

# 視力の低下がポインティングパフォーマンスに及ぼす影響

富張 瑠斗<sup>1</sup> 木下 大樹<sup>1</sup> 大場 洋介<sup>1</sup> 山中 祥太<sup>2</sup> 宮下 芳明<sup>1</sup>

**概要:** 視力が低いとポインティングの際、カーソルやターゲットがぼやけて見える。そのためターゲットを慎重に狙う必要があり、選択までの時間が増加する可能性がある。また、カーソルやターゲットを正確に把握できないため操作ミスも増える可能性がある。本研究では視力が低下した際、パフォーマンスがどの程度低下するのかを調査する。実験では視力の変化を画面のぼかしで代替することで、画面上のターゲットが明瞭に見えない状況を再現した。実験の結果、ぼかしが強いほど操作時間とエラー率が増加することがわかった。また、ターゲットが小さいほど、エラー率に対するぼかしの影響が大きいことがわかった。

## 1. はじめに

ポインティングの操作時間はターゲットの大きさと距離に依存し、エラー率はターゲットの大きさに依存することがわかっている。ターゲットの大きさが小さいほど慎重に狙うため時間がかかる。また、ターゲット間の距離が長いほど到達までに時間がかかる。UIを設計する際には主にこの距離と大きさの2つを考慮するが、他の要因も操作時間やエラー率に影響を与える。パソコンではポインティングの際、カーソルをターゲット上に移動させ、ターゲット上に存在するのを確認してクリックする。ターゲット上にカーソルが存在するかを判別する際、視力が低いと視界がぼやけるため慎重に行う必要があり、選択までの時間が長くなる可能性がある。また、正確にターゲットとカーソルの位置関係を把握できないため操作ミスも増える可能性がある。本研究の目的は、視力の低下が操作時間とエラー率に与える影響を調査することである。実験では、視力の低下をガウシアンフィルタによる画面のぼかしによって代替することで、画面上のターゲットが明瞭に見えない状況を再現した。様々な条件で実験を行い、ぼかし度が操作時間とエラー率に与える影響を調査した。実験の結果、ぼかしが強いほど操作時間とエラー率が増加することが分かった。また、ぼかし度を考慮した操作時間の予測モデルの検討を行った。

## 2. 関連研究

### 2.1 視力が運動パフォーマンスに及ぼす影響

視力が低下すると正確な視覚フィードバックを得られな

いので、運動パフォーマンスが低下すると考えられる。例えば、手を伸ばして物に触れる・つかむとき、手の位置を修正するため視覚フィードバックを必要とする。この時、正確な視覚フィードバックを得られないと効率的な位置の修正が行えず、さらに修正するために多くの時間を費やす必要がある。Chenらは弱視、近視、正常視の参加者間でリーチング課題を行った。リーチング課題は、机上にLEDによって課題の始点と終点を示し、それを交互に指先で触れるという課題であった。この参加者間でリーチング動作の完了時間を比較した場合、弱視の参加者の完了時間が有意に長かった [1]。なお、この実験では参加者間で比較しているため、同一人物の視力低下に関しては考慮されていない。

### 2.2 視力低下の再現

視力の低下を再現、体験するには、度の合っていない眼鏡を装着する方法 [2,3] や、画像処理により再現する方法 [4-6] がある。メガネを用いる場合、ディスプレイのみに限らず現実空間で使える利点がある。しかし、度の合っていない眼鏡をかけさせるため、参加者によっては頭痛やめまいなどの症状を引き起こす可能性があるといった問題がある。画像処理を用いる場合、周波数特性 [5] や視力低下の症例 [7] を考慮しガウシアンフィルタが用いられることが多い。森ら [7] によるとガウシアンフィルタのカーネルサイズと視力は反比例の関係にある。

### 2.3 操作時間の予測モデル

Fitts' Law (式 1) はポインティングの操作時間 ( $MT$ ) をターゲット間の距離 ( $A$ ) とターゲット幅 ( $W$ ) を用いて予測するモデルである [8]。  $a, b$  は回帰分析によって得られ

