

# ダミーカーソルアルゴリズムがもたらす 自身のカーソル発見への影響調査

相澤裕貴<sup>†</sup> 渡邊恵太<sup>†</sup>

**概要**：複数のカーソルの中からマウスと同じ動きのカーソルを探索するダミーカーソル実験がある。この実験で、見た目や形が同じカーソルであっても、動きによって自身のカーソルを発見できることを明らかにした。このときダミーカーソルの動きは、事前に記録した人間の操作するカーソルの動きを再現したものだ。一方、コンピュータアルゴリズムによるダミーカーソルアルゴリズムを使用した実験では、人間の記録を再生したダミーカーソルを用いた実験よりも、自身のカーソル発見成功率が低下した。そこで本研究では、ダミーカーソルアルゴリズムによって、自身のカーソル発見成功率に及ぼす影響を調査する。

**キーワード**：ダミーカーソル，認知，アルゴリズム

## 1. はじめに

渡邊らは、複数のカーソルの中から自身のマウスと同じ動きのカーソルを探索するダミーカーソル実験を行った[1]。この実験で、同じ色・形のカーソルが複数あっても動きだけで自身のカーソルを識別できることが明らかになった。また、相澤らはダミーカーソル実験における視線と自身のカーソルの関係を調査した[2]。このとき、ダミーカーソルの動きのアルゴリズムを渡邊らとは異なるアルゴリズムにしたところ、渡邊らの実験より自身のカーソル発見成功率が減少した。このことからダミーカーソルアルゴリズムによって自身のカーソル発見成功率が変わる可能性が考えられる。

そこで本研究では、ダミーカーソルアルゴリズムごとの自身のカーソル発見成功率やエラー率などの特徴を調査する。

## 2. ダミーカーソルアルゴリズム

今回、ダミーカーソルアルゴリズムは以下の3種類を用意した。

- 1) 人間アルゴリズム
- 2) パーリンノイズアルゴリズム
- 3) 回転角アルゴリズム

### 1) 人間アルゴリズム

人間アルゴリズムは、渡邊らが行ったダミーカーソル実験[1]で用いたアルゴリズムである。このアルゴリズムでは、事前にカーソルの移動ベクトルを複数記録したデータセットを用意する。このデータセットは、マウスが動いたときに現フレームのカーソルの位置座標と前フレームのカーソル位置座標の差分を記録したものである。このデータセットに記録した移動ベクトルを、ダミーカーソル実験時に参



図1 実験の様子

加者がマウスを動かすと同時に、ダミーカーソルの位置座標を追加する。そして、マウスが止まると同時に移動ベクトル追加も止まり、ダミーカーソルを動かなくする。この移動ベクトルを追加するとき移動距離を記録した通りの長さにする。自身のカーソルとの移動距離の違いが原因で参加者が自身のカーソルを発見する可能性がある。そのため、データセットの移動ベクトルを追加するとき、移動距離を自身のカーソルと同じ距離になるように加工している。今回は、予備実験における実験参加者のマウスの動きを記録したデータセットを使用した。

### 2) パーリンノイズアルゴリズム

パーリンノイズアルゴリズムでは、Perlinが提案したパーリンノイズ[3]という疑似ランダムアルゴリズムを用いている。事前にパーリンノイズを用いたランダムウォーク[4]の移動ベクトルを毎フレームごとに記録したデータセットを用意し、人間アルゴリズムと同じくマウスが動いたときにダミーカーソルの位置座標に記録した移動ベクトルを追加する（ただし、移動距離は自身のカーソルと同じくするように加工している）。

