



# ロボットアバタとの共同行為における外見の一致が 社会的サイモン効果と自他の行為主体感の生起に与える影響

李 曉彤<sup>1)</sup>, 畑田 裕二<sup>1)</sup>, 鳴海 拓志<sup>1,2)</sup>

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:** ロボット等の非生物と認識されるエージェントとの共同作業では、相手が意図を持って振る舞う動作主体と認識しにくいことで、他者の行動を自身の行為プランに組み込んで集団的な協調を達成するために現れる社会的サイモン効果 (SSE) が生じにくい。他方、外見的差異が自他弁別を促進するため SSE が生じにくいという説も主張されている。本研究では、ロボットアバタとの共同行為において、参加者自身もロボットアバタを使用することで自他の行為に対する行為主体感と SSE が生起されるかを検証した。その結果、SSE が生起した場合には他者行為に対する行為主体感が向上した一方、自他外見の一致性は SSE の生起に影響しないことが示唆された。

**キーワード:** 社会的サイモン効果, intentional binding, we-mode, 共同行為, アバタ

## 1. はじめに

チームスポーツや二人での荷物運搬などの共同行為は、他者との共生に不可欠な日常的な営みである。共同行為における個人は、集団としての目標を達成するための集約的な行為に従事する。このような共同行為では、他者の行動を折り込んで自らの行動を計画するために、個には還元できない集約的な認知モード (we-mode) が働くと考えられている。we-mode の効果や形成のための条件、機序等を明らかにすることは、共同行為のパフォーマンスを高めるために重要であり、認知科学分野で盛んに研究されてきた。

we-mode が形成されているかを検証する方法としては、社会的サイモン効果 (social Simon effect; SSE) の計測が用いられる [1]。サイモン効果とは、視覚や聴覚による刺激とそれに反応するためのキーの空間位置が一致しているかどうか (空間一致性) が反応速度に影響する現象である。例えば、左右のいずれかの位置から提示される 2 種類の色刺激に対して、刺激の空間位置にかかわらず指定された色を指定された左右いずれかの手で素早く応答する課題 (サイモン課題) を行うと、刺激と左右の手の空間位置が一致していない場合、例えば左手で反応すべき赤丸が右側に表示される場合に、一致している場合より反応時間が長くなる。一方で、参加者が反応すべき刺激を 1 種類のみ限定すると、空間一致性による反応時間への干渉効果は消える。このサイモン課題を左右の手ではなく左右に並んだ 2 者で分担して行うのが共同サイモン課題である。興味深いことに、隣に座った共同作業者と刺激への反応を分担する共同サイモン課題では空間一致性の干渉効果 (SSE) が再び現れる。

SSE のメカニズムを説明するものとして主に二つの説がある。共有課題表象説 [1] では、SSE の生起には、参加者が

共同作業者の行為に行為主体感 (行動と結果の間の因果関係) を得ることができ、それによって参加者と共同作業者の間でタスクを共同表象できることが重要だと考えられている。例えば、共同作業者がロボットや操り人形のような意図を持たないと捉えられるエージェントの場合、人はそれらの意図や行動をシミュレートすることが難しいため、SSE が生じないと考える。一方、参照コード仮説 [2] では、自分の反応の表象とそれ以外を弁別しやすくするために、例えば左右という空間的特徴のような、シンプルな特徴を参照して表象がコーディングされ弁別されることを前提とする。共同作業者に意図がある必要はなく、自他を弁別しやすくする明確な特徴があると認識することが反応時間の変化に影響していると考えられる。この説では、自他弁別において空間的位置以外の情報 (例えば参加者と共同作業者の外見の違いなど) が顕著な場合には、かえって SSE が生じにくくなるとされている。現時点では、これら二つの説のどちらが現象をより良く説明するかは未だにコンセンサスが取れていない。

本研究では、VR ならではの実験系を用いることで、上記の 2 説を比較し、SSE が生じるメカニズムに迫ることを狙う。具体的には、バーチャル空間において参加者がヒトアバタあるいは無機質な外見のロボットアバタと共同サイモン課題を行い、その際に自身の外見がヒトあるいはロボットである場合の SSE を計測するという VR ならではの実験系を用いて、参加者と共同作業者との外見の一致性が SSE に与える影響を明らかにする。さらに、共同サイモン課題における自他の反応行動に対して、行為主体感の指標として用いられる意図性の結合効果 (自分の意思で行動した場合に、行動から行動のフィードバックまでの時間間隔が短く

知覚される現象, Intentional Binding; IB) を測定し, SSE と IB の関連性を調査する. 共有課題表象説が支持される場合, SSE の生起は共同作業者が意図を持った存在であると認識されるかに依存し, SSE が生じる場合には共同作業者の行動に対する IB もより顕著になると予想される. 他方, 参照コード仮説が支持される場合, SSE は参加者と共同作業者の外見が一致する条件 (両方がヒトまたは両方がロボット) で顕著になり, IB と SSE の間には相関が見られないと予想される.

