



THE VIRTUAL REALITY SOCIETY OF JAPAN

筋肉質アバタを用いたプロテウス効果が重さ知覚に与える影響

Proteus Effect of a Muscular Avatar on Weight Perception in Virtual Reality

角田賢太郎¹⁾, 小川奈美^{1,2)}, 鳴海拓志¹⁾, 廣瀬通孝¹⁾

1) 東京大学 (〒 113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1, sumida,ogawa,narumi,hirose@cyber.t.u-tokyo.ac.jp)

2) DMM VR lab (〒 106-6224 東京都港区六本木 3-2-1)

概要: アバタの外見はユーザの振る舞いに影響を与えることが知られており, プロテウス効果と呼ばれる. プロテウス効果の事例は, 振る舞いのみならず心的傾向の変化についても様々に報告されているが, 知覚に関する研究は少ない. そこで本研究では, アバタの見目の筋肉量を操作し, ユーザの重さ知覚が変化するか検討した. その結果, 筋肉量が多いアバタを使用したユーザは, 物体の重さを実際より軽く知覚することが明らかになった.

キーワード: プロテウス効果, 重さ知覚, アバタ, バーチャルリアリティ, ゴーストエンジニアリング

1. はじめに

人は自身の外見から影響を受ける. Adam らは白衣を着せると実験参加者の集中力が上昇したことを報告している [1]. これは白衣を着ることで研究者などが連想され, 生真面目で 1 つの物事に没頭するといったステレオタイプに基づいた心的傾向を実験参加者に誘発したためと考えられる.

外見が及ぼす影響は現実空間のみならず, バーチャルリアリティ (VR) 空間でも確認されている. VR 空間ではアバタを用いることで自身の身体と全く異なる姿に変身することが可能であり, 自らの身体と異なるアバタの外見がユーザの内面に与える影響は, プロテウス効果と呼ばれ研究されてきた [2]. Banakou ら [3] は黒人アバタに没入することで, 黒人に対する差別意識が低減することを示し, Yee ら [2] は魅力的なアバタに没入することで異性に対して積極的に振る舞うことを示した. このようにプロテウス効果はユーザの心的傾向や振る舞いに影響を与えることが知られている.

他方, プロテウス効果が知覚に影響を与えるか調査を行った研究は少ない [4]. 先行研究では, アバタの動きの変化とあわせて, 顔を紅潮させるなどアバタの見目を負荷がかかっているように見せることで重さ知覚を変化させた事例がある [5], そこで本研究では, 同様に重さ知覚に着目し, 純粋にアバタの見目だけの変化でも重量物を持った際の負荷や身体運動能力の推定に影響を与えられ, 重さ知覚が変化する可能性について検証する. この検証を通じ, VR 空間においてアバタの外見が重さ知覚に影響を与えるかを調査することで, プロテウス効果が知覚に与える影響の解明の端緒となることを目的とした. プロテウス効果は没入したアバタの外見から想起されるステレオタイプの影響を受けるため, 重さ知覚を変化させるには力強さや自信を想起させるアバタである必要があると考えられる. そこで, アバタの外見の選択にあたって力強さや自信を連想させる筋肉に着目し, アバタの筋肉量を操作することで重さ知覚が変

化するか実験を行った.

2. 関連研究

人々の振る舞いや心的傾向は自身の外見から影響を受けている. 現実空間では自身の外見を服や化粧など小さい範囲でしか変化させることができないが, VR の登場により身長や性別でさえ変化させることが可能となった. VR 空間での身体的な特徴が現実のもの大きく異なっても, 視覚と触覚の同期, 視覚と運動の同期を行うことで, 自分の身体と感じられることが知られており, この感覚は身体所有感と呼ばれる [6]. 身体所有感を保ったまま外見を大きく変化させることが可能な VR の登場により, 外見が人に与える影響の探索範囲が格段に拡がり, さまざまな観点からの研究が進められてきた [3].

