

融合身体を用いた他者とのアバタ操作における 身体共有と動作共有の効果

平井 陽香¹ 薮田 颯斗¹ 森田 磨里絵¹ 柴田 史久¹ 木村 朝子¹ 北川 智利^{2,3}

概要：VR空間において複数人が1つの仮想身体（アバタ）を共有する融合身体では、他者とリアルタイムにアバタを操作することで、タスク成績が向上することが報告されてきた。しかし、融合身体下における成績向上の中核となる要素は未だ不明である。そこで、融合身体を「身体共有」と「動作共有」の2要素に分け、それぞれの効果の有無を検証した。実験1では、棒の傾きにに応じて左右に移動する球を載せた棒を、可能な限り球を動かさないように挙上させるタスクを行った。他者と身体を共有する場合と、他者と動作を共有する場合とを比較したところ、他者と動作を共有した場合にのみタスク成績が高くなった。実験2では、他者との動作共有とタスク成績との関係をより詳細に検討するため、他者アバタの身体に自己と他者との動作が共有される場合でも検討を行った。その結果、融合身体における重要な要素は動作共有であり、タスク成績への寄与率も高いことが示唆された。

1. はじめに

近年、他者とアバタの身体を共有して動かす「融合身体」という技術が開発されている。融合身体では、アバタを複数人で協働して操作することが可能である。ここでの「融合」とは、自己の身体位置と他者の身体位置を平均した位置にアバタの身体を表示することを指す（図1）。本技術の特徴として、他者との融合により共同行為（joint action）やwe-modeが成立している可能性が挙げられる[1]。Sebanz *et al.*ら[2]は、共同行為を複数の個人が空間的・時間的に行動を調整し、環境に変化をもたらすあらゆる社会的インタラクションと定義している。この共同行為を成立させるためには、お互いの行動を調整しあい、他者の意図や行為を予測することが重要であるとされる。また、共同行為中は、we-modeと呼ばれる認知状態が成立していると言われている。we-modeとは、共同行為に関与する者同士が、自身の役割を「個人」ではなく「我々」として捉え、集団の一員として行動することで成立するため、相手の状態推量が可能となるとされる[3]。共同行為やwe-modeの成立は、個々人が単独でタスクに取り組む場合に比べて高いタスク

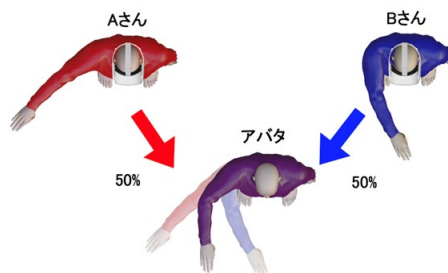


図1: 融合身体イメージ

成績を引き出すことが示されている[4]。

先行研究では、融合身体を用いて他者と身体動作を行うと、一人きりで動作を行うよりも運動成績や運動学習の効率が向上するなど、有益な効果がもたらされることが明らかとなってきた[5][6]。しかし、融合身体のような要素が融合身体下での運動成績の向上に寄与しているかについては明らかになっていない。本研究では、融合身体を特徴づける要素として他者との「身体」の共有と「動作」の共有に着目し、融合身体下での運動成績における身体共有・動作共有の効果を明らかにすることを目的とする。

2. 関連研究

2.1 融合身体下での身体動作の変容

融合身体を用いた際の、各個人の動作特徴を明らかにするため、Hagiwara *et al.*[5]は、VR空間に表示される標的にアバタの手で触れるタスク（リーチングタスク）を、2

¹ 立命館大学大学院 情報理工学研究科
Graduate School of Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University
² 吉賀心理学研究所
Yoshika Institute of Psychology
³ 立命館大学 BKC 社系研究機構
BKC Research Organization of Social Sciences, Ritsumeikan
University

人の参加者が融合して1つのアバタを操作した場合と、参加者が他者とは融合せずに1人でアバタを操作した場合とで比較した。タスク成績は、参加者ら個人の実身体の手の動きと、参加者らの動きが反映されたアバタの手の動きについて評価した。評価に使用した指標は、手の運動軌跡の直進性 [7] と躍度（加速度変化率）[7]、1回のリーチングにかかる時間（反応時間）の3つであった。実験の結果、個人の実身体の手の運動軌跡は、1人でアバタを操作する場合よりも、2人で身体と動作を融合してアバタを操作する場合の方が、直進性が高く、躍度が低く、反応時間も短くなった。このことは他者と融合して動作を行った方が、自身の手をより直線的かつなめらかに動かしていることを示している。他者と融合しアバタの身体と動作を共有することにより、各個人の身体動作が影響を受け動作効率が高まることが明らかとなった。また、個人の実身体の手の運動軌跡とアバタの手の運動軌跡を比較すると、アバタの手の軌跡が最も直進的かつなめらかで、反応時間も短くなっていた。このことから、他者と身体・動作を融合した場合には、参加者は自身と他者の動きが反映されたアバタの手の動きを最適化していることが示唆された。

