



バーチャル環境において隣接した 2 人のアバタによる We-mode 生起の調査

李 曉彤¹⁾, 畑田 裕二¹⁾, 鳴海 拓志^{1,2)}

Xiaotong Li, Yuji Hatada, Takuji Narumi

1) 東京大学 (〒 113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1, {xiaotong,hatada,narumi}@cyber.t.u-tokyo.ac.jp) 2) JST さきがけ

概要: 他者との共同行為への貢献を「私たち」のものであると表象する認知モードは we-mode と呼ばれ、その現実世界での生起条件が検証されてきた。VR では、ヘッドマウントディスプレイを介して他者のアバタを視覚的に知覚するため、現実とは他者の社会的存在感が異なり、we-mode が形成される条件が異なる可能性がある。本研究では、異なる実空間にいる 2 者が同じバーチャル環境においてアバタを使って隣り合わせで共同サイモン課題をおこなう実験を行い、他者のアバタの表示方式が他者の社会的存在感の度合いと we-mode 生起に与える影響を調査した。実験の結果、他者のアバタの身体部位が一部もしくは全部透明であっても、参加者は他者の存在を感じることができ、そのような場合には we-mode が生起することが明らかとなった。

キーワード: 共同サイモン課題, we-mode, 社会的サイモン効果, アバタ, 社会的存在感

1. はじめに

共同行為はわれわれの日常生活の基本的な部分である。われわれは他者が発する情報を処理し、それに応じて自らの行動を調整して協調を達成する。共同行為を行う際には、構成員はそれぞれの行動を共同で行われるものとして認識したうえで、自身の行動を ('we' として) 共に追求する目標に向けたものと見なす。このような、共同行為で相互作用する人々が、個には還元できない集団的認知モードを働かせて心を共有することは we-mode と呼ばれる。we-mode では、共同行為者の行うべき課題も参加者自身の課題と同様に表象されていると考えられており、これを課題の共同表象という [1]。このことは、共同サイモン課題を通じて確認される社会的サイモン効果によって示されている。共同サイモン課題とは、2 人の実験参加者が左右どちらかの側に呈示される視覚もしくは聴覚刺激に対してできるだけ速く反応する課題である。参加者は、刺激の空間的な位置情報を無視し、呈示される 2 種類の刺激のうち、目標とされる刺激にのみ反応し (Go), もう一方の刺激に対しては反応しない (No-go) よう求められる。参加者ごとに異なる目標刺激が割り当てられており、自分が反応する際は他者は反応せず、他者が反応する際には自分は反応しない。呈示される刺激の位置と反応の間には関連性がないにもかかわらず、2 人の参加者の相対的な空間配置と刺激が提示される方向が一致しているとき (cf. 右に座っている人が右に提示された刺激に反応する), 反応する人の反応速度が速くなる現象が観察される。この現象は社会的サイモン効果と呼ばれる。隣に人が存在しない場合もしくはその人がアクティブでない場合、社会的サイモン効果は生じないとされている。そのため、この効果は、課題を共同表象することで他者の役

割が自身の行動表象に取り込まれ、共同行為における他者の行動をふまえて自らの行動が計画されるようになった結果起こると考えられている。

他方、バーチャルリアリティ (VR) が普及したことで、1 人で体験する VR アプリケーションだけでなく、複数人で同時に体験する VR アプリケーションも注目されるようになってきた。特に、ソーシャル VR やメタバースは、バーチャル空間で複数人が共同行為をおこなうプラットフォームとして拡がりつつある。しかし、バーチャル空間での共同行為に対して、現実と同様の we-mode が生じるのかは自明ではない。その一つの要因は、VR では他者はバーチャル身体であるアバタを介して知覚されるため、現実と VR では他者から得られる情報が異なり、存在の知覚の仕方が異なる可能性があることにある。これまでの研究では、社会的サイモン効果は隣接する他者の存在を視覚的 (もしくは聴覚的・触覚的) 手がかりによって確認することに依存すると示唆されている。それに対して、VR でのアバタの外見は実際の他者と同一ではなく、またその表示方式は全身アバタから顔や手だけが表示されるもの、表示されないものまで多様である。アバタに反映される情報についても、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) やトラッキングデバイスを介して取得可能な情報に限られ、身体姿勢や動き、表情、視線などは不正確であったり、伝達されなかったりする。これまでの研究では、こうしたアバタによる他者の表象のされ方が、他者の社会的存在感にどのような影響を与えるかが検討されてきている。他方、VR における他者の社会的存在感の違いが we-mode 成立にどのような影響を与えるかは調べられていない。そこで本研究では、社会的存在感が異なると考えられる表示方式を用いて他者のアバタを表示した

