

電気力学と熱力学はなぜ「力学」なのか

大橋由紀夫

1) はじめに

かつて広重徹は、1823年のアンペール(André-Marie Ampère, 1775 - 1836)の論文¹⁾に言及しながら「Ampèreは電磁現象を扱うにあたって、厳密にNewton力学の方法に従うことを意図した。・・・力学の理論構成にならって電磁理論を組み立てようとしたわけである。・・・かれが自分の理論に与えた電気力学という名前は、文字どおり“電気力学”を意味するものだったのである。」²⁾と書いた。これを読むと、なんとなく分かったような気になってしまうが、それで納得して良いのだろうか。短期連載の最後にあたって、日本語を介して海外の科学史を理解しようとする場合の危険性について考えてみたい。

2) 「力学」にあたるヨーロッパ語

「力学」を意味する最も広義のヨーロッパ語は「メカニクス」(英mechanics, 仏mécanique)であり、これは「機械学」を意味するギリシヤ語「メカニカ」(希μηχανικά, またμηχανικήとも)³⁾に由来する。ニュートンも『自然哲学の数学的諸原理』(1687)の序文の冒頭で力学のことを「メカニカ」(羅mechanica)と呼んでいる。

一方、「ダイナミクス」(英dynamics, 仏dynamique)は、横山雅彦によれば、ライプニッツが1689年に執筆した草稿での造語(羅dynamica)に由来する⁴⁾。ライプニ

ッツは1691年頃の論考⁵⁾で「死力」についての静力学(仏statique)と一線画した「運動の諸法則に関する力学(仏dynamique)」について論じ、1695年の論考⁶⁾で、それまでの機械学(羅mechanica)はまだ運動が存在しない「死力」の学であったとして、現実の運動と結びつけた「活力」について論じ、「新たな学としての力学(羅dynamica)」を提唱している。

その数十年後に、ダランベールは『百科全書』(1751 - 1772)の項目「[動]力学(仏dynamique)」⁷⁾において、[動]力学は、本来、力の学あるいは運動原因の学(science des puissances ou causes motrices)であり、ライプニッツの造語であることを述べたうえで、この語が当時非常によく用いられ、「物体の運動の学(science du mouvement des corps)」を意味することを述べている。さらに、「人間知識の系統図」⁸⁾の中で、「力学(mechanique)」を「静力学(statique)」(本来の意味での静力学、および流体静力学)と「動力学(dynamique)」(本来の意味での動力学、弾道力学、および流体動力学-水力学、航海術、造船術)に分けている。これにより、フランス語の「ディナミック」という言葉が、当時、「静力学」に対する「動力学」を意味する言葉として定着していたと見てよいであろう。

さらに数十年後、アンペールは

『科学の哲学についての試論』(*Essai sur le philosophie des sciences*, 1834)において、「力」を度外視して「運動」を扱う学問として「スイネマティック」という名称を提唱し、広義の力学(仏 *mécanique*)を、運動学(*cinématique*)、静力学(*statique*)、動力学(*dynamique*)、分子力学(*mécanique moléculaire*)の4分野に分けた⁹⁾。

話はこれでは終わらない。ウィリアム・トムソン(William Thomson, =ケルヴィン卿 Lord Kelvin, 1824 - 1907)とテイト(Peter Guthrie Tait, 1831 - 1901)の有名な教科書『自然哲学綱要』(*Treatise on Natural Philosophy*, 1867)¹⁰⁾の序文では、アンペールに従って、力を度外視した幾何学的運動論をカイネマティクス(英 *kinematics*)と呼んだ上で、さらに、ダイナミクス(*dynamics*)を本来の意味であるべき「力の学」として、それを静力学(*statics*)と動力学(*kinetics*)の総称としている。従って、現在では「ダイナミクス」には「動力学」と「力の学(静力学と動力学の総称)」の2種の意味の可能性があり、「動力学」を表すには「ダイナミクス」と「カイネティクス」の2つの流儀があるわけである。

