

函数論に基づく細胞配向の数値計算法と実験検証

Numerical calculation of cell alignment using complex function theory and its experimental validation

東大情理¹, °宮廻 裕樹¹, 奈良 高明¹

Univ. of Tokyo¹, °Hiroki Miyazako¹, Takaaki Nara¹

E-mail: hiroki-miyazako@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

1. 緒言

紡錘形状の培養細胞はコンフルエントに達すると局所的に特定の方向に配向することが知られており、多くの細胞種において細胞の配向性は細胞機能と関連があることが示されている。一方で、近年の生物物理学における研究により、閉領域中にパターンニングされた細胞の配向構造にはトポロジカル欠陥とよばれる配向角度が定義できない特異点が生じることが示されている[1]。トポロジカル欠陥は配向角度の均質性や再現性を乱す原因となるため、欠陥の生成位置を予測・制御する技術が必要であると考えられる。本発表では、函数論に基づいた細胞配向角度の計算法やトポロジカル欠陥の生成位置の予測法を提案し、培養実験による検証例について報告する。

2. 方法

先行研究[1]に従い、紡錘形細胞をネマチック液晶の配向として物理モデル化し、細胞の弾性エネルギーが極小となるような欠陥の位置を推定することを考える。細胞が存在する2次元の閉領域を Ω とし、単位円板から領域 Ω への等角写像を $g(z)$ とする。細胞が境界 $\partial\Omega$ に沿って配向するとき、 Ω 上の点 $w = u + iv$ における細胞の配向角度 $\phi_\Omega(u, v)$ は、欠陥の位置 w_k と等角写像 $g(z)$ を用いて陽に記述できる。さらに、細胞が持つ弾性エネルギー $F = \iint |\nabla\phi_\Omega|^2 dudv$ も欠陥の位置 w_k を用いて表現できることが示される。したがって、弾性エネルギー F を欠陥の位置の複素共役 $\bar{z}_k$ について直接微分をとることができるため、 F が極小となるような欠陥の位置を最急降下法により数値的に求めることが可能となる。

3. 実験

Fig.1 (a)に示す領域に対して提案手法を適用し欠陥の生成位置を推定した。初期値として領域の中心付近に欠陥を2つ配置した場合、最急降下法によって欠陥は領域の先端に向かって移動し、Fig.1 (b)に示す位置に収束した。最急降下法の各計算ステップにおいて、弾性エネルギーは単調に減少しており(Fig.1 (c))、アルゴリズムが正しく動作していることが確認された。

さらに、Fig. 1の計算結果の妥当性を示すため、Fig. 2(a)に示される高さ40 μm の凹凸をもつPDMS構造体上にマウス筋芽細胞(C2C12)を播種し、細胞の配向を位相差画像より計測した。その結果、細胞は凹凸に沿って配向し、数値計算による予測結果(Fig. 1(b))と同様に欠陥が2個境界の先端付近に生成されることが分かった(Fig. 2(b))。

参考文献 [1] G. Duclos *et al.*, *Nature Physics*, **13**, 58-62 (2017).

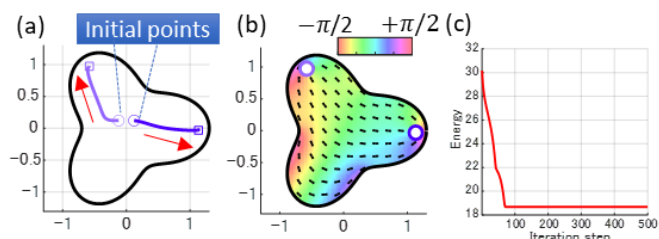


Fig.1: An example of numerical calculation of cell alignment.

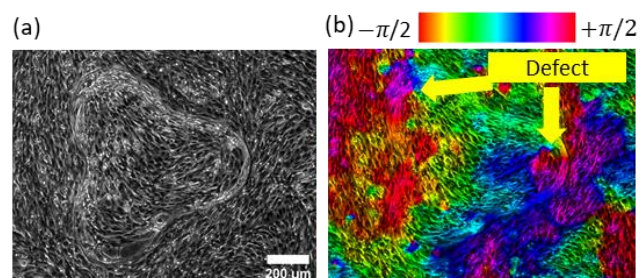


Fig.2: Alignment of C2C12 cells on a PDMS substrate.