

活力論争を解消する十八世紀の試み

有賀暢迪*

I. 博士論文の概要について

▼表題（仮）

「レオンハルト・オイラーの活力論争：十八世紀前半の力学における運動物体の力とその変容」

▼用語の説明

a. オイラー (Leonhard Euler, 1707-1783)

十八世紀を代表する数学者。バーゼル生まれのドイツ系スイス人だが、学者として活動したのはペテルブルクとベルリンのアカデミー。著作（論文・著書）は生前出版されたものだけでおよそ 560 篇に上り、その大部分はフランス語かラテン語で書かれた。解析学・代数学・整数論といった狭義の数学分野のほか、力学や光学といった数理物理的分野の発展に多大な影響を与えた。

力学史では、運動方程式 ($F=ma$) を力学全体の基本原理として位置づけ、いわゆる「ニュートン力学」を確立した人物として評価されている（概ね 1750 年前後の出来事）。

b. 活力論争 (英 *vis viva controversy*)

「力」は質量と速度に比例するのか、それとも質量と速度の二乗とに比例するのか、という問いをめぐる戦わされた一連の議論の総称。ライプニッツによるデカルト批判 (1686) をきっかけとして始まり、主として十八世紀前半に、名立たる学者たちを巻き込んで展開された。

c. 運動物体の力 (英 *force of moving bodies*)

活力論争で問われた「力」は今日とは異なる意味内容を持つもので、当時は「運動物体の力」などとも呼ばれた（以下、この意味を強調する場合に《力》と表記）。これが何であるかについて十八世紀のテキストが詳述していることはめったにないが、一次史料を精査した結果（および先行研究を検討した結果）として、概ね次の四点が当時の共通理解を形成していたと考えられる。

- ・運動している物体は、運動している限りにおいて、それに内在する《力》を有する
- ・物体（の質量）が大きいほど、また速度が大きいほど、《力》は大きい
- ・《力》はさまざまな効果（結果）を生み出す原因である
（主に衝突を通じて）運動状態を変化させる、物体を変形させる、重たいものを持ち上げる、等
- ・《力》の大きさは、生み出された効果（結果）の大きさによって測ることができる

「力」「運動量」「エネルギー」といった（現代の）言葉で場合ごとに説明することはおそらく可能だが、《力》を直接指し示すような語彙は今日の物理学の辞書にない（むしろ「勢い」「威力」）。

cf. 今日の力学で言う「力」= 物体の運動状態を変化させたり物体を変形させたりする作用

* 電気通信大学 協力研究員 ariga.nobumichi@gmail.com

問. 運動物体の力から今日的な力への移行は、いつ、どのようにして起こったか?

cf. ウェストフォール『ニュートンの物理学における力』(1971)

- ・デカルト以降繰り返し現れる「運動物体の力」に対し、ニュートンによる今日的な力の理解
←それが当時一般に共有されたわけではない; 「慣性力」「込められた力」という用語の問題

▼博士論文の主旨

オイラーは古典力学を数学的・理論的に確立した人物として知られるが、その過程には力学の基本概念、特に力に関する反省が伴っていた。博士論文では、オイラーが今日のような力の理解にどのようにして至ったのかを検討し、それによって古典力学の形成の一側面を明らかにする。

その際、重要な背景となっていたのが活力論争であり、特にそこで議論の対象となっていた運動物体の力ないしは活力という概念であった。力に関するオイラーの(一見奇妙な)主張は、この論争の文脈に位置づけることで初めて理解できる。このため、博士論文のかなりの部分は、活力論争と運動物体の力についての考察に充てられることになる。

▼骨組み

導入部となる第1章を除くと、実質的に6章構成。章ごとに論点は異なるが、配列は概ね年代順。

序論 博士論文全体の主旨を述べる

第1章 導入: 十八世紀力学史の論点整理、背景知識の説明など

第2章 活力論争の経過と運動物体の力について概括: 十七世紀から1720年代まで

第3章 「力は質量と速度の二乗とに比例する」という主張の分析

第4章 衝突理論の分析(1720-1730)

第5章 オイラーの力学における力の考察(I): ペテルブルク時代[1727-1741]

第6章 十八世紀中葉における活力論争「解消」の試みを比較考察

第7章 オイラーの力学における力の考察(II): ベルリン時代[1741-1766]

