

3次元物体の形状と質感に対する感性のモデル化

向 江 亜 紀[†] 加 藤 俊 一^{††}

従来の3次元物体の類似検索の研究では、物体の形状のみに焦点を当てたものがほとんどである。しかし、人間が物体から受けるイメージは、形状と質感の両方に影響される。素材と形状の組合せによってはイメージを強める場合、弱める場合がある。特に意匠設計やインテリアコーディネートにおいては、質感をともなった形状として物体を扱う必要がある。そこで我々は、物体の形状と質感の組合せと、それから受けるイメージの関係のモデル化を試みた。本研究では、物体の形状と質感の組合せが人間に与えるイメージを分析し、また、この分析結果を利用して、イメージを表す言葉からそれにマッチする形状と質感の組合せの検索を行うシステムを開発した。まず、CGで生成した典型的な形状の物体に様々な質感を与え、人間がその物体からどんなイメージを受けるかを実験した。その結果、イメージを表す言葉からそのイメージに結びつく質感もしくは、形状と質感の組合せを高い精度で推定できた。推定結果の分析より、物体のイメージに及ぼす要因として、形状が優位な場合と質感が優位な場合があり、また、それには個人差が見られることが分かった。物体から受けるイメージは、形状と質感から受けるイメージを別々にモデル化するのではなく、質感をともなった形状としてモデル化する必要があることが分かった。

Modeling Visual Impressions on Shapes and Material Textures of 3D Objects

AKI MUKAE[†] and TOSHIKAZU KATO^{††}

We have developed a 3D object retrieval system based on user's Kansei model, which is the personal similarity criterion amongst 3D objects. For the first step, we have analyzed the correlation for each simple shape objects between the graphical parameters of material textures of objects and the weights of impression words assigned by the user. Secondly, we have analyzed the correlation between the graphical parameters of shape as well as material textures of objects and the weights of impression words assigned by the user. By these regression functions, we can simulate his personal interpretation to the various kinds of the parameters. Similarity retrieval is done by distance among the estimated weights of impression words approximately more than 70 % precision if he had shown consistent interpretation. Through these experiments, two cases are typically found which are texture-dominant evaluation and shape-dominant evaluation in the subjective interpretation processes.

1. はじめに

マルチメディア技術の発展にともない、3次元(3D)物体データが急増し、膨大な3D物体データベースの中から、求めるデータを検索する類似検索技術が必要となってきた。

従来の3D物体の類似検索の研究では、物体の形状のみに焦点を当てたものがほとんどである。しかし、人間が物体から受けるイメージは、形状と質感の両方に

影響される。同じ素材でも形状によって異なるイメージを受ける場合や、同じ形状でも素材によって同じイメージを受ける場を強める場合、弱める場合がある。

本論文では、「3次元物体の形状・質感」とそれから感じる「イメージ語表現」の間の対応関係に関して、

- (a) 同じものを見て、個人によっても、男女によっても、その解釈は異なることを実験により示し、
- (b) 画一的な対応規則に基づくイメージ語の推定や、イメージ語索引に基づく物体検索では、利用者のニーズに応えられないことを推定結果や検索結果の(利用者の主観的な感じ方にとっての)適合率の評価などで示し、
- (c) 個々人の主観的な感じ方に適合した推定・検索が行えるように、分析・モデル化の方法を開発する

[†] 中央大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Chuo University

^{††} 中央大学理工学部

Faculty of Science and Engineering, Chuo University

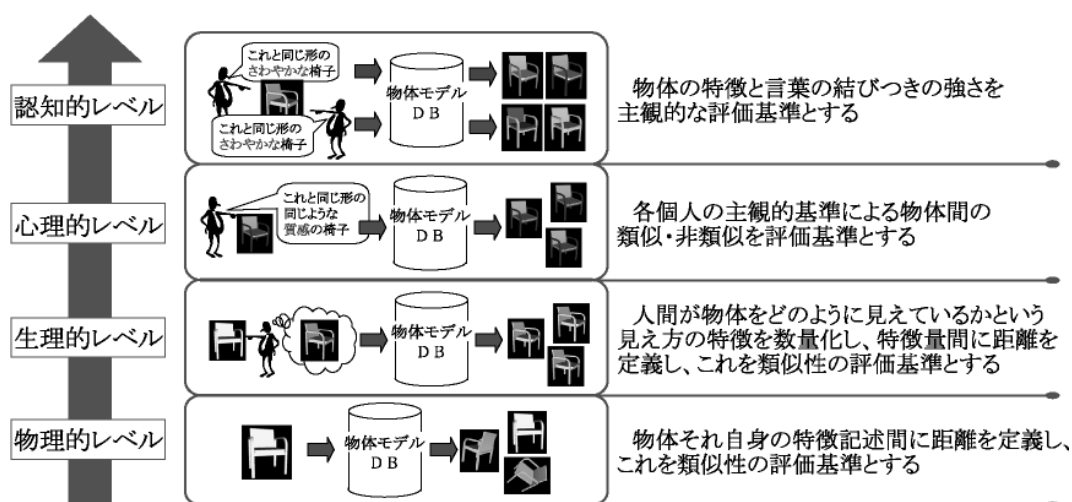


図 1 感性的な類似検索の階層分類
Fig. 1 The classification of the similarity retrieval based on sensitivity.

ことを目指す。

このような技術は、特に意匠設計やインテリアコーディネートなどの、形状とその質感を扱う創作的な場面では役立つものと期待できる。

2. 感性的な類似検索

2.1 感性の階層的モデル化

我々は、人間の知覚過程に見られる解釈の基準の個人性に注目し、これを工学的にモデル化する研究を進めてきている^{1)~5)}。本論文では、このような考え方を、質感をともなった 3D 物体の類似・非類似やイメージ語による表現のモデル化に应用することを提案する。

(1) 物理的レベルの感性モデル

人間が物体を知覚する以前の、物体それ自体の特徴(それぞれの物体の形状や素材などの固有の特徴)に基づいて物体を表現するレベル。

(2) 生理的レベルの感性モデル

人間の感覚器を通して対象からの刺激が感覚神経系に入力され、初期視覚などでの生理的な応答特性や神経回路で行われる種々の特徴抽出の結果に基づいて物体を表現・解釈するレベル。解釈には個人の主観性はほとんど関与しない段階と考えられる。

(3) 心理的レベルの感性モデル

生理的レベルで得られた表現に、各個人の嗜好などに基づいた重み付けを行い、物体間の類似・非類似や、これに基づくグルーピングにより、物体単体や物体群の特徴を表現・解釈するレベル。物体間の類似性の判断に、各個人の主観的基準の違いが現れる段階と考えられる。