なかでも, VR 空間での身体の変化が, 外見のステレオタイプに基づいた振る舞いをユーザから誘発する効果はプロテウス効果と呼ばれる. Yee ら [2] は魅力的なアバタを用いることで異性に対して積極的に振る舞ったり, 背の高いアバタを用いることで交渉において強気な行動をとったと報告している. このプロテウス効果の事例は, 振る舞いのみならず心的傾向の変化にも影響を及ぼすことが多く報告されており, Banakou ら [3] は白人の実験参加者に対して黒人アバタを使用させたところ, 黒人に対する差別意識が低減したと報告している.

しかしながら, プロテウス効果は認知的な影響であると考えられるため, 知覚への影響を調査した事例は少ない [4]. 本研究では, 認知的影響を介しても知覚が変化する可能性があると考え, VR 空間においてアバタの外見が重さ知覚に影響を与えるか調査し, プロテウス効果が知覚に与える影響解明の端緒となることを狙った.

他方, 重さ知覚はアバタの動きの変化量を操作することで変換することが報告されている. Lecuyer ら [7] は自己の運動と同期したカーソルを提示し, そのカーソルの見かけの速

度を変化させることで触覚を生み出すことを示し、Pseudo-haptics と呼んだ。Jauregui ら [5] はこれを応用し、アバタの運動を変化させることで重さ知覚を変化させた。その際、アバタを操作する腕の動きだけでなく、重いものを持っているようにせるため腰をへっぴり腰にする、顔を紅潮させるなど、前進の姿勢や見た目を変化させることで効果を強めることを提案している。このようにアバタの視覚的情報を操作することで重さ知覚が変化させた事例があるため、アバタの見た目を変えることでも同様に重さ知覚に影響を与えることが十分に考えられる。

プロテウス効果が重さ知覚に影響があるか検証した研究に尾花ら [8] の実験がある。この研究では VR 空間で褐色の太い腕と色白の細い腕を使用した場合重さ知覚が変化するかを調べ、黒く太い腕を使用した場合に物体を重く感じたと報告した。プロテウス効果は外見のステレオタイプに基づいた変化をユーザから誘発するため、褐色の太い腕を使用した場合、力強さを想起させ物体を軽く感じるはずだが、尾花らの結果はこれに反している。これは、腕を太くしたことで相対的な物体の大きさが小さく感じられ、大きさ重さ錯覚の影響を顕著に受けた可能性がある [9]。加えて、尾花らは腕のみを表示したために没入したアバタの影響が強く現れなかった可能性があり、プロテウス効果が重さ知覚に影響を与えるかはさらなる検証が必要であると考えられる。

3. 実験

本実験では、筋肉量の異なるアバタに没入するがユーザの重さ知覚に影響を与えるか検証する。

3.1 実験参加者

実験参加者は 20~25 歳の男性 24 名であった。

3.2 実験装置

実験には 5kg ダンベル、HTC Vive、Vive コントローラ、Vive トラッカ 7 つ、靴、グローブ、ベルト、握力計を用いた。また、アバタの姿勢推定には ORION¹を用いた。ORION は 7 つのトラッカと HMD の位置情報からユーザの全身の姿勢を推定し VR 空間上のアバタに反映するソフトウェアであり、トラッカは手の甲に 2 つ、肘に 2 つ、腰に 1 つ、足の甲に 2 つに取り付けた。

実験では ORION のデフォルトアバタを編集し、(細身、標準、筋肉質)アバタを用意した(図 1)。人の身体のうち胸、腹部、脚、腕、顔の輪郭を編集した。手は物体を掴む際に大きさ重さ錯覚が生じにくいように変更しなかった(図 1)。

3.3 アンケート

身体所有感

アバタに没入している際の身体所有感を問うために 3 つの質問を行った。この質問内容は関連研究に基づいて作成した [10]。各質問は 7 段階のリッカート尺度で評価され、1 は「全く同意しない」、7 は「強く同意する」とした。

Q1 鏡の中の人は自分だと感じたか？

Q2 見下ろした際に見えた人は自分だと感じたか？

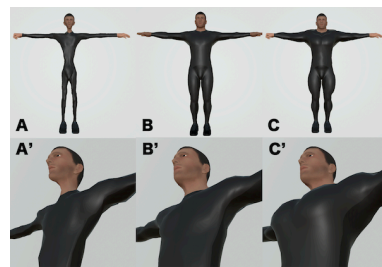


図 1: (A, A') 細身アバタ, (B, B') 標準アバタ, (C, C') 筋肉質アバタ。

表 1: 実験で用いたアバタの寸法 (cm)

