ガリレオ傳 (4)

Galileo

山本一清 *Issei Yamamoto*

ガリレオの業蹟の中で，最も派手なものとは言へないかも知れないけれど，最も實質的に偉大なものは，明らかに，運動學 (mechanics) を理學として基礎づけることに貢獻したことである．尤も，以前から，或る種の，個々別々な現象や，理論は，學界にも認められ，證明せられてゐたものはある．しかし“力”といふものを物象の變動の原動力としてハッキリと認識し，そして，あらゆるものの原因と結果との關係の不變性を廣く物象界にも擴張したのは，ガリレオが最初であつた．アルキメデースの時代から．既に一種の“平衡の理學”といふものはあつたけれど，“運動の理學”といふものは，ガリレオから始まつたのである．實際，コペルニクの地動說が最後の勝利を獲たのは，ガリレオが，いろ々々と述べたてた其の直接の贊成論のためといふよりも，むしろ，かれが運動學（今の“力學”）について研究を積んだことの方が，はるかに大きい貢獻であると言つても，決して過言ではあるまい．天文學の諸問題は，要するに力學の問題なのであるから，ガリレオが當時の人々に說いた“力”といふものが，物の運動の原因なのだといふ機械的な觀念が無ければ，恐らくは，碩學ニウトンの頴智を以つてしても，こうした問題は，やはり，解けない謎であつたのだらう．但し，力と運動との關係は，ガリレオによつて明確な諸法則の形に作り上げられたものではない．しかしながら，彼れの力學に關する諸論文は，どこを讀んで見ても，これ等の法則を暗示するものであるし，こうした力學問題のガリレオの解法を見ると，どうしても，彼は法則を充分に知悉してゐたとしなければならない．此の方面の學術が，ガリレオによつて非常に進步したことは，つまり，彼が物理の諸問題に，數學解析術を巧みに應用したのによるのである．尤も，純數學者としての能力から言へば，ガリレオは，其の當時の或る學者や，或る弟子の一人以上に優れてゐたとは言へないし，又，抽象的な幾何學の原理の擴汎な把握力に於いては，(ニウトンや，ライブニツの事まで言及しないで置くとしても，) フェルマーや，デカルトや，パスカル等に及ばなかつた．それでも，やはり，純數學の範圍に於いて，ガリレオの有力な，又，獨創的な頭腦は，著しい活躍の足蹟を殘したものである．彼は，例へば，サイクロイド曲線の性質を，いろ々々と研究して，其の求積術を試みたこともあり，又，彼が，幾何學の問題を證明する場合に，始めに“極微” (infinitessimals) といふ

觀念を發案したが，この概念の中には，微分學の大樹が成長して行くべき種子が藏せられてゐた．しかしながら，彼の獨特の研究法であり，又，今日も尙，天然理學 (natural science) 上に於いて，幾多の新發見への道を拓きつゝあるものは，實驗に數理計算を組み合はせることであつて，この方法により，具體的なものが，抽象的なものに變移し，同時に，又，いろ々々の結果を比較論定する道を與へることになるのである．ガリレオの，こうした新しい研究法の，最初の成果は，即ち，落體の法則を確定したことであつた．最も簡單な原理が，最も眞理に近いものであるとの信念から，彼は，先づ，すべての物體が，一樣均齊な加速運動で以つて，地球へ落下するといふ一公理を假定し，それにより，結論として，この運動の速度は，經過した時間に正比例することと，又物體が通過した距離は，時間の二乘に正比例することを證明した．それから，最後に，彼は，傾斜面を降つて行く物體の運動狀態と，其の費やす時間とを觀察して，前記の公理が誤りでないことを立證した．尤も，こゝでも亦，彼れは傾斜面上の降下物體の速度が，其の斜面の角度の如何に拘はらず，高ささへ同じであれば，速度も常に等しいといふことを假定する必要に迫られたのであつたが，この，一見，明瞭でなささうな原理の數學的な證明に成功したのは，彼の死の直前であつた．

