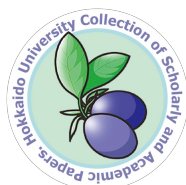




Title	空間と時間についての哲学的諸問題
Author(s)	岩崎, 允胤
Citation	北海道大學文學部紀要, 17(1), 1-44
Issue Date	1969-03-29
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/33330
Type	departmental bulletin paper
File Information	17(1)_PL1-44.pdf



空間と時間についての
哲学的諸問題

岩 崎 允 胤

空間と時間についての 哲学的諸問題

岩 崎 允 胤

内 容 目 次

- 第 1 節 空間と時間の客観性
- 第 2 節 空間と時間の基本的諸特徴
- 第 3 節 特殊相対性理論における空間と時間の問題
- 第 4 節 非ユークリッド空間および n 次元抽象空間とその対象反映性
- 第 5 節 真空とその物質性

第1節 空間と時間の客観性

空間と時間とは、それをめぐって唯物論と観念論との斗争がおこなわれた重要な哲学的問題の一つであり、なかでも基本的な意義をもっているのは、空間と時間の客観性をめぐる問題である。いうまでもなく、唯物論的主張の核心は、空間と時間の客観性、すなわち、われわれの意識からの独立な存在の承認にある。空間と時間の観念論的、とくに主観主義的解釈の代表的なものとしてあげられるのは、カントの見解、約束主義、操作主義の見解などである。時間については、空間についてよりも、主観主義の見解は哲学史上いつそう顕著にあらわれており、その最もいちじるしいものとしては、古くはアウグスチヌス、近くはベルグソン、ハイデッガーなどの見解がある。

周知のとおり、カントによれば、空間と時間は感性的認識の先天的な形式にほかならない。それは、いかなる意味でも物自体にぞくする規定性ではなく、認識主観、つまり心性（ゲミュート）にぞくする先天的な感性的直観の形式である。そのさいカントが具体的に表象していたのは、ニュートン的な、すべての現象と過程とにかんして一様な空間・時間であるが、かれはそれの可能的な根拠を問題として、これを今述べたように先天的な感性的直観の形式のうちに求めたのである。かれはさらに直観を外形的・内形的の二つに分け、空間を外形的直観の形式、時間を内形的直観の形式とみることによって、空間に比べ、時間をいつそう主観的なものと考えている。かれによれば、結局、いつさいの表象は内形的直観の形式としての時間に帰着される。すなわち、かれは書いている、「いつさいの外形的直観の純粹形式としての空間は、先天的な条件として、外形的現象にのみ限定される。これに反して、いつさいの表象は——外形的な物を対象とするにせよ、またそうでないにせよ——それ自体、心性の規定として内形的状態に属し、この内形的状態は、内形的

直観の形式的条件のもとに、それゆえにまた時間のもとに属するがゆえに、時間は、いつさいの現象の先天的な条件である。しかも内的（われわれの心の）現象の直接の条件であり、またまさにこのことによって間接的に外的現象の条件でもある。』「それゆえ、時間はわれわれ（人間）の直観の主観的条件にほかならない、そしてこの主観を離れては、時間はそれ自体無である。』⁽¹⁾

このようにカントは、ニュートン的な空間・時間の可能的根拠を問題にして、その主観主義的な基礎づけを試みたのであるが、ニュートンの見解それ自身はカントのこの解釈とは無関係なものであることを、指摘しておかなければならない。ニュートンによれば、絶対の時間は、その本性によって、他の対象に関係なく一様に流れてゆくものであり、絶対の空間は、その本性により、他の対象に関係なく、つねに等しくかつ不動なままである。時間も空間もともにあくまで客観的自然界にぞくする。なるほどかれは、太陽系の規則正しい運動の原因を問うて、全宇宙を超越する万物の支配者、神を要請しはしたが、しかし、かれの自然界の理解はカント的な先験主義、主観主義とは無縁である。⁽²⁾

ところで、時間は、過去としてはすでになく (*iam non est*)、未来としてはまだなく (*nondum est*)、したがって、存在しなくなろうとするまさにそのことによってのみ存在する現在の流れ (*nunc fluens* 流れる今) であるように見える。この点で、時間は、われわれの面前につねに現存するものとして表象される空間から区別されるようにみえる。そして空間も、内省的に考察してみると、じつはこのような現在の流れにおいてはじめて存するものであるようにもみえる。ここに時間が空間に比して、しばしば、いつそう主観的なものとして表象されることになる理由がある。なぜなら、時間は、現在の流れであり意識によって把持されるものとして、とくに心性にかかわり、心性のうちにのみあるものであるようにみえるからである。このような時間の

空間と時間についての哲学的諸問題

特性に着目しながら、時間の主観性をもつとも鮮明な仕方でも主張しているのは、アウグスチヌスの『告白』第11巻である。かれによれば、時間には過去、現在、未来の三つがあるというのは適切ではなく（なぜなら、過去はすでに過ぎ去つてなく、未来は未だ来ていないから）むしろ、過ぎ去つたものの現在、現にあるものの現在、未だ来ないものの現在、つまり、記憶、直観、期待の三つがあるというべきである、とされる。かれはこの見地をさらに掘りさげ、時間は常に現在する精神の拡がり（*distentio animi*）にほかならず、つまり、精神の現在の注意の働きが過去と未来との二方向に志向することによって形成されると主張する。⁽³⁾このようにして、かれにおいては、時間は主観的精神の様態にほかならない。⁽⁴⁾

デカルトのように自然にたいし科学的な態度をとつた哲学者においても、往々にして、空間（かれによれば、物体の属性としての延長がその本質である）が客観的なものであるのにたいし、時間は主観的なものと考えられている。かれによれば、時間は、事物の持続のうちにではなく持続についてのたんなるわれわれの思惟の様態にすぎず、思惟、つまり、心のうちにだけあるものである。⁽⁵⁾

今日、空間と時間についての主観主義的な見解は、とくに相対性理論の解釈をめぐる提出されている。たとえば、チャンバダールは言っている、「相対性理論の哲学的解釈は観念論的世界観の意味でのみ可能である。科学によって発見された空間・時間の相対性は「距離と時間間隔を認識主観に依存させている」「外的世界の客観的存在にたいする古い實在論的信念を棄てなさい。観念論の哲学の根本的原理『主観なしには客観はない』を思い出しなさい。……あなたが時間のうちにあるのではなくて時間があなたのうちにあるという思想につらぬかれなさい。」⁽⁶⁾ライヘンバッハは、時間を、カントの考えたように「人間が世界に押しつける主観的な秩序形式ではない」としながらも、約束主義的な見地から主観的に構成しうる秩序形式とみなし、次のよ

うに書いている。「人間の精神は、さまざまに異なる時間の秩序体系を、考えうる能力を持って」おり、「このようにさまざまに可能な諸体系のなかから、われわれの世界に妥当なる時間秩序を選ぶことは、経験的な問題である」⁽⁷⁾ かれによれば、古典物理学の時間も、アインシュタインの時間も、その都度選び出された時間にすぎないことになる。また、ブリッジマンは、空間・時間の概念はそれらを測定する操作によって規定されるとしている。すなわち、かれによれば、空間・時間は、主観的な測定方法に従属するものとなっている。

このような空間と時間についての、とくに後者についての主観主義的解釈とは反対に、すでに古くアリストテレスは時間の客観性についてのすぐれた考察を残している。かれは『自然学』で、時間を自然的事物の運動にぞくする或るものとみる見解をおしすすめて、「より先とより後とにかんする運動の数である」⁽⁸⁾ という有名な規定を時間に与えている。アリストテレスが、ここで、時間を自然界の運動の一側面として、すなわち、継起性を前提とする「より先」と「より後」という連関として客観的なものとして捉えていることが注目される。もつとも、この規定における「数」が、数える数ではなくて数えられる数を意味するとされるところから、アリストテレスは、時間の基体としての運動はより先とより後とを含む客観的なものではあるが、われわれがこれを数えるかぎりにおいて、心が存しなければ時間も存しえない、ということを譲歩的に付言している。⁽⁹⁾ しかし、時間が物質の運動における継起性の連関であるところにその本質があるとするれば、アリストテレスは基本的には時間の客観性の見地に立っていたものと解釈しうるであろう。この意味で、時間を精神・心の様態・形式とみる見解とはちがって、アリストテレスはすでに、時間を物質の運動の様態・側面として理解する見地をとつていたといえるのである。

ヘーゲルは、空間と時間についてのカント的な先験的な理解に反対して、これらを客観的自然にぞくする最低次の規定であるとし、物質

空間と時間についての哲学的諸問題

と運動との関連において捉えている。かれにとって、場所の運動は空間と時間との直接的統一であり、空間・時間は物質の契機である。かれは次のような唯物論的内容の主張をおこなっている、「空間と時間は物質で充たされている。」「物質のない運動がないように、運動しない物質はない。」「運動の本質は、空間と時間との直接的統一であるということである。運動は空間によって存在する実在的な時間であり、また、時間によってはじめて真に区別される空間である。……運動においてはじめて空間と時間とは現実性をもつ。」「事物が時間のうちにあるがゆえに、事物は滅びゆくのではない、むしろ、事物そのものが時間的なものであり、時間的なものであるということが事物の客観的規定である。それゆえ、現実の事物の過程そのものが時間を構成している。」「空間は、自己外存在であるから、まったく観念的な〔この表現は唯物論的ではない……筆者〕並存性である。」「時間は自己外存在の否定的統一として……有ることによって有らず、有らぬことによって有るところの有、すなわち、直観された〔この表現は唯物論的ではない……筆者〕成である。」⁽¹⁰⁾