## 2. 実験

### 2.1 実験条件

本実験は, セルフアバタの種類 (ヒト/ロボット, 参加者間要因) と共同作業者アバタの種類 (ヒト/ロボット, 参加者内要因) を操作した, 2 要因 2 水準の混合計画で実施した. そのため, 実験条件は {自-他} として, 次の 4 つに分けられる: ヒト-ヒト, ヒト-ロボット, ロボット-ヒト, ロボット-ロボット (図 1). 参加者は全条件を体験し, 体験順はカウンタバランスを取った. 実験参加者のセルフアバタは, ヒトアバタかロボットアバタのいずれかに固定された. ヒトアバタ使用時には, 性別の影響をなくするため, ヒトアバタの外見上の性別は参加者の性別と一致させた.

| バーチャル空間          |      | 共同作業者アバタ(左)の外見 参加者内 |      |
|------------------|------|---------------------|------|
|                  |      | ヒト                  | ロボット |
| セルフアバタ<br>(右)の外見 | ヒト   |                     |      |
|                  | ロボット |                     |      |

図 1: 実験条件

### 2.2 実験参加者

本実験には 48 名が参加し, 24 名 (年齢:  $29.3 \pm 8.8$ ; 性別: 女性 6 名, 無回答 1 名) がセルフアバタとしてヒトアバタを使用する条件に割り振られた. 残りの 24 名 (年齢:  $25.8 \pm 6.3$ ; 性別: 女性 8 名) はロボットアバタを使用する条件に割り振られた. すべての参加者は右利きであり, 実験の目的および仮説を知らなかった.

### 2.3 タスク設計とシステム構成

社会的サイモン効果と意図性の結合効果を同時に測定するために, 先行研究に従って共同サイモン-意図性の結合タスク (jS-IB タスク, 図 2) をデザインした.

バーチャル空間に置かれたタブレットの画面中央に白い十字が現れるのを合図に, jS-IB タスクの各試行が開始された. 700 ミリ秒後, 赤色または緑色の丸が画面の左右どちらかに表示された. 丸の位置に関係なく, 参加者は自身に割り当てられた色の丸が表示された際に, できるだけ早く実験環境のテーブルに置かれたキーパッドの物理ボタンを押し

て反応した. 参加者または共同作業者が反応したタイミングで十字の周りに白い四角が表示された. 共同作業者の反応動作はプログラムで制御され, 反応時間は 400~500 ミリ秒であった. 1700 ミリ秒以内に反応が検出されると, 400, 900, または 1400 ミリ秒の時間間隔の後に効果音 (500 Hz の純音, 0.2 秒) が提示された. 音声提示された後, 誰が反応したかに関係なく, 参加者は四角出現から音声提示までの時間間隔がどれほどの長さだと知覚したかを 4 秒以内に口頭で報告するよう求められた. その後, タブレットの画面は黒くなり, 1000 ミリ秒後に次の試行が始まった.