2.2 身体技能学習における身体の融合と学習効率

融合身体を用いれば、教師の動作を一人称視点で観察・模倣するだけでなく、教師と身体と動作を共有し動作することが可能である。他者の一人称視点で身体技能を学習すると、三人称視点での学習に比べて学習効率が良くなることが報告されていることから [8]、Kodama ら [6] は視点の共有に加えて、融合身体を用いた学習方法の効果を調査した。学習方法として、2人の参加者が融合し1つのアバタを操作する条件、2人の参加者が視点のみ共有し各アバタを操作する条件、1人でアバタを操作する条件の3条件を設定しそれぞれの条件における学習効率とスキル保持の差異を比較した。実験では、教師役（実験実施者）と生徒役（参加者）の2人1組で五芒星と七芒星を左右の手で同時に描く二重課題を、練習、学習、テストフェーズに分けて行った。成績評価には正しい頂点に触れた回数を使用し、練習をベースラインとして学習フェーズ、テストフェーズを比較することで学習効率を分析した。実験の結果、2人の参加者が視点のみ共有し学習することで、1人でアバタを操作し学習するよりも学習効率が高まり、さらに2人の参加者が融合し1つのアバタを操作しながら学習を行うと学習効率が最も高くなることがわかった。このことから、身体技能の学習は1で行うよりも熟練者と視点を共有して行う方が学習効率が高まり、さらに視点だけでなく身体と動作を共有することでその効果は強まることが示唆された。

3. 研究目的

これまでの研究から、融合身体を用いることで運動成績、

学習効率の向上といった有益な効果がもたらされることが示された。この融合身体システムは比較対象である単独でのアバタ操作にはない要素を複数持っている。その中でも特筆すべきは「身体（アバタ）の共有」と「動作の共有」である。ここでの身体共有とは複数人が1つのアバタを操作することを指し、動作共有とは複数人の動作を加重平均したものをアバタの動作に反映させることを指す。先行研究では、この2つの要素が明確に区別されておらず、身体も動作も同時に共有されていることがほとんどであり、どちらの要素が運動成績に効果を及ぼしているのか不明である。そこで、本研究では融合身体が主にこの2つの要素からなるものであるとしたうえで、身体共有と動作共有がそれぞれどの程度 VR 空間における運動成績に効果を及ぼすのか明らかにすることを目的とした。

4. 実験 1

4.1 実験内容

本実験では、着座姿勢で1体または2体のアバタの左右の手を操作し、球の乗った棒を膝の高さから持ち上げるリフトタスクを採用した。球は棒の傾きに応じて左右に移動するため、参加者には球が棒の中心から移動しないように持ち上げるように指示をし、球の移動距離を指標としてタスクの成績を評価した。参加者は頭部にヘッドマウントディスプレイ (HMD)、両手にコントローラを装着し、リフトタスクを2人1組で行った。実験タスクを行う前に参加者に対し、タスク前アンケートと日本語版フランダース利き手テスト [9] に回答させた。実験タスク中、参加者は球を可能な限り棒の中心から動かさないように傾きを調整しつつ挙上する動作を10回繰り返した。指定の位置まで棒を上げた後は、腕を膝の上に戻させた。なお、球の移動の計測区間は棒の持ち上げを始める地点から50 cmの高さまでの間とした。棒を持ち上げる際の球の移動のみを分析の対象とし、棒を下げる際のボールの動きは分析の対象としなかった。タスク終了後、行為主体感、身体所有感、作業達成度、共同作業感覚についての質問に回答させた。本実験で使用したアバタの身長は約175cm、腕の長さは約70cmであった。棒の長さは80cm、球は直径9cmであった。また、本研究は「立命館大学における人を対象とする研究倫理審査」の承認（承認番号：衣笠-人-2021-58）を受け実施された。

4.2 実験参加者

参加者は、立命館大学に所属している大学生及び大学院生40名（20組）であった（男性30名、女性10名、平均年齢は23.5歳）。日本語版フランダース利き手テストの結果、右利きは34名、両利きは2名、左利きは4名であった。タスク前アンケートにて、VR経験が「一度もない」と回答したのは0名、「過去に何度かある」と回答したのは

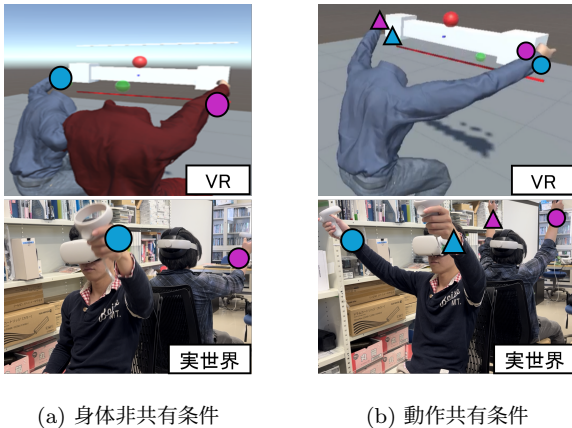
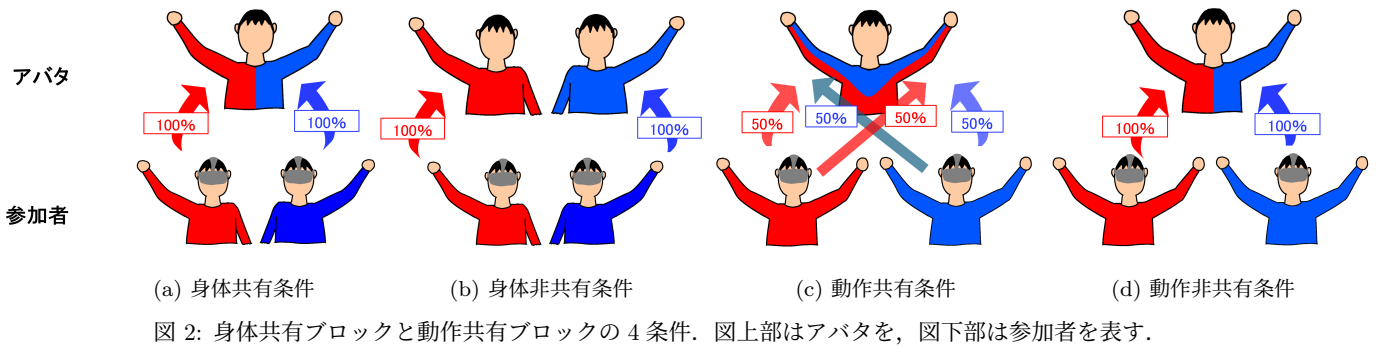


