

会場 D

領域 11, 12

D-1 界面活性剤溶液中の液晶液滴の運動

九大院理^A, 九大院理^B 菅真梨子^A, 木村康之^B

界面活性剤溶液中に液晶液滴を分散させると、液滴中に発生するマランゴニ対流によって液滴が駆動され、溶液中を複雑な軌道を描いて自己推進することが近年報告されている。例えば、ネマチック液晶液滴では、三次元においてらせん運動を示すことが観察されている [1]。実験には、界面活性剤 TTAB 水溶液中に、ネマチック液晶 5CB の液滴を分散させた系を用いた。図 1 に、溶液中で分散させたネマチック液晶液滴の例を示す。また、図 2 に軌跡の例を示す。先行研究と同様に直線的な並進運動とそれを軸とするような回転運動をともに示すことがわかる。先行研究では、ある一定のサイズのみでの報告になっているが、本研究では、液滴サイズを変化させたときの運動の違いを観察したので報告する。

[1]K.Carsten *et al.* Phys. Rev. Lett. 117, 048003 (2016).

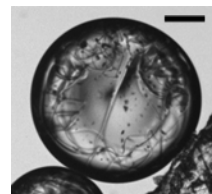


図 1 TTAB 溶液に分散させたネマチック液晶液滴 (スケールバーは 100 μm)

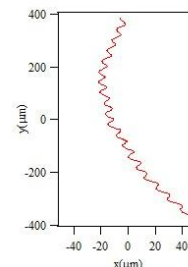


図 2 ネマチック液晶液滴の軌跡(二次元)

D-2 液晶液滴の回転運動

九大院理^A 田村優太^A, 木村康之^A

光により微粒子の回転運動を誘起できれば、マイクロスケールの光駆動モーターとしての応用が期待できる。近年、光ピンセットを用いて複屈折を持った微粒子に回転を誘起する研究が活発に行われている。その一例として、ネマチック液晶液滴に円偏光を照射すると、光電場により液晶分子の配向が変化することで(図1)、ネマチック液晶液滴を回転可能であることが報告されている。

水中に分散したネマチック液晶(5CB)液滴を円偏光したレーザー光を用いてトラップしたところ、偏光方向に依存した向きに液滴が回転する様子が観察された。また、レーザー強度が増すと液滴の回転数が線形に上昇することがわかった(図2)。さらに、コレステリック液晶液滴に円偏

光を照射して、その回転挙動も調べたので当日報告する。

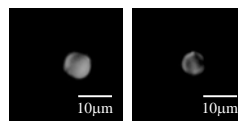


図1: ネマチック液晶液滴の偏光顕微鏡像。(左) 電場なし。(右) 電場あり。

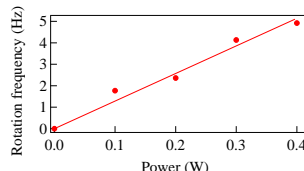


図2: ネマチック液晶液滴の回転数とレーザー強度の関係。クロスニコル下で観察した液滴の明暗の強度分布から求めた。

D-4 液晶の電気対流

九大院理^A 高田哲弘^A, 田村優太^A, 木村康之^A

負の誘電異方性を有するネマチック液晶に閾値以上の交流電圧を印加すると、ある閾値電圧で対流が発生し、様々な対流パターンが現れる。光学活性を有するコレステリック液晶では、分子配向に空間的なねじれを伴うために、ネマチック液晶とは異なるパターンの遷移が起こることが偏光顕微鏡を用いた観察で明らかにされている。しかし、コレステリック液晶の電気対流の3次元構造は直接観察されておらず、そのパターン遷移の詳細な過程は不明であった。本研究では、ネマチック液晶に少量の光学活性体を加えて作成したピッチの長いコレステリック液晶を用い、蛍光共焦点偏光顕微鏡(FCPM)により電気対流の3次元構造観察を行った。FCPM法は蛍光共焦点顕微鏡と偏光顕微鏡の両方の性質を合わせ持つために、液晶配向状態を高い空間分解能で3次元的に観察することが可能となる。また、数マイクロサイズの微粒子を

液晶中に分散させて、試料中での流れ場の様子も同時に観測を行った。電場を印加しない状態でコレステリック液晶はらせん状に配向方向がねじれているために、FCPMを用いて観察すると図1のような縞状パターンが観測される。電圧上昇に伴い厚さ方向に図2, 3のような特徴的な折り畳み構造が出現することが明らかとなった。