<sup>1</sup> 明治大学  
<sup>2</sup> ヤフー株式会社

る定数である。また、式 1 の対数項は Index of Difficulty (ID) と呼ばれ、そのタスクの難易度の指標を示す。

$$MT = a + b \log_2 \left( \frac{A}{W} + 1 \right) \quad (1)$$

Fitts' Law では  $MT$  に対する  $A$  と  $W$  の寄与が等しい。つまり、 $A$  と  $W$  が等しい割合で変化した場合、予測される  $MT$  は変化しない。それに対し、Two-Part Model (式 2) では  $MT$  に対する  $A$  と  $W$  の寄与を独立に考えたモデルである [9]。

$$MT = a + b \log_2(A) - c \log_2(W) \quad (2)$$

式 2 における  $a, b, c$  はいずれも回帰分析によって得られる定数である。式 2 では  $b$  はターゲットに近づく高速な運動、 $c$  はターゲットを正確にとらえるための低速な運動と関係する係数とされる。式 2 はこの 2 つの運動を区別したモデルである。

### 3. 実験

#### 3.1 機材

デスクトップ PC (Core i9-12900KF, GeForce RTX 3070Ti, 48.0 GB RAM, Windows 10 Pro) を用いた。実験システムは HSP (Hot Soup Processor ver3.6)\*1 で実装され、ディスプレイ (PHILIPS 328P6A, 31.5 inches, 2560×1440 pixels) にフルスクリーンで表示された。また、マウス (Logicool G300s, 1000 dpi) を接続し、Windows のデフォルトのマウス設定で使用した。

#### 3.2 参加者

参加者は 20~26 歳の 12 名 (平均 21.6 歳, 標準偏差 2.11 歳) であった。11 名が右利き, 1 名が左利きであったが, すべての参加者が普段右手でマウスを使用していると回答したため, 実験ではすべての参加者が右手でマウスを操作した。また, 眼鏡を掛けた参加者が 3 名, コンタクトレンズ使用者が 3 名, 裸眼が 6 名であった。

#### 3.3 タスク

画面には ISO 9241-9 [10] を参考に, 図 1 のように円周上に並んだ 21 個 [11] の円が表示された。最も上に位置する円を開始ターゲットとし, 開始ターゲットをクリックすると試行が開始した。直前にクリックした円から最も遠い円を次に選択するターゲットとし, 赤く表示した。次に選択するターゲットの順は図 1 の数字の順である。直前のターゲットをクリックしてから, 次のターゲットをクリックするまでを 1 試行とし, 開始ターゲットであった円を再びクリックするまでを 1 セットとした。つまり, 1 セット内では 21 試行のポインティングを行う。クリック時にカーソ

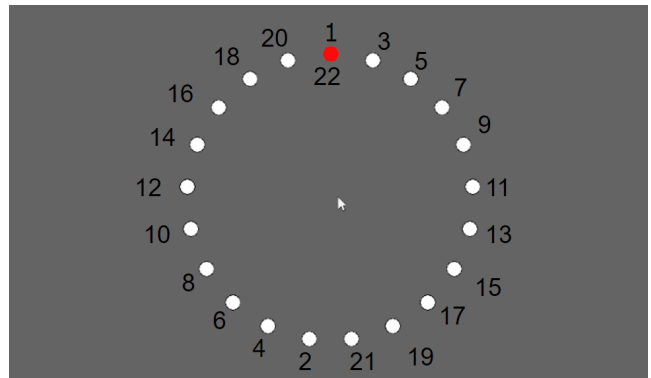


図 1 ターゲットの提示順序: 数字の順をクリックしていく。失敗した場合は成功するまでやり直す必要がある。

ルがターゲット内にあれば成功音が, ターゲット外にあれば失敗音が鳴った。ターゲット間の距離を一定にするために, ターゲットの選択に成功すると次の試行へ移行した。そのためターゲットの選択に失敗した場合, 成功するまでターゲットを選択しなおさせた。

#### 3.4 条件

ターゲット間の距離 ( $A$ ) は 2 条件 (300, 500 pixels), ターゲット幅 ( $W$ ) は 4 条件 (12, 18, 36, 78 pixels), ぼかし度 ( $B$ ) は 6 条件 (1, 21, 41, 61, 101 pixels) であった (図 2)。視力の低下 (焦点が合わずボケた見え方) を再現, 提示するには, 度の合っていない眼鏡をかけさせたり [2, 3], ガウシアンフィルタを用いて描画をぼかしたり [4-6] する方法がある。しかし, 度の合っていない眼鏡をかけさせる場合, 参加者によっては頭痛やめまいなどの症状を引き起こす可能性がある。そのため, ガウシアンフィルタを用いて視力の低下を再現した。 $B$  の値はガウシアンフィルタのカーネルサイズである。つまり, 1 の時にはぼかしのない条件となり 101 の時に最もぼかした条件となる。図 3 に示すように, ぼかし度 1 のときにはカーソルがターゲットに乗っていることが容易に判別できるが, ぼかし度が大きくなるにつれて判断が難しくなる。

