

# 水彩効果の強度に影響する基礎要因に関する研究

## A study on basic factors affecting the strength of the watercolor effect

松本 梨佐, 月元 敬

MATSUMOTO Risa, TSUKIMOTO Takashi

[キーワード Keyword] 水彩効果 (watercolor effect), 方位選択性 (direction selectivity), 一対比較法 (method of paired comparisons)

[所属 Institution] 岐阜大学教育学部 (Faculty of Education, Gifu University)

[要 旨 Abstract] 水彩効果とは、色の異なる二重のなみ線で囲まれた範囲に、輪郭線の内側の色が薄く色づいて知覚される錯視現象である。本研究では、図形の輪郭線について水彩効果の強度に及ぼす影響及び水彩効果の方位選択性について検討した。実験1では、図形 (円, 三角形, 四角形), 線種 (実線, 破線), 線の形状 (直線, なみ線) の組み合わせによってできる刺激に対し、一対比較法を実施した結果、破線よりも実線の効果が有意に高いことが示された。実験2では、図形 (円, 三角形, 四角形) と線の形状 (なみ線, ギザギザ線) の観点から一対比較法を実施し、円と線分のみで構成されるギザギザ線の組み合わせにおいて水彩効果が高くなることが示された。実験3では、線の形状 (なみ線, ギザギザ線) と線の分断 (実線, 中間線, 鋸のみの線) における一対比較法を実施し、2本の線が接触した二重線を構成していることで水彩効果が発生し、輪郭線に空白があると水彩効果は弱まることが示された。3つの実験より、水彩効果を強める輪郭線は実線で、かつ互いに接触した状態の二重線であることが示された。また、なみ線やギザギザ線は図形との組み合わせにより水彩効果を高めることから、線分の方位選択性の豊かさが水彩効果の強度に関与する要因であると考えられる。

水彩効果 (watercolor effect) とは、Pinna, Brelstaff, & Spillmann (2001) が発見した錯視現象である (Figure 1参照。以降、Figureは本稿末にまとめて提示する)。色の異なる二重のなみ線で囲まれた範囲が、内側の線の色で薄く色づいて知覚される。Pinna et al. (2001) は、水彩効果が起きやすい図形の特徴として、青/赤は緑/黄よりも効果が大きいこと、図と地の分離が生じること、線の色が高輝度のものは効果が大きいこと、また効果を引き起こすための線には最適な太さが存在することなどを見出した。

Pinna et al. (2001) を皮切りに、水彩効果に関する多くの研究が進められてきた。Cao, Yazdanbakhsh, & Mingolla (2011) は、無彩色でも水彩効果の色の広がりや図地分離が生じることを見出した。また、Pinna, Werner, & Spillmann (2003) は、水彩効果の特徴の方がゲシュタルト要因よりも強い影響を及ぼすことを発見し、Devinck, Delahunt, Hardy, Spillmann, & Werner (2006) は囲まれている領域が狭いほど、水彩効果が現れやすいことを示した。

さらに、なみ線の実線を点線に変えた時にも水彩効果が見出されている (Pinna et al., 2001; Pinna & Grossberg, 2005)。Devinck & Spillmann (2009) は、

図の輪郭線を点線に変更し、輪郭線の外側と内側の点が隣り合う図 (Figure 2のB) と互いの隙間に隣接するような図 (Figure 2のC) における水彩効果の強度について検討した。その結果、点線は実線の図形よりも水彩効果が弱くなり、点線のドット間の幅が広いほど水彩効果は弱まることが明らかになった。しかし、点の隣接様式の差は認められなかった。

水彩効果の研究で用いられてきた図形は、Pinna et al. (2001) による図形を基にして、波状の実線または点線で設定されているが、研究の多くは輪郭線の輝度や彩度等の色を扱っており、線の種類に着目して検討している研究は少ない。そのため、輪郭線種による水彩効果の発生条件や程度・特徴については十分な検討がされていない。そこで本研究では、輪郭線の種類が水彩効果に与える影響について検討する。本研究では、輪郭線の要素が判別しやすいように、実線や点線といった線の構成を「線種」と呼び、直線や曲線といった構成を「線の形状」と呼ぶことにする。また、点線については、Devinck & Spillmann (2009) のような点の隣接様式ではなく、外側輪郭線の点と内側輪郭線の点の隣接の仕方にズレが生じるような破線として水彩効果に着目する (Figure 3)。これにより、彼らの点線と

