

論文

物体形状に対する視知覚特性を模する物理的距離の構成

正員 伊藤 嘉浩[†] 正員 佐藤 幸男[†]

Physical Distance Measure that Simulates Human Visual Perception for 3D Objects

Yoshihiro ITO[†] and Yukio SATO[†], Members

あらまし 本論文では3次元物体の形状に対する人間の視知覚の特性を心理学的に解析する一つの方法について述べると共に、知覚特性に基づいて機械の視覚の中にそのような特性を埋め込むことを試みている。対象物体としては幾何的に単純でありながらその異同を表現しにくい物体である人体幹部を採用している。人体のモデルを用いて心理実験を行い、人間が感じる物体形状間の類似性を定量化し、多次元尺度法によって対象物体を心理的距離空間に布置した。物体形状の物理的な特徴を記述する方法としては大局的特徴に基づく相違性測度である擬距離を用い、五つの擬距離から心理的距離に適合する物理的な距離を合成した。この結果、心理的距離空間を説明する特徴として五つの擬距離が有効であることが示された。

キーワード 3次元物体記述、擬距離測度、心理的距離、多次元尺度法、物理的距離の合成

1. まえがき

人間はさまざまな知覚を通じて環境を認識しているが、その中で視覚に基づく知覚が最も主要である。視覚によって得られるのは3次元世界の2次元投影像にすぎないが、人間は画像から3次元形状を類推する機能をもっている。これは3次元世界に適応しながら生活するために備わった人間にとて最も根源的で不可欠な能力である。人間の視覚に関する研究としては色彩や2次元図形などを対象とした知覚に関する研究は数多く報告されているが⁽¹⁾、それに比べ3次元物体の形状に関する視知覚の解析はあまりない。これは次元の欠落による情報の補完がどのような機構に基づいて処理されるかをモデル化することが極めて困難であることに一つの要因がある。3次元形状の知覚に対する仮説の提案や視知覚構造のモデル化も試みられているが⁽²⁾、生理学的にこれを論証するには至っていない。

人間の視知覚構造が解明できないとしても3次元世界に対する視覚の特性を何らかの方法で定量化し、心理物理的な立場からのアプローチによって実世界と知覚世界を関連づけて解析を試みることは意義深いと思

われる。なぜならば視知覚の機能や特性が現象的であるとしてもこれが数量化され、統計的な解析法によって背後に潜在する性質が浮き出てくるならば、知覚構造の解明にとって有益な示唆を与えることになる。更に定量化された人間の知覚特性を何らかの方法によってシミュレートした特性を機械に埋め込むことができれば、人間と相似した知覚機能を備えたコンピュータの視覚を構築することも期待できる。但しその実現のためには3次元物体形状を人間がどのように知覚しているかを各個人に普遍な感覚量を用いて数量化できなくてはならない。またそれと対応して多面体ばかりではなく曲面物体も含めた一般の3次元形状に対して物理的特徴を定量的に表現できなくてはならない。

本論文では物体に対する視知覚特性を現象的に測定、解析し、併せてその特性に近い特性を備えたコンピュータの視覚をシミュレートすることを目的としている。ここでは対象物体として人体の体幹部を採用する。人体形状は人間にとて見慣れた物体であるが、幾何的に単純で明りょうな特徴をもたず、その形状の差異がわかつてもこれを表現することが難しい曲面物体である。人工物は平面、球面など幾何的に明白な形状の組合せによって構成されているものが多く、そのような形状は構造解析的な記述も可能であろうが、自然物の一種である人体は個人差はあるがいずれも位相的に同

† 名古屋工業大学電気情報工学科、名古屋市

Department of Electrical and Computer Engineering, Nagoya Institute of Technology, Nagoya-shi, 466 Japan

型であり、特徴の差を表現することは容易ではない。そこで本研究では多数の人体モデルを用いた心理実験から心理的距離を直接的に数量化し、視知覚の背後に潜む統計的性質を多次元尺度法によって解析する。そして更に物体形状の物理的な特徴量により定義される物理的距離と心理的距離との関連を解析し、その結果から人間の視知覚特性に近い物理的な知覚特性の合成を試みるものである。

