

ラーへの觀測値を資材として遊星の軌道を求め、此中火星の見掛けの運動は甚だ不規則であつて、從來の説によつては到底説明し難いことを認め、遂に上記の説に達したのである。天體の軌道は圓又は其組合せであるとなしたギリシヤ以來三千年に亙る假定をすてたのはティコ・ブラーヘが彗星軌道を卵形としたのが始めであらう。しかし彗星以外のものについて圓以外の曲線を用ひたのは實にケプレルが最初の人である。但し、彼は恆星球についてはコペルニカスと同様に、それが存在するものと考へて居た。

此遊星の運動の原因としてケプレルは太陽からの力を考へた。しかし此力を太陽の方へ遊星を引きつけるものとせずして、軌道の接線の方向の力と見た様である。彼は地球と月との間には丁度地球が地上の物體に及ぼすと同様の引力があるとし、更に總ての物體は互に引力を及ぼすと考へたにも拘らず、太陽・遊星間の力を引力としないのは不思議に思はれる。しかし此時代には運動の法則が完全には知られて居らなかつたため、物體は力が作用しなければ自ら靜止するといふ考及び磁石を回轉すれば附近の鐵片が其まはりに回轉する如く太陽が自轉によつて其周圍に力の渦が生じ遊星を引きずるといふ考等によつて接線方向に力が作用

すると考へたのであらうと思はれる。

此ケプレルの説は觀測と甚だよく一致する。夫故に太陽中心説の正しいものが漸く出來上つた譯である。しかし運動をおこす原因に立ち入らず單に軌道の形や其上に於ける速さを論ずるならば、太陽が靜止して、其周圍を地球等がまはるとするも、地球が靜止して太陽等がまはるとするも、いづれを用ひても差支へはない。即ち太陽を靜止として觀測と一致する説明が出來るならば、座標を轉換して、地球を靜止とする座標を用ふれば、地球を靜止としてしかも觀測にあふ軌道を得るのである、此場合孰れをとる方が軌道等が單純になるかによつて兩説を取捨するのが普通であり、トレミーの時代に、彼の天動説の用ひられたのも此理由に因くのである。今ケプレルにより、太陽靜止説を用ふれば甚だ軌道が簡單になる事を知つた。しかし更に圖形等の問題から一步を進め、力學的に物理的に、太陽中心・地球中心のいづれが正しいかを定めなければならぬ。之が爲には第一に運動と力との關係を明かにしなければならぬ。此力學の根本問題に對し正しい解決の基礎を置き、又天體觀測によつて地動説に確實有力な根據を與へたのはガリレオ・ガリレイ（一五六四—一六四七）である。

一六〇九年彼は望遠鏡を用ひて天體の觀測を始めた。望遠鏡の發見は十七世紀の始めであり、從てティコ・ブラーへの如きも六分儀をもちいたのであつて、天體觀測に望遠鏡を利用したのはガリレイが最初なのである。彼は數年に互る觀測により、月に山や谿のある事、金星が盈缺する事を見、太陽の黒點・土星の環・木星の衛星等を發見し、又從來人々の夢想もしなかつた程多數の恆星が天空に散在する事を知つた。此等を綜合するに遊星も地球と同様の物質から成立つ天體であり、恆星は夫々一個の太陽の如きものであつて、又空間は恆星球にて限られたものでなく、十六世紀の末ブルノーが力説した如く無限際に擴がれるものである。從て彼は地動説の正しい事を愈々確く信する様になつた。

力學上に於ける彼の功績の第一は落體の法則の發見である。既に述べた如く力學はアルキメデイス以後殆ど何等の發達をなさず、近世に入りステフィン（一五四八—一六二〇）が鈞合及び流體の靜力學の研究をなしたが、未だ力學の問題には及ばなかつた。從て物體落下についてもなほアリストテレスの説が主として行はれて居た。ガリレイは彼以前の二三の學者と同様に此説に疑を抱き、早くより振り及び斜面上に球を轉がす實驗等によつて、精密なる

研究を始め、空氣等の抵抗のなき場合に、落體の速さは物體の輕重によらず、其速度は落下しはじめてよりの時間の二乗に比例する事を見出し、之より加速度は物體にも速度にもよらず、一定である事を導き出した。此事柄と物體の重さが落下の途中何處を通る時も同一であるといふ事とにより、一般に加速度は力の方向に起り、且つ物體については作用する力に比例するといふ考の端緒を得た。次に拋物體の運動を研究し、其運動は發射の方向にそひて最初の速度にて進む運動と、重力の方向の加速運動との合成として表され、しかも此重力の方向の運動は發射の方向や速度の如何に拘らず常に鉛直落下の場合と同様なる事を證明した。之を一般化すれば運動の合成及び力の合成の法則を得るのである。更に固體の強度其他について實驗を基礎として研究を行つた。

此等の研究は彼の數篇の著書によつて知ることが出来る。其中最も重要なものは主として天學に關する「宇宙の組織に關する二大學說に就ての對話」（一六三二年）及び力學に關する「二つの新しい科學に就ての對話」（一六三八年）であり、孰れも表題の示す如く對話の形式を以て敘述されて居る。

以上コペルニカスよりガリレイに至る迄の發展を辿る時は十七世紀の中頃に於ける天文學及び力學の主要問題が何處にあるかを略々推測する事が出来るであらう。即ち一方ガリレイの落體に關する研究を一般化して力學の根本原理を確立し、他方天體間に作用する力を探り、之に因いて遊星等の運動を説明するにある。此二つの事の雙方を成し遂げたものがニュートンの自然哲學原理なのである。

ニュートンの仕事を理解するには、委しくは更に此時代に於ける物質構造に關する説や光學の發達を知り、又社會的・工學的狀態をも知る事が必要であらう。しかし今は此等に論及する事を省く。此時代は嘗に天文學・物理學のみでなく、化學・生理學・生物學方面も漸く科學的に研究せられ始めた時期である。例へばボイルの「懷疑的化學者」、コペルニカスの地動説と同年に出でたるヴェサリウスの人體解剖學と並んで重要なハーヴェーの「血液循環論」、マルビギ等の動物・植物の解剖に關する研究等、孰れも十七世紀の業績なる事を記すに止めておかう。

