Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

バイオメカニズム学会誌, Vol. 7, №. 4 (1983)

解　説

# 似かよりさによる形の認識

高野英彦*

## 1. はじめに

図形を似かよりさ、すなわち、類似性から認識することが行われている。図形を特徴づける特徴パラメータからなるパターンベクトル間の一種の拡張された相関係数から、類似度を定義する理論的な考察[1]が行われている。図形を各辺の長さが等しい等辺多角形とみなし、その外角で表現される数列を特徴パラメータと考え、その数列を要素とする図形ベクトルを用いて二つの図形ベクトル間のユークリッド距離から類似度を定義[2]することも試みられている。心理学では人間が図形の類似性判断を行うとき、図形に対応する共通モノ空間を知覚空間と呼ばれるその人に特有な空間に歪めた空間で行っていると仮定し、知覚空間でのユークリッド距離から類似度を定義[3]することが行われている。

本稿では形状固有値の平均値$\bar{S}$とその偏差値△S、族分類値Nの三つの特徴パラメータを用い、これらから作られる図形の特徴を位置づける特徴空間($\bar{S}$, △S, N)を考え、この特徴空間上に写像される図形の写像点間の距離から図形の類似性を表現することを試みる。なお、人間が感ずる図形相互の類似性認識においては、特徴空間に歪みを与えた意識空間($\bar{St}$, △St, Nt)での図形の写像点間の距離から図形の類似度を表現する。[4]

## 2. 図形と類似性

日用品、荷物、各種部品などわれわれの身の回りに存在するものの形状は幾何学的に正確な正方形とか、円形という形は少なく、正方形らしくても正方形でない形をしているものが多い。このような形状を人間はどのようにして認識しているのであろうか。人間が行っている認識での特徴の一つに、図形を大まかにみることが挙げられる。

昭和58年7月29日受付

*工業技術院機械技術研究所生産工学部
ロボット工学課
〒305 茨城県新治郡桜村並木 1-2

この大まかな認識は、判断の規範となる図形の形状をもとにそれとの対比から行っている。この判断の規範となる形状と“似ている”とか“似ていない”とかいう比較から、見たものが“大体四角い”とか“大体丸い”とかいう表現をしている。このような図形の似かよりさを知ることが類似性の認識であるといえる。

図形のもつ類似性を図1に示す図形で考えてみる。図1(a)の図形は3角形(i)の一つの頂点を順次削りとっていった場合である。削り量が少ない場合には大まかにみて3角形にみえるが、削り量が大きくなると4角形にみえる。図1(b)は正5角形の対向する二辺を延長した場合である。延長量が少ないときは5角形にみえるが、延長量が大きくなると4角形にみえる。図1(a)の(ⅲ)に示す図形は正確には4角形であるのに3角形とみること、図1(b)の(ⅳ)に示す図形は5角形であるのに4角形とみるという大まかな見方が類似性認識である。

## 3. 類似性の表現

### 3.1 特徴パラメータ

(1) 形状固有値

形状固有値は図2に示す図形の射影によって得られる無次元面積比となる数値である。ここで、射影とは基準線$\ell$に直交する方向で図形の稜線と稜線とで囲まれる距離、すなわち、図2(a)に示す距離$P_1$, $P_2$をそのまま基準線に直交する方向に移しかえ、同図(b)の射影図を得るプロセスをいう。この射影図から面積Aaと,基準線方向の最大幅$Ax$ならびにそれに直交する方向の最大高さ$Ay$を求める。これら3個の特徴量を用いて次式から算出される無次元数値$S$を形状固有値と定義する。

$$S = \frac{Aa}{Ax \cdot Ay} \quad (0 < S \leqq 1)$$

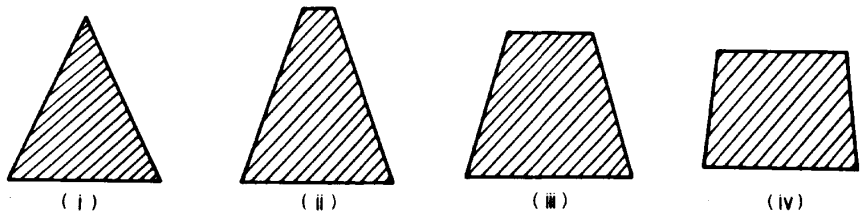
形状固有値は図形が置かれる姿勢角によって変化するが、任意の姿勢角$\theta_1$とそれを180度($=\pi$)