さて、自然諸科学の成果にもとづき空間・時間の客観性を哲学的に確立したのは現代唯物論である。それによれば、空間・時間は運動する物質の普遍的な存在形式であり、物質自身の並存性と継起性の連関である。これに反し、時間を主体の内的生命に結びつけ、神秘的な創造力をもつ実体とみなすベルグソンの見解も、人間の実存にのみ固有な、将来的な特異な時間構造を主張するハイデッガーの見解も、主観主義的な思弁に埋没しているものといえることができる。

レーニンは次のように言っている。「唯物論は、客観的実在、すなわち運動する物質の、われわれの意識から独立した存在をみとめることによって、不可避免的に、時間と空間の客観的実在性をも、なによりもまず、カント主義と異なって、みとめなければならない。……物または物体がたんなる現象ではなく、感覚の複合ではなく、われわれ

の感官に作用する客観的實在であるように、空間と時間もまたたんなる現象の形式ではなく、存在の客観的＝實在的形式である。世界には運動する物質以外のなにもものもなく、そして運動する物質は、空間と時間とのなか以外では運動することができない。」⁽¹¹⁾

〔注〕

- (1) Kant; *Kritik der reinen Vernunft*, B, 50-51.
- (2) 藤村淳「自然と論理」は自然の弁証法的把握を試みた論文であるが、ニュートンの時空観念をカントの直観形式と直結している。『現代自然科学入門』1967年, P.106。
- (3) Cf. A. Faust; *Der Möglichkeitsgedanke*, 1933, II, S. 50.
- (4) アウグスチヌスは全過去と全未来とを包括しうる精神を想定し、しかもそのような精神的現在をもってしても神の永遠性との間には絶対の断絶があるとし、ここに神の恩寵が導入されてくる。
- (5) Descartes; *Principia philosophiae*, 1, 57.
- (6) P. Chambadal; *La physique moderne et son interpretation*, 1956, p. 95.
- (7) H. ライヘンバッハ『科学哲学の形成』市井三郎訳, 1954年, P. 150.
- (8) Aristoteles; *Physica*, Δ 219b1-2.
- (9) ロスも、アリストテレスが時間を心に依存するものとみている箇所の論議は非常に短く、アリストテレス自身この主題には他のどの箇所で立ち帰っていないからして、アリストテレスがこの見方に重要性を与えていたものとする必要はない、と述べている。W. D. Ross; *Aristotle's Physics*, 1936, P. 68
- (10) Hegel; *System der Philosophie*, 2 Teil, Die Naturphilosophie, neu hrsg. von Glochner, 1958, SS. 93, 91 (§ 261), 81 (§ 258), 71 (§ 254), 79 (§ 258).
- (11) レーニン『唯物論と経験批判論』第一冊、寺沢恒信訳、P. 227.

第2節 空間と時間の基本的諸特徴

前節においてわれわれは空間・時間の把握をめぐる唯物論と観念論との斗争の中心的問題として客観性の問題を取りあげ、とくにその主観主義的解釈の代表的なものを批判したが、本節では、空間と時間との客観性という規定性にもとづいて、空間と時間についての基本的諸特徴を現代唯物論の見地から指摘することにしよう。

まず第一に、(1) 空間・時間の次元性の問題がある。次元というときふつう任意の空間点を与える独立なパラメーターの数によつて表象されるが、正確には、トポロギー的写像によつて不変であるという性質によつて次元性を考えるべきであろう。ところで、われわれは、実在世界の空間は三次元的であると考えている。というのは、物理学の法則は三次元の空間において記述され実証的な検証をえているからである。モステパネンコも指摘するように、空間的連続性を破壊し、したがつて当の物理学の法則自身を破壊することなしに、何らかの物理学の法則を任意の次元の空間によつて記述することはできない。かれは書いている、「唯一の実在的空間が存在する。そして次元性はその根本的本性の特徴づけるところの、その質的なトポロギー的性質である。ブラウアーの定理によれば、空間の次元は同型的〔連続的で相互に一意的な……筆者〕変換にさいして不変である。(1) 三に等しくはない次元をもつた構想的空間による実在的空間の記述は、連続性を破壊し、物理学の法則の破壊に導くであろう。実在的空間のトポロギー的性質（次元を含めて）が世界における因果的連関の構造と結びついていることを示すことができる。なぜなら、あれこれのトポロギー的性質の破壊はこの根本的構造の破壊と等しいからである。」(2) 実在的空間については、それゆえ、われわれは三次元的と考える。つぎに、実在的時間については一次元的であると主張する。(3)

つぎに、(2) 空間と時間の相互連関という見地が重要である。時間は久しいあいだ空間から切り離され、互にまったく無関係なものとして理解されていた。古代の原子論によると、万物の根本原理は原子と空虚（空間）とであり、いつさいの現象は原子の結合分離によつて説明されたが、空間が根本原理であるのにたいし、時間は諸事象に伴うまったく付随的な事象にすぎない。(4) デカルトでも、空間の本質が実体的延長であるのにたいし、時間は持続についてのたんなる思惟の形態にすぎないとされている。ニュートンは事物の運動を説明するために速度を空間と時間の相互連関から——すなわち、質点の空間座標の、時間座標についての、微分係数 $\frac{ds}{dt}$ によつて——導いたが、これは基本的に正しい把握の方向を示すものであつた。なぜなら、事物の場所的運動は、その本質的な属性としての速度において、空間と時間との統一的連関としてのみあることが確認されたからである。いいかえ

れば、 $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{0}{0}$ あるいは $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta s}{\Delta t} \right)^2 = \frac{0}{0}$ が不定では

なくて一定の値をとるのは、速度あるいは加速度において相互に無縁な空間と時間とが外在的に関係しているのではなくて、速度あるいは加速度とは、まさに空間と時間との統一としての連関にほかならないからである。だが、ここでもまだ、一様に流れる時間と不動の空間とはそれ自身としては、事物の運動がそこにおいておこなわれるいわば枠組として、相互にまず独立なものとして考えられていた。しかし、この考えは、次章で詳しく述べるように、特殊相対性理論によつて打ち破られ、光速不変の原理を媒介として、時間と空間との相互連関の見地が、四次元の空間—時間構造という形式で、新たに科学的に形成された。哲学は特殊相対性理論のこの見地をいつそう普遍化して原則として確立し、空間と時間との相互連関、相互限定の仕方についてのより深い認識への方途を指し示している。なお、以上の点に関連してモステパネンコは次のように言っている、「世界の（3+1）次元

空間と時間についての哲学的諸問題

本性の確証となるのは、実験と合致する物理学方程式が、三次元のユークリッド群とローレンツ群とにかんして不変な方程式のクラスにぞくするということである。われわれが、完全な直交的な三次元の群から完全に直交的な四次元の群に移行するときには、後者は、もしそれに深い物理学的解釈を与えようと努めるならば、時間が虚の座標としてあらわれる(3+1)次元の空間・時間にかかわるところの完全に直交的なローレンツ群に変わるように、変形されなければならないことをわれわれは注意する。『深い物理学的解釈』というのは、ここでは、根本的な物理学合法則性がわれわれの群にかんして不変でなければならない、ということである。』⁽⁵⁾

つぎに、(3)空間・時間と物質との関係の問題がある。空間・時間は物質から離れて別に存するものではない。古代の原子論では、また、ニュートンらでも、空間(三次元のユークリッド空間)は、運動の外的な枠組、いいかえれば、事物にかかわりなく存在するいわば容器のようなものとして考えられていたが、アインシュタインは、いわゆる一般相対性理論(空間・時間の本質を物質の存在による重力場としての歪みとみる)によつて、この考えを打ち破り、空間・時間が運動する物質自身にぞくする一つの根本的なあり方であるというエンゲルスの見解(「物質の存在様式であるこの両者は、物質がなければ当然無であり、われわれの頭脳のうちにのみ存在する空虚な観念、抽象となる。」)⁽⁶⁾の正しさを証明した。全物質は本質と現象、因果性、必然性などのさまざまな連関をもっているが、空間・時間はそうした諸連関の一つ、しかも物質のどんな運動形態にとつても不可欠な、普遍的条件であるところの、物質自身の側面である。エンゲルスも言うように、「あらゆる存在の根本形態は、空間と時間とであり、時間外存在とは、空間外存在と同様に、はなはだしく無意味である。』⁽⁷⁾ところで、空間は物質の「並列性」の連関であり、時間はその「継起性」の連関である(「継起性」ということは「同時性」ということを契機として含んで

おり、これを介して「並列性」と結びつく)。この点についてシュタインマンも次のように述べている、「空間は物質的諸事物の共存の一般形式であり」、「時間は変化する物質的諸事物の状態の交替の一般形式である。」あるいは「空間と時間は、諸事物の共存と諸事件の継起を性格づける諸関係の総体である。」⁽⁸⁾

