

わずかな遅延が単純な道具操作の成績に与える好影響の個人別の分析

高寺昭至¹⁾(非会員) 舟橋健司¹⁾(正会員) 谷田公二²⁾(非会員) 水野慎士³⁾(正会員)

1) 名古屋工業大学 2) 近畿大学 3) 愛知工業大学

Analysis of Positive Effect of Slight Delays on Simple Operation Performance by Individual

Shoji Takatera¹⁾ Kenji Funahashi¹⁾ Koji Tanida²⁾ Shinji Mizuno³⁾

1) Nagoya Institute of Technology 2) Kindai University 3) Aichi Institute of Technology

概要

わずかな遅延が道具操作の成績に与える好影響について調査している。これまでは、単純な操作を対象にしているため成績は正規分布に従うと仮定し全参加者の全試行の平均を対象にしていた。本研究では、各参加者の中央値の比の推移に注目して個人別に分析した。遅延なしの成績が悪い場合に成績が向上する人が多く、またそもそも向上しない人もいる可能性が示唆された。

1 はじめに

インタラクティブアート作品や VR コンテンツにはヒューマンインタフェースの側面がある。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一般に捉えられている [1]。ところでマツダ株式会社は、遅延をユーザーエクスペリエンスにおける重要な要素とみなしてポジティブに受け止めている。アクセルを動かし始めてから首筋の緊張が始まるまでの時間は 0.2–0.3 秒で一定であり、“その構えのタイミング” に合わせて加速度を発生させることが理にかなった自然な反応を実現する第一の必要条件である、と述べている [2]。Farrer はボタンを押してから応答が画面に表示されるまでにわずかな遅延をもうけた実験を行った [3]。遅延をもうけたときに部分的には自分の制御であると感じるが、部分的には自身の制御ではないとの認識が生じることを明らかにした。他者による妨害とは明示されておらず状況により支援と捉えていた可能性もある。ディズニー・スタジオでアニメーション監督を務めてきたウィリアムズは、アニメーション制作分野では動画が音声よりも数フレーム先行（音声は動画よりも遅延）すると視聴者は動画と音声の同期がとれているように感じられることが経験則的にわかっていると指摘している [4]。我々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、どのような要素、条件が寄与するのか調査している [5]。これまでの研究では、実験参加者ごとの成績の不揃いは少ないと仮定し、またある参加者における試行ごとの散らばりは正規分布に従うと仮定して、全参加者の全試行に対する平均を対象に検証していた。本研究では個人別に分析した。遅延なし成績が悪い場合にわずかな遅延により成績向上する人が多く、またそもそも向上しない人もいる可能性が示唆された。これらの知見をもとにわずかな遅延を適切に考慮すればインターフェース設計に有用な可能性がある。インタラクティブアート作品や VR コンテンツにおけるユーザ体験をより豊かにできるだろう。

2 実験方法

実験 [5] について述べる。実験参加者は画面上のマジックハンドで対象物がある台から別の台へ移動させる。マジックハンドは 3 次元力覚入出力デバイス (Geomagic Phantom Omni) と連動している。参加者は PHANTOM を操作することで対象物を台から台へ移動させる (図 1)。入力デバイスと画面上のマジックハンドとの間に遅延をもうける。対象物の移動に要した時間を操作成績として測定する。この時、次のような様々な条件下で調査する。(1) 奥行き方向 (画面に対する垂直方向) の動きの制限、(2) 入力デバイスの動きと画面上の

