

アリストテレスとアルキメデス——列伝体物理学史——

桑木 彥雄

序 言

ここに私はギリシヤ以来各時代の代表的物理学者の伝記と学説との大体を叙述し、それによつて略ぼ古来の物理学の変遷を示そうと思う。然し乍ら、こういう列伝体の歴史は歴史として、寧ろ古風のもので、学史としてならば或る問題についての学説の発展を述べるとか、又は文化史的に同時代の一般の知識、学術の水準、若くは社会状態、経済状態を経緯として記載することが重要な問題となるが、個人個人に関する事実等は第二義とせられるのである。殊に自然科学のような客観的な学問では、研究者の個性と研究の成果とは関係がなく、「物理学の発達は火星の住民に於ても吾々のと同じ順序で行われるであろう」と嘗て現代の一大物理学者が云い、又「ガウスの坐標はガウスでなくとも誰かが考え出すであろう、この点、詩や小説と異ると云つた人もある。但し一般に主観的の芸術も亦みな環境(Milieu)が之を造るとした有名な文学史家もある位であるから、個人よりも集団、個性よりも環境が凡て歴史の変遷の真原因であり、又自然科学の発達の経路には必然的なものがあるから、個人は唯だ偶然的の働きしかしないものと見られないでもない。然し乍ら

バートランド・ラッセル (Bertrand Russel) が雑誌 *Scientia* 今年 (一九二九) 七月号中に「西洋文明とは何ぞや」(What is western civilisation?) という論文の中で、「一般に文明はそれより一層優等な外来の文明に接しなければ衰える。そうでなくして、自発的 (spontaneous) な文明の進歩のあつたのは古来唯だ稀な時代と稀な地方とに於てだけであつた。エジプト、バビロンに於ける農業や、字を書くことの発達、ギリシャの数世紀間、及びルネッサンス以後の西部ヨーロッパが之に相当するのであろう。併しそれらの時代及び地方に於ても社会状態、政治状態が殊に他の時代、他の地方に比して異つていたとも認められない。違つていたのは唯だ少数の超越した個人たちがその時代を導いた結果に依るとしか考えられない。ケプレル、ガリレイ、ニュートンが若し幼少の間に死んだならば、吾等の住んでいるこの世紀が十六世紀といくばくの相違があり得たであろうか」と、ラッセルはかように、文明の進歩の条件には環境も勿論必要であるが、それだけでは十分でないと言っているのである。又、独創的な研究は誰でも之を成就し得るといふものでないことを、上述の中で、明かにラッセルは認めている。その他、科学的の研究の成果が民族性や、個性に支配されることもデューエム (Duhem) 等によつて論ぜられているのであるから、若干の巨人によりて物理学の歴史も引きまわされていたと考えられ得るかも知れない。それ程でなくとも、ここに大なる名の人々を中心とした歴史の記述も引援を見出し、その人を知ることによつてその学説をより深く解することもできるであろうし、又その人、その生涯を知ることの教育的効果は贅言するまでもないのである。

アリストテレス (Aristoteles, 384-322 B.C.)

アリストテレス以前

エジプト、バビロンに発達した数学、天文学、医学等の科学的知識については、之に関するギリシヤ、ローマの記録の今日に伝わっているものよりは、十九世紀以後考古学の進歩によつて今は遙に詳細に知られるに至つたが、エジプト、バビロン時代にいかなる人々がそれらの知識を創造したか等に関しては全く知られていない（エジプトにアームスの算術書などというものが僅に知られている外には）。なお又、それらの知識は単に生活の実用上から、若くは宗教の儀式の必要上から得られたもので未だ學術の体を成さず、學術は始めてギリシヤに起つたと昔へロドトス(Herodotos)が云つた言葉は今なお動かすことができないのである。

ギリシヤの學術の起源については一般に、紀元前六世紀、小アジアに於けるギリシヤの植民地ミレトスの人タレス(Thales)を始めとするということに異説がない。それより以後紀元前三三二年アリストテレスの死に至るまで凡そ三百年間が所謂純ギリシヤの學術の精華の時代である。或は之を二期に、ソクラテス前と後とに分ければ、第二期はアテン(アテナイ、Athen, Athens)が文化の中心地であつた時代で、ソクラテス、プラトン、アリストテレスが相次いで之を率いていた。

ソクラテス前の學者たち(Vorsokratiker)のうち、タレスはアリストテレスが學問の創始者として記載し、その有名な「万物の根源は水である」という言葉も、アリストテレスの記述によつて今日に伝わつたのである。タレスは当時、賢人と呼ばれ、天文数学に通じ、商業にも明かに、又その機智に富んだ逸話なども伝えられている。その多くの知識はエジプトの僧侶より得たと云われるが、前記の彼の言葉で万物の根源を求めたことが（根源の字義等はここに略すが）従来の断片的知識より一步を學的知識に進めたと云われるのである。

又彼は弟子を持つような後世の意味での学者ではなかったが、おのずから彼を中心とするものもでき、従つて彼によつて学も始まり、学者も始まつたとせられる。即ち彼に続いて出た学者たちは万物の根源を或は空気であるとし、又火であるとするものもあり、又南イタリアのギリシヤ植民地では物と物との関係、数を万物の基本とするピュタゴラス学派もあり、その他現象の変化を本質とするもの（ヘラクレイトス）、不変を本質とするもの（エレア学派）など、これらソクラテス前の時代は物質の問題、宇宙の構造等を主題としていたから自然哲学の時代といい、自然科学と哲学とが未だ分派せざる時代であつたが、ソクラテスに至つて自然以外に人事、倫理を説き、アリストテレスは凡て是等前代の知識を集大成し、學術の一大系統を編成し、彼に至つて始めて物理学と哲学との区別をも立てた。彼の學術はその二千年の後に至るまで絶対の權威を保持し、學術史上比類なき位置を占めた。ここには先ずアリストテレスについて詳説することとするが、その伝記の如きは諸書記する所区々一致しない。略ぼ典拠と思わるるものに従つた。又固有名詞はドイツ風の記し方に多く従つた。典拠としては一般にギリシヤ哲學には有名な Zeller, Gomperz, Burnett, Diels, Diogenes Laertius など、又特にギリシヤの自然科学については Helberg, P. Tannery, G. Milland, Ceuthen 等、アリストテレスに關しては W. D. Ross, Aristotle, 1923; W. Jaeger, Aristoteles, 1923 等、外に Heller, Rosenberger の物理学史、A. Rymond, Histoire des Sciences exactes et naturelles dans l'antiquité Gréco-Romaine, 1924; L. Robin, La Pensée grecque et les origines de l'esprit scientifique など。

