

エネルギー

オストヴルト著
山県春次訳

訳者の序

本書は Leipzig の Verlag von Johann Ambrosius Barth から “Wissen und Können” 叢書の第一巻として発行された、
ヴェイルヘルム・オストヴルト (Wilhelm Ostwald, 1853-1932) の著 “Die Energie, 1908, 2 Aufl. 1912.” を訳出したも
のである。

一九〇八年、当時ライプチヒ大学の物化学教室にあつて、全世界の物理化学者たちから絶大の敬愛と憧憬とを以
て仰がれていた彼が、突如教授の職を辞してライプチヒより程遠からざるグロース・ポータンに隠棲したのは、古
典科方面の同僚と意見の齟齬を来したためであるとか、或いは、進歩の急激な斯学しがくの指導の位置にあるものが老朽
のためにその責務を果すに支障を来してはならないという・学者的な良心からであるとか、種々伝えられているが、
その主な原因の一つとして、壮年時代より彼の心底に醸されつつあつた哲学への関心が、思索の時を裕かにし、自
由に著作に没頭し得る境遇を希求したからであるとも、考えられるのである。

ファン・ト・ホッフ、アルレニウスと共に新しき科学の一部門「物理化学」の創設者として赫赫かくかくの名声を謳われ、
熱力学を基礎とする触媒反応論によつて一九〇九年度のノーベル賞を授与されたオストヴルトは、固もとより、大自然
科学者として永とこしえにその名を銘記さるべき人であるが、隠退後は専ら、思索に著作に講演に、彼の所謂いわゆるエネルギー
一元論哲学の強化普及に身を捧げ、ひとり自然科学界のみならず当時の哲学界に対しても大なる波紋を捲きおこし、
思想家としてもまた並々ならぬ功績を貽した。

物理化学者としての彼は、常に飽くまで仮説ヒポテシスを排撃し、直接体験し得べからざる物質原子の如きものは之を認め
ず（但し後年に至つて原子説を容認した）、すべてを無仮定的、可計量的、且つ普遍的なエネルギーの移動変化を以
て特質付けようと試み、実際に各方面の問題について或る程度まで見事な成果を収めたのであるが、この仮説ヒポテシス排斥

の精神は、当然、彼の哲学的思索に於いてもその全き相貌を現わさずにはいなかった。即ち、我々が感官によって外物を知覚するといつても、その際我々の知覚するものは、決して物質そのものではなく、ただ感官と外物との間のエネルギーの差に対する感官の反動が、感覚として直接体験されるに過ぎない、従つて、自然界の究極要素を物質原子となす唯物論に反対して、我々の哲学は先ずエネルギーを以てその出発点となさなければならぬと論じ、物理学に確立されたエネルギー原理を、無生、有生、延いては精神的、社会的、にわたるあらゆる現象にまで押し詰め、それによつて一切を、エネルギーの「量的不滅と質的変換」から解明し尽そうとする・一元論的な世界観を樹立したのである。この点彼の思想は、常に経験的現実在即して、全自然界を「質料が、その活動現実たる形相の完成円現を目指して発展するところの過程（エネルギーイアまたはエンテレケイア）」であると観じたアリストテレスの立場に近いものを有し、ヴェントの如きは、オストヴルトの哲学を以てアリストテレスの現勢・潜勢の考察を近世化し、これに新しくエネルギーの恒存性と普遍性の科学的法則を附与したものである、とまで評している。この批評は、固より、温故知新的な類推を出でないものであつて、アリストテレスにはオストヴルトの有たない深味があり、後者はまた後者でそれに独特な一面を把持していることは断わるまでもないのであるが、このような見方を離れても、古代ギリシャに於けるアリストテレス学派・プラトン学派の対立を近代の科学的哲学者に移して、或る意味で前者の精神を継承するオストヴルト、マツハ等の実証主義者を、後者の流れをくむポアンカレ、プランク等の理想主義者に対置せしめるのも、一興あることと思われる。

然しながら、エネルギーが本来経験、計量され得るものであるということ根拠とし、要請として出発した彼が、一元論の全的体系を求むるの余り、終に、神経エネルギー、心的エネルギーの如き最早推測され得るのみなる特殊エネルギーを仮定するに至つたという事は、エネルギーなる語を余りに万能視し、神聖視することによつて、自然科学から出でて却つて自然科学の本分を忘れる結果となり、田辺博士の言葉を籍りれば、「自然科学の方法上定

立せられた実体の概念を以て、形而上学的に一切現象の奥底に潜む実在を意味するものと誤認した。一種の思弁的形而上学であることを暴露したものに外ならず、終始実証主義の旗幟を翻して十九世紀初頭の悪しき自然哲学に反抗し来ったオストヴルトとしては、思わぬ自家撞着に陥つたものといわなければならぬ。之が即ち、当時哲学者の側より「独断粗笨」の囂々たる非難を蒙つた所以であり、また、純物理学的な観地から見ても、単に現象論的なエネルギー一元論の不充分なることは、例えば熱現象の内的機構を説明する上に原子論的考察に基くボルツマンの統計理論が必要であつたこと等、既に多くの物理学者によつて屢々論ぜられて来たところである。

併しまた、だからといって、彼の哲学を一途に意義無きものと棄て去ることは、早計である。シェリングの自然哲学から、その非を衝くべく立ち上つた自然科学的唯物論を経て、今日に至る歴史的発展の途上に於いて、彼の果たした役割は決して軽視することを許さないものである。それ故本書は、オストヴルトが、斯の如き自己の哲学への手引きとして、その根抵となるべき、エネルギーの概念を大方の前に解説したものと看做すことが出来るであろう。勿論、単なる物理学の啓蒙的著述としてみても、本書の占める位置は頗る卓越したものであり、古今の名著たることを辱しめない。稀に見る達意の筆を以て、物理学的な考察に馴れない読者にも一読容易に直観的な把握が得られるよう——数学式の手を殆んど全く籍りることなしに——懇切且つ明快に解き来り説き去るあたり、誠に讚歎措く能わざるところがある。然しながら、私が敢えてこの訳業を企てた直接の動機をなしたものは、我国に於いて屢々口にされながらもその割に読まれることの少なかつた彼の思想を紹介しようとか、或いは、上に述べた如き物理學啓蒙の好読物を一般に提供しようとか云うよりは、むしろ、本書中随処に散見される著者オストヴルトの熾烈な科学的精神にいたく心打たれたためであつた。研究者としての情熱、思索者としての真摯、教育者として気概に深く感動させられた故であつた。ただ、斯うして出来上つた訳稿を読み返し見て、訳者の不敏、原文の意図する処の幾分をも伝え得なかつたことを、只管慙愧するのみである。

なお本文中、現在の科学の段階から見てそのままでは理解し難いような箇所、屢々訳者註を附けなければ、という気持ちに駆られた。しかし、浅学なる訳者の註釈が却つて原著の趣を損ねることを虞れ、また、なるべく原著をそのあるがままに呈示することこそ翻訳の本分であると考えて、一切之を断念することにした。また、本書の後半に於いて、見馴れぬ「容度」なる言葉に驚かれるかも知れないが、之は Intensität (張度) に対応する Extensität に対して、ほかに適切な訳語が見当らなかつた故で、濫りに新語を造つた罪を謝する次第である。

この翻訳に際して、玉蟲文一、田宮博、両博士から種々有益な御示教を恭げのうしたことは、訳者にとつて誠にこの上ない力であり喜びであつた。茲に誌して厚く御礼申し上げます。殊に玉蟲博士は、御多忙な時間を割かれて拙稿の全部を御通読下され、数ヶ所に於ける訳者の不注意並びに誤謬を御指摘下さつた上、その外無数の点で幾多の得難い御助言を賜わつた。之によつて翻訳に際して最も心すべき誤訳の弊がその最小限に縮減されたことは、訳者の幸福これに過ぐるものがない。しかし固より、訳文の拙劣、晦渋、その他思わぬ見落しは、訳者一人の責に任ずべきこと言を俟たない。切に大方諸賢の御叱正を冀う次第である。なお、この拙なき訳書が岩波文庫の中に加えられる世に出でることを得たのも、ひとえに玉蟲博士の一方ならぬ御尽力によるものでここに重ねて深甚の謝意を捧げるものであります。

昭和十二年秋

山縣 春次

目次

訳者の序

目次

第一章 エネルギー論の最古の歴史

第二章 永久運動

第三章 動力学

第四章 熱の仕事当量

第五章 第二主法則

第六章 エネルギーとエントロピー

第七章	エネルギー論	85
第八章	強度の法則	98
第九章	物質的因子	108
第十章	生 命	126
第十一章	精神的現象	137
第十二章	社会学的エネルギー論	152

第一章 エネルギー論の最古の歴史

【一】すべての偉大なる思想に於けると同様、エネルギーに関して、その歴史をどこまで遡るべきかは人々の任意である。エネルギーの本質の或る側面は、既に非常に古くより、たとえ仮令その応用は極めて狭い範囲の現象に局限せられていたとはいえ、知られていた。そうして時代の推移と共に、始めは極めて緩徐に、後漸次速かに、その認識は発展し、次々に現実の各領域がその支配下に隷属するに至った。エネルギーの一般的概念が明白に確立せられたのは一八四二年より早くはない、と我々はいうことが出来るし、も若しも精確に歴史的な章別けすることを好まれるならば、エネルギー論の歴史をこの時期より始まるとなすことも出来るであろう。しかし同様に、この概念成立に対する最初の着手及びこの概念に包括せられる法則性の最初の認識は、ギリシャの数学者、自然科学者達にまで^{たど}辿り戻ることが出来、殊に十七、八世紀に於ける自然科学新生の時代には既に之に相当する思想体系が著しい役割を演じていたことも、容認さるべき事実である。勿論、もちろん当初はむしろ無意識的であり、謂わば手探りのな試みに過ぎなかった。しかし、その後常により明確な形をとり、遂にその意義は、別の名称によつてではあつたが、十八世紀末ラグランジュ (Lagrange) によつて古典力学の決定的方式化が行われた際に、完全に認識せられ、せんめい闡明せられるに至った。もつとも、その真意は、力学的仕事の不可創造性に関する法則が全力学の一般的土台として置かれたということ、並びに、この原理を力学の基礎として他のすべての力学的関係、殊に器械の論理を——数学及び論理の普遍妥当的操作によつて——それより誘導するために利用したということに存したのであるが。

この法則の内容は、その最初の最も簡単な、また最も内気な応用から最も容易に之を知ることが出来る。桿杆、滑車、斜面等各種の簡単な力学的器械を我々は知っているが、運動の原因、或いは力をそのような器械の運動する部分に作用せしめるとき、その運動の原因が確かに存在するにも拘わらず、かかなおその作用が現われないような或る一定の関係が存在するものである。かような場合、我々はそれを平衡 (Gleichgewicht) と名付けるのであるが、例えば、

両腕の長さが相等しい桿杆こうかんの両端に、同じ重さ(Gleiche Gewichte)を作用せしめる如きごとが、その最も簡単なる場合である。実際、若し単独に作用するならば互いに相拮抗する運動を起させようとするような、完全に相等しい価値を有もつた二つの運動の原因が存在する場合は、決して運動が生起するを得ない、ということは誰しも是認する用意を有する事実であろう。

【二】この点を越えて更に進まんとした最初の研究者は、我々の知るかぎりには、アリストテレス(Aristoteles)であつた。このあらゆる点に関して並々ならず卓越していた思想家は、第一に、直観的精神の持ち主であつた。このことは、彼の数知れぬ業績の中に於いても時間に関する自然科学的記述並びに表現が最も多くを占めていることによつて示される。而もそれは今日に於いてもなお屢々模範しほはん的なものとして看做みなされているものである。この点に於いて彼は爾余じよのギリシヤ科学——之は数学及び幾何学の発展が示す如く、多少とも恣意的じよてきに選択された思考範囲に於ける構成及び思弁を事とし観察への連関を煩わしきものと感じたものであるが——と幾分逆の立場に立つのである。即ち、後者はその一般的方法として、何かしら或る公理こうりから、換言すれば、『自明的』なるが故に証明もされぬような或る命題から、外見上純粹の思惟によつて、科学的命題の全体系を演繹せんとするものであるが、アリストテレスは、反之これにはんし、自然に質問するという傾向を持ち、假令たとえ彼の同胞の習慣から（あらゆる努力にも拘かかわらず）完全に抜け切ることが出来ず、その習慣の悪影響を受けていたとはいえ、全体として彼の思想は、ギリシヤ時代の他の何れの研究者、哲学者達よりも遙かに近代思想に近いものを有しているのである。

中世に於いてアリストテレスの著作に対して与えられた過度の評価のために、周知ごちの如く、近世の初期に於いて近代科学発展の道をアリストテレス的スコラ哲学を排除することによつて切り拓くことが必要であつた。古典を過度に尊重することに對する闘争は、或る種の領域、殊に哲学及び法学に於いては今日に至るまでなお終焉を告げていないが、数学及び自然科学に於いては既に三、四世紀前に大体果されて了しまつてゐる。もつとも、場所によつては、

遅参せる遣留兵が今日もなお見出されるような場合がないでもないが。しかし、スコラ哲学の内容、に対してよりは、スコラ哲学者の誇張、に対して鋒先を向けなければならなかった・この重要な闘争によって、必然的にかの古代の哲学者が成就した価値多き業績が、今度は過少に評価されるという事態を導来した。斯くならざるを得なかつたといふのは、いうまでもなく、人々が彼の業績をば歴史的に限局せられず又制約せられぬ絶対的価値として解釈し、描述せんとしたかぎり、この業績、そうしてその誤謬及び不完全さに対して、非歴史的の苛酷な批判が必要であつたからに他ならない。然し、このような要求が消滅した今日に於いては、歴史的考察が正当に行われ、かの進歩の、無條件的ではないにしても、大いなる意義が現われて来るわけである。

さて本題に戻つて、アリストテレスは、天秤、従つてまた桿杆こうかんに就いて観察を行つたが、彼は、両側を完全に同様に作つた桿杆こうかんが平衡にあらねばならぬということ、『自明的なるもの』と仮定した。しかし彼は、桿杆こうかんが不等に荷重されているときにあつても、若し荷重が腕の長さに逆比例する如き場合には、同じく平衡が保たれるという法則を既に予覚していた。このことから普遍的な法則を得ようとして彼は桿杆こうかんを動かし、幾何学的基础から、両方の荷重が動いた速度、いいかえれば両荷重が同時間の間に通過した径路が、荷重もしくは力と逆比例することを認めた。そうして、種々なる力の作用は、それによつて生じた速度が力に逆比例するかぎり等価である、という一般的帰結を導き出したのである。

【三】この考察の中には二つの相反する発展の萌芽がひそんでいる。その一は、よく知られている如く、ガリレイ(Galilei)の自由落下に関する研究に直接導いたものであつて、力はそれによつて生じた速度によつて測定されるというアリストテレスの原理も、明確な形で解釈せられると誤まつた結果を与える、ということを示した。また他の一の発展は、彼の法則の、多少本道を離れてはいるが然し実際と一致する正しい解釈に結び付いた。即ち、それによつて一つの原理が導出せられ、最初、アリストテレスの思想に直接関連して、仮想速度の原理(das Prinzip der

virtuellen Geschwindigkeiten)と名付けられた。しかし後に至つて、荷重された桿杆こうかんの運動が速かに起ると考えようが、緩かに起ると考えようが、平衡はそれに無関係であるという事実から、速度なる語を用うることの不適当なところが気付かれるようになり、改めて仮想変位の原理(das Prinzip der virtuellen Verschiebungen)と呼ばれるに至つた。しかしまたこの名称も決して適切なものではない。何故なげなら、変位だけが決定的なものでなく、力の作用点の一つの運動に於いて経験する変位とその力の大きさとを合成した関係が決定的なものであるから。そうして、この両者の大きさの積に対して、後世、仕事なる名称が一般に使用されるに至つて、問題の原理は遂に最後の表現として仮想仕事の原理(das Prinzip der virtuellen Arbeit)の名を得たのである。

茲こゝに於いて先ず仮想的(virtuell)という概念を簡単に説明しなければならぬ。上の関係を、アリストテレスがなした如く、荷重された桿杆こうかんの運動によつて検討する場合、明らかにこの運動は我々が欲するだけ小さくなし得るものであり、且つ他方、機械の構造によつて制約され、許容される如き性質を有もつた運動であらねばならぬ。例えば、桿杆こうかんの片腕を他の腕の二倍の長さにするときは、そこに起る運動は、その一端を過ぎる道程が他端を過ぎる道程の二倍になるようにしか起り得ないであらうし、決して勝手に両端をば互いに無関係に動かすことが出来ないのである。之が則ち仮想的運動の概念である。いいかえれば、それは、器械に予め指定せられた運動であり、多くの場合無用なる錯綜を避けるために出来得るかぎり小さく仮定せられるものである。

この、アリストテレスに於いて先ず非常に不完全な形で現われた仮想仕事の原理は、一つの器械の中に於ける平衡は、仮想的な仕事しごとが相互に差引勘定されるか、若しくはその代数的総和が零である場合に成立する、ということの意味する。何となれば。道程が力に逆比例するならば、道程と力との積は当然互いに相等しくならねばならないからである。この命題はその後の発展に於いて、全静力学、いいかえれば、平衡論の根本原理となつたばかりではなく、我々はその中に於いてエネルギー概念の最初の認知し得べき源泉を見るのである。勿論もちろん、茲こゝで問題となるの

は一つの源泉であつて、流ながれそのものではない。この源泉から流ながれとなつて奔出するまでには、その後二千年を通じての許多いくの研究を必要としたのである。しかし我々は、この時期を以てその後の経過の出発点と看做みなすることが出来るのであつて、我々がそれに対して斯かくまで多大の注目を払つた所以ゆえんも亦そこに存するのである。

【四】古典力学のもう一人の建設者であつたアルキメデス(Archimedes)がなした処は、之と全く趣を異にし、遙かに『ギリシヤ的』である。彼にとつて何よりも重大であつたことは、明確に言い表わされた一つの公理を得ること、いいかえればギリシヤの幾何学者の範に倣ならつて、論理および数学以外には如何いかなる手段をも用いずして全力学体系を導き出すことの出来るような、一つの自明的な基本的命題を得ることであつた。彼はこれがために出発点として、アリストテレスと同様、両側が等長であり且かつつ等荷重を受ける桿こうかんは平衡を保たねばならぬ、という命題を利用した。しかし、この命題を以て起り得べき最も単純なる場合とし、上の対称の仮定が充たされぬ場合に再び平衡を得るためには、腕の長ささと重さとを同時に如何いかに変化せしむべきかを確定する代りに、彼は、この単純なる場合から一般的なる場合を演繹しようとして試みたのである。明らかに、与えられた最も単純なる場合を基礎にして他の複雑なる場合に関する教示を得ることは不可能である。蓋けだし、単純なる場合を立てる際に複雑なることは明白に除外されてゐるのであるから、従つて必然、経験若もしくは公理の形でその他の材料が得られなければならないのであつて、近代的な思考に対しては、研究の興味並びにその科学的価値というものは、まさに、このような材料を発見し、証明することに存するのである。反これにはんし之、アルキメデスは、この材料を蔽おほいかくすことに彼の全叡智を傾け尽したため、証明さるべきものが彼の演繹中に既に先在することを証明するのにまた同様の叡智を用うることを必要としたのである。このことは、マツハ(Mach)によつて、彼の古典的著述『力学の発展』(Die Mechanik in ihrer Entwicklung)の中ではつきりと示されている。しかし之は、我々の主要問題の解明に対して緊密なる関係を有するものではないから、茲こゝで再び触れる必要もないであらう。

そこで、これらの著しい結果として、アリストテレスの誤解され易い原理は、判断に乏しい人々の間には多くの誤謬の源になったとはいえず、なおアルキメデスの外見上正当な狭小さに比すれば遙かに成果多きものたることが分つたのである。さりながら、また、この秀抜なる数学者がなした考察にも重要な結果が結び付いていることは否むことが出来ない。

【五】アルキメデスは、対称的な桿杆こうかんの平衡に関する基本的命題を設立するに際して、明白に対称の原理を使用している。即ち、彼は、対称的な性質を有する形体に於いては、一方的な過程は自ら起ることが出来ない、と仮定する。遙か後世に至つてライプニッツ (Leibniz) によつて導入せられた充足理由の原理——即ち、充分な理由を挙げ得ないようなことは何事も生起し得ないという原理——を利用すれば、上の場合は次の如ごとくいい表わすことが出来る。曰いわく、完全に対称的に作られた桿杆こうかんに於いては、右へ廻転することに対しても、また、左へ廻転することに対しても、充分なる理由は存在しない。或いは、右への廻転に対する理由が存在するならば、同様に逆方向への廻転に対する理由も存在する、何となれば我々は、桿杆こうかんが対称的である、換言すれば、一方の側に於けるすべての特性は他方の側に於ける等しいけれども方向反対なる特性に夫々対応する、という前提を立てているのであるから、と論ずるまでもなく、桿杆こうかんの絶対的対称を得ることは一般に不可能である。世界自体対称的でないものであり、それ故、右方への環境が完全に左方への環境に対応するように桿杆こうかんを組立てることは、我々には到底出来ない相談である。ここに於いて、その後益々その意義を認められるに至つた非常に普遍的な関係が適用される。即ち、一定の法則性の適用は、存在する総てのものに依拠するものではなく、むしろ、個々の事実に対しては、測り得べき影響を及ぼさないような条件が常に極めて多数に存在するのである。一定の事実に対して影響を与えないような因子を発見することは、従つて、影響を与える因子を発見することと全く同様に重要なのである。もつとも、多くの場合、第一の前提は暗黙的に作られて利用されているのであるが。そこで、上に述べたアルキメデスの考察は、桿杆こうかんの腕の

長さ及び荷重以外に桿杆こうかんの平衡に影響を与えるような因子は一般に存在しない、という前提の上に立っているのであるが、この前提を容認するならば、対称から平衡を推論することも充分なる理由を得るのである。

【六】アリストテレスによって見出された、というよりは寧ろ予感された原理の一層の発展は、先ず近代力学の主要建設者たるガリレイによって成就された。彼は、斜面その他の簡単な器械に於いては、存在する荷重並びに力（これまた同様に重さによって表現されたが）の運動に際して、すべての動く質量に共通の重心が昇りもせず降りもせぬ場合に平衡が成立する、ということを実証した。ガリレイの門下生トリチェリ(Torricelli)は、更に之に加えて、上の條件に於いて重心は与えられた器械に可能な最低の位置をとる、ということを実証した。勿論、この外にも、同じ仮定が充たされるような点が、重心が最も可能性多き位置を占めるような場合に見受られる。しかし、こういう平衡は不安定な平衡であつて、斯かる場合の考察を省略しても別に不都合はない。

このトリチェリの重心論は、重さに出発点を有つような力に局限されていたとはいへ、長い間に亘つて非常に大きな役割を演じて来たものである。しかし之とは無関係に、より普遍的な解釈が、既に十三世紀に行われていた。即ち、ヨルダヌス・ネモールス(Jordanus Nemorus)の学派に於いて、恐らくはアリストテレスに連携して、断定的な概念の緩徐ではあつたが見誤ることのない説明が進行していた。カルダヌス(Cardanus)、ウバルド(Ubaldo)、ベネデッティ(Benedetti)を経てガリレイに至つた発展の途上に於いて、レオナルド・ダ・ヴィンチ(Leonardo da Vinci)も本質的な関与者であつた。ルネ・デカルト(Rene Descartes)も既に、同様な原理を、厳密にこの意味に於いて開展せられた静力学の基礎となしていたが、しかし、この原理が明確に、その表現の上にも近代的にいい表わされたのは、ジャン・ベルヌイ(Jean Bernoulli)が一七一七年ヴァリニオン(Varignon)に宛てて出した手紙の中に於いて始めて見出される。その決定的な箇処を摘記すれば、*“En tout équilibre de forces quelconques, en quelque manière qu’elles soient appliquées, et suivant quelques directions qu’elles agissent les uns sur les autres, ou médiatement, ou immédiatement, la*

sonne des énergies affirmatives sera égale à la somme des énergies négatives, prises affirmativement.” 翻訳すれば、『任意の力の平衡に於いて、それらの力が如何なる仕方と与えられようと、如何なる方向に互いに働こうとも、直接的であろうと、間接的であろうと、常に、正のエネルギーの総和は、負のエネルギーを正にとつた総和に相等しい。』茲にエネルギーは、力と、その力の方向にとつた経路との積としてはつきり定義されているが、しかし経路を仮想速度と名付けたために、この定理自身も本義を離れた名称を得て了つた。^①

(1) 私の文献知識の及ぶかぎりでは、すべての可能的エネルギー変化に拡張された原理に対して本来的名称を与え、その原理自身をも最も普遍的な形でいい表わしたのは、この私自身である。Ber. der Sachs. Ges. der Wiss. 1892を参照されたし。

【七】この思想系列の根本的な発展は、本質的には、ここで終っているのであるが、理論力学のこの部分は、十八世紀末ラグランジュによつて頗る練達なる方式化を受けた。即ち彼は、その解析力学に、この科学の数学的形体を古典的な形に於いて導入したのであるが、彼の数学的表現が明らかに業績としての偉大さを含むにも拘わらず、ただ、その原理に対して再び仮想速度の原理なる名前を与えたために、その限りに於いては、形式的な旧弊が残されている。

茲で最も興味深いのは、この原理に対して与えた彼の証明である。ラグランジュという学者は、その学説を組立てるに際し殆んど常に厳密な解析的把握を事とした人であるが、ここではそれに反して直観に頼っているのである。彼は、観察体系に存在するすべての力を、相応して作られた複滑車（その凡ての滑車には一本の長い糸がかけられているとする）を以て代用して考え、種々なる力の強さをその複滑車に取付けた糸の巻き数によつて表現した。力の方向は当該点に於ける揚索の方向にとることというまでもない。そこで或る仮想的な運動が行われたと考える場合に、単位力（例えば重さの形で）が作用する糸の自由な先端は、上昇運動をなすか、下降運動をなすか、若しくは結局静止するかであろう。この場合、先端が静止に留まれば、この体系は平衡にあるのである。

これにはんし
 反之、もしも平衡が存せぬならば、糸の先端が下降するか、或いは、そこに加えられた力の方向に動くような運動のみが、自発的に（或いは外部からの作用なしに）起ることが出来る。

ラグランジュは、仮想仕事の原理を、重さはそれ自身自発的に上昇するものではない、という事実に着せしめることが、この原理の充分な証明であると考えた。我々は誰しもこのような証明を是非なきものとして承認する用意を有するものである。何故かといえ、若しもこの逆が行われるならば、無から仕事を創造することの可能、換言すれば、一種の永久運動 (Perpetuum mobile) の可能が結果するであろうが、斯かることは絶対に不可能としか考えられないからである。如何にして我々が之を確信するに至ったかは、従つて、我々が次に詳細に学ばなければならぬ問題である。

第二章 永久運動

【八】人類思想の歴史を緋げば、研究者達が長い間ただ徒らに頭腦を費し、終にはそれが解決不可能の性質をもつものであると一般に認識されるに至つたような問題が、数多く見受けられる。しかし茲で私が問題とするのは、かの屢々唱えられる『世界の謎』の如きものではない。反対に、その解決を全く正当に予想し得る實際的な問題で、ただ如何にしてそれに到達すべきかを人々が知らなかつたような問題である。このような問題の一として先ず第一に挙げらるべきは、円を正方形にすること、いかえれば、与えられた半径の円と同一の面積を有する正方形の一边の長さを幾何学的作図によつて見出すという問題である。この問題の解答は、求められた作図を発見するというところに於いては果されなかつたが、このような作図はコムパスと定規を以てしては不可能である——何となれば、それはこのような方法で達し得る形の範囲を超えるものであるから——という一般的な幾何学的数学的証明に於いて果された。与えられた角の三等分という問題も之と全く同様である。従つて、歴史の浅薄な觀察者の目には、宛かもこのような不可能問題の解決のために莫大な量の力と時間とが無駄に消費せられているかの如く見えるかも知れぬが、そのような見方は誤りである。上述の如き問題が、その際採用した如き手段を以てしては解決不可能であつた、という経験的な証明こそ、實際に一つの重要な科学的進歩を意味するものなのである。何となれば、この経験的な証明は、実在する關係を全く一般的に証明するところの普遍的な理論を準備し、喚起したものであるから。

この負の経験結果が正の利益を有するという法則は、力学に於ける之に相応した不可能問題たる永久運動機関の問題に於いて遙かに明快に示されている。永久運動機関とは、外部からそれに対する費用を供給されることなしに、独立して自己を運動状態に保つことの出来るような器械である。このような器械は、第一、実用価値の極めて大きいものである。何となれば、實際の運動、例えば荷の輸送の如き場合に於いては、常に或る種の費用、例えば運搬者牽き馬の如きものを必要とするに反して、自ら運動を起し、自らそれを維持する如き荷車があるとすれば、我々は

右のような費用なしに済ませることが出来るであろうからである。また第二に、かような器械は、極めて科学的興味の深いものであろう。何となれば、すべて地上に於ける既知の運動は、相応の費用を以て支持されぬかぎり、多少とも速かにその運動を中止するという特徴を有するに反し、一方、星の世界は、四時倦むことなくその運動を継続し、決して運動が緩徐になるとか、完全に停止するとかいふ徴候を示さない・全く永久不変の運動状態にある形体たることを、我々に直観せしめる。従つて、少くとも実際にこのような一事例を有する以上、永久運動はその可能性を経験的に証示されているように思われる。それ故、茲に最高の興味を有する質問が發せられるのである。即ち、何故に永久運動は天空に於いて存立しながら地上に於いては成立しないのであるか、と。

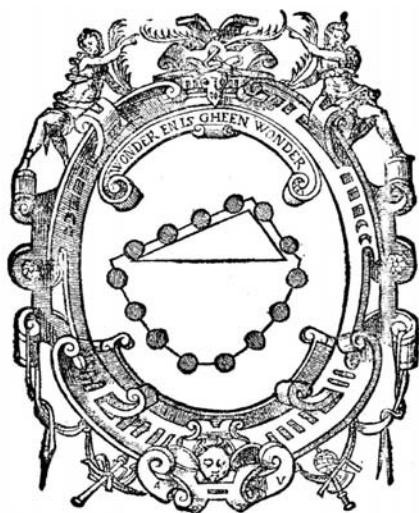
【九】 古来、許多の卓越せる人々、及びそれより遙かに多数の他の人々が、永久機関連造の企てに彼等の叡智を傾けて来た。しかし、その結果は、この世界に於いてそれが不可能であることを示した過ぎなかつた。物理学のカピネットの古い蒐集品の中には、今日もなお時にこのような装置の模型が見出される。その發明家達は、紙上の設計に留まつていたかぎりでは、常に、それらがうまく行くであろうと非常な確信を以て考えていたのであったが、さて実施せられてみる毎に、彼等の胸に懐いていた期待は充たされずに終つたのである。

私自身、学生時代に、同じような發明を志した憶い出をもっている。当時、それがために物理学の時間中、不注意の批難——そんなことがなければ私は私の秀れた物理学の教師の言葉を非常な帰依を以て傾聴するのを常としていたのであるが——を受けたこともある。私等は、表面、張力の現象を教わり、細い管の中では太い管の中でよりも水が高く昇ることを経験したのであるが、私は、このことより、細い管をとり、その中を水が昇り得る高さよりも短かくそれを切れば、水はその上端に溢れ出るに相違ない、と推論した。そこで、その管を他のより太い管とサイフォンの形に結び付ければ、適当に高さ too 太さを加減することによつて、通常のサイフォンの如く上から下へではなくして、その逆に下から上へ水を流すところの一種のサイフォンを作ることが出来る筈であると考え、私は自分

のもつ硝子細工の全技巧（大したものではなかったが）を凝らして、終に細い管を太い管に正しく連結することに成功した。

しかし、巧みに作ったこのサイフォンを実際に働かせて試みた結果は、水は全く平凡に普通のサイフォンと同じく下へ向って流れただけのことであった。

この発明に如何なる誤断があつたかは、余りにも分りきつたことであるから、読者に対し更めて説明するまでもないであろう。之に似た誤断は、何らかの力学的装置によって永久運動を行わせようとした・すべての人々によって犯されたのである。



【一〇】しかしまた反面、私は、この発明の負の結果から、毛管現象を一層明確に有用に解釈することが出来るようになった。そうして斯ういう個人的な利得にその関係からいつて類比さるべきものは、同一の領域に於いてなされた一群の経験から受け入れられた・人類一般の利得であろう。即ち、如何なる手段を以てしても無から運動を創造することは出来ぬ、ということが承認されねばならなかつたのである。しかし、この負の原理が如何に重要な含著多き正の内容を含んでいるか始めて呈示されたのは、オランダの学者ステヴィヌス(Stevinus)が一六〇五年出版の彼の著述の中での事だ・その応用に於いてであった。ステヴィヌスは、斜面の力学法則を探求する問題を立てた。当時の力学は、ギリシャの範に倣つて、全然、静力学、即ち平衡の現象のみを取扱うものであった。其故ステヴィヌスに生じた疑問は、種々の傾角を有つ斜面に沿つての力は如何なる條件の下に平衡に保たれるか、ということであつたが、彼は、この問題を非常に天才的な、簡潔明快なる方法を以て

解決した。挿図は彼の著述“Hypomnemata mathematica”の口絵であるが、そこに、彼のこの考えがはつきりと図示されている。彼がこの図を彼の書物の中の優れた位置に置いたことは、その俤ま、彼が自ら如何いかにこの思い付の価値を高く評価していたかを示すものであろう。

(1) E. Mach: Die Mechanik in ihrer Entwicklung. 5 Auflage. Leipzig 1904. 462. Seite.

ステヴィヌスは、任意の傾きを有もつた二つの斜面を組合せた一つの形体と、その斜面に沿って滑ることの出来る数個の重い球より成る閉じた鎖とを考えた。摩擦は適当な器械装置によつて層一層小さくなし得るものであるから、摩擦が全然なくなった場合も想像することが出来る。そこで、左の斜面には四個の球が右の斜面には二個の球があるようにすれば、左側には二倍だけの重さが働いていることになるから、従つてそこに過重が成立する故、鎖は運動し始めなければならぬ、と考えることが出来る。しかし、若もしもこのようなことが行われるとすれば、不不断断の運動が無無から生生ずることになるであろう。何となれば如何いかに長い間運動が継続しようとも、常に左側には四個、右側には二個の球が存在し、従つて運動の原因は絶えず存続してゆく筈だからである。

我々は、ステヴィヌスが最初この考えを以て永久運動の問題を解決出来たものと感じ、続いて、この器械も亦、彼の前後に作られた他の同種の器械と同じく、うまく行かなかつた時にはいたく驚愕したのであると推察することが出来る。そうしてまた、このことが更にステヴィヌスの心に深く食い入り、この問題を克服するまでは決して休心させなかつたと想像することも出来る。而もステヴィヌスの偉大であつたところは、この見かけの上の大きな痛手ネガティブ、発明者としての失望をば非常に大きな利徳に転換せしめることを知っていた、いいかえれば、この負の結果の中に汲めども尽きぬ正の内容の潜在することをよく認識していたことである。

【一】さて上の場合、鎖が静止に留まるならば——實際そうであつたのであるが——我々は、左側の四個の球は右側の二個の球と同大の効力を有するものである、と結論しなければならぬ。球の数が異なるという原因は、明

らかに斜面の長さによるだけである。それ故、球の重さは、斜面の長さが長いほど、即ち斜面の傾きが緩やかであるほど、作用が小さいということになり、斜面の長さはその上に坐を占める球の数に比例するのであるから、斜面に対する重さの作用は斜面の長さに逆比例するということが直接に分るのである。

之は全く非常にポジティブな成果であり、その上非常に普遍的な成果である。アルキメデスに彼の主要問題を、原則的にはただ、桿杆こうかんが対称的に同長の腕、同大の荷重を以て作られているような場合、即ち、対称性のために右へ向う廻転と左へ向う廻転とが全く同じ確からしさをもち、従つてどちらへ向つても廻転が起り得ないと一般にいい得るような場合に対してのみ解決を与えたのに反して、ステヴィヌスは二つの面を任意に組合わせたすべての場合に対して解決を与えているのである。そうして、それが可能であつたのは、ひとえに、彼が対称の原理を用いずして、永久運動不可能の原理を利用したことに拠るのである。

明らかに、この後者の原理の方が遙かに明確なるものである。そこで、この原理が仮想仕事の原理と如何なる関係にあるかということは、極めて興味を惹かれる問題である。之に対する答えとしては、両者は究極に於いて一致するものであり、同一のことを言い表わすものである、と云い得るのであるが、この目的のために、永久運動の原理をより明確に言い表わす必要があるであらう。

ステヴィヌスがなした如くごと、この原理は、或る一つの運動に於いて個々の部分の位置が絶えず変化しても、その進行している各部分が直ちに代つてその場所へやって来る他の同様な部分によつて占められるような・回帰的な組立てである場合に対してのみ利用せられる。そこで上の原理は、このような形体が予め静止状態にある場合は自発的に運動を起さない、ということである。

そこで、永久運動不可能に関する経験法則の内容は、次の如くごと言い表わされる。自発的な、或いは原因なき運動は、考え得べからざるものである、と。しかし、このような言い表わし方はそこに起り得べき仕事しごとの額と何ら関係付け

られていない。従つて、すべての目的に沿うためには未だ余りに内容に乏しいものといわなければならぬ。我々が更に、一体何によつて一般に一つの運動が惹き起されるのであるかを質問して始めて、現在の科学は、『それを起すに必要なだけの仕事、が費されなければならないのである』という答えを与えるのである。従つて、如何なる運動も自ら生ずることが出来ないという事は、如何なる仕事も自ら生ずることが出来ないという原理の一帰結なのである。このように一層深く解釈することによつて始めて、天体の運動と地上の運動との間に存在する差別を、この原理からよく理解することが出来るのである。即ち、すべて、地上の運動は、摩擦による抵抗を克服しなければならぬものであり、これは必然的に仕事を要求する。従つて、こうして費消された仕事を何らかの方法によつて償わないかぎり、地上の運動はすべて停止せざるを得ない訳である。何となれば、かの普遍的な原理によれば無から仕事を生ぜしめることは不可能なのであるから。然るに之に反して天体の運動に於いては、測り得べき摩擦が存在しないのであるから、決して停止することがないのである。

それ故、言葉の意味から云えば、『永久運動機関』、或いは不断に運動するところのもの、が不可能であるという命題は、経験的に誤りであることになる。何となれば、我々が理論的な理由から或る種の天文学的な運動に対して遅緩の起ることを——例えば、地軸のまわりの地球の廻転に対して満潮の摩擦による遅緩を——仮定するとしても、そのようなことは今までに証明されたことがないのであるし、また、そのようなことが起らないのは何かしら或る未知の原因によるのである、とも考え得るのである。しかし、仕事に関係付けて述べた命題は経験的にも正当である。何となれば、仕事が無から、いいかえれば、他の事物に何らの変化をも及ぼさずして生起する如き場合は、現在まで実際に観察せられたことがないのであるから。

【一二】この原理を簡単な器械、或いは、組合わせた器械に応用するためには、器械の概念に関する二、三の前提が確立されていなければならぬ。例によつて我々は最も簡単な場合に局限して考えよう。

簡単な器械は、原則として、束縛的に行われるもの、いかえれば、一定の軌道を前後へ動き得るだけのものであつて、若しもその動く箇処の一つが確保されたなら、器械全体もそのために停止するようなものである。更にその器械に可能な運動は連続的であり、いかえれば、運動の大きさに於いても、方向に於いても、仲介せられない飛躍や差別が起らないものである。このような器械に対しては、次の如き原理が当てはまる。

器械が平衡状態にない場合、即ち、自発的に運動し始める場合とは、仕事を外部に向つて放出するような場合だけである。之によつて、器械の中に在つた仕事は、外へ放出せられた仕事の額だけ減少する。これらの額が相等しいということは、無から仕事が生じ得ないという原理の一つの帰結である。反之、逆の方向には器械は決して自発的に運動を起すことが出来ない。何となれば、若しそのようなことが可能とすれば、仕事の含量が必然増加することになり、また、自発性なる前提の中には外部から仕事を供給されないという前提が含まれているために、我々の原理から考え得られない仕事の発生ということが必要になるであらうからである。

