

## A04 直接数値計算を用いたモデル微生物の動的性質に関する理学的研究

京都大学大学院工学研究科 山本量一  
同 谷口貴志  
同 John J. Molina

水中を泳動する微生物は、紐状の鞭毛や表面に生えた繊毛によって水中を自己推進するが、これは船や飛行機などの人工物はもちろん、魚類や昆虫などとも全く異なるメカニズムに基づいている(図 1(b))。近年、泳動する微生物に対する力学的・物理学的アプローチの研究が国際的に大きな注目を集めているが、ようやく微生物の単体運動に関する理解に手が届き始めたところに過ぎない。非平衡ダイナミクスの実例としてより重要で、現象の変化にも富んだそれらの集団運動については、理解が全く進んでいないのが現状である。例えば、水中に分散する微生物が生きている場合と死んでいる場合とでは、その分散液体の粘度という巨視的な物性に顕著な差が生じることが知られているが(図 1(a))、そのメカニズムは未解決のままである。これはこの分野の理論的手法が未熟であることに主な原因があり、ソフトマターで成功した新しい手法を導入することで大きなブレークスルーが期待できる。

我々はこれまでに、球状、および任意形状粒子の濃厚な分散系の直接数値計算を実現する Smoothed Profile (PS) 法というシミュレーション法を開発している。昨年度行った、コロイド分散系のレオロジー特性を粒子間の流体力学相互作用を直接ナビエストークス方程式の数値シミュレーションで評価するための方法論の大幅な拡張[1]に加えて、今年度は、荷電コロイド粒子の動的電気泳動現象の直接数値計算[2]と、泳動するモデル微生物の集団運動の直接数値計算[3]を行った。

電気泳動に関して重要な因子である電気二重層の分極を定量的に扱うため、荷電コロイド粒子の分極率を定量的に計算した。その結果、電気二重層の分極の強さは、ゼータ電位 $\zeta$ 、イオン拡散定数 $D_\alpha$ 、および電気二重層の厚さ $\kappa a$ に影響されること、さらに電気二重層の分極のメカニズムは、ゼータ電位の強さによって異なることがわかった(図 2)。

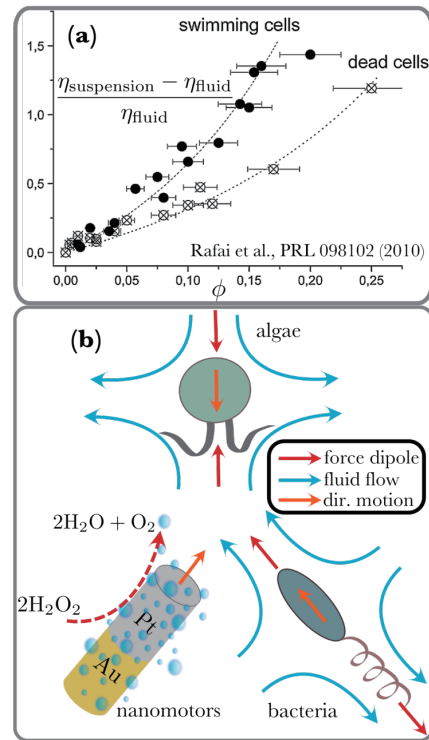


図 1. (a) 泳動微生物を水中に分散させた流体の粘性率の微生物濃度依存性。微生物が泳動している場合の粘性率(黒丸)は、死んで泳動しなくなった場合に比べて明らかに大きな値を示すが、この原理は未解明である。Rafai, Jibuti, and Peyla, *Phys. Rev. Lett.* 104, 098102 (2010). (b) 水中で自己推進する種々の粒子・微生物とその周りの溶媒・溶質の模式図。

泳動する微生物のモデルとして球形の自走粒子を用いた。粒子が自走する機構は、Lighthill や Blake が提案した Squirmer モデルを用いた (図 3)。これは、粒子表面で図 3 (c)(d) のように接線方向にスライドする境界条件を設定することで、粒子に自走性を与えるモデルであり、(c) の場合を **pusher** 型、(d) の場合を **puller** 型と呼ぶ。

