

対称性認知の 3 階層直列処理モデルによる要素パターン
に対するバラバラ性の検討¹⁾

濱田治良¹・内海千種¹・佐藤 裕¹・
福田 T. スティープ²・福士顯士³・天野 要⁴

Examining disjointedness of dot patterns based on a three-stage
serial processing model of symmetry cognition

Jiro HAMADA¹, Chigusa UCHIUMI¹, Yutaka SATO¹,
Steve T. FUKUDA², Kohji FUKUSHI³, Kaname AMANO⁴

Abstract

Rotational and reflectional transformations were applied to dot patterns in a square grid generating cyclic (C_n) and dihedral (D_n) groups ($n = 1, 2, 4$). Judgments of disjointedness (the inverse of unifiedness) of 8-, 13- and 21-dot patterns were compared with poorness (the inverse of goodness) and complexity (the inverse of simplicity) judgments. Results found were (a) disjointedness and complexity of 8-dot D_2 linear patterns decreased by an anisotropic spatial filter, (b) three cognitive judgments for the patterns other than the linear patterns monotonically decreased as a function of group order, (c) disjointedness of C_{2n} and D_n ($n = 1, 2$) were indistinguishable and were processed in a former-stage of group theoretical model, and poorness and complexity were distinguished in C_{2n} and D_n while being processed in a latter-stage, (d) complexity increased monotonically as the number of dots increased. While 13- and 21-dot patterns results were insignificant, disjointedness judgments were lowest in 8-dot patterns, and influence of poorness was ineffectual. We have proposed a three-stage serial processing model of symmetry cognition.

Key words: visual symmetry, dot pattern, disjointedness, group theory, anisotropic spatial filter

¹徳島大学

Tokushima University

²文教大学

Bunkyo University

³川村学園女子大学

Kawamura Gakuen Women's University

⁴愛媛大学

Ehime University

はじめに

Mach (1918) はランダムパターンに鏡映変換, 並進変換, 回轉變換, そして相似変換を施して, これらの変換が対称性認知に及ぼす効果を明らかにした。また Koffka (1935) らの Gestalt 心理学者は Law of Prägnanz を提唱し, パターンを全体として最も簡潔で秩序あるものとする知覚的体制化の重要性を指摘して良いパターンは単純なパターンであるとした (今井, 1977)。Garner & Clement (1963) はパターンの良さが回転と鏡映の変換で生ずるパターンの個数が小さいほど高いとした。また今井 (1977) は 3×3 枠の要素パターンの変換構造を 4 本と 1 本の鏡映軸に係わる鏡映変換, そして 90° と 180° の回轉變換で定義し, 変換に対する不変性が高いほど良さが高いとした。松田 (1978) によれば 3×3 枠の黒色 5 要素パターンと比較すると内部に升目を描き且つ白色 4 要素を附加した黒白 9 要素パターンは変換構造が同じなので, それら 2 つのパターンの間に良さの差はないとした。ここで濱田 (2020) は後者は前者より複雑であり, 複雑さは形状の影響を強く受けるとした。このように良さと複雑さが一義的に関係するものでないことを Yodogawa (1982) も指摘している。

Hamada, Amano, Fukuda, Uchiumi, Fukushi, & van der Helm (2016) が使用した 9×9 正方枠内の白色 13 と黒色 8 からなる 21 要素パターンの幾何学的対称性を数学における群論にもとづいて Fig. 1 で説明する。群論では鏡映軸の有無が問題になり, さらに回轉變換と鏡映変換を施しても

形が変わらないことを意味する不変性が重要な役割を果たす。すなわち鏡映軸をもたずに中心を垂直軸として $360^\circ / n$ ($n=1, 2, 4$) ずつ回転させた場合にパターンが変わらないような回轉變換の集合は巡回群 (Cyclic group: C_n) を生成する。これらのパターンは n 個の回轉變換に対して不変性を示すので, 群の位数 (つまり変換の個数) は n である。たとえば Fig. 1 で, C_1 は鏡映軸をもたず 360° 回転の変換に対してのみ不変性を示すので群の位数は 1 である。一方, 中心を通る n 本の鏡映軸に対して表と裏を反転した場合にパターンが変わらないような鏡映変換と上述のような不変性を示す n 個の回轉變換の集合は二面体群 (Dihedral group: D_n) を生成する。これらのパターンは n 個の鏡映変換と n 個の回轉變換に対して不変性を示すので, 群の位数は $2n$ である。たとえば Fig. 1 で, D_4 は 4 本の鏡映軸を有し 4 つの鏡映変換と 4 つの回轉變換に対して不変性を示すので群の位数は 8 である。このような巡回群 C_n と二面体群 D_n で記述される幾何学的対称性は対称性認知に対して重要な影響を与える。たとえば C_n と D_n の両者ともに位数が増加する (すなわち不変性が高まる) とパターンの良さは上昇し, 複雑さは減少することが知られている (Hamada & Ishihara, 1988; Hamada et al., 2016)。しかし, その影響の現れ方には次に記述するように枠組やパターンの形状等にも依存して規則的であると同時に多様である。

Hamada & Ishihara (1988, 実験2) は正六角枠内に 9 要素パターンを描き, 群の位数に対して良さは巡回群と二面体群が区別されて上昇するのに対して, 複雑さはそれ

21-dot patterns and group theory

| Order of symmetry group | | | | | |
|-------------------------------------------|---|-------------------------------------------|---|-------------------------------------------|---|
| 8 | 4 | 4 | 2 | 2 | 1 |
| 4 rotation over 90° | | 2 rotation over 180° | | 1 rotation over 360° | |
| 4 axes reflection | | 2 axes reflection | | 1 axis reflection | |
| D₄ C₄ | | D₂ C₂ | | D₁ C₁ | |
| | | | | | |

図 1. 9×9 枠内の 21 要素パターンと群論。白と黒円は同じ対称性をもっている。

Fig. 1. Group theory and 21-dot patterns in a 9×9 grid. The solid and open circles have the same symmetry.