結論

※進捗状況

- ・現在、2, 3, 4, 6章を執筆中。平均して7割程度書けている。
- ・ほかの章については、大枠(節の構成)は考えてあるものの未着手。
- ・第4章は『科学哲学科学史研究』に、第6章は『科学史研究』に、必要な変更を加えて投稿予定

⇒ 以下では、第6章の要点を紹介

II. 活力論争を解消する十八世紀の試み

・ cf. ハンキンス「活力論争を解決する十八世紀の試み」(1965)

- ダランベール、ス・グラーフエサンデ、ボスコヴィッチ
- 論争における物質観の問題（特に「硬い」物体）の重要性を指摘
- 論争の解決は19世紀（エネルギー概念の成立）までもたらされなかったという見方を示唆
- ←18世紀中葉に生じた変化を掬い取れない：論争を「解消」する試みの出現

・ この章で議論すること

- ダランベール、モーペルテュイ、オイラー
- 三人はそれぞれ違う問題関心から、《力》（運動物体の力）について語るのを拒否 ⇒ 論争の解消
- 論争の解消にとって、「硬い」物体の問題は本質的でない（※この点については割愛）

i. ダランベール (1717-1783)

・ 『動力学論』(1743) 序文

- 力学に強固な基盤を与えることを目指す；「極めて明晰な概念から力学の諸原理を導く」(p. iv)
- 偶然的な真理は「力学の確実性を破壊し、実験科学以上のものではなくしてしまうであろう」(p. xi)

・ 『百科全書』第1巻(1751) 序論（特に pp. vi-ix）

- 扱う対象が単純で抽象的であるほど、その学問は確実さと明晰さを増す
- 代数学（量の一般的属性）>幾何学（延長）>力学（不可入性）>物理数理科学（物体の諸属性）
- 実験自然学 = 本来、経験と観察の合理的蒐集にとどまる（≠物理数理科学）
- 明証的なのは代数学・幾何学・力学のみ

⇒必然的に真で自明な原理に基づく力学体系の構築（厳密な意味での確実性の追求）

・ 再び『動力学論』(1743) 序文

- 《力》は明晰さを欠くがゆえに、力学に場所を持たない

物体の運動のうちに我々が十分判明に見るもの、それは物体が一定の空間を通過するという事、およびそれを通過するのに一定の時間を要するという事だけである。それゆえ力学のあらゆる諸原理を適切かつ厳密なやり方で証明したいというときには、まさにこの観念だけからそれらを導き出すべきなのである。そういうわけであるから、この反省の帰結として、私が言わば運動原因 *causes motrices* の上から視線を逸らし、それらの生み出す運動を考察するだけにしたこと、そして運動物体に内在する力 *forces inhérentes au Corps en Mouvement* という、曖昧かつ形而上学的な存在で、それ自体では明晰な科学 [i.e. 力学] の上に暗闇を広げることしかできないものを完全に追放したことは、まったく驚かれないであろう。(p. xvi)

- 「力」は「物体のうちにあると言われる存在」を表すのではなく、「事実の短縮された表現法」
- 活力論争の無視：力の尺度の問題は力学にとって「全く役に立たない性質」のもの (p. xvii)

ii. モーペルテュイ (1698-1759)

・ 『形而上学的原理から導き出された運動と静止の諸法則』(1746) 第二部

- 神の存在証明：運動と静止の法則を物体の本性ではなく神の属性から導き出す (cf. ダランベール)

- 「運動の法則」 = 硬い物体と弾性的な物体のそれぞれに関する衝突規則
 - 運動の量の保存（デカルト）も活力の保存（ライプニッツ）も一般的には妥当しないので×
 - これらに代わる普遍的な原理 = 最小作用の原理！
- ※運動の量と活力のどちらが《力》の正しい主張か、という問題にはまったく触れず

・『宇宙についてのエッセー』（1751）※1746年の論文の増補改訂版に当たる

- 「力」の批判：「現代の哲学において、これほどよく繰り返され、正確な定義をこれほどまでにほとんど与えられていない言葉はない」
- モーペルテュイの診断：この言葉が本来意味するのは、物体を動かしたり動きを変えたり止めたりするときに抱く「ある種の感覚」（un certain sentiment）であり、そうした感覚が物体の運動状態における変化を常に伴うがゆえに、我々はそれを変化の原因だと考えている。そして、ある物体における運動状態の変化を見たときに、それを別の物体に（変化の原因として）帰属させている。

