

論文審査の結果の要旨

氏名 竹 内 一 将

本論文で竹内氏は、液晶電気対流の動的散乱モード (DSM) と呼ばれる乱流状態の普遍性を実験とシミュレーションから議論し、非平衡遷移現象の本質をスケーリング則の立場から明らかにしています。液晶電気対流では数十ボルトの電位差で2つの乱流状態 DMS1 と DMS2 の間の相転移が起こります。本論文のポイントは、この相転移が Directed Percolation の普遍性を示す理想的な体系と予想して実験を行ったことにあります。Directed Percolation に関して理論的研究は進んでいますが、実験的研究は不十分でした。それに対して竹内氏は本論文の実験で、上記の相転移が Directed Percolation の普遍クラスで理解できることを明確に示しました。以下に述べる内容は既にいくつかの論文として公表されて高い評価を得ており、非常に質の高い博士論文です。

第1章は平衡系と非平衡系の臨界現象に見られる普遍性をレビューし、第2章は上述の液晶対流系をレビューしています。本論文の中核を成す結果は第3章にまとめられています。DMS1-DMS2 転移を透過光で観察すると、DSM2 は DSM1 中に生じた核から成長し、黒いパッチとして観測されます。DSM2 の自発的生成はほとんどないため、全系が DSM1 で占められた状態は「吸収状態」と考えることができ、したがって DSM2-DSM1 転移は吸収状態と伝染状態の転移と見なせます。この転移は一般に Directed Percolation の普遍性を持つと理論的に考えられていましたが、これまで確立した実験的証明はありませんでした。竹内氏は本論文の実験系がその理想的な例になると考えました。

実際に、実験結果は独立な3つの臨界指数が理論計算と一致し、本論文の実験系が (2+1)次元 Directed Percolation の普遍クラスに属することを明瞭に示しました。さらに竹内氏は12個の臨界指数、5個のスケーリング関数と8個のスケーリング関係式の理論との一致を確認しました。従来の実験では臨界指数が部分的にしか一致しませんでした。それに比べて第3章の研究結果は画期的な成果です。

このように明確な結論が得られた理由は、本論文の実験系が以下のような特

徴を持っていたからであると竹内氏は主張しています。まず DSM1 の自由度間の相互作用がかなり理想的な短距離相互作用であると考えられます。また DSM2 の自発的生成確率は非常に小さく、DSM1 は理想的な吸収状態であると考えられます。さらに上記の実験系は繰り返し計測可能で統計的積算が容易な上、非常に大きなアスペクト比のために空間方向の有限サイズ効果が無視でき、かつ電気対流特有のレスポンスの速さのために時間方向にも理想的な系になっているとみなせます。

次に第4章で竹内氏は、上記の実験系が示すヒステリシスの起源を解明しています。このヒステリシスとその特有な性質は過去に実験で知られていましたが、その理由はこれまで謎とされてきました。竹内氏は、上記の実験系を、非常にまれに自発生成がある **Directed Percolation** 普遍クラスに属すると考えてシミュレーションし、自身の実験結果と比較しました。その結果、ヒステリシスの特異性を、ループ幅のスケーリング性まで含めて説明しました。

第5章では、液晶を挟む板の表面の境界条件を変えて、ディレクターの捻れの自由度を追加することで Z_2 対称性を実現しました。この対称性に伴って臨界現象の普遍性が変わると期待されます。実験結果は、右捻れと左捻れの DSM1 ドメインが曲率に無関係なダイナミクスを経て定常に達することを示しました。これらの結果は、この系が voter 模型の普遍クラスに属することを示唆すると竹内氏は主張しています。

第6章では、系全体が DSM1 で占められている状態にレーザーパルスを当てて DSM2 の核を生成し、DSM2 パッチの成長を観測しました。その結果、成長界面のラフネスは自己アフィンで、局所成長過程の KPZ 普遍クラスに属することを明らかにしました。またラフネスの分布は円形の成長の場合の GUE Tracy-Widom 分布となることを示しました。乱流核の成長界面でこれらを示した例は過去になく、本論文の新規性は際だっています。

以上のように、本論文ではこれまでのスケール不変な巨視的非平衡現象の研究を大きく超える成果を与えており、実験分野の副査からも賛辞を受けるほどの内容です。なお本論文は、佐野雅巳氏、黒田真史氏、Hugues Chaté 氏、Francesco Ginelli 氏、Hong-liu Yang 氏、Günter Radons 氏との共同研究を含んでいますが、いずれも竹内氏が主導した研究であると判断できます。以上より、論文提出者の竹内一将氏に博士（理学）の学位を授与できると認めます。