

## 原理理論としての特殊相対性理論

細川, 亮一  
九州大学文学部

<https://doi.org/10.15017/2328533>

---

出版情報 : 哲學年報. 47, pp.103-133, 1988-02-29. 九州大学文学部  
バージョン :  
権利関係 :

# 原理理論としての特殊相対性理論

細川亮一

—  
原理理論としての特殊相対性理論の意味と射程を捉えること——これが本稿での我々の課題である。

アインシュタインは一九一九年の論文『相対性理論とは何か』で、原理理論 *Prinziptheorie* を次のように規定している。

「物理学においてさまざまに種類の理論を区別することができる。大部分の理論は構築的理論 *konstruktive Theorie* である。この理論は比較的単純な基礎になる理論形式から出発して、より複雑な現象の描像を構築しようとする。気体運動論は力学的、熱的現象や拡散現象を分子の運動に還元すること、すなわち分子運動の仮説から構築することを試みる。一群の自然現象を把握するのに成功したと言う場合、当該の現象を包括する構築的理論が見出されたことをつねに意味している。

しかし理論のこの最も重要な種類と並んで第二の種類の理論が存在する。私はそれを原理理論 *Prinziptheorie* と呼ぶことにしたい。この理論は総合的方法でなく、分析的方法を用いる。出発点と基盤をなすのは仮説的な構築要素ではなく、経験的に見出された自然現象の一般的性質であり、個々の現象あるいは現象の理論的描像が満たすべ

き数学的に定式化された規準がそこから導出される原理である。熱力学は永久運動が不可能であるという一般的な経験成果から出発して、分析的方法によって個々の現象が満たすべき拘束条件を探り出そうとする。

構築的理論の長所は完結性、適応性および直観性であり、原理理論の長所は論理的完全性と基礎の確実性である。相対性理論は原理理論に属する。……<sup>(1)</sup>

まず特殊相対性理論が原理理論に属することの形式的意味を明らかにしよう。特殊相対性理論の「出発点と基盤」をなすのは二つの原理、すなわち特殊相対性原理と光速度不変の原理である。この二つの原理から導出される「個々の現象あるいは現象の理論的描像が満たすべき数学的に定式化された規準」とは「物理学の諸法則はローレンツ変換に対して不変である」という規準である。この規準は「自然法則に対する制限的原理」であり、永久運動の不可能性という熱力学の制限的原理に対応している。<sup>(2)</sup>

経験的に見出された自然現象の一般的性質を原理（特殊相対性原理と光速度不変の原理）とし「基礎の確実性」、その原理を出発点、基盤として分析的に「自然法則に対する制限的原理」（自然法則はローレンツ変換に対して不変である）を導出する「論理的完全性」。特殊相対性理論は二つの原理から出発し、分析的に「自然法則に対する制限的原理」を導出する。すなわち「原理から原理へ」という原理の次元での理論である。——これが原理理論としての特殊相対性理論の形式的意味である。

特殊相対性理論が原理理論に属するが故に、この理論の理解は原理の次元を正確に捉えるか否かにかかっている。出発点、基盤となる原理が「アルケー——端初」であるとすれば、その原理の成立を別の或るもので説明することは原理——端初の誤解である。その成立の根拠がさらに求められねばならない「原理」はもはや原理——始原ではありえない。例えば相対性原理あるいは光速度不変の原理の成立が運動系におけるローレンツ収縮、時計の遅れ等によって説明されるとすれば、それは原理の次元の無理解を示している。<sup>(3)</sup> ローレンツ収縮、時計の遅れ等は二つの原理か

らの単なる分析的帰結であつて(勿論時間と長さの測定方法が決められた上であるが)、原理の成立根拠ではありえない。

出発点、基盤をなす原理「端初は「経験的に見出された自然現象の一般的性質」である。この表現は構築的理論における「経験的に見出されない仮説的な構成要素(「分子」)に対比的に用いられている。さらに「経験的に見出される」とは原理がアプリアリでないことを示している。とすれば「自然現象の一般的性質」としての原理は、帰納的方法によつて見出される自然現象の共通性質なのだろうか。しかし原理は厳密に成り立つのであつて、この原理の厳密な妥当性は経験的事実の帰納的一般化から決して導出されえない。「経験的に見出される」という表現は「仮説的な構築要素」に対立するのであつて、決して帰納主義、概念・理論の経験主義を含蓄していない。アプリアリ主義でも経験主義でもないとするれば、いかにして原理「端初に達しうるのか。

アインシュタインは特殊相対性理論への道を回顧して語っている。「勿論理論の定立へと導くいかなる論理的な道もなく、ただ注意深く事実の知識を考慮しながら暗中模索する構築のみがある。」<sup>(4)</sup>論理的な道がないとすれば、いかにして原理「端初に達しうるかは、特殊相対性理論へのアインシュタイン自身の道を説明することによつてのみ具体的に答えうる。

## 二

マイケルソンの生誕一〇〇年を記念して開かれたクリーヴランド物理学会へのアインシュタインの手紙は、特殊相対性理論への道を説明するために不可欠である。

「特殊相対性理論への私の直接的な道は主に次の確信によつて規定された、すなわち磁場のうちを運動する導体のうちに誘導される起電力が電場に他ならないという確信である。しかしまたファイゾーの実験の結果と光行差の現

象も私を導いた。<sup>(5)</sup>」

まずアインシュタインを特殊相対性理論へ直接導いた確信の意味を明らかにしよう。磁場のうちを導体が運動するとは、磁石を固定して導体を速度 $V$ で磁石に近づけることである(現象(a))。従来の解釈ではこの時磁石のまわりには電場が生じないが、導体のうちに起電力が誘導され、導体のうちに電流が流れる。アインシュタインは「この起電力が電場に他ならない」と確信した。いかなることなのか。導体を固定して磁石を速度 $V$ で導体に近づけると、磁石のまわりに電場が生じて導体に電流が流れる(現象(b))。とすれば特殊相対的性理論へ直接導いた確信とは、(a)の現象を(b)の現象として捉えるということである。(a)の場合導体が運動し磁石が静止しているが、(b)の場合導体が静止し磁石が運動する。(a)と(b)は導体、磁石のどちらが静止・運動しているかの違いだけである。相対速度 $V$ が同一であれば、(a)(b)ともに導体には同じ方向と大きさの電流が流れる(以下この現象を「導体・磁石」現象と呼ぶ)。(a)を(b)として捉えるとは、導体が静止し磁石が運動していることである。言い換えれば速度 $V$ で運動している導体に対して相対的に静止している座標系(運動している導体とともに運動している座標系)から(a)を記述することである。

「特殊相対性理論への直接的な道を規定した確信」とは、まさに特殊相対性理論の論文『運動物体の電気力学』の冒頭で論じられた事柄に他ならない。この一九〇五年の六月論文の目的はその表題が示すように、「静止物体に対するマクスウェル理論を基礎にして、単純で矛盾のない運動物体の電気力学<sup>(6)</sup>」を構築することである。すなわち運動物体に対し相対的に静止している座標系に変換することによって、運動物体の電気力学を静止物体に対するマクスウェル理論に還元することである。これは上述の確信と同一の構造をもっている。——運動している導体の電気力学を、その導体に対し相対的に静止している座標系に変換することによって静止している導体の電気力学に還元する。この確信においてマクスウェルの方程式と特殊相対性原理が基礎として真である、と仮定されている。そし

てマクスウェルの方程式は光速度不変の原理の成立を含意している。特殊相対性理論へとアインシュタインを直接導いた確信は、相対性原理と光速度不変の原理の成立を要請しているのである。

