

I am a volleyball tossed by my hands: 二人称視点を採用した幽体離脱の誘発

小鷹 研理^{1,a)} 信田 勇貴²

概要: 仮想空間の中で、三人称視点で俯瞰されるアバターの身体が、体験者自身の身体に帰属しているように感じさせることは、近年の実験科学においても困難な課題とされている。本研究では、二人称的な対面状況における仮想的な物理インタラクションを通して、体験者の身体的実在感をアバターへと転写する「反作用性身体帰属」を新たに導入し、幽体離脱に似た感覚を誘発するシステムを考案したので報告する。

I am a Volleyball Tossed by My Hands

KODAKA KENRI^{1,a)} SHINTA YUKI²

Abstract: In designing a virtual reality system, it remains challenging for subjects to construct a strong belief that an avatar in third person perspective is their own body. This paper proposes a novel approach to induce an out-of-body experience where the strong sense of corporeal self in first person perspective is transcribed into the avatar through virtually physical interaction.

1. 背景

Virtual Reality の設計において、映像における視点の設定は、身体的な体験の質を大きく左右する重要なファクターである。ちょうど現実世界で我々が経験している図式と近いものとして、プレイヤーの頭部を起点とする映像を直接ディスプレイに表示させる一人称視点（1PP）によるものが挙げられる。1PP の場合、仮想空間の中にプレイヤーの身体形態を必ずしも描写する必要がない。近年、映像内の視点を首の回転に同期させることのできる HMD の普及により、より現実に近いかたちでの映像提示が可能となり、1PP を採用する事例は徐々に増える傾向にあるが、他方、テレビや PC のモニタの出力を前提としたコンテンツに目を向けると、三人称視点（3PP）を採用したものが依然として主流である。3PP の場合、プレイヤーがコントロールする対象である何らかのキャラクターの身体形態（以下では、アバターと呼ぶ）が画面内に配置され、アバター自身の描写

とその周囲の風景が、一つの画面の中で鳥瞰図的に捉えられる。この種の描写は、1PP にはない空間に関する豊かな情報量を含めることができる点に特徴がある。

ところで、こうして俯瞰されるアバターに対して、それが、文字通りプレイヤーの身体そのものであると感じられることは稀である。我々が自分の身体に対して感じている、この種の自明な感覚は、実験科学の世界では身体所有感（body ownership）と呼ばれており、後で詳しく述べるように、三人称的に呈示されるアバターに対する身体所有感を誘発することは、非常に困難であるとされている。実際、三人称的な世界把握は、我々が直接的に現実世界を受容している際に体感されている一人称視点とは、大きく異なるものである。他方で、我々はこうしたアバターに対する俯瞰的な操作を、違和感なく受け入れることができることも事実である。これは、三人称的な視点で自分自身を俯瞰する機能が、我々の認知レベルで、あらかじめビルトインされているためであると考えられる。

幽体離脱は、この種の問題を検討するにあたって重要な手がかりを与えるものである。2002 年、てんかん患者の右側の TPJ（Temporal-Parietal Junction）の部位に電気刺

