

360度振動提示によって動的物体の接近・離反を どのように認知するか？

—物体接近把握・回避行動に向けた RtD 的アプローチ—

内藤 雅貴^{†1,a)} 武川 直樹^{†1} 下川 隼輝^{†1} 戸塚 海太^{†1}
薙野 智哉^{†1} 東 孝文^{†2} 小林 春美^{†1} 中村 明生^{†1,a)}

概要：本研究は、360度全周的に提示される振動刺激を通じて、人が動く物体との相対的な関係変化（接近、通過、離反）をどのように知覚するのかを、Research through Design (RtD) の立場から探究するものである。アーティファクトとして、対象物との距離変化に応じて振動パルスの密度が変化する、全周囲振動提示デバイスを設計・実装した。このアーティファクトは、完成された支援システムとしてではなく、触覚刺激の時間構造が空間知覚をいかに生成するかを問うための媒介として位置づけられている。観察では、視覚情報を遮断した状態で、ユーザが静止し、周囲の物体のみが移動する状況で実施した。観察の結果、対象物の接近・衝突・通過・離反は、個別の刺激としてではなく、一連の時間的に連続した出来事として知覚されている事例が確認された。また、全周的な振動提示により、背後を含む空間関係が把握され、視覚の確認を伴わない回避行動が生じる事例も観察された。これらの事例から、触覚刺激による空間知覚が、距離や方向の認知ではなく、時間構造をもつ関係変化として成立している可能性が示唆された。本研究は、触覚提示を「情報伝達手段」としてではなく、「出来事としての空間を経験させるデザイン」として捉え直す視座を提示する。

1. 背景

人は視覚情報が制限された状況においても、周囲の空間構造を把握し、移動や探索を行うことができる。その際、人は単に物体までの距離を知覚しているのではなく、「何か近づいてくる」「横を通り過ぎる」「遠ざかっていく」といった時間的な変化を手がかりとして、空間の構造や自身との関係を理解している[1]。このような知覚は、距離や方向といった静的な幾何情報ではなく、出来事としての変化の連なりを通じて成立していると考えられる。

これまで、視覚障がい者の歩行支援を目的として Electronic Travel Aids (ETAs) が多数提案されてきた[2][3]。ETAs の多くは、障害物までの距離を計測し、その値を音や振動へとモダリティ変換して提示する方式を採用している。しかし、距離情報を連続的に提示する手法は、常時刺激による認知負荷や不快感を引き起こすことが指摘されており、またユーザが自らの行為と知覚との関係を通じて空間構造を理解する余地が小さいという課題を抱えている。これに対し、Gibson のアフォーダンス理論に代表される能動的知覚の立場では、知覚は外界から与えられる情報を受動的に解釈する過程ではなく、行為と環境との相互作用を通じて成立するプロセスとして捉えられる[1]。この観点に基づき、我々はこれまで、歩行や身体運動に伴う距離変化を振動刺激に変換することで、ユーザが能動的に周囲の空間構造を探索・把握する振動提示システムを検討してきた[4]。

しかし、従来の振動提示システムの多くは、主に前方方向の距離変化を対象としており、「物体が近づき、その後、ユーザの横を通過し、遠ざかる」といった時間的に連続した関係変化を十分に表現できていなかった。その結果、前

方の壁面や通路の存在は把握できても、周囲の空間がどのような構造になっているかを認知することは難しかった。このデバイスでは、物体がユーザに近づく際には振動パルスの周波数が高く（密な繰り返し）提示され、遠ざかる際には低く（疎な繰り返し）になるよう設計されている。その結果、ユーザは振動刺激を通じて、あたかも救急車の通過時に知覚されるドップラー効果のような「接近—通過—離反」という時間的構造を体験することができる。

本研究において重要なのは、振動提示デバイスの性能向上や提示精度の評価を確かめることを目的とするのではなく、時間構造をもつ触覚刺激が、ユーザの空間知覚や幾何構造の理解をどのように生成するのかを探る点にある。本研究は、アーティファクトを設計・実装し、その使用を通じて生じる知覚体験や行動を観察する Research through Design (RtD) [5]の立場をとり、触覚による空間知覚の認知プロセスを明らかにすることを目的とする。

本稿ではまず、能動的知覚および時間的変化に基づく知覚に関する理論的背景を整理する。次に、360度振動提示デバイスの設計思想と提示手法を示し、その使用を通じて観察されたユーザの知覚・認知や行動を報告する。最後に、これらの観察から得られた知見をもとに、触覚による空間幾何知覚の成立条件について仮説を提示し、システムのデザインの改良についての示唆を与える。

