

# 身体手がかり及び物体の身体関連性が手近傍空間の動的物体知覚に及ぼす影響

長原 周平 【知覚認知脳情報研究室】

## Effects of Bodily Cues and Object Body-Relevance on Perception of Dynamic Objects within Peripersonal Space

NAGAHARA, Shuhei 【Perceptual and Cognitive Brain Information Processing Lab.】

### 1 はじめに

手近傍空間 (Peripersonal Space; PPS) は身体表面近傍の空間領域として定義され、この領域内の視覚刺激は身体から離れた位置の刺激と比べて処理が促進される [1]。しかし、先行研究の多くは反応時間や検出成績を指標としており、運動方向や接近・衝突など、身体に対する相対的变化に基づく知覚判断が PPS においてどのように変化するかは十分に検討されていない。

さらに、視覚刺激が自己身体と関連づけられて処理される程度は、自己身体との形状の類似性やアバタと実手との位置の対応関係といった身体手がかりによって変化し得る [2]。一方で、視覚的判断は判断対象の視覚情報の信頼性に依存することが知られており [3]、視認性が低下すると、判断対象そのものではなく、位置判断の基準となる視覚的参照点が判断に影響することが予測される。本研究では、身体手がかり (アバタ形状、アバタと実手との位置の対応関係) 及び物体の身体関連性 (運動物体の脅威性) が、手近傍空間における動的物体知覚に及ぼす影響を検討した。実験 1 では視覚情報の信頼性を操作した運動方向弁別課題を用いて身体手がかりの影響が顕在化する条件を、実験 2 では異なる形式の到達位置判断課題及び衝突時刻予測課題を用いて、動的な物体知覚判断における傾向の違いを検討した。

### 2 実験方法

#### 2.1 実験参加者及び実験装置

正常な視力 (矯正を含む) を有する右利きの大学生が実験に参加した (実験 1-1: 24 名, 実験 1-2: 28 名 (分析は 26 名), 実験 2: 16 名)。視覚刺激の呈示にはヘッドマウントディスプレイ VIVE Pro Eye (HTC 社) を使用し、参加者は着座姿勢で課題を行った。実験 1 では体性感覚フィードバック呈示のために手で触れるための固定台を使用した。身体化課題では手指運動の追跡に Leap Motion Controller 2 (Ultraleap) を使用した。

#### 2.2 刺激及び実験条件

##### 2.2.1 実験 1 (球体の運動方向弁別課題)

VR 空間内に手形状または箱形状のアバタをカメラ位置 (視点) 前方 30 cm, 下方 13 cm, 左右 10 cm に呈示し

た。球体はアバタと同じ高さで水平方向に 10 cm 離れた位置に呈示し、200 ms で左右いずれかに移動させた。実験 1-1 では視認性の高い球体を、実験 1-2 では輝度を下げ、視認性の低い球体を用いた。球体の偏移距離を 7 水準に設定し、恒常法により運動方向弁別閾及び主観的等価点 (PSE) を測定した。アバタ形状 (Hand/Box) 及び体性感覚・運動出力情報 (Present/Absent) を参加者内で操作した。Present 条件では実手を固定台方向に押し付けた上で、アバタ位置と一致させた。Absent 条件では実手を膝上に置いた。

##### 2.2.2 実験 2 (到達位置判断及び衝突時刻予測課題)

アバタは視点前方 30 cm, 下方 13 cm, 右側 12 cm に呈示し、手形状または箱形状を用いた。包丁をアバタと同じ高さ配置し、アバタに向かって水平方向に速度 (速・中・遅) × 出現位置 (遠・中・近) の 3 × 3 条件で移動させた。到達位置判断課題では包丁出現前に位置判断の基準として、垂線のフラッシュ刺激を呈示した。包丁先端の消失位置をフラッシュ刺激基準で 7 水準に設定し、参加者はそれがフラッシュ刺激より手前側かアバタ側かを 2 肢強制選択で判断した。衝突時刻予測課題では包丁先端をアバタから 12 cm 離れた位置で消失させ、参加者は包丁先端がアバタ中心座標に到達した時点予測し反応した。脅威性 (Threat/NonThreat)、アバタ形状 (Hand/Box)、体性感覚 (Congruent/Incongruent) を参加者内で操作した。脅威性の Threat 条件では包丁の見た目をリアル調に、NonThreat 条件ではおもちゃ調に設定し、体性感覚の Congruent 条件では実手をアバタ位置に、Incongruent 条件では実手を膝上に置いた。

##### 2.3 実験手続き

両実験とも 2 日間で実施し、アバタ形状は日単位で操作し、各ブロック開始時に身体化課題を実施して身体所有感及び運動主体感を誘導した。実験 1 では、各試行で固視点注視後に球体を呈示し、球体が左右いずれの方向に運動したかを 2 肢強制選択で判断させた。実験 2 では、身体化課題後に VR 上の包丁を参加者の実手に接触させることで触覚刺激を与え、包丁への脅威感を誘導した。到達位置判断課題では固視点注視後にフラッシュ刺激、続いて包丁を呈示し、包丁先端の消失位置を

