

Title	ヘーゲルの『惑星軌道論』
Author(s)	吉田, 六弥
Citation	カンティアーナ. 1994, 25, p. 1-24
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/66723
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

ヘーゲルの『惑星軌道論』

吉 田 六 弥

はじめに

ヘーゲルは1801年の10月18日に „Dissertatio Philosophica de Orbitis Planetarum” という表題の資格論文“Habilitation”を提出している(既に同年の8月27日に資格審査は終えていた)⁽¹⁾。そしてこの論文の公刊に続いて、von Zachの否定的評価が翌年の『天文学月報』に掲載された。以来ヘーゲルの死後に至るまで非難が続くことになる。この非難を招いたのは32頁に亙る論文の最後の2頁の付論の部分である。

本来この論文は惑星の軌道についての議論を通して物理的事象と自然を概念把握しようとする自然哲学的テーマが主題であり、愛や生を論じてきた傍ら永年蓄積されてきた自然科学への論究の凝集でもあった。しかしそれは同時に存在の境地を哲学に求めることへと転じたヘーゲルの哲学の自然哲学の出発点をなすものでもある。ヘーゲルは太陽系を有機体とみなし、これ以上に理性の崇高で純粹な表現はなく、また哲学的考察に価するものはないとい、しかしまた現実の生活とこの天上のものとを全く無関係なものとすることができず、キケロがソクラテースに捧げた賞讃が示しているところであるとして自己の観点を宣言している(S.4)⁽²⁾。『軌道論文』の考察そのものはケプラーの主張と、近代力学の創始者としてのニュートンの批判的検討を基礎に展開されている。これらの観点から本論では、ヘーゲルのニュートン理解、自然哲学の形成への課題としてのマテリーの問題の二点をテーマとし

たい。併せてスキヤンダルとまで評された付論を巡る批評の意味するところについても考える。

今回使用したテキストはW・ノイザーの独訳である^③。彼によるとヘーゲルの学術ラテン語はかなりブロークンなものであるという。訳には外にラッソンのものと(1928) de Gandtの仏訳(1979)がある。さらにノイザーが参照する機会を提供されたモントリオール大学のW. Shea教授の未刊の訳文章稿があると紹介されている。邦訳には村上恭一氏のものがあり(1991)、松山寿一氏にも未刊のものがある^④。村上氏の指摘にもあるように、ノイザーのものには誤訳と思われる箇所があり(村上氏は誤植があるといっておられる)、注の付けかたも一定しない憾みがある。

ドイツ観念論にとっての自然

最近自然哲学に対する関心が昂まってきた。1993年の日本カント協会の総会と1994年の日本哲学会のシンポジウムのテーマにも選ばれている。しかしこれに対し警戒を促す傾向もある^⑤。近代科学とは離れたあるいは批判的な観点から自然を見ようとしたルソーやゲーテの主張は良く知られ、カント、シェリング、ヘーゲルによって代表されるドイツ観念論哲学のなかでも独自の自然像が育まれてきた。ドイツ観念論にとっての自然が何であるかということとは大きな問題であるが、一つの捉え方として、「ありのままのーいわば我々の知覚に現れるところのーもの」という規定がある。このことはヘーゲルが「哲学が悟性の形式を越え、思弁的概念を把握したのなら、哲学は自然に関する思惟規定、悟性のカテゴリーを変えなければならない。カントは既にこの端緒を開いた。シェリングは従来の形而上学に代えて自然の概念を捉えようとしたのだ」(20-44)^⑥というとき、このことを示唆している

のだといえよう。既に『軌道論文』でも「法則は自然から導かれなくてはならない。自然を模倣する機械論からであつてはならない」(S296)といわれているのも同じ意味であろう。自然哲学への関心は一つに近代科学の中で形成され産業の発展に寄与してきたような自然観に対する批判に促されたものでもある。⁷⁾しかし反科学主義や反技術主義をこの批判の中にも含めるのは適切とは思われぬし、ドイツ観念論の自然観を受け入れることもこの問題の解決に直接結びつくものではない。ドイツ観念論の自然哲学とそこで与えられる自然像についてはそれ自体として考察すべきものであり、その結果としてドイツ観念論哲学の理解に役立つというようなことでなければならぬし、期待される自然観の形成への一助ともなろうというものである。

ヘーゲルのニュートン批判 万有引力の法則 『軌道論文』で主に論じられているのはニュートンに対する批判である。⁸⁾この批判はニュートンの方法の反省的性格に向けられている。ここでは先ずニュートンを理解する上で留意すべき点について触れておこう。近代力学の形成者というニュートン像はニュートンの重力と力の定義を發展させた理論の流れのなかで作りに上げられたものであり、それは十八世紀のニュートン像でもあった。必ずしも明快とはいえないニュートンの論述の中からこの理論の心髄を洞察し、近代力学の赤い糸を引き出した一連の人びとが存在したのである。⁹⁾しかし現実のニュートンは神学への関心の強い人でもあり、彼の議論は宗教的動機に貫かれている。このため、彼がボイル・レクチャーズを担当したときの助手のペントリー神父の篤い信頼を贏ち得ている。この傾向は多かれ少かれロイヤル・ソサエティの会員には共通のことで、ボイルも自然科学とキリスト教の調和を計るために講座を寄贈したのである。ペントリーの努力で『プリンキピア』¹⁰⁾は一般大衆には護教論として受け入れられるようになる。こうして近代科学的ニュートン像と彼の実像との間に相違が生じ、一九三六年にニュートンの遺

