

## 多面体における面形状の心理的距離と物理的特徴量について

石川 尋代

奥村 浩司

佐藤 幸男

名古屋工業大学 電気情報工学科  
〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町  
Tel:052-735-5424

e-mail:{hiroyo,okumura}@hilbert.elcom.nitech.ac.jp,sato@elcom.nitech.ac.jp

**あらまし:** コンピュータビジョンにおいて, あるシーン内の多面体に対する認識のしやすさを尺度化することは有効である. 本研究ではそのような尺度を構築するための要因の1つとして, 面の類似性に着目し, 人間の視覚処理特性を用いて評価している. 多面体を構成するような2次元面形状の類似性を完全3点法による心理実験と多次元尺度構成法により心理的距離として構築し, 幾つかの物理的な特徴量から求めた物理的距離との関連を調べ, どのような物理的特徴量が面形状の類似性に影響を与えているかを考察している.

**キーワード:** 心理的距離, 2次元形状の物理的距離, 多次元尺度構成法.

## Relation between psychological distance and physical feature amount of a plane shape in the polyhedron

Hiroyo ISHIKAWA

Kouji OKUMURA

Yukio SATO

Department of Electrical and Computer Engineering  
Nagoya Institute of Technology  
Gokiso-cho Showa-ku Nagoya shi 466-8555, JAPAN  
Tel:+81-52-735-5424

e-mail:{hiroyo,okumura}@hilbert.elcom.nitech.ac.jp,sato@elcom.nitech.ac.jp

**abstract:** In the computer vision, it is effective to measure the easiness of the recognition for the polyhedron in some scenes. As one of the factors for constructing the metric that represents the easiness, in this paper, we focus on the similarity of the plane, and evaluate it using characteristics of the human visual perception. The psychological distance of the plane shape was constructed by psychological experiment using the complete method of triads and multidimensional scaling. From the relationship between psychological distance and physical distance for the two-dimensional shape, what kind of physical features affects the similarity of the plane shape, is examined.

**key words:** psychological distance, physical distance of two-dimensional shape, multidimensional scaling.

## 1. はじめに

コンピュータビジョンを用いて、あるシーン中の物体を認識する場合、視方向によって物体の見え方は変化し、それに伴い認識のしやすさも変化する。すなわち、物体に対するあいまい性が小さいならば認識しやすく、あいまい性が大きいならば認識しにくくなる。これは人間が視覚を用いて認識する場合も同様であるが、人間は認識しにくいと感じると、視点の移動や物体自体の向きなどの変更を行い、認識に適した見え方を逐次選択している。人間はそのような処理を素早く容易に行っているが、それは、はじめに一瞥したときに網膜から得る映像からなんらかの情報を抽出し、その情報が認識に十分であるか判断していると考えられる。これらのことから、人間はあるシーンに対して得る情報を1次元的な尺度として構築していることが分かる。よって情報が少ない場合はより情報が多い視点や見え方を選択し、無駄な認識処理を防いでいる。その結果として、人間は効率の良い認識処理を実現している。このような人間の特性をコンピュータビジョンに応用することは大変有効である。

先に筆者らは面積を基にした情報量である物体像エントロピーを定義し、それが人間の認識に深く関わっていることを調べた[1][2]。しかし、面積情報だけでは、適切な見え方を判断できない種類の物体があることも判明している。そこで、面積の他に認識に影響を与える要因として、ネッカーの立方体やMachの本[3][5]などに表れるように人間の3次元物体認識には網膜上に投影された面形状の類似性が関係あることに着目した。そして面形状の類似性をどのような物理的特徴から評価すればよいかを知るため、本研究では、人間の視覚処理特性を用いる。多面体を構成するような2次元面形状に対し、心理実験と多次元尺度構成法から心理的距離を構築し、幾つかの物理的な特徴量から求めた物理的距離との関連を考察する。

