XRAYSCOPE

- ハーフミラーを用いた MVF による身体の透視および透触視 -XRAYSCOPE Sees the Inside of the Hand thorough Half-mirror Visual Feedback System

今井 健人[†], 佐藤 優太郎[†], 小鷹 研理[†] Kento Imai, Yutaro Sato, Kenri Kodaka

[†]名古屋市立大学大学院芸術工学研究科 Graduate School of Design and Architecture, Nagoya City University c215704@ed.nagoya-cu.ac.jp

Abstract

昨年,筆者らの研究グループは, Mirror Visual Feedback システムにおける鏡をハーフミラーで代替する提案を行い, まるで自身の手の表面を透かして身体内部を覗いているかのような錯覚体験を得られるインタラクション装置「XRAYSCOPE」を発表した. 本研究では, XRAYSCOPE の効果を実験心理的な文脈で検証するものである. 具体的には, Mirror Visual Feedback レイアウトにおける鏡面手前側の空間に配置するオブジェクトとして骨模型を使用し, 鏡をハーフミラーに置き換えることによる身体所有感に加えて, 透視および透触視(骨に対する接触感覚)に対する効果を検証した. 実験の結果, 身体所有感について鏡に関する要因の効果は検出されなかった一方, 透視および透触視の感覚については, ハーフミラーの使用によって増強することが示された.

Keywords — 透視感覚, 透触視感覚, ラバーハンド錯覚, ミラービジュアルフィードバック, 視触覚共感覚

1. はじめに

Rubber Hand Illusion (Botvinick et al., 1998) を端緒とし た従来の身体所有感に関する研究では、身体的な自己 感に関して、ラバーハンドやマネキン等の投射対象の 形状 (Armel et al., 2013) やサイズ (Van Der Hoort et al., 2011; Pavani, F et al., 2007) 等, 視覚像の外観的要因を扱 うアプローチが一般的である. こうした方向性とは別 に、近年、手への触覚刺激とともに、何も存在しない空 間に視覚刺激を与えることで「透明な身体」を所有して いる感覚を与えることや (Guterstam et al., 2013; Guterstam et al., 2016), 前方に手袋と靴下だけを提示し た仮想空間における,被験者の手足と同期した手袋と 靴下の運動は、所有感の伴う「透明な身体」の保持感覚 を得られることが知られている (Kondo et al., 2018). こ うした報告は、我々が「透明化した身体」のリアリティ ーを, 比較的容易に感受可能であることを示している. 実際、漫画や映像などの視覚文化の領域では、身体の 透明化は頻繁に採用される視覚表現であり、こうした

感受性が普遍性を有することの一つの証左であると思われる.一方で,筆者の知る限り,実験心理分野において,こうした身体像の「透視」を扱う手法や研究はそもそも報告されていない.これは,物理空間において,身体内部をむき出しに観察すること,身体を透かしてみているようなリアリティーを成立させることが端的に困難であったことが理由として考えられる.

XRAYSCOPE

我々は、昨年の「Best Illusion of The Year Contest 2020」において、あたかも身体表面を透かして身体内部を覗いているかのような錯覚体験を得られる装置





図1 XRAYSCOPE

「XRAYSCOPE」を発表した (図1).

