3V-02 パターン認知の変換構造説

Transformational Structure Theory of Pattern Cognition

天野 要 芝田安裕 岡野 大 緒方秀教 小西敏雄[1] 今井四郎[2]
K. Amano Y. Shibata D. Okano H. Ogata T. Konishi S. Imai
(愛媛大学工学部情報工学科 松山東雲女子大学[1] 国際医療福祉大学[2])

1 はじめに

今井の変換構造説 [4, 5] 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．変換構造説によれば，認知系は提示されたパターンに対して幾つかの変換 (認知的変換) を施し，そこで示される相互変換可能性または不変性によってその構造 (変換構造) を認知し，この変換構造に基づいて認知判断を行う．

天野・今井 [1, 2] は，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) と黒円を正方形の枠組の中に配置した２次元ドットパターン (正方２値行列パターン) を対象に，パターンの変換構造と認知判断の数理を考察し，変換構造説の再定式化を行った．彼らは，認知的変換として変換群をとることにより，従来の変換構造説と同様な形式でパターン刺激の変換構造を定義し，類似度と良さの順序を予測できることを示した．さらに，天野ら [3] と今井・天野 [6] は，認知的変換として恒等変換群とそれ以外の３種の変換群が存在した場合の数理モデルを構成し，パターンの類似度と良さの予測順序をハッセ図で表現した．過去の実験の結果はこのモデルの予測を支持している．しかし，可能な変換構造を網羅した実験的検証はまだ行われていない (簡単な実験は [3] に報告されている)．

ここでは，変換構造説に基づくパターン認知の数理モデルと実験の結果について報告する．ただし，記述は１次元楕円パターンの類似性判断の問題に限定し，詳しい実験結果は講演時に提示する．

2 類似性判断の変換構造説

2.1 認知的変換と変換構造

認知課題，ここではパターン対の類似性判断，に直接関係する変換を認知的変換と呼ぶ．図１のような n 個の要素からなる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と考えることができる．

- 恒等変換群 $I=\{e\}$: e は恒等変換である．

	パターン対のタイプ		変換構造	類似度
a	○●○●○●○●○●○●	●○●○●○●○●○●○	M ∨ P ∨ R	8.9
b	○○○●○○○●○○○●	●○○○●○○○●○○○	M ∨ P	8.1
c	○●●○○●●○○●●○	●○○●●○○●●○○●	P ∨ R	7.7
d	○○○●○○○●○○○●	○○●○○○●○○○●○	P	6.4
e	○○○●○○○●○○○●	●●●○●●●○●●●○	R	5.5
f	○○○●○○○●○○○●	○●●●○●●●○●●●	MR ∨ PR	4.3
g	○○○●○○○●○○○●	●●○●●●○●●●○●	PR	3.9
h	○○○○○○○○○○○○	○○○●○○○●○○○●	E	1.9

Figure 1: パターン対の変換構造と類似度の評定値 [6].

- 鏡映変換群 $M=\{e,m\}$: m は楕円要素の順序を逆転する．
- 位相変換群 $P=\{e,p_1,p_2,\dots,p_{n-1}\}$: p_i は楕円要素の順序を i だけ平行移動し，右端にはみ出した要素を左端に順次組込む．
- 反転変換群 $R=\{e,r\}$: r は全ての楕円要素の色を反転する．

これらの変換群は互いに可換で，積もまた変換群を構成する．変換群によるパターン対の相互変換可能性は同値関係である．

これらの認知的変換による相互変換可能性によってパターン対の関係構造を定義し，これを変換構造 (正確には，パターン刺激間変換構造) と呼ぶ．一般に，認知系によってある認知的変換のセットが採択されると，パターン対は変換構造により幾つかの型に類別される．今，認知的変換として恒等変換群 I とそれ以外の３種の変換群 T_i, T_j, T_k が採択されたとすると，パターン対の変換構造は次の 20 の型に類別される．以後，変換をイタリック体で，構造をローマン体で記して区別する．

- 恒等変換構造 : I
- 単一変換構造 : T_i, T_j, T_k
- 積変換構造 : $\mathrm{T}_i\mathrm{T}_j$, $\mathrm{T}_j\mathrm{T}_k$, $\mathrm{T}_k\mathrm{T}_i$, $\mathrm{T}_i\mathrm{T}_j\mathrm{T}_k$

- 多重変換構造：$\mathrm{T}_i \vee \mathrm{T}_j$, $\mathrm{T}_j \vee \mathrm{T}_k$, $\mathrm{T}_k \vee \mathrm{T}_i$, $\mathrm{T}_i \vee \mathrm{T}_j \vee \mathrm{T}_k$, $\mathrm{T}_i \vee \mathrm{T}_j\mathrm{T}_k$, $\mathrm{T}_j \vee \mathrm{T}_k\mathrm{T}_i$, $\mathrm{T}_k \vee \mathrm{T}_i\mathrm{T}_j$, $\mathrm{T}_i\mathrm{T}_j \vee \mathrm{T}_j\mathrm{T}_k$, $\mathrm{T}_j\mathrm{T}_k \vee \mathrm{T}_k\mathrm{T}_i$, $\mathrm{T}_k\mathrm{T}_i \vee \mathrm{T}_i\mathrm{T}_j$, $\mathrm{T}_i\mathrm{T}_j \vee \mathrm{T}_j\mathrm{T}_k \vee \mathrm{T}_k\mathrm{T}_i$,
- 空変換構造：E