#### 3.5 手順

参加者はそれぞれの  $B$  で練習を 1 セット行った後, 本番を 8 セット ( $2A \times 4W$ ) 行った。練習では本番で使用されていない  $A$  (400 pixels) と  $W$  (23 pixels) の条件を設定した。参加者はすべての条件の組み合わせで, 練習を  $1A \times 1W \times 6B \times 21$  試行 = 126 試行, 本番を  $2A \times 4W \times 6B \times 21$  試行 = 1008 試行を行った。 $B$  の順序はラテン方格法によってカウンターバランスを取った。8 セット ( $A \times W$ ) の提示順序はランダムであった。疲れた場合はセット間に申し出てもらい, 休憩を適宜入れた。また, 試行中はマウスを持ち上げることはできるだけ行わないように指示した。参加者 1 名につき実験時間は 60 分程度であった。実験終了後に主観による

\*1 <https://hsp.tv/>

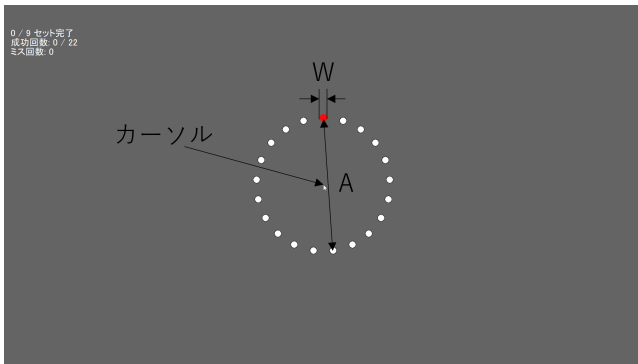


図 2 実験画面と実験条件 (A と W) : A はターゲット間の距離であり, W はターゲット幅である. ぼかし度が 1 の時 (上) と 101 の時 (下).



図 3 6 種類のぼかし度におけるターゲット付近でのカーソルの見え方.

難易度評価, NASA Task Load Index (NASA-TLX) [12], 自由記述のアンケートを行った. NASA-TLX では各 B に対して 6 つの項目を 5 点刻みで回答させた (6 つの項目に関しては表 1 参照). なお, アンケートを作成する際には参考文献 [13-15] を参考にした. NASA-TLX の総合得点には, 重みづけされたワークロードの平均値 (WWL : weighted workload) や単純平均 (RTLX : raw-TLX) などが用いられる [16]. WWL は 6 つの項目すべてに対して一対比較する必要があり, 時間がかかる上に参加者にとって判断が難しく負担が大きい. RTLX と WWL の関係について, 相関が 0.93-0.98 ある [15, 17, 18] という報告がされている. そのため, WWL よりも RTLX の使用が薦められている. よって, 総合得点には RTLX を使用した.

また, 主観による難易度評価では, 各 B に対して 0 (簡単, まったく問題なく操作できる) ~100 (難しい, 操作が

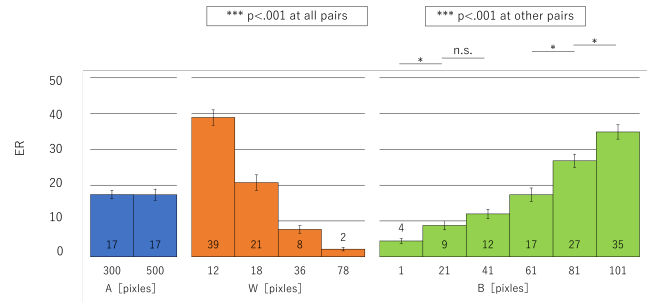


図 4 ER に対する A, W, B の影響.

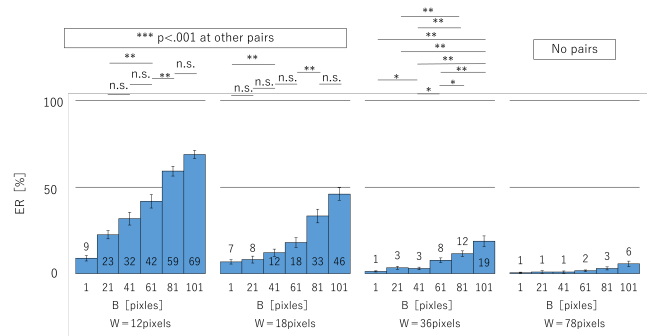


図 5 ER に対する W ごとの B の影響.

非常に困難である) の整数値で回答させた.

