類似性判断に与えるパターン間相互作用の効果

岡野 大[†] 天野 要[†]
荒木正人[†,☆] 小西敏雄[††]

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，相互変換可能性によってその構造（パターン間変換群構造）を認知し，パターン間変換群構造に基づいて類似性判断を行うと考える．実験はその予測を支持している．このパターン間変換群構造は同時に提示される 2 つのパターンの配置には依存しない．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視点から，パターン対の構造は配置も含めて認知されているはずである．本論文では，このような位置的な関係に起因するパターン間相互作用の類似性判断に与える効果を検討する．具体的には，2 つの線形 2 値パターンを上下に配置した実験を行い，左右に配置した実験と比較して，パターン間相互作用の効果がパターン間変換群構造の認知の容易さ・明瞭さを介して類似度の評定値に現れることを示す．このとき，いずれの実験結果も変換群構造説の予測に従っていることが重要である．

Effects of Mutual Interactions between Patterns on Their Similarity Judgments

Dai Okano,[†] Kaname Amano,[†] Masato Araki[†,☆]
and Toshio Konishi[††]

The transformational group structure theory predicts ordinal relations of the similarity of pattern pairs by the concept of inter-pattern transformational group structures, which are defined by mutual transformability using cognitive transformation groups. Experimental results have supported this prediction. However, Gestalt psychology suggests that the inter-pattern transformational group structure, which is independent of spatial relations between the paired patterns, is unconsciously cognized under mutual interactions caused by the spatial relation. We here show by experiments of similarity judgments of linear binary pattern pairs presented left-and-right and top-and-bottom that the spatial relation between the paired patterns affects their similarlity through the easiness and the clearness of cognition of the inter-pattern transformational group structure. It should be noted that both the experimental results are compatible with the theoretical prediction.

1. はじめに

パターン認知は人の最も基本的な情報処理の機能であり，パターンに関する類似性，良さ，複雑さ等の認知判断は心理学の古典的な研究課題である[25),32),44)]．特に，類似性判断はパターン再認，知覚的群化・分類から学習，記憶，推論等に至る様々な知的活動の根幹をなしていると考えられ，認知科学の分野でも近年活発に研究されている[35),40),42),49)]．ここでは，まず研究の主題を簡潔に記し，次章でその背景をやや詳しく記すことにする．

今井の変換構造説[24)〜26)]は類似性判断（パターン対の相対的な関係に関する認知判断）や良さ判断（パターンの個別的な性質に関する認知判断）のようなパターンに関する異質な認知判断を統一的に説明する心理学説である．その妥当性は多くの実験で検証されている[21),22),28),29),31),39),43)]．この変換構造説を数理的な視点から再構成したものが変換群構造説[1)〜3),27),33),47)]である．

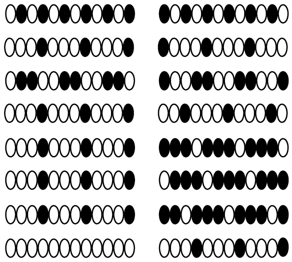
変換群構造説では，人（認知系）は提示されたパターン[☆☆]に対していくつかの変換群（認知的変換群）を施し，相互変換可能性や不変性によってその構造（変換

† 愛媛大学工学部情報工学科
Department of Computer Science, Faculty of Engineering, Ehime University
†† 松山東雲女子大学人文学部国際文化学科
Department of Communication and Culture, Faculty of Humanities, Matsuyama Shinonome College
☆ 現在，デンソーテクノ株式会社
Presently with DENSOTECHNO Corporation

☆☆ 厳密には提示される物理的刺激（configuration）と認知されるパターン（pattern）を区別すべきであるが，ここでは両者をパターンと呼ぶことにする．

表 1 パターン間変換群構造と類似度の評定値[21]（変換群構造説の視点で整理されている）

Table 1 Inter-pattern transformational group structures of pattern pairs with the rated similarity[21] (arranged from the viewpoint of the transformational group structure theory).



パターン対の例	変換群構造	類似度
	M∧P∧R	8.9
	M∧P	8.1
	P∧R	7.7
	P	6.4
	R	5.5
	PR∧RM	4.3
	PR	3.9
	E	1.9

群構造）を認知し，この変換群構造に基づいて認知判断を行うと考える．類似性判断の変換群構造説では，認知的変換群による相互変換可能性によって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順序整合性の仮説と順序保存の仮説でパターン対の類似度の大小に関係づける．また，良さ判断の変換群構造説では，認知的変換群に対する不変性によってパターン内変換群構造を定義し，このパターン内変換群構造を順序整合性の仮説と順序保存の仮説でパターンの良さの大小に関係づける．

表 1 は線形 2 値パターン（白黒の楕円要素を横に並べるという物理的な表現形式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[21]を変換群構造説の視点で整理したものである．類似度の評定値は「認知的変換群による相互変換可能性の高いパターン対ほど似ている」という変換群構造説の予測を支持している．

しかし，ここに 1 つの疑問が生じる．パターン間変換群構造は同時に提示される 2 つのパターンの配置には依存しない．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視点から，パターン対の構造は配置も含めて認知されているはずである．これまでの多くの実験[3),21),22),31),43),47]でパターン対は左右に配置されてきた．その影響は存在しているであろうか．また，存在しているとすれば，類似度の評定にどのように影響しているであろうか．

本論文では，対を構成する 2 つのパターンの位置的な関係の影響をパターン間相互作用と呼び，その類似性判断に与える効果を検討する．具体的には，2 つの楕円パターンを上下に配置したパターン対（縦型パターン対と略称する）の類似性判断の実験を行い，これまでの左右に配置したパターン対（横型パターン対と略称する）の実験結果と比較して，パターン間相互作用の効果がパターン間変換群構造の認知の容易さ・明瞭さを介して類似度の評定値に現れることを示す．このとき，横型パターン対と縦型パターン対のいずれの場合にも，実験結果は順序整合性の仮説と順序保存の仮説に基づく変換群構造説の予測に従っていることが重要である．

2. 類似性判断に関する諸学説

類似性判断（認知）に関するこれまでの代表的な学説（理論，モデル）の概要を記し，その特徴を比較して，本研究の意義を述べる．

伝統的な類似性判断の学説としては，幾何学説と特徴照合説が広く知られている[25]．

幾何学説 この学説では，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（すなわち，非類似度）

$$d(x,y) = \left(\sum_{k=1}^{n} |x_k - y_k|^p \right)^{1/p} \quad (p > 0) \quad (1)$$

の単調減少関数で $S(a,b) = f(d(x,y))$ と表現する．幾何学説は，多次元尺度構成法[45),46]によって，対象の表現次元 n が既知でなくても適用可能である．

この学説は，主に比較的少数の物理量で表現される対象（例：色，音）を扱って，類似性に関する様々な実験事実を定量的に説明することに成功した．しかし，類似性判断の過程そのものを記述することは難しい．