本論文ではまず2.で人体形状を記述する物理的距離測度としてどのような方法が適当であるかを論じる。3.では心理的距離の測定方法と多次元尺度法による解析法について述べる。4.では心理実験について述べ、人間の知覚特性に基づいた物理的距離の生成結果を示す。そして5.では物理的距離空間の生成の結果を解析、検討する。

2. 物体形状に関する物理的距離測度

2.1 物体形状記述モデル

人間の3次元形状に対する視知覚が物理的形状とどのように関連するかを解析していくためにはまず3次元形状を物理的にどのように記述し、特徴の差をいかにして表現し、数量化するかを検討しておく必要がある。そのような特徴表現は人間の感覚量と関連づけるうえで根拠あるものでなくてはならないが、同時にコンピュータビジョンの立場からも十分妥当性のあるものであることが望ましい。そこで人間の視知覚に対し親和性のある物理的な特徴表現の方法を従来の物体の形状記述法の中から見いだすこととする。

これまでさまざまな3次元形状の記述モデルが提案されてきたが、視知覚世界で構築される3次元形状を表現するためには観測者中心の表現ではなく、物体中心の表現が適切である⁽³⁾。なぜならばここでは画像情報から物体を認識することが目的ではなく、人間が脳内の3次元モデルと実世界の3次元形状を視覚を通じて対応をとったり異同を検索した結果を現象的に解析したいからである。従って見掛けの形状の集合を用いる面関係グラフを用いた方法⁽⁴⁾やアスペクト⁽⁵⁾のように視点に依存する記述はこの場合あまり参考とはならない。面表現ではなくて体積記述法により3次元形状を記述していく方法は物体中心の表現として採用し得るが、Oct-tree⁽⁶⁾や超2次関数による記述⁽⁷⁾はCADなどでは活用できようが、人間の知覚を表すモデルとしては適さない。一般化円筒法⁽⁸⁾やgeonによる記述法⁽⁹⁾は人間の画像認知に基づいた基本形状(プリミティブ)を

構造的に組み合わせることにより記述する方法であるが、プリミティブ自身は非常に単純な形状から定義されているため、本研究で対象としている人体幹部の形状の異同に関する感度は低い。

以上の考察と研究の目的から、本研究で利用可能な特徴表現法は以下の条件を満足すべきことがわかる。

- (1) 物体中心の表現であること。
 - (2) 単純であるが幾何的に表現が困難な曲面物体形状が記述できること。
 - (3) 物体形状間の差異を数量的に表現できること。
- こうした条件を満たす3次元物体形状の記述方法の一つとして筆者の1人が提案した物体形状を関数で記述し、形状の相違を数量的に表現する方法がある⁽¹⁰⁾。この方法では物体形状を大局的な特徴に分解し、各特徴ごとに定義された擬距離測度によって形状の相違を定量的に表現する。この表現方法は(1)～(3)の条件を満たし、なおかつ人間の直感に近い定義となっている。確かにこの擬距離測度に従って多数の人体形状をクラスタ解析した実験では専門家の分類結果を支持する結果が得られている⁽¹¹⁾。従って本研究においてもこの特徴表現法を採用することは根拠がないものではない。

2.2 物体形状に対する五つの擬距離測度

物体形状に対する五つの擬距離測度に関しては文献(10)で詳しく述べられているが、ここに概略を述べる。物体はフーリエ記述子で記述された水平断面の積層として表される。物体間の擬距離測度とは二つの対象間で定義される形状の相違を表す測度であり、距離の公理を弱めたものである。擬距離測度のそれぞれは五つの大局的な物体形状の特徴ごとに定義されており、特徴のに関する物体A, B間の擬距離を $\rho_\omega(A, B)$ とすると、両物体が相似であるとき $\rho_\omega(A, B)=0$ となる。但し $\rho_\omega(A, B)=0$ であってもAとBは相似とは言えず、この点が距離測度とは異なる。

文献(10)では大局的な特徴として次の五つが定義されている。(a)縦伸縮(Elongatedness)：閉曲面の高さと大きさの比により定義され、閉曲面の太さの特徴を表す。(b)横伸縮(Horizontal strain)：閉曲面の各断面の大きさにより定義され、水平断面の大きさの変位の特徴を表す。(c)断面形状(Section shape)：各断面輪郭線のフーリエ記述子によって定義され、物体の水平断面の形状の特徴を表す。(d)ねじれ(Torsion)：二つの物体が大きさ、位置、回転に関して整合しているときの各断面の回転の度合を特徴として表す。(e)ひずみ(Displacement)：ねじれと同じく整合した二つの物体

