



# 遅延が道具における身体所有感に与える影響に関する調査

## A Study of Influence of Delay to Sense of Self-Ownership for Tool Operation

宮路大勇<sup>1)</sup>, 舟橋健司<sup>2)</sup>, 谷田公二<sup>3)</sup>

Masatoshi MIYAJI, Kenji FUNAHASHI, and Koji TANIDA

- 1) 名古屋工業大学 (〒465-8555 名古屋市昭和区御器所町, m.miyaji.754@stn.nitech.ac.jp)
- 2) 名古屋工業大学 (〒465-8555 名古屋市昭和区御器所町, kenji@nitech.ac.jp)
- 3) 近畿大学 (〒577-8502 東大阪市小若江 3-4-1, tanida@mech.kindai.ac.jp)

**概要** : 道具操作の熟練者は道具が自身と一体であると認識し, 手足のように感じると表現することがある. 本研究ではこれを認知科学分野で研究している身体所有感の延長として捉え, 拡大的身体所有感とよぶ. 遅延を伴う実験における知見から, 操作系における適切な遅延が道具の特性把握の助けとなり拡大的身体所有感に結び付くという仮説を立て, 検証した. 適切な遅延が拡大的身体所有感を与え, 操作成績を向上させることが示唆された.

**キーワード** : 身体所有感, 道具操作, 遅延

## 1. はじめに

認知科学の分野において自己の認識についての研究が行われており, Gallagher は自己主体感 (sense of agency) と身体所有感 (sense of ownership) という心理学的概念を提唱している [1]. 自己主体感は自身が対象物に影響を与えていると感じる感覚であり, 身体所有感は動いている身体が自分の身体であると感じる感覚である. これまでの我々の研究で自己主体感は操作と対象物の間の遅延やノイズが小さいほど強く感じられることが明らかにされている [2]. また 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遅延をもうけることによる自己主体感の変化について実験した [3]. この単純なボタン押し操作の実験において, 入出力間にわずかに遅延をもうけたときに部分的に自身の制御であり, また部分的には自身の制御ではないとの認識が生じることも明らかにした. ところで, 何らかの道具操作の熟練者は道具を自身の手足のように感じるという表現をする. テニスのラケットのように見た目や操作方法が身体の形状や動作に似ている (次の車の例に比較して) 場合はもちろん, 車のように身体の形状や動作を模倣していない場合でも「手足のように」という表現をする [4][5]. 本研究ではこの感覚に着目し, 熟練者のように人が道具を自身と一体であると認識し, 手足のように感じる感覚を拡大的身体所有感とよぶことにする. 道具の操作に長けていない人が拡大的身体所有感を感じ, 道具をうまく利用するには, 適切に道具を認識しつつ, かつ振り回されないことが必要であると考えられる. また, 先に述べた Farrer の実験の知見からわずかな遅延が他者の適切な認識に有効であると期待できる. これらのことから,

操作系における適切な遅延が道具 (他者) の特性把握の助けとなり, 拡大的身体所有感に結び付くという仮説を立て, 検証実験を行った. 実験では, 単純なボタン押し操作と比較して高難度である, 対象物の連続的な移動操作において, 操作入力と移動結果の画面出力の間の遅延が拡大的身体所有感に与える影響を検証する. 仮説が実証されることで, 道具の操作に長けていない人でも効果的に拡大的身体所有感を獲得できるようなインターフェース開発のための知見が得られると期待される.

## 2. 実験

### 2.1 実験システム

被験者が, 道具を使って対象物を操作する実験を考える. 道具はマジックハンドとし, 操作は対象物のある台から別の台への移動とする (図 1 a, b). 具体的には画面上に 2 つの台と対象物 (球), マジックハンドを描画する. マジックハンドの動きは 3 次元位置入力および力出力の可能な PHANTOM のスタイラスの動きと連動している. 被験者は PHANTOM を操作し, 画面上のマジックハンドにより対象物を台から台へ移動する. PHANTOM とマジックハンドの間に遅延をもうけることで, 被験者の手からマジックハンド, そして対象物の動きに対しての遅延を実現する.