## 2. 心理的距離の測定法

2次元形状を刺激とし、各刺激間の心理的距

離の測定方法について説明する。

心理実験はコンピュータを用いた完全3点法で行う[5][6]。完全3点法は図1のようにディスプレイ上に3つの刺激*i*, *j*, *k*を提示し、被験者には*i*と*j*のどちらがより*k*に類似しているかをマウスで選択してもらう方法である。n個の刺激に対し、3つの刺激の組み合わせがn(n-1)(n-2)/6通りつくられ、*i*, *j*, *k*の3点の各々が他の2つに比較されるので、合計でn(n-1)(n-2)/2回の判断が行われる。

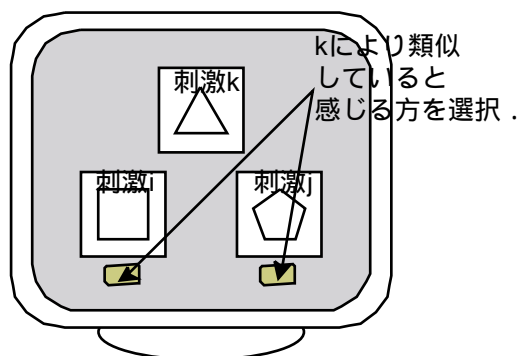


図1 完全3点法による心理実験

${}_k P_{ij}$  を刺激 *k* は *j* より *i* に近いと判断された比率とすると、*i* を行、*j* を列とした *n* 個の行列が作られる。刺激が 1, 2, 3, 4 の 4 個の場合の  ${}_2 P_{ij}$  行列を表 1 に示す。

表 1  ${}_k P_{ij}$  行列

	1	2	3	4
1	-	-	${}_2 P_{13}$	${}_2 P_{14}$
2	-	-	-	-
3	${}_2 P_{31}$	-	-	${}_2 P_{34}$
4	${}_2 P_{41}$	-	${}_2 P_{43}$	-

こうして求められる比率  ${}_k P_{ij}$  を式(1)によって相対的距離  ${}_k x_{ij}$  に変換する。

$${}_k P_{ij} = \int_{-\infty}^{k x_{ij}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}x^2\right) dx \quad (1)$$

$$({}_k x_{ij} = d_{kj} - d_{ki})$$

これより  ${}_k P_{ij}$  行列をそれぞれ変換し、*n* 個の  ${}_k x_{ij}$  行列を得る。しかし、実際の実験では誤差を

含むため、式(2)を最小とするような*i, j*間の距離を求めると距離 $h_{jk}$ は式(3)で求めることができる。

$$2F = \sum_k \sum_j \sum_i \left[ kx_{ij} - (d_{kj} - d_{ki}) \right]^2 \quad (2)$$

$$h_{jk} = \frac{1}{2(n-1)} \left( \sum_p^n jx_{pk} + \frac{1}{n} \sum_p^n \sum_q^n qx_{pj} + \sum_p^n kx_{pj} + \frac{1}{n} \sum_p^n \sum_q^n qx_{pk} \right) \quad (3)$$

この $h_{jk}$ は相対距離であるため、式(4)の形で*c*を加えて絶対距離に変換する。

$$d_{jk} = h_{jk} + c \quad (4)$$

刺激数が多い場合には、直線上に3点*i, j, k*があるものと考え、 $h_{ik} > h_{jk}$ かつ $h_{ik} > h_{ij}$ となる可能な3点の組み合わせの全てについて式(5)より $C_{ijk}$ を求め、最大の $C_{ijk}$ をもって*c*の推定値とする。

$$C_{ijk} = h_{ik} - h_{jk} - h_{ij} \quad (5)$$

このようにして求めた $d_{jk}$ を心理的距離とする。

### 3. 物理的距離の算出

多面体像の投影された面の2次元形状間の物理的距離を算出するものとしてはさまざまなものがあるが、本研究では面形状を構成するための要素として以下の3つの特徴からそれぞれ物理的距離を算出する。

