2次元乱流噴流速度場の多点同時計測と時空間構造解析

The multi-point simultaneous measurement of streamwise velocity and the analysis of spatio-temporal structure in a turbulent plane jet

正 酒井康彦 (名大工) ○ 学 田中伸彦 (名大院)
学 山本睦 (名大院) 櫛田武広 (名大工)

Yasuhiko SAKAI and Takehiro KUSHIDA, Dept. of Mechano-Informatics and Systems,
Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-86031

Nobuhiko TANAKA and Mutsumi YAMAMOTO, Graduate School of Nagoya University

Key Words: Turbulent plane jet, Multi-point measurement, POD, Coherent structure

1 はじめに 本研究では基本的で取り扱いやすく、かつ応用上重要な2次元噴流を取り上げ、その自己保存領域における乱流構造について調べた。実験として、I型熱線プローブによる21点同時測定を行い、その得られた実験データにKL展開とFourier変換を組み合わせた解析を適用した^{(1),(2),(3)}。KL展開は固有直交分解(POD)と呼ばれ、客観的に乱流の構造を抽出するための方法として用いられている⁽³⁾。本報では、この解析法によって得られた固有値、固有関数を用いてパワースペクトル、瞬時速度場の再構成を行い、オリジナルの分布と比較し、再構成された流れ場の特徴について調べた。

2 実験装置と条件 本実験では、出口高さ $d=12\text{m}$ 、アスペクト比19.7のノズルから $U_0 \sim 20\text{m/s}$ で空気を静止流体中に噴出させる。この時の出口レイノルズ数 $Re(=U_0 d/\nu)$ は16,000である。噴流中心軸に垂直な方向(x_2)にI型熱線プローブを21本並べて21チャンネル同時測定を行った。各プローブの間隔は7.5mmと一定で、測定断面は $x_1/d=10.0, 15.0, 20.0, 25.0, 30.0, 35.0, 40.0$ の7断面である。

3 実験結果 平均速度分布と速度r.m.s.値分布を調べた結果、平均速度分布は噴流外縁部を除き、経験的近似曲線として知られているGauss分布とほぼ一致し、速度r.m.s.値分布も過去の研究者の分布と良い一致を示していて、本研究における多点同時測定実験のデータが信頼できるものであることが確認できた。

4 解析結果

4.1 スペクトルの再構成 KL展開とFourier変換を組み合わせた解析により得られた固有値と固有関数から、 $x_1/d=20.0, x_2/b=0.5$ におけるパワースペクトルの再構成を行った結果を図1に示す。First two modesは、最初の2つの基底(固有関数)により再構成されたことを示す。また、図中のパーセントの値は、再構成されたスペクトルのオリジナルのスペクトルに対する寄与率を表している。オリジナルでは、 $-5/3$ 乗則の領域が現れており、さらに、高周波数領域に2次元乱流の特徴である -3 乗則の領域も見られる。再構成されたスペクトルは、First four modesやFirst six modesでは $-5/3$ 乗則の領域が見られる。特に、First six modesではオリジナルの分布とほぼ同じ形状をしていることが分かる。一方、First one modeやFirst two modesでは、 $-5/3$ 乗則の領域は見られず、より早く減衰している。これは、KL展開が乱れエネルギーの大きいところから再構成していくためであり、図からもFirst one modeやFirst two modesの分布は高周波数に向かうにつれて、オリ

ジナルの分布との差が大きくなっていく様子が確認できる。

Fig. 1: POD reconstructed spectra $S(f)$
at $x_1/d=20.0, x_2/b=0.5$

4.2 速度場の再構成 この解析により得られたランダム係数と固有関数から、 $x_1/d=20.0$ における瞬時速度場の再構成を行った。オリジナルの分布と比較すると、細かい変動がなくなっている様子が分かった。また、KL展開のみを用いて同じ条件で再構成を行った分布では、高速の流体塊が中心軸の両側にほぼ交互に分布している様子が確認できた。これは、Antonia et al.⁽⁴⁾が述べた2次元噴流の大きなスケールの構造は互いに逆回転する渦構造が交互に分布しているということと対応していると思われる。しかし、KL展開とFourier変換を組み合わせた解析で再構成した分布ではこのような構造を抽出することができなかった。この理由は、KL展開のみの場合は、KL展開の特性により適用した乱流場から最もエネルギーの大きな構造を抽出することができるのに対して、KL展開とFourier変換を組み合わせた場合では、周波数方向には一様性を仮定してFourier変換を行っているため、エネルギー的には小さい高周波数での固有関数の影響もあるためと考えられる。

参考文献

- (1) Gordeyev S. V., *J. Fluid Mech.*, Vol.460, pp.349-380, (2002),
- (2) George, W.K., KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, pp.75-90., (1990),
- (3) Delville, J., KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, pp.75-90, (1991),
- (4) Antonia R. A., *J. Fluid Mech.*, Vol.134, pp.49-66, (1983),