



# Pseudo-haptics 効果の個人差要因解明の基礎検討

Basic Study on the Factor of Individual Differences in Pseudo-haptics Effect

伴祐樹<sup>1)</sup>, 宇治土公雄介<sup>2)</sup>

Yuki BAN, and Yusuke UJITOKO

1) 東京大学 (〒 277-8563 千葉県柏市柏の葉 5-1-5, ban@edu.k.u-tokyo.ac.jp)

2) 日本電信電話株式会社 (〒 243-0198 神奈川県厚木市森の里若宮 3-1, yusuke.ujitoko@gmail.com)

**概要:** Pseudo-haptics は物理的触覚提示デバイスを用いなくとも擬似的な触力覚を提示可能な現象として着目されている一方で、その効果が提示対象者に依存し、安定しないという問題を抱えている。そこで本研究では Pseudo-haptics を安定した触覚提示技術として確立するため、多様な特性の体験者に対する Pseudo-haptics 効果を大規模に収集し、収集データを用いて個々人の特性が錯覚効果に与える影響を明らかにする。本稿ではその最初の検討として、デスクトップ環境でのマウスによるカーソル操作における Pseudo-haptics について、体験者の年齢、性別により錯覚効果にどのような違いが現れるかを調査する。

**キーワード:** Pseudo-haptics, Haptics, Cross-modal

## 1. はじめに

主に Virtual Reality (VR) や Human Computer Interaction (HCI) の研究分野において、ユーザの入力位置を反映する映像に空間・時間的变化を加えるだけで、触力覚を物理的に再現するデバイスなしで擬似的な触力覚を提示可能な Pseudo-haptics が注目を集めている [1]。本現象により、テクスチャ感等の皮膚感覚や、力・重さ感等の深部感覚を提示できることがこれまでの研究にて明らかにされている。Pseudo-haptics を活用したディスプレイの発展により、刺激提示デバイスが複雑になりやすく視覚・聴覚にくらべ普及が進んでいない触力覚コンテンツを、実社会に幅広く普及する助けになると考えられている。

しかし一方で、ある種の錯覚現象である Pseudo-haptics はその効果に個人差があることが知られている。既存研究では、被験者間の効果のばらつきを考慮せずに視覚刺激の効果を被験者間で平均化して評価してきたため、個人差が生じる要因の特定には至っていない。また、そうした個人差を考慮して効果のばらつきを抑えるような刺激の設計も行われてこなかった。Pseudo-haptics を安定した触覚提示技術として確立するには、こうした提示対象者への依存性を解明し、効果を向上させつつ制御可能にする手法の構築が必須だと考えられる。

そこで本研究では、Pseudo-haptics 効果の個人差を補正する手法の実現に向け、その要因を解明することを目的とする。本稿はその第一段階として、Pseudo-haptics 刺激を提示した際に体験者がどのように知覚するかを多様な年齢、性別に渡って収集し、それらの違いによって錯覚効果がどう変わるかを調査する。

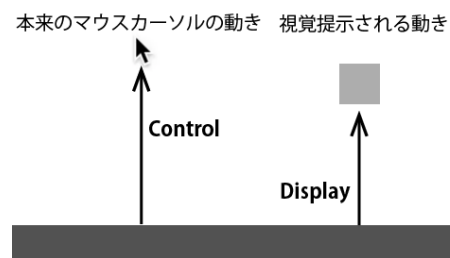


図 1: Control/Display 比 (CD 比) とマウスカーソル・ポインタ動作の関係

## 2. Pseudo-haptics 効果に対する年齢・性別の影響検証

### 2.1 実験設計

Pseudo-haptics 効果を幅広い年齢層の体験者から収集するため、クラウドソーシングを活用したオンラインによる実験を計画した。クラウドソーシングとは、クラウド (集団を意味する) とアウトソーシング (人的リソースを調達するかのごとく企業の外部に業務の一部を委託する) による造語であり、発注者が Web 上で仕事内容や報酬、納期を公開し、興味を持った受注者が応募するという形式を取る。本検証では、研究の第一段階としてデータ収集先を日本に絞り、日本最大級のクラウドソーシングサイトの一つであるランサーズ [2] を利用した。

オンラインで実験可能な Pseudo-haptics 体験として、デスクトップ環境におけるマウスによるポインタ操作を選択した。マウス操作における Pseudo-haptics 効果もさまざまに研究されているが [1]。今回はバーチャル物体をカーソルで持ち上げる際の重さ知覚に焦点を当て、タスク設計を行った。

