

科学の近代化からライプニッツに至る話題の思想史的断片

芝浦工業大学システム工学部 阿部剛久 (Takehisa Abe)

Faculty of Systems Engineering, Shibaura Institute of Technology

四日市大学環境情報学部 小川 東 (Tsukane Ogawa)

Faculty of Environmental and Information Sciences, Yokkaichi University

1. 科学の近代化：その思想をめぐって 17世紀後半から18世紀初めにかけて日本では関孝和（1637, 4 2 ? - 1708）が数学（和算）の世界に偉大な足跡を残したが、このことと、偶然にも同時期にヨーロッパではI. Newton（1642 - 1727）やG.W. Leibniz（1646 - 1716）たちが数学をはじめ近代科学の確立に決定的な役割を演じたこととは科学史上極めて注目に値するできごとではなかったかと思う。関、ニュートン、ライプニッツ それぞれの数学には課題を共通するものも少なからず、三者はその成果において同じレベルにあったと見なし得よう。これは、17世紀以後の関と彼の学派およびそれ以外の流派による数学が奈良時代に唐からの移入に始まって以来、中国の古典的手法（算盤、天元術等）を学び、これを超えて独自の方法（演段術）を開発したことに基づいた結果であった。しかしながら、その顕著な発達にもかかわらず、当時代のヨーロッパ流の数学に備わりつつあった記法上の合理性や記述上の論理性を一般に欠き、さらには自然科学の言語手段となれなかったことが科学の近代化を容易に実現できなかったと考えられる。

17世紀後半から少なくとも18世紀末までは日本の数学それ自体は基本的にヨーロッパのそれに比肩し得たものも少なくないであろうが、近代科学との結びつきは日本がヨーロッパよりも少なくとも2世紀半（17 - 19世紀前半）は遅れがあったと見られる。それ以後は明治維新による急激な近代科学の輸入と開発に委ねることとなったことは周知のことである。そこでの数学と近代科学との結びつきは最早和算とのそれではなく、西欧の近代数学によるものであった。和算による近代科学への寄与は遂に実現を見ずに終わったのである。近代科学において数学の果たした役割も含めて、日本では明治以後を除いては歴史的経験のなかった科学の近代化をめぐる問題、特に17世紀の西欧を中心とするそこに至った要因ないしは必然性、および近代化の過程の理解と検証は今もなお意義あるものと考えられる。

以上述べたことは日本独自の数学、すなわち関以来の和算とヨーロッパの数学との対比を通して西欧科学の近代化への扉へ向かおうとしたものである。これは数学そのものとしての科学の近代化における意義と役割を捉えようとする意図をも含むものであり、それは数学史としての問題である一方、科学の近代化自体に関してなお一層積極的にこれを問おうとするものである。これに関して既に重い問いが存在することは一般によく知られていることであろうか：

生化学者であるとともに科学史家でもあったJ. Needham（1900 - 95）は大著「中国の科学と文明」（*Science and Civilisation in China*, Cambridge Univ. Press, 1954 - ）¹⁾において、紀元前5世紀頃、中国の黄河文明、古代メソポタミアやエジプトに由来する古代ギリシャを中心とした西欧文明、インダス川流域文明の三大文明が開花して、その後の進歩に大いなる可能性が予知されたが、事実は3 - 16世紀

にかけての14世紀間は特に中国の科学と技術が西欧よりもよく発達したのはどういうわけか、また、それにもかかわらず、17世紀に入ってから近代科学が西欧においてのみ発展したのはなぜか、という問題を提起した。つまりは、近世まで科学や技術に圧倒的優位を誇った中国は後に近代科学を生み出さず、西欧が生み出したのはなぜであろうか、という問題である。これらに対してニーダムは上記の書の第7巻で（彼の言う）完全な論考を行っている。それによれば、主として中国の社会的、経済的構造の中にその原因究明を行って、それぞれの諸条件が中国の近代科学と技術の発展にとって申し分ないものであったとすれば、科学と技術の近代化への脱皮は実現し得たことに疑問の余地なし、と強調している。17世紀の中国は（1368年以来の）長い明朝支配からその1662年の滅亡後に清朝の時代（-1911）を迎えたが、その間の政治、経済、社会そして文化にとって内外的に激動の時代でもあったことを考慮すればニーダムの主張もうなずけよう。概して中国は長い歴史のなかで、異民族をはじめ外国勢力に絶えず侵略され続けたことを思えば、ニーダムのいう社会的経済的諸条件の正常な発展とそれらの安定化は望むべくもなかったであろうことは容易に想像できる。

しかしながら、これだけの理由をもって説明とすれば、17世紀の西欧科学は社会的、経済的にその近代化にとって諸条件が完備してきたことによるとでも言うのであろうか。これらの諸条件が皆無とすれば近代化への成功はもちろんあり得ないかもしれない。しかし、このような説明からは中国はともかくとして、西欧にとっては世界史の上で、あの顕著にしてことさら印象深い科学上の大事件＝革命的科学思想の創造と科学の近代化、を究明し得るものではないであろう。単に科学の成立と発展の社会経済的基盤の究明でしかないであろうし、この基盤から特定の科学思想が生み出され科学革命が必然的に起こるとは必ずしも結論できることではない。社会経済的基盤は文化や文明の創造のための一般的な可能性の根源であっても、基本的には人を通して実現できる思想や科学に直結するものではない。よって、西欧科学の近代化に関してその成立要件や成立過程の分析を通して近代化の意味を理解することは単に科学史的状况とその成立基盤の考察によって遂行されるものではなく、主として科学そのものに関わる思想史的考察によってなされるものでなければならぬであろう。この意味においてニーダムの先に掲げた西欧科学の近代化の成立（条件）に関する疑問は依然として未解決のままであるかのようである。