上で共同サイモン課題をおこなわせる実験系により、VR 環境における他者の社会的存在感と we-mode の関係を調査する。本実験の仮説は以下の通りである。

- **H1:** 隣接した他者のアバタと一緒に共同サイモン課題をする場合、社会的サイモン効果が生起する。
- **H2-1:** 隣接した他者のアバタの身体部位の一部のみが表示される場合、社会的サイモン効果が生起する。
- **H2-2:** 隣接した他者のアバタの身体部位が全部表示されない場合、社会的サイモン効果が生起しない。
- **H3:** 隣接した他者のアバタに対する社会的存在感が強いほど、社会的サイモン効果が大きくなる。

2. 実験

2.1 実験参加者

実験参加者は 12 名（全員が右利きの健常者、男性 8 名、女性 4 名、平均年齢 24.50 ± 4.48 歳）であった。参加者のうち、VR ゲームやソーシャル VR などの VR コンテンツを週 2-3 回程度利用する人は 1 名、月 1 回程度利用する人は 3 名、利用したことがない人は 8 名いた。

2.2 システム構成

実験システムは VR システムと音声反応システムの 2 つのサブシステムから構成され、両システムともにゲームエンジンである Unity (Version 2011.3.11f1) を用いて開発された。VR システムは参加者にバーチャル環境、自分のアバタの様子、他者のアバタの様子を提示する (図 1)。参加者の頭部および両手の位置・姿勢は、Meta Quest2 とコントローラを用いて取得され、バーチャル環境内の参加者のアバタに反映される。参加者のアバタの下半身は着座姿勢で固定され、上半身の肘及び肩関節の運動は両手の位置・姿勢に基づいて逆運動学的に算出された。音声反応システムは参加者に対して三次元空間的な方向性を持たない Unity の 2D 音声と、方向性を持つ Unity の 3D 音声を提示し、音声提示に対する参加者のキーボード入力による反応を読み取り、反応時間を記録する。

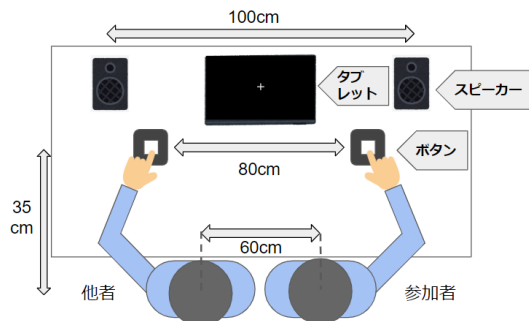


図 1: 共同サイモン課題を行う際のバーチャル環境の配置

2.3 実験条件

本実験では、他者が同一のバーチャル環境に存在するかどうかと、他者のアバタの種類に基づいて、ソロ、手アバタ、全身アバタ、透明アバタの 4 条件を設定した (図 2)。いずれ

の条件においても、参加者は全身アバタを用いて、全身が表示されている状態で課題を実施した。参加者のアバタの性別は自身の性別と一致するように設定され、他者のアバタの性別はカウンタバランスを取った。

- **ソロ:** 他者は存在しない条件。参加者一人で課題を実施する。
- **全身アバタ:** 他者が全身が表示されているアバタを使っている条件。
- **手アバタ:** 他者が全身のうち手のみが表示されているアバタを使っている条件。
- **透明アバタ:** 他者が全身が透明のアバタを使っている条件。

ソロ条件を除き、参加者は、共同行為のパートナーとなる他者が遠隔地からネットワーク経由で同一のバーチャル環境にアクセスしていると説明された。実際には、他者のアバタの動きは事前に記録したモーションデータに基づいて自動で制御された。透明アバタ条件では、他者のアバタの身体部位の様子と動作は視認できないものの、そのアバタの動作の結果としてバーチャル環境内の物体（バーチャルキューブ）が運搬される様子（次節）は視認できた。