ここから、物体の力について我々が抱こうと欲する観念が——よしんば観念と呼べるにせよ——どれほど曖昧であるかがわかる。これは元をただせば混乱した感覚でしかないのである。そして、当初は我々の心の感覚を表しているだけのこの言葉がこの意味で物体に属するというのがどれほどありそうもないかが判断できる。しかしながら、物体から一種の相互影響をまったく剥ぎ取ってしまうことは、それがどのような本性のものであるにせよできないのであるから、お望みなら、力 *force* という名前は残しておこう。しかし我々はそれを見かけの効果によってのみ測ることにしよう。そして駆動力 *force motrice*——運動している物体が持っている別の物体を動かす能力 *puissance*——というのは、我々の認識を補うべく発明された言葉にすぎないのであって、現象の一つの結果しか意味しないのだということをいつでも覚えておくことにしよう。

※『宇宙についてのエッセーで用いられた神の存在証明の哲学的吟味』（1756）にも同様の趣旨の議論があり、そこでは活力論争に明示的に言及

iii. オイラー（1707-1783）

・『衝撃力について、およびその真の尺度について』（1745）

- 「力を速度に比例すると見なすにせよ、それをこの速度の二乗と比べるにせよ、運動物体にはいかなる力も絶対に帰属させられない」
- 力は単独の物体にではなく、衝突しあう物体同士の関係にのみ関わっている
- 衝突の際、一方の物体の慣性が他方の物体を変化させる；あらゆる変化は慣性に由来

・『力の起源についての探究』（1750）

- 慣性ではなく不可入性が力の起源：衝突の際、不可入性のために運動を変化させざるをえなくなる
- 状態を維持する物体の本質的性質としての「慣性」／状態を変化させる外的な原因としての「力」
 - ⇒ 今日と同じ二元的な用語法がはっきりと確立

※『ドイツのある公女への書簡集』（1768）では、延長・不可入性・慣性が物体の本質をなすとされる

⇒ ダランベールやモーペルテュイと違い、オイラーは《力》を認識論的にではなく存在論的に批判自覚的に形而上学の領域へ；「数学者としては超一流だが哲学者としては三流以下」（ダランベール）

参考文献（今日の報告に特に関係するもの）

▼略号

HASB Histoire de l'Academie Royale des Sciences et des Belles-Lettres de Berlin [...] avec les memoires tirez des registres de cette Academie. [ベルリン科学・文学アカデミー紀要]

LEOO Leonhardi Euleri Opera omnia [レオンハルト・オイラー全集]

▼一次史料

Alembert, Jean le Rond d'. 1743. *Traité de dynamique [...]*. Paris: David. Rep.: *Traité de dynamique*. Bruxelles: Culture et civilisation, 1967.

----- . 1751. « Discours préliminaire des éditeurs », dans *Encyclopédie, ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des metiers [...]*, t. 1, pp. i-xlv. / 邦訳：「百科全書序論」佐々木康之訳，串田孫一責任編集『世界の名著 29：ヴォルテール ルソー ダランベール』所収。東京：中央公論社，1970年。 / 「百科全書序論」橋本峰雄訳，桑原武夫訳編『百科全書：序論および代表項目』（岩波文庫）所収。東京：岩波書店，1971年。

Leonhard Euler. 1745. « De la force de percussion et de sa veritable mesure », *HASB 1745* (pub. 1746), pp. 21-53. / *LEOO*, ser 2, vol. 8, pp. 27-53.

----- . 1750. « Recherches sur l'origine des forces », *HASB 1750* (pub. 1752), pp. 419-447. / *LEOO*, ser 2, vol. 5, pp. 109-131.

----- . 1768-1772. *Lettres à une princesse d'Allemagne sur divers sujets de physique et de philosophie*, t. I-III. Saint Petersburg: Imprimerie de l'academie imperiale des sciences. / *LEOO*, ser 3, vol. 11-12.