図 3: タスク中の様子. 図中の青と紫の図形は, 実世界における腕と, その腕の動きが反映されるアバタの腕の対応を表している. アバタの片方の腕に 2 種の図形が表記されている場合, 2 名の参加者の腕の動きが融合されて反映されることを示す.

28 名, 「頻繁にある」と回答したのは 12 名であった.

4.3 実験条件

本実験では, 身体共有の効果を確認するための条件を 2 条件, 動作共有の効果を確認するための条件を 2 条件の計 4 条件を設定した. 身体共有と動作共有の各 2 条件は, それぞれ独立のブロックにて実施した.

4.3.1 身体共有ブロック

本ブロックでは, 身体共有条件 (図 2a) と身体非共有条件 (図 2b) の 2 条件を実施した. どちらの条件においても, 参加者は自身の右腕または左腕のどちらか一方のみを持ち上げることで, アバタの腕を操作した. 各参加者が操作するアバタの腕には, その参加者自身の動きのみが反映された. 身体共有条件では, タスク実施時に操作するアバタの数は 1 体とし, 2 名の参加者が同一のアバタに没入しアバタの身体を操作した. 参加者は, アバタの右腕または左腕のどちらか片方を操作した. 身体非共有条件では, タスク実施時に操作するアバタの数を 2 体とし, 棒に対して右側または左側に配置されたアバタのどちらか片方に没入し当該アバタの腕を操作した (図 3a).

もし身体を共有することが融合身体における重要な要素であるならば, 身体非共有条件よりも身体共有条件の方が

成績が向上すると予想される.

4.3.2 動作共有ブロック

本ブロックでは, 動作共有条件 (図 2c) と動作非共有条件 (図 2d) の 2 条件を実施した. どちらの条件においても, 参加者は必ず自身の両腕を持ち上げることでアバタの腕を操作し, タスク実施時に操作するアバタの数は 1 体であった. 動作共有条件では, 自身と他者の動きを平均した動作がアバタの左右の腕に反映された (図 3b). 動作非共有条件では, 各参加者がアバタの右または左の一方の腕を 100 % 操作した. このとき, 参加者には自身が担当していない腕には自身の動きが反映されないが, それでも両腕を持ち上げる動作を行うよう教示した.

もし動作を共有することが融合身体における重要な要素であるならば, 動作非共有条件よりも動作共有条件の方が成績が向上すると予想される.

4.4 システム構成

本実験ではリアルタイムで自己の動作と他者の動作を融合したアバタを操作するシステムに加え, 1 体または 2 体のアバタの左右の手を操作し, 傾きに応じて球が転がる棒を調整しながら持ち上げるシステムを実装した. HMD である Meta Quest 2 と Touch コントローラを用いて, VR 空間でリフトタスクを実施可能な実験環境を実装した. HMD の制御や仮想物体の描画, 物理演算に関しては, リアルタイム 3D 開発プラットフォームである Unity (Ver.2020.3.2f1) を使用した. 本システムでは, リアルタイムで自己と他者の 2 人の動作を融合したアバタを操作するため, 2 台の PC を使用した. スイッチングハブと Unity のアセットの 1 つである Mirror を用いることで, コントローラや棒, 球の位置データを PC 間で送受信し, リアルタイムでの同期処理を実装した. 使用した 2 台の PC は, GALLERIA XA7C-R37 (OS: Windows 10, CPU: Intel Core i7 3.8 GHz, RAM: 32 GB, GPU: NVIDIA GeForce RTX 3070) と, GALLERIA XF (OS: Windows 10, CPU: Intel Core i7 3.7 GHz, RAM: 32 GB, GPU: NVIDIA GeForce RTX 2070) であった.