さて、器械の性質を、自発的運動に於いてその器械が放出する仕事益々少量となる様な意味に段々変化せしめるならば、器械を逆の方向に運動させるために要する仕事もまた益々小さくなるわけである。而して一方の仕事が遂に零に等しくなる時には、同一の条件下では、他方への仕事も亦零になるべきことは明らかである。これが取りも直さず我々が平衡と名付けるところの状態である。ここに於いて、器械が一方へ或いは他方へ自ら運動を起し得る原因が存在しなくなり、従つて器械はまさしく静止に留まるのである。同時にまた我々は、この平衡の状態が、仮想運動に於いては如何なる仕事もなされないという条件とどうして結び付いているかを了解することが出来る。仮想運動に於いて万一仕事になされたとするならば、それは、このような運動が自発的に起る原因となり、それ故、仮想仕事益々零と異つた値をとるかぎり、それに相当した運動もまた生起しなければならぬ筈である。そうして、仮想仕事益々零となつた時には静止だけが存在し得るのである。

【一三】このような考察をなすに際しても亦、平衡條件の適切な方式化を見出すためには、仕事じしの概念に就いて追求してみることが必要となる。この概念は、他の多くの力学上用いられる概念に対して、全く独自の性質とそれに応じた大いなる意義とを有もつものとして特性付けられる。この意義は、仕事じしとは種々なる種類のエネルギーの中の、一種である、ということをお我々が主張するとき、多少とも理解し易いものとなるであろう。そうしてこの仕事こそ、先まず第一番にその法則性によつて認識せられ、他の領域に於けるこの概念の発展に対して指導者並びに模範として尽したところの・そのエネルギー種なのである。それ故、仕事は力とその作用点の変位との積を以て測定せられる、ということをもう一度繰返したい。力は一定の方向を有する。もしも経路がこの方向にない場合は、仕事を計算するためには、その経路を力の方向に投射して得られる長さが用いられなければならない。

以上の考察の結果を綜括すれば、我々はそれを、仕事保存の法則 (das Gesetz von der Erhaltung der Arbeit) という形で言い表わすことが出来る。如何いかなる機械からも——それが如何いかに作られたものであろうと——その中に詰め込まれた以上の仕事を取り出すことは不可能である。摩擦による仕事の消費が起らないような理論的極限の場合に限局すれば、器械の内部に於いては、仕事の形や方向の変化することがあろうとも、仕事の値は常に維持し保存せられる、ということが出来るのである。それ故、このような前提の下では、普遍的な自然法則、即ち、仕事保存の法則が適用せられる。この法則の価値は、それによつて個々の器械の行動を——径路が測定されるときはその力の効果に関して、また、力が知られているときには、その経路に関して——予言することを得しめる、という点に存する。

茲こゝで、これと同様の関係を手短かに表現出来るような新しい名称を導入することは、今後の考察のためにも、時宜かなに適つたものであろう。即ち、力学的な行動に於ける力や経路は、器械を用うることによつて、之を任意に変化せしめ得るものであるが、仕事は、之を勝手に変化せしめることが出来ない。それ故、仕事は不変的 (インバリア

ント)なるものといふべく、従つて仕事、即ち力と径路との積は、力学器械によつて与えられるすべての關係に對する・一つの不變量(Invariante)と名付けられるのである。

第三章 動力学

【一四】静力学或いは平衡論の發展が導來した・最も重要な、また最も含蓄豊かな概念として、仕事の概念が現われた。種々の器械は、与えられた力を任意の仕方に変形するという任務を有し、その際、器械の性状に従つて、或いは小なる力が大なる力に、或いは大なる力が小なる力に変換され得るものであるが、一方すべての器械に対して、仕事は如何なる手段によつても増大され得ない、という命題が成立する。その上、實際に存在する器械の一般的性質として、その放出する仕事は、始めその中へ詰め込まれた仕事よりも少ない、ということが知られている。しかし、之は専ら器械の不完全なるに拠るものであつて、このような損失、いいかえれば、入つた仕事と出た仕事との差は、いくらでも小さくなし得るものである。すべての科学に於けると同様、我々は先ず問題を單純化し、上の如き不定的な煩雜さから目を避けて、そのような邪魔の最早存在しない・理想的な器械が如何に行動するかを確定することから始めよう。勿論、このように、現実に存在する關係に就いての考察を科学が断念するのは、暫定的なやり方に過ぎないのであつて、一般的な關係を完了した暁には特別な關係に更に研究の歩を進める、ということが留保されているのである。我々も亦この留保を設けたいと思う。そうすれば我々は、この第二の楷梯の研究から遙かに普遍的な、重要な認識が生長することを見るであらう。

仕事に於いて我々は、嚮に述べた如く、エ、ネルギーの最初の型式を知つた。仕事保存の法則は、静力学の全成果として明らかにされたが、同時に、物理的事象生起の分野を更に一層拔渉することによつて暴露された・遙かに普遍的な法則、即ち、我々がエ、ネルギー保存という一般法則中に綜合するところのものも、この原型でもあるのである。この一般化は、同時に、仕事保存の法則にお附随している制限を除去し、それをば一層包括的なものとなすばかりでなく、一層嚴密なものとなすところの手段ともなるであらう。この進路の最初の階段は、動力学の發展歴史によつて示される。

【一五】動力学は、通常、運動の学として、平衡の学たる静力学と区別せられる。我々が既に静力学に於いて見た如く、平衡とは、全体の分野の一つの特殊な現象に過ぎないのであつて、我々がそこで遭遇した最も普遍的な自然法則は、静止に就いてではなく、まさに仕事に就いて言表をなすところのものであつた。それが仕事と如何なる關係に立つかを知つて始めて、我々は、静止の條件を言い表わすことが出来るのである。而も、すべての仕事は相應する運動と概念的に結び付けられたものであるから、或る意味では静力学も亦均しく一箇の運動論なのである。そこで我々は静力学を以て、仕事と名付けられる、エネルギー型に、関する、科学である、と定義するのが応わしいのであるが、動力学に対しても類似の定義が存在するかどうかを調べる必要がある。

之に対する答えは肯定的である。力学のこの第二の領域に対してもまた、我々が運動のエネルギー、(die Bewegungsenegie)と名付ける一定のエネルギー種が中心概念として現われて来る。このものも、仕事の概念と同様、歴史的な發展の間に多種多様の名称を得て来たものであるが、その中ではライブニッツから出た活力(die lebendige Kraft)、及び現在もなお汎く使用せられているランキン(Rankine)の運動エネルギー、(die kinetische Energie)の二者を記すれば足りるのである。しかし、名称よりも重要なのは、この新事物の本質であり、性状である、我々はこれに就いても歴史の手を籍りて明らかにして行きたい。

【一六】動力学の創設者として我々はガリレイを考えなければならぬ。彼は一つの力学的過程、即ち、地球近辺に於ける物体の落下について最初の正しい方式化を与えた人である。彼の時代に到るまではこの日常的な現象について、形式的にはアリストテレスに帰着せられる極めて誤謬に充ちた解釈——恐らく彼の思想が誤つて使用せられたことに対してアリストテレス自身は全く責任はないのであるが——が通用していた。即ち、我々は、既に、桿杆に於ける關係からアリストテレスが、平衡に際しては同じ時間に通過した経路(即ち速度)が重量に逆比例する、という結論を導き出したことを見たが、このことから更に、種々なる力の影響の下では等しい荷重はその力に比例す

る距離を通過する、即ち、それに相当した速度を得るであろう、ということが結論される。しかし、この桿杆こうかん（及びその他の器械）に対して妥当な結論が自由落下の場合にまで押し広められたことに対して、アリストテレス自身責めを負うべきか否か、それとも、この批難は単に彼の後継者及び彼の註釈者に向けられるべきであるか、という問題はここで確定する必要もないであろう。ここでは唯、全中世を通じて上の解釈が正当なものとして適用されていたことを述べれば足りる。人々は、それに従って、物体は重ければ重いほど速かに落下するということを信じて疑わなかったのである。非常に軽い物体では空気の抵抗によって落下速度が遅滞することがよく知られているが、このことが未だ精確な観測に慣れていなかったスコラ学者をして上に述べた如き誤謬をおかさしめたのであって、それが一般に蔓延したことも怪しむに足りないことである。

さてガリレイが、彼の有名な『新科学対話』に於いて、上に述べた如き行動が不可能なることを如何にして証明したかは、最も訓おしえるところの多い、また非常に愉快なものである。彼はまず、速い物体を遅い物体と結び付けるとき、前者は後者に対してより速い運動を領ち与えるが、一方、逆に前者は後者のためにその速度を減小せしめられる、ということを是認する。之は固もとより批難の余地なき事実である。そこで彼は、次に、或る一定の速度を以て落下する一個の物体を考える。若しもこの物体を二つの不等の部分に分つならば、その各の部分は上に仮定せられた法則に従えばはじめの完全な物体に比べて遅く落下する筈であり、また小なる部分は大なる部分より遅く落下する筈である。そこでこの二つの部分を再び結合すれば、大なる部分の速度はまた更に減小せしめられる、何となれば落下速度の遅い物体と結び付けられたのであるから。従って、原初の物体はただ単に分解せられ続いてそれを結合せられただけによつて、その重量が明らかに全然変化を受けないにも拘かかわらず、その落下速度が初めの状態に対して二重の減小を蒙ることになる。斯かくの如ごときことは不合理であるばかりではなく、重い物体は軽い物体よりも速すみかに落下するという当初の前提自身に対しても矛盾するものである。何となれば、二つの物体を結合することによつ

て、全物体は部分よりも重くなっているにも拘わらず、なお速度の減小が結果するというのであるから。

この光輝ある論証の歩を更に深めて、スコラ学派の自由落下論の不可が何処に根ざすものなるかを明らかにすることは、極めて有意義なことである。然し、我々はガリレイの実証的業績へ眼を転じなければならぬ。

【一七】ガリレイは、説明すべき現象の個々の部分、或いは個々の事象、を分解して思想的な分析と綜合とに委ねることによって、問題の鍵を見出した。彼は第一に、不断に進行する天体の運動がその速度を無制限に長い間持続するという事実から出発した。そこで、彼は、自由落下に対しても亦、一度落体が得た速度はそのままに留まる一方、更に落下をつづける間には新しい速度を獲得せんと努めるということを仮定しなければならなかった。従つてその速度は常に増大しなければならぬが、この場合、速度の増大がその間に経過した時間に比例して起ると考えるのが、最も単純な、また最も手近な仮定である。この仮定から更に、相続く同じ時間の間に落ちた距離が奇数の級数の如く増大するということ、並びに、全落下距離が経過した時間の自乗に比例するということが如何にして結果するかは、すべての物理学教科書に説明せられているから、ここでは触れる要もないであろう。ただ、すべての場合にこの仮定が実際経験と一致した結論に導かれること、及び之によつて落下現象の理論が実際に与えられていることを報ずれば充分であろう。

さりながら、ガリレイが到達したこの正当な仮定が決して唯一の可能性を示すものではないということは、恐らく指摘する方がよいであろう。彼は全く同様に、速度と落下距離との間に比例性が成立すると仮定することも出来た筈である、そうして我々は実際、彼が最初にまさしくこの様な仮定をなしたということを知っているのである。しかし、彼は直ちに気が付いた、この仮定から導かれる結論が経験と一致しないこと、従つてそれが揚棄されねばならないものであることを。如何なる状況の下に於いても彼の進歩を決定したところのものは、彼が自分に提示された一つの解釈の可能性を決して直ちに必然的に正しいものと看做さず、むしろ、之を彼が自然に向つて設け、そ

れに対し自然が彼に一義的に答えるべき一つの質問として取扱った、ということである。経験によつて一定の仕方
で解答され得るような一定の質問を設ける・このような能力の中に、ガリレイによつて創始せられた方法の模範的
な価値が見出されるのである。たとい彼が意識と成果とを以てそれを応用した最初の人でなかつたとはいへ、彼は、
フォン・ベール(K. F. von Baer)の言葉に従えば、『観察と反省』から成り立つ・此の操作の一般的な確認に与かつ
た最初の人であつたのである。

(1) この際ガリレイがなした独特の謬論については Mach, Mechanik. 120 頁以下を参照せよ。

s 【一八】然しながら、ガリレイの分析は更に著しく進んで、落下法則の表出にまで導いた。しかし、彼の時代に
於いては、時間を測定する上の方法がいまだ極めて幼稚なる段階に留まり、彼の実験的研究に対して問題となつた
ところの高々数メートル位の距離を落体が通過する間の如き非常に短かい時間を測るには充分なものではなかつた
から、現象をあらゆる側面から測定可能な範囲に帰着せしめ得るような方法を考案しなければならなかつた。この
目的の為に彼が作製したものが落下溝であつて、緩やかに傾斜させた溝の中を球を転がし落す装置である。彼は、
この斜面に沿う落下に於いて自由落下のすべての特性がそのまま再現せられ、ただ、テンポが或るきまつた恒常的
関係(斜面の傾斜によつて決定せられる)に従つて遅くされるといふ相異があるだけのものと仮定した。之によつ
て、短かすぎる時間に対する、謂わば、顕微鏡が設計せられたことになる。即ち、所謂肉眼で見える位に如何
く、ここではガリレイによつて同時に作製せられた水時計の手助けによつて現象が測定せられる位に、時間が拡大
せられたのである。そうして、之による実験は、求められた彼の理論の検討と確認とを可能にしたのである。

茲で、自由落下の運動を斜面上の夫れに比例すると仮定したガリレイは如何なる権利を以てそれをなしたのであ
らうか、という疑問が生ずる。之に対する解答は、もう一つの疑問、即ち、一体何故に斜面上の物体が自由状態にあ
る場合に比して一般に緩やかに落下するのであるか、という疑問を解決することによつて与えられる。我々は、ガ

リレイの最初の仕事は、落下速度が物体の重量と共に増加するという仮定の誤謬を証明することに存したことを思い浮べる。同様に、軽い物体の速度は重い物体の速度よりも大きくなり得ない、ということも証明せられる。そこで、残る結論は、ただ、ガリレイもまた云うた如く、速度は一般に物体の重量に依拠せず、すべての物体に於いて同一である、ということであつて、之は（副状態を除外した）経験によつても示されている。

さりながら、一方、動く物体の速度はそれを動かす力に依拠するということが示されている。即ち、軽い石は重い石よりも速かに投げられる。ところがまた一方では、落体をして運動を始めさせる力は、重い物体の場合には常に軽い物体の場合よりも大きい、何となれば前者を持ち上げる方が遙かに困難であるから。それ故ここで考慮さるべきことは、一定の結果を起さしめるようにこの両つの変数を均衡せしめるということである。重い物体にあつてはそれを動かす力は大きい、しかしまたその状態の変化に対して抵抗するところの力もそれに相応して大きい、そこでこの両者が同一の割合で大きくもなり小さくもなるとすれば、その相拮抗する影響はまさしく中和、或いは帳消しされるわけである。

従つて此処に概念形成が根付かなければならなかつた。力が与えられているとき如何にして速度が生ずるかを決定するところのものは如何なる性質を有つたものであるか、といえ、それはあらゆる場合にすべての重さを有する物体に存在するものであるが、重さ其ものとは異なるものである。何となれば、両者は分離され得るものであるから。即ち落下溝に於いては、この性質はその値をそのまま保持するに反して、重さなる性質は自由落下の場合に現われる大きさの何分の幾つにしか当らない作用を示すのみである。従つて茲に速度の減小が由来するのである。このガリレイが先ず最初にその特殊性を認めたところの性質に対しては、惰性及び質量という二つの名称が使用せられるようになった。しかし、我々は、それが測定可能な大きさであることを強調するためだけでも、第二の名称を固執する。その上、惰性なる名称は道徳的な余義を有するものであるから、この場合徒らに誤解を起し易い。

質量とは、それ故、与えられた影響の下で、一つの物体が、いかなる速度を得るか、を測定させるところの性質であつて、同一の影響の下で相応した二物体が相等しい速度を得るとき、我々は二つの質量が相等しいと称するのである。

種々の重さの物体が同じ速度で落下するという顯著な事實は、そこで、次の如き解釈を与える。物体の質量はその重量に比例するものであるから、實際落下に際しては、種々なる物体に対して種々なる力が作用すべきである。この種々なる力は、しかし、種々なる質量をして、それらの力に精密に比例するような運動を起さしめるから、従つて、その結果、種々なる力が相等しい速度を惹き起すということになるのである。反之、落下溝に於いては、質量が不変であるにも拘わらず力がはじめの値の何分のいくらかに減小しているため、結局、物体が著しく緩徐に落下するという結果を示すのである。

【一九】上の場合、概念の発展を述べるに當つて歴史の手を籍りなかつたのは、その発展が非常に緩徐でまた階段的であつたため、個々の研究者の関与した部分を証明することが我々の次の目的のために余りにも煩雜になることを惧れた故である。然し、補遺的に個々の階段を摘示することは有益であらう。先に述べた如く、ガリレイは既にあらゆる物体について落下速度が同一なることを認識していた。また一度び獲得せられた速度に於ける惰性の概念が、明らかに、落下現象に関する彼の分析の基礎をなしていたことも既に提示した通りである。ところが彼は、一度び運動を始めた物体は、外力によつて変化を強要されなかり、その運動を継続的に保持しなければならぬ、という命題を明瞭に言い表わしてはいなかつた。しかし、彼の後継者が直ちにこの結論を抽き出し得たのは、偏に、彼の暗示によるものと云えるであらう。

質量概念を明確に作り出すことを最初に課題として設立したのはニュートン (Newton) が力学の根本法則を方式化せんとした際であつたが、完全にその目標に到達することは出来なかつた。彼は先ず質量と重量とを厳密に區別し、両者が互いに正比例することを確立した。彼は重さを一つの宇宙的な力——殊に遊星の軌道を実現するところ

の——として一般的に解釈することによつて、重さが地球上の位置によつて變ずべきものなること、並びに、變ずるものは重量であつて質量は不変である、ということをも最初に認識した人である。従つて、兩者の大きさが或る与えられた場所に於いて互いに厳密に相比例すると云つても、その比例の因子は場所そのものと共に變ずべきである。更に、ニウトンはこの因子は物体の化学的性質には依存しないものであつて、種々なる物体——水から金に至るまで——の同じ重量はまた同じ質量を有する、ということを実験的に確定した。之を実証するために彼は振り子を利用した、即ち、一個の球と一筋の糸とからなる振り子は、その球が如何なる物質によつて作製せられているかには無關係に、まさしく同一の振動週期を有することを実験的に示したのである。彼は更に進んで、この關係に対して、生命が影響を与えはしないかという疑問を提起し、穀粒を詰めた中空の球を用いて振動を起させて見たが、この振動もまた全く同一の振動週期を示した。

【二〇】恐らく、多くの読者は、振り子の球の質量が発芽能ある物質から出来ていようと発芽不能の物質から出来ていようと、その様なことが無意義な詮索であることは『自明的』であるとして、この最後の実験に微笑を禁じ得ないであろう。然しながら、自明的とは一体如何なることであるか。それは、それについて誰もが熟考しないような仮定である。しかし、既に一度充分にそれについて熟考しているがために熟考しないのと、そこに一つの問題が提起され得るということをも未だ一般に考えもしなかつた故に熟考しないというのでは、大いなる相違がある。而も大多数の場合、自明性とはこの第二の種類のものを指すのが常弊である。

さて、我々は既に前段に於いて、如何に並々ならず多くの未だ検討されない前提が、個々の任意の研究に當つてなされねばならなかつたかを見て來ている。この際我々は、研究の結果が、我々が眼中に置き、確定し、恐らくはまた測定しただけの條件のみに依拠し、同時に存在した他の無数の條件はすべて結果に対して影響を及ぼさないといふことを仮定しなければならぬ。多くの場合、この問題は、先人の觀察を土台として処理されるのであるが、し

かし、我々は未だ嘗て随伴的な条件のすべてを明確に知ったことがないのであつて、例えば、大氣の電氣的狀態等は殆んど全く我々に未知といつてよいのである。それ故我々は、常に、我々の研究の中には我々が全く予知しないような因子が働いている可能性があることを忘れてはならないのである。

従つて、個々の場合に於いて或る一定の因子が一回の現象に対して無影響であることが正確な実験によつて証明されたとするならば、それは一つの本質的な進歩であることを誰しも認めなければならぬのである。ニウトンが研究した場合には斯かる影響は全く考えることすら出来ないという非難は、全然當らない。時の経過と共に科学によつて明るみに出された新しい関係は、すべて、人類がそれ以前には考え得なかつたところのものである。しかし、自立した眞の思想家とは、まさしく、この様な通俗的見解に惑わされず思考し、大胆ないい方をすれば、荒唐無稽の前に、即ち、凡庸な見解が荒唐無稽と名付けるところのもの、の前に、怖れ憚るところのない、人なのである。ブリーゲンデ・プレッテル^①の戯語にプロフェッサーを定義して、異つた考え方もつた人としているが、之は第一に、学者仲間によく有りがちな議論好きの性癖を言い中てている。しかしまた、それは学者に本来固有の天職をも言い中てているのであつて、議論癖というのはその中から一つの戯画をとり立てたにすぎないのである。研究者は何事をもそれを自明的であるとして甘受してはならない。すべての仮定に対して、その仮定が如何なる根拠を以て正当化されているかを問わなければならぬのである。勿論、この課題を完全に遂行することは人力の及び得ないところであろう。さりながら、折に触れて我々が繰返し確信せしめられる処は、我々の直観に最も自明的なるものとして考えられたことが如何に根拠の劣弱なるものであつたか、という事実である。而もかような事実を見出すことが出来たのは、ひとえに自明的なるものをも検討の要あるものとして考える如き人々によつてであつた。

(1) 記者注、ミュンヘンで発刊されていた風刺諧謔詩。

それ故、ニウトンが、物体中の生命の存在が、重量と質量との間の関係に対して無影響であることを発見した時、

彼はそれによつて以前に誰も知らなかつた一個の事実を確立したのであつて、既知の條件はすべて或る与えられた場所に於ける上の關係に影響を及ぼさないという法則が、それ以前に増して、広大な適用範圍を与えられたのである。

【二一】この点に於いて、ニウトンの方法は、優れて科学的なるものと称さなければならぬのであるが、一方、彼が質量の概念を終局的に定義せんとした試みに於いては、それが当て嵌らない。彼は、質量を容積と密度との積として定義しているが、如何にして密度を獨立に測定するかは指示していないのである。実際には密度はここに云われた意味に於いて質量と容積との比に過ぎないのであるから、この定義は同じ処を循環するより外ないのである。また彼がその他に立てた、そうして今日に到るまで適用せられている物質の量としての質量の定義も、この量を如何にして決めるべきかの指示を欠いている以上、同じく不充分なものといわなければならぬのである。従つて、質量の概念を發展せしめるためには、前段に与えられたこの大きさの記載、即ち、物体が既知の影響の下にうけるところの速度によつて決定せられる、ということに密接に関連せしめることが肝要である。これがためには、先ず力学に於ける他の一つの思考方向を知らなければならぬ。この方向は、静力学に於ける仕事の概念と同一の位置を茲に於いて占め、仕事の静力学的概念に相当した概念に我々を導いてくれる。その概念とは即ち活力の概念である。

【二二】まず茲で問題となるものが何であるかに就いてはつきりさせるために、我々は、仕事、いかえれば力と経路との積が、保存の法則に従ふこと、即ち器械によつて力及び経路が他の値に変形せられることがあつても、仕事の額は如何なる條件の下にも保持せられるということを想起しよう。また一方想い出されることは、自由落下に關するガリレイの解析によつて、得られた速度は時間に比例して増加するが、落ちた高さは時間の自乗、従つてまた、得られた速度の自乗と比例關係にあるということが示されたことである。更にガリレイは、落下が自由でなく

或る傾きをもった斜面上に起る場合、得られた速度は斜面の長さにも少しもかわらず、ただその高さにも、依拠することを確定した。物体は、それが全部の高さを直接に自由落下で通過しようと任意に傾いた斜面上を落ちようと、若しも始めと終りとの高さの差が同一でさえあるならば、正しく同一の速度を得るのである。換言すれば、得られた速度に対しては、ただ物体の落下した高さのみが問題であつて、最高点から最低点に到るまでの特殊な道筋にはかわらないのである。

一方、物体が或る高さを落ちた場合には、仕事——若しもその物体が何かしら或る器械の一部でもあつたならばその間になすことが出来るでもあろうような仕事——が費消せられているのであるが、その器械の場合と同じだけの額の仕事が決して外に顯われて来ることがない。これでは仕事保存の法則を満足しないことになるが、果して上の場合はそのような法則の適用されない場合なのであろうか。古い考え方では確かにそうであつた、何故なら、仕事が消しながらか他の仕事が見われて来ないのであるから。さりながらこの場合、果してすべてが旧のままに留まっているであらうか。我々が見出し得る唯一の相違は、落ちた質量が或る一つの色度——上に見た如くその自乗が落差に比例するところの——を得ているということである。この速度、もしくは、この速度と緊密な關係を有する或るものこそ、或る意味で、かの仕事に等価なるものとして解し得るものでなければならぬ。何となれば、落ちた物体を再び持ち上げることに此の得られた速度を利用することが出来るような装置で試験するならば、その結果、物体はまさしく落ちただけの高さを昇ることが見られるからである。

【二三】この試験を最も簡単に行うには振り子を用うればよい。勿論、この際、物体が描く軌道は斜面ではなくして弧状路であるが、後者は幾何学的に無数の絶えず変化する傾角をもった斜面から成るものと看做すことが出来る。しかし、既にガリレイによつて確定された如く、得られた速度に対しては高さの差のみが問題であつて斜面の傾きは問題でないのであるから、得られた速度に關連した今の我々の考察に対して之は何らの障害となるものではない。

そこで、振子の物体が一定の高さから落ちる場合に、地上からのその高さは常に減少するが同時にその速度は増大し、最低点に達した時に速度が最大となる。そこから物体は、再び上昇を始め、嚮むかに落下の際に仕事を失つたと同様、今度は仕事を受容するが、その代りに速度は漸次再び減少して終ついには零となる。ここで物体は運動の始めと同じ高さに在り、ここから再び新しく、過程の全系列が他の側に向つて押し進められるのである。

従つて我々は、この変換過程を次の如く解釈するのが正しい、即ち、最初もち上げられた振子に存在した仕事は何か別の或る物——仕事ではないが再び仕事に変え得られるもの——に変換せられるのである、と。而もこの際、この新しい或るものを作り出すために消費せられたと全く同じ額の仕事再び獲得せられるのである。この或るものは、あらゆる場合に得られた速度と緊密な関係を有するものであるが、速度其ものには比例せず、その自乗に比例するものである。またそれが生ずる時それに相当しただけの仕事消失するのであるから、仕事と同一の性状を有するものである。それ故我々は、先に確立した記述方法に従つて、この新しい或るものを同様「エネルギー」と名付け、またそれが質量の運動に依存するもの故、運動の「エネルギー」と名付けて正しいであろう。然しながらこの簡単に描述した発展が完了するまでには非常に長い時が費されたのである。

【二四】力学の発展に於けるこの重大な転回に就いて第一に我々が感銘すべき人は、クリスチアン・ホイヘンス (Christian Huyghens) である。一個の点の形で考えた重さと一本の糸とから成る簡単な振子の理論をガリレイが展させた後、ホイヘンスは、相互に固く結合し、一定の軸のまわりを振動する・任意の、且つ限らない数の重さある点から成り立つところの、実際の振子の理論を見出すという比ぶべくもなく困難の多い問題にぶつかつて行つた。しかし、ホイヘンスがこの問題を解いた明晰な推論を再述することは、ここがその場所ではない。茲ここで重要なことは、むしろ、彼がそれに対して利用したところの原理を知ることである。その原理とは、振子が静止位置を通つて振動した後昇り得る高さは最初もち上げられた高さより決して高くあり得ないという原理である。これは明らか

に仕事保存の根本思想に全く類似した一つの思想であつて、ただ茲では、もはや仕事だけが問題となるのではなくして、落下と、それに応じて落下質量が得る速度とに關係ある新しい或るものが問題となつていたのである。實際にホイヘンスのこの原理は、一層發展して更に一步進んだ保存法則、即ち、活力、保存の法則を導出したのである。

【二五】この發展に携さわつた多くの研究者のうち最も深く事物の本質にこい入つたのはライブニッツであつた。彼は、如何なる表現を以てすれば最もよく力の作用を測定することが出来るかに就いて、デカルト(Descartes)と論争した。或質量が或仕事の作用をうけて或速度を得るとき、我々は質量と速度との積と同様、質量と速度の自乗との積をも作ることが出来る。両者は共に、夫々独自の仕方それぞれで、力の尺度である、何となれば、質量に対して種々なる力で同一時間働く場合は前者(質量と速度との積)が力に比例するが、種々なる力が同一空間に就いて働く場合は、速度の自乗が力に比例する。それ故、見受けるところ、力測定上の両方法は、どちらの比較型を選ぶかが人々の任意である以上、等しい価値を有するものである。然しながら、力と時間との積は、仕事に於ける保存法則に似た・顯著な特性を有たぬものであるから、力学以外に於いては特別な役割を受持たないに反して、力と経路との積のみが仕事という定まつた意義を有することを顧慮すれば、之に關連した力学的な値、即ち質量と速度の自乗との積が、同様に目立つた性質を呈示するものである、と想像してもよいであらう。

さて、このことこそ、實際にライブニッツが彼の力測定法として之を導入した根柢なのであつて、一六九六年一月十五日付、ド・ロスピタル(De l'Hospital)に宛てた手紙の中で、デカルトとの論争に就いて次の如く披瀝している。『原因結果同一の原理、即ち力学的永久運動の不可能ということが、私の力評価の土台になつておわかりになつたであらう。従つてこれは、つねに不変不易の同一に保たれ、いいかえれば、一定の作用を惹き起したり、一定の高さに或る重さを持ち上げたり、或いは、バネを伸ばしたり、一定の速度を与えたりするために必要な量は、つねに保持されるのであつて、よしそれらの作用の一部分——決して勘定に入れることを忘れてはならないも

のであるが——は物体自身のもはや認知し得ないような部分、若しくはその外圍によつて吸収せられることがあつても、全作用に於いては、瑣少さしよといえども獲得せられたり、或いは消失せられたりすることがないのである。反之これはんし、運動量（即ち質量と速度との積）が自然に於いて保存せられねばならぬということに対しては、全く証明がないのである。我々が自然に於いて観察し得る諸物体に於いては、経験は之に反するし、また、理性は、物質の認知不可能な部分からそのような保存をひき出す動機を、決して我々に与えないのである。そうして、そのような部分に於いても、つねに、目で見得る知覚可能な物体に於けると割合に於いて同一の作用を、我々は前提しなければならぬのである。しかし、このことに關して私の見解の基礎となるものは、明らかに、衝突に於ける経験ではなくしてむしろ、この経験そのものに対して説明を与え、未だ実験も規則も存しないような場合をも決定する——而も唯一途しかれど ただいちずに原因結果同一の原理から決定を与えるところの——原理なのである。』

ライプニッツは、更に説明の歩を進めて、彼の計量尺度こそ、それが重い物体の挙揚によつて測定されるかぎりに於いて仕事の実際の尺度であること、反之これはんし、同じ運動量を有する物体でも異なつた質量であれば異なつた類似の仕事を行うものであることを教示している。

【二六】ライプニッツがなした業績の性質を眼のあたり思い浮べて見るに、それを特徴付けるものは、恒存の思想であることが分る。ライプニッツは、力がそれを形作る誘因を与えたところの。多数か且つ多種多様な大きさの概念の中でも特に顯著な性質を有する一つの概念を追求し、その大きさが不変的インヴァリアント——今日力学は斯く表現している（26頁参照）——であるということの中に、その特記すべき点を見出したのである。即ち、個々の値、それを合成することによつて上の大きさが決定せられ測定せられるような個々の値は、自ら変化し得るものであるが、それらの変数の共同的な変化は常に、主なる大きさ即ち不変量がその際恒常を保たれるように行われるという性質をもつのである。

我々は既に前の機会に於いて、与えられた過程が常に存在する因子の中の或種のものには依存しない、ということの確認が如何に重要な進歩であるかを認知することが出来た。このことは、問題の関係を探究する際かような因子には意を払う必要がないということの意味する。存在する諸因子に対する非依存性を次第に高度に示すような概念を、段階的に形成してゆくことが成功すれば、そのような関係の研究は明らかに著しい程度まで容易化されたわけである。我々はただ、力学器械に対しては仕事、の概念がかかる不変量を表出する、ということを記憶すれば足りる。その他の点で器械が如何に構造せられているにせよ、或る径路の上に發展せられた力を計算し得るためには、いいかえれば、器械の行為に対して本質的なものをすべて経験するためには、我々はただ、力や荷重が通過したところの経路さえ決定すればそれでよいのである。或いは、不変量の性格を更に一層はつきりさせるためには、器械の中にもちこまれた仕事を正にとり、器械によつてなされた仕事を負にとれば、仕事保存の法則に従つて、両者は互いに逆の意味に於いて相等しく、従つてその和は零に等しい、ということが出来る。また器械が如何に複雑なものであると、如何に多くの場所で仕事を受容したり放出したりするものであろうと、その仕事の不変量 (Arbeitsinvariante) は常に零に等しく、従つて器械に於けるすべての考え得べき過程に対しては、論ずるまでもなく、数学方程式の形で表わされる一つの関係が与えられ、一定の計算を実施することが出来るのであるが、これらも上の不変量の知見なくしては望み得ないことなのである。

かくしてライプニッツの発見は、更に進んで器械が単純に仕事を放出し受容する場合のみに止まらず、その形体内に於いて動く量質の速度を創り出すためにも仕事が消せられるような場合に対しても、亦、不変量をたてることを教えた。この不変量は、仕事と活力 (ライプニッツはかく名付けた) 或いは運動エネルギー (我々は今後かく名付けた) との和として明示せられる。振子は、最低位置に到達したとき、最早全く仕事を含有しないが、この瞬間最大速度が得られるのであるから、運動エネルギーは最大値に達する。逆に、振子が最高点に昇り切つて正に

逆行せんとしている場合には、速度を全く有しない故に最早運動エネルギーは零となるが、その代り仕事は最大値に達する。また、その中間の位置では、両種のエネルギーが含有されるが、両者共その値に於いて各々上の極限的位置をとる場合に比して小である、何となれば、両者の利が一定なのであるから、各被加数は共に全額よりも小なること当然だからである。

【二七】茲に於いて読者はおそらく考えるであろう、斯かることに多言を費す必要はない、このような単純な結果に若しもライプニッツが到達し得なかつたとしたら、彼は恥じ入る外はなかつたであろう、と。ところが歴史の教えるところによれば、デカルトは、彼にも同様に恒存の思想が接近していたにも拘わらず、尚この簡単な事柄に到達し得ず、それが彼の前に提示された場合にすら把握することが出来なかつた、或いは把握しようとも考えなかつたのである。一問題に一度び秩序と展望とが持来らされるならば、事物は常に極めて簡単なるものに見えるのであつて、そこに科学的功績の偉大さが見出されるのである。困難はまさしく、材料が未だ互いに混乱して存在しているときに、各個の材料の中それを組合わせることによつて、当時は未だ知られていない将来の単純さを生じ得る如きものを正確に認識する、ということの中に存する。実際、若し事物が後になつて如何なる形貌をとるかが前以て知れるようであるならば、それに適した部分を見出し、或いは更にそれを形作ることさえも、畢竟、さほどの難事ではないであろう。さりながら、この場合現存する知見を以てかかる簡単な形体が果して形作られるや否やを知る事が出来ず、従つてそれが如何なる貌をとるに至るであろうか、またその如何なる断片が主要な役割を演ずるであろうかは、尚更知れていないのであるから、問題はこの意味に於いて二重に、不確定なのである。

第四章 熱の仕事当量

【二八】さて、この問題に就いてなされた次の本質的な進歩を考察せんとすれば、我々は殆んど一世紀半を越えての飛躍をなさねばならない。そうして、これまでは発展に於ける主役が哲学者及び数学者によつて演ぜられて来たに反し、これからは応用科学者、医師、並びに技術家の登場することが見られるのである。何故なら、概念形成を力学の領域以上に拡張し、あらゆる物理的過程に対する相応した不変量を発見することが今後の問題なのであるから。

仮説的な仕方では、既にライブニッツが之に達する一つの可能的な進路を指し示している。しかし、多くの場合に於いて仕事及び活力保存の法則が事実をあらわさず、この法則に反するような場合が充分に存在することは、勿論彼の目を逸することが出来なかつた。例えば、簡単に一つの石を地上へ落し、そこに留まらせるとき、その運動のエネルギーは何処に保留されているのであるか。ライブニッツは、之を、運動が物体の最小部分に分与され、そこで観察の及び得ないものとなると仮定することによつて救つた（39頁参照）。しかし茲に起る疑問、それでは一体如何にしてかような内部運動を認識し測定することが出来るかという疑問に対しては、彼も答弁していないのである。ところが、この答弁が延滞するかぎりには、作られた仮説は全く無価値である、何となれば、それ以前に既に人々の知っていたこと、即ち、先に存在した運動エネルギーが消滅して了つたという以上のことは、上の仮説によつて何も言い表わされていないのであるからである。また、運動エネルギーは恐らくなお存在しているのであるが観察や制御の不可能なものになつたのである、といった処で、それは全く同じことを意味するものに過ぎず、これら二つの場合は区別することが出来ないのである。而も、区別し得ない事物は同一と見做し、同一と記載すべきであるという極めて重要な基礎命題は、ライブニッツ自身が倦むことなく教えた処であつたのだから。

【二九】之に解決を与えたのが、失われた運動のエネルギーが熱として現われるという考えであつた。この考察

もまた現在余りに周知であるため、このような思付きの革命的な性質を今から思いやることは我々に非常に困難を要する位である。さりながら、この着想が一度ならず繰返されて種々なる方面から言い出されて後、一般自然科学者、即ち当時の『科学の指導者達』によつて全般的に理解せられ、受け容れられるまでには何十年という歳月を要したという歴史的事実は、当時に於いてこの考えが未だ現在我々が考えるほど明白なものではなかつたという不朽の証拠であらねばならぬ。またこの考えが、荒唐無稽から自明への、すべての開拓的思想が必ず通過せねばならぬ發展径路をそれ位な短期間で完了したという事情は、まさしく、その考えの偉大さ、並びに意義を証拠立てるものであつて、このためにこそ実際に自然認識の各分野に於いてその偉力を發揮しているのである。

この考想到に於いてもまた各種の予覚のあつたことが認められ証明せられているが、それらは単に予覚としてしか解せられず、また評価され得ないものである。何となれば、それらはすべて本質的な要素、即ち、求められた関係の精確な数的表現を欠いているからである。従つて、我々は、これらの散乱した偶然的な所説は看過して、はじめに決定的な考想を明白な、二義的ならざる仕方で言い表わしたところの人に目を向けなければならぬ。即ちこの功績は、ハイルブロンHeilbronnの臨床医ユリウス・ロバート・マイヤー(Julius Robert Mayer)が一八四二年になした仕事に歸せられる。

【三〇】マイヤーは一八一四年薬劑師の息としてハイルブロンに生れ、自国のチュービンゲン大学に於いて、普通の成績を以て医学を修了した。彼はその後、彼の科学的教養に更に広汎なる性質を付与せんとしてミュンヘン及びパリに赴いたが、終に、西印度航路Indienのオランダ帆船に船医としての地位を得た。長い寂莫な航海の途上、幼年時代から既に彼の頭の中を徘徊していた着想——彼の若い頃の書簡によれば既に幼年時代に永久運動機関を構作せんとして徒勞に終つたことが誌されている——が再び湧き上つたのであるが、今やその考想は、彼の実地の職業に相應して、医学的な色彩をとつていた。

