

最小作用の原理

マックス・プランク著
石原純訳

物理的科學が存在する限り、之に最高の目的として次の問題の解決が課せられている。それはすべて觀察せられた、且つ尚お觀察せらるべき自然現象を唯一の簡単な原理に綜合し、之によって過去並びに將來の過程を現在のものから計算することのできるようにすることである。ところが事物の本質から見て、この目的は今日達せられてもいないし、亦何時になっても完全には達せられないであろう。けれども之に幾らでも近づくことは出来そうであり又理論物理学の歴史は、この方法で既に沢山の重要な結果が得られたことを示している。之から見ると、明らかにこの理想的の問題は決して純粹に架空的のものではなく、寧ろ著しく効果的のものであって、従ってそのために実用的の立場からいつも眼中に留めおくように骨折られているのである。

前世紀の發展に於て物理学の收穫と稱せられる多少とも一般的の法則のうちで、現在では最小作用の原理が形式並びに内容上からして恐らく理論的探究のあの理想的な終極目的に最も近いと云う要求にかなうところのものである。その意味を適當の一般性に於て解すれば、単に力学的現象に関するばかりでなく、熱学的及び電気力学的現象にまで拡張せられ、且つそのすべての應用範圍に於てはその物理的過程の或る性質を証明するばかりでなく、その空間的及び時間的経過をも完全に一義的に規定し、必要な常數と、任意に委ねられた外部條件とを与えさえすれば、之に関する一切の問題を答えるに足りる。

勿論もちろん最小作用の原理のこの中心的地位は今日も尚お全く抗争されないと云うわけにはゆかない。特に之に対して激烈な争を起したものはエネルギー恒存の原理であって、之も同様に全物理学を支配し、且つ確かに直観性に於ては優っている。それ故に先ず之等の両原理の相互の立場を明らかにするために、ここに數言を費す必要があるであろう。

エネルギー恒存の原理は最小作用の原理から導き出されるのであるから、即ち前者に含まれているが、之に反して逆は成り立たない。従ってエネルギー原理はより特殊的であり、最小作用の原理はより包括的の法則である。之を一つの簡単な例で説明するために、一つの自由な、どんな力にも働かれない質点の運動を取って見よう。エネルギー原理によれば、かような点は一定の速度をもって動くが、速度の方向に関してエネルギー恒存の原理は少しも云いあらわさない。なぜなら運動のエネルギーは全く方向に関しないからである。例えば点の軌道は直線的であることもできるし、亦円形であってもよい。ところが之に反して最小作用の原理は、後にもっと詳しく述べる通りに点の軌道が直線的であることを要請する。

さて前述の簡単な場合に於てエネルギー原理の内容を更に或る簡単な仮定によって補足しようとすることもできる。例えば、自由に運動する点に於ては単に全運動エネルギーばかりでなく、一定の空間的方向に落ちるところの運動エネルギーの分量も亦一定に保たれると云う仮定の如きものである。けれどもかような補足はエネルギー原理自身には未知のものであって、且つ之をより一般的の場合に移すことは困難である。即ち例えば球面振子（一定の球面に於ける重い質点）に対してエネルギー原理からは単に、振子の運動エネルギーが上昇運動の際には一定の方法で減じ、下降運動の際には増すと云う結論を引き出すことができるだけであって、軌道曲線をこの条件から一義的に決定するわけにはゆかないのに反し、最小作用の原理は運動に関する問題を悉く完全に答える。

両原理の効果がかように相違する理由は、エネルギー恒存の原理を一定の場合に応用した際にはそれが唯一の方程式しか与えないのに、実際に運動を完全に知るためには独立坐標の存在するのと同じ数だけの方程式、即ち自由質点の運動では三つの、球面振子の運動では二つの方程式を要することにある。ところが最小作用の原理はどんな場合にも独立坐標の存在するのと同数の方程式を供給するのであって、沢山の方程式を唯一の法則に包括することのできるのは、それがエネルギー原理に反して一つの変分原理であるためのお蔭である。なぜなら、それは豫め与えられた条件の範囲内に思考し得られる仮想的運動の無数の群のなかから簡単な特徴によって一つの全く決定された運動を取り出し、之を自然に於て実在的に起るものとするからである。その特徴と云うのは、実在的の運動から無限に接近した任意の仮想的運動に移る際に、精密に云えば豫定条件と相容れる実

