

令和7年度
修士学位論文

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

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

長原 周平

指導教員 繁 柊 博 昭

2026年2月27日

高知工科大学大学院 工学研究科 基盤工学専攻
情報学コース

要旨

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

本研究は、身体近傍に形成される手近傍空間において、身体手がかりと物体の身体関連性が動的物体知覚に及ぼす影響を検討した。実験1では、VR環境下で視覚情報の信頼性を操作した運動方向弁別課題を実施し、手形状アバタと箱形状アバタを用いた。また、実手をアバタ位置に配置して力を加える条件と、実手を膝上に置いて力を加えない条件を設けた。接近方向の回答割合から主観的等価点（PSE）と運動方向弁別閾を推定した結果、高輝度条件では有意な効果は認められなかったが、箱形状アバタでは接近バイアスが観察された。低輝度条件では、箱形状アバタの運動方向弁別閾が手形状アバタより低く、PSEの0°からの偏位は箱形状アバタかつ実手をアバタ位置に配置して力を加える条件でのみ認められた。実験2では、包丁刺激の外観で脅威性を操作し、実手位置とアバタ位置の一致と不一致を操作した。到達位置判断および衝突時刻予測の主分析では、有意な主効果・2要因交互作用は検出されず、3要因交互作用も有意水準には達しなかったが、手形状アバタ条件を中心に記述的な差異がみられた。以上より、手近傍空間における動的物体知覚は、視覚情報の信頼性や課題要求に応じて、判断バイアス成分と感度成分が異なる形で影響を受ける可能性が示唆された。

キーワード 手近傍空間, 身体手がかり, 身体関連性, 視覚情報の信頼性, 体性感覚

Abstract

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

NAGAHARA, Shuhei

This study investigated how bodily cues and object body-relevance influence dynamic object perception within peripersonal space formed near the body. In Experiment 1, participants performed a motion direction discrimination task in a VR environment in which the reliability of visual information was manipulated, using a hand-shaped avatar and a box-shaped avatar. Two conditions were also established: one in which the real hand was placed at the avatar position with force production, and one in which the real hand was placed on the lap without force production. The point of subjective equality (PSE) and the motion direction discrimination threshold were estimated from the proportion of approaching-direction responses. In the high-contrast condition, no significant effects were found; however, an approaching bias was observed with the box-shaped avatar. In the low-contrast condition, the discrimination threshold was lower with the box-shaped avatar than with the hand-shaped avatar, and a PSE deviation from 0° was observed only when the box-shaped avatar was combined with real-hand placement at the avatar position and force production. In Experiment 2, threat was manipulated by the appearance of a knife stimulus, and the match versus mismatch between the real-hand and avatar positions was manipulated. In the main analyses of reachability judgments and time-to-collision predictions, no significant main effects or

two-way interactions were detected, and the three-way interactions did not reach the significance level; however, descriptive differences were observed mainly in the hand-shaped avatar condition. Overall, these results suggest that dynamic object perception within peripersonal space may be differentially modulated across bias and sensitivity components depending on visual reliability and task demands.

key words Peripersonal Space, Bodily Cues, Body-Relevance, Visual Reliability, Somatosensation

目次

第 1 章	はじめに	1
1.1	背景	1
1.2	目的	2
1.3	用語解説	3
1.3.1	手近傍空間 (Peripersonal Space; PPS)	3
1.3.2	身体手がかり (Bodily cues)	4
1.3.3	体性感覚 (Somatosensation)	4
1.3.4	視覚情報の信頼性 (Visual reliability)	5
1.3.5	脅威性 (身体関連性: Body-relevance)	5
第 2 章	実験方法	6
2.1	共通方法	6
2.1.1	実験参加者の共通条件	6
2.1.2	サンプルサイズ設計	6
2.1.3	実験ソフトウェアと実行環境	6
2.1.4	ヘッドマウントディスプレイ (HMD) およびトラッキング	7
2.1.5	姿勢固定および反応入力	7
2.1.6	解析環境	8
2.2	実験 1: 運動方向弁別課題	8
2.2.1	目的	8
2.2.2	実験 1-1: 高輝度条件	9
	参加者	9
	装置	9
	刺激及び条件	10

目次

手続き	13
指標	17
2.2.3 実験 1-2：低輝度条件	17
参加者	17
刺激及び条件	17
除外基準	18
2.3 実験 2：到達位置判断課題及び衝突時刻予測課題	18
2.3.1 目的	18
2.3.2 参加者	18
2.3.3 刺激及び条件計画	18
2.3.4 体性感覚条件 (Congruent/Incongruent)	19
2.3.5 脅威性誘導手続き及び質問紙	20
2.3.6 刺激配置 (共通座標・固視点)	21
2.3.7 到達位置判断課題 (フラッシュ基準の相対位置比較)	22
2.3.8 衝突時刻予測課題 (Time-to-Collision; TTC)	23
2.3.9 指標と解析	24
2.4 データ解析	25
2.4.1 実験 1：心理測定関数からの PSE・運動方向弁別閾推定	25
2.4.2 実験 2：PSE/JND 及び CE/VE	26
第 3 章 結果	28
3.1 操作チェック	28
3.1.1 脅威性誘導の確認	28
3.1.2 身体化質問紙の確認	29
3.2 実験 1：運動方向弁別課題	29
3.2.1 実験 1-1 (高輝度)	29

目次

3.2.2	実験 1-2 (低輝度)	31
3.3	実験 2: 到達位置判断課題および衝突時刻予測課題	33
3.3.1	到達位置判断課題 (PSE/JND)	33
3.3.2	衝突時刻予測課題 (CE/VE)	35
3.3.3	小括	37
第 4 章	考察	38
4.1	実験 1 の考察: 視覚信頼性と参照点としての形状	38
4.2	実験 2 の考察: 脅威性誘導と身体手がかりが時空間判断に及ぼす影響	40
4.3	総合考察	44
第 5 章	まとめ	46
	謝辞	47
	参考文献	49
付録 A	心理測定関数の個人フィッティング	54
付録 B	操作チェックと質問紙原文	71
B.1	身体化質問紙 (操作チェック)	71
B.2	脅威性質問紙 (操作チェック)	78
B.3	脅威性質問紙原文	82

目次

1.1	手近傍空間の概念図	3
1.2	本研究における身体手がかりの操作例	4
1.3	本研究における視覚情報の信頼性操作例	5
1.4	本研究における脅威性（身体関連性）操作例	5
2.1	VIVE Pro Eye	7
2.2	SteamVR Base Station 2.0	7
2.3	Leap Motion Controller 2	7
2.4	あご台	8
2.5	3連フットペダル	8
2.6	白色ニトリル手袋	9
2.7	固定台	9
2.8	デジタルスケール	9
2.9	実験1における刺激配置の例（手形状アバタ，右手呈示の場合）	11
2.10	手形状アバタ	12
2.11	箱形状アバタ	12
2.12	実験1の実験条件	13
2.13	観察課題	14
2.14	リーチング課題	14
2.15	身体化課題中の様子	15
2.16	身体化質問紙回答時の画面例	16
2.17	運動方向弁別課題	16
2.18	実験2の実験条件	19
2.19	High条件（リアル調）	19

図目次

2.20	Low 条件（おもちゃ調）	19
2.21	金属製の定規（High 条件）	20
2.22	プラスチック製の定規（Low 条件）	20
2.23	脅威性誘導手続きの様子 （参加者視点）	21
2.24	脅威性誘導手続きの様子 （実験者視点）	21
2.25	フラッシュ刺激	22
2.26	到達位置判断課題の手順	23
2.27	衝突時刻予測課題の手順	24
2.28	心理測定関数フィッティング例	26
2.29	到達位置判断課題における心理測定関数フィッティング例	27
3.1	実験 1-1（高輝度）における PSE の条件平均（平均 ±SE）	29
3.2	実験 1-1（高輝度）における運動方向弁別閾の条件平均（平均 ±SE）	30
3.3	実験 1-2（低輝度）における PSE の条件平均（平均 ±SE）	31
3.4	実験 1-2（低輝度）における運動方向弁別閾の条件平均（平均 ±SE）	32
3.5	実験 2（到達位置判断）における PSE の条件平均（平均 ±SE）	33
3.6	実験 2（到達位置判断）における JND の条件平均（平均 ±SE）	34
3.7	実験 2（衝突時刻予測）における CE の条件平均（平均 ±SE）	35
3.8	実験 2（衝突時刻予測）における VE の条件平均（平均 ±SE）	36
B.1	身体化質問紙の項目（7 件法）	71
B.2	実験 1-1 における身体化スコア（Overall）の条件平均（平均 ±SE）。点は個人値を示す。	72
B.3	実験 1-1 における身体化スコア（Overall）の参加者内対応。	73

図目次

B.4 実験 1-2 における身体化スコア (Overall) の条件平均 (平均 \pm SE). 点は個人値を示す.	74
B.5 実験 1-2 における身体化スコア (Overall) の参加者内対応.	75
B.6 実験 2 における身体化スコア (Overall) の条件平均 (平均 \pm SE).	76
B.7 実験 1-1: 身体所有感スコアと PSE の相関	77
B.8 実験 1-1: 身体所有感スコアと運動方向弁別閾の相関	78
B.9 実験 1-2: 身体所有感スコアと PSE の相関	78
B.10 実験 1-2: 身体所有感スコアと運動方向弁別閾の相関	78
B.11 脅威性誘導手続き後における脅威性スコア (平均 \pm SE)	79
B.12 到達位置判断課題後における脅威性スコア (平均 \pm SE)	80
B.13 衝突時刻予測課題後における脅威性スコア (平均 \pm SE)	81

表目次

2.1 実験用 PC の主要仕様	7
3.1 脅威性スコア (3 項目平均, 1-7) の条件別平均 (平均 (SD)) と High-Low の対応のある t 検定.	28
B.1 身体所有感スコアと課題指標の相関係数	77

第 1 章

はじめに

1.1 背景

人の身体近傍に形成される手近傍空間（Peripersonal Space; PPS）は，身体表面近傍の空間領域として定義され，視覚・体性感覚（触覚・固有感覚）など複数感覚情報の統合と運動系との結合を通じて外界刺激の処理が変調されるとされる [1, 2, 3]. PPS は単なる距離帯ではなく，身体部位を基準とした参照枠や多感覚統合に加え，行為・防御反応の準備といった機能とも結びつき，状況に応じて可塑的に変化しうる [3, 4, 5]. たとえば，人の頭頂葉領域では手近傍の刺激に対する多感覚的表象が示唆されており [6]，また視触覚課題において手近傍での相互作用が観察される [7].

手や身体近傍における視覚処理は，注意配分や知覚的重み付けの観点からも特徴づけられる．手の近傍では注意が優先されること [8] や，視覚処理が変化しうること [9] が報告されている．ただし，手近傍における多感覚相互作用や近手効果は，刺激の予測性や課題文脈に依存して変化しうるため [10]，身体手がかりの効果が常に一様に現れると仮定することは難しい．この点は，手がかりの重み付けが信頼性に依拠して変わるという一般原理 [11] を踏まえると，視覚刺激の信頼性が低下したときに身体手がかりの寄与が相対的に大きくなる可能性があり，特に重要である．

近年，VR 環境ではアバタ手などの視覚的身体情報を制御できるため，手近傍空間における知覚判断を実験的に検討しやすい．没入型 VR ではプレゼンス（presence）に関する議論 [12] や，現実に近い振る舞いが生じること [13] に加え，VR が知覚・認知研究の手法として有用であること [14] が論じられている．さらに，身体所有感・運動主体感といった身体表

1.2 目的

象の枠組み [15] や、VR における身体化 (embodiment) [16] の知見は、視覚的身体情報と体性感覚の整合性が知覚判断に影響しうることを示唆する。

また、包丁のように身体損傷を想起させるような脅威性のある刺激は、物体の身体関連性 (body-relevance) を通じて PPS 内の処理を変調しうる。接近する脅威刺激は手近傍での視触覚相互作用を変化させることが報告されており [17]、恐怖関連刺激により PPS が拡張するという知見もある [18]。さらに、身体に接近する刺激の知覚は脅威性によって変調され [19]、動的物体に対する判断が安全側に偏る可能性が示唆される。

しかし、アバタの形状やアバタと実際の手の位置対応/整合性といった身体手がかりと運動物体の脅威性といった身体関連性を同一枠組みで操作し、手近傍空間における動的物体知覚への影響を、複数課題および判断バイアス成分/感度成分といった複数指標として体系的に検討した研究は限られる。そこで本研究では、運動方向弁別 (実験 1) と、到達位置判断および衝突時刻予測 (実験 2) を用い、課題構造 (比較/予測) と指標の意味づけを踏まえて、身体手がかりと脅威性が動的知覚に及ぼす影響を検討する。

1.2 目的

本研究の目的は、手近傍空間 (Peripersonal Space; PPS) における動的物体知覚が、身体手がかり (視覚的身体情報および体性感覚・運動出力情報) と物体の身体関連性 (運動物体の脅威性) によってどのように変調されるかを明らかにすることである。

この目的のため、二つの実験を実施した。実験 1 では、運動方向弁別課題を用い、アバタ形状 (Hand/Box) および体性感覚・運動出力情報の利用可能性 (Present/Absent) を操作した。参加者の二肢判断率に対し 0-1 のロジスティック関数をフィッティングし、判断バイアスの指標として PSE、感度 (不確実性) の指標として弁別閾を推定した。さらに視覚情報の信頼性が身体手がかりの寄与に影響しうる点を検討するため、高輝度条件と低輝度条件を別実験として実施した。

実験 2 では、脅威性の程度 (High/Low)、アバタ形状 (Hand/Box)、体性感覚の整合

1.3 用語解説

性 (Congruent/Incongruent) を参加者内で操作し、到達位置判断課題 (比較判断) および衝突時刻予測課題 (予測判断) を実施した。到達位置判断では実験 1 と同様に心理測定関数から PSE および到達位置判断の弁別閾を推定し、衝突時刻予測では誤差を定数誤差 (Constant Error; CE) と変動誤差 (Variable Error; VE) に分解して評価した。

以上により、身体手がかりと脅威性の効果が、視覚情報の信頼性、体性感覚の整合性、および課題要求 (比較/予測) によってどのように変化するかを検討する。

1.3 用語解説

1.3.1 手近傍空間 (Peripersonal Space; PPS)

手近傍空間 (PPS) とは、身体表面の近傍で外界刺激が身体座標と結び付けられ、接触・把持・回避といった行為に直結して処理される空間領域である。頭頂葉・前運動野の多感覚ニューロンは、視覚刺激が身体に近づくと体性感覚受容野と重なるように反応し、近接刺激の優先処理や防御準備に関与すると考えられている [1, 3, 4]。PPS の境界は固定的ではなく、道具使用や学習、姿勢変化や脅威文脈などで伸縮する可塑的表象である [3, 18, 20]。本研究は PPS 内での動的判断 (運動方向弁別, 到達位置判断, 衝突時刻予測) において、身体手がかりと脅威性が知覚指標に及ぼす影響を検討する。

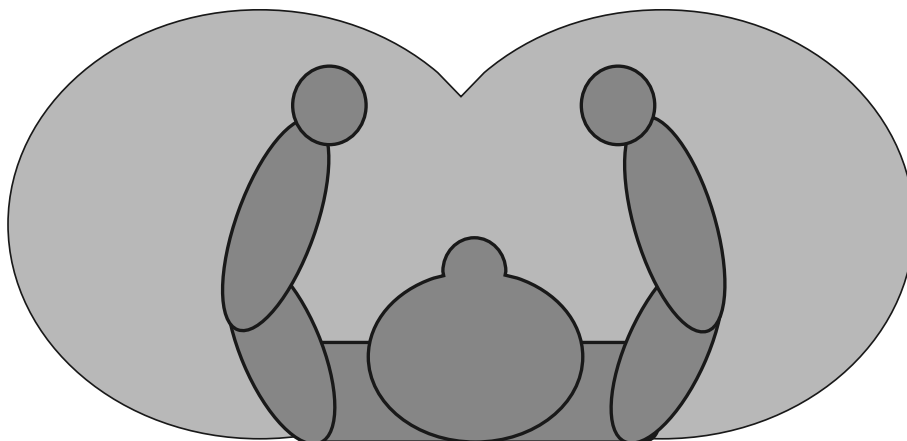


図 1.1 手近傍空間の概念図

1.3 用語解説

1.3.2 身体手がかり (Bodily cues)

本研究でいう身体手がかりとは、「アバタが身体として立ち上がる程度」や「身体参照枠が判断に混入しやすい程度」を変える刺激・条件要因を指す。身体らしい手の外観は注意を誘発しやすく [8, 9], さらに視覚的身体位置と体性感覚 (固有感覚) に基づく実身体位置が整合するほど身体所有感・主体感が高まりやすい [15, 16, 21]。本研究では, 実験 1 でアバタ形状 (Hand/Box) と体性感覚・運動出力情報の利用可能性 (Present/Absent) を操作し, 実験 2 でアバタ形状 (Hand/Box) と体性感覚の整合性 (Congruent/Incongruent) を操作することで, 身体参照の寄与が動的知覚に与える影響を検討した。

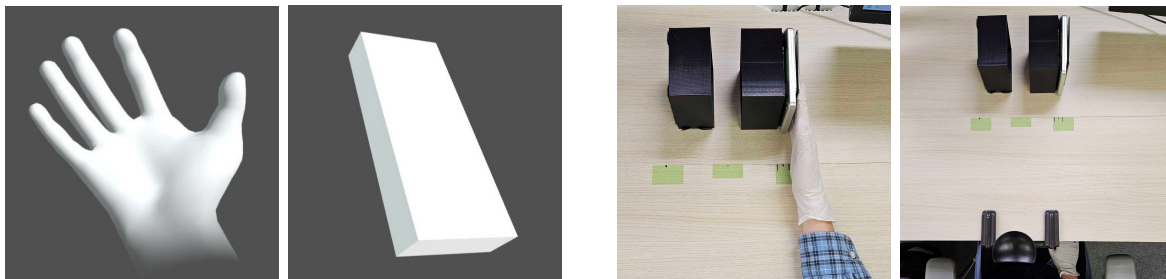


図 1.2 本研究における身体手がかりの操作例

1.3.3 体性感覚 (Somatosensation)

体性感覚は, 皮膚感覚 (触覚・温度感覚・痛覚など) と深部感覚 (固有感覚: 筋・腱・関節に由来する四肢位置・運動の感覚) から成り, 外界刺激を身体基準で評価する際の基盤となる [22, 23]。VR では視覚的身体と実身体の不一致が生じうるため, 体性感覚が提供する身体位置情報の利用可能性が, アバタ参照の強さや知覚判断の安定性に関与しうる [15, 16]。本研究では, 実験 1 で体性感覚・運動出力情報の利用可能性 (Present/Absent) を操作し, 実験 2 では, 実際の手をアバタ位置に置く Congruent 条件と膝上に置く Incongruent 条件により, 体性感覚 (固有感覚) に基づく身体参照の整合性を操作した。

1.3 用語解説

1.3.4 視覚情報の信頼性 (Visual reliability)

視覚情報の信頼性とは、位置・運動の推定がどれだけ安定しているか（不確実性が小さいか）を表す性質であり、コントラスト低下やノイズ付加などで低下する。複数手がかりが統合される場合、推定は信頼性の高い手がかりに重み付けされる傾向があるため [11]、視覚信頼性が低い状況では相対的に身体手がかり（アバタや体性感覚）への依存が増える可能性がある [3]。本研究の実験 1 では、運動方向弁別課題を高輝度条件と低輝度条件で実施し、視覚信頼性の違いが PSE（バイアス）と運動方向弁別閾（感度）に及ぼす影響を検討した。



図 1.3 本研究における視覚情報の信頼性操作例

1.3.5 脅威性 (身体関連性: Body-relevance)

本研究では、運動物体が身体損傷を想起させ、「衝突が自分事として意味づけられる程度」を脅威性（身体関連性）として扱う。脅威関連刺激は注意捕捉や回避準備を強め、手近傍空間内の処理を変調しうる [3, 17, 18]。また、脅威文脈は距離評価や時間推定にバイアスを生じさせる可能性が示唆されている [18, 19]。本研究の実験 2 では、形状は同一で外観のみ異なる包丁刺激（リアル調で脅威度が高い High, おもちゃ調で脅威度が低い Low）を用い、さらに脅威性誘導手続き（触覚刺激と視覚刺激の対応付け）により脅威文脈を付与した。



図 1.4 本研究における脅威性（身体関連性）操作例

第 2 章

実験方法

2.1 共通方法

2.1.1 実験参加者の共通条件

いずれの実験も、正常な視力（矯正を含む）を有し、利き手が右手の参加者を対象とした。参加者数および年齢・性別などの属性は、各実験の節に示す。

2.1.2 サンプルサイズ設計

実験 1 では 2 要因反復測定分散分析を想定し、G*Power 3.1[24, 25] を用いてサンプルサイズを事前に算出した。効果量は中程度 ($f = 0.25$)、有意水準は $\alpha = .05$ 、検出力は $1 - \beta = 0.80$ とし、必要サンプルサイズは 24 名と見積もられた。実験 2 では 3 要因反復測定分散分析を想定し、同一の効果量、有意水準、検出力で算出したところ、必要サンプルサイズは 16 名と見積もられた。

2.1.3 実験ソフトウェアと実行環境

実験プログラムは Unity で実装し、スクリプトは C# で作成した。実験 1 は Unity 2022.3.29f1、実験 2 は Unity 2022.3.62f2 を用いた。実験は Windows 11 Education (24H2) 上で実行した。実験用 PC の主要仕様を表 2.1 に示す。

2.1 共通方法

表 2.1 実験用 PC の主要仕様

項目	仕様
OS	Windows 11 Education 24H2 (OS build 26100.7462)
CPU	Intel Core i5-14600KF (3.50 GHz)
GPU	NVIDIA GeForce RTX 4060 Ti (VRAM 16 GB)
RAM	32.0 GB (5600 MT/s)
ストレージ	932 GB

2.1.4 ヘッドマウントディスプレイ (HMD) およびトラッキング

HMD には VIVE Pro Eye (HTC) (図 2.1) を使用した (解像度: 片眼あたり 1440×1600 px, リフレッシュレート: 90 Hz, 視野角: 最大 110 deg) [26]. VR 空間の 6DoF トラッキングには SteamVR Base Station 2.0 (図 2.2) を使用した. 手指追跡は, 身体化の操作 (脅威性誘導手続きおよび質問紙実施時) に限り Leap Motion Controller 2 (Ultraleap) (図 2.3) を用いた.



図 2.1 VIVE Pro Eye 図 2.2 SteamVR Base Station 2.0 図 2.3 Leap Motion Controller 2

2.1.5 姿勢固定および反応入力

各実験において頭部位置の安定化のためあご台 (図 2.4) を使用した. 加えて, 高さ調整可能な机および椅子により, 参加者の視点 (HMD 中心) と実手位置が所定の位置関係となるよう調整した. 反応取得には 3 連フットペダル (SANWA SUPPLY, RI-FP3BK) (図

2.2 実験 1：運動方向弁別課題

2.5) を使用し、課題ごとの反応割り当ては各実験の手続きに示す。



図 2.4 あご台



図 2.5 3連フットペダル

2.1.6 解析環境

反復測定分散分析には R (version 4.4.2) および anovakun (version 4.8.9) を用いた [27]. 心理測定関数のフィッティングおよび PSE, 運動方向弁別閾, 到達位置判断の弁別閾 (JND) の算出には MATLAB (R2024b) を用いた.

2.2 実験 1：運動方向弁別課題

2.2.1 目的

実験 1 では, 手近傍空間における運動方向知覚が, アバタ形状 (Hand/Box) 及び体性感覚・運動出力情報の利用可能性 (Present/Absent) によってどのように変調されるかを検討した. 加えて, 視覚情報の信頼性によって身体手がかりの寄与が変化する可能性を検討するため, 高輝度条件 (実験 1-1) と低輝度条件 (実験 1-2) を別実験として実施した.