即ち、彼の船の乗組員に偶々起つた放血を診た時、次のような事実が彼の眼を惹いた、船が熱帯に入つて以来静脈から放出される血液が非常に紅味を増してきたのである。周知の如く、静脈は使い古された血液を肺臓へ送り戻すものであつて、静脈血は体中に於ける營養物の生理的燃焼に欠くべからざる空気中の酸素を、肺に於いて再び新しく供給されるのである。人間及び動物の体温がこの燃焼に由つて生ずるものであることは、既にそれより以前ラヴォアジエ(Lavoisier)によつて証明せられていたから、熱帯に於いては外界の熱が大きいために、体温を恒常に保つための身体の熱せられ方が余程少くて済むわけであり、従つて静脈血は未だ費消されない酸素を尙一部分保有しているために之が赤味の多い色を示すのであるという推論は極めて尤もなものであつた。

ここまでですべてが最善の秩序にあつたから、普通の人であればこれを以て満足し、熱帯の風景の刺戟を心おきなく享受したことであつたらう。しかし、茲に、永久運動に関する古い思想が油然と湧き上つたのである。人間は熱を発生するばかりではなく、力学的な仕事をも為すことが出来る、そしてこの仕事は、日常の経験が教える如く、再び熱を生産することに利用せられるものである。そこで人間が熱発生の際、仕事をも生み出すものとすれば、この事柄は一体如何に考えらるべきであらうか。熱の発生は同一に留まり、仕事はただ所謂副産物に過ぎないのであらうか。人間が一時間の内、すべての仕事に熱を得ることに（例えば摩擦によつて）利用せられるような機械に対して働くものと仮定せよ。然らば一時間の終には、そのような仕事をしなくとも人間が発生すべき熱以外に、機械の中に生ずべき熱がその上に生成せられたのを見るであらう。後者が単なる副産物であるものとすれば、熱が、同様に仕事も、無から生成したことになり、生活体によつて媒介された永久運動がそこに成立することになる。が何故そうではないのか。生命はそれでも余りにも不可思議なものである……、などという怠惰な遁辞を避けて、生体に対しても亦永久運動不可能を主張せんとすれば、一体事柄を如何にすればよいのか。そのためには、我々はかの仕事及び熱の出所を探究しなければならない。之が見出されるのは、働く馬は休む馬より遙かに多量の飼料

を撰るといふ良く知られた事実に於いてである。果して然らば、人間や馬の仕事というものは同一事物——静止せる生体にあつては熱として現われるところのもの——の他の側面に過ぎないものであるのだろうか。然り、我々が斯く假定することによつて、すべては秩序立てられるのである。我々は、ただ、かくまで根本的に相違した二つの事物、機械的仕事及び熱、を同一本質の二つの形として考察することを決心し、さすれば、それでよいのである。大学で教えられた物理学はかような思想からは天地の如く懸け離れたものであつた、しかし、何故これが真実であると考えていけないのであろうか。主眼点は、之によつて総てが調和し、永久運動の假定すら不要になるといふことではないのか。

【三一】これがそのままマイヤーの思考の筋道であつたとは、勿論、私は主張するものでない。また若し、そうであつたとしても、私がここに描写せんとした位の簡短さを以て彼が完成したとは主張出来ないであらう。さりながら、本質的にはこの考察系列が、屢々傍道へそれた、それも行き詰まりの思付きなどのために、中断せられたことがあつたとは云え、彼の思索の本道であつたことは確実である。孤独の若き医師がなさねばならなかつた思考労働は実に大変なものであつた。彼が熱帯へ到着した後一週間碇泊した船を離れることも出来ず、未だ聞いたことも見たこともない熱帯の美に接しなかつたという事実だけでもこの間の消息がよく示されるであらう。当時の科学は、彼の観たというよりは考えた思想を実施するに際して、何らの支持にもならなかつたばかりではなく、伝統的な、医家の数学、物理学的素養の不充分さということも、彼に対してただ混迷を結果するだけの、半解且つ不明瞭な思考材料を提供するに与かつたのみであつた。そうして、彼がその混迷的な影響から遁れるためには、帰国後非常な辛酸を以て追加的な研究に身を捧げなければならなかつたのである。然しながら、遂には決定的な考想が太陽の如き明確さを以て彼の意識の前に立ち現われ、あらゆる時代を通じて科学の最も顕著なる文書の一つとして残さるべき短かい一論文となつて出現したのである。

私は以下にこの論文の内容よりも先^まずその文章をそのまま記載するつもりである。というのは、この論文が齎^{もたら}した新しい説明は、未だ我々の腹にすっかり入っていない難いのであって、その内容も、憶い出すだけで充分だという位歴史的なものになり切っていないからである。むしろ一般の人々に第一に同化せられたのは新思想のほんの一部分に過ぎず、重要さに於いて劣らない他の一部分は我々の時代に至って始めて根を下したのである。而^{しかれど}もこの根から他日如何^{いか}なる樹木が生育するかは、何人も予測し得ない処なのである。

【三三】ところでこの論文は、マイヤーが同時代の科学者たちに対し自分の思想を理解させようとして数学Ⅱ物理学的な形であたえた最初の論文ではない。彼はその前に、一八四一年七月、^{アンナレーン・デア・ライジック}物理学年報の編輯者ポツゲンドルフ(Poggendorf)に宛て、ライプチツヒにあるその雑誌の出版書肆を仲介として一論文を送達し、発表するかさもなくば返送されるよう乞うところがあつた。ところがポツゲンドルフはその何れをも果さなかつたのである。その時マイヤーは、テュービンゲンの彼の友バウル(Bau)に対し、あるいは彼の知らぬ中^{うち}に彼の仕事が発表されているのではないか、「アンナレーン」をよく調べて欲しい旨頼んだ(このことはハイルブロンに於ける彼の科学的孤立を示す一標徴であろう)のであるが、未だ発表されていらないとの返答を得たため、ポツゲンドルフに向つて催促状を送り、最後に原稿返却方を要請したのであつた。けれどもすべては無駄骨に過ぎなかつたのである。

しかし、ポツゲンドルフがここで受けるべき批難は、編輯者としての親切鄭重を欠いていたということに限局されるであろう。というのは、彼は返事もしなければ、原稿を返送もしなかつたけれど、原稿は偶然にか紛失されてはいなかつたし、原稿は遺品の中から発見されてツェルナー(Fr. Zöllner)の手で始めて発表せられたのである。また、マイヤーが送付した論文は、それ自体、注意深い編輯者の側から見れば明らかに却下を受けるに充分なものであつた。何故なら、その論文は正しい思想の萌芽を含むものではあつたけれど、その長所は、多くの誤謬に充ちた・欠点だらけの論議の裏に隠されていたので、その中から正しい芽を見付け出すことは、並々ならぬ明敏さを必要と

したからである。また、それだけでなく、マイヤーの論文の中に実際に存する少なからざる誤謬を科学的な雑誌から遠ざけるということは、編輯者の直接の義務でもあったのである。実際、この際経験した完全な失敗によってこそ、マイヤーは、彼の着想をもう一度新しく作り直し、且つこの目的のために始めて同時代の力学の主要法則を正確に知らんとする動機を見出し得た、と考へても差支えないであろう。彼がその間数学者バウルと交した文通を見ると、彼は、バウルに対しても同様、はじめは彼の思想をポツゲンドルフに送ったと同一の形で提示したが、バウルは之に対し異議を申し立てたということが知られている。その後彼はバウルと会合し、またテュービンゲン大学の物理学教授ノエレンベルク(Nörlenberg)とも会っている。しかし、ノエレンベルクも同様マイヤーの着想には抗弁しているのである。この議論が行われたのは一八四一年も末つ方であつたが、その後に至つて書かれた論文がリービッツヒの年報に受領せられ(49頁参照)、そこで始めてマイヤーの主要成果、即ち、仕事→熱なる当量的変換が、正鵠且つ整美な形で発表されたのである。

【三三】彼の最初の論文、並びにその当時のマイヤーの解釈全般がもっていた・本質的の誤謬は、運動の、エネルギー、が質量と速度との積(つまりガリレイの謂う「能率」、現在謂う所の運動量)によつて計測されるという仮定であつた。この謬^{あやま}つた考へによつて、マイヤーは、変換方程式の方式化に當つてそれに応じた覚束^{おぼつか}ない思弁に導かれたのである。之が、嘗^{かつ}てライプニッツとデカルトとの間に論争を導来したと全く同一の曖昧さに起因することは、ここに述べるまでもない。種々なる大きさの荷重をその荷重に逆比例した高さへ持ち上げることによつて与えられる同一の仕事の大きさは、決して落下の際生じた運動量の同一値には相当せず、活力の同一値に相当するということをライプニッツが主張したと全く同じ根柢を、マイヤーは其の後に至つてバウルへ宛てた書簡中で最も力強く論出しているのである。実際、若しも彼が、その種々異なる額を同一の仕事から取得することが出来るような一つの力の量を是認するとしたなら、それは畢竟、彼独自の・「力」の保存に関する根本原理を毀損^{きそん}することになつた

であろう。

そこで、マイヤーに対してとつたポツゲンドルフのかの態度が、誤り多きものを出版し、そのために正しい思想を払めることを更に困難にするような事態からマイヤーを救つたという点に於いて、結局有効に働いたと結論しなければならぬとしても、其の後にもまた、ヘルムホルツ (Helmholtz) の論文を——それはマイヤーの如き過誤を含まず、どの点をとつて見ても当時の物理学の頂点に位するものであつたばかりでなく、また極めて顯著な斬新さを導来したものであつたにも拘わらず——却下したことは見遁すべからざる失態といわなければならぬ。しかし茲に問題となるものは、むしろ、十九世紀初頭以来の自然哲学——独逸に於ける精密科学に対して非常に大なる害を及ぼしたところの——に対する鬭争の余波と見るべきであろう。論拋薄弱なる思弁を懼れるの余り、如何なる向上的考察をも、思弁的の懸念あるものと看倣さずには措かなかつたのであつて、この今し方克服したばかりの敵に対する・其自体は正当な、しかし過度の熱心と近視眼的な観方を以て加重された畏怖心から——従つて、畢竟、一般的時代考察から——ポツゲンドルフの不穩当な態度も諒解することが出来るのである。

【三四】一八四二年の初頭に書き下された業績については、万事が順調に運んだ。論文は直ちに、『無生界の諸力に関する考察』(“Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur”)なる標題の下に、リービツヒ (Liebig) 及びヴェーラー (Wöhler) によつて発刊されたところの、アンナレーン・デア・ヘミー・ウント・ファルマデー 物化学及薬学年報に発表せられた。物化学の雑誌に都合よく受領せられたということは、その編輯者たるリービツヒ自身が同一の問題に携わつていたという事情が与つた力あるのである。嘗てマイヤーは、動物体内に於ける栄養物の利用に関する問題でリービツヒから激励を受けたことがあつたという。さて、茲に我々は二六歳の若き発見者をして自ら語らしめることにしよう。

無生界の諸力に関する考察

以下に述べる処の目的は、我々が『力』なる言葉の中に何を理解すべきか、及び、それらの力が相互に如何なる行動を示すか、という問いに対して解答を与えることである。『物質』なる名称は、一つの対象に対し、極めて明確なる性質——重さの性質の他に空間填充の性質——を付与するものであるに反し、力なる名称には主として、未知の、探求すべからざる、仮説的なるものの概念が結び付いている。力の概念を物質の概念と同様に精確に解釈し、それによつて真の研究の対象となるものの特質を明らかにせんとする試みは、それから流れ出る結論と共に、明快なる、無仮説的自然觀の友には、恐らく確かに歓迎さるべきものであろう。

力は原因である、それ故に、“Causa aequat effectum”（原因結果同一）の原理は、これに対しても完全なる応用を見出す。cなる原因がeなる結果を有つならば、 $c \parallel e$ である。更にeが他の結果fの原因であるならば、 $e = f$ であり $c = e = f$ である。原因結果の一連鎖に於いては、等式の性質から明らかなる如く、その一項または或る項の一部は決して零となることがない。すべての原因がもつ・この第一の性質を、我々は不可破壊性と名付ける。

与えられた原因cが、それに等しいeなる結果を惹起したとすれば、その時cはcであることを止めたのである。cはeとなつたのである。eを起した後、cが完全に、或いはその一部分が、残つたとすれば、この残存する原因は更に或る結果を起すべきであつて、cの結果は一般にeより大となる、これは $c \parallel e$ なる前提に反する。それ故、cがeに、eがfに、等々と移り行くのであるから、これらの大きさは、同一対象の種々なる現象型として考察されなければならぬ。従つて、種々なる形をとり得るといふ能力は、すべての原因が有する・第二の本質的性質である。両性質を総括して、我々は、原因は（定量的には）不可破壊的にして、（定性的には）可變的对象である、ということが出来る。

自然界に於いては、原因に二つの区分があり、それらの間には遷移の起らないことが経験的に知られている。その一は、可秤量性及び不可侵人性なる性質を有する原因、即ち物質であり、その二は、これらの性質を欠く原因、即ち力であつて、これはまたその不可秤量性によつて、不可秤量物とも称せられる。従つて、力は、不可破壊的、可變的、不可秤量的対象である。

或る電荷を持ち上げるように働く原因は、一つの力である。従つて、持ち上げられた荷という結果は、同様に、一つの力である。より一般的に言えば、可秤量的対象の空間的隔差は、一つの力である。この力は物体の落下を起すものであるから、我々は之を落下力と名付ける。落下力と落下、より一般的に言えば、落下力と運動とは、原因と結果の如く働く力であり、互いに遷移し合う力であり、同一対象の二つの異つた現象型である。例えば、地面に静止する荷は力ではない。それは運動の原因ともならねば、他の荷を持ち上げる原因ともならぬ併し、それは地面から持ち上げられることによつて、その持ち上げられた割合だけ、かくの如き原因となる。地面から荷までの距離なる原因と、生じた運動量なる結果とは、力学の教える如く、一つの恒常的方程式の中に於いて関係付けられる。

人々が落下の原因として重さを考える時、それは重力に就いて言つていたのであつて、力及び性質なる二つの概念を混同しているのである。すべての力に本質的に歸せらるべきもの、即ち、不可破壊性と可變性との場合、一は、すべて性質というものには無いものである。従つて、一つの性質と一つの力との間、重さと運動との間には、正しく考えられた因果関係に対して欠くべからざる方程式を立てることが出来ない。そこで若し人が重さも一つの力であると称するならば、その人は、それ自体减小することのなくして、而も結果を惹き起すところの原因を考えているのであつて、事物の因果的關係に対する間違つた概念を抱懷しているのである。一つの物体が落下し得るためには、それが持ち上げられるということが、その重さに劣らざる必要なのである。従つ

て、後者のみを物体の落下の原因と考えることは許されないのである。

力学の目的は、落下力と運動、運動と落下力、而して運動相互の間に成立する方程式を展開することにある。我々は茲で一つの点のみを思い浮べる。落下力の大きさ v は地球の半径を ∞ と置けば、質量の大きさ m 及びそれの持ち上げられた高さ d との間に、直線的關係 $v \parallel md$ を示す。持ち上げられた高さ $d \parallel v$ なる質量 m が、同じ質量の終速度 $v \parallel v$ なる運動に移ったとすれば、 $v \parallel mc$ となる。併し、 d と c との間の既知の關係から、 d 或いは c の他の値に対しては、力 v の尺度として mc^2 が与えられる。従つて $v \parallel md \parallel mc^2$ となる。即ち、活力保存の法則は、原因の不可破壊性なる普遍的法則に基礎付けられていることが分るのである。

我々は、一つの運動が、別の運動を起すことも、重さを持ち上げることにも働くこともなしに、停止する如き場合を無数に知っている。併し、一度び存在した力は決して零となり得ず、他の形に移り得るのみであるから、落下力や運動として我々が知っている力は一体如何なる他の形をとり得るものであろうかという疑問が生起する。之に対して解決を与え得るのは経験のみである。目的に適する如く実験を行うためには、我々は、一つの運動を實際停止せしめると共に、研究すべき対象の変化を能う限り僅少に留める如き道具を選ばなければならぬ。例えば、二個の金属板を磨り合わせる時、我々は、運動が消失し、その反対に熱が出現することを見る。そこで、運動は熱の原因であるのかという疑問が生ずる。この關係を確かめるためには、運動を費消して熱が現われる如き無数の場合に、運動が熱の生成以外の結果をもたないか、熱が運動以外の原因をもたないか、という疑問を明らかにせねばならぬ。

停止した運動の結果を証明する試みは、未だ嘗て慎重に行われたことがない。恐らく立てられるであろう仮説を、前以て否定せんとするが如きことがなくとも、我々は、この結果が通常動く、磨擦する等々の物体の凝集状態の変化となつては現われ得ないということだけには注目出来る。運動の或る量が、磨擦しつつある物質

m を n に変ずることに用いられたと仮定すれば、 $m + e = m$ であり、且つ $m = m + e$ であらねばならぬ、従つて n を m に戻す場合には、 v はまた何かしら或る形となつて再び現われなければならぬ。二個の金属板を非常に長い間継続して磨り合はせることによつて、我々は、次々に莫大なる量の運動を消散せしめることを得る。併し、集められた金属粉の中に失われた運動の痕跡を見出すとか、失われた運動をそれから取り戻すとか云うことに、果して我々は同意し得るであろうか。繰返して云うが、運動は決して零とはなり得ず、また、相拮抗する、いいかえれば正及び負の符号を有する・二つの運動を零に等しと置くことは出来ないものであつて、同様に、零から相拮抗する運動を生ずることも出来ねば、一つの荷が自らの力で持ち上ることも出来ないのである。

運動と熱との間の因果関係を認知することなくしては、消滅した運動に就いて何らの弁明をもし得ないのと同様、それなくしては、摩擦熱の生成に何ら説明を与え得ないのである。摩擦し合う物体の容積減少からは決して同一のことを導き出すことが出来ない。よく知られている如く、二個の氷片を真空中で磨り合はせることによつて融解せしめることが出来る。ところで非常な圧力をかけることによつて氷を水に変じ得るや否やを、試みる人があるであろうか。著者が発見した如く、強く振盪することによつて、水は温度の上昇を示す。而も、暖められた(一二度から一三度)の水は、振盪の後、それ以前よりは大きな容積をとるのである。然らば、同一の装置内で繰返し振盪することによつて思うがままに生ぜしめることの出来る熱量は、一体何処から来たのであろうか。熱の振盪仮説は、熱は運動の結果なり、との命題に傾く。併しそれは、重点を不快なる振動の上に置くものであつて、それらの間の因果関係を全面的に評価しているものとはいひ難いのである。

そこで、若し多くの場合(例外あれば却つて本則の証明となる)、消滅した運動に対して熱以外の他の結果が見出されず、生じた熱に対して運動以外の他の原因が見出されないことが決着されたのであるならば、我々は、結果なき原因及び原因なき結果という仮定を捨てて、熱が運動から生ずるとなす仮定の方をとるのである。

之^{あた}恰かも、化学者が、HとOとが行方知れずに消失し、その後へ水が説明し得ざる方法によつて生ずるとなす代りに、一方に於いてH及びOと、他方に於いて水との間に一つの關係を確定するのと同様である。

自然の、落下力、運動及び熱の間に存する關係は、我々は之を次の如き方法で一目瞭然たらしめることが出来る。一つの物体の個々の質量部分が接近する時、熱が現われることを我々は知っている。即ち、凝縮は熱を生ずる。最小の質量部分及びそれらの間の最小の間隙に対して妥当することは、また、大なる質量及び測定し得る空間に対しても、その適用性を見出さねばならないから、地球の実際の容積減少と見られる一つの荷の落下ということは、確かに、その際現われる熱と関連を有すべきであり、この熱は、荷の大きさ及び其の（最初の）間隔に正確に比例すべきものである。この考察によつて、先に論ぜられた・落下力、運動及び熱に関する方程式が全く簡単に導き出される。

然^{しか}しながら、落下力と運動との間に存する關係から、落下力の本質は運動なりと結論し得たいのと同様、熱に対してもまた、かような議論は成り立たない。反対に我々は、熱となり得るためには、運動は——單純なる運動であれ、光、輻射熱等の如き振動的運動であれ——運動たることを止めねばならない、と推論したのである。

落下力及び運動が熱と等しきものならば、熱もまた運動及び落下力と等しきものであらねばならぬこと必然である。容積の減小或いは運動の停止に際して結果として熱が生ずる如く、その結果として運動、容積の増大、荷の持ち上げ等が起る時、熱は原因として消滅するのである。

水力機関の内部に於いては、水の落下ということによつて地球が常に蒙っている・容積の減小を代償として運動が絶えず生成し、また再び消失しつつあるが、またそれによつて、著しい量の熱が不斷に生ぜしめられている。反之、蒸氣機関は熱を運動或いは荷の持ち上げのために費消する。車止めをもつた蒸氣機関車は蒸溜装

置に比較することが出来る。即ち、汽罐の中に持ち込まれた熱は運動に遷移せしめられるが、之はまた車輪の軸に於いて再び熱として多量に沈積されるのである。

“Causa aequat effectum” (原因結果同一) の原理から必然的に導かれ、あらゆる自然現象と完全なる一致を示す・我々の命題を、實際的なる結論を以て結ぼう。——落下力と運動との間に成立する方程式を解くためには、一定時間、例えば初めの一秒間の落下距離を實驗によつて測定せねばならぬ。同様に、落下力または運動と熱との間に成立する方程式を解くためには、一定量の落下力または運動に対応する熱量が幾何であるかを定めなければならぬ。例えば、一定の重量が地面上如何ほどの高さを持ち上げられたならば、その落下力によつて同一重量の水を摂氏零度から一度に温めることが出来るか、を見出さなければならぬ。かような方程式が実際に自然界に於いて確かに証明されるということが、これ迄の要約と見ることが出来るのである。

気体の熱及び容積に関して立てられた法則を応用することによつて、気体中に圧縮されてある一の水銀柱の降下は、圧縮によつて遊離された熱量と等しいことが見出される。且つ、これより、——同圧同容の下に於ける大気の容量の比例指数を γ に等しと置けば——約三六五米の高さから或る重量が落下することによつて、同重量の水を摂氏零度から一度に暖めることが出来る、という結果が得られる。我々の最良の蒸気機関の仕事がこの結果と比較すれば、汽罐に持ち込まれた熱の中極めて僅少なる部分しか、実際に運動或いは荷の持ち上げに役立つていないことが分る。而して恐らくこのことは、CとOとの化学的差異を利用する以外の方法を以て、即ち化学的に得られた電気を運動に轉換せしめる等によつて、有利に運動を生成せしめんとする試みに対し、正常なる理由を与えるものとして役立つて得るであろう。

【三五】見られる如く、この短論文に於いてマイヤーは——彼の思想が生体を観察することによつて到達せられたものであったにも拘わらず——はつきりと無生界に局限して述べている。このことは、彼が先ず第一に、最も単

純なる關係から説明して行こうとしたために外ならない。しかし、數年後に發表せられた『有機的の運動及び物質代謝に就いて』(“Über die organische Bewegung und den Stoffwechsel”)なる著述に於いては、彼は自己の普遍的な思想の此の側面を補説したのみならず、宇宙現象の解釈に対する夫れの意義をも指摘している。従つて我々は、彼が創造したというよりはむしろ、現象の混沌カオスの中から遊離せしめたところの・此の概念が広大なる包括性を有することを、彼自身既に明瞭に會得していたということを知るのである。

マイヤーがなした仕事の中我々の一般的な研究に対して最も本質的に重要なものは、彼が力と名付けたもの(即ちエネルギー)の実体的な解釈である。彼にとつては、之は全く一つの現実であり、特定特有の一実体なのであって、不可破壊性及び不可創造性こそ実にその現実性を特性づけるところのものである。このことを能うかぎり印象深くするために、彼はエネルギーを以て物質の傍に並置さるべきものとなした。即ち、一方には不可破壊的なるも可秤量的なる対象、即ち物質が存在し、他方には不可破壊的にして且つ不可秤量的なる対象、即ちエネルギーが存在する。両者は均しく現実的なるものであるが、ただ一者は天秤に対して作用するが、他者は作用しないという事情によつて區別され得るものである。

【三六】彼の同時代の学者及び直ぐ次の時代の人々は、上の如き並置を敢行した彼の大胆さを全て理解することが出来なかつた。以下に於いて直ちに気付かれるであろうが、マイヤーの見解の中で先ず第一に黒幕の裏に隠蔽されて了つたのが実にこの点であつた。人々は熱と仕事との間の一定の変換關係の事実のみを以て満足し、更に加うるに、本能的にそれ以前の見解の能うかぎり多くを救済しようと試みたのである。このことは、極めて自然な頭脳經濟上の結果と考えられる。即ち、すべての個々の場合に於いて、新しい科学の見解をば多少とも既によく知られた領域へ実施し、古い現象を新しい光の下に眺めるといふことは、甚だ困難な仕事なのであつて、それは宛かも慣れ来りの内容を新しい言葉——その目的の為に始めて習得せねばならないような新しい言葉——を以つて言い表

わそうとする時と同様である。この場合人々が古い言葉の表現法を保留して、新しい言葉は、最早古い言葉が間に合わなくなった場所でのみ漸く利用するとしても、別に不思議はないのである。そこで、上記の解釈を立て通したのがマイヤーただ一人であったことが知られている。その後間もなく自然力の相互関係に就いて類似の考察を發展せしめた他の学者達は、すべて、古い概念を以て間に合わせようと試み、熱並びにその他の非力学的なエネルギー種をば、物質の最小粒子の運動状態として解釈し、それによつて総てのエネルギーを力学的なエネルギーに、然かのみならず近年に至つては更に運動エネルギーのみに帰着せしめようとさえしたのである。

ここで問題となるのは、既にライブニッツによつて指摘された如き『新しい概念軌道を避ける古い遁れ路』であるが、我々は既に、かような遁れ路をとつては、ただ脱線のみが可能であり決して眞の進歩は望み得ないということを確認している。今日の自然科学者は、我々の見るところ既に非常な進歩を遂げ、マイヤーから六十年余を経て幸運にも彼の立脚地にまで到達し得ている。而して現在正しく進歩的な身振りを示さんとする物理学者または物化学者は、物質及びエネルギーを以て類似した、或いは並行した・二個の実体なりと説明し、自然科学とは物質及びエネルギーなる二種の不可破壊性事物の変転に関する学問であると定義付けるのであるが、多くの場合彼等は、それがマイヤーの見解の繰返しに過ぎぬことを忘却しているのである。しかし、この説明も未だ決して究極の言葉を語るものでないことは、後に了解されるであろう。物質—エネルギーなる二元論もまた破棄されなければならないのである。というのは、物質なる概念は、特別適切なものとはいひ難い一つの従属的な概念に過ぎないことが解るのである。

これによつて精神—物質なる二元論もまた消失することは論を俟たない。それで必然エネルギーの精神に対する関係如何という疑問が提起される。之は、この方向に於いて科学がなした最も進んだ進歩と称し得るものである。そこでは、二つの実体が同種のものとして看做され、精神なる概念もまたエネルギーなる概念の中に吸収されるのである。

しかし以上述べたことは、ただ、この偉大なる思想系列が更に如何なる方向に向つてその発展を成し遂げたかに注意を喚起したにとどまり、この暗示の内容並びに基礎付けば、更に思想発展の経過を詳細に研究することによって始めて認識されるであらう。

【三七】殆んど総ての重大なる発見に於いてそうである如く、当時に於いてもこのような思想の正道に踏み入つた学者は決してマイヤー只一人ではなかつた。しかし、その見解が将来にまで最も深く透入した最初の、而も最も独創的な学者は、マイヤーその人であつたといふことが出来るのである。彼とは独立に、しかし多少後れて同一の発見に到達した人に、英国の研究者ジェイムス・プレスコット・ジュール (James Prescott Joule) がある。

ジュールは、ほとんど英国にのみ見受けられる私的研究家またはアマチュア発明家と称さるべき種類の人であつた。民間に於ける地位からいへば、彼はマンチェスターに於ける大麦酒醸造所の所有者であつたが、それからの所得は優に彼の科学的嗜好を実施せしめるに足るものであつた。彼の嗜好は、屢々同国人に見られる如く、半分は実用的性質を帯びたものであつて、当時漸く発見せられたばかりの電磁氣が彼を強く惹き付けたのであつた。即ち、電流に囲まれた鉄の芯に発生する巨大なる牽引力が、廉価な仕事の工業的獲得を見込可能にするものと考えたからだったのである。周知の如く、この問題のその後の発展は全く逆方向の経過を辿り、電池によつて得られる磁氣力が工業的に重要なものとなる代りに、却つて反対に、力学的な電動機によつて当時唯一の電流の源であつた電池の代用品が得られるという結果になつている。

さて、ジュールは、極めて卓越した方法を以てこの実用的な着想を精しく探究し、即ち、電流によつて機械を動かす場合に關与する種々の因子のすべてを個別的に研究し、その際多数の重要な物理法則を科学的副産物として胎したのであるが、それらの中でも最も彼の興味をそそつたものは、彼の装置につけた針金に熱が発生することであつた。というのは、間もなく彼は、この熱発生が電池内の化学薬品の消費と一定の簡単な關係にあることを見出した

からである。その上、電流が同一の状態にある限り、機械が働いて居る時の方が、静止して居る時に比べて、針金に発生する熱が少ない、ということが明らかになった。茲こゝに於いて我々は、先にマイヤーに就ついて知つたと全く同様な思考系列が此こ処こにも適用されること、ただ此の場合は先の動物体の代りに電池を作つた電磁的装置が来るだけの違いであることを見る。これから引き出された結論は、今の場合も先の場合と同じく、力学的な仕事の源が化学的な過程の中に求めらるべきこと、及び後者はその時の事情によつて、或いは熱のみを与え或いは仕事とそれに応じて少くなつた熱の二者を与える、ということであつた。

【三八】さりながら、このような比較的錯雜せんめいした関係を完全に闡明せんめいするためには、第一にそれを出来得る限り單純化することから始めなければならぬ。そこでジュールは、先ず、仕事と熱との間の最も簡単な関係が何どこ処こに存するかという質問を提出し、それに対して次の如ごとき答案を与えたのである。摩擦によつて仕事しごとが熱に変転せしめられる場合が則ちそれである、と。仕事と熱とが等価であるという考えが正当なものとすれば、或る定つた仕事の量からはつねに同一の熱量が——仕事しごとが熱に転ずる方法には全く無関係に——得られるべきである。

ここに於いて再び我々は、かの重要な原理、即ち、或る種の事柄じごがそれ以前には一見何かしらの影響を及ぼしそふに思えた多数の状態と全く無関係であることが確定される時、それは極めて著しい科学的進歩を意味するものであるという原理を認識する。

ジュールは、落体の仕事を能あたうかぎり多種多様な仕方かたで熱に変転せしめる実験を行い、遂に、両者の間には恒常不変の関係が成立することを結論し得たのであるが、一八四三年、即ちマイヤーの最初の論文に後れること纔わずかに一年、それに就ついての報告を発表した。ジュールが彼の遠大なる結論を抜き出したときの勇敢さには、あとから思えば実に驚嘆すべきものがある。何となれば、彼の最初の測定は極めて不完全な道具を以て行われたため、ジュールが同一であるとみた個々の値が著しく(例えば一と二という位に)互いにかき離れていたことが見られるからで

ある。しかし、この勇敢さの根源は、ジュールが自己の考えの正常なることをよく確信していたことに見出さるべきものであろう。彼自身その後実施した非常に注意深い精密な測定は、かの最初の大胆なる結論を徹底的に確認したのであるから。

【三九】ジュールがその労作に於いて導き出した一般の見解に関しては、既に上にも略示した通りであるが、彼は、自己の実験によって証明したところの・仕事と熱との間の恒常的關係を以て、熱もまた根本に於いて力学的性質を有するものなること、及び、当時既に汎く一般に広まっていた見解に相応して、熱というものが物質の最小粒子たる原子もしくは分子の運動の中に成立するものなることの一証標であると考えたのである。然るときは、仕事の熱への変転という場合に於いても、仕事が通常の可視的な種類の活力へ変転する場合と全く類似した過程が取り扱われることになり、従つて、当量法則がよく『説明』せられるであろうからである。勿論、この説明は、すべての ad hoc (この目的のため) に見出された仮説に見られると同一の不満足な性質をもつたものである。何となれば、それは、説明さるべき事実既に予め含まれているより以上のことは、何も言い表わしていないのであるから。しかしまたこの説明は、新しい事実を古い既知の事実の光の下に現出せしめる如き性質を有つたものであつて、この種の仮説を一般に受納させようとする場合の心構えに対する心理的な基礎がこの中に見出されるのである。

【四〇】この機会に是正して置きたい一つの謬説がある。それは、エネルギー保存法則の発見並びに熱の仕事当量(即ち当時使用せられていた熱及び仕事の単位の間の關係を示す数値)の測定に於いてマイヤー及びジュールがあつた分け分け前の問題に関して流布せられ、且つまた今日もなお時折文献の中に見出されるところのものである。55頁に於いて述べた如く、マイヤーは、この關係を外部への仕事となされる場合及び然らざる場合の気体の膨脹に於ける熱現象から導出したのであつたが、この際は彼は膨脹なくして単に空氣を温めるために要する熱量と、空氣が膨脹し外部へ仕事をなす場合に消費される熱量とを比較したのである。ところでこの結論は、空氣が外部へ仕事をな

すことなく単に容積を増大するだけであれば全く熱を消費することがないという仮定の上に立つものであり、而も、この仮定はジュールの其の後の実験によつて始めて証明さるべきものであつたという批難がマイヤーに対して加えられた。然しながら、このことの証明は、既にその遙か以前に、ゲイ・リュサックによつてなされていたのであつて、ジュールの当該実験はその繰返しに過ぎず、マイヤーはパリー滞在中に、当時活発に論議せられていた其の実験を知る機会を十分に恵まれていたのである。従つて、当時この事実の中に存在すると思われていた謎が、マイヤーの思想の発展の上に本質的な関連を有したということは、確かにあり得べきことと考えられる。何れにもせよ、マイヤーの算出は、完全に正しく且つ充分な基礎に立つたものであつて、彼の最初に算出した数が正しい値から多少外れていたとしても、それは、空気の熱的性質に対して当時の科学上で通用されていた数値が未だ不正確であつたということにのみ基き、決して計算の基礎的欠陥によるものではなかつた、ということを強調しなければならぬ。

【四一】エネルギー保存法則の導入並びに完成に際して本質的な役割を果した第三の研究者は、ヘルムホルツ(Helmholtz)であつた。彼はマイヤーと同一の径路を辿つて、即ち、動物体内の熱発生についての問題を熟察することによつて、自己の結論に到達し得たのであるが、その業績は一八四七年、従つてマイヤーの最初の短論文後五年、その第二の詳細論文(動物体の運動と其の物質代謝との関係)後二年にして公表せられた。ヘルムホルツは、当時の物理学に対して、マイヤーに比して遙かに包括的な知識を有し、且つ数学的な補助手段を表現の上に自由に駆使し得る能力を有していたから、『力』(彼も亦仕事或いは一般にエネルギーをかく名付けていた)の保存原理の意義を遙かに完備した、而も細目に亘る形で叙述することが出来た。根本思想として彼はジュールと同一の思想を利用したが、ただジュールよりはそれを数学的に深めることを知っていた。彼によれば、すべての力学的形体に対しては、その形体内で作用する張力が、互いに作用する粒子間の結合線に於いて働き、而も只それらの間の距離のみの函数である場合には、エネルギー(この場合エネルギーは活力または『張力』であるが)の保存法則が成立せねば

ならぬことが示される。更に、すべての自然現象がかような種類の力に帰着せしめられるということを暫定的に仮定することによって、ヘルムホルツは、この仮定、従つてまた個々の物理学の分野に対して『力』の保存が成立するとの仮定から、独自の推論を展開し、多数の新しい関係を立てることに成功した。このことの中に、並びに『この法則の完全なる確証こそ次代の物理学の主要なる課題であらねばならぬ』という明確なる洞察の中に、彼の業績の偉大なる意義が存するのであるが、他方、すべての現象を力学に帰着せしめるのが物理学の任務であると解釈したところに、彼が未だ当時の観地を脱却していなかったことが示されている。

二六歳のヘルムホルツがその仕事を発表するに當つて受けた待遇は、五年前マイヤーが受けた待遇に比して、格別優つたものでもなかった。物理学年報アンナレーン・デア・フライジックの編輯者ポツゲンドルフは、有力なる推薦があつたにも拘わらず、彼の仕事を基礎不十分なるものとして拒斥し、科学アカデミーに於いては、数学者ヤコビ (Jacobi) だけが彼の賛成者であるに過ぎなかつた。というのは、ヤコビ自身当時力学の基礎に就いて研究していたためヘルムホルツの業績の内容を理解することが出来たからである。そこでヘルムホルツは論文を自身で本屋に出させなければならなかつたのであるが、そのために発行者としての報酬まで得たような次第であつた。併し、当時ベルリンで物理学会を形成していた若い物理学者、数学者、生理学者の仲間には、彼は感激的な賛意を得ていたのであるから、個人的な鼓舞や称讃は決して欠けていたわけではなかつた。この点、マイヤーが小都市の狭い環境にあつて、そのような賛成さえ全く受けることが出来ず、大変な苦しみを味わねばならなかつたことに比すれば、まだしもであると云わなければなるまい。

【四二】力の保存に関するヘルムホルツの著述によつて、ここに、著しい転回が惹き起され、この新しい思想を認知するのみに止まらず、更に進んだ研究の土台として利用せんとする学者の数が益々増加するに至つた。それによつて上に述べたヘルムホルツの言葉が最も広い仕方を以て充たされることになり、エネルギー保存の法則は、そ

の間層一層發展をつづけて、遂には、学者のみならず、通常の教養ある人々の一般的な意識の中にも入り込み、現在に於いては最早一般の本能的な、或いは潜在意識的な知識の糧にまで属するに至っている。実際、この法則を侵害することは理論的に不可能と考えられるばかりではなく、我々の日常的な思考も亦、この法則を侵害することに導いたり、或いはその侵害を前提したりするような方法や連想を、必然的に避けるのである。

世界が究極に於いて力学的に把握せらるべきや否や、或いはエネルギー概念が力学的力の概念に比してより高度の、より普遍的なるものであるや否や、という問題の原則的な側面に関しては、その様な疑問は当時未だ一般に提起されることもなく討論されることもなかったのであって、当時の科学者仲間には、力学的唯物論が、殆んど、全く矛盾なきものと同様に認められていたのである。即ち、自然が動く原子の力学に帰着さるべきであるということは、なお証明を要する仮説としてではなく、全く証明を必要としない科学研究上の要請である、として通用していたのである。しかし、この仮定は、物理学に於いてエネルギー保存法則を成就する上に、何ら障害を与えるものではなかった。何となれば、それは同様に保存法則を含むものであり、従つて、非常に長い間この要請の正否を吟味する必要がなかったからである。この吟味の必要であることの分つたのは漸く最近になってからのことであつて、殊に、力学的唯物論が心理現象に関して著しい矛盾に導かれることを、彼の青年時代の友であり見解上の友であつた生理学者、デュ・ボア・レイモン (Du Bois-Reymond) が、絶対的に不可解な宇宙の謎の存在を主張することによつて示してからのことである。然しながら、この問題の詳細はずっと後段に於いて再述したいと思う。