4.5 評価方法

棒の持ち上げを始めた地点から 50cm の高さまでの区間で、1 回の持ち上げに要した時間 T と 1 回の持ち上げにおける球の総移動距離 D を取得した。これらの値を元に、単位時間あたりの球の移動距離 d を算出し、リフトタスクの成績の評価指標として用いた。総移動距離 D は、1 フレームごとに棒の中心から見た相対的な位置 p を記録し、フレーム間の差をとったうえで全フレーム数 F 分足し合わせることで求めた (式 (1))。初期位置 p_0 を式 (2) と定義した。持ち上げた棒を下ろす際は分析の対象とはしなかった。

$$D = \sum_{i=1}^F |p_i - p_{i-1}| \quad (1)$$

$$p_0 = 0 \quad (2)$$

1 回の持ち上げに要した時間 T は、1 フレームごとのフレームレート f の逆数の総和とした (式 (3))。単位時間あたりの球の移動距離 d は式 (4) で求めた。

$$T = \sum_{i=1}^F \frac{1}{f_i} \quad (3)$$

$$d = \frac{D}{T} \quad (4)$$

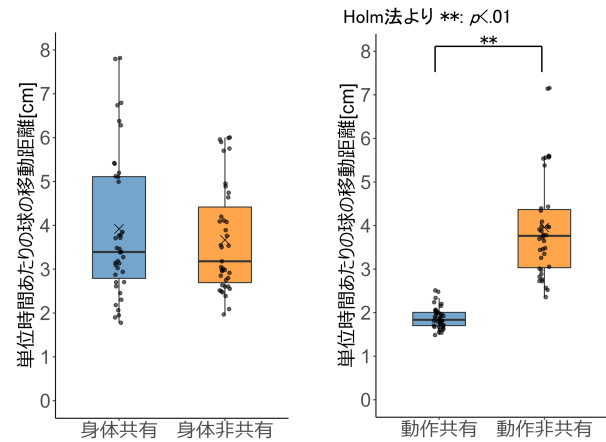
実験タスク中の主観評価指標には、行為主体感 (どの程度アバタの手を制御しているように感じましたか)、身体所有感 (どの程度あなたの見たアバタの身体があなた自身の身体のように感じましたか)、作業達成感 (どの程度タスクをうまく実施できたと感じましたか)、共同作業感覚 (どの程度パートナーと共同で作業している感覚がありましたか) の 4 項目を用いた。各評価項目について「全くそう思わない」を「1」、「非常にそう思う」を「7」として、7 段階のリッカート尺度にて評価を行わせた。実験終了後には、VR 空間やアバタの見た目、実験の感想を自由回答で尋ねた。その際、うまく球を動かさずに棒を上げることができたと思う条件について尋ねた。

4.6 実験手順・試行回数

身体共有ブロックの 2 条件と動作共有ブロックの 2 条件を合わせた 4 条件について、2 試行ずつ計 8 試行実施した。身体共有条件、身体非共有条件、動作非共有条件については、参加者が操作を担当するアバタの腕の左右を入れ替え各 1 試行ずつ行った。

実験の手順は以下の (1)~(12) で行った。

- (1) 参加者を指定の位置にある椅子に座らせる
- (2) 参加者に事前説明を行い、実験参加に同意した場合のみ同意書への署名を求める
- (3) 参加者にタスク前アンケートとフランダース利き手テストに回答させる
- (4) 参加者にタスクの内容を説明する



(a) 身体共有ブロック

(b) 動作共有ブロック

図 4: 単位時間あたりの球の移動距離。グラフの縦軸は単位時間あたりの球の移動距離 (d) である。身体共有ブロック (図 4a) では、青色のバーが身体共有条件、橙色のバーが身体非共有条件を表す。動作共有ブロック (図 4b) では、青色のバーが動作共有条件、橙色のバーが動作非共有条件を表す。×印は平均値を示す。

- (5) 参加者に練習を行わせる
- (6) 次のタスクのブロックと条件が何であるかを教示する
- (7) 実験タスクを行わせる
- (8) 参加者に行為主体感、身体所有感、作業達成感、共同作業感覚に関する質問に回答させる
- (9) (6)~(8) を、身体共有条件、身体非共有条件、動作非共有条件の場合は操作を担当するアバタの腕を左右逆にし、動作共有条件の場合は同一のタスクをもう一度行わせる
- (10) 3 分間休憩させる
- (11) (6)~(10) を各条件 1 回、計 4 回繰り返す
- (12) 参加者に感想を聞く

4.7 実験結果

4.7.1 単位時間あたりの球の移動距離

実験において得られた単位時間あたりの球の移動距離を図 4 に示す。単位時間あたりの球の移動距離 (d) について Shapiro-Wilk 検定を行った結果、データの正規性が保たれない条件があったため、Wilcoxon の符号順位検定を用いた検定を行った。身体共有条件と身体非共有条件における球の移動距離に対し Wilcoxon の符号順位検定を行ったところ、条件間で有意な差は認められなかった ($z=-.31$, $p=.76$, $r=.07$)。動作共有条件と動作非共有条件での球の移動距離に対しても Wilcoxon の符号順位検定を行ったところ、条件間で有意な差が認められ ($z=4.8$, $p<.05$, $r=1.1$)、動作共有条件における球の移動距離のほうが動作非共有条件に比べて小さいという結果が得られた。