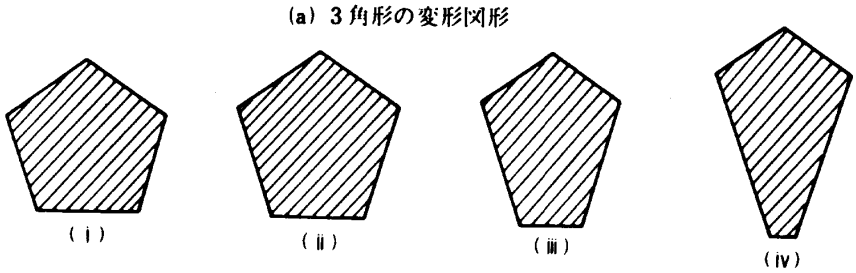
NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)






(a) 3角形の変形図形




(b) 正5角形の変形図形

図1　図形の類似性

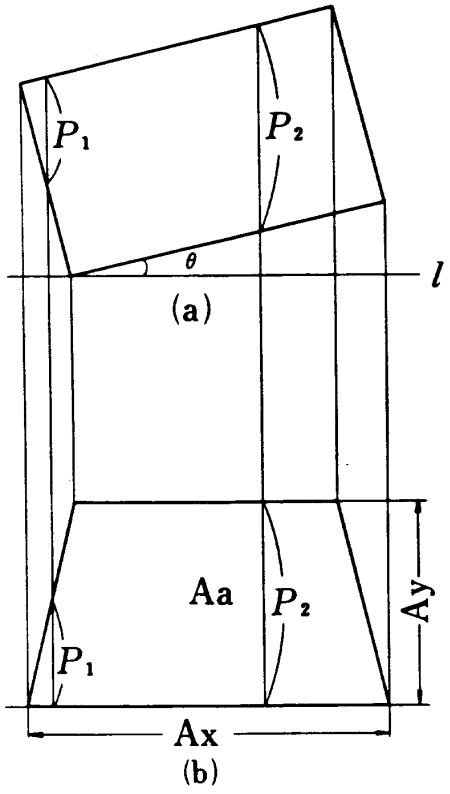



図2　形状固有値

回転した姿勢角 $\theta_2$ では、射影図が同一となり同じ値となる。したがって、図形がもつ形状固有値は姿勢角が0～πの範囲で調べれば十分である。また、図形の大きさには無関係で相似な図形はすべて同じ値となる。

形状固有値は姿勢角とともに変動する。そこで、

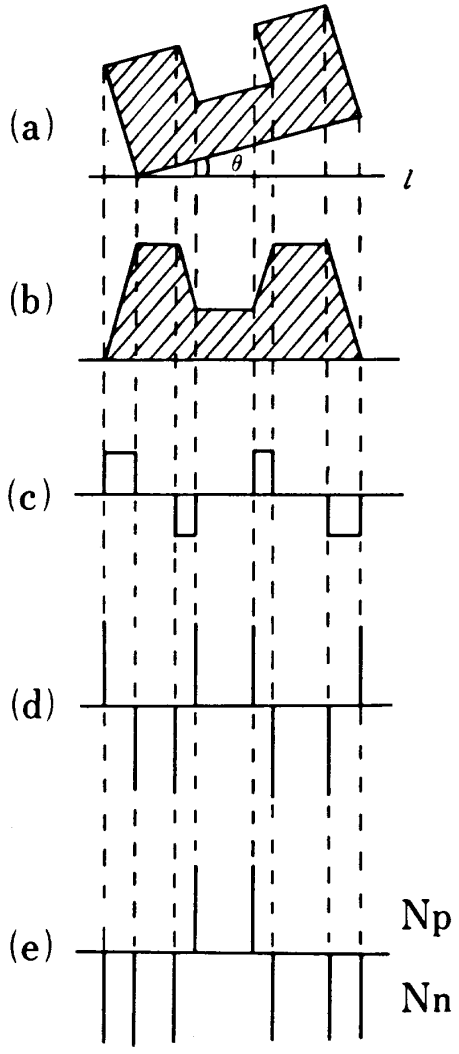



図3　族分類値



NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)