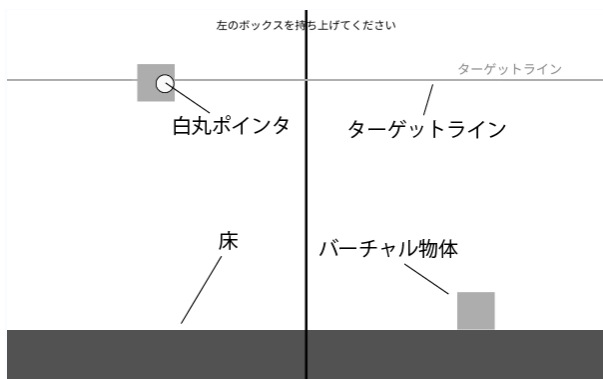


図 2: Pseudo-haptics タスク画面

重さ知覚を変化させる Pseudo-Haptics の実装は先行研究を踏襲した [3], 具体的には, ポインタでバーチャル物体を持ち上げた際に, ポインタの見た目の移動量 (Display) を本来のマウスカーソルの移動量 (Control) に一定のゲイン (Control/Display 比: CD 比) をかけたものとする手法である (図 1).

また錯覚効果の個人差要因として, 体験者の年齢・性別だけでなく, マウス操作への慣れや深部感覚の正確さが影響しうると考えたため, Pseudo-haptics タスク体験後に利き手やマウスの使用頻度等についてアンケート調査を行った.

## 2.2 タスク設計

参加者はマウスによって図 2 に示す白丸ポインタを操作する. なお, 実際のマウスカーソルは本タスクにおいては表示されない. タスク画面には, 床面と二つのバーチャル物体, そしてバーチャル物体を持ち上げる高さの基準線 (ターゲットライン) が表示されており, 体験者は実験画面の指示通りに左右二つのバーチャル物体をポインタによるドラッグ操作でターゲットラインまで順番に持ち上げる.

白丸ポインタがバーチャル物体をドラッグしていない時は, ポインタは実際のマウスカーソル (非表示) と同じ速度で移動する. 一方白丸ポインタによりバーチャル物体をドラッグしている間は, ポインタとバーチャル物体は設定された CD 比に従って移動する. つまり, CD 比が 1.0 より大きい時はバーチャル物体は通常のマウスカーソル操作時より速く移動し, Pseudo-haptics の先行知見からは物体が軽く知覚されることが想定される. 一方, CD 比が 1.0 より小さい場合はバーチャル物体は通常時より遅く移動し, 重く知覚されることが想定される. ポインタによりバーチャル物体をドラッグしている状態からドラッグをやめる (物体を離す) と, バーチャル物体は床まで落下する. 物体の重さに対する CD 比以外の視覚的影響を揃えるため, 落下の際の加速度は CD 比の設定に関わらず一定 ( $10 \text{ px/m}^2$ ) とし, 床の反発係数は 0 とした.

片方のバーチャル物体は, 標準刺激として CD 比 1.0 が設定されており, バーチャル物体とそれを掴んでいる白丸ポインタは実際のマウスカーソルと同じ移動速度となる. もう一方のバーチャル物体は, 比較刺激として CD 比が 0.7, 0.8,



図 3: VAS による重さ評価

0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3 のいずれかに設定されており, バーチャル物体とそれを掴んでいる白丸ポインタの移動速度は, 実際のマウスカーソルの移動速度に CD 比を掛け合わせたものとなる. 参加者は二つのバーチャル物体を持ち上げ比べた後, 最初に持ち上げたバーチャル物体に対して, 二番目に持ち上げたバーチャル物体の重さの印象を, 0 (非常に軽い) から 100 (非常に重い) まで Visual Analog Scale (VAS) 法 [4] で回答する (図 3). 解析の際, 最初に標準刺激を提示した試行では評価値をそのまま用い, 二番目に標準刺激を提示した試行では評価値を 100 から引いたものを用いる. そのため, 標準刺激 (CD 比 1.0 条件) と比較して比較刺激のバーチャル物体を重く (軽く) 感じた際は評価値は大きい (小さい) 値となる.