「XRAYSCOPE」は、実験心理の分野で鏡の模倣を利 用した, Mirror Visual Feedback (以下, MVF: Ramachandran et al., 2009) のシステムにおける鏡をハー フミラーに置き換えることで再提案したものである. 具体的には、鏡で仕切られた左右の空間に対して、プ ログラムで制御した恣意的な調光を行うことで、あた かも透明化した手の中にペンなどのオブジェクトが実 際に入っているかのような視覚体験を可能とする装置 である. 2020 年 11 月末に開催した研究室展において、 ボールペンを用いた「XRAYSCOPE」の体験者に対して 簡易的なアンケートを行ったところ (N=143)、「自身の 身体内部を見ているような感覚 (以下,透視感覚) | の問いに対して、80%の体験者が「強く感じる(2)」また は「大変強く感じる (3)」という回答を得た (図 2). 加 えて、「XRAYSCOPE」の体験時に「ゾワゾワする」や 「くすぐったい」など、体験者の手を直接触っていない にも関わらず、 触覚に似た感覚が喚起されることも確 認された*1. 本研究では、この種の透かした身体の内部 において、視覚的な刺激によってのみ生じる触覚の感 覚を「透触視*2」と名付ける. 過去研究では、被験者の 手に触覚刺激がない場合でも触覚が感じられる事例が 報告されており (Dargin et al., 2007; Davies, A. et al., 2013)、「XRAYSCOPE」環境においても、視覚刺激のみ で触覚刺激を誘発する可能性が十分にあり得ると推察 される.

以上より本稿では、「XRAYSCOPE」環境における「透 視」および「透触視」の効果を、実験心理学の手法で検 証することを目的とするものである.

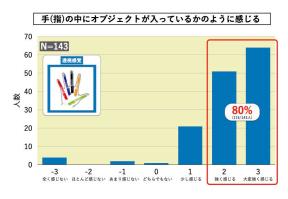


図2 透視感覚の評価

3. 実験

3.1 実験装置

本実験では、展示での XRAYSCOPE とは異なり、身体内部の対象物として手の骨模型を使用する. また、ハーフミラーを境にした左右にそれぞれ光量割合を調









図3 骨模型を用いた実験装置

う人文学的領域では、近年、視覚の出力と触覚による入力を兼ねるタッチパネルが「触視的平面」という言葉で言及されている(東浩紀、2018). 「透触視」という命名は、この後者の流れを汲むものである.

^{*1} 展示の記録映像 (https://vimeo.com/495084864) を参照

^{*2} 視覚と触覚双方の統合的な特性は、実験心理の領域では「視触 覚」というかたちで言及されることが一般的であるが、視覚文化を扱

整できる電球 (Philips Hue) を設置し, 互いの光源が干渉しないように, 対象物 (左面: 被験者の手, 右面: 骨模型) に向けて焦点を合わせる. 加えて, 骨模型は被験者から直接見えないよう, 自作した木枠で覆い隠す(図3).

3.2 実験方法

実験の目的に関してナイーブな 12 人 (男 8 人, 女 4 人) の 20 代の被験者が参加した. 被験者は, 鏡面右側に設置してある木枠と鏡 (ハーフミラー) の隙間から鏡面左側を覗き, 左手を鏡越しで映る模型に合わせるように, 鏡面左側の机の上に置く状態を基本姿勢とする. 実験者は, MVF の鏡として通常のミラーを使用する条件 (左右の光量 = 0:10(%)) とハーフミラーを使用する条件 (左右の光量 = 50:10(%)) を与える (ミラー要因:図4). さらに, 模型を直接撫でる BONE 条件, 模型の少し上を撫でるフリをする (実際には, 模型には触れない) AIR 条件, 何も行わない NONE 条件の3 つの条件を取り扱う (ビジュアルタッチ要因:図5).

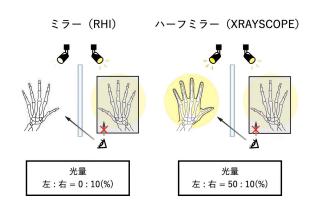


図4ミラー要因

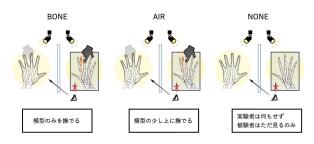


図5 ビジュアルタッチ要因

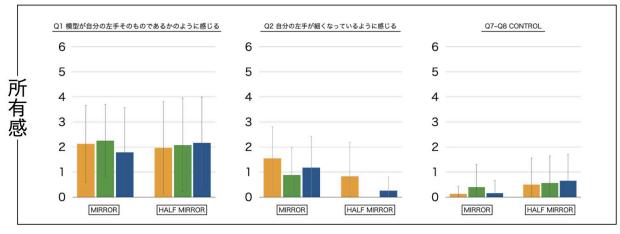
この時, 骨模型の触り方は, 手の甲から指先にかけて一方から撫でる方法で統一をした. 以上の三条件を通して, 実験者は被験者の手には一切触れておらず, 被験者に対する物理的な触覚刺激は皆無である.

