数の極めて少ない範囲に限ってしまうなら最早平均壽命の計算を個々の場合に当て嵌めることが困難になるのは明らかであります。物理現象に於ても同様です。分子の数の極少ない部分を観察するならば、熱平衡の状態から外れる事実をいくらも目撃することが出来る筈です。水を充たした器のなかでその平衡状態では到る処密度も温度も等しくなければならぬにも拘わらず、その極めて小さな各部分を取ればそのなかの密度や温度が平均の値から外れていることは、敢て驚くに足らないのです。ブラウン運動の現象や昼白光の現象の如きは之を明確に証明するものとして注目されました。

広大な宇宙を眼に入れますと、そのなかの個々の要素が膨大なだけに、之が全体として偶然の法則に支配されて、一定の熱平衡の状態に向うことは益々確実になりますけれども、併しそのいろいろな部分に於て、平均状態から外れる様なことの起り得る偶然さは決して絶対には云われません。従ってそれはどんなに稀有なものではあっても、いつかそう云う場合が実現しないと限らないのです。ボルツマンはここに世界の創生の因由をもとめたのです。限りない大宇宙の何れの処かに或る偶然さをもって平衡から遠ざかる状

態があらわれるならば、それは一つの自然現象の世界がそこに発生してゆくことになるのです。併ししかそれにしても若しその世界に生存する知的生物があるなら、彼等はそのなかの現象を観測して、現象が平衡状態に近づくような時の方向を過去より未来への方向と判断するでありましょう。かようにして各々の可能な世界のなかで自然現象は常に一定の平衡状態に向つて進むようになります。そうして熱力学の法則がそこに成り立つのです。

ボルツマンの大宇宙は時の始終を超越したものです。このなかに自然の創生と死滅とは偶然の法則に従つてあらわれるのです。私たちは分子論の生んだこの偉大なる結論を深く味うときに、莊嚴なる科学に於て思惟の究極の到達する彼岸ひがんを、今更に遙かに望視し得るよろこびを感ずるでもありましょう。

## 六

アインシュタインの宇宙論は彼の相對論的万有引力論から導かれたものであります。そこには私たちの嘗て想像だもしなかつた関係、即ち宇宙の空間そのものと、之を充たす全物質との必然の結合が導かれた点に於て異常なる驚異に値すると云わなければなりません。

ニュートンの万有引力論は宇宙の全天体がその或る一点を中心として集團をつくることを要求しました。この中心を遠ざかるに従つて空間に於ける天体の密度は漸々に減じてゆくと仮定されなければなりません。若し然うでなければ万有引力の強さが無限の遠方で無限に大きくなってしまうのです。この結果は或る場処で引力の大きさが理論上不定になるであります。併し之を避けるために前述のような集團を仮定するとすれ

ば、それは何故に宇宙の無限の空間のなかに孤立しているかと云う疑問に対して、答えに窮しなければなりません。何故ならば若しこの集団がボルツマンの大宇宙のなかに於ける一つの世界であると解するなら、之だけが宇宙の全物体でなくて尚お他にも同様な集団のたくさんに存在することをゆるさなければなりません。そうして更にそれらの全体を考慮したときに、やはり最初に於けると同様の困難に衝き当ります。之に反して若し全宇宙のなかに私たちの天体の集団のみが孤立するとすれば、それはたとえ偶然に存在しているとしても永久に保たるべきものではありません。集団の外方にある天体のうちにはその自分の運動のために永久にこの集団を去りて遠く散逸してゆくものがたくさん在るでしょう。そうして終には悉くの天体が宇宙に一樣に散つてしまうより外ありません。これがボルツマンの理論に合する平衡状態なのです。つまりニュートンの万有引力論による天体分布の密度は限りない宇宙の空間に平均したときに無になつてしまわなければなりません。

アインシュタインの宇宙論におきましては、天体を全宇宙に一樣に散在すると見なしたときに、その平均密度が零でなくて有限の値をもっていることが許されるのです。それにも拘わらず万有引力の強さは到る処に無限大にはなりません。この結果がどこから由来するかと云いますと、彼の理論によれば物質の存在する場処ではその空間が或る曲率を有する様に歪むからなのです。物質の平均密度に依じて宇宙の全空間は一樣の曲率を得ますから恰も二次元の球面のように、宇宙は平均に於て三次元の球空間をつくります。従つて宇宙は有限の体積をもつて居り、そのなかの一点から引かれた直線（最短距離をあらわす線）は之を延ばすと有限の長さをもつて元の点に戻つて来るのです。尚お彼の理論から計算すれば、この球空間の曲率半径は宇



