

先端研究拠点事業—国際戦略型—  
「ソフトマターと情報に関する非平衡ダイナミクス」  
共同研究プログラム 派遣報告書

2015 年 3 月 3 日

氏名(ふりがな)	内田 就也 (うちだ なりや)
所属機関・部局・専攻内の所属分野	東北大学・大学院理学研究科物理学専攻・物性理論
職名	助教
メールアドレス	uchida @cmpt.phys.tohoku.ac.jp
電話番号、FAX	022-795-7756 (FAX 022-795-6447)

派遣先

受け入れ研究者氏名	Hartmut Löwen
所属機関 (国)	デュッセルドルフ大学 (ドイツ)
身分	教授
メールアドレス	hlowen@thphy.uni-duesseldorf.de
研究室 URL	http://www2.thphy.uni-duesseldorf.de/~hlowen
電話番号、FAX	+49-211-81-11377 (FAX +49-211-81-10776)

共同研究

研究課題名	和文	自己駆動コロイド粒子系の集団運動における流体効果
	英文	Hydrodynamic effects in collective motion of self-driving colloidal particles
派遣期間	2015 年 2 月 21 日 ~ 2015 年 2 月 28 日	

実際に行った研究活動、成果などを 1-2 ページ程度で記述してください。

1. アクティブ流体における流体相互作用に関する研究打ち合わせ

Löwen 教授、Andreas Kaiser 博士とアクティブ流体中における物体間の流体相互作用に関する研究打ち合わせを行った。Kaiser 氏は多数のロッド状自己推進粒子がウェッジ状の障害物によって捕捉される現象の数値シミュレーション[ Phys. Rev. Lett. 108, 268307 (2012) ] を行っており、現在その発展として複数の障害物が浮遊している場合のダイナミクスの解明に取り組んでいる。内田は自己推進粒子の集団をアクティブ流体の連続体モデルによって記述することで、数値計算の大幅な効率化を図るとともに通常のナビエ・ストークス流体における流体相互作用との関連を見通しよくすることを提案した。アクティブ流体のモデルとして複数の候補を検討した結果、Löwen 教授らがバクテリア乱流のモデルとして提唱した拡張ナビエ・ストークス方程式 [ Proc. Nat. Acad. Sci. 109, 14308 (2012) ] を用いることにした。また浮遊物体の表面における境界条件としてすべりなし境界条件を用い、コロイド系の流体シミュレーション手法であるスムーズプロファイル法を用いて数値計算を効率的に行うこととした。アクティブ流体中での 1 個の浮遊物体の抵抗係数や拡散ダイナミクス、2 個の浮遊物体間の有効相互作用、多数の浮遊物体の集団ダイナミクスを解明することを本研究の目的とし、継続的に共同研究を行うことで合意した。内田が連続体モデルによる数値計算を行い、必要に応じて Kaiser 氏の粒子モデルによるシミュレーション結果との比較検討を行う予定である。

## 2. 自己推進粒子のメソ秩序構造に関する議論

自己推進粒子が形成するメソ秩序構造について Andreas Menzel 博士と議論を行った。同氏はフェイズフィールドモデルを用いて結晶相やストライプ相などのメソ秩序構造が生じる可能性を示している。[ Phys. Rev. Lett.110, 055702 (2013) ] このモデルでは直進性の粒子を仮定しているが、アクトミオシンアッセイなどの実験系ではカイラリティーを持つ粒子による渦パターンがよく見られることから、内田はモデルにカイラリティーを取り入れて渦格子などのメソ秩序相を再現することを提案した。これはフェイズフィールドモデルの有効自由エネルギーにおいてベクトル秩序変数のツイスト項を導入することに相当する。また2次元熱平衡系ではストライプ秩序は長距離で不安定化するが、アクティブ非平衡系においても同様の効果が見られることに関して、有効温度の決定方法や相関距離の有効温度依存性について議論した。

## 3. Löwen グループのセミナーとして次のタイトルで発表を行った。

### “Hydrodynamic synchronization of active rotors, flagella and cilia”

本セミナーでは内田らが導入した剛体回転子モデルにより繊毛メタクロナル波やバクテリアカーペットにおける集団同期転移などの協同ダイナミクスを説明できることを示した。

特に最近の発展として Pietro Cicuta (ケンブリッジ大学) らによる光駆動コロイド系および Wei-Yen Woon (台湾国立中央大学) らによるバクテリアカーペットの実験を取り上げた。

前者においてはコロイド回転子の駆動力を位相の関数としてフィードバック制御することにより繊毛の有効打、回復打に相当する変調を作り出し、それが同期現象を誘起している。後者では溶液のナトリウム濃度をパラメータとしてバクテリアの活性を制御し、濃度が閾値を超えるとカーペット直上の流れ速度が急激に増加することが見いだされた。これは内田らが理論的に予測した集団同期転移を検証するものと期待されている。