

英国科学界に深くわだかまっていた様々な観念を体系化した。

このような状況の中で、数学者たちは微分積分学の基礎に重大な欠陥があることを、ときには意識しつつ、一方では大胆な解析的方法により多くの成果を得たのである。微分積分学の基礎づけの問題が、いわゆる一流の数学者によって本格的に取り上げられるのは19世紀に入ってからである。しかし、これに少し先立つ18世紀末、ラグランジュによってこの問題が提起されることになった。

IV. 研究の課題と発展

ニュートン以後の微分積分学の基礎づけに関する論争について概観した。哲学者バークリと数学者マクローリンはその数学観において真正面から対立している。バークリは自己の哲学／宗教思想を確立する目的で数学者に論戦を挑んだ。一方、バークリに劣らず敬虔なキリスト教信者であったマクローリンにとって、数学は単なる個別科学ではなく、バークリの言う日常理性のみによっては辿り着くことのできない数学世界、それはまた自然の内奥を理解する上で、神への道を拓く役割を持つものであった。マクローリンにとって数学は自然神学に強力な論証を提供するものでもあったのである。まさに、ニュートンの数学と同様にマクローリンの数学は彼の全体的世界観に関わるものであったと考えられる。

バークリとマクローリンの論争は、単なる数学内部の問題ではなく、いわゆる真の科学と真の宗教とをめぐり、科学・宗教思想の総体にかかわる問題をめぐっての論争であった。

本稿では紙幅の制約から多くの議論を省略せざるを得なかったが、本研究によって、バークリとマクローリンの論争をより鮮明化することができた。今後、本研究の成果を学会等で発表し、また投稿論文として纏め公表する予定である。

しかし、マクローリンの全体的世界観について、並びに18世紀末のラグランジュの微分積分学の基礎づけとの関連についての考察が未だ残されている。今後の課題としたい。

以下、参考文献については、本研究において主に用いた刊行物のみ示す。

(Edinburgh, 1742).

- 2) Colin MacLaurin, *A Treatise on Fluxions*, 2nd ed. (London, 1801).
- 3) Colin MacLaurin, Patrick Murdoch (ed.), *An Account of Sir Isaac Newton's Philosophical Discoveries*, 3rd ed. (London, 1775; 1968, rep.).
- 4) Colin MacLaurin, Stella Mills (ed.), *The Collected Letters of Colin MacLaurin* (Nantwich, 1982).
- 5) George Berkeley, A. A. Luce & T. E. Jessop (eds.), *The Works of George Berkeley*, Vol.4 (London, 1951).
- 6) George Berkeley, Alexander Campbell Fraser (ed.), *The Works of George Berkeley*, 4 vols. (1901; 2005, rep.).
- 7) J. Stock, *An Account of the Life of George Berkeley*, D. David Berman (ed.), *George Berkeley, Eighteenth-century Responses*, Vol.1 (New York-London, 1989).
- 8) Niccolò Guicciardini, *The Development of Newtonian Calculus in Britain 1700-1800* (Cambridge, 1989).
- 9) 高橋秀裕『ニュートン：流率法の変容』(東京大学出版会、2003).
- 10) 長尾伸一『ニュートン主義とスコットランド啓蒙』(名古屋大学出版会、2001).

【参考文献】(刊行物のみ)

- 1) Colin MacLaurin, *A Treatise of Fluxions in Two Books*

念の定義から彼にとってそのようなことはありえないことであった。

バークリは自然観においてもニュートン学派と違った考え方をしていた。彼は運動が物体の外から与えられるだけでなく、運動そのものが「精神」の領域に属していると考えた。彼は「精神を運動の原理とした」として、アナクサゴラス、アリストテレス、デカルトを賞賛した。

また、バークリは物体の存在なしに空間を考えることはできないとして、ニュートンの絶対空間の存在を否定した。こうしたニュートンに対する自然学批判は、数学上の「無限小」についてと同様に、哲学が自然科学の最終的な論拠を与えるのだという考え方に結びつく。すなわち、物理学は物体の運動の原因を明らかにする能力を持たず、法則を記述することにとどまるべきであり、原因そのものを解明するのは「より優れた科学」である形而上学の手を委ねられなければならないというわけである。

