



ユーザの行為を代替する自律型エージェントの外見が 行為主体感に与える影響

野村健介*, 前崎康寿*, 橋浦健太, 松本篤弥, 山口周, 鳴海拓志

東京大学 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, {nomuken, maesakiyasutoshi, narumi}@cyber.t.u-tokyo.ac.jp)

* 共同筆頭著者

概要: ユーザと自律型エージェントの共同作業において, ユーザは自身の行為の一部を代替させることで作業負荷を軽減できる一方, 行為主体感が損なわれる. 行為主体感とはエージェントの自律性に対するユーザの信念によって変化すると示唆されているため, 本研究では異なる外見を持つ複数のエージェントを作成し, 自律性に対するユーザの信念とタスクの代替の程度の変化がユーザの行為主体感の評価に影響するか調査した. その結果, タスクの代替の程度が行為主体感に影響することが確認されたものの, 外見の影響は認められなかった.

キーワード: ヒューマンエージェントインタラクション, 自律型エージェント, 共同行為, 行為主体感

1. 序論

人工知能 (AI) の進歩により, AI を搭載したエージェントがある程度自律して, 人と同等の賢い振る舞いを行えるようになってきている. 人とエージェントとの共同行為でも, 人の作業負荷を大幅に軽減することが可能になりつつある. 一方, そうした共同行為においてエージェントの自律的な行動が増えた結果, 人の意図しない操作や手法が成果物に組み込まれることが増えていることが指摘されている [1]. このような状況では, 人とエージェントの共同行為で得られた成果は, 自身ではなくエージェントに帰属される可能性がある. これはエージェントへの過信による共同行為の破綻や, ユーザの自己効力感や責任意識, モラルの低下等の問題に繋がらう [2]. そのため, 共同行為の結果を適切な水準でユーザに帰属できることが望ましい.

これまでも, 他者やエージェントとの共同行為において, タスクの成否や相手に対する認識が行為結果の帰属に与える影響が調べられてきた. 例えば, Sidarus ら [3] は, 社会的文脈が個人の行為主体感に与える影響を実験的に検証し, 他者の存在が意思決定プロセスに干渉すると, 行為の結果に対する制御感を低下させることを示した. 特に, 他者の存在は良い結果に対する行為主体感をより大きく低下させる. そして, この効果は全体的な結果が利得であるか損失であるかに関わらず観察された. また, 共同行為の相手を, 自律的に動作する人工物と認識するか, 他者の操作で動作する人工物と認識するか, ユーザの相手に対する信念によっても行為主体感や結果への帰属が変化する [4].

先行研究では, 行為結果の帰属に与える要因として主にタスクの成否に焦点が当てられてきた. 他方, タスクの代替の有無の影響は調査されてきたものの [4, 5], タスクの代替の程度が行為主体感に与える影響は明らかではない. 加えて, タスクの代替の程度に応じて, エージェントの自律

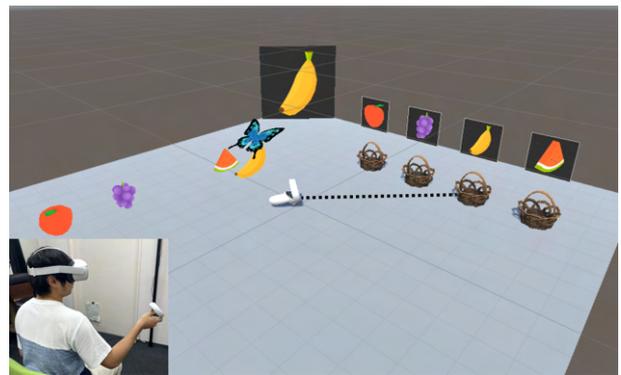


図 1: 実験中の様子. 参加者はエージェントと共同で指示された果物を対応するバスケットまで運搬する.

性の印象をどのように設計すべきかについても明らかになっていない. AI の発展に伴い, 多様なレベルのタスクの代替が可能になり, またエージェント外見や対話法等の選択の幅が広がっている中で, これらの要素が行為結果の帰属にもたらす影響を理解することは, 人と共同行為を行う知的エージェントの新たな設計指針を提供することに繋がる. そこで本研究では, エージェントとの共同行為におけるタスクの代替の程度とエージェントの自律性に対する信念に影響を与えるエージェント外見の変化が, エージェントとの共同行為における行為主体感に与える影響を明らかにする.

