

---

# 会場 C

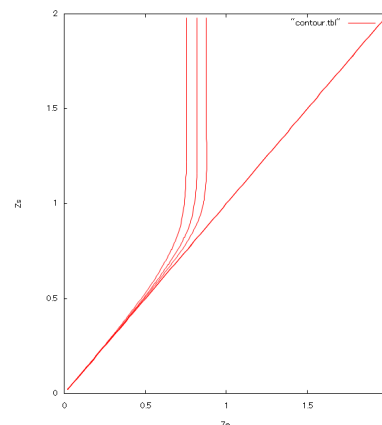
## 領域 1, 2, 11, 12

---

### C-1 Super-decelerating Model による Dark Energy の制限

熊本大学 自然科学研究科 <sup>A</sup> 蓮尾陽<sup>A</sup>, 高橋慶太郎 <sup>A</sup>

現在の標準宇宙モデルに含まれる宇宙定数に関して、微調整問題と一致問題という大きな問題がある。ある種のスカラー場を含むモデルを考えれば、過去に何度も加速膨張が起こり、それらの問題点を解決することが可能である。今回そのようなモデルを観測的に検証するため、現在の加速膨張の一つ前の加速膨張をシンプルにモデル化し、観測データからモデルに対して制限を行った。発表では、その結果と今後の GRB 観測の発展により、どの程度制限が見込まれるかを述べる。



## C-2 冷却原子系とくりこみ群

九大理<sup>A</sup>, 佐賀大 SL セ<sup>B</sup> 吉本一世<sup>A</sup>, 原田恒司<sup>A</sup>, 久保博史<sup>B</sup>

Wilson 流のくりこみ群を用いて, dimeron 場を用いない非相対論的な3体系のくりこみ群方程式を導いた.

非相対論的な3体系の特徴的な効果として, 2体間の相互作用が tune されている時に生じる Efimov 効果があげられる. Efimov 効果とは, 3体の無限の束縛状態が, 相互作用の詳細に関わらず, 一定のエネルギー比で存在する状態であり, 今や, Feshbach 共鳴を用いた冷却原子系において観測されるものとなった.

Efimov 効果の離散的な対称性 (=一定のエネルギー比) を反映して, 周期的な振る舞い (limit cycle) をするなど, 非相対論的なくりこみ群方程式は, 相対論のそれにはない, 理論的に面白い性質を示す. また, くりこみ群の流れ図を用いることで, Efimov 効果のみならず, その理論空間によって実現し得る他の状態についての情報を得ることが出来るため, 冷却原子系の実験にそれらの指標を与える事が出来ると考えられる.

この研究は, 原田恒司 氏, 久保博文 氏との共同研究であり, arXiv:1208.0719 に基づく.

## C-3 量子ウォークの位相シフトによる制御

佐賀大学大学院工学系研究科物理科学専攻<sup>A</sup> 大島洋平<sup>A</sup>, 坂井大地<sup>A</sup>, 村中良<sup>A</sup>, 豊島耕一<sup>A</sup>, 平良豊<sup>A</sup>, 遠藤隆<sup>A</sup>

1次元空間に一定間隔  $\Delta x$  からなる系を考え, 隣り合う格子点間のみが結合しているとする. 時刻  $t = 0$  において原点に置かれた1つの粒子の確率分布は, 時間に比例し左右に拡散する. これを量子ウォークと呼ぶ. 我々はこれ以外の様々な初期状態に対し, 数値解析によってシミュレーションをおこなった.

シミュレーションの結果, 一定の幅をもつ初期状態の場合では左右に広がる解ではなく, 1つの大きな波束が一定の速度で運動する解が得られた. これは初期状態の各点から広がった解が干渉した結果であり, 量子ウォークが位相に対して敏感に変化することを示している.

ここで, 自由発展する量子ウォークに位相をシフトさせるパルスを加えることで, 量子ウォークが時間を遡るような運動をすると予想されたので, これを数値計算によって

確認した. また複数回パルスをかけても同様の現象を起こせることを確認した. さらにシミュレーションにより, 量子ウォークに一定の傾きのポテンシャルを加えることでブロッホ振動が起こることがわかった. (図1)

