

# 粒子法による流体シミュレーション と物理ベースCG

日大生産工 (院)  
日大生産工

○小原 俊介  
豊谷 純

日大生産工 角田 和彦  
日大生産工 古市 昌一

## 1 はじめに

粒子法は、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。また、粒子法は新しいシミュレーション手法であり、差分法や有限要素法のように格子で空間を覆う必要がないので、大変形を伴う解析に適している。本研究では粒子法の一つである、MPS(Moving Particle Semi-implicit) 法を用いて水柱崩壊シミュレーションを行い<sup>1)</sup>、その計算結果をマーチングキューブ法により流体の表面を作成<sup>2)</sup>した後、POV-Ray でレンダリングする<sup>3)</sup>ことで流体をリアルに表現することを目的としている。

## 2 MPS 法

MPS 法は流体解析や構造解析に用いられる代表的な粒子法である。勾配や発散といった微分演算子に対応する粒子間モデルを用意し、これらの微分演算子に適用することによって離散化する。重み関数  $w$  を導入し、粒子間相互作用モデルにはこの重み関数を利用する<sup>1)</sup>。本研究では解の安定化を図るために重み関数に  $\log$  関数を用いている。

$$w(r) = \begin{cases} \log \frac{r_e}{r} & (0 \leq r < r_e) \\ 0 & (r_e \leq r) \end{cases} \quad (1)$$

$r$  は粒子間距離、 $r_e$  は影響半径である (図 1 参照)。

式 (2) は勾配モデル、式 (3) はラブラシアンモデルである。式 (4) はラブラシアンモデルにおいて、統計的な分散の増加を解析解と一致させるための係数である。

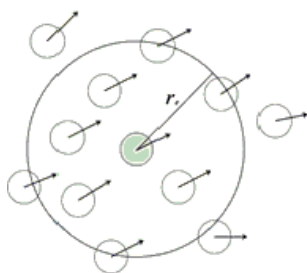


図 1. 粒子間相互作用

$$\langle \nabla \phi \rangle_i = \frac{d}{n^0} \sum_{j \neq i} \left[ \frac{\phi_j - \phi_i}{|r_j - r_i|^2} (r_j - r_i) w(|r_j - r_i|) \right] \quad (2)$$

$$\langle \nabla^2 \phi \rangle_i = \frac{2d}{\lambda n^0} \sum_{j \neq i} [(\phi_j - \phi_i) w(|r_j - r_i|)] \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{\sum_{j \neq i} |r_j - r_i| w(|r_j - r_i|)}{\sum_{j \neq i} w(|r_j - r_i|)} \quad (4)$$

ただし、 $d$  と  $n^0$  はそれぞれの次元数、重み関数で表される粒子密度の一定値である。

## 3 マーチングキューブ法

マーチングキューブ (Marchingcubes) 法は、コンピュータグラフィックスのアルゴリズムである。スカラーデータで与えられた等方向 3 次元ボクセルデータを、ポリゴンデータに変換するアルゴリズムである。特定のアルゴリズムで 1,0 に変換されたボクセルデータを対象とし、8 点からなる立方体を考えると、結果的に 8 つの頂点に 0 か 1 の数字をもった立方体が形成される。組み合わせは 2 の 8 乗の 256 通りが考えられる。しかし回転や反転を無視すると図 2 に示すように 15 種類となる。この原理を用いてライブラリ化した処理をすることで変換の高速化を図ることができる。各キューブを順番に処理し等値面でつなぐことでポリゴンデータに変換する<sup>2)</sup>。

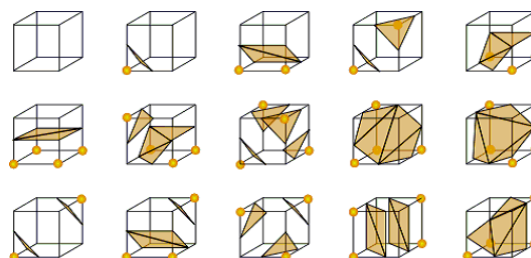


図 2. マーチングキューブ法

## Fluid Flow Simulation by Particle Method and Physics-based Computer Graphics

Shunsuke OBARA, Kazuhiko KAKUDA, Jun TOYOTANI and Masakazu FURUICHI

#### 4 物理ベース CG 化

物理ベース CG 化への手順を図 3 に示し、①～⑦について簡潔に記述する。

- ①エクセル等で粒子データを作成し、grid ファイルを作る。data ファイルには解析条件を書き込む。
- ②MPS プログラムで解析を行い解析する。
- ③解析結果の prof ファイルができる。
- ④マーチングキューブプログラムでは解析から出てきた粒子データをポリゴンデータに変換し、そのデータを POV-Ray 形式に出力する。
- ⑤pov ファイルが作成される。
- ⑥POV-ray でレンダリングする。
- ⑦画像ファイルが作成される。

