

四足歩行動物アバタの操作時における 杖を用いた疲労度軽減

生駒 峻人*¹ 酒田 信親*¹

Fatigue reduction using canes when operating a quadrupedal avatar

Takato Ikoma*¹ and Nobuchika Sakata*¹

Abstract --- VR 空間上でのユーザは、現実世界と異なる姿のアバタを得る場合が多い。ユーザはアバタの姿によって個性を表現したり、他者へ変身したりする。このとき、アバタの外見には人間以外の姿をしたものも考えられる。Krehov らは、トラやクモなどの人間と骨格が異なる動物型アバタを得る際、四つん這いのような対象となる動物に近い姿勢をとることで、人間型アバタを得た際と同程度の身体所有感を得られることを報告した。しかし、非人間型アバタを操作する際に、そのアバタに近い姿勢をとりながら操作すると身体的負担も大きく、長時間の操作には適さないという問題があった。そこで本研究では、杖の使用により四つん這いになる際に重要な腕の接地感と直立姿勢を両立させることで、装着者に無理な姿勢を取らせることなく、四足歩行動物である馬のアバタに対し高い身体所有感を与える手法を提案する。

Keywords: 身体所有感、アバタ、疲労

1 はじめに

バーチャルリアリティ(VR: Virtual Reality) 機器の普及により、アバタを身に纏い、VR 空間で他者とコミュニケーションを行う文化が作られつつある。VR 空間ではユーザの動きをアバタに反映し動作させるが、このときにアバタをあたかも自身の身体であるかのように認識するという現象が報告されている。こうした「この身体は自分自身のものである」という感覚は身体所有感と呼ばれる。

VR 空間上でのユーザは、現実世界と異なる姿のアバタを得る場合が多い。ユーザはアバタの姿によって個性を表現したり、他者へ変身したりする。このとき、アバタの外見には人間以外の姿をしたものも考えられる。Krehov らは、トラやクモなどの人間と骨格が異なる動物型アバタを得る際、四つん這いのような対象となる動物に近い姿勢をとることで、人間型アバタを得た際と同程度の身体所有感を得られることを報告した[1]。しかし、非人間型のアバタを操作する際に、そのアバタに近い姿勢をとりながら操作すると身体的負担が大きく、長時間の操作には適さないという問題があった。本研究では、杖の使用により四つん這いになる際に重要な腕の接地感と直立姿勢を両立させることで、装着者に無理な姿勢を取らせることなく、四足歩行動物である馬のアバタに対し身体所有感を保持しつつ、疲労感を軽減する手法を提案する。

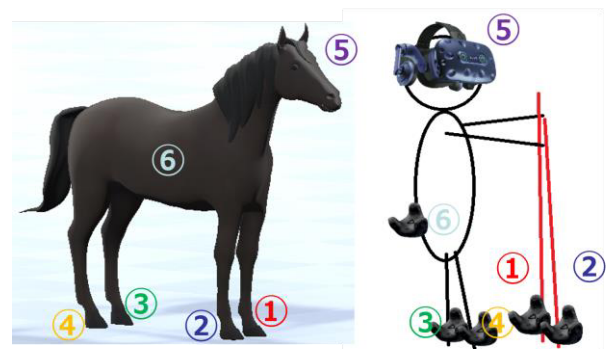


図1 提案手法の概要図

Fig.1 Diagram of the proposed method

2 関連研究

VR 空間内でアバタを自分の身体のように感じる仮想身体所有の錯覚 (IVBO :Illusion of Virtual Body Ownership)と呼ばれる現象がある。これまで人型についての多くの研究がなされてきたが、一方で非人間型アバタについてはあまり研究されていなかった。そこで、Krehov らは動物のアバタに対し、IVBO を適応することが可能なのかについて研究を行っている[1]。直立で飛行するコウモリ、四足歩行する哺乳類のトラ、節足動物であるクモといった様々な動物のアバタに対し、実験を行っている。また、人間のアバタにおいて一人称視点がIVBO を生起するのに優れていることはすでに証明されているが、非人間型アバタについては確認がなされていない。そのため、クモ型アバタにおける一人称視点

