

オンライン実験において 視覚刺激の物理サイズを厳密に統制する手法の提案と検証

武藤 拓之

大阪公立大学大学院現代システム科学研究科

本研究では、オンライン心理学実験において視覚刺激のサイズを厳密に統制するための新たな方法を提案する。本手法では、参加者にランダムな長さの線分を物差しで繰り返し測定させ、その測定結果をもとに最小二乗法を用いて画面上の mm:px 比を推定する。キャリブレーションの成否は、テスト用線分の測定誤差や線形回帰モデルの残差分散を指標として客観的に評価可能である。シミュレーションの結果、提案する基準を適用した場合、mm:px 比の推定誤差の標準偏差は高々 0.007 mm/px に収まることが確認された。さらに、実際にこの方法を実装したところ、100 名の参加者の大半が数分以内に手続きを完了することができ、本手法の実行可能性が担保された。本手法は、視覚刺激のサイズが重要な要因となる視知覚や視覚認知の研究をオンライン環境で実施する際に特に有用であると考えられる。本手法のデモと lab.js で実装するための JSON ファイルは OSF にて公開している (<https://doi.org/10.17605/osf.io/zeyxp>)。

Keywords: online experiments, stimulus size calibration, vision science, methodology

問題・目的

近年、オンラインで心理学実験を実施する研究が増加している。オンライン実験は、多様な参加者を短期間で効率よくサンプリングできるなどの利点があり、一般化可能性の向上や研究コストの削減といった観点からも有用である。しかし、オンライン実験には実験室実験と比べて環境要因の統制が困難であるという制約も存在する。

特に視知覚や視覚認知の研究においては視覚刺激のサイズを統制することが重要である。オンライン実験で刺激サイズを統制する方法はこれまでも提案されてきたが (Brascamp, 2021; Li et al., 2020), 従来の方法では統制の手続きが参加者の裁量に委ねられているため、参加者が教示に従わずに努力の最小化を行った場合でもそれを検出する手段がなく、刺激サイズの統制が研究者の意図した通りに達成されたことを確認できないという問題があった。そこで本研究は、この問題を克服するために、オンライン実験において視覚刺激のサイズを厳密に統制する手法を提案し、その有効性と実行可能性の検証を行った。なお、本稿は Muto (in press) の内容を要約したものであるため、より詳細な議論については論文を参照されたい。

提案手法

提案手法は調整フェーズ・テストフェーズ・スクリーンサイズ確認フェーズの3段階で構成される (Figure 1)。調整フェーズでは、参加者はランダムな長さで提示された線分の長さを自身の物差しで測り、測定結果を mm 単位で回答することを3回繰り返す。線分の長さは、1回目は175—275 px, 2回目は50—150 px, 3回目は300—400 pxの範囲内でランダムに決定される。線分の長さは必ず3回目・1回目・2回目の順に短くなるように設定されているため、2回目以降の入力フォームには前回までの回答に基づく範囲制限を設けて誤入力を抑制する。調整フェーズが完了すると、提示された線分の長さ x_1, x_2, x_3 [px] と参加者が回答した測定値 y_1, y_2, y_3 [mm] に基づいて、回帰式 $y_i = bx_i + e_i$ を仮定したときの傾き b が推定される。最小二乗解は

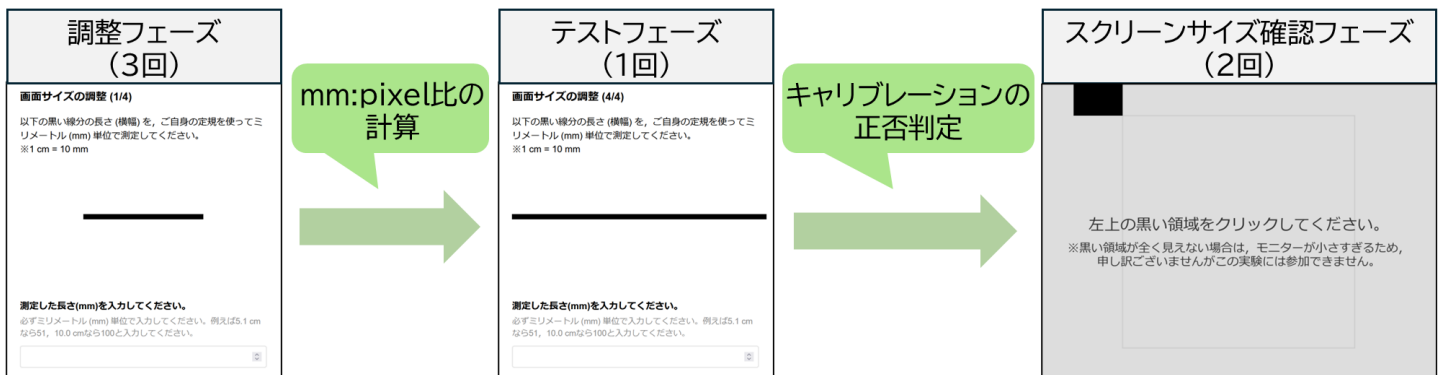
$$\hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^3 x_i y_i}{\sum_{i=1}^3 x_i^2}$$

