対称変換群に基づく複合図形の良さ¹

濱田 治良² 内海 千種 徳島大学 福士 顕士 川村学園女子大学
天野 要 愛媛大学

Goodness of compound patterns based on symmetry groups

Jiro Hamada, Chigusa Uchiumi (University of Tokushima),
Kohji Fukushi (Kawamura Gakuen Woman's University),
and Kaname Amano (Ehime University)

This study examined the ordinal agreement and order conservation hypotheses of Imai (1986), which predict that a pattern is considered good if it is invariant for more transformations. Undergraduates ($N = 144$) made goodness ratings for 21-dot compound patterns. The patterns consisted of 8-dot and 13-dot figures with solid and/or open circles. Both the figures and the patterns were invariant under the transformations of rotation and reflection, forming cyclic (C_1, C_2, C_4) or dihedral (D_1, D_2, D_4) groups. The results showed no significant differences among the four combinations of solid and open circles. When the 13-dot C_1 figure was overlapped with the 8-dot figures, the C_1 compound patterns were rated the poorest. The goodness ratings of the C_n and D_n patterns were the increasing functions of the number of transformations, which supports the ordinal agreement hypothesis. When alternated with the 8-dot D_4 figure, the 8-dot C_1 figure superimposed with the 13-dot figures reduced the goodness ratings of the C_1 patterns, but the order of the ratings was conserved, which supports the order conservation hypothesis.

Key words: pattern goodness, compound patterns, symmetry groups, ordinal agreement hypothesis, order conservation hypothesis.

The Japanese Journal of Psychology
2011, Vol. 82, No. 1, pp. 1-8

全形を保ちながら図形を平面上で移動・回転・反転させる操作は、今井(1986)などによって変換と呼ばれている。この変換は数学的には合同変換を意味する。この合同変換の集合は、合成を積と見れば積も合同変換で、(a)結合律の成立、(b)単位元(恒等変換)の存在、(c)逆元(逆変換)の存在、という条件を満たし、群(対称変換群)である。そして正方行列の枠組の中に要素円を配置した図形は、 n 個 ($n=1, 2, 4$) の変

換の個数を有する巡回群、そして $2n$ 個 ($n=1, 2, 4$) の変換の個数を有する二面体群を生成する。ここで中心を固定して $2\pi/n$ の角度 ($n=1, 2, 4$) で図形を回転させる変換(以下、回転変換とする)の集合は C_n の巡回群(Cyclic group)である。また中心で π/n の角度 ($n=1, 2, 4$) を張る n 本の軸に対して表と裏を裏返す変換(以下、鏡映変換とする)と C_n を合わせた集合は D_n の二面体群(Dihedral group)である。巡回とは中心の回りを回転させることを意味し、二面体は表と裏の二面を意味する(濱田, 1988; Hamada & Ishihara, 1988)。本研究では対称変換群のうち巡回群のみを生成する図形を C_1, C_2, C_4 図形、そして二面体群を生成する図形を D_1, D_2, D_4 図形と略称する。

この図形変換と人間の図形認知には密接な関係があることがわかっている。例えば濱田(1996)は C_n (巡回群)と D_n (二面体群)の単位模様 ($n=1, 2, 4$) に対して並進および並進鏡映を直交する方向に施して反復模様を作成した。そして反復模様の良さ、複雑

Correspondence concerning this article should be sent to: Jiro Hamada, Division of Psychology and Health, Institute of Socio-Arts and Sciences, University of Tokushima, Minami-Josanjima, Tokushima 770-8502, Japan (e-mail: hamada@ias.tokushima-u.ac.jp)

¹ 本研究の一部は平成 19—21 年度科学研究補助金・挑戦的萌芽研究(課題番号 19654021, 研究代表者 天野 要)を受けて行われた。

² 日頃からご指導いただく今井 四郎北海道大学名誉教授に感謝いたします。また本研究の遂行にあたって徳島大学総合科学部卒業生 有馬 遼氏の協力を得たことに感謝します。

