



身体のリアリティと透明化が 身体所有感と運動主体感に与える影響

幅凜大良¹⁾, 近藤亮太¹⁾, Teo Theophilus¹⁾, 福岡正彬¹⁾, 櫻田国治¹⁾, 北崎充晃²⁾, 杉本麻樹¹⁾

Rintaro HABA, Ryota KONDO, Teo THEOPHILUS, Masaaki FUKUOKA,

Kuniharu SAKURADA, Michiteru KITAZAKI and Maki SUGIMOTO

1) 慶應義塾大学 (〒 223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1)

2) 豊橋技術科学大学 (〒 441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1)

概要: 自己身体に対する感覚として「身体が自己に帰属する」という感覚である身体所有感 (Sense of Ownership) と、「自分が運動を引き起こしている」という感覚である運動主体感 (Sense of Agency) が知られている。アバタを用いた自己の身体認知モデルの研究が進む中、アバタの一部を透明化した研究では、視覚と運動の同期刺激によって透明化した部位にも身体所有感を感じることが報告されている。つまり、視覚情報そのものが自己の身体認知に重要なわけではない。透明身体を研究することで、自己の身体認知モデルについて調査したい。これまでアバタではなく、実写映像を使った透明身体への身体認知は調べられていない。そこで、本研究では、実写映像で身体の一部を消した透明身体においても、透明化した部位に所有感が誘発されるか、また透明身体にアバタを用いた時よりも所有感が強くなるかについて調査を行った。その結果、実写とバーチャル身体の透明部位への所有感に有意差は見られなかった。また、アバタと比較して所有感が有意に強まったとも言えなかった。一方で、自身の身体が透明になった感覚は実写透明身体の方がバーチャル透明身体よりも有意に強まることが分かった。

キーワード: 身体所有感, 運動主体感, 透明身体

1. はじめに

認知科学の研究では自己は narrative self と minimal self から構成されており、さらに minimal self は、身体所有感と運動主体感に分類される。「身体が自己に帰属する」感覚を身体所有感、「自分が運動を引き起こしている」感覚を運動主体感と呼ぶ [1]。こうした身体感覚は錯覚を起こしやすいことも知られている。ラバーハンドイリュージョンでは、観察者の手を隠して、ゴム製の手を自然に見えるように置き、観察者の手とゴム製の手と同時に同様の刺激を与え続けると、ゴム製の手を自分の手と認識する錯覚が生じることが発見された [4]。身体所有感の生起メカニズムとして、視覚・触覚統合や視覚と運動の同期など、異なる感覚モダリティの組み合わせによって生じることが知られている [2]。そして、これらの方法を用いることで、自身の身体以外に対しても身体所有感を誘発できることが分かっている。同様の方法で、観察者の運動に同期して動くバーチャルな手袋と靴下を提示することで、手と足の間の透明な身体に対しても所有感が誘発される [3]。しかし、実験参加者の実写映像を用いた透明身体の錯覚は報告されていない。実写映像を用いることで、身体のリアリティが上がり、透明身体の錯覚が強くなると予想される。

そこで、本研究では、実写映像で身体の一部を消した透明身体においても身体所有感が誘発されるか、またバーチャ

ル身体を用いた透明身体よりも身体所有感が強くなるか調べた。

2. 関連研究

2.1 身体のリアリティと所有感

運動、形態における類似性の観点からも擬人化度が低いアバタと、人間的なアバタとの比較をした結果、一般的に人間的なアバタの方が身体所有感錯覚を誘発しやすいことが知られている [5]。しかし、リアリティを変化させた 4 種類のアバタに対してリーチングタスクを行った研究 [7] では、擬人化度の低い機械の様なアバタは、擬人化度の高い人間的なアバタよりもわずかに優れた身体所有感錯覚を誘発していた。つまりアバタの外見は、不気味の谷 (Uncanny Valley) の効果をうける可能性が考えられる。

2.2 透明身体錯覚とそのメカニズム

何も無い空間で絵筆の動きを観察し、HMD を通して見えない身体の輪郭を捉え、同時に現実の身体に対応する部分にも触れることで、見えない身体の有感が誘発された [8]。また、マネキンの体と比較して、見えない体を所有しているという錯覚が、見知らぬ集団の前に立つことに対して、心拍数と主観的ストレスのレベルの低下と関連することが確認された。