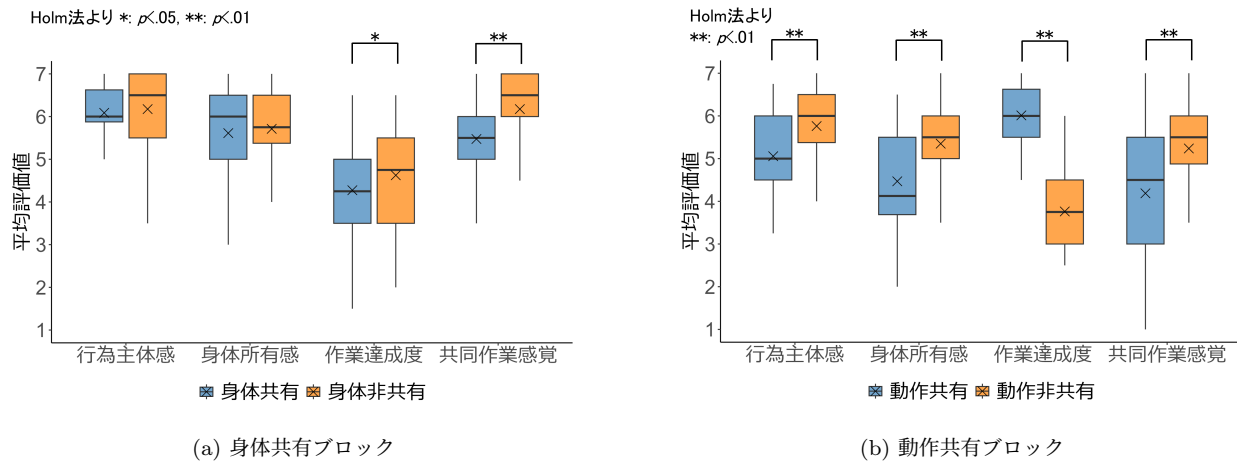


図 5: 各主観評価。身体共有ブロック (図 5a) では、青色のバーが身体共有条件、橙色のバーが身体非共有条件を表す。動作共有ブロック (図 5b) では、青色のバーが動作共有条件、橙色のバーが動作非共有条件を表す。×印は平均値を示す。

4.7.2 主観指標

行為主体感、身体所有感、作業達成度、共同作業感覚の平均評価値を図 5 に示す。

身体共有条件と身体非共有条件における主観評価について、Wilcoxon の符号順位検定を実施したところ、行為主体感 ($z=1.1$, $p=.25$, $r=.18$) および身体所有感 ($z=.65$, $p=.52$, $r=.10$) については条件間で有意な差は確認されなかった。作業達成度 ($z=2.1$, $p<.05$, $r=.34$) および共同作業感覚 ($z=4.5$, $p<.05$, $r=.71$) については、条件間で有意差が認められ、身体共有条件において評価値が低くなっていた。

動作共有、動作非共有条件について Wilcoxon の符号順位検定を実施したところ、行為主体感 ($z=3.1$, $p<.05$, $r=.50$)、身体所有感 ($z=4.3$, $p<.05$, $r=.68$)、作業達成度 ($z=7.0$, $p<.05$, $r=1.1$) および共同作業感覚 ($z=3.9$, $p<.05$, $r=.61$) において、条件間で有意差が認められた。作業達成度は動作共有条件において動作非共有条件よりも評価値が高く、他の 3 項目は動作共有条件において評価値が低くなった。

4.8 考察

単位時間あたりの球の移動距離は、身体共有条件と非共有条件間に有意な差は認められなかったが、動作共有条件と動作非共有条件間では動作共有条件時に移動距離が有意に小さかった。棒の傾きが大きいほど球の移動距離は大きくなるため、単位時間あたりの球の移動距離が小さいほど運動成績が高いと言える。したがって今回用いたリフトタスクにおいては、融合身体下で他者と身体を共有することではなく、動作を共有することが、運動成績の向上につながると思われる。

行為主体感と身体所有感は、身体共有・非共有条件間で有意な差は認められなかった。これは、身体共有の有無にかかわらず、自身の担当するアバタの半身には自身の動き

のみが反映され、自分の意思で腕を動かすことができたためであると考えられる。一方で、動作共有・非共有条件間では、動作を共有する方が有意に平均評価値が低下した。動作を共有することで自身が担当するアバタの腕の動作に他者からの干渉を受け、行為主体感と身体所有感が低下したと考えられる。融合身体を用いることで行為主体感が低下するという関連研究の結果と同様の傾向が確認された。

作業達成度の平均評価値について、身体共有の有無と動作共有の有無が作業達成感に及ぼす効果の分析を行った。その結果、身体共有・非共有条件間では、身体を共有する方が主観的な作業達成度が低下した。これは、身体を共有したために、アバタの半身に対する制御権がなくなった違和感に起因すると予想される。動作共有・非共有条件間では、動作を共有する方が主観的な作業達成度が向上した。これは、客観指標が示すように明確に向上した成績を、参加者自身も感じ取ったためであると考えられる。

共同作業感覚の平均評価値について、身体共有の有無と動作共有の有無が共同作業感覚に及ぼす効果の分析を行った。その結果、身体共有・非共有条件間では、身体を共有しない方が共同作業感覚が向上した。これは身体非共有条件では 2 体のアバタを用いたため、他者の存在が明確になり、共同作業感が生じたと考えられる。動作共有・非共有条件間では、動作を共有する方が共同作業感覚が低下した。動作共有時は、自己の動きと融合後の動きに差異が小さく、単独でタスクを行っている感覚が強くなったことが要因であると考えられる。

実験 1 では、動作共有条件においてリフトタスクの成績が最も高くなった。このことから、融合身体下の動作では、他者と自己とが動作を共有することでタスク成績の向上につながる可能性が考えられる。しかし、実験 1 で行った動作共有ブロックにおいて操作するアバタの数は 1 体であり、動作共有条件は、身体の共有を行ったうえで他者と

