

2025 年度 修士論文概要

主査	舟橋 健司	副査	山本 大介	研究室	舟橋研究室
入学年度	2024 年度	学籍番号	36414094	氏名	高寺 昭至

論文題目 わずかな遅延が道具操作成績に与える好影響の複数条件を横断した個人別分析 (Cross-Condition Individual Analysis of Positive Effect of Slight Delay on Operation Performance)

1 はじめに

一般的にユーザインタフェースにおいてレイテンシは対象の操作性の観点から悪影響を与えると捉えられている。しかし、マツダ株式会社はアクセルを踏んで 0.2~0.3 秒に加速度を発生させることが、自然な反応を実現する上で必要だと遅延を肯定的に捉えている [1]。ディズニー・スタジオの Williams はアニメーション制作分野では、音声は動画よりも遅延すると動画と音声の同期がとれているように感じられると述べている [2]。

当研究室ではこれらの知見から、わずかな遅延は道具の操作成績の向上に寄与するという仮説を立て、実験を行い調査している [3]。参加者を募り行った実験において、特定の条件では全体の成績データの平均値において遅延が操作成績に好影響を及ぼすことを確認した。本研究では、先行する研究結果を再分析することで、成績の向上するグループと向上しないグループに分けることができ、成績が向上する人はおおそいつも向上する、との仮説を立てた。新たな実験の結果、先行研究で有意な成績向上が確認された条件においては、向上グループと非向上グループに分かれることが示唆された。向上グループの参加者は更なる実験においても成績が向上していた。

2 先行研究

先行研究では、参加者が 3 次元力覚入出力デバイス进行操作して画面上のマジックハンドを操作し、対象物がある台から別の台へと移動させる実験を行った (図 1)。入力装置と画面上のマジックハンドとの間に 0~450ms の 50ms 刻みの遅延をもうけた。1 回の移動に要した時間を操作成績として測定する。1 遅延パターンあたり 10 回の移動タスクを 1 試行とし、各参加者に対して複数の遅延パターンをランダムな順序で割り当てた。

先行研究で行われた実験のうち、以下の 2 つの要素の組み合わせにより表される条件に注目する。

- 「奥行き方向の移動制限：あり (Restrict of depth) / なし (No restrict of depth)」
- 「画面上マジックハンドと入力装置の移動量の比率：1.48 (High ratio) / 1.07 (Middle) / 0.78 (Low)」
中間の比率を除く 4 つの条件を条件 NH, RH, NL, RL と表し、文献 [3] に示されるそれぞれの実験を実験 NH-

0, RH-0, NL-0, RL-0 と記す。また文献 [4] では、条件 RL よりもさらに小さな比率 0.58 に設定した実験 RL'-0 も実施された。実験 RL-0, RL'-0 で遅延 50ms のときに 5% 有意差で操作成績の向上が確認された。奥行き制限と移動量の比率はわずかな遅延による操作成績の向上に寄与する要素であることが示唆された。

3 再分析

先行研究では、操作成績をその実験全体の平均値とし分析していた。実験 RL'-0 の平均を例に、平均値の推移を図 2 の青色点線で示す。成績データは正規分布に従うと仮定して平均値で比較していたが、操作成績の分布は非対称であった (図 2, ヒストグラム)。そこで、成績向上の確認できなかった条件でも一部の参加者の成績は向上している場合があるのではないかと考え、個人別に分析した。参加者 n 、遅延パターン d での、移動 i での作業時間 $t(d, n, i)$ に対して、参加者 n の遅延 d での作業時間の代表値を中央値 $t_m(d, n)$ とする。遅延 0ms 時の操作成績 $t_m(0, n)$ を基準とし、各参加者の操作成績中央値 $t_m(d, n)$ の変化率に注目した。図 2 における各参加者の中央値の比の推移を基準 $t_m(0, n)$ とともに図 3 に示す。参加者をわずかな遅延により、少なくとも 1 つの遅延パターンで成績向上した人 (赤い実線) と、そもそも成績向上しなかった人 (青い実線) に分けた。両群の傾向には有意な差が見られた ($p = 0.0426$)。わずかな遅延により成績向上する人とまたそもそも向上しない人、すなわち「成績向上グループ」と「成績非向上グループ」に分かれる可能性が示唆された。

4 複数条件を横断した実験と分析

条件 RL を中心に比較条件 NH, RH, NL を加えた 4 条件に対して追加実験 NH-1, RH-1, NL-1, RL-1 を行った (参加者 21 人)。各参加者の 4 つの実験全てに対する成績の向上率に注目する。各実験で最も成績が向上した遅延パターンでの成績向上率の 4 実験平均 R_n の分布を図 4 に示す。平均的に成績が向上した $R_n < 0$ の参加者を成績向上グループ、向上しなかった $R_n \geq 0$ の参加者を成績非向上グループとする。図 5 にグループ分けの正答率を示す。成績向上グループの人のうち当

