会場 H

領域12

H-1　液晶電気対流パターンの 3 次元観察

九大院理 [A]　石橋優作[A], 岩下靖孝 [A], 木村康之 [A]

負の誘電異方性を持つネマチック液晶に電圧を印加すると、電気流体力学的不安定性によってある閾値電圧で対流が発生し、偏光顕微鏡観察を行うとパターンとして観察される。この対流系で発生するパターンは非平衡開放系における散逸構造の優れた実験系として、様々な研究が行われてきた。しかし、偏光顕微鏡観察では director の 2 次元分布は得られるが、セル厚方向に沿った director の分布を求めることが難しい。今回我々は液晶電気対流系で現れる特徴的なパターンである Williams domain(WD) と Grid pattern(GP) を蛍光共焦点偏光顕微鏡法 (FCPM) を用いて観察し、得られた画像の蛍光強度を求めることで、director 分布を 3 次元的に調べることを試みた。しかし、WD と GP は液晶セル内での対流構造により配向ベクトルが場所的に変化しているので、複屈折が場所によって変化してしまう。そのため、FCPM 観察により得られた画像は屈折の影響を受けており、director 分布を正確に求めることができない。そこで、WD と GP の理論的な対流構造と光線追跡を用いた解析を行うことで、FCPM 観察像から屈折の影響を除き、3 次元的な director 分布を定性的に求める。

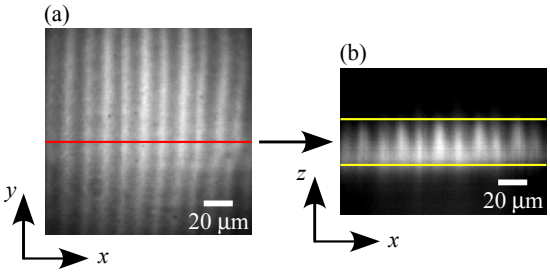


図:蛍光共焦点偏光顕微鏡画像。
(a)WDのxy2次元画像、(b)WDのxz断面像。

H-2　蛍光共焦点偏光顕微鏡法を用いた液晶の 3 次元観察

九大理 A, 九大院理 B　山田宗太郎A, 石橋優作 B, 岩下靖孝 B, 木村康之 B

偏光顕微鏡による液晶の観察では、2 次元パターンの情報は得られるが、厚さ方向に沿ったディレクターの角度分布を判別することが難しい。蛍光共焦点偏光顕微鏡法 (FCPM) では、液晶中に異方的な蛍光分子を分散し、その蛍光強度が分子の配向と入射光とのなす角に依存することを利用して、分子配向に関する情報を得ることができる。本研究では、FCPM を用いて液晶セル中の液晶分子の配向方向の 3 次元分布を調べた。

例として、液晶セルの電場による FCPM 像の変化を図に示す。電場によりセル内での液晶の配向方向が変化することから、蛍光強度が空間的に変化していることが分かる。

詳細は当日発表する。

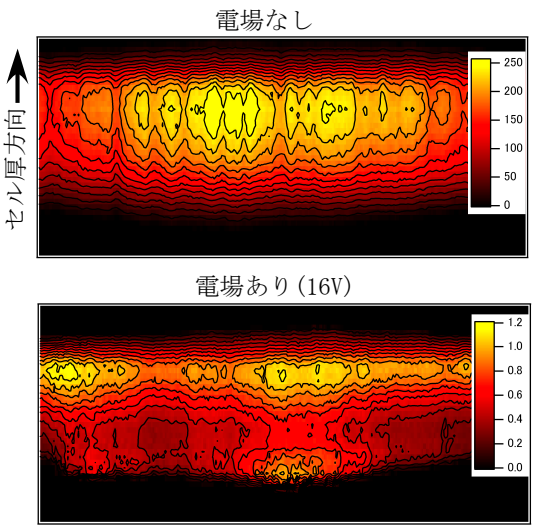


図 液晶セルのFCPM断面像

H-3　動的光散乱法を用いた液晶のゆらぎのダイナミクス

九大院理 A　中原大志A, 岩下靖孝 A, 木村康之 A

液晶やコロイド・高分子溶液系などのソフトマターではその内部構造のゆらぎに伴う屈折率変化が大きい。したがって、それらの系に光を入射したときの散乱光強度のゆらぎを観測することで、そのダイナミクスに関する情報を非破壊的に調べることができる。