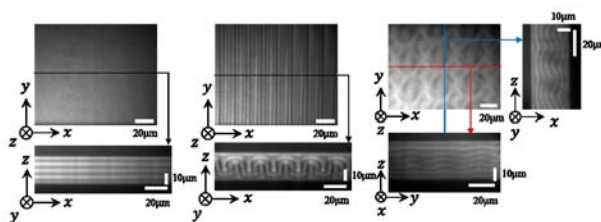


図1. 無電場でのFCPM像

図2. ストライプパターンのFCPM像

図3. グリッドパターンのFCPM像

D-5 二相溶液の電気粘性流体のシミュレーション

九州大学理学府^A, 九州大学理学研究院^B 宇土弘毅^A, 中西秀^B, 坂上貴洋^B

二相溶液の電気粘性効果をシミュレーションする為に、流体力学的な効果を加えた相分離現象のモデルであるモデル H に、相に依存する誘電率と電場の効果を加えた。このモデルを用いてシミュレーションを行い、二相溶液の界面構造の変化が粘性にどのような影響を与えるかを調べた。

電気粘性効果とは電場により溶液の実効粘性が変わる現象であり、誘電率の異なる二相溶液 [1,2] や懸濁液 [3] で報告されている。我々は特に粘性は等しいが誘電率が異なる二相が分離した系を想定し、数値シミュレーションを行った。系の上下を電極で挟んだ系を考え、それぞれの電極を左右の逆方向に動かしてせん断流を発生させた。また、電極間に電位差を与え上下方向の電場を発生させた。一定の電場の下でせん断速度を変化させたときに界面構造や実効粘性がどのように変化するかを観察した。

その結果、2次元系では、せん断速度が小さいときには流れ方向に傾いた電極間をつなぐコラム状の界面構造が安定し、界面張力の寄与により実効粘性が大きくなった。せん断速度を大きくしていくとコラム状の界面構造は不安定化しシアバ

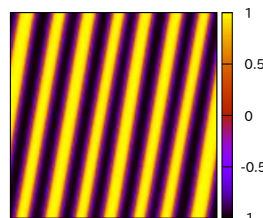
ンドが生じて実効粘性は小さくなった。一方3次元系では、電場と流れに垂直な法線ベクトルをもつ界面が生じることが予備的な数値計算でわかった。その構造では界面張力がずり粘性に寄与せず、実効粘性は溶液の粘性と等しくなった。

[1] K. Tajiri, K. Ohta, T. Nagaya, H. Orihara, Y. Ishibashi, M. Doi, A. Inoue; *J. Rheol.* **41** (1997) 335.

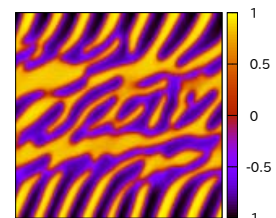
[2] H. Orihara, A. Taki, M. Doi, A. Inoue; *J. Rheol.* **45** (2001) 1479.

[3] T. C. Halsey; *Science* **258** (1992) 761.

せん断速度が小さいとき



せん断速度が大きいとき



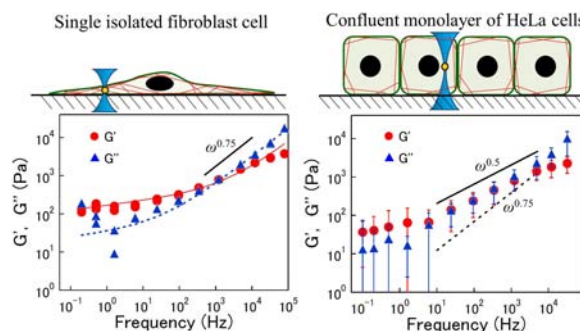
D-6 生細胞内部のマイクロレオロジー計測

九大物理^A 西澤賢治^A, 水野大介^A

細胞内は、様々なタンパク質等からなる高濃度の高分子コロイドで満たされており、その上モータータンパク質の非熱的な力により駆動されて、原形質流動や巨大な揺らぎが生成されている。多くの高分子コロイドは凝縮させることでガラス化すること、また力学外場に対して非線形に応答することが知られている。生きた細胞内では、細胞骨格が三次元に張り巡らされる中で、多成分の高分子コロイドの複雑な組み合わせ状態と自発的な力駆動が混在するが、こうした非平衡凝縮系の力学環境が決定される物理メカニズムは殆ど分かっていない。

