

Title	連続的なVRアバタの大きさ変化が利用者の握力に与える影響
Author(s)	吉川, 楽
Citation	
Issue Date	2025-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/19749
Rights	
Description	Supervisor: 藤波 努, 先端科学技術研究科, 修士 (知識科学)

修士論文

連続的な VR アバタの大きさ変化が利用者の握力に与える影響

吉川 楽

主指導教員 藤波 努 教授

北陸先端科学技術大学院大学
先端科学技術専攻
(知識科学)

令和 7 年 3 月

Abstract

In recent years, grip strength has been attracting attention in Japan as an indicator of people's health status as the country enters a super-aging society. It has been reported that grip strength of men and women generally peaks around the age of 30s and declines with age thereafter. In addition, it has become clear that grip strength and various other muscular functions of men and women in their teens to thirties have been declining further compared to the past decade. This decline in grip strength and other muscle Sicknesses, especially among young people, has become a problem because of the assumed risk of various diseases caused by lack of exercise.

In response to this situation, research has already been conducted in Japan to improve people's grip strength and other muscle strength, and results such as improved grip strength and cognitive function have been reported for the elderly and children. On the other hand, there have been few studies on young people in their teens to thirties, suggesting the need for further research to improve grip strength.

In recent years, with the development of VR technology, research using the Proteus effect with VR avatars has been attracting attention to address the problem of muscle weakness, including grip strength. The Proteus effect refers to a phenomenon that psychological effects are generated when an avatar in a VR space is perceived as if it were a part of one's own body.

One example of such research is the expansion of body motion and changes in self-perception in VR space using the Proteus effect with VR avatars. In these studies, for example, it has been reported that the use of a VR avatar of a muscular man gives the user the illusion of a stronger body, improves grip strength, and reduces fatigue during exercise. However, I believe that VR avatars with physical characteristics such as excessive muscles and feminine physique may reduce the sense of immersion and body ownership, as well as the Proteus effect, because the impression received from the VR avatars differs among subjects.

Therefore, to increase the influence of the Proteus effect on body motion while reducing differences in the sense of immersion in the VR avatar among subjects, this study presented VR avatars with few excessive physical features to subjects

using a video representation in which the surface layer changes continuously and verified the influence of the Proteus effect on grip strength. This study examined the effect of the Proteus effect on grip strength.

In this study, two research issues were raised. First, how do VR avatars with few excessive physical features affect subjects' sense of immersion and sense of body ownership? Second, how does the image representation in which the surface layer of the VR avatar changes continuously affect the Proteus effect and grip strength generated in subjects compared to the image representation in which the surface layer does not change continuously?

To address the above research questions, I focused on a human hand as a VR avatar with few physical characteristics and selected a VR avatar with its surface layer enlarged or reduced as the VR avatar used for verification. In this study, I first verified the subject's sense of physical possession and immersion in each of the above selected avatars. Then, I presented the surface layer of each avatar to the subjects with and without continuously changing images and verified the Proteus effect generated and its effect on grip strength.

As a result of the verification, it became clear that the hand VR avatar with few physical characteristics generated a high sense of immersion and a sense of body ownership for the subjects for the first research subject, and that the difference in the sense of immersion between subjects was reduced.

Next, for the second research question, I showed that the Proteus effect, which uses powerful impressions generated by the subjects, is less pronounced in the image representation in which the surface layer of the hand VR avatar continuously changes compared to the image representation in which the surface layer does not continuously change, and that the grip strength is reduced. In addition, when the surface layer of the VR avatar of the hand did not change continuously, the presentation of the VR avatar with an enlarged surface layer (enlarged avatar) strongly affected the Proteus effect using powerful impressions, and grip strength increased.

I believe that the results of this study will contribute to solving the problems in existing VR research where physical characteristics of avatars cause a decrease in the sense of physical possession and immersion. In addition, it is expected that the conditions for generating the Proteus effect will be expanded and applied to

further efforts to extend physical exercise using simpler VR systems and to improve grip strength in young people.

I believe that the results of this study will contribute to solving the problems in existing VR research where physical features of avatars cause a decrease in the sense of physical possession and immersion. In particular, the method proposed in this study that uses VR avatars with few physical features such as muscles is expected to expand the conditions for generating the Proteus effect and to be applied to further efforts to extend physical movement using simpler VR systems and to improve grip strength in young people.

In addition, I believe that the practicality of physical exercise using the Proteus effect will be enhanced by clarifying whether the Proteus effect generated by the VR avatars of selected hands repeatedly affects the increase in grip strength in the future.

目次

第 1 章 序論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的とリサーチクエスチョン.....	2
1.3 論文の構成.....	3
第 2 章 関連研究の紹介と本研究の位置付け.....	3
2.1 握力の向上を目的とした取り組み.....	3
2.2 身体拡張に関する VR 研究の対象アバタと本研究.....	6
2.3 研究の余地.....	7
第 3 章 研究手法.....	8
3.1 実験環境.....	8
3.2 実験における仮説.....	13
3.3 実験の構成.....	15
第 4 章 アバタによる身体所有感と没入感の評価.....	16
4.1 本実験 I の手続き.....	16
4.2 本実験 I の実験結果.....	19
4.3 考察.....	20
4.4 総括.....	21
第 5 章 アバタの印象の評価と握力の計測.....	22
5.1 予備実験.....	22
5.2 本実験 II.....	29
5.3 本実験 III.....	43
5.4 総括.....	53
第 6 章 考察.....	55
6.1 選定したアバタによる没入感や身体所有感への影響.....	55
6.2 選定したアバタによるプロテウス効果と握力.....	56
第 7 章 結論.....	58
7.1 要約.....	58
7.2 本研究の課題.....	58
参考文献.....	60
謝辞.....	63
付録 開発した握力測定装置.....	64

目次

図 2-1：日本国内における 20～50 代男女の握力の推移(スポーツ庁).....	4
図 2-2：日本国内における 10 代男性の握力の推移(スポーツ庁).....	5
図 2-3：日本国内における 10 代女性の握力の推移(スポーツ庁).....	5
図 3-1：現実空間の実験環境の様子.....	9
図 3-2：VR 空間の実験環境の様子.....	10
図 3-3：VIVE PRO EYE(HTC 社).....	10
図 3-4：vive hand tracking sdk(HTC 社).....	11
図 3-5：選定した拡大アバタの外観.....	12
図 3-6：選定した等倍アバタの外観.....	12
図 3-7：選定した縮小アバタの外観.....	12
図 3-8：仮説 1 の内容のイメージ.....	13
図 3-9：仮説 2 の内容のイメージ.....	14
図 3-10：本研究における実験の構成.....	15
図 4-1：作成した非同期アバタの外観.....	17
図 4-2：本実験 I の手続きの流れ.....	18
図 4-3：本実験 I におけるアバタ用いたボール運搬タスクの流れ.....	18
図 4-4：主観評価アンケート 1 の Q2 の結果.....	20
図 5-1：予備実験の手続きの流れ.....	24
図 5-2：予備実験におけるアバタ用いた握力計測の流れ.....	24
図 5-3：予備実験で計測された被験者 J の握力データ.....	25
図 5-4：予備実験で計測された被験者 K の握力データ.....	25
図 5-5：主観評価アンケート 2 の Q5 の結果.....	26
図 5-6：主観評価アンケート 2 の Q8 の結果.....	27
図 5-7：主観評価アンケート 2 の Q6 の結果.....	27
図 5-8：選定した連続拡大アバタ 1 の外観.....	30
図 5-9：選定した連続拡大アバタ 2 の外観.....	31
図 5-10：本実験 II におけるアバタの提示順序.....	32
図 5-11：本実験 II におけるアバタを使用した握力計測の流れ.....	32
図 5-12：本実験 II における各アバタの握力データ取得時間.....	33
図 5-13：本実験 II で計測された被験者 D の握力データ.....	34
図 5-14：本実験 II で計測された被験者 I の握力データ.....	34
図 5-15：本実験 II における主観評価アンケート 3 の Q1 の結果.....	35

図 5-16：本実験Ⅱにおける主観評価アンケート 3 の Q8 の結果	36
図 5-17：本実験Ⅱにおける主観評価アンケート 3 の Q13 の結果	36
図 5-18：本実験Ⅱにおける主観評価アンケート 3 の Q15 の結果	37
図 5-19：予備実験と本実験Ⅱにおける被験者 A の握力データ	39
図 5-20：予備実験と本実験Ⅱにおける被験者 H の握力データ	39
図 5-21：主観評価アンケート 2, 3 の Q1 の結果	40
図 5-22：主観評価アンケート 2, 3 の Q8 の結果	41
図 5-23：主観評価アンケート 2, 3 の Q6 の結果	41
図 5-24：本実験Ⅲにおけるアバタの提示順序	44
図 5-25：本実験Ⅲにおけるアバタを使用した握力計測の流れ	44
図 5-26：本実験Ⅲにおける各アバタの握力データ取得時間	45
図 5-27：本実験Ⅲにおける被験者 G の握力データ	46
図 5-28：本実験Ⅲにおける被験者 L の握力データ	46
図 5-29：本実験Ⅲにおける主観評価アンケート 3 の Q2 の結果	47
図 5-30：本実験Ⅲにおける主観評価アンケート 3 の Q10 の結果	48
図 5-31：本実験Ⅲにおける主観評価アンケート 3 の Q7 の結果	49
図 5-32：本実験Ⅲにおける主観評価アンケート 3 の Q16 の結果	49
図 5-33：予備実験と本実験Ⅲにおける被験者 G の握力データ	51
図 5-34：予備実験と本実験Ⅲにおける被験者 K の握力データ	51

表目次

表 3-1：選定した 3 種類のアバタの名称と Unity 上におけるスケール ...	12
表 4-1：主観評価アンケート 1 の質問項目	17
表 4-2：本実験Ⅰの結果のまとめ	21
表 5-1：主観評価アンケート 2 の質問項目	23
表 5-2：選定した連続拡大アバタ 1, 2 の Unity 上におけるスケール.....	31
表 5-3：主観評価アンケート 3 の質問項目	33
表 5-4：予備実験の結果のまとめ	54
表 5-5：本実験Ⅱの実験結果と予備実験の結果(一部抜粋)との比較のまとめ	54
表 5-6：本実験Ⅲの実験結果のまとめ	54

第1章 序論

本章では、本研究の研究背景と目的、リサーチクエスション及び本論文の構成について述べる。

1.1 研究背景

1.1.1 筋力と握力

近年の日本国内では、10代後半から30代の若年層において握力など様々な筋力が低下傾向にある¹⁾。そもそも、筋力とは、生理学的に身体動作などを遂行する際に筋の緊張が変化し、収縮することで引き起こされる張力と定義されている [1]。そして、握力は体育学において、力量系で測定可能なごく瞬発的一時的な最大筋力に分類されると述べられている [1]。

握力は、一般的にものを掴む際に発揮される力であり、多種多様な運動や日常生活を安全に過ごすために必要不可欠である。また、健康状態を評価する指標として有益であることが報告されており²⁾ [2]、握力の高い人では、運動不足による病気のリスクが低下することが示唆されている [3] [4]。

特に、握力と全身の骨格筋量には相関があることが広く知られており、骨密度の低い子供の握力と糖尿病の関連性が示されるなど、様々な研究で握力の向上の重要性が提起されてきた [5]。超高齢化社会に突入しつつある日本国内では、近年、健康維持・増進の観点からこのような握力向上に向けた取り組みが注目されてきている。

1)健康スポーツ課，“令和4年度体力・運動能力調査結果の概要及び報告書について”，スポーツ庁，pp.1-27，(2022)。

2)熊谷 秋三，“大規模コホートをを用いた生活習慣病の一次予防のための運動量策定に関する運動疫学研究”，平成30年総括・分担研究報告書，pp.1-18，(2012)。

1.1.2 プロテウス効果を用いた身体拡張

1.1.1 で述べた健康維持・増進に向けた取り組みとして、近年では、VR空間内のアバタをあたかも自分の身体の一部であるかのように錯覚させ、心理的な効果を生起させるプロテウス効果 [6]を用いた身体拡張に関する研究が注目されている。

その一例として、石川ら [7]は、痩せた人型アバタと筋肉質な人型アバタによって生起されるプロテウス効果を用いて男女の被験者がスクワッドを実施し、

運動に伴う疲労感への影響を検証していた。その結果、男性は痩せた人型アバタより筋肉質な人型アバタの方がプロテウス効果によって身体運動時の疲労感の変化が減少し、女性は、筋肉質なアバタに対して没入感が低下することが明らかになっていた。

また、Martin ら [8]は、男女の被験者に各々の性別と合致した異なる肉付きの筋肉質なアバタを提示し、握力を計測することで、アバタの与える印象が被験者へ及ぼす影響について検証していた。その結果、男性被験者は、女性被験者よりも筋肉質な人型アバタを使用すると顕著に握力などの身体運動能力が向上することが示されていた。

加えて、大久保ら [9]は、ダンベルを持った被験者へ様々な形状の人型アバタの中からペアを組ませて連続で提示し、アバタの使用に伴う被験者のダンベルに対する重さ知覚への影響を検証していた。その結果、筋肉質な人型アバタ以外でも人型アバタから被験者へ力強い印象が生起され、ダンベルの重さを軽く感じるなど発揮される能力にも影響を与えることが明らかになっていた。

上記の 3 例では、アバタから受ける印象によって生起されるプロテウス効果を様々な身体運動へ応用していた研究例を挙げた。いずれの研究もアバタから受ける印象によって、生起されるプロテウス効果と身体運動への影響が変化することが明らかになっていた。このような VR アバタを用いたプロテウス効果は、従来のビデオゲームなどのメディアがユーザへ与える心理効果などと比較して、心理的な影響が強く、信頼性が高いことが示唆されている [10]。

1.2 研究目的とリサーチクエスション

現在、日本国内では、超高齢化社会へ突入しつつある中、健康状態を図る指標として握力が注目されてきている²⁾ [2]。そんな中、国内における若年層における握力の低下が深刻化しており、今後、運動不足による病気のリスクなどが想定される。

これを踏まえ、近年では、健康の維持及び増進に向けた取り組みとして、VR を用いたプロテウス効果による身体運動の拡張に関する研究がはじまっている。それらの研究では、VR アバタの外見から受ける印象が被験者の性別や体格などと合致することで、プロテウス効果の生起による身体運動への影響が高まることが示唆されている [7] [8]。

しかし、アバタへ過剰な筋肉や女性的な体格などの身体的特徴を付与することは、被験者間で没入感に差を生み、プロテウス効果の生起に影響を与える恐れがある。加えて、プロテウス効果による身体運動への影響を増加するためには、選定した人型アバタの特徴の一部を誇張するなどの映像表現を用いる必要性が示唆されている [9]。

以上の内容を踏まえ、本研究では、被験者間でのアバタに対する没入感の差を

低減しつつ、プロテウス効果による身体運動への影響を増加させることを研究目的とした。具体的には、筋肉などの過剰な身体的特徴の少ないアバタを表層が連続で変化する映像表現を用いて被験者へ提示し、アバタから受ける印象を強調することで、プロテウス効果による身体所有感や没入感、及び握力への影響について検証した。また、このことを踏まえ、本研究におけるリサーチクエスチョンを次の RQ1, RQ2 として設定した。

RQ1: 過剰な身体的特徴の少ないアバタは、被験者の没入感や身体所有感にどのような影響を与えるのか？

RQ2: アバタの表層が連続で変化する映像表現は、表層が連続で変化しない映像表現と比較し、被験者に生起されるプロテウス効果と握力へどのような影響を与えるのか？

1.3 論文の構成

本論文は、本章を含めた全 7 章で構成される。

第 2 章では、関連研究の紹介と本研究の位置付けについて述べる。

第 3 章では、本研究の研究手法について実験環境やリサーチクエスチョンに対する仮説、実験の構成を交えて述べる。

第 4 章では、本実験 I の概要と実験結果、及びそこから得られた考察について述べる。

第 5 章では、予備実験と本実験 II, 本実験 III の概要、実験結果とそこから得られた考察について述べる。

第 6 章では、各実験から得られた結果と関連研究との相違点を踏まえた考察を述べ、第 7 章の結論にて本論文のまとめとする。

第2章 関連研究の紹介と本研究の位置付け

2.1 握力の向上を目的とした取り組み

スポーツ庁の調べによると、一般的に男女の握力は 30 代ごろにピークを迎え、その後は加齢に伴い低下することが明らかになっている¹⁾。また、図 2-1 にスポーツ庁による日本国内における 20 代から 50 代男女の握力の推移を表したグラフを示す。

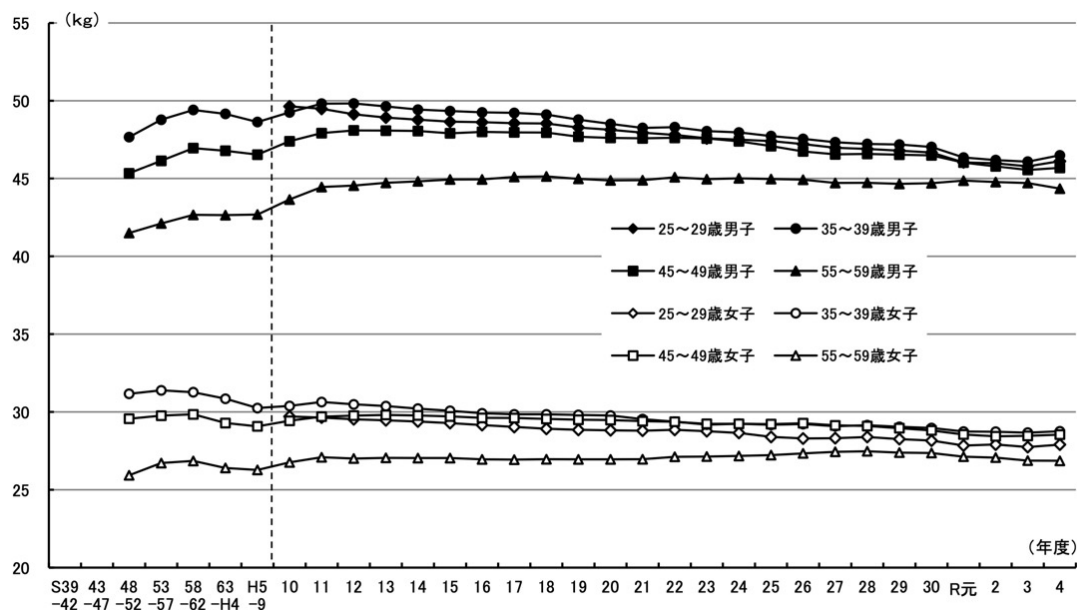


図 2-1：日本国内における 20～50 代男女の握力の推移(スポーツ庁)

図 2-1 のグラフを 20 代と 30 代の若年層に焦点を当てると、20 代と 30 代の男性は、平成 11 年から平成 13 年付近で握力がピークに達し、その後年々緩やかに低下している。加えて、20 代と 30 代の女性は、昭和 53 年から昭和 62 年にかけて握力がピークに達し、その後年々緩やかに低下している。

次に図 2-2、図 2-3 に 10 代男女の握力の推移を表したグラフを示す。図 2-2 を参照すると、16 歳と 19 歳男性では、昭和 53 年から昭和 57 年付近で握力がピークに達し、その後握力が他の年齢層と比較すると現代に至るまで大きく低下している。また、図 2-3 を参照すると、16 歳と 19 歳女性は、昭和 48 年から昭和 57 年にかけて握力がピークに達し、その後大きく低下して以降、現代至るまで握力がほとんど変化していない。

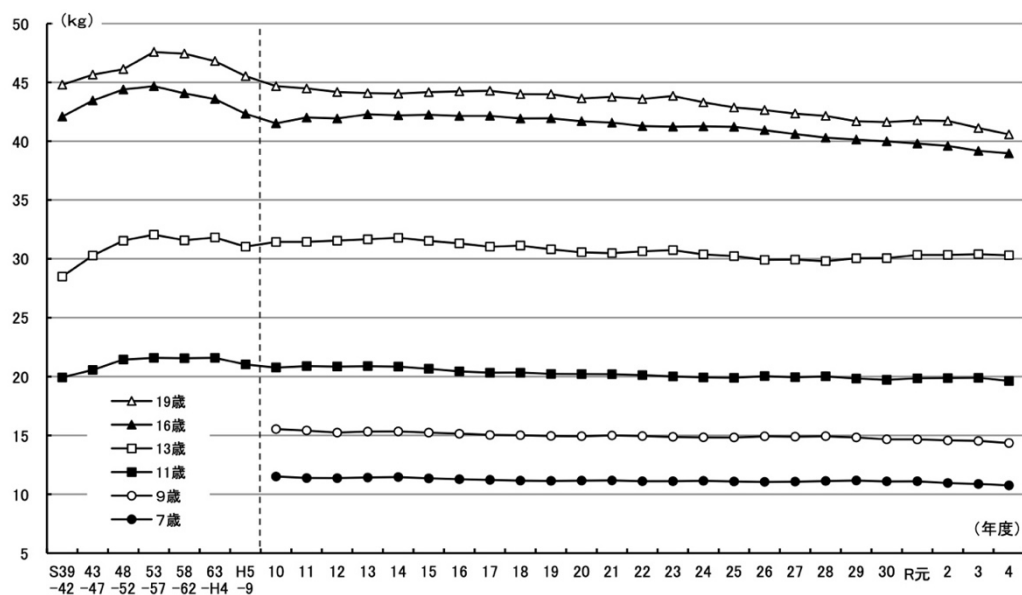


図 2-2：日本国内における 10 代男性の握力の推移(スポーツ庁)

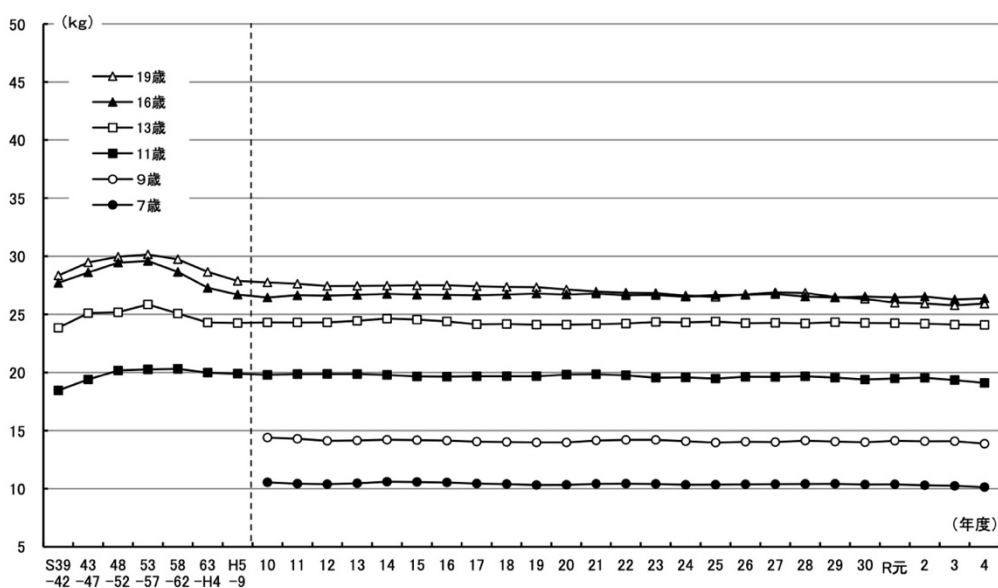


図 2-3：日本国内における 10 代女性の握力の推移(スポーツ庁)

以上のことから、日本国内における 10 代後半から 20 代後半の男女に焦点を当てると、過去 50 年間で握力が徐々に低下傾向にあることが確認できる。日本国内では、こうした握力をはじめ様々な体力・運動能力を文部科学省による体力テストなどを用いて収集・調査しており、握力の向上に関する研究などにも役立てられている。

その一例として、上田ら [11]は、児童生徒に対し 5 週間に渡って短時間のボ

ール投げ運動を実施させ、男女ともに握力及びボール投げの記録が向上したことを示していた。また、ボール投げ運動を通じた児童の身体的有能さの認知などにおいて、学年によってその向上の効果に差が見られたことが示していた。

また、小山ら [12]は、12 週間に渡ってボールを用いた手指の運動を実施したことで、高齢者の握力が有意に改善されたことが明らかにしていた。加えて、ボールを用いた複雑な課題性のある運動の介入が、高齢者の認知機能の改善に向けて有益であることが示唆していた。

日本国内では、高齢者の健康リスクを評価する指標として度々握力に焦点が当てられることがある [13] [14]。しかし、近年の若年層の握力低下の問題に対して、上述したような握力の増加及び改善を図ることを目的とした研究例はまだ少なく、更なる研究の必要性が訴えられている [12]。

2.2 身体拡張に関する VR 研究の対象アバタと本研究

VR(Virtual Reality)とは、HMD(Head Mounted Display)を装着したユーザの両眼へ 360 度視聴可能な仮想空間の映像を提示することで、提示された映像をあたかも現実世界の体験かのように錯覚することが可能な映像提示技術である。

既存研究において、ヒトは、現実空間の身体動作と VR 空間のアバタの動作を同期させ、その様子を一人称視点の映像として両眼へ提示するとアバタを自身の身体の一部と錯覚する身体所有感が生起されることが示されている [15] [16]。この提示手法は、様々な VR 研究で活用されており、あたかもその空間の中に存在しているかのような没入感の高い VR システムを実現させている [17] [18] [19]。特に、近年では、人型アバタのみならずロボットや動物など人間とは異なる身体的特徴を持つアバタに対しても身体所有感が生起されることが報告されている [20] [21]。

一方、近年では、VR 空間内で様々なアバタから受ける印象によって生起されるプロテウス効果を用いた VR 研究の領域において、プロテウス効果を用いた身体運動の拡張に取り組む研究がなされている。その一例として、大久保ら [9]は、筋肉質な外見の人型アバタでなくとも力強い印象をアバタへ抱き、運動時の身体感覚へ影響を及ぼすことを明らかにしていた。

他にも、石川ら [7]や Martin [8]らは、人型アバタの外見から受ける印象と被験者のイメージする力強さに関する印象が合致することで、身体運動時におけるプロテウス効果の影響が顕著に増加する可能性を示唆していた。

しかし、プロテウス効果を用いた身体運動の拡張に関する研究では、人型アバタに付与された身体的特徴によって被験者がアバタから受ける印象が異なり、生起される没入感や身体所有感、及びプロテウス効果の影響が低下することが

課題として示されていた。この現象は、例えば”力強い”という印象に対して、男性では”鍛え上げられた筋肉質な肉体”を連想するのに対し、女性では”しなやかで美しい肉体”を連想することで、人型アバタに対する印象に差異が生じることが挙げられる [22] [23]。

以上の内容を踏まえると、プロテウス効果を用いた身体運動の更なる拡張を目指す場合、アバタの身体的特徴によって被験者が受ける印象の差異を抑制し、生起される没入感や身体所有感、プロテウス効果の影響を増加させる必要があると考えられる。そこで、VR 空間における身体運動の拡張を目的としたアバタに対する没入感と身体所有感、及びプロテウス効果の影響を増加させるため、本研究では身体的特徴の少ない身体部位の一部のみをアバタとして提示することに着目した。

特に、個体差による大きさなどばらつきが比較的小さいことが知られている³⁾ ヒトの手の部位をアバタとして提示することで、先に述べた関連研究における課題の解決が可能ではないかと考えた。このことから、本研究では、プロテウス効果を生起させるアバタとしてヒトの手の部位を対象とすることとした。

3) 河内 まき子, 持丸 正明, “AIST人体寸法データベース,” 産業技術総合研究所 H16PRO 287, (2005).