ところで, 道具や移動対象物の運動状態は, 等速直線運動や等加速度回転運動および停止状態などの定常状態と, 過渡状態に分けて考えられる. 定常状態での遅延は被験者に認識されにくいことが考えられるため, 過渡状態での遅延に注目した実験としたい. そこで運動開始が明確な短時間で完了する運動とすることで過渡状態での遅延の認識

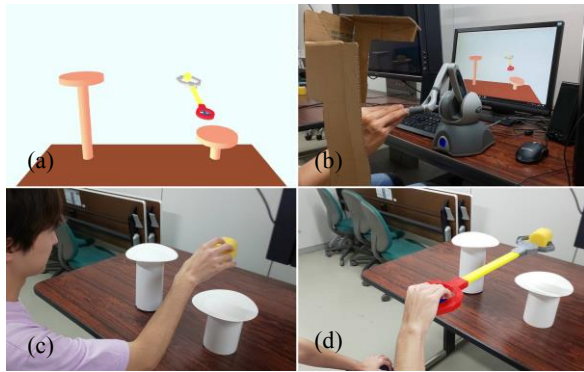


図1: 対象物を移動する様子

を確実にする。また、遅延の大きさの変化に対する操作成績の遷移を把握するために被験者による対象物の移動時間を計測したい。これらを実現するために対象物を動かす始めるタイミングを明示的に示す。移動開始前には画面中の対象物を固定する。このとき、固定されていることを視覚的にも表現するために対象物の上に「ふた」を描画する。またフォースフィードバックの機能を利用して PHANTOM のスタイラスを動かさせないようにし、画面中のマジックハンドの移動も制限する。移動操作開始を予告するために3秒間のカウントダウンを表示する。カウントダウン後に前述の固定を解除することで、被験者は移動操作が可能となる。合わせて、スタートを知らせるピープ音を鳴らすことで実際に各実験を開始する。なお各実験開始前の準備段階において、複数の遅延に対して実験を行うために、遅延を変更可能とする (PHANTOM の処理および通信の遅延と描画遅延以外の遅延をもうけない場合も含む)。また、台と台の位置関係が常に同じであると被験者が操作に慣れてしまう恐れがあるため、台の位置も変更可能とする。ただし、互いの距離が変化してしまうとタスクの公平性が保てないため、これらの距離は常に一定とする。

## 2.2 実験 1

被験者は大学生および大学院生 (20 代) の男女 10 名ずつ、計 20 名であり、全員 PHANTOM を右手で操作した。また全ての参加者から実験参加の同意が得られている。実験に先立ち、被験者にマジックハンドという道具により対象物を移動するというタスクの位置づけを理解してもらうために、以下の基準動作 1 から 4 を体験してもらうとともに、PHANTOM を用いた実験システムに慣れてもらうために数分間の練習時間を与える。

動作 1 手で対象物 (スポンジ) を直接操作する (図 1 c)。

動作 2 実物のマジックハンドで対象物 (スポンジ) を直接操作する (図 1 d)。

動作 3 遅延を最小としたシステムで対象物を操作する。

動作 4 実験における最大の遅延をもうけたシステムにおいて対象物を操作する。

この動作 1 により道具を利用しない移動操作を理解してもらい、動作 2 により道具による対象物の移動操作を行う状況を体感してもらう。動作 3 は動作 2 と同等の位置付け

であるとの説明を与える。動作 4 により実験において遅延を付加することがあることを理解してもらう。またこれらの動作は、実験後のアンケートに対する回答の指標としていくことも説明する。実験における遅延は 0[ms] (PHANTOM の処理および通信の遅延と描画遅延を含めると最小でも 5[ms] であるが、ここでは 5[ms] の遅延を遅延なし 0[ms] と扱う) から 450[ms] までの、50[ms] 刻みの 10 種類とする。被験者には 1 回の試行において 10 回の移動タスク (5 往復) を連続して行ってもらう。実験 1 では 20 名の被験者に対して 1 人あたり 5 試行 (50 タスク)、5 通りの遅延をランダムに割り当てる。基準動作の体験ののち、以下の手順で実験を行う。評価は被験者による操作感覚についてのアンケート回答と、対象物の台から台への移動時間により行う。

手順 1 遅延と台の位置を設定する。

手順 2 被験者に自身で PHANTOM を操作してもらい、画面中のマジックハンドを動かして台の上の対象物をつかんでもらう。

手順 3 各試行において、タスクを 10 回 (5 往復) 行う:

3-1 カウントダウンの 3 秒の間、待機してもらう。

3-2 開始の合図と同時に、台の上の対象物を他方の台にできるだけ早く滑らかに移動してもらう。

手順 4 各試行ごとに操作時の感覚について、以下のアンケートに回答してもらう。

質問 1 自身の意図でマジックハンドを動かせたかどうか (自己主体感)