稿（ポーツマス・コレクション）を入手してそれに通したケインズは彼のことを「魔術師、最後のバビロニア人、シユメール人」^①と驚き評することにもなるのである。ニュートンの歴史観は人類史の端緒にあるものが真実なものであり、その後の経過は墮落の過程と見なされる。彼はケンブリッジのトリニティ・カレッジにありながら三位一体論をも批判して、その地位を失いかけるがチャールズ二世の執り成してことなきを得る。^②ライプニッツがあるまじき洗神と非難したように彼は空間を神の感覚器官と見なし、神は空間を通して世界を操作するのである。自然は「神の神殿」ではあるが、自然自体の歩みは墮落へのそれであり、救済と改革を必要とする。しかしそれは機械的過程によってのみ可能なのであり、特に彗星がこれを担う。茲にニュートンの自然観を窺い知ることができらる。それ故古代において形成された幾何学が最も汚れないものであり、ニュートンは微分積分の概念を提起しながらこれを徹底せず、力の議論も幾何学による展開を主とすることになるのである。

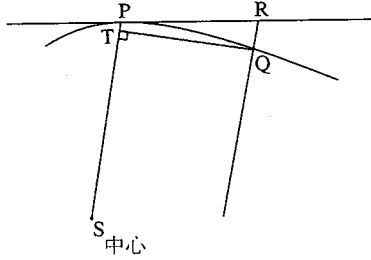
ニュートンは『プリンキピア』の中でニュートンの運動方程式を定める力に関する法則（力学の第二法則）と重力の法則を与えている。

ここでは重力の法則すなわち力が距離の二乗に逆比例することをニュートンは次のように導いている。この導出は最終的には第四図に示すようにケプラーの第一法則に基づけられている。^③

力のニュートンの導出

ニュートンは円をモデルにする。

図1 弧は直径と落下距離との比例中項を成す（命題四・定理四、系九）。（歴史的にはこの12.1を導くのが課題



PSとRQは平行

QRがsに、QTがrθに対応

QT²/QRの極限を考えた。

図2

ニュートンはこれを曲線一般に適用した。

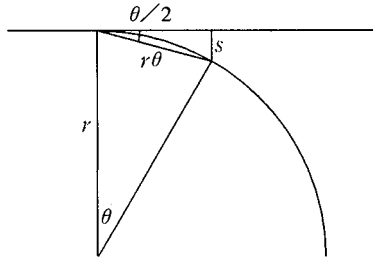


図1

$$r\theta \cdot \frac{\theta}{2} = s$$

$$\frac{r^2 \theta^2}{2} = rs$$

$$r^2 \theta^2 = 2rs$$

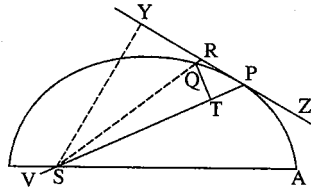
であった。

図2

ニュートンはこれを曲線一般に拡張し、弦と弧の正矢（落下距離⁽¹⁴⁾）が力に比例すると考える（命題一・定理一、系四。命題六・定理五。なお補助定理11で正矢が弦の平方に比例することが示されているから、弧従って極限では弦は時間に比例すると見なされるので正矢は時間の平方に比例する。[x=2s]）。

図3

命題六・定理五、系一



$$\lim_{\text{time}} \frac{SP^2 \cdot QT^2}{QR}$$

(1)

(1) に力は逆比例する。何故なら、QRは正矢であり、扇形SPQは弧QPに比例し、また三角形SPQと等しいと見なすことができ、従ってその面積は $SP \times QT$ の二分一である。そこで弧は $SP \times QT$ に比例し、弧が時間に比例することから力は $(SP \times QT)^2$ に逆比例する（扇形の面積が時間に比例するということはケプラーの第二法則から導かれることでもあるからこの考察は暗々裡にケプラーの法則に基づいているのだと考えられる）。

図4

ニュートンは楕円軌道において、重力が $\lim_{\text{time}} \frac{SP^2 \cdot QT^2}{QR}$ に逆比例することを示している（命題十一・問題六⁽¹⁵⁾）。

$$\lim_{\text{time}} \frac{QT^2 \cdot QR}{AC} = 2 \times BC^2 / AC \quad (\text{またはこれは楕円の直径に等しい})$$

(2)

