

シャドウ・ビュースライスをを用いた雲の高速ボリュームレンダリング手法

宮崎 玲[†] 土橋宜典[‡] 西田 友是[†]

東京大学[†] 北海道大学[‡]

1. はじめに

自然現象のシミュレーションは CG において重要な研究分野の一つであり、とりわけ雲の表示は、景観画像、コンピュータゲーム、フライトシミュレータなどに幅広く応用される。流体シミュレーションなどで得られる雲密度のボリュームデータを可視化するためには、光源方向および視点方向光の減衰を考えなければならない。従来法では、ボリュームデータを光源方向と視点方向にそれぞれ垂直にスライスを取ることで減衰の計算を行っていた。本稿ではシャドウ・ビュースライスという光源方向と視点方向間のスライスを取ることで、二つの減衰の計算を同じスライスを用いて行い、従来法よりも計算コストを削減した手法を提案する。また計算の大部分にグラフィクスハードウェア、特に Pixel Shader を用いることにより高速にレンダリングを行うことができる。

2. 影を考慮したボリュームレンダリング手法

雲のレンダリングには雲内部での光の減衰や散乱、そして雲によってできる影を考慮することが重要である。本研究と関連のあるボリュームデータに影を考慮してレンダリングする手法として、ビルボードを用いて描画する手法[1]、ボリュームテクスチャを用いる手法[2]、Splattting による手法[3]などが挙げられる。この節では本研究と特に関連のある[2]の手法の概要を説明する。

2.1. 光源方向の光の減衰の計算

ボリュームデータには空間に分布する密度情報（光の減衰率、または不透明度）が 3 次元ボクセルとして保持されている。ボリュームデータをレンダリングするために、まず、ボリュームデータを平行光源（太陽）方向に、ボリュームデータの面に平行なスライスに分割する（図 1 左）。次に、以下の処理によって各スライス上の点と光源との間の光の減衰率（以下、これを光源方向の累積減衰率と呼ぶ）を算出する。まず、

図 1 に示すように、光源方向に垂直な位置に減衰率計算のためのシャドウマップと呼ぶ平面を設定する。シャドウマップの画素値は 1.0 に初期化しておく。そして、スライスを光源から近い順にシャドウマップにスライスにおける光の減衰率を乗算する。ここで、 i 番目のスライスを描画したときのシャドウマップの値がボリュームデータの i 番目のスライスまでの光源方向の累積減衰率を表すことになる。

2.2. 視点方向からの画像生成

2.1 節での光源方向のスライスごとの累積減衰率を記憶したシャドウマップを再構成して新たなボリュームデータとして保存しておく。光源方向の累積減衰率は各ボクセルまで光源の強さの割合を表す。次に、元の色と光の減衰率のデータと新たに作成した光源方向の累積減衰率を記憶したボリュームデータを視点方向に垂直にスライスする（図 1 右）。視点から遠いスライスから順次、描画先の色とスライスにおける色とをブレンディングにより描画を行う。

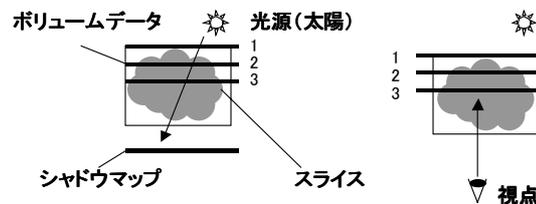


図 1 先行研究の概念図（左：光源方向のスライス 右：視点方向のスライス）、スライスの数字は計算する順序を表す。

3. 改良アルゴリズムと雲への適用

3.1. シャドウ・ビュースライス

[2]の手法の欠点として、描画の途中で光源方向の累積減衰率をシャドウマップから再構成して保存するボリュームデータが必要となる。本節では新たなボリュームデータの再構成と保存を行わなくてよい高速なレンダリングアルゴリズムを提案する。基本的な考え方として、「光源方向の累積減衰率の計算」と「視点から見た雲の減衰率と色の計算」を同じスライスで行う。従来はこの二つの過程でのスライスの仕方は別々だったが、これをシャドウ・ビュースライス（以

A Fast Volume Rendering Method of Clouds Using Shadow-View Slices

Ryo Miyazaki[†] Yoshinori Dobashi[‡] Tomoyuki Nishita[†]

