

表計算ソフト向けのユーザ定義の空中ハンドジェスチャ

高山 雄太^{1,a)} 市川 佑^{2,b)} 志築 文太郎^{3,c)} 川口 一画^{3,d)} 高橋 伸^{3,e)}

概要：表計算ソフトにおけるセルの挿入や削除などの二次元テーブルの操作は、メニューコマンドの選択やショートカットキーによって実行される。しかし、表計算ソフトの初学者にとって、メニュー項目の中からその都度探す必要があることや、実行したい操作のキーの推測や記憶が難しいという問題がある。本研究では、机上空中のハンドジェスチャを用いた表計算ソフトのテーブル操作を設計し、そのためのジェスチャセットを作成した。ハンドジェスチャとテーブル操作はどちらも空間的なものであるため、両者の間には自然なマッピングが期待できる。よりユーザが推測および記憶しやすいジェスチャを得るために、2つの参加者調査からなるジェスチャ定義実験を行った。最初の実験では、既存の表計算ソフトに実装されている13の操作を対象に参加者によって想起されたジェスチャを収集した。2つ目の実験では、別の参加者による収集されたジェスチャの評価を得た。収集されたジェスチャの特徴とジェスチャ評価の分析を行い、最終的なユーザ定義のジェスチャセットを構築した。また、システムの実装において想定される課題が明らかになった。

キーワード：ハンドジェスチャインタフェース、表計算ソフト、GUI

1. はじめに

Microsoft Excel^{*1}や Google Sheets^{*2}などのスプレッドシートは GUI を用いて簡単に二次元テーブルを作成することができる [1]。そのため、データ管理の専門家だけでなく、学生などの一般ユーザにも広く利用されている。表計算ソフトにおけるテーブル操作の多くは、ウィンドウ上部のタブメニューや右クリックによって表示されるポップアップメニュー内の項目をカーソルで選択することによって実行される。そして、セルの挿入や削除などの頻繁に使用される表操作であっても、他の多くの使用頻度の低い機能と同様に並べられている。そのため、ユーザはメニューから目的の項目を探す必要があり、また誤操作の可能性が高くなるといった問題が存在する [2]。加えてポップアップメニューでは、ウィンドウ全面に表示されるため、操作したいセルの範囲が隠れてしまうという問題がある。これ

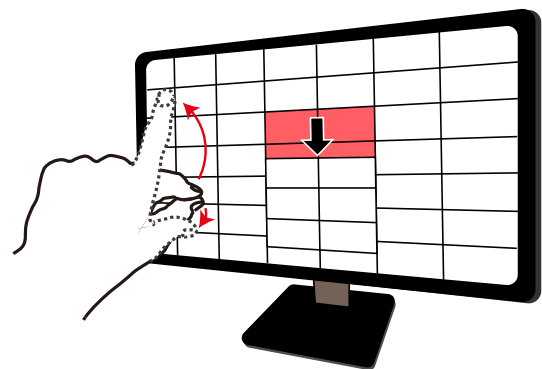


図 1 操作イメージ。この図では、ピンチアウトのジェスチャによってセルを挿入し、既存セルを下方方向にシフトさせる操作を実行する様子を示す。

らの問題を解決し、かつ高速に実行するために、多くの表計算ソフトにはキーボードショートカットキーが操作に割り当てられている。しかし、ショートカットキーは初学者にとって覚えることが難しく、学習に時間がかかることが問題としてあげられている [3]。

本研究では、表計算ソフトにおいて頻繁に使用される表操作のための、空中ハンドジェスチャをベースとした新たなインタフェースを提案する。空中ハンドジェスチャインタフェースは、身体のセンシング技術の発展により近年注目を集めている。この新しいインタフェースは、手話に代表されるように多様な語彙を表現可能であることから、

¹ 筑波大学 理工情報生命学術院
システム情報工学研究群 情報理工学位プログラム
² 筑波大学 システム情報工学研究科 コンピュータサイエンス専攻
³ 筑波大学 システム情報系
a) takayama@iplab.cs.tsukuba.ac.jp
b) yichikawa@iplab.cs.tsukuba.ac.jp
c) shizuki@cs.tsukuba.ac.jp
d) kawaguchi@cs.tsukuba.ac.jp
e) shin@cs.tsukuba.ac.jp
^{*1} <https://www.microsoft.com/ja-jp/microsoft-365/excel>
^{*2} <https://www.google.com/sheets/about/>

ユーザにとって操作が覚えやすく、また推測しやすいことが特徴として挙げられている。また、空中のハンドジェスチャはディスプレイ内の仮想物体などの空間的なオブジェクトに対する操作に優れており、表計算ソフトにおける2次元空間の操作にも同様にマッピングしやすい可能性がある。図1に提案手法の概念図を示す。

本稿では、推測しやすく、かつ覚えやすいジェスチャインタフェースを設計するために、ユーザ中心のジェスチャ生成アプローチ [4], [5], [6] に基づいたジェスチャセット定義実験を行う。提案手法の実装にあたり、主要な表計算ソフトにて使用頻度の高い13の表操作を対象としたジェスチャセットの生成を行う。

