

液晶電気対流を使った乱流の実験研究

永岡 賢一

水やプラズマのような流体の状態の一つとして、大小さまざまな渦が入り乱れた乱流があります。大型ヘリカル装置（LHD）のような磁場で閉じ込められた高温のプラズマでも、乱流状態が観測されています。乱流中の渦はプラズマをかき混ぜて、熱や粒子を素早く運ぶことがあります。これを乱流輸送といいます。乱流輸送は、プラズマの粒子や熱閉じ込めに大きな影響を及ぼすため、プラズマの閉じ込め性能を向上させるためには、乱流の生成、減衰のメカニズム、及び乱流輸送の性質を理解し、制御することが重要な研究課題となっています。実験、理論、計算機シミュレーションなどを用いた様々な研究が行われていますが、本稿では、テレビ画面にも使われる液晶を使った乱流実験研究について紹介します。

液晶は、ディスプレイパネルに使われているためご存知の方も多いと思います。液晶に電圧をかけると液晶分子の向きが揃うため、光スイッチとして応用したものが液晶ディスプレイです。この液晶に更に大きな電圧をかけたときに対流（電気対流と呼ばれる）が駆動されることが知られています。更に大きな電圧をかけると対流は小さな渦構造に分裂して、乱流状態になります。この電気対流乱流が起こっても液晶の性質が保持されているため、乱流の流れパターンを透過する光強度のパターンとして観測することができます。つまり、通常の水や空気などの流体中の乱流よりも流れパターンの計測が容易であるという特徴があります。図1に、電圧を変えた場合に観測される乱流の流れパターンの例を示します。

一般的に、乱流が強くなると、流れが速くなり渦の分裂がより盛んになります。そのため、より小さな渦が生成されます。図1から印加する電圧が高くなると流れが速くなり、小さい渦が生成されることが分かります。これは乱流強度が大きくなっていることを示しています。このように、外部から印加する電圧だけで、乱流の強さを制御することができることも実験をするうえで大きな利点となっています。これらの利点を最大限に生かして、通常流体（水や空気）やプラズマの乱流にも共通する性質を調べることを目的とした乱流実験研究を行っています。

今回は、乱流が駆動される「乱流駆動領域（高い電圧を印加している領域）」と乱流駆動がない「安定領域（電圧を印加していない領域）」の境界に注目した実験を行いました。図2（左）に示したのは、安定領域と乱流駆動領域の境界における乱流パターンです。乱流駆動領域では、発達した乱流が駆動されており、その乱流渦が安定領域に浸み込んでいることが分かります。乱流の空間的な広がりについて詳細な解析を行った結果の一例を図2（右）に示します。乱流は安定領域に入るとすぐに減衰するのではなく、強度を保っている領域（位置0から-20の領域）があることが分かります。この領域の幅は、液晶セルの厚み（50 μm （マイクロメートル））のほぼ半分程度であり、最も大きい乱流渦（液晶セルの厚みの大きさの渦）の半分程度までは、乱流がほとんど減衰せずに広がれると考えられます。この領域を過ぎると乱流強度は、指数関数的に減衰することが分かります。これは、乱流の減衰が乱流強度に比例していることを示唆しています。

一般的には、乱流強度が大きいと乱流輸送も大きくなる傾向があります。乱流駆動領域と安定領域の境界における乱流輸送特性を調べた実験結果を紹介します。図2（左）には、緑色の粒子/粒子塊が見られます。これは、乱流輸送の性質を調べるために混ぜ込んだトレーサー粒子の発光です。トレーサー粒子は、乱流の流れ場によってランダムな動きをします。その時々刻々の動きを計測することにより乱流輸送の性質を解析できます。安定領域から十分に離れた乱流駆動領域と安定領域と乱流駆動領域の境界付近の二つの領域（乱流強度はほぼ同じ）に注目して乱流輸送を解析しました。その結果、乱流駆動領域では粒子拡散が大きく、境界領域では粒子拡散が小さいことが分かりました。これにより、乱流強度だけでは、乱流輸送の性質が決まらないことが明らかとなりました。粒子の振る舞いについて更に詳細な解析を進めて、乱流輸送の性質に影響する要因を突き止めたいと考えています。

最後に、この電気対流乱流を用いた乱流輸送の研究は、様々な流体に共通する普遍的な乱流輸送の性質があるという仮定に基づいており、実験の

制御性や計測技術の利点を最大限に生かした野心的な研究です。通常流体やプラズマに普遍的な性質の理解を深めることができれば、その研究成果は、核融合プラズマ研究だけにとどまらず、身近な流体現象から宇宙プラズマにまで、幅広い研究

領域への貢献も可能と考えています。これからも様々な視点から乱流輸送の研究を展開していきたいと考えています。

(プラズマ加熱物理研究系 教授)

