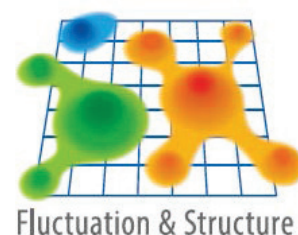


# ゆらぎと構造の協奏

## ～非平衡系における普遍法則の確立～

### News Letter Vol.3

2014.8.29 発行



#### 公募研究班を迎え、キックオフミーティングが開催されました

ニュースレター編集委員 竹内一将

昨年の発足時には総括班と 11 の計画研究グループという体制にて始動した本新学術領域ですが、本年四月、公募により選出された 25 の公募研究グループを迎え、非平衡物理学の体系構築を目指す本領域の活動がいよいよ本格的に始まりました。公募研究には、従来の「基礎班」「時空班」「機能班」に加え、複数班にまたがった研究課題を手掛ける「融合班」が設けられました。これにより、様々な現象が織りなす横系とマイクロからマクロまでを貫く縦糸を束ねる、本領域の特徴がより色濃く表れることとなります。こうした編成のもと、以下 25 名の研究代表者と 15 名の連携研究者が本領域に加わりました。

(A01 基礎班)	研究代表者	連携研究者
	永井 健 (北陸先端科学技術大学院大学)	大岩 和弘 (情報通信研究機構)
	波多野 恭弘 (東京大学)	桂木 洋光 (名古屋大学)
	橋坂 昌幸 (東京工業大学)	
	佐藤 正英 (金沢大学)	上羽 牧夫 (名古屋大学)、三浦 均 (名古屋市立大学)
	中村 真 (中央大学)	
	喜多 理王 (東海大学)	

(A02 時空班)	研究代表者	連携研究者
	齋藤 一弥 (筑波大学)	山村 泰久 (筑波大学)、菱田 真史 (筑波大学)
	上妻 幹旺 (東京工業大学)	井上 遼太郎 (東京工業大学)
	中尾 裕也 (東京工業大学)	
	工藤 和恵 (お茶の水女子大学)	川口 由紀 (東京大学)
	小林 未知数 (京都大学)	

(A03 機能班) 研究代表者	連携研究者
岡嶋 孝治 (北海道大学)	末岡 和久 (北海道大学)
内田 就也 (東北大学)	
義永 那津人 (東北大学)	
車 兪徹 (東京工業大学)	
濱田 勉 (北陸先端科学技術大学院大学)	
田中 求 (京都大学)	鶴山 竜昭 (京都大学)
岩楯 好昭 (山口大学)	作村 諭一 (愛知県立大学)
西坂 崇之 (学習院大学)	大岩 和弘 (情報通信研究機構)、中根 大介 (学習院大学)
宗行 英朗 (中央大学)	

(A04 融合班) 研究代表者	連携研究者
古川 亮 (東京大学)	
河野 行雄 (東京工業大学)	
山本 量一 (京都大学)	谷口 貴志 (京都大学)、ジョン モリーナ (京都大学)
坂上 貴洋 (九州大学)	中西 秀 (九州大学)、齋藤 拓也 (京都大学)
坪田 誠 (大阪市立大学)	

以上の公募研究グループの前途を期し、採択された公募研究課題の周知と、計画研究者と公募研究者との交流促進を目的として、4月26-27日、京都大学理学部セミナーハウスにて「公募班キックオフミーティング」が開催されました。領域とA01-A03各班の概要説明のあと、25名の公募研究代表者が各々の研究背景や課題説明を行うという形式で、質疑応答含めて15分という短い時間ながら、様々な研究課題が熱意と個性を交えて紹介される一連の講演に、会場は大いに盛り上がり



図 1:キックオフミーティングの様子。質疑応答時には活発な議論が行われた。

ました。その様子は、閉会挨拶で佐野領域代表が述べた、「分担・連携研究者や研究室の学生たちにさらに参加を促すべきだった」という趣旨のセリフに端的に表れているように思います。

本ニュースレターにおいても、公募班のメンバー構成と研究課題を領域内外に広く伝えるため、公募研究代表者の方々に研究概要の紹介記事の執筆を依頼致しました。数が多いため、第3号(本号)と第4号に分けてのお届けとなります。本号ではA01基礎班とA04融合班の公募研究紹介を掲載します。

---

竹内一将 (東京大学・大学院理学系研究科・助教)

## 運動方向への有色ノイズによって起こるアクティブマターの群れ運動

A01 班 永井健、大岩和弘

一様な環境下で自発的に運動する粒子に対し、生物・無生物問わず「アクティブマター」という単語がしばしば用いられる。運動する機構の詳細が異なるにもかかわらず、共通の単語を用いる一つの理由は、自発的運動により生じる普遍的な性質の存在が期待されるからである。特に魚の群れや鳥の群れなどの群れ運動は多体系であるため、粗視化により運動機構の詳細によらない性質が見いだせると考えられている。このような期待のもと運動の対称性のみを考慮した抽象的モデルを用い、統計物理的な群れ運動の研究が盛んに行われている。これまでに明らかになった重要な現象として、短距離の運動方向を揃える相互作用による2次元空間中の群れ運動への相転移があげられる(T. Vicsek *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* (1995).)。この報告は運動方向に関する相互作用と個々の粒子の運動方向のゆらぎという系の詳細によらない性質のみによって決まる普遍的な群れの挙動の存在を示唆している。

これまでの群れ運動の数理モデルにおいて運動方向に加えられるノイズは時間相関のない白色ノイズであった。しかしながら鳥などの大きなアクティブマターの運動では慣性のためにノイズの相関時間は無視できない。そのため、現実にかかる群れ運動の解析ではノイズの相関時間を考慮する必要があると言える。実際、下記のように運動方向に加わる有色ノイズによって生じる群れ運動が存在する。

我々はガラス板に固定した分子モーターに駆動される棒状分子の微小管を用い、群れ運動の実験研究を行った(図1左上)。微小管は衝突時に平行か反平行に運動方向が揃い、孤立した単一の微小管の運動方向の変化率は長い相関時間を持つ。この系で微小管の数密度を上げたところ、微小管が渦状に整列し、その渦が格子状に並ぶことを発見した(図1左下)。この群れ運動の発生要因を明らかにするため、運動方向のゆらぎと運動方向に関する相互作用のみを考慮した下記の現象論的な多粒子モデルを構築した。

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}}_i &= v (\cos \theta_i, \sin \theta_i) \\ \dot{\theta}_i &= \omega_i + \alpha \sum_{|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j| < 1} \sin 2(\theta_j - \theta_i) \end{aligned} \quad \text{式 1}$$

ここで  $\mathbf{x}_i$ ,  $\theta_i$  は粒子  $i$  の位置及び移動方向、 $v$  は速さ、 $\omega_i$  は相関時間  $\tau$  の有色ノイズである。このモデルを用いて  $\tau$  と数密度が十分大きい時、粒子が渦の格子状に並ぶことを発見し(図1右)、渦格子状の群れ運動が  $\tau$  の大きな有色ノイズによって起こると結論づけた(Y. Sumino, K. H. Nagai, *et al.*, *Nature* (2012).)。さらなるモデルの研究から、有色ノイズによって渦の格子だけでなく様々な群れ運動が生じることがわかった。その中にはバクテリアの群れ運動と同様のものが見られ、現実の群れ運動において  $\tau$  が重要な変数の一つとなっていると考えられる。

本研究ではこれまで研究してきた自走する微小管を用い、運動方向のゆらぎが有限の相関時間を持つアクティブマターの群れ運動の研究を行う。微小管の長さ、分子モーターの種類、分子モーターの密度の調整によりゆらぎの相関時間を変化させ、微小管密度と相関時間を軸として群れ運動の相図を描く。その結果と式1の数理モデルの比較から、運動方向に関する相互作用と有色ノイズによって普遍的に起こる群れ運動を明らかにする。

