

1K-7

# ボクセル・データと面データを画像化する ボリューム・レンダリング・アルゴリズム

宮澤 達夫 杉本 和敏

日本アイ・ビー・エム株式会社 東京基礎研究所

## 1. はじめに

近年、医療をはじめとする種々の分野において、3次元ボリューム・データの可視化技術として、ボリューム・レンダリングが注目されている。<sup>1)2)3)</sup> ボリューム・レンダリングは、ボリューム表面だけでなくボリュームの内部構造の可視化を目的としたもので、ボリューム表面を多面体近似することなくボリュームを直接表示する技術である。従来の表示技術と違い表示のための面データの生成が不要なため、データが複雑な場合、データの量が少ない場合にも、適用可能である。

コンピューター・シミュレーション、科学的実験・観測等から生成される3次元ボリューム・データの多くは、そのボリューム中に物体等の3次元モデルを含んでいる。これらのデータを可視化する際には、その物体の回りの物理量の分布と同時に物体自身の形状を表示する必要がある。ボリューム・レンダリングでは、3次元座標上に規則正しく格子点上に並んだ点(ボクセルに対応)でのデータ、すなわち非連続的な3次元データを扱うため、その解像度は格子間隔に依存する。したがって、格子間隔以下の詳細な物体形状の表示は不可能である。

本稿では、上記の問題点を解決する表示法を提案する。本手法は、ボリューム・レンダリングのアルゴリズムの中に従来からの表示法のアルゴリズムを導入し、ボクセル・データと面データを統一された枠組みで処理できるように、そのアルゴリズムを拡張したものである。表示法として「レイ・キャスティング法」を採用し、また、ボクセル・データを定義する直交格子を利用して、レイと物体の交差計算を局所化し、計算の高速化を計っている。本稿では、3次元ボリューム・データとして不等間隔直交格子点上で定義されるスカラー・データ、物体の形状を多面体近似する面データとしてポリゴンを扱うものとする。

## 2. 表示アルゴリズム

本手法で使用するデータ構造の概念図を図1に、処理の流れを図2に示す。

### 2.1 ボクセル-ポリゴン・リストの作成

前処理として、各ポリゴンの頂点の座標よりパウンディング・ボックスを考え、3次元不等間隔格子とのMINMAXテストにより、各ボクセル毎にそのボクセル内に存在しうるポリゴンのリストを作成する。このリストを利用することにより、レイとポリゴンの交差計算を局所化し、計算の高速化を計る。

### 2.2 不等間隔直交格子空間でのレイの追跡

#### (1) レイが最初に交差するボクセルの決定

視点とスクリーン上のピクセルを結んだレイと最初に交差するボクセルは、適当なクリッピング・アルゴリズムとバイナリー検索によって求める。

#### (2) レイとボクセル内に存在しうるポリゴンとの交点計算

ボクセルのポリゴン・リスト内の各ポリゴンについて、レイ  $(O+Dt)$  とポリゴンの交差判定をする。各ポリゴンの交点における  $t$  パラメータ  $(t_s)$  よりボクセル内  $(t_0 \sim t_1)$  の視点に最も近い位置でレイと交差するポリゴンを決定する。(図3)

なお、計算の重複を避けるため、一度行った交差計算の結果は記憶しておく。

#### (3) ボクセル内のポリゴンの交点までのボクセル・データの積分

ボクセル内でレイとポリゴンが交差する場合は、レイに沿ってボクセルの入口  $(t_0)$  からポリゴンとの交点  $(t_s)$  までボクセルのデータに基づいて陰影付けをし、不透明度を考慮して、スクリーン上のピクセルの色に加算する。

なお、ボクセル内でのデータに陰影付けをする際、その位置でのデータ値の勾配ベクトルを法線ベクトルとみなして陰影付けする。また、ボクセル内のデータは、その周囲8個の格子点でのデータ値からラグランジェ補間関数を用いて補間する。

(4) ポリゴンの交点での色の加算

レイとポリゴンの交点 ( $t_s$ ) での面の色を計算し、スクリーン上のピクセルの色に加算する。

(5) ボクセル内のボクセル・データの積分

ボクセル内でレイとポリゴンが交差しな場合は、レイに沿ってボクセルの入口 ( $t_0$ ) から出口 ( $t_1$ ) までボクセルのデータに基づいてを陰影付けをし、不透明度を考慮して、スクリーン上のピクセルの色に加算する。