視覚刺激と運動を同期する能動的手法によって、見えない

身体への所有感が誘発されるか調査した研究 [3] では、Head Mounted Display(HMD) を装着し 3 人称視点から参加者の運動に同期するバーチャルな手袋と靴下を提示し、アンケート調査と自己位置ドリフトの計測を行った。その結果、手足の間の透明な空間に身体所有感が生じ、その効果は全身アバタと同程度に強いことが確認された。

3. 透明身体

実写透明身体に対する身体認知の調査を行うために、実写身体の一部を透明化し、実写透明身体の動きと現実の動きを同期させた。本研究では、RGBD カメラを用いた深度によるキーイングと、フレーム毎の画像処理を行うことで、リアルタイムで手足以外の身体を消した。また、実写透明身体における身体所有感及び運動主体感の強さを調べるため、表 1 の様に実写全身、実写透明身体、バーチャル全身、バーチャル透明身体の 4 つの刺激を作成した。

表 1: 身体刺激

身体刺激	内容
実写全身身体	参加者の身体映像をそのまま提示する。
実写透明身体	参加者の手と足の身体映像のみを提示する。
バーチャル全身身体	参加者の骨格情報に同期させる形で白いアバタを提示する。
バーチャル透明身体	手袋と靴下のモデルのみを参加者の手足の位置に提示する。

4. 実装

4.1 環境

本研究では、RGBD カメラに Kinect V2 を使用した。また、実験環境の構築に、ゲームエンジンである Unity を使用した。Unity 上では、Kinect V2 からの情報を元にバーチャル身体や、実写透明身体を生成した。また、図 1 に示すような環境を設定した。実験参加者は、スクリーン正面 2.5m の位置にある目印の上に立って実験を行った。目印の周囲は半径 2m のスペースを確保した。RGBD カメラで捉えた実験参加者の情報は、PC 上で画像処理し、プロジェクターを通してスクリーンに 1920×1080 の解像度で提示した。PC の CPU は COREi7 で、GPU は Geforce GTX1070、OS は Windows10 を用いた。プロジェクターは EPSON EB-1795F を使用した。

4.2 バーチャル身体生成と身体運動の同期

はじめに、RGBD 情報を用いて姿勢推定を行い骨格情報を生成した。そして、図 2 左側に示すように、実験参加者の骨格情報にバーチャル身体のパーツを反映させることでアバタを生成し、実験参加者の動きとバーチャル身体の動きを同期した。

4.3 実写身体における透明身体の実装

人間の手は、長さや関節の位置が人によって異なり見え方が変化するため、実写身体の実装に共通の実写身体モデルを

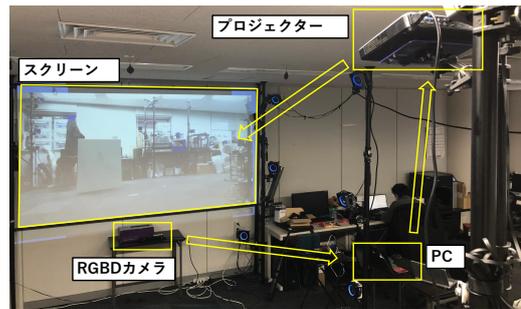


図 1: 実験環境

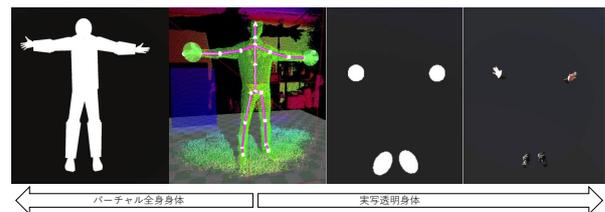


図 2: 骨格情報と提示する身体

使うことはできない。そこで本研究では、RGBD カメラからの映像を画像処理することで、リアルタイムで実験参加者の手と足のみを映した。まず、深度によるキーイングを用いて映像から実験参加者の身体のみを抽出した。これは、マスク処理をした後の映像に身体以外の背景情報が映らないようにするためである。そして、RGBD の情報から姿勢推定をすることで手と足の座標を取得した。背景を黒色にした状態で、手と足の座標にマスク用の白い球体を追従させることで、手と足の位置が白色で、背景は黒色のマスク画像を作成した。生成したマスク画像を実験参加者の身体に重ねることで、図 2 右側に示す実写透明身体を生成した。