そこで本研究では、生細胞内部の力学特性を、物理的に理解することを目的とした実験的研究を遂行した。具体的には、代謝活性が除去された平衡状態の細胞抽出液を用いてマイクロレオロジー計測を行い、高分子組み合わせに伴う力学特性の変化を定量的に計測した。さらに生きた細胞内部のマイクロレオロジー計測を、浸透圧により細胞内部を

濃縮しながら、細胞骨格障害・駆動力を制御しながら行うことで、力学的非平衡下での高分子組み合わせ効果、細胞骨格、非熱的な駆動力が細胞内部の力学特性へ与える影響の究明を試みた。細胞内部はガラス的な挙動を示すことが分かったが、濃度増加に伴う粘性率増加挙動が細胞抽出液とは異なることも分かった。その違いを生み出す要因が細胞内部の非熱的な力学駆動にあるのではないかと示唆された。また細胞の形状と力学特性を関連づける結果も得られた (図)。



D-7

細胞内力学の生体高分子混み合い依存性

九大物理^A 池永匡宏^A, 西澤賢治^A, 水野大介^A

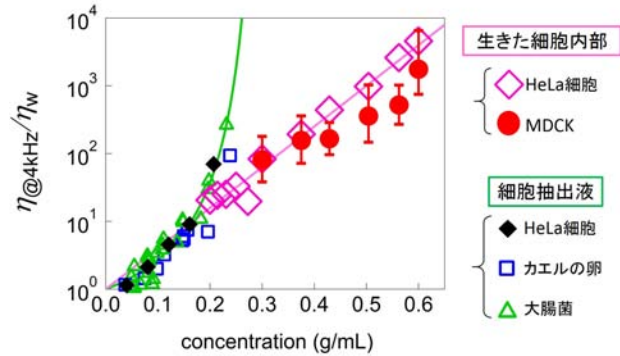
細胞内部では細胞骨格が3次元のネットワーク構造を形成しており、その隙間にさまざまな生体高分子がひしめき合っている。最近、こうした細胞質の混雑状態は、細胞種に依存しない普遍的なガラス状態を生み出すことが分かってきた。

例えば図に示す通り、大腸菌、アフリカ爪ガエルの卵、哺乳動物の真核細胞 (HeLa) から抽出した細胞質の粘性率は全て同様な超指数関数的な濃度依存性を示す (図中緑曲線)。他方で代謝活性を持つ生細胞内部の力学特性にも同様な普遍性が現れるか分かっていない。

本研究では、MDCK、HeLa(真核細胞)と大腸菌(原核細胞)内部の粘性率をマイクロレオロジー計測した。図に示す通り、MDCKとHeLaの粘性はいずれも濃度の純粋な指数関数として上昇し(図中ピンク直線)、両者の間に有意な差は

見られなかった。

当日は大腸菌についての結果とあわせて発表する。



D-8

細胞競合のメカニクス

九州大学 理学部^A, 九州大学 理学府^B, 九州大学 理学研究院^C 永尾渉^A, 梅田勝比呂^B, 西澤賢治^B, 水野大介^C

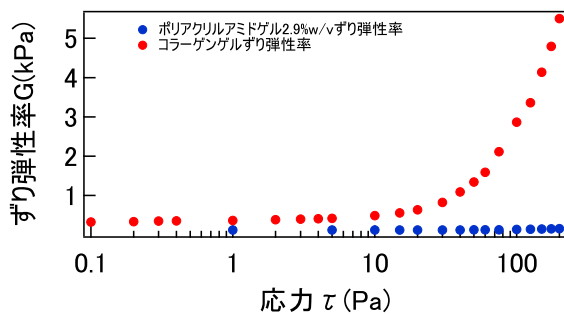
細胞集団が組織や個体の形態形成を行う際には、異なる細胞集団での競合状態が生じている。細胞競合における勝者と敗者を分ける過程では、遺伝子的・生化学的な因子以外に、細胞や周囲環境の力学的な特性や物理的な力による相互作用も重要な役割を果たす。