五

以上の史的發達を心にとどめておいて、之より自然哲學原理に對する解説及び批評に入らうと思ふ。

先づ序言に於て、此書の目的を述べて居る。此中に於て、力學には技術を目的とするものと自然界を目的とするものとの二種がある云々といふのは、アルキメデイスよりステファン等に至る迄力學が主として工學的要求によつて生れ、之を自然界の説明に用ふる事がなかつたに反し、ニュートンは此著に於て自然界の哲學的考察を主とする事を示すためである。

次に、定義及び基本法則の節は力學の根本を述べた最も重要な處である。此書全體との關係からいふならば第一・第二・第三の三つの卷よりなる壯大な建築の基礎ともいふべきものである。此中、時間・空間論は後に譲り、先づ運動の法則に就て論ずる事とする。第一の慣性の法則の前半、即ち靜止せる物は何時迄も靜止の状態を續ける事は古くから認められ來つたものであるが、直線運動をなせる物が他から影響を受けない限り何時迄も速度を變へずに

運動しつゞけるといふ事は近世に入つてはじめて考へつゝいた事である。例へばアリストテレスの如きは、圓運動が自然的な、永久につゞく運動であると考へた。之は圓形が幾何學的圖形中の完全なものであるといふ考と恆星の運動とから想ひ到つた處である。但し地上の物體は恆星の如く聖いものでなく、從て地上物體にとつては直線運動の方が自然であるとアリストテレスは考へた。此説をとる者もとらぬ者も、直線運動についてはそれに力を加へず放置しておくときは自然に漸次速度が減少し終に靜止するものと考へて居た。之は自然界の現象を皮相に觀察すれば誰しも想ひ到る事柄である。之に反對して力が作用しない限り等速運動をつゞける事はガリレイが恐らく初めて證明した處である。勿論デカルトも同様の考を抱いて居たが、彼は主に思辨的に得たのであつて自然の觀測から確めたとはいひ難いのである。

第二法則の要點もガリレイが發見したものである。即ち力が加速度に比例するとしたのはガリレイの卓見の一といはなければならぬ、但し第一法則も第二法則も彼はたゞ重力の作用する場合について論じた。之を一般化したのはニュートンの功績である。即ち力を重力以外の場合に擴め、又質量との關係を考慮に入れ、速度よりも運動量が物理的に重要なものである事を認め、力と加速度との間の關係とせずして力と運動量の變化との間の關係として言ひ表した。此様にガリレイに負ふ事はニュートン自身も此書の註に於て述べて居るのである。

第三法則はガリレイ、デカルト、及びハイゲンス等も考へ、殊に物體の衝突の場合については明かに考へて居た。併し之を一般に成立つものとして明確に認め、且つ言ひ表したのはニュートンが最初の人である。此事は註にも明かである。たゞ此註を讀むときに第三法則に謂ふ處の作用が現今一般に解する如く力の意であるか否か疑なきを得ないのである。

此作用を如何なる意味にニュートンが用ひたかを知り得る主な個所は第三法則に附け加へてある具體的の例を用ひた説明、それより少し後にある系三、及び此節の終りの註である。此中はじめの説明に於ては作用が力を意味する事は大體明かである。但し、二つの物體の作用といふとき二物體が互に直接に作用する場合は勿論であるが間接に例へば馬が綱でしばつた石をひく時も同様に馬と石との間に此法則がなりたつと見做して居る。次に系三に於ては作用は力の意味に用ひられて居る事は明かである。併し註に至るとさう簡單に解する事が出來ない。例へば此註の中に彈性體衝突・反撥の時の例を掲げてある。此處に於けるニュート

ンの論調をみるに完全弾性體に就ては作用を力と解して意味が通じるのであるが、不完全弾性體例へば毛製の球と銅製の球の話等に於ては作用は力よりも廣い意味のもの、即ちむしろ仕事に近いものとしなければ解しにくいのである。

更に天秤・振子を論じ、器械の能力を論ずる處に於ては、寧ろ(力)×(距離)なる量が一つの器械の一端と他端について相等しく、之が即ち(力)×(距離)なる法則の一つの現れであると思ふのはあるまいか、殊に摩擦や抵抗のある場合を論じて居る處では作用はむしろエネルギーの意に解すべきであらう。例へば作用が中間の器械によつて傳はる場合に結局作用と反作用とは等しいとの意を述べて居るが、こゝで作用を現今の意味の力と解する事は如何にしても困難であると思はれる。

此様にニュートンの第三法則の作用が力と同等でなく、更に廣い意味を有つとする解釋は現今にては餘り行はれないのであるが、例へばトムソン、ティート、及びマクローリン等が既に述べて居るのである。

トムソン及びティートは其共著たる「自然哲學」(一八九六年)の中に於てニュートンの法

則を忠實に詳細に説明して居る。第三法則に關してはまづ普通行はれる如く、作用を力として説明を加へ、次でニュートンの註をよむときは此法則はダランベールの原理を述べたものとも又エネルギー不滅の法則を意味するとも解すべきである、と論じて居る。(Thomson & Tait, A Treatise on Natural Philosophy, vol. I, §§ 262, 263-264, 268-269.)

コリンズ・マクローリンはニュートンの推薦によつてエディンバラ大學の教授となり、力學に於て、三座標を用ひる事をはじめて説へ、數學に於てフラクシヨンの方法を發展せしめた人である。其著「ニュートン卿の哲學的發見」(An Account of Sir Isaac Newton's Philosophical Discoveries, 1748) はニュートン死後凡そ二十年の出版にかゝり、自然哲學原理の大意を述べた著であるが、其中第三法則の説明の節に次の様な事を述べて居る。

「物體は其自身の状態を決して變へないばかりでなく、其慣性によつて、其運動に變化を惹起す様な總ての作用に抵抗する、二つの物體が出會つた時に、各自其状態を保ち、如何なる變化にも抵抗しようと努める。而して、孰れにも惹起された變化はそれが他方に及ぼした作用によつて、或はそれが他方から受ける抵抗によつて測られるから、從て各々の運動に惹

