

活力論争とは何だったのか

What was the *vis viva* controversy?

有賀 暢迪*

Nobumichi ARIGA

§1 はじめに：活力論争の何が問題か

活力論争と呼び習わされている十八世紀の論争は、科学史上稀に見る奇妙な論争である。と言うのも、論争の当事者たちが何を議論していたのかがそもそも判然としなからである。

一般的な説明に従えば、これは「正しい力の測度は何であるか」を巡る論争であったという¹。デカルトがその尺度として今日言うところの質量と速さとの積 (mv , 今日「運動量」と呼ばれるようなベクトル量ではない)を採用したのに対し、ライブニッツは質量と速さの二乗との積 (mv^2) が正しい尺度であると主張した (1686年)。そしてこの二つの見解のうちどちらが正当であるかということを探り、少なくとも半世紀にわたって、ヨーロッパの学界を二分する議論が繰り広げられたと言われている²。

現代の観点からすれば、この論争は端的に言って無意味に見える。力を時間で積分したもの(力積)は運動量に等しく ($\int F dt = mv$)、距離で積分したもの(仕事)は運動エネルギーに等しい ($\int F ds = mv^2/2$)。それゆえ二つの尺度はどちらも正当であって、この論争は「本質的に言葉の問題にすぎなかった」のだとしばしば主張されてきた³。だがそうであるなら、十八世紀の人々が、仮にも学者と呼ばれた人々が、この問題を巡って延々と議論を続けていたという事態を我々はどうか考えればよいのだろうか。現代から見れば無意味であるとしても、彼らにとっては何かしら意味があったは

* 京都大学大学院文学研究科 博士後期課程 ariga_phs@yahoo.co.jp

¹ 広重 1968, 108 頁.

² 厳密に言えば、この時代には質量という概念は確立しておらず、「高」「重さ」といった表現がよく使われた。だがこのことは論争に影響を与えていないと思われるので、本稿では一貫して「質量」という言葉に置き換えている。

³ Jammer [1957]1979, 164 頁.

ずではないのか。筆者の問題意識はここにある。

実は、一般にはほとんど知られていないが、活力論争に対する上のような見方は1960年代から70年代にかけて発表された一連の歴史研究によってほぼ完全に覆されている。しかしながら、これらの研究成果に基づいて活力論争を解説しているまとまった研究書や概説の類はこれまで書かれていないと言ってよい⁴。最近の一般向け記事も、本稿で取り上げるような研究成果をいくらか踏まえているにも拘わらず、その記述はライブニッツがデカルトを批判したところで終わっている⁵。だが実際には、それは論争の発端に過ぎないのである。

本稿の目的は、活力論争についてのこれまでの研究成果(60年代以降、最近のものも含む)をひとまず総括し、現時点で描くことのできるこの論争の概観を提示することにある。前半では、この論争を直接の主題としている主な歴史研究を紹介しつつ、活力論争の記述について検討する。とりわけ、この論争で議論されたのは何であったのかがここでの主要な関心事である。次いで後半では、関連する歴史研究を言わばパッチワークのようにつなぎ合わせる形で、活力論争の経緯を再構成することを試みたい。

§2 活力論争はどのように記述されてきているか

活力論争を巡る一連の歴史研究の呼び水となったのは、アメリカの科学史家ハンキンスが1965年に発表した論文である⁶。この論文でハンキンスは、ダランベール、スフラーフェサンデ、ポスコヴィッチという三人の著作を分析し、活力論争を論じる上で留意すべき点をいくつか指摘した。そのうち特に重要と思われるのは、(1)「ダランベール神話」とでも呼ぶべきものに対して明確に疑問を投げかけたこと、(2)論争には「尺度」と「保存」という二つの論点があり、物質の本性を巡る見解の不一致が論争にとって重要だと主張したこと、の二点である。

従来、活力論争に決着をつけたのはダランベールの『動力学論』(*Traité de dynamique*, 1743年)であったと言われていた⁷。ダランベールの、これは「言葉の論争」(dispute

⁴ 最近の二次文献で参照されている、Pierre Costabel, *La signification d'un débat sur trente ans (1728-1758): La question des forces vives* (Paris, 1984)はこの主題を扱ったほとんど唯一の単著と思われるが、今回、入手することができなかった。

⁵ Smith 2007.

⁶ Hankins 1965.

⁷ 例えば、Mach [1933]2006, 35頁。ラウダンによれば、こうした歴史記述は少なくとも十九世紀初頭にまで遡ることができる(Laudan 1968, p. 131, n. 1)。

de mots) に過ぎないという断定には、確かに現代の読者の共感を呼ぶものがある。だが実際には、これを「言葉の論争」と呼んだのは決してダランベールが最初ではなかったし、彼の主張内容は論争の解決とは言い難いものであったとハンキンスは主張する。と言うのも、ダランベールは力の概念を力学から完全に追放するという方針を採っていたし、後述する「硬い」物体の存在を前提とした議論を行っていたからである。ハンキンスにとってはどうやら、物体の衝突実験を通して「力」を研究したスフラフェサンデの一連の著作や、質点と遠隔力に基づく自然哲学理論を展開したボスコヴィッチの著作の方が、見るべきものを多く含んでいたようである。

こうしたハンキンスの議論を補完する形で、別の角度から「ダランベールが活力論争を終わらせた」という神話を批判したのがラウダンである⁸。ラウダンはまず、『動力学論』以降もこの問題が議論され続けていたことを示す数多くの史料を列挙する。このリストは1795年で打ち切られているが、実際には十九世紀の文献を含めることも可能であろう。これだけでも「ダランベール神話」を突き崩すには十分であるが、ラウダンはさらに二つの議論を行ってこの主張を補強する。第一に、1750年代以降にこの論争を終結したものと見なしていた人々の多くは、ダランベール流に論争を「言葉の問題」として退けたのではなく、 mv を「力」の真の尺度と考えていた。第二に、ダランベールの見解を受け入れたかのように見える人々は、二つの尺度がどちらも正しいという見解に独立に達していたのであり、ダランベールから影響を受けていたわけではない。これらの議論には批判の余地があるかもしれないが、少なくとも『動力学論』がもたらしたと想定されていた影響が実際には認められないという指摘はその通りであろう。

