



融合身体を用いた全身運動における上下半身ごとの動作合成比率が身体性に与える影響

大原侑祐¹⁾, 後藤拓海¹⁾, 岡時生¹⁾, 櫻井翔¹⁾, 広田光一¹⁾, 野嶋琢也¹⁾

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

1) 電気通信大学 大学院情報理工学研究科情報学専攻 (〒182-0035 東京都調布市調布ケ丘 1-5-1 {ohara_yusuke, goto.takumi, tokio_oka, sho, hiroya}@vogue.is.ucc.ac.jp, tnojima@nojilab.org)

概要: 複数人の動作データを合成した 1 体の VR 身体 (アバタ等) を融合身体と呼ぶ。著者らは、融合身体を利用し、複数人の同一身体による運動や対戦など実身体では実行不可能な新しいスポーツの実現を目指している。その実現可能性を探るための基礎調査として、本稿では、ボウリングを例題に、融合身体を用いた全身運動時の合成比率 (融合身体に反映される各ユーザの動作の割合) がユーザの身体性に与える影響を検証した。

キーワード: 融合身体, 身体性, 全身運動, スポーツ

1. はじめに

複数の人がバーチャルリアリティ (VR) 環境で同時に操作可能な身体 (アバタ) は融合身体や共有身体と呼ばれる。本稿では統一して融合身体と呼称する。融合身体による動作は、主に各ユーザの寄与率 (融合身体に反映される各ユーザの動作の大きさ) の基盤となる合成比率 (動作の反映割合) により決定される。合成比率は、全身一律ではなく、分割方法 (ユーザ自身もしくは合成した動作を適用する身体部位の分け方) に応じて調整できる。例えば、上半身と下半身[1], 右半身と左半身[2]にそれぞれ異なる合成比率を適用すれば、ユーザ間での部位ごとの動作分担も可能になる。

著者らは、複数人が同時に操作可能という融合身体の特徴を活用し、スポーツにおけるゲームの展開や結果、さらに、競技のフォーマットやルール設計に介入できると考えている。テニスのようなスポーツを例に挙げると、融合身体同士のシングルス戦と、個々の融合身体を操るユーザ同士のダブルス戦を同時に成立できる。また、ユーザが互いの身体能力や部位ごとの運動をカバーし合う、言い換えればスポーツにおけるハンディキャップや難易度の設計が可能になるかもしれない。このようなスポーツの実現は、従来のスポーツの前提を覆し、スポーツの定義や価値を革新しうる。

一方、自身だけでなく他者の意図による動作が与えられる融合身体による動作は、自身の身体を動かす時と大きく異なる。これにより、合成比率やその適用部位の設計次第で、融合身体による運動のパフォーマンスや、身体所有感や行

为主体感のようなユーザ自身の身体感覚は大きく変わる可能性が高い。実際、合成比率が着座状態でのリーチングタスクのパフォーマンスに影響するとの報告がある[3]。加えて、スポーツにおける運動パフォーマンスは、ゲームの難しさや楽しさにも影響することが見込まれる。

多くのスポーツでは、運動的かつ複雑な全身運動を伴う。また、スポーツによって各部位の動かし方や鍵となる動作が異なる。そのため、スポーツの種類によって、同じ合成比率を適用しても部位ごとに発揮できる運動パフォーマンスや身体感覚が異なる可能性がある。この時、融合身体による全身に狙いとする動作を与えられるか、あるいは融合身体に適用する合成比率や分割方法に基づいて融合身体をどのように動かそうとするのかは未知数である。

本研究では融合身体を用いた新たなスポーツの実現を目指し、まずは融合身体を用いて実際の競技に近い全身運動を行う時、運動を構成する連立動作を踏まえて適用した部位ごとの合成比率の違いから身体性に生じる影響を調査する。本稿では、融合身体による動作を通じて得られる運動パフォーマンスとユーザの運動、身体所有感や行為主体感等の身体感覚、楽しさ等の心理を身体性と総称する。