2. 理論的背景：時間変化に基づく空間知覚

2.1 能動的知覚としての空間把握

本研究は、知覚を距離や方向といった静的な空間属性の把握としてではなく、環境との関係が時間的に変化する過程として成立するものとして捉える立場に立つ。このような関係的・能動的な知覚の捉え方は、従来の知覚研究においても指摘されている[1][6]。この理論は、視覚に限らず、

†1 東京電機大学 〒120-8551 東京都足立区千住旭町 5

†2 島根大学 〒690-8504 島根県松江市西川津町 1060

a) {naito.m, nakamura}@is.fr.dendai.ac.jp

他の感覚モダリティにも拡張可能であると考えられる[6]. 我々も、距離変化に基づく情報を振動刺激へと変換することで、ユーザが触覚を通じて環境との関係変化を知覚できる可能性に着目している[4].

2.2 ドップラー効果にみる時間構造の知覚

音のドップラー効果は、相対運動に伴う刺激変化が、接近や離反として直感的に知覚される典型的な例である。本研究は、音響の知覚的理解の枠組みを認知的アナロジーとして参照し、振動刺激変化が時間構造として構成し、「通過するイベント」として知覚されるかを検討するものである。

2.3 全周提示と自己中心座標系

空間知覚は、自己中心座標系に基づいて成立することが指摘されており[7]、刺激提示の方向性は知覚構造に影響を与える。本研究では、特定方向への探索を前提とせず、自己中心座標系全体に対して関係変化を提示する手段として、全周的な振動提示を採用する。この設計選択は、空間を点や方向の集合としてではなく、関係構造として経験する条件を与えることを意図したものである。

2.4 本研究の理論的立場

以上を踏まえ、本研究は、触覚刺激による空間知覚を、距離情報の正確な伝達としてではなく、環境との関係変化が時間的構造として経験される過程として捉える。この理論的立場に基づき、360度振動提示デバイスを通じて生じる知覚体験を観察し、後続章において認知仮説およびデザイン仮説を生成する。

3. デザインを通じた研究アプローチ (RtD)

3.1 本研究における RtD の位置づけ

本研究は、触覚刺激による空間知覚の成立過程を明らかにすることを目的とし、RtD の立場を採用する。RtD は、設計されたアーティファクトを単なる解決手段や評価対象として扱うのではなく、思考と探究の媒介として位置づける研究アプローチである。すなわち、設計・実装・使用を通じて生じる現象を観察し、そこから知覚や行動の構造に関する知見を生成することを目的とする。

本研究において設計される 360 度振動提示デバイスは、空間知覚を支援するための完成された製品や最適解ではない。むしろ、触覚刺激の時間構造が人の空間知覚にどのような影響を与えるのかを探るための「問いを内包したアーティファクト」である。本研究では、このアーティファクトの使用を通じて生じる知覚体験や探索行動を観察し、そこから空間幾何知覚の成立条件を考察する。

3.2 アーティファクトを通じて問う問い

RtD において重要なのは、「何を作ったか」ではなく、「な

ぜそのように作ったのか」、そして「その使用によって何ができてきたのか」である。本研究では、以下の問いをアーティファクトに埋め込む形で設計を行った。

第一に、空間知覚は、距離や方向といった静的な情報の集合として成立するのか、それとも「接近」「通過」「離反」といった時間的変化の構造として成立するのか、という問いである。第二に、触覚刺激が全周的かつ同時に提示されることで、ユーザの自己中心座標系に基づく空間モデルはどのように形成・更新されるのか、という問いである。第三に、ユーザが移動しない状況においても、時間構造をもつ刺激提示によって、空間的關係性がイベントとして知覚されるか、という問いである。

本研究は、これらの問いの定量的評価や性能評価による検証ではなく、設計された刺激提示方式がどのような知覚体験や発話、行動の変化を引き起こすかを観察することで、これらの問いに対する示唆を得ることを目指す。

3.3 デザインコンセプト

本研究のデザインコンセプトは、「時間的変化を触覚として提示することで、空間をイベントとして知覚させる」ことである。具体的には、距離の絶対値を提示するのではなく、距離変化の方向と速度に基づいて振動パルスの密度を変化させることで、「近づく」「横を通る」「遠ざかる」といった関係変化を連続的に体験させる。

