15 トレーサ画像の相関処理による流速計測

神戸大学 箕 源 亮

Velocity Measurement using Correlation concerning with Digital Tracer Image

Motoaki Yano*

Flow velocity is calculated from the average moving distance of the tracer particles.

The average moving distance of the tracer particles is obtained from the coordinate of the maximum value of the mutual correlation of two digital images of the tracer.

The auto correlation of one digital image of double exposure of the tracers is used the other method of calculating the average moving distance of the tracer.

/ . ま え が き

流れに混入された微粒子トレーサの単位時間における移動距離より流速を求めるには、

- (i) トレーサ移動前後の二枚の凍結画像、
- (ii) トレーサ移動前後の一枚の二重写し凍結画像、
- (iii) 一枚のトレーサ流跡線画像、⁽¹⁾

等を用いることが考えられる。ここでは上記(i)及び(ii)の画像を対象とすることとする。

流向が明らかな場合、凍結画像中に単一の粒子のみ存在する時は容易に目的とする粒子の移動距離が求められる。

画像中二ヶ以上の粒子の存在する場合には、相対応する粒子を判別するソフト開発を行うことは一般に困難である。⁽²⁾

ここでは、画像を任意に分割して、分割された領域の空間平均流速を求めることとした。この空間平均流速は、例えば上記(i)の二枚のトレーサ画像を用いる場合には、考えている所の分割領域の二画をずらせながら重ね合せ、最もトレーサ粒子のかさなりの多い場合の二画の間のずれた距離が粒子の平均移動距離と

* Kobe Univ.

なる。

このことは、トレーサ画像を量子化し、マトリクス表示を行った場合には、二つの分割マトリクスの要素について相互相関を計算し、その最大値の座標を求めることと同じことになる。具体的な手法について以下に述べる。

2. 二枚のトレーサ画像を用いる方法

トレーサ画像は、二次元故、写真、テレビ画像等を用いる場合には、その撮影時に、流れの計測すべき一断面が得られるよう、照明方法等工夫することが必要であり、またその照明は、適当な時間間隔で行われる二画像の撮影と同期させることが要求されよう。二枚の写真を用いる場合には、モータドライブ程度の写真機では、極めて緩やかな流れしか適用出来ず、どうしても高速のムービカメラが必要となる。この点一枚のTV画は1フィールドの場合最小1/60秒ごと、1フレームの場合最小1/30秒ごとに得られる故、水路の流れではなんとか使用可能となる。(2) ここでは、TVを用い、その同期信号をストロボ発光に同期させ、トレーサとしてアルミ粉末を使用して、水路表面流の計測を行った。

得られた二枚のTV画は、適当なしきい値で二値化し、トレーサ部を1、背景を0、の0, 1マトリクスに量子化した。マトリクスの行、列は256 × 256である。二枚の各トレーサ画像を図-1 a 及び b に示す。

図-1 a 単位時間前のトレーサ画像

図-1 b 単位時間後のトレーサ画像

上に示した図-1の左上隅に例示したように、各トレーサ画マトリクスを8 × 8に分割し、分割された二つの32 × 32の小マトリクスの各要素 a_{ij} , b_{ij} について相互相関の計算を行う。この時要素 a_{ij} , b_{ij} 共0か1の値故、 $a_{ij} \cdot b_{ij}$ 計算は論理演算の $a_{ij} \text{ AND } b_{ij}$ と同じこととなる。図-1に例示した小領域について、演算結果の一部(第一象限のみ)を示すと、

図-2 量子化トレーサ画像の相互相関

この相互相関の最大値の座標値を x, y とすると $(x^2 + y^2)^{1/2}$ が、分割された小領域における粒子群の領域平均移動距離となり、二画面を撮影した場合の時間間隔は既知故、小領域平均流速が得られることとなる。全画面について、この平均流速を示すと、図-3 のようになる。

図-3 流速分布図

3. 一枚のトレサ画像を用いる方法

二枚のトレサ画像より、流速分布を求める場合、流速が大となると、二画像を得る方法そのものが困難となる。

一枚の画像に二重写しすることを考えれば、問題は照明方法のみとなり、マイクロ秒単位の間隔で照明出来るストロボ等、市販されており、また工作も可能である。

ここでは2に述べた二枚の画像の場合と比較するため、図-1 a, b を重ね合せたもの、すなわち図-4 に示す一枚の二重写しトレサ画像を用いることとした。

二枚の画像の場合と同様、この画像を 8×8 の小領域に分割し、 32×32 のマトリクスとして、その要素 a_{ij} について、自己相関を求めた。その計算結果を図-5 に示す。この結果、粒子群の平均移動距離は、これだけではあまり明瞭でない。

図-4 二重写しトレサ図

このためランダム値の自己相関（ここでは図-1 a の値を用いた）を図-6 のように求め、図-5 の自己相関から差し引いて、粒子群の平均移動量に関する相関量を浮かび上げることとした。その結果を図-7 に示す。

これと、図-2 に示す二枚の画の相互相関による結果と比較すれば明らかなように、ほとんど同一の値となっており、図-7 から粒子群の領域平均移動距離すなわち平均流速が求められる。このようにして求めた画面全体にわたる平均流速は図-3 に示すものと全く同一の結果を得た。

図-5 図-4 の自己相関

図-6 ランダム数の自己相関

4. 考察

画面を量子化することにより，読取りに1カウント誤差を必ずともない，計測精度を上げるには，撮影する流路断面を小さく，粒子群の移動距離を大きくとらなければならない。一般に，二重写しにしろ，別々の画面を得るにしろ，その間の時間間隔は，乱流スペクトルから考えて，水の場合1/100秒，図-7 図-5と6の差空気の場合1/1000秒程度と考えられる故，このことから，粒子の移動距離は定まり，画の最大寸法も定まってくる。平均拡散を考えるような計測の場合には，また話が異ってくる。

したがって計測精度を上げた場合には一点計測に近くなり，これを粗くした場合には，面計測が得られることとなる。ここに示した例では誤差1/10程度のかかなり粗いものである。これは画像の読取りをTVフィールド画により行っているためであり，TVでも倍精度フレーム画を用いれば，1画面を1024×1024に分割出来るため，4倍程度精度を上げることが可能である。

渦度を図-3に示す流速分布から求めて見ると，図-8に示すようになる。

しかし，2，あるいは3の方法で求めた，小領域の粒子群の平均移動距離を考慮して，その小領域のみの粒子群を重ね合わせるよう上記距離分を移動させた二重写しの粒子群画像を作成して見ると，図-9a，bに示すように，あたかもその小領域に渦の中心があるような画像が得られる。

これは流れの相対運動を考えれば，当然のことであるものの，見掛上の渦と渦度とは必ずしも関係しないよう思われる。

参考文献

- 1) 小林敏雄他 可視化技術と画像処理技術の円柱まわりの流れへの適用，流れの可視化学会誌，Vol.2, Suppl., 1982, pp.41-46.
- 2) 篁 源亮 画像処理の水路流速計測への応用，流れの可視化学会誌，Vol.2, Suppl., 1982, pp.51-56.

図-8 図-3の渦度

図-9a 二重写トレーサ

図-9b 二重写トレーサ