

## 力量ボタンマウスの操作特性の検証

## Verification of Human Operating Characteristics of a Force-sensing-button Mouse

小侯 昌樹† Masaki Omata  
 松村 健次‡ Kenji Matsumura  
 今宮 淳美† Atsumi Imamiya

## 1. はじめに

マウスは、キーボードと並び、多くのコンピュータで使用されている入力デバイスである。現在のデスクトップコンピュータにおける GUI(Graphical User Interface)では、ほとんどの場合、マウスを移動することでポインティングをおこない、マウスボタンをクリックすることで選択や決定をおこなっている。

現在のマウス操作において、ポインティングやスクロールは、マウスの移動量やホイールの回転量によって調整することが可能である。しかし、多くの場合、クリック操作については、「選択する」または「選択しない」などのように二者択一であり、クリック操作を段階的に調整することはできない。

クリック操作について段階的に操作できるようになれば、クリックに伴う選択や決定などと同時に、その選択量や決定時のパラメータなどを調整することが可能になる。たとえば、ピアノで特定の音を鳴らすために鍵盤をたたくのと同時に、その音量を調整することに相当する。したがって、コンピュータ操作においても、クリック操作と同時にその力量を入力できれば、ユーザの意図をより詳細に反映できると考える。

これまでにも、段階的なクリック操作を取り入れた手法およびスタイラスの圧力を取り入れた手法などが研究されている。Zeleznik らは、マウスクリックを2段階で区別することのできる Pop through button というマウスボタンを提案した[1]。また、Ramos らは、スタイラスの圧力を WIMP インタフェースの状態に反映させる GUI を提案した[2]。また、Mizobuchi らは、ハンドヘルドデバイスのペンの圧力を WIMP インタフェースの制御に使用することを提案した[3]。

しかしながら、先行研究の段階的なマウスボタンでは、クリックの段階が2段階と少なく、ユーザの意図を反映させるほどの調整はできない。また、スタイラスの圧力による手法では、操作を多状態へと反映させることはできるものの、PDA などの一部のデバイスへの適用となるため、一般的なデスクトップ PC などには適用できない。

そこで、本研究では、マウスボタン押下の力量を多段階で識別して、クリック時やドラッグ時のユーザの意図を操作結果に反映させる「力量ボタンマウス」を提案する。本稿では、この力量ボタンマウスの実装および操作特性の検証実験について述べる。そして、このマウスを使用するアプリケーションとして、ダイナミック・マップを紹介する。

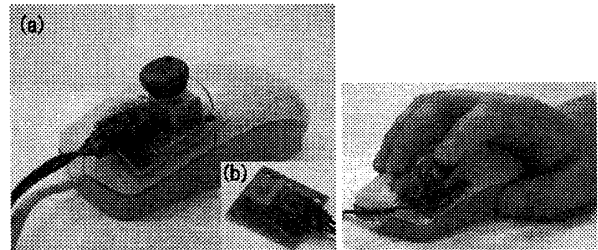


図1: 力量ボタンマウス

図2: 使用方法

## 2. 力量ボタンマウス

図1(a)は、本研究で開発した力量ボタンマウスである。このマウスは、一般商品として市販されているマウスの左ボタンの上に、力量センサを取り付けたものである(以下、力量ボタンとよぶ)。なお、図1(a)は、最終的なボタン改良の結果である。本稿で述べる検証実験では、図1(b)のボタンを使用した。

ユーザは、図2のように、右手の人差し指を力量ボタンに乗せて使用する。ポインティングおよび右ボタン押下の操作に関しては、通常のマウス操作と同じである。一方、左ボタンのクリックおよびドラッグ操作については、力量ボタンを押下する。この力量ボタンの押下によってその下のマウスボタンが押され、クリックおよびドラッグイベントが発生する。これと同時に、力量センサによってボタン押下の力量が数値化され、USBを通してコンピュータへ入力される。