第五章 第二主法則

【四三】一つの不可破壊的、不可創造的実体としてのエネルギー概念に導くところの・上來述べ來つた思想系列の展開には全く無關係に、別にもう一つの思想の發展が進捗していた。しかしその思想の泉が湧き出でたのは、時代に云つて遙かに新しく、十九世紀初頭を以てその起源となすほどのものであるから、それに応じて、この思想財が文化人の一般意識へ合体したのも、かの保存法則——今後我々は之をエネルギー論の第一主法則と呼ぼう——の場合に比して、遙かに狭く且つ不完全なものに過ぎなかつた。今日にあつてもなお、これから述べる此の第二主法則と撞着する如き考えが、科学的教養ある人々の間にあつてすら、矛盾も不審も抱かれずに通用しているという事実は、その一つの外部に現われた標徴とも見ることが出来よう。この法則が更に我々に指示するべく定められている自然認識の無際限の宝庫の中で、採取されているのは未だその比較的小部分に過ぎず、大部分はなお今後の採掘を待っているという事実も上の事態と関連して考えらるべきものであつて、その最も深奥なる点にまで確實且つ効果的に悟入し得る研究者は今日もなお余りに数少ないのである。梶棒を本能的に正しく操縦することを知り、咄嗟の場合にも如何に処すれば正しいかを最早反省してみる必要を認めない人のみが、自転車を安全に駆使することが出来るのと同様、この第二主法則から偉大なる収穫が得られるのも、その内容が、既に第一主法則が現在本質的に到達している位に、すべての自然科学者によつて本能的に利用せられるようになった場合、始めて期待さるべきことであろう。

【四四】偉大なる認識のこの第二の流の源は、若い陸軍技師サディ・カルノー(Sadi Carnot)によつて拓かれた。彼は、一七九六年、当時の著名人物L・M・N・カルノー(L. M. N. Carnot)の息として生れた。後者は、フランス革命に際して陸軍の組織者として更にまた種々の支配的な位置にあつて活躍し(最後に陸軍大臣となる)、帝政後も卓越した事業を残した人であるが、ナポレオンの失脚後は配流の憂目を見てドイツへ移住したため、息のサディ

も、繰返し幾度もドイツへ赴いた。彼は、パリのエコール・ポリテクニク卒業後、同様に軍人の経歴をとつたが、間もなく辞して自己の私的研究に身を委ねた。彼の主たる業績である『熱の動力に関する考察』(Reflexion sur la puissance motrice de feu)という表題をもつた短かい著述は、一八二四年即ち彼の二八歳の時に発表せられたが、一八八三年、引き続き継続していた仕事の所産を世に残すことなく、世を去つた。

【四五】先ず第一に目を惹くことは、この場合もまた決定的な進歩が非常に年青によつてなされたということである。マイヤーは彼の業績を発表したのが二六歳、ジュールは二五歳、ヘルムホルツは二六歳、そうして今述べた如くカルノーは二八歳であつた。即ち、自然認識の上にかくも偉大な進歩を促した人々が、すべて三〇歳に未満であつたということは実に著しい事実であつて、更に、以上の発表が何れも思想が把握せられた時期を示すものではなく、把握せられた思想が外的な表現にまで展開されその上発表の可能性に恵まれるまでに常に長い歳月を閲していた、ということをおい合わせるならば、我々の偉大なる促進者たり指導者たりし人々が如何に年少であつたかを、驚嘆せずにはおれないのである。我々は学問知識を以て高齢者の特性と看做すことに慣れているために、彼等青年達が年少をも省みず、敢て世界に新しき道を指し示したことが、むしろ敬虔、心の不足であるかの如くさえ見えるのである。

さりながら、示された数字は確かな事実を示すものであり、寸毫も疑い得ざるものである以上、偉大なる科学的事業が全く年青人々によつてもなされ得るものであるという結論は、同様、決して疑いを差し許さないものである。人或いは、この青年達の一団が此の一大問題に於いて同時に現われたということをおい以て極めて稀有な一つの偶然に過ぎぬものではないかと考えるかも知れぬ。しかし同様な検証を科学の他の分野にも推し拈めて見るならば、あらゆる場合に類似の現象即ち、大多数の先駆的科学業績が二〇歳を越えて間もなき若者達によつてなされたものであることに気付くであらう。

かような尋常ならぬ事実の根元及び結果に深入りするには、ここはその場所でない。しかし、更めてそれに注意を払って見るのも極めて有用であると思われる。既に古くより種々の方面から、この様な歴史的な事実の意を用いられて来てはいるが、未だその普遍的な知識は頗る狭い範囲にしか普及されていない。然しながら、青年の教育や使用に携わるすべての人々は、この事実を単に知悉するに止まらず、之によってその処置を定めることが最も重要なことであろうと思われる。何となれば、斯の如き若者達の行方処は、各国家の文化価値を先ず第一に決定するところのものを含む故に、一般的な施設によってかような業績をなし得る素質ある若者達からそれをなす可能性を剥奪せぬやうにすることは、最も緊要の問題であらねばならぬからである。我国（ドイツ）に於いては、大学に於ける修学を含めて普通に行われる学校教育を履行するとき、大学の課程が丁度完了するだけで既に二五歳に達するといふことを熟慮してみるならば、我々は直ちに、我国に於ける独創的發明家を發生せしめる條件が決して好適なものではないことに気付くであろう。学校教育を数ヶ年早く（即ち「志願兵」許可年齢に達する位で）切り上げ、それだけ早く青年をして綜合または単科大学に於ける自由な勉強に専念せしめることが出来たならば、すべての点に於いて如何ばかりの改善が見られることであろう。而もまた、それによって、現在の義務教育の過度の拡大が、恐らくは多数存するに相違ない・特殊な科学的天賦を有する人々の芽立ちを抑圧することからも免かれるであろう。

(1) ヘルムホルツが大学卒業試験(Abiturientenexamen)に合格したのは、まだ一七歳の時であった。現在一七歳の大学卒業生(Abiturient)は見ることが出来ない。ギムナジウムに於ける教育を過度に拡張し、それによって学生を大いに害うたのは、全く近時の所産であつて、この弊を除去することは、差し当って力を致すべき最も重要な学校行政上の方策と思われる。

【四六】さて、カルノーの考察は、その出発点を当時漸く現われたばかりの蒸気機関の工業に対する意義からとつたものである。蒸気機関の出現はそれまでの方法によつては達し得られなかつた問題の解決を可能にしたものであるから、その並々ならぬ作用の根源をよく理由付けることは、実用的にも科学的にも、最大の興味を喚び起す問題

なのであった。しかし、当時に於いては熱の仕事への変換なる思想は未だ予感としてすら成立していなかった。如何にして熱が仕事へ移行するのであるか——而もそれは現実に行われているのだ——ということは、全然謎というより外はなかったのである。

これに対する理解を得んとして、カルノーは、蒸気機関に於ける熱を、水車に於ける水に比較した。水がそれ自身水車を動かすのではなく、高い所から低い所へ落ちる水のみがそれを可能にするのと同様、熱も高い位置から低い位置に下るような場合にのみ、仕事をなすことが出来る。しかし、水の場合の位置の高低といったものが、熱の場合には如何なる性質のものであるのだろうか。カルノーは、それが温度であることを見出したのである。圧力の差がその原因を与えない限り、水は運動を始めることがないのと同様、熱もまた温度の差がない限り決して移動を始めることがないのである。而も熱の移動なしには、如何なる熱機関と云えども、我々はそれを運転することを得ない。何となれば、そのような機械はすべて或一つの物体——固体であれ、液体であれ、気体であれ——が熱せられることによつてその容積を変化し、その膨脹の際に機械の動く部分を運動の状態に入らしめるということに依拠しているからである。そこで温度の変化がない限り膨脹は起らず、従つて如何なる種類の運動も生起し得ないのであるから、物体が作用を営むためにはその温度を変化せねばならぬことが分るのである。

この考察は、完全に事実に適つたものであり、単なる外見上の相似ということ以上に多くのものを含蓄している。そうして、後になって現われた総てのエネルギー種に関する・一般的な解釈の先駆者とも称さるべきものである。如何なるエネルギーにも、強さ(Stärke)もしくは強度(Intensität)と呼ばれる固有の特性があり、それによつてそのエネルギーが静止にあるか否かが指示される。水車に於ける水の場合にはそれは圧力(高さに比例し、高さによつて測定される)であり、熱の場合は温度、電気の場合は電圧、等々である。然しながらカルノーは、当時の知識に従つて、彼の考察を単に熱だけに局限し、それによつて二三の非常に重要な概念形成を成し遂げたのである。

が、それは是から叙述してゆきたいと思う。

【四七】彼は先ず、力学から既に知られている理想機関の概念を、この新しい場合に応用し、熱機関が理想的に働くためには如何なる新しい條件が充たさるべきであるかを一般的に決定した。そうして、力学的な機械の場合に見られる摩擦による仕事の損失に、熱機関の場合の熱の伝導による仕事の損失が対応せしめられることを見出した。即ち、熱が単純に一つの部分から他の部分に遷移し、その際仕事をなすべく強制せられないような場合でも、そこに仕事の損失が意味せられるのである。完全な器械は無限に少ししか平衡よりずれてはならず、その運動は極微小の力または圧の過剰によつて惹起さるべきものであるが、それと全く同様に、熱機関が完全であるためには、すべての熱の移動が極微小の温度の差によつて惹起されるものでなければならぬ。然しながら一方、仕事を獲得するためには、有限の而も能う限り大きな温度の差が存在しなければならぬ故、ここに見かけの上では解決不能な要請が生じたことになる。カルノーは、しかし、次の如き熟察によつてこの困難を切抜けることに成功したのである。気体は、仕事をなしつつ膨脹する際それ自身冷却し、反対に縮小する場合には温められる。これによつて、熱の伝導によらず、従つてまた仕事の損失とも結び付かないところの・温度の差異の生ずることが可能となる。従つて、一方に於いては、正または負の仕事をなし夫れに応じた温度の変化を伴うが、外部との間に熱の交換を行わなような容積変化と、他方に於いては、極微小の温度差に於ける熱の移動とを組合せることによつて、理想的完全さを以て進行する一つの過程が成立することになる。而もかくの如き過程は同時にまた可逆的なものである、即ち、理論的にいつて夫れは、一つの方向へも、またその逆の方向へも、全く同様に完全に進行し得るものである。何となれば、容積の変化に対しては、力学的機械の場合と同じく、克服すべき圧力が仕事の圧より無際限に少ししか小さくないということが假定されているのであるから、その關係を無際限に小さく変移させることによつて、機械を逆の方向に進行せしめることも可能であるからである。而も、その際要求せられる逆の熱移動は、やはり、それに

応じた無際限に小さい温度の変化によつて起させることを得るからである。一言にして云えば、すべての理想機関は常にまた可逆的でもあるのである。

かくしてカルノーは終つひに一つの循環過程の概念に到達した。循環過程とは、一列の部分過程より成り、それらが或る一定の変化を完了した時に機械のすべての動く部分が再び元の状態と全く同じ状態に回帰する如ごときものを云う。この概念もまた力学的器械から得られたものであつた。何となれば、このような條件の下に於いてのみ器械は永続的に働き得るものなのであるから。殊に蒸気機関なるものは、すべて、その動く部分が一つの循環的な運動を終えて後、全く同一の運動を再び始めから幾度も繰返す如ごとき構造を有するものである。

可逆性及び循環過程という二つの概念を結合することによつて、カルノーは、可逆的循環過程なる概念を導出したが、これはあらゆる問題の発展に対して最重要なる補助手段の一つであることが明らかになつた。

【四八】さて、茲こゝで、一定の循環過程が完全熱機関について行われるものと考えよう。この過程は、第一に、それが実施せられるときの最高温度及び最低温度によつて特性付けられるものである。そこで、熱の移動がこの両極端の温度、即ち最高温度 T_0 及び最低温度 T_u のところところに於いてのみ起り、その中間のところでは常に上述した仕方で——仕事をなしつつ、しかし熱の伝導は無しに——冷却または加熱があるのみという最も単純な場合をとれば、我々は茲こゝに、熱量 Q が上の温度 T_0 に於いて受容せられ、仕事 A （循環を完成せしめ、機関を再び元の状態に持来らしめるに要するだけの額をはじめに受納した熱量から差引いたもの）が外部に対してなされる如ごとき一つの機関の循環を見ることになる。この場合、仕事 A を熱量 Q で除したものを我々は機関の効率と名付ける。

一見、この効率効率は、全く機関の種類によつて定まるものであり、従つて全く勝手な値をとることが出来るものであると看做みなされ易い。しかし、茲こゝに於いて我々は再び一つの法則に行き当るのであつて、それが理想的もしくは完全インヴァリアント的機関である場合には、そのような影響は存在せず、効率は全く機関の特殊な種類ということに関して不変

であることが証されているのである。次にその証明を述べる。

二つの理想的、従つてまた可逆的な機関をとり、その両者が同一の温度の間で同じ額の仕事をなすに必要な熱量を夫々 Q_1 及び Q_2 とする。この二つの値 Q_1 及び Q_2 は同じであるかも知れぬし、異なるものであるかも知れぬ。そこで先ず後の場合であると仮定し、 Q_2 が Q_1 より大であるとすると、然る時は、第一の機関をして熱量 Q_1 を取つて仕事 A を放出する如く働かしめ、次にそこに得られた仕事を以て第二の機関を逆方向に運転し、それが A なる仕事を受けて Q_2 なる熱量を高い方の温度 T_0 に於いて放出する如く仕向けるならば、この二重の操作の結果として、仕事は丁度精確に費消せられるが、熱量は、第一の機関が温度 T_0 に於いて得たよりも多量がその同じ温度に於いて第二の機関によつて放出せられることになり、結局、それ相応の費用をかけることなしに過剰の熱が高温部へ持来らされることになる。この熱は、我々が再び仕事の生産に利用し得るものであるから、上の仮定が正しいとすれば、我々は、自由に沢山の仕事を無より創造する手段を得ることになる。しかし勿論このようなことは不可能と考えるべきであるから、従つて Q_2 は決して Q_1 より大であつてはならぬのである。

そこで逆の仮定、 Q_1 が Q_2 よりも大であるという仮定を立てて見よう。この場合は、先の場合の二つの機関の役割を更代して見ればよい。即ち、斯くすることによつて再び先の場合と同じ結果が導かれ、無際限に多量の熱量が低い温度より高い温度に向つて運ばれることになるから、 Q_1 が Q_2 より大であるという仮定もまた不可であることが分る。

残る唯一の可能性、そうして、無からの恣意的仕事獲得を限定しないところの・唯一の可能性は、 Q_1 が Q_2 と等しいという仮定である。従つて、完全熱機関によつて与えられた温度の間で与えられた熱量から得られる仕事は、機関の種類には無関係に、ただ温度にのみ依拠する。それは勿論與した熱量に比例する。何となれば、もし n 倍の熱量を持つならば、同じような機関を n 個働かせることが出来、従つて、 n 倍の仕事をなすことが出来るからである。

【四九】カルノーは、なお、之に対して次の如き注意を述べている。その中には全考察の核心ともいふべきものが隠されているから、私はそれを逐字的に翻訳して見た。¹⁾

(1) Carnot, Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers, Deutsch von W. Ostwald, Klassiker der exakten Wissenschaften, Nr. 37. Leipzig, W. Engelmann.

『人或いは之に対して批難を差挟むかも知れない。永久運動が力学的な作用について不可能であることが証明されたとしても、熱や電気の作用を取扱う場合にもそれが真であるとは必ずしも云えないのではないか、と。さりながら、熱或いは電気の現象に対して、その原因を、物体の或種の運動以外に求めることが果して可能であろうか、そうして、これまた力学の法則に従わなくてよいものであるうか。その人達は、色々な勝手な手段によって永久運動を成立せしめようとした試みがすべて実を結ばずして終わったことを、後天的に知らないのであろうか。真の永久運動機関を製作すること、即ち、利用する物体には何らの変化も及ぼすことなく、休みなく継続するところの運動を成立せしめる試みが、未だ嘗て何人にも成功しなかつたことを知らないのであろうか。

『嘗て人々が電動的装置（ヴォルタ電池）を以て永久運動生成可能なるものと考えたことがあった。そうして、この考えを、乾電池（之を変ずることなきものであると考えて）の製作によつて実現しようとした。ところが、彼等が作った装置はすべて、その作用を或る期間つづけた曉には、常に著しい破壊を蒙らなければならなかつたのである。

『永久運動の普遍的な、哲学的な概念は、最初の衝撃の後は無際限に継続せられる如き運動という表象をその中に含むのみならず、また、次の如き表象をも含んでいる。即ち、動く力を無限量創造する能力を有し、従つて自然に於けるあらゆる物体を静止の状態から次々に運動の状態に入らしめ、それによつて惰性の原理を揚棄することの可能な、それ故にまた、自分自身から力を創造し、終には全宇宙をすべて運動の状態に入らしめ、運動の状態に保

ち、更に間断なくそれを促進することも可能な・或る種の仕掛けの働きという表象をも含むものである。これこそ真の・動く力の創造というべきであろう。そうして若しもこれが可能なりとすれば、動く力の源を水や空気の流れ、或いは、燃料の如きものの中に求めることが全く無駄なことになるであろうし、我々は永劫涸れることなき力の泉——そうして欲するがままに汲み取ることの出来る泉——を得たことになるであろう。』

【五〇】茲に於いて。再び、永久運動不可能なる自然法則が、明確なる推論を生み出す・思いもかけぬ源であることが示される。この不可能性が、力学の法則並びに非力学的現象へのその仮説的な応用から先天的に導かるべきものなのか、それとも経験から後天的に結論さるべきものなのか、何れであろうかという觀念の彷徨は、カルノーの描述に於いて実に注目すべきものである。しかし、我々が既に見た如く、力学的な永久運動不可能の命題も、一つの非常に拡張された経験の表現以上の何者でもないものであるから、何れにもせよ、結局その証明に対する最後の法廷として残るものは、経験以外にはないのである。

更に重きを置くべきことは、カルノーの証明に於いては上にも述べた如く、仕事^{ごと}が外へなされるに際して、熱の額が減少するか否かという疑問が全く触れられていないということである。即ち、水車との類推から得られた結論は、熱はただその降下によってのみ仕事をなし、その量を減ずることなく低い温度に持来らされること、水がただその落下によってのみ仕事をなし、その量を減ずることなく流れ去ると全く同じであるということであった。しかし、この見解を提出したカルノーに於いて、既に、上の仮定——当時の物理学とは相容れるところの——が如何なる場合にも誤りなきものなるや否やに關して疑惑が生じていた。しかしまた、70頁の証明をもう一度見直して見るならば、そこではただ上の温度に於いて出入する熱量のみが顧慮せられ、下の温度に於いて放出される熱量には一言も触れる必要がなかった、ということが見出されるであろう。即ち、熱が、その量を減ずることなく機関から放出されるというカルノーの仮定は真理に忠でなかつたのであるが、それにも拘わらず、彼の考察が正当なるのみならず、

極めて含蓄するところ多き成果を導出した所以が、これによつて説明せられるのである。

何となれば、機関は仕事を放出するのであるから、エネルギー保存の法則（その十八年後になつて漸く定立されたものであるが）に従えば、その場合それに相応した量だけ他種のエネルギーが消費されていなければならぬからである。しかし、茲でその役に立つ他種のエネルギーといへば、熱以外にないのであるから、従つて、下の温度で外に出る熱量は、上の温度で吸収した熱量よりも、その仕事の量に比例した（当量的な）額だけ少ないものでなければならぬ。

さりながら、もし然りとすれば、先にその正当なることをはつきり強調したところの・かの水車との相似性は何処に見出さるべきであろうか。之に対する答は次の如くである。圧力と温度との類比は正しい、しかし、熱量と水量との比較は正しくない。何となれば、熱量は一つのエネルギーの大きさであるが、水量はそうでないからである。それ故正しい類推を行うためには、我々は、水量の場合にも亦、相応したエネルギーの大きさを考慮しなければならぬのである。即ちそれは、水の全エネルギーとも称すべきもの、いかえれば、実際に、水が水車を離れた後には水車がなした仕事に相応した量だけ減少していることカルノーの機関に於ける熱量と全く趣を同じくするものであらねばならない。然しながら、水量と比較し得る如き熱学に於ける大きさ——エントロピーなる科学的名稱を有ち、熱現象の理論に於いて意義深き役割を果したものであるが——は、未だ一般の意識に対して全く耳慣れないものであり、現在もなお、学校の中にも、一般教養ある人々の知識の中にも、深く滲透して使用されるに至つて居らないものであるから、茲では、エントロピーが——（理想的）機関を通り過ぎる間に量的な変化を受けないという点に関する限り——實際上、水量と比較し得べき大きさである、と述べるだけに止めて置こう。

カルノーの考察の全成果を要約すれば、熱から仕事が生成するに際して最も好適なる場合に得らるべき仕事の量は、第一に、その熱の量に比例し、第二に、或る一定の仕方度で温度に依拠するということである。この熱の温度性

質というものは、一つの完全に普遍的な性質である、何となれば、それは、機関の特殊な性状には無関係に効率を決定するものであるから。またそれ故に、温度が与えられた場合、熱量の単位から効率を算出することを得しめるところの普遍妥当的な式或いは表を作ることも可能であるべきであろう。真の研究者の名にふさわしく、カルノーは更に進んでこの困難なる画龍点睛がりようてんせいを試みんとしたのであるが、当時の科学はそれに必要なデータを彼に与えることがなかったため、彼の計画もこの処は未完成のままに終り、遙か後年に至ってクラウジウス (Clausius) 及びトムソン (Thomson) によって始めて実現を見たのであった。

【五一】この基礎的大発見が、同時代の人々に対して何らの印象を与えることもなく見過されたということを、我々が今その史的関係を研究しつつ知ったとしても、最早もはやそれは驚くに足りぬことである。サディ・カルノーがその研究を発表した小冊子は、僅少の部数しか印刷に附されなかつたらしいのであつて、後にその内容の意義が明らかになつた時、この問題に携わつていた研究者達が、それを手に入れるのに非常な困難を経験しなければならなかつたということによつても大体想像される。^①しかしまた、それが完全に忘れ去られはしなかつたということは、科学の伝統の極めて細き糸によつたものであつて、彼の思想は、その発表後八年にして、彼の同国人たる技師クラペイロン (Clapeyron) によつて受け容れられ、解析的な形に展開せられた。クラペイロンのこの表現は今日に至るまで本質的には変化を受けることなくそのまま汎く使用せられている。クラペイロンの論文も亦、全く——ポツゲンドルフが一八四三年（恐らくはマイヤーの著述を拒絶した代償のつもりであつたのであろうか）それをアンナレーン・デア・ウイジックにドイツ語で発表した時ですら——人々の注意を喚び覚ますことがなかつた。その後に至つて彼等と同価値的な他の学者がこの問題に更めて近接するに及んで、漸く断ち切られていた思想の糸が再び結び合わされ、その際クラペイロンの業績はその仲介の任務を果したのであつた。その同価値的な学者とは、ウィリアム・トムソン（後のケルヴィン卿）(William Thomson, Lord Kelvin) 及びロバート・クラウジウス (Robert Clausius) である。この人達の業

績は、次章に於いて述べられるであろう。

(1) 約一五年前、私がドイツの古書籍商に於いてこの稀書の完本を比較的甚だ低廉な価格を以て購うことが出来たという事情も、カルの発見の如何に根本的に重大なる意義を有するものであるかに対し、一般が殆んど無知であったことを示すものであろう。

第六章 エネルギーとエントロピー

【五二】マイヤー、ジュール、それにヘルムホルツが、第一主法則に関する彼等の基礎的業績を発表して後、ここに一つの本来的な矛盾が生じ来った。即ち、彼等は、エネルギーの相互間転移が当量的な消失と生成とによつて起るものであり、従つて、それに代つて相当量の他種エネルギーが消費されることがないような仕事は決して生じ得ないものである、ということを始めて明らかにしたのであるが、他方、カルノーは、彼の理論を展開するに際して、熱機関に於いては、熱は全く消失することなくただ高温から低温に向つて持ち来らされるだけである、そうしてこの過程が仕事の発生に対する一つの充分な根拠をなすものである、という仮定を用いた。勿論、上にも述べた如く、この二つの仮定の中何れを採るべきかは、カルノーの考察の結果に対して全く何らの影響を及ぼすものでもないのであるが、これについて当時何も明らかにされて居らず、上の矛盾は、その後の研究及び説明に俟たねばならなかつたのである。

論ずるまでもなく当時にあつては、この矛盾を心に銘した人は殆んど一人としていなかつた。何となれば、人々がそれを知つた時には、カルノーの仕事は既に忘れ去られていたからである。然しながら、最後にそれが科学の進みと共に再び明るみに出された時には、この矛盾は最も鮮鋭にその全貌を現わしたのである。

最初にこの矛盾を知覚したのは、ウイリアム・トムソン（後のケルヴィン卿）であつた。彼はかの科学の開拓者軍——その人達に我々は科学思想の新領域征服を負うのであるが——の最後の老将の一人とも称すべき人であるが、一八二四年天賦ある数学者の息として生れ、ジュールとの個人的な関係——熱の仕事当量に関する上記ジュールの研究に際して彼は理論上の助言者として活躍した由である——によつて、現在の問題に参与を有することになった。ヘルムホルツは、一八五五年、その夫人に宛てた書簡の中で、トムソンの風貌を次の如く描いている。『私は彼に会うまで、ヨーロッパ最初の理論物理学者の一人である彼は恐らく私よりも幾らか年上の人物だろう、と想像して

いた。ところが私の前に現われたのは、明るいブロンドの髪をした、まるで少女のような顔立の年若い一青年であった。これには少からず驚いて了^{しま}った。彼は、私のために、彼の隣りに一室を借りてくれたので、私はそこへ移るために荷物を宿屋から持ち運ばなければならなかった。……彼は、その上、私が今までに知った大科学者の中で、伶俐、明晰、精神の易動性等に於いて最も卓越していたから、私自身も彼の傍では何だか自分が愚鈍にさえ見えて了^{しま}った。』

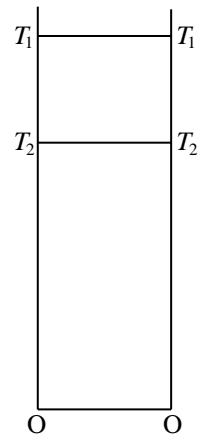
ウイリアム・トムソンがカルノーの思想を取扱った最初の業績は、一八四九年に現われたが、それは、一定の熱量から得られる仕事を温度と関係付けるところの・かの普遍的な温度函数の計算をその本質に含むものである。この目的のためにトムソンは、水蒸気の性質に関するルニョー (Regnault) の新しい測定を利用し、それより一列の数値を誘導したのであるが、カルノー函数に対する・計算可能な一般的な表現を与えることはなかった。しかし、この業績を公けにしたときトムソンは未だ二十五才に達しない青年であったのであるが、種々の独創的な仕事を成就した学者達の年齢については是まで幾度も見て来た今では、最早それほど読者に驚きを与える事実でもないであろう。トムソンは、その論述に於いて、熱の不消費ということに関するカルノーの見解に計算の上では賛成したが、しかし一方では、その前に既に現われていたジュールの業績を詳しく知悉^{ちしつ}していたため、カルノーの説の科学的な根拠に対しては大きな疑念を抱いていた。即ち、高温から低温に向つての単なる熱の移動が仕事を生成し得るものとするれば、単に伝導によつて熱が温度降下を蒙る場合には、それに相応^{ちよ}した仕事は一体何処^{どこ}に保留されているのであるか、という疑問が当然生起し、その際他種の変化が全く証明されないものである以上、ここに、自然に於ける仕事可能性もしくは仕事力と称すべきものが実際に損失を受けることを仮定する要が生ずるが、そのようなことは到底考え得べからざることだからである。

それにも拘^{かか}わらず彼がかの古い見解に執着したその理由は、その仮定なしに間に合わせる可能性が當時に於いて

は考え得られなかったためである。『若しも我々がこの原理を見捨てるならば、我々は数知れぬ他の困難——更に実験的な研究を進め、根本から熱理論の建直しを行わない限り克服出来ない様な困難——に衝き当らざるを得なかった』のである。

【五三】この根本からの建直しは、その後間もなく、ロバート・クラウジウスによって成就された。クラウジウスは一八二二年ケスリン(ポメルン)に誕生し、ベルリンに於いて、若き私講師として物理学会の仲間に入っていた。そこでは当時この問題が非常な熱意を以て討論的となっていた。彼の最初の科学的業績は数学Ⅱ光学的な性質のものであったが、二十八才の時、一つの基礎的な業績、『熱の動力、並びに、それより、熱学自体に対し、誘導さるべき法則に就いて』(“Über die bewegende Kraft der Wärme und die Gesetze, welche sich daraus für die Wärmelehre selbst ableiten lassen”)をポツゲンドルフの年報(その頃にはこの分野の論文に対しても門戸を開いていた)に発表し、科学界に一大衝動を与えた。ここに於いてトムソンがなお逡巡していたところの一進歩が果され、マイヤー、カルノー二者の思想の統一が完成されたのである。クラウジウスは、いま上述したばかりのトムソンの注意書を明瞭に引用して、次の如く説明している。『また私はこの困難をそれ程重大なるものとは考えない……何となれば、今までの表象方法に二、三の変化を加えなければならぬとしても、私は、証明された事実と撞着する如き事実をどこにも見出すことが出来ないからである。カルノーの理論は部分的にも経験によって著明な証拠を得ているのである以上、それを頭から捨て去るということは必ずしも当を得たものではない。しかし更に考察を進めることによって解することは、新しい考察方法と反対するのは、カルノーの本質的な根本原理ではなくして、熱が消失しないとすると附加物の方である、ということである。何となれば、仕事を生成するに際しては、或る量の熱が費消されると同時に、また或る量の熱は高温の物体から低温の物体に持ち運ばれるのであって、両者の熱量は生じた仕事に対して或る一定の関係に立つものであるからである。このことは後段に於いてもっと明瞭になるであろうが、ここでは、以

上二つの仮定から引き出される結論は、相並んで成立し得るものであるというだけに止まらず、互いに証明し合うものでさえある、ということが呈示されるであろう。』



クラウジウスの業績が含む最も重要な成果は、カルノーの函数が絶対温度（即ち、氷点下二七三度から始まる温度）の函数によつて表現されるという証明である。クラウジウスは、この基本的な結果へ、カルノーによつて与えられた循環過程を理想気体に対して計算することによつて到達したのであるが、その際、当時

殊にルニユーの仕事によつて確定された実在の気体の性質を利用し、それより基礎確かな外挿法によつて理想気体（即ち、単純なる法則に精確に従うところの気体）の極限の場合を求めた。効率^{カセ}は機関の種類に無関係なものであるから、ここに得られた成果は完全に普遍妥当的なものである。クラウジウスは、更に、トムソンによつて純実験的に算出せられた・その函数の値が、測定誤差の許す範囲内で、彼が理論的に得た結果とよく一致することを証明し、彼の結果を一般に採用する科学的な根拠を確保したのである。彼の簡単明瞭なる表現法を籍^{カセ}りれば、ここで次の如き自然法則^{カセ}がよい表わされる。曰^{いわ}く、理想機関が二つの与えられた温度の間で働く場合、仕事に変換せしめられる熱量の全熱量に対する割合は、絶対温度で算^{カセ}えた両温度の差を高い方の温度で除した商に等しい、と。この極めて重要な命題を直観的に把握するために、右の挿図を眺めて見よう。上への高さは温度を表わし、方形を以てそれに相応した熱量を示す。 T_1 、 T_2 両温度の間に機関が働くものとすれば、仕事に変換せしめられた熱量は $T_1 T_1 T_2$ T_2 なる方形によつて与えられ、全熱量は $T_1 T_1 O O$ なる方形によつて表わされる。

この図を見るととき直ちに憶い出されることは、カルノーの出発点となつた・かの水車との間の類推である。即ち、その場合は、図に於ける高さは水の高さ（より精密に言えば、それに相応した水力学的な圧力）を表わすとなすのが適^{ふさわ}わしく、不変に保たれる水量、より厳密に言えば、水の容積（圧力を乗ずることによつて仕事となるもの）は

T_1 T_2 なる直線によつて示されるから、温度の降下によつて T_1 T_1 から T_2 T_2 となるに過ぎない。00なる位置は、考え得べき最も低い位置を示すが、温度の場合には之が絶対零度となる。しかし圧力の場合は、かように一義的に決定せられる点は存在しない。

【五四】茲に於いて残る疑問は、 T_1 $T_1 \cdot T_2$ $T_2 \cdot 00$ 等の直線が熱理論に対して如何なる意義を有するものであるかということである。之は如何にしても熱量そのものではない、何となれば、熱量は方形によつて示さるべきものであるから。之は、温度を乗ずることによつて熱量を与える如き大きさでなければならぬ。それ故、熱量を温度を以て除すれば得られるべきものである。

この大いさの展開並びに意味付けば、四年後に公けにされたクラウジウスの第二の論文に於いて、取扱われた。勿論、彼は、彼の仕事の全く解析的・計算的な性質に応わしく、いま上に描いた如き直観的な道程を経てそれに到達したのではなかつた。むしろ彼の計算に際し導入せられた或一つの函数が、屢々現われたことによつて、その重要性を彼に注目されたのである。それは、そこに関与する熱量をその際の絶対温度を以て除した商として示され、すべての可逆的なる過程に於いては此の商がつねに定常に保たれることが、式から明らかにされたのである。その物理学的意味は、関与する熱量にカルノー函数を乗じたものの意味であり、従つて、熱の仕事に転移せしめ得られる部分という主要問題と最も密接に連関するところのものである。クラウジウスは既にカルノー函数を絶対温度の逆数として認識していたから、その表現は Q/T なる形、即ち、絶対温度を以て熱量を除した商の形をとつたが、非常に屢々現われる函数であるが故に、クラウジウスはこのものに対して特別な新しい名称、エントロピー (Entropie) を与えた。上図に於いて直観的に読み取り得るところの・既に上にも述べた普遍的な命題は、従つて、可逆的循環過程に於いてはエントロピーの全変化が零に等しい、ということを行い表わす。何となれば、高温 T_1 に於けるエントロピー T_1 T_1 の変化はこれと符号を反する低温 T_2 に於けるエントロピー T_2 T_2 の変化に等しいからである。

然しながら、理想的、可逆的循環過程に於いてエントロピーが変化しないに反し、あらゆる種類の現実の過程——可逆的ではないが循環的な過程として整序されるところの——に於いてはエントロピーの変化が見られる。しかし、その変化は常に一定の方向にのみ、即ち、エントロピー増大の方向にのみ起り、決して減小の方向には起ることがない。すべて熱的な過程に於いては非可逆的な部分といえ、それは常に究極に於いて熱の伝導に帰着さるべきものであるから、上の事実もまた純粹の熱伝導に対して呈示すれば足りるのであろう。今ここに、温度 T_1 及び T_2 なる二個の物体があり、それらが熱伝導によって両温度の間の共通なる温度 T_m に持ち来らされるものとすれば、その際、或る一定の熱量 Q_1 が温かき物体から冷たき物体に運ばれ、前者の温度は T_m まで降下し、後者の温度は T_m まで上昇したことになる。しかし、それに応じたエントロピーの変化に対しては基本的な表現を与えることが出来ない、何となれば、この過程は、変化しつづつある温度に於いて行われているものだからである。然しながらまた我々は次のことを述べ得る。今、極めて僅少の或る熱量 dQ が、一物体から他物体へ移動したものと考える。この場合その熱量は第一の物体から離脱し、第二の物体によって受容されるのであるから、前者に対しては負、後者に対しては正の符号を以て計算しなければならない。そこで第一の物体に対しては、その際のエントロピーの変化は $-\frac{1}{T_1} dQ$ (T_1 は T_1 と T_m の間の或る温度) によって与えられ、第二の物体に対しては、 $+\frac{1}{T_2} dQ$ (T_2 は T_m と T_2 の間の温度) によって与えられる。 T_1 は常に T_2 より大きく、従つて dQ/T_1 は常に dQ/T_2 より小であるから、必然的に上の両者の和は常に正となるべきである。茲に於いて次の如き命題が言い表わされる。すべて、熱の伝導に於いては、エントロピーは増大し、従つてあらゆる天然の・理想的ならざる循環過程は常に、エントロピーの増大を伴うものである、と。

【五五】ウイリアム・トムソンは、この考察から極めて注目すべき結論を導出し、その重要性を強調した。即ち、今観察せられる形体を更に一層拡張することによって、最後に全宇宙を包容する形態が考え得られるが、あらゆる

自然の過程に於いてはエントロピー増大が避け得られないという上の法則に従えば、宇宙もまた決して、既に一度あつた状態と完全に同一の状態に再び回り帰ることが出来ないわけである。そうして、仮令ほかのすべてが出来得る限り以前の状態に持ち来らされるがあつても、エントロピーだけは、その循環過程に於いて、その間に起つた熱の伝導に相応しただけ増加して居らねばならぬのである。このことは、存在した温度の差、及びそれに相応した自然の変化の源が減少した、ということを意味する。従つて、かような過程を更に更に続行せしめるならば、遂には窮極に於いて、すべての温度の差が均衡され、この温度の差を惹き起すべき他のすべての根源（例えば化学的過程）も最後には涸れ尽し、すべては終止せざるを得ない状態となるであろう。かくの如き不断的、而も一方的な過程を、トムソンはエネルギー散逸 (Energie-Zerstreuung [Dispipation]) の過程と名付け、且つ次の如き結論に達した。即ち宇宙の終極とはエネルギー散逸の状態であり、そこに於いてはあらゆる事象が停止し、森羅万象すべて『熱の死』 (Wärmethod) の下に眠りつつけるのみである、と。

この帰結は多大の注目を喚び起し、就中ヘルムホルツ及びクラウジウスによって賛同されるところとなつた。殊に後者はこの命題を次の如き形を以て言い表わした。宇宙、エントロピーは絶えず極大に向つて増加しつつあり、と。しかし一方に於いては、この命題を攻撃し、意味なきものとして葬り去らんとする人々も存在した。我々は宇宙の全体に就いて未知の点多く、何処か見知らぬ空間に於いては別異の條件が成立して居るやも測り知れぬのであるから、宇宙の全体に対して決定的なことを言表することは許されない、と称するのである。疑いもなくこの非難は誤つていない。さりながら上記結論の意味する処は、我々に既に知られた宇宙の領域に対してそれが該当するや否や、ということにのみ存し、その点我々が実際に知り得る過程が、すべてエントロピー増大の方向に起る過程のみであるといふことは、承認されなければならぬのである。従つて、地球の将来に関する實際上の論結は、差常り、かの全宇宙に関する——飽くまで拡張された、またそれによつて不確定となつたところの——言表と全く同じものである。

より外はないのである。人或いは落下する天体によつて偶然的の大なるエネルギー供給の可能を仮定するかも知れない、しかし、その場合も、そのように供給し得る貯蔵物は減少するのみであつて決して増加し得ないものであることを、如何ともなし難いのである。

以上の所論と一致する考察が、先ずデカードル (Descoures) によつて主張された。即ち、あらゆる地球上の事象がもつ明かな一義性は、このエントロピー原理のあらわれに帰着せらるべきものである、となすのである。純力学的な過程は、前方に向つても後方に向つても、全く同様に進行し得るものである。反之、すべて地球上の過程、殊に生命現象と結びついた過程は——しかしまた無生的な、例えば地質的な変化も——或る一つの方向にのみ経過し、決してその逆の方向には進み得ないものである。生命あるもの、例えば植物及び動物を見て直ちに気付くことは、それらが老いることのみを知つて決して若くなることを知らないし、地球表面に対する水の作用も、岩石を崩壊して大洋へ搬び去る如き意味に於いてのみ働き、決して山を高めたり、その他等々の働きをなすことがない、ということである。それ故、力学法則が時間の一義的な方向を限定することなく、また、それを可能にすることすらないに反して、不可避的エントロピー増大なることの中には、かかる一義性が包含されているのであつて、現実にかかると一義的な事象が地球上に生起するという事實は、エントロピー法則、或いはトムソンの謂うエネルギー散逸の原理の正当性を証拠立てるものである。

【五六】エネルギーなる名称、並びに或る与えられた物体の固有エネルギー (Eigenenergie) なる概念も、またトムソンによつて導入せられた。この名称それ自体は極めて古い起源を有するものであつて、或る意味では、既にアリストテレスもこの名称を用いている。而もそれは、勿論当時としての遙かに大きな不明瞭さによつて相殺されるとはいえ、二三の本質的な点に於いて、この概念の最も近代的な解釈に相通するものであつた。その後十九世紀の初頭に至つて、英国の物理学者ヤング (Th. Young) が活力に対する通俗的名称として之を使用し、終に、それを引用

