

## 実験環境と実使用環境における目標選択動作の比較

森 孝弘<sup>†</sup> 西田 知博<sup>†</sup> 高田 喜朗<sup>†</sup> 梅木 良太郎<sup>‡</sup>  
齊藤 明紀<sup>†</sup> 辻野 嘉宏<sup>†</sup> 都倉 信樹<sup>†</sup>

mori@ics.es.osaka-u.ac.jp

<sup>†</sup>大阪大学 基礎工学部

<sup>‡</sup>日立西部ソフトウェア (株)

GUI の設計・評価に利用するために行われるユーザの行動分析は通常、統制された実験によって得られたデータをもとに行われる。しかし、実験環境での被験者の行動は実験に臨んでいるということを意識するため、日常作業時のものとは異なっている可能性がある。そこで、日常の利用者の動作記録の取得・解析を行い、これらの違いを調べることは非常に重要である。本研究では特にユーザの目標選択動作に注目し、その選択位置や選択時間について、実験環境と日常環境との比較・考察を行った。

A Comparison about Target Selecting Operation  
between Experimental Environment and Ordinary Environment

Takahiro Mori<sup>†</sup> Tomohiro Nishida<sup>†</sup> Yoshiaki Takata<sup>†</sup> Ryouutarou Umeki<sup>‡</sup>  
Akinori Saitoh<sup>†</sup> Yoshihiro Tsujino<sup>†</sup> Nobuki Tokura<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Faculty of Engineering Science, Osaka University

<sup>‡</sup>Hitachi Seibu Software, Ltd.

For analysis of user behaviors to develop or evaluate GUI environment, we usually obtain data from a controlled experimental environment. But people observed under such condition feel some strain, then there is a possibility that the data obtained from an experimental environment are distorted from the data in ordinary environment. In this study, we compare the data obtained from experimental environment with the record on ordinary environment about target selecting operation and examine the difference between them.

## 1 はじめに

近年、対話的に計算機を使用するユーザインタフェースとしてウインドウシステムが広く使用されている。このようなウインドウシステムでは、ウインドウやアイコンをマウスによって選択する操作が頻繁に行われるため、ユーザの目標選択操作の特徴を調べることはユーザインタフェースを設計・評価するにあたって非常に有用である。

選択操作についての研究 [1] では、目標が大きな場合の選択位置傾向や、Fitts の法則の困難度と選択時間の関係などが調べられている。なお、Fitts の法則 [2] とは目標までの距離、目標の大きさをそれぞれ  $D, W$  としたときにマウスなどのポイント装置による目標選択時間  $T$  が

$$T = a + b \log_2 \left( \frac{D}{W} + 1 \right) \\ (a, b \text{ は定数})$$

と表されるとしたものであり、 $\log_2 \left( \frac{D}{W} + 1 \right)$  の部分が困難度と呼ばれている。

しかし、この研究はあらかじめユーザが行うべき動作・目的を指定した実験環境において得られたデータをもとにしたものである。コントロールされた実験環境での被験者の行動は、実験に臨んでいるということ意識するため、日常の作業動作とは異なったものになってしまう可能性がある。

そこで、ユーザが日常の作業を行っているときの操作履歴を取得し、それらのデータを用いて目標選択操作についての実験環境同様の分析を行い、実験結果との比較を行うことは非常に興味深いことといえる。

日常よく行われる目標選択操作としては、キーボードフォーカス操作やタイトルバーを選択するような操作がある。キーボードフォーカス操作はターミナルウインドウという大きな目標を選択する操作であり、タイトルバーを選択する操作は横に長い目標に対する操作である。これらの操作に注目すれば、実験環境での目標選択操作と日常環境での目標選択操作との比較を行うことができる。

さて、このような比較を行うためには、日常の操作履歴を取得し、さらにある特定の操作だけを抜き出す作業が必要である。これについて、ウインドウマネージャ `twm` によって操作履歴の取得を行い、また得られた操作履歴を再構成する手法の研究を行った [3]。