在的運動の^{おのおの}各の無限に小さい変化に際して、この変化に対し特質づけられた或る量が零なる値を取ると云うことである。この条件からして、普通の極大若しくは極小問題に於けると同様に、^{おのおの}各の独立坐標に対して特別の方程式が得られる。

そこで最小作用の原理の内容は、仮想的運動が従わねばならない、豫定条件、並びに実在的運動の^{おのおの}各の任意の変化に対して消滅すべき特質的の量が精密に与えられたときに始めて一定の意味を得ることがわかる。従ってここに正当な確定を待つべき問題は、最小作用の原理の形式化に於て抑も本来の困難を形作った。^{しかも}併しながら既に任意の複雑な力学的体系の運動を特質づけるために要せられる方程式の全体を唯一つの変分原理に包括させようとする思考がそれ自身だけでも卓抜な意味をもち、理論的研究に於ける重大な進捗をあらわすと云うことは、上の困難にも^{かかわ}拘らず明白に見えたのであった。

この関係に於て想い出されるのはライプニッツの辯神説である。それに於ては、実在的世界は創造せられ得たでもあろうあらゆる世界のうちで、避け難い悪をもちはするが、之と共に善の極致を含むところのものであると云う根本法則が立てられている。この根本法則こそは一つの変分原理に外ならないのであって、しかも既に全く後の最小作用の原理の形式をもっている。善と悪との避け難い連結はそこに豫定条件の役目を演じている。そして若しも一方で善の量に対する物指と、他方で豫定条件とが数学的にはっきりとあらわすことができたであろうならば、この根本法則から実際に実在世界のすべての特性を細末に至るまでも導き出すことのできたのは明らかである。第一と同様に第二の条件も亦重要である。

^{しか}併しながら我々の原理の空虚な形式を効果ある内容で充たし得るがためには、もう一步を進めねばならなかった。そのうちで先ず何よりも、実在的運動に対しては値が零になるような特質的の量を知ることが肝心であった。ここには最初に二つの異った見解から出発することができる。一つの見解では特質量を箇々の時間点若しくは無限に小さな時間要素に関係させるのであるが、之に反し他の見解では運動の有限な時間間隔に関係させる。第一の見解を取るか又は第二を取るかに従って、二つの異った種類の変分原理に達する。

第一の種類に属するものは、ベルヌイの仮想的移動の原理、ダランベールの惰性抵抗の原理、ガウスの最小束縛の原理、ヘルツの最直線的軌道の原理である。総て之等の変分原理は実在的運動の特徴を、箇々の時間点若しくは時間要素に対

して意味をもつような運動の性質に於て帰する限り、之等を微分原理と名づけることができる。力学的体系に対しては之等のうちのどの一つを取るも、他のものと同一であり、又ニュートンの運動法則とも同一である。併し之等は何れも只力学的体系に対してのみ意味を有し、之等の形式を立てるには考察せられた質点体系の特殊の点坐標に立ち入らねばならないと云う不利益をもっている。点坐標の選択の如何によって解釈を全く異にし、多くは比較的複雑になり不明瞭になる。

この病弊、即ち特殊の力学的点坐標を要することから免がれるには、変分原理を積分原理として解し、最初から有限の時間に関係させればよい。そうすればすべての仮想的運動のうちで実在的の運動は、それからの何等かの許容される変化に対して或る時間積分が消滅するとう性質によって特徴づけられる。最も重要な場合に於てはこの条件は次のように云いあらわしてもいい。実在的運動に対しては運動の作用量と名づけられる或る時間積分が豫定条件に従うどんな任意の他の運動に対するよりも小さいと、その際箇々の質点に対しては作用量は、ライブニッツによれば、運動エネルギーの時間積分に等しく、即ち亦速度の軌道積分に等しい。

