

【目的】多細胞生物の発生や生体組織の恒常性、血管新生などの生理現象の理解は生命科学・医学の重要課題である。これらの現象には、細胞の集団移動という共通点がある。一方で非平衡統計物理学において近年、細胞のような自己駆動する要素の集団を記述するアクティブマターという枠組みが整いつつあり、生命科学上重要な多細胞生命現象の理解への応用が期待されている。本研究では、集団運動が外場と結合した場合の理論の構築の足がかりとするため、集団運動の外場への応答を実験的に調査した。細胞集団の外場へのマクロな応答の定量計測を、血管の細胞の剪断流への応答を利用して行うことで、外場への応答を自然かつ現実に応用可能な形でアクティブマター理論に組み込む手がかりとなる実験結果を得ることを目的とした。

【方法】題材としてヒト臍帯静脈内皮細胞（HUVEC）を用いた。培養皿上を這い回る HUVEC は、その細長い細胞体のために、隣接する細胞同士が向きを揃えようとする相互作用を示す結果、ネマチック液晶に類似のトポロジカル欠陥の存在する集団運動パターンを示す。加えて、血管の細胞である HUVEC は、血流のような剪断流の向きに大域的に向きを揃える。この性質をアクティブマター研究に活用し、微小流体デバイス内で HUVEC を培養し、そこに剪断流を外場として加えることで、細胞集団が応答し向きを揃える過程での細胞配向と位相欠陥のダイナミクスを解析した。

【結果】微小流体デバイス内でまず静置して育てた細胞集団に、一方向の剪断流をくわえた結果、初めはトポロジカル欠陥の多数存在し全体としては向きの揃っていない状態であった細胞集団が、時間とともに剪断流の向きに大域的に向きを揃えていく非平衡ダイナミクスを観察できた。配向場を定量的に解析することで、向きを揃える過程でトポロジカル欠陥同士が頻繁に対消滅する過程や、単体のトポロジカル欠陥の外場中で運動する様子も捉えることができた。

剪断流下での細胞配向の秩序化