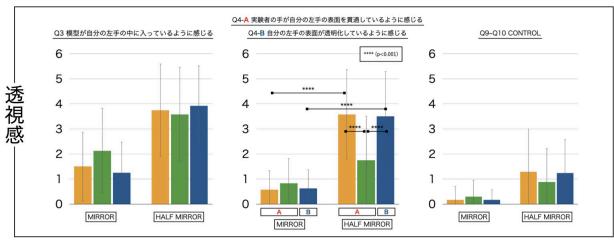
ミラー要因が 2 通り、ビジュアルタッチ要因 (BONE 条件: 40 秒, AIR 条件: 40 秒, NONE 条件: 20 秒) が 3 通りの計 6 通りの試行を 1 セットとし、合計 2 セット行う. また、毎回の試行後、「所有感」「透視感」「透触視感」に関する計 12 項目の質問 (Q1~6 が錯覚に関する質問、Q7~12 がコントロール質問:表1) 行い、各項目について0(全く感じない) から6(非常に強く感じる)の7段階で、目を閉じて評価をさせた. しかし、Q4 に関しては、ビジュアルタッチ要因の条件による質問意図を統一するため、質問を2つに分ける. 加えて、Q5~6、Q11~12に関しては、触覚に関する項目のため、実験者が何も行わない NONE 条件を除く. 質問の順番は被験者ごとに無造作に決定した.

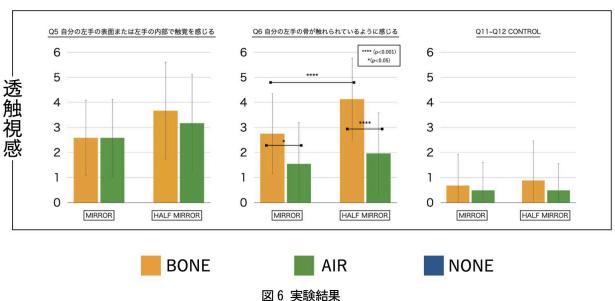
	所有感に関する質問
Q1	模型が自分の左手のそのものであるかのよう
	に感じる
Q2	自分の左手が細くなっているように感じる
	透視感に関する質問
Q3	模型が自分の左手の中に入っているかのよう
	に感じる
Q4	実験者の手が自分の左手の表面を貫通してい
	るように感じる (≠NONE)
	自分の左手の表面が透明化しているように感
	じる (NONE)
	透触視感に関する質問
Q5	自分の左手の表面または左手の内部で触覚を
	感じる (≠NONE)
Q6	自分の左手の骨が触れられているように感じ
	る (≠NONE)
	コントロール質問
Q7	自分の左手が太くなっているように感じる
Q8	自分の左手が複数あるように感じる
Q9	模型が自分の左手からはみ出しているように
	感じる
Q10	自分の左手の骨が透明化しているように感じ
	る
Q11	自分の左手または左手の内部に痛みを感じる
	(≠NONE)
Q12	自分の左手の骨が重たくなるように感じる
	(≠NONE)

表 1 12項目の質問表

4. 結果







以上の結果 (N=12) を図 6 に示す. 各要因の効果を検証するため, 各質問項目における「ミラー要因」と「ビジュアルタッチ要因」について, 2 要因の被験者内分散分析を行った (Q1-4,Q7~10 は2(ミラー要因: ミラー,