質問 2 マジックハンドを自身の手のように感じたかどうか (拡大的身体所有感)

質問 3 他者がマジックハンドの操作に介入しているように感じたかどうか (他者、道具の存在感)

なお、質問 1 と質問 2 は、0 から 9 の 10 段階で評価してもらう。このとき前述の基準動作 1 から 4 において、自身の手による動作 1 を評価値 10、実際のマジックハンドによる動作 2 と実験システムによる動作 3 を同等であると位置付けて評価値 5、実験システムによる遅延最大の動作 4 を評価値 0 とし、指標として各試行を評価してもらう。質問 3 では他者の影響を感じたか (最大 10)、あるいは他者を感じなかったか (最小 1) 10 段階で評価してもらう。

## 2.3 実験 2

実験 1 の結果の詳細は 3 節で述べるが、いくつかの改善すべき点が明らかになったため、追加で実験 2 を行う。被験者は大学生および大学院生 (20 代) の男性 16 名、女性 14 名の計 30 名であり、全員 PHANTOM を右手で操作した。また全ての参加者から実験参加の同意が得られている。実験 1 の結果から被験者が自己主体感と拡大的身体所有感を意図的に区別することが困難であることが分かった。そこで実験 2 では自己主体感に関する質問と拡大的身体所有感に関する質問を明確に区別するために、被験者を 2 つのグループ A、B に分けて、一方の質問のみに対して回答してもらう。なお、グループ A、B 間の男女比は等しい。

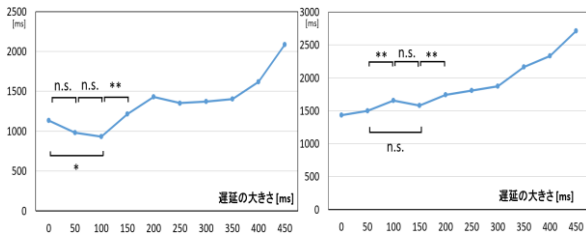


図2: 遅延の大きさの変化と平均タスク達成時間の遷移

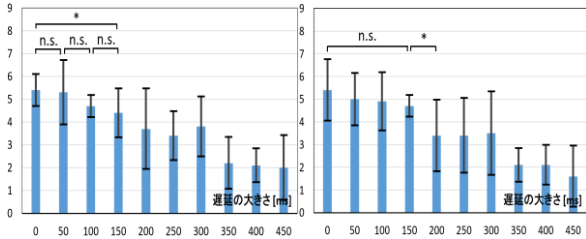


図3: 遅延の大きさの変化と自己主体感と拡大的身体所有感に関する平均官能評価の遷移とばらつき (実験1)

また、実験1では遅延の大きさにより他者のとらえ方に違いがあることが示唆された。そこで他者を協調として感じたか、妨害と感じたか区別して回答できるようにする。ところで、実験では単に遅延を与えているだけのため、一般的には遅延なしの場合よりも操作感覚がよくなることはない、と考えられる。しかし、本実験ではわずかな遅延の好影響を仮定している。そのため、実際には協調的な操作支援は行ってないにもかかわらず「妨害的な遅延だけでなく協調的な支援もあり得る」と実験前に説明しておく。さらに実験1において、PHANTOMが見えるとマジックハンドを操作しているという意識がうすれる、という意見が被験者からよせられた。そこで実験2ではPHANTOMではなくマジックハンドを操作していると被験者に感じてもらうために、被験者とPHANTOMとの間に衝立を設け、被験者の視界にPHANTOMが入らないようにする。手順4の質問1はグループAのみを、質問2はグループBのみを対象とし、実験1と同じ方法で評価してもらう。質問3では、他者の介在を感じない場合を評価値0とし、これを基準値として他者の介在を協調として感じたか(最大5)、あるいは妨害として感じたか(最大-5)を11段階で評価してもらう。なお、実験2では描画処理の変更を行ったため実質的な最小遅延は16[ms]であり、グループ分けに伴い被験者1人あたり8試行を割り当てる。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 遅延の大きさと平均タスク達成時間の関係

実験1におけるタスク達成時間について考察する(図2左)。全体では遅延が大きくなるほど平均タスク達成時間が長くなっていることがわかる。ところが、100[ms]に着目すると、0[ms]に比べ平均タスク達成時間が短くなっている。遅延が0[ms]の平均タスク達成時間と100[ms]の平均タスク達成時間の差に有意差があるかどうかt検定を行ったところ、 $p < 0.05$ となり有意水準5%で有意差があった。

