

| | |
|------------------|---|
| Title | ニュートンの動力学とその世界 |
| Author(s) | 標, 宣男 |
| Citation | キリスト教と諸学 : 論集, Volume12 : 93-123 |
| URL | http://serve.seigakuin-univ.ac.jp/reps/modules/xoonips/detail.php?item_id=2716 |
| Rights | |

聖学院学術情報発信システム : SERVE

SEigakuin Repository for academic archiVE

ニュートンの動力学とその世界

標 宣男

一、はじめに

西欧近代科学は、西欧という限られた地域に一七世紀に成立した一つの自然哲学であり、数学と実験を用いた自然理解の仕方による特徴がある。この一七世紀における出来事をバタールフィールドは「科学革命」と呼んだが、アイザック・ニュートン（一六四二—一七二七）はその完成者であるといわれ、一般には万有引力の発見者として有名である。

ニュートンの業績のうち最大なのは、その主著「Philosophiae Naturalis Principia Mathematica」（日本語訳「自然哲学の数学的原理」^{註1}）、通称「プリンキピア」以下これを用いる）であり、この中には、太陽を中心にした地球や他の惑星などの諸天体が万有引力の法則に基づいていかに回転運動するかが、数学を用いて精緻に論証されている。しかし、より一般的な言い方をするならば、この著書は「力」と「運動」との関係についてのニュートンの見解を述べたものと捉えることが出来、この関係こそ近代科学の中心的テーマとなるものであった。このような「力」と「運動」との関係を取り扱う学問を、静止している物体間の力の釣合を研究する静力学と区別して「動力学」というが、

ニュートンは「動力学」という新しい学問（名称のみはG・W・ライプニッツ（一六四六〜一七一六）に由来する）を創始した人といえよう。

しかし、「力」と「運動」とは西欧自然哲学にとって古くからのテーマではなかったであろうか。そうならば、この古いテーマをどのように考えることによってニュートンは新しく「動力学」を作り出したのであろうか。その問への答えは、「運動の原因とは何か」というより一般的な古い問に対するニュートンの答えの中にあり、それを知るためには彼独自の「力」の概念の把握が不可欠であると考えられる。

以上より、本論ではニュートンに新しい「動力学」をもたらした「力」の概念成立の背景をさぐり、彼が「力」と「運動」の関係をいかに捉えたかを考察することを目的とする。それによって近代科学の基礎を作った自然哲学者ニュートンの世界観に対する理解を深めようと思う。

二、 ニュートンの「プリンキピア」

(一)

「プリンキピア」の主たる内容は、様々な力の支配下にある物体運動についての解析結果である。その第一篇は太陽を中心に諸惑星（あるいは地球を中心に月）が万有引力の法則に則り円（周）運動（正確には楕円運動）することを証明したものである。ただし、その記述方式はあくまで数学的な形式を持って書かれた抽象的なもので、万有引力（以下重力という）も一般的な向心力として取り扱われている。又ここでの取り扱いは基本的に物体が運動する媒質中に抵抗がない場合を取り扱っており、これも天体の運動にふさわしい条件となっている。第二篇は抵抗のある媒質

中の物体運動を扱い、第一篇より多少現実的現象の記述になっている。特に本第二篇はこの抵抗媒質中の物体の運動と共に、いわゆる流体の運動について述べられており、これによってニュートンはデカルトの渦動宇宙（これについては後述）を否定しようとしたといわれる。続いて第三篇は「世界体系について」と題されており、先行する二篇で示した抽象的表現が惑星や月の運動、さらに地球上の潮汐現象等どのように関係するか、一般的に解説することを目的としている。この第三篇においてニュートンは彼の「プリンキピア」がいかに世界理解に有効なものであるかを示そうとしたのである。逆二乗則として有名な重力の法則の説明もここに与えられている。又末尾におかれた「一般的注解」からは数学や物理学の背後に隠されたニュートンの思想を知ることが出来る。

(二)

ところで、この「プリンキピア」には、前出の三篇と序文との間に、「プリンキピア」中で使用されている諸物理量の「定義」と物質の運動を支配する「公理」（または「運動の法則」）についての記述がある。その後の近代科学の発展への寄与という点からみると、この「定義」と「公理」（この形式自体はユークリッド以来の伝統的形式である）の内容は、これに基づき展開された第一篇と共に重要な役割を果たしてきたと考えられる。

ここでは、この「定義」と「公理」の内容について詳しく記述することはしない。しかし、そこで示されている主たる内容は、結局次の式の中に含まれてしまうとと思われる。

$$(m\dot{v}) = F \quad (1)$$

ここで、 m は「物質の量」（現代物理の質量）、 v 、 F はベクトル量である速度と力である。 $(\dot{\quad})$ はニュートンの考案による微分（この場合は時間微分）記号を表している。なおこの F を、質量 m および M を持ち距離 r 離れた二物体間に働く重力と見るならば、それは

$$|\mathbf{F}| = |\mathbf{F}_0| = G \cdot m \cdot M / r^2 \quad (G: \text{重力定数}, |\mathbf{F}| \text{は} \mathbf{F} \text{の絶対値}) \quad (2)$$

で与えられる。なお「プリンキピア」には(1)式のような形式そのものは記載されていない。むしろ $\Delta(\mathbf{v}) = \mathbf{F} \Delta t$ (は \mathbf{v} の微小変化分)と同等の内容のものが述べられている。それは「プリンキピア」が幾何学で書かれている事に関係しており、力の作用時間 Δt が限りなく零に近づくとき $\Delta(\mathbf{v}) = \mathbf{F} \Delta t$ (は(1)式に近づくと考えていたといわれる) (註 2、註 3)。ついでに言うならば第三篇「世界体系について」でも(2)式のような形の式が示されているわけではなく、そこでは言葉をもって同じ内容のものが説明されているのである。

(三)

(1)式は通常「運動の式」と呼ばれており、右辺の運動量 $\mathbf{v} \Delta t$ の時間変化を与える式である。それ故同式は決して「力」 \mathbf{F} の定義式ではない。しかし、「プリンキピア」の「定義」にも「公理」にも「力」とは何かという説明が無いのである。あるのはせいぜい「力」の作用あるいは属性についての記述である。それではニュートンは「力」をどのように考えていたのであろうか。さらに、なぜ「力」は $\mathbf{v} \Delta t$ の時間微分の次元を持っているのであろうか。又 $\mathbf{F} = \mathbf{v} \Delta t$ のとき、すなわち $\mathbf{v} \Delta t = \mathbf{F}$ は何を意味するのであろうか。さらに、なぜニュートンは重力について(2)式の数学表現に到達し、又なぜ「万有性」(普遍性)を持っていると考えたのであろうか。

以下では、「力」が「運動」との関連においてどのように考えられてきたのか、歴史をたどりつつ考えこれらの疑問に対する答を捜す中でニュートンの力の概念を把握しようと思う。

三 ニュートンと「力」

「力」の概念は近代科学の中心的な概念であり、それはあらゆる近・現代科学が「力学」という名称を付けていることから知られる。しかし、それでは「力」とはいったい何であろうか。又(1)で示した式は、近代科学における「動力学」のもっとも単純な基本式であるが、一体どのようにしてニュートンはこの式(と同じ概念)に行き着いたのであろうか。以下ではニュートンの時代に至るまで西欧自然哲学の伝統の中で「力」の概念がどのような変遷を経たか、それがどのようにニュートンの考えに影響したかを考え、(1)式の持つ意味を探る。

