

## J-10 セルオートマトンによる水を考慮に入れた氷の融解シミュレーション

## Simulation of Water Taking into Account Ice Melting by Cellular Automata

武石 大樹†  
TAKEISHI Hiroki

佐藤 尚†  
SATOU Hisashi

## 1. 初めに

近年の3D CG技術の進歩は目覚ましく、コンピュータの高速化とあいまって緻密で複雑な3D CGをえることが容易になってきた。CGの表現が複雑化するなか、レンダリング技術などだけではなく、自然物などを効率よくモデリングするための研究の重要性が増しているといえるだろう。

本研究ではCellular Automata(CA)の単純な状態遷移規則を用いて氷の融解現象の疑似シミュレーションし、融解途中の3次元形状をえることを目的としている。特に、水を考慮に入れることによって、その移動と再氷結を再現しより広範囲の形状に対してもより自然な形状をえることを目的とした。

## 2. 実装

## 2.1 主なパラメータ

本研究ではボクセルデータで表現された3次元のCAを用いている。注目したセルの計算に使用する近傍は、2次元におけるムーア近傍を3次元に拡張した26近傍を採用している。計算に使う主なパラメータには、各ボクセルの温度パラメータ値と相パラメータ値がある。これらは一辺が128個の立方体の配列で表現している。また、この温度パラメータおよび温度パラメータの計算に使用している値は、整数演算ですませられるように摂氏と等しくない大きな値をとっている。

## 2.2 熱源

熱源の存在を再現するために座標と温度パラメータを持った熱源オブジェクトを用意している。この熱源は各ボクセルに熱を与える。与える熱パラメータ値は、対象となるセルまでの距離の二乗に反比例し、途中の障害物の存在は考慮していない。

## 2.3 相と比熱

本研究で作成したプログラムでは氷、水、空気の3相の状態を表現する相パラメータを設けている。比熱パラメータ値はこの相パラメータ値から熱伝導の計算のときに導かれる。比熱パラメータは温度変化によらず一定とし、相パラメータごとに表.1のようなパラメータ値を定めた。

表.1 比熱パラメータ値

氷	2
水	4
空気	1

相パラメータが空気か氷であるセルは移動せず、よって対流などは考慮に入れていない。

## 2.4 熱伝導処理

熱伝導を再現するために各々のセルに対して26近傍それぞれにの相パラメータと熱パラメータ値に応じた計算を行ない各々の近傍セルでえた熱パラメータ値を合計し、注目したセルの熱パラメータ値を計算し更新している。具体的には、ある一つの近傍セルからえる熱は、

$$\Delta Q_i = (T - T_N) \frac{C_p}{C_{p_N}} A \dots$$

$\left\{ \begin{array}{l} \Delta Q_i: \text{近傍セルからえる熱パラメータ値} \\ T: \text{注目セルの熱パラメータ値} \\ T_N: \text{近傍セルの熱パラメータ値} \\ C_p: \text{注目セルの比熱パラメータ値} \\ C_{p_N}: \text{近傍セルの比熱パラメータ値} \\ A: \text{定数} \end{array} \right.$

としている。この式のAはプログラム実行の際の熱伝導スピードを調整するための値である。

## 2.5 水の移動

相パラメータ値が水であるセルは移動できる。(以下、セルの相パラメータの状態が空気、水、氷であるものを単に「空気」「水」「氷」と表記する。)水の移動は、

## (1) 真下への移動の条件

真下のセルが空気

真下のセルのノイマン近傍が水か氷

## (2) 斜め下への移動の条件

真下への移動を失敗している

注目した真下セルのノイマン近傍が空気

その注目したセルの上が水か氷

といった規則を定めている。またこの時、候補となる8つの斜め下のセルをどの順番で条件に合致するかを調べるかは、ループごとに発生させる乱数を用いて決定している。

このように、水の移動は非常に単純な規則に基づいており、よって水の粘性などは考慮に入れていない。

## 2.6 相パラメータ値の変化

相パラメータ値は、温度パラメータがあらかじめ決められたしきい値をまたいだときに変化する。

## 2.7 水の除去

計算量を少なくするために、氷から一定値以上はなれた水は取り除かれる。氷からの距離はマンハッタン距離を用いてあらわされループごとに更新される。

## 2.8 処理の流れ

全体の処理の流れは図.1のとおりで、これを一回のループとして繰り返し処理をする。

† 神奈川工科大学大学院 情報工学専攻 佐藤研究室

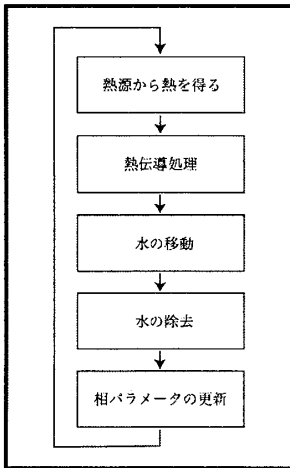


図.1 メインループ処理

### 3. 結果と結論

まず、ウサギの形状を解かした(図.2)。突起した部分から徐々に解け胴体が丸く残り、解けきるのがわかる。この過程は自然なものだろう。

もう一つ図.3のような形状の場合を示す。水を考慮に入れた場合の結果が図.4で、そうではない場合が図.5である。この形状では水を有効にした場合 235 回のループ実行で完全に解けきり、初期化などをのぞいて全部で 2607 秒かかった (AthlonXP 2000+ 使用)。このような鋭い角度で凹んだ形状の場合、水を考慮に入れなかった場合は途中分離してしまう。水を考慮に入れることによって、凹みにある水が再氷結し、不自然な分離を防げることを確認できた。