(4) 認知的レベルの感性モデル

心理的レベルでグルーピングした各グループに対して、これを総称する言葉(イメージ語)を対応付けて物体を解釈するレベル。個人の主観性が大きく作用している段階。

2.2 感性的な類似検索

2.1 節で述べた物体を知覚、解釈する 4 つのレベルに基づく類似検索は以下ようになる(図 1)。

(1) 物理的レベルの類似検索

物体から物体を検索する。物体それ自身の特徴記述間に距離を定義し、これを類似性の評価基準とする。

(2) 生理的レベルの類似検索

物体から物体を検索する。人間には物体がどのように見えるかという見え方の特徴を、生理的な応答特性や神経回路で行われる種々の特徴抽出を模擬することにより数量化する。これらの特徴量の間に距離を定義し、これを類似性の評価基準とする。

(3) 心理的レベルの類似検索

物体から物体を検索する。物体群のグルーピングに個人差があるように、キーとなる物体と類似すると主観的に判定される物体群にも個人差がある。各個人の主観的基準による物体間の類似・非類似が評価基準である。物体の特徴記述には、物理レベルの特徴量を使う場合・生理レベルの特徴量を使う場合の両方がある。これらのうちのどの特徴量を、どのくらいの重みで評価するのかにより、評価基準の違いを近似する。

(4) 認知的レベルの類似検索

言葉(イメージ語)から物体を検索する。各個人が、物体のどのような特徴にどの程度の重みで注目し、ま

表 1 3D 物体の類似検索の分類
Table 1 Double column figure.

類似検索手法	特徴量	検索キー	類似度の基準	研究者（代表者のみ記入）・文献
物理的レベル	全体の形状，質感 （物理レベルの感性モデル）	3D 物体	客観	Osada, R. ⁶⁾ , Hilaga, M. ⁷⁾ , Paquet, E. ⁸⁾ Novotni, M. ⁹⁾ , 惣田 ¹⁰⁾ , Suzuki, M. ^{12),13)} Elad, M. ¹⁵⁾ , 衣嶋 ¹⁶⁾
生理的レベル	人間から見えている部分の形状，質感 （生理レベルの感性モデル）	3D 物体	客観	筆者ら ^{11),19)}
心理的レベル	全体の形状，質感 人間から見えている部分の形状，質感 （生理レベルの感性モデル）	3D 物体	客観	Elad, M. ¹⁵⁾ , Suzuki, M. ¹⁴⁾ 筆者ら ^{11),19)}
認知的レベル	全体の形状，質感 人間から見えている部分の形状，質感 （物理・生理レベルの感性モデル）	言葉 （イメージ語など）	主観	筆者ら ^{11),19)}

た，どのようなイメージ語群をどの程度の重みの組合せでその物体群と結びつけるのかには個人差がある．これらの物体の特徴と言葉の結びつきの強さを主観的な評価基準とする．物体の特徴記述には，物理レベルの特徴量を使う場合・心理レベルの特徴量を使う場合の両方がある．

2.3 3D 物体の類似検索の分類

現在，様々な 3D 物体の類似検索手法^{6)~16)}が提案されている．代表的な手法の多くが形状のみに注目している．それらは，物体の幾何学的構造または，位相的構造に注目して特徴量の抽出を行い，類似検索を実現している．前者においては，面間の関係に注目した Osada らの手法⁶⁾などがあげられる．後者においては，Reeb Graph によりモデルの位相構造に注目した Hilaga らなどの手法⁷⁾があげられる．これらの手法は，物体自体に固有の特徴の類似性を基準に類似検索を実現しているので，我々が 2.2 節で提案した 4 階層において物理的レベルの類似検索に相当する^{6)~9)}．我々も，物理的レベルの類似検索として，物体を形成しているすべての面と面の関係を数量化することにより，回転，物体の大きさ，ポリゴン数に依存しない全体的な形状に基づいた 3D 物体の類似検索手法を提案してきた¹⁰⁾（適合率は 82.3%，再現率は 48.8%程度）．

また，我々は人間から見えている部分的な形状のみを特徴量計算の対象とした類似検索も開発した．これは，物体そのものではなく人間への見え方に注目した物体の記述を利用しているという点で，生理的レベルの類似検索と考えることもできる¹¹⁾．鈴木らの多次元尺度構成法を用いた手法^{12)~14)}は，特徴量の抽出では，物理レベルの検索に分類されるが，人間の主観を考慮した類似検索を実現しているので，心理レベルの検索にも相当する．Elad らの SVM (Support Vector Machine)¹⁵⁾は，分離超平面からの距離を用い，検索を実現させた．Elad らの手法は物理レベルの検索に

相当するが，Elad らは SVM を用いて，形状特徴である慣性モーメントに重み付けを行い，人間の主観を反映させた検索を実現している．したがって，特徴量は物理レベルだが，心理的レベルの検索にも相当する．

衣嶋¹⁶⁾は，Osada ら⁶⁾の特徴量（物体の形状のみに関する特徴量）を修正したものを特徴量として，特徴量感の距離に基づいて類似物体を検索する．さらに，検索結果中の候補群をグループ分けし，これを SVM で学習することにより，想定する形状に近い物体の持つべき特徴量を推定することを試みている．

表 1 に従来の研究が，我々の提案する感性的な類似検索の分類に属するのかをまとめたものを示す．

2.4 従来の類似検索の問題点

従来の 3 次元物体の類似検索の試みの多くは，物体の特徴（形状や質感など）に基づいて，これらの特徴記述間の距離を類似検索の評価基準にする物理・生理的レベルの類似検索に相当する^{6)~10)}．誰が利用しても同じ検索結果になるという意味での客観性はあるが，逆に，物体に対する人間の類似度の判断基準は個々人によって異なる場合があるという判断基準の主観性に対応していない．

心理的レベルの類似検索に相当する試みも，2.2 節で述べたように近年行われるようになってきた^{12)~16)}．物体の物理・生理的なレベルでの特徴記述を均等に評価するのではなく，特定の特徴には大きな重みを与えて評価するなど，個々人が特に注目する特徴の違いに対応することにより，主観的な評価尺度を模擬する．しかし，我々の研究も含めて，その多くが物体の形状に関する特徴記述のみを対象としている．

人間が物体を見て何らかのイメージを受ける際，その要因となるのは物体の形状だけではなく，その質感も大きな役割を果たしている．人間が物体のイメージを判断する際，そのイメージを言葉（イメージ語）で表現することが自然に行われている．

表 2 質感パラメータ
Table 2 Material texture parameters.

