

Title	時間の方向性
Sub Title	Asymmetrie der Zeit
Author	曾我, 英彦(Soga, Hidehiko)
Publisher	三田哲學會
Publication year	1971
Jtitle	哲學 No.58 (1971. 12) ,p.103- 118
JaLC DOI	
Abstract	<p>Im Gegenteil zum Raum wird die Zeit oft vorgestellt als em standiger Strom, der notwendig nur in eine Richtung fließt. Die so vorgestellte Eigenschaft der Zeit kann man auch ihre Asymmetrie nennen. Seit der Entstehung der modernen Physik ist es oft gesagt, dass der Unterschied zwischen Raum und Zeit aufgehoben sei besonders dadurch, dass die Zeitdimension in vierdimensionaler Kontinuität als kommutabel mit jeder anderen Dimension angesehen werden kann. In der Tat bleiben verschiedene Gleichungen, die raumzeitliche Veränderungen der physikalischen Erscheinung ausdrücken, unverändert bestehen, auch wenn die GroSe, die einen zeitlichen Vorgang eines physikalischen Gegenstandes representiert und meistentfall als eine einseitig vermehrende ausgedrückt wird, umgekehrt einen immer vermindernd variierenden Wert trägt. Ist der Unterschied zwischen Raum und Zeit wirklich dadurch aufgehoben? Nur solange unsere Betrachtung rein mathematisch bleibt, Ja. Aber solange man nicht die Grenze der für uns wirklich betrachtbaren Gegenstände der Erfahrung überschreitet, wird die Sache anders. In diesem Fall konnte man folgende Beispiele der Verschiedenheit der Zeit von Raum betrachten : 1. Die Zeit kann nicht gemessen werden mit genau denselben Methoden, die zur Raummessung bedienen. 2. Auch in der Gleichung $d=\sqrt{x^2+y^2+z^2-t^2}$, die Entfernung der im minkovskischen Raum sich befindenden zwei Punkte ausdrückt, ist t eine imaginäre Zahl, während andere Variablen reelle sind. 3. In der als Raum-Zeit-Kontinuität konstituierten Wirklichkeit können wir ein Signal in beliebige raumliche Richtung senden, aber nicht in die zeitliche Richtung, d.h., weder in die Vergangenheit noch Zukunft. 4. Irgend ein Punkt in der obengenannten Kontinuität kann durch die Zeitvariable als Parameter eindeutig bestimmt, aber nicht immer durch andere Variablen. 5. Alle diese vier Beispiele können auf das Problem der Asymmetrie der Zeit reduziert werden. Hier ergibt sich die Frage, ob die Zeit, wie bei Kant und Newton, eine transzendental-apriorische Substanz für alle Erscheinungen sei, oder ob sie, wie bei Augustinus, durch die wirkliche Bewegungen der Dingen aposteriori konstituiert sei. Ohne Zweifel nimmt moderne Physik die letzte Einstellung. Daraus folgt, dass die Zeit nicht an sich asymmetrisch ist, sondern eben dass die Veränderungsrichtung eines physikalischen Vorgangs die Richtung der als ein Fluss vorgestellten Zeit bestimmt. Aus diesem Standpunkt und weiter durch ein hypothetisches Denk-Experiment, dass jeder physikalische Vorgang sich in der Raum-Zeit-Kontinuität mit Lichtgeschwindigkeit in eine Richtung transmittiert und dass diese Richtung die der Zeit bestimmt, ist es in vorhandener Abhandlung beabsichtigt, die Verschiedenheiten der Zeit von Raum zu erklären.</p>
Notes	名誉教授宮崎友愛先生記念論文集
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00150430-00000058-0111

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

時 間 の 方 向 性

曾 我 英 彦

I

時間はもちろん感性的知覚の直接の対象ではないが、それに準じたいろいろな仕方で表象されている。その中でも、何か一方向へ、不可逆に流れ続ける一つの流れのように、しかもその流れの形式によって世界のすべての過程が制約されているように表象された時間が最もふつうだろう。このように表象された時間が、なぜ必然的に一方向へのみ流れるのかという問題は、古来から哲学の領域ばかりでなく、物理学の領域においても時間の非対称性の問題として入り込んでいる。またわれわれは日常生活において時間と空間¹⁾を分けて考えることになれているし、古典力学においても時間と空間は運動を記述する、相互に解消されえない二つの独立な基本量として、さらには特にニュートンによって代表されるように、物理的運動を成立せしめる先天的条件としての、いたるところ同質的な（殊に時間については必然的に一方向にのみ一様に増大する量によって示される）超越的実在と考えられていた。

