

画像処理による洪水流解析

—阿賀野川における並列らせん流について—

Flood Flow Analysis by the Picture Processing of Aerial Photographs

--- On the Parallel Cycloidal Flows in the Agano River ---

木下良作*・宇民 正**・上野鉄男**

By Ryosaku KINOSHITA, Tadashi UTAMI and Tetsuo UENO

A pair of aerial photographs of the flood flow in the Agano River on Sept. 25, 1966 was analyzed by the cross-correlation technique to obtain velocity vectors over the area of 1400 x 1000 m of the water surface. About 250 x 350 velocity vectors were obtained at every 5.6 m in stream-wise and 2.8 m in spanwise direction.

The interval and arrangement of the longitudinal low-speed band and high-speed band appearing alternately in the spanwise direction over the water surface were analyzed and two kinds of spanwise scales of large scale turbulence were found; one is about twice water depth and another is 4 - 5 times.

Keywords: parallel cycloidal flows, turbulence structure,
picture processing, aerial photograph

1. はじめに

木下^{1),2)}は、洪水流航空写真の解析により、洪水流中に水深のほぼ2倍のスケールの並列らせん流が形成され、水面における流速の横断方向分布が波状を呈することを見いだした。著者ら³⁾は、洪水流航空写真の解析に画像処理の手法を導入することによって解析精度が格段に向上することを示した。本研究では、画像解析の方法によって洪水流中の並列らせん流の特性をさらに詳しく検討した。

用いた航空写真は、阿賀野川の1966年9月25日の洪水の航空写真のうち、6.8 km 測線付近の一对である。流速ベクトルの計算は多段階相互相関法により、流下方向に0.56 mm (実長約5.6 m)、横断方向に0.28 mm (実長約2.8 m)の間隔で求められた。航空写真の傾きとずれは、自動化された相互標定法を導入することにより除去した。

得られた流速ベクトルを用いて洪水流に見られる並列らせん流の構造を検討した結果、通常言われている水深の2倍スケールのもののほかに、水深の4ないし5倍のスケールの大規模乱流構造が検出され、その方がむしろ強く生じていることが認められた。

* 正会員 工博 自由学園(元)

(〒166 東京都杉並区阿佐ヶ谷北 5-30-11)

** 正会員 工博 京大防災研究所助手 宇治川水利実験所

(〒612 京都市伏見区横大路下三栖)

2. 画像解析の方法

2. 1 写真の数値化

洪水流航空写真の 1 対 (撮影時間間隔 3.77 秒) を、各々 CCD デジタルカメラ (Eikonics 1412) で撮影し、各点における濃度を 12 ビットデータに数値化した。写真の倍率が約 10000 であり、洪水流の水深が 3 m - 5 m であることを考慮すると、写真上における並列せん流の半スケールは 0.3 mm - 0.5 mm となる。流速計算は相互相関法によったが、それによって並列せん流の構造の検討を可能にするためにはそのスケールの内に数個の画素が含まれる必要がある。したがって、ここでは画素間隔を 55.875 μ とした。

2. 2 流速計算

流速計算は多段階相互相関法によった。すなわち、はじめは粗に計算し、その次の計算では、その前段階の結果を用いて精度を上げて計算するということを繰り返した。それによって、計算時間を節約し、かつ計算精度を向上させた。各段階において用いた写真データの諸元ならびに相関計算の諸元は表-1 の様である。

表-1 写真データおよび相互相関計算の諸元

	写真画素数 (pixel)	画素間隔 (mm)	相関窓 (pixel)	ベクトル間隔 dx(mm) dy(mm)		総ベクトル数
第 1 段階	416 $\times$ 256	0.447	15 $\times$ 11	4.47	4.47	39 $\times$ 24
第 2 段階	832 $\times$ 512	0.2235	15 $\times$ 11	4.47	2.235	39 $\times$ 46
第 3 段階	1664 $\times$ 1024	0.11175	19 $\times$ 13	2.235	1.1175	79 $\times$ 89
第 4 段階	3328 $\times$ 2048	0.055875	19 $\times$ 13	0.55875	0.279375	253 $\times$ 355

