



融合身体に付加する他者の動作データの同期性が ユーザの歩行動作に及ぼす影響

後藤拓海¹⁾, 岡時生¹⁾, 櫻井翔¹⁾, 野嶋琢也²⁾, 広田光一¹⁾

Takumi GOTO, Tokio OKA, Sho SAKURAI, Takuya NOJIMA, and Koichi HIROTA

電気通信大学 大学院情報理工学研究科 (〒182-8585 東京都調布ヶ丘 1-5-1,

{goto.takumi, tokio_oka, sho, hiroya}@vogue.is.ucc.ac.jp)

2) 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 (〒182-8585 東京都調布ヶ丘 1-5-1, tnojima@nojilab.org)

概要: 融合身体では, 加重平均した 2 人の身体の動きが一人称視点で見る 1 つの身体に反映される. 本研究では, 歩行を具体的な動作タスクとして取り上げ, 融合身体に合成した他者の動作データがリアルタイムに取得したものか予め記録したものかで, ユーザの動作 (歩き方, 方向, 歩幅等) に違いが生じるのかを検証した. 併せて, 合成したデータの違いを識別可能かについても調査し, タスクに応じた合成データの使い分けが必要かを論じる.

キーワード: 融合身体, Virtual Embodiment

1. はじめに

バーチャルリアリティ (VR) 空間では, ユーザはヘッドマウントディスプレイ (HMD) によって出力される一人称視点で代替身体 (アバタ) を操作できる. 多くの場合アバタには 1 人のユーザの動きが反映されるが, 2 人以上のユーザの動きを合成し, 1 つのアバタに付加することも可能である. 本稿ではこのようなアバタを融合身体と呼称する.

融合身体を用いたタスクでは, ユーザはアバタの動きを予測できる場合に自身の寄与率 (アバタに反映される自身の動作の割合) を高く評価し, ユーザの動きがアバタと動きに同期していく傾向にあることが示唆されている[1]. これは, 視認する融合身体の動きによりユーザ自身の身体図式 (感覚-運動のマッピングに関する潜在的認知)[2]が更新されるためと考えられている, しかし, 融合身体を用いるユーザ間での身体スキルの伝達が可能かを調査した研究では, 教師役と生徒役に分かれた 2 人のユーザの動作を 1 : 1 で合成した時の生徒側に対する学習効果の向上は認められていない[3]. この原因として, 他者の動作が同時に反映される融合身体への身体所有感の低下に起因して, 融合身体による身体図式の更新が行われなかったのではないかと考察されている. 先行研究[1, 3]では, 2 人のユーザが同時に融合身体を操作する時の動作データが合成されたが, 記録したデータを合成することも可能である. 児玉らは, リアルタイム合成と伝えた上で予め記録した他者の動作データ (録画データ) を合成した融合身体の体験開始時は被験者の寄与率を高くし, 途中で低くすることで, 最初の行為主体感

を維持できることを示している[4].

融合身体を用いたユーザ間でのスキル伝達を図る上で, 融合身体を操作するユーザの動作データに同期性がある場合, 教師側も生徒側の影響を受けるため, 教師側の動作が不安定になることが懸念される. 一方, 録画データを合成する場合はピックアップした正しい動作のみを安定的に利用できるため, 多くの人が時間や空間を超えて融合身体を用いた動作の習得ができる可能性がある. しかし, 生徒側に対する教師側の動作の同期性の有無にかかわらず同様にスキル伝達が可能か, また身体所有感や行為主体感等の身体感覚が生じるかは明らかでない.

本稿では, 融合身体を用いる教師と生徒の動作データの同期性が生徒側の動作および身体感覚に与える影響の検証を目的に設定し, 本検証を通じて融合身体のスキル伝達効果に関する知見の蓄積を図る.

2. 実験

上記目的に対し, 融合身体を用いて生徒が教師と同じ動作を行うタスクを設定し, リアルタイムで取得した動作データと録画データを合成した場合に生徒の動作と身体感覚に違いが生じるかを検証する実験を行った. 教師が行う目的動作として, 左右の足が一直線上に配置するような歩行方法 (モデルウォーク) を採用した. 以降では, 「アバタ」はユーザ自身の動作データのみを反映したアバタ, 「融合身体」は実験者と被験者の動作データを合成したアバタを指す.

