



ユーザの主体的行為と連動したアバタの外見変化が プロテウス効果にもたらす影響

Yong-Hao HU¹⁾, 畑田裕二¹⁾, 鳴海拓志¹⁾

1) 東京大学 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, yh-haoareyou,hatada,narumi@cyber.t.u-tokyo.ac.jp)

概要: 自己アバタの外見に基づいてユーザの態度や行動が変化するプロテウス効果に関する研究ではいずれも、目的となるアバタは VR 環境に没入した瞬間に参加者に提示され、身体所有感を中心とした自己同一化が図られてきた。これに対して本研究では、ユーザの主体的行為によって目的となるアバタへと漸次的に変化することが、最初からそのアバタを使うよりもアバタへの自己同一性を高め、プロテウス効果を増強するか検討する。ユーザのスクワット運動に伴ってアバタの見かけの筋肉量が増加するシステムを開発し、発揮筋力の比較を行った結果、条件間に有意差は見られなかった。

キーワード: プロテウス効果, ゴーストエンジニアリング, ナラティブ, 主体的行為

1. はじめに

VR とモーショントラッキング技術の発展は、VR 環境内における身体表象であるアバタをユーザの実身体の動きと同期させ、さながら自分の身体のように感じさせることを可能にした。VR 心理学の分野では、アバタに対して身体所有感（その身体を自分が保持しており自己の一部であるという感覚）や、行為主体感（ある行為を引き起こしたのは自分自身であるという感覚）を生起させる条件が盛んに探求されている [1]。こうした技術は、これまで実験変数として設定することが難しかった身体特性を変数とする心理実験を可能にした。近年では、実身体とは異なる身体特性（性別や体格、動物など）を持つアバタの身体化体験は、ユーザの知覚や認知、行動に影響を与えることが明らかにされている [2]。魅力的なアバタを使用した参加者は、そうでない参加者より相手に対して積極的なコミュニケーションを取るなど、アバタの外見がユーザの態度や行動を変化させるプロテウス効果は、その代表例である [3]。プロテウス効果は VR 心理学において大きな注目を集め、これまで数多くの研究が行われてきたが、一方でその効果量が小さいことも指摘されている [4]。

プロテウス効果のメカニズムは未だ明らかにはなっていないが、アバタに対する Identification（自己同一化）は重要な要因の一つだと考えられている [5]。従来のプロテウス効果に関する実験では、身体所有感と行為主体感の生起や、ユーザに類似した外見の提示といった感覚刺激を駆使してアバタへの同一化が試みられてきた。実際、身体所有感や行為主体感の強さは、アバタを通じて得られる認知変容の効果に影響を与えることも示唆されている [2]。他方、自己という概念には、身体所有感と行為主体感からなる今この瞬間の現象学的自己（minimal self）と、過去から未来に連なる時間的な連続性とアイデンティティを持つ物語的自己（narrative self）の二つが含まれると考えられている [6]。

この観点から考えると、従来のプロテウス効果に関する実験では、参加者とアバタの同一化は主に minimal self のレベルで行われており、アバタを通じて形成される narrative self は軽視されてきたと言える。多くの先行研究において目的となるアバタは、なぜそのような身体を持つに至ったのかといった経緯は不明なまま、参加者が VR 環境に没入した瞬間に提示される。プロテウス効果の発生には、Wishful identification（そのアバタになることの望ましさ）といった身体感覚以外の同一化要因もあると考えられている [5] にも関わらず、narrative self レベルでアバタへの同一化を促す効果を検証した研究はまだない。

そこで本研究では、あるアバタがそのような身体特性を持つに至ったプロセスを参加者に体験させることで、minimal self だけでなく narrative self においてもアバタへの同一化を促し、プロテウス効果が増強されるかを検証する。具体的には、ユーザ自らのスクワット運動に連動してアバタの全身の筋肉量が増加するシステムを開発し、最初から筋肉質アバタに没入した群と、標準体型アバタから筋肉質アバタへの変化を体験した群の間で、発揮筋力を比較した。アバタの見かけの筋肉量をもたらすプロテウス効果は、重さ知覚 [7] や瞬発筋力 [8] において確認されている。

2. 実験

2.1 実験システム構成

Character Creator 3¹⁾ を用いてフォトリアルな平均体型の男性アバタを作成した。アバタの見かけの筋肉量を Unity 側で増減できるよう、Blender を用いてアバタのメッシュを筋肉質体型へと編集した状態でシェープキーが登録された。

