

# VRにおける仮想ひげの触覚提示が 身体所有感と移動知覚に及ぼす影響

## Effects of Virtual Whisker Haptic Feedback on Body Ownership and Self-Motion Perception in VR

岡村優樹<sup>1\*</sup> 吉田直人<sup>1</sup>  
Yuki Okamura<sup>1</sup> Naoto Yoshida<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 工学院大学

<sup>1</sup> Kogakuin University

**Abstract:** VR空間での自己表現において、動物的外見を持つアバターが支持を集めている。そこで本研究では、VR空間上の仮想ひげのしなりに同期して頬の皮膚を牽引するHMD一体型デバイスを開発し、ひげの曲がり方向を顔面上の疑似触覚として提示するインタラクション手法を提案する。この触覚フィードバックがアバターへの身体所有感とVR移動時の知覚に与える影響を評価した結果、仮想ひげに同期した牽引刺激は身体所有感を高め、移動をより速く知覚させる可能性が示された。

### 1 はじめに

アバターはVRでのコミュニケーションにおいて、ユーザーのアイデンティティ（好み・役割・キャラクター）を表現する主要な手段として用いられている。ソーシャルVRに関する調査では、動物的特徴を持った人型のアバターである亜人間アバターの利用は全体の50%と最も高い割合を占めている[1]。亜人間アバターに関しては、アバターの要素となる猫耳などの動物特有の部位の触覚を再現することで、その部位に対して身体所有感が得られることが報告されている[2]。しかし、動物特有の感覚器官の機能に着目し、人間がそれを利用する取り組みは確認できていない。

そこで本研究では、動物特有の感覚器官である「ひげ」に着目し、頬への牽引刺激を用いてひげの触覚を再現するとともに、移動時の速度把握のための感覚器官としての役割を疑似的に付与する。これにより、ひげを有するアバター使用時にひげに対する身体所有感が生起するかを検証し、さらに、ひげへの身体所有感がVR空間内での移動感覚に与える影響を明らかにする。

### 2 関連研究

身体所有感とは、ユーザーの動作とアバターの運動が時間的に一致して提示されるほど生起・増強されやすく[3]、さらに仮想身体で生じる接触・変形などの視覚

情報と実身体への触覚刺激が同時に与えられる条件ではより高まることが示されている[4]。加えて、視覚情報が得られない状況であっても、触れる側と触れられる側の触覚が同期するよう刺激を提示すると身体所有感が生起し得ることが報告されている[5]。

人間には生得的に存在しない身体部位を付加し、その部位に対する身体所有感を検討した研究は多い。山村ら[2]は、猫耳を持つ亜人間アバターに対して、猫耳への触覚を毛髪を介した触覚刺激として代替提示することで、猫耳に対する身体所有感が得られることを示している。これは、本来人間には存在しない身体部位である「動物のひげ」に対して身体所有感を生起するという本研究の裏付けとなる研究であり、動物の感覚器官に関する触覚を代替的に提示する点で本研究と共通する。一方で本研究は、「所有感の生起」に加えて「感覚器官が本来担う機能まで再現できるか」を扱う点に新規性があり、ひげに対して所有感が成立した状態で、触覚刺激によってひげの感覚器官としての手がかりを提示できるかを検討する必要がある。

身体所有感を得たアバターの外見的特徴がユーザーの自己知覚や心理状態を変化させ、態度や行動にまで影響し得る現象はプロテウス効果と呼ばれる[6]。本研究で想定する「ひげに対する所有感の生起 → 自己知覚の変化 → 移動知覚の変化」という流れも、この枠組みに沿って説明できる。