らが区別されずに下降することを示した。すなわち、この枠では群の位数が2であるパターンにおいてC₂はD₁より良く、それらの複雑さには有意差がなかった。一方、Hamada et al. (2016, 実験1) は9×9枠内で21要素パターンの良さと単純さ(複雑さの逆)は共にD_nがC_{2n}より高いことを示した(n = 1, 2)。その振る舞いは前述した正六角枠の要素パターンと異なり、枠組の違いが認知判断に影響を及ぼしている。そこで彼らは鏡映軸をもたないC_{2n}と鏡映軸を有するD_nが区別されない初期階層と、それが区別される後期階層からなる2階層群論モデルを提案した。

濱田・福田・内海・福士・天野(2019, 実験1) は9×9枠内の8と13と21要素からなる基礎条件においてD_nとC_nパターンを描き(n = 1, 2, 4)、良さと複雑さが群の位数に規定されることを示した。さらに彼らは8要素D₂直線パターンが複雑さを最低にするが、良さには影響しないことを示した。そして基礎パターンとは形状の異

なる拡大パターンでも8要素D₂直線パターンの複雑さは特異的に下降して群論に従わなかった。このように8要素D₂直線パターンは複雑さに対して特化した振る舞いを示したので濱田(2020)と共同研究者は異方性空間フィルタと群論にもとづく3階層モデルで悪さ(良さ)と複雑さを説明した。本研究ではこのモデルを直列処理モデルに改良する。

行場・瀬戸・市川(1985)はOsgood, Suci, & Tannenbaum(1957)の意味微分法を3×3枠内の5要素パターンに適用して、複雑さと良さを含む形態的簡潔性因子9つの中でバラバラ性(まとまった一ばばらな)の因子負荷量が最高であり、規則性(規則的な一不規則な)が次に続くことを示した。そしてバラバラ性と規則性と複雑さの7段階評定値が松田(1978)の良さと非常に高い相関があることを報告した。一方、行場他と松田の良さ評定値の相関は相対的に高いものではなかった。そこで良さについて行場他はこの結果を前者が形態的簡潔性因子のみならず

評価性と活動性因子が係わる複合的判断であるのに対して、後者が主として形態的簡潔性因子に規定されているからであるとした。

Wertheimer (1926) は要素が互いにまとまることを群化と呼び、近い距離にある要素がまとまることを近接の要因で説明した。ここでは、近距離に位置づく要素が群化されてまとまることを纏まり性 (バラバラ性の逆) と定義する。そこで本実験では 9×9 枠内の 8 と 13 と 21 要素パターンを用いてバラバラ性および文末の Appendix で示した規則性の群の位数への依存性と空間フィルタおよび要素数の効果を検討する。

目的

本研究では 9×9 枠内の 8 と 13 と 21 要素パターンをカード上に描き、行場他 (1985) が見出したバラバラ性を検討する。そして濱田 (2020) の群論と空間フィルタの関係を改良して濱田他 (2019) の悪さ (良さ) と複雑さと共に本実験のバラバラ性を新たなモデルの中に組み込む。ここでの仮説は「これらの認知判断が空間フィルタと群論に従う」である。このように当該 3 種の認知判断における群の位数への依存性および C_{2n} と D_n の関係 ($n=1, 2$)、また 8 要素 D_2 直線パターンの効果および要素数の効果を明らかにし、対称性認知の 3 階層直列処理モデルを提案することが目的である。

方法および手続き

刺激パターン 刺激パターンは厚手の白紙 (縦 70 mm, 横 66 mm) に小さな黒丸の要素パターンが印刷されたカードであり、下端部中央にはランダムな 3 桁数字の番号

が小さく印字されていた。用いられたすべての要素パターンを Fig. 2 に示すが、それらは濱田他 (2019, 実験 1) で用いられた基礎条件における基礎パターンである。本実験でも 8 要素原型パターン (番号 1 から 6) と 13 要素原型パターン (番号 7 から 12) および 21 要素複合パターン (番号 13 から 48) を用いた。

手続き 実験参加者は総合科学部学生 52 名であり、実験は心理学実験実習の一環として実施され教示と実験と考察を合わせて約 90 分を要した。彼らには 8 要素原型パターンが 6 枚、13 要素原型パターンが 6 枚、そして 21 要素複合パターンが 36 枚、合計 48 枚の刺激パターンが配布された。彼らの 13 名ずつが要素パターンの 4 方向 (0° , 90° , 180° , 270°) に割り当てられたが、カードの観察方向は統制できないので Hamada et al. (2016) 他と同様に方向をランダム要因として扱い分析しなかった。実験は講義室で行われ読書距離でカードを観察した。このように自由観察法による評定実験を実施した。なお Hamada and Ishihara (1988) がパターンをプロジェクターから投影し顔面を固定して観察した正六角枠内の黒色 9 要素パターンにおける良さと複雑さの群の位数および直線成分に対する依存性は、カードを用いた Hamada et al. (2016) による同じ枠内の白黒 19 要素パターンに対するそれらの依存性は一致したので、自由観察法は高い信頼性を有する。