このことから、操作系における適切な遅延が操作成績を向上させることが分かった。また、50と100[ms]、100と150[ms]については、前者には有意差はなく後者は $p < 0.01$ となり有意水準1%で有意差があった。このことから、操作成績を向上させる適切な遅延は50から100[ms]程度であることが分かった。遅延の大きさ以外の条件がタスク達成時間に影響を及ぼしていないか検討する。タスクに対しての慣れや疲労がタスク達成時間に影響を及ぼしていないかどうか、各試行(10回、5往復の移動)のうちのタスク1回目、6回目、10回目の総当たりの組み合わせと遅延の大きさについて二元配置分散分析を行った。その結果、各試行におけるタスクの順番によるタスク達成時間に有意差はなく、またそれぞれの順番のタスクと遅延に交互作用も見られなかった。このことから1試行のタスク数が10回であることにより遅延が小さい場合には慣れが生じるとか、遅延が大きい場合には疲労が蓄積されるなどの影響はなく、すなわちタスク達成時間は1試行あたりのタスク数に影響されていないことが分かった。

実験2におけるタスク達成時間について考察する(図2右)。図2左と同じように全体では遅延が大きくなるほど平均タスク達成時間が長くなっていることがわかる。150[ms]に着目すると100[ms]に比べ短くなっていることがわかる。遅延が50と100[ms]、100と150[ms]、150と200[ms]、それぞれについては、100と150[ms]以外で $p < 0.01$ となり有意水準1%で有意差があり、100と150[ms]の間では有意差はなかった。このことから、単調増加であった平均タスク達成時間が100から150[ms]の間で一定になったことがわかり、操作系における適切な遅延が操作成績を向上させることが改めて示唆された。

#### 3.2 遅延の大きさと自己主体感、拡大的身体所有感の関係

実験1におけるアンケート結果について考察する(図3)。どちらも遅延が大きくなるほど官能評価値が小さくなる。ところが、0から150[ms]に着目すると、自己主体感の官能評価は遅延が大きくなるほど官能評価が小さくなるのに対し、拡大的身体所有感に関する官能評価はほぼ一定の値をとっている。それぞれ0と150[ms]における官能評価に対してウィルコクソンの順位和検定を行ったところ、自己主体感に関する官能評価については $p < 0.05$ となり有意水準5%で両者に有意差があったのに対し、拡大的身体所有感に関する官能評価の場合には有意差がなかった。このことから遅延0から150[ms]の間に拡大的身体所有感の存在が示唆された。しかし、両者とも全体では官能評価の遷移が似ている。自己主体感に関するアンケート結果、および拡大的身体所有感に関するアンケート結果と遅延の大きさを二元配置分散分析すると、2つのアンケート結果に有意差はなく、交互作用も見られなかった。これは、被験者がアンケートを回答するときに自己主体感と身体所有感をうまく区別できなかったためと考えられる。また、それぞれのグラフの遅延0[ms]の部分に注目すると、平均評価値が5を上回っていることがわかる。これは遅延をもう



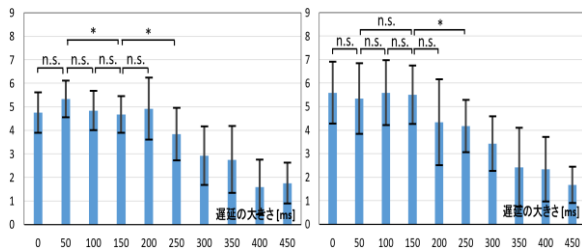


図4: 遅延の大きさの変化と自己主体感と拡大的身体所有感に関する平均官能評価の遷移とばらつき (実験2)

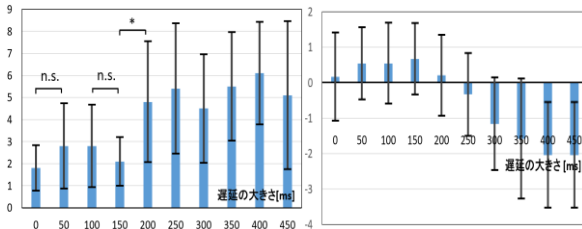


図5: 遅延の大きさの変化と他者の存在感に関する平均官能評価の遷移とばらつき

けない場合よりも直接手で対象物を操作した感覚に似ていると感じた被験者がいることを示している。しかし、被験者の中には遅延をもうけない場合よりも操作感覚がよくなることはないという先入観を持ち、回答を5より小さくした人がいることも懸念される。