『動力学論』に関してはもう一つ、イルティスが地味ながら重要な指摘を行っている⁹。それは、この著作の初版(1743年)と第二版(1758年)における「力」という言葉に関する記述の違いである。初版の時点では、ダランベールは「力」の意味として二つを挙げている。イルティスに従って現代的な記号を用いれば、それらは mv^2 と mdv であり、 mv は含まれていない。後の第二版で初めて mv が追加され、「力」の意味は合わせて三つとなったのである。ところが、「ダランベールが活力論争を終わらせた」という伝統的な解釈は通常、(a) mv (力積)と mv^2 (仕事)はいずれも「力」の尺度として採用できるという点に論争の解決を求めると同時に、(b) 1743年(初版)を

⁸ Laudan 1968.

⁹ Ilits 1970.

論争の終結年としていた。イルティスが示したのは、この(a)と(b)がそもそも両立しないということであった。

こうして今や、「ダランベール神話」は完全に過去のものとなった。活力論争の終結に対してダランベールは何の役割も果たしていないことが明らかになり、1743年という年号はその重要性を喪失した。だがそうだとすれば、この論争は実際にはいつ終わったのだろうか。この問題を検討するためにも、我々はまず、当時議論されていた事柄を詳しく考察してみる必要がある。

ハンキンスが指摘したように、活力論争には少なくとも二つの論点が存在していた。第一の問いは「運動している物体の『力』を測る正しい方法は何か」であり、第二の問いは「宇宙の中で常に保存されている量があるとして、それは何か」である¹⁰。そもそもライブニッツが最初にデカルトを批判したとき、彼の念頭にあったのは、デカルト流の「力」 mv は自然において保存されないが mv^2 は保存されるという考えであった¹¹。したがって最初から、この論争は「尺度」だけでなく「保存」という問題とも密接に関係していたのである。

この「保存」という側面を徹底的に掘り下げているのが、エネルギー保存則の成立を原子論との関わりで考察したスコットの研究である。活力論争に関して言えば、この研究の重要性は「硬い物体」の概念が論争の中で果たした役割を明らかにした点にあると言えよう¹²。ここで「硬い物体」あるいは「完全に硬い物体」とは、十八世紀の用語法では、衝突の際に全く変形せず、それでいて衝突後の二物体の速度が等しくなる(今日言うところの完全非弾性衝突をする)物体のことである。この概念は我々の目には奇異に映るが、ニュートンが『光学』(*Opticks*)の中で原子をそのようなものとして述べていたこともあり¹³、この時代には広く受け入れられていたとされる。

「硬い物体」の衝突においては、衝突前後において活力(mv^2)の和が保存されない。保存されるのは、弾性的な物体の衝突の場合だけである¹⁴。したがって「硬い物体」概念を支持する人々からすれば、活力の保存が普遍的なものだというライブニッツの主張は成り立たない。しかし、ライブニッツはこの批判を、あらゆる物体は弾性的であ

¹⁰ Hankins 1970, p. 205. 同様の主張は Hankins 1965, p. 282 にもある。

¹¹ Ilitis 1971.

¹² Scott 1959, 1970. 実質的に、前者は後者のダイジェスト版と言ってよい内容である。

¹³ これは初版(1704年)ではなくラテン語版(1706年)で初めて述べられた(Scott 1970, p. 18, n. 2).

¹⁴ 現代の言葉遣いで表現すれば、「硬い物体」の衝突は完全非弾性衝突であり、弾性的な物体の衝突は完全弾性衝突である。

るという主張によってかわっていた。衝突の際に失われたように見える活力は、物体内部に分散したに過ぎない。この見解を受け継いだ人々にしてみれば、活力の保存を批判する側は「硬い物体」の存在を認めている時点で既に誤っているということになる。実際、そのような物体の衝突においては速度が瞬間的に有限な変化をすることになるが、これはライプニッツの「連続律」 「自然は跳躍によっては事を為さない」(natura non operatur per saltum) としばしば表現された 反することになり、道理に合わないとい主張された。

このように、衝突における活力の保存の問題は、「硬い物体」の存在を認めるかどうかということと密接に結びついていた。スコットはこのことから、 mv と mv^2 を巡る論争は「硬い物体論争の一部分 実のところ下位の一部分」であったと述べている¹⁵。したがって、活力論争の原因が「運動量の定義に関する誤解」¹⁶にあったと言うことはもはや出来ない。ベクトル量としての運動量保存則が当時一般に普及していなかったのは確かだが¹⁷、問題の根本は別の所にあったのである。

活力論争における「硬い物体」概念の重要性は、以後の研究者の間でも広く認められている¹⁸。だがこのことは、活力論争の中心的な論点が「保存」の問題であったということをも必ずしも意味しない。例えばボレーニヤスフラーフェサンデの実験を巡る一連の議論においては、活力の保存ということとは無関係に、「力」は速さに比例するのか速さの二乗に比例するのかという「尺度」の問題が専ら議論されていたように思われる。それゆえ、活力論争においては「尺度」と「保存」という二つの問題が並行して議論されていたと考える方が適当であろう。

だがそれにしても、なぜ二つの問題は結びついていたのだろうか。パピノーはこれに対して、活力論争のみならず十八世紀の力学全体を考える上で非常に示唆に富む回答を与えている。彼によれば、論争の当事者たちは mv の支持者にせよ mv^2 の支持者にせよ、デカルトによって提供された同じ枠組みの中で議論をしていたというのである¹⁹。

デカルトの枠組みにおける基本的な前提は、あらゆる運動の変化は物体同士の衝突によって引き起こされるということである。そして重要なことに、その衝突の際には

¹⁵ Scott 1970, p. 25.

¹⁶ Dugas [1955]1988, p. 238.

¹⁷ Scott 1970, pp. 34-35.

¹⁸ 例えば、Papineau 1977, p. 113; Terrall 2004, p. 189.