他の疑似ランダムアルゴリズムの使用も模索したが、自動生成したカーソルはカクカク動き、自身のカーソルの滑

<sup>†</sup> 明治大学 総合数理学部 先端メディアサイエンス学科

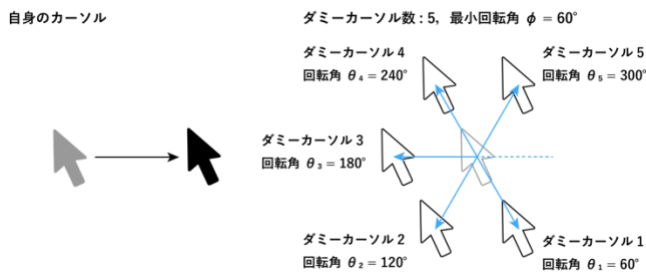


図2 自身のカーソルが右に移動したときの  
回転角アルゴリズムの例

らかな動きとは異なるため、自身のカーソルはすぐに特定可能であった。一方、パーリンノイズは連続性を持った疑似乱数を生成するため、滑らかなカーソルの動きをデザインできる。

### 3) 回転角アルゴリズム

回転角アルゴリズムは、相澤らの研究[2]で用いたアルゴリズムである。ダミーカーソルは、自身のカーソルが移動するベクトルを時計回りに  $\theta$  ( $0^\circ < \theta \leq 360^\circ$ ) だけ回転した方向に移動する。この  $\theta$  の値は、ダミーカーソル数を  $n$  ( $n > 1$ )、最小回転角を  $\phi$  ( $0^\circ < \phi \leq 180^\circ$ ) とするとき以下のように求める。

$$\theta_i = \phi + \frac{(i-1)(360^\circ - 2\phi)}{n-1} \quad (1 \leq i \leq n)$$

となる。たとえばダミーカーソル数5で、最小回転角を  $60^\circ$  とすると各々のダミーカーソルの回転角は  $60^\circ, 120^\circ, 180^\circ, 240^\circ, 300^\circ$  になる (図2)。このアルゴリズムは、他の2つのアルゴリズムと異なり、ダミーカーソルの動きを毎フレーム動的に生成する。

## 3. 実験

### 3.1 実験1: ダミーカーソルアルゴリズムの評価

この実験では、前章で紹介した3種類のアルゴリズムごとにおける「1. 自身のカーソル発見成功率」と「2. 自身のカーソルを発見するまでの時間」を評価する。この実験で用いる回転角アルゴリズムの最小回転角は先行研究[2]と同じく  $30^\circ$  とする。

#### 3.1.1 実験環境

実験機材は以下に示す。

- OS: Windows10
- ディスプレイ: LG 社製 24MP88HV-S (サイズ 23 インチ, 解像度 1980×1080, リフレッシュレート 60Hz)
- マウス: Dell 社製 MOCZUL

実験アプリケーションは openFrameworks を用いて実装した。実験アプリケーションでは、表示するカーソルの形は直径 10px の円とし、画面は渡邊らと同じく左右上下ループする Torus desktop [5]を採用した。そのため、カーソルが画面左端から移動すると画面右端から出てくる。また、ソフトウェア上で自身のカーソル発見時間を測定し、各々

のカーソルの移動ベクトルを記録した。

#### 3.1.2 実験手順

実験手順を以下に示す。

- 1) ディスプレイに表示されたカウントダウンが終わると実験がスタートする。
- 2) 複数のカーソルが表示され、参加者は1つだけある自身のカーソルを探索する。
- 3) 自身のカーソルを見つけたら、スペースキーを押す。
- 4) 参加者はどれが自身のカーソルであるか、画面上を指し示して実験者に伝える。実験者は正誤を記録する。

カウントダウン終了後、実験がスタートすると同時にタイムカウントもスタートする。そして、参加者がスペースキーを押すとタイムカウントがストップする。このタイムカウントを自身のカーソル発見時間とみなして評価する。

また、実験手順4で参加者が指し示したカーソルが自身のカーソルである場合を「発見成功」、ダミーカーソルだった場合を「発見エラー」とする。

参加者は3種類のアルゴリズムそれぞれで、ダミーカーソル数5, 10, 20, 50の4パターンでタスクを行った。これを1セットして、参加者は3セットタスクを試行する。

#### 3.1.3 実験参加者

参加者は11名 (男性5名, 女性6名) で、主にコンピュータサイエンスを専門とする大学生である。彼らは正常な視力または矯正視力を持っており、全員右利きであった。