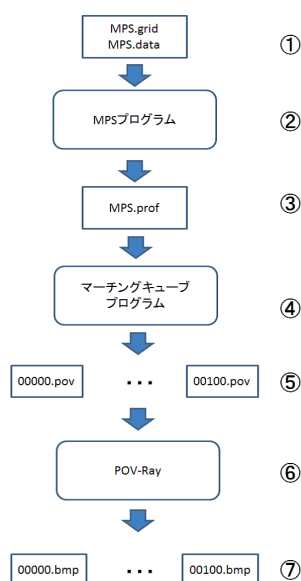


図 3. 物理ベース CG 化

なお、マーチングキューブ法は本来 3 次元で用いられるが、今回は、2 次元のシミュレーションであるためマーチングキューブプログラムを 2 次元用に改良してある。

#### 5 数値解析例

水柱崩壊シミュレーションに用いたモデルは粒子総数 16221 である（図 4 参照）。モデル中央の長方形の柱が流体の粒子の固まりであり、周りを囲う粒子が壁粒子となっている。このモデルは時間が経過すると流体の粒子が重力の影響を受けて崩壊する様子をシミュレートし、可視化する。

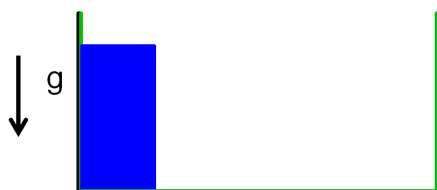


図 4. 初期粒子配置

図 5 は  $t=1.6s$  における粒子配置である。MPSView というソフトによって粒子を可視化している。図 6 は  $t=1.6s$  における粒子配置をマーチングキューブ法によってポリゴン化し、POV-Ray でレンダリングしたものである。

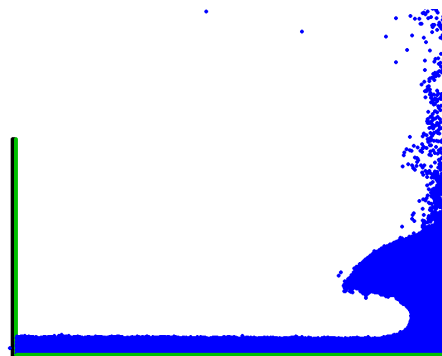


図 5.  $t=1.6s$  における粒子配置

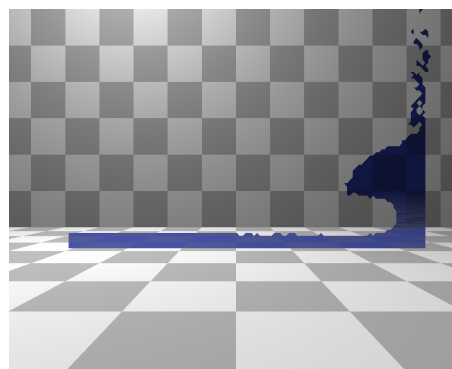


図 6.  $t=1.6s$  における物理ベース CG

#### 6 おわりに

本研究では、重み関数を工夫した MPS 法により水柱崩壊シミュレーションを行いその結果をマーチングキューブ法によってポリゴン化し、POV-Ray によってレンダリングすることで流体をリアルに表現することを目的にまとめてきた。今後のテーマとしては、今回 3 次元問題の解析を行い、よりリアルな流体を表現することを検討していきたい。また、3 次元解析にすると計算量が膨大になってしまうため GPU による計算を取り入れたい。

#### 参考文献

- 1) S.Kosizuka and Y.Oka, "Moving-Particle Semi-implicit Method for Fragmentation of Incompressible Fluid", NUCLEAR SCIENCE AND ENGINEERING, 123, pp.421-434 (1996)
- 2) 越塚誠一, 原田隆宏, 田中正幸, 近藤雅裕, 「粒子法シミュレーション 物理ベース CG 入門」, 越塚誠一編, 培風館, pp1-65, (2008)
- 3) 斉藤剛, 年森敦子, 田代裕子, 「3DCG をはじめよう POV-Ray 入門」, オーム社, pp.1-126, (2009)