［研究助成（A）］

バーチャルリアリティ環境下での擬似触覚生成に関わる行動・生理指標の抽出

Perception of pseudo- haptics in virtual reality

2201022

研究代表者　東京都立大学 システムデザイン学部　准教授　福　井　隆　雄

［研 究 の 目 的］

人間と機械の調和を促進するためには，ヒトがさまざまな感覚器官からの情報をどのように統合し，知覚生成するかを理解することが，機械側から適切な情報提供を行うためにも，本質的である。バーチャルリアリティ（VR）技術の大きな進展の中で，ヒトの体験空間は劇的に拡大しているが，VR 空間への没入感には個人差があり，VR 酔いが見られるなど，まだまだ技術的改良の余地は大きい。ヒトが「リアル」を感じる知覚について考察し，VR 空間設計指針の確立を目指して，個人特性も考慮に入れながら，擬似触覚（pseudo-haptics）と呼ばれる現象に注目し知覚生成過程を検討する。

［研究の内容，成果］

1. はじめに

擬似触覚は，視覚情報を利用した触覚モダリティへの錯覚により生起される感覚である（Lécuyer, 2009）。研究例として，コンピュータのマウスを動かし，PC スクリーン上に提示された球体をポインタでなぞる際，自身の手によるマウスの動きに対して，球体の中心に向かう時のポインタの速度を遅くする，あるいは速くすることで，手が平面上を動いているにも関わらず，参加者が凸と凹の感覚を経験した Lécuyer et al.（2004）や，ディスプレイ上に右から左に流れる画像（黒い正方形）を提示し，その画像が参加者の操作するカーソルに衝突すると減速することより衝突感を生起させた Watanabe（2013）などが挙げられる。

Suzuki and Fukui（2019）は，「自身が運動しない場合にも視覚情報のみで VR 空間上で擬似触覚を生起させることができるか」という問題を設定し，VR 環境下で擬似触覚の生起が可能かを検討した。参加者はヘッドマウントディスプレイ（HMD）を装着し，自身の手腕を提示されている手腕モデルと合わせた（図 1）。接近してくる灰色の棒が手腕モデルに触れた際に減速し（図 2），その際に経験する違和感を参加者に主観評定してもらったところ，減速率が大きいほど主観的評定値が大きくなることが明らかになった。

さらに，定型発達者の自閉傾向を評価する自閉症スペクトラム指数（AQ スコア）（Baron-Cohen et al., 2001; 日本語版は若林ら，2004）が高い参加者ほど擬似触覚の生起強度が大きい

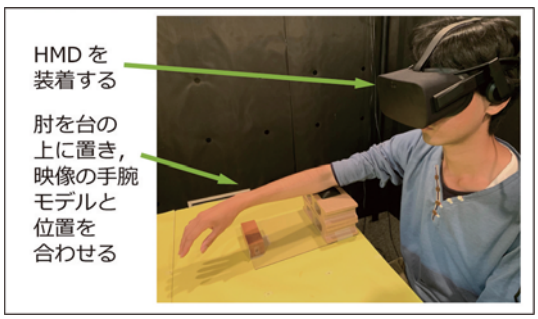

図 1　実験セットアップ

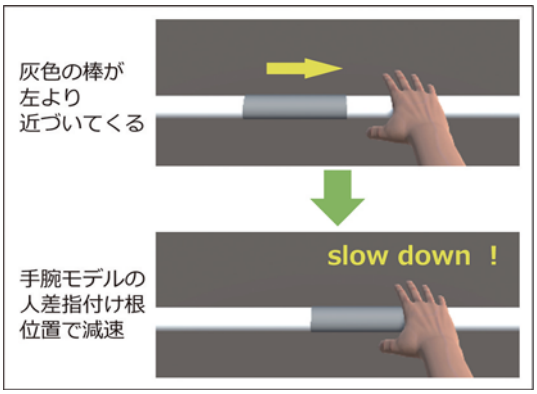

図 2　提示映像

ことが明らかになった。この結果を踏まえて，本研究課題では，手腕モデルと接近物体のインタラクション様式の違いによる擬似触覚の生起強度への影響を検討し，擬似触覚経験時に生じる掌表面温度変化についての予備的検討も行った。

