

## 対話による雲の動画像生成システムの試作

松田夏子 倉立尚明 鈴木薫

matsuda@krl.toshiba.co.jp

東芝 関西研究所

〒658 神戸市東灘区本山南町 8-6-26

我々はコンピュータグラフィクスによる雲動画像生成システムを構築中である。雲等の自然景観画像の生成には、ボリュームレンダリング等の時間のかかる処理の前にユーザが対話的にデータ確認、修正を行えると便利である。本システムは、雲の動きを簡便に設定し、生成された雲の動きをプレビューにより確認可能な条件設定ツールと、それを基にオフラインで雲の生成、消滅を含めた最終画像を生成する詳細レンダリング部より構成される。本稿では条件設定ツールの試作について報告する。本ツール上では、雲の密度、雲の大局的流れの方向等のパラメータを指示し、それを簡易モデルを用いたシミュレーションで確認し、変更も簡単に行うことが出来る。

## A Prototype of Interactive System for Cloud Motion Visualizaion

Natsuko MATSUDA Takaaki KURATATE Kaoru SUZUKI

TOSHIBA Kansai Research Laboratories

8-6-26 Motoyamaminami-machi Higashinada-ku Kobe, Hyougo, 658, Japan

The authors are constructing an interactive system for visualizing cloud motion including its birth and extinction. It is convenient to confirm motion parameters before actually performing the rendering process which is computationally heavy. In this system, we first generate the cloud motion and preview it using simplified model, and then render realistic images. This paper describes the interface to generate motion data and preview the cloud motion. This interactive tool allows us to easily set up and change the parameters such as the density of clouds or vectors of the cloud motion .

## 1 はじめに

映像産業において、CGを用いた映像の占める比率は年々高まっているが、近年、CGの応用映像として実写映像と違和感のないCG映像の合成技術が重要となり、リアルな動植物や自然物のCG映像が求められている。しかし、これらの表現方法について、コスト的な面から見て誰もが容易に利用できるような段階には至っていない。

自然物の中でも、雲の映像生成に関して様々な研究がなされている。比較的簡便な手法としては、テクスチャを用いる手法や、フラクタルディスクという手法による準リアルタイムでの雲状現象の可視化の具体的手法が提案されている[1]が、これらの手法は、リアルではあるが時間変化にともなう大気の流れや雲の生成、消滅までは表現しきれない。

また多数のパーティクルを利用して煙などの現象をレンダリングする技術[3]も存在するが、煙としての表現もまだ完全なものではなく、雲の生成、消滅も含めた動きを表現するには問題がある。

気流まで正確に考慮した研究としては、Scientific Visualization の分野での台風や雷雨等の数値計算結果の可視化[4]等の報告が挙げられる。動きに関してはデータを再現しているのが非常に厳密ではあるが、主な目的が気象学上の諸データの可視化であるため、CG映像としてのリアリティは低くなっている。

これらを踏まえて、我々は複雑な数値計算を避けた上で、自然な動きを持ったリアリティの高い雲映像を簡便に生成することを目的として、現在、比較的簡便な手法によるCGの雲動画像生成システムを構築中[9][10]である。このシステムは、気流等の条件を簡便に設定し、それを基に既存のグラフィックワークステーションを用いて、生成された雲の動きをプレビューで確認する条件設定部と、設定されたデータに基づいて、詳細なレンダリングを行なって雲動画像を生成する詳細レンダリング部から構成される。本稿では、雲の動きの設定を簡便に行ないそれをプレビュー機能で確認・評価できる条件設定部とそのユーザインタフェース(以下UIと略す)について報告する。

## 2 雲動画像生成システム

まず、雲動画像生成システムの概要を簡単に示してから、条件設定部の詳細について説明する。

### 2.1 システム概要

図1において、構築中のシステム全体の処理の流れをフローチャートで示す。

本システムは、簡便な操作により生成、消滅過程をも含んだ雲の動画像を生成することを目的とするシステムであり、図に示す通り大きく条件設定部と詳細レンダリング部に分けることができる。

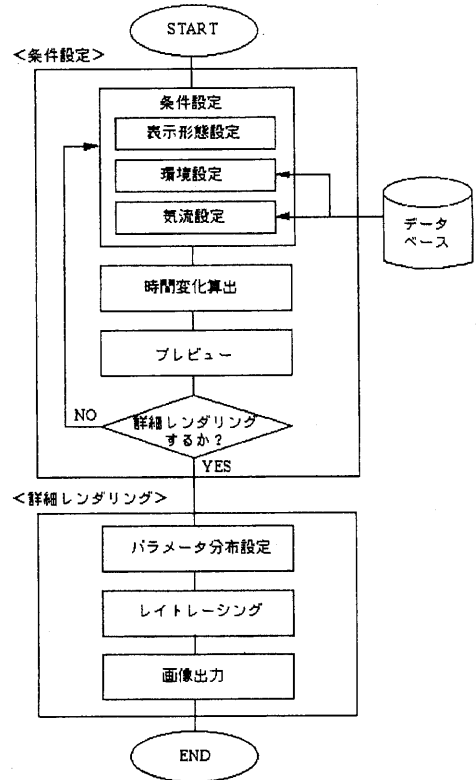


図 1: システム処理の流れ

雲の動画像を生成するためには、動きが大変重要な要素となってくる。実際の雲は気流に従って、生成、消滅を行ないながら動いているが、このプロセスは気温、気圧を含め実に様々な要因と関わっており、それらと相互に影響を及ぼしあっているため、全てを正確に考慮した上でモデル化することは非常

に困難である。しかも、リアルなレンダリングには時間がかかることから、レンダリングのためのデータ作成の計算コストはなるべく減らしたいと考えている。雲の生成、消滅を表現するための可視化モデルについては、次節に述べる通り、これまで検討を行ってきたが、今回は気流について、ある一定の関係のみを考慮した簡単なモデルを構築したので、これを報告する。

## 2.2 可視化モデル

これまでに行ってきた可視化モデル [9][10] について説明する。

まず、気流を取り扱う領域を設定し、その領域内の大気中に雲粒子を配置し、決められた気流に乗せる。ここで雲粒子とは、大気中に浮遊するイオンやエアロゾルと呼ばれる微小粒子のうち、吸湿性を持ち凝結核として作用するものの任意体積の集合を指す。実際に雲が生成される時には、気温の低下等の原因によって、この凝結核に水蒸気が凝結し水粒となり付着し、これらが集合することによって雲となる。反対に、気温の上昇によって、凝結核から水滴が蒸発していくと雲は消滅してしまう。大気中の気温の変動の主な原因は、高度変化によって起こると考えられる。従って、気流に従って雲粒子が動くと、その動きにともなって生じる高度変化によって気温の変化も起こっていると考えられることから、高度変化を用いて水蒸気の凝結量の変化等の主要要因をモデル化することで、雲粒子からその集まりである小雲への生成、あるいはその消滅を含む時間的変化を疑似的に表現出来る。

このモデル化には、国際民間航空機関 (ICAO) が採用している ICAO 標準大気モデル [13] を用いた。領域内の雲粒子の高度と、標準大気モデルの気温の変化率を用いて気温を算出し、その気温と、水および氷の蒸気圧の実データ [13] より求めた近似式より飽和水蒸気密度を決定する。飽和水蒸気密度が小さければ水蒸気が凝結することになり、雲粒子が雲へと成長することになる。

以上の手法を用いて、時間にもなう生成、消滅を含む雲の可視化を行なっている。しかし、高度は気流の設定によりその変化が大きく変わってくるの

で、このような枠組みで雲の生成を扱うためには気流の設定が非常に重要な要素となってくる。

## 3 条件設定部

### 3.1 構成

システムでは、主に以下のパラメータが重要な役割を果たしている。

#### ○可視化パラメータ

- ・雲粒子の相対湿度
- ・雲底高度
- ・気流を取り扱う領域の大きさ
- ・時間パラメータ

#### ○レンダリングパラメータ

- ・雲の密度

#### ○流れパラメータ

- ・気流の種類または流れのベクトル

可視化パラメータおよびレンダリングパラメータについては文献 [9][10] で報告済みである。従って、以下に流れパラメータを設定するための条件設定部の詳細とその UI について説明する。

図 1 に従い、その構成を示す。

まず、操作パネル (図 2) より評価時の時間および表示形態を設定する。雲が流れる時間とは、すなわち生成する最終動画像のフレーム数であり、プレビュー時にもこのフレーム数の雲の動きを見ることが出来る。

またここで、雲粒子の動きのプレビューを行なう時の、表示簡易モデルの選択も行なっておく。選択項目は以下の通りである。

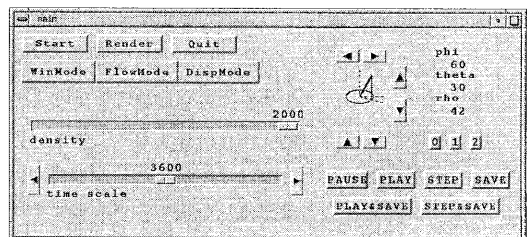


図 2: 条件設定のためのパネル画面

- ・雲粒子の中心点を点により表示(最も簡易レベル。気流の流れを確認。)
- ・立方体による表示(気流の流れと雲の生成、消滅をも確認。)
- ・球による表示(最も最終画像に近いレベル。)

さらに、各々の表示形態と共に、大気中の粒子の中で雲となり可視化されるポイントのみの表示か、あるいは全ポイントを表示するか、という選択も行なうことが出来る。

次に、雲が生成されるための環境について設定を行なう。環境設定については、気象データ、地形図、市街地の様子等、様々な入力考えられる。今回は、ユーザが大気の流れを大まかにデザインする手法について報告する。

大気の流れの設定は、以下の中から選択して行なうことが出来る。

- ・あらかじめ関数定義された気流群から選択(図3)
- ・ユーザが指定した大気の大まかな流れ方向を流れ場として解析

大気の流れを指定する時には、直接雲の流れのベクトルを、雲を表示する空間内の数箇所(現時点では3箇所)において指定するものとした。ベクトル指定は極座標空間内で行ない、方向と大きさ(速度にあたる)を指定する。

また、空間中の粒子数を設定する。粒子数とは大気中に浮遊する雲粒子の数を示しており、すなわち雲の密度を示している。従って、粒子数を多くすると厚い雲を表現することが出来る。

これらの条件から時間変化にともなう雲の動きを算出し、プレビュー機能を用いてその結果を確認できる。次節で雲の動きの算出方法について述べる。

### 3.2 流れの計算

条件設定部において設定されたパラメータおよび流れのベクトル等の条件を流れ場問題として扱って、雲粒子の位置の時間的変化を計算する。しかし、設定されたパラメータと流れは非常に密接な関連があり独立に考えることは出来ないで、気象分野のシミュレーションのように厳密に解くことが望ましいが、計算コスト等の問題より、本システムでは出来るだけ簡単な計算で解くことを考える。

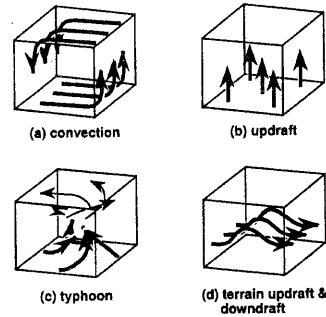


図3: 関数定義された気流

流れ場を解く基本的な流体の式は次の3式である。  
連続の式

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div} \rho \vec{u} = 0 \quad (1)$$

運動方程式

$$\frac{d\vec{u}}{dt} = \frac{1}{\rho} \text{div} \vec{\Phi} + \vec{f} \quad (2)$$

エネルギー方程式

$$\frac{\partial e}{\partial t} + \text{div} e \vec{u} = \rho \vec{u} \cdot \vec{f} + \text{div} \Phi \cdot \vec{u} + \text{div} k \nabla T \quad (3)$$

ここで  $\rho$  は密度、 $\vec{u}$  は流速、 $\vec{\Phi}$  は応力テンソル、 $\vec{f}$  は外力、 $e$  は単位体積当りの岐点内部エネルギー、 $k$  は熱伝導率、および  $T$  は温度を示している。

可視化パラメータにより指定された3次元空間内で、上式を用いて数値計算を行ない、流れ場を求める。この空間内において、大局的流れを決定するベクトルをユーザが指定し、空間内全体に流れを生成する。ただし、そのまま解くと非常に計算コストがかかるため、条件によっては非圧縮あるいは非粘性あるいは渦無し流れ等の、より単純な流れを扱うことを考える。また今回は、特に複雑な時間変化が存在するような流れについては、比較的簡単に計算が可能な矢部らによる CIP (Cubic-Interpolated Pseudoparticle) 法 [11] [12] を用いて、 $32 \times 32 \times 32$  程度のメッシュ分割で流れ場を求めた。

このようにフレーム毎に、各々の雲粒子の位置に対して近傍の格子点列の内挿計算によってその点に

おける気流のベクトル方向と大きさを算出し、次のフレームにおける雲粒子の位置を計算する。また、高度変化等の情報から雲粒子に付着する水蒸気の凝結量を算出し、凝結量が多い場合には雲粒子が互いに集合して雲として生成され、少ない場合には消滅してしまうものとする。

以上の計算により得た結果を、表示設定部によって設定した表示形態に従って、簡易モデルを用いて可視化しプレビューを行なう。ユーザは可視化された結果を見て、雲の流れの設定の可否を判断し、良ければそのデータを用いて、詳細レンダリングの処理を行ない、気に入らない場合は再び条件設定に戻って気流の設定を行なう。

将来的には、指示した大気の流れと合わせて、気圧あるいは気温等の気象情報データを用いて解析を行なっていくことを考えている。

### 3.3 ユーザインタフェース

今回、条件設定ツールのインタフェース試作として、上記の設定機能を持たせたコントロールパネルを Motif を用いて生成した。今回の試作では、表示形態および環境の設定は1つのパネル上(図2)で行なうようにした。気流のベクトル設定は、パネル上の極座標中に表示された矢印のついたベクトルをボタンにより回転あるいは拡大・縮小することで行なうことが出来る。非常に微小な設定には向かないが、大まかな大気の動きを表現するための設定であるので現段階では十分な設定であると考えた。

また、UI機能の一つとして画像の一時停止やコマ送り等の機能や、視点位置やウィンドウサイズをインタラクティブに指定出来る機能も付加している。

## 4 結果

IRIS ONYX Reality Engine2 上で実際に操作している画面を図4に示す。新たに気流を設定した場合、数値計算に数秒を要するだけでプレビューはほぼリアルタイムで見ることができる。

また、プレビュー画面とそれに対して詳細レンダリングした例を図5に示す。

詳細レンダリングでは Gardner[2] や中前・西田ら[5] が用いた楕円体と関数による密度分布の表現

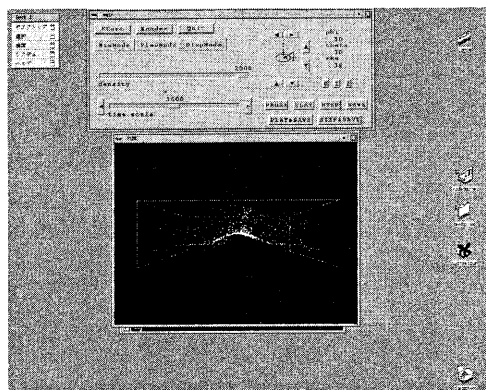


図4: 操作時のイメージ画面

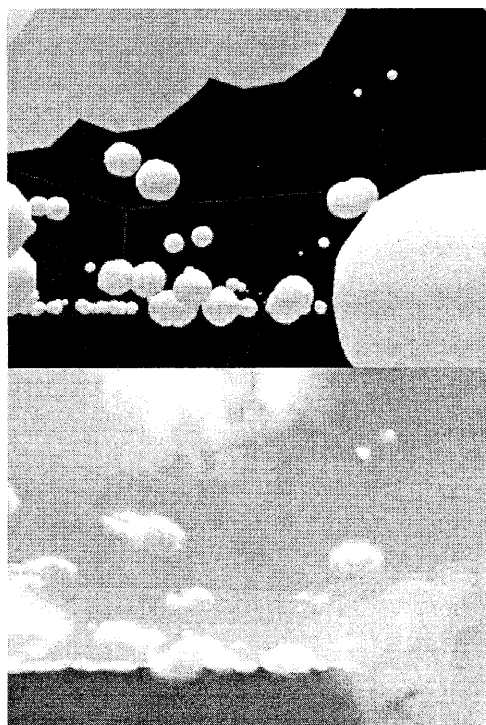


図5: モデリングおよびレンダリング例

を利用し、小雲を楕円体を用いて表現したものである。小雲の基本形状と位置情報より楕円体を定義し、

雲粒子の分布に基づき、楕円体内部に密度分布を発生させ、さらにテクスチャ関数による水滴(雲粒)の密度分布とを組み合わせることにより複雑な内部の密度変化を表現する。

時間をかけてレンダリングする前に雲の動きを確認できることに加えて、気流を設定できることにより、上昇気流、渦気流等を選択するだけの従来システムよりも、生成できる雲の幅が広がった。

## 5 まとめ

以上報告したように、雲動画像生成のための条件設定として簡単に気流を設定でき、それにとまなう雲の動きをプレビュー画面で確認できるシステムの試作を行なった。

今後は、本報告では試作として示した手法を、個々の短所を解決した上でさらなる改良を加え、デザインツールや景観ソフトウェアに組み込み可能なものとして、あるいは映像作成システムの一つとして、高機能化およびさらなる高速化を行なう必要がある。

これからの課題としては、高機能化として、外部からデータの取り込みを行なえるようにすることが挙げられる。ユーザの設定のみならず、例えば、地形情報や気象データを外部のデータベースより取り込み、そのデータから気流を発生する。具体的には、衛星写真から雲領域の動きベクトルを解析したり、また気温や気圧の情報を用いることも考える。

また、詳細レンダリング部に関しても、条件設定ツールと一体化し、さらに使いやすいUIを構築することが必要である。同時に、詳細レンダリングの高速化[7]とさらなるリアリティの向上[8]も大きな課題である。

## 参考文献

- [1] G.Y.Gardner, "Modeling Amorphous Natural Features", SIGGRAPH '94, Course Note (Course 22), 1994.
- [2] G.Y.Gardner, "Visual Simulation of Clouds", Computer Graphics, Vol.19, No.3, pp.297-303, 1985.
- [3] 守田 空悟, 他, "渦場による炎や煙の CG シミュレーション", 第6回 NICOGRAPH 論文コンテスト論文集, pp.109-114, 1990.
- [4] Lloyd Treinish, Deborah Silver, "Visualization Blackboard", IEEE Computer Graphics and Applications, pp.12-15, May, 1995.
- [5] 西田 友是, 中前 栄八郎, "大気の不均質微粒子の表示法", 情報処理学会第35回全国大会論文集, 2G-4, pp.2307-2308, 1987.
- [6] 中前 栄八郎, 多田村 克己, "雲の形状入力表示モジュールの開発", 多次元情報高度映像化システム研究プロジェクト 研究成果報告会, 18. March, 1996
- [7] 加藤 二二和, 焦 国芳, 多田村 克己, 中前 栄八郎, "Zバッファを活用した写実的な昼光景観画像作成法", Visual Computing '96 予稿集, pp.106-107, 1996.
- [8] 西田 友是, 土橋 宜典, 金田 和文, 山下 英生, "多重散乱を考慮した空の色の表示法", Visual Computing '96 予稿集, pp.104-105, 1996.
- [9] 松田 夏子, 倉立 尚明, 鈴木 薫, "時間および視点変化を考慮した雲の可視化", 1995年電子情報通信学会総合大会, D-668, pp.394, 1995.
- [10] 倉立 尚明, 松田 夏子, 鈴木 薫, "時間および視点変化を考慮した雲の可視化", 第11回 NICOGRAPH 論文コンテスト論文集, pp.151-160, 1995.
- [11] T. Yabe, et al., "A Universal Solver for Hyperbolic Equations by Cubic-Polynomial Interpolation", Comput. Phys. Common., 66, pp.219-242, 1991.
- [12] 矢部 孝, "面倒臭がり屋の数値流体入門", 日本物理学会誌, 47, pp.18-25, 1992.
- [13] 国立天文台 編, "理化年表", 丸善.