

平成 21 年 5 月 20 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2006-2008

課題番号：18540377

研究課題名 (和文) ネマティック液晶系におけるノイズ効果

研究課題名 (英文) Noise effects on Electroconvection in Nematic Liquid Crystals

研究代表者

許 宗焄 (HUH JONG-HOON)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・准教授

研究者番号：50325578

研究成果の概要：

基礎・応用科学の中で一般的に言われる「ノイズ」というものは、排除すべきものとして、その発生原因やマイナス的效果及び処理手法などが研究されてきた。しかし、近年の研究で、ノイズはある条件下ではプラス的效果を引き起こすことが分かった。本研究は液晶対流系においてノイズの効果を電気・光学手法を駆使して実験的に調べた。様々なノイズ条件で特有な応答法則を確認し、その応用可能性を示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,200,000	0	1,200,000
2007 年度	700,000	210,000	910,000
2008 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,500,000	390,000	2,890,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性基礎

キーワード：非平衡・非線形物理学

1. 研究開始当初の背景

近年、「自発・自律性、階層性、自己組織化」などの特有な性質を生み出す複雑系科学の研究が急速に発展している。物理・化学系をはじめ、生物・医学及び経済学・情報科学にいたるまで、その関連分野は多種多様であ

り、これらの複雑系科学から生まれた新しい概念と原理なくしては、その複雑な性質を理解することはできない。例えば、複雑系科学から生まれた「フラクタル、カオス、パターン (自己組織化)」などの新概念は、最近基

礎分野だけでなく応用科学でも広く使われる用語となっている。

一方、これまでの基礎・応用科学の中で言われる「ノイズ」というものは、排除すべきものとして、その発生原因やマイナス的效果及び処理手法などが研究されてきた。しかし、近年の研究で、ノイズというのは自然現象の中で必然的な存在で、ある条件下ではプラス的效果を引き起こすことが分かった。例えば普通は認知できない微弱な信号に適切なノイズを加えることによって、その微弱信号が検出できる。これは確率共鳴現象として広く知られている。

2. 研究の目的

本研究課題では、前述した複雑系の中で空間的に広がった液晶対流系を対象にして、そのノイズ効果を電気・光学手法を駆使して実験的に調べる。

本研究で用いる液晶系は、複雑系の典型的な対象である「熱対流系 (Rayleigh-Benard Convection)」に比べて、いくつかの特有な性質があり、本研究目的から考えると格好の対象である。一般に棒状分子からなる液晶は、異方性流体として振舞う。その分子の配列・配向を巧みに制御することによって平衡系及び非平衡系 (散逸系) 両方での相転移 (分岐) を実現することができ、その時のノイズ効果を容易に調べることが期待できる (図1)。さらに、外部制御パラメータは電気的手法なので、熱対流系の熱制御に比べてその実験的なメリットは大きい。そして最も本質的なメリットは、系内部の熱ゆらぎ (thermal noise) を (完全ではないが統計的に信頼できる) 温度制御と併用することによって、内部及び外部ノイズの効果を調べることができることである。この点において、熱対流系では理論・数値計算に頼るしかなかった。

本研究課題では、空間の自由度を持った複

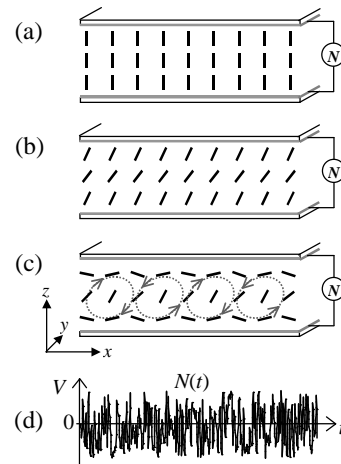


図1. ネマティック液晶対流系。2枚の平行平板ガラスにサンドイッチ状態にした液晶(a)に、 z 方向のノイズ電界(d)を印加する。あるノイズ電圧以上になると、系は不安定化し、フレデリックス転移を引き起こす(b)。さらに、電圧を上げていくと、突然、系内に対流(散逸構造)が発生する(c)。液晶はその磁化率異方性から分子の配向及び熱ゆらぎを磁界によって制御できる。

雑系 (液晶系) におけるノイズ効果を定量的に測定・分析する。その結果から複雑系、特に非平衡散逸系におけるノイズ効果による基礎的な知見を構築し、その応用可能性を探ることを目的とする。

具体的な実験研究項目は、以下の通りである。

(1) 液晶系特有の平衡状態での相転移 (初期基底状態→フレデリックス状態) におけるノイズ効果を調べる。

(2) 対流構造 (非平衡状態) への転移現象におけるノイズ効果を調べる。

(3) 熱ゆらぎ (additive noise) による効果と外部パラメータへの相乗ノイズ

(multiplicative noise) による効果を分離し、特徴づける。

(4) 様々な散逸構造 (対流パターン) 及び乱流の時空間特性におけるノイズ効果を調べる。

3. 研究の方法

(1) 液晶及びサンプルセル

1次元及び2次元の液晶セルを作製する。本研究では、棒状分子がある一定の方向を向く1軸性ネマティック液晶を用いる。その典型的な液晶であるMBBAは20°C~48°Cの温度範囲で液晶相を示す。2次元セルの場合は、この液晶を50 μm の厚さを保つ2枚の透明電極付きのガラスに注入する(図2(a))。1次元セルは、電極の間に液晶を保持し、2次元セルの断面を観測するような設計となっている(図2(b))。

