

# 超二次関数を用いた三次元物体形状の定量的・定性的モデルの獲得

## Acquisition of Quantitative and Qualitative Models of 3D Objects Using Superquadrics

安村 禎明\*  
Yoshiaki Yasumura

折本 勝則\*†  
Katsunori Orimoto

馬場口 登\*  
Noboru Babaguchi

北橋 忠宏\*  
Tadahiro Kitahashi

\* 大阪大学産業科学研究所  
I.S.I.R. Osaka University, Osaka 567, Japan.

1996年11月5日 受理

**Keywords:** model acquisition, 3D object, superquadrics, quantitative model, qualitative model.

### Summary

In this paper, we propose a method of acquiring models of 3D objects in a class. In this method, quantitative and qualitative models of an object are acquired from range images within the same class. The quantitative model is obtained as a typical shape and a shape distribution of the class, whereas the qualitative model is linguistic description of shapes.

A primitive shape is expressed by superquadrics which can represent geometric property of the 3D shape by some parameters. A compound shape is considered as combination of the primitive shapes, and is represented by geometrical positions of connected parts. This representation makes it possible to place the 3D shape in the parameter space. Since similar shapes are located close in the parameter space, a quantitative model of the class is acquired as parameter distribution in the parameter space. Thus, the typical shape is obtained by averaging parameters of the representation, and the shape distribution is acquired as variances of the parameters. Then, linguistic description of geometrical property of an object is obtained by interpreting the parameters of the shape representation. This interpretation enables acquisition of a qualitative model from the quantitative model. As a result, the experiment demonstrates that the proposed method provides valid models for both simple and compound shapes.

### 1. はじめに

人間がある概念を獲得するためには、複数の例から得られる情報に種々の操作を加え、その概念の一般的な記述であるクラスモデルを獲得していると推察される。これはモデル獲得と呼ばれるものであり、これを計算機上で実現することは人工知能の分野における中心課題の一つである。従来のモデル獲得の主要な手法は、属性を記号で表現したものを対象としており、物体形状などの記号表現が困難な属性についての研究は

比較的少ない。

本論文では、同一クラスに属する三次元物体形状のモデル獲得について考察する。三次元物体形状のモデルには定量的モデルと定性的モデルがあると考えられる。定量的モデルは三次元形状を数値を用いて表したものであり、物体認識における対象物体のモデルとしての応用が期待できる。計算機上では形状を数値を用いて扱うことが多いが、これは人間にとって理解が困難な表現である。一方、定性的モデルは形状の特徴を言語的に表現したものであり、人間にとって理解が容易な表現である。これら二つのモデルはどちらも有用であり、これらを統一的に獲得する手法を確立するこ

† 現在、富士通(株)

とは意義が大きいと推察される。

従来の三次元物体形状のモデル獲得に関する主な研究は、物体の構造や機能などの記号によって表現することが比較的容易な属性を対象としている [Michalski 80, Stark 91]。また、三次元物体の二次元投影の輪郭線を対象とした研究 [Cho 94, Pope 95, Ueda 93] では輪郭線や輪郭線間の関係の幾何学的特性を獲得しており、三次元形状そのものを扱うものではない。

本論文では、数多くの三次元物体表現形式の中でも、超二次関数 [堀越 90, Solina 90] が、比較的少数のパラメータによって形状が規定でき、そのパラメータ変化が人間の感覚に合致した形状変化に対応するという点に着目して、超二次関数のパラメータ操作と解釈に基づく三次元物体形状のモデル獲得手法を提案する。

提案手法の処理全体の流れを図 1 に示す。まず、実世界の物体形状を表面の三次元座標で定義したレンジデータで表す。しかしながら、この表現形式では三次元形状を操作することが困難であるため、形状を超二次関数で近似することによりパラメータ空間に写像する。このパラメータ空間では、類似した形状は空間の近くに位置するため、定量的モデルはパラメータ空間での形状の分布として獲得される。すなわち、そのクラスの物体の各パラメータの平均・分散を求めることにより定量的モデルが得られる。ここでは三次元物体の構造の複雑さに応じて基本形状と複合形状の二つを検討する。

次に、定性的モデルを幾何学的概念空間でのモデルとして定量的モデルを基に獲得する。パラメータ空間の物体は、パラメータと幾何学的概念の関係に関する知識を用いて、パラメータをファジィ化することにより幾何学的概念空間に写像される。具体的には、各パラメータ値を形状特徴を示す言語表現 (例えば“丸い”, “縦長”など) に対応付けることにより実現する。言い換えると、定量的モデルを意味的に解釈したものが定性的モデルとなる。さらに、得られた複数の言語表現を統合し、形状名 (例えば, “円柱”, “球”など) のような、より理解が容易な表現を与える。