評定は 9 段階評定法 (9 が最もばらばらな、1 が最もまとまった) により行われた。教示文には 1 点から 9 点までの尺度が図示され、参加者はそれらの整数で評定した。バラバラ性の評定基準は参加者の自由な判

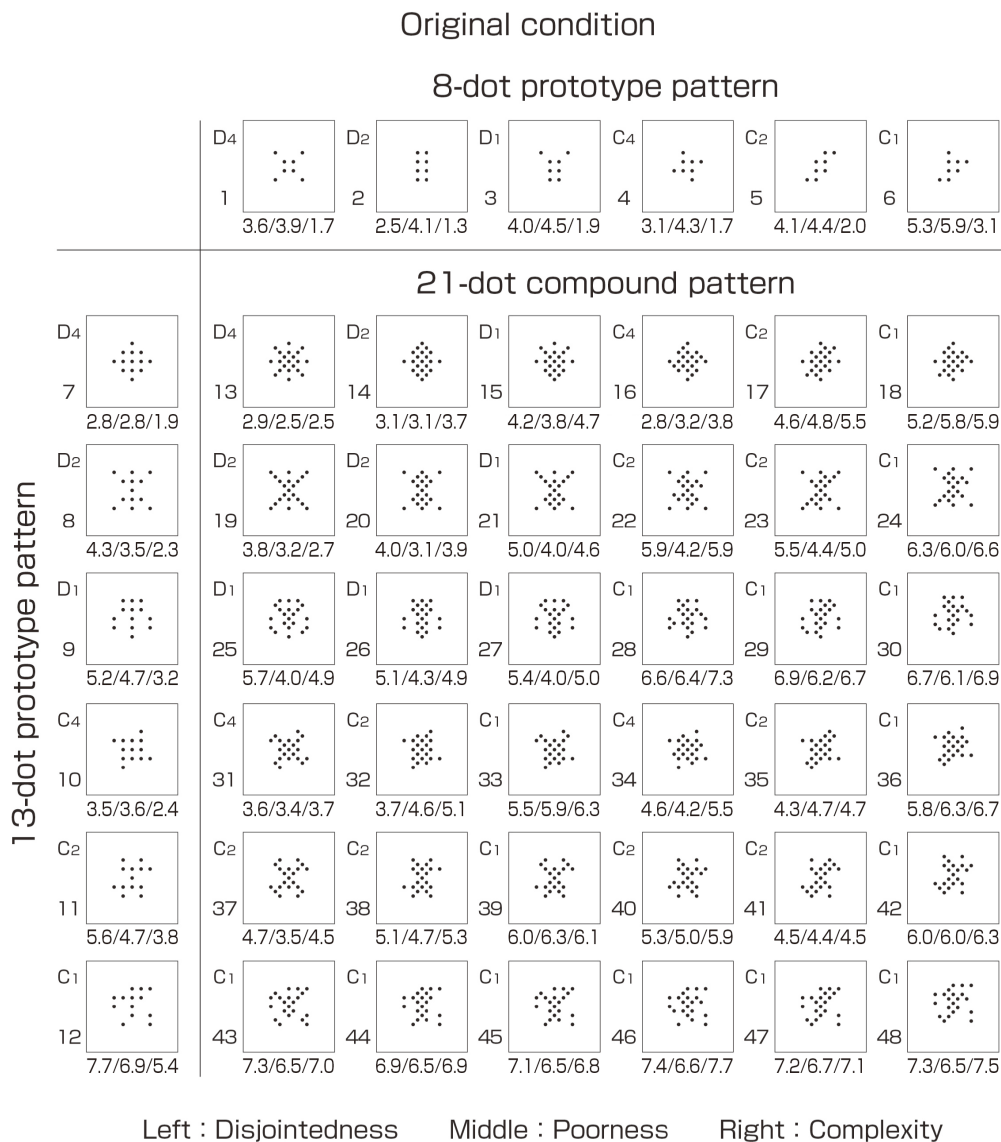


図 2. 基礎条件での 48 枚の要素パターンおよび得られた実験結果。バラバラ性（左側）と悪さ（中間）と複雑さ（右側）の平均評定値が示されている。悪さ（良さの逆）と複雑さは濱田他（2019）から抜粋した。

Fig. 2. Forty-eight patterns and results obtained under the original condition. Shown are the 8- and 13-dot prototype patterns, and 21-dot compound patterns, and Means of disjointedness (left), poorness (middle), and complexity (right). The data of poorness (the inverse of goodness) and complexity are from Hamada et al. (2019) .

断に委ねることが配布された教示文を口頭で読み上げて明確にされた。参加者は評定に入る前にパターンの概要を知るために、

すべてのパターンをランダム順で一通り観察した。その上で各評定セッションの冒頭でカードを十分にシャッフルした。実験で

の評定は自己ペースで 3 セッションが繰り返され、1 回目は練習として 2 回目と 3 回目の平均値にもとづいて分析した。反応用紙にはカード番号と評定値がパターン毎に記入された。なお本実験は徳島大学の倫理審査委員会の承認（受付番号 186 番, 2019 年 9 月 19 日）を受けて実施された。

結果

Fig. 2 に D_n と C_n パターンを別にしてバラバラ性の平均評定値と共に濱田他 (2019, 実験 1) の基礎条件で得られた悪さ (良さの逆, すなわち悪さを 1 点から 9 点に揃えるために 10 から良さの評定値を差し引いた値), そして複雑さを示す。実験で得られた評定値の最高点と最低点を記すとバラバラ性 (9 点) と纏まり性 (1 点), 悪さ (9 点) と良さ (1 点), そして複雑さ (9 点) と単純さ (1 点) である。

