

## 第II部門

## 植生キャノピー乱流場の組織渦が物質輸送メカニズムに及ぼす効果

京都大学 学生員 岡本隆明  
 京都大学 フェロー 禰津家久  
 京都大学 学生員 片山愛来

## 1. はじめに

実河川には多種多様な植生が繁茂し、水生生態系を形成している。このような植生帯は重要な河川環境機能をもつ一方で、植生先端部で大規模組織渦が発達し、浮遊土砂輸送や河床の局所洗掘に影響すると考えられるため、開水路植生キャノピー流れの物質輸送メカニズムを解明することは水工学および河川環境上においてきわめて重要であり、本研究の目標とした。

## 2. 実験手法および水理条件

図-1 に本研究の実験装置図を示す。実験に用いた水路は全長 10m、幅 40cm、高さ 50cm の可変勾配型直線水路である。水路底面には図のように 8m の全区間にわたって剛体植生モデルを配置した。剛体植生モデルは長さ 50mm、幅 8mm 厚さ 1mm の短冊状のアクリル板<sup>1)</sup>で、流水による変形や振動はなかった。

本研究では PIV 法と LIF(Laser-induced fluorescence) 法を併用して流速・染料濃度の空間同時計測を行った。図-1 に示すように上方から LLS を照射して、水路側方から 2 台の高速度カメラでデジタル撮影した。撮影領域のサイズは 15(cm) × 20(cm) である。LLS の照射位置は non-wake 領域<sup>1)</sup>とした。1 台のカメラは PIV 用で、もう 1 台は LIF 用である。PIV 計測ではトレーサーとして粒径 100 $\mu$ m のポリスチレン粒子を用い、カメラに 40Hz の外部トリガーを与えて、500Hz のフレームレートで 2 枚の連続画像のペアを 60 秒間撮影した。LIF 計測では直径 3mm のステンレス製のノズルを植生先端位置( $y/h=1.0$ )に設置し、ローダミン B を染料として注入し、その発光特性を利用して濃度を計測した。LIF カメラにはシャープカットフィルタを装着し、蛍光誘起化されたローダミン濃度のみが撮影されるように工夫している。染料注入速度は時間平均流速と同じになるように調整した。

表-1 に実験条件を示す。本研究ではかぶり水深比  $H/h$ 、断面平均流速  $U_m$  は一定として、植生密度  $\phi$  のみを 2 通りに変化させ、その影響を検討した。植生密度  $\phi$  は次式で定義される。

$$\phi = nAw/V_0 \quad (1)$$

ここで、 $n$  は体積  $V_0$  における植生の数で、 $A$  は流れ

表-1 実験条件

Case		$H$ (cm)	$Re$	$Fr$	$h$ (cm)	$U_m$ (cm/s)
R1	0.015	15.0	3000	0.17	5.0	12.0
R2	0.061					

