



VR ツイスターにおけるアバタのサイズが 自己の身体動作に与える影響

長野瑞生¹⁾, 櫻井翔¹⁾, 野嶋琢也¹⁾, 広田光一¹⁾

1) 電気通信大学 情報理工学研究所 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1,
{nagano, sho, hirota}@vogue.is.uec.ac.jp, tnojima@nojilab.org)

概要: 全身で没入する VR ゲーム等において運動主体感や身体所有感が生じたアバタは自己の代替身体となる。この際、アバタと実際の身体のどちらに従って自己の身体のサイズ感が知覚されるかは定かでない。本研究では、身体のサイズ感を把握することが求められる環境としてツイスターゲームを VR 上でプレイできるシステムを構築し、アバタのサイズをさまざまに変えた場合に、身体のサイズ感覚に基づく実際の身体動作に生じる影響について検証と考察を行った。

キーワード: 自己身体認識, 身体所有感, 全身運動, VR ゲーム

1. はじめに

近年、VR 空間において自身の代替身体となるアバタを操作し、VR 空間の中で全身を動かしているような感覚を伴うゲームが登場している。このアバタの外見やサイズが実際の自分自身の身体とは大きく異なっている場合でも、自分の代替身体であると認識出来ることが分かっている[1]。また一方で、アバタの外見が、アバタを操作するプレイヤーの実際の動作に影響することも明らかになりつつある[2]。しかし、こうしたアバタを代替身体として用いる際、特に全身を対象としたとき、そのサイズ感覚が実際の自分自身の身体とアバタの身体のどちらを基準として認識されるのかは定かでない。また、視覚を通じて確認できるアバタのサイズが実際の全身運動に与える影響についての研究報告もあまりされていない。そこで我々は、手足の動作や身体サイズがゲームプレイを大きく左右するため、全身を強く意識する必要のあるツイスターゲーム[3]に焦点を当て、VR 空間内でツイスターをプレイできる VR ツイスターを構築した。この VR ツイスターを用いて、プレイヤー自身の動作を反映するアバタのサイズを変化させ、その後のサイズ感覚の知覚と実際の動作への影響について検証と考察を行った。

2. 関連研究

我々がアバタを「自分自身であると感じる」とき、アバタは初めて代替身体として機能する。本研究では、この「対

象を自分自身であると感じること」を「自己身体認識」と定義する。

2.1 自己身体認識

自己身体認識は、主に運動主体感と身体所有感の 2 つの感覚が関与している[4]。運動主体感とは能動的な運動を行っている場合にのみ感じられる「運動を行っているのは自分自身だ」という感覚のことである[4]。一方で身体所有感とは、「これは自分自身の身体だ」という感覚のことである。身体所有感とは運動主体感とは異なり、能動的な運動を行う時に限らず生じる。この身体所有感とは、主に視覚刺激と体性感覚の時間的かつ空間的整合を基盤として得られることが分かっている[5]。これについて有名な研究として、ラバーハンド錯覚がある[6]。これは、自分の手が見えない状態で目の前に置かれたゴムの手と自分の手に同時に刺激を受けると、あたかもゴムの手が自分の手であるかのように錯覚する現象のことである。しかし視覚刺激の刺激が時間的に非同期である場合や、ラバーハンドの向きが自分の手の向きと 90 度異なる場合、またラバーハンドではなく手の形に似せた木の枝を用いた場合ではこの現象は起きないことが確認されている。これは、身体所有感には形態的類似性が重要であることを示している。

2.2 映像内の観察対象への自己身体認識

運動主体感や自己所有感とは、自己の身体運動の視覚的フィードバックがあれば、ラバーハンドのような実体のある身体だけでなく、ビデオ映像や CG のような VR 空間内の対象にも生じる。Argelaguet ら[7]は、映像内のバーチャルハンドに対する運動主体感を強めるためには、現実的な描写を提示する必要がない一方で、身体所有感を高めるためには自らの身体に類似した描写が必要であることを報告している。また、小川ら[1]