本研究では、動的光散乱測定系を作成し、ネマチック液晶の配向ゆらぎの測定を行った。液晶に光を入射した時の散乱光強度の自己相関関数を散乱角を変化させながら測定した（図１）。緩和時間の逆数を散乱ベクトルの２乗に対してプロットすることで弾性定数と粘性係数の比を求めた（図２）。

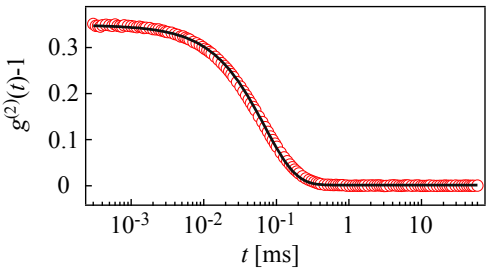


図1. 散乱光強度の自己相関関数

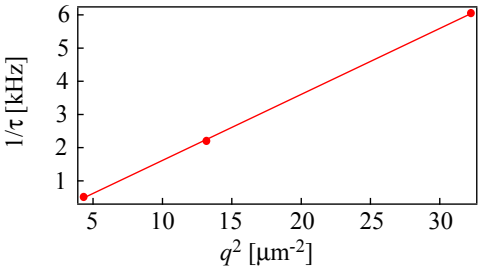


図2. 緩和時間 τ の散乱ベクトルq依存性

H-4　リオトロピック液晶におけるラメラ相の成長機構の解明

九大院理 A　青木辰徳A, 岩下靖考 A, 木村康之 A

液晶は固体と液体の中間的な性質を持ち、それを反映した興味深い成長機構を有している。その中でも我々はリオトロピック液晶の、等方相からラメラ相が核形成・成長する際の成長機構に着目した。核が平衡形を保って成長する場合、始めに平らな層構造を持つ円盤状の核 (図 (a)) が形成され、それが成長と共に自発的に変形し、最終的にオニオン構造 (図 (b)) になり、形状を保ったまま一様に成長する [1]。一方で我々は、実験条件によっては不安定成長が起こることも確認した。その場合、オニオン構造に成長したあと、異方的に細長く伸びていく (図 (c))。しかし、その成長機構について詳しいことはわかっていない。我々は、偏光顕微鏡を用いて不安定成長の様子を観察し (図 (d))、ラメラ構造がどのように形成されるのか調べた。

Y. Iwashita and H. Tanaka, Phys.Rev.Lett 98, 145703(2007)

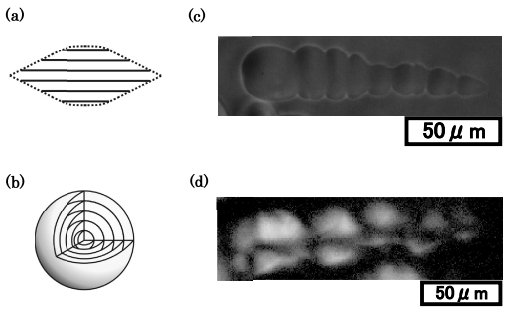


図.1. (a)円盤状ラメラ核の膜構造の模式図(b) オニオン核の膜構造の模式図 (c) ラメラの成長不安定の様子。位相差顕微鏡観察。$C_{12}E_5$ は 5.15vol%、hexanol は 0.85vol%。(d) ラメラの成長不安定の様子。偏光顕微鏡観察。$C_{12}E_5$ は 2.64vol%、hexanol は 0.86vol%。

H-5　ネマチック液晶中のコロイド粒子の物性 1

九大理 A, 九大院理 B　桴海文吾A, 近藤昇 B, 岩下靖孝 B, 木村康之 B

ネマチック液晶中にコロイド粒子が存在すると、粒子周辺にはその表面アンカリングに起因した液晶配向の歪みが生じる。このような粒子間には、歪みによって生じた弾性エネルギーを最小にしようとする力が働く。