本研究においては、文献 [3] の手法によって得られたデータを用いて、キーボードフォーカス操作・タイトルバー選択操作という2種類の目標選択操作の特徴を調べ、実験環境でなされる目標選択操作との比較を行った。

## 2 実操作履歴収集

実操作履歴の収集はウインドウマネージャ `twm` によって行った。操作履歴収集の協力者は本学情報工学科の学生6名で、全員が日常的に X Window システムおよびウインドウマネージャ `twm` を使用している。

操作履歴の収集は、

- Sony NWS-3470
- Sony NWP-517 (X 端末)
- Sun 4
- DEC station 3100

という4種類の異なる計算機を用いて、のべ約3か月間行われた。得られた操作履歴の総量は約300メガバイト(約560万行)であり、この操作履歴に対して再構成を試みたところ、操作目的の解析結果は表1のようになった。

## 3 実験との比較のための準備

2節の実操作履歴の収集、再構成によって11492のキーボードフォーカス操作に関するデータが得られた。また、タイトルバーを選択する操作はウインドウの重なり状態を変えるときやウインドウの移動を行うときになされるものであるが、これについては今回9221操作分のデータが得られている。

表 1: 操作再構成結果

操作	操作数	割合
キーボードフォーカス	11492	19.9%
Move	2357	4.1%
Resize	374	0.6%
Raise	5804	10.1%
Lower	1060	1.8%
Iconify	724	1.3%
DeIconify	740	1.3%
ルートメニュー	545	0.9%
キー入力	16529	28.7%
その他の操作	18065	31.3%
合計	57690	100%

しかし、これらのデータがそのまま実験環境で得られたデータとの比較対象になるわけではない。実験との比較を行うためには、いくつかの準備作業が必要である。

まず比較対象から除かなければならない操作が存在する。その1つめとして、目標ウィンドウが他のウィンドウによって隠されているために、目標が矩形ではないような操作がある。実験での目標はすべて矩形であるため、このような操作は実験との比較対象としては適さない。実操作履歴の再構成結果にはウィンドウの重なり具合やウィンドウの見え具合についての情報も含まれているので、除外すべき操作であるかの判定を行うことは可能である。

また、タイトルバーを選択したあと、惰性によってタイトルバーから飛び出すことがある。このとき、他のウィンドウへの侵入がみられるとキーボードフォーカス操作とみなされてしまうが、これは目標を選択しようとしたものではない。これも実験との比較対象からは除くべき操作である。

さらに、日常の操作においては、目標を最初から明示しているわけではないので、目標を一度大きく外したり、無関係の方向に移動させた後、改めて本来の目標に向かって移動を行うという可能性がある。そこで、一連のマウス移動の中で移動速度が大きく落ち込んでいるところ (10dots/

秒まで) をみつけ、目標を選択した瞬間に時間的に一番近い速度の落ち込んだ点を選択操作の始点とみなすことにした。

以上のような作業の結果、実験との比較が可能であると認められた操作はキーボードフォーカス操作において 2588 操作、タイトルバーを選択するような操作において 5127 操作であった。

なお、以上の作業はすべてプログラムによって自動的に行われており、大量のデータに対しても対応できる。

## 4 実験環境と日常環境との比較

本節では、目標選択操作の特徴について、実験環境と日常環境それぞれの結果の比較を行う。以下、目標の形状が似ているものどおしを比較するために、日常環境におけるキーボードフォーカス操作とターミナル型の目標 (かなり大きな目標) に対する選択実験とを比較し、また日常環境におけるタイトルバーを選択する操作とタイトルバー型の目標 (横に長く、ターミナル型の目標ほど大きくない目標) に対する選択実験とを比較する。

### 4.1 選択位置についての比較

#### 4.1.1 平均選択位置

選択位置について調べるにあたり、目標選択操作を目標に対する角度によって図 1 のように 18 度ずつ 20 種類に分類した。例えば目標のちょうど右からの操作は選択角度条件 0 として分類される。