力量センサには、Phidgets の Force Sensor を使用した(図1(b)) [4]。この力量センサは、加えられた力量の大きさに従って0から1000までの値を、USBを通してPCへ出力する。センサ部には CUI IESP-12 を使用しており、3Kgの力量まで取得可能である。

この力量ボタンマウスを使用することで、ユーザは、OSのGUIおよびアプリケーションを操作するとき、クリックまたはドラッグしながら、そのボタン操作の結果を調整できるようになる。たとえば、ボタン押下の強弱で情報提示量の多少を調整したり、しきい値よりも弱い押下を最終決定前の一瞥に使用したり、押下の強さに応じてダウンロードの優先順位を指定したりする方法が考えられる。

## 3. 関連研究

本節では、圧力を利用したインタフェースに関する研究および段階的なマウスボタンに関する研究を紹介する。

Ramos らは、連続的な変化量として圧力を制御できるスタイラスを利用して、WIMP インタフェースでの2次元ポインティングに付加的な自由度を追加することを提案した[2]。そして実験から、スタイラスの使用におけるユーザが

† 山梨大学大学院医学工学総合研究部,  
University of Yamanashi

‡ 山梨大学工学部コンピュータ・メディア工学科,  
University of Yamanashi

識別可能な圧力レベルは6段階であること、また、連続的な視覚的フィードバックが重要であることを示した。

Mizobuchiらは、ハンドヘルドデバイスでのペン入力、メニュー選択や文字/数字入力、ウィンドウ変更、およびズーム/パン操作などの省スペース化に繋がることを提案した[3]。また、実験で、圧力レベルの高いレベルと低いレベルの両位置において力量による制御が難しいという結果を示した。

これらの研究では、入力にスタイラスペンを使用している。そのため、本研究のアプローチである、最も普及しているマウスへ力量を付加する方法として、そのまま結果を反映することはできない。しかし、ユーザが制御可能な圧力レベルの検証など、力量ボタンマウスにおいても考慮すべき点を示唆している。

Zeleznikらは、既存のマウスボタンを拡張するほうが学習、記憶、制御が容易になると考え、マウスの左ボタンの押下を2段階で制御できるPop through buttonを提案した[1]。このPop through buttonによって、ユーザは、浅いボタン押下と深いボタン押下を使い分けることができる。たとえば、浅い押下で操作対象を選択してから深い押下でそのプロパティを表示するなどのモデルが提案されている。

Forlinesらは、このPop through buttonを使用したさまざまなアプリケーションを提案した[5]。この研究では、状態遷移間に「Glimpse 状態」を設けているため、ユーザは、特定の1つに決定する前に多くの選択候補を確認することができる。

これらの研究では、2段階のマウスボタン押下を提案している。しかしながら、我々は、マウスボタン押下を多段階(3段階以上)にすることで、これらの研究よりも詳細にユーザの意図を反映できると考えている。

Qiらは、力量を感知するマウスとして、Pressure Mouseを提案した[6]。Pressure Mouseでは、ユーザがマウスに手を添えたときの手のひらの位置に圧力センサを取り付けて、ユーザがどのくらいの強さでマウスに触れているかということからユーザのフラストレーションを検出する。

Qiらの研究では、マウスの握り方に着目してユーザの情動を検出する方法を提案している。一方、本研究では、クリックなどのイベントを中心に、それに伴うユーザの意図を具体的に操作結果に反映させることを考えている。

#### 4. 力量ボタンマウスの操作特性の検証

本研究で提案する力量ボタンマウスについて、以下の操作特性を検証する実験をおこなう。

- ・ 力量ボタンにおける力量分割数の検証
- ・ 力量ボタンマウスにおける決定法の検証

##### 4.1 力量ボタンにおける力量分割数の検証

本実験では、力量ボタンでのボタン押下における最適な力量の分割数を検証する。このために、分割数を4分割、6分割、8分割に設定して、それぞれにおけるタスク終了時間と間違い率を分析する。この分割数は、Ramosらの実験結果[2]におけるユーザが識別可能な圧力レベルである6段階を基準としてその前後を含めて設定した。