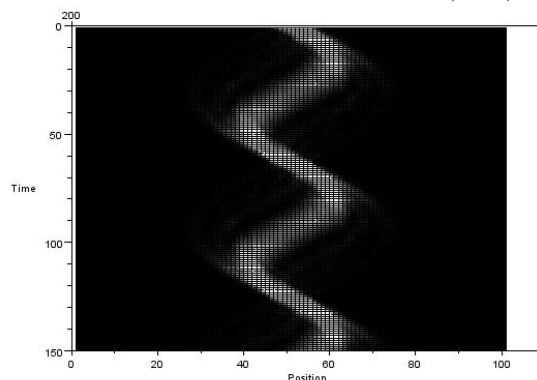


図1

## C-4 磁気リコネクションの縦磁場の影響について数値計算

熊本大学自然科学研究科<sup>A</sup> 瀬尾崇之<sup>A</sup>, 小出真路<sup>A</sup>

太陽表面や回転するブラックホールの周りでは、ほぼ反平行な磁場の下で磁気リコネクションが発生し、フレアやジェットを形成する。従来の数値計算では、ほとんどが完全反平行となる磁場を想定した磁気リコネクションの計算で行われてきたが、実際の磁力線は反平行磁場を垂直に貫く縦磁場（ $z$ 方向の磁場）を含み、ねじれの位置となるはずである。今回、非相対論的なMHDの数値計算コードを用いて、この縦磁場が磁気リコネクションにどのような影響を与えるかについて調べた。更に、これまで厳密に議論されて来なかった縦磁場の影響の物理的な原因について、非圧縮性流体と圧縮性流体での比較などを用いて、その基本的な物理構造についての詳細を述べる。

## C-5 ボース・アインシュタイン凝縮系における量子渦格子の融解

九州大学大学院量子プロセス理工学府<sup>A</sup> 喜多健二<sup>A</sup>, 坂口英継<sup>A</sup>

液体ヘリウムやアルカリ金属の原子気体を極低温まで冷やすとボース・アインシュタイン凝縮と呼ばれるほとんどの粒子が基底状態を占める状態へと転移する。ボース・アインシュタイン凝縮体を閉じ込めポテンシャルで円形にトラップし回転させると、量子化された循環を持つ量子渦が発生し、系のエネルギーが最小となる安定配置において渦は三角格子状に分布する。本研究では渦の位置を安定配置から少しずつずらすことでエネルギーを上げ、渦が融解に至るまでのダイナミクスを研究する。今回の研究において初期条件とした安定配置を図1、渦格子が崩れ融解状態となったものを図2に示す。

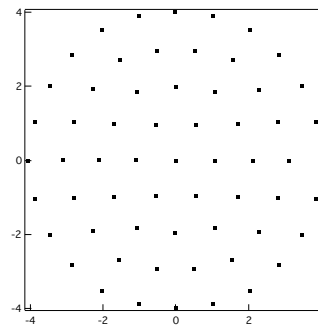


図1. 安定配置

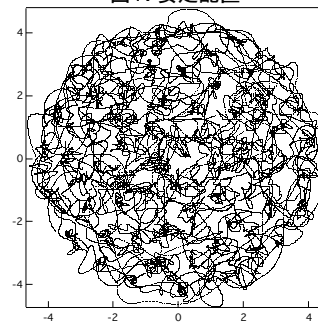


図2. 液体状態の渦集団

## C-6 電子メール送信需要におけるベキ則ゆらぎ分析

佐賀大学 総合情報基盤センター<sup>A</sup> 松原義継<sup>A</sup>, 日永田泰啓<sup>A</sup>, 只木進一<sup>A</sup>

インターネット上のパケット流量には、 $1/f$ ゆらぎを代表とするベキ則ゆらぎが観測されている。中には、数ヶ月スケールでのベキ則ゆらぎも報告されている。

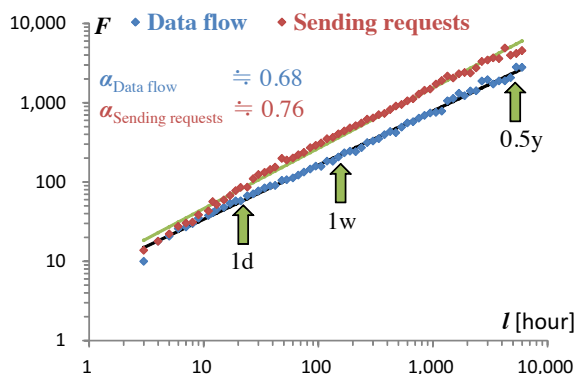
現在、我々は各種ネットワークサービスの中でもメジャーな電子メールサービスについて、その送信需要でのベキ則ゆらぎを調査している。自組織内部での電子メール送信記録3年間分を用いて、送信需要でのベキ則ゆらぎを分析した。

分析ツールとしてパワースペクトルおよび非定常時系列にも対応可能な Detrended Fluctuation Analysis (DFA) を用いた。

分析した結果、電子メールの送信行為からもベキ則ゆらぎが現れること、および電子メール

サイズのゆらぎはデータ量のベキ則ゆらぎを無相関に近づけることが分かった。

今回、その分析について報告する。



## C-7 自己無撞着非局所励起理論に基づく銅酸化物超伝導体の励起スペクトルと $1/8$ 不安定性

琉球大理<sup>A</sup>, 琉球大院理工<sup>B</sup> 梯 祥郎<sup>A</sup>, A. R. Patoary<sup>B</sup>, S. Chandra<sup>B</sup>