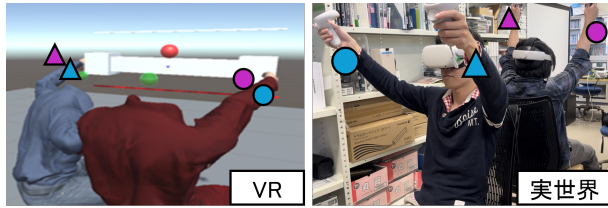
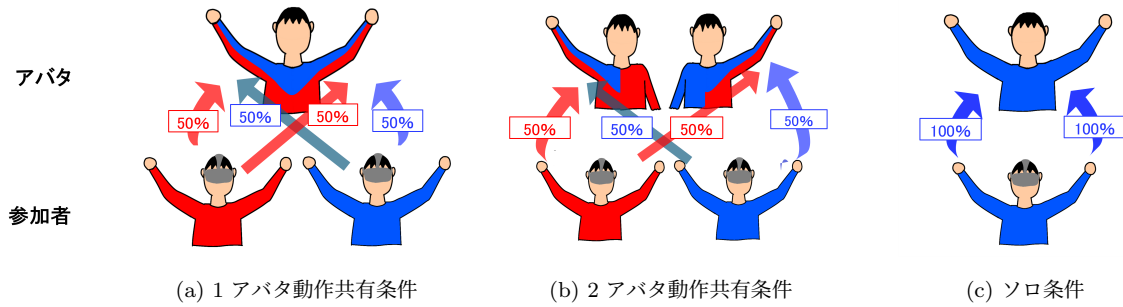


図 7: 2 アバタ動作共有条件におけるタスク中の様子。図の見方は図 3 と同様。

動作を共有している。そのため、動作の共有単独の効果ではなく、身体共有とともに活用されることではじめて運動成績の向上に寄与する可能性がある。そこで、実験 2 では、他者との動作の共有が融合身体下での運動成績向上に寄与しているのか、動作共有と身体共有の組み合わせが加算的に成績向上に寄与しているのかについて検討する。

5. 実験 2

5.1 実験目的

実験 2 では、融合身体下での成績向上は、他者との動作共有の効果によるものか、動作共有と身体共有の加算的な効果によるものかを明らかにすることを目的とする。これを検討するため、1 体のアバタに自己と他者との動きを平均した動きが反映される 1 アバタ動作共有条件と、2 体のアバタに自己と他者との動きを平均した動きが反映される 2 アバタ動作共有条件を設定し、実験 1 と同じリフトタスクを実施する。また、身体と動作を共有せず、1 体のアバタの両腕を参加者自身で操作するソロ条件を実施し、タスク成績の向上を確認する。なお、実験内容およびシステム構成、評価項目に関しては実験 1 と同一であった。

5.2 実験参加者

参加者は、立命館大学に所属している大学生及び大学院生 38 名 (19 組) であった (男性 18 名、女性 20 名、平均年齢は 21.1 歳)。すべての参加者は、実験 1 には参加していなかった。日本語版フランダース利き手テストの結果、右利きは 36 名、両利きは 0 名、左利きは 2 名であった。タスク前アンケートにて、VR 経験が「一度もない」と回答したのは 18 名、「過去に何度かある」と回答したのは 20 名、

「頻繁にある」と回答したのは 0 名であった。

5.3 実験条件

本実験では、1 アバタ動作共有条件 (図 6a)、2 アバタ動作共有条件 (図 6b)、ソロ条件 (図 6c) の 3 つを設定した。いずれの条件においても、参加者は自身の両腕を持ち上げることでアバタを操作した。1 アバタ動作共有条件では、タスク実施時に操作するアバタの数は 1 体とし、2 名の参加者が同一のアバタに没入しアバタの身体を操作した。このとき、アバタの左右の手には 2 名の参加者の動きが 50 % ずつ反映された。2 アバタ動作共有条件では、タスク実施時に操作するアバタの数を 2 体とし、2 名の参加者が 2 体のアバタの身体を操作した。アバタは、棒に対して右側と左側に配置され、右側に配置されたアバタは右腕、左側に配置されたアバタは左腕で棒を持ち上げた (図 7)。2 名の参加者は、右側または左側のアバタに割り当てられ、当該アバタの視点位置から VR 空間を観察しタスクを行った。右アバタの右腕と左アバタの左腕には、2 名の参加者の動きが 50 % ずつ反映された。ソロ条件では、タスク実施時に操作するアバタの数は 1 体とし、アバタの腕には自己の動作のみが 100 % 反映された。

5.4 実験手順・試行回数

タスクの試行回数は、1 アバタ動作共有条件、2 アバタ動作共有条件、ソロ条件の 3 条件について、2 試行ずつ計 6 試行実施した。実験の手順は、実験 1 と同一であった。

5.5 実験結果

5.5.1 単位時間あたりの球の移動距離

実験において得られた単位時間あたりの球の移動距離を図 8 に示す。単位時間あたりの球の移動距離について、Shapiro-Wilk 検定を行ったところ、データの正規性が保たれない条件があった。そこで Friedman 検定を実施したところ、1 アバタ動作共有条件、2 アバタ動作共有条件、ソロ条件の間に有意な差は認められなかった ($\chi^2=.12, p=.94$)。