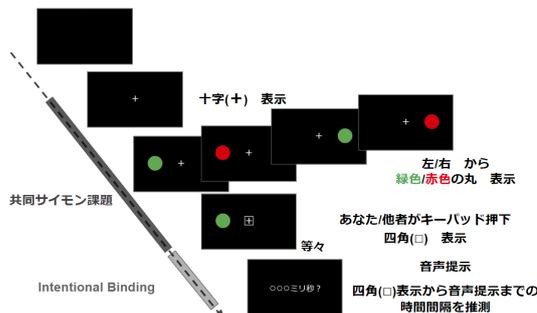


図 2: jS-IB タスクの一試行の流れ

### 2.4 アンケート

参加者のセルフアバタに対する身体化感覚 (sense of embodiment) を評価するために, Virtual Embodiment Questionnaire (VEQ) <sup>1</sup> を用いた. VEQ では, Body Ownership (アバタを所有する感覚), Agency (アバタを制御する感覚), Change (身長や体重などの身体スキーマが変化する感覚) の 3 項目が評価される. また先行研究では, 他者の社会的存在感が SSE の生起に影響を与えることが示唆されているため, 社会的存在感についての質問紙 [3] のうち, Perception of self 部分を用い, 共同作業者のアバタに対する社会的存在感を測定した. SSE に関連する 2 つの側面, Co-presence (他者と同じバーチャル環境にいる) と Attentional Engagement (他者に注意を払っている) を評価した. さらに, 参加者が共同作業者をどの程度ヒト (またはロボット) の表象として認識していたかを測定するために, Human - Robot Interaction Evaluation Scale (HRIES) の Intentionality (意図) と Animacy (人らしさ) の 2 つの SSE 関連の側面を評価した. すべての質問項目は 7 段階のリッカート尺度 (1: 全く当てはまらない, 7: 完全に当てはまる) で評価された. 各アンケート内の質問の順番はランダムにシャッフルされた.

### 2.5 実験の流れ

ヘッドマウントディスプレイを装着し, バーチャル環境に没入した参加者は, 目の前に現れた鏡を通じて, セルフアバタを 60 秒間確認した後, VEQ に回答した. その後, 8 試行の共同サイモン課題のチュートリアルと, 12 試行の jS-IB タスクのチュートリアルを共同作業者なしの条件で完遂した. セルフアバタの確認とチュートリアルは実験の最初に一度だけ実施された.

<sup>1</sup> <https://sites.google.com/view/virtualembodimentquestionnaire>

各条件の最初に、参加者が反応と音声の関連を認識し時間間隔の推測基準を持てるよう、20試行のトレーニングを実施した。トレーニングでは、参加者はタブレットの画面中央に表示された十字にボタンで反応した。反応すると十字の周りに四角が現れ、200~2000ミリ秒後に効果音が提示された。この時間範囲は事前に告知した。参加者は知覚した四角出現から音声提示までの時間間隔をミリ秒単位で口頭で報告した。報告の後、正しい時間間隔が画面に表示された。

トレーニング後、実験実施者が参加者に共同作業者を紹介した。共同作業者の外見や動作の印象を定着させるため、jS-IBタスクの前に1分間の物体運搬タスク(共同作業者と協力してキューブを所定の位置まで運ぶ)を行った。共同作業者がテーブルの左側に出現したキューブを参加者の手が届くテーブル中央まで運ぶのを見て、参加者はそれをさらにテーブルの右側まで運んだ。このプロセスは1分間繰り返し返された。その際、共同作業者のアバタに応じて異なる動作を用いた。共同作業者がヒトアバタの場合には、動作は事前に記録された実験実施者の身体運動が反映された。一方、共同作業者がロボットアバタの場合、動作は一定の速度で直線的な軌道を持つロボットらしいものとした。

キューブ運搬タスクの後にjS-IBタスクが行われた。赤色と緑色の2種類の丸が、参加者と共同作業者に事前にそれぞれ割り当てられた(例:参加者→赤色,共同作業者→緑色)。各条件のjS-IBタスクには2つのセッションがあり、各セッションは60試行で構成された:2つの空間一致性(一致/不一致)×2種類の丸(赤色/緑色)×3つの時間間隔(400/900/1400ミリ秒)×5回の繰り返し。参加者は各セッションの間に約5分間の休憩を取った。

各条件の全120試行を完了した後、参加者は社会的存在感のアンケートとHRIESに回答した。第一条件と第二条件の間には8分間の休憩が設けられた。第一条件における色の割り当てはカウンタバランスを取り、第二条件では参加者と共同作業者のターゲット色が交換された。

### 3. 実験結果

#### 3.1 アンケート

VEQのスコアが正規分布に従わなかったため、Shapiro-Wilk検定でセルフアバタによる身体化感覚の差を検定した。その結果、Body ownershipとChangeに有意傾向が見られ、Agencyに有意差が見られた(Body ownership:ヒト < ロボット,  $p = .0507, r = 0.284$ ; Change:ヒト > ロボット,  $p = .0503, r = 0.284$ ; Agency:ヒト < ロボット,  $p = .0041, r = 0.415$ )。

社会的存在感およびHRIESについて、セルフアバタ(ヒト/ロボット,参加者間)と共同作業者アバタ(ヒト/ロボット,参加者内)の2要因混合計画の分散分析を実施した。その結果、社会的存在感のco-presenceとattentional engagement,およびHRIESのintentionalityについて、主効果と交互作用はいずれも有意ではなかった。HRIESのanimacyについては、共同作業者アバタの主効果が有意であった(ヒト >