アバタ	胸囲	胴囲	膝上囲	大腕囲
細身	65.2	47.1	31.0	20.6
標準	100.9	81.3	55.3	37.3
筋肉質	121.1	82.7	66.8	56.1

Q3 鏡の中の人、もしくは見下ろした際に見えた人は自分だと感じたか？

3.4 実験手順

実験では、(細身、標準、筋肉質)の 3 種類のアバタを用意し、参加者内計画で対比較法を用いて検証を行った。1 回のセットに対して実験参加者は 3 種類からランダムに選択された 2 つのアバタに連続して没入し同一のダンベルを持たせた後、どちらの条件下でのダンベルが軽かったかを答えさせた。これを 1 人の実験参加者に対して、順序効果を考慮し 6 セット行った。

実験は大学の一室にて行ない、まず実験参加者に実験内容の概要を説明し、事前アンケートに回答させた。事前アンケートでは体重、身長、VR 経験の有無、利き腕に関する質問を行った。加えて、極端に平均と異なる (3SD) 筋力を持つ実験参加者を除外する目的として、握力を計測した。これにより除外された実験参加者はいなかった。

本実験では現実の実験室を模した VR 空間を用意した(図 2)。VR 空間には足元に緑色の丸いマーカを 2 つ用意し、マーカの 1 つに 5kg のダンベルを設置し、鏡も用意した。本実験のタスクの内容は、鏡の前にある緑色の円形マーカ上に置いたダンベルをもう一方の緑色の円形マーカまで移動させるというものである。その際の実験参加者の所作をできるだけ統一するために、タスクの指示動画を実験参加者に提示した。指示動画は、アバタが体をかがめてダンベルを持ち上げ、横に歩き、再び体をかがめてダンベルを下に置くというものである。指示動画を提示した後、ORION を用いて実験参加者の動きとアバタの動きが同期するようにキャリブレーションを行った。現実空間のダンベルを配置する際は、実際には全ての条件で同じ重量のダンベルを使用しているということが実験参加者に気づかれないように配慮した。

実験開始後、視触覚の同期提示によって身体所有感を向

¹<https://www.ikinema.com/docs/s317i365.html>

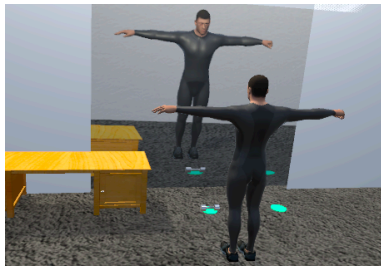


図 2: VR 空間の様子

上させること [11] を目的に、実験参加者に VR 空間上の鏡で自分の姿と Vive コントローラを目視確認させた状態で、コントローラで計 10 秒軽く全身に刺激を与えた。その後、指示動画通りにダンベルを移動させるよう実験参加者に指示した。タスク終了後、アバタを変更し同様にタスクを行わせた。2 回の試行が終わった後、実験参加者が HMD を外す前にダンベルを布で覆って実験参加者の目につかないようにした。HMD を外した後、実験参加者にどちらのダンベルが軽かったかアンケートに回答させた。このセットを順序効果を考慮して 6 回行った。セット間は HMD を外した状態で、3 分間の休憩をとった。6 回の重さの評価が終わった後、実験参加者は再度 HMD を被り（細身体型アバタ、標準体型アバタ、筋肉質体型アバタ）それぞれに没入した状態で身体所有感を問うアンケートを口頭で行った。

3.5 仮説

- ・アバタが筋肉質であればあるほど、ダンベルの重さが軽いと感じられる。

プロテウス効果は外見に対するステレオタイプに基づいた効果を誘発する。そのため、筋肉質な身体になったという認識がユーザに力強さと自信を想起させ、重さ知覚に影響が現れると考え、本仮説を立てた。