周知のように、相対性理論以後の物理学的世界像においては、座標系のローレンツ変換に対応する時間の相対的多様性によって、古典力学的な時間の唯一絶対性が失われ、さらに、重力場によって代表される曲率を持つ多次元空間に妥当する一般相対性理論において、その一様性ないし同質性が失われた。それと同時に、光速度を媒介として空間的な量は時間的な量へ、あるいはその逆への変換が可能になり、それまでの相互に独立とされた空間の3次元性と時間の1次元性によって記述されて来た世界の構造は、さしあたって4次元時空連続体としてのミンコフスキー的世界構造に

統一された。

このようにして、時間と空間の古典的な区別は一見全く解消されたかに思われたが、しかしわれわれの最も素朴な日常体験にも適合する時間と空間の区別、つまり物理的過程の空間における対称性に対する時間の非対称性ないし不可逆性による区別は、完全に解消されないままに残っている。たとえ物理学の言葉としての数学の分野においては、物理学的法則を表現する多くの方程式（例えば、ガリレイ変換に対して不変のニュートンの運動方程式、ローレンツ変換に対して不変のマクスウェルの電磁力学方程式やディラックの電子運動方程式等）は、それだけを問題にするかぎり、時間変換 $\rightarrow -t$ に対して不変であり、言いかえれば、これらの方程式が一般的に成立する世界構造においては時間は対称的であるとはいえ、また原理上感覚ないしその補助手段によって認識可能とされる世界としての現実においては、限られた領域ないし、微視的な現象についての過程の可逆性は、やはり限られた意味で認められるとはいえ、少くとも巨視的には、不可逆な過程が存立している。いわば物理学的な世界は、それを表現する純粹数学的な世界の一部にすぎないのである。

この問題を解消しようとして熱力学第二法則に関連して、例えば多数の粒子の集合体としてのガスの真空中の拡散仕方を規定する統計的法則に代表されるように、自然の巨視的過程はエントロピー増大の方向に向うことを背影にした因果法則に基く説明を代表にして、時間の不可逆性を説明しようとする多くの試みがなされた。しかし、後にも述べるように、そのような試みによっても、現在なお決定的な解決は与えられていない。問題の所在を明確にするため、次に時間と空間の相違とされているさらにいくつかの点を考えておこう。

II

問題を最も素朴な形で表現する説明の一つは、時間と空間についてのそ

れぞれの計測手段——例えば、時計と物指——の相違によるものだろう。実際、3次元空間内におけるいずれの距離も、原理的には同じ物指を使って一義的に測定できるが、その物指だけを使って時間を計ることはできない。いわゆる主観的時間構成とか心理学的時間感覚などを別として、時間を計測する手段として普通に使われている時計は、もちろん時間そのものではなく、一定の物理的状态を単位時間において繰り返し再現する振子や地球等の空間的位置ないし運動距離によって時間の経過を代表させる装置である。時計のこの原理は、空間的な量の時間的な量への転換によるものと言ってよいだろう。同じようにして、時間的な量を空間的な量へ転換できる。日常生活においても、例えば歩いて何分の距離というように、一定の物理的速度——この場合は人間の歩く平均速度——を変換係数として、空間的距離を時間的間隔で表わすのが便利なおことがある。これをさらに推し進めて、規準速度さえ得られれば、時間的間隔も空間的距離も、言いかえれば4次元世界におけるいずれの距離も普通に行われている二つの単位ではなく、一つの単位で表現できるようになる。もちろんこのような変換係数としては、歩行速度のような不確定なものではなく、なるべく一般的、一義的に妥当する基準量が望ましい。そのようなものとして、世界内のいずれの系の運動に対しても不変な、真空中における光速度 $c \doteq 3 \times 10^8$ m/sec を採用することによって、まず特殊相対性理論の基本的な世界構造が基礎づけられた。

しかし、このことによって時間と空間の全くの同質性が保証されたと考えるのは早計だろう。この場合にもなお時間の非対称性の問題は残っており、また基本的には空間単位と時間単位の積として表現される限りの光距離は、その定義に関してやはり時間と空間の相違を前提にしているのであって、時間と空間を同等化するのではなく、時間を空間へ、あるいは空間を時間へと変換するための媒介の役割を果しているにすぎない。この程度の意味での時間と空間の同等性は、相対性理論をまつまでもなくすでに上記

