I-070

パターンの変換群構造と類似性判断に関する実験的研究

Experimental Study on Transformational Structures and Similarity Judgment of Patterns

荒木 正人　小西 敏雄[1]　岡野 大　緒方 秀教　天野 要
M. Araki　T. Konishi　D. Okano　H. Ogata　K. Amano
(愛媛大学　松山東雲女子大学[1])

1. はじめに

パターンという概念を明確に定義することは必ずしも容易ではない．パターンの類似性や良さについても同様である．しかし，具体的にパターンを提示して，どの程度似ている（似ていない）パターンであるか，どの程度良い（良くない）パターンであるかを問うと，再現性の高い応答が得られる．このことはパターンに関する認知判断が人に共通の情報処理の結果であることを示唆している．

変換構造説 [1]，およびこれを再定式化した変換群構造説 [2, 3] は類似性判断や良さ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しようとする学説である．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，そこで示される相互変換可能性（相互一致可能性）や不変性によってその構造（変換群構造）を認知し，この変換群構造に基づいて認知判断を行う，と考える．

ここでは，表1のような白黒の楕円を横に並べた1次元楕円パターン（線形2値パターン）を対象に，類似性判断の変換群構造説の妥当性をあらためて実験的に検討する．特に，同じ変換群構造を持ちながら類似度に有意な違いが見られるパターン対の存在に対して，変換群構造の認知のされ方という視点で可能な説明を試みる．

2. 類似性判断の変換群構造説

2.1 認知的変換群と変換群構造

認知課題，ここではパターン対の類似性判断，に関係する変換群を認知的変換群と呼ぶ．n 個の白黒の要素からなる1次元楕円パターンの場合には次の4種の変換群が重要である．

- 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 $e:\circ\circ\bullet\circ\rightarrow\circ\circ\bullet\circ$ 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，$m:\circ\circ\bullet\circ\rightarrow\circ\bullet\circ\circ$ である．
- 位相変換群 $P=\{e,p_1,p_2,\ldots,p_{n-1}\}$：$p_i$ 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込む．たとえば，$p_1:\circ\circ\bullet\circ\rightarrow\circ\circ\circ\bullet$ 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，$r:\circ\circ\bullet\circ\rightarrow\bullet\bullet\circ\bullet$ 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．

これらの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を定義する．具体的には，I 以外の変換群による相互変換可能性を e 以外の変換要素によって相互一致可能なことであると定義する．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，1次元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：恒等変換群 I によって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 によって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 によって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 MP の定義には因子の変換群 M，P のいずれによっても相互変換可能ではないことが含意されている．
- 多重変換群構造 $\mathrm{M}\wedge\mathrm{P}$，$\mathrm{P}\wedge\mathrm{R}$，$\mathrm{R}\wedge\mathrm{M}$，$\mathrm{M}\wedge\mathrm{P}\wedge\mathrm{R}$，$\mathrm{M}\wedge\mathrm{PR}$，$\mathrm{P}\wedge\mathrm{RM}$，$\mathrm{R}\wedge\mathrm{MP}$，$\mathrm{MP}\wedge\mathrm{PR}$，$\mathrm{PR}\wedge\mathrm{RM}$，$\mathrm{RM}\wedge\mathrm{MP}$，$\mathrm{MP}\wedge\mathrm{PR}\wedge\mathrm{RM}$：複数の変換群構造を併せ持つパターン対の構造．たとえば，$\mathrm{M}\wedge\mathrm{P}$ は変換群 M，P の双方によって相互変換可能であることを意味する．
- 空変換群構造 E：以上の相互変換可能性を示さないパターン対の構造．

そして，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，変換を斜体で，構造を立体で記して区別している．

2.2 順序整合性の仮説と順序保存の仮説

変換群構造 T をもつパターン対の類似度を $S(\mathrm{T})$ として，パターン対の類似度の順序を順序整合性の仮説

$$S(\mathrm{E})\le S(\mathrm{T}_i),S(\mathrm{T}_j)\le S(\mathrm{T}_i\wedge\mathrm{T}_j)\le S(\mathrm{I}),\quad(1)$$

$$S(\mathrm{E})\le S(\mathrm{T}_i\mathrm{T}_k\wedge\mathrm{T}_j\mathrm{T}_k)\le S(\mathrm{T}_k)\le S(\mathrm{I})\quad(2)$$