このときの実験環境、日常環境それぞれにおける選択角度ごとの平均選択位置を図 2,3 に示す。図 2 がターミナル型の目標 (幅 572 × 高さ 336dots), 目標までの距離 668dots の選択操作実験における平均選択位置を、図 3 がキーボードフォーカス操作における平均選択位置を示している。なお、選択位置はウィンドウの幅、高さに対する比率として表されており、0~19 の番号がそれぞれの選択角度条件における平均選択位置を表している。

図 4 には図 2 と図 3 を重ねたものを示す。

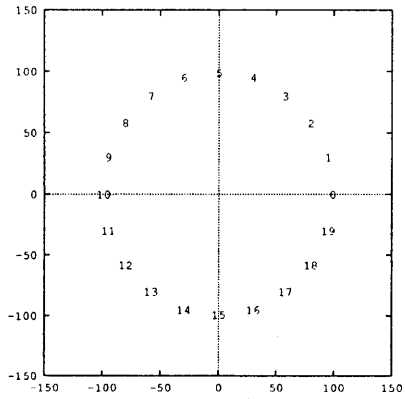


図 1: 選択角度による分類

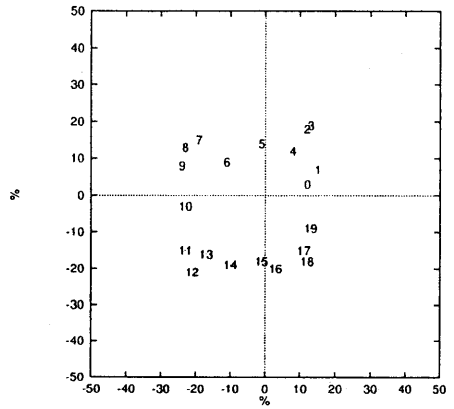


図 3: 平均選択位置 (日常環境)

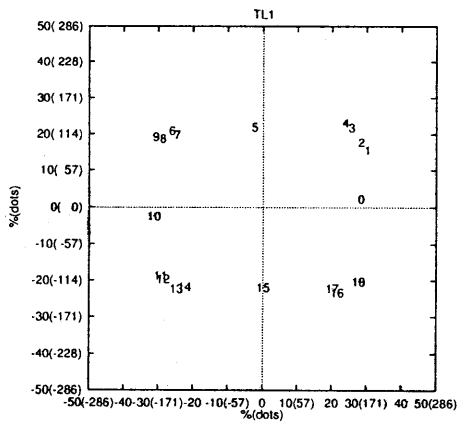


図 2: 平均選択位置 (実験環境)

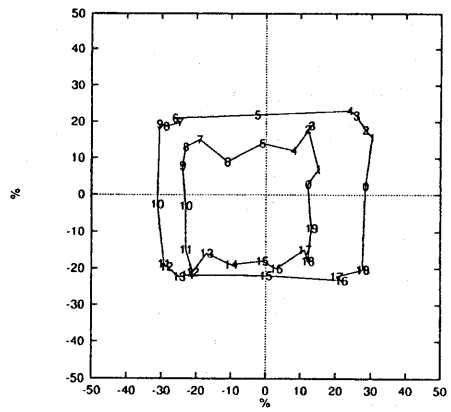


図 4: 平均選択位置の比較

#### 4.1.2 比較結果と考察

図 2,3より, 実験環境, 日常環境ともに平均選択位置は, 目標ウインドウの辺から少し内側に長方形に近い形を形成していることが分かる. このことより, 実験環境・日常環境に共通して, 大きな目標に対しては目標の中心付近ではなく, 目標の辺に近い部分を選択する傾向があるといえる.

しかし, 平均選択位置についてよく見てみると実験環境と日常環境の間にはいくつか違いが見られる.

まず, 日常環境のほうがより中心に近い部分を選択する傾向がある. これは実験環境のほうが日常環境よりも素早い操作を行おうとしていることを示していると考えられる. 中心付近までマウス移動を行えば移動距離も大きくなり時間的にロスが生じるため, 実験環境では目標のより辺に近い部分でマウス移動を終了させようとするのである. 逆に日常環境においては, 操作を早く完了させようという気持ちがあるため, 目標の辺により近い部分を無理に選択しようとはしないのではないかと考えられる.