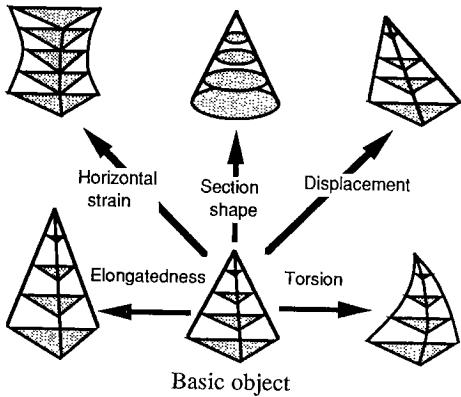


図1 五つの特徴に関する形状の変形例

Fig. 1 Example of modifications in accordance with five features.

の各段面の水平方向へのずれの度合いを特徴として表す。これらの特徴に基づいた形状の変形例を図1に示す。ところで、この記述法では基準軸が垂直方向に固定されていることから水平面上以外の空間的な回転に関しての唯一性はないことに留意されたい。もっとも人体形状などをはじめとして日常的な物体は上下関係が自明であることが多く、そのような物体に関してはこの制約は必ずしも厳しいとは言えない。

それぞれの特徴に対する物体 A, B 間の擬距離は $\rho_\omega(A, B)$, $\omega \in \Omega = \{E, H, S, T, D\}$ と書く。 E, H, S, T, D は対応する特徴のそれぞれの頭文字である。重要な点の一つはこれら五つの擬距離で物体の形状の差異を表現できることである。すなわち

$$\rho_\omega(A, B) = 0 \quad \forall \omega \in \Omega$$

であるとき物体 A, B は相似であると結論づけられる。この性質は五つの擬距離の族が距離と同等の判別能力をもつことを意味することから、これは五つの擬距離の族の完全性と名づけられている⁽¹⁰⁾。従ってこれらの擬距離を適当に組み合わせ、例えば

$$d(A, B) = \left[\sum_{\omega \in \Omega} W_\omega \rho_\omega^p(A, B) \right]^{1/p}, \quad W_\omega > 0, \quad p \geq 1 \quad (1)$$

のような測度を構成すると、これは距離と等価になる。ここで W_ω は特徴 ω に対する重みである。

本論文では距離測度を物体形状に関する物理的距離と呼ぶ。そして心理的な距離に適応する特徴の重み W_ω を推定し、これによって物理的距離を合成することを試みる。

3. 物体形状に関する心理的距離

3次元物体、特に辺や頂点といった幾何的に明りょうな特徴をもたない曲面物体の形状に対して知覚特性を解析しようとする場合、問題となるのは物体形状に対する人間の感覚量をいかにして定量化するかである。物体間のどこが類似し、どこが相違しているかを被験者に表現させることも考えられるが、そもそもここでは感覚的には知覚できてもその表現が困難な物体を対象としていることから適当な方法ではない。また表現できたとしても結果を数量化することは容易ではない。しかしながら対象間の似ている度合を1次元的に表現することはそれほど難しいことではなく、心理実験によって感覚量を数量化する方法としてよく利用されている⁽¹²⁾。

類似性という1次元の尺度が多数の対象の組合せに対して与えられたとき、その中に潜むさまざまな要因を見いだす統計的解析法としてよく知られているのは多次元尺度法(MDS: Multi-Dimensional Scaling)^{(13), (14)}である。この解析方法は心理学の分野で広く用いられており、人間が対象間に對して感じる非類似性の心理的測定データに適合するように対象を多次元空間中に布置し、その空間に張られる軸の意味を解釈していくようとするものである。3次元物体の形状についても人間の感覚量が非類似測度として数量化されるならば、MDSを用いて知覚特性を定量的に解析していくことができる。

MDSを用いた知覚判断の解析例としてはこれまでIndowとUchizonoの色彩を対象とした研究や⁽¹⁵⁾、上箪と犬飼の2次元图形を対象とした研究⁽¹⁶⁾などがある。いずれも色彩や图形形状といった、知覚特性の表現が困難な特徴をもつものを対象として解析を行い、その対象の知覚特性に対する物理的な要因を解析している。