(一)

西洋の自然哲学の伝統の中で「力」は物体の「運動」の「原因」と考えられて来た。又「力」という言葉そのものの使用は、人間の魂又は精神の自分自身への作用、魂又は精神の他への影響力および物体に及ぼす肉体的力等、人間が何かを動かす能動性とのアナロジーから物体の「運動」の「原因」を表す言葉へ適用されるようになったと想像される。特にこのような考えはアニミズム的思想の支配的であった古代思想における「運動」の「原因」を考察する上で有用であろう。

物体が魂を持つならば、その運動の原因はその魂という能動原理にあり、運動の原因は魂に付与された力能である。このような場合、運動の原因についてこれ以上の問を発する必要はない。さらに、魂又は精神の他への影響力という別種の能動原理の存在は、その影響を受け入る受動性の存在を必要とする。この種の運動の原理はプラトン主義哲学、およびローマ時代末に成立した新プラトン主義哲学の思想の中にその典型をみることが出来る。特に後者において、ヌース(理性あるいは叡知)によって生み出された「世界靈魂」は物質と結びつき一切に浸透し、身体としての物体

に宿る個別靈魂を生む。「世界靈魂」は世界を身体とする故それを媒介として個別的靈魂相互間の、言いかえると靈魂の身体である物質相互間の共感、反感等の依存關係が生まれる（註）。人間相互の共感が人間を動かすことのアナロジーより、この魂を持つ物質間の共感はやはり「運動の原理」である。この「運動の原理」において重要な点は、「共感（しばしば愛）」、「反感（しばしば憎）」として示される「力能」が遠隔作用の能力を持つてゐることである。この時空間を隔て影響力を行使する「世界靈魂」の存在を主張する新プラトン主義哲学と同様ローマ時代末期に流行したのは、魔術的能動原理（含遠隔作用力）を主張するヘルメス主義哲学である。このヘルメス・トリスメギトスに帰せられる混合哲学ヘルメス主義哲学はその魔術的性格故に錬金術や占星術の基礎哲学となつたのである。以上述べた「運動」の「原理」は、物体に内在・外在を問わずその能動性故に「運動」の「原因」である「力」として古代の人々に認識されたと想像される。

人間の肉体的力のアナロジーである運動の原理は、アリストテレスの運動論にみられる。ただしアリストテレスは自らの内に「運動の原理」を持つものを「自然」(φύσις) といひ（註）、この「自然的運動」と外からの「力」による運動である「強制運動」とを区別した。地球を中心とした同心天球からなる有限なアリストテレスの宇宙において月下界の世界を構成する四元素の内、火と空気の自然的運動は「上昇」であり、水と土のそれは「落下」である。これらの運動が意味する「重さ」と「軽さ」はそれぞれの元素の持つ運動の傾向（固有の形相、固有の法則とも考えられる物体の性格）であり、そこではその運動の能動の原因が存在するというふうには考えなかつた。すなわちアリストテレスの自然学において重力にせよ、他のいかなる「力」にせよ物体の落下の原因とはなり得なかつたのである。地上世界とは明確に区別された天体についても円運動こそそれを構成する第五元素の「自然な運動」と考えられた。従つてアリストテレスの有限な世界において「運動」の「原因」が問われるのは、地上における物質の強制運動であ

る水平運動についてであった。さらにアリストテレスの充滿空間（アリストテレスは空虚を否定した^(註1)）の中で常に被動者である物体は動者である何ものかと接触する^(註2)ことにより力をうけ、その時物体のうける力は動者から流れ出す押しあるいは引き^(註3)の力であるとされた。そこではつきりと、彼は遠隔作用を否定した。又彼の理論によれば強制運動する物体の速度は、接触する動者による「力」と「抵抗」の「比」によって決まる。しかしアリストテレスの質的自然学の中では、「力」の具体的表現はもちろん、物理的単位など量的なものが示されているわけではない。

一二世紀に西欧にもたらされたアリストテレス哲学は、キリスト教神学の中に総合され、トマス主義スコラ学として中世カトリック教会の正式哲学になったが、中世末期、特に一四世紀になるとその自然学に対する様々な批判が提出された。しかし後世の「力」の概念に大きな影響を及ぼすような批判は三・二節に後述するインペトウス（impetus）理論を除けば無かったと言えるであろう。その中で、アリストテレスの「重さ」と「軽さ」の理論では落下物体の加速を説明され得ない事が明らかにになり、そこで初めて「力」、ただし、インペトウス理論の応用による加速の説明が考えられた^(註4)点、さらにウィリアム・オッカム（一三〇〇頃〜一三四九頃）がアリストテレスの直接的接触の原理を否定し動者から離れている被動者の運動には遠隔作用としての力の「敵対」で十分であるとした^(註5)点が注目されよう。

(二)

一五世紀から始まるイタリア・ルネサンスはギリシャ古典の復興を意味するが、その中で特に新プラトン主義哲学（含数学的自然観）、およびヘルメス主義哲学に関する神秘主義的魔術的著作の復興が自然哲学上重要である。又個別の自然観としてはデモクリトスの原子論の復興も重要である。イエイツによれば、とりわけ新プラトン主義哲学と融合したプラトン主義的ヘルメス主義哲学は靈魂に満ちた世界における生命の秩序的連鎖、事物間の共感と反感、マ

クロコスモス（宇宙）とミクロコスモス（人間）の感応に支配された有機的統一的な自然観をもたらした（注1）。さらに特にヘルメス主義の思想は、宇宙の根底に存在している力、「隠された（オカルト）力」を直接洞察できる知的伝統が秘伝として伝わっているという信念を用意したといわれる。ルネサンスにおける錬金術、占星術の流行もこのような思想状況下におこったのである。

ヘルメス主義哲学は言うにおよばず、新プラトン主義哲学ですら神秘主義的傾向を持ち、しばしば魔術的なものを許容し、アリストテレス哲学に比してはるかに非合理的なもので、窮極的には合理的近代科学とは異質なものであった。しかし、このような中からアリストテレス哲学を破棄し、近代科学へと繋がる新しい自然観が登場したのである。そのような新しい自然観の一つは、天上の現象と地上の現象の区別を除去しようという主張であるがそれは例えばペルナルディーン・テレジオ（一五〇九〜一五八八）に見ることが出来る。ここでは「暑熱」と「寒冷」をあらゆる事物の二つの積極的原理としそれらに加えて物質を第三の、受動的原理として措定している。天、特に太陽は、「暑熱」の原理を表し、大地は「寒冷」の原理を表し、またそれらの協力から他のすべての事物が産み出される（注2）（傍点筆者）とした。現代的にいうならば、「熱」こそ運動の原理であり原因であるといえよう。さらに無限宇宙を主張し、宇宙の中に多くの世界を考え、また地球と他の天体の質的区別を否定した（注3）新プラトン主義的ヘルメス主義者ジョルターン・ブルーノ（一五四八〜一六〇〇）がルネサンスの自然哲学者の代表として重要であろう。ブルーノにおいて「……すべての物質は、世界靈魂によって生氣を与えられているのであり、また物質はいたる所で靈魂と精神に浸透されている。このようにして、質料が世界を構成する質料的原理であるように、世界靈魂は世界を構成する形相的原理でありうる。このようにして世界は、単にさまざまな形相において現れる一つの永続的な精神的実体である（注4）」（傍点筆者）ということになる。