２つの dipole 型粒子ー点欠陥対の重心を結ぶ線と液晶全体の配向方向が平行な場合 (θ=0) における相互作用については、多くの研究が行われている。しかし、図１のようにそれらが０より大きい角度 $\theta > 0$ をなす場合の相互作用についてはほとんど研究されていない。

本研究では、２つの dipole 型粒子ー点欠陥対間に働く力の中心方向の成分 f_r を光ピンセットにより直接測定した。その結果、図２に示すように, 角度 θ が大きくなると粒子間力 f_r は小さくなった。

結果の詳細は当日に報告する。

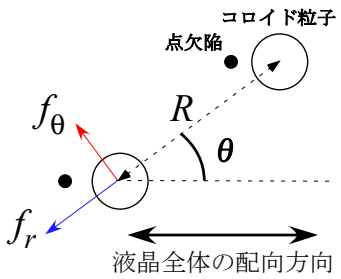


図１　２粒子間に働く力

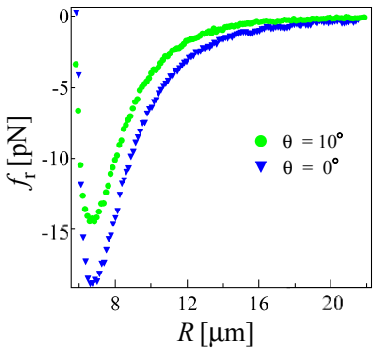


図２　粒子間力f_rの距離R依存性

H-6 ネマチック液晶中のコロイド粒子の物性２

九大院理 A　近藤昇A, 岩下靖孝 A, 木村康之 A

ネマチック液晶中のコロイド粒子間には液晶の弾性ひずみを介した長距離かつ異方的な力が働く。最近の実験的・理論的研究によると、セルによる空間的な閉じ込めが粒子間力に大きな影響を与えることが報告されている。

本研究では、dipole 型の粒子ー欠陥対間に働く力 F のセル厚 L 依存性を光ピンセットにより直接測定した。L が減少するに伴って F の絶対値が減少するとともに、より近距離的になることがわかった。また、図１のように規格化した F と粒子間距離 R の間には普遍的な関係があることがわかった。

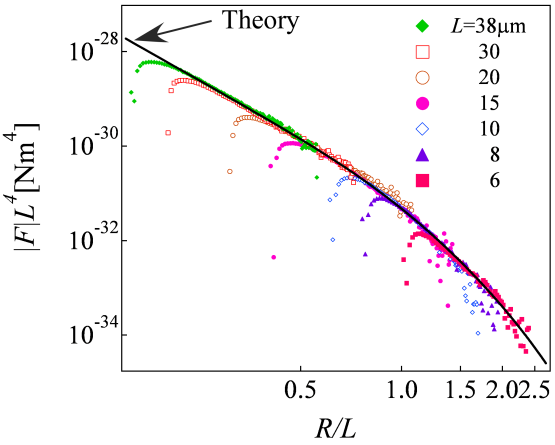


図1．粒子間力FL^4の粒子間距離R/L依存性

H-7 ホログラフィック光ピンセットを用いたコロイド粒子のダイナミクスの研究 (1)

九大理 A, 九大院理 B　津田雅俊A, 柴田就平 A, 佐々百合子 B, 岩下靖孝 B, 木村康之 B

光ピンセットとは、集光レーザーを用いてミクロンサイズの粒子を捕捉できる技術である。非破壊・非接触での測定が可能なため、コロイドの局所物性測定などの研究に用いられてきた。しかし、従来の光ピンセットでは多粒子の同捕捉や任意のポテンシャルを形成することは困難である。そこで、空間光変調器で二次元位相分布を加え、対物レンズで光フーリエ変換を行うことで、任意の強度分布を作すことが可能なホログラフィック光ピンセットの開発を行った。これにより、多数の粒子を同時にトラップし複雑な構造を形成でき (図１)、また円環状のトラップポテンシャルを作成し (図２) 、螺旋度を加えることで、粒子に角運動量を与えることが出来た。