MDSによって非類似測度を距離モデルに当てはめる際、あらかじめ非類似性的尺度水準を考慮しておかなければならぬ。非類似性的尺度水準が比率尺度あるいは感覚尺度、つまり非類似性と距離モデル間の関係に比例関係を仮定するときのMDSを計量的なMDSと言い、尺度水準が比率尺度に満たない場合のMDSを非計量的なMDSと言う。本研究では非類似性と当てはめる距離モデルの間には順序尺度、すなわち非類似性と距離モデル間の関係が少なくとも単調な関係を満たすものであると仮定し、非類似性から距離モデルへの当てはめは非計量的MDSを用いることにした。この非計

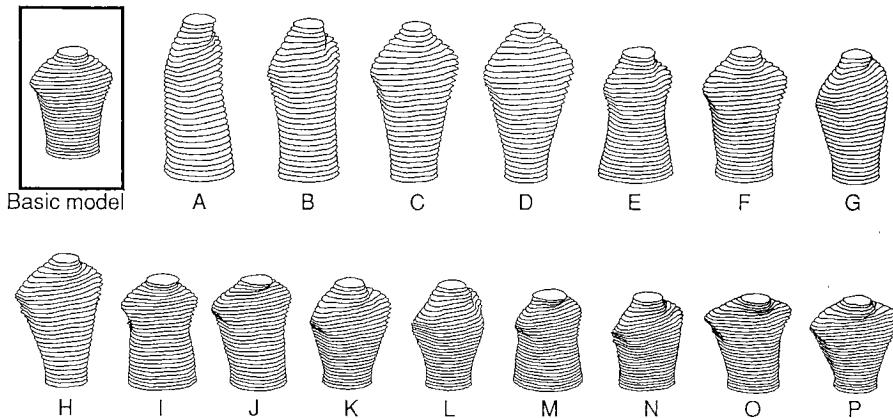


図2 実験に用いた人体形状モデル

Fig. 2 Human trunk models.

量的 MDS により距離測度でない非類似性は距離測度に変換することができる。本研究では心理的な非類似性の感覚量が当てはめられる距離空間のことを心理的距離空間、距離測度のことを心理的距離と呼ぶことにする。

4. 人体形状を用いた心理実験

本研究では人体形状を対象とするが、物体のもつ構造的な要素を取り除くため、腕部を除去し、首から腰までの体幹部を扱うこととした。実験に使用した人体形状は実際に人体を測定したものを作製した。人体形状の測定では被測定者を回転椅子に乗せ、これにレーザから生成されたスリット光を照射し、スリット像をビデオカメラで入力する。スリット像から光切断法⁽¹⁷⁾によって物体表面の輝線上の点の空間座標が測定されるので、対象を回転させながら計測を実施することによって対象物全体の形状を測定することができる。その後、得られたデータから首から腰以外の部分と腕部を削除し補間する。今回は男性4名の人体形状を測定し、各形状を表現関数⁽¹⁰⁾を用いて表した。次に得られた4体の人体形状データから表現関数の各パラメータを平均化することで1体の基本形状を合成した。

物理的な形状の相違に対する知覚の相違を明確にするため、得られた基本形状に五つの大局的特徴に応じて変動を加えて多数の人体モデルを生成し、それらを用いて心理実験を実施することとした。人体の形状としてあまり違和感がない範囲内で各擬距離ごとに4種類の変動を用意する。そしてそれらの変動を特徴間で適当に組み合わせて基本形状を変形し、人工的なモ

ルを生成した。各擬距離測度に対して4種類ずつの変動を加えると、それらの組合せで 4^5 、すなわち1,024種類のモデルが考えられるが、モデル数が過多であると心理実験の際に被験者の負担が大きくなる。そこで、各擬距離測度に対し同一の変動をもつモデルの数を四つに限定した。また、ある擬距離測度に関して同一の変動が加えられたモデルには他の4種の擬距離測度に関しては同一の変動が加えられないようにした。この方法によって計16個のモデルを構成した。基本形状とこれらの人體形状を図2に示す。生成された人體形状の各断面にそって厚さ1mmのスチロールペーパーを改造したプロッタによって切り取り、それらを積み重ねて人體形状モデルを作製した。

