

融合身体を用いた他者とのアバタ操作における 時間的制約の効果

平井陽香¹ 中村哲朗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と、1人で操作するときよりも自己身体動作効率が向上するという報告がある。しかし、融合身体を用いれば常に身体動作が効率的になるとは限らない。そこで本研究では、タスク遂行にかかる時間的制約が融合身体下での動作にどのような影響を与えるのかを検証した。実験では、一定の時間間隔で連続して現れる標的に上からアバタの手で触れるタスクを、アバタを1人で操作した場合（ソロ条件）と2人で融合して操作した場合（融合条件）とでそれぞれ行い、アバタの手が触れる前に消滅した標的の数をミスの回数として測定した。その結果、ソロ条件と融合条件との間でミスの回数に差はなかった。他者と融合しても、タスク遂行に要求される動作速度によって成績は低下せず、タスクの時間的制約が融合身体下での動作におよぼす影響は小さいことが示唆された。

キーワード：VR, 融合身体, 共同行為, we-mode

1. はじめに

VR空間において、ユーザは自己の身体の代わりとしての仮想身体（アバタ）を持つことで、実世界では困難な体験が可能となる。例として、実世界で身体スキルを学習する場合は手本となる教師の動作を三人称視点で観察・模倣する事になるが、VRを用いれば教師の動作を教師の一人称視点で観察・模倣することが可能だ。実世界では体験不可能な他者の一人称視点での身体スキル学習を行ったところ、三人称視点での身体スキル学習に比べて学習効率が良くなることが報告された[1]。このように、VR空間での仮想身体を用いた、実世界ではあり得ない体験が、人間にとって有益な効果をもたらすと考えられる。

近年、アバタの動作を複数の他者と協働して操作する「融合身体」という技術が開発されている。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)。融合身体の特徴として、他者との融合によって共同行為 (joint action) やwe-modeが成立している可能性が挙げられる[2]。Sebanz *et al.*[3]は、共同行為を、2人以上の個人が空間と時間の中で行動を調整し、環境に変化をもたらす社会的インタラクションのあらゆる形態と定義した。共同行為の成立には、互いに行為を調整し、他者の意図や行為を予測する能力が重要であると考えられる。さらに、共同行為を行っているときには、we-modeが成立していると言われている。we-modeとは、共同行為を行う人物同士が、自身の役割を「私個人」ではなく「我々」として認識し、集団の一員として物事に取り組む集合的な認知機能であり、相手の状態

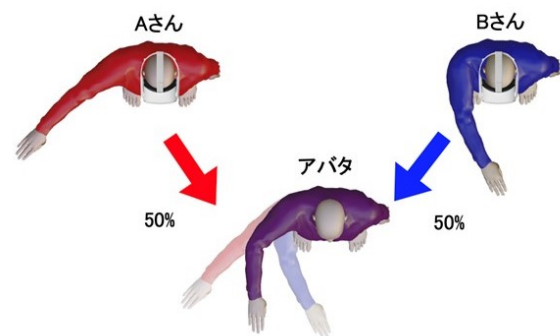


図1 融合身体イメージ

推量を可能とする[4]。共同行為やwe-modeの成立により、各個人が単独で課題を行うよりも高いパフォーマンスが発揮されることが報告されている[5]。融合身体を用いることにより、自己でも他者でもない状態になるという実世界では不可能な体験が可能となり、共同行為やwe-modeが成立して融合身体を用いる人々に有益な効果をもたらすことが期待される。このことから、特に融合身体下での身体動作の効率化に焦点を当てた研究が行われてきた。しかし、融合身体が必ず有益な効果をもたらすとは限らず、負の効果をもたらす可能性もある。そこで本研究では、時間的制約に着目し、タスク遂行時に素早い動作を求められることが、融合身体下での身体動作効率にどのような効果をおよぼすのか調査する。

2. 関連研究

2.1 融合身体下での身体動作の変容

融合身体を用いて他者と融合して身体動作を行うことが、融合したアバタの動作とアバタを操作する各個人の動作に影響を与えるのか否か、与えるのであれば、どのような影響をもたらされるのかは不明であった。融合身体を用いる際の人の動作特徴を明らかにするため、Hagiwara *et al.*[6]は、2人の実験参加者が融合して1つのアバタを操作した場合と、実験参加者が他者とは融合せずに1人でアバ

