

第II部門

再帰法を用いた高解像度 PIV の開発と風波乱流への適用

京都大学 学生員 ○戸田瑛大
 京都大学 フェロー 榑津家久
 京都大学 正会員 山上路生

1. はじめに

地球規模のスカラー循環過程において、大気・海洋間の運動量・エネルギーの輸送現象を理解することは継続的な課題である。水・空気界面における輸送現象については水層の乱流現象が支配的であることが指摘されており、様々な計測と解析が行われている。近年では、水流と気流の同時解析システムが開発されつつあるが^{1), 2)}、乱流構造や波と流れの相互作用については未解明な部分が多い。そこで本研究では、2台の高速度カメラを用いた「流速・水面変動の同時計測システム」を構築し、再帰法をベースにした水面近傍の高解像度 PIV を開発した。これらの計測手法を用いて水面変動と流れの関係性および組織構造の特性を明らかにした。

2. 実験手法および水理条件

計測に用いた水路は全長 16m、幅 40cm、高さ 50cm の総ガラス製の可変勾配型水路風洞である(図-1)。本実験では水流部はタンク状態(閉鎖性水域)を再現し、水路上流側の大型ファンにより水流上に風を吹かせた。本実験では水深 H を 4, 8, 12, 20cm の4種類に変化させ、各ケースで2次元重力波を発生させた。 x, y はそれぞれ主流方向および鉛直方向を示す。表-1 に水理条件を示す。計測区間は、風波が十分発達したと考えられる水路上流端から約 7m 下流の地点に設定した。

計測には2台の高速度 CMOS カメラ(Ditect 製)を用いた。1台は PIV 計測としてレーザーシート光上のトレーサー粒子(100 μm 径のポリスチレン)を、もう1台は水面形状を撮影した。これらのカメラはパルスジェネレーターで同期制御し、同時撮影した。図-2 は、本システムで得られた原画像とそれに対応する輝度分布の一例である。タンク水にはローダミンBを溶解させ、気液界面をできるだけ鮮明に可視化できるように工夫した。これにより気液界面では輝度が急変し、水面形状の判別しやすい画像が得られている。(図-2)。この輝度分布から、宮本ら(2001)²⁾の方法に従って水面の時間空間分布を計算し、得られた水面形上より画像上の各画素について水層および空気層の区別をした。これにより界面近傍の MASK 領域に含まれる空気層の画素は相関計算から除外し、水流の流速計測の高精度化を試みた。さらに高解像度の PIV 解析を行うために後述する再帰法を導入した。

表-1 水理条件

Case	H (cm)	$U_{a,max}$ (m/s)	U_s (cm/s)	U_w (m/s)
C04c	4	6.80	28.10	0.0169
C08c	8	7.19	20.10	0.0115
C12c	12	6.63	22.56	0.0138
C20c	20	7.02	37.50	0.0230