起された變化は相等しく、しかも反對の方向になされる。一方の得るのは他方が同じ方向に於て失ふものであつて、それ以外の新しい力ではない」(Book II, Chap. 2, § 4.)といひ、此第三法則の眞なる事は物體の衝突に關する種々の實驗によつて明かであると述べて居る。之より數節の後に於て、作用と反作用と等しい故に多くの物體相互の作用によつて此等の共通重心の運動が變化する事はないと説き地球と山との間の壓力が互に等しい事等を例にあげ更に語をついで下の如く述べて居る。「物體は其密度に比例して光に作用し、光が物體に入るときにそれを屈折せしめる。逆に光は物體に作用してそれを暖め其部分を運動せしめる。斯く作用と反作用の相等しい事は甚だ一般に成立つものであつて、即ち何等か新しい運動が自然界の力即ちエヂェントによつて惹起された時には、常に同時に之に相應して大さが之と等しく方向の反對な運動が其反作用によつて惹起されるか或は反對の方向の運動が減ぜられる。」マクロリンの著には force, power, motion 等の意味に多少の混雜も認められるけれども、ニュートンの死後未だ二十年位の時に、しかもニュートンの弟子たる學者の著に上の様な論述のある事は此時代に第三法則を此様に現今よりは廣義に解して居た事を示すものであり、

従てニュートン自身もこの様な考であつたとすべきであらう。此事はニュートンが第一・第二法則に於ては力 (vis, force) と云ふ語を用ひて居るに拘らず、第三法則に於ては力といはず特に作用 (actio, action 或は activity) なる語を用ひて居るのを見ても明かである。

勿論力學を系統立てる上からいふならば第三法則を現行はれる如く力の法則と解し、運動量やエネルギーに關する法則は三つの運動の法則より導かれるものとして、別に述べる方が適當であらう。しかしニュートン自身が第三法則に於て述べんとしたのは現今の言葉にていへば、力・運動量・エネルギー等に關する可なりに廣汎な法則であると解さなければならぬ。

次に質量にうつる。ニュートンの質量に對する考が不完全であるとの論は屢々聞く處である。其一つは質量よりは力の方を力學上根本的の量となし、質量は物質の量といふよりは慣性係數と解すべきであるといふのである。此考はマックスウェルの「物質と運動」の中にも現れて居る。又マッハは其力學史に於てニュートンの質量の考を批評し、同質の物體についてはそれが有する物質量の多少をいふ事は意味があるけれども、異なる物質、たとへば金と銀

とについて其有する物質量の多少を比較する事は無意味である、と述べて居る。此等はいづれも至當の言である。しかしニュートンの立場からいふならば、第一に、慣性は物質の一つの性質にすぎず、運動の法則でいはんと欲するのは物質の量と運動や力との關係である、従て、あくまで物質の量としての意味の質量を根本とするのである。第二に、異なる物質の質量云々に關しては自然哲學原理に特に此事を明かに述べた箇所はないのであるが、此書の處々に述べた彼の物質に關する考を綜合するに、物質は根本に於ては固體的の粒子より成り、此粒子の形状・大小・配列等によつて種々の異なる物質が生ずる。しかし、此粒子すべては、互に質を同じくするのである。之は古代の原子論者の考であつて近世に入つて復活し此時代の多くの學者が採つて居たものである。従て金塊と銀塊との質量の大小は、此等の塊に含まれて居る此粒子の實質の量であると考ふべきである。夫故彼自身の立場からいふならば何等の矛盾も不徹底な處も存在しないのである。

時間・空間論に於ては彼は、絶對の空間及び時間は存在する、併し運動の法則は絶對の空間について成立つ事は勿論であるが、之に對して等速運動をせる空間についても成立つとす

る。此事は既にガリレイも述べて居る處である。回轉に關しては事柄が異り絶對的回轉を知り得るものとニュートンは考へ、之を水桶を回轉せしめる時に水が周圍に偏よる事の實驗を例にとつて説明して居る。之に對してマッハはこのニュートンの實驗は地球や星等に對する回轉が桶の水の凹凸を惹起すと解する事も出来る事を述べ、したがつて絶對空間に對する回轉の有無を示すものとすべきではなく、更に進んで回轉も亦絶對・相對の區別が出来難いと結論して居る。之は至當の論であつて、之が一般相對性理論の生れる一つの端緒となつた事は周知の事柄である。

更にマッハはニュートンの力學がガリレイ及びハイゲンスの仕事より進んだ點を下の如しとして居る。即ち(一)力の概念を一般化した事、(二)質量なる概念を確立した事、(三)力の平行四邊形の定律を明瞭に且つ一般的に言ひ表した事、(四)作用・反作用相等の原理を確立した事の四つである。このマッハの説明は甚だ要を得たものといはなければならぬ。

次に第一卷にうつる。此卷は圓運動・圓錐曲線上の運動及び落體の運動を論じて居る。此中落體の運動は既にガリレイが研究した處であり、振子はガリレイ及びハイゲンスが、又圓運動はハイゲンスが解いた處である。從て此等の問題については、ニュートンはガリレイ及びハイゲンスに負ふ處が少くない。ガリレイの力學中、基本法則はニュートンが發展せしめ、振子の研究はハイゲンスが完成したといふべきであり、彼の人柄と學識に對してはニュートンも深く尊敬をはらつて居たのである。又此卷に於ける問題の選び方を見るに、圓錐曲線上の運動といひ、回轉する軌道上の運動といひ、又球殻相互の引力といひ、多くは地上の物體のみならず特に天體の運行を研究する上に重要なものである。

第二卷は抵抗媒質内の運動及び流體の運動を論じて居る。此中螺旋狀運動は落體の途に關するフックとの間の論議と關聯して考ふる時は興味がある。流體論に關しては此世紀の中頃は流體に關する實驗的研究のはじまつた時代である事を注意しなければならぬ。先づガリレイの弟子トリチェリーがバロメーターを發明し、大氣の壓力の變化する事を知り、パスカルは地上より高く上るに従つて大氣壓が減する事を認め、次でゲーリケは空氣ポンプを用ひて

空氣も液體・固體と同様に自由に空間からとりさり得る事を示し、更にボイル及びマリOTTは空氣の體積と壓力との間に簡單な關係のある事を發見した。液體の流出や壓力についてトリチェリー、パスカル等が二三の法則を發見した。此等の發見について、ニュートンが流體の運動を研究したのである。彼の解いたのは比較的運動の簡單な場合ではあるが、しかし基本的ものは殆ど論じられて居るのである。

又彼は流體が粒子よりなるとして多少の研究を行つて居る。之は原子論の思想を基にして、更に精しく數量的に論じたものであり、丁度古代の原子論から十九世紀のカイネティック・セオリーへの途を示すものと考へる事も出来る。