日常環境と実験環境における2つめの違いは選択位置の対称性についてである. 図2を見ると, 実験環境における選択位置は左右からの操作, 上下からの操作についてほぼ対称である. ところが, 日常環境においては左右について非対称性が見られ, 目標の右からの操作のほうが目標の左からの操作に比べてより中心付近を選択する傾向がある. 日常環境での目標内移動距離を表す表2においても, 目標の左方からの操作(角度条件10)では目標内平均移動距離がウインドウ幅の29%であるのに対し, 右からの操作(角度条件0)では目標内平均移動距離はウインドウ幅の38%にも達している

実操作履歴の収集における協力者が全員右ききで, マウスの操作を右手を用いて行っていたことから, これは右手を用いた運動に関する一つの傾向を表しているといえよう. すなわち自然な状況では左から右への運動のほうが右から左への運動に比べて静止させやすいということの意味していると考えられる. 確かに, 我々が線を引くような場合においてもたいてい左から右に鉛

表 2: 目標内平均移動距離 (日常環境)

角度	目標内移動距離	移動距離分散	操作数
0	38	390	116
1	36	320	97
2	26	209	101
3	23	219	118
4	33	372	116
5	31	260	116
6	37	436	97
7	24	193	197
8	22	147	404
9	29	256	436
10	29	253	275
11	28	226	170
12	19	150	58
13	24	130	35
14	29	402	54
15	31	287	40
16	32	370	27
17	26	256	32
18	26	209	38
19	35	339	61

注: 目標内移動距離の表すものはウインドウの大きさに対する比率であり, 目標の左右からの操作に対しては, ウインドウの幅に対する比率, 上下からの操作に対してはウインドウの高さに対する比率, 斜めからの操作に対してはウインドウの対角線に対する比率としている.

筆を動かす。逆にボールを投げるような運動においては、右手を右から左へ動かすほうが左から右へ動かすよりも自然である。このように右から左の操作は途中で静止させやすく、左から右への操作では途中で静止させにくいということが、この選択位置についての傾向からよみとれる。

ところが、実験環境においてはこのような傾向がみられなかった。これは実験環境独特のプレッシャーによるものと考えられる。

#### 4.2 選択時間に関する比較

次に、Fitts の法則の困難度 ( $ID = \log_2 \frac{D}{W} + 1$ ) と選択時間の関係について実験環境、日常環境それぞれについて調べ、その比較を行う。なお、実験環境・日常環境ともに目標の大きさ  $W$  の算出については smaller-of モデル [4] を用いた。また、目標までの距離  $D$  については文献 [1] で提案されたモデルを用いて算出している。

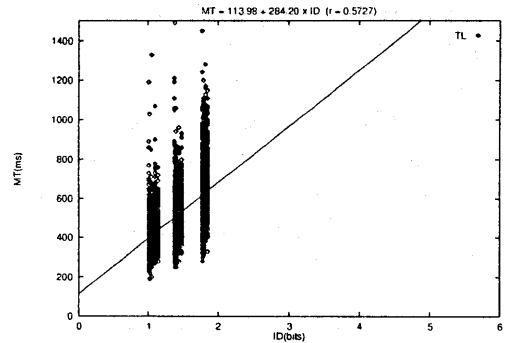
図 5(a),(b) にターミナル型の目標 (幅 572 × 高さ 336dots) に対する選択実験、キーボードフォーカス操作それぞれの困難度と選択時間の関係を示す。同様に図 6(a),(b) にはタイトルバー型の目標 (幅 572 × 高さ 50dots) に対する選択実験、タイトルバーを選択する操作それぞれの困難度と選択時間の関係を示す。

さらに、それぞれの関係について最小自乗法を用いて回帰直線を求めた。図 5,6(c) では実験環境、日常環境それぞれの回帰直線の比較を行っている。表 3には4つの回帰直線式をまとめた。