この解釈では最小作用の原理は何等の特殊な点坐標に関係せず、亦抑も力学的過程を仮定することなしに云いあらわされる。なぜならその形式化に於て単にエネルギーと時間とが役を演ずるに過ぎないからである。勿論時間積分を導き入れるために特別の事情があらわれるので、之によって以前からも、そして恐らく尚お今日でも多くの物理学者や認識論者をして、最小作用の原理並びに各の積分原理に対して或る疑問を提起せしめるように思われる。即ちその際に一定の時刻に於ける実在的運動はそれ以後の運動の考察を待って決定せられ、従って現在の状態が或る意味で将来の状態に関係させられ、それによって原理は或る神学的の加味を得る。ところで因果原理にのみ固執する人は誰も、原因と等しく、運動のあらゆる性質も亦単に以前の状態だけから理解せられ且つ導き出されるものであり、それ以後に経験するものには顧慮する必要のないことを要望するであろう。それは実行することができるばかりでなく、亦思考経済の直接の要求とも思われる。之に反して自然法則の体系に於てより高い、出来るだけ概観し得られる結合を求める人は誰も、調和を熱望する意味で、将来の出来事へ関係させると云うような手段をも最初から許容されるものと考え、自然現象の完全な記載に対して之を必要とまではしないでも、併し恐らく便宜的に取り扱い、解り易く意味づ

けるために適当であるとする。それに関して思い出されるのは、数理的物理学に於て単に方程式に対称性を得させるために、^{しばしば} 屢々計算せらるべき量を独立変数自身に關せしめることを止めて、対称性の獲得を保証するところの、純粹に形式的な、^{しか} 併し非常に実用的な利益を目的として、^{むし} 寧ろ無益な種々の変数を計算に導き入れることである。

近代の物理学はガリレイ以来どんな神学的考察方法からも意識的に遠ざかることに於てその最大の効果を収めた。それ故に亦今日に於てもそれは正しく、因果法則を神学的見地と混和するようなすべての試みに反対して之を否定するものと云うことができる。^{しか} 併しながら、力学の法則の形式化に対して有限な時間間隔の採用が不必要であるとしても、^な 積分原理は尚お之がためにすぐに最初から棄てられていいものではない。その是認に対する問題は神学とは全く関しないのであって、^{むし} 寧ろ純粹に実用的のものであり、積分原理が与えるような自然法則の形式化が果して理論物理学の目的に対して他の形式化よりも多くの効果をもつかどうかに関するのである。しかもこの問題は今日の研究の立場からは、既に上に述べた通り点坐標の特殊選択に無関係であることから見ても、肯定されねばならない。力学の根本原理に有限の時間間隔を採用することの実用的意味ばかりでなく、その必要に対する完全な理解は、^{もちろん} 勿論我々が後に見る通りに、近時の相対性原理によって始めて得られるのである。

最小作用の原理の形式化についてこれ迄話した処では、まだ仮想的運動に豫定せらるべき條件に關し何等の顧慮をも与えなかったが、^{しか} 併し之は作用量自身と全く同等の重要性をもつものであって、^{いかに} 豫定條件の種類によっては原理の内容が全く異なった意味をもつようになる。それは単に選択の標準となる特徴に関するばかりでなく、^{もちろん} 選択に應ぜられる運動の性質にも関する。勿論、^み 久しい間この事情が見遁がされていたために多くの不運な誤謬も起って、それが判然とわかり、最小作用の原理が正しい見解を得るのを妨げていた。若し原理の発見をこの事情の明らかになった時と解するならば、その功績はまさにラグランジに歸せらるべきであろう。^{しか} 併しかような評価は、その基礎を準備して仕事を始めた人々にとって是不当になる。ラグランジはそれ以後に於て之を^{ぎょうこう} 僥倖的な終結に持ち来し得たに過ぎないからである。それらの人々としては先ずライブニッツ、(特に主要なのは原文が失われてはいるが1707年の書簡)、次いでモーペルチュイ及びオイラーが数えられる。