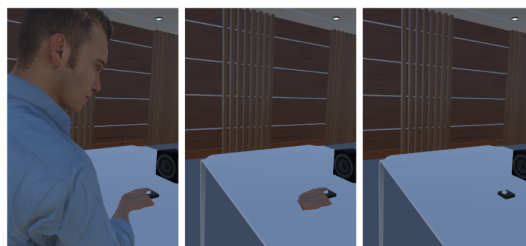


図 2: 他者が用いる全身アバタ、手アバタ、透明アバタ

2.4 実験手順とタスク

参加者はまず研究についての説明を受け、同意書に署名した。続いてコントローラの操作方法とバーチャル物体とのインタラクション方法に関する説明を受け、HMD とヘッドホンを装着してバーチャル環境に没入した。参加者は、自身のアバタを鏡で確認し、音声提示方向の操作チェックとしての流れる音声の方向を判断するスピーカータストをおこなった。これは後の共同サイモン課題において音の方向が正しく提示でき、参加者が方向を正しく認識できることを確認するためにおこなった。スピーカータストの後、チュートリアルとして共同サイモン課題をソロ条件で 16 試行を行った。次に、他者が参加する条件において、他者が存在し、協力的であることを十分に認識させるために、1 分間の物体運搬タスクを行った。物体運搬タスクでは、他者がテーブルの左側に出現するバーチャル物体をテーブル中央まで運んだら、そのバーチャル物体を更にテーブル右側の指定された位置に運ぶことを時間中繰り返すよう参加者に指示をした。手続きの違いが結果に影響することを避けるため、他者が存在しないソロ条件においては、テーブル中央に出現するバーチャル物体をテーブル右側の指定された位置に運

ぶことを時間中繰り返すよう参加者に指示をし、他の条件と同じ行為をおこなわせた。物体を運搬する機能は、コントローラのボタンを押すとアバタの右手が触れているバーチャル物体が右手に接着し、ボタンを再度押すとバーチャル物体が手から離れるという方式で実現された。

その後256試行の本番の共同サイモン課題を行った。各条件終了後には4分間の休憩時間が設けられた。ソロ、手アバタ、全身アバタ、透明アバタの4条件の順序はカウンタバランスを配慮した。共同サイモン課題では、一試行が始まると、テーブル中央のタブレットの画面中央に十字マークが表示され、2Dの警告音(300ms, ホワイトノイズ)が流れた。その700ms後、3Dの音声A(300ms, 300hzの純音)または音声B(300ms, 600hzの純音)が左か右のスピーカーから流れた。参加者は、音声Aまたは音声Bのうち指定された方の音声(ターゲット音声)に対し、できるだけ早くキーパッドのボタンを押して反応した。他者の存在しないソロ条件以外では、ターゲット音声と別の音声(別音声)が流れた場合、300ms~450msの間でランダムに選択された間隔をあけた後、他者のアバタがボタンを押して反応を返すように制御した。参加者あるいは他者が音声に反応した時、またはどちらも反応せずに1700msが経過する(ソロ条件でターゲット音声とは別の音声(別音声)が流れた場合はこれに該当する)と、タブレットの画面中央に四角マークが表示され、その後1000msが経過したら次の試行が開始された(図3)。参加者は、課題実行中にタブレットまたは他者のボタンを注視するように指示された。128回の試行(空間一貫性2種類×Go/No-go2種類×繰り返し32回)を1セッションとし、2分間の休憩を挟み2セッション分の課題を各条件で行った。共同サイモン課題を遂行する条件ごとに、参加者のターゲット音声を変更した(A→B, B→A)。

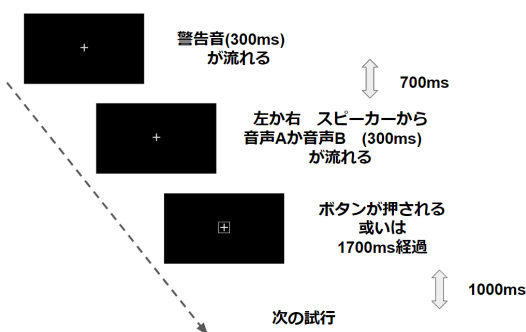


図3: 共同サイモン課題の一試行の流れ

2.5 評価指標

社会的サイモン効果は、他者が同じ空間に存在し、その存在に注意が向けられることで生じる[2]。そのため、バーチャル環境において他者の存在が認知されたか、どの程度他者に注意が向けられたかを質問紙で測定した。具体的には、ソロ条件以外の各条件が終わった後、日本語に翻訳した Social Presence Questionnaire¹のCo-presence(ともに同じ空

¹https://web-archive.southampton.ac.uk/cogprints.org/6742/1/2002_netminds_scales.pdf