特徴照合説 Tversky[50]は，幾何学説がより複雑な対象（例：顔，国家，性格）の表現には必ずしも適していないこと，類似度（正確には，非類似度）に関する経験的事実が距離の公理を必ずしも満たしていないこと等を指摘し，特徴照合説（特に，特徴の対比モデル）を提案した．このモデルでは，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

$$S(a,b) = \theta f(A \cap B) - \alpha f(A-B) - \beta f(B-A) \quad (\theta, \alpha, \beta \geq 0) \quad (2)$$

と表現する．ここに，f は特徴の顕著性を表現する関数で，θ，α，β は重みパタメータである（したがって，この式は共有特徴集合の増加関数で，固有特徴集合の減少関数である）．

Tversky の対比モデルは，簡単で適合性の高いモデルとして知られ，類似度の非対称性や文脈（例：a，b 以外の対象の存在）の効果等を説明することができる．たとえば，a の b に対する類似度と b の a に対する

類似度の非対称性 $S(a,b) \neq S(b,a)$ は重みパラメータの差異 $\alpha > \beta$（焦点仮説）によって説明される．しかし，特徴照合説もまた特徴集合の抽出（原理的には無限の可能性がある），照合の過程における一致の判断基準，顕著性の決定等に困難が存在する[25),41)]．また，特徴は Tversky の仮定のように相互に独立ではなく[10)]，しばしば階層的，命題的な関係構造を持つ[48)]．

近年，類似性判断における対象の構造に関する情報の重要性が注目されている．

構造整列説　Markman & Gentner[8),37),38)] の類似性の構造整列説は，類推の構造写像説[7)] から生まれ，Tversky の対比モデルを構造化された対象に拡張したものと解釈されている[36)]．

構造整列説では，類似性認知は類推の場合と同様に関係構造の整列と写像という能動的で構成的な過程を含むと主張する．まず，人が構造を持つ対象の共通性や差異を認知するためには相互比較が必要である．この比較の過程で，構造的一貫性（並列結合性：関係構造を記述する述語が対応する場合には項も対応すること，および，1 対 1 対応：1 要素が 2 要素以上に対応することはないこと），関係焦点性（関係構造と対象の属性は区別され，共通の関係構造に焦点が当てられること）☆，および，システム性原理（高次の関係構造の対応が優先されること）という 3 種の制約条件を満たすように概念的構造の最適な対応づけがなされる．比較の結果，共通性，整列可能な差異（共通構造に関係する差異），整列不可能な差異（共通構造に関係しない差異）が定まり，これらの共通性と 2 種類の差異は互いに関係しながら，より高次の関係構造が共有されるほど類似度は高くなるという形で全体の類似性を決定する．

Goldstone[9)] は，同様に構造化されたシーンの類似性判断において，MIP（対応のある一致）は MOP（対応のない一致）より類似性に強く影響する等，構造の整列が特徴の影響力に作用することを明らかにした．

また，類推に関連して，Indurkhya[30)] は特徴が比較の過程で生成されると考えるべきであることを論じ，Holyoak & Thagard[19),20)] は，目的に関係したプラグマティックな情報の重要性を指摘した．わが国でも，大西ら[41)] は類似性判断が目標や知識に影響されるという視点から，文脈に対応した類似性判断の説明を試みている．

変換構造説　前述のように，変換構造説[21),22)] もまた構造の認知という能動的で構成的な過程を含むパターン認知の理論である．構造整列説とは基本的な考え方がよく似ている．変換構造説では，認知的変換で対象の相互一致（文字どおり，最適な構造の整列）の可能性をテストし，一致を可能にする変換の種類と組合せを類似度の順序に関係づける．構造整列説では，概念的構造の最適な対応づけ（すなわち，構造の一致を目標とした探索）を行い，一致・不一致の程度と種類を類似度の順序に関係づける．

変換構造説（変換群構造説）では認知的変換（認知的変換群）が重要な役割を果たし，変換は集合上の写像として定義される．したがって，まず，対象は集合として外延的に（提示されたパターン全体の集合として）または内包的に（提示されたパターンの集合から確実に推測される集合として）定義されなければならない．しかも，特徴照合説において特徴集合を抽出する機構が存在しないことと同様に，変換構造説においても認知的変換のセットを特定する機構は確立していない（一定の指針は与えられている[1),2),25)]）．また，階層的，命題的な関係構造を陽に表現することは意図されていない．完全一致が不可能な場合についても議論されることは少なかった（変換構造説の最大の課題の 1 つであるが，ここでは深入りをしない）．

上記のような制約の下では，変換構造説（変換群構造説）は整合性の高い理論である．しかも，前述のように類似性判断と良さ判断という異質な認知判断をパターン間変換構造とパターン内変換構造という概念で統一的に説明することができる[24)〜26)]．この特徴はパターン認知の理論として重要である．しかし，従来，類似性判断と良さ判断は独立の課題として研究されることが多かった．パターン対の類似性判断は個々のパターンの構造と提示された対全体としての構造の双方に基づくと考える方が自然である．このような視点から研究されるべき課題は多い．たとえば，類似性の非対称性についても，パターン a の良さ $G(a)$ とパターン b の良さ $G(b)$ の間に $G(a) > G(b)$ の関係がある場合には $S(a,b) < S(b,a)$ が成り立つと考えれば，変換構造説（変換群構造説）は整合性の高い説明を与える（実験的な検証が必要である）．本研究の主題であるパターン間相互作用の効果もそのような課題の 1 つである．

3. 類似性判断の変換群構造説

3.1 認知的変換群と変換群構造

まず，n 要素の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

☆ 類推と類似性の違いは，類推では関係述語のみが共有され，類似性では関係述語と対象属性の双方が共有されることにあるとされている．

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 $e:$ ○○●○ → ○○●○ と記す．

- 鏡映変換群 $M=\{e,m\}$：m は要素の順序を逆転する．たとえば，$m:$ ○○●○ → ○●○○ である．
- 位相変換群 $P=\{e,p_1,\ldots,p_{n-1}\}$：$p_i$ は要素の順序を i だけ右に平行移動し，右端にはみ出した要素を左端に順次組み込む．たとえば，$p_1:$ ○○●○ → ○○○● 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，$r:$ ○○●○ → ●●○● である．

これらの変換群 M，P，R は互いに可換で，積もまた変換群である．

次に，認知的変換群による相互変換可能性でパターン間変換群構造を定義する．具体的には，パターン対の I 以外の変換群による相互変換可能性を 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 ○○●○ と ●○○○ は相互変換可能ではないが，パターン ○○●○ と ○●○○ は相互変換可能である．すると，変換群 M，P，R の可換性と変換群の再生性（たとえば，$M^2=M$）により，楕円パターン対の全体を以下に定義する 20 個の変換群構造に類別することができる．