して、トムソンが再びエネルギーなる名称を導入したのである。

固有エネルギー (Eigenenergie) なる概念——もつとも、はじめの中はその意味も不定であり、時には、後に遊離、エネルギーと名付けられたところのものを表現したこともあったが——の中に於いて、トムソンは同様に重要な一つの思考系列の道を拓いた。それまで人々はエネルギーを以て一つの数学的な函数、或いはたかだか、何かしら物体と多少とも弛く結合したところのものと看做していたのであって、それは二、三のエネルギー種、例えば電氣的エネルギーや熱的エネルギーの如きものに対してはたしかに適切なる考えであった。しかし、それらの外になお化学的エネルギーの如き、物体と不可分離的に結合した、すべて重さのエネルギーなしには表象し得ないエネルギーがあることを忘れていた。そこで、トムソンは一つの物体のすべての状態はそれの有つエネルギーの精確に定つた値によつて特徴付けられるものであり、そのエネルギーが同一の値を有するとき物体は同一の状態にあるということとを強調した。勿論或る一つの物体に対して、これらのエネルギーの全量を評価することは不可能である、何となればすべてのエネルギーを取り去つた如き状態は作り得ないものだからである。しかし種々の状態に於ける全エネルギーの差異は評価し得るものであり、物体の相互作用に関する疑問に答えるためにはそれで充分なのである。この考えは引続き幾度も論述せられ、物体の中に存在する種々のエネルギーを互いに別々に、測定することが、理論的關係に於いても、極めて大きな困難を要するものなることが明らかにされた。しかしまた一方では、この考えが更に一層鋭く押し進められて、終には、『物体』なる概念が、それに内在するエネルギーが取り去られると共に、層一層無なるものに近付き、物体は畢竟エネルギーのみの凝聚せるもの、エネルギーのみの複合体の表象であつて、その背後に存在する無エネルギー的、従つてまた必然的に無性質的の担荷とも称さるべきものは考慮する必要なしとさえするに至つたのである。

第七章 エネルギー論

【五七】エネルギー論なる言葉の中に、我々は、すべての自然現象を現存するエネルギーに関する過程として描写し、解釈するところの原則的思想を理解する。かような自然『記載』の可能性は、種々なるエネルギー種の間の普遍的相互可変換性が発見せられた以前には、決して想到されなかつたところである。それ故に之に着目した最初の人としては、ロバート・マイヤーを考えなければならぬ。

その時代に至るまで一般に自然科学者間に汎く行われたものは、力学、自然観、即ち、あらゆる自然現象を窮極に於て力学的性質を有するもの——すべて『物質』の運動に帰着され得るもの——であるとなす思想であつた。そうしてかかる運動が証明されぬ場合、例えば熱または電気の場合、それは原子、いいかえれば、直接の観察によつては調べ得ないほど微小なる粒子に於いて行われるものである、と仮定した。殊に、哲学者中の最も優れた数学者自然科学者であり、数学者自然科学者中の最も卓越せる哲学者であつたライプニッツは、この普遍的解釈に全く疑問を抱くことがなかつた。そうして、彼の一般的見解の難点及び矛盾は大部分この根本仮定に起因しているのである。而も今日に於いてすらなお頗る多数の自然科学者等が、二千年前の彼等の先達たるデモクリトス及びブルクレチウスに倣つて、『原子の力学』(Mechanik der Atome)の中に、智の最後の結論を見んと努めているのである。

さりながら、この解釈は二つの点に於いて著しき欠点を蔵するものである。即ち第一に、更に多数の証明し得ざる仮定がそれによつて強要されること、第二に、疑いもなく厳存し、我々各人が日常体験するところの・挾義に於ける物理的現象と精神的現象との間の関係が、それによつて表出できないことである。

【五八】第一の点に関しては、それを説明するに先立つて、一般的な科学論からの・当り前ではあるが極めて重要な考察を前置きとして述べたいと思う。即ち、科学は何を目標とするものであるか、及び、科学は如何にして其の目標に到達し得るものであるか、を訊ねて見なければならぬ。

第一の問いに対する答は次の如くである。曰く、科学の目標とするところは現象に関する知識である、と。ここに我々は最後の語を、あらゆる体験——それについて一人の人間が他の人間に報告をなし得る如き——の意味に解釈する。また我々は、その成分並びにその系列が既に我々に目新しいものでなく、従つて我々が既に或る一つの形に於いてそれと類似のものを先に経験したことがあり、記憶によつて現在の体験が以前の経験と同一なることを認識し得る如き現象を、既知なるものと称する。この認識は、何か新しい事態が突発した場合、その事件が如何に経過するかに関して、我々の予見を可能にする故、それが何かしら或る仕方*で*我々の福祉に影響を与える如き場合には、その事件を我々の都合よき方へ導き向けるべく、方策を立てることを得せしめるものである。この事実の中にこそ、並々ならず大きな、科学の生物学的意義が存するのであつて、それによつてこそ、世界は我々に住み心地良きものとなつたのであり、また常に益々かくなると思われるのである。

さて現象のかかる知識は、科学に於いて、極めて多様な手段によつて媒介される。先ず第一に生ずる問題は、或る一人の人間によつて獲得された知識を、如何にして他の人間に了解せしめ得るかである。之に対する最も一般的な方法は、符号による媒介であり、言語は其の中に於いて重要な部分を形成する。何となれば、我々は、現実の事実そのものをその都度他の人々に呈示することが出来ないのであるから、それらの人をして、彼等が自身経験した事実に対する記憶を喚び覚さしめるような手段を講ずる必要がある。この目的のためには、体験を組立てるところの夫々の事物に対して、各々その事物を回想せしめる如き一定の符号を添与し、以て事物の相互間の関係をそれに相応する符号の関係によつて模写することを可能ならしめればよい。

例を以つて説明すれば、それ自身全く任意的符号たる $p \parallel RT$ は、それを知る人々に対しては、圧力及び温度の変化に対する気体の全ての行動に関しての報告を与える。従つてそれは、限りなき多数の個々の観察を、それ一つで代用するところのものであつて、多数の物理学者が引きつづき行い來つた研究を、この狭小なる空間に凝集せし

めたものといひ得るのである。この場合符号はそれによつて表現されるところの数値の動きを精確に横写し得るよ
うに、選択される必要がある。そうして先ず第一に知らなければならぬことは、 p 、 v 、 R 及び T が変数であり、
広い範囲に亘つて勝手な値をとり得るものであるということである。しかし、これ等の中 R は気体の量にのみ依拠
するものであつて、気体の量が一定なる場合は、如何に他の値が変化するとこの値だけは不変に留まる。この場
合、ほかになお三つの変数があるのであるから、その中二つのみが更に勝手な値をとり得るに過ぎない。そこでこ
のような測定をなす場合、対応する既知の値を上式に代入すれば、それによつて得られる第三の値はまさしく実験
によつて得られたものと一致するのである。次に R 以外に T をも恒数にとれば、気体の容積は圧に逆比例する、も
しくは、両者の積が一定の大きさを与えるというボイルの法則が表現せられ、 p を T の代りに恒数にとれば気体の
容積はその絶対温度に比例するというゲイ・リュサックの法則が得られる。

これら多種多様な内容のすべてを僅少の符号の中に含み込ませるためには、一度び或る規則を確定した後、符
号に対応する大きさを——符号の配列を按排することによつて——相互に關係せしめるよう取り計えばよいのであ
るから、茲で実際に問題となることは、現実の關係を、實際自然に於いて觀察されると全く同一の変化性及び相互
間影響を有つた符号によつて横写する、ということである。それ故、式は、その符号を判断する上に指定せられた
普遍的な規則と共に、或る一定の・事情によつては極めて広汎なる範囲にまで、現象其自体の代用をなし得るもの
であり、殊にそれに応じて事実の予言をも可能にするものなのである。

【五九】斯の如き式、また同じことのいいかえに過ぎないが、斯の如き自然法則は、論ずるまでもなく、それが
普遍的なるほど、決定的なるほど、換言すれば其の適用範囲が大にしてその範囲に属する個々の事物に就いて言表
し得ることが多ければ多いほど、それだけ有効なるもの、価値多きものと称さるべきである。従つて現実の事実を
一つの式によつて横写せんとするかのような試みの科学的価値というものは、その普遍性並びに内容の豊富さ如何

によつて吟味さるべき、また決定さるべきものである。そこで我々は、かかる吟味をエネルギー概念並びにそれに先行する諸概念に対して実施してみる必要を感じる。

先ずこの目的のために、力学的自然観を俎上に載せて見よう。力学の諸原理、殊に仮想仕事の法則、並びに、活力及び仕事の総和一定の法則によつて、原則的にいえば、すべての力学的形体の行動——仮令多くの場合に於いて（例えば既に天文学的三体問題に於いて）もはや科学的補助手段たる数学がその問題に普遍的な形に於いて解を与えるに充分でないことが知られているとはいへ——に対して我々は予言をなすことが出来る。従つて我々は、言表の確定性ということに関しては、力学を以て原則的に充分なるものと明言することが出来、未だ解かれざる問題は、適切に将来の仕事として譲渡することが出来るのである。さりながら、言表の普遍性ということに関しては如何であらうか。

それに対しては、ただ、不充、分なり、と答えるより外はない。我々に既知なる現象の中、比較的少数の現象しか、即ち、天文学的現象の多くの場合しか、力学的法則を満足しないということが第一に指摘されねばならない。あらゆる地上の出来事は、仮想仕事の法則のみならず、活力保存の法則にも、従わないものである。我々は、仮想仕事为零に等しくないにも拘わらず、なお平衡にあるところの形体を無数に知っていると共に、この世界にある形体で保存の法則に従う如きものは一つとして知らないのである。この偏倚の原因となるものは、我々が摩擦と呼ぶところのものである。従つて、茲に、摩擦の現象をも力学法則の中に受け容れんとする課題が提出されることになる。しかし、この問題を力学的な『摩擦の力』の導入によつて解かんとした今までの試みは、何れも必然的にかの両つの力学法則を侵害するの結果を惹き起すに過ぎなかつたのである。そうしてロバート・マイヤーが、力学的な仕事及び活力の外になお別の——仕事や活力がそれに転移し得る如き——或るものが幾つか存在するという解釈、殊に摩擦なる現象は、畢竟、力学的なエネルギーが熱に転移する場合をいうものであるとの見解を公けにして後、始めて、

両者の間の科学的な連関が再び明らかにされるに至ったのである。

さて、かような連関を得る上に、二つの可能性が存在した。その一つはヘルムホルツ、ジュール、及び彼等に続く一系列の学者達によって選択——というよりは寧ろ継続——されたものであつて、古い力学的自然観を非力学的分野にも拡張せんとするものであり、この際普遍的なるエネルギー法則は、これらの分野の力学的性質の一帰結として、現われるとなすものである。何となれば、この法則は、力学的なる形体に対しては、少くとも極限法則として立てられたのであるから。之に対する第二の可能性は、マイヤーによって見出されたものであつて、原則的に新しい道を提示するものである。即ち、力学的現象なるものも、普遍的なるエネルギー、変転——それはすべて保存の法則に従うものであるが——の、一つの、特別な場合に過ぎないと看做すものである。従つて力学的法則は、普遍的エネルギー法則の特別な場合に過ぎず、力学的エネルギー以外には他種のエネルギーが関与しないという前提の下に於いてのみ適用されるのである。之によって同時に説明されることは、そもそも力学的保存法則があらゆる場合に厳密なる適用性を有しないのは何故であるか、という疑問である。即ち、この世界に於いて起る過程は、すべて、力学的エネルギーの非力学的エネルギーへの変転を伴うものであり、従つて、斯の如き変転を伴わずとなす仮定の下に於いてのみ成立する法則が、厳密なる適用性を有するような場合が絶無であると云つても、別に不思議はないのである。ただ、天文学的現象に於いては、力学的エネルギーの占める場所は並々ならず大きく、それが他種のエネルギーに転移する可能性が極めて僅少であるがために、實際上、天文学的現象を純力学的過程であると解釈し表現することが可能となるのである。⁽¹⁾

(1) しかし、既に慧星に於いてこの可能性は消滅する。

【六〇】この両者の見解の中、何れが優越の地歩を占めるべきかは、これまでの考察によつて、最早疑いを容れる余地なきものであろう。物理現象の適切なる模写は、模写する材料が厳密に、原物の特性に従つて形作らるべきこ

と、並びに、それに従つて模写が行われるところの規則が、完全に、原物に内在するところのものに対応すべきことを要求する。然しながら、かかる模写を、それ自身既に一定の形体性を有する材料によつて行わんと試みるならば、それは、原物の性質中には存せず、却つて材料の性質中に存するところの異様な關係を、結果の中に押し込めることになる。具体的なる場合を例にとつて説明しよう。力学的過程の本質としては、空間的運動が挙げられる。反之、熱或いは電氣を帯びた物体は、かかる運動を示さない。従つて、それらの状態を力学的な思考材料によつて記載することを得るためには、或る種の運動——而も我々に不可視なる運動——をそこに捏造する、要が生ずる。すべての運動は必ず或る一定の方向及び速度を有するものであるから、茲に我々は、不可視なる運動に対しても、或る方向及び速度を捏造しなければならなくなる。しかし、それは証明したり測定したりすることの不可能なものである以上、この運動が如何なるものであるか、この運動は如何にして決定し得べきものであるか、に關して当然疑問が提起される。見られる通り、この問題は描述すべき現象の性質そのものから生じたものでは全然ない。何となれば、それが全く運動を呈示しないものである限り、この問題は、運動なる概念を全く顧慮することなしに、解決し得べきものなのであるから。従つてこの問題は、非力学的なる現象を力学的なりとする勝手な假定から生じたものと云うべく、マッハの適切なる表現を籍りれば、これは全然一つの似而非問題 (Scheinproblem) と称さるべきものなのである。

斯の如き仮説的な順応的仕事が決して満足すべき結末に到達することなく、種々なる種類のエネルギーの上に立てられた力学的仮説がすべて晚かれ早かれ其の不充分なることを示したという事実、並びに、現在物理学の広き分野に亘つて力学的なる仮説が概ね揚棄されるに至つていくという事実も、上記所論によつて其の拠つて来る所以が明らかにされたであろう。そこで今度は、力学的に代えるに電氣的を以てなさんとする試みが行われ始めた。然しながら、物化学に於ける電氣的仮説の運命を思いやるならば、その物理学に於ける将来に対しても、大なる希望

は懐き得ないと云うより外はないのである。

【六一】さて、以上と反対の側面に位するものはマイヤーの見解である。彼の見解は、エネルギー概念を以て最も本質的な概念となすものであるから、我々は、之をエネルギー論的と名付け度い。この見解の支柱となるものは、エネルギーは実際相互に異なるものである、という基礎的事実である。何となれば、若し異なるものであるとすれば、我々はそれらを区別し得ない筈だからである。勿論、より精巧に有機化された本体——我々自身、我々の精巧なる観測器械を作製することによって斯くなり得るものであるが——がその差異を認識し得る事物を、我々が識別し得ないというようなことも考え得られる。さりながら、我々がその差異を認識し得る事物が互いに同じものである、ということは決してあり得ない、何となれば、若し然りとすれば、如何にしてそれらが、我々の感覚器官に対して差別的に作用し得るかに関しその理由を見出し得ないからである。(勿論この際我々の感官が比較可能な状態にあることは前提されているわけであるが)。従つて、我々が熱と活力、仕事と光を識別し得るならば、我々はそれらが異なるものである、ということを確認してよいのである。

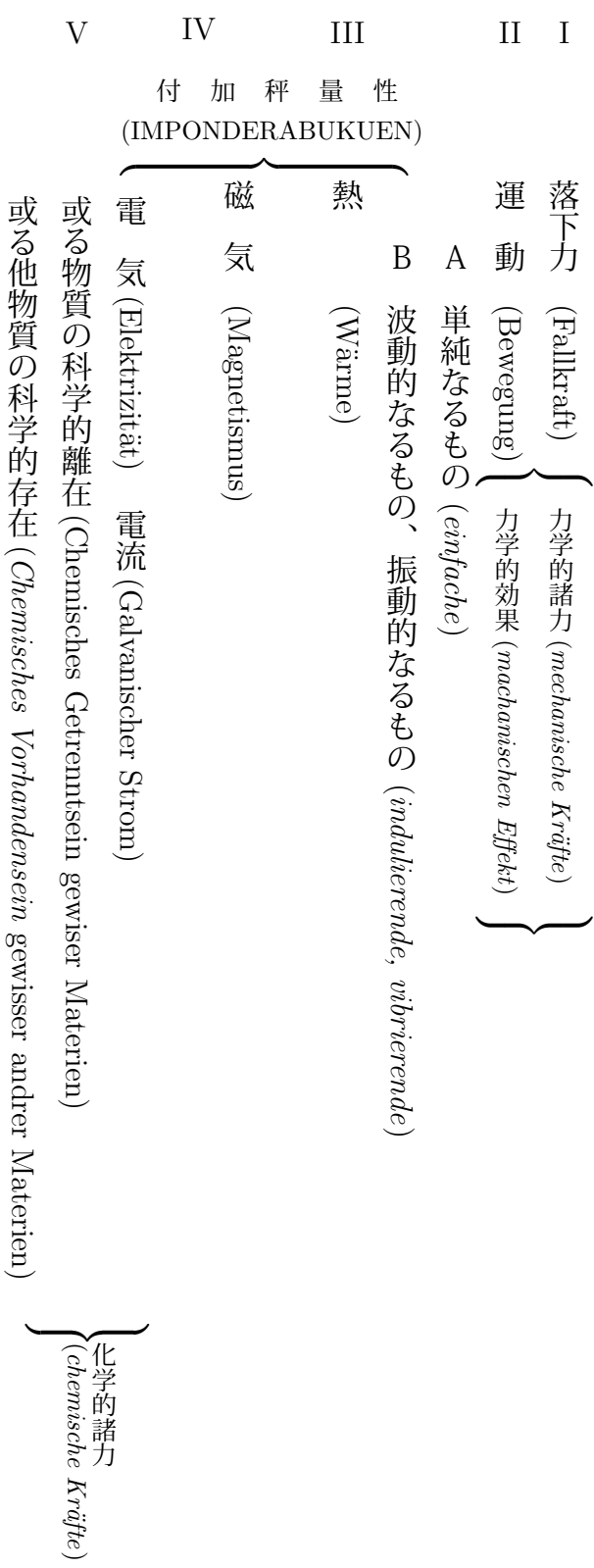
そこで、科学に課せられた使命は、現実の事実に適切なる表現を与えるために、このような差別を、最も鮮鋭に、最も明確に、作り上げることである。しかし、すべてのエネルギーを力学的なりとする仮定によつては、我々はこの科学的使命に対し真向から反対することになる、何となれば我々は、そこに存在する差異を明らかにするどころか却つて抹消し、研究すべき現象の叙述の中へ、現象其自体に根付かざる——ただ我々の恣意的なる附加物中に存するに過ぎないところの——特殊性を持ち込むのであるから。これこそは、ニウトンが“Hypothesis non fingo”なる格言を以て拒斥したところの仮説(Hypothesis)に他ならないのである。茲に仮説とは、彼の言を籍りて説明すれば、次の如くである。『即ち、すべて現象から導かれるのではないものは、仮説である、而して、それが形而上的なものであれ、形而下的なものであれ、或いは、力学的なるものであれ、潜伏的性質を有するものであれ、仮説なるも

のは、絶対に、実験物理学の中に受け容れられてはならないものである。実験物理学へ導入されるものは、諸現象から得られた法則であつて、帰納法によつてそれが普遍化されるのである』。そこで、エネルギー論の方法を、次の言葉以上に、適切に特性付けることは不可能である。即ち、エネルギー論は、種々なる種類のエネルギーの性質を、諸々の現象より誘導し、それを帰納法によつて普遍化するところのものである、と。ここに、帰納法とは、今まで観察せられた場合の一致から、将来我々が遭遇するかも知れぬ・あらゆる相応した場合に、同一の行動が起ることを推定することである。エネルギー保存法則が発見せられて以来、既に一世紀の大半が経過し、その間、それ以前の両世紀になされたより以上の多くの実験及び測定が行われて来た。しかし、未だ保存法則と一致せざる事實は一度たりとも観測されなかつたのである。ラヂウムの休みなき熱発散の如き、これ迄の経験の範圍外に属する場合も、それが精密に知られなかつた間は、保存法則と完全に背馳するものと思われていたのが、結局終にはそれと完き一致に持ち来らされたのであつて、我々は、他の多くの自然法則の場合の如く、個々の矛盾を将来必ずや満足すべき説明が得られるであらうとの希望を以て今後の研究に委ねる、というが如き必要すらないのである。

【六一】そこで我々は、本章の内容をなすところのエネルギー論の發展歴史に於いて、マイヤーこそ最初のエネルギー論者であると看做みなさなければならぬのである。彼は、エネルギーを一つの現実なる実体と観じ、それをかかるとして物質と相並ばしめ、兩者をただ可秤量的なるや否やの差を以て區別した。(51頁参照) そうして熱もまた何かしら或る一種の運動であるとの仮定を、次の如き言葉を以て拒否したのである。曰く、『我々はむしろ反対に、熱たり得るためには運動は運動たることを止めなければならぬと推論したのである』と。彼は更に語をかえて、種々なるエネルギー種の——それらの相互間変換性と同様に重要な事実であるところの——独立性を、確立している。

従つて、彼は、既知エネルギー種の表を作製した最初の人でもあつたのである。その後科学の進歩に伴つて、多

くの種々なる変改が加えられたとはいえ、彼の作った表は、歴史的に見て頗る顯著なる意義を有するものであるから、以下に能う限り原形を損することなく再現させて見た。



【六三】マイヤーが、近代的な意味に於いてもまた真のエネルギー論者たるの名を辱かしめないというもう一つの標徴は、彼が仮説を嫌忌したことである。之に就いては、彼がその友バウルに宛てた次の如き特徴ある言葉が見出される。『仮説とは、代数学者が彼の解くべき x の代りに一つの u を置いた場合を云う』と。我々は、似而非説明の特性——それは、直接的な現実の代りに或る可能的な像を代置することに存し、これが畢竟仮説を作ることになるのであるが——をこれ以上適切に言い表わすことが出来ないであらう。

茲に於いて、現在の科学に於いてもなお多数に存在するところの仮説愛好者によつて常に抹殺され、見過されて
 いる・一つの区別を、新たに指摘する必要がある。即ち、それらの人々は、すべて一つの自然法則が設けられるに
 際しては、常に、事物は過去に於いて振舞つたと全く同様に未来に於いても振舞うであろうという『仮説』が存在
 し、之は決して証明され得ず、ただ常に仮定され得るのみであるから、畢竟仮説なるものも捨て去るわけには行か
 ぬものである、と駁論するのが常である。而して之はまことに何処から見ても確かに容認さるべき事実ではあるが、
 しかし、之から結論され得ることは、唯、我々は科学に於いて常に仮定(Annahme)を適用する必要がある、という
 ことに過ぎないのである。ところで、仮説(Hypothese)とは、それを検証すること、不可能である、という特別な性質
 を有つた、仮定なのであつて、一方、科学的な仮定は——既に数年前私はそれにプロト、テ、ゼ、(Protithese)と命名す
 べきことを提唱したが——まさしく上と反対の性質、即ち、検証可能という性質を有つたものなのである。

それ故、ニウトン及びマイヤーが忌避すべしとなした意味での仮説とは何であるかを認識するためには、それが
 如何なる事物の上にその言表を押し拮めているかを調べて見れば足りるのである。即ち、電気はエーテルの或る円
 形運動の中に成立するものであるとか、熱は原子の或る不規則なる運動によつて起るものであるとか主張する人は、
 その場合、仮説をなしているのである。何となれば、この主張は——少くとも現在の科学方法を以てしては——検
 証し得ないものであり、従つて当該問題のさらに一層より良き知見へ導く底のものではないからである。反対にそ
 れは、(83頁に示した如き性質を有つ) 無数の似而非問題に導くところのものであつて、それ故また——それが科
 学の促進のために用いらるべきエネルギーを無目標的に濫費するものである点に於いて——却つて科学の上に直接
 的な障害をなすものである。反之、仮りに私が、今しがた発見されたばかりの新しい気体が——それが気体的性質
 を有することを先ず単にその外見から推定して——ボイル及びゲイ・リュサックの法則に従うものであるという仮
 定をなすとすれば、この場合なされたものはプロト、テ、ゼであつて、何かしらこの仮定の正当性を疑わしめる動機

が与えられた場合にも、それを検証することが可能である。即ち、この場合此の新しい気体が普遍的なる気体法則に従って行動することが証明されたのであるにしても、或いは逆にもっと顯著な事実、即ち外見上全く気体の如くでありながら他のすべての気体に対して通用する法則に反する如き行動を呈する・或る新奇なる物質の存在するところが証明されたのであるにしても、何れにもせよ、私が之によって科学の内容を豊富にしたことには変りがないのである。

【六四】以上の理由より我々は、マイヤーこそ最初のエネルギー論者たるの名に応わしい人であると言わなければならない。たといマイヤーが、この基礎的概念に対し力(Kraft)なる名称を固持せんと決意し、エネルギーなる言葉はつくりもせず、利用もしなかつたとはいえ。反之、最初にこの言葉を作り、かような意味での思想的な突進をも試みた人、即ち英国の技師ジョン・マークオーン・ランキン(John Marcquorn Rankine)は、本来の意味に於いてエネルギー論者たるの名を受ける資格がないと言わなければならない。ランキンは、一八五五年、彼がエネルギー論(Energetik)と名付けた学問について一短論文を発表し、一、二の普遍的原理によつて物理学及び物化学の全体を包括せんと試みた。この点に於いては、『力』に関する一覧表(93頁)の中に物化学的現象を入れることを忘れなかつたマイヤーと、全く立場を同じくしている。然しながら、一得に伴う一失として、彼を本質的にマイヤーから区別すべきところは、彼がジュール及びヘルムホルツの力学觀的仮説を一步も出でなかつたこと、並びにそれによつて、本来のエネルギー論の有つ最も本質的なる側面、即ち仮説からの解放を忘却したことであつた。

この不満足なる立場の残渣は、今日に到るまで、この領域の科学的術語の中に残存している。即ち、ランキンが先ず導入し、トムソン始めその他多くの著者によつて其後再び受け容れられたところの・顯在的エネルギー、及び潜在的エネルギー、(aktuelle und potentielle Energie)なる目的に適わぬ区別がそれである。この区別を行わしめた原因が力学觀的仮説にあることは論を俟たない。これに由れば、すべて存在するエネルギーは、活力か或いは張力の何

れかに属せしめられる。はつきりした例を以て示せば、或る一定の質量は、地面より高く持ち上げられて落下すれば仕事をなし得る、という点に於いて張力を有するか、或いは、之が与えられただけの距離を墜落してそれ相應の速度を得たということによつて活力を有するか、将又、之がその落下距離を完全に通過し切らず今なおその途中にある、という限りに於いてそのエネルギーが兩種のものより成立っているかの何れかである。

さて、この兩つふたのエネルギー種の中、活力のみを顯在的、即ち現実的なるエネルギーと視、張力を単なる潜在的、即ち可能的なるも現実的ならざるエネルギーと看做みなすことは、疑わしき処置といわなければならぬ。何となれば、實際、保存法則に従えば、すべてのエネルギーは——我々の思惟し得るものは現実の事実以外にはないという限りに於いて——現実的なるものであつて、非現実的なる（本来のものとしては存在せざる）エネルギーが現実的なるエネルギーに変換するとか、またはその逆に変換するとか、仮定することは許容し難いことなのである、第二にまた、上記兩つふたの力学的エネルギー以外には一般に他の如何なるエネルギーも存在せず、我々が現在或いは将来に自然界に於いて遭遇する総てのエネルギーは、必然的に力学的なるものであらねばならぬ、との主張は、最も広い範圍に亘わたつて証明されて居らぬ仮説に過ぎないのである。最新の著述の中にもなほ屢々しばしば固執されている。この顯在・潜在なる區別が不満足なるものであることは、多数の良く知られたエネルギー、殊に電氣的及び磁氣的エネルギーに就いて、それらがこの何れの類に属すべきものなるかが今日なお人々によつて見解が区々である、ということからも最も明瞭に看取することが出来る。このことは、則ち、或る一つのエネルギーが顯在的なるや潜在的なるやに關して、我々がそれと認識し得る如き・客觀的もしくは即物的なる標徴が存在しない、ということをおしえるもの以外ならない。多くの場合、熱を以て顯在的、化学的エネルギーを以つて潜在的なるものと看做みなすのは、全く恣意的なる因襲に過ぎないのであつて、この見解の代表者達といえども、之に反対する主張を説破することは、頗る困難に相違ないのである。

顯在的及び潜在的なる言葉を適切に付与し得るためには、顯在的としては、現に存在するところのものを意味し、潜在的としては、現に与えられた條件の下に於いてその時存在するところのものから形作られ得るものを意味するより外はない。かかる意味では、持ち上げられた質量に於いては張力または遠隔エネルギーが顯在的であり、運動エネルギーは潜在的であるが、落下の後には關係が全く逆になる。また振子の場合には高位置に於いては遠隔エネルギー、低位置に於いては運動エネルギーが顯在的であるが、振動の間には両者のエネルギーは不斷にこの兩つの特性を交替するわけである。

【六五】ランキンの思想は、これまで述べた点では——そうして其の上明瞭さに於いて欠くる処があつたために——エネルギー論の發展に対して全く功無きものではあつたが、彼の思想の副産物として得られた、これまた勿論明瞭なる結果を産まなかつたがしかし後代他の人々の手によつて独立した意義を持ち来らされるようになったところの見解は、茲で述べて置く必要がある。即ち、エネルギーは多種多様であるが、如何なるエネルギーも、すべて、二つの因子の積として表現され得る、という点に於いて一致する、という觀察が夫れである。もつとも、この二つの因子は、各エネルギーによつて夫々に特性的に相異なる性質を有つものではあるが、之を今暫定的に強度(Intensität)及び容度(Extensität)と名付けることとすれば、すべてのエネルギー種が有する二つの因子は必ずや、その一つが強度の性質を有し他の一つが容度の性質を有する、というのがランキンの発見である。勿論、この考えも、ランキンに於いては尚かなり奇態な形をとつていたが、その後に至つて、一般エネルギー論に対する極めて重要且つ効果多き構材たることが明らかにされたのである。

第八章 強度の法則

【六六】既にマイヤーは、上述した如く、第一主法則に関して種々なるエネルギー種の行動に本質的な一致が存するということ認識し、且つ強調した。勿論、彼の最初の発表論文の重点は、屢々述べられた如き彼独自の確信によつて、仕事 \parallel 熱なる等式、並びに任意の尺度を以て測定せられた此の兩者の値の相互的換算を可能ならしめるところの係数の計算、即ち、熱の仕事当量の見積りということの中に置かれていたのであるが、彼は決して彼の思想を斯の如き単一なる関係にのみ局限せず、仕事以外のあらゆるエネルギー種が、熱と同様、すべて同一本質のものなることを認知していたということは、93頁に挙げた表からも、明らかに証せられることである。そうして、有機的の運動（この標題の選び方は余りにも狭すぎるのであるが）に関する同じ仕事の中では、各個のエネルギー種の間での対的關係が、その対応する転移型と共に明瞭に立てられていることが出来るのである。

そこで、茲に起る疑問は、カルノーの根本思想を以て、之と類似の普遍化を行うことが出来ないであろうか、ということである。勿論、カルノー自身がかような普遍化を考えなかつたことは疑いを容れない。然し、当時にあつては、第一主法則が未だ知られていなかったことによつて、エネルギーなる普遍概念が一般に成立して居らず、この概念の最も本質的なる部分、即ち転移の思想が未だ確定されて居らなかつたのであるから、カルノーの思想の拡張が可能なりや否やの疑問が提起される前に、先ずエネルギー概念其自体の発展が必須であつたのである。当初は、斯の如き疑問は大體否定さるべきものであるかの如く思われていた。既に論及した如くウィリアム・トムソンは、エントロピーの法則から我々の宇宙の存続に関する遠大なる帰結を導出した。そのような推論は、それまでに知られていた・他の物理学の諸法則を以てしては不可能なるものであつたから、斯の如きことは、他のすべてのエネルギー種には見られない、而して第二主法則によつてその表現を得るところの・熱のみが有する全く特別なる性質の現われに過ぎない、となす想像が最も当を得たものとして考えられたのである。

ところがまた一方では、疑いもなく存在する・他のエネルギー種との間の類似性を指摘する如き声ごとが、偶々各処たまたまで聞かれるに至った。あらゆる種類のエネルギーの値が、夫々特別なる性質を有する二個の因子に分解され得るといふランキンの所説は、既に触れて置いたところであるが、エネルギーと近い関係にある或種の大きさに見られるかのような類似性をこの人よりも遙かに明瞭に、また遙かに力強く指摘したのは、エルンスト・マッハ (Ernst Mach) であつた。彼は、それに相応した等式が、物理学の種々なる分野に於いて一致した形をとることを呈示した。彼はまた、仮想仕事に関する力学原理を正しく模造したところの一つの原理、即ち、一つの形体の中に合一せしめられた種々なるエネルギー種の平衡は、その形体の或る仮想的な変化に際して生起するエネルギー量とその際消失するエネルギー量との総和が零に等しいときに成立する、という原理を最初に応用した人である。しかし、彼は、この原理を決して普遍的に且つ熱力学第二主法則の適切な拡張としては表現しなかつたように思われる。

同様に、ウイラード・ギブス (Willard Gibbs) も、観察した総てのエネルギー種を、夫々二個の因子の積として、同型的に表現しようとした人である。然し、果して彼がこの両因子の本性の事実的區別を概念的にも定義したかどうか、それとも、この功績は最初の人としてクラーク・マックスウェル (Clairk Maxwell) に帰せらるべきであろうかどうかに就いては、私は孰れいずに決着すべきかを知らない。⁽¹⁾

- (1) 一八八四年に出たパッチソン・ミューア (M. M. Patison Muir) の『物化学の原理』(Principle of Chemistry) の三九四頁、ウイラード・ギブスの業績の報告の中に次の如き章句が見出される。『或る形体の安定性は、その形体の諸々の大きさ (magnitudes)、即ち、成分の量、容積、エントロピー等と共に、その形体の諸々の強度 (intensities)、即ち、圧力、温度、成分のポテンシャル等に依拠するものである』と。しかし、そこに引用せられてゐるギブスの論文にはこのような記述が見出されず、同時に引用されているクラーク・マックスウェルの講演 (サウス・ケンシントン会議、一八七六年) は私の手に入らなかつた。従つて、ここで最も明白に言表わされている・エネルギーの因子の區別及び特性付けはマックスウェルより出たものと見るのが非常に確からしいと思われる。

【六七】 温度、圧力、電圧、化学ポテンシャル、その他の値を、統一的に当該エネルギー種の『強度』として表

示することは、一般的に次の如きことを指示する、即ち、カルノーが温度に於いて認めたと同様なる性質が他の強度に於いてもまた見出されるであろうということ、殊に、エネルギーの変換（カルノーの意味に於けるエネルギーの遷移）が生起するのは——温度の差が存するときのみ熱が仕事をなし得るのと同様——このような強度に差がある場合のみであるということである。しかし、これらの性質が完全に普遍的な表現をとつたのは、ゲオルク・ヘルム（Georg Helm）に於いて始めて私は夫れを見るのであって、彼は、その著『エネルギー論』（Lehre von der Energie, nebst Beiträgen zu einer allgemeinen Energetik）のなかで、次の如く語っている。『あらゆるエネルギー型は、すべて、その高い強度の位置から低い強度の位置へ向つて遷移せんとする志望を有するものである。而して此の志望を果し得た時、それは、開放されたと称する。』

勿論、この一般的命題は——その意義に就いては間もなく更に詳しく研究したいと思つてゐるが——疑問に対して完全な解答を与えるものではない。それは、或る一つのエネルギー過程が起るに必要な條件を与えるものではないが、決して充分なる條件を与えるものではない、何となれば、それは、解弛されたエネルギーと未だ解弛されざるエネルギーとの間の區別に就いて、何らの説明をも与えないからである。これは、後段に於いて他のエネルギー因子の性質に関する研究から説明せられるであろう。今は先ず、強度の性質について少しく問題を取り扱わなければならぬ。

第一に我々が認識することは、強度は決して通常の意味の『大きさ』ではないということである。周知の如く、大きさというものに対しては、二つの同じ大きさを合一せしめれば二倍の大きさが生ずる、という命題が通用する。しかし我々が二つの同じ温度を合一せしめても、即ち同じ温度の二つの物体を互いに接触せしめても、温度は決して二倍とならず元の一定の温度を持する、ということが見られるのみである。

そこで、我々が事柄を更に精確に研究せんとするならば、二倍の大きさの温度と云うが如き表現は、全く何らの

意味をも有するものではないのである。我々は、本能的に、一つの温度の大きさ、という如き言い方を避け、好んで、温度の高さなる言葉を用うるのであるが、高さというものは、二つの同じ高さを並べて置いても決して二倍の高さが得られず、元のままの高さが示されるのみである。この点に於いて、上と同様な性質を有つものと称し得るのである。

茲で、批判的な読者は抗弁されるかも知れない。『いま、お前は並べて置くといったが、誰が並べてと命じたか。高さというものは、重ねて置けば、二倍になるものではないか』と。

之に対する私の答弁は、こうである。『それでは、どうか二つの温度を重ねて置いて見て下さい』と。この場合は、どの点から温度を算え始めるかに就いて、我々が先ず一致することが先決問題である。ところが、万人が既に承知している如く、氷の融解点を以て零度となす通常の算え方は、全く任意的のものに過ぎず、英国及び米国に於いて慣用せられる華氏寒暖計は全く異つた零度、即ち、氷点下華氏三二度から始まるものである。従つて我々が、摂氏を用いて、二〇度は一〇度の二倍であると称しても、それは、華氏に就いて云えば、全く誤りである。何となれば、摂氏の二〇度は華氏の六八度であり、摂氏の一〇度は華氏の四〇度であるから、後者は決して前者の半分とはならない。しかし、学識ある抗弁者は更に言葉を差挟むであろう、『では、我々は、絶対零度から算え始めよう。さすれば、如何なる目盛を選ぼうと結果は同一であるから』と。勿論、この抗弁者は、こと目盛に関する限り正しいであろう。さりながら、絶対零度と称するものは未だ何人も到達し得なかつた処であり、かような温度が現実存在するや否やを明言し得る人は無いのである。換言すれば、如何なる温度計算法を用いようとも、その原点に関しては避け得られざる恣意が存するのであつて、純粹なる大きさの概念を之に応用することは、全く確固たる意味を有しないものなのである。高さに就いても事は同様である。我々は一体、何処から高さを算え始めるべきであろうか。頂点なるものは、我々は、明らかにそれと指示することが出来る、例えば、我が家の避雷針の先端と云うが如く。然

しながら高さというものに就いては、それを地面から測るとした処で、直ちに非常な困難に遭遇せざるを得ないのである。即ち、我が家は山の中腹にあるため、第一その地面といつても、どの点を選ぶかによつて全く異つた高位を与えるからである。そこで今度は、地球の中心から測ればよいと考えられるが、この場合も、矢張り同様の困難、即ち、未だ何人も地球の中心なるものを知らず、仮令それを温度の場合の絶対零度の如く計算によつて知り得るものであるとしても、そうして、この計算が、かの避雷針の先端の高さを家または地面の任意の点から測定するのに比して遙かに不正確なるものであるという事情を全く無視しても、なおかつ恣意であるとの謗りは免れるわけには行かない、という困難に衝き当るのである。

之と全く異なるものは、本質的な大きさである。例えば、或る任意の質量の大きさは、その単位が一度び確定された上は、何らの困難もなく挙示され得る。何となれば、質量なるものは、大きさをえ挙示すれば、それによつていい尽されるものであるからである。或る質量が二分されたとする、さすれば、両半分は互いに全然相違なきものであり、両者の何処を取つても全く正確に質量として同一の性質を有するものである。反之、高さ或いは温度を分割すればその切片は各々特色を有するものである。何となれば、一方はより、高いものであり他はより、低きものであるから。而も両切片はただ、それらが分割された場所に於いてのみ接合され得るものであつて、その場所以外での接合はすべて反義的なるものであり、不可能なるものなのである。