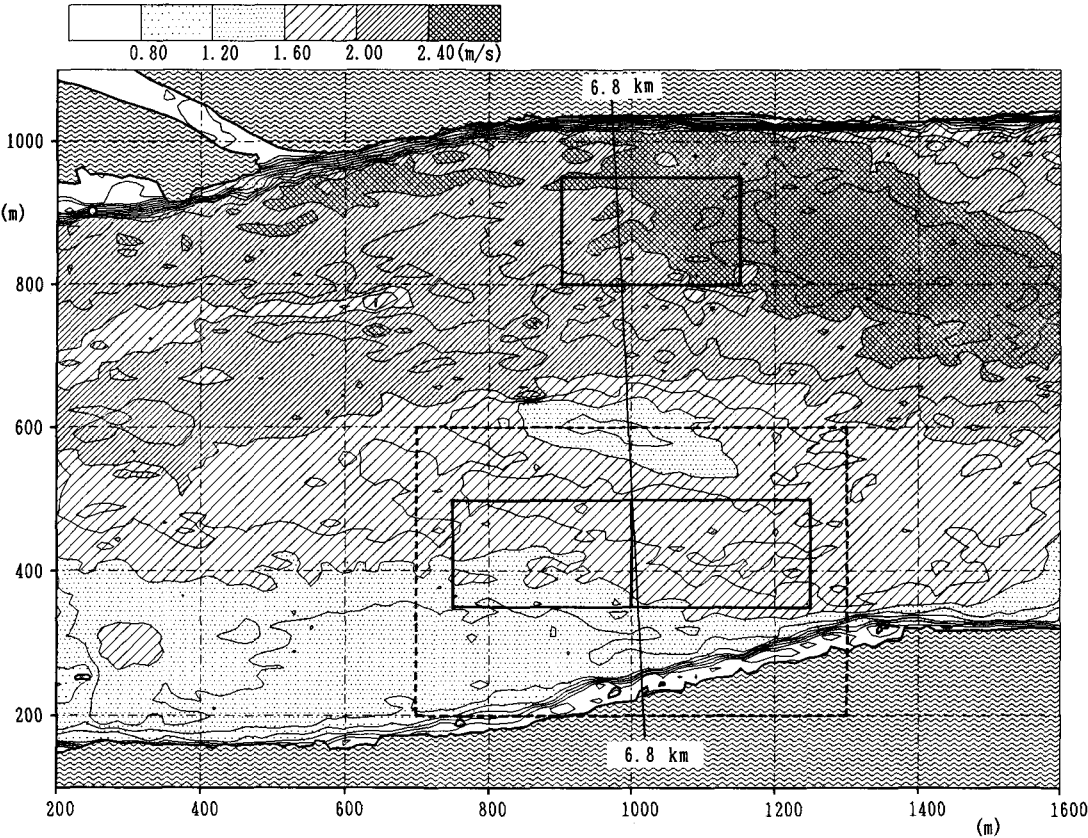


図-1 絶対流速の分布

2. 3 相関ベクトルから流速ベクトルへの変換

得られた流速ベクトル（正確には相関ベクトル）には、両写真のずれ、航空写真の回転（ ϕ 、 ω 、 κ ）、ならびに写真数値化に伴う画像データの歪みが含まれている。ここでは、先ず、地上点をいくつか選出し、それらの点が両写真上で一致するように相互標定することによって、写真のずれと航空写真の回転による歪みが除去されると考え、次いで、水際線における流速が0となるように1次元最少自乗法を適用して写真数値化に伴うデータの歪みを除去できるとした。

得られた流速分布（第3段階）を図-1に示す。流れの方向はx軸の負方向である。図中の太い実線の枠は以下の図-5および図-6の範囲を、太い破線の枠は図-3の範囲を各々示している。また、図-2は図-1中の細い実線で示されている6.8 km 測線付近の水深を示している。