¹⁹ Papineau 1977.

一方の物体から他方の物体へと「力」が移され、この「力」は全体としては保存されるところと考えられていたとされる²⁰。活力論争の当事者たちが「力」と呼んでいるものは、今日我々が理解している「外力」とは異質な、いま述べたような概念だったのである²¹。そしてこの枠組みの中では、衝突によって移される「力」　しばしば「運動している物体の力」と呼ばれた　は本質的に保存されるべきものであり、それが速度に比例するのか速度の二乗に比例するのかという問いは決して無意味なものではなかったとすることができる。

要するに、活力論争の当事者たちは現代とは全く異なる枠組みの中で議論を行っていた。この論争が我々にとって無意味に見える最大の理由は、彼らの共有していた前提を我々が失っていることにあるのである。このことは同時に、活力論争はいつ終わったのかという問いに対して一つの答えを与えてくれる。すなわち、スコットの議論に基づけばそれは「硬い物体」が放棄された時であり、パピノーの主張に基づけばデカルトの枠組みが放棄された時であるということになるであろう。ただし、論争はいつ終わったのかと問う際には、概念上の解決と論争の終息とを区別しておく必要がある。なぜなら、論争の中核にあったのがこれまで見てきたような「力」や物質観の問題だとしても、生身の人間の活動としての論争には他にも様々な要因があったからである。以下では活力論争のそうした側面に注意を向けることにしよう。

活力論争についておそらく最も多くの論文を発表したイルティスは、この論争を哲学的世界観の衝突という大きな図式の中で描いている。すなわち、ニュートン主義者、デカルト主義者、ライブニッツ主義者という三つの派閥の間の抗争である。活力論争の文脈では、一般にニュートン主義者とデカルト主義者は mv を支持し、ライブニッツ主義者は mv^2 を支持していたと言われる。この図式に則れば、パリの科学アカデミーで起こったヨハン・ベルヌーイの支持者と反対者との論争はライブニッツ主義者とデカルト主義者との争いであるし²²、実験的根拠に基づいて mv^2 を支持したボレーニヤスフラーフェサンデとそれに反論したロイヤル・ソサエティの面々との論争はライブニッツ主義者とニュートン主義者の争いである²³。イルティスはおそらく、この三つの派閥のうちまずデカルト主義が衰退し、残り二つが統合されることによって論争が

²⁰ 近年、ブドリはこのような「力」概念についてさらに踏み込んだ議論を行っている (Boudri 2002, ch. 2, 3)。

²¹ これに照らして言えば、山本(1981, 294頁)がこの論争で問題となっていた「力」をデカルト・ニュートンの「固有力」であるとしているのは基本的に正しい。

²² Iltis 1973a。

²³ Iltis 1973b。

最終的に解決されたと考えているのであろう(ライプニッツの活力はエネルギーの概念につながっていくとされる)。そしてこの過程の中で、成功はしなかったが注目に値する統合の試みとして、例えばシャトレの著作が位置付けられることになる²⁴。

イルティスの一連の研究は、当事者の主張していた理論内容にまで踏み込んでいる点は評価できるものの、現代的な観点からの議論をし過ぎている嫌いがある。また、今日から見た場合にそれと並んで問題となるのは、ニュートン主義・デカルト主義・ライプニッツ主義という言葉の使い方であろう。例えばスフラーフェサンデは、力の尺度として mv^2 を支持したにも拘わらず、一般には自他ともに認める「ニュートン主義者」と見なされていた。しかもこの「ニュートン主義」という言葉自体、十八世紀においては単一のまとまった哲学的立場を指すものではなかったという見方が今日では一般的である²⁵。あるいは、活力論争において通常ライプニッツ主義の代表格と目されるヨハン・ベルヌーイにしても、彼の方法論を単純に「ライプニッツ主義」と呼ぶことには疑問の声もある²⁶。論争の当事者たちの対立の背後に哲学的・形而上学的立場の違いがあるとしても、それに「主義」というラベルを貼って議論を展開するのは危険であると言わねばなるまい。

事情をさらに複雑にしているのは、力の形而上学的地位の問題である。この点ではとりわけ、ライプニッツのアイディアを改鑄して巨大な自然哲学体系を打ち立てたヴォルフの影響が無視できない。と言うのも、ヴォルフの形而上学においては物体は能動的な「力」を持つとされていたからである²⁷。イギリスやフランスではヴォルフ哲学を積極的に受容する人物は少なかったが(重要な例外がシャトレである)、目を東に向けると、ベルリンやペテルブルグのアカデミーにおける彼の影響は相当のものであった²⁸。さらに、ヴォルフの哲学体系は十八世紀の第二四半期以降、ドイツ語圏の大学における標準的な講義内容となり、よく知られたところではカントの自然学研究の背景を形作ってもいる²⁹。こうした事情を踏まえると、「力」を巡る論争が単に力

²⁴ Ilits 1977.

²⁵ 十八世紀における「ニュートン主義」の多様性についての簡単な説明が、Fara 2003にある。また、ハンキンスのコメント(Hankins 1985, pp. 9-10)も見よ。

²⁶ 野澤 2006.

²⁷ ヴォルフに関する最新の邦語解説(小田部 2007)では、その自然学には残念ながら全く触れられていない。ヴォルフの自然学思想は松山 2004; Watkins 1997, pp. 316-324; Clark 1999, pp. 424-437などで断片的に解説されているが、これを包括的に取り扱った研究を筆者は知らない。

²⁸ Calinger 1968, 1969.

²⁹ 松山 2004.

