

# HMD を介したポールを引っ張り合うことによる 腕が伸縮する感覚の誘発

石原由貴<sup>†1</sup> 森光洋<sup>†1†2</sup> 室田ゆう<sup>†3</sup> 小鷹研理<sup>†1</sup>

Newportらは、現実の指が引っ張られるのと同時に、指が伸びる映像を見せることによって、指が伸縮する感覚が得られることを報告している。本研究では、この方法論を腕の伸縮感覚誘発に適用した新たなインタラクション「Stretchar(m)」を提案する。具体的には、二人の人間が一本のポールを引っ張り合うことに伴う自重変化を、一人称視点において呈示されるCGの腕の長さに関連づけることにより、これを実現する。

## Stretchar(m): Making Illusory Elastic Arm based on Correlation between Physical Action and Visual Body-image Presentation.

YUKI ISHIHARA<sup>†1</sup> KOYO MORI<sup>†1†2</sup>  
YU MUROTA<sup>†3</sup> KENRI KODAKA<sup>†1</sup>

Pulling a finger in correlation with showing unnaturally stretched finger has been found to be effective to induce the sense of having a stretched finger. Based on this idea, we propose the new HMD system named “stretchar(m)” to give an unique experience of having elastic arms through showing unnaturally stretched arms in HMD and a physical action of pulling a pole and leaning slightly backward when standing and being assisted by a playmate who pulls the pole in the opposite direction.

### 1. 背景

近年の安価なHMDの発売・3Dゲームの開発環境の充実によってVRコンテンツは我々の生活に身近な存在となりつつある。一般的にVRによって提示されるのはCGや360°映像などで構成された仮想環境であり、体験者の視覚をこれらの映像で覆い隠すことで、非日常的な空間を疑似体験させる。中でもHTC Viveに代表される、リモコンの付随した一部のヘッドセットでは、リモコンを操作することで体験者の現実の手の動きを仮想環境内に表示させることができる。この手法により、仮想空間内での体験者の振る舞いに身体的なリアリティが保たれ、コンテンツへの没入感が高い状態で仮想空間へ干渉を行うことが可能となった。

ただし、こうしたVR空間における身体情報の提示は、仮想空間内での移動や動作を反映させることに留まり、現実と大きく異なる身体情報を提示することについてはあまり試みられていない。この理由の1つには、本物の身体と似通っていない身体に対しては、自身の身体であるという感覚(身体所有感)を感じにくいことが挙げられる。この傾向についてはRubber Hand Illusionなどの身体外のものを身体として感じさせる心理実験を通して、度々報告がなされている[1]。よって、身体に対する非現実的な表現はコンテンツの現実感を落としかねないとして、消極的な取り組み姿勢となっていると考えられる。しかし、体験者の身

体についても任意の形状・動作に置き換えることが可能であれば、現実では味わうことのない、異なる身体を持つ体験という新鮮な感覚を体験者に与えることができる。特にゲームコンテンツにおいては、体験者の操作するアバタの身体的特徴に応じて、体験者自身の身体イメージ(=心理的に感じている身体の形状・位置・運動)が変化できる体験を作り出すことは、コンテンツへの没入感を高める上で非常に有用である。

これまでに、「えくす手 [2]」や「Augmented Hand Series [3]」「伸びる腕 [4]」など、現実とは異なる身体像を視覚的に提示することによる、新しい身体イメージを獲得させる試みが行われてきた。また、心理実験としては実際の身体とサイズの異なる人形[5]、仮想空間内の人物[6]などを体験者の身体と同一化させる研究が行われ、身体所有感の移動による、身体イメージの変形の誘発が確認されている。これらの事例は何れも<視覚-運動><視覚-触覚>などの感覚間の同期が錯覚の大きな要因としている。それに加えて、実験に用いられているのが現実の身体と相似した形状の偽物の身体であることも、錯覚を誘起できた1つの要因である。偽物の身体が現実の身体と非相似である場合にも錯覚を与えることは可能であるが(長いゴムの手[7]の例など)、先にも述べた通り、相似した形状と比較して錯覚は誘起されづらいとされているためである。しかしNewportらが行った実験[8]では、実験者が体験者の人差し指を引っ張ると同時に、指が伸びた映像を本物の身体の上に被せて提示することで、人差し指が不自然に伸びた、現実とは非相似な身体イメージを体験した9割前後の子どもたちに与えることに成功している。これは相似した身体から非

<sup>†1</sup> 名古屋市立大学芸術工学研究科  
Nagoya City Graduate School of Design & Architecture,

<sup>†2</sup> Bunno Pen

<sup>†3</sup> 名古屋市立大学芸術工学部

Nagoya City University School of Design & Architecture,

【 研究報告用原稿：上記\*の文字書式「隠し文字」 】

相似的な身体へと連続的に変化する様子を、<筋肉の伸縮感覚>と共に、視覚的に提示することによって、指が伸びた感覚を受け入れやすい条件を作り出すことができたためと考えられる。

