



融合身体を用いた身体スキル伝達に関する基礎調査

伊東亮太¹⁾, 小川奈美¹⁾²⁾, 鳴海拓志¹⁾, 廣瀬通孝¹⁾

Ryota ITO, Nami OGAWA, Takuji NARUMI, and Michitaka HIROSE

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

2) DMM VR lab (〒106-6224 東京都港区六本木 3-2-1 住友不動産六本木グランドタワー 24F, ogawa-nami@dmm.com)

概要: 身体スキルを習う際, VR で一人称視点から熟練者の動作を観察すると学習効果が高くなることが知られている. しかし運動意図や, 自らの身体でどうすれば同様の動作ができるのかを伝えるのは難しい. 本研究では二者の身体動作を特定の比率で平均化した身体「融合身体」を提案し, 舞踊を模したタスクでその性質を調査した結果, あたかも熟練者に身体を引っ張られ誘導されているような感覚を生起できることが示唆された.

キーワード: 技能伝達, 融合身体, 行為主体感

1. はじめに

高齢化は近年世界各国が抱える問題である. 特に国内では, 伝統芸能や職人技術をはじめとした身体スキル(身体動作に関連する技能)の世代間伝達が重要な課題となっている. これを効率的に行う策として, 情報技術によるスキル伝達支援への期待が高まっており, その中でも特に VR が注目を集めている.

VR は物理的な制約を越えられ, 実世界で再現することが困難な状況をシミュレートできるといった性質をもつことから教育や訓練と相性が良いとされ, 避難訓練や災害時対応, 事故現場, 危険な工事現場などを体験できる VR システムが, 既に教育・研修の場を導入されている. VR 空間では様々な状況が再現できるだけでなく, ユーザは自己の身体の代わりとしてバーチャルな身体(アバター)を持つことができ, 実身体では体験し得ないことが体験できるようになる. 例えば, 他者の身体に入り込んで一人称視点からその人の動作を観察するような体験も可能となる. 通常実世界で身体スキルを学ぶ際は, 手本となる教師の動作を第三者視点から観察するが, そこから実際に自分の身体をどのように動かすべきかを習得することは難しい. 一方 VR で一人称視点から教師の動作を観察・模倣すると, 第三者視点での観察・模倣に比べて学習効果が高くなる [1].

こうした一人称視点での学習は教師の身体がそのままあるいは半透明になって表示されることがほとんどである. しかし多くの場合, 教師と学習者の間では体格やそれに応じてどのように運動すれば良いと想起するか(運動イメージ)が異なる. この違いは, 学習者のスキル学習効果および定着度に大きく影響する. 極端な場合, 学習者が VR 空間でお手本通りの身体スキルを模倣できるようになっても, 実世界の自分の身体でそれを再現することができないことも考えられる.

これに対して, 本研究では身体図式とバーチャルな身体

の関係性に注目する. 身体図式とは, 身体部位の位置関係, 姿勢, 動作に必要な各部位の運動量などを直感的に知り決めるために無意識に参照している身体像である [2]. ある動作についての熟練者と初心者の違いは, この身体図式の差にあると考えられる. 初心者の動作の軌跡そのものではなく, 動作に必要な身体図式を適切に熟練者のそれに近づけることができれば, その身体スキルを体得できると考えられる. 身体図式の更新には, 自らがその動作を行なっているという感覚である行為主体感が必要とされる [2]. この感覚を他者である教師の動作に対して生起させることができれば, 身体図式を適切に更新し身体スキルの学習効果および定着度を向上させられることが期待できる. しかし単に一人称視点で教師の動作を観察しても, その動作に対して行為主体感は生起されない.

他者の動作に対して行為主体感を生起させるためのツールとして, 本研究ではバーチャルな身体に着目した. バーチャルな身体では, 他人の身体の一部を操作したり, 他人と協力して一つの身体を操作したりと, 実世界の物理的制約を越えた操作ができる. このように複数人で操作するバーチャルな身体のことを本研究では「融合身体」と呼ぶ. 融合身体を用いた共同作業について, 体験者は見かけの運動から実際に自分の動きが反映されている以上の行為主体感を得られることが分かっている [3]. このことから, 融合身体は他者である教師の動作に行為主体感を生起させ, 学習者の身体図式変容を促す効果を持つことが期待される. 本研究では, 融合身体を用いた身体スキル伝達が持つ効果や性質を検証していく.