順序効果の影響を廃するため, 2つのバーチャル物体のうちどちらから先に持ち上げるかについては左右交互とし, 一回目を標準刺激とするか比較刺激とするかについては参加者内でバランスをとった. 2つのバーチャル物体を持ち上げ比べて重さの印象を回答するところまでを 1 試行とすると, 実験参加者は比較刺激の各 CD 比に対して 6 試行をおこなった. そのため実験参加者は実験中合計 42 試行 (CD 比 7 条件  $\times$  6 試行) をおこなった. 提示する CD 比の順番については被験者間でカウンターバランスをとった.

## 2.3 タスク後アンケート

Pseudo-haptics タスク体験後に参加者にアンケートを課し, 利き手やマウスを使う手, マウスの使用頻度についての情報を収集した. マウスの使用頻度については, 5 (ほぼ毎日マウスを使う)  $\sim$  1 (日ごろ全くマウスを使わない) の 5 段階で回答させた.

また, Salmela et al. がうつ病に錯視の効果生起しにくくなることを報告しており [5], Pseudo-haptics においても同様の傾向がみられる可能性があると考えたため, 16 項目の自己記入式の評価尺度でうつ病の重症度を評価する簡易抑うつ症状尺度 (Quick Inventory of Depressive Symptomatology) の日本語版 (QIDS-J) を実施した [6]. 16 個の選択項目によって点数が加算され, 合計点が 0 $\sim$ 27 点中何点かでその尺度が評価される. 0 $\sim$ 5 点が正常, 6 $\sim$ 10 点が軽度, 11 $\sim$ 15 点が中等度, 16 $\sim$ 29 点が重度, 21 $\sim$ 27 点がきわめて重度と評価されるため, 本実験では 0 $\sim$ 5 点を健常群, 11 点以上をストレス群として実験参加者をわけ, 各群で Pseudo-haptics 刺激に対する重さ知覚がどのように変化するかを検証した.

加えて, 実験参加者の深部感覚の正確さを評価するため, 臨床の場で深部感覚性運動失調の評価に利用される試験の

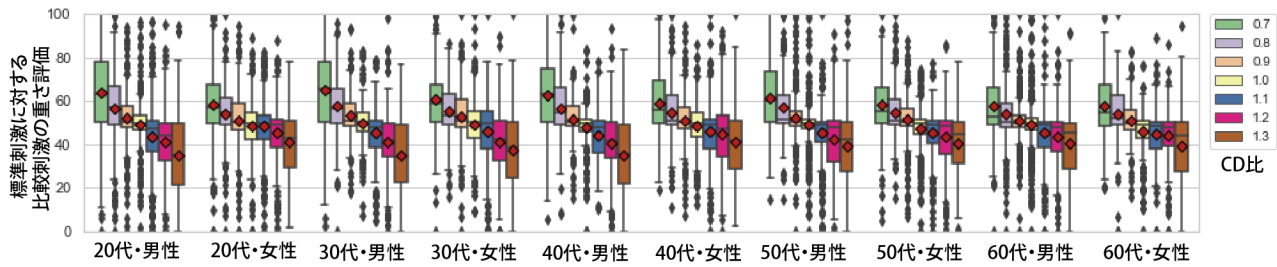


図 4: 各年齢・性別ごとの各 CD 比における重さ評価。boxplot は中央値と四分位点を示す (赤い菱形は平均値)

一つである指指試験を実施した。この試験では、実験参加者はまず目を閉じ、両手を横に大きく広げ人差し指を立てる。そして目を閉じたまま人差し指同士を近づけていき、接触させる。人差し指同士が接触しない場合、深部感覚が鈍麻している可能性がある。本アンケートでは実験参加者に試験を行ってもらった後、「人差し指の先端同士が触れた」「人差し指の先端同士は触れなかったが、指同士は触れた」「人差し指の先端同士は触れなかった」の中から試験の結果を選択するよう指示した。

#### 2.4 Instructional Manipulation Check

クラウドソーシングにおける実験では、実験参加者がしばしば注意資源を割かず、必要最低限の手順で目的を追求する行動 (Satisfice) が問題視されている [7]。例えば、教示文の読み飛ばしがその一例である。そのため、本アンケートでは Satisfice を検出する質問を導入した。具体的には Instructional Manipulation Check (IMC) [8] と呼ばれる注意チェックテストをタスク画面における実験説明とタスク後アンケートの QIDS-J 質問の中に入れ込んだ。

