

書評

Helge Kragh

Entropic creation: Religious contexts of thermodynamics and cosmology
(Ashgate, 2008)

1865 年、クラウジウスは熱力学の基本的な 2 つの法則を、「1. 宇宙のエネルギーは一定である。2. 宇宙のエントロピーはある最大値へと向かう」と表現した。後者がいわゆるエントロピー増大の法則であり、本書の主題はその宇宙論的・宗教的な帰結に関する、19 世紀後半から 20 世紀初頭にかけての欧米における議論にある。エントロピーが最大値に達した状態では、何の仕事も生み出されず、生命が存在し得ない熱死 (heat death) 状態となる。エントロピー増大の法則がこの宇宙全体に適用できるならば、宇宙全体はやがて熱死状態となるだろう (熱死宇宙論)。一方で、現在の宇宙は、明らかに熱死状態ではなく、エントロピーは最大値に達していない。従って、この宇宙の年齢は有限であり、何らかの形で始まりがあったに違いない。そうでなく、宇宙の年齢が無限であるならば、現在の宇宙は既にエントロピー最大の状態になっているだろう。これが著者の言う (広い意味での)「エントロピー的創造論」(entropic creation argument; ECA) である。そして、さらにそのような宇宙を作った存在があるに違はなく、その存在とは聖書の神であると主張するなら、これは狭い意味での ECA と呼ぶことができよう。著者が行っているのは、熱死宇宙論と ECA に関する、当時交わされた物理学的・哲学的・神学的議論の展開を詳細に記述することである。

各章の内容を紹介する前に、本書で問題とされている中心的な論点を押さえておこう。それは、そもそも第二法則を宇宙全体に適用することが可能かどうか、ということである。もし宇宙の大きさが無限であれば、第二法則を宇宙全体に適用することはできないので、熱死のシナリオは成立しない。また、仮に宇宙の大きさが有限であっても、地球上で成立するからといって宇宙全体へ外挿してもよいかは不明であり、また宇宙それ自体は地球などとは違って物理学理論が適用できないような特別な存在であるかもしれない。このため、宇宙の無限性と永遠性を支持しようとしていた唯物論者・実証主義者・一元論者たちは、概して第二法則を否定し、熱死も ECA も認めない傾向が強かった。彼らはしばしば第一法則を絶対視し、神の存在を否定した。対して、宇宙の大きさが有限であるとする立場は有神論と結び付く傾向があり、特にドイツのカトリック系神学者の間で受け入れられていた。熱死は黙示録を想起させ、さらに創

世記の記述と整合的な宇宙の創造を推論するために用いられたのである。ただし、この最後のステップで聖書の神の存在証明まで主張するかどうかは意見の相違が大きいところであり、実際何らかの知的な存在が宇宙を創ったことを示唆するだけで、聖書の神との同一性までは主張しない者も多かった。また、物理学的な知見によっては決して満足な神の存在証明が得られないとの反論も、特にドイツのカトリック集団で根強かったことは重要である。神の存在証明は啓示によるもので十分だ、というわけである。もちろん、ここに挙げた無神論と宇宙の無限性、有神論と宇宙の有限性との結び付きは絶対的なものではない。有限宇宙の無神論と無限宇宙の有神論、あるいは空間的には無限だが時間的には有限な宇宙と、時間的には無限だが空間的には有限な宇宙、さらに空間的に無限で物質の量も無限の宇宙と、空間的には無限だが物質の量は有限の宇宙など、この種の議論には多くのヴァリエーションが存在していたのである。また、後述するように、第二法則の有効性を認めつつも、エントロピーが減少するようなプロセスを想定することで熱死を避けようとした考え方も多く見られる。

本書の構成は以下の通りである。第2章では、熱死のような、宇宙が徐々に崩壊に向かっておりやがて生命には適さない環境となる、という考えが古代からあったことが説明される。例えば近世においては宇宙の崩壊と人間の倫理的な堕落がパラレルに語られていた。また、18世紀後半になると、地質学的な証拠から、地球が冷却しつつあるとの主張（ビュフォン）がなされたり、宇宙の年齢が有限であることを示すために太陽に関する天文学的な証拠が重視されたり（ペイリー）した。この中には、熱に関する考察をもとにしたものもあったが、本格的に物理学が基礎に据えられるようになったのは19世紀、特に1850年代に熱力学が成立してからのことである。第3章では、その熱力学の成立のプロセスを追ったのち、1850年代前半にトムソン（ケルヴィン卿）やヘルムホルツらによって初めて熱死宇宙論が提唱されたことが説明される。特に、トムソンは太陽系についてのみ熱死を想定していた（そして宇宙全体については、宇宙の大きさは無限だとして熱死を否定した）のに対し、ヘルムホルツは宇宙全体に対して第二法則を適用した点が特徴的であり、また両者において既にECAの萌芽も認められる。注意が必要なのは、この時点ではクラウジウスによるエントロピー概念の定式化はまだなされていないため、エントロピーを用いずに第二法則のみによって議論が進められている点であろう。エントロピーは難解な概念であるとされたため、後の時代でもエネルギーの「散逸」や、自由エネルギーの減少という形で熱死が語られることは多かった。また、熱力学の他に、フーリエの熱伝導方程式がある時点より前では破綻することをもって創造の根拠とするような議論もあったという。

