

# 3次元輪郭線形状の検出

## Detection of Three-Dimensional Contours

和 崎 夏 子

Natsuko WASAKI

(日本女子大学大学院人間社会研究科 心理学専攻博士課程後期)

### 要 約

形状知覚の機序を理解するために、ゲシュタルトの法則にみられるよい連続の法則など、輪郭線に基づく知覚の体制化に関する研究が行われてきた。2次元視覚刺激の場合、個別の要素から構成された輪郭線を妨害刺激の中に埋め込むと、その要素の連結角度が $\pm 60^\circ$ までは検出できることがわかっている。本研究では、3次元空間において3次元で定義された要素の連結角度を段階的に操作することにより、輪郭に該当する3次元物体に対する検出特性を明らかにすることを目的とした。実験参加者の課題は、円柱の妨害刺激の中から連結角度がそれぞれ $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $60^\circ$ で構成されたターゲットをできるだけ早く見つけ出すことであった。実験の結果、正答率はターゲットの連結角度が $0^\circ$ の時に最も高くなり、連結角度が増加することにより低くなった。以上の結果から、視覚刺激の提示空間および視覚刺激が2次元から3次元となることにより、検出課題の難易度が高くなる可能性が示唆された。

### [Abstract]

---

The mechanism of perceptual organization based on contours such as “Good continuation” in the Gestalt principles has been studied to understand the mechanism of shape perception. Previous research showed that the 2-D contours made up from the individual elements could be found when they were embedded in the field of random elements, only when the path angle between the elements was within  $\pm 60$  deg. Present study aimed to understand the mechanism of detection of contours made from the 3-D objects in the 3-D space. The 3-D contour was determined by the array of cylinders whose path angles were varied from  $0^\circ$  (straight path) to  $60^\circ$ . Participants were instructed to find the 3-D contour within a field of randomly distributed 3-D objects. Correct response rate was found to be the best at the path angle of  $0^\circ$  and was lower at  $30^\circ$  or  $60^\circ$ . This result indicates that the detection for the 3-D contours is more difficult than when the contour is determined in the 2-D space.

---

### はじめに

ゲシュタルト法則におけるよい連続の法則にみられるように、ヒトの知覚における輪郭線(要素の連続性)に着目した研究が行われてきた (Smits *et al.*, 1985; Field *et al.*, 1993; Pizlo *et al.*, 1997; Geisler *et al.*, 2001; Hess *et al.*, 2003)。輪郭線の検出の過程は、位置、方位、コントラストなどの結合強度を群化の法則を用いて説明される (Geisler *et al.*, 2001)。Field *et al.* (1993)は、空間情報をフィルタリングする視覚システムによる、2次元単一刺激における連続性の法則を持った構造の

表象に関する実験を行った。実験では、2次元の単一の視覚刺激を曲線で連結し、その連結角度を段階的に変化させた。時間的二肢強制選択法を用いて、実験参加者に曲線を検出させる課題を行った結果、単一刺激の連結角度が $\pm 60^\circ$ までは、確実にターゲットを検出できることがわかった(Field *et al.*, 1993; Hess *et al.*, 2003)。

本研究では、Field *et al.* (1993)およびHess *et al.* (2003)を参考に、3次元単一刺激の連結角度を段階的に操作した構造が、情景が自動で回転する3次元空間において、どのように検出されるかを検討することを目的とした。本環境は、実験参加者が顔を動かさずに刺激を動画として観察する受動的な状況であるといえる。本研究の3次元視覚刺激の作成にはゲームエンジンであるUnityを用いた。そこで本稿の方法では、Unityにおける視覚刺激の作成についてその詳細を記述する。

## 方法

### 実験参加者

4名( $M = 23.5$ 歳,  $SD = 1.5$ 歳)が実験に参加した。実験参加者全員が矯正視力を含む正常な視力を有していた。

### 装置

視覚刺激は、24インチ液晶カラーディスプレイ(BenQ XL2540B, BenQ Corp.)に提示された。ディスプレイの空間解像度は $1920 \times 1080$ ピクセル、リフレッシュレートは60Hzであった。実験のセッションは、パーソナルコンピュータ(Surface Laptop, Microsoft Corp.)およびUnity2019.3(Unity Technologies)により制御された。観察距離は60cmとした。

