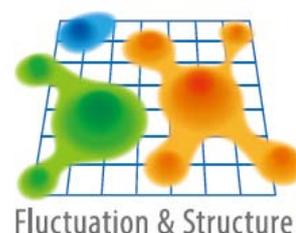


# ゆらぎと構造の協奏

## ～非平衡系における普遍法則の確立～

### News Letter Vol.6

2015.11.09 発行



本号では、前号に引き続き、本新学術領域のグループ内で行われた共同研究成果を紹介いたします。

### ソフトマターから人工細胞への物理的アプローチ

今井正幸、佐久間由香、菅原正

#### はじめに

生命とは何かという問題については、古くから様々なアプローチがされてきており、その物理的なアプローチとして Schrödinger は、1944 年に出版された著作 “What is life ?” で生命を非平衡開放系において安定化される構造として捉えた。この考え方は Turing の反応拡散場による構造形成 (1952 年 “The Chemical Basis of Morphogenesis”)、Prigogine の散逸構造 (1977 年 “Self-Organization in Non-Equilibrium Systems”) へと引き継がれ、現在はこのような考え方を統合した生命現象の理解 (例えば金子 2009 年「生命とは何か 第二版」) へと発展している。

近年、構成的アプローチで人工細胞を構築するという研究が、世界的にも注目されるようになった[1]。その中で菅原グループは、自己生産を意識して分子をデザインするというコンセプトで新しい人工細胞への道を切り開き、世界で初めてベシクルの自己生産と情報分子である DNA の自己複製を連携させることに成功した[2]。そこでは、ベシクルは単に生命と外界を分ける膜としてではなく、外から内へと物質を輸送し、不要物を排出し、分裂して増殖するなど、その変形を通して生命現象の根幹を体現する構成要素となっていることがわかる。

「ソフトマターから人工細胞への物理的アプローチ」を掲げる A03-001 班は、膜ダイナミクスの物理モデルの普遍性を追及している今井グループと、ベシクルを基盤とする人工細胞の構築を目指す菅原グループ、および、ソフトマターのダイナミクスの計測を専門とする豊田グループで構成されており、それぞれが緊密な連携をとりつつ、階層性のあるダイナミクスが創発する研究を続けている。本稿では、生命現象を理解する上で最も重要なダイナミクスである細胞分裂をモデル化したベシクル自己生産に関連する取り組みを紹介する。

#### 繰り返し分裂するベシクル (自己生産モデル)

人工細胞研究の中で重要な役割を演じるベシクルの変形を、どのように記述するのかについては、膜弾性理論[3]をもとに研究が進められ、最近の 3 次元計測技術を用いた研究 [4] により、定量的に理解することができるようになってきた。しかしながら、単純な分子集合体であるベシクルが、どのようにして生命現象に特徴的な機能を身につけるに至ったのかについてはよくわかっていない。そのような背景から佐久間らは、2 成分ベシクルにおいて脂質分子の形状と脂質分子の相転移を連携させることにより、接着・孔形成・分裂などの代謝や自己生産を支える基本的な機能が温度を制御パラメータとして再現できることを示した [5-7]。ここでは、生命現象をもっとも特徴付ける機能としてベシクルの自己生産[7]に着目し、その理解を目指した最近の取り組みを紹介する[8]。

分裂を繰り返すベシクルは、親水部と疎水部がほぼ同じ大きさ (円筒型) の DPPC と親水部が疎水部に比べて小さな (逆コーン型) DLPE からなり、図 1 に示すように昇温による分子面積の増加 (PC

の秩序-無秩序転移)を利用して膜面積を増加させ、その余剰面積を利用して球状(A)から2つの球が細いネックで繋がった limiting shape (E) へと変形したのち、ネックを切断し分裂させる。分裂したベシクルは、温度を下げると面積を収縮させてもとの球状ベシクル(F)に戻るが、その際にベシクルの面積に対して体積を緩和させるために孔を開けてベシクル内の水の一部を放出する。再び、温度サイクルを繰り返すとそれぞれのベシクルは同じように変形した(F→I)後、分裂して2つの球状ベシクル(J)になる。この分裂が数世代にわたって繰り返されることで、再帰性のある分裂ベシクルになっている。このモデル系は膜分子が供給されていないので、ベシクルは分裂するごとに小さくなるが、ベシクルの自己生産のトポロジカルな特徴を備えている。ちなみに逆コーン型脂質 DLPE を円筒型脂質の DLPC に置き換えると、prolate (C) には変形するが limiting shape (E) には変形しない。このことから、DLPE の逆コーン型という幾何学的な特徴がこの分裂に重要だということがわかる。