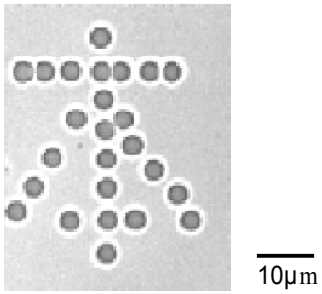


図1：ホログラフィック光ピンセットによりパターン上にトラップしたシリカ粒子

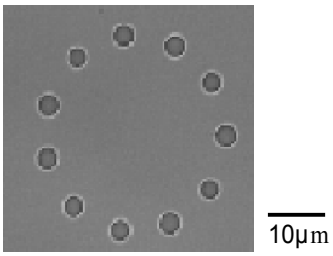


図2：円環上にトラップされたシリカ粒子

H-8 ホログラフィック光ピンセットを用いたコロイド粒子のダイナミクスの研究 (2)

九大理 [A], 九大院理 [B] 柴田就平[A], 津田雅俊 [A], 佐々百合子 [B], 岩下靖孝 [B], 木村康之 [B]

ホログラフィック光ピンセットは、一本のレーザービームを様々な形状に集光させ、その上に粒子を捕捉し、操作することを可能にする。本研究では、流体相互作用が粒子に与える影響を調べることを目的とし、次のような実験を行った。複数の粒子を、円環上にトラップし、螺旋度 l で与えられる角運動量を与えて、粒子を一定の駆動力で円運動させ、円環上の粒子数 N や粒子のセル表面上からの距離 h 、螺旋度 l などのパラメータを変えることにより、粒子の運動の変化を観測した。例として、図１に粒子数 N 、図２に粒子のセル表面上からの距離 h による角速度 ωの変化を示す。

結果の詳細は当日発表する。

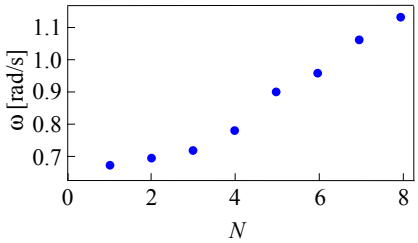


図１. 角速度ωのN依存性

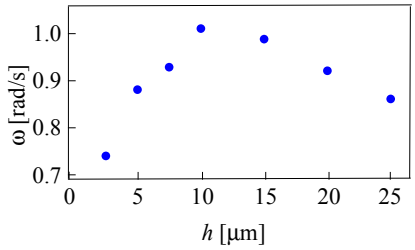


図２. 角速度ωのh依存性

H-9 光で駆動されたコロイド粒子の集団運動

九大院理 [A], 九大理 [B] 佐々百合子[A], 柴田就平 [B], 津田雅俊 [B], 岩下靖孝 [A], 木村康之 [A]

粘性流体中のコロイド粒子のダイナミクスは流体力学的相互作用の影響を強く受け、その非線形性に起因したリズム運動やカオス的な挙動を示すことが知られている。

本研究では、ホログラフィック光ピンセットを用いて作成された「光渦」に複数のコロイド粒子をトラップし、円環上を駆動される粒子の周回運動の様子を観察した (図１)。このとき、各粒子は同じ大きさの駆動力を与えられるが、周りの流体を介して相互作用することで、協同的な運動をすることが分かった。図２はこの協同運動により、２粒子間の角度差が時間的に振動している様子を示している。

さらに、振動現象を理論的に理解するため Oseen テンソルによる相互作用を仮定したシミュレーションを行った。当日はこの理論的考察との比較も合わせて詳細を報告する。

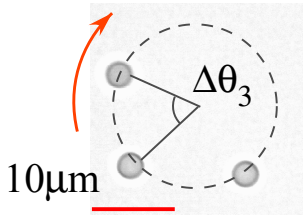


図１. 光渦により駆動される粒子

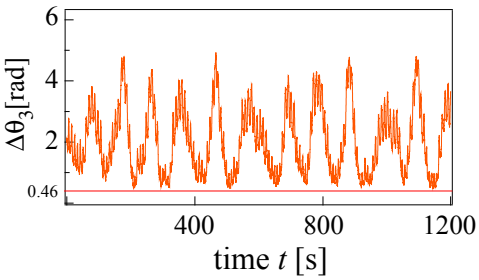


図２. 角度差の時間発展（N＝３）

H-10　集光レーザー光によるコロイド凝集体の構造形成

九大院理 A　相藤貴之A, 沖佑馬 A, 岩下靖孝 A, 木村康之 A

コロイド分散系は、直接観察が不可能な原子・分子からなるミクロな系のモデル系としてその凝集構造やダイナミクスに関する研究が行われてきた。

本研究では、熱泳動効果を利用して任意に単独の結晶を作成することで、粒子に働く力の変化が生成過程にどのように影響するかを解明すべく研究を行った。方法としては、水中のシリカ粒子が、熱泳動効果によって温度のより高い領域に凝集することを利用した。