学・自然学の範囲にとどまらず、より広い哲学的な関心から議論を呼んだことは想像に難くない³⁰。

論争を左右した要因は他にもある。テラルは近年、パリの科学アカデミー周辺で起こった一連の論争を改めて分析し、ハンキンスらが主張したような物質観の違いに加えて「スタイル」の違いが当事者間の対立の要因であったと主張している³¹。ここで言われている「スタイル」を厳密に定義するのは困難であるが、大まかには、力学の問題における数学（特にライプニッツ流の無限小解析）の用い方・考え方のことを指して使われている。あるいは、力学・自然学をどのように研究すべきかという方針の違いと言えばよいであろう。テラルの研究は、特定の地域で起こった個別の論争を専ら対象とし、そのローカルな要因を強調している点が特徴的である。

以上、活力論争に関するこれまでの研究を概観してきた。これらは大まかに言って、三つに分類できるであろう。まず、ハンキンスやラウダンによって「ダランベール神話」の否定がなされ、本格的な歴史研究が始まった。次いで、「硬い物体」(スコット)や「デカルトの枠組み」(パピノー)、「哲学的世界観の衝突」(イルティス)といった新たな論点が提示されてきた。これらはいずれも、基本的には論争全体を特徴付ける目的で主張されているという意味で、グローバルな要因を問題にしていると言うことができよう。これに対して、テラルの言う「スタイル」の違いやヴォルフ学派の影響の指摘などは、よりローカルな要因の追及と見ることができる。次節ではこれらの研究を踏まえ、活力論争の流れを改めて概観してみたい。

§3 活力論争はどのように展開したのか

活力論争は、『学術報』(*Acta eruditorum*)の1686年3月号に掲載されたライプニッツ(Gottfried Wilhelm Leibniz, 1646–1716)の論文「自然法則に関するデカルトらの顕著な誤謬についての簡潔な証明」(“Brevis demonstratio erroris memorabiliis Cartesii et aliorum circa legem naturalem”)によって幕を開けた。この中でライプニッツが行ったのは、「力」を「運動の量」(質量と速さとの積)と同一視したデカルト(René Descartes, 1596–1650)を批判し、別の尺度を提案することであった。彼は物体をある高さから落下させるという事例を取り上げ、物体が落下によって獲得した「力」は、それがもた

³⁰ ただし、活力にどのような形而上学的地位を与えるかということと、具体的な問題を解く際にこの概念をどう用いるかということとの関係は複雑である。Heimann 1977, pp. 1–5を参照せよ。

³¹ Terrall 2004.

らず「効果」によって測るべきだと主張した．具体的には、この「力」(あるいは速さ)で物体を上向きに投射した際にそれが上昇することのできる高さがこの場合の「効果」である．ところで、この高さは最初に物体を落下させた高さと同じであり、後者の高さは落下によって得られる速さの二乗に比例する．したがって結局、「力」は速さではなく速さの二乗に比例することになる³²．

ライプニッツは同年に出版された著書『形而上学序説』(*Discours de métaphysique*, 1686年)でも同様の議論を行ってデカルト批判を繰り返したが、宇宙において「力」は保存されるという主張自体に異を唱えたわけではなかった．「力」の保存はライプニッツにとっても議論の前提となっており、彼は単にその尺度においてデカルトを批判したに過ぎないとも言える．なお、活力の概念そのものはこの時点では現われていない．ライプニッツが活力の理論を本格的に展開するのは1695年の論文「動力学提要」(“Specimen dynamicum”)においてであり、その中では「力」は自然学的なものであると同時に形而上学的なものとしても提示されていた．すなわち、物体はデカルトが言うように延長のみに還元できるものではなく、「力」が本質的な役割を担っているのである³³．

「簡潔な証明」の出版後、『文芸共和国通信』(*Nouvelles de la république des lettres*)において、カトラン(François Catelan (Abbé de), ?-ca.1719)とライプニッツの誌上論争が起こった(1686-87年)．この中でカトランは、「力」を測る際には物体が運動する時間を考慮すべきだと主張したが、ライプニッツは時間は関係ないと反論して譲らなかった．またこの二年後には、ライプニッツは『学術報』誌上でパパン(Denis Papin, 1647-ca.1712)とも議論を交わしている(1689-90年)．彼はこの論争において、「力」をどう定義するかよりもそれが保存されるかどうかの方が問題なのだと明確に主張した．また、これに続く両者のやり取りでは、「力」を一つの物体から別の物体へと完全に移すことは可能かどうか議論された³⁴．

以上のライプニッツ本人による論争の後、「力」の尺度を巡る議論はほとんどなされなかったように思われる．活力論争は「簡潔な証明」以後、十八世紀を通して続いていたように語られがちであるが、少なくともこれまでの歴史研究において、この時期

³² Iltis 1971, pp. 23-28

³³ ライプニッツにおける「力」の概念については、Garber 1995, pp. 284-301 や Boudri 2002, ch. 3 など で詳しく論じられている．なお、ライプニッツの自然哲学については小林 2006, 第二章に簡潔かつ有用な記述がある．

³⁴ Iltis 1971, pp. 28-32.

に目立った論争があったという指摘はなされていない。言わば、1690年頃から1720年頃までの約三十年間は停戦状態であった。

しかしこの間に、ライプニッツは少しずつ支持者を増やしていた。例えばヨハン・ベルヌーイ (Johann Bernoulli, 1667-1748) は、「動力学提要」が出版されるとすぐにこれに関心を持ち、ライプニッツと文通を行ってその基本的な考え方を吸収していった(1695-99年)³⁵。また、1706年にはヴォルフ (Christian Wolff, 1679-1754) がライプニッツの推挙によってハレ大学に着任した。彼はやがて、一連のドイツ語テキストの出版によってライプニッツ流の形而上学・自然学を広めていくことになる³⁶。さらに、パーゼル大学で数学を学んでいたヘルマン (Jakob Hermann, 1678-1733) も十八世紀初頭にライプニッツと文通を開始し、やはり後者の推挙によってパドヴァ大学に赴任した(1707年)。ヘルマンはここで行った講義の中でライプニッツの動力学を取り上げ、活力の測定についても論じた³⁷。

イタリアでヘルマンが親しく交わった人物の一人が、1709年にパドヴァ大学の天文学教授となったポレーニ (Giovanni Poleni, 1683-1761) である³⁸。後者はライプニッツ流の「力」の尺度を擁護した重要な人物であるが、彼がこの見解をはっきりと打ち出したのは水力学分野の著作『城砦について』(*De castellis*, 1718年)においてであった³⁹。流水の「力」を調べるため、ポレーニは獣脂や口ウといった柔らかい物質を容器に満たし、そこに球を落下させてできる凹みを調べるという実験を行った。その結果は、球の質量と落下の高さとの積が等しければ凹みは等しいというものであり、彼はここから「力」は質量と速さの二乗との積に比例すると結論した⁴⁰。

