

書評

Christopher J. T. Lewis

Heat and thermodynamics: A historical perspective (Greenwood guides to great ideas in science) (Westport: Greenwood Press, 2007)

標準的な熱力学史の教科書と言える。著者 Lewis によれば、この本は伝統的な学説史の他に、より広い個人的・制度的・経済的・技術的・宗教的文脈にも配慮して書かれている (p. xviii)。こうした要素を適宜折り込むことは近年の科学史研究の動向からすれば決して珍しいことではないが、本書においてはその比重が比較的小さく抑えられており、むしろ保守的とも言える構成となっている。逆に言えば、この保守性のために、熱力学史の教科書として適切であるとも言えるだろう。ただし、Lewis によれば、この本は科学に携わることがほとんどない人に向けて書かれており (p. xvi)、数学的でテクニカルな要素は極力避けられている (p. xix) ため、物足りない面があるのは致し方ないところであろう。その点は巻末の参考文献に挙げられている他の二次文献を参照して補えばよい。

本書の構成を紹介しておこう。第1章ではアリストテレスの宇宙観とその中で「熱」が占めていた地位を踏まえた上で、17世紀における熱にまつわる機械論的説明と、温度計の改良、そしてボイルの実験とそれに関連した研究が紹介される。続いて18世紀中葉におけるブルーハーヴェによる熱の物質的理論と、「火の機関」すなわち蒸気機関の発展、さらにブラックによる比熱と潜熱の概念、ラヴォアジエによる「熱素」の考案というテーマが採り上げられる。その熱素論の足跡は、第2章で追跡される。ここでは、ラプラスとベルトレによる、実験と数学の統合という「ラプラス・プログラム」のもとに登場した、気体の熱的性質にまつわる問題——熱膨張、断熱現象、音速、比熱——と、熱放射、そしてフーリエの熱伝導理論などが扱われる。1815年、フレネルの実験によって光の粒子説が否定されるとともにラプラスとベルトレによるニュートン主義的プログラムが頓挫し、熱が化学の対象（反応熱）から物理学の対象（熱・光・電気の関係）へと移行していくのと平行して、熱素説の勢いが（完全に否定されたわけではないが）衰えたことが指摘されて、第2章は閉じられる。

この後、ラプラスの周囲に形成されたフランス科学界の中心には属さない人物であるカルノー（第3章）と、フランス国外の科学者、特にジュールとトムソン（第4章）によって、熱力学の成立へ向かう歴史が進むことになる。第3章では、機関の効率と

いう概念の成立を確認した上でカルノーの議論が紹介されているが、双方について蒸気機関とともに水車の役割が強調されている点が評者にとっては新鮮であった(例えば、広重はカルノーの行った「水の動力とのアナロジー」は、水車ではなく「水柱機関」との間のものであると推測している; 広重徹訳・解説『カルノー・熱機関の研究』みすず書房, 1973年, 21頁)。また、カルノーの理論を紹介する上では、炉における蒸気の等温的な生成とその断熱膨張、そして冷却器における蒸気の等温的な凝結という3つの段階からなるプロセスによって、作業物質の種類に「火の動力」が依らないこと、そして得られる動力の最大量が炉と冷却器の温度差だけで決まることを確立した後に、有名なカルノー・サイクル、すなわち理想気体を用いた4つの段階から成る機関によって定積比熱と定圧比熱の差がすべての気体で一定であること、効率が各気体で不変であること、最大効率が炉と冷却器の温度差と「カルノー関数」で書けることを論じたのだとされている。

第4章では、19世紀前半のロマン主義およびドイツ自然哲学(Naturphilosophie)の興隆とそれに対する反論が簡単に紹介された後、ジュールの研究が、ヘラパスやウォーターストンにより復活しつつあった気体分子運動論と、電気・磁気・熱・親和力などの間の「諸力の連関」の発見とともに論じられる。この第4章には「熱の力学的当量」という章題が付けられているが、ジュールの実験の背景としての気体分子運動論の話題の他に、「熱の力学的当量」「諸力の連関」「エネルギー保存則」という3つのテーマが扱われている。結論部ではクーンの論文「同時発見の一例としてのエネルギー保存則」を引きつつ、当時の人々はエネルギー保存則を同時発見したのではなく、エネルギー保存則につながるようなバラバラの実験的事実や概念を発見したのであり、必要なのはそうしたパーツを組み合わせる人物の登場であった、と述べている。これはおそらく、3つのテーマに関連性を持たせるための記述だろうが、第5章以降の本書の展開にどのように効いているかが明らかでなく、評者にはこの結論部の意図が不明瞭であるように感じられた。

続く第5章は「エネルギーとエントロピー：熱力学の誕生」と題され、カルノー理論とジュールの実験との矛盾に悩むトムソンと、クラウジウスによる解決、そしてこの解決の含意が扱われる。特徴的なのは、1848年に欧州各国で発生した革命や、オックスフォードとケンブリッジの両大学におけるカリキュラムの改訂に言及されていること、トムソンの個人的な背景として、カルヴァン主義や、スコットランドにおける大学と産業との結び付きが指摘されていること、第一法則におけるエネルギー概念が資本主義における貨幣と類比的に捉えられたことなど、科学の外部の事情についての

記述量が比較的多いことである。理論的・思想的な面については、熱の力学的当量からエネルギー概念へ向かう過程、および第二法則とエネルギーの「散逸」、および太陽と地球の年齢に関するトムソンの論考などが扱われている。地球の年齢に関するトムソンの論考は、地質学におけるライエルの斉一説や、ダーウィンの進化論に対する反駁として位置付けられており、当時の思潮を窺わせる。