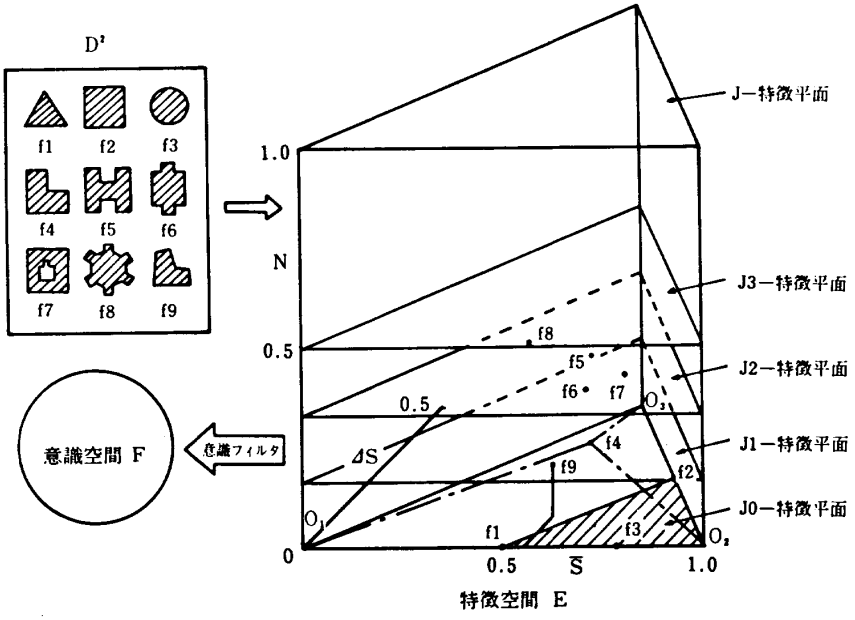



図4　平面図形の特徴空間における写像点

この変動する特性をもとに図形の特徴量を表現するため、姿勢角によって変動する形状固有値の最大値 Smax と最小値 Smin から、平均値 $\bar{S}$ と偏差値△S を特徴として考える。

$$\bar{S}=\frac{Smax+Smin}{2},\quad \Delta S=\frac{Smax-Smin}{2} \tag{2}$$

(2)　族分類値

図3において、同図 (a) に示すように図形が基準線 $\ell$ に対して、姿勢角が $\theta$ なる角度をもって置かれているとする。基準線 $\ell$ に直交する方向でみて対辺間の距離を基準線上に置きかえると、同図 (b) に示す射影図が得られる。この射影図の輪郭曲線を基準線方向に2階微分を行うと、同図(d)のパルス列を得ることができる。ついで、第1番目と最終パルスの極性反転を行うと同図 (e) に示すパルス列が得られる。このパルス列は図形が基準線に対して置かれる姿勢角によって変化するが、姿勢角を 180 度( $=\pi$ )変化させた場合射影図は初期状態と一致するので、パルス列の検定も姿勢角が 0～$\pi$ の範囲で行えば十分である。

姿勢角を 0～$\pi$ の範囲で変えて得られるパルス列から、負パルス数 ( 図3(e) において下向きのパルス数 ) の最大値 Nn,max と正パルス数の最大値 Np,max を求める。これら二つの値を用いて次式で示す特徴量を定義する。この特徴値を族分類値 N と名づける。

$$N=\frac{Np,max}{Nn,max+Np,max}\quad (0\leqq N<1) \tag{3}$$

3.2　意識空間での類似度表現

三つの特徴パラメータ $\bar{S}$, △S, Nから作られる特徴空間における各種図形の写像点の関係を図4に示す。図では8個の母型図形 $f_1$～$f_8$ と変形図形 $f_9$ の例が示されている。図形 $f_1, f_2, f_3$ は凸形状図形 (全ての頂点が鋭角から構成される図形), 図形 $f_4, f_5, f_6, f_8, f_9$, は凹形状図形 ( 鈍角の頂点を含む図形 ), 図形 $f_7$ は穴あき形状図形 ( 内部に穴があいている図形 ) である。これらの図形を特徴空間 ( $\bar{S}$, △S, N ) に写像すると、図形につけた記号に対応する点に写像される。

