The Japan Society of Mechanical Engineers

20322 人を含む物体まわりの流れの数値解析

Numerical Analysis of Flow around Objects with Human Body

○正 田村 善昭・東洋大

Yoshiaki TAMURA, Toyo University

古澤 寛行・東洋大

Hiroyuki FURUSAWA, Toyo University

小野ちひろ・東洋大院

Chihiro ONO, Toyo University

吉田 真弓・東洋大

Mayumi YOSHIDA, Toyo University

There are many objects traveling fast, such as bicycle, bike, ski, skate and so on. It is necessary to obtain object figures including human body, which is flexible and very individual, for numerical analysis of flow around the objects. Generally speaking, we don't have CAD data for human body. Here digital images are utilized to obtain human body figure and incorporated into the numerical analysis. In this paper, the numerical method based on digital images are presented and discussed

Key Words: *Computational Fluid Dynamics, Human Body, Cartesian Grid, Image-Based*

1. はじめに

近年の数値流体力学はその適用範囲を広げる方向に進んでいる．より複雑な形状まわりの流れを解く，多相流を扱う，他の物理（熱，構造，運動その他）と連成させる，などである．その中で，人や生物の流れも新しい試みのひとつである．例えば血管内の血流シミュレーションは，形状が複雑で，柔軟構造物であり，個体差が大きいなど数値解析にとって困難な要素が多い．一方で，外部流，すなわち自転車やバイク，スキー，スケートなど高速で移動する人体まわりの流れは，それほどの複雑さはないものの，やはり個体差は大きく，また変形も考慮しなければならない．特に，人の形状は，CAD データが存在するわけではなく，計算機に取り込むにはなんらかの工夫が必要である．しばしば行われるのは，接触／非接触式の３次元計測装置による形状測定である．しかし，形が固定された物体と異なり，人体は容易に変形する．特に，高速移動中の人体の形状は事前には予想し難い．従って，ここでは計測を画像から行うことにする．想像されるように画像での形状計測はその精度や適用範囲など問題もあると思われるが，どんな状態でも画像は取得でき，人体とそれ以外の物体も同時に計測できるなど利点も多い．次にそれらの形状からそのまわりの流れを解析するための格子生成についてであるが，画像が元になっていることからこれとの相性を考えて直角直交格子を用いる．直角直交格子は格子生成の必要がないことから近年よく用いられるようになっている．一方で，物体形状が階段状にしか表せないという問題があるが，これについては後述する．

本稿では，次節で画像による形状の取り込みについて述べ，続いてこれを元にした直角直交格子法について述べる．解析例として，オートバイまわりの流れ[1]，スノーボーダーまわりの流れを示し，本手法の有効性について議論する．

2. 形状の取り込み

本研究では，人を含む物体形状は画像から取り込む．もちろん，人以外の変形が少ない物体については，CAD データなどがあればそれを利用してもよいが，ここではそれも含めてすべて画像を用いることにする．

まず，２次元について説明する．Fig. 1 のようにまず画像を用意する．次にこれを画像処理により２値化する．ここではリアルタイムの解析は考えていないので２値化は必ずしも自動的に行われなくてよい．次に物体の含む流れを解析する領域を設定する．これは解くべき問題による．領域が決まったら，物体に費やす格子点数を決める．ここでは直角直交格子を用いるので，例えば，流れ場全体が 500×200 であるときに物体は横 100 格子くらいにする，などである．次にこれに合わせて先に２値化した画像の解像度を変更する（一般には下げる）．最後にこの画像ファイルを pnm などテキストファイルに変換し，解析プログラムから読み込めるようにする．直角直交格子で物体とそうでない領域を区別し，その境界を処理する方法については次節で述べる．

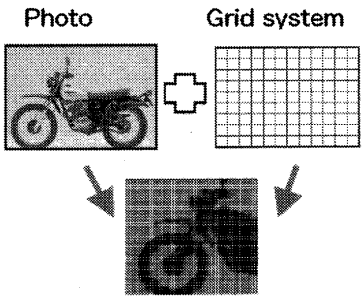


Fig. 1 Procedure of object insertion

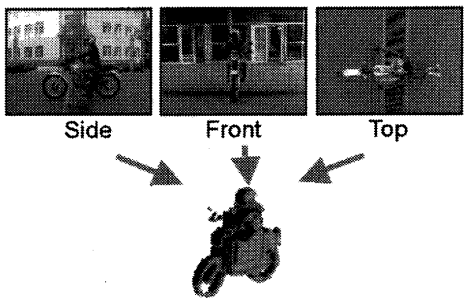


Fig. 2 3D figure capturing

３次元の場合は，１枚の画像では形状が特定できないので，複数方向からの画像を用いる．Fig. 2 の例では，前，横，上

NII-Electronic Library Service

The Japan Society of Mechanical Engineers

の３方向からの画像を用意している．次にそれぞれの画像を２値化し，各画像の解像度を合わせる．３枚の画素数に一致する直角直交格子を考えると，物体のある場所は，どの画像方向から見ても物体がある領域なので，３方向からの AND（論理積）をとることにより物体を特定できる．ただし，凸でない物体の場合にはある種の死角ができる可能性があるので，この方法が万能ということではない．