これら一五〜一六世紀のルネサンスの哲学者の天と地を同一の原理のもとに表そうという思想は、近代科学の基礎を築いた一七世紀の自然哲学者の自然観にあらわれるが、その内容を見ると必ずしも近代科学的なものばかりとは言い難いものであった。例えばウィリアム・ギルバート（一五四〇〜一六〇三^{（註15）}）は多くの磁気の実験を通じ地球が巨大な磁石であることを発見したこと等近代的磁気科学の基礎を築いた自然哲学者であり多くの磁石にまつわる迷信を打破したが、磁氣的現象の本質的説明に対しそれを磁気の「固有な形相」と捉え磁氣的「靈魂」の作用に帰した。前者はアリストテレスの「固有な形相」に由来する考えでありまた後者はルネサンス自然主義の思想として一六〇〇年頃には親しみやすいものであった^{（註16）}。ヨハネス・ケプラー（一五七二〜一六三〇）はこの磁気現象を太陽の周囲を回転する惑星の楕円運動の原因と考えた^{（註17）}。さらに彼は惑星をその軌道上に止め置くため太陽からスポークのように放射される力を考えそれを主動靈^{（註18）}（anima motrix）と呼んだ。後にそれを力（vis）という語で置き換えており^{（註19）}、それを光にも似て非物質的でありながら物体的なものから放射されるある種のものとして捉えかえしている。ここに「靈」から「力」へという一七世紀の科学の進路がみられる^{（註20）}という説もあるが、「靈」のもつ能動原理を「力」と呼び代えてもそれが必ずしも合理的近代科学的思考を意味するわけではないことに注意する必要がある。またケプラーの考えは、天体に働く「力」と「運動」の関係を考える天体の「動力学」的思考の初めての現れといわれている。なぜなら古代・中世の天文学でも、ルネサンス期に太陽中心説を主張したコペルニクスに於いても天体の運動は運動の形態のみを議論する「運動学」であり、「自然な運動」をする天体には外からの「力」は必要なかったのである。

ルネサンスの新プラトン主義哲学の復興はそこに内在する数学的自然観の復興でもあり前出のケプラーの宇宙はその一例である。彼は、「ケプラーの三法則」として知られる惑星の楕円運動に関する数学的法則を発見し、太陽系の惑

星間の關係に体系的秩序を与えた。地上の運動の解明に実験と数学を用い近代科学的思考に大きく寄与したのは、ガリレオ・ガリレイ（一五六四—一六四二）であった。ガリレオは「運動」の運動学的側面を研究することにより動力学の数学的形式の原型を提出した。彼は落下する物体の加速運動の性質について深く研究したが、しかし加速を引き起こす原因そのものは研究しなかった^{（註28）}。というより落体の加速運動は重い物体の「固有の性質」（アリストテレスの「固有な形相」に由来する）による「自然な運動」であって、「力」など外からの原因によるものとは考えなかった。なぜなら彼が「力」(force) という言葉を用いるときは、物体に外から加えられた「力」を意味していたから^{（註29）}である。さらにガリレオは天体の回転速度の原因を考え、それは天体が太陽に向かって落ちていく傾向（固有の性質）によるのであり、この太陽への落下という直線運動にその原因を求めている^{（註30）}。ガリレオはここで、直線運動がどのように天体に自然な円運動に転化するか述べていないが、彼にとって天体の回転速度も地上の落下物体の速度も同一原理によって生じるのである。

一七世紀の自然哲学の主流は、粒子論的機械論哲学である。それは、背後にあるメカニズムを粒子の運動と考えることにより自然現象を合理的に説明しようというものである。これは古代の原子論の復興によるところが大きい。一般的には粒子論と言う方がよいであろう。このような哲学の興隆は、中世ルネサンス期の自然哲学における「隠れた（オカルト）性質」の持つ不透明さに対する反撥である。機械論哲学者にとってこの「隠れた性質」とは、アリストテレス哲学にあっては「固有の形相」であり、ルネサンス自然哲学にあっては遠隔作用を意味する「靈魂」の用語で言い表される諸現象であった。機械論哲学はケプラーもガリレオも共有していたものであるが、それを極端に押し進め、より合理的自然哲学を作り上げたのはルネ・デカルト（一五九六—一六五〇）であった。彼は物質的な自然からありとあらゆる靈的な特性を蔽密に取り除いた。彼はギルバートの磁気現象を回転するネジにより機械論的に説

明したが、特に重要なのは、物体運動の説明である。彼の無窮の空間からなる宇宙は物質粒子で隣りなく充滿しておりこの充滿宇宙の中で物質は、同時に運動する全粒子に唯一許される循環（回転）運動を行う（渦動宇宙）^{（註26）}。彼の充滿宇宙における運動はすべて、同一の原因すなわち物質の一つの粒子が他の粒子に衝突することによる相互作用から生じる。彼はこの衝突により運動する物質粒子を支配する法則として「運動の量」（速度と大きさの積、現代の運動量にほぼ等しい。ただし、「大きさ」とは漠然とした量で近代科学の質量でもなく又速度はベクトル量でもない）の保存^{（註28）}と慣性の法則（これについては三・二節に後述）をおいた。回転する物質粒子は慣性により遠心的傾向を持つ。この遠心的傾向は小さな天の粒子ほど大きく、その結果充滿宇宙の中で小さい遠心的傾向を持つ大きい地球の物質ほど中心に向かって動かされる^{（註27）}。これが「重さ」の説明であるが、そこには「力」の概念は登場する余地はなく、いわんや遠隔作用的「力」の概念など全く必要とされないのである。

デカルトの自然哲学は、充滿宇宙（真空の拒否）といい、直接接合による運動の変化（遠隔作用の拒否）といい、その合理的思考はアリストテレス的といえるかもしれない。その合理的粒子論的機械論哲学はデカルト以後の一七世紀の著名な自然哲学者たちに支持された。デカルトのもう一つの業績は自然理解の方法に数学（幾何学）を全面的に使用したことである。デカルトは、物質と空間の同索性（延長即物質^{（註29）}）を主張したが、これは自然の幾何学化を意味した。事実、デカルトは自然学における「幾何学的原理」を主張したのである^{（註30）}。しかしすべての粒子の衝突により自然現象を説明しようという彼の粒子論的機械論哲学は、幾何学というより一般的に当時の数学の手に負えるものではなかった^{（註31）}。粒子論的機械論哲学はそれ本来の形では、自然を十分数学化する上での障害となったのである。