意識空間での類似性の表現は、特徴空間 E ( $\bar{S}$, △S, N ) に図形族によって個別に定められる座標変換をほどこして作られる意識空間 F ($\bar{S}t$, △St, Nt ) での図形の写像点間距離から行うものとする。このような変換を意識フィルタ変換と名づける。この座標変換は $\bar{S}$, △S, N の三つの特徴軸が互いに相関性がなく、それぞれ独立に変換されるような単純な変換を仮定する。

$$\begin{aligned}\bar{S}t&=\alpha\cdot\bar{S}^{\ell}\\ \Delta St&=\beta\cdot\Delta S^{m}\\ Nt&=\gamma\cdot N^{n}\end{aligned} \tag{4}$$



NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)



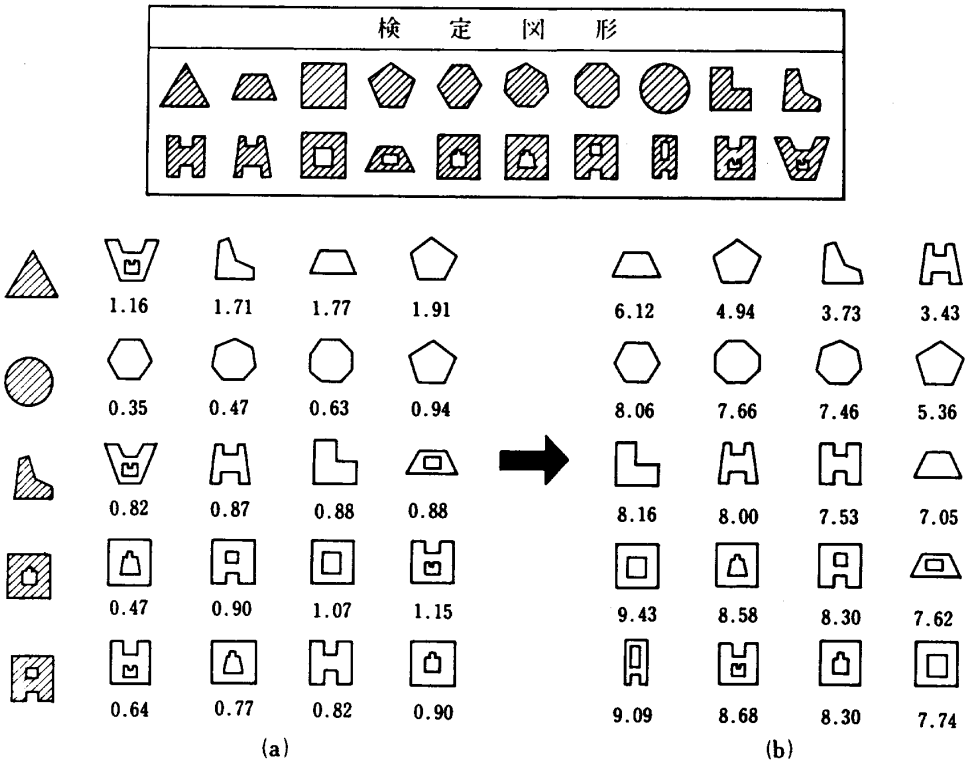



図5 似かよりさの検定

上式で係数 $\alpha$, $\beta$, $\gamma$, はそれぞれ特徴軸 $\bar{S}t$, $\Delta St$, Nt のスケールを,指数 $\ell, m, n$ は歪みの程度を示すものとなる。