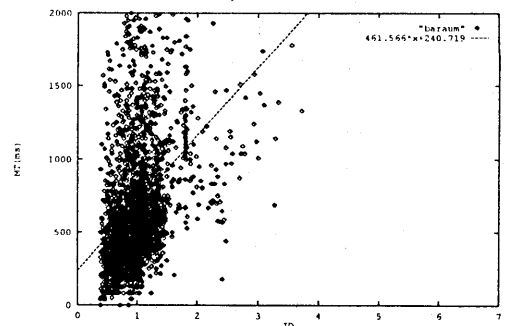
表 3: 回帰直線式

	回帰直線式
実験 (ターミナル型の目標)	$113.98 + 284.20 * ID$
キーボードフォーカス操作	$240.72 + 461.57 * ID$
実験 (タイトルバー型の目標)	$109.50 + 202.10 * ID$
タイトルバー選択操作	$617.62 + 160.65 * ID$

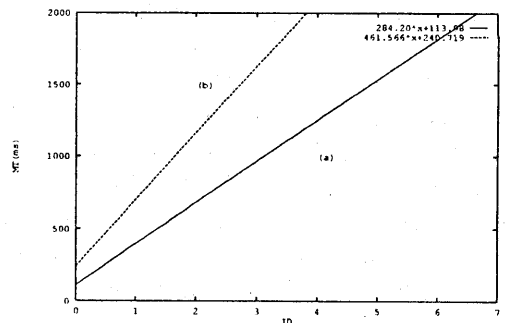
図 5, 図 6をみて分かるように、実験環境、日常



(a) ターミナル型の目標に対する実験



(b) キーボードフォーカス操作



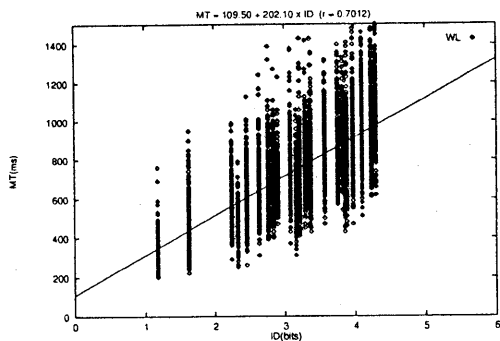
(c) (a),(b) の回帰直線の比較

実線: 実験環境

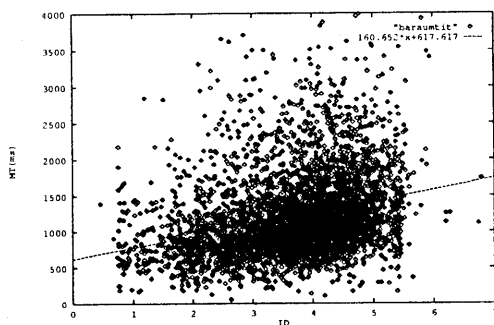
点線: 日常環境

図 5: 困難度 ID と選択時間 MT の関係

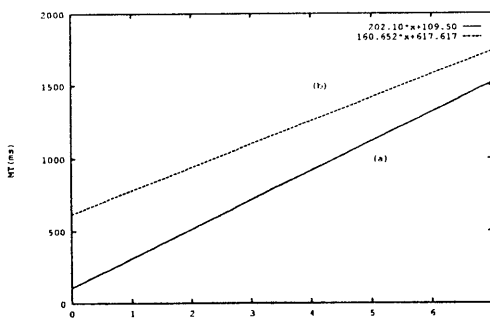
(グラフの横軸は困難度 ID(bits), 縦軸は選択時間 MT(ms) を表す)



(a) タイトルバー型の目標に対する実験



(b) タイトルバー選択操作



(c) (a),(b) の回帰直線の比較

実線：実験環境

点線：日常環境

図 6: 困難度 ID と選択時間 MT の関係

(グラフの横軸は困難度 ID(bits), 縦軸は選択時間 MT(ms) を表す)

環境ともに選択時間のばらつきはかなり大きい。これは目標が大きいため操作に対する自由度が大きくなることによると考えられる。日常環境では自由度がさらに上がるために、ばらつきもさらに大きくなっている。