次にアインシュタインを同様に特殊相対性理論へ導いたと言われているフィゾーの実験と光行差の現象を検討しよう。フィゾーの実験とは、フィゾーが「一八五三年に流水中の光の速さの変化による干渉を測定した実験」である。光行差の現象とは「観測者の動く速度が光速度にくらべて無視できない程度の場合に光源の方向が見かけ上変化する現象」である。何故上述の確信とともにフィゾーの実験と光行差の現象とがアインシュタインを特殊相対性理論へ導いたのか。そこに共通の構造があるのだろうか。フィゾーの実験において「運動している水」の中の光速度が測定され、光行差の現象では「運動している望遠鏡に対する光の進み方」が問われている。両者とも運動物体の光学が問題なのである。とすればここでも「運動物体に対し静止している座標系」に変換することによって、運動物体の光学を静止物体の光学に還元しうる。これは運動物体の電気力学の場合と全く同じ構造である。例えばフィゾーの実験の場合、流水（運動している水）に対し静止している座標系から見れば、「静止している水の中での光速度」という現象が得られる。すなわち水とともに運動している観測者から見れば、光は水の中を一定の速度  $c/n$  ( $n$  は水の絶対屈折率) で伝播する。この変換においても相対性原理と光速度不変の原理の成立が前提されている。

「導体・磁石」現象、フィゾーの実験、光行差の現象という「アインシュタインを特殊相対性理論へ導いた三つの現象」はすべて同一の構造をもっている。——運動物体の電気力学、光学を、運動物体に対し静止している座標系に変換することによって、静止物体の電気力学・光学に還元する。しかもこの変換は相対性原理と光速度不変の原理が厳密に成立することを前提にしている。——この構造を明確に捉えたことがアインシュタインを特殊相対性理論へ導いたのである。

「特殊相対性理論の審美的起源」という説は、六月論文『運動物体の電気力学』の冒頭での「導体・磁石」現象

の記述のうちに理論の非対称性に対するアインシュタインの審美的不満のみを見、彼を特殊相対性理論へ導いたこの本質構造を捉えていない限り、不十分である。変換によって運動物体の電気力学を静止物体の電気力学へと還元し、そのことによって「運動物体の電気力学」を構築するという本質洞察のうちではじめて「導体・磁石」現象をめぐる非対称性が語られているのである。何の洞察も伴わない単なる審美性からは何も生み出されはしないだろう。この本質洞察は相対性原理と光速不変の原理の成立を含意している。それ故本質洞察を通して座標変換という問題設定のうちではじめて、原理理論の出発点、基盤となる二つの原理が原理として明確に把握されたのであって、経験的事実の帰納的一般化によって無媒介的に見出されたのではない。

上述の構造はすでに十六才の「光のパラドックス」のうちに見出される。

「もし私が光線を速度  $c$ （真空中における光速）で追いかけるとすれば、私はその光線を静止し空間的に振動している電磁場として知覚するはずだろう。しかし経験に基づいても、マクスウェルの方程式によっても、そのようなことはありそうにない。そのような観測者から判断すると、すべては地球に相対的に静止している観測者にとつてと同一の法則に従つて生起するにちがいないことは、もともと私には直観的に明らかであると思われた。」<sup>(9)</sup>

光速  $c$  で運動する観測者から見るということは「運動物体に相対的に静止している座標系への変換」に対応している。運動する観測者にとって、地球に相対的に静止している観測者にとつてと同一の法則が成立するとは、相対性原理を意味する。しかもこの光のパラドックスが光速の不変性を含意しているのは明らかである。光のパラドックスが上述の構造をもつが故に、「この光のパラドックスのうちに特殊相対性理論の萌芽がすでに含まれている」と言いうるのである。しかも光のパラドックスとして、光速の不変性は古典力学における速度合成の法則との矛盾に陥る。特殊相対性理論の成立はこの光のパラドックスの解決を意味している。

アインシュタインは京都大学での講演で次のように語っている。

「私は更にフイゾーの実験を問題となし、ローレンツの立てたような電子に関する式が、私たちの座標を真空に置く代りに運動物体の上に置いても同様に成り立つことを仮定して、これを論じようと思いました。ともかくもこの時私は、マクスウェル・ローレンツの電気力学の方程式が確かなものであり、正しい事実を示すことを信じました。しかもこの式が運動座標系に於ても成り立つということは、いわゆる光速度不変の関係を私たちに教えるものです。けれどもこの光速度不変はすでに私たちが力学で知っている速度合成の法則と相容れ<sup>(1)</sup>ません。」

この京都講演のうちに、我々が明らかにしたのと同一の問題構造が明らかに見出される。「光のパラドックス」は光速度の不変性と速度合成の法則との矛盾として表現されている。しかしこの矛盾がいかなる次元での矛盾なのかが決定的に重要である。運動物体に対して静止した座標系に変換してもマクスウェル・ローレンツの電気力学の方程式が成り立つとは、電気力学の相対性原理を前提し、光速度の不変性を要請する。他方力学における速度合成の法則は古典力学の相対性原理（ガリレイ変換による相対性原理）に由来する。アインシュタインのすべての考察に底流しそれを導いているのは相対性原理である。矛盾とは、相対性原理がすべての自然法則に厳密に成り立つという根本前提のもとでの、座標変換の問題によって露わとなった、電気力学と古典力学との矛盾である。アインシュタインは矛盾が生じた源泉そのもの、すなわち相対性原理そのものに立ち帰り、矛盾を座標変換の問題として捉え返す。速度合成の法則そのものが座標変換の問題なのである。

それ故問題は電気力学か古典力学かの二者択一ではなく、座標変換に着目することによる相対性原理の次元——古典力学、電気力学等の自然法則より高次の原理の次元——での解決である。それは座標変換、時間座標変換を突破口として遂行される。すなわち絶対的同時性を問い返すことよってである。絶対的同時性はガリレイ変換における時間座標変換 $\rightarrow$ での意味であり、絶対的同時性を問い返すとは古典力学の相対性原理が前提しているガリレイ変換そのものを問い返すことなのである。それは特殊相対性原理そのものを新たに捉え返すことであり、そ



のことによって特殊相対性理論が成立するのである。

### 三

同時性が特殊相対性理論への突破口となったのは、アインシュタイン自身の独自の問題設定による。彼の問題設定とは、運動物体の電気力学を座標変換によって構築することであり、座標変換の問題は時間座標変換としての同時性の再考を突破口として解決される。絶対的同時性の否定とは時間座標変換「 $\Gamma$ 」の否定であり、同時性の再定式化へ導く。それ故特殊相対性理論が展開される六月論文の第一部「運動学の部」は第一節「同時性の定義」から始まっているのである。突破口としての同時性の再定式は第一節を導いているだけでない。第二節での「長さと時間の相対性」は「同時性の定義」から導かれ、さらに第三節は同時性の定義に定位してローレンツ変換が求められている。第三節で六月論文は頂点——「自然法則はローレンツ変換に対して不変である」という「自然法則に対する制限的原理」——に一挙に達し、それ以下の節で原理からの諸帰結を導き出す。

特殊相対性理論は同時性を突破口とした理論である。このことは成立史的にもまた論文の展開に即しても言える。むしろ六月論文の展開そのものが原理理論という公理的構造をもっているだけでなく、「アインシュタインがたどった道そのもの」をも示している。

絶対的同時性、すなわち同時性がすべての座標系から独立であるというドグマからの解放は、アインシュタインによってはじめて成し遂げられた。<sup>(13)</sup> この絶対的同時性というドグマからの解放ということのうちに、我々はマツハの影響を見出しうる。マツハのアインシュタインへの影響とアインシュタインのマツハ批判を検討することによって、特殊相対性理論が原理理論として明らかになるだろう。

アインシュタインはその『自伝』で語っている。

「時間あるいは同時性の絶対的性格という公理とその恣意性を明確に認識することは、もともとすでに問題の解決を意味している。この中心的な論点の発見に必要であつた批判的思考は私の場合、特にデイヴィッド・ヒュームとエルンスト・マッハの哲学的著作を読むことによつて決定的に押し進められた。」<sup>(14)</sup>

特殊相対性理論に対するマッハの影響が語りうるとすれば、同時性の絶対的性格の恣意性を明確に認識するといふ批判的思考を押し進めたという点にこそある。ドグマとなつた概念（ここでは絶対的同時に性概念）の批判という点であつて、決して新たな概念を創造する（同時に性の光による再定式化）という思考の構築的側面においてはではない。<sup>(15)</sup> マッハの影響についてのアインシュタインの発言はこの点で一貫している。

