

TNセル中のディスクリネーションのダイナミックス

名大・工 折原宏 石橋善弘

要旨

TN (Twisted Nematic)セルを液相から液晶相に急冷した際に生じるディスクリネーションのダイナミックスを研究した。この様な系では、ディスクリネーションの集団運動が観測され、スケーリング則が見い出された。また、u 場理論のこの系への適用を試みた。

§ 1 序

TNセル中のディスクリネーションのダイナミックスは、Geurst¹⁻³⁾らによって詳しく研究されているが、彼らは1本のディスクリネーションの運動のみを扱っている。これに対して、本論文では、ディスクリネーションが多数集まったときの集団運動を議論する⁴⁾。

TNセルを液相から液晶相へ急冷すると、多数のディスクリネーションが発生し、それらが縮んで行くのが観察される。この様な急冷した系のダイナミックスの実験的研究は、非保存系に対しては、Cu₃Au 等について行われ、ドメインの平均的大きさが、 $t^{1/2}$ に比例することがわかっている^{5,6)}。しかし、これらの実験は主にX線回折によるものであり、系の実際の構造を知ることはできない。これに対して、TNセルでは、系の時間発展を偏光顕微鏡により、実空間・実時間で簡単に観測することができる。一方、理論に関しては、太田、Jasnow、川崎によるu 場理論の発展があり⁷⁾、非保存系の空間相関関数がもとめられている。本論文では、得られた実験結果をu 場理論により解析する。

§ 2 実験

本実験では、液晶MBBA (p-methoxybenziliden-p'-butylaniline) を封入したTNセルを用いた。図1にTNセルの構造を示す。液晶分子がクギで表してあり、クギの先端がこちら側に向いているとする。ラビング処理により、上のガラス面では液晶分子は紙面に平行に、下のガラス面では垂直に配向している。この様なTNセルでは、右ねじれの状態(図1の左半分)と左ねじれの状態(図1の右半分)が出現し、これら二状態の境界にディスクリネーション(黒丸)が生じる。

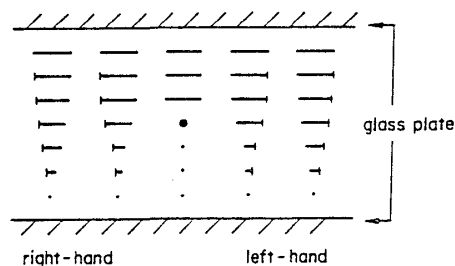


図1 TNセルの構造

液相まで温度を上げたセルを透明点(液相からネマチック相への転移点)43°Cの8°C下に急冷し、系の時間発展をVTRで録画した。得られた写真を図2に示す。急冷してディスクリネーションが発生し始めた時刻を0秒とした。急冷した直後に複雑にディスクリネーション(黒い線)が発生し、時間の経過とともに、それらが縮み、パターンが粗くなって行くのがわかる。写真では、ディスクリネーションによ

って仕切られた濃淡の異なる二つの領域があるが、これらはそれぞれ、右ねじれ（明るい領域）および左ねじれ（暗い領域）の状態に対応している。

系の時間発展の特徴を調べるために、ディスクリネーションの総長 $L(t)$ および空間相関関数 $C(r, t)$ を求めた。図3に $L(t)$ の時間依存性を示す。但し、簡単のために、ディスクリネーションを写真の枠の縦軸に射影した長さを求めた。 L は、急冷した直後に急激に減少し、後はゆっくりと減少しているのがわかる。得られたデータは、ベキ法則

$$L(t) = L_0(t-t_0)^{-\mu} \quad (1)$$

で良く整理できる。実線はフィッティングの結果で、 $L_0 = 35$, $t_0 = -0.06$, $\mu = 0.44$ であった。但し、 L および t の単位は mm および sec である。 t_0 が負であるが、これは $t=0$ でディスクリネーションの間隔が有限で有ることを示している。

相関関数

$$C(r, t) = \langle S(r, t) S(0, t) \rangle \quad (2)$$

の時間依存を図4に示す。但し、 $S(r, t)$ は、左ねじれの領域で -1 、右ねじれの領域で $+1$ をとる量とする。各時刻の相関関数は距離とともに減少し、裾の部分にわずかな振動が見られる。相関長は時間とともに増大している。図5に相関長の時間依存性を示す。但し、相関長が0.5になる距離を相関長 $l(t)$ と定義した。 $L(t)$ と同様に、 $l(t)$ もベキ法則

$$l(t) = l_0(t-t_0)^{\nu} \quad (3)$$

を満たし、 $l_0 = 17$, $t_0 = -0.12$, $\nu = 0.44$ であった。但し、 l の単位は mm である。

次に、図4の横軸を相関長 $l(t)$ でスケールしてみた（図6）。ほとんどすべてのデータ点が、裾を除き、一本の曲線に乗っており、スケール法則が成立しているのがわかる。このスケール法則は、図2において各時刻のパターンが相似になっていることから直接わかる。