- 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∧P，P∧R，R∧M，M∧P∧R，M∧PR，P∧RM，R∧MP，MP∧PR，PR∧RM，RM∧MP，MP∧PR∧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∧P は変換群構造 M，P 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パターン間変換群構造を持つと定義する．

なお，本論文では変換を斜体で構造を立体で記して区別している．

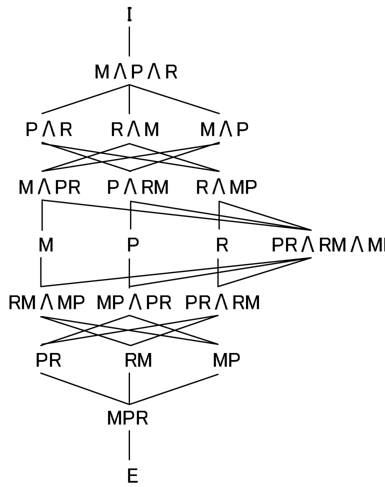


図 1　パターン対の類似度の順序関係を予測するハッセ図
Fig. 1　Hasse diagram which predicts orders of similarity of pattern pairs.

3.2　順序整合性の仮説と順序保存の仮説

このようなパターン間変換群構造の定義に基づいて，パターン対の類似度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．

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 $S(\mathrm{T})$ として，変換群構造 T_i，T_j，T_k（単一変換群構造とは限らない）に対して

$$S(\mathrm{E})\le S(\mathrm{T}_i), S(\mathrm{T}_j)\le S(\mathrm{T}_i\wedge\mathrm{T}_j)\le S(\mathrm{I}), \quad (3)$$

$$S(\mathrm{E})\le S(\mathrm{T}_i\mathrm{T}_k\wedge\mathrm{T}_j\mathrm{T}_k)\le S(\mathrm{T}_k)\le S(\mathrm{I}) \quad (4)$$

なる関係が成立することである．前者は，多重変換群構造 $\mathrm{T}_i\wedge\mathrm{T}_j$ を持つパターン対の類似度は変換群構造 T_i，T_j を持つパターン対の類似度以上であることを意味する．後者は，変換群構造 T_k を因子とする積変換群構造のみからなる多重変換群構造を持つパターン対の類似度は変換群構造 T_k を持つパターン対の類似度以下であること意味する．特に，恒等変換群構造 I を持つパターン対は同一で，類似度は最も高い．また，空変換群構造 E を持つパターン対の類似度は最も低い．

順序保存の仮説とは，次の 3 つの不等式

$$S(\mathrm{T}_i)\le S(\mathrm{T}_j), \quad (5)$$

$$S(\mathrm{T}_i\wedge\mathrm{T}_k)\le S(\mathrm{T}_j\wedge\mathrm{T}_k), \quad (6)$$

$$S(\mathrm{T}_i\mathrm{T}_k)\le S(\mathrm{T}_j\mathrm{T}_k) \quad (7)$$

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．この順序関係をハッセ図で表現したものが**図 1** である．図は実線で結ばれ

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．

4. 良さ判断と2値行列パターンへの拡張

パターンの良さは，必ずしも定義が明確ではなく，規則性，対称性，単純性等を含む一見曖昧な概念である．しかし，図/地分化における構造化，多義図形の認知，連想により生成されるパターンの構造化等，パターン情報処理に密接に関係した心理学的に重要な認知判断である[25)]．

パターンの良さはゲシュタルト心理学[32)]の主要な概念の1つとして研究されてきた．伝統的な良さ判断の学説としては，単純構造説[17),18)]，単一図形の冗長構造説[4)]，推測部分集合の冗長構造説[5),6)]等がある．良さ判断の変換構造説は，類似性判断の変換構造説から生まれ，Garnerらの情報理論的研究に密接に関係している[23)]．また，近年，濱田・石原[12)~16)]はパターンの良さと複雑さ判断における対称変換群の重要性を検証し，行場ら[11)]は良さ判断が様々な因子を含みうる複合的判断であることを指摘している．

ここでは，良さ判断の変換群構造説と，変換群構造説の2値行列パターン（物理的な表現形式としては，白黒の小円を要素とすることが多い）への拡張について，後の考察に関係する範囲で概要を記す．

4.1 良さ判断の変換群構造説

良さ判断の変換群構造説では，類似性判断の場合と同じ認知的変換群に対して，パターンの不変性を e 以外のいずれかの変換要素に対して不変（すなわち，自分自身へ変換可能）なことであると定義する．たとえば，鏡映変換群 M に対して，パターン ○○●○ は不変ではないが，パターン ○●●○ は不変である．すると，楕円パターンの全体を以下に定義する19個の変換群構造に類別することができる．

- 単一変換群構造 M，P，R：それぞれ変換群 M，P，R に対して不変なパターンの構造．
- 積変換群構造 MP，PR，RM，MPR：それぞれ積変換群 MP，PR，RM，MPR に対してはじめて不変なパターンの構造．
- 多重変換群構造 M∧P，P∧R，R∧M，M∧P∧R，M∧PR，P∧RM，R∧MP，MP∧PR，PR∧RM，RM∧MP，MP∧PR∧RM：複数の変換群構造をあわせ持つパターンの構造．
- 空変換群構造 E：以上の不変性を持たない（すなわち，恒等変換 e のみに対して不変な）パターンの構造．

そして，個々のパターンはそれぞれの類に対応するパターン内変換群構造を持つと定義する（実際には，パターン内変換群構造にRを含むパターンは存在しない）．

このようなパターン内変換群構造の定義に基づいて，パターンの良さ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．いずれの仮説も，変換群構造Tを持つパターンの良さを $G(\mathrm{T})$ として，類似性判断の場合の式 (3)〜(7) と同じ形式で記述される[33)]．

4.2 2値行列パターンへの拡張

$m \times n$ 型の2値行列パターンに対して，次の4種の認知的変換群を定義する．

- 恒等変換群 $I = \{e\}$：e は恒等変換である．
- 2面体群 D（鏡映変換群 M に対応する）：正方行列 $m = n$ の場合には4次の2面体群 $D = D_4 = \{e, c_1, c_2, c_3, m_h, m_v, m_l, m_r\}$ を用いる．ここに，c_1，c_2，c_3 はそれぞれ $\pi/2$，π，$3\pi/2$ の回転変換であり，m_h，m_v，m_l，m_r はそれぞれ水平軸，垂直軸，左上から右下への対角軸，右上から左下への対角軸に対する鏡映変換である．非正方行列 $m \neq n$ の場合には2次の2面体群 $D = D_2 = \{e, c_2, m_h, m_v\}$ を用いる．
- 並進変換群 $P = P_h \times P_v = \{e, p_{h1}, \ldots, p_{hn-1}\} \times \{e, p_{v1}, \ldots, p_{vn-1}\}$（位相変換群 P に対応する）：ここに，p_{hi} は各列を i だけ右に平行移動し，右端にはみ出した要素は左端に順次組み込む．また，p_{vj} は各行を j だけ上に平行移動し，上端にはみ出した要素を下端に順次組み込む．
- 反転変換群 $R = \{e, r\}$：r はすべての要素の色を反転する．

これらの変換群 D，P，R は互いに可換で，積もまた変換群となる．したがって，類似性判断と良さ判断の変換群構造説は2値行列パターンの場合へ自然に拡張される[2),47)]．

5. 実験と考察

楕円パターンを左右に配置した実験1[3)]と上下に配置した実験2の結果を比較する．

5.1 実験1（横型パターン対）

5.1.1 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：1996年10月29日（火）
- 被験者：愛媛大学法文学部1回生60名
- パターン：横型12要素パターン33対
- 評定法：最高10点，最低0点の11段階評定
- 反復数：3回

表 2　パターン対の変換群構造と類似度の評定値（平均値と標準偏差）
Table 2　Pattern pairs and their transformational group structures with the rated similarity (average and standard deviation).

