

干渉計測と蛍光観察の複合による衝撃波と細胞膜の相互作用機構の調査

Investigation of interaction mechanism between shock wave and cell membrane by interferometric and fluorescence analysis

伊藤 佑介¹, David Veysset^{2,3}, Steven Kooi², Dmitro Martynowych², 中川 桂一¹,
Keith Nelson²

東大院工¹, マサチューセッツ工科大学², スタンフォード大学³

Y. Ito¹, D. Veysset^{2,3}, S. Kooi², D. Martynowych², K. Nakagawa¹, K. Nelson²

Univ. Tokyo¹, MIT², Stanford Univ.³

E-mail: y.ito@mfg.t.u-tokyo.ac.jp

生体内に深達可能な衝撃波は細胞への物理刺激の担い手として注目されており、治療につながる様々な細胞・生体作用が確認されている[1]。しかしながら、高速で伝搬する衝撃波と微小な細胞膜の相互作用の定量的評価は困難であり、その作用機構は明らかとなっていない。そこで本研究では、衝撃波の発生から計測までを全光学的に実現する技術の開発により、衝撃波の伝搬特性と細胞のダイナミックな応答を同時計測することで、相互作用機構解明を試みた。

Fig. 1(a)にシステムの概念図を示す[2]。細胞を含んだ薄膜状の液体試料内に超短パルスレーザーをライン集光することで、平面的に伝搬する衝撃波を生成する。衝撃波伝搬時に高速で変化する圧力分布の定量評価を、ポンプ・プローブ法を利用したマッハツェンダー干渉計測により実現する[3]。さらに、細胞外の分子が細胞内に取り込まれる様子を、蛍光観察系により捉えることで、細胞に負荷される「衝撃波」と「細胞応答」を同時に高い精度で計測する。

伝搬する衝撃波の干渉計測結果を Fig. 1(b)に示す。衝撃波の作り出す密度変化が屈折率変化を生み、干渉縞の歪みが観察されている。この干渉縞の歪みを解析することで、Fig. 1(c)のように、圧力分布の定量計測が実現した。ポンプ・プローブ法の遅延時間を変化させることで圧力分布の時間変化の追跡が可能となる。さらに、蛍光観察により細胞内部の輝度変化を追跡することで、衝撃波が細胞膜に与えた影響を定量的に評価できる (Fig. 1(d))。個々の細胞に作用する衝撃波の圧力分布 (Fig. 1(c)) とその後の輝度変化 (Fig. 1(d)) の同時取得により、圧力分布と細胞膜の浸透性の紐づけが実現した。その結果、衝撃波の圧力勾配が、細胞膜への作用の重要なパラメータであることを見出した。本研究で開発した技術と得られた知見は、生命科学分野の発展に貢献すると考えられる。

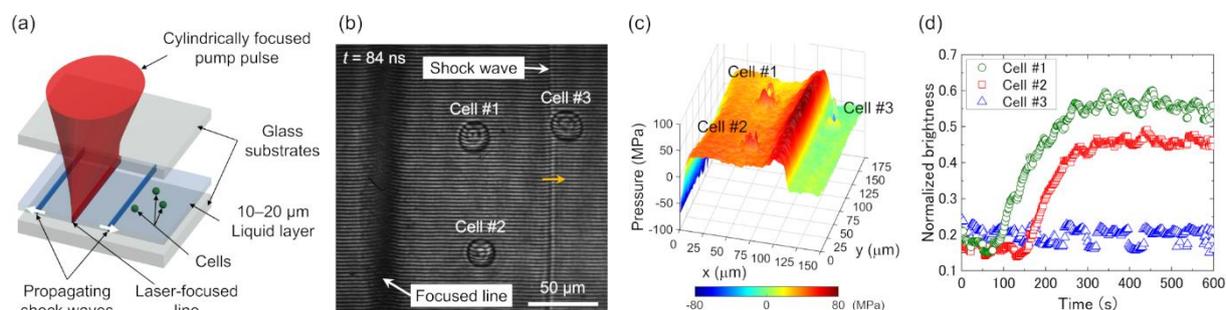


Fig. 1 (a) Sample assembly for the apparatus. (b) Interferometric image with shock wave and cells. (c) Pressure distribution with cells. (d) Brightness change inside cells.

[1] P. Chakravarty, *et al.*, *Nat. Nanotechnol.* 5, 607 (2010).

[2] Y. Ito, *et al.*, *Commun. Phys.* 3, 124 (2020). [3] D. Veysset, *et al.*, *Sci. Rep.* 6, 24 (2016).