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

タを操作した場合とで、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）を実施し、タスク成績を比較することでこの点を検討した。タスク成績は、参加者ら個人の実身体の手動きと、参加者らの動きが反映されたアバタの手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、個人の実身体の手運動軌跡は、1人でアバタを操作する場合よりも、2人で融合してアバタを操作する場合の方が、直進性が高く、躍度が低かった。反応時間も同様に、他者と融合した場合に最も短くなった。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、個人の実身体の手運動軌跡とアバタの手運動軌跡を比較すると、アバタの手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、他者と融合した場合には、実験参加者は自身の手よりも、自身と他者の動きが反映されたアバタの手動きを最適化していることが示唆された。

2.2 融合のリアルタイム性と動作成績の向上

前述の Hagiwara *et al.*は、他者と融合することにより各個人の身体動作が効率的になることを示したが、この身体動作の変容を引き起こす要因については明らかになっていなかった。そこで中村ら[8]は、融合身体下での身体動作の効率化が、他者とのリアルタイムな融合時に生じる相互の自己動作の調節により生じている可能性について検討した。融合身体を用いると、2者の身体位置を平均した位置にアバタの身体部位が表示される。これにより、自己の物理身体位置と融合したアバタの身体位置のずれから他者の身体位置がフィードバックされる。このフィードバックに基づいて、各個人は自己の動作を調節しアバタの操作を行っていると考えられる。他者との相互の行為の調整は共同行為のメカニズムの1つであると考えられていることから、他者の動きに基づくリアルタイムな双方向の自己動作の調節が、融合身体下での個人の動作を効率的にしている可能性が考えられる。そこで中村らは、他者との融合の条件として、リアルタイムで自己の動作と他者の動作を融合する条件に加えて、自己の動作と事前に記録された他者の動作を融合する条件を設定した。事前に記録された他者の動作と融合する場合、他者動作のフィードバックから自己の行為の調整は行われるが、事前に記録された他者の動作はフィードバックから行為の調整を行わないため、双方向の行為の調整が生じない。事前に記録した他者の動作との融合は共同行為が成立しづらい状況であるとみなすことができ、リアルタイムな他者との融合よりも各個人の動作成績が向上しないことが予測される。

実験では、リアルタイムに動作を融合する方法（リアルタイム）と、自己の動作と事前に記録された他者の動作を融合する方法（プレレコーディング）、融合せず自己の動作のみ反映される方法（ソロ）の3種類の融合方法で、Hagiwara *et al.*と同様のリーチングタスクを行った。タスク成績の評価にあたり、手の運動軌跡の直進性と躍度、1回のリーチングにかかる時間の3つの客観指標に加え、リーチングタスク実施中の行為主体感と身体所有感の2つの主観指標を用いた。その結果、個人の手動きのリーチング軌道の直進性は、リアルタイムの方がプレレコーディングとソロの両方よりも直進性に優れていた。1回のリーチングにかかる時間はリアルタイム、プレレコーディング、ソロの順で短くなっていた。主観的指標については、行為主体感、身体所有感の両方で、ソロ、プレレコーディング、リアルタイムの順番で評価が低下した。これらの結果から、リアルタイムに自己の動作と他者の動作を融合することで、行為主体感や身体所有感は低下するが、リアルタイムなフィードバックに基づく双方向の自己動作調節がなされ、効率的な身体動作に変化する可能性が示唆された。