2.3 研究の余地

1 章の 1.1 で述べたように近年の日本国内では、超高齢化社会へ突入しつつある中、健康状態を図る指標として握力が注目されてきている²⁾ [2]。一方、国内における 10 代後半から 30 代における若年層の握力の低下が深刻化しており、今後、運動不足による病気のリスクなどが想定される。

これを踏まえ、近年では、握力の向上に向けた取り組みがはじまっている [11] [12]。しかし、それらの中では、握力の低下が見られる若年層の握力の増加にアプローチした研究例が少ないのが現状である。

また、握力など筋力を用いた VR 関連の研究分野では、VR アバタによるプロテウス効果を用いた身体運動の拡張を図る研究がなされている。現在、これらの研究では、アバタから受ける印象によって被験者に生起されるプロテウス効果が、身体運動へ及ぼす影響の強さを変化させる可能性があることが示されている [7] [8] [9]。しかしながら、アバタに付与された身体的特徴によって生起される没入感や身体所有感、及びプロテウス効果の影響が低下することが課題として示されてきた。

以上のことを踏まえると、日本国内の若年層の人々の握力が低下傾向にある

課題に対して、身体的特徴の少ない VR アバタによるプロテウス効果を用いた身体運動の拡張を通した握力の増加を図ることには、研究の余地があると考えられる。このことから、本研究では、選定したヒトの手のアバタを被験者へ提示し VR 空間での握力運動を実施させ、アバタに対する没入感と身体所有感、及びプロテウス効果が身体運動へ及ぼす影響について考察を試みる。

第3章 研究手法

本章では、本研究の研究手法について述べる。3.1 では予備実験と本実験 I ～ III で用いた実験環境、3.2 では VR アバタによるプロテウス効果を用いた握力の計測手法、3.3 では本研究の実験手順について述べていく。

3.1 実験環境

本研究では、プロテウス効果が握力へ及ぼす影響を検証するため、筋肉などの過剰な身体的特徴の少ない人型アバタの手の部位に着目した。これを踏まえ、検証の事前準備として手のアバタを提示し、握力を計測するための VR 空間と現実空間の環境の開発、及び VR 空間で使用する手のアバタの選定を実施した。3.1.1 では開発した実験空間、3.1.2 では選定した VR アバタについて詳細を述べる。

3.1.1 実験空間

Marc ら [24]によると、人が物体を手で触りながら見るとき、視覚と触覚の両方から物体の特性を推定するための情報が提供されることが示唆されている。このことから、現実空間と VR 空間から視覚と触覚の刺激を組み合わせ提示することで、被験者の VR 空間に対する没入感の向上が期待される。

以上のことを踏まえ、本研究では、実験空間として手のアバタを提示し、握力を計測するための現実空間の環境と VR 空間の環境をそれぞれ開発した。開発した現実空間の環境の様子を図 3-1 に示す。

図 3-1 に示した現実空間の環境は、机と椅子、プラスチック製のボール、3つのカップで構成されている。ボールは、被験者が長時間把持する際の疲労感を抑えるため、軽量のプラスチック製の物を選定した。また、各カップは、本実験 I にて被験者へカップ間でボールを運搬するタスクを実施させるため、3つ設置されている。

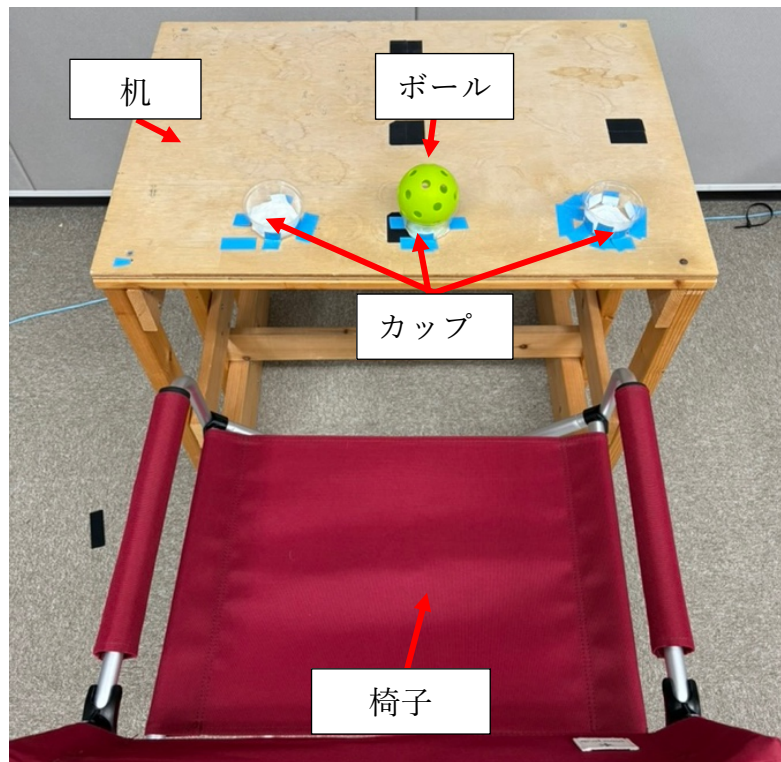


図 3-1：現実空間の実験環境の様子

次に、VR 空間の環境の様子を図 3-2 に示す。図 3-2 に示した VR 空間は、Unity Technologies 社のゲーム開発用エンジン Unity⁴⁾を用いて開発された。空間内には、現実空間に設置されている机とボール、3つのカップを模したオブジェクトが設置されており、それぞれのオブジェクトが現実空間に設置された物と位置座標が重なるよう存在している。

また、本研究では、開発した空間を 360 度視聴可能な VR 映像として被験者へ提示するため、図 3-3 の HTC 社製 VIVE PRO EYE⁵⁾と呼ばれる HMD(Head Munt Display)を用いて、映像を提示した。これにより、実験中、被験者が HMD を装着することで VR 空間内での体験を現実の体験として認識することができるようになることが期待される。

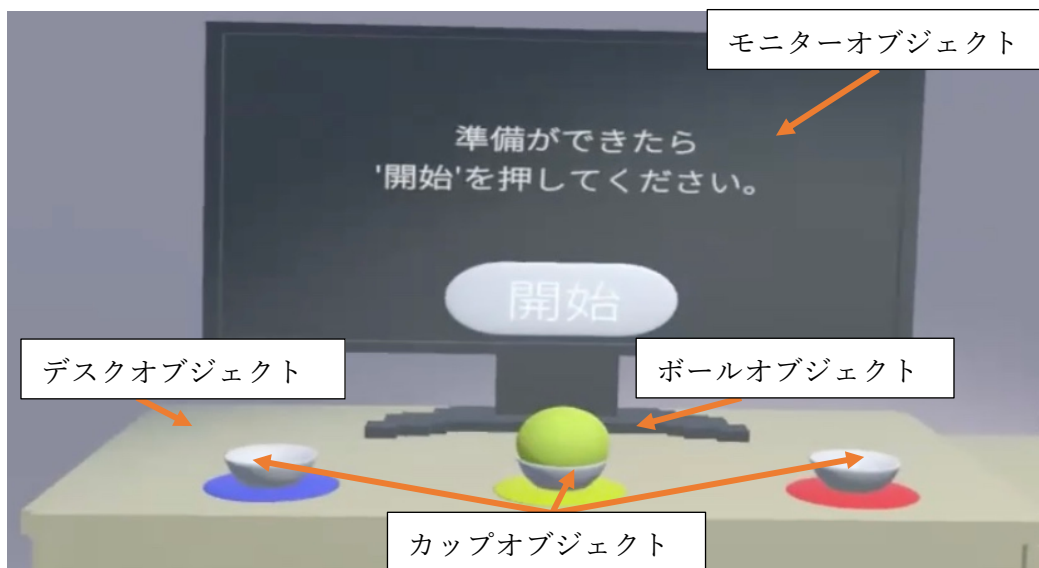


図 3-2 : VR 空間の実験環境の様子



図 3-3 : VIVE PRO EYE(HTC 社)

4)Unity Technologies, “Unity”, <https://x.gd/MMz81>, (2025 年 1月15日).

5)HTC Corporation, “VIVE PRO EYE の概要”, <https://x.gd/XCmCwK>, (2025 年 1月15日).

3.1.2 選定したアバタ

既存研究から、ヒトは VR アバタへの身体所有感が生起されることで VR 空間での臨場感や空間への知覚能力の向上に加え、アバタの外見に対する心理効果が生起されることが報告されている [25] [26] [27]. これらを踏まえ、本研究では、アバタへの身体所有感を生起させるため、被験者とアバタの動きを同期可能な *vive hand tracking sdk*⁶⁾ という手の VR アバタを使用した. 手の VR アバタの

様子を図 3-4 に示す。

本アバタは、Unity 上で球状のオブジェクトと円柱上のオブジェクトで構成されており、オブジェクトのスケールなどの各パラメータを操作することができる。また、被験者が HMD を装着し、HMD 前面に搭載されたカメラから被験者の両手の動きを追跡することで、被験者の手指の動きに合わせてアバタを構成する球と円柱のオブジェクトが移動する。これにより、被験者は、手のアバタを自分の手指が動いているかのように錯覚し、VR 空間内での体験をより現実の体験として認識することができるようになることが期待される。

以上の内容を踏まえ、本実験 I で使用する手のアバタは、図 3-4 のアバタを元に Unity 上でスケールをそれぞれ調整し、等倍アバタ、拡大アバタ、縮小アバタと定義した 3 種類の手のアバタを用意した。各アバタの様子を図 3-5～図 3-7、各アバタの名称と Unity 上におけるスケールの一覧を表 3-1 に示す。

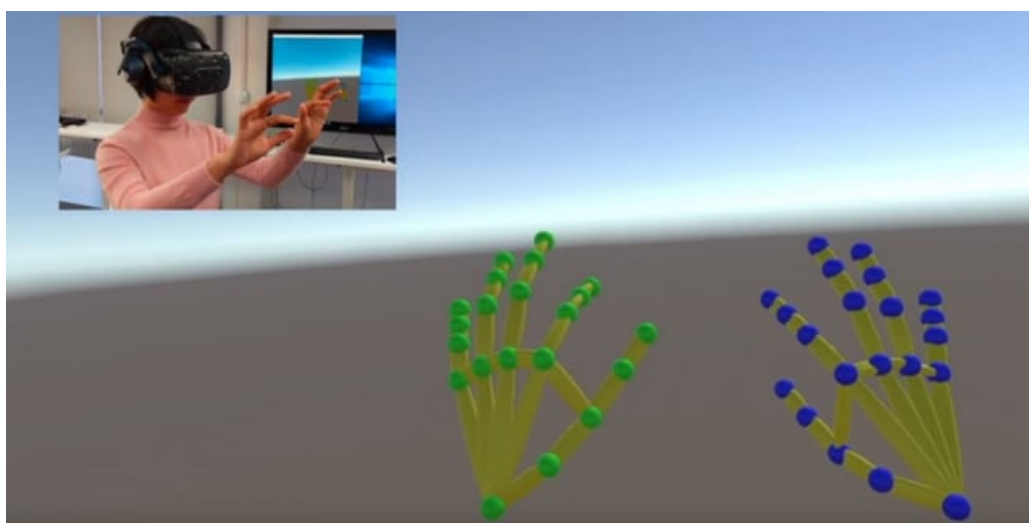


図 3-4 : vive hand tracking sdk(HTC 社)

6) HTC Corporation, “VIVE OpenXR-All-in-One/PCVR”, <https://x.gd/ne0cQ>, (2025 年 1 月15日).

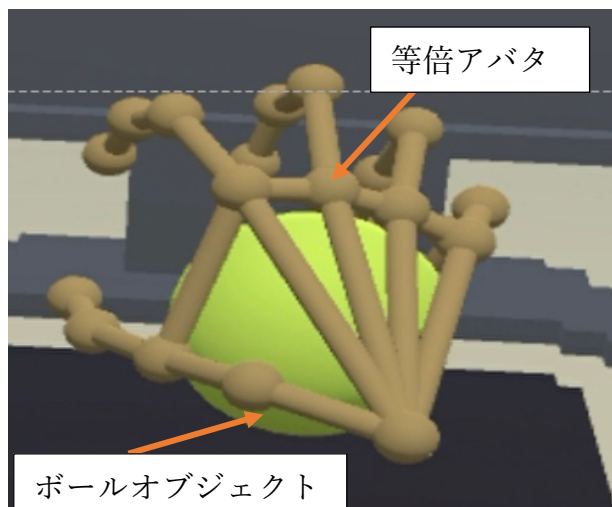


図 3-6：選定した等倍アバタの外観

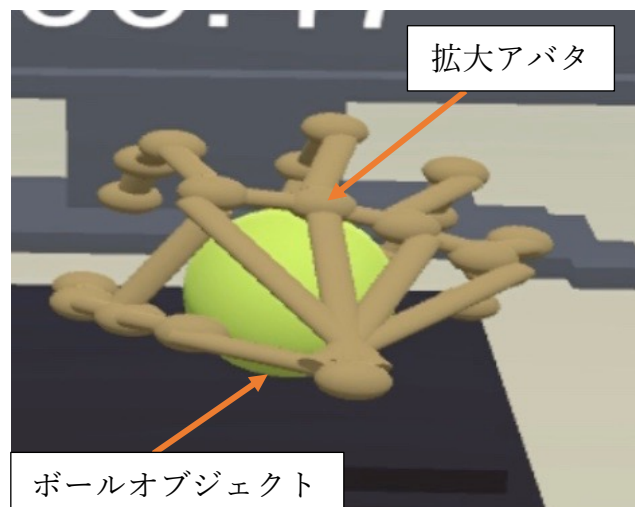


図 3-5：選定した拡大アバタの外観

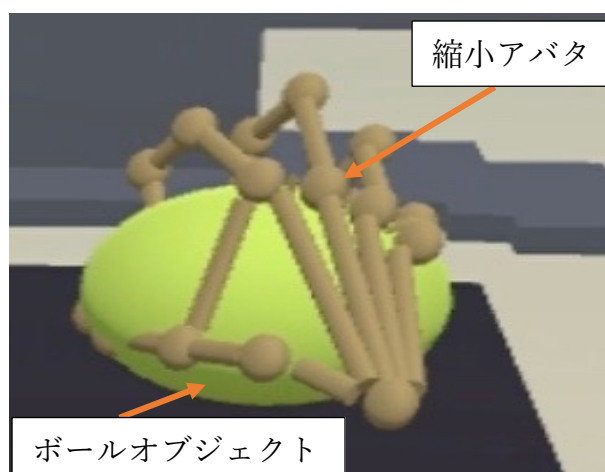


図 3-7：選定した縮小アバタの外観

表 3-1：選定した 3 種類のアバタの名称と Unity 上におけるスケール

アバタの名称	Unity 上のスケール
等倍アバタ	x=1.225, y=1, z=1
拡大アバタ	x=1.625, y=1, z=1
縮小アバタ	x=0.825, y=1, z=1

表 3-1 を参照すると、各アバタの Unity 上のスケールを見ると等倍アバタは x 軸が 1.225, y 軸が 1, z 軸が 1, 拡大アバタは x 軸が 1.625, y 軸が 1, z 軸が 1, 縮小アバタは x 軸が 0.825, y 軸が 1, z 軸が 1 となっている。各アバタの大きさは、被験者がアバタに対する身体所有感を損なわず、且つアバタ毎の表層変化に明確に気づくことができる目安として Unity 上の X 軸のスケールのみを 0.4

ずつ変更して設定した。

3.2 実験における仮説

本研究では、被験者間でのアバタに対する没入感の差を低減しつつ、プロテウス効果による身体運動への影響を増加させることを研究目的としている。本説では、1章の1.2で述べたリサーチクエスション(RQ1, RQ2)を踏まえ、本研究で実施した実験の仮説について述べる。

リサーチクエスション(RQ1)に対する仮説を以下の仮説1と設定した。また、仮説1の内容を図3-8に示す。本研究では、図3-8に示すようにRQ1に対する仮説として、選定した過剰な身体的特徴の少ない等倍アバタ、拡大アバタ、縮小アバタでは、VR空間における身体運動において、操作性が向上し、被験者のアバタに対する身体所有や没入感が向上すると考える。

RQ1: 過剰な身体的特徴の少ないアバタは、被験者の没入感や身体所有感にどのような影響を与えるのか？

仮説1: 過剰な身体的特徴の少ないアバタは、被験者の没入感や身体所有感を向上させる。

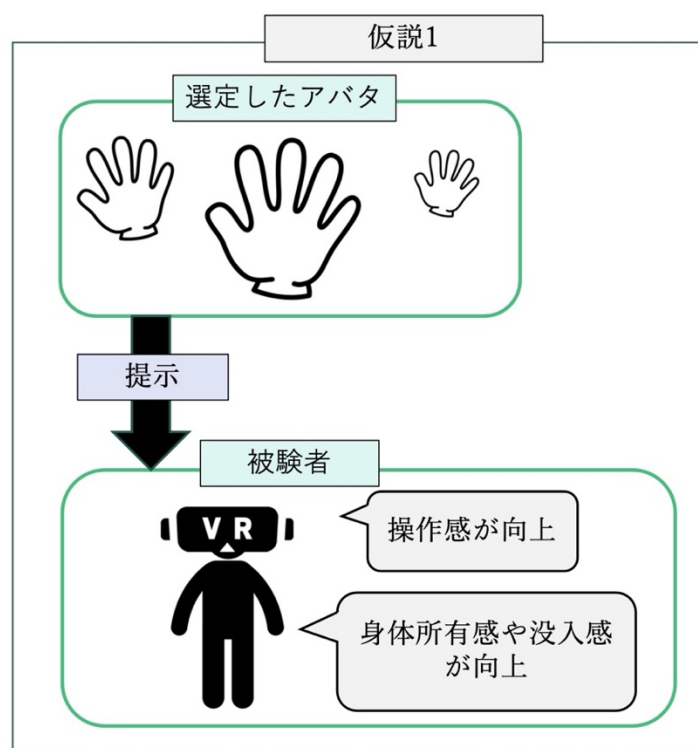


図 3-8：仮説1の内容のイメージ

次に、リサーチクエスション(RQ2)に対する仮説を以下の仮説2と設定した。
 仮説2の内容を図3-9に示す。本研究では、図3-9に示すようにRQ2に対する仮説として、選定したアバタの表層が連続で変化する映像表現では、表層が連続で変化しない映像表現と比較し、被験者へアバタから力強さなどのプロテウス効果がより強調して生起され、それに伴い握力が増加すると考える。

RQ2：アバタの表層が連続で変化する映像表現は、表層が連続で変化しない映像表現と比較し、被験者に生起されるプロテウス効果と握力へどのような影響を与えるのか？

仮説2：アバタの表層が連続で変化する映像表現では、表層が連続で変化しない映像表現と比較し、アバタから力強さなどのプロテウス効果が生起され、握力が増加する。

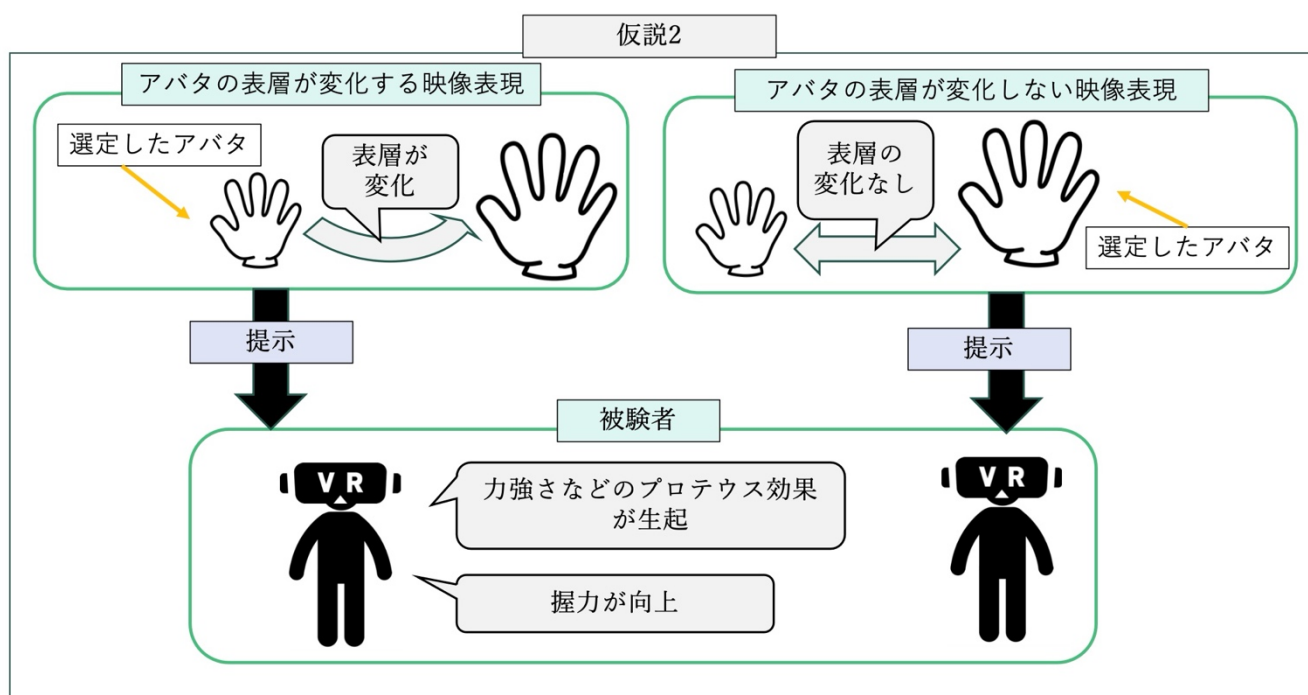


図 3-9：仮説2の内容のイメージ

以上の内容を踏まえ、本研究では、リサーチクエスション(RQ1, RQ2)に対する実験の仮説を検証するため、予備実験と本実験を実施した。次節では、本研究における実験の構成について述べる。

3.3 実験の構成

本研究では、3.2 で述べた実験の仮説 1 と仮説 2 を検証するため、予備実験と本実験を実施した。図 3-10 に本研究で実施した各実験の構成を示す。予備実験と本実験は、図 3-10 のようにそれぞれ本実験 I と予備実験、本実験 II と本実験 III で構成されている。

はじめに、本実験 I では、仮説 1 を検証するため、選定したアバターに対する身体所有感と没入感を評価することを目的とした実験を実施した。次に、予備実験では、仮説 2 の検証の準備として、選定したアバターの表層が連続で変化しない映像表現を用いた握力の計測とアバターの印象の評価を目的とした実験を実施した。

その後、予備実験の結果を踏まえ、本実験 II と本実験 III では、仮説 2 を検証するため、選定したアバターの表層が連続で変化する映像表現を用いた握力の計測とアバターの印象の評価を目的とした実験を実施した。なお、本実験 II では等倍アバターと、本実験 III では拡大アバターと表層が連続で変化する映像表現を用いたアバターを比較した。また、各実験に関して本研究は、知識科学倫理審査会議（承認コード:KSEC-A2024111502）の承認を得て実施した。

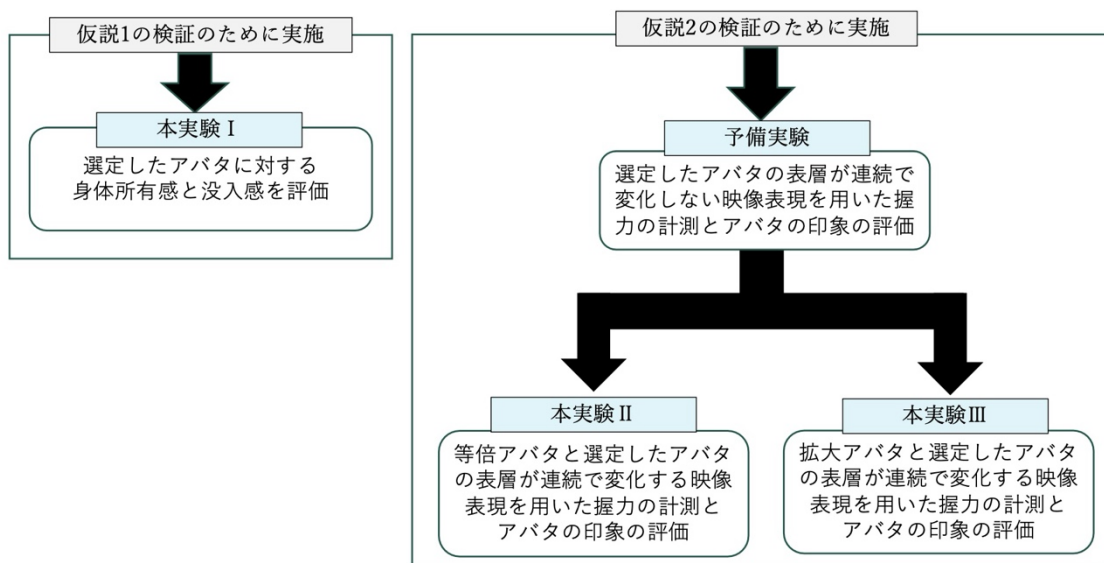


図 3-10：本研究における実験の構成

第4章 アバタによる身体所有感と没入感の評価

本章では、表層を変化させた手のアバタを複数用いてアバタから生起される身体所有感と没入感の評価するために実施した本実験Ⅰの内容について述べる。4.1では本実験Ⅰの実験手続き、4.2では本実験Ⅰの実験結果、4.3では実験結果の考察、4.4では実験結果の総括について述べる。