5.5.2 主観指標

行為主体感、身体所有感、作業達成度、共同作業感覚の平

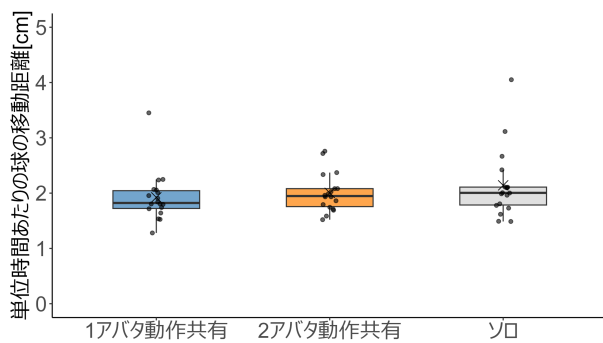


図 8: 単位時間あたりの球の移動距離。縦軸は単位時間あたりの球の移動距離，横軸は各融合方法を示す。×印は平均値を示す。

均評価値を図 9 に示す。各主観指標の項目に対して Friedman 検定を用いた検定を実施した。行為主体感 ($\chi^2=21$, $p<.05$), 身体所有感 ($\chi^2=11$, $p<.05$), 作業達成度 ($\chi^2=7.8$, $p<.05$) および共同作業感覚 ($\chi^2=56$, $p<.05$) についていずれも条件間で主効果が有意であったため、Holm 法による多重比較を行った。その結果、行為主体感については、ソロ条件が 1 アバタ動作共有条件および 2 アバタ動作共有条件よりも評価値が有意に高くなっていた ($ps<.05$)。身体所有感については、ソロ条件が 1 アバタ動作共有条件および 2 アバタ動作共有条件よりも評価値が有意に高くなっていた ($ps<.05$)。作業達成度については、2 アバタ動作共有条件が、ソロ条件および 1 アバタ動作共有条件よりも評価値が有意に低くなっていた ($ps<.05$)。共同作業感覚については、ソロ条件が 1 アバタ動作共有条件および 2 アバタ動作共有条件よりも評価値が有意に低くなっていた ($ps<.05$)

5.6 考察

単位時間あたりの球の移動距離について、1 アバタ動作共有条件と 2 アバタ動作共有条件との間で有意な差は確認されなかった。この結果は、融合身体下での運動成績は、他者との動作共有により向上する可能性があることを示している。つまり、他者との身体共有との加算的な効果ではなく、動作の共有が運動成績の向上に寄与していると言える。また、2 つの動作共有条件とソロ条件間にも有意差が確認できなかったことから、動作を共有してタスクを行う場合と、単独でタスクを行う場合とでは、タスク成績が変わらないことを示している。これは、他者と融合することでタスク成績が向上するという関連研究の報告とは異なるものである。このような結果となった理由として、タスク設計による影響が考えられる。今回のリフトタスクは両腕の高さの差異が小さいほどタスク成績が向上するものであるため、関連研究で用いられているタスクよりも動作の自

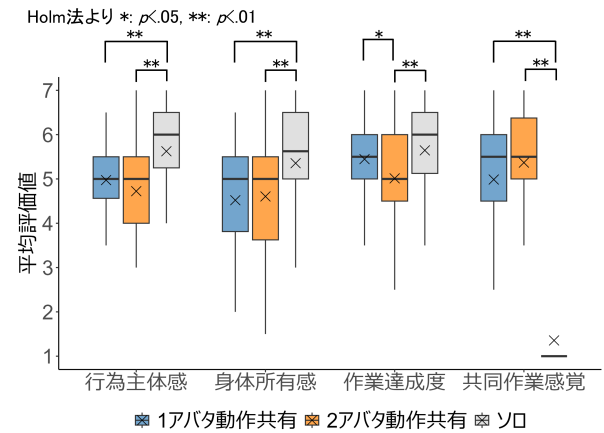


図 9: 各主観項目。縦軸は平均評価値，横軸は各融合方法を示す。×印は平均値を示す。

由度が低かった可能性が考えられる。そのため、本実験で設定した 3 条件の成績はいずれもリフトタスクの成績上限に達しており、それ以上の成績差を評価するには至らなかったと考えられる。異なる動作タスクを用いることで、自身が単独で動作を行う場合との成績の向上度合いをより詳細に検討する必要がある。

行為主体感と身体所有感の平均評価値について、ソロ条件と 1 アバタ動作共有条件間、ソロ条件と 2 アバタ動作共有条件間に有意な差が確認できた一方、1 アバタ動作共有条件と 2 アバタ動作共有条件間では有意な差は確認できなかった。このことから、動作共有下における身体の共有が行為主体感と身体所有感に及ぼす効果は小さく、動作の共有自体が行為主体感と身体所有感の低下を引き起こしていることが示唆された。また融合身体を用いることによるソロ条件と比べた行為主体感と身体所有感の低下は、関連研究の結果と同様の傾向となっている。

作業達成度の平均評価値について、動作共有下における身体の共有・非共有が作業達成度に及ぼす効果の分析を行った。その結果、2 アバタ動作共有条件の評価値が他の 2 条件に比べて有意に低くなった。これは、アバタが 2 体であるために、2 名の参加者が棒の中心を正面から捉えることが難しく、奥行き方向の感覚が曖昧となった結果、作業の達成度が低下した可能性がある。