それでは本当にこの世界史的に重要な事件の本質の解明は今も未解決なのか、あるいは解決に向けての何らかの努力がなされているのか、どうかについて調べる必要がある。日本では主に太平洋戦争（1941.12.8-45.8.15）後に科学哲学界や科学史学界からこの方面に関する研究が盛んになったことが文献や資料を通して知ることができる。これらの研究はその先行的なものとしての諸外国の第二次世界大戦（1939.9.3-45.8.15）をはさむ前後の研究文献に依拠するものが多いようであるが、それらをよく踏まえて科学の近代化に関する徹底的な論証が1960年代に入って本格化して今日に至っている。そこには哲学的・思想史的に究明する日本の思索家独自の優れた創造的知見も含まれて、この方面の研究の重要性と課題の担う普遍性が示されている。特に1980年代以降、科学の近代化に関するこれまで触れた問題へのほぼ満足の得られる解答的知見が出そろったかのように見える。これらの知見をこの方面に関する現在解明のできた代表的知見として少なくとも採用できると確信する。それは今後の研究によってさらにその妥当性を高めこそすれ、簡単に改められるものではないであろう。

ところで本著者たちはこの知見が近代化に関わるほとんど普遍的な定説として現在定着したものであ

るかという疑問に対して答えるならば、本問題に関心を抱く人々に限られているとしか述べようがない。それが国内的であれ、国際的な規模であれ一般の認識として定着したものであるかどうかは、この方面の専門的研究者たちを除いて確かなことは不明である。このことはこの問題の究明が如何に複雑で難解であるかを示唆し、その元の理由は近代科学の確立者たちが前世紀以前や当代の伝統的観念や思想の制約下にあつて、科学の近代化へと大いなる苦闘を強いられながら脱却を試みたことによるであろうし、そこに至るまでの長い歴史の思想的変遷を辿り検証しなければならないという複雑な手続きももちろん必要とするからであろう。したがってまた科学の近代化をテーマの一部とする比較的少数の専門家を除いて、この知見が科学史を専門とする研究者の間で共通の認識となり得ているかどうかは明らかでない。敢えて言うならば、科学史を専門とする人々にとっては常識とするくらいの認識が望まれよう。ここで科学史とは、数学史をはじめ、自然科学領域の歴史的研究を指すものである。

この妥当と見なされる知見の一般的な浸透と定着がどうであれ、この問題に関する専門家や科学史家以外にもこれに関心をもち科学者たちや一般の人々が存在することがあっても少しも不思議なことではない。彼らはそれだけこの近代化の問題に知的興味を感じているからであろう。その原因の一つには、現代の科学技術の目覚ましい発展からくるものがあるだろう。これに関する比較的最近の起りをこの知見が如何なるものであるかも含めてまず最初に紹介しておきたい：

理論物理学者として著名なプリンストン高等研究所の F. J. Dyson 教授²⁾ のアマチュア天文学者 (T. Ferris) の著書紹介を兼ねた論説「素人科学者を称えて」(*In Praise of Amateurs*, *The New York Review of Books*, Dec. 5, 2002, pp. 4-8) は天文学においてアマチュアの果たしてきた役割の重要性とその将来を語るとともに、17-18世紀の近代科学の成立の要件、すなわちこれまで具体的に明かすことなく述べてきた科学の近代化に関する「知見」にも言及したものととして注目に値する。アマチュア科学者の件は後に触れるとして、ここではこちらの方を先に述べておこう。

著者ダイソンの言うには、科学には二面性があつて、一つは経験、とりわけ実験や観察を通しての個別的な事実を重視するベーコン的なもの (Baconian) と、他は事実間の相互関係を知って普遍的な自然法則の導出を目指すデカルト的なもの (Cartesian) であると。これらはそれぞれ、経験的な実証主義、論理的な合理主義とも簡潔に呼ばれようが、前者の思想的根拠と由来はアリストテレス (Aristotelēs B.C. 384-322) および中世スコラ哲学における論理学への反駁とその克服であり、経験的諸事実の観察から出発して、その原因を帰納的に解明するという自然認識の方法を提示したものであった。ベーコン (F. Bacon 1561-1626) の思想は近代自然科学の方法を初めて自覚的に解明したものであるが、帰納法によって最終的に到達すべきものとした形相は近代的な自然科学の法則的側面とともに、克服すべきアリストテレス的な自然の本質という側面も合わせもっていることから、彼の思想は形而上学的な思考から完全に離脱したものではなかったと批判される³⁾。このような形而上学から完全に自立して、機械論的自然観に基づく新しい自然認識の方法を確立したのは G. Galilei (1560-1642) と J. Kepler (1571-1630) であった。また、後者について言えば、デカルト (R. Descartes 1596-1650) の哲学もスコラ的な自然観と対決し克服することによって形成されたものであり、その方法はガリレイの自然認識の基礎の上に立つものである。彼の考え方は著書「方法序説」の四つの規則⁴⁾として結実し、これをもってデカルトの方法はガリレイ以上に数学的であると言い得る。いずれにせよ、古代ギリシャ・ロ

一マから中世を経て、その末期近くルネッサンスを経過して科学の近代化を迎えるに当たって多くの矛盾と異なる思想のしがらみを淘汰しながらここに至ったものであった。それゆえに、それぞれの簡潔な呼称を字義通りに解釈しきれるものではないことに注意すべきである。よってまた、それぞれを単に象徴的にベーコンの思想、デカルト的思想と呼ぶことも可能であろうが、彼らの哲学や思想の形成には先行した人々の貢献とその系譜⁵⁾の存在があつてここに至つたと言うのが正しいであろう。