時間の方向性

の歩行速度による変換によって日常的に果されていたのである。しかしこのことは、これ以後の考察に重要な示唆を与えている。

さらに時間と空間が相対的理論において完全に同等に取り扱われていないもう一つのよりはっきりした例がある。それは、ミンコフスキー世界内での真空中における電磁波の伝播に関して、ピタゴラスの定理に基いて立てられたアインシュタインの方程式

$$\sum_{\nu=1}^4 (\Delta x_{\nu})^2 = (\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2 + (\Delta x_3)^2 + (\Delta x_4)^2 = 0$$

において、4次元世界内の空間の3次元のそれぞれにおける距離を表わす最初の三つの項が実数で表現されるに対し、最後の時間次元における距離を表わす項 $(\Delta x_4)^2$ が虚数性を持つことに関連している。つまり、 $\Delta x_4 = x_4 - x'_4 = t$ とし、空間的距離を表わす三項をそれぞれ x, y, z , とすれば、特殊相対論の4次元世界内におけるいずれの2点間の距離も

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2 - t^2}$$

によって表現される。この場合 $-t^2$ の根は it (ただし $i = \sqrt{-1}$) である。時間次元が虚数性を持つことは、現実に可能なあらゆる速度が方程式

$$m_v = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

に表現されるように光速を越えないことに関連している。こうして、一つの選ばれた惰性系 k の一点 p_1 から k の他点 p_2 へ真空中を歩いて行く光の伝播は、これら2点間の空間的距離を r とすれば、方程式

$$r = c \cdot t$$

で表わされる。この方程式を2乗して

$$r^2 - c^2 \cdot t^2 = 0$$

とすれば、一般に k に関する光速不変の原理を表わす方程式が得られる。

この方程式からは例の宇宙旅行者のパラドックス、つまり光速度で宇宙旅行をする人間は年を取らないという結論が出てくる。すなわち、一つの空間軸に平行に光速度で運動する対象の運動距離は、その空間軸に対しては単位時間あたり $l=3 \times 10^5$ km sec. (ただし $l=c \cdot t$) だが、4次元世界内の運動距離は

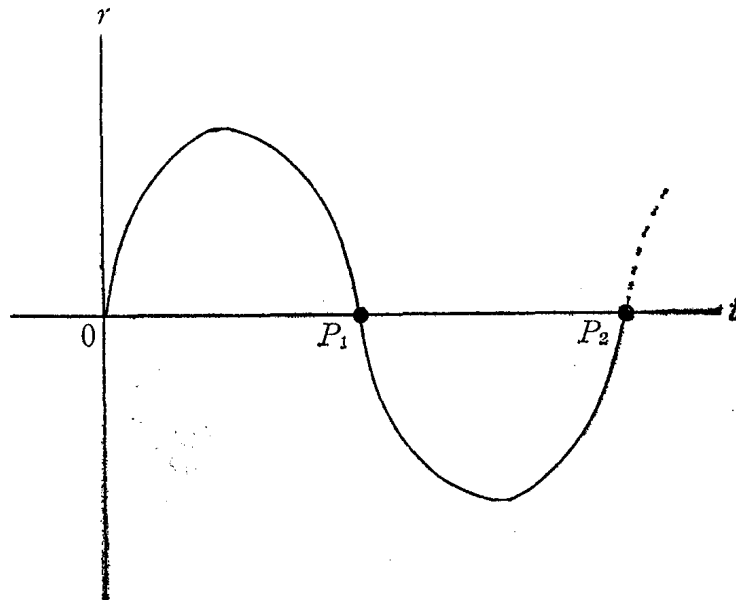
$$l^2 - c^2 t^2 = c^2 t^2 - c^2 t^2 = 0$$

である。このことは空間内を光速度で運動する対象の、4次元世界内の運動距離が0であること、つまり、4次元世界内の一点に静止していること、すなわちそこではいかなる物理的な運動ないし変化も生じえないことを表わす。日常の経験的常識とは全く逆のこの結論に関連することだが、いわゆる光円錐によって説明されるように、過去が現在に与える影響と現在が未来に対して与える影響の範囲が定められ、またこの過去→現在→未来という不可逆な方向が時間の一方向性の根拠とされる。さらに上の場合とは多少異なる意味での過去や未来²⁾と交信できないという事実、つまり現在と呼ばれる時間点に属しているわれわれからは、原理上空間軸のすべての方向に対して信号を送ることができるが、時間軸の方向には信号を送ることができないという経験的事実がある。いいかえれば、ミンコフスキー世界を全体として見た場合、時間軸に沿う三つの点 $\vec{t}_1, \vec{t}_2, \vec{t}_3$ において、それぞれの点にいる人間は他の点にいる人間と交信することはできないのである。