番号	パターン対		変換群構造	平均値（標準偏差）					
				実験1（横型パターン対）			実験2（縦型パターン対）		
95 *	●●○○●●○○●●○○	●●○○●●○○●●○○	I	8.8 (1.9)	8.5 (2.0)	8.5	8.7 (2.5)	8.7 (2.1)	8.7
72	○○●●●○●○○●○●	○○●●●○●○○●○●		8.1 (2.9)			8.7 (2.4)		
81 a	○●○●○●○●○●○●	●○●○●○●○●○●○	M∧P∧R	8.2 (2.7)	7.6 (2.7)	7.6	7.9 (2.7)	7.6 (2.4)	7.6
38 b	○○●●○○●●○○●●	●●○○●●○○●●○○		7.4 (2.9)			7.6 (2.2)		
52	●●●●●●○○○○○○	○○○○○○●●●●●●		7.3 (3.3)			7.2 (3.3)		
79 d	○●●○○●●○○●●○	●○○●●○○●●○○●	P∧R	5.7 (2.8)	5.4 (2.4)	6.6	6.6 (2.8)	6.0 (2.5)	5.8
17	●●●○○●○○○●●○	○○○●●○●●●○○●		5.1 (2.7)			5.3 (2.9)		
93	○●●○○○●●●○○●	●○○●●●○○○●●○	R∧M	6.9 (2.9)			5.7 (2.9)		
27 c	○○○●○○○●○○○●	●○○○●○○○●○○○	M∧P	7.5 (2.5)	7.4 (2.3)		6.2 (2.7)	5.6 (2.2)	
88	●○○●○○●●●●○○	○○●●●●○○●○○●		7.3 (2.5)			4.9 (2.6)		
60	●●○○●●○○○●○●	●○●○○○●●○○●●	M∧PR	6.9 (2.9)		5.8	5.4 (2.7)		5.3
47	●○●○○○●●○○●●	○○●●○○●●●○●○	P∧RM	5.0 (2.5)			4.6 (2.4)		
62	○○●●○○●●●○●○	●●○○●●○○○●○●	R∧MP	5.4 (2.8)			5.8 (2.6)		
46	○●●●○○●●○○●○	○●○○●●○○●●●○	M	6.9 (2.5)		5.9	4.9 (2.9)		5.5
43 e	○○●●○○●●○○●●	○●●○○●●○○●●○	P	4.9 (3.0)	5.2 (2.4)		6.2 (2.8)	5.6 (1.9)	
64 f	○○○●○○○●○○○●	○○●○○○●○○○●○		5.8 (2.8)			6.5 (3.0)		
37	○○○●●○●○●●●○	○●●○●○●●●○○○		4.9 (3.3)			4.1 (2.7)		
83 g	○○○○○○○○○○○○	●●●●●●●●●●●●	R	6.5 (3.6)	5.6 (2.7)		6.8 (4.2)	6.1 (2.9)	
68 h	○○○●○○○●○○○●	●●●○●●●○●●●○		5.2 (3.1)			5.8 (3.3)		
91	○●○●●○○●●●○○	●○●○○●●○○○●●		5.0 (2.8)			5.7 (3.1)		
54	●●○○●○○○●●○●	○●○○●●●○●●○○	RM∧MP	4.9 (2.4)		4.4	4.4 (2.7)		4.3
13	●○○○●○●●●○○●	●●○○●●●○●○○○	MP∧PR	3.2 (2.4)			3.5 (2.5)		
70 i	○○○●○○○●○○○●	○●●●○●●●○●●●	PR∧RM	5.2 (2.6)	5.1 (2.2)		5.3 (3.3)	5.0 (2.4)	
15	●○○●○○●○○●●●	○○○●●○●●○●●○		5.0 (2.3)			4.7 (2.6)		
77 j	○○○●○○○●○○○●	●●○●●●○●●●○●	PR	3.4 (2.6)	3.2 (2.0)	3.6	4.6 (3.3)	4.0 (2.3)	4.1
21	●●●○●○●○○●○○	●●○○○●○●○●●○		3.0 (2.3)			3.3 (2.4)		
98	●●●○●○○●○●○○	●●○●○●●○●○○○	RM	5.1 (2.4)			4.9 (2.4)		
84	●●●○○●○●○○●○	○○●○●○○●●●○●	MP	2.6 (2.1)			3.4 (2.3)		
28	○●○●○○●○○●●●	○●●○●○●○○○●●	MPR	2.4 (2.6)		2.4	3.7 (2.5)		3.7
19 k	○○○○○○○○○○○○	○○○●○○○●○○○●	E	1.8 (2.6)	1.4 (1.7)	1.4	1.6 (2.6)	1.8 (1.7)	1.8
12 l	○○●●○○●●○○●●	○○○○○○○○○○○○		1.1 (1.9)			1.6 (2.1)		
34	●●●●●●●●●●●●	○●○○●●○●○●○●		0.8 (1.6)			2.6 (2.4)		
58	○○●○○○●●●○●●	○●○●●○●○○●○●		1.8 (2.2)			1.3 (1.8)		

表 2 に実験パターン対を示す．12 要素パターン対では PR∧RM∧MP（要素数のいかんにか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．番号欄の記号 a〜l は今井[25]（p.51）の周期パターン対（パターン内変換群構造に同周期の P を含むパターンの対）であることを意味している（95* も周期パターン対である）．

実験 1 では，**図 2** (a) のように，横型 A5 の紙片に灰色の背景領域（$6\times16.5\,\mathrm{cm}^2$）をとり，その中央にパターン対を左右に配置して，白黒の楕円（長径 0.8 cm, 短径 0.5 cm）が等しい対比を見せるようにした．被験者は配布された 33 枚のパターン対をシャッフルし，その類似度を 0 点から 10 点までの 11 段階法で 1 対ずつ評定した．このようにシャッフルして評定するという作業を 3 回反復し，解析には 3 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．