かの，慣性の原理を言ひ表はす“運動の第一法則”といふものは，畢竟，均齊加速運動の觀念中に含まれてゐるのである．しかし，落體の眞の理論を完成するためには，之れに，尙，“第二法則”——即ち，個々の運動の獨立性といふこと——を附加しなければならない．このことも，ガリレオの功蹟である．その當時までは，およそ一物體に衝擊を與へて起された運動は，絕えず其の前進が促がされない限り，何か神秘的な“媒體(メデウム)の反動”といふものによつて，自然に其れが靜止してしまうといふ風に，學界では，一般に信ぜられてゐたものであつた．ところが，之れに反對して，ガリレオは，衝擊によつて起された運動はいつまでも，そのまゝ，一定の方向に均齊運動を續けるのであつて，“媒體”は其れを促進させるものでなく，却つて，この運動に反抗する作用を有つてゐるものであるといふことを證明した．尙，今一つ，ひろく，一般に信じられてゐた公理は，物體が，すべて，一時に只一種の運動しかするものではないといふことであつた．故に，即ち，例へば，砲彈や，其の他の落體は，最初の衝擊力が亡くなつて了うまでは，一直線に進行するものであつて，最後には，垂直に地上へ落下すると，學界では考へられてゐたものである．ところが，ガリレオは，其の力學問答書の第4部に於いて，落體の運動は，均齊一樣な橫斷運動と加速度の一樣な垂直運動との結合であるから，(空氣の抵抗が假りに無いものとすれば，) それは拋物線を畫くものであることを實證した．力の組み合はせの原

理が，このやうにして，確立したことは，地球の自轉に對する反對論に向つて，最も手きびしい回答となつたわけであつて，之れにより，ガリレオは，其の第二問答書に於いて，宇宙の構造に關する議論の赫々たる勝利を示したものと言ひ得る．當時，コペルニク説の反對論者は，若しも地球が自轉してゐるのならば，手から投げ出されたものは，地球と共に運動してゐる筈の人の運動が速いために，後方に取り殘されることになるべき筈ではないかと，反駁したのであつたが，ガリレオは，之れに對して，新しく加はる衝擊は，其の以前に受けた衝擊に直接の影響を與へるものではないから，反對論者の云ふ地球の自轉といふものは，決して其の影響が現はれるものでない．何となれば，地上にある總ての物體が，全く一樣に地球の作用を受けてゐるのであるから――と，論駁した．ガリレオの斜面運動論と，"運動量" に關する立派な定義とを組み合はせて，彼は，運動の第3法則を獲た．かのニウトンの "作用と反作用とは，互ひに等しくて，其の方向は反對である" といふ定理は，殆んど其のまゝ，ガリレオの "力學論" (Della scienza meccanica) に述べられてあるが，この著書は，彼がパドヴの大學で講義したものを出版したものであつた．尙，この原理は，彼の第3問答書の中に述べてある公理に含まれてあるもので，"物體の落下する傾向は，それを支へるのに丁度充分な最小限度の抵抗に等しい" となつてゐる．しかし，衝擊に關する諸問題は，ガリレオの死後に至るまで，確立的な解決は成功しなかつた．

運動學上のガリレオの貢獻は，動力學と同樣に，靜力學の上にも著しかつた．彼は，斜面上の平衡の問題を立派に確立した最初の人であつて，彼は，この問題を，巧妙な論理を徹底的に押しすゝめて，結局，之れを水準面上の問題に歸した．又，"假想速度" (virtual velocity) の理論を確立して，かのラグランジの所謂 "平衡の法則を一般化" した最も重大な基本原理を見出した．ガリレオは，更に，今尙明瞭を缺く "分子引力" の問題を注意深く研究し，又，器械論の範圍內に於ては橫の歪形や，棒の强さの問題について，彼が立證した以上に，今も尙，吾人の知識は加はつてゐない．ガリレオが，1612年に出版した "Discorso intorno alle cose che stanno su l'acqua" の中に，彼は液體力學の重大な定理を證明するために，假想速度の原理を用ゐ，サイフォンの中の液體の平衡を論じ，液體中に於いて固體が浮游するのは，其の固體の形狀によるものではなくて，液に對する固體の比重によるものであることを證明して，アリストテレス學派の主張を破つた．