アリストテレスの生涯

彼は紀元前三八四年ギリシヤ北方の植民地スタギラ (Stagira) に生れた。父も祖父も医者であつた。父はマ

ケドニア王アミュンタスの侍医で、又友人であつた。この王の子がフィリップ二世で、フィリップの子が後のアレクサンデル大王である。アリストテレスは父に従つて王宮に入り、フィリップとも相識つていた。アリストテレスの父や祖父が医者であつたことが、彼を自然科学、特に生物學に親しましめたとされている。父は彼の十七歳のとき死し、その翌年彼は当時文化の中心たるアテン府に赴き、プラトン(Platon)の學校、アカデミーに入り、それより二十年間、即ち、プラトンの死に至るまでそこに止まつていた。アカデミーに入つたのは哲學に引きつけられたというよりは、そこがギリシヤの最高教育の場所であつたからであるとせられるが(彼は一の浪費兒であつたといわれている)、併し固より彼はプラトンの哲學に彼の一生を通ずる大なる影響を見出したのである。プラトンは彼に四十五歳を長じた。アカデミーに在つて彼は非常に勉強したので、プラトンは彼を「読書家」と呼び、又「他の人には拍車が必要だが、彼には手綱が必要だ」と云い、彼は鞭撻を要せず、寧ろ制御を要するとし(之をアリストテレスと後に記すクセノクラテスとの比較に用いたとする書もある)、又プラトンは彼をアカデミーの「心」(ヌース)と稱したともいう。併し又アリストテレスのよくな独立性の心が他の教理に凡て追隨することもできがたいことであり、重要な點に於けるプラトンとの相違が次第に明かになつて来たが、プラトンの存生の間アリストテレスはアカデミーの忠實なる一員であつたという。このアカデミーの中で Speusippos, Xenokrates, Aristoteles の三人が最も頭角を現わしていた。スポイシッポスはプラトンの甥で、アテン人、快活な都會人であつた。クセノクラテスは之と反対な陰鬱なカルケドン人で、スタギラ人たるアリストテレスは三人中の最年少者であつた。プラトンとアリストテレスとの師弟の關係は、前述のように初めは甚だ親しかったが、プラトンが屢々旅行した不在の間に彼は他の門下に

対し師を凌しのごうとしたということなど伝えられ両者の関係は面白くなくなった。プラトンは観念論者で、著しく経験を軽んじたのに反し、アリストテレスは経験を重んじ、自然科学に精通し、プラトンがかようにして二元的であるにアリストテレスは一元的である等の思想上の根本の相違もあった。又アリストテレスはその生涯を通じて政治上にも学術上にも敵が多かった。彼を陥れる種々の信ぜられないような非難も多く伝えられている位である。プラトンが八十一歳で死するに当り、遺言して彼の甥スポイシッポスにアカデミーを継続せしめた。アリストテレスは暫しばらく止まってプラトンの対話篇の編輯等に従事したが、やがてクセノクラテスと共にアテンを去つて、アカデミーの旧友で、始め奴隷であつたのが、今はMysiaに王となれるHermiasの招に応じ、そこにプラトン学派のための一小学園を立てた。併しかし三年許りの後、ミュシアがペルシヤに陥られ、ヘルミアスが擒とりことなり、ついに斬殺せられたので、彼は逃れてMytilene島に難を避けた。その時ヘルミアスの姪でその養女であつたのを同行し、後に之と結婚した。その女は一女を挙げた後死亡したが、その遺骨を彼の墓中に同葬してくれと乞われ、彼之を諾して後年彼はその遺言状中に之を記したという。彼がミュティレネに在る間に、マケドニア王フィリップは礼を厚うして、此時十三四歳であつた王嗣アレクサンデルの師伝として彼を招いた。アレクサンデルは十七歳で王位を襲いだが、其後なお三年許り彼はマケドニアに止まり、アレクサンデルの東方出陣と共に去つてアテンに赴いた。この古今に稀な王者と学者との師弟としての関係については種々の逸話もプルターク英雄伝その他に残されているが、アレクサンデルはアリストテレスを尊敬すること父に同じと云い、「父は吾に生を与え、師は吾に生を貴くすることを教えた」と云つたことなど伝えられている。アリストテレスがアレクサンデルに授けた教育は主として当時ギリシヤで主な教

養とするホームー、ソフォクレスなどの読誦であつたであろうが、アレクサンデルの長ずると共に政治学にも及んだことは想像せられる。(アリストテレスがアレクサンデルのためにイリヤッドを新たに校訂したと前掲のオックスフォードの Ross 氏の著の中に在るが、Diog. Laert. の中には同時代の同姓異人者中にイリヤッドの校訂者を記してある。D. L. は古き典拠であるが同じ逸話があちこちに在るもあり、Ross 氏にも固より據所あるであろう。)アレクサンデルの東方遠征にはアリストテレスは賛成しなかつた。彼はギリシャの文明を最上のものと信ずるが故に、之を他のより劣れるものと混ざる事を嫌つたのも其一因として、彼はマケドニアを去つたと云われる。此ときアテンではスポイシッポス既に死し、クセノクラテスがアカデミーを主宰していた。併しアリストテレスはアテン市外東北の一地に建物を借り(アテン人でない故に買う事ができなかった)新たに学校(リュケイオン)を始めた。此とき彼は五十余歳であつたが、この以後が彼の最も収穫多き時期であつた。彼は毎朝樹林の間を弟子たちと共に散歩しては難澁なる問題を論じ、午後又は夕刻には一層簡易なる題目を多数の聴衆の前で説いたという。アリストテレスの学派を Peripatetiker といい、その意味は逍遙学派というに在るは以上の理由による。(彼がマケドニアに在つたときも王城を離れた樹下石上でアレクサンデル及びその学友たちを教育したといわれている。)午前と午後とに分けた講苑を、acroamatic と exoteric、前者に秘伝、奥義、後者に初歩、通俗の意もあるというが、秘伝というよりは唯だ抽象的な論理学、物理学、形而上学は一層深き研究を要するので少数者にのみ之を授け、又修辞学、雄辯術等はひろく一般に説明し得られるための区別であつたとせられる。

アレクサンデルは巨額の金をアリストテレスに与えたので、アリストテレスはここで数多の書籍、マニユ

スクリプトを集めた。当時は凡て写本であり、用紙も羊皮紙類であったので書物を得ることは困難であった。アリストテレスは又その講義用に、特に博物学のためにムゼウムを設けた。アリストテレスのこれらの研究を助くるために、アレクサンデルはマケドニア王国中に布令して、珍奇なる魚鳥獸類については凡てアリストテレスに報告せしめたという。アリストテレスは是等の便宜を得つつ、この間に学問分科の大系を定めた。その分科は今日なお略ぼそのままが踏襲されている。

紀元前三二三年にアレクサンデル急死の後（これについて、アリストテレスが彼と不和を生じて毒を盛つたのであるとする風説も伝えられたという。固より無稽の誣説とせられる）、アテンにはマケドニアの拘束から逃れようとする感情漲り、アリストテレスもマケドニア方と見なされ、忌憚せられた。併し表面上は彼が嘗て友人ヘルミアスを讚した辞の中に神を冒瀆したという点で非難したのである。アリストテレスは四圍の事情が自分に危険であることを覺り、アテン人をして「哲学に対する罪を再びさせまい」（ソクラテスに対するものを数えて）と云つて、其学校を弟子テオフラストスに委ねて、故郷に近きカルキス（母の故郷）に退いたが、翌年即ち紀元前三二二年病を得て逝いた。年六十三。先きに妻を失い、その後正式に結婚しなかつた女との間に男児があり、ニコマコスと名けられた。ニコマキア倫理学の編輯者として知られる。アリストテレスは短身瘦軀眼小さく、話も声小さく、皮肉家で、服装は整えていた。指輪をはめ、髪は常に梳つていたという。諸書に見ゆるその肖像はローマ等で見出された大理石像をもととするが有髯のと無髯のとある。