当該 3 種の認知判断の平均評定値を群の位数の関数として Fig. 3 に示す。この図で、悪さを基準にしてバラバラ性を 2.0 単位上方向へ、複雑さを 1.5 単位下方向へ移動している。21 要素パターンの数値は、 C_1 , C_2 , C_4 パターンについてはそれぞれ 15 枚, 9 枚, 3 枚に対する評定値を、そして D_1 , D_2 , D_4 パターンについてはそれぞれ 5 枚, 3 枚, 1 枚に対する評定値を平均した値である。

Pearson の相関係数 濱田他 (2019, 実験 1) の基礎条件でのデータと比較すると要素パターンの悪さとバラバラ性の間の相関係数は 8 要素パターン 6 対では ($r = .843$, $p < .05$), 13 要素パターン 6 対では ($r = .975$, $p < .01$), そして 21 要素パターン 36 対では ($r = .886$, $p < .001$) であった。同様に複

雑さとバラバラ性の間の相関係数は 8 要素パターン 6 対では ($r = .956$, $p < .01$), 13 要素パターン 6 対では ($r = .972$, $p < .01$), そして 21 要素パターン 36 対では ($r = .921$, $p < .001$) であった。このように相関係数はすべて有意であった。

バラバラ性における C_n または D_n 変換群と要素数 Fig. 3 において D_n の位数は C_n の 2 倍であり、それらは区別されなければならない。従って C_n と D_n パターン ($n = 1, 2, 4$) を別にして変換数 (3 水準: C_1 と C_2 と C_4 , もしくは D_1 と D_2 と D_4) × 要素数 (3 水準: 8 と 13 と 21) の 2 要因分散分析を実施した。

C_n ($n = 1, 2, 4$) についての分散分析の結果、変換数と要素数の要因における主効果が認められ (それぞれ順に, $F(2, 102) = 85.267$, $p < .001$; $F(2, 102) = 15.465$, $p < .001$), 2 要因間の交互作用は有意であった (変換数 × 要素数: $F(4, 204) = 22.241$; $p < .001$)。有意であった変換数 × 要素数の交互作用に関して、各要素数における変換数の単純主効果検定を実施したところ、すべて主効果が認められた (8 要素: $F(2, 102) = 36.742$, $p < .001$; 13 要素: $F(2, 102) = 81.717$, $p < .001$; 21 要素: $F(2, 102) = 101.382$, $p < .001$)。そこで、Bonferroni 法による多重比較を実施したところ、いずれの要素数においても $n = 1 > n = 2$, $n = 2 > n = 4$, $n = 1 > n = 4$ でありすべて $p < .001$ の有意差があった (Abstract の (b) に相当)。同様に、各変換数における要素数の単純主効果検定を実施したところ、 $n = 1$ と $n = 2$ において主効果が認められた ($n = 1$: $F(2, 102) = 33.846$, $p < .001$; $n = 2$: $F(2, 102) = 13.039$, $p < .001$; $n = 4$: $F(2, 102) = 2.277$, $p > .05$)。そこで、 $n = 1$ と $n = 2$ に

ついて Bonferroni 法による多重比較を実施したところ、 $n=1$ においては、8 要素 < 13 要素 ($p < .001$), 8 要素 < 21 要素 ($p < .01$), 13 要素 > 21 要素 ($p < .001$) の方向性で有意差があり、 $n=2$ については、8 要素 < 13 要素 ($p < .001$), 13 要素 > 21 要素 ($p < .05$) で有意差があった。

D_n ($n = 1, 2, 4$) についての分散分析の結果、変換数と要素数の要因における主効果が認められ(それぞれ順に、 $F(2, 102) = 62.017, p < .001$; $F(2, 102) = 7.580, p < .01$)、2 要因間の交互作用も有意であった(変換数×要素数: $F(4, 204) = 29.512; p < .001$)。有意であった変換数×要素数の交互作用に関して、各要素数における変換数の単純主効果検定を実施したところ、すべて主効果が認められた(8 要素: $F(2, 102) = 26.817, p < .001$; 13 要素: $F(2, 102) = 52.706, p < .001$; 21 要素: $F(2, 102) = 54.038, p < .001$)。そこで、Bonferroni 法による多重比較を実施したところ、8 要素では、 $n = 1 > n = 2, n = 4 > n = 2$ で有意差があったが(いずれも $p < .001$)、 $n = 1$ と $n = 4$ 間では有意差はなかった(Abstract の (a) に相当)。13 要素と 21 要素においては、変換数が増加するごとに減少していた。すなわち $n = 1 > n = 2, n = 1 > n = 4, n = 2 > n = 4$ の方向性で有意差があった(13 要素における $n = 1$ vs. $n = 2$ のみ $p < .01$ で、その他の組み合わせはすべて $p < .001$) (Abstract の (b) に相当)。同様に、各変換数における要素数の単純主効果検定を実施したところ、すべての変換数において主効果が認められた ($n = 1: F(2, 102) = 13.106, p < .001$; $n = 2: F(2, 102) = 24.061, p < .001$; $n = 4: F(2, 102) = 11.050, p < .001$)。そこで、Bonferroni 法による多重比較を

実施したところ、 $n = 1$ においては、8 要素 < 13 要素 ($p < .001$), 8 要素 < 21 要素 ($p < .01$), で有意差があり、 $n = 2$ については、8 要素 < 13 要素 ($p < .001$), 8 要素 < 21 要素 ($p < .001$) 13 要素 > 21 要素 ($p < .05$) で有意差があった。 $n = 4$ においては、8 要素 > 13 要素 ($p < .001$), 8 要素 > 21 要素 ($p < .05$) で有意差があった。

