

衛星赤外画像を用いた広範囲の巻雲のモデリングシステムの開発

A System for Modeling Large-scale Cirrus Clouds Using Infrared Satellite Images

濱 大輔† 土橋 宜典† 山本 強†
Daisuke Hama Yoshinori Dobashi Tsuyoshi Yamamoto

1. まえがき

スペースフライトシミュレータ、ゲーム、映画などでは、コンピュータグラフィクス(CG)による広範囲の雲の表示がしばしば必要とされる。本研究では、そのような広範囲の雲をモデリングできるシステムの開発を目指す。本稿では、特に、巻雲のモデリングに着目する。従来、雲のモデリングには、フラクタルや流体シミュレーションを用いた手法が提案されているが、数十キロから数百キロにわたる広範囲の雲の生成には、計算コストやリアルな雲の生成の困難さの点で問題がある。そこで本システムは、衛星赤外画像を利用して巻雲のモデリングを行う。しかし、衛星画像のみでは詳細な巻雲の形状までは作成できない。そこで、LIC 法[1]を利用して詳細形状まで表現した巻雲のモデリングを行う。

2. システムの概要

衛星赤外画像では、雲頂高度が高い雲ほど輝度値が高く表示される。そのため、各画素の輝度値から雲頂高度を求めることができる。巻雲は、一般に、高い位置に生成されるため、衛星画像から高輝度の領域を抜き出すことで巻雲の領域を決定できる。しかし、衛星赤外画像における 1 画素幅は数 km に相当するため、雲の詳細形状を生成することはできない。提案システムでは、まず、ユーザにより指定された高度に対応する画素を衛星赤外画像から抽出することで、巻雲を生成する領域(以下、巻雲領域)を設定する。そして、より詳細な巻雲の形状を表すテクスチャ(以下、巻雲テクスチャ)を LIC 法を利用して生成する。このとき、LIC 法で用いるパラメータをインタラクティブに設定することで所望の形状の巻雲テクスチャを得ることができ、それらを用いて巻雲を編集する。

3. 巻雲のモデリングシステム

3.1 巻雲テクスチャの生成

巻雲テクスチャの生成にはベクトル場の可視化手法である LIC 法を用いる。LIC 法では、格子点上に定義されたベクトル場と白色雑音などにより生成したノイズ画像を入力とする。ノイズ画像の画素数はベクトル場を定義した格子数と同一とする。ベクトル場を用いてノイズ画像にフィルタ処理を施すことで、ベクトル場の流れ(流線)が描かれた出力画像を得ることができる。このとき同じベクトル場を用いても入力するノイズ画像によって、出力画像は異なったものとなる。

次に、LIC 法を用いた巻雲テクスチャの生成について説明する。巻雲は細かい筋状かつ波状の雲の集合である。このような雲のテクスチャの生成を行う。まず、巻雲に含まれる筋状のパターンを生成するため以下のような方法により生成したベクトル場に LIC 法を適用する。ベクトル場を定義する各格子点について、指定した方向から角度 θ の範囲内で確率 P でランダムに変化させたベクトルを割り付ける。このベクトル場に LIC 法を適用する。このとき入力とするノイズ画像は以下の方法により生成する。すなわち、ノイズ画像の各画素について、一様乱数を発生させ、その乱数が指定したしきい値 ε 未満なら画素値を白(1.0)、 ε 以上なら黒(0.0)とする。この方法により、巻雲テクスチャに含まれるくっきりした筋状の雲を表現できる。また、 ε の値により雲の量を設定できる。さらに以上の方法により生成した画像の各画素の輝度値 I に対し、以下の式を適用する。

$$f(I) = \exp\left(-\frac{(I-1)^2}{2\sigma^2}\right)$$

上式の σ により、巻雲テクスチャの濃淡の変化を設定できる。以上より、巻雲テクスチャは ε 、 P 、 θ 、 σ などをインタラクティブに設定することで、ユーザが所望する形状の巻雲テクスチャが生成できる。図 1(a)に提案法によって生成した巻雲テクスチャの例を示す。

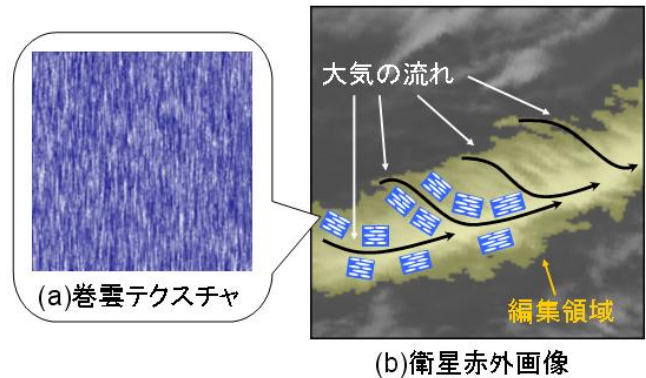


図 1: 巻雲テクスチャの目標とするマッピングの様子

3.2 大気の流れ場生成

次に、詳細形状を編集する巻雲領域(以下、編集領域)(図 1(b))に、所望する形状の巻雲テクスチャの筋が大気の流れ場に沿うようにマッピングする。編集領域は衛星赤外画像から抽出した巻雲領域に対しユーザが指定する。ここでは、大気の流れ場生成について説明する。まず、ユーザが直接大気の流れ \vec{V}_n (以下、流れベクトル)を入力して、それらを次の式で補間して流れ場 $\vec{V}(x, y)$ を生成する方法が考えられる。

† 北海道大学情報科学研究科メディアネットワーク専攻

$$\vec{V}(x, y) = \frac{\sum_{n=1}^N W_n \vec{v}_n}{\sum_{n=1}^N W_n} \quad W_n = \exp(-\alpha d_n)$$

N は入力ベクトルの数、 α は任意の定数、 d_n は位置 (x, y) と \vec{v}_n との距離である。しかし、この方法では、多くの流れベクトルを入力しなければ適切な流れ場を生成できず、煩雑な作業が必要となる。このことから、広範囲を編集する際には、自動的に流れベクトルを生成する必要があると考えられる。その自動化の手法を提案する。

まず、衛星赤外面像に対し適応的二値化処理(局所的に平均値で二値化する処理)、細線化を行う(図 2(a)~(c))。そして細線化を行った画像に対し、フィルタ処理を行う。このフィルタ処理は、フィルタに含まれた画素の並びが図 2のいずれかであるとき、その並びに応じた(図 2の各並びの右側の)ベクトル \vec{v} をフィルタの中心の位置で生成するといった処理である。そして、それら \vec{v} を局所的に平均したものを流れベクトルとする。最後にそれら流れベクトルを補間して流れ場を生成する。このとき生成された流れ場をLIC法で可視化したものが図 2(d)である。

参考文献

[1] Brian Cabral, Leith Casey Leedom, "Imaging Vector Fields Using Line Integral Convolution", Proceedings of ACM SigGraph 93, Aug 2-6, Anaheim, California, pp.263-270, 1993

