

## Zon-Cohen 特異性の物理的起源

根本 孝裕

東京大学大学院 総合文化研究科

1993年、熱力学第2法則を超えて成り立つ等式、ゆらぎ定理が発見された。この定理はエントロピー生成のまれに起こるゆらぎの性質として表され、この性質は、非平衡物理学に対する理解を飛躍的に前進させた。系が定常状態にあるとき、全系のエントロピー生成の期待値は、系が熱浴に放出する熱の期待値と等しい。そして熱力学第一法則により、その期待値は外界がする仕事の期待値と等しい。従って定常状態を考える上では、仕事と熱、どちらを考えてもゆらぎ定理が成り立つことが期待される。ところが2004年、ZonとCohenは、仕事に対するゆらぎ定理が常に成り立っている一方で、熱に対するゆらぎ定理は破れ得ることを主張したのである [1]。この破れは、熱に対するキュムラント母関数の特異性から得られる。ここではその特異性をZon-Cohen特異性と呼ぶ。未だに、特異性の物理的起源（粒子のどのような運動が特異性を引き起こすか）や、その特異性の普遍性（同様の特異性がZon-Cohenが解析した系以外においても現れるのかどうか）について、理解は不十分である。

この問いに答えるため、本ポスターでは、周期ポテンシャル上のブラウン粒子系を考え、その周期を無限大にする極限操作を行う。Zon-Cohenが用いた系は、光ピンセットによって引きずられたブラウン粒子系である。従って極限操作によってその系を再現すれば、特異性がどのように現れるのかを観察することが出来る。またその際、粒子位置  $x(t)$  に対する biased 分布関数  $p_{h_w, h_q}(x)$

$$p_{h_w, h_q}(x) = C \langle e^{h_w W(t) + h_q Q(t)} \delta(x(t) - x) \rangle \quad (1)$$

に着目する。ここで  $W(t)$  は外界が時刻  $t$  までにする仕事、 $Q(t)$  は粒子が時刻  $t$  までに散逸する熱、 $C$  は規格化定数である。また  $h_w, h_q$  は biasing field (または counting field) と呼ばれる。biasing field はまれに起こるゆらぎの頻度を調節するためのコントロールパラメータとなる。従ってこの分布を用いることで、具体的に粒子のどのような運動が特異性を引き起こすのかを観察することが出来る。

解析の結果、(i) 熱の高次のゆらぎを計算する粒子の運動 (大きい  $Q(t)$  を与える粒子の運動) が、ポテンシャルを駆け上がるという特異な振る舞いを示すこと、(ii) その特異な振る舞いが、2つの極限操作の非可換性を引き起こすこと、そして (iii) その非可換性が、Zon-Cohen 特異性を引き起こしていることが明らかになる。本ポスターでは、以上の内容を説明したい。

## 参考文献

- [1] R. van Zon and E. G. D. Cohen, Phys. Rev. Lett. **91**, 110601 (2003).