#### 3.1.4 結果

図3に自身のカーソル発見時間の箱ひげ図を示し、図4に自身のカーソル発見時間のヒストグラムを示す。図4のヒストグラムは正規分布を仮定できないため、ダミーカーソル数ごとにダミーカーソルアルゴリズム間における実験時間の差を Kruskal-Wallis 検定で評価した。その結果、すべてのダミーカーソル数で  $p > .05$  であったため、自身のカーソル発見時間の有意差は見られなかった。

ほかに表1にそれぞれのダミーカーソル数における33セット (11人×3セット) 中の自身のカーソル発見成功率を示す。ダミーカーソルアルゴリズムによって自身のカー

表1 アルゴリズムごとの自身のカーソル発見成功率

( ) 内は自身のカーソル発見エラー率

ダミーカーソル数	5	10	20	50
人間アルゴリズム	100%	100%	100%	96%
パーリンノイズアルゴリズム	(0%)	(0%)	(0%)	(4%)
回転角アルゴリズム	100%	96%	96%	100%
	(0%)	(4%)	(4%)	(0%)
回転角アルゴリズム	100%	79%	88%	83%
	(0%)	(21%)	(12%)	(17%)

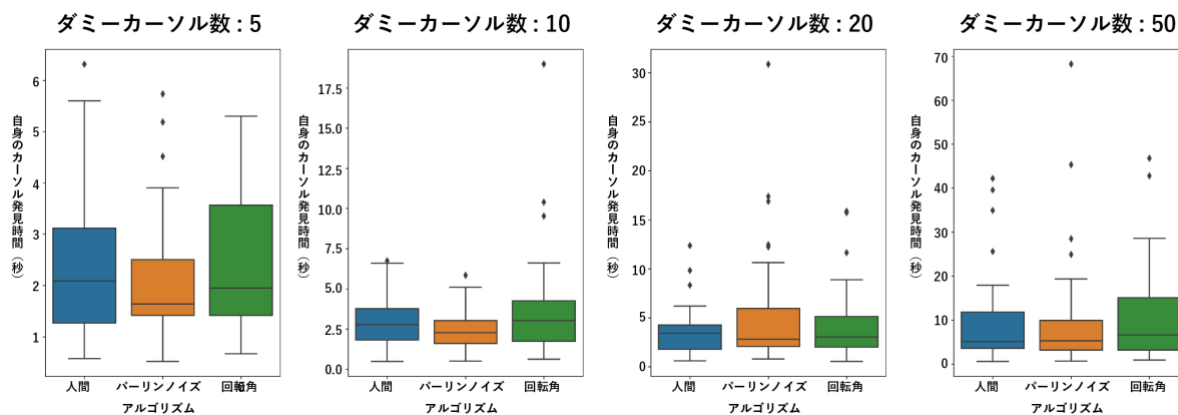


図3 アルゴリズムごとの自身のカーソル発見時間の箱ひげ図

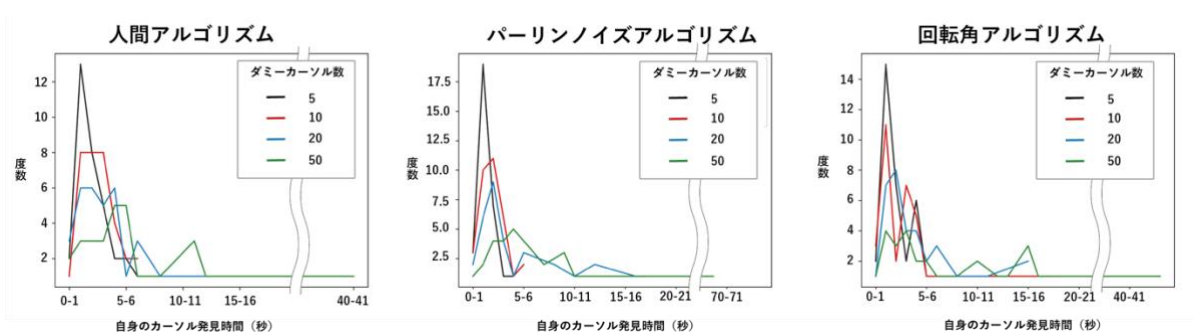


図4 アルゴリズムごとの自身のカーソル発見時間のヒストグラム

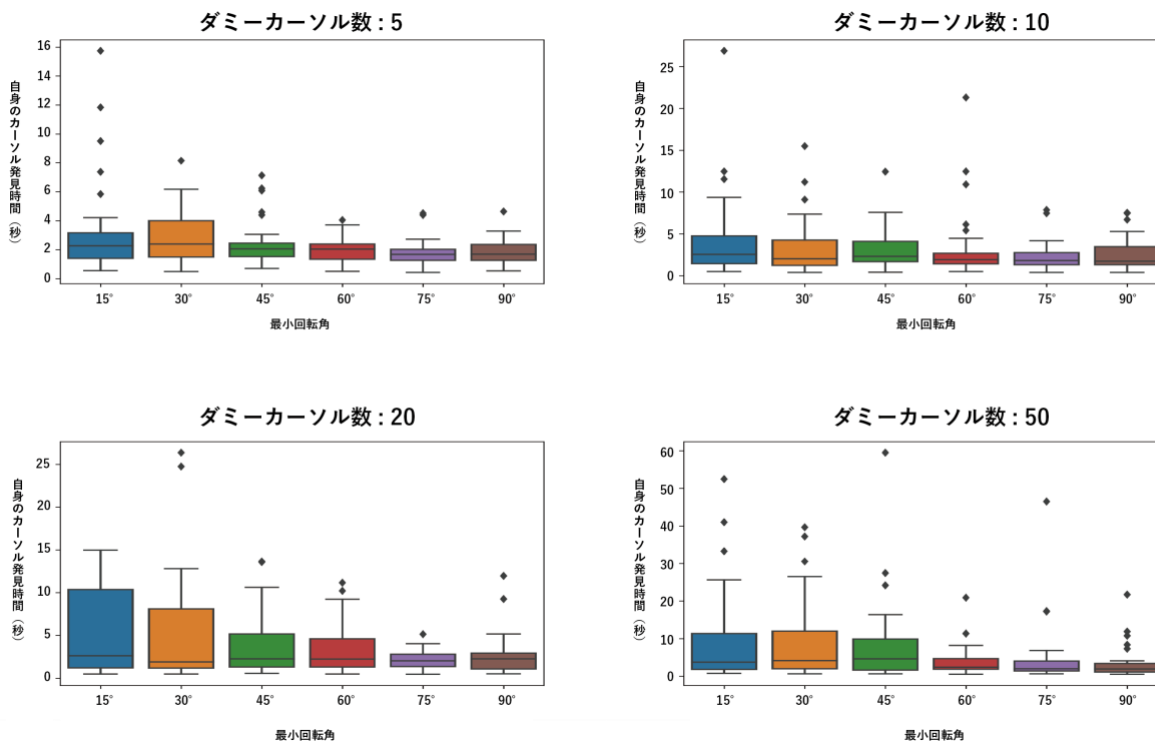


図5 最小回転角ごとの自身のカーソル発見時間の箱ひげ図

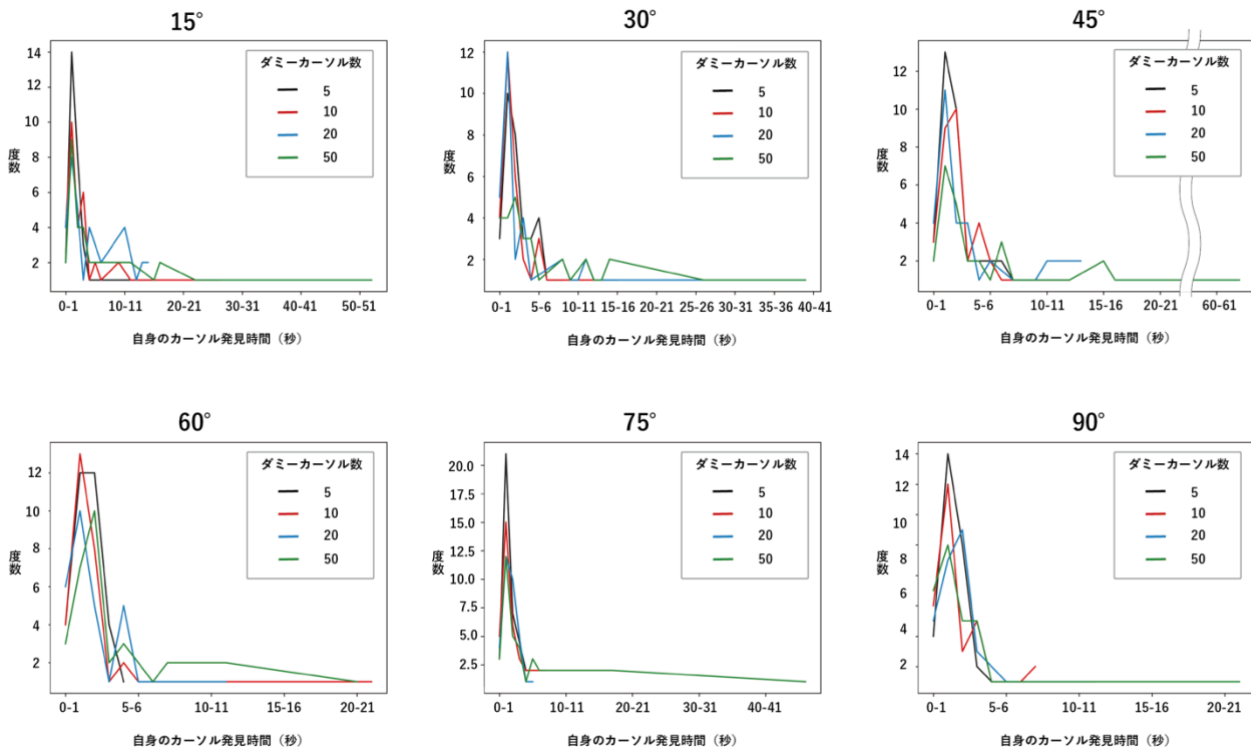


図6 最小回転角ごとの自身のカーソル発見時間のヒストグラム

ソル発見の成功数が異なるかどうかを検討するために、1要因の分散分析をダミーカーソル数ごとに行った。その結果、ダミーカーソルアルゴリズム間の成功数の差は、ダミーカーソル数が 10, 50 のとき 5%水準で有意であった (ダミーカーソル数 10 :  $F(2, 30) = 7.17, p < .05$ , ダミーカーソル数 50 :  $F(2, 30) = 5.14, p < .05$ )。Tukey の HSD 法 (5%水準) による多重比較を行ったところ、ダミーカーソル数が 10 のとき回転角アルゴリズムと人間アルゴリズムに有意差があり、ダミーカーソル数が 50 のとき回転角アルゴリズムがその他のアルゴリズムと有意差があった。表 1 を見ると、回転角アルゴリズムが他のアルゴリズムより自身のカーソル発見エラー率が高いことから、参加者は回転角アルゴリズムで動くダミーカーソルを自身のカーソルだと思い込みやすいと考えられる。

### 3.2 実験 2 : 回転角アルゴリズムの最小回転角の評価

実験 1 において、回転角アルゴリズムのダミーカーソルを自身のカーソルだと思い込みやすいことが示唆された。発見エラーしたとき参加者が指し示したダミーカーソルの回転角を見ると、 $30^\circ$ または  $330^\circ$ であることが多く、 $90^\circ$ 以上  $270^\circ$ 以下の回転角ダミーカーソルと自身のカーソルを見間違えることはなかった。このことからダミーカーソルの回転角が  $90^\circ$ に近づけば近づくほど、自身のカーソルではないと判断しやすい可能性がある。そこで実験 2 では、回転角アルゴリズムを用いたダミーカーソル実験において最小回転角の大きさが「自身のカーソル発見成功率」、「自身のカーソル発見時間」に関係するかを調査する。