2.2 実験 1：運動方向弁別課題

2.2.2 実験 1-1：高輝度条件

参加者

正常な視力（矯正を含む）を有する右利きの大学生 24 名（平均年齢 21.88 歳，SD = 1.23，男性 20 名，女性 4 名）が参加した。

装置

装置構成は共通方法に示した通りである。頭部位置の安定化及び反応取得に用いた機器（あご台，机・椅子，フットペダル）は共通方法に示した通りである。実験中，参加者には白色のニトリル手袋（図 2.6）を装着させ，実手と VR 空間内アバタの色を対応づけた。

体性感覚・運動出力情報を操作するため，参加者の視点から正面 40 cm，左右 5 cm の位置に固定台（図 2.7）をそれぞれ設置した。固定台にはデジタルスケール（図 2.8）を取り付け，参加者が持続的に力を加えているかをモニタリングした。デジタルスケールの左右位置は，後述するアバタ呈示位置に対応させ，参加者間でカウンターバランスした。



図 2.6 白色ニトリル手袋



図 2.7 固定台



図 2.8 デジタルスケール

2.2 実験 1：運動方向弁別課題

刺激及び条件

VR 空間上の刺激配置を図 2.9 に示す。VR 空間内の背景色は RGB 値 (80, 80, 80) の灰色とした。視覚刺激の空間配置はすべて参加者の視点 (HMD 中心) を基準として設定した。固視点として、視点から正面 30 cm, 下方 3 cm の位置に白色 (RGB 値: 255, 255, 255) の十字 (視角 2°) を呈示した。

アバタ (手形状または箱形状) は、視点から正面 30 cm, 下方 13 cm, 左右いずれか 10 cm の位置に呈示した。手形状アバタ (図 2.10) は手のひらが球体側を向いた状態の右手または左手の 3D モデルであり、箱形状アバタ (図 2.11) は縦 15 cm×横 21 cm×奥行 4 cm の直方体であった。両アバタは白色 (RGB 値: 255, 255, 255) で統一した。アバタの指先部分は、実空間の固定台に接触する位置 (視点から正面約 40 cm) に配置した。

運動刺激として、視点から正面 30 cm, 下方 13 cm の位置 (アバタと同じ高さ, アバタから水平方向に 10 cm 離れた位置) に、直径 2° の白色球体 (RGB 値: 255, 255, 255) を呈示した。球体は 1500 – 3000 ms の間ランダムに静止した後, 200 ms の呈示時間内に左右いずれかの方向に移動し, 移動終了と同時に消失した。恒常法により感度を評価するため, 球体の偏移距離は 7 段階 (0.025° , 0.04° , 0.055° , 0.07° , 0.085° , 0.1° , 0.115°) に設定した。球体の移動方向 (左右) 及び偏移距離の呈示順序は試行ごとに擬似ランダム化した。

2.2 実験1：運動方向弁別課題

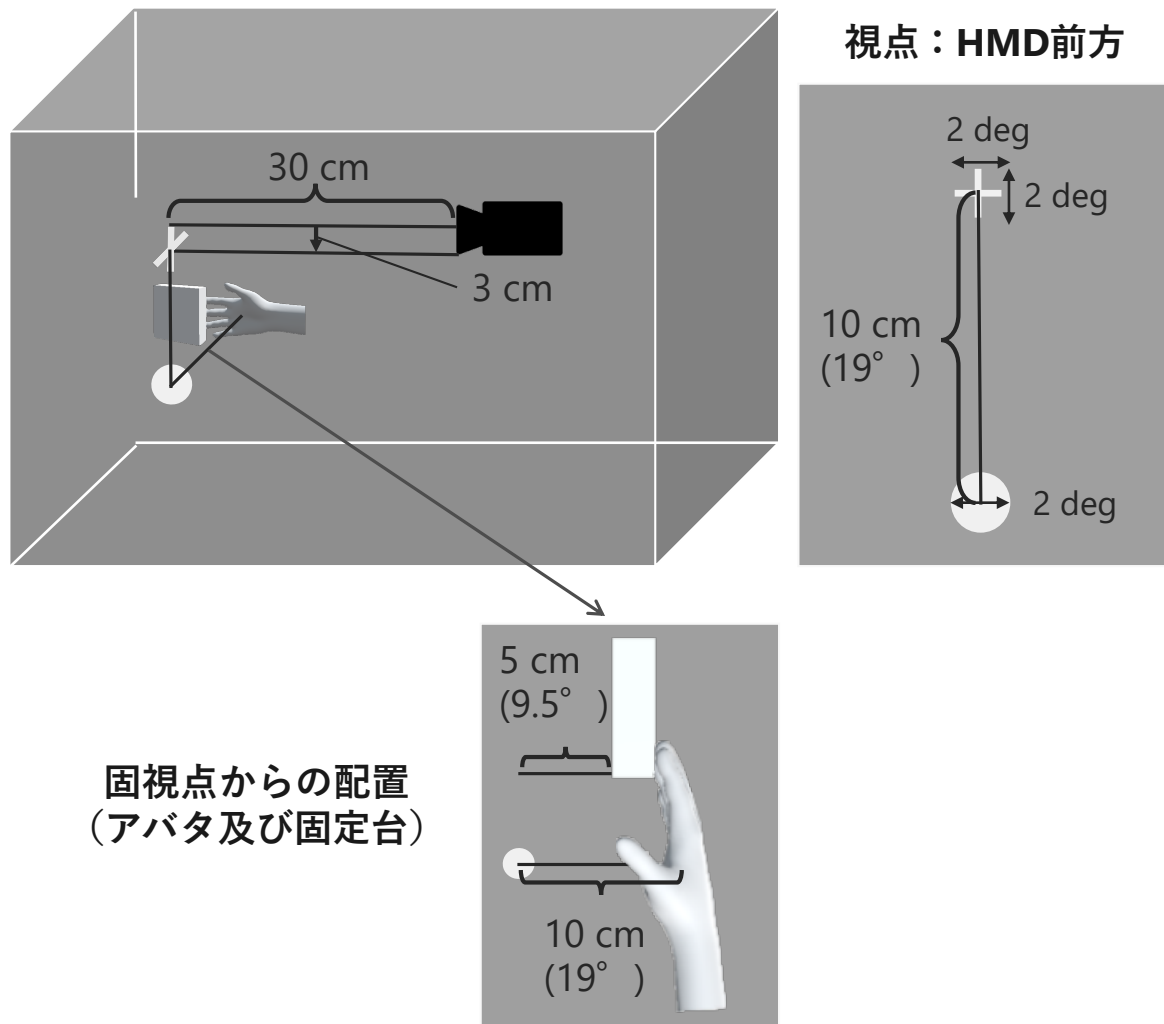


図 2.9 実験 1 における刺激配置の例 (手形状アバタ, 右手呈示の場合)

2.2 実験1：運動方向弁別課題



図 2.10 手形状アバタ

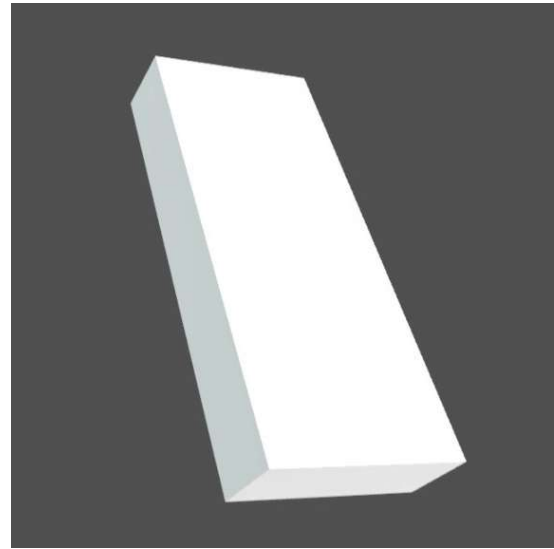


図 2.11 箱形状アバタ

本実験は2要因参加者内計画（図 2.12）であった。第1要因はアバタ形状（Hand/Box），第2要因は体性感覚・運動出力情報の利用可能性（Present/Absent）であった。Present 条件では参加者が固定台に手を配置し，球体方向に持続的に力を加え続けた。この条件では，固定台への接触に由来する触覚・固有感覚及び力発揮に伴う運動出力情報が得られ，アバタ位置と実手位置は空間的に一致していた。Absent 条件では参加者が手を膝上に置き，固定台には触れなかった。この条件では固定台接触に由来する体性感覚・運動出力情報は得られず，アバタ位置と実手位置は空間的に不一致であった。なお，Absent 条件においても視覚刺激の配置は Present 条件と同一とした。

2.2 実験1：運動方向弁別課題

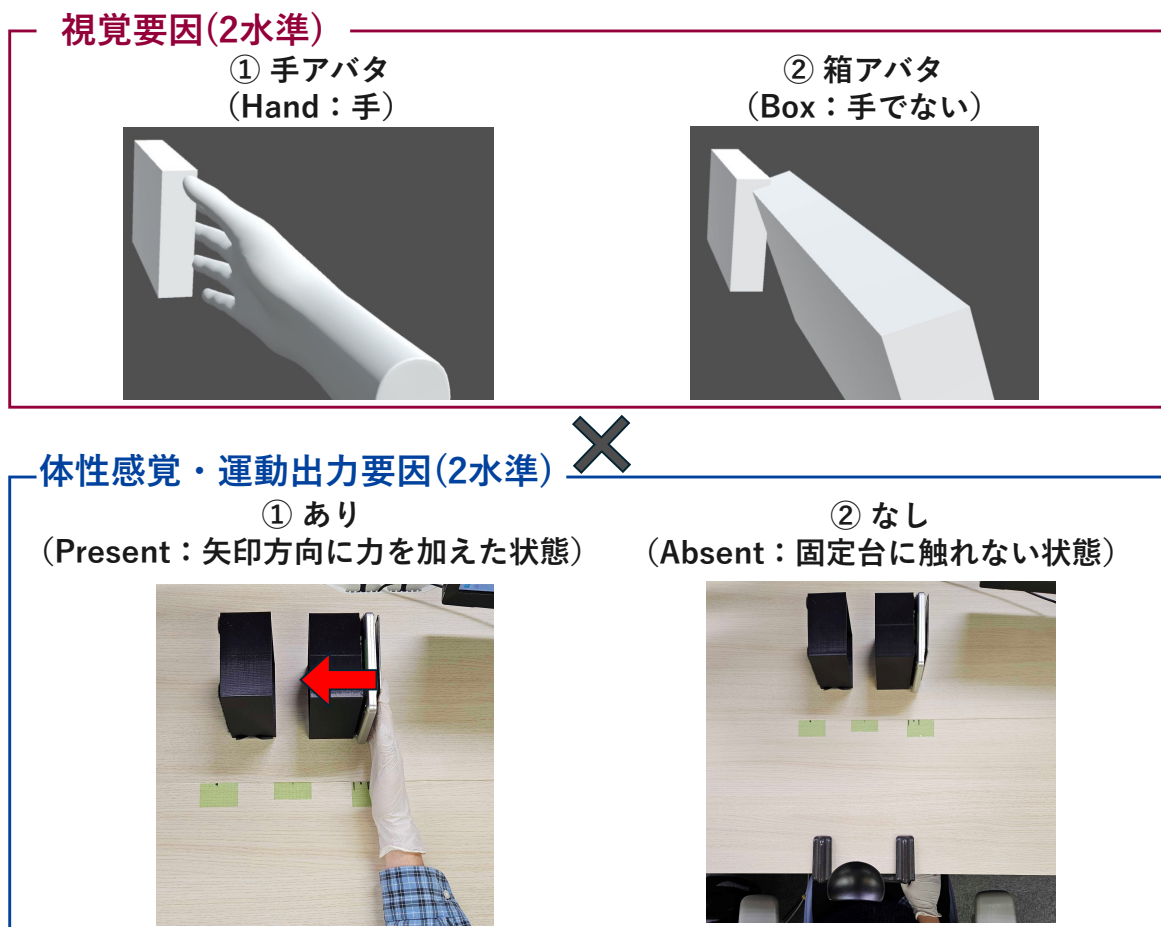


図 2.12 実験1の実験条件

手続き

参加者は手袋装着後に着座し、HMDを装着したうえであご台により頭部位置を固定した。その後、身体化課題を実施し、質問紙に回答した後、運動方向弁別課題を実施した。

身体化課題は、VR空間内のアバタに対する身体所有感及び運動主体感を誘導することを目的とし、観察課題(図2.13)とリーチング課題(図2.14)から構成された。観察課題では30s間、両手アバタを見ながら実手を自由に動かした。続くリーチング課題では参加者は前方30cmに円形配置した5つの球体へ片手を伸ばして触れることで消去することを30s間繰り返した(図2.15)。5つの球体が消去された後に球体が再度出現した後の課題の実施には、反対の手を用いるよう教示した。身体化課題終了後、身体所有感(3項目)及び運動主

2.2 実験1：運動方向弁別課題

体感（3項目）、注意チェック（2項目）の計8項目に7件法で回答させた（図2.16）。

運動方向弁別課題（図2.17）では、球体が左右いずれの方向に移動したかをフットペダルで回答した（左ペダル：左方向、右ペダル：右方向）。反応時間制限は設けず、正誤フィードバックは行わなかった。回答後直ちに次試行の固視点を呈示した。

各ブロックにおいて、7種類の偏移距離×2方向（左右）×5回の計70試行を実施した。視覚条件（Hand/Box）は実験日を分けて実施し、各実験日内で体性感覚・運動出力情報条件（Present/Absent）及びアバタ呈示位置（左/右）をブロック化した。各実験日は4ブロック（Present×左、Present×右、Absent×左、Absent×右、各70試行）で構成し、1日あたり計280試行を実施した。視覚条件の実施順序、体性感覚・運動出力情報条件の実施順序、ならびにアバタ呈示位置の実施順序は参加者間でカウンターバランスした。各ブロック間に2分間の休憩を挟んだ。



図 2.13 観察課題

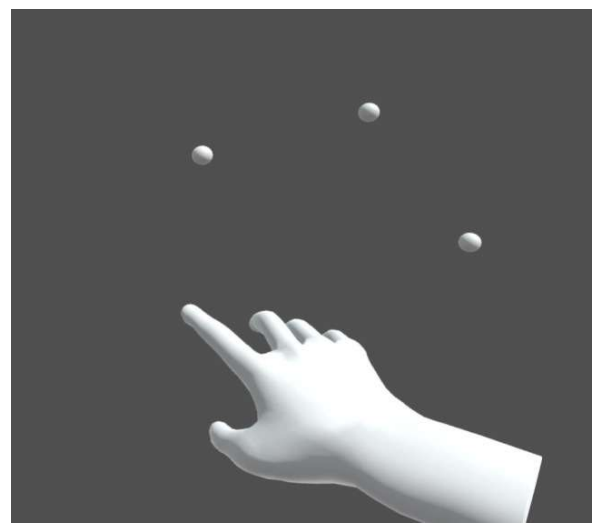


図 2.14 リーチング課題

2.2 実験1：運動方向弁別課題



図 2.15 身体化課題中の様子

2.2 実験1：運動方向弁別課題

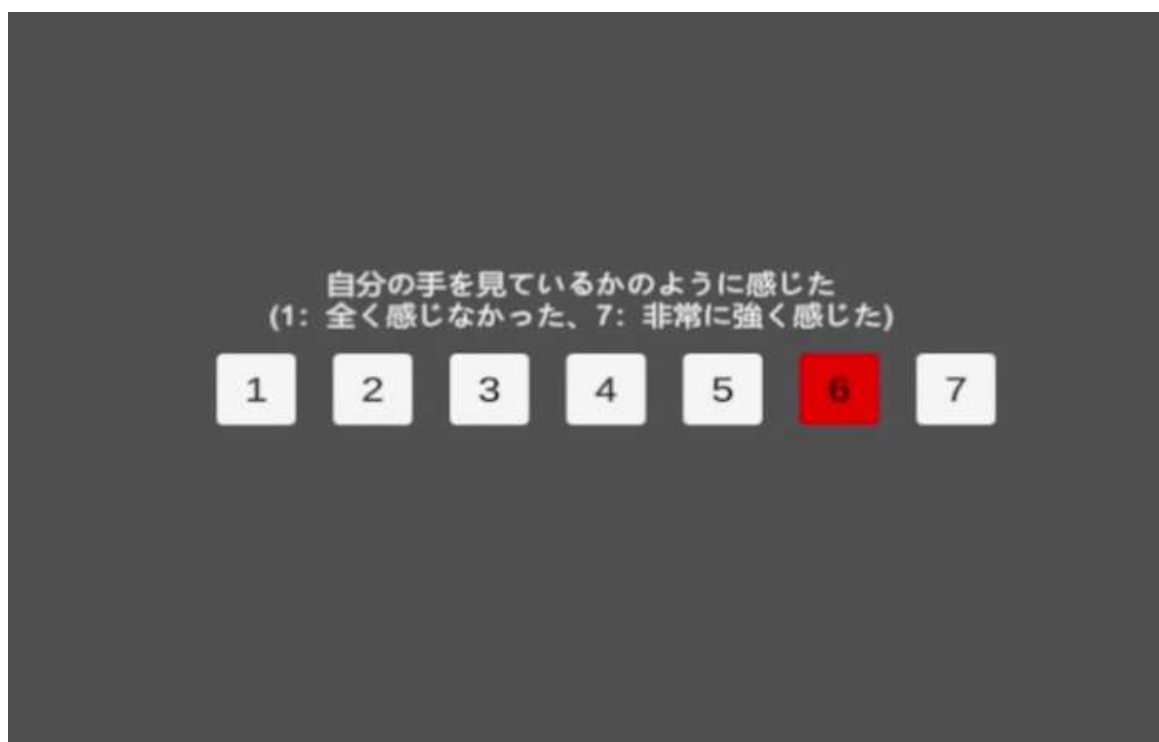


図 2.16 身体化質問紙回答時の画面例

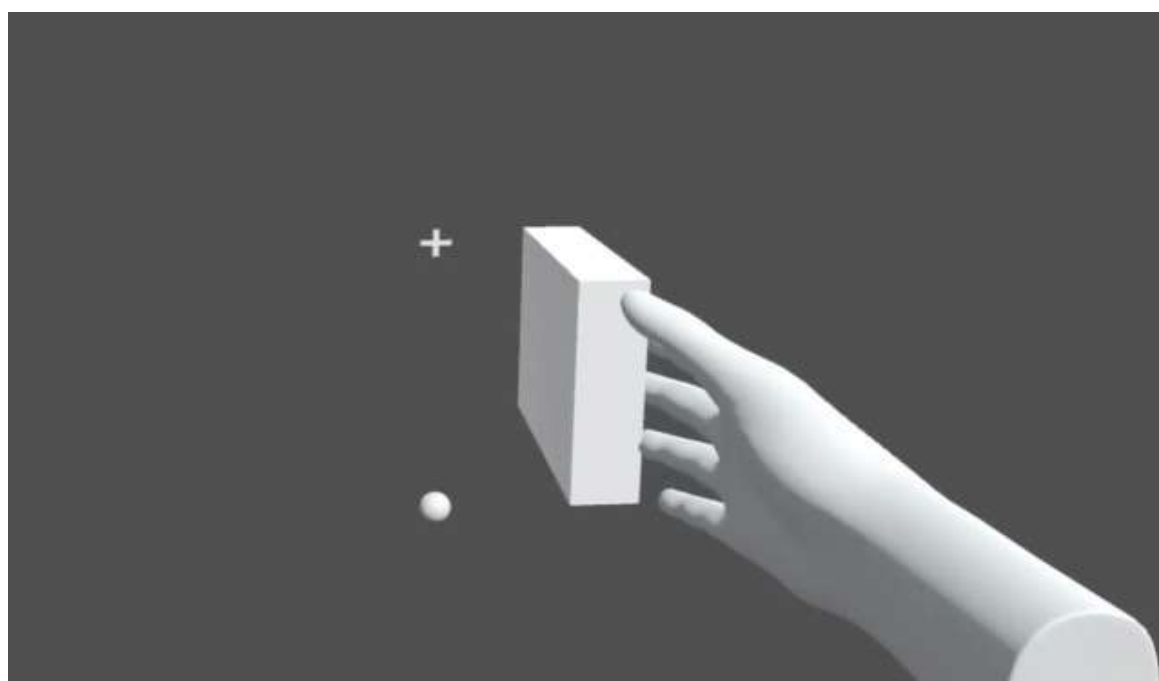


図 2.17 運動方向弁別課題

2.2 実験 1：運動方向弁別課題

指標

球体の偏移方向は、アバタに接近する方向への偏移を正、アバタから離遠する方向への偏移を負として符号付き偏移距離を定義した。各参加者について、符号付き偏移距離ごとに接近判断率（アバタに接近したと判断した割合）を算出し、心理測定関数に基づいて判断バイアス成分と感度（不確実性）成分を推定した。具体的なフィッティング手順及び推定方法は「データ解析」に示す（実験 1-1 と実験 1-2 で同一）。PSE は心理測定関数が 0.5 をとる偏移距離として定義し、弁別閾（運動方向弁別閾）は 0.25 点及び 0.75 点の偏移距離をそれぞれ x_{25} , x_{75} として $(x_{75} - x_{25})/2$ により算出した。

2.2.3 実験 1-2：低輝度条件

参加者

正常な視力（矯正を含む）を有する右利きの大学生 28 名（平均年齢 20.50 歳，SD = 1.62，男性 19 名，女性 9 名）が参加した。

刺激及び条件

刺激配置・手続き・指標は実験 1-1 と同一であったが、球体の視覚情報の信頼性を低下させるため、球体の輝度を低減させた。具体的には、球体の色を白色（RGB 値：255, 255, 255）から灰色（RGB 値：100, 100, 100）に変更し、背景（RGB 値：80, 80, 80）とのコントラストを低下させた。コントラスト低下に伴う視認性の低下を考慮し、球体の偏移距離を 7 段階（ 0.08° , 0.10° , 0.12° , 0.14° , 0.16° , 0.19° , 0.22° ）に設定した。その他の刺激パラメータ（球体サイズ，移動時間，アバタ配置等）は実験 1-1 と同一であった。

2.3 実験 2：到達位置判断課題及び衝突時刻予測課題

除外基準

心理測定関数の推定の妥当性を担保するため、弁別が成立していないと判断されるデータを除外した。具体的には、接近方向に最も大きく偏移した刺激に対しても離遠判断が 75%以上を占める条件が 1 つでも存在する参加者は、該当条件で単調な心理測定関数が成立していないと判断した。この基準に該当した参加者 2 名を除外し、26 名のデータを分析に用いた。

2.3 実験 2：到達位置判断課題及び衝突時刻予測課題

2.3.1 目的

実験 2 では、物体の身体関連性（脅威性）及び身体手がかり（アバタ形状、体性感覚の整合性）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。課題構造の異なる 2 課題（比較：到達位置判断、予測：衝突時刻予測）を用い、系統成分（到達位置判断の PSE / CE）と感度成分（到達位置判断の弁別閾（JND） / VE）への影響を評価した。

2.3.2 参加者

実験参加者の共通条件は共通方法に示した通りである。実験 2 には大学生 16 名（平均年齢 21.06 歳，SD = 1.73，男性 14 名，女性 2 名）が参加した。

2.3.3 刺激及び条件計画

脅威性（High/Low）× アバタ形状（Hand/Box）× 体性感覚（Congruent/Incongruent）の 3 要因参加者内計画（図 2.18）とした。計 8 条件を 1 条件 1 ブロックとして実施した。

2.3 実験 2：到達位置判断課題及び衝突時刻予測課題

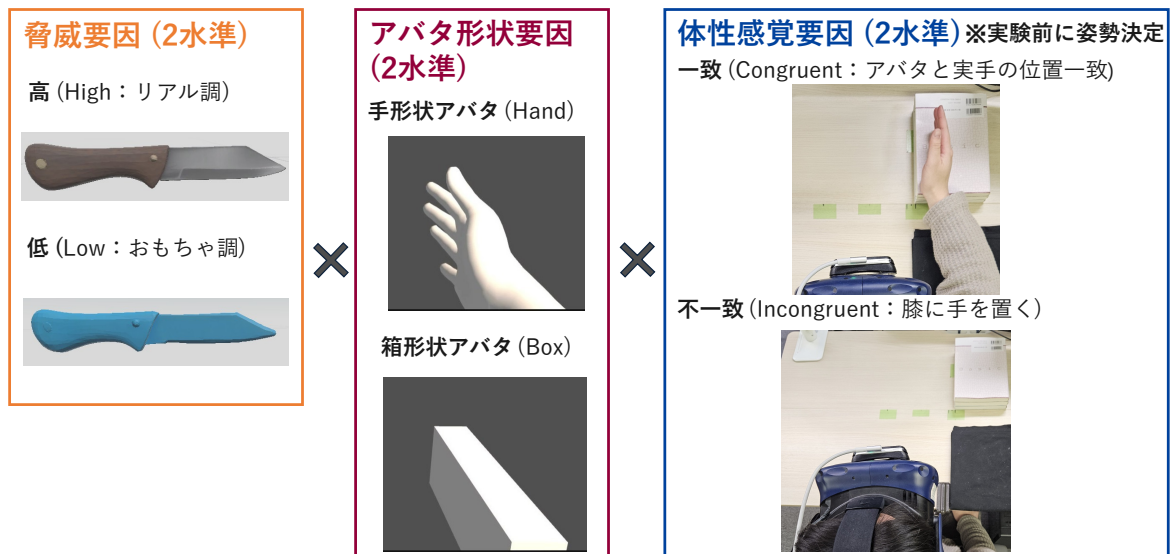


図 2.18 実験 2 の実験条件

運動物体には包丁刺激を用いた。手近傍空間は行為や防御反応の準備と結びつくと考えられる [4]、脅威関連刺激は手近傍での多感覚相互作用や空間表象を変調しうる事が報告されている [17, 18]。この背景に基づき、本研究では同一形状の包丁モデルに対し外観（質感）のみを操作し、脅威性の差を導入した。High 条件（図 2.19）ではリアル調の外観（材質・陰影・質感）を、Low 条件（図 2.20）ではおもちゃ調の外観を用いた。両条件で包丁の形状（メッシュ形状）は同一とし、外観のみを操作した。



図 2.19 High 条件（リアル調）

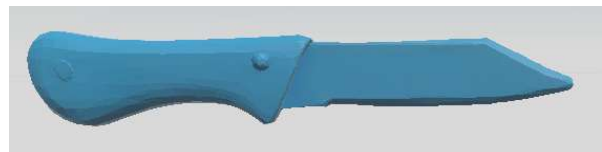


図 2.20 Low 条件（おもちゃ調）

2.3.4 体性感覚条件 (Congruent/Incongruent)

体性感覚条件は、アバタ位置に対する実手位置の対応関係によって操作した（図 2.18）。Congruent 条件では、参加者に実手を VR 空間内のアバタ位置に配置させ、アバタと実手の位置が一致する状態とした。Incongruent 条件では、参加者に実手を膝上に置かせ、アバタ位置と実手位置が不一致となる状態とした。これにより、視覚的身体情報に対する体性感

2.3 実験 2：到達位置判断課題及び衝突時刻予測課題

覚・運動出力情報の関与（身体情報の利用可能性）を変化させた。

なお、本研究における「擬似ランダム」とは、範囲内の各値の出現頻度は等しい一方で、呈示順序や呈示タイミングがランダムとなるように制御した呈示方法を指す。

2.3.5 脅威性誘導手続き及び質問紙

実験 2 では、包丁刺激に対する脅威感を誘導するため、脅威性誘導手続きを実施した。脅威性誘導手続きでは、VR 内で包丁が参加者の実手に接触するタイミングに合わせて、実空間でも触覚刺激を与えた。High 条件では金属製の定規（図 2.21）、Low 条件ではプラスチック製の定規（図 2.22）を用い、参加者の手のひらを定規の表面で 5 回なぞった後に、定規の先端で 5 回接触させた（図 2.3.5）。この手続きは脅威性を導入するためのものであり、体性感覚条件（Congruent/Incongruent）の操作とは役割を分けて扱った。

質問紙は、脅威性誘導手続き直後、及び各課題終了後に実施した。身体化質問紙（7 件法）は各条件について実施した（項目は付録に記載）。



図 2.21 金属製の定規（High 条件）



図 2.22 プラスチック製の定規（Low 条件）

2.3 実験 2：到達位置判断課題及び衝突時刻予測課題



図 2.23 脅威性誘導手続きの様子（参加者視点）

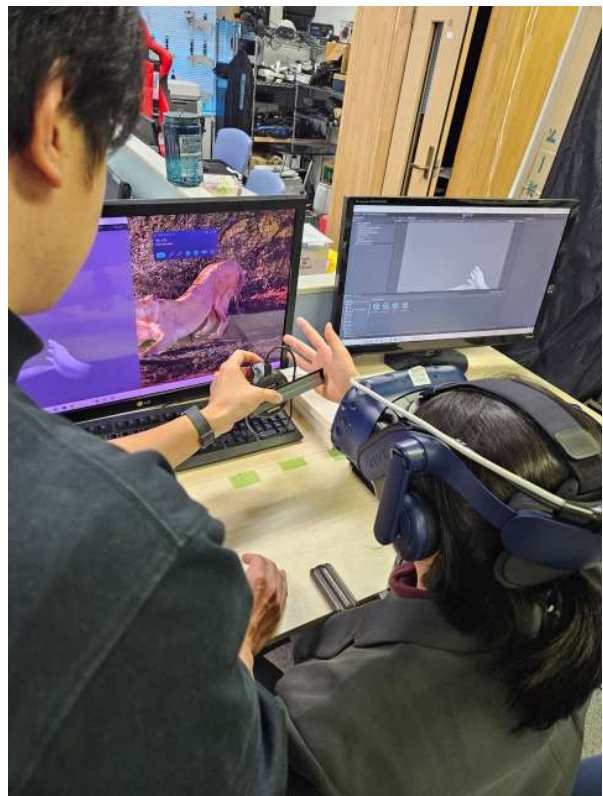


図 2.24 脅威性誘導手続きの様子（実験者視点）

2.3.6 刺激配置（共通座標・固視点）

固視点（大きさ 2° ）は，HMD 位置を基準として正面方向 30 cm，下方 1.5 cm の位置に呈示した．また，固視点，アバタ，フラッシュ（図 2.25），包丁刺激など，呈示される全刺激の中心位置の奥行（深度）は 30 cm で一致させた（同一冠状面上）．包丁刺激は固視点より左側の同一冠状面上に出現し，そのまま同一冠状面上をアバタ方向へ水平に運動した．