まず、本研究は、被験者間でのアバタに対する没入感の差を低減しつつ、プロテウス効果による身体運動への影響を増加させることを目的としている。これを踏まえ、本研究では、3章の3.2で述べた仮説1の検証のための本実験Ⅰを実施した。なお、本実験Ⅰは、健常な大学生12名(男性10名、女性2名)を被験者として募り、実施された。

本実験Ⅰでは、実験中、被験者へ表層を変化させた異なる手のアバタを順番に使用し、ボールを運搬するタスクを実施するよう指示した。加えて、本実験Ⅰでは、被験者へアバタごとのタスク終了後、操作したアバタに対する印象についてアンケート形式で回答するよう指示した。なお、この実験では、VR映像の視聴に伴う酔いの症状や握力運動に伴う筋肉の疲労や痺れなどの症状が発症するリスクが考えられる。これを踏まえ、本実験Ⅰでは、被験者がアバタごとのタスク終了後、2～5分間の休憩を取るよう指示した。

4.1 本実験Ⅰの手続き

近年のVRに関連した研究では、アバタに対する身体所有感などを評価するため、被験者の身体の動きとアバタの動きを同期させない手法や、被験者の身体の動きに合わせてアバタの動きを遅れて描画する手法などが用いられている[17]。これを踏まえ、本研究では、選定したアバタに対する身体所有感や没入感の評価するため、被験者の手の動きに合わせてアバタの動きが遅れて描画される非同期アバタを作成した。

作成した非同期アバタの様子を図4-1に示す。非同期アバタは、選定した等倍アバタと同じスケールであり、HMDでトラッキングした被験者の手の動きに合わせて3秒遅れて描画されるものとした。

なお、選定した等倍、拡大、縮小のアバタは、被験者の手の動きに合わせてリアルタイムに描画される同期アバタとして作成されている。本実験Ⅰでは、非同期アバタを非同期条件、等倍アバタ、拡大アバタ、縮小アバタを同期条件のアバタとして定義し、検証を実施した。

また、本研究では、アバターの身体所有感や没入感の評価するため、主観評価

アンケート 1 を作成した。主観評価アンケート 1 の質問項目を表 4-1 に示す。本アンケートは、4 個の質問で構成されており、5 段階の評価尺度(1. 全く感じなかった, 2. やや感じなかった, 3. どちらともいえない, 3. どちらともいえない, 4. やや感じた, 5. とても強く感じた)で評価される。



図 4-1：作成した非同期アバタの外観

表 4-1：主観評価アンケート 1 の質問項目

質問項目	
Q1	手のアバタを現実空間と同様にスムーズに上下左右へ動かすことができていると感じましたか？
Q2	手のアバタを使って現実空間と同様にボールをスムーズに掴むことができていると感じましたか？
Q3	手のアバタを使って現実空間と同様にボールをスムーズに移動させることができていると感じましたか？
Q4	手のアバタを使って現実空間と同様にボールをスムーズにカップの中に置くことができていると感じましたか？

実験手続きの流れを図 4-2 に示す。はじめに、被験者には、最初に非同期条件のアバタを提示し、VR 空間上のモニターを通して実験説明を実施した。本実験 I では、図 4-2 のように被験者へ非同期条件、同期条件の等倍、拡大、縮小アバタを順に提示した。なお、拡大アバタと縮小アバタの提示順序は、実験者によって無作為に選ばれるものとした。

実験説明後、図 4-3 のように被験者には、非同期条件のアバタを使用し、VR

空間上の机の上にある黄色のボールを左右のカップへ指定した時間以内に持ち上げて運搬するタスクを実施させた。その後、同期条件の各アバタを用いて同様のタスクを実施し、タスク終了後、各アバタを操作した際の身体所有感や没入感に関する印象について、非同期条件のアバタ操作時の印象と比較した上で、主観評価アンケート 1 を用いて回答させた。その際、非同期条件のアバタに対する印象をアンケートの評価尺度の 3. (どちらでもない) とし、他アバタと比較する上での基準とした。また、各アバタを用いたタスク終了時には、VR 映像の視聴による映像酔いなどを防ぐため、2 分間の休憩を取るよう被験者へ指示した。

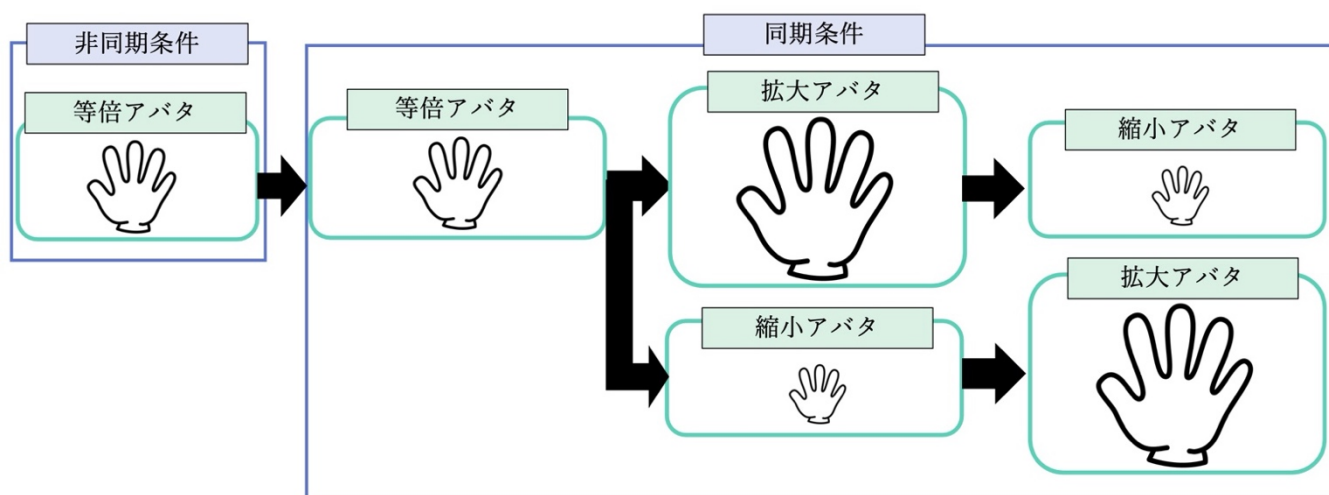


図 4-2：本実験 I の手続きの流れ

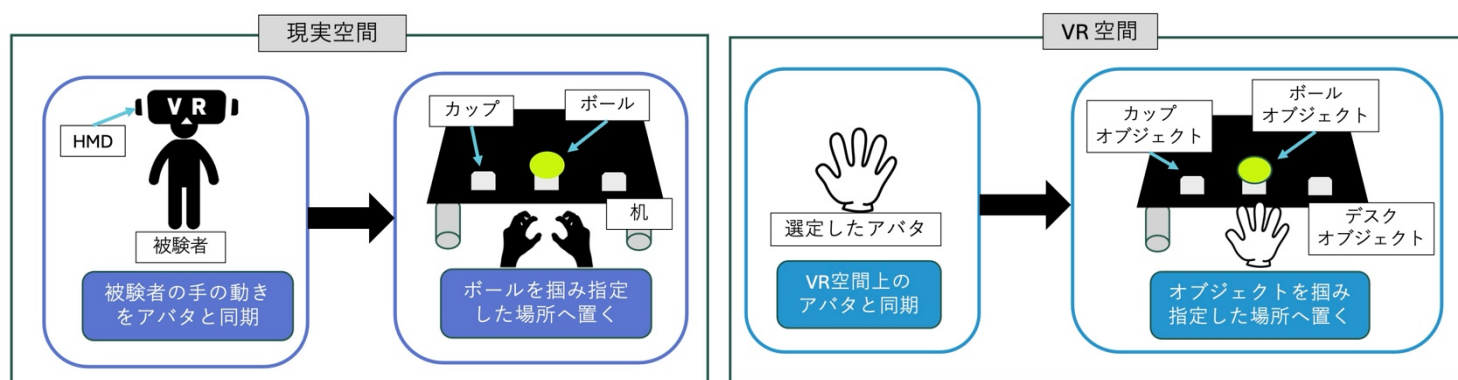


図 4-3：本実験 I におけるアバタ用いたボール運搬タスクの流れ

4.2 本実験 I の実験結果

本実験 I では、選定した非同期条件のアバターと同期条件の等倍アバター、拡大アバター、縮小アバターを操作し、アバターに対する身体所有感や没入感の印象について評価した。なお、基準となる非同期条件のアバターに対する評価値を評価尺度の 3 としたため、主観評価アンケート 1 の各質問における非同期条件のアバターの平均値と中央値は、3.0 とした。

これを踏まえ、被験者全体の主観評価アンケート 1 の結果(一部抜粋)を図 4-4、図 4-5 に示す。図 4-4、図 4-5 は、同期条件の等倍アバター、拡大アバター、縮小アバターを使用した際の主観評価アンケート 1 の各質問に対する被験者全体の評価値に対して、ANOVA(一元配置分散分析)を実施した結果を示した箱ひげ図である。なお、ANOVA は、有意水準を 0.05 とし、アバターの評価値の平均値を赤字、中央値を青文字、F 値を緑文字、P 値を黄文字で示している。

主観評価アンケート 1 の結果、図 4-4 を参照すると、Q1 の評価値は、同期条件の等倍アバターでは平均値が 4.73、中央値が 5.00、同期条件の拡大アバターでは平均値が 4.36、中央値が 4.00、縮小同期条件の小アバターでは平均値が 4.36、中央値が 5.00 だった。加えて、P 値が 0.3473 であることからアバター間で有意差が確認できないことが示された。

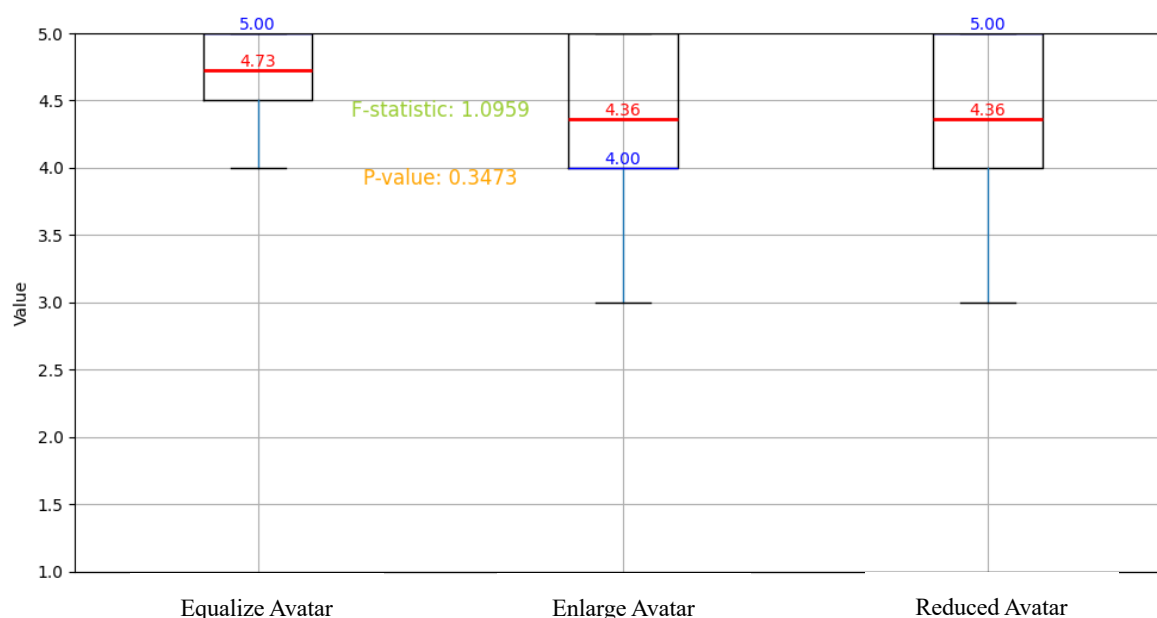


図 4-4：主観評価アンケート 1 の Q1 の結果
(左：同期条件の等倍アバター，中央：同期条件の拡大アバター，
右：同期条件の縮小アバター)

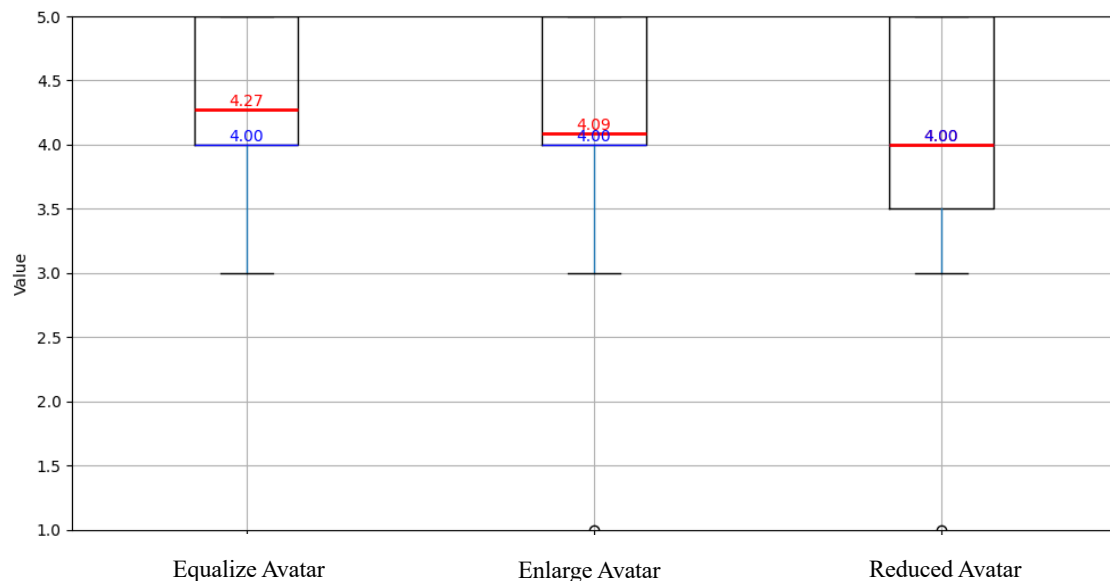


図 4-4：主観評価アンケート 1 の Q2 の結果

(左：同期条件の等倍アバタ，中央：同期条件の拡大アバタ，
右：同期条件の縮小アバタ)

次に図 4-5 を参照すると，Q2 において等倍アバタでは平均値が 4.27，中央値が 4.00，拡大アバタでは平均値が 4.09，中央値が 4.00，縮小アバタでは平均値と中央値が 4.00 だった．加えて，P 値が 0.8351 であることから Q1 同様にアバタ間で有意差が確認できないことが示された．

Q1, Q2 の結果を踏まえると，どちらの質問項目においても同期条件のアバタ間で有意差が確認されず，各アバタの平均値が基準となる非同期条件のアバタの評価値の平均値 3.0 と比較して，4.0 以上という高い傾向にあることが確認できる．このことは，主観評価アンケート 1 の Q3, Q4 においても同期条件の各アバタの平均値が 3.8 以上という類似した結果が確認された．

4.3 考察

本実験 I では，過剰な身体的特徴の少ないアバタは，被験者の没入感や身体所有感を向上させるという本研究の仮説 1 を検証した．検証の結果，身体所有感や没入感に関する印象の全ての質問項目において，非同期条件のアバタと比較し，同期条件の等倍アバタ，拡大アバタ，縮小アバタでは，3.8 以上の平均値が確認された．また，ANOVA の結果，等倍アバタ，拡大アバタ，縮小アバタの間で有意差は確認されなかった．

これらの内容を踏まえると、本研究で選定した同期条件の全てのアバターは、アバターの大きさを変更するなどの表層変化に拘らず、非同期条件のアバターと比較して高い身体所有感や没入感を生起させることができる特徴を持つものと考えられる。以上のことから、RQ1 に対する仮説 1 は立証されたものとする。

4.4 総括

本研究では、3.3 で述べた仮説 1 を検証するため、選定した等倍アバター、拡大アバター、縮小アバターが被験者へ与える印象と握力へ与える影響を評価する本実験 I を実施した。なお、本実験 I では、非同期条件の等倍アバターと同期条件の等倍アバター、拡大アバター、縮小アバターを使用し、身体所有感と没入感に関する印象をアンケート形式で評価した。本実験 I の実験結果を表 4-2 に示す。

本実験 I の結果、表 4-2 に示すように、非同期条件と比較して同期条件の全てのアバターでは、高い身体所有感と没入感が生起されることが明らかになった。このことから、仮説 1 は、立証されたものと結論付けた。

次章では、RQ2 を検証するために実施した予備実験と本実験 II、III の概要と実験手続き、結果、考察について述べる。

表 4-2：本実験 I の結果のまとめ

	非同期条件の等倍アバター と下記の項目で比較	
計測・評価 項目	身体所有感	操作感
同期条件の 等倍アバター	高い	高い
同期条件の 拡大アバター	高い	高い
同期条件の 縮小アバター	高い	高い

第5章 アバタの印象の評価と握力の計測

本章では、選定した等倍アバタと拡大アバタを使用し、プロテウス効果を用いた連続的なアバタの表層変化が被験者へ生起させる印象と握力に与える影響を検証するために実施した予備実験と本実験Ⅱ、Ⅲの内容について述べる。5.1では予備実験の内容、5.2では本実験Ⅱの内容、5.3では本実験Ⅲの内容、5.4では各本実験結果の総括について述べる。

5.1 予備実験

予備実験は、選定したアバタの表層が連続で変化しない映像表現を用いた握力の計測とアバタの印象の評価を目的としている。これを踏まえ、選定した等倍アバタ、拡大アバタ、縮小アバタを用いた状態で被験者の握力を計測し、各アバタに対する印象の評価を実施した。5.1.1では予備実験の実験手続き、5.1.2では予備実験の実験結果、5.1.3では予備実験の実験結果を踏まえた考察について述べる。

5.1.1 予備実験の手続き

近年、プロテウス効果を用いた身体運動の拡張に関する研究では、アバタの表層変化によって被験者の運動時におけるパフォーマンス向上や疲労感の増減が報告されている [7] [8]。例えば、大久保ら [9]の研究では、筋肉質な人型アバタの条件と痩せた人型アバタの条件を用いてスクワッドを実施した場合、痩せた人型アバタの条件において被験者の疲労感が増加する傾向にあったことを明らかにしていた。

また、石川ら [7]の研究では、ダンベルを持った被験者へペアを組ませた異なるアバタを連続で提示し、アバタ操作時のダンベルに対する重さ知覚について調査していた。その結果、被験者が筋肉質なアバタ以外にも力強さに関する印象を抱き、ダンベルの重さを軽く感じるなど把持力にも変化があったことを明らかにしていた。これらの内容を踏まえ、本研究では、選定したアバタの表層から受ける印象を評価するための主観評価アンケート 2 を作成した。

主観評価アンケート 2 の質問項目を表 5-1 に示す。本アンケートは、14 個の質問で構成されており、5 段階の評価尺度(1. 全く感じなかった, 2. やや感じなかった, 3. どちらともいえない, 3. どちらともいえない, 4. やや感じた, 5. とても強く感じた)で評価される。Q1 から Q5 では、アバタから受ける力強

さに関する印象について評価する．一方，Q8 から Q12 では，アバタから受ける弱々しさに関する印象について評価する．

各質問項目の内容は，”力強い”と”弱々しい”という単語と類似した意味を含む類義語を用いて質問項目として選定した．また，Q6 と Q7，Q11，Q12 では，アバタ使用時に発揮される把持力に関する印象の変化を評価する．

表 5-1：主観評価アンケート 2 の質問項目

質問項目	
Q1	ボールを握っている間，どの程度手のアバタに対して遅いという印象を受けましたか？
Q2	ボールを握っている間，どの程度手のアバタに対して力強いという印象を受けましたか？
Q3	ボールを握っている間，どの程度手のアバタに対して屈強な印象を受けましたか？
Q4	ボールを握っている間，どの程度手のアバタに対して強靱な印象を受けましたか？
Q5	ボールを握っている間，どの程度手のアバタに対してパワフルな印象を受けましたか？
Q6	ボールを握っている間，どの程度手のアバタに対して軽いものを掴んでいる印象を受けましたか？
Q7	ボールを握っている間，どの程度手のアバタに対して力が抜けるような印象を受けましたか？
Q8	ボールを握っている間，どの程度手のアバタに対して非力な印象を受けましたか？
Q9	ボールを握っている間，どの程度手のアバタに対して弱々しい印象を受けましたか？
Q10	ボールを握っている間，どの程度手のアバタに対してひ弱い印象を受けましたか？
Q11	ボールを握っている間，どの程度手のアバタに対して脆弱な印象を受けましたか？
Q12	ボールを握っている間，どの程度手のアバタに対して貧弱な印象を受けましたか？
Q13	ボールを握っている間，どの程度手のアバタに対して重いものを掴んでいる印象を受けましたか？
Q14	ボールを握っている間，どの程度手のアバタに対して手が力むような印象を受けましたか？

実験手続きの流れを図 5-1 に示す．予備実験では，図 5-1 のように被験者へ等倍アバタ，拡大アバタ，縮小アバタを順に提示した．なお，拡大アバタと縮小アバタの提示順序は，実験者によって無作為に選ばれるものとした．

はじめに，被験者には，等倍アバタを提示し，図 5-2 のように握力を計測するため 60 秒間握力測定装置を握るよう指示し，握力を計測した．その後，拡大アバタと縮小アバタを順に提示し，同様に握力を計測するため，60 秒間握力測定装置を握るよう指示した．その際，本研究では，ヒトは利き手の握力が有意に高く発揮される傾向にあることを踏まえ [28]，被験者へ装置を自身の利き手で握るよう指示した．

拡大アバタと縮小アバタを用いた握力の計測後は，アバタ操作時にアバタから受けた印象について，等倍アバタを操作した際の印象と比較した上で，被験者に主観評価アンケート 2 を用いて回答させた．その際，等倍アバタに対する印象をアンケートの評価尺度の 3. (どちらでもない)とし，他アバタと比較する上での基準とした．また，握力の計測後には，VR 映像の視聴による映像酔いや手指の筋肉の疲労などを防ぐため，5 分間の休憩を取るよう被験者へ指示した．

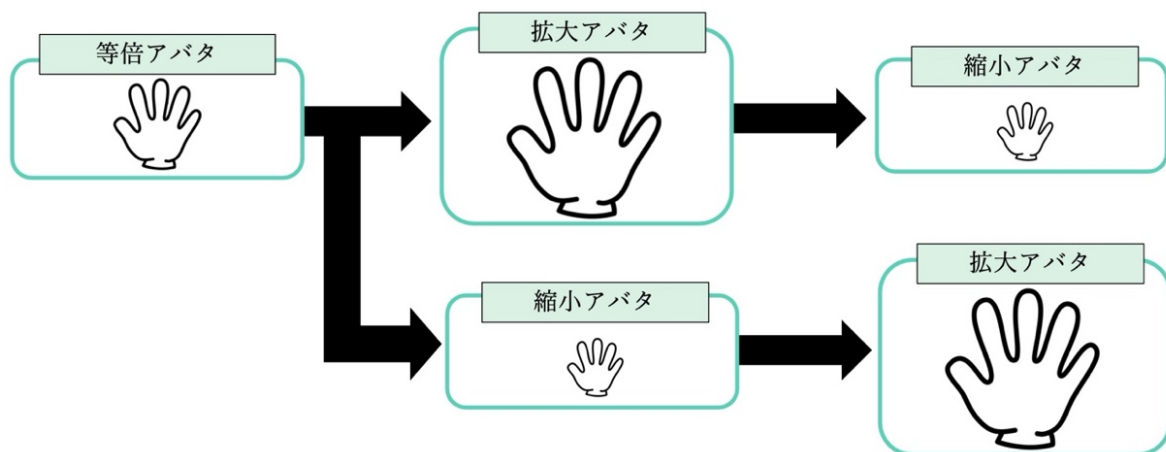


図 5-1：予備実験の手続きの流れ



図 5-2：予備実験におけるアバタを用いた握力計測の流れ

以上の実験手続きを踏まえ、予備実験では、本実験で RQ2 に対する仮説 2 を検証するための事前準備として以下の仮説を立て、検証した。

予備実験の仮説：アバタの表層が連続で変化しない映像表現では、アバタによるプロテウス効果によって被験者の握力へ影響を及ぼす。

5.1.2 予備実験の実験結果

予備実験では、選定した等倍アバタ，拡大アバタ，縮小アバタを用いて握力の計測とアバタから生起された力強さや弱々しさなどの印象について評価した。被験者ごとに各アバタ条件で計測された握力のデータ(一部抜粋)を図 5-3，図 5-4 に示す。図 5-3，図 5-4 は，等倍アバタ，拡大アバタ，縮小アバタを使用した際に握力測定装置で計測された抵抗値に対して ANOVA を実施した結果を示した箱ひげ図である。なお，ANOVA は，有意水準を 0.05 とし，図 5-3，図 5-4 の箱ひげ図にアバタの平均値を赤字で示した。また，12 名の被験者の握力データ

には A～L のアルファベットを割り振り，匿名化させている。

図 5-3 を参照すると，被験者 J の握力データは，等倍アバタでは平均値が 8.19，拡大アバタでは平均値が 14.27，縮小アバタでは平均値が 10.81 だった．加えて，ANOVA の結果，アバタ間での有意差が確認された．

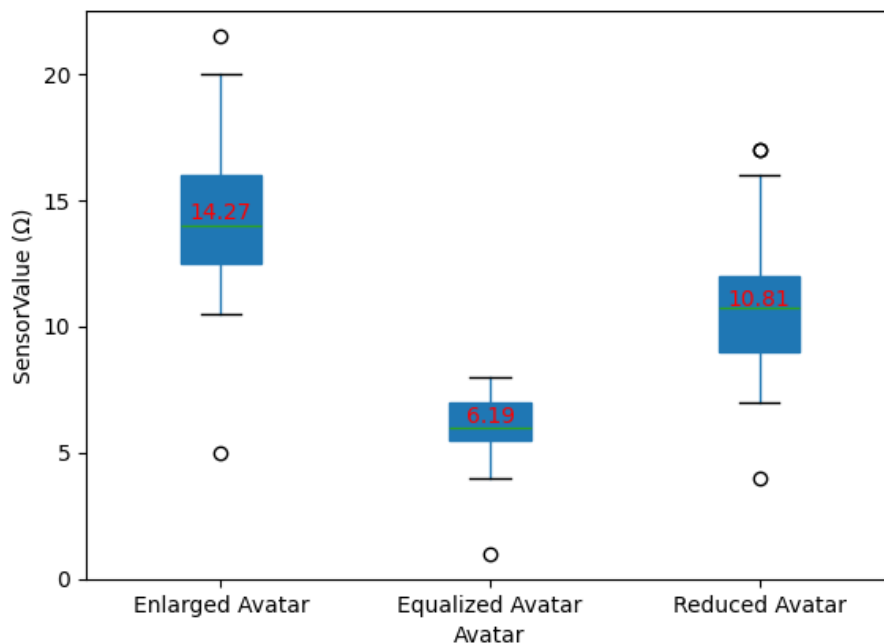


図 5-3：予備実験で計測された被験者 J の握力データ
(左：拡大アバタ，中央：等倍アバタ，右：縮小アバタ)