2.1 実験条件

本実験では融合相手となる教師（実験者）のリアルタイムの動作データを合成する条件（以下 RealTime 条件）と録画データを合成する条件（以下 PreRec 条件）で、融合身体の効果に差異が生じるかを検証した。RealTime 条件では、実験者も被験者のリアルタイムの動作が合成された融合身体を利用して目的動作を行った。PreRec 条件では実験者が実験前に予め行った目的動作の動作データを記録し、被験者はその録画データを合成した融合身体を用いた。どちらの条件も実験者は同一の 24 歳男性が務めた。

融合身体の姿勢や位置座標は、各アバタの関節角の回転、および腰の位置座標について 1 : 1 の割合で加重平均することで決定された。また融合身体を一人称視点で成立させるため、VR 上のカメラ位置は融合身体の頭部の位置を参照した。ただし視点の向きについては融合せず、各ユーザの HMD の向きをそのまま用いた。

両条件で、実験者と被験者は双方とも電子音による 4 拍子の合図（BPM=80）に一步のタイミングは電子音による 4 拍子の合図（BPM=80）に合わせ、右足から歩き出すよう指定した。

2.2 実験環境

融合身体を用いた歩行を行うシステム環境は、8 台の OptiTrack Prime13)を用いたモーションキャプチャシステム (OptiTrack Motive 3.0)、融合身体および VR 環境を出力する HMD (HTC Vive pro (解像度 2880*1600px,リフレッシュレート 90Hz, 視野角 110 度)), システム動作用 PC (Windows 10, Core i9-9900K / RAM 16GB DDR4/ GeForce RTX 2070Super 6GB GDDR6) 上でUnity(2019.4.25.1f, 90Hzで実行)から構成された。RealTime 条件では、個別の 2 室に上記システムを一式ずつ設置し、Unity の Remote Procedural Call 機能によって同期させた(図 1)。

VR 環境には、図 2 のように前方にアバタもしくは融合身体を映す鏡を配置し、地面には歩行領域とゴールを示した。PreRec 条件に使用する動作データを取得する時、また RealTime 条件で歩行する時に実験者の HMD に出力される VR 空間では歩行領域の床面中央には目的の歩行動作を行うための基準線を追加で配置した。アバタと融合身体はいずれも VRoid Studio (v0.13.2,ピクシブ株式会社) で作成された身長約 170 cmの男性アバタを使用した。

2.3 評価項目

2.3.1 歩行経路の計測

歩行経路についてはモーションキャプチャによって取得した踵の位置の座標を計測し、歩行開始後 50 cm先から左右 3 歩ずつ計 6 歩に対して、踵が地面に付いた時点での進行方向と垂直方向の座標を踵の位置とし、左足の踵の位置の平均値と右足の踵の位置の平均値の差を求めた。この値が小さくなるほど目的の歩行動作に近づくことを示す。

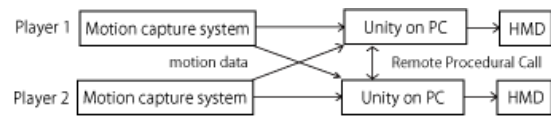


図 1 システムの通信構造

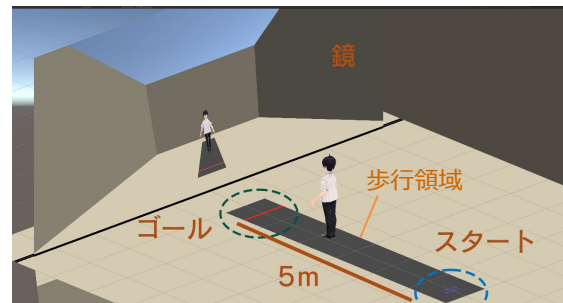


図 2 実験環境の VR 空間の様子

表 1. 条件ごとのアンケート項目

番号	項目
Q1	アバタは自分の身体のように感じましたか?
Q2	アバタは自分が動かしていると感じましたか?
Q3	自分と相手の融合比率はどのように感じましたか?
Q4	融合相手の歩行について、速さは自分と比較してどうでしたか?
Q5	融合相手の歩行について、歩幅は自分と比較してどうでしたか?
Q6	融合相手の歩行について特徴はありましたか?(記述)
Q7	歩行するとき意識したことはありますか?(記述)
Q8	その他気づいたことはありますか?(自由記述)