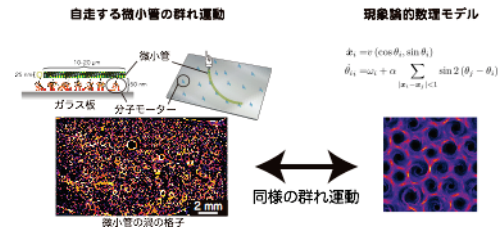


図1:自走する微小管の群れ運動。左上の模式図中の指印は微小管の運動方向を表す。左下の写真は微小管の渦の格子の蛍光像。右のように運動方向に有色ノイズを加えたモデルで同様の群れ運動が形成される。

## 地震および破壊の統計における新しい定量的関係式

A01 班 波多野恭弘

破壊現象は、固体内部にランダムに存在する欠陥や不均一性の詳細に大きく左右されるため、本質的に確率的な側面をもっている。同様に、巨大スケールでの剪断破壊現象である「地震」も、媒質（上部地殻）の不均一性に起因する確率的側面を有している。したがって、「材料の破壊」と「地震」が、その空間スケールの違いに関わらず、しばしばほとんど同じ統計的性質を示すのはさほど不思議なことではない。たとえば、Gutenberg-Richter (GR) 則と大森・宇津則と呼ばれる二つの法則は、もともと地震の発生頻度に関して発見された統計法則であるが、のちに材料の破壊においても広く成り立つ事が分かりつつある。このようにスケールの全く異なる破壊現象に共通する統計法則の背後に、スケールを越えて成立する数理的記述の存在を期待する事は自然であろう。我々は、これら破壊現象の統計法則の背後にあるロジックと数理を抜き出し、それらがスケールを越えて普遍的に成り立つのはなぜか？という問いに答えたい。

本公募研究計画の狙いは、とくに「GR 則」と「大森・宇津則」に含まれる統計パラメータの性質に絞られている。とくに、地震発生場の剪断応力に対して、ある統計パラメータが有意な依存性を示す事が観測から示唆されている。この示唆が真であれば、統計パラメータの変動から、（直接の測定はほとんど不可能な）その地域の断層にかかる剪断応力の変動が分かることになる。しかし断層にかかる応力の測定は事実上不可能であり、この仮説を直接検証するすべはない。したがって研究者にできる唯一の仕事は、何らかのモデル(実験・数値問わず)を用いてその仮説を検証することである。

ここでは、破壊現象の数値モデルのシミュレーションと解析によって、「破壊の統計パラメータと剪断応力の間になり立つ定量的関係式」を解明する。加えて、モデルの結果と実際の地震をつなぐために、関係式の理論的根拠を示すことを目指す。具体的には、ランダム媒質を模擬したいくつかのモデルを用いて、これを破壊するシミュレーションを行う。剪断応力および不均一性と統計パラメータの定量的関係を明らかにし、そのメカニズムを次元解析や簡素化されたモデルの解析解などを通じて理解する。実際の地震活動データや破壊実験のデータとの比較を随時行い、試行錯誤を通じてモデルの高度化をはかる。

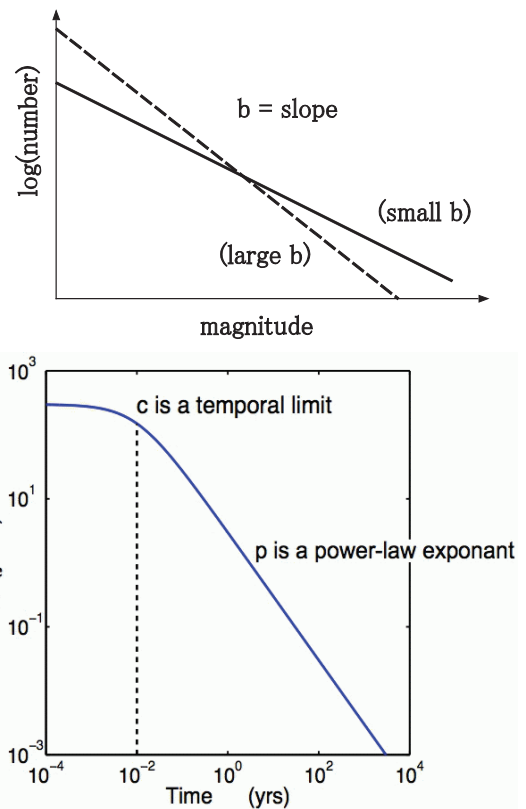


図1: (上) Gutenberg-Richter則。b 値は頻度分布の傾きを表す。(下) 大森・宇津則。c 値は余震発生率がほぼ定数とみなせる時間領域を表し、p 値は減衰の傾きを表す。



## 量子ホール接合系における分数電荷準粒子の生成・消滅過程の研究

A01 班 橋坂昌幸

分数量子ホール系は代表的な量子多体系として数多くの理論研究の検証の舞台となり、それによって得られた研究成果は物性物理学全般に大きな波及効果をもたらしてきました。非平衡量子系の研究に対しても、分数量子ホール系は基礎物理の実験場として重要な役割を担うことになると考えられます。本研究では、分数量子ホール系における素励起の生成・消滅過程について実験的に調べることで、量子多体系における非平衡ダイナミクスについての基礎的な知見を得ることを目的とします。

電子は素電荷  $e$  を持つ素粒子であり、電子をより細かく分解することはできません。しかしながら分数量子ホール系における素励起（準粒子）は、素電荷  $e$  よりも小さな分数電荷を持つことが知られています。これは量子多体系の電子相関効果に起因する非常にドラマティックな現象です。これまで分数電荷準粒子は、分数量子ホール系においてトンネル障壁を透過する電流の非平衡ゆらぎを測定することで検証されてきました。この電流は1つ1つの準粒子の確率的なトンネル現象によって運ばれるため、電荷の離散性を反映した非平衡ゆらぎを持ちます。このゆらぎの大きさから、1つの準粒子のトンネル現象によって運ばれる電荷の大きさを評価できます。このような電荷の離散性を反映した電流ゆらぎはショットノイズと呼ばれています。

これまでの研究では、主に単独の分数量子ホール系における分数電荷の計測がなされてきました。これに対し本研究では、異なるランダウ準位占有率を持つ複数の量子ホール系の接合系（図1）を研究対象とします。最近の私達の研究により、このような接合系における準粒子のトンネル現象を、局所的なトンネル領域における準粒子生成過程として解釈できることが分かってきました。本研究は、非平衡バイアス電圧の大きさ、磁場、温度などを変化させた様々な条件下における分数電荷準粒子の生成・消滅過程を、電流ゆらぎ相関測定によって詳細に調べる計画です。発生したショットノイズの大きさから準粒子の持つ電荷の大きさを評価します。また、複数の出力間の電流ゆらぎ相関から、分数電荷準粒子の統計性についても検証できる可能性があると期待しています。他にも様々な占有率の組み合わせによる豊かな現象の発現が予想され、分数電荷準粒子の生成・消滅のダイナミクスに関する深い知見を得ることを期待しています。これは量子多体系における基礎研究として、広く固体物性研究にインパクトを与えうる課題だと考えています。