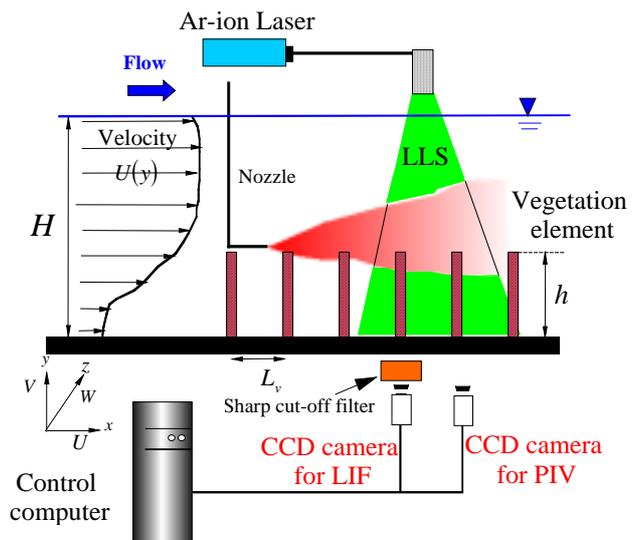


図-1 実験装置図

に垂直方向の植生要素の投影面積 (frontal area),  $w$  は植生要素の幅で  $w=8$ mm である。

## 3. 結果と考察

図-2 は植生密度  $\phi$  を変化させて時間平均主流速鉛直分布  $U$  を比較したものである。流速値は植生先端での流速  $U_h = U(y=h)$  で無次元化している。植生内部 ( $y/h < 1.0$ ) では植生要素の抗力によって主流速が低減されるために植生先端部 ( $y/h=1.0$ ) 近傍において主流速分布の変曲点が現れる。また植生密度が増加すると植生要素による流速の低減効果が増すために先端部での流速シアが大きくなっている。これらの結果は Nezu & Sanjou<sup>2)</sup> の結果と一致する。

図-3 に  $\phi = 0.015$  と  $0.061$  のケースの濃度変動強度  $c'$  の鉛直方向変化を比較した。両ケースにおいてノズル注入位置から流下方向 ( $x$ ) に離れるにつれて  $c'$  のピーク値が減少しており、濃度が拡散されながら移流されているのが確認できる。また  $\phi = 0.061$  のケースでは  $\phi = 0.015$  に比べて  $c'$  分布の鉛直方向の広がりが大きくなることから高濃度分布が植生層の内層と外層に輸送されている