具体的には、金属薄膜を蒸着させたガラス面に集光したレーザーを吸収させることによって、希薄なコロイド溶液中に強い温度勾配を生み出し、人工的に単独の結晶を作成した。その生成過程を観察し、粒子に働くポテンシャルや結晶の成長則について定量的な解析を行った。

詳細については当日発表する。

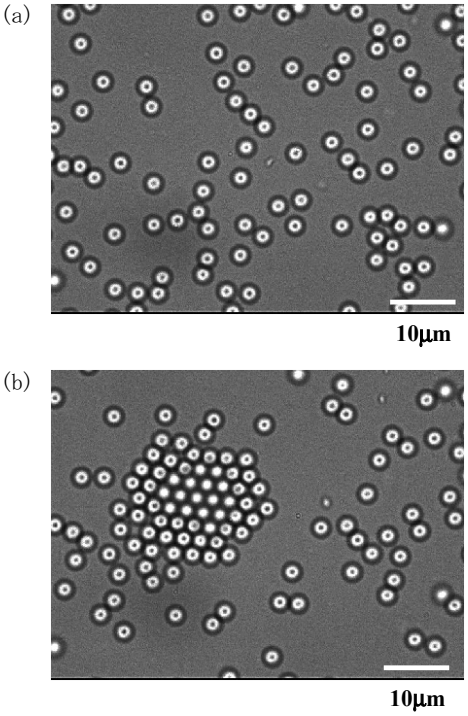


図. コロイド粒子の凝集過程
(a) 0s, (b) 600s

H-11　孤立した二次元コロイド凝集体の構造形成と融解

九大院理 A　沖佑馬A, 岩下靖孝 A, 木村康之 A

二次元コロイド結晶の相転移は、単分散系・多分散系共に、均一な粒子濃度の系が主に研究されてきた。これに対して我々は、孤立した二次元系について研究してきた。本研究では、溶液中で孤立した二成分二次元コロイド凝集体の動的融解過程を解明すべく、研究を行った。この際、強く集光したレーザーで作った局所的な温度勾配を用いて、二成分のシリカ粒子からなる単独のコロイド凝集体を作成し、その後融解過程を光学顕微鏡で観察した。

得られた画像から、位置と隣接配向秩序について、相関関数の時間変化を計算した。また、結晶内の局所 hexatic 秩序変数をマッピングすることで、動的融解過程の詳細を観察することができた。

詳細については、当日発表する。

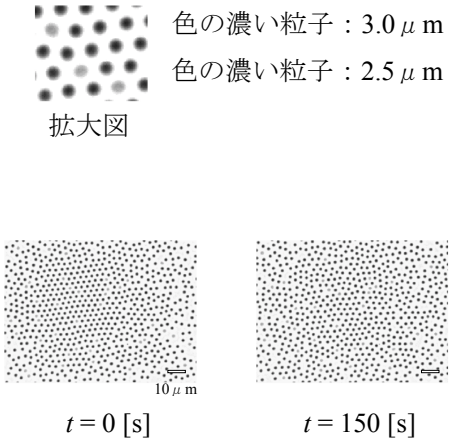


図. コロイド凝集体の融解

H-12　異方性微粒子分散系の物性 I

九大理 [A], 九大院理 [B]　野口朋寛[A], 國崎泰史 [B], 岩下靖孝 [B], 木村康之 [B]

これまで異方性微粒子（コロイド）に関する様々な研究がされてきたが、それらの多くは異方性な形状を持つ微粒子に関するものであった。他方で近年、１つの微粒子が化学的性質の異なる面をオセロの駒のように合わせ持つ Janus（ヤヌス）粒子が作成され、その特異な性質が注目されている。