本研究室では、この<筋肉の伸縮感覚>と<相似的形状から非相似的形状へと連続的に変化する視覚イメージ>を応用し、ぶらさがり運動を用いた腕の伸縮感の誘発させる装置[9]の制作を行った。この装置では、HMDを被り、ぶら下がり動作によって起こる自重変化に合わせ、目の前のアバタの腕が伸びる映像を提示する。この時、アバタの主観映像をそのままHMDに提示すると伸びた腕が見つらい状態となるため、体験者の視点はアバタの背面に固定した。この装置は学会や展示会において、多くの体験者から「実際に腕が伸びた感じがした」という感想を得ることができた。本研究ではこの装置を踏まえ、より汎用的である前方方向への腕の伸縮感覚を作り出す装置「Stretchar(m)」を制作する。

## 2. アプローチ

<視覚-筋肉の伸縮感覚>の同期を利用して前方向への腕の伸縮感覚を作り出すためには、腕が体験者の前方へと引っ張られる構造が必要となる。そこで、本システムでは実在するポールを体験者に引っ張ってもらう動作を取り入れることで、腕の筋肉の伸縮感覚を作り出す。この際、前回の装置同様、HMDによる腕の伸縮映像を提示することで、<連続的に腕が伸びてゆく視覚イメージ>を体験者に与えた。

## 3. 実装



図 1 VR 内の様子

Figure 1 The image of the Stretchar(m).

本システムではポールと共に自重を取得できるバランスボードを用いることで、体験者がポールに対してかける負荷の量を測定し、視覚的に提示する腕の伸縮率を変化させた。以下でこれらの装置とVR空間内で起こる視覚的变化の詳細を述べる。

### (1) ポール

本システムでは体験者と補助者が対面で立ち、1本のポール（鉄製、直径2cm、長さ50cm）を引き合う。ポールの動作を映像内に正確に反映させるため、ポール中央にはHTC Viveトラッカーが取り付けられている。補助者がポールを支えることでポールが適度に動き、VR空間内に反映されたポールの様子と握った手の感覚から、体験者はよりVR空間の出来事に対しリアリティを持って感じることができる。

### (2) バランスボード

本システムにおいては映像内で提示する腕の伸縮率を、体験者がポールにかかる負荷によって変化させた。その負荷は被験者の下に置かれたバランスボード（任天堂 バランス Wii ボード）で取得できる重心と自重変化量で計測している。自重変化量 $\Delta W_t$ は、時間 $t$ における体重 $W_t$ から、被験者がバランスボードに真っ直ぐに立っている時の体重 $W_0$ を引いた数式1で表すことができる。

$$\Delta W_t = W_t - W_0$$

数式 1 自重変化量

Formula 1 The amount of variation of weight.

### (3) HMD

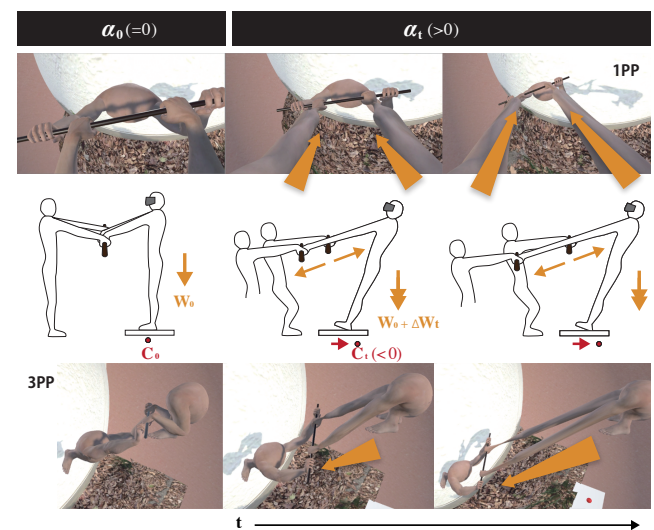


図 2 自重の状態に対応した映像の様子

Figure 2 Relationship among body-balance indexes and the stretch ratio ( $\alpha$ ).

体験者が着用するHMD (HTC Vive) に提示される映像は、Unityで動的に生成される3DCGによって構成される(図1)。そこには体験者自身から伸びたCGの腕、ポール、そしてポールを引く小人が映し出される。ポールの動きはViveトラッカーから得た値を利用し、現実のポールの動きを正確に反映する。CG内の被験者の手は、このポールを握りしめている。このポールと体験者の位置とを繋ぐ腕の長さ

は、初期設定では現実に近い、違和感があまり感じられない長さに設定されている。この VR 空間上の腕の伸長率  $\alpha$  は、体験者がポールを引っぱる行為とリンクする必要がある。よって「体験者がポールに力をかけている状態=重心が後ろへと倒れている状態」とし、取得された重心によって腕の伸長・伸縮を切り替えるとともに、その伸長率  $\alpha$  を変化させた (図 2)。

体験者の重心が後ろに倒れる場合、自重変化量に基づいて、一定の値まで腕は伸び続ける。時間  $t$  における腕の伸長率  $\alpha_t$  は、伸長率を一定の数値範囲内へと正規化させる任意の係数  $p$  を用いて、数式 2 で表すことができる。係数  $p$  は腕が徐々に伸長するような値となるよう調整した。

$$\alpha_t = \alpha_{t-1} + p \times \Delta W_t \quad (p > 0, \alpha_0 = 0)$$

数式 2 腕の伸長率

Formula 2 The extension rate of arms.

