

## 粒状体の流動解析における画像処理法

東北大学大学院 学生員 ○木ノ本 剛  
 東北大学大学院 学生員 児島 正一郎  
 東北大学大学院 フェロー 沢本 正樹

## 1. はじめに

粒状体の流動をデジタル画像処理によって解析する場合、粒子の回転や三次元的挙動などによってその計測精度は低下する。特に、粒子の形状が一樣（ガラスビーズなど）な場合には計算機にて個々の粒子の軌跡を正確に追跡することは難しい。このため、形状が一樣な粒子の挙動を解析する場合にはこれまで人の目によって個々の粒子を追跡し、その移動距離を算定する方法が主流であった。本研究では、計算機にて粒状体の流動を計測することができる画像処理法を確立し、さらに敏速に処理することができる画像処理システムの構築を目的とする。

## 2. 相関を利用した粒子追跡法

本研究では図1に示す実験装置のホッパーより粒径 1mm のガラスビーズを定常的に水路に供給することにより定常流を作り出し、水路の側面より高速度ビデオカメラを用いてその挙動を撮影する。このようにして得られた 2 枚の時系列画像を小領域に分割してそれぞれのそれぞれの領域における画像強度パターンの相互相関係数を計算し、その最大値からガラスビーズの移動距離・方向を算定する。相互相関係数  $C(x,y)$  は以下に示す式によって計算する。

$$C(X,Y) = \frac{\sum_{i=-n/2}^{n/2} \sum_{j=-n/2}^{n/2} [f(x-i, y-j) - f_{ave}][g(X-i, Y-j) - g_{ave}]}{\sqrt{\sum_{i=-n/2}^{n/2} \sum_{j=-n/2}^{n/2} [f(x-i, y-j) - f_{ave}]^2 \sum_{i=-n/2}^{n/2} \sum_{j=-n/2}^{n/2} [g(X-i, Y-j) - g_{ave}]^2}} \quad (1)$$

ここで、 $f(x,y)$  は  $t=t_0$  のときの画像強度を表し、 $g(X,Y)$  は  $t=t_0+\Delta t$  のときの画像強度を表し、 $n(2$  の倍数) は相互相関係数を計算するのに用いる小領域  $S_1$  の範囲を表し、 $f_{ave}$  と  $g_{ave}$  は解析対象範囲内の画像強度の平均値をそれぞれ表している。式(1)の  $X,Y$  を変化させることによりガラスビーズの移動量を検索する。ガラスビーズの  $x$  方向と  $y$  方向の移動量  $\Delta x, \Delta y$  は、

$$\Delta x = x - X_{max}, \quad \Delta y = y - Y_{max} \quad (2)$$

と表すことができる。ここで、 $X_{max}, Y_{max}$  は式(1)の相互相関係数  $C(X,Y)$  が最大値を取るときの  $X,Y$  の値を表している。本研究では小領域  $S_1$  の範囲とし画像内のガラスビーズの大きさ (30) と同じ 31 ( $n=30$ ) とし解析を行う。また、ガラスビーズを摩擦のない底面上で自由落下させたときの移動量がガラスビーズの最大移動量として、流下方向に相互相関係数  $C(X,Y)$  を計算し、移動量を算定する。

## 3. 解析結果と検証

図2に本研究で解析した画像を示す。この画像は水路を 27 度傾けたときに撮影したガラスビーズの挙動を示している。本研究では相関を利用して精度良く移動ベクトルを算定するために2枚の連続する画像の時間間隔を非常に小さく (1/240s) した。このように時間間隔を短くすることにより、粒子の三次元的挙動の影響、回転の影響、光の反射の影響を最小限にした。図2の連続した二枚の画像に対して相関を利用した画像計測の結果を図3に示す。移動量の算定に際しては、 $x,y$  方向にそれぞれ 14, 35 の格子を設けて格子点上の相互相関係数  $C(X,Y)$  を計算し、その値が 0.8 以上をとる場合のみ正確に粒子を追跡したものとして表示している。また、図3には図2の連続した二枚の画像を人の目によってその移動量を計測した結果も合わせ

