ゆらぎと構造の協奏

～非平衡系における普遍法則の確立～

News Letter　Vol.10

2018.3.20 発行

本新学術研究領域「ゆらぎと構造の協奏：非平衡系における普遍法則の確立」は、この３月で研究期間終了を迎えます。本領域は近年、世界的に研究が活発化している非平衡系の研究をさらに発展させるべく、従来は独立に進められてきた「非平衡ゆらぎ」と「時空間構造」という非平衡科学の二つの大きな流れを統合し、新しい研究の潮流を生み出すことを目的として、２０１３年７月に発足し、５年間にわたり研究を展開してきました。本領域では、「基礎班」、「時空班」、「機能班」の３班を設け、それぞれ、(1) 非平衡ゆらぎの普遍的な法則の探求、(2) ゆらぎと構造が相関する非平衡現象の解明、(3) 非平衡ダイナミクスから生命機能への展開などを具体的な課題として、計 11 の計画研究を実施してきました。計画研究に参画した代表者、分担者の数は 33 名、2 回にわたり募集された公募研究では 37 名の研究者が採択され、国公私立を含めて 27 大学からの研究者の参画を得ることで、ポスドクや大学院生を含めると総勢 200 名近い大きなグループとして 5 年間、極めて活発な研究が展開されたと自負しております。その中で、共同研究を推進するためのテーマ別研究会、若手の活躍を推奨する若手研究会や若手勉強会、成果を国内外に発信するための国際シンポジウムや公開シンポジウムなど、共催も含めると 50 回以上の研究会を開催しました。一方で、各研究者に研究以外の負担をかけないよう、事務局体制を強化するとともに、研究者の自発的で有機的な共同研究の場を醸成することで、研究領域全体の活性化に努めてきました。

研究活動では、本来広い対象に適用可能な統計力学の手法を非平衡領域まで広げることで、量子気体、量子液体、散逸粒子系、ソフトマター、ガラスや複雑流体、そして細胞から人工細胞に至る極めて広い対象を扱い、個々の対象を越えた応用性に富む普遍的な知見を得ることを目指してきました。特筆すべきこととして、古典系、量子系を含めた様々な系における熱とゆらぎ、仕事、情報などの関係がゆらぎの理論をさらに一般化した形で表すことが可能となってきました。また、界面ゆらぎの研究では数学的厳密解と実験との詳細にわたる見事な一致も見出されました。細胞骨格内の非平衡ゆらぎを測定するマイクロレオロジー技術の開発も行われ、この種のゆらぎに関する極限分布が明らかとなりました。マクロな系のゆらぎの典型例である層流乱流転移に関しては、古典流体、量子流体の両方で共通した非平衡相転移が起こっている可能性を見出しました。生命機能との関連では、細胞運動や走化性のメカニズムがゆらぎを伴う非平衡過程としてその詳細が解き明かされつつあります。また、ソフトマターを基軸として人工細胞を構成する研究もこの５年間で大きく進展しました。さらには、アクティブマターと呼ばれるソフトマターと生物をつなぐ分野の研究は、当初の予想を大きく超え、研究者の数と質の両面で飛躍的に成長したと思います。

非平衡現象は豊かであり、異分野をつなぐこの新学術領域のような研究活動により、個々の対象を越えた普遍的な知見がまだこれからも発見され続けると思います。期間終了にあたり、本新学術領域研究をご支援いただいた日本学術振興会および関係する研究者の皆様に心から感謝申し上げます。

佐野 雅己（東京大学・理学系研究科・教授）

数字に見る「ゆらぎと構造の協奏」5年間の軌跡

A01 班・ニュースレター編集委員　竹内一将

2013 年に発足した本新学術領域研究も、早いもので今年度末をもって研究期間が終わります。時折、研究は登山に例えられることがあります。「非平衡系における普遍法則の確立」という非常に大きな目標を掲げた本領域は、前人未到の頂を目指す大登山部隊にあたるのかもしれません。その目標は領域で共有されていたと思いますが、一方で実際に歩みを進めるのは一人一人の隊員であり、必ずしも常に全体を俯瞰しているわけではありません。一生懸命に足を進め、時どき視界の開けた場所に行きあたると、思いのほか高いところに来たものだと驚いた経験をお持ちの方も多いのではないでしょうか。

前置きが長くなりましたが、登山部隊「ゆらぎと構造の協奏」はどれくらい登ったのでしょう。領域メンバーの方は、ここで一息、小休止して、これまでの道のりに思いを馳せてみてはいかがでしょうか。領域内外に関わらず、ここで示される数字には色々な感想をお持ちになることと思います。本新学術領域研究は今年度末で幕を閉じますが、進むべき道はまだ続きます。ぜひ非平衡系の「ゆらぎと構造の協奏」に関する今後の研究動向にもご注目頂き、変わらぬご支援と激励を賜れば幸いです。

「ゆらぎと構造の協奏：非平衡系における普遍法則の確立」5 年間の成果数一覧

論文（謝辞記載のあるもののみ）					
418 件	うち	原著論文 384 件	総説解説 31 件	会議録等 3 件	
国際会議発表					
925 件	うち	基調講演 20 件	招待講演 398 件	口頭講演 153 件	ポスター発表 354 件
著書					
32 件					
特許					
14 件					
組織人数					
計画班の人数（2018 年 3 月時点）：32 名					
公募班の人数：25 名（前期）23 名（後期）					
班友：11 名					
本領域で雇用された研究員等の人数：13 名					
会議等					
52 件	うち	主催国際シンポジウム 2 件	主催公開シンポジウム 2 件		
		主催領域研究会 4 件	主催班会議 2 件	主催勉強会 3 件	
		その他国際会議・ワークショップ 5 件（主催） 9 件（共催）			
		その他勉強会 1 件（共催）	その他研究会 8 件（主催） 16 件（共催）		

※ 論文、国際会議発表、著書、特許の数は 2018 年 2 月 28 日時点での集計結果を示しています。

「ゆらぎと構造の協奏：非平衡系における普遍法則の確立」　主催・共催会議一覧

主催国際シンポジウム		
2015 年 8 月 20 日（木） ～ 2015 年 8 月 23 日（日）	**International Symposium on Fluctuation and Structure out of Equilibrium 2015 (SFS2015)**	京都大学芝蘭会館 稲盛ホール
2017 年 11 月 20 日（月） ～ 2017 年 11 月 23 日（木）	**International Symposium on Fluctuation and Structure out of Equilibrium 2017 (SFS2017)**	仙台国際センター
主催公開シンポジウム		
2014 年 2 月 15 日（土）	**第 1 回公開シンポジウム**	東京大学本郷キャンパス 理学部 1 号館小柴ホール
2015 年 5 月 1 日（金）	**第 2 回公開シンポジウム**	東京大学本郷キャンパス 理学部 1 号館小柴ホール
主催領域研究会		
2013 年 12 月 25 日（水） ～ 2013 年 12 月 27 日（金）	**第 1 回領域研究会**	KKR ホテル熱海
2014 年 8 月 29 日（金） ～ 2014 年 8 月 31 日（日）	**第 2 回領域研究会**	北海道大学工学部オープンホール
2016 年 6 月 17 日（金） ～ 2016 年 6 月 19 日（日）	**第 3 回領域研究会**	九州大学伊都キャンパス
2017 年 6 月 23 日（金）	**第 4 回領域研究会　全体会議**	東京大学本郷キャンパス 武田ホール
主催班会議		
2016 年 1 月 ～ 3 月	**班会議（各班 1 回）**	京都大学、学習院大学、 東北大学
2017 年 6 月 24 日（土）	**第 4 回領域研究会　班会議**	東京大学本郷キャンパス理学部 1 号館
主催勉強会		
2014 年 3 月 4 日（火）	**チュートリアル：「ゆらぎの定理：過去」**	東京大学本郷キャンパス 理学部 1 号館 201b 号室
2014 年 8 月 6 日（水） ～ 2014 年 8 月 8 日（金）	**第 1 回若手勉強会「非平衡統計力学の基礎理論」**	慶応義塾大学日吉キャンパス
2016 年 3 月 10 日（木） ～ 2016 年 3 月 11 日（金）	**第 2 回若手勉強会「ソフトマター若手勉強会」**	東京大学検見川セミナーハウス
その他国際会議・ワークショップ（主催）		
2014 年 3 月 6 日（木）	**Workshop on Non-Equilibrium Complex Fluids**	首都大学東京 11 号館 301 号室
2014 年 3 月 7 日（金） ～ 2014 年 3 月 8 日（土）	**Workshop on Non-Equilibrium Surfactant Solution**	首都大学東京 8 号館大会議室
2015 年 8 月 25 日（火） ～ 2015 年 8 月 26 日（水）	**International Workshop on Challenge to Synthesizing Life**	箱根ホテル花月園
2016 年 10 月 28 日（金） ～ 2016 年 10 月 29 日（土）	**Current and Future Perspectives in Active Matter**	東京大学本郷キャンパス 理学部化学館講堂・理学部 4 号館 1220 号室
2016 年 11 月 24 日（木） ～ 2016 年 11 月 25 日（金）	**International Symposium on Hydrodynamic Flows in/of Cells**	首都大学東京 8 号館 303 号室
その他国際会議・ワークショップ（共催）		
2014 年 3 月 2 日（日）	**International Workshop on**	お茶の水女子大学　人間文