アリストテレスの著書

アリストテレス自著のマニユスクリプト類及びその蔵書類は、彼の死後、前記テオフラストスが譲受けた

が、テオフラストスの死後、その弟子ネレウスが之を受けて、その郷里小アジア、トロヤに携えて行つた。このペルガモスの王がアレクサンドリヤの図書館に対抗して頻りに凶書を蒐集したが、ネレウス死後その家族は上記のマニユスクリプトを地下に埋匿し王に示さなかつたという。高価に売らなためであつたと解されている。かくして一世紀半ばかりはその存在も忘れられて過ぎたが、その間にペルガモン王朝も亡び、アリストテレスの遺著も再び世に出ずる機会を得、アテンのペリパテイク派の一富豪にして凶書蒐集家なる人が之を買受けてアテンに持歸つた。虫食い、湿気などで散々に毀損していたという。これが Cicero の頃、紀元前一世紀の頃、ローマに持来され、整理され、写され、漸次流布するに至つた。アレクサンドリヤ図書館に在つたものは悉く失われて、唯だアリストテレス著作目録だけが今日に伝わつた。

今日ギリシャ原文アリストテレス全集として典拠とせられるのは、千八百三十年代にベルリン・アカデミーで出版したもので八つ折凡そ四千頁、その中四分一許りは疑わしきが他は厳密にアリストテレス自著として考証されてあるという。併しそれがアリストテレスの著述の全部ではなく、キケロのときにもダイアログ的のものがなお多く存在していたらしきが（キケロがこれを雄辯の模範としたというにより）、今伝わっているのは大部分、前述の所謂アクロアマティックのもので、講義のノートの如く乾燥で難解とせられる。

とにかくこれらの遺著によつて、紀元前四世紀に於ける學術の殆ど全部（数学に就ては甚だ不十分であるが）に就て百科全書的綜合を見ることが出来る。その組織、大系凡て彼の創意にかかるが、總序として思考の科学を附してある。今所謂形式論理学で、当時之を Organon と名けた。道具の謂である。思考法をかように組織立てたのには全然先蹤者が無い（固よりソクラテスが定義を厳密にする等に胚胎はするが）。三段論法

の演繹は固^{もと}より、帰納法についても論及していた。この論理学が全集の七分一を占める。

アリストテレスは学術を理論的と實際的とに分けた。前者は物理学、生理学、及び形而上学を云い、後者は倫理学、政治学をいう。その他に美学的の部分もある。理論的部分の物理、生理が全集の五分二を占め、形而上学は十分一許りに過ぎない。形而上学の *Metaphysics* の名は、*Physics* の次の書という意で後に付けられたが、アリストテレスは之を第一哲学、物理学（自然哲学）を第二哲学と呼んだ。

物理学の部門にはラテン名で *Physica* 八篇、*De Cael* (*On the Heavens*) 四篇、*De Generatione et Corruptione* 二篇、*Meteorologica* 四篇、*Quaestiones Mechanicae* 一篇がある。大部分現代語訳が得られる。

アリストテレスがこれらの著書で示した自然観を大体次に概括する。彼に従えば、空間は物質を以て連続的に充たされている。その故に真空もなければ、不可分の物質微部分即ち原子というものもない、とする。真空中では位置がきめられない、位置の差も不可能である。運動は位置の差を意味するから真空の中では運動は考えられない、という。即ち彼はデモクリトスの原子説、原子が真空中に飛躍するという説に反対する。物質の根本の性質は熱と冷、乾と湿とであるとす。デモクリトスは物質原子は幾何学的形体と運動の外に本来の性質をもたないとする。アリストテレスは以上の感覚に感ぜらるる性質を根本的とするのである。この熱と冷、乾と湿とは夫々相反するから、相反するものは同時に一物の性質であることはできない。従つてこの四つの互に独立な二つづつを組合わせて四種の根本的物質を得る。熱と乾とを共有するのが火、熱と湿とを有するを空気、冷と湿とを有するが水、冷と乾とを有するは土。即ち火、空気、水、土の四者は凡^{すべ}ての物体の中に陰在的に又は顕在的に存在し、之等を取り出すことができるが、互に還元することができない。即

ち之等を四元素と名ける。既述のソクラテス前の哲学者たち、タレスの水一元説以下、エンペドクレスに至り四元素説を生じ、プラトンも同様であった。唯だ印度の地水火風四大説も全く之に同じきがそのギリシャとの先後、及び伝承の有無等には諸説一様ならず、唯だ印度の原子説はギリシャより伝わったとすること定説のようで、又その原子説はデモクリトスの原子説とアリストテレスの性質論とを折衷した観もある。(改造社、「自然科学」創刊号「ギリシャに於ける物理的科学的発生」及び東洋学芸雑誌中「物質論の変遷」の拙稿参照。)

アリストテレスは又如上の四元素には本質的に軽重の別があるとする。土は絶対に重く、火は絶対に軽く、水と空気とは土に相対的に軽く、火に相対的には重い。凡ての地上の物体はその含む元素に従い、本来の重さ軽さをもつ。その故に凡ての物体は地の方にか、天の方にか動くとうとする。他の物体が妨ぐるなくば、この何れかの方への運動をつづける。この上又は下への運動が「自らなる運動」(natural motion)である。衝突其他による上下以外の方向の運動は「不自然(violent, gewaltsam)運動」である。重き又は軽き物体の自らなる直線運動は一様でない(速さが)、又無限でない。故に完全でない。完全(perfect)なのは唯だ、一様に永久に続き得る円周運動ばかりである。この完全運動を実現するは、如上の地上の四元素以外の第五元素(quinta essentia)であり、天を形成するエーテル(ether)である。恒星の天球は本来永久に一様に動く、それは純粹にエーテルから成立つている。惑星は既に地上の元素を混じている。故にその運動は嚴密な一様さを欠いている。地は最も重い元素から成つていて、動くことができない。宇宙の中央に静止している。その形は球状である。球状であることは南方又は北方へ旅行すれば星の水平からの高さが異なるので知ることができる。又月蝕

の際に見る地の影の円形なることが何よりの証拠であり、又地の形は自ら一の球でなければならぬ、何となれば凡ての物体は宇宙の中心として地の中点に向つて集まらなければならぬからである。かくしてアリストテレスは地球の大きさを与えた、真実のものの倍程のものであるが、その計算の根拠は不明である。

自由に落下する物体が加速して落ちることは知っていたが、加速の法則は知らず、又落下の速さは物体の重量に比例するとした。即ち二千年の後ガリレイがピサの斜塔の実験で覆えたとするものである。アリストテレスは空気の抵抗に就ては知っていたが、物体の質量、即ち惰性の量が重量と相応じて凡ての落下の速さを等うせしめることを未だ思わなかつた。アリストテレスは又そのいわゆる不自然運動について、抛げた物体が手を離れた後、なお運動を続けることを説明して、物体が動けば背後に真空を生じ、ここに空気が侵入する、それによつて物体は新たな衝撃を得て運動を続けるものとした。然らばいかにしてかよりの運動が速さを減少すべきか。彼は又摩擦による速度の減少は解しなかつた。

槓杆の理を彼が理解していたことは注意に値する。槓杆の長き腕は短かき腕よりも大なる円弧を画くが故に、大なる重量を支え得ると説明した、彼は仮速度(virtual velocity)の原則を意識していたとせられるのである(後段参照)。

然しながら、四元素絶対軽重の説に禍いせられて、例えば水は地より軽く、空気は水より軽く、従つて水は地に、空気は水に圧力を及ぼさないとし、吸上ポンプの作用を説明することができず、自然は真空を嫌う Horror Vacuiなる辞を設けるの已むを得なかつた。而かも彼は空気の重さを知り、之を量ろうとさえしたのである。二千年の後ガリレイの弟子トリチェリが実験的に真空の存在を示し、トリチェリの真空の名を得た