以下、本論文では、超二次関数に基づく三次元形状の表現形式について述べ、この表現形式を用いた三次元物体形状のモデル獲得手法を提案する。最後に、基礎実験により本手法の妥当性を考察する。

## 2. 三次元形状の表現形式

本研究において、単一の超二次関数により表現できる比較的単純な形状を三次元基本形状とし、複雑な形

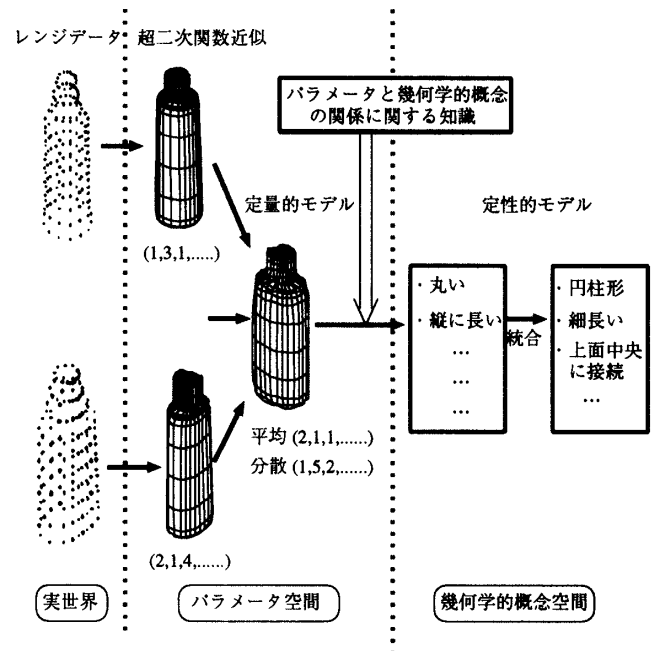


図 1 全体の処理の流れ

状は基本形状を組み合わせた複合形状として表現する。

### 2.1 基本形状の表現形式

中心が  $(x, y, z)$  座標系の原点である超二次曲面は次式で定義される。

$$\begin{cases} x = f_1(z) \cos^{\varepsilon_1} \eta \cos^{\varepsilon_2} \omega \\ y = f_2(z) \cos^{\varepsilon_1} \eta \sin^{\varepsilon_2} \omega \\ z = a_3 \sin^{\varepsilon_1} \eta \end{cases}$$

$$f_i(z) = \left(1 - k_i \frac{z}{a_3}\right) a_i, \quad i = 1, 2.$$

ここで  $x, y, z$  は超二次曲面の表面座標、角度  $\eta, \omega$  は超二次曲面のそれぞれ  $x$  軸の正の部分の起点とする緯度、経度である。また、次の三種類のパラメータで形状を規定する。  $x, y, z$  方向の大きさを定めるスケールパラメータ  $a_1, a_2, a_3$ ,  $z$ - $y$  平面上と  $x$ - $y$  平面上の形状パラメータ  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ , 関数  $f_1(z), f_2(z)$  中の先細りパラメータ  $k_1, k_2$  である。超二次関数によって基本形状  $S_p$  はパラメータ空間において次のように表現できる。

$$S_p = \langle a_1, a_2, a_3, \varepsilon_1, \varepsilon_2, k_1, k_2 \rangle$$

本手法では、基本形状を超二次関数で近似するには非線形最小二乗法を用いるが、初期値により異なる形状に収束する可能性がある。この問題を解決するために適切な初期値を求める。超二次関数で表現できる形状は  $z$  軸対称に限られるため、形状データから対称軸を求め、それが  $z$  軸となるように初期値を定めることにより一意に形状データを近似できる。

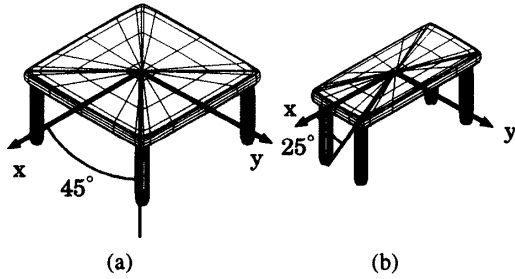


図2 台の形状が異なるテーブルの例

## 2・2 複合形状の表現形式

単一の超二次関数によって表現できる形状は基本的には凸面体に限られるため、それ以外の形状は複数の基本形状を組み合わせた複合形状として表現する。

超二次関数で表された部品を一つの直交座標系が張る空間内に置き、その座標系の原点を部品の中心と呼ぶ。本手法では、複合形状を記述するために、部品をそれぞれ固有の座標系で表現し、部品の配置関係は互いの接合点を用いて表す方法をとる。ここでの接合点とは、接合部分の代表点とする。このとき各接合点は接合した二部品のそれぞれの座標系において表現される。この表記法を用いると、対象物の構造が比較的単純である場合、世界座標系を用いて表現するのに比べて、形状の特徴を部品の接合位置によって規定できるという利点がある。これは人間にとって物体形状の特徴が理解し易くなるという波及効果を与える。