中にも、作用原理の存立と意味とを認めただけでなく、彼の全個性を入れて科学の内部及び外部に之を適用せしめようとしたのは、フリードリッヒ大王からプロシヤ科学アカデミーの会長（1746—1759年）として命ぜられたモロー・ド・モーペルチュイであった。彼が神経過敏にもなる程の熱心さをもって彼の原理を新らしい形式のもとに当時の社会に宣伝し、あらゆる方面に向って屢々起された非難に対して辯護したことは、彼が最も適当として認めた^{しばしば}と信じたこの形式化の科学的価値と相対照するものがある。之から考えると、彼が事実に不十分な問題に力強く執着した本来の動機は、単に科学的自信だけにあるのではなく、少くとも同じ程度に於て、彼が最も重要な生命事業と考えた発見の権利を、あらゆる事情のもとに確立させようとする強固な^(ママ)意望に基づいたのであったらしい。どうも然^そう解しなければ、彼が自分に与えられた高い地位を殆んど濫用するまでにして、サミニエル・ケーニツ教授（1751年）の呈示した前述のライプニッツの書簡を偽作であると云い争って之を^{まんぢやく}瞞着しようとしたことなどは、全く考えられない。それにしても人間的弱点及び自負はどんな場合にもベルリンのアカデミーの会長に於ける程は苦々しく思われなかったに違いない。この偉大な官僚哲学者に対して機会毎になされた^{きよほうへん}毀誉褒貶は歴史家をいつも刺戟してその叙述を繰返させ、亦^{しばしば}アカデミーの講壇に於て、マイエル（一八七七年）、フォン・ヘルムホルツ（1887年）、デュボア・レイモンド（1892年）、ディエルス（1898年）等から盛んに論ぜられた。之と数理的科学の一般的発展との関係はカントールの数学の歴史に、又ベルリンのアカデミーに対するその意味はハルナックのアカデミーの歴史に明瞭に載せられている。

最小作用の原理のモーペルチュイの形式では、「自然に於て起る変化に用いられる作用量は常に極小である」ことを云うに過ぎない。従って厳格に云うならば、それは変化の法則に対し全然何等の結論をも与えない。なぜなら、仮想的変化の満足する条件の決定を缺く限りに於て、どんな変化が互いに比較せらるべきであるかに^{つい}就ては、全く何も云ってないからである。この缺陷を明瞭に見るためには、モーペルチュイには解析的批判が缺けていた。彼の同僚や友人と共になって彼の原理の辯護をなしたオイラーは何と云っても数学者としては遙かに彼に勝った人であったが、それでさえも正しい形式化に成功することができなかったことを考えて見るならば、この缺陷のあったことも無理ではなかったであろう。

モーペルチュイの本来の功績は^{むし}寧ろ一つの極小原理を探究したと云うことに存

していた。之が彼の構想の本来の指導星であった。だから彼は亦フェルマーの原理、謂わゆる最迅速到達の原理をも引き入れたのであったが、実際それは最小作用の原理と関係しているので、只その関係が甚だ間接であるために、当時の物理学では知られていなかったのである。ところで極小原理に対してなぜそれ程の興味をもっていたかと云うことに就ては、その根本に次の形而上学的思想が横わっていた。即ち自然に於ては神の摂理があらわれ、従ってどんな自然現象にも一定の目的に向けられた企画が根柢に存し、しかもこの目的は最も直接な方法で、最も有用な手段をもって達せられる筈のものであると云うのである。