ハーフミラー)×3(ビジュアルタッチ要因:BONE,AIR,NONE) の2要因,Q5-6,Q11~12は2(ミラー要因:ミラー,ハーフミラー)×2(ビジュアルタッチ要因:BONE,AIR)の2要因).まず,錯覚に関連する質問項

目である,所有感項目 Q1-2,透視感項目 Q3-4,透触視感項目 Q5-6 では,「ミラー要因」に関して,Q1以外の全ての質問項目で有意な主効果が得られた(Q2:F(1, 11)=8.87,p<0.05,Q3:F(1, 11)=22.34,p<0.001,Q4:F(1, 11)=39.60,p<0.01,Q5:F(1, 11)=8.59,p<0.05, Q6:F(1, 11)=10.94,p<0.01)。続いて,「ビジュアルタッチ要因」に関しても,Q1,Q3,Q5以外の項目で有意な主効果を得た(Q2:F(1, 11)=6.49,p<0.01,Q4:F(1, 11)=4.41,p<0.05,Q6:F(1, 11)=11.787,p<0.01)。また,各錯覚質問の項目に対応させたコントロール項目である,Q7-8(所有感項目に対応),Q9-10(透視感項目に対応),Q11-12(透触視項目に対応)では,「ミラー要因」に関しては Q7,Q9-11 で,「ビジュアルタッチ要因」に関しては Q7,Q9-11 で,「ビジュアルタッチ要因」に関しては,Q12で有意または有意傾向を持つ主効果が得られた.

「ミラー要因」と「ビジュアルタッチ要因」の交互作用については、Q3-4、Q5-6 において、有意または有意な傾向が確認された(Q3:F(2,22)=3.10,p=0.07,Q4:F(2,22)=5.61,p<0.05,Q5:F(2,22)=2.92,p=0.08,Q6:F(2,22)=13.20,<math>p<0.001).

得られた交互作用の結果にもとづき、単純効果の検定を行ったところ、Q4 では「ミラー要因」の効果が、BONE と NONE の条件で有意 (BONE:F(1,11)=30.86、p<0.001, NONE:F(1,11)=28.34, p<0.001)、「ビジュアルタッチ要因」の効果がハーフミラー条件で有意 (F(2,22)=10.01, p<0.001) となり、Q6では、「ミラー要因」の効果がBONE条件で有意 (F(1,11)=20.40, p<0.001)、「ビジュアルタッチ要因」の効果が、ミラー、ハーフミラーの両方の条件で有意となった(ミラー:F(1,11)=5.60, p<0.05、ハーフミラー:F(1,11)=17.99, p<0.001). すなわち、Q6では、ミラーとハーフミラーのいずれの条件でもBONE条件が大きく評価されることがわかった.

続けて、単純効果の下位検定として多重比較 (Ryan 法) を行ったところ、Q4 では、ハーフミラー条件において、BONE と NONE 条件の双方が AIR 条件よりも有意に大きな値となることがわかった (全て、p<0.001).

さらに、各質問項目で得られた「ビジュアルタッチ要因」の主効果について、多重比較 (Ryan 法) を行ったところ、 Q2 では BONE 条件が AIR、NONE 条件より有意に大きく評価された (BONE-AIR: p < 0.01, BONE-NONE: p < 0.05).