*1 龍谷大学大学院

*1 Graduate School of Ryukoku University

と三人称視点の比較実験も行っている。身体のトラッキングは身体全体をトラッキングするフルボディと下半身のみをトラッキングするハーフボディの2種類を行っている。被験者は各条件で、5分程度仮想世界に滞在し、アンケートに答えた。アンケートは alpha IVBO 質問票に加え、魅力、操作性、疲れの項目を追加したものを使用している。結果としては、受容の項目においてコウモリとクモが人間に比べて有意に優れており、また、制御の項目についてはコウモリが人間に比べて有意に優れていた。この結果より、IVBO は人間とは形状や骨格、姿勢が異なる非人間型アバタにも適用可能であることが示唆された。しかし、疲労度においては、フルボディトラッキングは、膝をついてしゃがまなければならないため、ハーフボディトラッキングよりも有意に疲労が大きいことが判明した。

3 実験

Krekhov らの動物のアバタに対する先行研究では、四つん這いの状態において実験を行っていたが、四つん這いの状態では、疲弊しやすく長時間の使用は難しいと考えられる。そこで本研究では、杖を用いることで四つん這いの状態と比べ、四足歩行動物への身体所有感を保持しつつ、アバタ操作によって発生する疲れの軽減を目指した。

3.1 実験環境

本研究では VR 機器は VIVE Pro 2 (解像度:片眼 2448 × 2448 ピクセル, リフレッシュレート:90/120 Hz) を使用した。また、VIVE Tracker を計 5 つ使用し、VIVE Tracker を杖先、足首、腰に取り付け(図 2)、頭部の HMD に対するトラッキングと合わせて図 1 のように計 6 点でのモーショントラッキングを行った。

本研究では四足歩行動物として、馬のアバタを使用した。理由としては、四足歩行動物の脚の動かし方は大きく分けて 3 種類ある[2]。対角の脚が同時に動く「トロット」、左右についての同側の脚が同時に動く「ペース」、バウンド前後について同側の脚が同時に動く「バウンド」の 3 つである。馬はこの 3 種類の動かし方の全てを行うため、アバタとして馬を採用した。

図 1 のように、HMD を馬の頭部、杖先の VIVE Tracker を馬の前足、足首の VIVE Tracker を馬の後ろ足、腰の VIVE Tracker を馬のアバタ全体の位置にそれぞれ割り当てた。腰の VIVE Tracker を中心に位置を調整することによって、人間の動作と馬の動作を対応付けるキャリブレーションを行った。

本研究に使用した杖はロフストランドクラッチ型のものであった。これは上部に前腕を通すカフが付いており、腕と一体化しているように感じやすいため、採用した。

また、実験に使用するワールドの作成、馬のアバタ

(図 3)と VIVE Tracker や HMD の位置とのキャリブレーションにはすべて Unity(2021.3.8f1)を使用した。作成したワールド(図 4)は、四方向にそれぞれ鏡が設置されており、自身の姿を確認できるようになっている。



図2 提案手法の装着図

Fig.2 Wearing diagram of the proposed method



図3 使用した馬のアバタ

Fig.3 Horse avatar



図4 作成したワールド

Fig.4 Created world

3.2 評価方法

IVBO を測定するため、先行研究と同様に Roth らによる alpha IVBO 質問票[3]を用いた。回答は 1 から 7 の 7 段階のリッカート尺度で行った。表 1 にある alpha IVBO 質問票は受容、制御、変化の 3 つの成分からなっており、受容の項目はアバタの自己帰属と身体所有感に着目している。制御の項目は主に正しいフィードバックと主体性に着目している。最後の変化の項目は自己認識を測定するもので、アバタがユーザと大きく異なるときに引き起こされるものであり、この項目は実験後の自己意識の変化を測定するものである。本実験では、馬のアバタを得るため、「自分が見たアバタは人間的であったか」の項目に関しては、数値が低い場合に高い評価として扱った。