## 4. 結果

12 名分の本番試行分のデータ (12096 試行) を分析に用いた. 独立変数は A, W, B であり, グラフ中のエラーバーは標準誤差を示し, \*\*\*, \*\*, \* はそれぞれ,  $p < 0.001$ ,  $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$  を示す.

### 4.1 エラー率 (ER)

12096 試行中, エラーは 2383 試行であり, 全体のエラー率 (ER) は 19.7% であった. 主効果が見られたのは W ( $F_{3,33} = 226.0$ ,  $p < 0.001$ , 図 4 中央), B ( $F_{5,55} = 165.4$ ,  $p < 0.001$ , 図 4 右) であった. A ( $F_{3,33} = 0.005085$ ,  $p = 0.944$ , 図 4 左) については主効果は見られなかった. W が小さいほど, また B が大きいほど ER が増加した.

交互作用が見られたのは  $W \times B$  ( $F_{15,165} = 36.50$ ,  $p < 0.001$ ) であった.  $A \times W$  ( $F_{4,44} = 0.5897$ ,  $p = 0.626$ ),  $A \times B$  ( $F_{5,11} = 1.291$ ,  $p = 0.281$ ) については交互作用は見られなかった. W ごとの B の影響を図 5 に示す.

### 4.2 操作時間 (MT)

エラーを除いた 9713 試行のデータを用いて分析した. 全体の MT の平均は 959 ms であった. 主効果が見られたのは A ( $F_{1,11} = 80.62$ ,  $p < 0.001$ , 図 6 左), W ( $F_{3,33} = 91.39$ ,  $p < 0.001$ , 図 6 中央), B ( $F_{5,55} = 13.55$ ,  $p < 0.001$ , 図 6 右) であった.

交互作用が見られたのは  $W \times B$  ( $F_{15,165} = 2.034$ ,

表 1 NASA-TLX の項目とそれぞれの詳細.

項目	端点	説明文
知的・知覚的要求	小さい/大きい	どの程度の知的・知覚的活動（考える，決める，計算する，記憶する，見るなど）を必要としましたか。課題はやさしかったですか難しかったですか，単純でしたか複雑でしたか，正確さが求められましたか大ざっぱでよかったですか
身体的要求	小さい/大きい	どの程度の身体的活動（押す，引く，回す，制御する，動き回るなど）を必要としましたか。作業はラクでしたかキツかったですか，ゆっくりできましたかキビキビやらなければなりませんでしたが，休み休みできましたか働きづめでしたか
タイムプレッシャー	弱い/強い	タスクのペースや課題が発生する頻度のために感じる時間的切迫感ほどの程度でしたか。ペースはゆっくりとして余裕があるものでしたか，それとも速くて余裕のないものでしたか
作業成績	良い/悪い	作業指示者（またはあなた自身）によって設定された課題の目標をどの程度達成できたと思いますか。目標の達成に関して自分の作業成績にどの程度満足していますか
努力	少ない/多い	作業成績のレベルを達成・維持するために，精神的・身体的にどの程度いっしょうけんめいに作業しなければなりませんでしたが
フラストレーション	低い/高い	作業中に，不安感，落胆，いらいら，ストレス，悩みをどの程度感じましたか。あるいは逆に，安心感，満足感，充足感，楽しさ，リラックスをどの程度感じましたか

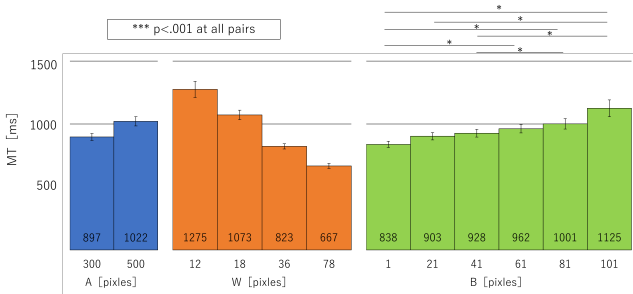


図 6 MT に対する A, W, B の影響.

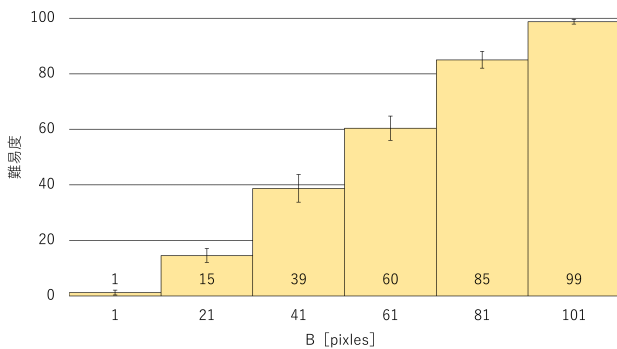


図 7 主観による難易度評価.