4. 結果

4.1 アバタごとの重さ知覚

仮説実証のために、アバタ没入時の重さ知覚の変化を一对比較法で検証した。実験結果に対して両側二項検定を行い、ボンフェローニ補正を行った。その結果、実験参加者は細身アバタ没入時と比較して標準アバタ没入時に有意に物体を軽く感じ ($p < .05$)、細身アバタ没入時と比較して筋肉質アバタ没入時に有意に物体を軽く感じる事が示された ($p < .05$) (図 2)。また、サーストンの一对比較法を用いて尺度値を求め、数直線上に示した (図 3)。

4.2 身体所有感

アバタの外見の違いによる身体所有感の変化を調査するため、身体所有感に関するアンケートのスコアの平均値を解析した。フリードマン検定の結果、アバタの筋肉量によって身体所有感に影響があることが示された ($\chi^2 = 20.3, p < .001, \eta^2 = .424$)。ボンフェローニ補正をしたウィルコクソンの符合順位検定の結果、細身アバタと標準アバタの間 ($p < .01$)、および標準アバタと筋肉質アバタの間に有意差が見られた

表 2: (細身, 標準, 筋肉質) アバタの組み合わせごとの重さ知覚の違い。回数は 2 つのアバタを比較した際に、参加者がどちらのアバタに没入した方がダンベルが軽いと答えた回数を示している。

アバタ	回数	p-value
(細身, 標準)	(15,33)	<.05
(細身, 筋肉質)	(15,33)	<.05
(標準, 筋肉質)	(17,31)	.18



図 3: サーストンの一对比較法による結果。数直線の右にあるほど「軽い」と回答された数が多いことを示す。*: $p < .05$ 。

($p < .001$)(図 4)。

5. 考察

実験により、細身アバタに没入した場合と比較して標準アバタ ($p < .05$) および筋肉質アバタ ($p < .05$) に没入した場合には物体を軽く感じる事が示され、仮説を支持する結果が得られた。一方で、標準アバタと筋肉質アバタで有意な違いは確認されなかった。これは本研究の実験参加者の平均 BMI (Body Mass Index) が 21.4 であり、20 歳 ~ 25 歳の日本人男性の平均 BMI の 23.12 を下回っていたことが影響した恐れがある。また、実験で用いた 3 つの (細身, 標準, 筋肉質) アバタの筋肉量に偏りがあり、標準アバタと筋肉質アバタの外見が比較的似通ってしまったことも要因であると考えられる。これらのことから、実験参加者は自分の身体と比較して、標準アバタ、筋肉質アバタ共に筋肉質であると感じてしまい、2 つの条件で同程度のプロテウス効果が生じてしまった可能性がある。

本実験は参加者内計画で一对比較を用いて、1 人に対して 6 セットの比較を行わせた、そのため、実験の過程で本研究

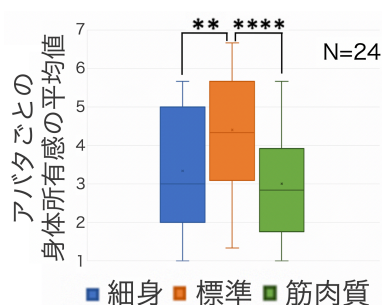


図 4: 身体所有感に関する 7 段階のアンケートの平均値 **: $p < .01$, ****: $p < .001$ 。

の実験意図に気がつき、回答を変更した実験参加者がいた可能性がある。そこで実験意図がわからないよう参加者間計画の実験を行い、さらなる検証が必要であると考えた。

本実験では、標準アバタと比較して、筋肉質アバタと細身アバタの身体所有感が低い値を示した。アバタの構造や外見が実際の身体と近いほど、より身体所有感が生じることが示されており、実験参加者の身体と比較してアバタが筋肉質すぎた、細身すぎたために身体所有感が低下したと考えられる [12]。他方、実験参加者が単に自身の体とアバタの見た目を比較して、アンケートに回答した可能性もある。身体所有感の強さとプロテウス効果の生じる強さにどのような関係があるかは詳細には明らかになっていないが、今後そのような関係を検証、考察していくためにも、身体所有感を揃えた状態での効果の検証をおこなう必要があると考えられる。