は異なるバリエーションでも水彩効果が弱くなるのかについて検討する。

Devinck, Hardy, Delahunt, Spillmann, & Werner (2006) は、水彩効果は様々な方向の線が組み合わさってできた波状の輪郭でより効果的になる可能性を示唆している。視覚野には、特定の傾きの線分に対して選択的に反応するという方位選択性 (direction selectivity) という性質を持つニューロンが存在することが知られているが、Devinck et al. は刺激を形作るなみ線が多くの方角選択的ニューロンを活性化させているという仮説を提唱している。輪郭線が直線でも水彩効果は起きるが、曲線の方が効果は高くなるという結果 (Pinna et al., 2001; Gerardin, Dojat, Knoblauch, Devinck, 2018) はこの仮説を裏づけている。竹尾・田代・井澤・山内 (2018) は輪郭線の色の組み合わせにも影響される部分はあるものの、なみ線の周波数が増加すると水彩効果を強く感じる傾向があることを示している。

さらに、方位選択性の多様な活性化が水彩効果に影響しているとするならば、従来の研究でしばしば用いられてきた四角形 (長方形) よりも、より多くの方角を微小な線分で形作っている円形の図形の方が水彩効果は高くなると考えられる。直線よりも曲線 (なみ線) で水彩効果が強くなることが示唆されているが (Devinck et al., 2001; Gerardin et al., 2018), 方位選択性に関して円形となみ線に対する水彩効果の影響の違いについては検討されていない。そこで本研究では、なみ線や円形といった方位が豊富な図形要素が他の図形よりも水彩効果を強めるかどうかについても検討する。

本研究は、水彩効果を引き起こす図形の輪郭線について、線に欠損がある (実線と破線) こと、また、方位選択性の観点から、なみ線や直線のような線の形状、円、四角形、三角形といった図形の種類によって、水彩効果の強度にどのような影響を及ぼすのか検討することを目的とする。

## 実験1

### 方法

#### 実験参加者

参加者は岐阜大学学部生38名 (男性15名, 女性23名) であった。平均年齢は20.79歳 ( $SD = 0.84$ ) であった。実験はオンラインで行った。

#### 実験計画

図形 (円, 三角形, 四角形), 線種 (実線, 破線), 線の形状 (直線, なみ線) を独立変数とする3要因参加者

内計画であった。水彩効果の強度測定には一対比較法 (中屋の変法; 高木, 2014) を用いた。

#### 実験刺激

PowerPoint (Microsoft Office 365) を用いて、刺激を作成した。伊澤 (2013) は、水彩効果が最も生じる輪郭線の色として、外側は青, 内側は黄であることを示したため、本実験でも「青 (R-31, G-31, B-255)」と「黄 (R-255, G-255, B-31)」の2色を使用した。図形は、円, 三角形, 四角形の3種類を用い、線の太さは全て3 ptとした。線の種類は、直線かなみ線か、そしてそれぞれが実線か破線かという2つのタイプを設定した。作成した刺激、計12刺激をFigure 4及びFigure 5に示す。(但し、オンライン実験の場合、参加者が所有するPCを用いることになるため、提示される刺激のサイズは参加者間で同じではない。しかし、参加者内では同じであるため、個々の参加者でサイズが統制されている中で水彩効果の強度比較が行われると想定される。)

#### 実験プログラム

後述の実験手続きを実現する実験プログラムは lab.js (<https://lab.js.org>) で作成した。なお、比較刺激が12刺激の場合、一対比較の全試行数は本来132試行 (=  $12 \times 11$ ) となるが、参加者の負担を考え、どのペアも1度のみの比較を行うことで本試行数を66試行 (ランダム提示) とした。なお、参加者間で提示位置のカウントバランスをとるため、左右の位置を入れ替えたプログラムも用意し、どちらのプログラムにも19名ずつ参加者を割り当てた。

#### 手続き

最初に実験参加者は、実験への参加は自由であること、実験の回答途中で回答を中止してもよいことを教示された。次に、水彩効果が、二重線で描かれた図形の内部領域が二重線の内側の色で薄く色づいて見える現象であるということを説明する画面を提示した。画面に提示される2つの刺激について、どちらの内側がより色づいて見えるかを7件法で回答するように教示された。回答は2つの刺激の下に提示される数字ボタンをクリックする方式であった (Figure 6)。数字をクリックすると、1500 msの空白画面が表示され、次の試行に移った。

全試行終了後、プログラムによりデータが記録され、実験終了の画面が表示された。ディブリーフィングは、全参加者の実験が終わってから、各参加者にメールを送ることで行った。

## 結果と考察

中屋の変法（高木, 2014）に従い、左右を入れ替えた試行における参加者の反応は同じであると仮定し、データを補った上で、各刺激についての評定値である「ヤードスティック値」を算出した（福田・福田, 2009; Table 1）。