ガリレオが物理學上の進步に貢獻した功績を正しく評價するためには，どうしても，當時に於ける此うした諸問題について，諸家の意見が如何に混亂し，錯誤に滿ちてゐたかを指摘する必要がある．彼への最良の稱讚の辭は，卽ち，彼が曝露して指摘した當時の學界の錯誤そのものを見ることであると言はれて

ゐるが，誠に尤もな話である．およそ腐朽するものと，しないもの，絶對の重量と，絶對の輕量，自然の運動と，强制の運動——こうしたものの學的な區別といふものは，學界から全く無くなる言葉ではないにしても，少なくともガリレオ以後は，有識者間の論爭には重要性を有たないものとなつた．このやうな曖昧な，誤解し易い觀念を退けて，ガリレオは，重量と輕量とは，要するに相對的のもので，總ての物體は，(例へば，空氣の如き，眼に見えないものでさへ)重さがあるのであることを，ガリレオは敎へた．又，運動といふものは，若し，それが一瞬間の運動でも，永續的な運動でも，何れも，力の働らいた結果であること；重さといふものは，地球の中心の方へ働らく連續的な力であること；眞空中では，重いものも，輕いものも，皆一樣に，同じ速度で落下すること；“物質の慣性”は，靜止や運動の永續性を意味すること；天體の物質は，地上のものと同樣に“腐朽するもの”であること等々を，ガリレオは敎へた．此等の簡單な初等觀念は，其の後の進步と發展とを約束したものであつて，單にそれ等自身が眞理であるばかりでなく，更に進步した眞理への前奏曲であつた．そして，此等の新觀念によつて退けられた舊觀念は，その不明確と曖昧とによつて，全く棄てられて了つた．

ガリレオは，實に適切な時期に生れた人であつた．彼は同時代の如何なる人よりも優れてゐたけれど，しかし，決して彼等と無關係ではなかつた．彼は其の生存した時代の動きの代表者であり，又，其の促進者であつた．アリストテレス學に對する疑惑は當時漸く人々の腦裡に現はれ始め，其の說く所を理學上の權威として取り扱はない傾向は，かすかに見えてゐた．既にラムス (Ramus)，テレシウス (Telesius)，パトリシウス (Patricius)，カムパネラ (Campanella) 等によつて，學界の盲目的な傳統に對する猛烈な（しかし，効力無き）鬪爭が始められてゐたのであつて，ガリレオが成功した大革命は，其の先輩たちによつて，準備されてゐたのは事實である．しかしながら，彼が有効に爲し遂げた大事業は，最高，稀代の天才を必要としたのであつた．彼は先天性と經驗性との間の幸福な中道を開拓し，多くの他の經驗學が天然界の多大なる秘密を獲得した研究方法を，夥しい成功によつて立證したのであつた．ガリレオの智能は優れて實際的であつて，彼が行つた行蹟は悉く精密な研究の範圍に屬してゐた．從つて，彼が後代に殘した問題は，大きくはあるけれど，只，直接の實驗のみからは多くの結果を期待し得ないものであつた．現に，ガリレオ以後，もつと進んだ理論は次ぎ々々に出現したけれど，まもなく其れ等は消えて了つて只，ガリレオの實蹟だけが今尙生きてゐる．之は全く彼が其の基礎を確實にしたからである．眞理に對する彼の鋭い直感，彼の强力にして眞摯な論證，その例證の豐富，鋭利な諷刺等は，皆，彼の論敵を辟易させた．そして論爭の勝聲は漸次消えても，その代りに後代の永い賞讃が續いて止まない有樣である．(終)