【六八】そこで一般的に次の如きことが明らかになる。先に述べた種々なるエネルギーの強度なるものは、多少とも任意的な、特別の前提の下に於いてのみ数を配当することが出来るという特徴を有している。もつとも茲に数といつてもそれは本質的に大きさを挙示するものではなく、むしろその個々の値を互いに継続配列せしめるための順序を挙示する如きものである。而して、当該エネルギーの他の因子（之は常に大きさの性質を有する）を乗ずることによつてエネルギー其自体の値（これ亦大きさの性質を有するものであるが）が与えられるという・一定の前

提を置くことによつて、強度というものに対しても、或る制約せられた、もしくは媒介せられた・大きさの値を附することが出来るのである。この様な事は、物理学に於いて既に古くより無意識的に行われて来たことなのであつて、従つてまたこのような点に関しては、現在行われている概念でエネルギー論が新たに変改を加えなければならなかつた様なものは極めて数少いのである。

果して然らば、強度なるものは、一体如何なる性質を附与さるべきものであろうか。先ず第一は、二つの強度が夫々第三者に対して等しいならば、それらはまた互いに相等しい、ということである。この命題は、自明的なるものではない、何となれば、それは、真の大きさに対してのみ一般に適用されるものであり、他の値に対しては先ず証明されなければならぬものであるからである。

さて我々は、二つの温度、例えば水を入れた一つの容器の温度と油を入れた他の容器の温度が相等しいというが如きことを如何にして確定するであろうか。我々は、先ず一つの液体の中へ寒暖計を挿入しその読みを取り、次に他の液体の中へ挿入してその読みに変化があるか否かを調べる。そうして、若し変化がないならば両者の温度が相等しいとなすのである。

この場合、上に述べた法則は、既に使用されている訳である。我々は先ず一つの液体の中へ寒暖計を挿入した。その際両者の温度が相異なるかぎり、熱は一方から他方へ向つて移動し、そのために寒暖計の水銀柱は上昇するか、或いは下降するが、その位置が最早変化を示さなくなつた時に、我々は両者が同一の温度をとつたと仮定したのである。このことはとりも直さず、熱が移動した（何となれば、之のみは寒暖計の水銀柱の動きによつて推定し得るものであるから）という事実から、始めて我々が温度の相違があると認知した——より精確に言えば、この如き事実を、我々が、温度の相違と名付ける——ということに他ならない。このような事実を離れても我々は温度の相違を感じ得る、というのが如きことは、決して主張することが出来ない。我々が感ずるものは、ただ熱の移動のみであつて、

それがために、熱の移動が速かに起る冷い鉄片の方が、熱の移動の緩慢な同じ冷たさの木片よりも、我々により冷たく感ぜられるのである。然るにもし両者が共に手の温度と相等しい温度を有するならば、即ち、熱の移動が起らないならば、それらは同じ暖かさを有つものと感ぜられるのである。そこで我々が寒暖計の実験から結論し得ることは、寒暖計と水との間及び同じ作りの寒暖計と油との間に、熱の移動が起らないならば、水と油とを直接に接触せしめた場合にも熱の移動は全く見られないであろう、ということである。即ち、ここで問題となつた事實は、これによつてはそうでないことがあるかも知れぬ故その規則の正しい生起は経験を俟つて始めて確定されねばならない、といったような事實であることは明らかである。実際上の法則は全く普遍的なるものであり、種々なるエネルギー種のあらゆる強度に対して、同様に適用され得るものなのである。

【六九】茲でまた読者は考えるであろう。ともかく、それはそうかも知れぬ。然し、何のためにかほど自明的な事柄に就いて、そのように長たらしい論議が必要なのか、と。之に答えるために我々は、一度、そうでない場合を考えてみたいと思う。即ち、例えばここに二つの液体があつて、それらが互いに熱平衡にありながら、それへ挿入される第三の物体（例えば寒暖計）に対しては異つた温度を与えるような性質をもつものを、想像して見よう。

そこで今我々は、寒暖計の代りに蒸気機関の如く熱によつて働く小さい機械をとり、その汽罐に当る部分を、第三者に対してより高い温度を与える液体に接触せしめ、冷却器に当る部分をもう一つの液体に接触せしめる。一方、両液体は互いに直接接触せしめることが出来るであろう。然る時は、この機械はその両部分の温度差によつて動き始め仕事をなす筈であるが、この仕事をなすためには、機械は第一の液体から熱をとらなければならぬから、従つてそれを冷却せしめるが、第二の液体に対しては仕事に変換されなかつた分の熱の与えるから、従つてこれは暖められる筈である。しかしこの差異の結果として、熱は第二の液体から第一の液体に向つて移動して、両者の温度が相等しくなるに至る。ところがこの結果はまた機械をして新たに働きを起さしめる原因となり、畢竟、機械は無際

限に働き続けることになる。従つてこの全形体は不斷に熱を仕事に変換せしめ、その際、それに応じただけ自体を冷却し、始めの温度、もしくは外圍の温度の下で、欲するがままにこの如き仕事を続行し得るであろう。従つて熱は、外圍から更に供給され得るであろうから、結局、宇宙の熱は全部仕事に変換され得ることになるわけである。

我々は斯の如き型の不能機関を既に71頁に於いて知り得た。カルノーが彼の法則の支持となしたのも、この様な場合である。しかしここで問わなければならぬことは、カルノーの論証は、もし彼の用いた誤つた前提、即ち機関を通つた熱量には変化がないとする前提が捨てられた場合には如何に形作らるべきであろうか、ということである。勿論、証明其自体に対しては、この誤謬は何ら有害なものでないことは先にも触れて置いた通りである、何となれば、低温部に於いて放出される熱量は、その証明に対して本質的なものとしては、考慮されなくともよかつたからである。然しながらこの重要な事柄に関して思想的に完全な解明を得ておくことは、万人に欠くべからざる必要事であろう。

先ず、カルノーの原理が正しくないものと仮定し、効率の異なる二つの完全熱機関を作製することが可能であると仮定する。然るときは、その兩つの機関を適當に結合することによつて、欲するがまま多量の熱を低温部から高温部へ持ち上げ、それによつて、欲するがまま多量の仕事をなすことが出来るであろう。この仕事は無から生じたものではなく、それ相応の熱の消費を條件とするものであるが、その熱は外圍より欲するがままに採り入れることが出来るものである。何となれば、今述べた兩機関の組合せは、必要に応じて、低温部の熱を高温部へ——その際それを全く消費する如きことなく——持ち運ぶことの出来るようなものだからである。

従つて我々は、茲に、第一主法則を侵害しないが第二主法則には違背する如き一機関を得たことになる。而もその機関は、永久機関としての全く充分なる実用的価値を有するものである。それは、勿論、無から仕事を創造するところのものではない。しかし、仕事を費消した後常に生ずるところの無価値な熱を、その力の源となす如きもの

である。かような永久機関もまた、經驗的に見て、不可能である。我々は、之が第二主法則に反するという意味に於いて第二種永久機関と名付け、第一主法則に反する第一種永久機関と区別する。従つて、第二種永久機関が不可能なりということとは、第二主法則の本質的内容を表現するものなのである。

第二主法則を斯く解することによつて、先に述べた温度の性質に関する考察は、之と直接的な連関を以て結び付けられ、我々の『自明的』な温度法則は、忽然、予期せざる展望を茲に得ることになる。即ちかの法則に違背することは取りも直さず、第二主法則、いかえればエネルギー保存法則と同様に普遍妥当なる一つの法則を棄て去ることになるのである。

【七〇】全く同一の法則が他のすべての強度に就いても適用されるといふことは、直ちに認められるであらう。之を一般的にいえば、二つの形体があり、それらが夫々第三の形体と或一定のエネルギー種に関して平衡にあるときは、第二種永久機関が不可能なるかぎりそれらはまた互いに平衡にあらねばならぬ、ということである。

この考察は、エネルギー論第二主法則の根底に横わる・極めて簡単な関係を認識せしめるものである。はじめにクラウジウスによつて与えられた・多少とも見慣れない数学的な形によつて、また、彼が導いた重要な結果に到達するためにはその媒介がどうしても必要であつたところの難解なる運算のために、第二主法則は、第一主法則の一目瞭然たるに反して、極めて難澁なる、理解し難きものであるとの世評を得て了つたのである。然し、第二主法則の実質的内容を簡潔に要約して、静止せるエネルギーは、自発的には運動を始め得ないものである、というときは、この法則も殆んど陳腐ともいふべき形で表現せられるのである。静止せるエネルギーとは、運動を起さないもの意であり、これ以外の特徴を我々は静止せるエネルギーに対して与え得ないのであるから、上の法則の言い表わすところも、一度びエネルギーが實際静止の状態に入った場合は、それは現実にそうして持続的に静止しているといふこと以外にはないのである、言葉をかえていへば、或る一つの形体に於ける時間的な変化が一度び停止した曉に

は、それに対して外からエネルギーが供給されないかぎりそれは永劫に停止している、ということである。

第九章 物質的因子

【七一】種々なるエネルギーの強度の大きさ (Intensitätsgrößen) が共通に有するところの性質を精細に研究することによつて、我々は、すべての自然現象を推進せしめるところの趨勢について一つの直観を形成することが可能となつた。強度の大きさの差異がそれに必要な前提を形作らないかぎり、決してエネルギーの遷移が起らず、また何かしら或るエネルギー遷移がそれを特性付けないかぎり、如何なる物理的事象 (之については更に後段に於いて論ずるであろう) も生起しないのであるから、実際に於いては、『エネルギーの遷移が起るのは如何なる場合であるか』という問いに対する答えは、畢竟、『何か或る出来事が生ずるのは如何なる場合であるか』という問いに対する答えでもあるのである。之に対する必要條件は、既に、強度の差の存在、ということの中に認識せられたが、茲でその充分の條件をも見出さんとするためには、我々は先ずエネルギーのもう一つの因子に就いて詳しく知る処がなければならぬ。

此のもう一つの因子は、種々雑多なる名称を以て呼ばれ來つたものである。われわれは嚮に、Intensität (強度) に対する対照の意味を目立たせるために、Extensität (容度) なる名称を以て夫れを呼んだ。しかしこの大きさは、また、エネルギーの量の大きさ、(Quantitätsgrößen) 或いは容量の大きさ、(Kapazitätsgrößen) と名付けられてもいたので、どの名称を選ぶべきかに當つて、混乱を感じざるを得なかつた。勿論この混乱は、提唱された名称のいずれもが、この大きさの特色に就いて完全に満足すべき理解を与えることが出来なかつたということの表われでもあるのであるが、本章の見出しに掲げた新しい名称は、恐らく、この難を克服するに足りるものと思われる。而もこれは決して、この名称を今までにあつた諸名称に対する新しい競争者として登場せしめたという意味ではなく、この名称が今後の考察に対して直に明確なる一方向を与えるものであるという意味に解せられなければならない。然しながら古い名称の中でも、最も差障りのない容度の大きさ (Extensitätsgrößen) なる名称は、一般的な目的のために

保留されてよいものである。

私が問題の大きさに対して物質的因子 (materielle Faktoren) と名付けた所以は、それによつて古い物質の概念が限定せられるということによるのである。すでに十二年余前、私は、エネルギー及び物質なる二つの概念が決して同じ性質を有する、また同じ権能あるものではないという形を以て、自己の所信を披瀝した。物質なる概念はむしろエネルギーなる概念が知られた以前に既に作り上げられていたものであり、そのために前者は後者に本質的に属する成分まで、自身の中にとり込んでいた。そこで、それらの成分を物質からエネルギーへ持ち戻さんとすれば、結局、物質なる概念は際限なく溶解されて行つて、遂には、残存する、剰余は現存するエネルギーの容度因子に過ぎない、ということが分るのである。

【七二】さて、更に一步進んで此の因子は如何なる特性を有するものであるかといへば、既に幾度も強調した如く、それは、狭義に於ける大きさ、いかえれば任意に分割したり結合したりし得る——而もこのような操作を一定の条件とか特別な事情によつて束縛されることなく行い得る——ところのものであると云うことが出来る。即ち、それは無條件に、加成的なるものである。強度に就いては前章に於いて指摘した如くこのようなことは当てはまらなかつた。しかし、これが為めに容度因子というものは極めて容易に測定することが出来るのであつて、即ちそれの或る一片をとつて単位となし、それらの単位を幾つか加え合せてその総和が測定すべき値に等しくなるようにすれば、それでよいのである。そうして若しも単位が余りに粗大に過ぎるならば、適当に小さな単位、最も簡単には最初の単位の一〇分の一、一〇〇分の一、一〇〇〇分の一等々、を作れば足りるのである。

例えば、茲に、運動エネルギーの容度因子たる質量を例にとろう。同一の仕事によつて同一の速度を得る二つの質量は、互いに相等的い。それ故、或る一つの任意の質量(例えば、巴里度量衡局の砵)を単位として選べば、我々は他の質量について、それらがこの単位と等しいか否かを調べることが出来、従つて欲するがままに多くの模造単

位を作製することが出来る。そこで次に互いに相等しい質量でそれを一〇〇〇個寄せ集めれば規定の質量に等しくなる如きより小さい質量を定めれば、我々は、一〇〇〇倍だけ小さい単位（今の場合は瓦^{グラム}）を得ることになり、かような方法によって任意に縮小された下単位を——その定義によつて見ても其処に瑣小たりとも困難や不明瞭さを含むことなしに——作ることが出来るのである。同じ事は、容積、距離、面積、電氣量、化学的物質質量、重量等、すべて当該エネルギーの容度に相当する大きさに就いて適用される。

【七三】そこでこの概念に就いて更に精しく知得するために、我々は種々のエネルギー種及び其の因子を算え立てる無味乾燥を避けて、直接に我々の日常経験のエネルギー論的要素を研究したいと思う。如何にして物質の概念が我々の世界の確固たる物理学的特点によつて生じたかは、この研究によつて知られるであろう。この目的のために我々は、何でもよい手許にある任意の対象、例えば先ず文鎮用の一片の硝子^{ガラス}に就いて考察して見よう。

我々は、この硝子片^{ガラス}を第一に固体と名付ける。之によつて、硝子片^{ガラス}がその大きさ及び形態を変えるのは極めて莫大な仕事^{もたらん}が外から加えられて破壊される如き場合だけに限る、ということが言い表わされる。勿論我々は、この形態の不変性は無條件的なものではないということを知っている。何となれば、若し我々がそれに対して四方八方から圧力を加えるならば、それは些少たりとはいえ測り得べき容積の減小を示すからである。然しまた圧力を弛めるならば、それは元の容積に回復するのである。

ここに於いて我々は、物体に属するところの最初のエネルギー種を見るのである。我々は之に対し容積エネルギー（Volumenergie）なる名を与える。蓋し、之が物体の容積と共に変化する故を以てである。容積を変化するためには我々は仕事を加えなければならぬ。そうして物体が元の容積を再びとるためには、先に物体が受容しただけの仕事が放出されるべきである、固体にあつては上述した如く之を観察することが頗る困難である。しかし氣體に於いては——これまた同様に容積エネルギーを有するものであるが——或る与えられた圧力の変化に対し、非常に大

きな容積の変化が起るのであつて、その際との関係は、我々には既に周知の事柄である。この容積エネルギーの強度の大きさとしては、我々は直ちに圧力を認識する。何となれば、同一圧力の二つの形体（例えば、常圧下の二気体）を結合しても、決して二倍の圧力は得られず、それらの圧力は互いに無影響的である。同様に明白に、容積の大きさとしては容積が認識せられる。何となれば、二つの相等しい容積を結合すれば二倍の容積が得られるのであつて、容積は無條件的に加算し得るものであり、任意の単位（科学に於いては立方体）を以て測定し得るものだからである。我々が上記の硝子体の容積に変化を起さしめる場合、それらの変化は、すべて、それ相応のエネルギー或いは仕事の消費を条件とするのであつて、容積を増大せしめる場合も減小せしめる場合も同様である。物体の容積エネルギー含量は、従つて物体の所謂自然状態に於いて最も小である。何となれば、この状態からの偏倚は、ただエネルギーが外から加えられた場合にのみ可能であるからである。序でにいえば、これは平衡状態の一般的特質と云い得るものである。

【七四】然し、我々の硝子体は、この容積エネルギー即ちその占める全容積の維持を確保せしめるところのエネルギーの外に、また、そのもつ一定の形体の維持を確保せしめるところの一性質を有するものである。而も、この性質もまた無條件的且つ絶対的にその形体を保持するというような風にはなく、或る一定の仕事が加えられた時にのみその形体を変化する、というような仕方では現るものである。固体は、その容積を変化することなくその形体を変化し得るものであるから、茲に、仮令類似的であるとはいへ、明らかに異つた種類のエネルギーが存在することになる。我々は之を、その特性に従つて、形体エネルギー (Formenergie) と名付けたい。この性質は、物理学に於いて既に弾性として知られているものである。この種類のエネルギーの容度因子は、同様に、空間的測定によつて与えられる。しかし、容積エネルギーの容積が、単位が既知なる場合は簡単なる数を以て充分に確定されるに反し、形体エネルギーにあつては、変位の起る空間的な方向が本質的なものとなる。或る一定の方向への単位

長さだけの変位に対しては、常に或る特定値の仕事が相当し、同一方向への二倍の変位に対しては——或る範囲内では——二倍の仕事が相当する。それ故この変位が形体エネルギーまたは弾性エネルギーの容度を示すものとなり、一方、その時の力が強度を示すものとなる。しかし、一般的了解のためには大綱の知識だけで充分であるから、茲では、このエネルギー種の著しく錯雑多岐なる関係（その上之は弾性の理論によつて既に古くより解明せられてゐるものであるから）に深入りすることは避ける。

形体エネルギーを採るといふ・固体の天性は、我々の日常生活の道具や、あらゆる可能な手段へそれを応用することに対し、決定的な意味を有するものである。通常我々は固体を以て完全に堅剛なるものと看做し、力が働いた場合にも形体の変化を受けることのないものと仮定する。しかし何か或る簡単な装置、例えば槓杆の如きものを理解せんとする場合、そこに非常な困難が生ずる。槓杆は小なる力を大なる力に変化せしめるものであるが、同時に、径路はそれと逆の関係に変化する。絶対に剛く変化しない物体が、現存するエネルギーをそのように変化轉換せしめるといふことは、一体如何にして可能なのであろうか。古典力学はこの疑問に答える術を知らず、ただ、剛体とは斯かる変換を起す装置なり、と云うのみである。併し、絶対に堅剛なる物体というものは存在せぬことを認識するならば、直ちに、我々は次の如きことを知るであらう。即ち、槓杆の一端に働く力は先ず弾性的な仕事をなし、それによつて槓杆は屈曲せしめられるが、斯くして生じた弾性的な力は、槓杆の全延長に亘つて其の各点に於いて互いに平衡を保つのに止まらず、他端に働く力ともまた平衡を保つということである。そこで、エネルギーは此の器械全体を貫通して一点から他点へと伝達されるということ、及び槓杆の一端に持ち込まれたエネルギーが如何にして再び他端に於いて取り出されるかということが、よく了解されるのである。全く同一の事は、蒸気機関のピストン桿が気笛に与えられた仕事を節動輪の曲柄に伝達する如き場合、その他に於いても見出される。

従つて、形体エネルギーなるものは、汎く一般に應用され得る・エネルギーの運搬者という意義を有するもので

あり、或る一定の場所に加えられた力学的な仕事を他の場所へ、あらかじめ定められた方向、あらかじめ定められた変換の割合を以て、送達することを可能ならしめるものである。しかし之は其の意義の一斑に過ぎない。万一形体エネルギーが存在しないものとしたならば、我々の生活は直ちに停止するより外ないであろう。即ち、物体の形体を変化せしめるに何の仕事をも要しないものとしたならばすべて一定の形体というものは見られなくなり、あらゆるものは流動状となるであろう。液体の特性は、まさしく、それが容積エネルギーを有していながら、形体エネルギーを全く（もしくは恐らく極小しか）有しないということによって与えられるのである。即ち形体エネルギーは固体の特性に外ならないのである。

【七五】この考察によつて我々は、如何にして我々が一般に物体なる概念に到達し得るかを直ちに認識することが出来る。もしも相互に鮮明なる境界を示すことのない、そうして全く形体エネルギーを附与することの出来ない気体以外に、何ものも存在しないものとしたならば、聚合せる、そうしてそれによつて個別化された形体なるものの表象を發展せしめることが、全く不可能となるであろう。液体に於いてはかような可能性は決して皆無ではないが、しかし極めて微小なのである。形体エネルギー、並びにその空間的に局限せられたエネルギー量——この空間的に局限されるということによつてそれは独立の位置を与えられ他の類似のエネルギー量と識別されるのであるが——の維持ということによつて、始めて物体なる概念は、その基礎を得るのである。勿論、形体エネルギーが、我々が物体なる名の下に理解するところのすべてを言い尽すものとはいひ難い。然し、我々の知り得ることは、ただエネルギーの関係に関する知見のみであるから、我々の期待し得るところも、物体及び物質なる概念の残りの要素が同様にエネルギーまたはその因子として表現されるであろう、ということ以上には出で得ないのである。

勿論、これでは、我々の物体も若干空虚な、内容に乏しい形体と云わなければならぬ。それは、質量も有たねば重量も有たず、化学的性質をも欠くものである。而も此等なしには我々は如何なる物体をも知り得ないのである。

そこで先^まず直ちに理解されることは、我々が物体に就いて何かを知らんと欲すれば、物体は少くとも量を有するものでなければならぬということである。何となれば、重量なき形体は一般に地上に滞留することを得ず、何かと衝突することによって直ちに運動を始めて地球から離れ去るべきである。それ故限界され、形体エネルギーを附与された形体が存在するものとすれば、それはまた、一般に我々の経験の対象たり得るためには重量をも有するものでなければならぬのである。我々は形体エネルギーと重量とは常に合体して居るべきものである、と主張する権利を有しない。然し前者に就いて我々が何かを経験し得るのは、重量もまた同時にそこにある場合に限り、ということとは主張してよいのである。

【七六】さて、重量も亦エネルギー概念と結び付けて考え得るものであろうか。之に対する答は疑いもなく然りである。既に我々が見た如く、マイヤーにとつては『落下力』と熱との間の関係が最初にして最重要なるエネルギー変換の例であつた。従つて、重量エネルギー (Schwerenergie) または重力エネルギー (Gravitationsenergie) なるものが存在すべきであるが、その因子は容易に認知し得られるものである。即ち、容度としては重量、即ち我々が食料、燃料、その他あらゆる種類の物質を購うときに^{キログラム} 疋または^{グラム} 瓦によつて秤量し得る如き^{じつと} 大きさが直ちに認識せられる。何となれば、この大きさが無限定に加算され得るものであることは、我々の日常経験によつても教えられるところであるから。次に強度としては、我々は、重量の持ち上げられた高さをとる。何となれば、重量と高さとの積は、重き物体を持ち上げる際の仕事を表現するものであるから。勿論、より精密なる理論によれば、この関係が成立するのは地上から持ち上げられた高さが小なる時のみであつて、更に高く持ち上げられた際には最早^{もはや} 正確に高さに比例せず、その増し方は高さの増し方よりも緩徐となる。然しながら、この新しい関係に対する理論もまた精密に確立されているのであつて、高さによつて仕事が増加するかを呈示する正確な函数として、重力のポテンシャルが得られている。しかし強度の大きさの特性として、同じ高さの二物体を結合してもその高さは同じである

如く、そのポテンシャルに就いても全く同一の事情が当てはまることが知られている。

それ故形体エネルギーにあつては、仕事は形体が変化されたということに関連し、之が則ち、形体エネルギーの平衡が得られた後は物体はどこまでもその形態を保持する、ということに対する充分なる理由であつたのであるが、一方、重力エネルギーにあつては、仕事は、物体が地表から持ち上げられたということに関連し、之が則ち、少くともそのような仕事に相当するだけの他の力学的なエネルギーが外から供給されなにかぎり物体はいつまでも地表に滞留するということに対する充分なる理由であるのである。

この現象は通常次の如く解釈されている。即ち、地球からは重き物体を『牽引する』ところの或る一つの『力』が放出されて居り、若しも重量ある物体が支持されることなく地表より離れて存在する時は、この力は、牽引することによつてその物体を落すのである。しかしこの解釈が立てられた当時、如何に大なる思考上の困難が感じられたかということは既に周知の事柄であつて、この困難は今日に到るまでなお克服されてはいないのである。之は、ニウトンが当時の科学の發達に相応して、力の概念を真先に押し立てたことに由来するものである。ガリレイは、一定の重力を仮定することによつて、地表に於ける落下現象が適切に表現されることを示したのであるが、ニウトンは、その力を一定なるものと見ず距離の二乗に逆比例して変化するものと看做せば、天文学的運動も良く描述されることを示した。しかし、『力』なる概念形成其自体が目的に適つたものであるか否かなどと疑つて見ることは、ニウトンの全く考え付かなかつた処であるらしい。何となれば、彼はこの力なる概念の物理学的意義を穿鑿することを拒み、後には神学的な考察にまで後退し去つていたのである。

之に反して我々は、握り且つ引張る手というものの言外の表象を容易に離ち得ざる、力なる概念ではなく、仕事なる概念を以て最も重きを置かるべきものとなさなければならぬ。地殻の一部（一個の石なりとも）を地表から取り去ることは、弾條の屈曲、或いは気体の圧縮等と全く同様の、一つの変形なのである。我々は、空間を以てエ

エネルギーの活動領域と考えるよう教えられて来ている。従つて、三次元的空間を充すところの容積エネルギー並びに形体エネルギー以外になお、表面エネルギー（之に就いては間もなく論ぜられるであろう）、及び重力の作用の場合に見られる線的なる遠隔エネルギー（Distanzenergie）が存在することは、別に怪しむに足りぬことである。この最後の遠隔エネルギー以外のエネルギーにあつては、なおエネルギーによつて充たされた領域の空間的關係というものが通用するに反し、遠隔エネルギーにあつてはそのような関係が欠けているということは、まさにこの空間的性質というもの其自体の中に根拠を有するものである。何となれば、物理的なる容積関係及び面積関係が我々に直観し得るものであるのに反して、線的なる空間関係は、我々の表象し得ざるものであるからである。我々の思考し得る最も細き線といえども、それは常に物理的性状を有するものであつて、決して線ではないからである。

【七七】空間及び重量と共に、所謂物質に帰せらるべき主要性質の第三は、質量と名付けられるものである。現在の学校教科書の多くは、この大きさと重量との間に適切ならざる関係を持ち込むことによつて、この概念を却つて不正確なものとなし了せている。従つて、運動エネルギーを採り得るといふ・物体の性質の中にこそこの質量なるものの本質を見なければならぬ、ということとは、繰返して置かなければならない（33頁）。今我々が、同一量の筋肉労働を用いて、種々なる物体を投げたとする、然るときはそれらの物体は夫々相異なる速度を得るであろうが、その場合我々は、より小なる速度を得た物体を以てより大なる質量を有するものと称する。但し、質量は速度そのものに逆比例するのではなく、速度の自乗に逆比例するものである。しかしまた一方、各物体が同一の速度を得るに必要な仕事を測定すれば、その仕事に正比例するものとして、それらの質量が定められる。

斯の如く、質量の性質が問題となるのは物体が運動状態に置かれた時のみであるから、この質量概念の決定に対しては、物体の重量或いは容積といったものは全く何の關係をも有しないものであるということが出来る。もつとも経験によつて我々は、物体の重量とその質量との間には比例関係が成立することを知っている。というのは、種々

なる物体は同じ距離だけ落下することによつて、すべて同一の速度を得るものであるが、先に述べた定義によれば、それらが同一速度を得るためには、必ずや各々の質量に比例しただけの仕事それぞれが夫々消費されていなければならない。ところが一方では、実際同じ高さに於ける仕事は質量に正比例し、且つ同じ高さに於いては同じ速度が得られるのであるから、結局、質量は重量に必然的に比例することになるのである。質量及び重量なる両つふたの大きさの間に存する実質的な相違を弁別することを困難ならしめたのは、まさに両者の間にこの余りにも密接な経験的關係が存したために外ならないのである。

然しながら、我々のエネルギー論的解釈にとつては、更に、質量及び重量が常に相伴つて同一の形体に現われるのは一体如何なる故であるかに就いての説明が必要である。何となれば、若しもそれらが互いに独立なるものとすれば、それらはまた空間的にも互いに独立して見出さるべき筈であるから。

之に対する答えは、何故容積エネルギーと重量エネルギーとが常に相伴つて現われるかという問いに対する答えと類似である。即ち、『質量をもたぬ形体は決して地上に於いて観察し得べからざるものであるから』である。今、他の性質を変化することなく、質量のみを層一層滅小する如き一物体を考えて見よう。斯の如き物体は、同じ大きさの衝撃を受けることによつても常に層一層大なる速度を得るに至るであろう。そうして最後に質量が零となれば——形体エネルギーが（また欲するならば重量エネルギーも）なお失われていないとするも——その物体は、最微弱の衝撃によつてすら無限大の速度を得、もはや如何なる処理も如何なる観察も及び難いものとなるであろう。かくして我々は、我々の物理的世界の事物、いかえれば、その環境とは異なる行動をなすところの我々の経験の空間部分は、それがいやくも我々の経験の対象たり得るためには、必然的にこの運動エネルギー及び重量エネルギーなる両エネルギーを同時に所有していなければならぬ、ということを知るのである。しかし形体エネルギーは、このために絶対欠くべからざるものではない。何となれば、形体エネルギーを有たない液状もしくは気状の物体をも

我々は感知し得るからである。然しながらこの両者といえども、容積エネルギーは之を含有する。そうしてこれまた現実に対して、即ち事物が我々の外的経験に現前するためには、欠くべからざるものである。さもなくば、この事物は決して我々の空間の成分たり得ないのである。

【七八】このことから、エネルギー論的考察は、この世界を我々に對する世界として我々に認識せしめるところのものであることが分る。しかし、他の異なるエネルギー的條件の下に住む本体に対しては、また全く異った性状の世界が存在し得るといふ可能性は、なお保留されているのである。従つてこの限りに於いては、我々が世界を知るのはただ、それが如何に我々に見えるかであつて、決してそれが如何に『ある』かではない、ということをも最も強く力説したカント(Kant)は正しいと云わなければならぬ。然しながらまた、彼は、世界『其自体』を認識する可能性を全く否定したかぎりに於いて疑いもなく正しくないのである。電氣的及び磁氣的世界は、一般に、我々には『見えない』世界である。何故なら、これらの世界を直接に我々に現前せしめる如き感覺は、我々に欠けているのであるから。我々に対する其の確かな存在は、我々の感覺領域の内部に起る別の或る現象から引き出される・間接的な結論に拠るのである。この特殊な運動現象及び熱現象を、我々は電氣的及び磁氣的エネルギーなる概念の下に包括したが、この概念形成によつて完全に充分であることを知つた。之に対する証明は、現在諸処の都会に於いて行われている巨大なる電氣的投資によつて示される。即ち、そこで運轉されつつある莫大なエネルギー量はすべて、予め指定された道を正確に動いているのであつて、我々は新しい投資を最も微細なる点まで予算し得、而もそれが必ずや予算通り正確に行くことを何の不安もなく確信し得るほど、この事物の『本質』——而もそれはただ間接的にのみ『現象』たり得るに過ぎないものであるにも拘わらず——に就いて精密なる知識を有しているのである。

それ故我々は、この考察から次の如く結論することを許されるであらう。『現実の』世界は恐らく我々の世界よりも遙かに豊富にして且つ多様なものであるかも知れぬ、が併し後者は、『世界其自体』より切りとつた・一つの

全く確定的且つ合法的な断片をなすものである、と。何となれば我々は、この最後の語、『世界其自体』に対して、之があらゆる可能な形体の間のあらゆる可能な関係の総体をあらわすものである、という以上の意味を附け得ないからである。而して我々自身並びに我々の関係は、それが現実的なるが故に常に可能なるものであり、従つて我々は我々の関係と共に、確かに、現実の一部分を形成しているのである。勿論、我々の知識はこの部分を超えて更に進み得るものではない、しかし今述べた電気及び磁気の実例こそ、まさしく、人智の一般的発展によつて我々の世界観もまた不断に拡大される、ということを我々に教えるのである。

ここで更に一言要することは、外界の印象が我々の感覚器官によつて或る特別な色付けを受けるということ、そしてこの特別な色付けは、『物其自体』ではなく、むしろまさに我々の個人的な性質に帰属するところのものであるということである。これは確かに誤りない事実である。しかし、かかる事情によつて外界の性質が識別し得ざるまでに不具化されるであろうという推測は、正しくない。何が変化を受け、何が不変に留まるかを理解するため、我々はそれに対して外部から作用を及ぼすものを、それ自身の言葉を用いて示す如き或る種の装置を考える。例えば、温度の変化を調べるために熱電堆と結び付けた電流計を用うる如きである。熱電堆に働く熱と、電流計の針の動き（またはランプと鏡を装備したものは光の線の動き）との間には、見たところ、直接的な類似は毫も見出し得ない。にも拘わらず、我々は、熱の作用の強まり或いは弱まりが電流計の読みの増大或いは減小によつて表わされること、及びそれによつてそのような過程の時間的なリズムが、すべて現実に於けると全く同一に（即ち装置の外部に立っているものに対して起るのと全く同一に）その強さと順序とに従つて観測する装置の上に移し置かれる、ということを知っているのである。換言すれば、現象の時間的な順序並びに大きさの順序は、現象の他の性質がすべて横写されずに留まるに反して、装置の中に横写されるのである。

同様にして我々はまた、外的現象の横写を我々の感覚器官によつて表示しなければならない。之は、外部から感覚

器官に対して働きかけるエネルギーによつて為され、その変化を時間及び強さに従つて表わすものである。しかし感覚器官が之をなすのは、そのもつ特殊な性質によつて決定される。或る独特な言葉を以てである。それ故、我々の感覚器官による感覚のうち事物其自体に所属するものは何であるか、またこの器官に独特な言葉とは何であるかを知るためには、我々は後者の問題に関する感覚生理学に相談を求めなければならぬ。そうして、この器官に固有な部分を引き去ることによつて、事物其自体に関する知識を得るのである。實際このことは、我々の履行し得る、また履行しなければならぬことである。事物其自体は我々に対して働きかけるのであるから、事物のその側面またはその特徴は、感覚器官の上に移し運ばれ、それによつて認識可能なものとなるのである。現象のうち何が主観的であり、何が客観的であるかを精密に確定することが科学に課せられた特別な任務なのであるが、人々はこの任務を以て極度に困難なものと考えたがるのである。しかし我々が、科学的知見を土台にして外界を我々の意志要求に依じて構成することに成功した、而もそれが多少とも正確な予見を以て可能であつたという事情こそ、我々が客観的關係或いは物其自体に関して進んだ知識を所有している、ということに對する一証左に外ならないのである。

【七九】起し易い疑問を解くために暫く本題を離れて来たが、ここでまた我々の主題に戻つてその間に收得された我々のエネルギー論的世界の各個について考察しよう。我々は先ず、質量、重量及び空間填充なる諸性質を有つ固体について考え、それによつて、通常人が物質と名付けるところのものを得た。少くともここに挙げた諸性質は、一般に教科書の中で物質の基礎的性質として定義されているものである。

しかしまた人は、アリストテレスの響みに倣つて、物質を以て何かしら無差別的な、無性質的なもの（そうしてそれに対してあとから或る特殊な方法を以て性質が賦与される如きもの）と考えるのが常である。この如き見解も、人が性質というものを何かしら偶然的なまたは恣意的なもの、従つてまた全く別なものともなり得るものと見たかぎりには於いて、恐らく必要だつたのであろう。反之、我々に対しては、同一の場所に於ける種々なるエネルギーの

共在ということが問題となるのである。種々なるエネルギーが同一の場所に、或いは相互に結び付き合つて存在すると考えなければならぬのは何故であるか、ということは既に我々の吟味し終えた処であるが、之はまた、今まで明瞭に認識されていなかつた一つの法則性——それによつて種々なるエネルギー種の容度因子が相互に結合され、相互に制約されるところの法則性——が其の背後に隠されていることを言い表わすものである。この関係は、如何なる場合にも、各エネルギー種の間の相互転移を全く普遍的な形で媒介し、同時にまた現象の多様性を限定するものである。何となれば、強度の大きさなるものは、常に互いに相等しくなろうとする傾向を有し、平衡状態にある形体の中では——それが伝播の自由を有する場合にも——必ず互いに相等しいということが知られている。従つて我々が、同じ温度、同じ圧力等々の空間に於いてすら、なお種々なる事物もしくは物体を識別し得るのは如何なる理由に基くかといえ、それは強度の差に因由し得ざること勿論であるから、必然的に容度の差に依拠せざるを得ない。従つて容積エネルギーの容積、重量エネルギーの重量、形体エネルギーの形体は、一様なる強度の内部に於ける可識別性を限定するところのものであり、且つ種々の空間部分、即ち物体を特性付けるものたるのである。

【八〇】それ故我々は、物質が最早無用となることを知るのである。何故なら、我々は既にそれを解析し、その成分を了解して了つたのであるから。ただ物体の熱内容は、これまた今迄考察し來つた物体の他のエネルギー的成分に於けると同様一つの特別なエネルギー種の問題であるにも拘わらず、我々は通常之を物質の中に算入することをしてない。その理由は、我々が熱の容度因子たるエントロピーに就いて、殆んど全くと稱してよい位無知であること、従つてまた、我々がその存在を全く意に介して居らないことに因由するのである。しかし、更に深い根拠は次の点に存する。即ち、上に論じた如き他のエネルギーにあつては、それを空間的に分割して考えることが容易であつた、いいかえれば、あらゆる種類のエネルギーは空間——それはすべての事象の根拠に横わるものであるが——に於けるその分布を均衡せんとする一般的な傾向を有するものであるが、それら他のエネルギーについては、その傾

向を抑制して、少くとも我々の実用上の目的に対しては恒久的といひ得る、即ち時間的に不変といひ得る形体をとらしめることが可能であつた。もつとも、この課題も、我々の求める精密度が大なれば大なるほど、非常な困難を伴うものとなる。実用上不変の長さをもつ一本の棒、及び実用上不変の重さをもつ一個の物体を作製するが如き簡單なる問題でさえ、三十年前、当時のあらゆる方法手段を以て企図された際、要求される恒久性を示す如き通常材料が全く見出されなかつたために、最も發達せる科学及び技術の粹を総動員する必要があつたのである。然しながら、あらゆる事物に緩徐ながら制止し難き変化が起るものであるとはいへ、我々に対する世界は、本質的に、我々が昨日見たと殆んど全く同様の状態で明日また見出されるであらうと期待し得る如き成分から成るものである。即ち、それら物体の諸基本エネルギーは、その容度に本質的な変化を示すことなく、空間的に共存するものであり、ただ同時的にのみ場所から場所へ移し得るものである。ところが熱の行動は全く別である。我々は熱を物体に於いてのみ、いいかえれば、諸基本エネルギーと結び付いたものとしてのみ覚知する（所謂輻射熱は熱ではなく広義の光である）のであるが、それにも拘わらず、熱は大なる動揺性を示すものであり、或る与えられた物体に於ける夫れの量は、任意に温度と共に変化するのである。

【八一】更により動揺的なるものは電氣的エネルギーである。電氣的エネルギーは通常極めて瑣少なる量しか物体内に存在せず、而も常に他種のエネルギーに轉移せんとする激しい傾向を呈示する。従つて電氣的エネルギーを工業に利用する場合は、その使用の瞬間に當つて始めてそれを發生せしめる必要があるのである。所謂電氣集積器または蓄電池も決して電氣的エネルギーの集積器たるものではなく、充電の後その中に蓄えられるものは、ただの化學的エネルギーに過ぎないのであつて、それが蓄電池の組立によつて再び容易且つ速かに電氣的エネルギーに変換せしめられる——而もその変換は蓄電池から取り出される程度によつて起る——のである。