このとき、接合点はその独自座標系における原点からの方向を緯度と経度により表現される。しかし、この表現では人間が同種の接続関係であるとみなすにもかかわらず接合点の座標値が異なる場合がある。例えば、図2の二台のテーブルの脚の接合点の経度は大きく異なる。つまり、テーブルの天板の独自座標系において、脚の接合点は(a)は経度( $x$ 軸からの角度)が $\pm 45$ 度と $\pm 135$ 度の位置にあるが、(b)は経度が $\pm 25$ 度と $\pm 155$ 度の位置にある。人間はこのように量的には違いがあるにもかかわらず、これらの脚の接続位置は下面の四隅にあるとみなし、定性的には同じ位置にあると理解する。そこで、このような接続関係を量的にもほぼ同じにするために、接合点を表す緯度と経度を正規化する。

### 〔1〕 接合点の正規化手法

接合点の緯度と経度の正規化手法を以下に示す。まず、スケールパラメータを正規化する。図3はスケールパラメータの正規化を表したものである。図中左に配した様々な直方体がある立方体に変換することによ

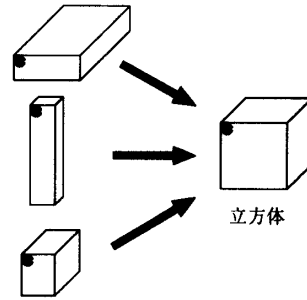


図3 スケールパラメータの正規化

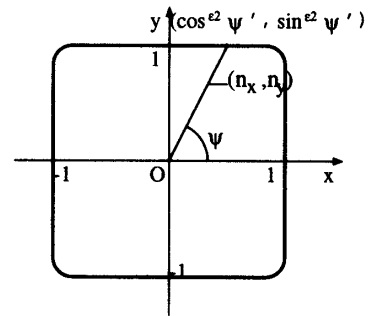


図4 形状パラメータの正規化

り、点で表した接合点を量的に同じ位置に置くことができる。この正規化はスケールパラメータをすべて1に統一することによって実現される。部品の独自座標系での接合点の位置を $(c_x, c_y, c_z)$ とすると、スケールパラメータを正規化した座標 $(n_x, n_y, n_z)$ は次式で定義できる。

$$\begin{cases} n_x = \frac{c_x}{f_1(z)} \\ n_y = \frac{c_y}{f_2(z)} \\ n_z = \frac{c_z}{a_3} \end{cases}$$

これより正規化した経度 $\psi$ は

$$\psi = \arctan \frac{n_y}{n_x}$$

となる。

次に、形状パラメータを正規化する。例えば、円柱と立方体の底面のエッジの位置を正規化し、緯度をすべて $-45$ 度とすることによって、円柱と立方体の接合点を比較できるようにする。この正規化は $z$ 軸からエッジまでの正規化した距離をすべて等しくすることによって実現される。図4の曲線は $x$ - $y$ 平面での断面であり、経度 $\psi$ でのこの曲線上の座標は、実際の経度 $\psi$ と超二次関数の経度 $\psi'$ は異なるため、 $(\cos^2 \psi', \sin^2 \psi')$ となる。なお、 $\psi$ と $\psi'$ は次の関係がある。

$$\psi' = \arctan(\tan^{\frac{1}{\epsilon_2}} \psi)$$

よって、 $z$ 軸から接合点までの正規化した距離 $D_z$ はこの曲線までの距離に対する接合点までの距離の割合と

して定義し,

$$D_z = \frac{\sqrt{n_x^2 + n_y^2}}{\sqrt{\cos^2 \psi' + \sin^2 \psi'}}$$

となる. よって, 正規化した緯度 $\phi$ は

$$\phi = \arctan \frac{n_z}{D_z}$$

となる. この正規化により図2の(a),(b)両方のテーブルの脚の接合点位置は, 正規化した経度が $\pm 45$ 度と $\pm 135$ 度, 正規化した緯度が $-50$ 度となり, 同じ値をとるようになる.

この表現形式を用いることにより, 二つの部品P, Qの接続関係 $R_{PQ}$ は相対的な回転移動量を $(\delta_x, \delta_y, \delta_z)$ , 部品P, 部品Qにおける接合点の正規化した緯度と経度をそれぞれ $\psi_P, \phi_P, \psi_Q, \phi_Q$ とすると次のようにパラメータによって表される.

$$R_{PQ} = \langle \delta_x, \delta_y, \delta_z, \psi_P, \phi_P, \psi_Q, \phi_Q \rangle$$

### 3. 三次元形状のモデル獲得

本章では, パラメータ空間において表現された同一クラスの三次元物体からそのクラスの定量的モデルを獲得する手法について論及する. また, パラメータ空間から幾何学的概念空間への写像を定義し, この写像を用いて定性的モデルを獲得する手法について述べる.