パラメータ	値の範囲	値の採り方
拡散光色	H (0.0~360.0) SV (各 0.0~1.0)	H: 120 n (n=0, 1, 2)
鏡面光色		S, V: 0.33 m (m=1, 2, 3)
環境光色		つねに HSV (1.0, 1.0, 1.0)
発光光色		つねに HSV 0.0
輝度	1.0~128.0	2^k (k=0, 1, 2, ..., 7)

我々は、物体の形状と質感の双方を考慮した心理・認知的レベルの検索を実現すべく、イメージ語と形状、質感の対応関係を分析した。本論文では、これらの関係の分析、およびイメージ語からそのイメージに結びつく質感もしくは、形状と質感の組合せの推定法について述べる。

2.5 認知的レベルの類似検索の実現

人間は物体を知覚する際、形状だけでなく質感も含め見ている。ところが従来の手法では、形状の類似性のみを考慮したものが多く、2.2節であげた代表的な従来の手法も、すべて形状の特徴のみに注目している。そのため、

- 同一物体でも質感によって人間に与えるイメージが異なること、
- 物体の形状によって同一質感を反映させた物体でも人間に与えるイメージが異なること、

を無視していた。

そこで本研究では、物体の形状だけでなく質感も含めた類似検索の実現を目指す。

本論文で質感とは、金属やプラスチックなどの素材を見たときに受けるイメージを考えることにする。本研究では、質感はCGで利用される5つのパラメータ（拡散光色、鏡面光色、環境光色、発光光色、輝度；表2）で制御するものとする。この5つのパラメータの値を変えると、物体の質感を金属やプラスチックなどのように見せることができる。本論文ではこの5つのパラメータを質感パラメータと呼ぶこととする。

まず、人間が物体に対して感じるイメージを言葉（イメージ語）により表現し、そのイメージ語と、物体の質感、形状と質感の組合せとの関係をモデル化する。そして、イメージ語をキーとして、得たい3D物体に反映させる質感、あるいは、形状と質感の組合せを、CGで生成した事例データベースから検索することで推定・提案するシステムを試作した。

3. イメージ語による質感の推定

3.1 形状の選定

身の回りの様々な物体を観察すると、曲面を持った

形状、尖った部分を持った形状、平面を持った形状のどれか、もしくは複数をあわせ持った形状に大部分が分けられる。そこで本研究では、それらの形状をつくる基本的な形状である球体・円錐・円柱・直方体・四角錐を用いることとした。

球体は曲面のみで構成された形状、円錐は曲面と平面および尖った部分をあわせ持った形状、円柱は、曲面と平面をあわせ持った形状、直方体は平面のみで構成された形状、四角錐は平面と尖った部分をあわせ持った形状の代表として選定した。

3.2 質感のパラメータ設定

本論文では質感は、表2のパラメータ¹⁷⁾で合成して作成されたものの範囲で考える。また本研究において、“拡散光色”、“鏡面光色”は、つねに同一の値を用いた。我々は、本研究の応用として意匠設計やインテリアコーディネート支援を想定しているため、それらの対象となる物体において絶対数が少ない発光物体、透明な物体は省くことにした。つまり、“発光光色”、“透明度”は固定値とした。各パラメータの色は、色の選びやすさを考慮して、色相H、彩度S、明度Vの組合せによって作成した。本研究では色相Hは、光の3原色（赤・青・緑）を用いた。彩度S・明度Vは、CGで作製した物体像を画面上でモニタして質感の変化が感じられる程度の区間、刻み幅を実験的に求めた（表2）。そして全パラメータの組合せにより表現される質感を生成し、これを教示用の質感サンプルとして用いた（各形状ごとに216個、計1,080個）。より精度の高い分析のためには、色相をもっと細かく分割することも考えられるが、被験者の負荷も考慮して、この程度とした。

3.3 イメージ語の選定

本研究では日本カラーデザイン研究所の提案しているファッション・インテリア・街並み・素材など多様な対象のイメージを表す言葉として用いられる頻度が高い言葉¹⁸⁾を参考に、イメージ語を選定した。日本カラーデザイン研究所では、高い頻度で利用される180語を選定し、これらを16個のグループに分け、各グループに属する言葉の集合を代表する言葉を、その各グループに付けている（表3）。

我々は、予備実験として、3名の被験者（大学生）を対象に、色や表面反射を様々に変化させた円柱・円錐・立方体などの3次元物体パターンをCGで生成し、この3次元物体パターンから受けるイメージを、上記の16語のそれぞれに11段階評価で重みをつける形で表現させる実験を行った¹⁹⁾。その結果「クラシック」と「クラシック&ダンディ」のように、回答の間にか

表 3 イメージ語
Table 3 Image words.

○ プリティ	ロマンチック
○ カジュアル	○ フォーマル
○ クール・カジュアル	○ クリア
○ モダン	エレガント
○ ナチュラル	シック
ダンディ	○ ワイルド
○ クラシック	ゴージャス
クラシック & ダンディ	ダイナミック

○印のイメージ語を利用した

なり強い正の相関が認められたものが7組あった。本論文では、この予備実験をふまえて、互いに正の相関が認められなかった9語をイメージ語として採用することとした(表3中の○印)。

3.4 提示実験の条件

同一形状の物体でも質感によって受けるイメージが異なる。各形状における質感とイメージ語の相関関係を発見するための実験を行った。被験者に、3.2節で作製した様々な質感(質感サンプル)を反映させたCGによる物体像(球体・円錐・円柱・四角錐・直方体)を提示し、これを見て感じるイメージをイメージ語に点数付け(0~10点)することで評価をしてもらった。実験を行う際、下記の条件のもとで行った。

- ・人間が質感から受けるイメージは光源の位置によって異なるので、あらかじめ左斜め上方と定めた。
- ・光源の色は、白色とした。
- ・評価を行う際、形状の異なる5つの物体を同時に表示した。
- ・各形状の物体に反映させる質感サンプルの順序は異なるように設定した。
- ・物体の全面が見えるようにするため、つねに各物体を同速度で回転させた。
- ・物体の背景の色に影響されるのを防ぐため、背景色は無彩色(灰色)とした。

3.5 イメージ語と質感の相関関係

3.5.1 質感パラメータの変換

質感パラメータを作成する際に用いたHSVの値を、人間の色の知覚の仕方をまねた特徴量^{20)~21)}に変換する。

色彩を表すRGBの間にはある程度の相関があることが知られている。このような相関を取り除くために、Labなどの表色系が考案されているが、簡単に相関を取り除く近似式として、明るさ($R+G+B$)、赤緑の色差($R-G$)、黄青の色差($Y-B$)が用いられる場合も多い。

本論文の実験では、照明下でゆっくりと回転する3

次元物体(単色の物体)の形・色・反射の変化する様子(CGで作製)を被験者に見せて、それから受けるイメージをイメージ語により評価させるため、画面上では、隣接する2点間の輝度・色が微妙に変化する。我々は、人間の視覚系での明暗対比・色対比に関する側抑制過程の数理的なモデル化の研究を進めており²¹⁾対象の明るさ(式(1))、局所的な色対比の強さを表す特徴量(式(2)、(3))が、色の見え方を評価するのに有用なパラメータであることを発見している。本研究では、次式により色に関する特徴量を表現することとした。

$$V = \frac{R+G+B}{3} \quad (1)$$

$$C_{RG} = \frac{R-G}{R+G} \quad (2)$$

$$C_{YB} = \frac{Y-B}{Y+B} \quad (3)$$

(ただし、 $Y = R+G$ とする)

C_{RG} は赤と緑のコントラスト、 C_{YB} は黄色と青のコントラストを表す。

3.5.2 イメージ語と質感の相関関係の分析

実験で得られた評点を目的変数、HSVのVと3.5.1項で変換した質感のパラメータ C_{RG} 、 C_{YB} を説明変数とし、形状別に各被験者(男性3名、女性5名)の結果に対し、重回帰分析を行った。表4は、ある被験者(B(女))の球体の様々な質感に対する回答を重回帰分析した寄与率、各特長量に対する重回帰係数を示す。また、表5は、5種類の形状それぞれに対して、ある被験者個人(A(男)、B(女))の回答、男性グループ・女性グループそれぞれの回答の平均値、被験者全体の回答の平均値に対して重回帰分析した寄与率を示す。