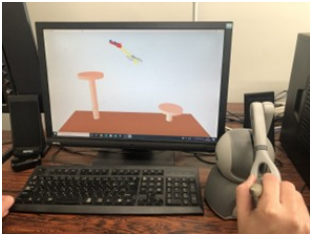


図 1: 実験の様子

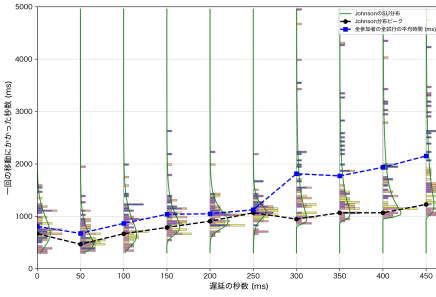


図 2: 操作成績の分布と平均値, 最頻値

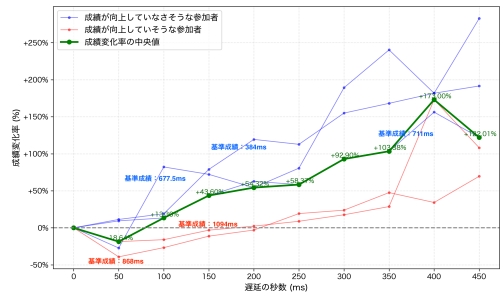


図 3: 基準成績に対する操作成績の比の推移

マジックハンドの動きの比率（比率が大きいほど小さな手の動きでもマジックハンドの動きは大きい）、(3) 台の大きさ、(4) 台同士の距離．わずかな遅延は、特定の条件下（奥行き方向の制限、低比率）で操作成績の向上につながる事が示唆された．

3 個人別分析と考察

文献 [5] の実験条件「奥行き制限あり、比率小、小さな台、台同士が近い」を踏まえて、さらに比率の小さな条件で新たに実験を行い、分析する．これまで、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平均値として $t_m(d, n) = \sum_{i=1}^I t(d, n, i) / I = \text{mean}^{(i)}[t(d, n, i)](d, n)$ としていた．定数 I は変数 i の数である [5]．同様に、全参加者の、遅延 d での作業時間の代表値を平均値として $t_a(d) = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I t(d, n, i) / I / N = \text{mean}^{(n,i)}[t(d, n, i)](d)$ のようにしていた．ただし I は全ての n に対して同じであり、 N は変数 n の数である．推移の例を図 2 の青色点線で示す．各試行の作業時間分布を確認したところ、非対称であった (図 2)．遅延 d ごとに標準化して全参加者のデータに対してシャピロウィルク検定したところ、正規分布の仮説は棄却された ($p < 0.001$)．そこでジョンソン SU 分布を仮定し (図 2, 緑色実線), 全参加者の代表値をその最頻値として $t_a(d) = \text{mode}^{(i)}[t(d, n, i)](d)$ とすれば, 図 2 の黒色点線の推移が得られる．また, ヒストグラムを参加者ごとに色分けした．参加者により分布が作業時間の長い方や短い方に偏っていた．遅延 d , 参加者 n ごとに標準化して参加者ごとのデータに対して検定したところ, 全ての参加者で正規性は棄却された ($p < 0.001$)．そこで各参加者の代表値を中央値として $t_m(d, n) = \text{median}^{(i)}[t(d, n, i)](d, n)$ とする．その上

で, 各参加者の絶対的な成績をもとに全参加者の傾向を見るのではなく, 各参加者が遅延のない条件を基準にどのように遅延の影響を受けたのか調べる．具体的には, 各遅延 d に対する代表値 $t_m(d, n)$ の基準 $t_m(0, n)$ に対する差とその比に注目した．図 2 における各参加者の比の推移を基準 $t_m(0, n)$ とともに図 3 に示す．わずかな遅延により成績が向上していそうな群 (赤色実線) とそうでなさそうな群 (青色実線) に分けられそうである．各参加者の比を遅延 d ごとに標準化して全参加者のデータに対してシャピロウィルク検定したところ, 正規性は棄却された ($p = 0.0405$)．全参加者の代表値をその中央値として緑色実線で示す．マン・ホイットニーの U 検定を適用したところ, 両群の傾向には有意な差が見られた ($p < 0.001$)．

遅延なし成績が悪い場合にわずかな遅延により成績向上する人が多く, またそもそも向上しない人もいる可能性が示唆された．今後は, 他の条件でも個人別に分析し, また各条件間でも個人を同定して傾向を調査したい．

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 JP23K11182 および JP22K12337 の助成を受けたものです．

参考文献

- [1] T. Waltemate, et al. The impact of latency on perceptual judgments and motor performance in closed-loop interaction in virtual reality. *VRST2016*, pp. 27 – 35, 2016.
- [2] 渡辺洋史ほか. 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.
- [3] C. Farrer, et al. The time windows of the sense of agency. *Consciousness and Cognition*, Vol. 22, No. 4, pp. 1431 – 1441, 2013.
- [4] R. Williams (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, 2004.
- [5] Y. Miwa, et al. Effects of moving task condition on improving operational performance with slight delay. *IEEE-VR 2024*, pp. 903 – 904, 2024.