中屋の変法に従う分散分析の結果、刺激（12水準）の主効果が有意であった（ $F(11, 4505) = 70.15, p < .001, \eta_p^2 = .147$ ）。Ryan法による多重比較を行った結果、「円-実線-直線」と「三角形-点線-直線」間で有意であった（ $p < .01$ 。ゆえに、Figure 7において、ヤードスティック値が正である刺激と負である刺激の任意の組み合わせで有意である）。

全ての実験参加者37名の各刺激のヤードスティック値に対し、図形×線種×線の形状の3要因分散分析を行った。その結果、図形の主効果（ $F(2, 74) = 4.52, p = .014, \eta_p^2 = .109$ ）、線種の主効果（ $F(1, 37) = 69.92, p < .001, \eta_p^2 = .654$ ）が有意であったが、図形と線種の交互作用が有意だった（ $F(2, 74) = 4.61, p = .013, \eta_p^2 = .021$ ）ため、下位検定を行った。その結果、直線における図形の効果（ $F(2, 148) = 5.95, p = .003, \eta_p^2 = .074$ ）、なみ線における図形の効果（ $F(2, 148) = 3.15, p = .046, \eta_p^2 = .041$ ）がともに有意であった。Ryan法による多重比較の結果、なみ線では有意な組み合わせは認められなかったが、直線において、「円-三角形」、「円-四角形」の間に有意差が見られた（ $ps < .005$ ）。

実験1の結果、本研究で用いた12の刺激に対するヤードスティック値の範囲は非常に小さいながらも有意な差が見られ、図形と線種の2つの要因が水彩効果に影響を与えていることが示された。線の形状の影響は認められなかった。

効果量を見ると、水彩効果に最も影響を与える要因

は線種であることが推定される。より具体的には、Figure 7の通り、実線の図形の方が破線よりも水彩効果が大きかった。この結果は、点線の場合は水彩効果が減弱するというPinna（2001）やDevinck & Spillmann（2009）の結果と類似していると言える。

さらに、破線の特徴を持つ図形間においては全ての形で水彩効果に違いは見られず、直線-なみ線図形の間には有意な差が見られなかったが、直線では、円よりも三角形と四角形の水彩効果が大きく知覚された。これは、正円を最多辺の図形だとするならば、方位選択の豊富さの観点から、三角形や四角形よりも円は水彩効果を引き起こしやすいのではないかという予測に反する結果である。正円は多くの方位の集まりとして知覚処理されておらず、少なくとも、直線の円以外の実線図形はいずれも「傾きのある線分の集合」として処理されていたと思われる。

円という丸みを帯びた線が水彩効果を低減させる性質があるのだとすると、なみ線において、まさに波を形成する折返しの部分での丸みもまた、水彩効果を減らしているのかもしれない。なみ線図形の中に水彩効果の大きさに違いがなかったのも、なみ線を構成する「傾きを持つ線分（方位選択性に関わる線分）」と「折返しの丸み部分」の相互作用による可能性が考えられる。そうだとすると、丸みをなくして尖らせた（ギザギザにした）線では、丸みによる減衰がなくなり、方位選択性のみの作用の結果、水彩効果が高くなると予測される。

実験2では、図形の辺に丸みを帯びたなみ線（以下、なみ線と呼ぶ）と、直線の要素を持つなみ線（以下、ギザギザ線と呼ぶ）を用いて、方位選択の影響及び水彩効果が起きやすい図形の特徴に焦点を当てる。

## 実験2

### 方法

#### 実験参加者

参加者は岐阜大学学部生20名（男性6名、女性13名、どちらでもない1名）であった。平均年齢は21.05歳（ $SD = 1.05$ ）であった。実験はオンラインで行った。

#### 実験計画

図形（円、三角形、四角形）、線の形状（なみ線、ギザギザ線）を独立変数とする2要因参加者内計画であった。水彩効果の強度測定には一対比較法を用いた。但し、実験1と異なり、参加者全員が左右の入れ替えを含めた全ての対比較を行った（中屋の変法; 高木, 2014）。

Table 1

ヤードスティック値（実験1）		線の形状	
図形	線種	直線（C1）	なみ線（C2）
円 (A1)	実線（B1）	0.10	0.17
	破線（B2）	-0.28	-0.24
三角形 (A2)	実線（B1）	0.27	0.17
	破線（B2）	-0.28	-0.28
四角形 (A3)	実線（B1）	0.31	0.24
	破線（B2）	-0.26	-0.25