ポレーニが行ったのとほぼ同じ実験は、ライデン大学のスフラーフェサンデ (Willem Jacob 'sGravesande, 1688-1742) によっても独立に試みられた。彼はこの当時、代表的な「ニュートン主義者」として国内外に名を馳せており、問題の実験も元々はライプニッツの見解を論駁しようとして行われたものであった。しかしながら得られた結果はその反対であり、それを見たスフラーフェサンデは「ああ、私の方こそ間違ってい

³⁵ Heimann 1977, pp. 5-11. ただし、両者の考え方には違いがあることも強調されている。

³⁶ 小田部 2007.

³⁷ Mazzone and Roero 1977, pp. 46-54.

³⁸ Mazzone and Roero 1977, §2.5. ポレーニは後に自然学や数学の教授も兼任した。

³⁹ イルティスはこの書名について、城砦に似た形の容器から噴出する水について論じていたことに由来すると同時に、この分野の先駆であるカステッリ (Benedetto Castelli, 1578-1643) の名前のもじりでもあったと述べている (Ilitis 1973b, p. 355)。

⁴⁰ Ilitis 1973b, pp. 355-358; Maffioli 1989, pp. 244-253, 263.

たのだ」と言ったと伝えられる。その真偽はさておき、彼はこの実験を「物体の衝突に関する新しい理論の試み」(“Essai d’une nouvelle théorie sur le choc des corps,” 1722年)と題した論文で発表し、「力」は速さの二乗に比例するという見解を公にした。なお、スフラフェサンデはこの論文が印刷された直後にポレーニの著作を知り、後者に先取権があることを認めている⁴¹。

これらの実験結果に反論したのが、ロンドンのいわゆる「ニュートン主義者」たちである。まず、ペンバートン(Henry Pemberton, 1694-1771)がポレーニの実験を取り上げ、衝突の際の柔らかい物質が変形する時間を考慮に入れることで、「力」は速さに比例するという従来の解釈を擁護した(1722年)。ロイヤル・ソサエティの『哲学紀要』(Philosophical Transactions)に掲載されたこの論文には、興味深いことにニュートン(Isaac Newton, 1642-1727)が匿名で補遺を書いている。おそらくニュートンは、「力」の問題に関心があったというよりも、これをライブニッツに対する新たな攻撃材料と見たのであろう⁴²。これに続いて、デザギュリエ(John Theophilus Desaguliers, 1683-1744)、イームズ(John Eames, 1686-1744)、クラーク(Samuel Clarke, 1675-1729)といった面々がポレーニとスフラフェサンデに対する反論を展開した(1723-28年)。彼らは一様に、時間を考慮に入れて「力」が速さに比例すると主張し、デザギュリエはこの主張を裏付けるために新たな実験を考案した。しかしポレーニやスフラフェサンデがこれで納得することはなく、彼らはそれぞれ再反論を提出した(1729年)⁴³。

ほぼ並行して、パリでは関連する別の論争が進行していた。その発端となったのは、当地の科学アカデミーが出した1724年の懸賞問題である⁴⁴。アカデミーが問うたのは完全に硬い物体の衝突法則であり、賞を獲得したのはスコットランド出身の数学者マクローリン(Colin Maclaurin, 1698-1746)の論文であった。彼はスフラフェサンデへの反論を展開して「力」は速さに比例すると主張し、硬い物体の場合には衝突によって「力」が失われうるが弾性的な物体では失われなことを説明した⁴⁵。その内容は概ね、審査を行った科学アカデミーのメンバーの考えに沿うものであったと言っ

⁴¹ Hankins 1965, pp. 286-291; Iltis 1973b, pp. 358-362; Maffioli 1989, pp. 263-266. スフラフェサンデについてはまた、コスタベルが別の著作を取り上げて、その実験は「決定実験」ではなかったという主張を行っている(Costabel 1964)。

⁴² Papineau 1977, p. 133.

⁴³ Iltis 1973b, pp. 362-376. また、松山 2004, pp. 83-87 も参照。

⁴⁴ Scott 1970, ch. 2; Terrall 2004, pp. 191-194.

⁴⁵ Scott 1970, pp. 24-29. ただしパピノーはこの解釈に反論している(Papineau 1977, pp. 130-132)。

てよい。実際この当時、アカデミーの中で活力説を支持する人間は皆無であった。

ヨハン・ベルヌーイもこの懸賞に際して論文を提出していたが、ほとんど当然の結果として落選した。と言うのも、彼は完全に硬い物体など存在しないと主張して問題設定そのものを否定し、物質を本質的に弾力的なものとした衝突理論を展開したからである。ベルヌーイによる硬い物体の否定は「連続律」に根拠を置いており、彼がこの論文で提示した理論の基本的な枠組みは四半世紀前にライプニッツから受け継いだものであった。さらにこの論文では、活力の保存が他の二つの保存則から導かれることも示されていた⁴⁶。この二年後、パリ科学アカデミーは新たな懸賞課題として、今度は弾力的な物体の衝突を提示した。ベルヌーイは自らの論文に書き足しを行い、再度投稿した。今度こそ受賞は確実と見られたが、審査の結果は次点であった。賞を送られたのは、弾性を「微小渦」によって説明し、デカルト流の「力」の尺度を用いたマズィエール (Jean-Simon Mazieres, 1679?-1761) の論文であった⁴⁷。