【八二】反之、化學的エネルギーは、先に述べた諸基本エネルギーと同様各物体の不動資金に属するものであり、

明確に『物質的』性格を有するものである。ただ化学的性質が『物質』の基本性質として取り上げられなかったのは、物質の概念が確立された時代に未だ化学的現象に関する知識が無かったという事情にのみ帰せらるべきであつて、食物や炭の如き、その化学的性質のために利用せられる物質を、重さで購うという事情こそ、化学的エネルギーと重量エネルギーとの間に比例性が有することの実際の証明に外ならないのである。もつともこの場合の比例因子は、質量対重量の場合の如き、あらゆる物質に対して同一なるものではなく、化学的エネルギー自身の非常な多様に相応して、物体の他の性質とともに多種多様に變化するところのものである。

【八三】物質世界のエネルギー論に関する此の素描は斯く俄か造りのものではあつたが、しかし、あらゆる物理的事象をエネルギーの表現を以て叙述せんとする一般的な要請は、之によつて全面的且つ一義的に充たされたと称して差支えないであろう。到る処に於いて我々は、仮説的、即ち不可説明的觀念の助けを籍りることなしにそのエネルギー論的表現を得んとして、そのため、よく知られた事実のみをして語らしめる要があつた。多くの場合そこに形作られた像は、今迄の科学的唯物論によつて形作られた像と形式的に異なるものである。即ち、後者に於ける(極めて疑わしく且つ不確定なる)物質の實在の代りに、前者に於いてはエネルギーの實在が根本となるのである。茲に、この思考過程に未だ習熟せぬ読者は、暫時この新しい観点へ彼の心眼を合わせることに非常な困難を感じるであろう。しかし、私が永年種々の予備教育を受けた、また種々の精神的素質をもつた学生達に対して、實際教育に當つた上で確信した処は、この新しき思想の囚われざる受納こそ、便利且つ確実に操作し得る道具——我々の物理及び化学教科書の緒言を充している因襲的な事実と仮説との混合物などに依るよりは、之を使用する方が遙かに速かにまた遙かにより良く、自然現象に関して通曉し得る如き道具——を得る捷徑であるということであつた。學生に対して序論的な一般的思想を、彼等がそれを専門的な知識材料を受ける上の確実な基礎工事として感ずるほどにうまく説明することの困難は、すべての教師のよく知る処であるが、然しその困難は、それらの思想が元來実質

的にも概念的にも不完全であつたためであるといふのでなければ、説明がつかないであろう。而もその不完全に對しては、最も細心な教師もなお調和——それは既に、この思想の形成に際して欠けていたのであるから——を施し得なかつたのである。ところが之に反して、エネルギー論はこの調和を与えるのである。それは、すべてのエネルギー種の間の無際限なる相互可變換性ということによつて、可秤量的物質と不可秤量的『力』とを結びつけるところの共通の帯を認識せしめるものである。この際、両者はエネルギーなる共通概念の下に含み込まれる。而して同時にエネルギー論は、各特別なるエネルギー種が夫々に有つ特質によつて、現実に起る現象の多様性を思想的に追求するに充分耐え得る如き・解釈及び表現の多様性を確實ならしめるのである。更にまたエネルギー論は、若し人が仮りに『自然の内奥』にまで侵入することが出来たとしたら、事物は一体如何なる状態にあるであろうか、といふが如き仮説的予見によつて実相の囚われざる受納を妨害されることなく、科学の進歩に伴つて新しき実相を描述する上に常に必要となるべき、多面性をとり得る自由を与えるものである。この理由によつて、エネルギー論的理論は、後にその取扱う分野の科学が如何に發展しようとも、決してそれによつて否定し去られるようなことがないのであつて、これ恰かも科学の進歩が決して幾何学の三角形相似の法則を否認する如き事態を惹き起さないであろうといふのと全く同様である。このような方向で起り得ることは、唯一つ、法則内容の拡張或いは嚴密化ということのみである。即ち建造物を更に美化せんとする仕事のみが問題であつて、それを全く破毀して新たに造り直すというが如きことは全然考え得られないことなのである。反之、通常の力学的仮説にあつては、常にこの後者の如き操作が避け得られなかつたのである。例えば、光に関する仮説の、古えから今日に至る歴史——像が眼に達するのはそれが皮の形で対象から剥げ出て来るのであるという古代ギリシヤ人の想像から始まり、ニウトンの光粒子説、ホイヘンス及びその後継者の力学的弾性学的土台に立つエーテル振動説を経て、現代の電磁説に至る経路——を憶い起すだけでも、思い半ばに過ぎざるであらう。

かくして物理化学的現象のエネルギー論的見方は、能^{あた}う限り科学的表現の理想に近付くのである。この理想は、数学に於いて一般に使用せられる『表現は必要にして、充分ならざるべからず』という目標によつて与えられる。即ち、それは、問題となつているところの現実の要素のみを含み、決して恣意的なる要素を含まぬという限りに於いて必要なるものであり、また、表現さるべきものは悉^{ことごと}く之を含むという点に於いて充分なるものである。科学の表現の論理並びに帰結は、科学の内容を形作るころの予言を最短にして且^かつ二義的ならざる方法を以て可能にするという優れて実用的なる目的以外に他の目的を有しないことを思いみるならば、純粹なる教育上の目的に対しても、知識材料の叙述が余りに論理的すぎるとか、或いは余りに徹底的すぎるとかいうことは全然あり得ないのである。伝承された不充分なるものに譲歩することは、理解を容易ならしめるという遁辞を以て往々宥^{ゆる}され勝ちであるが、之は時日を経過してみれば結局目的に適わぬ過誤であつたことが分るのである。何となれば、容易ならしめるというも見掛けの上だけのことに過ぎず、学生が本質的なる点を長い間不明のままに過すという余りにも高価な代償を支払わなければならぬからである。また、このような方法の弁護者は、常に、自分自身が自己の古い誤を正さなければならぬとき感ずるような不便さを、理解の困難なるものとして学生に対して押し付けているのである。しかし実際は、講義が徹底的であればあるほど、また恣意的な或いは偶然的な附随物を含まなければ含まないほど、学生が新しい事物を理解することがそれだけ容易になるのである。

第十章 生命

【八四】生命ある実体を生命なき実体と区別するには、極めて低き程度の教養と知識とを有すれば充分であるが、一方、生命に対して充分なる定義を与えることは、古くより科学の最も困難を感じた処であった。勿論、日常の経験は、この定義を然く簡単に見出して、必要に応じて数多くの多種多様な特性付けをこの問題に対する解答として利用し、且つそれによつて、科学が考えるよりは容易なるものとしてこの問題を取扱っている。しかし、ここに現存するところの困難は、生命問題を特徴付けるべき基本的なる概念形成の中に、或る不充分さが存在することを告白するものであるから、従つて我々は、エネルギー論的見解がここでもまた有用なるものであるか否かを——それが生命の本質に関する疑問に対し如何なる答弁を与えるであろうかと問うことによつて——検証することが出来るであろう。

我々の見地から見れば、生命の仮令充分とはいえないにしても本質的なる特徴は、不、断、の、エ、ネ、ル、ギ、ー、活、動、である。一生物体とは、何を差措いても先ず継続的にエネルギーを外部より摂取し、継続的にそれを外部へ放出するところの一形体である。この際、その形体並びに其他の存続性は本質的な変化を蒙らず、或いは極めて緩徐なる変化を示すに過ぎないのであるから、この外形維持の下に於ける不断のエネルギー変転ということにこそ、生物体の第一の本質的特徴が考えらるべきなのである。この如き、内部の変転にも拘わらず或る一定の存続性を保持するところの形体は、定常的形体と呼ばれるものであるから、従つて生物体は先ず第一に定常的実体たるのである。

生命を特性付けるに此の定義だけで充分でないことは、生物体以外にもなお多数の定常的なものが見られるという事実によつて直ちに明らかとなる。即ち、焰は同様に物質及び他種エネルギーの断えざる出入の下にその形体を不変に保持するところの一形体である、流れも亦、その水は不断に更新されるとはいえ、同様の行動を示す。然しながら、両者の場合の、それらが定常的性質を有することによつて見出される生物体との類似性は、既に大衆の悟

性の中に極めて明瞭な形をとって入り込んでいたのであって、『生命の流れ』とか、或いは『生命の焰』とかいう比喩的な表現が汎く使用せられていることによっても示される。反之、本質的に変化を起さぬ・山或いは海の如き形体、変化は起すけれども定常的な変化ではない・嵐或いは雲の如き形体は、未だ嘗て生命と類比されたことがないのである。

【八五】エネルギー的形体が定常的に維持されるためには、持続するエネルギーを不斷に補足するところの源がなければならぬ。この補充を広義に於ける養分と名付ければ、營養は決定的にあらゆる生命に所属するものとなる。勿論かような意味では、焰もまた流れも、養分を要するわけである。何となれば、それらが排泄したものを再び外から供給してやることがなければ、両者は共に途絶えるより外はないからである。然しながら、本来の生活体に於いて我々が見出すことは、それらが自己の養分を自力で摂取するということである。植物や、また多くの海産動物の如く、その構造上動けないために適当な養分の流れ寄ることを俟たねばならぬようなものに於いてすら、流れ寄る物質の中それらの養分として適当なるもののみを確保し得る装置を有する限り、養分に対して活動的に働きかけることが知られているのである。この性質こそ、生命なき定常的物体には欠けて居、従つて生命に特性的な性質なのである。

茲に於いて、無機的世界には用いられなかつた・目的の概念或いは合目的性の概念が新しく登場する。上の如く、ほかの物はそのままにして養分のみを把握するということは、当該形体の存続を確實ならしめるところの特別な性質である。この性質は、形体の維持がその目的であると考えれば、合目的なるものとなすことが出来る。それ故、生物学的見地に立てば、合目的的と云うも維持的と云うも、同じことを意味するものに過ぎない。何となれば、(広義の)維持ということ以外には生物学的な目的はないからである。そこで一般に用いられている人間的な目的概念の多様性のために、不明瞭や或いは誤謬に陥らぬようにするためには、このことを確実に把握して置く必要がある。

【八六】さて、維持の概念とひと口にいつても、それには二つの特別な場合がある。即ち、個体の維持及び種族の維持なる両概念である。生物学的な合目的性は、一般にこの両者に関与するが、時によっては一者が他者に対立する如き相剋的な場合がある。その場合は、種族の維持に向けられた活動がより合目的なるものである。何となれば、或る条件の下で、例えば生殖の実施の後に於いて個体が死滅する如きことがあっても種族はなお存続し得るものであるが、種族が滅亡すればもはや個体はその存在を維持し得ないからである。この単に術語的な検討のみによつても提起された問題を決定するに充分であつて、個体に対する種族の優越に関し、神秘的な或いは形而上学的な思弁を弄する必要はないのである。形而上学的思弁は、この如き問題に於いては、明らかに何らの投票権をも要求することを許されないのである。

すべての生物体は、なおこの上に、もう一つの特別な性質、即ち生殖の性質を呈示する。もつとも、人は、例えば一つの焰を他へ点ずる等のことによつて、有機的な生殖との比較をなすことが出来る。しかし、この場合にも嚮に營養に関して明示されたと全く同様なる区別が存するのである。焰が生殖し得るや否やということは、専ら外的条件にのみ依拠し、それ自身は決して之に対して何ら特殊なることをなし得ないのである。反之、生活体は何かしら特殊なることを之に対して為し、彼が自発的にその營養を成就したとまさしく同様に、その生殖を自発的に成就するのである。

この生殖の過程によつて、元の本体と似た・一つ又は多数の新しい本体が生成する。而もこの場合現出する特別な事態は、何か或る種族の新しい生物が生じたということのみではなく、そこに生じた生物が、他の生物とよりは、その両親とより大なる一致を示すということである。之は決して『自明的』ではない。何となれば、この新しい生物は、先ず両親より受け継いだ物質を以て彼の生存を開始するのであるが、彼の身体を多少とも完全に形成するため養分は、之を外界に仰ぐのであつて、而もこの外界は同一の材料を以て無数の他の根本的に異なる生物の構

成を助けるものであるからである。従つて、新しい生物がその両親より受け継いだものの中には、外界が之に対して無頓着に働きかける間にも、両親との形体及び性質の一致を可能ならしめる如き或る何ものかが含まれているのである。

この特殊性に就いては、我々は間もなく再論するであろう。今は先ず種族繁殖の事実に対して目的論を用いて考察して見よう。先ず二三の反省によつて明らかとなることは、實際、上の如き事情によつてこそ存続が確保されるということである。即ち、すべての個体は偶然の破壊に対して防護されていない。何となれば、或る生体がその生存を持続するためには多くの特別な条件がすべて充たされねばならぬのであつて、それらの条件のうち只一つ、でも充たされない時は、残余の条件が完全に充たされないに拘わらず、死、或いは生命の終熄が結果すべきであるからである。従つて、種族的な生殖を行わぬ・特殊の体制を有つた個体は、早晩悉く滅亡するより外はないのであつて、我々はそれらを唯例外的に或いは偶然的に知り得るのみであるべきである。反之、種族的な生殖を行う生物にあつては、多数の互いに一致した個体として現われる故それ等の中の何れか一つは容易に我々の知識に到達するのである。従つてこの事実の眼目は、種族的に生殖する生物の生存は地上に於ける生命の客観的目的として考えらるべきものである、というが如きことではなく、寧ろそれは、我々が斯の如き生物に関してのみ規則正しき知識を有ち得る、という事態を制約するものなのである。

之に加えて重要なことは、種族的に生殖する生物は自己の存続に対してより大なる期待を有し得るということである。両親との類似性によつて、両親の住していたと同じ生活条件が子孫に対して有利なるものであれば、子孫の存続を確保することにはさしたる困難が存しない。反之、別の生活条件が要求せられるものとすれば、如何なる場合にも幼年期の或る期間中は存在するところの・両親並びにその生活条件への依存性は、却つて不利なる影響を及ぼし、子孫がその後有利なる条件を見出し得るや否やに対して不安を抱かざるを得ないことになるであろう。同

様の関係は人類に於いても屢々、例えば時代或いは国土の一般的状態に速かなる変化が起つた如き場合に、現出するものであつて、かかる場合に青年達の發展を妨げる大なる困難が生起することは万人の知悉するところである。

【八七】あらゆる生物は、そのエネルギー的原体を、先ず第一に化学的エネルギーの上に建設する。その理由は、すべてのエネルギー種のうち化学的エネルギーが最も濃縮した、同時に最も貯蔵されるに都合よき形を有するものであるからである。我々は嚮に、それを費つてあらゆる生物が自己の生存を接続するところの・遊離エネルギーの貯蔵が、常に太陽から不斷に供給され、補充されることを見た。ところが太陽は、平均して、半日の間現われるのみであつて、残りの半日は地平線下に没して了う。従つて或る一つの形体がこのエネルギーを基にその不斷の存続を贏ち得るためには、半日間エネルギーが流入する間に、その時に必要なる分を摂取するだけに留まらず、残余の半日に必要なる分をも貯蓄して置かなければならぬ。何となれば、生命を特性付けるところの・一定の形体を貫通する定常的なエネルギーの流れが、或る若干の時間、中絶された暁には、後に再び遊離エネルギーが使用に供されても、最早一般にこの機械は自発的に働き始め得ないからである。その上大多数の生物にあつては、極めて短かき中絶によつてすら、永久の静止、即ち死が招来されることが示されているのである。

従つて、日中のエネルギーを適當なる耐久型に変形せしめ、以て少くとも夜の間に、また或いは冬の間、外部の源に依頼することなく流れを継続せしめ得る如き用意が考慮されなければならない。この課題を解決するに化学的エネルギー以上に適切なものは、我々は之を知らないのである。化学的エネルギーが、我々の生活並びに工業の他のあらゆる目的に対しても、エネルギー貯蔵の役目を果していることは、我々が既によく認識しているところである。我々の食料が化学的エネルギーより成り、現代迄すべて工業上の大エネルギー源が殆んど独占的に化石炭（即ち化学的エネルギー）であつたことから見ても明らかである。極く最近に至つて漸く人々は、高所に持ち運ばれた水量という形で、太陽が我々に供給してくれるところの力学的エネルギーを大規模に利用することを知つたのである。

地球の一般的な状態のために必然的に生物のエネルギー經濟の基礎は、化学的な形のものの上に求められなければならなかったのであるが、我々の肉体組織がもつ性質は、すべての細目に至るまでこの必然性に依存するものである。我々の筋肉は化学的エネルギーを以て働き、同様に神経のかの神秘に充ちた作用機構もこのエネルギー種と最も密接に結び付いている。就中、あらゆる生命現象のもつ特別な標徴、即ち、最も一般的な意味に於ける記憶の現象も、ヘリング(E. Hering)によつて最初に認知された如く、化学的な關係に依拠すること十中九分まで確からしいのである。

【八八】一般に生物は、一度或いはそれ以上彼に於いて起つた過程は、新しい過程を実施する場合に比して遙かに容易に之を行うことが出来る、という性質を有する。之は決して普遍的な自然現象ではない。寧ろ逆に、無機界に於いては全く反対の規則が形作られていると称しても差支えない位である。針金は、それが嘗つて送電に役立つられたということによつて、それだけよく電氣を通ずるようなことがないし、ボイラーもまた、それが以前に何千回と熱せられたからといって、決してそれだけ早く熱くなるようなことがない。換言すれば、無機的形体は大抵自己の歴史を痕跡だも身につけていないのである。それらは繰返された事象に対しても全く初回に於けると同様新しいのである。幾らか似かよつたことが示されるのは、個々のかなり複雑なる場合にのみであつて、例えば、器械は使用と共にその摩擦部位をすり減らし、以前よりも滑かな働きを示すようになる。しかしこの如き場合も、摩擦部位を予め最上の円滑度まで持ち来らせて置くことによつて、慣らしの期間を零にまで短縮することが出来るのである。従つてこの場合は本質的な類似というよりは寧ろ偶然的な類似が取扱われているに過ぎないのである。

反之、有機界に於いてはこの行動は普遍的である。子供が、その生長期間の大部分を親の直接的影響から遠去けられていても、なお親に似るといふ注目すべき事實は、嚮にも指摘した通りである。如何にして親の性質が遺伝されるかの可能性に就いては、化学的な理論、即ち、この特殊性は胚物質の相応する化学的特殊性に依存するとす

仮定が最も確からしい。何となれば、我々は、空間エネルギー^①の外、可秤量的物質の恒常的不可分離的成分をなすものとしては、ただ化学的エネルギーを知るのみであるからである。然しながら、生物の有する・限りなき多様性は、之を比較的無差別的なる空間エネルギーに帰着せしめることが出来ない。それ故、既知のエネルギー中、この多様性の担荷者として考え得られるものは化学的エネルギーより外にないのである。論ずるまでもなく、この外に未だ知られざる他のエネルギーで、この際問題となり得るものがあるかも知れない。さりながら、現在迄、かかるエネルギーを認識せしめる如き徴候は、些少たりとも見出されていないのである。

(1) 空間エネルギーの中に私は、運動、重量、形体、容積、面積の諸エネルギーを総括する。

茲に於いて、記憶力と同様の性質を所有し、繰返された過程は初回の過程よりも容易に之を実施し得る如き化学的な仕組が案出され、且つ提示される。私は、この類似性が第一に甚だ皮相的なものに過ぎぬことを承認するに吝かなるものではない。しかし、ここに問題となる・化学的現象の領域は、漸く十年前より系統的研究を始められたものであり、従つてその間知られた事実も極めて小部分に過ぎぬことは、考量されなければならぬのである。

(1) 茲に触媒的現象が問題となる。

それ故、上述した意味の一般的な記憶の反応を生物に於いて可能ならしめる如き・化学的な可能性が充分成り立つことは、是認してよいであろう。かような性質が若し存在するとしたら、種族の維持を著しく容易ならしめるであろうということは今し方説明した如くである。然しながら殊にチャールズ・ダーウィン(Charles Darwin)によつて主張されたところの考察によれば、一般に次の如きことを仮定することが許される。即ち、種族の維持に有用なる性質は、その種族の内部に於いて発展し、而もそれが可能なるものでありさえすれば、固定せんとする傾向を有するものである、と。仮令この考察が、如何なる特別の仕方によつてかの性質が形成されたかに対して、何らの支点

をも与えるものではないとしても、我々は尚、この種の過程が他の有機的現象の範囲に於いても徹頭徹尾適合するものであるという安心を有するのである。

【八九】茲で、類似の質疑に関して一般的な評言をなすことも、決して無用ではないと考える。何らか或る現存する錯雑せる自然現象を、自然法則に関する我々の知見を基として説明せんとする場合に起るところの応用科学の問題は、殊に把握困難な性質を有するものである。何となれば、自然の駆使し得るものは、いうまでもなく、何らかの仕方の問題となり得る・現存する全ての可能性及び手段であるに反し、我々のそれを説明せんとする企ては、現に知られているだけの、而も『不完全』という以上に確実なるものを有たぬ如き・我々の科学知識を以てなすより外はないからである。最近に於ける問題から一例をとって見よう。太陽熱に就いては、現在に至るまで、多少なりとも満足し得る説明が全然見出されていない。即ち、我々に既知なる・エネルギーの源泉は、すべて、それによつて太陽放射の巨大なる需要に応ずるべく余りにも乏しいものばかりだつたのである。然しながら、今迄知られているものに比して凡そ百万倍も大なる濃度を有するエネルギー源としてラヂウムが発見されて以来、この問題も解決可能なるものの領域に入り得たのである。勿論、太陽放射が実際にラヂウムの自然崩壊に類した過程によつて生ずる等ということは、決して証明されたことではない。さりながら、最早言及するまでもないことであるが、既知の源泉にしてかの需要を充し得るものが全く無く、その可能なるもので手近に見出されるものがこの種の源泉あるのみとすれば、この経験によつて我々は、之と類似の生産能を有する他種の源泉が存在してもよい、と多少の確からしさを以て言うことが出来るのである。

同様に、生物も亦その生存並びに活動に於いて無数の解かれざる疑問を我々に提起する。そうして、それらの中には疑いもなく今日の科学方法を以てしては解決不可能なるものが頗る多数に見出される。然しながら、科学の方法は日に日に広く且つ大になるものであつて、今日解決不可能と見えるばかりではなく実際にそうであるものも、明

日は容易に解答される問題となり得るのである。従つて、生命現象の或るものが解明の及び難いものであることが分つたという証明も、それは決して、明日も亦そうであるということの説明と看做すことが出来ないばかりではなく、むしろ逆に我々は、この種の現象のすべてを今日既知の科学によつて残る隈なく説明可能なるものとなさんとする人はこの事柄の根本的な疑問に対して未だ省察を加えたことがないのである、と言わなければならぬのである。この種の言は、生命の現象を原理的に不可能なるものと主張する人に対していわれて来たものであるが、科学的生物学者の代表者達に向つて生命の全的解明を要請する人達に対しても、同一のことが当嵌められるのである。

【九〇】しかし私は、生命の事実の中にはすべての科学的認識の原理的に期及し得ない或る残余が存するというような意見を持つものでないことを強調し度い。真面目にして聡明なる人々がこの種の主張をなすことは、科学的唯物論が惹起した・数多の欲せざる結果の中の一つである。之は前世紀の最後の三十年間を支配した見解であり、今日もなお多くの自然科学者に於いて見出されるものであるが、その代表者達は、常に、科学的説明なるものを『原子の力学』への帰着と同義なるものと考ええる。勿論、この問題に自力で携わつた人は誰でも、無数の（殊に生物学的領域の）現象にあつては斯の如き帰着が見込なきものに思われることを認めるに吝かではない。しかし、人若しこの課題をロバート・マイヤーの意味、即ち、エネルギー論の意味に於て把握し、『一度び或る事実がそのあらゆる側面より知られたならば、それによつて其の事實は解明されたのであつて、科学の任務もそこに終局を告げるのである』と言うならば、最早、科学的解明もしくは成就の可能性を断念させる如き原因は、いかなる場合、いかなる場所にも見当らなくなるのである。何となれば、我々の知覚の領域に到達するすべての事實は、この知覚の領域に達するということによつて、それが層一層我々に知られ得るであろうという條件を充しているのであつて、又それが為めに科学の支配下に入り得るものなのであるからである。

【九一】従つて、例えば、生物の人工的作製が成功すべきや否やの問題に対しては、人は先ず次の如く答えるで

あろう。即ち、生命現象に関しては既にかなり大なる分野が我々に知られているが、それは未だ決して充分なるものではないので、生物人造の方策が果して我々の力の及ぶものなるや否やについては言明することが出来ない、と。この言葉の意味は、最近に於ける一例を示すことによつて、はつきりするであろう。嘗てアルケミスト達は、鉛を金に、即ち一元素を他の元素に、変換せしめることが可能であると信じていた。ところが二三世紀前より元素恒存の法則が人々によつて認識せられ、一元素を他元素に遷移せしむべき方策が全く無いのであるから、かかる変換は不可能である、との結論がそこから導出された。このような変換が実現されぬことを単純なる実験的事実として取扱い、何時にてもポジティブの変換実験が成就した場合には覆えされるべきものであると考へた慎重なる自然科学者の外に、原子仮説の基礎の上に立つてこの変換を原理的に不可能なるものと主張した『理論家』も存在し、彼等は、アルケミスト達の努力は単に不成功に終つた実験というに留まらず中世の迷信の溢出したものである、と看做したのである。然るに最近ウィリアム・ラムゼイ (William Ramsay) は、彼の遂行した多くの驚嘆すべき発見に加ふるに、更に一元素が他の元素に変換する疑うべからざる場合を観察し且つ記述した。それ以前に不可能と考えられていたこの実験が成就されたのは、他の如何なる地上の形体にもまして濃縮した形で遊離エネルギーを内含しているところのラヂウムを用いたことに拠るのである。茲に於いて我々は、如何にすべて事実在即する人々が正当の権利を勝ち得、そうして元素変換の不能を主張した理論家のみが之を勝ち得なかつたかを明らかに見るのである。アルケミスト達は、それ自体は実現可能である・元素変換の実験を、ただ不適當な手段を以て企てたに過ぎないのであつて、手段(及びそれを駆使し得る人)が現われた時に於いてこの問題も漸く解決されるに至つたのである。附け加える必要もないであろうが、勿論私は、生物の人造に対してもラヂウムが適當なる手段である、などと信ずるものではない。この事柄に就いて確固たる見解を得るには、我々が余りにも夫れに就いて無知なることを嘆ぜねばならないのであつて、化学の部門の中で、それを知ること、それを応用することによつて生命現象の理解が助けら

れるであろうと考えられるのは化学、力学であるが、この部門も二十年この方漸く正則に開拓され来った科学に過ぎないのである、然しながら、化学力学に関する我々の知見も、人造生物の可能性に対して確実なる判定を下し得るほど発展することは出来まい、等ということも何ら一般的な根拠のないことである。

斯くして生命の現象も、それが物質的性質のものであるかぎり、科学的な探究の近付き得るものであるとの安心が得られるのであるが、茲にまた、同様に生命と結び付いて居りながら物質的なる現象と大なる裂罅を以て劃分されていると考えられるところの他の事実の集団、即ち、心理的現象或いは精神生活の現象に着目するとき、疑問は再び更新されて立ち現われるのである。もつとも、この事柄もまた科学の前に帰順するであろうことは、既に心理的法則が——仮令その確定性及び精密性に於いて物理的法則とかなり大なる懸隔ある如く見えるとはいえ——知られていることによつても、是認されるであろう。且つまた或る一つの分野の科学的認識の完全さはその錯綜度と逆比の関係に立つことを熟慮して見るならば、以上の事実もまた全く自然なるものと看做されるであろう。従つて我々にとって重要な問題は、生命の現象に対しても適当なる框としての役目をなしたエネルギー概念が、精神生活の事実に対しても同様に利用され得るや否やを調べることにあるであろう。

第十一章 精神的現象

【九二】肉体、精神の關係に就いて古代ギリシヤが原始に抱いた考えは歸一的解釈であつたが、それに対して罅隙かげきを持ち込んだのがプラトーン(Plato)であつた。而もこの罅隙かげきは我々の時代に至つて始めて修理されることを得たものである。即ち、例えばデモクリトス(Demokritos)は——プラトーンよりは、近代思想に近い考えを有していた人であるが——肉体及び精神を同一本質なるものと視、唯、後者は特別に繊細且つ動き易き原子より成るものに過ぎないと考えたに反し、プラトーンは、この兩者の間に根源的なる實質的區別のみならず同じく根源的なる価値の區別を置き、その際肉体に対して著しく低き立場を与えたことは既によく知られた処である。世界の罪障に対する基督教的キリスト解釈も同方向に立つものであるが、近代の發端と共に中欧に於いて自立的な哲学並びに自然科学が芽吹いた時、それは当時の支配的世界觀の中から、かの肉体と精神の對立を疑うべからざるものとして取り上げ、それを以て新しき教義の原則となしたのであつた。そこでデカルトは、精神及び自然の關係を思想的に思惟と延長との對當に於て把握せんと試み、ライプニッツは、これらの其自体相矛盾する両世界の間を、予定調和(Prästabilirte Harmonie)なる超自然物によつて橋渡しせんと考えたのである。

この兩者を以てただ程度的に異なるものに過ぎぬとなすデモクリトスの思想の發展を抑え付ける上に本質的なる寄与をなした・もう一つの特別な事情は、當時の自然科学の上に絶大の權威を有していた力学、世界的觀である。力学は、若々しい力によつて勢付けられた・新しき學問の息吹きが最初に征服し得たところの分野であるが、それはまた、高き完璧性を以て古代から傳承され来た幾何學と密接なる關係を有することによつて、同時に、自然に關する規範的科學、即ち最後の審判に於いて残るすべての科學が之に歸着すべきものであると見られるに至つた。斯かくの如き、考え方はまことに尤もなものであり、且つ諒解し得るものなのであるが、如何なる場合にも認識の著しい進歩というものは、人が新しい思考の道具を他の凡ての未解問題を一挙にして解決するに適切なるものと考えらるほ

どに、強く影響を与えるものである。しかし一方人々は、精神生活の領域を全く自然科学から分離して考えていたから、精神生活の判断に対して力学観が侵略する如き危険は無かつたのである。

ライプニッツは、両者が全く相容れないものであることを、最も明確に言表した。彼は云う、仮令我々が適当に拡大された・思考しつつかある脳の内部へ『宛かも水車小屋の中へでも入るように』入り込み得て、それが思考している間観察することが出来たとしても、我々の知覚し得るものは、ただ、動いている原子以外には無く、同時に脳の内部で形成されつつある思想は、その痕跡だも認知することが出来ないに相違ない、と。それ故、その一方から他方へ渡す橋が全然ないのであつて、脳内の一点、即ち松果腺に於いてこの両世界が互いに境を接し且つその一点を共有するとなすデカルトの想像を、ライプニッツが自家撞着せる且つ理解し得ざるものとして斥けたのは、まことに当然といわなければならぬのである。そうしてこの尊敬すべき思想家には、最後の可能性としてただ、この両つの世界が、一方の一定の運動が他方の一定の精神現象に時間的にも場所的にも正確に対応する如く造物主の手によつて整序されている、となす仮定のみが残されたのである。而して総ての他の形式の連絡、殊に因果的關係の如きものは、始めから両者の相違によつて除外されたのである。

その後の哲学は、必ずしも、厳密なる思想として之と同じ高さに登り得てはいない。周知の如くライプニッツは、彼の解した關係を二個の時計——如何なる仕方によつても互いに影響し合うことなく、而も両者が常に同一の時刻を示すように、始めから造物主によつて定められている如き二個の時計——の像を以て直観的に明示したが、その後、相互間の影響を何らかの形を以て思考し得べきものとなさんとする企てが、幾度も試みられて来た。併し見掛け上は之を解決した如く見えるフェヒナー (Fechner) の思想、即ち、二個の時計は根抵に於いて一なるものに過ぎず、精神的なるもの及び物質的なるものは、一つの円の凸面及び凹面の如く、夫々互いに相帰属するものである、換言すれば、同一の事物をただ異なる側面より眺めているに過ぎぬものであるとみる考えも、如何にして人間が此の両

つの立場に同時に達し得るのであるかを証明し得ないかぎり、結局は失敗せるものと云わなければならぬ。かくして我々は、今日に至るもなお、ライプニッツの予定調和を、物心並行論 (Psychophysischer Parallelismus) なる名称の下に、肉体・精神の關係に関する最も普及せられた見解として——但し、後者の代表者の多くは、それをライプニッツによって刻印された明確なる形のままに認定することを躊躇しているが——見出すのである。

【九三】最も卓越せる研究者達の絶えざる努力にも拘わらず、かくも長き期間に亘つて論争が和解されることなく続けられねばならなかつたということは、その意見の相違の根源が、仮定された前提から引き出された結論にあるのではなくして却つて前提そのものにあるのではないか、を想わしめる。肉体的事物と精神的事物との間に本質的な相違があるとなす前提が、疑いも無く存在し且つ不斷に働いているところの・それらの間の相互的連絡の事実と相容れないものとすれば、この前提そのものにこそ、根本的な過誤が存すると思えなければならぬであろう。従つて人は、プラトーの見解に反して、肉体と精神との間には親密なる關係が存在すると仮定しなければならぬのである。而して之には二様の可能性が考えられる。即ち、この両概念の中の一つを、他の一つを以て規定して説明するか、或いは、両者に共通の或る上位概念を見付け、それによつて、肉体・精神なる両つの相反する概念をその中に包含せしめ互いに結び付かしめるかである。これら相異なる可能性を夫々に就いて考察して見よう。

前者は、唯物論及び唯心論なる・相拮抗する見解に導くものである。唯物論によれば、精神は肉体の一所産に過ぎぬものであるから、肉体及び精神の間には何ら本質的な区別が無い。また、唯心論によれば、逆に、世界は全部個人の意識に於いてのみ成立するものであり、従つて精神の一所産であるから、物体界の独立的存在なるものは一つの幻想に過ぎないのである。

この相拮抗する見解に更に深く批判の目を向けることは、茲で私の意図するところではない。ただ、これら両つ
の見解が数世紀に亘つて相闘いながら、未だに何れが他を征服したとも聞かないことを指摘すれば足りるであろう。

唯物論は、如何にして物体界が、それとは全然相違するところの精神を生産し得るに至るのであるかという疑問に答える術を知らず、唯心論は、世界は、それが決して我々の意志に従わず、其自身に独特の・我々にとっては屢々極端に有難からぬ道をとつて進むという理由からだけでも、既に我々の精神の創造物ではあり得ない、という批難に対して何らの弁護をもし得ないのである。

すべてこれらの困難から、全く自然且つ適切な（と私には思われるのであるが）方法を以て、救い上げてくれるものは、とりも直さずエ、ネ、ル、ギ、ー、論である。而もそれは、エネルギー論が物質なる概念を解消し、無用のものとなしたという根本的な事情によるのである。物質が種々なるエネルギーの複合体として認識せられるということ、しかしまた、それは決して全部の既知エネルギー（就中電気及び光）を包含せず、そのため、全く確定的に一面的なるものに過ぎぬということによつて、精神—物質なる対当関係の一員が揚棄されたのである。換言すれば、精神と物質とは如何にして交互作用に入り得るものであるか、を調査する如き仕事は最早全く成り立たないのであつて、新たに起るべき問題は、エネルギーの概念—物質の概念に比して遙かに広きものたるエネルギーの概念—が如何にすれば精神の概念に、対置されるか、ということである。精神と物質との間を媒介する上の困難は、ただ、物質なる概念が不適當に作られたため、それは我々に知られていない物理的實在のほんの一部分しか包括しない、という事情にのみ依拠したのであつた。従つて、適切により広く形作られたところのエネルギー概念が、その框内にあらゆる物理的事象を残らず實際に包含するものであるから、精神の概念に対してもまた明確なる関係に持ち来らされ得るものであろう、との希望を抱かせるのである。

この関係は、私は之を次の如く解釈してよいと信ずる。精神的なる事象も、他のあらゆる事象と全く同様、之をエ、ネ、ル、ギ、ー、論的に解釈し、意味付け得るものである、と。即ち、精神的なる過程と力学的なる夫れとの間には、電氣的なる過程と化学的なる夫れとの間に於けると殆んど同様の區別、殆んど同様の類似性が存するであろう。兩者

は夫々、直接的には互いに独立した特定の且つよく特性付けられた現象の集団を形成する。しかし、一定の条件下に於いて且つ固定された関係を以て、相互に変換し得る性質を有することによって、この両つの領域は、一定の確固たる関連を持たされるのであって、この相互間の転移現象は、恰かも人々が電気学と化学との共有領域を電気学なる科学に於いて取扱うのと全く同様に、それ自身また、一つの事実の集団を形成するのである。

【九四】 具体的観念を得るために、一度、精神的生活の最も重要な事実に着目して見よう。先ず第一に、精神生活の成立は概して感覚の経験に依拠するものである。このことは、先天的に或る一定の感覚器官を持たずに生れて来た不幸な人々に就いて、精密に観察することが出来る。

例えば、聾啞者の精神的發育が比較的如何に難かしくまた貧弱であることか。而も之に加えて生来の盲目でもある場合には、精神的生活が適度に發展するなどということは全く異常な現象と見られるのであって、今迄に知られた極く僅かの実例、例えばヘレン・ケラー (Helen Keller) の場合の如きは、殆んど信すべからざる奇蹟とさえ解せられているのである。

さて我々は、既に感覚の印象が、特別の機制によつて小なるエネルギー差にも敏感なる如く作られているところの・身体の或る部分と、外界との間のエネルギーの遷移として普遍的に記載し得るものであることを知つたが、同一の器官に作用する種々なるエネルギーが同種の感覚を喚起する (例えば、視神経に対する力学的作用が光の現象を与える如き) ことがあるという事実は、感覚器官内に於いて既に外的エネルギーの他の形への変形が起り、それが神経によつて伝導されるということの説明を要求するものである。この際伝導されるものが何であるかは、我々は未だこれを断定的に挙示することが出来ない。我々は、ただ、その伝導速度が電流の夫れに比して遙かに小さいことから、それが通常の電流ではあり得ないということを知るのみである。しかしまた我々は、何かしら或るエネルギーが伝導されるということは知り得るのである。何となれば、この何ものかは、物理的な効果、例えば筋肉の収

縮を惹き起し得るものであり、而もすべてかかる効果を起し得るものは我々がエネルギーと名付けるところのものであるからである。従つて、我々は簡約して、神経エネルギー、(Nervenenergie)に就いても語りたいと思う。しかしこの際、之が他の物理的エネルギーと完全に差別さるべき一つのエネルギー種であるのか、それとも、特種の力学的エネルギーが音の感覚を起す場合の如き、既知の諸エネルギーの特別な組合せに過ぎないものであるのか、は措いて問わないことにする。この神経エネルギーは、空間的には神経繊維の軸索に局限して在り、これに沿つて一秒間数十米の速さで伝導されるという性質を有つ。しかし速度は、種及び温度によつて著しく変化を示し、また伝導は、神経の有機的連絡に拘束されたものであつて、神経が一度び切断された後は、それを再び結合したところで最早伝導は中絶されたままである。

身体内に於いて、この神経エネルギーは種々多様な作用を起し得るものである。多くの場合それは中央器官(脳或いは脊髓)に導かれそこで新しい変形を受けるが、この変化の結果は屢々或る筋肉団へ向つての新しき神経流となつて現われ、後者の収縮を起さしめる。此処でまた或る変形が起る。何となれば、筋肉は自己固有の化学的エネルギーを用いて仕事をなすのであつて、神経の刺戟は、例えば電氣的連結装置を押すことによつて電線に於いて待機している電気エネルギーの流動が始まる如く、ただ解弛の役目を勤めるに過ぎないものだからである。以上は、生物が外界から影響を受けた後、外界に対して影響を及ぼす経路である。換言すれば、外界に対する生物の反応である。この反応は大多数の場合力学的性質を有するものであつて、化学的、電氣的、或いは其の他の作用を外界に与え得る如き場合にも、それは、あらゆる種類の力学的過程と結合しているのが常である。生物は、この種の合目的的反応を發達せしめることによつて、個体及び種族の維持に必要な取引を外界との間に営むことを得るのである。それ故また我々は、感覺器管の数及び精巧度は、生物と外界との間の關係が多様なればなるほどその割合で増大することを知る。内臓寄生虫は殆んど完全に一定なる外界を有ち、食物を探す必要もなければ、保護を求む