つぎに、(4)時間の不可逆性の問題がある。われわれの自然にたいする基本的見地は、これを歴史的過程とみるところにある。エンゲルスが指摘しているように、「真の無限はすでにヘーゲルによつて正当に充満された空間と時間とのうちに、自然過程と歴史のうちに、おかれた。今日では全自然もまた歴史のうちに解消し、歴史はただ自意識をもつ生物の発展過程としてのみ、自然史から区別されるにすぎない。」⁽⁹⁾自然のうちには可逆的、非歴史的な事象と不可逆的、歴史的な事象とが無関係に並び存するのではなくて、前者は、不可逆的、歴史的な全自然の運動・発展の抽象的な側面にすぎない。さきに、時間を一次的であると述べたが、それは本来、一方向的・不可逆的な一次元性である。アキسنも言っている、「時間の流れの一方向性、その不可逆性は、物質世界の発展の過程の性格を現わしており、運動する物質の存在形式としての時間の客観的特徴である。」⁽¹⁰⁾かれは、いわゆるフアイマン・ダイアグラムにおける反粒子の描出のための時間の反転の導入が物理学的計算においてもつ意味をみとめながらも、それを、時間の実在的可逆性の論証として存在論的に解釈するライヘンバッハの試みに反対している。物理学において一般に時間の反転にかんする方程式の不変性は、その方程式が自然の過程の不可逆的な方向性の捨象にもとづいて成り立つのである。⁽¹¹⁾それゆえ、時間反転は、たんに勝手に時間が逆転すること（つまり $t_1 \rightarrow t_2$ を $t_2 \rightarrow t_1$ にかえること）としてではなく、運動量の変化が逆になること（ $t_1 \rightarrow t_2$ において運動量が $p_1 \rightarrow p_2$ に変化するとすれば、 $t_1 \rightarrow t_2$ において $-p_2 \rightarrow -p_1$ となること）として解釈しなければならない。

空間と時間についての哲学的諸問題

さいごに、(5)物質の一側面である空間・時間は、したがってまた、それ自身認識可能なものである。ニュートン力学の場合のように、空間・時間といういわば容器のなかの事象だけが認識可能なのではなく、一般相対性理論や素粒子論が空間・時間の構造の問題にかかわっているように、今日では、この構造自身が自然科学的に研究されるようになってきている。ここには、認識の発展における相対的真理と絶対的真理との統一という問題がある。このことをレーニンも指摘している、「空間と時間にかんする人間の観念は相対的である。しかし、これらの相対的な観念から絶対的真理が構成されるのであり、これらの相対的な諸観念は、発展しながら、絶対的真理の方向にすすみ、これに接近するのである。空間と時間にかんする人間の観念が変化するものであるということは、空間と時間との容観的實在性をひつくりかえるものではない。」⁽¹²⁾

以上によつて空間・時間とにかんする現代唯物論の基本的見地を述べたので、次に若干の特殊的な問題をとりあげてみることにしよう。

注

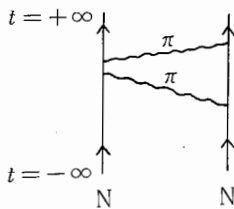
- (1) L. E. J. Brower; Beweis der Invarianz der Dimensionenzahl, *Mathematische Annalen*, 1911, LXX, SS. 161—165. 次元数の不変性の問題、すなわち、 m 次元多様体と $m+h$ 次元多様体 ($h > 0$) とのあいだに一意的で連続的な関係を確定することが不可能であるという問題は、 $m \leq 0$ という場合については、リュエーロートによつて解決されていたが、これを一般的な場合について証明したのが、ブラウアーのこの論文である。
- (2) A. M. Мостепаненко: Размерность реального пространства, *Философские науки*, 1967, 6, стр. 38.
- (3) См. А. М. Жаров: Об эмпирическом и теоретическом обосновании одномерности времени, *Б. Вол. фил.*, 1967, №7.

この論文の主張は次の点にある。「時間の一次元性は、すべての性質の統一において考察される現実性の任意の現象の変化も、必ずず、単一な線的な継起性において秩序づけられているということの結果である。そして、あれこれの事物あるいは現象の性質がそれらの相互の連関の外部で、それらの統一の外部で

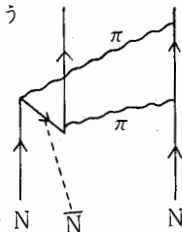
考察されるときにのみ、この事物あるいは現象の存在の時間を多次元的な現象として解釈する可能性が生ずる。」「そのような考えの発見的価値は、物理学や数学で重要な結果の得られるもととなる多次元空間の考えと同様でありうる。しかし、数学的物理学の多次元空間を実在的な三次元空間と同一視してはならないように、個々の科学において作られうる多次元時間の考えは、哲学的に理解されうる実在的な一次元時間と同一視してはならない。具体的諸科学の適用の枠の外では、時間の多次元性の考えは正しいものとは認められえない。」

(с Тр., 108, 109) なお第4節注5)を参照。

- (4) 『エピクロス——教説と手紙——』出隆、岩崎允胤訳、p.169 注(59)を参照。
- (5) А. М. Мостепаненко: Указ. соч., стр. 45.
- (6) エンゲルス『自然弁証法』第二冊、前掲訳、p.78.
- (7) エンゲルス『反デューリング論』マルクス＝エンゲルス選集、第14巻、p.142.
- (8) Р. Я. Штейнман: Пространство и время, 1962, стр. 232. 234.
- (9) エンゲルス『自然弁証法』第二冊、前掲訳、p.80.
- (10) Я. Ф. Аскин: Учение диалектического материализма о времени и пространстве и современная физика. Диалектический материализм и вопросы естествознания, 1964, стр. 238-9.
- (11) ファイマン・ダイアグラムは素粒子の相互作用を目にみえるように図式的に



書いたもの。たとえば、核力の場合 $N \leftarrow \pi \rightarrow N$ について、第一図のように表示する。時間の反転のようにみえるのは、第二図のように、反粒子を意味する。



- (12) アスキンは、次のアインシュタインの言葉を、賛意をもって引用している、「物理学の式で文字 t によってあらわされる時間は、もちろん、マイナスの符号で方程式に導入されうる。このことは時間を逆方向において計算する可能性を与える。しかし、ここでは、われわれはただたんなる計算にのみかかわっているのであって、時間の流れそのものもマイナスになるということを、この計算から決してひき出してはならない。ここにすべての誤解の根本がある。ここには、許されており必然的でさえある

空間と時間についての哲学的諸問題

もの、たとえば計算と、現実可能なものとの混同がある。」 Я. Ф. Аскин:

Указ. соч., стр. 240

- (13) レーニン『唯物論と経験批判論』第1冊。前掲訳。р. 227—8.

第3節 特殊相対性理論における 空間と時間の問題

1

前節に述べたように、ニュートン力学では、空間と時間は運動の外的な枠であり、しかも相互に無関係なものとして考えられている。ニュートンが『自然哲学の数学的原理』の始めで述べているように、絶対の空間は、その本性によって、他の対象に関係なく、つねに等しくかつ不動でありつづける。また、絶対の時間は、その本性によって、他の対象に関係なく一様に流れてゆくものとされていた。

さて古典力学では、運動方程式を書くためには、その運動の任意の時刻における空間的位置が与えられなければならない。その運動をあらわす基準系として或る物理系をとり、空間座標と時間座標 x, y, z, t が与えられたとする。もしこの基準系にたいし等しい速度 v で直進運動をする基準系においては（簡単のため x 軸の方向にだけ運動するものとする）

$$x' = x - vt$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$

という変換によって、さきの基準系においてと同一の運動方程式を書くことができる。これがガリレイ変換である。この変換においては、時間座標は決して変換されない。このことは空間座標と時間座標とが無関係であることを示している。

ガリレイ＝ニュートンの相対性原理といわれるものは、自然法則（ニュートンの運動方程式など）はガリレイ変換にかんしては不変であるということ、光を含め、あらゆる事物の運動の速度は相対的である

空間と時間についての哲学的諸問題
ということである。

しかし、マックスウエルの電磁気学によって仮設的な一種の物質として要請されているエーテルの仮説にもとずいて光の運動を扱う場合には、この変換が成り立たなくなることが、モーレー＝マイケルソンの実験によって明らかになり、アインシュタインはそこで、エーテルという仮想上の物質の存在を否定し光速を除くあらゆる事物の運動にかんしては運動の相対性は成り立つけれども、光速にかんしてはそれは成り立たない。すなわち、光速は、相互に等速直進運動をするどのような基準系にとってもつねに一定不変であることを原則として立てた。ここでは、次のような変換が成り立たなければならない。(やはり簡単のため x 軸の方向に系は相互に運動しているものとする。)

$$\begin{aligned}x' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\y' &= y \\z' &= z \\t' &= \frac{t - \frac{v}{c^2} x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}\end{aligned}$$

これをローレンツ変換という。この変換において c を無限大にすれば、ガリレイ変換がえられる。すなわち、 v の大きさが光速に比してきわめて小さいような運動を取扱う場合にはガリレイ変換が成り立つのであり、ローレンツ変換はそれ自身の特殊な場合としてガリレイ変換を含むのである。

特殊相対性理論の基礎をなす命題は次の二つである。第一、自然法則（ニュートンの運動方程式、マックスウエルの電磁場の方程式など）はローレンツ変換にかんし不変である。第二、等速直進運動をするどのような基準系にとっても光速は一定不変である。