ところで大事なことは、両思想とも互いに孤立しては真に創造的ではあり得ないということであり、たとえば中国においては古代からベーコン的な要素と傾向が支配的であつたがために遂に自ら科学の近代化に到達し得なかつた。これに対して西欧では17世紀に至つてこれら二つの思想がともに相携えて科学の近代化を成し得たと言える。そしてその頂点に両思想の完璧なまでの実践であり、実現であつたニュートンの力学に象徴される新しい科学の確立を得た。科学の近代化または近代科学への歩みはこれら二つの思想が協力し合つて初めて実現し得たということは、日本でもその認識はこの方面の専門家にとって先に触れたように既に1980年代に確立されていたと見られるが、ダイソン教授の指摘もこの認識に沿う方向でなされていることは彼が優れた物理学者であることを思うと、他からの受け売りでない彼自身の経験と見識に基づいて確信し得た結果として強調したものであろう。要するに近代科学の確立のためにはベーコンの思想とデカルトの思想が相携えてことに当たることが必須の要件であり、正しい方法であつたということである。わかりやすく言えば、実験と理論との調和を基礎とする、たとえばガリレイの近代科学の精神を指摘すればほぼ十分に言い得たことになる。ガリレイはベーコンやデカルトに比べて、一般にわかりやすいことは洋の東西を問わないと見え、これは彼を専ら偉大な物理学者としてみ扱い、その観点からのみ評価してきたのが常であつたことによる。彼の不朽の業績は物理学の領域に属するとはいへ、彼の歴史的作用の全体はこの領域に尽くされるものではないと強調するのはエルンスト・カッシーラー（後出）である。彼によるガリレイの現代的評価をここで示すまでもなく、後述のライプニッツによれば、ガリレイについて語るときにはほとんど常に彼を、デカルトあるいはベーコン、ガッサンディ（P. Gassendi 1592-1655）と並べて近代哲学を新たに確立した一人と見なしている。このようなガリレイ評価は今日でも完全に信憑性のある自然な見方とされる（E. Cassirer, *Scientia*, Bd. 62, 1937, pp. 121-130; 185-193）。よって、近代科学の精神または思想を、ベーコンとデカルトに代わつて、より親しみのあるガリレイの名をもって象徴的に喩えることは妥当であると考えられる。

また数学について言うならば、それはデカルトやニュートン、ライプニッツ等多くの人々によって科学の近代化のための最初の本格的な実践的手段としての役割を演じ、自然観を精密科学化した意義はかつてなかつたほど大きいものである。また論理的合理主義の思想的基盤において学術上の思考が数学の論証性を模範とするようになったことも数学の地位の向上とその確立につながつた。その後の数学の在り方は、周知のように18世紀以後今日までそれ自身の驚異的進歩に加えて、科学の理論と応用のための巨大な方法的役割を演じ続けている。そこには、ここでのベーコン的なものとデカルト的なものとの完璧な協調、しかしそれだけでは説明し尽されない、革新的な科学の出現のための本質的に新たな思想や指導的理念と要件が存在していて、これらの分析的解明がなされなければならない。その中で再び17世紀の科学の近代化の意味と歴史的位置付けが得られていくであろうことを期待したい。科学の発展とその社会的・思想的背景を検証することは数学の歴史的意義を含めて永遠の課題であり、健全な文化や文明の維持と向上のため避けては通れない人類の責務の一つであらう⁶⁾。

以上で近代科学の成立要件の思想的概念をざっと展望したが、もちろんこれらに関して言い尽くされたものではない。詳しくは本論文の注釈中の文献資料が参考となろう。またこの件を終えるに当たって注目すべきことが既に行われていたことを述べておきたい。科学の近代化というこの問題については、この方面の専門家である哲学者や科学史家による論考の他に、日本でも偉大な科学者と優れた評論家との対話があったということである。偉大な科学者とは故湯川秀樹博士であり、優れた評論家とは加藤周一氏を指す。両氏は早くからニーダムの提起した問題から西欧科学の近代化に至るまでの問題の解答を試みてきて、最近のダイソンの主張と大筋で一致を見る結果に達していたことを加藤は述べている⁷⁾。このことは著者の一人がダイソンの前掲記事を知るのとほとんど同時であったことを言い添えておきたい。

それから多少本論から飛躍するかもしれないが、触れておきたいことがある。プラトン (Platon B.C. 427-347) に始まるヨーロッパの合理主義文明は今日の科学技術を生み出したが、この科学技術が人類の存亡を左右して、悪くいけばその滅亡を早めはしないかと心配される。この源となる思想はソクラテス (Sokrates B.C. 469-399) による人間中心主義の思想であって、プラトンに受け継がれ、やがてデカルトにおいてより明確に表されていると哲学者梅原猛は指摘する⁸⁾。近代哲学の開祖と言われ、近代科学の確立に先鞭をつけた人物の一人として何とも皮肉な結果であるかのようにであるが、これをもって我々はデカルトを非難するには当たらない。なぜなら、デカルトはいまだ残る中世暗黒時代の雰囲気からの完全な決別を彼の思想と技術をもってほとんどやり遂げたのであり、それはその時代が求めた必然的な成り行きであったからである。梅原の主張は、文明の危機を免れるには人間のみがもつ理性を聖化する人間中心主義を厳しく批判しなければならないとする。この批判も当然なされる一方で、今日の科学技術の人類への危機の責任を問うならば、それは現在に生きる我々自身に向けられよう。今度はデカルトに代わって我々がこの危機と自覚的に関わらねばならないであろう⁹⁾。

2. 微積分学をめぐる論争：その本質は何であったか さて、近代科学の創成期における話題は種々あるだろうが、ここではニュートンとライプニッツの微積分学に関する論争をとり上げてみたい。彼らは若い頃熱心にデカルトをはじめ先人たちの偉業を学んだことがあり、大成してからはデカルト批判に向かったのも事実である。ペーコンに対するそれに関しては我々はまだ知らない。ニュートンの場合はデカルトの数学における先験的合理主義、その他に反発した¹⁰⁾、ライプニッツの場合はデカルトの力学的概念の解釈とその定式化の仕方に対する熾烈な反論を行い¹¹⁾、その後のデカルトの哲学に対する数々の批判論文の発表、続いてデカルト支持者たちとの長年にわたる論争が行われた¹²⁾。それだけではなく、他の偉大な思想家たちとの論争における彼の反論が見出される¹³⁾。ライプニッツはまさに17世紀の‘偉大な論争メーカー’でもあったわけである。