Mizuki NAGANO, Sho SAKURAI, Takuya NOJIMA, Koichi HIROTA

は、バーチャルハンドを通じて VR 空間内でピアノを弾く場合に、バーチャルハンドの肌テクスチャや形状を実際の手とは異なる見た目に変化させた場合でも、自分の手とは全く異なる見た目であるにもかかわらずバーチャルハンドが自分の手であるように感じられるが、実際の手とバーチャルハンドの動作パターンが異なる場合は、バーチャルハンドに対する自己身体認識は生じないということを報告している。このことは、視触覚間および視覚運動間の同期が、自己身体認識により強く作用するものと考えられる。

以上の知見から、VR 空間において全身のアバタを代替身体として認識する場合、そのアバタのサイズ感を実際の自分自身の身体とアバタのどちらを基準として知覚されるのか、またアバタのサイズが知覚されることで実際の身体動作にどのように影響を及ぼすのかについて検証と考察を行った。

3. アバタのサイズが自己の身体動作に与える影響の検証

3.1 実験の目的

現実世界での全身運動を VR 空間内の代替身体であるアバタに反映させるとき、その身体サイズはアバタと実際の身体のどちらに従って知覚されるか、またアバタのサイズ知覚は現実の運動に影響を及ぼすのかを検証する。

3.2 VR ツイスター

身体全体のサイズの影響について検証するためには、手や腕といった視界に入りやすい部位以外にも意識的に目を向けさせる必要がある。そこで我々は、全身のサイズ感をより強く意識させる手段として、ツイスターゲームに着目した。

ツイスター (Twister) [3]とは、ルーレットの指示に従ってマットに書かれた 4 色のマスの上に手足を次々に置いていき、いつまでバランスを保っていられるかを競うパーティゲームである。本研究では、Unity 上で本来のツイスターと同様のプレイマットを作成し、HMD を付けた状態でモーションキャプチャを用いてトラッキングしたユーザーの全身の動作をリアルタイムに VR 空間内のアバタに反映させることで、VR 空間内でツイスターを遊ぶことが出来る環境 (VR ツイスター) を構築した(図 1)。VR ツイスターでは、プレイ時に使用する体の部位とタッチするマスの色の指示は画面上に表示される。

本研究ではアバタのサイズ知覚について検証するため、あらかじめ被験者それぞれの身長に合わせて「Normal アバタ (被験者身長に等倍)」「Little アバタ (被験者身長に 0.7 倍)」「Big アバタ (被験者身長に 1.3 倍)」の 3 種類の男性アバタを被験者人数分用意した。なお、プレイ人数は被験者のみ 1 名とし、さらにプレイ中はアバタの頭部を非表示にすることでアバタの髪などによってプレイヤーの視界が遮られることのないようにした。

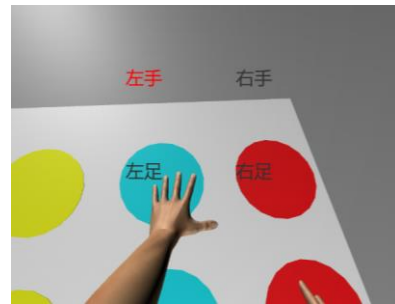


図 1: VR ツイスターをプレイする被験者の視界

3.3 実験手順

被験者はまず直径 5cm の黒い円が 15cm 間隔で描かれたツイスターと同じサイズのマット (図 2. 以下、「マークシート」と呼称) の端の指定位置に着き、しゃがんだ状態から手を伸ばして四つん這いになった。このとき同じ体勢をしばらく維持出来る範囲で出来る限り遠くのマークの上に手をつくよう指示した。実験者は手が置かれたマークの位置を記録し、さらに被験者の利き手の付け根から対応する足の先までの距離を測定した。その後、被験者はマークシートの指定位置に戻り、立った状態から利き足を出来る限り遠くのマークの上に伸ばした。実験者は利き足の位置と利き足のかかとから反対側の足のつま先までの距離を記録した。