#### 3・1 定量的モデルの獲得

パラメータ空間において三次元物体が表現されているため, あるクラスに対してパラメータを成分とする定量的モデルが抽出できる[安村 95a, Yasumura 95b]. パラメータ空間において物体を比較するには, 形状特徴を表すパラメータが一对一に対応している必要がある. よって, ここでは同一クラスの物体は部品が一对一に対応しており, その対応関係は既知とする.

##### 〔1〕 部品形状の定量的モデル

部品形状の定量的モデルは超二次関数のパラメータ操作によって獲得される. つまり, 入力形状の各パラメータについてその平均値を求め, その値からなる形状をそのクラスの代表形状とし, 各パラメータの分散によってそのクラスの形状分布を表す. なお, 形状モデルを獲得する上で $x, y, z$ 方向の大きさの相対的關係が重要であると推察されるため, 絶対的な大きさを表すスケールパラメータ $(a_1, a_2, a_3)$ の代わりに相対的な大きさを表すスケールパラメータの比 $(a_1/a_2, a_2/a_3, a_3/a_1)$ を操作する. ここでは比で計算した場合とその比の逆数で計算したあとにその逆数をとった場合に同種の情報

が得られることが要請されるため, スケールパラメータの比の対数の平均や分散を求める.

##### 〔2〕 部品間の関係の定量的モデル

部品間の関係は部品形状と同様にパラメータによって表現されているため, 部品形状のモデル獲得手法と同様の手法によって獲得できる. なお, 接合点は正規化した緯度と経度によって定義されているが, 緯度が $\pm 90$ 度の場合は経度を定義できないなどの問題がある. そこで, 接合点の緯度と経度を半径1の球上にマッピングし, その座標値の平均や分散を求める.

部品間の関係は接続関係に関する情報ばかりでなく, 二部品の相対的な大きさに関する情報も必要である. この情報は, 部品形状のスケールパラメータと同様に二部品のスケールパラメータの比の対数の平均・分散を求めることにより獲得される.

以上の手法を用いることにより, 定量的モデルとしてクラスの代表形状と形状分布を獲得することが可能になる.

#### 3・2 定性的モデルの獲得

パラメータ空間から幾何学的概念空間への写像を定義し, この写像を用いて獲得された定量的モデルから定性的モデルを獲得する[安村 96].

本手法における三次元形状の表現形式では, 形状変化はパラメータ変化として現れる. これに対し定性的表現は“丸い”などの言語で表現され, その境界は曖昧である. そこで, ファジィ理論のメンバーシップ関数を用いてパラメータ値をその対応する言語表現に置換することによりパラメータ空間の物体を幾何学的概念空間に写像する.

##### 〔1〕 部品形状の定性的表現

超二次関数のパラメータに対して, 表1のようにメンバーシップ関数を定義する. 同表の式中の $S, T$ は正定数である. 図5は形状パラメータのメンバーシップ関数のグラフである. なお, スケールパラメータに関しては, 定量的モデルの場合と同様にスケールパラメータの比の対数を扱う. すなわち, 二つのスケールパラメータを $a_i, a_j$ とすると $r = \log(a_i/a_j)$ を用いる. また, メンバーシップ関数の値を言語表現に反映させるために, 値に応じて程度を表す“ほぼ”や“少し”などの表現を付加する.

幾何学的特徴表現の組 $S_i$ は超二次関数によって表現された基本形状 $S_p$ から次の写像によって得られる. なお,  $L_\alpha$ は $\alpha$ のパラメータ値に対応する幾何学的特徴表現であり,  $r_1 = \log(a_1/a_2), r_2 = \log(a_2/a_3), r_3 =$

表1 メンバースhip関数

形状パラメータ	
丸い	$\mu_{circle}(\varepsilon) = e^{-\frac{(\varepsilon-1)^2}{S}}$
四角い	$\mu_{square}(\varepsilon) = e^{-\frac{\varepsilon^2}{S}}$
スケールパラメータ	
a と b が等しい	$\mu_{a=b}(r) = e^{-\frac{r^2}{T}}$
a は b より長い	$\mu_{a>b}(r) = 1 - e^{-\frac{r^2}{S}} \quad (r > 0)$
a は b より短い	$\mu_{a<b}(r) = 1 - e^{-\frac{r^2}{S}} \quad (r < 0)$
先細りパラメータ	
錐状である	$\mu_{pyramid}(k) = e^{-\frac{(k-1)^2}{S}}$
柱状である	$\mu_{prism}(k) = e^{-\frac{k^2}{S}}$