さらにヒュームがマッハとともに挙げられていることに注意すべきである。ヒューム哲学と区別されるマッハ独自の哲学が影響を及ぼしたと言われていないのである。一九一六年にアインシュタインが書いたマッハへの追悼文においてさえも、マッハ哲学の独自性を論じることを選び、ヒュームとの認識論上の違いも重要とされず、マッハはヒュームとともに語られている。「私は特にヒュームとマッハによつて直接、間接に非常に押し進められた。」<sup>(16)</sup> この言明はすでに引用した一九四九年の『自伝』と完全に一致している。——ヒュームとマッハは認識論者として、思惟の必然性、アプリアリな所与と見なされ、権威を帯びた諸概念を批判し、そうした諸概念の地上的起源を明らかにすることによつて、相対性理論による時空論の概念、力学の概念の変様という発展に対し地ならしをした。<sup>(18)</sup> 物理学の発展を阻止しているドグマとなつた諸概念の批判は、ドグマからの解放によつて新たな概念の形成のためにより大きな自由を与えるのである。すなわちドグマとなつた諸概念の批判においてであつて、決して積極的に新たな概念の創造そのものにおいてではない。<sup>(19)</sup> むしろ逆に「概念の現象主義的解釈」というヒューム、マッハの積極的な説は、新たな概念構成の妨げ以外の何ものでもない。マッハは「思考の構築的、思弁的本性」を正しく捉えず、「諸事実のみが自由な概念の構築なしに科学的認識を与えうるし、与えるべきであるという実証主義的哲学的態度

のうちにとどまった」として批判される。<sup>(20)</sup> マッハの影響はヒュームとともにドグマとなった諸概念を批判するといふ姿勢のうちにこそあると言わねばならない。<sup>(21)</sup>

しかしアインシュタインはマッハへの追悼文で次のように語っている。

「もしマッハが若々しい精神をもつていた時期に光速不変の意義への問いがすでに物理学者を揺り動かしていたとしたら、マッハが相対性理論に達していただろうということは、ありそうもないわけではない」<sup>(22)</sup>。

まず「ありそうもないわけではない」nicht unwahrscheinlich という表現が「ありそうなことである」wahrscheinlich よりもさらに弱い表現であることを忘れるべきではない。さてマッハについて上のように言われた理由は、ニュートンの古典力学の弱い面をマッハがはつきり認識していたことにあるが、これはアプリアリな所と見なされた諸概念の批判に対応している。マクスウェル・ローレンツの電気力学から生じる光速不変の意義は、その電気力学が特殊相対性原理と結びつくことによつてはじめてその原理の次元で問われうるのであつて、決して観測事実の次元にあるのではない。<sup>(23)</sup> マッハの現象主義的物理学はせいぜい「事実の経験的記述」としての法則を知るにすぎないから、原理としての光速不変の意義を構築的、思弁的なものとして拒否するだろう。「法則―事実の経済的記述」という地平には原理の次元が欠けている。とすれば「もしマッハが若々しい精神をもつていた時期に」という仮定は、「もしマッハがマッハ哲学という誤つた先入見に未だ毒されていない若々しい批判的精神の時期に」という意味に理解されねばならない。

マッハによるドグマとなった諸概念の批判で、内容的にアインシュタインに影響を与えたと考えられるのはニュートンの絶対空間の批判である。マッハへの追悼文で「マッハはニュートン力学の弱い面をはつきり認識していたし、一般相対性理論を要求することからそれほど遠くなかつた」と言われている。<sup>(25)</sup> マッハは加速速度の相対性を主張したが、しかし「物体の慣性質量と重力質量との同等性がより広い意味での相対性の要請へ導く」という生き

生きた意識がマツハに欠けていた。要するにマツハは等価原理と結びついた一般相対性原理に達しえなかった。単なる「加速度の相対性」はニュートンの絶対空間に対するアンチ・テーゼにはなりえても、原理としての一般相対性原理へ直接導きはしない。

「勿論私にはマツハの見解が知られていた。その見解によれば慣性抵抗が加速度自体に反作用するのではなく、世界のうちにある他の物体の質量に対する加速度に反作用するということは考えうると思われた。この考えは私にとって魅力的なものをもっていたが、新しい理論に対する利用できる基礎を与えなかった。<sup>(26)</sup>絶対空間の批判においても、マツハはアインシュタインにとつて批判としての意味をもつが、新しい理論に対する基礎を与えていない。すなわち新たな概念の創造そのものに関わっていない。こゝでもむしろ新たな創造に対立するのである。

「マツハは真に合理的な理論において慣性はニュートンにおける他の諸力とまったく同じように質量の相互作用に基づかねばならないと推定する。私はこの見解を長い間原理的に正しい見解だと見なした。しかしこの見解は基礎理論が質量との間の作用を根源的概念とするニュートン力学の一般型に属すべきであるということを暗黙のうちに前提している。すぐ分かるように、首尾一貫した場の理論に、このような解釈の試みは適合しない。<sup>(27)</sup>マツハの理論は質量と質量の間の作用（質点と質点の関係）を根源的概念とするニュートン力学と同じ基礎構造をもっている。すなわちマツハは「質点の理論」とどまり、場の理論を構築しようとするアインシュタインと、理論の基礎の次元で対立するのである。質点の理論と場の理論との対立はアインシュタインにとつて「実在をめぐる巨人の戦い」であり、この対立を軸に物理学の歴史全体が展望される。アインシュタインが物理学における革命を語るのは、質点から場への実在の転換（ファラデー、マクスウェル）においてのみである。場の理論としての一般相対性理論に、質点の理論にとどまるマツハが利用できる基礎を与えなかったのは当然である。

特殊相対性理論の場合、マツハには特殊相対性原理と結びついた光速不変の原理が欠けていた。一般相対性理

論に關しても、マツハには等価原理と結びついた一般相対性原理が欠けている。ともに相対性理論にとって不可欠の原理がマツハにはない。と言うより「法則—事實の經濟的記述—思考の經濟」<sup>(20)</sup>という地平には、原理の次元そのものがないのである。

相対性理論に対するマツハの影響が語りうるとすれば、それはマツハ哲学の内実にあるのではなく、アプリアリと見なされドグマとなった諸概念の批判という姿勢にこそある。マツハの哲学—現象主義には、原理の次元が欠けているだけではなく、現象主義そのものが原理理論としての相対性理論に対立しているのである。

以上我々はマツハの影響如何という点から原理理論としての特殊相対性理論の意味を対比的に明らかにした。次に原理理論の出発点、基盤をなす二つの原理——相対性原理(四)と光速度不変の原理(五)——そのものを検討し、最後に二つの原理から導かれる「自然法則に対する制限的原理」の射程を明らかにしたい(六)。これによって我々は原理理論としての特殊相対性理論の意味と射程を捉えることができるだろう。

#### 四

相対性理論の論文『運動物体の電気力学』は冒頭で「導体・磁石」現象における理論の非対称性を論じた後、相対性原理を次のように導入している。

「同じような諸例と「光媒質」に相対的な地球の運動を確定しようとした、失敗した諸実験は次の推測へ導く。すなわち絶対静止の概念に、単に力学においてだけでなく電気力学においても現象のいかなる性質も対応せず、むしろ一次の量に対してすでに証明されているように、力学の方程式が成り立つすべての座標系に対して同一の電気力学や光学の法則が成り立つという推測である。我々はこの推測(その内容は以下で「相対性原理」と呼ばれるだろう)を前提へと高めよう……。」<sup>(21)</sup>