3. 研究目的

これまで、融合身体における身体動作について、他者とリアルタイムに融合することがどのような効果を与えるのかについて主に研究が行われてきた。その結果、他者とリアルタイムに融合することで、身体動作が効率的に変化していることが報告された。しかし、先行研究で実施されているリーチングタスクは、1回の動作を約1秒間かけて行うため、比較的緩慢な動作で容易に遂行可能である。そのため、タスク遂行が容易ではない状況下にある場合、融合した個人の動作が効率的に変化するのか否かは不明である。そこで、本研究では時間的制約に着目し、時間的制約が課された状況で他者とリアルタイムに融合することが、身体動作効率へ及ぼす効果について分析することを目的とした。時間的制約を課し、素早い動作が求められる状況では、他者と共同することが困難になると予想される。そのため、時間的制約をかけた本実験では、他者とリアルタイムに融合することが身体動作を非効率にすると仮説を立てた。また、ここでの時間的制約とは SOA (Stimulus Onset Asynchrony) のことである。SOA は先行ターゲットが出現してから、次のターゲットが出現するまでの時間間隔のことを指す (図2)。

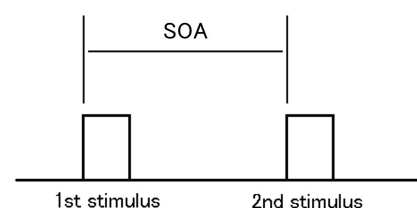


図2 SOAのイメージ



図 3 タスク時の姿勢



図 4 使用したアバタ



図 5 標的の表示位置

4. 実験

4.1 実験内容

本実験では、モグラ叩きを模した、一定の時間間隔で連続して現れる標的に上からアバタの手で触れるタスクを採用した。実験参加者は頭部にヘッドマウントディスプレイ (HMD)、右手にコントローラを装着し、着座姿勢で実験タスクであるモグラ叩きを2人1組で行った(図3)。実験タスクを行う前に実験参加者に対し、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、参加者は一定時間毎に現れる標的に触る動作を繰り返した。その間、左手は常に膝の上に置くようにし、右手も標的が表示されるまでは膝の上に置くようにさせた。標的が特定の回数表示された時点でタスクは終了し、その後、行為主体感と身体所有感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(図4)。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 実験条件

4.2.1 動作方法

本実験での動作方法は、融合条件とソロ条件の2つを設定した。融合条件では、参加者は自己の手の動きと他者の手の動きがリアルタイムで50%ずつ反映されたアバタを操作した。ソロ条件では、他者とは融合せず、自己の動作のみが100%反映されたアバタを操作した。融合条件における標的は、実験参加者間で共通の位置にランダムな順番で出現した。ソロ条件における標的は、実験参加者間で異なる位置にランダムな順番で出現した。

4.2.2 時間間隔 (SOA)

標的が出現してから次の標的が出現するまでの時間間隔 (SOA) を操作した。SOAは、2.00秒、1.50秒、1.00秒、0.75秒、0.50秒、0.40秒、0.30秒、0.20秒の8条件を設定した。各試行での実験条件の順番については、2人1組の参加者ペア毎にランダムに設定した。

4.2.3 標的

標的であるモグラは1辺が6cmの立方体と同程度の大き

さになるように調整した。標的の出現範囲は、横幅50cm、縦幅25cmの長方形の中とし、参加者の膝の高さから5cm上に提示させた(図5)。標的は、アバタの右手で上から(各標的の水平軸に対して ± 45 度の範囲から)叩くように触ると消滅した。標的の側面に横からスライドするように触った場合、標的は消滅しないようにした。標的出現後から一定時間毎に新たな標的が表示されるので、参加者は再び標的に触る動作を繰り返した。各標的が表示され続ける時間長は、同時表示される標的の数が3つ以下になる範囲に調整した。すなわち、SOAを3倍した時間を1つの標的が表示され続ける時間長とし、その時間を過ぎると自動的に消滅するようにした。標的に触ったことで消滅したのか、時間経過で消滅したのかを実験参加者が判断できるようにするため、標的に触ったときのフィードバックとして、音の提示を行った。また、標的が複数表示されている場合、それぞれの実験参加者が別々の標的に触ろうとすることを避けるために、1つの標的を強調表示し、実験参加者に対して強調表示された標的に触るようにさせた。

各SOAにおける標的の出現回数について、当初、標的が出現する回数は全て30回とする予定であったが、SOAが短い条件(0.30秒と0.20秒)で標的を30回出現させる場合、1試行にかかる時間が9秒間と6秒間となる。1試行の時間が10秒を下回ると、行為主体感や身体所有感が十分に形成されない可能性が考えられるため、0.20秒は標的の出現回数を50回、0.30秒は標的の出現回数を40回、それ以外のSOA(2.00秒、1.50秒、1.00秒、0.75秒、0.50秒、0.40秒)は標的の出現回数を30回とした。

