

液晶乱流で調べる、非平衡の不可逆的相転移とエントロピー生成

Irreversible transition in liquid crystal turbulence and entropy production

東京大学 竹内一将

非平衡状態にある物質の巨視的性質は、いかなる物理法則に従っているだろうか？ その解明は、現代科学に課された大きな未解決問題の1つといっても過言ではない。非平衡状態の1つの特徴はエントロピーが生成され続けることであるが、エントロピー生成量のゆらぎに潜む対称性を明らかにした「ゆらぎの定理」が発見され、深化したことで、非平衡系の理解が大きく進展した[1]。並行して、従来は理論モデルでの確認に留まっていた非平衡特有の相転移現象が実験的にも観測され、その普遍的性質が実証されるなどの進展もあり[2]、非平衡物理学に新たな潮流を生んでいる。

非平衡に特有の相転移現象として、AからBには変化できるが、BからAには変化できない、不可逆的な相転移がよく知られており、吸収状態転移と呼ばれている[2]。理論的には、単純なモデルに基づいて吸収状態転移の普遍的な統計法則が確立され、疫病モデルや流体现象との関係が議論されていた。この法則は、25年ほど実験的証拠のない状態が続いたものの、2007年に、液晶乱流を用いた著者らの実験[2]によって実在することが明らかとなった。現在は、水などの流体が乱流化する際にも同じ法則が出現する場合がある[3]と判明するなど、実在の自然現象との関わりについての理解が急速に進展している。

そのような進展の一方で、エントロピー生成という非平衡の直接的な特徴量と、吸収状態転移との関係は未解明のままである。実は、系から環境に流れるエントロピー量は、通常、系の状態の遷移確率の可逆性と直接的な関係があり、この関係を素朴に適用すると、不可逆的な過程ではエントロピー生成量が無限大、すなわち無限の発熱が生じることになってしまう。これは明らかに実験事実と反するので、吸収状態転移に伴うエントロピー生成には、解消すべき（見かけ上の）矛盾が残されているといえる。本研究では、吸収状態転移が実証された液晶乱流系で、乱流駆動に用いる電圧と電流の同時計測によって発熱量が直接計測できることに注目し、エントロピー生成が実際にどのような性質をもつのか、実験で明らかにすることを目指した。講演では、様々な例を引き合いに、吸収状態転移やエントロピー生成に関わる非平衡物理学の話題にも触れることで、本研究で取り組む問題の意義についても紹介したい。

なお、本講演は、Somayeh Zeraati 氏、犬塚悠剛氏、中山洋平氏との共同研究に基づくものである。

【参考文献】

- [1] ゆらぎの定理の紹介記事：佐々真一、「ゆらぎの定理—非平衡な世界の対称性—」、日本物理学会誌 **69**, 676-677 (2014年10月号).
- [2] 不可逆的相転移の解説記事：竹内一将、「To be, or not to be —吸収状態をめぐる非平衡臨界現象の物理学」、日本物理学会誌 **70**, 599-607 (2015年8月号).
- [3] 佐野雅己、玉井敬一、「乱流発生の法則を発見：130年以上の未解決問題にブレークスルー」、東京大学プレスリリース <http://bit.ly/ranryu> (2016). 本年、上野の国立科学博物館で開催された企画展「物理はふしぎで美しい！ 磁石と水からひろがる相転移の世界」で研究で使われた乱流装置が公開され、話題となった。