マーチングキューブによる流体の表面作成

日大生産工(学部)　○片山　諒一
日大生産工　　吉田　典正

1　まえがき

近年、流体を始めとした連続体のシミュレーションに粒子法が用いられるようになってきている。粒子法は粒子の運動によって連続体のシミュレーションを行う方法であり、これまでに連続体の大変形や分裂を伴うような問題に適用されてきた。CGの分野でも、メタボールなどを利用して粒子法シミュレーション結果の可視化が行われている。

本研究では,粒子法による流体のシミュレーション結果を元に、マーチングキューブ法によって表面を作成し可視化した。

2　粒子法[2)]

粒子法とは連続体を有限個の粒子によって表し、連続体の挙動を粒子の運動によって計算する方法である。各粒子は速度や圧力といった変数を保持しながら移動する。

連続体の挙動は微分方程式によって記述されるので、粒子法では格子を使わないでどのように微分方程式を離散化するかが要点であり、このやり方の違いからいくつかの方法がある。今回使用したMPS法は、流体解析や構造解析に用いられている代表的な粒子法である。

従来、連続体の計算法として広く用いられてきた差分法や有限要素法では、まず計算対象の空間を格子で分割する。変数は格子点上に配置される。そして、連続体の挙動を記述する微分方程式をその格子を用いて離散化し、格子点上変数の代数式に変換する。微分方程式を代数方程式に離散化するということについては、粒子法も差分法や有限要素法と同じである。ただし、離散化の過程に格子を用いないことに違いがある。

差分法や有限要素法の問題として、複雑形状に対する格子生成が挙げられる。現在ではひとたび格子が生成されれば差分法や有限要素法で計算する技術は確立されている。従って、三次元の複雑な形状に対する格子生成の方が相対的に困難になってきている。特に、格子の微妙な調整や不整合のチェックなどにどうしても人手を経ることが必要なため、格子生成は非常に手間のかかる作業であると認識されるようになってきた。また、水面の大きな変化に格子生成が追随できないといった問題もある。

粒子法ではこうした格子生成の煩雑な作業を改善できる可能性がある。形状にあわせて計算点である粒子を発生させるだけでよく、粒子間の接続関係は与える必要がない。格子法で用いられているボクセル法やカルテシアン法のように、方眼紙状に整然と粒子を並べておいて、形状に対する内外判定だけで粒子の有無を決めていけば、簡単に粒子の発生を行うことができる。

Generating the Surface of Fluid using the Marching Cube Method

Ryo KATAYAMA and Norimasa YOSHIDA

差分法や有限要素法のもう一つの問題として対流項の離散化が挙げられる。対流項を、格子を用いて離散化すると数値拡散や数値振動が生じる。自由表面の計算をオイラー法で行う場合、数値拡散が生じると表面位置が決定しにくくなり、数値振動が生じると現象としてあり得ないような解となってしまう。粒子法はラグランジュ法で計算を行っているため対流項が現れず、対流項の離散化に伴う数値拡散や数値振動は生じない。

格子を用いる場合でもラグランジュ法として計算することはできるが、格子の移動量が多い場合や、流体の合体や分裂が起こると格子の歪み著しくなり計算ができなくなってしまう。粒子法では格子を用いないため格子が歪むといった問題も生じない。格子が歪むことなくラグランジュ法で計算ができるのは粒子法の大きな利点である。この利点が生かされる対象は、流体解析では自由表面を有する流れや混相流、構造解析では大変形や破壊が考えられる。

3　マーチングキューブ法[1) 4)]

マーチングキューブ法はボリュームレンダリング法の一つであり、三次元データを小さな複数の立方体に分割し(Fig.1）、等値面をポリゴンに変換し、変換されたポリゴンをレンダリングする手法である。

三次元モデルの表面を対象としているレンダリング手法では、三次元空間に存在しているデータから幾何学的な曲面を生成しなければならない。しかし、モデルの形状が複雑になると曲面そのものを求めることが非常に困難になり、モデル形状を表示することができなくなる。そこで、三次元モデルの表面を幾何学的な曲面等では近似せずに、直接三次元空間上のデータより三次元モデルの内部構造を可視化するマーチングキューブ法を用いる。

ボリュームレンダリング法では三次元空間上に規則正しく格子状に並んだ点が各々データを持っていると考える。これを二次元のピクセルの概念を拡張したものとしてボクセルと呼ぶ。マーチングキューブ法では、隣接した八個のボクセルを頂点とする立方体に対象の空間を分割する。そして、あらかじめ指定した閾値と各ボクセルが持っている値との大小関係を調べ、表示したい面がその立方体の中でどのように構成されるかを判定する。そのために、まず立方体の頂点の値と閾値を比較して、頂点の値の方が大きいときには１を、小さいときには０をそれぞれの頂点に割り当てる。頂点における０と１の境界に対して三角形のポリゴンを生成するパターンは256通りの組み合わせが考えられる。しかし、面が交差するもののうち回転、対象、反転を考慮すると、実際には14種類となる(Fig.2)。各立方体に対して以上の処理を行うことで、等値面が生成されていく。