本研究では、細胞の癌化を誘導する Ras(北大藤田研提供)を薬物依存的に発現させ、周囲の正常細胞との競合状態を作り出し、その前後での細胞と周囲環境の力学特性を観測することを目指している。

まず、培養ゲル(コラーゲンおよびポリアクリルアミド)上に疎らに播種した孤立細胞や、同種の細胞シート内部の力学特性を Ras 発現前後で計測して比較し、競合状態とは無縁の細胞個々の力学的性向を解析した。また、同時に接着するゲルのずり弾性率を一定の応力を加えつつ、1.2rad/sの周波数

で振動計測した。

図はコラーゲンゲル及びポリアクリルアミドゲルのずり弾性率の応力依存性を示す。これによってコラーゲンゲルに力が働くことで非線形的に大きく硬化していくことがわかった。当日は薬物依存的な Ras の発現前後の力学的性向についての議論も行う。



D-9

動的非平衡クロス効果：動く温度勾配下の流れと秩序

九州大学理学研究院物理学部門^A, 科学技術振興機構さきがけ^B 福山達也^A, 前多裕介^{A,B}

温度勾配下で溶質分子が輸送される現象 (Soret 効果) は非平衡物理学の中心課題の一つである。これまでに我々は高分子 Polyethylene glycol(PEG) 水溶液中では、Soret 効果と二次的な PEG 濃度勾配による拡散泳動の競合で溶質分子の分布に様々なパターンが生じることを明らかにしている [1]。静的な温度勾配下での輸送現象の理解が進む一方で、温度勾配が動く非平衡系の研究は十分ではない。本研究では動く温度勾配下での輸送現象について実験・理論的解析を行った。

実験では PEG 水溶液中に赤外レーザーを集光・円形スキャンすることで動く温度勾配を実現した。その結果、流動が発生・レーザー移動速度に対し流速が極大値をもつことが分かった。さらに理論モデルを構築し、流動の物理的起源が「熱拡散・熱膨張・粘性変化」のクロストークにあることが明らかになった。本発表では実験結果と理論モデルの詳細を示すとともに、光と熱による新たな分子技術についても議論する。 [1] Y.T. Maeda, A. Buguin, A. Libchaber. Phys. Rev. Lett. 107, 038301 (2011); Y.T. Maeda. App. Phys. Lett. 103, 243794 (2013).

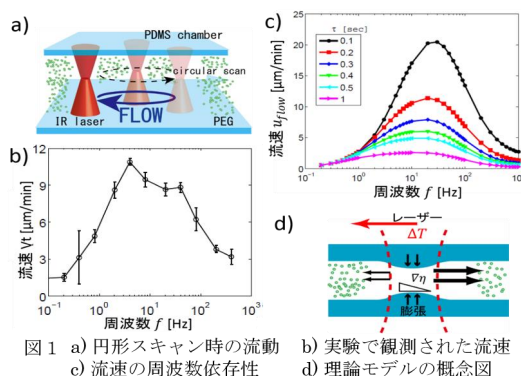


図 1 a) 円形スキャン時の流動 b) 実験で観測された流速 c) 流速の周波数依存性 d) 理論モデルの概念図

D-10

非平衡鋳型重合反応による情報成長の統計則

九州大学理学部^A, 九州大学理学研究院物理学部門^B, 科学技術振興機構さきがけ^C 野上晋平^A, 福山達也^B, 前多裕介^{B,C}

細胞分裂など自己複製において DNA は遺伝情報を保つ分子として重要な役割をもつ。では、いったいどのように太古の地球においてどのように DNA を保持する生命システムを得るに至ったのだろうか。このような生命の起源を考える上で一つの大きな問題がある。細胞のような組織化された集合体が形成されるには DNA などの分子が濃縮されていること、かつ必要な分子が選択的に選ばれることが求められる。これは「生命の起源の濃度問題」と呼ばれる問題である。この問題を解決するために、我々は非平衡系における分子の輸送現象に着目し [1]、温度勾配下の非平衡系における DNA の輸送現象と酵素反応を研究した。