5.1.2　結果と考察

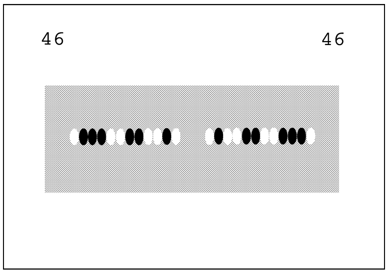
表 2 は実験パターン 33 対の変換群構造と類似度の評定値である（実験 2 の結果も記されている）．**図 3** (a) は変換群構造別の平均値をハッセ図に記入したもので

ある（(b) は実験 2 の結果である）．このハッセ図では，下記の括弧内に示すように，線の種類と太さで評定値の差の向きと程度を区別している．**表 3** は，データに対応のある場合の 1 要因分散分析（平均値の一致を帰無仮説とした F 検定）[34] の結果である．要因（変換群構造）の効果は 1%で有意であり，変換群構造の違いによってパターン対の類似度に差があるといえる．**表 4** の下三角の部分は多重比較（すべての変換群構造の組に対する有意差の検定，LSD 法（最小有意差法），有意水準 5%）の結果である（上三角の部分は実験 2 の結果である）．記号の意味は次のとおりである．

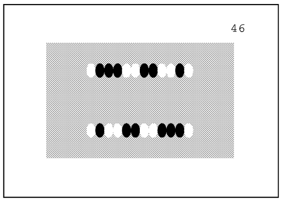
◎（太い実線）：予測を支持する向きに有意差があった．

○（細い実線）：有意ではないが，予測を支持する向きに差があった（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も細い実線を使用している）．

×（細い点線）：有意ではないが，予測とは逆の向きに差があった．



(a)



(b)

図 2 (a) 横型楕円パターン対（実験 1）と (b) 縦型楕円パターン対（実験 2）の例

Fig. 2 Examples of (a) the left-and-right type elliptic pattern pairs (Experiment 1) and (b) the top-and-bottom type elliptic pattern pairs (Experiment 2).

表 3 分散分析表：(a) 実験 1，(b) 実験 2

Table 3 Tables for analysis of variance: (a) Experiment 1 and (b) Experiment 2.

(a)

変動因	平方和 *SS*	自由度 *df*	平均平方 *MS*	分散比 F_0
要因（変換群構造）	4049.66	18	224.98	50.3**
ブロック（個人差）	1939.41	59	32.87	7.3**
誤差	4752.97	1062	4.48	
全体	10742.03	1139		

(b)

変動因	平方和 *SS*	自由度 *df*	平均平方 *MS*	分散比 F_0
要因（変換群構造）	2151.45	18	119.52	30.8**
ブロック（個人差）	2318.86	49	47.32	12.2**
誤差	3426.03	882	3.88	
全体	7896.34	949		

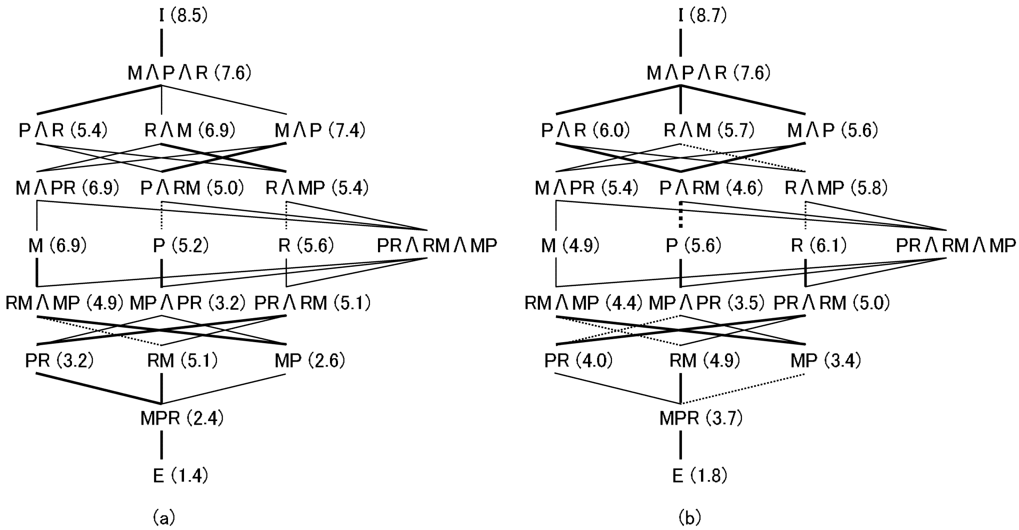


図 3 ハッセ図と類似度の評定値：(a) 実験 1（横型楕円パターン対），(b) 実験 2（縦型楕円パターン対）

Fig. 3 Hasse diagrams with the rated similarity: (a) Experiment 1 (the left-and-right type elliptic pattern pairs) and (b) Experiment 2 (the top-and-bottom type elliptic pattern pairs).

表 4　平均値の差の有意性の検定：実験 1（下三角部分）と実験 2（上三角部分）

Table 4　Significance test for the difference between averages: Experiment 1 (the lower triangular part) and Experiment 2 (the upper triangular part).

	I	M∧P∧R	P∧R	R∧M	M∧P	M∧PR	P∧RM	R∧MP	M	P	R	RM∧MP	MP∧PR	PR∧RM	PR	RM	MP	MPR	E
I		◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
M∧P∧R	◎		◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
P∧R	◎	◎					◎	○	△	○	×	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
R∧M	◎	○	△			○	△	×	◎		×	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎
M∧P	◎	○	△			○	◎		○	○		◎	◎	○	◎	○	◎	◎	◎
M∧PR	◎	◎	△	○	○		△		○			◎	◎	○	◎	○	◎	◎	◎
P∧RM	◎	◎	○	△	◎	△		△		※	△	○	◎	×	○	×	◎	◎	◎
R∧MP	◎	◎	○	◎	△	△			△		×	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
M	◎	○	△	○	○	○	△	△			△	○	△		△	○	◎	◎	◎
P	◎	◎	○	△	◎	△	×		△			△	◎		◎		◎	◎	◎
R	◎	◎	×	◎	△	△		×	△			△	△	◎	◎	◎	△	◎	◎
RM∧MP	◎	◎	○	◎	◎	◎	○	○	◎				△			×	◎	○	◎
MP∧PR	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	◎	△	△		△	×	△	○	×	◎
PR∧RM	◎	◎	○	◎	◎	◎	×	○	△		○		△		◎	○	△	◎	◎
PR	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	◎	◎	△	○	◎		△		○	◎
RM	◎	◎	○	◎	◎	◎	×	○	◎		○	×	△	○	△		△	◎	◎
MP	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	◎	○	△		△		×	◎
MPR	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○		◎
E	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	

※（太い点線）：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，変換群構造 M と P の間のように，予測はできないが実験結果で有意と認められた順序関係を表現している．