所以である。

音響の成因に関しては彼は発音体が空気を（水中の場合には水を）動かして伝播し、移動が止められるとき音を生ずる、耳の中には空気が密閉されている、之に依つて外界の空気の運動の差異を鋭敏に感ずるとし、又反響は、空気が壁によりてその伝播を止められたとき、恰も球が壁にはねかえされるようなとき、起るとした。アリストテレス以前には発音体が空気を運動せしめると考えず、空気に或る形を与えるとし、又エンペドクレスの頃には発音体から或る精微な流れが耳の中に入るとしていたのである。

視覚については、エンペドクレス並にプラトンが（後者はその対話篇ティマイオスに於て）眼には火の性質があり、眼より光の出でて（物体よりも出で互に交錯して）、物の形や色をとると云つたのに反し、彼は（デモクリトスと同じく）若し眼が光を発すること燈の如くば、何故に暗所に物を見得ないかと云い、眼は水の元素より成る、聴覚は空気の元素より受け、臭覚は火の元素より、触味の感覚は土より受くるとした。視覚は水の透明なるによつて得る、空気も透明であるが、水がより良く光を捕える。故に眼球の中に水があり、心（神経）は眼の中に在るから眼球の透明が要である。或る火性のものが透明中に在つて光を生じ、然らざれば暗黒である。物体に光があるか、なきかで、白か黒かを生ずる。その中間の場合に、白と黒とを混じ諸々の色を生ずる。暗き霧を通したとき太陽が赤く見え、虹は日光が暗雲に依つて造るが故に凡ての色を現出すると。この色彩論はゲーテが色彩論史中に詳説し、ゲーテはアリストテレスをピラミッドに、プラトンをオベリスクに譬えている。前者は一石一石経験を積んで一のデザインに依る建築を成すのに、後者は直ちに尖端を以て天を指さすというのである。

アリストテレスの物理学はとにかくかように誤謬に充満していたが、その生理学、生物学は、固より顕微鏡もない時代であったが、前記のように諸方から集めた材料について孜孜として自ら研究し、例えば従来の見解に従わずして鯨を哺乳類としたなど、彼は物理学者としてよりは生物学者として一層成功したと云われている (W. D. Ross 他)。

併しアリストテレスの物理学のかような不成功は何故であったか。一般にギリシャ時代に数学や哲学に於ける発達に比して物理学が甚だ幼稚のものに止まったのは何に因するか。フランシス・ベーコンはアリストテレスのオルガノンに代るために *Novum Organum* (新オルガノン) を著わしたが、その中で、アリストテレスは論理によって自然哲学を墮落せしめた、世界を彼のカテゴリから造ろうとした、彼は経験を基としていない。経験を自己の論理に合わせるように之に曲げた、デモクリトス、ヘラクレイトス等の自然学者よりも一層経験に遠いと批評した。

十九世紀の半頃 W. Whewell は *Novum Organum Renovatum* (新々オルガノン) ' *Philosophy of Discovery, History of Inductive Sciences, 3 vols., History of Scientific Ideas, 2 vols.* の著の凡ての中に、このギリシャの物理学の不成功について論じているが、以上のベーコンの批評を苛酷とし、自然科学の研究法として、第一に事実を蒐集すること、第二に之を分類すること、第三に之から觀念 (Idea 概念又は理論とも云える) を造ることの三段あることを述べ、アリストテレスはこれらの三段の何れにも用意があり、他のギリシャの自然哲学者よりも事実をより多く集め、分類している、唯だその Idea が適切 (appropriate) でなく、明瞭 (distinct) でなかったことに、その不成功の原因があったと云い、アリストテレスが槓杆の理を殆ど理解しながら、却て

アルキメデスにその功を譲らなければならなかったのは、彼が Ideas が適切でなく、運動の原因たる「力」を求むることをしないで、運動の空間的關係、端の点の画く円の關係にのみ拘泥したことなどをその一例としている。哲學家 Lewes はヒューウエルのこの批評を論じて、これは誤謬の原因を示すものでなく、唯だ誤謬の事実の有りの儘を他の言葉で言い換えたばかりであるとし、Lewes はなお、ギリシヤ人は観察もした、実験もした、併しその実験が適切でなかった、就中アリストテレスは数多の観察をしたが、その事実、茲に之について自ら造つた觀念を確かめる実験を欠いたことが彼の誤謬の真原因であるとした。

然しながら物理学史家の Rosenberger は更に之を評して、いかにも観察及び觀念を実験によりて確かめることも必要であるが、たとえその意味で実験を応用しても、それだけでアリストテレスが物理学に何等か寄与したかは疑わしい。今日の物理学は実験を唯だ証明だけに用いてはいない、先入の觀念なく、唯だ都合よき條件の下に確実な測定を得るために実験をなし、その結果で新しい觀念を構成しようとする、かようの今日の物理学の研究法を欠いたのが、一般にギリシヤの物理学の誤謬の原因である、然らばアリストテレスの如き天才が何故に之に気がつかなかつたかというに、蓋し彼は所詮物理学者ではなくして哲学者であつた、哲学者は、自然を全体として観察しようとする、併し彼は他の先蹤たちと異り、現實的 (realistic) であり、經驗を重んじたとは云いながら、然しながら彼も結局、自然哲学者として、概括に性急であり、実験物理学者の謙虚と細心とを欠いたのであると云う。

又 Thomas Fowler 編輯 Bacon's Novum Organum の序論中にも文献を引いてアリストテレスの生物学に於ける誤謬について述べ、その帰納も単なる枚举であること等について記してある。又 F. A. Lange の有名な唯物

論史に Eucken (1872) のアリストテレス研究の批評がある。オイケンがアリストテレスの誤謬を当時の観測器械の不備の結果としてしているに対し、ランゲは、コペルニクスは望遠鏡を持たず、近世科学者も最初は古代の人々と全く同様の状態に在ったと記している。

アリストテレスの哲学はプラトンの観念論に反して経験論的で、デモクリトスの原子論に反して現象論的であったが、その物理学は失敗に帰して、ガリレイ、ニュートンを以て始まる近世物理学はプラトン（又はピュタゴラス学派）の系統を引いて何よりも先ず数学的であり、又原子論的である故に運動と力とを物理学の根本概念として、アリストテレスのいう性質的区別を第二義とする。デカルトの物理学は原子論的ではなかったがデモクリトスの唯物思想は継承したのである。これらの近世の力学的物理学とアリストテレスの性質論 (Qualitätenlehre) とについては Wundt の一八六六年の著述中に在り、拙著「物理学と認識」中、「物理学と実在」の篇中にも説いた。

アリストテリズムとプラトニズムとは前者が現実的で後者が空想的であると思われるに、今日の物理学が前者よりも後者に親しみが有り、却て哲学の最近の傾向が後者よりは前者に同情があるということは寧ろ逆のようであるが、今日の物理学にも究極の理論には現象論と原子論とが彷徨すると思われるもあり、数学の発達、観測の進歩等が比較を絶するが、アリストテリズムは全然意味を失っているとは云い得ないのである。なお後章に再説を期する。

アルキメデース (Archimedes 凡そ 287—212 B.C.)