2. 関連研究

2.1 VR を用いたスキル伝達支援

米村らは VR 技術を用いて学習者が熟練動作を「熟練者の一人称視点」から観察し訓練することで, 三人称視点映像に

よる訓練よりも高い学習効果を得られることを示した [1]。彼らはビデオシースルーの HMD (Head-Mounted Display) を用いて、熟練者と学習者のそれぞれの一人称視点映像を合成し、同じ観察位置からの視野を共有しながらスキル学習が行えるシステムを開発し、心肺蘇生法学習の効果検証実験にてシステムの有用性を示した。

Yang らは半透明にした教師アバタ (ゴースト) を学習者の身体に重畳表示する VR 訓練システム "Just Follow Me" を用いた身体スキル学習の効果が、実世界で録画映像を見る場合の学習効果に比べて高くなることを示した [4]。彼らが行なった実験では、実験参加者に対して、教師役が行なった無作為的な動作の軌道を覚えるというタスクを課し、練習後に実演させた時の誤差を評価した。実験の結果、"Just Follow Me" システムを使ったグループが、録画映像で練習したグループよりも誤差が小さいことが認められた。

これらの研究は、VR で他者の熟練動作を一人称視点で観察することの有効性を示したが、学習後の定着度に問題があったことが報告されている。これは学習者が教師の動作に追従しているだけで、その動作に対して行為主体感が生起されていなかったために、身体図式が更新されなかったことによると推測できる。

2.2 VR における身体共有・融合体験

Fribourg らは、VR において 2 人の動作を 1 つのアバタのものとして集約・融合し、両者にその身体に対する行為主体感を生起させることに成功し "Virtual Co-Embodiment" を提唱した [3]。彼らは 2 人のユーザの腕の動きの加重平均をとったものを 1 つのアバタに反映させ、それぞれがそのアバタに一人称視点で没入可能なシステムを開発した。そして自分の動きが反映されない条件でもユーザは見かけの身体運動から行為主体感を得られること、目的とする行動や目標位置・軌道が決まっている動作では高い行為主体感を得やすいことを示した。

藤沢らは 2 人のユーザが別々の身体部位を担当して操作し 1 つの身体として成立させるという形式の身体共有を考えた [5]。彼らは共有された身体を操作する際、自分が担当した身体部位への行為主体感が生起されることを示し、完全に自分の動作が反映される場合よりは弱いながらも全身への行為主体感が生起されることを観察している。

これらの研究から、融合身体を用いることで、学習者は教師とのインタラクションによって矯正された他者のものとも言える動作に対して行為主体感を感じながら練習できると考えられる。そしてそれにより身体図式を更新するに至り、身体スキルを効率良く習得できると期待される。

3. 実験

前章で議論した融合身体を用いたスキル伝達、ゴーストを用いたスキル伝達、三人称視点で手本を観察する実世界的スキル伝達を比較し、融合身体を用いた訓練が持つ性質を明らかにする目的で、12 名を対象とし以下の実験を行った。