##### 4.1.1 実験方法

実験タスクは、指示されたレベルにボタン押下の力量を調整して選択・決定する操作である。被験者は、図3のウィンドウに提示される選択番号を確認し、選択ボタンの上

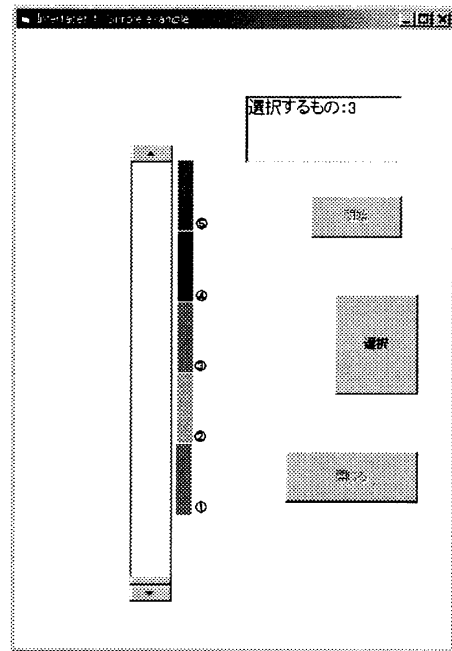


図3: 実験画面

にマウスカーソルを重ねて左ボタンを押下する。押下すると、同ウィンドウのスクロールバーのノブが力量にあわせて上下する。力量が大きければ大きいほど、ノブは、レベルの数値の大きい上方へ移動する。なお、レベル1の下に遊びを作ったのは、事前に使用した結果として、ボタン押下してすぐの小さな力量は調整しにくいことがわかったからである。すなわち、本実験での6分割とは、遊びの1段階分と選択対象の5段階分とを合わせた分割数である。

被験者は、左ボタンへの力量を調整しながらノブの位置を調整してスクロールバーの右隣に色分けされた力量レベルの範囲に合わせる。そして、指示されたレベルの範囲にノブを調整できたことを確認したら、右ボタンをクリックする。この操作を1試行する。たとえば、図3の場合、選択するレベルとして「3」が指示されているので、色分けされたレベルの中央付近の③の範囲にノブを移動させてから右ボタンをクリックする。

タスク終了時間は、選択ボタンの上で左ボタンを押下してから右ボタンをクリックするまでの時間である。また、本実験での「間違い」とは、指示されたレベルとは異なるレベルを選択して決定した場合をいう。

すべての試行が終了したあと、被験者への質問紙調査をおこなった(表1参照)。この質問紙調査では、力量ボタンマウスの疲労感、力量制御の難しさ、および力量ボタンマウスの印象などについて、6段階評価で答えてもらった。なお、この質問紙調査では、「力量」という言葉があまり一般的ではないと考えたため、「圧力」という言葉で質問した。

##### 4.1.2 実験条件

前述したタスクを被験者に実行してもらうとき、前提条件の要因として、「なるべく早く選択する」という水準(早い条件)と、「なるべく正確に選択する」という水準(正確条件)に分けて指示する。この2つの前提条件のも

表1: 力量ボタンマウスに関する質問

1. 市販のマウスと比較して疲労感ほどの程度であったか。 (非常に疲れる(1) - 全く疲れない(6))
2. 圧力ボタンによって起こるイベントが連想しやすいか。 (全くわからない(1) - 非常にわかりやすい(6))
3. 画面に表示されるスクロールバーの大きさはどうか。 (非常に小さい(1) - 非常に大きい(6))
4. 「右クリックによる選択」は覚えやすいか。 (非常に覚えにくい(1) - 非常に覚えやすい(6))
5. 圧力制御の操作はどうか。 (非常に難しい(1) - 非常に簡単(6))
6. システムのインターフェースは直感的に理解しやすいか。 (全くわからない(1) - 非常にわかりやすい(6))
7. あなたはこのシステムを好むか。 (全く好まない(1) - 非常に好む(6))
8. あなたはこのシステムに興味をもったか。 (全くおもしろくない(1) - 非常におもしろい(6))