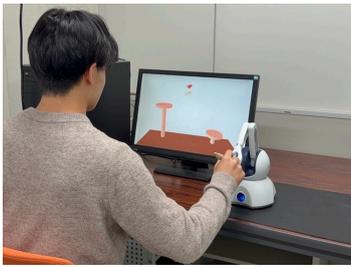


図 1: 実験の様子

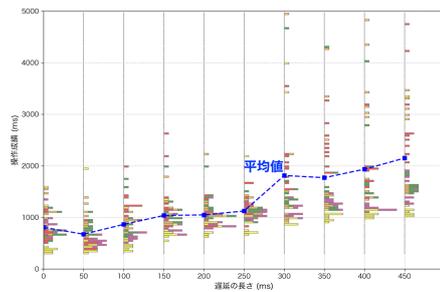


図 2: 実験 RL'-0 における操作成績の分布と平均値

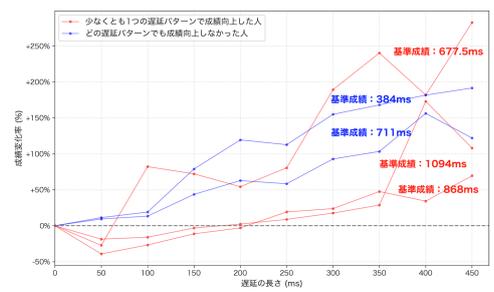


図 3: 実験 RL'-0 における基準成績に対する操作成績の比の推移

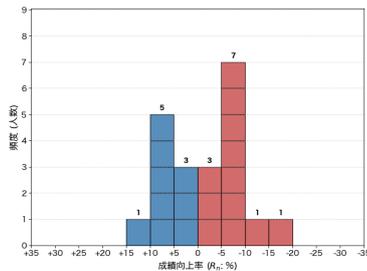


図 4: 成績向上率の分布

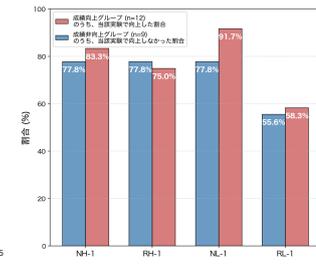


図 5: 各実験における成績向上/非向上のグループ別正答率

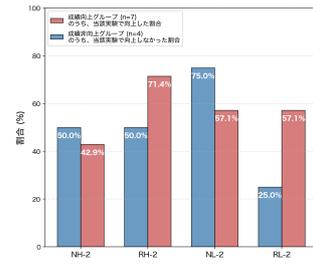


図 6: 実験 1 での 4 条件でのグループ分けに対する実験 2 の正答率

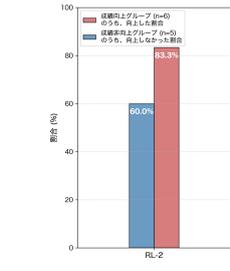


図 7: 実験 RL-1 のみでのグループ分けに対する実験 RL-2 の正答率

該実験で成績が向上した人の割合を赤色で、成績非向上グループのうち当該実験で成績が非向上であった人の割合を青色で示している。全体の平均正答率は 75% であった。実験 RL-1 は他と比べて低い正答率 (平均 57.1%) であった。条件 RL と他の条件は同等に扱うべきではない可能性が示唆された。

前述の 4 つの実験 (実験 1) の参加者 21 人のうち無作為に選んだ実験参加者 11 人に、再度同じ 4 つの条件の実験 (実験 2) に参加してもらった。実験 1 でのグループ分けに基づき、同条件の実験 2 でも各個人が同様の傾向か調査したところ、正答率は 54.5% となり大幅に低下していた (図 6)。4 条件でのグループ分けには再現性がなかった。

次に条件 RL のみで分析する。3 節の実験 RL'-0 の分析と同様に実験 RL-1 単独に対して、少なくとも 1 つの遅延パターンで成績向上した人 (成績向上グループ) と、どの遅延パターンでも成績向上しなかった人 (成績非向上グループ) に分けた。実験 RL-1 のみでのグループ分けに基づいた、実験 RL-2 のグループ別正答率を 図 7 に示す。平均正答率は 72.7% と高かった。条件 RL においては、成績の向上するグループと向上しないグループに分けることができ、成績が向上する人はおおよそいつも向上する、と示唆された。全条件でいつも向上する人はいなさそうだが、有意な成績向上の見られた一部の条件においては、成績が向上する人はおおよそいつも向上する、と示唆された。

5 むすび

本研究では、わずかな遅延により成績の向上するグループとそうでないグループに分けることができ成績向上する人はおおよそいつも向上する、との仮説を立て検証した。新たに実験を実施して条件横断的に分析を行った。その結果、成績の向上するグループと向上しないグループに分けることはできそうであったが、成績が向上する人はおおよそいつも向上する、とは言えなかった。一方で有意な成績向上の確認できる一部の条件に限定すれば、成績が向上する人はおおよそいつも向上する、と示唆された。

参考文献

- [1] 渡辺洋史ら, “新型デミオのパフォーマンスフィール”, マツダ技報, No.32, pp.42-47, 2015.
- [2] リチャード・ウィリアムズ (著), 郷司揚子 (訳), アニメーターズサバイバルキット, グラフィック社, p.310, 2004.
- [3] Y. Miwa, et al., “Effects of moving task condition on improving operational performance with slight delay,” Proc. IEEE-VR 2024, pp.903-904, 2024.
- [4] 三輪陽雲, “わずかな遅延が道具操作の成績向上に与える影響と操作タスクの違いの関係”, 名古屋工業大学大学院修士論文, 2024.