本研究では、両親媒性を持つ球状 Janus 粒子の作成を試みた。具体的には、数ミクロンの球状粒子（シリカ粒子等）の半球面に数百Åの厚さで Au を蒸着し、金-チオール反応等を利用して化学処理を施した（図 1）。このように作成した粒子を極性の異なる２成分混合液体中に分散させ、作成した粒子の両親媒性を確かめた。例として、シリカ粒子の Au 蒸着面を Octadecanethiol で疎水化した Janus 粒子は、図 2 に示すように Dodecane − Ethanol 界面に吸着し界面活性を示した。詳細は当日発表する。

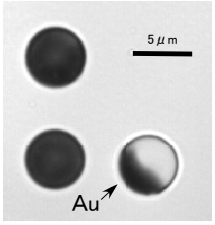


図1　半球面に金コートされたシリカ粒子

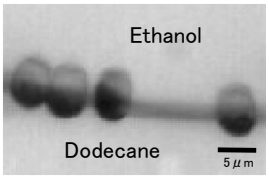


図2　Dodecane−Ethanol界面に吸着したJanus粒子

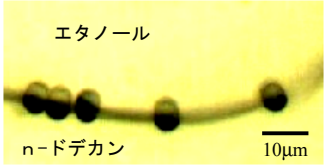
H-13　異方性微粒子分散系の物性 II

九大院理 [A], 九大理 [B]　國崎泰史[A], 野口朋寛 [B], 岩下靖孝 [A], 木村康之 [A]

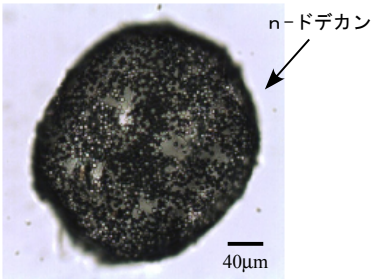
近年、異方性コロイド粒子を用いた構造形成に関する研究が盛んに行われている。これまでに、粒子の半面が各々異なる性質を持つ粒子（Janus 粒子）が鎖状構造やミセル構造などを形成することが報告されている。特に両親媒性 Janus 粒子を用いることにより、両親媒性分子のようにミセル構造やラメラ構造などを形成することが期待される。

本研究では、両親媒性 Janus 粒子を作製し（図ａ）、その構造形成を試みた。例えば、シリカ粒子の半面を疎水性にし、アルコールとアルカンの混合系に Janus 粒子を分散させると、アルコール液滴の界面に Janus 粒子が疎水性の半面をアルカン側に向けて張り付き、ミセル状の構造体を形成することがわかった（図ｂ）。

構造形成の詳細は当日報告する。



図ａ　エタノール/ｎ-ドデカン界面上のJanus粒子



図ｂ　エタノール/ｎ-ドデカン混合系中におけるミセル状の構造（黒い点がJanus粒子）

H-14　粘度-密度測定によるマロン酸エノール化の熱力学的諸性質

鹿児島大院・理工 [A]　増田将太[A], 吉本稔 [A]

1. 緒言

非線形化学振動反応である Belousov-Zhabotinsky(BZ) 反応において，臭化マロン酸は振動を開始させるために重要な物質である．この臭化マロン酸はマロン酸のエノール化を経由して生じることが明らかとなっている．このエノール化の測定はこれまで，分光学的測定によってのみ測定されている．本研究ではマロン酸のエノール化に対する速度定数を溶液粘度-密度の変化により求める手法を確立し，熱力学的な諸性質を明らかにすることを目的とした．

2. 実験

溶液の温度を 15〜35 ± 0.1 ℃に保った．まず $NaBrO_3$ と H_2SO_4 の混合溶液に系統的に濃度を変化させた KBr を付加して Br_2 を発生させ，続いてマロン酸を付加したときの溶液粘度 – 密度変化ΔF を測定した．溶液粘度-密度 ΔF は，片面封止 9MHz AT-cut(PT) 水晶振動子を用いて測定された．測定したデータはサンプリング時間 0.1s で PC に取り込んだ．