2.3.2 アンケート評価

実験では、表 1 に示す身体性評価アンケートを実施した。Q1,Q2,Q4,Q5 には 7 段階リッカート尺度、Q3 は主観的な融合比率の数値記入、Q6~Q8 には自由記述で回答させた。Q1 と Q2 は実験者のアバタを用いた歩行練習後および融合身体を用いた歩行後、Q3~Q6 は融合身体を用いた歩行後、Q7 と Q8 は融合身体後の歩行計測の後、それぞれ回答させた。各歩行の内容は後述する。

また実験後のアンケートではそれぞれの試行について、どの条件であったかを「リアルタイム」「録画データ」「わからない」の 3 つから回答させた。

2.4 実験方法

まず、被験者を実験室に招き、実験の目的を「VR 空間における融合身体を用いた歩行練習」として、実験者から実験手順についての説明を行った。実験の趣旨について参加に同意を得られた被験者は、身長や VR の体験頻度などを問う質問紙に回答した後、まず HMD を着用せずに電子音のリズムに合わせて歩行する練習を行った。次に、HMD とトラッキングスーツを装着し、モーショントラッキングの準備を行った後、リズムに合わせてアバタを用いた歩行練習を 4 試行行い、4 回目の歩行データのみを計測した

(Self 条件). ここで一度 HMD を外し, アンケートの Q1 と Q2 を回答させた. その後の後, PreRec 条件または RealTime 条件の融合身体を用いた歩行動作を 10 回行い 10 回完了後はアンケートの Q1~Q6 に回答させた. その後, 最後にもう一度アバタを用いた歩行動作を計測し, アンケートの Q8 と Q9 に回答させた. 30 分の休憩の後, もう一方の条件についても同様の手順で実施した. RealTime 条件と PreRec 条件の実施順は, 順序効果を相殺するため被験者間でランダムとした.

2 条件での試行終了後は, 1 試行目と 2 試行目のそれぞれで適用された融合条件を判断し, 実験全体について自由記述で回答するアンケートを実施した.

2.5 結果

被験者は 21 歳から 24 歳までの健康な大学生 10 名 (男:女=9:1) であった.

2.5.1 歩行経路の計測

踵の位置の座標の平均値は試行ごとに次のようになった(図 3). 試行回数による目的動作への収束有無を調べるため, 融合身体を用いる前のアバタを用いた歩行動作を $x=1$, 融合身体を用いた歩行動作の 1 回目から 10 回目を $x=2\sim x=10$, 融合身体を用いた後のアバタを用いた歩行動作を $x=11$ とし, 踵の横座標として得られた値を y とし, 線形補完すると, 表 2 に示す式が得られた. また融合身体体験前後の単独での歩行における踵の位置座標の平均値について Welch の t 検定を行ったところ, 双方の条件において試行前後の有意な差は見られなかった.

(RealTime 条件 : $p=0.11$, PreRec 条件 : $p=0.50$)

2.5.2 アンケート評価

Q1 行為主体感と Q2 の身体所有感の評価値に対し, フリードマン検定およびウィルコクソンの符号順位検定を実施した. 結果, Q1 の身体所有感 ($\chi^2=1.56, p=0.46$), Q2 の行為主体感 ($\chi^2=4.41, p=0.11$) について共に条件の主効果は認められなかった. (図 4). Q3 の融合比率は, Welch の t 検定の結果, 条件間の有意差は見られなかったが ($p=0.40$), 双方の条件でも実際よりも自身の寄与率を高く評価する傾向が見られた(図 5). Q4 および Q5 の融合相手の歩行に関する評価に対しては, ウィルコクソンの符号順位検定の結果, Q4 相手の歩行速度 ($p=0.56$), Q5 相手の歩幅 ($p=0.09$) とともに条件間に有意差は見られなかった(図 6).

実験後アンケートにおける各試行の融合条件を識別する設問に対し, RealTime 条件, PreRec 条件の双方で正しい条件を判断できた被験者は少なかった(図 7).