ところで、両者とそれぞれの擁護者間で、また両擁護者外の人々をも巻き込んで1680年代後半から1730年代、さらに後々まで続いた(と言われる)論争はあまりにも有名で、数学史の上で今日まで度々話題とされてきた。この論争を一方向的に無価値と見なす従来の観点からは今さらとり上げるまでもないと思われるが、よく言われるこの論争の不毛性を別の視点から検証するのも無意味であるまいと考えるから改めてこの件を問題としたい。ここで論争の不毛性とは、論争によって両者間に微積分学に関する数学的な進歩と合意がまったく得られなかっただけでなく、特にイギリス側にとってはニュートンの込み入った

公式や流儀に振り回されておよそ一世紀間、この方面をはじめとする数学の研究は等閑に付される結果となったこと等を通常指しているようである。確かに厳しく問えばそれが真実であったであろう。この論争に専門家でない部外者、いわば素人の科学者であった僧侶バークレイ (G. Berkeley 1685-1753) によるニュートンの無限小の不明快さへの非難 (1734)、同様に素人科学者でオランダの地方政治家ニュウウェンティート (B. Nieuwentijt 1654-1718) によるライプニッツの無限小の概念の曖昧さへの厳しい批判 (1694) があったが、ニュートン学派では非難されたニュートンの無限小を擁護し、ライプニッツの無限小を拒否するために超数学的議論 (形而上学的主張) の導入をはかることによって無限小の概念の合理化を試みた。反論する側も防御する側も、無限小量に対する数学的な扱いの手続きに必要な言葉の意味と、経験的に意味の検討をせざるを得ない存在についての知識は別のものであるとは考えなかった。これらの混乱または誤解、したがって無限小の概念の不明快さは後の極限概念が確立されるまでは除去されることはなかった。しかし、ニュートン側のマクローリン (C. Maclaurin 1698-1746) 等は極限の概念を明らかにした (1742) ことによってニュートンの流率法 (method of fluxions)¹⁴⁾ における計算の基礎を仕上げた。また、バークレイたちは微積分学の基礎を与えることはできなかったが、その数学的な基礎からの再構成を促した¹⁵⁾。このように極限概念の明晰化や微積分の構成上の改良を触発するに至ったことは長期的に見た場合、論争がまったく不毛であったとは言い切れないであろう。これらは論争時に問題が提起された最中の成果でなかったことが論争の不毛性を一層強めたかに見える。次にこの論争の背後にある問題と論争のもたらした結果を見ておこう。

長期にわたった微積分論争は何のために行われたのかについては、まず流率法の先取権 (優先権) の獲得であった。当然ニュートン学派からのもので、ことは切実であったと思う。微積分はニュートンが最初 (1665-66) に、ライプニッツは少し遅れて (1673-76) 創始したにもかかわらず、後者が最初に結果を公表 (1684-86) して、前者はこれにかなりの遅れをとった (1704-36) からである。両者はそれぞれ独自に行ったことであり、互いに内容の詳細をまったく知らなかったこともずっと後年に至って明らかになったことであるから、当初ニュートンの側はライプニッツを剽窃の罪で告発したほどである。次に重要なことはライプニッツの方法よりも流率法の優越性を示すことであった。その優越性とは、原理、表記法、効力に関してニュートンの方法が優れていること、およびライプニッツの高弟の一人、ヨハン・ベルヌーイ (J. Bernoulli 1667-1748) によって提起された問題 (1696) : 最速降下曲線の決定 (解: サイクロイド) を解き得るか否かであった¹⁶⁾。これらのことのために論争は長期にわたり、一貫してニュートンの擁護者たちはライプニッツの微分法をけなして、彼らの側を有利に導こうとした。上記の無限小量に関する超数学的議論もそのためのものであったことは先に述べたとおりである。

数学もやっと近代化に歩を進めようとした時期にその基礎を顧みぬ余裕もなく微積分学の大半ができあがったことで西欧諸国の科学界に与えたインパクトは大きく、それだけ反響も大きかったであろう。イギリスとドイツは内外に知られたこの論争のためにナショナリズムの高揚がなかったか。少なくともそれぞれの国の学術的威信をかけての闘いであったことに間違いはないであろうし、民族的偏見があったとも考えられる。結局、イギリス側にとって特に論争の目的であった先取権の確保と優越性の示威と証明はまったくと言っていいほど成らなかった。むしろライプニッツの方法がその合理性ゆえ後世に継承され、実用に供されることになった。同時に18世紀以降ドイツの数学を中心とする科学界の発展はフランスとと

もに隆盛に向かう。種々痛手をこうむったイギリスは先のマクローリンの活動を除いて顕著な業績は見られず、19世紀に入ってハミルトン (Sir W.R. Hamilton 1805-1865) の出現を待つしかなかった。

ここまでのことは著者たちの論争についての見解を交えながらも大部分はよく知られた事実であろう。論争の実態はどちらも相手側の意見や言い分を容れず、ほとんど一方的に自己の側を正当視する主張に終始した。このような双方の姿勢も論争を一層不毛にした大きな原因である。ニュートン側の代弁者として活躍した当時最も著名な神学的論争家であったサミュエル・クラーク (Samuel Clarke ?-?) とライプニッツの間の往復書簡は論争が進むにつれ、激しいまでの相手への攻撃に満ちた有様を生々しく伝えるものとして知られている¹⁷⁾。したがってこの論争をまったく不毛にして無意味なものとしてしまえばこれ以上議論することはないであろうが、本節の冒頭に近い部分で、論争の不毛性を別の視点で検証するのも無意味ではあるまいと述べた真意を明らかにしなければならない：