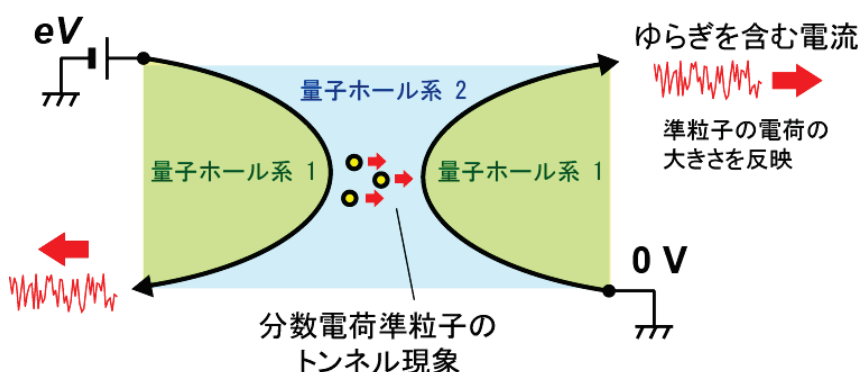


図1: 量子ホール接合系における分数電荷準粒子のトンネル現象

## 移動する原子供給源による特異なステップパターン

A01 班 佐藤正英

平坦に見える結晶表面でも、ステップと呼ばれる直線的な原子レベルの結晶の段差が、階段のように並んだ面も見られます。このような面は微斜面と呼ばれています。結晶が成長中の微斜面では、ステップ列の間隔が不均一になり、ステップが束のように集まるバンチングと呼ばれる現象や、直線的なステップが不安定となる蛇行と呼ばれる現象が起き、ステップが様々な形態を示すことが知られています。最近、ガリウム(Ga)を蒸着中のシリコン(Si)微斜面上で、ステップが櫛の歯のような蛇行パターンを示すことが報告されました[1]。これまでに、ステップの間隔が十分に広く、ステップが孤立しているとして良いときにはステップの蛇行パターンはカオス的なふるまいを示すことや、ステップ間隔が十分に狭いときには、個々のステップが位相を揃えながらステップ間隔に比べて十分に長い波長で揺らぐことでステップに垂直な溝構造を作ることなどが知られていました。しかし、Ga蒸着時のSi表面でみられる櫛状パターンは、櫛の歯の間隔がステップ間隔に比べて十分に狭く規則的であり、一本一本の櫛の歯が直線的であるということで、これまでのパターンとは異なります。

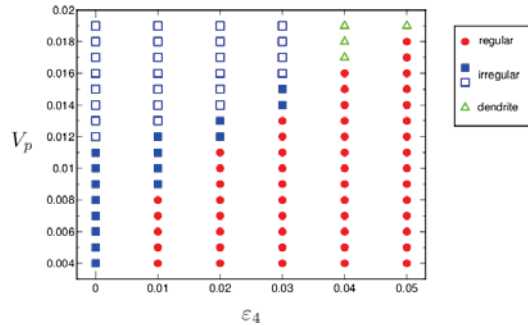


図1: 結晶異方性と原子供給源速度によるステップ形態の変化

SiにGaを蒸着すると表面構造の転移がステップ近傍で起き、転移に伴い余剰原子の固化がステップで起こることと考えられています。これまでに単純な格子モデルを用いたシミュレーション[2]で櫛の歯の間隔が、構造転移の速度の二分の一乗に反比例することや結晶の異方性と成長方向の関係により櫛の歯構造が形成されることがわかりました。不安定化の機構の初期段階については少しずつ分かってきましたが、櫛の歯の後期段階の構造がどのように決定されるのかについてはまだ不明な点が多く見られます。そこで本研究では、Si微斜面でみられる櫛の歯構造の形成と形成された構造の安定性についてフェーズフィールドモデルを用いて調べます。

現状ではプログラムの開発が終わり、数値シミュレーションを開始したところです。図1は原子の供給源の移動速度と結晶の持つ異方性の強さによるステップの形態の変化を示している相図です。異方性が強く原子の供給源速度が遅いときに規則的なパターンが見られることがわかりました。また、図2は供給源の移動速度と櫛状パターンの櫛の歯の間隔の関係です。これまでに分かっていた移動速度の二分の一乗に反比例する依存性に加えて、供給源速度が速くなることで波長が急激に増加することもわかりました。

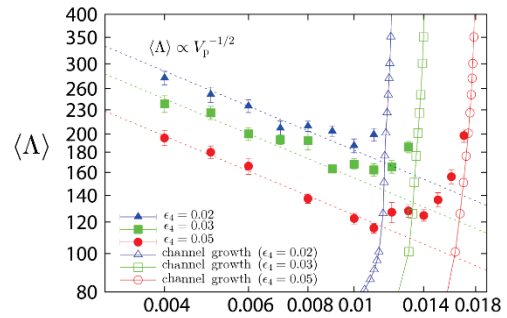


図2: 櫛の歯間隔の供給源速度への依存性

ステップが規則的なパターンを示すとき、後期段階での波長は初期に現れる波長に比べて大きくなっています。櫛の歯が長く伸びていく途中で粗大化が終わるのですが、いつ粗大化が終わるかは、系に与えるノイズの大きさに依存することもわかりました。少しずつ数値シミュレーションの結果が得られています。厳密な説明ができればよいのですがなかなかうまく行かないので、現状では、まずは定性的な説明を検討しています。

[1] H. Hibino, H. Kageshima, and M. Uwaha, Surf. Sci. **602**, 2421 (2008).

[2] S. Kondo, M. Sato, M. Uwaha, H. Hibino, Phys. Rev. B **84** 045420 (2011).

## ゲージ・重力対応を用いた非平衡定常系の基本法則の探求

A01 班 中村真

本研究の目的は、ゲージ・重力対応（AdS/CFT 対応）を用いて、線形応答領域を超えた非平衡定常系における普遍的な法則を探索し、その特性を明らかにすることにある。ゲージ・重力対応とは、強く相互作用する量子ゲージ理論を、計算が容易な一般相対性理論（重力理論）の古典系に変換する手法であるが、この手法は従来の方法に比べ、

- 1) 線形応答を超えた非平衡現象の解析が可能となる場合がある
- 2) 重力理論に変換することで、非平衡物理の新たな視点が得られる可能性がある

という利点を持つ。本研究は、これらの利点を応

用し、従来の手法とは異なる方法・視点から非平衡系の基本法則を明らかにしてゆく。具体的には、下記 2 項目の基本的研究テーマを設定し、非平衡定常系の普遍的な法則を探索する。

### 1) 非平衡定常系の有効温度とその有効温度で支配される普遍法則の探索

本研究では、非平衡定常系における「熱力学に類似な普遍的な法則」の存在可能性を探り、その具体的導出を試みる。通常、ゲージ・重力対応では、熱平衡系は一般相対性理論におけるブラックホール時空で記述される。ブラックホールには、光の脱出が不可能となる事象の地平線（ホライズン）があり、そこでの重力加速度からホーキング温度が計算される。ブラックホールはこのホーキング温度に従う熱輻射を行っており、温度の概念が定義される。また熱力学の法則は、アインシュタイン方程式に基づく力学法則として実現している。一方、ゲージ・重力対応を用いて非平衡定常系を記述すると、非平衡定常状態まわりの揺らぎが観測する「有効ホライズン」がブラックホール・ホライズンとは異なる場所に現れ、そこでの重力加速度から、揺らぎを特徴付ける「有効温度」が自然に定義される[S.N. and H. Ooguri, Phys. Rev. D88 (2013) 126003]。しかし、この有効ホライズンはアインシュタイン方程式とは異なる方程式に立脚しているため、平衡系と同様の熱力学法則が成立するとは限らない。本研究では、有効ホライズンが立脚する方程式を解析することで非平衡定常系での「熱力学に類似な普遍性の高い法則」の存在を探る。

