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(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ことが知られているが(図 (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。本年度は、自己泳動するモデル微生物のレオロジー特性を評価するための準備として、泳動しない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

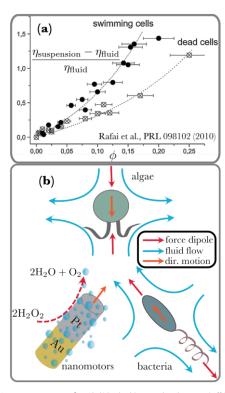


図1. (a) 泳動微生物を水中に分散させた流体の粘性率の微生濃度依存性。微生物が泳動している場合の粘性率 (黒丸) は、死んで泳動しなくなった場合に比べて明らかに大きな値を示すが、この原理は未解明である。Rafai、Jibuti、 and Peyla、Phys. Rev. Lett. 104、 098102 (2010). (b) 水中で自己推進する種々の粒子・微生物とその周りの溶媒・溶質の模式図。

張を行った(1)。具体的には、均一なせん断流を実現する Lees-Edwards 周期境界条件の下で、粒子分散系のレオロジー特性を評価するための定式化を行った。この拡張により、系の粘性を調べる際に一般的な定常(DC)せん断流だけではなく、粘弾性を調べる際に必要となる振動(AC)せん断流をも実現することが可能となったのみならず、系の全応力や任意の場所における局所応力など、レオロジー評価に必要な全ての物理量を直接数値計算で求めることが可能となった。

今回開発した方法論の妥当性をチェックするため、本研究ではせん断場中における以下の 状況を数値計算し、解析解と比較することで詳細に検証した。

- (A) 単一球状粒子(図2)
- (B) 単一棒状粒子
- (C) 衝突する粒子対(図3)

その結果、我々の新しい方法論ではその妥当性が定量的レベルで確保されていることが確認 出来た。

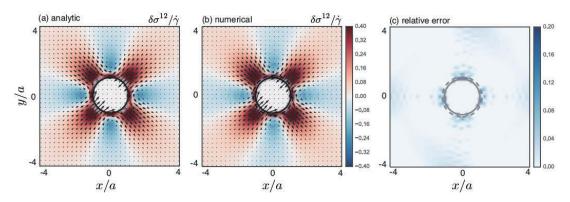


図2. 1粒子周りの流速(矢印)と局所応力(カラー)の分布. (a)解析解、(b)数値解、(c)両者の差.

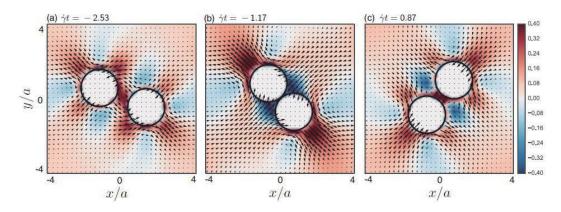


図3. せん断場中で衝突する粒子対周りの流速(矢印)と局所応力(カラー)の分布. $(a) \rightarrow (b) \rightarrow (c)$ の時系列.

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, submitted.
- (2) Chunyu Shih and Ryoichi Yamamoto, Dynamic Electrophoresis of Charged Colloids in an Alternating Electric Field,

Phys. Rev. E 89, 062317 (2014).