この論争は単に数学や物理学の個別的な問題に対して互いに異なる見方をしていたということを示しただけではなくて、これらの問題を第二義的なものとするもっと重要な、その後の科学的、哲学的思想の発展にとって決定的な問いがあったのではなかったか、ということである。もしそうだとすれば、それは当代の西欧の知性を代表する二人のいずれを選ぶかという二つの選択肢がそこに提示されていたと考えられよう。よって思想家個人の対立的抗争よりも二つの基本的な哲学的方法の衝突と解釈すれば、不毛か否かを議論する次元でない重大な関心事となろう。このような仮定が現実的で信憑性の高いことは、ニュートンの科学思想とその実践を彼の「プリンシピア (またはプリンキピア)」¹⁸⁾ (*Philosophiae naturalis principia mathematica*, 1687) を基にベーコンとの対比をとおした検討による彼の科学における哲学的特性 (経験的要素と理論的要素の不可分な統合) を浮き彫りにすることによって、またライプニッツの場合はクラークへ宛てた書簡の中で彼の科学における哲学の特性 (経験的真理と理性的真理の関係から普遍科学を標榜) を明確にすることによってそれぞれが示される。これは E. Cassirer (1874-1945) の論文¹⁹⁾ の基本的論点であり、60年以上経過した現代でもこの視点は妥当性の高きがゆえになお精彩を欠いてはいないと思われる。そして論争の不毛性の議論を超えて、これ以上の論争の見直しを与えてくれるものは他にあるだろうかとさえ思われるのである。それでは本節を終えるに当たってカッシーラーによる論争の背後にあるこの重大な問いへの見解または解答に至る結果をここでは要約するに留めておこう：

- (1) 人はそれぞれの哲学原理において異なっていただけでなく、哲学的気質と精神的構造の全体において異なっていた。
- (2) ニュートンは物理学者として事実または事象の研究から始めたのに対し、ライプニッツは論理学者として数学の研究から始めた。
- (3) ニュートンは物理学的思想の新たな方向付けによって自らの課題 (力学の古典論の完成) を達成し、ライプニッツは論理学的思考の新たな方向付けによって自らの目標 (古典的な論理学の完成) を達成した。

ここまではそれぞれの異なる立場からの目標達成に至る過程の分析を行ったものである。

- (4) ニュートンにとっては時間・空間は絶対的かつ実体的実在であり、ライプニッツにとってはそれは人間の精神の構成的な能力を含めた意味で純粋な知的形相であった。時間と空間に対するこれらの捉え方はニュートンの場合は古典的自然科学において成立し、ライプニッツの場合は時間の意味の分析につながった現代自然科学におけるアインシュタイン (A. Einstein 1879-1955) の特殊相対論と接点をもつ。これは200年以上にわたって科学を指導してきたニュートンの観念から成長し、それを超えた結果である²⁰⁾と見なすことができる。

このようにニュートンとライプニッツの間には自然科学と論理学における哲学的理念の対立があつて、それは不可避のように見える。しかし、対立し合っている観念は相手に対して破壊的であるのではなく互いに相補的に援助を与える性質のものであるということである。このとき、いずれも勝者と敗者の区別はなく、科学的思考と哲学的思考は新たな総合へと至る。よって、どちらを選択するかではなく、どちらも選べるべきものとなることを理解しなければならない。ニュートンとライプニッツの論争は不毛か否かの議論のレベルを超えて科学と哲学の望ましい在り方への教訓を与えてくれるものとなったと、著者たちは結論付けたい。

3. ライプニッツとこれからの科学：未来につながるもの ニュートンとライプニッツは今日まで繰り返し議論されてきたテーマであるが、彼らへの興味は尽きないものがあるからであろう。ここでは最初にライプニッツ自身に関して、次にこれまで一度も話題になったことがないテーマに触れておきたい。それは初めの節で述べたダイソン教授の論説内容の続きの部分である。この部分も主にライプニッツに関連した内容であり、最近における注目すべき提言と考えたい：

今日までライプニッツの思考がどのように受け容れられてきたか、その歴史も影響作用の歴史も書かれたことはないと言われ、これは大変困難な課題かもしれない²¹⁾。当時ライプニッツの思想の伝達と敷衍は、数学の場合はベルヌーイ兄弟（先に出たヨージンとその兄 Jacob 1654-1705）とロピタル (M. de L'Hospital 1661-1704) を、哲学の場合はクリスティアン・ヴォルフ (C. Wolff 1679-1754) と彼の学派を介してそれぞれ行われたことはよく知られている。（後者はそのせいで、ライプニッツ-ヴォルフ哲学とさえ呼ばれるが、ヴォルフ学派にとってはいろいろと問題があつたようである。）

ところで、ライプニッツの受容者に共通していることは、とり上げられるものが常に彼の所産に含まれる個々のものであつて、決して彼の全体ではないということである。このことはライプニッツには学派を形作るような影響力はなかったと考えられる。その理由として挙げられることは、彼は大学機関でポジションを得たことは一度もなかったため、学派を構える機会ほとんどなかったこと、および彼は膨大な書きものを遺したが、自分の思想はもちろん、一つの専門分野における思想でさえも体系的にまとめるような主著がないからであろうと言われる。また、彼の哲学者、思想家としての見方や位置付けは様々になされているが、彼の全体像の形成は今なお完成されたものとは言えないであろう。なぜなら、彼の遺稿がすべて出揃うまでにはなお数十年かかるであろうと確実に言えるからである²²⁾。ライプニッツは自らこのことを端的に言い表している：「公にされた論文からのみ私を知る者は、私を知らない」²³⁾。彼の知的活動は常にあらゆる問題に躍動的で留まることを知らなかったのであろう。

ライプニッツの仕事はその研究者であれば誰しもが列記するほど知られているが、大雑把に挙げても哲学での驚くばかりの多くの説、それらの関連、論理学と数学、法学と歴史学、精神科学と自然科学、技術関係、学術の振興とアカデミー等、理論と実際の広大な領域に渡っている。彼の哲学、数学、物理学はこれまで触れもしたが現代に結び付けて考えられるし、またその努力もなされているようである（モノダの理論をはじめ宇宙論、可能世界の理論、様相論理的方法、論理的原子論など。ただし、予定調和の理論は至るところで拒絶されてきた、たまに信じたいことがあっても！）。特に、論理学に関しては、現代のコンピュータへ至る初めの位置にあったことは確かである。