\*連絡先：工学院大学情報学部情報デザイン学科  
E-mail: j222074@g.kogakuin.jp

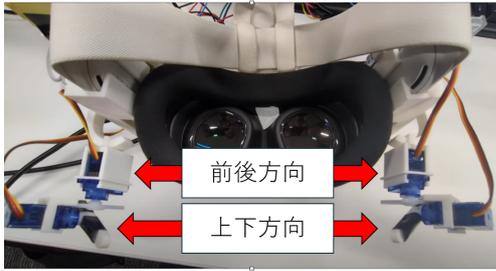


図 1: 実験装置

### 3 提案システム

動物のひげ触覚は、ひげが物体に接触して湾曲することで生じる力学的刺激を毛包内の感覚受容器を介して知覚する [7]。本研究ではこの仕組みに着目し、VRでのひげの湾曲に同期して頬の皮膚を牽引することで、実物のひげのような方向性のある触覚手がかりを提示する。サーボモーター（型番：SG-90）を2台組み合わせ2自由度の角度変化を可能にしたものを、HMDの左右それぞれに樹脂パーツで固定し、Arduino Uno R3で制御した（図1）。左右それぞれのひげオブジェクトの根元に対する先端のローカル座標差分を算出し、この差分値の前後方向成分および上下方向成分を正規化し、サーボ角度範囲（45～135°）へ線形変換することで、各サーボ角度を算出した。視界に映るひげ先端の変位方向と頬への牽引方向が一致するように、ひげが上下方向に湾曲する場合には上下方向用サーボを主に駆動して頬の皮膚を上下方向へ牽引し、ひげが前後方向に湾曲する場合には前後方向用サーボを主に駆動して頬の皮膚を前後方向に牽引した。VR空間内の移動は、コントローラーのスティック操作により行えるように実装した。

## 4 実験

### 4.1 実験概要

20歳から24歳の男女16名（男性9名、女性7名）が、実験1、実験2の両方に参加した。実験1では各条件終了後にVAS法のアンケート（0-100）（表1）をVR空間内に提示し7項目に回答させ、全4条件終了後にHMDを外し紙面による記述式アンケートを実施した。実験2ではVR空間内で7段階リッカート尺度のアンケート8項目（表2）に回答させ、全8条件終了後に同様に紙面で記述式アンケートを実施した。条件提示順は参加者間でラテン方格法によりカウンターバランスを取った。

#### 実験1

表 1: 実験1の質問項目

|      |                   |
|------|-------------------|
| Q1-1 | ひげが頬に引っ張られていると感じた |
| Q1-2 | 触覚と視覚が一致していると感じた  |
| Q1-3 | ひげが存在していると感じた     |
| Q1-4 | ひげにかかる風・空気抵抗を感じた  |
| Q1-5 | ひげが自分の体の一部だと感じた   |
| Q1-6 | VR体験に没入していると感じた   |
| Q1-7 | 不快感/酔いを感じた        |

表 2: 実験2の質問項目

|      |                        |
|------|------------------------|
| Q2-1 | 今の移動を速く感じた             |
| Q2-2 | 今の移動を遅く感じた             |
| Q2-3 | 動物のひげを持ったと感じた          |
| Q2-4 | 指示された距離を移動できたと感じた      |
| Q2-5 | 試行で提示された手がかりは、速度感に影響した |
| Q2-6 | 空気の流れ・風のような感覚を感じた      |
| Q2-7 | 提示された手がかりは注意の妨げになった    |
| Q2-8 | 不快感/酔いを感じた             |

ひげ視覚要因（ひげの見た目：あり、なし）、牽引刺激要因（牽引刺激：あり、なし）の2要因4条件参加者内計画である。課題はVR空間にて、左右に配置した球形オブジェクトを1秒ごとに交互に注視する課題、次の課題内容の指示、上下に配置した球形オブジェクトを1秒ごとに交互に注視する課題の順で実施した。

#### 実験2

ひげ要因（ひげの見た目と牽引刺激：あり、なし）、距離要因（10m、30m）、速度要因（15m/s、45m/s）の3要因8条件参加者内計画とした。参加者には移動感覚を把握させるため、各条件提示前に20m移動させた。その後、条件に従って指定された距離を推測して移動し、到達したと判断した時点でコントローラーのボタンを押下させ、移動距離を記録した。

### 4.2 実験仮説

実験1：[H1-1] ひげ視覚提示および牽引刺激の提示は、それぞれひげに対する身体所有感を増加させる。[H1-2] 両刺激を同時に提示した条件では、いずれか一方のみを提示した条件よりも身体所有感が高まる。

実験2：[H2] ひげ（ひげの見た目と牽引刺激）を提示した条件では、ひげにかかる加速度や空気抵抗に相当する手がかりが付加されることで、非提示条件に比べて移動速度を速く知覚し、結果として移動距離を短く見積もる。

## 5 実験結果と考察

### 5.1 実験1の結果と考察

2要因被験者内分散分析（ $\alpha=.05$ ）の結果、牽引刺激要因（牽引刺激の有無）はQ1-1からQ1-5およびQ1-7

で有意な主効果を示し、いずれも牽引刺激あり条件の評定が高かった。ひげ視覚要因（ひげ視覚提示の有無）はQ1-2からQ1-6で有意であり、いずれも視覚提示あり条件の評定が高かった。また、ひげの存在感（Q1-3）・所有感（Q1-5）では、ひげ視覚要因と牽引刺激要因はいずれも主効果が有意で、交互作用も有意であった（図2、図3）。交互作用が有意であったQ1-3とQ1-5について単純主効果を検討したところ、牽引刺激はひげ視覚の有無にかかわらず評定を高め（ひげ視覚あり： $p < .01$ 、ひげ視覚なし： $p < .05$ ）、ひげ視覚も牽引刺激の有無にかかわらず評定を高めた（牽引刺激あり： $p < .01$ 、牽引刺激なし： $p < .05$ ）。

