

なるほど熱力学のまえがき

いままでのなるほどシリーズは数学の基本的なテーマを題材にしたものであったが、今回はじめて理工学に手を染めることになった。数学はあらゆる学問の基礎となるもので、その有用性については何度も強調してきた。数学を理工学へ応用するのは自然の成り行きであり、過去を振り返れば、自然科学を解明するために数学が発展してきたという歴史もある。自然は「数学」という言葉で書かれていると言われるほどである。

ところが、いざ数学を自然科学に適用しようとする、数学が万能ではないことに気づく。むしろ、限界だらけと言った方が正しいかもしれない。これは、数学の責任ではなく、自然現象があまりにも複雑すぎることに原因がある。例えば、2体の運動であれば、その相互作用も含めて厳密解が得られるが、これが3体になると、もはや数学的な解析解は得られない。もちろん、コンピュータ解析によって、複数の物体間の相互作用をある程度計算することはできるが、それは、あくまでも近似である。しかも、その場合でも物体を質点として扱うしかない場合が多い。頑張れば、剛体としての取り扱いもできるが、その内部の不均質などがからんでくると、もうお手上げである。

それでは、数学が全く無力かということ必ずしもそうではない。いろいろと工夫を凝らしながら、何とか自然現象の解明に役立つような涙ぐましい努力が日々続けられているのである。そして、何といても、自然科学では実験によって仮説を検定できる。数学の足りない分を、実験によって補うことが可能となる。これが自然科学の良さであり、客観性が高い理由である。

ところで、本書で紹介する「熱力学」は、あらゆる理工系の学問の中で、最も難解なもののひとつとされている。それは、その発展経緯の中にすでに理由が隠されている。熱力学は、18世紀に登場した蒸気機関などの効率を研究する学問として発展した。当時は、分子や原子の存在が知られていなかったため、熱の本質がよく理解されていなかったが、産業革命という社会的な要請もあって、経験則を中心として基礎が築かれていったのである。

さらに、熱力学で扱う対象の中心は気体であるが、その中には莫大な数の粒子が存在する。1モルの気体には 6×10^{23} 個もの分子が存在する。3個でさえお手上げなのに、これだけの数の分子の相互作用など分かりようがない。これが熱力学を難解にしている一因である。

さらに、熱力学では、直接測定できない関数も登場する。それはエンタルピーとエントロピーである。多くの熱力学の解説書では、これら関数がどのような物理現象と対応するかがあいまいなまま、いたずらに数学的な展開だけが続いていく。実は、このような関数を導入したのは、数学の全微分と関係がある。

詳細は、本書を参照していただきたいが、これら熱力学関数は全微分が可能であり、その結果、状態関数になるのである。

状態関数というのは、その状態が指定されれば、その値が決まるという関数である。これに対し、熱エネルギーは状態関数ではなく経路関数である。つまり、ある状態に至る経路に依存してしまうので、状態を指定してもひとつに定まらないという不便さがある。熱力学の主役の熱エネルギーが経路関数とは、心もとない気もするが、それゆえに、状態を記述する状態量としてエンタルピーとエントロピーが導入されたのである。

難解と言われながらも、熱力学は現代科学においても重用されている。これには、それなりの理由がある。それは、エンタルピーとエントロピーの状態関数からなる「自由エネルギー」という熱力学状態関数が、すべての物理や化学現象の安定性をはかる指標となっているからである。よく「エネルギーが高いから不安定」という言い方をするが、これは正確ではない。なぜなら、エネルギー自体は、物理の大原則であるエネルギー保存則によって減りも増えもしないからである。ここで言うエネルギーは正式には自由エネルギーとしなければならない。

そして、この自由エネルギーが、森羅万象を支配しているのである。かつてエントロピーがもてはやされ、理系だけではなく、文系の学問においても「エントロピー」を金科玉条として祭り上げたことがあるが、本来の主役は「自由エネルギー」である。

本書では、この「自由エネルギー」を中心として熱力学を解説している。そのため、従来の教科書とはかなり趣を異にしている。従来の熱力学では、熱機関を中心とした導入部分があるが、熱機関では、本来の物理と異なる複数のプロセスからなるサイクルからできているうえ、サイクルで議論をしてしまうため、私から見ても分かりづらい。本来は、サイクルではなく、サイクルを構成している素過程で論ずるべきである。さらに、状態関数であるエントロピーの導入の説明には首を傾げたくなる部分も多い。そこで、本書では、ある程度熱力学の有用性を理解した後で、熱機関について考察をしている。

「熱力学」を完成された学問と捉えるむきも多いが、自然科学に完成された学問など存在しようがない。どの分野においても未解明の部分は山積している。熱力学においても同様である。弁解ではないが、本書の内容もすべて完結しているわけではない。特に、熱機関の効率に関しては、多くの反論が出るのを覚悟で、あえて挑戦的な内容を展開している。

ところで、熱力学の対象は莫大な数のミクロ粒子であるため、その厳密的な解析は不可能という話をしたが、人間の良いところは、それであきらめないことである。1個1個の取り扱いが難しいならば、それが集団として機能したとき

の挙動を理解したら良いではないかと考え出したのである。そして、ミクロ粒子の特性を考慮しつつ、その集団の挙動を統計的に扱おうという学問が誕生した。それが、統計力学である。いずれ機会があれば、統計力学に関する本も書きたいと思っている。