準二次元銅酸化物系の特異な物性を特徴づける低エネルギー励起の研究は、これまでモンテカルロ法や厳密対角化の方法、動的クラスター理論などの多くの方法を用いて行われてきたが、長距離非局所相関が取り入れられていない事、励起スペクトルにおける運動量・エネルギーの解像度に限界がある事などのために、スペクトルのより詳細な構造を議論することが困難であり、新しい理論的方法の開発が重要になってきている。本講演では、我々が最近発展させた自己無撞着射影演算子法を2次元ハバードモデルに適用した結果について報告する。この方法では、リュービル演算子を用いた遅延グリーン関数から出発して、非対角有効媒質を導入したクラスター増加展開法を用いて無限まで遠くの非対角自己エネルギーを取り入れる。その結果、上述した長距離電子相関を取り入れると同時に、運動量・エネルギー解像度の問題も解消される。2次元正方格子ハバードモデルについて数値計算を行った結果、励起スペクトルの形状やフェルミ面は最近の動的クラスター理論の結果と良く一致する。さらに、長距離非局所相関のために、モット・ハバードバンドの分裂が大きくなり、反強磁性相関によるシャドーバンドが現れることが分かった。また、長距離電子相関によって、ファン・ホープ異常をもつ状態密度のピークがドーピング濃度0.123付近に現れることを見出した。これは実験で見出されている  $1/8$  不安定点と一致し、これらが密接に関連していることを示している。

## C-8 Theory of Momentum Dependent Local-Ansatz Approach from Weak to Strong Electron Correlations

琉球大院理工<sup>A</sup>, 琉球大理<sup>B</sup> M. Atiqur R. Patoary<sup>A</sup>, 梯 祥郎<sup>B</sup>

Momentum dependent local-ansatz (MLA) wavefunction [1, 2] which we have developed quite recently describes accurately electron correlations from the weak to intermediate Coulomb interaction (U) regimes. The theory, however, did not work best in the strong U regime. To overcome the difficulty, we propose here a new MLA wavefunction which start a hybrid wavefunction. The latter can vary via a new variational parameter  $w$  from the Hartree-Fock (HF) wavefunction ( $w=0$ ) suitable for the weak interaction regime to the alloy-analogy (AA) wavefunction ( $w=1$ ) suitable in the strong interaction regime. Numerical results based on the half-filled band Hubbard model on the hypercubic lattice in infinite dimensions show up that the new wavefunction yields the ground-state energy lower than the Gutzwiller wavefunction (GW) in the whole Coulomb interaction regime. Calculated double occupation number is smaller than the result of the GW in the metallic regime, and is finite in the insulator regime. Furthermore, the momentum distribution shows a distinct momentum-dependence in the metallic region and a non Fermi liquid behavior in the insulator region, which are qualitatively different from those of the GW.

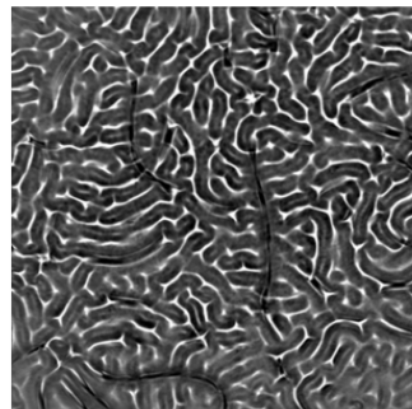
[1] Y. Kakehashi et. al.: J. Phys. Soc. Jpn. 77, 114702 (2008). [2] M. A. R. Patoary and Y. Kakehashi: J. Phys. Soc. Jpn. 80, 114708 (2011).

## C-9 ソフトモード乱流の非熱的 Brown 運動における二つのモード

九大工<sup>A</sup> 村本尚之<sup>A</sup>, 鈴木将<sup>A</sup>, 日高芳樹<sup>A</sup>, 鳴海孝之<sup>A</sup>, 甲斐昌一<sup>A</sup>

ソフトモード乱流 (SMT) とは液晶電気対流系で見られる時空カオスの一つで、対流ロールの方向がほぼそろった領域が集まったパッチ構造を持っている。SMT 中に微粒子を混入すると、その揺動によって駆動され拡散していくが、このような時空カオスによる拡散現象を非熱的ブラウン運動と呼んでいる。非熱的ブラウン運動では非熱的な揺動で微粒子が駆動するため、一般のブラウン運動とは特徴の異なる拡散現象が現れる。本研究では非熱的ブラウン運動の詳細な観察を通じて、SMT における揺らぎの統計的性質を明らかにすることを目的としている。今回、詳細な観察を行った結果、非熱的ブラウン運動には異なった動き方をする二つのモードが存在することが明らかになった。この異なる動きには SMT のロールとパッチの階層構造が反映されていると考えられる。また今回は重さの異なる微粒子を用いた実験も行った。粒子が重くなると対流ロールへ乗りにくくなると考えられるため、モードの現

