

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
東京工業大学大学院理工学研究科 竹内一将

本計画研究では、非平衡ゆらぎが生み出す構造と運動の普遍的な性質を明らかにするため、(1) ランダム成長界面のゆらぎに関する研究、(2) 非平衡相転移の普遍性に関する研究、(3) アクティブマターに関する研究の3つのテーマを主として推進している。各テーマに関する H27 年度の研究成果は以下のとおりである。

【ランダム成長界面のゆらぎに関する研究】

竹内は、秋元琢磨氏との共同研究により、KPZ 界面ゆらぎの符号変化が「弱いエルゴード性の破れ」と呼ばれる特異な性質を示すことを明らかにした¹。これにより、KPZ 時間相関に関する諸量の結びつきや、界面形状依存性についての理解が進んだほか、エルゴード性の観点から、乱流ゆらぎや量子ドットとの関係を議論する端緒も開かれた。また、研究室所属学生との共同研究により、液晶乱流界面の初期曲率を制御できる実験系を構築し、KPZ クラスの円形界面と平面界面のクロスオーバーの様相や、理論的に未解明の負の曲率を持った界面ゆらぎの性質を実験的に測定した。また、半無限系の KPZ 界面との関係が期待される実験系も構築し、その界面ゆらぎを計測する準備が整った。理論面で笹本は、昨年度の自己双対性を持った非平衡確率過程を構成する方法²を応用し、 $U_qSU(1, 1)$ 対称性を持つ多粒子確率過程モデルを導入した (G. Carinci, C. Giardinà, F. Redig との共同研究)³。特にこのモデルはある極限においては、確率的熱伝導のモデルとしてよく知られた KMP モデルと呼ばれるモデルに非対称性を入れたものを含むことが分かった。これまでに有限のカレントが存在することなどを示したが、普遍性クラス等の問題は将来の課題として残されている。また、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行列式構造を用いて扱う手法を開発し、論文にまとめた (今村卓史氏との共同研究)⁴。これは KPZ 普遍性に関する理解を深めるのに有用であると期待される。さらに離散時間モデルにおいても関連する結果が見出し、現在論文を準備中である。その他にも、ハミルトン系における KPZ 普遍性に関する理解を深める研究を遂行中である。

【非平衡相転移の普遍性に関する研究】

平衡系の相転移と臨界現象における普遍性の発見は 20 世紀の統計力学における重要な発見の一つであったが、非平衡系における相転移や臨界現象の研究は現代の統計力学の重要なテーマである。本計画研究では、古典流体や量子流体、複雑流体における層流・乱流転移が非平衡相転移であるという予想に基づき、実験、理論の両面から複数の系について研究を行っている。その中でも特筆すべき事として、H27 年度は、古典流体、量子流体の 2 つの系において、乱流転移が非平衡相転移の重要なクラスの一つである Directed Percolation (DP) と同じ普遍法則に従うことを初めて明らかにした。古典流体に関しては、シア流における層流・乱流転移が DP 転移であるとの予測に基づき、これまでで最大となるチャンネル流の実験を実現した。境界条件として注入された乱流状態がチャンネルを流れる間に減衰するのか減衰せず

に全体に広がるかを詳細な測定と解析により定量化し、臨界レイノルズ数近傍で、相関長の発散やオーダーパラメータの臨界的な振る舞いを見だし、3つの独立な臨界指数を得ることに成功した。これら3つの指数は(2+1)次元のDP 普遍性クラスの理論値と推定誤差の範囲で一致した⁵。これは、レイノルズ以来130年近く未解決であったシア流における層流・乱流転移に関する問題、つまり、乱流はいつどのようにして起こり、そこに普遍的な法則はあるのかという根本的な問題に一つの答えを与えるものである。

また、竹内は、A02 班の高橋雅裕氏、小林未知数氏との共同研究により、Bose-Einstein 凝縮体を記述する Gross-Pitaevskii 方程式の数値計算によって量子乱流転移の臨界現象を測定し、それが directed percolation (DP) クラスに属することの証拠を得た(論文準備中)。このように、DP が様々な乱流転移で見られる普遍的な性質であることが明らかになった。

【アクティブマターに関する研究】

自己駆動粒子の高密度な集団によるメソスコピック乱流の発生に関する実験報告。Janus 粒子を用いて電気流体力学効果により印可した AC 電圧と垂直な面内で極性を持って動き回る自己駆動粒子の相互作用やエネルギースペクトラムを測定した結果、粒子間の流体相互作用による効果がメソスコピック乱流を生じさせていることを実験と理論から明らかにした⁶。また、細胞運動の新しい理論モデルを提案した。2次元で細胞の形を変形させる力テンソル、変形が生み出す重心の運動を対称性からモデル化し、細胞が発生する応力リミットサイクル振動する場合や興奮性でノイズによりコヒーレントレゾナンス現象で振動する場合などについて計算とシミュレーションを行った(太田隆夫、多羅間充輔との共同研究)⁷。

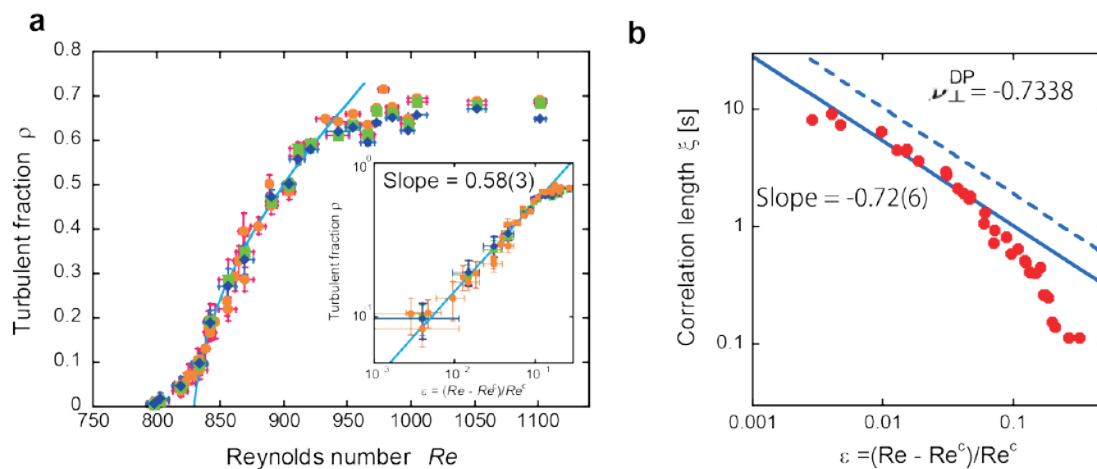


図1. a. オーダーパラメータ(乱流割合)のRe依存性 b. 層流持続時間分布から評価した空間相関長の発散

参考文献:

- (1) K. A. Takeuchi and T. Akimoto, arXiv: 1509.03082 (2015).
- (2) G. Carinci, C. Giardina, F. Redig, T. Sasamoto, *Prob. Th. Rel. Fields*, (2016) in press.
- (3) G. Carinci, C. Giardina, F. Redig, T. Sasamoto, arXiv: 1507.01478
- (4) T. Imamura, T. Sasamoto. arXiv: 1506.05548
- (5) M. Sano and K. Tamai, *Nature Physics* (2016) in press.
- (6) D. Nishiguchi and M. Sano, *Phys. Rev. E*. **92**, 052309 (2015).
- (7) T. Ohta, M. Tarama and M. Sano, *Physica D*, (2016) in press.