### 2) 新奇な非平衡相転移・非平衡臨界点の探索とその臨界現象の解析

本研究では非平衡相転移と、その非平衡臨界点における臨界現象を明らかにする。筆者の最近の研究[S.N. Phys. Rev. Lett. 109 (2012) 120602] では、ゲージ粒子多体系の非線形電気伝導を調べ、熱浴の温度や電流密度を変化させることで微分伝導度に不連続な転移が見られることを発見した。さらに臨界点において数種類の臨界指数を具体的に計算した。平衡系の二次相転移の経験から、これらの臨界現象は、少なくとも一定範囲の系において系の詳細によらず普遍的である可能性が期待できる。本研究では、この普遍性を明らかにするために、臨界指数の間のスケーリング則など、平衡系の臨界現象で見られる諸法則がどこまで存在するか、具体的に調べていく。また、ここで得られた非平衡相転移を記述するランダウ理論的なモデルを構成し、非平衡相転移のメカニズムの理解を深める。さらに、空間的・時間的に非一様な相が存在する可能性も探る。

中村真（中央大学大学院・理工学研究科・教授）

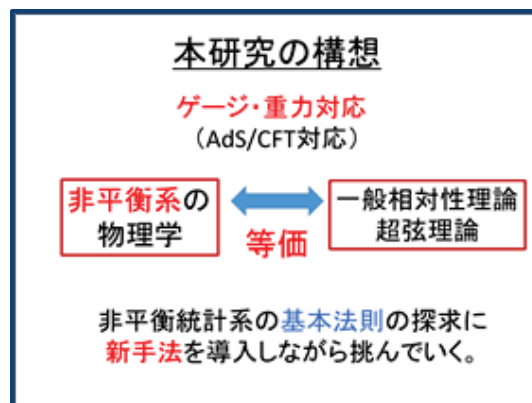


図 1: ゲージ・重力対応のイメージ

## ソレー係数測定による温度勾配を外場とするソフトマテリアルの非平衡物性解析

A01 班 喜多理王

本研究では、高分子や界面活性剤などのソフトマテリアルを対象に、これら溶液に温度勾配を付与することで形成される濃度勾配形成現象に着目する。混合流体に外場として安定な温度勾配 $\nabla T$ を与えると、温度勾配をドライビングフォースとする成分の拡散により安定な濃度勾配 $\nabla c_1$ が形成される。これはルードヴィッヒ・ソレー効果(図1)とも呼ばれ、2成分系では成分1の流束 $\mathbf{J}_1$ は、濃度勾配 $\nabla c_1$ と温度勾配 $\nabla T$ を用いて現象論的には $\mathbf{J}_1 = -D\nabla c_1 - c_1 D_T \nabla T$ と記述される。温度勾配による単一の粒子の輸送速度 $v_1$ は、熱(物質)拡散係数 $D_T$ を用いて $v_1 = -D_T \nabla T$ であるが、高分子鎖などの $v_1$ の直接計測は難しい。そこで溶液の濃度勾配の大きさを計測することが多い。また濃度勾配の形成過程の解析から自己拡散係数 $D$ が得られる。定常状態ではみかけ上流束が消失( $J_1=0$ )、 $D_T$ と $D$ の比が $D_T/D = -(1/c_1)(dc_1/dT)$ となり、ここでソレー係数 $S_T$ が $S_T \equiv D_T/D$ と定義される。したがって $S_T$ と $D$ の測定結果から $D_T$ が得られる。

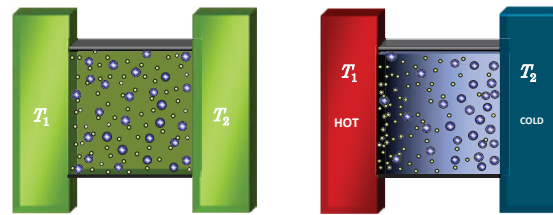


図1: ルードヴィッヒ・ソレー効果の概念図。

高分子やコロイドなどソフトマテリアルのルードヴィッヒ・ソレー効果は、測定手法の進歩とともに現象を特徴づける輸送係数が得られるようになってきたが、複雑な分子間相互作用を有する水溶性高分子やミセル系などでは測定が難しいことが多く、また結果の解釈が困難な場合もある。その例として図2に高分子(ポリイソプロピルアクリルアミド)水溶液を用いて得られたソレー係数 $S_T$ の温度依存性を示す[1]。特徴的なのは、溶液の $\Theta$ 温度においてピークを示すことである。これは溶質である高分子鎖と溶媒である水分子間の相互作用が濃度勾配の大きさを決定付ける効果を持っていることを示唆している。最近のDNA, タンパク質, 多糖類を用いた研究では、負のソレー係数が報告された[2]。これは高分子鎖が温度勾配の高温側へ拡散するという異常なふるまいである。このような高分子鎖のふるまいについての分子論的なメカニズムの獲得に取り組む事が本研究課題の主要な目的のひとつである。

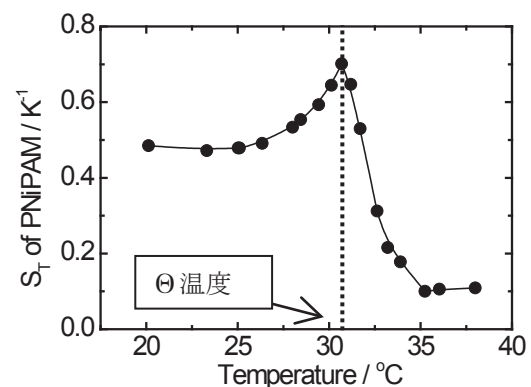


図2: ポリイソプロピルアクリルアミド水溶液(1g/L)のソレー係数 $S_T$ の温度依存性。

生体は絶えず温度勾配や物質流, エネルギー流などにさらされていることを考えると、タンパク質や核酸などの生体高分子の構造や機能を調べる際には、非平衡熱力学に立脚した物性研究が必要であると言える。実際、上述したようにこれまで知られていなかった異常な輸送現象が存在することが明らかとなってきた。これは生体において温度勾配が未知の役割を果たしている可能性を示唆するものであり、本研究ではこれまで見出されてきた生体高分子の異常なルードヴィッヒ・ソレー効果を、細胞を用いた *in vivo* 計測で調べるという前例のない研究にも挑戦する。

[1] R. Kita and S. Wiegand, *Macromolecules* **38**, 4554 (2005). *ibid* **40**, 1638 (2007).

[2] Y. Kishikawa, S. Wiegand, and R. Kita, *Biomacromolecules* **11**, 740-747 (2010).



## ガラス化における揺らぎの相関構造の発現メカニズムと その輸送異常に果たす役割の解明

A04 班 古川亮

ガラス転移に伴う諸現象は幅広い分野で、基礎から応用に至る様々な視点から精力的に研究が行われてきました。100K 程度の温度冷却に伴い、粘性係数(構造緩和時間)が 10 桁以上も増大するこの劇的な物理現象の本質を理解し、付随する異常なダイナミクスや非線形応答のメカニズムを解明することは、物性物理に残された未踏の大問題のひとつであると言っても過言ではありません。この問題の解明に向けられた多くの研究者による膨大な過去の蓄積がありますが、この 20 年ほどの間に、“動的不均一性” の概念に代表されるある種の相関構造の存在が過冷却液体のスローダイナミクスを特徴づける鍵として期待されるようになりました。