3 種の認知判断における同一の位数を有する変換群の効果 C_{2n} と D_n パターン ($n = 1, 2$) は同一の位数を有する。従って 8 と 13 と 21 要素を込みにした上で、 C_2 と C_4 を込みにし、かつ D_1 と D_2 を込みにして 2 つの変換群 (C_{2n} と D_n) の差を認知判断ごとに検定した (t 検定)。その結果、バラバラ性では有意差がなかったが ($t(51) = 0.626, p > .05$)、悪さと複雑さではともに $C_{2n} > D_n$ となった(悪さ: $t(51) = 2.371, p < .05$; 複雑さ: $t(51) = 9.378, p < .001$) (Abstract の (c) に相当)。

3 種の認知判断における要素数の効果 C_n と D_n パターン ($n = 1, 2, 4$) を込みにした要素数 (8 と 13 と 21) 間の差異を認知判断ごとに 1 要因分散分析にて検定した。その結果、バラバラ性と複雑さでは主効果が認められ(バラバラ性: $F(2, 102) = 18.385, p < .001$; 複雑さ: $F(2, 102) = 425.488, p < .001$)、悪さでは主効果が認められなかった(悪さ: $F(2, 102) = 2.729, p > .05$)。主効果の認められたバラバラ性と複雑さにおける要素数間の差異を明らかにするために Bonferroni 法による多重比較を実施したところ、バラバラ性に関して、8 要素 < 13 要素, 8 要素 < 21 要素 (いずれも $p < .001$) で差異が認められたが 13 要素と 21 要素では有意差がなかった ($p > .05$)。

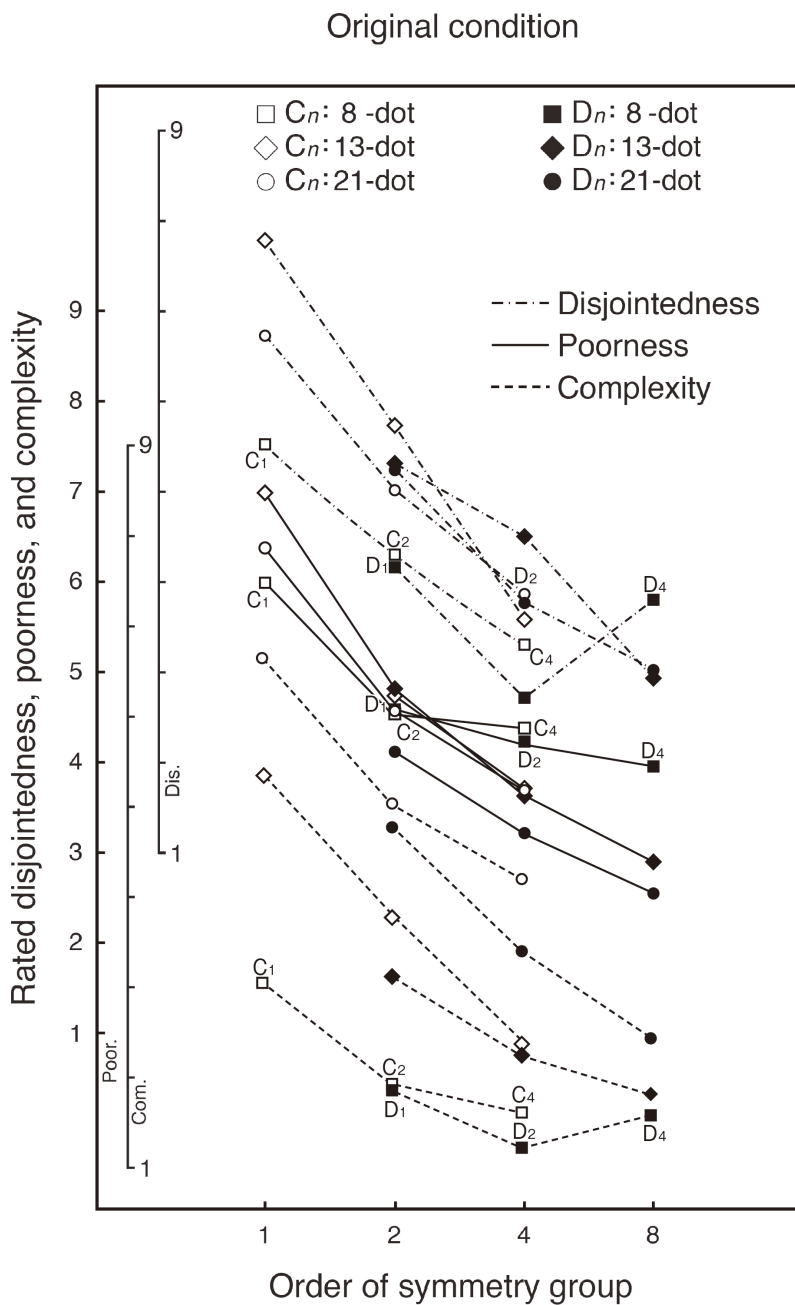


図 3. 基礎条件での 8 と 13 要素原型パターンと 21 要素複合パターンのバラバラ性と悪さと複雑さの平均評定値。

Fig. 3. Means of disjointedness, poorness, and complexity judgments of 8- and 13-dot prototype patterns, and 21-dot compound pattern under the original condition.

