

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：31302

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2022

課題番号：17K04498

研究課題名（和文）フラッシュ呈示で誘導される円図形変形錯視の生起機序の解明

研究課題名（英文）Mechanisms for circle distortion illusion induced by flash presentation

研究代表者

櫻井 研三（SAKURAI, Kenzo）

東北学院大学・教養学部・教授

研究者番号：40183818

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：長時間観察による順応で生起する一種の残効と考えられていた円図形変形錯視と同様の現象が、円図形とそのグラデーション図形を交替させるフラッシュ呈示により短時間で生起することを確認した。この動的錯視を「ポリゴン化効果」と名付けて生起機序の解明を目指した本研究では、フラッシュ呈示による短時間生起が極めて頑健な現象であり、グラデーション図形の形状を変化させても両眼分離呈示でもこの錯視が生起することを3つの実験から明らかにした。次にこの錯視の生起機序を説明するモデルを構築し、特定の曲率で曲線的に並んだ小さな線検出器群からなる曲線検出器の順応でこの現象を説明可能とした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ポリゴン化効果の生起機序の解明は円図形がどのような要素の組み合わせで知覚されているのかについて、新しい知見を提供してくれた。加えて、図形のフラッシュ呈示が順応過程を促進するならば、これまで長時間観察が必要であった順応による残効実験の所要時間をフラッシュ呈示により短縮し、高い順応状態を維持できるようになる。さらに類似図形の交替呈示により順応が促進されるメカニズムが解明されれば、知覚的順応の基本原理の理解につながる。

研究成果の概要（英文）：We have confirmed that a phenomenon similar to the circular shape distortion illusion, which was thought to occur through adaptation over a long observation period, can occur rapidly through alternating flash presentations of circular and gradient patterns. In this study, aiming to elucidate the mechanism of this dynamic illusion, we named it the "polygonization effect." By conducting 3 experiments, we revealed that the short-duration occurrence of this illusion through flash presentations is a highly robust phenomenon that occurs even with some different shapes of the gradient pattern and with binocular presentation. Next, we constructed a model to explain the mechanism of this illusion and successfully explained it through the adaptation of curvature detectors consisting of small line detectors arranged in a curved manner with specific curvatures.

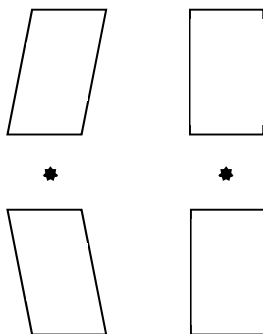
研究分野：実験心理学

キーワード：錯視 フラッシュ呈示 図形変形

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

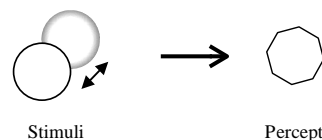
外界の対象を同定して危険回避や捕食などの次の行動を決定するには、対象の形の知覚が極めて重要となる。ヒトの視覚認知機能の中核であるこの形の知覚は、時空間で隣接する情報の影響を受ける。左図の左側にある*印を20秒程度注視して上下ふたつの平行四辺形を観察した後に右側の*印に目を移すと、上下の長方形は左側の平行四辺形と逆方向に傾いてみえる。この現象は線や図形の傾きに対する順応により生起する図形残効、ないしは図形変形錯視であり、線分の傾きを検出するメカニズムが存在する証拠である。実際に脳神経科学研究では特定の傾きの線分に反応する細胞が視覚野で発見されている。



このような順応を利用した残効実験は「心理学者の微小電極」と呼ばれ、視覚科学の重要な研究ツールのひとつとなっている。なぜなら、ある属性をもつ刺激を長時間観察してその属性に順応したのちに残効の有無を測定することで、その属性に特徴的に反応するメカニズムの存在を非侵襲的に調べることができるからである。しかし、順応を