3) 電気力学の場合

さて、「電気力学」(仏 *électro-dynamique*)という言葉はアンペールの造語である。アンペールは1823年の論文¹¹⁾において、ニュートン力学に何度も言及しながら電気力学について論じているが、ニュートン力学については「ニュートンの哲学」(*philosophie newtonienne*)

と呼び、運動の法則については「メカニクの法則」(*lois de la mécanique*)などと呼んでおり、ニュートン力学を呼ぶのにダイナミックという言葉は使っていない。ダイナミックという言葉は、ほとんど形容詞 *électro-dynamique* の中で使われているが、一か所「電氣的流体(電流)のダイナミックな状態」(*état dynamique des fluides électriques*)¹¹⁾という表現があり、この「ダイナミック」は「力学的」というより「動的」という意味合いのように思われる。

実は、アンペールは上記の論文の前年に刊行された『電気力学的諸考察集』(*Recueil d'observations électro-dynamiques*, 1822)¹²⁾でも形容詞 *électro-dynamique* を多用しており、公刊されたものでは、そのあたりが初出と思われるが、その中の注¹³⁾で、二つの電流間の相互作用などについて「電磁氣的作用」(*action électro-magnétique*)と言うより「電気力学的作用」(*action électro-dynamique*)と呼ぶのがふさわしく、それはヴォルタ電池からの導線の中を動く電気によるものであり、そしてそれを「静電氣的作用」(*action électro-statique*)と区別すべきであると述べている。これによって、*électro-dynamique* は「電気力学」というよりも「動電気学」という意味合いであり、動く電気の概念によって磁気と電気を統合することを意図したものと見ることができる。

なお、電磁気学の大成者であるマクスウェル(James Clerk Maxwell, 1831 - 79)は、著書『電気磁気綱

要』(A Treatise on Electricity and Magnetism, 1873)¹⁴⁾において、静電気学 (electrostatics)、(電流に關する) 電気運動学

(electrokinematics)、磁気学 (magnetism) について論じた後、それらを統合して電磁気学 (electromagnetism) で締めくくっている。

結局、エレクトロ・ダイナミクスと電磁気学 (英 electromagnetism または electromagnetics, 仏 électromagnétisme) は実質的に同義である。

4) 熱力学の場合

熱力学 (英 thermodynamics) は、ウィリアム・トムソン (ケルヴィン卿) が 19 世紀中頃に熱エネルギーと力学的エネルギーの相互変換の学として作った造語である。彼は 1849 年の論文で「完全な熱力学的エンジン (perfect thermo-dynamic engine)」¹⁵⁾ という言葉を熱的作用から最大限の力学的 (メカニカルな) 効果を得る機構として用いており、この「熱力学的」という形容詞が公刊されたものでは初出と思われるが、この「ダイナミック」は力学的エネルギー (に相当するもの) を念頭においたものと思われる。

なお、当時「熱の力学的理論」という表現もあったが、これは「熱」は「カロリック」(熱素) という物質ではなくて微小な力学的運動であるとする意味である。ウィリアム・トムソンは 1852 年の論文¹⁶⁾で、ハンフリ・デイヴィがカロリックの存在を否定して、熱は微小運動であることを結論したことを述べ、これを「熱の力学的理論」(英 dynamical

theory of heat) の確立とした。また、クラウジウス (Rudolf Clausius, 1822-88) は、1854 年の論文¹⁷⁾から表題に「力学的な熱理論」(独 mechanische Wärmtheorie, 英訳 mechanical theory of heat) という言葉を使っており、1856 年の論文¹⁸⁾では、その理論の起源は熱が力学的仕事を作り出すことができるという事実にある、としている。つまり、カロリック説では熱の量は一定量として保存されると考えざるをえないが、しかし、熱を微小な力学的運動であるとする理論によって、熱エネルギーと力学的エネルギーが相互転換することを理解できるわけで、「熱の力学的理論 (力学的な熱理論)」は結局、意図するところは「熱力学」と同じであったと見てもよいであろう。