4.3 実験参加者

実験参加者は、立命館大学に所属している大学生及び大学院生22名(11組)とした。実験参加者の内訳は男性19名、女性3名の計22名であり、平均年齢は22.50歳であった。日本語版フランダース利き手テストの結果、右利きは17名、両利きは1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8名、「頻繁にある」と回答したのは14名であった。

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、標的であるモグラが次々とランダムに出てくるシステムを設計した。本システムはHMDであるMeta Quest 2とTouchコントローラを用いて、VR空間で仮想物体（標的）にアバタの右手で触ることが可能な実験環境を実装した。HMDの制御や仮想物体の描画に関しては、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、コントローラの位置のデータをPC間で送受信し、リアルタイムでの融合を実装した。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, Intel Core i7 3.7 GHz, RAM: 32 GB, GPU: NVIDIA GeForce RTX 2070) であった。

4.5 評価方法

実験タスク中に、標的がアバタの右手が触る前に消滅した数を取得し、各条件におけるミスの回数としてタスク成績の評価指標とした。SOA条件ごとに標的の出現回数が異なることから、評価の際にミス回数の上限を最も標的の出現回数が少ない条件に揃えた。したがって、SOAが短い条件（0.20秒と0.30秒）では各試行の開始から30回分の中で生じたミスの回数を分析の対象とした。

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）と身体所有感（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）の2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なった。実験終了後には、VR空間やアバタの見た目と実験の感想を自由回答で尋ねた。その際、モグラを上手に叩けたと思う限界の動作方法とSOAについて尋ねた。

4.6 実験手順・試行回数

タスクの試行回数は、動作方法の2条件とSOAの8条件の組み合わせを1試行ずつの計16試行であった。

実験手順は以下の(1)～(12)で行った。

- (1)実験参加者を指定の位置にある椅子に座らせる
- (2)実験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の署名を求める
- (3)実験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を回答させる
- (4)実験参加者にタスクの内容を説明する
- (5)練習を行わせる
- (6)次のタスクの動作条件とSOAが何であるか教示する

- (7)実験タスクを行わせる（条件はランダムに選ばれる）
- (8)実験参加者に行為主体感と身体所有感に関する質問に回答させる
- (9)(6)～(8)を8回繰り返す
- (10)2分間休憩させる
- (11)(6)～(8)を8回繰り返す
- (12)実験参加者に感想を聞く

4.7 実験結果

4.7.1 ミスの回数

実験において得られたミスの回数を図6に示す。グラフの縦軸は、最大30回となるミスの回数を、横軸はSOAを示す。緑色のバーはソロ条件を、赤色のバーは融合条件を表す。Shapiro-Wilk検定を行った結果、いずれの条件もデータが正規分布していた。ミスの回数に関して、動作方法2（ソロ、融合）×SOA8（2.00秒、1.50秒、1.00秒、0.75秒、0.50秒、0.40秒、0.30秒、0.20秒）の2要因の参加者内分散分析を行ったところ、SOAの主効果 ($F(7, 140) = 158.64, p < .001$) は有意であった。動作方法の主効果 ($F(1,30) = 1.78, p = .197$) と交互作用 ($F(7, 140) = 2.26, p = .119$) は有意ではなかった。

各SOAにおけるミス回数に違いがあるかを確認するため、Holm法による多重比較を行った。その結果、0.30秒は0.20秒よりミスの回数が有意に少なく ($p < .01$)、0.50秒は0.40秒よりミスの回数が有意に少なく ($p < .05$)、0.75秒は0.50秒よりミスの回数が有意に少なくなっていた ($p < .05$)。

SOAごとのミスの回数の変化率に違いがあるかを確認した。各動作方法でのミスの回数に対し最尤法を用いてポアソン分析を当てはめ傾きを算出し、ミスの回数の変化率とした。ミスの回数の変化率に対処しないt検定を行ったところ、融合条件とソロ条件で変化率に有意な差はなかった ($t(30) = 1.45, p = .158$)。