バークリにとって数学も例外ではなかった。「流率は不可解であり、したがって、2次、3次、4次の流率はさらに不可解である」という批判に見られるように、バークリの数学批判は反ニュートン的な議論の典型である。彼の議論の結論は、確実性を達成する唯一の科学と考えられてきた数学自体の価値をまさに貶めることにもなった。彼にとって、解析は不信仰と哲学的誤謬への道であると思われたのである。

(3) 数学擁護者マクローリン

バークリに対する最も権威のある回答は、ニュートンの最も有能な弟子の一人マクローリンによって与えられた。マクローリンは、1698年、スコットランドのキルモダンでヨーマンの息子として生まれた。12歳のとき、友人の家でエウクレイデス（英語名ユークリッド）の『原論』に出会ったと伝えられている。早熟な彼は、わずか15歳でマスター・オヴ・アーツを取得している。マクローリンの才能は周囲の注目を集め、19歳でウォルター・ボーマンとアバディーン大学の教授職を争い、ボーマンの方が『原論』により精通していたが、「マクローリンは数学のより理論的で高度な部分において優れている」という理由からマクローリンの方が任命された。その後、ロンドンに出たマクローリンは王立協会の会員となり、これを機会にニュートンの面識を得ることになったのである。ニュートンとの出会いは、彼の後の人生を左右することになる。やがて彼はニュートン学派の最も有能な数学者

となっていくのである。

18世紀前半、ヨーロッパは全体的に17世紀の科学革命に続く停滞期とみなされるが、18世紀スコットランドは、むしろ自然科学の黄金時代であった。1717年、エディンバラ大学の卒業生たちによって伝説的なランケニアン・クラブが結成される。クラブ名は、会合が行われた居酒屋の主人の名前からきており、そこでは主に哲学的、宗教的問題が議論された。その後、ここでの人々や医学者たちは正式に哲学協会を発足した。マクローリンはその中心人物であった。ランケニアン・クラブにはじまるスコットランド哲学の形成は、クラークの自然神学や、これに対するバークリの批判を検討することから始まったのである。

マクローリンは自己の『流率論』（1742）において、無限小はニュートンによって証明を簡略化するためにだけ使用されたということを示そうとした。彼はこれらの証明を、再びニュートンの論考「求積について」（1704）のスタイルに従って、極限の用語で拡張した。

その上、マクローリンの『流率論』は、英国の科学者の古典主義と調和するものでもあった。彼は極限によるニュートンの証明が、畏敬する古代ギリシャの数学者の取り尽くし法と同等だったという考えを練り上げた。実際、「新しい解析」はまさに「アルキメデスの方法」の一般化であったということがしばしば繰り返された。マクローリンによれば、ニュートンの「最初の比と最後の比の方法」は、アルキメデスの間接的方法（帰謬法）の直接的なヴァージョンだったのである。しかし、「古代の幾何学」を放物線の「接線決定法」にだけではなく、「最速降下線問題」や「テイラーの定理」のようなものにどのように適用することができるかについては、誰も詳細に示そうとはしなかった。

マクローリンは『流率論』第1章で、流率に関する運動学的モデルを示した。運動、空間、速さは、検討を加える必要のない根源的な概念として与えられた。このような彼の流率算の基礎は、英国の数学者たちの間で非常に好意的に受容された。

微分積分学の諸定理は、「フィクション」すなわち「亡くなった量の幽霊」を扱うことはなかったが、それらは運動学的な意味を含んでいたのである。

しかし、マクローリンの批評はそのスタイルの冗長なことも関係して、誰も『流率論』の長々しい証明を再び取り上げようとはしなかった。それでも、1742年以來、ほとんどすべての流率論者が、マクローリンの無限小に対する拒否の姿勢に賛同したことは確かなことであった。マクローリンの流率に関する論文は、

いていたのである。

(2) 数学批判者バークリ

微分積分学の厳密な基礎づけを確立することに関心のあった数学者たちは、啓蒙主義の時代、最も先鋭な哲学者の一人だったジョージ・バークリ (George Berkeley, 1685-1753) と対決しなければならなかった。アメリカから帰国したバークリが 1734 年に出版した『解析家—不誠実な数学者へ向けての論説』(以下、『解析家』と略記、1734) と題された短編のパンフレットは、数学者たちとの間に激しい論争を引き起こし、やがて英国数学全体に大きな影響を残すことになった。バークリは『解析家』の中で、ニュートン学派とライプニッツ学派の数学者は存在論的な誤解と論理的な誤謬に関して有罪であると主張した。