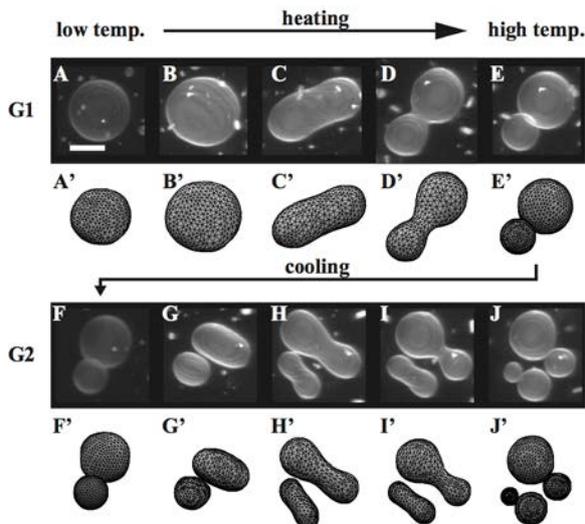


図 1: DPPC/DLPE2成分ベシクルで観察される再帰性のある成長と分裂(上段)と3次元解析像(下段)。

### 自己生産モデルの物理

このベシクルの変形過程の3次元解析を行い、形状を特徴付ける換算体積 ( $v = V / (4\pi R^3 / 3)$ ,  $R = \sqrt{A / 4\pi}$ ,  $V$  と  $A$  はベシクルの体積と面積) と幾何学的面積差 ( $\Delta a = 2d \oint H dA / 8\pi dR$ ,  $d$  は内膜と外膜との距離、 $H$  は平均曲率) をプロットすると、変形の軌道は oblate から prolate を経て limiting shape に至る一つのマスター曲線の上を移動する(図2)。面積差弾性(ADE)モデルによると、ベシクルの形状は、換算体積と固有面積差 ( $\Delta a_0 = (N^+ - N^-)a / 8\pi dR$ :  $N^+$  と  $N^-$  は内膜と外膜の脂質分子数、 $a$  は脂質1分子の断面積) で決定される。この変形は、昇温により DPPC の断面積が増加することにより誘起されるが、DPPC と DLPE の幾何学的形状の違いにより内膜と外膜でその組成が異なるので面積の増加は内膜と外膜で異なる。したがって、温度変化による DPPC の断面積変化を  $a$  から  $(1 + \epsilon)a$  とし、DLPE の内膜と外膜のモル分率の差を  $\Delta\phi$  とすると、固有面積差と換算体積の間には簡単な幾何学的な考察より、

$$\Delta a_0 = \Delta a_0^{\text{ini}} v^{-1/3} - \frac{R}{2d} \frac{\Delta\phi}{1-\bar{\phi}} [v^{-1/3} - v^{1/3}] \quad (1)$$

なる関係があることがわかる。ここで、 $\Delta a_0^{\text{ini}}$  は温度を上げる前の固有面積差、 $\bar{\phi}$  は仕込みの DLPE のモル分率である。実験で観察された球状から limiting shape までの変形を再現しようとする、膜の非対称性  $\Delta\phi$  は 0.003 程度の値をもつことがわかり、このわずかな内膜と外膜の非対称性は(1)式の前因子  $R/d \sim 3000$  により増幅されて、球から limiting shape への変形をもたらしている。すなわち、この変形の鍵は DLPE が2分子膜内でわずかに非対称分布していることにある。

次にベシクルが分裂するためには、limiting shape に変形した後に neck が切断される必要がある。この neck は通常1成分のベシクルでは、その自発曲率により安定化され切断されない[9]。しかし、異な

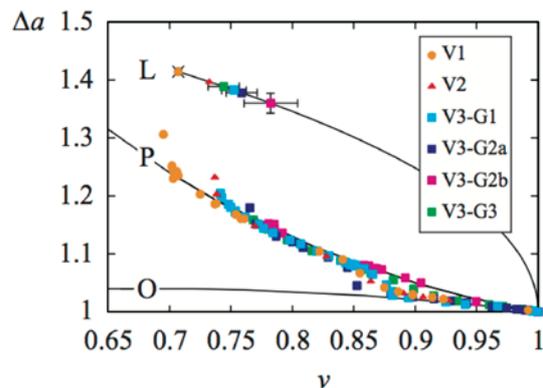


図 2: DPPC/DLPE2成分ベシクルの変形の軌道を換算体積と幾何学的面積差に対してプロットしたもの。O は oblate, P は prolate, L は limiting shape の安定な branch を意味する。

る形状（ガウス弾性率）をもつ脂質分子を混合した2成分膜では、ベシクルのガウス曲率に応じて脂質が分布することによりネックが不安定化し、分裂することが知られており[10]、自己生産モデルベシクルの場合は DPPC と DLPE の幾何学的形状の違いが分裂を引き起こしていると考えられる。このようにしてベシクルの変形・分裂は理解できるが、そのベシクルが繰り返し分裂するためにはもう一つの難関、分裂してできた子ベシクルが親ベシクルと同じ組成を持っている必要がある。そのための脂質の組成の緩和は膜弾性エネルギーを最小にするという規範

$$2H - C_0 = 2H - \alpha H_{sp}^{PE} \Delta\phi = 0 \tag{2}$$

により保証される。ここで、 $H_{sp}^{PE}$  は DLPE の自発曲率、 $\alpha$  は2成分系で分子の形状が変調される効果を表す定数である。この式を通して膜の平均曲率  $H$  と分子の自発曲率  $H_{sp}^{PE}$  は結びつく。このような内膜と外膜の間の脂質の移動を伴う組成の緩和は、今の場合は、温度を下げる時に形成する孔の縁を通して行われているが、2分子膜間のフリップ-フロップ運動、または分裂時に生じる一時的な内膜と外膜の融合においても可能である。