¹ 名古屋市立大学芸術工学研究科
Nagoya, 464-0083, Japan

² 名古屋市立大学芸術工学部 Processing Society of Japan

^{a)} kenri@sda.nagoya-cu.ac.jp

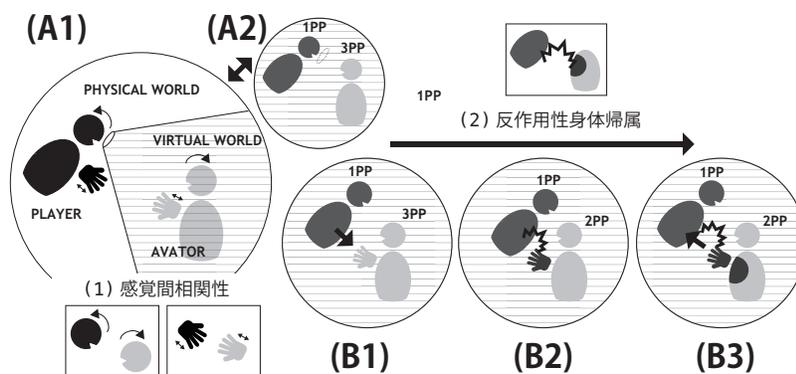


図 1 Principle of 2nd-person perspective full-body illusion

激を直接与えると、幽体離脱に似た意識体験が繰り返し誘発されることが報告されたことをきっかけに [1], この現象は、様々な分野から強い注目を集めるようになってきている。TPJ は、その名の通り、頭頂葉と側頭葉の接合領域に位置する様々なモダリティーの情報が統合される領域であり、そうした統合的機能の一つとして空間的な視点操作との関わりが指摘されている。興味深いことに、想像上の地点を起点とした時に周囲がどのように見えるかをイメージする三人称視点の空間操作においては、幽体離脱と同様に右側の TPJ の活動が優勢となる [2]。これらの知見は、幽体離脱が神経学的基盤を持つことを示唆する点で非常に重要であると同時に、我々が普段、スポーツやナビゲーションなどの局面で無意識的に働かせている三人称視点の空間操作が、何らかの事情で意識化され、身体イメージの水準にまで影響が及んでしまったのが幽体離脱であるという見方に説得力を与えている。

幽体離脱を工学的に誘発するための一般的手法として、Full-body illusion (FBI) と呼ばれる錯覚が知られている [3][4]。FBI は、それを体験する者の身体全体に対する身体所有感が、体験者とは異なる身体造形 (例えばマネキン) にとって変わられるような体験を誘発するものである。錯覚原理としては、Rubber Hand Illusion (RHI) [5] と同様、マネキンに対する視覚刺激と現実の身体に対する触覚刺激を時間的・空間的に同期させる手法がとられることが多い (RHI は、身体の一部の置換であることに注意)。FBI には、マネキンの頭部にカメラを下向きに取り付け、カメラに映る身体造形を自己の (頭部より下方の) 身体と錯覚させる 1PP によるものと、マネキン全体を前方あるいは背後から撮影した映像を HMD に接続することで、まるで前方に自分自身の分身がいるかのように錯覚させる 3PP によるものが存在する。1PP と 3PP の FBI を実験的に比較した Petkova らの議論によると、FBI において実際に身体所有感のレベルで変調が生じるのは 1PP のみであり、3PP による FBI では、ちょうど、ビデオに写っている自分の像を「意識的に」自分であると同意しているような意味での「自己識別」が起きているに過ぎないと述べている [6]。このよ

うに、様々なタイプの身体所有感の変調事例が報告されている近年の実験科学においても、三人称的に俯瞰されるアバターへと身体所有感を転移させる試みは、未だ困難な課題であり続けている。

本研究の目的は、従来の FBI の原理を拡張した新しいインタラクションを考案することによって、幽体離脱で生じていると考えられる、「俯瞰される身体」に対する強い身体帰属感を誘発することである。我々は、この問題に対して、プレイヤーとアバターの間の対面的なインタラクションによる、一人称と三人称の中間的な視点を導入した手法を提案する。2章で、本研究が新たに提案する二人称視点による FBI を成立させる基本的な枠組みを説明したのちに、3章では、その具体的な実装の例を示す。4章では、提案手法で生じていると考えられる身体帰属感に関する変調と、一般的な身体所有感に関する錯覚との関係について議論を行う。

2. 二人称視点による Full Body Illusion

本稿で提案する二人称視点による FBI は、三人称 FBI に、ある (わずかな) 拡張を施したものである。図 1・A1 に示すように、三人称 FBI においては、体験者 = プレイヤーは、自身の前方に自分の分身を目撃する。典型的には、ここで、プレイヤー自身の運動感覚に対応するアバターの (視覚的に捉えられる) 動き、あるいは、プレイヤーに与えられる物理的な触覚刺激に対応するアバターへの被触覚刺激の視覚イメージといったかたちで、プレイヤーの物理身体とアバターとの間で適切な同期が構成される。以下では、これを「感覚間相関性」と呼ぶ。感覚間相関性は、RHI (FBI) の重要な誘発原理の一つであるが [7]、先に述べたように、これだけでは、俯瞰されるアバターの身体は、プレイヤーの身体そのものようには感じられない。

さて、三人称 FBI における主観世界の内部に目を向けてみると (図 1・A2)、仮想空間の中には、視覚的に確認できる 3PP イメージ (= 「俯瞰される身体」) の他に、いわば「透明な視点」としての隠された 1PP イメージ (= 「俯瞰する身体」) が含まれていることがわかる。幽体離脱の図式

プレイヤーのアクション シーン内の各オブジェクトの配置 プレイヤーが見ている映像 (ボール視点)