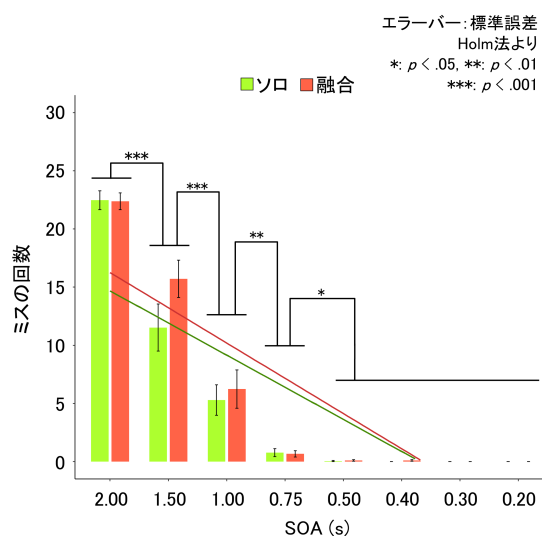


図6 ミスの回数

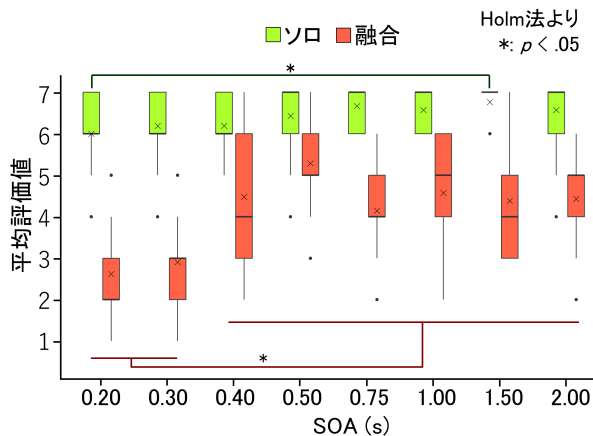


図 7 行為主体感

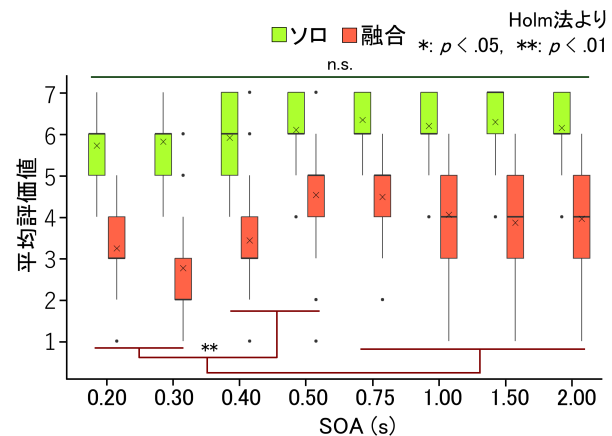


図 8 身体所有感

4.7.2 主観指標

行為主体感および身体所有感の平均評価値を図 7 および図 8 に示す。横軸は SOA を示す。緑色のバーはソロ条件を赤色のバーは融合条件を表す。行為主体感および身体所有感に対し 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。そのため、行為主体感と身体所有感のどちらも、整列ランク変換を施したのちに、動作方法 2 (ソロ, 融合) × SOA 8 (2.00 秒, 1.50 秒, 1.00 秒, 0.75 秒, 0.50 秒, 0.40 秒, 0.30 秒, 0.20 秒) の 2 要因の参加者内分散分析を行った。

行為主体感に関して、動作方法 2 × SOA 8 の 2 要因の参加者内分散分析を行ったところ、動作方法の主効果 ($F(1, 315) = 545.79, p < .001$), SOA の主効果 ($F(7, 315) = 14.43, p < .001$), およびそれらの交互作用 ($F(7, 315) = 7.93, p < .001$) がいずれも有意であった。