$p = 0.0157$ )であった。  $A \times W$  ( $F_{4,44} = 0.6050$ ,  $p = 0.616$ ),  $A \times B$  ( $F_{5,11} = 0.2494$ ,  $p = 0.938$ ) については交互作用は見られなかった。

### 4.3 アンケート

各  $B$  における主観による難易度評価を図 7 に示す。  $B$  が大きいほど難易度が高いという評価が得られた。

また，各  $B$  における NASA-TLX の 6 つの項目と RTLX (raw-TLX) の平均スコアを図 8 に示す。 作業成績以外の項目では  $B$  が大きいほどスコアが高くなる傾向が見られた。

### 4.4 モデルの適合度

Fitts' Law (式 1) と Two-Part Model (式 2) への適合度を検証した (表 2 (1 行目, 5 行目))。 いずれも一般的な適合度の基準 ( $R^2 > 0.90$  [19]) を下回っていた。

また，  $B = 1$  (ぼかし無し) のみのデータにおいて Fitts' Law (式 1) と Two-Part Model (式 2) への適合度を検証した (表 3)。 いずれもより高い適合度を示し，一般的な適合度の基準 ( $R^2 > 0.90$ ) を上回っていた。 加えて，各  $B$  ごとの Fitts' Law (式 1) と Two-Part Model (式 2) への適合度を見るといずれも一般的な適合度の基準 ( $R^2 > 0.90$ ) を上回っていた。

### 5. モデルの改善案

Fitts' Law (式 1) と Two-Part Model (式 2) への適合度がどちらも一般的な基準 ( $R^2 > 0.90$ ) を下回っていた。 そのため，正確に操作時間を予測できるモデルが必要であると考えられる。

結果より，操作時間 ( $MT$ ) は  $A$ ,  $W$ ,  $B$  の影響を受けていた。 また，  $B = 1$  (ぼかし無し) のとき， Fitts' Law (式 1) と Two-Part Model (式 2) の両方に高い適合度を示した。 よって， Fitts' Law (式 1) と Two-Part Model (式 2) をもとにした  $A$ ,  $W$ ,  $B$  を含む式を提案する。  $B$  を式に加えるにあたって  $B = 1$  のとき式 1, 式 2 と整合するように 1 を減算した。

結果より，  $B$  が大きいほど  $MT$  が増加する傾向が観測された。 つまり，  $B$  が大きいほどタスクの難易度が増加すると考えられる。 式 1 の  $ID$  に  $B$  の項を加えると以下の式になる。

$$MT = a + b \log_2 \left( \frac{A}{W} + 1 \right) + c(B - 1) \quad (3)$$

また，ぼかしによってターゲットの輪郭が不鮮明になるため，確実に成功すると判断できる領域が減る。 そのため，ぼかし度 ( $B$ ) が大きいほど中心を狙う必要がある。  $B$  が