### 視覚刺激

**視覚刺激作成の概要** 視覚刺激の作成および実験セッションの制御には、ゲームエンジンであるUnity(Unity Technologies)を使用した。視覚刺激は、単一の円柱を5つ連結し、その連結角度を $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ の3段階に変化させた目標刺激(ターゲット)と円柱の妨害刺激から構成された(図1)。ターゲットと妨害刺激は、それ自体が自動回転しているのではなく、あらかじめ決めた範囲にランダムに配置された妨害刺激の中心座標にカメラを配置し、そのカメラが一人称視点となるよう、カメラ本体を回転させた。詳細は後述する。

Unityでは、プログラミング言語C#を用いてプログラムを書くことにより、配置したオブジェクト、全体の進行などに対してUnityが提供する機能を拡張し、独自の処理を行うことができる。本研究では、カメラの自動回転、ターゲットの回転、正誤判定のためのターゲット表示、妨害刺激の配置などをプログラムした。

**環境光の設定** Unityのデフォルト画面は、Skyboxと呼ばれる設定で地面と空が表示される。本研究では環境光の設定を行い、暗黒の空間に視覚刺激が配置されるような環境を作成した。また、照明にはUnityのデフォルトにあるDirectional Lightを使用した。Directional Lightは、どの配置においても光の強度は変わらず、設定した方向を均一に照らすことができる。本研究では、

Directional Light を妨害刺激が配置された空間の上下左右に配置し、強度は Inspector ウィンドウより Unity 上の値で 1 に設定した。ただし、Directional Light により生じる影は反映しないこととした。

**自動回転カメラの作成** カメラは、後述する妨害刺激が配置された空間の中心座標に配置した。有効視野は、垂直方向を軸として  $60^\circ$  に設定し、Y 軸を中心に時計回りに回転するスクリプトを作成した。対象物をその場で回転させる Rotate 関数を使用し、transform.Rotate で引数に X, Y, Z 軸の順にそれぞれ回転量を渡した。public 変数を用いて回転速度の値を Inspector ウィンドウより代入できるようにし、Y 軸を中心に回転させるため、X, Z 軸の引数には 0 を、Y 軸の引数には回転速度に Time.deltaTime（最後のフレームを完了するまでに要した時間）を掛けた。これにより、カメラは設定した速度で Y 軸に自動回転する。

**ターゲットの作成** ターゲットは、図 1 に示すように単一の円柱を 5 つ連結し、その連結角度を  $0^\circ$ （図 1A）、 $30^\circ$ （図 1B）、 $60^\circ$ （図 1C）とした。ターゲットを構成する単一の円柱は Unity の Hierarchy ウィンドウから 3D オブジェクトの Cylinder を選択し、Inspector ウィンドウより X, Y, Z のスケールを変更することにより大きさや長さを調整し作成した。この単一刺激を 5 つ連結して一つのターゲットとするために、Hierarchy ウィンドウより中身のないオブジェクト（空オブジェクト）を作成した。その中に円柱を格納し複製および Scene ビュー上に配置し、Inspector ウィンドウの X, Y, Z のローテーションを調整することにより連結角度が異なるターゲットを作成した。刺激の連結は、 $0^\circ$  に連結したターゲットを基に、 $30^\circ$ （図 1B）、 $60^\circ$ （図 1C）の刺激は、それぞれ  $\pm 30^\circ$ 、 $\pm 60^\circ$  の正負が交互となるように配置した。連結するターゲットを作成する際には、単一刺激のある特定の軸上に配置し、単一刺激の中心座標における配置間隔を一定とした。このとき、単一刺激同士の接点となり得る間隔は連結角度により異なった。Unity にはプレハブ(Prefab)と呼ばれる複製機能があり、同じ機能などを持つオブジェクトを複製したいときに使用する。本研究はターゲットの位置など複数の条件を設定したため、円柱を連結させた各ターゲットはプレハブ化した。