4.4 非同期条件の実装

本実験での非同期とは視覚フィードバックの遅延をすることである。非同期条件の実装は映像を出力するタイミングで 2 か所の遅延を行った。まず、Build した同期条件のプロジェクタの出力画面を OBS でキャプチャする。このキャプチャをするタイミングで画面レンダリング遅延を 500ms 行った。そしてキャプチャした映像を再出力する際に 2300ms の遅延をさせた。再出力には OBS の Local Area Network (LAN) 内ストリーミング配信機能を利用した。本実験では送信先を送信元の PC に設定し、VLC を用いて受信、表示させるという方法を取った。この方法は映像を出力する前に、録画と録画データの送信という処理が存在するので、結果的に映像出力が遅延する。実験にあたり、遅延時間の測定を 3 回全て別の日程で行った。その結果、遅延時間は 2830ms, 2863ms, 2830ms であった。また同期条件の実行時のシステム遅延は約 166ms だった。遅延時間は周期的な運動を 30fps で撮影し、フレーム数から計算した。

4.5 背景画像の実装

実験背景の画像は、Kinect V2 からの RGB 情報を背景用 Object の Texture で表示するという方法を取った。背景の

画像は実験アプリケーションを起動してから 20 フレーム時点のカメラ映像で固定している。

5. 実験

5.1 実験条件

本実験では、全身条件（全身身体、透明身体）、リアリティ条件（バーチャル身体、実写身体）、同期条件（同期、非同期）の 3 つの条件を入れ替え、実験参加者の運動主体感、身体所有感の変化を調査した。実験は $2 \times 2 \times 2$ の計 8 試行を行った。実験の 8 条件はラテン方格法に基づいて、実験参加者によってランダムな順番で実験条件を変更した。実験には男性 8 名（Mean 22.75 歳, SD \pm 0.8291 歳）が参加した。各条件において、実験参加者には 2 秒に一回鳴る音に合わせて右手、左手、右足、左足の順で 5 分間、計 150 回動かすよう教示した。タスクの時間は手元のストップウォッチで計測した。各試行終了後にアンケートを行った。アンケートは表 2 のように、身体認知の身体所有感や運動主体感、透明身体への身体感覚に関する質問にその逆説的な質問を加え計 7 つの質問を行った。

表 2: (全身/透明) 身体条件の実験質問項目

Q1	映し出された（全身/手と足の間の空間）が自分の身体のように感じた
Q2	映し出された手と足が自分の身体のように感じた
Q3	映し出された（身体/手と足）の運動が自分の運動のように感じた
Q4	自分の体が透明になったように感じた
Q5	映し出された（身体の手と足/手と足）の間に全身がある感じがした
Q6	自分の身体が 3 つになったように感じた
Q7	映し出された（身体/手と足）が自分の動きをコントロールしているように感じた

5.2 結果

アンケートの結果を図 3 に示す。これらの結果に対して、Wilcoxon signed-rank test による解析を行った。全身身体、実写身体条件、における同期性の比較では、Q3 において有意差が見られた。全身身体、バーチャル身体条件、における同期性の比較では、Q1, 2, 3 において有意差が見られた。透明身体、実写身体条件、における同期性の比較では、Q2, 3 において有意差が見られた。透明身体、バーチャル身体条件、における同期性の比較では、Q3 において有意差が見られた。

実写身体、同期条件、における全身条件の比較では、Q4 において有意差が見られた。実写身体、非同期条件、における全身条件の比較では、Q4 において有意差が見られた。バーチャル身体、同期条件、における全身条件の比較では、Q4 において有意差が見られた。バーチャル身体、非同期条件、における全身条件の比較では、Q4 において有意差が見られた。

全身身体、同期条件、における身体リアリティの比較では、有意差が見られなかった。全身身体、非同期条件、における

身体リアリティの比較では、Q4 において有意差が見られた。透明身体、同期条件、における身体リアリティの比較では、Q3, 4 において有意差が見られた。透明身体、非同期条件、における身体リアリティの比較では、有意差が見られなかった。