しかしながらデカルトも「運動の量」を粒子の動因としての、「運動の力」と考えた。だがそれは現在と同じ「力」

とは考えられない。むしろ定性的には「運動のエネルギー」に似ているかもしれない。事実ライプニッツは、デカルトの「運動の量」は「運動の力」たりえないとし、現在の「運動のエネルギー」に相当する「活力」を提案した^(註1)。すなわちライプニッツとデカルトの「運動の力」は概念上似た働きをするものであったと考えられる。デカルトにとって単なる「力」が意味するのは「物体が他物体を圧迫すること、押しつけること」であった。しかしこの「押しつけること^(註2)」と「運動の量」の因果関係をデカルトは数学的にはつきりさせなかった。デカルトの衝突の議論において、「運動の量」の保存だけでは、もちろん衝突後の「運動の量」は決まらない。デカルトは他のさまざま条件を付け加え衝突後の物体の「運動の量」を求めたがしかし、そこにはどんな種類の「力」も登場する場はなかった。

(三)

ニュートンは粒子論的機械論哲学者として第二世代に属する。彼が一七世紀の自然哲学者としてケンブリッジ大学に於ける研究を始めた最初から、時代の主流思想としてデカルトの粒子論的機械論哲学を受け入れていたことは間違いない。それ故ニュートンがケンブリッジ大学を卒業した一六六五年からしばらくの間はニュートンにとって運動の諸法則とは衝突の法則であった。しかしデカルトとは違ってニュートンは、物体の運動の変化の大小を測ることの出来る抽象的な量としての「衝突の力」を考えていた^(註3)。それは「 Δp 」に相当する関係を考えていたことを意味する。ここにデカルトの「運動の量」が近代的「力」の概念に結びつく端緒がある。運動の変化を生じるものとしての「力」の概念こそニュートン力学の中心概念であるが、この段階に於ける「力」はデカルトの「運動の量」と存在論的に異なるものではなく、式の左側に位置し、「運動の量」(の変化)によって定義されるものであった。

しかし、「運動の量」の変化として「力」を定義することは、逆に衝突によって発生する「力」を測るという意味に

もなりうる。もしそうならば、仮に衝突することなく「運動の量」の変化をおこす現象がこの世界に存在することを確信した者にとって、その変化の中にどのようなものであれ「力」の「存在と、その作用の結果」が表されているという考えに逢着するのではあるまいか。その時 $\vec{p} = \nabla \times \vec{A}$ の式は「存在する力」の大きさを「運動の量」の変化によって測ることを意味し、「力」の定義式から「力」の大きさを測定する方法へと存在の意味を変えることになり、「力」の単位も明確に定められたこととなる。「力」の存在を認め、「運動(の量)」の変化の原因とすること、これが(1)式において「力」Fが右辺にある意味である。ここに「力」はデカルトのそれとは違った概念を持ち存在論的に異なったものとなるのである。

それではニュートンは「力」の「存在」を何によって確信したのであろうか。一人の科学者の科学理論がその時代の思想や、環境に影響されるといふ考えはしばしば真実とされる。ニュートンによる粒子論的機械論哲学の受容もその一つの例であろう。そしてニュートンに、ここで述べた「力」概念の存在論的転換をもたらしたのも、ルネサンス以来の新プラトン主義哲学者との接触およびヘルメス主義的錬金術の実践経験を通してであると考えられている。

ニュートンの時代のケンブリッジには、ケンブリッジ・プラトン学派という学者たちが活躍しており、彼らは粒子論哲学を認めつつも自然の中から靈魂をしめだした点でデカルトの自然学に反対をとなえていた。ニュートンはその学派と関係のあった人物や、学派内の人物と親交があった。前者としてはニュートンの数学の師である初代ルーカス教授職アイザック・バロー(一六三〇～一六七七)が挙げられる。バローはデカルトが靈魂を自然界から追放したのは行き過ぎだと考えており、新プラトン主義哲学に共感を示していた。そしてその実験的性格故に新プラトン主義的ヘルメス主義哲学者の言説は、注意深い考察に値すると考えていたらしい。そのようなバローが自然哲学に興味を持つニュートンに化学的錬金術の実験を勧めたということもあながち考えられないわけではない^(註5)。後者、すなわち

ニュートンが親しくしていたケンブリッジ・プラトン学派の学者は、同学派の中心人物の一人であるヘンリー・モア（一六一四〜一六八七）であった。ニュートンは彼の靈魂についての本格的著作「靈魂不滅論」にケンブリッジ卒業前の一六六一年から一六六五年という早い時期に親しんでいる。この書物の中で注目すべきは、ヘンリー・モアが主張する古代の知恵の教説であった。ニュートンは、この中の「往古の人々は彼らの最も深遠な知恵を神話や譬話あるいはことさら韜晦した言葉に隠匿した」という考えに心から共感していた^(註38)。もちろんこの教説は一五世紀後期フィレンツェのアカデミーまで遡る歴史を持ち、ルネサンス期より続く広く行き渡った教説であった。さらに、ニュートンの周囲には錬金術の大きなサークルが存在しており、そこから龐大な錬金術文献がニュートンにもたらされたことも判っている。ニュートンがなぜ錬金術の実験を始めたかという内的動機に対する問はだれでも持つ当然の問である。ウエストフォールは、「ニュートンが錬金術へ関心を向けたのは、機械論的思考が自然哲学に課した堅苦しい制限に対する反逆の現れであるとみる必要がある^(註39)」という。又ドブズは「……彼の普遍体系を完成させ、完全なものとするため、小さい物体の活動を説明すべくニュートンは錬金術研究に励んだ……^(註40)」と主張する。いずれの主張が正しいにせよ、ニュートンが錬金術研究に向かったのはその研究生活の最初から上記のような環境の影響をうけたために相違ない。そしてより直接的契機として考えられるのは、前述のバローの勧めの可能性もあるが、確実なこととしては彼が早くから錬金術にも詳しい機械論的化学者ロバート・ボイル（一六二七〜一六九二）の著作に親しんでいたことにあると思われる。ボイルはその後も長い間ニュートンの錬金術研究に影響を及ぼしたことが判っている^(註41)。ニュートンは数学や物体運動の研究を開始したと同じ頃から約三〇年間もほぼ絶え間なく錬金術に関する実験や研究を続けたのである。

前述のように早いころからボイルを読み化学的知識を身につけていたニュートンは、ボイルの著書「形相と質の起

源^{註9}」に触発され、ボイルの示した実験手法により実験を開始した。そこでニュートンがまず取り組んだ概念は、当時の化学としてはありふれた概念であった「金属の水銀」であった。これは金属共通の性質を持つ金属の「素」でありこれによって金属は金属として特徴づけられるといわれた。一方各金属の特徴は同じように抽象的な素である「硫黄」によって決まると考えられていた。

ニュートンはさまざまな金属から、硝酸や昇汞と塩化アンモニウムの混合物を用いて「金属の水銀」を抽出することを試みた。その結果ニュートンは「金属の水銀」（実際には水銀化合物）を得たと思っただけで、しかしそれに満足しなかった。ドブズによれば^{註10}、ニュートンの求めていたものは単なる「金属の水銀」ではなく、往古より錬金術の達人が発見しなければならなかった「賢者の水銀」だったからである。それはいさかとも物質的には説明されていないが、金属変成を目的とした錬金術工程の核心にある重要な神秘であった^{註11}。それ故ニュートンのその後の実験はまさに錬金術そのものへと変わっていった。それも特に神秘的色彩の強い錬金術文献へと関心が向いたのであるがこれこそ、「古代の知恵の教説^{註12}」へのニュートンの共感の具体的表れであった。