また、振動刺激は頭部周囲 360 度に配置され、特定方向のみを強調するのではなく、自己中心座標系全体に対して同時に提示される。この全周的な提示により、ユーザは特定方向を探索的に向くことなく、周囲で生じる変化を統合的に知覚することができる。と考える。

特に、振動刺激が警告や注意喚起として機能することではなく、時間的に展開する関係性を感じ取るための手がかりとして設計されている点である。本研究では、このような刺激設計が、空間構造の理解や空間モデルの形成にどのような影響を与えるのかを探る。

3.4 本研究の成果の定義

工学的研究においては、システムの性能や有効性を定量的に評価することが一般的である。一方、RtD においては、設計されたアーティファクトの使用によって生じる現象を詳細に観察し、そこから理論的示唆を抽出することが重視される。本研究もこの立場をとり、正解率や達成時間といった指標による評価を目的とはしない。

本研究では、ユーザが振動刺激をどのように言語化し、どのような比喩を用いて表現するのか、またどのような行動や姿勢変化が生じるのかに着目する。これらの観察は、触覚刺激がどのように空間知覚として統合されているのかを理解するための重要な手がかりとなる。

このように、本研究における「成果」とは、特定の課題

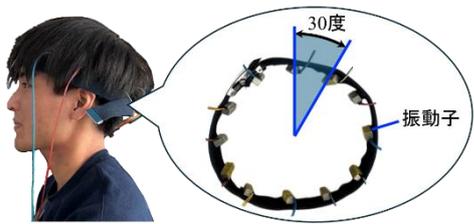


図 1 アーティファクト構成

が解けたか否かではなく、触覚による空間知覚がどのような条件のもとで成立し、どのような知覚体験として現れるのかについての理解が深まることである。

以上のように本研究は、RtD の立場を採用し、360 度振動提示デバイスを思考の媒介として位置づける。また、距離ではなく時間的変化を触覚として提示するというデザインコンセプトと、評価ではなく観察を重視する研究姿勢を明確にした。以降では、このアーティファクトの具体的な構成と提示手法を示し、その使用を通じて観察された知覚体験や行動の事例を報告する。これらの観察結果をもとに、触覚による空間幾何知覚の成立過程について考察する。

4. アーティファクトと刺激提示

本研究では、頭部周囲 360 度に配置された振動提示デバイス (図 1) を用い、周囲環境における対象物との相対的な関係変化を触覚刺激として提示した。振動刺激は、対象物との距離変化に応じて強度および時間構造が変化するよう設計されており、ユーザは特定方向を探索することなく、周囲で生じる変化を知覚できる。なお、このデバイスは、音のドップラー効果の認知的アナロジーとして着想されたものであり、ドップラー現象の物理的再現を狙ったものではない。提示デバイスの実装については[4]を参照されたい。

振動子は頭部周囲に配置されており、対象物の位置に対応した方向から刺激が提示される。これにより、ユーザは前後左右といった特定方向に注意を向けることなく、周囲空間全体における変化を同時的に受け取ることができる。ここで重要なのは、個々の振動子の配置や制御方式そのものではなく、全周的な提示によって、空間が自己中心座標系全体として経験される条件が与えられている点である。

また、対象物の接近時には振動周期が密に、離反時には疎になるよう刺激が設計されている。特に、対象物が通過した後に刺激が徐々に疎化する構造は、ドップラー効果を想起させる時間的変化として知覚される。このような設計から、距離の絶対値提示ではなく、接近・通過・離反という変化の流れが、触覚刺激の時間構造として提示される。

このデバイスは、性能評価を目的とした完成形のシステムではない。本研究では、このアーティファクトを通じて生じる知覚体験や行動を観察し、そこから認知的特徴や設計上の示唆を導くことを目的としている。

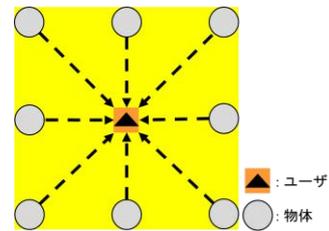


図 2 観察状況設定

5. 観察方法と記録

本研究では、360 度振動提示デバイスを用いた体験において、ユーザの行動および発話を観察し、触覚刺激を通じた空間知覚の特徴を記述することを目的とする。

観察は、ユーザがその場に静止した状態で行われ、周囲の対象物のみが移動する状況を設定した (図 2)。ユーザは視覚情報を遮断された状態で、振動刺激を手がかりとして周囲の変化を体験した。事前にデバイスの使用方法について説明を行い、トレーニングにより基本的な対応関係を理解した後に観察を開始した。

