OS8-02

一様平均スカラー勾配下のパッシブスカラー乱流における非等方揺らぎ

Anisotropic fluctuations in passive scalar turbulence with a uniform mean gradient

○正 安田 達哉^{*1}, 後藤 俊幸^{*1}, 渡邊 威^{*1}, 齋藤 泉^{*1}Tatsuya YASUDA^{*1}, Toshiyuki GOTOH^{*1},
Takeshi WATANABE^{*1} and Izumi SAITO^{*1}^{*1} 名古屋工業大学 Nagoya Institute of Technology**Key Words** : Turbulence, Passive scalar, Anisotropy, Uniform mean scalar gradient

流れに受動的に輸送されるスカラー量は、しばしばパッシブスカラーと呼称される。乱流統計理論により、パッシブスカラーの揺らぎのスペクトルは幾つかの冪乗則に従うことが導き出されている⁽¹⁾。その冪乗則の導出には、乱流速度場およびスカラー揺らぎ場が統計的な意味で局所的に等方である状況を要請する。従来の実験・数値計算により、上記冪乗則が発現することが確認されている⁽²⁾。しかしながら、平均スカラー勾配が存在する乱流において、平均勾配方向のスカラー変動勾配の確率密度分布は正負対称にならない⁽²⁾。この状況の理解には、パッシブスカラー輸送現象をより正確に理解する必要がある。過去の乱流モデルの多くはスカラー揺らぎの局所等方性仮説を用いて開発されているため⁽³⁾、どのような状況でスカラー揺らぎの等方性が妥当であるかを把握することはモデルの予測精度向上の観点からも極めて重要である。そこで本研究では、非等方揺らぎの特性の理解を目指し、一様等方乱流に輸送される一様平均スカラー勾配下のパッシブスカラー揺らぎの特性の変化をパラメータスタディにより調査する。使用するパラメータはレイノルズ数 $Re_\lambda = u'\lambda/\nu$ とシュミット数 $Sc = \nu/\kappa$ である (u' は二乗平方根速度, λ は乱流速度場に対するテイラー長, ν は動粘性係数, κ は拡散係数)。なお、これらのパラメータの変化に伴い、ペクレ数 $Pe_\lambda = u'\lambda_\theta/\kappa$ も変化する (λ_θ はスカラー変動場に対するテイラー長)。我々は、4つの異なるレイノルズ数に対して多数の異なるシュミット数を用い、統計的に定常なパッシブスカラー乱流の直接数値シミュレーション (DNS) を実施する。直交座標系 (x_1, x_2, x_3) の各方向に一辺 2π の周期箱内の非圧縮性粘性流体運動を考え、それに移流されるパッシブスカラーを考える。この境界条件下、非圧縮性粘性流体に関する Navier-Stokes 方程式と連続の式、スカラー揺らぎの移流拡散方程式を連成して解く⁽¹⁾。時間方向の離散には4次の Runge-Kutta-Gill 法を、空間方向の離散には擬スペクトル法を用いる。理想的な一様等方乱流を実現すべく、乱流速度場の駆動にはホワイトガウシアンノイズを用い、中波数域にその外力を印加する。また、 x_3 方向に一様平均スカラー勾配を課し、統計的に定常なスカラー変動場を実現する。

上記 DNS を活用し、スカラー変動勾配に関する乱流統計量の Sc と Pe_λ に対する依存性を調査した。その結果、我々はスカラー揺らぎの非等方性を特徴付ける上で Pe_λ が重要な量であることを確認した。スカラー揺らぎは、 Pe_λ が十分に高くなると乱流スカラー混合効果によって等方的になり、他方低くなると一様平均スカラー勾配の影響が反映されて非等方的になる。更に、場の可視化により、 Pe_λ が低い時にスカラー変動場到大規模スカラー変動構造が現れることを確認した。この大規模構造は一様平均スカラー勾配に沿って伸びた構造をしており、そのスケールは乱流速度場の積分特性長と比べて著しく大きい。なお、我々は使用した全てのレイノルズ数に対してこの大規模構造の発現を確認したことを付記する。

文 献

- (1) Gotoh, T., Watanabe, T., and Suzuki, Y., “Universality and anisotropy in passive scalar fluctuations in turbulence with uniform gradient”, *Journal of Turbulence*, Vol. 12, No. 48 (2011), pp. 1-27.
- (2) Gotoh, T., Yeung, P.K., “Passive scalar transport in turbulence: A computational perspective”, *Ten Chapters in Turbulence*, eds Davidson, P.A., Kaneda, Y. Sreenivasan, K.R. (Cambridge Univ Press, Cambridge, UK).
- (3) Dimotakis, P. E., “Turbulent mixing”, *Annual Review of Fluid Mechanics*, Vol. 37 (2005), pp. 329-356.