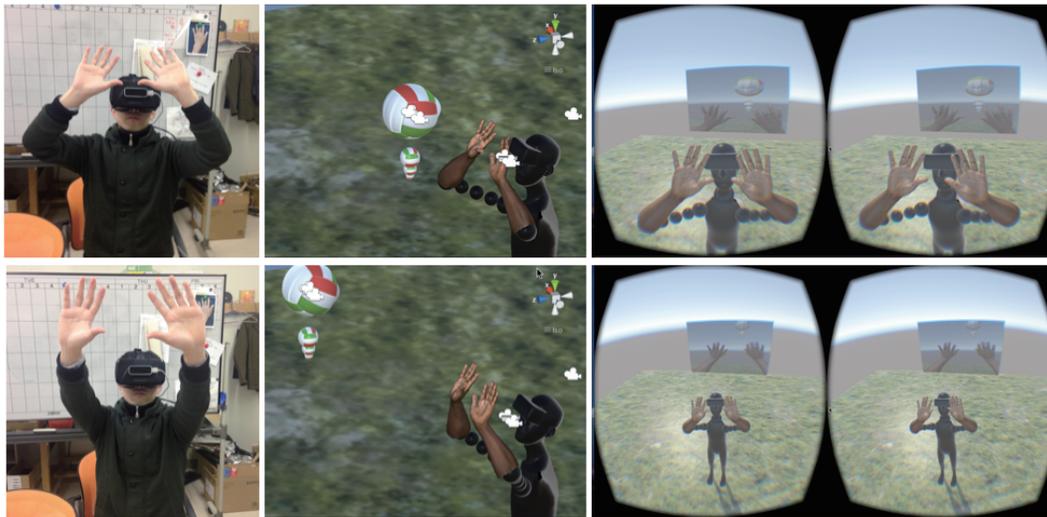


図 2 Interaction view in the "I am a volleyball tossed from my hands"

に当てはめると、「俯瞰される身体」はももとの物理身体に、「俯瞰する身体」は浮遊する(実体を持たない)身体に相当する[8]。三人称 FBI の場合、この「俯瞰する身体」の実在感を担保しているのはプレイヤーの物理的身体そのものであり、幽体離脱の状況と比べて、確固たる実体を伴っている点に注意が必要である。こうした状況で、感覚間相関性という仕掛けのみで、「俯瞰される身体」に対する身体帰属感を与えることは容易ではない。

本稿で提案する二人称 FBI は、この「俯瞰する身体」の持つ強力な身体的実体性を逆手に取り、「俯瞰される身体」と「俯瞰する身体」の間の物理インタラクションを仮想的に発生させることで、プレイヤーの身体を内在している「俯瞰する身体」からの反作用の効果として、(それらの界面上で)「俯瞰される身体」に対する身体の手触りを生み出そうと試みるものである(図1・B1-3)。以下では、このインタラクションの側面を「反作用的な身体帰属」と呼ぶ。

以上を整理すると、二人称 FBI とは、第一に、「感覚間相関性」によって当事者とアバターとの間の緩やかなリンク(意識的な自己認識)を構成し、第二に、自己の身体に関する揺るぎない実在感をアバターに転写する「反作用性身体帰属」によって、より深いレベルで、アバターがプレイヤーの身体に帰属しているような感覚を誘発するものである。

3. インタラクションの設計

本章では、二人称 FBI の一つの実装例として、「I am a volleyball tossed by my hands」という名前の体験装置の設計について具体的に説明する(図2)。HMDとしてOculusを、手首・指関節のモーションセンサとしてLeapMotionを使用した。Unityは、三次元空間の映像のモデリングを担当し、左右二眼の画像をOculusに出力する。LeapMotionは、専用のソフトウェアを使用し、Oculusの前方に装着さ

れ(図2左)、体験者の頭部前方約50cm程度までの領域に両手をかざすと、指関節から前腕までの位置がキャプチャされ、Unityの三次元空間の中で、対応する形状を有する手のCGモデルに変換される。図2の中段に見られるように、この空間には、「俯瞰する身体」に属するvolleyballと「俯瞰される身体」に属する人型のCG(アバター)が配置されており、プレイヤーの画面からは、ちょうどvolleyballの位置からアバターを直視しているような映像が呈示される(図2右)。本インタラクションの構成要素である「感覚間相関性」と「反作用性身体帰属」について、以下で説明する。