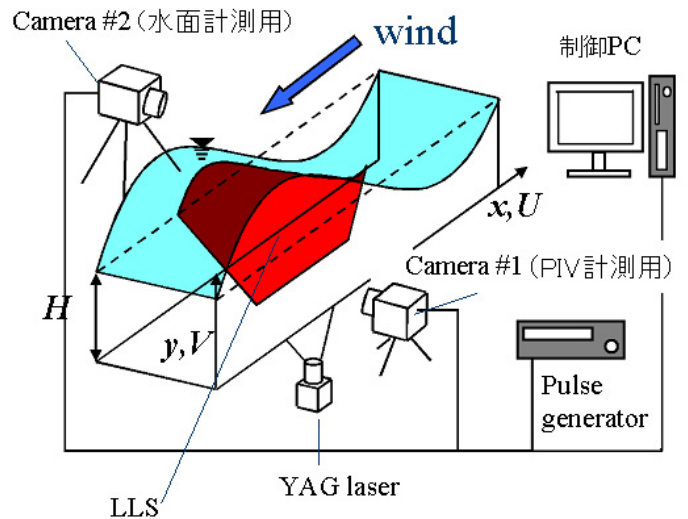


図-1 計測システムと座標系

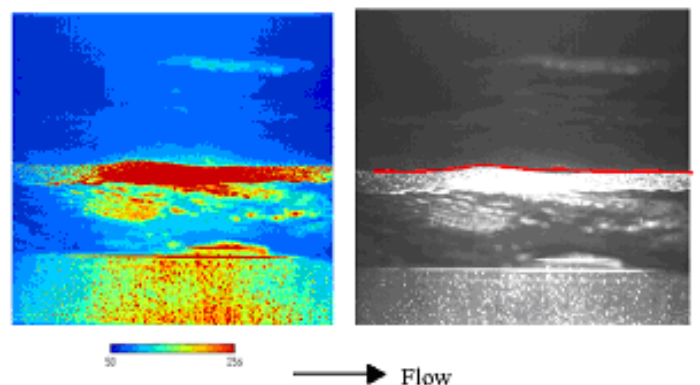


図-2 原画像と η の輝度分布 (左;輝度分布、右;原画像+水面形状、)

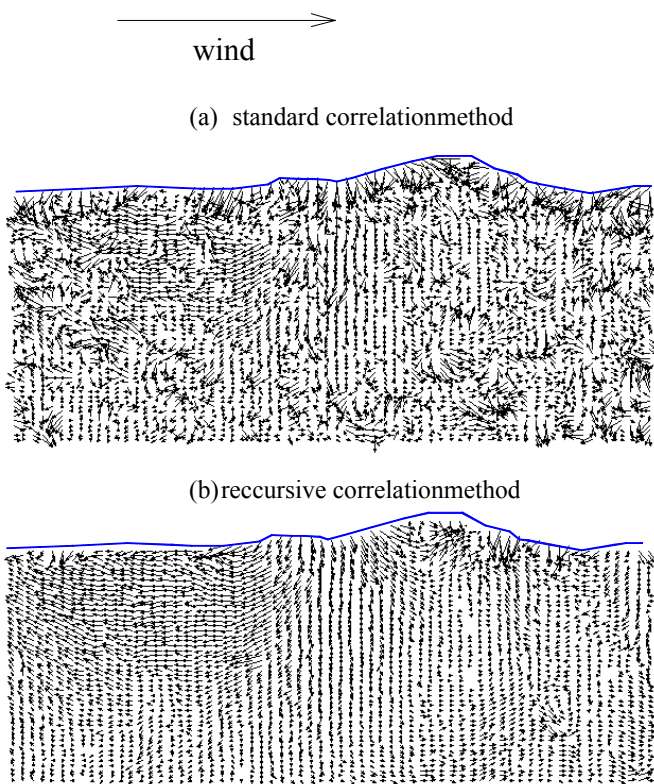


図-3 (a)標準相関法と(b)再帰法の比較
(最終相関窓サイズ; 8ピクセル)

3. 実験結果と考察

図-3 は通常の相関法による流速ベクトルと本手法のものを比較したものである。本手法での再帰法では、29ピクセル辺の MASK 領域による相関計算を行い、大まかなベクトルデータを得る。次に、得られたベクトルの終点付近にサーチ領域を限定し、サイズダウンした MASK によって相関を行う。このとき、初めに得たベクトルデータを候補として探索範囲を限定するので、小さな MASK 領域で新たに得たベクトルでは、誤って似たパターンを抽出する可能性が低くなる。これを複数回繰り返すと小さいスケールの MASK による PIV が可能となる。MASK の大きさがサンプリングボリュームに対応するため、小スケールの乱流渦を捉えるためには MASK は小さいほど望ましい。しかしながら、最初から小さい MASK で相関計算を行うと図-3(a)のように誤ベクトルが増加する。一方で本手法では誤ベクトルが明らかに少なく、高解像度 PIV が界面近傍も含めて実現できたといえる。