さらにもう一つの区付として、次のことが考えられる。ミンコフスキー世界内の一点 p の位置を $p=f(x, y, z, t)$ 、さらに簡単に $p=f(r, t)$ と2次元的に表わすと、その点と同じ系に属する観察者からの見かけの空間的位置が変化しない場合、つまりある対象が空間的に静止しているものとして観察される場合には t の値の変化に対して r の値は一定に留っている。換言すれば、われわれにとって経験可能な世界の構造の特性は、 $p=f(r, t)$ において r の値が一定である状態は可能だが t の値が一定である状態は

時間の方向性

不可能なこと、あるいは r の値が変化すれば t の値も必ず変るが、 t の値の変化は必ずしも r の値の変化を意味しないことによって示される。ここからして r は t の関数 $r=f(t)$ として表現でき、また p の位置は $p=f(t)$ として一意的に表現できる。こうして例えば下図に示すように $r=\sin t$ で表わされる曲線に沿って運動する点 p の各位置には、それぞれ異なる t の値が対応しているが、 $r=0$ には p_0, p_1, p_2, \dots が対応している。つまり p は t によってパラメーター表示されるが、 r は p に対して一意的なパラメーターにはなりえない。



ここで以上の時間と空間の相違を要約しておこう。

- ① 時間と空間については、それぞれの計測手段が異なる。
- ② ミンコフスキー世界において、空間は実数性を、時間は虚数性を持つ。
- ③ 空間軸の任意の方向に信号を送ることができるが、時間軸の方向に向っては不可能である。
- ④ 世界内を運動する一点 p の各位置は時間の変数によって一意的にパラメーター表示できるが、空間の変数によっては必ずしも可能でな

い。

⑤ ①—④ は空間の対称性に対する時間の非対称性に還元できる。

III

ここで、時間という概念は現象に対してアプリアリなのか、それともアポステリアリなのかを考えておく必要があるだろう。ニュートンがその絶対時間を現象の運動を可能にするアプリアリな実在としたことは前に述べた。カントはニュートンの考えを引継ぎ、時間から現象を取り去ることはできるが、現象から時間を捨象することはできないということによって、ニュートンほどの強い時間実在論はとっていないにしても現象の先験的条件としての、またコペルニクスの転回によつての直観的認識の先験的条件ないし形式としてのアプリアリな時間概念をとった。

この問題は結局、時間が運動に先立って存在するから運動するものが存在するのか、あるいは運動するものが先立って時間が存在するのかという、アウグスティヌスの設問に還元できる。いかなる形態も時間においてでなければ運動しないが、しかし形態の運動そのものが時間ではないのであり、さらに被造物なしにいかなる時間も存在せず、その結果いかなる形態も存在しなければ、いかなる変化も存在せず、したがって運動の様々な変化がなければ時間は存在しない。ニュートン・カント的な見方とは逆に、アウグスティヌスのこの見方は、時間に対する現象の、特にその運動の、アプリアリを主張している³⁾。この見方をさらに現代物理学の基本的な認識態度へ拡張してみよう。いうまでもなくわれわれが観察する運動は多様である。物理的な運動が物理的な時間のアプリアリであれば物理的過程の多様性に対応する時間の多様性を認めるほかない。多様な物理的存在の運動のうち時間に代表されるような何らかの適当な運動を基準として、他のすべての時間をそれに変換できるような一つの時間を定めることができるが、しかしそれは基本的には一つの便宜的な方法にすぎないし、またせ

時間の方向性

いぜい限られた一つの隋性性で可能であるにすぎないだろう。こうしてアインシュタインの運動系の多様性に対応する時間の多様性とか、さらにディラックの多時間理論のように、粒子の個数に等しい数の時間や朝永の超多時間理論のように、空間的超平面上におけるすべての点の数に等しい数の時間、ひいては無限に多くの時間を導入しなければならない。