表4より、この被験者にとっては、たとえば「カジュアル」「クール・カジュアル」「クリア」では物体の色が明るいことが重要な因子であり、逆に「モダン」「クラシック」「フォーマル」では物体の色が暗いことが重要な因子であると推察できる。また、「カジュアル」は赤味・黄味が強い場合、逆に「クール・カジュアル」では青味が強い場合にイメージされていることも推定できる。このように、イメージ語によって、どの因子が重要な役割を果たしているかが異なることが分かる。

次に寄与率を比較すると、「カジュアル」「クール・カジュアル」「クリア」は本研究で用いた質感の特徴量からイメージ語の評点到相関関係があるためと推察できる。これに対して、「モダン」「クラシック」「フォーマル」「ワイルド」は寄与率が比較的小さい。一方、表5

表 4 被験者 (B (女)) の球体の様々な質感に対する回答の寄与率および重回帰係数
Table 4 Result of regression analysis (Shape: Sphere, Subject: B).

		イメージ語								
		ブリティ	カジュアル	クール・ カジュアル	モダン	ナチュラル	クラシック	フォーマル	クリア	ワイルド
寄与率		0.498	0.595	0.578	0.332	0.558	0.358	0.319	0.635	0.375
重回帰分析	定数項	0.114	0.473	1.449	7.073	0.286	8.101	7.960	−0.113	2.000
	C_{RG}	1.153	0.748	−0.383	0.404	0.000	0.000	0.000	−0.480	0.536
	C_{YB}	0.352	0.713	−1.131	0.000	0.000	−0.564	−0.517	0.000	0.802
	V	3.978	6.186	5.874	−4.311	5.706	−4.956	−5.310	6.435	3.895
	輝度	−0.012	−0.021	−0.017	0.020	−0.021	0.013	0.015	−0.026	−0.016

表 5 形状・被験者別の各イメージ語における寄与率
Table 5 The coefficient of determination for every image word.

形状	被験者	イメージ語								
		ブリティ	カジュアル	クール・ カジュアル	モダン	ナチュラル	クラシック	フォーマル	クリア	ワイルド
球体	A (男)	0.252	0.632	0.568	0.626	0.485	0.662	0.259	0.712	0.338
	B (女)	0.498	0.595	0.578	0.332	0.558	0.358	0.319	0.635	0.375
	男性の平均モデル	0.420	0.676	0.529	0.174	0.434	0.000	0.398	0.646	0.516
	女性の平均モデル	0.518	0.115	0.572	0.410	0.596	0.673	0.531	0.768	0.115
	全員の平均モデル	0.512	0.432	0.644	0.341	0.629	0.744	0.580	0.781	0.262
円錐	A (男)	0.230	0.539	0.404	0.563	0.340	0.538	0.254	0.589	0.362
	B (女)	0.480	0.447	0.373	0.560	0.397	0.501	0.511	0.137	0.498
	男性の平均モデル	0.587	0.643	0.344	0.176	0.141	0.637	0.447	0.524	0.472
	女性の平均モデル	0.672	0.215	0.584	0.351	0.387	0.640	0.269	0.586	0.160
	全員の平均モデル	0.731	0.368	0.579	0.388	0.404	0.697	0.349	0.636	0.265
円柱	A (男)	0.190	0.525	0.433	0.533	0.295	0.549	0.297	0.544	0.479
	B (女)	0.300	0.369	0.392	0.476	0.510	0.534	0.593	0.572	0.147
	男性の平均モデル	0.405	0.688	0.322	0.181	0.124	0.058	0.495	0.512	0.509
	女性の平均モデル	0.443	0.019	0.545	0.473	0.608	0.688	0.503	0.687	0.059
	全員の平均モデル	0.471	0.240	0.559	0.410	0.604	0.746	0.568	0.699	0.166
直方体	A (男)	0.196	0.630	0.630	0.572	0.391	0.620	0.570	0.678	0.435
	B (女)	0.322	0.429	0.448	0.433	0.538	0.511	0.459	0.500	0.161
	男性の平均モデル	0.484	0.709	0.429	0.228	0.109	0.692	0.477	0.550	0.527
	女性の平均モデル	0.376	0.091	0.567	0.390	0.601	0.647	0.385	0.713	0.045
	全員の平均モデル	0.448	0.382	0.607	0.310	0.581	0.716	0.485	0.717	0.188
四角錐	A (男)	0.189	0.535	0.417	0.406	0.309	0.529	0.372	0.558	0.350
	B (女)	0.271	0.308	0.395	0.375	0.451	0.374	0.381	0.477	0.174
	男性の平均モデル	0.443	0.679	0.313	0.148	0.068	0.613	0.530	0.439	0.391
	女性の平均モデル	0.361	0.064	0.490	0.375	0.563	0.585	0.341	0.724	0.061
	全員の平均モデル	0.421	0.356	0.539	0.386	0.559	0.662	0.476	0.708	0.141

より、被験者 A (男), B (女) の 2 名を比較すると、たとえば「ブリティ」「モダン」などでは、質感の特徴量とそれに対するイメージ語の表現の仕方に個人差が少なくないことが分かる。男性の平均、女性の平均を比較しても「カジュアル」「モダン」「クラシック」などにグループとしてのイメージ語の表現の仕方の違いが少なくないことが分かる。また、被験者 B (女) と女性の平均、全員の平均を比較すると、個人と大きさの違うグループの間にも、イメージ語の表現の仕方の違いが認められる場合があることが分かる。

以上のことから、質感に対するイメージ語の表現の仕方には大きな個人差が現れる場合があり、また、女性個人と女性グループの平均の間でも、すべてが一致

するわけではないといえる。すなわち、類似検索や感性検索を行う場合、画一的な索引によりすべての利用者を満足させることは非常に難しい。逆に、すべての利用者を満足させるためには、各個人に適切に調節した索引を用意する必要があることが分かる。

また、表 5 で被験者 A, B の寄与率の違いを比較すると、被験者 A は、ほぼすべての形状に対して類似した値の寄与率を示しているのに対して、被験者 B は、形状によって寄与率が大きく異なるイメージ語もある。このことから、被験者 A は、物体の形状によらずに主に質感でイメージ語を選定しているのに対して、被験者 B は、形状の違いによる影響を受けつつイメージ語を選定していると推察できる。すなわち、前

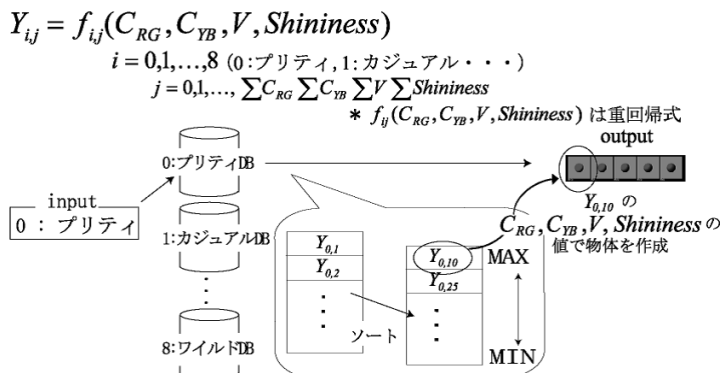


図 2 感性的な類似検索の階層分類

Fig. 2 The classification of the similarity retrieval based on sensitivity.

