

曲率特徴量の可視化における色の評価

栗野 直之[†] 杉山 賢二[†]

成蹊大学理工学部[†]

1. はじめに

形状特徴量の一つに曲率が挙げられる。曲率は曲線や曲面の曲がり具合を定量的に表す形状特徴量であり、主に製品設計や解析における重要なパラメータである。曲率を可視化するには、曲率の値と対応させたカラーパレットを用い、その変化を赤、緑、青を使用して可視化することが多い。これは、ディスプレイは加法混色による表示であるため、曲率の可視化に限らず都合が良いためである。しかし、視覚的な線形性が確保されていないため、例えば曲率が線形に変化していても、視覚的には線形でない。そこで、視覚的な線形性を確保するために $L^*a^*b^*$ 均等色空間上での曲線を定義し、その曲線状の色を使用することが考えられるが、曲線は無限に定義できる。そのため、例えば温度を長波長と短波長の色相で表現するように、曲率に対する直観的な対応色が定義できれば、それが $L^*a^*b^*$ 空間上での曲線定義のベースになると考えられる。

本研究では、曲率の可視化における直観的な色相選択の方法を主観評価実験により検証する。なお、3次元の曲率の場合には、主曲率の大きさの絶対値を可視化することを考えるものとする。

2. 角と色相の調和について

形と色相の調和については、Wassily Kandinsky らによって考察されており、正三角形と黄、正方形と赤、円と青の組み合わせが最も調和するという結論を得ている^[1]。さらに、Kandinsky の理論の妥当性について様々検証されており、結果にはそれぞれ差異がある^{[2]~[5]}。しかし、解釈の違いにより Kandinsky の理論に概ね同様な結果であることが示されている。ただし、色相の感情効果や意味認識の違いなど、複数の因子によって調和が決定される可能性が示されており、図形に対する色相の調和は温度を長波長と短波長の色相で表現するほど単純な問題ではない。

一方、Kandinsky は図形と色相の調和ではそれぞれの部分的な形が影響を及ぼすとしており、図 1 に示すように角と色相が調和する結論も得ている。これらはすべて Kandinsky による抽象芸術論をもとに導出されており、色相の精神的作用として、有彩色における色の対立は図 2 のような関係となるとしている^[6]。図 1 に示す角と色相の関係は、図 2 に示す色の対立とそれぞれの色相の感情効果により導出されている。

3. 角度と色の組合せの主観評価実験

曲率は図形や形状の局所的な角度を基に算出されるパ

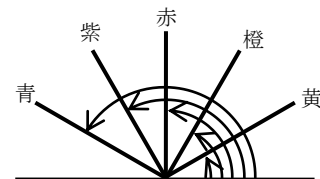


図 1 角と色相との関係

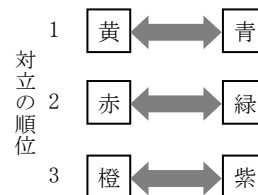


図 2 色の対立

ラメータである。本研究では、図 2 に示した Kandinsky による角と色相の調和の関係が成立するかを主観評価実験により検証することで、可視化に使用できるかを検討する。ここで、Kandinsky による理論は紙面上での概念であるが、一般に曲率の可視化はディスプレイ上で確認するため、実験はディスプレイ上で行う。ディスプレイは EIZO ColorEdge CX270 の sRGB 表示モードを利用し、角の表示は黒の 2 線分、背景色は白とする。被験者はすべて 25 名とし、3.1~3.3 節で示す 3 種類の実験を行う。

3.1 実験 1: 角から連想する色

鋭角から鈍角までの角から連想する色を評価する。具体的には、表示された 2 線分で表される角に対して単色で着色する。ここで、選択できる色は色彩基本語の 11 色とし、背景色の白を除く 10 色を選べるものとする。これを図 1 に示した 30 度、60 度、90 度、120 度、150 度の 5 種類の角に対して着色する。

実験では、提示された角の角度に注目し、その角から連想される色で配色してもらう。このとき、鋭角から鈍角までの 5 種類の角に対して異なる色で配色することを条件とする。また、被験者には表示されている角の角度は伝えないものとする。

3.2 実験 2: 色から連想する角

色から連想する角が鋭角から鈍角までのいずれに相当するかを評価する。具体的には、画面に単色を表示し、その色から連想する角を 30 度、60 度、90 度、120 度、150 度の 5 種類の角から 1 種類を選ぶものとする。

実験では、基本色彩語 11 色に対して 1 種類の角度を割り当ててもらおうようにする。

3.3 実験 3: 最適な配色

鋭角から鈍角までの角に対する色付けとして、表 1 に

Color Evaluation for the Visualization of Shape Curvature

[†] Naoyuki Awano, Kenji Sugiyama,

Faculty of Science and Technology, Seikei University

表1 5種類の配色

	30度	60度	90度	120度	150度
TYPE 1	赤	橙	黄	緑	青
TYPE 2	シアン	青	マゼンタ	赤	黄
TYPE 3	黄	橙	赤	紫	青
TYPE 4	赤	黄	緑	シアン	青
TYPE 5	青	紫	赤	橙	黄