予測順序の検討　表 2 のように，ハッセ図の各階層ごとの類似度は $S(\mathrm{I}) = 8.5$ から $S(\mathrm{E}) = 1.4$ 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．図 3 (a) 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 4 の◎印に相当）が 11 例，細い実線（表 4 の○印に相当）が 12 例（5 例はタイ），細い点線（表 4 の×印に相当）が 3 例である．順序が逆転した場合の差はわずかで，有意性はない．この図から，実験結果が順序整合性の仮説 (3)，(4) を支持していることはただちに分かる．また，同様に，$S(\mathrm{P}) < S(\mathrm{M})$，$S(\mathrm{P{\wedge}R}) < S(\mathrm{R{\wedge}M})$，$\mathrm{S(PR)} < S(\mathrm{RM})$（いずれも有意差あり）等，順序保存の仮説 (5)，(6)，(7) も支持している．

特徴　単一変換群構造の間には，$S(\mathrm{P}) < S(\mathrm{R}) < S(\mathrm{M})$ なる関係が存在し，$S(\mathrm{P})$，$S(\mathrm{R}) < S(\mathrm{M})$ だけでなく，$S(\mathrm{P{\wedge}R}) < S(\mathrm{M})$ にも有意差があった．これは認知的変換群 M の効果が P，R より非常に大きいことを意味している．実際，単一変換群構造 M，P，R とその上位の多重変換群構造を見ると，M，M∧PR，M∧P，R∧M，M∧P∧R という M を因子とする構造の類似度の高いことが読み取れる．同様に，積変換群構造 PR，RM，MP とその上位の多重変換群構造を見ると，RM，PR∧RM，RM∧MP という RM を因子とする構造の類似度の高いことが読み取れる．

表 5　周期パターン対と非周期パターン対の比較

Table 5　Comparison between periodic pattern pairs and non-periodic pattern pairs.

変換群構造	類似度の差	実験1（横型）	実験2（縦型）
I	S(95*)−S(72)	0.7	0
M∧P∧R	S(81a)−S(52)	0.9	0.7
	S(38b)−S(52)	0.1	0.4
P∧R	S(79d)−S(17)	0.6	1.3
M∧P	S(27c)−S(88)	0.2	1.3
P	S(43e)−S(37)	0	2.1
	S(64f)−S(37)	0.9	2.4
R	S(83g)−S(91)	1.5	1.1
	S(68h)−S(91)	0.2	0.1
PR∧RM	S(70i)−S(15)	0.2	0.6
PR	S(77j)−S(21)	0.4	1.3

また，同じパターン間変換群構造（E は除く）を持つ周期パターン対と非周期パターン対を比較すると，**表 5** のように，構造 P の 43e と 37 のタイ（ともに 4.9）の 1 例を除く 10 例すべてで前者は後者より類似度が高い（符号検定で 1%の有意性あり）．

5.2　実験 2（縦型パターン対）

5.2.1　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 3 日（金）
- 被験者：松山東雲女子大学人文学部学生 50 名
- パターン：縦型 12 要素パターン 33 対
- 評定法：最高 10 点，最低 0 点の 11 段階評定
- 反復数：2 回

実験 2 では，図 2 (b) のように，横型 A6 の紙片に縦横の長さが黄金比となるような灰色の背景領域（$6.5 \times 10.5\,\mathrm{cm}^2$）をとり，その中央に実験 1 と同じパターン対を上下に配置した．さらに，楕円要素の中心を結んだ長方形も縦横の長さが黄金比になっている．2 つのパターンが近すぎれば個々のパターンの独立性がなくなり，遠すぎれば全体のまとまりがなくなると考えられるからである．

5.2.2　結果と考察

実験 2 の結果は実験 1 の結果と対の形で表 2，図 3 (b)，表 3 (b)，表 4 の上三角部分，表 5 に提示されている．

予測順序の検討　表 2 のように，ハッセ図の各階層ごとの類似度は変換群構造 $S(\mathrm{I}) = 8.7$ から $S(\mathrm{E}) = 1.8$

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．図 3 (b) 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 4 の◎印に相当）が 12 例，細い実線（表 4 の○印に相当）が 8 例（タイはなし），細い点線（表 4 の×印に相当）が 5 例，太い点線（表 4 の※印に相当）が 1 例である．この有意差のある逆転 $S(\mathrm{P}\wedge\mathrm{RM}) < S(\mathrm{P})$ の理由については後述する．このように一部に逆転は見られるが，実験結果が順序整合性の仮説 (3)，(4) を支持していることはただちに分かる．また，同様に，$S(\mathrm{M}) < S(\mathrm{R})$，$S(\mathrm{M}\wedge\mathrm{P}) < S(\mathrm{P}\wedge\mathrm{R})$，$S(\mathrm{MP}) < S(\mathrm{PR})$（$S(\mathrm{M}) < S(\mathrm{R})$ のみに有意差あり）等，順序保存の仮説 (5)，(6)，(7) も支持している．

特徴　単一変換群構造の間には，$S(\mathrm{M}) < S(\mathrm{P}) < S(\mathrm{R})$ なる関係が存在し，$S(\mathrm{M}) < S(\mathrm{R})$ に有意差があった．認知的変換群 M の効果は P，R よりかなり小さい．単一変換群構造 M，P，R とその上位の多重変換群構造では，実験 1 における M の場合ほど顕著ではないが，R，R∧MP，P∧R，R∧M，M∧P∧R という R を因子とする構造の類似度が高い．また，積変換群構造 PR，RM，MP とその上位の多重変換群構造では，実験 1 と同様に RM，PR∧RM，RM∧MP という RM を因子とする構造の類似度が高い．

また，同じパターン間変換群構造（E は除く）を持つ周期パターン対と非周期パターン対を比較すると，表 5 のように，構造 I の 95*と 72 のタイ（ともに 8.7）の 1 例を除く 10 例すべてで前者は後者より類似度が高い（符号検定で 1%の有意性あり）．しかも，評定値の差は大きく，パターン間変換群構造 P の場合に顕著である．

5.3　実験結果の比較と相互作用の効果

実験結果は次のように整理することができる．

(1)　実験 1 では，$S(\mathrm{P}) = 5.2 < S(\mathrm{R}) = 5.6 < S(\mathrm{M}) = 6.9$ で，$S(\mathrm{P})$，$S(\mathrm{R}) < S(\mathrm{M})$ だけでなく，$S(\mathrm{P}\wedge\mathrm{R}) < S(\mathrm{M})$ にも有意差があった．認知的変換群 M の効果は P，R より非常に大きい．

(2)　実験 2 では，$S(\mathrm{M}) = 4.9 < S(\mathrm{P}) = 5.6 < S(\mathrm{R}) = 6.1$ で，$S(\mathrm{M}) < S(\mathrm{R})$ に有意差があった．認知的変換群 M の効果は P，R よりかなり小さい．実験 1 と比較して，$S(\mathrm{M})$ の値は大幅に低下し，$S(\mathrm{P})$，$S(\mathrm{R})$ の値は増大している．