ニュートンは(2)を提起するまでの考察は無限小解析の手法を採っているが、しかしその証明は幾何学に求め、ここでは楕円に関する定理が活用されている。

(2)の証明は微分法でも勿論証明できる（図5）。

楕円を極座標 $r = f(\theta)$ と考える。

他方を座標で

$$QY = 1/2 y'' (\Delta x)^2 \quad QT = r \cdot \Delta \theta$$

次に図6の正弦定理による ΔYQR の

$$QY/\sin(\pi - \alpha + \theta) = QR/\sin(\alpha - \pi/2)$$

$$QR = -(\cos \alpha / \sin(\alpha - \theta)) QY$$

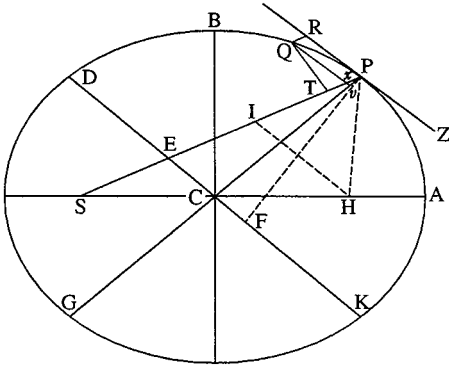


図4

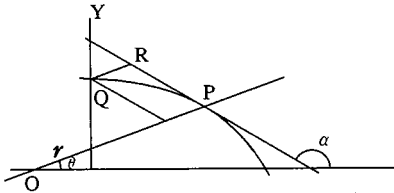


図5

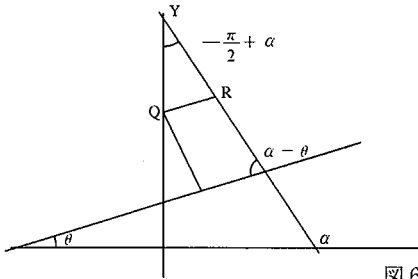


図6

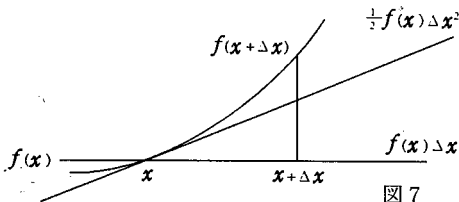


図7

図1による考察は幸運なところがある。微分によれば、

$$f(x + \Delta x) - f(x) = (df(x)/dx) \Delta x + 1/2 (d^2f(x)/dx^2) (\Delta x)^2 \quad (\text{図7})$$

上の展開で落下距離は第二項で与えられる。現代の理解では第一項が速度、第二項が加速度によるものを与える。しかし各項の物理的意味が分かっていない段落では恐らくこの展開から力の概念を引き出すことはできなかったであろう。ニュートンは冪級数には大いに関心を持っていたが、それを完成の域に齎したのがマクローリンやテイラーである。しかし力学の法則としては第二項までで完結する。これは微分概念からは決定できないことであり、これも数学と実在との関連が問われる点である。ヘーゲルは『論理学』の第二版以降の第一巻においてこの冪級数と無限小について詳細な注釈を与えている（特に「定量」の節の三つの注釈）。

ニュートン批判　ヘーゲルによれば、天文学は物理学よりむしろ機械論に基づけられており、その法則を自然そのものや理性からではなく、数学から導いている。この点でケプラーは偉大であり、ニュートンは反省の見地に立って事態を悪化させてしまった。確かにケプラーもその法則を経験的に帰納によって導出したのであり、ヘーゲルが提唱する学的方法によつてではない（9-94）。しかしケプラーの発見は彼の天才によるものであり、理性を前提信頼してのことである。物理学と数学の結合が両者の混同であつてはならないし、線分を力やその方向と見なすことには注意が必要である（S4f.S.9）。ヘーゲルはこの点でニュートンが限界を越えていると考えているのだ。ニュートンの考察では算術は時間に、幾何学は空間にそれぞれ基づいて構成されていて、これらによる分析と説明とは全体の連関から遊離してしまつてゐる。解析学は時空の統一を必然とするが、真の総合は達成できない。このように反省によつて孤立させられた諸部分—それ故絶対的に対立している—を総合しようとしても真の総合を齎すことができないというのがヘーゲルの批判の根拠である（このことはニュートンの光学に就いても主張される）（S.5.S.12）。こうして力の平行四辺形の瞞着が指摘され、たとえその両辺が無限小に解消されたとしても矛盾は残る（S.8）。却つて無限小の線分は無規定であつて、それが図形を構成する必然性をそこに見いだすことができない。

い。ここからヘーゲルはニュートンが求心力を導く際に弧が時間に比例することをしてこの導出に対する批判の要点にしている(S11)。幾何学においてですら部分から全体を導出するときその部分は全体によって規定されていることが前提されているのである(ピタゴラスの定理の導出が想起されている)(S12)。この点でヘーゲルはライブニッツの微分法への寄与を思い出し出してもよかったであろう。特にライブニッツは特性三角形がそれまで微分法が抱えていた問題を解決したものとして賞讃しているからである。もっとも後に触れるようにヘーゲルは『論理学』で微分法におけるライブニッツの功績を低く評価し、特性三角形については劣ったものだといっているのはある(5-307)。後になってもヘーゲルはニュートンの証明を山師の仕事と極め付け、ケプラーがその偉大な才能によって経験から発見したものを数学的に再現しただけだと扱き下ろしている(5-321)。

ニュートンの考察の概略を辿ると、図1、2で運動の変位(経過した距離)が分析される。ここでは運動の変化が力と同一視されている。運動の変位、速度と力が同じ仕方―図形による分析と合成―で取り扱われる。当時としてはこのことは誤解を引き起こしかねない^⑩。幾何学的合成が物理的な量を与えることに批判的であることに加えて、一方でこの幾何学的合成そのものが全体の制約を欠いていること、他方で合成される物理量が無差別であることが批判されている^⑪。さらに図4における合成は求心力PTと慣性力PRによるものである。天体の運動をこの二つの力によって説明することはフックの示唆に基づくといわれている。ニュートンはホイヘンスの遠心力とは反対に求心力という規定を着想し、これに慣性力の規定を加えることによって円運動を説明した。慣性運動を「可能にする力」を導入することはニュートン以前の運動の理解を持ち込むことであり、彼の基本概念とは矛盾するのである。しかしこの矛盾はニュートンがこの古い観念を克服する努力の現れと理解することができるが同時にこの矛盾が引き起こす混乱を無視することもできない。この慣性力と遠心力の混同もニュートンを理解する上での混乱の

原因の一つとなっている。天体の運動の要素を慣性運動と重力とすべきところを、これでは両者を統一できないので、慣性力と重力と解されたのであろう。しかし合成されているのは慣性運動による変位と重力によるそれである。この二重の誤った定義から混乱が生じたと考えられる。この混同を解きほぐして、ヘーゲルの力に関する議論を正しく理解し、ヘーゲルの批判をあるべき姿に修復するには困難が付き纏う。ニュートンはこの二つの力による説明のために「平行四辺形による力の合成」を提案した。当然ニュートンは最後には慣性力の規定を放棄するのであるが、『プリンキピア』の中にこの規定によって齎された残滓が持ち込まれていることは否めない。この合成の正確な規定はラグランジュが『解析関数論』において与えている(5-133)。この著作が出版されたのは1797年であるが、『軌道論文』を執筆したときにはまだ目を通す機会を得ることはなかったのであろう。