このように見てくると、DLPE/DPPC 2成分ベシクルでは DLPE の幾何学的な形状が膜の曲率と結合することにより、変形・分裂・再帰の各段階でその分布を最適化させて、その持続的な分裂（自己生産モデル）を達成していることがわかる。

### ベシクル型人工細胞における自己生産ダイナミクス

細胞分裂のような生命現象においても、その各段階で起こる個々の物理的現象の理解には、先に示した今井らのモデル系に基づく物理的理解が必須である。一方で、実際の細胞の示すダイナミクス全体の理解には、さまざまな外的因子の関与を積極的に導入した非平衡モデルが必要となろう。そこで菅原グループでは、人工的に合成した膜分子からなり、より生命の理解に迫りうるジャイアントベシクル (GV) 型人工細胞を構築する研究を行っている[11]。

両親媒性分子が、水中で自己集合化して二分子膜を形成し、それが袋状に閉じた構造体であるベシクルは、膜の半透性を反映し、熱のみならず物質（水や両親媒性のある小分子）の出入りについても開放された系である。膜分子の原料となる両親媒性分子  $V^*$  を GV に添加すると、GV 内部で膜分子  $V$  へと変換される反応が起こり、遊離した電解質  $E$  を水中に放出する（図 3a）。この様な膜分子生産反応が、分子集合体であるベシクルの形態変化を誘導するところに本系の特徴があるが、その機構は、膜分子の生産反応により二分子膜の外膜、内膜の分子の数の差の増大が起こり、これが GV の形態変化を誘発するものと考えられ、基本的に今井モデルに基づき物理的に解明された機構と相同である（図 3b）。

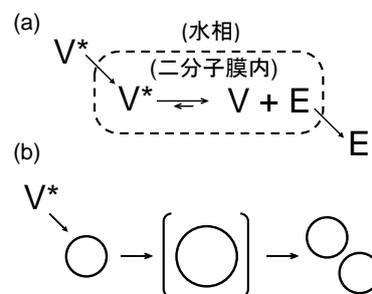


図 3: 人工細胞の自己生産における化学反応と形態変化の連携。

### DNA の自己複製と連動するベシクルの自己生産

ところで、生命システムの特徴は、自己生産とともに自己の形質を子孫に伝える情報物質の存在にある。すでに菅原グループでは、

GV 内部での DNA の複製が、GV の自己生産と連動する GV 型人工細胞を構築している[2]。この自己生産系では、等割が迅速にかつ連続的に起こるところに特徴があり(多いときは数回の分裂が5分以内に起こる)、DNA が内封されていないとき（頻度は10%以下と低く、分裂に2時間程度かかる）と比較し、全く異なるパターンを示した（図 4）。こ

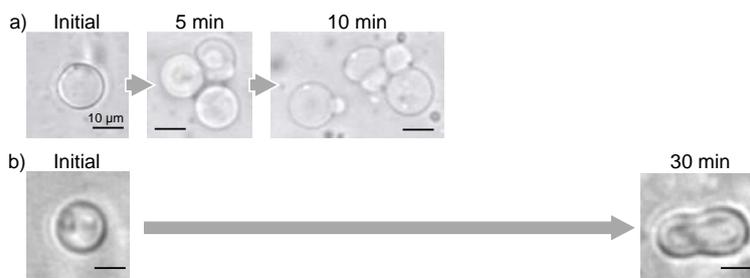


図 4: DNA 増幅の有無による、GV 自己生産挙動の違い。(a) GV 内部での DNA 増幅後に  $V^*$  添加。(b) DNA 増幅しなかった GV に  $V^*$  添加。

のことは DNA の存在が、ベシクル自己生産のゆらぎを、特定のモードに押し込め働きをしていることを意味する。著者らは、非平衡系の GV 集団が示す形態変化を集団解析する上で、個々の GV の粒径や着目している基質の量を直接測定できるフローサイトメトリ (FCM) が有用と考えており [12]、DNA 存在下のベシクル自己生産についても、FCM での集団解析を行っている [2]。

このような DNA の働きは、以下のような過程で生じたのであろう。1) ポリアニオンである DNA の表面が、GV 膜内に存在するカチオン性膜分子

に取り巻かれて疎水化する。2) そうした DNA は、ベシクル膜の内部に陥入し、膜内に存在するカチオン性の触媒(C)と複合体を形成する。3) この錯体は膜分子生産の活性点になり、膜分子を局所的に生産しベシクルの分裂を誘発する (図 5)。最近、豊田研の松尾との共同研究で、触媒と DNA に、それぞれ異なる励起波長をもつ蛍光プローブを担持し、蛍光プローブ間の励起エネルギー移動の測定や、水溶性蛍光消光剤の添加などの実験を行ない、この解釈を支持する結果を得ている [13]。