	Spatiotemporal Pattern Formation in Biological and Active Matters	化創成科学研究科・全学共用研究棟 6 階
2014 年 6 月 3 日（火）	**Bridging the gap between matter and life - Discussion with Prof. Albert Libchaber -**	東京大学本郷キャンパス 理学部 1 号館小柴ホール
2014 年 6 月 10 日（火）	**Development and future of artificial cells: Computation, fluctuation, and evolution**	京都大学北部キャンパス 益川ホール
2014 年 7 月 12 日（土） ～ 2014 年 7 月 13 日（日）	**Open Questions on the Origin of Life (OQOL2014)**	国際高等研究所（京阪奈）
2014 年 8 月 20 日（水） ～ 2014 年 8 月 23 日（土）	**Interface fluctuations and KPZ universality class - unifying mathematical, theoretical, and experimental approaches**	京都大学基礎物理学研究所 パナソニックホール
2014 年 9 月 17 日（水） ～ 2014 年 9 月 18 日（木）	**Thermodynamics, Large deviation and Transportation**	京都大学基礎物理学研究所 パナソニックホール
2014 年 9 月 22 日（月）	**International Workshop on 'Hierarchical dynamics of nucleic acid: Synergy between structure and function'**	京都大学 iCeMS
2017 年 3 月 21 日（火） ～ 2017 年 3 月 23 日（木）	**International workshop on Glasses and Related Nonequilibrium Systems**	大阪大学 中之島センター
2017 年 5 月 29 日（月） ～ 2017 年 5 月 30 日（火）	**The Origin of Life -Synergy among the RNA, Protein, and Lipid Worlds-**	東京大学駒場キャンパス 数理科学研究科講堂
その他勉強会（共催）		
2015 年 2 月 4 日（水） ～ 2015 年 2 月 17 日（火）	**Winter School Frontiers of Statistical Mechanics: from Non-equilibrium Fluctuations to Active Matter**	京都大学基礎物理学研究所 パナソニックホール
その他研究会（主催）		
2013 年 9 月 12 日（木）	**キックオフミーティング**	東京大学本郷キャンパス 伊藤国際学術研究センター 3 階、特別会議室
2014 年 3 月 14 日（金）	**若手研究会：「ゆらぎの定理：現在と未来」**	東京大学本郷キャンパス 理学部 4 号館 1220 号室
2014 年 4 月 26 日（土） ～ 2014 年 4 月 27 日（日）	**公募班キックオフ研究会**	京都大学 理学部セミナーハウス
2014 年 11 月 3 日（月）	**冷却原子研究会**	学習院大学 南 7 号館 4 階 理学部会議室
2014 年 12 月 19 日（金） ～ 2014 年 12 月 20 日（土）	**領域横断研究会「細胞力学と細胞運動の協奏」**	九州大学 箱崎キャンパス
2017 年 3 月 16 日（木）	**第 2 回冷却原子研究会**	大阪市立大学杉本キャンパス 理学部棟 E101 号室
2017 年 9 月 11 日（月） ～ 2017 年 9 月 12 日（火）	**研究会「アクティブマターの概念で繋ぐ生命機能の階層性」**	グリーンピア大沼（函館）
2018 年 3 月 1 日（木） ～ 2018 年 3 月 2 日（金）	**若手研究会「統計物理学とその周辺」**	東京大学本郷キャンパス 理学部 4 号館 1220 号室

その他研究会（共催）		
2013 年 12 月 1 日（日） ～ 2013 年 12 月 2 日（月）	**第 7 回物性科学領域横断研究会 (領域合同研究会)**	東京大学 武田先端知ビル
2014 年 11 月 21 日（金） ～ 2014 年 11 月 22 日（土）	**第 8 回物性科学領域横断研究会（領域合同研究会）**	大阪大学 シグマホール（基礎工学部国際棟）
2014 年 12 月 6 日（土）	**第 24 回「非線形反応と協同現象」研究会**	東京電機大学 東京千住キャンパス
2015 年 3 月 14 日（土） ～ 2015 年 3 月 15 日（日）	**研究会「アクティブ・マター研究の過去・現在・未来」**	東北大学片平キャンパス AIMR 本館
2015 年 6 月 27 日（土）	**新学術領域「ゆらぎと構造」＋「分子ロボティクス」合同研究会**	東京大学本郷キャンパス 理学部 1 号館小柴ホール
2015 年 11 月 13 日（金） ～ 2015 年 11 月 15 日（日）	**第 9 回物性科学領域横断研究会（領域合同研究会）**	東京大学本郷キャンパス
2016 年 1 月 22 日（金） ～ 2016 年 1 月 23 日（土）	**アクティブマター研究会 2016**	九州大学箱崎キャンパス 国際ホール
2016 年 8 月 31 日（水） ～ 2016 年 9 月 1 日（木）	**研究会「異常拡散現象をめぐる最近の進展」**	慶応義塾大学日吉キャンパス 来往舎シンポジウムスペース
2016 年 10 月 22 日（土）	**新学術領域「冥王代生命学の創生」＋「ゆらぎと構造の協奏」合同研究会**	東京工業大学キャンパスイノベーションセンターCIC 田町 2F 多目的室 1
2016 年 11 月 25 日（金）	**第 54 回日本生物物理学会年会　シンポジウム「モーターと細胞骨格の新展開 ステップから集団運動まで」**	つくば国際会議場
2016 年 12 月 9 日（金） ～ 2016 年 12 月 10 日（土）	**第 10 回物性科学領域横断研究会（領域合同研究会）**	神戸大学六甲台第２キャンパス神戸大学百年記館
2017 年 1 月 20 日（金） ～ 2017 年 1 月 21 日（土）	**アクティブマター研究会 2017**	九州大学 西新プラザ
2017 年 8 月 22 日（火）	**第 16 回関東ソフトマター研究会**	東京農工大学小金井キャンパス
2017 年 11 月 17 日（金） ～ 2017 年 11 月 18 日（土）	**第 11 回物性科学領域横断研究会（領域合同研究会）**	東京大学物性研究所 6F 大会議室
2018 年 1 月 19 日（金） ～ 2018 年 1 月 20 日（土）	**アクティブマター研究会 2018**	京都大学福井謙一記念研究センター
2018 年 3 月 22 日（木）	**日本物理学会　第 73 回年次大会（2018 年）共催シンポジウム　22pK604 「非平衡系におけるゆらぎと構造」**	東京理科大学野田キャンパス　K604