6. 考察

6.1 透明身体への身体認知

透明部位への所有感についての質問 Q1 について、1 標本の Wilcoxon 検定をして透明部位への所有感の主観評価値が有意に大きいかが調べたが、有意差は見られなかった。また、同期しているバーチャル透明身体条件の回答を同様に検定すると、有意差が見られずバーチャル身体の手足のみから透明身体錯覚が誘発されると言えなかった。これは先行研究 [3] の手足の間の透明な空間に身体所有感が生起するという知見とは異なる。先行研究との実験環境の違いや実写身体とバーチャル身体が持つ輪郭の違いがあるため、更なる検証が必要である。具体的には、スクリーンに映している実験参加者の位置や縮尺が実空間とずれていることや、実験中に外部の視覚情報を遮断しきれず、実験参加者のノイズになったと考える。また、実写透明身体では深度によるキーイングを行う影響で、バーチャル身体と比べ輪郭が明確に認識できず、身体認知の阻害要因になったと考える。

同期した透明身体条件で、実写身体とバーチャル身体と比較をしたところ、透明部位への所有感の質問 Q1 では、身体リアリティによる有意差は見られなかった。このことから、実写身体はバーチャル身体と比較して透明身体錯覚を有意に強めているとは言えなかった。透明感についての質問 Q4 では、バーチャル身体に対して実写身体の時有意に強くなった。透明になった感覚が、実写身体の方が強まっていた原因として、実写身体は透明身体になると想定しにくいいため、透明化の体験が強く印象に残ったのではないかと考えている。

6.2 身体リアリティと身体面積の相互作用による所有感の強化

実写全身身体条件における同期性による比較では、身体所有感に関する質問である Q1, Q2 に同期性による有意差は見られなかった。このことから全身身体の視覚的な外見が実写になると約 2800ms の遅れでも身体所有感を感じることが示唆された。一方、図 3 中央下のグラフからはバーチャル全身身体条件において身体所有感は同期性による有意差があることから、全身身体のリアリティがバーチャルレベルでは約 2800ms の遅延によって、身体所有感を感じないことが考えられる。しかし、実写透明身体条件における同期性による比較では、Q2 に同期性による有意差が見られたことから、リアリティが実写レベルであっても、身体面積が小さいと身体所有感に与えるリアリティの影響も小さくなり、身体所有感を感じにくくなると考えられる。

つまり、身体面積とリアリティとの相互作用によって、非同期条件でも同期条件と有意差が出なくなる水準まで、身体所有感が強化されると考えられる。また、実写身体非同期条件では、透明身体よりも全身身体の方が身体所有感が