かような神学的考察がいかにも不十分であり、邪道的でさえあるかは、実際に最小作用の原理が一般に解釈しては全く極小原理とは云われなことを考えるならば、最も能くわかる。例えば、一つの質点が球面上で自由に運動し何等の力をも受けない場合に、その軌道が始原及び終極位置の最も短い結合線をあらわすと云う法則は、軌道が球面上の一つの最大円の半周を超える際にはもはや成り立たない。半周を超えてしまえば、つまり神の豫見はもう働くことができなくなるわけであろう。もっと痛切な事情は非ホロノーム体系の場合にあらわれるのであって、その際には仮想的運動は全然可能の運動に属しないので、従って極小条件は全くその意味を失ってしまう。

併しながら何れにしても、自然法則と最高知者の摂理との密接な関係に対する確固な信仰が最小作用の原理の発見の本来の出発点を形作ったと云う否定し難い歴史的の事実眼中に置かれねばならないし、又かような信仰は、若しもそれが最初から餘りに狭い柵内に押し込まれるのでなければ、証明にはならないけれども、併し決してそれ程排斥すべきものではないのである。なぜなら、そこに出現する何等かの矛盾は最後には不十分な形式化に押し退けることができるであろうからである。

ラグランジュは最小作用の原理に正しい解釈を与えた最初の人であった（1760年）。質点の一つの体系を一定の全エネルギーのもとに一定の始原位置から一定の終極位置に持ち来すようなすべての運動のうちで、実在の運動は作用量を一つの極小となすものである。従って仮想的の運動もエネルギー原理を満足するが、之に反してそれは任意の時間を要求することができる。この解釈によれば、箇々の質点の軌道は、之にはたらく力の無い場合には、一定の速度で最短時間にその目的を達するところのものである。之は軌道曲線として最短の長さの線を与える

のであって、即ち自由の一点に対しては直線となる。

その後ヤコービー及びハミルトンは、この原理にな尚お全く別の解釈を与え得ることを示した。特に将来に対してはハミルトンの選んだ形式化が重要になった。そこでは比較せられた仮想的運動は一定の全エネルギーを有つことを要しかしないので、その代りにすべてが同じ時間内に起らなければならないのである。併し然うなると、実在的運動に対して一つの極小値を取ることの作用量は、もはや運動エネルギーに関するモーペルチュイの時間積分によってではなく、却かえって運動エネルギーとポテンシャル・エネルギーとの差に関する時間積分によってあらわされねばならない。力に働かれずに動く質点の上述の例に之を応用すると、軌道曲線としてはすべての可能的な曲線のうちで点が一定の時間に最小の速度をもってその目的を達するようなもの、即ち再び最小の長さの線を与える。

著しいことには最小作用の原理は、それがラグランジェによって力学に於て完全に合法化せられた後までも、最初から未だ科学の進歩の上に何等の重要な実用的影響をも及ぼさなかった。人々はそれを寧むしろ単なる数学的好奇として、興味はあるが併し無しかくてもよいような、ニュートン運動法則の附加物として見做みなした。1837年に於ても尚おポアッソンはそれを「単に不用な規則」と称した程であった。始めてトムソン及びテイト、キルヒホッフ、カール・ノイマン、ボルツマンその他の研究に於て、この原理が流体力学並びに弾性の問題の解決に対し非常に有用な道具であることが示され、之に反して力学の他の方法では或る部分は困難となり、或る部分はまるで失敗に帰してしまつたときに至つて、一つの変動が起されたのであった。即ち人々はその開發的の価値を漸ようやく評価し始めた。トムソン及びケイトは之について云っている（1867年）。「モーペルチュイの有名な最小作用の原理は今日までは寧むしろ奇妙な且つ幾らか紛らすような運動の性質として、運動学的研究に於ける一つの有用な案内者として見做みなされていた。けれども我々は、之にもっと深い意味を置くべきものであり、しかも単に抽象的な力学に於てばかりでなく、更に亦新たに起る物理学の諸部分の理論に於ても力学的説明を得るのに肝要なものであると云う確信をもっている。」