と、力量レベルの分割数を要因として、4分割、6分割、8分割の3水準を設定した。

被験者全員それぞれがこの3水準について実験タスクをおこなう。ひとつの条件ごとに14試行おこなうので、ひとりの被験につき、84試行(2×3×14)おこなってもらう。なお、指示する力量レベルの出現回数はずべての被験者で同じであるが、被験者ごとに無作為順に提示した。

質問紙への回答は、1から6までの整数である。

#### 4.1.3 実験結果および分析結果

被験者は、20代と30代の12名(男性8名、女性4名)である。被験者はみな右利きで、毎日2時間から8時間ほどコンピュータを使用している。

図4に、前提条件および分割数における被験者全員の平均タスク終了時間を示す。また、図5に、前提条件および分割数における被験者全員の間違い率を示す。

タスク終了時間について分散分析をおこなったところ、前提条件間(F(1, 11)=59.88, p<.01)および分割数間(F(2, 22)=22.54, p<.01)に高度な有意差があった。また、交互作用(F(2, 22)=8.14, p<.01)も有意であった。すなわち「なるべく正確に選択する」という条件よりも「なるべく早く選択する」という条件の方が、有意に早くタスクを終了できることがわかる。

タスク終了時間における分割数の要因について多重比較をおこなったところ、4分割と8分割との間、および6分割と8分割との間に有意差が認められた(p<.01)。すなわち、8分割で有意に時間がかかり始めたことがわかる。

一方、間違い率について分散分析をおこなったところ、前提条件間に高度な有意差が認められた(F(1, 11)=53.95, p<.01)。また、分割数間および交互作用には有意差は認められなかった。すなわち、「なるべく早く選択する」という条件よりも「なるべく正確に選択する」という条件のほうが、有意に間違いが少ないことがわかる。

実験終了後におこなった質問紙調査の結果を箱ひげ図として図6に示す。この図において、上下のひげが最大値・最小値を、箱の上下の辺が25%点・75%点を、そして+記号が中央値を表わす。この結果から、被験者は、本研究で提案する力量ボタンマウスを「イベントを連想しやすい」、「直感的に理解しやすい」、「好ましい」、および「おもしろい」と考えたことがわかる。

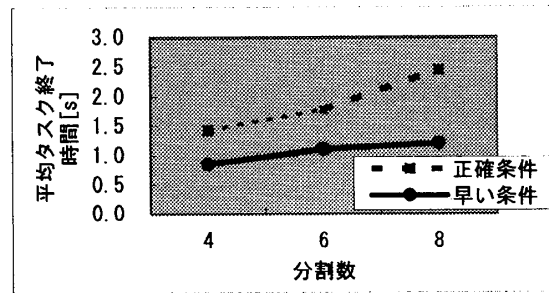


図4: 実験1の結果(平均タスク終了時間)

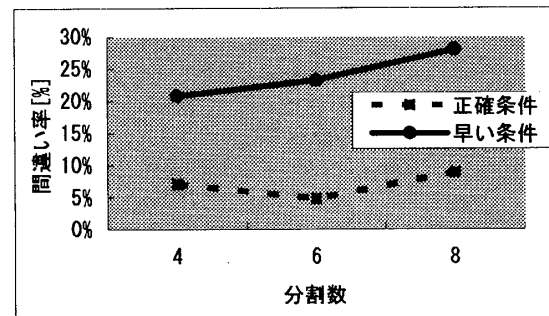


図5: 実験1の結果(間違い率)