ロボット,  $F(1, 46) = 26.681, p < .0001, \text{generalized } \eta^2 = 0.165$ )。

#### 3.2 SSEとIB

SSEの生起は、空間不一致の場合より一致の場合に参加者の反応時間が有意に短くなることで判断される。セルフアバタの各条件(ヒト/ロボット)について、反応時間に対して共同作業者アバタ(ヒト/ロボット)と空間一致性(一致/不一致)の2要因の参加者内計画の分散分析を行った(図3a参照)。その結果、セルフアバタがヒトの場合、主効果および交互作用効果はいずれも有意ではなかった。セルフアバタがロボットの場合、空間一致性の主効果が有意であった(不一致 > 一致,  $F(1, 22) = 8.18, p = .009, \text{generalized } \eta^2 = 0.015$ )。共同作業者アバタの主効果および交互作用効果は有意ではなかった。分散分析では交互作用が示されなかったものの、SSEの強さが条件ごとに変わるかどうかを調査するために、ロボット-人条件とロボット-ロボット条件に関して、Bonferroni法で補正した対応のあるt検定を用いて空間一致・不一致の反応時間の差を分析した。その結果、ロボット-ロボット条件では有意差と中程度の効果量が示された( $t(22) = 3.20, p = .004, \text{Cohen's } d = 0.668$ )、一方で、ロボット-ヒト条件では有意傾向と低程度の効果量が示された( $t(23) = 1.75, p = .094, \text{Cohen's } d = 0.357$ )。

IBスコアは推測された時間間隔と実際の時間間隔の差(推測 - 実際)として計算され、スコアが低いほどIB効果が強いことを示す。セルフアバタの各条件((ヒト/ロボット)について、IBスコアを共同作業者アバタ(ヒト/ロボット)、エージェント(他者/自分)および空間一致性(一致/不一致)の3要因の参加者内計画の分散分析で分析した(図3b参照)。その結果、セルフアバタがロボットの場合、エージェントの主効果が有意であった(他者 < 自分,  $F(1, 22) = 22.0, p < .0001, \text{generalized } \eta^2 = 0.093$ )。他者の主効果および交互作用効果は有意ではなかった。セルフアバタがロボットの各条件に対して、Bonferroni法で補正した対応のあるt検定を用いて、他者と自分の行為に対するIBスコアの差をさらに分析した。その結果、どの条件においても有意差と中程度の効果量が示された(ロボット-ロボット: $t(42) = -5.01, p < .0001, \text{Cohen's } d = -0.764$ ;ロボット-ヒト: $t(45) = -5.29, p < .0001, \text{Cohen's } d = -0.780$ )。セルフアバタがヒトの場合、エージェントと空間一致性の交互作用が有意であった( $F(1, 21) = 5.47, p = .0029, \text{generalized } \eta^2 = 0.003$ )。エージェントと空間一致性の交互作用に対して、Bonferroni法で補正した対応のあるt検定を用いて事後検定を行った結果、空間一致の試行の場合が不一致の場合より他者の行為に対するIBスコアが有意に高い(IB効果が弱い)ことが示された( $p = .030$ )。

IBとSSEの関係を調査するために、各実験条件に対してSSEの強さ(空間不一致の場合の反応時間から空間一致の場合の反応時間を引いたもの)と自己/他者の行為に対するIBスコアの差(自己 - 他者)の散布図を作成した。線形単回帰で両者の関係性を分析した結果、回帰係数は全て有意