2.3 実験 2：到達位置判断課題及び衝突時刻予測課題



図 2.25 フラッシュ刺激

2.3.7 到達位置判断課題（フラッシュ基準の相対位置比較）

到達位置判断課題（図 2.26）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．フラッシュ位置はアバタ位置から左に 5 cm とし，包丁の出現位置はフラッシュ位置からさらに左に 15 cm とした．フラッシュの呈示時間は 300 ms，サイズは視角 $0.19^\circ \times 1.91^\circ$ （横×縦）の白色垂線とした．フラッシュ消失から包丁出現までの ISI は基本 800 ms としたが，時間手がかりの固定化を防ぐため試行の 10% で ISI を ± 600 ms ローピングした．包丁は出現後，100 - 500 ms の範囲で擬似ランダムな遅延の後に運動を開始し，運動時間は 500 - 1000 ms の範囲で擬似ランダムとした．これらの時間操作はいずれも，速度や時間間隔の学習・推定に基づく回答を抑制し，刺激出現時刻への予測的準備を低減することを目的とした [28, 29, 30]．

包丁は運動中に消失し，参加者は消失時点で包丁先端がフラッシュ位置より手前側にあったか，あるいはアバタ側にあったかを 2 肢強制選択で判断した．消失位置はフラッシュ位置を 0° として 7 水準（ $-4^\circ, -2.5^\circ, -1^\circ, 0^\circ, 1^\circ, 2.5^\circ, 4^\circ$ ）に設定し，負の値はフラッシュよ

2.3 実験 2：到達位置判断課題及び衝突時刻予測課題

り出現側（左側），正の値はアバタ側（右側）を表す。回答はフットペダルで行い，手前側と判断した場合は左ペダルを，アバタ側と判断した場合は右ペダルを押下させた。ペダルへの割り当てはブロック内で一定とした。各水準あたり 12 試行呈示し，1 ブロックは 84 試行であった。

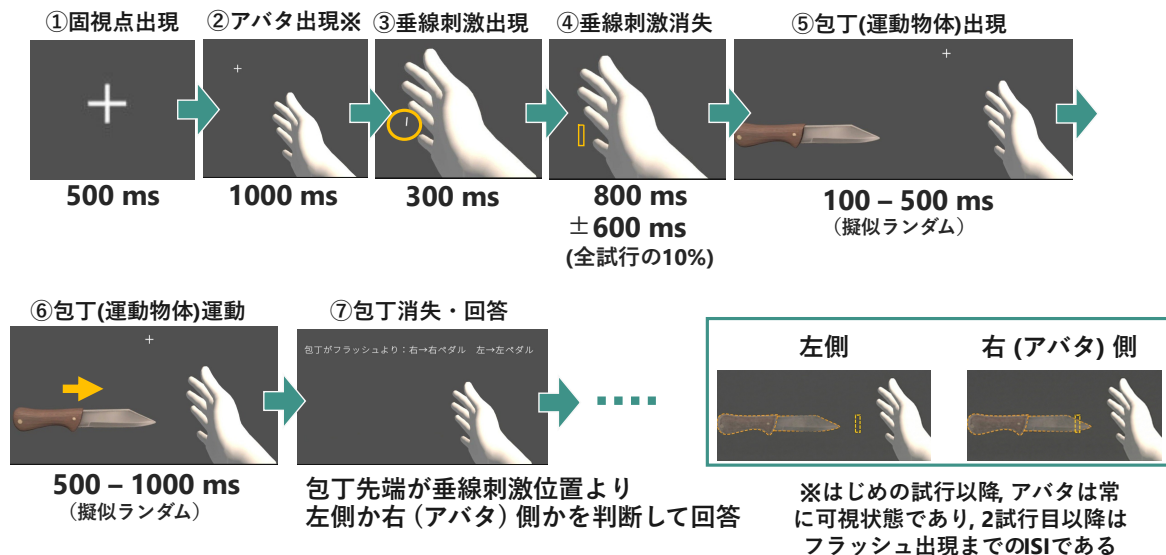


図 2.26 到達位置判断課題の手順

2.3.8 衝突時刻予測課題 (Time-to-Collision; TTC)

衝突時刻予測課題 (図 2.27) では，速度と出現位置 (開始距離) をそれぞれ 3 水準設定し，特定の速度や距離に対する学習・方略化を抑制した。速度の具体値は低速度：35 deg/s，中速度：37.5 deg/s，高速度：40 deg/s とした。出現位置 (開始距離) は，包丁が消失する位置を基準として近距離：12.5 cm，中距離：15 cm，遠距離：17.5 cm とした。

ブロックの最初の試行ではアバタと固視点を同時に出現させた。以降の試行では固視点呈示後 500 ms で包丁が出現し，包丁は出現後，500 - 1000 ms の範囲で擬似ランダムな遅延の後に運動を開始した。運動中，包丁先端がアバタから 12 cm の位置に到達した時点で包丁を消失させ，参加者には消失後も同速度で運動が継続すると仮定して，衝突すると思った時刻に中央ペダルで回答させた (occlusion パラダイム) [31, 32, 33]。回答後は固視点を非表示にし，1000 ms 後に再表示した。

2.3 実験 2：到達位置判断課題及び衝突時刻予測課題

包丁の速度 × 出現位置の各組合せは 1 ブロックあたり 5 試行とし、9 条件のため 1 ブロックは 45 試行であった。呈示順は擬似ランダムとし、各条件の出現回数が均等となるように設定した。

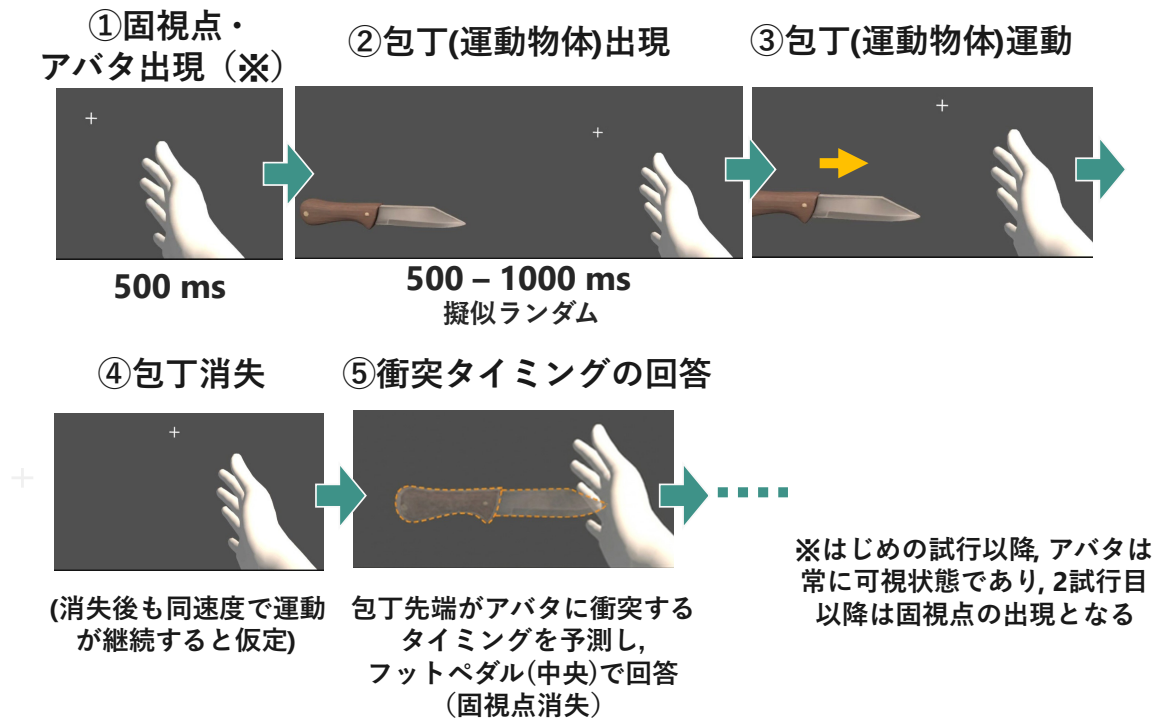


図 2.27 衝突時刻予測課題の手順

2.3.9 指標と解析

到達位置判断課題では、消失位置ごとに「アバタ側」と判断した判断率を算出し、判断率に対して 0 – 1 のシグモイド関数（ロジスティック関数）をフィッティングした。フィッティングした心理測定関数の 50%点を PSE, 25%点と 75%点の差の 1/2 を到達位置判断の弁別閾（JND）とした。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して算出し、速度 × 出現位置ごとの参加者内平均値及び参加者内標準偏差を求め、それぞれ CE 及び VE とした。統計解析は、PSE, JND, CE, VE に対して脅威性 × アバタ形状 × 体性感覚の 3 要因反復測定分散分析を用いた（詳細は解析節に示す）。

2.4 データ解析

2.4.1 実験 1：心理測定関数からの PSE・運動方向弁別閾推定

実験 1-1 及び実験 1-2 はいずれも、同一の心理測定関数フィッティング（図 2.28）により指標を推定した。球体の偏移距離は、アバタへの接近方向を正、アバタからの離遠方向を負とする符号付き距離として定義した。符号付き偏移距離 x ごとに接近判断率 $p(x)$ （二肢選択反応のうち「接近」を選択した割合）を算出し、ロジスティック関数

$$p(x) = \frac{1}{1 + \exp\{-(\beta_0 + \beta_1 x)\}} \quad (2.1)$$

を当てはめた [34]。関数が $p(x) = 0.5$ をとる偏移距離を PSE（主観的等価点）とし、 $p(x) = 0.25$ 及び 0.75 をとる偏移距離をそれぞれ x_{25}, x_{75} として、運動方向弁別閾を $(x_{75} - x_{25})/2$ と定義した。統計解析として、PSE 及び運動方向弁別閾に対しアバタ形状×体性感覚・運動出力の 2 要因分散分析を行った。効果量として一般化イータ二乗 (η_G^2) を算出した [35, 36]。さらに、各条件の PSE が偏移なし ($x = 0$) と有意に異なるかを 1 標本 t 検定で検討し、Holm 法により多重比較補正を行った。

2.4 データ解析

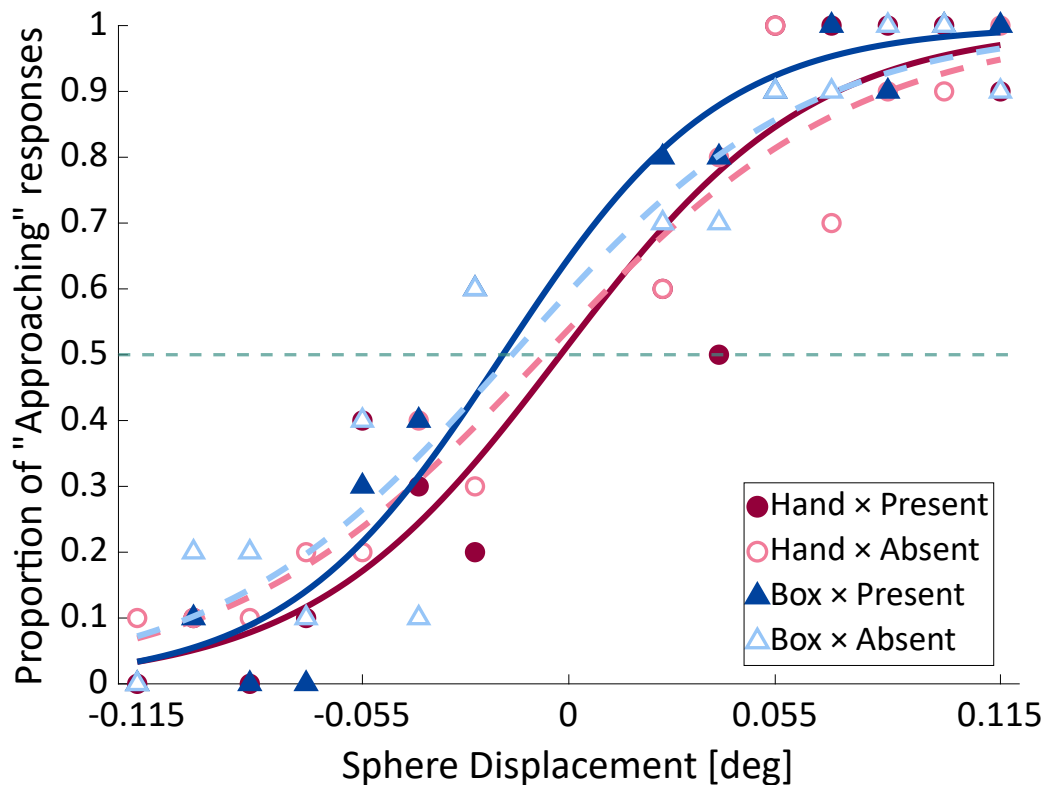


図 2.28 心理測定関数フィッティング例

■除外基準（実験 1） 心理測定関数のフィッティングの質を評価するため、「接近方向の運動刺激にもかかわらず、ある偏移距離において離遠判断が 75%以上を占める」場合、当該条件において弁別が成立していないと判断した。4 条件のうち 1 条件でもこの基準に該当した参加者 2 名を除外した。

2.4.2 実験 2：PSE/JND 及び CE/VE

到達位置判断課題では、消失位置ごとに「アバタ側」と判断した判断率を算出し、判断率に対して 0 – 1 のロジスティック関数をフィッティング（図 2.29）して到達位置の PSE 及び弁別閾（JND）を算出した。PSE は判断率が 50%となる消失位置、JND は 25%点及び 75%点から $(x_{75} - x_{25})/2$ として定義した。

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（Response

2.4 データ解析

– True collision time) と定義した. まず, 速度 × 出現位置 (開始距離) の各組合せ (9 条件) ごとに誤差の参加者内平均値と参加者内標準偏差を算出した. 次に, 9 条件の参加者内平均値を平均した値を CE, 9 条件の参加者内標準偏差を平均した値を VE とし, 速度や出現位置に依存した学習・方略の影響を減らした代表値として用いた.

PSE, JND, CE, VE に対して, 脅威性 × アバター形状 × 体性感覚の 3 要因反復測定分散分析を行った. 有意水準は $\alpha = .05$ とした. 効果量として一般化イータ二乗 (η_G^2) を算出した [35, 36].

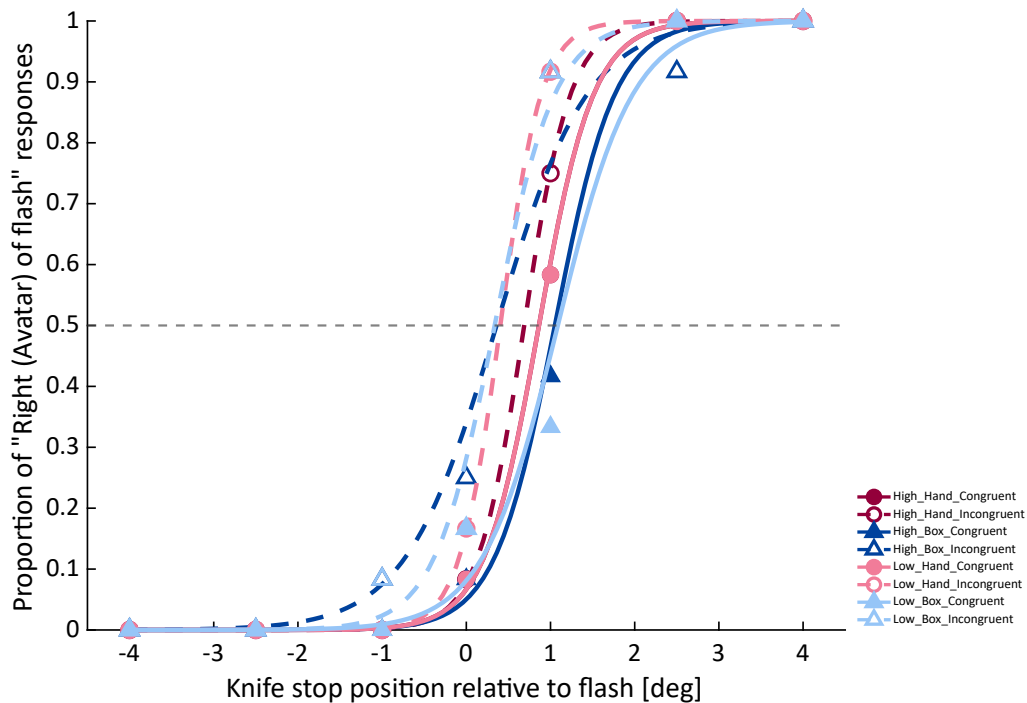


図 2.29 到達位置判断課題における心理測定関数フィッティング例

第3章

結果

3.1 操作チェック

3.1.1 脅威性誘導の確認

実験2では、包丁刺激の外観により脅威性 (High/Low) を操作した。脅威性誘導手続き直後 (Calibration), 到達位置判断課題後 (AfterFlash), 衝突時刻予測課題後 (AfterTTC) において、3項目 (危険・回避したい・ケガをする可能性) の平均を脅威性スコアとして算出し、High と Low を比較した。

表 3.1 脅威性スコア (3項目平均, 1-7) の条件別平均 (平均 (SD)) と High-Low の対応のある t 検定。

測定タイミング	N	High	Low	t	p	d_z
Calibration	16	3.89 (1.31)	3.38 (1.34)	2.53	.023	0.63
AfterFlash	16	2.92 (1.22)	2.76 (1.11)	1.26	.226	0.32
AfterTTC	16	2.89 (1.29)	2.64 (1.07)	1.51	.152	0.38

その結果、脅威性誘導手続き直後 (Calibration) では High の方が Low より高く、有意水準に達した (表 3.1)。一方、到達位置判断課題後 (AfterFlash) および衝突時刻予測課題後 (AfterTTC) では、High と Low の差は有意水準に達しなかった。このことは、タスク遂行中の経験によって脅威性の主観評価が弱まった可能性を示しており、実験2の結果解釈ではこの点を考慮する。

3.2 実験 1：運動方向弁別課題

3.1.2 身体化質問紙の確認

実験 1 および実験 2 では、身体化質問紙を実施し、所有感 (Q1–Q3 平均)、主体感 (Q5–Q7 平均)、総合 (Q1–Q3, Q5–Q7 平均) を算出した。いずれの実験でも、手形状アバタの方が箱形状アバタよりも総合スコアが高く、記述的な差異が確認された (例：実験 1-1 では手形状アバタ 6.08 (0.69)、箱形状アバタ 4.84 (0.86))。身体化は主要な従属変数ではないため、本論では操作の補助的確認として扱い、詳細な図表は付録に示す。

3.2 実験 1：運動方向弁別課題

3.2.1 実験 1-1 (高輝度)

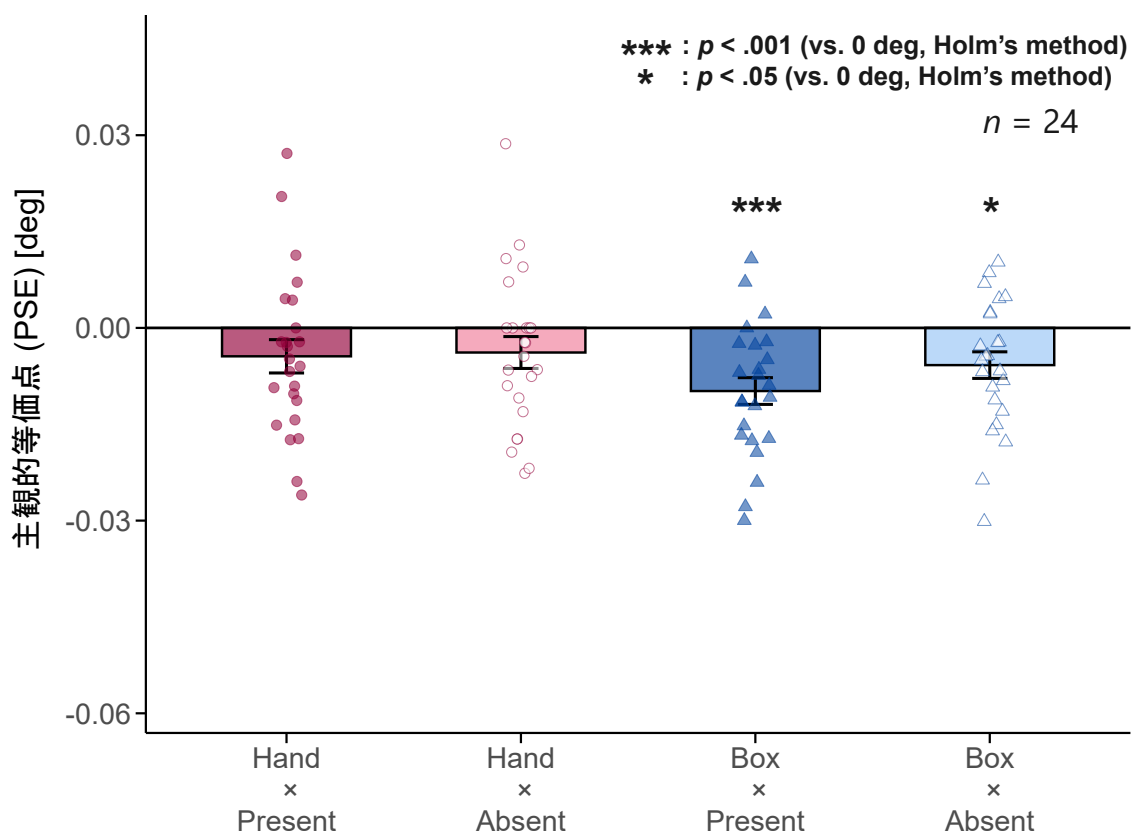


図 3.1 実験 1-1 (高輝度) における PSE の条件平均 (平均 ±SE)。

3.2 実験 1：運動方向弁別課題

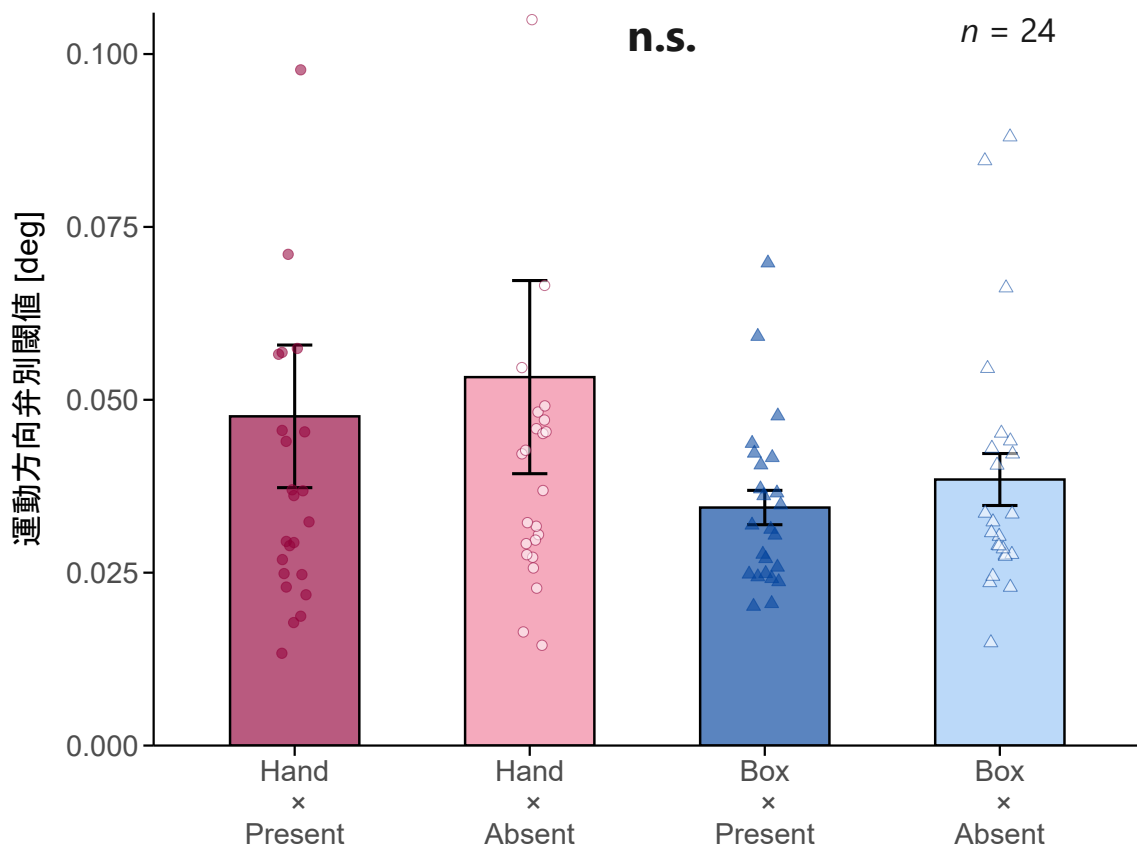


図 3.2 実験 1-1（高輝度）における運動方向弁別閾の条件平均（平均 ±SE）。

高輝度条件における PSE 及び運動方向弁別閾の条件平均をそれぞれ図 3.1 及び図 3.2 に示す。縦軸は PSE 及び運動方向弁別閾（deg）である。本研究では偏移距離の正を「アバタに接近」、負を「アバタから離遠」と定義しており、接近方向への判断バイアスは心理測定関数の左方シフトとして表れ、PSE が負側に偏位する（すなわち 0° より小さくなる）。

PSE 及び運動方向弁別閾について、アバタ形状（手形状アバタ／箱形状アバタ）× 体性感覚・運動出力情報（力発揮条件／膝上条件）の 2 要因参加者内分散分析を行った。その結果、PSE については、アバタ形状の主効果 ($F(1, 23) = 2.15, p = .156, \eta_G^2 = .03$)、体性感覚・運動出力情報の主効果 ($F(1, 23) = 1.83, p = .189, \eta_G^2 = .01$)、およびアバタ形状 × 体性感覚・運動出力情報の交互作用 ($F(1, 23) = 0.68, p = .412, \eta_G^2 = .01$) のいずれも有意な効果は認められなかった。運動方向弁別閾についても、アバタ形状の主効果 ($F(1, 23) = 1.70, p = .205, \eta_G^2 = .03$)、体性感覚・運動出力情報の主効果 ($F(1, 23) = 2.63, p$

3.2 実験1：運動方向弁別課題

= .118, $\eta_G^2 < .01$), およびアバタ形状 × 体性感覚・運動出力情報の交互作用 ($F(1, 23) = 0.20, p = .659, \eta_G^2 < .01$) のいずれも有意な効果は認められなかった。

次に、各条件の PSE が 0° から有意に偏位しているかを検討するため、PSE に対する 0° との比較 (対応のある t 検定) を行った。その結果、箱形状アバタ条件では接近方向への判断バイアスが認められた (力発揮条件: $t(23) = -4.72, p < .001, d = -0.97$; 膝上条件: $t(23) = -2.80, p = .015, d = -0.57$)。一方、手形状アバタ条件では有意なバイアスは認められなかった (力発揮条件: $t(23) = -1.70, p = .102, d = -0.35$; 膝上条件: $t(23) = -1.54, p = .102, d = -0.32$)。

3.2.2 実験 1-2 (低輝度)