実験システムは Unity を用いて開発された。VR 環境は、HTC 社の HTC Vive Pro を通じて参加者に提示された。実身体の動きをアバタに反映させるため、参加者は両手、両

¹⁾<https://www.reallusion.com/character-creator/>

足、腰に一つずつ Vive トラッカを装着した。アバタの姿勢制御には、Unity 向けのアセットである FinalIK²を用いた。これは、HMD とトラッカの位置情報をもとにアバタの姿勢を逆運動学的に推定し、制御することを可能にする。また実験タスクのために 3 キロのダンベルと背筋計測器が用いられた。ダンベルと背筋計測器の位置と回転はトラッカによって取得され、VR 環境内の再現された 3D モデルに反映された。アバタには、参加者の腰部に装着されたトラッカの y 軸方向の移動によって、参加者のスクワット運動を検知するたびに、アバタの全身の筋肉量が増加する機能が実装された。

2.2 測定指標

本研究では、発揮筋力として瞬発筋力と筋持久力の 2 項目を採用した。日本スポーツ振興センターが公開している測定方式³に従い、背筋計測器で 2 回測定した中での最大値を瞬発筋力として採用した。また参加者がダンベルを利き手の腕で水平に把持できた持続時間を、筋持久力として採用した。身体所有感・行為主体感・身体の変化の各項目は、D. Roth らの Virtual Embodiment Questionnaire (VEQ) 質問紙の日本語版 [9] を用いて測定された。また、これまでの研究において、アバタ体験がもたらす知覚・認知変容には自尊感情や自己概念の明確性 (Self-Concept Clarity; SCC) に基づく個人差があると考えられている。それゆえ本研究においては、BMI・自尊感情・SCC・VR 経験・筋トレ経験・運動経験についても尋ねた。BMI は自己申告の体重 ÷ 身長² [kg/m²] によって算出し、自尊感情はローゼンバーグ自尊感情尺度日本語版 [10]、SCC は邦訳版自己概念の明確性尺度 [11] を用いて測定した。VR 経験・筋トレ経験・運動経験は、それぞれ 7 段階で頻度を回答してもらった。

2.3 参加者と実験デザイン

本実験は、本学の男子学生 16 名 (平均 22.94 ± 1.57 歳) を対象に、参加者間計画で実施された。参加者は機縁法によって募集された。各参加者は、標準体型アバタの体験からスタートし、自らのスクワット運動に連動してアバタの筋肉量が増加する「変化あり」群と、最初から筋肉質アバタを体験する「変化なし」群に分けられた。

2.4 仮説

アバタが筋肉質へと変化するプロセスを参加者に体験させることによって、アバタに対する自己同一化が促進され、プロテウス効果が増強する可能性が考えられる。これに関する仮説として、「ユーザの主体的行為と連動したアバタの外見変化がある『変化あり群』は、外見変化がない『変化なし群』よりも、瞬発筋力および筋持久力が向上する」が立てられた。

2.5 手順

実験室 (図 1(a)) を訪れた参加者は、ランダムに変化あり群と変化なし群のいずれかに割り当てられた。参加者は

実験内容の説明を受けた後、身長・体重・自尊感情・SCC に関するアンケートに回答した。その後、実環境において背筋計測・ダンベル把持・スクワットの手順確認が行われた。手順を理解した参加者はトラッカと HMD を装着し、VR 環境 (図 1(b)) に没入した。この時、変化あり群には図 1(c) の平均体型、変化なし群には図 1(d) の筋肉質のアバタが提示された。参加者は自由にアバタを動かしながら、VR 環境に設置された鏡を通して自分のアバタを 2 分間観察した。

VR 環境におけるタスクとして、まず、背筋計測が 2 回実施され、結果が記録された。続いて参加者はダンベルを水平に把持 (図 1(e)) し、その姿勢が崩れるまでの経過時間が記録された。その後、VR 機材を装着したまま、参加者は 5 分間の休憩を取りつつ、VR 環境内にて提示される VR 経験・筋肉トレーニング経験・運動経験についてのアンケートに回答した。