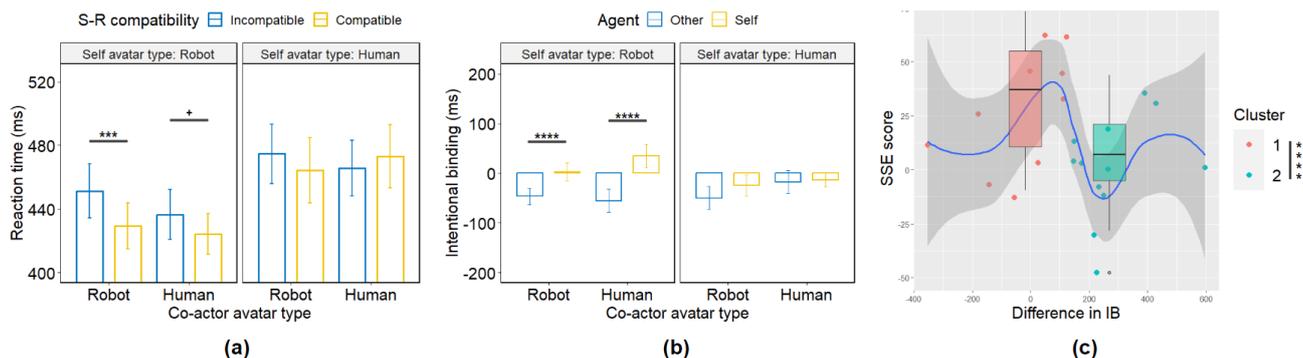


図 3: (a) SSE の結果 (b) IB の結果 (c) ロボット-ヒト条件で SSE の強さと IB の差のクラスタリングの結果

ではなかった。次に、k-means 法 (Lloyd アルゴリズム) を使用して各条件の散布図の点を 2 つのクラスターにクラスタリングし、Welch の t 検定を使用してこれらの 2 つのクラスターの SSE の強さを比較した。その結果、ロボット-ヒト条件では、IB スコアの差が小さい参加者の SSE の強さが IB スコアの差が大きい参加者より有意に高いことが示された ( $t(21) = -2.94, p < .001, \text{Cohen's } d = 1.21$ , 図 3c 参照)。

#### 4. 考察

VEQ の結果は、ヒトアバタよりもロボットアバタにおいて高い SoE が生起していたことを示唆した。また、HRIES の結果は、共同作業者のヒトアバタは、人らしさを感じさせた一方で、高い意図性を持つエージェントとしては認識されていなかったことを示唆した。ヒトアバタは擬人的な外見を持っていたものの、表情や視線といった社会的な手がかりが欠如していたためだと考えられる。

参加者のセルフアバタがロボットアバタの場合、共同作業者の外見に関係なく、SSE および共同作業者の行為に対する強い IB 効果が確認された。この結果は共同課題表象説を支持し、SSE が自己と他者の外見の一致ではなく、共同作業者の行為に対して感じられる行為主体感に関連していることを示唆している。他方、SSE や IB が生じにくいと考えられる共同作業者がロボットアバタである条件においても SSE と IB が生じたことは、セルフアバタがロボットアバタであったことによって生じるプロテウス効果に起因する可能性がある。プロテウス効果が生じた場合、参加者の運動がロボットの運動として想起されるものに無意識的に近づくと考えられる。この自らの運動様式の変容によって、他者の行為を予測する際に用いられる自己運動の予測を変え、他者の行為の予測が容易になったために他者の行為に対する行為主体感が生じやすくなった可能性がある。同様の影響によって、共同作業者が高い意図性を持たないと認識されているヒトアバタの場合、SSE と IB が観察された。また、ロボット-ヒト条件では、自他の IB スコアの差が小さい参加者群では、IB スコアの差が大きい参加者群より有意に SSE が強く起こっていることが示された。自分の行為に対する行為主体感と他者の行為に対する行為主体感が近い参加者群には、自他の行為の予測の差が小さくなり、SSE が顕著に生じた可能性がある。一方、共同作業者のヒトアバ

タの動作予測を難しく感じ、自他の行為主体感が離れて自他の行為の予測の差が大きくなりすぎている参加者群には、SSE が生じなかった可能性がある。これによって、ロボット-ヒト条件で観察された SSE の強さが、ロボット-ロボット条件より弱いと考えられる。

参加者のセルフアバタがヒトアバタの場合、SSE と IB は観察されなかった。共同作業者がロボットアバタの場合、共同作業者の行為から自らと同様の意図を推測することが難しいために、SSE と IB が生じなかったと考えられる。また、HRIES の結果から、共同作業者がヒトアバタを使用する場合にも意図性が認識されていなかったために、共同作業者がロボットアバタの場合と同様に SSE と IB が観察されなかったことが示唆される。

#### 5. 終わりに

本研究では、参加者のセルフアバタの外見 (ヒト/ロボット) と共同作業者のアバタの外見 (ヒト/ロボット) が共同作業における SSE と自他の行動に対する IB に及ぼす影響を調査した。その結果、SSE が生じた場合には他者行為に対する行為主体感が向上した一方、自他外見の一致性は SSE の生起に影響しないことが示唆された。

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) の支援を受けて行われた。

#### 参考文献

- [1] N. Sebanz, G. Knoblich, and W. Prinz. Representing others' actions: just like one's own? *Cognition*, Vol. 88, No. 3, pp. 11–21, 07 2003.
- [2] T. Dolk, B. Hommel, W. Prinz, and R. Liepelt. The (not so) social simon effect: A referential coding account. *Journal of Experimental Psychology Human Perception & Performance*, Vol. 39, No. 5, pp. 1248–1260, 01 2013.
- [3] F. Biocca, C. Harms, and J. Gregg. The networked minds measure of social presence: Pilot test of the factor structure and concurrent validity. *4th annual International Workshop on Presence, Philadelphia*, 01 2001.