3. 結果および考察

$NaBrO_3$ と H_2SO_4 の混合溶液に KBr を加えると，臭素の発生によりΔF は急激に増加した．その後マロン酸を加えると ΔF は直線的に現象する傾向が見られた．この現象を明らかにするために，ΔF と臭素の検量線を作成し，測定した時系列に対応させた．これによりマロン酸のエノール化速度定数 k_{enol} を求めることができる. 20 ℃における k_{enol} の値は $3.0 \times 10^{-3}\mathrm{s}^{-1}$ であった. k_{enol} の温度依存性から活性化エネルギー E_{a}，ギブスの自由エネルギーΔG，エンタルピー ΔH，エントロピー ΔS を求めることができる．これらの詳細については発表において報告する．

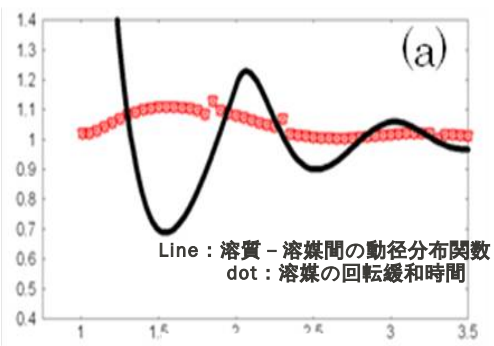
H-15　溶質の作る不均一場が溶媒の回転緩和に与える影響

九大院理 [A]　植松勇一郎[A], 吉森明 [A]

近年、誘電緩和の実験によって、バルクよりも回転緩和の速い水分子（ハイパーモバイル水）がハロゲンイオンやタンパク質 F-actin のまわりに存在することが示され、注目されている。本研究は、溶質の作る不均一場が溶媒の回転緩和に与える影響について理論的に調べ、ハイパーモバイル水の発生機構を明らかにすることを目的としている。

溶質としてイオン（直径σ）、溶媒として溶質と同じ直径σを持つ剛体球ダイポールという簡単なモデルを用い、ダイポールの回転緩和がイオンの作りだす不均一場によってどのような影響を受けるかを理論的に計算した。手法としては、密度汎関数理論をダイナミクスに拡張した動的密度汎関数理論を用いて数値計算を行った。この理論では、溶質－溶媒間の動径分布関数、溶媒－溶媒間の直接相関関数といった平衡状態の情報から、溶媒分子の配向に依存した密度場の時間変化を計算することができる。本研究では、並進緩和と回転緩和の大きさを変えることで、溶媒分子の回転緩和時間の空間分布がどのように変化するかに注目して計算を行った。

その結果、溶媒分子の回転緩和時間は並進緩和と回転緩和の大きさを変えると空間分布が大きく変化することが分かった。この結果は、ハイパーモバイル水がどこに存在するかということに対して、この大きさの比が重要であることを示唆している。



H-16　拡張したモンテカルロ法によるオピオイドペプチドの配座解析

福岡工大 A　中村秀昭A

我々は、タンパク質などの複雑なエネルギー地形を持った系で、効率的なエネルギー最適化が可能となるようなモンテカルロ法を開発してきた。今回、この拡張したモンテカルロ法を、内因性鎮痛ペプチドの１つである dynorphinA(1-17) に適用して、生理活性配座の予測や分子の折れたたみについて検討した。このペプチドのエネルギー安定配座が計算によってもれなく求められるならば、κオピオイドレセプターと結合可能な配座を予測することができる。解析の結果、図１で示すような、N 末端側の 1 位から 9 位までの残基間でβターンとαヘリックスを形成する配座が、構造活性相関の結果を最もよく説明できることがわかった。一方、拡張したモンテカルロ法では、この配座の特異的な立体構造（秩序状態）から出発して、ランダム状態に至る unfolding のシミュレーションを行うことができる（図２）。unfolding 中に採られた配座の情報は、分子の折れたたみの解析に利用できる。

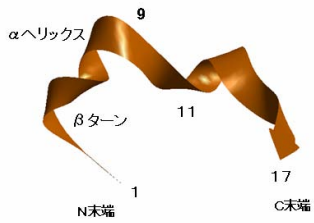


Fig1　DynA(1-17)の主鎖構造

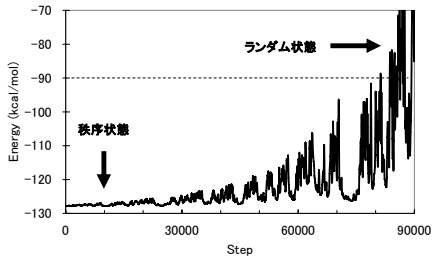


Fig2.Unfolding of DynA(1−11)