れ方にも変化があると予想される。今回の講演では以上の実験の結果と、それぞれのモードについて相関関数や拡散係数などを用いて考察を行った結果について発表する予定である。



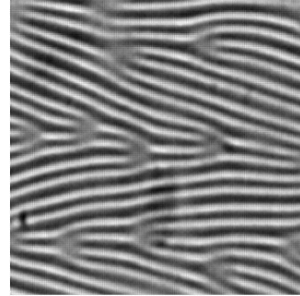
ソフトモード乱流の対流パターン  
(オブリク・ロール領域)

## C-10 ソフトモード乱流の磁場応答

九大工<sup>A</sup>, Gadjah Mada 大<sup>B</sup> 飯野美里<sup>A</sup>, Fahrudin Nugroho<sup>B</sup>, 日高芳樹<sup>A</sup>, 甲斐昌一<sup>A</sup>

液晶電気対流で発生するソフトモード乱流 (SMT) は、局所的な対流ロールの波数ベクトルである  $q$  と南部-ゴールドストーンモードとしてふるまう液晶配向ベクトルである  $C$  とが相互作用することで発生する時空カオスである。SMT に磁場を与えると、 $C$  は磁場方向に平行 (または反平行) になり、相互作用は抑えられ、パターンは秩序化される。この秩序化は、2次元 XY モデルの磁化を元に導入した、パターン秩序度  $M_p$  によって定量化することができる。本研究は、外場 (磁場) に対する系の応答について、 $M_p$  を用いて評価し、SMT の時空カオスの性質を調べることを目的とする。一方で、SMT には、2種類のパターン (オブリクロール (OR) とノーマルロール (NR)) が存在し、 $q$

と  $C$  の相互作用の仕方が違うため、異なった性質の時空カオスを生じる。そのため OR 領域と NR 領域に分けて研究を行う必要があるが、これまでに OR 領域の研究のみ行われている。従って、本研究では特に NR 領域に着目する。



ソフトモード乱流の対流パターン (ノーマルロール領域)

## C-11 液晶電気対流中の粒子の運動

九大理<sup>A</sup>, 九大院理<sup>B</sup> 高橋健太郎<sup>A</sup>, 岩下靖孝<sup>B</sup>, 木村康之<sup>B</sup>

負の誘電異方性を持つ液晶に交流電圧を印加すると、ある閾値で電気対流が発生し、電圧、交流周波数に応じて様々な対流パターンが現れることが知られている。近年、非熱的に駆動された微小粒子の運動に関する研究が進んでおり、本研究では電気対流中における粒子の運動に注目した。

実験は、一様にプレーナー配向したネマチック液晶中にシリカ粒子を分散させ、対流を起こした状態で粒子の運動を追跡した。図 1 は 50Hz の交流電圧下で閾値を超えて、初めに現れるロールパターンである。このロール対流中の粒子の軌跡は図 2 のようになり、1つのロールにある時間トラップされた後、別のロールに飛び移る様子が見られた。粒子の運動の印加電圧依存性等の詳細は当日発表する。

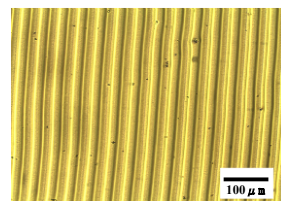


図 1 ロールパターンの偏光顕微鏡写真。

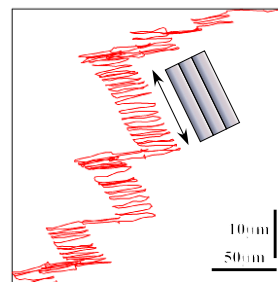


図 2 対流中の粒子の軌跡の例。矢印はロールの軸方向。

## C-12 原田佐々公式が成り立つ時間領域の拡張

九州大学理学府<sup>A</sup> 山田一雄<sup>A</sup>, 吉森明<sup>A</sup>

[目的]

Harada-Sasa 公式は非平衡定常状態にある系の散逸率と揺動散逸関係の破れを結びつける。

$$J = \gamma \lim_{t \rightarrow +0} [C(t) - k_B T R(t)] \quad (1)$$

$C(t)$  は速度の時間相関関数、 $R(t)$  は速度の応答関数であり、 $\gamma$  は粘性抵抗を表わす。この公式は overdamped モデルと underdamped モデルと呼ばれる 2 つのランジュバン系についてそれぞれ独立に導出されている。一方で、overdamped モデルは underdamped モデルの慣性項を無視するという近似を行うことで得られることが知られており、この 2 つのモデルは独立ではない。そこで我々は、両者について統一的に Harada-Sasa 公式を導出することを目的とする。

