

力学の原則に就て（一）

桑木彥雄

力学は運動現象の学問としてガリレイ、ニュートンに依つて初めて構成せられたと云うべきである。併しギリシャ時代アルキメデスに依つて槓杆の理、重心の理等は詳細に論述せられ、之を宗として所謂静力学は中世時代に於ても相当に研究せられていた。唯だ運動に関する研究はギリシャ時代に於けるものは単に空想的で、ガリレイ以後初めて実験的となり数学的となり精密となつたとせられるのである。アリストテレスのフィジカの大部分は運動静止に関する論述でツエノの運動否定の詭辯を駁したものがあつた。その力学は中世時代に正統派の学術として信奉せられていたが、十五六世紀以後に於てはアリストテレスの宇宙論（天動説）、連続説（反デモクリトス原子説）、目的論、性質論は凡て否定せられ、之等と対蹠的な地動説、原子論、機械論、数量観が新興の自然科学の基調となり、従つて是等の自然観の論理的基礎となるべき力学も一変して新にガリレイ、ニュートンに依つて構成せられた力学がアリストテレスのに代ることとなつたのである。アリストテレスは運動を性質的に三分し、完全運動、自然運動、反自然運動の三種とし、天体の運動が完全運動であり、不断の円周運動をなし、又地上の物体が夫々軽重の性質に従う自然運動をなせば或は上方へ或は下方への速度遞増の運動をなし、又此他の、拋物体等の上下以外の運動は反自然的人為的の強制に依るもの

とする。このアリストテレスの力学の影響を受けていた中世時代の Tartaglia, Benedetti 等の力学では、拋物体の運動は初めは強制運動だけの斜めの直線運動をなし、次に鉛直下方への自然的直線運動に移るものとし、或は是等の相次ぐ二直線路の連絡を連続的に一部分曲線的とした時代もあつた。併しガリレイ以後、物体の運動に関して、天地上等について性質的區別がないものであるとし、凡てに同様の運動法則を律すべきものとなつて、其根抵に物体の惰性なる性質を考へることとなつた。即ちニュートン三運動法則の第一に置かれていたものである。この惰性の法則又原則をガリレイが発見したと云い、或は之より先きレオナルド・ダ・ヴィンチが見出したと云い、又それにはなお先人があるとし、又或は既にデモクリトスの原子運動説中にこの惰性律を暗示しているともいふ。併しガリレイの記載したのは特殊の場合に止まり、又球を摩擦なき水平面上に転がした場合の運動保続性を論じたにはアリストテレスの完全円運動の説を交へたものもあり、所謂物質惰性の一般的意味の把握はデカルトに始まるとも云われる。ニュートンに先だち、恐らくニュートンも模範としたと思われる、デカルトの三運動原則の第一のものがやはり物質惰性の原則である。惰性の原則の本質が先験的であるか経験的であるかは従来屢々論ぜられた問題であるが、之を純先験的、演繹的とするには其発見が人類の歴史として遅きに過ぎ、ギリシャ先哲の論理的解析能力を無視した嫌がある^{きらい}と云い得べく、又固より純帰納的、経験的とも云い難く、自ら一の仮定として導かれ、法則というよりは寧ろ、Boutroux の所謂法則の「型」であり、同一性、恒存存在を運動状態に認識したものと見るべきであり、其認識がデカルト、ニュートンに至つて確保された^いと見るのが妥当のようである。併しデカルトやライプニッツの相対的空間論と異り、ニュートンに於ては絶対空間絶対時間論が根抵となつた。絶対空間に於ける絶対廻轉の結果として

地球の形状は扁平楕円体であらねばならぬとするが、デカルト派が当時之を延長楕円体とするとの相違があり、モーペルチュイ、クレイローは北辺に緯度観測を行いニュートン力学の優勝を認め、又ダランベールはデカルト派、ライプニッツ派の計量の論争を裁断して、ニュートンの力学体系を正統のものと決定せしめた。

力学の原則、詳言せば質点及質点系の力学の原則としては本来ニュートンの三運動法則より誘導せられるが、或は数学的或は物理的或は形而上学的の意味からニュートンのよりは他の原則を演繹の前提とすることが適当とせられて多くの原則が生れた。ダランベールの原則は動力学の問題を静力学の問題に化するということ、ヴィス・ヴィヴァの原則はライプニッツが導いた重要なこの物理的量に関することに於て夫々特殊の意味を有する。又ベルヌイ等が数学に導いた等周囲(Isoperimetric)の問題から出発してモーペルチュイ、オイラーの最小作用原則が造られ、その自然の意識を示すものの如き最初の神学的意義の如きは漸次没却せられたが力学の重要な一原則たるは失われぬ。又かような極大極小の問題を解くに適する変分法をラグランジュが発見し、仮速度の原則、ダランベールの原則、最小作用の原則等の相互の数学的關係も容易に示され、ラグランジュは又普遍座標に依る運動方程式を造った。ハミルトンはヴィス・ヴィヴァ並に力函数の外に尚一層力学問題に便宜なる特殊函数を見出すことを幾何光学に於けるフェルマー定理から類推したる研究をなし、其結果、先きには天体力学論に、今はボーア以後の原子論に必須となつたハミルトン、ヤコービの方程式を導いた。

十九世紀の半ばに、恰もヴィス・ヴィヴァの原則を拡張したと見るべきエネルギー原則が発見され、種々多様の物理的現象に於ける統一が見出され、その結果、所謂現象に即すという現象論の一派を生じ、エネルギー

ギー實在論をも造つたのであるが、又他方に機械論の徹底にも根柢を与え、凡ての物理現象が終局に於て運動の現象であるとし、或は力学的模型に依りて、或はラグランジュの普遍的運動方程式を基礎として、電磁現象、熱現象等を演繹することが試みられた。