観察中、ユーザには感じたことを自由に発話するよう求め、行動と発話を記録した。記録は、対象物の接近・通過・離反といった状況変化に対して、どのような知覚的反応や行動が生じたかを捉えることを目的として行われた。また、分析用にユーザ、物体の時系列に応じた位置を記録した。

なお、本研究における観察は、効果検証や定量評価を目的とするものではない。少数事例における詳細な観察を通じて、触覚刺激によって成立する知覚体験の特徴を明らかにし、後続の仮説生成につなげることを目的としている。

この観察実験は、東京電機大学ヒト生命倫理規定にのっとり実施された (課題番号 06-008)。

6. 観察事例

本章では、衝突認知事例と衝突回避事例について述べる。なお、観察事実は立体フォント、観察結果から解釈される内容は斜体フォントで記述する。また、協力者は 2 名であり、それぞれを協力者 1、協力者 2 とする。

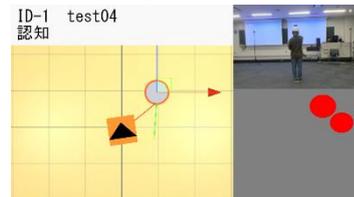


図 3 「あ、きたきた」と発話

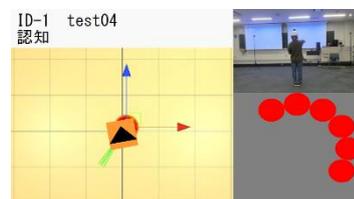


図 4 「おー」と発話

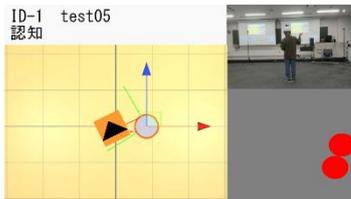


図 5 「こっちか」と発話

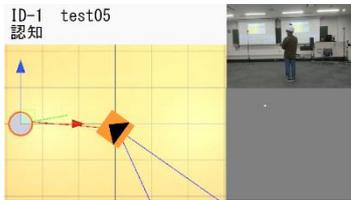


図 6 「すごいぶつぷつしてる感じ」と発話

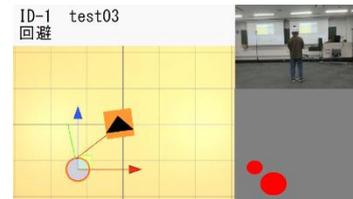


図 7 「あ、きた」と発話

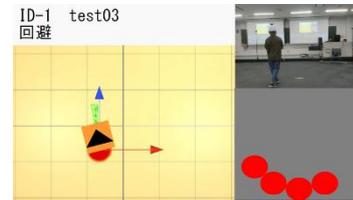


図 8 「あ、まって」と発話

6.1 衝突認知事例

周囲の物体が動くことによる協力者の衝突認知過程についての代表的事例を2つ示す。なお、本事例は、回避を行わず、周囲の物体を認知する事例である。

【事例1】初期位置で停止している協力者1（ヘルメット着用者）に対して右前方から移動物体が接近した。直後、右前方から弱い振動を知覚し、「あ、きたきた」と発話した（図3）。その後、移動物体が協力者1にさらに接近し、振動強度が増大し、振動する振動子の数が増えることを知覚した。このとき、移動物体の接近方向について、正面か右前かの判別は曖昧であった。そして、移動物体が協力者1の頭部右前側に衝突し、左後方へ移動した。このとき、振動する振動子の数が一気に増えたタイミングで「おー」と発話し、衝突を認知した（図4）。これらは、振動強度と振動する振動子数の増加を手がかりとして、移動物体の接近と衝突を段階的に認知していたと解釈できる。振動消失後、左後方で強く、広がりのある振動を知覚し、移動物体が左後方であると認知した。その後、振動が弱まり広がりも狭まり、遠ざかることを認知した。したがって、方向認知は初期段階では曖昧であったが、全周提示による振動分布の変化から、接近→衝突→通過→離反という一連のイベントとして知覚していたと考えられる。インタビューで協力者1は、提示された振動刺激が、右前は「粒が細かい」、左後は「粒が粗い」と表現した。これは、「粒の細かさ／粗さ」という表現は、接近から離反の間の密度変化を質的特徴として捉えていたことを示唆している。