さて、ローレンツ変換の式をみればただちに分るように、一方の基準系の空間座標 x' は、他方の基準系の空間座標 x と時間座標 t とを含むものとして表現されている。すなわち、空間座標の変換は、時間座標の介入なしにはおこなわれない。また、時間座標 t' は、時間座標 t と空間座標 x とを含むものとして表現されている。すなわち、時間座標の変換は、空間座標の介入なしにはおこなわれない。とくに $x=0$ の場合にのみ空間座標 x' は時間座標 t とのみ関係し、 $t=0$ の場合にのみ、時間座標 t' は空間座標 x とのみ関係する。一般には空間と時間とは相互に関連し、一体として四次元の空間—時間を形成している。

しかし、空間と時間との質的区別は特殊相対性理論においても一貫して保持されていることを注意しなければならない。ローレンツ変換において、 x 軸の変換と t 軸の変換とが相異なる形の式であるところに、両者の質的区別の数学的表現があるということが出来る。ところで、変換が次の条件を満足することは容易にわかる。

$$x'^2 - c^2 t'^2 = x^2 - c^2 t^2$$

$$\text{一般に、} x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2 t'^2 = x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2$$

このように特殊相対性理論の空間はユークリッド空間に類似している。しかし、時間座標を空間座標と同じ形で表現するためには、上式において

$$-c^2 t'^2 = u'^2$$

$$-c^2 t^2 = u^2$$

とおかなければならず、時間座標は虚数としてあらわさなければならない。もちろん虚数であるところに何ら神秘的なものはない。しかし、このことは空間座標と時間座標とのあいだに区別があり、空間と時間とが互にそれ自身としては変換されることがないことを示している。(なお、このことは、実数と虚数との対応が客観的實在のなかにその基礎をもっていること、つまり、虚数が実在の基礎をもっている

空間と時間についての哲学的諸問題
ことを示す一つの例である。

さて、特殊相対性理論では、ローレンツ変換から、基準系が異なるに応じて、長さの縮み（いわゆるローレンツ短縮）や時間の遅れが引き出される。かってローレンツは、当時実験的には明らかになっていたこうした縮みや遅れの事実を、エーテルと物体を構成する根源的な粒子とのあいだの力学的な相互作用によって物体におこる結果であると考えたが、アインシュタインは、それを力学的な作用の結果とはみず、物体がそれを測定する器具（基準系）にたいして相対的に運動していることの結果であると説明した。つまり、ローレンツ短縮や時間の遅れは、相対運動をする物体自身の縮みや伸びではなく、相対運動による空間量と時間量を測定するものの伸びや縮みであるとしたのである。

このような短縮や遅れは、決して、いっさいの空間量や時間量の相対性を意味しておらず、反対に、どんな物体も、それにたいして静止している物理系を基準系とすれば、固有の長さと時間をもっている。それは、ある意味で、絶対的な量ということができ、この基準系にたいして運動するどのような基準系からも独立である。

さらに、特殊相対性理論の説明のさいに観測者という言葉がしばしば使われる。これを使うことは説明を分かりやすくする面をもつかもしれないけれども、誤解もまた反面では生まれやすく、いずれにせよ厳密には基準系という概念を用いるべきである。観測者という言葉は主観主義的な解釈の余地をのこしている。あるいはむしろ主観主義的な解釈にうってつけの言葉である。この言葉は、量子力学におけるいわゆる観測についてと同様に、相対性理論のマッハ主義的解釈への道を開いている。

いうまでもなく、基準系のいかにかわりなくおこなわれている現実的な物質的過程がある。それを位置と時刻にかんし測定するために或る物理系が基準としてとられる（そこに測定 of 器具が固定される）。こ

のような物理的な基準系が相互に等速直進運動をするとき、自然法則を不変とするような変換がローレンツ変換にほかならない。特殊相対性理論において往々にして観測者という言葉が基準系の代わりに用いられるけれども、基準系は、意識からも、観測主観からも独立な物質系であり、それらの相対的運動が、或る現実的な物質的過程についての座標的表示にかんして空間の縮みや時間の遅れといわれるものを、客観的に——意識からも観測主観からも独立に——ひきおこす。そして、これらの相対的運動をおこなう基準系のあいだの変換にさいして自然法則は不変である。ここには、基準系の変換の相対性にたいする自然の法則の不変な絶対性がある。特殊相対性理論は、光速度不変の原則を媒介として、客観的に一定の運動をおこなう慣性系のあいだでの変換の理論である。

2

特殊相対性理論についてのミンコフスキーの幾何学的表示が知られている。ローレンツ変換において、さきに述べたように、時間の変数として ct を用いれば、

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 + u'^2 = x^2 + y^2 + z^2 + u^2$$

が得られる。これはユークリッドの三次元空間と非常に類似した四次元の空間をあらわしている。ミンコフスキーはこの空間を「世界」、またその空間内の点を「世界点」と呼んでいる。

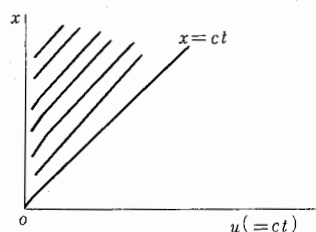
さて、われわれは一般に、幾何学的命題が現実の世界とは別にそれのいわば原型として成立すると考えることはできないし、また、物理学は本来的には幾何学にほかならないと考えることもできない。それゆえ、ミンコフスキーの幾何学的表示についても、われわれは、いわゆる「世界」と「世界点」とをそれ自体として成り立つものであり、物理学的事象あるいは現実的世界をこれに還元して考えることができるという解釈に賛成することができない。特殊相対性理論によって説

空間と時間についての哲学的諸問題

明される物理学的事象が一定の時間に一定の位置を占めるということにもとづいて、われわれは、一定の抽象化を媒介として、その事象をミンコフスキーの空間の一定の座標と対応させることができるのである。このようにして対応させられた座標が「世界点」である。このようなわけで、ミンコフスキーの「世界」は、われわれがそれを現実の世界とは別にそれ自体において成立するものであると解釈し、現実の世界をそれに帰着しようとするのでなく、反対に、物理学的事象を抽象的に反映するモデルとみなすならば、特殊相対性理論による物理学的事象についてのわれわれの理解を助けることができる。

特殊相対性理論では、あとで述べるように、事象の前後関係について三通りの場合があるとされている。すなわち、絶対的に前、絶対的に後、および前でも後でもない（どのような物理系を基準にとるかによって前になったり後になったりする）という三通りの場合がある。ところで、どんな事象もその原因よりも前におこることはありえない。時間的前後関係が客観的に決定されうる領域においてのみ因果関係は成り立ちうるのであり、時間的前後関係の不定である領域があるとすれば、そこでは因果関係はそもそも成り立ちえないということが明らかである。われわれは以下、ミンコフスキーの幾何学的世界モデルを前提するかぎりにおいて、事象間の時間的關係を考察し、そのことの唯物論的意味について付言しておきたい。

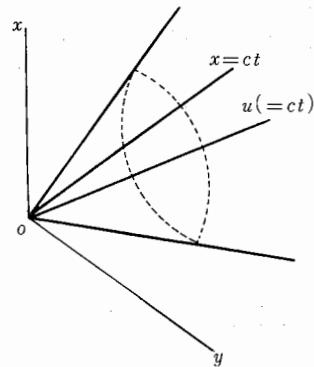
簡単のため、まず空間—時間の二次元の第一象限の世界を考える。或る基準系をとり $u = ct$ とすれば、光の運動は、 $x = ct$ ゆえ、右図のように、 x 軸と u 軸との交わって作る角の二等分線によって示される。これを光



の世界線という。ところで、光速よりも早い速度の運動はないと考えられるから、原点から斜線をひいた部分内の任意の点 ($x > u$)へ

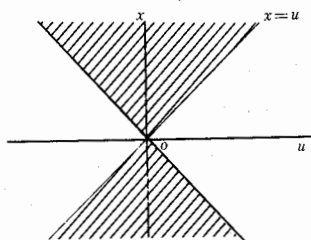
の運動は現実的にはありえないと考えられる。なお、ここにも、空間軸（ x 軸）と時間軸（ $u = ct$ 軸）との非対称性、つまり空間と時間との質的区別が示されていることに注意。

三次元の世界を考えれば、右図の示すように、光の世界線は、 u 軸を軸とする円錐面上にある。さらに四次元の世界を考えれば、光の世界線は三次元の超円錐面（hypercone）上にある。ミンコフスキーの四次元世界において



これは光錐面（light cone）と呼ばれる。光の世界線はすべてこのうえに載っているからである。二次元の世界を考えたい斜線を引いた部分内の任意の点の座標が $x > u$ であったのに応じて、四次元の世界では $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2} > u$ という関係にある点はその斜線部分に該当することは明らかである。その点と原点とを結ぶ線が現実的な運動を表現することはないと考えられる（光速度以上の速度での作用はないと考えられるからである）。

そこでふたたび簡単のため二次元の世界を考え、ある基準系をとる。ただし今度は四つの象限をとり、時間は負から正へと流れるものとする。



る。斜線部分は右図のように拡張される。そこで、三つの部分が分けられる。

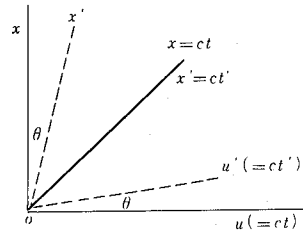
- (1) $x^2 < u^2, u > 0$
- (2) $x^2 < u^2, u < 0$
- (3) $x^2 > u^2$ 斜線部分