[手法]

上で述べた慣性項を無視するという近似は、速度の拡散する時間スケールと位置の拡散する時間スケールが分離することと等価である。時定数の分離パラメータ  $\epsilon = \frac{m}{\gamma}$  について揺動散逸関係の破れを展開することで、我々は次の結果を得た。

[結果] 原田佐々公式は位置の時間スケール  $\tau = 0$ 、任意の速度の時間スケール  $t$  で成り立つ。

$$J = \gamma \lim_{\tau \rightarrow 0} [C(t, \tau) - k_B T R(t, \tau)] \quad (2)$$

上式は  $t=0$  の時 under-damped モデルでの Harada-Sasa 公式となり、 $t \rightarrow \infty$  の極限で over-damped モデルでの Harada-Sasa 公式となるので、統一的な導出ができた。 $t = 0$  と  $t \rightarrow \infty$  の間の領域で成り立つこともわかった。

## C-13 電力網の位相モデルにおけるカスケード故障

九州大学 総合理工学府<sup>A</sup> 松尾龍磨<sup>A</sup>, 坂口英継<sup>A</sup>

計算機シミュレーションにより、電力ネットワークを単純化した位相モデルを用い、電力不足による故障が連鎖して大規模停電に至るカスケード故障のダイナミクスを研究する。発電機と負荷が接続された電力網の位相モデルを考える。発電機の位相  $\Phi_i$  は、

$$d^2 \Phi_i / dt^2 = -D \omega_i + T_i -$$

$$P_i - E_i \sum E_{ij} Y_{ij} \sin(\Phi_i - \Phi_j)$$

式に従う。通常運転時は発電機に負荷がかかるとトルクを増大させて出力周波数を維持する。発電機のトルクが限界値を超えると一定の周波数を維持できなくなり発電機が停止すると仮定する。一方負荷の位相と電圧  $E$  を決めるもう一組の式がある。消費電力が十分に小さい時は  $E$  に安定解と不安定解が存在するが、消費電力が臨界値を超えた場合解が存在しなくなり、電圧崩壊が起こる。電圧崩壊が起こると負荷への電力供給がなくなり停電する。モデルを図 1、結果を図 2 に示す。

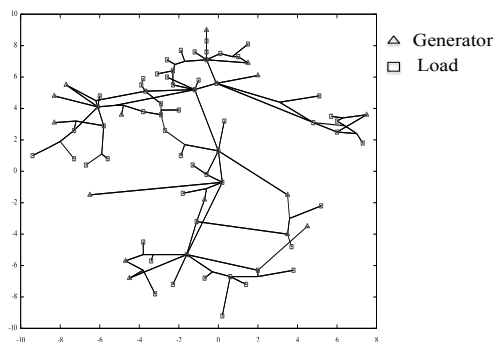


図1.電力ネットワークモデル

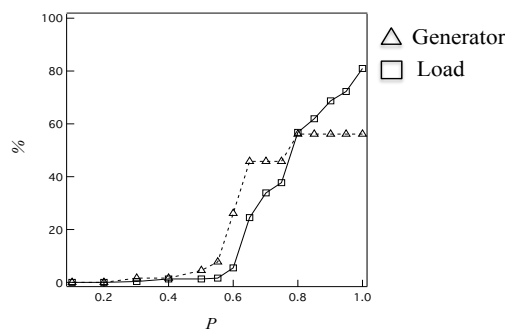


図2.消費電力と停電率、ステップアウト率の関係

## C-14 水の密度が4°Cで最大となる謎を解明する熱力学的理論と実験データを再現する粒子間相互作用

琉球大学理学部<sup>A</sup> 安富允<sup>A</sup>

水の密度が4°Cで最大となる謎を解明するために、何百年にも渡って大勢の科学者が絶えざる努力を捧げ、膨大な量の論文が出版されてきた。それにもかかわらず、未だにその機構は明らかにされていない。本研究では、熱力学と統計力学の法則にもとづいたSCOZA法を用いて、実験データをよく再現する水分子間相互作用を求め、それを使って水の負の熱膨張の熱力学的機構を明らかにする。今回、我々が理論的に求めた一気圧のもとにおける密度温度曲線は、温度が-30°C以下では実験データとの一致は良くないが、-20°Cから100°Cまでの範囲では両者間のずれの最大値は0.0006 g/ccであり、従来どの水モデルよりも遥かに高い精度で実験結果を再現している。このような、水の不思議な振る舞いは、excess internal energyの熱的振る舞いによって引き起こされるものであることを明らかにする。これによって、これまでに提唱されてきた諸説は、現象の本質を捉えていないことが明らかとなる。例えば、折り畳み式傘が閉じて小さくなったり、開いて大きくなったりするのは骨組みが曲がったり伸びたりするからであると説明するのは、間違いではないが、物事の本質を捉えた説明にはなっていない(従来説)。骨組みの根元を人間の手で引いたり押ししたりすることによって、骨組みが曲がったり伸びたりして、閉じて小さくなったり、開いて大きくなったりするのであると説明すべきである(我々の説)。この人間の手に相当するものが何であるかについて本講演で説明する。我々が発見した機構によって負の熱膨張が生じた結果、それに伴って、水素結合が生まれて水分子間にネットワークが形成されたり、液液転移が起きたり、高密度層と低密度層の二層に分離したりするのであると考えた方が良さそうであることについて論じる。