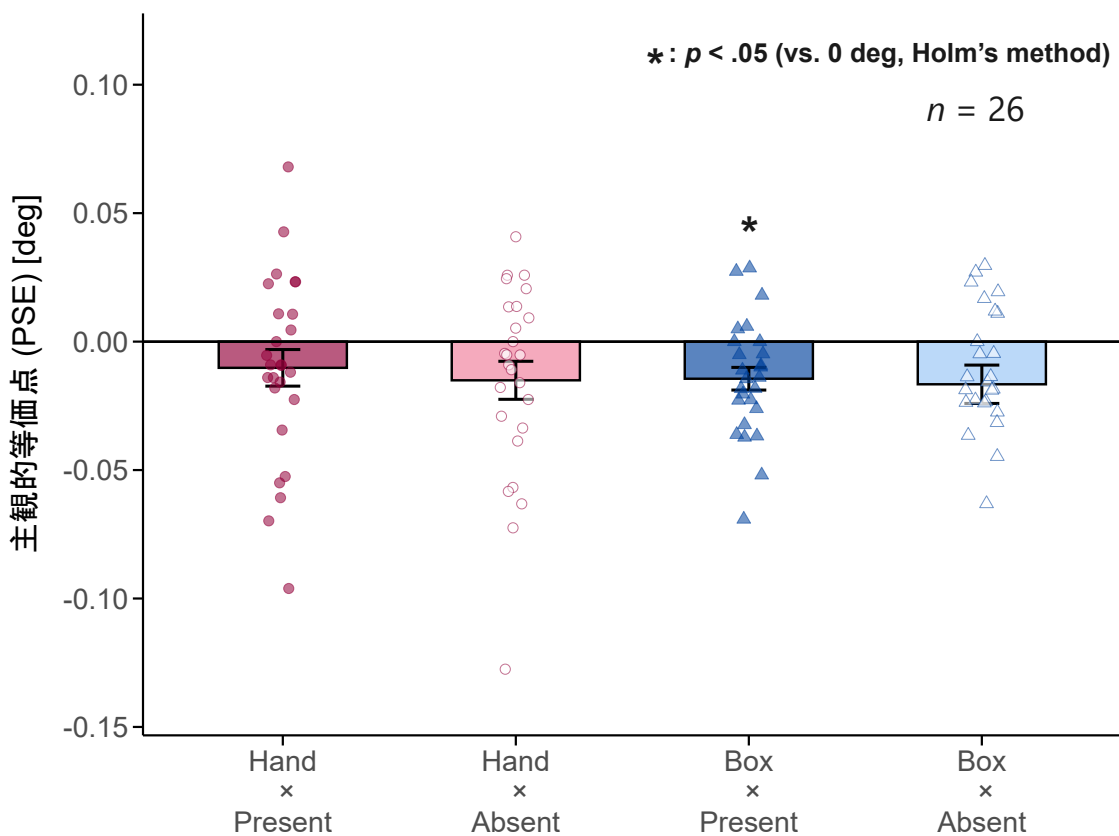


図 3.3 実験 1-2 (低輝度) における PSE の条件平均 (平均 ±SE)。

3.2 実験 1：運動方向弁別課題

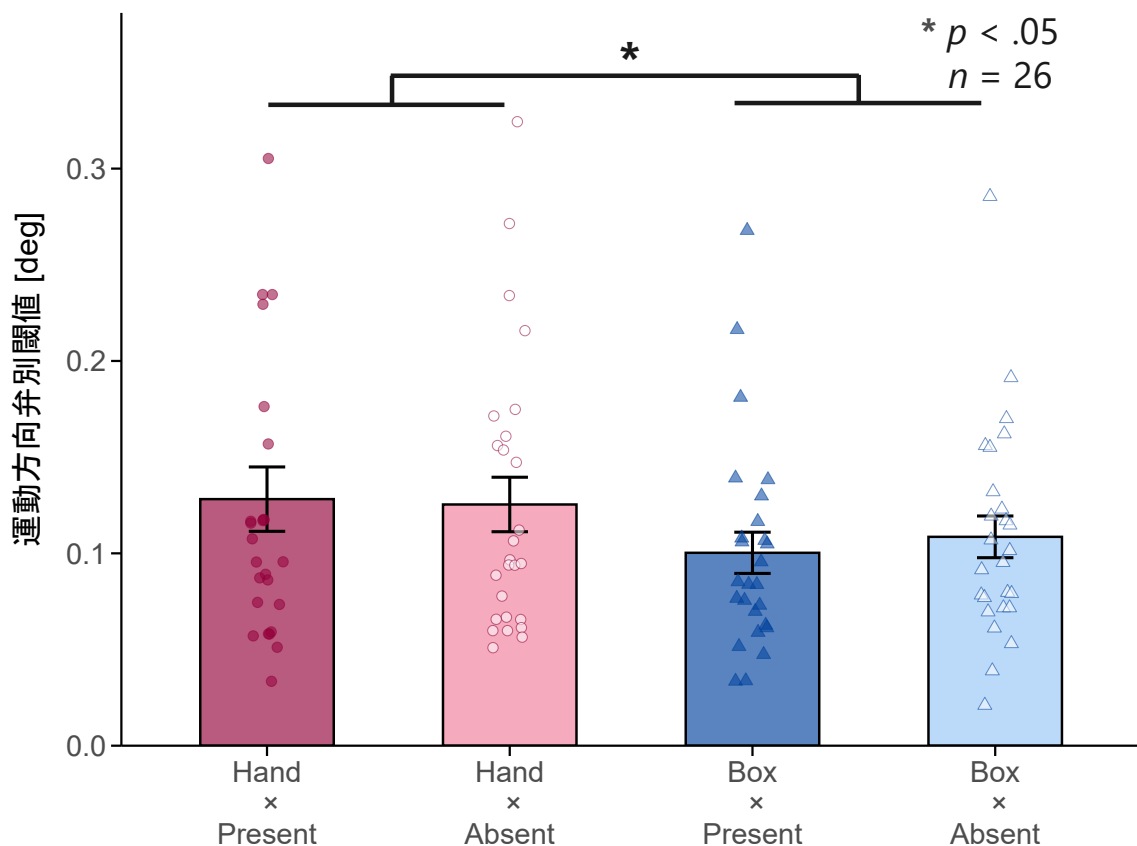


図 3.4 実験 1-2（低輝度）における運動方向弁別閾の条件平均（平均 ±SE）。

低輝度条件における PSE 及び運動方向弁別閾の条件平均をそれぞれ図 3.3 及び図 3.4 に示す。

PSE 及び運動方向弁別閾について、実験 1-1 と同様に 2 要因参加者内分散分析を行った。その結果、PSE については、アバタ形状の主効果 ($F(1, 25) = 0.21, p = .652, \eta_G^2 < .01$)、体性感覚・運動出力情報の主効果 ($F(1, 25) = 0.28, p = .602, \eta_G^2 < .01$)、およびアバタ形状 × 体性感覚・運動出力情報の交互作用 ($F(1, 25) = 0.05, p = .831, \eta_G^2 < .01$) のいずれも有意な効果は認められなかった。運動方向弁別閾については、アバタ形状の主効果が有意であった ($F(1, 25) = 5.17, p = .032, \eta_G^2 = .03$)。箱形状アバタ ($M = 0.11, SD = 0.05$) は手形状アバタ ($M = 0.13, SD = 0.07$) よりも運動方向弁別閾が低かった。一方、体性感覚・運動出力情報の主効果 ($F(1, 25) = 0.16, p = .691, \eta_G^2 < .01$)、およびアバタ形状 × 体性感覚・運動出力情報の交互作用 ($F(1, 25) = 0.41, p = .529, \eta_G^2 < .01$) は有意

3.3 実験 2：到達位置判断課題および衝突時刻予測課題

な効果は認められなかった。

また、PSE に対する 0° との比較（対応のある t 検定）を行ったところ、箱形状アバタかつ力発揮条件においてのみ接近バイアスが認められた ($t(25) = -3.28, p = .006, d = -0.64$)。一方、手形状アバタかつ力発揮条件 ($t(25) = -1.43, p = .082, d = -0.28$)、手形状アバタかつ膝上条件 ($t(25) = -2.04, p = .053, d = -0.40$)、箱形状アバタかつ膝上条件 ($t(25) = -1.89, p = .070, d = -0.37$) では有意なバイアスは認められなかった。

3.3 実験 2：到達位置判断課題および衝突時刻予測課題

3.3.1 到達位置判断課題（PSE/JND）

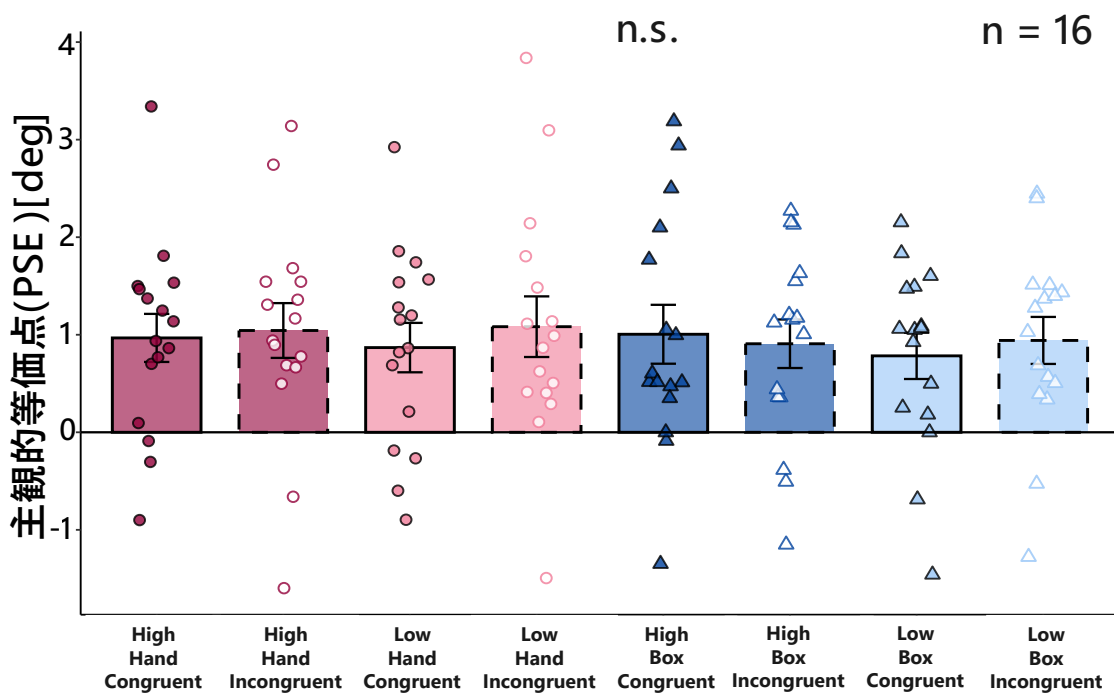


図 3.5 実験 2（到達位置判断）における PSE の条件平均（平均 \pm SE）。

3.3 実験 2：到達位置判断課題および衝突時刻予測課題

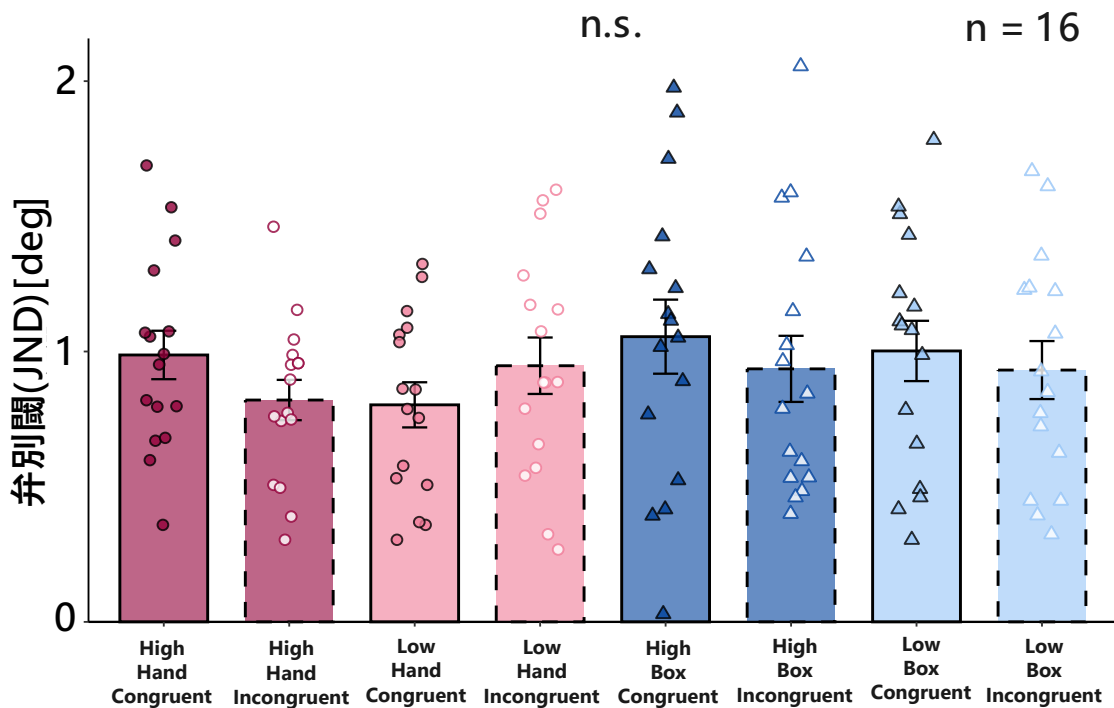


図 3.6 実験 2（到達位置判断）における JND の条件平均（平均 ±SE）。

到達位置判断における各条件の PSE および弁別閾（JND）の平均値をそれぞれ図 3.5 及び図 3.6 に示す。縦軸は PSE および JND (deg) であり、負の PSE は「手前側」へのバイアス、正の PSE は「アバタ側」へのバイアスを表す。また、JND は弁別精度の指標であり、値が小さいほど弁別精度が高いことを示す。

PSE および JND について、脅威性 (High/Low) × アバタ形状 (手形状アバタ/箱形状アバタ) × 体性感覚整合性 (整合条件/不整合条件) の 3 要因参加者内分散分析を行った。その結果、PSE については、脅威性の主効果 ($F(1, 15) = 1.67, p = .216, \eta_G^2 < .01$)、アバタ形状の主効果 ($F(1, 15) = 0.37, p = .552, \eta_G^2 < .01$)、体性感覚整合性の主効果 ($F(1, 15) = 0.25, p = .622, \eta_G^2 < .01$)、脅威性 × アバタ形状の交互作用 ($F(1, 15) = 0.11, p = .741, \eta_G^2 < .01$)、脅威性 × 体性感覚整合性の交互作用 ($F(1, 15) = 0.68, p = .422, \eta_G^2 < .01$)、アバタ形状 × 体性感覚整合性の交互作用 ($F(1, 15) = 0.18, p = .679, \eta_G^2 < .01$)、および脅威性 × アバタ形状 × 体性感覚整合性の 3 要因交互作用 ($F(1, 15) = 0.15, p = .702, \eta_G^2 < .01$) のいずれも有意な効果は認められなかった。JND について

3.3 実験 2：到達位置判断課題および衝突時刻予測課題

は、脅威性 × アバタ形状 × 体性感覚整合性の 3 要因交互作用は有意水準には達しなかった ($F(1, 15) = 4.28, p = .056, \eta_G^2 < .01$)。一方、脅威性の主効果 ($F(1, 15) = 0.34, p = .567, \eta_G^2 < .01$)、アバタ形状の主効果 ($F(1, 15) = 1.87, p = .191, \eta_G^2 = .01$)、体性感覚整合性の主効果 ($F(1, 15) = 2.50, p = .135, \eta_G^2 < .01$)、脅威性 × アバタ形状の交互作用 ($F(1, 15) = 0.00, p = .999, \eta_G^2 < .01$)、脅威性 × 体性感覚整合性の交互作用 ($F(1, 15) = 2.56, p = .130, \eta_G^2 = .01$)、およびアバタ形状 × 体性感覚整合性の交互作用 ($F(1, 15) = 1.00, p = .332, \eta_G^2 < .01$) のいずれも有意な効果は認められなかった。ただし、手形状アバタ条件を中心に、整合条件と不整合条件の関係が脅威性によって反転するなどの記述的な差異がみられた。

3.3.2 衝突時刻予測課題 (CE/VE)

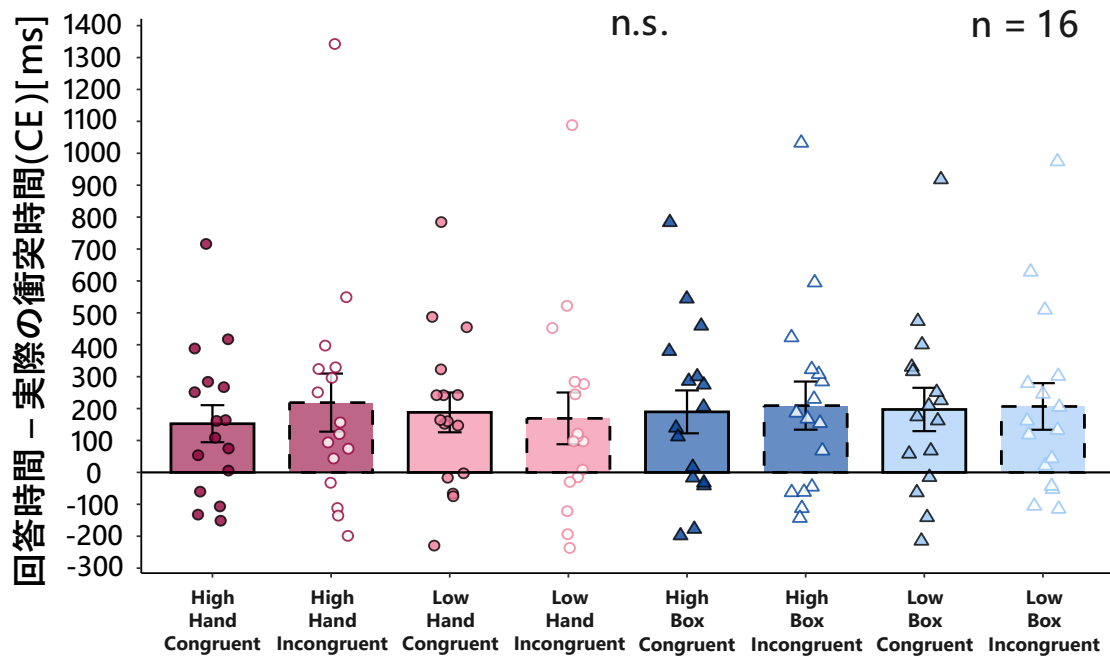


図 3.7 実験 2 (衝突時刻予測) における CE の条件平均 (平均 ±SE)。

3.3 実験 2：到達位置判断課題および衝突時刻予測課題

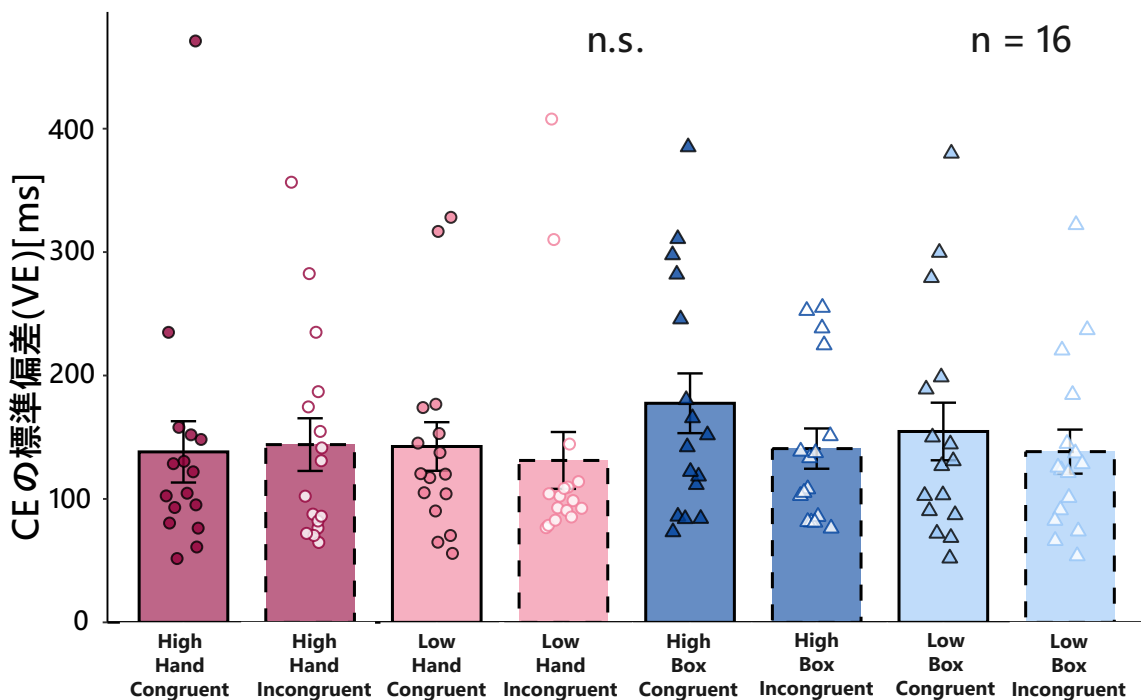


図 3.8 実験 2（衝突時刻予測）における VE の条件平均（平均 ±SE）。

衝突時刻予測課題における各条件の CE および VE の平均値をそれぞれ図 3.7 及び図 3.8 に示す。縦軸は CE および VE (ms) であり、負の CE はアバタに対する包丁の実際の衝突に対して「早め」の予測、正の CE は「遅め」の予測を表す。また、VE は予測のばらつきを表す指標であり、値が大きいほど予測のばらつきが大きいことを示す。

CE および VE について、脅威性 (High/Low) × アバタ形状 (手形状アバタ/箱形状アバタ) × 体性感覚整合性 (整合条件/不整合条件) の 3 要因参加者内分散分析を行った。その結果、CE については、脅威性 × アバタ形状 × 体性感覚整合性の 3 要因交互作用は有意水準には達しなかった ($F(1, 15) = 4.05, p = .063, \eta_G^2 = .01$)。一方、脅威性の主効果 ($F(1, 15) = 0.05, p = .819, \eta_G^2 < .01$)、アバタ形状の主効果 ($F(1, 15) = 1.62, p = .223, \eta_G^2 = .01$)、体性感覚整合性の主効果 ($F(1, 15) = 0.79, p = .387, \eta_G^2 = .01$)、脅威性 × アバタ形状の交互作用 ($F(1, 15) = 0.25, p = .625, \eta_G^2 < .01$)、脅威性 × 体性感覚整合性の交互作用 ($F(1, 15) = 2.28, p = .152, \eta_G^2 < .01$)、およびアバタ形状 × 体性感覚整合性の交互作用 ($F(1, 15) = 0.11, p = .748, \eta_G^2 < .01$) は有意な効果は認められなかつ

3.3 実験2：到達位置判断課題および衝突時刻予測課題

た。VEについては、脅威性の主効果 ($F(1, 15) = 0.92, p = .353, \eta_G^2 < .01$)、アバタ形状の主効果 ($F(1, 15) = 2.46, p = .138, \eta_G^2 < .01$)、体性感覚整合性の主効果 ($F(1, 15) = 1.69, p = .213, \eta_G^2 < .01$)、脅威性 × アバタ形状の交互作用 ($F(1, 15) = 0.74, p = .402, \eta_G^2 < .01$)、脅威性 × 体性感覚整合性の交互作用 ($F(1, 15) = 0.00, p = .985, \eta_G^2 < .01$)、アバタ形状 × 体性感覚整合性の交互作用 ($F(1, 15) = 1.08, p = .315, \eta_G^2 < .01$)、および脅威性 × アバタ形状 × 体性感覚整合性の3要因交互作用 ($F(1, 15) = 0.41, p = .533, \eta_G^2 < .01$)のいずれも有意な効果は認められなかった。

3.3.3 小括

実験2の主分析（到達位置判断のPSE / JND、衝突時刻予測のCE / VE）では、統計的に有意な主効果および二要因交互作用は検出されなかった。また、到達位置判断のJNDおよび衝突時刻予測のCEで3要因交互作用は有意水準には達しなかったが、手形状アバタ条件を中心に記述的な差異がみられたため、本研究の操作範囲における効果の大きさと、課題感度・操作強度の観点から考察にて慎重に扱う。

第 4 章

考察

4.1 実験 1 の考察：視覚信頼性と参照点としての形状

実験 1 では、運動方向弁別における判断バイアス (PSE) と感度 (運動方向弁別閾) を指標として、アバタ形状 (手形状アバタ / 箱形状アバタ) および体性感覚・運動出力情報 (力発揮条件 / 膝上条件) の影響を検討した。高輝度条件 (実験 1-1) では、PSE および運動方向弁別閾の分散分析において主効果・交互作用はいずれも有意ではなかった。一方、PSE の 0° 比較では箱形状アバタ条件で接近方向への判断バイアスが観察された。低輝度条件 (実験 1-2) では、運動方向弁別閾においてアバタ形状の主効果が有意であり、箱形状アバタ条件は手形状アバタ条件よりも弁別閾が低かった。また PSE の 0° 比較では箱形状アバタかつ力発揮条件で接近バイアスが観察された。

■視覚信頼性が高い場合：体性感覚・運動出力情報の寄与が顕在化しにくい 高輝度条件では運動刺激の視認性が高く、運動方向弁別は主として視覚情報だけでも成立しやすかった可能性がある。一般に、知覚判断は利用可能な手がかりの相対的な信頼性に依拠して重みづけされるため、視覚情報の信頼性が高い状況では、体性感覚・運動出力情報の寄与は相対的に小さくなることが予測される [11]。本研究の高輝度条件で力発揮条件 / 膝上条件の効果が検出されなかった結果は、少なくとも本課題・本操作範囲においては、体性感覚・運動出力情報が弁別精度や判断バイアスを大きく左右するほど強くは関与しなかったことを示唆する。

■参照点としてのアバタ形状：精度とバイアスの分離 低輝度条件では、箱形状アバタ条件で運動方向弁別閾が小さく、視覚的に不確実な状況で周囲の安定した視覚構造 (参照点) が

4.1 実験1の考察：視覚信頼性と参照点としての形状

弁別精度を高めた可能性がある。ここで重要なのは、分散分析では条件間差が検出されない一方で、 0° 比較では一部条件で PSE の偏位が検出される点である。分散分析は条件間の相対差を評価するのに対し、 0° 比較は「各条件の PSE が 0° から系統的にずれているか」を評価する。したがって、箱形状アバタ条件で接近バイアスが観察されたことは、「箱形状アバタ条件の PSE が負側へ偏位しやすい」ことを示すが、その偏位量が手形状アバタ条件と統計的に明確に異なるとは限らない（分散の大きさや検出力の制約も含む）。この点を踏まえると、本研究の結果は、アバタ形状が判断バイアス（系統成分）と弁別精度（不確実性成分）に異なる影響を与えうること、およびその影響が視覚信頼性に依存して顕在化しうることを示す。