複雑さでは 8 要素 < 13 要素, 13 要素 < 21 要素, 8 要素 < 21 要素ですべて $p < .001$ の有意差があった (Abstract の (d) に相当)。

考察

行場他(1985)との比較 濱田他(2019)によると悪さは群論に規定され、複雑さと今回の実験はバラバラ性が群論のみならず空間フィルタに従うこと、そして規則性には群論が係わらないことを示した(Appendix 参照)。一方、行場他のバラバラ性と規則性と複雑さは高い相関を示したが、行場他と松田(1978)の良さは有意ではあるが中程度の相関しかなかった。当該4種の認知判断について行場他と濱田他(2019)と今回の実験の間に生じた相違は行場他が3×3枠の5要素パターンだけを使ったのに対して、今回の実験などでは9×9枠内で形状と要素数(8と13と21)が異なるパターンを用いたことに起因すると考えられる。具体的には5要素パターンはC₁とC₂およびD₁とD₄に限られるが、濱田他の8と13と21要素C_nとD_n(n=1, 2, 4)は9×9枠において生成可能な全体的対称性を網羅している。なお、Fig. 2の21要素パターンを取り上げればバラバラ性が低くて纏まり性が高い図形番号は13と14と16であり、それらは放射状あるいは菱形状であり纏まっていて他の21要素パターンにはない図形的特徴を持っている。

要素数の効果 濱田他(2019)および本実験によると複雑さは要素数が増すと一貫して有意に高まるが、バラバラ性は13要素と21要素の間に有意差がなく、8要素はそれらより有意に低い。そして悪さは要素数の増加に対して一貫した効果を示さない。このように要素数が当該3種の認知判断に及ぼす効果は異なり、これらは異なる処理を受けている。

異方性空間フィルタの効果 濱田他(2019)によると8と13と21要素パター

ンの悪さと複雑さは群の位数の単調減少関数であったが、例外的に位数が4の8要素D₂直線パターンの複雑さは位数が8で幾何学的対称性の最も高いD₄パターンに比べて特異的に低下した。このD₂直線パターンが複雑さの特異的低下を引き起こし悪さには影響を及ぼさないことは8要素パターンに限らず、濱田(2020)の房条件における13と21要素パターンにも現れた。さらに濱田(1996)は4×4枠で4要素が平行に配置された8要素D₂単位模様を描き、それらを縦横方向に3つずつ合計9つ並べた反復パターンを考案した。そして8要素D₂直線からなる72要素反復パターンの複雑さが最低で、悪さは中程度になることを示した。またHamada & Ishihara(1988)は19セルをもつ正六角枠内に黒色9要素パターンを描き7段階評定法を用いて、62個あるパターンの中で3要素が直線的に3本配置されたD₂直線パターンの複雑さが1.2で最低であるのに対して、良さ(悪さの逆)は4.3で中程度であることを示した。このようにD₂直線パターンの複雑さと悪さへの効果は頑健である。

ところで本実験でのバラバラ性と濱田他(2019, 実験1と2)の複雑さには次の共通点がある。すなわち群の位数への依存性および8要素D₂直線パターンへの特異的な低下は一致した。このバラバラ性と複雑さの特異的低下に関連してHamada(1976, 1984)は等方性空間フィルタを前提にして光強度分布とDOG(a difference of two Gaussians)を畳み込み積分して明るさの辺縁対比をシミュレートした。この等方性を2次元の異方性に置き換えてDakin & Watt(1994)とDakin & Herbert(1998)

A three-stage serial processing model of symmetry cognition

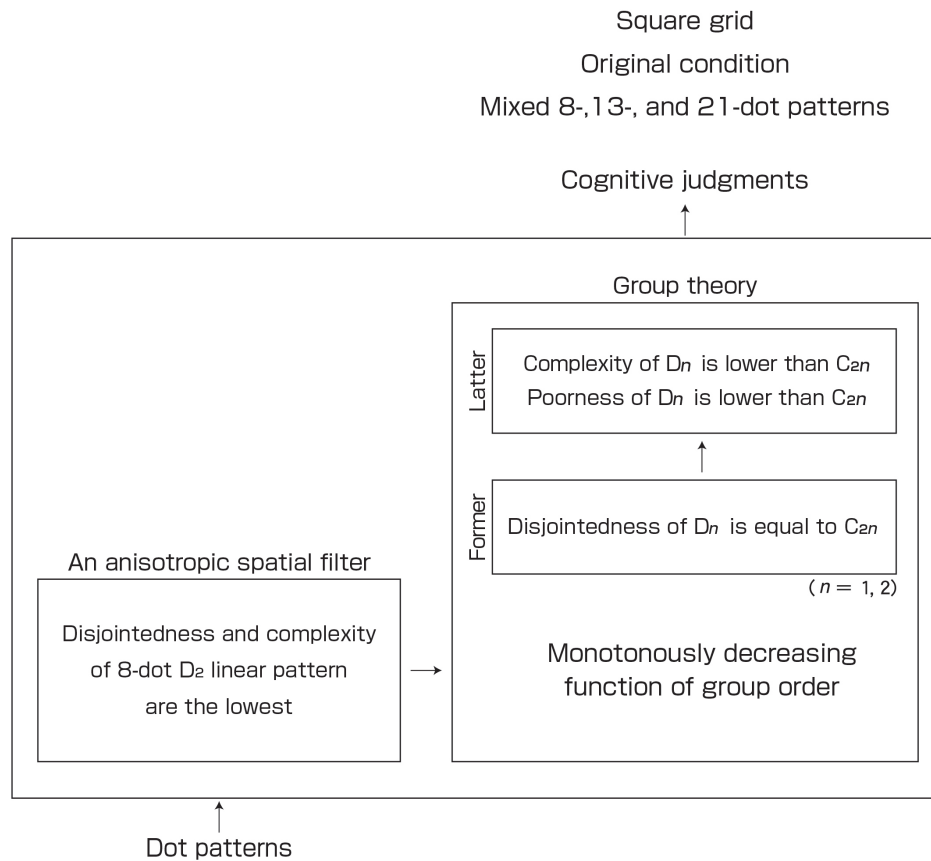


図 4. バラバラ性（纏まり性の逆）と悪さ（良さの逆）と複雑さ（単純さの逆）判断に対する対称性認知の 3 階層直列処理モデル。

Fig. 4. A three-stage serial processing model of symmetry cognition on disjointedness (the inverse of unifiedness), poorness (the inverse of goodness), and complexity (the inverse of simplicity) judgments.