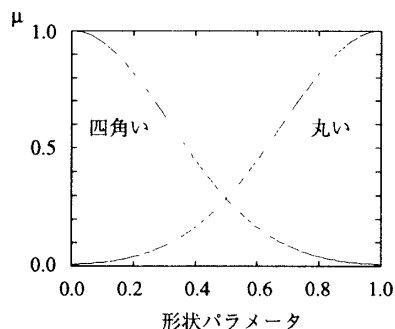


図5 形状パラメータのメンバースhip関数

$\log(a_3/a_1)$  である。

$$S_p = \langle a_1, a_2, a_3, \varepsilon_1, \varepsilon_2, k_1, k_2 \rangle$$

$$\rightarrow S_l = \langle L_{r1}, L_{r2}, L_{r3}, L_{\varepsilon1}, L_{\varepsilon2}, L_{k1}, L_{k2} \rangle$$

さて、以上のように個々のパラメータに対して言語的に表現するよりも、三次元形状名や形状の概略を用いて表現の方が理解が容易になる場合がある。超二次関数では、このような表現は複数の幾何学的特徴表現を解釈することにより得られる。例えば、“鉛直断面が四角い”かつ“水平断面が丸い”かつ“柱状である”ならば“円柱である”というルールを用いて形状名による表現が得られる。同様に、直方体や円錐などについてもルールを定義する。これらのルールの解釈には、それぞれの幾何学的特徴表現のメンバースhip関数の値を用いる。つまり、統合する表現のメンバースhip関数の値の相乗平均を形状名のメンバースhip関数の値とする。

## 〔2〕 部品間関係の定性的表現

部品の接続関係  $R$  は接続位置を用いて言語的に表現される。底面という概念は直方体や円柱にはあるが球にはないように、接続位置の表現は形状に依存する。よって、それぞれの形状に対して接続位置の言語表現を定義する。

ここでは円柱を例に取り、接合点の表現について考

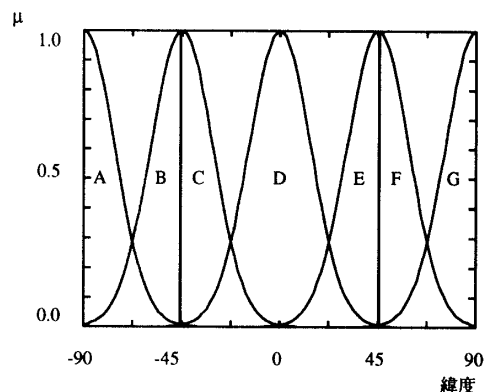


図6 緯度のメンバースhip関数

察する。接合点は正規化した緯度と経度によって表されているが、円柱の場合はその対称性を考えれば、緯度のみに注目すれば良い。正規化によってどのような円柱であっても緯度  $\phi$  によって上面 ( $\phi > 45$ )、側面 ( $-45 < \phi < 45$ )、底面 ( $\phi < -45$ ) の区別が可能である。なお、 $\phi = \pm 45$  はエッジ部分に対応し、 $\phi = \pm 90$  はそれぞれ上面、底面の中央に対応する。接続位置を表すメンバースhip関数は図6のように定める。図中のA~GはそれぞれA:底面の中央、B:底面の端、C:側面の下部、D:側面の中央、E:側面の上部、F:上面の端、G:上面の中央を表すメンバースhip関数であり、これらの関数はいずれも

$$\mu(\phi) = e^{-\frac{(\phi-\theta)^2}{U}}$$

と定義する。 $\theta$ の値はその関数が1となる緯度であり、 $U$ は正定数である。なお、BとC、EとFはそれぞれ $\theta$ の値が-45度と45度で区別する。同様に直方体などには経度に対してもメンバースhip関数を定義する。これらのメンバースhip関数を用いることにより接続位置を言語的に表現することが可能になる。

## 〔3〕 定量的モデルの定性的解釈

以上の定式化によりパラメータ空間において表現された三次元形状を幾何学的概念空間に写像することが可能になる。よって、この写像を用いて代表形状を言語的に表現する。また、パラメータの分散も言語的に解釈し、形状分布を表現する。つまり、分散の値が小さい場合は“ほぼ一定”、大きな場合は“ばらつきがある”という言語表現を付加し、定性的モデルとする。

## 4. 実験および考察

本手法を計算機上に実装し、基本形状であるコップと複合形状であるキャップ付き容器およびテーブルを

対象に実験した。コップとキャップ付き容器の実験に関しては、実際の物体の全周型レンジデータを用いた。この入力に対してクラス共通の分割法 [折本 95] を用いてクラス内の物体を同一の部品構成に分割し、同時に部品の対応関係を獲得した。また、定性的モデルの記述には、 $x, y, z$  をそれぞれ縦、横、高さとして与えた。