本実験は2つの参加者調査から構成され、それぞれの調査では、参加者によって考案されるジェスチャの収集と収集ジェスチャの評価を行う。実験によって得られた各操作に対するジェスチャの評価データを分析し、操作間のジェスチャの矛盾の排除と一貫性を検証することで、最終的なジェスチャセットを定義する。

最後にジェスチャセットの詳細な分析と、実装したプロトタイプシステムに対するパイロットテストの結果から想定される課題を明らかにした。

2. 関連研究

2.1 表計算インタフェース

表計算ソフトは非常に広く普及しているアプリケーションであるが、そのインタフェースに焦点を当てた研究は少ない。

Gary らは、タブレット端末上でスマートフォンと組み合わせたスプレッドシートのインタラクションを提案した [7]。スマートフォンの側面をタブレット端末の画面に接地させることで操作するセルや範囲を選択し、ユーザはスマートフォンの画面上で入力や編集を行う。この方法は、表計算ソフトの表示画面と操作画面を分離することで画面が不明瞭になるという問題を解決するが、スマートフォンでの操作は依然としてメニューベースのままであり、操作画面がスマートフォンのサイズに縮小されるという問題がある。

Zraggen らは、表計算ソフトのセルにデータを入力する際に、手書きのジェスチャを用いた直感的な操作を提案した [8]。これは、小さなセル上での入力の問題に対しては有効であったが、セル上でのデータ入力のみであり、メニューやショートカットキーによる表操作の問題を改善するものではなかった。

また、これらの研究はいずれもスマートフォンやタブレット端末におけるアプローチである。本研究では、表計算ソフトが主に使用されるデスクトップコンピュータにおいて、新たなインタフェースとして空中ハンドジェスチャを用いた手法を提案する。

2.2 空中ハンドジェスチャインタフェース

空中ハンドジェスチャを用いたインタフェースは、コントローラを必要としないこと、デバイスと離れていても操作可能であることなどの特徴から、パブリックディスプレイ [9]、大型ディスプレイ [10]、スマートホーム [11]、VR/MR [12] などにおける操作手法として多くの研究が行われている。空間的な表現が可能であるという特徴を利用し、GUI 操作に対してハンドジェスチャを用いるアプローチがある。特に Chen らは、空中ハンドジェスチャを用いた仮想 3D オブジェクトの操作に着目した [13]。この研究では、仮想 3D 物体の移動、拡大・縮小・回転などの操作に対する空中のハンドジェスチャインタフェースのユーザビリティを調査し、ユーザによって好まれるジェスチャの要因を分析した。本研究では、この空間的な操作を表計算ソフトの2次元空間への操作に応用する。

一方、空中で実行するインタラクションの問題点として、ゴリラアーム症候群と呼ばれる、垂直なディスプレイに対して腕を長時間上げ続けることによる疲労が指摘されている [14]。しかし、本研究で対象とする表計算ソフトでは、複数のセルに対して操作をまとめて実行することができることから、腕を上げた状態に保つ場面は発生しにくいと考えられる。加えて、机上の PC においてはタッチディスプレイよりも手を動かす距離が小さく、肘を机の上に置いたまま実行できるため、ユーザへの疲労はタッチディスプレイよりも小さくなると考えられる。

2.3 ユーザベースジェスチャセット

ユーザベースのジェスチャセットは、開発者ベースのジェスチャセットに比べて、学習性、記憶性、推測性が高いことが示されている [15], [16], [17], [18], [19]。Wobbrock らは、卓上タッチディスプレイにおけるユーザベースのジェスチャセット生成のアプローチを提示した [20]。彼らは、参加者に図形が変化する複数のビデオを見せ、その変化をタッチジェスチャとして表現させることにより、参加者からジェスチャを抽出した。Chan らは、34 の一般的なアプリケーション操作に対して、片手だけのユーザ定義の空中ジェスチャを割り当てた [21]。34 の操作すべてに異なるジェスチャを割り当てることは困難であったため、片手のみのマイクロジェスチャとマウス/キーボード操作を組み合わせた操作手法を提案し、一貫性のあるジェスチャセットを生成した。また、PC 以外の操作ではテレビの操作に対するユーザベースの空中ハンドジェスチャが研究されている [22]。この研究は、電源のオン・オフ、音量、チャンネル切り替えなどの基本的なテレビ操作におけるフリーハンドジェスチャのユーザの嗜好性を調査した。

