

2023 年度
創発的研究支援事業 年次報告書

研究担当者	前多 裕介
研究機関名	九州大学
所属部署名	理学研究院物理学部門
役職名	准教授
研究課題名	幾何学を軸とするアクティブ乱流物理学の開拓
研究実施期間	2023 年 4 月 1 日～2024 年 3 月 31 日

研究成果の概要

本研究の目的は、上皮細胞など高密度アクティブマターが示す乱流的な挙動（アクティブ乱流）に内在する渦や位相欠陥など幾何的構造に着目し、細胞集団が示す多体秩序性の基本原理を明らかにすることにある。本年度は上皮細胞のアクティブ乱流の解析として、円形および二つの円を重ねた双子型円形の空間拘束下に置かれた細胞集団の集団運動を解析し、一対となった渦ペアの秩序形成ルールの解析を行った。その結果、渦間の距離 D と渦サイズ R の比率 D/R が一定の値に達したときに渦ペアの秩序形成が変化する転移点があることがわかった。この転移を自己駆動粒子の理論から解析したところ、contact following と呼ばれる相互作用を加えた数値計算モデルで再現できることがわかった。しかし、実験では周期的に向きが反転する密度波が見られるが数値計算には現れず、まだ考慮不十分な力学的作用があると考えられる。この点は次年度に引き続き解析に取り組む。さらに、上皮細胞の集団が示す創傷治癒がいかんして一方向に運動するかを移動現象の連続体力学から解析し、細胞間の不均一な摩擦力が重要な役割を果たすことを明らかにした（論文改訂中）。

また、筋芽幹細胞（C2C12 細胞）もまた集団運動を示す系として知られる。この細胞群では配向相互作用が細胞の前後軸の区別をしないネマチック相互作用となっているため、集団運動では多数の渦の集合体としての乱流ではなく位相欠陥とよばれる配向の特異点が多数現れる。細胞集団の位相欠陥同士の間相互作用や位相欠陥で起こる細胞特有の変化を明らかにするため、空間的制御下での C2C12 細胞の集団運動を解析した。その結果、 $+1/2$ 欠陥は一対となって円形境界や双子型円形境界で現れるものの、 $-1/2$ 欠陥は三回対称性を境界形状において位相欠陥の距離を配向相関長まで離れたときに現れることがわかった（Soft Matter 2023）。