Japan Society of Fluid Mechanics

乱流微細構造と高シュミット数スカラー混合のフラクタル特性

Fine Scale Structure and Fractal Geometry of Scalar Mixing at High Schmidt Numbers in Turbulence

○ 石本 祥義，東工大院，東京都目黒区大岡山 2-12-1, E-mail:sishimot@navier.mes.titech.ac.jp
佐藤 允，東工大院，東京都目黒区大岡山 2-12-1, E-mail:msato@navier.mes.titech.ac.jp
瀬尾 健彦，東工大院，東京都目黒区大岡山 2-12-1, E-mail:tseo@navier.mes.titech.ac.jp
店橋 護，東工大院，東京都目黒区大岡山 2-12-1, E-mail:mtanahas@mes.titech.ac.jp
宮内 敏雄，東工大院，東京都目黒区大岡山 2-12-1, E-mail:tmiyauch@mes.titech.ac.jp
Sachinori ISHIMOTO, Makoto SATO, Takehiko SEO, Mamoru TANAHASHI and Toshio MIYAUCHI
Dept. of Mechanical and Aerospace Engineering, Tokyo Institute of Technology,
2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo, 152-8550, Japan

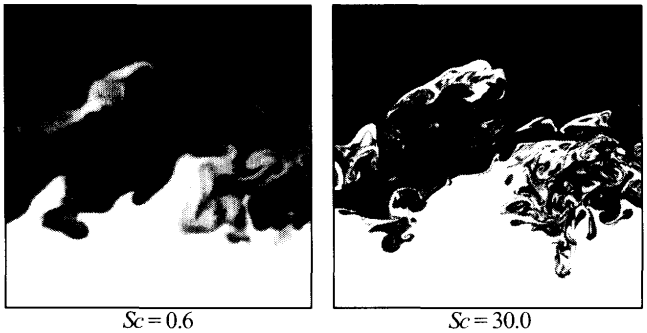
Direct numerical simulations (DNS) of temporally developing turbulent mixing layer with scalar transport have been conducted to investigate the fine scale structure and the fractal geometry of scalar surfaces in turbulence. To investigate Schmidt number (*Sc*) effects on the turbulent scalar mixing, DNSs of turbulent scalar transport up to *Sc*=30.0 have been conducted for moderate Reynolds number. For high *Sc*, two fractal dimensions can be defined. The first fractal can be observed in relatively large scales. The dimension of the first fractal coincides with that of moderate *Sc* number case in the inertial subrange and is around 2.5. The second fractal dimension can be defined in small scales and shows larger values (about 2.8), which denotes self-similarity of scalar surfaces smaller than the Kolmogorov length. The inner cutoff of the second fractal reaches to about 10 times Batchelor length scale for high *Sc*.

1．緒論

自由せん断流では，流れ場の乱流遷移に伴い熱・物質混合が急激に促進されることが知られている．この現象は混合遷移と呼ばれており，燃焼器の高効率化等において非常に重要であるが，混合遷移現象の発生機構は未だ明らかにされていない．近年，乱流の直接数値計算(DNS)結果から，乱流中には流れ場やレイノルズ数に依存しない普遍的な微細渦構造（コヒーレント微細渦）が存在することが明らかにされている[1]．これらの微細渦は乱流中での熱・物質等のスカラー輸送に関しても重要な役割を果たしており[2]，コヒーレント微細渦の回転平面内での楕円特性と渦周囲に形成されるスカラー変動及びスカラー散逸の間に明確な相関がある．このようなことから，乱流のコヒーレント微細渦は混合遷移現象とも密接に関連しているものと考えられる．本研究では，混合遷移期を含む高シュミット数のスカラー輸送を伴う時間発展乱流混合層の直接数値計算(DNS)を行い，乱流混合のフラクタル特性と乱流コヒーレント微細渦の関係を明らかにすることを目的としている．

2．乱流混合層のフラクタル特性と混合遷移

本研究では，パッシブ・スカラー混合を伴う時間発展乱流混合層を対象として，主流速度差(ΔU)と初期渦度厚さ($\delta_{\omega 0}$)に基づくレイノルズ数($Re_{\omega 0}$)が 500 として，シュミット数(Sc)が最大で 30.0 の場合に対して直接数値計算を行った．図 1 は Sc=0.6 と Sc=30.0 の t=150 における x-y 断面での濃度分布を示している．濃度分布はシュミット数の増加とともに複雑になり，より小さな変動を示すようになる．また，シュミット数に関係なく濃度分布の全体的なパターンはほぼ一致している．これはそれぞれのケースにおける乱流構造が全く同じためである．過去の実験的研究では，濃度場の可視化により視覚的に複雑となった場合に混合遷移が生じたと判断する場合が多い．しかし，この定義はきわめて曖昧であるため，本研究では直接数値計算より得られた濃度分布に対してフラクタル解析を導入した．図 2 は，フラクタル次元とフラクタル特性を示すスケールの上限 inner cutoff の時間変化を示している．中程度の大きさのシュミット数に対してフラクタル次元は一つだけ定義できる．しかし，高シュミット数の場合，二つのフラクタル次元(D_1, D_2)を定義できる．D_1 は比較的大きなスケールにおいて現れ，D と同程度の大きさであり，Sc に対してほとんど変化しない．D_2 は微細スケールにおいて現れ，その値は 2.8 程度である．inner cutoff はシュミット数の増加とともに η_B に対して増大する傾向にあり，約 $10\eta_B$ となる(図 2(b))．



Sc = 0.6　　Sc = 30.0

Fig.1 Distributions of scalar mass fraction on a x-y plane for $Re_{\omega,0}$= 500.

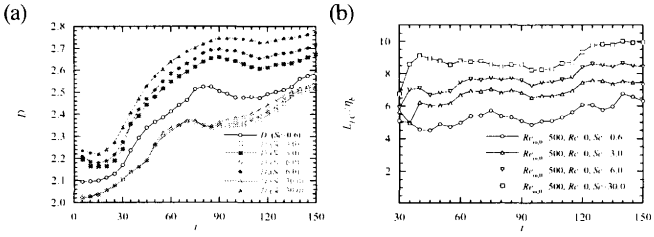


Fig.2 Development of (a) fractal dimension and (b) inner cutoff.

参考文献

(1) Y. Wang, M.Tanahashi and T. Miyauchi, "Coherent fine scale eddies in turbulence transition of spatially-developing mixing layer," International Journal of Heat and Fluid Flow, 28(2007), pp.1280-1290.
(2) 店橋・岩瀬・ウッディン・高田・宮内，"一様等方性乱流中のコヒーレント微細渦の空間分布と熱輸送," Thermal Science and Engineering, 8,(2000) , No. 3, pp. 29-38.

NII-Electronic Library Service