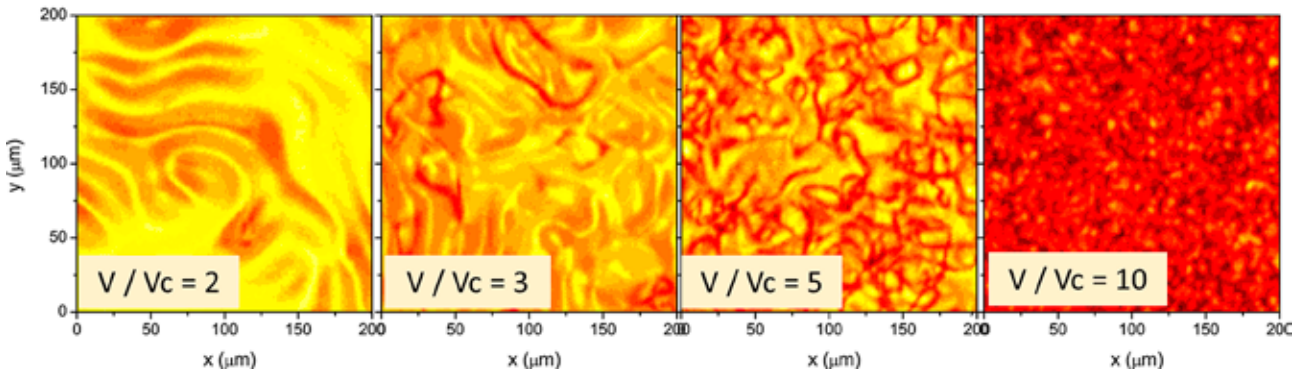


図1 液晶を透過する光強度の2次元パターン。このパターンは、視線方向の流れ速度に対応しています。黄色から赤になる程、流れが速いことを表しています。大きな電圧を印加するとパターンが細くなり、流れが速くなって、発達した乱流が駆動されていることが分かります。ここで、Vは印加電圧、Vcは対流が駆動される閾値電圧です。

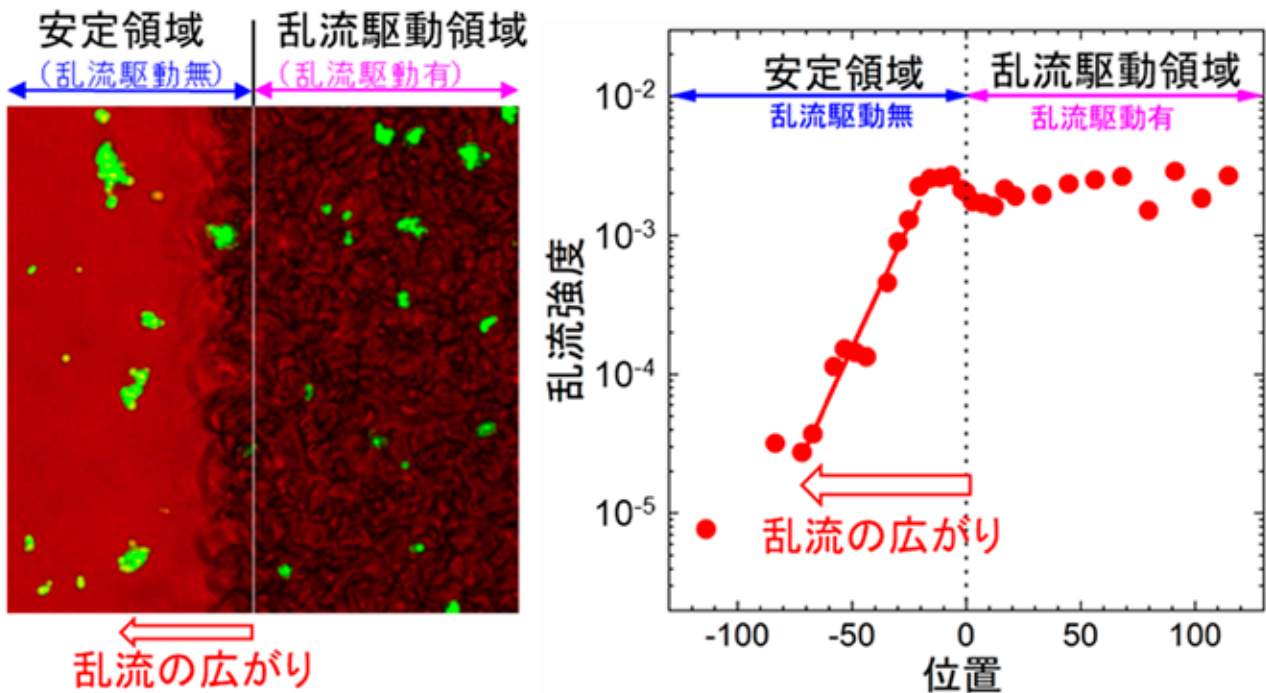


図2 (左) 乱流駆動領域と安定領域の境界付近の乱流パターンの一例。赤色の透過光強度が流れ場のパターンを表しています。緑色の粒子/粒子塊は、乱流輸送の性質を調べるために混入したトレーサー粒子の発光です。(右) この領域の乱流強度の空間分布。安定領域へ浸み込んだ乱流の強度が、指数関数的に減衰することが分かります。