実験説明は、説明文章の下に Next と記載されたボタンが設置してあり、そのボタンをクリックすることで次の説明に移るという設計になっていた。その中の一部に、IMC としてボタンではなく本文をクリックすることでも先に進むシーンを用意し、本文中にもボタンでなく本文をクリックして次に進めとの指示を記載した。このシーンにおいて、本文でなくボタンをクリックして先に進んだ場合は Satisfice であると判断した。また、タスク後アンケートにおける IMC については、QIDS-J は各質問に対して 5 段階評価を行う形式であるため、「この設問は 4 を選択せよ」という問いを QIDS-J の質問に交えて設定し、4 以外を回答したものを Satisfice とした。

#### 2.5 実験参加者

本実験では、20 代から 60 代までの各世代の男女からデータを収集した。そのため参加者は性別・世代別に 10 グループに分類される。先に述べたランサーズを用いて各グループ 60 名の参加者を募ったため、総勢 600 名が本実験に参加した。

先述した実験説明とタスク後アンケートでの IMC で Satisfice が検出された実験参加者は解析から除外した。結果、各グループについて表 1 に示す人数のデータを解析に利用した。

表 1: 各年齢・性別における、解析に利用した実験参加者数

	20代	30代	40代	50代	60代
男性	54	59	55	50	54
女性	53	57	52	54	59

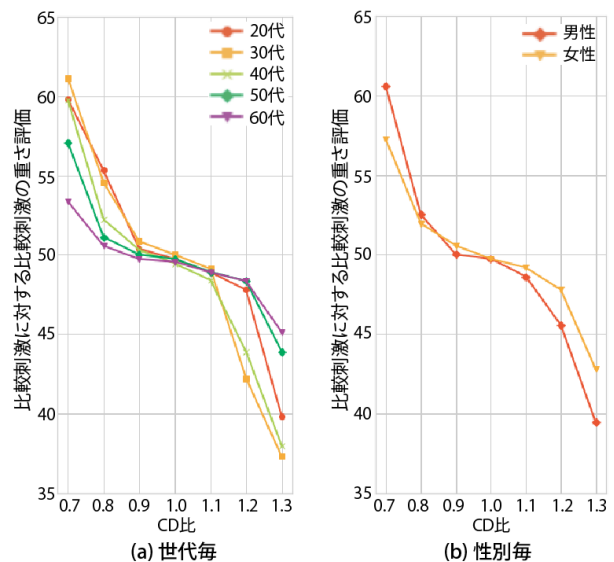


図 5: 年齢ごと・性別ごとの各 CD 比における重さ評価 (中央値)

#### 2.6 実験結果

実験結果として、年齢、性別ごとの各 CD 比における重さ評価を boxplot にまとめたものを示す (図 4)。縦軸は、標準刺激 (CD 比 1.0) と比較した際の他の CD 比におけるバーチャル物体の重さ評価を示し、値が大きい (小さい) ほどより重い (軽い) と評価していることを示す。この値が 50 である場合、標準刺激と比較刺激を同等の重さだと評価したことをあらわしている。どのグループをみても先行研究 [3] が示す通り、CD 比が小さい (大きい) ほどバーチャル物体を重く (軽く) 感じる事が確認できる。

実験条件ごとに 70 群の正規性を Shapiro-Wilk 検定にて確認したところ、24 群に対して正規分布との有意な差が認められた。したがって、ノンパラメトリックなデータとして中央値で年齢ごと、性別ごとの比較をおこなったものを図 5 に示す。年齢ごと、性別ごとで重さの評価傾向が変化

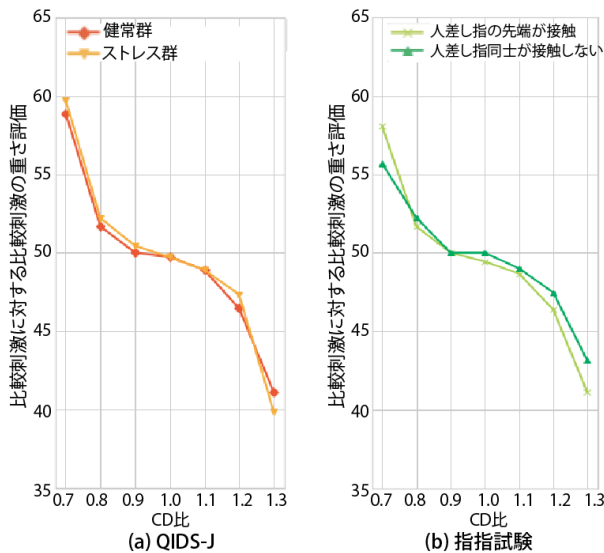


図 6: QIDS-J のスコア, 指指試験の結果で参加者を分類した場合の各 CD 比における重さ評価 (中央値)。人差し指の先端同士が接触した群は深部感覚が正確であることを意味し, 人差し指同士が接触しない群は深部感覚が鈍麻している可能性があることを意味する。