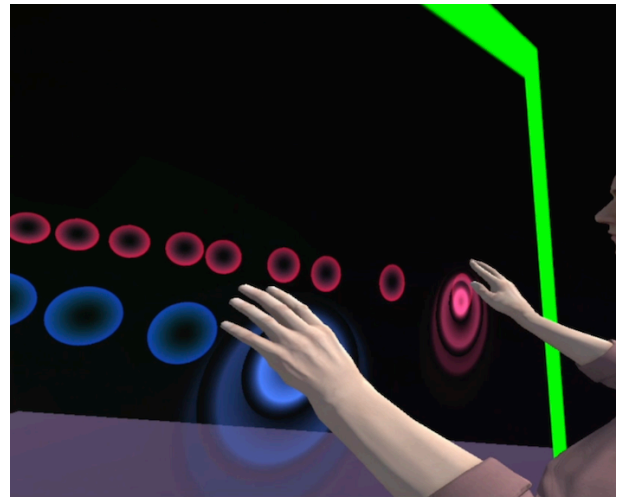


図 1: 実験タスクの様子

3.1 実験タスク

身体スキルを大別すると、書道や縫合作業のように手先などの一部の身体部位の精密な運動が必要なものと、舞踊やゴルフのスイングのように多数の身体部位のバランスをとった運動が重要なものの 2 種類がある。本実験では後者の身体スキルを模したタスクとして、直線と円弧からなる複数の軌跡を覚えるというものを採用した。教師役の実験者と学習者役の被験者の動作タイミングを合わせるために、上記の軌跡に沿って並べられた円形のオブジェクト (ノート) が手前に向かって移動してきて、それを音楽に合わせながら手で触れるという音楽リズムゲームのようなタスクを設計した (図 1)。融合身体を使う際、実験者 (教師役) にとっては確実にこなせるタスクであり、被験者 (学習者役) にとっては動きを覚えないとこなせないようなタスクにするために、実験者視点ではノートが遠方からあらかじめ確認でき、被験者視点ではノートが手に届く直前に出現するようにした。1 回の試行では 352 個のノートが出現する。なお実験者が被験者と同時にタスクをこなすのは融合身体条件のみである。

3.2 実験条件

被験者は以下の各条件に対し、上記タスクの練習と本番を交互に繰り返した。

3.2.1 融合身体条件

実験タスクのような運動に適している融合身体の構成法として、Fribourg ら同様のものを選んだ (図 2)。バーチャル空間の絶対座標系で、融合身体の手的位置を \mathbf{x}_{fusion} 、教師役の手的位置を \mathbf{x}_1 、学習者役の手的位置を \mathbf{x}_2 、教師役の制御率を $w (0 \leq w \leq 1)$ とすると、

$$\mathbf{x}_{fusion} = w\mathbf{x}_1 + (1 - w)\mathbf{x}_2$$

融合身体の手を姿勢を表すクォータニオン \mathbf{q}_{fusion} についても同様に、教師役の制御率 w と教師役の姿勢 \mathbf{q}_1 、学習者役の姿勢 \mathbf{q}_2 を用いて

$$\mathbf{q}_{fusion} = w\mathbf{q}_1 + (1 - w)\mathbf{q}_2$$

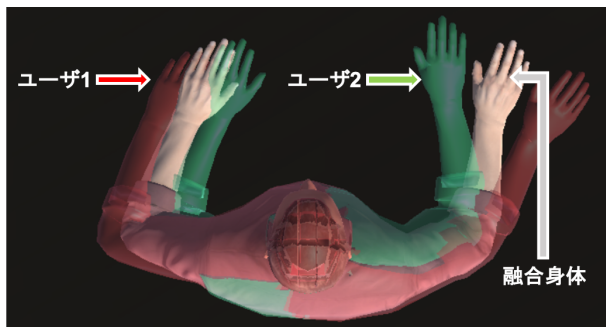


図 2: 融合身体の概略図

と表される。本実験では $w = 0.5$ と固定し、タスク中は会話せず融合身体を介した意思伝達のみできるものとした。

3.2.2 ゴースト条件

この条件では Yang らの”Just Follow Me”[3] と同様に、半透明の教師アバタ（ゴースト）を学習者のアバタと同じ位置に固定し、あらかじめ記録された動作を再生した。被験者はこれを一人称視点で観察しながら練習する。

3.2.3 実世界的条件

この条件では教師アバタが学習者アバタから離れた位置に置かれ、あらかじめ記録された動作が再生された。被験者はこれを観察しながら自らも身体を動かし練習する。

3.3 手順

被験者はヘッドマウントディスプレイ（HMD）を頭に装着し両手にコントローラを把持した状態でチュートリアルを行った。チュートリアルでは実世界的条件でチュートリアル用の実験タスクを行い、融合身体条件・ゴースト条件の説明を受けた。被験者は融合身体が 2 人の動作の平均をとったものであり、2 人で操作するものであるということ、ゴーストが教師アバタを半透明にしたものであり、自分が見やすいように透明度を変更できることを説明された。チュートリアル終了後、被験者は 2 分間の休憩を挟んで実験本編を開始した。実験は被験者内計画であり、順序効果に配慮して 3 条件 2 セッションずつ合計 6 セッション行った。1 セッションの流れを以下に記す。