間にいるような感じの度合い)及びPerceived attentional engagement(他者に注意を向ける度合い)のPerception of self部分の質問項目を用いて他者のアバタに対する社会的存在感を7段階リッカート尺度(1:まったく当てはまらない~7:完全に当てはまる)で評価した。社会的サイモン効果は参加者のターゲット音声に対する反応時間を用いて評価される。参加者の相対的な空間配置と音声(別音声)が提示される方向が不一致の場合に、一致している場合より反応時間が有意に長くなると、社会的サイモン効果が生じたと判断される[2]。先行研究では、反応時間の変化量が大きいほど、社会的サイモン効果も強いと考えられている。そこで、他者の存在を知覚する上でのどのような要素が社会的サイモン効果を生じさせるのかを検討するため、社会的サイモン効果の生起の有無だけでなく、社会的サイモン効果が生じた際の反応時間の変化量とCo-presence, Perceived attentional engagementとの間に相関が見られるかを検証する。

3. 結果

3.1 社会的サイモン効果

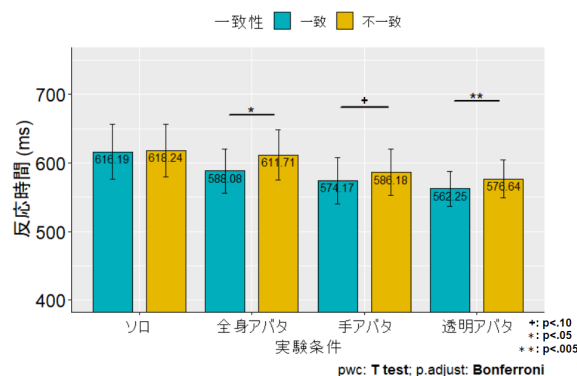


図4: 各条件における反応時間

各条件において、音声方向と参加者方向の一致・不一致の試行間で反応時間に差があるかを調べるため、対応のあるt検定を実施した。結果を図4に示す。全身アバタ条件では一致・不一致の試行間に有意差が認められ($t(11) = -2.88, p = 0.015, d = -0.831$), **H1**が支持された。手アバタ条件では一致・不一致の試行間に有意傾向が認められ($t(11) = -2.18, p = 0.052, d = -0.630$), **H2-1**が支持された。透明アバタ条件では一致・不一致の試行間に有意差が認められ($t(11) = -3.75, p = 0.003, d = -1.08$), **H2-2**は支持されなかった。社会的サイモン効果の強さが条件間で異なるかを見るために、各条件間で一致・不一致の試行間の反応時間の差を算出して一要因分散分析を実施したところ、条件間に有意差は見られなかった($F(1.74, 19.09) = 1.785, p = 0.197, \eta^2 = 0.112$)。

3.2 Social Presence Questionnaire

Co-presenceについて一要因分散分析を行った結果、条件間で有意差が認められた($F(1.74, 19.09) = 1.785, p = 0.197, \eta^2 = 0.112$)。そこで、下位検定としてBonferroni法で補正した対応のあるt検定を行った結果、すべての条件

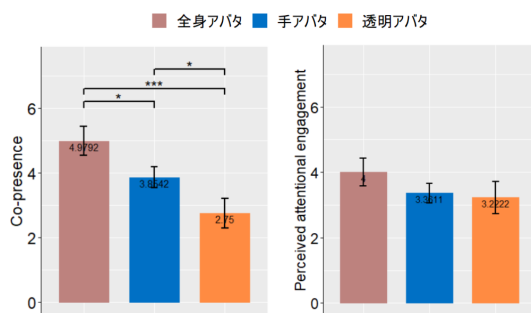


図 5: Social Presence Questionnaire の実験結果

間に有意差が見られた (全身アバタ-手アバタ: $p = 0.016$; 全身アバタ-透明アバタ: $p = 0.0002$; 手アバタ-透明アバタ $p = 0.003$) (図 5左). Perceived attentional engagement について一要因分散分析を行った結果, 条件間に有意差は見られなかった ($F(2, 22) = 1.688, p = 0.208, \eta^2 = 0.058$) (図 5右). また, 単回帰分析を用いて, 社会的存在感のスコアが社会的サイモン効果の強さを予測できるかを調査した結果, 有意な相関は見られず, **H3** は支持されなかった.