私は、これまで特にソフトマター物理の視点からガラス化と輸送異常の関係に迫ることを目的として研究を行ってきました。動的不均一性の存在は、過冷却液体やガラスが協同運動の問題であるという側面を強調します。協同運動が物性を能動的に支配する物理系(特にソフトマター)の研究では、動的ないし静的な協同運動のスケールが存在し、その結果としてマクロな輸送異常、非線形輸送が観測されることは、これらの系で本質的でした。従来の、シミュレーション研究では、粒子運動とその相関の解析に主眼が置かれてきましたが、そこに見られる揺らぎの相関と流体輸送異常の関係は自明ではありません。さらに、粒子スケール(マイクロ)での粒子運動の緩和時間はマクロな構造緩和時間として同定されますが、両者の一致も自明ではないでしょう。ガラス研究において、粘性など流体輸送の異常それ自体がガラス化を定義する上で中心的な役割を果たすにも関わらず、従来、その不均一性や時空階層性に直接的にアクセスした研究はありませんでした。私は、近年、このような協同性とメソスコピック流体輸送の関係性という視点に立ち、過冷却液体やガラス状物質の流体輸送そのものの空間スケール依存性、時空階層性を明確に意識した研究を行ってきました。これまでの研究によって、過冷却液体における流体輸送はメソスコピックな長さスケールに顕著な非局所性(相関)を有し、この相関長において、マイクロ輸送からマクロ輸送へのクロスオーバーを示すことを明らかにしました。これは、流体輸送そのものが有する時空階層性にほかなりません。この成果は 4 点相関関数を用いた従来の動的不均一性の研究と相補的であると考えています。

このような流体輸送異常の顕著な時空階層性、スケール依存性のさらなる解析・考察を通じて、協同性の機構そのものを理解することが可能であると考えています。今後、このような研究で得た知見をもとに、ガラス化に伴うスローダイナミクスにおける相関構造の役割とその発現メカニズムの理解に向けた理論的・数値的研究の展開を模索したいと考えています。そこに一般的な枠組みが存在するか否かは明らかではありませんが、単なる数値的示唆の積み重ねに止まることなく現象の明解な物理描像を得ることを目標とします。

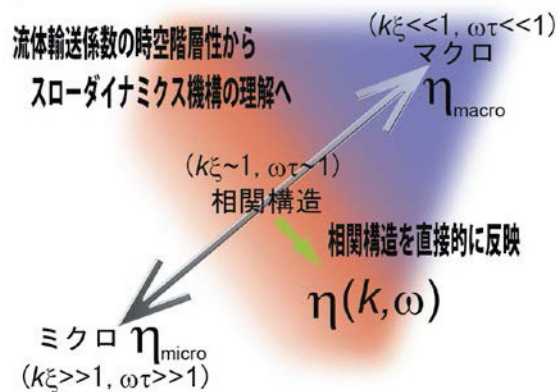


図1: 流体輸送係数はその相関サイズ程度でマイクロ輸送からマクロ輸送へのクロスオーバーを示す。 $\xi$ : 輸送の相関長、 $\tau$ : 緩和時間

## 電荷揺らぎ分光イメージング法の創出：固体中揺らぎ空間分布構造の探求

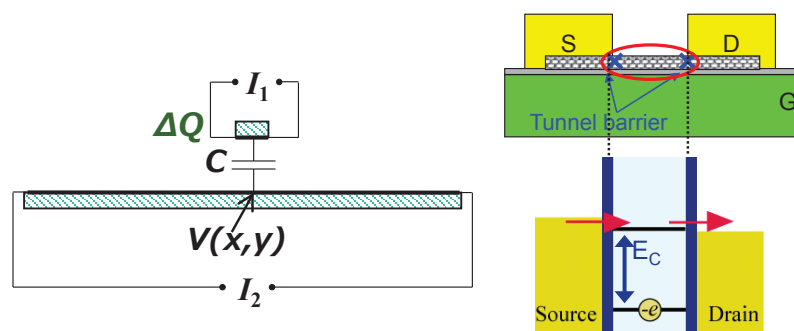
A04 班 河野行雄

物質中で発生する電荷の揺らぎは、固体素子において通常ノイズとして邪魔者扱いされるが、物質の秩序形成や相変化の根幹を担うことがしばしばある。例えば、電子の局在-非局在状態間遷移、電荷密度波のスライディング、量子極限まで達したショットノイズなどの研究から、電子のダイナミックな性質とそれに関連する物性が明らかにされた報告がいくつかある。電荷揺らぎを測定する一般的な手段はノイズ測定であるが、通常の電気伝導測定では、ノイズは邪魔者として捉えられ、測定者の意識は、むしろ「ノイズをいかに減らすか」という方向に向かいがちである。そのため、空間・時間・エネルギーからノイズを系統的に調べた研究はきわめて少ない。これは、ノイズを多面的に探求するための有効な計測手段がこれまでになかったためである。本研究の目的は、試料全体の平均量でなく、ノイズの局所的な情報（特に空間分布の周波数分散特性）を明確に測定できる手法を開発し、電荷揺らぎの空間的構造やその発現の背後にある微視的メカニズムを解明することである。

われわれは以前に、半導体界面（GaAs/AlGaAs ヘテロ構造）2次元電子ガスが示す量子ホール効果を利用した走査型エレクトロメータを独自に開発し、半導体量子構造における  $1/f$  電荷揺らぎ空間イメージングの観測に初めて成功した。これにより、1次元的な伝導を示す量子ホールエッジ状態のエネルギー緩和の状態を明らかにした。さらに、グラフェン中の電子波干渉効果に起因する伝導度揺らぎの観測を行い、揺らぎのパターンが外部電磁場に敏感に応答して変化することを見出した。この現象を解明するために、グラフェン中のポテンシャル揺らぎ空間分布を直接観察することに成功し、揺らぎと電子波干渉効果との関連について重要な情報をもたらした。

本研究では、われわれの以前のシステムからさらに、電荷揺らぎの実空間分布ならびに周波数分散（分光）双方の情報を直接的に可視化するシステムを創出する。具体的には、単電子トランジスタや量子ポイントコンタクト素子が持つ超高感度性とカンチレバーの高空間分解能を同時に利用する。この“揺らぎ分光イメージング”により固体素子における電荷揺らぎを探求することで、揺らぎに伴う特徴的な電荷分布形成・ダイナミクスやそれとマクロな物性との関連を解明する。

研究代表者は固体物理学やデバイス・計測工学を専門とするが、当該領域にはソフトマターやバイオの専門家、さらには理論的な枠組みを研究する研究者も所属していることから、固体量子素子に限定せず、共同研究を通じて、非平衡ゆらぎが本質的に関係する様々な化学材料、バイオ試料へ展開することを考えている。



**Fluctuation spectroscopic imaging**

図 1: 本研究で開発する揺らぎ分光イメージングの概念図。

## 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

A04 班 山本量一、谷口貴志、John Molina

微生物の集団運動に関する種々の実験結果が報告されているが、残念ながら理論的研究のためのツールが不十分なためにその理解は進んでいない。我々は、コロイド分散系の直接数値計算で固液境界を効率よく扱う Smoothed Profile (SP) 法を開発し、それを実装したコロイドシミュレータ (KAPSEL) を一般公開した。この成果をさらに発展させることで、この問題の解決に貢献したい。

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。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活着し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。

水中を泳動する微粒子・微生物には多種多様な種類があり、その構造の違いにより運動性も異なる(図 1:(b))。シミュレーションでもこの違いを反映した議論をすべきであるが、微生物が持つ本質を失うことなくモデルの大胆な簡略化が求められる。現実の微生物の持つ複雑な状況をモデル微生物としていったん簡略化し、本質を突いた小数のパラメータで集団運動の様子を整理し直すことで、詳細なモデルでは見えない本質に迫ることが出来る。一例として、鞭毛が本体より進行方向前方にある微生物と後方にある微生物を、それぞれ押し出し型 (Pusher) と引っ張り型 (Puller) と分類することが出来る。この違いを反映できる最も簡単なモデルとしてスクワマーモデルが提案されており、本研究でもまずはこのモデルを採用する。

本研究は微粒子の集団運動の解明とそのハンドリング手法の基礎付けを目的とするものであり、2年間で以下の成果を見込んでいる。

- 自己泳動する現実の微生物を模したモデル微生物に対する直接数値計算法を開発する。
- モデル微生物の動的性質を整理し、その集団運動を支配する基礎原理を理解する。
- モデル微生物の集団運動を制御し、効率のよい捕捉などハンドリングの基礎付けを行う。

