

〔共同研究：19世紀の科学と文化〕

I. Todhunter の科学史上の業績について

——安藤報告へのコメントおよび『引力の数学的理論と地球の形状の研究の歴史』に関する若干の注意——

後藤邦夫

1. 「科学史家」Todhunter への到達

筆者もまた多くの人びとと同じく、Todhunter の名を明治期にわが国で多用された数学教科書の原著者として、いわば意識の片隅にとどめていたにすぎなかった。彼の一連の歴史的著作への接近は、筆者にとってはむしろ偶然の出来事であった。それらについても、最初は科学史上の重要著作というよりも、多くの古典的文献へのアクセスのための便利なダイジェストであるという印象をもったのであるが、しだいにその独自性に注目するようになったわけである。

いささか個人的な回想をもふくめてその間の事情を述べることにしたい。筆者の Todhunter へのアクセスの道をひらいてくれたのは Keynes の 'A Treatise on Probability' 1921 であったと記憶する。周知のとおり、この本は Bayesian あるいは主観的確率論（さらには帰納論理学）の一古典としての地位をもっており、筆者の関心もまたそこにあった。筆者は当時 Khinchin にならって、確率論解釈を《Laplace 的古典論》→《von Mises 的経験論》→《Poincaré の任意関数の方法にもとづく新実在論》¹⁾ という系譜でとらえようとしていたのであるが、その間において、Bayesian の立場をどう理解すべきかという問題にぶつかったのである。Subjective Probability に関する主要論文をあつめた本は当時すでに出ていたが、²⁾ やはり古典というべき Keynes の本は一見すべきであった。そして、

物理教室から経済学部に移ったことによって、容易に念願が達せられたわけである。

ところで、Keynes の本を見ると、その主内容もさることながら、巻末の文献リストがすこぶる魅力的であった。当時の筆者の限られた知識の範囲は、増山元三郎『推計学への道』の中の歴史的コメントおよび、北川敏男『統計学の認識』における記述に限られていたので、Keynes のリストは、すくなくとも当時の筆者にとっては視界を一挙に何倍かに拡大するものであった。そして、Keynes はこのリストを Todhunter の書物を補足、拡充するものとみなしていたのである。（考えて見れば、両者とも、拠るところは同じ Cambridge の文献の collection である。）それから、Todhunter の 'A History of the Theory of Probability' の復刻本³⁾ を古書店のカタログで見えて入手するのは簡単であった。手にして見るとなるほど便利な本で、Ars Conjectandi をはじめこれまで名前しか知らなかった重要な古典のさわりが今日のわれわれにすぐわかるように書いてある。大いに重宝したわけであるが、実はこれが大変な仕事だとわかったのは大分あとのことで安藤教授の綿密な訳業と註解に接してからである。

ところで、どうして筆者が確率論の解釈や確率論史に関心をもっていたのかということを書いておこう。出発点は2つあり、いずれも大学院学生時代にさかのぼる。

ひとつは、量子力学の解釈問題である。1952年に D. Bohm という個性的な物理学者がい

1) この重要性は、第二次大戦中、はやくも伏見教授によって注意されていた。

2) H. E. Kyburg & H. E. Smokler: Studies in Subjective Probability, 1964 など。

3) 安藤洋美『確率論史』（現代数学社刊）の原本。（Chelsea の1965年 Reprint）

いわゆる Copenhagen 学派の正統とは異なる「因果的解釈」を提出した。⁴⁾ これはかなり興味ある論文であって、1928年頃に実は同様の構想を提出しておりながら正統派の批判の前に沈黙していた L. de Broglie を元気づけ「解釈問題」がしばらく流行になった。指導教官の高林武彦教授が Bohm とほぼ同様の構想を「新解釈」ではなく「再定式化」の問題として出しており、⁵⁾ また、筆者自身も教授のすすめにしたがって Bohm の教科書⁶⁾ の翻訳の手伝いをしていたので、自然にその問題の中に入ってゆくことになった。そこでの主要問題のひとつが量子力学に固有の確率論的陳述の性格をめぐるものであったのは当然である。元来、確率的事象の背景には、その対象となる個別事象の集団があり、その集団の中では各個別事象は、実際的には不可能ではあっても、本来的には因果的に追求できるものとみなされるのが普通である。ところが、量子力学の場合、そのような個別事象にかかわる「隠れた変数」が存在しえないことが数学的に証明済みである、とされていたのであった。⁷⁾