数学と物理学 確かに無限小における近似は間違っている場合がある。そして級数展開で近似の第何位までを採るかはその主観的判断によるのであり、結果の是非でその適否が判定されるが、これらの近似を可能にする構造があると考えなければならぬ。前に挙げた展開の例は、数学的には第二次近似までの式であるが、これは物理的には近似ではなく法則である。数学的定式の物理的意味に関しては、コペルニクスの著作に序文を寄せたオシアンダーがそこで述べていることから窺われるように、²⁰⁾ 数学的に叙述することが教会からの迫害を逃れる隠れ蓑に使われてきた経緯があるので、正しく評価することを困難にしている。ここに数学的表示と物理的なそれとの不幸な関係がある。しかしデカルトは物体の規定を延長に求めることにより、運動の解析学による記述を可能にし、次に物体と空間が區別された後ではニュートンは空間が物体の運動と不可分離であることを前提し彼の議論を展開する。従ってニュートンにおいては「数学的」ということと「物理的」ということの差異は止揚されていると考えられるが、この止揚²¹⁾は明白なものではなく、続いてヒュームやカントによる再考を必要とすることになる。この点で『自然哲学の数学

的原理』の数学という規定の意味が吟味される必要がある^②。しかし先に述べたようにニュートンの数学理解の背後には神学上の見解がおかれていて、そこから想定された人類史の原初のものが真なるものと見なされて、真の展開の形式は幾何学と考えられる。こうして無限小による近似の図形が得られると、それを幾何学的に分析するのである。この数学的手法の首尾一貫性のなさがニュートンを擁護するのに困難を来している。しかしニュートンが数学的というとき、重心に実際質量が見あたらないけれどもそこにある量の質量があると見なすことが可能であるという意味である場合もあるということに留意する必要がある。

次にヘーゲルは力そのものの考察に移り、ニュートンが求心力が重力であることを示したことを指摘する。しかしここでは重力が運動全体を規定することにはなっていないという。なるほど運動が一つの方向へ一定の速さで行われているように議論が組み立てられているが、その必然性は与えられない。そこで運動の説明は重力へと止揚された諸力の間で展開されることになる。いずれの力も運動を規定することはできず、真の原理として第三の力^③ (S.15)が要請されることにもなるのである。しかし観測されるもの以外の仮説を持ち込むことは許されないから、ここでは逆に速さによって力を規定しようと試みられるが、この結果決定項も被決定項も同じ関係の中に置かれ、物理的諸量の差異と名称は全く空無化してしまい、証明なるものは循環論に陥っている (S.14ff)。ヘーゲルは質量がある現象においては考慮され、他の現象においてはされないことを批判しているが (S.18)、既に軌道が与えられている場合には運動体の質量は軌道の中へ止揚されているのであるから、ヘーゲルの批判は当たらない(またケプラーの法則自身もそうだ)。さらに後に触れる第二法則の規定が考えられる場合には質量は現れる。しかし重力と第二法則は異質なものであり、加えて第二法則では加速度を加速力、力を運動力といっているのであるから混乱は生じる可能性が残る。

ヘーゲルは求心力と遠心力の關係と重力における距離と速度の關係に就いて論じてから、これら二つの力の區別が空虚なものであり、運動の絶対的同一性における比例が与えられることにはなっていないと批判する。このようなことになるのはニュートンが数学的物理学の混同を持ち込んだからであり、ニュートンの議論によつては重力の理論が導かれない、正しく比例關係を立てたのはケプラーだけであるところでもケプラーを賞讃している。ヘーゲルはこのことから重力が量的規定を持たない、時空の形式を通して一定不変のものと思ふべきならぬと結論する (S20)。ケプラーはこの限界を守つたのに対し、ニュートンはこれに量的規定を、従つて實在的解釋を与えたと批判する。そしてニュートンは重力を物質の質量にのみ基づかせ、「物体の重さは物質の形式に依存する」というアリストテレスやデカルト、またその他の哲學者の命題を否定して、物質の生ける物理的本性に無知であるといつてゐる (S21)。

ヘーゲルは運動を天体の運動、落下運動、地上の物体の運動の三つに（さらに微小物体の運動を挙げる場合もある）分類する。これは全て重力で説明するニュートンの見地とは異なる。ヘーゲルはニュートンの見解に触れて、「ニュートンの天体の軌道理論は大衆の賛同を得た。あの人類の不幸と関わるリンゴ（アダムとトロイエの物語）が星がその軌道を巡ると同じ法則に従っているということに救いを見いだしたのだ。しかしリンゴは哲学にとつて悪しき前兆である」(S20)と述べて困惑している。しかし重力が普遍的であるとされるのはニュートンの着想の發展の結果であつて、ニュートン自身の重力による天体の運動の説明は充分なものではなかつた。また重力の本性を明らかにすることにも致らなかつた。

ヘーゲルのニュートン批判の骨子は全体による制約を欠いた絶対的に対立するものを反省の原理で綜合しようとすることに向けられていることにある。經驗的に発見されたものを絶対的に対立させるのも反省の所為である。幾

何学的綜合であれ物理的綜合であれ、その綜合は反省のそれであるというのである。原理とされる同一性については既に前年の『差異論文』で「同一性と非同ー性との同一性」と規定されており(2-96)、以後詳細に検討が加えられ反省の性格を含むものとして批判的取り扱いに付され、原理としては反省の領域から純化される行程を歩まねばならない。他方反省もこの論文で哲学における位置付けを授けられていたが(2-25)、ヘーゲル哲学の形成深化とともに彫琢を得て同一性ととも『論理学』の「本質論」において規定されるようになる。しかしこの規定に従えば反省は思惟にとつて必然的であつて、それぞれの科学にあつては反省の形式を避けることはできないとされる(6-100)。