熱平衡条件下または温度勾配下において酵素反応 (Ligation) を行い、qPCR(Quantitative polymerase chain reaction) を用いて DNA 長さ毎の濃度を高感度計測した。qPCR では PCR において蛍光色素を加えることにより合成された DNA に結合することによって蛍光が増量される。これを測定することによって DNA の初期濃度を計測する方法である。その結果、平衡条件下においては Ligation 回数に比例して DNA の濃度は指数関数的に減少する、つまり合成された DNA の重合度に比例してその濃度が指数関数的に減少することがわかった。本講演では非平衡条件である温度勾配下で起こる Ligation から生じる DNA の長さ-濃度分布をも計測し、指数関数的減衰がいかにか補正されるかを理論・実験の双方から議論する。 [1] Y.T. Maeda, et al. Phys. Rev. Lett. 107, 038301 (2011) [2] Y.T. Maeda, et al. PNAS 109, 17972 (2012)

D-11

境界形状に誘起されるバクテリア集団運動のトポロジカル欠陥

九州大学理学部^A, 九州大学理学研究院物理学部門^B, 科学技術振興機構さきがけ^C 別府航早^A, 合屋純^A, 前多裕介^{B,C}

自律的に動く粒子をアクティブマターとよび、その集団は準長距離の方向秩序をもつ集団運動を示す。代表的なアクティブマターはバクテリアである。バクテリアは擬2次元平面では乱流様の構造を示すが、円柱状の油中水滴のなかでは境界に沿った渦運動へ変化する [1]。しかし、円形以外の境界形状に拘束された集団運動で、どのようなパターンが現れるかは明らかではない。

我々は、大腸菌集団を様々な境界形状のマイクロチャンパーに封入する手法を開発し、集団運動の解析を行った (図 1(a))。その結果、円形境界では一つの大きな渦を形成すること (図 1(b))、渦の中心付近に位相欠陥が生じることがわかった (図 1(c))。本講演では更に、円形以外の境界で渦の共存や位相欠陥がどのように変化するか詳細を報告する。

[1] H. Wioland, et al., Phys. Rev. Lett. 110: 268102 (2013).

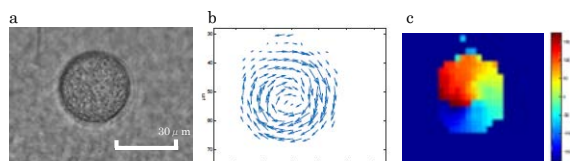


図 1. a)円形境界に閉じ込めた大腸菌 b)PIVによる平均化された速度場 c)速度場を角度毎に色分けしたカラーマップ

D-12

自己駆動ロッドモデルにおける渦運動と位相欠陥

九州大学理学部^A, 九州大学理学研究院^B, 科学技術振興機構さきがけ^C 合屋純^A, 別府航早^A, 前多裕介^{B,C}

魚や鳥、人などは能動的に動き、時として群れやレーンなど巨視的なパターンをもつ集団運動を示すことが知られている。外力がなくとも自発的に動き方向を変えることや、要素間の衝突で向きを揃える過程などは単純な質点の運動とは異なり、パターン形成の理解には新たな力学が必要とされる。このような物質群は自己駆動粒子と呼ばれ、その代表例はロッド形状をもつ運動性バクテリアである。バクテリア *B.subtilis* の動きはランダムであるが、高密度の懸濁液を円柱状の油中水滴に封入すると、境界に沿って菌の集団が配向を揃えて渦状の集団運動を行うことが報告されている [1]。また我々は、ひょうたん型や花型のマイクロチャンパーに封入されたバクテリア *E. coli* の集団では、渦運動や渦ペアとなって共存する集団運動が出現することを見出している。そこで本研究は、様々な境界形状下での自己駆動粒子の自己組織化を理解するため、数値計算シミュレーションから解析を行った。

数値シミュレーションには自己駆動粒子間の配向相互作用をネマチックとする自己駆動ロッドモデルを用いた [2]。ひょうたん型形状の境界に拘束された自己駆動粒子集団の数値計算では、対をなした渦ペアが形成されること、渦の回転方向が同じ向き・反対向きの渦ペアが出現することがわかった。本講演では、モデルの詳細を示すとともに、計算結果を実験と比較することで、渦ペア形成を導く自己組織化のメカニズムを考察する。

参考文献

- [1] H. Wioland, et al. Phys. Rev. Lett. 110, 268102 (2013)
- [2] D. Nishiguchi, et al. arXiv: 1604.04247(2016)