H-17　遺伝子制御の確率論的モデル

九大理 A　西野遼太A, 坂上貴洋 A, 中西秀 A

遺伝子制御システムは、主に決定論的手法 (レート方程式) で調べられてきた。しかし、mRNA や制御因子の数が少ないために揺らぎの効果が無視できないような場合は、マスター方程式やモンテカルロシミュレーションといった確率論的手法が用いられる。これら二つの手法によって得られる結果は、関係するタンパク質の数が大きければ一致すると期待されている。今回、Francois らによって提案された MFL(Mixed Feedback Loop) モデル [1] を用いて、揺らぎが遺伝子制御に与える影響について調べた。

MFL モデルには、決定論的手法、すなわちレート方程式に基づく数値シミュレーションによって単安定、双安定、振動の 3 つの状態が存在することが知られている。そのうち特に振動状態において、確率的シミュレーションを行った結果、タンパク質の数が大きい場合でも、振動状態では決定論的手法の結果と一致せず、振動周期に広い分布がある場合があることがわかった。

[1]P. Francois and V. Hakim, Phys. Rev. E. 72,031908 (2005)

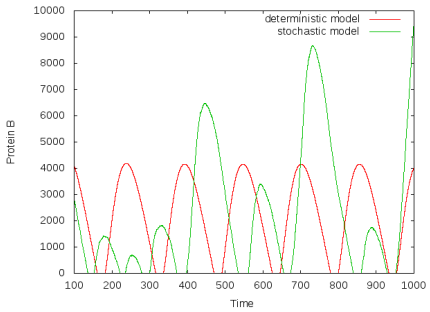


図:タンパク質の時間変化
赤線は決定論的手法、緑線は確率論的手法によるシミュレーション結果

H-18　1 変数位相モデルによる概日リズムの日照応答

九大理 [A], お茶大 [B]　森本圭一[A], 坂上貴洋 [A], 中西秀 [A], 郡宏 [B]

ほぼすべての生物は概日リズムと呼ばれるおおよそ 24 時間の生活リズムを保有しており，このリズムは太陽光の様な周期外力に引き込まれて精確に 24 時間周期となる．我々はこの引き込み現象を 1 変数位相モデルを用いて調べ，その結果をアカパンカビの 3 変数モデル [1] の振る舞いと比較した．

1 変数位相モデルは

$$\frac{d\phi}{dt} = \omega + \varepsilon Z(\phi) f(t)$$

で記述される．ϕ は位相，ω は固有振動数，ε は外力（日照）強度，$Z(\phi)$ は位相応答曲線，$f(t)$ は 24h 周期の周期外力のオンオフ（日照時に $f(t) = 1$，暗闇時に $f(t) = 0$）を表す関数である．$Z(\phi) = \sin\phi$ の場合について，日照強度 ε および明暗比 Light:Dark を変化させ（Light+Dark=24h），引き込みが起きるパラメタ領域を調べた．その結果，固有周期 τ について（$\tau \equiv 2\pi/\omega$），$\tau \leq 24h$ では長日長領域（LightTime>12h の領域）でも引き込みが起きているが，$\tau \geq 24h$ では τ が大きくなるにつれて長日長領域で引き込みが起こらなくなることが確認された．

これに対しアカパンカビの 3 変数モデルでは，1 変数位相モデル同様に $\tau \geq 24h$ についての長日長領域での引き込みが，τ の増加に伴って起こらなくなることが確認された．しかし，強日照領域での引き込みは起こらなくなり，さらに引き込み領域が離散的になっている部分が確認された．

今後，3 変数モデルの位相応答曲線 $Z(\phi)$ を導出し，その $Z(\phi)$ を 1 変数モデルに適用することで 3 変数モデルの振る舞いをどの程度再現できるかを調べる予定である．

[1]G. Kurosawa, A. Goldbeter, *J. Theor. Biol.*, **242**(2006)478.