### 3.2.1 実験手順

実験 1 と同じ参加者に実験を行なった。参加者は最小回転角  $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$  の 6 パターンそれぞれで、ダミーカーソル数 5, 10, 20, 50 の 4 パターンで実験 1 と同じタスクを行う。これを 1 セットして、参加者は 3 セットタスクを試行する。

表 2 最小回転角ごとの自身のカーソル発見成功率  
( ) 内は自身のカーソル発見エラー率

ダミーカーソル数	5	10	20	50
$15^\circ$	94%	83%	88%	67%
	(6%)	(17%)	(12%)	(33%)
$30^\circ$	83%	100%	94%	88%
	(17%)	(0%)	(6%)	(12%)
$45^\circ$	88%	94%	94%	100%
	(12%)	(6%)	(6%)	(0%)
$60^\circ$	100%	100%	100%	100%
	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)
$75^\circ$	100%	100%	100%	100%
	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)
$90^\circ$	100%	100%	100%	100%
	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)

### 3.2.2 結果

図 5 に自身のカーソル発見時間の箱ひげ図を示し、図 6 に自身のカーソル発見時間のヒストグラムを示した。図 6 のヒストグラムを見ると実験 1 と同じく正規分布が仮定できないため、ダミーカーソル数ごとに最小回転角ごとの実験時間の差を Kruskal-Wallis 検定を用いて評価した。その結果、すべてのダミーカーソル数で  $p > .05$  であったため、自身のカーソル発見までの時間の有意差は見られなかった。

表 2 にそれぞれのダミーカーソル数における 33 セット (11 人×3 セット) 中の自身のカーソル発見成功率を示す。回転角の大きさによって自身のカーソル発見成功率が異なるかどうかを検討するために、1 要因の分散分析をダミーカーソル数ごとに行った。その結果、回転角の大きさ間の成功率の差は、ダミーカーソル数が 10, 50 のとき 5%水準で有意であった (ダミーカーソル数 10 :  $F(2, 60) = 2.59, p < .05$ , ダミーカーソル数 50 :  $F(2, 60) = 3.08, p < .05$ )。Tukey の HSD 法 (5%水準) による多重比較を行ったところ、ダミーカーソル数が 50 のとき最小回転角 15°と、30°を除くすべての最小回転角パターンに有意差が見られた。一方、ダミーカーソル数が 10 のとき HSD 法における有意差はなかった。

## 4. 考察

本研究では、ダミーカーソルアルゴリズムによる自身のカーソル発見時間と自身のカーソル発見成功率への影響を調査するため、2 つの実験を行った。

実験 1 は 3 種類のダミーカーソルアルゴリズム (人間アルゴリズム、パーリンノイズアルゴリズム、回転角アルゴリズム) を用意し、ダミーカーソル数ごとにダミーカーソルアルゴリズム間の自身のカーソル発見成功率と自身のカーソル発見時間の差を調査した。その結果、自身のカーソル発見時間の有意差はなかったが、自身のカーソル発見成功率ではダミーカーソル数 10 のとき回転角アルゴリズムと人間アルゴリズムに有意差があり、ダミーカーソル数が 50 のとき回転角アルゴリズムが他 2 つのアルゴリズムと有意差があった。

実験 2 では、回転角アルゴリズムにおいて自身のカーソルとの最小回転角ごとの自身のカーソル発見時間と自身のカーソル発見成功率への影響を調査した。その結果、自身のカーソル発見時間の有意差はなかったが、ダミーカーソル数が 50 のとき最小回転角 15°が 30°を除くすべての最小回転角パターンと有意差があった。

### 4.1 アルゴリズムの評価

人間アルゴリズムは、事前に人が操作したカーソルの移動ベクトルをひとつひとつ記録し、マウスが動くタイミングでそれらをダミーカーソルの位置座標に追加するアルゴリズムである。そのため、実験者の意図や操作の特徴が入り込む可能性がある。一方、パーリンノイズアルゴリズム

