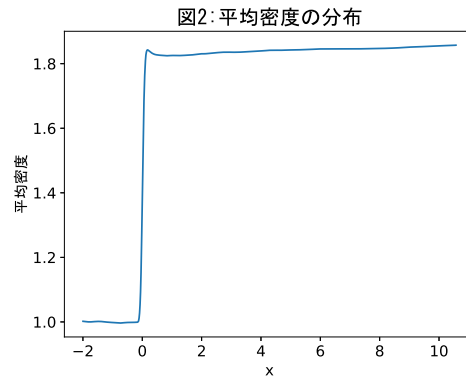
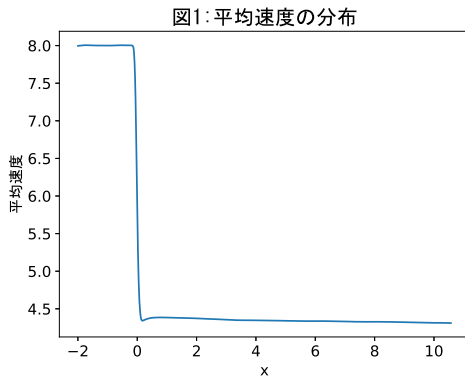


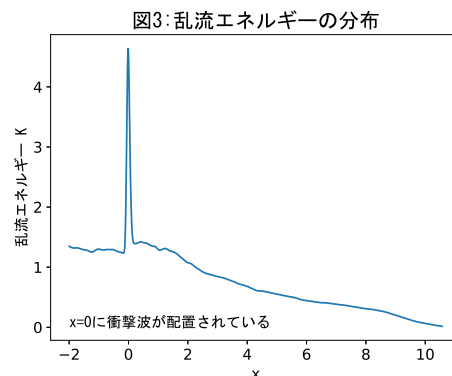
衝撃波と乱流の相互作用と圧縮性乱流モデリング

衝撃波と乱流の相互作用の理解や予測は超音速航空機の性能向上や慣性核融合を実現するにあたり重要な課題である。衝撃波では平均速度、平均密度等の量が空間的に急激に変化する。図1は衝撃波 ($x=0$) にて平均速度が急に減少しているのを表し、また図2は平均密度が急に増加しているのを表している。



乱流が衝撃波に衝突すると急激な平均量の変化によって乱流強度や熱の輸送が増大することが知られている。

図3は衝撃波と乱流の相互作用の直接数値計算の結果であるが、衝撃波の位置 ($x = 0$) にて乱流エネルギーが増幅されているのが確認できる。本研究では衝撃波乱流相互作用の直接数値計算 (DNS) のデータベース [1] を用いて乱流エネルギーの増大の仕組みを理解し、圧縮性乱流の Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) 方程式のモデリングを行う。



既存の RANS モデルの問題点

圧縮性乱流の乱流エネルギー K の輸送方程式は次の様に見える。

$$\frac{\partial \bar{\rho} K}{\partial t} + \frac{\partial \bar{\rho} U_l K}{\partial x_l} = P_K + T_K + Pw + pd - \varepsilon$$

P_K :乱流エネルギーの生成項 T_K :拡散項 Pw :圧力仕事項 pd :圧力膨張相関項 ε :散逸項
 $\bar{\rho}$:平均密度 U_l :平均速度

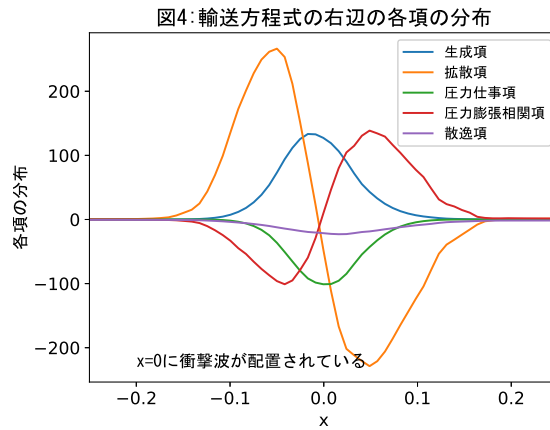
既存の研究では上式の右辺の内 T_K と Pw を無視した上でモデル化しているが、そのままでは衝撃波における乱流エネルギー K を過大評価してしまうことが知られている。

DNSに基づくモデリング

DNS[1]の結果では乱流エネルギーの輸送方程式の右辺の空間分布は図4の様になっている.

このデータから乱流エネルギーの増幅に上記の輸送方程式の右辺の各項がどのように寄与しているかを評価をした. 結果圧力仕事項 P_w が負の項として大きく寄与している, すなわち, 乱流エネルギーの増幅を減らす方向に大きな寄与をしていることが判明した. よって過大評価の原因はこの P_w による乱流エネルギーの破壊を無視したことにあると考えられる.

$P_w = \frac{\rho' u'_l}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_l}$ と表されるため, まずは簡単な勾配拡散近似 $\overline{\rho' u'_l} = -\nu_T \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_l}$ をし数値計算を行うことでどの程度乱流エネルギーの過大評価を抑えるか, また渦拡散近似は適切かどうかを調べている.



References

- [1] J. Larsson, S. K. Lele, "Direct numerical simulation of canonical shock/turbulence interaction," Phys. Fluids, Vol. 21, No. 12, 2009, p. 126101.