していることが確認できる。

タスク後アンケートの結果, 利き手については右利き 459 人, 左利き 41 人, 両利き 4 人であった。またマウスを使う手に関しては, 6 人以外全員右手であった。マウスを使う頻度については, 全く使わない人は 0 人, 毎日使う人が 386 人だった。これらの条件について, Pseudo-haptics の効果の傾向に違いが見られなかった。

QIDS-J から算出したストレス傾向については, 健常群が 248 人, ストレス群が 102 人であった。また指指試験の結果については, 人差し指の先端が接触した, つまり深部感覚が正確な群は 141 名, 人差し指が接触しなかった, つまり深部感覚が正確でなく, 鈍麻している可能性がある群は 87 名だった。QIDS-J, 指指試験の結果ごとに各 CD 比における重さ評価をまとめたものを図 6 に示す。

### 2.7 考察

本検証より, 年齢や性別により Pseudo-haptics の効果が変わる可能性が示された。年齢については高齢になるほど, 大きい (小さい) CD 比を提示しても, バーチャル物体に対する軽さ (重さ) を知覚しにくくなることが示唆された。また, 性別については男性の方が女性に比べて Pseudo-haptics の効果を強く感じやすいことが示唆された。

QIDS-J については, 健常群とストレス群で重さ評価の傾向に大きな違いが見られなかった一方, 指指試験については, 深部感覚が正確であるほうが Pseudo-haptics の効果を強く感じやすくなる可能性が示唆された。

### 3. まとめ

本稿では, デスクトップ環境でのマウスによるカーソル操作における Pseudo-haptics について, 体験者の年齢, 性

別により錯覚効果にどのような違いが現れるかを調査した。検証の結果, 若年者の方が高齢者に比べ, また男性の方が女性に比べて Pseudo-haptics の効果を強く感じやすいことが示唆された。加えて, 深部感覚が正確であるほうが Pseudo-haptics の錯覚効果が強く発現する可能性が示唆された。今後, 今回の検証で得られた年齢や性別による Pseudo-haptics 効果の違いが何に起因するかについてより詳細な検証をすすめる。また, 体験者の各要素の組み合わせが錯覚効果にどのようにあらわれるかについても検証するとともに, VR 等他の条件下での Pseudo-haptics 効果についても検証する。  
謝辞 本研究は, 日本学術振興会科学研究費補助金 (基盤 B) 「課題番号 21H03478」の助成を受けたものである。

### 参考文献

- [1] Yusuke Ujitoko and Yuki Ban. Survey of pseudo-haptics: Haptic feedback design and application proposals. *IEEE Transactions on Haptics*, 2021.
- [2] ランサーズ (<https://www.lancers.jp/>).
- [3] Majed Samad, Elia Gatti, Hermes, et al. Pseudo-haptic weight: Changing the perceived weight of virtual objects by manipulating control-display ratio. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–13, 2019.
- [4] Lauren J DeLoach, Michael S Higgins, et al. The visual analog scale in the immediate postoperative period: intrasubject variability and correlation with a numeric scale. *Anesthesia & Analgesia*, Vol. 86, No. 1, pp. 102–106, 1998.
- [5] Viljami Salmela, Lumikukka Socada, et al. Reduced visual contrast suppression during major depressive episodes. *Journal of Psychiatry & Neuroscience: JPN*, Vol. 46, No. 2, p. E222, 2021.
- [6] A John Rush, Madhukar H Trivedi, et al. The 16-item quick inventory of depressive symptomatology (qids), clinician rating (qids-c), and self-report (qids-sr): a psychometric evaluation in patients with chronic major depression. *Biological psychiatry*, Vol. 54, No. 5, pp. 573–583, 2003.
- [7] 麻子三浦, 哲郎小林. オンライン調査における努力の最小限化 (satisfice) 傾向の比較: Imc 違反率を指標として. *メディア・情報・コミュニケーション研究*, Vol. 1, , 2016.
- [8] Daniel M Oppenheimer, Tom Meyvis, et al. Instructional manipulation checks: Detecting satisficing to increase statistical power. *Journal of experimental social psychology*, Vol. 45, No. 4, pp. 867–872, 2009.