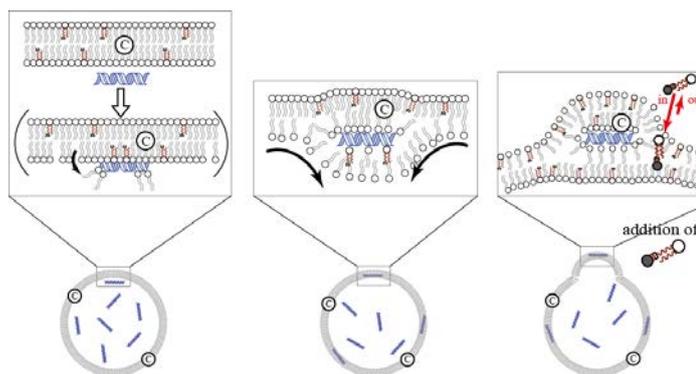


図 5: DNA-触媒複合体が GV 膜内で膜分子生産の活性点を形成する様子。

#### 回帰性をもつ自己増殖系の構築とモデル細胞周期

ところで、DNA の複製と GV の自己生産が連携した系では、分裂した娘 GV 中に増幅した DNA は分配されているが、その原料である dNTP (デオキシヌクレオシドトリフォスフェート) は、枯渇したままである。自己生産系が元の状態に戻り、繰り返し自己生産ができる「回帰性のある GV 型人工細胞」となるには、自己生産 GV が平衡系に落ち込まず、自己生産のループを廻り続ける必要がある (図 6)。そこで、鈴木らが開発した、基質を内封した運搬ベシクルベシクルを、基質の枯渇した標的ベシクルに選択的に融合させ基質を移送する仕組み [14] を、自己生産 GV に導入した。娘ベシクルと運搬ベシクルベシクルの膜は、それぞれ異なる組成の 2 種のリン脂質から構成されており、分散液の pH を 8 から 3 へと変化させると、娘ベシクルと輸送ベシクルの表面電荷が互いに逆になり、選択的接着と融合を起こすため、基質が補給された。実現した回帰性をもつベシクル型人工細胞のダイナミクスに注目すると、そこには、明瞭に区別できる 4 つの相 [捕食相 (dNTP の取り込み)、増幅相 (DNA 複製)、成熟相 (ベシクル膜の成熟)、分裂相 (ベシクル生産)] が認められる。重要な点は、異なる外部刺激 [温度昇降、pH ジャンプ] が、それぞれ特定の相にのみ有効なトリガーとして働くことであり、それにより、自己生産が世代にわたり繰り返された [15]。

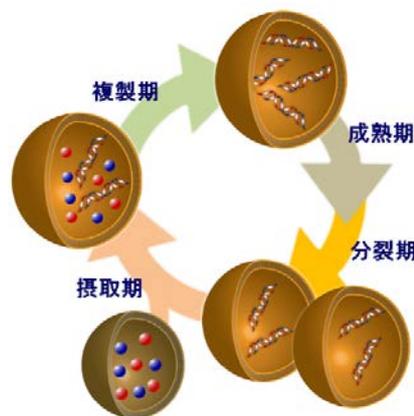


図 6: 原始的細胞周期を持つ回帰性のある人工細胞。

#### DNA の鎖を情報とする遺伝子型と表現型の相関

以上で、繰り返し自己増殖する GV 型人工細胞が実現したのだが、人工細胞モデルとしては、増幅した DNA が GV 型人工細胞の何らかの形質 (機能) 発現と関わっている必要がある。この GV 型人工細胞には、DNA の塩基配列を情報として読み取りタンパク質を発現する仕組みはない。しかし、DNA が膜分子生産の活性点を形成しているのなら、DNA の長さが GV の分裂様式に影響を与えるのではないか。実際、今井研の菅との共同研究では、鎖長の異なる 3 種の DNA (374bp, 1164bp, 3200bp) が用意され、DNA の複製後に V\* の添加で誘導される形態変化が、共焦点レーザー走査型蛍光顕微鏡で観

測された (図 7)。なおこの実験では、DNA と GV 膜との相互作用を調整するために、PEG1000 を担持したリン脂質 (DSPE-PEG1000) を、ベシクル膜に 1% 弱混合している。等分割を起こした GV の割合は、DNA の鎖長の順に約 0%, 40%, 5% となり、明確な鎖長依存性が認められた。つまり、DNA の鎖長 (遺伝子型) が、GV 型人工細胞の形態変化の様式 (表現型) に影響を与えている。GV 内の DNA の鎖長、あるいは複数の DNA の鎖長の割合にゆらぎが生じ、それが GV 自己生産能に影響を与えるようになると、ベシクル型人工細胞の進化を考える手がかりが得られるのではないか。