- (1) 頂点
- (2) 輪郭線
- (3) モーメント

#### 3.1 頂点

頂点については2つの形状*i, j*の物理的距離 $d_{ij}$ は、頂点数の差の絶対値(式(6))とする。

$$d_{ij} = |n_i - n_j| \quad , n_i, n_j: \text{頂点数} \quad (6)$$

#### 3.2 輪郭線

輪郭線については、輪郭線をもとに算出する

複素相関を用いた距離[8]を用いる。2つの図形*i, j*の輪郭線を表す閉曲線 $f(t), g(t)$ とし、物理的距離 $d_{ij}$ は式(8) (9)を用いて式(7)で求める。ただし、 $f(t), g(t)$ を求めるのは大変困難であるため、実際の計算には複素チェーンコードを代用として用いる。

$$d_{ij} = \max_{0 < \tau \leq T_f} |Z_{f,g}(\tau)| \quad (7)$$

$$Z_{f,g}(\tau) = \frac{W_{f,g}(\tau)}{\{W_{f,f}(0)W_{g,g}(0)\}^{1/2}} \quad (8)$$

$$W_{f,g}(\tau) = \int_0^{T_f} f(t)g^*(t-\tau)dt \quad (9)$$

### 3.3 モーメント

モーメントについてはモーメント不変量[9] [10]を用いて物理的距離を算出する。*R*を図形の領域、その重心を $(\bar{x}, \bar{y})$ とすると、*p+q*次モーメント $\mu_{pq}$ は式(10) (11)で求められる。

$$\mu_{pq} = \frac{\mu'_{pq}}{\mu'_{00} \frac{p+q}{2} + 1} \quad (10)$$

$$\mu'_{pq} = \sum_{x,y \in R} (x-\bar{x})^p (y-\bar{y})^q \quad (11)$$

モーメント不変量 $M_1, M_2$ は式(12)で得られ、2つの図形*i, j*のモーメント不変量をそれぞれ $(M_1, M_2)$   $(M'_1, M'_2)$ とすると、物理的距離 $d_{ij}$ は式(13)で求められる。

$$\begin{cases} M_1 = \mu_{20} + \mu_{02} \\ M_2 = (\mu_{20} + \mu_{02})^2 + 4\mu_{11}^2 \end{cases} \quad (12)$$

$$d_{ij} = \sqrt{(M_1 - M'_1)^2 + (M_2 - M'_2)^2} \quad (13)$$

## 4. 実験結果

2次元形状に対する心理的距離と物理的距離

の関係を調べるために以下に示す実験を行った。心理実験における被験者は各実験とも6名であり、被験者には「形状がより類似していると感じるものを第一印象で選択して下さい。」と説明した。

#### 4.1 正多角形

実験1ではプリミティブな2次元形状として頂点の数が異なる正多角形について行った。実験に用いた図形を図2に示す。各形状間の心理的距離を表2に、多次元尺度構成法によって求めた布置を図3に示す。

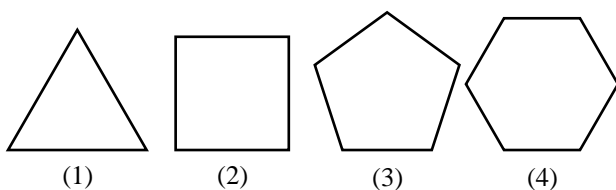


図2 正多角形（実験1）

表2 心理的距離（実験1）

	(1)	(2)	(3)	(4)
(1)	—	5.47	3.93	6.60
(2)	5.47	—	3.22	4.23
(3)	3.93	3.22	—	2.67
(4)	6.60	4.23	2.67	—