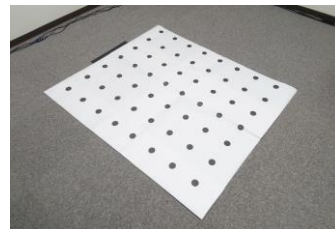


図 2: 現実世界のマークシート

次に、被験者は HMD とモーショントラッキングスーツを着用し、VR 空間内に設置された上記と同じマークシートを用いて同様の測定を行った (図 3)。実験者は VR 空間内で被験者が手足を置いたマークの位置を記録し、現実世界での手足の距離を測定した。ただしこのとき、自分が意図していた場所とは違うところにアバタの手足が置かれてしまった場合には、実際に手足がついているマークの位置だけでなく手足をつこうとしていたマークの位置も申告するよう指示した。その後、被験者は VR ツイスターを 30 秒間プレイし、プレイ後に同様の測定を再度行った。

これらの作業を終えた後、被験者は一度 HMD を外し、「VR 空間内での自分の身長は何 cm だと感じたか」についてアンケートに回答した。以上の手順を Little, Normal, Big の 3 種類のアバタにそれぞれについて行った。被験者は身長 161~177cm の健康な成人男性 6 名であった。



図 3: VR 空間のマークシート

4. 実験結果

実験において被験者が最初に現実のマークシートを用いて測定を行った時の手から足までの距離及び片足から片足までの距離を「距離基準値」とする。さらに被験者の初期位置であるマークシートの端から被験者が手足をついたマークの端までの距離を「マーク基準値」とする。

VR ツイスターのプレイ前後に現実世界で測定した手足、両足の距離とこれに対応する距離基準値の差の平均と標準誤差をアバタのサイズごとに表 1 に示す。

表 1 距離基準値との差

		Little	Normal	Big
手足	前	14.4±5.0	13.7±6.6	18.8±9.1
	後	15.3±3.3	13.7±7.0	11.3±5.6
両足	前	12.5±5.0	4.30±3.3	1.97±4.2
	後	8.22±4.8	12.6±4.1	1.98±3.9

手足、両足それぞれの場合についてアバタの身体サイズとゲームプレイの前後を主要因とした二要因分散分析を行った結果、手足の場合にはどちらの主効果にも有意差はみられなかった(サイズ: $F(2, 10)=0.065$, n.s.), プレイ前後: $F(1,5)=0.49$, n.s.)). 一方両足の場合には、身体サイズの主効果に対しては有意傾向がみられ、プレイ前後の主効果に対しては有意差はみられなかった(サイズ: $F(2, 10)=3.32$, $p<.10$), プレイ前後: $F(1,5)=1.38$, n.s.)). また、交互作用に関してはどちらの場合も有意差はみられなかった(手足 $F(2, 10)=1.16$, n.s.), 両足 $F(2, 10)=0.91$, n.s.)).

また、VR 空間においてマークシートの端から被験者が手足をついたマークの端までの距離とこれに対応するマーク基準値の差の平均と標準誤差をアバタのサイズごとに表 2 に示す。

表 2 マーク基準値との差

		Little	Normal	Big
手足	前	-30.0±4.1	-13.3±9.0	3.33±12.0
	後	-40.0±6.7	-13.3±6.1	6.67±11.2
両足	前	-30.0±7.8	-16.7±5.6	6.67±7.7
	後	-36.7±5.6	-6.67±6.1	10.0±6.2