此卷に於て波動を論じ前卷の終りに於て媒質内の粒子の運動を論じて居る。之は此等の力學上の重要性による事勿論であるが、又一方彼の念頭に光の本性の事が離れず、光の進行・屈折を如何に説明すべきかと考へて居た事にもよるであらう。焰の論に就ても同様であつて、此頃ハイゲンスは焰の中の物質の粒子が運動してエーテルの粒子に振動を與へ、之によつてエーテル内に小さい波が生じ、此等の無数の小波が合して波となつて進行する。此様にして



彼は焰より光の出る事を説明した。ニュートンの焰の論はつまりハイゲンスに反對を表したものである。

最後に渦動を論じ之と天體論との關係に及んで居る。天體はケプレルの説いた如くに運動するとして、此運動は如何にして生ずるか、之に關して此頃最も有力であつたのはデカルトの説である。デカルトは一六四四年に著した「哲學原理」等に於て宇宙に關する假説を述べた。此説によるに物質の屬性はたゞ空間的擴がりである。物質は微小な粒子から成り、其形状・大きさによつて種々な物質の相違が生ずる。此點は原子論と同様であるが、デカルトは此等粒子は互に密接して居り、空虚な空間は本來存在しないものと考へた。従て各天體間の空間も空虚ではなく、そこにはエーテルともいふべき物質が充ち渡つて居る。此エーテルが渦をなして運動し、其ため天體が運動する事恰も水上に浮ぶ木片が動くと同様である。物質には擴がり以外の性質がなく、互に接觸した時に限り力を及ぼすのであつて、之が互に引き合ふ力を有つのではなく、況や距離を隔てて作用する事はないのである。此渦動の説によつて遊星の運動を、公轉をも自轉をも、彼は説明して居るのである。ニュートンが渦動を論じ、

天體との關係に及んで居るのは勿論このデカルトの宇宙論に對する反對なのである。

以上述べた如く第一・第二卷を通じて力學の重要問題が殆ど解かれて居るのであるが、ただ一つ不足をいふならば、固體の彈性に就ての研究を缺く事である。既にガリレイが固體の強度を論じ、又此頃フックが彈性的に作用する力と歪との間の法則を見出したのであるから、彈性體についてニュートンが述べたならば力學の書として一層完備したであらうと思ふ。しかし此書の主眼は自然哲學であり、宇宙論であるため、固體彈性論は左程重要でないと思は考へたのであらう。

第三卷は宇宙論である。先づ天體相互の間に引力が作用し、此引力は地球の重力と同じ性質のものであり、此天體を組織する各小部分間の引力の合力である事を明かにし、此力によつて宇宙天體間に一つの組織が出來上つて居る事を示す。之が此卷の眼目である。

此卷の最初に科學的探究の規則を掲げてある。之よりさき此世紀の始めベーコンは自然探究は歸納法によるべき事を説へ、次でデカルトは正しき思索の方法を論じ、又其以前よりガリレイは實驗と數學的思考とを用ひて見事な成果をあげ科學研究の正しき途を如實に示した。

かゝる時代に於て新しい宇宙論のはじめに方法論を述べた事は適切と言はなければならぬ。次に歸納の基礎となるべき主な現象を掲げて居る、之はガリレイ、ケプレル、ハイゲンス等の觀測に負ふ處が大きい。なほ此卷に用ひられた天文學的觀測値に關してはハレー、フラムステード等同時代の天文學者の教を受けたことも少くないのである。之より以下の論述については個々に説明するほどの事もあるまい。たゞ月の運動と重力との關係・彗星の事・萬有引力の原因等に就て多少の解説を加へておかうと思ふ。

月の運動の問題は既に第一篇にも述べた如く、ニュートンが萬有引力を考へる端緒をなしたものである、そこで初めて彼が之に就て計算を試み、月にも重力が作用する事の説明を得た後凡そ二十年間此結果を公表しなかつたのは何の理由に因くのであらうか。之に關しては大體二通りの説が行はれて居る。一つは最初の計算の結果は大體理論と一致するとはいへ、未だ十分精密に一致するほどではなかつたためであつて、一六七二年に至り地球の半徑に關するピカールの測定が發表せられて後、此値を用ひてニュートンははじめて、月の運動が彼の重力論による推測と十分一致する事を確め得たのである。之はペンバートンが自然哲學原

理第三版の出版の助手をして居た頃にニュートンから聞いたと記して居る。之が十九世紀の末頃迄一般に行はれて居た説である。しかし一八八七年天文學者アダムス及び數學者グレイシャーが他の説を出した。即ちニュートンの一六六六年の計算は天體を質點として計算したのであつて之が精密なものか如何か彼自身も此頃は確かに定め得なかつた。其後球體が外部の質點及び他の球體に及ぼす引力の計算をなし、一六八五年頃に漸く球體引力の問題を解き得たのである。之が最初の研究を直に發表しなかつた理由である。此事をアダムスはニュートンの備忘録等から推測したのであらう。此兩説に關して學者間に種々論議が行はれ、例へばカジョリーは、"Sir Isaac Newton", 1928, Baltimore. なる論文集の中に於て詳細な研究を述べ、アダムスの説に贊同して居る。之に關し自分は次の如く考へる。即ち此兩説に述べる事柄はいづれも發表遅延の原因をなして居り、しかも更に他の理由も存在したのであると。第一に最初の計算をニュートンは大體合つて居ると認めた事は備忘録で明かであつて而も十分には一致しなかつた理由は彼の重力論の誤りによるか、或は彼の考へた重力のほかにデカルト流の渦動も僅かながら月の運動に影響を與へて居るためであるか更に研究したいと思つた

事もあるのである。又アダムスの言ふ如く質點として天體を取扱ふ事に不安心を感じた事も事實であらう。殊に天體相互の引力については其距離が大きいから質點と見做しても誤りは僅少であらうけれども、林檎の如き地上の物體と地球との引力に於て、地球を其中心にある質點として計算して果して幾何の精密さを期待し得るか、從て此假定の下に地上の重力と月に及ぼす重力とを比較する事が逆二乗法則の證明として價值があるかは、球體引力の計算をしない限りは疑問といはなければならぬ。尙又緯度による重力の變化や地球自轉の影響も考慮に入れなければならぬ事はニュートンも一六六六年頃か或は其後に考へたであらう。更に我々は考へなければならぬ。かりに月の運動に關しては十分の一致を見たとしても之は萬有引力の證明としては一部分にすぎない、更に遊星の衛星の運動や、遊星と太陽との關係を精しく研究し、此等の間にも引力が、しかも地上の重力と同じ性質のものが作用して居る事を確めた上でなければ、萬有引力の論證は不十分である。此様にニュートンは考へたのではあるまいか。元來學者には大體二つの型がある。新しい考が而も事物の核心にふれた考が自由に湧き出て、此考を斷片的に直に發表する型と、たとへ考はついても更に十分、十二

