

熱平衡状態とはなにか？

熱力学の出発点は「孤立した巨視的な系は、時間が経つと時間変化も流れもない熱平衡状態に緩和する」という要請だった。しかも（これは驚くべきことだと思うのだが）、熱平衡状態はごく少数の巨視的な変数の値を指定するだけで確定する。体積 V の容器に N 個の分子が閉じ込められた気体なら、 V, N と気体の全エネルギー U を指定すれば、熱平衡状態は1つに決まるのである。これは、よいだろう。

微視的な視点に立てば、箱の中の気体は N 個の分子からなる力学系である。変数 U, V, N を指定しても、対応する微視的な状態は無数にあり、状態が定まったりはしない。それでも、熱平衡状態を微視的な力学に基づいて表現する方法はよく知られている。「 U, V, N に対応するすべての微視的な状態が等しい確率で現れる」という、等重率の原理（あるいはそこから得られる統計分布）にしたがって計算すればよい。平衡統計力学の処方箋だ。これも、よいはずだ。

では、なぜ等重率の原理で熱平衡状態が再現できるのか、それが問題だ。かつてはエルゴード仮説に基づく考えが優勢だったようだが、私見では、現代の少なからぬ研究者が「熱平衡状態の典型性」が鍵になると信じている。「 U, V, N に対応する無数の微視的な状態のほとんどは、巨視的に見

ればそっくり」という前提から出発し、このそっくりな性質こそが熱平衡状態だとみなすのである。つまり、熱平衡状態とは特定の微視的な状態や確率分布ではなく、ほとんどの微視的な状態が共有している性質を指すということになる。

これで「 U, V, N を決めれば巨視的な熱平衡状態が確定する」という熱力学の基本は自然に理解できる。非平衡状態が熱平衡状態に緩和するのも、例外的な状態が時間発展し「ほとんどすべて」の一員になったと思えば納得がいく。

このようなシナリオを単なる「もっともらしいお話」をこえる確固たる物理に高めようという試みが、ここ十年ほどで大きく発展している。冷却原子系などでの精度の高い実験において、外界からほぼ孤立した量子多体系の緩和現象が観測できるようになったことが、研究の大きな原動力になった。加えて、大規模な数値計算、可解モデルでの精緻な計算、量子情報理論の発展をふまえた（なんとフォン・ノイマンにまでさかのぼる）数理論理的アプローチなどがあいまって、活発な研究が進んでいる。「熱平衡状態とはなにか」という古くからの根本的な問いに、現代的で明快な回答が与えられる日も遠くないと期待したい。

田崎晴明（学習院大理）、会誌編集委員会