表 6 システムの質感パラメータ

Table 6 Material texture parameters of our system.

パラメータ	値の範囲	値の採り方
拡散光色	H (0.0 ~ 360.0) SV (各 0.0 ~ 1.0)	H : 36 n (n=0, 1, ..., 9)
鏡面光色		S, V : 0.2 m (m=0, 1, ..., 5)
環境光色		つねに HSV (1.0, 1.0, 1.0)
発光光色		つねに HSV 0.0
輝度	1.0 ~ 128.0	2^k (k=0, 1, 2, ..., 7)

者には質感の優位性，後者には形状の優位性があり，これにも個人差があることが分かる．

さて，重回帰分析において，寄与率が低い結果が得られた場合，その原因としては，本研究で用いた質感の特徴量では表現しにくい因子があった場合のほかに，イメージ語群に対して回答に一貫性が弱い（相関が弱い）場合，逆に，点数付けの評価がある値に偏ってしまった場合も考えられる．そこで，次節ではイメージ語と質感の対応関係のモデル化の精度を，イメージ語から質感を推定する際の適合率によって評価することを試みる．

3.6 イメージ語による質感推定システム

3.6.1 システムの構築

イメージ語から質感を推定するシステムを，前節の重回帰分析によって得られた重回帰式を用いて構築した（図 2）．具体的には，それぞれのイメージ語について，ある個人の回答（あるいは，女性グループのように，利用者のグループの回答の平均値）に重回帰分析を適用して得た重回帰式を，物体の特徴量からそのイメージ語を推定する関数として利用する．

質感パラメータの値の刻みは，重回帰分析での教示データ集合に比べて細かくし，未学習のデータも含む質感パラメータ（各形状ごとに 2,880 個，計 14,400 個）を用意した（表 6）．これらの質感パラメータの組

を各イメージ語を推定する関数に代入し，この形状・この質感の物体に対するイメージ語の推定評点として，データベースに格納する．利用者がキーとして示すイメージ語とその評点に最も近い物体のデータをこのデータベースから検索することにより，利用者自身の主観的な対応付けの基準に適合する形状・質感の物体を提示することができる．

3.6.2 イメージ語による質感の推定実験

各利用者ごと・各イメージ語ごとに，検索結果の上位 10 位・20 位の物体に対して，利用者の主観的な判断で適切かどうかを 0～5 点の評点を付けさせることにより評価を行った．適合率は，評点が 4～5 点の物体を正解と考えて求めた．

表 7 は，5 種類の形状それぞれに対して，各被験者が自分の重回帰式を利用して物体を生成・検索した場合の適合率を示す．比較のために，被験者個人 A, B, および，被験者全員の適合率の平均値を示す．

表 5 で，寄与率の高かった形状・イメージ語は，表 7 でもほぼ高い適合率を示した（たとえば被験者 B の「カジュアル」「クリア」）．また，寄与率のそれほど高くなかった形状・イメージ語でも，適合率の高い場合もあった（たとえば，被験者 B の「クール・カジュアル」）．これは，教示の際に点数付けの評価がある値に偏ってしまった場合に相当すると考えられる．寄与率・適合率の両方が低い場合は，イメージ語群に対して回答・評価に一貫性が乏しい場合に相当すると考えられる．

また，同イメージ語，同被験者でも形状によって適合率にバラツキが見られるものがある．たとえば，被験者 A は「プリティ」というイメージ語において，円錐のみが高い適合率になっている．被験者 A は，円錐という形状が「プリティ」というイメージに大きく

表 7 形状・被験者別の各イメージ語における推定システムの適合率(%)

Table 7 Precision ratio of our system.

形状	被験者	イメージ語									
		ブリティ		カジュアル		クール・ カジュアル		モダン		ナチュラル	
		上位 10	上位 20	上位 10	上位 20	上位 10	上位 20	上位 10	上位 20	上位 10	上位 20
球体	A (男)	52.0	47.0	76.0	57.0	80.0	77.0	96.0	90.0	96.0	70.0
	B (女)	24.0	44.0	58.0	67.0	94.0	94.0	78.0	75.0	46.0	63.0
	被験者 8 名の平均	41.0	48.0	55.0	51.4	73.8	73.5	64.5	63.0	73.5	68.5
円錐	A (男)	18.0	30.0	52.0	44.0	96.0	89.0	84.0	60.0	0.0	0.0
	B (女)	16.0	32.0	60.0	60.0	24.0	44.0	50.0	25.0	8.0	24.0
	被験者 8 名の平均	10.8	21.8	58.3	56.0	74.5	71.4	66.3	57.6	50.3	52.8
円柱	A (男)	34.0	44.0	100.0	86.0	82.0	78.0	98.0	92.0	98.0	98.0
	B (女)	40.0	50.0	96.0	96.0	96.0	95.0	58.0	59.0	100.0	100.0
	被験者 8 名の平均	50.3	48.8	60.3	63.0	78.5	75.6	66.5	66.0	76.8	73.4
直方体	A (男)	34.0	33.0	100.0	80.0	82.0	68.0	98.0	83.0	98.0	72.0
	B (女)	50.0	54.0	92.0	90.0	94.0	95.0	24.0	36.0	82.0	73.0
	被験者 8 名の平均	42.3	44.1	72.8	68.0	78.3	73.6	49.3	46.6	77.5	76.0
四角錐	A (男)	34.0	40.0	90.0	90.0	90.0	88.0	96.0	60.0	100.0	100.0
	B (女)	40.0	50.0	86.0	89.0	78.0	86.0	16.0	16.0	96.0	96.0
	被験者 8 名の平均	40.3	43.9	65.3	60.9	70.8	67.9	61.8	51.1	89.0	87.9

