

近畿大学理工学部 正員 江藤剛治

近畿大学理工学部 正員 ○竹原幸生

三菱重工業 正員 島崎正則

神戸大学工学部 正員 道奥康治

### 1. はじめに

粒子画像（流体中のトレーサー粒子を撮影した画像）を解析し、流速を測定する手法の開発が近年活発に行われている。粒子画像解析による流速測定法を用いれば以下のような計測が可能となる。

- ①瞬時の空間情報が得られる。ビデオ画像を用いれば空間情報の時系列データが得られる。
- ②原理的に2台のカメラで撮影された画像の視差により、3次元の運動を計測することができる。
- ③境界近傍の計測が可能となる。特に、自由境界付近の計測が可能となる。

以上のことは、現在まで用いられてきた測定装置（例えば、ホットフィルム流速計、レーザードップラー流速計等）では困難であった。

粒子画像解析による流速測定法に関しては、現在までにいくつかの方法が提案されている。著者らは、自動粒子追跡アルゴリズムの骨格部分としてカルマンフィルターと $\chi^2$ 検定を用いたものを提案している<sup>1)</sup>。本アルゴリズムを実際の計測に適用するとき、新たに現れた粒子に対して粒子情報を与える必要がある。本報告では、新たに現れた粒子に対する粒子情報の与え方を提案した。これを熱対流場の計測に応用した。

### 2. 粒子追跡の基本的なアルゴリズム<sup>1)</sup>

カルマンフィルターと $\chi^2$ 検定を用いた自動粒子追跡アルゴリズムは基本的に以下の通りである。

- ・カルマンフィルターによる粒子情報の推定

カルマンフィルターにより1ステップ前の粒子情報（位置座標、輝度、粒子径やそれらの変化量等）から対象ステップの粒子情報を推定する。

- ・ $\chi^2$ 検定による同一粒子の対応付け

推定した粒子情報と実測の粒子情報の対応付けに $\chi^2$ 検定を用いる。粒子情報の各々が独立であるとすれば正規化した推定値と実測値の誤差の2乗和は $\chi^2$ 分布に従う。仮に、 $\chi^2$ 値が最小となる粒子を検定対象の粒子とする。この最小の $\chi^2$ 値が棄却水準以下であれば同一粒子として対応付け、棄却水準以上であれば対応する粒子がないものとする。

### 3. 新たに現れた粒子に対する粒子情報

カルマンフィルターを用いて、次ステップの粒子情報を推定する場合、それ以前の粒子情報が必要である。実際に計測を行う場合、①途中新たに現れた粒子に対する粒子情報、および②第1ステップの粒子情報は特別に与える必要がある。今回は①、②に対して以下のような方法で粒子情報を与えた。

- ①途中新たに現れた粒子に対する粒子情報の与え方

具体的な手法は以下の通りである。

- ・画像中で対応づいた粒子のみを用いてデローネ三角形網を形成する。デローネ三角形網生成方法は村田<sup>2)</sup>らの手法を用いた。（デローネ三角形とはある3点で決まる円内に他の点が存在しないとき決定される三角形である。）
- ・新たに現れた粒子に対しては、その点が含まれる三角形の3つの頂点の粒子情報により、1次の内挿式で粒子情報を内挿する。
- ・三角形網に含まれない粒子については全画面を $n \times m$ の領域に分割し、その領域内で対応づいた粒子の情報を平均し、その平均値を粒子情報として与える。

---

Takeharu ETOH, Kosei TAKEHARA, Masanori SHIMAZAKI, Kohji MICHIOKU

## ②第1ステップの粒子情報の与え方

第1ステップについては全く粒子情報がないため以下のような方法を用いる。

連続する第1ステップの画像と第2ステップの画像中、ある基準の粒子径以上の粒子を対象として、最も距離の近い粒子を対応付ける（最近法）。粒子径の基準は最近法を用いる関係上、誤対応ができる限り生じないように数十個になるように決める。基準粒子径以下の粒子については上記の手法を用いて内挿する。