VR 空間内での腕の長さは、体験者の頭付近と VR 空間内のポールの位置を結ぶ長さである。VR 空間内のポールの位置  $poll_{vr}(t)$  は先に求めた伸長率  $\alpha_t$  と体験者の頭の位置  $head(t)$ 、現実空間のポールの位置  $poll_{ph}(t)$  を用い、数式 3 で導き出す。

$$poll_{vr}(t) = \overrightarrow{head(t)} + (1 + \alpha_t)(\overrightarrow{poll_{ph}(t)} - \overrightarrow{head(t)})$$

数式 3 VR 空間内のポールの位置

Formula 3 The position of the pole in VR.

一方、体験者の重心が前に寄りかかる場合には腕は縮み、伸長率  $\alpha_t$  は任意の係数  $q$ 、重心  $C_t$  によって以下のように導かれる (数式 4)。

$$\alpha_t = \alpha_{t-1} + q \times C_t \quad (q > 0, C_t < 0)$$

数式 4 腕の伸長率

Formula 4 The extension rate of arms.

この係数  $q$  は腕が伸長した後、素早く現実的長さの腕へと戻ることができるような値に調整した。これにより、体験者がポールにかかる力を抜いた瞬間に、一気に現実の腕の長さへと戻ってくるような感覚を作り出すことができる。

#### 4. 考察

本装置は研究室主催の展示会に展示し、多くの人に体験してもらえた。体験者への聞き取りでは「本当

に腕が伸びたような感じがした」という意見に加え、「気持ち悪い」などの身体的な違和感を訴える感想を多く聞くことができた。この反応は、腕が伸びる事象に対する身体的なリアリティが一定以上あったからこそ得られた反応であると考えている。

本研究では、以前制作した<相似的形状から非相似的形状へと連続的に変化する視覚イメージ>と<視覚-筋肉の伸縮感覚>の同期を利用した、ぶら下がり運動による腕の伸縮感を誘発する装置を基礎として、引っぱり合い運動を用いた新しいバリエーションの腕伸縮装置を作り出した。今後は本装置によって実際に腕の伸縮感覚が起こっていたのかどうか、客観的指標によって計測し、明らかにする必要がある。これを調査することは、身体イメージを変化させるためにはどのような要因が効果的であったのかを解明する認知心理学的意義の他、今後の VR 内でのアバタ表現に応用可能な手法を探ることに繋がる。一般的な身体イメージの計測手法としては錯覚中に被験者が感じている身体の位置を比較する Proprioceptive drift が挙げられるが、本研究においてもそうした手法を取り入れ、よりバイアスのかかりにくい調査手法を考える必要がある。

**謝辞** 本研究の一部は、JSPS 科研費 15K21281 の助成を受けたものです。記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) Tsakiris, M., & Haggard, P.: The rubber hand illusion revisited: visuotactile integration and self-attribution. *Experimental Psychology*, 31(1), 80–91. (2005)
- 2) 小川 奈美, 伴 祐樹, 櫻井 翔, 鳴海 拓志, 谷川 智洋, 廣瀬 通孝: えくす手: 変調バーチャルハンドへの即応的な身体所有感の生起による身体拡張システム, 情報処理学会シンポジウム・インタラクション 2015 (2015)
- 3) Levin, G., McDonald, K. & Sugrue, C.: Augmented Hand Series, *Ars Electronica* (2015)
- 4) ユーフラテス: 伸びる腕, ICC (2008)
- 5) van der Hoort, B., Guterstam, A., & Ehrsson, H. H.: Being Barbie: The Size of One's Own Body Determines the Perceived Size of the World. *PLoS ONE*, 6(5) (2011)
- 6) Slater, M., Spanlang, B., Sanchez-Vives, M. V., & Blanke, O.: First person experience of body transfer in virtual reality. *PloS One*, 5(5)(2010)
- 7) Armel, K. C., & Ramachandran, V. S.: Projecting sensations to external objects: evidence from skin conductance response. *The Royal Society*, 270(1523), 1499–506. (2003)
- 8) Newport, R., Auty, K., Carey, M., Greenfield, K., Howard, E. M., Ratcliffe, N., Thair, H., & Themelis, K.: Give It a Tug and Feel It Grow: Extending Body Perception Through the Universal Nature of Illusory Finger Stretching. *I-Perception*, 6(5) (2015).
- 9) 曾我部 愛子, 森 光洋, 小鷹 研理: ぶらさがりによる自重変化を利用した腕が伸縮する感覚の誘発, 情報処理学会シンポジウム・インタラクション 2016 (2016)