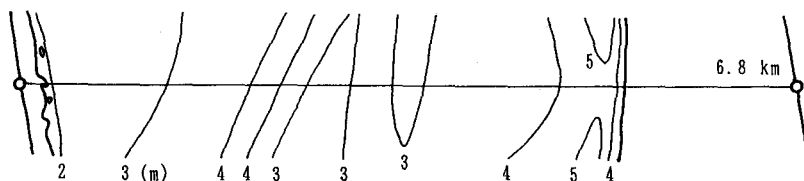


図-2 6.8 km 測線付近の水深分布

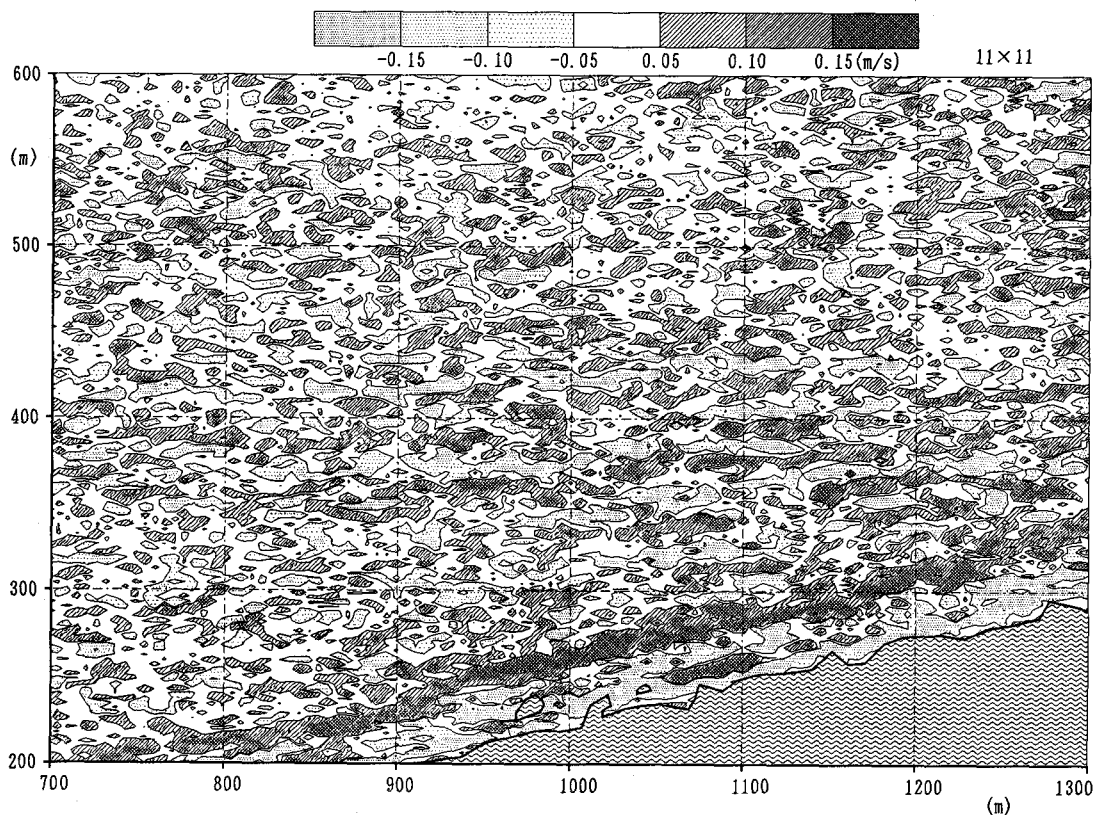


図-3 流下方向流速 u の空間的変動成分の分布

3. 並列らせん流の検討

3. 1 流下方向流速 u の空間的変動成分の検討

最終的に得られた各点における流速の x 方向成分 u から、その点を中心とする周辺の $m \times n$ 個のベクトルの平均値を差引くことによって、 u の空間的な変動成分 u' を求めた。 $m = 11$ 、 $n = 11$ の場合における u' の分布を図-3に示す。本図の領域は図-1の一部であり、その範囲は図-1に破線の枠で示されている。