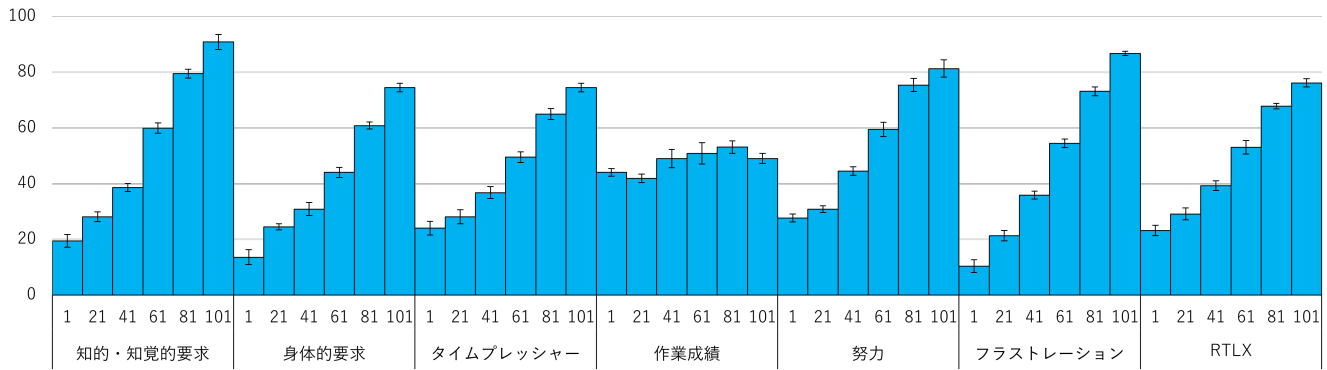


図 8 各ぼかし度における NASA-TLX の 6 つの項目と RTLX の平均スコア。

表 2 モデルの定数の推定値と適合度。

モデル	Eq.	式	$a$	$b$	$c$	$d$	$e$	$adj.R^2$	$AIC$
Fitts' Law	1	$a + b \log_2 \left( \frac{A}{W} + 1 \right)$	28.6	237				0.834	586
	3	$a + b \log_2 \left( \frac{A}{W} + 1 \right) + c(B - 1)$	-94.8	237	2.52			0.945	534
	4	$a + b \log_2 \left( \frac{A}{W - c(B-1)} + 1 \right)$	151	187	0.0946			0.944	535
	5	$a + b \log_2 \left( \frac{A + d(B-1)}{W - c(B-1)} + 1 \right)$	56.8	200	0.0738	1.88		0.957	524
Two-Part Model	2	$a + b \log_2(A) - c \log_2(W)$	572	170	223			0.830	589
	6	$a + b \log_2(A) - c \log_2(W) + d(B - 1)$	446	170	223	2.52		0.943	537
	7	$a + b \log_2(A) - c \log_2(W - d(B - 1))$	252	170	172	0.0977		0.941	538
	8	$a + b \log_2(A + c(B - 1)) - d \log_2(W - e(B - 1))$	-31.6	204	183	0.0812	1.67	0.954	537

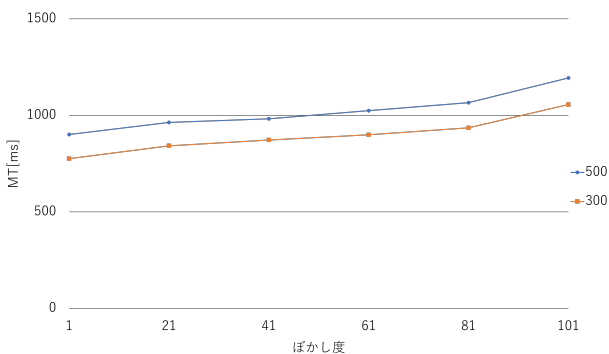


図 9 MT に対する A ごとの B の影響。

$W$  に与える影響を考慮したモデルが以下の式である (式 4)。

$$MT = a + b \log_2 \left( \frac{A}{W - c(B-1)} + 1 \right) \quad (4)$$

加えて、等しい  $A$  であってもぼかし度 ( $B$ ) が大きいほど操作時間 ( $MT$ ) の増加がみられた (図 9)。 $B$  が  $A$  に与える影響を考慮し式 4 を修正したものが以下のモデルである。

$$MT = a + b \log_2 \left( \frac{A + d(B-1)}{W - c(B-1)} + 1 \right) \quad (5)$$

Two-Part Model に対しても同様に構築したモデルが式 6-8 である (表 2 (6 行目から 8 行目))。

表 2 にそれぞれのモデルの適合度と  $AIC$  を示す。提案モデルの定数の数は式 1, 式 2 よりも多い。そのため、補正  $R^2$  と赤池情報量規準 (Akaike Information Criterion,

$AIC$ ) [20, 21] を用いてモデルを比較する。補正  $R^2$  が高く、 $AIC$  が低いモデルがより良いモデルとされる。式 5 が最も高い補正  $R^2$  と最も低い  $AIC$  を示した。

## 6. 考察

### 6.1 エラー率 ( $ER$ )

全体の  $ER$  は 19.7% と高かったが、 $B = 1$  (ぼかし無し) のみの  $ER$  を見ると 4.4% であった。先行研究 [22] における  $ER$  は 5% 程度であり近い結果であった。また、 $W$  が小さいほど  $B$  の影響が大きく見られた。ガウシアンフィルタがターゲットよりも大きい条件では、ターゲットの輪郭だけでなく中心もぼけてしまう。そのため、よりターゲットの正確な位置がわかりづらく  $ER$  が増加したと考えられる。

### 6.2 操作時間 ( $MT$ )

$MT$  は  $A$ ,  $W$ ,  $B$  に依存していた。 $A$ ,  $W$  に関しては先行研究どおりであり、 $A$  が大きいほど移動に時間がかかり  $W$  が小さいほど位置の調整に時間がかかるため  $MT$  が増加したと考えられる。 $B > 1$  の条件では、ターゲットがぼけるため自信をもって選択できる領域が小さくなり、正確なターゲットの境界がわからないので余分にカーソルを移動させる必要があったため、 $MT$  が増加したと考えられる。

### 6.3 視力に対する $W$ の調整

視力が低下した際、操作時間が増加するが  $W$  を大きくす

表 3 ぼかし無し条件におけるモデルの定数の推定値と適合度.

