

# 形状のボクセル表現による形状分類

松井 徹†

和歌山大学 システム工学部 光メカトロニクス学科†

## 1. はじめに

三次元形状へ関心は古く、多くの研究がある。なかでも医療画像処理で用いられるボクセル解析は、二次元画像処理の拡張として実用化されている [1]。ボクセル表現された物体の各ボクセルは、物体に固定された座標上での座標値を位置情報とし、その位置での組成値を表す。一方、光学的な形状計測において測定結果として得られる値は、物体反射面上の点の座標値群である。この座標値集合は誤差を含んだ離散値である。離散化にボクセル表現を用いることで、立方体領域における面の存在確立が表されていると考える。またボクセル表現に用いる立方体領域を  $2^3$  (辺を2) に等分割することで分解能を下げ、表面形状の大まかな表現であると解釈する。ボクセル解析は凸解析L集合や0次スプラインをスケールとする多重解像度解析と関係する。これらの解析方法で、不連続性や微量量の観測により分類すること [2] が行われてきている。

物体表面は形状としては二次元である曲面で位相上の性質は既知である。ボクセル表現では必ずしも位相情報が維持されない。このことは空間に分解能に依存した物体表面のスケールに依存する。空間分解能を下げるとはボクセルの大きさを上げることに対応する。変化に対する位相情報の破れも形状分類の指標となる。

本報では、まず手始めにモデラーで作成された既知形状のポリゴン頂点のみの座標値集合からボクセル表現された形状の分類指標を探り、分解能を含めたボクセルの位置と接続関係をスライスした面内の極値としてみることや、ボクセルの存在領域による形状の形容分類を示唆する。

## 2. ボクセル表現

ここで用いたボクセル表現について述べる。モデラーで作成された形状をポリゴン表示したときの頂点を解析対象の座標値集合とする。頂点の接続関係は削除して、与えられた座標値を包む最小の立方体をレベル 0 のボクセルと呼ぶことにする。レベル 0 のボク

セルを要素とするボクセルの集合をレベル 0 のボクセル集合と呼ぶ。レベル 0 のボクセル集合の要素数は必ず1で、単一の立方体からなる全体集合でもある。レベル  $l$  のボクセルを  $2^3$  等分したボクセルをレベル  $l+1$  のボクセルと呼ぶことにし、そのボクセルを要素とする集合をレベル  $l+1$  のボクセル集合と呼ぶ。レベルを上げていくと、ボクセル領域内の要素数が1つになり、ボクセルどうしが隣接できない分散したレベルになる。このレベルが上限となる。またボクセル集合は、3階テンソルとしての要素に添え字付けできる。座標系は右手直行直線座標系とし、通常の  $x, y, z$  軸方向の添え字を  $i, j, k$  とする。よってレベル  $l$  での添え字を  $(i, j, k; l)$  とする。各レベルでのボクセル集合は、各軸を法線とする平面で切断できる。例えば  $k$  軸に垂直な平面  $(i, j; l)_k$  の画像をスライス画像  $(i, j; l)_k$  と呼ぶことにする。スライス画像は法線軸方向に積重ねたスタック画像群とする。今回ボクセルの値は全点数に対するボクセル領域内の点数とした。

あるボクセル集合に対しスライス画像は法線軸方向に3種類ある。レベル  $l$  での巨視的な特徴はボクセル集合の縦横深さの比がある。この比は物体の立居位置に依存する。よって対象は通常立居位置で  $xyz$  座標系に置かれた状態で、 $z$  軸が鉛直上向きであると仮定する。ボクセルがレベル  $l$  での曲面の微分特徴は、 $(i, j; l)_k$  の2値化画像に対し閉曲線の追跡することで極値を求める。極値を含むスライス画像  $(j, k; l)_i$  に対して同様に極値を求めることで、凸凹鞍点を求める。閉曲線の数や交差も形状の分類指標となる。特に交差は2値画像上で点や線分や面となることがあり、このことも分類指標になる。閉曲線の共通領域が線分や面であることは、共通領域を点に収縮させた図と比較することで求められる。この閉曲線は極値や交差点を含むので、これらの特徴点を頂点とし曲線部分を弧とした接続グラフがレベルごとにできる。この場合連続した極値点列は弧として扱う。このレベルごとの接続グラフの変化を観察することでも形状の分類ができる。またボクセルを添え字で表される点と見なすと、レベル0での点がレベルを上げることで線・面・立体に成長していく過程と見なせる。面や立体に成長する場合、線分に縮退するならばその線分を物体を表現するための軸と考えられる。この軸を骨格と呼ぶことにする。骨格は接続グラフとして表現でき、この骨

Shape Classification using voxel representation

†MATSUI, Toru (matui@sys.wakayama-u.ac.jp)

Department of Opto-Mechatronics, Faculty of System Engineering, Wakayama University

格のレベルごとの変化を観察することで形状の分類ができる。

#### 4. 実行例

初めにトーラスを対象にボクセル解析した例を示す。図1にトーラスのボクセル集合をレベル0から8まで透視図で示した。図2には各レベルでのスライス画像群  $\{(i, j; l) | k=1, \dots, (2^k)\}$  をウィンドウ内に表示する。ここでレベル0から3までとレベル4から7までの画像サイズ合わせた。ウィンドウの下のスライダーは表示されている  $k$  の値である。図3は図2のレベル4でのスライス画像をタイル張り表示した一部である。

