

パターン対の類似性判断に与える准変換群構造の効果

天野 要^{†1} 荒木 正人^{†1,*1} 岡野 大^{†1}
 小西 敏雄^{†2} 福士 顕士^{†3} 濱田 治良^{†4}

変換群構造説では、人（認知系）は提示されたパターンに対していくつかの変換群（認知的変換群）を施し、相互変換可能性や不変性によってその構造（変換群構造）を認知し、この認知された変換群構造に基づいてパターン対の類似性判断やパターンの良さ判断を行うと考える。実験はその妥当性を支持している。しかし、パターンを構成する2値要素の数の増加とともに空変換群構造（相互変換可能性や不変性を持たないことを意味する）の占める割合が急増し、大多数のパターン対の類似度やパターンの良さが区別できなくなるという困難があった。この論文では、変換群構造にハミング距離の概念を導入して准変換群構造を定義し、線形2値パターン対の類似性判断の実験を行って、認知系が准変換群構造を認知して類似性判断を行っていると考えられることを示す。

Effects of Quasi-Transformational Group Structures on Similarity Judgments of Pattern Pairs

KANAME AMANO,^{†1} MASATO ARAKI,^{†1,*1} DAI OKANO,^{†1}
 TOSHIO KONISHI,^{†2} KOHJI FUKUSHI^{†3} and JIRO HAMADA^{†4}

The transformational group structure theory explains how different types of cognitive judgments of patterns such as similarity and goodness are performed, and predicts their ordinal relations by the concept of cognitive transformation groups and transformational group structures. Many experiments have supported this prediction. However, the theory involves the difficulty that most pattern pairs or patterns have the so called empty transformational group structure as the number of elements of binary patterns increases, and consequently that they can not be distinguished in similarity or goodness judgments. We here introduce the concept of Hamming's distance into the transformational group structure and define quasi-transformational group structures, and then show by experiments of similarity judgments of linear binary pattern pairs that the human cognitive system uses the quasi-transformational group structure in similarity judgments.

1. はじめに

パターン対の類似性判断は認知科学の重要な研究課題であり、幾何学説（Shepardの多次元尺度構成法^{(28), (29)}）と特徴照合説（Tverskyの対比モデル⁽³²⁾）が広く知られている。幾何学説では、対象 a, b を距離空間内の点 x, y で表現し、類似度 $S(a, b)$ を2点間の距離

$$d(x, y) = \left(\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^p \right)^{\frac{1}{p}} \quad (p > 0) \quad (1)$$

の単調減少関数 f で

$$S(a, b) = f(d(x, y)) \quad (2)$$

と表現する。必ずしも対象の表現次元 n が既知である必要はない。特徴照合説では、対象 a, b を多数の相互に独立な定性的特徴の集合（リスト） A, B で表現し、類似度を共有特徴集合 $A \cap B$ と固有特徴集合 $A - B, B - A$ の関数として

$$S(a, b) = \theta f(A \cap B) - \alpha f(A - B) - \beta f(B - A) \quad (\theta, \alpha, \beta \geq 0) \quad (3)$$

と表現する。ここに、 f は特徴の顕著性を表現する非負の関数であり、 θ, α, β は重みパラメータである。これらの学説は類似性に関する様々な現象を説明することに成功してきた。

類似性は近年も活発に研究され、人間の知的活動における重要性があらためて認識されている^{(16), (24), (25), (31)}。そこでは対象の構造に関する情報の重要性が目ざされている。

Markmanらの構造整列説^{(6), (17), (18)}は類推の構造写像説⁽⁵⁾から生まれ、いわばTverskyの対比モデルを構造化された対象に拡張したものである。構造整列説は類似性判断が対象間の

†1 愛媛大学大学院理工学研究科電子情報工学専攻

Department of Electrical and Electronic Engineering and Computer Science, Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

†2 松山東雲女子大学人文科学部国際文化学科

Department of Communication and Culture, Faculty of Human Sciences, Matsuyama Shinonome College

†3 川村学園女子大学教育学部

Faculty of Education, Kawamura Gakuen Woman's University

†4 徳島大学総合科学部人間社会学科

Department of Human and Social Sciences, Faculty of Integrated Arts and Sciences, University of Tokushima

*1 現在、デンソーテクノ株式会社

Presently with DENSOTECHNO Corporation

表現から楕円パターンと呼ばれる) 対の類似性判断の実験結果である(表全体の詳細は後述する)。このような 12 要素パターン対では実に 99% が空変換群構造 E を持つ。しかし、左右がいずれも白楕円だけで構成されたパターン対 14a から出発し、24b, 25c, 26d と右側の黒楕円の数が増すにつれて類似度の評定値は減少し、それから 29e と増加に転じている。さらに、パターン対 83f で右側のパターンが黒楕円だけになると、評定値は 6.7 と大きく増加している。自明のようでありながら、このような現象を理論的に説明することはできていない。

この論文では、楕円要素の色を選択的に反転する変換を局所の変換と呼ぶ。また、パターンに局所の変換を加えてわずかな変更を施した場合の変換群構造を准変換群構造と呼ぶ。そして、楕円パターン対の類似性判断の実験を行って、認知系が准変換群構造を認知して類似性判断を行っていると考えられることを示す。なお、対象は構造化された全体として知覚されるというゲシュタルト心理学の考え方は、准変換群構造の認知はパターン対の類似度が高くなる向きに行われることを示唆している。

この論文の構成は次のとおりである。2 章では、類似性判断に関する変換群構造説の概要を記し、実験 1 でその基本的な妥当性ととも局所の変換と准変換群構造の効果を端的に示す。また、同じ実験データに対して前述の諸学説の適用を試みる。3 章では、変換群構造にハミング距離の概念を導入して准変換群構造をあらためて定義し、実験 2 でその効果をより一般的な枠組みの中で検討する。4 章では、まとめと今後の課題を記す。

2. 類似性判断に関する変換群構造説

2.1 変換群構造説の概要

認知的変換群による相互変換可能性によってパターン対の変換群構造(パターン間変換群構造)を定義し、このパターン間変換群構造を類似度の大小の順序に関係づける。

2.1.1 認知的変換群と変換群構造

まず、 n 個の白黒の要素からなる楕円パターンに対して、次の 4 種の認知的変換群を定義する。

- 恒等変換群 $I = \{e\}$: e は恒等変換であり、パターンを構成する要素の順序と色を変えない。たとえば、 $n = 4$ として、これを $e: \circ \circ \bullet \bullet \rightarrow \circ \circ \bullet \bullet$ と記す。
- 鏡映変換群 $M = \{e, m\}$: m は要素の並ぶ順序を逆転する。たとえば、 $m: \circ \circ \bullet \bullet \rightarrow \bullet \bullet \circ \circ$ である。
- 位相変換群 $P = \{e, p_1, \dots, p_{n-1}\}$: p_i はすべての要素の順序を i だけ右に移動し、右