2. 実験

本研究では、上記の目的を達成するため、全身運動としてボウリングの投球を対象に以下の評価実験を行った。

2.1 実験環境

2 人の被験者が融合身体を用いてボウリングの投球を行うためのシステム環境を構築し、実験に用いた。本シス

テムは、別個の2つの実験室に一式ずつ設置したモーションキャプチャカメラ (OptiTrack Prime13×17 台もしくは OptiTrack Flex13×18 台, NaturalPoint 社), ヘッドマウントディスプレイ (HMD ; HTC VIVE pro), VIVE コントローラ, PC (CPU: AMD Ryzen Thread Ripper 3960X, GPU: NVIDIA GeForce RTX3090, RAM: PC4-25600, 128GB) から構成された (図 1). 本システムでは, 再帰性反射材を取りつけたボディースーツおよび HMD を着用した被験者の動作データをモーションキャプチャシステム (OptiTrack Motive) により計測し, 各データを合成して融合身体となる1体のアバタに付加した (図 1). コントローラは被験者の利き手に所持してもらい, 本環境での計測が難しい手指の細かい動作データの代替として, トリガの操作データに基づく動作合成と投球動作の実行を可能にするために利用した. また, HMD 内蔵のマイクとスピーカを通じて被験者間での音声会話が可能になるよう設定した (図 2). 実験の VR 環境には, 融合身体の動きを視認可能にするため, レーン上に鏡を設置した (図 3).

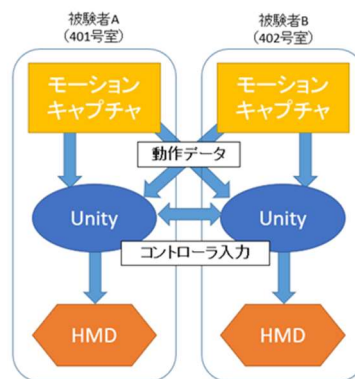


図 1 : システム構成図



図 2 : 実験の様子

2.2 実験方法

本実験では, 2人1組の被験者のペアに, 融合身体を用いてレーン上の1本のピンに向かって球を投げるタスクを行ってもらった. ボウリングの投球は, 腕を振る上半身の動きとステップを踏む下半身の動きに大きく分けられる. そこで本実験では, 融合身体の分割方法を上半身分割に決定した. 融合身体の合成比率は, 上半身, 下半身ともに2人の寄与率の合計が100%となる8条件 (以下, 合成比率条件) を設定し, 各半身における合成比率の組合せに基づく寄与率の差の大小4条件 (以下, 寄与率条件) を編成した (表 1). 全被験者が全合成比率条件を体験するため, タスクは計8試行を実施した. 1試行につき投球は5回行なった. 1回の投球ごとに, ピンは本来のボウリングでレーン上に配置される10本のピンの位置からランダムに出現させた. 球の把持と解放の動作は, 各ユーザが用いたコントローラのトリガの押し具合に上半身の合成比率に基づいて重み付けした値により決定された. 投球時の球の動きは, 融合身体となるアバタの腕の振りの速さと方向によって決定し, 回転は与えなかった. タスク中, 各ペアは会話で投球タイミングなどを相談できた.

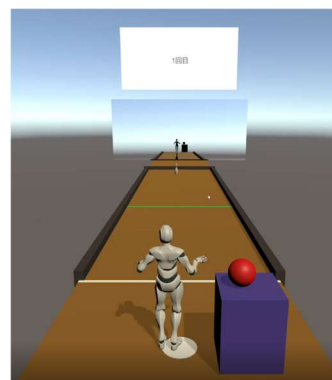


図 3 : 本実験の VR 環境

表 1 : 実験で用いた合成比率

	条件1	条件2	条件3	条件4
寄与率の差	大	—————→		小
	1A(1B)	2A(2B)	3A(3B)	4A(4B)
上半身	100:0 (0:100)	80:20 (20:80)	60:40 (40:60)	50:50 (50:50)
下半身	0:100 (100:0)	20:80 (80:20)	40:60 (60:40)	50:50 (50:50)

被験者A:被験者B

本タスクでは, 各条件下の運動パフォーマンスの評価指標として球とピンの最短距離 (以下, 最短距離) および球を放したタイミングの球速を計測した. 各タスク終了後は, 身体感覚およびスポーツにまつわる心理的影響を評価するためのアンケートを実施した (表 2). Q1~Q4 は7段階のリッカート尺度 (1:全く~なかった, 7:非常に~だった), Q5~Q7 は具体記述で評価させた. 全実験終了後はボウリングの経験や実験の感想を自由記述で回答させた.