さ、および類似性の評定実験を行い、反復模様の対称変換群とそれらの図形認知との関係を明らかにした。また小西・岡野・緒方・芝田・天野・福士・濱田・今井(2003)は図形認知に重要な変換の単位は変換群であるという考え方で今井(1986)の学説を再構成した。そして白黒の楕円を横に並べた1次元楕円図形の良さの評定実験を行い、その妥当性を実験的に検討している。この図形認知に変換がどのように影響するかについては次のような順序整合性と順序保存の仮説がある。

順序整合性仮説 今井・伊藤・伊藤(1976)は3×3行列の枠組の中に5要素および4要素を配置した図形を用いて良さ判断を研究した。今井他は変換構造として、OR結合変換構造(M or R)、鏡映変換構造(M)、回転変換構造(R)、空変換構造(E)を採用した。そして図形の良さGの大小の順序関係は変換構造による順序整合性の仮説によって次のように決まることを明らかにした。すなわち良さは変換の個数が多いほど高くなる、つまり $G(E) < G(R)$, $G(M) < G(M \text{ or } R)$ の順序関係が成立するとした。この順序関

係は、その後に行われた多くの実験によって支持されている(松田, 1978)。

ここで対称変換群の観点からすると、空変換構造(E)の図形は C_1 図形に、回転変換構造(R)の図形は C_2 図形に、鏡映変換構造(M)の図形は D_1 図形に、そしてOR結合変換構造(M or R)の図形は D_4 図形に相当する。しかし3×3行列の枠組では D_2 と C_4 図形を作成することはできず、それらの図形の良さを検討するためには4×4以上の行列を枠組としなければならない。そこで本研究では、Figure 1に示されているように、 D_2 と C_4 図形を含み D_n と C_n 図形($n=1, 2, 4$)を網羅するのに必要最小限の4×4と5×5の仮想行列を原型図形の枠組として使用する。そして、それらの行列の中心を一致させて8要素原型図形と13要素原型図形を重ね合わせた9×9行列中の21要素複合図形を用いて順序整合性仮説を検討する。

この順序整合性仮説についてすでに Hamada & Ishihara (1988) は正六角形を隙間なく配置した亀甲模様の枠組の中に9個の黒点を配置した C_n と D_n 図形($n=1, 2, 3$)を用いて、 C_n と D_n 図形を区別した場

Figure 1. 実験で使用された8要素原型図形, 13要素原型図形, そして21要素複合図形
注) ここには図形番号, 巡回群 (C_1 , C_2 , C_4), そして2面体群 (D_1 , D_2 , D_4) の記号, および良
さの平均評定値が括弧内に示されている。

合、良さは変換の個数の単調関数として増加し、順序整合性仮説が支持されることを明らかにしている。さらに濱田（1988）は亀甲模様の枠組中に白円と黒円を相補的に19個配置した複合図形を作成して C_n と D_n 複合図形（ $n=1, 2, 3$ ）の良さを測定し、 C_n と D_n 複合図形を区別すると順序整合性仮説が支持されることを示した。このように亀甲模様を枠組とする図形においては順序整合性仮説が成立することは明らかになっている。しかし 4×4 以上の行列を枠組とする図形についてはこの仮説は検討されていない。したがって上述の 9×9 行列の枠組の中に作成される21要素複合図形において順序整合性仮説が成立するかどうかは対称変換群と図形認知の関係を明らかにするうえで興味ある研究課題であろう。

順序保存仮説 また今井（1986）は順序保存仮説を提案している。すなわち $G(T_j) < G(T_i)$ なる順序が成立するものとする、第3の認知的変換 T_k に対して $G(T_j \text{ or } T_k) < G(T_i \text{ or } T_k)$ および $G(T_j \text{ and } T_k) < G(T_i \text{ and } T_k)$ が成立することを提案している。良さ判断に関する順序保存仮説は白黒の1次元楕円図形に変換群を導入することによって小西他（2003）により検討されている。しかし2次元平面図形についての整然とした実験的検証は未だに存在していないと思われる（今井，1986）。そこで本研究では 9×9 行列の枠組中の21要素複合図形において順序保存仮説が成立するかどうかを検討する。

複合図形 今井（1986）とImai（1992）は全体的変換構造と部分的変換構造が図形の良さをどのように規定するかを検討するために、 5×5 行列中に黒円9個と白円4個を配した13要素の複合図形を用いた。そして複合図形の良さが黒円と白円を区別しない13要素の全体的変換構造と黒円だけの9要素の部分的変換構造の双方に依存することを示し、良さ判断において般化と区別という認知過程が存在することを指摘した。

