

II-203 二次元ブルームにおける組織構造の条件付抽出

大阪大学工学部 正員 中辻 啓二
 大阪大学工学部 正員 室田 明
 大阪大学工学部 正員 玉井 昌宏

1. まえがき

ジェットからブルームへの遷移過程で大規模な組織渦の存在が明瞭に可視化できるようになり、軸ならびに放流水の外縁が左右に大きく揺動するのが観察される¹⁾。また、その揺動に関連して、周囲環境水が間欠的に連行されるのが観られる²⁾。一方、著者らの理論解析³⁾によれば、ブルームの連行係数はジェットのそれの2.3倍にもなる。上述の二点から組織渦およびゆらぎ現象が両流動の連行能の違いに直接的に関与していると推察される。そこで、本報では二次元ブルームの完全発達領域において二方向流速変動と温度変動の同時計測を2組のX型ホットフィルム流速計と高感度サーミスターを用いて実施し、VITA法による条件付変動量解析から二次元ブルームの組織構造の特性を調べた。実験は放流口幅(W_0)0.4cmのスリットから温水を鉛直上向きに放流して行った。放流口密度フルード数はそれぞれ3.4, 61.2である。計測断面は $x/W_0 = 80$ の完全発達領域であり、Chen-Rodi⁴⁾の無次元表示に従えば $x_* = 15.64$ であることから、流れはpure plumeの範疇に属する。実験の詳細は文献5)あるいは6)を参照されたい。

2. 組織構造の抽出

温度変動時系列に観られる特徴的なランプ状パターンを検出関数に選び、VITA法を適用して組織構造の抽出を試みた。二点同時計測のうち一つは固定点であり、温度変動の半間欠点($y/y_{0.5} = 0.78$,ここに $y_{0.5}$ は平均流速分布の半値半幅)に相当する。もう一つの点は移動測定点であり、横方向に $-0.86 < y/y_{0.5} < 2.2$ の範囲で測定した。固定点で計測した温度変動の急激な立上り部に位相を合わせて、移動測定点での時間変動パターンを条件付サンプリングする方法を採用した。横断方向に1cm間隔に得られた時間変動パターンに組織渦の移流速度 $U_y = 0.65 U_{\epsilon}$ (ここに U_{ϵ} は軸上流速)を乗ずることにより、組織渦の空間構造が得られる。VITA処理に際しては移動時間として温度変動の渦寿命時間0.33秒、閾値として0.6を採用した。

図-1～3は条件付位相平均された温度変動 $\tilde{\theta}$ 、流下方向流速 $\tilde{u}$ 、横断方向流速 $\tilde{v}$ の空間分布を軸上温度差 ΔT_{ϵ} および軸上流速 U_{ϵ} で規格化して示す。 $\Delta x/y_{0.5} = 0.0$ は固定計測点に対応し、流れは下から上向きである。図-1より条件抽出された温度変動の空間分布より、温度変動時系列のランプ状立上り部に相当する高温水塊とその下流側の低温水塊とが明瞭な双眼構造を形成して存在しているのがわかる。 $\tilde{\theta}$ の高温部は $\tilde{u}$ の高流速部、 $\tilde{v}$ の正の値(ブルーム外縁に向かう流速)に対応し、 $\tilde{\theta}$ の低温部は $\tilde{u}$ の低流速部、 $\tilde{v}$

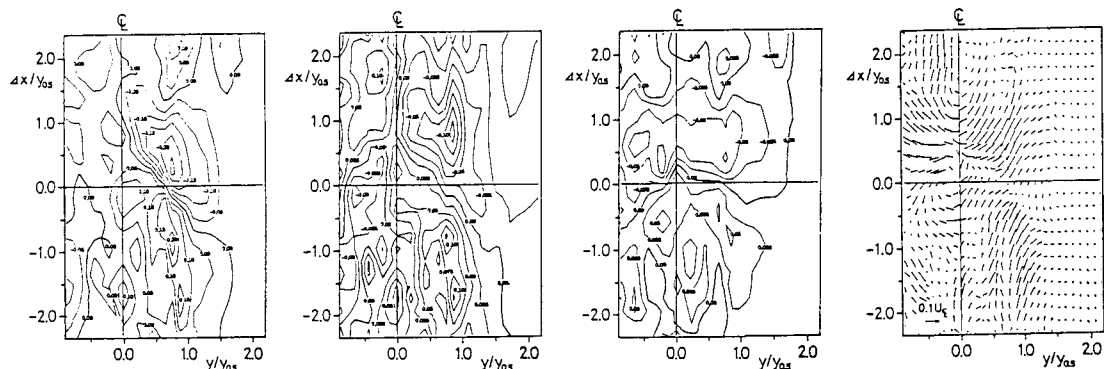


図-1 $\tilde{\theta} / \Delta T_{\epsilon}$ の分布 図-2 $\tilde{u} / U_{\epsilon}$ の分布 図-3 $\tilde{v} / U_{\epsilon}$ の分布 図-4 流速ベクトル