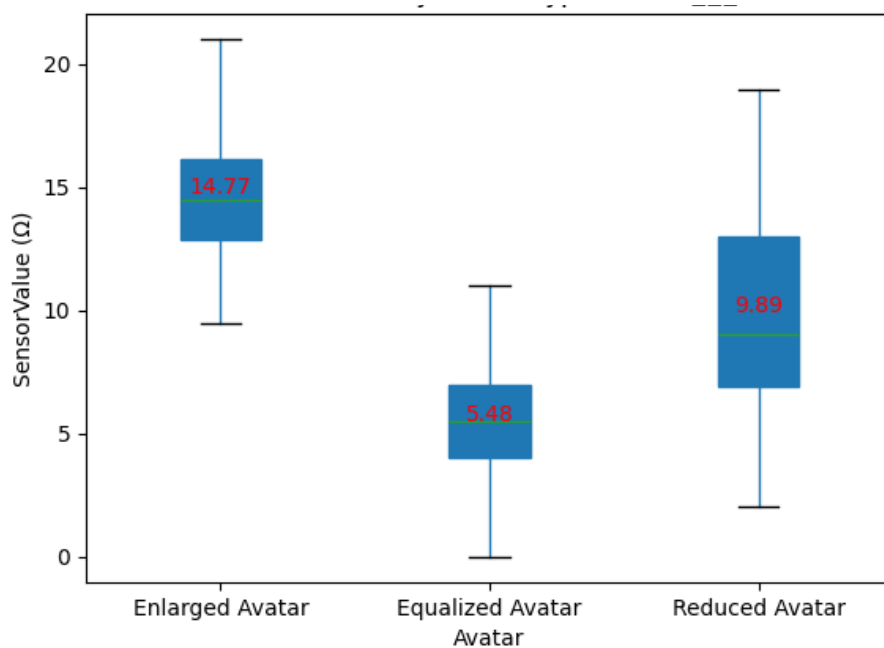


図 5-4：予備実験で計測された被験者 K の握力データ
(左：拡大アバタ，中央：等倍アバタ，右：縮小アバタ)

次に図 5-4 を参照すると、被験者 K の握力データは、等倍アバタでは平均値が 5.48, 拡大アバタでは平均値が 14.77, 縮小アバタでは平均値が 9.89 だった。加えて、ANOVA の結果、被験者 J と同様にアバタ間での有意差が確認された。

このように予備実験では、被験者 J, K を含めた 12 名の被験者のうち 9 名が、各アバタ間で握力データに有意差が確認された。これを踏まえ、有意差が確認された 9 名の被験者の 3 つのアバタの握力データに対して、2 つずつペアを組み、有意水準 0.05 の T 検定を実施した。その結果、9 名中、拡大アバタの条件で最も高い握力を示した被験者が 5 名、縮小アバタの条件で最も高い握力を示した被験者は 3 名、等倍アバタの条件で最も高い握力を示した被験者は 1 名確認された。

また、被験者全体の主観評価アンケート 2 の結果(一部抜粋)を図 5-5～図 5-7 に示す。図 5-5～図 5-7 は、拡大アバタ、縮小アバタを使用した際の主観評価アンケート 2 の各質問に対する被験者全体の評価値に対して、T 検定を実施した結果を示した箱ひげ図である。なお、アバタの評価値の平均値を赤文字、中央値を青文字、T 値を緑文字、P 値を黄文字で示している。また、基準となる等倍アバタに対する評価値を評価尺度の 3 としたため、主観評価アンケート 2 の各質問における等倍アバタの平均値と中央値は 3.0 とした。

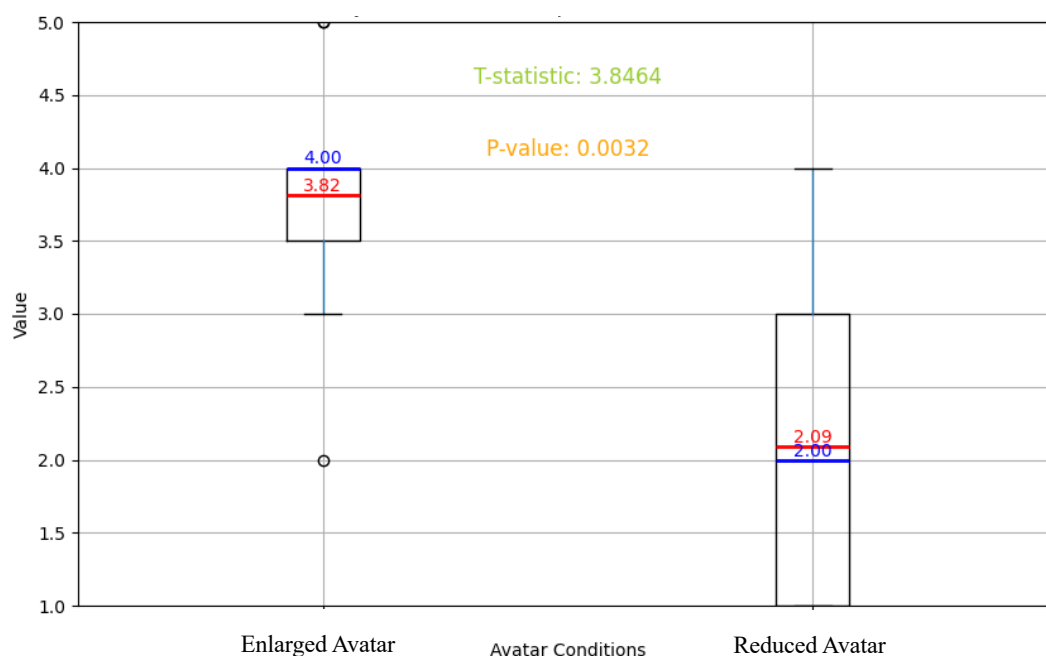


図 5-5：主観評価アンケート 2 の Q5 の結果
(左：拡大アバタ，右：縮小アバタ)

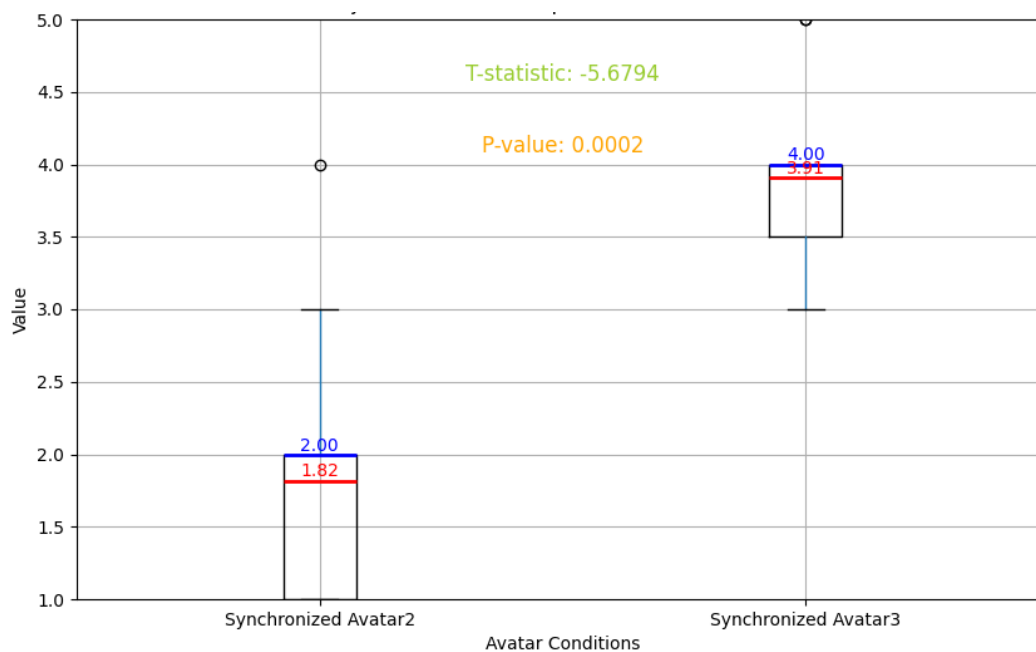


図 5-6：主観評価アンケート 2 の Q8 の結果
(左：拡大アバタ，右：縮小アバタ)

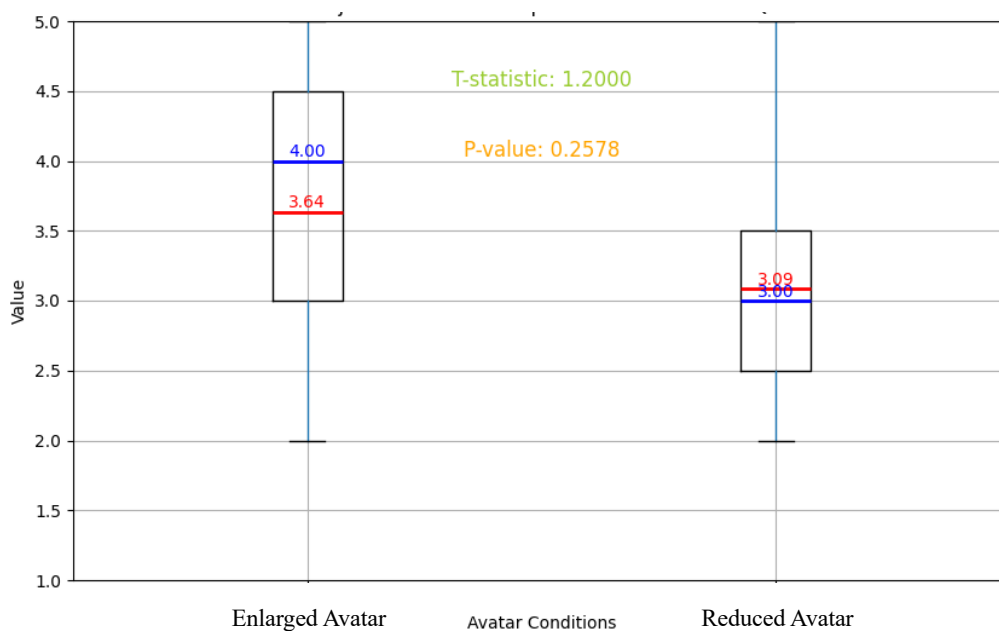


図 5-7：主観評価アンケート 2 の Q6 の結果
(左：拡大アバタ，右：縮小アバタ)

主観評価アンケート 2 の結果、図 5-5 を参照すると、力強さなどの印象に関する Q5 の評価値は、拡大アバタでは平均値が 3.82、中央値が 4.00、縮小アバタでは平均値が 2.09、中央値が 2.00 だった。加えて、T 検定の結果、P 値が 0.0032 であることからアバタ間で有意差があることが示された。また、拡大アバタでの握力が高く有意差が確認された 5 人の被験者では、力強さなどの印象に関する質問において、4 人の被験者が 4 以上の評価値を示していた。

次に図 5-6 を参照すると、弱々しさなどの印象に関する Q8 の評価値は、拡大アバタでは平均値が 1.82、中央値が 2.00、縮小アバタでは平均値が 3.91、中央値が 4.00 だった。加えて、T 検定の結果、P 値が 0.0002 であることからアバタ間で有意差があることが示された。このことは、同じく弱々しさなどの印象を評価した Q9~12 でも類似した結果が確認された。また、拡大アバタでの握力が高く有意差が確認された 5 人の被験者では、弱々しさなどの印象に関する質問において、4 人の被験者が 2 以下の評価値を示していた。

最後に図 5-7 を参照すると、把持力などの印象に関する Q6 の評価値は、拡大アバタでは平均値が 3.64、中央値が 4.00、縮小アバタでは平均値が 3.09、中央値が 3.00 だった。加えて、T 検定の結果、P 値が 0.2578 であることからアバタ間で有意差が確認されなかったことが示された。このことは、同じく把持力などの印象を評価した Q7, 13, 14 でも同様の結果が示されていた。

5.1.3 予備実験の考察

予備実験では、選定したアバタの表層が連続で変化しない映像表現を用いた握力の計測とアバタの印象の評価を行うため、アバタの表層が連続で変化しない映像表現では、アバタによるプロテウス効果によって被験者の握力へ影響を及ぼすという仮説を立て、検証した。

握力計測の結果、12 名の被験者のうち 9 名が、アバタ間で握力データに有意差が確認された。加えて、T 検定を実施した結果、拡大アバタの条件で握力が最も高く有意差を示した被験者が 5 名、縮小アバタの条件で最も握力が高く有意差を示した被験者が 3 名、等倍アバタの条件で握力が最も高く有意差を示した被験者が 1 名確認された。

主観評価アンケート 2 の力強さに関する印象の質問項目では、拡大アバタが縮小アバタよりも高く有意差があり、拡大アバタで握力に有意差の確認された被験者の半数以上が高い評価値を示した。また、弱々しさに関する印象の質問項目では、縮小アバタが拡大アバタよりも高く有意差があり、拡大アバタで握力に有意差の確認された被験者の半数以上が低い評価値を示した。一方、把持力に関する印象の質問項目では、拡大アバタと縮小アバタの間で有意差は確認されな

かった。

これらの実験結果を踏まえると、本研究で選定した拡大アバタでは、アバタの大きさを拡大する表層変化を施すことで、力強さなどの印象が強く生起され、被験者の握力の増加に強い影響を及ぼした可能性があると考えられる。また、縮小アバタでは、アバタの大きさを縮小する表層変化を施すことで、弱々しさなどの印象が強く生起されたが、他アバタと比較して被験者の握力の増加に強い影響を及ぼした可能性は低いと考えられる。

最後に、本研究では、握力計測中の手首への負担を抑制するため、重さが 1kg 以下のボールを使用していた。その結果、拡大アバタと縮小アバタの間では、握力計測中における把持力に関する印象の評価値に有意差が確認されなかった。しかし、VR アバタを用いた重さ感覚や把持力の印象に関する関連研究の一例として、大久保ら [9]は、複数の異なるアバタを使用しながら、2kg の重さの物体を持ち上げることで重さ感覚など把持力に関する印象に変化があることを確認していた。このことから、予備実験では、握力計測に使用したボールが軽量だったため、アバタごとの把持力の印象の変化が小さく、アンケートに反映されなかったのではないかと考えられる。

以上のことから、予備実験の仮説は拡大アバタにおいてのみ立証されたものとする。

5.2 本実験 II

本研究では、3 章で述べた仮説を検証するため、大きさの異なる等倍アバタ、拡大アバタ、縮小アバタを選定した。その後、選定した各アバタを用いて、握力の計測とアバタに対する印象を評価する予備実験を実施した。その結果、拡大アバタでは、他アバタと比較して力強さに関する印象と発揮される握力が高く有意差があることが確認された。

以上の実験結果から、本研究では、アバタの表層を連続的に等倍アバタから拡大アバタへと変化させることで、3 章で述べた本研究の仮説 2 を立証できるのではないかと考えた。このことを踏まえ、本研究では、アバタの表層が連続で等倍アバタから拡大アバタへと変化するアバタを選定し、握力の計測とアバタに対する印象を評価するための本実験 II、III を実施した。

各実験を通して表層が連続で変化する映像表現を用いたアバタは、本実験 II では等倍アバタと、本実験 III では拡大アバタと比較させた。また、各実験では、予備実験と同様の健常な大学生 12 名(男性 10 名、女性 2 名)を被験者として募り、実施した。

5.2.1 では本実験 II の実験手続き、5.2.2 では本実験 II の検証結果、5.2.3 では

予備実験と本実験Ⅱの検証結果の比較，5.2.4では本実験Ⅱの実験結果を踏まえた考察について述べる．

5.2.1 本実験Ⅱの実験手続き

本実験Ⅱでは，アバタの表層が連続的に変化するアバタを用いた握力の計測とアバタに対する印象の評価を実施した．本実験Ⅱの実験環境は，4章で述べた予備実験の実験環境と同様の現実空間とVR空間を用いた．また，追加の事前準備として，本実験Ⅱでは，アバタの表層が連続的に等倍アバタから拡大アバタへと変化する2種類の連続拡大アバタを選定した．

VR空間における物体の大きさ変化に関して，近年，wangら[28]やThomasら[29]の研究によって，VR空間における物体の大きさを0.6から2.5%程度変化させることで，被験者が物体の大きさ変化を顕著に知覚することが報告されている．このことを踏まえ，本実験Ⅱと後述する本実験Ⅲでは，60秒中1秒あたりの表層の変化率が2%の連続拡大アバタ1と60秒中1秒あたりの表層の変化率が3%の連続拡大アバタ2を選定した．

選定した連続拡大アバタ1，2の外観を図5-8，図5-9，各アバタの変化率とUnity上における大きさの推移について表5-2に示す．連続拡大アバタ1は，変化率2%のため60秒中14秒かけて等倍アバタから拡大アバタへと表層が変化する．また，連続拡大アバタ2は，変化率3%のため60秒中11秒かけて等倍アバタから拡大アバタへと表層が変化する．

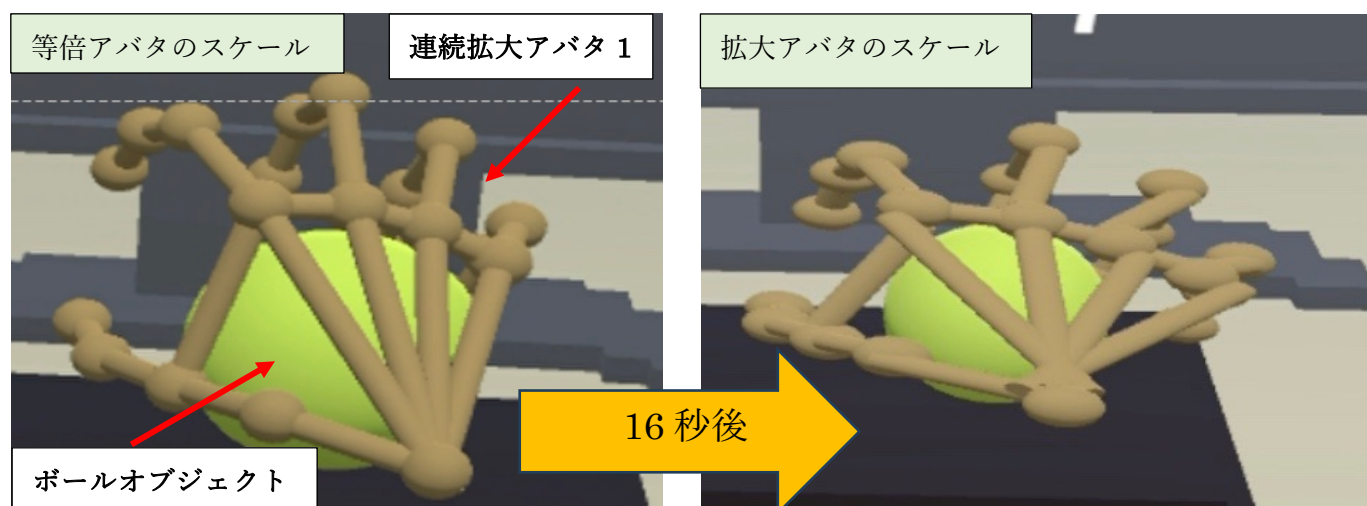


図 5-8：選定した連続拡大アバタ 1 の外観

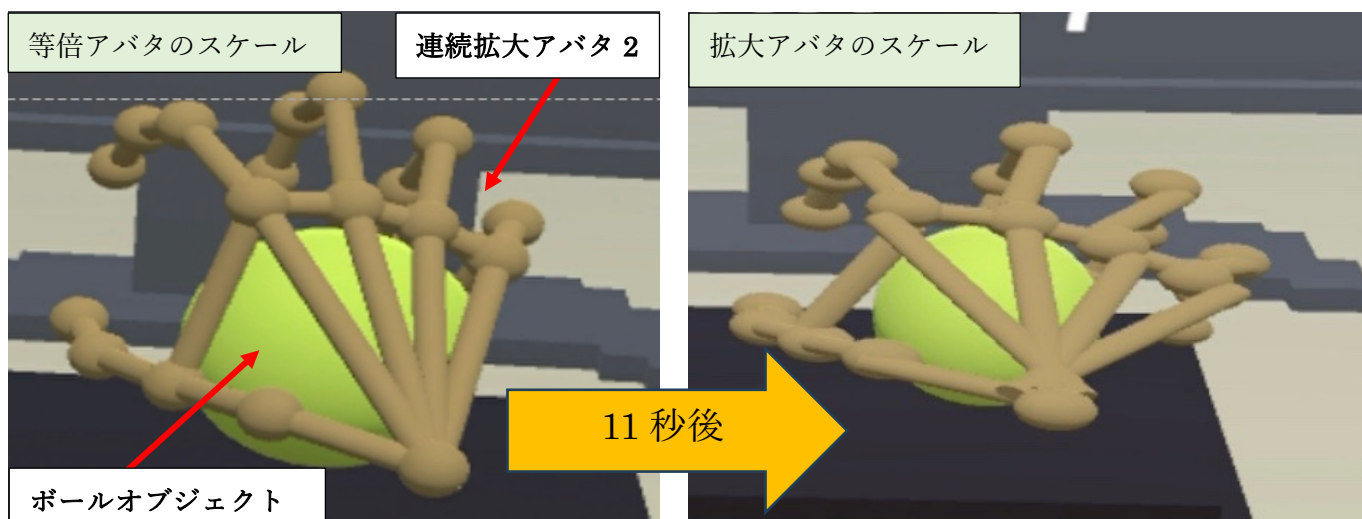


図 5-9：選定した連続拡大アバタ 2 の外観

表 5-2：選定した連続拡大アバタ 1, 2 の Unity 上におけるスケール

アバタの名称	1 秒あたりの変化率	Unity 上におけるスケールの推移
連続拡大アバタ 1	2%	$x=1.225, y=1, z=1 \Rightarrow x=1.625, y=1, z=1$
連続拡大アバタ 2	3%	$x=1.225, y=1, z=1 \Rightarrow x=1.625, y=1, z=1$

以上のことを踏まえ、本実験Ⅱでは、選定した等倍アバタ、連続拡大アバタ 1、連続拡大アバタ 2 を用いて、握力の計測とアバタから受ける印象の評価を実施した。

実験手続の流れを図 5-10 に示す。はじめに、被験者には、図 5-10 のように予備実験と同様に等倍アバタを提示し、その後、図 5-11 のように握力を計測するため 60 秒間握力測定装置を握るよう指示した。加えて、等倍アバタによる握力の計測後、連続拡大アバタ 1 と連続拡大アバタ 2 を順に提示し、同様に握力を計測するため、60 秒間握力測定装置を握るよう指示した。

連続拡大アバタ 1, 2 を用いた握力の計測後は、アバタ操作時にアバタから受けた印象について、等倍アバタを操作した際の印象と比較した上で、被験者に主観評価アンケート 3 を用いて回答させた。その際、等倍アバタに対する印象をアンケートの評価尺度の 3. (どちらでもない)とし、他アバタと比較する上での基準とした。なお、連続拡大アバタ 1, 2 の提示順序は、実験者によって無作為に選ばれるものとした。また、各アバタを用いた握力の計測終了後には、VR 映像の視聴による映像酔いや手指の筋肉の疲労などを防ぐため、5 分間の休憩を取るよう被験者へ指示した。

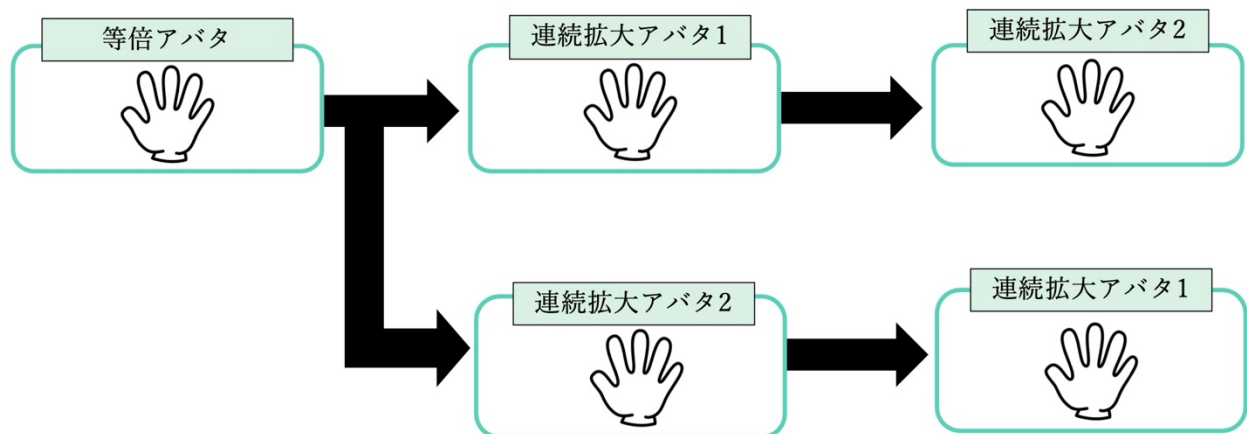


図 5-10：本実験Ⅱにおけるアバタの提示順序

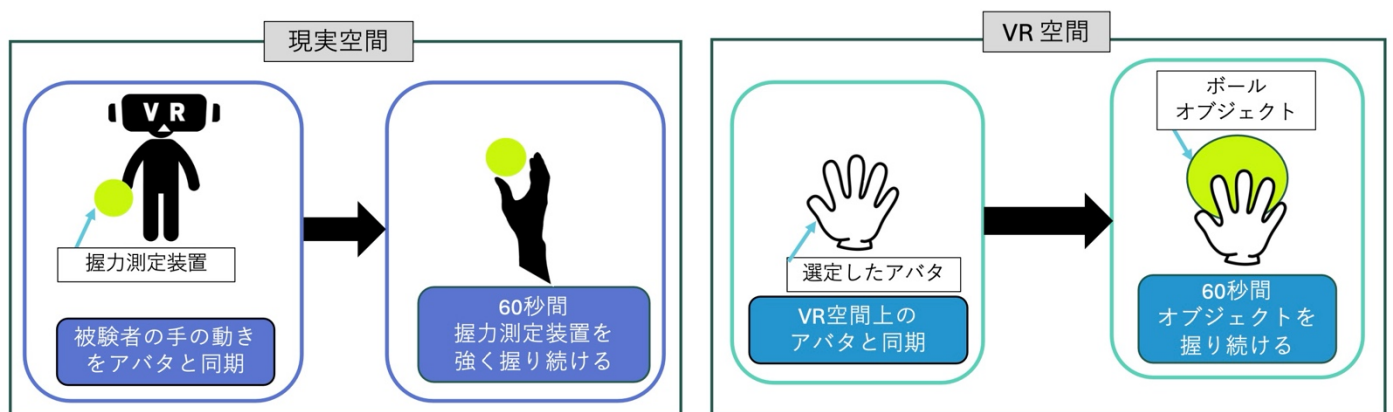


図 5-11：本実験Ⅱにおけるアバタを使用した握力計測の流れ

主観評価アンケート 3 の質問項目の内容を表 5-3 に示す。本アンケートは、予備実験で使用した主観評価アンケート 2 を元に作成されている。

Q1 から Q5 では、アバタから受ける力強さに関する印象、Q8 から Q12 では、アバタから受ける弱々しさに関する印象、Q6 と Q7、Q11、Q12 では、アバタ使用時に発揮される把持力に関する印象の変化について評価する。加えて、Q15、Q16 では、連続拡大アバタ 1、2 の連続的な表層の変化に対する被験者の認知の有無について評価する。