6. 結論

本研究ではプロテウス効果が重さ知覚に影響するかを検証するために、筋肉量の異なるアバタを3体用意し、一対比較法を用いて実験を行った。その結果、筋肉量が多いアバタを使用したユーザは、物体の重さを実際より軽く知覚することが明らかになった。これにより、プロテウス効果が振る舞いや心的傾向の変化のみならず知覚にも影響することが示唆された。

本実験の結果は物の運搬作業に応用可能であると考えられる。AR環境で自身の見た目を筋肉質に変化させることができれば、物を軽く感じさせることが可能となり、現実空間の運搬効率の向上が期待できる。これは自身の体を変化させ、把持する対象に依存しないという特徴があるため、形状や明度を変化させることが難しい物体に対してでも、応用可能であるという利点がある。

重さ知覚を操作し、筋持久力を向上させた研究は多くある [13]。本研究で筋肉質なアバタに没入することで重さ知覚が変化することが示されたため、筋持久力も向上する可能性がある。今後は筋肉質アバタに没入することで筋持久力が向上するかについても検証を行い、プロテウス効果が短期的な知覚だけでなく中長期的な身体運動に与える影響についても検証していく予定である。

謝辞 本研究の一部はJST さきがけJPM JPR17J6(17939529)の支援を受けておこなわれた。

参考文献

- [1] H. Adam and A. D. Galinsky. Enclothed cognition. *Journal of experimental social psychology*, Vol. 48, No. 4, pp. 918–925, 2012.
- [2] N. Yee and J. Bailenson. The proteus effect: The effect of transformed self-representation on behavior. *Human communication research*, Vol. 33, No. 3, pp. 271–290, 2007.
- [3] D. Banakou, P. D. Hanumanthu, and M. Slater. Virtual embodiment of white people in a black virtual body leads to a sustained reduction in their implicit racial bias. *Frontiers in human neuroscience*, Vol. 10, p. 601, 2016.
- [4] D. Banakou, R. Groten, and M. Slater. Illusory ownership of a virtual child body causes overestimation of object sizes and implicit attitude changes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 110, No. 31, pp. 12846–12851, 2013.
- [5] D. A. G. Jauregui, F. Argelaguet, A. H. Olivier, M. Marchal, F. Multon, and A. Lecuyer. Toward 'Pseudo-haptic avatars': Modifying the visual animation of self-avatar can simulate the perception of weight lifting. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 20, No. 4, pp. 654–661, 2014.
- [6] S. Gallagher. Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science. *Trends in cognitive sciences*, Vol. 4, No. 1, pp. 14–21, 2000.
- [7] A. Lecuyer, S. Coquillart, A. Kheddar, P. Richard, and P. Coiffet. Pseudo-haptic feedback: Can isometric input devices simulate force feedback? In *Virtual Reality, 2000. Proceedings. IEEE*, pp. 83–90. IEEE, 2000.
- [8] K. Obana, D. Hasegawa, and H. Sakuta. Change in subjective evaluation of weight by the proteus effect. In *International Conference on Human-Computer Interaction*, pp. 353–357. Springer, 2017.
- [9] A. Charpentier. Experimental study of some aspects of weight perception. *Archives de Physiologie Normales et Pathologiques*, Vol. 3, pp. 122–135, 1891.
- [10] K. Kilteni, I. Bergstrom, and M. Slater. Drumming in immersive virtual reality: the body shapes the way we play. *IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics*, No. 4, pp. 597–605, 2013.
- [11] M. Slater, D. Pérez-Marcos, H. Ehrsson, and M. V. Sanchez-Vives. Towards a digital body: the virtual arm illusion. *Frontiers in human neuroscience*, Vol. 2, p. 6, 2008.
- [12] T. Waltemate, D. Gall, D. Roth, M. Botsch, and M. E. Latoschik. The impact of avatar personalization and immersion on virtual body ownership, presence, and emotional response. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, Vol. 24, No. 4, pp. 1643–1652, 2018.
- [13] Y. Ban, T. Narumi, T. Fujii, S. Sakurai, J. Imura, T. Tanikawa, and M. Hirose. Augmented endurance: controlling fatigue while handling objects by affecting weight perception using augmented reality. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 69–78. ACM, 2013.