■低輝度で箱形状アバタかつ膝上条件の接近バイアスが消失した可能性 高輝度条件では箱形状アバタ条件で接近バイアスが観察された一方、低輝度条件では箱形状アバタかつ力発揮条件でのみ接近バイアスが観察され、箱形状アバタかつ膝上条件では 0° からの有意な偏位が検出されなかった。低輝度下では観察対象である球体の視認性が低下し、相対的にアバタ（参照点）へ注意が配分されやすくなると考えられる。その際、力発揮条件では実手をアバタ位置に配置し、課題応答時に力発揮条件を伴うため、固有感覚や接触感覚、運動出力に伴う信号が、視覚的身体情報（アバタ）と結びつきやすい。この結びつきは参照点としてのアバタの安定性を高めるだけでなく、身体表象（サイズ知覚や自己身体の境界）の更新を通じて外界の距離判断に影響しうる可能性がある（例：身体サイズが外界のサイズ・距離知覚に影響するという枠組み；[37, 38]）。本研究では箱形状アバタが実手を覆うような形状であったため、力発揮条件では実手よりも大きな「手の占有領域」として知覚され、運動刺激（球体）との相対距離が近く見積もられた結果、接近方向への判断バイアスとして表れた可能性がある。一方、膝上条件では実手位置が参照点から切り離されるため、アバタを基準とした距離・位置の推定が弱まり、接近バイアスが顕在化しにくかった可能性がある。この解釈は、低輝度条件で箱形状アバタが感度（運動方向弁別閾）を改善した一方、バイアス成分（PSE）の偏位は力発揮条件に限定されたという「感度とバイアスの分離」と整合的である。

4.2 実験2の考察：脅威性誘導と身体手がかりが時空間判断に及ぼす影響

なお、探索的に各条件の身体所有感スコアと課題指標（PSE・運動方向弁別閾）の相関を検討したが、いずれの条件においても有意な相関は確認されなかった（付録B, 表B.1）。今後は、参照点への注意配分や身体所有感の指標、および手（アバタ）のサイズ知覚の測定を導入し、上記の機序を直接検証することが望ましい。

■手（手形状アバタ）条件で効果が強く出なかった可能性 手刺激は注意を捕捉しうることが報告されているが [8, 9]、その効果は課題要求や刺激配置に依存する [10]。本研究の運動方向弁別は運動刺激自体の視覚情報に強く依存する課題であり、手形状が注意を引いたとしても、弁別に有利な参照点として機能するとは限らない。また、力発揮条件／膝上条件操作は「実手位置の固定・運動出力の関与」を変化させることを意図しているが、HMD環境では視覚手がかり（アバタ）自体が常に存在するため、体性感覚・運動出力情報の追加的寄与が小さくなった可能性もある。

以上より、手近傍空間における運動方向知覚は、体性感覚・運動出力情報によって一様に変調されるのではなく、視覚情報の信頼性と参照点の安定性に応じて、感度（不確実性成分）および判断バイアス（系統成分）に異なる形で現れると考えられる。

4.2 実験2の考察：脅威性誘導と身体手がかりが時空間判断に及ぼす影響

実験2では、到達位置判断（PSE／弁別閾〔JND〕）および衝突時刻予測（CE/VE）を用いて、脅威性（High/Low）、アバタ形状（手形状アバタ/箱形状アバタ）、体性感覚整合性（整合条件／不整合条件）が時空間判断に及ぼす影響を検討した。主分析の結果、PSEおよびVEでは主効果・交互作用はいずれも有意ではなく、JNDおよびCEでも3要因交互作用は有意水準には達しなかった。したがって、本研究の操作範囲と課題構造のもとでは、これらの要因が実験2の主要指標に与える影響は少なくとも大きくはないことが示唆される。

4.2 実験2の考察：脅威性誘導と身体手がかりが時空間判断に及ぼす影響

■課題固有のバイアス：条件を問わず共通する偏りの方向 条件間の差異を論じる前に、両課題に共通して観察された判断の偏りに触れておく。到達位置判断のPSEは全条件でおおむね正值であり、0degとの比較では多くの条件で有意差が認められた ($adj. p < .05$)。これは、包丁の到達位置を実際よりも手前側（未到達側）に見積もる傾向を示しており、垂線刺激（フラッシュ）の位置がアバタに接近して知覚された可能性を示唆する。一方、衝突時刻予測のCEも全体として正值であった。これは衝突時刻を遅く見積もる（包丁がまだ到達していないと判断する）傾向を反映しており、不可視区間において包丁の運動速度が減速すると暗黙に想定された可能性が考えられる [39, 40]。加えて、フットペダルによる反応入力 が衝突判断から回答までにラグを生じさせ、CEを正方向へ押し上げた可能性も排除できない。これらの課題固有バイアスは条件操作（脅威性・アバタ形状・体性感覚整合性）を問わず共通してみられたことから、本実験の判断には条件差よりも課題構造に由来する系統的偏りが支配的であった可能性がある。この点を前提として、以下では各要因の効果が検出されにくかった背景を個別に検討する。

■脅威性操作と手近傍空間：効果が検出されにくかった可能性 近づく脅威は、防御行動と結びついた手近傍空間の処理を変調しうるということが報告されている [4, 17, 18]。また、脅威は接近（looming）刺激の知覚にも影響しうる [19]。本研究は、包丁刺激の外観差（リアル調／おもちゃ調）と触覚刺激（素材の差）を組み合わせた脅威性誘導手続きを用いたが、VR環境では現実場面と比べて危険の帰結が限定されるため、脅威の「切迫感」や「防御反応」の強度が弱まり、効果が小さくなった可能性がある。没入環境における行動の現実性はプレゼンスや状況の尤もらしさ（plausibility）に依存することが指摘されており [12, 13]、本研究の脅威性操作が、PPSの防御成分を十分に喚起できたかは今後の検討課題である。

■体性感覚操作（整合/不整合）と効果の大きさ 本研究では、実手位置をアバタ位置に一致させる整合条件と、実手を膝上に置きアバタ位置と不一致にする不整合条件により、アバタに対する身体情報の関与しやすさを操作した。しかし、本実験では視覚的なアバタは常に呈示されており、かつ課題要求が「運動物体の時空間判断」に集中しているため、体性感

4.2 実験2の考察：脅威性誘導と身体手がかりが時空間判断に及ぼす影響

覚操作の影響が主要指標（PSE / JND / CE / VE）として顕在化しにくかった可能性がある。身体手がかりの効果は課題や予測可能性に依存して変化しうることが知られており [10]、本研究での体性感覚操作は「身体化の強さ」自体を主に変えるというより、「身体情報を参照点として使いやすいか」を相対的に変える範囲に留まった可能性がある。

■課題構造とランダム化：戦略防止が感度を下げた可能性 実験2では、速度や時間間隔を手がかりにした単純戦略を防ぐため、ISIのローピングや運動開始までの遅延、運動時間を擬似ランダム化した。このようなローピングは、望ましくない手がかりの利用を抑えるうえで有効とされる一方 [28]、時間的予測（temporal expectation）を形成しにくくし、感度を低下させうる [29, 30]。したがって、本研究の設計は「速度/時間で答える」ことを抑制する代わりに、条件差として現れる効果が小さい場合には検出力が下がり、主効果・2要因交互作用が検出されにくくなった可能性がある。

■統計的有意水準には達しなかった交互作用（JNDとCE）の解釈 到達位置判断のJNDおよび衝突時刻予測のCEにおける3要因交互作用はいずれも統計的有意水準には達しなかった（JND： $p = .056$ ，CE： $p = .063$ ）。しかし、条件平均を記述的にみると、特に手形状アバタ条件において、脅威性と体性感覚整合性（整合条件/不整合条件）の組合せに応じた差異がみられた。以下では、これらを踏まえた解釈可能性を述べるが、いずれも探索的であり、今後の追試で検証する必要がある。

到達位置判断（Flash）：JNDにみられた条件依存の差異（参照点競合の可能性）。JND（小さいほど弁別精度が高い）では、手形状アバタ条件で整合/不整合の差がHigh/Lowで反転するパターンが記述的にみられた。具体的には、High条件かつ手形状アバタ条件では整合（0.987 deg）より不整合（0.821 deg）の方がJNDが小さく、Low条件かつ手形状アバタ条件では整合（0.803 deg）より不整合（0.947 deg）の方がJNDが大きかった。一方、箱形状アバタ条件は全体にJNDが高めで（例：1.055, 0.936, 1.002, 0.931）、手形状アバタほど明瞭な反転は弱かった。本課題ではフラッシュ位置が固定であり、本来は「包丁の消失位置とフラッシュの比較」により判断が成立する。それにもかかわらず精度（JND）が条

4.2 実験2の考察：脅威性誘導と身体手がかりが時空間判断に及ぼす影響

件で変化するなら、フラッシュ以外の参照（例：アバタ＝身体参照）が判断過程に混入し、参照枠が競合した可能性がある。特に手形状アバタ×整合ではアバタが身体座標として立ち上がりやすく [15, 16]、High 条件では注意が包丁や衝突対象（アバタ側）へ引かれやすい [4, 19]。この組合せでは、「フラッシュ基準の比較」と「アバタ基準の比較（衝突の自分事化）」が併走し、試行ごとに重み付けが揺れることで不確実性が増え、JND が悪化した可能性がある。一方、不整合では身体参照としてのアバタの寄与が弱まり、比較がフラッシュ寄りに一本化して JND が改善したように見える。Low 条件で反転してみえる点については、注意捕捉が相対的に弱い状況では、整合の「身体座標の安定」が比較の助けになり、不整合ではその補助が減ることで JND が悪化した、といった対応付けも考えられる（断定はしない）。

到達位置判断：PSE が動きにくかった点との整合。 PSE は概ね 0.78–1.08 deg の範囲にあり、主効果・交互作用はいずれも有意ではなかった。フラッシュが固定参照である場合、参照が混ざっても平均的な偏り（PSE）として一方向に押されるより、まずは比較の揺らぎ（JND）として表れやすい、という上の説明と整合する。すなわち、参照枠の混入があったとしても、偏りは相殺されやすく、不確実性成分として残りやすい可能性がある。

衝突時刻予測（TTC）：CE にみられた条件依存の差異（予測と反応基準）。 CE（正ほど遅めの予測）は全体として正の値であったが、手形状アバタ条件では脅威性と整合/不整合の組合せに応じた差異が記述的にみられた。High 条件かつ手形状アバタ条件では整合（152 ms）より不整合（219 ms）の方が遅れが大きく、Low 条件かつ手形状アバタ条件では整合（188 ms）より不整合（169 ms）の方が遅れが小さかった。TTC 判断は不可視区間の外挿と「いつ反応するか」という反応基準の双方を含みうる [31, 32, 33]。High 条件かつ手形状アバタ条件 × 整合では衝突が自分事化しやすく、反応基準が安全側へ（早め）に寄ることによって遅れが小さくなった可能性がある。一方、High 条件かつ手形状アバタ条件 × 不整合では、見えている衝突対象（アバタ）と実手位置が不一致であるため、予測や反応基準が定まりにくく、確信待ちのような判断になって遅れが増えた可能性がある。Low 条件での反転については、「安全側に倒す必要が小さい状況では基準の立て方が変わる」といった説明は可能だ

4.3 総合考察

が、本データから断定はできない。

TTC：VE が動きにくい一方で High 条件かつ箱形状アバタ条件 × 整合が目立った点。

VE は主効果・交互作用が有意ではなかったが、記述的には High 条件かつ箱形状アバタ条件 × 整合でばらつきが大きかった (207 ms ; High 条件かつ箱形状アバタ条件の不整合は 163 ms) 。速度 × 出現位置の学習を抑える設計のもとでは、VE は課題難易度そのものよりも、戦略の揺れや外れ値に影響されやすい可能性がある。High 条件かつ箱形状アバタ条件 × 整合は、「実手はアバタ位置にある」一方で「見えているのが箱」であり、手がかりの整合が取りにくい組合せであるため、反応基準が試行ごとに揺れて VE が増えた可能性がある。

■**限界と今後の課題** 本研究のサンプルサイズは G*Power に基づき設定したが（方法節参照）、実際の効果が $f = .25$ より小さい場合、検出力が不足する。また、本研究では刺激の中心奥行を統一し、刺激配置を比較的一貫させたため（視差や距離手がかりの変動が小さい）、脅威性・身体手がかりが「距離や接近の切迫感」を介して効果を発揮する余地が限定された可能性もある。今後は、(i) 脅威性誘導の強度・持続の検討（主観評定・生理指標の併用など）、(ii) 体性感覚操作の強化（位置不一致の程度、能動運動の関与）、(iii) 課題感度の最適化（ロービング幅・試行数・難易度レンジの調整）により、効果が生じる条件と指標成分を明確化することが課題である。

4.3 総合考察

本研究は、手近傍空間における動的物体知覚を、身体手がかりと物体の身体関連性（脅威性）という二つの観点から、複数課題・複数指標で検討した。その結果、効果は単純な主効果として一貫して現れるというよりも、視覚刺激の信頼性や課題要求（比較／予測）に応じて、判断バイアス成分（PSE, CE）と感度成分（運動方向弁別閾, JND, VE）のどこに差異が現れやすいかが変化しうることが示唆された。

実験 1 では、視覚的信頼性が高い状況では身体手がかりの効果は顕在化しにくく、一方で視覚的信頼性が低い状況では、参照枠や比較手がかりの安定性が感度成分に反映されやすい

4.3 総合考察

可能性が示された。実験 2 では主分析の多くが有意水準には達しなかったものの、固定参照（フラッシュ）に対して身体参照（アバタ）が混入しうる状況では、平均的な偏り（PSE）よりも、まず感度成分（JND）として記述的な差異が表れうるという解釈が得られた。さらに、TTC 判断では外挿（予測）と反応基準が混在するため、脅威性と身体情報の整合性が反応基準の置き方に影響し、条件依存的な差として現れる可能性がある。

以上の観点から、PPS 内の動的物体知覚を理解する際には、「身体参照が入る／入らない」という二分法ではなく、参照点の競合や手がかりの重み付けが、課題構造と刺激信頼性に依存して変化する枠組みで捉えることが有効と考えられる。また、実験 2 では脅威性誘導手続き直後の主観評価において High の方が Low より高かったが、両タスク後では差が有意水準に達しなかった。このことは、タスク中の経験による慣れや再評価によって脅威性の主観評価が弱まった可能性を示しており、実験 2 で脅威性効果が限定的であった点の一因となり得る。

第5章

まとめ

本研究では、手近傍空間における動的物体知覚が、身体手がかり及び物体の身体関連性によってどのように変調されるかを検討した。実験1では運動方向弁別課題（PSE, 運動方向弁別閾）を、実験2では到達位置判断課題（PSE, 弁別閾 [JND]）および衝突時刻予測課題（CE, VE）を用い、比較と予測の双方から評価した。

実験1では、高輝度条件においてアバタ形状および体性感覚・運動出力情報（Present/Absent）の主効果・交互作用はいずれも有意ではなかったが、Box条件では0°からの偏位として接近方向への判断バイアスが観察された。低輝度条件では、運動方向弁別閾にアバタ形状の主効果が認められ（BoxがHandより低い）、PSEは有意な効果が認められなかった。実験2では、到達位置判断のPSEおよび衝突時刻予測のVEに有意な効果は認められなかった。一方、到達位置判断のJNDおよび衝突時刻予測のCEでは3要因交互作用は有意水準には達しなかったものの、Hand条件を中心に、脅威性と体性感覚整合性（Congruent/Incongruent）の組合せに応じた記述的な差異がみられた。

以上より、身体手がかりや脅威性は動的物体知覚を一様に変調するのではなく、視覚情報の信頼性や課題要求に応じて、判断バイアス成分と感度成分のどこに影響が現れやすいかが変化しうることを示唆された。特に、固定参照（フラッシュ）に対して身体参照（アバタ）が混入しうる状況では、感度成分として差異が表れやすい可能性がある。

実験2はサンプルサイズが16名であり、主効果・交互作用の検出には限界がある。今後は、参照点競合仮説を直接検証するために、フラッシュ位置の固定/可変、アバタ提示の有無、参照点の信頼性操作を組み合わせた追加実験により、再現性と一般性を検証する必要がある。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、終始懇切丁寧なご指導とご鞭撻を賜りました指導教員の繁樹博昭教授に心より感謝申し上げます。先生には、研究テーマの着想段階から問題意識の明確化、実験計画の立案、データ解析手法の選定、さらには論文執筆に至るまで、研究の全過程にわたり多岐にわたる貴重なご助言をいただきました。研究が行き詰まった際にも、的確なご指摘と温かい励ましのお言葉をくださり、幾度となく前に進む力をいただきました。また、研究に対する真摯な姿勢や科学的思考の在り方、さらには研究者としての倫理観や学問に向き合う心構えについても、日々のご指導を通じて多くを学ばせていただきました。先生のもとで研究に取り組むことができたことは、私の大学院生活における何よりの財産であり、深く御礼申し上げます。副査として本論文をご精読いただき、適切なお助言を賜りました篠森敬三教授に厚く御礼申し上げます。篠森先生には、専門的な観点から本研究の理論的枠組みや考察の妥当性について鋭いご指摘をいただき、研究の学術的価値を高めるうえで大変重要な示唆を賜りました。先生のご指導により、自らの研究をより広い視野から捉え直す契機を得ることができました。同じく副査をお引き受けくださいました門田宏准教授にも深く御礼申し上げます。門田先生には、実験手法の精度や結果の解釈について丁寧かつ具体的なご助言をいただきました。先生からいただいた建設的なご指摘は、本研究の方法論的な厳密性を向上させるうえで不可欠なものであり、論文をより良い形で完成させることができました。同期である佐藤希来氏、高尾優一氏には、日頃のゼミや研究ミーティングを通じて有意義な意見交換をさせていただきました。互いの研究について率直に議論し合い、時に厳しく、時に励まし合いながら研究を進めることができたことは、大変心強く、かけがえのない経験でありました。実験の準備や予備実験においても多大な協力をいただき、研究を円滑に進めることができました。ともに切磋琢磨した仲間として、心より感謝いたします。実験にご協力いただきました参加者の皆様には、お忙しい中貴重なお時間を割いていただき、誠にありがとうございました。皆様の真摯なご協力がなければ、十分なデータを収集することは

謝辞

叶わず、本研究の完成はありませんでした。ここに記して心より御礼申し上げます。また、日々の研究活動を支えてくださった研究室の後輩の皆様にも感謝の意を表します。実験補助や研究室の運営業務に積極的に取り組んでくださったおかげで、私自身の研究に集中する環境を得ることができました。皆様との日常的な交流は、研究生活に活力を与えてくれるものでありました。加えて、大学院における研究活動を経済的に支援してくださった関係各位にも御礼申し上げます。皆様のご支援により、研究に必要な設備や資料を十分に活用することができました。最後に、長きにわたる学生生活を温かく見守り、常に支えてくださった家族に心からの感謝を捧げます。研究に没頭する日々の中で、いつも変わらぬ理解と応援を送ってくれた家族の存在は、何よりの支えでありました。本研究に関わってくださった全ての皆様に改めて深く感謝申し上げ、謝辞といたします。

参考文献

- [1] Rizzolatti, G., Fadiga, L., Fogassi, L., & Gallese, V. (1997). The space around us. *Science*, *277*(5323), 190–191.
- [2] di Pellegrino, G., & Làdavas, E. (2015). Peripersonal space in the brain. *Neuropsychologia*, *66*, 126–133. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.11.011>
- [3] Serino, A. (2019). Peripersonal space (PPS) as a multisensory interface between the individual and the environment, defining the space of the self. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *99*, 138–159. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.01.016>
- [4] Graziano, M. S., & Cooke, D. F. (2006). Parieto-frontal interactions, personal space, and defensive behavior. *Neuropsychologia*, *44*(6), 845–859.
- [5] Coello, Y., & Cartaud, A. (2021). The interrelation between peripersonal action space and defensive space in social anxiety. *Frontiers in Human Neuroscience*, *15*, 636124. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.636124>
- [6] Makin, T. R., Holmes, N. P., & Zohary, E. (2008). Is that near my hand? Multisensory representation of peripersonal space in human intraparietal sulcus. *Journal of Neuroscience*, *28*(4), 731–740.
- [7] Spence, C., Pavani, F., Maravita, A., & Holmes, N. (2004). Multisensory contributions to the 3-D representation of visuotactile peripersonal space in humans: Evidence from the crossmodal congruency task. *Journal of Physiology—Paris*, *98*(1–3), 171–189. <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2004.03.008>
- [8] 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.

参考文献

- [9] Abrams, R. A., Davoli, C. C., Du, F., Knapp, W. H., & Paull, D. (2008). Altered vision near the hands. *Cognition*, *107*(3), 1035–1047.
- [10] Kandula, M., Hofman, D., & Dijkerman, H. C. (2017). Visuo-tactile interactions are dependent on the predictive value of the visual stimulus. *Neuropsychologia*, *105*, 12–20.
- [11] Ernst, M. O., & Banks, M. S. (2002). Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion. *Nature*, *415*(6870), 429–433. <https://doi.org/10.1038/415429a>
- [12] Sanchez-Vives, M. V., & Slater, M. (2005). From presence to consciousness through virtual reality. *Nature Reviews Neuroscience*, *6*(4), 332–339. <https://doi.org/10.1038/nrn1651>.
- [13] Slater, M. (2009). Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *364*(1535), 3549–3557. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0138>.
- [14] Bohil, C. J., Alicea, B., & Biocca, F. A. (2011). Virtual reality in neuroscience research and therapy. *Nature Reviews Neuroscience*, *12*(12), 752–762. <https://doi.org/10.1038/nrn3122>.
- [15] Tsakiris, M. (2010). My body in the brain: A neurocognitive model of body-ownership. *Neuropsychologia*, *48*(3), 703–712. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.09.034>
- [16] Kilteni, K., Groten, R., & Slater, M. (2012). The sense of embodiment in virtual reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, *21*(4), 373–387. https://doi.org/10.1162/PRES_a.00124
- [17] de Haan, A. M., Smit, M., van der Stigchel, S., & Dijkerman, H. C. (2016). Approaching threat modulates visuotactile interactions in peripersonal space. *Exper-*

参考文献

- imental Brain Research*, 234(7), 1875–1884. <https://doi.org/10.1007/s00221-016-4601-1>
- [18] Taffou, M., & Viaud-Delmon, I. (2014). Cynophobic fear adaptively extends peri-personal space. *Frontiers in Psychiatry*, 5, 122. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2014.00122>
- [19] Vagnoni, E., Lourenco, S. F., & Longo, M. R. (2012). Threat modulates perception of looming visual stimuli. *Current Biology*, 22(19), R826–R827. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.07.053>
- [20] Maravita, A., & Iriki, A. (2004). Tools for the body (schema). *Trends in Cognitive Sciences*, 8(2), 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.12.008>.
- [21] Kalckert, A., & Ehrsson, H. H. (2012). Moving a rubber hand that feels like your own: A dissociation of ownership and agency. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 40. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00040>.
- [22] 橋本照夫・入来篤史 (2014年6月13日). 体性感覚. 脳科学辞典. (参照 2026年1月30日) <https://bsd.neuroinf.jp/wiki/%E4%BD%93%E6%80%A7%E6%84%9F%E8%A6%9A>
- [23] Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A.-S., McNamara, J. O., & Williams, S. M. (2001). *Neuroscience* (2nd ed.). Sinauer Associates. (NCBI Bookshelf 版) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK10799/>
- [24] Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175–191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>
- [25] Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., & Lang, A.-G. (2009). Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, 41(4), 1149–1160. <https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.1149>
- [26] HTC Corporation. (n.d.). *VIVE Pro Eye Specs & User Guide*. (ウェブページ) . 2026

参考文献

- 年 1 月 29 日閲覧. <https://developer.vive.com/resources/hardware-guides/vive-pro-eye-specs-user-guide/>
- [27] 井関龍太. (2025 年 7 月 19 日). ANOVA 君. (ウェブページ) . 2026 年 1 月 29 日閲覧. <https://riseki.cloudfree.jp/?ANOVA>
- [28] Dai, H., & Michey, C. (2010). On the choice of adequate randomization ranges for limiting the use of unwanted cues in same-different, dual-pair, and oddity tasks. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *72*(2), 538–547. <https://doi.org/10.3758/APP.72.2.538>
- [29] Los, S. A., Kruijne, W., & Meeter, M. (2014). Outlines of a multiple trace theory of temporal preparation. *Frontiers in Psychology*, *5*, 1058. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01058>
- [30] Rohenkohl, G., Cravo, A. M., Wyart, V., & Nobre, A. C. (2012). Temporal expectation improves the quality of sensory information. *Journal of Neuroscience*, *32*(24), 8424–8428. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0804-12.2012>
- [31] Schiff, W., & Detwiler, M. L. (1979). Information used in judging impending collision. *Perception*, *8*(6), 647–658. <https://doi.org/10.1068/p080647>
- [32] Gray, R., & Thornton, I. M. (2001). Exploring the link between time to collision and representational momentum. *Perception*, *30*(8), 1007–1022. <https://doi.org/10.1068/p3220>
- [33] Lugtigheid, A. J., & Welchman, A. E. (2011). Evaluating methods to measure time-to-contact. *Vision Research*, *51*(20), 2234–2241. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2011.08.019>
- [34] Wichmann, F. A., & Hill, N. J. (2001). The psychometric function: I. Fitting, sampling, and goodness of fit. *Perception & Psychophysics*, *63*(8), 1293–1313. <https://doi.org/10.3758/BF03194544>
- [35] Olejnik, S., & Algina, J. (2003). Generalized eta and omega squared statistics:

参考文献

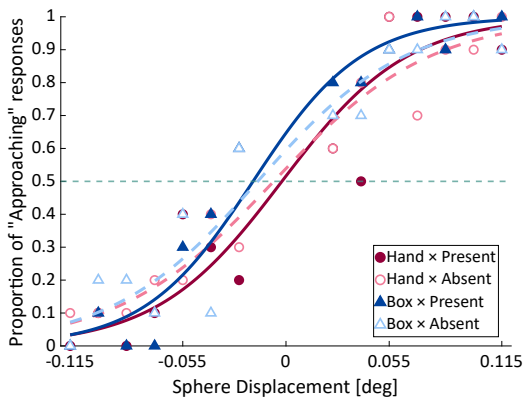
- Measures of effect size for some common research designs. *Psychological Methods*, 8(4), 434–447. <https://doi.org/10.1037/1082-989X.8.4.434>
- [36] Bakeman, R. (2005). Recommended effect size statistics for repeated measures designs. *Behavior Research Methods*, 37(3), 379–384. <https://doi.org/10.3758/BF03192707>
- [37] Proffitt, D. R. (2006). Embodied perception and the economy of action. *Perspectives on Psychological Science*, 1(2), 110–122.
- [38] van der Hoort, B., Guterstam, A., & Ehrsson, H. H. (2011). Being Barbie: The size of one's own body determines the perceived size of the world. *PLOS ONE*, 6(5), e20195. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020195>
- [39] Hubbard, T. L. (2005). Representational momentum and related displacements in spatial memory: A review of the findings. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(5), 822–851. <https://doi.org/10.3758/BF03196775>
- [40] McCloskey, M. (1983). Intuitive physics. *Scientific American*, 248(4), 122–130.