作製した人體モデル間の非類似測度を心理実験により測定する。心理実験は対象が視覚的な刺激の場合に有効であり、信頼度の高いデータが得られる多重比率判断法(MRJ法: Multiple Ratio Judgement)⁽¹⁵⁾に基づく方法を行った。16個の人體形状モデルの中から一つをランダムに取り出し、ボード上に引かれた長さ1mの直線の左端に中心を合わせて置く。これを標準モデルと呼ぶ。残り15個のモデル(これを比較モデルと呼ぶ)を被験者に自由に手に取らせ、標準モデルと比べて似ていると感じる比較モデルをより近くなるように直線上に配置させる。あらかじめ被験者には直線を超えて配置してもよいことを伝えておく。すべての比較モデルを配置した後、標準モデルと比較モデルの中心間の長さを測り、これを標準モデルから見た比較モデルとの間の非類似性とする。すべての人體形状モデルが標準モデルとして採用されるまでこれを繰り返すこと

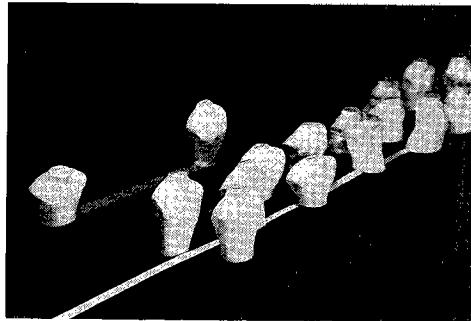


図3 非類似性測度に基づいたモデルの配置
(直線上の最左端のモデルが標準モデル。奥の1対のモデルが判断基準。)

Fig. 3 Assigned objects based on dissimilarity.
(The leftmost model on the line is a standard model. A pair of farthest models gives the judgement basis.)

表1 各被験者の判断の整合性

被験者	A	B	C	D
整合性	0.73	0.80	0.72	0.79

によって、全人体形状モデルの非類似性が測定される。実験中、先の基本形状モデルと図2のFの人体形状モデルを30cmの間隔を置いて常に被験者に提示し、その距離を判断基準とするように指示しておく。図3に実験中のモデルの配置の例を示す。

標準モデルを*i*としたとき、モデル*j*に対する非類似性*s_i(i, j)*は標準モデルが異なると判断の単位も異なってしまうおそれがある。そこでMRJ法ではこれらの単位を統一する手続きを行う。この手続きについて以下に簡単に示す。ここで*e_i*は標準モデルを*i*としたときの判断の単位である。この単位を用いて標準モデルによらない真の非類似性*s(i, j)*を次のように仮定する。

$$s_i(i, j) = s(i, j) \cdot e_i \quad (2)$$

この仮定から次式が導かれる。

$$\frac{s_i(j, i)}{s_i(i, j)} = \frac{s(j, i) \cdot e_j}{s(i, j) \cdot e_i} = \frac{e_j}{e_i} \quad (3)$$

式(3)から標準モデルが異なる非類似性の平均は*n*個のモデルに対し次のようになる。

$$\bar{s}(i, j) = s_i(i, j) \left[\frac{1}{n} \sum_j s_i(j, i) \right] = s(i, j) \cdot \bar{e} \quad (4)$$

以上により共通の単位*e*を用いてすべてのモデル間の非類似性が表される。こうして得られた非類似性は対称性を満たすものと仮定されるが、測定時の誤差などのため一般に*s(i, j) = s(j, i)*とはならない。そこで両者の平均をとり、これを*i, j*間の非類似性とした。文献

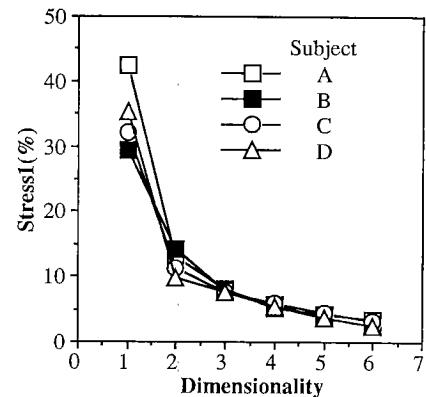


図4 次元数に対するストレスの関係
Fig. 4 Stress 1 with dimensionality.