事実上の問題を措くとしても、尚<sup>な</sup>お純粹に理論上の矛盾に關聯しています。私はこの矛盾の原因を考慮して、アインシュタインが宇宙の全物質が相対的に静止せる座標系（観測者）を仮定したのに歸すべきではないかと思ひます。かような座標系は既に他の座標系に対し特殊のものであつて、之が絶対運動を表徴すべき前提となつたのでありましょう。そうしてこの仮定は相対性原理それ自らと相容れないものでなければなりません。私たちにこの仮定を取り除くことによりてアインシュタインの宇宙論を變改する必要を認めるのです。

## 七

アインシュタインの宇宙論におきましては、空間の球状性を導いてありますけれども、之に反して時間は無限に長く続く直線的の性質をもつてゐることを仮定してゐます。すべての自然法則に關して相対性原理は空間と時間との対称的な性質を示して居り、空間の三次元と時間の一次元とを合せて想描せられたミンコフスキーの四次元の物理学的世界は、あらゆる方向に等しい性質をもつ特徴を認められていたのですが、それにも拘<sup>か</sup>わらずアインシュタインの宇宙論に關して、この四次元世界の特質は失われたと云わなければなりません。換言すればこの四次元世界は、時間の方向にのみ無限に長い拡がりをもつて居り、之に反し空間の方向には之が球空間をつくるために有限にせられてゐますから、この円壙的世界のなかで私たちは絶対的に時間の方向を決定することが出来るわけでありませぬ。この意味に於て完全な相対性が失われて、絶対時間がゆるされてゐるのです。このことは相対性原理の本質上の問題としてアインシュタインの宇宙論に疑を挾む余地をつくるものです。

時間と空間との完全な相対性はミンコフスキーの四次元世界の全体に球状性を与えることによりて、容易にその実現を期することが出来ます。ド・ジッターはこの仮定によりて一つの別な宇宙論をつくりました。ここには空間に於ける直線と共に時間の長さも有限になります。私たちが時間的にどこまでもその経過を趁うてゆくと考えますと、未来の極致はいつの間にか過去の極致と相連つているのを見出だすであります。そんなことは滑稽なことであると排してはいけません。歴史は繰返さないと云う経験は極めて小さな時間に就いてのみ得られたものです。誰が宇宙の全壽命の如何を経験的に断言し得るでしょう。ボルツマンの宇宙論は既に時間の過去と未来との方向の絶対でないことを教えました。そうしてジッターの時間有限論は之と相容れるものであることを今知ることが出来ます。

ジッターの理論によりますと、或る一人の観測者から見て各処の時計の進みは必ずしも等しくはありません。遠方にゆけばゆく程、その時計の進みは彼に遅くなって見えます、彼に対して球空間の反対の極に当る場処になりますと、時計の進みは全く零になります。即ち彼から見て其処では時間が少しも経過しないこととなります。そこではすべての現象がいつまで待っても進行しません。光の速度もそこへゆけばやはり零になってしまいます。それ故或る一点から発した光は観測者に対する球空間の反対極を超えて先へ進むことは出来ないのです。従つて前に述べたアインシュタインの理論と異なつて、星の影像是もはや球空間に再び実現することはありません。

この点に関してはジッターの理論はアインシュタインのに比して合理的であるように思われます。併しこの理論では宇宙の全物質の平均密度は零にならなければなりません。従つて世界空間が一定の曲率をもつて

球状になるのは、物質の存在によるのではなく、世界空間それ自体の性質と見做さなければならなりません。アインシュタインの宇宙論にあらわれた空間と物質との至妙な関係はここに再び消滅させられてしまうのでした。

ジッターの理論はそれだけから云うては不合理を含んではいけないのですけれども、「物質の存在しない空間は思惟することが出来ない」と云うことを主張するマッハの哲学を信ずる人々に取つては、空間と物質とを互いに偶然の存在とすることに不満を感じずるでもありません。そうして彼等には尚おこの両者の相関を説明するアインシュタインの宇宙論への執着を感じさせます。それがたとえ相対性原理との矛盾を含むとしても、之を犠牲にして即ち相対性原理を全宇宙に対してでなく、只限られた範囲にのみ成り立たせても空間と物質との関係を保持しようとするものであります。ジッターの理論とアインシュタインの理論との取捨は、後者の観測的事実に対する疑問を暫らく論外にすれば、各々の哲学的論拠の何れかに傾くかによって決せられるのであります。