形状	被験者	イメージ語							
		クラシック		フォーマル		クリア		ワイルド	
		上位 10	上位 20	上位 10	上位 20	上位 10	上位 20	上位 10	上位 20
球体	A (男)	96.0	94.0	100.0	100.0	80.0	77.0	90.0	71.0
	B (女)	88.0	77.0	100.0	68.0	86.0	89.0	40.0	49.0
	被験者 8 名の平均	80.0	76.4	66.0	64.3	82.8	78.0	70.3	72.3
円錐	A (男)	78.0	77.0	98.0	97.0	94.0	68.0	70.0	71.0
	B (女)	72.0	60.0	32.0	20.0	64.0	72.0	34.0	25.0
	被験者 8 名の平均	64.5	64.5	75.3	71.4	77.8	77.9	73.8	70.0
円柱	A (男)	96.0	94.0	100.0	100.0	84.0	65.0	44.0	51.0
	B (女)	74.0	67.0	58.0	64.0	88.0	75.0	96.0	96.0
	被験者 8 名の平均	67.8	64.6	76.8	71.8	90.5	84.8	63.3	63.3
直方体	A (男)	96.0	89.0	100.0	100.0	84.0	73.0	44.0	78.0
	B (女)	78.0	67.0	8.0	16.0	90.0	86.0	96.0	98.0
	被験者 8 名の平均	76.0	73.6	70.5	66.3	83.3	85.9	64.0	60.1
四角錐	A (男)	96.0	92.0	100.0	100.0	86.0	84.0	66.0	66.0
	B (女)	10.0	19.0	74.0	71.0	88.0	77.0	100.0	100.0
	被験者 8 名の平均	65.8	64.0	63.3	62.4	86.3	83.6	75.3	72.4

影響しているのではないかと考えられる。同被験者の「クラシック」を見ると、四角錐の適合率のみが低い値になっている。被験者 A にとっては、四角錐という形状が「クラシック」というイメージにはあてはまらないということが考えられる。

このように、形状と質感は個々に独立して物体にイメージを与えているのではなく、形状と質感がお互いに作用しあって、物体にイメージを与えていると考えられる。

4. イメージ語による形状と質感の推定

4.1 イメージ語と質感と形状の組合せの相関関係
イメージ語と、形状と質感の組合せの対応関係を 3.4 節で行った実験の結果を用いて推定することを試みる。

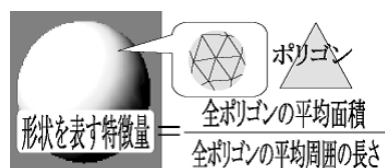


図 3 形状を表す特徴量

Fig. 3 Graphical feature showing shape of 3D object.

実験で得られた評点を目的変数, HSV の V と 3.5.1 項で用いた HSV を人間の眼の特性に考慮して変換したパラメータ, および形状を表す特徴量を説明変数として各被験者の結果に対し、重回帰分析を行った。本論文では、利用者に提示する 3D 物体の表面はポリゴンの集合として表すので、図 3 のような特徴量

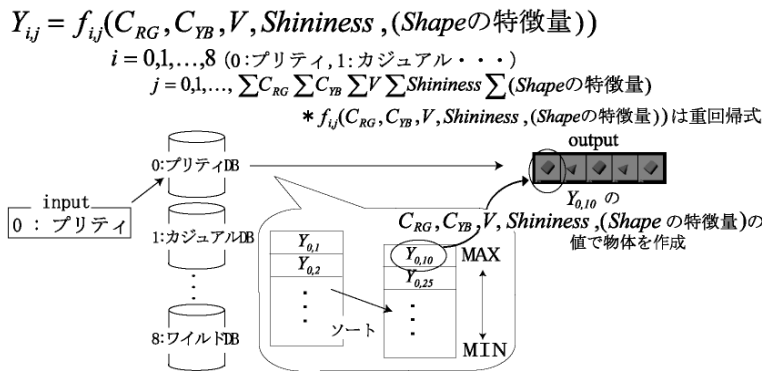


図 4 イメージ語による形状と質感の組合せ推定システム

Fig. 4 Our system.

表 8 モデルごとの各イメージ語における寄与率

Table 8 The coefficient of determination for every image word.

被験者	イメージ語								
	プリティ	カジュアル	クール・ カジュアル	モダン	ナチュラル	クラシック	フォーマル	クリア	ワイルド
A (男)	0.176	0.556	0.452	0.524	0.340	0.562	0.340	0.611	0.377
B (女)	0.346	0.346	0.174	0.195	0.222	0.436	0.230	0.378	0.267
男性の平均モデル	0.420	0.653	0.364	0.171	0.155	0.263	0.452	0.512	0.429
女性の平均モデル	0.433	0.084	0.477	0.353	0.514	0.635	0.372	0.657	0.069
全員の平均モデル	0.464	0.350	0.504	0.314	0.520	0.696	0.478	0.667	0.141

を用いた。

この特徴量は、従来より画像処理で 2 次元の形状の複雑さを現す特徴量の 1 つとして用いられてきている「周囲長と面積の比」の考え方を、対象とする 3 次元物体を構成するポリゴンの周囲長と面積に適用したものである。特徴量としては非常に単純であるが、形状・質感に関係すると考えられる特徴量の次元数を低く抑えるために採用した。

本論文で対象とした 3 次元物体の形状は、球・円錐・円柱・直方体・四角錐で、外接直方体の大きさは同じに正規化している。また、多面体近似の細かさは、被験者に提示するための CG 像（ゆっくりと回転した状態で提示）が滑らかに見える程度を保ちながら、少ない数の三角形パッチでカバーできるように調節した。より複雑な形状の 3 次元物体を対象とする場合には、多面体近似の際の分割の仕方・分割の細かさに統一したルールを定めることは難しいので、再検討する必要があると考えられる。

4.2 イメージ語による形状と質感の組合せ推定システム

4.2.1 システムの構築

形状と質感の組合せと、これから受けるイメージを表すイメージ語の関係を重回帰分析により求める（図 4）。説明変数として、質感のパラメータだけでは

なく、前節の形状パラメータを含める以外は、基本的な手順は 3.5.2 項と同様である。

形状・質感を組み合わせたパラメータと、イメージ語評価の対応関係について、ある被験者個人（A（男）、B（女））の回答、男性グループ・女性グループそれぞれの回答の平均値、被験者全体の回答の平均値に対して重回帰分析した寄与率を表 8 に示す。

重回帰分析より得られる回帰式を用いて、被験者ごとにイメージ語から形状と質感の組合せを検索するシステムを構築した。イメージ語による質感推定の際と同様に、質感パラメータの値の刻みは、実験のときに比べ細かくし、未知のデータからも推定できるようにした（表 6）。このシステムの推定結果例を被験者別に表 9 に示す。

4.2.2 イメージ語による形状と質感の組合せの推定実験

我々が構築した、イメージ語から形状と質感の組合せを推定するシステムの評価実験を行った。3.6.2 項と同様に、各利用者ごと・各イメージ語ごとに、検索結果の上位 10 位・20 位の物体に対して、利用者の主観的な判断で適切かどうかを 0～5 点の評点を付けさせることにより評価を行った。適合率は、評点が 4～5 点の物体を正解と考えて求めた。その結果を表 9 に示した。

表 9 モデルごとの各イメージ語における推定システムの適合率(%)

Table 9 Precision ratio of our system.