の負の値（ブルーム軸に向かう流速）に対応している。等値線がブルーム軸に傾いているのは、条件抽出した構造が時間的に早くブルームの内部領域に流下することを示している。

つぎに、 $\tilde{u}$ と $\tilde{v}$ を各点でベクトル表示したのが図-4である。同図のベクトルは平均値 U からの変動成分であるために、抽出した構造を直観的に捉え難い。そこで、各断面位置での平均値と渦構造の移流速度との差 $U - U_v$ を足し合せて、改めてベクトル表示したのが図-5である。同図には渦の循環が明瞭に認められる。渦構造は流軸の両側 $y/y_{0.5} = \pm 0.85$ の位置に非対称に存在し、互いに反対向きの循環を有していることがわかる。これらの図より、図-1の高温部が組織構造の前縁部に、低温部が後縁部に対応する。また、条件付抽出された組織構造の規模は流下方向に半値半幅の約3倍、横断方向に約2倍である。この値は別途実施した流速変動、温度変動の空間相関図で得られた結果⁷⁾とも良好に一致する。

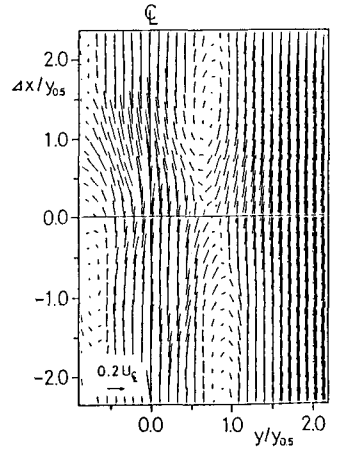


図-5 条件抽出した渦構造

3. 組織構造による乱流輸送

図-6, 7は条件付抽出されたレイノルズ応力 $\tilde{u}\tilde{v}/U_{\epsilon}^2$ と乱流熱フラックス $\tilde{v}\theta/U_{\epsilon} \cdot \Delta T_{\epsilon}$ の空間分布を示す。両図は類似しており、組織構造の全域で有意な正の値を示している。とくに、組織構造の前縁部と後縁部にピーク値が現われ、その値は慣用的な乱流変動強度 $\tilde{u}\tilde{v}$ あるいは $\tilde{v}\theta$ に匹敵しているのは興味深い。つまり、組織構造が運動量や熱輸送の大半を担っていることを示している。

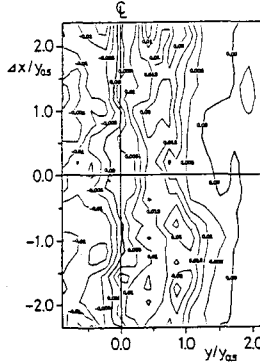


図-6 $\tilde{u}\tilde{v}/U_{\epsilon}^2$ の分布

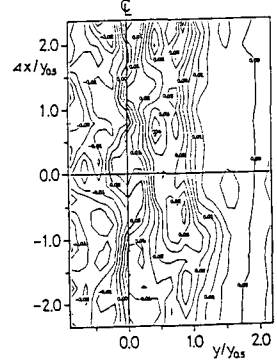


図-7 $\tilde{v}\theta/U_{\epsilon} \cdot \Delta T_{\epsilon}$ の分布

また、図には示さないが、両者の相関値はピーク付近で約0.7であり、コヒーレントな構造であることがわかる。図-1～3の空間分布を考え合せると、ブルーム前縁部では高温で高流速の流体塊をブルーム外縁部に向かって放出する乱流運動が生起し、同時にブルーム後縁部では周囲環境水（低温で低流速の水塊）をブルーム内へ連行加入する乱流運動が生起していると考えられる。これは図-4の組織構造の流速ベクトルにも明瞭に認められる。また、周囲環境水の連行加入が渦構造の通過直後に生じるという可視化実験の結果²⁾とも一致する。

4. まとめ

二次元ブルームにおいて流速分布の半値半幅の2～3倍の規模の組織構造がブルーム軸に関して非対称に、且つ反対向きの循環を有して存在することが、VITA法による条件付抽出により定量的に確認できた。周囲環境水の連行加入現象の主たる機構はこの非対称な組織構造の配置に依存すると予想される。

参考文献

- 1) 室田明・中辻啓二・玉井昌宏 (1986) : 第30回水理講演会論文集, pp.649-654.
- 2) Murota, A. and K. Nakatsuji (1986) : Proc. 4th Intl. Sympo. on Flow Visualization, Paris.
- 3) 室田明・中辻啓二・中井正則 (1986) : 土木学会論文集, 第369号/II-5, pp.23-31.
- 4) Chen, C.J. and W. Rodi (1980) : A Review of Experimental Data, HMT Series 4, Pergamon Press.
- 5) Murota, A. and K. Nakatsuji (1987) : Proc. 3rd Intl. Sympo. on Stratified Flows, Pasadena.
- 6) 室田明・中辻啓二・浅田浩章 (1986) : 第18回乱流シンポジウム講演論文集, pp.291-295.
- 7) 室田明・中辻啓二・玉井昌宏・町田博紀 (1987) : 第42回年次学術講演会講演概要集II.