

誘電泳動法と細胞鋳型膜による細胞の特異捕捉の理論解析

Theoretical Analysis of Specific Cell Capture via Dielectrophoresis and Cellular Imprinted Film

阪府大院理¹, 阪府大院工² [○]田村 守¹, 沼田 紘志², 床波 志保², 飯田 琢也^{1,*}

Grad. Sch. Sci.¹, and Grad. Sci. Eng.² in Osaka Pref. Univ.,

[○]Mamoru Tamura¹, Koji Numada², Shiho Tokonami², Takuya Iida¹

*E-mail: t-iida@p.s.osakafu-u.ac.jp

ポリマー膜に分子の構造を転写することで作製される分子鋳型は、転写に用いた分子を特異認識・捕捉することが可能であり、センサへの応用が研究されている。最近では、分子鋳型技術を細菌検出に応用した研究が報告されており[1]、更には迅速ながん細胞検出を目指し、細胞に応用した細胞鋳型膜も研究されている[2]。この細胞鋳型膜は同形異種の細胞に対しても、鋳型作成に用いた細胞のみを特異捕捉する機能を有し、誘電泳動と水晶振動子と組み合わせることで、特定細胞の高感度検出が可能となる。しかし、この特異捕捉がどのような物理的機構に基づいているかは重要課題として残されていた。そこで本研究では、誘電泳動の下での細胞の振る舞いおよび、鋳型膜による細胞の認識機構をモデル化し、シミュレーションによる特異捕捉原理の理論的な説明を目指した。

誘電泳動の評価には、振動電場が電氣的に中性な物体（ここでは細胞）に及ぼす力の一般的表式[3]を用い、またメトロポリス法を基にこれまでに我々が構築してきたシミュレーション手法[4]を援用することで、細胞の確率的な振る舞いを探索した。図1に実験で作製された細胞鋳型膜を示す。この鋳型膜による特異捕捉原理の仮説として、細胞表面の分子構造が鋳型膜に転写されており、その部位がいわば分子認識サイトとして細胞表面の分子構造を認識することで、細胞による表面分子構造の配列の違いに依存した特異捕捉が可能となると考えた。図2は、この仮説の下で構築した細胞と鋳型膜のモデルであり、球状の細胞はその表面に分子構造を想定した部位を、また鋳型膜は細胞表面の分子構造と相互作用ポテンシャルを感じる分子認識サイトを有する。このように、外場と熱揺らぎの下で、分子認識による細胞の特異捕捉を評価できる手法「分子認識メトロポリス法 (MRMM)」を構築し、上述の課題に挑んだ。

MRMM から得られる結果として、誘電泳動用の電極間の電位差や分子認識の相互作用の大きさなどのパラメータに依存した、異なる分子構造を表面に持つ異種細胞の捕捉率が挙げられる。特定のパラメータにおいては、細胞鋳型に相補的な細胞の捕捉率のみが特異的に上昇する結果が得られている。これは実験に対応した特異捕捉が生じる可能性を示唆しており、詳細を当日の講演で解説する。得られた結果は、細胞鋳型膜を用いた迅速・高感度なバイオセンサ開発の指導原理の構築に役立つことが期待される。

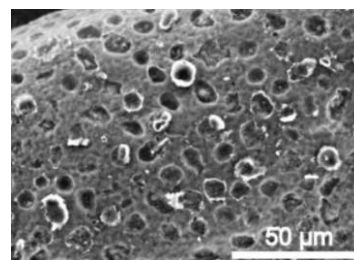


図1. 細胞鋳型膜の SEM 像[2]。

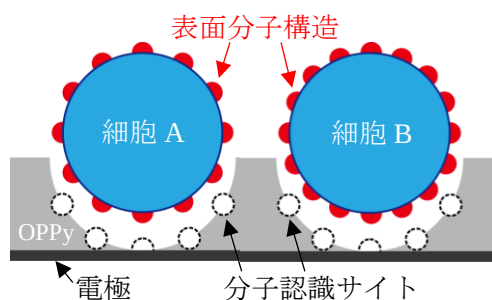


図2. 細胞と鋳型膜のモデル。細胞 A が鋳型膜に転写され、細胞 B は異種の細胞であることを想定している。

[1] S. Tokonami, et al., Anal. Chem. 85, 4925 (2013).

[2] 沼田紘志, 中瀬生彦, 田村守, 飯田琢也, 床波志保, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 19a-W323-5.

[3] T. Iida, H. Ishihara, Phys. Rev. B 77, 245319 (2008).

[4] S. Ito, M. Tamura, S. Tokonami, T. Iida, et al., Sci. Rep. 3, 3047 (2013).