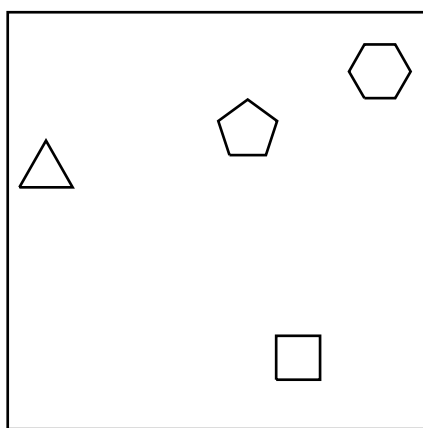


図3 心理的距離の布置（実験1）

#### 4.2 立方体の投影面

実験2ではプリミティブな多面体として、図4に示すような立方体を投影した像から幾つか

の面を抽出し、図5に示した面形状について行った。各形状間の心理的距離を表3に、多次元尺度構成法によって求めた布置を図6に示す。

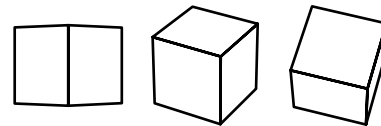


図4 立方体像

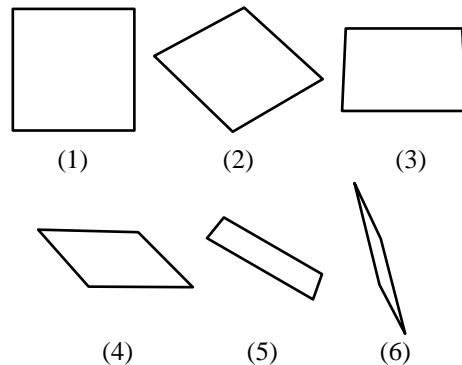


図5 立方体の投影された面（実験2）

表3 心理的距離（実験2）

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(1)	—	3.58	1.98	3.82	5.92	6.47
(2)	3.58	—	2.98	1.36	3.62	4.32
(3)	1.98	2.98	—	3.19	4.15	5.68
(4)	3.82	1.36	3.19	—	2.26	2.99
(5)	5.92	3.62	4.15	2.26	—	2.97
(6)	6.47	4.32	5.68	2.99	2.97	—

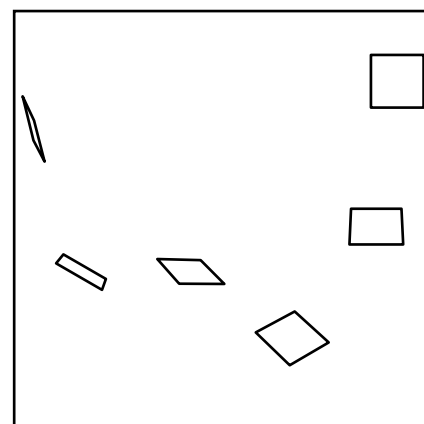


図6 心理的距離の布置（実験2）

### 4.3 多面体の投影面

実験3では図7に示すような多面体を投影した像から幾つかの面を抽出し、図8に示す面形状について行った。各形状間の心理的距離を表4に、多次元尺度構成法によって求めた布置を図9に示す。

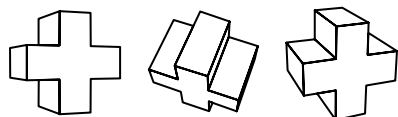


図7 多面体像

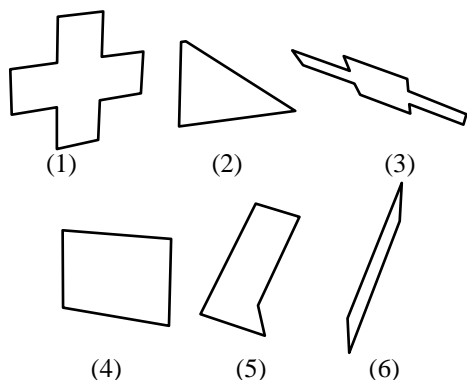


図8 多面体の投影された面（実験3）

表4 心理的距離（実験3）

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(1)	—	6.59	2.88	5.37	5.06	6.67
(2)	6.59	—	4.62	4.60	3.62	5.57
(3)	2.88	4.62	—	4.77	5.16	3.79
(4)	5.37	4.60	4.77	—	3.53	4.56
(5)	5.06	3.62	5.16	3.53	—	2.78
(6)	6.67	5.57	3.79	4.56	2.78	—