は認知システムの初期段階で異方性空間フィルタによって対称軸の検出が行われていることを示した。この考え方を適用すると 8 要素 D_2 直線パターンは、特異的に、縦方向と横方向の異方性空間フィルタから明瞭な 1 本の縦棒状 (0° , 180°) または横棒状 (90° , 270°) の出力を得ることとなる。この空間フィルタが濱田他 (2019) で示し

た複雑さのみならず、 D_2 直線パターンの特異的なバラバラ性の低下に寄与する。しかし悪さ (良さ) は異方性空間フィルタの効果を受けない。

同一の位数を有する C_{2n} と D_n パターン ($n=1, 2$) 基礎パターンについての濱田他 (2019, 実験 1) によれば、8 と 13 と 21 要素パターンを込みにすると C_{2n} と D_n の間

には悪さおよび複雑さ共に有意差があった。また本実験のバラバラ性では C_{2n} と D_n の間に有意差がなかった。この結果は鏡映軸を持たない C_{2n} と、それを有する D_n に対する認知判断に差異があることを示している。すなわちバラバラ性には鏡映軸の有無が寄与しないが、悪さと複雑さにはその効果が現れる。このようにバラバラ性と悪さと複雑さにおいて C_{2n} と D_n の振る舞いが違うこと、そして異方性空間フィルタの効果が違うこと、さらに要素数の効果が違うことは当該 3 種の認知判断が異なる処理を受けていることを示している。

対称性認知の 3 階層直列処理モデル 悪さと複雑さについて提案された濱田 (2020) と共同研究者による 3 階層モデルの基本的構想を維持しながら改良した 3 階層直列処理モデルを Fig. 4 に示す。この図の最外枠で示すようにバラバラ性認知と悪さや複雑さの判断が同一の認知システムによってなされていると仮定する。そして異方性空間フィルタは D_2 直線パターンに対するバラバラ性と複雑さを処理して、それらを特異的に低下させる。これは D_2 直線パターンが最初に処理される特別なパターンであることを意味している。しかし悪さは、この空間フィルタを素通りして群論的に処理される。ここで D_2 直線パターンの悪さが処理されるためには空間フィルタを通過しなければならない。一方、 D_2 直線パターン以外のパターンは群論的処理を受けてバラバラ性は C_{2n} と D_n が区別されない初期階層で決まるが、悪さと複雑さはこの階層を素通りして C_{2n} と D_n が区別される後期階層で決まる。ここで群論に従う認知判断が群の位数に対して単調に低下することは共通している。

以上のように 3 種の認知判断は空間フィルタから、群論に従う初期階層を経て後期階層へと直列的に処理されて、それらが処理される階層が異なるので各判断には差異が現れる。

2 次元要素パターンに対するモデルの比較 今井 (1977) は認知的変換に対する不変性に注目し、認知的変換として 2 次元空間で垂直軸に沿う鏡映変換 M_V および対角軸に沿う鏡映変換 M_D 、そして 180° の回轉變換 R 、さらに認知的変換に対して不変性を示さない空変換構造 E を採用して要素パターンの良さを説明した。Palmer (1982, 1983) は 3 次元空間を前提としてパターンの良さが回転と並進と鏡映と相似の変換に対する不変性が高いほど上昇するとする変換モデルを提唱し、3 次元での対称 (symmetry) と 2 次元での反復 (repetition) の良さは等しいと仮定した。しかしながら van der Helm & Leeuwenberg (1996) と van der Helm (2014) はホログラフィックモデルを提唱して対称は点構造を、反復は塊構造を、そして Glass パターン (Glass, 1969; Glass & Pérez, 1973) は双極構造をもつとした。そして対称と Glass パターンの良さはほぼ等しくて、反復より良いとする基本的性質を説明した。以上の理論は良さを研究対象にしているが、今回の研究で提案した対称性認知の 3 階層直列処理モデルは悪さ (良さ) と複雑さ (単純さ) とバラバラ性 (纏まり性) に適用することができ汎用性に優れている。

要約および結論

自由観察法にもとづいてカードに印刷された基礎条件における 8 と 13 と 21 要素パターンのバラバラ性を測定し濱田他 (2019) の悪さと複雑さと比較した結果、次のように結論される。すなわち 8 要素 D_2 直線パターンのバラバラ性と複雑さは認知システムの中の異方性空間フィルタの効果によって特異的に下降する。それ以外の当該 3 種の認知判断は群論に従い、バラバラ性は巡回と二面体群が区別されない初

期階層で処理される。しかし悪さと複雑さはそれらが区別される後期階層で処理される。また要素数 (8 と 13 と 21) が増えると複雑さは単調に増加するが、バラバラ性では 13 と 21 要素において有意差がなく 8 要素は最も低い。そして要素数は悪さに対して一貫した効果を及ぼさない。以上の実験結果を対称性認知の 3 階層直列処理モデルで説明した。