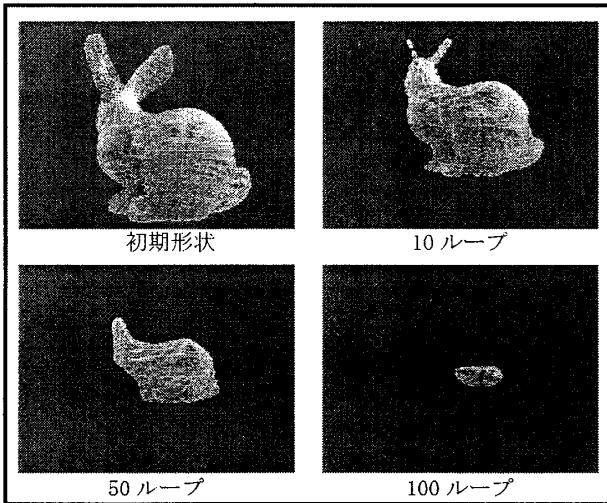


図.2 ウサギ形状の融解

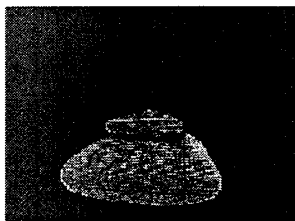


図.3 鏡餅型形状の初期状態

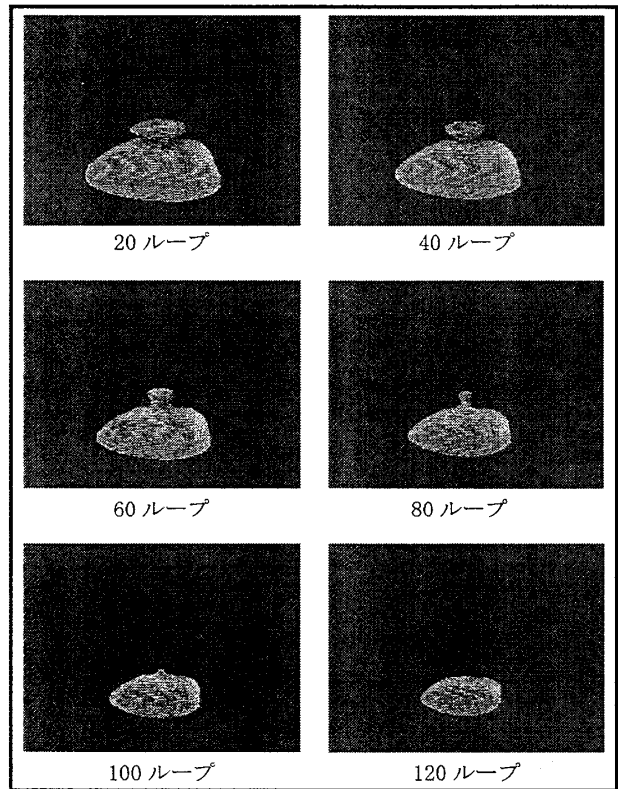


図.4 水を有効にした場合の鏡餅型形状の融解

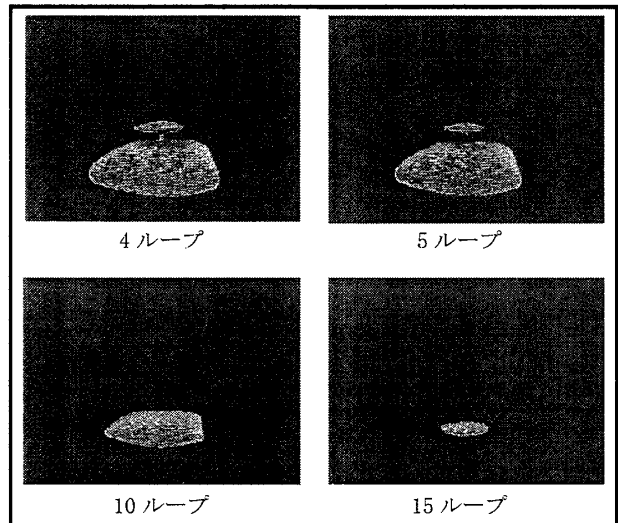


図.5 水を無効にした場合の鏡餅型形状の融解

### 参考文献

- [1] 藤代一成, 青木悦子, 小澤奈緒: "経時変化するオブジェクトのポリウムモロフォロジー", 情報処理学会第 59 回 (平成 11 年後期) 特 2-83
- [2] 青木悦子, 藤代一成: "モロフォロジーに基づく氷解現象のモデリング", 情報処理学会グラフィックスと CAD 研究会, グラフィックスと CAD96-15, pp85-90, 1999 年
- [3] 前野一紀, 黒田登志喜: "氷雪の構造と物性", 古今書院
- [4] 戸田盛和: "熱・統計力学", 岩波書店