『解析家』が書かれた事情について、バークリの伝記作家による説明をやや長いが引用しよう。

アディソン氏が主教に、彼らの共通の友人であるガス博士が病気で亡くなる際の有り様を教えたのだが、それはこの二人の啓示宗教の擁護者にとって、極めて不快なものだったのである。というのは、アディソン氏は博士を見舞った際、最後のときに備えるように話を始めたのだったが、相手はこう答えたのだった。「じつは、アディソン君、僕にはこのつまらないものを信じない十分な理由があるんだよ。僕の友人のハレー博士は証明に長けているのだが、キリスト教の教義は不可解で、宗教自身は欺瞞だと確信したんだ」。かくして主教はこの恐るべき証明を広めている人物に対して武器を取り、『解析家』を彼に差し向けたのだった。この書物は信仰の神秘に対する疑念が、数学者によって不当に表明されているのだが、彼ら自身はといえば実はより神秘的で、誤っていさえる学説を科学では認めていることを示そうとしたのである。主教はとくに流率の学説がその顕著な例を示していることを証明しようとした。このかつては難攻不落の学説と考えられたものに対する攻撃は、幾つかの熱のこもった反論を巻き起こし、主教はこれらに対して一度か二度、再批判を行ったのだった。

(J. Stock, 1989, p.20; 長尾 (2001)、78-79 頁より引用)

この記述から判断すると確かに、解析学に対する厳しい批判の書である『解析家』はハレーの不信仰に対

する義憤によって書かれたようにも思える。しかし、主教バークリは初期の未完論考「無限小」で、形而上学が数学の限界を規定し、それが内包する哲学的問題を明らかにする唯一の学問であるという見方をすでに表明し、無限小を回避する議論を展開していた。すなわち、バークリは解析学を攻撃する哲学的な動機を、自らの知的形成の早期から抱いていたのである。

バークリは、微分積分学が複雑な幾何学的問題や力学的問題を十分に解くことができるという点を否定していたわけではなかった。彼の目的は、ニュートンとライプニッツがそれぞれ創始した「新しい解析」(微分積分学)の基礎に関する厳密性の欠如を公然と非難することであった。彼の批判は、「合理主義の哲学を標榜する人々が、その成功に夢中になっている解析法の中にさえ、論理的には重大な難点がある。それを放置しておいて、教会の教えの非合理性ばかりを批判することができようか?」という、合理主義的・啓蒙主義精神に指導された近代知識人に対する神学的立場からの反問という形で提出されたのである。

バークリの批判は、存在論的なものと論理的なものとの二つの型に分けることができる。バークリによれば、存在を極限あるいは無限小に帰することに対してはどんな存在論的な正当化もあり得なかった。比の極限は、二つの有限量の極限であるか(それゆえ「最後の」比ではないか)、あるいはそれは比 $0/0$ であるかのいずれかである。ゼロでも有限でもない無限小量は、相容れない定義を持っている。したがって、それに相当するものは何もないというわけである。

さらにバークリは、論理的な観点から「解析家たち」は仮定の虚偽 (fallacia suppositionis) に関して有罪であったという。すなわち、仮定 A (「変量の増分は有限である」) から彼らはいくつかの命題を引き出し、それから証明の途中で結論に達するために「A でない」を使ったというのである。

バークリは、これにも無限小算法における微分の不明瞭な性質が関係していると考えた。たとえば、 $dx \neq 0$ という仮定から出発して、最後に高次の微分の消約原理 ($dx + dx + 1x = dx$) を適用するときになると、 $dx=0$ として扱われ、それらが掛けられている量は計算から削除されるということを指している。また、極限算法においても、同様のことが行われているということである。バークリが批判的に強調したのは、無限小や無限大に関して、いわゆる「無限」の比較が行われていることであった。バークリが依拠するのは日常的理性であり、日常語で議論する限り、無限という概

思想的側面を重視しながら歴史的検討を加える。

(4) 無限小解析をめぐるバークリとマクローリンの対決を考察の中心に据え、両者の思想的差異を明確化することを通して、ニュートン以後の微分積分学の基礎づけに関する論争とはどのようなものであったかを明らかにする。