## C-15 応力下の多成分リポソームの相分離

九大理<sup>A</sup>, 九大院理<sup>B</sup> 祐下岳志<sup>A</sup>, 木村康之<sup>B</sup>, 柳澤実穂<sup>B</sup>

生物の細胞膜の基本構造は、リン脂質の二分子膜で形成されている。多成分リポソームの相分離でみられるマイクロドメインが生体中の脂質ラフトと関連があると考えられ、近年、相分離リポソームの研究が盛んに行われている。

本実験では、DPPC, DOPC, コレステロールからなるリポソーム内にシリカ粒子を封入し、それを光ピンセットで引っ張ることで内側から応力を与えた。応力がない場合、マイクロドメインが形成された後、それらが融合し大きなドメインが作られる。(図A→C)しかし、応力を加えた場合、曲率が大きくなった場所に自発的にドメインが集まり融合し、大きなドメインが形成された。(図D→F)これより、膜の変形とドメイン形成とが関連することが示唆される。

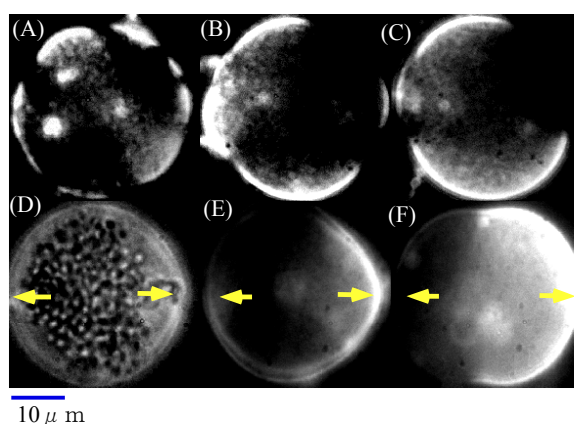


図 応力なし(A, B, C)と応力あり(D, E, F)の場合のリポソームの相分離の蛍光顕微鏡像  
白いドメインはDPPCリッチ相  
応力は矢印方向



## C-16 ミクロ液滴内での水性二相分離とゲル化によるパターン形成

九大院理<sup>A</sup> 柳澤実穂<sup>A</sup>, 濁川慎平<sup>A</sup>, 鴫田昌之<sup>A</sup>

細胞は、多様な生体高分子を内包しており、それらを機能発現に適した空間配置となるように時空間制御しているが、その制御機構は未解明である。そこで本研究では、その制御機構を理解するために、脂質膜に覆われた細胞モデルを用いて、ポリエチレングリコール (PEG) とゼラチンの混合水溶液を内包する実験を行った。この PEG-ゼラチン-水系は、温度低下に伴って (PEG 相とゼラチン相への) 液-液二相分離とゼラチンのゲル化という 2 つの転移現象を示す。相分離点とゲル化点の大小関係は組成に依存するが、今回はゲル化点よりも相分離点が上となる条件で実験を行った。ゲル化点以上の相分離後期過程では、小さなゼラチン相の相分離ドメインが互いに衝突合体して成長する。一般に、衝突合体によるドメインサイズの成長則は、時間の  $1/3$  乗に従うことが知られている。そこで、ゼラチンドメインの直径  $d$  は冪乗則:  $t^a$  ( $t$ : 時間,  $a$ : 定数) に従うと仮定して解析したところ、モデル細胞の直径  $D$  が  $100\mu\text{m}$  以上では  $1/3$  の冪乗則に従うことが明らかとなった。一方、 $D$  が  $50\mu\text{m}$  以下では、冪  $a$  が 1 程度まで増加するようすが観測された。これは、電解質であるゼラチン相の脂質膜への濡れが影響したと予想される。また、相分離後に 1 つ大きなゼラチンドメインを持つモデル細胞に対して温度を下げ、ゲル化に伴う変化を解析した。その結果、モデル細胞の直径  $D$  が約  $50\mu\text{m}$  以下の場合でのみ、相分離界面を小さくするようにモデル細胞が変形することがわかった。モデル細胞が大きい場合では、ゼラチンゲルの弾性が相分離の界面張力に打ち勝つために変形は起こらないと考えられる。また、相分離の途中でゲル化をさせることによって、モデル細胞界面との相互作用もカップルした様々なマイクロゲル・パターンが観察されたので、それについても紹介したい。

