

近畿大学理工学部 正 員○竹原幸生
 近畿大学理工学部 正 員 江藤剛治
 神戸大学工学部 正 員 道奥康治
 神戸大学大学院 学正員 久野悟志

1. はじめに 3次元PTVのためにいくつかのアルゴリズムが提案されているが、最も基本的な問題点は、1枚の画像から抽出できる粒子数の不足による空間解像力の低下である。例えば現在の技術では、ビデオカメラを用いる場合、最大限抽出できる粒子個数は1,000個のオーダーである。仮に1,000個の粒子が得られたとすると、2次元解析では約30(H)x30(V) (≒ 1,000) の解像力となり、通常の用途に対しては十分な解像力が得られる。3次元ではこれが10x10x10となり、流れの詳細な構造は把握できない。実際には現在の技術では、少し複雑な流れ場に対しては、様々の光学的な問題により100個程度の粒子しか抽出できないのが普通である。

以上より、3次元PTVにおいては、アルゴリズムの最初の段階で、画像上に写っている粒子をもれなく抽出する技術を開発することが重要である。本報告ではPTVのための高精度粒子画像抽出法として開発した粒子マスク法を紹介し、マスク相関法を粒子画像に適用した例を示す。

2. 粒子マスク法 (PWM: Particle Mask Method) 法の概要 単一粒子画像は中心輝度が大きく、周辺が暗い富士山状の輝度分布を持つ。著者らはこれを2次元正規分布関数で近似している(図-1)。牛島・田中¹⁾はこれに2次関数をあてはめている。このような輝度パターンを粒子マスクと呼ぶことにする。2次元正規分布の場合のマスク・パターンは以下の式で表される。

$$f(x, y) = a \cdot \exp\left(-\frac{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

ここに、 a は中心輝度、 σ は標準偏差(代表粒子サイズの1/2)、 (x_0, y_0) は中心座標である。

粒子マスクを粒子画像に当てはめる方法として、

基本的な次の2つの方法がある。

- ① マスク相関法 (MCM: mask correlation method)
- ② マスク適合法 (MF: mask fitting method)

マスク相関法では、あらかじめマスク形状(マスク・パターンとサイズ)を決める。画面上の各ピクセル座標を中心として、マスク・パターンの範囲でマスク・パターンと画面の輝度分布との相関係数を計算し、高相関小領域を抽出する方法である。

マスク適合法では、中心輝度や粒子径等を未知数とし、画像上の粒子の輝度パターンに最もフィットするように決める方法である。マスク・パターンを2次関数とするときは、最小2乗法によりあてはめることができる。著者らは正規分布関数を用いているので、誤差の最小化には Powell 法を用いている。これにより、高精度で中心輝度や粒子径等が求まる。

3. マスク相関法

平均的な粒子径を前もって与える。ピーク値(式(1)の a)は1とする。このとき求めるパラメータは中心座標値 (x_0, y_0) となる。すなわち未知パラメータは2個となる。アルゴリズムの概要は以下のとおりである。

- ① マスク相関値の計算: 図1, 式(1)のような粒子マスクを1枚の静止画像上に置き、輝度分布との相関係数

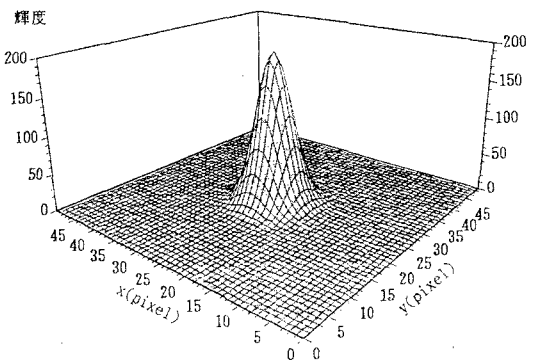


図-1 仮定した粒子画像の輝度分布
(2次元正規分布関数)

Kohsei TAKEHARA, Takeharu ETOH, Kohji MICHIOKU, Satoshi KUNO

を求める。粒子マスクの中心座標をピクセル単位で動かし、全画面上でこの計算を行う。

② 2 値化処理：相関係数があるいき値以上の領域（1）と以下の領域（0）に 2 値化する。

③ 連結領域（粒子候補）の抽出：（ x, y ）2 次元平面上で、 x もしくは y 方向の隣接するピクセルが 1 であるとき、2 次元平面上の連結した領域に属するとみなす。