ベルヌーイが懸賞論文「運動の伝達法則についての論考」(“Discours sur les loix de la communication du mouvement,” 1727年)を出版すると、これがアカデミー内部での論争に火を点けた。今やパリにおいてもベルヌーイの支持者が現れ、両陣営はアカデミーの会合で激しい議論を戦わせた(1728-29年)⁴⁸。ただしこれらのうちでアカデミーの紀要に収録・印刷されたのは、ベルヌーイの弾性理論を発展させたカミュ (Charles-Étienne Camus, 1699-1768) の論文、離散的な衝撃力に基礎を置く点でベルヌーイと対立するルーヴィル (Jacques-Eugène d’Allonville de Louville, 1671-1732) の論文、加速運動を一様(等速)運動に還元することで旧来の「力」の尺度を擁護するメラン (Jean-Jacques Dortous de Mairan, 1678-1771) の論文の三つだけに止まった⁴⁹。ベルヌーイは当時バーゼルに住んでいたが、ルーヴィルやメランの旧態依然とした主張に激しく憤り、自分の下で数学を学んだモーペルテュイ (Pierre-Louis Moreau de Maupertuis, 1698-1759) を焼き付けて彼らを攻撃させようとした。モーペルテュイは実際にルーヴィルを批判する論文を書いたが、これは結局出版されずに終わった⁵⁰。

1720年代後半は、それまで水面下で支持を広げていた活力説が公に主張され始めた時期である。その大きな理由として挙げられるのが、ペテルブルグ科学アカデミー

⁴⁶ Scott 1970, pp. 30-39; Iltis 1973a, pp. 363-366; Heimann 1977; 野澤 2006, 第2節。

⁴⁷ Iltis 1973a, pp. 360-363.

⁴⁸ Terrall (2004, pp. 195-199) は未公開史料を用いてこの論争の実情を明らかにしている。

⁴⁹ これらの論文の理論的内容は Iltis 1973a, pp. 366-373 で分析されている。

⁵⁰ Terrall 2002, pp. 51-53, 61-64.

の設立であった(1725年)。この時にアカデミーのメンバーを推挙する立場にあったのがヴォルフであり、その結果、設立時のメンバーにはヘルマンやビルフィンガー(Georg Bernhard Bilfinger, 1693-1750; ヴォルフの下で学んだ哲学者)といった活力説の強力な支持者が含まれることになった(ヴォルフ自身は招聘を断っている)。この三人は、アカデミーの紀要の第1巻(1728年刊)に揃って活力に関する論文を載せた。さらに、翌年刊行された第2巻には、やはり活力説を支持するヨハン・ベルヌーイの新しい論文が掲載された⁵¹。

1730年代に入っても論争は続いていたようだが、歴史研究の中で言及されているこの時期の出来事は20年代に比べて著しく少ない。ポレーニの著作に対して出された批判にスフラーフェサンデが代わって答えていることその他には⁵²、元ロイヤル・ソサエティ書記のジュリン(James Jurin, 1684-1750)がペテルブルグ・アカデミーの活力支持者(特にビルフィンガー)を繰り返し攻撃していた程度である⁵³。

活力論争全体を通じてある意味で最もスキャンダラスな出来事は、1740年にパリで出版された匿名の著作『自然学教程』(*Institution de physique*)を巡って起こった。この本はヴォルフ流の形而上学に依拠して活力説を支持するもので、一時はヴォルフ派の数学者ケーニヒ(Johann Samuel Koenig, 1712-1757)の著作だという噂も流れたが、本当の著者はケーニヒが家庭教師をしていたシャトレ夫人(Gabrielle-Émilie Châtelet, 1706-1749)であった。この本で手厳しく批判されたメラン 当時は科学アカデミーの終身書記の地位にあった はシャトレ宛書簡の形を取った反論を公刊し、後者もそれに対する反論を出版した。両者の主張は平行線を辿ったが、論争は広く社交界の注目を集め、『ジュルナル・ド・トレヴー』(*Journal de Trévoux*)誌は夫人の「エレガンス」を讃えてシャトレに軍配を上げた⁵⁴。

ここまでの一連の流れに照らしてみると、ダランベール(Jean le Rond d'Alembert, 1717-1783)の『動力学論』(*Traité de dynamique*, 1743年)はやはり特異な著作と言わねばならない。と言うのも彼は、原因としての「力」概念それ自体を運動の分析から追放したからである。ただしこのことは、ダランベールが「力」という言葉を使わ

⁵¹ Calinger 1968, p. 428. ヴォルフの論文は松山 2004 に全訳があり、詳しく論じられている。それ以外の論文については、未だ詳しく分析されたことがないようである。

⁵² Hankins 1965, pp. 289-291. 問題の批判は匿名で書かれていたが、スフラーフェサンデはその筆者をジュネーヴの数学教授カランドリーニ(Jean-Louis Calandrini, 1703-1758)と同定した。

⁵³ Calinger 1968, pp. 431-432. ジュリンとビルフィンガーの論争については Boss 1972, pp. 112-115 も見よ。

⁵⁴ 川島 2005, 第3章。『自然学教程』の理論的内容については Illis 1977 を参照。

なかったという意味ではない。彼はこの言葉を、原因ではなく実際に生じる結果のみを指すものとして用いることを主張したのである。また、ダランベールは硬い物体の存在を支持していたので、ヨハン・ベルヌーイの議論を批判して衝突における活力の保存を退けることができた⁵⁵。

同時期のイギリスに目を向けると、かつてポレーニヤスフラーフェサンデを批判していたデザギュリエは今や、「力」の尺度に関する二つの見解はどちらも正しいという結論に達していた(1744年)⁵⁶。しかし一方で、ジュリンはペテルブルグへの攻撃を続けており、同年、偽名で書いた活力説批判の著作の草稿をアカデミーに送り付けた。これはペテルブルグ・アカデミーにおいて、ジュリンの議論を支持するヴァイトブレヒト(Josiah Weitbrecht, 1702–1747)とそれに反対するリヒマン(Georg Wilhelm Richmann, 1711–1753)との激しい反目を生むことになった。アカデミーはこの件の裁定を、以前のメンバーで今はベルリンのアカデミーに移っていた数学者オイラー(Leonhard Euler, 1707–1783)に委ねることにした。オイラーはこれに答えた書簡でジュリンの著作に激しい批判を加え、ヴァイトブレヒトとリヒマンの主張に関しては、いずれも完全に正しいとは言えないという判定を下した(1745年)⁵⁷。