端にはみ出した要素を左端に順次組み込む。たとえば、 $p_1: \circ \circ \bullet \bullet \rightarrow \bullet \circ \circ \bullet$ である。

- 反転変換群 $R = \{e, r\}$: r はすべての要素の白黒の色を反転する。たとえば、 $r: \circ \circ \bullet \bullet \rightarrow \bullet \bullet \circ \circ$ である。

一般的に、ある群 G の部分群 H, K の積 HK がまた群になるための必要十分条件は H, K の可換性 $HK = KH$ であることが知られている³³⁾。この場合、変換群 I, M, P, R はいずれも 2^n 次対称群 S_{2^n} ($2^n!$ 個の置換全体) の互いに可換な部分群であるから、これらの積もまた変換群である。たとえば、必ずしも $mp_i = p_i m$ ではないが $mp_i = p_{n-i} m$ であるから $MP = PM$ は群である。

次に、 I 以外の認知的変換群によるパターン対の相互変換可能性を e 以外のいずれかの変換要素によって相互に一致(完全一致)することであると定義する。たとえば、鏡映変換群 M によって、パターン $\circ \circ \bullet \bullet$ と $\bullet \bullet \circ \circ$ は相互変換可能ではないが、パターン $\circ \circ \bullet \bullet$ と $\bullet \bullet \circ \circ$ は $m: \circ \circ \bullet \bullet \leftrightarrow \bullet \bullet \circ \circ$ ゆえに相互変換可能である。すると、変換群 M, P, R の可換性と変換群 T の一般的性質 $T^2 = TT = T$ (すなわち $u, v \in T$ なら $uv \in T$) により、 2^{2^n} 個の楕円パターン対の全体を以下に定義される 20 個の変換群構造に類別することができる(たとえば、 $rp_i r m p_j r = m p_{n-i+j} r$ となる)。

- 恒等変換群構造 I : 変換群 I すなわち恒等変換 e で相互変換可能なパターン対の構造。
- 単一変換群構造 M, P, R : それぞれ変換群 M, P, R で相互変換可能なパターン対の構造。
- 積変換群構造 MP, PR, RM, MPR : それぞれ積変換群 MP, PR, RM, MPR ではじめて相互変換可能なパターン対の構造。ここに、たとえば構造 MPR の定義には因子の変換群 M, P, R とそれらの積 MP, PR, RM のいずれによっても相互変換不可能であることが含意されている。
- 多重変換群構造 $M \wedge P, P \wedge R, R \wedge M, M \wedge P \wedge R, M \wedge PR, P \wedge RM, R \wedge MP, MP \wedge PR, PR \wedge RM, RM \wedge MP, MP \wedge PR \wedge RM$: 複数の変換群構造をあわせ持つパターン対の構造。たとえば、 $M \wedge PR$ は変換群構造 M, PR をあわせ持つことを意味する。
- 空変換群構造 E : 以上の相互変換可能性を持たないパターン対の構造。そして、個々のパターン対はそれぞれの類に対応する変換群構造を持つという。なお、ここでは変換群を斜体 T 、構造を立体 T で記して区別している。

2.1.2 順序整合性の仮説と順序保存の仮説

このような変換群構造の定義に基づいて、パターン対の類似度の大小の順序関係を順序整

合性の仮説と順序保存の仮説で予測する．

ここで順序整合性の仮説とは，変換群構造 T を持つパターン対の類似度を $S(T)$ として，変換群構造 $T_i, T_j, T_k (\neq E)$ ，単一変換群構造とは限らない) に対して

$$S(E) \leq S(T_i), S(T_j) \leq S(T_i \wedge T_j) \leq S(I), \tag{4}$$

$$S(E) \leq S(T_i T_k \wedge T_j T_k) \leq S(T_k) \leq S(I) \tag{5}$$

なる関係が成立することである．式 (4), (5) から

$$S(E) \leq S(T_i T_j) \leq S(T_i), S(T_j) \leq S(T_i \wedge T_j)$$

が得られる．すなわち，式 (4), (5) は順序整合性の仮説¹²⁾ の一般化になっている．また，順序保存の仮説¹²⁾ とは次の 3 つの不等式

$$S(T_i) \leq S(T_j), \tag{6}$$

$$S(T_i \wedge T_k) \leq S(T_j \wedge T_k), \tag{7}$$

$$S(T_i T_k) \leq S(T_j T_k) \tag{8}$$

が同値になることである．順序保存の名称は変換群構造 T_i, T_j を持つパターン対の間の順序が T_k との組合せに対して保存されることによる．

上記の 2 仮説から前述の 20 個の変換群構造の間に類似度の順序関係が定まる．これをハッセ図で表現したものが図 1 である．図は線で結ばれた 2 個の変換群構造の間で上位の構造を持つパターン対の類似度は下位の構造を持つパターン対の類似度以上であることを意味している（数値，線の種類と太さの意味は後述する）．

2.2 実験 1 と考察

認知的変換群の特徴は全体的であること，すなわち，変換がパターンを構成する要素に選択的に作用しないことである．このような認知的変換群に対する振舞いによって定義されるという意味で，変換群構造もまた全体的である．変換群構造説は全体的構造に基づくパターン認知の理論である．

しかし，前述のような局所の変換と局所の変換によってパターンにわずかな変更を施した場合の准変換群構造は類似性判断にしばしば無視できない影響を与えている．実験 1 は，変換群構造説の基本的な妥当性ととも，このような局所の変換と准変換群構造の効果を端的に示している．

2.2.1 実験の方法

実験 1 の概要は次のとおりである．

- 実施年月日：2003 年 12 月 5 日（金）
- 被験者：愛媛大学工学部情報工学科 1 年生 41 名

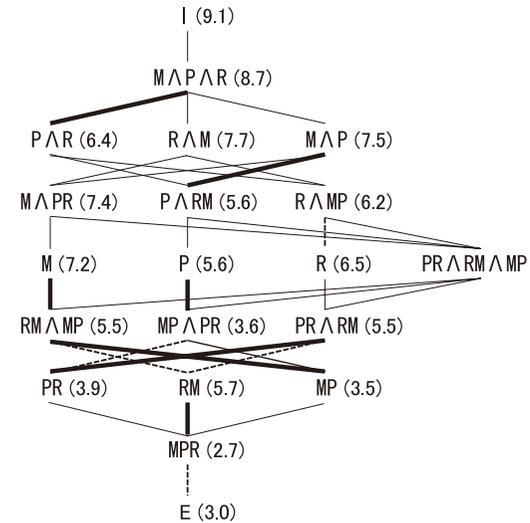


図 1 ハッセ図とパターン対の類似度の評定値（実験 1）

Fig. 1 Hasse's diagram with the rated similarity of pattern pairs (Experiment 1).