ヘレニズム時代

アリストテレスを最後としてギリシャの自然哲学の最盛時、同時にギリシャ文化の黄金時代、所謂 Hellenic 時代は終る。⁽¹⁾この頃アテナ市が文化の中心地として栄えプラトンのアカデミーもアリストテレス Lyceum もここに建てられた。併し、アレクサンデルのマケドニア王国が建設され、ギリシャの都市国家が統一されたとき、アテナ市も独立を失い、其後、アリストテレスの死の前年(323 B.C.)アレクサンデルは死し、マケドニア王国は分裂し、アテナ市も再び独立したが、その盛時は既に過ぎ、それより後は却て以前のマケドニア王国の中でギリシャ以外の地の、エジプトの Alexandria 市、小アジアの Pergamum 市などが栄え、特にアレクサンドリヤ市が学術の中心としてアテナに代って栄ゆるに至った。この時代にはかように文化は地方的にもギリシャに限られなくなり、又東方の文化も混交し来ったのであるが、主なる文化人の言葉としてはギリシャ語が話され書かれたのであるから、この時代を Hellenistic 即ちヘレニズムの、又はギリシャ風の時代と名ける。

註

(1) ヘレンとはギリシャ人が自らその種族を称した名で、ギリシャというはローマ人の称呼に基づく。

Hellenic 又 Hellenistic との時代の分ち目、各時代の長さなどについては歴史家に種々の説があり、例えばこの分ち目をアリストテレスの死の 322 B.C. とするもあり、又はアテナがマケドニアに征服された 338 B.C. とするもあり、Hellenistic 時代の長さもアレクサンドリヤがアラビヤ人に占領された 640 A.D. までとするもあり、或はなお早くローマ方の Octavianus がエジプト方の Antonius に勝った 31 B.C. までとするもある。併し、近

頃ローマ大学の数学教授 Federigo Enriques の与えた区分法は簡明で記憶にも便利である。先ずギリシャの学術史を 600 B.C から 600 A.D. までの二一〇〇年間にわたるとし、之を各三〇〇年ずつの四期に分ける。最初の 600 B.C から 300 B.C. までを Hellenic 時代、300 B.C. からクリスト誕生までを Hellenistic 時代、次の 300 A.D. までを Greco-Roman 時代、300 A.D. から 600 A.D. 迄を註釈家又は頽廢 (Kommentatro od. Verfall) の時代とす⁹。(F. Enriques, Ansichten üb. d. Entwicklung d. griechisch. Wissenschaft, Abh. a. d. mathem. Seminar d. Hamburg. Universität, Bd. VII., 1929)° 之に依れば、是等の四期に、夫々文化の特色があり、又その区切りは上掲の政治上の事変とも略ほ一致する。紀元後一世紀、ローマ帝国の確立と共にローマ、アテンの二地がアレクサンドリヤと共に学術保育の中心ともなったのが、Greco-Roman 時代、四世紀に Constantinus 大帝立って以後は宗教的政治的には革命があつたが学術は衰へた所謂 decadence の時代であるが、P. Tannery (Science hellène, p. 7) がこれを註釈家の時代と称したのも適切とせられる (A. Reynond, Histoire d. Sciences dans l'antiquité Greco-Romaine)°。かくて東ローマの Justinianus I のアテンの学校の閉鎖 (529 A. D.) とアラビヤ人のアレクサンドリヤ占領 (640 A. D.) によつてギリシャ学術史は全く終結すると見られるのである。

アレクサンデルがエジプトにその名の Alexandria 市をひらいたのは 332 B.C. であったが、アレクサンデルの死 (323 B.C.) 後、その部将 Ptolemaios がこの地を領し、後に彼自らこの地に王となった。プトレマイオス家の初代二代三代の王が相續いて学術の保護発達のために力を尽し、ギリシャから多くの学者を招致し、250 B.C. の頃、その宮殿の傍らに有名な Museum を建てた。Museum は Muses 即ち学芸の女神にささげた殿堂の意で、アレクサンドリヤの Museum は今云う博物館よりは寧ろ大学であり、陳列室の外に講義室、研究室な

どがあり、文学、数学、天文学、医学の四部門に分たれ、又その図書は古代に在りし最大のもので、七十万卷のパピュルスや羊皮紙の書冊を蔵していたといわれる。(これらは既述ローマと茲にアラビヤとの二回の兵火で殆ど悉皆失われた。)

ヘレニック時代の學術史はタレスに始まりアリストテレスに終り、この時代には學術の分化が未だ十分に行われず、学者は皆同時に哲学者であつたが、アレクサンドリヤの時代には哲学と離れて、数学や天文学が攻究されるに至つたことは上記の Museum の部門の別もこれを示し、知識は前代より一層分析的(analytic)になつた。ギリシャの學術史の研究者 Heiberg, Reymond, Gow 等は、アテンのような小共和国の政治的動搖の烈しい所では自然科学は起り得なかつたが、アレクサンドリヤの如き專制的ながら平和で、學術の保護された所で起り得たと云い、併しヘレニズム時代の植民地ではギリシャ文化はその少数者が保持しただけであつたから国民的であるべき文学等は興隆しなかつた、唯だそれら少数の学者が各地に往来したことなどによりて知識がひろまり科学は發達した、特にエジプトがパピュルスのモノポリを持っていたことはアレクサンドリヤの文化的發達を助けたと云つてゐる。

ヘレニズム三〇〇年間の著しき学者として Euclid, Aristarchos, Archimedes, Apollonius, Heron, Hipparchos 等がある。この中アルキメデスが物理学史上最も重要とせられる。それについて記す前にその先蹤者ユークリッドとアリストタルコスについて簡単に記す。

ユークリッド (オイクレイデス Euclides)

その年代不明であるが、プラトンの初期の弟子より後で、アルキメデスよりも前、略ぼ 300 B.C. 頃、プト

レマイオス初代の朝に在ったであらうと考証されている。有名な“Elements of Geometry”はそのアレクサン
ドリヤに於ける講義の底本と云われる。此書に関しては Sir Thomas L. Heath, The thirteen books of Euclid's
Elements, translated from the text of Heiberg with introduction and commentary (3 vols., Cambridge, 1908) が
四五百頁のもの三冊、歴史的考証、補註等極めて詳密である。Heiberg とあるはコペンハーゲンの有名なギリ
シヤ学者 J. L. Heiberg をいう。Heath の書の初めに De Morgan の言、

“There never has been, and till we see it we never shall believe that there can be, a system of geometry
worthy of the name, which has any material departures (we do not speak of corrections or extensions or
developments) from the plan laid down by Euclid.”

を引いてある。Elements は実に二千年来初等幾何学教科書として基準たる位置を失わなかった。

Elements が東洋に伝わったのは支那の明朝の末、万暦年間有名な利瑪竇 (Matteo Ricci 1552-1610) が口訳し、
これ亦有名な徐光啓 (一五六二—一六三四) が筆録した「幾何原本」(一六〇七年北京にて出版) を始めとす
る。光啓の序中に、

幾何原本者、度数之宗、所以窮方円平直之情、盡規矩準繩之用也。利先生從少年時、留心芸学。其師丁
氏絶代名家、以故極精其説、而与不佞遊久。講譚餘晷時々及之。因請其象数諸書、更以華文、独謂此書
未訳、則他書俱不可得論。遂共翻其要約六卷

とある。清朝乾隆年間いわゆるに所謂四庫の中に収められた。この訳が六巻だけであつたので咸豊七年(一八五七)イ
ギリス人偉烈、亜力 (Alexander Wylie) と李善蘭との協力で全部を訳了した。