1. 練習なしで初めて見る軌跡（軌跡 A とおく）のタスクを行う。（初見）
 2. 割り当てられた練習条件で、軌跡 A の練習を行う。（練習 1）
 3. 2. の練習を踏まえ、軌跡 A のタスクを行う。（本番 1）
 4. 練習条件は変えずに、再度軌跡 A の練習を行う。（練習 2）
 5. 4. の練習を踏まえ、軌跡 A のタスクを行う。（本番 2）
 6. 練習条件を変えずに、再び軌跡 A の練習を行う。（練習 3）
 7. 6. の練習を踏まえ、軌跡 A のタスクを行う。（本番 3）
- セッション間では覚える軌跡が異なる。各セッション終了後には、被験者はアバタに対する行為主体感のアンケート

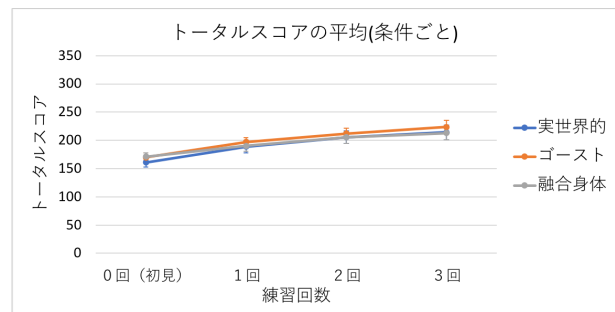


図 3: スコアの推移

に答えた。アンケートの質問には 7 段階のリッカート尺度（1:全くそう思わない～7:とてもそう思う）で答えるものとした。質問内容を以下に示す。

- バーチャルな腕は自分の思った通りに動いた。
- バーチャルな腕の動作は自分がコントロールしているように感じた。
- VR 環境で見た身体動作は自分の動作に起因していると思った。

6 セッション終了後、被験者はインタビューを受け、各条件について練習中に感じたことや注意していたこと、良かった点や悪かった点を答えた。

3.4 評価方法

各セッション、初見時の試行と本番 1～3 のスコア（アバタの手で正しいタイミングで触れられたノートの個数）を記録した。これを用いてタスクの習熟度を評価する。またアンケートから各練習条件で使った身体行為主体感を評価し、インタビュー回答から各種練習方法の定性的な評価を行う。

4. 結果

実験タスクのスコア平均値の推移を図 3 に示す。横軸は練習回数、縦軸はスコア（正しいタイミングで触れられたノートの数）であり、エラーバーは標準誤差を表す。練習条件と練習回数（初見=0 回、1 回、2 回、3 回）の 2 要因被験者内分散分析を行った結果、練習回数の主効果が認められた（ $p = 0.001$ ）。練習条件の主効果、練習条件と回数の交互作用は認められなかった（ $p = 0.0675, p = 0.847$ ）。

アンケート結果（全ての質問の評価値の平均）を図 4 に示す。これに対して Friedman 検定を行ったところ、条件間の有意差は認められなかった（ $p = 0.402$ ）。

以下、融合身体に関するインタビュー回答を記す。この練習条件を「最も練習しやすい」と評価したのが 5 人、「最も練習しづらい」と評価したのが 4 人、残りは中立的な評価だった。練習中に注意していたこととして、融合身体条件を練習しやすいと評価しなかった 7 人のうち 5 人が「（融合身体の手を追跡すること）」を挙げた。練習中の感覚としては、5 人が「身体を引っ張られる感覚」を挙げた。その内の 2 名はこれを「コーチに手を掴まれて一緒にフォーム

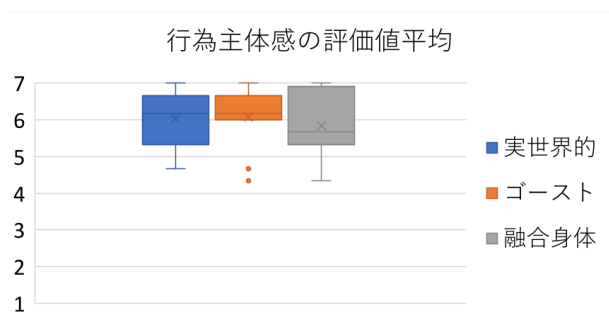


図 4: アンケート評価値平均

を練習した時の感覚」と表現していた。身体を引っ張られる感覚があったと答えた 5 人は、これを融合身体条件の良かった点として挙げ、この感覚により次の動きが分かりやすかったと回答した。他の良かった点としては、ゴースト条件と違い、1 つの身体として表示されることで見るべきポイントが絞られて集中できる点 (2 人)、うまくできるようになった感覚がある点 (1 人) が挙げられた。悪かった点については、この条件を練習しづらいと評価した 4 人が「現実の身体がどの程度融合身体とずれているのか把握できない・把握しにくい点」と回答した。