なぜ時間が非対称性をもつかという問題は、ニュートンの場合のような先天的超越的な実体としての時間を設定すれば、そこからアприオリに演繹して簡単に説明できるが、時間に対する現象のアприオリをとるかぎり特別の困難を覚悟しなければならない。前に熱現象に関する統計力学的な説明をあげたが、この説明は限られた意味で時間の可逆性を適用できる一個の粒子のふるまいについてはあてはまらないし、また秩序から無秩序へという熱現象の方向とは全く逆の、無秩序から秩序へという生物学的な、しかもそれ自体としては不可逆な過程にも妥当しない。ここからしてすべての物理現象を説明するためには、さしあたり二つの時間、つまり可逆的な時間と不可逆的な時間を導入しなければならない。さらに前記のアインシュタイン、ディラック、朝永の理論に見られたように、無限に多くの時間が導入されてくる。こうして問題はまた無限に相対化されるが、しかしそれは時間の不可逆性についての直接的説明ではないし、熱力学は、いわゆる現象的説明ばかりでなく、さらになぜ熱現象が不可逆の過程をたどるのかという根拠に関する説明をしなければならない。熱力学的な説明とほとんど同じ仕方の説明として、世界の一点においての電磁力学的攪乱が、その点を中心とする球面波として、いわば外側に拡がって行くが、それと同様に電磁現象の過程についてのマクスウェルの方程式が妥当するその反対の現象、つまりある時点において球面を保っている波の前面が、その中心点に向って収縮する現象が観察されないことに基づくものがある⁴⁾。この説明に対応する生物学的な説明に、年を取って行く人間は観察されるが、時間の経過と共に若くなって行く人間は観察されないことが挙げられる。

これらの説明根拠は、最初の熱力学的な説明と同じ欠陥を持つ。つまり、これらの実際に観察可能な限りの現象からは時間の不可逆性がアプリアリに説明できるが、しかしその現象そのもののアプリアリな決定的な説明の根拠は明らかにされていない。

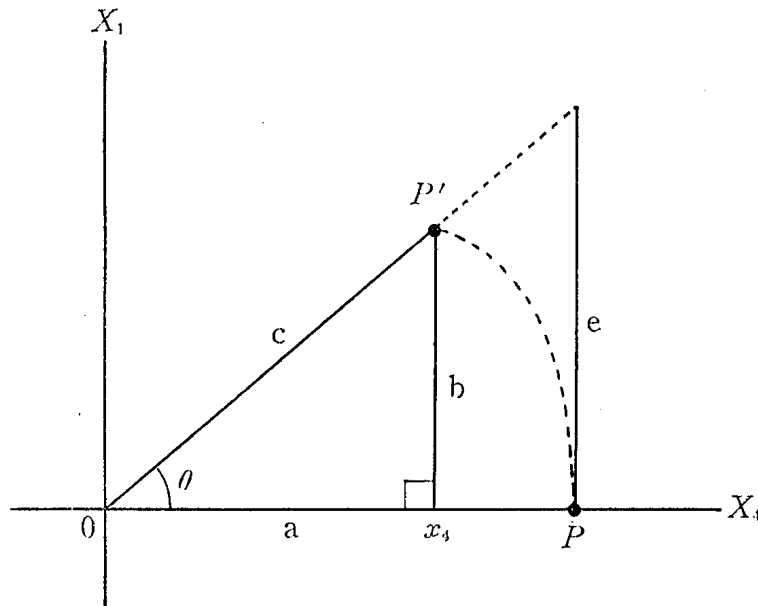
IV

II で要約した時間と空間の区別を、さらに別の観点から説明するために、ここで一つの思考実験を行ってみることにする。

最初に、その中での一点の位置が、 $p=f(x_1, x_2, x_3, x_4)$ で表わされ、幾何学的には互いに直交しているということによってのみ他と区別できる 4 本の一様な直線的座標軸 X_1, X_2, X_3, X_4 を持つ 4 次元空間 R を採ることにする。つまりこの R はさしあたって世界ではなく、その中では時間と空間の区別はない。さらにこの R の中を、例えば X_1, X_2, X_3 に関しては延長を持ちうるが、 X_4 に関しては延長を持ちえない特異な領域 P が X_4 に沿って、一定の速さ（速度とは言えない） c で移動し、しかも c は R の一点 0 にある光源から 4 次元的球面波⁵⁾としての光が R 中を伝播する速さに等しいものとする。次に P の一部分 P' が R 中の伝播の速さを変えずに点 0 から X_4 に対してある角度 θ をもってその方向を変えらるとする。簡単にするため、 $X_{1\sim 3}$ のうち X_1 だけを選んで下の図のように表わすことにすれば、 X_4 からみて光速で運動する対象の運動方向は X_4 に対して $\theta=90^\circ$ で回転し、 X_1 に平行になり、 X_4 上に投影される P' の運動距離は 0 になる。