Maupertuis, Pierre-Louis Moreau de. 1746. « Lex loix du mouvement et du repos déduites d'un principe metaphysique », *HASB 1746* (pub. 1748), pp. 267-294. / *LEOO*, ser. 2, vol. 5, pp. 282-302.

----- . 1751. *Essai de Cosmlogie*. [Leide: Elie Luzac.]

----- . 1756. « Examen philosophique de la preuve de l'existence de Dieu employée dans l'Essai de Cosmologie », *HASB 1756* (pub. 1758), pp. 389-424.

▼二次文献

Boudri, J[ohan] Christiaan. 2002. *What was mechanical about mechanics: The concept of force between metaphysics and mechanics from Newton to Lagrange*, tr. Sen McGlinn [from Dutch]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Cassirer, Ernst (エルンスト・カッシーラー). [1922]2000-2003. 『認識問題：近代の哲学と科学における (2-1, 2-2)』須田朗・宮武昭・村岡晋一訳，東京：みすず書房。[*Das Erkenntnisproblem : in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit, Bd. 2* (第三版 1922; Rep. Georg Olms, 1974)の翻訳.]

Firode Alain. 2001. *La dynamique de d'Alembert*. Montréal: Bellarmin; Paris: Vrin.

- Gabbey, Alain. 1980. "Force and inertia in the seventeenth century: Descartes and Newton," in *Descartes: Philosophy, mathematics and physics*, ed. Stephen Gaukroger, pp. 230-320. New Jersey: The Harvester Press.
- Hankins, Thomas L. 1965. "Eighteenth-century attempts to resolve the *vis viva* controversy," *Isis*, vol. 56, pp. 281-297.
- . 1970. *Jean d'Alembert: Science and the Enlightenment*. Oxford: Clarendon Press.
- Harman, P[eter] M. 1985. "Concepts of inertia: Newton to Kant," in *Religion, science and worldview: Essays in honor of Richard S. Westfall*, ed. M. J. Osler and P. L. Farber, pp. 119-133. Cambridge: Cambridge University Press, 1985. Rep. in Harman, *After Newton: Essays on Natural philosophy*. Aldershot: Variorum, 1993.
- Hepburn, Brian. 2010. "Euler, *vis viva*, and equilibrium," *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 41, pp. 120-127.
- Jammer, Max (マックス・ヤンマー) . [1957]1979. 『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.]
- Papineau 1977. "The *vis viva* controversy: Do meanings matter?" *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 8, pp. 111-142.
- Pulte, Helmut. 1989. *Das Prinzip der kleinsten Wirkung und die Kraftkonzeptionen der rationalen Mechanik : eine Untersuchung zur Grundlegungsproblematik bei Leonhard Euler, Pierre Louis Moreau de Maupertuis und Joseph Louis Lagrange*. Stuttgart: Steiner, 1989.
- Scott, Wilson L. 1970. *The conflict between atomism and conservation theory, 1644–1860*. London: Macdonald & Co.; New York: Elsevier.
- Truesdell, C[lifford]. [1960]1968. "A program toward rediscovering the Rational Mechanics of the Age of Reason," in *Essays in the history of mechanics*, pp. 85-137. Berlin: Springer-Verlag. [Originally pub. in *Archive for History of Exact Sciences*, vol. 1 (1960), pp. 3-36.]
- Westfall, Richard S. 1971. *Force in Newton's physics: The science of dynamics in the seventeenth-century*. London: Macdonald; New York: American Elsevier.
- 有賀暢迪. 2009. 「活力論争とは何だったのか」『科学哲学科学史研究』第3号, 39-57頁.
- 大谷隆昶. 1982. 「アルキメデスの点と道徳的確實性」渡辺正雄編『科学の世界：その形成と展開』66-92頁. 東京：共立出版.
- 武田裕紀. 2009. 『デカルトの運動論：数学・自然学・形而上学』京都：昭和堂.
- 松山壽一. 2004a. 『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.
- . 2004b. 「力と運動：ニュートン受容とカント『活力測定考』の力学観」, 同『ニュートンからカントへ：力と物質の概念史』第一章. 京都：晃洋書房.
- 山本義隆. 1981. 『重力と力学的世界：古典としての古典力学』京都：現代数学社.
- . 1997. 『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.