2. 関連研究

2.1 行為主体感

Gallagher は, Sense of Agency (SoA, 行為主体感) を「自分が行為の原因や生成者であるという感覚」と定義し, 単に経験や身体運動を自分のものとして感じる Sense of Ownership (所有感) と区別した [6]. これにより自身の身体から離れた行為や間接的な行為に対しても, どれだけ自身の経験へと帰

属されるのかが着目されるようになった [7, 8]. Schwarz ら [5] は, 2人1組の参加者に株式市場シミュレーションゲームを行わせ, 社会的階層の違いが行為主体感に与える影響を調査した. その結果, 部下では実際の制御量の増加に応じて行為主体感が高まったのに対し, 上司は制御量によらずより強い行為主体感を得ることが示された. この研究は, 直接的な行為がなくとも行為主体感が得られる場合があることを示唆する. 一方, Kawabe ら [9] は, ドット運動の速度が行為主体感に与える影響を調査し, 参加者にキー押しでドット運動を開始させる課題を用いて, ドットの速度が速いほど行為主体感の評定が高くなることを示した. Kawabe らは, この結果が行為の効率性や外部環境への影響力に関する推論に基づいている可能性を示唆し, 自身が積極的に関わる意識が強いほど行為主体感が高まると考察している.

これらの研究から, 行為主体感は直接的な行為の有無に関わらず生じ得るが, 同時に自身の関与の度合いによっても強く影響されることが示唆される. つまり, 行為主体感 は個人の行為と環境との相互作用の中で動的に形成される複雑な現象であると考えられる.

2.2 エージェントの自律性の認識

SoA は自身の取り組み方だけではなく, 他者の存在によっても変化する可能性がある. Ciardo らは [4], 風船を限界まで膨らませるタスクを参加者一人で行う場合と, ロボットや人間と共に行う場合の SoA を比較した. その結果, ロボットと人間の両方の条件で, 一人で行う場合に比べて SoA が同様に低下した. 一方で, 同様のタスクを空気ポンプという意図的でない主体と行った場合, SoA の低下は見られなかった. これらの結果は, ロボットが人間と同様に意図的な主体として認識される可能性を示唆すると同時に, エージェント外見がユーザの相手に対する信念に影響し, SoA の推定に大きく関わることを示している. これらの研究を踏まえ, 我々は操作の代替の程度とエージェント外見を操作することで, SoA がどのように変化するのか調査した.

3. 方法

エージェントの外見とタスク代替の程度の2つの要因を独立変数とする参加者内実験を行った. エージェントの外見は, 自律性の印象が異なる2つの条件を用意した(図2). 一つは, 自律的に動作する印象を想起させる蝶型のエージェント(蝶条件)であり, もう一つは他者からの操作により動作する印象を想起させるフォーク型のエージェント(フォーク条件)である. タスクの代替の程度として, 程度の異なる3段階の条件を用意した(図3). 1つ目はエージェントがユーザの代わりにすべてのタスクを実行するオート条件, 2つ目はエージェントとユーザが協力してタスクを実行するボタン条件, 3つ目はユーザがすべてのタスクを実行するマニュアル条件である. オート条件が最も代替の程度が高く, ボタン条件, マニュアル条件の順に代替の程度が減少する.

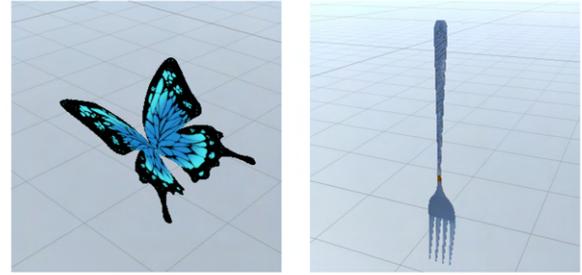


図2: エージェントの外見. 自律性が高い印象を与える蝶(左)と自律性が低い印象を与えるフォーク(右)を設定した.