実験2におけるアンケート結果について考察する (図4)。実験1と同様に50から150[ms]に着目すると、自己主体感の官能評価は遅延が大きくなるほど官能評価が小さくなるのに対し、拡大的身体所有感に関する官能評価はほぼ一定の値をとっている。それぞれ50と150[ms]における官能評価に対してウィルコクソンの順位和検定を行ったところ、自己主体感に関する官能評価については $p < 0.05$ となり有意水準5%で両者に有意差があったのに対し、拡大的身体所有感に関する官能評価の場合には有意差がなかった。このことから遅延50から150[ms]の間に拡大的身体所有感の存在が改めて示唆された。実験1の結果をうけて、被験者が自己主体感と身体所有感をうまく区別ようにグループをわけたが、実験1と同じように両者とも官能評価の遷移は似ている。このことから、被験者にとって自己主体感と拡大的身体所有感を明確に区別することは困難であると想像できる。しかし、協調的な操作支援により操作感覚がよくなる場合もあると説明しておいたところ、官能評価で5より大きい値を回答した人の割合が、実験1に比べ自己主体感に関するアンケートでは4%増加し、拡大的身体所有感に関するアンケートでは13%増加したように、適切な遅延の好影響が示唆される。

### 3.3 遅延の大きさと他者の存在感の関係

実験1について考察する (図5左)。150から200[ms]にかけて大きな変化が見られる。150と200[ms]の官能評価に対してウィルコクソンの順位和検定を行ったところ、 $p < 0.05$ となり有意水準5%で有意差があることがわかった。このことから遅延の大きさが150[ms]を超えると他者の

存在を強く意識するようになることが分かった。また、50と100[ms]の評価値が0や150[ms]の評価値に比べ大きくなっている。このあたりの遅延においても他者の存在を意識していることが示唆される。しかし遅延0と50[ms]、0と100[ms]、50と150[ms]、100と150[ms]それぞれの組み合わせに対してウィルコクソンの順位和検定を行ったところ有意差はなかった。質問の内容が他者による妨害として捉えられてしまった恐れもある。すなわち、協調者としての他者を感じていたことも示唆される。実験2 (図5右) ではマジックハンドの操作に他者の介在を感じた場合に、他者を協調として感じたか、妨害として感じたかを区別して回答できるようにした。0から200[ms]では他者を協調として感じ、250[ms]より長い遅延では他者を妨害として感じるようになった。

これらの結果から、操作系に50から100[ms]の遅延をもうけることで道具を手足のように扱える感覚を比較的容易に得られることが期待できるかもしれない。

## 4. むすび

本研究では、単純なボタン押し操作と比較して高難度である連続対象物の移動操作において、操作系における遅延が拡大的身体所有感にどのような効果を与えるのかを検討した。実験では、操作系における適切な遅延が、道具(他者)の特性把握の助けとなり、拡大的身体所有感に結び付くという仮説を検証した。操作系に遅延をもうけた状態で、被験者に対象物を移動してもらい、操作感覚を官能評価してもらった。その結果、操作系における適切な遅延により、他者を協調的に意識し、その意識が人に拡大的身体所有感を与え、操作成績を向上させることが示唆された。

本研究が道具の操作に長けていない人でも効果的に拡大的身体所有感を獲得できるような、すなわち道具を自身の手足のように扱う感覚が得られるような道具システム構築の手助けとなることを期待する。

## 参考文献

- [1] S. Gallagher, Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science, Trends in Cognitive Science, Vol.4, No.1, pp.14-21, 2000.
- [2] 片岡, 舟橋, 谷田, 八代, “操作における行為効果間の相互相関と遅延に着目した自己主体感に関する研究”, VR学会第21回大会講演論文集, 13B-02, 2016.
- [3] C. Farrer, G. Valentin, J.M. Hupe, “The time windows of the sense of agency”, Consciousness and Cognition, 22(4), pp.1431-1441, 2013.
- [4] A. Iriki, M. Tanaka, Y. Iwamura, “Coding of modified body schema during tool use by macaque postcentral neurons”, Neuroreport, Vol.7, pp.2325-2330, 1996.
- [5] 渡辺, 片山, 上杉, 三輪, “仮想道具による身体像拡張の評価手法に関する研究”, 信学技報, Vol.105, No.74, pp.47-50, 2005.