と，順序保存の仮説

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

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

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

で予測する．前者は認知的変換群による相互変換可能性が高いパターン対ほど類似度が高いことを，後者は3式が同値であること，すなわち変換群構造 T_i，T_j を持つ

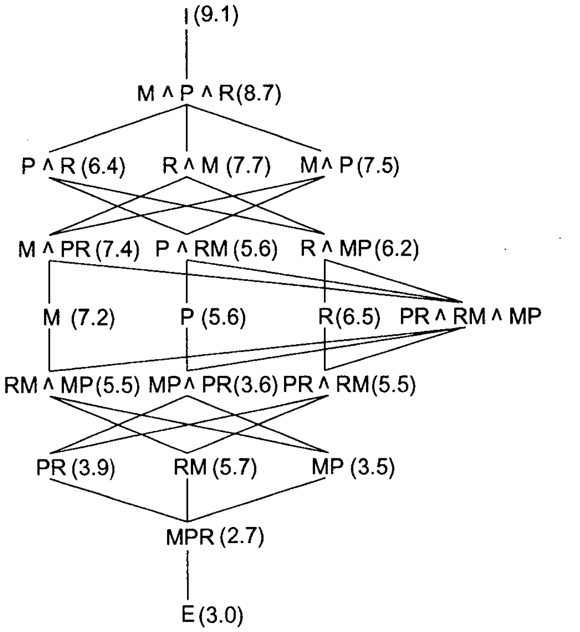

図 1: 楕円パターン対の類似度の順序を予測するハッセ図と評定値

パターン対間の順序が T_k との組合せに対して保存されることを意味する.

順序整合性の仮説と順序保存の仮説により，前述の 20 の変換群構造の間に類似度の順序関係が定まる．この関係は恒等変換群構造 I を最上位，空変換群構造 E を最下位とするハッセ図の形に整理することができる．図 1 は $\{T_i, T_j, T_k\} = \{M, P, R\}$ とした場合のハッセ図である.

3. 実験と考察

愛媛大学工学部 1 回生 41 名を被験者として，表 1 の 12 要素パターン対 42 組の類似度を 0 点から 10 点までの整数点で 1 組ずつ 11 段階で評定した．これらのパターン対は実際には存在し得ない変換群構造 MP ∧ PR ∧ RM 以外の 19 構造を網羅している.

表 1 と図 1 にパターン対の変換群構造と類似度の評定値（平均値）を示す．このように，パターン対の類似度の評定値は，一部にわずかな逆転は見られるものの，変換群構造説による順序の予測を基本的に支持している．さらに，結果を仔細に検討すれば，順序整合性の仮説と順序保存の仮説の妥当性を確認することができる.

ここでは特に構造 I のパターン対 No.1，構造 E のパターン対 No.35, 36, 37, 38，構造 R のパターン対 No.22 に注目する．パターン対の類似度が対応する位置の要素の色の一致の個数で定まる（たとえば，パターン対 1 では 12/12，パターン対 35 では 11/12）とすれば，評定値は上記の 1, 35, 36, 37, 38, 22 の順に並ぶはずである．しかし，実験の結果では，類似度はまず構造 I のパターン対 No.1（9.3）から No.35（5.9），36（4.4），37（3.0）と低下し，No.38（3.3）では逆に上昇して，No.22（6.7）へと続いている．この結果は，次のことをあらためて示している：

