

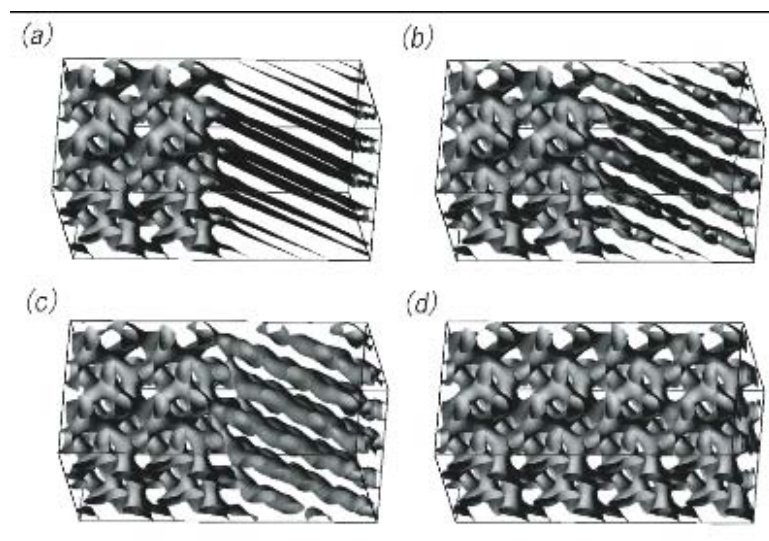
ソフトマターにおける構造と輸送の動的結合

京都大学大学院理学研究科・教授 太田 隆夫

ソフトマターは内部自由度の運動や輸送によって階層構造を発現するところに最大の特徴がある。本研究課題では、この“運動”と“構造”の動的な結合のメカニズムを、理論・実験の両面から明らかにすることを目的とする。理論的には外場による構造のトポロジー変化を伴う非線形な応答理論を発展させる。同時にその計算機シミュレーションを行い構造変化のキネティクスを調べる。実験的には個別の内部自由度の“運動”を選択的に励起可能な、特定の光・電磁場などの外場を用いる。また、時空間依存の外場(特定の時空間スペクトルを持つ場)を印加することにより、選ばれた自由度のみを選択的に操作し、この外場下における時空間応答を、別の時空間プローブを用いて検出し、運動と構造の動的な結合の本質を明らかにする。

1. メゾスコピック構造形成とダイナミクス

高分子共重合体の構造間転移を発展方程式から導いた振幅方程式により調べてきた。たとえば、構造転移の途中で出現する穴あきラメラ構造の安定性について振幅方程式で解析し、準安定状態であることを確認した。さらに、元の発展方程式を空間3次元で高速に解くプログラムを組み、それを用いたラメラ相からダブルジャイロイド相やFddd相からラメラ相への転移のシミュレーションを行った。このプログラムでは構造の発展と同時にシステムサイズも変えることができるため、構造周期の異なるジャイロイド構造と他の構造間の転移も容易に扱うことができる。また、ラメラ相とダブルジャイロイド相が界面を接して共存しているとき、その界面の構造や界面の運動を数値的に調べ、実験と比較検討を始めている。数値シミュレーションでない成果としてはジャイロイド構造の弾性理論を進展させた。下の図はジャイロイド相がラメラ相を浸食する過程でのその境界面の運動(時間発展は a) から d) に進む)を調べた計算機シミュレーション結果である (K. Yamada and T. Ohta, unpublished)。



2. 高分子安定化ブルー相のダイナミクス

ブルー相とは等方相とコレステリック相の間に約1K という狭い温度領域で現れる液晶相であり、二重ねじれシリンダーがディスクリネーションラインを介して規則的に配列した秩序構造を持つ。近年ブルー相のディスクリネーションラインを高分子により固定化することでブルー相の発現領域を100K以上に広げることが可能となり、これを高分子安定化ブルー相と呼ぶ。系全体を高分子化する場合と異なり、安定化後も電場応答が保たれるという点が重要である。[1] 本研究では高分子安定化前後でのブルー相及びコレステリック相を動的光散乱を用いて測定した。