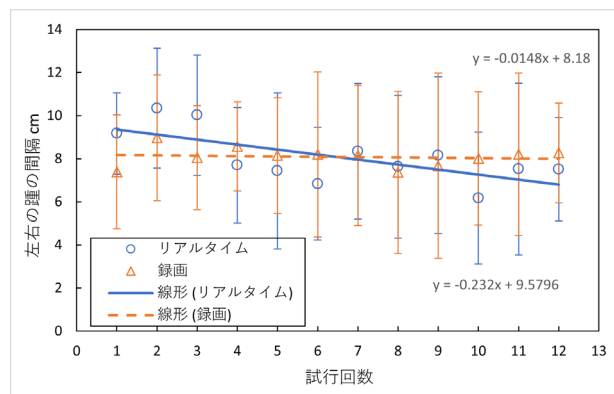


図 3. 踵の位置座標の変化

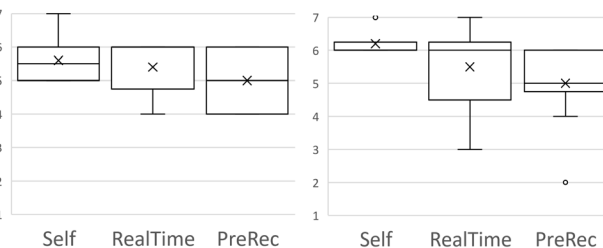


図 4. Q1 身体所有感(左)と Q2 行為主体感(右)

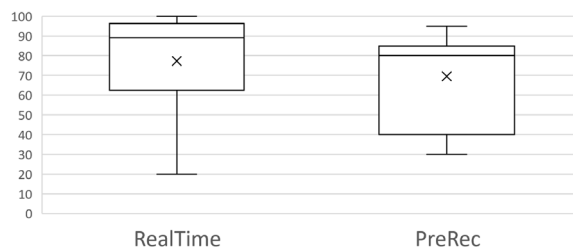


図 5. Q3 自身の融合比率

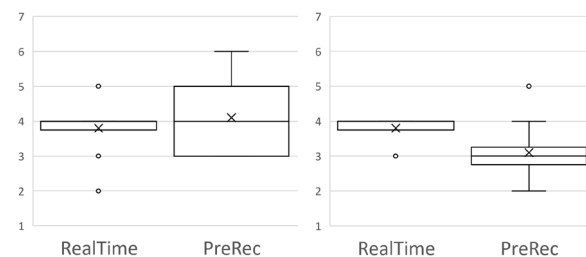


図 6. Q4 融合相手の歩く速度 (左) と Q5 歩幅 (右)

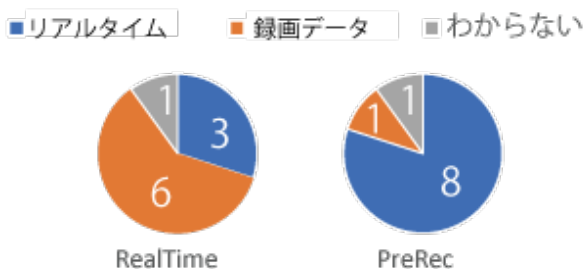


図 7 条件の識別 (グラフ内の数値は回答した被験者数)

表 2. 歩行経路の補完直線

RealTime 条件	$y = -0.232x + 9.58$
PreRec 条件	$y = -0.015x + 8.18$

3. 考察

3.1 歩行動作の変化

PreRec 条件ではユーザの踵の動作はほとんど変化が見られなかったのに対し、RealTime 条件では徐々に実験者の意図した動き(目的動作)に近づくことが示唆された。上記の違いの理由として考えられるのは、被験者の動きに影響したであろう融合身体の動作に他者の意図的な調節が加えられたかどうかである。[2]の考察が正しければ、全ての条件で被験者が高い身体所有感および行為主体感を得ていた(詳細は後述)ことから、いずれの条件でも融合身体の動作に基づく身体図式の更新に起因して動作の変化が生じたと仮定できる。この時、被験者には融合身体を調整する意図がなく、被験者の動作も融合身体の動作に基づいて無意識的に変化したと考えるのが自然だろう。ここで、PreRec 条件では、融合身体の動作には目標動作から被験者の動作分ずれが加わり、被験者自身が自覚していない動作量のみ依存して変化したはずである。これが真であれば、融合身体に目的動作が付与されることはない。一方、教師側も融合身体を用いた RealTime 条件では、実験者は融合身体に目的動作を与えるという意識に基づき、被験者の動きの影響を受けて変化する融合身体に目的動作が付与されるよう自身の動作を修正していた可能性が高い。そのため、RealTime 条件では被験者の動作は実験者が目的動作を与えるために融合身体に与えられた動作に従って実験者の動作も徐々に目的動作に近づいていったと考えられる。言い換えれば、融合身体が実験者の動作を被験者に伝達するための媒体の役割を果たしていたことになる。