カメラの自動回転によるターゲットの検出に偏りが生じないように、ターゲットの配置はカメラが向く初期位置を  $0^\circ$  とし、そこからカメラが回転し始めて  $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $270^\circ$  のときにターゲットが正面に見えるよう計 4 か所に配置した。なお、ターゲットとカメラの距離は条件間で一定とした。

ターゲット自体の回転は、スクリプト内において Quaternion 関数を使用した。Quaternion.Euler で引数に送る X, Y, Z 軸を軸にした回転角度は、Random 関数を用いて Random.Range で  $0 \sim 180^\circ$  の間でランダムとした。

Unity では、対象物に Material と呼ばれる項目が関連付けられており、色や光沢、テクスチャなどを操作することが可能である。本研究で作成した円柱の色の RGB 値は [0, 200, 255] であり、Inspector ウィンドウよりメタリックの光沢を強くした。ターゲット検出の正誤判断をするため、実験参加者が反応キーを押したらターゲットの色が変化するスクリプトを作成した。スクリプトでは、GetComponent<Renderer>().sharedMaterial であらかじめ設定した色 (RGB 値: [255, 0, 0]) の Material を参照するプログラムを作成した。

**妨害刺激の作成** 妨害刺激は、ターゲットを構成した単一の円柱と同じサイズのものをプレハブ化した。本研究では、この単一刺激を Unity の値において、X, Y, Z 軸それぞれ -20 ~ 20 の範囲に収まるようランダムに 1000 個配置するスクリプトを作成した。Instantiate 関数を用いて、引数に生成するオブジェクト名、生成する場所 (Vector3 型)、回転を指定した。生成する場所は、public 変数を宣言して Inspector ウィンドウから値を代入できるようにした。実際に使用した数値は -20 ~ 20 であり、先述したように、生成されたオブジェクトはこの定義された範囲に収まった。回転には上述のターゲット作成時の Quaternion 関数および Random 関数を用いて 0 ~ 180° の間でランダムに回転させた。

今回、あらかじめ指定した範囲の空間に配置した妨害刺激の数は 1000 としたが、「自動回転カメラ」の項で述べたように、カメラは妨害刺激が配置された空間の中心座標に配置され、その有効視野は垂直方向を軸に 60° であった。このことから、実験参加者が実際に画面上で見ることができる妨害刺激の数は 100 程度であった。妨害刺激が配置された空間は、3 人称視点では立方体に見える。



図 1 視覚刺激の例

A, B, C はそれぞれ、0°, 30°, 60° に連結したターゲット (上段) とターゲットが妨害刺激に埋め込まれている課題画面 (下段)。この場合、ターゲットはそれぞれ正面に見つけることができる。

## 実験手続き

実験参加者の課題は、自動で回転する情景から連結したターゲット (連結角度 0°, 30°, 60°) をできるだけ早く見つけ出し反応することであった。得られたデータから、ターゲット検出の正答率を算出した。スタートボタンをクリックし実験が開始されると、カメラは自動で時計回りに回転した。実験参加者はターゲットを見つければできるだけ早くスペースキーを押して反応した。反応キーを押すとターゲットの色が変化するため、正誤判断に利用した。実験の条件は、ターゲットが 0°, 30°, 60° の 3 通り、ターゲットの位置はカメラが向く初期位置を 0° とし、そこから回転し始めて 90°, 180°, 270° の 4 通りであり、計 12 条件となった。実験では、12 条件をランダムに 3 回繰り返された。1 試行におけるカメラの回転は、約 330° までとした。これは、一番早く出現するターゲット (カメラの初期位置となる 0°) がもう一度出現し反応されるのを防ぐためであった。つまり、実験参加者がターゲットを見つければ出るチャンスは 1 回であった。反応の有無に関わらず、全試行においてカメラが約 330° まで回転してから次の試行へと移った。

## 結果

正答率の結果を図2に示す。図2は、ターゲットの位置に関係なく、ターゲットの連結角度( $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ )による正答率の違いを比較している。1要因分散分析を行った結果、ターゲットの角度の主効果が有意であった( $F(2, 45) = 22.35, p < .0001$ )。Bonferroni法によるターゲットの角度の条件間における多重比較の結果、 $0^\circ$ と $30^\circ$ ( $t(45) = 5.41, p < .0001$ )、 $0^\circ$ と $60^\circ$ ( $t(45) = 6.10, p < .0001$ )の間が有意であった。