液晶のみのサンプルにおいて、動的光散乱法により測定された自己相関関数から、コレステリック相とブルー相で緩和時間がほとんど変わらない同一の揺らぎが観測され、この緩和が配向揺らぎのモードであることが分かる(図1)。次に、液晶に光重合性分子を混ぜたサンプルからも、高分子の混合が両相の配向揺らぎのダイナミクスに大きな影響を及ぼしていないことが分かる(図2)。最後に、UV光を当てて、コレステリックブルー相が低温でも安定に存在することを確認し、この高分子安定化後のサンプルについて動的光散乱法で調べた(図3)。自己相関関数は若干ブロードになるものの、緩和時間がほとんど変化せず安定化前とほぼ同じ配向揺らぎのダイナミクスが保持されることが証明された。これは、試料全体に高分子のネットワークが張りめぐらせる通常の高分子化と全く異なり、ブルー相を安定化しているポリマーは、高分子化の過程で欠陥部分に自発的に局在して、ブルー相を保持しているというナノ構造の特徴をよく表している。

次年度以降は、自己組織的な欠陥構造を持たない純粋な配向秩序であるネマティック相において、同様の高分子化(ゲル化)が配向揺らぎのモードにどのような変化をもたらすかを比較したい。また、スメクティック相の層状秩序を同時に包含する、等方性スメクティックブルー相[1]において新しいタイプのガラス化現象発見した。そこで、この過冷却状態のスローダイナミクスとの相違点、類似点を明らかにして、新しいトポロジカルなガラス化現象の本質を明らかにしていきたい。

<参考文献>

[1] Yamamoto, J., Nishiyama, I., Inoue, M., & Yokoyama, H. Nature **437**, 525-528(2005).

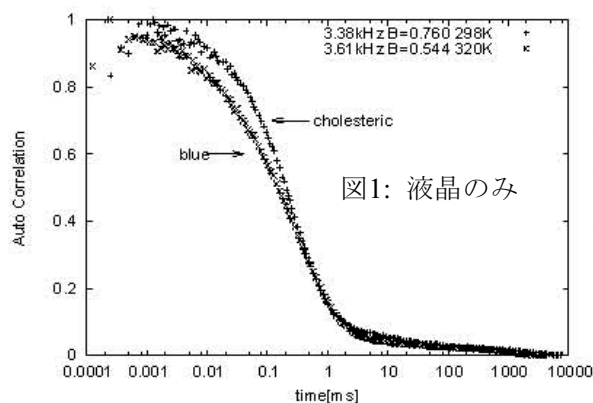


図1: 液晶のみ

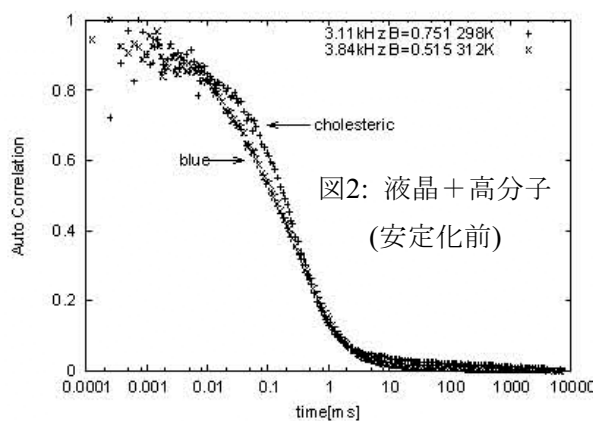


図2: 液晶+高分子
(安定化前)

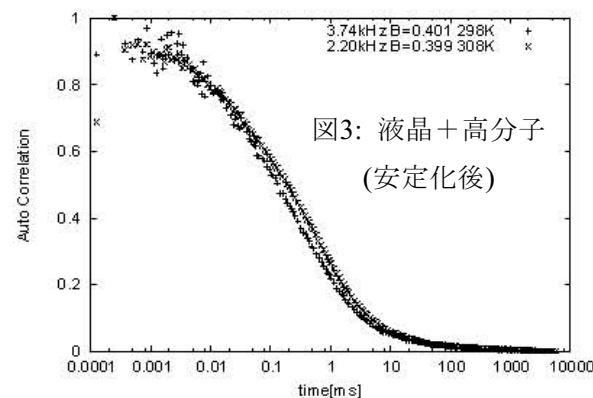


図3: 液晶+高分子
(安定化後)