「揺らぎと構造の協奏」領域の中には、自己推進粒子のダイナミクスを研究対象とする実験・理論研究者が少なくない。我々の開発する数値計算法は強力なツール(縦糸)となり得るものであり、それらの人々との共同研究を推進することでも大きな成果を期待したい。

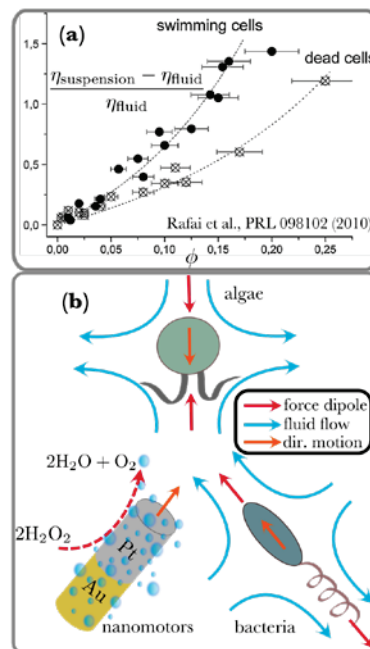


図 1:(a) 泳動微生物を水中に分散させた流体の、粘性率の微生物濃度(積分率)依存性。微生物がアクティブに泳動している場合の粘性率(黒丸)は、死んで泳動しなくなった場合の粘度に比べて明らかに大きな値を示すが、この原理は未解明である。Rafai, Jibuti, and Peyla, Phys. Rev. Lett. 104, 098102 (2010). (b) 水中で自己推進する種々の粒子・微生物とその周りの溶媒・溶質の模式図。

山本量一 (京都大学・工学研究科・教授)

谷口貴志 (京都大学・工学研究科・准教授)

John Molina (京都大学・福井研究センター・特定研究員)



## 負の相関に起因する異常拡散現象とその周辺

A04 班 坂上貴洋、中西秀、齋藤拓也

一分子レベルの観測技術の発達に伴い、生体内をはじめとした複雑な階層構造を持った系では、平均二乗変位が時間に比例しない「異常な拡散現象」が多く報告されてきている。このことは、そのような複雑系では、通常の意味での中心極限定理は破綻しており、マイクロとマクロの間に位置する中間階層（メソスケール）において豊かな動的現象が潜んでいることを示唆している。

本研究では、高分子を代表とする「多数の要素が連結した系」において一般的に重要となることが期待される「負の相関」の効果に注目し、それにより引き起こされる異常拡散をはじめとした動力学現象の探究を行う。そのような視点から、染色体上の遺伝子座の揺らぎや、膜面の内部モード、揺らぐ界面の応答などのメソスケールにおける異常な動力学に関連する諸現象へとアプローチし、多重の時間スケールが混在する多階層系におけるダイナミクスと機能発現を、多数の要素の織り成す協調現象として捉えていく。

長時間に渡る負の相関の効果は、冪的に減衰する記憶関数として表現される。最も単純なモデルとして、高分子のラウス模型を取り上げてみよう。鎖上の特定の位置にあるモノマーに標識をして、この「ラベルモノマー」の揺らぎを考える。この場合、記憶関数は厳密に計算することが出来、鎖の骨格に沿った張力の拡散的伝播という物理的な描像を基に、ラベルモノマーの異常拡散についての動的スケール則を構成することが出来る[1]。このような見方は、より複雑な状況（排除体積効果、流体力学的相互作用による非線形効果や周囲の媒体の粘弾性効果が効いてくる場合、外場駆動の非線形応答[2]など）や、一見関連のなさそうな別の系（界面成長模型など）においても有益ではなかろうか。

高分子は、モノマーが一次元状に鎖状に連なった巨大分子である。系の骨格を特徴付ける内部次元  $D=1$  の系と言える。内部次元が高くなるとうなるであろうか。  $D=2$  の場合は、「膜」となる。ここでは排除体積の効果が顕著であり、膜はクランプ(crumpling)することなく、全体としては平坦な self-affine 膜面となる(図1)。この構造の異方性を反映して、ラベルモノマーの揺らぎも面内のフォノンモードと、面外の波打ちモードとで異なるスケール挙動を示す[3]。この点については、細胞骨格系のモデルとなる半屈曲性鎖(semi-flexible polymer)との類似性がありそうで、興味深い。

$D$  が非整数次元の場合も考えられる。とりわけ  $D=4/3$  は、不規則分岐鎖(randomly branched polymer) や Lattice animal のクラスに相当すると考えられる。これはまた、ゲル中での環状高分子鎖のモデルともなっており、環状 DNA の電気泳動の問題と直接関係してくる。更には、トポロジカルな効果という視点からは、染色体上の遺伝子座の揺らぎの問題とも関連してくるのではなかろうか。

本公募研究では、上記のような問題意識のもと、複雑な系で見られる異常な動力学、揺らぎの探究を行っていきたい。

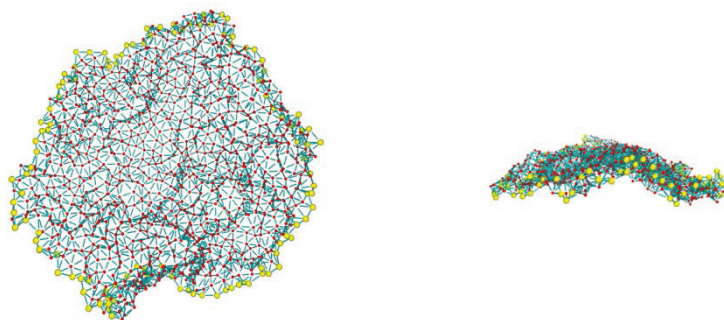


図 1: モンテカルロシミュレーションから得られた網状分子(polymerized membrane)のスナップショット。上から見た図(左)と横から見た図(右)。

[1] T. Sakaue, Phys. Rev. E **87**, 040601(R) (2013).

[2] T. Sakaue, T. Saito and H. Wada, Phys. Rev. E **86**, 011804 (2012).

[3] K. Mizuochi, H. Nakanishi and T. Sakaue, *in preparation*.

坂上貴洋 (九州大学・理学研究院・助教)

中西秀 (九州大学・理学研究院・教授)

齋藤拓也 (京都大学・福井謙一記念研究センター・特定研究員)



## 「ゆらぎと構造の協奏」から見た量子乱流

A04 班 坪田誠

非平衡の世界の普遍性を、低温物理学の視点から、量子流体を舞台に追求することを目標とする。歴史的には、超伝導や超流動、ボース・アインシュタイン凝縮(BEC)などを対象とした低温物理学の研究の大半は、平衡状態もしくはその近傍で行われてきた。非線形・非平衡物理学の観点からの研究はほとんど無い。ここでは、低温物理学における重要テーマの一つである量子乱流を、非線形・非平衡物理学の観点から、理論的および数値的に研究する。舞台となる系は、超流動ヘリウム、および原子気体 BEC である。