この後、本書では気体分子運動論(第6章)と黒体輻射、自由エネルギー、第三法則(第7章)の話題が続くが、理論面においても第一法則・第二法則成立以後の事柄を取り扱っている点が本書の特徴の一つであると言える。まず第6章では、クレーニヒからクラウジウス、マクスウェル、ボルツマンに至る気体分子運動論の発達を取り上げられる。ここで扱われる問題は、気体の比熱、実在気体についてのファン・デル・ワールス方程式、熱力学第二法則と統計力学の関係、そしてブラウン運動である。熱力学第二法則と統計力学の関係については、マクスウェルのデモンやボルツマンの H 定理などが有名であるが、Lewis はイギリスでは第二法則を力学に還元することに対して根強い反発があり、対してドイツの物理学者は力学への還元を推し進めようとする傾向があったこと、ボルツマンのアプローチもこの線上にあることを強調している。ただ、以下に展開される著者の主張は、評者の見立てでは十分に練られていないように思われる。マクスウェルのデモンとは、仕切りで区切られた水の入った容器の中で、仕切りに取り付けられた分子サイズの窓を静かに開閉することにより、仕事をすることなく仕切りの両側に温度差を発生させられるような架空の存在である。このような存在を考えることの意図は、熱力学第二法則が統計的な妥当性しか持たないことを示すことにある (p. 132)、とするのが一般的であろう。しかし著者の主張では、マクスウェル(および、「デモン」と名付けたトムソン)がこのような存在を考え出したことの眼目は、むしろ熱力学第二法則が力学と独立であることを示すことにある (p. 135)。この主張は評者にとってはやや意外に感じられたが、証拠が提供されていないのが残念である。また直後には著者が、マクスウェルのデモンとはマクスウェル自身にとっては人間の能力の限界の反映だったのであろうと推測し、もし我々の感覚能力が研ぎ澄まされれば仕事と熱との区別は意味を失い、第二法則による様々な制約もなくなるだろうとマクスウェルが述べていたことを注意している。だが、第二法則が人間の能力の限界に関する法則であるということと第二法則の力学からの独立性との関係、あるいはそもそもここでいう独立性とは何なのかが論じられていないため、この部分は混乱を招きやすいかもしれない。いま少し丁寧な議論が必要であろう。ツェルメロとポアンカレによる再帰パラドクスと関連して、ニーチェの永劫回帰に関する言及もな

されている点も目新しいが、記述が十分ではなく、また参考文献が挙げられていないため、評者には不親切に感じられた。

第7章は、熱力学の展開とも言うべき内容で、まず登場するのは黒体放射の問題である。この問題は量子論の誕生において、実験的な成果、産業界との結び付き、そして熱力学がシュテファン=ボルツマン則によって本質的な役割を果たしていることなど、多彩な要素が絡まりあっていることから歴史として非常に興味深い問題であり、教科書の段階で採り上げるのに相応しい話題であると評者は考える。また、続く自由エネルギーと化学熱力学の登場も、熱力学の適用例として自然に出てくるものであろう。ただ、紙幅の面からの制約であろうが、扱われている例が吸熱反応のみであり、オストヴァルトやファント・ホッフらによる物理化学の誕生についての記述が少ない。これだけでは熱力学によって何が可能になったのかが伝わりにくいのではないだろうか。最後に扱われるネルンストの第三法則は、低温物理学の発展とともに扱われており、鶏肉の冷蔵という話題とともに、簡潔でわかりやすい。第7章全体としては、熱力学の適用範囲の広さを印象付けることに成功していると評者は考える。

付録として、関連年表、用語集が収められている。評者のような専門家にとっても、巻末付録の年表に目を通すことは、政治的・社会的な動きも含めて当時の状況を概観する上で有益であるし、初学者にとっては用語集も助けになろう。以上に示したように、本書は奇を衒ったところのない、熱力学史としてバランスのとれた入門書であると言える。日本語では山本義隆『熱学思想の史的展開：熱とエントロピー』（ちくま学芸文庫、2008-2009年）が熱力学の歴史書として挙げられるが、内容が若干高度であり、初学者が通読するには適さないように思われる。これに比べれば本書は記述も平明であり、この分野に興味を持つ学部生、あるいは初年度の大学院生がまず通読すべき一冊であろう。『熱学思想の史的展開』には本書を読み終えた後で臨めばよい。

気になったところを挙げておこう。Lewisは科学の内部だけでなく、外部の要因も重要であるという観点から、様々な外的要因（個人的、経済的、宗教的……）を並べているが、これが熱力学の成立にどのように効いてきたかは明らかにされず、「雰囲気」を作るのに役立つにとどまっているように思われる。外的要因も含めた熱力学の「歴史的位置付け」まで論じようとするならば、教科書のレベルであっても、もっと記述量を増やさなければ不十分であろう。また、Lewisは巻末の文献表に様々な二次資料を挙げているが、それらはおおむね1980年代までの研究であり、全体的に古さが否めない。もっともこれはLewisの責任ではなく、単に熱力学に関する歴史的研究があまり進展していないことの現れであろう。Lewisもこうした状況には気付いており、例

えばクラウジウスやルニョーのような人物でさえ、あまり研究が進んでいないことを「驚くべき」ことだとしている (p. xix). クラウジウスは理論において、ルニョーは実験において、それぞれ多大な業績をなした人物であり、本書をここで評者が紹介するのも、このような状況が改善されることを願ってのことである。

(稲葉肇, 京都大学大学院文学研究科博士後期課程)