ところで、相互に等速直進運動をするどのような基準系にとっても、光速度は一定である（その運動は $x = ct$ であらわされる）から、基準系の如何にかかわらず、原点が一致するかぎり、光の世界線は同一でなければならない（右図参照）。

空間と時間についての哲学的諸問題

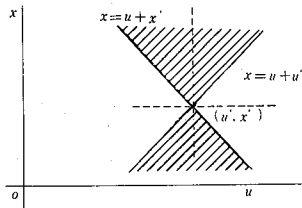
このことは、ローレンツ変換が $x^2 - u^2$ (つまり $x^2 - c^2 t^2$) を不変にすることから明らかであるといってもよい。なぜなら、基準系の如何にかかわらず、同一の不等式 (1),

(2), (3) が成り立つからである。それゆえ、光の世界線による三つの場合への区分は基準系のとり方には無関係である。



(1)と(2)の場合は、しばしば、それぞれ未来圏、過去圏とよばれる。というのは、これらの場合には、その任意の点は原点にたいし、基準系のいかんにかかわらず、時間的に「後」 ((1)の場合) かまたは「前」 ((2)の場合) かにきまっているからである。しかし、(3)の場合には、前後関係は不定である。

以上述べたことは、基準系の座標の原点にたいしてのみいえるのではない。今、或る基準系をとりその任意の世界点を通る二本の光の世界線をひけば、右図のように、さきと同様に、その光の世界線によって三つの場合を区分することができる。このことはまた、基準系のいかんには関係しない。



ところで世界点はかならず事象に対応づけられる。今二つの事象があるとして、それに対応づけられる世界点のうち、一方の世界点を通る二つの光の世界線を引いたとき他方の世界点が以上の三つの場合のどれに入るかによって、事象間の時間的前後関係は、世界にかんする問題として論ずることができる。しかるに、この世界では、今述べたように、時間的に「前」および「後」の決定している場合——(2)と(1)——と、前と後との定まらない場合——(3)——とがある。この最後の場合は、二つの世界点を結ぶ線は、どのような現実の運動をも表現することができないと考えられる (光速

よりも早い速度をもつ運動はないと考えられるからである)。

さて、因果関係の成立するのは未来圏または過去圏の範囲内である。なぜなら、もちろん因果関係は時間的な継起関係には帰着されえないけれども、因果関係は継起関係をその一つの必要な条件としているからである。ところで、唯物弁証法が示すように、因果関係がなお事物の抽象的な連関とすれば、それよりもいっそう具体的な事物の連関は相互作用である(つまり因果関係は相互作用の一側面をとりだしたものである⁽¹⁾)。すなわち、まず客観的に相互作用する物質の諸運動がある(光速以上で作用しあうような関連はないと考えられる)。それは空間・時間をそれ自身の存在の様式としている。この相互作用は時間的に決定された前後関係においておこなわれる。特殊相対性理論は、時間的な前後関係がすべて相対的なものとして勝手にくつがえされうことを主張しているのではなく、反対に、相互作用をおこなう物質間における時間は前後連関の決定性を客観的に証明している。それゆえ、事象の因果的關係についていえば、それは基準系のとり方とは無関係に成り立つのである。ただ、相互作用をおこなわない諸事象——こうした諸事象を結びつける現実的運動は存しない——の間には時間的な「前」も「後」も決定されないのである。

以上のことは、ミンコフスキーの「世界」を実在的な物理的事象を抽象的に反映するモデルとみなしうるかぎりにおいて、言われうる。しかし、汲みつくされない全実在界にたいし、われわれは特殊相対性理論の妥当性を、いわんやミンコフスキーの「世界」の妥当性を無条件的に要求する権利をもっていない。したがって、光錐面とその彼岸世界とについて形而上学的思弁をおこなうことは、厳につつまなければならない。

注

- (1) レーニン『哲学ノート』邦訳全集、第38巻、pp. 130以下。

第4節 非ユークリッド空間および n 次元 抽象空間とその対象反映性

ロバチェフスキーが非ユークリッド空間の可能性を示して以来、ロバチェフスキー空間、射影空間、リーマン空間、ヒルベルト空間、パーナッハ空間など、おびただしい数の空間が幾何学の対象となった。ここから、主観的観念論の直観主義者たちは、幾何学者が存在するだけそれだけ多数の幾何学が存在する、と言っているほどである。そこで、一般に、抽象空間の物質的基礎は何であるか、あるいは抽象空間はどんな物質的基礎をもたずたんに「作られた空間」にすぎないか、また、物質的基礎をもつとしても、抽象空間と実在空間（三次元ないし、時間を加えて四次元の空間）との異同は何であるか、などの問題が生じてくる。本節では、最初、非ユークリッド空間の問題について簡単に述べ、次に、いわゆる抽象空間（位相空間、表現空間など）の問題をとりあげる。

1

久しいあいだユークリッド幾何学は唯一の幾何学として絶対化され、その公理は空間についての確実な直覚にもとづく疑えないものであると考えられていた。ただ平行線公理については、他の諸公理からこれを導こうという数多くの試みがおこなわれたが、いずれも失敗に終わっている。だがその失敗の歴史のなかで、この公理の帰謬論的証明の試みが数多くの興味ある命題を導出していたことが注目される。ロバチェフスキーは、平行線公理の証明の試みを棄て、積極的に、平行線公理に反対の主張、すなわち「与えられた直線上にない点を通つて、与えられた直線に平行な直線を一本ではなく、少なくとも二本引くことができる」という主張を公理として立てることによつて、全く新し

い幾何学を構成しうることを示した。この幾何学は、長さの単位に係する或る定数が無限に大きくなった極限においてユークリッド幾何学となる。つまり、ユークリッド幾何学はロバチェフスキー幾何学の極限の場合であり、後者は前者を特殊な場合として含むより一般的な理論である。ロバチェフスキーは、空間（ユークリッド的空間）を先験的なものとみるカントに反対し、幾何学の真実性は経験によつて確かめられると考えていた。かれは新しい幾何学を「空想的」と呼びはしたが、その実在的基礎がやがては物理学的に与えられるであろうことを予想していた。

ユークリッド幾何学の絶対化からの離脱というこのロバチェフスキーの道をさらに飛躍的に前進させたのはリーマンである。リーマンは一定の計量の法則をもつ空間を考えた。その空間はそれ自身において曲率をもつものであり、曲率が0ならばユークリッド空間、負曲率ならばロバチェフスキーの空間となる。リーマン幾何学はその後アインシュタインの重力場理論の数学的な定式化のために利用された。リーマンにおける物質でない（曲率をもった）空間は物質の分布と運動の幾何学的表現をなすものである。このようにして、実在の空間が非ユークリッド的である（ただしユークリッド空間はその特殊な場合として含まれる）⁽¹⁾ というロバチェフスキーやリーマンの思想の正しさは、アインシュタインの理論によって美事に立証された。

〔注〕

- (1) 非ユークリッド幾何学については別稿であらためて論じるつもりである。

ユークリッド幾何学→ロバチェフスキー幾何学→リーマン幾何学という発展において、われわれは、後の一般理論が前の理論を特殊な場合として含むという認識の弁証法的発展の顕著な一例をみることができる。

2

つぎに、数学で論じられ自然科学でしばしば適用されている n 次元

空間と時間についての哲学的諸問題

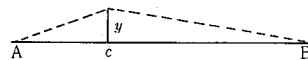
抽象空間が人間思想の純粹な所産であるか、それとも客觀的實在の何らかの側面を反映するものであるかという問題を考察しよう。(1)

まず、自然科学においてそれが適用されている例としてギブス・アンサンブルによる気体の分子運動の取扱い方を考えてみよう。周知のように、おのおのの瞬間における一つの分子の運動状態は位置と運動量とによつてきまり、それは三つの座標と三つの運動量成分、つまり6個の量によつて与えられる(自由度6個をもつという)。そこで、今分子の数を N 個とすれば、すべての分子の状態は $6N$ 個の量によつて与えられる。こうして、これらの量をそれぞれ座標にとることによつて、ある時間におけるすべての分子の状態を $6N$ 次元の空間の一点として、したがつて、その状態の時間的变化を点の変位として取扱うことができる。この空間がギブスのフェーズ(位相)空間とよばれるものである。

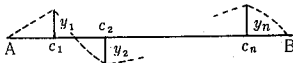
あるいは、マクロの物理学からの例をとれば、三種類の気体の混合物の熱力学的状態は、温度、圧力、二種類の気体の百分率によつてきまるから、それは4個の座標をもつ4次元空間の点として表示されることになる。

また、重りをつけた糸の振動の場合を考えてみよう。まず、(第一図を参照)2点A、Bの間に糸を張り、或る点cに質量 m の重りをつけこれを平衡の位置からずらせば、

糸は振動をはじめ。糸の状態は一つの数、つまりその重りの平衡の位置からの偏差 y によつて与えられる。

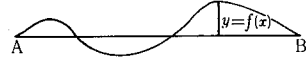


次に(第二図を参照)、 $c_1, c_2, \dots, c_n$ の点にそれぞれ質量 m の重りをつけると、糸の状態は n 個の数、つまりおのおのの重りの平衡の位置からの偏差 $y_1, y_2, \dots, y_n$ によつて与えられる。この場合、



