

# 3ZA-05 ボリュームレイキャスティングボードを用いた 雲のリアルタイムアニメーション

黒宮 寧      藤代 一成      竹島 由里子<sup>†</sup>

お茶の水女子大学 理学部 情報科学科

<sup>†</sup> お茶の水女子大学 大学院人間文化研究科

## 1 背景と目的

波の様子や雲の流れ、炎の動きなどの自然現象を表現することは、コンピュータグラフィックス分野における最重要課題の一つである。自然現象のビジュアルシミュレーションを行なうには、静止画としてのクオリティと、動画としての威力の2つの要素を同時に考慮する必要がある。

本研究では、限られたCPU性能の中で、絵のクオリティを保ちながら、動きをもつ雲のリアルタイムアニメーションの実現を目的としている。そこで、メタボールを用いて雲をボリュームモデリングし、刻々と変化する雲の様子をセルオートマトンによる状態遷移により表現する。また、ボリュームの描画には、最近新しく発表されたPC仕様のシングルチップリアルタイムボリュームレイキャスティングボードであるVolumePro<sup>TM</sup><sup>‡</sup>[1]を使用する。

## 2 雲のモデリング

雲は微小な水の粒によって構成されている。本研究では雲をボリュームデータと考え、水の粒の密度分布を用いてモデリングする。

粒子から構成されているボリュームデータの代表的な表現方法として、パーティクルシステムがあげられる。しかし、膨大な個数のパーティクルから構成される雲のレンダリングは時間計算量が大きくなり、リアルタイムアニメーションは適さない。

そこで、本研究では雲の描画にパーティクルよりも大きなメタボールを用いることで、プリミティブの個数を減らし、描画の高速化を目指す。

メタボールは3次元濃度分布をもった球で、濃度は中心ほど高くなる。この濃度差により、パーティクルよりも大きな粒子であるにもかかわらず、輪郭のはつ

きりとしにくい曖昧な表現ができる。

まずシミュレーション空間内に3次元格子を設定する。次に図1(a)に示すように、すべての格子点に雲の存在を示す状態変数を割り当てる。ここでは雲が存在するところを黒丸、存在しないところを白丸で示す。その変数の値をもとに、雲が存在する部分には、その格子点を中心とし、同一の分布をもつメタボールを図1(b)のように配置する[2]。

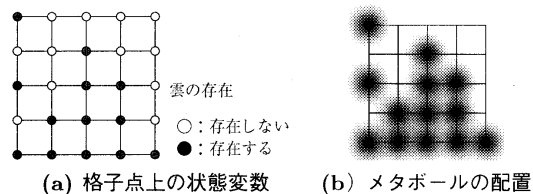


図 1: 2次元格子へのメタボールの配置

## 3 雲の形状変化の表現

雲の形状変化の表現には、雲のフラクタル性に注目して、セルオートマトンを利用する[2]。セルオートマトンを用いることで、複雑な組織構造を簡単な局所規則で生成でき、また並列計算により、計算コストを軽減することも可能である。

実際、本研究では、Negalらによって開発されたセルオートマトンによる雲の成長モデル[3]を使用する。空間内に設定された3次元格子の各ボクセルには水蒸気、雲の存在を示す状態変数  $hum, cld$  と、相転移の可否を表す  $act$  の3つの変数を割り当てる(図2)。これらの状態変数は0または1の2値で表され、1はそれぞれの存在や相転移が可であることを示している。また、それらは時間ステップごとに単純な状態遷移規則により変化する。その状態遷移規則は以下の通りである：

$$cld(i, j, k, t+1) = cld(i, j, k, t) \mid act(i, j, k, t) \quad \dots(1)$$

$$hum(i, j, k, t+1) = hum(i, j, k, t) \& !act(i, j, k, t) \quad \dots(2)$$

Real-time Animation of Clouds Using a Volume Ray-Casting Board

Shizuka Kuromiya, Issei Fujishiro, and Yuriko Takeshima<sup>†</sup>

Department of Information Sciences, Faculty of Science,

<sup>†</sup>Graduate School of Humanities and Sciences, Ochanomizu University, 2-1-1 Otsuka, Bunkyo-Ku, Tokyo 112-8610, Japan.

