

論文審査の結果の要旨

氏名 益子 岳史

熱乱流は非線形、非熱平衡系の典型例として知られているが、未だ解明されていないことが多くある。特に、熱乱流の時空間構造については詳細な測定は行われていない。本研究では、超音波流速測定法という新しい手法を高レイリー数、低プラントル数をもつ、水銀中の発達した熱乱流に応用し、流速分布を瞬時に測定することにより、熱乱流の時空間構造を詳しく調べ、新たな知見を得ている。

本論文は、“A study of the spatiotemporal structure of the velocity field in thermal turbulence” [和文題目：熱乱流における速度場の時空間構造の研究]と題し、全7章より成る。

第1章では本研究の主題である熱乱流の説明および先行研究のレビューを行い、本研究の特徴および目的を明確にしている。

第2章では、本研究で用いた超音波流速測定法の原理が説明され、測定精度の評価が行われている。さらに、本実験で使われた装置、測定条件などが詳述されている。

超音波流速測定法は、本研究において初めて熱乱流の研究に適用された。このため第3章では、この分野の研究に広く用いられているレーザー照射による粒子画像流速測定法が適用可能な水の熱乱流で同時測定を行い、その有効性を確認している。この結果、熱乱流中の速度場分布測定の新たな可能性が拓けた。

第4章では測定された平均流速の空間分布に基く種々の解析結果より、用いられたアスペクト比 $1/2$ のセルでは、巨視的な流れが傾いた楕円形のロール構造をもつことが推定された。また、速度場の揺らぎは平均流よりも大きいこと、主成分分析によると空間スケールの大きな揺らぎの寄与が大きく、上記ロール構造の上下運動が支配的なモードであることが述べられている。

第5章では速度場空間分布の直接測定から得られたエネルギースペクトルについて議論されている。これまでの研究では、ある地点で測定した速度場の時間変化から計算される周波数空間のスペクトルを、テイラーの凍結仮説を用いて波数空間のエネルギースペクトル

ルと同一視していたが、今回の実験では揺動振幅が平均流速より大きいいためテイラー仮説は成り立たない。本研究では初めて、直接測定した速度場の空間分布より揺動のエネルギースペクトルを導出しており、その意義は大きい。得られたスペクトルは、ボルギアーノ・オブコフ比例則に従い、熱乱流特有のスペクトルをもつことが直接確認された。

第 6 章では、境界層における速度分布を詳細に測り、これより境界付近では流れが反転する領域が存在することを明らかにした。この流速反転領域の厚みはレイリー数の増加とともに減少することがわかった。また、この厚みは温度境界層の厚みよりも大きいこと、しかしレイリー数の増加に伴いより速く減少することがわかった。この結果は、より高いレイリー数領域では新たな熱乱流状態が実現する可能性を示唆している。また、セル上部の境界面に沿った一定速度の流れがあることが相関解析により明らかとなり、この境界層で観測された水平方向の流れ、および鉛直速度の反転は上部境界面で生成された熱構造物の動きに起因する可能性が指摘された。

第 7 章では、本論文で得られた結果をまとめ、世界的に新しく重要な結果が得られたことを指摘し、今後の研究の方向性が示されている。

さらに、付録 A に本研究の議論にもちいられた比例則（特に熱乱流状態を特徴づけるヌッセルト数のレイリー数に対する依存性）の導出、付録 B に本研究で用いられた主成分分析法が解説されている。

以上のように、本論分において論文提出者は、超音波流速測定法という新しい計測方法を用いた水銀中の熱乱流研究において十分な成果を挙げ、乱流物理学に貢献するところが大きい。なお、本論文の第 3 章は瀬川武彦、佐野雅己との共同研究、第 4 章から第 6 章は辻義之、水野孝俊、佐野雅己との共同研究であるが、いずれも論文提出者が主体となって実験、分析および検証を行ったもので、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。