分に練つた上、成る可くは一つの大きな系統に組立てた上でなければ満足しない型とがある。例へばフックは前の型、ニュートンは後の型といふべきであらう。ニュートンが企圖した處は單に月に及ぼす引力でなく、又月の運動のみでもなく、宇宙全體の構造論少くも太陽系の構造論である。此事は自然哲學原理の内容及び構成を見ても明かである。此書の出版に當り、一時ニュートンは第三卷の發表を躊躇し、第一・第二卷のみにしたいたいと思つた事があつた。之に關するハレー宛の手紙の中に、第一・第二卷だけでは自然哲學の數學的原理といふ名前は内容にそはなから、むしろ「物體の運動」と改めようかと考へた。しかし再考の結果矢張りはじめの名前を用ふる事とした、といふ意味を記してある。之を見てもニュートンの考は推測せられるであらう。勿論一六六六年頃には左程深い考があつて月に關する結果を發表しなかつた譯ではない、たゞもう少しよく調べてからにしよう位の心算であつたかも知れない。しかし一方に於ては數學・光學等の研究に忙しく、一方力學及び宇宙論についても理想が高くなり、思はず年月が経過したのであらう。而して後に至つては月に關しても精密な一致を望み、且つ雄大な著作を志すに至つたのであらう。即ち、地球の大きさの問題と球體引力

の問題とが發表延引の大きな理由ではあるが、たゞ之のみに限るのは研究者の心理を察しない餘りに簡単な解釋であると思ふ。

地球の歳差・月の不規則運動は孰れも大體は古代より知られた處であり、潮の満干の原因が月にある事もローマ時代に既に推測せられ、近世に入りケプレル、ガリレイ等が理論的研究を試みたものである。此等の原因に關しての精細な論述は此書が最初なのである。

又ニュートンは地球の形を南北の扁平な楕圓形と理論上より結論した。同様の考は此頃ハイゲンズも發表し、之に反して佛國の學界ではカッシニー等の測定を基にして南北の長い楕圓形とし、此兩説がしばらく議論を戦はした。今迄たゞ漠然と球形と見做し來つた地球の形が、此時に至り一層精密に論じられる様になつた次第である。

彗星に就ては随分詳しく論述して居る。之は十六世紀の前半よりニュートン時代迄彗星が屢々觀測せられ、學界に於ける論議の的となつて居たからである。ニュートンが彗星は月よりも上にあると言つて居るのは現今から見れば何故之を力説したのかと不思議に感ずる事であるが其時代には理由があつたのである。即ち彗星の本體については古代から種々の説が提

出されたが其中有力であつたのは之を氣象的の現象と見做し、月よりも遙かに下の方、地球を包む大氣内に起るとの考であつた。例へばアリストテレスは其氣象學中に之を述べて居る。然るに近世に入りては之に疑を抱く者が次第に生じ、例へばティコ・ブラーへは彗星は天體であつて月よりも上にあると説き、ケプレルも略々同様の考であつた。ガリレイは之に反し、氣象的に考へて蒸氣の一種とした。夫故氣象現象か天體か、月より下か上かが一つの問題であつたのである。又彗星は時々現れるため其軌道を圓とする學者は少く、ケプレルは直線に近いものとし、ティコ・ブラーへは卵形と推測した。一六六四年出現の彗星に就て其軌道を出初めてボレリは拋物線と言ひ、次でデルフェルは此拋物線の焦點は太陽にあるとの假説を出した。此等がニュートンの時代に至る迄の彗星に關する説の大要である。ニュートンはティコ・ブラーへ等と同様にアリストテレス流の説に反對し、殊に彗星は遊星に類似の天體である事及び之が太陽より遠方に行くも尙太陽の引力を受ける事を述べ、太陽の引力が非常に遠く迄及ぶ一證として居るのである。

最後に萬有引力の原因に就て一言しなければならぬ。ニュートンは萬有引力が物質自身

の根本的性質であるとは考へず、隔つて居る物體相互の引力は實は此等が直接に引き合ふのではなく、此等を取りかこむ或何物かがあり、此物の作用によつて物體が互に近づかんとするのであるとした。此或物が如何な物であるか、其は隙間なく空間を満たして居るか或は微細な粒子から成立つて居るか。又假りに粒子より成立つとして此粒子同志及び此粒子と物體とが如何に作用しあふのであるか、例へば此等が互に衝突して壓しあふのであるか、それとも此微細粒子は互に接觸せぬ時にも引き合ひ又は反撥しあひ、一種の弾性を生じ、之が此中にある物體をおして動かすのであるか、此等に關してはニュートン自身明確な考には達しなかつたのである。たゞ彼は此或物は光の現象に重大な關係を有つ處の所謂エーテルと恐らく同じ物であり、大氣に似て而も更に遙かに之よりも稀薄なものと考へたと思はれる。斯くエーテルが大氣と類似なりとの著想に就てボイルの教に負ふ處のあるは彼の手紙に明かである。但し斯る重力を惹起す媒質の存在についてはニュートン自身の考も時によつて變り、或時は甚だ必要とし、或時は餘り必要としなかつた様である。扱て如何なる原因によるとしても、引力は定まつた法則に従ふ事は疑もないのであるから、此法則を基として宇宙の現象に下し

た説明は正しいものである。「我は假説を作らず」と彼は言つた、しかし彼は假説が自然界探究の上に不必要としたのではなく、彼自身も光に關し、引力に關して假説を考へたのである。彼の意味する處は、まだ事實によつて確實と證明せられない假説を用ひて未知の事柄を恰も解つた如くに説く事は科學的精神に反するものであり、事實の探究が自然科學の中心であるといふにある。之はニュートンの終始變らぬ意見なのである。此様に引力の原因について彼が考へたにも拘らず遠隔作用が彼の眞意である如くに誤り傳へられる様になつた。之は彼の弟子コーツが自然哲學原理の第二版に添へた序文の責が少くないのである。コーツは此序文に於て、萬有引力は物質固有の性質であつて、何等媒質の助けによらず真空を隔てて直接に物體同志が作用し、神は此性質を用ひて物質界を支配して居るのであると説いた。之はデカルト派の偶因論に反對し、又自然哲學原理第一版に關して世上から加へられた、ニュートンは無神論者であるとの批難に對して辯護するためである。従てコーツの意圖は、當時の事情から見て諒とすべきではあるが、ニュートンの眞意を誤り傳へた事は批難を免かれぬであり、此序文を許したニュートンも亦不徹底といはなければならぬ。