休憩後、参加者はスクワット (図 1(f)) を 10 回行うよう指示された。変化あり群では、参加者がスクワットするたびに、心臓の鼓動を模した音がステレオヘッドホンを通じて提示され、アバタの筋肉量が段階的に増加した。10 回のスクワットを行った時点で、変化あり群のアバタは変化なし群のそれと同じ筋肉量になった。変化なし群では、10 回のスクワット行ってもアバタに変化は起きなかった。スクワット終了後、参加者は再び自由に身体を動かしつつ、鏡を通して自分のアバタを 2 分間観察するよう指示された。その後、先と同様の背筋計測とダンベル把持のタスクを再び行った後、参加者は VR 環境内に提示された Virtual Embodiment Questionnaire (VEQ) [9] に回答した。

装着したデバイスを全て外した後、参加者は実環境においてタスクや身体変化、心理変化に対する感想に関する簡単なインタビューを受けた。

3. 結果

3.1 筋力の変化

各群における瞬発筋力の増加量に対し、コルモゴロフ=スミルノフ検定で正規性を、F 検定で等分散を確認した ($F = 0.826$)。一要因分散分析を行ったところ、有意差は認められなかった ($F(1, 14) = 0.06, p > .1$)。平均値は変化あり群では -0.3125 ± 9.4470 [kg]、変化なし群では -1.5000 ± 8.6675 [kg] であった。

各群における筋持久力の増加量に対し、コルモゴロフ=スミルノフ検定で正規性を、F 検定で等分散を確認した ($F = 0.527$)。一要因分散分析を行ったところ、有意差は認められなかった ($F(1, 14) = 0.08, p > .1$)。平均値は変化あり群では -8.2075 ± 13.2280 、変化なし群では -10.5038 ± 16.9679 [s] であった。瞬発筋力、筋持久力のいずれも条件間に有意差は認められず、仮説は棄却された。

3.2 筋力変化と各変数の相関性

3.2.1 瞬発筋力

BMI・自尊感情・SCC・VR 経験・筋トレ経験・運動経験といった個人差による各変数と瞬発筋力増加量の相関係数

²<https://assetstore.unity.com/packages/tools/animation/final-ik-14290>

³https://www.jpnsport.go.jp/hpsc/Portals/0/resources/jiss/column/fcmanual/05_haikinnryoku.pdf



図 1: (a) 実験室環境. (b) ジムを模した空間. (c) 平均体型アバタ. (d) 筋肉質アバタ. (e) ダンベル把持. (f) スクワット.

を、各群において其々算出し (表 1), 変数ごとの相関係数の差を検定 [12] した結果, いずれの項目も有意でなかった.

表 1: 個人差による各変数と瞬発筋力増加量の相関係数の差 (変化あり群・変化なし群において)

変数	相関係数		相関係数の差の p 値
	変化あり	変化なし	
BMI	-0.2132	0.5185	0.2111
自尊感情	0.3632	-0.1496	0.4009
SCC	-0.0740	-0.4662	0.4955
VR 経験	0.4011	0.4248	0.9640
筋トレ経験	-0.2705	-0.4471	0.7475
運動経験	-0.3052	-0.0945	0.7274

3.2.2 筋持久力

BMI・自尊感情・SCC・VR 経験・筋トレ経験・運動経験といった参加者個人差による各変数と筋持久力増加量の相関係数を, 変化あり群・変化なし群其々で計算し (表 2), 変数ごとの相関係数の差を検定 [12] した結果, BMI と筋持久力の増加量の相関係数の差に有意差が見られた ($p = 0.0468 < .05$). 他の項目に有意差のある項目が見られなかった.

表 2: 個人差による各変数と筋持久力増加量の相関係数の差 (変化あり群・変化なし群において)

変数	相関係数		相関係数の差の p 値
	変化あり	変化なし	
BMI	-0.4176	0.6712	0.0468
自尊感情	0.4057	0.1019	0.6038
SCC	-0.2791	-0.3943	0.8370
VR 経験	0.5674	-0.1987	0.1815
筋トレ経験	-0.2307	-0.0825	0.8098
運動経験	-0.1188	0.2529	0.5502

3.3 VEQ

各群における VEQ の各項目 (身体所有感・行為主体感・身体の変化) に対し, コルモゴロフ=スミルノフ検定で正規性を, F 検定で等分散を確認した ($F = 0.358, 0.490, 0.623$) 後, 一要因分散分析を行った. 身体所有感について, 変化あり群 (平均値 = 4.6250 ± 0.7289) と変化なし群 (5.2188 ± 0.5068) の間に有意傾向が見られた ($F(1, 14) = 3.13, .05 < p < .1$). 行為主体感について, 変化あり群 (平均値 = 5.6875 ± 0.7474) と変化なし群 (平均値 = $5.6875 \pm .5694$) の間に有意差はなかった ($F(1, 14) = 0.00, p > .1$). 身体の変化について, 変化あり群 (平均値 = 4.0000 ± 0.9763) と変化なし群 (平均値 = 3.4375 ± 1.1842) の間に有意差はなかった ($F(1, 14) = 0.94, p > .1$).