ニュートンは重力の法則以外に力学の三法則を定めている。この中第二法則はニュートンの運動方程式 $F=ma$ を与えるものである。この方程式に現れる質量と重力によって定められる質量とは別のものである。前者は概念的に定義されたもので、後者は地球上の測定から得られた経験的なものである。前者は慣性質量、後者は重力質量といわれ、この百年の間に実験で両者が等しいことが示された。こうして両者が何故等しいのかという疑問が提起された⁽²⁷⁾。しかし永年両者が異なるものであるということに疑問が抱かれなかつたということも不思議なことである。

力学の発展を概括すると、デカルトは運動量(mv)を、ニュートンは重力を、ライブニッツは活力($v\text{is} \text{ viva}$, $\frac{1}{2}mv^2$)をそれぞれ中心概念としていた。しかしこの最後のものはコリオリによつてエネルギー($\frac{1}{2}mv^2$)と解釈され、基本物理量の定義が完成する。

ヘーゲルのマテリイ論

ヘーゲルは次に重力によって規定される物質の哲学的考察に移る。彼はシェリングのPotenz論とおよび伝統的な思惟と延長に基づいた物質の構成を考える。Potenz-Ausdehnung-der-reale-Unterschied-²³ Potenz-Geist-der-ideale-Unterschiedの境位が区別され、宇宙は四重性を有する(S.23)。實在的区別においてはポテンツの作用により凝集線が、次にこの凝集線を通して物体が構成される。實在的区別における基本構造は極構造である。實在的区別(延長)から極として東西の方角の区別が生じ、この両極は凝集線で結ばれ、その結果一方で地上的物体が他方天界では彗星が生じる。次にイデアールな区別からは物質の基本形式である空間と時間が生じ、この時空に規定された運動により天体が構成される。地上の物体も運動の法則に従うが両者の関係は外的である。ポテンツの作用により種々の極が出来る。イデアールな境位もこうして両極構造を有し、太陽は両極を内在しているものとも、また太陽系も両極構造を有するものとも見られる。ポテンツを境位とする重力の世界では両極への分裂は止揚されており、一つの物体が両極の契機を含み、単極構造という外観を呈する。このため楕円軌道の二つの焦点のうち一つには物体が存在しない(S.26)。ヘーゲルは宇宙の基本モデルとして太陽系を考える。この構成は凝集線と結節線の段階を経るもので、その結果各々の惑星が形成される。太陽系の形成は本質的なもので、惑星は無限の遠方から飛来して太陽に捕捉されたというものではない。従ってこの形成に遠心力などは不要である。太陽系は物質のより完全な体系として、重力からの最大限の独立性を保持する(S.24)。ニュートンの説明では太陽系形成の必然性は明らかにできない。全ての力の源泉は質量であるといわれるが、光の源泉が必然的に力の真の中心であると(S.25)、シェリングに従った主張をしている。これは後にヘーゲル自身の見地として維持される点

であり、このことはヘーゲルの慧眼であるともいえるが、実際の過程を呈示するところまでは致らない。ここではポテンツの一契機である空間が他方の契機である精神（あるいはメンス）によって点として措定され、あるいは精神は空間との対立においては時間であり、時間としての精神が空間と関係するときにはそれは点であり、空間の抽象においては時間である。この時間が空間と関わる場合、精神としての線が形成される。この精神が空間に移行すれば、面が構成される。より正確には正方形である。そして次には空間における精神の抽象によって立体が生成する（S.27）。このようにヘーゲルは近代幾何学や解析学の図形論と力学の力の説明に自己の見解を対置する、いわば力の線分と精神の線との、また力の平行四辺形と正方形との対置である。物質の区別は物体のそれでもある。面としての物体はイデアールな物体であり（ケプラー第二法則が考えられている）、立体はレアルな物体である。前者は天体を成し、その運動はケプラーの法則によって知られる。ここでは物体は重力によって一つの物体に凝集するのではない。凝集線は物質の凝集（大きい比重）とエーテルの希薄の対立を止揚し、自然の全契機を措定する運動である。こうして惑星が描く軌道面が物体である。原子モデルのように太陽系が物体である。ヘーゲルは太陽系を物質の基本構造と見なしている。そして光を力の源泉とする点と併せてヘーゲルの物質観の射程は遠くに延びている。後者、立体は落下運動するものであり、ニュートンの手続きで理解できる。しかし延長における両極を結ぶ線もポテンツの法則の下に置かれれば宇宙の無限の延長を得て極めて細長い楕円軌道を描く彗星となる。軌道が楕円をなすのは、円では径と円周上の点が一様で物質の規定が捨象されていて、物質の構造を与えないからである。楕円軌道では凝集線が運動として、差異を示す径や軌道や、軌道上の惑星の速度を変える力として現れ、また系の回転軸や焦点として自己を措定している（ケプラー第一法則）。同時にこの物体（楕円軌道）は空間と時間の統一をも表す（ケプラーの第三法則）³⁰。この同一性が物質の形式を得るのはアインシュタインの相対性理論を俟たねば