平板間に制限した微生物分散系のシミュレーションを行ったところ、**puller** 型の場合に液体中に自走粒子の数密度に関する波の進行が観察された (図 4)。さらに、この進行波の定量的な理解を試みて動的構造因子  $S(\mathbf{k}, \omega)$  を計算すると、通常のコロイド分散系には見られない音波的な密度の揺らぎモードが観察されるなど、自走粒子に特徴的な振る舞いが観察できた。興味深いことに、この進行波が **pusher** 型では見られないこともわかった。

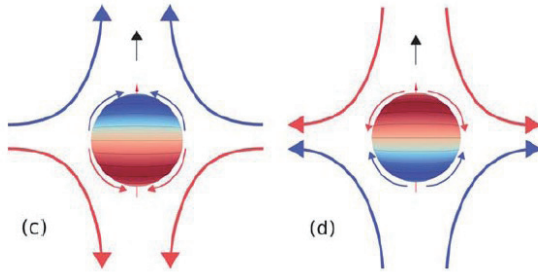


図 3. **pusher** 型(c)と **puller** 型(d)。

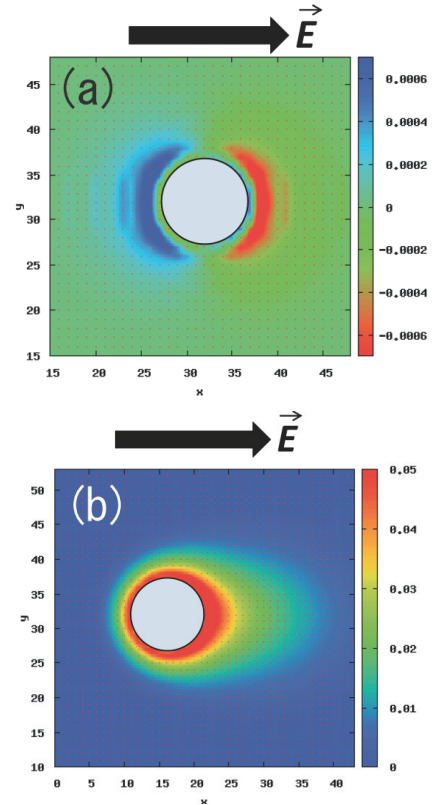


図 2. 電気二重層分極のメカニズム。(a) 低い、(b) 高いの場合。

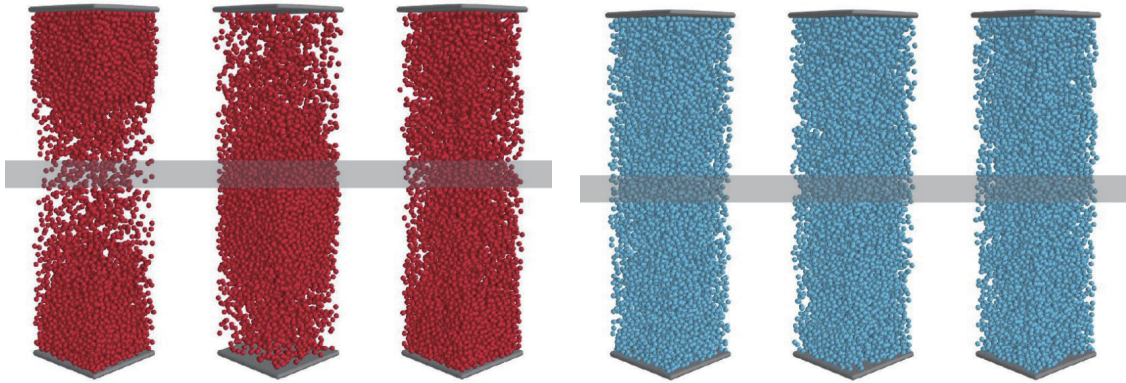


図 4. **puller** 型の場合 (左) は数密度の進行波が発生するが、**pusher** 型の場合 (右) は発生しない。

参考文献:

- [1] John J. Molina, Kotaro Otomura, Hayato Shiba, Hideki Kobayashi, Masaki Sano, and Ryoichi Yamamoto, Rheological evaluation of colloidal dispersions using the smooth profile method: formulation and applications, *J. Fluid Mech.*, in print.
- [2] Chunyu Shih, John J. Molina, and Ryoichi Yamamoto, Dynamic polarisation of a charged colloid in an oscillating electric field, *Molec. Phys.* **113**, 2511 (2015).
- [3] Norihiro Oyama, John J. Molina, and Ryoichi Yamamoto, Purely hydrodynamic origin for swarming of swimming particles, submitted.