このいわゆる「von Neumann の証明」は大へんな権威をもっていたのであるが、Bohm の問題提起によって、この証明を数学的前提にさかのぼって扱おうという気運が生じ、ある人びとは、von Neumann の証明では前提の中に結論が先取りされているのではないかとさえ考えるにいたった。そこまでつきあうだけの勇気を筆者はもっていたわけではないが、von Neumann の大へんに権威のある書物の中での確率論の解釈がさきにもふれた von Mises の頻度論のレベルにとどまっていたことには不満であった。⁸⁾ のちに公理論的形式が整備され、より進んだ解釈がえられている確率論が、1932年におこなわれた仕事に引用されていないのは時間の

順序からいって当然ともいえるが、その後も量子力学の世界ではこの点がかならずも明確になっていないと思われた。

もうひとつは、統計熱力学と関連したテーマとしての確率論の問題である。しかしエルゴード問題として知られるこの難問にとりつくほど筆者は無謀であったわけではない。むしろより具体的なレベルで1950年代末におこったいくつかの進歩を追いかける中で、時に根本的な問題にも関心をいだいたというにすぎない。ここで一々詳説するのは避けるけれども、「久保理論」として知られる緩和現象を扱う見事な形式、Bohm と Pines によるプラズマの集団励起の方法の固体物理への応用、多体問題の取扱いの進歩などである。このような領域の問題はフォローするのが精一杯であったが、筆者の関心は、結局量子統計の初期において現われた運動論的方法をめぐる問題へ進んだのであった。この辺の問題については、1974年の国際学会に発表し、⁹⁾ また、一部を本学の紀要にも投稿した。¹⁰⁾

いずれにせよ、一時の筆者にとっては、確率論の歴史というのはその哲学的解釈とともに大いに関心のあるテーマとなったのであった。そのためもあって、本学における科学史の講義でもこの問題を初等的にとりあげたのである。¹¹⁾

2. Todhunter の『重力と地球の形状』

しかし、こうして到達した『確率論史』は安藤教授の詳細な取扱いの対象となり、到底、筆者などの出る幕ではなくなった。そこで、筆者は量子論への関心はそのままに Todhunter の他の著作である『引力の数学的理論と地球の形状の研究の歴史』へとおもむいたわけである。

この本は1873年に刊行されているので、『確率論史』よりも大分あとになる。分量は『確率論史』よりもはるかに多く、約2倍である。全体

4) D. Bohm : A Tentative Interpretation of Quantum Mechanics by Means of Hidden Variable I, II. Phys. Rev. (1952)

5) したがって、Bohm の解釈に対してはきわめて批判的であった。

6) D. Bohm : Quantum Theory, 1953.(これは正統的)

7) J. von Neumann: die Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik 1932 第三章。

8) 最近はまだ局面がかわって頻度論の再評価がされるようになったが、当時はとくに数学者の間で不評であった。

9) Proceedings of XIV-th International Congress of the History of Science 1974. No. 2 p. 253

10) 「人文科学研究」11. 2 および12. 1

11) 『科学史学入門』1970年 (法律文化社)

は2巻にわかれており、上巻は Newton (Principia 第Ⅲ部) から1780年まで、下巻は Laplace の研究を中心に、Legendre ら、彼の周辺にあった人びとの業績を扱い、1825年で終わっている。まず、引力と地球の形状というテーマの重要性について少し説明を加えておこう。