ニュートンの錬金術実験の中で注目しなければならないのは、彼が「賢者の水銀」を作ろうとした過程で用いられ、錬金術師の間で緑のライオンという特に神秘的な象徴で知られるアンチモン鉱である。ニュートンの時代に於ける「アンチモン」はアンチモン鉱石を意味し、その「アンチモン」を金属で還元した金属アンチモンをレグルスと呼ぶ。特にアンチモンが、充分に精製され冷却時に条件が整った場合星状の結晶構造を示す故にこれをアンチモンの星状レグルスと呼んだ。この星状構造は錬金術師たちにとって放射というより「引力」という性質が備わっていると考えられ、ニュートンはこれを用い、「賢者の水銀」がすでに「埋め込まれている」金属として考えられていた水銀、鉄、鉛、金等からそうした水銀を取り出そうとしたのである^{註13}。ニュートンはまずアンチモンの星状レグルスと銀

とを結合させ「賢者の鉛」を作った。この過程で銀は自らの性質を変えよりアンチモン化するといわれていた。次にこの「賢者の鉛」の「本性」とふつうの水銀の「本性」を融合させる工程の中から「活性水銀」が生じる。この段階において、ニュートンにはアンチモンの星状レグルスから「生命」を普通の水銀が授かっているように思えた。この「生命」は周匝を取り巻く、新プラトン主義的「空気^{註44}」の「世界靈魂」からレグルスに引き入れられ、水銀の中の不動体の「硫黄」を除去する働きをする。この過程において、空気が生じるような攪拌状態（発酵）が生じ、各物体の小部分の再編制がもたらされる。取り入れられた「生命」はこの発酵力として表れ、水銀は「活性水銀」となりニュートンは考えた。この「活性水銀」は金をも融解したが、この「活性水銀」に金を融解させた溶液こそ彼が最終的に作った「賢者の水銀」であった。大いなる「世界靈魂」から何か生命と「活性力」が取り出されそれがこの物質の一部となったのである。錬金術の実験において理論的にも重要と考えられたのは「世界靈魂」を捉えうる特別な化学的「磁石」の発見と利用であったが、ニュートンは正にこの化学的「磁石」を手にしたのである。ニュートンにとってこの化学的「磁石」が引き付けるものが何であったとしても、それが小さい物質世界に「力」として働いていたことは確かであった。後にニュートンはこの「磁石」の現象における「世界靈魂」を粒子の機械論的体系に読みかえた^{註45}。そして、振り子の実験によって^{註46}デカルトの粒子論を支えた空間に充満するエーテルを否定すると、この粒子を引きつける作用である能動的力を認めるようになった。もちろん錬金術のみがニュートンに物質界に能動的力の存在を確信させたわけでは無い。ニュートンが、ヘンリー・モアと親交があったことは既に述べたが、ニュートンは彼の空間論からも多大な影響を受けたといわれる。ヘンリー・モアは無窮な充満空間とは異なり、物質のない無限の空間の存在を積極的に主張する。そして無限が神の属性である故に、この無限空間を神の属性とみなすのである。「神の」絶対的無限の空間の中にある（人間にとって）無窮ではあるが（神から見れば）有限な物質世

界、これがモアの考えた宇宙である。そして、この空間の中に拵がり存在する非物質的・自然の靈が神の意志の道具を務めるのである^(註5)。正に新プラトン主義的能動的「力」の漲ぎる空間がここにある。

このヘンリー・モアの「力」の漲ぎる絶対空間の概念がニュートンに共有された^(註6)。絶対空間に対する運動は絶対運動である。しかしどのようにしてこの絶対運動を決定するのであろうか。ニュートンは「プリンキピア」の「定義」の次に置かれた注^(註7)の中で、絶対運動を相対運動と区別するのは、「運動を引き起こすために物体に及ぼされる力」であるといい、「真の運動は、運動している当の物体に力を込めれば必ず何らかの変化を被る」という。「力」の概念はニュートンの自然哲学の基礎である絶対空間を支えるものであった。そして、ニュートンはそのような「力」の例として、「円運動の回転軸から遠ざける力」を指定し、有名な容器の中での水の回転を例示する。ニュートンによれば、そこに見られるくぼんだ形こそ絶対空間に対するものである。物体の運動から絶対空間を示すことは誰も出来ない。しかし、ニュートンにとって「力」(そして加速^(註8)度)こそその存在を示すものであった。よく知られているように、その後この円運動を絶対空間に対する運動とみなすニュートンの解釈と絶対空間の概念は強い反対にあった。しかし、この問題は現在でも完全に決着が付いたわけではないと思われる^(註9)。以上に述べた思想環境と経験の下でニュートンは宇宙に働く能動的「力」を確かに認めるようになったと推察できる。

しかし、ニュートンの絶対空間にはモアの神の道具である自然の靈も「世界靈魂」も存在しない。それよりもっと直接的に神はすべての場所に「超越的に存在するだけでなく、実体的に存在する……神自身の内にありとあらゆるものが包含され動かされる^(註10)」とニュートンは考えた。ニュートンはこの自然界におけるあらゆる能動的「力」を世界の中に神が直接臨在することの現れと解するようになった。ニュートンが、重力を物質に本質的で内在的なものであることを執拗に否定するのは、これが神の臨在の表れと彼が解したからであり、決してコイレが主張するように

「力」の实在を信じなかった。^(註) わけではない。このことは「光学」疑問三一^(註) において重力、磁気および電気の引力等を等しく「力」として取り扱っていることから明らかである。「力」の概念は、ニュートンの自然観と信仰の両方において重要な概念だったのである。

三・二 天体の回転運動と地上の落下運動

ニュートンは、天と地の運動の統一的説明により科学革命を完成させたといわれるが、それは(1)式と(2)式の逆二乗則といかなる関係があるのだろうか。単純に考えれば、(1)式と(2)式で示される運動の式だけでは、回転運動は説明できない。そうするためには、一七世紀におこった、物質の「固有の性質」に対する概念の転換を理解することが必要である。

(一)

回転運動(円運動)する物体に対し遠心的「力」が働くことは早くから知られていたがこれに対しデカルトは、「円運動する全ての物体は、その描く円周の中心から絶えず遠ざかろうとしている……」。これは石を革帯でふりまわすと手の感覚そのものによって石の中に経験することだからである。なぜなら石は手からまっすぐ離れようとして、革帯を引張り張りつめさせるからである。^(註) と述べ、事実上石に引張り(の力)が働いていることを認めているものの、慎重に「力」という言葉を用いることを避けている。この引張りの強さを、centrifugal force、遠心力という言葉を与えたホイヘンスは、その大きさを示す数式を振り子の実験から得た。^(註) そこで遠心力は速度の二乗に比例し、円の直径に反比例する。円運動する物体に常に遠心力が働くとすれば、円運動を続ける物体を円軌道の上に止まらせる