まず相対性原理が主に、「導体・磁石」現象から導かれていることに注意しよう。これは「磁場のうちを運動する導体のうちに誘導される起電力が電場に他ならない」という確信がアインシュタインを直接特殊相対性理論へ導いたことに対応している。——運動している導体に対し相対的に静止している座標系に変換することによって、運動している導体の電気力学を静止している導体の電気力学へと還元する。この座標変換は相対性原理と光速度不変の原理の成立を含意している。——こうした構造を捉えることよつてのみ「導体・磁石」現象が相対性原理へ導くことが理解される。冒頭での「導体・磁石」現象のうちに「運動の相対性」あるいは「理論の非対称性に対するアインシュタインの審美的な不満」のみを見るとすれば、彼を特殊相対性理論へ導いた道を見失うことになるだろう。「導体・磁石」現象のうちに座標変換の構造を読み取るべきであるとすれば、相対性原理へ導いた「同じような諸例」に、二での我々の考察に基づけば、フィゾーの実験と光行差の現象が属しているのは明らかだろう。

「光媒質」に相対的な地球の運動を確定しようとした、失敗した諸実験」も相対性原理へ導いたとされている。失敗した諸実験のうちにマイケルソン・モーレーの実験（以下M・M実験と略）が含まれうるとすれば、M・M実験と特殊相対性理論の成立との関わりが語りうるのはここにおいてである。この関わりに対し、アインシュタイン自身の回想に基づけば、M・M実験が特殊相対性理論の成立にほとんど何の役割も果たさなかつたと結論せざるをえない。<sup>(32)</sup>勿論彼の回想の信憑性に疑いを差しささみ、彼の回想に基づく結論を批判できないわけではない。それ故我々は一九〇五年の論文そのものに即して検討することにしよう。

まずM・M実験が含まれているかも知れない諸実験が単にいつでに触られているにすぎないことを想起しよう。相対性原理を原理として認めれば、地球上の実験が地球の運動を確定しえないことは当然の帰結である。<sup>(33)</sup>次に電気力学、光学の相対性原理が「二次の量に對してすでに証明されている」とのみ言われていることに注意したい。<sup>(34)</sup>もしM・M実験が一九〇五年のアインシュタインにとつて決定的実験であれば、二次の量に對しても相対性原理が成

り立つと主張したのである。彼にとって相対性原理が原理として厳密に成り立つという確信がすでにあったのであって、「その原理が一次の量に対してだけでなく、二次の量に対しても成り立つ（しかしそれより高次の量に対しては何も言い得ない）」という、M・M実験に強制された仮説（その成立がさらに説明されるべき）ではない。特殊相対性理論が原理理論であることの意味がここにある。事実から強制された仮説の採用という「事実から理論へ」進むのではなく、原理から事実への道（M・M実験の結果を当然と見なす）が歩まれる。M・M実験から相対性原理（あるいは光速不変の原理）を導く試みそのものがすでに原理の次元の無理解を示している。

アインシュタイン自身の回想に基づいても、また一九〇五年の六月論文に即しても、「M・M実験が特殊相対性理論の成立に重要な役割を果たしていない」と言わざるを得ない。しかしM・M実験がほとんど影響を与えなかったとする最大の根拠は、M・M実験が彼を特殊相対性理論へ導いた「運動物体の電気力学、光学」と、その基本構造を異にするということのうちにある。M・M実験は光源と観測者がともに同一の座標系（地球座標系）で静止している、光学現象（相対運動を含まない光学現象）を扱っている。それに対し「導体・磁石」現象は導体と磁石が相対運動のうちにある。フィゾーの実験において運動している水の中での光速度が問題であった。光行差の現象において望遠鏡は恒星に対し地球とともに運動している。これら三つの現象において、ある座標系から他の座標系（導体、流水、望遠鏡に対し静止している座標系）への変換が問われうる。しかしM・M実験においてこのような座標交換は何ら問題になりえない。失敗した諸実験が単に副次的に触れられているにすぎないのも、そのうちに座標交換への問い、「運動物体の電気力学、光学」の問題が欠けており、相対性原理の当然の帰結と見られていたからである。アインシュタインを特殊相対性理論へ導いた問題設定を正しく把握する限り、M・M実験が特殊相対性理論の誕生に積極的に関与していると主張することは不可能である。

我々は相対性原理の内実の検討に移ろう。原理は次のように定式化されていた。「力学の方程式が成り立つすべて

の座標系に対して同一の電気力学や光学の法則が成り立つ」ニュートン力学にとって相対性原理は厳密に成り立つとされていた。それに対して電気力学、光学での相対性原理は一次の量に対して成り立つことがローレンツ理論によって証明されていた。ここに相対性原理に関する、力学と電気力学との不整合、非対称性がある。ニュートン力学において厳密に成り立つ相対性原理を電気力学、光学にまで拡張することによってこの非対称性を克服することとが上の定式のうちに読み取れる。拡張された相対性原理は一次の量さらに二次の量までという仕方である。実験によって強いられ、いくつかの仮説によって説明されるべき相対性「原理」ではなく、すべての自然法則に対して原理として厳密に成り立つ。

しかし「力学の方程式が成り立つすべての座標系」に定位した相対性原理の定式は、一つの重大な困難を内包している。この定式はニュートン力学の方程式が厳密に成立することを前提としている。力学の方程式の厳密な成立によって座標系を決定し、その座標系に対して電気力学、光学の法則も成り立つとされている。ニュートン力学の相対性原理を電気力学、光学へと拡張するわけである。しかしニュートン力学の相対性原理はガリレイ変換による相対性原理である。それに対し特殊相対性理論はローレンツ変換による相対性原理を結論としてもち、ニュートン力学の方程式がローレンツ変換による相対性原理を満たさないが故に、力学の相対論的書き換えを要求する。「ニュートン力学の方程式が成り立つ座標系」、それ故ニュートン力学を出発点として前提した上で、結論としてニュートン力学の相対論的修正を要求することは、論理的な矛盾ではないか。とすれば「力学の方程式が成り立つすべての座標系」に定位して相対性原理を定式化することはできず、ニュートン力学の相対性原理を電気力学、光学へと拡張したと言ふこともできないのではないか。「ニュートン力学の方程式が第一近似において成り立つ座標系」と註を付ければ回避されうる問題ではない。相対性原理は原理として厳密に成り立つのであって、その定式のうちに「第一近似において」という表現は許されない。



そもそも原理としての相対性原理がニュートン力学の方程式という特定の自然法則を前提し、それに基づいて定式化されるのだろうか。アインシュタインの相対性原理は「ニュートン力学の成立を前提した単なる拡張」と解釈しえないし、そもそも原理としていかなる自然法則の成立をも前提しえない。とすれば六月論文の序での相対性原理の最初の定式は単に暫定的な定式と解釈されるべきである。

アインシュタインは第二節の冒頭で相対性原理を厳密に定式化する。

「それに従つて物理系の状態が変化する法則は、相対的に一樣な並進運動のうちにある二つの座標系のどちらにその状態変化が関係づけられるかに依存しない」<sup>35)</sup>

序での「相対性原理」の定式と比較してみよう。まずこの定式のうちには力学、電気力学、光学等という分野への言及がない。「それに従つて物理系の状態が変化する法則」として一般化されている。この一般化は原理としての相対性原理の前での、すべての物理学の法則の同等化を意味している。力学の相対性原理を電気力学、光学等へと拡張することにアインシュタインの相対性原理の意味があるのではなく、原理としての相対性原理の前でのすべての自然法則の同等性にこそある。

「力学の方程式が成り立つ座標系」に言及せず、いかなる座標系において自然法則が記述されるべきかの規定がない。単に「相対的に一樣な並進運動のうちにある二つの座標系」の同等性のみが語られている。<sup>36)</sup>一般の解説書では普通、アインシュタインの特殊相対性原理は「自然法則はすべての慣性系に対して同じ形で表わされる」と定式化されている。慣性系への言及が、「自然法則は任意の座標系に対して同じ形で表わされる」という一般相対性原理に対して、特殊相対性原理の特殊性をなしていると考えられている。しかし一九〇五年の六月論文での「相対性原理の厳密な定式」のうちに慣性系といった基準系への指示がない。