Newton の万有引力法則と古典力学の基本法則をほぼ完全に展開した自然科学の古典中の古典ともいべき 'Philosophiae Naturalis' Principia Mathematica は1687年に刊行され、1713、1726年にそれぞれ2版、3版が出されたのであるが、その内容は決して当時の学界に直ちに受容されたのではなかった。すなわち、当時の学界におけるもうひとつの強力な潮流は Descartes の流れをくむ「大陸派」であった。彼らによると Newton の学説は数学的洗練という点ですぐれてはいるものの、引力の「物理的」根拠についてはほとんど明らかにしておらず、また「遠隔力」なる奇妙な概念が主要な彼割を演じている以上、物理学（あるいは「自然哲学」としての価値を認めがたい。というのである。加えて、Clarke-Leibniz 論争として知られる神学上の論争もあった。¹²⁾

Newton 派の勝利を決定したのは、二つの「決定的実験」であったとしばしば述べられる。ひとつは遊星軌道の問題であり、もうひとつはここで問題になっている「地球の形状」の決定である。そして、前者の問題が後世の歴史解説書等ではしばしば重視されてきた。すなわち、太陽系を構成する多くの遊星の間の万有引力を太陽による大きな引力に対する摂動項として扱い、その効果を詳しく計算して各遊星の位置の実測値と比較することによって重力相互作用と力学の原理の双方の正しさを確認しようとするのである。この分野におけるもっとも輝やかなしい話題は、1781年に W. Hershel によって発見された天王星が予測された軌道からはずれて運動することに着目して、さらに遠方の未知の遊星、海王星の存在を予測し、後に (1846年) 予測ど

12) Newton は Unitarian であり、独自の理神論を抱いていた。彼の聖書年代記研究は有名であるが、神学手稿はまだ未解明の部分が多く残している。

おりに発見した、という事実にもまつわるものである。理論的予測の先行というエレガンスと英、仏、独の3国にわたる3人の研究者がおりなしたエピソードによってこの「海王星発見物語」は万有引力説の勝利を示す適例とされたわけである。

しかしながら、当時はすでに Laplace の『天体力学』全5巻はすでに刊行されており、さらにそれに先んじて、Clairaut によって摂動計算の手法も確立されていた。いわば Newton 的天体力学は完成していたのであった。そして、この完成への過程における最大の問題が「地球の形状」の問題にほかならなかった。

このことは、すでに多くの科学史家によって記されているのであるが、もっとも系統的な広重の記述¹³⁾でさえ、いちじるしく簡略である。Todhnnter の書物は、実に約1000ページのスペースをこのテーマに集中しているのである。

ここで、上巻について Todhnnter の記述を簡単にたどって見ることにしよう。

出発点は Newton の Principia の第Ⅲ部のこのテーマに関係する命題である。すでによく知られているように、Newton のこの有名な著作は、一貫して古代幾何学のスタイルで書かれており、実さいに Newton が結果を導くのに用いた解析の手法は表面には出ていない。Todhnnter は——他の場所でもそうであるが——19世紀後半の物理数学のスタイルですべてを表現しなおしている。このこと自体がかなりの難事であるといわなければならない。

ところで、構成する物質が相互に万有引力で引きあいながら回転するような流体の動的平衡における形状を見出す、というのが Newton の問題設定である。そこから彼は地球は赤道方向が少し張り出した扁平な楕円体であると結論し数値を導いた。このことを確かめるには、当時、2つの方法が考えられた。すなわち、

(1) 異った緯度の場所で、天測によって緯度にして1度だけ異なる2地点を決め、それぞれで

13) 広重徹『物理学史』第1巻(埼風館)

距離を測る。高緯度における1度が低緯度における1度よりも大きければ地球は扁平であり、逆ならば扁長となる。

(2) 異った緯度のところでの重力の大きさを測る。当時の方法としては、振子の周期のちがい（あるいは同じ周期の振子の長さのちがい）を測る。これと扁平又は扁長な楕円体の各部分で予想される重力の値と比較する。