併ししかながら、原理の応用に於て、殊にも仮想的移動に豫定する條件の形式化の際に、誤謬に陥らないために最大の注意を行わねばならないことが示された。例えば摩擦及び廻転のない流体中での固体の運動に應用する場合には一般に、固体の始原位置及び終極位置を変化せしめないと云うことが満足されない。すべての

流体粒子の始原位置及び終極位置をも亦不変にしなければならない。ヘルツが彼の力学の緒論に於て、最小作用の原理を水平の平面上を転がる球の運動に応用したときにも、別の種類の過失をなしたのであって、その際彼は仮想的移動に対して非ホロノーム体系では許容せられない条件を設けたのであった。この事情は特にヘルダー及びフォッサの努力によって明らかにせられた。

最小作用の原理の本来の根本的の意味は、或る体系の機構が全く知られていないか又は普通の坐標になおして考えることのできない程複雑であるような場合に、之に応用することのできるのが解ってから、始めてもっと一般的に知れ^{わた}互^たるようになった。既にボルツマン並びに引続いてクラジウスがこの原理と熱力学の第二主則との密接な関係を認めた後にヘルムホルツ（1886年）は始めて出来るだけ広い立場から物理学の三大範囲即ち力学、電気力学、熱力学へ原理を応用して、当時可能なあらゆるものの系統的整序を与えたが、その多方面性と充実に於て驚くべきものであった。

ヘルムホルツは彼の計算に対して作用原理のハミルトンの形式を最も便利のものとして選び、之にもっと形式的の性質の二三の拡張を与えた。時間積分を行ってハミルトンの作用量をあらわすような量を彼は「運動学的ポテンシャル」と名づけた。その際彼は^{もちろん}勿論、作用原理が根本に於ては力学的であると云う仮定を保存したが、^{しか}併しこの限定は今既に幾分退けられていたわけで、実際に例えばガルバアーニ電流や磁石のような多くの考察せられた体系に於てその特殊な力学的構造に全く立ち入ることを要しなかった。之に反してヘルムホルツは既に当時決定的の進歩を完成したので、それは即ち彼が運動学的ポテンシャルを、従来いつもなされていたように、運動エネルギー及びポテンシャル・エネルギーの差としてエネルギーから導き出さず、^{かえ}却って逆に運動学的ポテンシャルを根本の量として前置し、そしてそれから運動のすべての他の法則並びにエネルギーの量を決定したことである。

この新らしい考察方法の効果は主として直ぐに眼につくところの重要な一般化に於て示された。即ち運動学的ポテンシャルは、エネルギーとは反対に、独立変数の選択に従って、その解析的形式を異にするばかりでなく、亦その量をも変ずる。一つの例を挙げて見よう。運動方程式の二三を利用してそれで独立変数の数をそれだけ減^おずることができるが、^お逐い出された変数は作用原理からして全く消滅する。即ち^い謂わゆる隠在的運動に相当する。かような場合にはいつでも運動学

的ポテンシャルは他の量を取り、そして之から例えば熱力学で出遇うように独立変数の選択に応じてポテンシャルの式が種々異なって来ることも説明される、ヘルムホルツは、之等の種々の式がいかにか互に関係し、且つどうしてそれらが引き出されるかを示し、尚お亦、運動学的ポテンシャルが運動エネルギー及びポテンシャル・エネルギーの差とは全く異った形式を取り得ることをも示した。丁度この事情が作用原理の普遍性を特に明瞭に知らしめる。なぜなら力学以外には運動エネルギーとポテンシャル・エネルギーとの差はまるではや不可能であって、従ってそこでは運動学的ポテンシャルを一義的にエネルギーから導き出すことはできなくなってしまうのに反し、その逆はどんな場合にも容易にか且つ簡単だからである。