4. 考察

前章で示した通り, 条件間の発揮筋力には有意差が見られなかった. 本章では, 実験後のインタビューの回答を踏

まえて考察を行う.

4.1 VR 環境とアバタの漸次的変化がもたらす認知的影響

筋肉質アバタが参加者にもたらした自己イメージの変化に関して, 変化なし群の 2 名から「筋肉質のアバタを着ると, 自分の筋肉が増えた・強くなった気がした」, 変化あり群の 5 名から「スクワットをしてアバタの筋肉量が増えた後, 自分の筋肉が増えた・強くなった気がした」といった旨の発言が得られた. ここから, 筋肉質アバタの使用が参加者の自己イメージに作用していることが示唆される. しかしその一方で, 変化あり群の 3 名は「スクワットだけで身体にあれほどの変化が起こるはずがなく, 変化後のアバタを自分と紐付けられなかった」, 「足を鍛えるスクワットで腕の筋肉まで増えたことが不自然」といった, アバタの外見変化に関する不自然さを指摘した.

視覚以外の演出に関しては, 次のようなコメントが得られた. まず, 筋力トレーニングを日常的に行っている参加者 2 名が, 筋力トレーニング器材が置いてあるジムの VR 環境に没入したことで, 運動の意欲が湧いたと述べた. また変化あり群では, スクワットをするごとにアバタの外見変化と連動して心臓の鼓動のような音が参加者に提示されたが, これに対して 2 名の参加者が「音の意図がわからない, 筋肉増加とイメージが紐付けられなかった」といった感想を述べた. また, 変化あり群の参加者 1 名が「スクワットに中にもっと音楽やアニメ風なエフェクトなどがあれば, より力が湧いてくる気がする」と述べた.

4.2 アバタによる自己イメージの更新を阻害する要因

その一方で, 変化あり群の 3 名・変化なし群の 2 名が「最初は力を出せそうな気がしたが, 実際に筋力計測を行うと思ったほど力を出せなかった」といった旨を述べた. これらの語りと実験結果から, 本実験で用いたアバタの外見変化は, 参加者に過剰な期待を煽った一方で, 発揮筋力が向上したと参加者に感じさせるほどの効果はなかったことが示唆された. 筋力計測に臨んだ際に期待と現実の差が浮き彫りになり, 却って発揮筋力に関する自己イメージを損なってしまった可能性がある. 他方で, 変化あり群の 2 名は「普段から筋力トレーニングをしているため, 自分の力の限界をわかっている」と述べた. 自分の発揮筋力を明確に認識している参加者においては, 逆にアバタの外見変化とは無関係に自己イメージが強く保持されており, アバタの認知的影響が筋力にもたらす効果が小さくなると考えられる.

他にも, 背筋計測を行っている際, 握ったハンドルやタスクに集中するあまり, アバタをあまり見ていなかった参

加者がいた。現行のアバタ技術では、視覚以外のモダリティで身体変化を知覚することが難しいため、アバタの視認をしない参加者においてプロテウス効果は小さくなると考えられる。さらに、筋持久力測定のためにダンベルを把持している間、鏡に映るアバタの腕の震えから自分の腕の震えに気づき、アバタの筋肉量が変わってもやはり自分の筋力是不変わらないと考えた参加者がいた。こうした実身体の状態への気づきは、アバタによる身体イメージの更新を阻害し、プロテウス効果の発現を制限する可能性がある。