竹内一将（東京工業大学・理学院・准教授）

3 名の方が SFS Research Award を受賞されました

A02 班・ニュースレター編集委員　北畑裕之

「ゆらぎと構造」領域において特に秀でた研究業績をあげられた研究者に贈られる領域賞（SFS Research Award）の第二回の選考結果が発表され、慶應義塾大学　白石氏、千葉大学　小谷野氏、学習院大学　西坂氏の 3 名が受賞されました。

受賞内容は以下の通りです。

白石 直人 氏：
「熱機関の熱効率と仕事率に関する普遍的トレードオフ関係の発見」
小谷野 由紀 氏：
「自己駆動粒子およびアクティブ膜に関する理論」
西坂 崇之 氏：
「古細菌および細菌における新規運動機構の発見」

写真1：SFS Research Award 授賞式の様子。

3 月 1 日、2 日に開催された若手研究会「統計物理学とその周辺」において、SFS Research Award の授賞式が行われました。授賞式においては、3 名に賞状と楯が佐野領域代表より授与されました（写真）。そののち 3 名が受賞講演においてその成果を報告されました。

受賞講演のタイトルは以下の通りです。

白石 直人 氏：
“Discovery of Universal Trade-off Relation between Power and Efficiency for Heat Engines”
小谷野 由紀 氏：
“Theories for Self-Propelled Particles and Active Membrane”
西坂 崇之 氏：
“Discoveries of Novel Motion Mechanisms of Archaea and Bacteria”

受賞した 3 名により最新の研究成果が報告され、活発な議論が行われました。

また、白石氏と小谷野氏には受賞された研究内容に関して本 Newsletter に寄稿していただきました。ぜひご覧ください。

北畑裕之（千葉大学・理学研究院・准教授）

熱機関の熱効率と仕事率に関する普遍的トレードオフ関係の発見

A01 班　白石直人

熱機関の最大効率は、カルノー以来の熱力学の中心的な研究対象である。カルノーはその記念碑的な論文で、熱力学第二法則を出発点にとり、熱機関の最大効率の一般的な上限が、接触する二つの熱浴の温度だけで決まることを示した。ケルビンはこの事実を利用して絶対温度を定義した。熱機関の効率の原理的上限は、今ではカルノー効率

$$\eta_{\mathrm{C}} = 1 - \frac{T_{\mathrm{L}}}{T_{\mathrm{H}}}$$

としてよく知られている。

カルノーは、熱機関が準静的に操作されている場合に、最大効率であるカルノー効率が実際に達成可能であることを示した。しかし、カルノー効率に達成する方法がこれしかないのか、つまり準静的な操作ではなく有限のスピードの操作でカルノー効率に達成することは可能か、という問題については、カルノーは何も述べなかった。その後完成された熱力学の枠組においても状況は変わらず、熱機関を特徴づけるもう一つの重要な量である仕事率は、効率と共に熱力学の枠組のなかで記述可能な量であるにもかかわらず、効率と仕事率がどのような関係にあるのかについて、熱力学は何も教えてくれないのである。

では、別の確立した枠組である線形非平衡熱力学を用いれば、この問題に答えることが出来るであろうか。この場合、対象とする熱機関としては、熱電素子のような交差輸送によって熱流を電流に変換するものを念頭に置くことにする。化学ポテンシャルに逆らって流れた電流を仕事とみなすと、この場合にも効率が定義でき、その上限値はカルノー効率である。特に温度差や化学ポテンシャル差が小さい線形領域の熱電素子を考えれば、これは線形非平衡熱力学の枠組で記述可能になる。「加えた温度差や化学ポテンシャル差に対し、熱流や電流の大きさはどうなるか」を与えるのが応答係数、あるいはオンサーガー行列であり、オンサーガー行列は熱力学第二法則やオンサーガーの相反定理などによって取りうる値の制限を受ける。

線形非平衡熱力学の枠組のなかで計算を進めると、効率と仕事率の関係について次のような結果を得ることが出来る。時間反転対称性がある系の場合、オンサーガーの相反定理$L_{ij} = L_{ji}$を利用することで、効率がカルノー効率になるときには仕事率がゼロになることを示すことが出来る。すなわち、時間反転対称性がある場合には、線形領域に限定されてはいるが、有限の仕事率でカルノー効率を達成することは出来ないことが言える。ところが、磁場などによって時間反転対称性が破れた系においては、事情が大きく異なる。この場合には、加えた磁場をBとすると、オンサーガーの相反定理は$L_{ij}(B) = L_{ji}(-B)$という関係しか示さず、一般には$L_{ij}(B) \neq L_{ji}(B)$である。そしてオンサーガー行列の二つの非対角項が等しくない場合には、有限の電流、すなわち有限の仕事率の下でカルノー効率を実現することが原理的には否定されないことが 2011 年に指摘された[1]。つまり、線形非平衡熱力学は、磁場などによって時間反転対称性が破れている場合には、カルノー効率と有限の仕事率の共存の可能性を排除することが出来ないのである。

ただしここで注意しなければならないのは、有限の仕事率の下でカルノー効率を実現する方法が示されたわけでは全くないという点である。論文[1]によって明らかになったことは、熱力学や線形非平衡熱力学といったマクロな普遍的枠組を用いている範囲では、有限の仕事率とカルノー効率の共存可能性を否定できないというだけである。実際、この論文[1]以降、有限の仕事率とカルノー効率の両立を模索する研究は多数行われているが、具体的なモデルを線形領域において解析すると、どのモデルにおいても両立は不可能であるという結果が得られていた[2-5]。そのため、モデルによらず、また恐らく線形領域にも限らず、有限の仕事率とカルノー効率の両立を禁止する何らかの普遍的な原理があるのではないかと強く予想されていたが、それを示すことは長らく出来ていなかった。

これに対し我々は、効率と仕事率の間の普遍的なトレードオフ不等式の存在を示すことに成功した。そしてそのコロラリーとして、有限の仕事率とカルノー効率は共存できないという一般的な禁止定理を導いた[6]。以下ではこの結果について解説する。

議論の枠組みとしては、近年非平衡統計力学の分野で発達していた「ゆらぐ系の熱力学」の手法を用いた。「ゆらぐ系の熱力学」は、熱ゆらぎが無視できないブラウン粒子などに熱力学を拡張しようという枠組である。適切な形でエントロピー生成（エントロピーの増加量）を定義することにより、熱力学第二法則や揺動散逸関係などの既知の結果は正しく再現され、さらに高次ゆらぎの関係まで取り込んだ「ゆらぎの定理」などの様々なきれいな結果が得られていた[7,8]。しかし「ゆらぐ系の熱力学」でこれまで得られていた結果は、小さな系においては非自明かつ物理的に有意義な関係式を多々与えていたものの、マクロな系において非自明で有意義な結果を与えることはこれまでなかなか出来ていなかった。

我々は、ゆらぐ系の熱力学の手法を用いて、まず「熱流とエントロピー生成率の間のトレードオフ不等式」を導出した。この導出では、私が以前示した「部分エントロピー生成」という道具を用いた。部分エントロピー生成は、通常は系に対して定義されるエントロピー生成を可能な遷移ごとに分割したもので、個々の部分エントロピー生成それぞれが第二法則やゆらぎの定理などの熱力学的性質を有している[9]。エントロピー生成を部分エントロピー生成に分解することで、系全体を対象とするマクロな枠組では取りこぼしてしまっていた細かな情報まで組み込むことが出来るようになる。我々は特に、個々の部分エントロピー生成に対する第二法則を精緻に評価することで、「熱浴と系の間で素早くエネルギーをやり取りしようとすると、必ずエントロピー生成が大きくなってしまう」というトレードオフの不等式

$$\left|\mathrm{J_q}\right| \leq \sqrt{\Theta\sigma}$$

を得た。ただし$\mathrm{J_q}$は熱浴と系の間の熱流、σはエントロピー生成率、Θは系の状態に依存した係数である。

熱機関には必ず等温過程があり、特にもし有限の仕事率を実現するならば有限の時間幅の等温過程の間に有限のエネルギーを系と熱浴の間でやり取りする必要がある。上の不等式は、その過程で必ずロスが生じ、効率がカルノー効率を下回ることを示している。この不等式を当てはめて計算することで、仕事率と効率の間のトレードオフ不等式

$$P \leq \beta_{\mathrm{L}}\bar{\Theta}\eta(\eta_{\mathrm{C}} - \eta)$$

を得た。ただしPはサイクル当たりの仕事率、β_{L}は低温熱浴の逆温度、$\bar{\Theta}$は係数Θの平均、ηは効率を表している。この不等式は、効率を上げようとすると仕事率が下がってしまうこと、特に効率をカルノー効率に近づけると仕事率がゼロになってしまうことを示している。