3.1 感覚間相関性

プレイヤーの身体とアバターとの間で、運動感覚・外受容感覚と視覚間の同期を、以下の2つのパターン設計する。

- (1) プレイヤーの首の動きとアバターの頭部の回転の同期
- (2) プレイヤーの両手の動きとアバターの両手の動きの同期

前者は、Oculusに内蔵されている加速度センサの値をアバター頭部の回転値に適切に反映させることで実現した。後者は、Unityから無償で提供されているLeap Motion Core Assets内蔵の機能を使用した。具体的には、三次元空間において想定されるLeapMotionの計測点を、Oculusを装着するプレイヤーに見立てたアバター頭部の適切な位置(CGで作成したOculusの位置に対応する)に紐付けておくことで、プレイヤーがOculusの前方に左右の手をかざすと、アバターの頭部前方に、対応する形状の手のCGモデルが表示されるようにした。

3.2 反作用性身体帰属

アバターの手の位置(両手の場合、その中心) $\vec{P}(hand)$

と、プレイヤーの視点の座を占めるボールの位置 $\vec{P}(ball)$ ・方向 $\vec{R}(ball)$ との間で、以下のような(想像上の)相互作用を設計した。

$$\vec{P}(ball) = \alpha(\vec{P}(hand) - \vec{P}(head)) + \vec{P}(head)$$

$$\vec{R}(ball) = LookRotation(\vec{P}(head), \vec{P}(ball))$$

ただし、 $\vec{P}(head)$ はアバター頭部の位置ベクトル、 α は、ボールのアバターに対する反発の程度を決める係数 (> 1)、 $LookRotation(\vec{P}(b), \vec{P}(a))$ は、 a から b を直線的に眺める際の方向ベクトルを返す関数である。上式により、ボールは、アバター頭部と両手の中心位置を結ぶ直線上を、それらの距離に応じて、アバターから遠ざかるように動くことになる(図2右)。また、プレイヤーの視点は(Oculusの回転に関わらず)常にアバター頭部へと向けられる。

図2左に示すように、実際には、プレイヤーはボールをトスするようなイメージで両手のアクションをとるように指示される。この動作は、視覚的に確認されるアバターの両手の動作として反映されるため(感覚間相関性)、プレイヤー自身がボールでありながら、あたかも、相対する位置にいる分身によってトスされるような感覚を得ることができる。

3.3 視点の切り替え

既に述べたように、この体験装置は、アバターがボールをトスするというインタラクションを、アクションのレベルではアバターのイメージを借りつつも(トスの動作をすると、アバターの手と同じ動きを見せる)、視点のレベルでは、トスされるボールの側から体感するというものである。ボール視点をとる時、プレイヤーはボール自身の姿を直接的に視覚で捉えることができない(図2右でアバターの背後に設置された鏡は、一人称視点の身体造形を間接的に捉えるための一つのテクニックである)。幽体離脱の際に、浮遊される身体が具体的な身体のイメージを備えていないことを鑑みれば、そのような透明性を確保することには、設計上、一定の根拠が存在すると考えられる。一方で、プレイヤーの視点の座がボールにあることを自覚させる機会をつくることは、「アバターがボールをトスする」というインタラクションの全体的なイメージを、プレイヤーに把握させるうえでは有効である。この点を考慮して、現在の実装では、左右の手の平をプレイヤーの側に向けることで、アバターからの一人称視点へと切り替えることができるようにしている(図3)。この視点をとるとき、プレイヤーの視点から、両手の奥にボールが浮いていることを明示的に確認することができる。この状態で、左右の手の平を外側に向けることで(これは、トスの動作に対応している)、再びボール視点到り切り替えることができる。

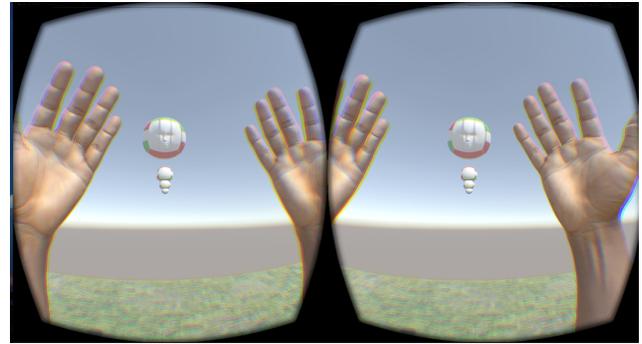


図3 View from the avatar.