## 4. 実験装置および実験方法

実験に用いた水槽は底面寸法25×25cmのガラス製矩型水槽である。水深は4cmに固定し、上面は固定壁面である。底面には一定の熱量を供給するためラバーヒーターを設置した。壁面からの熱の放射を避けるため、底面と可視化を行う面以外は発泡スチロールで覆った。トレーサー粒子としては、芯物質が水、膜物質がポリスチレンとエチレン酢ビコポリマーの混合物（比重1.0に調整）のマイクロカプセルを用いた。

撮影には東芝製1/2インチCCDビデオカメラを用いた。照明はレーザスリット光を用い、水槽の中心を通る鉛直2次元断面を照射した。

画像処理は画像処理装置(nexus 6510)とパーソナルコンピュータ(PC9801VM)を用い、粒子情報として粒子座標と粒子径を求めた。粒子追跡はEWS(SUN SPARCSTATION IPX)で行った。

今回測定した熱対流は比較的ゆっくりとした現象のため、追跡の1ステップ間の時間間隔を1/3秒で行った。

## 5. 追跡結果

図-1に流速ベクトル分布の例を示す。図中の○印は対応付いた粒子であり、●印は新たに現れた粒子である。新たに現れた粒子のベクトルは上記の方法によって与えられたものである。

図-2に約30秒間の対応付いた粒子の軌跡を示す。今回用いた熱対流のデータは3次元運動が大きく、レーザスリット断面を出入りする粒子が多い。追跡できた粒子数は平均して全粒子数の7～8割であった。

本研究を行うに当たりデローネ三角形網の生成プログラムに関して京都工芸繊維大学村田滋助手の協力を得た。記して謝意を表す。

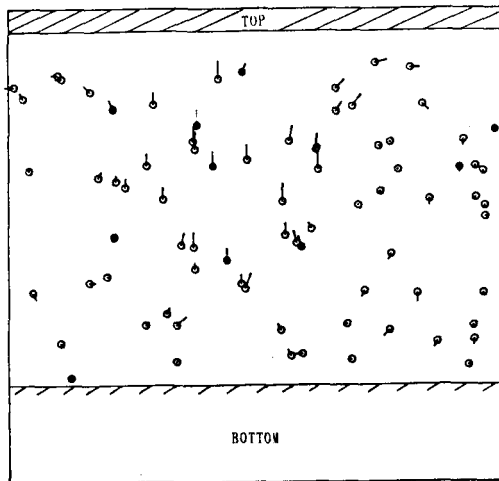


図-1 流速ベクトル分布の一例

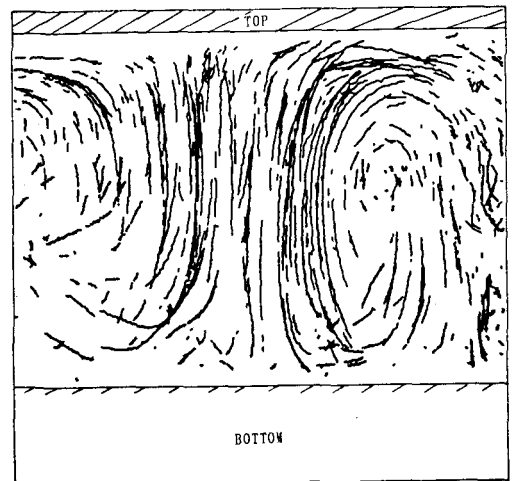


図-2 追跡できた粒子の軌跡

## 〔参考文献〕

- 1) 江藤・竹原：多数のトレーサー粒子の自動追跡のための新しいアルゴリズムの開発，水工学論文集，第36巻，pp. 689-694，1990。
- 2) 村田・串山・木瀬・前田：1枚の流跡線画像における流れ方向自動判定法，機械学会論文集，第524号B編，pp. 157-162，1990。