この結果は、仕事率と効率の関係に初めて一般的な結果を与えるものであるとともに、有限の仕事率とカルノー効率の共存可能性という問題に否定的な形で結論を与えるものでもある。またこの結果は、ゆらぐ系の熱力学がマクロな系に対し非自明な関係式を与えたという点でも、非常に興味深いものである。

[1] G. Benenti, K. Saito, and G. Casati, Phys. Rev. Lett. 106, 230602 (2011).
[2] K. Brandner, K. Saito, and U. Seifert, Phys. Rev. Lett. 110, 070603 (2013).
[3] V. Balachandran, G. Benenti, and G. Casati, Phys. Rev. B 87, 165419 (2013).
[4] K. Brandner, K. Saito, and U. Seifert, Phys. Rev. X 5, 031019 (2015).
[5] K. Proesmans and C. Van den Broeck, Phys. Rev. Lett. 115, 090601 (2015).
[6] N. Shiraishi, K. Saito, and H. Tasaki, Phys. Rev. Lett. 117, 190601 (2016).
[7] 関本謙『ゆらぎのエネルギー論』岩波書店(2004)
[8] U. Seifert, Rep. Prog. Phys. 75, 126001 (2012).
[9] N. Shiraishi and T. Sagawa, Phys. Rev. E 91, 012130 (2015).

白石直人（慶應義塾大学　日本学術振興会特別研究員 PD）

活性素子の自己駆動運動および協同現象

A02班　小谷野　由紀

生物に代表される自己駆動運動は、秩序だった運動様相を見せる非平衡系であり、近年ではアクティブマターと呼ばれ、非平衡物理の一分野へと成長を遂げつつあるテーマである。アクティブマターは単一粒子の運動だけでなく、その集団の空間パターンや運動性にも強く興味が持たれている。一方、単体では運動性がないアクティブな素子も集団化すると方向性のある移流を引き起こし、パターン形成を行うことがある。本稿では、単一粒子の自己駆動運動と、アクティブな素子集団が協同的にもたらす拡散・移流現象の二つについて、具体的な系を調べた研究成果を紹介したい。

自己駆動系とは自由エネルギーから運動エネルギーを生み出し、安定的に自発運動する系のことを指す。樟脳粒を水面に浮かべた系はその一例として知られており、実験系がシンプルであること、また、その数理モデルも比較的扱いやすいため、様々な研究がなされてきた。樟脳粒は樟脳を押し固めるだけで作製することができ、水面に浮かべると界面活性剤としてのはたらきがある樟脳分子を拡散して表面張力を下げ、樟脳粒周りに表面張力勾配が生じると駆動される。ここで、もし樟脳粒が円形のような対称な形状の場合、図 1 (a-i)に示すように樟脳粒周りの表面張力は一様に下がり、方向性を持った運動は生じ得ないように思える。しかし実際には、実験上のちょっとしたゆらぎによって系の対称性が破れると、その非対称性の影響を自己増大させる機構があり、継続して運動することが可能である。駆動力を自ら生み出す機構だけでは運動速度が上がる一方で、安定な運動とは言い難い。動き始めのような運動速度が小さいときに速度を増加させるメカニズムの他に、速度が十分に大きくなった際には速度を抑えるメカニズムも必要である。自己駆動系には、このような適当な速度を調整する機構が備わっている。樟脳粒の場合は、もし仮に対称な濃度場が形成されても、ある方向に摂動が加わると図 1 (a-ii)のように樟脳粒が感じる濃度場が非対称になり、摂動を受けた方向に表面張力由来の駆動力が発生する。摂動を受けた方向にさらに動くことで濃度場の非対称性が維持され、継続的な運動が可能となる。また、運動によって生じる濃度場の非対称性は、速度が小さいときには速度に比例して増大するが、速度が大きくなると鈍るため、安定な運動速度が実現する。

樟脳分子の濃度場形成は樟脳粒が浮かべられた水面の形状にも影響を受ける。著者はこれまで、幾つかの対称性の異なる形状の水面上に置かれた樟脳粒の運動の解析を行い、樟脳粒が系の対称性を破って動く際に示す運動様相について解析を行ってきた。擬一次元有限長さの水路では、系の境界と濃度場を介した相互作用によって樟脳粒の閉じ込めが起こり、図 1 (b)に示すように樟脳粒は水路の中心位置に関して対称な往復運動を示す[1]。静止状態の安定性は水相の粘度や水路長によって決まり、それらを変化させることでHopf分岐を通じて振動運動が生じる。図 1 (c)には水路長を変化させたときの振動振幅を示している。二次元円形領域においては、系の自由度が上がるため現れる運動様相が非自明になる。具体的には、軸対称な系であることから円運動と振動運動が可能であるが、数理モデルを解析することにより、円運動が安定に現れることが明らかとなった[2,3]。また、樟脳粒を二つ繋いで重心を固定した系においては、自発的に自転運動が現れることを明らかにした[4]。

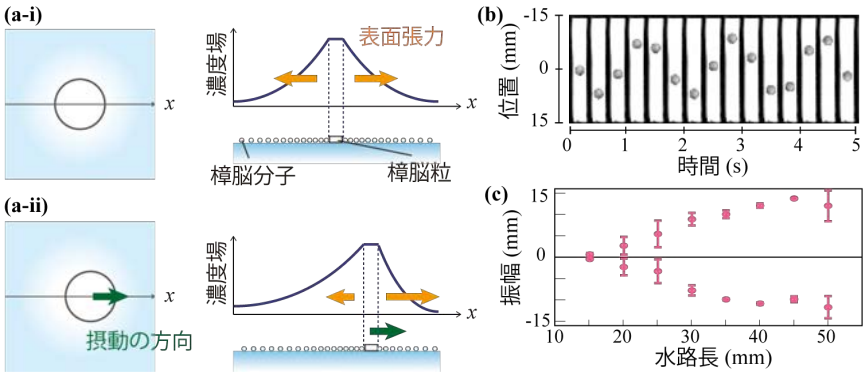

図 1 : 樟脳粒の自己駆動運動。(a-i)静止状態と(a-ii)その不安定化を表したイメージ図。(b) 実験のスナップショット[1]。擬一次元水路内での樟脳粒の往復運動が観察された。(c)水路長を変化させた際の振動の振幅の変化[1]。

樟脳粒は系の境界だけでなく、他の樟脳粒とも濃度場を介した相互作用をする。樟脳粒同士は互いに樟脳分子を拡散し合って斥力を生じ、重心運動のダイナミクスに影響を及ぼす。一方、重心を固定し自転のみ可能にした系においては、樟脳粒の粒子形状に依存した、濃度場形成や駆動力の生じ方が重要になる。そこで、二つの楕円形の樟脳粒を相互作用させた際の安定な配置について調べると、重心を結ぶ線分に対して、楕円形樟脳粒の長軸がそれぞれ垂直となる配置が安定であることが明らかとなった[5]。今後は、自発回転する樟脳粒同士の相互作用について調べていきたい。