李の序に、

泰西欧几里得譯幾何原本十三卷後人続増二卷共十五卷明徐利二公所訳其前六卷也未訳者九卷……

とあり、同書跋の中に、

徐題語亦云続成大業未知何日未知何人今偉烈氏垂力既続訳其後九卷海甯李氏善蘭為之筆受而幾何原本原書遂全夫徐利俱精天算家言李偉烈亦俱精天算家言徐居呉淞李亦寓呉淞利生於欧羅巴而游於中土偉烈亦生於欧羅巴而游於中土利信奉耶蘇偉烈亦信奉耶蘇……

とある。我が寛永七年（一六三〇）長崎船載支那書中天主教義に係るものを禁止す、之を御禁書というとして、大槻如電翁の新撰洋学年表（昭和二年刊行）の中に通計二十九種の禁書目録あり、その中、天学初函十八種中に幾何原本がある。上記の利徐二人の訳であること言を俟たぬ。又同年表、享保五年（一七二〇）長崎奉行へ御禁書の中西洋説なりとも耶蘇教化の記事にあらざる書物は自今御構無之と令せらるとある。皆支那重訳の算術書測量書など十一種その中に幾何原本もあり、徳川吉宗のこの解禁は中根文右衛門の訴願に依る。併しその後の和算家に於けるユークリッドの影響は明かでないようである。

アリストアルコス (Aristarchos X Aristarchus)

文献としては Sir T. L. Heath, Aristarchus of Samos, the ancient Copernicus. a. History of Greek astronomy to Aristarchus, together with Aristarchus's Treatise on the sizes and distances of the sun and moon. A new Greek text, with translation and notes, Oxford, 1913 を最とする。380 B.C. の頃にアレクサンドリヤに在った天文学者、地球の自転を説き、又太陽を宇宙の中心とする Helio-centric 説、言い換えれば地動説を唱え、コペルニク

スの先蹤者であった。当時行われていたアリストテレスの論は地球を中心とする Geocentric 説、即ち天動説である。地球は静止していないという説はピュタゴラスやプラトンも述べたがアリストタルコスに比して漠然たるものであった。アリストテレスが地動説に反対した理由の最も有力なのは、地球が若し動けるならば恒星に就て所謂視差 (Parallax) を見出さなければならぬと云うの^いに在ったが (この差は極めて小なるため十九世紀に至つて初めて発見し得た)、アリストタルコスは恒星が太陽、月、地球その他の五星から非常に遠いという事で、即ちアリストテレス等の考えた宇宙よりも、真の宇宙は遙に大きいということ^で正しく説明した。アリストタルコスは又始めて地球と月、及び太陽との距離を測つた。その結果はなお過小であったが、その方法は科学的であった。アリストタルコスの地動説は後出のアルキメデスの Sand Reckoner の篇中に記されてある。

アルキメデス

アルキメデスに関する文献目録は上来記載したアリストテレス、ユークリッド等に於けると同様に George Satron, Introduction to the History of Science, vol. I, from Homer to Omar Khayyam, 1927 の中に在るもの最も詳密である。著作全集は古くフランス訳及びドイツ訳の出版されたものがあるが、ギリシャ本文の校訂等、最も信憑すべきもの^ところは J. L. Heiberg, Archimedes Opera Omnia (Leipzig, 1880-81) 及び Quaestiones Archimedesae (Copenhagen, 1879) があり、之に基いたイギリス訳 Sir J. L. Heath, The Works of Archimedes, edited in modern notation (Cambridge, 1897) がある。又 Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 201, 202, 203, 210, 213 にも Heiberg の版に基づいた新しきドイツ訳がある。又一九〇六年に Heiberg がコンスタンティノープルで新たにアルキメデス著の「方法」(力学問題に関する)と題したギリシャ文の一篇を見出

したのは学界に近來珍らしき発見であり、多くの学者の注意を引いた。Heidelbergは上記全集の再版三巻を一九一〇—一五年に発行し、Heardも全集補遺を一九二二年に出版した。

アルキメデスの伝記は同時代の人の書いたものがあつたことが知られているが、そのものは今伝わっていない。上記の全集に収められている論文は彼の著として確かめられているが、その著述の年代等は凡て不明とされている。王冠に関する、又ローマの攻撃軍に関する有名な彼の逸話等は紀元前十四五年頃のローマの大建築家であつたVitruviusの著De Architecturaならびに有名なプルターク英雄伝中のMarcellus伝に記載のものなどに依つて伝えられたのである。

アルキメデスはイタリヤの南シシリ島のシラクス(Syrakus, Syracuse)市に生れた。当時シラクスは一小王国をなし、カルタゴとローマとの二勢力の間に介在し、初めローマと親善であつた時代には国内も静穏であつたが、後にカルタゴと通じたためローマの名将Marcellusに攻め寄せられ、そのとき七十餘歳のアルキメデスがシラクスのために種々兵器の機械的工夫をなし攻撃軍を悩ましたこと、又遂に彼がローマ軍の兵士のために無惨の死を遂げ、而かもその最期の状について三通りの説が伝えられていることなど既記プルタークの中に記されてある。アルキメデスの父は天文学者、彼はシラクス王Hieron父子と親しく、学業はアレクサンドリヤで受け、シクラスへ歸つて後は数学の研究にのみ没頭していたという。上記のように元來器械の発明工夫に長じていたが、プルタークの中にも、彼は「人間日常の用に供する機械学に心を用いるなどは之を陋劣の業なりとし専ら純理の講究に思を潜めたのであつた」(国民文庫本、邦訳プルターク英雄伝、第二巻四〇四頁)とある。プラトンが天文学の研究は幾何学に関する限り貴く、曆其他日常の用に役立てるはその墮落

であるとしたのと同轍である。又彼について伝えられる種々の逸話も皆一面彼の放心と偏癖とのギリシャの古哲らしき面影を語るもののみである。

アルキメデスの著述

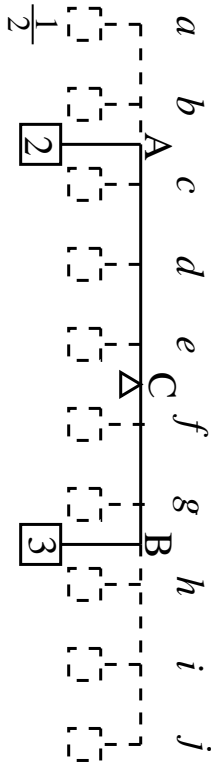
上記の全集中に収められている彼の論文は、一 球と円壜とに就て、二 円の計量、三 Conoids 及 Spheroids とに就て、四 Spirals に就て、五 諸平面の釣合に就て、六 砂の数 (Sand-Reckoner)、七 拋物線 Quadrature、八 浮べる物体に就て、他になお二三の小篇がある。

五の論文は「諸平面の釣合に就て、又諸平面の重心に就て」とあり、後半には平行四辺形、三角形、其他拋物線分で境した平面形の重心を求めてあり、前半の中に直線状槓杆こうかんの原理について述べてある。この論文と八の浮体の釣合について述べたものが力学に關するが、後者はラテン訳のもののみが伝わって居り、ギリシャ原文は失われた。比重のこと、又流体静力学に關する所謂アルキメデスの原理について述べてある。

力学の歴史は既述アリストテレスの又はアリストテレスに近き頃の Peripatetiker の著とされている *Mechanica Problemata* と、之に次いでアルキメデスの上記の論文 *De aequiponderantibus* とを以て始められるが、前者が寧ろ単に辨証的、哲学的であるのに、後者が著しく数学的、計算的であることはアテンとアレクサンドリヤとの学風の相違を示し、後者に於て初めて自然科学的研究法が異つて来たことを示すとせられる。アルキメデスの導いた槓杆こうかんの原理の研究がいかに中世に於ける静力学の研究の中心をなしていたかは P. Duhem, *Les Origines de la statique*, Paris, 1905 に詳述してある。