- パターン：12 要素パターン 42 対
- 評定法：最高 10 点，最低 0 点の 11 段階評定
- 反復数：2 回

12 要素パターン対は PR ∧ RM ∧ MP（要素数のいかにかわらず存在しない）以外のパターン間変換群構造を網羅することができる．表 1 では，実験パターン 42 対（個数欄の数値の合計）から各変換群構造を代表するパターン 1 対を例示している（空変換群構造 E については 8 対すべてを示している）．実験では，横型 A5 の紙片に灰色の背景領域（6 cm × 16.5 cm）をとり，その中央にパターン対を配置して，白黒の楕円（長径 8 mm，短径 5 mm）が等しいコントラストを見せるようにした．紙片には折れ曲がらないようにラミネートを施した．

被験者は，配布されたパターン対をシャッフルし，これにひととおり目を通した．次に，再びシャッフルして，類似度を 0 点から 10 点までの整数点で 11 段階評定した．さらに，シャッフルして評定するという作業を反復した．結果の解析には 2 回目のデータを用いた．被験者には，類似性判断はまったく個人的な判断であり，判断の基準を途中で変えたくなれば一貫性を気にせず自由に変えてよいことを教示した．

2.2.2 結果と考察

表 1 はパターン対の変換群構造と類似度の評定値である．平均値（標準偏差）欄の例列の数値は例示されたパターン対に対する評定値，構造列の数値は同一の変換群構造を持つパターン対に対する評定値（標準偏差は被験者ごとの平均値の標準偏差），階層列の数値はハッセ図 1 で同じ階層に描かれた変換群構造を持つパターン対全体に対する評定値である．図 1 は変換群構造別の平均値をハッセ図に記入したものである．この図では，下記に示すように，線の種類と太さで平均値の差の向きと程度を区別している．表 2 はすべての変換群構造の組に対する多重比較法（対応のあるデータとした場合の Tukey の HSD 法^{20),21),23)}，有意水準 5%）による有意差の検定結果である．記号の意味は次のとおりである．

（太い実線）：予測を支持する向きに有意差があった．

（細い実線）：有意差はないが，予測を支持する向き（等号すなわちタイの場合を含む）であった．ただし，ハッセ図で比較の可能性を表現するために，実験に現れない構造に対しては細い実線を使用している．

×（細い破線）：有意差はないが，予測とは逆の向きであった．

（太い破線）：予測とは逆の向きに有意差があった．

（線なし）：順序の予測はできないが，結果に有意差があった．

空（線なし）：順序の予測はできず，有意差もなかった．

この印はあらかじめ予測はできないが実験的に有意差が認められた順序関係を表している．

表 1 のように，ハッセ図の各階層ごとの類似度は $S(I) = 9.1$ から $S(E) = 3.0$ までほぼ単調に減少し，実験結果が変換群構造説の予測を基本的に支持していることが分かる． $S(MPR) < S(E)$ の逆転は E の 8 対が後述のような准変換群構造を持つパターン対を含むためである．

図 1 では，隣接する階層に属する変換群構造の間で，太い実線（表 2 の印に相当）が 7 例，細い実線（表 2 の印に相当）が 14 例（内 1 例はタイ），細い破線（表 2 の×印に相当）が 5 例である．順序が逆転した場合の差はわずかで，いずれも有意ではない．表 2 でも印は皆無である．実験結果は順序整合性の仮説 (4), (5) を支持している．また， $S(P) < S(M)$ ， $S(P \wedge R) < S(R \wedge M)$ ， $S(PR) < S(RM)$ 等，順序保存の仮説 (6), (7), (8) も支持している．

2.3 諸学説の適用

ここでは，表 1 で番号に a~f の文字が付加された 6 個のパターン対に注目し，前述の諸学説による簡単な説明を試みる．特に，右側のパターン対の黒楕円の数の増加にともなって，これらのパターン対の平均評定値がまず 14a (9.3) から 24b (5.9), 25c (4.4), 26d (3.0) と単調に減少し，次いで 29e (3.3) で増加に転じ，すべてが黒楕円になると 83f (6.7) と大きく増加するという規則的な振舞いを示していることに注目する．

まず，幾何学説で線形 2 値パターンを 0 と 1 の n 次元 2 値ベクトルで表現することにすると，距離 (1) のパラメータ p を 1 (ハミング距離), 2 (ユークリッド距離) のいずれに設定しても，かつ単調減少関数 (2) の f をいかに設定しても，パターン対 14a から 24b, 25c, 26d に至る評定値の規則的減少を明確に説明することができる．この簡明さは幾何学説の大きな魅力である．距離 d の定義と関数 f の形を工夫すれば評定値にフィットした曲線を描くこともできる．しかし， f が d の単調減少関数である限り，パターン対 29e, 83f へと続く評定値の反転増加を説明することはできない．また，対象の表現次元 n をあらかじめ決めことなく多次元尺度構成法を適用することも可能である．しかし，得られた各次元に対応するパターン対の特性を表現する物理的（数学的）変数の設定が難しい問題になると予想され⁹⁾，上記の簡明さも失われる．

表 2 平均値の差の有意性の検定（実験 1）

Table 2 Significance test for the difference between averages (Experiment 1).