なお、被験者は、上述した 16 個の質問に対し、5 段階の評価尺度(1. 全く感じなかった、2. やや感じなかった、3. どちらともいえない、3. どちらともいえない、4. やや感じた、5. とても強く感じた)で評価する。

表 5-3：主観評価アンケート 3 の質問項目

質問項目	
Q1	ボールを握っている間、どの程度手のアバタに対して遅いという印象を受けましたか？
Q2	ボールを握っている間、どの程度手のアバタに対して力強いという印象を受けましたか？
Q3	ボールを握っている間、どの程度手のアバタに対して屈強な印象を受けましたか？
Q4	ボールを握っている間、どの程度手のアバタに対して強靱な印象を受けましたか？
Q5	ボールを握っている間、どの程度手のアバタに対してパワフルな印象を受けましたか？
Q6	ボールを握っている間、どの程度手のアバタに対して軽いものを掴んでいる印象を受けましたか？
Q7	ボールを握っている間、どの程度手のアバタに対して力が抜けるような印象を受けましたか？
Q8	ボールを握っている間、どの程度手のアバタに対して非力な印象を受けましたか？
Q9	ボールを握っている間、どの程度手のアバタに対して弱々しい印象を受けましたか？
Q10	ボールを握っている間、どの程度手のアバタに対してひ弱い印象を受けましたか？
Q11	ボールを握っている間、どの程度手のアバタに対して脆弱な印象を受けましたか？
Q12	ボールを握っている間、どの程度手のアバタに対して貧弱な印象を受けましたか？
Q13	ボールを握っている間、どの程度手のアバタに対して重いものを掴んでいる印象を受けましたか？
Q14	ボールを握っている間、どの程度手のアバタに対して手が力むような印象を受けましたか？
Q15	ボールを握っている間、手のアバタの大きさが大きくなったように感じましたか？
Q16	ボールを握っている間、手のアバタの大きさが小さくなったように感じましたか？

5.2.2 本実験Ⅱの実験結果：等倍アバタとの比較

アバタごとに分析に用いる握力データの取得時間を図 5-12 に示す。本実験Ⅱは、等倍アバタと比較して、アバタの表層変化が被験者の握力とアバタから受ける印象に与える影響を調査することを目的としている。このことから、図 5-12 のように連続拡大アバタ 1, 2 の条件では、アバタの表層変化の終了時から計測終了時まで握力測定装置から取得された握力データを等倍アバタと比較して、分析した。

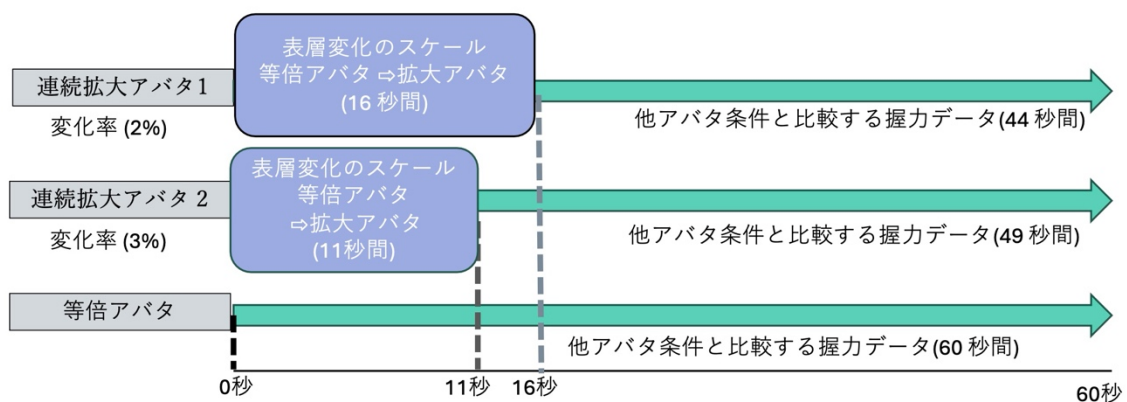


図 5-12：本実験Ⅱにおける各アバタの握力データ取得時間

このことを踏まえた上で、本実験Ⅱで被験者ごとに計測された握力のデータ（一部抜粋）を図 5-13、図 5-14 に示す。図 5-13、図 5-14 は、等倍アバター、連続拡大アバター 1、2 を使用した際に握力測定装置で計測された抵抗値に対して Welch の ANOVA を実施した結果を示した箱ひげ図である。なお、Welch の ANOVA は、有意水準を 0.05 とし、箱ひげ図にアバターの平均値を赤字で示している。また、12 名の被験者の握力データには、事前に A～L のアルファベットを割り振り、匿名化させている。

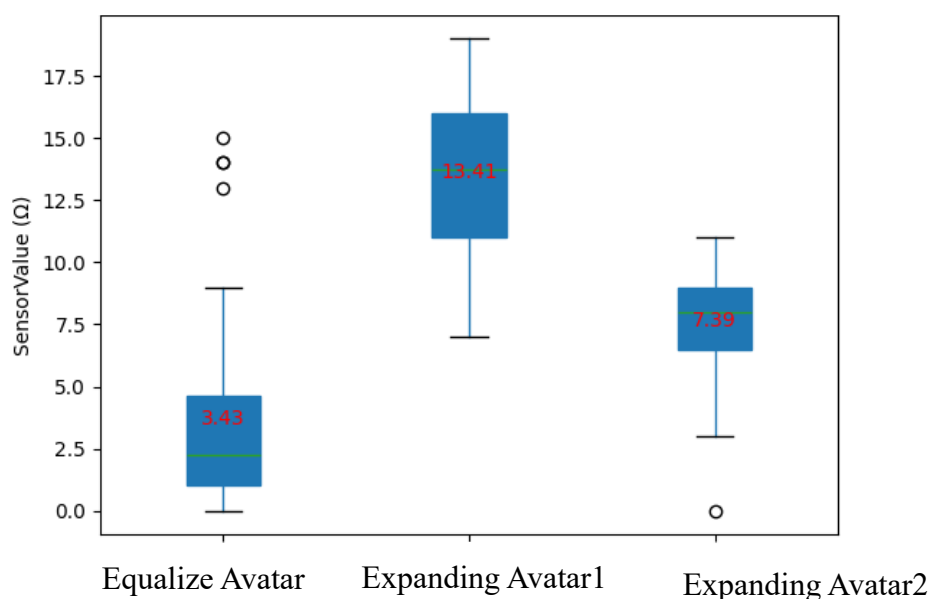


図 5-13：本実験Ⅱで計測された被験者 D の握力データ

(左：等倍アバター，中央：連続拡大アバター 1，右：連続拡大アバター 2)

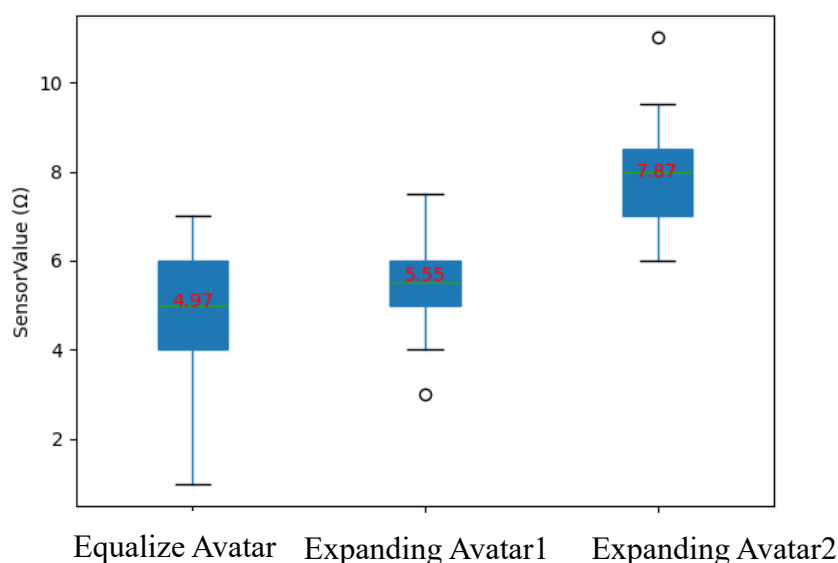


図 5-14：本実験Ⅱで計測された被験者 I の握力データ

(左：等倍アバター，中央：連続拡大アバター 1，右：連続拡大アバター 2)

図 5-13 を参照すると、被験者 D の握力データは、等倍アバタでは平均値が 3.42、連続拡大アバタ 1 では平均値が 13.41、連続拡大アバタ 2 では平均値が 7.39 だった。加えて、ANOVA の結果、アバタ間での有意差が確認された。

次に、図 5-14 を参照すると、被験者 I の握力データは、等倍アバタでは平均値が 4.97、連続拡大アバタ 1 では平均値が 5.55、連続拡大アバタ 2 では平均値が 7.87 だった。加えて、ANOVA の結果、アバタ間での有意差が確認された。

このように本実験 II では、被験者 D, I を含めた 12 名の被験者のうち 5 名が、各アバタ間で握力データに有意差が確認された。これを踏まえ、有意差が確認された 5 名の被験者の等倍アバタ、連続拡大アバタ 1, 2 の握力データに対して、2 つずつペアを組み、有意水準 0.05 の T 検定を実施した。その結果、5 名の被験者のうち、等倍アバタと比較して連続拡大アバタ 1, 2 が高く有意差を示した被験者が 3 名、低く有意差を示した被験者が 2 名確認された。

また、被験者全体の主観評価アンケート 3 の結果(一部抜粋)を図 5-15～図 5-18 に示す。図 5-15～図 5-18 は、等倍アバタ、連続拡大アバタ 1, 2 を使用した際の主観評価アンケート 2 の各質問に対する被験者全体の評価値に対して、T 検定を実施した結果を示した箱ひげ図である。

なお、アバタの評価値の平均値を赤文字、中央値を青文字、T 値を緑文字、P 値を黄文字で示している。また、基準となる等倍アバタに対する評価値を評価尺度の 3 としたため、主観評価アンケート 3 の各質問における等倍アバタの平均値と中央値は 3.0 とした。

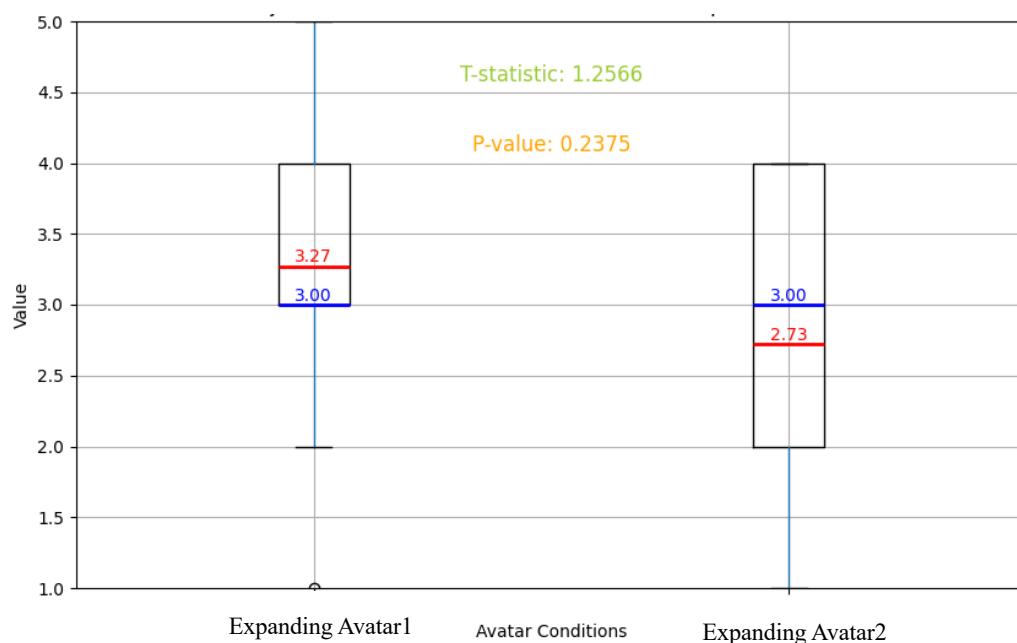


図 5-15：本実験 II における主観評価アンケート 3 の Q1 の結果
(左：連続拡大アバタ 1, 右：連続拡大アバタ 2)

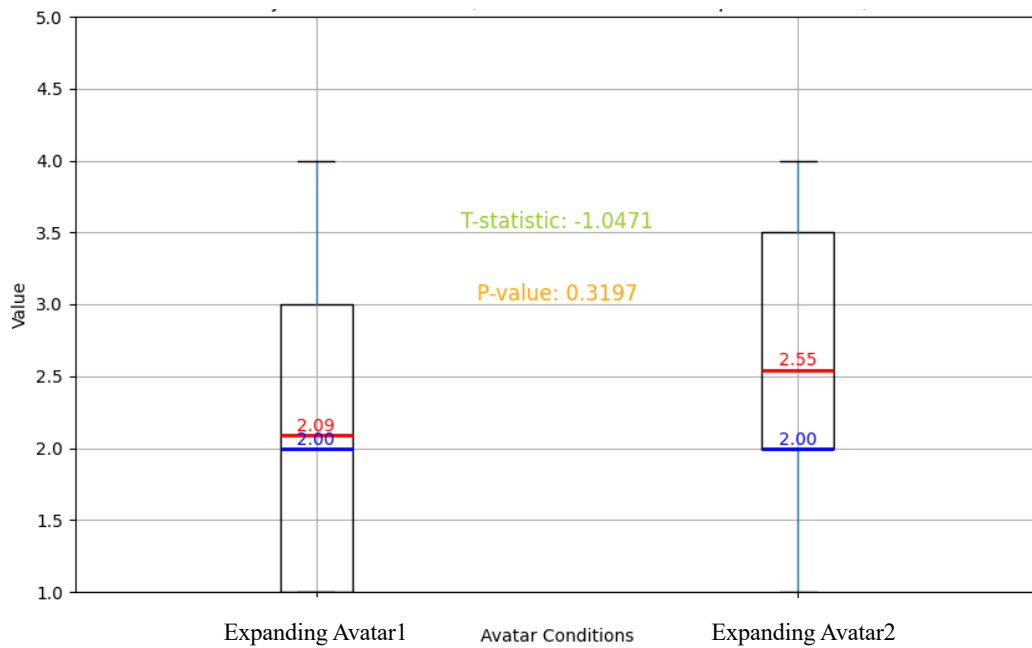


図 5-16：本実験Ⅱにおける主観評価アンケート 3 の Q8 の結果
(左：連続拡大アバタ 1, 右：連続拡大アバタ 2)

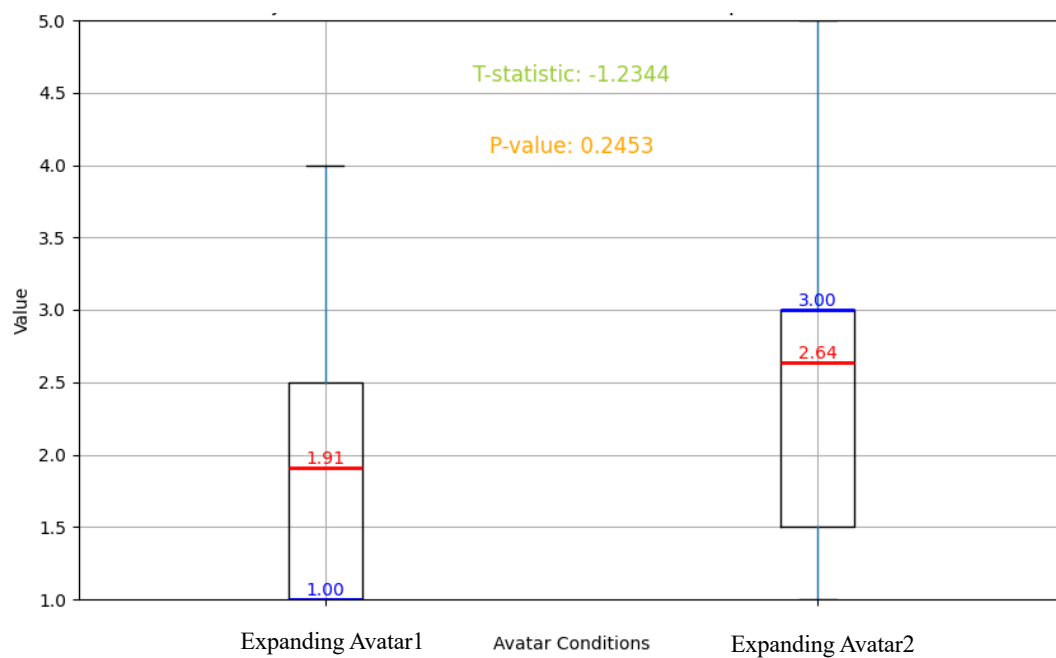


図 5-17：本実験Ⅱにおける主観評価アンケート 3 の Q13 の結果
(左：連続拡大アバタ 1, 右：連続拡大アバタ 2)

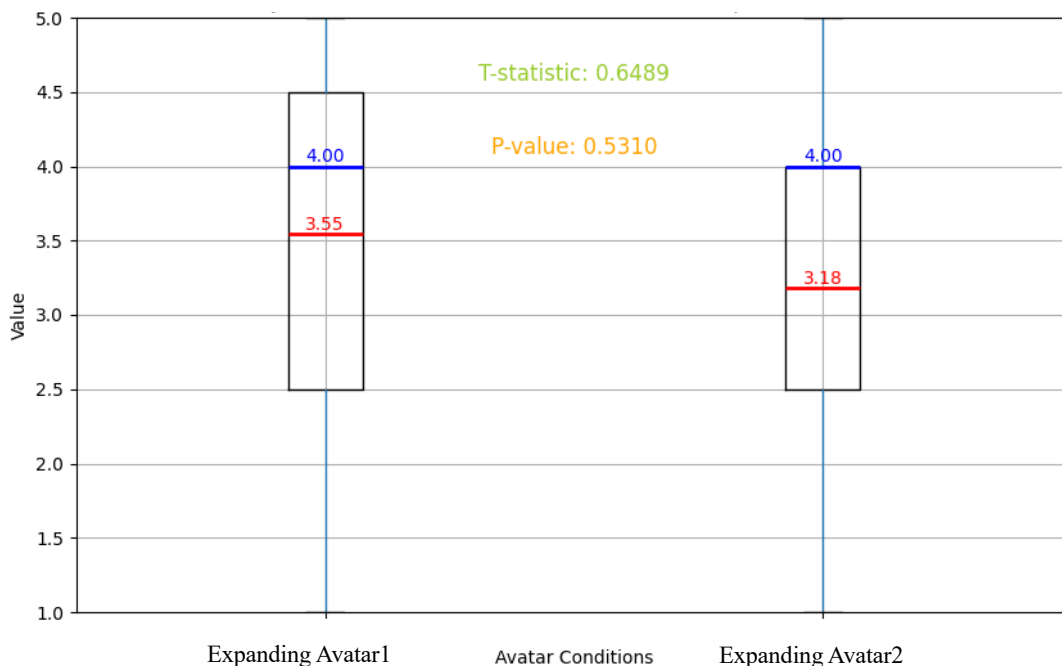


図 5-18：本実験Ⅱにおける主観評価アンケート 3 の Q15 の結果
(左：連続拡大アバタ 1, 右：連続拡大アバタ 2)

主観評価アンケート 3 の結果, 図 5-15 を参照すると, 力強さなどの印象に関する Q1 の評価値は, 連続拡大アバタ 1 では平均値が 3.27, 中央値が 3.00, 連続拡大アバタ 2 では平均値が 3.00, 中央値が 2.73 だった. 加えて, T 検定の結果, P 値が 0.2375 だったことから有意差が確認されなかったことが示された. このことは, 同じく力強さなどの印象を評価した Q2~5 でも類似した結果が示されていた.

次に, 図 5-16 を参照すると, 弱々しさなどの印象に関する Q8 の評価値は, 連続拡大アバタ 1 では平均値が 2.09, 中央値が 2.00, 連続拡大アバタ 2 では平均値が 2.55, 中央値が 2.00 だった. 加えて, T 検定の結果, P 値が 0.3197 だったことから有意差が確認されなかったことが示された. このことは, 同じく弱々しさなどの印象を評価した Q9~12 でも平均値が 2.0~2.5 と類似した結果が確認された.

また, 図 5-17 を参照すると, 把持力などの印象に関する Q13 の評価値は, 連続拡大アバタ 1 では平均値が 1.91, 中央値が 1.00, 連続拡大アバタ 2 では平均値が 2.64, 中央値が 3.00 だった. 加えて, T 検定の結果, P 値が 0.2453 であることからアバタ間で有意差が確認されなかったことが示された. このことは, 同じく把持力などの印象を評価した Q7, 13, 14 の中で平均値に 1.0 程度の僅かな差が見られたが, 有意差は確認されなかった.

