

周期構造上のネマチック液晶理論に基づく細胞配向制御

Control of Cell Alignment Based on a Theory of Nematic Liquid Crystals in Periodic Structures

東大工¹, 東大院情理², 京大院理³ ○(B)松田 直樹¹, 宮廻 裕樹², 坂上 貴之³, 奈良 高明^{1,2}

Sch. Eng., Univ. of Tokyo¹, Grad. Sch. IST, Univ. of Tokyo², Grad. Sch. Sci., Kyoto Univ.³

○Naoki Matsuda¹, Hiroki Miyazako², Takashi Sakajo³, Takaaki Nara^{1,2}

E-mail: matsuda-naoki318@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

【緒言】筋細胞や上皮細胞などの接着細胞は紡錘形状を持ち、その細胞配向の一様性が機械的・生化学的な特性に影響を与える。そのため、ピラーや溝などの微細構造を培養基板上に周期的に配置することで細胞配向を制御し、筋細胞の分化性能や収縮能の向上を目指した研究が幅広く行われている[1]。しかしながら、細胞集団中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でき、欠陥の存在によって配向の一様性を乱す。そのため、周期的な地形構造上で欠陥が生成しやすい点を予測することや、欠陥が生成しにくい地形構造を設計することが求められる。そこで本発表では、周期構造上における最適な細胞配向構造を予測する理論を提案し、細胞培養実験によって理論の妥当性を検証する。

【原理】本発表では、Fig. 1 に示すような2つの多角形境界に挟まれた周期領域内の細胞配向を考える。この周期領域は円環の外円と内円をそれぞれの多角形境界に対応させる等角写像 $g(\zeta)$ によって表せるため、周期領域上の細胞配向の計算は円環上の配向計算に帰着される。また円環領域上の細胞配向は、先行研究[2]と同様に欠陥の位置と等角写像 $g(\zeta)$ を用いて陽に記述できるため、周期領域上の細胞配向や弾性エネルギーが計算できる。そして、弾性エネルギーを欠陥の位置について最小化することで最適な細胞配向を決定できる。

【実験】Fig. 1 のような周期構造を持つ PDMS 構造体上でマウス筋芽細胞 (C2C12) を培養すると、欠陥がない配向や偶数個の欠陥を持つ配向 (Fig. 2(a,b)) がよく観察された。また1周期ごとの欠陥の個数 n を解析した結果、 $n = 0$ であるものが一番多かった。(Fig. 2(c))。この実験結果を数値的に検証するため、Fig. 2(b)と同様に4つの欠陥が存在する配向パターンを初期条件とし (Fig. 3(a))、弾性エネルギーを最適化する数値計算を行った。その結果、対称軸上に配置された欠陥が頂点上の欠陥に向かって移動し、対消滅をした (Fig. 3(b))。したがって、欠陥が存在しない状態が最もエネルギーが低く安定な状態であるため、 $n = 0$ が一番多く観察されたと考えられる。

[1] Y. Li et al., *Biotechnol. Adv.*, **32** 347–365 (2014) [2] H. Miyazako et al., *R. Soc. Open Sci.*, **9**(1) 211663 (2022).

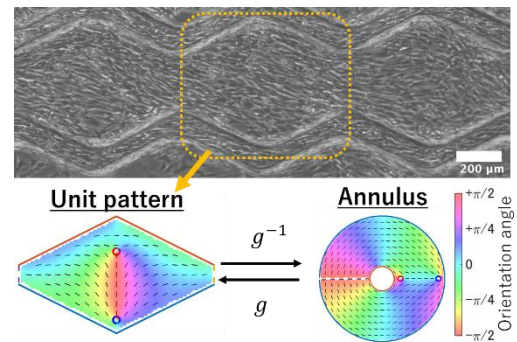


Fig. 1: Conceptual diagram of calculating cell alignment using a conformal mapping

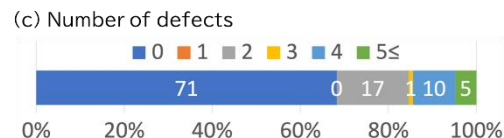
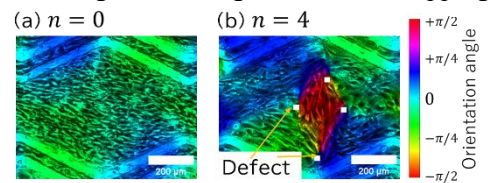


Fig. 2: Results of culture experiments

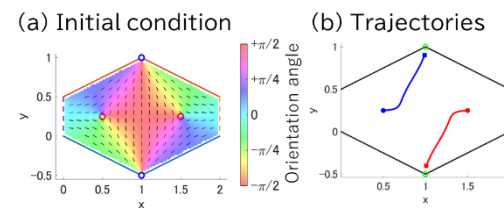


Fig. 3: Optimization of the elastic energy