次に、アクティブな素子集団が協同的に引き起こす拡散・移流現象について紹介したい。生体内には様々な機能を担う活性タンパク質が多数存在するが、それらは細胞質における拡散を促進することが実験的に確認されている。ここで活性タンパク質とは化学エネルギーを消費してその形態を変化させるタンパク質のことを指す。活性タンパク質の形態変化が拡散現象へ寄与することを取り扱う枠組みのひとつとして、生体膜・細胞質をそれぞれ二次元・三次元ストークス流体、活性タンパク質の周期的な形態変化を力の双極子とみなした数理モデルが提案され[6]、活性タンパク質の引き起こす拡散の促進、及び、移流現象の解析がなされてきた。

我々は、数理モデル[6]を基に、複数の活性タンパク質が協同的に引き起こす生体膜上二次元の拡散現象を考察した[7]。生体膜上に脂質ラフトと呼ばれる、膜タンパク質が多く存在するドメイン構造が知られている。そのような局在構造によって引き起こされる拡散や移流現象について、解析的・数値的に調べた。まず、円形状の脂質ラフトを考え、トレーサー粒子分布のダイナミクスを調べると、図２に示すように、脂質ラフトの内部にトレーサー粒子が凝集する現象を数値的に見出した。この凝集現象は、ラフト境界でラフト内部に向かう移流が生じるためであり、定性的にはラフトの形状に依らず起きることを確かめた。また、ラフト境界以外では拡散が支配的でありトレーサー粒子の分布はほぼ一様となることも明らかにした。さらに、活性タンパク質の伸び縮みの方向の分布への依存性も調べた。図２で示した結果では力の双極子の配向方向はランダムであることを仮定したが、流体相互作用によって配向する可能性もある。そこで、ある方向に完全に配向した場合について計算を行い、拡散・移流現象に定性的・定量的な影響を及ぼしうるのか調べた[8]。その結果、二次元系においては主要項の範囲内で定性的・定量的な違いはないが、三次元系においてはトレーサー粒子の移流が定性的に異なり、循環流を生じることが明らかとなった。これまで、活性タンパク質による周囲の揺動を力の双極子が引き起こす流体場で記述して議論を進めてきたが、活性タンパク質が密な状況では現在用いている流体場の近似が破綻する。今後は、排除体積効果が重要となるような密度領域でのモデリングとその解析を行っていきたい。

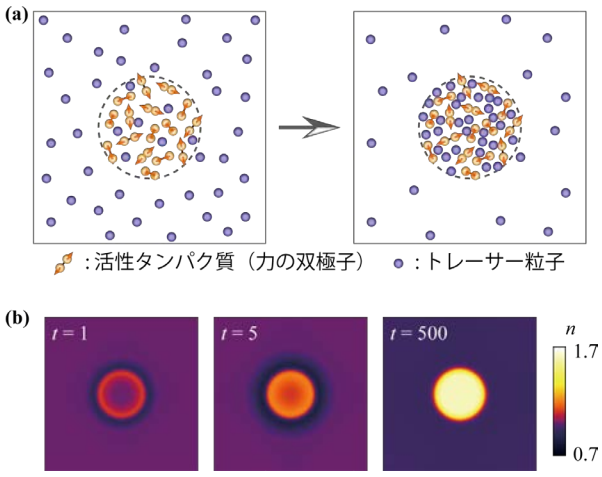

図２：トレーサー粒子の凝集現象。活性タンパク質がクラスタを成しているところにトレーサー粒子が集まる様子を示した (a)イメージ図、及び、 (b)数値計算結果。

最後になりますが、この度は第２回領域賞をいただき、たいへん光栄に思います。今後より一層、真摯に研究に取り組みたいと思います。

[1] Y. Koyano, T. Sakurai, and H. Kitahata, *Phys. Rev. E*, **94**, 042215 (2016). [2] Y. Koyano, N. Yoshinaga, and H. Kitahata, *J. Chem. Phys.*, **143**, 014117 (2015). [3] Y. Koyano, N. J. Suematsu, and H. Kitahata, in preparation. [4] Y. Koyano, M. Gryciuk, P. Skrobanska, M. Malecki, Y. Sumino, H. Kitahata, and J. Gorecki, *Phys. Rev. E*, **96**, 012609 (2017). [5] S-I. Ei, H. Kitahata, Y. Koyano, and M. Nagayama, *Physica D*, **366**, 10 (2018). [6] A. S. Mikhailov and R. Kapral, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **112**, E3639 (2015). [7] Y. Koyano, H. Kitahata, and A. S. Mikhailov, *Phys. Rev. E*, **94**, 022416 (2016). [8] A. S. Mikhailov, Y. Koyano, and H. Kitahata, *J. Phys. Soc. Jpn.*, **86**, 101013 (2017).

小谷野　由紀（千葉大学・理学研究科・博士後期課程3年）

「第4回領域研究会」の報告

A03 班　岡本隆一

新学術領域・ゆらぎと構造の協奏(SFS)「第４回領域研究会」が６月２３・２４日に東京大学本郷キャンパスにおいて開催され、138 名の参加者を迎えました。１日目には武田ホールにおいて全体会議、２日目には理学部一号館において A01 班(西棟２０６号室)、A02 班(西棟２０７号室)、および A03 班(小柴ホール)に分かれての班会議が行われました。全体会議は６件の口頭発表と５８件のポスター発表から構成され、班会議は A01, A02, A03 班それぞれ、１２件、１１件、８件の口頭発表がありました。なお全ての口頭発表は英語でおこなわれました。

全体会議の講演では、SFS の過去３年半における研究成果の概要が発表されました。前半のテーマは、非平衡基礎論やガラス(佐々氏)、マクロ/マイクロ レオロジー(折原氏)、および人工細胞へのアプローチ(今井氏)でした。後半は、小林氏による「量子ドット系における近藤効果による量子揺らぎの測定」に関する発表、続いて平野氏による「多成分原子系の BEC の非平衡ダイナミクス」に関する講演、最後に領域代表の佐野氏による、アクティブマターの一般的な話と SFS における成果に関する講演がありました。その後のポスターセッションでは軽食とビール(!)を手に、活発な議論がおこなわれました。口頭発表に関して言えば、小林、平野 両氏の講演は筆者の専門から遠く、またその他の講演は多くの研究結果の概要説明であったため、あまり良く理解できなかったというのが正直なところでした。しかし、分野の異なる研究の動機、意義が強く意識、を聞くことができたのは収穫でした。個人的には今井氏の人工細胞(protocell)に関する講演で紹介された、様々なアプローチで細胞の特徴(自己増殖、代謝、進化)を備えたシステムを作り出す、という方向性が印象に残ったと同時に、そこから更に人間のような高度な機能をもった生物との間のギャップをどう考えれば良いのか(細胞が集まって、協同的にさらに上位の機能をもつ)、という漠たる疑問も持ちました。また、小林氏の SU(4)と SU(2)の間のクロスオーバー(不連続転移ではない!)の話も、非常に整理された素人にも聴きやすい講演のおかげで楽しめました。佐々氏の、「研究者間のつながりは(必ずしも strong coupling ではなく)weak coupling がよい」という声明(?)にも個人的には共感しました。新学術領域の本来の趣旨では無いかもしれませんが。。。

２日目の班会議では、A03 班の内田氏のアクティブな粒子の流体力学的相互作用による協同的運動、野口氏による膜上におけるバナナ型タンパク質の自己組織化の研究などの見事なシミュレーションが印象的でした。また、著者自身の最近の研究の興味に近いところでいえば、柳澤氏による分子拡散の macromolecular crowding と閉じ込め効果の不思議な実験結果、そして、蜂の巣格子状の細胞骨格を人工的に作る研究には強い感銘をうけました。それから、詳しい中身はほとんど理解できませんでしたが、A01 班の中村氏による、AdS/CFT 対応によって explicit な粗視化の手続きなしにミクロな理論からマクロな法則を導く、という話には驚きました。SFS なしにはこのような話を聴く機会もなかなか無かったとおもいます。これがすぐに自分の研究に直接的に関係するとはおもいませんが、このような(必ずしも strong でなくとも)weak perturbation が積み重なることが５年後、あるいはもっと先に意味を持ってくると信じています。多くの参加メンバーが、このような強弱様々な刺激をうけることができる意義のある研究会であったと思います。