**実験刺激**

線の形状の精度を実験1よりも高めるため、PowerPointではなく、フリーソフトInkscape (<https://inkscape.org/ja/>) を用いて、刺激を作図した。色は実験1と同じく、外側の輪郭線は「青 (R-31, G-31, B-255)」, 内側の輪郭線は「黄 (R-255, G-255, B-31)」であった。図形は円, 三角形, 四角形の3種類を用い、線の太さは全て3ptとした。線の種類はなみ線かギザギザ線かという2つのタイプを設定した。作成した図形をFigure 8に示す。

**実験プログラム**

後述の実験手続きを実現する実験プログラムはlab.js (<https://lab.js.org>) で作成した。この実験プログラムでは、6つの比較刺激に対する一対比較として、左右を入れ替えた対比較を含めた30試行 (= 6×5) がランダムに提示された。

**手続き**

刺激と試行数以外は実験1と同様であった。

**結果と考察**

中屋の変法に従い、実験1同様、各刺激についての評定値である「ヤードスティック値」を算出した (Table 2)。中屋の変法に従う分散分析の結果、刺激 (6水準) の主効果が有意であった ( $F(5, 470) = 8.21, p < .001, \eta_p^2 = .08$ )。Ryan法による多重比較を行った結果、「円-ギザギザ線」と「四角形-なみ線」間で有意であった ( $p < .01$ 。したがって、Figure 9において、ヤードスティック値が正である刺激と負である刺激の任意の組み合わせで有意である)。

全ての実験参加者20名の各刺激のヤードスティック値に対し、図形×線の形状の2要因分散分析を行った。その結果、図形と線の形状の主効果はどちらも認められなかったが ( $F_s < 2.8, ns$ )、交互作用が有意であった ( $F(2, 38) = 8.11, p = .001, \eta_p^2 = .30$ ) ため、下位検定を行った。その結果、ギザギザ線における図形

の効果 ( $F(2, 76) = 6.67, p = .002, \eta_p^2 = .15$ )、円における線の形状の効果 ( $F(1, 57) = 16.71, p = .000014, \eta_p^2 = .23$ ) がともに有意であった。Ryan法による多重比較の結果、ギザギザ線において、「円-三角形」, 「円-四角形」の間に有意差が見られた ( $ps < .005$ )。

実験2の結果、6つの刺激に対するヤードスティック値の範囲は非常に小さいながらも有意な差が見られた。より具体的には、「円-ギザギザ線」の刺激がその他の5つの刺激よりも水彩効果があることを示した。一方、円で見られたギザギザ線による水彩効果の強まりは三角形と四角形では見られなかった。

この結果は、水彩効果に方位選択性が関与するという仮説を支持するものと言える。円を取り囲んで、ギザギザ線を構成するそれぞれの線分が示す方位は、三角形や四角形よりも多い。言い換えると、三角形や四角形では、元の各辺上でギザギザ線が繰り返されるので、ギザギザを構成する線分の傾きのバリエーションは円よりも少なくなる。そのため、方位選択的な活性化が多く生じることでギザギザ線の円において水彩効果が高くなったと考えられる。

さらに、円においてなみ線とギザギザ線で効果に差が見られたことは、丸みが水彩効果を減衰させる可能性があることを示唆している。なみ線とギザギザ線の違いは、線の折り返し部分が丸みを帯びているか尖っているかであり、折り返すまではどちらも直線である。ギザギザ線ではその直線部分がなみ線よりも延長されることになったことが関係するのだろうか。あるいは、丸みではなく尖りが水彩効果を強めたのだろうか。ギザギザ線の尖りが集中線 (マンガなどで用いられる放射状の線) や矢印のようにさらなる方位情報を与える役割を持っているとするならば、線分による方位と矢印あるいは鏃 (やじり) による方位の相乗効果として、ギザギザ線の円の水彩効果が見られた可能性がある。そうであれば、鏃のみの輪郭線でも水彩効果は発生する可能性も考えられる。

したがって、実験3では、実験2の「円-なみ線」や「円-ギザギザ線」のような欠損のない輪郭線と、鏃要素のみを残した輪郭線、そしてその中間として外側と内側の輪郭線が鏃要素にも接している輪郭線の3種類を用いて (詳細は後述及びFigure 10)、線分による方位をできる限り除外した状態での水彩効果への影響を検討する。

Table 2

ヤードスティック値 (実験2)		
図形	線の形状	
	直線 (B1)	なみ線 (B2)
円 (A1)	-0.06	0.40
三角形 (A2)	-0.05	-0.09
四角形 (A3)	-0.004	-0.05