利用した残効実験は順応成立までに長い観察時間を必要とし、それが実験手続き上の欠点とされてきた。

本研究の端緒は、白背景に黒線で描かれた円図形とその円の内部方向に灰色から白へと漸次的に輝度変化するグラデーション図形を適切な時間間隔で同じ位置に交替呈示すると、円図形が多角形のように変形して知覚される図形変形錯視を発見したことにある(右図参照)。この錯視を「ポリゴン化効果」と名付け国内の錯視コンテスト2013で発表したところ入賞し、そのデモは下記URLで公開されている。このデモ動画では、中央の十字を注視していると、周辺に配置されて点滅する5つの円が短時間で多角形に知覚される。



URL: [http://www.psy.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/sakkon/Polygonization\(Sakurai2013\).mov](http://www.psy.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/sakkon/Polygonization(Sakurai2013).mov)

類似した図形変形錯視は円図形の残像において生起すること(Ito, 2012)、また円図形の長時間観察による順応でも生起することが報告されている(Khuu, McGraw, & Badcock, 2002)。もしも長時間観察による順応で生起する残効と同様の効果がフラッシュ呈示により短時間で生起するのであれば、残効実験の手続きに必要な時間を大幅に短縮できるかもしれない。

2. 研究の目的

本研究では、この図形変形錯視(ポリゴン化効果)の生起機序の解明を目的とし、ポリゴン化効果が先行研究の長時間観察での順応にもとづく図形変形錯視と同じメカニズムに依存するか否かについて、以下の3つの実験と1つのモデル構築により検討した。実験1は、静止円を凝視させた場合とグラデーション図形との交替呈示を観察させた場合の円図形変形錯視の生起潜時の比較。実験2は、円図形変形知覚を誘導するグラデーション(円図形の輪郭と対になる灰色領域)のバリエーションの検討。実験3は刺激呈示眼の操作による生起部位の検討。モデル構築は、曲線検出器モデルによる説明の可能性の検討であった。

3. 研究の方法

実験1: 典型的な図形残効の順応実験では、参加者に誘導刺激を長時間観察させた後、検査刺激を呈示して観察させる。残像の変形を報告した Ito (2012) ではこの手続きが用いられたが、Khuu, McGraw, and Badcock (2002) では参加者に円図形を周辺視で長時間観察させ、そのまま同じ円図形が変形したかどうかを報告させた。ポリゴン化効果は誘導刺激と検査刺激が一体で後者の手続きに準拠するため、刺激呈示開始から図形変形が開始する(誘導される)までの時間(潜時)を従属変数として測定した。独立変数は円図形とグラデーション図形の交替周波数で、0(静止円のみ)の呈示: 統制条件), 0.5, 1, 2, 4, 8 Hz とした。

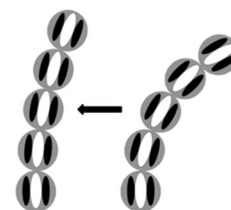
目的にも記載したように、潜時の違いが確認できれば、次のふたつの可能性が示唆される。第1は、先行研究の図形変形錯視とポリゴン化効果は、全く別のメカニズムに依存する別個の現象という可能性である。第2は、ポリゴン化効果が先行研究同様に順応メカニズムに依存している、フラッシュ呈示がその順応効果を促進しているという可能性である。

実験2: 実験条件で独立変数となる誘導グラデーションのバリエーションとしては、その場所を円の内側、外側、両側とするのに加え、それらすべての逆極性(白黒反転)のパターンを用いた。従属変数として円図形の変形を報告するまでの潜時を用いた。また、統制条件として単純な円図