表 1: 実験に用いたパターン対とその評定値

番号	パターン対		変換群構造	評定値	構造別評定値
1	○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○○○	I	9.3	9.1
2	●●○○●●○○●●○○	●●○○●●○○●●○○		9.3	
3	○○●●●○●○○●○●	○○●●●○●○○●○●		8.6	
4	○●○●○●○●○●○●	●○●○●○●○●○●○	M ∧ P ∧ R	8.8	8.7
5	○○●●○○●●○○●●	●●○○●●○○●●○○		8.6	
6	●●●●●●○○○○○○	○○○○○○●●●●●●		8.7	
7	○●●○○●●○○●●○	●○○●●○○●●○○●	P ∧ R	6.8	6.4
8	●●●○○●○○○●●○	○○○●●○●●●○○●		6.1	
9	○●●○○○●●●○○●	●○○●●●○○○●●○	R ∧ M	7.7	7.7
10	○○○●○○○●○○○●	●○○○●○○○●○○○	M ∧ P	7.7	7.5
11	●○○●○○●●●●○○	○○●●●●○○●○○●		7.2	
12	●●○○●●○○○●○●	●○●○○○●●○○●●	M ∧ PR	7.4	7.4
13	●○●○○○●●○○●●	○○●●○○●●●○●○	P ∧ RM	5.6	5.6
14	○○●●○○●●●○●○	●●○○●●○○○●○●	R ∧ MP	6.2	6.2
15	○●○○○○●○○●○○	○○●○○●○○○○●○	M	7.7	7.2
16	○●●●○○●●○○●○	○●○○●●○○●●●○		6.7	
17	○○●●○○●●○○●●	○●●○○●●○○●●○	P	6.3	5.6
18	○○○●○○○●○○○●	○○●○○○●○○○●○		6.6	
19	○○○●●○●○●●●○	○●●○●○●●●○○○		3.9	
20	●●●●○○○○●●●●	○○○○●●●●○○○○	R	6.9	6.5
21	○○○●●●●○○○○●	●●●○○○○●●●●○		7.1	
22	○○○○○○○○○○○○	●●●●●●●●●●●●		6.7	
23	●○○●●●○○●●○○	○●●○○○●●○○●●		6.1	
24	○○○●○○○●○○○●	●●●○●●●○●●●○		6.3	
25	○●○●●○○●●●○○	●○●○○●●○○○●●		6.0	
26	●●○○●○○○●●○●	○●○○●●●○●●○○	RM ∧ MP	5.5	5.5
27	●○○○●○●●●○○●	●●○○●●●○●○○○	MP ∧ PR	3.6	3.6
28	○○○●○○○●○○○●	○●●●○●●●○●●●	PR ∧ RM	5.7	5.5
29	●○○●○○●○○●●●	○○○●●○●●○●●○		5.3	
30	○○○●○○○●○○○●	●●○●●●○●●●○●	PR	4.6	3.9
31	●●●○●○●○○●○○	●●○○○●○●○●●○		3.3	
32	●●●○●○○●○●○○	●●○●○●●○●○○○	RM	5.7	5.7
33	●●●○○●○●○○●○	○○●○●○○●●●○●	MP	3.5	3.5
34	○●○●○○●○○●●●	○●●○●○●○○○●●	MPR	2.7	2.7
35	○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○○●	E	5.9	3.0
36	○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○●●		4.4	
37	○○○○○○○○○○○○	○○○○○○○●●●●●		3.0	
38	○○○○○○○○○○○○	○●●●●●●●●●●●		3.3	
39	○○○○○○○○○○○○	○○○●○○○●○○○●		3.0	
40	○○●●○○●●○○●●	○○○○○○○○○○○○		1.7	
41	○○●○○○●●●○●●	○●○●●○●○○●○●		1.8	
42	●●●●●●●●●●●●	○●○○●●○●○●○●		1.2	

- パターン対の類似度はパターン対の変換群構造という認知系によって認知された全体的な構造で定まる.
- このとき，認知系はパターンにわずかな修正を施した場合の全体的な構造も認知する.

この結果は，同じ変換群構造を持ちながら類似度に有意な違いが見られるパターン対の存在に対して，変換群構造の認知のされ方という視点で可能な説明を与えるものである．なお，構造 MPR と E の間に見られる評定値の逆転は No.35-38 のパターン対に起因している.

参考文献

[1] 今井四郎: パターン認知の変換構造説, 日本心理学会心理学モノグラフ, No. 17, 東京大学出版会, 東京 (1986).

[2] 天野 要, 岡野 大, 緒方秀教, 芝田安裕, 小西敏雄, 福士顥士, 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).

[3] 小西敏雄, 岡野 大, 緒方秀教, 芝田安裕, 天野 要, 福士顥士, 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).