動作方法と SOA の交互作用が有意であったため、Holm 法による単純主効果検定を行った。その結果、融合条件では、2.00 秒, 1.50 秒, 1.00 秒, 0.75 秒, 0.50 秒, 0.40 秒は 0.20 秒よりも評価が有意に高くなっており ($ps < .05$), 2.00 秒, 1.50 秒, 1.00 秒, 0.50 秒, 0.40 秒は 0.30 秒よりも評価が有意に高くなっていった ($ps < .01$)。ソロ条件では、1.50 秒は 0.20 秒よりも評価が有意に高くなっていった ($p < .05$)。

身体所有感に関して、動作方法 2 × SOA 8 の 2 要因の参加者内分散分析を行ったところ、動作方法の主効果 ($F(1, 315) = 440.09, p < .001$), SOA の主効果 ($F(7, 315) = 9.78, p < .001$), およびそれらの交互作用の主効果 ($F(7, 315) = 3.21, p < .01$) がいずれも有意であった。

動作方法と SOA の交互作用が有意であったため、Holm 法による単純主効果検定を行った。その結果、融合条件では、0.50 秒, 0.40 秒は 0.20 秒よりも評価が有意に高くなっていった ($ps < .01$)。2.00 秒, 1.50 秒, 1.00 秒, 0.75 秒, 0.50 秒, 0.40 秒は 0.30 秒よりも評価が有意に高くなっていった ($ps < .05$)。ソロ条件では、全ての SOA 間で有意差は見られなかった。

4.7.3 内観

実験終了後の自由回答の内観では、「片方の人が頑張っで動かすと主観評価が高くなるが、もう片方は評価が低くなる」「融合では 0.30 秒や 0.40 秒ぐらいからきつく感じる」「ソロでは 0.30 秒ぐらいからきつく感じる」「右手で叩く都合上、右手側のモグラが腕で隠れて死角になる」「融合の場合、0.40 秒以降から一度でもミスすると取り戻すのが難しくなる」「融合は 2.00 秒だと待ち時間が長くなるので違和感があり、次々と触る必要のある 0.50 秒程度の方だと違和感がない」などのコメントが得られた。

4.8 考察

これまでの研究では、融合身体を用いて他者とリアルタイムに融合することで、1 人で身体を動かす場合よりも、効率的な身体動作に変化している可能性が示唆されている。しかし、どのような状況下であっても、常に身体動作の効率化が起こるとは限らない。場合によっては身体動作が非効率になる可能性もある。そこで本実験では、融合身体下でのタスク遂行時に時間的な制約を課し、素早い動作が求められる場合は、非効率な身体動作に変化すると仮説を立て、動作成績や主観指標を分析した。実験により得られたデータから、融合身体下での時間的な制約が身体動作を行う際に与える効果を考察した。

4.8.1 ミスの回数

ミスの回数は、参加者がアバタの右手で標的であるモグラを叩き損じた回数を示し、ミスの回数が少ないほど効率的に身体を動かすことができたと考えられる。ここでは、ソロ条件と融合条件の各動作方法がミスの回数に及ぼす効果、および 2.00 秒, 1.50 秒, 1.00 秒, 0.75 秒, 0.50 秒, 0.40 秒, 0.30 秒, 0.20 秒のターゲットの出現時間間隔 (SOA) がミスの回数に及ぼす効果について分析を行った。その結果、動作方法によってミスの回数に有意な差は認められなかった。また、SOA においては、0.75 秒, 0.50 秒, 0.40 秒, 0.30 秒, 0.20 秒の順にミスの回数が増加していった。

動作方法に関して、動作方法間での主効果が有意でなか

った。このことは、時間的制約が課された状態では、タスクをリアルタイムに融合して行う場合とソロで行う場合とで、タスク成績が変わらないことを示している。さらに、動作方法間で、SOA ごとのミスの回数の変化率についても有意差は認められなかった。したがって、本タスクのモグラ叩きのように、身体動作に速さが求められる状況であっても、リアルタイムに融合しているアバタを使用することが、アバタを操作する個人の身体動作を非効率なものへ変化させることはないと考えられる。