付録 A

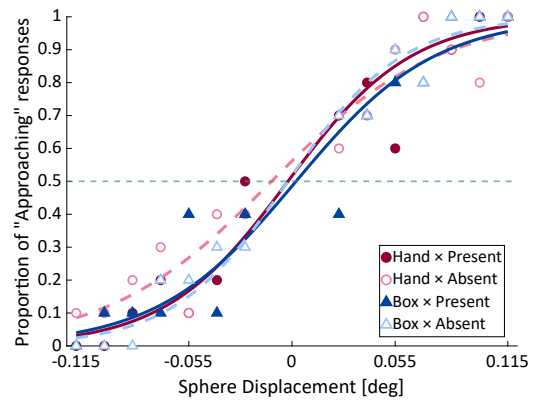
心理測定関数の個人フィッティング

実験 1-1 (高輝度) : 各参加者の心理測定関数 (全 24 名)

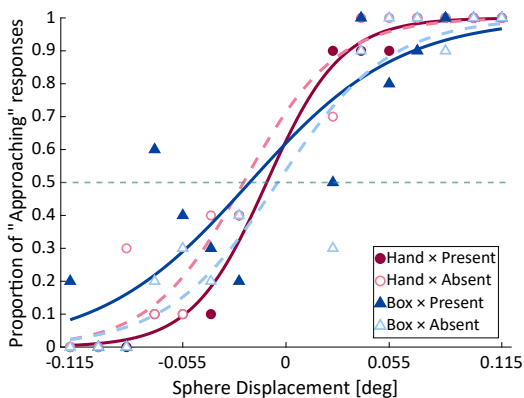
各参加者の心理測定関数フィッティング結果を以下に示す。



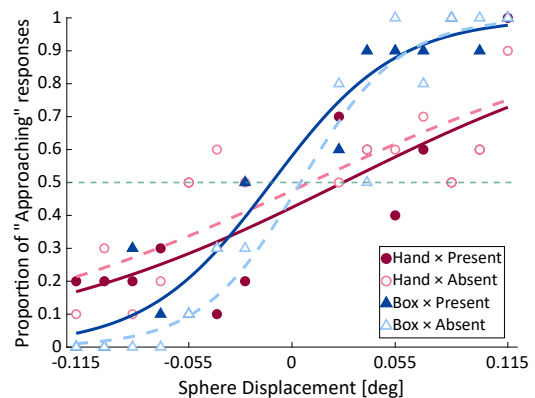
参加者 1



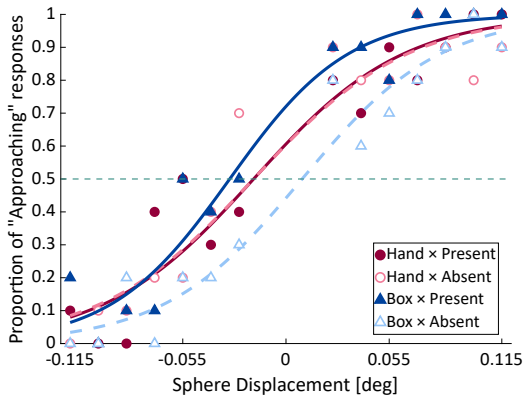
参加者 2



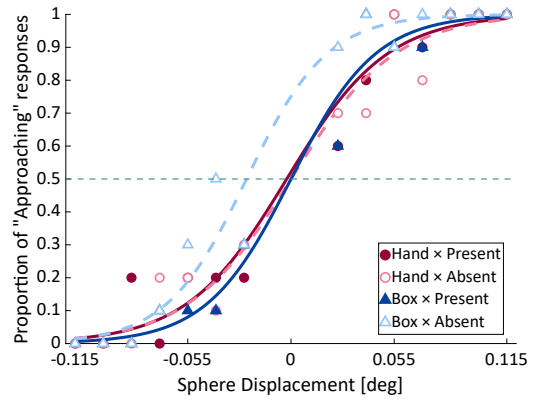
参加者 3



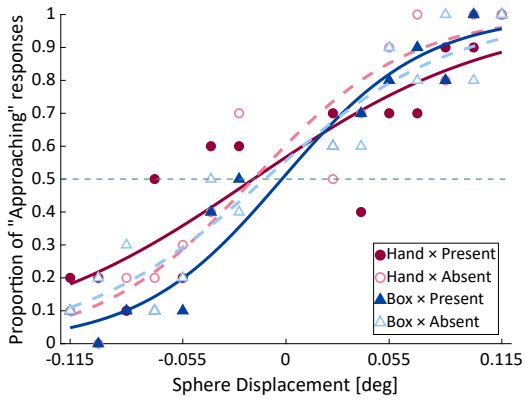
参加者 4



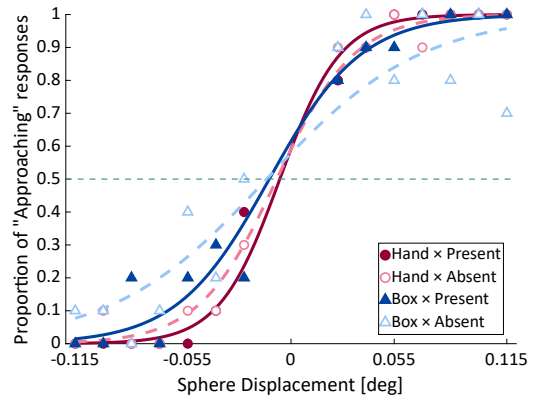
参加者 5



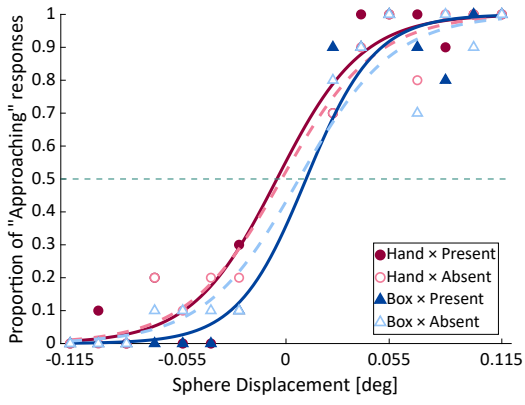
参加者 6



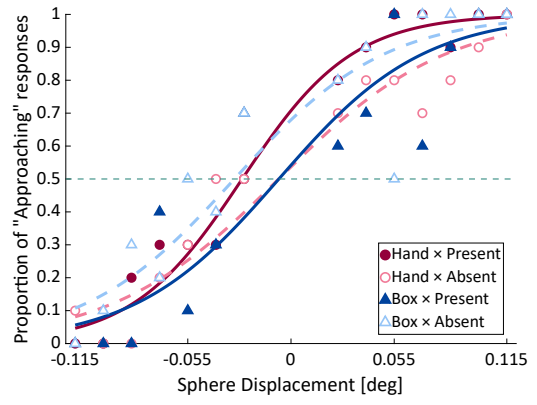
参加者 7



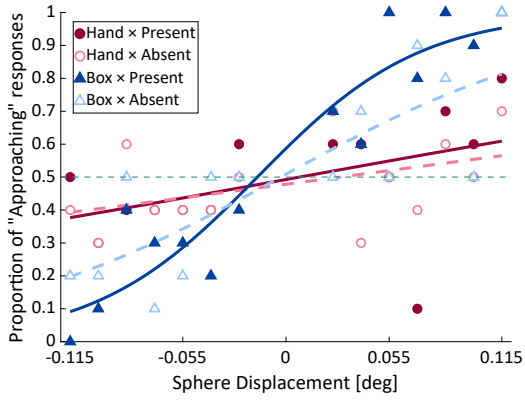
参加者 8



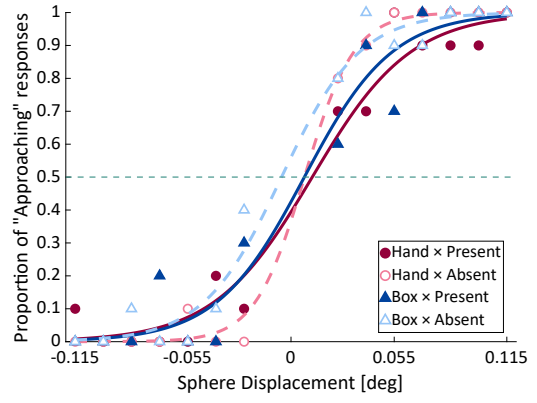
参加者 9



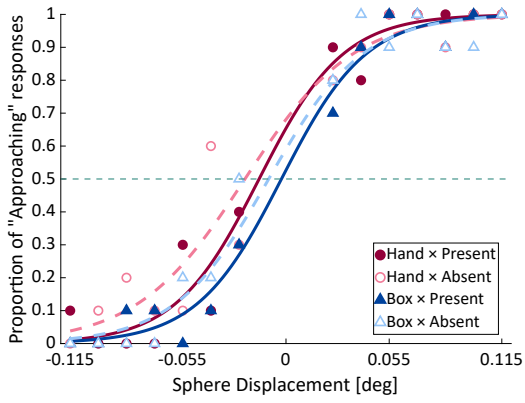
参加者 10



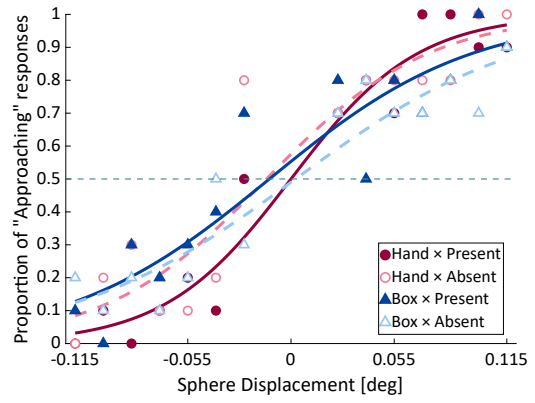
参加者 11



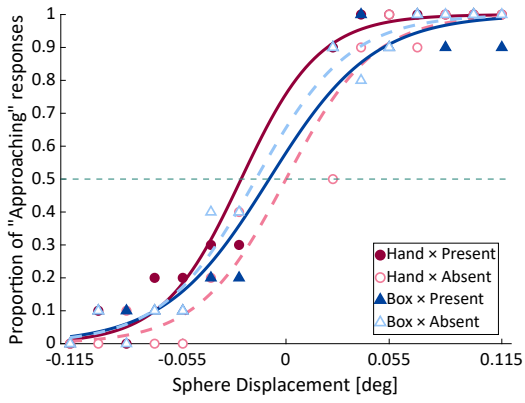
参加者 12



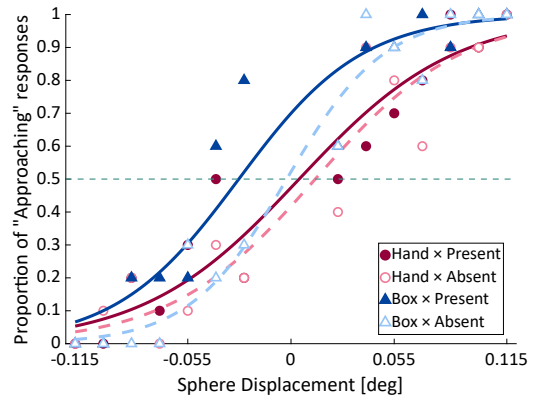
参加者 13



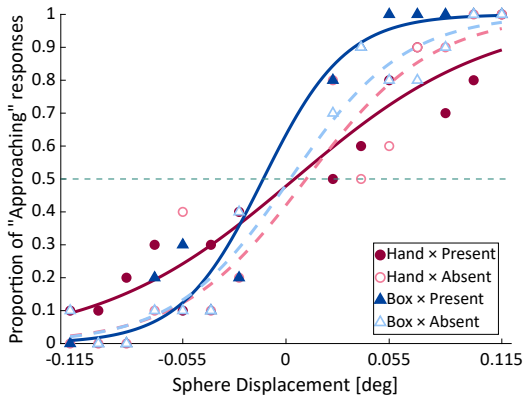
参加者 14



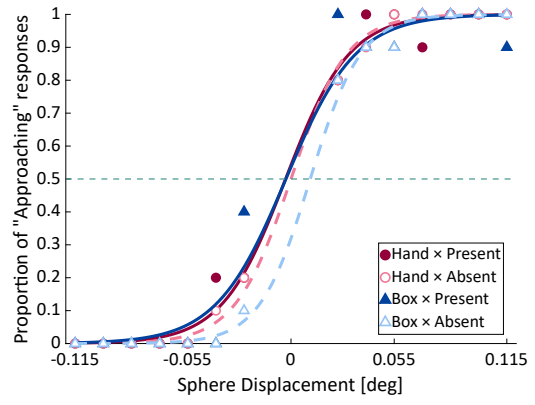
参加者 15



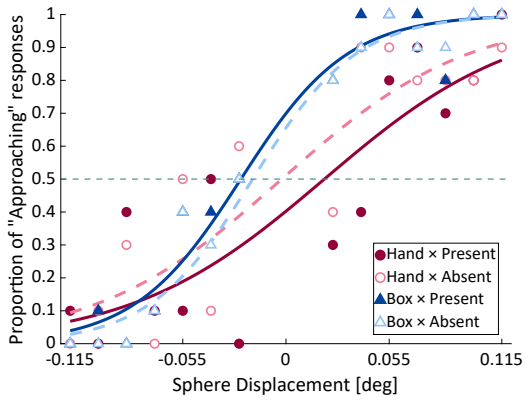
参加者 16



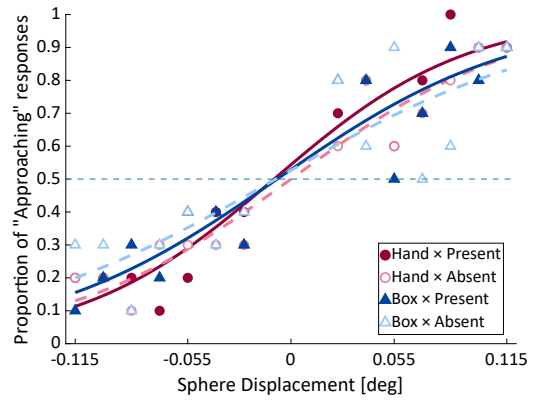
参加者 17



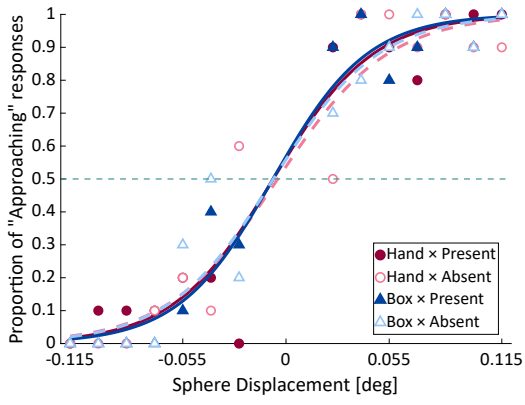
参加者 18



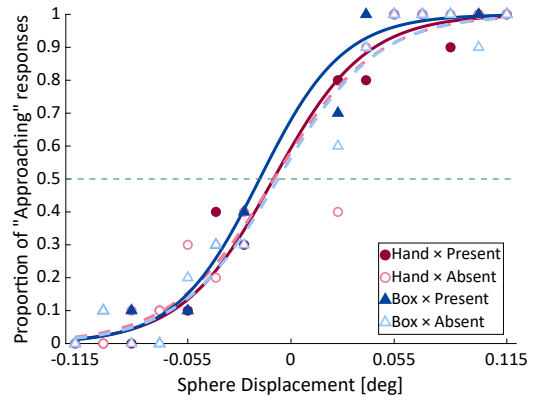
参加者 19



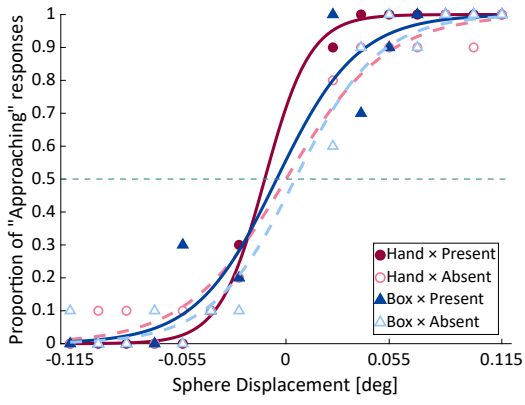
参加者 20



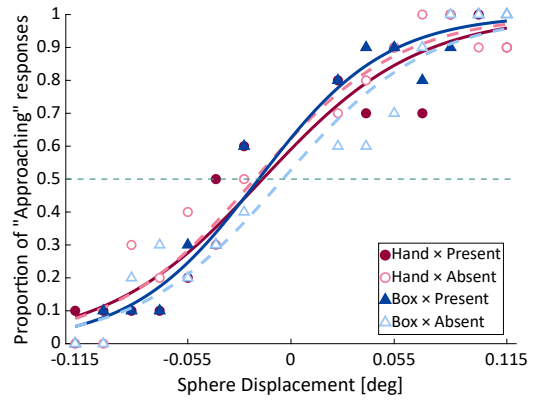
参加者 21



参加者 22



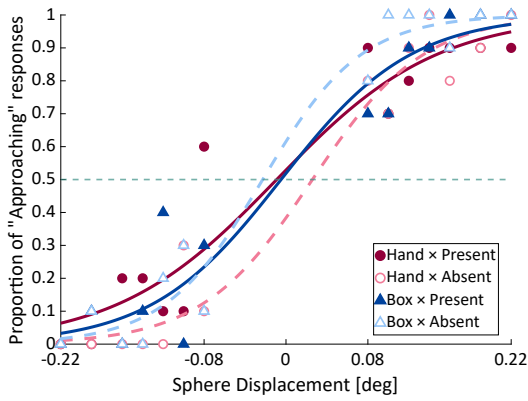
参加者 23



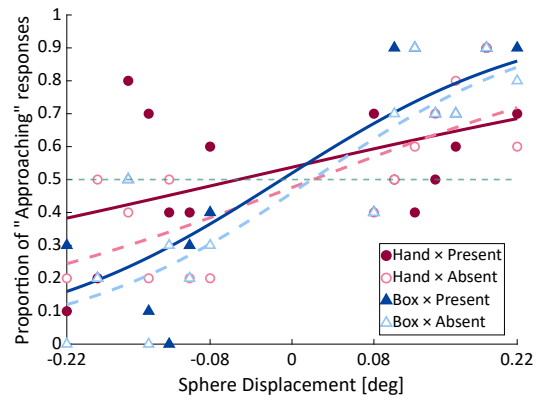
参加者 24

実験 1-2 (低輝度) : 各参加者の心理測定関数 (全 26 名)