では相対性原理を特殊たらしめているのは何か。それは特殊な座標系、すなわち慣性系への言及ではなく、二つ

の座標系の特殊な関係、すなわち「相対的に一様な並進運動のうちにある」という関係である。相対性原理は「ある関係のうちにある二つの座標系の、自然法則に対する同等性」の原理である。その関係が「相対的に一様な並進運動のうちにある」として特殊化される場合、それが特殊相対性原理と呼ばれるのであり、「相対的に相互に任意に運動している」として一般化される場合、それが一般相対性原理なのである。特殊相対性原理とは「並進運動の相対性の原理」なのである。

慣性系という基準系への指示を含まないとは、相対性原理が原理として設定されていることを意味する。もし慣性系への指示があれば、相対性原理が慣性の法則を前提とすることになり、単にニュートン力学の第一法則を前提するだけでなく、原理の次元（自然法則より高次の次元）を見失うことになるだろう。<sup>39</sup>

相対性原理の定式は慣性系への指示がなく、二つの座標の関係とその同等性のみを語るだけだから、自然法則が最も簡単な形となる座標系（基準系、静止系）を決定しえない。それ故特殊相対性原理は加速度系に対しても成り立つ。すなわちある加速度系に関して成立する自然法則は「その加速度系に相対的に一様な並進運動のうちにある他の加速度系」においても同じ形で（それがいかに複雑な形であろうと）成り立つ。特殊相対性原理によればこの二つの加速度系は自然法則に関して同等なのである。慣性系が選ばれるのはそこにおいて法則の形が最も簡単なからであり、そこに慣性系の優位がある。

では「自然法則が最も簡単な形で表わされる座標系、基準系」はいかにして決定されるのか。何が相対性原理に物理的の支点を与えるのか。——基準系＝静止系を決定するのは光速不変の原理である。

## 五

光速不変の原理は相対性原理に続いて最初次のように導入される。

「さらに相対性原理とただ見かけ上矛盾する前提を導入しよう、光は真空中でつねに光を放出する物体の運動状態に依存しないある一定の速度 $V$ で伝播するという前提である。」

この原理は何の理由も示されずに主張されているように見える。しかしすでに二で論じたように、「導体・磁石」現象を「磁場のうちを運動する導体のうちに誘導される起電力が電場に他ならない」と解釈することは、相対性原理と光速度不変の原理が成立することを前提している。それ故冒頭の「導体・磁石」現象の解釈は、相対性原理だけでなく、光速度不変の原理へも導くのである。光速度不変の原理が何の理由もなく導入されたと考えるべきではない。

光速度不変の原理が何に由来するのかに関して、 $M \cdot M$ 実験との関わりが問題になりうる。しかし結論から言えば、光速度不変の原理は $M \cdot M$ 実験とは何の関係もなく、「マクスウェルの方程式の成立が光速度不変の原理を含意する」という理由に動機づけられている。これについてのアインシュタインの発言も一貫しているが、我々はここで六月論文に即して語ろう。まず論文の文脈から明らかのように、 $M \cdot M$ 実験が属する可能性のある失敗した諸実験は相対性原理へ導くのであって、光速度不変の原理へ導くとされてはいない。さらに $M \cdot M$ 実験は地球に対し静止した座標系において光源が静止しているのだから、「光速度が光源の運動状態に依存しない」<sup>40</sup>ということを示していない。「光速度が光源の運動状態に依存しない」とは光が波であることを意味している。「光が電磁波である」ことはマクスウェルの方程式からの帰結である。光速度不変の原理は「光が電磁波である」ことを示すという意味でも、マクスウェルの方程式に由来するのである。ここでも相対性原理と $M \cdot M$ 実験の関係について語ったことを繰り返さねばならない。—— $M \cdot M$ 実験という事実の次元から直接に光速度不変の原理を導く試みそのものがすでに原理の次元の無理解を示している。

相対性原理の定式が序における暫定的導入と第二節での厳密な定式とで異なっているように、光速度不変の原理

も、第二節の冒頭で改めて定式化されている。

「あらゆる光線は、「静止」座標系においてある一定の速度  $V$  で運動するが、この光線が静止物体から、あるいは運動物体から放出されるかに依存しない」

まず気づくのは第二節の定式に、序での定式にはない「静止」座標系（静止系）への言及があることである。この相違は相対性原理の定式の違い——序ではニュートン力学の方程式が成り立つ座標系への言及があるが、第二節にはない——に対応している。この相違をどう解釈すればよいのか。

静止系は第一節で「ニュートン力学の方程式が成り立つ座標系」として導入されている。では光速度不変の原理はニュートン力学の方程式が成り立つ座標系としての静止系を前提し、それ故ニュートン力学の方程式を前提して成り立つのか。しかし光速度不変の原理は相対性原理と一緒にあって、第三節で「自然法則に対する制限的原理」（自然法則はローレンツ変換に対して不変である）を導き、それによってニュートン力学の相対論的修正を要求する。これは相対性原理の暫定的定式に対してすでに指摘したのと同じ論理的不整合である。この不整合を避けるために静止系を「ニュートン力学の方程式が第一近似的に in erster Annäherung 成り立つ座標<sup>41)</sup>」と修正すれば、静止系の厳密な規定を放棄することになり、光速度不変の原理そのものがその物理的支点を失うだろう。

相対性原理の定式を解釈したのと同様に、ここでも第一節での静止系の導入は暫定的と考えるべきである。静止系が光速度不変の原理の成立の場をあらかじめ規定するのではなく、光速度不変の原理が静止系をはじめ、厳密に定義しているのである。——「あらゆる光線が静止物体からあるいは運動物体から放出されるかに依存せず、ある一定の速度  $V$  で運動する」ことが成立する座標系が静止系である。既存の自然法則（ここではニュートン力学の方程式）を前提し、その法則が成り立つ座標系を想定した上で光速度不変の原理が語られるとすれば、それはもはや原理の名に値しないだろう。原理は自然法則を制限する原理としてあるのであって、自然法則によって制限されるの

ではない。

光速度不変の原理によつてはじめて「自然法則が記述される座標系」(静止系)が設定される<sup>(42)</sup>。相対性原理は相対的に一樣な並進運動のうちにある二つの座標系の同等性 Gleichwertigkeit を主張し、光速度不変の原理は静止系という一つの基準系を決定する。すなわち光速度不変の原理は一つの規定された基準系を定めることによつて、相対性原理に物理的支点を与えるのである。しかし光速度不変の原理は静止系を決定するだけでなく、同時に座標変換に対する不変量として座標間の変換の形を決定することによつて、相対性原理に具体的な物理的意味を与えるのである。

相対性原理は「自然法則が相対的に一樣な並進運動のうちにある二つの座標系に対し同一の形で表わされる」ことを主張する。自然法則は座標系が変わつても不変でなければならぬ。相対性原理は自然法則が座標系の選択に依存しないという意味で、自然法則の絶対性の主張である<sup>(43)</sup>。この「自然法則の絶対主義」によつて「長さと時間の絶対性」(長さ<sup>(44)</sup>と時間が座標系に依存しない不変量であること)が打倒される。「長さ<sup>(44)</sup>と時間の相対性」は決して「不変量を可変量へと相対化する相対主義」の勝利ではなく、「自然法則の絶対主義」の帰結なのである。

相対性原理は「座標変換に対して自然法則が不変である」ことを原理として主張する。しかし相対性原理はそれだけでは座標変換の形を決定しえない。いかなる変換かが決まれば、その変換に対して何が不変量が決まる。逆に何が不変量が指定されれば、それを不変に保つ変換が規定される。この変換の形が規定されない限り、相対性原理は自然法則を制限する物理的内実をもちえない。相対性原理そのものが変換に対する不変量を要求するのである。アインシュタインはこの不変量を光速度の不変性に求めたのである。

何故光速度の不変性が選ばれたのか。特殊相対性理論へ直接導いた確信「磁場のうちを運動する導体のうちに誘導される起電力が電場に他ならない」は、「運動物体に対して静止している座標系に変換することによつて、運動物