一方で、本実験では、融合条件にてソロ条件よりも有意にミスの回数が少ない、すなわちタスク成績が高くなるという結果は得られなかった。これは、時間的制約が課された状態では、他者とリアルタイムに融合しても身体動作効率は向上しないとも捉えることができ、他者と融合することで自己の身体動作が効率的になることを示す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、タスク設計や扱った指標による影響があった可能性が考えられる。関連研究では、リーチングタスクと呼ばれる、自己の腕を伸ばしてアバタの腕を操作し、アバタの手で標的に触るタスクが採用されている、このタスクを標準的に行う場合、標的が出現したらできるだけ素早くターゲットに触れるよう教示するなど、瞬発的な動作が要求されることはない。それに対して、本実験では、標的が各 SOA で連続的に呈示されたため、標的の出現直後に瞬間的に標的を叩く必要があった。本実験のタスクでは瞬発的な動作開始が必要であったため、他者との融合による効果が生じなかった可能性がある。また、SOA が 2.00 秒、1.50 秒、1.00 秒、0.75 秒の場合は、関連研究のリーチングタスクと同程度の動作速度であるため、身体動作が効率的に変化すると予想されるが、本実験では融合条件にてソロ条件よりもミスの回数が少ない SOA はなかった。これは、SOA が長いと標的の叩き損じが発生しにくいため、ミスの回数という指標では SOA が長い条件でも融合による成績向上を確認することが困難であった可能性が挙げられる。

SOA に関して、0.75 秒から 0.20 秒までは段階的にミスの回数が有意に増加しており、2.00 秒から 0.75 秒では有意な差は見られなかった。SOA が 2.00 秒から 0.75 秒の場合は、右手を上から叩き下ろし、再び叩き下ろしはじめの位置に戻すという動作に十分な時間を確保できたが、0.75 秒より短くなると時間が十分に確保できなくなったことが関係していると推測される。

4.8.2 行為主体感

行為主体感の平均評価値について、動作方法と SOA が行為主体感に及ぼす効果について分析を行った。その結果、ソロ条件の方が融合条件よりも評価が高くなっていた。また、2.00 秒、1.50 秒、1.00 秒、0.75 秒、0.50 秒、0.40 秒は 0.30 秒、0.20 秒よりも有意に評価が高くなっていた。動作方法と SOA の交互作用についても有意であった。

動作方法に関して、ソロ条件の方が評価値は有意に高くなっていたことから、他者とリアルタイムに融合すると行為主体感が低下することが示された。融合すると、自己の動作とともに他者の動作もアバタの動作として反映され、アバタが自身の意図通りには動かないため行為主体感が低下すると考えられる。この結果については、関連研究の結果と同様の傾向となっている。

SOA に関して、2.00 秒、1.50 秒、1.00 秒、0.75 秒、0.50 秒、0.40 秒と 0.30 秒、0.20 秒を比較したところ、0.30 秒、0.20 秒の評価値が有意に低くなっていた。SOA が 0.30 秒と 0.20 秒の場合、標的が次々と出現するため、標的の認識と腕の動きの調節にかかる負荷が高まり、行為主体感が低下したと考えられる。

動作方法と SOA の交互作用に関して、ソロ条件では、1.50 秒と 0.20 秒以外の SOA では行為主体感の評価値が融合条件よりも有意に高かった。このことから、SOA が短くなった場合も、1 人で身体を動かしていれば行為主体感の変化はほとんどないと考えられる。一方で、融合条件では、0.30 秒と 0.20 秒での評価値が、2.00 秒、1.50 秒、1.00 秒、0.75 秒、0.50 秒、0.40 秒よりも有意に低くなっていた。このような結果が得られた原因として、本実験でのタスク設計による影響が考えられる。本実験では、同時に表示される標的の数が 3 つ以下となるように制御し、既に 3 つの標的が表示されている場合には、4 つ目の標的が出現する前に、すでに呈示されている標的のうち最初に出現した標的が消滅するように設定した。すでに 3 つの標的が表示されている場合は最も早く呈示されていた標的が強調表示されていたが、0.30 秒や 0.20 秒の場合は標的の出現と消滅が次々と行われ強調表示される標的が変化し、それに伴い各参加者が触れようとする標的も次々と変化していた可能性が考えられる。さらに他者と融合した場合は、各実験参加者が別々の標的に触れようと試みる機会が増加したことでアバタの動作を互いに調整することが非常に困難となり行為主体感の低下を引き起こしたと考えられる。

