



コントローラの操作感覚の共有が共同運動主体感に与える影響

橋浦健太¹⁾, 神山洋一²⁾, 犬飼佳吾³⁾, 渡邊恵太⁴⁾

1) 明治大学大学院 先端数理科学研究科 (〒 164-8525 東京都中野区中野 4-21-1, cs212035@meiji.ac.jp)

2) シードルインタラクティブ株式会社 (東京都渋谷区広尾, beta@cidre.tokyo)

3) 明治学院大学 経済学部 (〒 108-8636 東京都港区白金台 1-2-37, inukai@eco.meijigakuin.ac.jp,)

4) 明治大学 総合数理学部 (〒 164-8525 東京都中野区中野 4-21-1, watanabe@fms.meiji.ac.jp)

概要: 複数人が協力して課題を達成するとき、各個人は自身の貢献度を過大に見積もるため、適切な推定を行うことが難しい。本研究では、2人が1つのシークバーを操作して自身や他者の貢献度を推定するタスクを行い、操作感覚の共有が推定に対して影響があるのか調査した。その結果、操作感覚の共有は貢献度を推定するのに影響を与えなかった一方で、自身の想定通り操作ができなかった場合、他者の意思を過剰に推定した。

キーワード: we-mode, Sense of Agency, Joint action

1. はじめに

人々は他者と協力することで、個人だけでは難しい課題を達成することができる。協力には明確な事前計画がない場合でも、コミュニケーションを行い、遂行することが可能である。コミュニケーションは言語に限らず、非言語的なやり取りにおいても効果を発揮する。Ganeshらは、2人でカーソルをコントロールするタスクにおいて、触覚フィードバックがあるとパフォーマンスが向上することを明らかにした [1]。同様に触覚フィードバックを伴う経済ゲームでは、触覚が存在感を喚起することで、利他的行動が促進され、各個人の利得が増加した [2, 3]。このように明確な事前計画がなくても、非言語コミュニケーションのみで、より適切な課題解決アプローチをすることが可能である。

ただし、計画がない状況での共同作業は、課題に対する貢献度を個人が評価する場合と他者が評価する場合で乖離することがある。これは、個人が他者の課題への取り組み方を知ることが難しいためである。このような個人の貢献が曖昧で、団体の成員に特定の役割(「リーダー」など)が割り当てられていない状態は、責任の帰属は利己的なルールに従うことが明らかにされている [4]。このとき、個人は成功に対してより多くの手柄を主張し [5]、失敗に対する責任を回避する傾向がある [6]。これまでの共同行動に関する研究では課題の成功に対する個人の評価について調べられてきた。例えば、Fribourgらは、2人が1つの身体を構成する融合身体を使い、同一ターゲットへ向けてアプローチするタスクを実施した。その結果、自身が操作を担当する割合より過大に自分が行為したと感じることを明らかにしている [7]。また、Deweyらは、2人の参加者が共同で物体を動かすタスクにおいて、各自が水平方向や垂直方向の動きなど運動の明確な次元を制御する場合、自身が操作している感覚が高まることを明らかにしている [8]。このように共同行動において、自身の行動が全体に与える影響より大



図 1: 操作感覚共有コントローラ。ジョイスティック下部に ついた 2 つのモーターで相手の操作感覚を伝送する。

きく見積もってしまうことが原因である可能性がある。

本研究では、触覚フィードバックが他者の存在感を感じることに着目し、操作感覚の共有は課題への貢献度を適切に推定できると考えた。そこで本稿では、2人で協力してシークバーを操作して提案割合を決める最後通牒ゲームを使用し、自己とパートナーの貢献度の関連性と操作感覚の共有が貢献度にどのように影響するかを調査する。

2. 操作感覚共有コントローラ

我々は参加者間で操作感覚を共有することのできるコントローラを開発した(図 1)。このコントローラは橋浦ら [2] の入出力が別々であったデバイスを 1 つに統合した。コントローラは xy 方向に対して自由に動かすことが可能である。操作感覚が共有されている状態では、パートナーのジョイスティック操作が伝送され、参加者側のモーターが駆動することによって触覚的に操作感覚が再現される。このとき、モーターの力によって操作が難しくなるものの、コントローラ