## C-17 フィードバック増強 active/passive マイクロレオロジーによる細胞骨格の力学計測

九州大学大学院理学研究科<sup>A</sup> MarcelBremerich<sup>A</sup>, 有松寛<sup>A</sup>, 水野大介<sup>A</sup>

生きている細胞内部ではモーターたんぱく質により生成された揺動力が絶えず散逸しており、こうした非平衡システムの挙動を明らかにするためにはマイクロレオロジーにより揺らぎと応答の両方を同時に測定することが有用である。そのためには細胞に貪食させたコロイド粒子を安定的に光トラップする必要があるが、強い非熱的な力により細胞内部のコロイド粒子は容易にレーザーの焦点を外れてしまうことが問題であった。本研究では、細胞内部の揺らぎ応答を測定するために PID コントローラーを用いたフィードバックシステムを導入した。粒子の変位を 4 分割フォトダイオードで計測し、3 D-piezo ステージの挙動との二つの出力の信号により粒子の軌跡を完全にかつ安定的に把握できる。今回の手法を用いて揺動散逸定理の破れとして非平衡度を定量検出する。

## C-18 広帯域マイクロレオロジーにより観測される細胞骨格の非線形かつ異方的かつ非アファインな力学応答

九州大学物理学科<sup>A</sup>, Leeds 大学物理学科<sup>B</sup> 水野大介<sup>A</sup>, David Head<sup>B</sup>

真核生物の細胞内部には細胞骨格と呼ばれる繊維状のタンパク質重合体からなるネットワークが張り巡らされている。この細胞骨格は、外部環境から加えられた力、あるいは内部で自発的に生じた力を受け止めて、さらには別の場所 (例えば細胞膜上の力学受容体) に伝播させることで、細胞や器官の様々な振る舞いに影響を与える。細胞内部における力学刺激と、それに対する生理的応答は共にミクロなスケールで進行するために、そのメカニズムを理解するには微視的な応力の存在下における細胞骨格の微視的な力学応答を調べる必要がある。そこで本研究では、中間径フィラメントであるビメンチンゲルの内部に分散させた直径2ミクロンのコロイド粒子を光トラップし、微視的な空間スケールの力の単極子を生成させた。そこから数ミクロン離れた場所に存在するコロイド粒子の熱揺らぎを観測することで (マイクロレオロジー)、周辺のビメンチンゲルの力学特性を求めた。その結果細胞骨格ゲルの力学応答は加えられた力に依存して大きく変化し (非線形硬化現象)、これによりシステムの対称性が破れて異方的な特性を示すことが分かった。我々は、得られた実験結果は空間スケールによらない変形 (affine 変形) を仮定した力学モデルでは全く理解することができないことを示す。構成高分子の持続長が架橋点間距離よりも長い細胞骨格においては、巨視的なスケールの変形と架橋点間距離程度の変形が異なること (非-affine) は、十分にあり得ることである。当日は、ミクロな空間スケールにおける非-affine な変形を考慮することで、実験結果を説明する理論モデルについて議論したい。

## C-19 Athermal Fluctuations of Different Probe Sizes in Active Cytoskeletal Networks

2Rudolf Peierls Center for Theoretical P<sup>A</sup>, 1Department of Physics, Kyushu University<sup>B</sup> Heev Ayade<sup>B</sup>, Irwin Zaid<sup>A</sup>, 山本匠<sup>B</sup>, 豊田聖啓<sup>B</sup>, Peijuan Zhang<sup>B</sup>, Julia Yeomans<sup>A</sup>, 水野大介<sup>B</sup>

A reconstituted active cytoskeletal networks consisting of an actin filament network coupled to myosins (motor proteins) have been shown to display rich in dynamical and mechanical behaviors that is often in contrast to passive, equilibrium system. The motor proteins, which spontaneously generate forces, kept the active cytoskeletal network out of equilibrium. The athermal fluctuations observed in the network are linked to the active force generation by motor proteins which give more relevant information including the interaction with the surrounding materials. In prior studies, only the second moment of the athermal fluctuations has been investigated. A priori, we cannot expect Gaussian statistics in nonequilibrium systems. Indeed, the full displacement distribution of the athermal fluctuations in active cytoskeleton recently probed using video microrheology is found to be far from Gauss. In this study, we investigated the nonequilibrium statistics and dynamics of the active network by analyzing the athermal fluctuations of different probe sizes embedded in the same active system. The model developed here is based on truncated Levy statistics which is generally observed for the force generators whose impacts decays as  $1/r^2$ . It was found that the truncation of Levy becomes less and power-law tail is enhanced as the probe particle gets smaller.