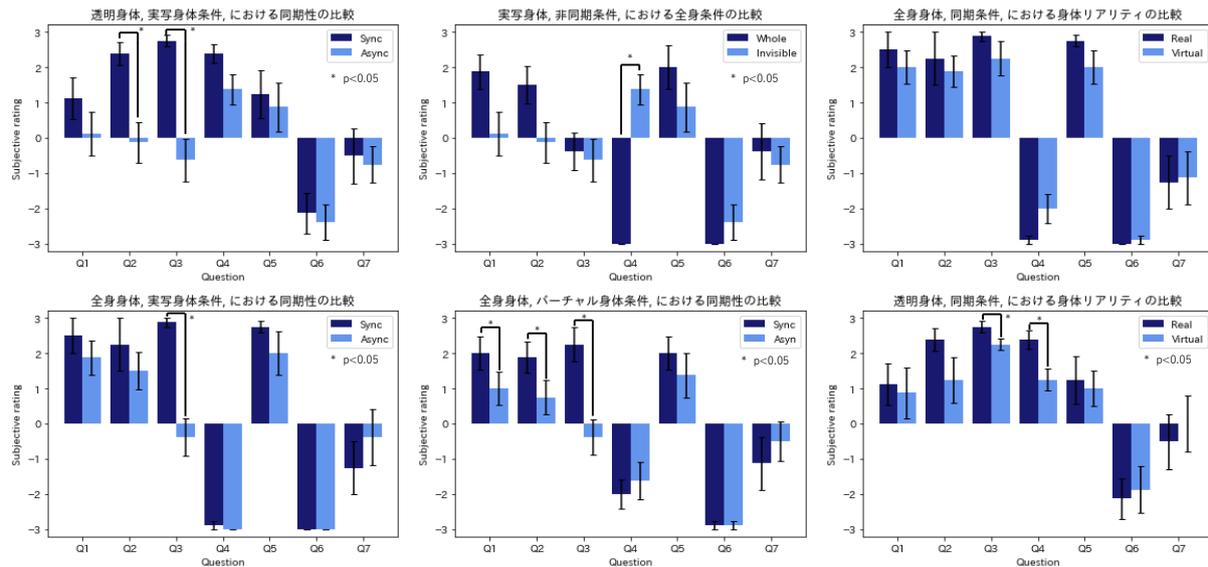


図 3: 実験結果

有意に強くなることが分かった。よって非同期状態では、身体リアリティが高い状態であっても、視認身体面積量が小さいと、身体所有感を感じる要素としては不十分だと考えられる。同期している時、身体リアリティや視認身体面積量による身体所有感の有意な差は見られなかった。

これらの考察をまとめると、同期している時、身体リアリティや身体面積量による身体所有感への影響力は弱い。ただし非同期状態の場合、身体リアリティや身体面積による身体所有感への影響力が相対的に上昇すると考えられる。そしてこの身体リアリティと身体面積の相互作用は非同期条件下でも人間が身体所有感を感じるには十分な要素であると考察する。

7. 結論

本研究では、実写映像で身体の一部を消した透明身体においても身体所有感が誘発されるか、またバーチャルな外見の透明身体よりも身体所有感が強くなるか調査した。実写とバーチャル身体の透明部位への所有感を調べたが、本研究の主観評価では有意差が見られなかった。この結果は、先行研究の手足の間の透明な空間に身体所有感が生起する、という知見と異なる為、更なる検証が必要と考えられる。また、バーチャル身体と比較して実写身体での透明身体錯覚が強化されたとは言えなかった。しかし透明になった感覚は、実写身体の方が強まっていた。実写身体は透明身体になると想定しにくい為、透明化の体験が強く印象に残ったのではないかと考えている。今後の展望は、HMDを用いることでスクリーンと実世界との座標のずれや外部環境からのノイズを改善した実験を行うことで検証を行う。また、身体リアリティと身体面積の詳細な関係性について、遅延時間や透明部位の面積を変化させた条件の実験を行うことで解明する。

謝辞 本研究は、JST ERATO (JPMJER1701) の助成を

受けて行われた。

参考文献

- [1] Shaun Gallagher: Philosophical Conceptions of the Self: Implications for Cognitive Science, Trends in Cognitive Sciences, Vol. 4, No. 1, pp. 14-21, 2000.
- [2] Haggard, Patrick and Clark, Sam and Kalogeras, Jeri: Voluntary Action and Conscious Awareness: Nature neuroscience, Vol. 5, pp. 382-385, 2002.
- [3] Ryota Kondo, Maki Sugimoto, Kouta Minamizawa, Takayuki Hoshi, Masahiko Inami, Michiteru Kitazaki: Illusory body ownership of an invisible body interpolated between virtual hands and feet via visual-motor synchronicity: Scientific reports, Vol. 8, No. 1, pp. 1-8, 2018.
- [4] Matthew Botvinick, Jonathan Cohen: Rubber hands 'feel' touch that eyes see, Nature, Vol. 391, No. 6669, pp. 756, 1998.
- [5] Maselli, Antonella and Slater, Mel: The building blocks of the full body ownership illusion: Frontiers in human neuroscience, Vol. 7, pp. 83, 2013.
- [6] Ismail, Mohamad Arif Fahmi and Shimada, Sotaro: 'Robot' hand illusion under delayed visual feedback: Relationship between the senses of ownership and agency: PloS one, Vol. 11, No. 7, pp. e0159619, 2016.
- [7] Lugin, Jean-Luc and Latt, Johanna and Latoschik, Marc Erich: Anthropomorphism and Illusion of Virtual Body Ownership: ICAT-EGVE, pp. 1-8, 2015.
- [8] Guterstam, Arvid and Abdulkarim, Zakaryah and Ehrsson, H Henrik: Illusory ownership of an invisible body reduces autonomic and subjective social anxiety responses: Scientific reports, Vol. 5, No. 1, pp. 1-8, 2015.