

A01-003 非平衡ゆらぎが生み出す構造と運動の普遍性

東京大学大学院理学系研究科 佐野雅己
東京工業大学大学院理工学研究科 笹本智弘
東京大学大学院理学系研究科 竹内一将

[非平衡クロス効果に関する研究]

温度勾配の下でカイラル液晶が回転運動する現象は、レーマン効果と呼ばれ、約 100 年前に発見されたが、その再現や定量的な計測はごく最近まで行われてこなかった。我々は、基盤の配向を制御することで、ターゲット型、ストライプ型、ストライプなしの 3 種類の液滴の回転モードを見だし、それらの内部配向状態を蛍光配向共焦点顕微鏡法により始めて測定することに成功した(1)。また、異なる配向条件の下で回転速度の温度勾配依存性やサイズ依存性を定量的に測定し、その結果から従来理論では説明できない効果を見だし、表面効果を考慮した現象論的解析を行った。

[アクティブマターに関する研究]

非平衡条件下で自律的に並進運動を行う粒子やその集団は、アクティブマターと呼ばれ、物理化学的な系から生物系に至るまで様々な自己駆動する系に関する研究が行われている。自己駆動する粒子は、変形を伴うものが多いが、変形と並進運動の関係を明らかにするために外部から制御可能な実験系はこれまで殆ど存在しなかった。我々は、水面上に浮かべた油滴を垂直加振することで、制御パラメータを変えると、液滴が逐次的に分岐を繰返し、自発的に対称性を破り、様々な変形を伴った並進運動が起こることを見いだした。加振の振動数と加速度を変えて、Straight, rotating, spinning, squirming, zigzag, reciprocal motion, irregular polygonal turning などの様々な並進運動を見だし、それらの相図を得た。また、対称性の考察から得られる Ohta-Ohkuma モデルの分岐解析と良く一致する分岐ダイアグラムが得られた(2)。

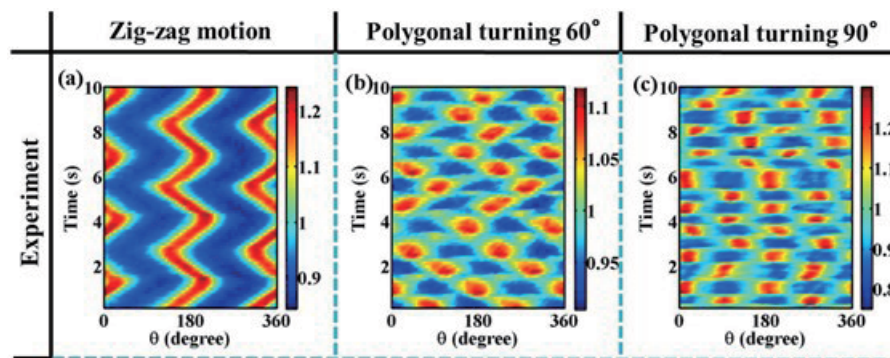


図1 加振された水面上の油滴に現れる特徴的な並進モードに対応する変形モード (a)Zig-zag motion, (b) 60度方向へのターン、(c)90度方向へのターン)

[層流・乱流転移と非平衡相転移に関する研究]

シア流の下での層流・乱流転移が非平衡相転移の一種である有向パーコレーション (DP) であるとの予想に基づき、6000 x 900 x 5 mm のチャンネル流を製作し、転移点付近での乱流発生の解析を行った。その結果、乱流の平均密度とラミナー長の発散に関する 2 つの臨界指数

について、 $2 + 1$ 次元の DP とほぼ一致する結果が得られた。この結果は、物理学会年会で発表する予定である。

[界面成長に関する研究]

笹本は、界面成長に見られる普遍的性質(KPZ 普遍性)が、さらに広いクラスの系で見いだされる可能性についての考察を進めた。H. Spohn との共同研究においては、粒子が同じ位置に来た場合に非対称な反射を行うような多数のブラウン運動粒子からなる系の解析を行った。この系は自己双対性という著しい性質を持ち、そのことを用いる事で粒子の位置の揺らぎに関する厳密な表式を得た。さらに漸近解析を行うことで KPZ 普遍性が見られることを確認した。また、同様な性質を示す離散モデルを一般化したり (Borodin, Corwin, Petrov との共同研究)、自己双対性と系の量子群対称性についての関係をかなり一般の系に対して議論する枠組みを構築した (Carinci, Giardina, Redig との共同研究)。その他にも、有限温度におけるランダムポテンシャル中の高分子の問題を扱う新たな方法を開発し、現在論文を準備中である。竹内は、KPZ クラスの界面成長の普遍ゆらぎに関して、液晶乱流を用いた実験と数値計算の双方から研究を進行した。実験的には、液晶電気対流系において、乱流界面成長の初期条件を自在に制御できる実験系を試作した。乱流の核生成に用いる紫外線レーザーのビーム形状を空間位相変調器によって成形することにより、リング状の初期条件から内向きに成長する円形界面や、初期の曲率を制御した界面などの生成が可能である。また、実験予定の界面ゆらぎの性質を界面成長モデルの数値計算によって測定し、円形界面サブクラスと平面界面サブクラス間のクロスオーバーなどの振る舞いを見出した。さらに、Halpin-Healy 氏との共同研究により、界面の局所的荒さや極値のゆらぎを実験的および数値的に測定し、その普遍的分布関数の形を決定した(6)。さらに、Ferreira 氏らとの共同研究では、システムサイズが時間と共に増大する系で平面状界面の統計則を数値的に測定し、それが円形界面のものとは一致することを発見した(7)。これは、円形界面サブクラスの出現条件として、界面形状よりシステムサイズの時間依存性の方が重要である可能性を示唆する結果である。

参考文献:

- (1) T. Yamamoto, M. Kuroda, and M. Sano, Three-dimensional analysis of thermo-mechanically rotating cholesteric liquid crystal droplets under a temperature gradient, *EPL* 109, 46001 (2015).
- (2) H. Ebata and M. Sano, Swimming droplets driven by a surface wave, *Sci. Rep.* 5, 8546, (2015) in press.
- (3) A. Borodin, I. Corwin, T. Sasamoto, From duality to determinants for q-TASEP and ASEP, *Ann. Prob.* 42(2014)2341-2382.
- (4) A. Borodin, I. Corwin, L. Petrov, T. Sasamoto, Spectral theory for the q-Boson particle system, to appear in *Comp. Math.*
- (5) T. Sasamoto, L. Williams, Combinatorics of the asymmetric exclusion process on a semi-infinite lattice, to appear in *J. Comb.*
- (6) T. Halpin-Healy and K. A. Takeuchi, submitted to *J. Stat. Phys.*
- (7) I. S. S. Carrasco, K. A. Takeuchi, S. C. Ferreira, and T. J. Oliveira, *New. J. Phys.* 16, 123057 (2014).