4.8.3 身体所有感

身体所有感の平均評価値について、動作方法と SOA が身体所有感に及ぼす効果について分析を行った。その結果、行為主体感と同様に、ソロ条件の方が融合条件よりも評価が高くなっていた。また、SOA において 2.00 秒、1.50 秒、1.00 秒、0.75 秒、0.50 秒、0.40 秒は他の SOA よりも有意に評価が高くなっていた。動作方法と SOA の交互作用も有意であった。

動作方法に関して、ソロ条件の方が評価は有意に高くなっていた。アバタに他者の動作も反映されることにより自身の意図しない動作が生じたことが、行為主体感と同様に身体所有感の低下につながったと考えられる。他者との融合に伴い、行為主体感と同様に身体所有感も低下するという傾向は、関連研究の結果と同様のものとなっている。

SOA に関して、2.00 秒、1.50 秒、1.00 秒、0.75 秒、0.50 秒、0.40 秒と 0.30 秒、0.20 秒を比較したところ 0.30 秒、0.20 秒の評価値が有意に低くなっていた。特に、腕を素早く動かしたとしても標的を叩くのが間に合わない状況では、タスク遂行にかかる負荷が大きくなり、身体所有感の低下が引き起こされたと考えられる。

動作方法と SOA の交互作用に関して、ソロ条件では、全ての SOA で融合条件よりも有意に評価が高く、SOA 間での有意差は見られなかった。このことから、標的の出現時間が速くなっても、1 人で身体を動かしていれば、身体所有感に変化はほとんどないと考えられる。一方で、融合条件では、SOA の短縮に伴い身体所有感が低下した。融合する場合でも特に腕を素早く動かす必要があると、アバタの動作が自身の意図する動作から乖離し、身体所有感の低下を引き起こしたと考えられる。

5. 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）を共有する融合身体では、他者とリアルタイムに融合することで、各個人の身体動作が効率的に変化していることが報告されてきた。しかし、融合身体を用いれば、常に身体動作が効率的になるとは限らない。時間的制約を課され、素早い動作が求められるような状況では、アバタの動作を互いに調整することが非常に困難となり、身体動作効率の低下を引き起こすと予想される。そこで、本研究では、タスク遂行にかかる時間的制約が融合身体下での身体動作にどのような効果を及ぼすのか検証した。その結果、1 人でタスクを行う場合と、2 人で融合してタスクを行う場合とで、タスク成績に差は生じなかった。このことから、他者と融合しても、タスクで要求される動作速度によって身体動作の効率は低下せず、時間的制約が融合身体下での動作に与える効果は小さいことが示唆された。

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] 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, 3C3 - 7, 2020.
- [3] N. Sebanz, H. Bekkering, and G. Knoblich: Joint action: bodies and minds moving together, *Trend in Cognitive Sciences*, Vol. 10, No. 2, pp. 70 - 76, 2006.
- [4] M. Gallotti, and C. Frith: Social cognition in the we-mode, *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 17, No. 4, pp. 160 - 165, 2013.
- [5] B. Wahn, A. Karlinsky, L. Schmitz, and P. König: Let's Move It Together: A Review of Group Benefits in Joint Object Control, *Frontiers in Psychology*, Vol. 9, Article 918, 2018.
- [6] T. Hagiwara, G. Ganesh, M. Sugimoto, M. Inami, and M. Kitazaki: Individuals prioritize the reach straightness and hand jerk of a shared avatar over their own. *iScience*, Vol. 23, No. 12, 2020.
- [7] T. Flash, and N. Hogan: The coordination of arm movements: an

experimentally confirmed mathematical model, *Journal of Neuroscience*, Vol. 7, No. 7, pp. 1688 - 1703, 1985.

- [8] 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-, 日本バーチャルリアリティ学会第 27 回大会論文集, 3C1-2, 2022.
- [9] 大久保街亜, 鈴木玄, Nicholls, Michael E. R. 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.