最後に、図 5-18 を参照すると、拡大するアバタへの印象に関する Q15 の評価値は、連続アバタ 1 では平均値が 3.55、中央値が 4.00、連続拡大アバタ 2 では平均値が 3.18、中央値が 4.00 だった。加えて、T 検定の結果、P 値が 0.5310 であることからアバタ間で有意差が確認されなかったことが示された。

他方で、縮小するアバタへの印象に関する Q16 の評価値は、連続アバタ 1 では平均値が 1.91、中央値が 1.00、連続拡大アバタ 2 では平均値が 2.00、中央値が 1.91 だった。しかし、T 検定の結果、P 値が 1.0000 であることから Q15 と同様にアバタの表層変化に関する印象では、アバタ間で有意差が確認されなかったことが示された。

上記の分析結果に加えて、等倍アバタと連続拡大アバタ 1, 2 の間で握力データに有意差のあった 5 名の被験者のアンケート結果においても T 検定を実施したが、有意差は確認されなかった。

5.2.3 予備実験と本実験Ⅱの比較

5.1 で述べた予備実験では、選定した等倍アバタと拡大アバタを用いて、握力の計測と等倍アバタと比較した拡大アバタに対する印象の評価を実施した。本実験Ⅱでは、等倍アバタと連続拡大アバタ 1, 2 を用いて、握力の計測と等倍アバタと比較した連続拡大アバタ 1, 2 に対する印象の評価を実施した。

このことを踏まえ、本研究では、選定したどのアバタが最も被験者の握力と生起される印象へ影響を与えるのか分析するため、予備実験における拡大アバタの実験結果と本実験Ⅱにおける連続拡大アバタ 1, 2 の実験結果を比較した。各実験でアバタごとに計測された握力データの分析には、有意水準が 0.05 に設定された Welch の ANOVA を用いて実施した。

図 5-19, 図 5-20 では、計測された各アバタの握力データに対して ANOVA を実施した結果を箱ひげ図で示している。各箱ひげ図では、各アバタの握力データの平均値を赤文字で示している。なお、12 名の被験者の握力データには、事前に A~L のアルファベットを割り振り、匿名化させている。

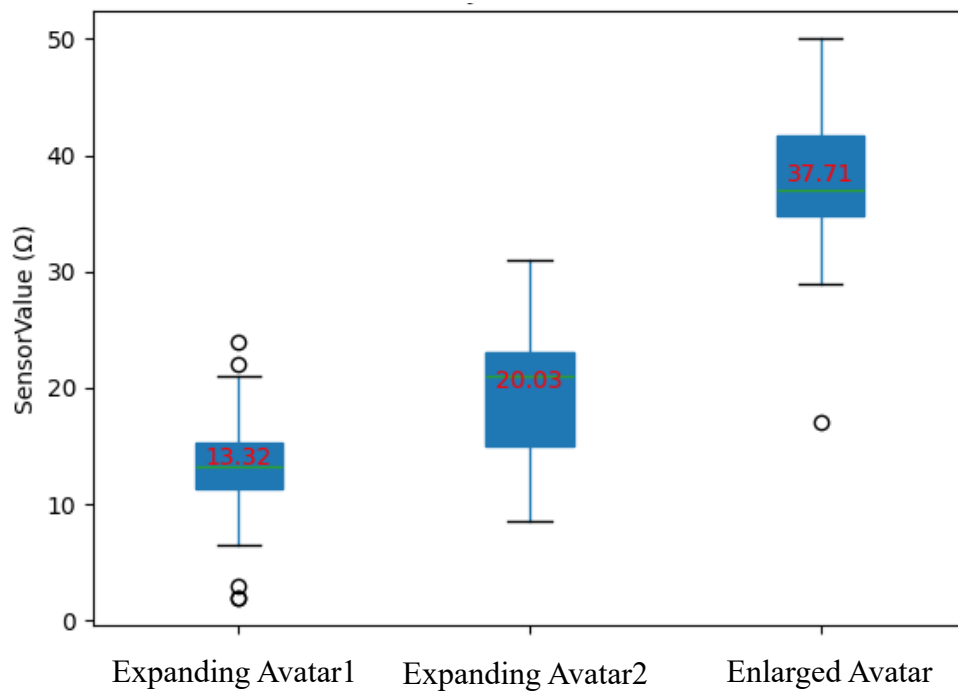


図 5-19：予備実験と本実験Ⅱにおける被験者 A の握力データ
(左：連続拡大アバター 1，中央：連続拡大アバター 2，右：拡大アバター)

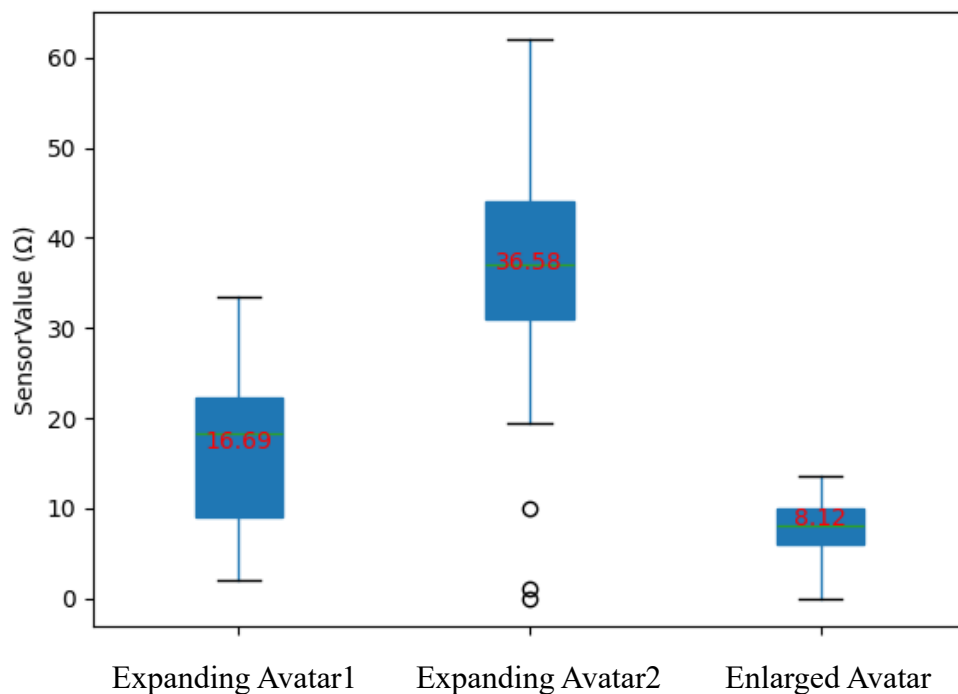


図 5-20：予備実験と本実験Ⅱにおける被験者 H の握力データ
(左：連続拡大アバター 1，中央：連続拡大アバター 2，右：拡大アバター)

図 5-19 を参照すると、被験者 A の握力データは、連続拡大アバター 1 では平均値が 13.32、連続拡大アバター 2 では平均値が 20.03、拡大アバターでは平均値が 37.71 だった。加えて、ANOVA の結果、アバター間での有意差が確認された。

次に、図 5-20 を参照すると、被験者 H の握力データは、連続拡大アバター 1 では平均値が 16.69、連続拡大アバター 2 では平均値が 36.58、拡大アバターでは平均値が 8.12 だった。加えて、ANOVA の結果、アバター間での有意差が確認された。

このように握力データの分析の結果、連続拡大アバター 1、2 と拡大アバターの間に有意差のある被験者が、被験者 A、H を含め 12 名中 11 名確認された。また、有意差のあった被験者に対して、有意水準 0.05 の T 検定を実施したところ、拡大アバターが連続拡大アバター 1、2 のより高く有意差を示した被験者が 6 名、拡大アバターが連続拡大アバター 1、2 のより低く有意差を示した被験者が 1 名確認された。

また、予備実験で集計した拡大アバターに対する主観評価アンケート 2 と、本実験Ⅱで集計した連続拡大アバター 1、2 に対する主観評価アンケート 3 の結果も、比較した。主観評価アンケート 2、3 の分析は、力強さや弱々しさ、把持力に関する印象などアンケート間で共通の内容を含む質問項目のみに対して、有意水準が 0.05 に設定された ANOVA を用いて実施した。

被験者全体の主観評価アンケート 2、3 の比較結果を図 5-21～図 5-23 に箱ひげ図として示す。各箱ひげ図では、各アバターの評価値の平均値を赤文字、中央値を青文字、F 値を緑文字、P 値を黄文字で示している。

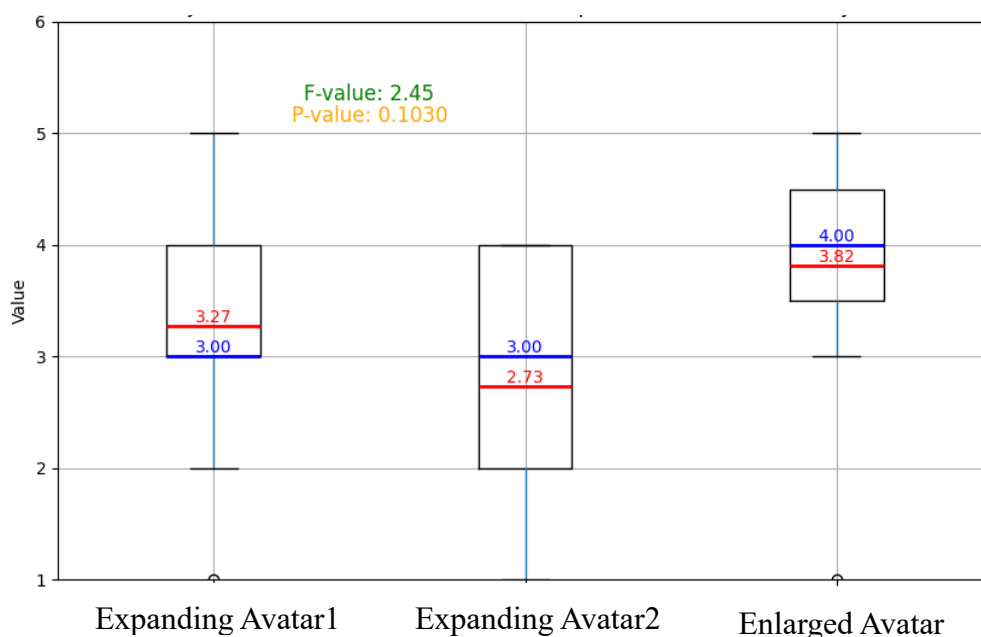


図 5-21：主観評価アンケート 2、3 の Q1 の結果
 (左：連続拡大アバター 1、中央：連続拡大アバター 2、右：拡大アバター)

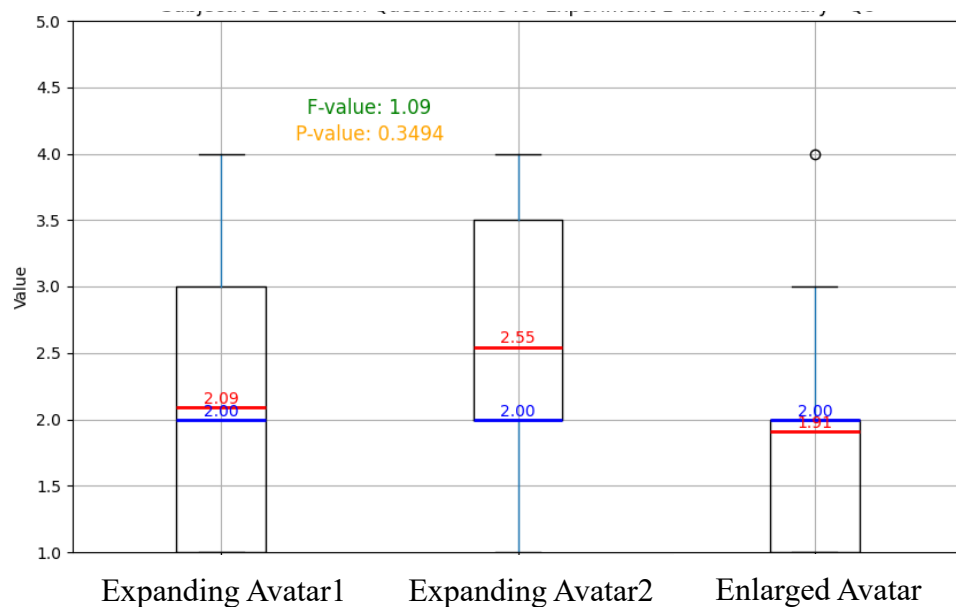


図 5-22：主観評価アンケート 2, 3 の Q8 の結果
(左：連続拡大アバタ 1, 中央：連続拡大アバタ 2, 右：拡大アバタ)

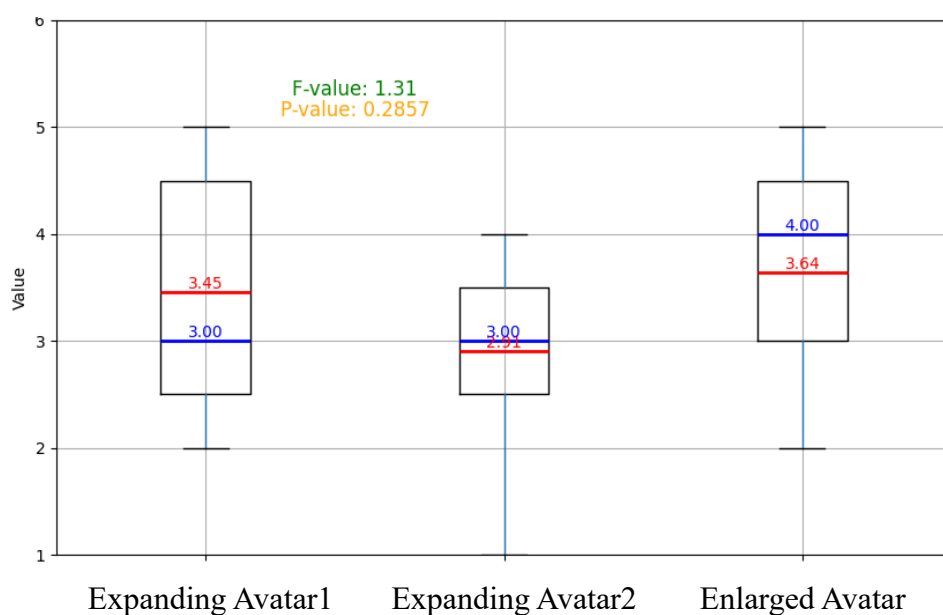


図 5-23：主観評価アンケート 2, 3 の Q6 の結果
(左：連続拡大アバタ 1, 中央：連続拡大アバタ 2, 右：拡大アバタ)

主観評価アンケートの分析の結果, 図 5-21 を参照すると, 力強さなどの印象に関する Q1 の評価値は, 連続拡大アバタ 1 では平均値が 3.27, 中央値が 3.00, 連続拡大アバタ 2 では平均値が 3.00, 中央値が 2.73, 拡大アバタでは平均値が

4.00, 中央値が 3.82 だった。加えて, ANOVA の結果, P 値が 0.1030 だったことから有意差が確認されなかったことが示された。このことは, 同じく力強さなどの印象を評価した Q2~5 でも類似した結果が示されていた。

次に, 図 5-22 を参照すると, 弱々しさなどの印象に関する Q8 の評価値は, 連続拡大アバタ 1 では平均値が 2.09, 中央値が 2.00, 連続拡大アバタ 2 では平均値が 2.55, 中央値が 2.00, 拡大アバタでは平均値が 1.91, 中央値が 2.00 だった。加えて, ANOVA の結果, P 値が 0.3494 だったことから有意差が確認されなかったことが示された。このことは, 同じく弱々しさなどの印象を評価した Q9~12 でも類似した結果が示されていた。

最後に, 図 5-23 を参照すると, 把持力などの印象に関する Q6 の評価値は, 連続拡大アバタ 1 では平均値が 1.91, 中央値が 1.00, 連続拡大アバタ 2 では平均値が 2.64, 中央値が 3.00, 拡大アバタでは平均値が 3.64, 中央値が 4.00 だった。加えて, ANOVA の結果, P 値が 0.2857 であることからアバタ間で有意差が確認されなかったことが示された。このことは, 同じく把持力などの印象を評価した Q6, 7, 14 でも類似した結果が示されていた。

以上の ANOVA の結果を踏まえ, 拡大アバタと連続拡大アバタ 1, 拡大アバタと連続拡大アバタ 2 の間で有意水準 0.05 の T 検定を実施した。T 検定の結果, 連続拡大アバタ 1, 2 と拡大アバタの間において力強さの印象に関する質問項目では, 有意差が確認され, 拡大アバタの評価値が最も高いことが示された。一方, 弱々しさや把持力の印象に関する質問項目では, 有意差が確認されず, 平均値にも大きな差は確認されなかった。

5.2.4 本実験Ⅱの考察

本実験Ⅱでは, アバタの表層が連続で変化する映像表現は, 表層が連続で変化しない映像表現と比較し, アバタから力強さなどのプロテウス効果が生起され, 握力が増加するという仮説 2 を検証するため, 等倍アバタと連続拡大アバタ 1, 2 を用いた握力計測とアンケートを用いた印象の評価を実施した。

握力計測の結果, 12 名の被験者のうち 5 名が, 等倍アバタと連続拡大アバタ 1, 2 の間で握力データに有意差が確認された。加えて, T 検定を実施した結果, 連続拡大アバタ 1, 2 の条件で握力が高く有意差を示した被験者が 3 名, 握力が低く有意差を示した被験者が 2 名確認された。

主観評価アンケート 3 では, 等倍アバタと連続拡大アバタの間で有意差は確認されなかった。また, アバタに対する各印象の評価値に関して, 力強さに関する印象では, アバタ間でいずれも平均値が約 3.0 だった。このことから, 等倍アバタと連続拡大アバタ 1, 2 を提示する条件では, 被験者へ力強さに関する印象

が強く生起されていない可能性が考えられる。

次に、弱々しさに関する印象では、各アバタの評価値の平均が約 2.0～2.5 だった。このことから、等倍アバタと連続拡大アバタ 1, 2 を提示する条件では、被験者へ弱々しさに関する印象が強く生起されていない可能性が考えられる。把持力に関する印象では、アバタ間で評価値の平均が約 2.0～3.0 と僅かに差が見られた。このことから、連続拡大アバタ 1, 2 は、被験者の握力運動中の把持力に何らかの影響を与えていた可能性が考えられる。

また、アバタの大きさが縮小するような印象では、評価値の平均が約 2.0、大きさが拡大するような印象では、評価値の平均が約 3.1～3.5 であることが確認された。このことから、被験者は、計測中に連続拡大アバタ 1, 2 へアバタの大きさが縮小するような印象を抱いていない可能性が考えられる。

以上の内容を踏まえると、連続拡大アバタ 1, 2 は、アバタの表層を連続で拡大させたことで、被験者の握力に一定の影響は与えたが、拡大アバタと比較して、力強さなどの印象とプロテウス効果を用いた握力へ与える影響が弱いのではないかと考えられる。このことから、本実験Ⅱでは、RQ2 に対する仮説 2 が立証されなかったものとする。

最後に、予備実験の拡大アバタと本実験Ⅱの連続拡大アバタ 1, 2 の実験結果を比較すると、被験者 12 名中 11 名が拡大アバタと連続拡大アバタ 1, 2 の間で有意差が確認された。加えて、有意差のあった被験者に対して T 検定を実施した結果、拡大アバタが高く有意差を示した被験者が 6 名いたことが確認された。また、予備実験と本実験Ⅱの主観評価アンケートの結果を比較すると、拡大アバタが連続拡大アバタ 1, 2 よりも力強さの印象に関する質問項目で評価値が高く有意差があることが確認された。

以上の結果を踏まえると、拡大アバタは、連続拡大アバタ 1, 2 と比較して、被験者へ力強さなどの印象を強く与え、被験者の握力の増加にも強い影響を与えていたのではないかと考えられる。

5.3 本実験Ⅲ

本実験Ⅲでは、選定した拡大アバタ、連続拡大アバタ 1, 2 を用いて仮説 2 を検証するため、追加の握力の計測とアバタから受ける印象の評価を実施した。なお、本実験Ⅲは、最初に等倍アバタではなく拡大アバタを被験者へ提示するという点において、予備実験、本実験Ⅱと実験条件が異なる。

5.3.1 では本実験Ⅲの実験手続きの流れについて、5.3.2 では本実験Ⅲの検証結果、5.3.3 では予備実験と本実験Ⅲの実験結果の比較、5.3.4 では本実験Ⅲの実験結果を踏まえた考察について述べる。

5.3.1 本実験Ⅲの実験手続き

実験手続の流れを図 5-24 に示す。はじめに，被験者には，図 5-24 のように拡大アバタを提示し，その後，図 5-25 のように握力を計測するため 60 秒間握力測定装置を握るよう指示した。加えて，拡大アバタによる握力想定後，連続拡大アバタ 1 と連続拡大アバタ 2 を順に提示し，同様に握力を計測するため，60 秒間握力測定装置を握るよう指示した。

連続拡大アバタ 1, 2 を用いた握力の計測後は，アバタ操作時にアバタから受けた印象について，拡大アバタを操作した際の印象と比較した上で，被験者に主観評価アンケート 3 を用いて回答させた。その際，拡大アバタに対する印象を本実験Ⅱと同様，アンケートの評価尺度の 3. (どちらでもない)とし，他アバタと比較する上での基準とした。

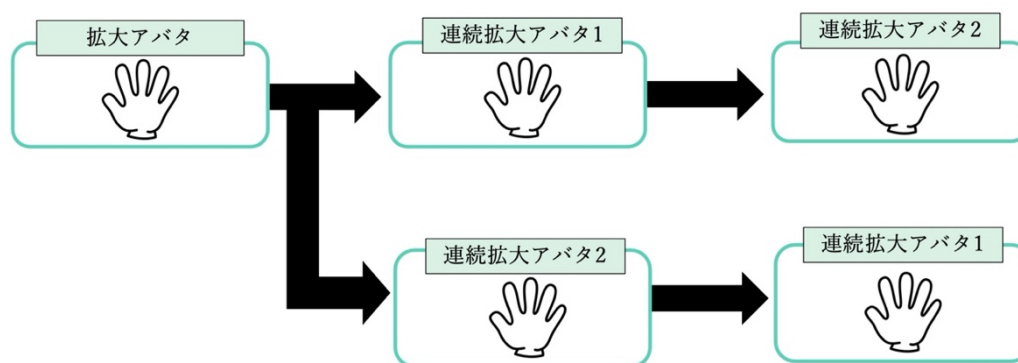


図 5-24：本実験Ⅲにおけるアバタの提示順序

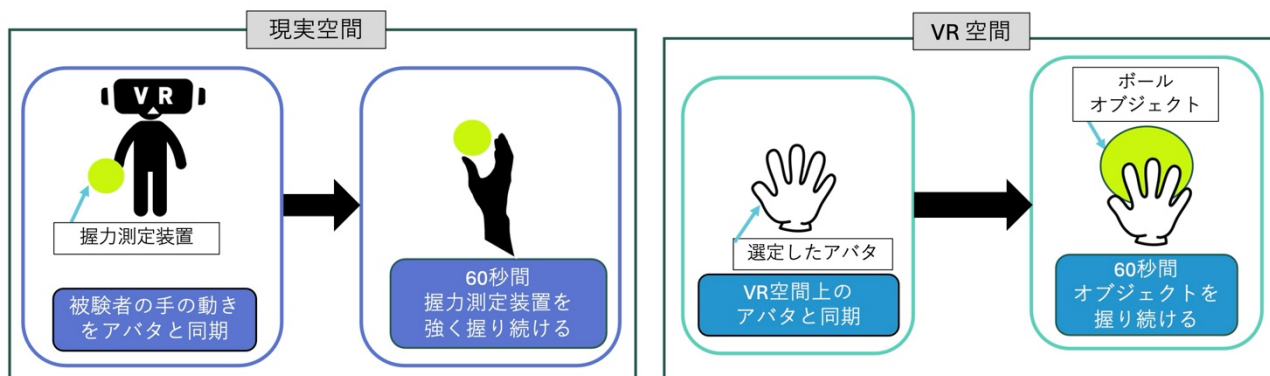


図 5-25：本実験Ⅲにおけるアバタを使用した握力計測の流れ

5.3.2 本実験Ⅲの実験結果：拡大アバタとの比較

アバタごとの分析に用いる握力データの取得時間を図 5-26 に示す．本実験Ⅲは，拡大アバタと比較して，アバタの表層変化が被験者の握力とアバタから受ける印象に与える影響を調査することを目的としている．このことから，図 5-26 のように連続拡大アバタ 1, 2 の条件では，アバタの表層変化の終了時から計測終了時まで握力測定装置から取得された握力データを等倍アバタと比較して，分析した．

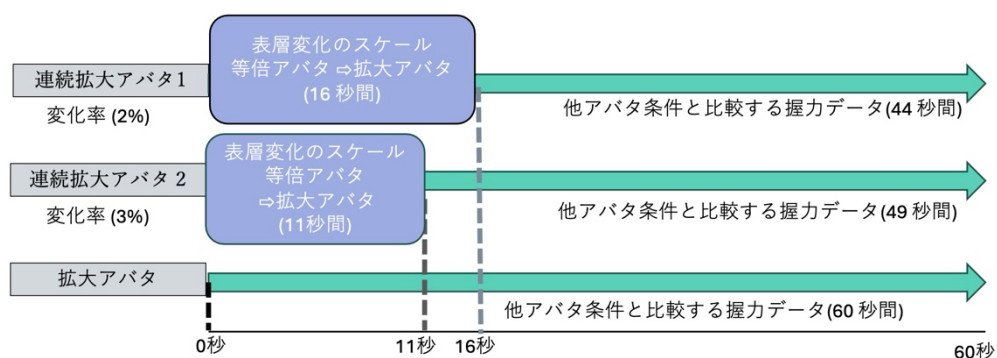


図 5-26：本実験Ⅲにおける各アバタの握力データ取得時間

このことを踏まえた上で，本実験Ⅲで被験者ごとに計測された握力のデータ（一部抜粋）を図 5-27，図 5-28 に示す．図 5-27，図 5-28 は，拡大アバタ，連続拡大アバタ 1, 2 を使用した際に握力測定装置で計測された抵抗値に対して Welch の ANOVA を実施した結果を示した箱ひげ図である．なお，Welch の ANOVA は，有意水準を 0.05 とし，図 5-20，図 5-21 の箱ひげ図にアバタの平均値を赤字で示した．また，12 名の被験者の握力データには，本実験Ⅱと同様に A～L のアルファベットを割り振り，匿名化させている．

握力計測の結果，図 5-27 を参照すると，被験者 G の握力データは，拡大アバタでは平均値が 18.24，連続拡大アバタ 1 では平均値が 23.72，連続拡大アバタ 2 では平均値が 25.08 だった．加えて，ANOVA の結果，アバタ間での有意差が確認された．

次に，図 5-28 を参照すると，被験者 L の握力データは，拡大アバタでは平均値が 19.49，連続拡大アバタ 1 では平均値が 17.10，連続拡大アバタ 2 では平均値が 13.48 だった．加えて，ANOVA の結果，アバタ間での有意差が確認された．

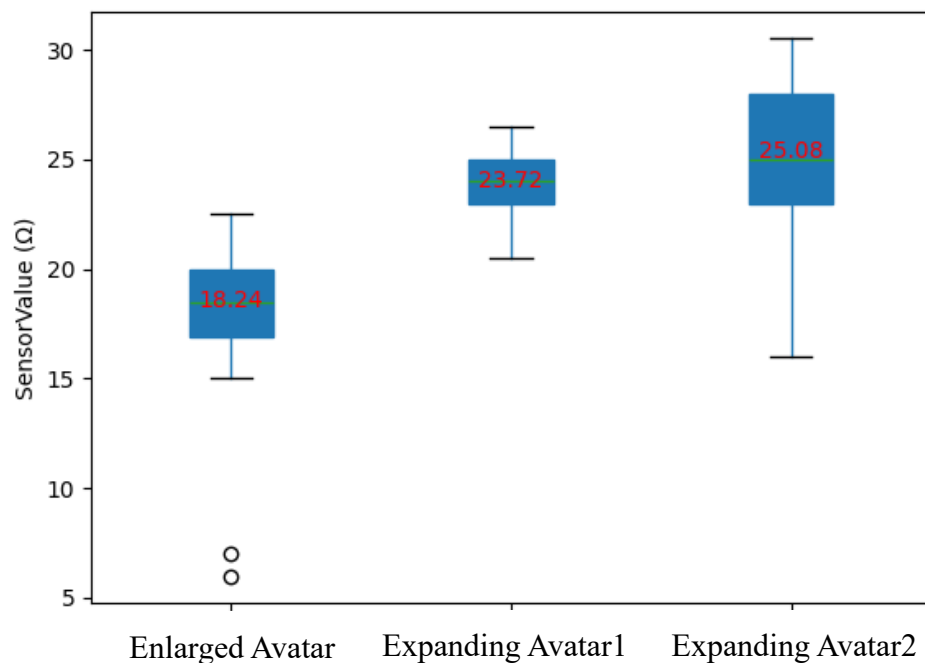


図 5-27：本実験Ⅲにおける被験者 G の握力データ
(左：拡大アバター，中央：連続拡大アバター 1，右：連続拡大アバター 2)