被験者	イメージ語									
	プリティ		カジュアル		クール・カジュアル		モダン		ナチュラル	
	上位 10	上位 20	上位 10	上位 20	上位 10	上位 20	上位 10	上位 20	上位 10	上位 20
A (男)	72.0	71.0	72.0	59.0	98.0	96.0	70.0	70.0	56.0	65.0
B (女)	8.0	20.0	80.0	80.0	92.0	93.0	52.0	62.0	68.0	50.0
被験者 8 名の平均	25.0	31.6	62.3	58.3	86.3	88.1	62.5	62.6	65.0	63.6

被験者	イメージ語							
	クラシック		フォーマル		クリア		ワイルド	
	上位 10	上位 20	上位 10	上位 20	上位 10	上位 20	上位 10	上位 20
A (男)	86.0	86.0	98.0	96.0	72.0	76.0	74.0	50.0
B (女)	72.0	68.0	94.0	94.0	98.0	90.0	100.0	100.0
被験者 8 名の平均	68.3	63.1	80.8	78.5	82.3	84.4	81.5	80.6

表 10 被験者 B の各モデルに対する推定システムの適合率(%)

Table 10 Precision ratio of our system of subject B.

	イメージ語									
	プリティ		カジュアル		クール・カジュアル		モダン		ナチュラル	
	上位 10	上位 20	上位 10	上位 20	上位 10	上位 20	上位 10	上位 20	上位 10	上位 20
被験者 B (女) 自身のモデルで評価	8.0	20.0	80.0	80.0	92.0	93.0	52.0	62.0	68.0	50.0
平均 (女) モデルで評価	50.0	50.0	66.0	77.0	16.0	16.0	80.0	82.0	86.0	87.0
平均モデルで評価	32.0	24.0	54.0	45.0	100.0	100.0	80.0	80.0	36.0	62.0

	イメージ語							
	クラシック		フォーマル		クリア		ワイルド	
	上位 10	上位 20	上位 10	上位 20	上位 10	上位 20	上位 10	上位 20
被験者 B (女) 自身のモデルで評価	72.0	68.0	94.0	94.0	98.0	90.0	100.0	100.0
平均 (女) モデルで評価	80.0	80.0	90.0	85.0	98.0	97.0	70.0	85.0
平均モデルで評価	70.0	66.0	42.0	59.0	100.0	99.0	58.0	58.0

(1) 寄与率と適合率の比較による評価

表 8, 表 9 を比較すると, 3.5.3 項で述べたように, 寄与率が低いからといって, 必ずしも適合率が悪いわけではない。

たとえば, 被験者 B の「クール・カジュアル」は, 教示の際に点数付けの評価がある値に偏ってしまった場合に相当すると考えられる。このようなイメージ語の表す概念をより詳細化するためには, 形状や質感を表す特徴量を増やす, もしくは他のイメージ語と組み合わせで推定を行うことによって, より絞り込んだ推定ができると考えられる。

寄与率・適合率の両方が低い場合は, 特徴量の記述能力が乏しい, あるいは, イメージ語群に対して回答・評価に一貫性が乏しい場合に相当すると考えられる。特徴量の記述能力に関しては, 今回用いたような単純な形状を表す特徴量ではなく, もっと複雑な形状の特徴を表現する能力を持つ特徴量を用意することで改善することができると考えられる。

(2) 適合率による評価

表 9 より「カジュアル」「モダン」のように同イメージ語でも被験者によって適合率にバラツキが見られるものがある。また, 同被験者でも「プリティ」「カジュアル」のようにイメージ語によって適合率のバラツキが見られる。

表 10 は, すべての教示データに対する被験者 B (女) の回答, 女性のグループ (5 名) の回答の平均, 被験者全員 (8 名) の回答の平均のそれぞれに重回帰分析を適用して構成した重回帰式に基づいて, 各イメージ語にマッチする物体データを検索した結果である。表中の適合率は, 被験者 B が, これら 3 種類のモデル (自分自身, 女性の平均, 全員の平均) のそれぞれで, どれくらい自分の主観的な判断にマッチする物体データが検索されたかを表している。大部分のイメージ語に対しては, 男女とりまぜた平均モデルよりも, 自分自身あるいは女性平均モデルの方が高い精度を示した。自分自身のモデルよりも女性平均モデルの方が

	イメージ語				
	プリティ	カジュアル	クール・カジュアル	モダン	ナチュラル
被験者A(男)					
被験者B(女)					
男性の平均モデル					
女性の平均モデル					
被験者全員の平均モデル					

	イメージ語			
	クラシック	フォーマル	クリア	ワイルド
被験者A(男)				
被験者B(女)				
男性の平均モデル				
女性の平均モデル				
被験者全員の平均モデル				

図5 モデルごとの検索結果例

Fig. 5 Examples of result for each model.

高い適合率を示す場合があるのは、この被験者が形状優位の判定をしていることの影響が現れていると考えられる。

4.2.3 推定結果の分析

まず、各被験者の推定結果の例を図5に示す。被験者A、Bによってイメージ語から期待される形状と質感の組合せが異なる場合が多いことが分かる。

たとえば、被験者Aの「カジュアル」「クリア」のように四角錐のみが推定されているイメージ語がある。被験者Aは、これらのイメージ語は比較的、質感より形状優位の評価をしているといえる。また、被験者Bの「プリティ」「モダン」「クラシック」のように曲面を持っている形状（球体・円錐・円柱）のみ推定されるイメージ語がある。このイメージ語はこれらの形状の特徴に依存していると考えられ、形状優位といえる。

また、被験者Bの「カジュアル」のようにすべての形状が推定されているイメージ語がある。これらのイメージ語は比較的、形状より質感優位の評価をしているといえる。

以上より、物体のイメージには形状と質感の組合せが大きく影響していることが分かった。また、その中にも形状優位、質感優位のものがあることが分かった。物体を推定・検索する際は、形状と質感を組み合わせた

ときには、このような効果を考慮しなければならない。

また、各人によって推定される質感、形状が異なることから、イメージ語から欲する物体を推定する際は、各人の嗜好にあわせた推定を行えるようにシステムを構築しなければならないことがいえる。

5. ま と め

本論文では、様々な質感をともなった物体を人間が見たときに、どのようなイメージを持ち、それをどのようなイメージ語で表現するのかという、物体の形状・質感とイメージ語の主観的な対応関係をモデル化する手法を試作し、その手法の精度を評価した。

物体の形状としては、プリミティブな5つの形状（球体・円錐・円柱・直方体・四角錐）を用意し、これに色や表面反射の異なる216種類の質感を与えた。一方、イメージ語としては相互に正の相関が少ない9語（プリティ、カジュアル、クール・カジュアル、モダン、ナチュラル、クラシック、フォーマル、クリア、ワイルド）を採用した。

物体の形状・質感とイメージ語の主観的な対応関係は、重回帰分析により、重回帰式を、その利用者のそのイメージ語に対する感性モデルとして利用した。このモデルに、より多様な質感パラメータ（質感に関し

て2,880種類)を与えて,利用者の解釈するであろうイメージ語を推定した。

利用者がイメージ語をキーとして提示すると,システムはイメージ語を推定した物体データベース(14,400個)から適切なイメージ語の推定値を持つものを検索して提示する。

利用者自身のモデル,利用者と同じ性別の平均的なモデル,利用者全員の平均的なモデルを用いて,重回帰分析の寄与率,回帰係数,また,検索結果の適合率をメトリックに,モデル化の精度を評価し,本論文で提案する手法が有効であることを示した。