示す5種類の配色を用意する。TYPE 1は色の波長を意識した配色、TYPE 2は減法混色を意識した配色、TYPE 3はKandinskyによる配色、TYPE 4は加法混色を意識した配色、TYPE 5はKandinskyによる配色を逆に割り当てた配色である。ここで、TYPE 2とTYPE 4では基本色彩語11色に含まれないシアンとマゼンタを使用している。これは、前述したようにディスプレイは加法混色を利用しているため、可視化では三原色を3次元情報とみなして各軸にデータをマッピングすることが多いことから、RGBとCMYを検証するために配色へ加えた。

実験ではこれらの5種類の配色を2種類ずつ提示し、どちらが良いかを2択で選択してもらう。これをすべての組み合わせの10通り提示し、一対比較法を用いて最適な配色を決定する。

4. 結果と考察

4.1 実験1

各被験者によって得られた色をL*a*b*均等色空間上にプロットし、その平均となる色のRGB値と標準偏差を表2に示す。同表より、いずれの角度も標準偏差が大きく、角に対して特定の色相を割り当てることが難しいことがわかる。

4.2 実験2

各色において選択された角の平均角度と標準偏差を図3に示す。同図より、平均角度の多くは90度前後であり、さらに標準偏差が大きいことから、色から連想する角度を特定することが難しいことが考えられる。

ここで、各色において選ばれた角度間に相関があるかどうかを、相関係数を求めることで検証する。具体的には、ある色Aと色Bにおいて、色Aから連想される角に鋭角を選ぶ時は色Bも鋭角に選ぶ場合には正の相関が高くなり、色Bに鈍角を選ぶ場合には負の相関が高くなる。

相関係数を算出し、ピアソンの積率相関係数により相関が認められた色の組合せはすべて負の相関であり、高い順に「青と黄」「赤と緑」「橙と紫」「緑と紫」「青と桃」となった。ここで、上位3種類はKandinskyによる色の対立順であるため、色から連想する角度からKandinskyの抽象芸術論と同等の結果が抽出され、角に対する配色が利用できる可能性を示す結果であると考えられる。

4.3 実験3

鋭角から鈍角までの配色として5種類の配色を用い、サーストンの一対比較法を用いて評価した結果を図4に示す。最も高い評価が得られた配色はKandinskyによる配色ではなく、Kandinskyの配色を鋭角から鈍角へ逆に割り当てた配色となった。

ここで、視覚認識では変化の大きい箇所を注目しやすい傾向があり、鋭角から鈍角では鋭角がそれにあたる。そのため、鋭角には最も明確な色を配色することが考えられ、背景色が白では鋭角を黄とすると明度対比によっ

表2 実験1の結果

	R	G	B	標準偏差
30度	189	89	112	34.6
60度	195	131	109	35.9
90度	153	103	55	31.5
120度	213	143	103	44.4
150度	187	101	151	33.1

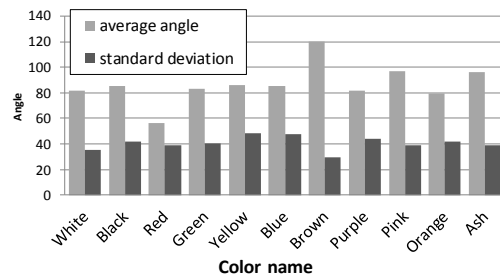


図3 実験2の結果(平均角度と標準偏差)

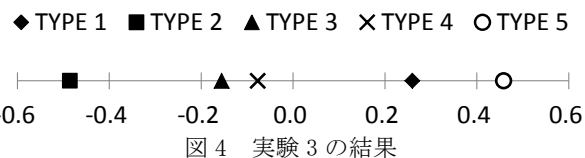


図4 実験3の結果

て見づらくなる。実験2より、鋭角から鈍角までの一連の変化をKandinskyによる配色が利用できる可能性を示したが、背景色が白では明度が低い色の方が明確に視認できることから、Kandinskyの配色を逆にした配色が多く選ばれた可能性が考えられる。

5. おわりに

本研究では曲率の可視化における色選択の方法を決定する手法について検討した。画家Kandinskyによる角に対する配色が利用できるかを検証し、有効性を示した。今後は、今回得られた色から視覚的な線形性を確保するためのL*a*b空間上の曲線定義を考える必要がある。

- [1] W. カンディンスキー 宮島久雄訳 (2008) 「点と線から面へ」バウハウス叢書 9 中央公論美術出版
- [2] 木村敦, 和田有史, 野口薫: 感情効果の類似が形と色の調和的關係に及ぼす影響, デザイン学会論文集, Vol. 52, No. 6, pp. 1-6, 2006
- [3] 本庄元, 櫻井宏: 形と色の感情効果の類似がその合成図形の調和關係に及ぼす影響, 芸術工学会誌, No. 51, pp. 24-25, 2009
- [4] T. Jacobson: Kandinsky's questionnaire revisited; fundamental correspondence of basic colors and forms, Perceptual and Motor Skills, 95. pp. 903-913, 2002
- [5] L. Albertazzi, O. D. Pos, L. Canal, R. Micciolo, M. Malfatti, M. Vescovi: The Hue of Shapes, Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, Vol. 39, No. 1, pp. 37-47, 2013
- [6] W. カンディンスキー 西田秀穂訳 (1962) 「抽象芸術論 芸術における精神的なもの」美術出版社