手足、両足それぞれの場合についてアバタの身体サイズとゲームプレイの前後を主要因とした二要因分散分析を行った結果、ゲームプレイの前後の主効果については有意ではなかったが(手足: $F(1,5)=0.45$, n.s.), 両足: $F(1,5)=0.63$, n.s.), アバタのサイズの主効果については有意であった(手足: $F(2, 10)=17.32$, $p<.01$, 両足: $F(2, 10)=17.12$, $p<.01$). また、交互作用は手足の場合には有意傾向であったが($F(2,10)=3.82$, $p<.10$), 両足の場合には有意ではなかった($F(2,10)=2.71$, n.s.). アバタのサイズの主効果についてライアン法による多重比較を行ったところ、手足の場合にはすべてのサイズ間において有意差がみられた(Little-Normal 間: $t(10)=3.18$, $p<.01$), Little-Big 間($t(10)=5.88$, $p<.01$), Normal-Big 間: $t(10)=2.69$, $p<.05$). また、両足の場合においてもすべてのサイズ間において有意差がみられた(Little-Normal 間: $t(10)=3.04$, $p<.05$), Little-Big 間($t(10)=5.85$, $p<.01$), Normal-Big 間: $t(10)=2.81$, $p<.05$)).

さらに、被験者が回答した VR 空間内での自分の身長と実際に設定されているアバタの身長との差、及び被験者の身長との差について、平均と標準誤差を表 3 に示す。

表 3 予想身長とアバタ・被験者身長との差

	Little	Normal	Big
予想身長 -アバタ身長	39.7±4.6	3±2.9	-39.9±7.0
予想身長 -被験者身長	-11.7±4.6	3±2.9	11.5±6.9

予想身長と被験者身長との差に対してアバタの身体サイズを主要因とした一要因分散分析を行ったところ、主効果は有意であった($F(2, 10)=3.68$, $p<.05$).

5. 考察

被験者が現実世界で手をついた位置は、表 1 の通りアバタのサイズに依らないことが分かった。一方で VR 空間でマークに手足を置く作業では、表 2 の通りアバタのサイズが大きくなるほど遠くに手足を置いていることが分かった。このマークシートでの測定では、手足を伸ばす直前まで指定位置に起立した状態から身体を動かさないよう指示しているため、特に VR ツイスターをプレイする前の状態では本来の自分とは身体サイズの異なるアバタに現実世界での自分自身の動作がどのように反映されるのかをほとんど確認することが出来ない。例えば Little アバタを用いた際に、アバタの身体サイズを正しく認識出来ずに VR 空間でもマーク基準値と同じ位置に置こうとすれば、現実世界での手足の距離は距離基準値よりも長くなる。しかし、実際にはほとんどの被験者がプレイ前後共に身体サイズに合わせたマークの位置に手足を置いており、その結果アバタの身体サイズによって現実の手足の距離は変化しなかった。タッチした場所の変更ややり直しは許可していないため、HMD を装着してから指定位置につき手足を伸ばすまでの短い時間でアバタの身体サイズを認識し、サ

イズに合わせたマークの位置を選んでいたと考えられる。ここで興味深かったのは、VR ツイスタープレイ前の Big アバタのマークシート測定を行った際、2名の被験者が意図したマークよりも遠い場所に手をつけていると申告したことである。この2名はどちらも VR ツイスタープレイ後の測定では意図した場所を手をつくことが出来たと報告したが、ここで手をついたマークはプレイ前の測定で手をついた場所ではなく、それよりも手前に位置する本来意図していたところと同じ場所であった。つまり、被験者自身の身体能力を考えれば実際にはさらに遠いところに手をつくことが出来ると知っているにも関わらず、あえてそれよりも手前のマークを選択している。このことから、アバタの身体サイズについて比較的明確なイメージを持っており、現実の自分自身の身体能力よりもアバタの身体能力を優先して考慮している可能性がある。

また、距離基準値とマーク基準値について、表1ではすべての身体サイズについて距離基準値よりも手足の距離の値が長くなっているのに対し、表2では Little, Normal アバタの場合ではマーク基準値よりも値が小さくなっている。この理由は2つ考えられる。1つはアバタの手足が被験者のものと同じサイズではないことである。アバタのサイズは被験者の身長に合わせて調整したが、手足の長さなどの身長以外の要素は合わせていないため、アバタの手足の長さが被験者よりも短かった可能性がある。2つめは VR 空間での被験者の距離知覚の問題である。今回の実験では被験者それぞれに合わせて HMD の瞳孔間距離を厳密に調整しなかった。そのため、被験者の距離知覚が現実の場合と大きく異なってしまった可能性がある。今後はこれらの点に改善し、Normal アバタの場合と現実で行った場合のマークシートの測定が同じ結果になるように調整する必要がある。