5. 考察

実験タスクのスコア推移を解析した結果、練習回数が増えるごとにスコアが増加することが有意に認められたことから、各練習方法の効果はあったと分かる。しかし練習条件の主効果は認められなかったことから、全員にとって特別難しいあるいは格段に覚えやすい条件はなかったと推測できる。

インタビュー結果からも、人によって最も練習しやすい条件が異なることが分かる。融合身体条件を最も練習しやすいと評価した人は身体を引っ張られる感覚、教師がその場において手取り足取り教えてくれているような感覚が良かったと述べるが多かった。それ以外の人は融合身体をゴーストのような追従対象と捉えたため、現実の自分の身体と融合身体とのずれが把握できないことを問題点として挙げていた。これは今までのスポーツや芸術等の経験の中で、新しい身体スキルをどのようにして教わってきたかが関わっていると考えられる。例えば、インタビューの回答にもあったように、コーチに身体を掴んでもらい一緒にフォームを練習することが多かった人が融合身体条件を練習しやすいと感じ、手本を観察しながら練習することが多かった人が実世界的条件やゴースト条件を練習しやすいと感じることが考えられる。また今回の実験では融合身体が 2 人の動作の平均をとったものであり、2 人で操作するものであるという説明しか行っておらず、どういうことを意識して練習すると良いかは説明しなかったため、ゴースト条件と同じ意識で練習に臨んだ被験者が多かった可能性もある。それが融合身体を練習しづらい条件と評価するのに繋がったとも考えられる。

行為主体感に関するアンケートの評価値に差が見られなかったことから、融合身体が 100%自分の意図通りに動くゴースト条件や実世界的条件での身体と比べて、融合身体が著しく行為主体感を損なうことはない、ということが示唆された。これは Fribourg ら [4] が示した、軌道と目的が決まった動作を行う際に実際の制御率以上の行為主体感を錯覚するという結果と合致する。

6. 結論

本研究では融合身体を用いた身体スキル伝達の性質や効果を調査するため、多数の身体部位を使う身体スキルを模した音楽リズムゲームのようなタスクを設定して実験を行った。結果、練習を重ねるごとのスコア推移や行為主体感に関するアンケートには練習条件間の差がなかった。自由回答のインタビューからは、一人称視点を共有していることにより動作を理解しやすくなることだけでなく、あたかも教師役がその場において手取り足取り教えてもらっている感覚を生起できることが融合身体の特徴である可能性が示唆された。

本稿で行った実験では、身体図式が適切に変容できたのか、身体スキルが定着したのか、制御率 0.5 ずつの場合以外ではどうなるのかなどの疑問には答えられない。今後は上記の疑問を一つ一つ精査していく必要がある。

参考文献

- [1] 米村朋子, 橋本悠希, 近藤大祐, 丹羽真隆, 飯塚博幸, 安藤英由樹, 前田太郎: 視野共有システムを用いた心肺蘇生法の訓練効果, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 16, No. 4, pp. 623–632, 2011.
- [2] Mariano D'Angelo, Giuseppe di Pellegrino, Stefano Seriani, Paolo Gallina, and Francesca Frassinetti. The sense of agency shapes body schema and peripersonal space. *Scientific Reports*, Vol. 8, No. 1, p. 13847, 2018.
- [3] Rebecca Fribourg, Nami Ogawa, Ludovic Hoyet, Ferran Argelaguet, Takuji Narumi, Michitaka Hirose and Anatole Lécuyer. Virtual Co-Embodiment: Evaluation of the Sense of Agency while Sharing the Control of a Virtual Body among Two Individuals. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2020.
- [4] Ungeon Yang and Gerard Jounghyun Kim. Implementation and evaluation of "just follow me": an immersive, vr-based, motion-training system. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, Vol. 11, No. 3, pp. 304–323, 2002.
- [5] 藤澤寛司, 上田祥代, 杉本麻樹, 稲見昌彦, 北崎充晃: 共有身体における身体所有感覚と行為主体感, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 2018.