### 実験3

#### 方法

##### 実験参加者

岐阜薬科大学学部生14名（男性5名、女性9名）であった。参加者の平均年齢は20.36歳（ $SD = 3.63$ ）であった。実験はオンラインで行った。

##### 実験計画

線の形状（なみ線、ギザギザ線）、線の分断（なし、中間、鏝のみ）を独立変数とする2要因参加者内計画であった。水彩効果の強度測定には実験2と同様、一対比較法（中屋の変法; 高木, 2014）を用いた。

##### 実験刺激

図形は、実験2で効果に差が見られた円のみを用いた。フリーソフトInkscapeを用いて、実験2で用いたなみ線とギザギザ線に、背景と同じ白色の円を重ねることで線分の分断を表した。全てつながっている分断なしの輪郭線、鏝のみの輪郭線、この2つの中間として、鏝に線分が少し接している輪郭線の3種類を設定し、計6刺激を作成した（Figure 10）。

##### 手続き

刺激以外は実験2と同様であった。

### 結果と考察

中屋の変法に従い、各刺激についての評定値である「ヤードスティック値」を算出した（Table 3）。中屋の変法に従う分散分析の結果、刺激（6水準）の主効果が有意であった（ $F(5, 326) = 52.51, p < .001, \eta_p^2 = .37$ ）。Ryan法による多重比較を行った結果、「なみ線-鏝のみの線」と「ギザギザ線-中間線」の間で有意であった（ $p < .01$ ）。したがって、Figure 11において、ヤードスティック値が正である刺激と負である刺激の任意の組み合わせで有意である。なお、正の範囲及び負の範囲での差は以下の分析で示される）。

全ての実験参加者14名の各刺激のヤードスティック値に対し、線の形状×線の分断の2要因分散分析を

行った。その結果、線の形状の主効果（ $F(1, 13) = 10.72, p = .006, \eta_p^2 = .45$ ）、線の分断の主効果（ $F(2, 26) = 39.91, p < .001, \eta_p^2 = .75$ ）に有意な差が見られ、交互作用は有意傾向であった（ $F(2, 26) = 3.22, p = .057, \eta_p^2 = .20$ ）。下位検定の結果、中間線における線の形状の単純主効果が有意傾向（ $F(1, 39) = 2.99, p = .092, \eta_p^2 = .07$ ）、鏝のみの線における線の形状の単純主効果が有意であった（ $F(1, 39) = 6.77, p = .013, \eta_p^2 = .15$ ）。また、なみ線における線の分断の単純主効果が有意であった（ $F(2, 52) = 25.88, p < .001, \eta_p^2 = .50$ ）。Ryan法による多重比較の結果、鏝のみの線が他の2種よりも値が低かった（ $ps < .001$ ）。さらに、ギザギザ線における線の分断の単純主効果も有意であった（ $F(2, 52) = 40.49, p < .001, \eta_p^2 = .61$ ）。多重比較の結果、ギザギザ線の3種の間全てに有意差が認められた（ $ps < .01$ ）。

また、線の分断の主効果についてRyan法による多重比較を行った結果、実線-中間線の間には有意な差は見られなかったが、実線-鏝のみの線、中間線-鏝のみの線の間には有意な差が見られた（ $ps < .005$ ）。

実験3の結果、鏝のみの線での刺激はそれ以外の刺激と比べて、水彩効果は非常に弱いことが示された。また、直接的な比較はできないが、実験1、2の結果も含めると、鏝のみの線での刺激のヤードスティック値は相対的に最も小さいと言える。Devinck & Spillmann (2009) は、輪郭線が点線である場合に、点が離れると水彩効果が減少することを示したが、鏝のみの線で水彩効果が小さくなったのもまたその分断の作用によるものだと考えられる。したがって、鏝による方位選択は水彩効果には作用していないと考えられる。一方、中間線は、分断がありつつも線分を残存していることにより、ある程度水彩効果を保ったのかもしれない。

さらに、鏝のみの線においては、なみ線よりもギザギザ線の方が水彩効果が弱く、この傾向は中間線でも見られた。これは、白い円によって分断された内側において、黄色の占める割合がギザギザ線よりもなみ線の方が大きいためかもしれない。加えて、その内側に入り込む外側輪郭線の割合も、丸みがある方が大きく、内側輪郭線の色とのバランスが部分的には「二重輪郭線」に近づいたためとも考えられる。同時に、中間線は破線の亜種とも言えるため、実線に比べると水彩効果は弱くなったのであろう。本研究では空間を占める色の割合については統制できていないため、この点についてはより厳密に統制された刺激による検討が期待される。

Table 3

ヤードスティック値（実験3）

線の形状	線の分断		
	なし (B1)	中間線 (B2)	鏝のみ (B3)
なみ線 (A1)	0.80	0.46	-1.05
ギザギザ線 (A2)	0.99	0.22	-1.42

