

# 論文審査の結果の要旨

氏名 黒田真史

乱流は日常生活で観察される物理現象であり古くから研究されているが、層流から乱流への遷移をどのように記述できるかなど完全な理解は得られていない。また時間的空間的に相関を失い無秩序化していく過程は、流体乱流以外にも化学振動や欠陥乱流などの種々の現象で見られるが、共通点や全体像は十分に得られていない。液晶における位相欠陥の乱流は、分子配向秩序の特異点が粘性流体中に存在する系である。液晶の流れとの相互作用によって配向場が乱され、欠陥が生成、伸張、衝突、組換する過程が明確に観察できる。流体乱流の実験と比べると、室温で光学的に直接観察でき、電場による駆動力の高精度な制御が可能であるなど、乱流転移のダイナミクスをより詳細に検討できる利点がある。

そこで本研究では液晶位相欠陥乱流の臨界挙動に着目し、非線形相転移としての統計的性質を考察した。2次元液晶系は大きなアスペクト比をもち、電場による精密な制御が可能であるため、臨界現象を探るには最適な系である。任意の境界条件を設定できる電極を設定するとともに、面内を横方向に進むバルク流れを組み込んだマイクロ流体デバイスを構築し、実験を行った。

まず第1章で研究の背景と目的を述べた後、第2章で液晶欠陥乱流の基礎を解説し、さらに放射状の流れによる欠陥のダイナミクスを考察した。液晶セルの中央に開けた細孔から液晶を注入し、2次元面内を放射状に広がる流れを形成した。流速を上げるとループ状の欠陥が現れ拡大し定常状態となる。欠陥のコアや周囲の液晶に蓄積されたエネルギーを考慮して、弾性力と粘性力のつりあいから流速と欠陥ループの半径との関係を明らかにした。

第3章では電場によって駆動される欠陥乱流に、横方向のバルク流れを加えた場合の影響を考察した。2次元の液晶セルに電場を加えると、電気流体力学的不安定性により対流運動が生じる。電圧が低いときは規則的なロールや格子状の対流パターンが見られる。電圧が高いと配向場が乱雑になり動的散乱モード(DSM)と呼ばれる乱流状態となり、さらに電圧を上げるとからみあった糸状の配向欠陥が生じるようになる。配向欠陥のないDSM1相と配向欠陥を伴うDSM2相の間の相転移は、有向パーコレーションのクラスに属することが知られている。そこで、液晶電気対流に対して横方向のバルク流れを加えられる系を考案し、流れによる駆動力が相転移に与える影響を調べた。特に、初期条件として電圧を十分大きくとった全活性状態から急峻に電圧降下したときの緩和の様子を用いて相転移点を調べるといふ臨界クエンチ実験を行った。液晶の撮影画像からDSM2相の面積密度を求め、その時間変化のスケーリング則を確認し臨界指数を求めた。その結果、横方向流れがある場合でも有向パーコレーションクラスと同じ臨界指数の値が得られた。また横方向流れの

速度が増すと転移点電圧が降下し、電圧の2乗である電気対流駆動力は速度の2乗に比例して減少することを発見した。また、液晶セルの上流側に新たに線状電極を置いて欠陥の活性壁とし、配向欠陥が壁から空間的に広がり減衰するふるまいを調べ、スケーリング関係を確認した。横方向流れが加わった場合は、転移点電圧が減少するだけでなく、臨界指数も空間緩和の指数から時間緩和の指数に変化する様子が観察された。

第4章では振動細線を用いた欠陥乱流の生成について考察した。液晶セルの上下に磁石を置いて静磁場を加え、セルの中に金属細線を保持し交流電流を流すことで細線を振動させた。電流が小さいと欠陥は生じないが、電流を増やすと糸状の欠陥渦が生成され細線に垂直な方向に広がることがわかった。また細線振動の振幅を調べ、欠陥が生じない小電流では細線の振幅は電流に比例するが、欠陥が生じる大電流では振幅の増加率が減少し、抑制されることが示された。

以上本論文は従来の液晶セルによる電気対流の欠陥乱流実験に、新たに横方向のバルク流れを加えて欠陥の相転移を調べた。横方向流れがある場合も有向パーコレーションクラスの相転移であること、電気対流による駆動力に加えて流れによる駆動力が相補的に働きDSM2相を維持していることを初めて明らかにし、欠陥乱流に対するバルク流れの重要性を示した。また振動細線による欠陥乱流生成の実験を初めて行った。これらの成果は液晶欠陥乱流の相転移の研究を進展させ、非線形物理学の発展に貢献するものである。

なお、本論文第2章と第3章の主要部分は佐野雅己との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験と解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。