表2 各被験者の非類似性と心理的距離との適合度

被験者	A	B	C	D
stress1(%)	4.2	3.6	4.5	3.6

(18)に従えば平均をとる前の*s(i, j)*と*s(j, i)*の両者の相関係数を非類似性測度に対する判断の整合性の指標とすることができる。本心理実験における4名の被験者の判断の整合性を表1に示す。

得られた非類似性を非計量的MDSを用いて多次元の尺度に展開し、心理的距離を構成する。非計量的MDSとしてSMACOF⁽¹³⁾を用いた。非類似性を当てはめる距離空間にはその信頼性と強靭性から、また人間にとつて非常に直感的に理解しやすいことからユークリッド距離空間を選んだ⁽¹³⁾。ユークリッド距離空間の次元数は次元数に対する非類似性と心理的距離との適合度の関係から適当なものを見出す。適合度の指標としては大きさの順序関係における適合性を表すKruskalのStress 1^{(13),(14)}を用いた。一般に次元を上げれば適合度は上がるが、非類似性の距離空間への布置の解は増加していくため、布置は一意に定まらなくなる⁽¹⁹⁾。従つて次元数の変化に対して Stress 1 の変化が小さくなるような次元数を選ばなければならない。本実験における次元数に対する Stress 1 の関係を図4に示す。このグラフから各被験者とも5次元以上は Stress 1 の著しい改善が見られないで、心理的距離空間を構成するユークリッド距離空間の次元数は一律に5とした。このときの Stress 1 の値を表2に示す。このようにして得られた心理的距離空間中の対象を2次元空間に布置した結果を図5に示す。心理的距離空間内では対象間の距離関係のみが意味をもつので、原点移動、および

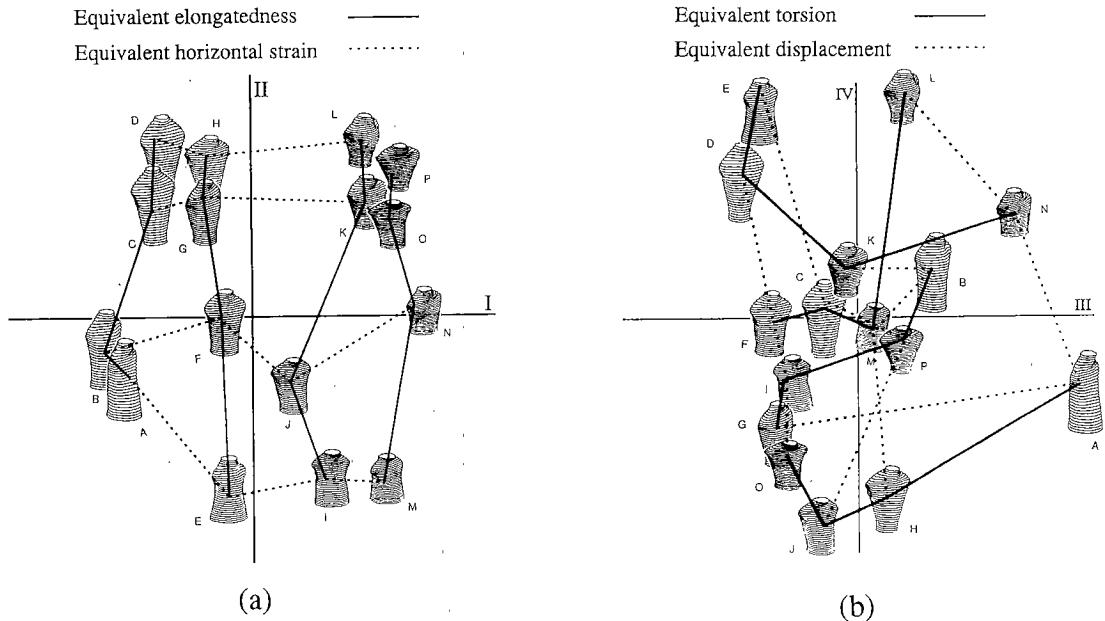


図 5 対象が布置された心理的距離空間
Fig. 5 Psychological distance space where objects are plotted.