共同作業感覚の平均評価値について、動作共有下における身体の共有・非共有が共同作業感覚に及ぼす効果の分析を行った。その結果、ソロ条件と 2 アバタ動作共有条件間、ソロ条件と 1 アバタ動作共有条件間に有意な差が確認できた。ソロ条件はそもそも共同で作業を行っていないため、他の 2 条件に比べて評価値が低下したと考えられる。一方で、1 アバタ動作共有条件と 2 アバタ動作共有条件間では有意な差は確認できなかったことから、動作共有下における身体の共有・非共有が共同作業感覚に与える効果は小さ

いことが示された。これは、参加者らがアバタの動作を通じて他者の存在を認識していることを示唆している。

6. 総合考察

本研究の目的は、融合身体を用いて身体動作を行う際の、他者との身体共有と動作共有の効果を明らかにすることであった。

実験1では、他者と身体と動作のどちらを共有することが融合身体下での運動成績に寄与するのかについて検討した。リフトタスクを用いて、タスク成績やタスク実施中の融合の主観評価を分析した。その結果、他者と動作を共有した場合に、運動成績が向上するとともに、行為主体感と身体所有感が低下した。実験2では、動作共有と身体共有の組み合わせが加算的に成績向上に寄与しているのか、動作共有単独で成績向上に寄与しているのかについて検討した。その結果、身体共有の有無にかかわらず、動作共有によって運動成績が向上していることが明らかとなった。他者との動作共有が融合身体下での運動成績を向上させた理由として、動作の共有によって、アバタの腕に反映された他者の身体運動情報をフィードバックとする自己動作の調節がしやすくなった可能性が挙げられる。本研究で採用したリフトタスクの場合、棒を水平を保ったまま持ち上げることで最も成績が高くなるため、左右の手の高さの違いを素早く修正する必要があった。他者の動作の情報が共有されることにより、他者の腕の位置に基づく自己の腕の位置の調整を素早くかつ円滑に行うことができていた可能性が考えられる。先行研究ではアバタに反映された他者の動作情報に基づき自己の動作を調節することで、自己身体の成績が向上することが示唆されているが[10]、他者の運動情報の重要性に関する検討は行われていなかった。本研究の結果は、融合身体下での運動成績における他者の運動情報の重要性を直接的に示すものである。

融合身体における運動成績の向上をもたらす重要な要素は、動作の共有であると考えられる。しかし、タスクの設定や評価方法によって、単独でのタスク遂行時と比べた成績が向上する場合としない場合があることが示唆された。この点については、左右の腕についてそれぞれ異なる動きが要求されるなど、さらに複雑なタスクを用いて今後検討する必要がある。

7. おわりに

VR空間において複数人が1つの仮想身体（アバタ）を操作する融合身体では、他者と融合することで、1人でアバタを操作する場合よりも各個人の運動成績や身体技能の学習効率が向上することが報告されてきた。しかし、融合身体システムには、比較対象である単独でのアバタ操作にはない特徴が複数備わっているにもかかわらず、これらは区別されることなく融合身体の効果検証がなされてきた。

そのため、融合身体下における運動成績・学習効率向上の中核となる要素は未だ不明である。そこで本研究では、融合身体が主に身体共有と動作共有の2要素からなるとしたうえで、それぞれの要素がVR空間における運動成績に与える効果の程度を検証した。その結果、身体共有における重要な要素は動作共有であり、運動成績への寄与率も高いことが示唆された。

参考文献

- [1] 伊東亮太, 小川奈美, 鳴海拓志, 廣瀬通孝: 融合身体を用いた身体スキル伝達に関する基礎調査, 日本バーチャルリアリティ学会第25回大会論文集, Vol. 25, pp. 3C3-7 (2020).
- [2] Sebanz, N., Bekkering, H. and Knoblich, G.: Joint action: bodies and minds moving together, *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 10, No. 2, pp. 70-76 (2006).
- [3] Gallotti, M. and Frith, C. D.: Social Cognition in the We-Mode, *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 17, No. 4, pp. 160-165 (2013).
- [4] Wahn, B., Karlinsky, A., Schmitz, L. and König, P.: Let's move it together: A review of group benefits in joint object control, *Frontiers in Psychology*, Vol. 9, p. 918 (2018).
- [5] Hagiwara, T., Ganesh, G., Sugimoto, M., Inami, M. and Kitazaki, M.: Individuals Prioritize the Reach Straightness and Hand Jerk of a Shared Avatar over Their Own, *iScience*, Vol. 23, No. 12, p. 101732 (2020).
- [6] Kodama, D., Mizuho, T., Hatada, Y., Narumi, T. and Hirose, M.: Effects of collaborative training using virtual co-embodiment on motor skill learning, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 29, No. 5, pp. 2304-2314 (2023).
- [7] Tamar, F. and Neville, H.: The coordination of arm movements: an experimentally confirmed mathematical model, *The Journal of Neuroscience*, Vol. 5, No. 7, pp. 1688-1703 (1985).
- [8] 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).
- [9] 大久保街亜, 鈴木 玄, R., N. M. E.: 日本語版 FLANDERS 利き手テスト—信頼性と妥当性の検討—, 心理学研究, Vol. 85, No. 5, pp. 474-481 (2014).
- [10] 中村哲朗, 森田磨里絵, 郷原皓彦, 松室美紀, 柴田史久, 木村朝子, 北川智利: 融合身体における二者間の相互作用-リアルタイムでの融合と事前記録との融合-, 第27回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 3C1-2 (2022).