

シア流と非平衡相転移

佐野 雅己（東大物理）

複雑な非平衡系にも普遍的な法則が存在するのか、もしあるとすれば、いつどのような場合に普遍性が現れるのか、それを知ることは、非平衡系の研究者にとって長年の課題である。系がゆらいでいる活性状態から非活性状態（吸収状態）に入ると、そこから2度と戻れなくなる相転移現象は、詳細つり合いを破るため、非平衡相転移と呼ばれる。特に吸収状態が1つだけの場合は、Directed Percolation (DP) と呼ばれ、最も重要なユニバーサリティー・クラスの一つである。これまで多くの数理モデルが DP クラスに属することが知られていたが、2007 年までは対応する実験系が見つかっていなかった。2007 年に竹内らにより、液晶電気対流の乱流現象で DP の存在が初めて観測され(1)、その後 2016 年には、チャンネル流とテラー・クエット流の2つの系において、層流・乱流転移が DP クラスに属するという、乱流研究の長い歴史に全く違った角度から光を当てる研究が発表されるに至った(2,3)。

パイプ流やチャンネル流、テラー・クエット流などシアのある流れでは、層流状態が線形安定であるにもかかわらず、有限の摂動で乱流化することが古くから知られ、その理解は多くの研究者を悩ませてきた。しかし、乱流を活性化状態、層流を非活性状態と見なすと、一旦、層流化すると摂動なしでは乱流状態には戻れないため、吸収状態相転移と見ることが可能となる。液晶系と水のシア流で発見された DP 転移は、レイノルズ数が片や 10^{-3} 、片や 10^3 と全く異なり、活性状態も、液晶中のトポロジカル欠陥と局在した乱流と全く異なっており、これらが同じ非平衡相転移に従うことは驚きである。また、移流のある層流・乱流転移の実験では、活性化状態の空間分布を測ると時間に関する臨界指数が得られ、時間分布を測ると空間に関する臨界指数が得られるという一見不思議な性質も明らかになった。ただ、層流・乱流転移では、システムサイズが小さいという問題を始め、未解決の問題が残されている。一方、液晶の DP 転移に移流を加えると、シア流の層流・乱流転移とほぼ同じ現象が観測され、大きなシステムサイズで理論的にも非自明なことが実験で検証可能となる。例えば、パイプ流で知られている局在乱流（パフ）の寿命が2重指数関数で発散するという、レイイベントと DP との関係などは、これらの実験で調べることが可能である。講演では、移流のある2つの実験系を比較しながら DP の興味深い性質について議論する。

- (1) K. A. Takeuchi, M. Kuroda, H. Chaté, and M. Sano, Phys. Rev. Lett. 99, 234503 (2007).
- (2) M. Sano and K. Tamai, Nature Physics, 12, 249 (2016).
- (3) G. Lemoult, L. Shi, K. Avila, S. V. Jalikop, M. Avila and B. Hof, Nature Physics 12, 254–258 (2016).