## C-20 シャペロニンの中央になぜ蛋白質が入るのか

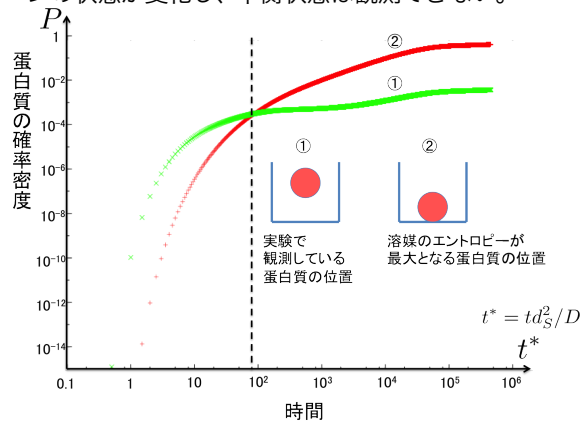
九大院理<sup>A</sup>, 神戸大理<sup>B</sup>, 京都大エネ理工<sup>C</sup> 原諒平<sup>A</sup>, 天野健一<sup>B</sup>, 木下正弘<sup>C</sup>, 吉森明<sup>A</sup>

シャペロニンはシリンダー状のカゴのような構造をしており、シャペロニンの中に入った変性状態の蛋白質がフォールディングするのを助ける。蛋白質がカゴの中に入る理由として、天野、木下は溶媒のエントロピーに着目した。しかし、エントロピー最大の蛋白質の位置は蛋白質がカゴの底にあるときだが、実験では蛋白質が中央にあり、結果が一致しない。蛋白質のダイナミクスを明らかにすることでこの矛盾を解明する。

蛋白質の確率密度の時間発展をフォッカー-プランク方程式で数値計算した。溶媒の効果は平均力ポテンシャルで考慮し、平均力ポテンシャルは液体の平衡統計力学の理論を用いて計算した。

確率密度の時間分布の結果から蛋白質は一度カゴの中央に留まる。その後、エントロピー

最大の蛋白質の位置まで到達することがわかった。ゆえに、実験で測定しているのは蛋白質が中央に留まっている非平衡状態であり、エントロピー最大の位置に到達する前にシャペロニンの状態が変化し、平衡状態は観測できない。



## C-21 数理モデルによるマイクロレオロジーの研究

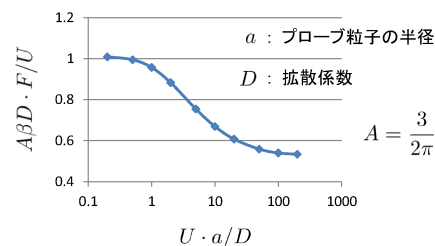
九大院理<sup>A</sup> 井上雅郎<sup>A</sup>, 吉森明<sup>A</sup>

[目的] マイクロレオロジーの目的は、複雑流体の内部に入れたプローブ粒子の運動から、複雑流体の力学的性質を決定することである。そのためには、複雑流体の微視的な状態とプローブ粒子の運動との関係を明らかにする必要がある。そこで、コロイド溶液に対応する簡単な系において、この関係の解明を目指す。具体的には、コロイド溶液中を一定速度で動くプローブ粒子に働く力と、その周りのコロイド粒子の分布を計算する手法を開発する。

[方法] 円柱座標系において、回転軸対称な形状のプローブ粒子の周りにコロイド粒子が分散している状況を考える。簡単のために、全ての粒子を剛体と見なし、コロイド粒子間の相互作用と溶媒による流体力学的な相互作用は無視する。この時、プローブ粒子を回転軸方向に一定の速さ  $U$  で動かすと、周りのコロイド粒子の分布は移流拡散方程式に従って変化する。この方程式を数値的に解くことで、コロイド粒子の分布が把握できる。

[結果] 広い範囲の  $U$  の値について、移流拡散方程式を解いて得られたコロイド粒子の分布から、定常状態においてプローブ粒子に働く力  $F$  を求めた。下の図は球形のプローブ粒子についての結果である。グラフから、 $U$  が大きい領域では、 $U$  に対する  $F$  の応答が小さくなることが分かる。この結果は、Squires らが近似的に導いた結果<sup>[1]</sup>と良く一致する。

[1] T. M. Squires, J. F. Brady, Phys. Fluids 17, 073101 (2005)



図：プローブ粒子の動く速さ  $U$  に対する力  $F$  の応答  $F/U$  の計算結果 ( $U \rightarrow 0$  で 1 になるように規格化)