

フェムト秒レーザー誘起衝撃力による細胞接着剥離の力学メカニズム(1)

—数値解析による現象予測—

Kinetics of Intercellular Adhesion Breaking Induced by Femtosecond Laser Impulse, Part 1

奈良先端大学物質創成 °細川陽一郎, 飯野敬矩, 上段寛久

Grad. Sch. Mat. Sci., NAIST °Yoichiroh Hosokawa, Takanori Iino, Hirohisa Uedan

E-mail: hosokawa@ms.naist.jp

高強度のフェムト秒レーザー光を顕微鏡下で水中に集光すると、効率的な多光子吸収により集光点で衝撃波とキャビテーションバブルが発生し、その力は集光点近傍の微小物体に衝撃力として作用する。我々は、原子間力顕微鏡(AFM)を利用することにより、この衝撃力を力積として定量化することに成功している[1]、さらに、この衝撃力により細胞接着を1細胞レベルで乖離させることが可能であり、その乖離に必要な衝撃力を調べることで、その接着強度を乖離力として評価できることを示している[2]。しかし、乖離力は接着強度の指標であるものの、一般に接着強度は2つの物体間の接着状態と乖離状態との内部エネルギー差であり、本手法で接着強度を評価したとは厳密には言えない。ゆえに本手法の確立においては、実験的に力積として求められた乖離力と接着強度の関係を示すことが求められている。そこで、本研究では、これらのパラメーターを結びつけるための運動方程式を構築し、数値解析による現象予測を試みた。

ここでは、基板上に接着した球状の細胞の横にフェムト秒レーザーを集光照射する典型的な細胞剥離の実験系について考えていく(図1)。細胞に加わるフェムト秒レーザー誘起衝撃力の時空間変化を $f(x,t)$ 、細胞と基板の接着ポテンシャルを $U(x)$ 、細胞に対する水の粘性抵抗を η とすると、細胞の運動方程式は、

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + 6\pi\eta r \frac{dx}{dt} = -\frac{dU(x)}{dx} + f(x,t)$$

で表せる。 $f(x,t)$ は、AFMによる実験から得られた知見と定量値に基づいた関係式が用いられた。 U についてはLennard-Jonesポテン

シャルを仮定し、細胞と基板の接着は、接着状態と乖離状態との内部エネルギー差 ε と乖離距離の指標 σ の2つのパラメーターで表せると近似した。この運動方程式を4次のルンゲ・クッタ法により数値演算を行い、フェムト秒レーザー誘起衝撃力による細胞の移動を予測した。その結果、接着剥離は μs 以内の時間に引き起こされ、キャビテーションバブルの生成に伴う押す力のみに依存することが示唆された。また、剥離した細胞の運動は、接着強度 U と関係なく、 f と η に支配されることが示唆された。さらに、細胞の移動距離(初期位置と終位置の差)の初期位置依存性について計算をおこない、実験結果と照合することによりその妥当性について検証した。

[1] T. Iino, Y. Hosokawa, JAP 112, 066106 (2012).

[2] Y. Hosokawa, M. Hagiya, T. Iino, Y. Murakami, A. Ito, PNAS 108, 1777-1782 (2011).

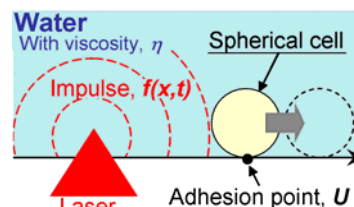


Fig.1. Representative model of intercellular adhesion breaking induced by femtosecond laser impulse.