

# 仮想現実空間における線分の検出

## Line detection in virtual reality space

和 崎 夏 子

Natsuko WASAKI

(日本女子大学人間社会研究科心理学専攻博士課程後期)

### 要 約

輪郭線の検出特性は、主に2次元平面上において検討されてきた。本研究では、VR技術を用いた3次元空間における輪郭線の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、VR空間内に妨害刺激として散りばめられた細長く短い円柱の中から、あらかじめ決められたターゲットをできるだけ速く見つけ出すことであった。ターゲットは直線構造とし、それを構成する円柱の要素の角度を変数とした。実験の結果、3次元空間では、要素が連続的に配置されたターゲットに加えて、要素が平行に配置されたターゲットに対する感度が高くなった。この結果は、2次元平面上で行われた実験結果(Field et al., 1993)とは異なる。3次元空間では要素の配置や方位による連合場だけでなく、主観的輪郭線などにより、垂直かつ平行に配置された要素による輪郭線が検出されやすくなると考えられる。

### [Abstract]

---

The perception of contours has been examined mainly by presenting visual stimuli in a two-dimensional (2-D) field. In this study, we examined the characteristics of contour integration in 3-D space by utilizing virtual reality technology. Participants were asked to find a predefined target among the distractors in the virtual space. We used an elongated thin cylinder as the basic element. The orientation of the five cylinders in the target was varied to deviate from the virtual straight line. We found that when in a 3-D space, the observers were sensitive to structures in which the elements were oriented in parallel with each other. These structures were difficult to find in 2-D space (Field et al., 1993). This result indicates that in the 3-D space, the elements are integrated not only based on the “association field,” but also based on the virtual (or subjective) contour that is perpendicular to the vertically parallel elements.

---

### はじめに

輪郭線は、形状認識に必要な情報であると共に、3次元空間を把握するための奥行きがかりを構成している。例えば、線遠近法はその一例である。

輪郭線の検出特性は、主に2次元平面上において検討されてきた。Field et al. (1993) および Hess et al. (2003) は、ある方位を持つ個々のガボールパターンを輪郭線の要素であると見なし、要素が統合された際に知覚される全体的な輪郭線への感度を実験的に検討した。その結果、ガボールパターンの端点が接続して仮想的な輪郭線が形成される構造(図1A)の方が、ガボールパターンの方位が仮想的な輪郭線に対し直角に配置された非接続構造(図1B)よりも、検出しやすいことがわかった。この結果より Field et al. (1993) は、2次元平面上では、輪郭線を構成

する要素の端点同士が作る連合場 (association field) が輪郭線全体の認識に重要であると結論づけた。

本研究では、3次元的印象がより強まる仮想現実 (VR) 空間において、Field et al. (1993) による連合場モデルが3次元空間においても成立するか明らかにすることを目的とした。

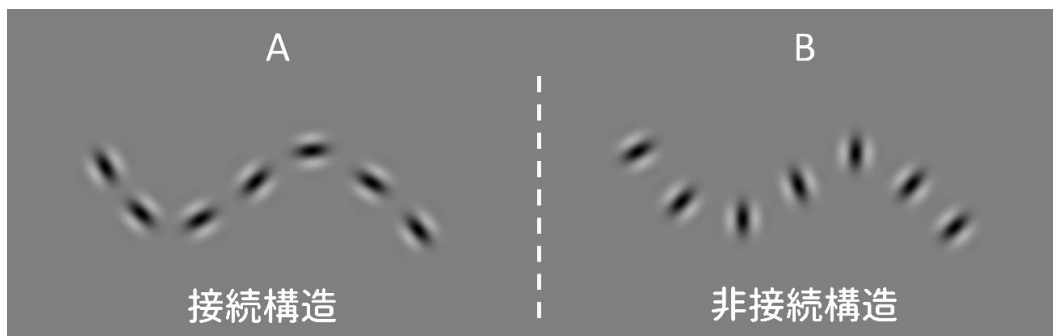


図1 ガボールパターンによる輪郭線の模式図 (Hess et al., 2003 を元に作図)

## 方法

### 実験参加者

10名 ( $M = 21.4$  歳,  $SD = 2.3$  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