表1 alpha IVBO 質問票
Table 1 alpha IVBO Questionnaire

受容	Q1	鏡で見た身体が、自分の身体であると感じたか
	Q2	自分の見ている体の部位が、自分の体の部位であるように感じたか
	Q3	自分が見たアバタは人間的であったか
制御	Q4	鏡で見た動きが、自分の動きのように思えたか
	Q5	鏡で見た仮想身体を動かすことを楽しんだか
	Q6	鏡で見た動きを、自分が操作しているように感じたか
	Q7	鏡で見た動きを、あたかも自分が引き起こしているかのように感じるか
変化	Q8	実際の自分の身体とは別の身体を所有しているような錯覚を、体験中に感じたか
	Q9	自分の身体の形状や質感が変化したように感じるか
	Q10	実験中または実験後に、自分の体が本当に自分のイメージ通りになっているか確認したいと思ったか
	Q11	実験後、体が軽くなった／重くなったような感覚があったか
	Q12	実験後、背が低くなった／高くなったような感覚があったか
	Q13	実験後、体が細くなった／大きくなったような感覚があったか

さらに本実験では alpha IVBO 質問票に加え、次のような質問を追加した。

表2 追加した質問
Table 2 Additional Questions

Q14	馬になったように感じたか
Q15	馬として動作が自然なものであると感じたか
Q16	操作がしやすかったかどうか
Q17	疲れをどの程度感じたか

また、没入感に関する評価指標である Igroup Presence Questionnaire(IPQ)[4]も行った。IPQ は 3 つの下位尺度と、下位尺度に属さない一般的な項目が 1 つ追加されたものであり、下位尺度は空間的な臨場感、没入感、現実感の 3 つである。空間的な臨場感は仮想空間内に身体が存在している感覚を表す指標であり、没入感は仮想空間内にいることに魅了され、惹きつけられてしまう

感覚を表す指標であり、現実感とは仮想空間内での体験と現実との近さについて表す指標であると徳永らの研究で報告されており[5]、これら 3 つを評価指標として本研究では採用した。

3.3 実験の流れ

本研究では、杖を使用せず直立した状態で歩行する条件(以下、杖なし)(図 5)、杖を使用しながら歩行する条件(以下、杖あり)(図 1)、四つん這いになり歩行する条件(以下、四つん這い)(図 6)の 3 つの条件で実験を行った。杖なし、四つん這いでは、馬の前足にあたる VIVE Tracker を手首に装着して実験を行う。それぞれの条件の実験で、被験者は図 4 にある仮想空間内の鏡に囲われたエリアを 2 分間自由に歩き回った。体験中、被験者には自らの身体を確認するように指示が行われた。各条件を体験する順番は、被験者ごとにランダムに決定された。被験者は体験が終了する度に前節で示した質問からなる GoogleForm に回答し、回答が終了したことを確認した後、次の実験に移行した。設定した一連の流れを 3 つの条件全てが終了するまで繰り返した。

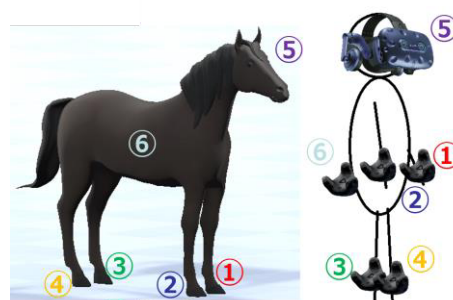


図5 杖なし条件の概要図

Fig.5 Diagram of without canes condition

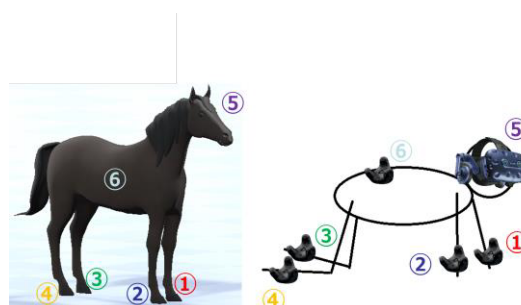


図6 四つん這い条件の概要図

Fig.6 Diagram of on all fours condition

4 結果と考察

被験者は20~24歳の男性16名で、全員VR体験の有無に関する質問にあると回答した。

alpha IVBO と追加した質問の回答結果のグラフを図7に、alpha IVBO の各成分の集計結果のグラフを図8に、IPQ の回答結果のグラフを図9に、検定結果を表3,4,5に示す。