続く第4章と第5章が本書の中核である。その中でも比較的スペースを割いて紹介されている議論を中心に見ていこう。第4章では表題となっている ECA が中心に検討される。第二法則による ECA が明確な形で認められるのは 1860 年代後半になってからである。フランスでは哲学者カロが、熱力学の専門家であるデュプレの見解に基づきながら ECA に言及し (1868)、イギリスでは、神の存在には言及しないものの、マクスウェルが第二法則とフーリエの熱伝導論から世界に始まりがあることを主張した (1870 年代前半)。ドイツではヴュルツブルク大学で教えたフィックとブレンターノが熱死宇宙論と ECA に言及し、特に後者はその後も神の存在証明を含む狭い意味での ECA を支持し続けた。1875 年にはスチュワートとテートによる『見えざる宇宙』(*The Unseen Universe*) が出版され、大きな反響を呼んだ。この中で彼らは科学的根拠に基づいて唯物論を否定し、靈魂の不滅や世界の有限性といった問題に関して科学と宗教とが調和することを示そうとした。彼らは第二法則に (第一法則には劣るものの) 高い地位を与え、我々の目に見える「可視的宇宙」はやがて終焉を迎えると述べる。この「可視的宇宙」は実は、エネルギーとエーテルによって「見えざる宇宙」と繋がっており、「見えざる宇宙」に住まう知的な作用によって「可視的宇宙」の存在は可能になっている。スチュワートとテートはこうして「可視的宇宙」の創造を科学的に説明するという問題を解消し、科学と宗教との調和を強調したのである。他方でドイツでは、新スコラ主義の代表的神学者であるゲートベルレートが、1882 年から 1908 年にかけて詳しく ECA を論じた (ただしすべての神学者にとって ECA が重要だったわけではない)。彼の主張で興味深いのは、エントロピーは漸近的に最大値に近づくのみであり、決して最大値に達することはないという反論に答えて、そのような世界では結局自由エネルギーが非常に少なくなり、人類は生きられなくなるだろうという意味で宇宙の熱死を支持したことだろう。これに対して物理学者であったイゼンクラエは科学的な神の存在証明には懐疑的であり、1910 年、自然界にエントロピーが減少する過程がないとは言えず、またエントロピーが非常に高い環境中でも、適応によって生命は維持できるかもしれないとゲートベルレートらに反論している。

第5章では第二法則が適用される対象である宇宙という概念が問題となり、イギリス、フランス、ドイツにおける物理学者、哲学者、神学者らによる様々な種類の宇宙論が紹介される。例えば、唯物論を唱えて神の存在を否定し、宇宙が無限かつ永遠であるとするエンゲルスらの社会主義イデオロギーからすれば、第二法則は宇宙の創造を肯定し、有神論を支持するよう見えるため、危険で誤っているものである。こうした第二法則に対する否定的な考えは、後の共産主義諸国においても実際に科学研究

に影響を与えたという点で重要であると言えよう(ソ連については第7章で簡単に触れている)。また、当時天文学者がこの種の宇宙論的な問題に関わることは多くはなかったが、オルバースのパラドクスと呼ばれる問題を回避するために宇宙の大きさが有限であるとした場合には熱死との関係が問題となった。熱死を快く思わない科学者は多く、その内の一人アーレニウスにとっては、科学的に理解できる宇宙とは永遠に続き、超自然的原因の介入を必要としないものであった。そこで彼は、反エントロピー的なプロセスを想定して熱死を回避することで、宇宙の永遠性を示そうとしたという(1908年)。彼によれば、宇宙は熱い恒星と冷たい星雲という2つの熱浴から成っており、星雲は周囲の塵のような粒子によってエネルギーを吸収することで、物質やエネルギーの貯蔵庫のような役割を果たす。それゆえ、熱い恒星におけるエントロピーの増加は冷たい星雲におけるエントロピーの減少によって補償されるのである(このようなエントロピーの増加を防ぐプロセスには、アーレニウスによるものの他にも、放射熱によるエネルギーの集中や、星々の衝突など、様々なものが提案されている)。他方で、気体運動論に基づいてエントロピー概念自体に対して検討を加えたボルツマンは1895年、自身が1877年に提出したエントロピーの確率的解釈により、宇宙は全体として熱平衡状態にありエントロピー最大となっているが、生命が住んでいるのは、そのうちの一部でエントロピーが揺らぎ、偶然減少したような世界であるという宇宙論を考えた。たとえ我々の住む世界が熱平衡状態になったとしても、また別の場所に生命が住むことができる世界が生まれるかもしれないのである。

第6章と第7章では、第5章で扱われた時代よりも先に進んで、1920年代以降の熱死およびECAが扱われる。しかし、この2章の内容は、本書の内容に強く関係するというわけではない。というのは、アインシュタインの一般相対性理論に基づいた宇宙論が登場するからであり、相対論と熱力学を組み合わせた議論も見られる(トルマン)のではあるが、徐々に熱死への言及はなくなっていくのである。ただ、ネルンストやマクミランらの永遠宇宙の仮説(第6章)や、共産圏における熱力学へのイデオロギー的な敵意(第7章)など、興味深い事例はいくつか紹介されている。

索引によれば本書に登場する人物はおよそ380人にものぼり、文献数も約670と十分と言える。本書は今後、熱死あるいはECAに関して調べようとするときには、まず参照されるべきものとなるだろう。他方で、その詳細さのゆえに、本書で展開されている議論を追うことにはやや困難も伴うかもしれない。著者Kraghには本書の要約版とも言うべき“Cosmology and the entropic creation argument,” *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 37: 369–382 (2007) という論文があるので、事前

にこれを読んでおき，さらに第 6 章にある Summary and Overview に目を通しておくと，本書を読む際にも迷子にならずに済むであろう．なお，本稿は大岩紫織，香山貴亮，高尾克也，平清水史暁の各氏らとの本書の読書会に基づいている．記して感謝申し上げます．

(稲葉肇，日本学術振興会特別研究員・京都大学大学院文学研究科博士後期課程)