本図において、斜線を施した領域は流速が周辺より早い部分を、点を施した部分は遅い部分を示している。高速域と低速域とは共に流下方向に細長く続いており、しかも両者は横断方向には交互に現れている。図-1に見られるように、 $X = 700 - 1000$ m、 $Y = 550 - 650$ m の範囲では加速域、図-3のその他の領域は減速域となっているが、図-3で低速部と高速部が交互に顕著に現れるのは減速域においてであることがわかる。

本図における低速域の横断方向間隔は、図-2の水深図と比較すると、およそ水深の 4 - 5 倍になっていることが認められる。このようなスケールの乱流構造が、水深の約 2 倍のスケールの並列らせん流とどのように関連しているかが注目される。

3. 2 パターン認識による低速部と高速部の抽出

u 分布における低速部と高速部とを抽出するために、各流速ベクトルの位置を中心とするその周辺の 3×5 個の格子点における u 分布と、図-4に示されるような仮想的な流速分布との相互相関係数を計算し、その分布を図-5 (a) (b) (c) に示した。各図の領域は図-1に太い実線の枠で示されている。

本図においては低速域は斜線の部分に、高速域は点を施した部分にそれぞれ相当する。図-3においてわずかに検出されている低速部も本図では明確に抽出されており、また、低速部ならびに高速部の流下方向のつながりも明瞭になっている。その結果、本図の場合、低速部の間隔は水深のほぼ 2 - 3 倍に相当しており、これが水深の 2 倍スケールの並列らせん流に対応するものと考えられる。また以上から、流速のへこみの大きなものと小さなものとが横断方向に交互に生じていることが推察される。

また、図-5において、高速部の合体、高速部から低速部への、あるいはその逆の変換、あるいは、平均的な流向と斜交する低速部あるいは高速部の存在など興味ある現象が観察される。

3. 3 並列らせん流と写真の濃淡分布との関連

図-5と同じ範囲における写真の濃度分布を図-6に示す。本図の範囲では、写真濃度が黒いところは、ボイルが上がっている部分に相当していると考えられ、白いところは気泡の集まったものと判読できる。本図と図-5とを比較すると、図-5における低速部は正確にボイルの領域上を走っていることがわかる。

4. おわりに

横断方向に水深の約 2 倍のスケールをもつ並列らせん流は、一般に、平滑な河床上の流れにおいても生じることがよく知られている。ここでは、その様なスケールの大規模乱流構造とともに、水深の 4 - 5 倍のスケールの構造が一層顕著に現れていることが判明した。このような乱流構造の原因は洪水時における河床の状態に求められるのであろうか。

本解析では、CCDカメラのスキャン操作に微小ながらノイズが入ったため、流速の横断方向成分が不確実となり、流線や発散の分布からの検討ができなかった。これらについては講演時に述べる。

参考文献

- 1) 木下良作：航空写真による洪水流の解析、写真測量、Vol. 6、No. 1、1967、pp. 1-17.
- 2) 木下良作：航空写真による洪水時の流況測定、水工学シリーズ、68-12、土木学会水理委員会、1968.
- 3) 木下良作・宇民正・上野鉄男：洪水流航空写真の画像解析、写真測量とリモートセンシング、Vol. 29、No. 6、1990、pp. 4-17.