さて、図 5,6からは日常環境と実験環境との間のいくつかの違いをよみとることができる。

まず、図 5,6(c)において日常環境を表す回帰直線が実験環境を表す回帰直線の上にあることから同じ困難さに対しては実験環境より日常環境のほうが時間を要することが分かる。このことより、日常環境のほうが実験環境に比べて一般的に操作はゆっくりと行われているといえる。

さらに、回帰直線の傾きと切片に注目すると別の違いがみられる。まずキーボードフォーカス操作とターミナル型の目標に対する選択操作実験を比べたとき、回帰直線の傾きにおいて大きな差が見られ、日常環境の傾きのほうがかなり大きい。この要因としては次のようなことが考えられる。

目標がかなり大きい場合、目標までの距離が大きくても速度をあげた思い切った操作が可能である。そこで実験環境では距離が離れることによって困難度があがっても速度を十分あげることによって選択時間の増加を低く抑さえようとする。

ところが、日常環境においては素早い操作を行おうとする意識が希薄であり、目標が大きく速度をあげることが可能であっても無理に速度をあげようとはしない。そのため、距離の増加分(すなわち、困難度の増加分)が選択時間に大きくはねかえるのではないと思われる。

一方、日常環境のタイトルバー選択操作とタイトルバー型の目標に対する選択操作実験を比べると、切片において大きな差が見られ、日常環境のほうがかなり大きくなっている。これは目標付近にまでマウスを移動させることについては同程度の時間を要するが、操作の最終段階での微調整に要する時間が違うことを意味していると考えられる。

すなわち、日常環境においては微調整にゆっくり時間をかけるが、実験環境においては操作を素早く行おうとするために、あまり微調整に時間

をかけないのではないだろうか。これは日常環境では素早く操作を行うことよりは選択ミスをなくすことに意識がおかれていることを意味していると思われる。

## 5 まとめ

本研究においては、日常作業時に行われるキーボードフォーカス操作、タイトルバー選択操作に着目することによって目標選択操作の傾向について日常環境と実験環境との比較を行った。

その結果、まず目標の選択位置においては、日常環境のほうがより中心付近を選択する傾向があることが分かった。また、日常環境においては選択位置についての非対称性が見られた。

次に、Fittsの法則の困難度と選択時間との関係についての比較においては、困難度が同じであっても日常環境のほうがより時間を要していることや回帰直線の傾きや切片について差がみられることが分かった。

このように、実験環境と日常環境においては目標選択操作の傾向においていろいろな違いが見られる。これらの違いからは実験環境において被験者が何にも増して、“素早い”操作を行おうとしているのに対し、日常環境においてユーザは“素早い”操作というよりはむしろ“楽な”操作、また“誤らない”操作をしようとしているということが推測できる。また、右からの操作の方が静止させやすいといった傾向が実験環境ではみられないことから、実験環境ではかなり腕や肩に力が入っており、自然な操作が行われていないのではないかと考えられる。

もちろん、実験環境での操作傾向が日常環境での操作傾向とすべて異なるわけではなく、大きな目標に対する選択操作においてその選択位置は目標の辺に近い部分になるなど、傾向が一致することもかなり多い。とはいえ、今回みてきたように実験環境と日常環境の間には異なる傾向が現れることもある。このことは、ユーザの行動分析を行うにあたっては単に実験での結果に注目するだけでなく、日常行われている操作についても調べることが重要であると示唆するもので

あろう。

## 参考文献

- [1] 高田喜朗, 梅木良太郎, 辻野嘉宏, 都倉信樹: “大きい目標の選択操作に対する Fitts の法則の適合性の評価”, 情報処理学会ヒューマンインタフェース研究会報告 61-2(1995)
- [2] 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 (June 1954).
- [3] 西田知博, 森慎太郎, 森孝弘, 齊藤明紀, 辻野嘉宏, 都倉信樹: “GUI における実操作履歴の取得とその意図分析”, 情報処理学会ヒューマンインタフェース研究会報告 60-4, pp.25-32(1995).
- [4] MacKenzie, I.S., and Buxton, W.: “Extending Fitts’ law to two-dimensional Tasks”, *Proceedings of the CHI’92 Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp219-226(1992).