ならない。しかしこの理論が与えるのは宇宙の一般的な在り方であって、物質の實在的な形態ではない。^①この形態は量子論によって追究される。^②ディラックの方程式は電磁的な存在と光の統一を呈示した。光は物理的なものであるが、物質の本性は光において尽きるものではないし、電気の本性それ自身はこの方程式では示されない。ヘーゲルの「原子モデル」は現実となったが、次には核と電子が物質として考察されねばならず、こうして素粒子の階層的構造の理論が構成されてきた。最近の高エネルギー物理学によって物質の究極的な在り方が解明され、同時にこの解明において重力の本性もまた明らかにできる見通しが得られ、ニュートン以来の課題に答えるものとなることが期待されている。しかしこの状態においては時間と空間は大きな揺らぎの中に置かれる。時間と空間の単純な同一性は変質し、この変貌において時間と空間はそれ自身の本性を詳らかにすることになるのであるかもしれないのである。このような変化の過程がヘーゲルが『軌道論文』を認めてから彼の『哲学体系』における自然哲学の最後の叙述に至るまでの三十年間に生じた展開の中に洞察した事柄にどのように照応するものであるかどうかは一考を要することであろう。

ヘーゲルの構成をニュートンに則して考察するならば、平面は無限のそして無限に小さい線分から成るものとされる。この無限小解析においては全てが点に還元される。この点の勢位によってこれらの要素の比例が無限の系列を通して極限を与えることが可能となり、物理量を規定するのである。このポテンツとしての点が時間と空間の関連の可能性、運動の可能性である。このような可能性を保持するものとして線は精神と見なされなければならない。さらにこのポテンツの展開からレールな物体とイデアールな物体の区別が生じ、前者は自由落下運動により、後者は円運動によるものである。運動が線分で表されるとすれば、二つの運動の関係は二つの線分の合成によって得られる平面で表される。こうして物体は立体と見なされる。円運動では時間と空間が規定的に関係付けられ、周期

を与える。また空間は中心からの距離において一つの図形を形成する（ケプラーの第二法則）。次に周期と中心からの距離は総合されてケプラーの第三法則を与える。この天体の運動がイデアールな物体を形成するもので、それは地上の物体のようにある塊に凝集するのではなく、軌道によって形作られた楕円面のような平面である。最後にヘーゲルはレアルな区別に立ち返って、東西の方角のレアルな線がこの線ゆえに極めて長い長軸の軌道を動く彗星であるという結論をもってこの議論を締め括る。⁽³³⁾

この我々の展開を機械論的に理解すればニュートンの仕方が導かれるのであるが、我々はまたこの仕方の根拠を与える証明は確立するには至っていない。しかし我々は概念による行程を指し示したのであり、法則は自然から導かれねばならないのであって、自然を模倣する機械論からであってはならないのである。

ボーデの法則と小惑星

ボーデの法則 太陽と惑星の距離は $0.3 \times 2^n + 0.4$ （太陽と地球との距離を単位）で与えられる。これはTitusが1776年にC. Bonnetの『自然の瞑想』の翻訳の中で述べたものを断りなく自己の発案として1772年に発表したもので、Bode-Titus則ともいわれる。⁽³⁴⁾ $n=6$ にたいするものは1781年にハーシェルによって発見され、天王星と名付けられた。しかし火星と木星の間に存在すべき $n=3$ にたいするものは発見されていなかった。ボーデ則がドイツで大変持て囃されこの規則がその存在を予想する惑星の発見に大いに期待が寄せられたのは、ニュートン以降天文学や力学の発展が英仏の学者の独占するところとなり、ドイツの民族主義的愛国心を刺激していたからであった。惑星の軌道に関する議論も専ら „theologisch-apriorisch”⁽³⁵⁾な観点で展開され、力学的な考察や分析に関

わらず、ニュートンへの言及も見あたらない、偏狭なものであった。勿論このような歪んだ形而上学的関心を拒否するハーシエルのような人達もいた。1790年代には惑星の間隔に関する多数の論文が『ベルリン天文学年報』に掲載されていたといわれる。ヘーゲルも彼の『軌道論文』の最後の2頁を付論 (supraedit) としてこのテーマに費やして、彼独自の見地から議論している。ヘーゲルはボーデ則を斥け、プラトンのティマイウス (35B) にある数列に基づき、但し8であるところを16に変えて (この入れ替えの理由は定かではないが)、1,2,3,4,9,16,27が惑星間の距離を与えるものとし、「この列が自然の真の秩序を数列として与えるものなら、第四項と第五項の間に大きな間隔が存在しそこには惑星が観測されないのは明らかである」と述べた。ヘーゲルはこれをさらに「統一」が根拠であるからといって初項を3の立方根にとり、次項からは四分三乗が採用されて、1.4 2.56 4.37 6.34 18.75 40.34 81が惑星の間隔を定めるものとして与えられている。第二項以降は四分三乗とは少し異なっているが、理由は定かではない。⁽³⁶⁾このように数の列で自然を規定しようとすることはケプラーが『世界の和声』で、ニュートンが『光学』で試みたことでもある (9-131)。しかしこの年の一月にピアツィがこの位置に小惑星と呼ばれることになるものを発見していた (当時ピアツィはこれを彗星であろうかと考えたが、パレルモ天文台から通報を受けたベルリン天文台の連絡でガウスが行った軌道計算の結果惑星と断定され、このことは年内に周知のこととなっていた)。この発見は天文学的関心で考察したりあるいはボーデ則を裏付けるものと解されるというより、その先天性を彌が上にも賞揚する熱狂的感情を引き起こした。また小惑星はその後太陽系のいろいろの場所で発見されているのでこの発見は必ずしもボーデ則に証明を与えるものではなく⁽³⁷⁾なった。von Zachなどのヘーゲルへの非難の背後にはこのような事情があったのである。確かにヘーゲルは同郷人であつた大学の先輩でもあるケプラーを誇りにし、ニュートンより高い評価を与えていたことは良く知られている。『軌道論文』でもその冒頭で「我らが同郷の