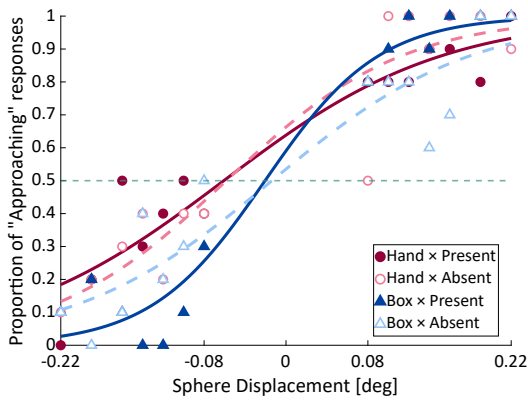
各参加者の心理測定関数フィッティング結果を以下に示す。



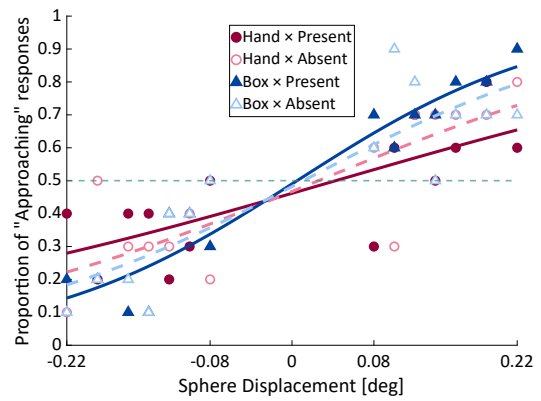
参加者 1



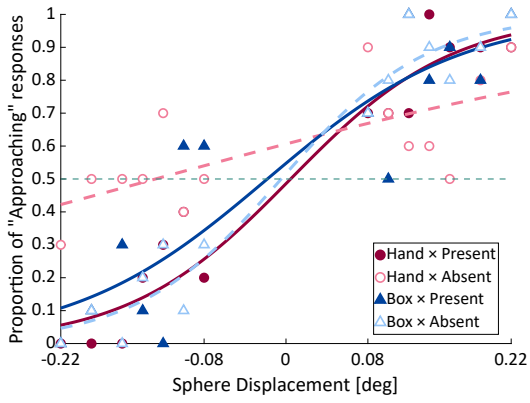
参加者 2



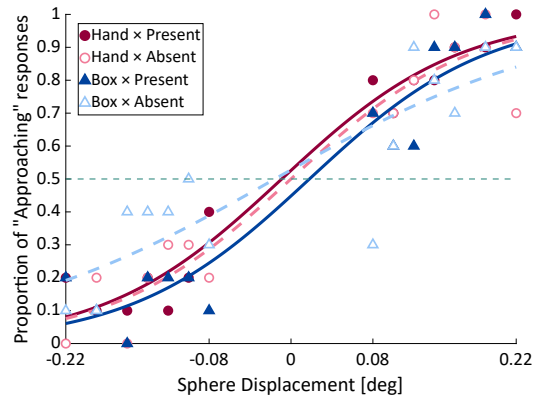
参加者 3



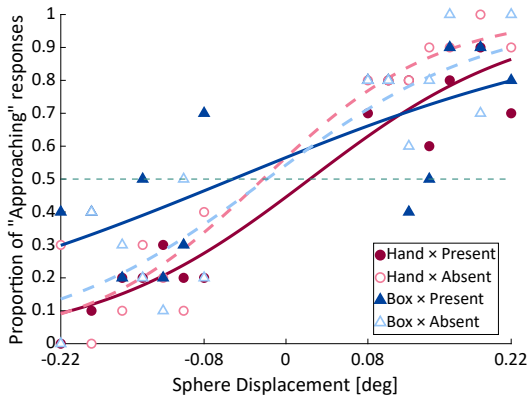
参加者 4



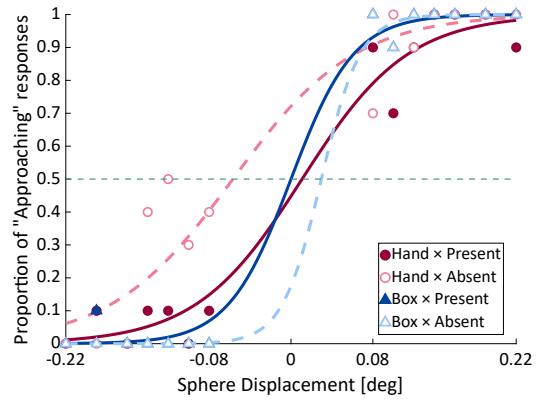
参加者 5



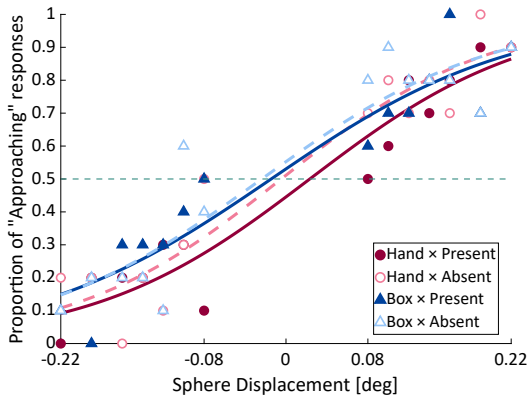
参加者 6



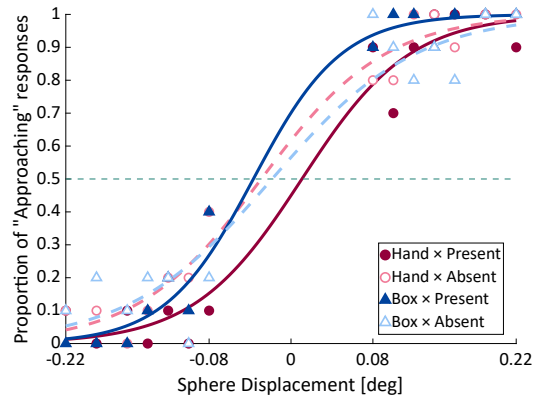
参加者 7



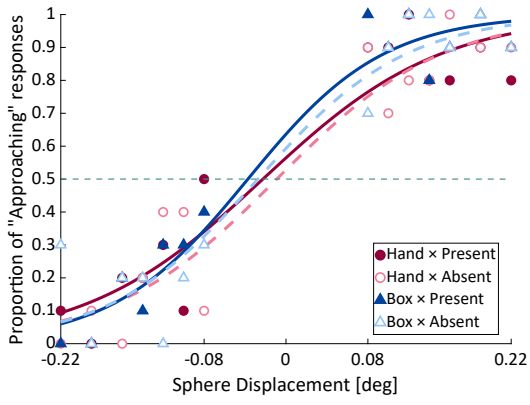
参加者 8



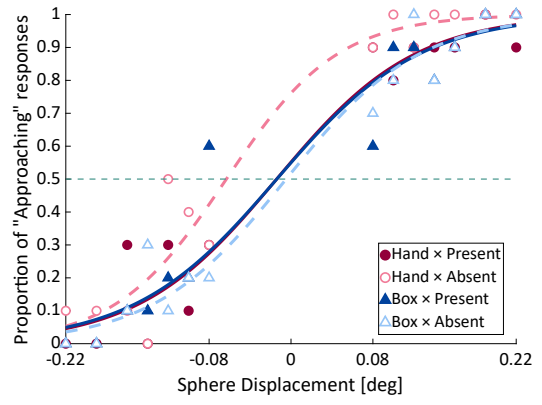
参加者 9



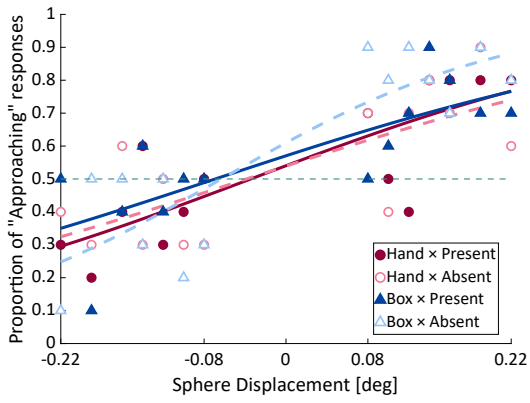
参加者 10



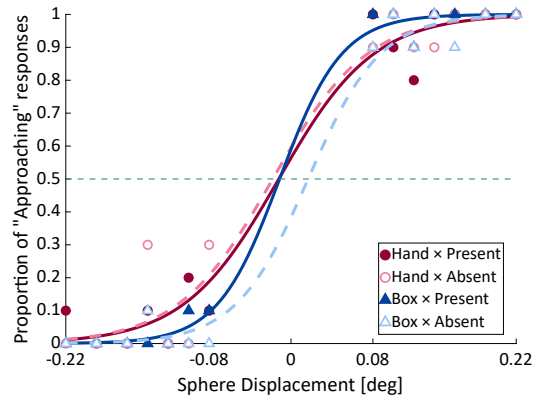
参加者 11



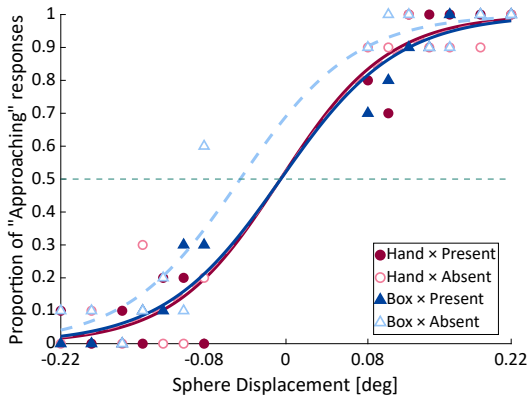
参加者 12



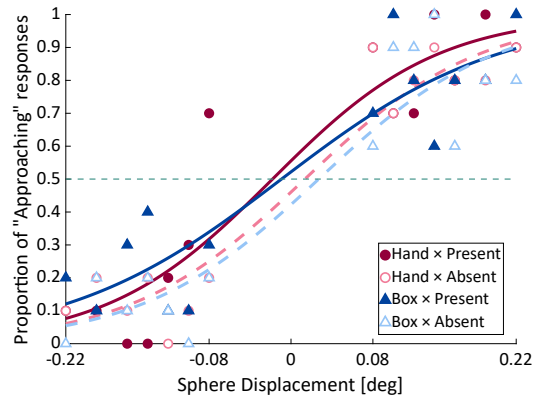
参加者 13



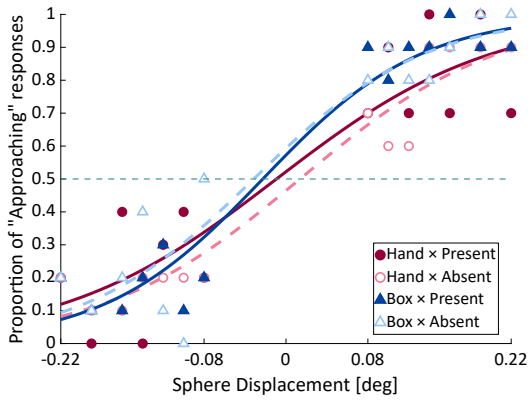
参加者 14



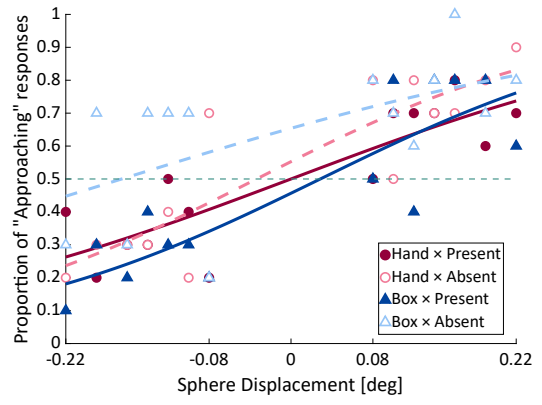
参加者 15



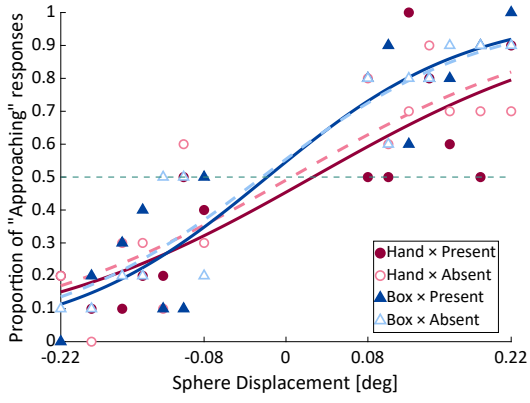
参加者 16



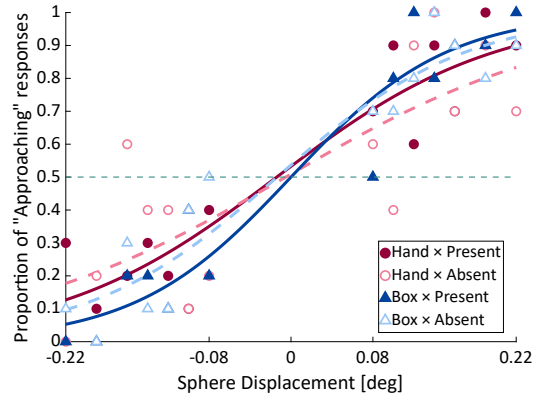
参加者 17



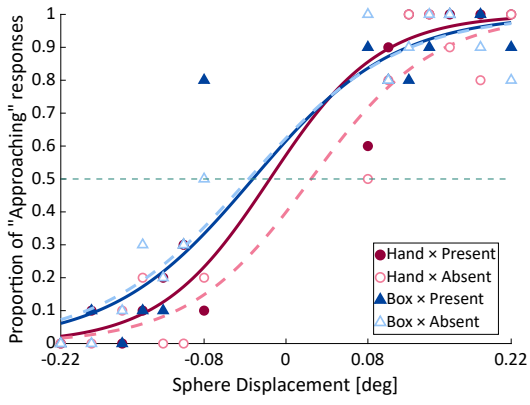
参加者 18



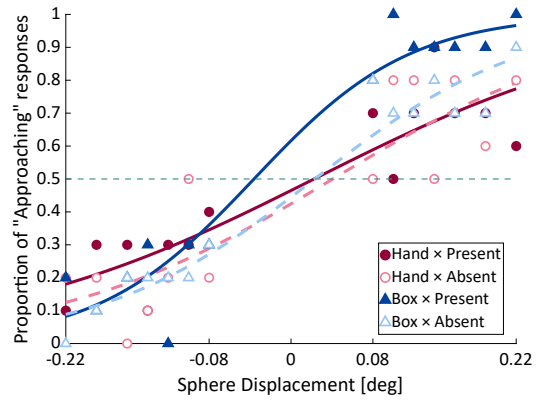
参加者 19



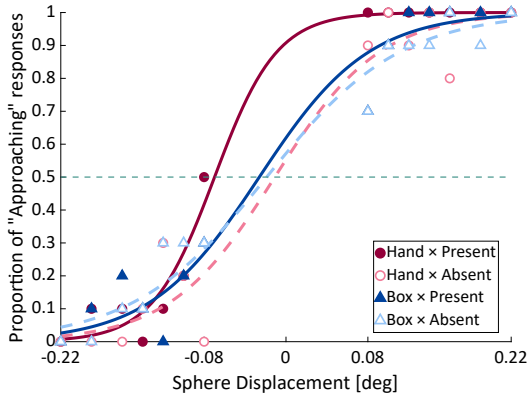
参加者 20



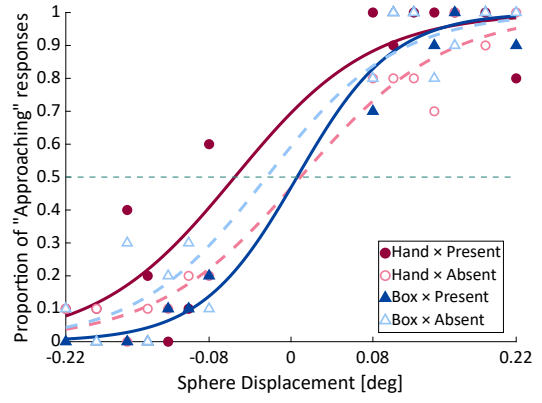
参加者 21



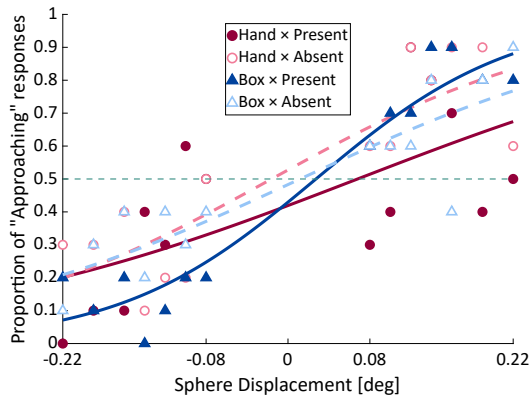
参加者 22



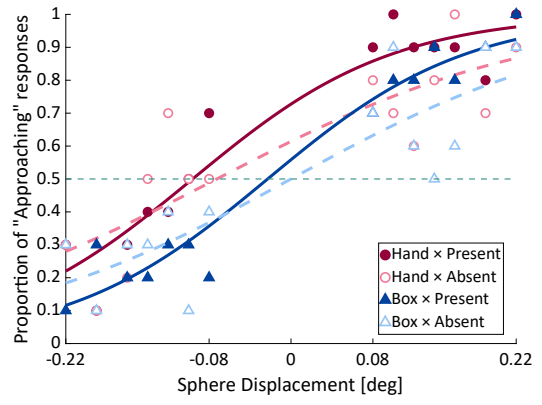
参加者 23



参加者 24



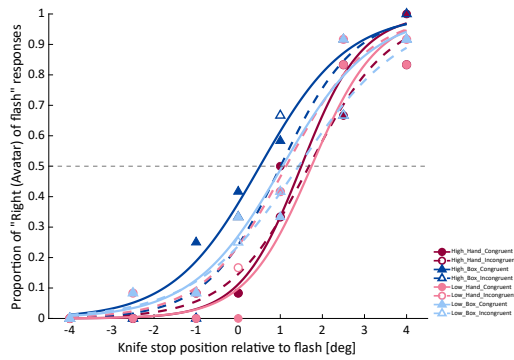
参加者 25



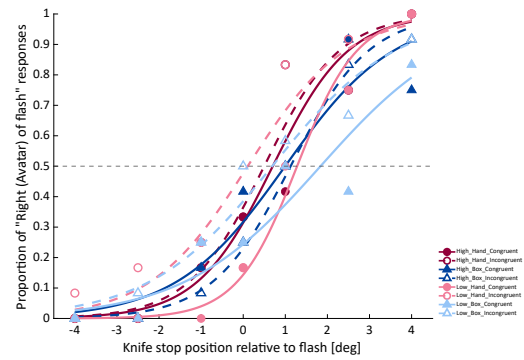
参加者 26

実験 2（到達位置判断）：各参加者の心理測定関数（全 16 名）

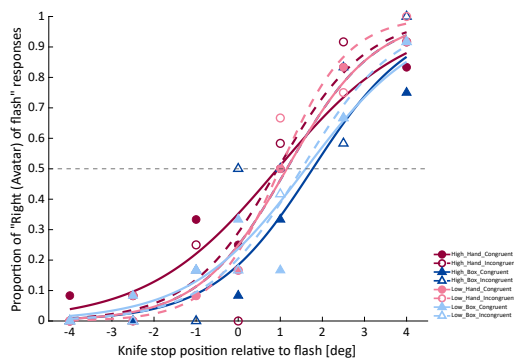
各参加者の心理測定関数フィッティング結果を以下に示す。



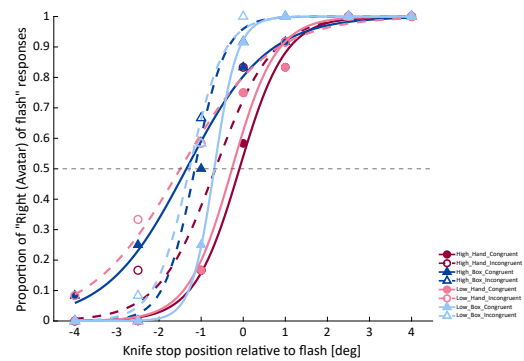
参加者 1



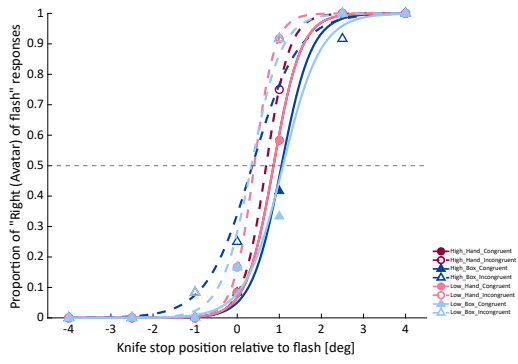
参加者 2



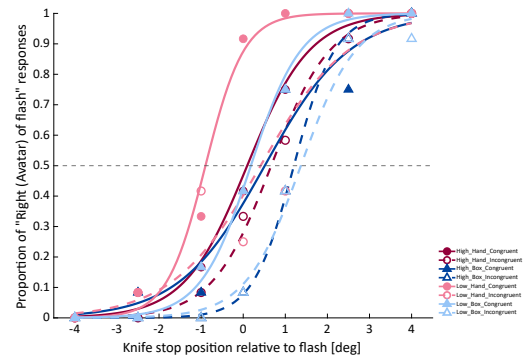
参加者 3



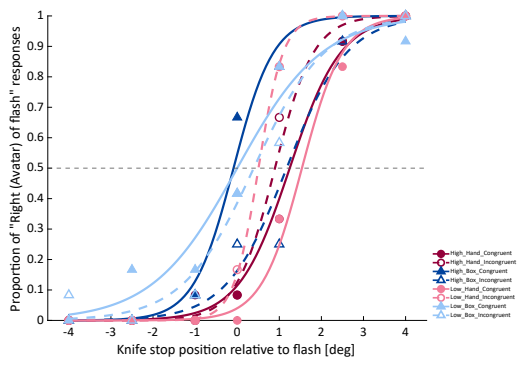
参加者 4



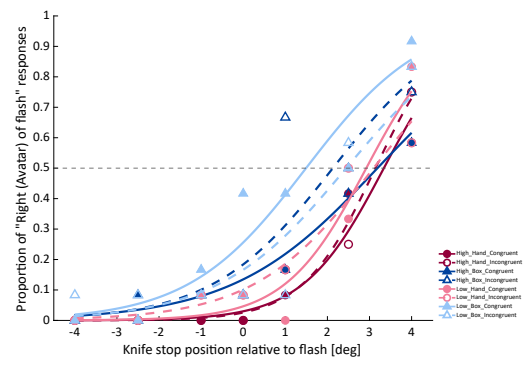
参加者 5



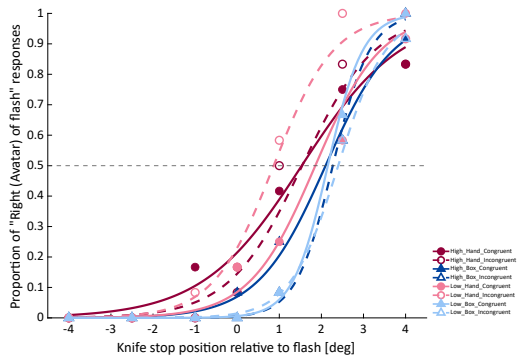
参加者 6



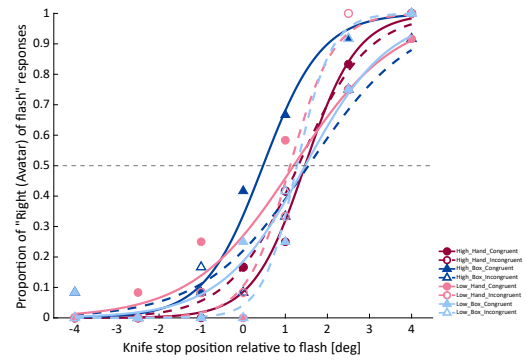
参加者 7



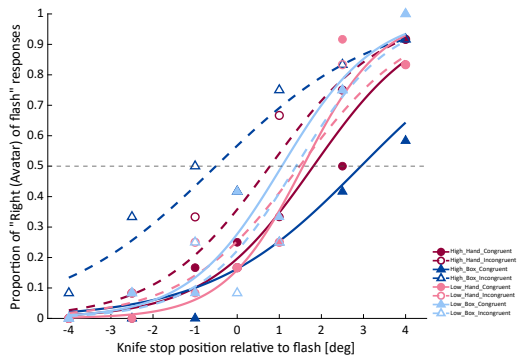
参加者 8



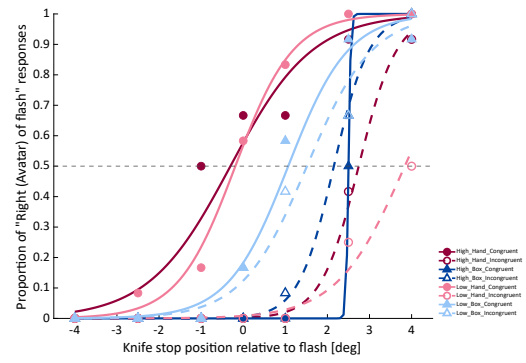
参加者 9



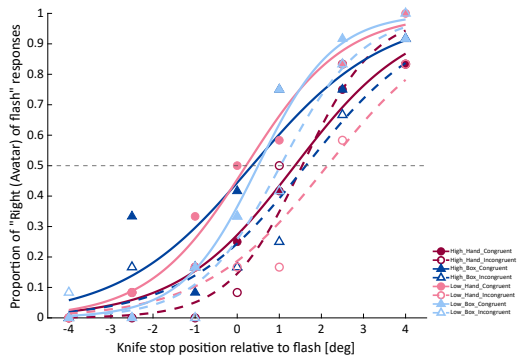
参加者 10



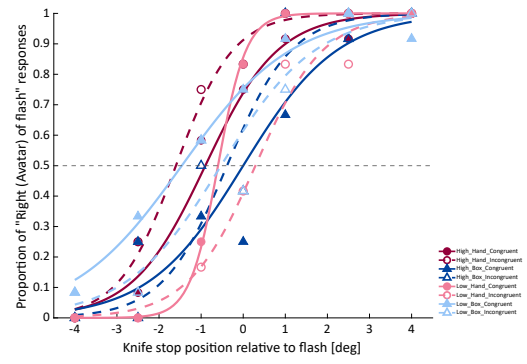
参加者 11



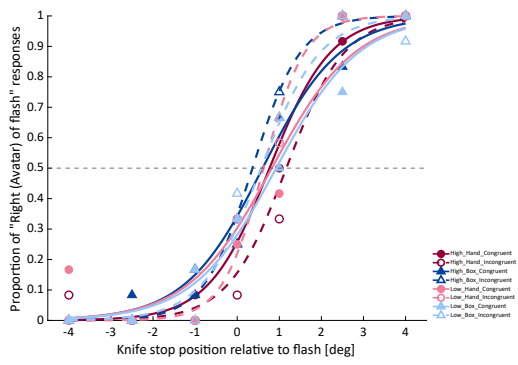
参加者 12



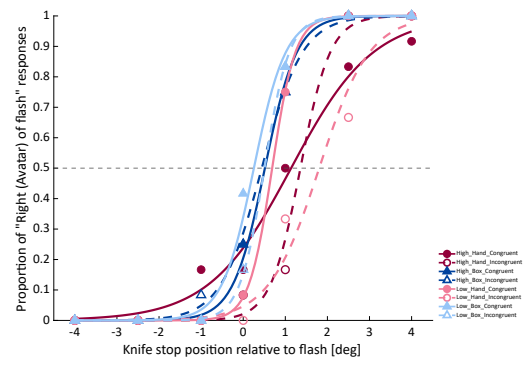
参加者 13



参加者 14



参加者 15



参加者 16

付録 B

操作チェックと質問紙原文

B.1 身体化質問紙（操作チェック）

身体化質問紙は 7 件法で実施した。Ownership は Q1 から Q3 の平均，Agency は Q5 から Q7 の平均，Overall は Q1 から Q3 および Q5 から Q7 の平均として算出した（1 から 7）。

質問紙項目（7 件法）



手アバタ 	箱アバタ 
<ol style="list-style-type: none">1. 自分の手を見ているかのように感じた2. 操作した身体が自分の身体の一部のように感じた3. 操作した身体が自分の手のように感じた4. 今回のタスクはどの程度難しいと感じましたか5. 操作した身体は、まるで自分の意志に従うように、思った通りに動いた6. 操作した身体の動きを自分が制御しているように感じた7. 操作した身体の動きを自分が引き起こしているように感じた8. タスクに取り組むこと自体どの程度楽しいと感じましたか	<ol style="list-style-type: none">1. 自分の手を見ているかのように感じた2. 操作したオブジェクトが自分の身体の一部のように感じた3. 操作したオブジェクトが自分の手のように感じた4. 今回のタスクはどの程度難しいと感じましたか5. 操作したオブジェクトは、まるで自分の意志に従うように、思った通りに動いた6. 操作したオブジェクトの動きを自分が制御しているように感じた7. 操作したオブジェクトの動きを自分が引き起こしているように感じた8. タスクに取り組むこと自体どの程度楽しいと感じましたか

図 B.1 身体化質問紙の項目（7 件法）

B.1 身体化質問紙（操作チェック）

実験 1-1（高輝度）：Overall

実験 1-1（高輝度条件）の身体化スコア（Overall）の条件平均（平均 \pm SE）および参加者内の対応をそれぞれ図 B.2 および図 B.3 に示す。

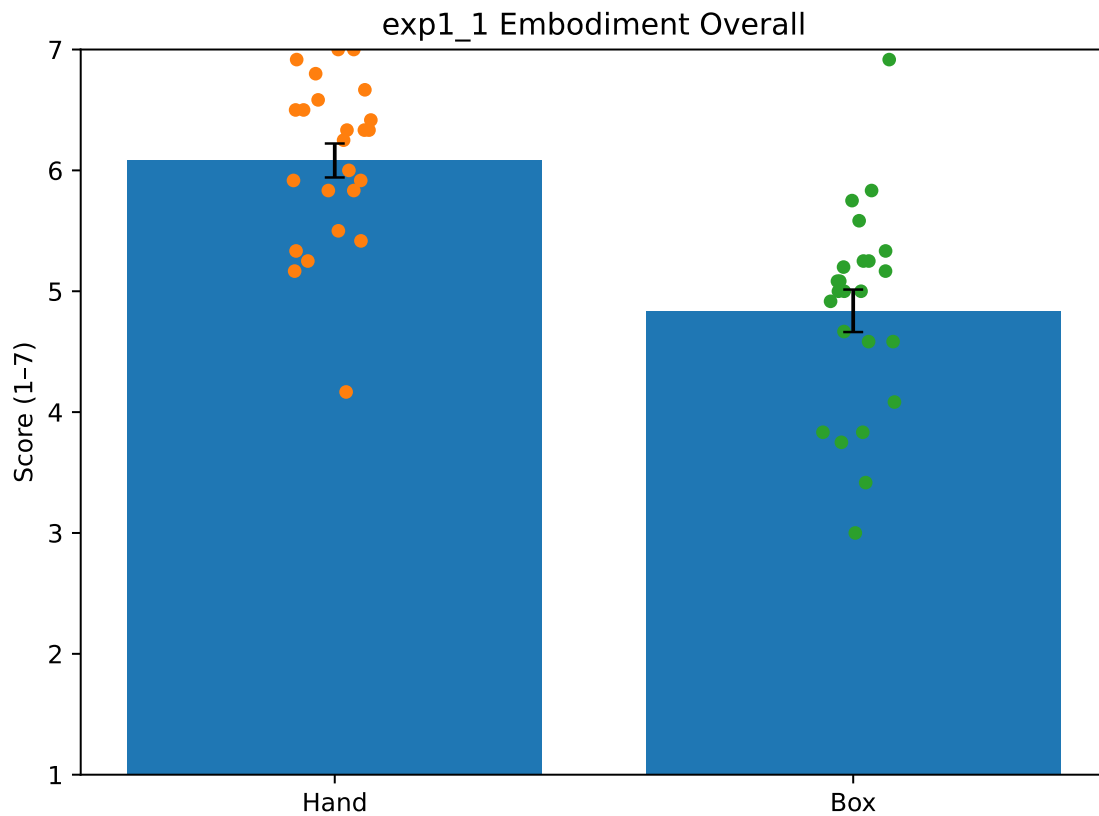


図 B.2 実験 1-1 における身体化スコア（Overall）の条件平均（平均 \pm SE）。点は個人値を示す。

B.1 身体化質問紙（操作チェック）

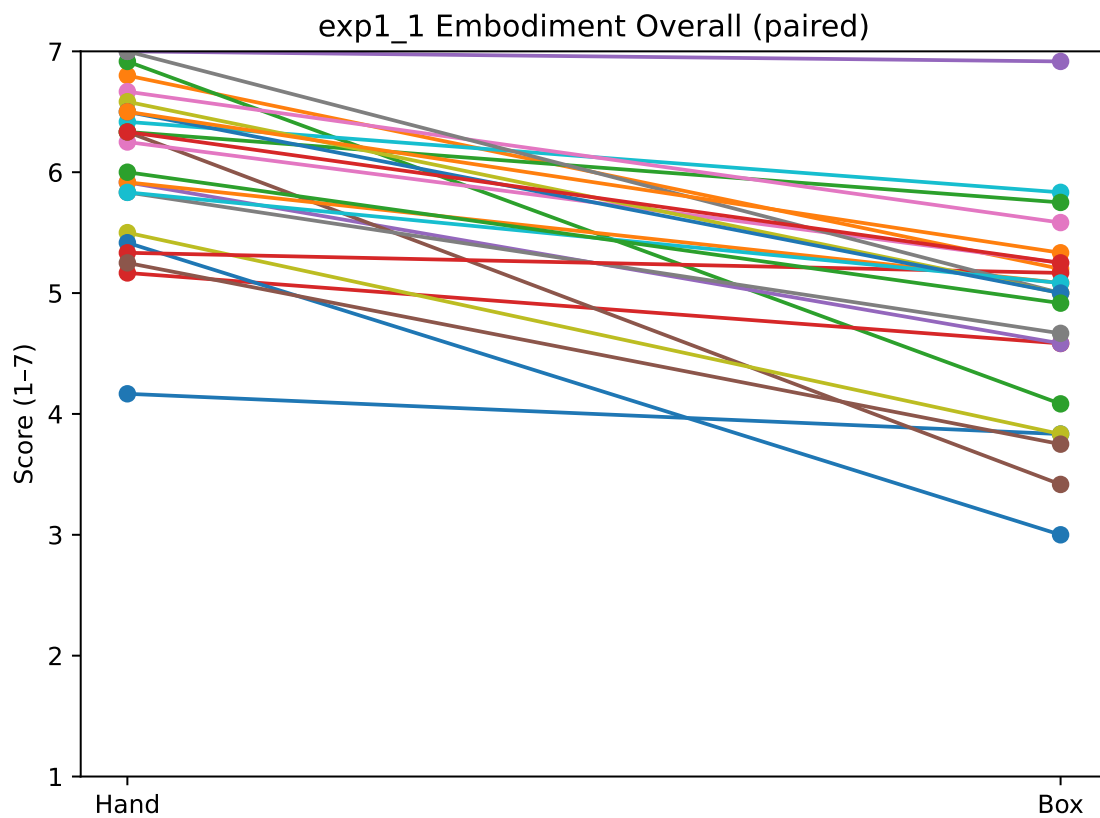


図 B.3 実験 1-1 における身体化スコア（Overall）の参加者内対応.

実験 1-2（低輝度）：Overall

実験 1-2（低輝度条件）の身体化スコア（Overall）の条件平均（平均 ±SE）および参加者内の対応をそれぞれ図 B.4 および図 B.5 に示す.