普遍記号学と普遍数学の統一としてのライプニッツの普遍学は今日では無数の分野に細分化されている。今こそこれ等の知の統一を目指して再び彼の普遍学の構築を試みるときが再来しているかのようである。ライプニッツの多くの仕事が未来志向であり、彼は未来に生きる思想家であると言うべきであろう。

未来に生きる思想家ライプニッツは科学においては、当時多くの研究者と同様にアマチュア、たとえばバークレイやニュウウェンティートのように、すなわち素人科学者として活動した。ガリレイやニュートンが科学を専門とする学者＝職業的科学者であったことと異なる状況下にあったことは彼の職業的地位（王侯貴族関係の各種顧問官）から察せられる。これに関してダイソンの提言は興味深く挑発的である：

17-18世紀はライプニッツのような素人の学者が学界の主流であったが、職業的科学者が学界の指導的立場におかれるようになったのが本格化したのは19世紀の後半以降、数学や自然科学の分野がいよいよ専門分化されるようになってからである。ファラデー (M. Faraday 1791-1867) やマクスウェル (J. C. Maxwell 1831-79) のような職業的専門家が主流となり、ダーウィン (C. R. Darwin 1809-82) やメンデル (1822-84) のような素人科学者は例外的存在であった。それ以後のこのような傾向は圧倒的に強まりこそすれ立場が再び元に戻ることはないにしても、専門家と素人の間に協力関係が成り立つであろうと言う。素人は、たとえば天文学において観測をとおしてしばしば重要な発見をしてきたし、また現在もそれは進行中である。専門家はその事実を理論に組み入れ現象の合理的説明に努める。このような在り方の傾向は、科学技術の高度な発達による機械器具類の高性能化と入手可能性の加速化によりその勢いを強めているし、一方で高度情報技術の敷衍化とコンピュータへの幅広いアクセスが両者の緊密な協力関係をますます可能にしていこうであろうと言う。これは専門家集団からの科学の解放を意味するダイソンの挑発的示唆だと加藤は見ている。

以上で17世紀を中心とした西欧の近代科学の興りと、その時代を代表する二大知性の未来に賭けた論争の見直しを、そして学術の未来構想を、科学の思想史的観点から試みたつもりである。十分な論証はここに参考とした文献類によって補われるであろうが、これらの議論に関する新しい知見、またはこれらへの補足的注意が今後見出されることを期待したい。

また、科学の近代化以後、わずか四世紀程度しか経っていないにもかかわらず、その間に科学技術は目覚ましい発展を遂げたが、その必然性の分析をとおして科学の本質の史的説明を求めたいと願うとともに、その中で果たした数学の役割を明らかにすることはその現代史に至る過程の一環を埋めるものとして、その意義は小さくないであろう。しかし、これらに達する道は容易ではなさそうに見える。

本文内の注釈

1) 25巻の出版予定の下に1954年にVol.1 (Introductory orientations) が出版されて以来、1990年までにVol. 19 までが出版された。本書の日本語版は思索社から1991年に全7巻が出版されている。ニーダムの問いに対する自らの解答はこの版の最終巻である第7巻に述べられている。

2) Freeman John Dyson (1923-) . 英国生まれの米国の理論物理学者。物理学の広範な領域にわたって多くの数学的問題を解決した功績は大きい。特に電磁量子力学における朝永、シュウィンガー、ファインマンの三種の定式化の同値性を示して、量子場の発散積分を回避する方法としてのくりこみ理論を統一した。近年は核実験禁止条約や核軍縮問題の研究をはじめ、地球外知的生命体の文明や宇宙旅行に関わる銀河の緑化 (Greening of the galaxy) を論じて世界的にその名を知られるようになった。

3) 根井康之「近代的自然観と哲学」(現代の科学と哲学)、農山漁村文化協会 1984。本書はギリシャの自然哲学から説き起こし、近代科学の勃興とその哲学的認識批判を展開して、近代の哲学的諸概念に依拠した世界観とその批判、マルクス主義と仏教の論理を議論して後、現代科学における基本的な認識分野の超克を哲学的に提示した力作である。特に我々のテーマの一つ、科学の近代化については、本書第三章 近代自然科学における客観的自然 (pp. 61-104) および第四章 近代哲学による自然科学の認識批判、が極めて関連深く、科学の歴史的考察を行う際の基本的に重要な案内と示唆に富んだ内容を提示している。本書は全般的に科学の思想史的研究にも(巻末の引用文献とともに) 有力な参考書となり得よう。

4) R. Descartes, *Discours de la Méthode*, 1637 (落合太郎(訳)「方法序説」(岩波文庫)、岩波1953) は初め付録として著名な *Géométrie* を含んで発表されたデカルトの主著であることはよく知られているが、「四つの規則」は本書において学問の方法として提起された一般的考え方であるとともに、その実践としての幾何学の代数化、または幾何学と代数学の統一としての解析幾何学の創造に寄与した。それらは順に、第一の規則(明証または直証の規則): 明証的に真であると認めることなく、いかに事をも真であるとして受け容れぬことなど。第二の規則(分析の規則): 研究問題をよりよく解決するために、問題を細かく小部分に分割すること。第三の規則(総合の規則): 思索を単純にして容易なものから複雑なものへ順序にしたがって導き、最も複雑な認識へ至ることなど。第四の規則(枚举の規則): 思考過程に落ちこぼれがなく、完璧な枚举が行われているように全般にわたる徹底的な再検証をあらゆる場合に行うこと、としたものである。ついでながら、デカルトに関する最近の秀作を紹介しておく:

佐々木 力(著) デカルトの数学思想(コレクション数学史 第1巻)、東京大学出版会 2003。

5) ベーコンとデカルト以後、それぞれの思想はイギリス経験論の系譜へと、また近代合理主義およびその批判に連なっていくが、より広い視野から評価するとき、それぞれは近代自然科学の方法の最初の自覚的解明および合理的精神を基調とする哲学の近代化によって遍く後世に大きな影響を与えたことは疑いない事実である。一方、「彼ら以前にあって彼らに連なる系譜の存在とその本質」を考察することは興味深い思想史的問題であろう。ここではむしろこの問題に触れてみたい。まず言うまでもなくアリストテレスの自然学とその論理が彼らの哲学思想展開の最大の発端であり、契機ともなった。彼らの目指したものは中世を支配したアリストテレスの論理学の超克であり、彼のオルガノン(道具)に対抗して「ノヴム・オ

ルガヌム」(新オルガノン)を著したのが F. ベーコンであり(服部英次郎(訳)「世界の大思想(6) ベーコン」、河出書房新社 1966)、アリストテレス・スコラ的な自然観と対決し、それを克服することによって自己の哲学を形成していった(上記4)中の書)のがデカルトであったことを想起すれば、彼ら二人の系譜の源泉はアリストテレスにあったとすることは至極当然と言うべきである。ではアリストテレスに次いで彼らの思想圏内にあったと見なされる人物とは誰であったであろうか。それはアリストテレスの自然学とキリスト教神学の間に調和をもたらすことによってスコラ哲学を体系化し完成させたトマス・アクィナス(Thomas Aquinas 1225、27?—74)であるとされる。それはアリストテレス以来初めて彼による実証的で主体的な自然認識の端緒が出現したということによるものである(山田晶(訳)「神学大全」(世界の名著)中央公論社)。これはトマスが人間の認識の始まりを感覚に置いて、自然認識の段階における知性のおよび得る範囲を感覚に基づいて知覚されるものに限定したことは、徹底した経験主義的な立場であり、近代自然科学の自然認識の方法の先駆となることによる。近代自然科学の認識方法に照らして、トマスの思想の中に実証主義的自然観の形而上学的源泉(伊東俊太郎「近代科学の源流」(自然選書)中央公論社)が、また近代主体主義の先駆(稲垣良典「トマス・アクィナス」(人類の知的遺産)講談社)が見出されている。このようにトマスの思想の経験主義的かつ実証主義的要素は経験に基づく自然認識の方向へと ベーコンによって展開され、スコラ的形式論理における演繹的推論に帰納法が対置されるにおよんだ。また、トマスの個人に内在する能動的理性は、西洋近代哲学の原理である主体的自我並びに自己意識、すなわち「われ思う、故にわれあり」とするデカルトへ連がりいくことが理解されよう。ベーコンとデカルトへ至る系譜は見かけは直線的であっても、アリストテレスと彼らの中間にあってトマス・アクィナスの屹立する姿は真に偉大と言うほかないであろう。以上に関しては、上掲書の他に3)における根井の著書が全般的に明確な展望と課題を与えてくれている。なお特殊な話題を中心に展開された労作、山本義隆「磁力と重力の発見」1—3巻 みすず書房 2004、も古代から近代にかけての科学の発展を精密な考証によって検証している。

6) これらと同様、著者の一人によって数学史に関連して述べられたものとして、次の論説がある：阿部剛久、「数学史の研究」へ寄せて— 研究はどうあるべきか、数学史学原論の試み —, 数学史の研究(数理解析研究所講究録 1392), pp. 136—141, 京都大学数理解析研究所 2004。

7) 加藤周一、ニーダム・湯川・素人の科学(夕陽妄語), 朝日新聞(夕刊), 2002.12.20。

8) 梅原 猛、田中哲学をどうみるか(反時代的蜜語), 朝日新聞(朝刊), 2005.4.19。

9) 地球温暖化問題をはじめ、地球環境の保全問題、資源・エネルギー問題等、尽きることなく地球と人類および諸々の生物たちに襲いくる今日の苦難の時代は梅原の指摘を待つまでもなく、人間中心に考え行動してきた人間のエゴのもたらした結果であることを理解しなければならない。まずこのことを前提にして、人間は贖罪に代わってこれらの問題の解決や修復に厳しい義務が課せられるべきであろう。これに関して今日では多数の文献・資料があるが、著者たちも佐々木(注釈4)に既出の著者)と同様、この方面に深く関心を寄せている故、ついでながら彼らの近著を紹介しておきたい：

阿部剛久(編), 松下・黒澤・君島(著), これからのエネルギーと環境 — 水・風・熱の有効利用 —, 共立出版, 2005。小川 束(著), 環境のための数学, 朝倉書店, 2005。

10) E. W. Strong, Newton's "Mathematical Methods", Journal of the History of Ideas, Vol. 18, No. 1, 1957(荻原明男(訳)、ニュートンの数学的方法(渡辺正雄・他(共訳)科学革命の新研究(総合科学

シリーズ) 日新出版, pp. 161-189, 1961))に指摘されているが、これはデカルトの思想に対するものではなく、数学者は経験的对象からの抽象を数学的観念の支えのために論じ確立すべきだと主張したバークレイの考えに対するものである。この考えは後にマッハ (E. Mach 1838-1916) によって継承された。

11) デカルトの主張する運動量保存則 (今日の言葉で、 $mv = \text{一定}$ (m : 物体の質量、 v : 物体の運動速度) であること) の理解の中身を拒否したことに端を発する。その理由は、運動を起こさせる力が運動量に等しいとデカルトをはじめ多くの数学者たちが信じたことによる。運動を起こさせる力とは、当時の言葉として‘活力’、今日の運動エネルギー ($mv^2/2$) を指す。当然、ライプニッツにとっては運動量や活

力の解釈とその定式化が重要な問題となって、彼らの解釈の矛盾や弱点を批判攻撃するに至った: Discours de métaphysique(形而上学序説) § 17; C. I. Gerhard(ed.), G. W. Leibniz, Mathematische Schriften, 4 Vol., p. 442-444, 7 Vols., Berlin, 1875-90)、および R. Finster & G. van den Heuvel, Gottfried Wilhelm Leibniz, Hamburg, 1990 (沢田允茂 (監訳)・他 (共訳) ライプニッツ—その思想と生涯—, pp. 187-193 シュプリング—東京 1996)。特に後者は近年の新しい研究も加わって全般的によくまとまった論著となっている。下記の注釈12)、13)、21) - 23) もこの書に基づいている。