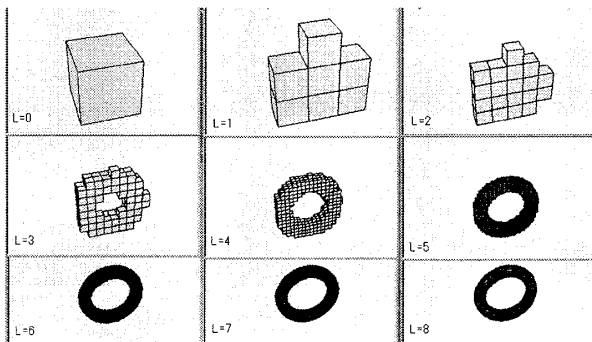


図1 トーラスのボクセル解析のレベルごとの透視図

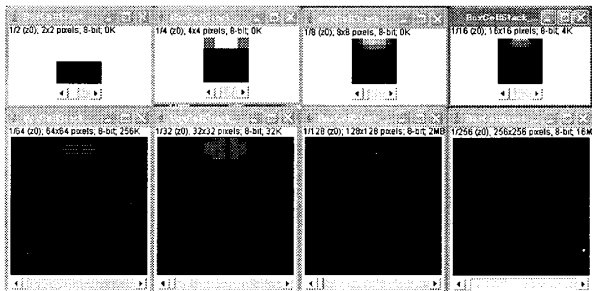


図2 トーラスのスライス画像のウィンドウ

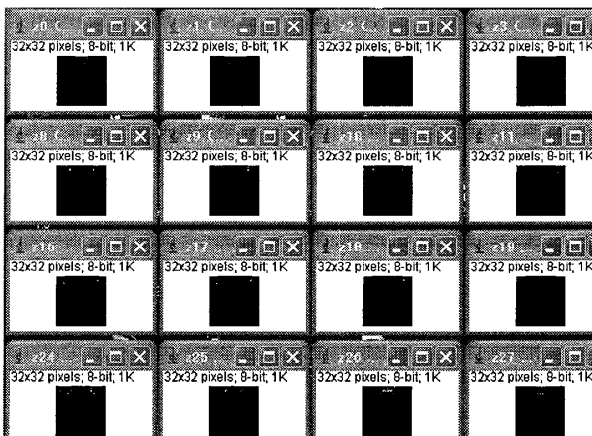


図3 トーラスのレベル5のスライス画像の一部

図1のレベル1・2の縦横深さの比より板状の物体と見なせる。図3より凸・鞍・凹の極値が分かり、極値を持つスライス画像間の閉曲線がの数が  $1 \cdot 2 \cdot 1$  であ

るので、1つの穴のある形状であることが分かり、トーラスと同相であることが分かる。

次に乳牛をボクセル解析した例を示す。図4に乳牛のボクセル集合をレベル0から8まで透視図で示した。また各レベルでのスライス画像列のウィンドウ表示を図5に示す。図5は図2と同様に画像サイズを列で統一している。

図より乳牛形状は穴の無い球同相の形状であることが分かる。またレベル1・2で主軸が分かり、レベル3・4・5より足となる軸が分岐し、レベル5・6・7より角・尾となる軸の分岐が分かる。この軸の分岐より骨格が規定できる。

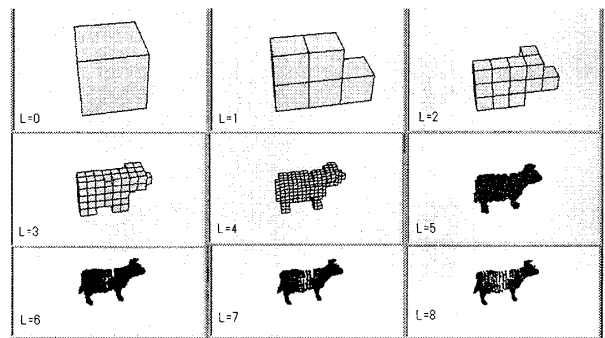


図4 乳牛のボクセル解析のレベルごとの透視図

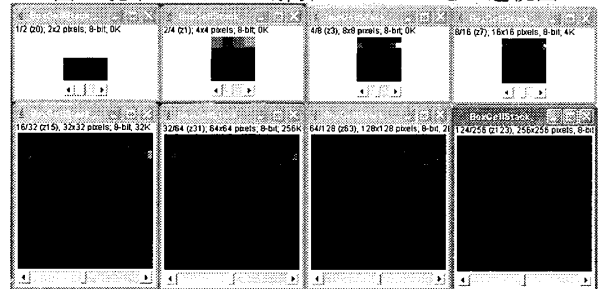


図5 乳牛のスライス画像のウィンドウ

#### 6. まとめ

物体表面上の点の座標値集合として形状が与えられた場合、形状を立体的領域としてのボクセル解析をすることで特徴量を観察し分類できることを示した。この分類は、測定形状から形状モデリングへの指標を与えるものと思われる。今後、観察の自動化と分類指標の検討が必要である。

#### 6. 参考文献

- [1] 鳥脇純一郎：“3次元デジタル画像処理”，昭晃堂，2003（ISBN4-7856-9064）
- [2] 守田了，川嶋稔夫：“多視点レンジデータに基づく階層的アスペクトグラフの生成”，電子情報通信学会論文誌．D-II, Vol. J77-D-II, No. 11, pp. 2188-2198 1994