一方、濱田（1988）は今井（1986）の複合図形の作成方法とは異なる方法で複合図形を作成した。すなわち 3×3 行列と 4×4 行列中に配された白円あるいは黒円の5要素原型図形と8要素原型図形を行列の中心を一致させて重ね合わせた 7×7 行列中の13要素複合図形を考案し、複合図形の良さは白円と黒円には影響されないことを示した。この実験結果は部分的構造としての原型図形の白黒が複合図形の良さに影響せず、複合図形の良さは全体的構造によって決まることを意味し、今井（1986）の結果に一致しない。この不一致は複合図形の作成方法の違いや白円と黒円の個数の違い等に起因すると考えられる。しかし上述のように 3×3 行列の枠組では D_2 と C_4 図形を作成できない。そこで本研究では白円あるいは黒円を要素とする8要素原型図形（Figure 1の最上段）と13要素原型図形

（Figure 1の最左端）の両者を原型図形として用いる。そして、それらを重ね合わせた21要素の D_n と C_n 複合図形（ $n=1, 2, 4$ ）の良さを測定し、複合図形の良さが白円と黒円に影響されないかどうかをあらためて検討する。

ところで濱田（1988）は 3×3 行列中の5要素原型図形、 4×4 行列中の8要素原型図形、そして、それらを重ね合わせた 7×7 行列中の13要素複合図形の良さを7段階評定法で測定した。その結果、 D_4 図形では $G(5 \text{ 要素原型図形} : 4.1) < G(8 \text{ 要素原型図形} : 4.4) < G(13 \text{ 要素複合図形} : 5.0)$ の順序関係があり、 D_1 と C_2 図形を込みにした値には $G(5 \text{ 要素原型図形} : 3.6) < G(8 \text{ 要素原型図形} : 4.1) = G(13 \text{ 要素複合図形} : 4.1)$ の関係があった。このように良さの要素数に対する依存性には図形によって明らかな量的、質的差異が存在する。すなわち要素数の異なる図形に対する良さ判断のレンジや平均高低レベルが異なる可能性があり、要素数の異なる図形間での測定結果を直接比較することは困難である。そこで本研究では8要素原型図形と13要素原型図形の良さは測定せず21要素複合図形の良さだけを測定する。

以上のように本研究では、21要素複合図形の良さが原型図形の白円と黒円に影響されるかどうか、そして良さに関する今井（1986）の順序整合性仮説と順序保存仮説が21要素複合図形においても成立するかどうかを検討することを目的とする。

方 法

刺激図形

原型図形 8要素と13要素の原型図形は直径4mmの白円あるいは黒円で作成され、 4×4 行列と 5×5 行列の枠内で円の中心間距離を10mmとして描かれた（Figure 1の最上段と最左端を参照されたい）。ここで白円は黒の線画であり、黒円は黒く塗りつぶした円であった。そして、それらの背景は白であった。原型図形の作成に際して、Figure 1に示されている D_4 原型図形、 D_2 原型図形、そして D_1 原型図形は複数ある図形の中から適宜選択された。ただし8要素原型図形は中央の四つの枠目に4要素を配置し、13要素原型図形は中央の列に5要素を配置して作成された。一方、 C_n 原型図形はこれらの D_n 原型図形（ $n=4, 2, 1$ ）を基本にして次のように作成された。すなわち 4×4 行列と 5×5 行列の最も外側の枠にある全ての要素を右回りに一枠ずつ移動させて作成された。例えばFigure 1の最左端に示されているように、ひし形模様をしている13要素の D_4 原型図形について、頂点にある4個の要素を全て時計回りに一枠移動させると、4本の鏡映軸が消失し卍模様の C_4 原型図形になる。同様にして13要素の D_2 原型図形から C_2 原型図形を、

D_1 原型図形から C_1 原型図形を作成した。8 要素の原型図形についても同様である (Figure 1 の最上段を参照されたい)。本研究では原型図形の作成に際して恣意的な要因が入るのを極力避けるためにこのように D_n 原型図形と C_n 原型図形 ($n=4, 2, 1$) を対応させた。