ひげの存在感（Q1-3）および所有感（Q1-5）における単純主効果の結果は、視覚提示と牽引刺激がそれぞれ単独でも評定を押し上げ、さらに両者を併用した条件で評定がより高まることを示唆する。まず、牽引刺激提示なし条件でもひげ視覚提示が評定を高めた点は、頭部運動に追従する仮想ひげによって視覚-運動の整合が成立し、触覚的な裏付けがなくても「ひげが存在する」「自分に結び付く」という判断が強まり得ることを示す [3]。一方、ひげ視覚提示なし条件でも牽引刺激が評定を高めた点は、視覚手がかりが乏しい状況でも体性感覚が身体化の手がかりとなり得るという知見と整合する [5]。さらに、ひげ視覚提示あり条件で牽引刺激が評定を高めたことは、ひげのしなりという視覚イベントと頬への牽引が時間的に一致して提示されることで所有感が増強されるという報告と整合し [4]、同時提示による整合が存在感・所有感を強めた可能性が示唆される。

## 5.2 実験2の結果と考察

移動距離の3要因被験者内分散分析（ $\alpha = .05$ ）の結果、ひげ要因の主効果および速度・距離要因との交互作用はいずれも有意ではなかった。一方で、Aligned Rank Transformを用いた主観評価の3要因分散分析（ $\alpha = .05$ ）の結果、Q2-1でひげ「あり」条件で回答が有意に高く（図4）、Q2-2ではひげ「なし」条件で回答が有意に高かった（図5）ため、ひげ提示によって移動速度を速く知覚させていた可能性が示唆された。

結果から、ひげ提示により主観的な移動速度が速い方向に変化したことが示唆されたが、この背景には少なくとも二つの要因があると考えられる。

第1に、プロテウス効果の枠組みに沿って、ひげを有する身体特徴が自己知覚や判断に影響し、移動中の感覚が「風を受ける」「抵抗を受ける」といったひげに整合する手がかりとして解釈・強調されることで、速度感が増強された可能性である。すなわち、ひげへの所有感が生じた状態では、ひげのしなりやそれに随

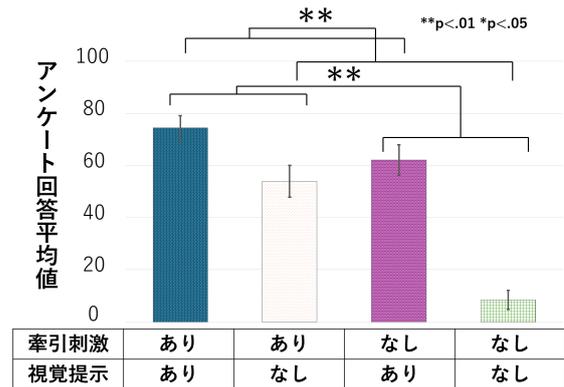


図 2: Q1-3 における各条件平均値

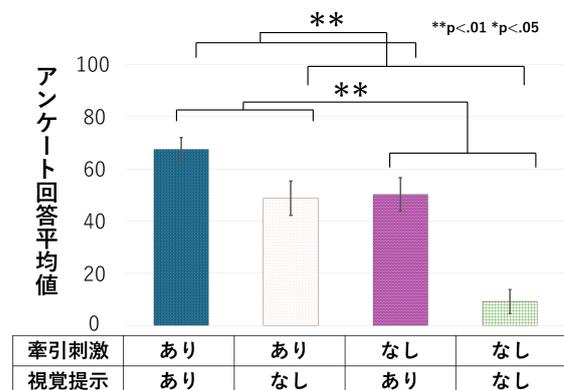


図 3: Q1-5 における各条件平均値

伴する感覚が自己運動の手がかりとして統合され、視覚的なオプティックフローに上乘せされた形で速度が速く知覚したと考えられる。

第2に、ひげの所有感や外見の解釈を介さず、頬への牽引刺激そのものが速度の手がかりとして機能した可能性である。先行研究では、顔面への横方向の牽引刺激によって力錯覚が誘発されることが示されており、牽引刺激が運動や力の知覚と結び付く可能性が報告されている [8]。よって本研究においても、移動中に提示された牽引刺激が「力を受けている」「動いている」という身体感覚を喚起し、結果として主観的な移動速度知覚が速まった可能性がある。

ただし本実験では、ひげの視覚提示と牽引刺激をセットとして操作しているため、速度感の変化が上記いずれの仕組みによって生じたか、あるいは両者の相乗によって生じたかを切り分けることはできない。今後は、視覚提示のみ、牽引刺激のみ、両方提示の条件を分離した実験により、原因の切り分けを行う必要がある。