ここで、類似度が零となるような基準距離を Lo 二つの図形 Pi と Pj の意識空間内での写像点間の距離を Lij とすれば、10段階表示の類似度 Rs は次式から定められる。

$$Rs = \frac{Lo - Lij}{Lo} \times 10 \qquad (5)$$

3.3 似かよりさの検定

図5は図の上段に示す20個の図形を検定図形とし、各列の左端に示す図形との似かよりさが大きい順に図形を並べたものである。同図 (a) は特徴空間での図形の写像点間距離から求めたもので、各図形の下に示す数値は距離の10倍値である。第2列に示す図形、第4列と第5列に示す図形では人間が感じる類似性と大差はない。しかし、3角形では第1順位、第2順位の図形はそれぞれ穴あき形状図形、凹形状図形であり、凸形状図形である3角形とは大きな差があり、この結果は満足できるものではない。第3列に示すL形図形でも第1順位は図形族的に異なる穴あき形状図形で、よく似ていると思われるL形図形は第3順位となっている。これは特徴空間における $\bar{S}$, $\Delta S$, N 軸のスケールが、人間が感ずる類似性のスケールと異なるためである。

そこで、特徴空間に前節で述べた歪みを加え、新たに変換して作られた意識空間での写像点間距離から図形の似かよりさを求めた。同図 (b) にその結果を示す。図で各図形の下に示す数値は10段階で表示した類似度を示す。この結果は特徴空間で求めた似かよりさに比較して、人間が感ずる図形間の類似性により近いものとなっている。

## 4. 類似性の認識

4.1 人間での類似性認識の実験

類似度を定量化するための尺度を決めるため、次のような実験を行った。各種図形の類似性認識において人間が示す特性を、図形が同じものと思うときの類似度を10, まったく異なると思うときを0として、各種図形を被験者にみせ図形相互の類似度を10段階表示で求めた。実験は成人男子5



NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)



表1　被験者での実験による類似度と意識フィルタ変換による類似度との比較

| 図形（フィルタ） / 図形（実験） | | i | $g_3$ | m | l | p |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | |  |  |  |  |  |
| i |  | | 5.42 | 7.97 (+1.97) | 8.82 (+1.52) | 8.46 |
| $g_3$ |  | 3.8～5.8 | | 6.21 (+1.21) | 5.54 | 5.02 |
| m |  | 0.0～6.0 | 0.0～5.0 | | 7.06 | 6.55 (+1.75) |
| l |  | 3.3～7.3 | 5.5～9.5 | 4.9～ 7.1 | | 9.43 (+1.43) |
| p |  | 7.5～9.5 | 4.3～6.3 | 0.8～4.8 | 2.0～8.0 | |

名の被験者で行った。被験者が図形相互の類似度を表現するとき、できるだけ表現のあいまいさをなくすため、比較対象とする図形を常にみせるようにした。実験は次のような項目について行つた。

(1)　63種類の図形について正4角形、正方形、円形との類似度を調べる。

(2)　27種類の母形図形とそれと同じ図形族に属する3個の変形図形をとりあげ、それら相互の類似度を調べる。

(3)　27種類の母型図形どうしの類似度を調べる。

表1は被験者での実験から得られた図形間の類似度（中央斜線の下部に示す）と、意識フィルタ変換によって求められた類似度（中央斜線の上部に示す）とを比較したものの一例である。また、人間が示す類似性認識の特性から、たとえば、正3角形と正方形との類似度は1.2, 正3角形と円形では0.3, 正方形と円形では2.7と求められた。

図6は各種凸形状図形を特徴空間と意識空間上に写像したものである。同図(a)が特性空間、同図(b)は上記の実験結果から意識フィルタ変換をほどこして作成した意識空間である。なお、図中に示す数字は図形の角形数を、記号は表1に対応する図形を表わす。

表2は凸形状図形、凹形状図形、穴あき形状図形についての類似度を調べ、意識フィルタ変換によって求めた類似度が被験者での実験結果を満足する割合（意識フィルタの適合率）を示したものである。穴あき形状図形では凸－凸形状図形（外側の形状と穴部形状とを独立にみて、外側が凸形状図形－穴部が凸形状図形であることを表わす）凸－凹形状図形、凹－凸形状図形、凹－凹形状図形に分けて示している。適合率は穴なし凸形状図形では78.2％も適合したにもかかわらず、穴あき凹－凹形状図形では67.2％と悪くなっている。