本実験は, 8組の被験者ペア (男性ペア7組, 女性ペア1組, 19~24歳, 右利き) を対象に, 被験者内計画で実施した.

表 2 : タスク終了後アンケート

Q1	アバタを自分の身体であると感じたか (身体所有感)
Q2	アバタは自分の思い通りに動かせたか (行為主体感)
Q3	タスクは難しかったですか (難しさ)
Q4	タスクは楽しかったですか (楽しさ)
Q5	自分の上半身の動きがどのくらい反映されていると感じたかどうか (%)
Q6	自分の下半身の動きがどのくらい反映されていると感じたか (%)
Q7	意識した部分

3. 結果

最短距離と球速の測定値に対し、シャピロ・ウィルク検定によって正規性を確認した。正規性が認められた最短距離に寄与率の差の大小を要因とする一元配置反復測定分散分析を実施した結果、全4条件間で主効果は非有意であった ($F(3, 45)=1.75, p=0.171$)。正規性が認められなかった球速は、フリードマン検定およびウィルコクソンの符号付順位和検定による多重比較の結果、寄与率の差の大小の主効果が認められ ($\chi^2=10.9, p=0.012$)、条件1-3間に有意な差が見られた ($p=0.020$) (図4)。アンケートについては、合成比率を要因とするフリードマン検定およびウィルコクソンの符号付順位和検定による多重比較を行った。結果、Q1~Q4で合成比率の主効果が認められた (Q1: $\chi^2=49.8, p<1.56e-08$, Q2: $\chi^2=38.8, p<2.12e-06$, Q3: $\chi^2=21.2, p=0.003$, Q4: $\chi^2=21.4, p=0.003$)。またQ1は条件1A-3B ($p=0.013$), 1A-2B ($p=0.046$), 1A-1B ($p=0.020$), 条件2A-3B ($p=0.047$), 2A-2B ($p=0.022$), 2A-1B ($p=0.016$) のそれぞれで評価値に有意差が見られた。Q2は条件1A-1B

($p=0.040$), 条件2A-2B ($p=0.014$), 2A-1B ($p=0.022$) でそれぞれ評価値に有意差が見られた。Q3とQ4は、全8条件間で評価値に有意差は見られなかった($p>.05$) (図5)。

4. 考察

4.1 運動パフォーマンス

寄与率の差の主効果が認められなかった最短距離の変化要因として考えられるのは、投球前の身体の向きや位置、投球時に腕を振る方向等である。本実験では球が出現してから投球までの時間制限を設けなかったため、各ペアは時間をかけて投球前の身体の向きや位置を調整できた。また実験の録画映像から、ほとんどの被験者が目標のピンに対して真っ直ぐ腕を振っており、条件によって腕の振り方を大きく変更していなかったことが確認できた。これらの被験者の動向から、各組合せ条件間でユーザ間の投球前の身体の向きや位置に大きな差は生じず、融合身体の腕の振る方向のぶれが小さかったために、合成比率は最短距離に影響しなかったと考えられる。