量子流体とは、低温で量子凝縮した流体を指す。超流動ヘリウムや原子気体 BEC では、ボース凝縮の結果、秩序変数が出現し、超流動速度場の循環が量子化された量子渦が出現する。量子流体中では、図1のように、量子渦が複雑に絡み合った超流動速度場の乱流 -量子乱流- が現れる。通常の乱流(古典乱流)は、レオナルド・ダ・ヴィンチの有名なスケッチが象徴するように、数百年もの間、自然科学の大問題である。ダ・ヴィンチは、乱流は乱れの中にも構造を持ちそれを担うのは「渦」とであると指摘したが、古典粘性流体中の渦は不安定で同定も容易でない。一方、量子渦は循環が同一で保存された位相欠陥であるため、量子乱流は、要素還元的解析を可能とし、古典乱流よりも扱いやすい乱流の雛形を提供できると期待されている。量子乱流は1950年代に超流動ヘリウムで発見されたが、近年、原子気体 BEC でも実現し、優れた数値計算と可視化技術の進展により、著しい展開が見られている。量子流体の特徴は、量子凝縮のため、励起状態が、フォノンなどの素励起や、量子渦・ソリトンといった位相欠陥など、素性のよくわかった縮約された自由度で記述できる点にある。この advantage を生かして、量子乱流という非平衡現象を調べたい。

本公募研究では、第1に、複数の秩序変数を持つ多成分 BEC の量子乱流を研究する。スピノール BEC では、スピンの空間的に乱れたスピン乱流(図2)が実現する。そのエネルギースペクトルは $-7/3$ という特異なべき則に従い、スピンは空間的に乱れながらも時間的に凍結し、スピングラス的な挙動を示すことを我々は見いだした。また2成分 BEC で生じる2成分量子乱流(二つの量子乱流が空間的に共存し、かつ相互作用した系)も扱う。これらの量子乱流ではゆらぎを担う自由度は明らかで、量子渦やスピン密度ベクトルである。それらがどのようにして、乱流構造を特徴付ける統計量(エネルギースペクトルなど)や秩序変数を生み出すかを調べ、「ゆらぎと構造の協奏」を明らかにしたい。第2に、非平衡臨界現象の観点から量子乱流の普遍則を調べる。例えば、液晶の乱流転移で観測されている DP クラスの非平衡臨界現象が、量子乱流でも期待できる可能性がある。また、量子流体力学では、様々な界面成長やダイナミクスを考えることができる。それらが KPZ のような非平衡スケールング則に従うのか否か、それに量子渦等の自由度がどう関与するかという問題も非常に興味深い。

本新学術領域研究の構成員には、非平衡物理、臨界現象、ガラス転移などの専門家が多数おられるので、その方たちと議論しながら、非平衡物理学と低温物理学の境界領域を開拓したいと考えている。

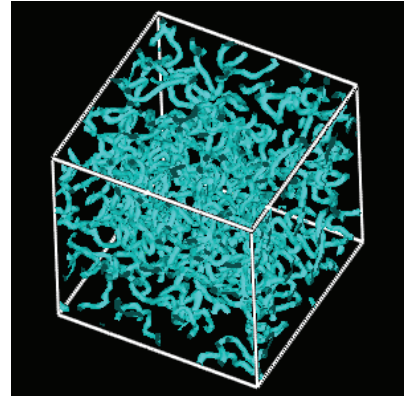


図1: 量子乱流の渦タングル。Gross-Pitaevskii 方程式の数値計算による。

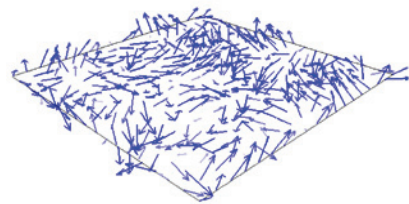


図2: スピノール BEC におけるスピン乱流。

## OQOL 2014 報告

A03 班 市川正敏

台風一過の真夏の日差しが眩しい2014年7月12-13日、京都奈良県境にある国際高等研究所にて国際ワークショップ Open Question on the Origin of Life 2014 を開催した。会議の趣旨はタイトルにある通り生命発生に関わる研究者で集まり、open に議論をするというものである。生物、物理、化学、地球惑星科学など多数の分野から約80名の研究者が参加して行われた。会議に先立ち、初期の生命の発生や進化にとって重要と思えるテーマを20程度挙げ、参加者による web 投票で6つのテーマに絞り込んだ。参加者はこの6つのテーマのどれかに沿った発表を申し込む。ここから査読によって口頭講演者を決定し、セッションを構成した。これらの口頭発表に関して、あるいはそれに触発された議論を行い、分野の新しい方向性や課題の解決に向けてのヒントを生み出そうというのが、本会議の大きな目的の一つである。

最初のセッションは分子混み合い効果をテーマに討議された。特異な実験結果から、生命現象がマイカ薄の隙間から始まったという仮説まで、興味深い発表が為され、活発な議論が行われた。続くセッションでは分子進化の発表が行われた。たとえば2種類あるいは複数種類の分子が直鎖状に重合と脱重合を繰り返す場合に、変化のパスが近くて多い者同士が生き残るという結果が示された。特定の配列パターンが選ばれやすいということに相当しており、機能性のペプチドや遺伝子の成り立ちなどを考えるうえで興味深い。ポスターセッションの後、一日目の最後のセッションが行われ主に理論面からの提案がなされた様だが、その時間はポスター会場で議論を続けていたので、詳しくは分からない。

二日目は、細胞のようなものが如何に出来てきたか、なぜ生命の始まりがミステリーなのか、合成生物学は生命発生探求に貢献するのか、という3つのセッションが開かれた。それぞれ、概念的な仮説やストーリーの発表と、実験結果などを基にした提案の二種類の発表に分かれていた。物理的な現象であっても、物理の手法で示してもあまり反応は良くなく、化学的な characterization を聞かれることが多かった。この辺りは分野による好みの違いともいえるが、勉強になった。生命の始まりがいまだにミステリーなのはなぜかという問いに対しては、ミステリーのまま終わった。合成生物学のセッションでは概念的、あるいは哲学的な発表ではなく、各々の研究を紹介する発表が主であった。実験技術の発展と分子レベルの操作技術の発展を生かした研究など、最新の成果が紹介された。

全体を見渡すと、生命発生という long standing な問いに対しての答えはこの50年あまり大きな進展は見られなかったと思われるが、その周りの実験技術や理論的なものは大きく進歩しており、これからは本質に迫るような研究がでてくるのではないかと思わせた。また、会議の大きな目的の一つである活発な議論も行われていたと言えるだろう。

最後に、会議の開催にあたりサポートをしていただいた新学術領域研究に感謝いたします。

## 第一回若手勉強会「非平衡統計力学の基礎理論」

A01 班 山口裕樹 (沙川研)

2014年8月6日(水)~8日(金), 慶応義塾大学日吉キャンパスにて第一回若手勉強会「非平衡統計力学の基礎理論」が開催されました。大学院生をはじめとする若手研究者を対象とし、非平衡物理学の最近の話題を基礎から学ぶという目的のもと、猛暑の中、多くの参加者が日吉に集いました。

3日間に及んで、迫力ある講義と熱い議論が繰り広げられました。本研究会の講師に名を連ねたのは、現在第一線で活躍されている若手研究者ばかりですが、驚くべきはその若さです。准教授から博士課程の学生まで、非常に若い顔ぶれの講師陣です。このような研究会は、他を探しても滅多にないでしょう。参加者の層も幅広く、学部生から異分野の研究者まで多くの人に参加し、講義室は常に活気に溢れていました。

トップバッターの沙川貴大氏は、冒頭で「ゆらぎの定理」に焦点を当てて非平衡統計力学を概観した後に、Hamilton系では少ない仮定の下でゆらぎの定理が導かれることを示しました。齊藤圭司氏は、量子系(主にメゾスコピック系)における非平衡ゆらぎの話題を紹介されました。確率過程を計算の道具とすることで微小系の熱力学が定式化されることを軽妙な語り口で示した金澤輝代士氏の講演では、白色 Poisson ノイズノイズの極限として白色 Gauss ノイズが自然に導入されたのが印象的でした。伊藤創祐氏は、情報理論の入門から始めて情報熱力学を議論しました。情報理論の立場では stochastic relative entropy という量によって(ゆらぎの定理を含む)情報熱力学が見通しよく整理されるということが強調されていました。鳥谷部祥一氏の講演では、生体ナノマシンを始めとする生体内の現象が、非平衡統計力学の知見によって理解されることが主に実験家の視点から語られました。講演の後半では細胞に関する話題にも触れられ、生物物理学の盛り上がりが見えられました。竹内一将氏による最後の講演では、自然界に現れる界面成長の身近な例が紹介され、その現象に隠れる普遍的な法則が議論されました。講演の後半では、ゆらぎ界面成長の一つのクラスである KPZ ユニバーサリティクラスに関する近年の目覚ましい発展が、数理物理学と絡めて紹介されました。