このことを、基準静止系 s から見て光速で運動する系におけるあらゆる過程の固有時間 t' は、 $t'=0$ になるということに関連づけてみよう。 $\overline{0P}=\overline{0P'}=c$ とし、 $c \cdot \cos \theta = a \cdot \sin \theta = b$ とすれば、 a は X_4 に対する、 b は X_1 に対する、それぞれの伝播の速さを表わす。こうして、 P にいる観察者 B にとって、 P' が c に対する v なる速さで遠ざかるとすれば、

時間の方向性



P に対する P' における過程は a/c によって表わされる比率で遅くなるように観察されるだろう。またこの際、 $a^2=c^2-b^2$ なる関係が成立し、 c の X_4 上への投影は、 $b=v/c$ 、 $c=1$ とすれば、

$$a = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

で表わされる。その際 p の動質量の増加は $\tan \theta = e$ に対応する。

つまりこの思考実験は、 B が私ならば、私自身を含めて、私に対して相対的に静止しているすべての対象が R 内を X_4 に沿って光と同じ速さで伝播し、しかも私に対して運動するように観察される対象 G は私と同じ速さで R 内を伝播しているが、ただその方向が X_4 に対してある角度をもっているのだと仮定した場合なのである。この X_4 に „時間軸“、 X_1 に „空間軸“ と名前をつけ、また X_4 上の一定の距離を光が伝播する速さを „光速度“ と呼んだ場合にも、私の属する系を静止基準系と考えた場合と同じ物理法則が妥当する。またもし私が X_4 ではなく X_1 に沿って伝播している場合には、逆に X_1 を „時間軸“、 X_4 を „空間軸“、またその伝播方向を „未来“、その反対の方向を „過去“ そして私の系の時

間軸上の位置を „現在⁶⁾“ と呼ぶだろう。さらにこの伝播方向が直線で表現されようと、曲線で表現されようと、またその伝播の速さが常に光と同じでさえあれば、その速さが一樣であろうがなかろうが、本質的な区別はない。同様にして一定の条件さえ与えられれば、 X_2 や X_3 も同じ権利をもって „時間軸“ でありうる。結局この思考実験は、時間と空間を現象に対するアプリオリとして実質的に定義する試みとは逆に、それらを名目的に定義しようとする試みである。以上の仮定を前提としてIIの①～⑤を再検討してみよう。

① 一般にある空間軸 X_n に沿って光速 c に対して v なる速さで運動する系に属する観察者に対して、 X_n 上の一定の距離 r は v が光速に近づくにつれて収縮し、 $v=c$ において $r=0$ になるように観察される（いわゆるフィッツジェラルドの収縮）。このことからして、もしその X_n がその観察者にとっての „時間軸“ X_t であれば、 X_t 以外の座標軸に関する距離を計るのと同じ仕方、例えば物指を使って X_t 上の距離 t を計ることはもちろんできない。 X_t 上を光速で運動する系にいるかぎり、時計は t そのものを直接測定する手段ではなく、 X_t 以外の時間軸上を移動する対象の運動仕方を計るためのものにすぎない。

② 世界における時間の次元が虚数性を持つということは、もちろん時間が虚なるもの、あるいは非現実的なものであることを意味しているのではない。時間の虚数性は、基準静止系 S から見て速さ v で運動すると観察される系 K における物理的過程の進行が、 v が光速に近づくにつれて遅くなり、 $v=c$ においてその過程が停止することに基いている。つまり、それぞれ同じ空間距離 r を移動しても、 K における移動の時間的距離 l' は S におけるそれよりも短いことになり、ここからしてまた一般に $l'^2 = r^2 + t^2$ 距離は短縮される。同じ空間距離 r について短縮される l は、

$$l = \sqrt{r^2 - t^2}$$

で表現されることになる。このことは2図においては、 P' の個有の „時

時間の方向性

間“ 軸 \vec{OP}' を, P の個有の „時間“ 軸 X_4 に対して, O を中心として θ だけ回転させることに対応し, その回軸は, R を複素数平面と考えると, P に複素数をかけて P' に移動させることによって実現されるのが最も適当な手段の一つだろう. この場合の時間の虚数性は, 世界距離を表現するための数学的な技術の問題に還元される. また一定の条件の下に „空間“ 軸を虚数的に表現することも可能だろう. ここでもまた „空間“ 軸は適当な条件の下にいつでも „時間“ 軸でありうる.