しかし、Fig.3 のように二種類以上のポリゴン抽出パターンがあり得る曖昧なパターンが存在する。この曖昧性は、隣接ポリゴンとの不連続性を生じさせる可能性があり、表示結果に大きな影響を与える。最近では、この曖昧性を解消するアルゴリズムも提案されている。

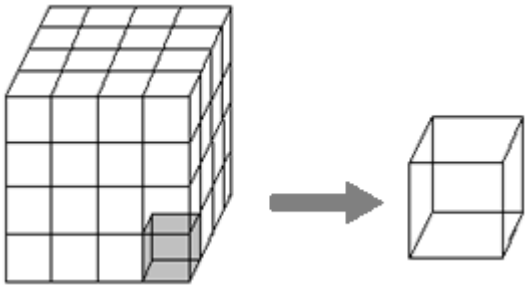

Fig.1　空間を立法体へ分割

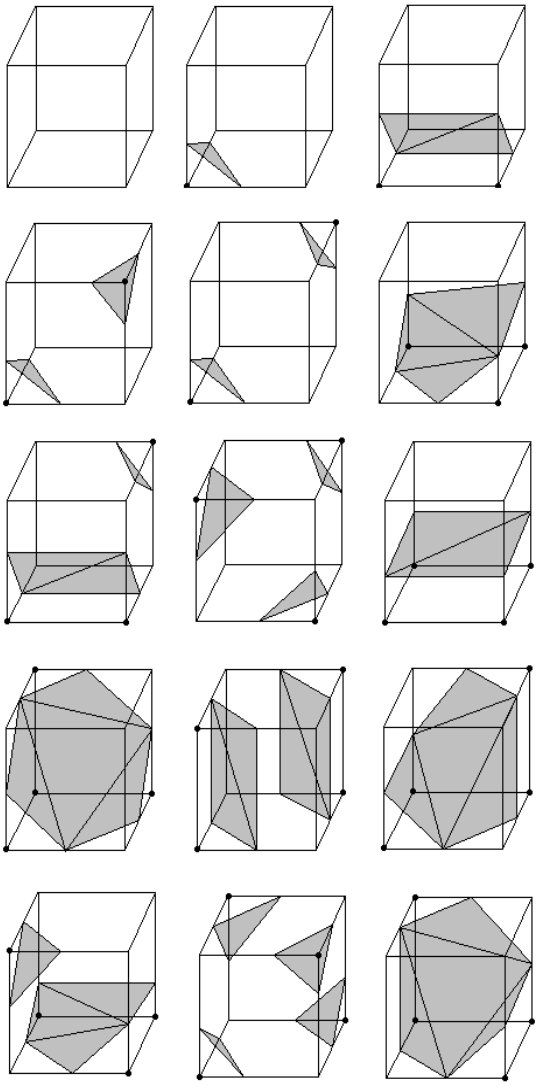

Fig.2　ポリゴン生成パターン

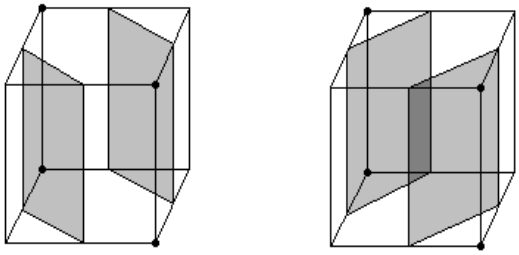

Fig.3　二種類以上のポリゴン抽出パターン

4　実行画面

4．1　キャビティー流れ

キャビティー流れとは上壁が横方向に移動することにより、キャビティー内に流れが生じる問題である(Fig.4)。解析解は存在しないが、二次元流れの標準的な検定問題[3] として精密な計算が行われている。レイノルズ数 10、100 の粒子法によるキャビティー流れをそれぞれ Fig.5、Fig.6 に示す。