(3)　実験 1，2 のいずれの場合にも，類似度の評定値は順序整合性の仮説と順序保存の仮説による変換群構造説の予測順序に従っている．

これらの実験結果は，対を構成する 2 つのパターンの位置的な関係に起因する相互作用が存在し，類似性判断に規則的に影響していることを示している．しかし，前述の定義から，パターン間変換群構造は 2 つのパターンの配置には依存しない．したがって，類似性判断への影響はパターン間変換群構造の認知の容易さ・明瞭さを介して現れると考えられる．

ここで，パターン対の全体を要素数が 2 倍の単一パターン，すなわち，横型の場合には $2n$ 要素の線形 2 値パターン，縦型の場合には $2 \times n$ 型の 2 値行列パターンと見た場合のパターン内変換群構造をパターン対内変換群構造と呼ぶことにする．実際には，横型と縦型のいずれの場合にも中央に空隙があり，全体を $2n$ 要素の単一パターンと見ることには多少の無理がある．しかし，このパターン対内変換群構造，すなわち，パターン対の全体を単一のパターンと見た場合の不変性はパターン間変換群構造の認知の容易さ・明瞭さに関係している．

次に，このような視点で，基本的なパターン間変換群構造 I，M，P，R の認知に関わる性質を考察する．

変換群構造 I　一般に，縦型は横型よりパターン間変換群構造 I の認知（同異判断）が容易・明瞭であると考えられる．明らかに，図 2 (a) の配置より (b) の配置の方が要素間の対応は見えやすい．表 2 で，パターン内変換群構造 E を持つ（良くない）パターンの対 72 の結果はこの予測を支持している．なお，パターン対 95*はパターン内変換群構造 P ∧ RM を持つ（良い）パターンの対であるために，横型の場合にもパターン間変換群構造の認知は容易・明瞭で，類似度に違いが現れていないものと解釈される．

変換群構造 M　一般に，変換群 M によって相互変換可能な横型パターン対の全体は M に対して不変性を示し，逆も成立する．また，変換群 M によって相互変換可能な縦型パターン対の全体は 2 面体群 D_2 の回転変換 c_2 に対して不変性を示し，逆も成立する．ここに，c_2 に対する不変性から M による相互変換可能性を認知することは M に対する不変性から M による相互変換可能性を認知することより困難であると考えられる．したがって，縦型のパターン間変換群構造 M の認知の容易さ・明瞭さは低下し，類似度の評定値も低下すると考えられる．図 2 (a)，(b)（パターン対 46）はその例であり，結果はこの予測を支持している．

変換群構造 P　表 5 のように，横型と縦型のいずれの場合にも，周期パターン対の類似度は非周期パターン対の類似度より有意に高かった．この理由は，周期パターン対のパターン間変換群構造はそれぞれ

の 1 周期のみを取り出して構成したパターン対のパターン間変換群構造に等しく，周期性がパターン間変換群構造の認知の容易さ・明瞭さを向上させた結果であると考えられる．また，その差はパターン間変換群構造 P の縦型パターン対で $S(43\mathrm{e}) - S(37) = 2.1$, $S(64\mathrm{f}) - S(37) = 2.4$ と大きかった．この理由は，縦型の配置が周期パターン対の周期構造と要素間の対応の認知の容易さ・明瞭さを向上させた結果であると考えられる．

なお，実験 2 の縦型パターン対に見られた有意差のある逆転 $S(\mathrm{P} \wedge \mathrm{RM}) < S(\mathrm{P})$ の原因は変換群構造 P を持つ 3 個のパターン対 43e，64f，37 の中に 2 個の周期パターン対 43e，64f が含まれていたためである．

変換群構造 R 変換群構造 I の場合と同様に，縦型は横型よりパターン間変換群構造 R の認知が容易・明瞭であると考えられる．パターン対 83g，68h，91 の結果はいずれもこの予測を支持している．パターン対 83g はパターン内変換群構造 M∧P を持つ（良い）パターンの対であるために，横型の場合にもパターン間変換群構造の認知は容易・明瞭で，類似度の値が比較的接近しているものと解釈される．

変換群構造説の柔軟性 上記のように，変換群構造の類似性判断に与える影響力はパターン対の配置という比較の条件に依存して定まることが分かった．これまで，パターン間変換群構造 M，P，R の間で類似度の順序関係を事前に予測できないことは変換群構造説の限界，短所と見なされることが多かった．しかし，実験 1，2 のいずれの場合にも，類似度の評定値は順序整合性の仮説と順序保存の仮説による変換群構造説の予測順序に従っている．この事実は，変換群構造説がパターン対の配置のような比較の条件に依存しない形式で類似度の順序関係を予測できるという意味で，むしろ類似性判断のモデルとしての適用性の広さ，柔軟性を示すものである．

6. おわりに

線形 2 値パターンを左右に配置したパターン対（横型パターン対）と上下に配置したパターン対（縦型パターン対）の類似性判断の実験結果を比較した．その結果，対を構成する 2 つのパターンの間には位置的な関係に起因する相互作用が存在し，その効果はパターン間変換群構造の認知の容易さ・明瞭さを介して類似度の評定値に現れることが分かった．このことは変換群構造の影響力が比較の条件に依存して定まることを意味している．しかし，横型パターン対と縦型パターン対のいずれの場合にも，類似度の評定値は順序整合性の仮説と順序保存の仮説による変換群構造説の予測順序に従っている．

パターン間変換群構造は 2 つのパターンの配置には依存しない．しかし，2 つのパターンの間には位置的な関係に起因する相互作用が認められた．このことは対象が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主張に沿うものである．

なお，本論文では，パターン間変換群構造の認知に関わる性質を考察する際に，パターン対内変換群構造という概念を導入した．このパターン対内変換群構造はパターン対の全体と部分の関係を最も単純な形で表現したものである．しかし，縦型パターン対のパターン内変換群構造は複雑で，この概念の有効性に関する一般的な結論を得るには至らなかった．今後の検討課題としたい．

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（元愛媛大学工学部情報工学科学生），実験に協力してくださった学生の皆様に感謝いたします．また，日頃から研究に有益な助言をいただく今井四郎北海道大学名誉教授，濱田治良徳島大学教授，福士顯士文部科学省初等中等教育局主任教科書調査官に感謝いたします．なお，匿名の査読者と編集担当委員から，類似性判断に関する最近の研究や実験結果に関する統計的検定の方法等について，研究の遂行と論文の作成に重要なコメントを頂戴しました．あわせて感謝いたします．