上記の手順を遂行するための調査・文献収集等にかかわる活動は、インターネット等を活用し、国内外の大学図書館にアクセスし、文献所蔵の状況に照らして、計画的に進めていった。時代的な制約から多くの1次資料は、マイクロフィルムまたはマイクロフィッシュの形体、あるいは電子データで入手した。また、国外の図書館等が所蔵する資料でインターネットの利用では入手困難なもの、特に、活字化されていない未刊行の草稿・手稿類については、夏休みを利用して英国に滞在し、大英図書館、ケンブリッジ大学図書館、オックスフォード大学図書館、エディンバラ大学図書館、スコットランド国立図書館等に直接出向いて、資料調査・収集活動に努めた。

バークリの著作については、今回は Alexander Campbell Fraser, ed., *The Works of George Berkeley*, 4 vols. の1901年版のリプリント(2005)を入手し、これを利用した。さらに以前に入手済みの A. A. Luce and T. E. Jessop, eds., *The Works of George Berkeley*, Vol.4 (London, 1951) を参照した。

マクローリンの著作については、マニュスクリプトも多いので、入手にはやや困難を伴ったが、数学上の主著『流率論』(*A Treatise of Fluxions*, 2 vols., 1742; 1801) については、すでに初版(1742)を入手済みで、今回は第2版(1801)をマイクロフィルムからのプリント版として入手することができ、電子データも入手できた。第2版に付せられた伝記は今回の研究に大いに参考になった。その他、*An Account of Sir Isaac Newton's Philosophical Discoveries* (3, 1775) のリプリント(1968)を入手した。Stella Mills, ed., *The Collected Letters of Colin MacLaurin* (1982) については、すでにコピーを入手していたが、今回、書簡類およびその他のマニュスクリプトの実物を、エディンバラ大学図書館、スコットランド国立図書館で直接閲覧することができた。

その他、本研究に関連する1次資料の多くを、大英図書館、ケンブリッジ大学図書館、オックスフォード大学図書館で調査・収集できたことは大きな収穫であった。

上記の手順(2)(3)(4)の研究成果については次節で、本研究によってより鮮明になった事柄を反映させながら、ニュートン以後の微分積分学の基礎づけに関する論争とはどのようなものであったかを概観することで、その報告とする。

III. 研究の成果

(1) ニュートン学派 vs ライプニッツ学派

ニュートン学派の微分積分学研究へのアプローチは、ニュートンの『光学』(*Opticks*, 1704) の付録として公表された「求積について」(*De quadratura*) がその出発点であった。マクローリン(Colin Maclaurin, 1698-1746)、ロビンズ(Benjamin Robins, 1707-1751) およびダランベール(Jean d'Alembert, 1717-1783) などの18世紀の数学者たちは、有限量とそれらの変化率を扱う微分積分学をそのまま継承し、維持していた。さらに、証明の方法は比と和の極限を計算することにあつた。無限小解析派(*Infinitesimalist*) の技法は、ニュートンの初期の著作では使用されてはいたが、それは根拠のないものとみなされていた。

流率論者のアプローチは、主に英国ではブルック・テイラー(Brook Taylor, 1685-1731)、ジェームズ・スターリング(James Stirling, 1692-1770)、マクローリン、ドゥ・モアブル(Abraham De Moivre, 1667-1754) のようなニュートン説信奉者に継承されていた。しかし、英国においてさえ極限比は一般に数学的著作の序論あるいは序文においてのみ言及され、応用と実際の計算になったときにはいわば捨てられていたのである。

ライプニッツ学派の微分積分学研究へのアプローチは、18世紀数学に莫大な影響力を持っていた。実際、18世紀の数学者の大多数はライプニッツ学派のアプローチを採用、あるいはそれを応用として用いた。一方、ニュートン学派のアプローチは、ライプニッツ学派に比べて古代ギリシャ以降の厳密性の基準にかなっていたが、それ以上に厄介な表現であるとみなされていた。