実験のセッションは、パーソナルコンピュータ (Dell Precision 5820, Dell Inc, OS: Windows 10, CPU: Intel Xeon Processor W-2223, RAM: 32.0 GB, GPU: NVIDIA Quadro P1000) および Unity (Unity 2019.3, Unity Technologies) により制御された。視覚刺激は、Unity により作成し、ヘッドマウンテッドディスプレイ (HMD) である VIVE Pro Eye (HTC Corp.) に提示された。カタログ値による HMD の解像度は  $440 \times 1600$  ピクセル (片眼)、リフレッシュレートは 90Hz、視野角は最大 110 deg であった。実験参加者は、Vive コントローラーを、課題遂行時における反応の入力装置として使用した。

### 視覚刺激

要素としての視覚刺激は2次元的なガボールパターンではなく、3次元印象をもたらす円柱を用いた。要素に円柱を用いたのは、オブジェクト認識を説明する構造記述理論における要素として仮定されている一般化円筒 (Marr & Nishihara, 1978) やジオン理論 (Biederman, 1987) に類似した、単純な構造による検討を可能にするためである。

実験参加者の課題は、VR 空間内においてランダムに配置された円柱の中から5本の円柱から成り立つ直線的な構造 (輪郭線) をターゲットとして検出することであった。図2は、HMD から見た空間の一部を切り取った図である。この例では、画面ほぼ中央に検出すべきターゲット (輪郭線) が提示されている。

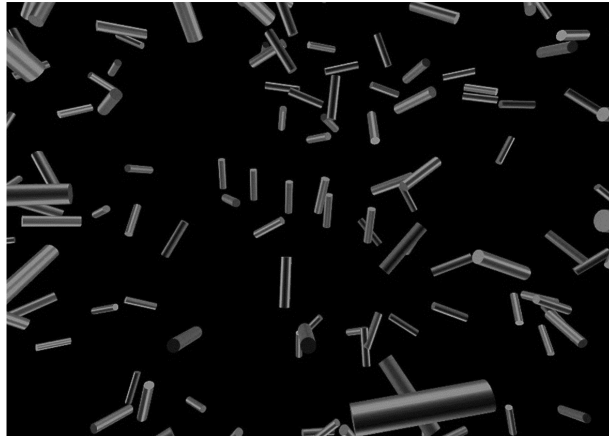


図2 ターゲットである直線的な輪郭線が埋め込まれた VR 空間

ターゲットとなる輪郭線は、細長く短い円柱を要素とし、直線構造を構成する際の円柱の角度を変数とした。直線構造を形作る円柱の配置としては、Field et al. (1993) (図1) に習い、各円柱が直列に配置された構造、各円柱の端点が接続する構造、端点が接続しない非接続構造の3種類を検討した (図3)。

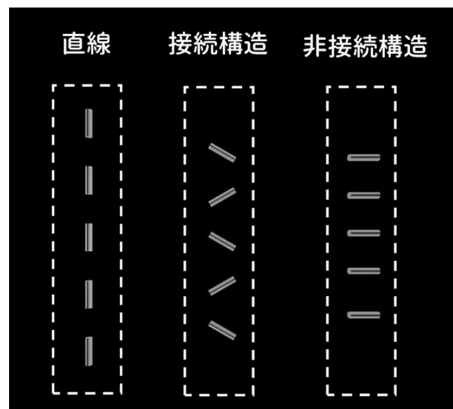


図3 実験に使用したターゲット刺激

妨害刺激は単一の円柱とし、仮想空間内の特定の範囲にランダムに1000個配置され、ターゲットはこの中に埋め込まれた。なお、ある範囲における妨害刺激の数は、ターゲットを構成する要素と同等あるいはそれ以上であり、ターゲットの密度が検出の手がかりに影響しないことを事前に確認した。

### 実験手続き

実験参加者はHMDを装着し、図4に示す仮想空間の中心に立った。図4は、VR空間内における実験参加者の立ち位置(中心の球体)とターゲットの提示位置(白色の円)を模式的に示している。ターゲットは、実験参加者を中心として一定の半径における円周上(図4に白色の円)において、正面から90°、180°、270°のうちのどれかに提示された。

実験が開始されると、実験参加者は図4の黄色の球体の位置に立っていることになる。そこからターゲットをできるだけ早く検出する課題を行った。ターゲットを見つけた場合は、ターゲットを見ながらコントローラーのパッドを押した。実験参加者がコントローラを押した際、HMDの視野にターゲットがない場合には、誤答と記録され、ターゲットが見つからない場合は、実験参加者は口頭で実験者にその旨を知らせた。なお、HMDの装着による実験参加者への負担および所用時間を考慮し、ターゲットを含まない試行は行わなかった。実験参加者は、ターゲット3種類×提示位置3箇所の計9試行を行った。