	I	M/AP/R	P/R	R/M	M/AP	M/APR	P/RM	R/M	M	P	R	RM/MP	MP/APR	PR/ARM	PR	RM	MP	MPR	E
I																			
M/AP/R	○																		
P/R	◎	◎																	
R/M	○	○																	
M/AP	◎	◎																	
M/APR	◎	○	○	○															
P/RM	◎	◎	○	△	△														
R/M	◎	◎	○	○															
M	◎	◎	○	○	○	△													
P	◎	◎	○	△	△	○			△										
R	◎	◎	×	○		×													
RM/MP	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎											
MP/APR	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	◎	△									
PR/ARM	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	◎	△									
PR	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	◎	△	×	◎							
RM	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	◎	△	×	×	△						
MP	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	◎	△	×	△	△						
MPR	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
E	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	×

特徴照合説では、一般的に相互に独立した定性的特徴の集合の設定が難しいとされている。しかし、この場合には n 個の楕円要素のそれぞれの色はそのような集合であると考えられる。すると、類似度 (3) の非負の関数 f とパラメータ θ, α, β をいかに設定しても、パターン対 14a から 24b, 25c, 26d に至る評定値の規則的減少を明確に説明することができる。この簡明さは特徴照合説の大きな魅力である。さらに、特徴照合説では類似度の非対称性や文脈効果等、幾何学説では説明できない現象を説明することもできるとされている³²⁾。しかし、これらの関数 f とパラメータ θ, α, β が非負である限り、パターン対 29e, 83f へと続く評定値の反転増加を説明することはできない。

さらに、構造整列説では、線形 2 値という構造はすでに整列済みであると考えれば、議論は特徴照合説と同じである。線形 2 値以外の構造を設定しようとすると、構造の記述が難しい。

このように、一見自明のようでありながら、これら 6 個のパターン対に関する実験結果の説明は意外に難しい。幾何学説、特徴照合説を率直に適用すれば、パターン対の類似度は対応する要素の色の一一致の個数 (たとえば、パターン対 14a では 12/12, 24b では 11/12, ...) に従って 14a, 24b, 25c, 26d, 29e, 83f の順に単調減少すると予測される。しかし、実験結果がこの予測と異なることは明らかである。

これに対して、変換構造説では相互一致を可能とする認知的変換の種類と組合せで類似度の順序関係を予測する。変換構造説を適用すれば、構造 I を持つパターン対 14a の類似度が最も高く、構造 R を持つパターン対 83f の類似度がそれに続き、さらに構造 E を持つパターン対 24b, 25c, 26d, 29e の類似度はそれ以下になることを明確に説明できる。しかし、構造 E を持つパターン対の間で類似度を区別することは不可能で、今度はパターン対 14a から 24b, 25c, 26d に至る規則的減少 (偶然とは考えられない) を説明することができなくなる。

前述のように、この論文の目的は変換群構造説の視点でこのような実験結果に理論的な説明を与えることである。その基本的な考え方は以下のとおりである。パターン対 24b は、右側のパターンの最後 (右端) の要素の色を黒から白に反転させれば、14a と同じで、変換群構造 I を持つ。同様に、パターン対 25c は、2 つの要素の色を反転させれば、14a と同じで、変換群構造 I を持つ。また、パターン対 29e は、右側のパターンの最初 (左端) の要素の色を白から黒に反転させれば、83f と同じで、変換群構造 R を持つ。このように、パターン対 24b, 25c, 29e は、完全一致で定義された変換群構造はいずれも E であるが、局所の変換によってパターンにわずかな変更を施した場合の変換群構造、すなわち、准変換群

構造 I や R を持つ。我々はこの准変換群構造が類似度をやや高く評定させたと考える。

なお、特徴照合説において特徴の集合を設定する機構が存在しないことと同様に、変換群構造説においても認知的変換群の集合を設定する機構は確立していない。しかし、「所属保存性」の「全体的」な変換 (置換) であるという指針は与えられている^{12),22)}。実験 1 の結果が変換群構造説の予測を支持していることも認知的変換群の設定が適切であることを示している。

変換群構造の効果と個人差 最近、これらの変換群構造が類似度に与える効果はパターン間変換群構造の認知の容易さ、明瞭さを介して対を構成するパターンのパターン内変換群構造や配置の影響を受けることが明らかになっている^{4),26)}。実験 1 では、変換群構造の効果について個人差も見られる。以下ではこのことについて記す。

表 1 で標準偏差の大きい 4 パターン対 83f, 24b, 25c, 29e に注目すると、いずれの場合にも被験者は評定値の高いグループと低いグループに 2 分される傾向があった。特に、白要素または黒要素のみで構成されたパターン対 83f の場合には、10 点と 9 点が 10 名ずつ計 20 名存在するのに対して、0 点もまた 9 名存在し、1~4 点は皆無であった。そこで、被験者をこれら 9 名のグループ (Mi と呼ぶ) と残り 32 名のグループ (Ma と呼ぶ) に分けて実験結果を検討した。まず、パターン対全体に対する平均評定値は Ma が 6.1, Mi が 4.7 で、後者は前者より低く、変換群構造 R の 6 対に対しては Ma が 7.4, Mi が 3.3 と大きく異なる。興味深いことに、パターン対 14a, 24b, 25c, 26d, 29e, 83f に対するグループ Ma の評定値は 9.5, 5.8, 4.4, 3.1, 4.1, 8.6 で、反転増加をとともう規則的変化はより顕著である。これが准変換群構造 R の効果を示唆していることはすでに述べた。一方、これらのパターン対に対するグループ Mi の評定値は 8.9, 5.9, 4.3, 2.7, 0.4, 0.0 と単調に減少している。これが要素の色の一一致個数の単調関数であることは明らかである。ただし、このグループの評定値も M や P については変換群構造説の予測に従っているため、類似性判断が単純に要素の色の一一致個数で行われているとは考えられない。

いずれにしても、上記の結果は大多数の被験者と異なる基準で類似性判断を行う少数のグループが存在することを示している。なお、正方 2 値行列パターンの良さ判断では、少数の被験者の評定値が変換構造に対して逆順序整合性の仮説 (順序整合性の仮説で不等式の向きを逆転する) に従うことが知られている^{12),19),27)}。類似性判断でも変換群構造の効果と個人差の問題は興味ある研究課題であると考えられる。

3. 准変換群構造とその効果

3.1 准変換群構造と類似度の予測

パターン間変換群構造にハミング距離の概念を導入して准変換群構造をあらためて定義し、この准変換群構造を類似度の大小の順序に関係づける。

3.1.1 ハミング距離と准変換群構造

2 値パターン対 a のパターン間変換群構造 $T (\neq E)$ に対するハミング距離 $d_T(a)$ を対 a が構造 T を持つために必要な要素の値 (ここでは白黒の色) の最小反転個数のことであると定義する。そして、パターン対 a はハミング距離 d の准変換群構造 T_d を持つという。たとえば、表 1 のパターン対 24b は $d_1(24b) = 1$ で准変換群構造 I_1 を持ち、パターン対 25c は $d_1(25c) = 2$ で准変換群構造 I_2 を持つ。また、パターン対 29e は $d_R(29e) = 1$ で准変換群構造 R_1 を持つ。特に、空変換群構造 E_d は d 個までの要素の色の反転では相互変換可能性を持たないことであると定義する (したがって、 E_d は同時に E_0, E_1, \dots, E_{d-1} である)。