ここに，変換群 T_i, T_j, T_k による相互変換可能性とは恒等変換 e 以外の要素による相互変換可能性のことであると定義する．積変換群による相互変換可能性には因子の変換群では変換不可能であることが含意されている．多重変換構造の記号 $\vee$ は $\wedge$ を用いるべきところであるが，慣例的に $\vee$ を用いている．空変換構造はいずれの変換群でも変換不可能であることを意味する．

この変換構造が類似性判断に関係づけられる．

2.2 順序整合性の仮説と順序保存の仮説

このような変換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（拡張された）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，任意の変換構造 $\mathrm{T}_i, \mathrm{T}_j, \mathrm{T}_k$ に対して

$$S(\mathrm{T}_i), S(\mathrm{T}_j) \leq S(\mathrm{T}_i \vee \mathrm{T}_j), \quad (1)$$

$$S(\mathrm{T}_i\mathrm{T}_k \vee \mathrm{T}_j\mathrm{T}_k) \leq S(\mathrm{T}_k) \quad (2)$$

なる関係が成立することである．ここに，$S(\mathrm{T})$ は変換構造 T を持つパターン対の類似度である．前者は，変換構造 T を持つパターン対より T を含む多重変換構造を持つパターン対の方が類似度が高いことを意味する．後者は，変換構造 T を持つパターン対の方が T を因子とする積変換のみからなる多重変換構造を持つパターン対より類似度が高いことを意味する．恒等変換構造 I を持つパターン対は同一で，類似度の上限を与える．順序保存の仮説とは，順序関係

$$S(\mathrm{T}_i) \quad \mathrm{R}_1 \quad S(\mathrm{T}_j), \quad (3)$$

$$S(\mathrm{T}_i \vee \mathrm{T}_k) \quad \mathrm{R}_2 \quad S(\mathrm{T}_j \vee \mathrm{T}_k), \quad (4)$$

$$S(\mathrm{T}_i\mathrm{T}_k) \quad \mathrm{R}_3 \quad S(\mathrm{T}_j\mathrm{T}_k) \quad (5)$$

における記号 $\mathrm{R}_1, \mathrm{R}_2, \mathrm{R}_3$ が等しいことである．

以上の順序関係はハッセ図で表現することができる．図 2 は $\{\mathrm{T}_i, \mathrm{T}_j, \mathrm{T}_k\} = \{\mathrm{M}, \mathrm{P}, \mathrm{R}\}$ とした場合のハッセ図である．括弧内の数値は図 1 の評定値で，結果は予測を支持している．

3 おわりに

同様に，認知的変換に対するパターンの不変性によって変換構造（正確には，パターン刺激内変換構造）を定義し，良さ判断の変換構造説を構成することができる．

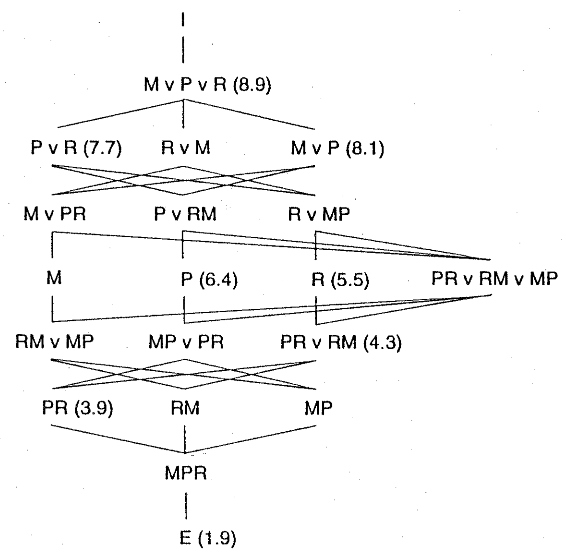

Figure 2: 楕円パターンの類似度を予測するハッセ図，括弧内は図 1 の評定値 [6].

References

[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，白垣育久，久保田亮，村田健史：変換構造説に基づくパターン認知の数理モデル，愛媛大学工学部紀要，Vol.16, pp.559–569 (1997).

[4] 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).

[5] Imai, S.: Fundamentals of Cognitive Judgments of Pattern, In Geissler, H.-G., Link, S.W. and Townsend, J.T. (Eds.): Cognition, Information Processing, and Phychophysics: Basic Issues, Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey, pp.225–265 (1992).

[6] 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).