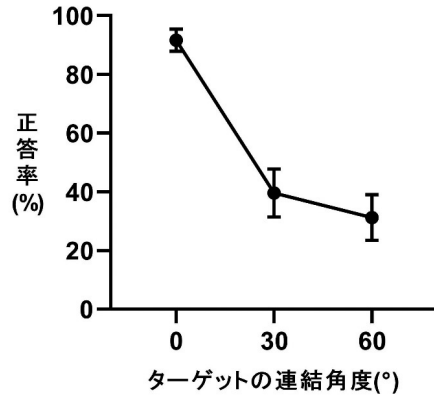


図2 ターゲット検出における正答率

横軸はターゲットの連結角度の条件 ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ )、縦軸は正答率 (%) を示す。誤差棒は標準誤差。

## 考察

本研究では、Field *et al.* (1993)およびHess *et al.* (2003)による要素の連続性の表象に関する研究を基に、連結させた3次元刺激の要素の連結角度を段階的に操作することにより、3次元空間における連結ターゲットの検出特性について調べた。その結果、正答率はターゲットを構成する要素の連結角度が $0^\circ$ の時に最も高くなり、連結角度が増加することにより低くなった。このことから、視覚刺激の提示空間および視覚刺激が2次元から3次元となることにより、ターゲットの連結角度が $0^\circ$ の時以外は検出が困難であること、また、受動的な環境において検出課題の難易度が高くなる可能性が示唆された。

2次元刺激を用いたField *et al.* (1993)では、ターゲットの連結角度が $60^\circ$ までは確実な検出が可能であることが示されたが、本研究の結果から、3次元刺激の場合は連結角度が $30^\circ$ の時点、或いはそれより小さい角度で検出が困難となることが考えられる。本研究とField *et al.* (1993)の方法における相違点としては、ガボールパッチの不使用、カメラの自動回転、刺激の呈示時間、ターゲットの回転、連結ターゲットの角度を構成する単一刺激における接点の間隔が異なる点などが挙げられる。ターゲットの回転に関しては、3次元空間においてランダムな回転により配置されていたため、ターゲットは実験参加者の視点に対して必ずしも2次元的な配置として提示されるわけではなかった。また、Hess *et al.* (2003)およびField *et al.* (1993)では、ターゲットを構成する各要素の間隔は統一されていたが、本研究では連結する角度によりその間隔は異なった。今後は、連結角度の違いによる単一刺激の間隔を一定にすることにより課題を実施する必要がある。

本研究のターゲットを構成する各要素の角度は、Hess *et al.* (2003)における位相角度に相当する。しかしながら、Hess *et al.* (2003)およびField *et al.* (1993)はターゲット全体の曲率も操作しているため、本研究で利用したターゲットとは性質が異なる。今後の課題として、3次元刺激のターゲット全体の曲率を操作した3次元空間における輪郭線の検出課題を考えたい。

本研究ではカメラを自動回転させることにより、3次元空間における受動的な環境での検出課題を行った。課題に取り組む環境を、受動的な環境から能動的な環境に置き換えるなど、より充実度を高めた場合について調べていく必要がある。

## 文 献

- Field, D. J., Hayes, A., and Hess, R. F. (1993). Contour integration by the human visual system: Evidence for a local “association field.” *Vision Research*, **33**, 173-193.
- Geisler, W. S., Perry, J. S., Super, B. J., and Gallogly, D. P. (2001). Edge co-occurrence in natural images predicts contour grouping performance. *Vision Research*, **41**, 711-724.
- Hess, R. F., Hayes, A., and Field, D. J. (2003). Contour integration and cortical processing. *Journal of Physiology Paris*, **97**, 105-119.
- Pizlo, Z., Salach-Golyska, M., and Rosenfeld, A. (1997). Curve detection in a noisy image. *Vision Research*, **37**, 1217-1241.
- Smits, J. T. S., Vos, P. G., and Van Oeffelen, M. P. (1985). The perception of a dotted line in noise: a model of good continuation and some experimental results. *Spatial Vision*, **12**, 163-177.