

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 12777 号
------	---------------

氏 名 高牟禮 光太郎

論文題目

Influence of large-scale structure on momentum and scalar transfer process in spatially-developing shear mixing layer
(空間発展するせん断混合層における運動量とスカラー輸送過程に及ぼす大規模構造の影響)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	酒井 康彦
委員	名古屋工業大学	教授	森西 洋平
委員	名古屋大学	教授	長田 孝二
委員	名古屋大学	准教授	伊藤 靖仁

論文審査の結果の要旨

高牟禮光太郎君提出の論文「Influence of large-scale structure on momentum and scalar transfer process in spatially-developing shear mixing layer (空間発展するせん断混合層における運動量とスカラー輸送過程に及ぼす大規模構造の影響)」は、上下に異なる流速を有する流れ場を与えることにより生成される流れ場(すなわち、せん断混合層)を対象に数値的に研究が行われ、せん断混合層中に混在する大規模構造が運動量やスカラー輸送過程に及ぼす影響を明らかにしている。各章の概要は以下の通りである。

第1章は緒言であり、自由せん断乱流の必要性および起用研究について言及し、本研究の概要をまとめている。

第2章では、自由せん断混合層の直接数値シミュレーションに関する計算手法および計算条件の詳細について述べている。本論文で使用されたコードは Message Passing Interface(MPI)および Open Multi-Processing (OpenMP)のハイブリット計算による非常に高効率な並列化(並列化率99.97%, ベクトル化率99.5%)を実現しており、これまでに同時に計算することができなかったせん断混合層の未発達領域から完全発達領域に至るまでの計算を可能にしている。

第3章では、局所的なスケールで出現する逆勾配方向の運動量輸送の駆動力と渦の動的構造を明らかにすることを目的としている。速度場の基本的な特性や、発達遷移領域の局所的なスケールで見られる逆勾配方向の運動量輸送についてレイノルズ応力方程式の各項を比較することにより、逆勾配方向の運動量輸送の駆動力を明らかにした。さらに、混合層の渦領域における運動量の逆勾配方向の輸送と渦度分布の関係から、未発達領域において順勾配方向と逆勾配方向の運動量輸送が生じる境界領域で高渦度領域が現れることを明らかにした。これらの知見は、新たな乱流モデルの開発において有用な知見である。

第4章では、乱流プラントル数を用いて運動量輸送とスカラー輸送の相違を調べ、この相違の原因について渦の動的構造とその乱流特性に基づき考察した。主な結果として、乱流プラントル数は、大規模渦の構造に支配的な発達遷移領域において一般的な乱流場の値よりも小さな値になることが明らかにされた。また、レイノルズ応力方程式とスカラーフラックス方程式の収支分析から、運動量とスカラー輸送の相違の原因は圧力に関連する項(すなわち、圧力歪相関項、圧力スカラー勾配相関項、および圧力拡散項)によって引き起こされることが明らかにされた。現象的には、大規模な渦が共存する場において、運動量は圧力の影響を受けて逆勾配方向に輸送される傾向が見られるが、スカラー場ではこれらの影響を受けないために順勾配方向に輸送されるために、運動量輸送とスカラー輸送の駆動力に差が生じ、乱流プラントル数の低下を引き起こしていることが示された。

第5章では、乱流運動エネルギーの散逸係数の空間発展について大規模構造と関連づけて調査されている。せん断混合層の完全発達領域において、乱流運動エネルギーの散逸係数は古典的な仮説から得られる散逸スケーリング則に従うが、発達遷移領域の広い範囲にわたっては、古典的な仮説とは異なるスケーリング則が成立することが明らかにされた。この時、発達遷移領域におけるエネルギースペクトルの低波数領域には多数のスペクトルのピークが見られたが、完全発達領域において、それらのピークは失われていることが示された。この発達遷移領域と完全発達領域における散逸スケーリング則の差異は、大規模渦のエネルギー含有構造の分布の相似性によって判別することができることを明確にした。これらの結果は、乱流運動エネルギーの散逸係数が定数であるという古典的な仮説を適用するためには、大規模渦のエネルギー含有構造の長さの分布の自己相似性を満たす必要があることを示唆しており、乱流理論の発展に非常に有用な知見である。

第6章は総括であり、第3章から第5章で得られた知見をまとめている。

以上のように本論文ではせん断混合層における大規模数値計算コードを開発し、それを用いて流れ場の中で見られる運動量の逆勾配方向の輸送現象、乱流プラントル数の低下現象、平衡-非平衡乱流特性および発生条件を数値計算により明らかにしたものである。本論文で得られた知見は、数値流体力学の分野の発展に大きく貢献するものであり、学術的・工業的に寄与するところが大きい。よって、本論文の提出者である高牟禮光太郎君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。