## 八

アインシュタインとジッターとの両宇宙論を概叙した後、私は別にもう一つの私見を茲に附け加えて見たいと思います。

私は相対性原理をどこまでも徹底的に成立せしめたいと思います。この点に於てジッターの説に左袒するものであります。併しそれと同時にマッハの主張を次のように意味を援めて参酌しようと思つてのです。「何等

の物理的対象なしに空間を思惟することは出来ない」と。私は物理的対象としての通常の物質と共に輻射エネルギーを認めるのが至当であると思います。後者のなかには光、熱、電磁気の波動並びに万有引力の波動が数えられるので、之等は物質と同様に質量を有っていると解せられます。只物質は各々の任意の座標系に関する毎にその運動速度や惰性的質量の数値を変え、に反し輻射エネルギーはどんな座標系を取ろうとも之等が一定の量値を与える特質をもっているのです。若し宇宙空間にこの二種の物理的対象が存在しているとすれば、その平均状態はどうなるであろうかを考慮してごらん下さい。或る偶然に選んだ座標系に対してすべての物質の平均の運動速度（厳格に云えば速度二乗の平均値の平方根）が一定の値をもつとすれば、他の座標系に対してこの速度は異なつた値をもつでしょう。私たちはすべての座標系のうちからこの速度の零になるようなものの特に選定することが出来ます。併し之は明らかに座標系の相対性に矛盾するのです。私たちはこの矛盾を取り除くために恐らく物質の平均密度は零であることを仮定しなければなりません。之に反して輻射エネルギーに就いて同様の考察を行いますと、その質量の平均密度が有限な値をもつても相対性と相容れ得ることは容易に解せられるでしょう。

この仮定のもとに四次元の世界空間を球状であるとしますと、この球の曲率半径は輻射エネルギーの総質量に比例すると云う結論に導かれます。物質の総質量は之に比して度外視せられる程小さいので、宇宙空間の拡がりと必ずしも関係しないのですけれど、輻射エネルギーの総量が之に代りて空間と密接に関係するようになるのです。この結論は次の事実を考え合せると、尚お肯定に都合がいいと思われれます。

物質の有する熱エネルギーと輻射エネルギーとは相互に交換して熱平衡を保つことが出来ます。物質の総

量は最初与えられた限り増減することが出来ないのに反し、輻射エネルギーは温度が増すと共に増大するのです。世界空間の拡がりはこのエネルギーの量を定めると共に従って亦宇宙の平均温度をも決定するものでなければなりません。絶対温度が零となるとき、世界空間は同時に零となってしまうでしょう。そこに何の変化も起り得ないのです。平均温度が高まると共に之が活動を容れる世界空間が拡がるのです。マツハ及びアインシュタインが物質に就いて考えたことを、ここではエネルギーによりて置き代えたのです。そうしてこの事は丁度ボルツマンの宇宙論と相照応すると云うことをも考え及ぶとそこに私は更にこの論の深い重大な意味を感じずにはいられません。

## 九

私は以上に於て私たちの思惟の究極として到達すべき宇宙論の梗概を述べました。そこには未だ決断すべき二三の論議が残されているので、唯一の見解には導かれませんが、併し既に多くの驚くべきものを含んでいることは認められたでしょう。自然現象に於ける普遍的な経験的事実が、厳粛な哲学的論理の枠に嵌め込まれて自然法則の体系をつくるときに、そこには既に経験的事実を超越した思惟の作用が含まれていることが悟られます。経験は極めて狭く限られた範囲に於て、いつも近似的にしかなされないのです。私たちは之を理想的に完全に補足し、純粹に抽象して、自然科学をつくります。そうして科学の普遍性や絶対性はそこに生れて来ます。私たちはかようにして現実から神の世界へと近づくことが出来るのです。思惟の究極としての彼岸を望むときに、私たちは自分みずからのなかに存する神性を見出だし得られるであります。

神は現実を飛び離れて存するものではありません。天国はほんとうに私たちのなかに在るのです。妄想のなかに生きないで、ひたすらに敬虔なる現実の歩みを続けることが神へ近づく唯一の道であると私は思います。宇宙論を説明するに当りてこれだけの感想を附記します。

(改造、大正十一年、十一月号)  
(附記) 宇宙論のその後の発展については本書に於ける次の文章〔アインシュタインの理論に対するその後の状態〕を参照せられたい。

- 
- 『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`でタイプセットを行い、`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://fomalhaut.web.infoseek.co.jp/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。