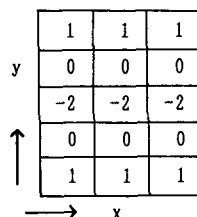


図-4 低速部の検出
パターン

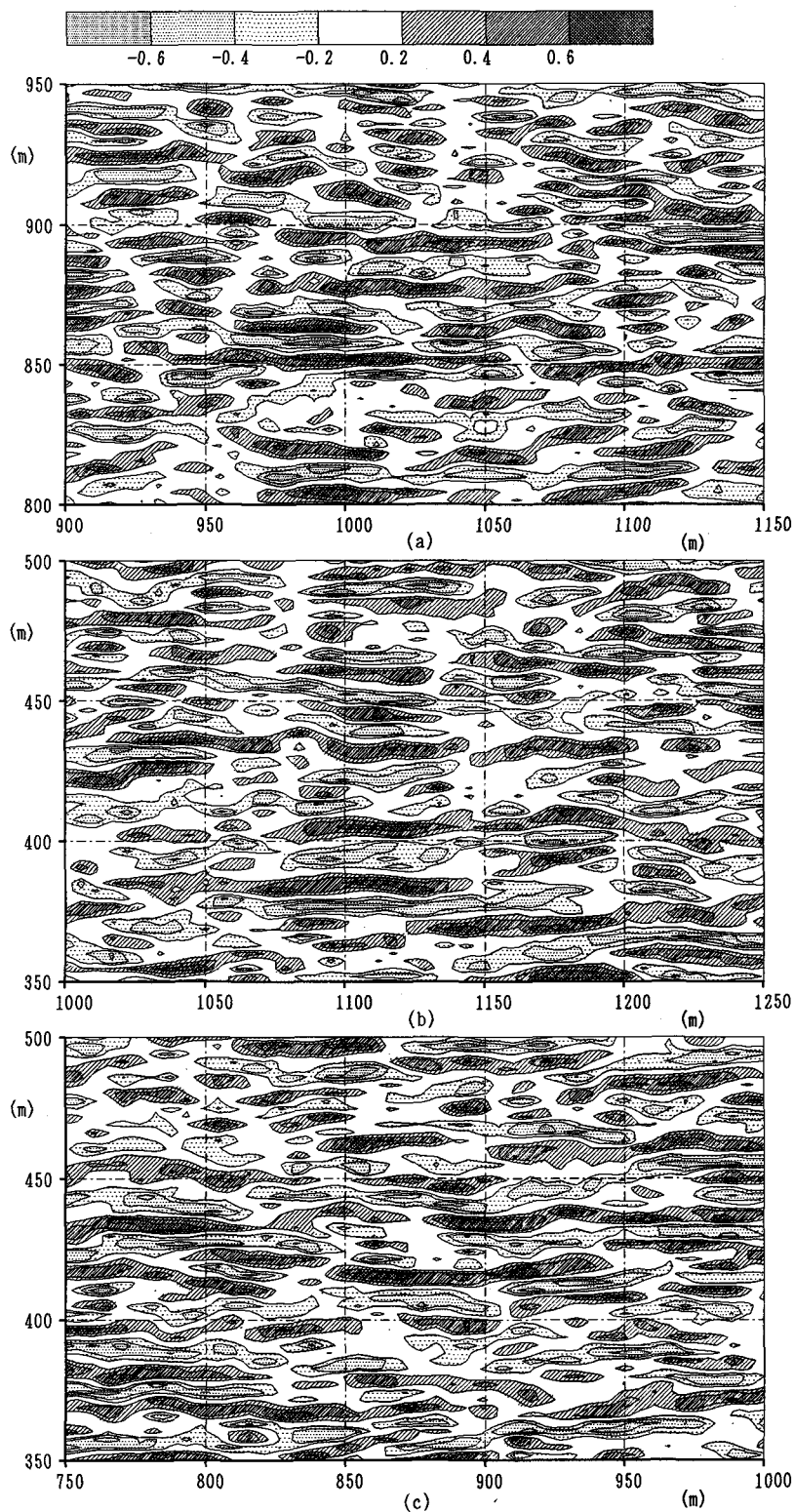