④ 中心位置と粒子径：各々の連結領域について、重心座標、等価円半径（面積より）を求め、粒子中心の座標、および粒子径とする。

⑤ 中心輝度：粒子中心の原画像上での輝度を求め、その粒子の中心輝度とする。

⑥ その他：以後の計算で必要であれば、各連結領域の長軸、短軸等を求めておく。

この手法の特徴は、2 値化の前に粒子マスクと原画像との相関係数場を求めるところにある。これにより次のような長所が生じる。

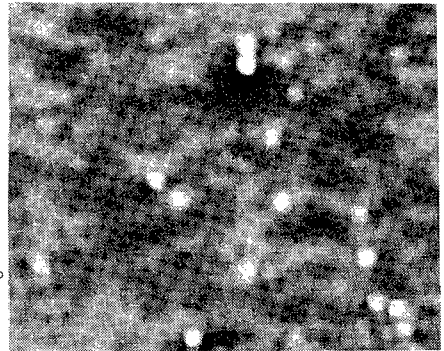
① 相対的にいかに薄い粒子画像であっても、輝度パターンが、中央がやや明るく裾が暗くなる山型になっておれば、中心付近の相関係数は 1 に近い大きな値となる。一方、強いコントラストを持つ明確な粒子像であっても、相関係数は 1 を超えない。すなわち、明るい粒子や暗い粒子が混在するような場（3 次元撮影では多い）でも、粒子の中心位置の相関係数はほぼ 1 に基準化され、一定の域値により、もれなく抽出できる。

② 原画像を直接 2 値化すると、境界等の線形要素も残る。一方、線形要素と粒子マスクの相関係数は最大でも 0.7 程度となり、適当にいき値を選べば、2 値化の時点で自動的に線形要素を消去できる。

一方、問題点として、①感度が高すぎて、粒子像以外の微弱な凹凸もピックアップする、②非常に近接した 2 粒子の分解能がマスク適合法よりは低い、等が上げられる。

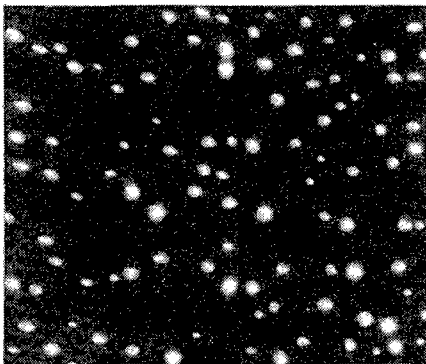
4. 適用例

写真-1a)の画像にマスク相関法を適用した。粒子マスクのピーク（式(1)の a ）は 1、半径（式(1)の σ ）は 3 ピクセルとした。写真-1b)には、いき値が 0.7 で 2 値化した画像を示す。粒子と判断された、もしくは粒子と思われる部分は全てピックアップされている。また、問題点として、多数のノイズをピックアップしている。これはマスク相関法が高感度であるためである。写真-1c)にはいき値を 0.8 で 2 値化した画像を示す。写真-1b)と同様に粒子と判断された、もしくは粒子と思われる部分は全てピックアップされており、さらにかかなりのノイズが消去されている。

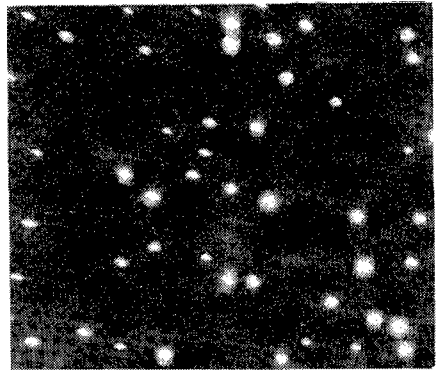


a) 原画像

＜参考文献＞1) 牛島・田中：土木学会第50回年次学術講演会，第2部(A)，PP. 382～383，1995.



b) 2値化画像($r=0.7$)



c) 2値化画像($r=0.8$)

写真-1 粒子マスク法の適用例