なお、マクスウェルは、著書『熱の理論』(Theory of Heat, 1871)¹⁹⁾の序論において、熱の科学をヒューエルたちは Thermotics と呼んでおり、エネルギーとしての熱の理論は Thermodynamics と呼ぶべきであり、同様に熱平衡の理論は Thermostatics、熱の移動についての理論は Thermokinematics と呼ぶことができると述べている。

もはや紙数がないが、電磁気学や熱力学の先人たちの原典をさらに熟読しなければならない。概論的講義であっても、探求すべきことは無限にあるというのが最後の結論である。

注と参考文献 :

- 1) André-Marie Ampère: “Théorie mathématique des phénomènes électro-dynamiques uniquement

- déduite de l' expérience” , *Mémoires de l' académie royale des sciences de l' institut de France*, 6, 1823, 175-387. (この論文を含めていくつかの Ampère の著作の電子版はインターネット上の “Ampère et l' histoire de l' électricité” を通じて閲覧できる。)
- 2) 広重徹『物理学史 II』、培風館、1968、p.17。言うまでもなく本書(全 2 巻)は日本語による物理学史の最高峰であり、私自身も大きな恩恵を受けている。
 - 3) 真作ではないらしいがアリストテレスに帰せられる「機械学」(μηχανικά)がある。副島民雄訳「機械学」、『アリストテレス全集』10、岩波書店(1969)、pp.159-201 参照。
 - 4) 『ライプニッツ著作集』3、工作舎(1999)、p.491、注 3。(ラテン語原文は、*Leibnizens gesammelte Werke*, Dritte Folge Mathematik, Sechster Band, (*Leibnizens mathematische Schriften*, Zweite Abtheilung, Band II), Halle, 1860, pp.281-514にある。その原書の映像をインターネット上の “Google books” で閲覧できる。以下、注記しないが、多くの原書の映像をそこで見ることが出来る。)
 - 5) 工作舎・同上書、pp.468-490。(フランス語原文は同上 *Werke*, pp.215-31。)
 - 6) 工作舎・同上書、pp.491-527。(ラテン語原文は同上 *Werke*, pp.234-54。)
 - 7) ディドロ, *ダランベール編*(桑原武夫訳編)『百科全書』、岩波文庫(1971年)、pp.288-294 参照。
 - 8) 同上書、p.372 参照。
 - 9) 1834年 Paris 刊, pp.50-55。
 - 10) 1867年 Oxford 刊 1912年版の全 2巻の復刻版(*Principle of Mechanics and Dynamics*): Dover Publications, New York, 1962, さらに 2003。
 - 11) 注 1)の文献の p.371。
 - 12) 1822, Paris 刊。
 - 13) 同上書、p.200。
 - 14) 全 2巻、1873年 Oxford 刊。1891年版の復刻版: Dover Publications, New York, 1954。
 - 15) “An Account of Carnot's Theory of the Motive Power of Heat”, William Thomson, *Mathematical and Physical Papers*, Vol.1, Cambridge, 1882 (再刊: University of Michigan University Library, 2010) 所収, p.118。
 - 16) “On the Dynamical Theory of Heat”, 注 15)の論文集所収, p.174。
 - 17) 1850年から 1865年までのクラウジウスの 9編の熱学についての論文は、R. Clausius: *Abhandlungen über die Mechanische Wärmetheorie*, Braunschweig, 1864; 英訳: *The Mechanical Theory of Heat*, London, 1867に収録されている。1854年の論文は第 4論文。
 - 18) 同上書、第 5論文。
 - 19) 1871年刊。1888年 London and New York 刊の第 9版の再刊: Dover Publications, New York, 2001。
(今回で大橋会員による連載を終了します。)