D-13

遊走微生物二次元懸濁液における非平衡ゆらぎ

九州大学理学部^A, 九州大学理学研究院^B 安藤祐貴^A, 水野大介^B

アクティブマターや生体システム等の非平衡系は、多くの場合遊走微生物やモーター蛋白質等のミクロな力生成体により力学的に駆動されている。最近、これらの力生成体が3次元空間中に引き起す非平衡揺らぎは古典的な中心極限定理には従わず、広い裾野を特徴とする非ガウスな極限分布に収束することが示された。当該理論は、任意の空間次元に拡張することが可能であり、非ガウス揺らぎの分布形状は力生成体が存在する空間次元に著しく依存することが予測される。本研究では超音波を用いて遊走微生物と揺らぎ観測用のプローブ(コロイド粒子)を2次元平面内(音圧の節)に拘束し、2次元揺らぎの確率分布を求めた。3次元空間の非ガウス揺らぎと異なり、2次元の非平衡揺らぎは分布の中心部分に殆

ど寄与せず、これと完全に分離した裾野の広がりを引き起こす。当日は、この特異な分布形状の起源について議論する。

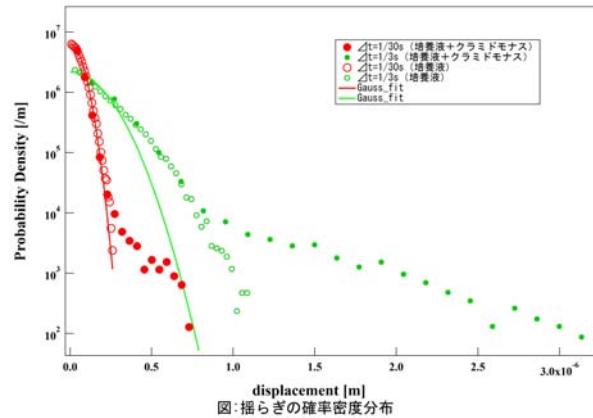


図: 揺らぎの確率密度分布

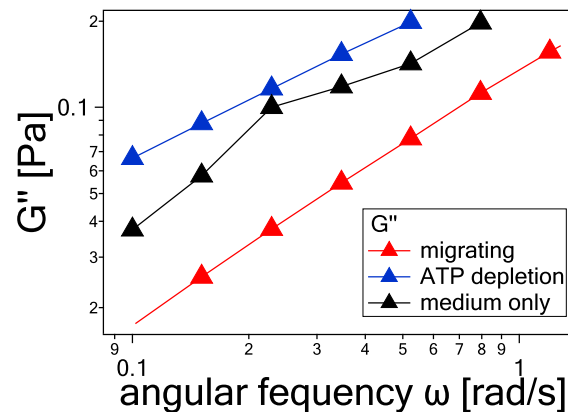
D-14

生体高分子ゲル中を遊走する微生物による非熱的な揺らぎ

九大院理^A 棚町昂平^A, 奈良周平^A, 水野大介^A

細胞内部では、生体高分子からなるネットワーク(アクチン)が分子モーター(ミオシン)との相互作用により、生命活動に必要な非熱的な力を生成している。本研究では、粘弾性体を安定的に遊走することができる微生物(スピロプラズマ)を、絡み合い高分子(キサンタンガム)からなる水和ゲル中に分散させることで、細胞内部における分子モーターによる力学的駆動を模した非平衡状態を水和ゲル中に作り出した。この遊走微生物ゲルの力学的性質を、マイクロレオロジー法(MR)を用いて調べた。媒質中の粒子変位の非熱的な揺らぎを定量化すると同時に、試料のずり粘弾性 G' をマクロレオメータを用いて計測し、両者の関連性を考察した。また、一般的に絡み合いゲルでは熱的揺らぎによってほどけて流動化する reptation と呼ばれる現象が知られている。ここに力生成体

が加わることで、reptation が増強される可能性がある。本研究では、この enhanced reptation も観測できた。(図参照)

