

超音速乱流の大スケール動力学特性

研究代表者：渡邊智昭（名古屋大学大学院 工学研究科 航空宇宙工学専攻）

超音速域における乱流現象は航空宇宙工学や宇宙流体物理などにおいて幅広くみられる。乱流場は大規模なスケールの変動から成り、熱・物質あるいは運動量の輸送といった乱流の重要な特性は大スケールの特性によって支配される。しかし、大スケールの動力学特性について、特に超音速流中で生成される圧縮性乱流において、不明な点が数多く残されている。乱流場では強い非線形性によるスケール間相互作用が存在しており、圧縮性乱流における大スケールの特性解明・モデル化は様々な流体分野において重要な課題となっている。こうした問題について、様々な乱流理論の基礎となる一様等方性乱流場を模擬した格子乱流の風洞実験が行われてきた。本研究では、主流流速が超音速域にある格子乱流の直接数値計算を行い、その特性について調査した。支配方程式は質量保存、運動量保存、エネルギー保存の式であり、これらを有限差分法により数値的に解く。空間の離散化には八次精度中心差分法を、時間積分には四次精度 Runge-Kutta 法を用いた。計算コードの詳細は発表論文 1 に述べられている。本研究では時間発展型の格子乱流を考え、格子幅 M と主流流速に基づくレイノルズ数を 10000、主流のマッハ数を 1.6 とした。初期の温度、圧力はそれぞれ 300K, 101300Pa とした。計算領域は各辺の長さが $10M$ の立方体であり、格子点数は 1152^3 である。同計算ではスーパーコンピュータ CX2 を用いた。図 1 に格子乱流の生成領域での主流方向速度および密度分布を示す。いずれも主流方向に垂直な平面で可視化されている。流速分布には格子の影響がみられ、格子乱流が生成されつつあることがわかる。また、格子乱流生成に伴い密度変動も生成されていることが右図からわかる。格子乱流の数値計算を様々なマッハ数に対して行い、統計量の時間発展について調査した（学会発表 1）。

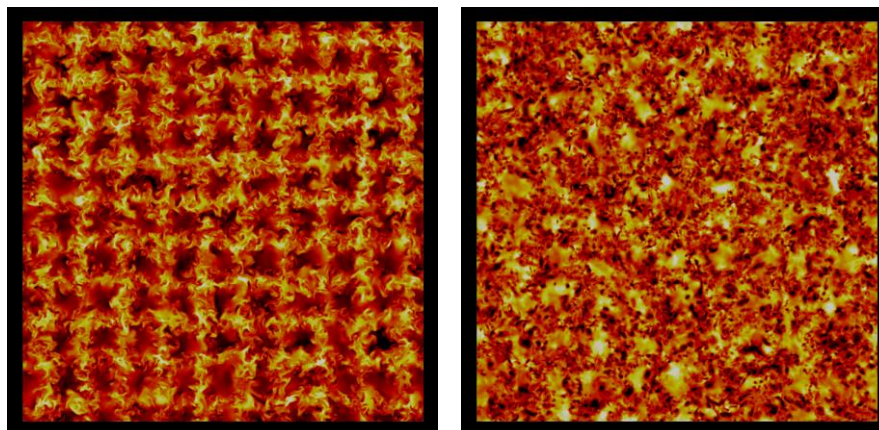


図 1 主流方向に垂直な平面での主流方向流速（左）および密度分布（右）。

発表論文 1: Y. Tai, T. Watanabe, and K. Nagata, Modeling of molecular diffusion and thermal conduction with multi-particle interaction in compressible turbulence, Phys. Fluids. Vol. 30 (2018), 035108.

学会発表 1: T. Watanabe and K. Nagata, Passive scalar mixing in temporally developing grid turbulence, Turbulent Mixing and Beyond 2017, (2017).