軸の回転は自由である。図 5 では原点を重心に置き、軸方向は主成分分析より得られた主軸方向としている。

5. 物理的距離空間の生成

以上の心理実験によって構成された心理的距離空間に対し、これと適合した物理的距離空間の構成を試みる。物理的距離は 2. で式(1)によって定義された。各人体形状モデル間の擬距離はすべて計算可能であるので、最小 2 乗法によって心理的距離と整合する最適な W_ω ($\omega \in \Omega$) を求める。ここでメトリック p は 1 から 3 まで変化させた。

式(1)の W_ω をパラメータとして物理的距離と心理的距離との 2 乗誤差の総和を最小化する最適な重み W_ω を推定した。この結果、例えば $p=1$ のときのある被験者の物理的距離は、五つの擬距離の線形和として

$$d = 0.47\rho_E + 3.82\rho_H + 4.38\rho_S + 1.80\rho_T + 0.83\rho_D$$

と表せるという結果を得た。被験者 4 人に対して同様に実験を行ったところ、各被験者における各重み係数に著しい差異は見られなかった。留意したいのは五つの擬距離はそれぞれが基準化して定義されているわけではないことから、各係数を比較して擬距離の軽重を議論するわけにはいかないことがある。

このようにして定義された物理的距離と心理的距離

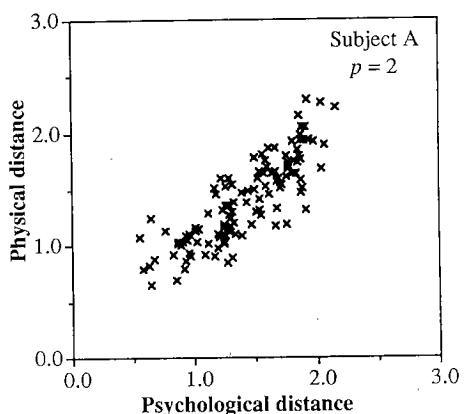


図 6 心理的距離と物理的距離の相関図
Fig. 6 Relation between psychological and physical distances.

表 3 心理的距離と物理的距離の相関係数

被験者	p			
	1.0	1.5	2.0	3.0
A	0.83	0.84	0.84	0.74
B	0.68	0.69	0.70	0.57
C	0.79	0.81	0.80	0.55
D	0.87	0.87	0.87	0.84

の適合度を相関係数で表す。この結果を図6および図3に示す。得られた相関係数は $\rho=1.5\sim2.0$ でいずれの被験者に対しても0.68以上の高い値を示した。また図5から見ても五つの擬距離は心理的距離と深い関連があることがわかる。

6. む す び

実験によって得られた心理的距離と物理的距離との間の相関は五つの擬距離と人間の3次元形状に対する知覚との関連を探る上で重要な指標である。擬距離と知覚特性との関連は縦伸縮の特徴に関しては非常に高く、ねじれ、ひずみに関しても高いことが図5に示される心理的距離空間における対象の布置によりわかった。従って文献(10)で定義された擬距離測度が人間の知覚特性のモデル化にとって有用であることが本研究によって示唆された。しかしながら今回の実験では断面形状に関する擬距離と心理的距離の間には関連は見られなかった。これは断面形状に関する擬距離が人間の知覚特性と関連がないというより、むしろ実際の人体形状において断面形状に関する差異が顕著ではなく人間が知覚し得るほどでなかったからと解釈されよう。

擬距離による3次元形状に対する知覚特性のモデル化が妥当であるならば、3次元の実世界から知覚世界への写像の性質をある程度説明できるようになるかもしれない。入力を物理的形状、出力をそれに対する知覚量というように視知覚のプロセスを表現したとき、本研究はその入出力の関係をある側面から解析したことになる。従ってそのような入出力関係を満足するような知覚機構をモデル化し、解明していくことは意義深いと考えられる。

本研究で述べた物理的距離の推定法はコンピュータビジョンの応用の観点から見たとき有用である。例えば医療や服飾の分野では、対象とする人体形状を専門家が直接視覚で観察することによって、それを類型化したり診断している。専門家の知識や判断基準を物理的距離に埋め込めば、専門家に近い識別や診断を機械に行わせることも期待できる。