又エネルギー原則の重要性が認められると共に、此原則を生んだ力学の諸原則の意義の再吟味の必要を生じて来たが、一八六九年ゲッチンゲン大学で力学の諸原則の歴史的批評的研究に關し懸賞論文を募つたのは、恰もこの時期に應じた計画であり、Düringの力学史、H. Kleinの力学史が入賞の論文であつたが、此年又、Carl Neumannが、ライプチツヒ大学就職演説でニュートンの惰性律の批評を述べた。ニュートンの絶対空間論の批評であり、歴史的には既にライプニツツ、ホイゲンス以後オイラーも亦論じた問題であるが、ノイマンの此演説（所謂アルファ体を云為せる）は再び学界の注意を喚起し、Streintz, Lange等の研究を生み、マツハが有名なる力学史を著わすに至つた動機も之に刺戟せられたものであること、その自序中に記してある。マツハの歴史的批評的研究に就ては他の科学史家の側から、また認識論者の側から異説もあるが、兎に角彼れの研究は力学の原則、物理学の理論の叙述に一時期を劃し、特にニュートンの運動の法則に就て痛切なる批評を加え、就中、その絶対空間絶対時間の説を排し、実証論的相對論を主張したことは学界に影響を与うることと少くなかつた。

十九世紀の末、物理学に於て光学、電磁気学を通じて中間物 (Medium) の存在が定説となつたとき、H. Hertzはこの不可視の中間物に於ける運動を仮定し、その可視物体 (質点) の運動との連結を基礎とし、「連結」の觀念を以て「力」の觀念に代え、従來の力学を論理的に完全ならしめようとしたが、不可視運動の仮説、連

結の説、共に其後の發展なく、唯だ、惰性の原則を拡張し、ガウスの最小束縛の原則に似た最直軌道の原則、又連結条件のホロノーム、非ホロノーム等の名などがヘルツ後力学者の慣用する所となつた。

二十世紀に入つてからは電子論の発達により、従来の力学觀即ち機械觀を物理の根本概念とすることに變革を生じ、電磁の法則を一層根本的のものと考えしめ、又其後相対性原理の確立と共にニュートン以来の絶對空間絶對時間説は棄てられ、惰性律もマツハ所説の如きものとなり、質量の絶對性を失わしめたのである。又デモクリトスの原子運動説が十九世紀の氣體動力説に發展し統計力学を造り量子論を生んだのであるが、それより出でた量子力学は従来の凡ての物理的理論が決定論を基とするに反し因果關係の不決定を基本としたことに劃期的意義がある。

相対論が現われて後、ガリレイ、ニュートンの力学は古典力学と呼ばれるようになり、量子力学の出でて後、位置、運動量等を表わす數量に不交換という特異性を見出すようになり、力学の諸原則は一變を余儀なくされたが、形式的にはハミルトンの積分や微分方程式が相対論にも量子力学にも出発点をなし、プランクの所謂「一般力学」の形に於て全物理学の基礎を成しているのである。

以上の叙述に関しては改造社出版拙著「物理学と認識」中、「力の觀念の歴史的発達」、「絶對運動論」、「ダランベールの力学」、岩波書店發行「思想」大正十三年カント記念号中拙稿「カントの最初の論文に就て」（『科学史考』所収）、共立社出版物理化学講義中「物理学史」（桑木及矢島理学士）（『科学史考』所収）等参考せられるを得ば幸である。

トイブネル数学百科全書中、Voss, Prinzipien der Mechanik には力学原則の物理学的、数学的、哲学的論述に就て多くの文献を挙げてある。併しそれは一九〇一年の出版であるから相対論、量子論以後の変動については求めることができない。ベルリン、ス

プリンガー出版の物理学ハンドブック第五卷（一九二七年）「力学の基礎」の初め三章、特に第一章 Hamel 氏が力学の「公理化」を記したものである。力学の公理化は嘗て米国の Huntington 氏が数学の「連続概念」の公理化を試みた後、力学に就ても之を試みたが、「力」と「質量」とを何れを先きにするか等、教育的効果等の外には余り結果がなかった。今日に於ては相對論量子論等を参照した上で初めて公理化も意味を有するのである。

又

A. E. Hass, Die Grundgleichungen der Mechanik, dargestellt auf Grund der geschichtlichen Entwicklung, 1914

は力学史を学々に Mach, Düring 等のものは簡明である。

Clemens Schaefer, Die Prinzipien der Dynamik, 1919.

は各原則の数学的意義を明かにする適當の書物である。以上二著^{それぞれ}大々講習会の講義録を基にしたものである。

又最小作用原則の發達に就ては古き A. Mayer, Helmholtz 以後の

P. E. Jourdain, The Principle of Least Action, 1913.

A. Kneser, Das Prinzip der Kleinsten Wirkung von Leibniz bis zur Gegenwart, 1928.

がある。

又 E. Meyerson に就て余は昨年十二月の東京物理学校雑誌に記したが（『科学史考』所収）、氏の Identité et Réalité 以来、最近の Cheminement de la Pensée, 1931. に至る諸著が力学原則の歴史的批評的研究に Mach と異なるイデオロギーを与える。

（岩波講座物理学及化学）

-
- 桑木或雄著『科学史考』（河出書房、昭和一九年）所収。
 - 読みやすさのために、旧漢字は新漢字に、旧かなは新かなに変更し、適宜振り仮名をつけた。ただし、「堯」、「儘」などの一部の漢字は旧漢字のままにした。
 - PDF化にはL^AT_EX_{2_ε}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。