③ もし光速度で運動する系 K からは, その運動方向 D_A (いいかえれば未来) に向って, あるいはその逆の方向 D_R (過去) に信号の到達しうる最高速度を持つ光を信号の搬送媒体として発信することができると仮定した場合を考えてみれば良い. しかしこのような条件の下では, D_A に向って発信する場合の光の個有波長 λ は, ドップラー効果によって $\lambda=0$ になり, またその個有振動数 ν は, $\nu=\infty$ となり, このことは量子力学の方程式

$$E=h\nu$$

によってその光が無限に大きなエネルギーを持つことを意味するのであって, もちろん不可能である. さらにまた D_R に向って発信された光の λ' は, $\lambda'=\infty$, したがって, $\nu'=0$ であり, 一般に $\nu=0$ なる電磁波は, すでに電磁 „波“ ではない. この場合もまたもちろん通信不可能である. つまり K にある光源からは D_A にも D_R にも光が出て行かない.

④ 時間と空間の区別もまた現象に対するアプリオリではないと考えるのだから, 世界内を移動する一点 P の位置を一意的にパラメータ表示しようとするならば, パラメータとしての独立変数の座標軸は点 P が常にその上を光速で伝播する座標軸, つまり „時間軸“ を採るのが最も適当である. したがって $X_{1\sim 4}$ のいずれでも, またそのいずれかについてローレンツ変換された座標軸のいずれでも, そのような条件を満足する座標軸であれば, p は常にその座標軸上の一点 t によって, 一意的に示される

はずである。

上の思考実験による仮定に基づいて①～④は一応の説明が与えられる。しかし⑤について究極的に説明するためには、なぜ現在点とか光、あるいは一般に電磁的な場が4次元世界内を伝播するのか、しかもなぜその速度が有限なのか、光が4次元的球面波として外に拡がり、なぜその反対の実例は観測されないのか等の疑問に答えねばならない。現代の物理学は、そのような問題に対して、まさにそのように観察される経験的・思考的実験の結果に基づいて物理学の理論が構成されているのだとしか答えられないだろう。その解答は、たぶん *physic* ではなく、*meta-physic* の領域にあるのかもしれない。また物理学的理論を構成する際の構成の仕方、あるいは構成されたものに対する構成するものとしての人間の認識の構造そのものにかかわる問題でもある。

参 考 文 献

- Augustinus „Confessiones“ Lateinisch—Deutsch übt. von H. Schiel
 Bergmann, P. 谷川訳 „重力の謎“
 Einstein, A. 矢野訳 „相対論の意味“
 Einstein—Infeld 石原訳 „物理学はいかにして創られたか“
 Kompaneyets, A. 山内, 高見訳 „理論物理学“
 Fock, V. „Theorie von Raum, Zeit u. Gravitation“
 Steinman, R. 水戸訳 „空間と時間の物理学“
 朝永振一郎 „量子力学的世界像“
 Weyl, H. „Philosophie der Mathematik und Naturwissenschaft“
 Whitehead, A. „The Concept of Nature“
 数理科学 1971 年 9 月号

注

- 1) „空間“という言葉は非常に多様な意味を持っている。この論文では単に „空間“ と言う場合には、時間から区別された古典物理学的・ユークリッド的な意味で用い、その中での三つの次元が相互に本質的な区別を持たないものとす

る。また時空連続体として考えられた空間は、その次元数にかかわらず „世界“ ということにする。この意味での „世界“ についても、問題の必要以上の複雑化を避けるために、考察を原則として特殊相対性理論に対応するミンコフスキー世界までにとどめ、例えば重力場のような、一般相対性理論に対応する曲率空間や、4次元以上の次元数を持つ空間には、なるべく触れないでおくことにする。もちろん „時間“ についても規定すべきだが、この論文は、時間とは何かを追求する一過程なので、ここでは „空間“ の規定にとどめる。