2. 手腕モデルと接近物体のインタラクション様式の影響

Suzuki and Fukui（2019）同様，参加者は，HMD を装着し，右手を台の上に置き，VR 空間内に提示されるモデルの手腕に自分の手腕を重ねるような姿勢を維持するように教示された。VR 上の手腕モデルと実際の手腕は同期されていない状況で実験を行った。VR 空間上のどのような視覚的イベントにより擬似触覚が生起されるかについて，手腕モデルと物体の衝突に注目して検討した。HMD には映像が下記のように提示された。水平に長い白いチューブがあり，手腕モデルはそのチューブに触れている状況の中で，1. 左から白いチューブの中を灰色の短い棒が右に流れてきて，2. 灰色の棒が手（手の親指から人差指にかけて）に衝突すると棒の速度が減速する，3. 灰色の棒が手から離れる（棒の左端が小指の付け根から離れる）と，もとの速度に戻るという一連の映像（図 3．TOH 条件，接近する棒は手腕モデルに衝突する）であった。その他の条件として，「白いチューブと右手腕モデルの奥に，もう 1 本の白いチューブが提示され，右手が触れているチューブではなく，奥のチューブに灰色の短い棒が流れてきて，右手人差指付近で減速し，小指の位置（横方向）を通り過ぎるともとの速度に戻る」条件（NTOH 条件，物体は手腕モデルに衝突しない），「はじめに白いチューブと手腕モデルが映し出され，一定時間後に手腕モデルが消え，その後，白いチューブの中を灰色の棒が流れてくる。そして，棒は手腕モデルの人差指が提示されていた位置で減速し，小指の位置を通り過ぎるともとの速度に戻る」（NHI 条件，物体の移動イベントとしては，TOH 条件と同一であるが，衝突時に手映像がない）を設定した。接触時の減速度については，0〜90%（10% ごと）の 10 条件を設けた。参加者は灰色の棒が右手に接触した際に，右手に違和感を経験したかどうかを 1〜5（1：全く感じない，5：とても強く感じる）で評価し，試行毎に口頭で回答した。

この主観的評価値について，2 要因（手腕・物体の関係性［3 水準］，減速度［10 水準］）の分散分析を行った。分析の結果，手腕・物体の関係性，減速度いずれの要因にも有意な主効果が認められ，手腕・物体の関係性と減速度の交互作用も認められた。具体的には，物体接触時に 60% 以上の減速が生じた場合，TOH 条件は，NTOH 条件，NHI 条件に比べて，有意に高い主観的評価値を示した（図 4）。この結果より，視覚的な手と物体の接触イベントが擬似触覚の生起に重要であることが示された。

3. 擬似触覚経験による掌表面温度変化

上記研究課題の実施後に「手が熱くなった」，「摩擦のようなものを感じた」と報告する参加者が認められた。皮膚への物理的刺激を行っていないにも関わらず，擬似触覚を経験したことにより，掌表面温度変化が生じるかどうかについて，サーモグラフィ（図 5）を用いて検討した。本実験では，接触物体の色について，灰色に加えて，暖色［RGB（240，30，30）］，寒色［RGB（160，220，255）］も設定した。減速度条