本論文において提案した正規化した接続位置の有効性を検証するために、実際の接続位置と正規化した接続位置が異なるテーブルを対象に実験した。テーブルに関しては各部品のパラメータおよび部品の対応関係をを入力した。また、メンバーシップ関数の定数はそれぞれ  $S = 0.2, T = 0.05, U = 400$  とした。

4・1 基本形状

図7は入力したコップの外形を超二次関数で近似した例である。本手法を40個のコップに適用した結果、図8の代表形状が得られた。また、パラメータの平均・分散および各パラメータのメンバーシップ関数の中で最大のものとその関数値を表2に示す。この結果、定性的モデルとして次の記述が得られた。

- 縦、横と高さの比は少しばらつきがある
- 縦と横の長さは等しい
- 柱体である
- 鉛直断面はほぼ四角い
- 水平断面は丸い

また、複数のパラメータを解釈すると“円柱”のメンバーシップ関数の値が0.949となり、円柱形であるという記述が得られた。

定量的モデルの妥当性を検討するために cross-validation 法により本手法を評価した。この実験では、40個のコップから1個除いて本手法により定量的モデルを獲得し、除いたコップとコップに類似している図9の茶碗について、コップのモデルに対する非類似度を求めた。モデルに対する非類似度  $d$  はその物体の超二次関数のパラメータベクトルを  $P = (p_1, \dots, p_7)$  とし、モデルの平均ベクトルを  $M = (m_1, \dots, m_7)$ 、分散ベクトルを  $\Sigma^2 = (\sigma_1^2, \dots, \sigma_7^2)$  とすると

$$d^2 = \sum_{i=1}^7 \frac{(p_i - m_i)^2}{\sigma_i^2}$$

と定義する。すべてのコップに対して非類似度を求めたところ 1.10~5.60 の値をとり、平均は 2.42 となった。茶碗については (a) 6.39~7.01, 平均 6.48, (b) 7.06~7.82, 平均 7.16 となり、すべての場合においてコップより大きな値となった。この結果より比較的単純な尺度によって物体を区別することが可能であり、物

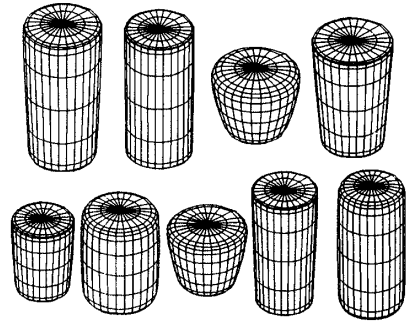


図7 コップの入力形状

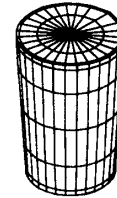


図8 コップの代表形状

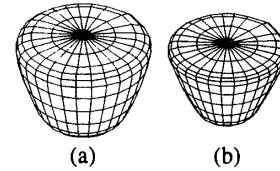


図9 茶碗の例

表2 コップのパラメータ値

パラメータ	平均	分散		関数値
$\log(a_1/a_2)$	-0.019	0.005	$a_1 = a_2$	1.000
$\log(a_2/a_3)$	-0.490	0.092	$a_2 < a_3$	0.700
$\log(a_3/a_1)$	0.488	0.091	$a_3 > a_1$	0.697
$k_1$	-0.099	0.009	柱体	0.952
$k_2$	-0.100	0.009	柱体	0.951
$\epsilon_1$	0.145	0.028	四角い	0.899
$\epsilon_2$	0.970	0.002	丸い	0.996

体認識への応用の可能性を示唆している。

4・2 複合形状

図10に示すような容器を40個用いて実験した。図10の形状は容器の入力形状を部品に分割し、超二次関数で近似したものである。本手法を適用した結果、代表形状として図11の形状が得られた。また、それぞれのパラメータ値を表3に示す。部品H、部品Iの“円柱”に対するメンバーシップ関数の値はそれぞれ0.969, 0.903となった。また、接続位置を表すパラメータの分散は双方ともにほぼ0となった。よって、図11に示された物体に対し、