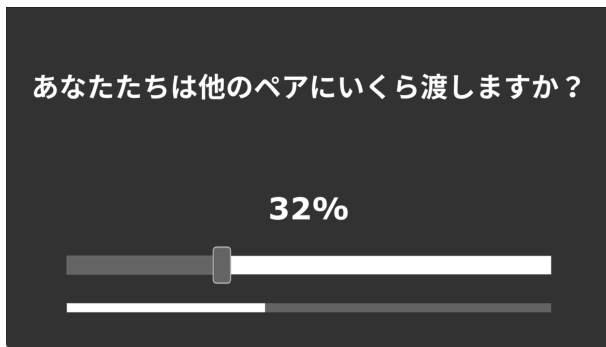


図 2: 提案割合を決定する画面。2人で1つのシークバーを操作する。シークバーの下に制限時間を表すプログレスバーがある。

の操作を行うことは可能である。パートナーと同一方向に倒す場合、参加者はほとんど力を入れずにコントローラが操作ができる。一方で、パートナーと反対方向に倒す場合、強い抵抗感を受けながら操作することになる。

3. 最後通牒ゲーム

最後通牒ゲームとは、提案者と応答者が金銭を分配するゲームである。[9] 提案者は実験者から受け取った割合の一部を応答者へ分配を行う。応答者はこの分配に対して受諾と拒否の選択を行うことができる。受諾を選んだ場合、応答者は分配された金額を受け取り、提案者は残りの金額を受け取ることができる。一方で拒否を選んだ場合、応答者、提案者は共に金銭を受け取ることができない。ゲーム理論では、最小単位の分配を提案した場合でも、応答者は受諾するとされているが、現実では不公平な分配は拒否されることが多い。[10]

4. 実験

4.1 参加者

6組12名(男性10人、女性2人、20~23歳、平均年齢20.58歳、右利き11人)が実験に参加した。各参加者は利き手でコントローラを操作した。

4.2 提案割合決定タスク

本実験では参加者はすべての試行で提案者の役割を担った。これは、提案割合の決定を参加者同士がどのように調整するか観察するためである。応答者はコンピュータのアルゴリズムが担当した。このアルゴリズムは、提案割合が1%であった場合の受諾率が20%で、提案割合が50%になる場合の受諾率が100%となる受諾率が線形になるものを使用した。このアルゴリズムはFuseらの提案割合の推移を元に作成した[11]。

本実験では、参加者は最初に1人で自分が提案したい割合をシークバーを操作して決定した。その後、参加者2人がそれぞれのコントローラを使用しながら、1つのシークバーを操作して提案割合を決定した(図2)。それぞれの提案割合を決定する時間を10秒とした。

4.3 実験条件

実験は以下の2条件を参加者内計画で実施した。

- 独立条件：それぞれの参加者は自由に操作する
- 共有条件：それぞれの参加者は相手の操作感覚が伝えられている状態で操作する

4.4 実験手順

実験は2名1組ずつ行った。参加者は実験タスクに関する説明を受けた。実験試行は40試行行われる。実験の途中で3分の休憩があった。共有条件と独立条件の提示順番が影響を与えないように、半分は先の20試行で共有条件を提示し、残りの半分は後の20試行で共有条件を提示した。参加者は各試行毎に3つのリッカート尺度(7段階)を利用したアンケートに回答した。

- Q1：あなたの行動は決定に対してどれだけ貢献したか評価してください
- Q2：パートナーの行動は決定に対してどれだけ貢献したか評価してください
- Q3：この決定に対してあなたはどの程度満足しているのか評価してください

このうちQ1とQ2は提示順番によるバイアスが発生すると考え、5試行毎に順番を入れ替えた。実験後に定性アンケートが行われた。

5. 結果

本実験における解析は多重検定を避けるため、サンプルサイズが同じだった場合は対応ありt検定を実施し、異なる場合はwelchのt検定を実施した。有意水準は5%とした。