「生命の本質は非平衡・開放系にある」といわれるが、具体的にどこがどのようにと指摘するには、生命体はあまりに複雑である。しかし、以上紹介したように素性の知られた分子を組み上げて構築された人工細胞では、その要素が単純であるが故に、その動的機能へのゆらぎの果たす役割が見つけやすいという利点がある。今後、物理的基盤がより明確になり理論的解明も可能になれば、本新学術の目標にかなう成果につながるのではないか。

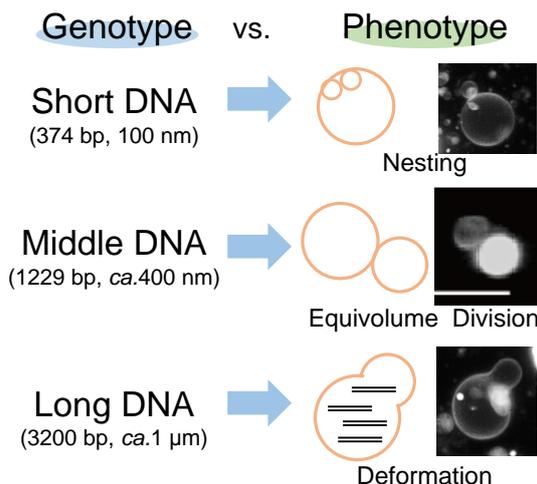


図 7: 内封された DNA 鎖長依存性を示す GV 形態変化。

- [1] P.L. Luisi, *The Emergence of Life, From Chemical Origins to Synthetic Biology*, Cambridge Univ. Press (2006); J.W. Szostak, D.P. Bartel, P.L. Luisi, *Nature* **409**, 387-390 (2001)
- [2] K. Kurihara, M. Tamura, K. Shohda, T. Toyota, K. Suzuki, T. Sugawara, *Nat. Chem.* **3**, 775-781 (2011).
- [3] U. Seifert, *Adv. Phys.* **46**, 13-137 (1997).
- [4] A. Sakashita, N. Urakami, P. Ziherl, M. Imai, *Soft Matter* **8**, 8569-8581 (2012).
- [5] Y. Sakuma, M. Imai, M. Yanagisawa, S. Komura, *Eur. Phys. J. E* **25**, 403-413 (2008).
- [6] Y. Sakuma, T. Taniguchi, M. Imai, *Biophys. J.* **99**, 472-479 (2010).
- [7] Y. Sakuma, M. Imai, *Phys. Rev. Lett.* **107**, 198101 (2011).
- [8] T. Jimbo, Y. Sakuma, N. Urakami, P. Ziherl, M. Imai, *submitted*.
- [9] B. Fourcade, L. Miao, M. Rao, M. Wortis, *Phys. Rev. E* **49**, 5276-5286 (1994).
- [10] C.-M. Chen, P.G. Higgs, F.C. MacKintosh, *Phys. Rev. Lett.* **79**, 1579-1582 (1997).
- [11] T. Sugawara, K. Kurihara, K. Suzuki, Engineering of Chemical Complexity, in *World Scientific Lecture Notes in Complex Systems* (Eds. A.S. Mikhailov and G. Ertl), Ch. 18, pp. 359-374 (World Scientific, 2013); 菅原正, 鈴木健太郎, *Mol. Sci.* **4**, A0033 (2010); K. Suzuki, T. Toyota, K. Takakura, T. Sugawara, *Chem. Lett.* **38**, 1010-1015 (2009); 菅原正, 鈴木健太郎, 豊田太郎, 日本物理学会誌 1月号, 2-11 (2009).
- [12] T. Toyota, K. Takakura, Y. Kageyama, K. Kurihara, N. Maru, K. Ohnuma, K. Kaneko, T. Sugawara, *Langmuir* **24**, 3037-3044, (2008); K. Kurihara, K. Takakura, K. Suzuki, T. Toyota, T. Sugawara, *Soft Matter* **6**, 1888-1891 (2010).
- [13] 松尾宗征, 栗原顕輔, 豊田太郎, 菅原正, 第 8 回分子科学討論会(広島), 講演番号 2P078 (2014).
- [14] K. Suzuki, R. Aboshi, K. Kurihara, T. Sugawara, *Chem. Lett.* **41**, 789-791 (2012); K. Suzuki, K. Kurihara, Y. Okura, T. Toyota, T. Sugawara, *ibid*, 1084-1086 (2012).
- [15] K. Kurihara, Y. Okura, M. Matsuo, T. Toyota, K. Suzuki, T. Sugawara, *Nat. Commun.* **6**, 8352 (2015).