(6) レイが次に交差するボクセルの決定

3次元不等間隔直交格子中のレイの追跡は3DD DAアルゴリズム<sup>4) 5)</sup>に基づくが、不等間隔格子を対象とするため、レイの $t$ パラメータの計算は単純な増分計算とはならず、各格子点と視点の座標値とレイの方向ベクトルより計算する。また、各ボクセルに対してレイの入口と出口における $t$ パラメータ ( $t_0, t_1$ )、すなわちそのボクセル中のレイのエクス Tentを計算しておく。

以上の処理は、各レイ毎に、レイが3次元格子の外部に出るか、不透明度が100%に達するか、多面体近似された物体が不透明な場合には、レイが物体を近似したポリゴンと交差するまで繰り返される。

3. おわりに

本手法により、ボクセル・データと面データを統一された枠組みで処理することが可能となった。本手法は、種々の分野から生成される3次元ボリューム・データの可視化に際し、ボリューム中に複雑な物体が存在する場合でも、情報量の多い3次元ボリューム・データの表示とともに、高解像度の物体形状の表示を実現する。生成される画像は、3次元空間の場の把握において、人間の理解を支援する有効な手段となる。

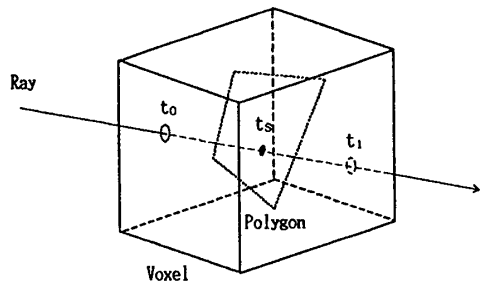


図3 レイとボクセル内のポリゴンの交差

[参考文献]

- 1) Paolo Sabella, "A Rendering Algorithm for Visualizing 3D Scalar Fields" Computer Graphics, Vol.22, No.4, 1988, pp.51~58
- 2) Craig Upson, etc., "V-BUFFER: Visible Volume Rendering" Computer Graphics, Vol.22, No.4, 1988, pp.59~64
- 3) Robert A. Drebin, etc., "Volume Rendering" Computer Graphics, Vol.22, No.4, 1988, pp.65~74
- 4) Akira Fujimoto, etc., "ARTS: Accelerated Ray-Tracing System" IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.6, No.4, 1986, pp.16~26
- 5) John M. Snyder, etc., "Ray Tracing Complex Models Containing Surface Tessellations" Computer Graphics, Vol.21, No.4, 1987, pp.119~128

ボクセル・ポリゴン・リスト・データ

ボクセルID	↑リストID	リストID	面の数	↑面ID <sub>1</sub>	.....	↑面ID <sub>n</sub>
--------	--------	-------	-----	-------------------	-------	-------------------

レイ・ポリゴン交差判定履歴データ

レイID	交差面の数
------	-------

交差ID	↑面ID	交点でのレイパラメータ	補間法線ベクトル成分	補間法線ベクトル成分	補間法線ベクトル成分	補間法線ベクトル成分
------	------	-------------	------------	------------	------------	------------

注1) nil : 該当するボクセルに存在しうるボクセルなし

注2) nil : 交差なし

$t_s$  : 交点でのレイ(0→t)のパラメータ( $t_s$ )

図1 データ構造の概念図 (一部)

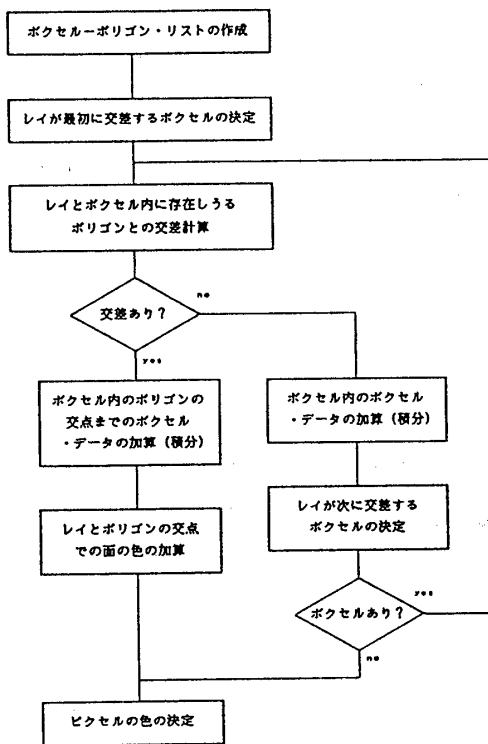


図2 処理の流れ