上記の定義に従えば、認知的変換群による完全一致で定義された変換群構造は、 $T = E$ の場合も含めて、 $T = T_0$ のことである。また、 n 要素の 2 値パターン対は必ずハミング距離 $d \leq n/2$ の範囲に准変換群構造 I_d か R_d を持つ (したがって、 $d > n/2$ の准変換群構造 E_d を持つパターン対は存在しない)。

准変換群構造を用いて、パターン対の全体を類別することができる (表 3 参照、詳細は後述する)。まず、前章のように、パターン対をハミング距離 $d = 0$ の 20 個の変換群構造に類別する。次に、空変換群構造 $E = E_0$ を持つパターン対を距離 $d = 1$ の 20 個の准変換群構造に類別する。以下、 $d \leq n/2$ の範囲でこの手順を繰り返す。こうすれば、すべてのパターン対はいずれかの准変換群構造 $T_d (T \neq E, 0 \leq d \leq n/2)$ を持ち、同じパターン対が異なる 2 つ以上の構造を持つことはない。そして、個々のパターン対はそれぞれの類に対応する准変換群構造を持つとあらためて定義する。

なお、パターン対の変換群構造に対するハミング距離は任意のパターン対と任意の変換群構造の間に定義することが可能である。しかし、対象は構造化された全体として知覚されるというゲシュタルト心理学の観点から、ここでは准変換群構造の認知はパターン対の類似度が高くなる向きに行われると考えている*1。

3.1.2 類似度の順序の予測

このような准変換群構造 $T_d (T \neq E, 0 \leq d \leq n/2)$ の定義とパターン対の類別に基づ

表 3 パターン対と准変換群構造、類似度の評定値 (実験 2, 平均値と標準偏差)

Table 3 Pattern pairs and their quasi-transformational group structures with the rated similarity (Experiment 2, average and standard deviation).

番号	パターン対	准変換群構造	平均値 (標準偏差)	
			平均値	標準偏差
54	○○○○●●●● ○○○●●●●	I_0	6.9 (0.6)	6.9 (0.4)
48	○○○○○○○○ ○●●○○○○		6.9 (0.2)	
71	○○○○○○○○ ○●●○○○○	I_1	5.4 (1.3)	4.7 (1.3)
63	●○○○○○○○ ●●●○○○○		4.0 (1.7)	
19	○○○○○○○○ ●○○○○○○○	$(M \wedge P)_1$	4.1 (1.4)	3.6 (1.2)
44	●○○○○○○○ ○●●○○○○		3.1 (1.5)	
93	●○○○○○○○ ●●○○○○○	P_1	3.6 (1.5)	3.4 (1.2)
87	○○○○○○○○ ●●○○○○○		3.3 (1.4)	
24	○○○○○○○○ ●○○○○○○○	R_1	2.6 (1.5)	2.6 (1.2)
35	○○○○○○○○ ○●●○○○○		2.5 (1.2)	
67	○○○○○○○○ ○●●○○○○	$(PR \wedge RM)_1$	3.1 (1.2)	3.1 (1.2)
79	●●○○○○○○ ○●●○○○○		3.0 (1.4)	
10	○○○○○○○○ ○●●○○○○	I_2	3.1 (1.4)	3.0 (1.2)
58	○○○○○○○○ ○○○●○○○○		2.9 (1.4)	
98	○○○○○○○○ ○○○○○○○○	$(P \wedge R)_2$	1.8 (1.0)	1.8 (1.0)
17	●○○○○○○○ ○○○○○○○○		1.8 (1.0)	
21	○○○○○○○○ ○●●○○○○	R_2	1.6 (0.7)	1.6 (0.7)
37	○○○○○○○○ ●●○○○○○		1.6 (0.7)	
99	○○○○○○○○ ●●●○○○○	I_3	2.2 (1.0)	2.2 (1.1)
81	○○○○○○○○ ○●●○○○○		2.2 (1.0)	
62	○●●○○○○○ ○○○○○○○○	$(M \wedge P)_3$	2.2 (1.0)	2.1 (0.8)
53	○○○○○○○○ ○●●○○○○		2.2 (1.0)	
81	○○○○○○○○ ○●●○○○○	R_3	1.8 (1.2)	1.8 (1.2)
62	○●●○○○○○ ○○○○○○○○		1.8 (1.2)	
81	○○○○○○○○ ○●●○○○○	E_2	3.7 (1.6)	2.5 (0.8)
62	○●●○○○○○ ○○○○○○○○		2.2 (1.1)	
53	○○○○○○○○ ○●●○○○○	E_3	1.6 (0.9)	2.5 (0.8)
53	○○○○○○○○ ○●●○○○○		1.6 (0.9)	

いて、類似度の順序関係を次のような構造依存性の仮説と距離依存性の仮説で予測する。

*1 表 1 のパターン対 24b は、前述のように右側のパターンの右端の要素の色を黒から白に反転させても、逆に左側のパターンの右端の要素の色を白から黒に反転させても准変換群構造 I_1 を持つ。しかし、結果として生じるパターン対は、前者では ○○○○○○ の対となり、後者では ○○○○○● の対となる。我々は、同様にゲシュタルト心理学の観点から、○○○○○の方が ○○○○○● より良いパターンであるという理由で、認知系は主に前者の局所的変換を採択すると予測している。他の場合についても同様である。

構造依存性の仮説とは、距離 d が同じ場合には、 $S(T)$ を $S(T_d)$ で置き換えて順序整合性の仮説 (4), (5) と順序保存の仮説 (6), (7), (8) がそのまま成立することである。距離依存性の仮説とは、構造 T が同じ場合には、

$$S(T_{d_1}) \geq S(T_{d_2}) \quad \text{if} \quad d_1 \leq d_2 \tag{9}$$

が成立することである。この仮説はパターン対の類似度は構造 T に対して距離の単調減少関数であることを意味する。

上記の2仮説から准変換群構造の間に類似度の順序関係が定まる。これをハッセ図で表現したものが図2である。この図は、 T を $-T_d-$ で置き換えて、 T_d で図1と同じ構造依存性の仮説を表現し、同時に前後の $-$ で距離依存性の仮説を表現している(構造 E は描かれていない)。構造 T に注目して距離依存性の仮説をすべて表現すれば $T_0 \cdots T_{d-1} - T_d - T_{d+1} \cdots T_{n/2}$ となる ($d=0$ の場合を最上面に、 $d=n/2$ の場合を最下面に層状に配置して、 $-$ をこの面に垂直な線分とした3次元的なグラフと考えると理解しやすい)。