今井正幸 (東北大学・理学研究科・教授)

佐久間由香 (東北大学・理学研究科・助教)

菅原正 (神奈川大学・理学研究科・教授)

## 新学術領域「ゆらぎと構造」+「分子ロボティクス」合同研究会

A03 班 兒玉篤治

2015年6月27日、東京大学本郷キャンパス、理学部1号館小柴ホールにて、新学術領域「ゆらぎと構造」+「分子ロボティクス」合同研究会が開催された。この日、東京はかなり蒸しており、少し歩けば汗がにじむような状態であったが、ゆらぎと構造、分子ロボティクス双方から総勢70名の参加があり、お互いの研究に対する関心の高さを伺うことができた。

今回の合同研究会は9件の講演から構成されており、研究発表はゆらぎと構造、分子ロボティクスの研究者が交互に行う形で行われた。まず、ゆらぎと構造の領域代表の佐野雅己先生、分子ロボティクスの領域代表の萩谷昌己先生から各々の領域についての概要などが紹介された。それに続き、それぞれの領域の研究者により具体的な研究発表が行われた。ゆらぎと構造からは、宗行英朗先生（中央大学）が「回転分子モーターF1-ATPaseの機能解析」、義永那津人先生（東北大学）が「形を変えながら自発的に動き回る液滴や細胞の数理モデル」、田中求先生（京都大学）が「刺激応答材料を用いたヒト幹細胞の動的制御」というタイトルで講演された。一方、分子ロボティクスからは、根本直人先生（埼玉大学）が「リポソームに穴を開けよう：ペプチドによる進化的アプローチ」、瀧口金吾先生（名古屋大学）が「リポソームの表面で促進される蛋白質のアセンブリ、蛋白質のアセンブリによって生じるリポソームの変形」、東俊一先生（京都大学）が「走化性を司る制御器の性能解析：大腸菌とゾウリムシ、どちらが優れた制御器を持つのか?」、小宮健先生が「DNA コンピュータを確実に動かす DNA 増幅反応」というタイトルで講演された。個人的に興味深かったのが、分子ロボティクス側でもベシクルを用いた研究が行われていることであり、例えば瀧口先生は膜変形を誘起するタンパク質をベシクルに作用させ、膜に多数の突起を形成させるもの、一カ所からのみ突起を形成させるものがあることをリアルタイムでの観察を通して示しておられ、その突起形成の様相の違いを生体内での役割の違いから考察されていた。このような講演を通して、お互いの研究領域の密接な繋がりを強く感じる事ができた。また、研究内容も基礎研究から医療分野などへの応用を念頭においたものまで、非常にバラエティに富んだものであり、お互いの領域の発展性を大いに感じさせるものであった。

講演後は、日比谷松本楼東大店で懇親会が行われ、領域を越えて研究者同士が活発に議論する様子が見られた。

今回の合同研究会をきっかけに、さらにお互いの領域の研究者が多いに刺激し合い、また、そこから共同研究などを通じてさらに両者の研究が発展することを願い、文の結びとしたい。



図1: 会場の様子



図2: 懇親会

## International Symposium on Fluctuation and Structure out of Equilibrium 2015 (SFS2015) 参加報告

A03 班 伊藤弘明

暑さがようやくピークを過ぎた8月の下旬の京都、京都大学芝蘭会館にて、8月20日から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 2015 (SFS 2015)” が開催されました。本国際シンポジウムの特色は、量子系、古典系、さらには生命系にまで至る広範な学術領域のそれぞれにフォーカスし、全ての領域のセッションを設けることで、本新学術領域研究の目標である「非平衡系における普遍法則の確立」を真っ向から目指したものであったことです。このような領域の垣根を越えた性質のためか、ここ京都の地に日本、台湾、フィリピン、アメリカ、ドイツ、フランス等の各国から計199人もの参加者が集まり、本新学術領域研究の活動が始まって以来最大規模のシンポジウムとなりました。会期中は国内外それぞれ10件ずつの invited talks と3件の contributed talks に加え、129件もの poster presentations が行われ、それぞれ白熱した議論や意見交換がなされていました。これらの彩り豊かなテーマの詳細をこの限られた紙面上で漏れなくお伝えすることは難しく、やむなく割愛させていただくのですが、「ゆらぎと構造」というテーマが普段慣れ親しんだ専門分野の枠を超えた視点から発表、質問、議論されていたことが印象的でした。分野を詳細に絞った普段の研究会とは異なる趣をもつ、新学術領域ならではの刺激的なシンポジウムであったことは、参加者の皆様も感じたことと思います。

また、本国際シンポジウムは国内外の著名な研究者が目白押し”良い意味で重たい”会議であったにも関わらず、若手からの積極的な質問や議論が見られたことも、併せて非常に印象的でした。さらに、学生・PD等若手の poster presentation には Poster Award が設けられており、シンポジウム側からも若手の奮起を支援してくださっているようでした。poster presentation もその期待に応えた、非常にレベルの高いものでした。筆者自身も、そのような若手の一人となってこの横断領域の進展に少しでも貢献していかなければ、との思いをより強くした次第です。