形の点滅を用いた。

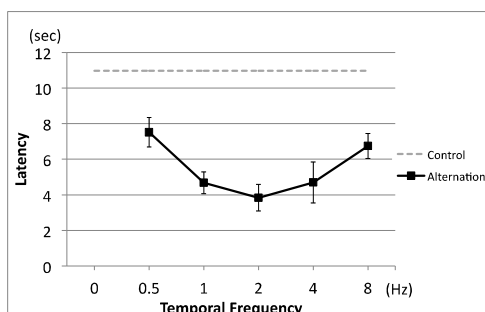
実験 3：円図形とグラデーション図形を左右眼に分離呈示し、ポリゴン化効果が生じる視覚情報処理の段階が両眼融合以前にあるのか、両眼融合以降にあるのかを検証した。この刺激布置ではそれぞれの図形が呈示される各眼において単一図形の点滅しか存在しない。しかし、両眼視の状態でもポリゴン化効果が生起するならば、この図形変形錯視は基本的には両眼融合以降の段階で生起する現象である可能性が高くなると考えられた。もちろん両図形の相互作用が両眼融合以降の段階からそれ以前の段階にフィードバックしている可能性は否定できないものの、図形変形錯視の生起部位を特定する手段としては最初に行なうべき心理物理実験であった。

モデル構築（曲線検出器モデル）：ポリゴン化効果を説明するモデルの構築を試みた。ポリゴン化効果が先行研究の長時間観察での順応にもとづく図形変形錯視と同じメカニズムに依存するか否かは、図形の知覚、特に円がどのような要素の組み合わせで知覚されているのかについて検証することに他ならない。特定の曲率で曲線的に並んだ小さな線検出器の集合で円が処理されているならば、先行研究で報告された長時間観察はそれらの線検出器群を順応させたことになる。そして、より大きな曲率の（より直線に近い）線検出器群の出力が相対的に強くなり、多角形が知覚されるという説明が可能である。右図は、異なる曲率に対応する 2 種類の線検出器群を模式的に描いたものであり、より急峻な曲率の線検出器群が順応するとより緩やかな線検出器群が相対的に大きな出力を出すようになり、円形が多角形に知覚されると説明できる。ポリゴン化効果が先行研究の長時間観察での順応にもとづく図形変形錯視と同じメカニズムに依存している場合、このモデルが有力となる。



4. 研究成果

実験 1：ポリゴン化効果では誘導刺激と検査刺激が一体となるため、刺激呈示開始から図形変形が開始する（誘導される）までの時間（潜時）を従属変数として測定した。独立変数は円図形とグラデーション図形の交替周波数で、0（静止円のみ）の呈示：統制条件、0.5、1、2、4、8 Hz とした。その結果、交替周波数 2Hz で最も潜時が短くなる U 字型関数が得られた。

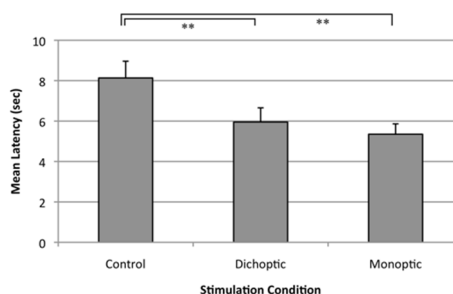


潜時の問題は、先行研究で報告された図形変形錯視とポリゴン化効果の最も大きな違いである。ポリゴン化効果の生起には長時間順応が不要で、ほぼ交替呈示開始直後から図形の変形が知覚された。この相違点から次の 2 点の可能性が示唆される。第 1 は、先行研究の図形変形錯視とポリゴン化効果は、全く別のメカニズムに依存する別個の現象という可能性である。第 2 は、ポリゴン化効果が先行研究同様に順応メカニズムに依存していて、フラッシュ呈示がその順応効果を促進しているという可能性である。

実験 2：誘導グラデーションの形状を円図形の内側、外側、両側としたものに加えて、逆極性（明暗を反転させたもの）を用いて、ポリゴン化効果の有無について実験 1 と同様の条件で実験を実施した。その結果、どの誘導グラデーション図形でも同様にポリゴン化効果が認められた。