この頃までには、論争はヨーロッパ中に広がっていたように見受けられる。例えばボスコヴィッチ(Roger Joseph Boscovich, 1711–1787)はローマで『活力について』(*De viribus viris*, 1745年)を出版し、これは後に『自然哲学の理論』(*Theoria philosophiae naturalis*, 初版1758年)で展開される彼独自の理論体系へとつながっていくことになった⁵⁸。また、カント(Immanuel Kant, 1724–1804)が処女作『活力測定考』(*Gedanken von der wahren Schätzung der lebendigen Kräfte*, 1747年)を著して「ライブニッツ派に楯突」こうとしたのもこの時期である⁵⁹。さらにスコットランドのリード(Thomas Reid, 1710–1796)もこの問題を扱った論文を『哲学紀要』に投稿し、どちらの見解も間違っていないと主張したし(1748年)⁶⁰、他方でポローニヤの数学

⁵⁵ ダランベールの力学については多くの研究で論じられている。一例を挙げれば、Hankins 1965, pp. 283–286; 1970, ch. 7–9; Scott 1970, ch. 3; Iltis 1970; 山本 1997, 第13章; Boudri 2002, ch. 4.

⁵⁶ Laudan 1968, pp. 137–138. これにはスフラーフェサンデの著作が大きな影響を与えていたようである。

⁵⁷ Calinger 1968, pp. 432–433; Boss 1972, pp. 138–151; Grigorian and Kirsanov 1978.

⁵⁸ Jammer [1957]1979, 170–178頁; Hankins 1965, pp. 291–297; Iltis 1970, pp. 138–140.

⁵⁹ 松山 2004, 94頁。ただし本稿でこれまで見てきたように、この著作は「ダランベールの登場後、論争がほぼ終結したそんな時期に」(同頁)書かれたわけでは決していない。

⁶⁰ Laudan 1968, pp. 138–139

教授リッカーティ (Vincenzo Riccati, 1707-1775) は力の合成規則と活力の問題を結び付けた議論を展開した (1749 年)⁶¹。

十八世紀の半ば以降, 論争がどうなったのかは判然としない。ほとんど研究が無いからである。少なくともパリではこの問題が議論されることは無くなっていったようだが, それは論争に決着がついたからと言うよりは, 形而上学的なものを全般を排除する風潮が強まったためではないかと思われる⁶²。しかし一方で, ベルリンのアカデミーは 1779 年の懸賞で「力の基底」(Fundamentum virium) について問うており, ドイツ語圏では「力」を巡る議論が依然として継続中であったことを窺わせている⁶³。またイギリスにおいては, デザギュリエヤードのように二つの尺度のどちらも正しいとする人々がいた一方で (キャヴェンディッシュ (Henry Cavendish, 1731-1810) も 1760 年頃に書かれた手稿でそうした考えを記している)⁶⁴, 1780 年頃になってもスミートン (John Smeaton, 1724-1792) は活力説を支持し, アトウッド (George Atwood, 1745-1807) は逆の立場を主張していた⁶⁵。こうした状況証拠から判断して, 論争は次の世紀に持ち越されたと考えるのが妥当であろう。

§4 おわりに：活力論争とは何だったのか

結局, 活力論争とは何だったのだろうか。それはまず第一に, 「力」の尺度と保存を巡る論争であった。しかしそこでは, 「力」の形而上学的地位を巡る考え方の相違や当事者間の対立感情も, 無視できない影響を及ぼしていた。この論争を, 単に mv か mv^2 かという問題に帰着させることはもはやできないように思われる。

さらに言えば, 何が問題であったのかがいつでもどこでも同じだったわけではおそらくないであろう。例えば, 同じ 1720 年代を取ってみても, ロンドンの「ニュートン主義者」たちの議論が専ら「力」の尺度を問題にしていたのに対して, パリの「デカルト主義者」たちはより物質理論に, ひいては「力」の保存の問題に関心を持っていたという印象を受ける。この二つの議論が実際のところ関連していたのかどうか, していたとすればそれはどのようにであったのかについて, 先行研究は十分な回答を与

⁶¹ Indorato and Nastasi 1991.

⁶² この点に関しては Terrall 1999 の議論が参考になる。

⁶³ この懸賞については Boudri 2002, ch. 6 で詳しく分析されている。

⁶⁴ Heimann and McGuire 1971.

⁶⁵ Laudan 1968, p. 134. 1800 年前後におけるイギリスの状況については Scott 1970, ch. 7 も参照。

えていない。

加えて、論争には言わば波があり、激しかった時期とそうでない時期、盛んだった地域とそうでない地域とがあったことも本稿の概観からは窺える。もっともこれは、先行研究が対象としている事例に偏りがあるのがその一因であろう。活力論争の真に総体的な見取り図を手にするには、時代的には十八世紀の中頃以降について、地理的にはイギリスとフランス以外の状況について、特に研究が望まれるところである。

それでもなお、これまでの歴史研究からあえて暫定的な結論を引き出すとすれば、活力論争は単一の論争というよりも個々の散発的な論争の総体であったと考える方がよい、ということになるであろう。この見方が適切かどうかの判定を下すには、言うまでもなく、今後さらに事例研究を積み重ねていくことが必要である。

参考文献

- Boss, Valentin. 1972. *Newton and Russia: The early influence, 1698–1796*. Cambridge: Harvard University Press.
- Boudri, J. Christiaan. 2002. *What was mechanical about mechanics: The concept of force between metaphysics and mechanics from Newton to Lagrange*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Calinger, Ronald S. 1968. The Newtonian-Wolffian confrontation in the St. Petersburg academy of sciences (1725–1746). *Cahiers d'histoire mondiale* 11: 417–435.
- . 1969. The Newtonian-Wolffian controversy (1740–1759). *Journal of the History of Ideas* 30: 319–330.
- Clark, William. 1999. The death of metaphysics in enlightened Prussia. In *The sciences in enlightened Europe*, ed. W. Clark, J. Golinski, and S. Schaffer, pp. 423–473. Chicago: The University of Chicago Press.
- Costabel, Pierre. 1964. 's Gravesande et les forces vives ou des vicissitudes d'une expérience soi-disant cruciale. In *Mélanges Alexandre Koyré*, vol. I, pp. 117–134. Paris: Hermann.
- Dugas, René. [1955]1988. *A history of mechanics*. Translated by J. R. Maddox. New York: Dover Publications. [*Histoire de la mécanique* (Neuchâtel, 1955) の翻訳.]
- Fara, Patricia. 2003. Newtonianism. In *Encyclopedia of the Enlightenment*, ed. A. C. Kors [editor in chief], pp. 177–183. New York: Oxford University Press.