4.3 アバタに対する身体所有感

アバタに対する自己同一化が不十分であったことは、変化あり群の参加者が、変化なし群よりも有意に低い身体所有感を報告したことから見てとれる。先に述べたアバタの外見に関する不自然な変化が、アバタに対する身体所有感を低下させ、発揮筋力を向上させなかった要因の一つだと考えられる。またトラッキングや姿勢制御のエラーによってアバタが不自然な姿勢を取ったり、参加者の姿勢とずれたりしたために、アバタに対する十分な自己同一化がなされなかった可能性がある。これと関連して、装着したトラッカーやVRゴーグル用マスクが邪魔だと感じ、全力を出せなかったと2名の参加者が回答した。こうしたアバタに対する自己同一化不足を改善する手法として、トラッキングの精度を上げること、参加者に応じてアバタの筋肉量を適切に調整すること、より自然に見える筋肉量の変化手法を開発することが考えられる。

4.4 参加者の実身体の体型の影響

BMIと筋持久力の増加量の相関係数の差において、条件間で有意差が見られた。具体的には、変化なし群ではBMIと筋持久力の増加量に正の、変化あり群では負の相関が見られた。実験後のインタビューでは、変化あり群の3名が「自分の実身体に近いのは筋肉が増える前のアバタである」といった感想を述べた。本実験では、変化あり群で採用された標準体型アバタおよびみかけの筋肉の増加量は、全ての参加者に対して同一のものが用いられた。しかし、アバタの筋力量の初期値や筋肉の増加量を参加者の実身体の体格に応じてカスタマイズすることは、プロテウス効果の大きさを変化させる可能性がある。

5. 結論

本研究では、アバタへの同一化が身体所有感や行為主體感といった感覚に基づいて行われていた従来のプロテウス効果研究に加えて、ターゲットとなるアバタ（筋肉質アバタ）までの身体変化のプロセスを提示することで、発揮筋力におけるプロテウス効果が増強されるかを検証した。参加者自らのスクワット運動と連動してアバタの見かけの筋肉量が増える条件と最初から筋肉質アバタを体験する条件を比較したところ、瞬発筋力と筋持久力のいずれにおいても有意差は見られなかった。アバタの外見変化があった条件では身体所有感の低下が見られた。今後は、アバタをより自然に変化させる手法の開発や、別のプロテウス効果に

おける検証を行っていく。

謝辞 本研究の一部は、JST ムーンショット型研究開発事業（JPMJMS2013）から支援を受けて行われた。

参考文献

- [1] K. Kilteni, A. Maselli, K. P. Kording, and M. Slater. Over my fake body: body ownership illusions for studying the multisensory basis of own-body perception. *Frontiers in Human Neuroscience*, Vol. 9, , 2015.
- [2] 鳴海拓志. ゴーストエンジニアリング：身体変容による認知拡張の活用に向けて. *認知科学*, Vol. 26, No. 1, pp. 14–29, 2019.
- [3] N. Yee and J. Bailenson. The proteus effect: The effect of transformed self-representation on behavior. *Human Communication Research*, Vol. 33, pp. 271 – 290, 07 2007.
- [4] O. Clark. How to kill a greek god: A meta-analysis and critical review of 14 years of proteus effect research, 2020.
- [5] A. S. Praetorius and D. Görlich. How avatars influence user behavior: A review on the proteus effect in virtual environments and video games. In *International Conference on the Foundations of Digital Games*, FDG '20, New York, NY, USA, 2020.
- [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] 角田賢太郎, 小川奈美, 鳴海拓志, 廣瀬通孝. 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. 第25回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集. 日本バーチャルリアリティ学会, 2020.
- [8] M. Kocur, M. Kloss, V. Schwind, C. Wolff, and N. Henze. *Flexing Muscles in Virtual Reality: Effects of Avatars' Muscular Appearance on Physical Performance*, pp. 193–205. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2020.
- [9] D. Roth and M. E. Latoschik. Construction of the virtual embodiment questionnaire (veq). *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 26, No. 12, pp. 3546–3556, 2020.
- [10] C. Mimura and P. Griffiths. A japanese version of the rosenberg self-esteem scale: Translation and equivalence assessment. *Journal of psychosomatic research*, Vol. 62, pp. 589–94, 06 2007.
- [11] Y. Tokunaga and T. Horiuchi. Development of a japanese version of the self-concept clarity (scc) scale. *The Japanese Journal of Personality*, Vol. 20, No. 3, pp. 193–203, 2012.
- [12] J. Cohen, P. Cohen, S. G. West, and L. S. Aiken. *Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences (2nd ed.)*. Psychology Press, New York, 1983.