5.1 提案割合

図3に各試行毎の提案割合の推移を示す。全ての被験者で共有条件、独立条件の順番に関わらず、試行を進めるごとに提案割合が減少した。全試行の平均は、28.05%であった。また、独立条件の平均は29.14%であり、共有条件の平均は26.96%であった。独立条件と共有条件にて対応ありt検定を行い、共有条件の方が低く提案することが有意であった。(t=2.501, p=0.013)

提案が拒否された回数は、独立条件は35回あり、共有条件は33回であった。それぞれの条件にて対応ありt検定を行ったが有意でなかった。(t=0.276, p=0.783) また、試行の前半と後半に分けた場合では、26回と42回であった。こちらも対応ありt検定を行い、後半の試行において拒否されることが有意であった。(t=-2.308, p=0.022)

5.2 貢献度/満足度

図4は独立条件と共有条件における貢献度や満足度の結果である。それぞれの結果に対して対応ありt検定を行った。Q1(t=-0.152, p=0.879), Q2(t=-1.398, p=0.163), Q3(t=-1.162, p=0.247)のすべての質問において有意でなかった。

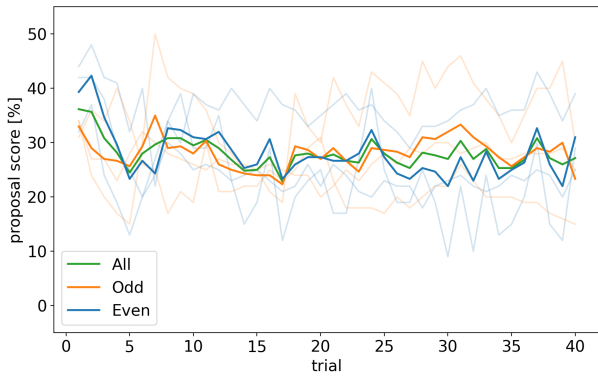


図 3: 各試行毎の提案割合の推移 (緑) 全体の平均, (橙) 共有条件を先に行ったペアの平均, (青) 共有条件を後に行ったペアの平均

続いて, 参加者が提案したいと考えた割合と実際に提案した割合の乖離を求めた. その結果, 全体の 54.58%が実際に提案した割合の前後 5%で提案したいと考えていた.

図 5 はお互いが事前に考えた提案割合と最終的に提案した割合において乖離がある場合とない場合の結果である. それぞれの結果に対して Welch の t 検定を行った. 独立条件では Q1($t=-4.140, p_i.001$) と Q3($t=-5.428, p_i.001$) において自身の貢献度と満足度が高まること有意であった. Q2($t=-0.754, p=0.452$) は有意でなかった. 共有条件では Q3($t=-4.001, p_i.001$) において自身の満足度が高まること有意であった. Q1($t=-1.264, p=0.208$) と Q2($t=0.094, p=0.925$) は有意でなかった.

図 6 は自身が事前に考えた提案割合と最終的な提案割合において乖離がある場合とない場合の結果である. それぞれの結果に対して Welch の t 検定を行った. 独立条件では Q1($t=-6.025, p_i.001$) と Q3($t=-5.470, p_i.001$) において自身の貢献度と満足度が高まること有意であった. Q2($t=0.171, p=0.865$) は有意でなかった. 共有条件では Q1($t=-3.916, p_i.001$), Q2($t=2.846, p=0.005$), Q3($t=-4.162, p_i.001$) のす

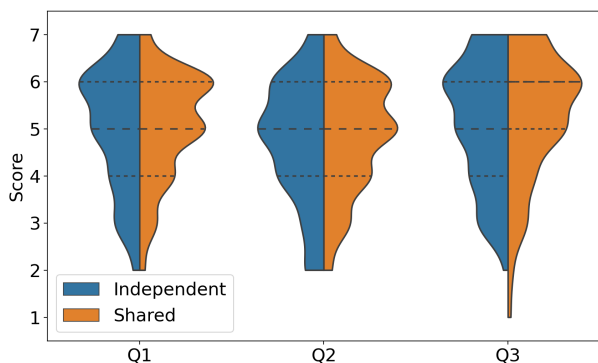


図 4: 貢献度や満足度に関するアンケートのバイオリン図 (青) 独立条件, (橙) 共有条件, (Q1) 自身の貢献度, (Q2) パートナーの貢献度, (Q3) 決定に対する満足度

