

## 航空写真解析による洪水流表面流線図の作成

東京工業大学 学生会員 ○伊波信太郎  
 東京工業大学 正会員 吉田 圭介  
 東京工業大学 フェロー 石川 忠晴

### 1 はじめに

流れに合致した水路のデザインは、洪水防御のための河川工学の主要な課題の一つとなっている。この目的のために、水理模型実験、数値シミュレーション、洪水の現場計測、航空写真解析[1]など種々の技術が開発され応用されてきている。その中でも航空写真は、現実生じた流れ構造の全体像を可視化しているという利点を持っている。それゆえ、それは事実を提供するだけでなく、数値シミュレーションモデルを改良するためにも使用され得る。本研究は、洪水流の表面流線システムを航空写真から作り出すという新たな手法を提供する。その結果得られる流線図により、流れの集中発散や、流木、リター等の浮遊物の輸送経路といった表面流況を、従来の規則的グリッドでのベクトル図に比べて容易に把握できるというメリットがある。

## 2 画像解析手法

### 2-1 航空写真のデジタル化

縮尺 1/10000 のアナログ航空写真を空間解像度 300(dpi)でスキャナーから取り込み、2次元の 24bit カラーデジタル輝度情報に変換した。

### 2-2 画像相関法による表面流速の算出

画像相関法とは、2枚1組の航空写真に写し出された河川表面上のある領域内(ここでは、検査領域と呼ぶ)の濃淡パターンの移動量  $\Delta x$  と写真撮影時間間隔  $\Delta t$  から、その領域内の空間平均的な流速  $u = \Delta x / \Delta t$  を求める方法である。このとき、パターン一致の程度は、2枚の写真にそれぞれ検査領域を設定し、それらの枠内の輝度情報に対する相互相関係数から判定される。一方の画像の検査領域を固定し、もう一方の画像の検査領域を移動させながら、相互相関係数の空間分布を求めた。ここで、相互相関係数が最大の点を移動先としている。

### 2-3 写真間の位置変換

航空写真は河川に沿って飛行しながら撮影される。そのため、2枚の写真間では相対的な座標がずれている。航空写真に対して画像相関法を適用するためには、2枚の写真間の位置関係を求める必要がある。具体的には、2枚の航空写真において空間座標が既知である点(標定点)を用い、写真間の座標変換式を最小2乗法によって求めた。河川の性質上、河の中に標定点を設置することは出来ない場合が多いので、標定点は河岸に沿って設置することにした。図1には河川の中の四つの点に対して、標定点の個数を変化させたときの変換式で求めた座標と目で読んだ座標の誤差を示す。

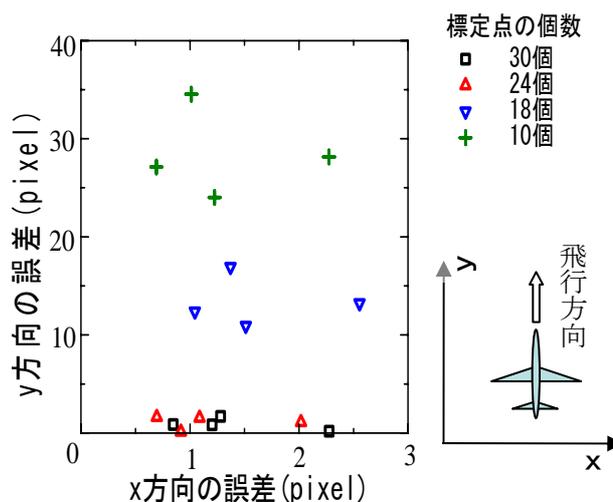


図1 標定点の個数と誤差の関係

結果をみると、原因ははっきりしないが、標定点の数が少ない場合に飛行方向yの誤差が大きくなった。また、多数の標定点を設置することで、飛行方向の誤差も1 pixel程度に抑えられることがわかった。しかし、多数の標定点を手動で設置するには労力がかかるため、本研究ではPCで自動的に標定点座標を決定するためのアルゴリズムを新たに考案した。具体的には、河岸に幾つかの標定点を手動で配置し、点同士の幾何学的

キーワード 洪水, 航空写真, 流線図, 画像解析

連絡先 〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259 G5-3 Email: siha@depe.titech.ac.jp

な関係から標定点の仮座標を決める。その後、正確な位置をそれぞれの点の周りに検査領域を設定し、相関法を用いて最終的に決定した。このプロセスを繰り返すことで、 $x$ 、 $y$ 軸共に誤差が1 pixel程度になるまで標定点の個数を次々と増やした。