- 2) もちろんここでも „過去“ „現在“ „未来“ という言葉をさらに厳格に規定すべきだろう。しかし、太陽から約 500 秒前に放射された光を知覚した瞬間をもって現在を規定すれば、現在の太陽は認識可能だし、また太陽がその光を発した瞬間を現在にとれば、われわれは過去の太陽しか観察できない。要するに現在という言葉が多義的であって、ここでは時間と空間の相違とされている点を紹介するだけである。
- 3) ただしアウグスティヌスにおける神の被造物としての時間の直接的なアプリオリは心 (animus) の運動である。物理的な時間はこの時間に基づいて構成されたものである。
- 4) 電磁場の量を一般に F で表わしたときのマックスウェルの方程式の一般解である $F = aF_R + (1-a)F_A$ について、 $0 \geq a \geq 1$ であることによる無限に多くの解のうち、 $a=1$ 。つまり電磁波の球面拡張伝播に対応する $F = F_R$ の場合しか実際に観測されない。
- 5) この場合の P は 3 次元的超平面波として R 内を伝播すると考えることができる。
- 6) ここでの „現在“ は時間に関して延長を持たないものとして考えられている。このことは、心理学的な時間とか、フッサールに代表される内的時間意識の立場からは同意を得られないだろうが、問題を必要以上に複雑化しないために、このように考えておく。

Asymmetrie der Zeit

Hidehiko Soga

Zusammenfassung

Im Gegenteil zum Raum wird die Zeit oft vorgestellt als ein ständiger Strom, der notwendig nur in eine Richtung fließt. Die so

vorgestellte Eigenschaft der Zeit kann man auch ihre Asymmetrie nennen. Seit der Entstehung der modernen Physik ist es oft gesagt, daß der Unterschied zwischen Raum und Zeit aufgehoben sei besonders dadurch, daß die Zeitdimension in vierdimensionaler Kontinuität als kommutabel mit jeder anderen Dimension angesehen werden kann. In der Tat bleiben verschiedene Gleichungen, die raumzeitliche Veränderungen der physikalischen Erscheinung ausdrücken, unverändert bestehen, auch wenn die Größe, die einen zeitlichen Vorgang eines physikalischen Gegenstandes representiert und meistentfall als eine einseitig vermehrende ausgedrückt wird, umgekehrt einen immer vermindernd variierenden Wert trägt.

Ist der Unterschied zwischen Raum und Zeit wirklich dadurch aufgehoben? Nur solange unsere Betrachtung rein mathematisch bleibt, Ja. Aber solange man nicht die Grenze der für uns wirklich betrachtbaren Gegenstände der Erfahrung überschreitet, wird die Sache anders. In diesem Fall könnte man folgende Beispiele der Verschiedenheit der Zeit von Raum betrachten:

1. Die Zeit kann nicht gemessen werden mit genau denselben Methoden, die zur Raummessung bedienen.

2. Auch in der Gleichung $d = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2 - t^2}$, die Entfernung der im Minkovskischen Raum sich befindenden zwei Punkte ausdrückt, ist t eine imaginäre Zahl, während andere Variablen reelle sind.

3. In der als Raum-Zeit-Kontinuität konstituierten Wirklichkeit können wir ein Signal in beliebige räumliche Richtung senden, aber nicht in die zeitliche Richtung, d.h., weder in die Vergangenheit noch Zukunft.

4. Irgend ein Punkt in der obengenannten Kontinuität kann durch die Zeitvariable als Parameter eindeutig bestimmt, aber nicht immer durch andere Variablen.

5. Alle diese vier Beispiele können auf das Problem der Asymmetrie der Zeit reduziert werden.

時間の方向性

Hier ergibt sich die Frage, ob die Zeit, wie bei Kant und Newton, eine transzendental-apriorische Substanz für alle Erscheinungen sei, oder ob sie, wie bei Augustinus, durch die wirkliche Bewegungen der Dingen aposteriori konstituiert sei. Ohne Zweifel nimmt moderne Physik die letzte Einstellung. Daraus folgt, daß die Zeit nicht an sich asymmetrisch ist, sondern eben daß die Veränderungsrichtung eines physikalischen Vorgangs die Richtung der als ein Fluß vorgestellten Zeit bestimmt. Aus diesem Standpunkt und weiter durch ein hypothetisches Denk-Experiment, daß jeder physikalische Vorgang sich in der Raum-Zeit-Kontinuität mit Lichtgeschwindigkeit in eine Richtung transmittiert und daß diese Richtung die der Zeit bestimmt, ist es in vorhandener Abhandlung beabsichtigt, die Verschiedenheiten der Zeit von Raum zu erklären.