平衡系及び非平衡系の相転移を同じセルで調べるために、2タイプのセルはそれぞれ、棒状分子を印加電界(E)と平行に配向させる(ホメオトロピック配向)処理を施す。

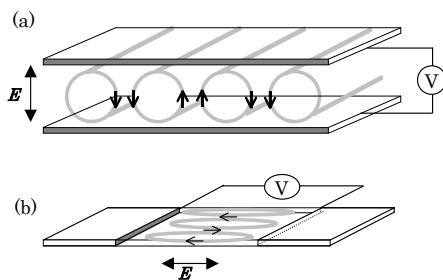


図2. 典型的な2次元セル(a)と1次元セル(b)

(2) 実験系

図3に示すように、電気的信号及びノイズに反応した液晶の状態変化(フレデリック転移、対流パターンなど)を偏光顕微鏡で光学的变化として観測する。その光学的なデータをPCによって画像処理を行う。

(3) 実験方法

本研究で使用するノイズは、典型的なホワイトノイズをはじめ、ローパスあるいはハイパスフィルターを通したカラーノイズを用いる。ノイズの強さの制御だけではなく、そのフィルターをシステムチックに変えることによって、様々なノイズによるサンプルのノイ

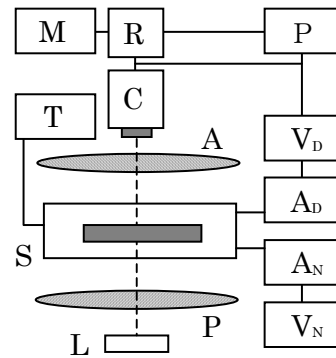


図3. 実験系。M:monitor, R:recorder, P:PC, C:CCD camera, T:thermo-controller, S:sample, A:analyzer, P:polarizer, L:(Halogen)light, V_D :deterministic voltage, V_N :noise voltage, A_D :deterministic voltage amp, A_N :noise voltage amp

ズ効果を調べることができる。

また、必要に応じて波形作成ソフト(H-7990;Hioki社製)を用いて様々なノイズを作成し、ノイズ信号として使用する。具体的には、以下のように実験を行う。

①相乗するノイズ(multiplicative noise)の効果を調べるために、一定温度の液晶状態で、周期的な信号 V_D (deterministic electric field)と共にノイズ V_N (stochastic electric noise)を印加する(図2で、 $V=V_D+V_N$)。その時、フレデリックス転移近傍及び対流発生源近傍における閾値(V_{th})変化のノイズ依存性を調べる。ここでノイズの種類・強度・相関時間などにおける依存性を詳細に研究する必要がある。

また、様々な条件のノイズに対して、液晶の状態変化の振幅(液晶セルを通過する光強度)と状態構造のパワースペクトルを測定する必要がある。それをノイズ無印加時($V_N=0$)の結果と比較することによって、ノイズの効果は明らかになると期待される。

②液晶対流系の典型的な散逸構造であるWilliams domain(WD)において、その時空間特性のノイズ依存性を調べる。上記と同様、ノ

イズの種類・強度・相関時間なども考慮する。散逸構造のパワースペクトルおよび時間変化を特徴づける。

また、印加電界の増加とともに次々と現れる液晶特有のパターン(Grid pattern(GP), Defect lattice(DL)など)において同様の測定を行う。しかし、この測定においては、安定なパターンを得るために液晶の配向系をプレーナー系に変えるか、ホメオトロピック系をそのまま使用する場合は磁界を用いる。

4. 研究成果

(1) 平衡状態での相転移(フレデリックス転移)には、印加する信号の波形(直流電圧、交流電圧、ノイズ電圧)とは関係なくその電圧の強さだけに依存することが分かった。フレデリックス転移はノイズだけでも誘起される。

(2) 対流構造(非平衡状態)への転移現象はノイズによる安定化・不安定化効果によって変化した。特にカラーノイズの場合は、その転移の閾値を下げるのが明らかになった。

(3) 内部熱ゆらぎ効果は、液晶系に顕著に現れることが確認できたが、外部ノイズ効果から定量的に分離することは出来なく、今後の課題である。

(4) 低周波数及び高周波数領域において典型的な電気対流の空間構造は、ノイズで制御できることが分かった。この結果は周期的な構造を持ったポリマー膜の作成に応用できると期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

(1) Pure noise-induced pattern formations in a nematic liquid crystal

Jong-Hoon Huh and Shoich Kai

Journal of the Physical Society of Japan (Letter) Vol.78, No. 4, pp. 043601, 2009.

(査読有り)

(2) Noise Effects on Threshold of Electrohydrodynamic Convection in Nematic Liquid Crystals

Jong-Hoon Huh and Shoichi Kai

Journal of the Physical Society of Japan (Letter) Vol.77, No. 8, pp. 083601, 2008.

(査読有り)

(3) Electrohydrodynamic instability in cholesteric liquid crystals in the presence of a magnetic field

Jong-Hoon Huh

Molecular Crystals and Liquid Crystals Vol.477, pp. 561-570, 2007. (査読有り)

(4) Noise-induced Electrohydrodynamic Patterns in Nematic Liquid Crystals

Jong-Hoon Huh

Journal of the Physical Society of Japan (Letter) Vol.76, No. 3, pp. 033001, 2007.

(査読有り)

(5) Threshold Characteristics of Electrohydrodynamic Instability in Nematic Liquid Crystals under a Superimposing Magnetic Field

Jong-Hoon Huh and Tetsuji Suenaga

Colloids and Surfaces A Vol. 285, pp. 627-630, 2006. (査読有り)

[学会発表] (計 1 件)

(1) Electrohydrodynamic instability in cholesteric liquid crystals under controlling helical pitch

Jong-Hoon Huh

The 21th International Liquid Crystal Conference (ILCC2006) July 2-7, 2006, Keystone, Colorado.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

許 宗焄 (HUH JONG-HOON)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・准教授

研究者番号：50325578

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし