

ボリュームレンダリングを用いた 気象衛星画像の3次元可視化

3D Visualization of Meteorological Satellite Imagery Using Volume Rendering

北本 朝展

Asanobu KITAMOTO

高木 幹雄

Mikio TAKAGI

東京大学生産技術研究所

Institute of Industrial Science, University of Tokyo

The aim of this paper is to visualize cloud in three-dimension using images received from meteorological satellite. Since infrared images have the same property as range images, satellite images can be converted into three-dimensional volume data, and can be visualized in three-dimension by means of volume rendering technology. With visualized images, users can more easily grasp the three-dimensional structure of clouds.

1 はじめに

画像データを有効に活用するために、画像を画像データのまま提供するだけでなく、画像に含まれる情報をさまざまな形で可視化 (visualization) した上で提供する技術が、今後は必要とされるだろう。例えば気象衛星画像は2次元の画像として受信されるが、多様な観測チャネルを活用して受信画像を処理すれば雲の立体構造を把握できることが知られている。そこで本研究では、気象衛星画像上の雲を3次元的に可視化する手法を提案する。本研究が可視化する対象は実世界の観測データであり、したがって本研究は、従来のコンピュータグラフィクス (CG) のように仮想的な雲を合成するアプローチとは異なる。このように実世界のボリュームデータを可視化する分野はボリュームビジュアライゼーション (VV) と呼ばれ、画像理解と CG の両方の技術が要求される分野である [1]。

2 本研究の特徴

気象衛星画像は、厳密な意味では3次元のボリュームデータを記録したものではない。気象衛星が地球上空からしか観測できない以上、観測データは必然的に2次元データとなる。しかし赤外領域で観測した画像では、画素値が対象領域の放射温度を表すという特性がある。そこで、大気の垂直温度分布を仮定すれば雲頂温度と雲頂高度 (雲表面) を対応づけることが可能となる。この意味で赤外画像は距離画像 (range image) の性質を備えており、この性質をうまく利用して雲表面を3次元可視化することが本研究の目標である。

さて、地形図などの3次元可視化の技術はすでに

一般的な技術といえるが、雲の3次元可視化は以下のような困難な問題を抱えている。まず、事前に標高データが用意できる地形図と違い、雲の場合は画像ごとに雲の位置、雲頂高度や雲底高度が異なる。そこで雲と地面を画素ごとに分類し、画像ごとに雲頂高度などを推定する処理が必要となる。また地面は不透明な物体であるのに対し雲は半透明な物体であるため、半透明な物体の表示に適した手法が必要とされる。

そこで雲の3次元可視化に関する従来の研究では、赤外画像で雲頂高度を算出し、計算された雲表面に可視画像をテクスチャマッピングして陰影をつける方法が採られた [2]。それに対して本研究は、データとして赤外画像のみを用い、ボリュームレンダリング (VR) の手法で3次元可視化する。この方法では、実際の太陽の位置とは異なる場所から異なる光源色で照明するシミュレーションを繰り返しながら、雲のいろいろな部分の立体構造を強調することができる。

3 3次元可視化手法

前処理およびデータ分類 対象には気象衛星 NOAA の AVHRR センサで観測した熱赤外画像 (チャネル5) を選び、実験には幾何補正と放射量補正が済んだ画像を用いる。次に画像の中から海域を切り出し、画像中に存在する海画素と雲画素とを統計的手法 (最尤法に近い手法) を用いて分類する [3]。このようなデータ分類は実世界を可視化する VV において最も重要な処理である。ここで、画素をミクセルに分類する問題 [3] は、VV における多値ボクセル分類手法 [1] と密接に関連した興味深い問題である。しかし本研究ではピュアピクセルのみへの分類 (海または雲) に限定した。

3次元ボリュームデータへの変換 まず雲に分類された画素について、画素値から雲頂高度を推定する。本研究では大気の垂直温度分布を最も単純な「線形モデル」で近似する。すると雲頂高度 H_t は、地上温度 T_g ・雲頂温度 T_t ・温度減率 C を用いて、 $H_t = (T_g - T_t)/C$ と計算できる。ここで温度減率には標準的な値 $-6.5 \text{ C}^\circ/\text{km}$ を採用し、 T_g には海面温度を用いる。また雲底高度 H_b には、画像中の雲画素のうち最も温度が高い画素に対応する高度を採用した。

次に2次元画像データを3次元ボリュームデータへと変換する。まず画素 $I(x, y)$ が雲画素と判定された場合、ボクセル $V(x, y, z) (H_b < z < H_t)$ を雲ボクセルとする。次に任意の画素 $I(x, y)$ に対して、ボクセル $V(x, y, z) (z = 0)$ を海ボクセルとする。最後にその他のボクセルを大気ボクセルとする。

ボリュームレンダリング VRにはいくつかの手法があるが、本研究が用いる手法はダイレクトアプローチの画像順アプローチに属するものである [1]。すなわち、レイ・キャスティングによる再サンプリングを用いて、画像面からボクセル集合へ発した光線上をサンプリング間隔1で線積分していく手法である。そのアルゴリズムは

$$\hat{C}_{\text{out}} = \hat{C}_{\text{in}} + \hat{C}(1 - \alpha_{\text{in}}) \quad (1)$$

$$\alpha_{\text{out}} = \alpha_{\text{in}} + \alpha(1 - \alpha_{\text{in}}) \quad (2)$$

と表される。ここで C は色、 α は不透明度 (opacity) であり、 $\hat{C} = C\alpha$ の関係が成立している。通常のVVでは、興味ある部位を選択的に表示するために不透明度を積極的に用いるが、本研究ではむしろ雲の3次元像の再現を念頭に置いて不透明度の値を決定する。

シェーディングモデル まず雲のモデルを考える。物理的には、太陽光線は雲粒によってミー散乱されている。ミー散乱の散乱光は波長依存性が強くないため、雲は光源色と同じような色に見える。そのため雲ボクセルでの散乱光の色 (RGB) は光源色と同一に設定する。また雲ボクセルの不透明度は雲粒密度に比例すると考えられるが、本研究では一定値0.4とする。

次に海ボクセルの散乱光の色には近似モデルを用いる。すなわち純粋な海水に対する散乱光スペクトルの測定値から $(R : G : B) = (1 : 4 : 9)$ と近似する。さらに静かな海面を仮定して、Phongのモデルに基づいた鏡面反射成分も海ボクセルの色に加えるが、相互反射は含めない。海ボクセルの不透明度は1とする。

最後に大気の不透明度は0とする。これは大気が完全に透明であるという仮定である。

また色に関しては、光源からきた光線がボクセル集合の内部で減衰する過程もシミュレートする。つ

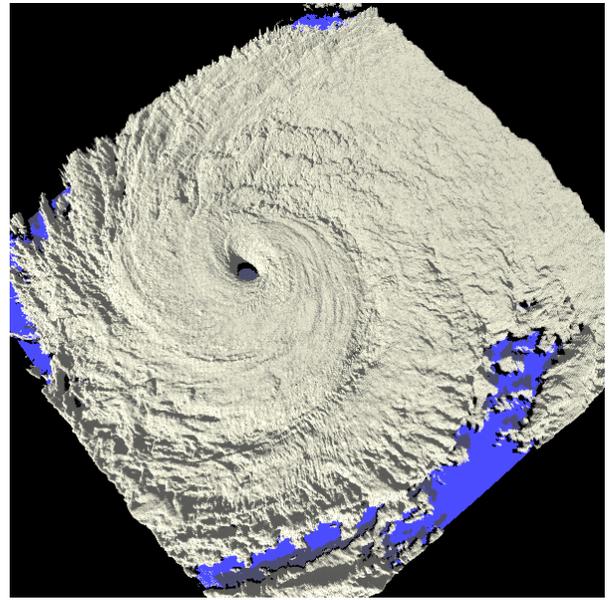


図 1: 3D view of typhoon visualized using volume rendering. This image was originally rendered in color.

まり、散乱光の強度が減衰した光源光の強度に比例するものとし、おのおののボクセルから光源へ新たなレイ・キャスティングを発することによりこの強度を計算する。この方法では通常のVRに比べてレイ・キャスティングの回数がかなり増加してしまうが、雲表面に陰影をつけるためにはこの処理が必須である。

4 結果および考察

可視化した結果を Figure 1 に示す。このような3次元可視化画像を用いることによって、台風の眼などを立体的な構造として容易に捉えることができる。さらに視点や照明を任意に動かすことによりアニメーションも作製できる。

さてこの画像で最も不自然な点は雲の厚さが厚すぎる場所だろう。地球上空からしか衛星は観測できないため、原理的には雲の厚さを衛星データだけから知ることは難しい。そこで、知識を援用した手法や他の情報源からの情報を統合する手法を用いて雲の厚さを推定することが、今後の重要な課題となる。

- [1] 藤代一成, 茅暁陽, 國井利泰. ボクセル指向3次元データ表現とその表示技術. 情報処理, Vol. 34, No. 3, pp. 285–298, 1993.
- [2] Hibbard, W. and Santek, D. Visualizing Large Data Sets in the Earth Sciences. *IEEE Computer*, Vol. 22, No. 8, pp. 53–57, 1989.
- [3] 北本朝展, 高木幹雄. ミクセルが存在する場合の混合密度推定. 電子情報通信学会技術報告, Vol. PRU95-202, pp. 33–40, 1996.