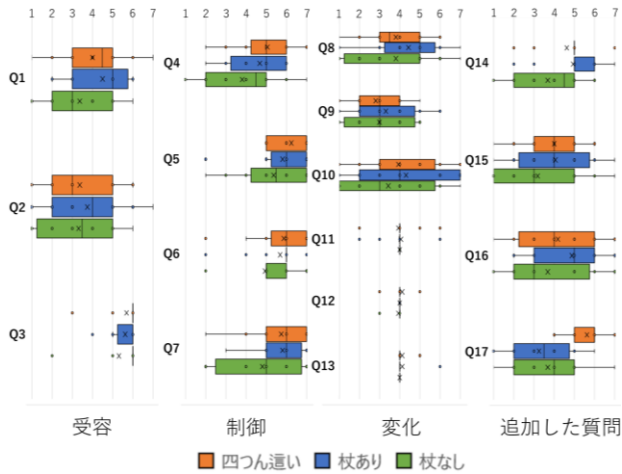


図7 質問票の各条件における比較

Fig.7 Comparison of alpha IVBO questionnaire in each condition

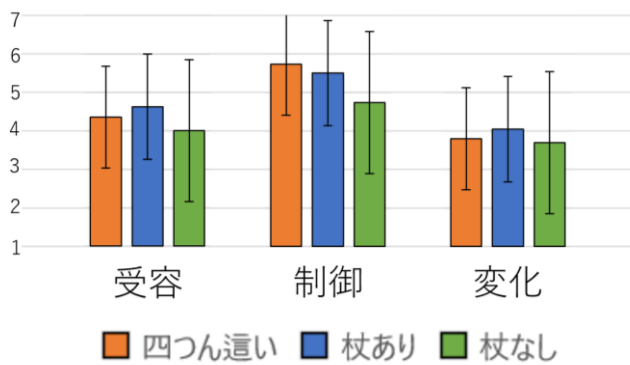


図8 質問票の各成分の平均と標準偏差

Fig.8 Means and standard deviations of each item of alpha IVBO questionnaire

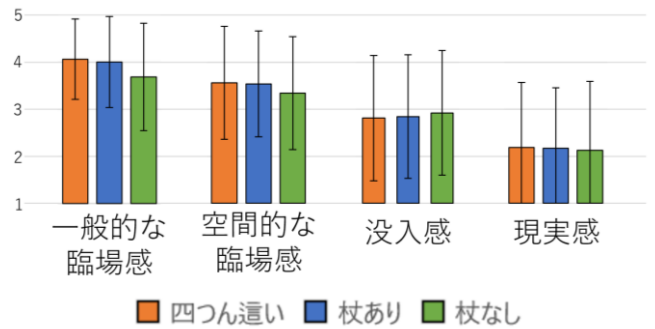


図9 IPQ の各成分の平均と標準偏差

Fig.9 Means and standard deviations of each item of IPQ

表3 質問票と追加した質問のフリードマン検定結果

Table 3 Friedman test results for alpha IVBO questionnaire and additional questions

	カイ二乗	自由度	p値
Q1	6.5	2	0.03877
Q2	2.1923	2	0.3342
Q3	2.1923	2	0.3342
Q4	6.1667	2	0.04581
Q5	3.05	2	0.2176
Q6	3.5686	2	0.1679
Q7	3.3043	2	0.1916
Q8	3.875	2	0.1441
Q9	1.24	2	0.5379
Q10	2.5333	2	0.2818
Q11	0.10526	2	0.9487
Q12	2.8	2	0.2466
Q13	2	2	0.3679
Q14	5.6735	2	0.05862
Q15	3.9	2	0.1423
Q16	2.5098	2	0.2851
Q17	23.7	2	0.000007139

表4 質問票の各成分のフリードマン検定結果

Table 4 Friedman test results for each item of alpha IVBO questionnaire

	カイニ乗	自由度	p値
受容	0.56115	2	0.7553
制御	0.010526	2	0.9948
変化	5.5707	2	0.06171

表5 IPQ のフリードマン検定結果

Table 5 Friedman test results for IPQ

	カイニ乗	自由度	p値
一般的な臨場感	0.75	2	0.6873
空間的な臨場感	0.51232	2	0.774
没入感	0.85279	2	0.6529
現実感	0.21918	2	0.8962

