超音速平面ジェットの影響場に対する斜めモードの影響

Effects of oblique modes on sound field in a supersonic plane jet

○ 正 渡辺大輔 (広大院工) 正 前川 博 (広大院工)

Daisuke WATANABE, Hiroshima University, Kagamiyama 1-4-1, Higashi-Hiroshima 739-8527

Hiroshi MAEKAWA, Hiroshima University, Kagamiyama 1-4-1, Higashi-Hiroshima 739-8527

Key Words: supersonic jet, spatial DNS, transition, unstable mode

1 はじめに 高マッハ数のジェットからの音響放射はマッハ波によって支配されていることが実験によって報告されている⁽¹⁾。さらに、このマッハ波は乱流中の渦構造 (または波) が超音速で移動することにより発生していると考えられ、マッハ波による騒音は線形安定性モードによってモデル化されている。また、超音速平面ジェットにおいて、Kelvin-Helmholtz 不安定性に起因する二次元およびジェット軸との成す角が小さい反対称モードの位相速度は超音速であり、マッハ波形成に大きく影響している、という報告が線形安定性解析並びに時間発展 DNS による研究⁽²⁾によりなされている。しかし、放射されるマッハ波の効率的な抑制手法はまだ確立されておらず、超音速ノズルの設計において克服すべき最も重要な課題の一つとしてあげられる。そのため、矩形ジェットなどの円形とは異なる形状のジェットについて、遷移機構および騒音発生機構の理解を深めることは、超音速ジェットにおける騒音低減技術向上に対し非常に重要であると考えられる。

このような背景から本研究では、円形ジェットとは異なる形状の流れである超音速平面ジェットの非定常三次元空間発展 DNS を用い、ランダム攪乱と超音速平面ジェット特有の不安定波の空間的発達の流れ場および音響場に及ぼす影響を詳細に調べる。

2 計算方法 移流マッハ数 $Mc = 1.17$, ジェット半幅 b に基づく $Re_b = 1000$ の平面ジェット空間発展 DNS における流入攪乱として、①ランダム攪乱 (ランダムケース) および②ランダム攪乱に線形安定性解析から得られる位相速度が音速以下の三次元反対称モードを加える (固有関数ケース) 二通りのケースを用いた。支配方程式はデカルト座標系で記述された圧縮性ナビエ-ストークス方程式であり、移流項に 5 次精度散逸コンパクトスキーム⁽³⁾を適用した。また、時間進行には、4 次精度 4 段階 Runge-Kutta 法を用いた。また、計算領域は、 $0 < x_1 < 60b$, $-20b < x_2 < 20b$, $0 < x_3 < 12b$ とした。このとき、スパン方向計算領域は線形安定性解析より求めた最も不安定な斜めモードが 2 波長入る長さとした。格子数は $N_{x_1} \times N_{x_2} \times N_{x_3} = 401 \times 301 \times 200$ であり、主流および主流垂直方向に格子伸長を行っている。流出境界には特性波解析に基づく NSCBC⁽⁴⁾を適用した。

3 計算結果 図 1(a, b) は、それぞれランダムケースおよび固有関数ケースにおける渦構造の発達の様子である。固有関数ケースでは、図中丸で示した Λ 状の構造が現われ、ランダムケースより渦構造が複雑化する位置が上流に移る。また、図 2 に示されるジェット平均速度分布をみるとポテンシャルコアの消失位置も上流に移動する。図 3 はジェット近傍の圧力変動レベルである。三次元反対称モードを加えたケースにおいて約 5dB 程度の圧力変動レベル低下が認められる。これらのことから、三次

元反対称モードは超音速平面ジェットの流れ場および音響場において大きく影響を及ぼすことが分る。

Fig. 1: Downstream evolution of second invariant Q structure (topview) for a) random case and b) eigenfunction case.

Fig. 2: Jet mean centerline velocity.

Fig. 3: Pressure fluctuation level [dB] at $x_1 = 45b$

参考文献

- (1) Tam C K W., Supersonic Jet Noise., *Annu. Rev. of Fluid Mech.*, **27**(1995), 17-43.
- (2) Watanabe D. and Maekawa H., Transition of Supersonic Plane Jet due to Symmetric/Antisymmetric Unstable Modes., *Journal of Turbulence*, **3**, 047(2002), 1-17.
- (3) Deng X, Maekawa H and Shen C., A Class of High Order Dissipative Compact Schemes., *AIAA Paper*, No. 96-1972(1996), 1-11.
- (4) Poinot T J and Lele S K., Boundary Conditions for Direct Simulations of Compressible Viscous Flows., *J. Comput. Phys.*, **101**(1992), 104-128.