若しヘルムホルツにして少くとも原理上尚お、すべての物理的過程が、最後には簡単な質点の運動に帰せられると云う仮定に固執していたとすれば、この仮定の実現性は、少くとも電気力学的過程に関しては、それ以来、まさに疑わしくなされたに違いない。だが、最小作用の原理がその応用性並びに効果を丁度亦力学以外の物理学の範囲殊に純粹真空の電気力学に完全に確証すると云うことは、すべての従来の結果に従って疑いもないのである。何等かの力学的仮説をも必要とすることなしに、ラーモア（1900年）、シュワルツシルド（1903年）及びその他は電気力学及び電子理論の根本方程式をハミルトンの原理から導き出した。

それによって最小作用の原理に於ても、幾らか以前にエネルギー恒存の原理に於けると、全く同じ発展を完成した。後者も亦最初には一般に力学的原理として成立した。実にその一般適用性は久しい間直接に力学的自然観に味方する証拠として登場させられた程である。今日では力学的自然観は強く動揺に達したけれども、エネルギー恒存の原理の普遍性に関しては誰も真面目に疑おうとするものはない。今日作用原理を尚お特殊の力学的原理として見做そうと思ったなら、それは同様の偏狭さの誤りを免れなかったであろう。

併し最も輝かしい効果を最小作用の原理があらわしたのは、近代のインシュタインの相対性理論があれ程沢山の物理学的定理の普遍性を奪ったときに際してさえ、この原理は適用性を保ったばかりでなく、あらゆる物理学的法則のうちで最高の地位を占めるに適したことが解ったことである。之は本質上次の事柄にその理由を有するのである。即ちハミルトンの（モーペルチュイのではない）作用量は 各 のローレンツ転換に関して不変であり、云い換えれば、観測者の特殊の

基準系に独立であるからである。作用量が一つの時間間隔に関して時間点に関するのではないと云うことは上に詳細に説明した処であり、一見しては不利益にも見える事情であるが、之に対するより深い説明が丁度この根本的性質に含まれている。つまり相対性理論に於ては時間が空間と全く同様の役目を演じている。一定の時間点に対して与えられた物体系の状態から将来並びに過去の過程を計算すると云う問題は、相対性原理に従えば丁度、種々の時間に一定の平面で行われる過程から平面の前後の過程を計算すると云う他の問題と全く同じ種類のものである。第一の問題は普通に物理学の本来の課題と云われているが、それには厳格に云えば、任意の且つ非本質的の限定が存しているのもであって、その制限の由来は、解決が人間に対して最大多数の場合に第二のものよりも実際的に有用であると云うことに見出だされるに過ぎない。そこで一つの物体系の作用量の計算は物体の占有する空間についての積分を要求すると共に、時間に対して空間に特別の権利を与えないためには、作用量は同様に亦時間積分をも含まなければならない。なぜなら、空間と時間とを一緒に取って始めて、作用量が関係するところの「世界」を形作るからである。

最小作用の原理と同様に、エネルギー恒存の原理も亦相対性理論に於てその一定の地位を指定される。けれどもエネルギーはローレンツ転換に対して不変でないこと、以前にも亦ガリレイ転換に対してそうでなかったのと同様である。なぜならそれに於ては時間が特別の役目をもつからである。空間の方で之に相応するものは運動量恒存の原理である。併し之等の両原理を超えて、之等を共通に含んで、最小作用の原理が君臨するのであって、従ってそれは物理学のすべての可逆的過程を支配するようになる。それは勿論非可逆性に対しては何等の説明をも与えない。なぜなら之に従えば各の過程は空間に於ても亦時間に於ても、各の任意の方向に前後に走ることができるからである。非可逆性の問題はそれ故ここでは話の外である。

(1915年「現時の文化」所載)

-
- 『世界大思想全集』第48巻（春秋社，1930年12月）所収。
 - 底本は縦組みであるが，数式を考慮して横組みにした。
 - 旧漢字は新漢字に、旧かな使いは新かな使いに変更したが，一部旧漢字のままにしたところもある。
 - PDF化には $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X} 2_{\epsilon}$ でタイプセッティングを行い、`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://www.cam.hi-ho.ne.jp/munehiro/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。