と回転角アルゴリズムはコンピュータアルゴリズムによって自動生成するため、実験者の意図や操作の特徴が入り込むことはない。

さらに、人間アルゴリズムにはもう 1 つ欠点がある。実験 1 において、ある参加者がマウスを細かく上下する動きをしていた。人間アルゴリズムは事前に記録した移動ベクトルをダミーカーソルの位置座標に追加するため、ダミーカーソルはその場所にとどまることなく進み続けてしまう。その結果、その参加者はすぐに自身のカーソルを発見することができた。これはパーリンノイズアルゴリズムのときも同様である。一方、回転角アルゴリズムではダミーカーソルと自身のカーソルは移動方向だけが違うので、マウスを細かく動かすと自身のカーソルだけでなくすべてのダミーカーソルも細かく動く。そのため、細かく動かす戦略を用いても一瞬で自身のカーソルを発見することはない。

実験 1 で、回転角アルゴリズムは他のアルゴリズムより自身のカーソル発見エラー率が高いことがわかったが、実験 2 により最小回転角の大きさを調整することで、自身のカーソル発見エラー率を減少させることが可能であることがわかった。

これらの理由から今後ダミーカーソル実験を行うとき、この 3 種類の中では回転角アルゴリズムを使うことが好ましいと考えている。

### 4.2 回転角の範囲の評価

実験 2 の参加者は、自身のカーソルとダミーカーソルの最小回転角が 60°, 75°, 90° のとき自身のカーソルを発見エラーすることがなかった。今水の研究は、回転角が 60°~120° のカーソルを意図した方向へ操作することが難しいことを示唆している [6]。このことからダミーカーソルの回転角が 60°~120° であると、自身のカーソルの動きとダミーカーソルの動きの違いに気づきやすいことが考えられる。実際、実験後に参加者へインタビューをしたところ、ある参加者は「すべてのダミーカーソルがマウスを動かした方向と全く違う方向へ進むので、自身のカーソルだけ浮いているように見えた」と述べていた。

ダミーカーソルの最小回転角が 15°, 30°, 45° のとき、参加者は自身のカーソル発見エラーすることがあった。自身のカーソルを発見エラーする最小回転角パターンの中でも 15°パターンが、ダミーカーソル数が 10 以上のときに最も発見エラー率が高く (表 2)、実験 2 でダミーカーソル数 50 のときに 30°パターン以外の最小回転角パターンと自身のカーソル発見成功率に有意差があった。また、30°パターンはすべてのダミーカーソル数において 15°パターンと自身のカーソル発見時間・発見成功率ともに有意差がない。15°パターンで発見エラーが起こったときの参加者が指し示したダミーカーソルの回転角を調べると、15°や 345°ではなく約 30°や約 330°であるときがあった。このことから回転



角が  $30^\circ$ 以下または  $330^\circ$ 以上のカーソルを自身のカーソルだと思い込みやすい可能性がある。実際に、実験後に参加者へのインタビューで発見エラーをしたときについて質問すると「ダミーカーソルを自身のカーソルだと思い込んでいた」と答えた参加者がいた。一方、「違和感があったが、動きが似ていたので自身のカーソルだと思った」と述べた参加者もいた。このことから、自身のカーソルと思い込む回転角の大きさには個人差があることが考えられる。

まとめると、最小回転角が  $60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$ のパターンでは、明らかに自身のカーソルと異なる動きをするダミーカーソルしかないため、ダミーカーソル数を増やしても自身のカーソル発見エラーをすることがないため、ダミーカーソル実験を評価するのに適していない。一方、最小回転角が  $15^\circ, 30^\circ$ のパターンは自身のカーソル発見エラー率が高いため、これらのパターンもダミーカーソル実験の評価に適していない。これらのことから回転角アルゴリズムを用いるときの最小回転角  $45^\circ$ パターンが好ましいと考えている。