モデル	式	$a$	$b$	$c$	$adj.R^2$	$AIC$
Fitts' Law	$a + b \log_2 \left( \frac{A}{W} + 1 \right)$	35.6	205		0.969	83.0
Two-Part Model	$a + b \log_2(A) - c \log_2(W)$	290	170	190	0.968	86.5

ることで正常視の人と同程度の操作時間が見込める. 例えば,  $B = 101$  に相当する視力の人  $A = 300$ ,  $W = 18$  という条件でポインティングを行うとき, 正常視の人 ( $B = 1$ ) と同じ操作時間でポインティングするためには  $\Delta W$  pixels 大きくする必要があるとす. 回帰定数は本実験で得られた数値を使う.

$$56.8 + 200 \log_2 \left( \frac{300 + 1.88(1-1)}{18 - 0.0738(1-1)} + 1 \right) \\ = 56.8 + 200 \log_2 \left( \frac{300 + 1.88(101-1)}{18 - 0.0738(101-1) + \Delta W} + 1 \right) \quad (6)$$

$\Delta W$  について解くと

$$\Delta W = 18.66 \quad (7)$$

よってこの場合,  $W$  を 19pixels 程度増加させ 37pixels にすれば, 正常視の人と同程度の操作時間が見込めるという計算が行える. また, この計算を一般化し, 視力の低い人が正常視の人 ( $B = 1$ ) と同じ操作時間でポインティングするために必要な  $\Delta W$  を表すと以下のようになり, 視力の低い人のための UI 設計の指針となり得ると考えられる.

$$a + b \log_2 \left( \frac{A + d(1-1)}{W - c(1-1)} + 1 \right) \\ = a + b \log_2 \left( \frac{A + d(B-1)}{W - c(B-1) + \Delta W} + 1 \right) \quad (8)$$

$\Delta W$  について解くと

$$\Delta W = \frac{0.0002(B-1)(cA + dW)}{A} \quad (9)$$

#### 6.4 アンケート

主観による難易度評価では  $B$  が大きいほど難しいという回答が得られた. 自由記述のアンケートでは, 「ぼかしが強いほど確信が持てず, 難しかった」という意見が多数見られた.

NASA-TLX のスコアでは作業成績の項目のみ  $B$  との相関関係が見られなかった. 自由記述のアンケートでは, 「ぼかしが強いときはミスるものだと思ってやっていた」「(ぼかしが強いときは) 確信を持ってないのでミスはどうしてもでしてしまう」という意見が見られた. そのため, ぼかしが強いときに失敗してしまうのは仕方がないことだと考え,  $B$  によって回答数値の基準が異なった可能性がある.

## 7. 制約と展望

本実験では視力の低下を画面をぼかすことで再現したが, 実際の視力との対応付けを行えていない. そのため, モデルの変数が視力ではないことが制約である. 関連研究 [7] によると視力とガウシアンフィルタのカーネルサイズは反比例の関係にある. 今後は, 視力とぼかし度の変換を行い  $A$  と  $W$  と視力から操作時間の予測ができるモデルを提案したい.

アンケートより視力の低下は操作時間やエラー率だけでなく, ユーザの負荷も増加させてしまうと考えられる. しかし, 他の要因がユーザの負荷に与える影響がわからないことが制約である. 今後は, ターゲット幅を大きくすることで, 視力の低下による負荷の増加を相殺できるのかといったことを調査していきたい.

## 8. 結論

本研究では, 視力の低下がポインティングパフォーマンスに与える影響を調査した. 視力の低下を画像処理 (ガウシアンフィルタ) によって画面をぼかすことで再現し, 実験を行った. その結果, ぼかしが強いほど操作時間とエラー率が増加することが分かった. また, ぼかし度を考慮した操作時間の予測モデル (式 5) を提案した. 提案モデルは従来の予測モデルよりも高い適合度を示した.