2日目の午後に開催されたポスターセッションでは、参加者は各々の研究を通じて活発な議論を交わすなど、大きな盛り上がりを見せました。その後の懇親会は、研究を離れて参加者間の交流をはかる絶好の場となりました。

こうして振り返ってみると、3日間に及ぶ研究会は、参加者それぞれにとって大変有意義なものであったのではないのでしょうか。大盛況の第一回若手勉強会が幕を閉じ、さあ非平衡統計力学の新展開はどこへ進んでいくのでしょうか。

### 講演一覧(敬称略)

- 沙川貴大 (東京大学) 「非平衡ゆらぎ, 入門(古典系)」
- 齊藤圭司 (慶応大学) 「非平衡ゆらぎ, 入門(量子系)」
- 金澤輝代士 (京都大学) 「微小系熱力学: 古典確率過程」
- 伊藤創祐 (東京大学) 「情報理論と小さな系の熱力学」
- 鳥谷部祥一 (東北大学) 「非平衡ゆらぎ: 生物系」
- 竹内一将 (東京大学) 「ゆらぎ界面成長の普遍法則」  
(ポスター発表・発表者多数のため略)



図1: 講演する伊藤創祐氏。情報理論を用いることで、非平衡統計力学が見通しよく整理された。



図2: 金澤輝代士氏の講演の様子。Poisson 過程による導入から、極めて自然に確率過程が議論された。



## 基研国際研究会 “Interface fluctuations and KPZ universality class” 開催報告

A01 班 竹内一将

8月20-23日、京大基礎物理学研究所にて、本領域共催の国際研究会 “Interface fluctuations and KPZ universality class – unifying mathematical, theoretical, and experimental approaches” が開催されました。

KPZ = Kardar-Parisi-Zhang クラスとは、ゆらぎを伴う界面成長等が従う非平衡スケーリング則の普遍クラスを指します。界面にとどまらず、攪拌流体や異方的ポリマーなどのマクロな非平衡ゆらぎが示す普遍法則として、1986年にKPZ方程式が提出されて以来、理論物理学を中心に精力的な研究が行われてきました。特に1次元では、数学分野の発展により、2000年にある種の模型で厳密解が得られ、非平衡ゆらぎの普遍的性質が厳密に調べられるようになりました。数学的研究の進展は目覚ましく、ランダム行列、組合せ論、可積分系との本質的な関係が明らかになると共に、2010年には本領域の笹本氏らにより1次元KPZ方程式の厳密解が与えられ、またKPZ方程式を含む確率偏微分方程式の数学的定式化を行ったHairer氏は今年のフィールズ賞受賞者の一人に選ばれました。時をほぼ同じくして、実験的にも近年相次いでKPZクラスの例が報告されており、その対象も液晶乱流、がん細胞の成長、化学反応波等と、その幅広さは注目に値するように思われます。統計力学の重要な普遍的概念が厳密解・理論・実験の三つ巴で進展する様は、もしかしたら平衡系のIsingクラスの歴史に少し似ているのかもしれませんが。

こうした目覚ましい進展の一方で、KPZクラスの最近の研究は、わずかな例外を除いて、数学・理論物理・実験物理の各分野が別々に進めていく傾向にあり、異分野の専門家が意見交換を行える研究会は一度も開催されてきませんでした。それを世界で最初に試みたのが、この度開催された国際研究会です。数学・理論物理・実験物理の各分野から、その発展に重要な貢献をした立役者、そして現在最先端の成果を挙げている研究者を招待し、あらゆる分野の研究者がstate-of-the-artを共有して、今後の研究に繋げられるような配慮を行いました。

一日目は分野の立役者らによるレビュー講演を揃えました。Kardar氏によるKPZ方程式のレビュー、Tracy氏によるTracy-Widom分布（ランダム行列の最大固有値分布）のレビューの他、非専門家向けに数学的進展の要点を解説する講演が続き、集団遺伝学等の最新の話題と絡めたものもありました。

二日目は最新の実験的成果が中心に講演されました。紙の燃焼、液晶乱流、がん細胞、コーヒーリング効果、化学反応と、全く性格の異なる実験系が丁寧に紹介され、そこから普遍的な物理が現れ出る様は、実験家のみならず、数学者にも印象的だったようで、様々な議論がなされました。

三日目は数学が主なテーマです。Corwin氏、Borodin氏は黒板・白板を使った講義スタイルで、数学的に厳密なレプリカ計算や、可積分系との繋がりについて熱演されました。舟木氏による測度論の講演、長田氏によるランダム行列の確率過程の講演では、KPZに対する数学的研究の幅広さが一層印象付けられたようです。三日目はポスターセッションも行われ、遅くまで熱い議論が展開されました。

最終日は理論物理学を中心に、未来への示唆に富む話題を集めました。厳密解のない2次元KPZクラスの数値的・実験的研究、可解性とマルチンゲール性との関係、非摂動くりこみ群、そして平衡系のゆらぎにもKPZが現れる例など、今後の展開が楽しみな挑戦的課題が続いて無事閉会となりました。

以上の講演のスライド・ビデオは研究会ウェブ <http://www.kpz2014.com> からご覧頂けます。本研究会が一助となって、今後はまさに数学・理論・実験の三つ巴で、KPZおよび非平衡ゆらぎの理解が進展することを願うばかりです。研究会支援をして下さった総括班の皆様に厚くお礼を申し上げます。

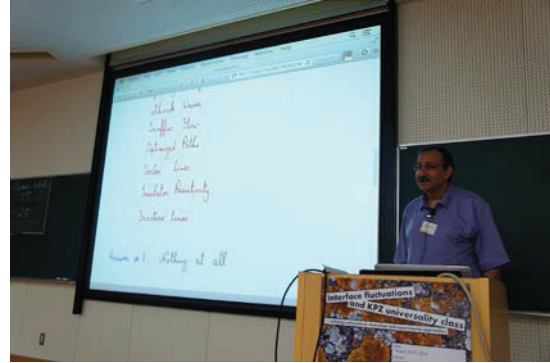


図1: KPZ方程式の生みの親の一人、Kardar氏の講演から研究会は始まった。



## 今後の予定

◎新学術領域「ゆらぎと構造の協奏」主催

○International Symposium on Fluctuation and Structure out of Equilibrium 2015 (SFS2015)

2015年8月21日(金)～23日(日)

京都大学、芝蘭会館

◎新学術領域「ゆらぎと構造の協奏」共催

○国際ワークショップ Thermodynamics, large deviation and transportation

2014年9月17日(水)～18日(木)

京都大学基研パナソニックホール

○「非線形反応と協同現象」研究会

2014年12月6日(土)

東京電機大学(変更の可能性あり)

○非平衡統計力学に関する winter school (core-to-core と共催)

2015年2月4日-17日

京都大学

### 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(東京大学) [kazumasa@daisy.phys.s.u-tokyo.ac.jp](mailto:kazumasa@daisy.phys.s.u-tokyo.ac.jp)

北畑裕之(千葉大学) [kitahata@physics.s.chiba-u.ac.jp](mailto:kitahata@physics.s.chiba-u.ac.jp)