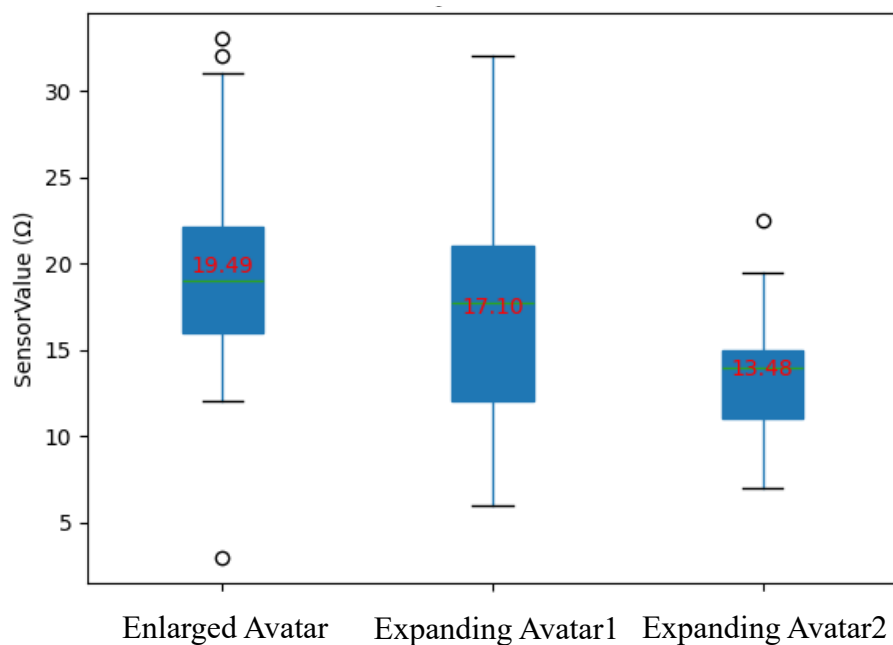


図 5-28：本実験Ⅲにおける被験者 L の握力データ
(左：拡大アバター，中央：連続拡大アバター 1，右：連続拡大アバター 2)

このように本実験Ⅲでは、連続拡大アバター 1, 2 において、拡大アバターと有意差が見られた被験者が被験者 G, L を含め 12 名中 10 名確認された。これを踏まえ、本研究では、有意差が確認された 10 名の握力データに対して、有意水準 0.05 の T 検定を実施した。

その結果、連続拡大アバター 1, 2 において握力が高く有意差を示した被験者が 2 名、低く有意差を示した被験者が 4 名確認された。また、連続拡大アバター 1 のみ拡大アバターよりも高く有意差を示した被験者が 2 名、連続拡大アバター 2 のみ拡大アバターより低く有意差を示した被験者が 2 名確認された。

また、被験者全体の主観評価アンケート 3 の結果(一部抜粋)を図 5-29～図 5-32 に示す。図 5-29～図 5-32 は、拡大アバター、連続拡大アバター 1, 2 を使用した際の主観評価アンケート 3 の各質問に対する被験者全体の評価値に対して、T 検定を実施した結果を示した箱ひげ図である。

なお、アバタの評価値の平均値を赤文字、中央値を青文字、T 値を緑文字、P 値を黄文字で示している。また、基準となる拡大アバターに対する評価値を評価尺度の 3 としたため、主観評価アンケート 3 の各質問における拡大アバタの平均値と中央値は、3.0 とした。

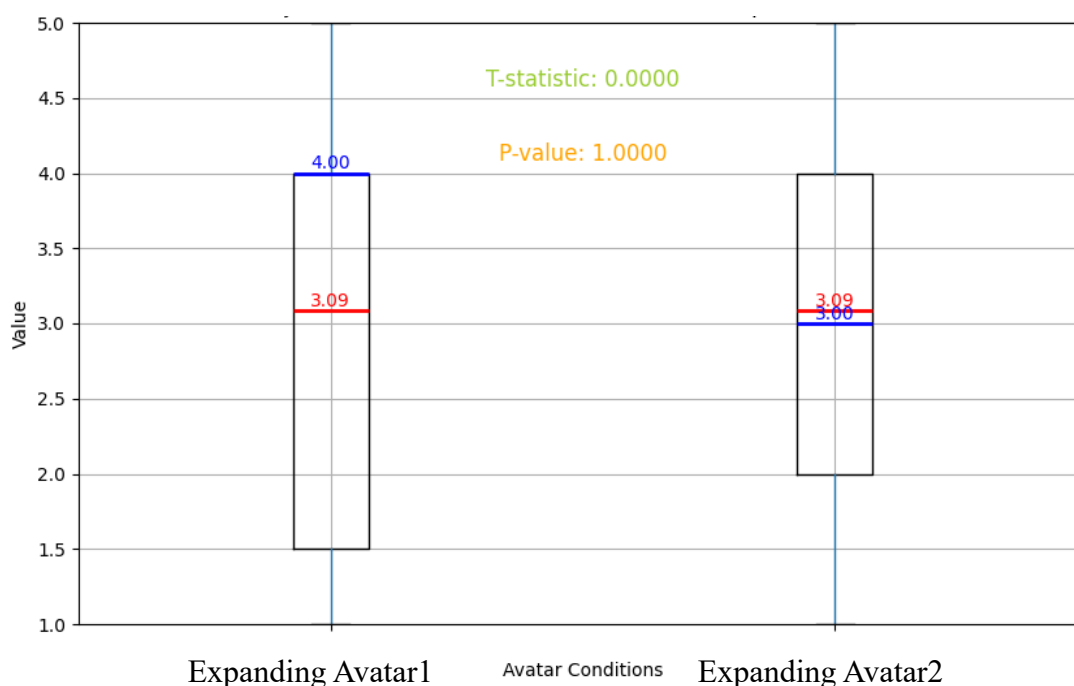


図 5-29：本実験Ⅲにおける主観評価アンケート 3 の Q2 の結果
(左：連続拡大アバター 1, 右：連続拡大アバター 2)

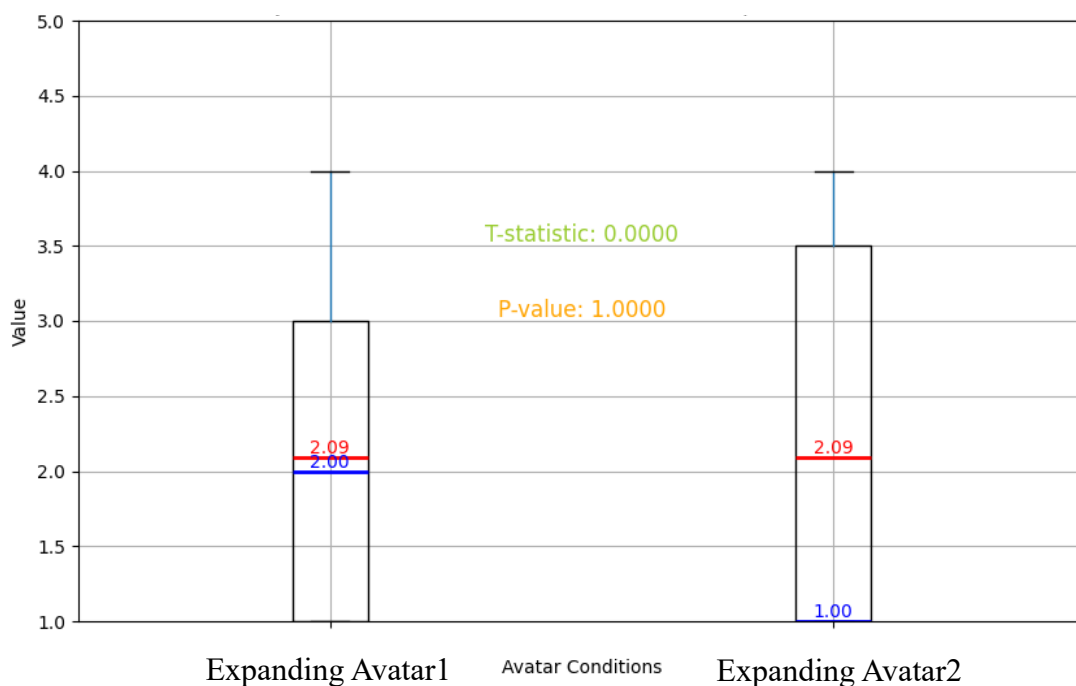


図 5-30：本実験Ⅲにおける主観評価アンケート 3 の Q10 の結果
(左：連続拡大アバタ 1, 右：連続拡大アバタ 2)

主観評価アンケート 3 の結果, 図 5-29 を参照すると, 力強さなどの印象に関する Q2 の評価値は, 連続拡大アバタ 1 では平均値が 3.09, 中央値が 4.00, 連続拡大アバタ 2 では平均値が 3.09, 中央値が 3.00 だった. 加えて, T 検定の結果, P 値が 1.0000 だったことから有意差が確認されなかったことが示された. このことは, 同じく力強さなどの印象を評価した Q1, Q3~5 でも平均値が約 2.60~3.30 という類似した結果が示されていた.

次に, 図 5-30 を参照すると, 弱々しさなどの印象に関する Q10 の評価値は, 連続拡大アバタ 1 では平均値が 2.09, 中央値が 2.00, 連続拡大アバタ 2 では平均値が 2.09, 中央値が 1.00 だった. 加えて, T 検定の結果, P 値が 1.0000 だったことから有意差が確認されなかったことが示された. このことは, 同じく弱々しさなどの印象を評価した Q8, 9, 11, 12 でも平均値が 2.00~2.27 という類似した結果が確認された.

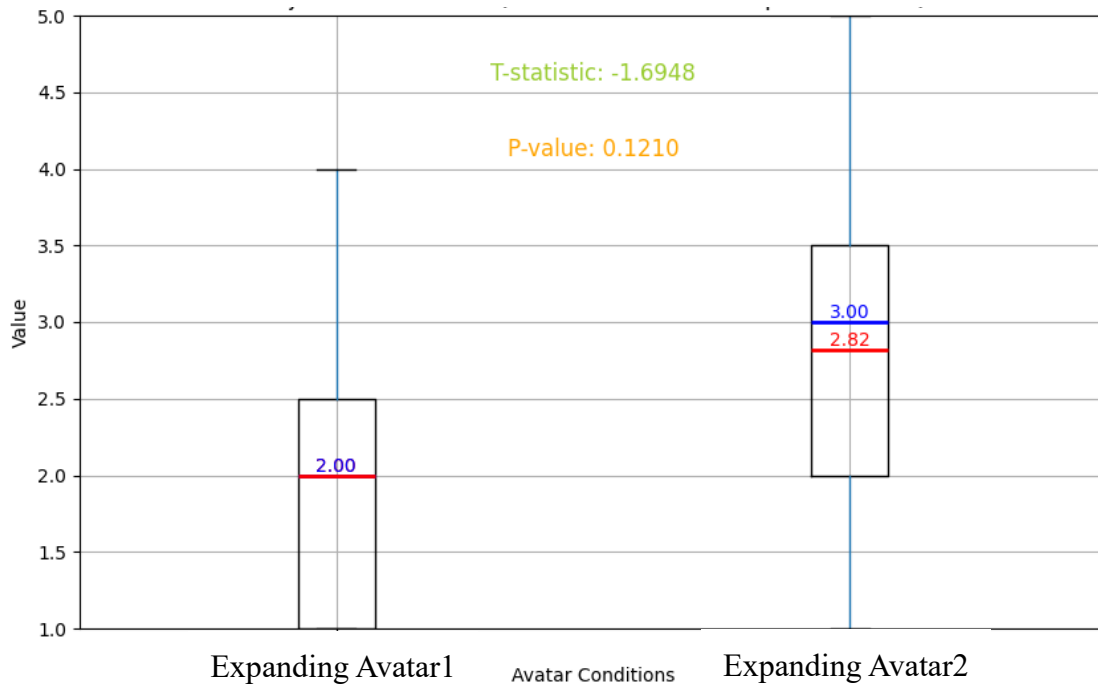


図 5-31：本実験Ⅲにおける主観評価アンケート 3 の Q7 の結果
(左：連続拡大アバタ 1, 右：連続拡大アバタ 2)

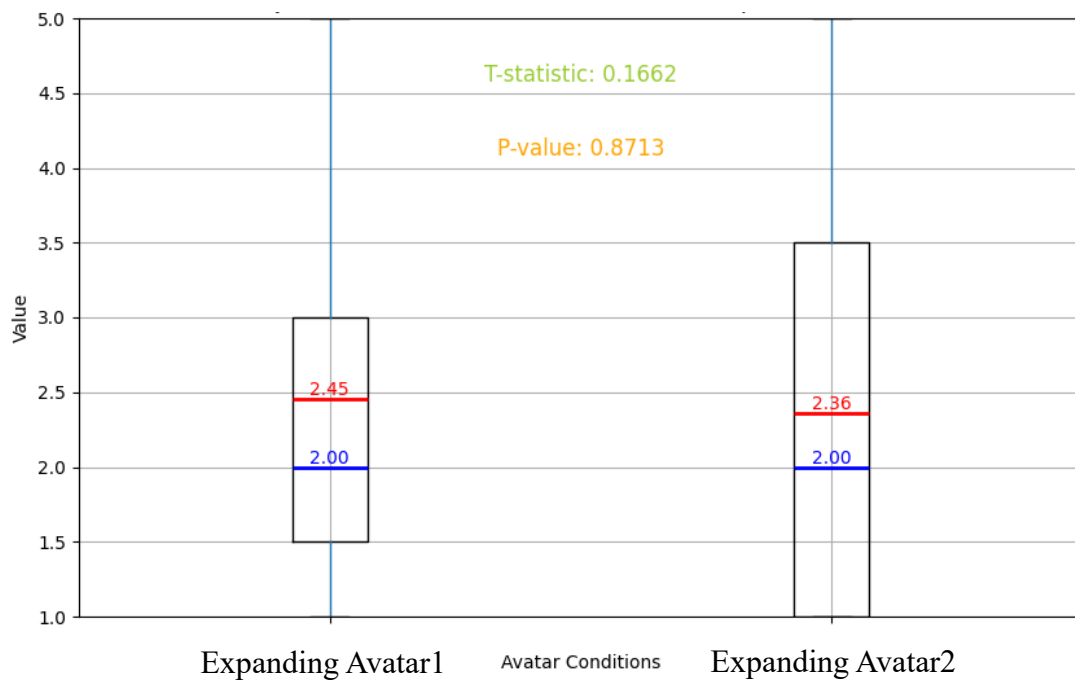


図 5-32：本実験Ⅲにおける主観評価アンケート 3 の Q16 の結果
(左：連続拡大アバタ 1, 右：連続拡大アバタ 2)

また、図 5-31 を参照すると、把持力などの印象に関する Q7 の評価値は、連続拡大アバタ 1 では平均値が 2.00、中央値が 2.00、連続拡大アバタ 2 では平均値が 2.82、中央値が 3.00 だった。加えて、T 検定の結果、P 値が 0.1210 であることからアバタ間で有意差が確認されなかったことが示された。このことは、同じく把持力などの印象を評価した Q8, 9, 13, 14 の中で平均値に 1.0 程度の僅かな差が見られたが、有意差は確認されなかった。

最後に、図 5-32 を参照すると、拡大するアバタへの印象に関する Q16 の評価値は、連続アバタ 1 では平均値が 2.45、中央値が 2.00、連続拡大アバタ 2 では平均値が 2.36、中央値が 2.00 だった。加えて、T 検定の結果、P 値が 0.5310 であることからアバタ間で有意差が確認されなかったことが示された。

他方で、縮小するアバタへの印象に関する Q15 の評価値は、連続アバタ 1 では平均値が 2.73、中央値が 3.00、連続拡大アバタ 2 では平均値が 2.64、中央値が 2.00 だった。しかし、T 検定の結果、P 値が 0.8787 であることから Q16 と同様にアバタの表層変化に関する印象では、アバタ間で有意差が確認されなかったことが示された。

上記の分析結果に加えて、拡大アバタと連続拡大アバタ 1, 2 の間で握力データに有意差のあった 10 名の被験者のアンケート結果においても T 検定を実施したが、有意差は確認されなかった。

5.3.3 予備実験と本実験Ⅲの比較

5.1 で述べた予備実験では、等倍アバタを先に提示した後、拡大アバタを用いて、握力の計測と拡大アバタに対する印象の評価を実施した。その結果、拡大アバタは、等倍アバタより握力が高く有意差を示しことが確認された。

本実験Ⅲでは、拡大アバタを先に提示した後、連続拡大アバタ 1, 2 を用いて、握力の計測と連続拡大アバタ 1, 2 に対する印象の評価を実施した。その結果、12 名中 6 名の被験者の握力データにおいて拡大アバタは、連続拡大アバタ 1, 2 の両方または一方の握力が高く有意差を示したことが確認された。

このことを踏まえ、本研究では、選定した拡大アバタの提示順序が被験者の握力の増加に影響を与えたのか分析するため、予備実験における等倍アバタの握力データと本実験Ⅲにおける拡大アバタの握力データを比較した。各実験でアバタごとに計測された握力データの分析には、有意水準が 0.05 に設定された T 検定を用いた。

T 検定を実施した被験者全体の分析結果を図 5-33, 図 5-34 に箱ひげ図で示す。各アバタにおける握力データの平均値は赤文字で示した。

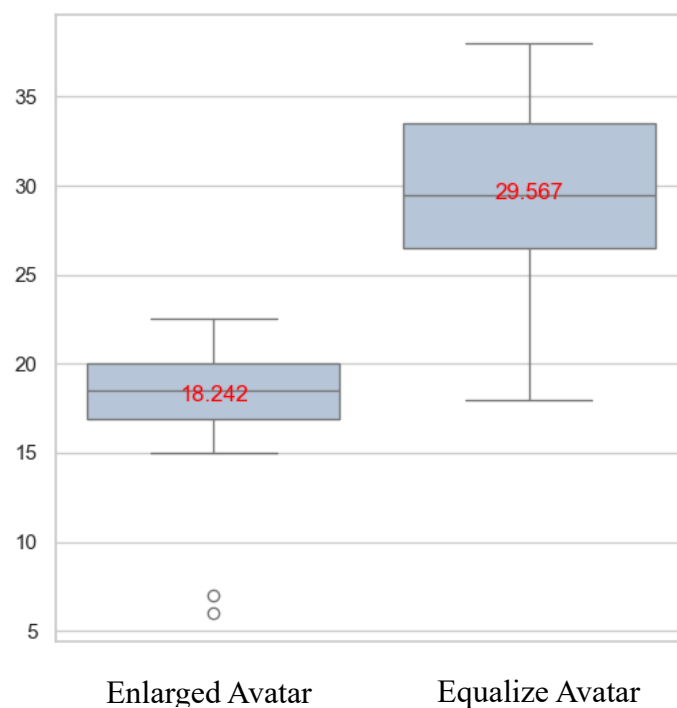


図 5-33：予備実験と本実験Ⅲにおける被験者 G の握力データ
(左：拡大アバタ，右：等倍アバタ)

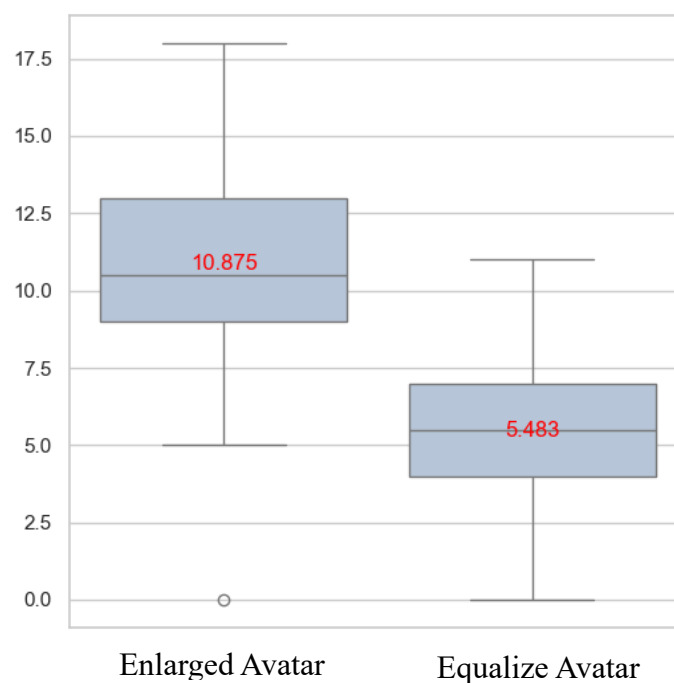


図 5-34：予備実験と本実験Ⅲにおける被験者 K の握力データ
(左：拡大アバタ，右：等倍アバタ)

図 5-33 を参照すると、被験者 G の握力データの平均値は、拡大アバタでは 18.242、等倍アバタでは 29.567 だった。加えて、T 検定の結果、アバタ間で有意差が確認され、等倍アバタが拡大アバタより優位に高い結果が示された。

次に図 5-34 を参照すると、被験者 K の握力データの平均値は、拡大アバタでは 10.875、等倍アバタでは 5.483 だった。加えて、T 検定の結果、アバタ間で有意差が確認され、拡大アバタが等倍アバタより優位に高い結果が示された。

上記の分析の結果、予備実験の等倍アバタの握力データと本実験Ⅲの握力データの間では、有意差が見られた被験者が被験者 G、K を含め 12 名中 10 名確認された。有意差の確認された被験者の握力データを見ると、図 5-33 のように等倍アバタにおいて握力が高く有意差を示した被験者が 12 名中 5 名確認された。また、図 5-34 のように拡大アバタにおいても握力が高く有意差を示した被験者が 12 名中 5 名確認された。

5.3.4 本実験Ⅲの考察

本実験Ⅲでは、本実験Ⅱと同様、アバタの表層が連続で変化する映像表現では、表層が連続で変化しない映像表現と比較し、アバタから力強さなどのプロテウス効果が生起され、握力が増加するという仮説 2 を検証するため、拡大アバタと連続拡大アバタ 1、2 を用いた握力計測とアンケートを用いた印象の評価を実施した。

握力計測の結果、連続拡大アバタ 1、2 の握力データにおいて、拡大アバタと有意差が見られた被験者が 12 名中 10 名確認された。加えて、有意差が確認された被験者 10 名に対して、T 検定を実施した。

その結果、連続拡大アバタ 1、2 において握力が高く有意差を示した被験者が 2 名、低く有意差を示した被験者が 4 名確認された。また、連続拡大アバタ 1 のみ拡大アバタよりも握力が高く有意差を示した被験者が 2 名、連続拡大アバタ 2 のみ拡大アバタより低く有意差を示した被験者が 2 名確認された。

主観評価アンケート 3 では、拡大アバタと連続拡大アバタの間で有意差は確認されなかった。また、アバタに対する各印象の評価値に関して、力強さに関する印象では、アバタ間でいずれも平均値が約 2.6～3.3 だった。このことから、拡大アバタと連続拡大アバタ 1、2 を提示する条件では、被験者へ力強さに関する印象が強く生起されていない可能性が考えられる。

次に、弱々しさに関する印象では、各アバタの評価値の平均が約 2.0～2.27 だった。このことから、拡大アバタと連続拡大アバタ 1、2 を提示する条件では、被験者へ弱々しさに関する印象が強く生起されていない可能性が考えられる。把持力に関する印象では、アバタ間で評価値の平均が約 2.5～2.8 と僅かに差が

見られた。このことから、本実験Ⅱと同様、連続拡大アバタ 1, 2 は、被験者の握力運動中の把持力に何らかの影響を与えていた可能性が考えられる。

また、アバタの大きさが縮小するような印象では、評価値の平均が約 2.5、大きさが拡大するような印象では、評価値の平均が約 2.7 であることが確認された。このことから、本実験Ⅱと同様、被験者は、計測中に連続拡大アバタ 1, 2 へアバタの大きさが縮小するような印象を抱いていない可能性が考えられる。

以上の内容を踏まえると、連続拡大アバタ 1, 2 は、本実験Ⅱと同様に被験者の握力に一定の影響は与えたが、力強さなどの印象が強く生起されず、プロテウス効果を用いた握力へ与える影響が弱いことが顕著に示された。このことから、本実験Ⅲでは、RQ2 に対する仮説 2 が立証されなかったものとする。

最後に、予備実験の等倍アバタと本実験Ⅲの拡大アバタの握力データを比較すると、被験者 12 名中 5 名が等倍アバタにおいて握力が優位に高い結果を示したことが確認された。加えて、拡大アバタにおいても握力が優位に高い結果を示した被験者が 12 名中 5 名確認された。

これを踏まえ、拡大アバタの握力データに焦点を当てると、予備実験では、等倍アバタを提示した後に拡大アバタを提示したことで、拡大アバタにおいて握力が高く有意差を示した被験者が 12 名中 8 名確認されていた。以上の内容を踏まえると、予備実験と本実験Ⅲの結果から、アバタの提示順序が被験者の握力の増加に影響を与えていた可能性が示唆されたと考えられる。

5.4 総括

本研究では、選定した連続拡大アバタ 1, 連続拡大アバタ 2 が被験者へ与える印象と握力へ与える影響を評価するため、予備実験と本実験Ⅱ, Ⅲを実施した。

予備実験では、本実験Ⅱ, Ⅲの事前準備として 5.1.1 で述べた仮説を検証するため、選定した 3 つの等倍、拡大、縮小アバタを使用し、握力の計測とアバタから受ける力強さや弱々しさ、把持力などの印象についてアンケート形式で評価した。

本実験Ⅱ, Ⅲは、RQ2 に対する仮説 2 を検証するため、予備実験の結果を踏まえ、選定した手のアバタの連続的な表層変化が被験者に与える特徴や把持力に関する印象と握力に与える影響について調査した。なお、本実験Ⅱでは、選定した等倍アバタ、連続拡大アバタ 1, 連続拡大アバタ 2 を使用し、握力の計測とアバタから受ける力強さや弱々しさ、把持力、表層変化などの印象についてアンケート形式で評価した。本実験Ⅲでは、選定した拡大アバタ、連続拡大アバタ 1, 連続拡大アバタ 2 を使用し、同様の検証を実施した。

予備実験の実験結果を表 5-4、本実験Ⅱの実験結果とそれを予備実験の結果

(一部抜粋)と比較した結果を表 5-5, 本実験Ⅲの実験結果を表 5-6 に示す.