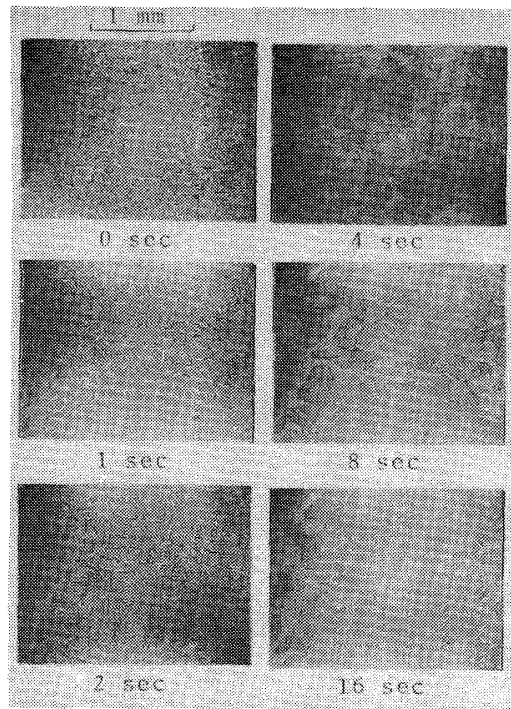


図2 急冷後の系の時間発展

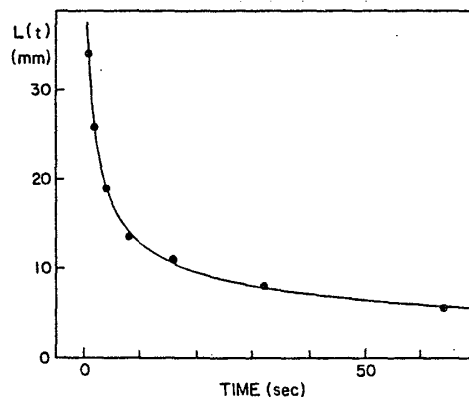


図3 ディスクリネーションの長さの時間依存

§ 3 考察

TNセル中のディスクリネーションの運動方程式は、

$$v = c(k/\gamma)(1/R) \quad (4)$$

で与えられる²⁾。但し、 v はディスクリネーションの法線方向の速さ、 c は定数、 k は液晶の弾性定数、 γ は粘性係数、 R は着目している点での曲率半径である。以後、簡単のために、定数をまとめて $\Gamma = ck/\gamma$ とおく。我々が行った実験において、(4)式が成立しているか確かめてみる。その為に、円形のディスクリネーションループの半径の時間変化を調べた。半径 R のディスクリネーションループの場合、 $v = -dR/dt$ であるから、(4)式は簡単に解けて、

$$R^2 = -2\Gamma(t-t_0) \quad (5)$$

となる。図7に R^2 の t -依存性を示す。図中の・と。は、それぞれ異なるディスクリネーションループに対する測定値である。データ点は良く直線に乗、傾きから $\Gamma = 190 \text{ (mm}^2/\text{sec)}$ を得る。

以上の様に、ディスクリネーションの運動が、(4)式で記述できることがわかった。(4)式と類似の方程式は界面の運動でも成立することが示されており⁸⁾、太田、Jasnow、川崎は、この方程式を出発点にして、界面の長さ(面積)および相関関数を導いた⁷⁾。u場理論によれば、ディスクリネーション(界面)の長さは、

$$L(t) \propto t^{-1/2} \quad (6)$$

で与えられる。実験で得られた指数は 0.44 でわずかに理論値 0.5より小さい。この食い違いは、急冷の際に温度が徐々に変化し、弾性定数および粘性係数が時間変化していることに起因していると考えられる。