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) Attneave, F.: Some Informational Aspects of Visual Perception, *Psychological Review*, Vol.61, No.3, pp.183–193 (1954).
5) Garner, W.R.: Good Patterns Have Few Alternatives, *American Scientist*, Vol.58, pp.34–42 (1970).
6) Garner, W.R. and Clement, D.E.: Goodness of Pattern and Pattern Uncertainty, *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, Vol.2, pp.446–452 (1963).
7) Gentner, D.: Structure-Mapping: A Theoreti-

cal Framework for Analogy, *Cognitive Science*, Vol.7, No.2, pp.155–170 (1983).
8) Gentner, D. and Markman, A.B.: Structure Mapping in Analogy and Similarity, *American Psychologist*, Vol.52, No.1, pp.45–56 (1997).
9) Goldstone, R.L.: Similarity, Interactive Activiation, and Mapping, *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, Vol.20, No.1, pp.3–28 (1994).
10) Goldstone, R.L., Medin, D.L. and Gentner, D.: Relational Similarity and the Nonindependence of Features in Similarity Judgments, *Cognitive Psychology*, Vol.23, No.2, pp.222–262 (1991).
11) 行場次朗，瀬戸伊佐生，市川伸一：パターンの良さ評定における問題点，心理学研究，Vol.56, No.2, pp.111–115 (1985).
12) 濱田治良：パターンの複雑さと良さにおける対称変換群の効果，心理学研究，Vol.59, No.3, pp.137–143 (1988).
13) 濱田治良：平面的反復模様における幾何学的要因の良さと複雑さに及ぼす効果，徳島大学総合科学部人間科学研究，Vol.1, pp.39–51 (1993).
14) 濱田治良：反復模様の対称性と認知判断—並進鏡映の普遍的効果と 45° 傾斜の選択的効果，心理学評論，Vol.39, No.3, pp.338–360 (1996).
15) 濱田治良，石原　徹：亀甲模様の構造と複雑さおよび良さ判断，徳島大学総合科学部創立記念論文集，pp.305–316 (1987).
16) Hamada, J. and Ishihara, T.: Complexity and Goodness of Dot Patterns Varying in Symmetry, *Psychological Research*, Vol.50, No.3, pp.155–161 (1988).
17) Hochberg, J. and Brooks, V.: The Psychophysics of Form: Reversible-Perspective Drawings of Spatial Objects, *American Journal of Psychology*, Vol.73, No.3, pp.337–354 (1960).
18) Hochberg, J. and McAlister, E.: A Quantitative Approach to Figural “Goodness”, *Journal of Experimental Psychology*, Vol.46, No.5, pp.361–364 (1953).
19) Holyoak, K.J. and Thagard, P.: Analogical Mapping by Constraint Satisfaction, *Cognitive Science*, Vol.13, No.3, pp.295–355 (1989).
20) Holyoak, K.J. and Thagard, P.: The Analogical Mind, *American Psychologist*, Vol.52, No.1, pp.35–44 (1997).
21) 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).
22) Imai, S.: Pattern Similarity and Cognitive Transformations, *Acta Psychologica*, Vol.41, No.6, pp.433–447 (1977).
23) 今井四郎：パターンの良さについての諸学説，心理学評論，Vol.20, No.4, pp.258–272 (1977).
24) Imai, S.: Pattern Cognition and the Processing of Transformation Structures, *Modern Issues in Perception*, Geissler, H.-G., Buffart, H.F.J.M., Leeuwenberg, E.L.J. and Sarris, V. (Eds.), Advances in Psychology, Vol.11, North-Holland, Amsterdam, pp.73–86 (1983).
25) 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).
26) 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).
27) 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).
28) 今井四郎，伊藤　進，伊藤智啓：パターンの良さと複雑さの判断におよぼすパターン内変換構造とラン数の効果，心理学評論，Vol.19, No.2, pp.77–94 (1976).
29) 今井四郎，伊藤智啓，伊藤　進：良さの判断におよぼすパターン内変換構造の効果，心理学研究，Vol.47, No.4, pp.202–210 (1976).
30) Indurkhya, B.: On Creation of Features and Change of Representation, *Cognitive Studies: Bulletin of the Japanese Cognitive Science Society*, Vol.5, No.2, pp.43–56 (1998).
31) 伊藤　進：パターンの間の変換構造の認知と類似性の評定，心理学研究，Vol.46, No.1, pp.10–18 (1975).
32) クルト・コフカ（著），鈴木正彌（監訳）：ゲシュタルト心理学の原理，福村出版，東京 (1998).
33) 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).
34) 倉智佐一，山上　暁（編著）：要説心理統計法，北大路書房，京都 (2003).
35) 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).
36) Markman, A.B.: Structural Alignment in Similarity and its Influence on Category Structure, *Cognitive Studies: Bulletin of the Japanese Cognitive Science Society*, Vol.4, No.4, pp.19–37 (1997).
37) 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).

38) Markman, A.B. and Gentner, D.: Structural Alignment during Similarity Comparisons, *Cognitive Psychology*, Vol.25, No.4, pp.431–467 (1993).
39) 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).
40) 大西　仁（編）：特集「類似性と類推」，認知科学，Vol.4, No.4, 共立出版，東京 (1997).
41) 大西　仁，鈴木宏昭，繁桝算男：状況に敏感な類似性判断のモデル，心理学評論，Vol.36, No.4, pp.633–649 (1993).
42) 大西　仁，鈴木宏昭（編著）：類似から見た心，共立出版，東京 (2001).
43) 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).
44) 齊藤　勇（監修），行場次郎（編）：認知心理学重要研究集 1，視覚認知，誠信書房，東京 (1995).
45) Shepard, R.N.: The Analysis of Proximities: Multidimensional Scaling with an Unknown Distance Function I, *Psychometrika*, Vol.27, No.2, pp.125–140 (1962).
46) Shepard, R.N.: The Analysis of Proximities: Multidimensional Scaling with an Unknown Distance Function II, *Psychometrika*, Vol.27, No.3, pp.219–246 (1962).
47) 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).
48) Spencer-Smith, J. and Goldstone, R.L.: The Dynamics of Similarity, *Cognitive Studies: Bulletin of the Japanese Cognitive Science Society*, Vol.4, No.4, pp.38–56 (1997).
49) 鈴木宏昭：類似と思考，共立出版，東京 (1996).
50) Tversky, A.: Features of Similarity, *Psychological Review*, Vol.84, No.4, pp.327–352 (1977).

(平成 17 年 6 月 1 日受付)
(平成 18 年 3 月 2 日採録)

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助手．研究分野は数値解析，情報処理，パターン認知．情報処理学会創立 40 周年記念論文賞受賞．日本応用数理学会会員．

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，情報数学，情報心理学．情報処理学会創立 30 周年記念論文賞，日本応用数理学会 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，日本応用数理学会，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．

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数学専攻修士課程修了．理学修士．現在，松山東雲女子大学人文学部教授．研究分野は数理計画，統計解析，パターン認知．日本数学会，日本応用数理学会，日本オペレーションズ・リサーチ学会，日本家政学会各会員．