岡本隆一（首都大学東京・理工学研究科・特任助教）

研究会報告:第 16 回　関東ソフトマター研究会

A03 班　渡邊千穂

2017 年 8 月 22 日、東京農工大学小金井キャンパス科学博物館において、第 16 回関東ソフトマター研究会が開催されました。曇りや雨天が続き、肌寒い日も多かった 8 月の東京でしたが、研究会開催当日は夏らしい天気が戻り、太陽の光が眩しい一日となりました。関東からソフトマターを研究する研究者、大学院生および学部生が集まり、最終的な参加者は 90 名を超える盛況な会となりました。6 件の口頭発表に加え（講演者、タイトルは下部を参照）、54 件ものポスター発表がなされました。ポスターの発表時間は前半 1 時間、20 分の休憩を挟んで後半 1 時間の予定でしたが、絶えず活発な議論が行われている様子が、若手シニア問わず見られました。

図 1:ポスターセッションの様子

図 2:懇親会会場での一幕

私がこの研究会に参加するのは、昨年に続き今回が 2 度目でしたが、あらためてソフトマターが内包する研究対象の幅の広さを目の当たりにし、さらに関東という限られた地区に、これだけの研究がなされていることに驚きました。特に多くの発表がなされたポスター発表では、ガラスビーズを吹き上げるジェットの研究や、泡の集合体が連続的に割れる雪崩崩壊していく条件を探す研究、分子ガラスと呼ばれる、低分子の作るガラス状態に生じる亀裂パターンの生成・消滅、脂質膜の浸透に関する理論モデル、車・タイヤなどの産業応用を目指した強度を持ったソフトマテリアル開発など、とても興味深い研究発表が、大学院生を中心とした若手の研究者からなされ、2 時間という発表時間でも足りないほどでした。

今回世話人を務めた東京農工大・柳澤さんは 10 年前にこの研究会に学生として参加し、また口頭発表をしたお茶大・村野さんも、初めてのポスター発表がこの研究会であったと話されていたように、多くの若手研究者がこの研究会から成長していることが分かります。来年度、第 17 回ソフトマター研究会は東京大学の柏キャンパスにて開催される予定です。今後も、関東ソフトマター研究会が、若手研究者の発表の場となり、ソフトマターに関わる幅広い研究領域へ貢献する若手研究者を育成してゆくことが期待されます。

以下に、口頭発表の講演者（敬称略）およびタイトルを列記します。
小林 和也（首都大・栗田研）「大きな粘性差を伴う混和性２成分流体の対流ダイナミクス」
渡邊 千穂（農工大・柳澤研）「ナノ分子拡散に対する高分子混雑とミクロ空間閉じ込めの相乗効果」
村野 真由子（お茶大・奥村研）「液体薄膜の破裂における円対称性の破れの効果」
黒谷 雄司（東大・田中研）「一軸伸長下における線形粘弾性体の破壊機構」
安田 健人（首都大・加藤 好村研）「Swimmer-microrheology」
野澤 恵理花（お茶大・出口研）「天体の結合写像格子による動的パターン形成 ―ガス塊の振動・渋滞―」

渡邊千穂（東京農工大学工学府・柳澤研究室・産学官連携研究員）

ゆらぎと構造の協奏：A02 班 A03 班合同研究会

「アクティブマターの概念で繋ぐ生命機能の階層性」の報告

A03 班　高部響介

図 1:オーガナイザーの今井先生のご挨拶

2017 年 9 月 11 日、12 日の 2 日間、「函館　グリーンピア大沼」において、A02 班 A03 班合同研究会「アクティブマターの概念で繋ぐ生命機能の階層」が開催されました。本州以南では、まだ厳しい残暑が続く中、北海道の地は両日ともにとても過ごしやすい気候でありました。

本研究会では、学生 4 名を含む 31 名の参加があり、依頼講演 13 件、一般講演 10 件の計 23 件と、多くの口頭での成果報告が行われました。オーガナイザーの今井正幸先生のご挨拶から開始された本合同研究会では、アクティブマターを大きなテーマに、一つのアクティブマターから、集団で動くもの、マイクロレオロジーまで、様々なアクティブマターを対象とした研究の成果発表が行われ、活発な議論がなされた質疑応答時間も含め、充実したものとなり、昨今のアクティブマター分野の盛り上がりを感じる 2 日間になりました。

1 日目は以下の 6 先生の依頼講演が行われました。シアノバクテリアの走光性応答（西坂崇之先生）、回転モーターF1-ATPase のエネルギー論（宗行英朗先生）、*Caenorhabditis elegans* の受精卵における原形質流動（木村暁先生）、Three-sphere swimmer の移動モデル（好村滋行先生）、生きた細胞の細胞質のマイクロレオロジー（水野大介先生）、ヒト造血幹細胞の変形と動態への臨床薬、ケモカインの影響（田中求先生）。夕食前の最後のセッションは一般講演のセッションで、様々なガン進行過程におけるヒト胃細胞の動態（山本暁久先生）、円形領域における樟脳粒の自発的な移動に関する研究（小谷野由紀さん）、基板上を動く細胞における mechano-chemical model（多羅間充輔先生）の 3 方が成果の発表をされました。1 日目はナイトセッションがあり、下記の 7 つの一般講演が行われました。化学反応によって自律駆動するベシクルの構築（鈴木健太郎先生）、*C. elegans* の集団によるネットワークの構成（永井健先生）、CVD MoS2 単結晶上での自己組織化ペプチドの結晶方位（孫林豪先生）、神経幹細胞の単層で生じるネマティックな秩序とひずみ（上道雅仁さん）、スピロヘータ運動における調和された細胞回転運動（筆者）、細胞骨格におけるミオシンモーターによる収縮ストレスに関する理論研究（平岩徹也先生）、急性心筋梗塞患者の心臓組織におけるミトコンドリア・サルコメアタンパクのイメージング質量分析法による解析（鶴山竜昭先生）。2 日目のセッションは以下の順番で依頼講演が行われました。*Physarum polycephalum* の自己分裂過程におけるサイズ依存的な分裂特性（櫻井建成先生）、束縛条件下でのバクテリア集団を用いたアクティブな流体の秩序形成に関する研究（前多裕介先生）、キネシンによって駆動する微小管の集団運動における体積排除の影響（佐野雅己先生）、アクトミオシンによる脂質膜の変形（市川正敏先生）、Min 振動における波の不安定性の幾何学的制御（義永那津人先生）、樟脳ディスクの反応拡散を伴う自発的な運動（北畑裕之先生）、再構築した細胞内での Min 振動の振る舞い（藤原慶先生）。

個人的な話になりますが、今回初めてアクティブマターの研究会に参加させて頂きました。多くの研究成果発表が行われましたが、その対象となるアクティブマターも多様で非常に興味深い内容ばかりでした。まだ普遍的な法則の確立に至っていない非平衡状態を扱う科学の発展を期待しつつ、研究会の報告とさせていただきたいと思います。

最後になりますが、お忙しい中、本研究会のオーガナイザーを務めてくださいました今井先生をはじめ、先生方とスタッフの方々、学生の皆様、函館グリーンピア大沼の皆様に感謝申し上げます。