De aequiponderantibus には初めに公理 (公準又は假定 axioms, postulates, Voraussetzungen) を置き、次に定

理 (propositions, Sätze) を挙げてあること、ユークリッドの組織と同様である。公理 (一) 支点から左右に等距離に在る二つの等しき重量は釣合う。(二) 支点から左右に等距離に在る二つの異った重量の大なる方をつるした腕が下る。(三) 等しき重量を有った長き腕の方が下る等、七つばかりの公理がある。定理第一には、等距離に在る二重量が釣合に在れば両者は互に等しいという如きもので、定理第六には直線的槓杆の両腕の長さ反比例する大きさを有つ二つの重量の、その比の盡数 (commensurable) なるものは互に釣合う。定理第七、互に不盡数 (incommensurable) なるものも釣合う。この二つの定理が直線的槓杆の一般原理を示すものとして有名なのである。その証明法を普通マツハ (後出) 等の多くの書物に記してある形で、次に掲げる。



図のようにABを直線的槓杆とし、Cを支点とし、AC、CBの長さが例えば3と2との比に在り、AとBとに於ける重量が2と3との比に在るとすれば、それらの二重量が互に釣合うことを云い (腕には重量がないとする) 之を証明するため、先ずCA, CBの両腕の長さをa及びjまで延長し、Ca, Cjを等しくし、等間隔の abcdefghij の十個の点へ夫々1・2の重量を吊したものを考うれば、これら十個の重量はCの左右に対称的であるから公理第一に依つて皆互に釣合に在る。然るにabcdに於ける1・2ずつの重量、efghijの

六個の1²ずつの重量は、夫々AとBとを重心とし、AとBとの2と3との重量に等しいから、Cからの距離の比3と2とに等しきAとBとに在る2と3との比に等しき二個の重量は互に釣合わねばならぬ。

一般に比が盡数なる場合は以上と同様にして証明せられ、不盡数なる場合は所謂 method of exhaustion を用いて証明した。

アルキメデスの一見この巧みなる証明に於ける難点は彼がこの中に最初の公理の中にない重心の公理を用いたこと、竝にA及びBに在る重量を分ちて考うる場合に、例えばBに於けるものを分ちて支点Cを越えた点にまで及ぼしたことに在る。これらに就て訂正を試みた人々は古来二三に止まらぬ。Lagrange, Mécanique analytique, 1788 (拙訳ラグランジュ解析力学抄二一九頁)に之に関するStevin, Galilei, Huygens 並に Lagrange 自身の説について述べてある。これらは又有名な Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch angestellt (初版一八三三)の中にも詳述してある。

ラグランジュは先ずガリレイの説を挙げた後に、それはアルキメデスの以上の方法よりは見易いが、アルキメデスも亦用いた方法である事を云い、「併し他の学者はこれらの証明には欠点があるとして種々の方法で一層厳密にしようとしたが実はそれで証明の簡単さを失っただけで厳密さに於ては何等得る所がなかった」と云ふ、Huygens が一六九三年に Demonstratis aequilibri bilancis の中に述べた証明を挙げ之も亦完全ならぬしてある。

公理第一、直線状且つ水平なる槓杆が其両端に於て等しき重量を荷い、且つ支点が槓杆の中心に在るものが釣合に在ることを、ラグランジュは夫自身にて明瞭なる真理である、何となれば支点の両側に於て凡てが

相等しきときは等重量の一が他と異りて釣合を損ずべき何等の理由もないからであると云い、併し^{しか}支点に於ける荷重が二重量の和に等しいという仮定（重心の理）は此の如く明瞭でない、一物体の重さは唯だ^たその全質量にのみ関係して、その分配の形には関係しないということを日常の経験の結果として仮定しているようであるが、この事柄を明瞭にしなければならぬとしてある。

マツハは上記の如く所謂^{じゆんめ}自明の理とするは即ち充足理由の原則（Satz des zureichenden Grundes）に依るものであるが、天秤の釣合という現象について、之を定める要素として重量の大きさと腕の長さだけを抽出し、その他の腕の物質や周囲の状態などを考に入れないということが既に幾多の経験蓄積の結果であるとし、又単に等しき距離に在る等しき重量の釣合というような仮定から、重量と反比例の律の如きものを如何にして誘導し得るであろうかと疑う。天秤の釣合が重量と腕の長さとにだけ関係するということ簡単な事実をもアプリアに理論づけ得ず（nicht aus herausphilosophieren konnten）即ち経験を待たなければならぬのに、いかにして両者の関係の形式即ち反比例律を臆想的に（auf spekulativem Weg）見出すことができるであろうかという。マツハは、 P の力が支点から L の距離に在るとき、これが槓杆^{ていっかん}の釣合に影響するように働く作用は、 $P \times L$ なる積、即ち所謂^{いむゆる}静力学的能率（Statical moment）で測られるということは経験の結果として得られるもので、理論的に証明（Beweisen）し得られるものでない、できるだけ経験的要素を暴露させる説明法であるという点でガリレイのはアルキメデスに勝り、ホイゲンスやラグランジュのも同様であるが、認識論的には皆その企図に於て皆同じ誤謬に陥っている、アルキメデスが証明の途中に挟み、他の人々が最初に仮定する重心の理の中には既に槓杆^{ていっかん}の理そのものが含まれている、即ちアルキメデスが証明し得たとするのは錯覚（Täuschung）

であり、ギリシヤ風の証明癖 (griechische Beweissucht) を示したのに過ぎないとする。

マッハのこの批評については O. Hölder, Denken und Anschauung in der Geometrie (1900) 及び G. Vailati, La dimostrazione del principio della leva data da Archimede (1904) に異論あり及びマッハのその辯駁 (マッハの力学書第四版以後各版に加えてあるが、Hölder は又その近著 Die mathematische Methode, logisch-erkenntnistheoretische Untersuchungen im Gebiete der Mathematik, Mechanik und Physik, 1924 (S. 39-4 及び S. 318) の中にも之について詳述してある。ヘールダーは、アルキメデスが、二つの等しき重量が直接槓杆の二点に於て吊されたものはその中央点に於ける二倍の重量に置き換えられるということとその二点の間の任意の場所に支点がある場合にも仮定したことが非難せられるのを、二つの等質量の中央に支点のある場合には支点に於ける反作用は二重量の和に等しきことを直観し得られるとして、この場合から出立して superposition の原則を用いて結局何所に支点のある場合にも上記の定理の可能なことを示し、この仮定の下には、槓杆の原理が一般に証明せられ、即ちそれが演繹的に導かれ得ることをいう。即ちマッハが簡単な公理から複雑な反比例律を導き出すことを怪むのを、幾何学の一般演繹法と同様で驚くに足らず、力の大きさも腕の長さも、両者の積も、みな synthetic な概念であるという。マッハは自然に於ける性状 (Eigenschaften der Natur) を自明の仮定からでつち上げる (aus der Fingern saugen) ことはできない、経験から取出す (entnehmen) ことを要するという。マッハは力学や物理学の根本原理と称するものについて凡て同様の議論をなし、悉くアプリアリなるものを認めない。力の平行四辺形の定理の如きもこれを定理として演繹しようとした試みは十九世紀初め頃までの多くの数学者によつてなされたが、マッハは凡て之を排し、そのままアポストエリオリのもの、証明す