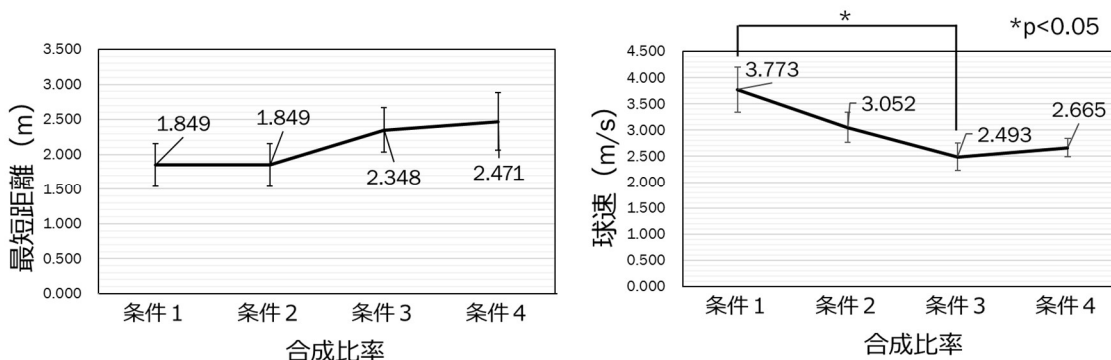


図4：最短距離(左)と球速(右)の平均値±標準誤差

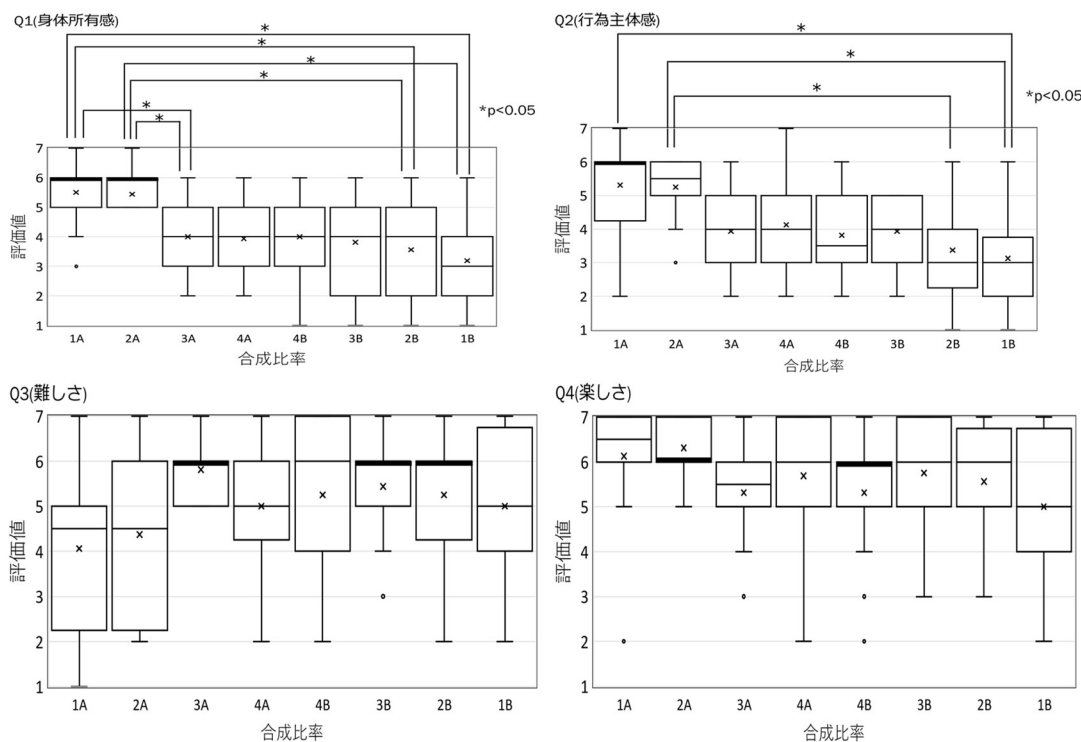


図5：Q1~Q4のアンケート結果

一方、寄与率の差による影響が認められた球速の変化要因として考えられるのは、球を振りかぶってから投げるまでの一連の動作の中で決定される球を放すタイミングや腕を振る速度である。実験システムでは、上半身の寄与率に基づいて融合身体の腕の振りの速度と球操作のトリガの値の重み付けが決定された。本仕様では、寄与率の差が大きいほど、ペア間で球を放すタイミングがずれやすくなる可能性があった。また、条件1と条件2では、上半身の寄与率が高い被験者がトリガを1まで押した場合、寄与率を掛けた値は0.8以上となり、球の動作決定の主導権を握ることが可能となった。これらの仕様により、寄与率の差が小さい条件3、条件4に比べ、寄与率の差が大きい条件1、条件2では腕の振り方に対し球を放すタイミングの相互調整が容易となり、球速が大きくなったと考えられる。