ニュートンの宇宙論は英國に於てはレン、ハレー其他の學者が採用し、一六九七年頃よりは學校に於ても教へられ一般に行はれる様になつた。しかし、大陸に於てはさうではなかつた、ハイゲンス、ライプニッツ、ベルヌイ兄弟等孰れも反對論者であつた。此英佛學界の對立の状態は一七二七年ヴォルテアが英國に旅行した際の手紙の中に於て「パリでは宇宙は渦動によつて動かされ、此處では同じ空間に見えない力が働いて居る。……我々デカルト派では總ては壓力によつて行はれ、ニュートン派によれば總ては引力によつて行はれる。……パリに於ては地球は卵の如く極の方向が長いと考へ、ロンドンではメロンの様に扁平と思つて居る。」と述べて居るによつても察せられる。併し一七三六年初めてモペルチウスがニュートン説を採用した論文を發表し、次でヴォルテアがニュートンの説の大要を著書にて紹介して以來、次第に之が行はれる様になつた。其後、力學及び引力説の發達は大略次の如くである。

第一に力學に就ては彼の原理は正しいとされたが其用ひた幾何學的方法是は用ひられぬ様になつた。之に關して、彼自身微分法の發見者でありながら何故此法を用ひなかつたかとの疑問が起るのであるが、まだ微分法のはじまりで此法自身十分發達せず、一般の學者も之に慣れず、従て從來の幾何學的方法が證明としても讀者に確かに強くひびき、問題を解く上にも一般に便であつたのである。但しニュートン自身此書に掲げた問題を解くに當り、或時は微分法をも用ひたのであつて、たゞ著書には之を省き、形式を整へたのである。其後微積分法が發達するに従ひ、此法が力學問題を解く上に主として用ひられる様になり、力學の進展に資する事が大になつた。先づオイレル、ダニエル、ベルヌイ等によつて力學の諸問題の解法が發達し、次で彼の法則を應用に便利な形の數式にて表す事及び彼の法則と同等な原理を見出す事の研究が行はれる様になつた。例へばダランベアの原理、モペルチウスの最小作用の原理、ラグランジュの方程式等、其主なるものであり、更に十九世紀に入り、ハミルトン、ヤコービー、ガウス、ヘルツ等の重要な研究が生れた。此等は或は著想の深さに於て、或は數學的表現の美しさに於て、或は應用上の便利に於て、夫々長所を有して居る。此等の原

理を力學以外にも用ふる事もあり、之は物理的意味の擴張であるが、少くも力學の範圍に於てはニュートンの法則を一步も出でないのである。

萬有引力の法則は年と共に多くの天文的觀測によつて、又地上の物體間の引力の測定によつて益々確證せられる様になつた。例へば十九世紀の中頃アダムス、ルヴェリエ等による海王星の發見の如き著しき例である。之に伴ひ距離の逆二乗の法則は自然界に於ける他の力に就ても成立つであらうとの臆測も生じ、之が十八世紀の末、電氣的引斥力・磁氣的引斥力の發見に多少の影響を及ぼした。又一方空間を隔てて作用が及ぶならば原子に於て形狀・大きさは重要なものでなく、たゞ之が及ぼす力の法則が重要であり、原子は力の中心と見做せば足りるといふボスコヴィッチの思想も生じた。併しながら天體の運動の中ニュートンの引力論にて十分には説明のつかぬものも皆無ではない。例へば水星の運動・月の不規則運動の或もの如きである。此等に於ける觀測と理論との不一致は逆二乗の法則が精密なものではなく、引力は  $\frac{Q_1 Q_2}{r^2}$  (茲に  $a$  は一億分の一以下の程度) か又は他の  $\Omega$  の函數に比例するためであるか、或は  $\frac{Q_1 Q_2}{r^2}$  の法則は正確に成立つけれども、引力の傳達に時間を要する爲であるか、或

は未知の媒質が空間にひろがつて居り、天體の運動を僅少なから妨げるためであるか、此等に就ては少しも解決されて居ないのである。

萬有引力に關しては更に、考究すべき二三の問題がある。第一に、引力の原因は何であるか。之を電磁的に解かうとする企てもあるが未だ成功を見ない。第二に、物體自身の状態及び中間物質によつて作用が影響されるか否かであり、之は今迄の實驗によるに、影響は認められない。第三に、如何程の近距離に於ても、又如何程微小な粒子についても此同じ法則が成立つか。第四に引力傳達速度が有限か無限か、かりに有限とすれば光の速度と同じか否かである。此第三・第四の問題は甚だ實驗・觀測に困難であり、未だ解決を見ないのである。

本世紀に入つてよりニュートンの力學及び引力論に變革を與ふる説が出た。之は言ふ迄もなくアインシュタインの相對性理論とプランクが端緒を開きボーア等を経てハイゼンベルク、シュレーディンガー、ディラック等によつて甚だしく發展された量子論・波動力學である。先づ特殊相對性理論によつて時間と空間との根本的差別は殆ど消滅し、力學の法則は變ぜられ、一般相對性理論によつて萬有引力も時間・空間を成分とする四次元空間の曲率より導か

れるものとせられるに至つた、併し光速度に比して速度が小さい場合には力學も引力も共にニュートンの説に歸著するのである。相對性理論に於ける引力論の正否は二三の天文的現象によつて定められる筈であつて、之がため數回觀測が行はれたが、其結果を見るに此論の正否は未だ孰れとも確定し得ないのである。

波動力學によれば普通の大きさの物體については從來の法則が成立つのであるが、電子の如き極めて微細なものについては事柄は甚だ複雑である。電子の形狀及び大きさといふ事は甚だ意味が不確かなものであるは既に量子論の出る頃に考へた學者もあるのであるが、量子論の發達に従ひ原子内に於ける電子の移動の途が確定し得らるゝものか否かに就て疑問が生じ、波動力學に至つては實驗を基礎として電子の如き微細なもの及び光は普通の粒子と波動との兩性質を具へて居る如き説に到達し、或は之を解釋して、電子等に就ては其運動を一義的に定める事が出來ずたと運動の確率をいひ得るのみであるとして居る。此波動力學の説く處が總て正しいか否かはしばらく措くとしても、極めて微細な粒子については普通の力學の考方が其儘精密には當てはまらず、光に就ても電磁光論にいふ處は大略論にすぎぬ事は確かである。