複合図形 21 要素からなる複合図形の例は Figure 1 に示されている。原型図形の重ね合わせに際しては、8 要素と 13 要素の両方が白円の場合 (白・白条件) と両方が黒円の場合 (黒・黒条件) が設けられ、それらを総称して同色条件と呼ぶことにする。一方、Figure 1 の最左端の 13 要素が白円で最上段の 8 要素が黒円の場合 (白・黒条件)、逆に 13 要素が黒円で 8 要素が白円の場合 (黒・白条件) を総称して異色条件と呼ぶことにする。紙面の節約のために Figure 1 を 4 象限に分割して、二つの同色条件と二つの異色条件の複合図形が、それぞれ、1/4 ずつ例示されている。刺激図形は厚手の白紙上に印刷されたカード (縦 70 mm, 横 66 mm) であり、そのほぼ中央部に図形が、下端部中央にカード番号が印刷された。

手続き

実験は心理学の講義の一環として集団で実施され、実験参加者は 144 名であった。144 名のうち 36 名ずつの実験参加者が四つの白黒条件にランダムに配置された。また図形の方法の効果をカウンターバランスさせるために、36 名のうち 9 名ずつが 4 組になり、ランダム要因としての図形の 4 方向 (0° , 90° , 180° , 270°) について良さを評定した。評定に際しては 9 段階評定法を用い (9 が最良で 1 が最悪)、各実験参加者は 36 種類の複合図形の良さを評定を 3 回繰り返した。

結 果

要素の白黒の効果 繰り返して 3 回実施された試行のうち 1 回目は練習試行として見なし、2 回目と 3 回目の平均値を用いて分析を進める。反復測定を 36 名 (9 名 $\times$ 四つの図形方向) として 4 (白黒条件: 実験参加者間要因) $\times$ 36 (複合図形: 実験参加者内要因) の分散分析の結果、(複合図形) の主効果 ($F(35, 4900) = 173.741$, $p < .01$) と (白黒条件) $\times$ (複合図形) の交互作用 ($F(105, 4900) = 2.546$, $p < .01$) には有意差が認められたが、(白黒条件) の主効果 ($F(3, 140) = .781$, $p > .05$) には有意差は認められなかった。さらに Bonferroni のペアごとの比較によると四つの白黒条件のどのペアにも有意差は認められなかった (いずれも $p > .05$)。したがって以下の分析ではこれら四つの白黒条件の良さを込みにして分析を進める。Figure 1 に四つの白黒条件の平均値をそれぞれの図形ごとに括弧内に示す。

変換の個数と良さ C_n と D_n 複合図形 ($n=1, 2, 4$) の変換の個数に対して良さがどのような関係であるかを示すために、Figure 2 に変換の個数の関数としての良さの平均値を示す。なお各平均値が何種類の複合図形の良さから算出されたかは Figure 1 を参照されたい。 C_n と D_n 複合図形を区別して Figure 2 を見ると、複合図形の変換の個数に対して C_1 , C_2 , C_4 複合図形、および D_1 , D_2 , D_4 複合図形の良さはいずれも明らかに単調増加を示している。ここでサイン検定の両側検定によると変換の個数が 2 個である C_2 (5.6) と D_1 (6.1) の複合図形の良さ、および変換の個数が 4 個である C_4 (6.8) と D_2 (7.5) の複合図形の良さの間には有意差が認められ (いずれも $p < .01$)、 D_n 複合図形の良さが C_n 複合図形の良さを上回っている。

8 要素原型図形に同一の 13 要素原型図形を重ね合わせることの効果 Figure 1 の各行の良さを検討することによって 8 要素原型図形に同一の 13 要素原型図形を重ね合わせるものの効果を見ることができる。そこで Figure 1 の 1 行目の図形番号 1 番, 2 番, 3 番, 4 番, 5 番, 6 番の複合図形の良さを Figure 3 の a に示す。同様に 2 行目から 6 行目の複合図形の良さをそれぞれ Figure 3 の b から Figure 3 の f に示す。

1 行目の複合図形 (Figure 3 の a) において、良さは D_4 , D_2 , D_1 複合図形と低下し、かつ、 C_4 , C_2 , C_1 複合図形と低下している。2 行目の複合図形 (Figure 3 の b) において、二つの D_2 複合図形の良さは共に約 7.4 であり、二つの C_2 複合図形の良さは約