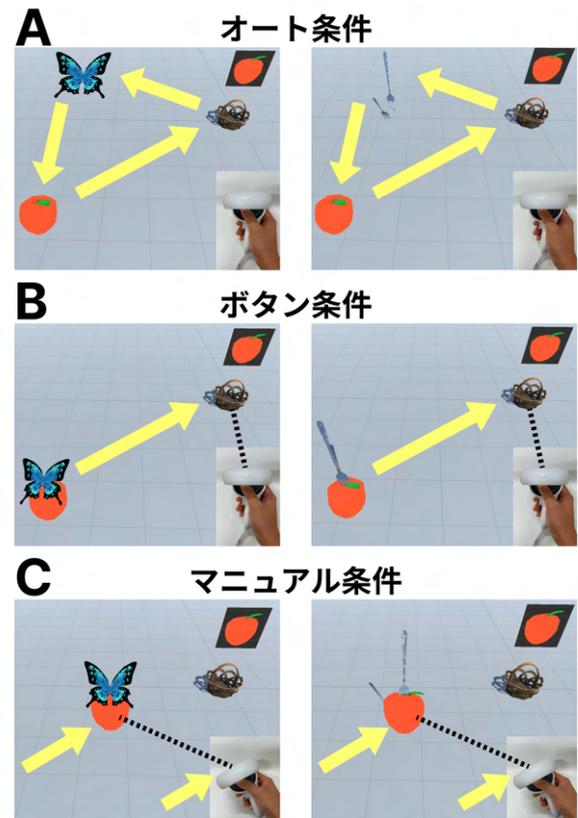


図3: タスク代替の程度. オート条件はエージェントが全てを代替する. ボタン条件は移動操作のみ代替し, 移動先の判断はユーザが行う. マニュアル条件は代替しない.

3.1 実験タスク

参加者はバーチャル環境において, 図1のように, 指示された果物を対応するバスケットまで運ぶタスクに取り組んだ. バーチャル環境には, 正面に果物のイラストを提示するパネル, 左側に4種類の果物, 右側に4つのバスケットが設置された. 運搬する果物はりんご, バナナ, すいか, ぶどうの4種類であった. 運搬先のバスケットの上部には対応する果物のパネルを設置した. 左側の果物と右側のバスケットとの距離は4種類とも等距離であった.

参加者はエージェントと共にタスクに取り組んだ. オート条件におけるエージェントは指定された果物を自動的に判断し, バスケットまで運搬した. 参加者は運搬に関与で

きず、エージェントの観察のみが可能であった。ボタン条件では、参加者がコントローラからの光線を果物およびバスケットに当てることで、エージェントに移動するよう指示を与えることができた。参加者は指示によってエージェントに指定された果物を運搬させることを繰り返した。マニュアル条件では、参加者は指定された果物に光線を当て、コントローラを横方向に移動させることで果物をバスケットまで運搬した。エージェントは参加者が移動させる果物を追従した。

3.2 参加者

6人の参加者に対し実験を実施した。参加者は全て男性であり、平均年齢は 22.00 ± 0.58 歳であった。実験時には参加者を6条件(エージェントの外見2条件、タスクの代替量3条件の組み合わせ)にランダムに割り当てた。参加者には謝礼としてAmazonギフト券1000円分を支払った。

3.3 実験システム

実験システムはUnityを用いて実装した。参加者の身体は表示せず、コントローラのみをバーチャル環境で表示した。コントローラからは光線が出ており、参加者は光線を果物またはバスケットに向けた状態でトリガを引くことで、エージェントへの指示や果物の運搬を行うことができた。

3.4 実験手順

参加者はMeta Quest 2を装着し、エージェントへの指示の与え方に関するチュートリアルを受けた。本実験では6条件(エージェントの外見2条件とタスク代替の程度3条件の組み合わせ)をカウンタバランスを取りつつランダムに割り当てた。参加者は各条件で2分間タスクに取り組んだ。また、参加者はタスク間に1分間休憩を取った。全てのタスクが終了した後、参加者はエージェントの自律性や操作性に関するインタビューを受けた。

3.5 評価指標

タスク負荷を計測するNASA-TLX[10]、行為主体感を測定するVEQ(Virtual Embodiment Questionnaire)[11]、タスクのスコア(バスケットに運んだ果物の数)の3つを評価した。NASA-TLXとは、6つの項目に対する評価点をもとに個人ごとのタスク負荷を評価する指標である。VEQはアバタのEmbodimentを評価するためのアンケート指標である[11]。VEQを構成する3つの指標の1つであるAgencyを用いて行為主体感を測定した。測定時には、オリジナルの文章を日本語に翻訳したものを使用した。

4. 結果

NASA-TLX、行為主体感、スコアについてエージェントの外見とタスク代替の程度の影響を調査した。はじめに、3つの指標すべてについて、Shapiro-Wilk検定を行い、正規性を確認した。すべての指標において、正規性の仮定が棄却されたため、Aligned Rank Transform (ART)を用いてデータを変換した。次に、それぞれの指標について、エージェントの外見とタスクの代替量を要因とする2要因反復分散分析を実施した。