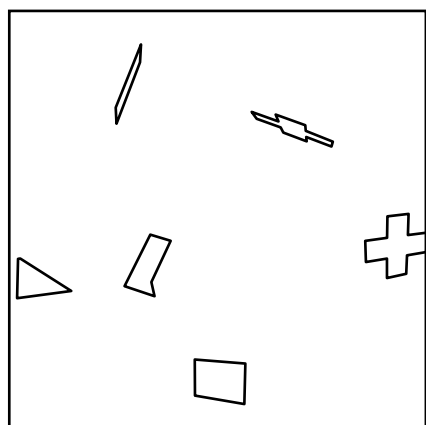


図9 心理的距離の布置（実験3）

### 5. 考察

各実験における心理的距離と各物理的距離の関係のグラフを図10, 11, 12に示す。また、グラフ中の数値は形状番号を表し、"12"ならば形状1と形状2の距離を示している。ただし、図11の実験2では各形状の頂点数が同一であるため物理的距離が統べて一致してしまい評価できないため、グラフ等は省略した。

各実験における心理的距離と各物理的距離の相関係数を表5に示す。実験1では頂点数の数が3から6の正多角形について行った。心理的距離は頂点数、モーメント不変量を基にした物理的距離と高い相関が得られた。実験2ではプリミティブな多面体である立方体を構成する正方形を視方向を変えて投影した四角形について行った。心理的距離はモーメント不変量を基にした物理的距離とやや高い相関が得られた。実験3ではより複雑な多面体についてそれを構成する面を視方向を変えて投影した形状について行った。心理的距離は頂点数を基にした物理的距離と高い相関が得られ、複素相関を基にした物理的距離とはやや高い相関が得られた。

表5 相関係数

	頂点数	複素相関	モーメント不変量
実験1	0.66	0.38	0.77
実験2	—	0.29	0.55
実験3	0.80	0.53	0.01

相関が高ければ関係が深いとは一概には判断できないが、グラフと相関係数からおおまかな傾向は読み取ることができる。

頂点数を基にした物理的距離は正多角形内の評価においては有効である。しかし、頂点数が同一でも異なる形状の評価はできない。また、正多角形でも頂点数が多くなると人間では判別が困難になることもある。

複素相関を用い輪郭線を基にした物理的距離は輪郭線の変化が少ない正多角形や四角形では相関が低くなり、輪郭線の変化が多くなるような場合にはやや高い相関が得られ、形状の評価が可能である。