体の電氣力学を静止物体の電氣力学に還元すること」を意味していた。この変換はマクスウェルの方程式と相対性原理が成立することを前提していた。しかしマクスウェルの方程式の成立は光速度不変の原理を含蓄している。とすれば変換に対する不変量をマクスウェルの方程式とするか、光速度の不変性とするかは同値である。事実ローレンツ、ポアンカレはマクスウェルの方程式を不変に保つという条件からローレンツ変換を導いた。

何を変換に対する不変量とするかということには、公理選択の自由がある。ではアインシュタインが光速度の不変性を不変量としたことの意味はどこにあるのか。確かに単純性、直観性という形式的基準に従えば、光速度の不変性を変換に対する不変量とする方がすぐれている。しかしより重要なのは、既存の自然法則（ここではマクスウェルの方程式）を不変量として前提せず、光速度の不変性を原理として設定したことである。単純性、直観性という形式的基準においてではなく、法則と原理との次元の違いのうちにこそ、光速度の不変性を不変量としたことの意味がある。それ故にそこから導出される「自然法則に対する制限的原理」はマクスウェルの方程式を超えて、すべての自然法則に対して妥当するのである。

さて運動物体の電氣力学、光学を変換問題として捉えたアインシュタインは、時間座標の変換、すなわち絶対的同時性の否定と同時性の再定式化のうちにその突破口を見出した。同時性を新たに定義する試みは「光による同時性の再定式化」に導くが、光速度は同時に相対性原理が要求する「変換に対する不変量」の役割を果たす。「光による同時性の再定式化」と「変換に対する不変量」という二つの要求を「光速度の不変性」が満たすのである。この二つの要求は決して別々の切り離されたものではなく、「運動物体の電氣力学」の構築を変換に定位して遂行しようとしたことに由来する。一方は時間座標変換の問題であり、他方は「変換に対する不変量」の要請なのである。「相対性原理とただ見かけ上矛盾する光速度不変の原理」を原理として導入することが、特殊相対性理論の成立における決定的な、しかも大胆な一歩となる。それが大胆であるのは、光速度の不変性が古典力学の速度合成の法則と矛

盾するからである。<sup>(45)</sup> 特殊相対性理論が古典力学の相対性原理と対立するのは、相対性原理そのものにおいてではなく、光速度不変の原理においてなのである。

相対性原理が要求する「変換に対する不変量」が光速度の不変性とされたのであるから、光速度を不変に保つ変換式が決まるはずである。二つの原理を出発点、基盤として、突破口であった「同時性の定義」に定位して、分析的に変換式を導出することが、第三節「静止系からそれに対し相対的に一樣な並進運動のうちにある系への座標変換と時間変換の理論」で遂行される。変換式を決定することは、「自然法則を制限する原理」——自然法則はローレンツ変換に対して不変である——を導出することである。

## 六

すでに一で引用したように、原理論は次のように特徴づけられていた。

「この理論は総合的方法ではなく、分析的方法を用いる。出発点と基盤をなすのは仮説的な構築要素ではなく、経験的に見出された自然現象の一般的性質であり、個々の現象あるいは現象の理論的描像が満たすべき数学的に定式化された規準がそこから導出される原理である。」

特殊相対性理論は原理論に属する。経験的に見出された自然現象の一般的性質を原理（特殊相対性原理と光速度不変の原理）とし、その原理を出発点、基盤として分析的に「自然法則が満たすべき数学的に定式化された規準」（自然法則はローレンツ変換に対して不変である）を導出する。

アインシュタインは何故このような原理論へと導かれたのか。彼は『自伝』で次のように語っている。

「次第に私は既知の諸事実に基づいた構築的努力によって真の法則を見つけ出す可能性に絶望するようになった。長くそして絶望的に努力すればするほど、私は一般的な形式的原理の発見のみが我々を確実な成果へと導きうると

いう確信により一層近づいた。<sup>(46)</sup>

アインシュタインは一般的な形式的原理のモデルを、熱力学の一般的原理「自然法則は永久運動（第一種と第二種）を構築することが不可能なようになっていく」という「自然法則に対する制限的原理」のうちに見出した。特殊相対性理論における「自然法則に対する制限的原理」は「物理学の法則がローレンツ変換に対して不変である」という原理である。<sup>(48)</sup>

アインシュタインを原理理論へ導いた上述の確信は何を意味しているのか。——既知の諸事実から帰納的に真の自然法則に達すること（現象主義的物理学）、「事実から自然法則への道」を断念し、一般的な形式的原理の発見によって確実な成果に達すること、すなわち「原理から自然法則への道」を選んだ。——ここに「事実—法則—原理」という三つの次元が明確に区別されている。一般的な形式的原理は「自然法則を制限する原理」として自然法則より高次の次元にあり、自然法則を制限するのであって、直接個別的事実に関わらない。<sup>(49)</sup> この三つの次元を区別することは、原理理論としての特殊相対性理論の意味と射程を捉える上で決定的に重要である。

では一般的な形式的原理の発見はいかにして可能なのか。まず「既知の諸事実に基づいた構築的努力による真の法則の発見」（事実から法則へ）が断念されているのだから、既知の諸事実から直接原理が発見される（事実から原理へ）とは考えられない。自然法則に対する制限的原理は相対性原理と光速度不変の原理を出発点、基盤として分析的に導出された。すでに論じたように、この二つの原理は事実の次元から直接導かれたのではない。例えば二つの原理はM・M実験に動機づけられていず、いわんやそれに根拠づけられてもいなかった。とすれば二つの原理から分析的に導出される「自然法則に対する制限的原理」が観測事実から直接導出されることなどなおさら不可能であろう。「事実から原理への直接的な道」は純粹な虚構である。

では「法則から原理への道」はどうなのだろうか。確かに「特殊相対性理論はその成立を電磁場のマクスウェル



の方程式に負っている」<sup>(50)</sup>。マクスウェルの方程式は光速不変の原理を含蓄している。そしてマクスウェルの方程式からそれを不変にする変換式としてローレンツ変換が導かれる。しかし特殊相対性理論がその成立をマクスウェルの方程式に動機づけられていること、それによって根拠づけられていることは異なる。アインシュタインの一般的な形式的原理はマクスウェルの方程式に依存せず、相対性原理と光速不変の原理から導かれたのである。このことの意味と射程をはつきり捉えねばならない。

ローレンツ、ポアンカレはマクスウェルの方程式から出発し、それを不変にする変換式を求めたが、アインシュタインは光速の不変性を変換に対する不変量とし、一般的な形式的原理に達した。両者の相違は単に出発点の純性、直観性のうちにあるだけではない。むしろ自然法則（ここではマクスウェルの方程式）から不変性の原理を導いたか、あるいは不変性の原理（自然法則はローレンツ変換に対して不変である）を原理理論として確立し、そこから自然法則へ進んだかという相違こそ本質的である。特定の自然法則を前提しないからこそ、電気力学の法則の適用範囲、有効性を越えた自然法則一般に妥当する原理が導かれる。それ故に「自然法則はローレンツ変換に対して不変である」という原理は、古典力学の法則に対しても制限的的原理として妥当し、力学の相対論的修正へと導くのである。原理から自然法則への道がここで歩まれている。

「自然法則はローレンツ変換に対して不変である」という原理は、特殊相対性理論が「ローレンツ変換群に対する不変量論」Invariantentheorieであることを意味している。「変換に対する不変量としての自然法則」という考えは、特殊相対性理論へ導いた問題設定そのものうちに見出しうる。運動物体の電気力学、光学を、運動物体に対して静止している座標系に変換することによって静止物体の電気力学、光学に還元する。この変換というアイデアのうち、変換に対して不変量である自然法則という考えが前提されている。相対性原理は「変換に対する不変量」を要求し、その不変量が光速の不変性とされることによって、一般的原理「自然法則はローレンツ変換に対して