## 参考文献

- [1] Chen, C.-F. and Huang, K.-C.: Effects of Background Lighting Color and Movement Distance on Reaching Times Among Participants With Low Vision, Myopia, and Normal Vision, *Perceptual and Motor Skills*, Vol. 122, No. 2, pp. 518–532 (2016).
- [2] 宇野直士: ロービジョン者の歩行および障害物またぎ動作の特徴に関する研究, 博士論文, 九州大学 (2018).
- [3] 小林 章, 村上美樹, 望月保男, 小田浩一: ロービジョン者に配慮した移動環境に関する研究段階に貼付したテープによる段階の視認性改善, 国立身体障害者リハビリテーションセンター研究紀要, No. 20, pp. 55–59 (2000).
- [4] 観音隆幸, 堺 浩之, 中内茂樹, 白井支朗: ぼけ順応が視覚の空間周波数伝達特性に与える影響, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J90-D, No. 7, pp. 1812–1819 (2007).
- [5] 山内しおり, 青山英樹, 大家哲朗: 視覚において高齢者に優しい製品開発のための視覚シミュレーションシステム, 日本機械学会論文集C編, Vol. 79, No. 800, pp. 1196–1203 (2013).
- [6] Gilbertson, T.: Industry attitudes and behaviour towards web accessibility in general and age-related change in particular and the validation of a virtual third-age simulator for web accessibility training for students and professionals, (online), available from

- (<https://hdl.handle.net/2134/16597>) (2015).
- [7] 森 一彦, 酒井英樹, 戒田真由美: 画像処理による視覚能力レベルに応じたロービジョン再現環境に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 76, No. 665, pp. 1213–1221 (2011).
  - [8] Fitts, P. M.: The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement., *Journal of experimental psychology*, Vol. 47, No. 6, pp. 381–391 (1954).
  - [9] Graham, E. and MacKenzie, C. L.: Pointing on a Computer Display, *Conference Companion on Human Factors in Computing Systems, CHI '95*, Association for Computing Machinery, pp. 314–315 (1995).
  - [10] ISO: 9421-9 Ergonomic requirements for office work with visual display terminals ( VDTs ) — Part 9 : Requirements for non-keyboard input devices, *International Organization for Standardization* (2000).
  - [11] Soukoreff, R. W. and MacKenzie, I. S.: Towards a Standard for Pointing Device Evaluation, Perspectives on 27 Years of Fitts' Law Research in HCI, *Int. J. Hum.-Comput. Stud.*, Vol. 61, No. 6, pp. 751–789 (2004).
  - [12] Hart, S. G. and Staveland, L. E.: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research, *Human Mental Workload* (Hancock, P. A. and Meshkati, N., eds.), Advances in Psychology, Vol. 52, North-Holland, pp. 139–183 (1988).
  - [13] 芳賀 繁, 水上直樹: 日本語版 NASA-TLX によるメンタルワークロード測定, *人間工学*, Vol. 32, No. 2, pp. 71–79 (1996).
  - [14] 富田 豊: 特集 3 人間工学のための計測手法, *人間工学*, Vol. 52, No. 1, pp. 1–5 (2016).
  - [15] 三宅晋司, 神代雅晴: メンタルワークロードの主観的評価法—NASA-TLX と SWAT の紹介および簡便法の提案, *The Japanese journal of ergonomics*, Vol. 29, No. 6, pp. 399–408 (1993).
  - [16] de Winter, J.: Controversy in human factors constructs and the explosive use of the NASA-TLX: A measurement perspective, *Cognition, Technology & Work*, Vol. 16, pp. 289–297 (2014).
  - [17] James C. Byers, Alvah C. Bittner, S. G. H.: Traditional and raw Task Load Index (TLX) correlations : Are paired comparisons necessary?, *Advances in Industrial Ergonomics and Safety*, pp. 481–485 (1989).
  - [18] 三宅晋司, 佐々木十太, 神代雅晴, 古田富彦, 久保田龍治: NASA-TLX 簡便法の有用性の検討, *人間工学*, Vol. 31, pp. 404–405 (1995).
  - [19] Soukoreff, R. W. and MacKenzie, I. S.: Towards a Standard for Pointing Device Evaluation, Perspectives on 27 Years of Fitts' Law Research in HCI, *Int. J. Hum.-Comput. Stud.*, Vol. 61, No. 6, pp. 751–789 (2004).
  - [20] Hirotogu, A.: Information theory and an extension of the maximum likelihood principle, *Selected papers of hirotogu akaike*, Springer, pp. 199–213 (1998).
  - [21] Ren, X., Kong, J. and Jiang, X.-Q.: SH-Model: A Model Based on Both System and Human Effects for Pointing Task Evaluation, *IP SJ Digital Courier*, Vol. 1, pp. 193–203 (2005).
  - [22] Stuart K. Card, Thomas P. Moran, A. N.: *The Psychology of Human-Computer Interaction*, CRC Press (1983).