また、分断のない2つの円ではヤードスティック値に違いが認められなかった。この結果は、実験2と異なる。このような結果の違いは、本研究を通じて用いた一対比較法に由来するものと考えられる。特に、実験3では、「鏝のみの線」の刺激の水彩効果が極端に小さく、他の刺激における水彩効果が感じ取りやすかった可能性がある。一方、実験2の刺激は、実験3よりも水彩効果の強さが拮抗しており、参加者は細かな違いを評定するためにより精緻な知覚的な判断処理を行っていたと考えられる。だとすると、これらの結果の相違は矛盾するものではなく、また、方位選択性に基づく仮説と矛盾するものでもないと思われる。

### 総合考察

本研究は、一対比較法による3つの実験を通して、線の種類と図形の種類が水彩効果の強度にどのような影響を及ぼすのか検討することを目的としていた。実験1では、図形（円、三角形、四角形）と線種（実線、破線）と線の形状（直線、なみ線）について水彩効果の影響を比較した。その結果、破線の図形では効果が弱まることが示された。実験2では、図形（円、三角形、四角形）と線の形状（なみ線、ギザギザ線）について比較した結果、円の図形においてなみ線よりもギザギザ線の方が効果を高めることが明らかになった。これら2つの実験の結果から、水彩効果には図形というよりも、なみ線とギザギザ線における線分によって活性化される方位選択性が強く関与していることが考えられた。実験3では、線の形状（なみ線、ギザギザ線）と線の分断（実線、中間線、鏝のみの線）について効果の違いを比較した。その結果、線が繋がった状態で2本の輪郭線あるいは線分が接触していることが水彩効果を引き起こす重要な要因であることが示された。

これら3つの実験から、水彩効果を引き起こすためには、途切れることなく繋がった、接触した二重の線を構成していることはもちろん、水彩効果を高めるためには、この必要条件になみ線やギザギザ線のような方位選択をより活性化させる輪郭線の形状を取り入れることが有効であると考えられる。本研究では、水彩効果に影響を与える要因として、従来多くの研究がされてきた色の他にも、輪郭線の状態が大きく関与していることが示された。本研究の結果からは、概ね、破線、実線・なみ線、ギザギザ線の順で水彩効果は強くなることが示唆される。Pinna et al. (2001) 以降、水彩効果を引き起こす線として「色の異なる二重のなみ線である」ことが定説とされていたが、本研究はギ

ザギザ線では水彩効果がより強まる可能性を示したと言える。さらに、ギザギザ線でできた円のヤードスティック値が最も高かったことは、水彩効果の強さに方位選択性の豊かさが関係しているという仮説を支持するものである。

なお、図形について、Devinck et al. (2006) が囲まれる領域が狭いほど水彩効果が現れやすいという見解を示しているが、本研究においては、三角形の方が四角形よりも辺と辺の距離が短くても水彩効果の大きさに違いは認められなかった。また、線の形状が直線の時に円より三角形、四角形で水彩効果の影響が大きくなった。これらの結果の相違は、刺激の精度や測定方法の違いに起因すると思われ、より一層の検討が必要であろう。

本研究は、水彩効果が十分に発生する基礎要因として、Pinna et al. (2001) やDevinck & Spillmann (2009) が示しているように、色の異なる2本の線が接触した二重線を構成していること、輪郭線は線のつながった実線であることに加え、方位選択性の観点から、円とギザギザ線の組み合わせで効果が高まることが新たに示された。しかし、本実験で使用した刺激は、作成上、目視によって調整した部分もあったため、より正確な作図の元で検討する必要がある。Devinck, Gerardin, Dojat, & Knoblauch (2014) は、外側と内側の輪郭線の幅比率が同等のもので水彩効果は高くなることを示しているが、本研究では、例えば、実験3の中間線のように、分断した内側では外側輪郭線と内側輪郭線の幅比率は同等ではなかった。また、実験3の考察でも述べたように、分断した内側における内側輪郭線の割合を統制することによって、本研究では検出されなかった鏝による効果のように、線分以外の方位選択性について検討することができるかもしれない。

本研究は、水彩効果の強度に影響する基礎要因に関して、図形の構成や方位選択性の観点から新たな知見を示した。今後は、上記の課題をさらに実験的に検討され、錯視が引き起こされる要因がより解明されることを期待する。

### 引用文献

- Cao, B., Yazdanbakhsh, A., & Mingolla, E. (2011). The effect of contrast intensity and polarity in the achromatic watercolor effect. *Journal of Vision, 11* (3), e18. doi: 10.1167/11.3.18
- Devinck, F., Delahunt, P. B., Hardy, J. L., Spillmann, L., & Werner, J. S. (2006). Spatial dependence of