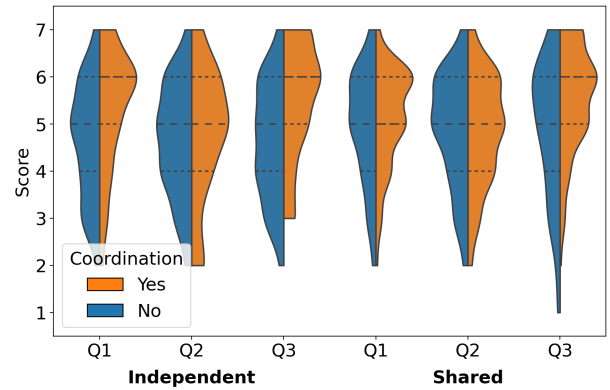


図 5: 貢献度や満足度に関するアンケートのバイオリン図 (橙) お互いの提案割合の乖離が 5%以内, (青) お互いの提案割合の乖離が 5%以上, (左 3つ) 独立条件, (右 3つ) 共有条件, (Q1) 自身の貢献度, (Q2) パートナーの貢献度, (Q3) 決定に対する満足度

べての質問において有意であった.

6. 考察

本実験において, 提案割合が試行数を重ねるにつれて減少していくのが確認された. この結果は, 複数人が協力して提案割合を決めるこれまでの最後通牒ゲームでも確認されている [11, 12]. そのため今回の結果はコントローラを使用して提示割合を決める場合であっても低下していくことを示唆する. また, 今回の結果では独立条件と比べて共有条件の方が提案割合の減少が確認された. これは, これまでの触覚を共有することが利他的行動を促進する [2, 3] という結果と反するものである. しかし今回の実験はこれまでの研究の個人と個人または個人と集団という関係ではなく, 異なる集団同士の駆け引きであったため, 異なる影響が

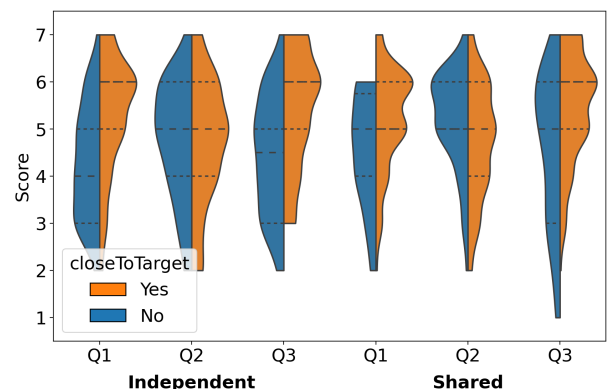


図 6: 貢献度や満足度に関するアンケートのバイオリン図 (橙) 自身の提案割合の乖離が 5%以内, (青) 自身の提案割合の乖離が 5%以上, (左 3つ) 独立条件, (右 3つ) 共有条件, (Q1) 自身の貢献度, (Q2) パートナーの貢献度, (Q3) 決定に対する満足度

あった可能性がある。

貢献度や満足度に関するアンケートでは、独立条件と共有条件を比較したときに差はなかった。これは事前に設定した仮説から外れる結果となった。実験後アンケートでは、相手の存在感を強く感じるといったコメントが半数ほど見られたが、実験アンケートの結果には反映されなかった。理由の一つとして試行数を重ねるにつれてパートナーの操作戦略を理解し、想定外の行動をとられることが少なかったことが原因である可能性がある。全体の半数以上の試行で乖離が5%以内であったため、条件にかかわらず同様の回答した可能性がある。

またアンケートにおいて、提案割合に乖離がある場合とない場合を比較したとき、2つの傾向が見られた。1つ目は、操作感覚の共有がある方が、結果が上手くいかなくても自身が貢献したと感ずることである。図5のQ1を比較すると、独立条件の場合には有意に貢献への影響があるものの、共有条件では見られなかった。これは、操作共有がされていることで相手の意思決定に抵抗していると感じるため、貢献度が高く留まり続けた可能性がある。2つ目は、操作感覚の共有があるときは自身の事前の提案割合に遠かった場合のみ、相手の意思を過剰に推定することである。図6のQ2を比較すると、共有条件の場合には有意に貢献への影響があるものの、独立条件では見られなかった。これは、操作感覚が共有された状態では自分の動きに対して大きく抵抗していると感じて回答した可能性がある。