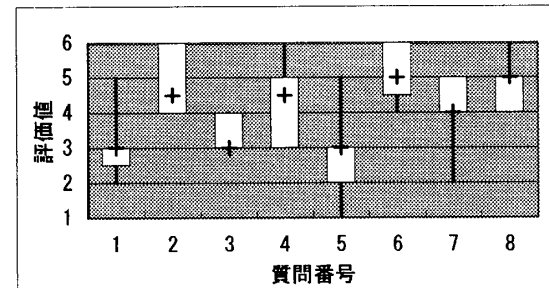


図6: 実験1の結果(質問への評価値)

#### 4.1.4 考察

タスク終了時間および間違い率の分析から、本システムは、早く操作しようとするとき間違いが増え、正確に操作しようとするとき時間がかかることがわかる。つまり、クリック時およびドラッグ時の力量の値を正確に入力するような操作には向かないと考えられる。したがって、主たる操作としてクリックやドラッグをおこなわないが、おおよその力量としてそのパラメータを調整するようなアプリケーションへの適用が考えられる。

また、タスク終了時間における分割数の多重比較から、本実験の水準として設定した8分割または7分割から、パフォーマンスの低下が生じることが考えられる。このように8分割または7分割からと考えるのは、8分割からのパフォーマンスの低下は実証したが、6分割と8分割の間の7分割については実証していないためである。すなわち、本システムの力量ボタンを使ってボタン押下時に段階を調整するアプリケーションを設計する場合、6分割または7分割の分割数で力量を調整できるアプリケーションを設計すべきであると考えられる。

アンケート結果から、本システムが直感的に理解しやすく興味をもてるデバイスであることがわかる。したがって、十分にユーザに受け入れられる可能性がある。しかしながら、ボタン操作についての疲労度は高いことがわかる。

被験者からは、決定法が右クリックであったため、左で力量を保持しながら右ボタンを押下することの負担が大きかったとの意見も出た。

#### 4.2 力量ボタンにおける決定法の検証

実験1の考察から、決定法の改善を試みる。その決定法は、力量を1秒間維持したら決定と判断する方法である。これにより、左ボタンだけで力量の調整と決定をおこなえる。なお、この1秒間という維持時間は、開発者2名がこのマウスを使用してみた上で決定した時間である。本実験では、この新たな決定法と実験1で使用した右クリックによる決定法とを、タスク終了時間および間違率から比較する。

##### 4.2.1 実験方法および実験条件

実験タスクは、実験1同様、指示されたレベルに力量を調整して選択・決定する操作である。

要因として、実験1と同じ前提条件要因と、本実験の目的である決定法要因を設定した。決定法要因の水準は、改善方法である左ボタンのみの決定法と実験1同様の右クリックを伴う決定法の2水準である。なお、力量の分割数は、実験1の結果から、7分割に固定した。この分割数は、実験1同様、力量の小さい側の遊び1段階分と選択対象となる6段階分を合わせた数である。

被験者全員が、これらすべての条件で実験タスクをおこなう。ひとつの条件につき18試行おこなうので、ひとりの被験者が、合計72試行(2×2×18)おこなう。

##### 4.2.2 実験結果および分析と考察

被験者は、実験1に参加した被験者の中の8名(男性5名、女性3名)である。

図7と図8に、前提条件および決定法の違いにおける被験者全員の平均タスク終了時間(図7)、および被験者全員の間違率(図8)を示す。

タスク終了時間について分散分析をおこなったところ、前提条件間に高度な有意差が認められた( $F(1,7)=95.37, p<.01$ )。また、決定法の間にも有意差が認められた( $F(1,7)=10.58, p<.05$ )。一方、間違率について分散分析をおこなったところ、前提条件間に高度な有意差が認められた( $F(1,7)=15.34, p<.01$ )。また、決定法の間には有意差は認められなかった。