Figure 2. 複合図形の変換の個数と良さの平均値

5.8である。そして良さは D_2 , D_1 , C_2 , C_1 複合図形の順に低下している。3行目の複合図形 (Figure 3のc) において、三つの D_1 複合図形 (平均値は5.9) と三つの C_1 複合図形 (平均値は3.4) は明らかに異なる。4行目の複合図形 (Figure 3のd) において、二つの C_4 複合図形と二つの C_1 複合図形の良さはそれぞれ異なるが、二つの C_2 複合図形の良さは5.9である。5行目の複合図形 (Figure 3のe) において、同じ C_2

複合図形でも25番と29番の図形の良さは約6.0であるのに対して26番と28番の良さは約4.9であり明らかに低い値を示している。 C_1 複合図形は共に約3.8である。6行目の複合図形 (Figure 3のf) は全て C_1 複合図形であり、それらの良さはいずれも約2.9であり最低の値を示していることが特徴的である。

13要素原型図形に同一の8要素原型図形を重ね合わせる効果 Figure 1の各列の良さを検討す

Figure 3. Figure 1の各行の複合図形を横軸にした良さ (注) a から f は Figure 1の1行目から6行目に示されている複合図形 (図形番号) の良さを示す。*は Bonferroni のペアごとの比較により、隣り合うペア間に良さの有意差があること ($p < .05$) を示し、ns は有意差がないことを示す。

Figure 4. Figure 1の各列の複合図形を横軸にした良さ (注) a から f は Figure 1の1列目から6列目に示されている複合図形 (図形番号) の良さを示す。*は Bonferroni のペアごとの比較により、隣り合うペア間に良さの有意差があること ($p < .05$) を示し、ns は有意差がないことを示す。

ることによって 13 要素原型図形に同一の 8 要素原型図形を重ね合わせることを効果を見ることができる。そこで Figure 1 の 1 列目の図形番号 1 番, 7 番, 13 番, 19 番, 25 番, 31 番の複合図形の良さを Figure 4 の a に示す。同様に 2 列目から 6 列目の複合図形の良さをそれぞれ Figure 4 の b から Figure 4 の f に示す。

1 列目の複合図形 (Figure 4 の a) において, 良さは D_4 , D_2 , D_1 複合図形と低下し, かつ, C_4 , C_2 , C_1 複合図形と低下している。2 列目の複合図形 (Figure 4 の b) の良さは D_2 , D_1 , C_2 , C_1 複合図形の順で低下している。3 列目の複合図形 (Figure 4 の c) において, 三つの D_1 複合図形 (平均値は 6.2) と三つの C_1 複合図形 (平均値は 3.7) の良さは明らかに異なる。4 列目の複合図形 (Figure 4 の d) において, 二つの C_4 複合図形, 二つの C_2 複合図形, 二つの C_1 複合図形の良さはそれぞれ明らかに異なるが, 平均すると C_4 , C_2 , C_1 複合図形の順で良さは低下している。5 列目の複合図形 (Figure 4 の e) において, 四つの C_2 複合図形 (平均値は 5.8) と, 二つの C_1 複合図形 (平均値は 3.1) は明らかに異なっている。6 列目の複合図形 (Figure 4 の f) は全て C_1 複合図形であるが, 隣り合う複合図形の 6 番と 12 番の間, 12 番と 18 番の間, そして 30 番と 36 番の間に有意差が認められる ($p < .05$)。ここで Figure 4 の f の六つの複合図形と Figure 4 の a の六つの複合図形の良さの順序関係が一致していることが特徴的である。すなわち Spearman の順位相関係数は 1.000 であった。

各行と各列の良さの平均値の比較 Figure 1 の各行 (Figure 3 の a—f) と各列 (Figure 4 の a—f) に位置付く複合図形の良さの平均値を算出して Figure 5 に示す。ここで横軸は Figure 1 の各行と各列を示す。そして黒塗りの棒は Figure 1 の行 (Figure 3), 白抜きの棒は Figure 1 の列 (Figure 4) の複合図形の良さの平均値である。ただし Figure 1 の行と列の対角線上に位置付き, 重複している複合図形の良さを除いた平均値が示されている。