表 5-4：予備実験の結果のまとめ
(握力の t 検定の有意水準：0.05)

	等倍アバタと下記の項目の平均値を比較			
計測・評価項目	握力	力強さ	弱々しさ	把持力
拡大アバタ	高い (p:0.00)	高い	低い	変化なし
縮小アバタ	低い (p:0.00)	低い	高い	変化なし

表 5-5：本実験Ⅱの実験結果と予備実験の結果(一部抜粋)との比較のまとめ
(握力の t 検定の有意水準：0.05)

	等倍アバタと下記の項目の平均値を比較				
計測・評価項目	握力	力強さ	弱々しさ	把持力	大きさ変化
拡大アバタ	高い (p:0.00)	高い	低い	変化なし	
連続拡大アバタ1	変化なし	変化なし	低い	変化なし	変化なし
連続拡大アバタ2	変化なし	変化なし	低い	変化なし	低い

表 5-6：本実験Ⅲの実験結果のまとめ
(握力の t 検定の有意水準：0.05)

	拡大アバタと下記の項目の平均値を比較				
計測・評価項目	握力	力強さ	弱々しさ	把持力	大きさ変化
連続拡大アバタ1	低い (p:0.00-0.03)	変化なし	低い	変化なし	変化なし
連続拡大アバタ2	低い (p:0.00)	変化なし	低い	変化なし	低い

予備実験の結果、表 5-4 を参照すると、拡大アバタでは、アバタの表層を拡大させたことで被験者へ力強さに関する印象を強く与え、握力の増加に影響を与えた可能性が高いことが示された。さらに、縮小アバタでは、アバタの表層を縮小させたことで被験者へ弱々しさに関する印象を強く与えたが、被験者の握力の増減に強い影響を及ぼした可能性は低いことが示された。

また、拡大アバタと縮小アバタの間では、握力計測中の把持力の印象の評価値に有意差が確認されなかった。その要因として、握力の計測に使用したボールの重さが 1kg 以下であり関連研究と比較して軽量だった可能性があることが示された。以上のことから、5.1.1 で述べた予備実験の仮説は、拡大アバタにおいてのみ立証されたものと結論付けた。

次に、本実験Ⅱ、Ⅲの結果、表 5-5、表 5-6 に示すように連続拡大アバタ 1、2 では、アバタの表層を連続で拡大することで、被験者の握力に一定の影響を与えたことが明らかになった。しかし、予備実験の拡大アバタの握力データと比較すると、連続拡大アバタ 1、2 は、握力の平均値が高い被験者の割合が少なかったことから、力強さなどの印象とプロテウス効果を用いた握力へ与える影響が弱い可能性が示された。

加えて、拡大アバタは、連続拡大アバタ 1、2 と比較して、被験者へ力強さなどの印象を強く与え、被験者の握力の増加にも強い影響を与えた可能性が高いことが示された。このことから、本実験Ⅱ、Ⅲでは、仮説 2 が立証されなかったものと結論付けた。

第6章 考察

本研究では、選定した表層の異なる複数の手のアバタを用いた予備実験と本実験を通して、プロテウス効果を用いた連続的な手の VR アバタの表層変化が、被験者の握力に与える影響について検証した。本章では、4 章の本実験Ⅰと 5 章の予備実験、本実験Ⅱ、Ⅲの内容及び関連分野の研究を用いて、身体的特徴の少ないアバタが VR 空間における身体運動へ及ぼす影響について考察する。

6.1 選定したアバタによる没入感や身体所有感への影響

本研究では、過剰な身体的特徴の少ないアバタは、被験者の没入感や身体所有感にどのような影響を与えるのかというリサーチクエスション(RQ1)を設定した。また、これに対し、過剰な身体的特徴の少ないアバタは、被験者の没入感や身体所有感を向上させるという仮説 1 を立て、本実験Ⅰを実施した。

本実験Ⅰでは、身体的特徴の少ないヒトの手のアバタを使用し、表層を拡大させた状態を拡大アバタ、縮小させた状態を縮小アバタ、表層を変化させない状態を等倍アバタとした。加えて、アバタに対する身体所有感や没入感を評価するため、上記のアバタを被験者の動きに対してアバタが遅れて描画される非同期条件と、被験者の動きと同期して描画される同期条件に分類し、描画速度を調整する手続きをした。

これを踏まえ、非同期条件では等倍アバタ、同期条件では等倍アバタと拡大アバタ、縮小アバタを各条件の描画速度に従って順に被験者へ提示し、身体所有感や没入感を評価させた。その結果、同期条件の等倍アバタと拡大アバタ、縮小アバタのいずれを提示した場合でも被験者へ高い没入感と身体所有感が生起されていたことが示された。

このことは、石川ら [7]や Martin ら [8]によって示されたアバタの身体的特徴が被験者のアバタに対する没入感や身体所有感の低下を招く課題に対して、筋肉など身体的特徴の少ないアバタを使用することで、高い没入感や身体所有感を生起させることが可能であることを示した。特に、上述した関連研究と比較して、本研究におけるアバタの提示手法は、筋肉などの身体的特徴の少ない身体の一部を用いたアバタの表層を伸縮させた状態でも高い没入感と身体所有感を生起・維持できた点において、優位性が高いと考えられる。

また、本研究では、身体的特徴の少ないアバタとしてヒトの手のみをアバタとして提示し、被験者へ身体所有感を生起させた。近年の VR アバタによるプロテウス効果を用いた研究では、小柳ら [17] [18]や Sun ら [20]によってヒト以外の動物のアバタに対しても一定の身体所有感が生起されることが示されている。

このことを踏まえると、本研究で示されたアバタの身体部位の一部のみを提示することでアバタに対する身体所有感が生起されることは、人型以外の動物アバタの身体部位の一部に対する身体所有感をより強く生起させることにも応用できるのではないかと考えられる。

6.2 選定したアバタによるプロテウス効果と握力

本研究では、アバタの表層が連続で変化する映像表現は、表層が連続で変化しない映像表現と比較し、被験者に生起されるプロテウス効果と握力へどのような影響を与えるのかというリサーチクエスション(RQ2)を設定した。これに対し、アバタの表層が連続で変化する映像表現では、表層が連続で変化しない映像表現と比較し、アバタから力強さなどのプロテウス効果が生起され、握力が増加するという仮説2を立て、本実験Ⅱと本実験Ⅲを実施した。

また、本実験Ⅱ、Ⅲの事前準備として、アバタの表層が連続で変化しない映像

表現がプロテウス効果によって握力へどのような影響を与えるのか検証する予備実験も実施した。予備実験と本実験Ⅱ、本実験Ⅲでは、実験ごとに選定したアバタを用いた握力の計測とアバタに対する印象の評価を実施した。

予備実験では選定した等倍アバタと拡大アバタ、縮小アバタ、本実験Ⅱでは等倍アバタと連続拡大アバタ 1、連続拡大アバタ 2、本実験Ⅲでは拡大アバタと連続拡大アバタ 1、連続拡大アバタ 2 を被験者へそれぞれ提示した。なお、連続拡大アバタ 1、2 は、それぞれ選定した等倍アバタと拡大アバタを用いて手のアバタの表層が一定時間に連続で等倍アバタの大きさから拡大アバタの大きさへ変化するように設定した。

予備実験の結果、拡大アバタの表層を連続で変化させない映像表現では、被験者へ力強さに関する印象を強く与え、握力の増加に影響を与えた可能性が高いことが示唆された。次に本実験Ⅱ、Ⅲの結果、拡大アバタの表層を連続で変化させない映像表現がアバタの表層を連続で変化させる映像表現と比較して、被験者へ力強さなどの印象を強く与え、被験者の握力の増加にも強い影響を与えた可能性が高いことが示された。

このことは、大久保ら [9]によって示された筋肉質なアバタ以外でも被験者へ力強い印象が生起され、身体運動が拡張される現象と類似していると言える。一方、大久保らに加え石川ら [7]や Martin ら [8]は、複数の異なる体格や装飾を施した人型アバタによるプロテウス効果を用いて被験者の身体運動を拡張していたが、本研究では、同じ手のアバタの大きさのみを変化させ、被験者の握力など身体運動を向上させた。

このことから、本研究で用いた身体的特徴の少ない一部の身体部位のみを用いたアバタの提示は、大久保らの研究よりも被験者へプロテウス効果を生起させる条件を広げ、より簡易的な VR システムを用いた身体運動の拡張が可能になると考えられる。

また、本研究では、拡大アバタの表層を連続で変化させずに提示したことで、力強さなどのプロテウス効果が強く生起され、短時間で被験者の握力が増加する様子を観測した。一方、上田ら [11]や小山ら [12]の研究では、5 週間から 12 週間にかけて握力を用いた運動を継続的に実施することで被験者の握力を向上させていた。

このことから、本研究で選定された VR アバタのプロテウス効果を用いた握力の増加を図る手法は、上田らや小山らの握力向上に向けた取り組みと比較して、より短期間で被験者の握力向上を図ることができる点において、優位性が高いと考えられる。

第7章 結論

7.1 要約

本研究では、被験者間でのアバタに対する没入感の差を低減しつつ、プロテウス効果による身体運動への影響を増加させるため、筋肉などの身体的特徴の少ないアバタを表層が連続で変化する映像表現を用いて被験者へ提示し、握力へどのような影響を及ぼすのか、検証した。各検証では、下記のリサーチクエスション(RQ1, RQ2)を設定し、提示されたアバタに対する印象の評価と握力の計測を実施した。

RQ1: 過剰な身体的特徴の少ないアバタは、被験者の没入感や身体所有感にどのような影響を与えるのか？

RQ2: アバタの表層が連続で変化する映像表現は、表層が連続で変化しない映像表現と比較し、被験者に生起されるプロテウス効果と握力へどのような影響を与えるのか？

検証の結果、RQ1 に対して、身体的特徴の少ない手のアバタでは、被験者に対して高い没入感と身体所有感が生起され、被験者間での没入感の差が低減されることを明らかにした。

加えて、RQ2 に対して、手のアバタの表層が連続で変化する映像表現では、表層が連続で変化しない映像表現と比較し、被験者から生起される力強い印象などを用いたプロテウス効果の影響が弱く、握力が減少することを示した。一方、手のアバタの表層が連続で変化しない映像表現では、選定した拡大アバタを提示することで、力強い印象を用いたプロテウス効果が強く影響し、握力が増加することを明らかにした。

7.2 本研究の課題

本研究では、プロテウス効果による握力の向上を図るため、手のアバタの表層を連続で変化させることで、アバタから受ける印象を強調させる映像表現を用いて被験者へ提示した。

しかし、実際には、被験者がアバタの表層変化を認知できた割合が小さく、握力の増加へ強く影響を及ぼすほど力強さなどの印象が強く強調されることはなかった。これはアバタの表層が 11～16 秒かけて変化するのに対し、1 秒毎にお

けるアバタのスケールの変化率が 2%, 3%と小さかったことが関連していると考ええる。

このことから、アバタの表層が連続で変化する映像表現では、1 秒毎におけるアバタのスケールの変化率をさらに増加させることで、アバタの表層変化に対する認知能力が向上し、より有益なプロテウス効果を用いた握力データが得られると考えている。

また、本研究では、表層を変化させない映像表現を用いた拡大アバタを提示することで、力強い印象が高く生起され、握力が最も強く発揮されることが示された。しかし、上記の結果が生起された被験者は、等倍、拡大、縮小のアバタ間で握力に有意差のあった被験者の半数程度であった。このことから、拡大アバタを用いた際のアバタの印象の変化と握力の増加に関しては、今後、被験者を更に増加させ、再現性についての検証の必要があると考えられる。

最後に、本研究における検証を通して、選定した拡大アバタの表層を連続で変化させずに提示すると、プロテウス効果が強く影響し、握力が短時間で増加された。しかし、実際に本手法を握力の向上を目的としたトレーニングなどへ応用する場合は、繰り返しアバタからプロテウス効果が生起される状況が求められると考える。

以上のことを踏まえると、今後、選定した手のアバタから生起されたプロテウス効果が反復して握力の増加に影響を与えるのか明らかにすることで、プロテウス効果を用いた身体運動の実用性が高まると考えている。

参考文献

- [1] 長澤弘, “日常生活活動と筋力,” 理学療法科学 18(1), pp.7-13, (2003).
- [2] R. Taina, F. Linda P. , V. Stefano, “Handgrip strength and cause-specific and total mortality in older disabled women: exploring the mechanism.,” JAGS MAY 2003-VOL. 51, NO. 5 , pp.637-641, (2003).
- [3] 村松茂, “握力と寿命—握力が示すものとは—,” 横浜市立大学論叢人文科学系列, Vol.67, No.2・3, pp.89-100, (2016).
- [4] D. Leong, T. K.K., R. S. , e. al., “Prognostic value of grip strength: findings from the Prospective Urban Rural Epidemiology (PURE) study,” Lancet Vol 386, pp.266-273, (2015).
- [5] O. Muyesser, O. Nurullah, G. Figen, Y. Z.Rezan, T. M.Aysin , D. Yildiz, “The relationship between hand grip strength and hand bone mineral density in children with insulin dependent diabetes mellitus,” Journal of Musculoskeletal Research, Vol .10, No .02, pp.83-88, (2006).
- [6] N. Yee , J. Bailenson, “The proteus effect: The effect of transformed self-representation on behavior,” Human Communication Research,33, pp.271-290, (2007).
- [7] 石川貴一, 粕野悠聖, 高野保真 , 佐久田博司, “VR を用いた筋力トレーニングにおけるプロテウス効果,” 情報処理学会研究報告, Vol.2019-HCI-182 No.2., pp.1-5, (2019).
- [8] M. Kocur, C. Wolff, V. Schwind , N. Henze, “Flexing Muscles in Virtual Reality: Effects of Avatars’ Muscular Appearance on Physical Performance,” CHI PLAY '20, November 2–4, 2020, Virtual Event, Canada F, pp.193-205, (2020).
- [9] 大久保柚希, 村岡丈一郎, 佐藤美恵 , 橋本直己, “アバタの力強さによる自己認知変化が重さ知覚に与える影響,” 映像情報メディア学会誌, Vol.77, No3, pp.394~400, (2023) .
- [10] R. Ratan, D. Beyea, B. J. Li , L. Graciano, “Avatar characteristics induce users’ behavioral conformity with small-to-medium effect sizes: a meta-analysis of the proteus effect.,” MEDIA PSYCHOLOGY, VOL.23, NO5, pp.651-675, (2020).
- [11] 上田憲嗣, 宮尾夏姫 , 大友智, “短時間運動が児童の握力及びボール投げ

- ならびに運動有能感に与える影響,” スポーツ教育学研究, Vol.39, No.2, pp.1-11, (2020).
- [12] 小山啓太, 木山慶子, 和田直樹, “ボール運動が高齢者の握力と認知機能におよぼす影響ー地域運動教室に通う高齢者を対象とした研究ー,” 群馬大学共同教育学部紀要, 芸術・技術・体育・生活科学編 第 58 巻, pp.37-45, (2023).
- [13] 石垣享, 田中望, 藤井勝紀, “若年女性における筋肉量推定のための握力指標の妥当性,” スポーツ健康科学研究 41, pp.23-29, (2019).
- [14] 宮原洋八, 竹下寿朗, “地域高齢者における運動能力と健康寿命の関連について,” 理学療法学 第 31 巻第 3 号, pp.155-159, (2004).
- [15] T. C. Peck, S. Seinfeld, S. M. Aglioti, M. Slater, “Putting yourself in the skin of a black avatar implicit racial bias.,” *Consciousness and Cognition* 22, pp.779-787, (2023).
- [16] 大塚一耀, 嶋田総太郎, “VR 環境下でのフルボディ錯覚における遅延視覚フィードバックの影響,” 知識と情報(日本知能情報ファジィ学会誌) Vol.33, No.3, pp.657-662, (2021).
- [17] 小柳陽光, 鳴海拓志, Jean-LucLugrin, 安藤英由樹, 大村廉, “ドラゴンアバタを用いたプロテウス効果の生起による高所に対する恐怖の抑制,” TVRSJ, Vol.25 No.1, pp.2-11, (2020).
- [18] 小柳陽光, 安藤英由樹, 大村廉, “鳥アバタへの身体所有感の転移による高所に対する恐怖の抑制効果に関する評価,” 第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp.5-8, (2018).
- [19] T. Waltemate, D. Gall, D. Roth, M. Botsch, M. E. Latoschik, “The Impact of Avatar Personalization and Immersion on Virtual Body Ownership,” *IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS*, VOL. 24, NO. 4, A P R I L 2 0 1 8, pp.1643-1652, (2018).
- [20] J. Sun, B. Joshua, O. Elise, L. Kristine, T. Kara, B. Jeremy N, “Experiencing Nature: Embodying Animals in Immersive Virtual Environments Increases Inclusion of Nature in Self and Involvement with Nature,” *Journal of Computer-Mediated Communication*, pp.399-419, (2016).
- [21] L. Jean-Luc, R. Daniel, I. Polyshev, M. E. Latoschik, “Avatar Anthropomorphism and Acrophobia,” *VRST '16 Proceedings of the 22nd*

- ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology, pp.315-316, (2016).
- [22] K. Harrison, “Television Viewers’ Ideal Body Proportions: The Case of the Curvaceously Thin Woman,” *Sex Roles*, Vol. 48, 5, pp.254-264, (2003).
- [23] K. Jordan, Z. Jeffery, J. Best, E. O’Neill , C. Lutteroth, “Me vs. Super(woman): Effects of Customization and Identification in a VR Exergame,” Paper 532, CHI 2020, April 25–30, 2020, Honolulu, HI, USA, pp.1-17, (2020).
- [24] M. O. Ernst , M. S. Banks, “Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion,” *Nature* 415, 6870, pp.429-433, (2002).
- [25] K. Kilteni, M. Slater , R. Groten, “The sense of embodiment in virtual reality,” *Presence Teleoperators & Virtual Environments* · Vol. 21, No. 4, Fall, pp.373-387, (2012).
- [26] D. Banakou, R. Groten , M. Slater, “Illusory ownership of a virtual child body causes overestimation of object sizes and implicit attitude changes,” *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 110, pp.12846-12851, (2013).
- [27] B. Ries, V. Interrante, M. Kaending , L. Anderson, “The effect of self-embodiment on distance perception in immersive virtual environments,” In *Proc. of the 2008 ACM symp. on Virtual reality software and technology*, pp.167-170, (2018).
- [28] L. Wang, S. Cai , C. Sandor, “Perceptual thresholds of visual size discrimination in augmented and virtual reality,” *Computers & Graphics*, 117, pp.105-113, (2023).
- [29] T. Bruce H., “Examining User Perception of the Size of Multiple Objects in Virtual Reality,” *MDPI*, pp.1-24, (2020).
- [30] 中雄勇, 堤實 , 吉川茂, “利き手に関する基礎的研究-利き手と利き目の関連性--,” *阪南論集 人文・自然科学編*, Vol. 32 No. 3, pp.1-14, (1997).

謝辞

本論文を執筆するにあたり、主指導教員の藤波 努 先生をはじめ多くの方々からご支援いただきました。この場をお借りして、お世話になった全ての皆様に感謝いたします。

先生の献身的なご指導や研究室の方々との議論は、日々の研究活動を続けていく中で、本研究の進行のみならず、私自身の自己成長にも繋がり、様々な側面で非常に多くのことを学ばせていただきました。大学院の 2 年間という短い期間において、このような有意義な学びを得る体験ができたことを深く感謝しております。

また、家族には、大学院への進学を後押ししていただき、遠方から私を様々な形で支え、励ましてくださったことに心から感謝の意を表します。私が研究活動を通じてたくさんの壁にぶつかる度、暖かいご声援をいただいていたことは、私にとって常に大きな励みとなりました。本当にありがとうございました。

本学で過ごした 2 年間は、とても充実した日々であり、貴重な体験でした。この経験を活かし、今後の社会人としての活動により一層励みたいと思います。最後に、私に関わってくださった全ての人に今一度感謝を申し上げ、謝辞とさせていただきます。

付録 開発した握力測定装置

本研究では、被験者の握力を計測するため圧覚センサを搭載した握力測定装置を開発した(図 1)。本装置は、Arduino と圧覚センサ⁷⁾、LED ライト、タクトスイッチによって構成されている。圧覚センサは、測定範囲が 0~50kg、厚さが 0.6mm、応答時間が 1 ミリ秒未満の仕様のものを選定した。Arduino は、I/O 電圧 5V の Arduino Mega 2560 を選定した。

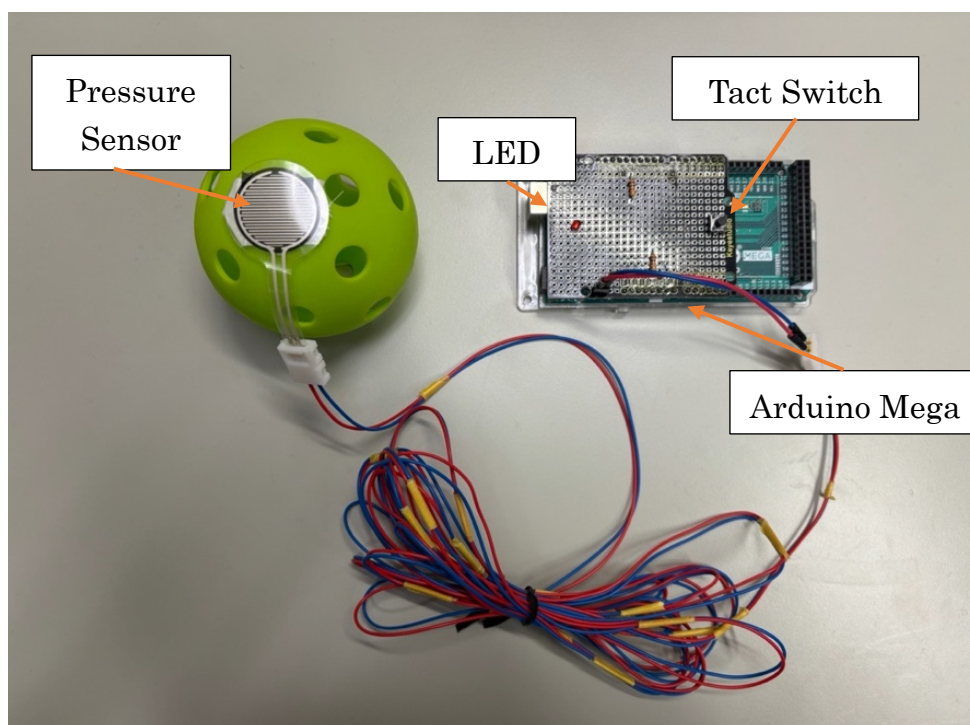


図 1：開発した握力測定装置の外観

7)電子工作ステーション, (2025), 「高精度薄膜型圧力センサー (0~50kg)」

<https://electronicwork.shop/items/650779706d151210e58a612e>(最終閲覧日 2025 年 1 月 15 日)

握力の計測に用いるソースコード(図 2)は、Arduino IDE で記述し、シリアル通信速度を 9600 に設定した。また、本研究では、被験者が 60 秒の間に発揮した握力を計測するため、60 秒間に毎秒圧覚センサで計測した値を記録するよう併せて記述した。

本装置は、Arduino によって制御され、タクトスイッチを一度押すことで圧覚センサへ電源が供給され、LED が点灯し、センサから取得した値をシリアル通信で PC へ転送する処理を繰り返す。また、LED と圧覚センサは、タクトスイッチをもう一度押すことで電源の供給が断たれ、LED が消灯し、センサが値の取得を停止する。

```
1  int switch_status = 1; // タクトスイッチの状態。最初はHIGHが入力されている
2  int LED_status = 0; // LEDの状態。最初は消灯している
3  const int EN = 0; // センサーで握力の数値を取得するピン番号
4
5  void setup() {
6      Serial.begin(9600);
7      pinMode(7, INPUT_PULLUP); // 7PINを受信用に設定、プルアップ抵抗付き
8      pinMode(13, OUTPUT); // 13PINを出力用に設定
9  }
10
11 void loop() {
12     if (digitalRead(7) != switch_status && digitalRead(7) == LOW) { // スwitchの状態が変わった,かつSwitchが押されている状態
13         if (LED_status == 0) {
14             analogWrite( EN, LOW );
15             digitalWrite(13, HIGH); //LEDが消灯
16             LED_status = 1;
17         } else if (LED_status == 1) { //ボタンが押されたとき
18             digitalWrite(13, LOW); //LEDが点灯
19             LED_status = 0;
20         }
21     }
22     switch_status = digitalRead(7); // 7ピンの状態を変数に保存
23     delay(100);
24
25     // LEDが点灯している間、センサー値を取得し続ける
26     if (LED_status == 1) {
27         sencer_count();
28     }
29 }
30
31 void sencer_count() {
32     int sensorValue = 1023 - analogRead(EN);
33     Serial.println(sensorValue);
34     delay(600);
35 }
```

図 2：握力測定装置のソースコード

なお、本研究で選定した圧覚センサは、素子表面を圧迫することで内部の抵抗値が変化する仕組みとなっている(図 3)。そのため、本研究では、被験者が握力測定装置に搭載された圧覚センサの素子表面を圧迫した際に計測される抵抗値の変化量をその被験者の握力と定義し、各実験を実施した。

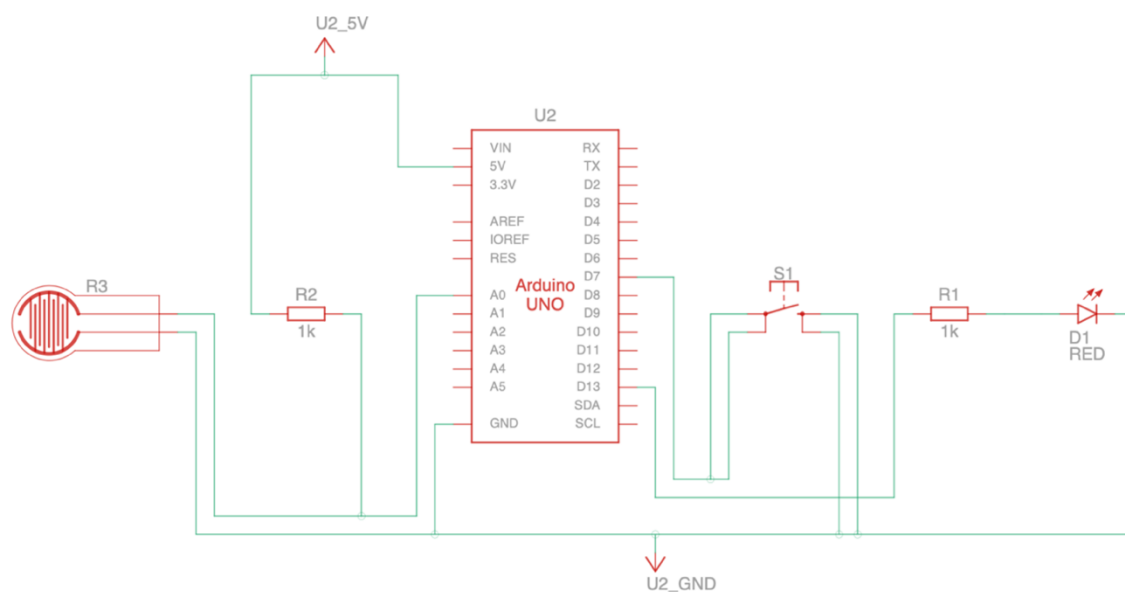


図 3：握力測定装置の回路図