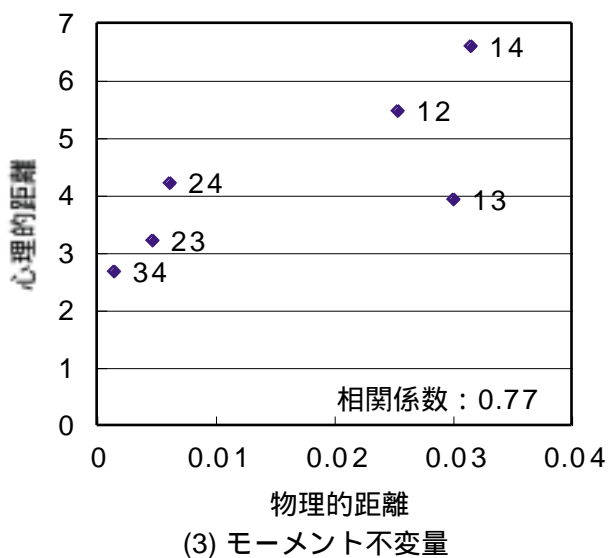
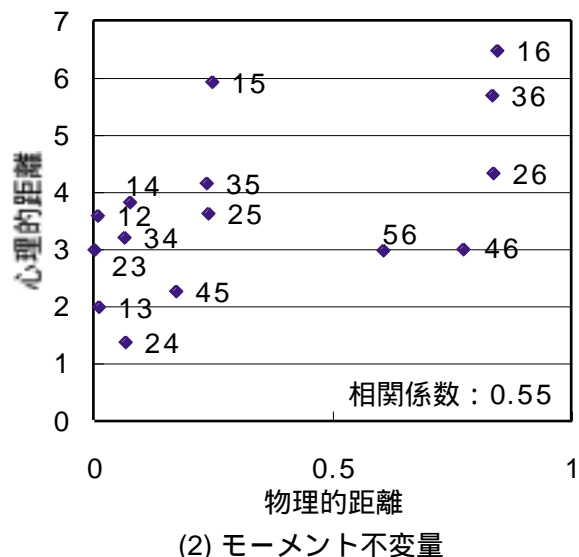
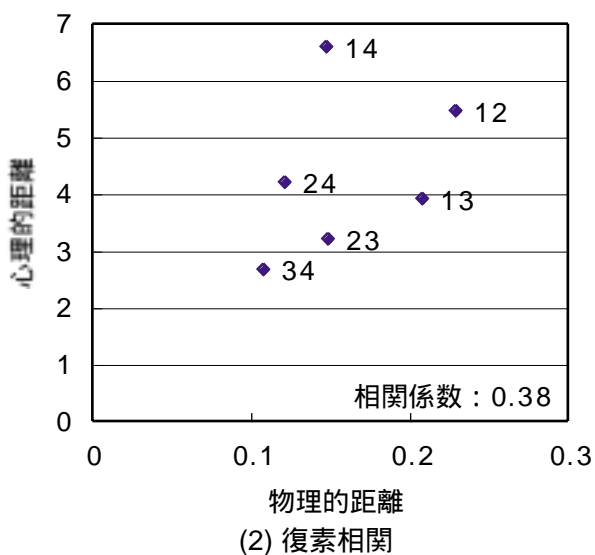
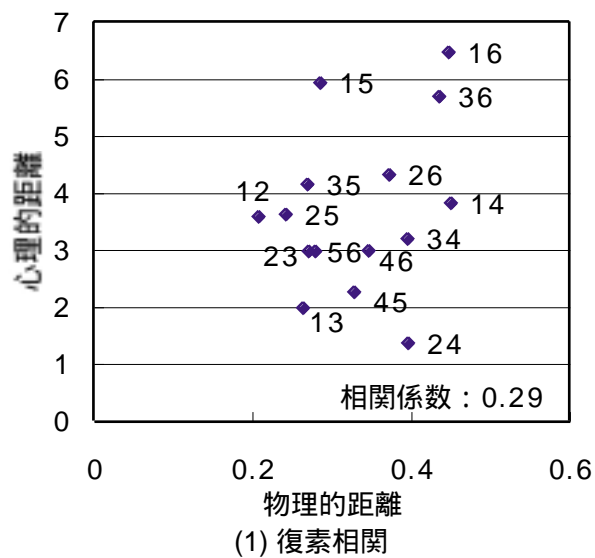
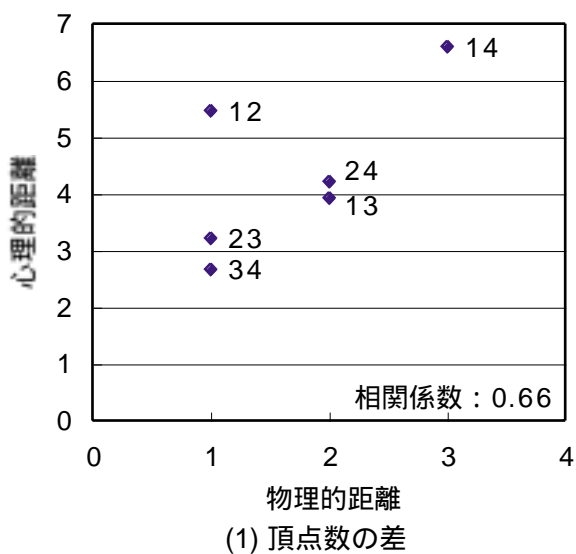
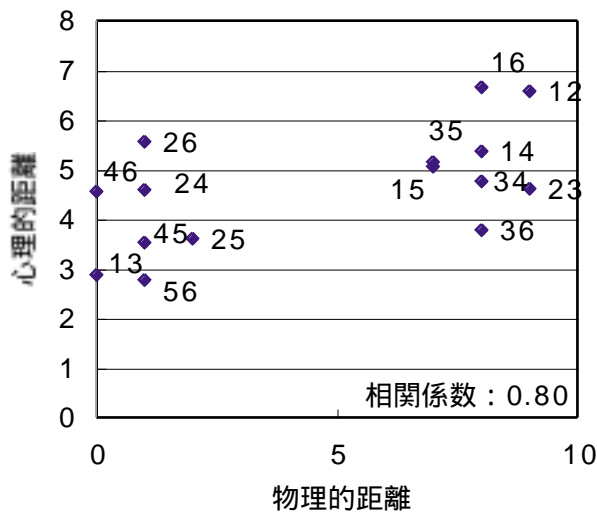