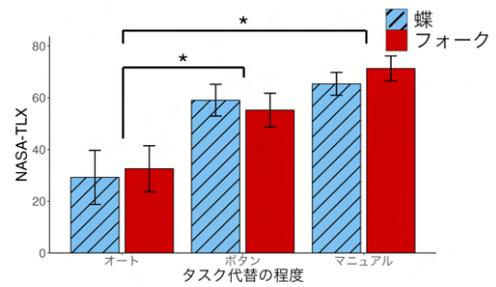


図4: エージェントの外見とタスク代替の程度に応じた参加者の認知負荷。

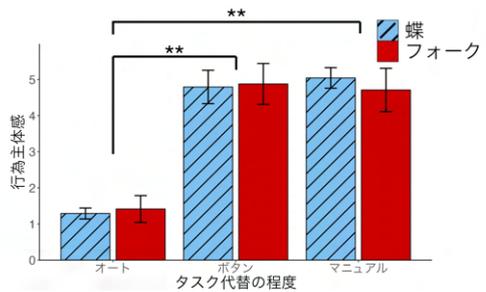


図5: エージェントの外見とタスク代替の程度に対する行為主体感のスコア。

4.1 NASA-TLX

図4に各条件ごとのNASA-TLX(タスク負荷)の結果を示す。タスク代替の程度の主効果 ($F(2, 10) = 7.00, p = 0.01, \eta_p^2 = 0.58$) に有意差が認められた。他方、エージェントの外見の主効果 ($F(1, 5) = 2.32, p = 0.19, \eta_p^2 = 0.32$) および交互作用 ($F(2, 10) = 1.24, p = 0.33, \eta_p^2 = 0.20$) には有意差が認められなかった。タスク代替の程度の主効果が有意であったため、単純主効果の検定を実施した。Friedman検定の結果、タスクの代替の程度の単純主効果が有意であった ($p = 0.03$)。下位検定として、Bonferroni法でp値を調整しつつ、Wilcoxonの符号順位検定を繰り返し行った。その結果、オート条件とマニュアル条件の条件間 ($p = 0.01, r = 0.57$)、ボタン条件とボタン条件の条件間 ($p = 0.01, r = 0.57$) に有意差が認められた。他方、ボタン条件とマニュアル条件の条件間 ($p = 0.2, r = 0.37$) には有意差が認められなかった。

4.2 行為主体感

図5に各条件ごとの行為主体感の結果を示す。結果として、タスク代替の程度の主効果 ($F(2, 10) = 31.53, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.86$) に有意差が認められた。他方、エージェントの外見の主効果 ($F(1, 5) = 0.01, p = 0.94, \eta_p^2 < 0.01$) および交互作用 ($F(2, 10) = 0.20, p = 0.82, \eta_p^2 = 0.04$) には有意差が認められなかった。タスク代替の程度の主効果が有意であったため、単純主効果の検定を実施した。Friedman検定の結果、タスク代替の程度の単純主効果が有意であった ($p < 0.01$)。下位検定として、Bonferroni法でp値を調整しつつ、Wilcoxonの符号順位検定を繰り返し行った。その結果、オート条件とマニュアル条件の条件間 ($p < 0.01, r = 0.71$)、

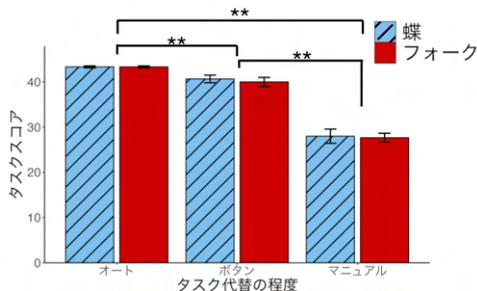


図 6: タスク中に参加者およびエージェントが果物を対応するバスケットに運んだ回数。

オート条件とボタン条件の条件間 ($p < 0.01$, $r = 0.71$) に有意差が認められた, 他方, ボタン条件とマニュアル条件の条件間 ($p = 2.43$, $r = 0.05$) には有意差は認められなかった。