であり、この $\hat{b}$ を mm:px 比の推定値として用いる。

テストフェーズでは、推定された $\hat{b}$ を用いて、50—100 mm の範囲からランダムに選択された物理長の線

Figure 1

提案手法の流れ



分が提示される。参加者は、調整フェーズと同様に線分の長さを物差しで測り、測定値を回答する。

テストフェーズが完了すると、キャリブレーションの正否の判定が行われる。通過基準は、(1) $\hat{b}$ が0—1の範囲内であること、(2) テストフェーズにおける測定誤差が ± 1 mm以内であること、(3) 残差分散が1以下であることの3つである。これらの基準を1つでも満たさなかった場合は調整フェーズからやり直しとなる。

最後のフェーズでは、実験で提示される最大サイズの視覚刺激が見切れることなくスクリーン内に提示されることの確認が行われる。参加者は、最大サイズを示す枠の左上と右下に提示される長方形をクリックすることが求められる。スクリーンが小さい場合には長方形が画面内に提示されないため実験を進めることができなくなる。

全ての手続きが完了した後で主課題が実施される。実験プログラム上で、提示したい物理長 [mm] を $\hat{b}$ で割った (もしくは $\hat{b}$ の逆数を掛けた) 値を刺激のピクセル長として指定することで、実験者が意図した物理長の刺激を提示することができる。なお、本手法のデモ (https://mutopsy.net/demo/demo_stimulus-size-calibrator_jpn/) と lab.js で実装するための JSON ファイル (<https://doi.org/10.17605/osf.io/zeyxp>) も利用できる。

シミュレーション

本研究で提案した手法と通過基準によって mm:px 比をどの程度正確に推定できるかを検証するためにシミュレーションを実施した。基準をぎりぎり通過する参加者を想定し、測定誤差が平均0、標準偏差3 mmの正規分布に従う仮想の参加者のデータを100万人分シミュレートした。その結果、基準を通過した15.2%の参加者における推定誤差 (mm:px 比の真値と推定値の差) の標準偏差は0.007 mm/pxであった。本シミュレーションでは実際よりも明らかに測定誤差の大きな参加者を想定して実施したため、この値は誤差の上界とみなせる。つまり、本手法を用いることで mm:px 比の推定誤差を高々0.007 mm/pxに抑えられると期待される。

実装実験の結果

本手法の実行可能性を検証するために、100人の参加者を対象とした実装実験を、OSFに事前登録したうえで (<https://doi.org/10.17605/osf.io/kxn4r>) オンラインで実施した。実験の結果、100名中84名は1回の手続きで通過基準を満たすことができ、そのときの所要時間の中央値は103.51秒であった。また、半数以上の参加者が2分以内にキャリブレーションを完了できた。推定された mm:px 比の範囲は0.15—0.46であった。

考察

本研究は、オンライン実験において物差しを用いて視覚刺激のサイズを厳密に統制する手法を提案した。シミュレーションの結果、mm:px 比の推定誤差が高々

0.007 mm/pxであることが示された。また、実装実験の結果、ほとんどの参加者が1回の手続きで通過基準を満たし、数分以内にキャリブレーションを完遂できることも確認された。これらの結果から、提案手法の有効性と実行可能性が示された。

提案手法には、従来の手法と比べて少なくとも3つの利点がある。1つめは、適切な通過基準を設定することで、参加者が視覚サイズを適切に統制できたことを客観的に確認できることである。2つめは、提示する線分の長さをランダムにすることで、記憶に基づく方略や当て推量による回答を抑制できることである。3つめは、調整フェーズで繰り返し測定を行わせることで、単一の測定よりも正確に mm:px 比を推定できることである。以上の利点から、提案手法は、オンライン実験において視覚刺激のサイズを統制するためのより信頼性の高いアプローチであると考えられる。

提案手法は視覚刺激の物理サイズを統制するための方法であるが、網膜上の刺激サイズ (視角) の統制にも有用である。視距離を統制する方法として、盲点の位置を利用する仮想顎台 (Li et al., 2020) や、参加者の腕の長さ・身長・モニターの種類の情報を利用する簡便な方法 (Brascamp, 2021) が提案されており、これらの方法と提案手法を組み合わせることが可能である。視角が刺激の物理サイズと視距離の関数であることや、仮想顎台が事前に推定した mm:px 比を用いる手続きであることを踏まえると、提案手法による刺激の物理サイズの厳密な統制は、視角の厳密な統制にも寄与する。したがって、視知覚や視覚認知の分野で見られるような網膜偏心度に鋭敏な現象をオンライン実験で検証する際にも本手法の活用が期待できる。

引用文献

- Brascamp, J. W. (2021). Controlling the spatial dimensions of visual stimuli in online experiments. *Journal of Vision*, 21(8), 1–11. <https://doi.org/10.1167/jov.21.8.19>
- Li, Q., Joo, S. J., Yeatman, J. D., & Reinecke, K. (2020). Controlling for participants' viewing distance in large-scale, psychophysical online experiments using a virtual chinrest. *Scientific Reports*, 10, Article 904. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57204-1>
- Muto, H. (in press). A ruler-based technique for rigorously controlling visual stimulus size in online psychological experiments. *The Japanese Journal of Cognitive Psychology*.