7. 結論

本研究では、2人で協力してシークバーを操作して提案割合を決める最後通牒ゲームを使用し、自己とパートナーの貢献度の関連性と操作感覚の共有が貢献度にどのように影響するかを調査した。その結果、独立条件と共有条件の間に提案割合の減少が確認された。一方で貢献度に関しては影響がなかった。しかし、事前に設定した提案割合との乖離のある場合とない場合で比較したところ、(1)操作感覚の共有がある方が、結果が上手くいかなくても自身が貢献したと感ずる(2)操作感覚の共有があるときは自身の事前の提案割合に遠かった場合のみ、相手の意思を過剰に推定することが明らかになった。これらの知見は、2人で協力しながら課題を行うときに適切な触覚や操作感覚フィードバックを与えることに役立つと考える。今後はコントローラの駆け引きのデータを解析することで、どのような行動があったときに貢献度へ影響するのか明らかにしたい。

謝辞 本研究は科研費学術変革領域研究(B) デジタル身体性経済学(21H05072)の支援を受けて行われた。

参考文献

[1] Ganesh, G. and Takagi, A. and Osu, R. and Yoshioka, T. and Kawato, M. and Burdet, E. “Two is better than one: Physical interactions improve motor performance in humans”, *Scientific Reports*, 2014

[2] 橋浦健太, 神山洋一, 谷地卓, 柴崎美奈, 犬飼佳吾, 南澤孝太, “チキンゲームにおける触覚共有が意思決定に与える影響の検討”, 第27回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 1-3, 2022

[3] D. Takeuchi et al., “How Haptics Induce Social Behavior: An Exploratory Study of Public Goods Games with Tactile Sharing on the Internet Using a Behavioral Economics Approach,” 2022 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS), pp. 1-6, 2022

[4] El Zein, Marwa, Bahador Bahrami, and Ralph Hertwig. “Shared Responsibility in Collective Decisions.” *Nature Human Behaviour* 3 (6): 554-59. 2019

[5] Caine, Bruce T., and Barry R. Schlenker. “Role Position and Group Performance as Determinants of Egotistical Perceptions in Cooperative Groups.” *The Journal of Psychology* 101 (2): 149-56. 1979

[6] Darley, J. M., and B. Latané. “Bystander Intervention in Emergencies: Diffusion of Responsibility.” *Journal of Personality and Social Psychology* 8 (4): 377-83. 1968

[7] Fribourg, Rebecca, Nami Ogawa, Ludovic Hoyet, Ferran Argelaguet, Takuji Narumi, Michitaka Hirose, and Anatole Lecuyer. “Virtual Co-Embodiment: Evaluation of the Sense of Agency While Sharing the Control of a Virtual Body Among Two Individuals.” *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 27 (10): 4023-38. 2021

[8] Dewey, John A., Elisabeth Pacherie, and Guenther Knoblich. “The Phenomenology of Controlling a Moving Object with Another Person.” *Cognition* 132 (3): 383-97. 2014

[9] Thaler, Richard H. “Anomalies: The Ultimatum Game.” *The Journal of Economic Perspectives: A Journal of the American Economic Association* 2 (4): 195-206. 1988

[10] Tisserand, Jean-Christian. “Ultimatum Game: A Meta-Analysis of the Past Three Decades of Experimental Research.” 0802032. International Institute of Social and Economic Sciences. 2014

[11] Fuse, Yotaro, Biina Ashida, Emmanuel Ayedoun, and Masataka Tokumaru. “Unleashing Fairness: How a Group Norm-Aware Agent Shakes Up the Ultimatum Game.” *IEEE Access* 11: 36727-40. 2023

[12] Kugler, Tamar, Edgar E. Kausel, and Martin G. Kocher. “Are Groups More Rational than Individuals? A Review of Interactive Decision Making in Groups.” *Wiley Interdisciplinary Reviews. Cognitive Science* 3 (4): 471-82. 2012