【事例2】初期位置で停止している協力者1（ヘルメット着用者）に対して右方向から移動物体が接近した。その後、右方向からの振動を知覚し、「あ、きた」と発話した。移動物体が協力者1にさらに接近し、振動強度が増大し、振動する振動子数が比較的早い段階で増加した。直後、「こっちか」と発話していた（図5）。このとき、振動強度が増大し、振動する振動子数の変化から、衝突の切迫感は認知できていたと解釈できる。一方、物体の移動軌跡全体のイメージ（どのように動いたか）は形成されにくかったと考えられ

る。そして、移動物体が協力者1の頭部右側に衝突し、左方向へ移動した。このとき、右からの衝突を認知した後、左側で強めの振動を知覚した。その後、移動物体が協力者1から遠ざかり、左方向へ移動した。このとき、左側で振動が弱まり、断続的になることを知覚し、「すごいぶつぷつしてる感じ」と発話した（図6）。ここで、離反を認知した。協力者1はインタビューで、振動のテンポが極端に下がった点が印象的であったと述べた。これらは、離反時における「断続的」「テンポが下がる」という知覚は、離反を時間構造変化として捉えていた可能性を示唆する。

6.2 衝突回避事例

本節では、周囲の物体が動くことによる協力者の衝突回避過程について的事例を2つ述べる。本事例は、協力者が物体と衝突すると判断したときに回避をする事例である。

【事例3】初期位置で停止している協力者1（ヘルメット着用者）に対して左後方から移動物体が接近した。直後、後方からの振動を知覚し、「あ、きた」と発話した（図7）。そして、協力者1に移動物体がさらに接近した。このとき、衝突を予期し、左側へ回避行動をとった。これは、振動強度の増大から衝突の切迫は認知できていたと考えられる。その後、移動物体は協力者1の頭部左後側に衝突し、右前方へ移動した。ここで、協力者1は回避後も後方からの振動を知覚し、「あ、まって」と発話した（図8）。その後、「ミスった」と発話していた。これは、回避後に期待していた「振動が別方向へ流れる」感覚が得られず、空間状況の理解が破綻したと解釈できる。協力者1はインタビューで、想定していた振動の流れと実際の振動が一致せず困惑したと述べた。したがって、この事例は、移動方向の時間構造が十分に知覚できない場合、回避判断が失敗しうることを示唆している。

【事例4】初期位置で停止している協力者2（ヘルメット着用者）に対して右前方から移動物体が接近した。直後、右前からの小さな振動を知覚し、徐々に大きくなることを

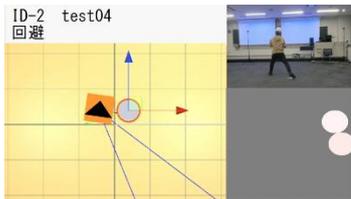


図 9 左前方へ回避行動

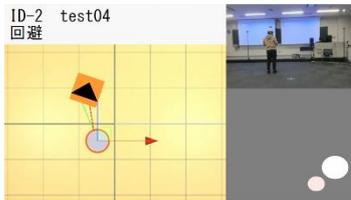


図 10 「後ろに流れていってる」と発話

感じた。そして、協力者 2 に移動物体がさらに接近した。このとき、衝突を予期し、左前方へ一歩進み物体を回避した(図 9)。これは、振動強度の増大を距離減少として解釈し、適切な回避判断につながったと考えられる。回避後、移動物体は協力者 2 の頭部右側を通過し、左後方へ移動した。このとき、右前方から後方へ振動が流れるように変化し、「後ろに流れていってる」と発話した(図 10)。これは、回避後も振動の移動方向を継続的に知覚できたことで、衝突回避後の安全確認が可能であったと解釈できる。その後、移動物体は協力者 2 から遠ざかり、左後方へ移動した。このとき、振動が離散的になりながら弱まり、左後方へ遠ざかることを知覚した。協力者 2 はインタビューで、「救急車のように離れていく」と比喻した。これらから、振動のリズムの変化(連続から離散)は、離反を出来事として知覚する重要な手がかりとなっていた可能性が高い。