ライプニッツ学派(主に大陸の学者たち)とニュートン学派(主に英国の学者たち)は、諸結果では一致していたものもあったが、方法論上の問題に関しては意見をまったく異にしていた。ある意味でこの対立は、熱狂的愛国者の感情的な影響も大きかったと考えられるが、それ以上に、これにニュートン-ライプニッツとその取り巻きたちとの微分積分学発見の先取権をめぐる論争が加わり、二つの学派の関係を大きく引き裂

研究課題	ニュートン以後の微分積分学の発展と基礎づけに関する 思想史的研究
研究代表者	高橋 秀 裕 (第I類 准教授)

I. 研究の目的

近年、ニュートン以後の微分積分学の基礎づけに関する論争について、いくつかの優れた研究が現れ、その展開の状況が少しずつ明らかになってきた。しかしながら、啓蒙主義の時代、最も先鋭な哲学者の一人ジョージ・バークリが18世紀英国の数学に与えた大きな思想的衝撃については必ずしも十分な議論がなされているわけではない。

モンテスキューやニュートンと並んで、バークリが18世紀スコットランド哲学の発展に大きな影響を与えたことはよく知られており、そうした側面からのバークリ研究はかなり進展している。実際、ヒュームの『人生論』と、これに対抗した常識哲学という、二つのスコットランド啓蒙を代表する哲学は、ともにバークリ哲学の受容と反発の中から誕生したという事情からも、哲学者バークリの存在が極めて大きかったことがわかる。

だがこのことに比べて、バークリとニュートン主義者たちの数学思想的関連、とりわけ数学批判者としてのバークリの実像に迫る研究はまだ不十分であるといつてよい。たとえば、バークリの著作『解析家—不誠実な数学者へ向けての論説』(The Analyst: or a Discourse Addressed to an Infidel Mathematician, 1734)がスコットランドのニュートン派数学者コリン・マクローリンの著『流率論』(A Treatise of Fluxions, 1742)を生み出す動機と状況をつくりだしたという事情すら、多くは語られていない。マクローリンは数学者であったばかりでなく、初期ニュートン主義を代表する自然哲学者／哲学者でもあったが、むしろ彼は卓越した数学者であったからこそ、スコットランドにおける実験哲学の基礎的な準拠点と見なされるようになったと考えられる。

そこで本研究では、18世紀の英国数学全体に大きな影響を与えた哲学者バークリと数学者マクローリンとの無限小解析をめぐる対決を考察の中心に据え、両者の思想的差異を明確化することを通して、ニュートン以後の微分積分学の基礎づけに関する哲学者と数学

者の論争とはどのようなものであったかを思想史の観点から明らかにすることを主眼とした。特にそれは、微分積分学の基礎づけに関する論争の中心的テーマを克服しようとする過程で形成されたと考えられる、ニュートン-ライプニッツ以後の微分積分学の思想的伝統について考察を深める試みでもあった。こうした作業の一環として、18世紀英国においてニュートンの流率法(微分積分学)がどのように受容され、大陸との確執を通じて、その後どのように発展していったのかを再構成することも可能となるのである。

そしてさらに、そうした状況からバークリに焦点をあて、この時期の微分積分学の基礎づけに関する論争の事情を解明することは、ニュートン-ライプニッツ以後の微分積分学の伝統に継ぐ第三の微分積分学の伝統(たとえば、フランス革命後のラグランジュのプログラム)の基本的枠組みの基盤を明らかにする上でも重要になるものと思われる。

II. 研究の経過

本研究で中心をしめる作業はおおむね次のような手順で進められた。

(1)本研究にとって不可欠な17～18世紀の1次資料の収集作業を進める。特に、バークリ、マクローリンの諸著作をはじめ、18世紀における微分積分学の基礎づけに関する論争の関係資料を包括的に入手する。また、当時の学問的成果の状況を把握するために必要でありながら、研究者によって従来あまり関心が払われてこなかった資料が多数存在するので、それらの入手についても積極的に進めていく。

(2)マクローリンの数学的業績、とりわけ主著『流率論』を精査し、彼がどのような意味でニュートンの後継者であるのかを再検討し、マクローリンの仕事の数学的意義を考察する。

(3)数学批判者としてのバークリの著作を中心に彼の業績を精査する。とりわけ、哲学者と数学者たちとの間に激しい論争を引き起こす要因となった著作『解析家—不誠実な数学者へ向けての論説』について、