高部　響介　（東北大学・工学研究科・特別研究員）

第 11 回物性科学領域横断研究会（領域合同研究会）の報告

A03 班　常川 裕貴

2017 年 11 月 17, 18 日の 2 日間にわたって、物性科学に関連した 9 つの新学術領域研究の合同の研究会「第 11 回物性科学領域横断研究会―凝縮系科学の最前線―」が東大柏キャンパスの物性研究所で開催されました。広範な物性科学における研究内容を専門外の研究者や大学院生と共有し、今後のさらなる発展につなげることを目的として開催され、全国から様々な領域の研究者・大学院生が集まりました。２０７名の参加者があり、２８件の口頭発表、１１０件のポスター発表がありました。

本研究会では超伝導新規物質の開拓から、中性子星のトポロジーに至るまで、様々なスケール・分野の発表がなされました。本新学術領域からは、佐野代表の領域全体の紹介の後、好村滋行氏と澤井哲氏がマイクロスイマーの理論と細胞内の化学反応波の伝搬がどのように細胞変形を起こすかについて講演しました。特に私の印象に残っているのは、本領域の好村氏による遊泳するマイクロマシンの運動に関する報告です。「ホタテ貝の定理」という非常にユニークな名前の定理の紹介とともに、3つの質点がバネでつながれた系が、粘弾性流体では正味の移動を獲得するという報告でした。それぞれの質点がゆらぐときの位相差によって、系全体として速度を獲得し、ある方向に移動していくというのは、非常に面白いと思いました。

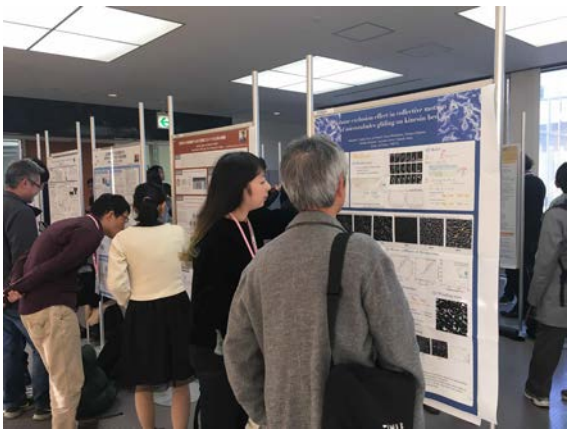

図1：ポスター発表の様子。110件の発表があり、非常に活発な議論が行われました。下図：ポスター賞を受賞した谷田氏のポスター。

1 日目の午後にはポスターセッションがありました。全国から様々な研究成果が報告されました。本当に色々な研究があるのだと、実感しました。その後の懇親会では、ポスターセッションでの議論の続きなどで大いに盛り上がりました。懇親会中にポスター賞の発表がありましたが、本領域では佐野研 D２の谷田桜子氏が受賞しました。また、1 日目の午後に凝縮系科学賞の表彰式があり、須田理行氏と渡辺悠樹氏が受賞されました。受賞された方々、おめでとうございます。

2 日目も様々な発表がありました。スペースの関係で詳しくは書けませんが、非常に広い分野の成果報告がありました。

こうして色々な研究成果を聞くと、自分も何か面白いものをやってみたいと思わずにはいられません。今回の研究会は、私にとって非常に多くのものをもたらしました。今一度研究を頑張っていきたいと思います。

常川　裕貴(東京大学・理学系研究科・修士課程 1 年)

International Symposium on Fluctuation and Structure out of Equilibrium 2017 (SFS2017)参加報告

A02 班　後藤善友

紅葉に色づく「杜の都」仙台にある仙台国際センターにおいて、11 月 20 日から 23 日の 4 日間の日程で新学術領域研究「ゆらぎと構造の協奏」の国際シンポジウム “International Symposium on Fluctuation and Structure out of Equilibrium 2017 (SFS2017) ” が開催されました。

量子凝縮系、ソフトマター、生物系という広い学術領域における国内外の最新の研究成果についての講演がシングルトラックで進行するように構成されており、参加者全員に領域を横断する非平衡系現象の背後にある普遍法則を問いかける刺激的なプログラムでした。

海外 6 カ国から 9 件、国内から 9 件の計 18 件の招待講演に加え、8 件の一般講演（海外 4 国内 4）の計 26 件の講演が行われました。さらに 146 件のポスター発表も行われ、活発に質問や議論が交わされました。参加者も日本、台湾、ドイツ、アメリカ、中国、韓国、フランス、インド、オランダ、スウェーデンの各国から 217 名に達する規模となり、本新学術領域研究の最終年度を飾る盛大な国際シンポジウムでした。

図 1:最終年度にふさわしい最大規模の参加者

図 2:“SFS2017 Best Poster Award for Young Researcher” の栄光を若手 11 名が手にした。中央は代表の佐野先生。

日頃は意識を向けない様々な専門領域における現象が「ゆらぎと構造」の観点で切り取られて次々に目の前に提示されるプログラムは自身の体験として非常に刺激的でした。それと同時に、一連の講演を通して語られる普遍性が確かにそこにあると実感できるものの、力不足の筆者には「見ようとしていないと見失ってしまう」ものであり、スリリングな講演の連続でした。一方、筆者自身の研究テーマについて見つめ直す良い機会にもなりました。他の領域の現象との共通性やつながりを意識することで、「ゆらぎと構造」により示される広大な学術領域において、自分の研究テーマの位置づけや他の研究との関連を再認識することになり、同時に新しい方向への研究着想を得ることが出来ました。

このような進取的な国際シンポジウムを企画・運営していただいたオーガナイザーの皆様、東北大の今井グループの皆様に感謝を申し上げます。

後藤善友（大分大学・工学研究科・博士課程 5 年）

アクティブマター研究会 2018 の報告

A01 班　平岩徹也

2018 年 1 月 19 日と 20 日、京都大学福井謙一記念研究センターにおいてアクティブマター研究会 2018 が開催されました。本研究会はおよそ毎年行われており今回で３回目となります。国内で広くアクティブマターに関する研究を行う学生・研究者が集まり議論する場になっています。今年度の研究会には 39 名（一般 30 名、学生 9 名）が参加し、２件の基調講演と５件の企画講演（いずれも招待講演）、および 20 件のショートトークが行われました。今回は一部を除き英語での発表となりました（基調講演と企画講演は全て英語、ショートトークは英語 15 件、日本語 5 件）。

図 1: 会場の様子

基調講演では末松信彦氏（明治大学）と野村慎一郎氏（東北大学）が話をされました。末松氏は自己推進系のダイナミクスについて、樟脳船など複数の実験結果の紹介と、その反応拡散系の分岐現象など非線形科学の観点からの説明を行いました。複数の樟脳円盤を狭い領域に閉じ込めた際に各樟脳円盤が示すリズミックな間欠的運動は印象的でした。野村氏は分子ロボティクスというメインタイトルで、自律的に機能する人工細胞を開発する試みと今までの成功について話をされました。リポソーム中で DNA やタンパク質などの生体分子からなる分子機械を統合することで開発された、自律的に変形を制御するアメーバ型分子ロボットの話は衝撃的でした。

企画講演は本研究会の魅力の一つで、年度ごとに決まったテーマについて集中的に討論を行うための枠です。今年度のテーマは「アクティブマターにおける流体力学的効果」でした。（これまでの２回のテーマは「一様空間中の自発的な往復運動」と「自発的な変形」。）今年度は石川拓司氏（東北大学）、石本健太氏（京都大学）、飯間信氏（広島大学）、内田就也氏（東北大学）、水野大介氏（九州大学）が各自の研究テーマについて講演を行いました。講演タイトルは右の表にまとめます。全体を通して、流体力学の研究と生き物含むアクティブマターの研究との交わる領域の可能性を感じさせる企画だったと感じます。遊泳微生物は、国内・海外問わずアクティブマター研究において最もよく用いられるモデル系の一つです。微生物など自己推進体が溶液中を動き回るとき、必然的に周囲の溶媒に特徴的な流れを生み出すことが知られています。今回の企画講演でも、その流れ場の特徴について複数の観点から詳しく議論されました。さらに、その溶媒の流れは他の自己推進体やプローブ粒子もしくは領域境界に無視できない影響を与え、多彩な現象を引き起こします。本企画講演で話題に挙がったものをみても、流体を介した精子の集団挙動、ミドリムシ等の生物対流現象、バクテリア乱流現象、クラミドモナス溶液中の粒子の非ガウス揺らぎなど多岐にわたりました。遊泳微生物のクラスターや渦構造の形成についての数値シミュレーションや解析理論の説明もなされました。