7. 知覚の特徴と仮説生成

本章では、第 6 章で示した観察事例を整理し、そこから導かれる認知的特徴を明確化した上で、本研究における認知仮説を生成する。ここでは、ユーザが触覚刺激を通じてどのように空間や出来事を知覚していたのかを、観察に基づいて整理することを目的とする。

7.1 観察結果の整理

観察事例から、対象物の接近、衝突、通過、離反が、個別の刺激としてではなく、一連の連続したイベントとして知覚されていた可能性が示唆された。発話や行動は、距離や方向といった瞬時の属性を示すものではなく、「来た」「当たった」「抜けていった」といった時間的な変化の流れに対応して表出しており、空間が動的な関係変化として把握されていたことが示唆される。

また、一部の事例では切迫感や焦りといった情動的反応が伴っており、触覚刺激が単なる情報提示ではなく、イベントとして体験されていた可能性がある。さらに、背後か

ら接近する対象物に対して、ユーザが後方を振り返ることなく回避行動を行っていた点は、全周的な振動提示により、背後を含む空間関係があらかじめ把握されていた可能性を示唆している。

7.2 認知仮説の生成

観察事実の認知的解釈に基づき、認知仮説を生成する。

認知仮説 1: ユーザは、距離や方向といった静的な空間属性ではなく、時間的に連続した変化の構造をもとに、対象物との関係を知覚していた。

観察事例における発話や行動の連なりは、空間が静的な情報の集合ではなく、時間的な関係変化として把握されていたことを示唆している。

認知仮説 2: 離反は、刺激の消失としてではなく、対象物が離れていく過程として知覚されていた。

刺激が徐々に疎化する構造に対応して、「離れていく」といった表現が用いられていた点は、イベントの終結が過程として理解されていたことを示唆している。

認知仮説 3: 触覚刺激は、距離情報の提示にとどまらず、切迫感や焦りといった情動的反応を伴う出来事として体験されていた。

一部の発話に見られた情動的反応は、触覚刺激が状況の緊急性を含んだ体験として知覚されていたことを示唆する。

認知仮説 4: 全周的な振動提示により、背後を含む空間関係が、視覚的確認を必要とせず把握されていた。

背後刺激に対して振り返りを伴わない回避行動が観察された点は、空間が逐次的に探索される対象ではなく、関係構造として把握されていたことを示唆している。

これらの認知仮説は、第 6 章で示した観察事例に基づいて整理されたものであり、評価や一般化を意図するものではない。次章では、これらの認知仮説を手がかりとして、本研究で用いたアーティファクトの設計条件をデザイン仮説として整理する。

8. 認知仮説に基づくデザイン仮説の生成

8.1 認知仮説とデザイン仮説との対応

第 7 章で示した認知仮説は、空間知覚を距離や方向といった静的な属性としてではなく、時間的に変化する関係として捉える視点と整合的である。このような捉え方は、知覚を刺激の受動的な受信としてではなく、行為や出来事との関係の中で成立するものとして理解される。

本研究において観察された「接近・衝突・離反が一連の出来事として知覚されていた」という特徴や、「離反が過程として理解されていた」という点は、知覚が瞬間的な情報の積み重ねではなく、時間的構造をもった出来事として構成されていた可能性を示唆している。また、背後刺激に対して視覚的確認を伴わない回避行動が観察された点は、空間が逐次的に探索される対象ではなく、関係構造として把

握されていた可能性を示している。

これらの認知的特徴を踏まえ、本研究で用いたアーティファクトの設計条件を、デザイン仮説として整理する。

8.2 デザイン仮説の生成

デザイン仮説 1: 刺激を全周的に提示することで、ユーザは特定方向を探索することなく、周囲空間を関係構造として把握する。

本研究では、頭部周囲 360 度に配置された振動提示により、特定方向に注意を向けることなく、周囲で生じる変化を同時的に知覚できる条件が提供された。その結果、背後から接近する対象物に対しても、視覚的な確認を行わずに回避行動が選択されていた可能性がある。これは、空間が「確認すべき方向の集合」としてではなく、「すでに把握された関係構造」として知覚されていたことを示唆している。

デザイン仮説 2: 距離の絶対値を提示するのではなく、変化の方向や速度を時間的構造として提示することが、出来事としての空間知覚を成立させる条件となる。

観察事例では、距離が近いか遠いかという情報そのものよりも、接近しているのか、通過したのか、遠ざかっているのかといった変化の流れが、発話や行動として表出していた。これは、設計において距離情報を静的に符号化するのではなく、変化の方向性や速度を時間的に表現することが、イベントとしての知覚を支えていた可能性を示す。