- 部品Hは円柱形である
- 部品Iは円柱形である
- 部品Iは高さが縦、横より長い

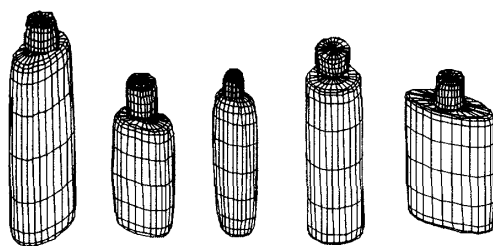


図10 容器の入力形状

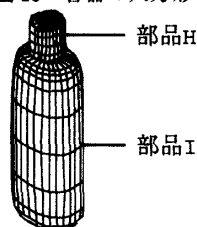


図11 容器の代表形状

表3 容器のパラメータ値

部品H			部品I		
パラメータ	平均	分散	パラメータ	平均	分散
$\log(a_1/a_2)$	0.013	0.004	$\log(a_1/a_2)$	-0.132	0.158
$\log(a_2/a_3)$	-0.046	0.035	$\log(a_2/a_3)$	-0.408	0.107
$\log(a_3/a_1)$	0.032	0.022	$\log(a_3/a_1)$	0.540	0.020
$k_1$	-0.035	0.000	$k_1$	-0.009	0.000
$k_2$	-0.035	0.001	$k_2$	-0.018	0.003
$\epsilon_1$	0.119	0.020	$\epsilon_1$	0.255	0.029
$\epsilon_2$	0.905	0.028	$\epsilon_2$	0.873	0.033
接続位置の緯度					
パラメータ	平均				関数値
部品Hの接合点	89.7		底面の中央		0.999
部品Iの接合点	90.0		上面の中央		1.000

- 部品Hの底面中央と部品Iの上面中央が接続している

という記述が得られた。

次に、図12のような40台のテーブルを対象に実験した。その結果、図13の代表形状が得られた。それぞれのパラメータ値は表4となった。また、部品Jは“直方体”の関数値が0.817となり、部品Kは“円柱”の関数値が0.843となった。よって、

- 部品Jはほぼ直方体である
- 部品Jは高さが縦、横より短い
- 部品Kはほぼ円柱形である
- 部品Kは高さが縦、横より長い
- 部品Jの底面の端の端、つまり底面の隅に部品Kが接続している

という言語表現が得られた。また、テーブルの形状が多様であるにもかかわらず、脚の接続位置を表すパラメータの分散は小さな値をとった。これは接続位置を正規化した緯度と経度で表しているためである。よって、

表4 テーブルのパラメータ値

部品J			部品K		
パラメータ	平均	分散	パラメータ	平均	分散
$\log(a_1/a_2)$	-0.006	0.088	$\log(a_1/a_2)$	0.000	0.000
$\log(a_2/a_3)$	1.122	0.167	$\log(a_2/a_3)$	-0.864	0.059
$\log(a_3/a_1)$	-1.115	0.042	$\log(a_3/a_1)$	0.864	0.059
$k_1$	0.000	0.000	$k_1$	0.000	0.000
$k_2$	0.000	0.000	$k_2$	0.000	0.000
$\epsilon_1$	0.100	0.000	$\epsilon_1$	0.100	0.000
$\epsilon_2$	0.389	0.167	$\epsilon_2$	0.644	0.160
部品Kの接合点					
パラメータ	平均				関数値
緯度	49.6		底面の端		0.946
経度	46.0		端		0.996

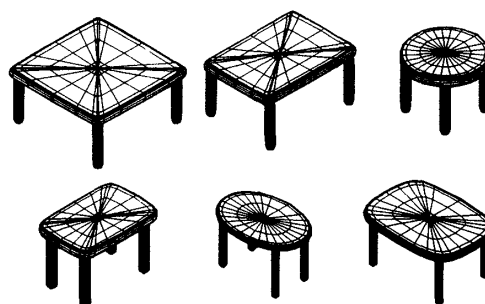


図12 テーブルの入力形状

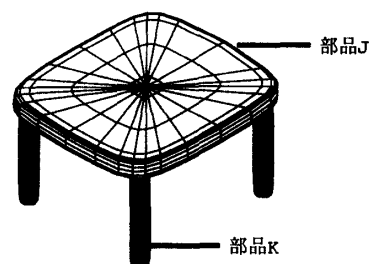


図13 テーブルの代表形状

接続位置を表現するために正規化した緯度と経度を用いることが、モデル獲得に有効であると考えられる。

以上の結果より、本手法によって獲得された定量的モデルは妥当と判断できるものであり、定性的モデルとしてその物体の形状記述が得られることを検証した。

本手法は、対象クラスに属する物体がパラメータ空間内で同一の次元の場合、すなわち部品の特徴を表す成分が一对一に対応する場合には適用できるが、部品が完全に対応しない場合には適用できない。また、一对一に部品に対応する場合であってもクラス内の形状が一様である必要がある。

## 5. まとめ

本論文では、三次元物体形状を対象としたモデル獲

得手法を提案した。本論文において提案した複合形状の表現形式は、正規化により部品の大さや形状に依存しない接続関係を表現できることを示した。この表現形式は三次元形状間の比較に寄与し、言語表現との対応を容易にする。また、パラメータ空間と幾何学的概念空間を定義し、それぞれの空間において定量的モデルと定性的モデルを統一的に獲得できることを示した。提案手法による実験結果から妥当と判断できるモデルが得られることを確認し、定量的モデルの物体認識への応用を示唆した。