[†] The University of Tokyo

下 SVS) とよぶスライスに統一する。SVS は太陽方向にも視点方向にも垂直となるとは限らない。

提案法では、太陽と視点の位置関係によりスライスの描画順が変化する。すなわち、視点と太陽方向のなす角が、鈍角か鋭角かによって場合分けを行う(図2)。図2(a)の場合、SVS の計算順序は、太陽から近い順、視点から遠い順となり従来法と一致する。しかし図2(b)の場合スライスは視点から近い順に描画することとなり、視点から見た描画時の計算が従来と異なることになる(次節参照)。SVS の向きは、SVS の垂線方向と視点方向および光源方向のなす角を、それぞれ、 θ_e および θ_s とすると、 $\theta_e : \theta_s = 1 : 2$ となるよう決定する。光源方向の平行投影はサンプリング間隔が一樣となるが、視点方向の透視投影はスクリーンのピクセルごとにサンプリング間隔が異なる。よって後者の計算精度を優先するために視点方向とスライスの法線のなす角を光源方向に比べ小さくとすることとする。どちらの場合も、太陽に近い順に光源方向の光の減衰率を計算し、視点方向からの描画を行う。描画はピクセルごとに、スライスの光の減衰率を描画先に乗算し、散乱光の色 (= 密度 × 光源方向の累積減衰率 × 太陽の色) を加算する。

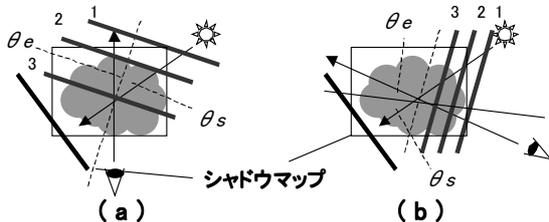


図2 (a) : 視点と光源のなす角が鈍角、(b) : 鋭角、スライスの数字は計算する順序を表す。

3.2 . 散乱光のブレンディング計算

図2(a)と(b)では、視点方向からのスライスの描画順序が逆となるので、それぞれ以下のブレンディング方法を用いて雲の色の計算を行う。

・(a)の場合

$$S_i = C_i + \alpha_i S_{i-1}$$

・(b)の場合

$$S_i = S_{i-1} + \alpha_i^* C_i, \quad \alpha_i^* = \alpha_{i-1} \alpha_{i-1}^*$$

C_i : i 番目のスライスにおける散乱光の色

α_i : i 番目のスライスにおける減衰率

α_i^* : 0 から i 番目の視点方向の累積減衰率

S_i : 0 から i 番目までのスライスにおける散乱光の色をブレンドした計算結果

3.3 . 視点方向の減衰率の計算

視点から見た画像の生成では透視投影となるので、スクリーンの各ピクセルを通る視線とスライスとのなす角はピクセルごとに変化し、視線方向によりサンプリング間隔が異なる(図3)。そこで、視線方向ごとのスライス間の光の減衰率を計算するために、スクリーンのピクセルごとにサンプリング間隔をテクスチャに保存しておく。そのテクスチャを用いて描画時にピクセルごとに Pixel Shader で視線方向の光の減衰率を決定することができる。

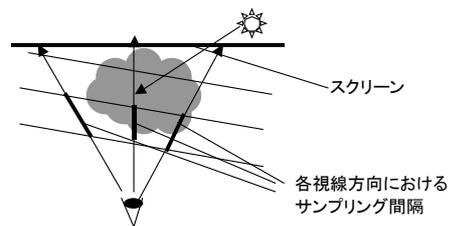


図3 視線方向によるサンプリング間隔の違い

4 . 計算結果

積雲のレンダリング結果の例を図4に示す。ボリュームのサイズは 128x128x64 であり、SVS は 200 枚である。Radeon9800Pro 搭載のマシンで約 10fps で描画を行うことができる。

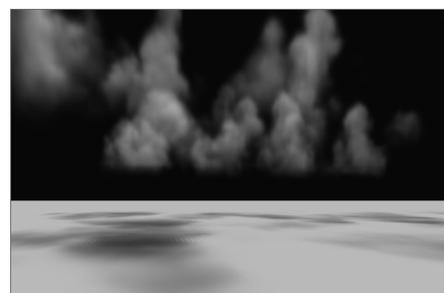


図4 積雲のレンダリング結果

5 . まとめ

光源方向と視点方向のスライスを統一したシャドウ・ビュースライスを用いて、従来法よりも効率的な雲のレンダリング手法の開発した。

参考文献

- [1] Y. Dobashi, K. Kaneda, H. Yamashita, T. Okita, T. Nishita, "A Simple, Efficient Method for Realistic Animation of Clouds," Proc. SIGGRAPH2000, 2000-7, pp. 19-28, 2000.
- [2] U. Behrens and R. Ratering, "Adding Shadows to a Texture-based Volume Renderer", 1998 Symposium on Volume Visualization, pp. 39-46, 1998.
- [3] C. Zhang, R. Crawfis, "Shadows and Soft Shadows with Participating Media Using Splatting", IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 9, no. 2, pp.139-149, 2003.