天才ケプラー」と記している。このためヘーゲルも先に述べた拜外主義的傾向に荷担していたのではという推測がたてられている。ヘーゲルが小惑星の発見を知らなかったとかあるいは知らないふりをしていたのではとも考えられないこともない。しかしノイザーはこの非難は根拠がないといっている。多少はドイツ的なものへの肩入れがあることは否めないにしても、ヘーゲルの関心は „*physisch-philosophisch (wissenschaftlich)*” なものと受けとることができ、また偏狭な拜外主義に組みすることはヘーゲルが選ぶところではない。その後イエナ時代には遠心力や小惑星の問題に触れられてはいないが、1820年代になって、「太陽系に就いては今述べたことで尽きるものではない。基本規定以外にお規定が必要である。惑星の軌道は同一の平面に収まってはいないし、彗星の軌道がこれらを横ぎっている。黄道では結節点が周期的に移動している。これらの興味ある問題が残されている。しかしこれらを解明することはより困難なことである。さらに惑星間の間隔とその系列の法則を発見する必要がある。」¹ とういって『軌道論文』以来の課題が継続していることを確認している。天文学者はこの法則の発見に関わることを避けているが、これは必然的な問題なのである。ケプラーもプラトンがティマイウスで示した数列を試みているのであって、我々も彼に倣うべきであるといっている。最初の四の惑星は確かに体系を成しているが、火星と木星の間には我々の数列からみても存在すべき惑星が発見されていなかったが、近年そこに小惑星群が発見されて、この間隙を埋めることになったといつて、小惑星の存在を承認しているが、かつての論争には触れてはいない。木星以降のいわゆる外惑星のグループに就いては今後の研究に俟たなければならぬが、法則の発見はヘーゲルが提唱した仕方で行われるのは容易に洞察できることだといつてゐる(9-105f)。しかし最後にヘーゲルは列(Reihe)をもって何事かを認識しようとするのは「外面的な比較」、「学問的ではなく概念に反すること」と締め括っている(9-132f)。

哲学は概念から出発するもので、それが譬え僅かな原則の呈示に終わるにしてもそれで満足すべきなのである。いわゆる自然哲学はすべての現象を説明しようとするところにその誤りがある。このような仕方は結局仮定に事態を還元することになるだけである。我々は概念把握における理性的考察を呈示したのであるが、やがて学に対して理性概念が要求される時が来るであろうといつて慰めている(9-106)。

さて小惑星とボーデ則であるが、小惑星はその後到的処で発見されるので、ボーデ側のロースを埋めるものという解釈は成り立たなくなった。またボーデ則はその根拠が明確ではないものであるから、現在では僅かにワイツェッカーなどが評価しているのみである。⁽⁸⁾ヘーゲルが二つの惑星群に区別したことに就いては内惑星は比重が大きくいわゆる堅い惑星であるのに対し、外惑星はガス状で組成を異にするという点でヘーゲルの根拠とは異なるがその区別には意味がある。ヘーゲルは太陽系の生成を宇宙生成のモデルとして、またその構造を物質の基本構造のモデルとして解している点で注目すべきものと考えられる。

注

- (1) 本論では『軌道論文』と略すこととする。
- (2) 前掲書の頁。引用は初刊の頁数のみで示す。
- (3) *Schriften zur Naturphilosophie* (Herausgegeben von Reinhard Löw) Band 2. *Georg Wilhelm Friedrich Hegel : Dissertation Philosophica de Orbitis Planetarum - Philosophische Erörterung über die Planetenbahnen*, übersetzt, eingeleitet und kommentiert von Wolfgang Neuser. 1986.
- (4) 『現代思想』1993年7月臨時増刊、129頁。

- (5) 『現代思想』前掲号、39頁。
- (6) Hegel, *Werke in 20 Bänden*, 1969ff. 第20巻、444頁。以後巻数と頁のみを挙げる。
- (7) 近代主義に対する批判と並んでこのような観点から自然観を変革しようと試みることは現代の必然的な課題ではある。以前に紹介したビヒトの著作もこの中に含めることができるであろう(『カンティアーナ』第23号)。
- (8) ニュートン批判は後になっても『論理学』の「量論」の章や『哲学体系』の「自然哲学」篇に見られるように課題とされている。ニュートンはケプラーが(崇高な仕方で)言明したものを反省形式(力の規定→引力、遠心力、慣性力など)それも数学の定式に転化したただだと非難している。勿論より詳細な説明が必要だとは断っている。ニュートンの分析が提供するものは「物理的实在性を有すべきものとは異なる」。「物理的機構の数学的規定のみを源泉とする言外の形而上学への氾濫を意識することが重要である」(9—87f)。
- (9) ニュートンを挟んで、近代力学の発展を担った人を記す。Copernicus 1473—1543. Kepler 1571—1630. Galilei 1564—1642. Huygens, C. 1629—1695. Hooke, R. 1635—1703. Newton 1642—1727. Bernoulli, Jacques 1654—1705. Bernoulli, Jean 1667—1748. Bernoulli, Daniel 1700—1782. Taylor 1685—1731. Euler 1707—1783. D'Alembert 1711—1783. Lagrange 1736—1813. Laplace 1749—1827. Coriolis 1792—1843. これ以降には電磁気学の成立と量子論や相対性理論への移行期の段階を迎える。
- (10) ニュートンの『自然哲学の数学的原理』を『プリンキピア』と記す。
- (11) 佐々木 力『近代学問理念の誕生』1992, 271頁。この段落の記述は本書に負っている。『プリンキピア』出版三百周年の一九八七年に向けてニュートン研究が盛んになったといわれる(佐々木、前掲書、172頁)。R.S. ウェストフォールのニュートンの伝記も邦訳が出版され、日本でも記念論集『ニュートンの自然哲学の系譜』(吉田 忠編著、1987)が刊行された。