12) 支持者とはデカルト主義者のマールブランシュ (N. Malebranche 1638-1715)、パパン (D. Papin 1647-1714) 等、名の知られた哲学者、物理学者たちとの間で行われた。論争主題はライプニッツの予定調和論、弁神論、その他の宗教哲学上の問題等で、最大の批判者の一人は論争をとおして両者の相違を示した「歴史的批判的辞典」で著名なベール (P. Bayle 1647-1706) であった。ライプニッツはまた、彼との論争の結果、「弁神論」を著した。さらに、本論中に現れたクラークとの論争は微積分学の優先権に限らず、ニュートンの哲学についてのものであった。なお、クラークとの論争については、注釈17) も参照のこと。

13) その中の代表的な一人はイギリスの哲学者で政治思想家のロック (J. Locke 1632-1704) であった。「人間知性新論」はジョンロックの哲学「人間知性論」に対する返答として著されたものであった。これに関連して興味深い事柄が上掲の訳書の pp. 62、164-165にある。前者は原稿のうでで著述されたものであるが、ライプニッツの存命中は彼の意味によって出版は行われなかった。

14) ニュートンが後世の呼名、微積分法を発明した当時指して呼んだ言葉。流率 (fluxion) とは文字の上にドット・をおいて示され、それは一つの有限値、一つの速度を表した。その際の文字は流量 (fluents) を表す。x: 流量変数 $\Rightarrow$ $\dot{x}$: 速度変数。またニュートンの無限小は流率のモーメント (moment of fluxions) と呼ばれ、無限に小さい量 o を用いて、 $\dot{x}o$ で示される。これら概念の曖昧さと使用上の不便さ故に、流率に関連した式や方程式の計算は誤謬をきたしやすいものであった。

15) D. J. Struik が名著 A Concise History of Mathematics (Dover, 1948) の Ch. 6 で指摘したものであるが、微積分学は後世に向かうほど関数の極限值や連続に関する概念の徹底化とトポロジー概念が加わって今日見るような数学へと完成されていった。

16) 1697年以後、数年間にわたってライプニッツとベルヌーイ兄弟によって研究された。問題の意味は: 質点が重力の作用で与えられた点から初速度0で出発して、他の与えられた点に至るまでに要する

時間を最短にする道はどんな形の曲線か？ 一般的には曲面上の測地線の方程式の解として与えられることを彼らは見出していた。また、オイラーはこの問題を、2点 (x_0, y_0) , (x_1, y_1) を結ぶ無数の弧の中で、

積分 $\int_{x_0}^{x_1} f[x, y(x), dy/dx] dx$ の値を最大または最小にする弧 $y = y(x)$ を求めること、いわゆる後に

呼ばれた変分法に帰着させた (1744)。具体的にこの問題の解は、平面上のサイクロイド： $x = a(\theta - \sin \theta)$, $y = a(1 - \cos \theta)$ (a : 定直線上をすべることなく回転する円の半径の大きさ, θ : 円の中心から定直線に下ろした垂線と、円の1点が原点から出発してから描く軌跡 (サイクロイド) 上の任意の点と円の中心を結ぶ直線とのなす角) であることが示される。

17) ライプニッツがクラークと行った論争はすべて往復書簡によるが、その内容は微積分学をめぐる論争を中心に、ライプニッツの運動エネルギー保存則、ニュートンの世界像と神の観念をめぐる哲学上の問題、時間と空間の観念、ライプニッツの反デカルト的理論としてのモノドロジーに関する問題等、攻撃的やりとりの中に本音を含んだ哲学的に重要な内容が記されているとされる。たとえば次の文献を参照：

J. O. Fleckenstein, *Der Prioritätsstreit zwischen Leibniz und Newton*, Isaac Newton. Basel u. Stuttgart 1956 (Elemente der Mathematik. Beiheft 12). -2. Aufl. Ebd. 1977, A. R. Hall, *Philosophers at war. The quarrel between Newton and Leibniz*. Cambridge, London u. a. 1980.

18) 詳しくは「自然哲学の数学的原理」と称せられる書物。それは、力学を公理的に構成し、重力の法則を確立して、惑星運動に関するケプラー (J. Kepler 1571-1630) の法則が重力の法則に基づくものであることを演繹的に帰結した。その他、二体問題の解決や月の運動理論に先鞭をつけたばかりでなく、古典的なポテンシャル論の基礎を築いた功績も大きい。ニュートンの公理的理論の背景には、時間と空間の絶対的存在が想定されている。よって、彼のプリンシピアは古典的な自然観を代表するものと言わねばならない。また、自然研究における微積分法の絶大な力と、それを駆使し応用するニュートン自身の優れた能力を証明するものであると今日に至っても高い評価を得ている。

19) カッシーラーが折りにふれて公にした科学史のエッセーの一つ、*Newton and Leibniz, Philosophical Reviews*, Bd. 52, 1943, S. pp. 366-391 (大庭 健 (訳) 哲学と精密科学 —エルンスト・カッシーラー—, pp. 163-201, 紀伊国屋書店, 2003 (旧版1978の復刊版))。

20) かつてアインシュタインがニュートン没後二百年を記念して公刊された論説において語ったもの、*The Manchester Gurdian* (*The Gurdian* の旧称), 1927.3.19。

21) *Wirkungs-und Rezeptionsgeschichte von G. W. Leibniz*. Hg. v. A. Heinekamp. Stuttgart 1986 (Studia leibnitiana. Suppl. 26)。

22) 注釈11)に既出の沢田・他 (訳) ライプニッツ, p. 262。

23) *Leibniz, Dutens VI. 1*, p. 65, 1696.2.21。