「力」が働いていなければならぬ。ニュートンはそれを後に centripetal force (向心力) と呼んだ。それは遠心力と同じ大きさを持ってそれと釣り合うものでなければならぬ。ニュートンは当初円運動を他の人々と同様大きさが等しく反対方向へ向かう二つの力の均衡状態とみなしたのである^(註86)。

ニュートンはこの遠心力の式とケプラーの第三法則(惑星系では公転周期の二乗と太陽との平均距離の三乗の比は一定となる)とから、遠心力が(当然向心力も)回転中心からの距離の二乗に逆比例すること(逆二乗則)を得た^(註87)。しかし、ここで大切な点は、向心力と円運動の関係が正しく捉えられていないため、正しい円運動の動力学になっていないことである。そのためには、物質の「固有の性質」である「慣性」に対する理解が必要であったのである。これは(1)式における、 $\mathbf{v} \parallel \mathbf{v}$ のとき物体はどのような運動の性質を示すかということへの理解の必要性を意味した。

(二)

「慣性の法則」と呼ばれる法則は、「プリンキピア」中の法則一として、「全ての物体は、その静止の状態を、あるいは直線上の様な運動の状態を、外力によってその状態を変えられない限りそのまま続ける^(註88)」と記されている。

近代的意味の慣性の法則の原型ともいわれるものは、ガリレオ・ガリレイにみられる^(註89)。もちろんよく知られるようにガリレオに於ける慣性運動は、等速円運動であった。ガリレオにとって天体の円運動も地上において「力」の働いていない物体の等速運動も同様な慣性運動であった。近代的意味での慣性の法則は、デカルトによって示され^(註90)、ほぼニュートンの法則一と同等な内容になっている。この法則一に従って運動する状態が(1)式の $\mathbf{v} \parallel \mathbf{v}$ すなわち(3)式(1)に従って $\mathbf{v} \parallel \mathbf{v}$ の状態である。

しかしながら、この等速直線運動をしている状態すなわち慣性運動する物体は歴史的にみていかなる力とも関係が

ないと考えられてきただろうか。中世のアリストテレスの運動学のような、運動の原因を単純に力に帰す質的自然学においては、このような運動は最も単純な一定の力の作用と考えられたと思われるかもしれない。しかしアリストテレスの運動学ではデカルトの運動学のように被動者は動者に接触していなければならぬ。それでは投手の手を離れた後物体はどうして飛んでいけるのであろうか。アリストテレスは空気の媒介による「力」の伝達などを考え説明したが、これは彼の運動学の最大の欠点となった。

放物体の運動のこの欠点を改善するため考えられたのが非物体的な「箆められた力」をあらわすインペトウス（impetus）理論である。この考えの源は古く六世紀のビザンツのヨハネス・フィロポノスに発しアラビア科学のマイル（Mayr）傾向を意味する）として中世キリスト教世界に伝えられたものであり、中世において一四世紀のジャン・ビュリダンによって磨き上げられた。E. グランドの説明によると、「ビュリダンはインペトウスを、運動する物体に起動者から伝達される「原動力」とみなした。物体の速さとその物質量はその運動を生む尺度とみなされた。……ビュリダンは物質量と速さを、インペトウスの尺度を決定するための手段として把握したが、この二つの量は、ニュートンの自然学においてはモーメンタムを定義するのに使われたのと正に同じ量であった。もっともニュートン自然学では通常モーメンタムは運動の量あるいは物体の運動の効果の尺度と考えられているのに対し、インペトウスは運動の原因であるという差異が存在する……実際、インペトウスは、アリストテレスが外的なもののみなした原動力の内化したものとして案出されたものであった（註）」（傍点筆者）。ここに西欧近代科学における「力」の測度に関係した量としての運動量の起源がある。しかし、重要なことは、インペトウスが物体の「運動」の原因となる「力」として、あるいは外から加えられその物体を動かす能動的「力」と同等なものとして考えられている点である。

デカルトも運動する物体に「運動する力」を認めた。前記のようにこの「運動する力」もインペトウスとはぼ同じ次元を持つものであるが、前述のようにその力が衝突とどのように関係するかは必ずしも明確にされていない。しかし、「運動の力」は、デカルトの基本的な考えであるこの世界から能動原理を取り去るといふその点から考えるならば、インペトウスのような「外力として自らを駆動する力」とは考えられない。デカルトにとつて一様な直線運動をしている物体には内的であれ外的であれいかなる形の能動的力も働いていないのである。しかし彼は、物体は外力が働いていないとき、等速直線運動であれ、静止の状態であれその状態を維持しようとする「固有の性質」を持ち、この性質は他の物体との接触によりその状態を変えられようとする時「抵抗力」として表れる^(註10)、とした。

ニュートンはこのデカルトの慣性原理をその研究生活の割合初期のころ否定した。ウエストフォールは^(註11)、「円運動の問題が力学以外の考察とあいまって……彼をデカルトの慣性原理の否定へと導いていった」という。そこでの円運動の問題とは遠心力に関係しており、「物体に内在する中心から遠ざかろうとする努力は、慣性原理への反証と思えたことだろう」と推定している。力学以外の理由とは、当時ニュートンの周囲の人々特にモア等ケンブリッジ・プラトン学派の人々がデカルトの哲学が物質から霊的なもの能動的なものを全て追放してしまったことを行き過ぎと考えていたことに関係しよう。彼らは、デカルトのこの考えを無神論へつながらると危惧していたのである。ニュートンもそう思っていたに相違なくそれがデカルトの否定、特に慣性原理の否定へと彼を導いたと考えられる。いずれにせよ、慣性の原理の否定は、回転する物体はその物体に「内在する固有な力」の能動性によつて接線方向に駆動されると彼に考えさせるようになった。これは、「運動の量」を外力の「籠められた力」とみる中世のインペトウスへの復帰であった。一度このように認めてしまうと回転する物体には中心に向かう力と接線方向へ駆動する力という二つの力が働くことになる。このような考えでは、接線方向に初速度を持ち落下運動する物体の軌道を正しく計算

できるはずはない。事実ニュートンはあの有名なロバート・フック（一六三五〜一七〇三）との逆二乗則の発見の先取権闘争のきっかけとなる手紙への返事に於いてこの誤った基礎にたつた誤った内容のものを与えてしまったのである。等速度で回転する物体の接線方向への運動は何の力によっても駆動されていない。もちろん回転中心へ向かう力によっても何の影響も受けないのである。そして、フックやそのほかの人例えばG・A・ボレリ（一六〇八〜一六七九）が考えたように、接線方向への運動と中心に向かう力だけで、回転運動は説明できるのである。彼らはそのことを中心への撃力によって生じる速度と接線方向への速度との合成という運動学的な取扱いにより示した。接線方向への「固有な力」には何の能動性もなく、回転運動の説明には何の関係もないのである。