て示す。この図において黒色のベクトルは相関を利用した画像計測より得られたものを表し、灰色のベクトルは人の目によって計測されたものを表している。両者の移動ベクトルを比較すると、上層においては方向・大きさともに一致している。一方、下層においては両者の移動ベクトルは一致していない。これは相関を利用した画像計測からでは下層におけるガラスビーズの微少な移動をとらえることができないことを意味している。

次に、両者のより明確な比較を行うために両者の移動ベクトルの始点を一致させて比較を行う。図4にその結果を示す。両者の移動ベクトルを比較すると、下層においては両者の移動ベクトルは非常に良く一致するが、上層に向かうに伴って両者の差が大きくなっている。下層の移動量の小さい部分に関しても小領域S1内の中心にガラスビーズを配置することにより、その移動量を計測することができる。

#### 4. 終わりに

本研究では、二枚の連続する画像の時間間隔を微少にし、粒子の検索範囲を小さくすることで粒子の形状が一様なガラスビーズに対して相関を利用した画像処理が可能であることを示した。今後は移動量が小さい下層部分の解析法が課題である。

#### 参考文献

- ・植村知正・長谷川泰章：速度分布測定の為の流れの可視化画像の高速処理法の開発，流れの可視化，Vol. 7, pp. 11-14, 1987
- ・木村一郎・高森年・井上隆：相関を利用した流れ場の速度ベクトル分布の画像計測，計測自動制御学会論文集，Vol. 23, No. 2, pp. 1-7, 1988

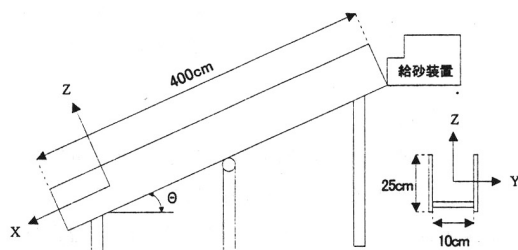


図1 実験装置

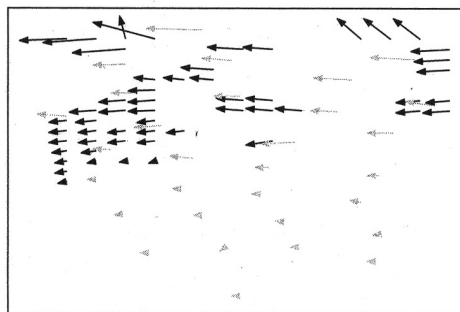


図3 ガラスビーズの移動ベクトル

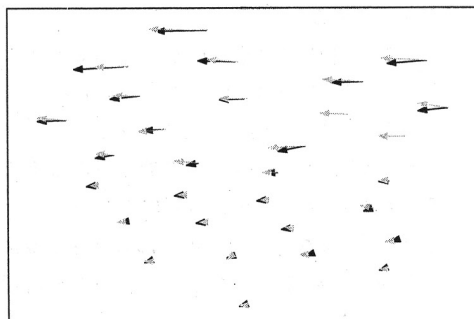
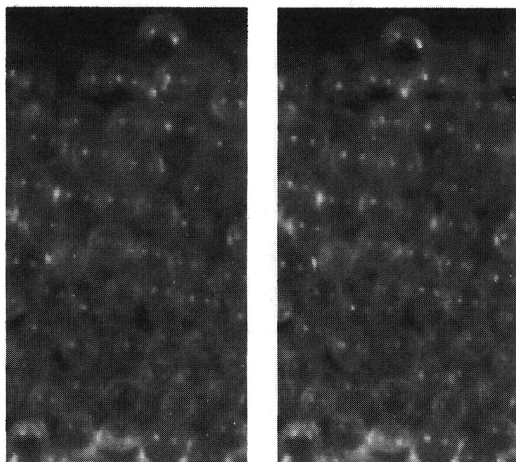


図4 移動ベクトルの比較