なお、表1の6個のパターン対(構造, 評定値)すなわち 14a ($I_0, 9.3$), 24b ($I_1, 5.9$), 25c ($I_2, 4.4$), 26d ($I_5, 3.0$), 29e ($R_1, 3.3$), 83f ($R_0, 6.7$) が構造依存性の仮説 $S(I_0) > S(R_0)$, $S(I_1) > S(R_1)$ と距離依存性の仮説 $S(I_0) > S(I_1) > S(I_2) > S(I_5)$, $S(R_0) > S(R_1)$ に従っていることは明らかである。

3.2 実験2と考察

ここでは准変換群構造の効果をより一般的な枠組みの中で実験的に検討する。

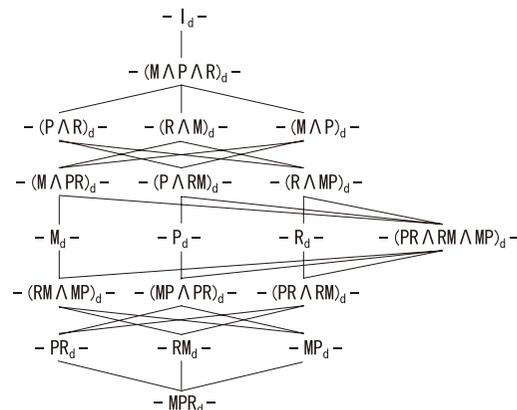


図2 准変換群構造を用いたハッセ図

Fig. 2 Hasse's diagram with quasi-transformational group structures.

3.2.1 実験の方法

実験2の概要は次のとおりである。

- 実施年月日: 2004年12月10日(金)
- 被験者: 愛媛大学工学部情報工学科1年生39名
- パターン: 8要素パターン22対
- 評定法: 最高7点, 最低1点の7段階評定
- 反復数: 2回

表3の実験パターン対は、変換群構造 $I = I_0$ を持つパターン2対、ハミング距離 $d=1$ の准変換群構造 $I_1, (M \wedge P)_1, P_1, R_1, (PR \wedge RM)_1$ を持つパターン $5 \times 2 = 10$ 対、構造 E_1 を持つパターン10対からなる。次に、 E_1 のパターン10対は $d=2$ の准変換群構造 $I_2, (P \wedge R)_2, R_2$ を持つパターン計4対と E_2 のパターン6対からなる。さらに、 E_2 のパターン6対は $d=3$ の准変換群構造 $I_3, (M \wedge P)_3, R_3$ を持つパターン3対と E_3 のパターン3対からなり、後者はすべて准変換群構造 I_4 を持つ。こうして、表3のパターン22対はハミング距離 $d=0$ から $d=4$ までの13個の准変換群構造に類別される。なお、楕円の上下の記号 $-$ は白黒の色を反転すべき要素であることを示している。

実験では、横型A6の紙片に灰色の背景領域(5.5cm x 12.0cm)をとり、その中央にパターン対(長径8mm, 短径5.3mm)を配置した。7段階評定であることを除いて、他の条件は実験1と同じである。

3.2.2 結果と考察

表3は実験パターン22対の准変換群構造と類似度の評定値である。構造別の平均値を図2($d=0, 1, 2, 3, 4$)に記入すれば類似度の予測順序と評定値を表現するハッセ図が得られる。しかし、実験パターン対に現れる構造は限られているので、この場合には全体を図3のようにまとめて表現することができる。この図は、横方向にハミング距離 d の変化と距離依存性を表現し、水平線の左側の構造を持つパターン対の類似度は右側の構造を持つパターン対の類似度以上であることを意味している。その他の記号の意味は実験1の場合と同様である。表4は表3に多重比較を適用した結果である。

図3のように、実験結果は $S(R_1) < S((PR \wedge RM)_1)$ の逆転を除いて構造依存性の仮説に従っている。順序が逆転した場合の差はわずかで有意性はない。また、 $S(I_3) < S(I_4)$ と $S(R_2) < S(R_3)$ の逆転を除いて距離依存性の仮説(9)に従っている。この場合も順序が逆転した場合の差はわずかで有意性はない。なお、太い実線(表4の \times に相当)は左上部に、破線(表4の \times に相当)は右下部に分布している。表4でも有意差のある順序の逆転は皆

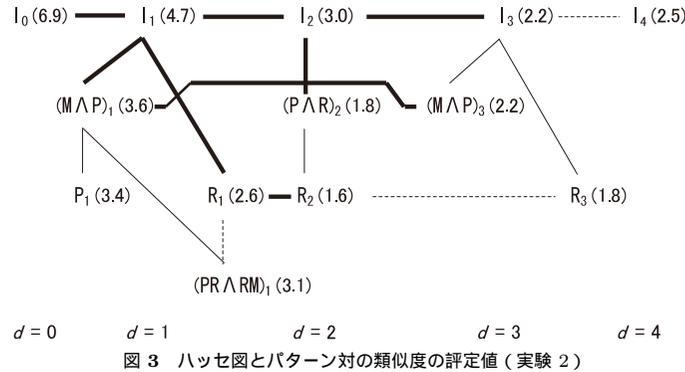


図 3 ハッセ図とパターン対の類似度の評定値 (実験 2)

Fig. 3 Hasse's diagram with the rated similarity of pattern pairs (Experiment 2).

表 4 平均値の差の有意性の検定 (実験 2)

Table 4 Significance test for the difference between averages (Experiment 2).

	I_0	I_1	$(M \wedge P)_1$	P_1	R_1	$(PR \wedge RM)_1$	I_2	$(P \wedge R)_2$	R_2	I_3	$(M \wedge P)_3$	R_3	I_4
I_0	◎												
I_1	◎	◎											
$(M \wedge P)_1$	◎	◎	◎										
P_1	◎	◎	◎	◎									
R_1	◎	◎	◎	△	△								
$(PR \wedge RM)_1$	◎	◎	◎	◎	◎	×							
I_2	◎	◎					◎						
$(P \wedge R)_2$	◎	◎	△	△	△	△	◎	◎					
R_2	◎	◎	△	△	△	△	◎	◎	◎				
I_3	◎	◎	△	△	△	△	◎	◎	◎	◎			
$(M \wedge P)_3$	◎	◎	◎	△	△	△	◎	◎	◎	◎	◎		
R_3	◎	◎	△	△	△	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
I_4	◎	◎	△	△	△	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎

無である。このように、実験結果は構造依存性の仮説と距離依存性の仮説を支持している。

単一変換群構造の間には、実験 1 の $S(P) < S(R)$ (有意差なし) と逆の $S(P_1) > S(R_1)$ (有意差あり) という関係があった。准変換群構造 R_1 を持つパターン対の評定値が低い理由としては、注目した 1 要素の色を反転させ、さらに全体の色を反転させて (注目した 1 要素の色は元に戻る) 相互変換可能性を認知するという過程に困難をともなうためであると考えられる。