4.2 身体感覚と心理的影響

身体所有感と行為主体感はそれぞれ合成比率の主効果が認められた。双方とも、上半身の寄与率が高い条件1Aおよび2Aでは他の条件よりも評価値の中央値が大きく、特に上半身の寄与率が小さい条件1Bおよび2Bに比べて評価値が有意に高くなった。実験終了後の自由記述アンケートでも、「上半身の操作の反映率が高い方が自分の身体を操作している感覚に近かった。」「下半身はあまり気にならなかった。」と、下半身よりも上半身の動きが身体感覚に大きく影響したことを示唆する回答が得られた。記録された映像や会話からも、動かし方の相談では上下半身の両方について言及していたが、実際に調整が行われていたのは主に上半身だけであったことが確認された。また、先行研究では、融合身体に対する自らの寄与率が高いほど身体所有感と行為主体感を強く感じるという報告がされている[3][4]。このことから、身体感覚は融合身体の腕の動作を決定する上半身の合成比率に基づく寄与率に起因して変化したと考える。

難しさや楽しさは、合成比率の主効果は認められたが、全条件間で評価値に有意差は見られなかった。難しさの評価は全条件で中央値が4を超えており、数値だけを見ると条件1A、2Aで他の条件よりも中央値が低くなっていること、また全体的に評価値のばらつきが大きいことが読み取れる。実験後の自由記述では、「融合割合が片方に傾いていたほうがやりやすかった」「自分の操作の反映が上半身か下半身のどちらかに偏っていた方が操作がしやすく自分の身体に近いと思った」とそれぞれ1人から回答があった。これらの回答は、寄与率が上下半身のどちらかに偏っている場合に難易度が緩和する可能性を示している。ただし、合成比率の設計が同じでも難しさの感じ方は個人差があったために分散が大きくなったと考えられる。

一方、楽しさの評価は、全条件で中央値が5以上と高くなった。実験後のアンケートでは、2人の被験者が融合身体やVRでのボウリング自体が楽しいと感じた旨を回答していた。これは実世界とは異なる環境でスポーツを行う

こと自体が楽しさの要因となりうることを示す。また、「コミュニケーションを通じてより良い投球を目指せたので、いつものボウリングとは違った楽しさがありました」と1人から回答があった。このコミュニケーションが融合身体を用いた動作全体と会話のみのいずれを指すかは判断できない。しかし、融合身体という共通の身体を通して成功や失敗の体験を共有することが楽しさに影響した可能性は十分にある。他に、別の1人は「上半身を担当する方がボウリングをしていて楽しいように感じた。」と回答していた。この回答は、上半身の寄与率が投球に関連している感覚に寄与し、関与の感覚が楽しさに影響する可能性を示唆している。

5. まとめ

本研究では、融合身体の上下半身ごとに適用した合成比率がボウリングの投球タスクにおけるユーザの身体性に及ぼす影響を調査した。調査実験の結果、運動パフォーマンス、身体所有感および行為主体感、難しさや楽しさの心理に合成比率の影響が認められ、特に身体感覚への影響は上半身と下半身で異なることが明らかになった。

融合身体の合成比率や分割方法の設計、対象の運動を変えた場合、本実験と同様の身体性の変化が生じるとは限らない。今後は、多種多様な競技のルールや運動の特性、各ユーザの運動能力や関係性等も考慮に入れ、融合身体の動作設計からスポーツにおけるユーザの身体性に生じる多角的な影響を継続的に調査し、融合身体を用いた新たなスポーツの実現を目指す。

謝辞 本研究はJSPS 科研費番号 JP19H05661の支援を受けて行われた。また、本研究は電気通信大学の倫理審査委員会の承認（倫理審査番号 21038号）を受けて実施した。

参考文献

- [1] 藤澤ら, 共有身体における身体所有感覚と行為主体感. 第23回VRSJ大会論文集, 33E-5, 2018.
- [2] H. Harin, et al. 左右身体統合による共有身体身体性. 第25回VRSJ大会論文集, 3C3-4, 2020.
- [3] T. Hagiwara, et. al. "Shared Body by Action Integration of Two Persons: Body Ownership, Sense of Agency and Task Performance," IEEE VR'19, pp.954-955, 2019.
- [4] F. Rebecca, et al. "Virtual Co-Embodiment: Evaluation of the Sense of Agency While Sharing the Control of a Virtual Body Among Two Individuals," in IEEE TVCG, Vol.27, No.10, pp.4023-4038, 2021.