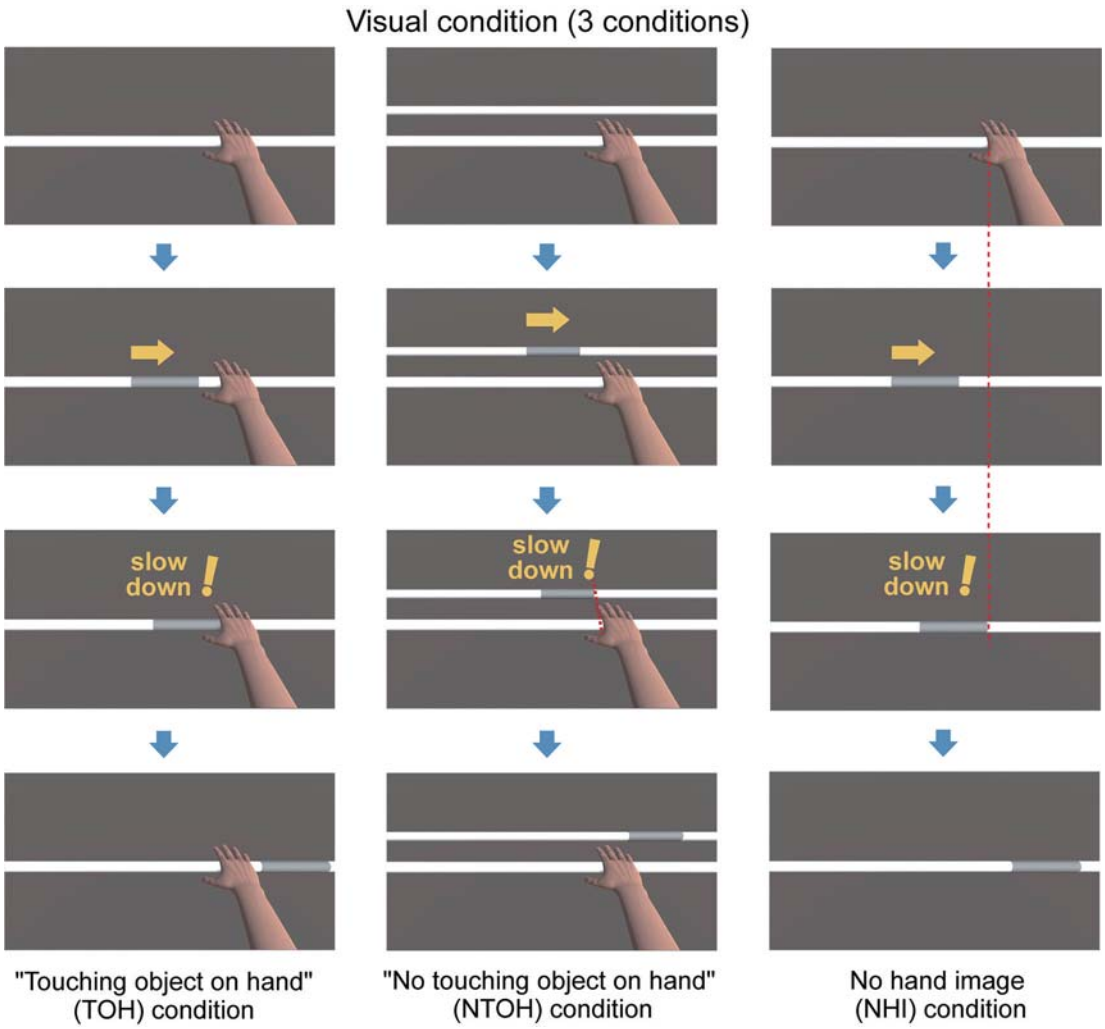

図 3　実験条件

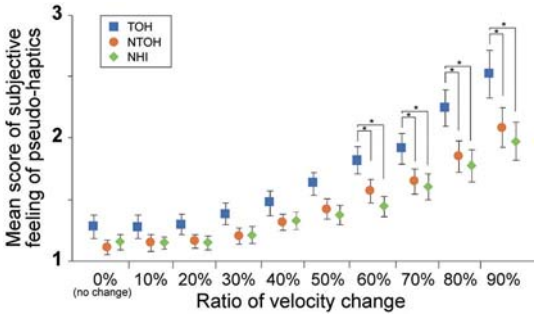

図 4　各条件における主観的評価値

件は 0 %，30%，50%，70%，90% の 5 条件とした。接触物体色ごとにブロック化し，減速度条件はランダムに提示し，色の提示順は参加者間でカウンターバランスした。サーモグラフィによる掌表面温度計測は（各接触物体色の）実験ブロックの前後で行った。

図 5　掌表面温度計測

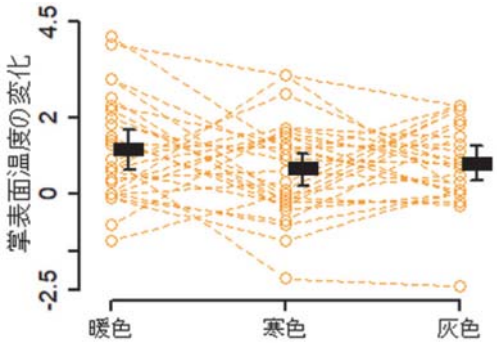

図 6　各物体色条件における掌表面温度変化

主観的評価値については，先行研究と同様に，減速度が大きいほど，高い主観的評価値を示した。また，色の主効果も認められ，暖色が寒色より，灰色が寒色より有意に主観的評価値が高かった。

掌表面温度変化について，1 要因の分散分析を行ったところ，接触物体色の主効果は認められなかった（図 6）。条件間による有意差は認められなかったが，すべての色条件において（0 と比較し）有意な温度上昇が認められた（$ps < 0.016$）。

［今後の研究の方向，課題］

サーモグラフィによる掌表面温度計測の予備検討より，すべての色条件における温度上昇が認められたが，今後は，掌表面温度変化と自閉傾向などの個人特性との関連を探っていく。

［参考文献］

・ Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Skinner, R., Martin, J., & Clubley, E. (2001). The autism-spectrum quotient (AQ): Evidence from asperger syndrome/high-functioning autism, malesand females, scientists and mathematicians. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 31(1), 5-17.

・ Lécuyer, A. (2009). Simulating haptic feedback using vision: A survey of research and applications of pseudo-haptic feedback. *Presence*, 18(1), 39-53.

・ Lécuyer, A., Burkhardt, J. -M., & Etienne, L. (2004). Feeling bumps and holes without a haptic interface: The perception of pseudo-haptic textures. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 239-246.

・ Suzuki, K., & Fukui, T. (2019). How we perceive pseudo-haptics in virtual reality: relationships to autistic traits. *Perception*, 48(2S), 103.

・ Watanabe, J. (2013). Pseudo-haptic sensation elicited by background visual motion. *ITE Transactions on Media Technology and Applications*, 1(2), 199-202.

・ 若林明雄，東條吉邦，Baron-Cohen S.，& Wheelwright S.（2004）. 自閉症スペクトラム指数（AQ）日本語版の標準化. 心理学研究，75(1)，78-84.

［成果の発表，論文等］

［1］ Kuroki, M. & Fukui, T.: Visual hand recognition in hand laterality and self-other discrimination tasks: Relationships to autistic traits and positive body image, *Frontiers in Psychology*, 11, 587080. (10 pages), 2020

［2］ Fukui, T. & Suzuki, K（2021）What visual information is substantial for pseudo-haptics in virtual reality, 32nd International Congress of Psychology, 2021

［3］ 品田涼平・福井隆雄：VR 空間における移動物体の手腕モデルへの衝突による擬似触知覚，日本認知心理学会第 18 回大会発表論文集，PT2-3，2021.

［4］ 佐々木浩亮・福井隆雄：VR 空間における擬似触覚生成時の接触物体色の影響，日本認知心理学会第 19 回大会発表論文集，O-B01，2022.