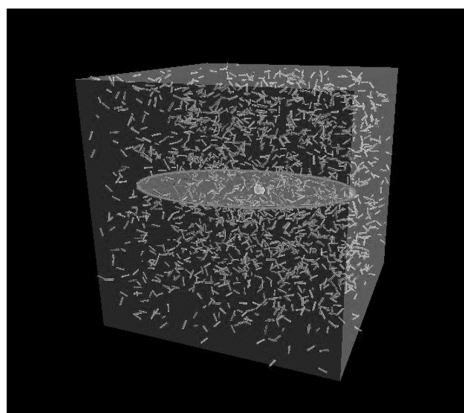


図4 VR空間の模式図

## 結果

図5は、ターゲットの検出における正答率を示す。図5より、直線構造および非接続構造における正答率が高くなる結果が得られた一方で、接続構造に対する検出率は低くなり、グラフ全体はV字型となった。これらの傾向を統計的に調べるため、Bonferroni法によるターゲット間の多重比較を行った。その結果、正答率では直線と接続構造、接続構造と非接続構造の間に有意な差がみられた ( $t_s(9) \geq 4.01, p < .009$ )。なお、直線と非接続構造の間に有意な差はみられなかった ( $t(9) = 1.00, p > .99, n.s.$ )。

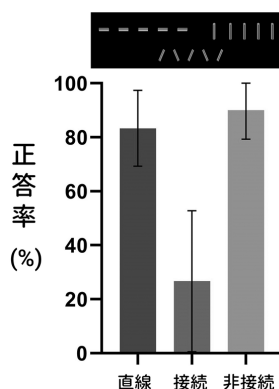


図5 ターゲット検出における正答率（左）と反応時間（右）

縦軸は正答率（%），横軸はターゲットの種類を示す。誤差棒は95%信頼区間を示す。

## 考 察

本実験の結果より、接続構造の輪郭線については検出率が低くなった一方で、非接続構造の輪郭線は高確率で検出された。これらの結果は、非接続構造の検出 (図 1B) は困難であるとした Field et al. (1993) の連合場モデルに基づく予測とは異なる結果となった。今回使用した視覚刺激 (図 3) は、線遠近法や陰影といった単眼手がかりによる奥行情報および両眼立体視の要因により 3 次元的な印象がもたらされている。こうした印象が Field et al. (1993) の結果との違いを生み出したと考えられる。3 次元空間では、輪郭線を構成する要素の端点同士が作る連合場だけでなく、主観的輪郭線に基づく要素の局所情報の統合がなされている可能性もある。現実世界では、ビルなどの人工造形物や人の列、木や草など自然界においても本実験で使用した非接続構造のような並びは特徴的である。こうした現実世界における情報の偏りに基づく視覚特性が 3 次元空間における輪郭線の検出特性として現れたのかもしれない。

Hubel & Wiesel (1962) による発見で知られているように、第一次視覚野においては方位選択性を持つ神経細胞が存在する。こうした神経メカニズムがもたらす情報が輪郭線などの検出の基礎となっている (Loffler, 2008)。また第二次視覚野においては、主観的輪郭にตอบสนองする神経メカニズムが存在する (Lee & Nguyen, 2001)。3 次元空間においては非接続構造への感度がよいという結果 (図 5) は、こうした初期視覚系におけるメカニズムが関与していると考えられる。

## 文献

- Biederman, I. (1987). Recognition-by-components: a theory of human image understanding. *Psychological Review*, **94**, 115-147.
- 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.
- Hess, R. F., Hayes, A., and Field, D. J. (2003). Contour integration and cortical processing. *Journal of Physiology Paris*, **97**, 105-119.
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1962). Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *Journal of Physiology*, **160**, 106-154.
- Lee, T. S., & Nguyen, M. (2001). Dynamics of subjective contour formation in the early visual cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **98**, 1907-1911.
- Loffler, G. (2008). Perception of contours and shapes: Low and intermediate stage mechanisms. *Vision Research*, **48**, 2106-2127.
- Marr, D., & Nishihara, H. K. (1978). Representation and recognition of the spatial organization of three-dimensional shapes. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, **200**, 269-294.