類似度の意識フィルタ変換値と実験値の比較は、合計478ケースについて行った。適合率の平均値は74.7％、不適合となったケースでの類似度の最大誤差は3.77、誤差の平均値は1.31であった。これらの結果から、意識フィルタ変換から求めた類似度は図形間の類似度をかなりよく再現できているといえる。

4.2　意識フィルタのもつ意味

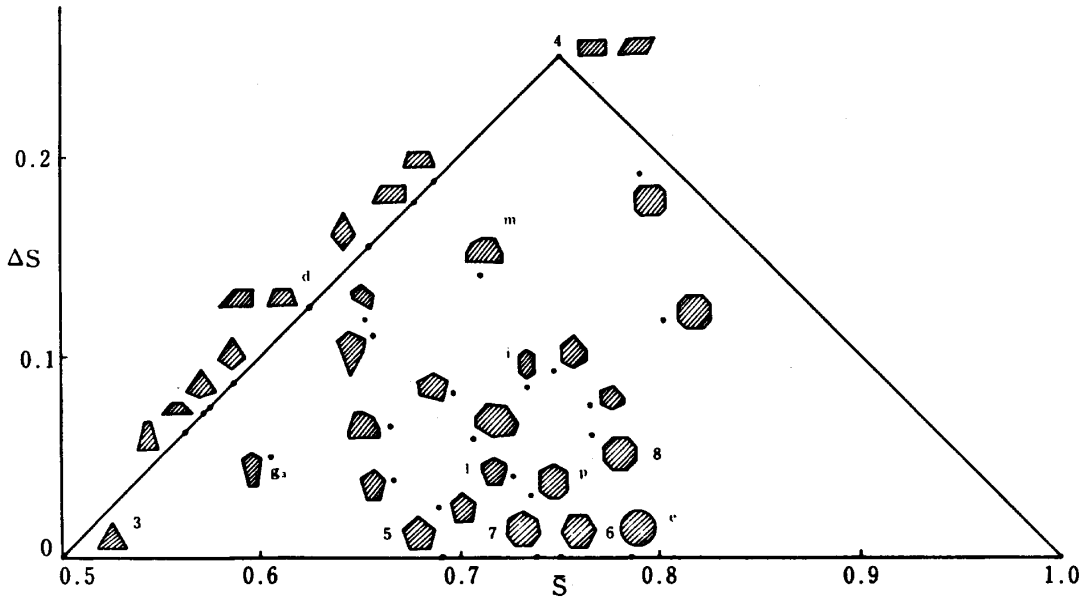
図7に示す意識フィルタの例について考察してみる。これは意識フィルタ変換における変換係数を$\alpha = 1.0$, $\beta = 1.0$、変換指数を$\ell = 0.1$、$m = 2.0$として作成したものである。この場合、等脚台



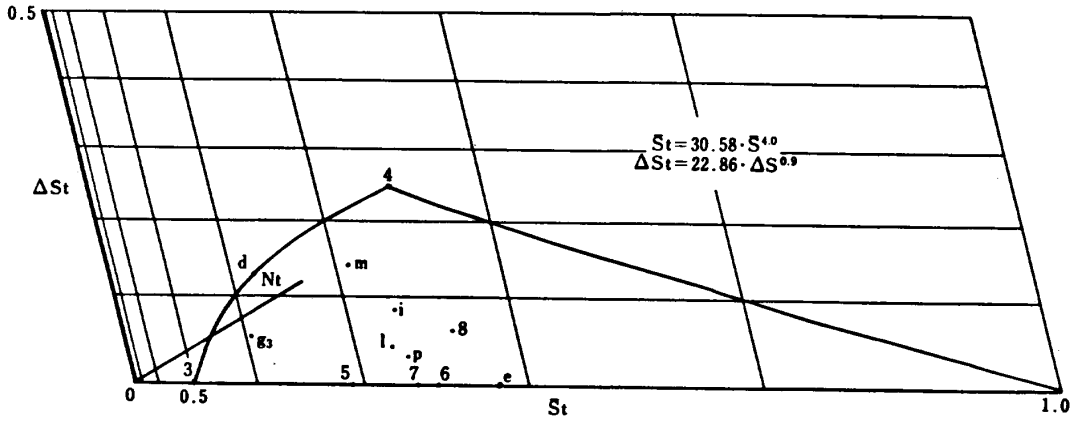
NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)