今後の課題として、本手法によって獲得された結果の妥当性を検証するために、物体認識のモデルとして本手法で獲得されたクラスの形状情報の適用を試みる事が挙げられる。

### 謝 辞

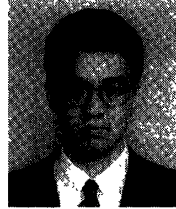
レンジデータの観測には奈良先端科学技術大学院大学の計測機器 (Cyberware model 3030/PS) を使用させて頂いた。便宜を図って下さった横矢直和教授、岩佐英彦助手、山澤一誠助手に深く感謝する。

### ◇ 参 考 文 献 ◇

- [Cho 94] K. Cho and S.M. Dunn: "Learning Shape Classes", IEEE Trans. Pattern Anal. & Mach. Intell., PAMI-16,9, pp.882-888(1994).
- [堀越 90] 堀越, 笠原: "超 2 次関数による 3 次元形状インデクシング", 信学論 (D-II), Vol.J73-D-II, No.10, pp.1716-1724(1990.10).
- [Michalski 80] R.S. Michalski: "Pattern Recognition And Rule-guided Inductive Inference", IEEE Trans. Pattern Anal. & Mach. Intell., PAMI-2, pp.349-361(1980).
- [Pope 95] A.R. Pope and D.G. Lowe: "Learning Object Recognition Models from Images", Proc. 4th ICCV, pp.296-301(1995).
- [折本 95] 折本, 安村, 馬場口, 北橋: "三次元物体を対象とするクラス共通の分割法", 信学技報, PRU95-177(1995.12).
- [Solina 90] F. Solina and R. Bajcsy: "Recovery of Parametric Models from Range Images: The Case for Superquadrics with Global Deformations", IEEE Trans. Pattern Anal. & Mach. Intell., PAMI-12,2, pp.131-147(1990).
- [Stark 91] L. Stark and K. Bowyer: "Achieving Generalized Object Recognition through Reasoning about Association of Function to Structure", IEEE Trans. Pattern Anal. & Mach. Intell., PAMI-13,10, pp.1097-1104(1991)
- [Ueda 93] N. Ueda and S. Suzuki: "Learning Visual Models from Shape Contours Using Multiscale Convex/Concave Structure Matching", IEEE Trans. Pattern Anal. & Mach. Intell., PAMI-15,4, pp.337-352(1993).
- [安村 95a] 安村, 折本, 馬場口, 北橋: "超二次曲面による三次元形状の帰納学習に関する一考察", 信学技報, PRU94-122(1995.2).
- [Yasumura 95b] Y. Yasumura, K. Orimoto, N. Babaguchi, T. Kitahashi: "Inductive Learning of 3D Shapes with Superquadrics Representation", Proc. ACCV'95, Vol.3, pp.310-314(1995.12).
- [安村 96] 安村, 折本, 馬場口, 北橋: "三次元物体形状の定量的・定性的モデルの獲得", 人工知能学会全国大会 (第 10 回), pp.383-386(1996.6).

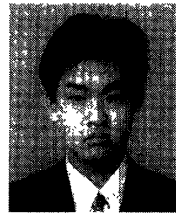
[担当編集委員・査読者: 大田友一]

### 著 者 紹 介



安村 禎明(学生会員)

1993年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。1995年同大学院基礎工学研究科博士前期課程修了。現在、同博士後期課程在学中。知識獲得の研究に従事。1996年度人工知能学会全国大会優秀論文賞受賞。電子情報通信学会会員。



折本 勝則

1995年大阪大学工学部通信工学科卒業。1997年同大学院工学研究科博士前期課程修了。同年、富士通(株)入社。在学中、知識獲得の研究に従事。1996年度人工知能学会全国大会優秀論文賞受賞。



馬場口 登(正会員)

1979年大阪大学工学部通信工学科卒業。1981年同大学院前期課程修了。1982年愛媛大学工学部助手。大阪大学工学部助手、講師を経て、現在大阪大学産業科学研究所助教授。1996年からUCSD, visiting scholar。工学博士。メディア処理・人工知能の研究に従事。1996年度人工知能学会全国大会優秀論文賞受賞。IEEE, 電子情報通信学会, 情報処理学会, 計測自動制御学会各会員。



北橋 忠宏(正会員)

1962年大阪大学工学部通信工学科卒業。1968年同大学院博士課程修了。同年大阪大学基礎工学部助手。同助教授, 豊橋技術科学大学助教授, 教授を経て, 1986年大阪大学産業科学研究所教授。工学博士。三次元物体認識のための視覚システム, 自然言語処理, 学習・推論機構に関する研究に従事。1996年度人工知能学会全国大会優秀論文賞受賞。本学会元理事。IEEE, 電子情報通信学会, 情報処理学会, 日本認知科学会, 計量国語学会各会員。