デザイン仮説 3: 離反に伴って刺激を疎化させる設計は、出来事の終結を知覚させ、安心感や状況理解を促す。

ドップラー効果を模擬した振動提示では、対象物が離れていくにつれて刺激が疎になり、徐々に弱まる構造が採用されていた。この設計により、離反が突然の刺激消失としてではなく、出来事の終結過程として知覚されていた可能性がある。一部の被験者が「救急車のように離れていく」と表現した点は、このような時間構造が離反のリアリティを高めていたことを示唆している。

デザイン仮説 4: 全周かつ連続的な刺激提示は、確認行動を前提としない行動選択を可能にし、回避行動の様式そのものを変化させる。

本研究では、背後刺激に対して振り返りを伴わない回避行動が一貫して観察された。これは、刺激提示が「気づいた後に確認するための情報」ではなく、「行動判断に直接用いられる関係情報」として機能していた可能性を示している。すなわち、設計条件そのものが、ユーザの行動様式に影響を与えていた可能性がある。

9. まとめと今後の展望

本研究では、360 度リング状の振動提示デバイスを用い、触覚刺激を通じてユーザが周囲空間の変化をどのように知覚するのかを Research through Design の立場から検討した。観察結果から、対象物の接近、衝突、離反が、個別の刺激

としてではなく、一連の時間的構造をもつイベントとして知覚されていた可能性があった。さらに、全周的な振動提示により、背後を含む空間関係が把握され、視覚的な確認を伴わない回避行動が観察された点は、触覚による空間知覚が行動選択の前提に影響を与えうることを示唆している。

これらの観察に基づき、触覚刺激による空間知覚が、距離や方向の属性の知覚ではなく、時間的に変化する関係構造として成立している可能性を示す認知仮説を提示した。また、刺激を全周かつ連続的に提示することや、変化の方向や速度を時間構造として表現することが、イベントとしての知覚を支える設計条件となりうることを、デザイン仮説として提示した。

本研究にはいくつかの制約がある。今回の実験では、ユーザはその場に静止した状態であり、対象物のみが移動する状況を扱った。今後の課題として、ユーザが歩行している状況における振動提示の検討が挙げられる。例えば、歩行中に他者が横断的に接近・通過する場面や、前方・後方から歩行者が近づく場面において、リング状の振動提示がどのように知覚され、どのような回避行動や進路選択につながるのかを観察する必要がある。また、ユーザ自身の移動によって生じる自己運動感覚と、外部物体の運動を表す触覚刺激とが、どのように統合されるのかも重要な検討課題である。今後、本研究で提示した認知仮説およびデザイン仮説を起点として、より動的で実環境に近い状況へと検討を拡張していくことが期待される。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 JP 19K12881, JP23K11970 の助成を受けた。

参考文献

- [1] J. J. Gibson, "The Ecological Approach to Visual Perception," Houghton Mifflin, 1979.
- [2] E. Cardillo and A. Caddemi, "Insight on Electronic Travel Aids for Visually Impaired People: A Review on the Electromagnetic Technology," *Electronics*, vol. 8, no. 11, pp. 1281, Nov. 2019.
- [3] D. Dakopoulos and N. G. Bourbakis, "Wearable obstacle avoidance electronic travel aids for blind: A survey," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, vol. 40, no. 1, pp. 25-35, Jan. 2010.
- [4] 下川隼輝, 戸塚海太, 武川直樹, 東孝文, 森田慎一郎, 小林春美, 中村明生, "ぶるぶ L-ooming, ぶるぶ L-looking - 方向別距離変動に基づく触覚的空間知覚のデザイン -", *HCG シンポジウム 2025 論文集*, pp.(1-8), Dec.2025.
- [5] J. Zimmerman, J. Forlizzi, and S. Evenson, "Research through design as a method for interaction design research in HCI," *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.493-502, Apr. 2007.
- [6] D. N. Lee, "A Theory of Visual Control of Braking Based on Information about Time-to-Collision," *Perception*, vol. 5, no. 4, pp. 437-459, Dec. 1976.
- [7] F. Filimon, "Are All Spatial Reference Frames Egocentric? Reinterpreting Evidence for Allocentric, Object-Centered, or World-Centered Reference Frames," *Front Hum Neurosci*, vol.9, pp.(1-21), Dec. 2015.