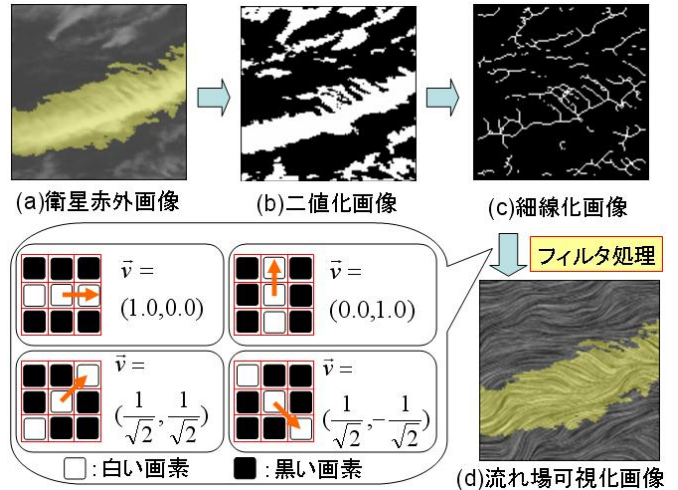


図 2 : 流れ場生成の自動化の概要

3.3 巻雲テクスチャのマッピング

本節では、巻雲が流れ場に沿うようにして、巻雲テクスチャを編集領域にマッピングする手法を提案する。

提案手法は、空間を格子状に分割し、格子に囲まれ、編集領域を含むセルに関して図 3 の処理を施す。セル内の流れ場の平均ベクトルを求め、セルよりも大きいビルボードと、ビルボードを囲むその平均ベクトルに沿ったバウンディングボックスを定義する。そのバウンディングボックスに、巻雲テクスチャの筋が平均ベクトルの方向に沿うようにマッピングしたのに対し、図 3 のスカラー場を掛け合わせる。このスカラー場は、セル内を 1.0、セル外は 0.0 としたものにガウスフィルタを施したものである。また、巻雲テクスチャをバウンディングボックスにマッピングする際、設定した解像度を保つためのテクスチャ座標をランダムに設定する。以上の処理を、編集領域を含む各セルに対して行い、それらをすべて足し合わせ、そして最後に編集領域にガウスフィルタを掛け合わせる。このようにして編集領域に生成した流れ場に沿うような巻雲を生成できる。

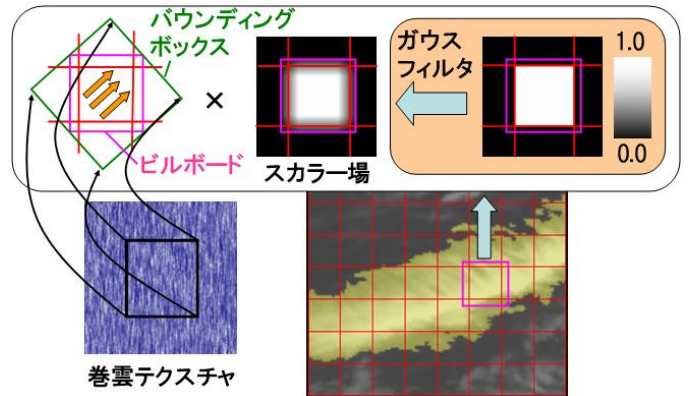


図 3 : 流れ場に沿う巻雲テクスチャのマッピング手法の概要

また、生成した流れ場に沿うような筋を発生させるには、直接流れ場を LIC 法によって可視化させる方法もあるが、この方法で広範囲、高解像度の筋を発生させるには非常に時間がかかってしまうため、編集のインタラクティブ性を損なわれてしまう。また、生成した流れ場を可視化しても巻雲特有の詳細形状の複雑さを表現できない。

4. まとめ

本稿では、衛星赤外面像の情報をもとに、広範囲の巻雲の詳細形状をモデリングできるシステムを提案した。本システムを用いて得た結果の例が図 4 である。今後の課題として、編集できる雲の種類(積雲や積乱雲など)を増やすことが挙げられる。

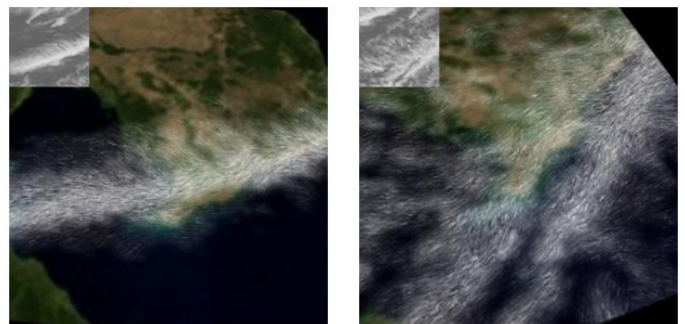


図 4 : 出力結果