Newton の時代には、(1)については、代々パリ天文台長をつとめた Cassini 一族による当時としては詳細な測定データがあり、(2)については、パリおよびフランス領（当時）西インド諸島3地点におけるやや粗い測定がなされていた。ところが、パリ近郊（のちに南フランス）の子午線上でなされた Cassini らの権威ある値は Newton の予想とは逆に地球が扁長形であることを証明するものであったため話が厄介になったわけである。(2)の方は一応 Newton の予想を支持しているように見えるがデータも少なく、測定条件もかならずしも明確でない。

そこで、Newton 自身は Principia で次のように述べた。「緯度によるずれは非常に小さいので、地理学的な事からでは地球の形を球とみなすことができる。そこで地球の直径の相違については、子午線上の弧を地理学的に測定するよりも、振子の実験あるいは月蝕によって、容易かつ確実に見出すことができる。」すなわち、子午線の測定はあてにならないとして Cassini の測定結果による Descartes 派の反論を回避し、自説に有利な振子の実験をよしとしたのである。もちろん、このような言い方はよくないのであって、上の引用の後段の月蝕云々にいたっては Todhunter も注意しているように理解困難である。

他方、Huygens は基本的には Descartes 派によりながら、遠心力の作用を考慮に入れて

14) 緯度50度で1度の距離56960トアズ、48度で57098トアズである。この差は138トアズで今日の値では(1トアズ \approx 1.94メートル)260メートルほどになる。1700~1718年に実施された測定であることを考慮するとかなりのものである。

Newton とは異なる値の扁平形を導いている。

しかし、興味ある考えを示したのは、J, Keill であろう。彼は Newton のゆきすぎた賛美者であったが、¹⁵⁾ この場合は、明白に誤ったこじつけによって、たとえ Cassini らの測定値が正しくても地球は扁平であることが証明できる、としたのである。

これほど極端な見解は稀であったとしても、18世紀前半の学界においては Cassini の測定値と Newton の理論という2つの大きな柱をめぐって諸説がたたかわされていたのであって、その有様は Todhunter によって、時に皮肉をまじえながら活写されている。¹⁶⁾

ところで、この状況を打開するためにおこなわなければならない仕事は結局のところ次の2点に帰着される。すなわち、

(1) Cassini らの測定値が正しいか否かを吟味するため、より正確な子午線弧の測定をおこなうこと。

(2) Newton の理論——とくに万有引力相互作用によって凝集して回転している流体球の形状の問題——を厳密に扱うこと。

この双方をつきあわせると基本的に Newton の考えが正しいかどうか明らかになるわけである。そして、この事業は Maupertuis と Clairaut という2人の学者を中心とする活動によってほぼ完全に達成された。

あとは、この基本的なコースに沿った精密化があり、そして Newton 理論の受容の過程が展開される。その中で、Newton の理論は今日われわれが学ぶような古典力学の体系へ接近してゆくのである。この体系がいわゆる理論物理学のプロトタイプであり、さらには後世における「科学らしい科学」に対するひとつの規範的形式となったわけである。そのさいに大きな役

15) Newton と Leibniz の微積分法をめぐる先取権争いは Keill によってかき立てられたという側面をもつ。

16) 数学教科書の著者としての Todhunter から受ける印象は、固苦しくて融通のきかない筆致をものする人物というものであろう。ところが、科学史書の方は、丹念に読むと鋭い機知、軽妙な皮肉などが随所に見られる。

割を果たしたのは、前記の Clairaut であり Boscovich であり、また同時代の多くの研究者であった。

この成果は下巻のテーマである Laplace の『天体力学』とその周辺の研究の記述にひきつがれる。最後の、そして最大の Newtonian ともいべき Laplace の業績は、さらに『天体力学』の枠を出て、19世紀における数理物理学の伝統につながってゆく。力学の適用範囲は拡大され、数多くの解法が開発され、今日においてもわれわれが多大の便宜を享受しているような、微分方程式の扱い方や特殊関数の用法などが与えられることになる。ともすれば形式的で抽象的な数学的手法としてとらえられがちなそれらが、ここではつねに具体的な内容をともなうものとして現われる。この点は今日においても数学なるものの本質を考えるさいに重要な視点を与えるものである。