また,質感をともなった物体に対する感性的な特性として,形状と質感は個々に物体のイメージに影響しているのではなく,形状と質感がともに作用しあって物体のイメージを決めていることが分かった。また,物体から受けるイメージをイメージ語で表現する際,形状優位の評価をする場合と,質感優位の評価をする場合が存在した。

形状および質感のどちらが優位な結果になるかには,個人差が見られた。また,各個人によってイメージ語や優位性が同じでも,主観に適合すると判定される物体には個人差が見られた。

このような仕組みを応用すれば,たとえばインテリアコーディネートなどにおいて,顧客の要求するイメージを,質感をともなった形状で具体的に可視化することが可能となる。これにより,多種多様な工業デザインの製品データベースから適切な形状・質感の製品を容易に選定することができる。本システムは,また,新たにクライアントの求める製品をイメージオーダ的に設計することにも利用できると考えている。

今後は,意匠設計やインテリアコーディネート支援に応用するために,プリミティブな形状だけでなく,家具などの物体を用いて形状と質感の関係を分析していく予定である。

謝辞 本研究を進めるにあたり,研究のアドバイスをくださった東京電機大学の柴田滝也助教授,メディア教育開発センターの鈴木一史助教授,過酷な心理実験に協力をしてくださったヒューマンメディア工学研究室のみなさんに心より感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 加藤俊一,酒井勝正:感性エージェントとヒューマンメディアデータベースの研究開発—感性工房,システム/情報/制御,Vol.42, No.5, pp.253-259 (Jun 1998).
- 2) Kato, T.: Trans-category Retrieval Based on

Subjective Perception Process Models, *Proc. IEEE Multimedia and Expo ICME2004*, TP9-5 (2004). (CD-ROM)

- 3) 荻野晃大,加藤俊一:感性検索システムの設計手法:感性システムモデリング,情報処理学会論文誌:データベース,Vol.46, No.SIG19(TOD 29) (2005).
- 4) 多田昌裕,加藤俊一:階層的分類を用いた視覚感性のモデル化と類似画像検索への応用,情報処理学会論文誌:データベース,Vol.44, No.SIG8(TOD 18), pp.37-45 (2003).
- 5) 多田昌裕,加藤俊一:類似する画像領域の特徴解析と視覚感性のモデル化,電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J87-D-II, No.10, pp.1983-1995 (2004).
- 6) Osada, R., FunkFuouser, T., Chazelle, B. and Dobkin, D.: Matching 3D Models with Shape Distributions, *Proc. Int'l Conf. on Shape Modeling and Applications 2001*, Genova, Italy, pp.154-166 (May 2001).
- 7) Hilaga, M., Shinagawa, Y., Kohmura, T. and Kunii, T.: Topology Matching for Fully Automatic Similarity Estimation of 3D Shapes, *Proc. SIGGRAPH2001*, Los Angeles, USA, pp.203-212 (2001).
- 8) Paquet, E. and Ioux, M.: Nefertiti: A Query by Content Software for Three-Dimensional Databases Management, *Proc. Int'l Conf. on Recent Advances in 3-D Digital Imaging and Modeling*, Ottawa, Canada, pp.345-352 (May 1997).
- 9) Novotni, M. and Kleim, R.: A Geometric to Approach to 3D Object Comparison, *Proc. Int'l Conf. on Shape Modeling and Applications 2001*, Genova, Italy, pp.165-175 (May 2001).
- 10) 惣田智志,加藤俊一:不変特徴量を用いた3次元物体の形状類似検索,電子情報通信学会技術研究報告 PRMU2003-109, Vol.103, No.296, pp.85-90 (2003).
- 11) 向江亜紀,惣田智志,加藤俊一:形状の見え方と質感を考慮した3次元物体の類似検索とイメージ検索,DBWeb2006,IPJS Symposium Series, Vol.2005, No.16, pp.205-212, ISSN 1344-0640 (2005).
- 12) Suzuki, M.T., Kato, T. and Otsu, N.: A Similarity Retrieval of 3D Polygonal Models Using Rotation Invariant Shape Descriptors, *IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics (SMC2000)*, Nashville, Tennessee, pp.2946-2952 (2000).
- 13) 鈴木一史,加藤俊一,大津展之:同値類に基づく回転不変特徴量を用いた3次元物体モデルの類似検索,電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J86-D-II, No.8, pp.1234-1243 (2003).

- 14) 鈴木一史, 加藤俊一, 築根秀男: 主観的類似度に適応した 3 次元多面体の検索, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J82-D-I, pp.185-193 (Jan. 1999).
- 15) Elad, M. and Tal, S.A.: Directed Search in A 3D Objects Database Using SVM, HP Laboratories Israel Technical Report, HPL-2000-20 (R.1) (Aug. 2000).
- 16) 衣嶋昌俊, 小田切智, 大淵竜太郎: 人の教示に基づく 3 次元メッシュモデルの形状類似検索, 映像情報メディア学会誌, Vol.56, No.8, pp.998-1007 (2003).
- 17) 太田篤史: やさしくわかる JAVA 3D, 株式会社技術評論社, 東京 (2003).
- 18) 小林重順, 日本カラーデザイン研究所 (編): カラーイメージスケール, pp.16-17, 講談社, 東京 (2001).
- 19) 向江垂紀, 惣田智志, 加藤俊一: 任意の視点からの見え方と質感を考慮した 3 次元物体モデルの検索, 映像情報メディア学会メディア工学研究会・映像表現&コンピュータグラフィックス研究会資料 ME2005-83・AIT2005-89 (2005).
- 20) Spillmann, L. and Werner, J.S.: *VISUAL PERCEPTION The Neurophysiological Foundations*, Academic Press, INC.
- 21) 佐々木麻里, 井田 勝, 加藤俊一: 明暗順応と色対比に関する側抑制の数理的モデル化とその応用, ITE Technical Report, Vol.29, No.30, pp.37-40, ME2005-82, AIT2005-88 (May 2005).

(平成 17 年 12 月 20 日受付)

(平成 18 年 3 月 22 日採録)

(担当編集委員 中挾 知延子)



向江 垂紀

昭和 58 年生. 平成 17 年中央大学理工学部経営システム工学科卒業. 現在, 同大学大学院理工学研究科経営システム工学専攻博士課程前期課程 2 年在学中. 人間の感性のモデル化, 3 次元物体の形状類似検索に興味を持つ. データベースと Web 情報システムに関するシンポジウム (DBWeb2005) の発表において学生奨励賞受賞.



加藤 俊一 (正会員)

1985 年京都大学大学院工学研究科情報工学専攻博士課程単位取得退学, 1986 年電子技術総合研究所. 同所知能システム部対話システム研究室長を経て, 1997 年より中央大学理工学部経営システム工学科教授. ヒューマンメディア工学, 感性工学, パターン認識理解, HCI 等の研究に従事. 電子情報通信学会, 日本感性工学会, 日本建築学会, IEEE 各会員. 工学博士.