

基板上で自発運動する棒状タンパクの示す渦格子生成

(愛知教育大学) 住野 豊

【はじめに】

動物の群れ、人込み、自動車の渋滞あるいは細胞の集合体など、自ら動きまわる能動的な要素の集合体は様々なスケールで我々の身近に存在している。このような能動的な要素は駆動に至る内部状態が存在することから、集団の振る舞いは個々の系に応じて変化することも考えられるが、群れ運動の様子など一見するとある種の普遍的振る舞いが期待される。そこで自ら動き回る能動的な要素の集合体を統一的に理解しようとする試みが盛んである。なかでも単純な数理モデルの一つが Vicsek モデル⁽¹⁾である。このモデルは、密度による集団運動の不連続な転移など様々な興味深い示唆も得られている⁽²⁾。一方これらの理論の進展に対比し、実験での検証は立ち遅れている。このような背景の下、我々は基板上に吸着した分子モーターであるダイニンにより駆動される、微小管の集団挙動を観察した⁽³⁾。

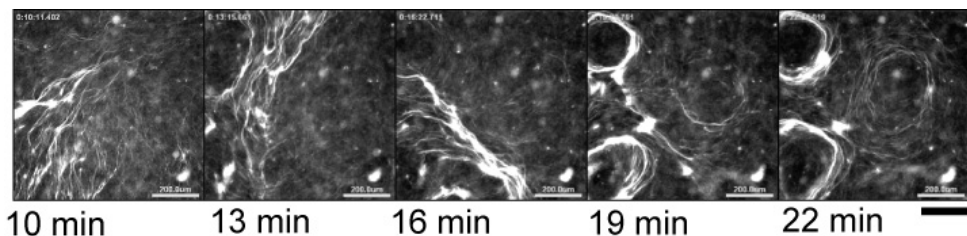
【結果と考察】

このような系で微小管多量を用い実験を行うと図に示すように時間とともに渦を形成した。更にこの渦は基板上を全て覆いつくしており格子を形成していた。この結果は、以前に報告されている理論的予測や、Schaller らの報告とも大きく異なるものである。

この集団挙動を理解するためまず微小管間の相互作用を観察した。すると微小管は衝突時に排除体積の効果により運動の向きが平行か反平行に揃うことが見出された。更に単一の微小管の運動特性解析すると、微小管の軌跡は曲率に長時間の相関をもつことが見出された。これら実験結果より見出された特性を取り入れたモデルが以下の式であらわされる：

$$\frac{dx_i}{dt} = v(\mathbf{e}_x \cos \theta_i + \mathbf{e}_y \sin \theta_i), \quad \frac{d\theta_i}{dt} = \omega_i + \frac{\alpha}{n_i(t)} \sum_{j \neq i} \sin(2(\theta_j - \theta_i)), \quad \frac{d\omega_i}{dt} = -\frac{1}{\tau}(\omega_i - \bar{\omega}) + \xi(t).$$

このモデルを用い、実験で測定した実験系の値から得られるパラメータを用いて数値計算を行うと渦格子の生成が再現された。また相関時間 τ が大きい時、密度上昇に伴いは無秩序状態から、渦格子状態への転移が生じることが見出された。以上の結果は、局所的で単純な衝突相互作用であっても、運動方向の揺らぎの有限時間相関により結晶のような周期構造を生み出す点で興味深い。また、方程式の上では有色ノイズ ω は時間的に緩和する粒子の内部状態と考えることもできる。これは、より一般的な系、つまり動物集団や人間集団の集団運動を考える上で内部状態の取り扱いの一手法としても興味深いと考えられる。



【参考文献】

- (1) T. Vicsek, et al., *Phys. Rev. Lett.* **75**, 1226-1229 (1995).
- (2) G. Grégoire and H. Chaté, *Phys. Rev. Lett.* **92**, 025702 (2004).
- (3) Y. Sumino, K. H. Nagai, et al., *Nature* **483**, 448-452 (2012).