B.1 身体化質問紙（操作チェック）

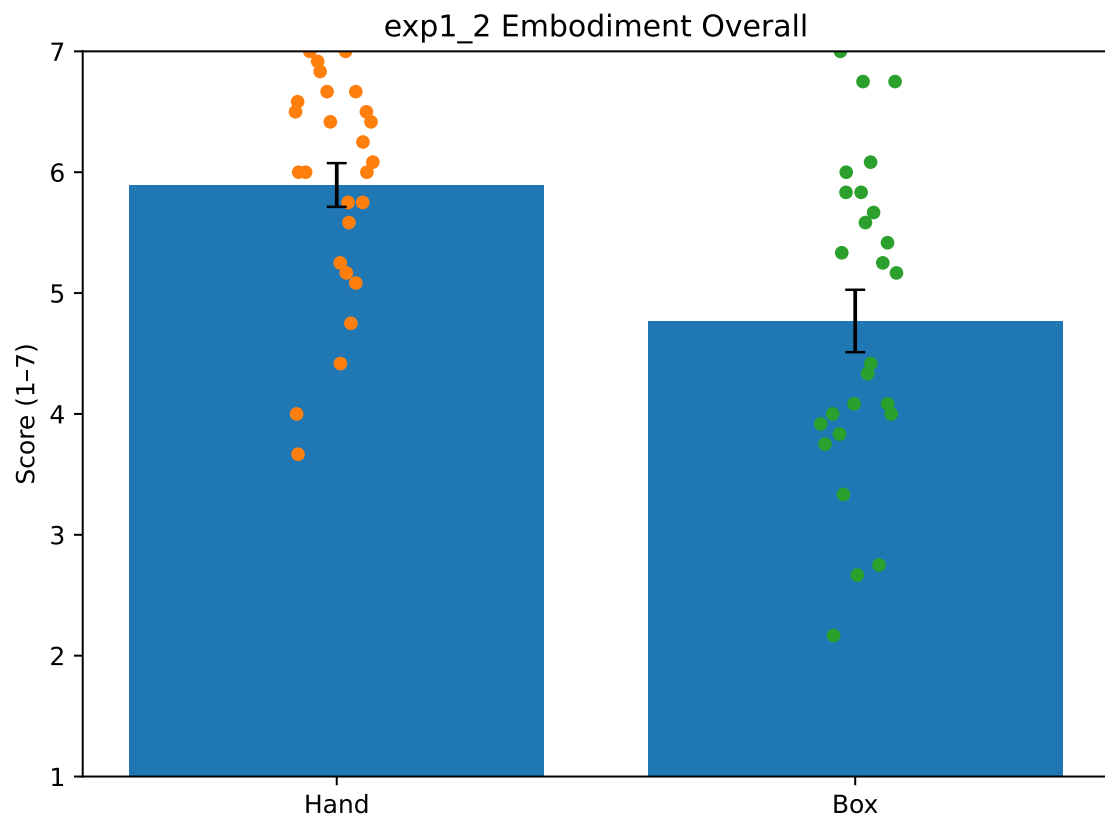


図 B.4 実験 1-2 における身体化スコア (Overall) の条件平均 (平均 \pm SE). 点は個人値を示す.

B.1 身体化質問紙（操作チェック）

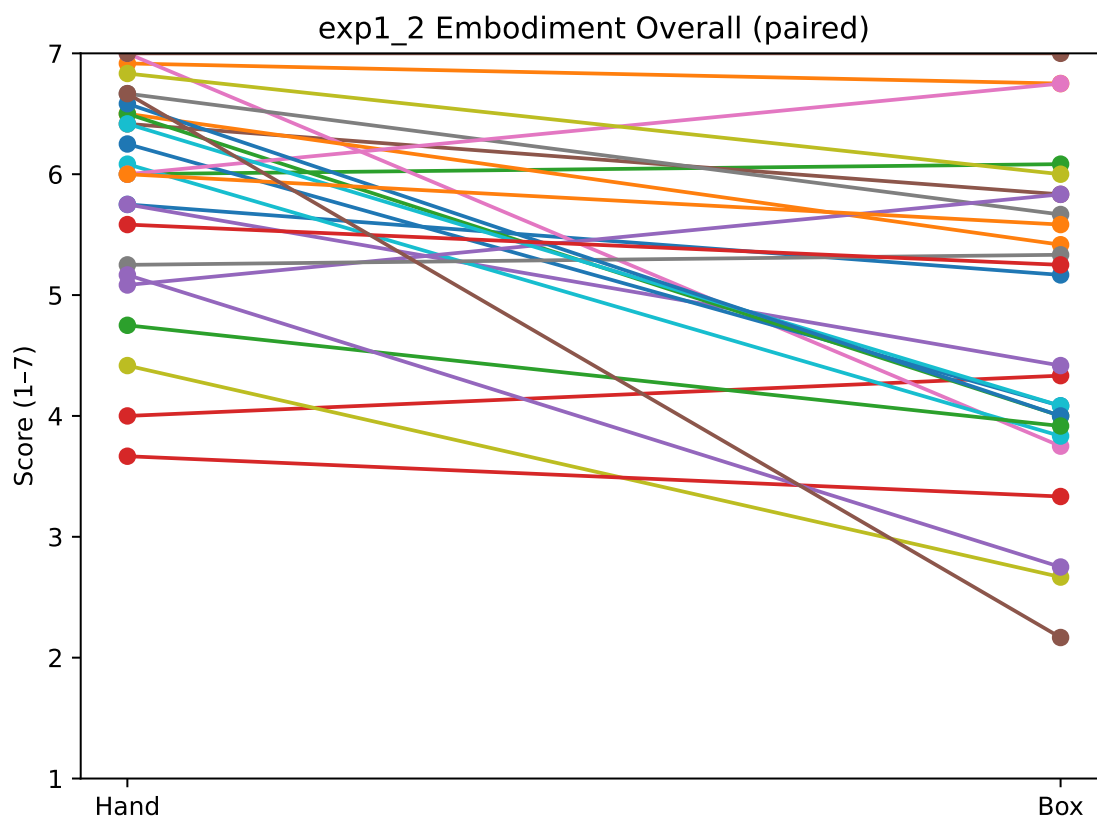


図 B.5 実験 1-2 における身体化スコア（Overall）の参加者内対応.

実験 2（Overall）

実験 2 の身体化スコア（Overall）を図 B.6 に示す.

B.1 身体化質問紙（操作チェック）

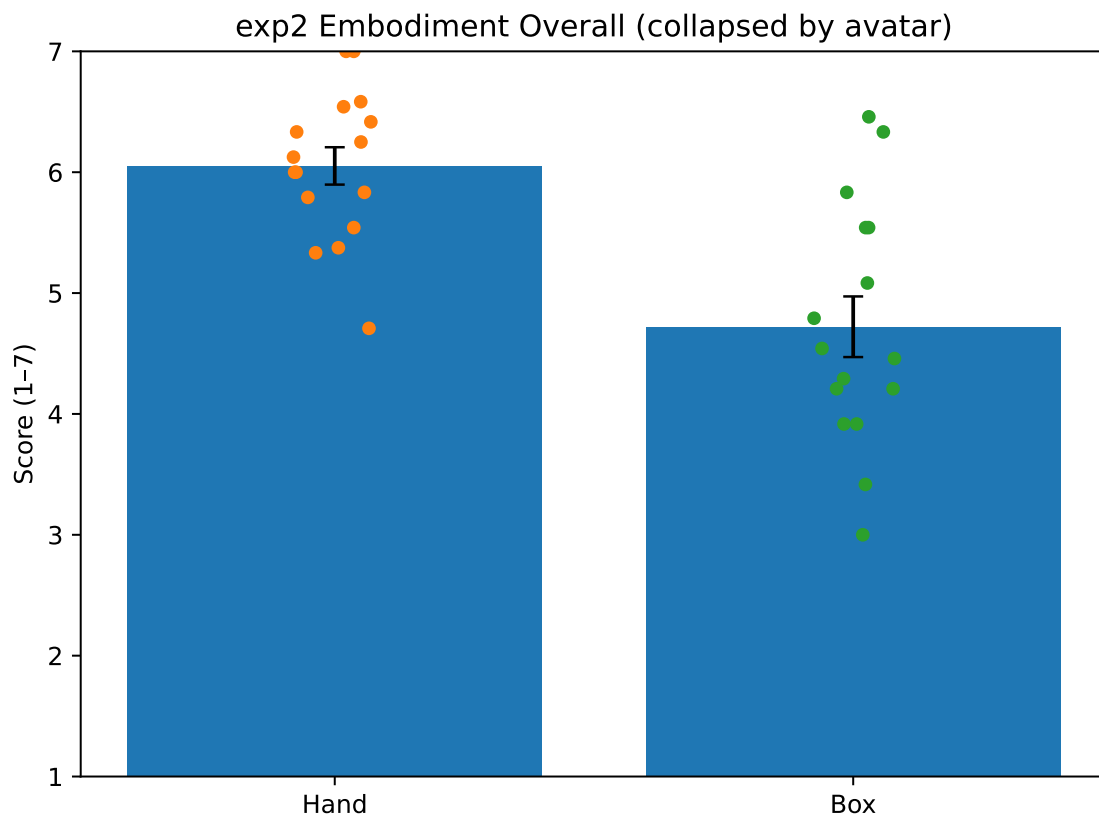


図 B.6 実験 2 における身体化スコア（Overall）の条件平均（平均 ±SE）。

身体所有感スコアと課題指標の相関（探索的検討）

身体所有感スコア（Q1-Q3 の平均）と各条件の課題指標（PSE・運動方向弁別閾）の関連を探索的に検討した。Pearson の積率相関係数および Spearman の順位相関係数を算出した結果、実験 1-1 ($n = 24$)・実験 1-2 ($n = 26$) のいずれの条件においても有意な相関は確認されなかった（表 B.1, 図 B.7-B.10）。

B.1 身体化質問紙（操作チェック）

表 B.1 身体所有感スコアと課題指標の相関係数

実験	指標	アバタ	体性感覚	n	r	p	ρ	p
1-1	PSE	Hand	Present	24	.280	.185	.394	.057
1-1	PSE	Hand	Absent	24	.350	.094	.275	.193
1-1	PSE	Box	Present	24	.240	.258	.208	.330
1-1	PSE	Box	Absent	24	.344	.099	.282	.181
1-1	JND	Hand	Present	24	.066	.758	.222	.297
1-1	JND	Hand	Absent	24	.043	.841	.203	.341
1-1	JND	Box	Present	24	.243	.253	-.004	.984
1-1	JND	Box	Absent	24	.188	.378	-.138	.520
1-2	PSE	Hand	Present	26	-.160	.435	-.115	.576
1-2	PSE	Hand	Absent	26	-.032	.877	.058	.778
1-2	PSE	Box	Present	26	.219	.283	.252	.214
1-2	PSE	Box	Absent	26	.009	.965	.078	.704
1-2	JND	Hand	Present	26	.015	.942	.179	.382
1-2	JND	Hand	Absent	26	.023	.909	.145	.480
1-2	JND	Box	Present	26	-.152	.460	-.049	.814
1-2	JND	Box	Absent	26	-.086	.675	-.133	.518

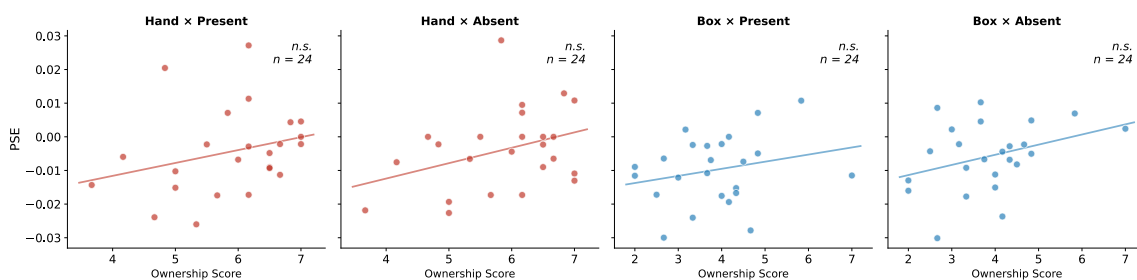


図 B.7 実験 1-1：身体所有感スコアと PSE の相関

B.2 脅威性質問紙（操作チェック）

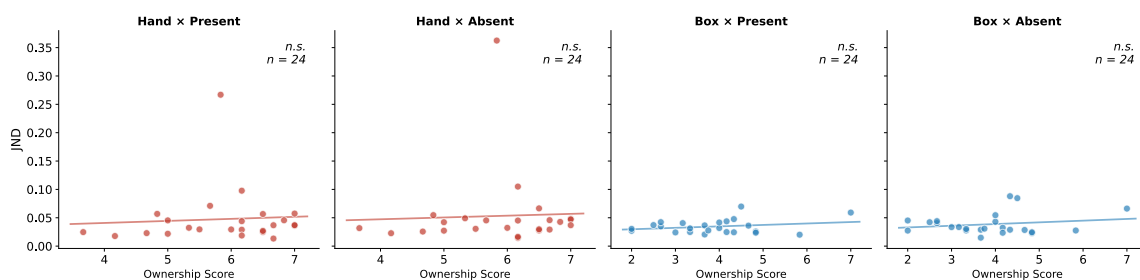


図 B.8 実験 1-1：身体所有感スコアと運動方向弁別閾の相関

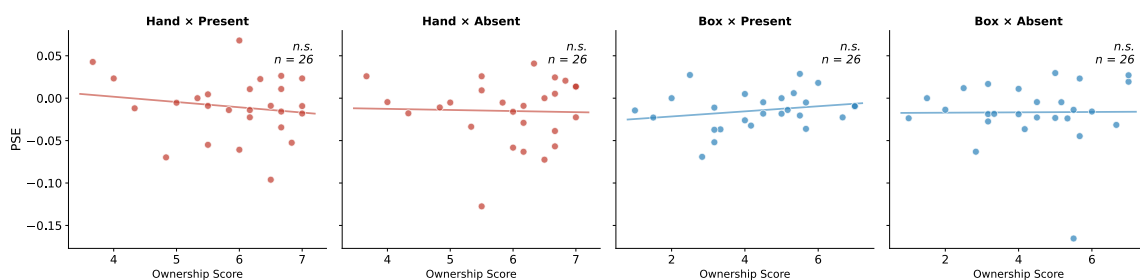


図 B.9 実験 1-2：身体所有感スコアと PSE の相関

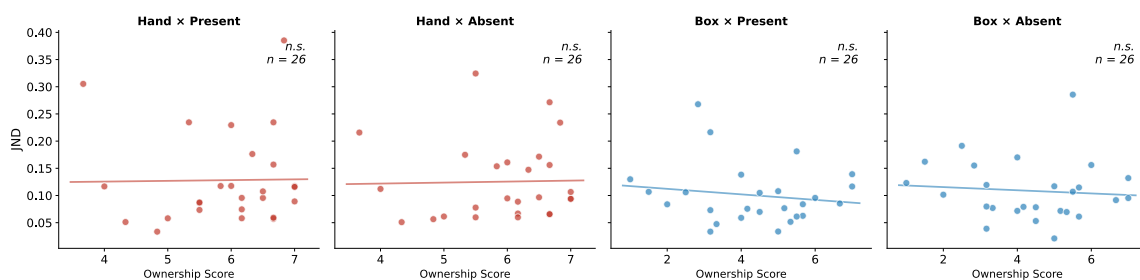


図 B.10 実験 1-2：身体所有感スコアと運動方向弁別閾の相関

B.2 脅威性質問紙（操作チェック）

脅威性質問紙は 3 項目の 7 件法で実施し、3 項目の平均を脅威性スコア（1 から 7）とした。質問紙は、脅威性誘導手続き後、ならびに各タスク（到達位置判断課題，衝突時刻予測課題）後に実施した。

脅威性誘導手続き後（Calibration）

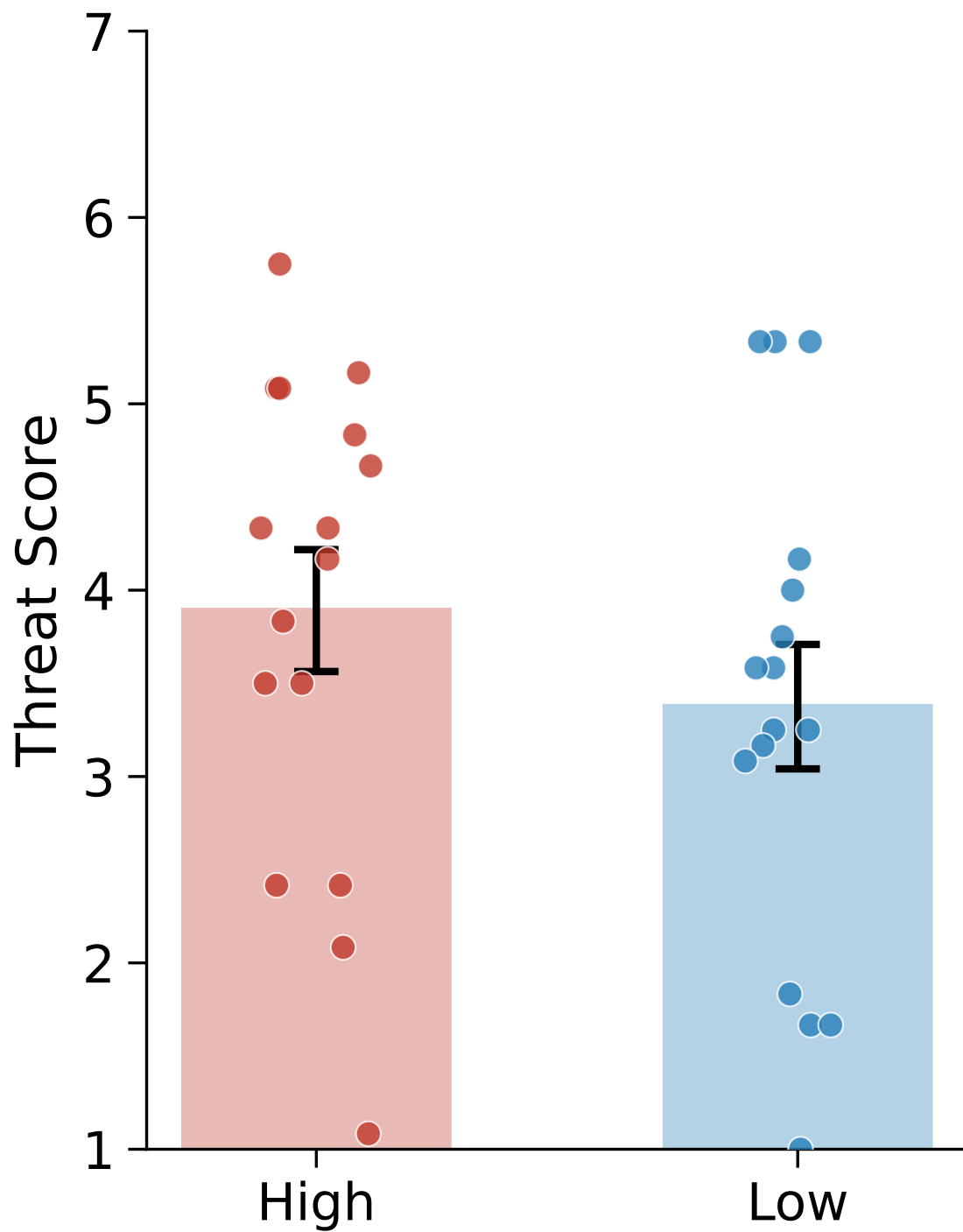


図 B.11 脅威性誘導手続き後における脅威性スコア（平均±SE）

到達位置判断課題後（AfterFlash）

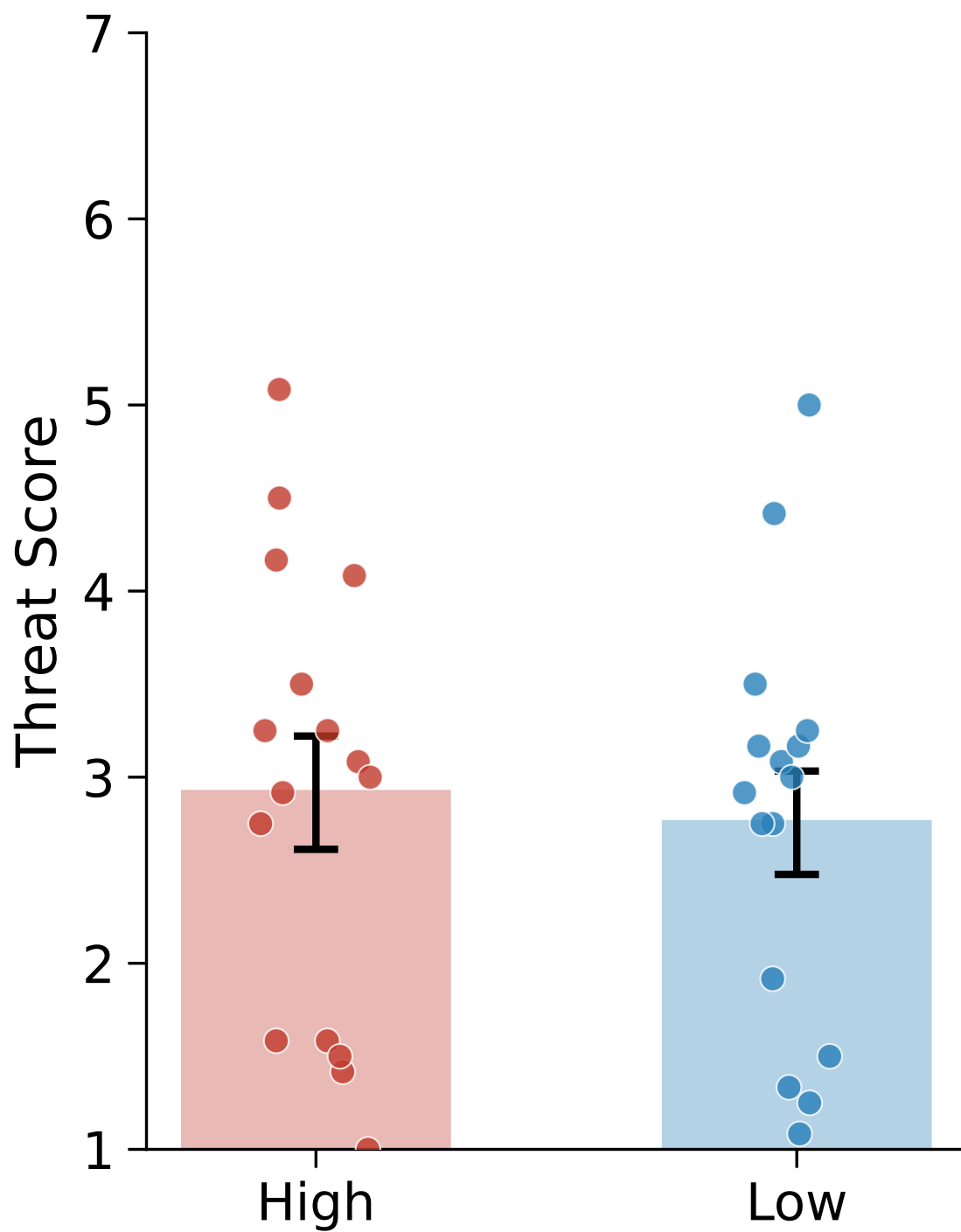


図 B.12 到達位置判断課題後における脅威性スコア（平均 ±SE）

衝突時刻予測課題後（AfterTTC）

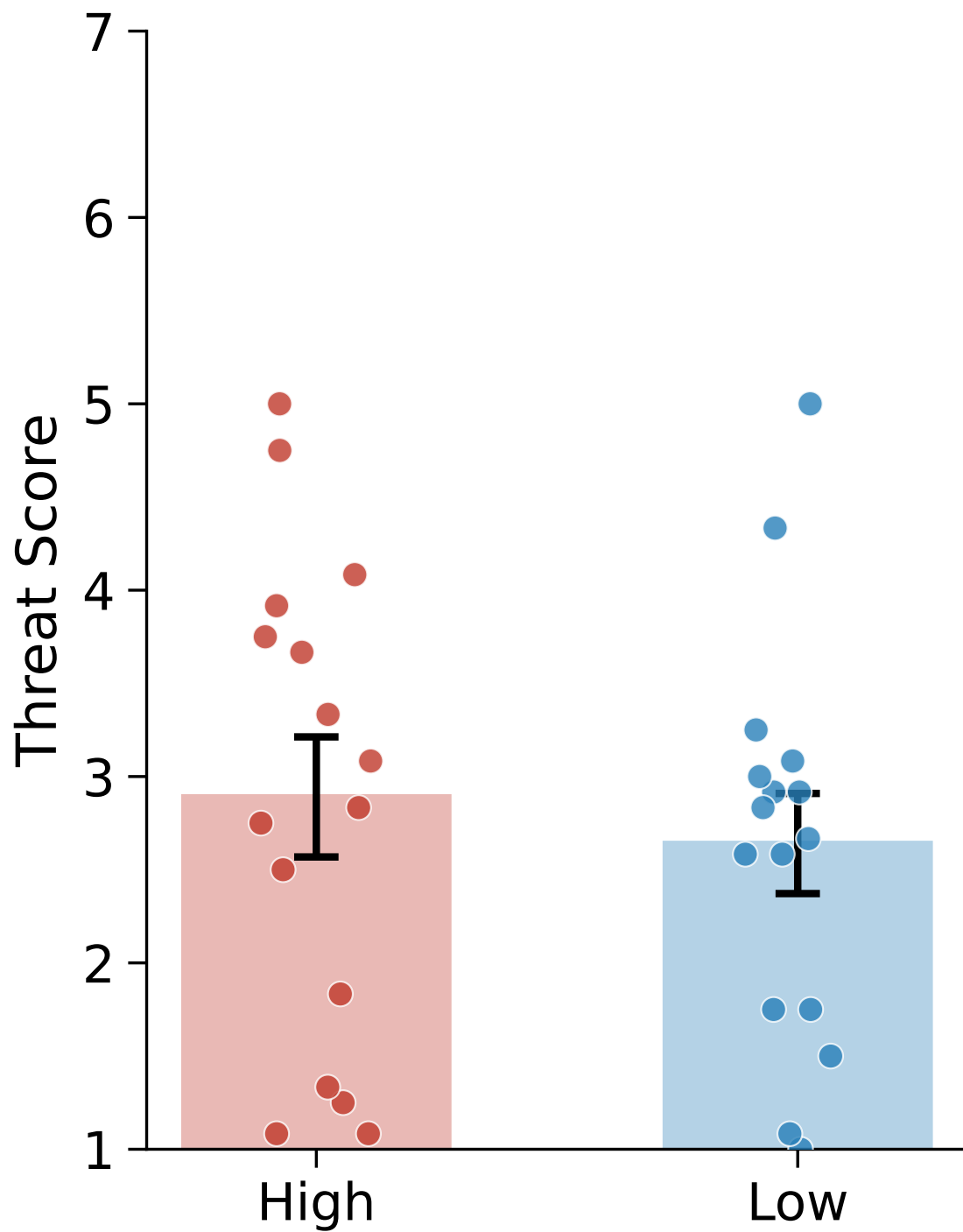


図 B.13 衝突時刻予測課題後における脅威性スコア（平均 ±SE）

B.3 脅威性質問紙原文

脅威性誘導手続き後の質問紙項目

以下の質問は、先ほどあなたの手に触れ、VR内に表示されていた包丁についてお答えください。

1. この物体は、あなたの身体にとってどの程度危険だと感じましたか
(1：全く危険でない - 7：非常に危険であった)
2. この物体が手に近づいてきたとき、どの程度避けたいと感じましたか
(1：全く避けたいと思わなかった - 7：非常に避けたいと思った)
3. この物体が手に接触した場合、どの程度ケガをする可能性があると感じましたか
(1：全くない - 7：非常に高い)

各タスク後の質問紙項目

以下の質問は、先ほどのタスク中に、あなたの手に向かって動いていた包丁についてお答えください。

1. この物体は、あなたの身体にとってどの程度危険だと感じましたか
(1：全く危険でない - 7：非常に危険であった)
2. この物体が手に近づいてきたとき、どの程度避けたいと感じましたか
(1：全く避けたいと思わなかった - 7：非常に避けたいと思った)
3. この物体が手に接触した場合、どの程度ケガをする可能性があると感じましたか
(1：全くない - 7：非常に高い)