被験者のアバタの予想身長については、Normal アバタに関してはほぼ正確にアバタの身長を認識出来ているのに対して、Little や Big アバタに関しては実際には約 40cm も被験者身長や Normal アバタとは異なるにも関わらず、約 12cm 程度しか差を感じていなかったことが分かった。これは、日常生活において目線が変わることがないために、目線が上下することで変わる視界をイメージ出来ないことが原因であると考えられる。また、このことから、被験者が感じていたアバタの身体サイズの変化は±10cm 程度の変化であった可能性がある。今回はツイスターマットやマークシートの他には何もない空間で実験を行ったが、身長を目安になるような物体を VR 空間に置いたり景色が見えるような状態で実験を行った場合、身長の高さや身体サイズをより意識出来るようになると考えられる。また、アバタのサイズを今以上に大きく変化させた場合についても検証が必要である。

6. 結論

VR 空間において自身の代替身体となるアバタを操作するとき、アバタの外見やサイズが実際の自分自身の身体とは大きく異なっている場合でも、自分の代替身体であると認識出来ることが分かっている。しかし全身のアバタを対象としたとき、アバタのサイズ知覚がアバタと実際の自分自身の身体のどちらを基準にしているのかはまだ定かでない。そこで本研究では全身のサイズ感を意識する必要のある VR ツイスターを構築し、プレイヤー自身の動作を反映するアバタのサイズを変化させることで、その後のサイズ感の知覚と実際の動作への影響について検証と考察を行った。

実験の結果、被験者はアバタの身体サイズに合わせた行動を取り、そのため現実世界での動作自体は変わらないということが分かった。このことから、アバタの全体の身体サイズに関して比較的明確なイメージを持っていると考えられる。しかし一方でアバタの身長に関しては全く正確に把握出来ていないことが分かった。今後は視覚的により正確な距離を認知出来るように環境を改善し、さらに身体サイズだけでなく目線の高さを意識させたり、身体サイズをさらに変化させたりすることでサイズ知覚や実際の動作が変化するか検証する必要がある。

参考文献

- [1] Ogawa, N., Ban, Y., Sakurai, S., Narumi, T., Tanikawa, T., Hirose, M.: Metamorphosis Hand: Dynamically Transforming Hands. In Proceedings of the 7th Augmented Human International Conference 2016 (AH '16). ACM, New York, NY, USA, Article 51:2. (2016)
- [2] Kilteni, K., Bergstrom, I. and Slater, M.: Drumming in immersive virtual reality: the body shapes the way we play; IEEE Trans Vis Compute Graph. Apr; 19(4):597-605 (2013).
- [3] タカラトミー「Twister(ツイスター)」, <https://www.takaratomy.co.jp/products/twister/play/index.html>(参照:2018/07/27)
- [4] S. Gallagher. : Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science; Trends in Cognitive Sciences, Vol. 4, No. 1, 14-21 (2000).
- [5] Tsakiris, M., Haggard, P.: The rubber hand illusion revisited: visuotactile integration and self-attribution. Journal of Experimental Psychology, Human Perception and Performance, 31(1), 80-91, (2005).
- [6] Botvinick, M. and Cohen, J.: Rubber hands 'feel' touch that eyes see; Nature, 391, 6669, 756 (1998).
- [7] Argelaguet, F., Hoyet, L., Trico, M. and Lécuyer, A.: The Role of Interaction in Virtual Embodiment: Effects of the Virtual Hand Representation; In Proceedings of IEEE VR' 16, 3-10 (2016).