「非平衡ゆらぎ」と「自発構造」にまつわる個々の系をダイナミックにまとめた本国際シンポジウムは、大盛況のうちに終わりました。専門分野の垣根を越え、過去最大規模の人数が集まり白熱した議論を重ねられた点からは、領域を越えた非平衡物理学の普遍性とその発展に皆が共通の関心を抱いている様が伺えます。今回交換された各領域のアイデアや熱気が如何に融合され、如何なる進展へ繋がっていくのか、特に筆者自身の研究テーマである生命現象における非平衡現象の理解へ如何に迫ることができるのか、本分野に興味を持つ一人の学生としてとても楽しみにしています。

最後になりましたが、本国際シンポジウムを企画・運営して下さったオーガナイザーの皆様、会場スタッフの皆様に感謝いたします。



図1: かつてない規模の参加者



図2: 奮起した若手に与えられた Poster Award

## SFS2015 プログラム & Poster Awards

**August 20 (Thu.)**

**Opening**

M. Sano (University of Tokyo, Japan)

“Universal Transition Route to Turbulence in Simple and Complex Fluids”

### **Session 1 Quantum Fluctuation**

K. Kobayashi (Osaka University, Japan)

“Nonequilibrium Quantum Liquid in a Kondo-Correlated Quantum Dot”

J. P. Pekola (Aalto University, Finland)

“Towards Quantum Thermodynamics in Electronic Circuits”

### **Session 2 Bose-Einstein Condensates**

T. Hirano (Gakushuin University, Japan)

“Control and Observation of Non-Equilibrium Dynamics in Multi-Component Bose-Einstein Condensates”

M. S. Chapman (Georgia Institute of Technology, USA)

“Exploring Non-Equilibrium Physics in a Many-Body Ultracold Spin-1 Bose Gas”

**August 21 (Fri.)**

**Session 3 Non-Equilibrium Fluctuation**

T. Sagawa (University of Tokyo, Japan)

“Thermodynamics of Autonomous Information Processing and its Application to Biological Signal Transduction”

U. Seifert (Universität Stuttgart, Germany)

“Stochastic Thermodynamics: Universal Constraints (not only) for Biomolecular Processes”

### **Poster Session I**

### **Session 4 Glass**

K. Miyazaki (Nagoya University, Japan)

“Thermodynamic Glass Transition of Randomly Pinned Systems”

F. Ladieu (CEA Saclay, France)

“The Interest of Nonlinear Responses to Study the Glass Transition”

### **Session 5 Hot Topics**

A. Baule (Queen Mary University of London, UK)

“Optimal Escape from Metastable States Driven by Non-Gaussian Noise”

R. Inoue (Tokyo Institute of Technology, Japan)

“Quantum Gas Microscope with Ytterbium”

H.-Y. Chen (National Central University, Taiwan)

“Hydrodynamic Model of Epithelium Tissue Dynamics”

### **Banquet**

**August 22 (Sat.)**

**Session 6 Non-Equilibrium Soft Matter**

H. Orihara (Hokkaido University, Japan)

“Non-Equilibrium Steady-State Response and Fluctuations of Nematic Liquid Crystals”

O. D. Lavrentovich (Kent State University, USA)

“Dynamics of Particles in Liquid Crystals”

### **Poster Session II**

**Session 7 Microrheology**

D. Mizuno (Kyusyu University, Japan)

“Microrheology of Active Systems”

C. Bechinger (Universität Stuttgart, Germany)

“From Brownian to Active Brownian Motion: Microswimmers as Models for Self-Organization in Self-Propelled Systems”

**Session 8 Non-Equilibrium Dynamics**

S. Komura (Tokyo Metropolitan University, Japan)

“Relaxation Dynamics of Binary Lipid Bilayers”

F. C. MacKintosh (VU University, Netherlands)

“Phase Transitions and Non-Equilibrium Behavior in Biological Systems”

**August 23 (Sun.)**

**Session 9 Active Matter**

N. Uchida (Tohoku University, Japan)

“Collective Dynamics of Cilia and Flagella by Hydrodynamic Interaction”

D. Baigl (Ecole Normale Supérieure, France)

“Light-Driven Liquids, Particles, and Interfaces: from Microfluidics to Coffee Rings”

**Session 10 Morphodynamics in Biological System**

S. Sawai (University of Tokyo, Japan)

“Chemotaxis and Contact-Mediated Ordering of Directionality in Aggregating Cells”

H. Levine (Rice University, USA)

“Chemotaxis in Dictyostelium– Using Physical Models to Decipher the Mechanisms”

**Session 11 Protocell**

T. Sugawara (Kanagawa University, Japan)

“Recursive Proliferation of Vesicle-Based Protocell”

P. L. Luisi (University of Roma Tre, Italy)

“WHAT IS LIFE? THE SYSTEMS VIEW”

**Closing & Poster Awards Ceremony**

**SFS2015 Best Poster Award for Young Researcher**

K. Tamai (University of Tokyo, Japan)

“Experimental Study on the Universal Route to Turbulence”