3. 留意すべき若干の問題

上巻の一部の訳出と註解をおこなってきた者として、いくつかの点を指摘しておきたい。

まず第1に、地球の形状に関する「実験」的研究(子午線弧の測定)がもつ性格の問題がある。17世紀の科学革命を論ずる人びとは、近代科学における量的認識の重要性を主張しながらも、実験技術や測定精度においては古代とそれほどの差はないとする。このことはたしかに一面の真実をあらわしているのであって、Copernicus の『回転論』と『アルマゲスト』を比較すればこの命題を理解するのはそれほど困難ではない。¹⁷⁾

ところが、すでに17世紀の Picard の測定あたりから萌芽が見えているのであるが、Maupertuis, Clairaut の測定にいたると様相は大きく変化し、むしろ今日の精密測定や巨大科学に近づくような性格をもつにいたる。一例として、Maupertuis のラプラントにおける測定をとりあげて見よう。

この測定は1735年に決定され、1736年4月に

4人のアカデミー会員、1人の通信会員、スエーデンのウプサラ大学天文学教授を中心とした強力なチームがパリを出発し、ボスニア湾北端のトルニーオとその北方のキツテイスを測定点にえらび、測定を実行したのち、1737年6月に現地を出発し、8月にパリに帰着する。

この間の記録を見ると、たとえば天測においては長さ9フィートの天頂儀を用い、光行差、歳差、章動についての補正や望遠鏡に付属する角度目盛の不斉についての補正までなされていることがわかる。測地においても、2隊が独立に測定を遂行し、何回も異った三角形の組合わせで測定しなおすなど細心の注意が払われている。Maupertuis の指導力と Clairaut の才幹を中心としたチームワークも見事なものであったらしい。18世紀前半において、このようなタイプの研究が、Newton というやや気難かしい孤独な研究者の仕事に対する「決定的実験」であったことはまことに興味ぶかい。

第2に、主として Clairaut に見られる数理物理学の才能である。この人物の名は、われわれは学生時代の微分方程式演習でまず知ることになったが、科学史上の知名度はさほど高くはない。しかし、彼の同時代人にとっては17才でアカデミー会員に推されたこの早熟の秀才は輝やくばかりの存在であったらしい。このことは19世紀になっても代数学と幾何学に関する彼の教科書が用いられていたことから推察できる。しかし主著といべき 'Theorie de la Figure de la Terre' は1808年の第2版以後刊行されていない。¹⁸⁾ しかし、今日それを検討すると、まさしく彼が後世の強力な計算能力をもつ数理物理学者の祖先のひとりであることが理解できるのである。

第3に、Newton 的近代科学の定着において、イエズス会の研究者が果たした彼割についてである。Boscovich の名はすでに有名であるが、一見近代科学とは無縁に見えるこのグループが細密な研究を組織的に進めていたようである。い

17) ここからたとえば Kuhn の Paradigm 論も出てくるわけである。

18) 日大理工学部の西尾成子助教授のご厚意によって、筆者は British Library 所蔵の原本のコピーを手取することができた。

ささか今日風にいうと、イデオロギー集団における脱イデオロギー的科学的推進というテーマとしても興味ある問題といえよう。Todhnnter によって Principia の最良の版本と評価されている俗にいう Principia の Jesuit Edition に付せられた本文に匹敵するほどの大量の註釈が今後検討されるべきであろう。¹⁹⁾

4. おわりに

筆者の Todhnnter 研究は、一応は上巻全体

に眼を通してはいるものの、精密な訳と註解は²⁰⁾Maupertuis, Clairaut らのラプラントにおける測定の成功までで一旦休止している。今後、あらためて時間の都合を見て、残された部分の研究および前節に示したテーマの追求をおこなう予定である。

これまでの研究において福井大学助教授田村祐三氏のご協力を得たことを付記する。

19) 幸にして、同版は九州大学に所蔵されており、筆者はコピーを入手することができた。

20) 雑誌「現代数学」に連載した。(コピーの合本が若干手もとにある)