べからざるものとするが、ヘールダーはなおその証明を見棄てない。根本に於て両者の議論には Kritizismus か Empirismus かの相違があるのである。

Federigo Enriques の有名な Problemi della Scienza (1906) V, §25 にもアルキメデスの証明竝に之に対するマツハの批評について記してあるが、重心の原理を仮定する方が、能率の原理よりも簡単であり、直観し易い、前者を仮定して巧妙に後者を導いたアルキメデスの演繹を無視するとはできないとして、マツハの批評には賛成しない。併し元来エンリケスは所謂科学的理論の synthetic, objective の方面を強調し、その点所謂ポシティブイズムと一致せず、マツハの「記載論」とも異なるが、形而上学的、トランスセンデンタル、絶対の方面を極力排するはマツハ等と同様であり、他面にマツハに賛成していることはその Stevinus の評に於ても知られる。

上記 Vailati は幾何学の公理の研究等に於て知られているがアルキメデスの公理の中に重心の概念が含まれていることを証し、マツハとヘールダーとの議論について所謂問題をこらしたとせられる。又 Charles Singer, Studies in the History and Method of Science, vol. II, 1921 の中 J. M. Child, Archimedes's principle of the balance, and some criticisms upon it なる一篇があり、"In fact Mach misrepresents Archimedes in every possible way" と極言し、マツハがアルキメデスを非難するのは彼が本文を曲解したのに依るとする。Child 氏は、アルキメデスが重心とするは Centroid という如き幾何学的のもので、平行力の中心というような力学的のものでなく、能率 (statistical moment) の概念は全然前提中に無く槓杆の原理も重量と腕長との反比例をいうだけで、積そのものを考慮していないとし、マツハが滑車や分銅を用いてアルキメデスの証明を表示したのを改め新解釈を与えてある。その解釈の方が原文に近く、アルキメデスが力学を幾何学の単なる拡張とし、又力学の

方法（天秤や槓杆こうかんの）を用いて幾何学の定理（拋物線分の重心等）を見出すのに用いたことは、既記「方法」と題する Heiberg に依つて見分されたものに依りても知られる。併しかかくすれば定理第六第七が槓杆こうかんの一般原理を示す力学的の定理であるとする理由は稀薄とならざるを得ない。Edmund Hoppe の物理学史には、アルキメデス De aequiponderantibus より以前の論文で槓杆こうかんの原理を既に詳述したのであると推し、その著の中に「われに立つ所を与うれば世界を動かしてみせるであろう」という言葉が記されてあったのであるとし、その論文が伝わらなかつたとする。その論文の名は古代の他の書にも記されてあった。又上掲のアルキメデスの言葉は「われに立つ所」と「われに行く所」との二つの云い方が伝わっていること Cantor の数学史に在る。往々われに支点を与えよとも伝えられている。

Montucla の古き数学史にはアルキメデスが重心の概念の発見者であるように記してあるが、上記のように失われた彼の論文があるとすればとにかく、De aequiponderantibus には「重心」の字の定義なしに用いているから、当時他の人も用いた既知のものであつたらうとせられる。A. E. Haas, Grundgleichungen der Mechanik, 1914 及び Marcolongo, Theoretische Mechanik (Timmering 訳) など参照。

アルキメデスの De aequiponderantibus は数学を力学に拡張した最初の論文として、學術の発達史の上から、又認識論的にも重要なものとせられ、Auguste Conte, Cours de philosophie positive, tome I & W. Wundt, Logik II., Logik der exakten Wissenschaften S. 306 の中にも論及してある。Wundt は「一般自然科学的研究法に於ける（一）帰納的準備 inductive Vorbereitung, 定性的又は近似定量的な觀察、（二）瞑想的完成 (Spekulative Bearbeitung, 以上の翻察から一般的仮定を造り、それから定量的法則等を導出する)、（三）実験的証明 (experimentelle Prüfung,

自然現象の定量的関係が以上の仮定と一致することの証明)の三段があることを云い、然るにアルキメデス等古代の学者に於ては第一段と第三段とが閑却されて第二段のみが注意されているから力学が純数学と殆ど區別されない、後者に於けるように前者も客観的知覚に依るところは極めて少数で、又その結果は実験的証明を要しない程それ自身明確なものであり、その他アルキメデスのいう「諸平面」が等質なる剛体を仮定すること等も幾何学の仮定が空間に於ける現実の物体と同様であり、力学が益々瞑想的数学的特性を示すとする。Wundtは、力学はガリレイに至つて始めて独立性を有し来り、数学と別の分野を領することとなり上記の所謂第一段、第三段の研究が自ら顯著になつたとするのである。

アルキメデス以後 Leonardo da Vinci (1452-1519) が初めて直線槓杆以外に曲れる槓杆について論じ、支点から力の方向への垂直距離を腕の長さとし、反比例律を一般化したとマツハは記す。併し既記 Duhem はダ・ヴィンチの先駆者として Jordanus Nemorarius (一二三六年死) を挙げ、又 Hoppe はアレクサンドリヤの Heron が既にこの垂直距離について記載していることをその物理学史中に述べている。Heron の年代については紀元後とするあり紀元前とするもあるが、Hoppe は 150—100 B. C. の頃と断じてる。ダ・ヴィンチの槓杆の説等については東洋学芸雑誌昭和二年二月号「レオナルド・ダ・ヴィンチの力学其他」と題した拙稿参照。

アルキメデスの力学的論文は既述のように槓杆の原理に関するものの外、浮体に関するものがあり、流体静力学発達的基础をなしたものである。流体の中に在る物体に働く浮力即ち物体の重量の減少について論じた。この原理の発見に関し既記 Virtuvius, De Architectura Lib. 9 にアルキメデスの有名な挿話、シラクス王 Heron の金冠に関するものが語られてゐる。Heller の物理学史には Virtuvius の全文を引照してある。論文は

既記のようにラテン訳のみが伝わり、完全とされてないが先ず流体の性質に関する若干の仮定を挙げ、上述の定理が導かれ、又種々の形の物体の流体中に於ける釣合について述べてある。

「砂の数」と題した彼の論文には、初めにHeron王の子Gelonに呼びかけた言葉があり、世界中の砂の数を無限とするや否と云い、その数を計算して六十三位の数字で示し得るとしてある。そういう世界即ち宇宙の広さはアリストアルコスと与うるのに従い、アリストアルコスの太陽中心の宇宙論を述べてある。

ヘレニズム時代上掲ユークリッド、アリストアルコス、アルキメデスのほかに著名なるには、Apollonius (c. 262 B. C. 生) が円錐線の研究に於て、又惑星運動の説明にEpicyclesを導入し、既記Heron (150 B. C. 頃) が機械学、工学の応用方面を多く開拓したるなどあり、又Hipparchos(160-125 B. C.)の天文学の実測の精細なるは後世驚異の標となつているが、ヒッパルコスが、アリストアルコスに反対に、地球中心の宇宙論を保持したことは逆転であり、G. Sartonは之を彼の極端の保守主義及び怯懦の故とする。或は当時、直観的(anschaulich)な説に従い、天文学を空想から避けしめた事が却て学^{かえ}の確実の進歩を促がした所以^{ゆえん}であつたこのRosenbergerの物理学史の記述にも真理もあるであろうが、とにかくヒッパルコス及び主に彼を宗としたClaudius Ptolemaios (161. A. D. 死)の権威のために地球中心説が永く栄え太陽中心説が抑圧せられていたことは事実であつた。

(共立社、物理化学講義)

-
- 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。