前述の逆転 $S(I_3) < S(I_4)$ は構造 I_4 のパターン対 81 の評定値の高さに起因している。その理由として、構造 I_0 のパターン 2 対以外にはこれだけが左右で同数 (しかも 4:4) の白黒の要素を持つことに注目したい。なぜなら、左右で同数の白黒の要素を持つことはいずれかのパターンの要素の位置の置換によってパターン対が相互変換可能になるための必要十分条件であるからである。このことは要素の位置に関する局所変換の効果も無視はできないことを示唆している。

局所変換と准変換群構造 ここでは、楕円要素の色を選択的に反転する変換を局所変換と呼び、パターンに局所変換を加えてわずかな変更を施した場合の変換群構造を准変換群構造と呼んだ。准変換群構造の考え方は、属性値の一致の程度を類似度に関係づけるという意味では幾何学説や特徴照合説と似ている。しかし、准変換群構造そのものが局所的な属性値の一致の程度ではなく全体的な変換群構造を基礎に定義されていることに注意すべきである。

准変換群構造の定義にハミング距離を用いた理由は完全一致で定義される変換群構造からの「ずれ」の大きさの記述に最も自然な指標であると考えられるからである。このことは何よりも准変換群構造の記述を簡明にしている。パターン対の構造の認知における局所変換の役割はこの「ずれ」を補正することにある。

前述のように、パターン対 81 は一方のパターン内の要素の位置の置換 $\{(2,3), (4,5)\}$ と $\{(2,4), (3,5)\}$ で相互変換可能であり、そのような可能性を持たない他のパターン対より類似度が高いと考えることも可能である。しかし、変換群構造からの「ずれ」の補正に要素の位置に関する局所変換は導入しなかった。その理由は、要素の位置の置換は必ず要素の色を反転で表現可能であるだけでなく、上記の「ずれ」の大きさだけでは適用の可能性が確定しない (たとえば、いずれも $d=2$ であるが、 $\dots \circ \bullet \dots$ と $\dots \bullet \circ \dots$ の対には適用できて、 $\dots \circ \circ \dots$ と $\dots \bullet \bullet \dots$ の対には適用できない) という意味で、より高次の情報処理であると考えられるからである^{*1}。

無である。このように、実験結果は構造依存性の仮説と距離依存性の仮説を支持している。

*1 このことは必ずしも類似性判断における高次の情報処理の重要性を否定するものではない。同様に、類似性に大きく関係し、構造の認知に構造の認知の結果を用いると考えられる変換に波長変換がある^{10),11)}。

4. おわりに

この論文では変換群構造にハミング距離の概念を導入して准変換群構造を定義し、線形 2 値パターン対の類似性判断の実験を行って、人（認知系）が准変換群構造を認知して類似性判断を行っていると考えられることを示した。認知系には、局所的な構造の乱れを補正し、全体的な構造を優先した認知のモードが存在すると表現してもよい。このことは認知的変換群によって定義された変換群構造、すなわち、全体的な関係構造の重要性をあらためて示すものである。

パターンを構成する要素の数の増加とともに空変換群構造の占める割合が急増し、大多数のパターン対の類似度やパターンの良さが区別できなくなることは変換群構造説（変換構造説）の大きな困難であった。パターン対の全体を准変換群構造 T_d ($T \neq E, 0 \leq d \leq n/2$) に類別すれば空変換群構造は存在しない。また、実験結果は構造依存性の仮説と距離依存性の仮説を支持している。したがって、准変換群構造の導入によって空変換群構造にともなう困難は解消されたと考えることができる。

対象は構造化された全体として知覚されるというゲシュタルト心理学の観点から、准変換群構造の認知はパターン対の類似度が高くなる向きに行われると予測される。同様な現象はパターンの良さ判断においても存在し、その効果はパターンを構成する要素の数の増加とともに大きくなると予測される。類似性判断における個人差の検討とともに、これらの予測を実験的に検証することを当面の研究課題としたい。

線形 2 値パターンのような単純な対象を扱っても人の認知にかかわる現象は多様である。我々は、幾何学が現実には存在しない理想化された単純な線や図形の性質を扱うように、パターン認知においても、まず単純なパターンを扱うことは認知現象の本質を理解するために有効であると考えられる。今後の研究課題としては線形 2 値パターンから 2 値行列パターンへの拡張が重要であり、小規模 2 値画像に対して人の認知判断に適合した類似度の尺度を構成することが将来の課題（夢）である。

謝辞 共同で実験を行った（故）山下康之君、加賀谷行介君、佐々岡俊夫君、皿田博之君、実験に協力して下さった学生諸氏に感謝いたします。また、認知心理学の研究について日頃からご指導いただく今井四郎北海道大学名誉教授、論文の作成に貴重なコメントを頂戴した林幹也松山東雲女子大学講師、統計的検定の方法や個人差の問題について重要なコメントを頂戴した匿名の査読者と編集担当委員の皆様へ感謝いたします。研究の一部は日本学術振興会科学研究費（萌芽研究 19654021）の支援で行われました。

参 考 文 献

- 1) 天野 要, 今井四郎: パターンの変換構造と類似性認知に関する群論的研究, 心理学研究, Vol.60, No.5, pp.297-303 (1989).
- 2) 天野 要, 今井四郎: パターンの変換構造と良さの認知に関する群論的研究, 心理学研究, Vol.63, No.3, pp.181-187 (1992).
- 3) 天野 要, 岡野 大, 緒方秀教, 芝田安裕, 小西敏雄, 福士顯士, 濱田治良, 今井四郎: パターンの類似性判断に関する変換群構造説, 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.11, pp.2733-2742 (2001).
- 4) 天野 要, 岡野 大, 荒木正人, 小西敏雄: 類似性判断における変換群構造の効果について, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.8, pp.2807-2811 (2006).
- 5) Gentner, D.: Structure-Mapping: A Theoretical Framework for Analogy, *Cognitive Science*, Vol.7, No.2, pp.155-170 (1983).
- 6) Gentner, D. and Markman, A.B.: Structure Mapping in Analogy and Similarity, *American Psychologist*, Vol.52, No.1, pp.45-56 (1997).
- 7) Goldstone, R.L., Medin, D.L. and Gentner, D.: Relational Similarity and the Non-independence of Features in Similarity Judgments, *Cognitive Psychology*, Vol.23, No.2, pp.222-262 (1991).
- 8) Goldstone, R.L.: Similarity, Interactive Activation, and Mapping, *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, Vol.20, No.1, pp.3-28 (1994).
- 9) 市川伸一, 行場次朗: パターンの精神物理学における方法論的諸問題の検討, 心理学評論, Vol.27, No.2, pp.132-157 (1984).
- 10) Imai, S.: Effect of Inter-Pattern Transformation Structures upon Similarity Judgments of Linear Pattern Pairs, *Proc. 20th International Congress of Psychology*, Tokyo, pp.164-165 (1972).
- 11) Imai, S.: Pattern Similarity and Cognitive Transformations, *Acta Psychologica*, Vol.41, No.6, pp.433-447 (1977).
- 12) 今井四郎: パターン認知の変換構造説, 東京大学出版会, 東京 (1986).
- 13) Imai, S.: Fundamentals of Cognitive Judgments of Pattern, *Cognition, Information Processing and Psychophysics: Basic Issues*, Geissler, H.-G., Link, S.W. and Townsend, J.T. (Eds.), pp.225-265, Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey (1992).
- 14) 今井四郎, 天野 要: 変換と写像の概念に基づくパターン認知論, 応用数理, Vol.8, No.1, pp.30-45 (1998).
- 15) 小西敏雄, 岡野 大, 緒方秀教, 芝田安裕, 天野 要, 福士顯士, 濱田治良, 今井四郎: パターンの良さ判断に関する変換群構造説, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.8, pp.2274-2283 (2003).