図 10 心理的距離と物理的距離 (実験 1)

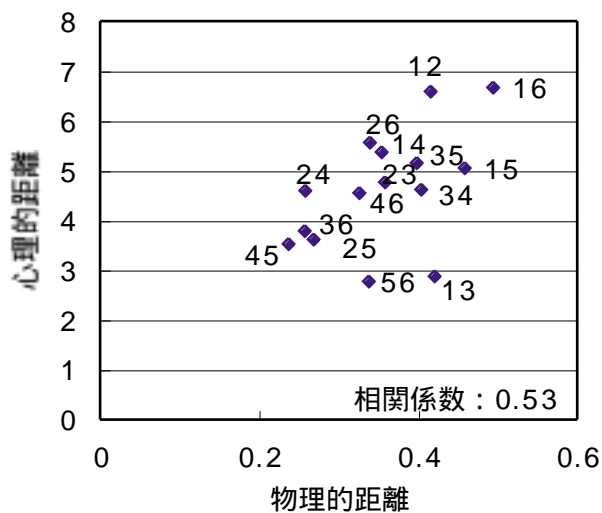
図 11 心理的距離と物理的距離 (実験 2)

モーメント不変量を基にした物理的距離は正多角形などには有効であるが、微細な相違を持つ形状の評価は困難である。これは本実験において2次モーメントのみを用いた不変量を利用しているためと考えられ、高次のモーメントを含んだ不変量を用いて物理的距離を定義した場合には人間の感覚とより一致する可能性がある。

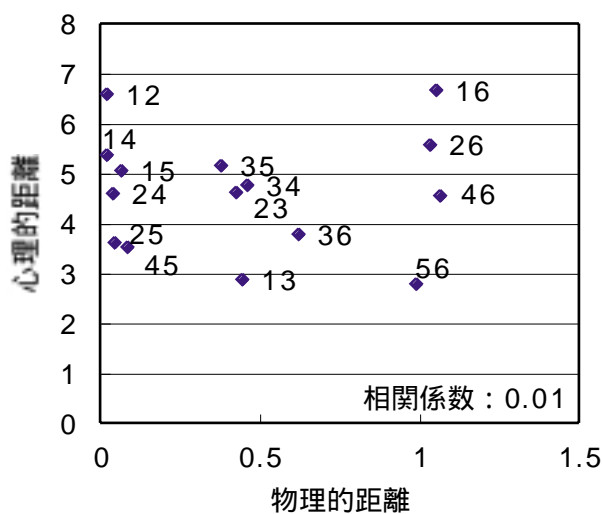
これらの結果より形状間の距離は形状の種類によって人間が受け取る心理的な形状に影響を及ぼす物理的特徴は変化すると予測できる。また、正多角形などの種類の形状には頂点数、同