本研究では対象として人体形状を選んだが、どのような物体に対しても人体と同様の解析結果が得られるわけではない。今回の実験では断面形状の特徴は形状の類似性を判断する上で重要でないことがわかったが、それが重要と判断される他の物体もあるはずである。従って、人体の解析結果をそのまま他の物体に一般化することはできない。また擬距離の定義では各水平断

面の境界が单一の閉曲線で表現されることが必要とされているため、構造的に複雑な物体を対象とすることはこの定義のままでは不可能である。今後3次元形状の記述対象が拡張し、より複雑な形状に対処できるようになれば、本論文で提案された解析手法もより一般化していくことができよう。

文 献

- (1) ホッホバーグ、上村保子(訳)：“知覚”，岩波書店(1981).
- (2) 乾 敏郎：“視覚情報処理の基礎”，サイエンス社(1990).
- (3) Marr D.：“Vision”，Freeman(1982).
- (4) Oshima M. and Shirai Y.：“Object recognition using three-dimensional information”，IEEE Trans. Pattern Anal. and Mach. Intell., PAMI-5, 4, pp. 353-361 (July 1983).
- (5) 池内克史、越川和忠：“幾何モデルにより導出された解釈木によるピンピッキングタスク中の対象物の位置姿勢決定”，信学論(D), J70-D, 1, pp. 127-138 (1987-01).
- (6) Jackins C. L. and Tanimoto S. L.：“Oct-tree and their uses in representing three-dimensional objects”，Computer Graphics and Image Processing, 14, 3, pp. 249-270 (Sept. 1980).
- (7) 堀越 力、笠原久嗣：“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), J73-D-II, 10, pp. 1725-1732 (1990-10).
- (8) Agin G. J. and Binford T. O.：“Computer description of curved objects”，IEEE Trans. Comput., 25, pp. 439-449 (April 1976).
- (9) Biederman I.：“Recognition-by-components: a theory of human image understanding”，Psychological Review, 94, 2, pp. 115-147 (1987).
- (10) Sato Y. and Honda I.：“Pseudodistance measures for recognition of curved objects”，IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., PAMI-5, 4, pp. 362-373 (July 1983).
- (11) 佐藤幸男、堤江美子：“擬距離による人体の形状解析”，信学技報, PRU86-3 (1986).
- (12) 吉田正昭：“心理統計学”，丸善(1976).
- (13) 高根芳雄：“多次元尺度法”，東京大学出版会(1980).
- (14) 林知己夫、飽戸 弘：“多次元尺度構成法”，サイエンス社(1976).
- (15) Indow T. and Uchizono T.：“Multidimensional mapping of Musell colors varying in hue and chroma”，J. Experimental Psychology, 59, 5, pp. 321-329 (1960).
- (16) Helm C. E.：“Multidimensional ratio scaling analysis of perceived color relations”，J. Opt. Soc. Am., 54, 2, pp. 256-262 (Feb. 1964).
- (17) Sato Y., Kitagawa H. and Fujita H.：“Shape measurement of curved objects using multiple slit-ray projections”，IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., PAMI-4, 6, pp. 641-646 (Nov. 1982).
- (18) 犬飼幸男、中村和男、篠原正美：“顔面表情图形の非類似性判断の多次元尺度解析”，製品科学研究所研究報告, 81, pp. 21-30 (1977).
- (19) Young F. W.：“Nonmetric multidimensional scaling；

recovery of metric information", Psychometrika, 35, 4,
pp. 455-473 (Dec. 1970).

(平成4年12月25日受付、5年3月29日再受付)



伊藤 嘉浩

平3名工大・電気情報卒。平5同大学院
博士課程前期了。同年KDD入社。在学中、
3次元物体認識に関する研究に従事。



佐藤 幸男

昭50慶大・工・電気卒。昭55同大学院
博士課程了。同年東京農工大・工・電子助手。
昭58名工大・工・電気講師。昭60より同大
電気助教授。昭61~62カリフォルニア大サン
タバーバラ校客員准教授。昭62~63南カリ
フォルニア大客員研究員。現在名工大・工・
電気情報助教授。3次元物体の計測と認識、オンライン文字認識、
画像解析とパターン情報処理の研究に従事。工博。情報処理学会、
IEEE各会員。