5. 考察

本稿では、「XRAYSCOPE」における透触視感覚への 関心から、被験者への触覚刺激を与えずに検証を行な った. 「透視感」「透触視感」に関する計4項目では、ミ ラー条件よりも XRAYSCOPE 環境に相当するハーフミ ラー条件でより強い錯覚を与えるという結果を得た. これらの結果は、MVF をハーフミラー化することによ って、「透視感覚」および「透触視感覚」が強化される ことを直接示すものであり、本研究の仮説と合致する ものである。とりわけ後者の「透触視感覚」については、 過去の展示における「ゾワゾワする」や「くすぐったい」 などの体験反応を裏付ける結果となり、「XRAYSCOPE」 が、視覚刺激のみで触覚刺激を誘発することを示唆す るものである. すなわち、本システムは、認知システム に普遍的に内在している視触覚に関わる共感覚性を増 強しているものと考えられる. 興味深い点として、「透 視」「透触視」に対する直接の質問である Q3 と Q5 に ついて、「ビジュアルタッチ要因」の効果および要因間 の交互作用は得られていない. すなわち、骨の模型を 物理的に触る・触らないに関わる視覚レベルの触覚の 違いは、透触視錯覚の程度に全く影響を与えていない. この結果は、従来の所有感錯覚の基本原理(多感覚間同 期)と必ずしも一致するものではない、つまり、身体内 部のオブジェクト(骨)に対する所有感は、身体表面で 認知される通常の身体の所有感とは異なる認知機序で 作用している可能性が考えられる.

なお、「所有感」に関する項目 (Q1) では、ミラー要 因の主効果は得られなかった. 当初の仮説では、鏡を 用いる古典的な MVF 手法では、 骨模型に対する所有感 がより増強されるものと想定したが、実際は、骨模型 と手のイメージが重畳されるハーフミラー条件のみな らず、骨模型のみが表示される鏡条件でも、骨模型に 対する所有感の変調は極めて低調であった. 具体的に は、鏡を使用した場合に、骨模型に対する身体所有感 の強度は7段階で平均2程度であり、これは触覚刺激 が与えられていないことを勘案しても、一般的な MVF の実験としては極めて低いものである. 以上の理由と して、骨が身体の中に存在するものであるという潜在 的な身体感覚および、その種の身体像に類する概念的 知識が影響を与えた可能性が考えられる. 関連して, 鏡を使用して骨模型のみを呈示した場合に、骨模型を 触ることによる透触視の効果が有意に得られている点 は、骨という外観が有する(古典的なラバーハンドの 素材としての)特別な性質を示唆するものである.

文献

- [1] Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands 'feel'touch that eyes see. *Nature*, *391*(6669), 756-756.
- [2] Armel, K. C., & Ramachandran, V. S. (2003). Projecting sensations to external objects: evidence from skin conductance response. Proceedings. Biological Sciences / The Royal Society, 270(1523), 1499–1506.
- [3] 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.
- [4] Pavani, F., & Zampini, M. (2007). The role of hand size in the fake-hand illusion paradigm. *Perception*, *36*(10), 1547-1554.
- [5] Guterstam, A., Gentile, G., & Ehrsson, H. H. (2013). The invisible hand illusion: multisensory integration leads to the embodiment of a discrete volume of empty space. *Journal of* cognitive neuroscience, 25(7), 1078-1099.
- [6] Guterstam, A., Zeberg, H., Özçiftci, V. M., & Ehrsson, H. H. (2016). The magnetic touch illusion: A perceptual correlate of visuo-tactile integration in peripersonal space. Cognition, 155.
- [7] Kondo, R., Sugimoto, M., Minamizawa, K., Hoshi, T., Inami, M., & Kitazaki, M. (2018). Illusory body ownership of an invisible body interpolated between virtual hands and feet via visualmotor synchronicity. *Scientific reports*, 8(1), 1-8.
- [8] Ramachandran, V. S., & Altschuler, E. L. (2009). The use of visual feedback, in particular mirror visual feedback, in restoring brain function. *Brain*, 132(7), 1693-1710.
- [9] Durgin, F. H., Evans, L., Dunphy, N., Klostermann, S., & Simmons, K. (2007). Rubber hands feel the touch of light. *Psychological Science*, 18(2), 152-157.
- [10] Davies, A. M. A., & White, R. C. (2013). A sensational illusion: vision-touch synaesthesia and the rubber hand paradigm. *Cortex*, 49(3), 806-818.
- [11] 東浩紀: 観光客の哲学の余白に(9) 触視的平面の誕生, ゲンロンβ21,2018