実験終了後に被験者へインタビューを実施した結果、左ボタンのみで力量の調整と決定をおこなう方が簡単であるという意見が多く出た。

分析結果から、左ボタンのみでの決定法は、1秒間の維持が必要であるにもかかわらず、右クリックでの決定よりも有意にタスク終了時間を短縮することがわかる。間違率についての有意差は認められなかったもののタスク終了時間を短縮できたことから、左ボタンのみでの決定法によって改善できたと考えられる。

この左ボタンのみを使用する方法は、従来のクリックやドラッグにおいて左ボタンのみを使用することに即している。従来のアプリケーションに力量の自由度を付加する場合に、操作を追加しやすいと考えられる。

## 5. おわりに

本研究では、マウスのクリック時やドラッグ時の力量を操作結果に反映させるための力量ボタンマウスを提案した。これは、一般的なマウスの左ボタンの上に力量センサを取

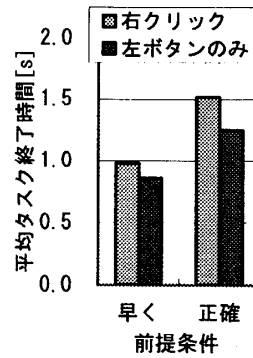


図7: 実験2の結果  
(平均タスク終了時間)

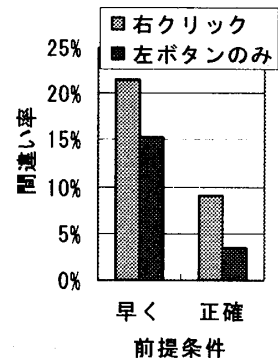


図8: 実験2の結果  
(間違率)

り付けたマウスである。このマウスを使用することで、ユーザは、従来の選択する/選択しないという二者択一のボタン押下と異なり、ボタン押下の操作に付随するパラメータを同時に調整することができる。

本稿では、このマウスにおける力量の分割数および力量を調整したあとの決定法について検証した。その結果、4分割、6分割、8分割の中で、8分割ではタスク実行時間が有意に遅くなることがわかった。また、決定法として、右クリックを併用するよりも力量ボタンを1秒間維持する決定法のほうが適していることがわかった。

本研究では、この力量ボタンマウスのアプリケーションとして、ダイナミック・マップを作成した。これは、ユーザが辿りたい道をドラッグしているときの力量に合わせてその部分の地図の詳細さを変更するシステムである。つまり、小さい力量ならば最低限の主要な道路や線路などを表示し、力量が増えれば増えるほど細い道路や小さな建物および名称などを地図に重畳する。これにより、ユーザは、全体的に大まかな地図でもなく、また全体的に細かな地図でもない、ユーザ自身の目的地および必要とする情報にあわせた地図を生成できる。

今後の検証課題として、スクロールホイールマウスなどのデバイスとの比較や、従来のGUIにおけるポップアップメニューなどの調整・決定法との比較をおこなう。

## 参考文献

- [1] Zeleznik R., Miller T. and Forsberg A.: Pop through mouse button interactions, UIST 2001, pp. 195-196, 2001.
- [2] Ramos G., Boulos M. and Balakrishnan R.: Pressure Widgets, CHI 2004, pp. 487-494, 2004.
- [3] Mizobuchi S., Terasaki S., Keski-Jaskari T., Nousiainen J., Ryyanen M. and Silfverberg M.: Making an Impression: Force-Controlled Pen Input for Handheld Devices, CHI 2005, pp. 1661-1664, 2005.
- [4] Phidgets, <http://www.phidgets.com/>, (最終アクセス 2006年4月25日)。
- [5] Forlines C., Shen C. and Buxton B.: Glimpse: a novel input model for multi-level devices, CHI 2005, pp. 1375-1378, 2005.
- [6] Qi Y., Reynolds C. and Picard R., W.: The Bayes Point Machine for computer-user frustration detection via pressuremouse, Proc. of the 2001 workshop on Perceptive user interfaces, pp. 1-5, 2001.