Figure 1 の対応する行と列の間に有意差があるかどうかを検討するために, Figure 5 の黒塗りと白抜きの棒 (すなわち Figure 3 と Figure 4) について, 2 (行と列) $\times$ 5 (重複する複合図形を除いた五つの複合図形) の六つの分散分析を行った。その結果として六つの (行と列) の要因の有意水準を Figure 5 に ** と *ns* で示す。一方, Figure 5 の六つの行と列に対応する (五つの複合図形) の主効果は順に $F(4, 572) = 206.229$, 152.752, 185.556, 258.761, 180.746, 12.963 であり, いずれも有意 ($p < .001$) であった。同様に (行と列) $\times$ (五つの複合図形) の交互作用は順に $F(4, 572) = 38.929$, 63.718, 16.777, 31.612, 39.359, 12.251 であり, いずれも有意 ($p < .001$) であった。以下におい

て行の良さが列の良さを上回る場合, その逆の場合, そして行と列の良さに差が認められない場合に分けて行と列の関係を示す。

行の良さが列の良さを上回るのは第 1, 第 2, そして第 4 の行と列である (Figure 5 を参照)。Figure 1 によると第 1 の行と列 (Figure 3 の a と Figure 4 の a) では D_1 の番号 3 (6.3) が番号 13 (5.7) を, C_4 の番号 4 (7.4) が番号 19 (6.9) を, そして C_1 の番号 6 (4.5) が番号 31 (2.9) を上回っている。第 2 の行と列 (Figure 3 の b と Figure 4 の b) では D_1 の番号 9 (6.3) が番号 14 (6.0) を, C_2 の番号 11 (5.7) が番号 26 (5.1) を, そして C_1 の番号 12 (4.1) が番号 32 (3.0) を上回っている。第 4 の行と列 (Figure 3 の d と Figure 4 の d) では C_2 の番号 20 (5.9) が番号 10 (5.8) を, C_1 の番号 21 (4.3) が番号 16 (3.5) を, C_2 の番号 23 (5.9) が番号 28 (4.7) を, そして C_1 の番号 24 (3.8) が番号 34 (2.9) を上回っている。

列の良さが行の良さを上回るのは第 3 そして第 6 の行と列である (Figure 5 を参照)。Figure 1 によると第 3 の列と行 (Figure 4 の c と Figure 3 の c) では D_1 の番号 3 (6.3) が番号 13 (5.7) を, D_1 の番号 9 (6.3) が番号 14 (6.0) を, C_1 の番号 21 (4.3) が番号 16 (3.5) を, そして C_1 の番号 27 (3.9) が番号 17 (3.3) を上回っている。第 6 の列と行 (Figure 4 の f と Figure 3 の f) では対応する全ての C_1 複合図形において列が行を上回っているのが特徴的である。

行の良さと列の良さの間に差が認められなかったのは第 5 の行と列の間である (Figure 5 を参照)。Figure 1 によると対応する複合図形の間 (Figure 3 の e と Figure 4 の e) には良さの高低が見られ, それらの値が相殺されて平均値に有意差が認められない。

考 察

白黒条件の比較 分散分析と Bonferroni のペアご

Figure 5. Figure 1 の行と列の複合図形に対する良さの平均値

注) **は分散分析により, 行と列の間に良さの有意差があること ($p < .01$) を示し, *ns* は有意差がないことを示す。

との比較によると四つの白黒条件間には有意差が認められなかった。この結果は7×7行列中に白あるいは黒の13要素円からなる複合図形を用いた濱田（1988）の結果に一致している。ここで同色複合図形は白か黒かの1色の原型図形で作成され、全体的構造として一つの対称変換群を生成する。一方、異色複合図形は視覚的分離が可能な白と黒の原型図形で作成され、全体的構造として一つの対称変換群を生成し、同時に部分的構造として白と黒によって特徴付けられる二つの対称変換群を生成する。したがって同色と異色の複合図形の間に差が認められない事実は原型図形（部分的な対称変換群）の白黒は良さ判断に影響をもたらさず、複合図形の全体的な形状（全体的な対称変換群）によって良さが決まることを意味する。これは複合図形の良さには白黒の輝度極性が有効に働かないことを意味する（Brooks & van der Zwan, 2002）。