変数の組 $(y_1, y_2, \dots, y_n)$ は n 次元空間の一点としてあらわされる。

ところで、次に（第三図を参照）、問題を変え、重りをつけた糸の振動についての以上の考察の結果を、弦の小振動の研究に移して考えてみると、弦の状態は、もはや有限個の変数の組によつては与えられず、弦（ x の連続的な変域）の各点における偏差、つまり関数 $y = f(x)$ によつて与えられる。このようにし



て、弦の小振動の状態は連続無限次元空間（すなわち関数空間）の点と考えられるわけである。

以上の諸例によつて考えられた n 次元（ n は無限大であつてもよい）の「空間」は運動する物質の普遍的な存在形式としての四次元の空間－時間（三次元の空間と一次元の時間）とは明らかに区別される。この「空間」は、相異なる規定量によつて特殊づけられる事物（物質系）の状態とその変化を数学的に記述するための方法である。記述のための空間であるから記述空間ともいわれる。しかし、だからといってそれは主観的な構成物、実在世界に対応物をもたないところの架空なものではない、いわんや、それはどんな超物質的な世界を指し示すものでもない。反対に、客観的事物（物質系）の状態とその変化が相異なる規定量によつて特徴づけられるという事実こそが、われわれをしてその関係を右に述べたような仕方で数学的に記述させるための物質的基礎となつている。ヤノフスカヤが無限次元空間について、それが三ないし四次元の実在空間を反映しているのではなく、非常に多くの物理学的対象の量的諸関係を反映しており、量子力学の領域のなかにも無限次元空間が見出されると言つていのはこの意味である。

さらに、物質のどんな運動形態にとつても不可欠な条件であり、物質自身普遍的な連関であるところの実在的空間にたいし、記述空間によつて表現される事物（物質系）は近似的に閉じており、この意味でその空間は、当該事物（物質系）に即して局限的であり、特殊である。当の事物（物質系）の状態とその変化を量的に表現する変数の組

空間と時間についての哲学的諸問題

を要素とする集合が当該空間を構成する。つまり、「空間」とは変数（各規定量をあらわす）の組の集合である。

多次元の空間を研究するにあたって、数学者は、一次元、二次元、三次元の空間についての研究を基礎とし、それを抽象的に一般化するという方法をとった。三次元（時間を加えれば四次元）までの空間についての幾何学が物質の普遍的な存在形式としての实在空間の反映でありえたのにたいし、一般に、 n 次元($n > 3$ あるいは4)の空間の幾何学はその直接の反映ではない。抽象的な一般化によつてこの反映は間接的となつた。しかし、それによつてかえつてその「空間」は近似的に閉じた物質系の状態とその変化を特徴づける諸規定量の関連をそれ自身の物質的基礎としてもつことになつた。ここにまた、その「空間」の有用性がある。以上のような見地から、ア・デ・アレクサンドロフも「空間の概念の一般化の結果として『空間』という術語は科学において二つの意味をもつことになる。」すなわち、物質の存在の普遍的な形式としての普通の实在する空間と、「抽象空間」とを区別しなければならない、としている。⁽⁴⁾ アスキンの、「数学的な、ベクトル空間の概念は、物理学的研究の有力な武器ではあるが、これを物理学的空間〔したがつて以上述べた实在空間……筆者〕から区別しなければならない」⁽⁵⁾と述べている。

多次元の空間は以上で述べたように、事物の量的状態とその変化とを記述するための数学的方法となるのであり、アレクサンドロフは、その表示の効用は大体において普通のグラフの効用と同じであるともいつている。ともあれ、ここでは、事物の状態の反映としては、何よりもまずその質的諸特徴が捨象されていることに注意しなければならない。気体の分子の運動の記述においては、位置座標と運動量成分とが質の捨象によつて数学的に同等な座標とされているし、気体混合物の熱力学的記述においては、温度も圧力も混合百分率も数学的に同等な座標とされている。諸規定性の質の捨象、つまり等質性を前提とし

ではじめて空間的表示が可能となる。さらにまた、とられている座標軸は相互に独立であり、したがって、事物の質的規定性もおのおのの座標軸にかんして量的に位置づけられるかぎりにおいて相互に独立なものともみなされている。このことは、事物における客観的な相互作用の捨象ともいえよう。しかし、あるいはこういうべきであろう。それらの規定性が相互作用をおこなう場合にも、その相互作用自身は空間的に表現されておらず、ただ相互作用によって生じた結果としての量的変動のみが空間的に表現されるのである。諸座標の連関、つまり一つの組における諸変数は、この意味で、相互外在的である。(6)

なお、現在、素粒子論において、アイソトピックスピンやストレンジネスなどの内部自由度をあらわすところの特殊空間——アイソトピック空間 $SU(2)$ や完全対称性空間 $SU(3)$ など——が考えられている。これらの空間は素粒子の相互転化における対称性を与えるものであり、いわゆる四次元の実在的な空間—時間とは区別される抽象空間である。しかし、さきに述べた位相空間とも区別される。これらの空間は、「空間」といつても自然の対称性の数学的表現形式であり、それについては自然の対称性について論ずる別稿で論及するのが適当であろう。(6)

注

- (1) 以下の所論において、ア・デ・アレクサンドロフ「抽象空間」、ソヴェト科学アカデミー版『数学通論』遠山啓監訳、第Ⅳ巻所収に負う。
- (2) 自由度とは事物の状態を一義的にさめる独立変数をいう。つまり、多次元の位相空間における互に独立な変数の数（束縛の条件式があればその数を引いたもの）である。
- (3) 無限次元のユークリッド空間がヒルベルト空間とよばれる。
- (4) ア・デ・アレクサンドロフ「抽象空間」、前掲訳、第Ⅳ巻、p. 1134。
- (5) Я. Ф. Аскин: Указ. соч., стр. 238. 客観的対象における統一的な諸状態を相互外在的な仕方でも局在化した時間において—— $x_1(t_1)$, $x_2(t_2)$, $x_3(t_3)$ などとして——捉える場合がある。このような研究の仕方は客観的事態の或る側面

空間と時間についての哲学的諸問題

を反映しており有効なものであるが、多次元時間を実在的な一次元の時間と明確に区別しなければならない。この点については第2節の注3)を参照。朝永氏の超多時間論においては t は非可付番無限として扱われている。

- (6) 拙稿「物質の哲学的概念と自然の論理」岩波哲学講座第XⅡ巻所収、第二章「対称性と保存則」を参照。

第5節 真空とその物質性

物質について論ずるときには哲学的概念と科学的（たとえば物理学的）概念とを区別しなければならないことは周知のとおりであるが、本節では、真空に物理学的意味での物質性がそくしているという問題を主題とする。すなわち、ふつう（また、古くは）、真空は空虚な空間、つまり物質の存在しない空間と考えられているが、物理学の発展は、真空がたんに物質とその運動のいわば容器のようなものにすぎないのではなく、それ自身物理的性質をもつものであることを明らかにするにいたっている。真空についての物理学的認識の歴史は、その確立と「揚棄」（この「揚棄」において真空はなお「契機」として含まれている）の歴史ということができよう。以下この問題を検討してみよう。

1

真空を意味する近代の欧語 *vacuum*, *das Vakuum*, *vacuo*, *bakuum* はラテン語の *vacuum* から来ており、それはギリシア語の *kénon* の訳語である。ここにはたんに言葉の上での繋がりがあるだけでなく、一つの問題にたいする追究の歴史がある。

すでに古代ギリシアの原子論（レウキッポス、デモクリトス、エピクロス）において、真空（空虚）の存在が主張されている。かれらはその見解を実験によつて検証することはできなかったけれども、パルメニデスの運動否定論を克服し、事物の多と運動という感覚的に明らかな事実を説明するために、原子の運動する空間（*xōpa*）としての空虚（真空）——「有るもの」（原子）にたいする「有らぬもの」——の存在を主張したことについては、周知のとおりである。「空虚があると主張する人々は空虚をいわば或る場所、容器のようなものだとしている」⁽¹⁾とアリストテレスは書いている。あとで述べるように、ニュ

空間と時間についての哲学的諸問題

ートンの絶対空間はこの系譜に立つものである。

アリストテレスは原子論者に反対して、場所的運動があるからといって空虚がなければならぬという必然性はないばかりか、空虚は運動を不能にする、なぜなら、空虚があれば速度は無限大になるが、それは不可能であるから、としている。というのは、かれによれば、 v を速度、 m を運動体の重さ、 d を媒質の密度とすると、

$$v = \frac{m}{d}$$

であるが、 $m = \text{const.}$ として $d = 0$ とおけば $v = \infty$ となるからである。この式にもみられるように、かれにおいて、媒質が運動の本来的条件となつている。これにたしい、真空中の運動を本来のものとし、媒質による抵抗を運動の偏倚条件とみたのはガリレイである。

ところで、空虚中での運動速度の無限大というアリストテレスの見解にたいし、エピクロスが空虚中での原子の運動は有限で等速（ただしわれわれの思料を超えた、ジウサーニによれば「絶対的な速さ」）である、と主張している点は注意しなければならない。アリストテレスの媒質観と原子論における空虚観とは対立的であつて、後者では、空虚中における運動こそ本来的であり、媒質中での運動の遅れは媒質の抵抗という副次的条件によるとされるのである。