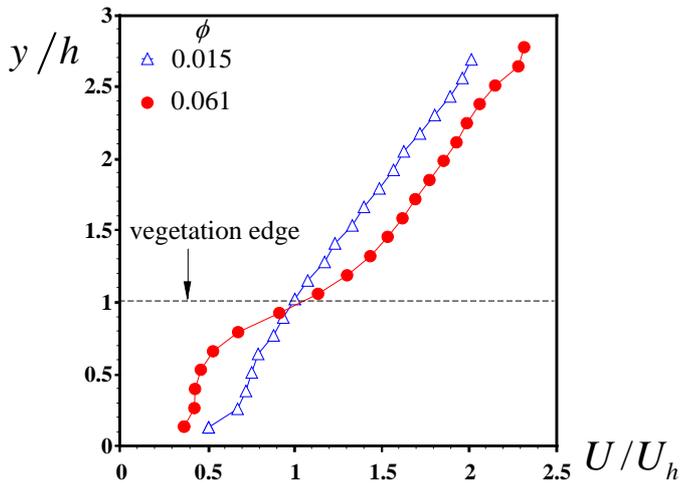


図-2 主流速分布の比較

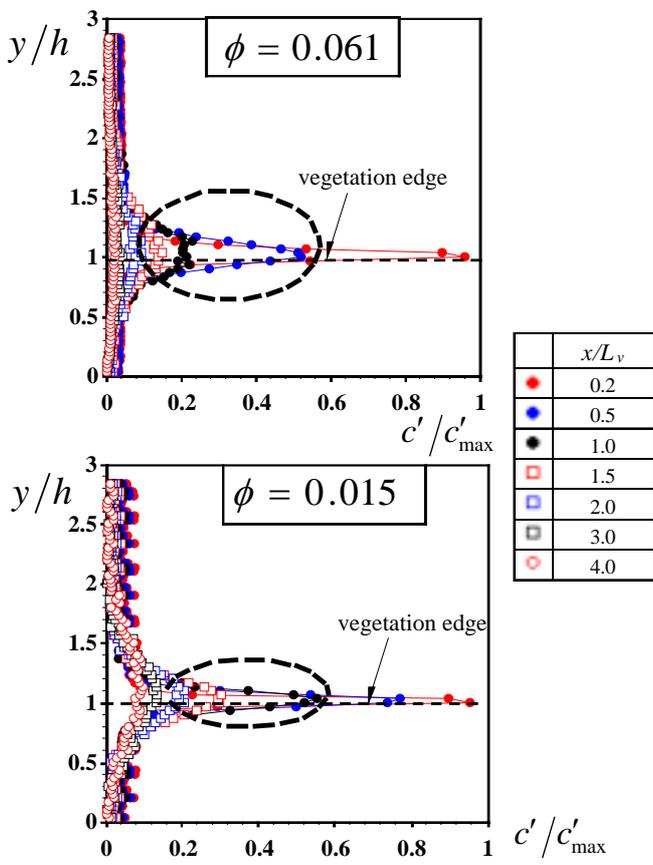


図-3 濃度変動強度分布の比較

ことがわかり、興味深い。これは植生密度の大きなケースでは流速シアが大きく、鉛直拡散が大きくなるためと考えられ、この傾向は Ghisalberti & Nepf<sup>2)</sup>の結果と一致している。

図-4 は  $\phi = 0.061$  のケースにおける瞬間ベクトル ( $\tilde{u}, \tilde{v}$ ) の一例である。図中には瞬間濃度コンター  $c(x, y, t)$  を併示している。  $t=0.0s$  では植生先端部で Sweep が発生し、高速流体によって植生内部に高濃度分布が輸送されている。  $t=4.8s$  では低速流の上昇ベクトル Ejection が発生し、植生層外部に染料が輸送され拡散し

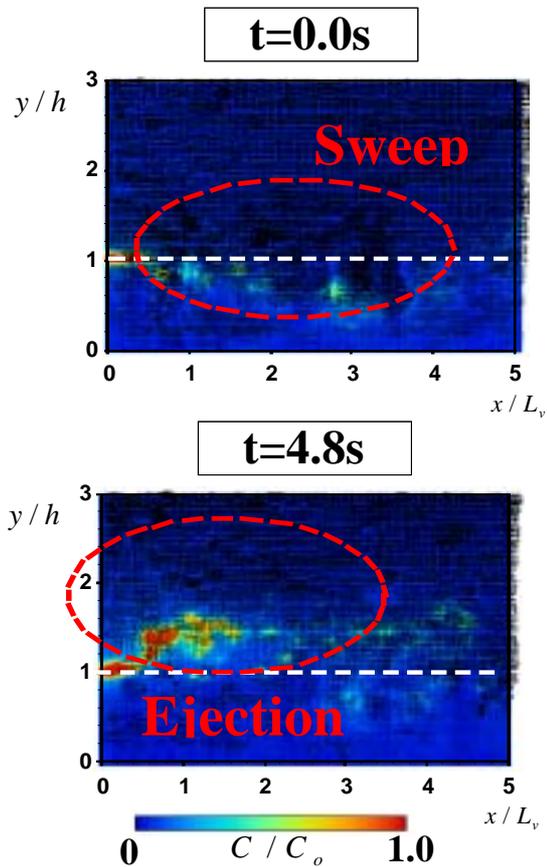


図-4 瞬間ベクトルと瞬間濃度分布 ( $\phi = 0.061$ )

ていることが観察できる。これらのことから植生流れでは Sweep, Ejection が交互に発生する組織変動サイクルが存在し、植生層内部と外部への物質輸送に寄与することがわかった。

#### 4. おわりに

本研究は植生流れを対象に PIV-LIF 計測を行い、植生流れ場が物質輸送メカニズムに与える影響について考察した。植生密度を変化させて鉛直拡散特性を比較検討し、瞬間ベクトルと瞬間濃度分布から植生流れには周期的な組織変動サイクルが存在し、物質輸送に寄与することがわかった。

#### 参考文献

- 1) 岡本隆明・禰津家久・山上路生(2008)：植生開水路流れの組織乱流構造に及ぼすかぶり水深の影響に関する研究，水工学論文集第 52 巻，土木学会，pp.739-744
- 2) Nezu, I., Sanjou, M. (2008). Turbulence structure and coherent motion in vegetated canopy open-channel flows, *J. of Hydro-environment Res.*, IAHR, 2, 62-90.
- 3) Ghisalberti, M. and Nepf, H. (2005): Mass transfer in the vegetated shear flows, *Environ. Fluid Mech.*, Vol.5,6, pp.527-551.