変換の個数の効果 図形の対称性の高さは変換の個数で示すことができる。Hamada & Ishihara（1988）は亀甲模様の枠組の中に9個の黒円を配置して C_n と D_n 図形（ $n=1, 2, 3$ ）を作成し、それらの良さの評定実験を行った。その結果、変換の個数に対する良さの評定値について、 C_1, C_2, C_3 図形には単調増加曲線が当てはまり、 D_1, D_2, D_3 図形には右肩上がりの直線が当てはまった。また白円と黒円が相補的に配置された亀甲模様を用いた濱田（1988）も同様の傾向を報告している。本研究についてもFigure 2によると複合図形の変換の個数に対して C_1, C_2, C_4 複合図形、および D_1, D_2, D_4 複合図形の良さは変換の個数に対していずれも単調増加を示している。ここで C_n 複合図形と D_n 複合図形を区別して考えると、 C_n 複合図形と D_n 複合図形の良さはいずれも変換に対する不変性が高い図形ほど良さが高くなるとする今井（1986）の順序整合性仮説を支持している。

C_1 原型図形を重ね合わせた C_1 複合図形の良さ 6種類の8要素原型図形（ $D_4, D_2, D_1, C_4, C_2, C_1$ ）に要素数の多い13要素の C_1 原型図形を重ね合わせるとFigure 3のfの六つの C_1 複合図形となり、それらの良さは最低で、かつ、ほぼ一定である。これは13要素の D_4 原型図形を重ね合わせたFigure 3のaの結果と比較すると特異的である。すなわち、この結果は13要素の D_4 原型図形の代わりに C_1 原型図形を重ね合わせるとそれらの有意差は消失し、良さの程度は最低となることを意味する。換言すれば要素数の多い13要素の C_1 原型図形の方が8要素の原型図形よりも良さを大きく支配し、13要素 C_1 原型図形の優位性が現れ、良さを最低にすることを意味する。

一方、6種類の13要素原型図形（ $D_4, D_2, D_1, C_4, C_2, C_1$ ）に要素数の少ない8要素の C_1 原型図形を重ね合わせるとFigure 4のfの C_1 複合図形となり、良さの程度は低くなった。ここで特筆すべきことは

Figure 4のfの6種類の C_1 複合図形の良さの順序関係はFigure 4のaの複合図形（ $D_4, D_2, D_1, C_4, C_2, C_1$ ）の良さの順序関係を保存していることである。これは要素数の少ない8要素の D_4 原型図形の代わりに8要素の C_1 原型図形を13要素の原型図形（ $D_4, D_2, D_1, C_4, C_2, C_1$ ）に重ね合わせると、一定程度の良さの低下がもたらされるが、13要素原型図形の優位性が現れ、6種類の C_1 複合図形の良さの順序関係は保存されることを意味する。この結果は8要素 D_4 原型図形を8要素 C_1 原型図形へと置換すると良さの順序関係が保存³されることを示している。これは今井（1986）の順序保存仮説がorとandの結合にとどまらず、 D_4 と C_1 原型図形の置換においても成立することを意味する。

今後の課題 本研究では9×9の柁目に要素円を配置した21要素からなる複合図形の良さを検討した。したがって図形の大きさの要因は検討されていない。大きさの要因は、例えば本研究で使われた5×5行列中の13要素原型図形と10×10の行列中で距離が延長された8要素原型図形を用いることによって検討することができる。このように19×19行列中の21要素複合図形を用いた実験を行うことによって、良さに影響を与える要因が原型図形の大きさであるのか、複合図形において知覚される形状であるかを検証することができよう。今後の一つの検討課題としたい。

要約および結論

4×4と5×5行列中に配された8要素と13要素原型図形を重ね合わせて9×9行列中の21要素の C_n 複合図形と D_n 複合図形（ $n=1, 2, 4$ ）を作成した。また白あるいは黒の要素からなる原型図形を重ね合わせた四つの白黒条件を設けた。結果と考察から以下のように結論される。

1. 四つの白黒条件には有意差が認められなかった。したがって原型図形の白と黒は良さ判断に影響をもたらさず、複合図形の全体的な形状（全体的な対称変換群）によって良さが決まると結論される。
2. 13要素の C_1 原型図形を8要素の $D_4, D_2, D_1, C_4, C_2, C_1$ 原型図形に重ね合わせると6個の C_1 複合