- (12) 因に彼の地位はルーカス教授職で現在はホーキングが占めている。
 (13) ケプラーの法則を以下に挙げる。

第一法則 惑星の軌道は太陽を焦点とする楕円。

第二法則 面積速度保存の法則。

第三法則 惑星の公転周期の2乗は太陽からの平均距離の3乗に比例する(平均距離は長半径になる)。

第一法則と第二法則は1609年の『新天文学』に、第三法則はプラトンの理念が追究されている1619年の『世界の和声学』で与えられている。

- (14) 正矢 (sinus versus) は第一図のsで与えられるもので本来は弦と弧の midpoint を結ぶ線分を指す。楕円では正矢は弦に垂直にならないが、ニュートンはこの場合を "sagitta" と呼んでいる。

- (15) この証明は長岡亮介氏の解題によるものである(吉田忠『ニュートン自然哲学の系譜』126頁)。

- (16) カントもこの合成には批判的である(カント『活力考』71節)。

- (17) 時間を無限小にとれば単位時間あたりの通過距離すなわち速度となり、またこの大きさは速度零からの加速度すなわち力を与えるのであるが、当時はまだこのように理解されるとは限らなかった。

- (18) 『プリンキピア』にも十数箇所遠心力というタームは使われてはいる。

- (19) 遠心力を慣性力あるいは少なくとも接線方向の力であると考えるのは、遠心力が慣性運動の原因であると誤認したことによる。十八世紀には遠心力の規定を明確に把握せず、慣性運動と混同することは良く有り勝ちなことであったといわれる。しかし求心力による軌道の決定には遠心力は関与らないので、ヘーゲルの考えかたは別にして、力学の議論としては遠心力に関する部分は有効ではない。

ヘーゲルは遠心力について晩年になっても、物体を接線方向に運動させようとするときには接線と垂直に力を与えればよいと皮肉とも誤解とも解しかねる批評をしている(9-85)。

(20) 高橋憲一『コペルニクス・天球回転論』1993,196頁。

(21) この関係はアインシュタイン方程式 $G_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu}$ に現われてくる。この式の左辺は幾何学的量であり、右辺は物理量であるから、空間が物理的に規定されることを意味している。

(22) この点については『プリンキピア』の序文が参考になるだろう。

(23) このように力に規定力を欠いていることから、ヘーゲルは「赤道で重力が最大になる」とか(S16)、「振り子の周期が大きくなるのは重力がその運動を抑制するからである」とかあるいは当時の理解とも逆に「地球の形状が南北に長い」とか(S17)、また「重力は距離が二倍になれば四倍になるとしてもよい」(S19)などと主張している。

(24) フランスやオランダではニュートンの受容は円滑に進んだ。ドイツでの事情は論者は浅学にして理解してはいないが、ニュートンに対する批判的態度はニュートンの主張を理解した上でのことなのかあるいは無理解の故なのか判然としない。これはヘーゲルにも認められる民族感情にも幾分原因がある。しかしニュートン学派の徒といわれるカントにおいても、レッスンから先ず自己の知性の測度を考えるべきだと揶揄された処女論文『活力考』は別にして、1755年の『天界の一般自然史と理論』の中でこの第三の力としてエピキュールの落下の直線運動からの偏倚を持ち出している(A XXV)。

(25) 『プリンキピア』第三篇命題六系二。

(26) 『プリンキピア』第三篇、一般的註解。しかし他の箇所ではニュートンはこの問題を取り上げている(『光学』疑問21)。

(27) これは現在ではアインシュタインの等価原理によって説明されている。

(28) この凝集には拡散が対立する(S30)。マクロ的には一様な宇宙に物体が散在することは現在でも解決されていない問題

である。注の28で参照した箇所もこの問題に関連している。この擬集線は現代の宇宙論の弦理論の弦を思わせる。

- (29) ヘーゲルは地上の光と区別して太陽の光の源泉をアリッククスに従って水素に求めるようになる(9-116)。
- (30) ヘーゲルは後にも「時間と空間の同一性が物質の本質を成す」といっている(9-58)。
- (31) ヘーゲルはマテリーは歪んだ空間あるいは「密度の高い空間」(S26)であるといっている。
- (32) 相対性理論と量子論の間に整合的な関係を立てることは困難であるといわれている。
- (33) ニュートンは彗星がこの世の救済と改革を担うものであるとしたことは先に述べたが、ヘーゲルでは彗星は後に太陽系の形成と深く関わるものであるとされる(9-126)。ヘーゲルがここで彗星としているものの中には星間物質ごときものも含まれている。またヘーゲルは太陽、惑星、彗星の間の推論による宇宙論を構想している(9-129)。
- (34) ケプラーの第二法則は角運動量が保存されることを意味しているから、この法則から逆に距離の二乗に逆比例する力に対して軌道が円錐曲線になることが導かれる。ニュートンはこの逆の導出は与えていない。しかしニュートンがこのことを知っていたと思われる傍証もある(吉田 忠、前掲書、10頁)。尤もこの傍証となる表現は曖昧であり、事実逆かもしれないといわれている(同書、11頁)。
- (35) ノイザー, op. cit., S.56.
- (36) op.cit., S.51.
- (37) 小惑星は現在でも天文学における重要な研究対象である。日本では古在由秀の研究が知られている。
- (38) 『最新天体論』1990, 171頁。

付記 本論は第二十三回大阪カント・アーベント例会(一九九三年十二月十八日、大阪大学)において発表した草稿に加筆したものがある。