之に伴つてニュートンが光の本性に關して推測した種々な説は、一見幼稚の如くであるに拘らず、再び之を參考として顧みる事は必ずしも無益であるまいと思ふ。

八

之より此書に對する諸家の批評をきかうと思ふ。

先づ、マッハは其力學史に於て力學に關するニュートンの功績を述べて、「第一に彼は萬有引力の發見によつて力學の視界を非常に擴張した、次に現今用ひられて居る力學の原理を確立して力學を完成した」といひ、「力學を彼ほどに包括的に彼ほどに力強く取扱つた人は彼以前に一人も存在せず、彼の著書は常に數學的問題を多數に解いたといふのみに止まらず、實に科學的想像ファンタジーの比類稀なる作品といふべきである」と論じて居る。

之と同様の評はヒューエル、レナード等も下して居る、即ちヒューエルは其「歸納科學史」に於て「ニュートンの自然哲學原理は自然科學に於ける種々様々な大きな問題に對する正しい解答を掲げて居り、此種の書の中現今（一八五七年頃）に至る迄最も完全なもの



一つである」といひ、レナードは「自然哲學原理に於てニュートンのなした處は甚だ根本的であつて其後の多くの學者の仕事はたゞ彼によつて示された事を更に精練したに過ぎず、從て重要さに於て比較にならぬほど小さいものである」との意を述べて居る。

次に天文學上の彼の功績に就てはドゥレーパーは「歐洲知的發達史」中に於て「天文學は直に少年期より圓熟せる成年期に入つた。此不朽の書は啻に物理的（力學的の意）天文學の基礎を据ゑたに止まらず、其構造を完成の近くに迄も進めた」といひ、バックルは「英國文明史」に於て「彼の巨大なる一般化によつて物理學の殆ど各部門を改革し、萬有引力の法則を太陽系の隅々迄も及ぼして天文學を改造した」となして居る。ラプラス、ラグランジュ、ガウス等が此書を非常に高く評して居る事は既に周知の事と思ふ。

以上掲げた處によつて此書の價值は大略明かであるが尙一二私見を附け加へておかう。此書に於て彼のなした處は、力學の根本法則及び引力の法則を確立し、遊星等の運動に物理的根據を與へ、又力學上の重要問題を解いた事等であるは勿論であるが、此等の仕事を個々になしたに止まらず一つの系統に組織して表現した處が殊に卓越せる點である。此様に企てた

のは、彼の考によれば、此等の法則の正當さは之によつて各種の地上に於ける又天上に於ける運動の現象を説明し得るにあり、從て此書に掲げた定律や問題は單に法則の應用を示し、實用の便に供したといふに止まらず、むしろ此等法則の正しきを確認する支柱として意義を有するのである。此書の處々に於て實驗や觀測が可なりに精細に述べてあり、其内には彼自身が行つたものも少くないのである。夫故に自然哲學の數學的原理なる表題をみて、此時代に哲學なる語は學問といふ意に近い事を忘れて思辨的哲學の書と思ひ或は單に數學的の書と思ふならば大なる誤りといはなければならぬ。

自分はプリンシピアに關聯して常に二つの書を想ふ。一つはスピノザの「倫理學」であつて、一つはダールウインの「種の起源」である。哲學史上の地位からいつて、科學に於けるニュートンに比すべきものはスピノザではなくて、むしろカントであるかも知れない。特にカントは其時代の宇宙論中主流をなしたニュートンの説から多大の影響を受けた人である。しかし著書自身については自然哲學原理は倫理學に類似の點が甚だ多いのである。即ち倫理學がユークリッドの幾何學の體裁により冷靜な論證的の形式の下に人間の心の生々した種々

の相を敘述して居り、自然哲學原理は同じ整へる美しい形式の下に自然界の諸種の現象を論じて居る。しかも倫理學が問題とする處は單なる人間の心理にとゞまらず、神と人との關係であり、之を貫くものは普遍的な神に對する確き信仰である。自然哲學原理が論ずる處は個の現象のみでなく、此等と宇宙全體との關係であり、宇宙の隅々までも同じ法則の下にあるといふ信念である。

次に種の起源を見る。之が主題たる生物の進化といふ思想は其萌芽は既に古代にあり特にダーウインの頃種々の學者が考へた處であるが、彼は單に之を一つの推測として發表せず、多年に互る不斷の努力研究によつて多數の事實を集め之を綜合して進化の事實を證明し、更に此事實を説明するに自然淘汰といふ假説を以てした。之は自然哲學原理に於てニュートンが單に運動の法則を述べるに止まらず、一つの力學及び宇宙論の體系を作り、宇宙構成を説明するに萬有引力を以てしたのと同様である。ダーウインによつて生物進化説が確立し、ニュートンによつて力學的宇宙觀が確立し、夫々たゞに生物學・物理學上に止まらず一般の思想上に大きな影響を及ぼした。ニュートンの問題は主として無機的世界であり、空間的關

係であり、ダーウインの問題は生物であり、時間的關係である。こゝに十七世紀と十九世紀の思想の特色が現れて居り、之は又此二つの名著の史的地位を示すものといはなければならぬ。

言ふ迄もなく自然哲學原理の現す處は近世初期の科學的精神である。しかし、唯それ許りではない。むしろ古代より現今に至る迄或は陽に或は陰に歐洲の思想を支配せる古代ギリシヤの自然哲學の傳統である、特に數理と實質とによつて世界が構成せられ、從て宇宙は亂雜混沌たるものではなくして、秩序あり調和ある所謂コスモスであるとするピタゴラス派——此派の宗教的方面はしばらく措く——の精神である。此精神は、自然界の事象に關する知識が如何に廣く如何に詳しくならうとも、觀測の方法や學問の形態が外見上如何に變らうとも、自然科學の眞の魂として永遠に生きつゞけるであらう。

此様な雄大な書を殘したニュートンの天資は何と評すべきであらうか。前世紀の史家ランダや物理學者ビオは殆ど同じ様な評をなして居り、恐らく之は誰もが首肯する處であらう。即ちランダが「唯物論史」中の言をかりるならば「彼の偉大さは其思索の獨創性のみにある