(a) 特徴空間




(b) 意識空間

図6　凸平面図形の写像点

形(記号dで示す)のごく近い位置に記号 $g_3$ で示される図形(表1参照)が写像され、さらに円形(記号eで示す)の近くに記号6, 8, iなどで示される図形が写像されることとなり、これらの違いを分別しにくい。したがって、3角形と4角形と等脚台形と円形の4図形のみしか認識できないこととなる。

このように、意識フィルタの違いを調べることによって人間の発育過程、生活環境の差、年齢差などを含めた個人差の定量的な分析が可能となる。さらに、各個人の意識フィルタを知ることができれば、その人と同じような類似性認識ができる機械を作り出すことができることとなる。

## 5. おわりに

人間が得意とする図形を大まかにとらえて認識すること、すなわち、図形の類似性認識のメカニズムは未だ解明されていない。この極めて人間的な図形認識を、自動機械で置き換えるための手法についての一提案を行った。また、本稿で述べた意識フィルタは人間の図形認識における意識状態を表現するものであり、心理学的な興味の対象ともなりうるものと考えられる。



NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)



表2　意識フィルタの適合率

| 図形 | | 適合率 (%) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 外側形状 | 穴部形状 | | | | | | |
| 凸 | — | 78.2 (61/78) | 78.1 (157/201) | 76.6 (246/321) | 76.2 (279/366) | 75.8 (316/417) | 74.7 (357/478) |
| 凹 | — | 78.0 (96/123) | | | | | |
| 凸 | 凸 | 74.2 (89/120) | | | | | |
| 凸 | 凹 | 73.3 (33/45) | | | | | |
| 凹 | 凸 | 72.5 (37/51) | | | | | |
| 凹 | 凹 | 67.2 (41/61) | | | | | |

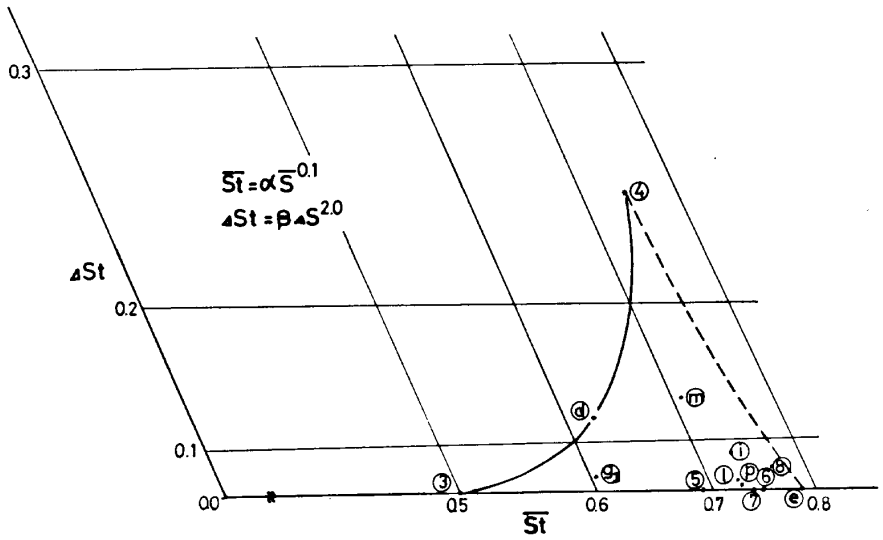



図7　意識フィルタの例

## 参考文献


1) 飯島泰蔵：パターンマッチングによる図形認識法についての理論的考察、電子通信学会論文誌、J 55－D (8), 507－514 (1972)

2) 梅谷陽二,田口幹：図形ベクトルを用いた平面図形の類似性に関する研究、計測自動制御学会論文集、11 (6), 639–643 (1975)

3) Horan, C.B. : Multidimensional scaling, Psychometrika, 34 , 139－165 (1969)

4) 高野英彦：類似形状認識の手法について，バイオメカニズム学会論文集、バイオメカニズム 5, 197－207 (1980)




NII-Electronic Library Service