#### 2-4 ルンゲクッタ法による流線の作図

従来の航空写真解析の多くは、画像を格子状に区切り、表面流速ベクトル図を描いていた。しかし、ベクトル図では流れの様子を視覚的に捉え難いといった欠点がある。また、流線図を描く場合には、河道内に格子状に配置された河川表面の流速値から流れ関数を求め、その流れ関数の等高線を流線としている。しかし、この方法では、格子を細かくするか、または補間をしなければならず、効率的ではない。そこで、本研究では、流線の定義から作図を行った。つまり、流れ場にある1本の流線上の点における接線の方向が、すべてその点での流速ベクトルの方向と一致するように流線を同時に計算した。ただし、本研究では各点における流速は画像相関法で求めた流速と近似した。図2に流線の描き方の概要を示す。ある1本の流線上の点 $A_k$  ( $k=0\sim N$ ,  $N$ は計算点の個数)の座標は以下のように求める。初めに河川上に計算点 $A_0$ を配置し、この点の流速ベクトルを相関法により求める。次にこの流速ベクトルの傾きを用いてルンゲクッタ法により $\Delta y$ 下流の点 $A_1$ の座標を数値的に求める。この操作を繰り返すと、1本の流線上の計算点 $A_k$ の座標を逐次的に求めることが出来る。

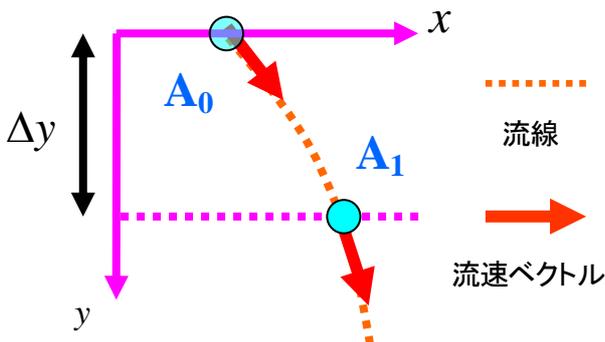


図2 ルンゲクッタ法を用いた流線の描き方

### 3 解析結果と考察

図3には1998年10月の利根川洪水時に撮影された航空写真に対して、本解析手法を適用した結果得られた流線図を示す。河道の曲がりの外側ほど流線の間隔が短くなっている。この結果から河川の湾曲部で

は、表面の流れは外側に向かっていると考えられる。

流線図をみると右上の部分で流線が広がり、その下流で徐々に色が濃くなっている。また、左下の部分で流線が収束し、表面の色が薄くなっている様子がみられた。一般的に湧き出しがあると流線の間隔が広がり、沈み込みがあると流線間隔は狭くなる。また、湧き出しがあると河床の土砂が巻き上げられるため、下流で表面の色が濃くなり、沈み込みがあると表面の土砂が河床に運ばれるため、表面の色は薄くなる。以上の考察から、本手法で得られた流線と画像の濃淡の関係には、整合性があると考えられる。

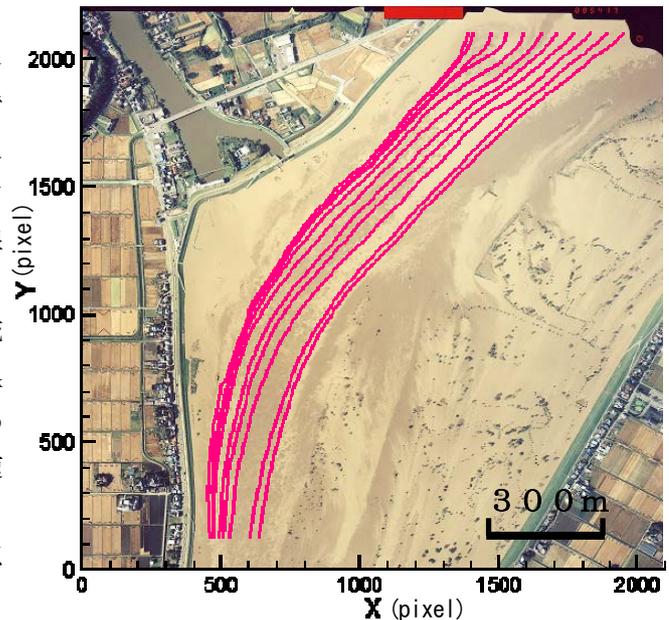


図3 流線図

### 4 結論

画像間の位置関係を精度良く同定するためには、河岸の流下方向での標定点の個数を多数取る必要がわかった。そこで、標定点を自動的に設置するルーチンプログラムを作成し、少ない労力で精度を上げることが出来た。

流線を描くためにルンゲクッタ法を用いた作図法を提案し、本手法を利根川に適用した。解析結果は湾曲部での流線の偏り、懸濁物質濃度との整合性など、現実の流れをよく表現していると考えられる。

### 参考文献

[1]木下良作:航空写真による洪水流解析の現状と今後の課題,土木学会論文集, Vol1345/II-1, pp1-19, 1984