のではなく、稀なる數學的才能と物理的な考方と研究をなしつゞける無限の能力とを一身に兼ね備へた處にある」のである。

九

ニュートンの生涯を述べ、彼の主著の概要を掲げ、之に説明と批評とを加へつゝ、其史的地位を明かにした。今再び此大著の要旨を極めて簡単に述べて筆をおかうと思ふ。

空間は無限に擴がり、時間は永遠に流れて居る。此空間の内に物質が存在する。それは生ぜず、滅せず、増さず、減らず、恐らくは凡て同質の微細な粒子をなして居る。此等の物質は互に引力を及ぼす。此等の物質粒子が運動をなし、離合集散し、種々の物體となり、諸種の現象が起る。物體は無數であり、運動の種類は限りがないけれども、其間の引力及び運動は總て同一の根本法則に支配せられて居る。即ち運動に關する三つの法則と萬有引力に關する一つの法則とである。此引力の原因は明かでないが、此力の作用する事は少しの疑もなく、しかも微小の粒子にも巨大な天體にも作用し、目に見えぬほどの近距離から限りなき遠方迄

も及んで居る。此等の法則を基礎とし、數學的推理を用ひ、總ての運動が解かれる。即ち、地上に物體の落ちるのも、振子の振れるのも、水の流れるのも、音の傳はるのも、之にて説明せられる。或は潮の満干も、複雑な月の運動も、太陽の周圍の遊星の運動も、更に又不可思議と思はれる彗星の運動も之によつて説明せられる。此等の法則によつて宇宙は一つの組織を形造つて居り、若し研究が進むならば、更に生理的現象等さへも何日かは此法則にて説明せられる日が来るかも知れない。

昭和十年九月九日印  
昭和十年九月十三日第一刷發行

大思想文庫  
ニエートン 自然哲學の數學的原理

精興社印刷 寺島製本



著者 阿部良夫

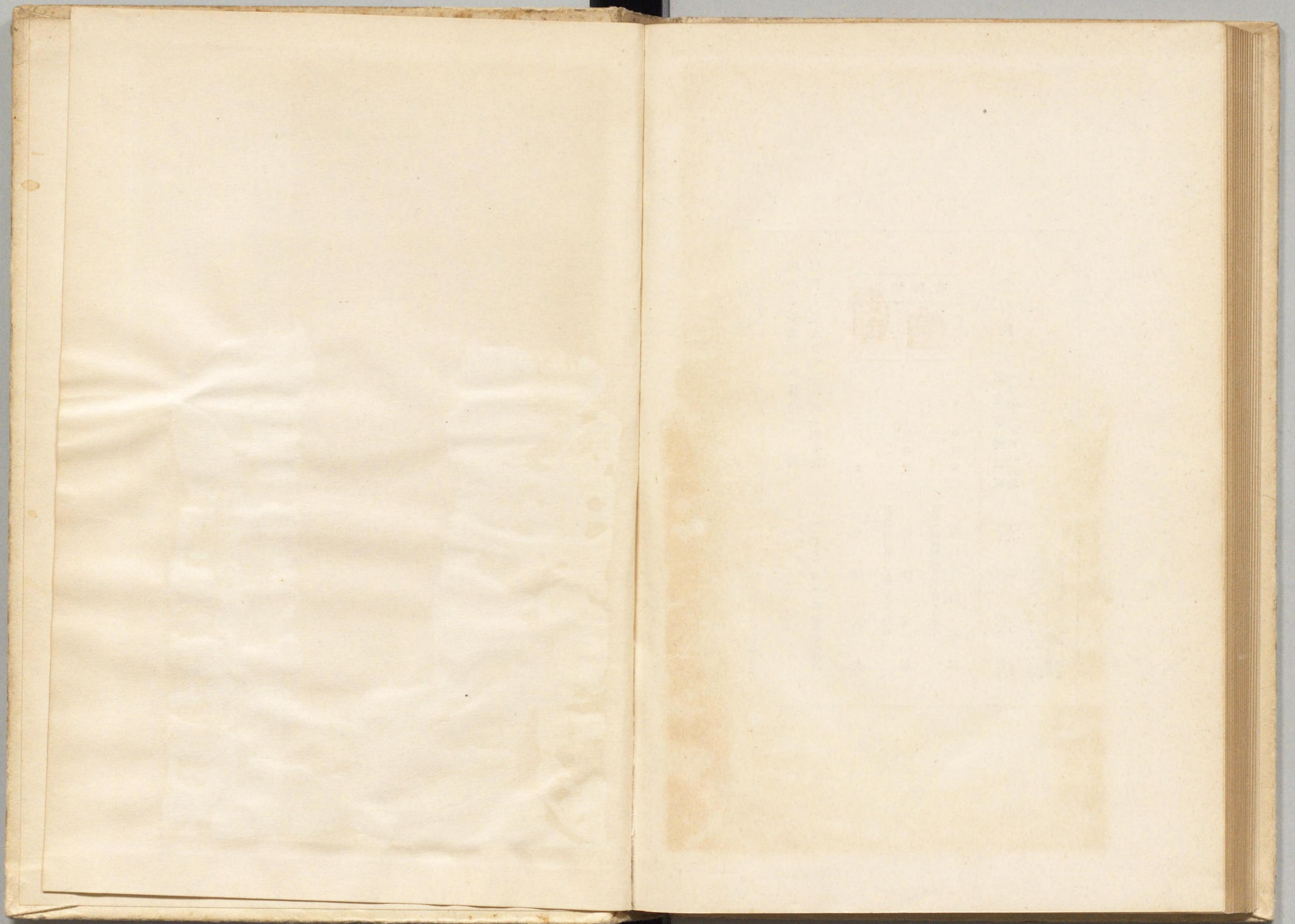
發行者 岩波茂雄

印刷者 白井赫太郎

發行所 東京市神田區  
一ツ橋二丁目三番地

岩波書店

電話(33)一〇一八七・〇一八八番  
九段(33)一〇二八九・〇二九〇番  
振替口座東京七四一六番



請求番号

受入番号

- 貸出期間は二十日以内
- 転貸しないで期間内に御返し下さい
- 左の場合は保証金で弁償しなければなりません
- (1) 図書を亡失、又は毀損した場合
- (2) 督促を受けてから十日以内に返さない場合

国立国会図書館