3. 直角直交格子法

直角直交格子法は，差分法としてはごく基本的な形状であり，一般座標に比べ精度が高く，また高次精度化も容易であるなど利点は多い．一方で，遠方場でも等しく細かい格子を用いるため格子点が無駄に多くなるという欠点がある．これについては，同じ直角直交格子でも物体近傍のみ格子間隔を狭くするなどいくつかの工夫がなされている．もうひとつの問題点は，格子に沿わない物体形状の表現方法である．そもそもかつてはこのために物体適合座標が開発されたという経緯がある．今日では，当時より遙かに多くの格子点数を利用できるので，物体を直角直交格子で表すことによる精度低下はその当時とは比較にならないはずであるが，それでも物体の表現精度を高める手法として，カットセル法[2]，immersed boundary 法[3]などが開発されている．ところで，ここで用いる手法であるが，まず局所的に解像度を変えるのは本研究においては本質ではないのでここでは用いない．次に物体形状の表現方法であるが，画像をベースにしているため，厳密な輪郭線のようなものはない．従って，格子解像度以下の形状を表現するにはなんらかの工夫が必要になる．そこで，ここではまずごく単純に画像から物体の有無を判断し，対応する格子セルが物体か流れ場かを 1 か 0 かで表すことにした．より厳密には解析手法はセル中心の有限体積法であり，物体と流れ場とを分けるセル境界で境界条件を与えるようにしている．

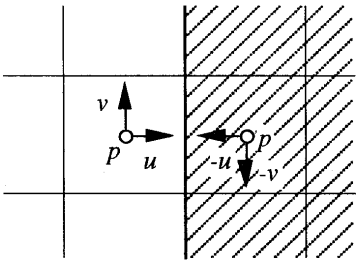


Fig. 3　Boundary conditions

境界条件の与え方は Fig. 3 の通りである．境界条件を満たすように数値流束をセル境界で与えることになるので，速度については鏡像を取り，圧力については流れ場と同じとすることで，物体を表現している．より高次の補間も考えられるが，物体形状の表現精度が格子間隔程度のものであるので，ここでは境界条件だけを高次精度にすることは考えていない．なお，ここでの解析は人を含む流れの速度から非圧縮を仮定しているため，速度と圧力の境界条件についてのみ記述した．手法そのものは圧縮性でも適用可能である．また，セル中心の有限体積法との相性もあり，ここでは擬似圧縮性法を解法として用いている．

4. 計算例

4-1 バイクまわりの流れ　１つめの例は，人の乗ったバイクまわりの流れである．バイクの開発を考えると，バイク自体の形状は CAD などで正確に与えることができるが，これに乗る人については，必ずしも特定できない．そこで，Fig. 4 のようにバイクに乗った写真を撮り，これを元に解析を行う．ここでは姿勢を変化させてその違いを見ている．

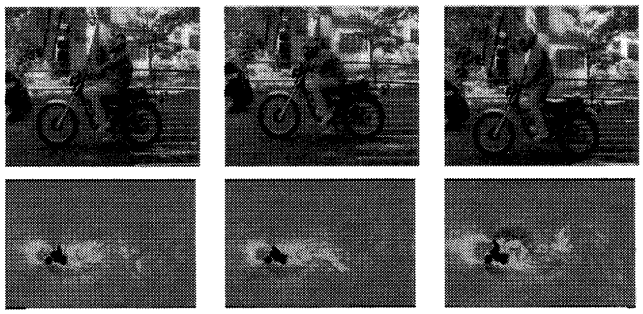


Fig. 4　Various postures of riders: normal, bending, standing

4-2 スノーボーダーまわりの流れ　次の例は，高速で滑走または滑空するスノーボーダーまわりの流れである．考え方はバイクと同じであり，画像を元に境界条件を与えて解析する．ここでは飛行（移動）速度を与えて解析を行っているが，将来的には空気力と運動を連成させて解くのにも用いることができると考えられる．

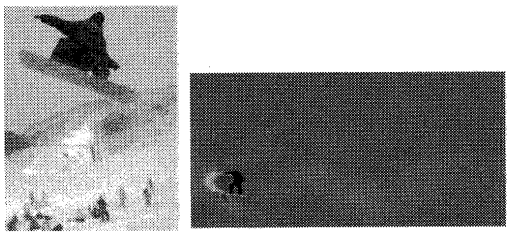


Fig. 5　Flow around a snowboarder

5. おわりに

人を含む物体まわりの流れを画像と直角直交格子によって解く手法について述べた．本手法は必ずしも人に限るわけではないが，特に人間のように個体差があり，変形も大きい物体には有利な手法であると考える．今後の課題としては，画像からの物体形状の再現性を含む全体としての解析精度の検証が挙げられる．

参考文献

(1) Ono, C. and Tamura, Y., A Simple Analysis Method for the Aerodynamic Characteristics of a Running Motor Cycle, *1st Intl. Conf. Design Eng. Sci.*, (2005), 347-351.
(2) Ye, T., et al., A Cartesian Grid Method for Viscous Incompressible Flows with Complex Immersed Boundaries, AIAA paper 99-3312 (1999).
(3) Saiki, E. M. and Biringen, S., Numerical Simulation of a Cylinder in Uniform Flow: Application of a Virtual Boundary Method, *J. Comp. Phys.*, **123** (1996), 450-465.

NII-Electronic Library Service