³ この順序関係の保存に関して白黒条件間に差があり、同色条件では六つの C_1 複合図形の良さには差がなく、もっぱら異色条件における白黒の違いによって順序関係が保存されることが可能である。しかし反復測定を36名として4（白黒条件：実験参加者間要因）×6（ C_1 複合図形：実験参加者内要因）の分散分析によると（ C_1 複合図形）の主効果（ $F(5, 700) = 32.258, p < .01$ ）と（白黒条件）×（ C_1 複合図形）の交互作用（ $F(15, 700) = 2.280, p < .01$ ）には有意差が認められたが、（白黒条件）の主効果（ $F(3, 140) = 2.199, p > .05$ ）には有意差が認められず、順序関係の保存は異色条件のみならず同色条件においても観察された。

図形となり、その良さは最低となった。すなわち 13 要素 C_1 原型図形の 8 要素原型図形に対する優位性が現れると結論される。

3. C_n と D_n 複合図形を区別して考察した結果、変換の個数が増加し対称性が高まるにつれて C_n と D_n 複合図形の良さはいずれも単調に増加した。したがって今井 (1986) の順序整合性の仮説が支持されたと結論される。

4. 8 要素の C_1 原型図形を 13 要素の D_4 , D_2 , D_1 , C_4 , C_2 , C_1 原型図形に重ね合わせると 6 個の C_1 複合図形となり、その良さは D_4 原型図形を重ね合わせた場合に比べて低下した。しかし 13 要素原型図形の優位性が現れ、良さの順序関係は保存され、今井 (1986) の順序保存の仮説が D_4 と C_1 原型図形の置換においても成立すると結論される。

引用文献

- Brooks, A., & van der Zwan, R. (2002). The role of ON-and OFF-channel processing in the detection of bilateral symmetry. *Perception*, **31**, 1061-1072.
- 濱田 治良 (1988). 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, **59**, 137-143.
- (Hamada, J. (1988). Effects of symmetry groups on complexity and goodness in visual pattern. *Japanese Journal of Psychology*, **59**, 137-143.)
- 濱田 治良 (1996). 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, **39**, 338-360.
- (Hamada, J. (1996). Symmetry and pattern cognition: The general effect of glide-reflection and the selective effect of inclination upon pattern cognition. *Japanese Psychological Review*, **39**, 338-360.)
- Hamada, J., & Ishihara, T. (1988). Complexity and goodness of dot patterns varying in symmetry. *Psychological Research*, **50**, 155-161.
- 今井 四郎 (1986). パターン認知の変換構造説. 心理学モノグラフ, No. 17.
- (Imai, S. (1986). The transformational structure theory of pattern cognition. *Japanese Psychological Monographs*, No. 17.)
- Imai, S. (1992). Fundamentals of cognitive judgments of pattern. In H.-G. Geissler, S. W. Link, & J. T. Townsend (Eds.), *Cognition, information processing, and psychophysics: Basic issues*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates. pp. 225-265.
- 今井 四郎・伊藤 智啓・伊藤 進 (1976). 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, **47**, 202-210.
- (Imai, S., Ito, T., & Ito, S. (1976). Effect of intra-pattern transformation structures upon goodness judgments of two-dimensional patterns. *Japanese Journal of Psychology*, **47**, 202-210.)
- 小西 敏雄・岡野 大・緒方 秀教・芝田 安裕・天野 要・福士 顕士・濱田 治良・今井 四郎 (2003). 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, **44**, 2274-2283.
- (Konishi, T., Okano, D., Ogata, H., Shibata, Y., Amano, K., Fukushi, K., Hamada, J., & Imai, S. (2003). Transformational group structure theory on goodness judgments of patterns. *IPSJ Journal*, **44**, 2274-2283.)
- 松田 隆夫 (1978). 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, **49**, 207-214.
- (Matsuda, T. (1978). Judgments of pattern goodness and intra-configurational transformation structures: An examination of Imai's theory. *Japanese Journal of Psychology*, **49**, 207-214.)

—— 2009. 5. 7 受稿, 2010. 9. 4 受理 ——