図-5 検出パターン (図-4) による相互相関係数の分布

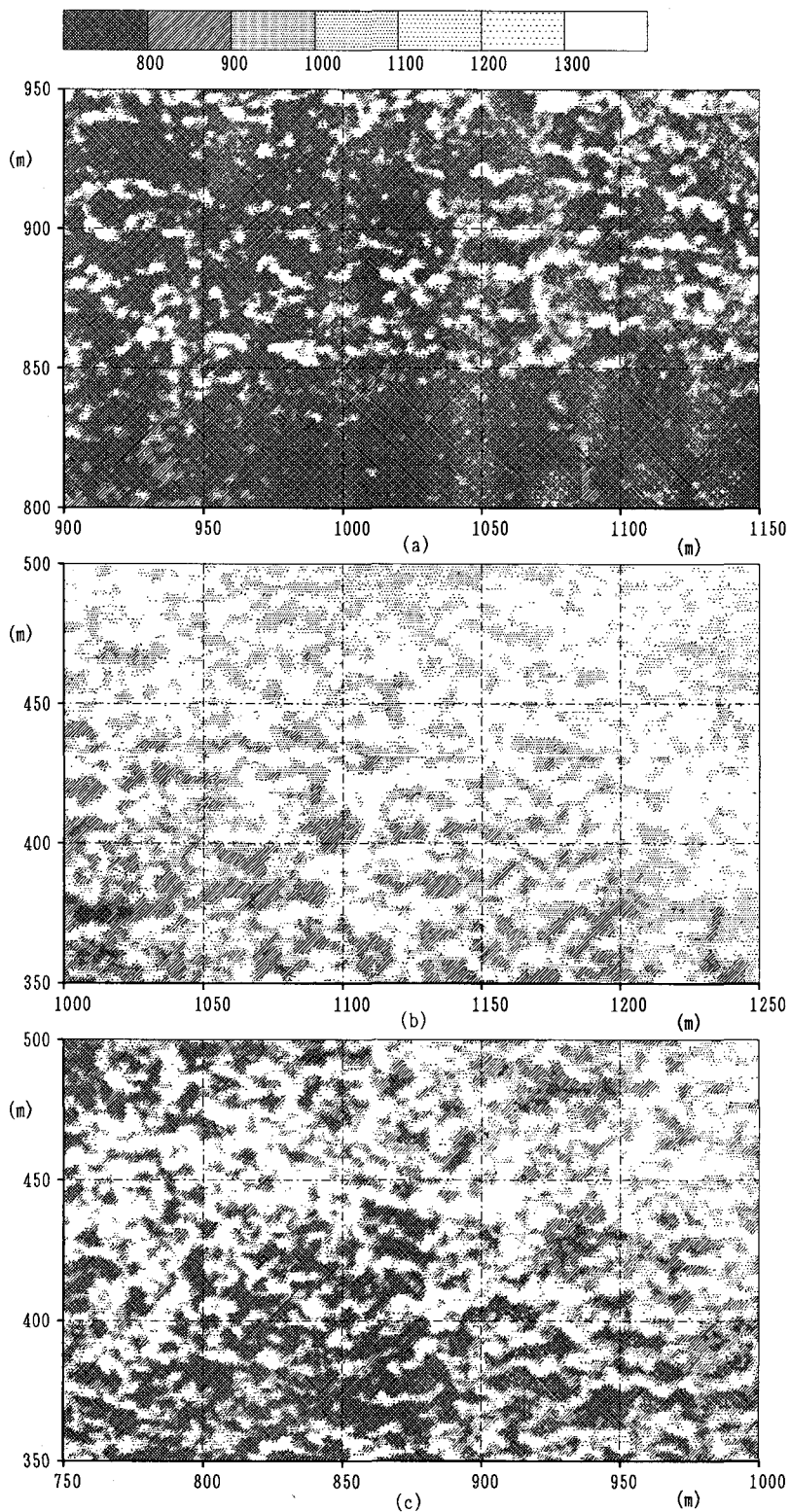


図-6 写真の濃度分布