不変である」が導かれる。

特殊相対性理論は、変換群に対する不変量論であることの中にその物理理論としての新しさがある。<sup>(51)</sup>もし特殊相対性理論のうちに革命を見出したのであれば、<sup>(52)</sup>「不変性の原理の確立から自然法則へ」という道のうちに原理論としての革命性があるのであって、決してその単なる帰結のうちにはない。帰結の革命性（長さと時間の相対性、 $E=mc^2$ 等）を勿論語りうるが、しかし不変量論としての原理論がその意味での革命を帰結したのであって、決して不変量を可変量とする相対主義がではない。

しかし「原理から法則への道」とはいかなることなのか。自然法則に対する制限的原理とは、自然法則に対する「数学的に定式化された規準」である。とすれば二つの原理から「数学的に定式化された自然法則に対する規準」を導出することは「自然の数学的企投」<sup>(53)</sup>を意味する。この「自然の先行的な数学的企投」を根底で支えうるのは、アインシュタインが一九三三年の講演「理論物理学の方法」で語った自然への信頼、「自然は数学的に考えうる最も単純なものの実現である」という信頼である。<sup>(54)</sup>自然へのこの信頼に基づき、彼は「純粹思考にとつて現実的なもの把握が可能である」<sup>(55)</sup>ことをある意味で真理であると見なす。ここに我々は形而上学者アインシュタインを見出す。一九五〇年の『重力の一般理論について』で彼は次のように語っている。

「形而上学者は数学的に単純なものがまた現実的なものであると信じている。おとなしい形而上学者は、論理的に単純なものすべてが実在のうちに具体化されるわけではないが、すべての感覚的経験の全体が高度に単純な前提の上に構成された概念体系を基礎にして「理解」されうると信じている。<sup>(56)</sup>」

それは「既知の諸事実に基づいた構築的努力によつて真の法則を見つけ出す可能性」に絶望し、一般的な形式的原理の発見のうちに自らの道を見出したアインシュタインの当然の帰結であった。彼自身がそのことに無自覚だったとしても、原理論としての特殊相対性理論の誕生は、形而上学者アインシュタインの誕生であった。

原理理論としての特殊相対性理論の意味と射程を捉えようとした我々の試みは、形而上学者アインシュタインに出会った。しかし形而上学がもともと「原理＝アルケーの探究」であるとすれば、このことは決して偶然ではないであろう。我々はここでプラトン『国家』の言葉を想起せざるをえない。そこから原理理論としての相対性理論の意味と射程が読み取れるだろう。

「それはロゴスそのものが対話の力によって把握するものであって、この場合ロゴスは諸仮説（ヒュポテス）をアルケー（原理＝始原）とするのではなく、文字通り「下に置かれたもの」とし、いわば踏み台、跳躍板となし、それによって仮説でないものへ、万物のアルケー（原理＝始原）へ到る。そのアルケー（原理）を把握し、今度は逆にアルケー（原理）に依存しているものをたどり、このようにして終り（原理の帰結）へと下降する。その際全く感覚的なものを補助として用いず、形相（エイトス）そのものを用い、形相から形相へ、そして形相に到り終る。」  
(511 B—C)<sup>(89)</sup>

（一九八二年十月二十九日）

## 註

- (1) Albert Einstein: "Mein Weltbild" hrg. von Carl Seelig, S. 127f. cf. "Out of my later years" p. 54-55.
- (2) A. Einstein: "Autobiographisches" in: "Albert Einstein: Philosopher-Scientist" ed. by P. A. Schilpp, p. 56.
- (3) ホッペンカムの「相対論」は「科学の風土」。
- (4) G. Holton: "Einstein, Michelson and the "crucial" experiment", in: "Thematic origins of scientific thought", p. 339
- (5) *ibid.*, p. 284-285, p. 339.
- (6) A. Einstein: "Zur Elektrodynamik bewegter Körper" in: "Annalen der Physik" Bd. 17, 1905, S. 892.
- (7) 岩波『現代科学辞典』p. 1123

- (8) 同上 p. 432
- (9) “Autobiographisches” S. 52
- (10) *Ibid.*, S. 52
- (11) 石原純『アインシュタイン講演録』p. 81-82
- (12) アインシュタインの問題設定を、電気力学と古典力学との無媒介的対立(力学的世界観と電磁気学的世界観の対立)や、両者の無媒介的統一という形で捉えてはならない。座標変換に定位した相対性原理の次元という点こそがポイントである。そのポイントを見失えば、何故同時性の問題(時間座標変換の問題)が特殊相対性理論への突破口となったか、全く理解できないだろう。
- (13) 確かにポアンカレは「同時性の客観的意味」を疑問視した。(『科学の価値』第2章「時間の測定」)しかし彼は相対性原理と結びついた光速不変の原理を知らない。このことは「二人の観測者が共通の並進運動をしている場合、光による時計の同調が失敗する」という彼の議論にはつきり示されている。彼にとつて時間の規則(それ故同時性の定義)は単に「場合場合に依じて使用できる小さな規則」の一つ、「便宜主義の産物」にすぎない。「場合に依じて」という便宜主義は、その「場合」、「それに対して便宜であるようなそれ」(既存の自然法則)を前提せざるをえない。ポアンカレは原理の次元を知らないのである。
- (14) “Autobiographisches” S. 52.
- (15) 同時性の定義そのものにマッハの影響があるという点について、アインシュタインが消極的であったのは当然である。(広重徹「エーテル問題」力学的世界観、相対性理論の起源)『アインシュタイン研究』西尾成子編 p. 224-5)
- (16) A. Einstein: “Ernst Mach”, in “Physikalische Zeitschrift” XVII, 1916, S. 102
- (17) ちかぢ『アインシュタイン選集』3, p. 402-3参照。
- (18) “Ernst Mach”, S. 102
- (19) 概念の地上的起源の指摘はアプリアリで必然的と考えられた諸概念の批判を意味している。しかしこの指摘そのものは、概念の経験主義的解釈を必ずしも含意しない。概念のアプリアリズムと経験主義は、ともに、概念を既在するもの(アプリアリに既在するか、経験事実のうち既に既在する)と見なしている。こうした概念既在説に対して、アインシュタインは概念の自由な創造を語る。勿論彼が一九〇五年当時に、すでに「概念創造説」を確立していたわけではない。
- 一九一七年のベッソー宛の手紙でアインシュタインは次のように書いている。
- 「私はマッハの仔馬の悪口は言わないが、しかし僕があればどう思っているかは君も承知だ。マッハの仔馬は何も生み出

すことはできない。害虫を絶滅することができた。」(広松渉「相対性理論の哲学」p.152, p.236-237参照) 害虫を絶滅することは、物理学の発展を阻止している諸概念(それ故害虫)を批判することであり、何も生み出しえないとは、批判されるべき諸概念に代わる新たな生産的概念を創造しえないことを意味している。このようなアインシュタインのマッハ評価は、この点で一九一六年のマッハへの追悼文、一九四九年の「自伝」と、完全に一致している。

- (20) "Autobiographisches" S.20, 48
- (21) ドグマとなつた諸概念の批判という姿勢こそが、アインシュタインに影響を与えたのであつて批判の内実ではない。ヒュームにおける実体、因果律の概念の批判という特定の概念批判が、特殊相対性理論に直接影響を与えたとは考えられないと同様に、マッハの影響が「力学的自然観の批判」という批判内実のうちにない、と言わねばならない。アインシュタインにとつて「実在をめぐる巨人の戦い」は質点の理論と場の理論の間で戦われる。マッハのニュートン力学批判は決して「質点の理論としてのニュートン力学」の批判ではない。マッハ自身も、ニュートン力学の基礎構造としての質点の理論にとどまっている。質点の理論を批判する内実を与えたのは、フアラデー、マクスウェルであつて、決してマッハではない。
- (22) "Ernst Mach", S.103.
- (23) 光速度不変の原理については五参照。
- (24) マッハの現象主義は思考の構築的、思弁的本性を正しく捉えず、それ故に気体分子運動論を認めず、全く同じ理由から、特殊相対性理論を正しく理解できず、拒否せざるをえなかつた。vgl. "Autobiographisches" S.20, 48.
- (25) "Ernst Mach", S.102
- (26) "Mein Weltbild", S.135
- (27) "Autobiographisches", S.28
- (28) プラトン『ソフィステース』246A, vgl. M. Heidegger, "Sein und Zeit", S.2
- (29) アインシュタイン、インフェルト著、石原純訳『物理学はいかに創られたか』上下、参照。
- (30) アインシュタインは「理論の構成を一つの全体として統一し簡単化しようとする努力」を「論理的原理として解釈したときのマッハの経済の原理」と呼んでいる。(『アインシュタイン選集』3, p.371) マッハにとつて経済の原理は知的労力を節約するという心理的な原理であり、単純化された原理(原理の次元での単純性)から事実への長い複雑な道を、心理的に不経済であるとして拒否するだろう。マッハは原理の次元での単純性、論理的原理としての経済の原理に対立する。現象主義者マッハには「事実か