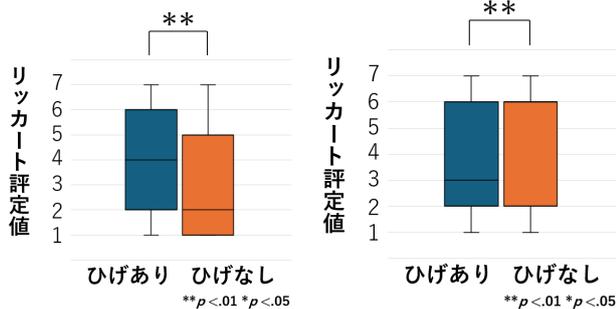


図 4: Q2-1 に対する評定値の条件間比較 (中央値と四分位範囲)

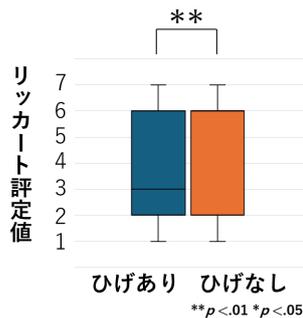


図 5: Q2-2 に対する評定値の条件間比較 (中央値と四分位範囲)

## 6 むすび

本研究では、仮想ひげの動きに同期して頬へ牽引刺激を与える提示手法を提案し、ひげに対する身体所有感の生起と移動知覚への影響を検証した。その結果、ひげの視覚提示と牽引刺激はいずれも所有感を高め、両者を同時に提示した条件で最も所有感が高まることが示された。また、ひげ提示により移動速度を速い方向に知覚する傾向が見られた。一方、移動距離推定には明確な差が見られず、距離判断が主に視覚的变化量や経過時間に依存したため、本刺激が手がかりとして用いられにくかった可能性がある。さらに、提示品質 (装着感・動作音・刺激強度など) に由来する違和感が注意や不快感に影響した可能性がある。以上より、本手法はひげの身体所有感を形成し移動速度感を変化させ得る一方、距離推定への寄与を高めるには、視覚提示と牽引刺激の効果の切り分けに加え、加減速・旋回を含む状況で刺激変化量を大きくする設計と、提示品質 (静音化・強度調整・位置整合) の改善が必要である。

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 23K11202, 23K11278, 22K19792 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] Virtual Girl Nem and Bredikhina Liudmila. “メタバースでのアイデンティティ：ソーシャル VR ライフスタイル調査 2024”. note, 2024. [https://note.com/nemchan\\_nel/n/n9a4ca9f667a2](https://note.com/nemchan_nel/n/n9a4ca9f667a2), accessed: 2025-11-13.
- [2] 山村浩穂, 近藤亮太, 杉本麻樹. “necomimi illusion: アバターの猫耳と連動する毛髪を通じた触覚フィー

ドバックによる所有感生成”. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 30, No. 1, pp. 13–22, 2025.

- [3] Maria V. Sanchez-Vives, Bernhard Spanlang, Antonio Frisoli, Massimo Bergamasco, and Mel Slater. Virtual hand illusion induced by visuo-motor correlations. *PLOS ONE*, Vol. 5, No. 4, pp. 1–6, 04 2010.
- [4] Mel Slater, Daniel Pérez Marcos, Henrik Ehrsson, and Maria V. Sanchez-Vives. Towards a digital body: the virtual arm illusion. *Frontiers in Human Neuroscience*, Vol. Volume 2 - 2008, , 2008.
- [5] H. Henrik Ehrsson, Nicholas P. Holmes, and Richard E. Passingham. Touching a rubber hand: Feeling of body ownership is associated with activity in multisensory brain areas. *The Journal of Neuroscience*, Vol. 25, No. 45, pp. 10564–10573, November 2005.
- [6] Nick Yee and Jeremy N. Bailenson. The proteus effect: The effect of transformed self-representation on behavior. *Human Communication Research*, Vol. 33, No. 3, pp. 271–290, July 2007.
- [7] Samuel J. Whiteley, Per M. Knutsen, David W. Matthews, and David Kleinfeld. “deflection of a vibrissa leads to a gradient of strain across mechanoreceptors in a mystacial follicle”. *Journal of Neurophysiology*, Vol. 114, No. 1, pp. 138–145, 2015. PMID: 25855692.
- [8] Masahiro Miyakami, Akifumi Takahashi, and Hiroyuki Kajimoto. Head rotation and illusory force sensation by lateral skin stretch on the face. *Frontiers in Virtual Reality*, Vol. Volume 3 - 2022, , 2022.