- Garber, Daniel. 1995. Leibniz: Physics and philosophy. In *The Cambridge companion to Leibniz*, ed. N. Jolley, pp. 270–352. Cambridge: Cambridge University Press.
- Grigorian, A. T. and V. S. Kirsanov. 1978. The spread of Leibniz's conceptions and the "vis viva" controversy in the St. Petersburg academy of sciences. In *Leibniz à Paris (1672–1676)*, *Studia Leibnitiana*, Suppl., vol. 17, pp. 233–241. Wiesbaden: Steiner.
- Hankins, Thomas L. 1965. Eighteenth-century attempts to resolve the *vis viva* controversy. *Isis* 56: 281–297.
- . 1970. *Jean d'Alembert: Science and the Enlightenment*. Oxford: Clarendon Press.
- . 1985. *Science and the Enlightenment*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Heimann, P. M. 1977. "Geometry and nature": Leibniz and Johann Bernoulli's theory of motion. *Centaurus* 21: 1–26.
- Heimann, P. M. and J. E. McGuire. 1971. Cavendish and the *vis viva* controversy: A Leibnizian postscript. *Isis* 62: 225–227.
- Iltis, Carolyn. 1970. D'Alembert and the *vis viva* controversy. *Studies in History and Philosophy of Science* 1: 135–144.
- . 1971. Leibniz and the *vis viva* controversy. *Isis* 62: 21–35.
- . 1973a. The decline of Cartesianism in mechanics: The Leibnizian-Cartesian debates. *Isis* 64: 356–373.
- . 1973b. The Leibnizian-Newtonian debates: Natural philosophy and social psychology. *British Journal for the History of Science* 6: 343–377.
- . 1977. Madame du Châtelet's metaphysics and mechanics. *Studies in History and Philosophy of Science* 8: 29–48.
- Indorato, Luigi and Pietro Nastasi. 1991. Riccati's proof of the parallelogram of forces in the context of the *vis viva* controversy. *Physis* 28: 751–767.
- Jammer, Max. [1957]1979年.『力の概念』高橋毅・大槻義彦訳.東京:講談社. [Concepts of Force (Harvard University Press, 1957)の翻訳.]
- Laudan, L. L. 1968. The *vis viva* controversy, a post-mortem. *Isis* 59: 131–143.
- Mach, Ernst. [1933]2006年.『マッハ力学史:古典力学の発展と批判(上,下)』岩野秀明訳.東京:筑摩書房. [Die Mechanik in ihrer Entwicklung: historisch-kritisch

- dargestellt, 9. Aufl. (Leibzig, 1933) の翻訳 .]
- Maffioli, Cesare S. 1989. Italian hydraulics and experimental physics in eighteenth-century Holland. From Poleni to Volta. In *Italian scientists in the low countries in the XVIIth and XVIII centuries*, ed. C. S. Maffioli and L. C. Palm, pp. 243–275. Amsterdam: Rodopi.
- Mazzone, Silvia and Clara Silvia Roero. 1977. *Jacob Hermann and the diffusion of the Leibnizian calculus in Italy*. Firenze: L. S. Olschki.
- Papineau, David. 1977. The *vis viva* controversy: Do meanings matter? *Studies in History and Philosophy of Science* 8: 111–142.
- Scott, Wilson L. 1959. The significance of “hard bodies” in the history of scientific thought. *Isis* 50: 199–210.
- . 1970. *The conflict between atomism and conservation theory, 1644–1860*. London: Macdonald & Co. ; New York: Elsevier.
- Smith, George E. 2007 年 . 「動力学の黎明期にあった “活力” 論争」(岡本拓司訳) 『パリティ』第22巻, 24–32 頁 .
- Terrall, Mary. 1999. Metaphysics, mathematics, and the gendering of science in eighteenth-century France. In *The sciences in enlightened Europe*, ed. W. Clark, J. Golinski, and S. Schaffer, pp. 246–271. Chicago: The University of Chicago Press.
- . 2002. *The man who flattened the Earth: Maupertuis and the sciences in the Enlightenment*. Chicago: The University of Chicago Press.
- . 2004. *Vis viva revisited*. *History of Science* 42: 189–209.
- Watkins, Eric. 1997. The laws of motion from Newton to Kant. *Perspectives on Science* 5: 311–348.
- 小田部胤久 . 2007 年 . 「ヴォルフとドイツ啓蒙主義の暁」加藤尚武 責任編集 『哲学の歴史 第7巻 理性の劇場』41–74 頁 . 東京 : 中央公論新社 .
- 川島慶子 . 2005 年 . 『エミリー・デュ・シャトレとマリー・ラヴワジエ : 18 世紀フランスのジェンダーと科学』東京 : 東京大学出版会 .
- 小林道夫 . 2006 年 . 「ライプニッツにおける数理と自然の概念と形而上学」『哲学研究』第581号, 1–28 頁 ; 582号, 1–24 頁 .
- 野澤聡 . 2006 年 . 「ヨハン・ベルヌーイの力学 : 衝突法則からの再評価」『科学史研究』第45巻, 1–10 頁 .

広重徹．1968年．『物理学史 I』東京：培風館．

松山壽一．2004年．『若きカントの力学観：『活力測定考』を理解するために』東京：北樹出版．

山本義隆．1981年．『重力と力学的世界』京都：現代数学社．

———. 1997年．『古典力学の形成：ニュートンからラグランジュへ』東京：日本評論社．