- color assimilation by the watercolor effect. *Perception*, 35 (4), 461-468.
- Devinck, F., Gerardin, P., Dojat, M., & Knoblauch, K. (2014). Spatial selectivity of the watercolor effect. *Optical Society of America*, 31 (4), A1-6.
- Devinck, F., Hardy, J. L., Delahunt, P. B. Spillmann, L., & Werner, J. S. (2006). Illusory spreading of watercolor. *Journal of Vision*, 6, 625-633.
- Devinck, F., & Spillmann, L. (2009). The watercolor effect: Spacing constraints. *Vision Research*, 49, 2911-2917.
- 福田 忠彦・福田 亮子 (2009). 増補版 人間工学ガイド——感性を科学する方法——サイエンティスト社
- Gerardin, P., Dojat, M., Knoblauch, K., & Devinck, F. (2018). Effects of background and contour luminance on the hue and brightness of the watercolor effect. *Vision Research*, 144, 9-19.
- 伊澤 尚子 (2013). 白さ知覚に与える隣接有彩色の影響 東京家政学院大学紀要, 53, 33-37.
- Pinna, B., Brelstaff, G., & Spillmann, L. (2001). Surface color from boundaries: A new 'watercolor' illusion. *Vision Research*, 41, 2669-2676.
- Pinna, B., & Grossberg, S. (2005). The watercolor illusion and neon color spreading: A unified analysis of new cases and neural mechanisms. *Optical Society of America*, 22 (10), 2207-2221.
- Pinna, B., Werner, J. S., & Spillmann, L. (2003). The watercolor effect: A new principle of grouping and figure-ground organization. *Vision Research*, 43, 43-52.
- 高木 英行 (2014). 使える！統計検定・機械学習 — III：主観評価実験のための有意差検定 システム/制御/情報, 58 (12), 514-520.
- 竹尾 和孝・田代 知範・井澤 尚子・山内 泰樹 (2018). 曲調変調条件が水彩効果の強さに及ぼす影響 日本色彩学会誌, 42 (6), 66-68.

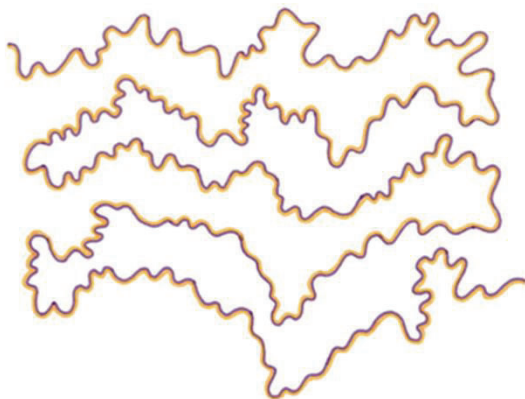


Figure 1. Pinna et al. (2001) が使用した図。

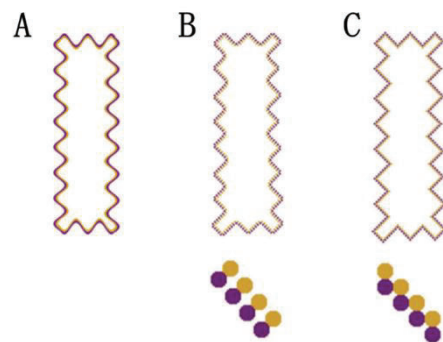


Figure 2. Devinck & Spillmann (2009) が使用した実線の図 (A), 点が隣接する点線の図 (B), 点が互いの隙間に隣接する点線の図 (C)。下部の図は、点線の一部を拡大したものである。

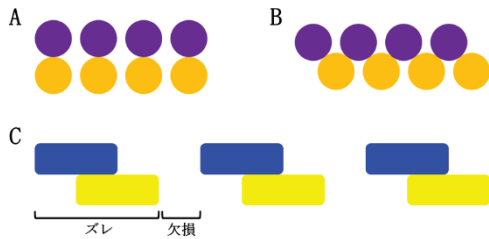


Figure 3. Devinck & Spillmann (2009) における点線 (A, B) と本研究における点線 (C)。 (C) には欠損もズレもある点が (A) 及び (B) との違いである。