4. 考察

本稿では、「感覚間相関性」と「反作用性身体帰属」を軸として、対面するアバターが、プレイヤー自身の身体に帰属しているような感覚を誘発するための、新しい Full-body illusion の手法を提案した。その一つの具体的な実装例である「I am a volleyball tossed by my hands」では、プレイヤーと同じ手の動きをするアバターが、プレイヤーの視点の座であるボールに対してトスを行う、簡単な二人称的インタラクションを導入し、「自分の身体が後方に押し込まれた」という強い身体的実感からの反作用として、アバターの身体表象が、プレイヤーの身体に帰属しているような感覚を誘発する。これは、具体的には、「自分の身体を自分の手で押し込んだ/自分の身体が自分の手によって押し込まれた」(セルフトス)というような印象をもたらすものであり(その意味で、本インタラクションの図式は、振動の同期によって空間的に離れた手と手の双方に自己接触の錯覚を与えるセルフタッチ・イリュージョンと強い親和性がある [9][10])、これこそが反作用性身体帰属によって期待される効果である。

本稿では、提案手法によって得られる身体に関する効果に対して、「身体所有感」という言葉を適用することについて慎重に避けてきた。実際に、本システムにおける「反作用性身体帰属」によって与えられるセルフトスの感覚が、直接的に身体所有感のレベルと関係するかについては非常に慎重に議論されるべきである。今回のインタラクションの中で確実に関連していると考えられる、身体所有感とは異なる位相の感覚として、自己主体感(sense of agency)を挙げるができる。これは、あるイベントの発生に対して、それが、自分自身のアクションに由来していると感じられるときに得られるメタ的な感覚である。自己主体感と身体所有感の依存関係は、例えば、Moving rubber hand illusion などの一連の研究のなかで、さまざまなかたちで実験的に検討されており、明確な身体イメージがなくても自己主体感が生じうるといふ知見は広く共有されている [11][12]。従って、今回の提案手法は、アバターのアクションに対する

自己主体感を高めるものの、身体所有感については全く影響を及ぼしていないという可能性も排除できない。一方で、我々は、このインタラクションを体験する中で、「押す/押される」という実感が得られるのが、手を十分に手前に引きつけてから外に押しこむときに限られているという印象を強く持っている。これは、身体所有感の波及する限界である身体近傍空間領域内部の位相と一致しているように思われる。そうした観点より、我々は現在のところ、セルフトスに伴う自己主体感は、身体近傍空間領域内部で瞬時的に発生して消失する身体所有感の変調によってブーストされているという仮説を立てている。今後、慎重に実験系を検討し、これらの議論についての検証をすすめていく。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 15K21281 の助成を受けたものです。記して謝意を表します。

参考文献

- [1] Blanke, O., Ortigue, S., Landis, T., & Seeck, M. (2002). Stimulating illusory own-body perceptions. *Nature*, 419(6904), 269–70.
- [2] David, N., Bewernick, B. H., Cohen, M. X., Newen, A., Lux, S., Fink, G. R., ... Vokeley, K. (2006). Neural representations of self versus other: visual-spatial perspective taking and agency in a virtual ball-tossing game. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(6), 898–910.
- [3] Lenggenhager, B., Tadi, T., Metzinger, T., & Blanke, O. (2007). Video ergo sum: manipulating bodily self-consciousness. *Science*, 317(5841), 1096–9.
- [4] Petkova, V. I., & Ehrsson, H. H. (2008). If I were you: perceptual illusion of body swapping. *PloS One*, 3(12), e3832.
- [5] Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands “feel” touch that eyes see. *Nature*, 391(6669), 756.
- [6] Petkova, V. I., Khoshnevis, M., & Ehrsson, H. H. (2011). The perspective matters! Multisensory integration in ego-centric reference frames determines full-body ownership. *Frontiers in Psychology*, 2, 35.
- [7] Blanke, O. (2012). Multisensory brain mechanisms of bodily self-consciousness. *Nature Reviews. Neuroscience*, 13(8), 556–71.
- [8] Blanke, O., & Mohr, C. (2005). Out-of-body experience, heautoscopy, and autoscopic hallucination of neurological origin Implications for neurocognitive mechanisms of corporeal awareness and self-consciousness. *Brain Research. Brain Research Reviews*, 50(1), 184–99.
- [9] Ehrsson, H. H., Holmes, N. P., & Passingham, R. E. (2005). Touching a rubber hand: feeling of body ownership is associated with activity in multisensory brain areas. *The Journal of neuroscience*, 25(45), 10564–73.
- [10] Kodaka, K., & Ishihara, Y. (2014). Crossed hands strengthen and diversify proprioceptive drift in the self-touch illusion. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 422.
- [11] Kalckert, A., & Ehrsson, H. H. (2012). Moving a Rubber Hand that Feels Like Your Own: A Dissociation of Ownership and Agency. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6(March), 40.
- [12] Caspar, E. A., Cleeremans, A., & Haggard, P. (2015). The relationship between human agency and embodiment. *Consciousness and Cognition*, 33, 226–236.