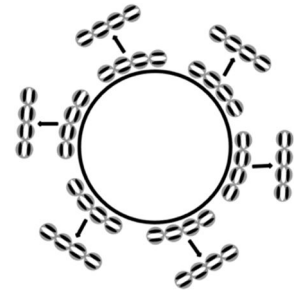


実験 3：円図形とグラデーション図形をそれぞれ左右の眼に分離して呈示し、ポリゴン化効果が生じる視覚情報処理の段階が両眼融合以前か以後かを大まかに特定することを試みた。その結果、両眼分離呈示の条件では生起潜時が長くなるものの、ポリゴン化効果が生じることが明らかになった。それに対し、どちらか一方の図形のみを単眼にフラッシュ呈示した条件では短時間では錯視が生起しなかった。これらの結果から、この錯視の生起部位は両眼融合が成立する皮質レベル以降であることが示唆された。同時にこの結果は、第 1 次視覚野以降にその存在が想定されている特定の大きさの曲線（弧）に反応する曲線検出機構の関与の可能性も示唆している。



モデル構築（曲線検出器モデル）：特定の曲率で曲線的に並んだ小さな線検出器群からなる曲線検出器の出力の組み合わせで円が知覚されるならば、この図形変形錯視の直線部分が知覚されるのは曲線検出器が順応することでより直線に近い低曲率の曲線検出器の出力が相対的に強く

なる結果であると説明できる。このモデルでは特定の曲率で曲線的に並んだ同一サイズの小さな線検出器群を曲線検出器として想定する。それらの曲線検出器の出力が結合されて円図形の全体が知覚されると考える。そしてひとつの曲線検出器、すなわち線検出器群が順応すると、より直線に近い(低曲率の)線検出器群の出力が相対的に強くなる(右図)。この順応による残効の方向は単方向性を想定する。その結果、複数の直線的出力が結合して多角形が知覚されると説明する。ただしこのモデルには次の問題点が残る。第1は、直線的出力同士の結合過程を説明していないことである。第2は、ポリゴン化効果が生じた際に観察される丸みを帯びた角部分の形成過程を説明していないことである。第3は、やはりポリゴン化効果が生じた際に観察される見かけの回転運動を説明できないことである。



< 引用文献 >

- Khuu, S. K., McGraw, P. V., Badcock, D. R., (2002). Misperceptions in the peripheral representation of curvature. *Perception* 31 ECVF Abstract Supplement
- Ito, H. (2012). Cortical shape adaptation transforms a circle into a hexagon: A novel afterimage illusion. *Psychological Science* 23: 126 DOI: 10.1177/0956797611422236

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 1件）

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 櫻井 研三
2. 発表標題 図形変形錯視の見かけの回転運動を説明する修正モデル
3. 学会等名 日本視覚学会2022年冬季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kenzo Sakurai
2. 発表標題 Flash-induced shape distortion illusion by polygons with rounded apexes
3. 学会等名 International Conference on Predictive Vision (ICPV) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenzo Sakurai
2. 発表標題 Completeness of a circle promotes flash-induced shape distortion illusion
3. 学会等名 42nd European Conference on Visual Perception (ECVP2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenzo Sakurai
2. 発表標題 The size of circles affect flash-induced shape distortion illusion
3. 学会等名 41st European Conference on Visual Perception (ECVP2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 櫻井 研三
2. 発表標題 円の大きさの違いが図形変形錯視の生起潜時に及ぼす影響
3. 学会等名 日本視覚学会2018年夏季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenzo Sakurai
2. 発表標題 Visual Phantoms Induced by Contrast-modulated Plaids.
3. 学会等名 13th Asia Pacific Conference on Vision (APCV2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Jiro Gyoba, Kenzo Sakurai, and Akiyoshi Kitaoka	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Routledge	5. 総ページ数 182
3. 書名 Pioneer Visual Neuroscience (ed. James M. Brown)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関