Y. Satou (Oita University, Japan)

“Rheology and Patterns of Electro-Hydrodynamic Convection in Liquid Crystal Mixtures”

D. Nishiguchi (University of Tokyo, Japan)

“Collective Motions of High Aspect Ratio Bacteria”

Y. Fukai (University of Tokyo, Japan)

“Kardar-Parisi-Zhang Interfaces with Finite Curvature”

Y. Fujii (Hokkaido University, Japan)

“Spatial-Temporal Oscillation in Elastic Modulus of Embryo during the Early Development”

H.-Y. Chen (National Central University, Taiwan)

“Generic Behaviors and Sources of Skin Vibration Leading to Acupuncture Needle Vibration”

## International Workshop on Challenge to Synthesizing Life の報告

A03 班 中川恒

2015年8月25日、26日の二日間に渡って箱根ホテル花月園にて International Workshop on Challenge to Synthesizing Life が開催されました。6月頃箱根山の噴火警戒レベルが引き上げられ、開催場所の変更の可能性もありましたが、6月以降火山状況が落ち着き無事箱根での開催となりました。

本研究会は構成的生物学のパイオニアとして知られる Luisi 先生を囲んで行われたもので、合成生物学、ソフトウェア物理学の研究者が集まりました。参加者 17 人、口頭発表 13 件（そのうち大学院生の発表が 4 件）と小規模なものであったため、口頭発表後の議論も非常に活発に行われました。菅原先生からのイントロダクションに始まり、化学反応、温度変化によって実現された自己生産ベシクル、内部で脂質分子合成を行う **GUV** の構築、自己駆動する油滴、モデル生体膜を用いたマイクロ相分離、分子シミュレーションを用いた 2 成分ベシクルの分裂、化学反応下での形態変化などの研究が紹介され、興味深い結果が数多く報告されました。領域研究会を重ねるごとに研究が面白くなっており、今後 2 年間でのさらなる研究の発展が期待されました。

口頭発表が終わった後で、Luisi 先生から特別講義があり、昼食の後参加者全体でのディスカッションが行われました。生命とは何かという問いに関する 3 つの話題（“Science facing the origin of life”、“Is there a purpose in the plans of nature, and in evolution?”、“Science facing the question of consciousness”）が取り上げられ、Luisi 先生から解説を受けたのち、参加者が意見を述べあうという形で 2 時間ほど行われました。生命と非生命の違いとは何かに関する簡単な問いから始まり、consciousness とは何かという哲学的な問いにまで渡り議論が交わされました。話を聞きながら上記三つの話題を科学の立場から正当にアプローチすることはまだまだ難しいと感じました。特に consciousness に関しては実験的に確かめようがない以上哲学的な議論にならざるを得ない問題で、古くから物理の文脈でも研究されつつあるものですが（量子力学で扱われている測定と結びつける試みなど）、解決の糸口を見つかっていないと思われます。こういった問題に果敢にも挑戦される Luisi 先生に敬意を表します。

（話は脱線しますが、近年機械学習の分野において、大きな発展を見せている **Deep learning** という手法は、画像、音声の検出において驚異的な正解率を出しています。コンピューター上で人間の脳の働きを模するシステムの構築を行う試みから、人間の脳の働きに関する理解にブレークスルーが生じるかもしれません。）

残り 2 年ほどしかありませんが、この新学術領域での研究をさらに発展させることで、生命とは何かという答えに一步でも近づけることを願い、また私自身も少しでも貢献できるように尽力していきます。最後になりましたが、このようなワークショップを企画された今井先生、菅原先生、豊田先生に、ここに感謝いたします。

プログラムについては以下の URL を参照。

<http://www.bio.phys.tohoku.ac.jp/hakone2015/home.html>



図 1: オープニングセッションの風景。



図 2: 二日目午後ディスカッションの風景。

## 今後の予定

### ◎新学術領域「ゆらぎと構造の協奏」主催

- A01 班会議  
2016年3月4日(水) 京都大学(予定)
- A02 班会議  
2016年3月9日(水) 学習院大学
- A03 班会議  
2016年1月25,26日(月・火) 東北大学(青葉山キャンパス)
  
- 第3回領域研究会  
2016年6月24日(金)～26日(日)  
九州大学西新プラザ

### ◎新学術領域「ゆらぎと構造の協奏」共催

- 第9回 物性科学領域横断研究会(領域合同研究会)  
2015年11月13日(金)～15日(日)  
東京大学本郷キャンパス  
理学部化学本館5階講堂(13日) 理学部1号館小柴ホール(14,15日)

### 編集委員よりお願い

本ニュースレターでは、新学術領域研究「ゆらぎと構造の協奏：非平衡系における普遍法則の確立」による研究成果をできるだけ早く発信していきたいと考えております。自薦、他薦問わず重要な研究成果、あるいは関係する研究会報告などありましたら、編集委員までお寄せください。

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