#### 4.3 マウスの動かし方による影響

実験2において、最小回転角  $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ パターンで発見エラーした時に参加者が指し示したダミーカーソルの回転角は、 $345^\circ, 330^\circ, 315^\circ$ （つまり、反時計回りに  $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ ）であることが多かった。これはマウスの動かし方が原因であると考えている。実験参加者の中で、マウスを右に動かして自身のカーソルを探索するという戦略をとった人が多くいた。マウスをディスプレイと垂直に向けて真右に動かすと、自身のカーソルが真右に動く。一方、参加者の多くは図7のように、マウスを時計回りに傾け持ちながら腕を右に動かしていた。たとえばマウスを時計回りに  $30^\circ$ 傾けて右に動かすと、回転角  $330^\circ$ （反時計回りに  $30^\circ$ ）のダミーカーソルが真右に移動し、自身のカーソルが時計回りに  $30^\circ$ 傾いた方向へ進む（図8）。このように、マウスを時計回りに傾けて持ちながら腕を右に動かしているにもかかわらず、マウスの傾きを気づいていないので、腕と同じ方向に動いたダミーカーソルを自身のカーソルだと認識してしまったと考えられる。

#### 5. おわりに

本研究では、ダミーカーソル実験におけるダミーカーソルアルゴリズムが自身のカーソル発見にもたらす影響を調査した。実験1では、「人間アルゴリズム」、「パーリンノイズアルゴリズム」、「回転角アルゴリズム」の3種類を用意し、自身のカーソル発見時間と自身のカーソル発見成功数を比較した。実験2では、回転角アルゴリズムにおいて自身のカーソルとダミーカーソルの回転角の大きさが自身のカーソル発見にもたらす影響を調査した。それらの結果から、今後のダミーカーソル実験では最小回転角が  $45^\circ$ である回転角アルゴリズムを用いることが好ましいと考察した。

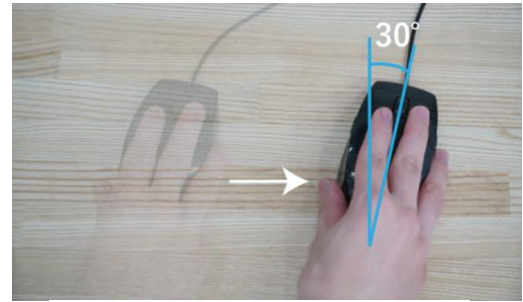


図7 カーソルを右に動かすときのマウスの動かした方

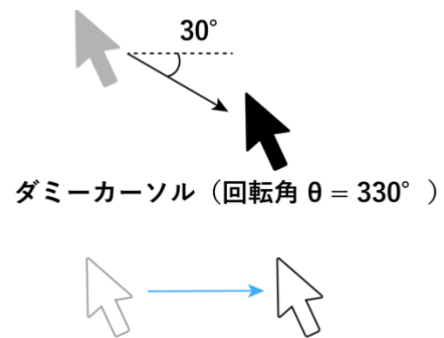


図8 マウスを時計回りに  $30^\circ$ 傾けて持ちながら、右に動かしたとき（図7）の自身のカーソルとダミーカーソル（回転角  $\theta = 330^\circ$ ）の動き

#### 参考文献

- [1] 渡邊恵太, 樋口文人, 稲見昌彦, 五十嵐健夫: 複数ダミーカーソル中における自分自身のカーソル特定, 情報処理学会インタラクティブ2013 (2013).
- [2] 相澤裕貴, 樋口文人, 渡邊恵太: ダミーカーソル環境におけるイトラッカーを用いた自身のカーソル発見プロセスの調査, 第181回ヒューマンコンピュータインタラクティブ研究会(2019).
- [3] Ken Perlin: *Improving noise*, In Proceedings of the 29th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, (2002).
- [4] Daniel Shiffman: *The Nature of Code: Simulating Natural Systems with Processing* (2012).
- [5] Huot, S., Chapuis, O., and Dragicevic, P: *TorusDesktop: pointing via the backdoor is sometimes shorter*, In Proceedings of CHI '11, pp. 829-838 (2011).
- [6] 今水寛: 感覚運動学習から高次認知機能へー「回転マウスを使った行動実験・脳機能計測実験」, バイオメカニズム学会誌, 25 (4), 152-160, (2001).