元来「力」の合成は外力に対するのみ有効である。ニュートンは誤って異なる二つの力を合成しようとした。というより無い力があるかのようにして用いた。ニュートンが回転運動の正しい理解に達するためには「慣性」への正しい理解が必要であった。等速直線運動する物体は、何の能動性も持たない。これが慣性と訳された性質をInertia（不活性）と呼んだ理由である。「プリンキピア」に記されている法則二には「運動の変化は、及ぼされる起動力に比例し、その力が及ぼされる直線方向に行われる」^(註)（傍点筆者）とある。回転する物体の接線方向の運動に対しそれに直角に働く力（向心力）は何の運動の変化も起こさないのである。これが、(1)式において「速度」 v と「力」 F が方向をもつベクトル量として示されている意味である。それでは、回転中心へ向かう方向（法線方向という）へはどうであろうか。そこでは物体は正に向心力が仮に無かった場合に円周を離れ到達したであろう位置から円周軌道上に向心力により引き戻されるのである。すなわち、回転運動は中心へと向かう運動を起す力と同じ力によって起こされるということである。回転運動は中心に向かって無限に落下する運動に等しい。

それではデカルトのいう「抵抗力」はニュートンではどのようなものになっているのであろうか。「プリンキピア」の定義

III ^(註 65) には、「物体の固有力とは、現にその状態にある限り、静止してしようと直線上を一様に動いていようと、その状態を続けようとあらがう内在的能力である」とあり、続いて解説中に「この力は常に物体（の物質量）に比例し、質量の慣性（inertia、不活動性）と何ら変わることはない……」さらに、この物質の慣性による「固有力は慣性力（vis inertia）ということが出来よう。しかし、物体はそれに加えられた他の力が物体の状態を変えようとした場合だけ、この固有の力を働かせるにすぎない。又この力は抵抗ともインペトウスともいうことができる……」（傍点筆者）とある。あの遠心力は慣性力の現れである。又この固有力の概念の中にデカルトもビュリダンですら包含されており一つの歴史の帰結がここにあるといえる。さらに、ここに記された「固有力」が「物質の量」に比例することはニュートンの世界では物体の固有性が「物質の量」にあることを意味している。

(三)

以上(二)の結論は重要なことを示唆している。すなわち、地上での物体の落下運動（それは明らかに地球の中心に向かう運動である）を起こす原因と天体が回転運動する原因とが同じものかもしれないということである。これはあのガリレオが直感的に思いついたことでもあった。ニュートンはそれを、地球を回る軌道に月をつなぎ止める向心力と地表での重力とを比較し、その比が地球の中心からの距離の二乗の逆数の比に極めて近いことを示すことにより確かめたと思われる^(註 66)。この結果は「プリンキピア」の第三篇「世界体系について^(註 67)」の中に見ることができ。しかし、以上のことは、地球表面における重力という向心力が、天体の回転運動の原因たる向心力と同じ逆二乗則にのっとっていること、すなわち太陽への惑星の向心力と月や地表の物体の地球への向心力が同じ逆二乗則にのっとっていることを示しているにすぎない。これだけでも、ニュートンはルネサンス以来の地上と天上の差異の解消という大目的を達成したことになるに相違ない。しかしニュートンは、振り子の実験や、あらゆる重さの物体が自由落

下する際の加速度が地表において等しいことより、この向心力の大きさが物体ではなく「物質の量」(物体の密度と体積の積と定義^(註8))に比例すると考えた。向心力が「地球」とか「太陽」とかいう物体に依存せず「物質の量」に依存するとするならば、中心に引かれる当の回転物体もその物体を構成している「物質の量」に比例した引力を中心の物体に及ぼしていることになる。この世にある物体はすべてそれぞれの「物質の量」の積に比例した力により互いに引きあっている。これがニュートンの発見した万有引力であった。ここにも「物質の量」すなわち質量のニュートン力学における重要性が現れている。

他の人がたとえ逆二乗則をニュートンとは独立に見つけ、又それを回転する物体の証明にニュートンより先に用いようと、それをこの天体の運動に適用し、楕円運動とケプラーの三法則とを完全に証明しかつその逆二乗則の万有性を証明したのはニュートンだけであった。

四、 おわりに

(一)

ニュートンの「プリンキピア」は宇宙の力学構造を明らかにし「力」と「運動」を関係づける「動力学」を作り上げた。しかし小さい世界に働く「力」については、その存在は認めはしたものの具体的構造については何も言っていない。従ってドブズが言うように、ニュートンの研究目的が普遍体系の構築であったのならその意図の達成は不十分であったかもしれない。しかし彼の窮極的目的が何であれ、それでは近代科学の基礎を作り現代人の世界観に大きく影響したその「力」の研究から、ニュートンはどのような世界を表そうとしていたと考えられるのであろうか。

ニュートンは小さい物質の世界でも、宇宙の天体のような大きな物質世界においても非物質的な量としての「力」

の實在を明確に主張した。さらにニュートンはその「力」は物体の外にのみ働く「外力」であるといい、物体に内在するものとしての能動的「力」の存在を否定した。すなわち物体は、「外力」の作用がなければ運動の状態を自らは変ええない不活性な性質を持つ物質からなる、と主張したのである。全く不活性な物質からなる物体と、物体に外在する数学的に表される「力の」實在、これがニュートンの物質世界である。

ニュートンはこのような「力」の實在を主張したが、それについての説明を有名な「私は仮説を作らない^(註89)」という言葉をもって拒否した。しかし、先に述べたように、ニュートンはこの「力」を神のこの世界への直接的な介入の現れとみなしたのである。不活性な物質からなる「太陽、惑星、彗星の壮麗きわまらない体系は、至知至能の存在の深慮と支配とによって生ぜられたのでなければ他にありえようがありません^(註90)」。これが信仰者ニュートンが見ていた世界であり、「数学的に秩序づけられた力」をもって神に支配された世界であった。ニュートンの神は、デカルトの神のようにこの世界の外にある神ではない。神はこの世界に臨在し働き、秩序を保つ神であり、世界は神の働きと存在を証していた。それ故ニュートンの自然哲学はニュートンの時代に、無神論を論駁する理論的根拠となり得たのである。これが近代科学の基礎となったニュートンの世界観であった。

(二)

B・J・T・ドブズはその著書「ニュートンの錬金術」のエピローグの中でニュートンについて「……彼は見事に正しい方向にデカルトを修正した人であった^(註91)。」と述べている。その方向が、実験と数学化という近代科学の方向を意味しているならば、確かにニュートンはその方向にデカルトを修正した。デカルトの粒子論的機械論哲学はデカルトですら手に負えないほど複雑すぎたのである。重力の機械論的メカニズムを問わず、その数学形式を求めたニュートンの方法は、落下の原因を問わずひたすら落下物体の数学的形式のみを追求したガリレオの方法の延長線上

にあると考えられる。粒子論的描象を根底にもちつつ実験を数学的な言葉で置き換える。これがニュートンの手法の意味するところである。粒子論的機械論から全てを演繹しようとするデカルトの方法は自己の幾何学的宇宙とも矛盾してしまったといえるであろう。

ところでニュートン科学の有効性は現在でも依然変わらないが、科学の王者の位置を現代科学の量子力学や相対性理論にとって代わられた。この近代科学から現代科学への発展の中において、ニュートン科学の描いた物質世界の描象はいかになつたであろうか。熱放射の研究から出た量子力学は、原子理論を發展させ、各種の素粒子の世界を研究する有力な方法となつた。その世界では、「力」そのものも素粒子の交換作用として表される。例えば、電磁的力は光子の交換であり、未だ発見されていないが、重力も重力子の働きに帰されている。さらにこれら素粒子の運動は「確率波」の伝播に支配される。そこにはニュートンのような「力」の描象はない。これはデカルトの粒子論哲学の理想ではなからうか。しかしこの素粒子像も現象を支配する数式の一つの解釈としての素粒子であり、ニュートンやデカルトが想定した現実中存在する粒子と同じ性質を持ったものではなく、全く数学的な抽象的存在である。一方相対性理論に於ける重力場は時空四次元空間に物質が作り出す湾曲として全く幾何学化されてしまった。これこそデカルトの幾何学的自然学という理想の実現かもしれない。