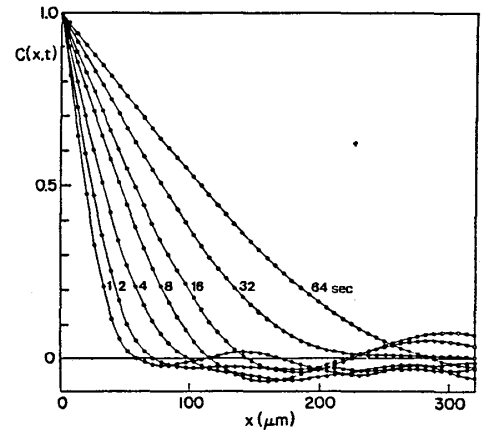


図4 空間相関関数

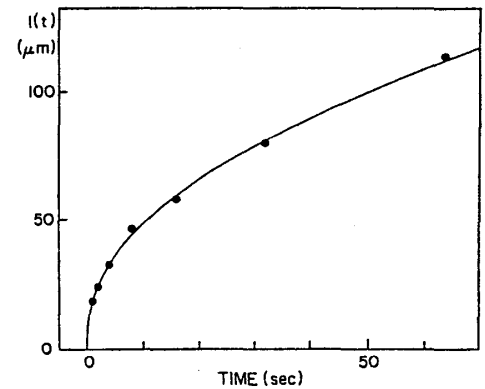


図5 相関長の時間依存性

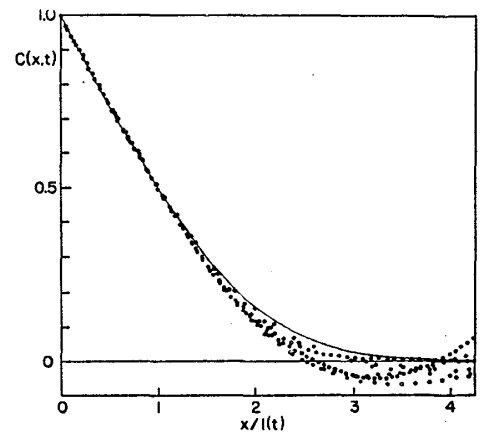


図6 スケーリング則

相関関数は、u 場理論によれば、

$$C(r, t) = (2/\pi) \sin^{-1}(\exp[-r^2/\xi(t)^2]) \quad (7)$$

で与えられる。ここで

$$\xi(t)^2 = 4\Gamma t \quad (8)$$

である。但し、 $\xi = (\ln 2/2)^{-1/2} l$ なる関係が、相関長 l との間にある。図 6 の実線が理論であるが、 x の小さいところでの一致は良い。裾では、実験値が振動し、理論値と合わない。この原因は以下のように説明できる。u 場理論では、 $t=0$ で界面が全くランダムに分布していると仮定しているので、裾には振動はない。一方、TNセルでは、急冷した直後に、ディスクリネーションが有限の間隔をもって、ある程度規則正しく出現するのが観察される。このために、相関関数が裾で振動すると考えられる。

l と t の関係は実験からわかっているので、(8)式を用いて Γ を求めることができる。こうして Γ を求めると、 $\Gamma = 210 \text{ (mm}^2/\text{sec)}$ を得るが、これは (5)式より求めた値 190 と良く一致しており、ディスクリネーション系に対しても u 場理論が有効であることがわかる。

本論文では、TNセル中のディスクリネーションの集団運動を議論した。ディスクリネーション系においてもスケーリング則が見い出され、さらに u 場理論がこの様な系に適用できることがわかった。

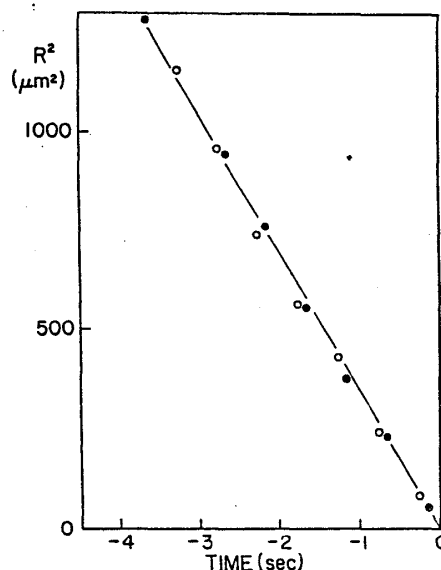


図 7 $R^2 - t$ のプロット

- 1) G.J.Gerritsma, J.A.Geurst and A.M.Spruijt: Phys. Lett. 43A(1973)356.
- 2) J.A.Geurst, A.M.Spruijt and C.J.Gerritsma: J.Physique 36(1975)653.
- 3) A.Miyaji, M.Yamaguchi, A.Toda, H.Mada and S.Kobayashi: IEEE. Trans. Electro Devices ED-24(1977)811.
- 4) 詳しい内容は、J.Phys.Soc.Jpn. に投稿中。
- 5) T.Hashimoto, K.Nishimura and Y.Takeuchi: J. Phys. Soc. Jpn.45(1978)1127.
- 6) S.Nishihara, Y.Noda and Y.Yamada: Solid State Commun. 44(1983)1487.
- 7) T.Ohta, D.Jasnow and K.Kawasaki: Phys. Rev. Lett. 49(1982)1223
- 8) S.M.Allen and J.W.Cahn: Acta. Metall. 27(1979)1085.