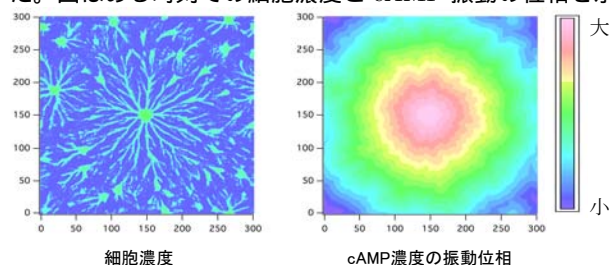


D-15 細胞性粘菌の枝状集合に関する数理モデル

九州大学大学院総合理工学府量子プロセス理工学専攻^A, 九州大学大学院総合理工学研究院融合創造理工学部門^B 草垣拓馬^A, 坂口英継^B

生物の分化メカニズムを研究するためによく用いられる細胞性粘菌という生物がいる。細胞性粘菌は他の生物には見られない奇妙な生活サイクルを有しており、単細胞体と多細胞体の間を行き来する。本研究では、単細胞体が集まることで多細胞体へと変化する集合過程のメカニズムに注目した。集合過程では、細胞性粘菌は cAMP (環状アデノシンリン酸) という化学物質をお互いに分泌し、感知することで集合が起きる。この時、cAMP の濃度は一定に分泌されるのではなく、振動することがわかっている。この集合現象を再現するためモデル式を考案した。cAMP 振動をその位

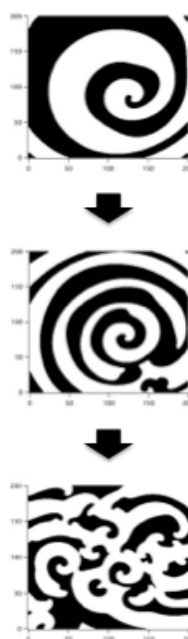
相を用いて表現した位相方程式と Keller-Segel モデルを改良した粘菌濃度の式により 2 次元でのシミュレーションを行った。図はある時刻での細胞濃度と cAMP 振動の位相を示す。



D-16 心臓の不整脈におけるスパイラルパターンの制御

九州大学大学院 総合理工学府 量子プロセス理工学専攻^A, 九州大学総合理工学研究院 融合創造理工学部門^B 迎祐樹^A, 坂口英継^B

我々の心臓の拍動は、右心室の上部にある洞結節と呼ばれる部分から電氣的興奮が規則的に心臓全体に伝播することで行われている。不整脈とは心臓の拍動が異常になる病気のことをいい、心室頻拍や心室細動と呼ばれる状態が特に危険である。近年、心室頻拍時に心臓の電氣的興奮が心室内にスパイラル状の空間パターンを形成する様子が光学的に観測されている。Aliev, Panfilov は犬の心筋を用いた実験により、電氣的興奮の伝播を表す 2 変数の数理モデル (AP モデル) を提案した。AP モデルを用いたシミュレーションではスパイラル発生後、時間が経つとスパイラルが崩壊していく様子 (右図) が見られる。これは、不整脈時の心臓の状態が心室頻拍から心室細動に移り変わることに対応している。また、微弱な電気ショックを与えることでスパイラル状の電氣的興奮を取り除くことができ、これが不整脈の治療 (除細動) に相当する。今回、AP モデルに加えて心筋膜の伸縮を考慮した数式を取り入れてシミュレーションを行った。



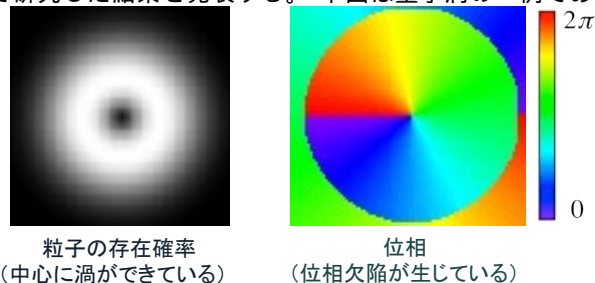
D-17

回転下でのスピン軌道相互作用を持つボーズ・アインシュタイン凝縮体の基底状態における多重渦形成

九州大学大学院 総合理工学府 量子プロセス理工学専攻^A, 九州大学大学院 総合理工学研究院 融合創造理工学部門^B 梅田貫志^A, 坂口英継^B

スピン軌道相互作用は固体の性質に極めて重要な役割を果たす。レーザーと原子の相互作用により、スピン軌道相互作用を持つボーズ・アインシュタイン凝縮体が 2011 年に実現した。また、ボーズ・アインシュタイン凝縮の示す特徴の一つが、渦の循環である。この渦は量子渦と呼ばれ、古典流体力学の渦現象とは異なる渦現象を示す。回転下でのスピン軌道相互作用項を持つボーズ・アインシュタイン凝縮体の基底状態に生じる量子渦について、Gross-Pitaevskii 方程式