る必要もないもの故、それに応じて感覚器管は、同化し得る食物が来たことを教えるものの外、全く如何なるものをも所有していない。反之、人間は種々なる感覚器管の多様性を自由に処理し得るに止まらず、その文化の大部分は、最も一般的な意味に於ける道具の形成によって、一方ではその感覚器管を生得の性質以上に精巧化し他方では外界に対するその反応を他力的エネルギーを含めることによって、常に一層強力なるもの、効果多きものとなさんとすることの中に成立するのである。

かく考察することによつて我々は、自然に、嚮に最も一般的なる、最も単純なる生命現象を考察した際に偶々遭遇したと全く同様にして、再び目的概念を見出すのである。世界に於いては、最長の永存性を有するものが主として存在する、と云うダーウインの簡單なる根本思想によれば、我々は生物の各特異性について、それが如何なる目的に役立つものであるかを尋ねることが出来るであろう。一定の体制の有用なことが理解出来たならば、それによつて我々は、それが一度び現われた上は繰返し現われ且つ保存されるということの理由を認識したことになる。しかし、この出現が如何なる特別の原因によつて惹起されたかという疑問は、本質的に異つた基礎の上に立つものである、それに対する解答は、場合場合に從つて詳細なる研究を要するものである。殊に、之に対して唯一つの原因を立て、それを押し通さんとするが如きことは、決して適切なるものとは言ひ難いであろう。我々は、生物は我々が知っている以上に多くの方法手段を自在に処理するものなることを知るのであつて、現在未だ理解されて居らぬことが将来解明されるであろうとの信頼は、茲では只に容認さるべきのみに止まらず、要請さるべきことなのである。

【九五】茲で再び、神経エネルギーに変えられた外部エネルギーの作用に関する問題に戻ろう。数回の変転によつて、与えられた印象に対して一定の反応が生ずるといふ、いま上に述べた如き過程は、非常に普遍的なるものである。多くの下等生物にあつては、実際に之が『精神生活』の唯一の形の如く思われる。かかる生物はその行動を選

扱することがなく、与えられた外的印象は、絶対的に、生物の特定の反作用を喚起するのである。例えば、植物の姿勢に対する電力及び光の影響を憶い起して見よ。それらは、問題の條件が存する限り、その反応が植物に対して有利なるか有害なるかに拘わらず、拒否することも反抗することも許さずに起るのである。論ずるまでもなく、それは大多数の場合有利である。そうしてこのことこそ、何のために反応が形成され固定されるかの合目的根拠なのである。然しながら、植物は現に与えられた場合の得失を判断することがないのであるから、正常的反応を起すことが却つて植物に対して有害となるような條件を作り上げることが明らかに不可能ではないのである。

かくの如き過程は、それを達成する装置の細部に就いて我々が何らの知識をも有していない時でさえ、決して、理解し得ざるものを含んでいない。何となれば、類似の問題を全く異つた方法を以て解決することも可能なのであるから。例えば自動切符販売機は、類似の、否、更に進歩した反応を呈示する。それは白銅貨を投げ入れることによって切符を差出すのみならず、もしも間違つた重さの銅貨を入れた場合には、完全に作られた自動機であれば、その銅貨を再び返却する。しかし、貨幣と同じ重さ、且つ同じ形をもつ任意の円板に対しては、同じく切符を提出することによつて反応する。換言すれば、それは唯この二つの性質のみを判断することが出来て、投げ入れられたものの其れ以上の貨幣的性質は判断し得ないのである。然しながら、また、自動器械の批判的性質を更にこれ以上に発展せしめることには、原理的に何らの困難もないのみならず、之と一致した反応を全く異種の器械的装置によつて起さしめることも、同様に決してさしたる難事ではないのである。

これらの場合に於いても亦、そこで取扱われているのは、外界よりの影響が何らかのエネルギー的過程を惹き起し、それによつて、器械の構造によつて決定されるころの・特別な性質をもつた反応が喚起されるということである。そうして、正常の過程（貨幣の落下）によつて惹き起される変化が何か別の方法で受器に齎らされた場合にも、器械が全く習慣的な方法で応じるといふことは、そこに働くエネルギーが自己の職分を果した後は、残るとこ

るはただ器械の性質にのみ依拠するということに由るのである。

従つて、自動器械と生物体との間には原理的な一致が認知されるのであつて、このことは、高度の体制をもつた生物と或る点で類似の行動を示す如き自動器械を作製することが十八世紀に於いて非常な興味の的となつていた原因でもあるのである。何となれば、人工的に作つたピアノ弾きや人工の鴨は、対応する真の生物の機能をほんの一部分模倣し得るに過ぎないものであつたとはいへ、然し尚それに由つて極めて錯雑せる反応系列をも器械的な方法を以て実施し得るといふことが原理的に証明されたのであるからである。そうして、近代の複雑なる機械、例えばレース織機械等を見る時、それらが起り得べき数多の故障に対して、目的に適つた仕方^{かな}で反応するといふことは、取りも直さず、生気澆刺たる生物の行動を最も生々しく想起せしめるものであろう。まことに、現在の技術のかくも莫大豊富なる方法手段を以てすれば、生命の機能の模倣を飽くまで押し進めることに対していささかの疑惑をも差し挟み得ないのである。

自然が利用するのは、かような機械に於ける『テコとネジ』の如きものとは全く異つた道具である、等といふことは指摘されるまでもない。重要なことは、ただ、かくの如き錯雑せる而も合目的に形成せられた反応系列が人工的な方法によつても作り出すことが出来る、といふことである。何となれば之によつて、かくの如き反応系列が生物体中に起るといふことも何ら解き得ざる謎ではない、といふ証明が得られた訳であるからである。問題を解く一つの道を我々が知つたならば、他の道を求め、またそれらの中から、生物によつて利用されている道を探査することも、忍耐強き研究に俟つ一問題たるに過ぎないのである。

【九六】さりながら高等なる生物は、現存する事情に対し、これ迄考察し來つた如き単純なる反射に比して遙かに正確に適応する如き・なお遙かに複雑なる反応系列を提示するものである。個々の場合の差異は、我々の所謂選沢の自由を制約するが、茲に、種々なる可能性の間の裁定に導く・省慮といふ事実の中に、その説明は自然科学

の方法を超え、また常に之を超えるに違いないと思われるような一契機が存するのではなからうか、という疑問が生ずる。選択の自由には意識、殊に自意識の事実が結び付くが、この特異的な人間の性質を物理Ⅱ化学的に、或いはエネルギー論的に説明する如きことは、現在遍く普及されている見解によれば、全く不可能なることとなされているように思われる。

第一に私が強調したいことは、判断並びに選択なる性質は決して人間に特有なるものではないということである。或る動物にかかる性質が有るか無いかということは、専ら、その動物が生活している状態の多様性のみ依拠するものであつて、全然人間の行かぬ地域に住む鳥は、人間を見ても逃げる事が無いに反し、年老いて人ずれのした鳥は、人間が鉄砲を手にしているか否かを感じし、それによつて、逃げるべき時には逃げるのである。殊に、人間は、その周囲にいる動物の生活條件に対して最も多面的に影響を及ぼすものであるから、家畜に於いては、最も多様性をもつた判断力が形成されている。然しながら、人間と無関係にもまた多くの動物は、獲物を取る場合或いは外からの迫害に防禦策を講ずる場合等に、反応の多様性によつて、非常に拡大された判断能力を現わし、要求の多様性に応ずることを知っているのである。

この説明を読んで読者が、茲で問題となつてゐるのは嚮に論じた場合とただ程度の相違があるだけのものか、という想像を意識の奥に持たれたとしたら、それは部分的にのみ正しい感じを得たに過ぎないのである。何となれば、大なる類似性のあることは勿論であるが、ここでは、一つの注目すべき新しい契機が発現するのであつて、我々は、それを抑え付けるところか、むしろ却つて、出来得る限りそれを仕上げなければならぬのである。この新しい契機は、自我の意識及びそれによつて影響される選択作業の中に存する。

【九七】この問題を普通に解釈する場合は、既に古くより哲学者によつて規定されている如く、自我の問題はあらゆる神秘の深淵として我々の前に立ち現われる。我々が、カントと共にそれを統覚の綜合的統一と名付けようと、

或いは、フイヒテ (Fichte) と共にその中に世界の中、心及び重心を見ようと、常に我々は、日常而も殆んど中絶することなく体験するところの此の事物が、宛かも、永劫に我々の理解から遠ざかり、科学の正当に入場し得る領域外にあるものではないかという想念を抱くのである。私は信ずる、我々が何よりも先にまず自由にならなければならぬのはこの神秘的な恐怖からであり、且つまた、我々の全生活とかほど密接に結ばれ、従つて並々ならぬ多くの關係を有するこの事は、まさに此の關係によつてこそ、それを把握すべき無数の把手を我々に提供すべきであるといわなければならぬのではないかと。

實際、我々がこの問題をより精密に研究するならば、斯の如き恐怖は根こそぎ消散するのである。我々は、自我の基底に横わるものが、第一に、かの生物に普遍的な能力、即ち記憶であることを認識する。このことは先ず、記憶の消失と共に自我もまた消失することから明らかである。殆んどすべての人は、病氣の時であれ、麻酔の時であれ、或いはまた半睡の時であれ、記憶の貯蓄が一時的に失われて、その結果、『一体私は誰であるのか』という驚いた問いを發する如き場合を体験している。更に注目すべきは、時々現われる多重の自我の場合である。即ち、同一の人間が週期的に、全く分離した生活系列を行い、A期間に於いてはB期間に於けると全然別異の性格を示すのである。この場合、A期間に得られた記憶は、それ自身で一つに連合した一個の全体を形作り、相應するA我を構成し、B我に就いては全然何も知らず、全く見知らぬ人としか感じない（その上ときとしては憎み或いは輕蔑さえする）のである。

それ故、自我が記憶を有する、とは云えないのであつて、むしろ、自我が記憶である、と云わなければならぬのである。もつとも、自我に帰属するものは之のみに止まらず、更に広く且つ本質的なる事情、即ち、潜在的記憶を任意に喚び返し得る能力をも考えなければならぬのであるが。

我々の意識の中には、通常、唯一一つの事物が存在するのみであるが、同時に、その一つの事物は、常に半意識的

な種々の附屬物によつて取囲まれているものである。従つてある瞬間に、我々に可能なる記憶の全部が意識の中に存在する、というが如きことは見当外れの議論といわなければならぬが、しかしまた我々は、我々の既往の経験の大部分を、少くとも夫れが我々の興味を惹いたものであるかぎり、後に記憶として喚び返すことの出来る能力を知得している。多くの場合我々はこの操作を必要な秋に當つても直ちに実施することが出来、或る場合に之が不可能なることがあれば、それを精神上の欠陥と感ずるのである。斯の如き潜在的記憶の可能性は、それ故、自我の本質的な主成分をなすものである。

更に我々は、性格、即ち、一定の條件の下で其の人間が振舞う、或いは一般的にいつて反応するところの特別な仕方の中に、自我の特性付けをなすことが出来る。人間は、よく似た條件の下ではよく似た振舞いをなすものであるから、我々が彼の振舞い方を精確に予言し得ればし得るだけ、それだけ明確に当該人物の性格を語り得るのである。自我の此の成分に於いても亦、我々は直ちに、我々に既に熟知となつた・一般的意味に於ける記憶を認知するのである。即ち、性格に於いても實際取扱われるものは、同一または類似の条件下に於ける一定の反応の同様の繰返しとすること以外の何ものでもないのである。

【九八】そこで、これらの事実から、意識の物理的即エネルギー論的基礎に関して攻究することも、決してさほどの難事ではないであろう。あらゆる感覚の印象は、神経伝導に種々の変化を喚び起すものであるが、我々は嚮に、この際働くエネルギーに対して——その性状に関しては特定の臆測を立てんとすることなしに——神経エネルギーなる名を与えた。さて、神経伝導の大部分は脳に向つて行われること、並びに、すべての感覚器官は其処に各々の中枢を有し、而してその中枢の規則正しい活動は感覚器官の内的機能を決定することが知られている。その上これらの種々なる中枢の間には、多種多様な連絡路が存在する。而して、精神活動が行われて居る間、これらの装置の中には、完全に普遍的にエネルギー、消費として記述され得る変化が起ることは、最早、生理学によつて疑いなき

ものとされているのである。ここに働くエネルギーが如何なる種類のものであるかは、勿論我々に未知である。しかし、これまた同様に神経の装置内で働くものであるかぎり、我々は同様に神経エネルギー、又は一般的に、心理的エネルギー、(Psychische Energie)と名付けることが出来る。但し、その活動の種々に応じて、対応するエネルギーを区別することは、後に必要の生じた場合のために留保しなければならぬことである。さりながらまた、我々はこの心理的エネルギーの源が化学的性質のものであることを知っている。何となれば、精神活動が起っている間、その強さに応じて酸素が消費せられるが、その酸素たるや食物から由来した化学物質の酸化に働くものだからである。そこで、神経の内部で起ることが機械的、或いは電氣的、或いは化学的性質のものであると仮定する限り、精神的過程と生理的過程との間の相互関係に対しては、予定調和、或いは同一のこの言い換えに過ぎないが物心並行論以外に解釈の仕様がなないのである。即ち脳の内部に於ける或る化学的、電氣的、或いは機械的過程に対して、何かしら全く理解不可能なる仕方、思想が結合され、一者が生起する場合には必ず常に他者もまた顯現する、と仮定しなければならぬのである。しかし、この両者の間を繋ぐ因果律の如きものは嘗て知られていないのであるから、この際、両つの現象群は互いに全く分離したものととして考えられなければならない。斯の如き彌縫策が不充分なる性質を有つことは既に指摘した通りである。

然しながら、神経エネルギーの概念を慎重に取り扱うことによつて、根底から全く異つた解釈をなすことが出来る。そうして、そこでは、心的現象を直接に、神経エネルギーの現象として解釈することを妨げるものは、寸毫たりとも存在しないのである。何となれば、エネルギーに対して要求されるのは、保存法則及び転移法則に従い、且つ、多様性のあらゆる程度、あらゆる種類をとり得るところの一つの計量し得る大きさである、ということ以外にないのであるから、神経エネルギーなる多様性特性を有つた一つのエネルギー種を仮定することには、原則上、何ら疑念を差挟む余地がない筈だからである。そうして、相応するエネルギーの消費なしには如何なる精神現象も起り得

ないというあらゆる方面から認容されている事實は、之に対する根拠と看做すことが出来るのである。従つて茲に起る疑問は、心理的過程を以て、従前同様、因果律の外に立つところの、かかるエネルギーの変化の随伴現象と看做すべきか、それとも、之をこのエネルギー変化そのものと同一視すべきか、ということだけである。

【九九】幾年かこの方、私は、この同一性を仮定するに反対なる実例がないことを主張し來つた。その間、この考えに關して、多くは反対の立場で幾多の主張が現われたが、それらの駁論の中に適確なる反対理由を見出すことは、私に遂に不可能であつた。即ち、その多くは、多少とも粗笨なる誤解から生じた議論に過ぎず、それ等にあつては、カントも時に嘆じた如く、論争されたことが認容されたものとして取り扱われたり、誰もが疑いを差挟まなかつたことが証明されたりしているのである。殊に屢々見受けられた誤謬は、『精神的エネルギー』の仮定によつてエネルギー保存の法則が毀損されるであろうという議論であつたが、斯の如きことは勿論問題とするに足りぬものである。

もう一つの異議として挙げられたのは、思惟なるものを、脳分子の力学的振動の随伴現象として解釈しようが、他種のエネルギー過程の随伴現象と考えようが、歸するところは同一であるが故に、問題はそれによつて何らの変化も蒙りはしない、というのであつた。この論難は、少くとも一つの本質的な点、即ち精神的過程がその多様性のすべての点に至るまで、当該エネルギーの随伴現象としてではなく、このエネルギー、其ものとして解釈されなければならぬということを指摘しているかぎりに於いて、卓越したものを有している。然しながら、運動が運動エネルギーを特性付けるのと全く同様に、精神的過程は、心理的エネルギーを特性付けるものである。そうして空間エネルギーの性質によつて物体界の外形の多様性が成り立つのと全く同様にして、精神的エネルギーの特性によつて、またその特性として、精神界の多様性が成り立つのである。

殊に心理的エネルギーの最も多様なが故に最も困難なる型たる意識は、脳皮質の互いに連絡する伝導径路に於

ける・神経エネルギーの著しく錯雜多岐なる演技として現われるが、ここでは『一撃は千の結合を機り出し』而も凡てそれらの反応は、宛かも空間エネルギーが化学的エネルギーと共に物体の複合体にまで合一するのと同様、一つの複合全体、即ちその瞬間の意識内容にまで、合体するのである。この場合にもまた著しく重要な役割を演ずるものは記憶であつて、そのエネルギー論的表現は、現実の体験に伴う・大脳皮質内部の或るエネルギー変形が、すべての有機的過程に特異な反覆の容易ということによつて、常に同一の仕方で喚び起され得る、ということの中に求められる。茲に於いてエネルギー論は、大脳細胞内の『記憶心像の保存』というが如き子供らしき想像から我々を避けしめ、像の代りに夫れに相応した過程を、換言すれば、それに対する基質の証明されぬ・単に思考せられた空間的、多様性の代りに、それだけで精神現象の純時間的な特性を充すところの時間的な反応系列を代置するのである。

現象の本質的要素が如何にして顯わにされ、表現されるかに対して暗示を与えることによつて、如何にエネルギー論がこの重大且つ困難なる領域に於いてもその特徴ある手助けを示したかに関して、以上、二三の素描を記して来たが、今はこれだけで満足しなければならぬ。何となれば、エネルギー論的解釈は、この場合、人為的または強制的に現象に押し付けられなければならないのではなく、むしろ、現象と自然にまた容易に連繫しているものであつて、二千年以来人類精神に蟠居していた困難を消散せしめ且つ似而非問題として解消せしめるところのものである、ということを読者に提示すること以上には、私の任務を推し進めることが出来ないからである。この主眼点を今一度明示するため、次の如く述べたい。力学的世界觀に對しては、機械的としての物理的現象と、精神的現象との間に、架橋し得ざる裂罅が存在したが、反之、エネルギー論的世界觀に對しては、最簡單なるエネルギー活動、即ち機械的と、最複雑なるエネルギー活動、即ち心理的との間には、連続的な連関が存在するのである、と。

第十二章 社会学的エネルギー論

【一〇〇】人類が集合して生ずる・より大いなる団体は、個々の生物体とまったく同様に、Organismus (有機体)——我々は慣習的にこの名を与えている——と看做さるべきものである。然しまた言葉によつて事柄を傷けないためには、次の如くいうことも出来る。個々の生物体は、発生、維持及び機能に於いて互いに最多様なる仕方でも相制約するところの・種々雑多なる部分から成り立っているものであるが、その個々の生物体が更に集つて生ずる・高度の団体に於いても、之を形成する個々の生物は、同様にその発生、維持及び機能に於いて互いに制約し合うことが見られる、と。この問題を理會するためには、一つの蜂窩の有様を思い浮べて見るがよい。各々の蜂の個体は夫々独立に生活し得るよう体制付けられているように見えるが、而してそれらは確かに或る日数の間は夫れをなし得るのであるが、その全生存はひとえに蜂窩の全体制の存在に依拠するのである。産卵する女王蜂なしには、それらは決して生れ出づることなく、働き蜂による養育がなければ、それらの生育は決して営まれないであろう。そして彼等が生存競争場裡に立つて存続するためには、それらは必ず、共同の住居にあつて各々の職分を尽し、冬期の寒冷、食糧欠乏期等に対する防衛の役目に任じなければならぬのである。従つて、蜂の一族が繁栄を続けるためには、全体制の存在が不可欠なのであつて、例えば新しい一族の群出の如き場合に見られような・住居者の著大なる部分の脱退が起つても、なお蜂窩は全き存立を続け得るにも拘わらず、若しも脱退した者が一匹である場合には、その一匹は、宛かも切り離された蜘蛛の肢(もつとも、之も数時間の間は痙攣によつて生活機能を示しはするが)の如く、最早生き永らえることが出来ないのである。

実際、我々がここで問題とする体制は、特殊有機体として認知されているものの夫れと、たしかに比較され得るものである。動物学の教えるところによれば、団結の状態にも、最も狭き空間的生理的閉合の状態から、最も高度に弛緩した結合状態に至るまでのあらゆる度合の移り行きがあり、而もこの移り行きが、屢々同一の種類に於いて

も存在し、それがただ時間的に発生時期の差によつて切り離されているに過ぎぬことがある。殊に往々我々は、動物の幼年期はなお全的有機体として生活するにも拘わらず、後に至れば、それらは自立して生存する単一的有機体にまで分散してうことを観察している。

如何なる前提の下に、単一に現われる生物の一群を全的有機体として解釈すべきであるかという疑問に答えるためには、我々は直接に、いま上に挙げた標準を利用することが出来る。即ち、固体がその属する群から脱退した後も、その状態が本質的な変化を示すことなく存続し得るとすれば、その群は全的有機体として解釈しないのが適当である。反之、斯の如き独立の生存が不可能な場合は、それを全的有機体として考えればよいのである。

茲で、これら兩者の間には、その何れとも断定し難き遷移型が存在するではないが、等と説くことによつて、このような分類の価値を過小視してはならない。何となれば、之と同一の関係は、殆んどすべての自然現象についても見られるのであつて、定立された基本型の間には、常に、多少とも基本型の特徴を外れた中間型が存在するものである。しかし現実中存在する区別は、決してかような遷移型のために消滅するものではなく、仮令中間型に於いてその特徴がなくとも、基本型に於いてははっきり現われているのである。即ち、選んだ分類法が使用し得るものなるや否やを特性付けるのは、中間型の数が基本型の数に比して少ないということによるのであつて、その限りはその分類が正当なりとして差支えないのである。勿論、新しい発見によつて中間型の数が多くなり数的関係が上と反対になる如き場合も起り得るであろう。しかし、然る場合も、全概念形成を始めから更めて攻究し直し、より典型的なる標徴が見出されはしないか、と穿鑿することが望ましいだけの話である。而も、当面の問題を見れば、かかる心配をする必要もまずないのであつて、我々は、従つて上に述べた方法を以て、現存する集団形成が有機的性質のものなるか否かを審査する権利を有すると考えてよいのである。

さりながら、この関係が人類に於いては如何であろうかと問うならば、それに対する答は決して全く単純なるも

のではない。我々は、一方に於いて、生殖目的のための結合以外には集団的な形体の成立が殆んど問題にならぬような・最も低い文化の生活型を知っていると共に、他方に於いては、荒野へでも投げ出された時は最早独力では生活不可能と看做される近代的文化人を知っている。而して全く普遍的に、文化の度の上昇と共に、人類は、それだけ、集団的存在または社会的存在となる、と言ふことが出来るのである。然しながら同時に、文化状態が高まれば高まるほど、集団形成はそれだけ錯雑多岐となり、従つて、個々の人間が、性格も目的も異なる多数の集団に同時に属する如き事態が現われる。而もそれらの集団たるや、決して正則な順列に於いて各々独立してあるものではなく、むしろ互いに部分的に重複した極めて複雑なる関係に立つ場合がある。例えば、住所の如きものによつて或る国家への従属性は示されるものではなく、国家的な団結以外に国際的な団結があり、各々の人は事情に応じてその個性の大部分なり小部分なりを之へ属せしめているのである。

この差別の由つて来る所以は、種としての人類が、すべての種類の生物が有する如き、維持の能力のみならず、尚その上に、他のすべての種類の生物には見られぬ・発展或いは向上の能力を所有する、ということである。之によつて、動物の種類にあつては一定の仕方種の標徴として現われ、従つてまた一義的な解釈を可能ならしめたものが、人類にあつては存在はするが決して一般的でも必要でもない現象としてしか現われない、ということが規定される。従つて、例えば人類に於いても、多くの点で蜂窩の体制に類似したものを有ち、且つ、その構成員が、蜂の場合と同様、規則正しく担当し又実行する彼等の機能だけでは、独立に生活し得ないような団結が見られるが、一方ではまた、明確に個別的なる生活を顯わにするところの生活型も存在するのである。それ故、他の諸生物にあつては一度限り且つ一定の仕方存在したものが、人類にあつては、同時に、また最も多様な等級を示して現われることが見られるのである。

【一〇一】さて、単一的有機体に於いて、絶え間無きエネルギーの流れが最も本質的な特徴として示されたこ

とを想起するならば、全的有機体に於いても、そのエネルギー關係に就いて問うて見るべきは当然であろう。しかし、この際、個体に個別的に帰着するところのものは、我々が嚮に論究したところのものと本質的相違なきものであるから、我々はこれを考慮の外に置き、團結關係によつて新たに発現する關係に就いて考察しなければならぬ。

動物に於いて数多く見られる・簡単な團結に対しては、二つの相反する作用が現われる。即ち先ず、多数の生物が同一の要求を以て同一の場所に同時的に存在することは、現在物に対する需要が数倍になったことを意味するか、延いては、エネルギーの要求、殊に食物を得ることが困難となる。従つて、集團形成は、斯の如き不利益が感ぜられぬ場所、例えば、食物が過剩に豊富なる如き場所に於いてのみ發展し得る。ところが、他方、場合によつては、食物の獲得が團結によつて却つて容易化され、この事情が、前述の不利益を克服するまでに有力なることがある。例えば、狼の集团的襲撃の如きが夫れである。同様の考察は危険防止、子供の教育、その他生物の種々なる要求に対しても当て嵌る。ただこの際考慮さるべきことは、多くの場合多数の子孫が同一の場所に於いて生活の歩を履み出すということによつて、既に抑々から集團形成への動機が与えられているということ、従つてその他の事情が同じであれば、この方が個別的な生活に比してより好適なるものと考えられるということである。

【一〇二】更に遙かに複雑なるものは、人類に於ける社会学的エネルギー論である。即ち、一般に動物は、その目的のために、自己の身体のエネルギーのみを用うるものであるに反し、人間は、その外になお無数の他種のエネルギーを使用するものであつて、その際、彼が固体として統御し得る額は、團結の作用によつてのみ獲得し得る額に比して、比較にならぬ位小さいのである。従つて、それと同様の割合で、社会学的エネルギー論は、個体のエネルギー論に比して、より多樣的、より包括的なのである。

まず第一に認められることは、自然が提供するままの粗エネルギーは、人間の目的に対し、直接には、その極めて小部分しか利用されない、ということである。動物は、反之、かかるものに依存し、その食物は調理することな

しに食い尽す。而も、彼等の生得の肢体に個有な変換器を利用するのみで、その筋肉を使用するのであるが、人間は反対に自己の目的のためには、自然の粗エネルギーに対し最も錯雑多岐なる方法で影響を及ぼすのである。而して、この影響の様式及び度合こそ、我々が文化と名付けるところのものなのである。

そこで先ず、我々は人間及び動物が潜在的筋肉力の形で、いいかえれば同化された食物の化学的エネルギーの形で所有するところの直接的なエネルギーの貯蔵に就いて考察して見よう。人間と動物との間の特性的なる相違は、既に古くより知られている如く、人間が道具を使用する、ということに存する。茲に道具というのは、一、定に、且つ目的に、適うように、エネルギーを変形せしめるところの装置以外の何物でもない。そこで、あらゆる道具の中の最も簡単なるもの、例えば木の折り枝をとって考えれば、之は、時には猿によつても利用されるものであるが、腕の筋肉エネルギーが達する半径を、その長さだけ、拡大するに役立つものである。而も、棒の形状エネルギー（従つてそれは充分固いものでなければならぬが）によつて筋肉エネルギーは変形せしめられ、且つ、棒の届くところに伝達される。而して、それが打撃に用いられる時は運動エネルギーの変転が問題となり、桿杆として用いられる時には筋肉エネルギーが棒によつて力学的仕事に変形されることが意味されるのである。

石を投げることもまた道具の使用である。何となれば、それは筋肉エネルギーを運動エネルギーとして望みの場所へ運搬するものであり、そこでは更に當つた物体に於いて変形が起る。この道具は、棒に比して、行動半径が著しく拡大されるという利得を有するが、その反面、エネルギーは道具に対して一回に或る量だけ与えられねばならず、而もこの量は作用の間に於いて増大し得ないという不利益をも有するものである。

変換器のもう一つの種類は、切る、道具に於いて之を見ることが出来る。この場合は、刃の狭い圧面によつて筋肉エネルギーはその線的なる接触面に集中せられ、それに応じて圧力の強さが著しく大となる。指の鈍い圧に、或いは（より集中的な）爪の圧に抵抗する物体に対して之が作用し得るのは、全くこの理によるのである。劍は棒の利得

を刃の利得と組み合わせたものである。而して、更に大なる集中を可能ならしめるものは尖頭であつて、之は圧力を殆んど点的なる面積に集一せしめ、従つてその強さは遙かに増大する。鎗或いは箭は、この原理を棒の原理、或いは石の原理と合一せしめたものである。

斯の如く、エネルギー論的観点は、人類文化発展の要素に関する問題に、系統及び秩序を持ち来らすものであつて、既往に於いては、かほどに簡單且つ満足すべき説明は不可能であつたのである。同じ観点は、更に、一層錯雜せる事相に対しても指導者たるの実を示すであらう。

【一〇三】第二の階段は、自己の目的のために他力を適合せしめることである。恐らく、之の最初の形は（最も身近なものでもあるが故に）この意味に於ける他の人間の使用にあるであらう。しかし、ここでは、かような使用の詳細を、研究する必要はない。ただ自発的な保護関係で男に属する家族員、即ち妻子の外に、なお強制された労働者、即ち奴隷が重要な役割を演じて来たことを指摘すれば充分である。決定的なることは、かようなエネルギーの主人となつた者が、同僚に対して著しくその権力と威力とを強化することである。

恐らく、人間の共働者より後れて、動物の共働者が備用されたのであらう。これらは、種々なるエネルギー的目的のために、屢々同時に一方では食物として、他方では労働用として問題となつた。ここで注意すべきは、かような意味に於ける所有者の権力増大は、決して、それによるエネルギーの量の増加にその俾比例するものではない、ということである。一人の人間がなす仕事は、量的に見れば、一匹の牛馬による夫れに比して遙かに小なるものがあるが、而もなお質的に見れば、前者は後者を遙かに凌ぐのであつて、到る処に於いて牛馬に比して奴隷が高く評価されたのも故無きではないのである。茲に於いて、価値の概念に対する一つの本質的なる因子が始めて顕わになつたのである。我々は、エネルギーの質に関する問題に就いて更に一層攻究の歩を進めなければならぬ。

【一〇四】最後に、他力的エネルギー占有の第三階梯は、無機的エネルギーの夫れである。種々なる民族の口碑

によれば、火の使用の成功こそ、人類文化発展に於けるきわめて重大なる一前進である、と考えられている。すなわち、直ちに気付かれるように、これが何を意味するかといえば、無機的エネルギーが人間に役立つようになった最初の形がこれである、ということである。

この進歩の意味は、二つの方向に向つて存在する。一つは、無機的エネルギーはそれだけで類たぐいなく大なるエネルギー、量を供与するものであること、並びに、それによつて人間または動物のそれぞれが到底実行し得ざるほどの仕事を可能ならしめるということであり、他の一つは、種々なる無機的エネルギーの性質並びに可使用性には並々ならず大なる多様性があるということである。例えば現代の電気工業を見れば、有機体を以てしては質的にも到底達し得らるべくも無いような仕事に取り扱われていることを、直ちに認め得るであらう。

我々は現在、なおこの第三の階段もちろん（勿論、昔日に比してより進んだものではあるが）に立つものである。五十年以来英国が成し遂げた・農業国家から工業国家への移行は、独逸ドイツに於いて今日ようやくその実現を見ているが、これは、国民活動のエネルギー的重点が、有機的エネルギーの集積並びに利用から、無機的エネルギーの夫れそへと移つたことを意味するものである。この遷移の結果も、決して、単一なる様相のものではない。何となれば、現在の文的状态も、人間の要求のすべてを無機的材料のみから仰ぐには未だ程遠いのであつて、衣服、食料、その他大部分の住居材料は、今なお全然有機的産物を基としなければならぬのであるから、有機的エネルギーは、如何いかにしても不可欠たるをまぬかれず、その生産は、各国民の緊急問題となつているのである。

従つて、種々なる文化的経済組織は、種々なるエネルギーの獲得並びに利用のための組織であることが明らかになる。このことは、単に大綱に於いて当て嵌めるのみならず、あらゆる細節に至るまで適用され得るものである。

【一〇五】人若し価値の概念をエネルギーの量のみ比例するものと置くならば、それは誤りと云わなければならぬ。第一に、寸毫のエネルギーといえども其のままにて費消されるものはないのであつて、人は常にそれを他種

エネルギーに変形せしめるために用うるのである。たとえば、石炭は、人間に対して直接の用には全く立たぬものであるが、他方、工業上の重要な必需品として、即ち、一般的な、あらゆる種類の変換に応用し得る粗エネルギーとして、役立つものである。

扱つかて、一エネルギー種が他種エネルギーに変転する場合には、常に遊離エネルギーの一定の損失が起る、換言すれば、そのエネルギーの一部分しか期望するエネルギーの形をとらず、他の或る部分は無用の熱として逸散してしまふものであるから、エネルギーの価値の尺度として、先まず第一に、夫々それぞれの場合の利用係数が考えられなければならない。一エネルギー種の価値は、その変転が完全なれば完全なるほど大なのである。従つて、例えば、熱は、相場のかなりに低い型であるといひ得る。カルノーの研究並びにクラウジウスによるその完成以来、我々は、与えられた熱量のうち他の形に換え得られるものは常に、その一部分、即ち、機関が熱を受容する際の絶対温度を以てその際の温度差を除した比によつて表わされる部分に過ぎない、ということを知っている。而も、之は理論的な極限に過ぎず、現在迄に作られた機械の効率はずべて之に及ばざること遙かに遠いのである。即ち現在最良の機械に於いて、それが蒸気で運転するピストン型もしくはタービン型機関であろうと、或いは或種の内燃機関であろうと、その利用係数が与えられた熱エネルギーの三分の一を越すことは困難なのであつて、三分の二は利用されることなく、即ち変換されることなく、機械から放出されるのである。之に対して石炭の理論的利用価値は四分の三以上にあたる。しかし、現在我々は、燃烧即ち熱への変換以外の方法で石炭の化学的エネルギーを他の形に換える術を知らないのであるから、このエネルギー種の相場も比較的小なるものと見なければならぬ。

【一〇六】この考察から直ちに明らかになることは、変換に際する利用係数、いかえれば、変換係数の甚大なる重要性である。いま熱機関に於いて知つたと同一の關係は、あらゆる他の機械に於いて、即ち、エネルギーの変換に働くすべての装置に於いて、再現する。最も単純な場合に於いてすら此の相違が如何いかに大なるものであるかは、

切れない小刀を以て物を切った後、鋭い小刀を用いて見れば、よく分ることである。この場合、その仕事に要するエネルギーの理論値は同一なのであるが、変換係数の相違に因由する実用上の隔たりは如何ばかり大であることか。而も、かかる関係は高度に発達した仕事に於いても同様に見られることなのである。之は恰かも、初心者か幾時間も汗を絞って苦しむ計算が、老練者によれば二三分間で出来上る如く、また、その解決には測り知れぬエネルギーを要すると思われる政治問題が、天才的政治家によれば比較的僅かの方策を以て満足すべき結果に持ち来らされる如くである。

実際、我々は、全文化の、一般的問題として、変換すべきエネルギーの、変換係数を、出来得る限り、有利なるものとなすことを、考うべきであろう。何となれば、あらゆる事象は、究極に於いては何かしら或る遊離エネルギーの変換に帰着さるべきものであるからである。さりながら、遊離エネルギーは、自発的に増大すること無きものであり、むしろ何かしら事が起れば必ず減小するものである。しかし、変換係数が有利なれば有利なるほど、適用した粗エネルギーから望むエネルギー種を多量に取得することが出来る。今日の社会に於いて考え得る職業を見るに、それらはすべて夫々の望むエネルギー変換を目的としているが、之を出来得る限り完全に実施せんとする問題は、その仕事の高下に拘わらず同一なのである。即ち、それが国家機関を最小の摩擦を以て軌道に保たんとする王侯であろうと、我々の日々の通勤に便宜を与える自転車であろうと、それ等の品質は、無用のエネルギー消費を避けるということによって計測されるのである。エネルギー変換の利用係数は、かくして、実際、人事に於いても普遍的尺度たるのである。

【一〇七】この際注意すべきことは、ここで問題となるものは単に狭義の経済的目的のみに止まらず、倫理的目的もまた考えられているということである。倫理的とは、人類全体の利益に係るものであり、換言すれば、全体の利益が個人的利益を克服しそれを押し退ける時に云う。ところが、人の意の尽になる遊離エネルギーの全額は決し

て無制限なるものではない。それは、一方日々の太陽放射の形で、他方既往の太陽放射が地中に化石炭の形で集積せしめたエネルギーの形で与えられるが、人間の生活は、個々の人々が夫々の目的に使い得る遊離エネルギーの分け前が多くなればなるほど、より良く又より幸福になるのである。勿論、之とても決して無制限に向上するものではない。何となれば、衣食住に対する生理的要求が充たされた後は、自由に処理し得るエネルギー量の増加につれて、生活の快適の度は極めて緩除マダにしか増加しないからである。悲しむべきことは、現在に於いてもなお、この最小限にすら容易に達し得ず困難なる労働の重圧下に喘ぐあえ人々の多きことであるが、かかる階級の存在はこの最小限以上に生活する人々に対する不断の非難と考えられる。而も思うしかれどに、現在、この人類の不幸を抑止せしむべき有効なる方策は、エネルギー変換に於ける収量の改良以外にはないのである。周知の如く、我々のエネルギー生活は、専ら綠色植物が太陽光線により集積したエネルギーに依拠するのであるが、その綠色植物も受容した遊離エネルギーの僅か一、二パーセントを化学的化合物の形に変換し得るに過ぎず、これら化合物は燃焼によって再びそのエネルギーを放出しているのである。これに比して数パーセントだけでも効率の良い変換器が発見されたならば、それは、世界中の慈恵事業の全部にも増して、勤労者階級の苦惱解放に役立つであろう。この問題は、拙著『文化科学のエネルギー論的基礎』(Energetische Grundlagen der Kulturwissenschaft, Leipzig, Klinkhardt)に於いて詳細に論ぜられてある。

以上の考察を以て、本稿を終えようと思う。之によつて、私は、エネルギー論が、文化科学の全領域に於いて指導者たるの役に任じ、単に過去を理論的に了解するためのみならず、将来を実際のに作り上げる上にも、決定的な方向線を提示するものたることを示したつもりである。社会生活の種々多様な分野に対してそれが如何いかに適用されるかの輪廓を示すのみにても、一冊の著書を必要とするであろうし、またそのみに止まらず、それらの分野の到る処は、かかる研究に対する処女地として、始めて手をつけられることを要求するであろう。何となれば、現

在までもエネルギー論は、直接的に、或いはそれ以上間接的に、人智の形成に深い影響を与えて来たとはいえ、本質的にはなお将来の学問と称さるべきものだからである。而も、しかれどすべての徴候が詐いつわらざるものとすれば、この未来たるや、既に戸口の前まで現われているのである。

- オストワルト著・山県春次訳『エネルギー』（岩波文庫、岩波書店、1938年）所収。
- 旧漢字は新漢字に、旧かなは新かなに変更した。
- 読みやすさのために、適宜振り仮名をつけた。
- 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。