- ら法則（事実の経済的記述）への道」だけがあり、「原理から法則への道」は存在しえない。
- (31) “Zur Elektrodynamik bewegter Körper”, S. 891.
- (32) cf. G. Holton, *ibid.*
- (33) ここでガリレイの相対性原理を想起すれば十分である。
- 「石は船がじつと動いていようと、つねに同じ場所に落ちることが示されるでしょう。ですから大地についても船についても同じ根拠のある以上、石がつねに塔の根元に落ちることから大地の運動についても静止についても何も推論されることはありません。」(ガリレオ・ガリレイ『天文対話』(青木靖三訳)上、p. 221)
- (34) 一次の量に対して証明されたのはローレンツの一八九五年の著書『運動物体における電氣的、光學的諸現象の理論の研究』においてである。(cf. Holton, *ibid.*, p. 300, 325) 理論的に証明されたのであって、観測、実験によつて実証されたと言われているのではない。
- (35) “Zur Elektrodynamik bewegter Körper”, S. 895.
- (36) 一九〇五年の論文“*Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energiegehalt abhängig?*” また一九一三年『ロシア科学アカデミーにおける就任講演』(cf. “*Ideas and Opinions*, p. 223”) や一九一九年の論文“*Was ist Relativitätstheorie?*”においても同様である。
- (37) 慣性系という用語は少く後になつてはじめて通用するようになったのだから、アインシュタインの用語である「静止系」を用いる方がよいだろうが。cf. A. Pais: “*Subtle is the Lord……*” *The science and the Life of Albert Einstein*, p. 140
- (38) A. Einstein: “*Vier Vorlesungen über Relativitätstheorie*”, S. 16.
- (39) ローレンツ変換式を求める場合、その変換式が一次式であるという要請から出発する。そしてその根拠を普通「静止系も運動系も慣性系であるから、慣性の法則が成り立つ」ことのうちに求める。しかしアインシュタイン自身は、「時間・空間の等質性」から導くのであって、ローレンツ変換の導出において慣性の法則を前提してはいない。
- (40) 波の速度は光源の運動状態に依存せず、波を伝播する媒質の状態に依存する（近接作用）。ただし「光を伝播する媒質——エーテル」が否定されることが、音波等との違いである。
- (41) ソマーフェルトはそのように修正している。vgl. “*Das Relativitätsprinzip. Eine Sammlung von Abhandlungen*”, S. 27.
- (42) 光速度不変の原理は決して「すべての慣性系への光速度の一定」を主張してはいない。相対性原理と結びつくことによつてはじめて

て、静止系だけでなく運動系においても（すなわちすべての慣性系において）光速度の一定性が語りうるのである。

- (43) 法則の絶対性とは、座標系の選択に依存しないという意味で「切り離されていること」(absolut=abgetöst)である。しかし絶対空間の絶対性とは「他に影響を与えるが、それ自身他によって影響されえない」という意味である。すなわち「他によって影響されない」という意味で他から切り離されている abgetöst=absolut。

- (44) 何故「空間」と時間の相対性」と言われないのか？ 特殊相対性理論によつては未だ絶対空間が克服されていないからである。註(43) 参照。

- (45) 「一九〇五年には純粋力学におけるガリレイ不変性の一般的妥当性に反する証拠は未だ存在していなかった。」(A. Pais, *ibid.*, p. 140)

- (46) “Autobiographisches”, S. 52

- (47) *ibid.*, S. 52

- (48) *ibid.*, S. 56

- (49) この三つの次元はカントの「現象—カテゴリー—理念」に対応している。「事実—法則—原理」という三つの次元については、ウィグナー「自然法則と不変性」参照。

- (50) “Autobiographisches”, S. 62, vgl. “Mein Weltbild”, S. 129.

- (51) 理論の群論的性格のうち相対性理論と量子力学との連続性を見ることができむ。cf. W. Pauli: “Theory of Relativity”, 1958, Preface

- (52) アインシュタイン自身にとつて、物理学における革命はただ「実在をめぐる巨人の戦い」のうちでのみ、すなわちフアラデー、マクスウェルにおける「質点から場へ」の実在の転換のうちでのみ語られる。Vgl. “Autobiographisches” S. 32, 36

- (53) Vgl. M. Heidegger, “Sein und Zeit”, S. 362

- (54) “Mein Weltbild”, S. 116

しかしこの信頼が必ずしも正しい道を示すわけではない。「数学的に最も単純なものとしての円から楕円へ」という天文学の歴史(自然が数学的に最も単純なものに反逆したことを想起すべきである。さらにアインシュタインの統一場の理論に物理的指導原理(特殊相対性理論における光速度不変の原理、一般相対性理論における等価原理に対応するもの)が欠けていたが故に、アインシュタインが新しい数学を勉強することから一つずつ新しい「統一場理論」が発表される。という事態が生じた。(「アインシュタ

イン選集』2, p. 10-11 参照)

(55) "Mein Weltbild", S. 117

「理性的なものは現実的であり、現実的なものは理性的である」というヘーゲル『法哲学』序文の言葉を想起せよ。

(56) A. Einstein, "Ideas and Opinions", p. 342

(57) アインシュタインがいかにして「原理理論」を支えようとする形而上学を自覚するに到ったかをたどらねばならない。その場合、彼の数学に対する態度の変化が一つの鍵になる。一般相対性理論への途上でのリーマン幾何学との出会い、さらに物理的指導原理なしの、統一場理論の試みによって、原理理論としての特殊相対性理論とともに誕生した形而上学者アインシュタインが成長していく。この成長、顕在化は「概念の創造説」とパラレルである。

(58) 念のために一応、その対応を指摘しておこう。「下に置かれたもの」としての仮説とは、原理理論としての特殊相対性理論において、マクスウェルの方程式であり、特殊相対性理論は、マクスウェルの方程式に動機づけられてはいるが、それに根拠づけられてはいない。すなわちローレンツ・ポアンカレのようにこの方程式を端初アルケーとせず、踏み台、跳躍板とした。「仮説的でないもの」、万物のアルケーとは、二つの原理とそれから分析的に導出された「自然法則に対する制限的原理」である。このアルケーからそのアルケーに依存しているものをたどり、終りへと下降するが、その「終り」とは特殊相対性理論の場合、ローレンツ収縮、時計の遅れ、 $E=mc^2$  等であり、「運動物体の電気力学」である。あるいはさらに相対論的力学、相対論的量子力学等である。その際感覚的なもの(事実の次元)を補助として用いず(原理は直接個別的事実に関わらない)、形相(自然法則)そのものを用い、相対論的自然法則(形相)に到り終る。(勿論そこから、実験・観測されうる事実の予言が可能である—それは形相と感覚的なものとの関係とパラレルである)。

しかし物理学の原理アルケーは、それ自体として、確実・真である(それ故、そこからの帰結も真である)のではなく、その終り・原理の帰結が真であること(相対論的法則が事実と一致すること)によつてはじめて、経験科学である物理学のアルケーとして真であるとされうる。「原理から事実への道」によつて原理の真理が保証されるのであつて、決して「事実から原理への道」によつてではない。