で研究した結果を発表する。下図は量子渦の一例である。



D-18

離散的対称性と LSM の定理

九大物理^A 磯山貴一^A, 野村清英^A

量子多体系における重要な要素としてエネルギーギャップの有無や基底状態での縮退の有無がある。これについての代表的な先行研究として、Lieb,Schultz,Mattis[1] (LSM) は基底が唯一の $S=1/2$ XXZ スピン鎖では基底状態よりも高々 $1/L$ のオーダー (L はシステムサイズ) だけエネルギーの高い励起した状態があることを示した。一方で Kolb[2] は波数の関数での最低エネルギー分布を考え、波数 q $q+$ という非自明な周期性や連続性について議論した。

波数についての最低エネルギー関数は、対象とする系に応じてエネルギーギャップのあるもの、エネルギーギャップのないものが存在する。これらの違いを生み出す要因の一つに基底状態の構造があるが、その基底状態の候補としては dimer 的なものや Néel 的なものがあり、これらは離散的対称性 (スピン反転対称性や空間反転対称性、時間反転対称性) によって特徴づけられる。LSM 的な方法で構成される基底状態は、これらの dimer 的 Néel 的な要素が混じったものとなっており、これまで具体的に議論されてこなかった。

本研究 [3] ではこれらの基底状態とエネルギー分布との関係、またその過程には normalization の議論が必要だったことを示した。加えて、限定的な離散的対称性でもこの議論が可能であることやその応用として magnetic plateau の場合についても述べる予定である。

[1] E.Lieb,T.Schultz,D.Mattis: Annals of Physics, **16**,(1961), p.407-466

[2] M.Kolb: Phys.Rev.B **31**, (1985) p.7494.

[3] T.Isoyama, K.Nomura <https://arxiv.org/abs/1605.03385>

九大理^A 向大樹^A, 野村清英^A

転移点を数値的に精度よく決定することは臨界指数の計算で重要になる。しかし、一般に多重臨界点近傍では旧来の有限サイズスケールリング法がうまく機能せず、転移点を精確に決定する一般的な方法はない。本発表では一例として $S = 1/2$ ボンド交代 XXZ スピン鎖の多重臨界点を扱う。ハミルトニアンは以下で与えられる

$$\hat{H} = \sum_j [1 - (-1)^j \delta] \left[\hat{S}_j^x \hat{S}_{j+1}^x + \hat{S}_j^y \hat{S}_{j+1}^y + \Delta \hat{S}_j^z \hat{S}_{j+1}^z \right]. \quad (1)$$

この模型は隠れた $Z_2 \times Z_2$ 対称性を持ち、1次元量子 Ashkin-Teller 模型 (AT 模型) に等価であることが知られている [1]。 $\Delta - \delta$ 相図は BKT 転移 (XY-dimer)、Gaussian 転移 (dimer-dimer 転移)、2D Ising 転移 (dimer-Néel) から成り、Gaussian 転移線は2本の2D Ising 転移線に分かれ3重臨界点を作っている。この Néel-dimer 多重臨界点は $SU(2)$ 対称な点 $(\delta, \Delta) = (0, 1)$ だろうと考えられているが数値計算で追い詰めた研究はまだない (有限サイズスケールリングによる先行研究はある [2])。そこで Gaussian 転移で有効な z 軸まわりのひねり境界条件法 [3] から着想を得て、 y 軸まわりのひねり境界条件法を考え多重臨界点近傍の相転移を数値的に調べた。周期境界条件 (PBC) での第一励起エネルギーと y 軸まわりのひねり境界条件での最低エネルギーとの準位交差から転移点を決定する方法を考え、その方法を用いて多重臨界点近傍の相転移を数値的に調べた。その結果、有限サイズスケールリングに比べて y 軸まわりのひねり境界条件法の方がサイズ依存性が小さいことがわかった。また、この方法の理論的正当性についても考察した。

[1] M. Kohmoto, M. den Nijs, and L. P. Kadanoff, Phys. Rev. B **24**, 5229 (1981).[2] H. Nishimori, K. Okamoto and M. Yokozawa, J. Phys. Soc. Jpn. **56**, 4126 (1987).[3] A.Kitazawa, J. Phys. A: Math. Gen. **30** 285 (1997).