判断させた。衝突時刻予測課題では、包丁が消失後も同速度で運動を継続すると仮定したときの包丁先端がアバタ中心座標に到達するタイミングを回答させた。

### 2.4 データの分析

実験1では、球体の偏移距離をアバタへの接近方向を正とする符号付き距離として定義し、各偏移距離における接近判断率を算出した。接近判断率に対してシグモイド関数をフィッティングし、50%点をPSE、25%点及び75%点における偏移距離の差の1/2を運動方向弁別閾とした。分析はアバタ形状×体性感覚・運動出力の2要因分散分析を行い、また、各条件のPSEが0と有意に異なるかを1標本t検定により検討し、Holm法による多重比較補正を適用した。実験2では、到達位置判断課題において消失位置ごとにアバタ側と判断した判断率を算出し、シグモイド関数をフィッティングして到達位置のPSE及び弁別閾(JND)を算出した。衝突時刻予測課題では、反応時刻と実際の衝突時刻との差を衝突時刻予測誤差と定義し、速度×出現位置条件ごとに算出し、参加者内平均の平均を定数誤差(CE)、標準偏差を変動誤差(VE)とした。分析はPSE, JND, CE, VEに対し、脅威性×アバタ形状×体性感覚の3要因分散分析を行った。有意水準は $\alpha = .05$ とした。

## 3 結果及び考察

### 3.1 実験1

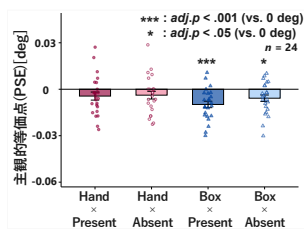


図1: PSE (実験1-1)

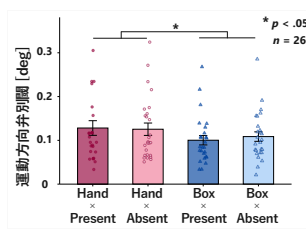


図2: 運動方向弁別閾 (実験1-2)

実験1-1(高輝度条件)では、運動方向弁別閾及びPSEのいずれにおいても、アバタ形状及び体性感覚・運動出力の主効果や交互作用は認められなかった( $p > .05$ )。一方、各条件のPSEを0と比較した結果(図1)では、Box条件において接近方向への判断バイアスが認められた( $t(23) = -4.72, p < .001, d = -0.97$ ;  $t(23) = -2.80, p = .015, d = -0.57$ )。箱形状アバタが手形状アバタよりも判断の参照点として機能し、方向バイアスに影響した可能性が示唆された。

実験1-2(低輝度条件)では、Box条件の方がHand条件よりも運動方向弁別閾が有意に小さかった( $F(1, 25) = 5.17, p = .032, \eta_G^2 = .03$ )。PSEの分散分析では有意な効果は認められなかったが、0 degとの1標本t検定において、Box×Present条件で接近方向への判断バイアスが認められた( $t(25) = -3.28, p = .006, d = -0.64$ ) (図2)。低輝度条件では視覚情報の信頼性低下により判

断が相対的位置比較へ偏り、安定した輪郭を持つ箱形状アバタが弁別精度において、より大きく寄与した可能性がある。さらに箱形状アバタと実手の位置が対応する場合、アバタが実手より拡大して知覚され、接近バイアスが顕在化したと考えられる。

### 3.2 実験2

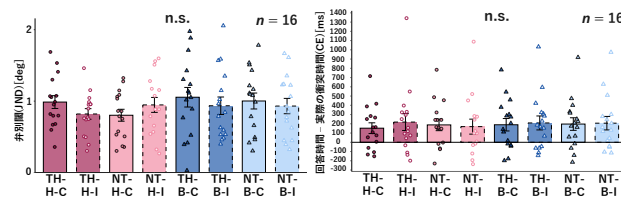


図3: 左図: 到達位置判断のJND, 右図: 衝突時刻予測のCE. 条件略号: TH=Threat, NT=NonThreat, H=Hand, B=Box, C=Congruent, I=Incongruent

実験2では、全指標で脅威性、アバタ形状、体性感覚の主効果及び2要因交互作用は認められなかった( $p > .05$ )。また、JND及びCEにおける3要因交互作用も有意水準に達せず、効果量は小さかった(JND:  $F(1, 15) = 4.28, p = .056, \eta_G^2 < .01$ ; CE:  $F(1, 15) = 4.05, p = .063, \eta_G^2 < .01$ )。一方、図3の条件平均では、3要因の組合せによりJNDやCEに差異が示唆された。フラッシュ位置が固定で判断基準が一定であるためPSEは相対的に変化しにくく、VEも個人差の影響で条件差が出にくい。このため、影響が生じる場合でも、比較・予測の成分(JND, CE)に表れやすいと考えられる。

## 4 まとめ

本研究では、身体手がかり及び物体の身体関連性が、手近傍空間における動的物体知覚に及ぼす影響を検討した。実験1では、高輝度条件で体性感覚・運動出力情報の影響は認められず、判断は主として視覚情報に基づいていた。一方、低輝度条件では、箱形状アバタが参照点として機能し、弁別精度の向上と一部条件での判断バイアスが認められた。実験2では主効果や2要因交互作用は認められず、3要因交互作用も有意水準に達しなかったが、記述的にはJNDやCEに組合せ依存の差異がみられた。以上より、身体手がかりと物体の身体関連性の影響は一様ではなく、視覚情報の信頼性や参照点の安定性、課題特性に応じて補助的に現れる可能性が示唆された。

## 参考文献

- [1] Reed, C. L., Grubb, J. D., & Steele, C. (2006). Hands up: Attentional prioritization of space near the hand. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(1), 166–177.
- [2] Kilteni, K., Groten, R., & Slater, M. (2012). The sense of embodiment in virtual reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 21(4), 373–387.
- [3] Ernst, M. O., & Banks, M. S. (2002). Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion. *Nature*, 415(6870), 429–433.