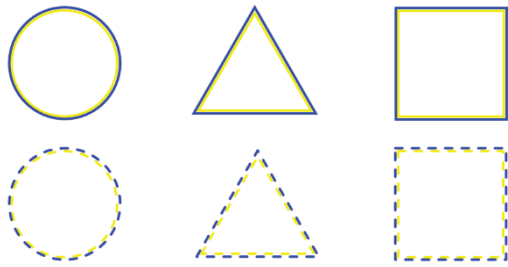


Figure 4. 直線と破線 (本研究では左上の円刺激の線についても直線と呼ぶ)。

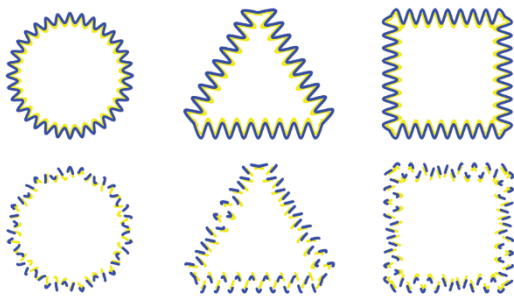


Figure 5. なみ線と破線。

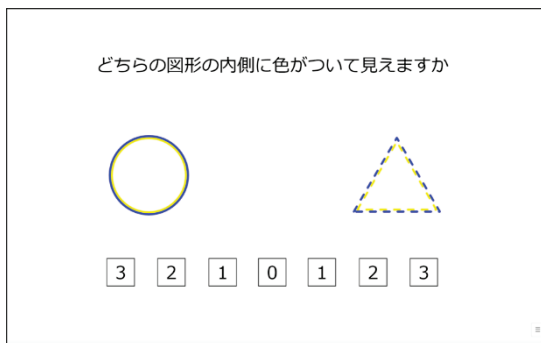


Figure 6. 実験の評定画面。色づき具合に違いがないと感じれば0, 違いがあると思ったならば, 強く感じた刺激側の1か2か3のボタンをクリックした。

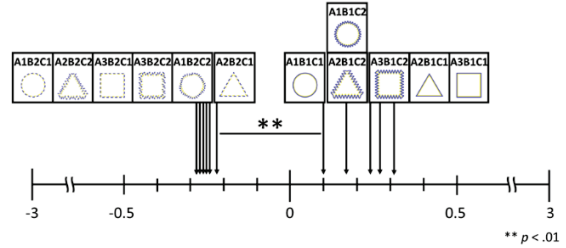


Figure 7. ヤードスティック図 (実験1)。各刺激の英数字ラベルはTable 1の各水準に対応している。

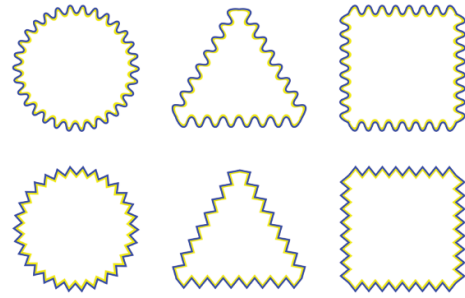


Figure 8. なみ線とギザギザ線。

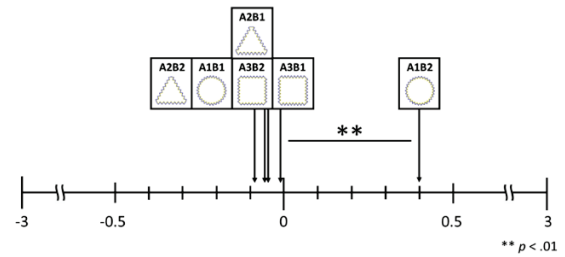


Figure 9. ヤードスティック図 (実験2)。各刺激の英数字ラベルはTable 2の各水準に対応している。

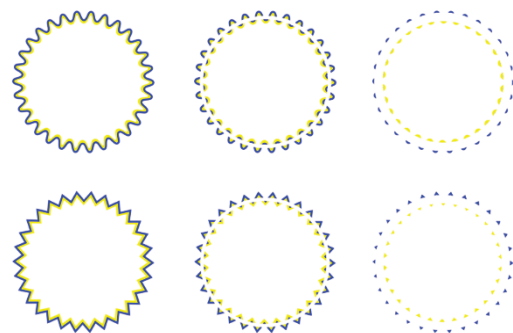


Figure 10. つながった輪郭線と分断された輪郭線。

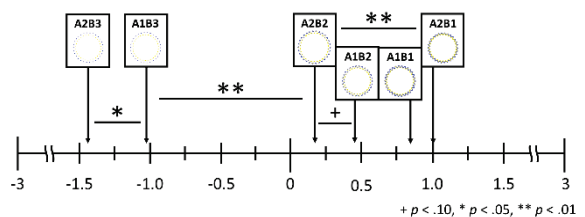


Figure 11. ヤードスティック図 (実験3)。各刺激の英数字ラベルはTable 3の各水準に対応している。