次に、本研究のトピックスである組織構造を定量評価するファクターとして、次式で与えられる瞬間渦度を考える。

$$\hat{\omega} \equiv \frac{\partial \hat{u}}{\partial y} - \frac{\partial \hat{v}}{\partial x} \quad (2)$$

図-4 は、C04 のケースに関して計測領域全体における渦度の瞬間値 $\hat{\omega}$ と、水面変動 $\hat{\eta}$ を同時にプロットした

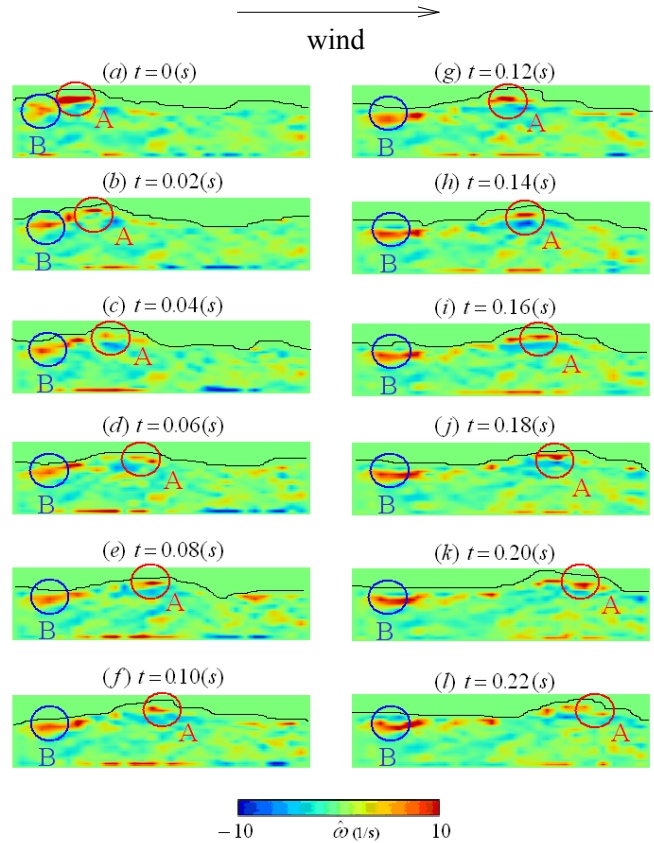


図-4 瞬間渦度の空間分布の時間変化

ものである。まず $t=0(s)$ では、波のクレストに強い正の渦度塊 A と B (図中に記入) が見られる。時間とともにクレストは流下方向に輸送されるが、この動きに渦度塊 A も追従している。一方で、渦度塊 B はほぼ定位置に留まっている。このことは、A 部はストークスドリフトによって流下輸送されるのに対し、B 部は図-3 と関連する波の運動に追従して移流されないことがわかる。このように風波の発生下では、少なくとも2種類の組織渦構造が存在するものと考えられる。今後、これらの発生メカニズムの詳細を明らかにしたい。

4. おわりに

本実験では、高速度カメラ2台を用いて PIV および輝度計測による流速・水面変動同時計測システムを開発した。さらに、界面近傍領域における高解像 PIV アルゴリズムを構築し、風波現象における界面近傍における流れと波の相関特性および組織渦の挙動を観察した。

参考文献

- 1) 竹原幸生, 真木正弘, 辻本剛三, 江藤剛治, 高野保英: 風波発生時における水面近傍の気流・水流の PIV 同時計測, 海岸工学論文集, 第49巻, pp.60-70,2002.
- 2) 宮本仁志, 神田徹, 大江和正: 画像解析による水面変動・流速の同時計測法と開水路凹部流れへの適用, 水工学論文集, 第45巻, pp.511-516,2001.
- 3) 可視化情報学会編; PIV ハンドブック, pp.95-100,2002