今回は RealTime 条件と PreRec 条件の双方で常に生徒と教師の融合比率は 1:1 に設定していたが、融合比率に基づく行為主体感の違いからユーザの動作が変化する可能性があるため、各条件においてさまざまな動作スキルの伝達を可能にするための最適な融合比率や試行の回数については、引き続き調査を要する。また RealTime 条件では今回教師役のみが目的の動作を知らされていたが、生徒側に目標の動作を事前に伝えた場合や協力して目標の動作を実行することを求めた場合、ユーザ間での動作の収束の可否やプロセスが異なる可能性がある。

3.2 アンケート評価

実験後アンケートの自由記述では、RealTime 条件、PreRec 条件ともに「内股である」「一つの軸の上を歩行していた」という回答が多く得られたことから、通常と異なる歩き方をする意図は推定されていたと考えられる。

RealTime 条件と PreRec 条件の識別については正答率が低く、逆の条件を示す割合が多くなった。RealTime 条件では、「融合している感覚がなかった」と 3 名から回答があったが、そのいずれの回答者も録画データであったと条件を識別していた。PreRec 条件では「融合アバタの足の動きが全体的に自分が動かしているものよりも小さく感じた」

「アバタの足が自分の動作と比べて遅れてくるように感じた」のように、4 名がやリズムのずれに言及していた。この 4 名は、合成された教師側の動作に不安定さを感じたことを根拠として、リアルタイムデータが合成されたと誤認したと推察される。本アンケート結果は、歩行という比較的単純なタスクであっても、条件の違いにかかわらず動作データの同期性の有無は識別が難しかったことを示す。併せて、PreRec 条件は全て同じ録画データを使用していたことにほとんど気づかれなかったことが分かった。この条件識別の結果は、タスクによっては、トラッキングデータではなく人工的に生成したデータを使用した方が動作伝達の効率を向上できる可能性がある。

4. おわりに

融合身体を用いる教師(実験者)と生徒(被験者)の動作データの同期性が生徒側の動作および身体感覚に与える影響を検証した。本実験では、上記の同期性がある条件では、同期性がない条件に比べて被験者の動作が融合身体の動作に近づいていくまでの時間が短くなることが示された。一方で、同期性の有無にかかわらず、融合身体に対する身体所有感および行為主体感に有意な違いは見られなかった。また、同期性がある条件とない条件を正しく識別できた被験者はほとんどいなかった。

今後は、融合身体を用いて実行するタスクの内容や、達成する目標の共有の有無といった状況の違いも踏まえ、融合身体がユーザの身体図式、身体感覚、動作に与える影響とそのメカニズムを引き続き検証する。併せて、融合身体の動作伝達効果や、動作伝達を可能にする最適な融合比率等、融合身体の動作設計の影響についても併せて調査を進めていく。

謝辞 本研究 JSPS 科研費 JP19H0566 の助成を受けて実施された。

参考文献

- [1] Fribourg .R et.al.; Virtual Co-Embodiment: Evaluation of the Sense of Agency while Sharing the Control of a Virtual Body among Two Individuals;
- [2] 田中彰吾:心理的身体と身体知-身体図式を再考する, 人体科学, 18(1), 1-12, (2009).
- [3] 伊東ら: 融合身体を用いた身体スキル伝達に関する基礎調査, VRSJ2020, 3C3-7, 2020 年.
- [4] 児玉ら;身体融合時の動的な寄与率制御による行為主体感向上, VRSJ2021, 1C3-4, 2021 年