ところで、アリストテレスの空虚否定論はその後かれの学派の内部でも若干の修正をうけた。ストラトンは、原子論の影響のもとに、あらゆる物体は構成諸要素から成りそれらの間にはさらに微小な空虚があること、しかし、連続的な空虚は自然に反してでなければ存在しないこと、つまり、自然はこのような真空を嫌悪する（horror vacui）ことを主張した。ヘロンも、ポンプのような吸引力をもつた装置によれば、水は、この真空嫌悪性のために、どこまでも上昇しうる、と考えていた。

注

(1) Arist; *Phys.* $\Delta 213$ a 16, ——なお、プラトンは原子論者の影響をうけ

ながら、しかし空間（コーラ）を、たんに空虚なものではなく、いつさいの生成の受容者（ヒュポドケー）であり生成者からその型をうけとる自存的な、一種の質料のような性質をもつものと考えている。新プラトン派でもこの考えがひきつがれ、空間は可感界における形相の受容者としての感覚的質料とみられている。それは「有らぬもの」ではあるが質料的な受容者である。

2

ガリレイは、ストラトンの空虚論を伝えるヘロンの『気学』を或る翻案で読んだが、かれの次の見解はストラトンの考え方の系譜に立つものと思われる。「もちろんこの大きな真空は、いろいろな実験の結果から判断してみると、人工的には〔自然に反しては……筆者〕おそらく作ることができるでしょう(1)」とガリレイは書いている。かれは固体の破壊抵抗力（つまり微細な構成要素から成る固体が外力の破壊にたいして抵抗する一定の限度）を測るという問題を、固体内部の微細な真空の抵抗力の測定の問題とし、これをポンプによる水柱の上昇の限度の問題から解決しようとした。水柱がどこまでも上昇しようと考えたヘロンにたいして、ガリレイは新しい経験的事実によつて反対していたのである。かれの弟子トリチェルリは真空の抵抗力の測定のために水柱の代わりに水銀柱を用いることを思いつき、これが、ガリレイがさきに可能であると予想した「大きな真空」の人工的作成に導き、さらに、やがてはパスカルによる大気の圧力の発見に導いた。こうして真空自身に抵抗力があるかのようななお神秘的な跡をとどめる表象は棄てられることになった。

『新科学対話』において、破壊抵抗力と並ぶ、いや遥かに重要な今一つの主題は、周知のように、物体の場所的運動の問題である。ガリレイは、アリストテレスの真空否定論を詳細に論駁し、媒質なき真空中での等加速度落下運動についての有名な法則を見出した。しかし、この真空はまだ地上の落下運動に即して要請されていたにとどまる。それが、遠隔作用によるいつさいの事物の場所的運動のおこなわれる

空間と時間についての哲学的諸問題

絶対空間の考えにまで発展するのは、落下運動の法則と天体運動の法則（ケプラー）とを媒介的に揚棄するニュートンの力学の形成をまつのである。ニュートンにおいて、空間はいつさいの物体の運動のおこなわれるいわば容器であり、ユークリッド的空間である。古代原子論において思惟によつてうちたてられた空虚な空間は、このようにして、一方においてトリチェルリ、パスカルによつて、他方においてニュートンによつて、客観的実在として科学的に確立された。(2)

〔注〕

- (1) ガリレイ『新科学対話』今野武雄、日田節次訳、岩波文庫、上巻、104頁。
- (2) 以上に述べた点については、拙稿「ガリレオ・ガリレイにおける真空論の哲学史的考察」『哲学雑誌』713,714号、1951, 52年に詳しい。

3

さて、ニュートンのいわゆる光素説に先立つて、ホイヘンスは光の本性を波動とし、これによつて光の直行、反射、屈折などの諸現象を説明したが、もし光が波動であるならば、それを伝える媒質があるはずであり、かれはそれを全宇宙にゆきわたつてゐる透明なエーテルとした。光の波動説は19世紀のはじめにヤングとフレネルの光の廻折についての実験などによつて、しだいに広い支持をうるようになった。とくに真空の問題をめぐる光の波動説の意義は、波動論のその後の発展からかえりみて、たんなる「空虚」よりもより深い「場」の認識にいたる道をわずかながら歩みはじめたところにある。すなわち、光の波動説は、光の現象の研究とは独立におこなわれたファラデーやエールステッドらによる電気・磁気現象の研究（電場・磁場の導入）と結びつき、マックスウェルによつて電磁気学の体系が確立された。それによれば、光は電磁波の一種であり、電磁波の現象は、電磁場の構造を示すマックスウェルの方程式によつてあらわされる。つまり、電磁波の運動は、エネルギーの移動として電磁場の変動にほかならず、

場は空虚ではなく、エネルギーを担っている。しかも、かれはそのさ
い媒質として電磁波とはきりはなされた別の仮設的な一種の物質、エ
ーテルの存在を仮定していた。エーテル空間にできる電磁場の変動、
それが電磁波にほかならない。

マックスウェルでは、電磁波はなお物理学的な意味での物質(静止質
量をもつ物質)から区別して考えられていた。光は電磁波の一種であ
り、したがって、物理学的な物質とはみなされていなかった。この点
で、次に述べるように、電磁波現象の本性をじつは粒子的なものとし
る見解が実験にもとづいてうちたてられたことは電磁波そのものを物
理学的な物質とみなすという新しい見方に導く上で重要なことであつ
た。このことはまた物質としての一種のエーテル仮定の棄却をも意味
していた。

真空放電のさいに発せられる放射線(陰極線)の本性についてヘル
ツらはなおエーテル現象とみなしたが、トムソンはこれを電子の流れ
であると考えた(1897年)。エーテル理論によつては所与の事情のもと
で何が起こるかを予測しえないが、帯電粒子説は諸結果を明確に予測
しうる、とかれは言っている。このような電子はマックスウェルの方
程式のなかには含まれていないものであつて、その発見は画期的な意
味をもっている。電気現象の担い手として物理学的な意味の物質が見
出されたわけである。

さらにいつそう注目すべきは、アインシュタインによる光量子説の
提唱(1905年)である。すでにプランクは共鳴子現象を理解するため
に量子仮説をたてたが、アインシュタインは、光電効果の実験的結果
が従来の波動論ではどうしても説明されないところから、輻射場にか
の量子説を適用し、輻射エネルギーが粒子的構造をもつこと、つまり
光量子から成ることを明らかにした。アインシュタインは1909年の論
文で書いている、「エーテル仮説を放棄するときのみ、満足のゆく
理論に到達しうる。光を構成する電磁場は、そのときにはもはや仮説

空間と時間についての哲学的諸問題

的な媒質の状態としてではなく、ニュートンの光の放射説によると同じように、光源から発射される自立的な形像として現われる。ニュートン説にしたがつてと同様に、光も走つておらず、物体も存在しない空間は、じつさい何もない空間である。(1) アインシュタインによれば、粒子的な電磁場としての光量子の理論において、従来の仮設的な一種の物質——すわなち、他の諸種の物質と並び存する、しかしきわめて不可解な物質——としてのエーテルの存在は否定されている。ここでは物質粒子とともに真空という原子論的表現が復活していることに注意する必要がある。それについて、武谷三男氏は言う、「アインシュタインはマイケルソン＝モーレーの実験だけからエーテルを棄てたのではなくて、光量子論の立場からエーテルを棄てたのだと言わねばならない理由がある。(2)」

注

(1) A. Einstein; *Über die Entwicklung unserer Anschauungen über das Wesen und die Konstitution der Strahlung*, *Physikalische Zeitschrift*, 1909, Nr. 10, S. 819.

(2) 武谷三男『量子力学の形成と論理』第1巻, 1948年, p.62.

4

さきに述べたように、マックスウェルでは、電磁場の伝わる媒質として他の諸種の物質と並び存する一種の物質としてのエーテルの存在が仮定されていた。しかし、こうしたエーテルにたいして静止する基準座標系を設定し、このエーテルの海を物体が運動してゆくと考えると、モーレー＝マイケルソンの実験の結果と矛盾せざるをえなくなる。そこで、このようなエーテルの仮定を棄て、実験の結果と合致するところの運動学として特殊相対性理論は形成されたのである。それによれば、空間はエーテルのない真空である。それは、電磁波が伝わり、電磁波が変動——生成消滅——しいところの或るものである。それ

ゆえ、ここでは、空間はもはや、物体にたいしてまったく外面的なたんなる「容器」にすぎないのではなく、そういう側面をもちながらもなお、波動を伝播しうるという物理的性質をもっている。もはや他の諸種の物質と並び存する一種の物質ではなく、電磁波を受けいれうるもの（*υποδοχή*）——あえてプラトンが空間に与えた規定を借りれば——、その担い手という性質をもっている、つまり、空間は「真空」でありながらも「場」となりうるところの空間である。

ところで、さらに進んで、空間をまさに「場」として——動力場として——捉え、物理学的物質の存在によつて限定されているもの、すなわち、物質の限定、あるいは物質自身の側面として理解したのは、いわゆる一般相対性理論である。それによれば、われわれが対象とする物質の存在する空間が、空虚なユークリッド空間ではなく、歪みのあるリーマン空間であることは、物質の存在によつて重力場が存在することと同じである。すなわち、物質の存在のために空間それ自身が「場」として本来的に歪んでいるというわけである。特殊相対性理論では、空間は「場」とはなりえても、それ自身としてはなお真空であり、その限りにおいて、物理学的物質とは区別される。しかし、今や、空間は物理学的な物質によつて限定されている「場」あるいは物質自身の側面であり、この新しい意味で、それ自身を、物理学的な物質とみることができる。すでにくりかえし述べたように、ニュートンらでは、空間は事物にかかわりなく存在するいわば「容器」のようなものとされたが、アインシュタインは、その一般相対性理論によつて、この考えをうちやぶり、空間が——時間とともに——物質の根本的な存在形式であり、物質自身の側面であるというエンゲルスの見解の正しさを示したといえるであろう。