~~ Focused lectures on "hydrodynamic effects" ~~

Prof. Takuji Ishikawa ***"Near-field fluid mechanics alter behaviors of swimming microorganisms"***

Dr. Kenta Ishimoto ***"A theoretical exploration of microswimmer hydrodynamics"***

Prof. Makoto Iima ***"Euglena gracilis as an active matter: statistical motion and collective behavior"***

Prof. Nariya Uchida ***"Hydrodynamic effects in the collective motion of bacteria"***

Prof. Daisuke Mizuno ***"Non-Gaussian limit fluctuations in active swimmer suspensions"***

表 1: 企画講演プログラム

ショートトークも一人１５分程度という短い講演時間ながら、活発な議論が行われました。

以上がアクティブマター研究会 2018 の報告です。最後に本会世話人の江端宏之氏（九州大学）、北畑裕之氏（千葉大学）、多羅間充輔氏（京都大学）、山本量一氏（京都大学）にお礼を申し上げます。

平岩徹也（東京大学・理学系研究科・助教）

若手研究会「統計物理学とその周辺」が開催されました

A01 班　深井 洋佑

研究会の様子（白石氏の講演）

春の訪れを感じさせる天候の中、２０１８年３月１日から２日にかけて、東京大学本郷キャンパスにて若手研究会「統計物理学とその周辺」が開催されました。統計物理学の基礎論や細胞運動、自己駆動粒子、散逸構造、深層学習を含む幅広い分野に関して、様々な視点からの講演と、多くの参加者を交えた活発な議論が行われ、領域の研究の多様性と、今後に広がる研究の可能性を感じられる会となりました。

研究会は、本学術領域の第２回領域賞を受賞された白石直人氏、小谷野由紀氏、西坂崇之氏への授賞式と、受賞された方々の講演で始まりました。白石氏は「Discovery of Universal Trade-off Relation between Power and Efficiency for Heat Engines」という題で、熱機関の効率とパワーの一般的な関係という根本的な問題が未解決であったという歴史的背景に触れたのち、氏らの研究の成果である、強い非平衡条件下でも一般的な仮定のもとで成り立つ普遍的な効率とパワーのトレードオフ関係について明快に講演されました。小谷野氏は「Theories for Self-Propelled Particles and Active Membrane」という題で、水面上の樟脳粒の運動でみられる力学的な分岐現象と、細胞膜上でのアクティブなたんぱく質の動きによるトレーサー粒子の凝集現象という、氏の理論的解析から明らかとなった現象の数理的側面について興味深い実例にふれつつ講演されました。西坂氏の講演は「Discoveries of Novel Motion Mechanisms of Archaea and Bacteria」という題で、氏らの研究から明らかになってきた古細菌・マイコプラズマ・シアノバクテリアのそれぞれの特徴的な分子モーターの性質と、氏らが開発し計測に用いた独創的な実験的手法についての心を惹かれる内容でした。

受賞者の講演の後、１日目の午後から２日目にかけては、若手の方々による講演と、瀧 雅人氏、多辺 由香氏、松元 叡一氏による招待講演が行われました。招待講演では、瀧氏、松元氏が深層学習の理論的背景とその応用の実例、今後の理論的アプローチの重要性について幅広く講演されたのに加え、多辺氏が液晶に物質流・熱流等の線形流を加えることによって駆動される回転運動についての様々な興味深い実験について講演されました。若手の方々による 1 日目の講演では、量子純粋状態の熱浴に対するゆらぎの定理・熱力学第二法則について講演された金子 和哉氏をはじめ、低次元系での異常熱輸送に対する時間反転対称性の破れの影響について講演された玉木 脩二氏、量子系の緩和現象において見出された新しい普遍クラスについて講演された藤本 和也氏、ゆらぎの定理における絶対不可逆性の概念とそれを用いた Gibbs・Loschmidt 両パラドクスの解決法について講演された村下 湧音氏、情報幾何を用いた揺らぐ熱力学の定式化とそれによって見出された新たな不等式について講演された伊藤 創祐氏と、非平衡統計物理学の基礎論で研究が進みつつある様々な分野についての興味深い講演が続きました。また、2 日目には、表面張力差によって駆動される水面上の液滴や金属箔の運動について講演された作田 浩輝氏、テトラヒメナが壁に沿って泳ぐメカニズムについて講演された大村 拓也氏、粘弾性体中でのマイクロスイマーモデルの運動について講演された安田 健人氏、細胞性粘菌の細胞集団で起こるセルソーティングについて講演された藤森 太平氏、細胞内での化学反応波をモデル化したベシクル内での化学反応について講演された光山 隼史氏と、自己駆動粒子や細胞の運動、細胞モデルなどについて、様々な視点からの講演がありました。1 日目の講演の後に行われた懇親会でも、多くの参加者によって、分野をまたいで活発な議論が行われていました。（私も瀧氏に多くの質問をさせていただいたのを覚えています。）

平成 25 年度にこの新学術領域が始まってから得られてきた成果の豊かさと、今後の研究の様々な展望に気づく、とても良い機会になりました。さらに 4 年後にこれらの分野の研究がどのように進展しているのか、研究会でどのような話がされているのかを楽しみに、筆をおきたいと思います。

深井 洋佑（東京大学・理学系研究科・博士 2 年）

今後の予定

◎新学術領域「ゆらぎと構造の協奏」共催

○日本物理学会　第 73 回年次大会（2018 年）共催シンポジウム
22pK604 「非平衡系におけるゆらぎと構造」
2018 年 3 月 22 日（木）
東京理科大学　野田キャンパス

編集後記

新学術発足時にニュースレター編集委員の任を仰せつかりました。何とか責務は果たすことができたと思いたいですが、広く注意を払うことが苦手な自分には研究会情報などは見つけられず、終始北畑さんにお世話になりっぱなしでした。北畑さん、野口さん、加藤さん、栗本さん、それに執筆を快く引き受けて下さった皆様に改めてお礼を申し上げたいと思います。また、本領域の幅広さゆえ、ニュースレターに掲載した研究紹介記事、研究会報告も非常にバラエティに富んだ内容となりました。それに（一読者よりは多少注意を払って）目を通し、執筆者の方々とやり取りをする機会を与えて頂いたのは有り難いことだったと思います。新学術領域という枠組みは年度末で終わりますが、そこで育まれた科学的交流のネットワークは続きます。非平衡科学をキーワードに様々な繋がりが一層醸成されて、これからも心躍るニュースが目に出来ることを楽しみにしています。　（竹内一将）

4 年半の間、新学術領域「揺らぎと構造の協奏」のニュースレター編集委員を務めさせていただきました。多くの方に原稿をお願いしましたが、皆様、快くご寄稿くださり、ありがとうございました。特に、博士課程、修士課程の学生さんや博士研究員の方々にお願いすることも多かったのですが、いただいた原稿は学術的内容がしっかり書かれているだけではなく、それぞれの方の研究に対する熱意が感じられるものも多く、新鮮な気持ちで読ませていただきました。また、ニュースレターの原稿ということで平易に書いていただいたものも多く、自分の専門から離れた内容であっても理解しやすかったのも印象的でした。本新学術領域のように幅広い分野の方が集まり、議論を深められるような場が、何らかの形でこれからも続くことを期待しています。　（北畑裕之）

ニュースレター編集委員　竹内一将（東京工業大学）kat@kaztake.org
北畑裕之（千葉大学）kitahata@chiba-u.jp

Copyright© 2013-2018 ゆらぎと構造　All Rights Reserved.