<sup>‡</sup>VolumeProは三菱電機(株)の登録商標です。

$$\text{act}(i,j,k,t+1) = \text{act}(i,j,k,t) \& \text{hum}(i,j,k,t) \& f_{\text{act}} \quad \dots(3)$$

( $i$ : x 座標,  $j$ : y 座標,  $k$ : z 座標,  $t$ : 時刻)

$f_{\text{act}}$ は論理関数で、近傍の  $\text{act}$  の状態値により値が決定する。文献 [3] では、雲が垂直・水平方向に成長することを考慮したモデルを設定しているが、本稿では、風に吹かれて斜上方向に向かいながら成長していく様子を表すために、次のように設定した：

$$f_{\text{act}} = \text{act}(i-1,j,k,t) \mid \text{act}(i,j-1,k,t) \mid \text{act}(i,j,k-1,t) \\ \mid \text{act}(i+1,j,k,t) \mid \text{act}(i,j+1,k,t) \mid \text{act}(i,j,k+1,t) \\ \mid \text{act}(i-2,j,k,t) \mid \text{act}(i,j-2,k,t) \mid \text{act}(i,j,k-2,t) \quad \dots(4)$$

式 (1)~(4) を繰り返し用いることで、水蒸気が存在するボクセルに、次々に雲のメタボールを発生させていくことができる。

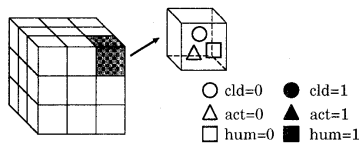


図 2: 状態変数の割り当て

#### 4 雲の描画

雲の質感を最もよく表現できるのは、光の散乱効果を忠実に行なうボリュームレイティング法であるが、一枚の絵を描画するために膨大な時間を必要とする。そこで本研究では、ボリュームレイキャスティング法を採用する。

本研究のボリューム描画には、VolumePro™ 500 PCI アクセラレータボードを用いる。このボードは、世界で初めて一般の PC 上でリアルタイムボリュームレイキャスティングを実現したもので、毎秒 30 フレームの速度で 256<sup>3</sup> のボクセルデータを描画することが可能である。また、ボリュームデータ格納用の 128MB の専用メモリを備えているため、512×512 画素の画像を 256 枚並べたようなデータまで一時的に格納することができる。

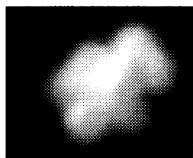


図 3: VolumePro™ で描いた雲の例

レイティングと比べ質感はやや劣るが、雲らしさを表現する上では十分であり(図3)、また、計算時間が短縮されるので、刻々と変化を遂げる雲の様子をアニメーションで表現することに適していると考えられる。

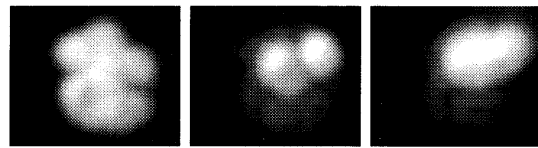
#### 5 実験

3次元格子にメタボールを配置して得られたボリュームデータ (64×64×64 ボクセル) を用いて、綿雲を表

現した。メタボールの濃度分布には正規分布を用いており、有効半径は 9 ボクセルとしている。

実験環境は Dell Dimension XPS T550 (CPU : PentiumIII (550MHz), RAM : 512MB, OS : Windows/NT Workstation 4.0) であり、通常のグラフィックボードには Diamond Viper V770 (32MB) を使用している。

図4にアニメーションからのスナップショットを示す。この実験では 1 秒間に描画可能なフレーム数 (FPS) が約 33.33 となった。このことから、リアルタイムアニメーションが実現されていることがわかる。



(a)  $t = 0$  (b)  $t = 10$  (c)  $t = 30$

図 4: 雲のアニメーションのスナップショット

#### 6 まとめと今後の予定

VolumePro™ の利用により、予想以上の高速な描画が実現できた。しかも、雲の曖昧な輪郭も十分に結果を得ることができた。

この VolumePro™ を使用することで、予め用意された時系列データを逐次読み込んで描画するアニメーションだけでなく、風の向きや雲の形を実行時に変更できるようなアニメーションも作成できるのではないかと考えている。セルオートマトンは、近傍の状態に基づいて、次の状態が決定するという、局所的な規則に従うため、一度格納したデータ値を VolumePro™ 上で効果的に変化させることができるからである。この点を考慮して、今後は VolumePro™ 用のプログラムインターフェースである Volume Library Interface (VLI) を用いて、インタラクティブアニメーションを実現していく予定である。

#### 参考文献

- [1] H.Pfister, J.Hardenbergh, J.Knittel, H.Lauer, L.Seiler: "The volumepro real-time ray-casting system," In *Proceedings of SIGGRAPH99*, August 1999, pp. 251 - 260.
- [2] 土橋, 西本, 金田, 山下, 西田, 沖田: セルオートマトンを用いた雲のインタラクティブシミュレーション, 画像電子学会 VC-WS'99, 1999 年 10 月
- [3] K.Negel, E.Raschke: "Self-organizing criticality in cloud formation?," *Physica A*, 1992, pp. 519 - 531.