表4にある通り、alpha IVBO 質問票の3つの成分である受容、制御、変化それぞれにフリードマン検定を行ったところ、全てにおいて、有意な差は認められなかった(p値 受容:0.7553 制御:0.9948 変化:0.06171)。

受容に関しては、Q2,Q3の質問内容に影響されていると考えられる。Q2(自分の見ている体の部位が、自分の体の部位であるように感じたか)に関しては、アバタが馬であるため、頭が手足や胴体よりもかなり前の位置にあり、直接自身の体の部位を見ることが困難であることが要因と考えられる。また、Q3(自分が見たアバタは人間的であったか)に関しては、どの実験条件に関しても同じアバタを使用しているため、差が出ないことが要因として考えられる。Q1(鏡で見た身体が、自分の身体であると感じたか)のみで、フリードマン検定を行った場合、p値は0.03877となり、有意差が認められた。それぞれの組み合わせごとにウィルコクソンの符号順位検定を行うと、杖ありと杖なしの間に、有意差が認められた(p値 杖ありと杖なし:0.007812 杖ありと四つん這い:0.4315 杖なしと四つん這い:0.2817)。これにより、杖を使うことによって、使わない場合に比べ、身体所有感が高まり、四つん這いの場合と杖ありの場合で同程度の身体所有感を得られることが示唆された。また、Q17(疲れをどの程度感じたか)のみで、フリードマン検定を行った場合、p値は0.000007139となり、有意差が認められた。それぞれの組み合わせごとにウィルコクソンの符号順位検定を行うと、杖ありと四つん這い、杖なしと四つん這いの間に、有意差が認められた(p値 杖ありと杖なし:0.34 杖ありと四つん這い:0.00006104 杖なしと四

つん這い:0.00006104)。これにより、四つん這いと比較して、杖を使うことで疲れを大幅に軽減できることが確認された。

最後に、IPQに関しては表5にある通り、各条件間に有意な差は見られなかった(p値 一般的な臨場感:0.6873 空間的な臨場感:0.774 没入感:0.6529 現実感:0.8962)。このことは、杖を使ったとしても四つん這いの状態より没入感が落ちることがなかったことを示している。

5 おわりに

実験結果より、アバタの身体姿勢に起因する肉体的負荷を軽減するのに適切な道具を使用することで高い身体所有感と装着者の快適さを両立することに成功した。

今回は四足歩行動物として馬のアバタを使用したが、四足歩行動物には様々な足の長さの動物がおり、極端に足の長さが長い動物や短い動物では身体所有感が損なわれる可能性が考えられる。そのため、今後、極端に足の長さが短い動物としてキリンのアバタや足の長さの短いミニチュアダックスフンドのアバタを用いて同様の実験を行うことを検討している。

謝辞

本研究の一部はJSPS 研究費(課題番号21H03483)の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Andrey Krekhov, Sebastian Cmentowski, Jens Kruger, "The Illusion of Animal Body Ownership and Its Potential for Virtual Reality Games", 2019 IEEE Conference on Games (CoG), 2019.
- [2] 木村浩, "4足歩行ロボットの動歩行について", 日本ロボット学会誌, Vol.11 No.3, PP.372~378, 1993.
- [3] D. Roth, J.-L. Lugin, M. E. Latoschik, and S. Huber, "Alpha IVBO-Construction of a Scale to Measure the Illusion of Virtual Body Ownership", in Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. ACM, pp. 2875-2883, 2017.
- [4] igroup.org: igroup presence questionnaire (IPQ) overview, [http://www.igroup.org/pq/IPQ/\(2023.01.17\)](http://www.igroup.org/pq/IPQ/(2023.01.17))
- [5] 徳永悠介, 和田将幸, 市野順子, 浅野裕俊, "VR 動画のHMDとスクリーンによる視聴体験の比較: 認知的側面からの分析", 情報処理学会, Vol.2018-HCI-177 No.24, 2018.