- 16) 楠見 孝: 類似性と近接性—人間の認知の特徴について, 人工知能学会誌, Vol.17, No.1, pp.2-7 (2002).
- 17) Markman, A.B. and Gentner, D.: Splitting the Differences: A Structural Alignment View of Similarity, *Journal of Memory and Language*, Vol.32, No.4, pp.517-535 (1993).
- 18) Markman, A.B. and Gentner, D.: Structural Alignment during Similarity Comparisons, *Cognitive Psychology*, Vol.25, No.4, pp.431-467 (1993).
- 19) 松田隆夫: パターンの良さ判断とパターン内変換構造—パターン認知に関する今井の変換構造説の検討, 心理学研究, Vol.49, No.4, pp.207-214 (1978).
- 20) 森 敏昭, 吉田寿夫 (編著): 心理学のためのデータ解析ハンドブック, 北大路書房, 京都 (1990).
- 21) 永田 靖, 吉田道弘: 統計的多重比較法の基礎, サイエンス社, 東京 (1997).
- 22) 中島義明他 (編): 心理学辞典, 有斐閣, 東京 (1999).
- 23) 中澤 港: R による統計解析の基礎, ピアソン・エデュケーション, 東京 (2003).
- 24) 大西 仁 (編): 特集「類似性と類推」, 認知科学, Vol.4, No.4 (1997).
- 25) 大西 仁, 鈴木宏昭 (編著): 類似から見た心, 共立出版, 東京 (2001).
- 26) 岡野 大, 天野 要, 荒木正人, 小西敏雄: 類似性判断に与えるパターン間相互作用の効果, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.6, pp.1986-1997 (2006).
- 27) 大塚雄作: パタンの認知判断に対する幾何学的変換の役割, 心理学研究, Vol.55, No.2, pp.67-74 (1984).
- 28) Shepard, R.N.: The Analysis of Proximities: Multidimensional Scaling with an Unknown Distance Function I, *Psychometrika*, Vol.27, No.2, pp.125-140 (1962).
- 29) Shepard, R.N.: The Analysis of Proximities: Multidimensional Scaling with an Unknown Distance Function II, *Psychometrika*, Vol.27, No.3, pp.219-246 (1962).
- 30) 芝田安裕, 高崎昌浩, 小西敏雄, 岡野 大, 緒方秀教, 天野 要: 類似性判断に関する変換群構造説の 2 次元ドットパターンへの拡張, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.12, pp.4067-4070 (2002).
- 31) 鈴木宏昭: 類似と思考, 共立出版, 東京 (1996).
- 32) Tversky, A.: Features of Similarity, *Psychological Review*, Vol.84, No.4, pp.327-352 (1977).
- 33) ファン・デル・ヴェルデン (著), 銀林 浩 (訳): 現代代数学 1, 東京図書, 東京 (1959).
(平成 19 年 10 月 20 日受付)
(平成 20 年 4 月 8 日採録)



天野 要 (正会員)

1948 年生。1971 年京都大学工学部電子工学科卒業。1978 年北海道大学大学院工学研究科博士課程電気工学専攻修了。工学博士。現在、愛媛大学工学部情報工学科教授。研究分野は数値解析, 情報科学, 認知心理学。情報処理学会創立 30 周年記念論文賞, 日本応用数学会 1996 年度論文賞, 情報処理学会創立 40 周年記念論文賞受賞。日本数学会, 日本応用数学会, 電子情報通信学会, 日本心理学会, SIAM, ACM 各会員。



荒木 正人 (学生会員)

1981 年生。2003 年愛媛大学工学部情報工学科卒業。2005 年愛媛大学大学院理工学研究科博士前期課程情報工学専攻修了。現在、デンソーテクノ株式会社勤務。在学中の研究課題はパターン認知。



岡野 大 (正会員)

1968 年生。1992 年東京大学工学部物理工学科卒業。1995 年東京大学大学院工学系研究科修士課程物理工学専攻修了。博士 (情報理工学)。現在、愛媛大学工学部情報工学科准教授。研究分野は数値解析, 情報処理。情報処理学会創立 40 周年記念論文賞受賞。日本応用数学会会員。



小西 敏雄 (正会員)

1959 年生。1982 年広島大学理学部数学科卒業。1984 年愛媛大学大学院理学研究科修士課程数学専攻修了。理学修士。現在、松山東雲女子大学人文科学部国際文化学科教授。研究分野は数理計画, 統計解析, パターン認知。日本数学会, 日本応用数学会, 日本オペレーションズ・リサーチ学会各会員。



福士 顕士 (正会員)

1947年生。1970年北海道大学理学部化学第二学科卒業。1977年北海道大学大学院理学研究科博士課程化学第二専攻修了。理学博士。現在、川村学園女子大学教育学部児童教育学科教授。研究分野は情報科学、計算化学、物理化学、理科教育学。日本物理学会、日本化学会、日本コンピュータ化学会、日本理科教育学会各会員。



濱田 治良

1947年生。1971年徳島大学教育学部卒業。1976年北海道大学大学院文学研究科博士課程心理学専攻単位取得退学。1980年文学博士。現在、徳島大学総合科学部人間社会学科教授。研究分野は知覚心理学、認知心理学。日本心理学会、日本基礎心理学会、日本視覚学会各会員。