(1) 頂点数の差



(2) 復素相関



(3) モーメント不変量

図 12 心理的距離と物理的距離 (実験 3)

じ種類の形状にはモーメント、異なる種類の形状には輪郭線がそれぞれ影響を及ぼしていることが分かる。

## 6. まとめ

2次元形状間の心理的距離を完全3点法を用いた心理実験により測定し、頂点数、輪郭線、モーメントの3つの物理的特徴から求めた物理距離との関係を考察した。結果として、評価対象の2次元形状の種類によって、心理的距離と物理的距離の関係に高い相関関係があるものや、相関が得られないものがあることが分かった。よって、2次元形状間の距離は形状の種類によって人間が受け取る心理的な形状に影響を及ぼす物理的特徴は変化すると予測できる。また、形状によっては数種類の物理的特徴が影響を及ぼしていることも考えられる。

面形状の類似性を視方向の評価などに用いる場合には形状の詳細な分析ではなく、簡単な処理でおおまかな判断をする必要があるため、より影響を及ぼしている物理的特徴を解明しなければならない。本研究では3つの物理的特徴量から距離を求めたが、他の特徴量やその手法についても検討する必要がある。

しかし、実験結果から正多角形などには頂点数が、四角形など同じ種類の多角形にはモーメントが、異なる種類の多角形には輪郭線がそれぞれ深く関わっているという分類ができる可能性があることが分かった。今後、より多くの2次元形状やさまざまな組み合わせに対して実験を行い、検証することも重要である。

## 参考文献

- [1] 佐藤幸男, 加藤哲孝, "多面体像の情報量と視方向評価," 信学論(D-II), J75-D-II, 8, pp.1346-1352, 1992.
- [2] 石川尋代, 佐藤幸男, "多面体認識における心理量と物体像エントロピーの関係について," 信学技報, PRMU 2000-113, Nov. 2000.
- [3] 渡部勲, "視覚の科学," 写真工業出版社, 1975.

- [4] 八木昭宏, "知覚と認知," 現代心理学シリーズ6, 培風館, 1997.
- [5] 松田隆夫, "視知覚," 培風館, 1996.
- [6] 田中良久, "心理学的測定法," 東京大学出版会, 1977.
- [7] 林知己夫, 飽戸弘, "多次元尺度解析法," サイエンス社, 1976.
- [8] 尺長, 金子, "複素相関による2次元形状解析", 信学論, Vol.J71-D, No.2, pp.350-361, 1988.
- [9] S.A.Dudani, K.J.Breeding and R.B.McGhee, Aircraft identification by moment invariants, IEEE Trans. Computers, Vol. C-26, No.1, pp.39-46, 1977.
- [10] M.K.Hu, Visual pattern recognition by moment invariants, IRE Trans. information theory, IT-8, pp.179-187, 1962.
- [11] R.J.Prokop and A.P.Reeves, "A survey of moment-based techniques for unoccluded object representation and recognition," Computer Vision, Graphics, and Image Processing: Graphical Models and Image Processing, Vol.54, No.5, pp.438-460, 1992.
- [12] C.T.Zahn and R.Z.Roskies, "Fourier descriptors for plane closed curves," IEEE Trans. Computers, Vol.C-21, No.3, pp.269-281, 1972
- [13] 栗田, 関田, 大津, "複素自己回帰モデルに基づく輪郭形状間の距離", 信学論, Vol.J73-D-II, No.9, pp.1493-1503, 1990.