4.3 タスクスコア

図 6 に各条件ごとのタスクスコアの結果を示す。タスク代替の程度の主効果 ($F(2, 10) = 79.23$, $p < 0.01$, $\eta_p^2 = 0.94$) に有意差が認められた。他方, エージェントの外見の主効果 ($F(1, 5) = 1.83$, $p = 0.23$, $\eta_p^2 = 0.26$) および交互作用 ($F(2, 10) = 0.39$, $p = 0.69$, $\eta_p^2 = 0.07$) に有意差は認められなかった。タスク代替の程度の主効果が有意であったため, 単純主効果検定として Friedman 検定を実施した結果, タスク代替の程度の単純主効果に有意差が認められた ($p < 0.01$)。下位検定として, Bonferroni 法で p 値を調整し, Wilcoxon の符号順位検定を繰り返し行った。その結果, オート条件とマニュアル条件 ($p < 0.01$, $r = 0.71$), オート条件とボタン条件 ($p < 0.01$, $r = 0.71$), ボタン条件とマニュアル条件 ($p < 0.01$, $r = 0.71$) の間に有意差が認められた。

5. 考察

先行研究では自律性を想起させるエージェント外見が行為主体感に影響することが報告されている [4] のに対し, 本実験ではエージェントの外見の違いによる行為主体感への影響は認められなかった。これはタスクの達成率の差異によると考えられる。先行研究ではエージェントがタスクを達成するとは限らなかったが, 本実験ではタスクを必ず達成した。そのため, 参加者がエージェントを自律的な存在として認識していたが, 意図をもつ存在としては見なさなかったため, 行為主体感に影響しなかった可能性がある。

また, 先行研究では, 人間同士の共同行為ではタスクの代替の導入で行為主体感が減少することが報告されている [3]。本実験では, オート条件に比べて, ボタン条件とマニュアル条件ではユーザの行為主体感が増加した。これは先行研究の報告と一致する。他方, ボタン条件とマニュアル条件の条件間では行為主体感に有意差は認められなかった。この点で, 本実験の結果は先行研究の報告と一致しない。これも, ボタン条件とマニュアル条件の両方でエージェントがタスクを必ず達成したことにより, 両エージェントを意図を持つ存在として見なさなかったことが原因だと考えられる。

6. 結論

本研究では, ユーザのタスクを部分的に代替するエージェントの外見が行為主体感に与える影響を調査した。実験では, 自律性の高い印象を与える蝶と自律性の低い印象を与えるフォークのエージェントを用意し, 3 種類のタスク代替の程度ごとに行為主体感を測定した。その結果, エージェントが完全にタスクを代替すると行為主体感が減少するが, ユーザの一定以上の関与により行為主体感は維持された。他方, エージェントの外見は行為主体感に影響しなかった。この結果から, タスクを必ず達成するエージェントとの共同行為では, 外見は影響せず, タスクの代替の程度のみが影響することが示唆された。

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] Ahmad et al. Impact of artificial intelligence on human loss in decision making, laziness and safety in education. *Humanities and Social Sciences Communications*, Vol. 10, No. 1, pp. 1–14, 2023.
- [2] Raja Parasuraman and Victor Riley. Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. *Human factors*, Vol. 39, No. 2, pp. 230–253, 1997.
- [3] Sidarus et al. How social contexts affect cognition: mentalizing interferes with sense of agency during voluntary action. *Journal of Experimental Social Psychology*, Vol. 89, p. 103994, 2020.
- [4] Ciardo et al. Attribution of intentional agency towards robots reduces one's own sense of agency. *Cognition*, Vol. 194, p. 104109, 2020.
- [5] Schwarz et al. Sense of agency in social hierarchies. *Journal of Experimental Psychology: General*, Vol. 152, No. 10, p. 2957–76, 2023.
- [6] Gallagher. Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science. *Trends in cognitive sciences*, Vol. 4, No. 1, pp. 14–21, 2000.
- [7] Haggard. Sense of agency in the human brain. *Nature Reviews Neuroscience*, Vol. 18, No. 4, pp. 196–207, 2017.
- [8] Blanke and Meteginger. Full-body illusions and minimal phenomenal selfhood. *Trends in cognitive sciences*, Vol. 13, No. 1, pp. 7–13, 2009.
- [9] Kawabe. Inferring sense of agency from the quantitative aspect of action outcome. *Consciousness and Cognition*, Vol. 22,2, pp. 407–1–42, 2013.
- [10] Hart. Development of nasa-tlx (task load index): Results of empirical and theoretical research. In *Advances in psychology*, Vol. 52, pp. 139–183. 1988.
- [11] Roth and Erich. Construction of the virtual embodiment questionnaire (veq). *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 26, No. 12, pp. 3546–3556, 2020.