実験による検証を経て、自然現象を数学的な言葉で置き換えることにより作られ、高度な抽象数学によって示される世界、この現代（物理）科学の世界はガリレオからニュートンへ至つた道の正に延長線上にある。しかしこの方向が、自然理解の方向として本当に正しいかどうか、この極度に数学化された世界を見てニュートンのように「至知至能の支配」を感じられるかどうか、ニュートンは本当に正しい方向にデカルトを修正したのかどうか答えは未だ出ていない。

(注1) I・ニュートン(河辺六男訳)「自然哲学の数学的原理」、河辺六男編「ニュートン」中央公論社(昭和五四年)所収

(注2) R・S・ウエストフォール(渡辺正男他訳)「近代科学の形成」二二五頁、みすず書房(一九八七)

(注3) この解釈については異論が左記の文献にある

渡辺正雄「科学の歩み、科学との出会い」上 八九〜九八頁、培風館(一九九二)

(注4) 速水敬二「古代中世の哲学」一九〇頁、筑摩書房(一九八五)

(注5) アリストテレス(出 隆、岩崎允胤訳)四四頁、アリストテレス全集第三卷 岩波書店(一九六八)

(注6) 前注(5)の書、八二頁

(注7) 前注(5)の書、一四九頁

(注8) 前注(5)の書、二七二頁

(注9) 前注(5)の書、二七二頁

(注10) M・ヤンマー(高橋 毅、大槻義彦訳)「力の概念」七三頁、講談社(一九八九)

(注11) 前注(10)の書、七〇頁

(注12) F・イエイツ(藤田 実訳)「ジョルダノ・ブルーノとヘルメス・トリスメギトス」(但し第一章のみ)現代思想一九七七年六月

(注13) P・O・クリステラー(佐藤三光監訳)「イタリア・ルネサンスの哲学者」一五〇頁、みすず書房(一九九

三)

- (注14) J・ブルーノ(清水純一訳)「無限、宇宙および諸世界について」一五〇頁、岩波書店(一九九五)
- (注15) 前注(13)の書、二〇三頁
- (注16) G・L・ヴァーシューアー(長尾 力訳)「電磁気学の歴史」青土社(一九九二)
- (注17) 前注(2)の書、三九〜四一頁
- (注18) 前注(16)の書、一二頁
- (注19) J・ケプラー(大槻慎一郎他訳)「宇宙の神秘」二八三頁、工作舎(一九九二)
- (注20) 前注(19)の書、二九〇頁
- (注21) 前注(2)の書、一四頁
- (注22) G・ガリレイ(今野武雄他訳)「新科学対話」下 二四頁、岩波書店(一九五五)
- (注23) 前注(22)の書、二二〜二四頁
- (注24) G・ガリレイ(青木靖三訳)「天文対話」上 五〇頁、岩波書店(一九九三)
- (注25) R・デカルト(野沢 協他訳)「宇宙論」一六六頁、デカルト全集第四卷、岩波書店(一九九三)所収
- (注26) R・デカルト(三輪 正他訳)「哲学原理」一〇二頁、デカルト全集第三卷、岩波書店(一九九三)所収
- (注27) 前注(26)の書、一八三頁
- (注28) 前注(26)の書、八三頁
- (注29) 前注(26)の書、一一〇頁
- (注30) 前注(26)の書、一一三頁
- (注31) E・J・エイトン(渡辺正男他訳)「ライブニッツ普遍計画」二三〇頁、工作社(一九九〇)

- (注32) 前注(4)の書、二六七頁
- (注33) 前注(2)の書、二一六〜二二七頁
- (注34) B・J・T・ドブズ(寺島悦恩訳)「ニュートンの錬金術」一三二〜一三四頁、平凡社(一九九五)
- (注35) 前注(34)の書、一三九〜一四三頁
- (注36) R・S・ウエストフォール(田中一郎他訳)「アイザック・ニュートン」I、三二六頁、平凡社(一九九三)
- (注37) 前注(34)の書、一六八頁
- (注38) 前注(34)の書、一〇九頁
- (注39) R・ボイル(赤平清蔵訳)「形相と質の起源」、伊東俊太郎他編、「ボイル」朝日出版社(一九八九)所収
- (注40) 前注(34)の書、一九二頁
- (注41) 前注(34)の書、一一〇頁
- (注42) ピコ・ラッタナンシ「ニュートンと古代人の叡智」、J・フォーベル他編(平野葉一他訳)「ニュートン復活」現代数学社(一九九六)所収
- (注43) 前注(34)の書、二四六頁
- (注44) 一七世紀当時「空気の中には生命が存在する」という考えが一般であった。例えば、A・G・ディーバス(伊東俊太郎他訳)「ルネサンスの自然観」一〇九頁、サイエンス社(昭和六一年)を見よ。
- (注45) 前注(34)の書、三一一頁
- (注46) 前注(36)の書、四一〇〜四一二頁
- (注47) A・コイレ(横山雅彦訳)「閉じた世界から無限宇宙へ」一〇二頁、みすず書房(一九八七)

(注48) 前注(47)の書、一三〇頁

(注49) 前注(1)の書、六九頁

(注50) P. デイビス、ジョン・グリビン(松浦俊輔訳)「物質という名の神話」七二〜一〇六頁、青土社(一九九

三)

(注51) 前注(1)の書、五六三頁

(注52) 前注(47)の書、一四三頁

(注53) I. ニュートン(島尾永康訳)「光学」三三三頁、岩波書店(一九八三)

(注54) 前注(26)の書、一〇五頁

(注55) 前注(2)の書、一九二〜一九九頁

(注56) 前注(34)の書、四一九頁

(注57) 前注(36)の書、一六五頁

(注58) 前注(1)の書、七二頁

(注59) 前注(24)の書、二二六頁

(注60) 前注(26)の書、一〇三〜一〇四頁

(注61) E. グランド(横山雅彦訳)「中世の自然学」八七〜八八頁、みすず書房(一九九二)

(注62) 前注(26)の書、一〇七頁

(注63) 前注(36)の書、一六二頁

(注64) 前注(1)の書、七二頁

(注 65) 前注 (1) の書、六〇頁

(注 66) 前注 (36) の書、四六一頁

(注 67) 前注 (1) の書、四六二頁

(注 68) 前注 (1) の書、六〇頁

又ニュートンに於けるこの「物質の量」が「重さ」と明確に異なる「慣性質量」であることは(注 72)の文献を参照のこと。

(注 69) 前注 (1) の書、五六四頁

(注 70) 前注 (1) の書、五六一頁

(注 71) 前注 (34) の書、三一五頁

(注 72) 前注 (3) の書、九九〜一〇三頁

(聖学院大学教授)