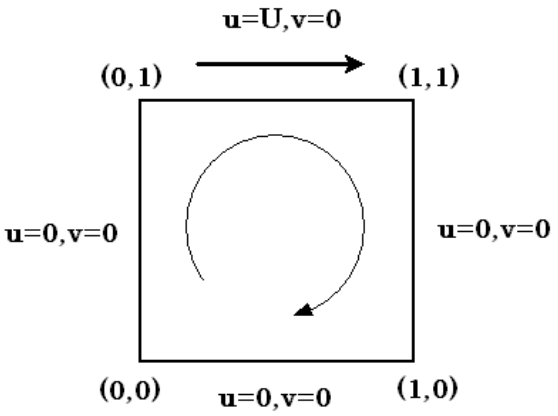

Fig.4　キャビティー流れの概要

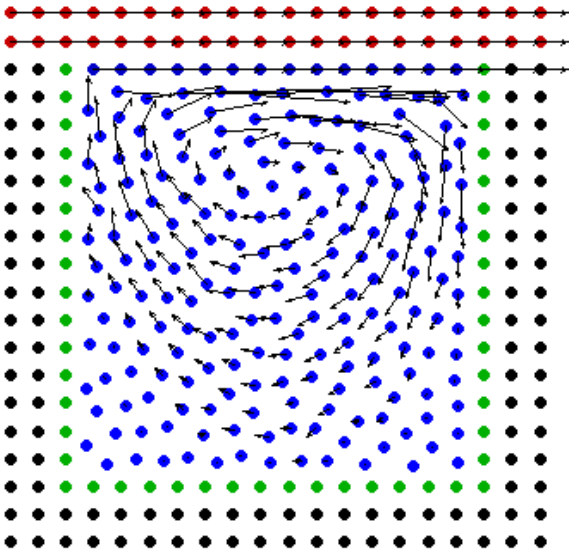

Fig.5　レイノルズ数：10

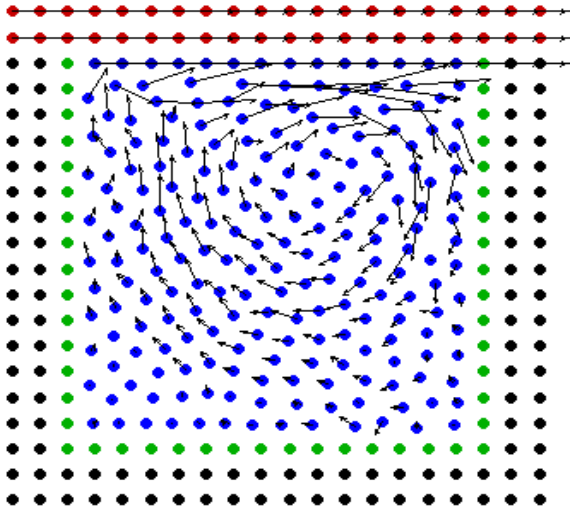

Fig.6　レイノルズ数：100

４．２　MC法による流体の表面作成

水柱の崩壊シミュレーションを粒子法とマーチングキューブ法で描画した。実行画面をFig.7、Fig.8に示す。

５　まとめと今後の展望

本研究では、キャビティー流れへの粒子法の適用と、マーチングキューブ法による粒子法シミュレーションの可視化を行った。

今後の展望としては、キャビティー流れの実験値との比較や、マーチングキューブ法に対してのPOV-RAYなどの可視化ソフトの利用が考えられる。

「参考文献」

1) Paul Bourke：Polygonising A Scalar Field、http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/geometry/polgonise/

2) 越塚誠一、「粒子法」、丸善株式会社、(2005)、pp.1～8

3) U.Ghia,K.N.Ghia,C.T.Shin、High-Re Solution for Incompressible Flow Using the Navier-Stokes Equations and a Multigrid Method Journal of Computational Physics,48,387-411(1982)

4) William E.Lorensen,Harvey E.Cline: Marching Cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm. In: Computer Graphics, Vol.21,Nr.4,Juli 1987

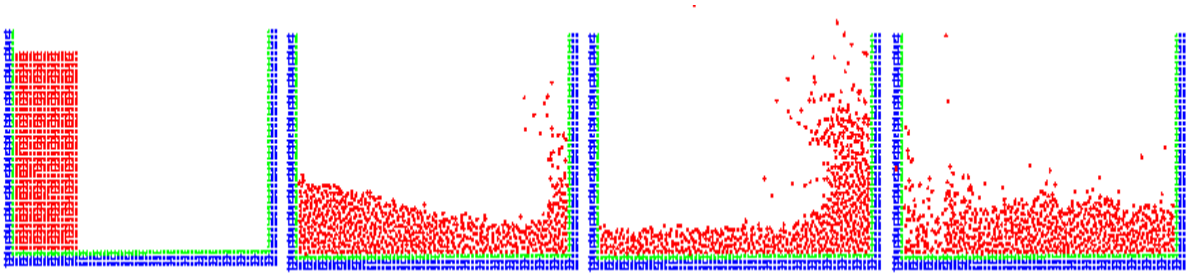

Fig.7　粒子法によるシミュレーション

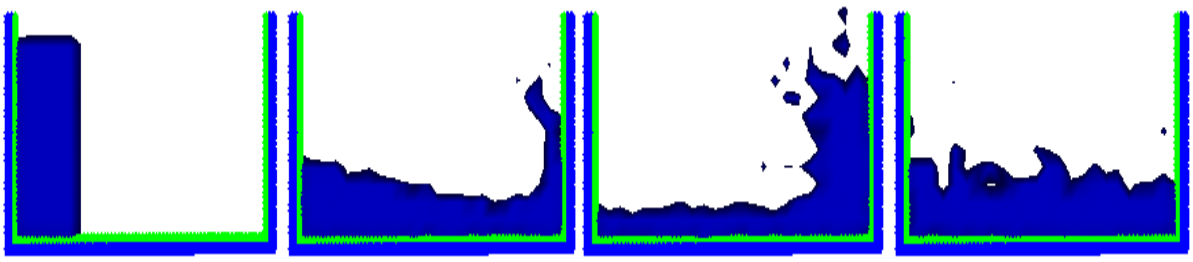

Fig.8　マーチングキューブ法による描画