Appendix

行場他 (1985) によると規則性の因子負荷量も高い。しかし異なる参加者を用い、今回の実験と同じ方法および手続きで得られた規則性の評定値は群の位数と要素

数に対して一貫した効果を示さなかったため、その実験データだけを Fig. 5 に示し更なる分析はしなかった。

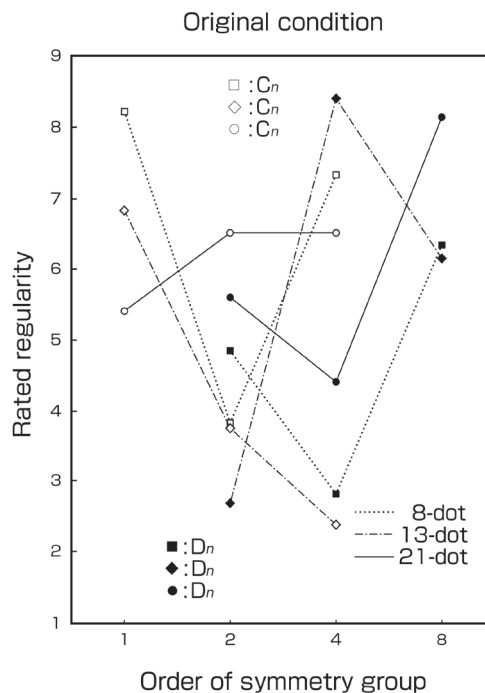


図 5. 群の位数に対する規則性。規則性は群の位数と要素数 (8 と 13 と 21) に対して一貫した効果を示さない。

Fig. 5. Group order versus regularity. Regularity does not have a consistent effect on group order and numerosity (8-, 13-, and 21-dot).

- 1) 研究当初においてご指導いただいた秋田宗平 (1930-2006)・相場 寛 (1930-2021)・今井四郎 (1929-2021)・石原 徹教授に深謝します。

引用文献

- Dakin, S. C., & Herbert, A. M. (1998). The spatial region of integration for visual symmetry detection. *Proceedings Biological Sciences*, *265* (1397), 659-664.
- Dakin, S. C., & Watt, R. J. (1994). Detection of bilateral symmetry using spatial filters. *Spatial Vision*, *8*, 393-413.
- Garner, W. R., & Clement, D. E. (1963). Goodness of pattern and pattern uncertainty. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *2*, 446-452.
- Glass, L. (1969). Moiré effect from random dots. *Nature*, *223*, 578-580.
- Glass, L. & Pérez, R. (1973). Perception of random dot interference patterns. *Nature*, *246*, 360-362.
- 行場次朗・瀬戸伊佐生・市川伸一 (1985). パターンの良さ評定における問題点—SD 法による分析結果と変換構造説の対応— 心理学研究, *56*, 111-115.
- Hamada, J. (1976). A mathematical model for brightness and contour perception. *Hokkaido Report of Psychology*. HRP-11-76-17. 1-19.
- Hamada, J. (1984). A multi-stage model for border contrast. *Biological Cybernetics*, *51*, 65-70.
- 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.
- 濱田治良 (2020). パターン認知の心理物理学 風間書房
- Hamada, J., Amano, K., Fukuda, S. T., Uchiyumi, C., Fukushi, K., & van der Helm, P. A. (2016). Group theoretical model of symmetry cognition. *Acta Psychologica*, *171*, 128-137. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actpsy.2016.10.002>
- 濱田治良・福田 T. スティーブ・内海千種・福士顕士・天野 要 (2019). 群論アプローチにもとづく要素数と群の位数が要素パターンの良さと複雑さに及ぼす効果 基礎心理学研究, *37*, 153-162. <http://doi.org/10.14947/psychono.37.22>
- Hamada, J., & Ishihara, T. (1988). Complexity and goodness of dot patterns varying in symmetry. *Psychological Research*, *50*, 155-161.

- 今井四郎 (1977). パターンの良さについての諸学説 心理学評論, 20, 258-272.
- Koffka, K. (1935). *Principles of Gestalt psychology*. New York: Harcourt Brace. [鈴木正爾(監訳)(1988). ゲシュタルト心理学の原理 福村出版]
- Mach, E. (1918). *Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen*. Jena, Germany: Verlag von Gustav Fischer. [須藤吾之助・廣松渉 (訳) (1971). 感覚の分析 法政大学出版局]
- 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.
- Osgood, C. E., Suci, G. J., & Tannenbaum, P. H. (1957). *The measurement of meaning*. Urbana: University of Illinois Press.
- Palmer, S. E. (1982). Symmetry, transformation, and the structure of perceptual systems. In J. Beck (Ed.), *Organization and representation in perception*, (pp. 95-144). Hillsdale: Erlbaum.
- Palmer, S. E. (1983). The psychology of perceptual organization: A transformational approach. In J. Beck, B. Hope, & A. Rosenfeld (Eds.), *Human and machine vision* (pp. 269-339). New York: Academic Press.
- van der Helm, P. A. (2014). *Simplicity in vision: A multidisciplinary account of perceptual organization*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- van der Helm, P. A., & Leeuwenberg, E. L. J. (1996). Goodness of visual regularities: A nontransformation approach. *Psychological Review*, 103, 429-456.
- Wertheimer, M. (1923). Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt II. *Psychologische Forschung*, 4, 301-350.
- Yodogawa, E. (1982). Symmetry, an entropy-like measure of visual symmetry. *Perception & Psychophysics*, 32, 230-240.