

乱流噴流場における高シュミット数物質の拡散・混合過程の解明
Study on the mixing of high Schmidt number scalar in turbulent jet

研究代表者：岩野 耕治（名古屋大学）

研究協力者：瀬戸 孝祐，大島 聡史（名古屋大学）

高シュミット数物質が乱流中で混合される時、濃度揺らぎの最小スケールは速度揺らぎの最小スケールよりも小さくなる。このとき、最小渦よりも小さい微小スケールの濃度揺らぎには、流れ場の大スケールの構造によらない普遍領域が存在することが乱流統計理論により予想されているが、過去の実験では流れ場により特性が変化する可能性が指摘されており、詳細は未だ明らかにされていない。そこで本研究では、高シュミット数物質の混合・拡散過程に及ぼす大スケールの流れ構造の影響を明らかにすることを旨とし、大スケールの組織的渦構造を持つ軸対称乱流噴流場の大規模三次元直接数値シミュレーション（DNS）を行った。

計算は噴流出口流速と出口直径 d に基づく Reynolds 数を 1000 とし、噴流に含まれるスカラーの Schmidt 数 (Sc 数) を 1, 2, 4, 8 の 4 条件とした。計算領域を噴流流れ方向 (x) に $40d$ スパン方向 (y) と鉛直方向 (z) に $25d$ とし、それぞれの方向に 1276, 700, 700 点の格子点を用いた。また格子点は噴流中心で密になるように配置した。数値計算コードは部分段階法に基づいており、時間進行には三次 Runge-Kutta 法を、空間離散化には二次精度中心差分を用いた。計算には不老クラウドシステムを用い、MPI 並列を行った。

図 1 に Sc 数が 1 と 8 の場合の瞬時スカラー濃度分布を示す。図より、 Sc 数が大きい場合の方がスカラー場に細かな変動が生じていることがわかる。図 2 に噴流中心軸上のスカラーの相対変動強度を示す。図より、いずれの Sc 数の場合も、 $x/d \sim 25$ より下流で

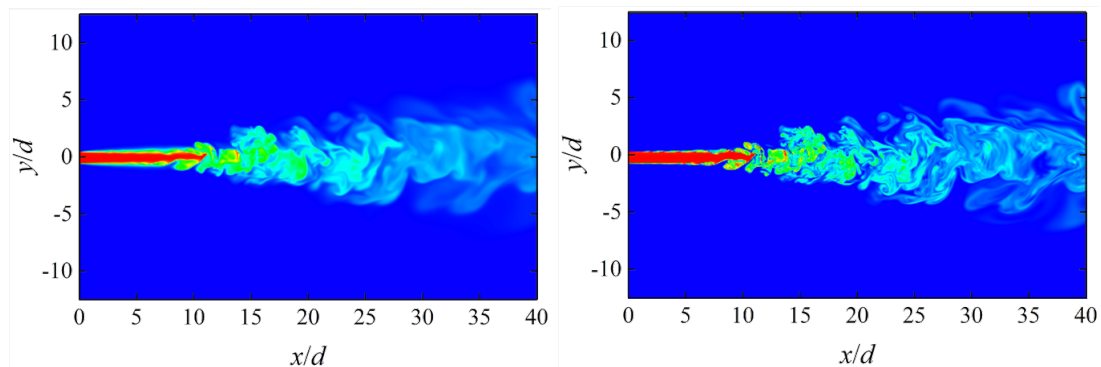


図 1. 瞬時スカラー濃度分布. (左 : $Sc = 1$, 右 : $Sc = 8$)

ほぼ一定値を示しており、軸対称噴流の自己相似的な特性を良く再現できていることがわかる。また、 Sc 数が大きいほど相対変動強度が大きくなることもわかる。図 3 に噴流中心軸上 $x/d=35$ の位置におけるスカラーパワースペクトルを示す。パワースペクトルを算出する際には、サンプリング点のスカラー変動の時系列データを主流方向平均流速を用いて空間データに変換した。また、図には Kraichnan [1] の理論スペクトルも併せて示してある。図より、低波数域 ($k\eta_B \sim 0.1$) では、 Sc 数が大きいほど理論スペクトルに従う傾向が確認された。一方、高波数域 ($k\eta_B \sim 1$) では、 Sc 数が大きい場合に解像度不足により変動パワーを過小評価していることが分かった。今後、スカラー変動の高波数域の特性の解明に向けて、より解像度の高い計算を実施する必要性が示された。

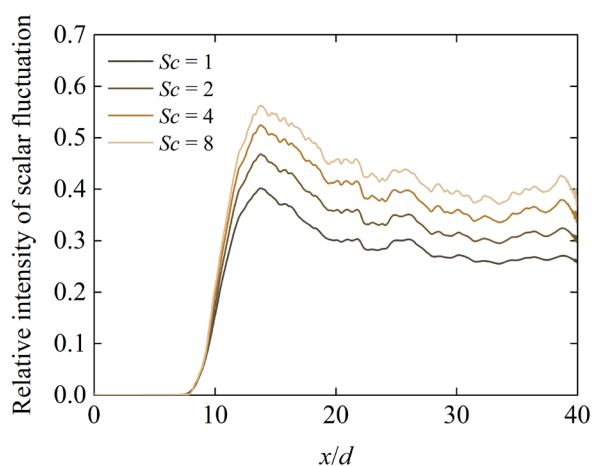


図 2. 噴流中心軸上のスカラー相対変動強度

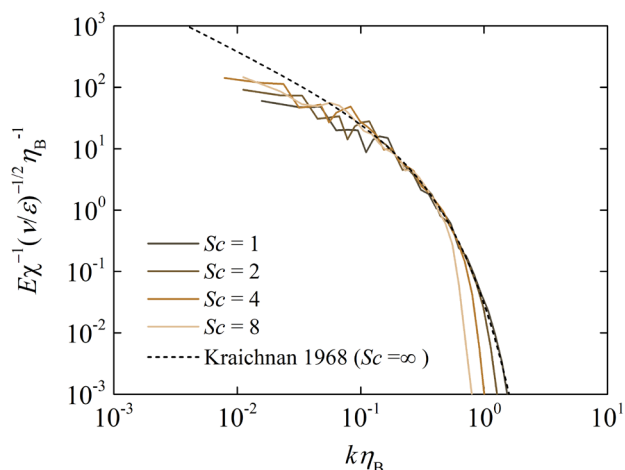


図 3. スカラーパワースペクトル

[1] Kraichnan, R. (1968). Small-scale structure of a scalar field convected by turbulence. *Phys. Fluids*, 11, 945-953.