4. 考察

ソロ条件以外の, 全身アバタ, 手アバタ, 透明アバタ条件において, 社会的サイモン効果の生起が確認された (図 4). 3条件の共通点は, 他者の行動の一部が, バーチャル環境とのインタラクション (ボタンの押下) と, インタラクションの結果のフィードバック (刺激への反応時にタブレットに表示される四角マーク) として視覚的に確認できることであった. 共同行為では, 他者の行為を観察することにより, 観察者の運動系に観察した行為の表象が活性化される [1]. これは行動計画の更新を促し, 社会的サイモン効果の生起につながる. しかし, 行為の主体性 (行動を引き起こした者と行動の結果との間の物理的な因果関係を知覚する過程) が欠如している場合 [3], または参加者が他者の行為の結果のみを視覚的に確認している場合 (他者が参加者が見えない場所でタスクを実行していると認識している場合でも) [4], 他者の行動表象の活性化は生じない. さらに, 他者が意図的に行動していると知覚されない (他者がロボットや非生物学的な実体) 場合も, 他者が行為の主体であると認識されず, 行為表象の活性化プロセスは実行されない [5]. 本実験では, 物体運搬課題で他者と協力してバーチャル物体を運んだことで, 共同サイモン課題においても他者が意図的に行動している感覚が生起・維持された可能性がある.

社会的サイモン効果の強さと perceived attentional engagement には有意差が認められなかったが (図 5右), co-presence には有意差が見られた (図 5左). 他者のアバタの一部または全身が透明になった場合, co-presence は減少する傾向があった一方で, 社会的サイモン効果の強さは同じレベルで維持された. これは, 参加者と他者が同じ空間に存在するという感覚が, 社会的サイモン効果に影響を及ぼす主要な要因ではない可能性を示している. その一方で, 他

者のアバタが存在するとき, 参加者はそのアバタの外見に関わらず同程度の注意を払っていたといえる. そのため, 他者のアバタの行動やその結果に注意を向ける程度が社会的サイモン効果の生起や強度を決定づける要因となっていることが考えられる. しかし, 本実験では社会的サイモン効果の強さと perceived attentional engagement が条件間で大きく異ならなかったこともあり, 両者の間に有意な相関が認められなかったため, この解釈を支持するためにはさらなる調査が必要である.

5. おわりに

本稿では, 他者が存在しないソロ条件と, 隣接した他者のアバタの表示方式 (全身アバタ, 手アバタ, 透明アバタ) が異なる 3条件の計 4条件で共同サイモン課題を行い, 参加者が知覚した他者の社会的存在感と we-mode の生起について調査した. その結果, 他者のアバタの身体部位が視認可能であるか否かに関わらず, 他者によるバーチャル物体とのインタラクションとその結果が視覚的に確認できる限り, we-mode が生起することが示唆された. 今後は他者のアバタが意図的に行動している感覚が生じない場合や, 他者のアバタに注意を払う程度が低い場合を設定した実験の結果と今回の結果を比較することで, VR における we-mode の生起条件や特性を精緻に検証していく.

謝辞 本研究の一部は, JST ムーンショット型研究開発事業 (JPMJMS2013) および基盤研究 (S)(19H05661) の支援を受けて行われた.

参考文献

- [1] 佐藤徳. We-mode 研究の現状と可能性. 心理学評論, Vol. 59, No. 3, pp. 217–231, 2016.
- [2] Thomas Dolk, Bernhard Hommel, Wolfgang Prinz, and Roman Liepelt. The (not so) social simon effect: A referential coding account. *Journal of Experimental Psychology Human Perception & Performance*, Vol. 39, , 01 2013.
- [3] Anna Stenzel, Thomas Dolk, Lorenza S. Colzato, Roberta Sellaro, Bernhard Hommel, and Roman Liepelt. The joint simon effect depends on perceived agency, but not intentionality, of the alternative action. *Frontiers in Human Neuroscience*, Vol. 8, , 2014.
- [4] Timothy N. Welsh, Laura Higgins, Matthew Ray, and Daniel J. Weeks. Seeing vs. believing: Is believing sufficient to activate the processes of response co-representation? *Human Movement Science*, Vol. 26, No. 6, pp. 853–866, 2007.
- [5] Aisha Sahai, Andrea Desantis, Ouriel Grynszpan, Elisabeth Pacherie, and Bruno Berberian. Action co-representation and the sense of agency during a joint simon task: Comparing human and machine co-agents. *Consciousness and Cognition*, Vol. 67, pp. 44–55, 2019.