

(続紙 1)

京都大学	博士（理学）	氏名	吉岡 潤
論文題目	Frustrated structures and dynamics in complex systems with two different liquid crystal orders （異なる 2 つの液晶秩序が共存する複合系におけるフラストレート構造とダイナミクス）		
（論文内容の要旨） 生体系、ダブルネットワークゲル、液晶エラストマー等で見られるように、ソフトマターの系においてはしばしば性質の異なる物質が共存する複合系が形成される。このような複合系において、系の内部に存在する物質はそれぞれの性質に応じた秩序構造を形成するため、場合によっては構造間にフラストレーションが発生する。 リオトロピック液晶(L 液晶)は水-油等に見られる非相溶性からミクロ相分離構造が誘起されることによって発現する。一方、サーモトロピック液晶(T 液晶)は分子の異方性から協同的な配向秩序や層状秩序が誘起されることによって発現する。本論文において申請者はフッ化炭素鎖を有する両親媒性分子を T 液晶中に分散させることによって、L, T 液晶両方の秩序構造が共存する複合系を構成し、その物性を実験的に解析した。溶媒である T 液晶としては、2 章ではネマチック(N)液晶、3 章ではコレステリック(Ch)液晶を用いた。一方、用いた両親媒性分子は単体でラメラ(L)相を形成するため、本論文の複合系においては L 液晶の層状秩序が N, Ch 液晶の配向秩序を有した溶媒中に埋め込まれることとなり、双方の秩序構造間にフラストレーションが発生する。 2 章の系において申請者は N 相と L 相の中間に新規な液晶相が発現することを発見し、それを穴あきラメラネマティック(PLN)相と命名した。その物性を X 線回折、層圧縮弾性、動的光散乱測定を用いて解析したところ、PLN 相においては N 相および L 相を特徴づける物性が両方観測されることが分かった。この結果をもとに申請者は構造モデルとして N 溶媒中に穴あきの層構造が埋め込まれた秩序構造を考案した。また、N-PLN-L 相転移における N 溶媒の配向揺らぎの緩和時間及び並進拡散係数の変化を詳細に測定したところ、測定結果は構造モデルによってよく説明でき、その妥当性が支持された。さらに、2 分子膜を N 溶媒中に埋め込むことによって発生するフラストレーションに着目して PLN 相の安定化起源を理論的に考察し、その妥当性を界面張力測定によって検討した。 また、3 章の系において申請者は Ch 相と PLN 相の中間に新規な液晶相(Ch2 相)が発現している可能性を強く示唆する結果を得た。申請者は Ch-Ch2 転移において層圧縮弾性率が 2 桁程度増加することを見出し、Ch2 相が Ch 相より弾性的性質の強い層構造を有していることを発見した。加えて並進拡散係数および粘性率も Ch-Ch2 転移で有意に変化すること、また動的光散乱及び電気光学応答測定によって Ch2 相において通常の Ch 相では観測されない新規な緩和モードが発現することが見出され、Ch2 相が Ch 相、PLN 相とは異なる新規な液晶相であることが強く示唆された。さらに、これらの実験結果と Ch 溶媒-両親媒性分子間に発生する twist 変形-層状秩序間のフラストレーションに着目して、Ch2 相の構造モデルについて考察した。			

(論文審査の結果の要旨)

本博士論文は、2つの異なる液晶秩序を物質中に共存・競合させることにより、新しい物質構造の発現を試みた研究である。物質設計通りに、2つの新しいナノ構造を持つ液晶相 (PLN 相と Ch2 相) を発見した点で、高い独自性と新規性を合わせ持つ研究成果が得られている。申請者は様々な測定法を駆使して、緻密かつ系統的に実験を行いそのナノ構造を解明した。また、理論的な解析も独自に並行して実践し、その物理的起源を明らかにした。

以下主要な研究を紹介する。

(1) 穴あきラメラネマティック (PLN) 相の発見とその起源の解明 2種類の性質の異なるサーモトロピック液晶の混合系を選定し、新しい PLN 相を初めて発見した。吉岡氏は、動的光散乱測定から、PLN 相においてネマチック配向秩序の存在を見出し、さらに X 線回折および層圧縮弾性率の測定からスメクチック層状秩序が同時に存在することを証明した。また並進拡散係数の測定から、ネマチック-PLN-ラメラ相転移に伴う特異な挙動を見出した。

(2) PLN 相の液晶バブルの実現と界面張力測定 PLN 相の物理的な起源を探究するため、同相の液晶バブルを作成し、精密な界面張力測定を成功させた。これにより、2種類の分子の形状の相違から発生する、層面に平行な方向の引っ張り歪によって層面に穴があくことが、PLN 相の物理的な起源であることを理論を元に説明した。

(3) コレステリック液晶の分散関係の理論と実験的検証 コレステリック液晶の配向揺らぎのダイナミクスの中で、これまで解析できていなかった運動モードを、理論的に解析した。その分散関係を計算するとともに、自ら動的光散乱実験と電場応答実験から実験的にその正しさを証明した。

(4) 高い弾性率を有するコレステリック類似相の発見と実験的検証 (1) の混合系にカイラリティを導入した新しい液晶混合系をデザインし、コレステリック相に類似であるが、相図上で明確に区別される新しい Ch2 相を発見した。この相の構造・起源は未解明であるが、吉岡氏は PLN 相の発見と同様に様々な実験手法を駆使し、新しい熱力学的安定相であることを実証した。

これらの上述の成果は、申請者の研究能力の高さを端的に示すものであり、博士論文として科学的にも独自性のある重要な新しい成果が得られている。

このような観点から、本申請論文は総合的に学位論文として優れた内容を有しているものとして、博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認める。なお、本論文に記載された研究業績を中心に、平成 24 年 12 月 28 日に論文に関する口頭試問を行った結果、合格と判断した。

要旨公開可能日： 年 月 日以降