なお、この理論によって物質が空間の歪みに解消した、とみる解釈に賛成することはできない。この解釈は、この理論の幾何学的性格だけを誇張することから生まれた逆立ちの世界観となるのであり、物

質の空間化（幾何学化）というピュタゴラス主義にはかならない。

注

- (1) なお、最近ヤノシが引用しているところによれば、アインシュタインは20年代に発表した或る論文では次のように書いている、「……理論物理学においてわれわれはやはりエーテル、すなわち、物理的性質をもった連続体なしで済ますことはできない。なぜならば、物理学がその原理的基礎にしたがうであろうところの一般相対性理論は、直接的な遠隔作用を排除している、そして、近接作用のどんな理論も、最初から、連続的な場の存在、すなわち、エーテルの存在を仮定しているからである。」これによればアインシュタインが仮設的な一種の物質としてのエーテルを拒否したことは周知のとおりであるが、それとは別に、光の担い手となる場を、或る場合にはなおエーテルと呼んでいたことが分かる。そこでヤノシは、「われわれは、エーテルの機構にかんする粗雑な力学的な表象を完全にすて去り、同時にエーテル概念の基礎には触れないでおくことができる」*と述べている。エーテルには二重の意味があるといえよう。他の諸種の物質と切りはなされそれらと並び存する一種の物質としての従来の仮設的なエーテルとは別に、光の担い手としての連続的な場を意味するようなエーテルが考えられる。このような連続的な場は真空の物質性として理解されるであろう。このような見解をパウリも述べている、「アインシュタインは最近、或るエーテル(an aether)の観念の拡張を示唆した。それはもはや実体としてではなく、たんに、物質のない空間と結びつけられるべきであるような物理的諸性質の総体とみなされるべきである。この広い意味では、もちろん、或るエーテル(an aether)が存在する。ただし、それは何らの力学的な諸特性をも所有していないことを念頭にいれなければならない。」* *Л. Яноши: О принципе Лоренца. Материалы к симпозиуму "Диалектика и современное естествознание", Москва, 26—29 окт.1966 г., Выпуск 2 стр.98.
- **Pauli; Theory of Relativity, translated by G. Field, 1958, p.4.
- (2) 「ところがエーテルを実在させしめようとするすべての試みは失敗したのでした。……かような苦しい経験を嘗めた以上、今こそエーテルなるものを全く抹殺して、もはやその名を決して記すことのないようにする時なのであります。私たちはその代りに、空間が波動を伝播する物理的な性質をもっている、と云えばよいのです。」アインシュタイン、インフェルト『物理学はいかに創られたか』下巻、石原純訳、1940年、p.226。

5

ところで、シュレーディンガー方程式を相対論化したディラックの方程式によれば、電子が正と負のエネルギーをとりうることが導かれる、しかし、それまでわれわれの観測にかかるのは正のエネルギーをもつ電子のみであり、またじつさいそのような電子のみが存在するとされていた。そこから、負のエネルギーの電子が導出されるということとは一つの矛盾であつた。そこで、ディラックはこの矛盾を次のような仮設、すなわち「完全な真空とは、正のエネルギーの状態がすべてからなつていて、負のエネルギーの状態がすべてふさがっているような領域⁽¹⁾」である、という仮設によつて説明した。もし $2mc^2$ の（あるいはそれよりも大きい）エネルギー——たとえば γ 線（光）——が与えられると、この領域につまつている電子の一つ（あるいはそれよりも多くの）が、正負のエネルギーの間の障壁（量子論から $2mc^2$ であることが導かれている）を飛びこえて、正エネルギーの電子にかわり、はじめてわれわれの観測にかかる粒子となる。他方、その電子が飛び出すことによつてできた負エネルギーの空孔を他のエネルギーの電子がうめようとしていわば空孔の移動がおこなわれ、それがわれわれの観測にかかる。この空孔の移動は、正エネルギーで正の電荷をもつた粒子⁽²⁾のふるまいとみなすことができる。ディラックによるこの「反電子」の存在の予言はアンダーソンらの観測によつて検証された。これが陽電子と呼ばれるものである。しかし、以上のことはその他の粒子についても同様に考えられる。このように、ディラックによれば、完全な真空とは、何もない空間ではなく、あらゆる負のエネルギー状態が完全に満たされている領域——どこまでも物質的な領域——であり、それはただエネルギーが負であるためにわれわれには観測されないだけであるということになる。

しかし、 γ 線が真空から電子をとび出させ、それに対応した陽電子

空間と時間についての哲学的諸問題

の運動をひきおこすということは、 γ 線の電子と陽電子への転化、つまり対発生(pair-creation)のことにほかならない。さらにまた、電子と陽電子とが真空のなかに消えて γ 線を放出することは(前段で述べたのと逆の現象で、これも、ディラックでは、電子がエネルギーの障壁をこえて真空に突入し、空孔をつめるというように説明される)、電子と陽電子との γ 線への転化にほかならない。この二つの現象は、一般的にいえば、物質粒子(静止質量をもつ物理学的物質)の場の粒子への転化とその逆の過程にほかならない。

ところで、すべにアインシュタインの光量子説によつて、光のような電磁波が粒子的な物質であるとされ、ついでドゥ・ブロイの波動論によつて、逆に、電子のようなすべての物質粒子が波動的側面をもつことが主張されたが、量子力学は結局、すべてのミクロの物質を粒子性と波動性との二重性によつて説明することに成功した。つまり、ミクロの物質は本来、その単一の質として、粒子性と波動性とを統一している。このことは、以上、われわれが述べてきた用語でいえば、物質粒子(静止質量をもつ物理学的物質)と場の粒子との統一ということを示している。エネルギーの小さいときは、電子のような物質粒子はそのようなものとしてあり、他方光も、そのようなものとしてあるが、エネルギーが十分大きくなると、相互への転換をおこなうのである。

なお、物質粒子の場の粒子への転化とその逆の過程はエネルギー保存則を基礎としており、広義における物質の形態転化にほかならず、たんに物質の消滅と創造として理解してはならない。また、物質粒子はそれ自身の固有な他者(sein Anderes)——反粒子——をもっており、それとの統一において、場の粒子へと転化し、また場の粒子から転化することに注意したい。

ディラックによる負エネルギーの粒子で充滿している真空の仮設は反粒子の存在の実験的な検証によつて真理性をえたが、しかし、この

仮説が説明しようとした現象は、今述べたように、物質粒子（それ自身の固有な他者との関連における）の場の粒子への転化とその逆の過程——いいかえれば、エネルギー保存則を基礎とする広義における物質の形態転化——としてよりよく説明されるであろう。そこで、もしわれわれが真空の物質性を考えるならば、今日では、次のような観点に立つべきであろう。真空は、たんに電磁波とその場をうけいれうるものであるにとどまらず（なぜなら、受けいれうるものということは、受けいれる当のものとの何らかの異なつた存在をいみするから）、それ自身が電磁波とその場との揺動的な存在可能性としての一種の積極的な性質をもつていとみるべきであろう。すなわち、真空の物質性はその仮想性(virtuality)——定常的なものとして現実化するその仮想性——にあるといえよう。そして、この仮想性が一定の物理的な作用をおこなうのである。すなわち、電子はその周囲に電磁場をつくっているから、それは、仮想的な状態としての光子を発生させては消滅させ、この仮想的な光子が電子と相互作用をおこなっている。真空と思われていたところで、電磁場はじつはこの相互作用をたえずおこなっているわけである。真空偏極とは、真空と電子とのこの相互作用であり、これは電子がそれ自身の周囲に充された真空としての「場」をもつことによるのである。

真空の問題は、おそらく自然の階層性の深さとともに深い。真空の物質性は、物理学の今後の発展によつていつそう豊かな姿であらわれてくるであろう。

注

- (1) デイラック『量子力学』第3版、朝永振一郎、玉木英彦、木庭二郎、大塚益比古訳、1954年、P.369.
- (2) 空孔は一応いわば孔としてみられるが、じつは、電子と同等な実体であるというのが、デイラックの仮説の主張するところで、それがアンダーソンらによつて検証されたのである。なお、真空の問題と直接関係がないが、半導体中におけるいわゆる正孔(positive hole)については、これを実体と考えること

空間と時間についての哲学的諸問題

はできない。固体の陽イオンの影のようなものにすぎないからである。

〔付 記〕

本稿は、現代自然科学の哲学的諸問題にかんする北大理学部宮原将平教授との共同研究の一環としてわたくしによつて書かれたものである。その始めの部分は岩波哲学講座第Ⅶ巻に発表したのであるが、今回は未発表の部分を含めて一括して発表する。なお『思想』1968年11月号の論文「物質の運動諸形態と自然の階層性」、69年1月号の論文「自然諸科学の分類」、岩波哲学講座第Ⅶ巻掲載の論文「物質の哲学的概念と自然の論理」、『地球科学』に近く発表予定の論文「地球科学とその対象としての地学的運動形態」などは一連の共同研究の成果である。