本研究では先行研究にて提案されたユーザベースジェスチャセット生成のアプローチを表計算ソフトに応用する。

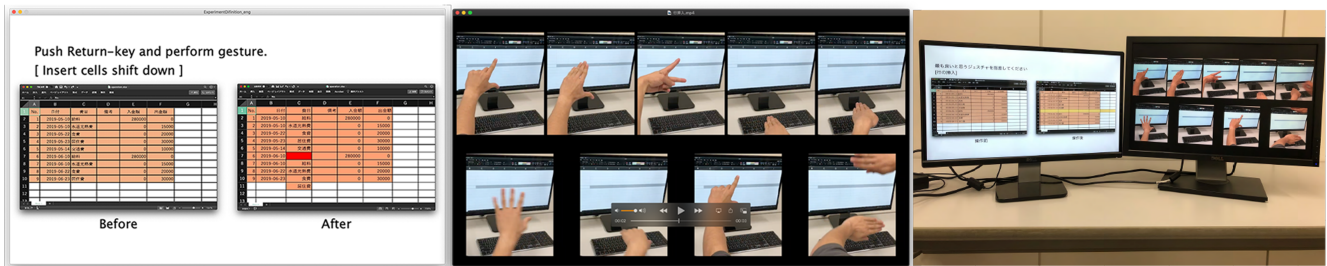


図 2 参加者提示ウィンドウとジェスチャ評価実験の環境. 左; 実験 1 及び実験 2 にて, 参加者に提示した操作指示画面の例 (セルの挿入 (下)). 中; 実験 2 にて参加者に提示した収集ジェスチャ動画一覧画面の例 (行の挿入). 右; 実験 2 における実験機器.

3. ジェスチャ定義実験 elicitation study

ユーザベースのジェスチャセットを定義するために, ユーザ中心のジェスチャ生成アプローチ [4], [5], [6] に基づいた参加者実験を行なった. このアプローチは参加者が各操作に対して連想するジェスチャを収集するジェスチャ収集実験と収集ジェスチャの中から最も好ましいジェスチャを別の参加者によって選択してもらうジェスチャ評価実験からなる. 対象とするテーブル操作は, Microsoft Excel と Google Sheets に共通してポップアップメニューから実行可能な次の 13 の操作とした (ただし () 内は操作後のセルの移動方向を示す).

- 行の挿入
- 列の挿入
- セルの挿入 (右)
- セルの挿入 (下)
- コピー
- カット
- ペースト
- 行の削除
- 列の削除
- セルの削除 (左)
- セルの削除 (上)
- 昇順ソート
- 降順ソート

3.1 実験 1: ジェスチャ収集実験

3.1.1 実験設定

本実験では, 参加者に各操作を提示し, その操作を空中のハンドジェスチャを用いて表現してもらうことにより, ジェスチャを収集する. Wobbrock らの実験 [5] を参考に実験設計を行った. 実験参加者として, 12 名の大学生および大学院生 (女性 2 名, 平均年齢 21.8 歳, SD=0.94) を募集した. 全員が右利きであり, 普段マウスを使用する手も右手と回答した. 実験前に表計算ソフトの熟練度と使用頻度について 5 段階のリッカート尺度 (1: 低い-5: 高い) にてアンケートしたところ, どちらも全参加者が 2-4 の間であった.

各テーブル操作の提示は, 表計算ソフトの 2 つのウィンドウを用いて参加者に提示した (図 2 左). 左ウィンドウは操作が実行される前の画面であり, 右ウィンドウには実行後の画面が表示されている. 画面上部には提示操作を明

確にするために表示名が表示されている. また, 対象となるセルの背景色は操作による変化を参加者が識別しやすいように色分けされている. 操作の内, 「コピー」, 「カット」, 「ペースト」の 3 つの操作は単体では操作の内容が視覚的にわかりにくい. 例えば, 「カット」は操作後に選択していたセルの値が空白になるが, 値の削除と混同してしまう可能性がある. また, 「コピー」では操作後に表は変化が見られない. そこで, 「コピー&ペースト」と「カット&ペースト」は, 通常は連続して実行されるため, 参加者にペアにして提示し, 1 つのタスクの中で両方のジェスチャを実施してもらった. したがって, 参加者は「ペースト」に対応するジェスチャを 2 回行った.

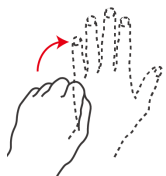
参加者は画面に表示された操作に対応するハンドジェスチャを考案し, 実施する. 参加者にはジェスチャを机上空中で行うように指示し, 両手あるいは片手ジェスチャの制限は設けなかった. また, セルを選択する際には, 必要に応じてマウスの使用が可能であった. 参加者にはジェスチャの考案時および実施時にはジェスチャの内容や意図を声に出して説明するように求めた.

参加者は各操作に対してジェスチャを行った後, 「ジェスチャ表現のしやすさ」と「操作との対応度」(実行したジェスチャが提示された操作とどの程度一致しているか) について 5 段階のリッカート尺度で評価した (表現のしやすさ: 1. 非常に難しい-5. 非常に簡単, 対応度: 1. 非常に低い-5. 非常に高い). 行われたジェスチャを分析するために, 実験中に 2 台のカメラで実験内容を撮影した. 参加者は全ての操作に対してジェスチャを実施し, 操作の順番はランダムに提示した. 実施されたジェスチャの数は 12 参加者 × (13 操作の種類 + 1 ペーストは 2 回分実行) = 168 ジェスチャであった.

3.1.2 結果

実行されたジェスチャには机上空中に行われなかったジェスチャがあったため, これらを除外した 158 のジェスチャについて分析する. まず, 収集ジェスチャを使用した手の数, 手の移動方向, 動かした指の数と種類, 手の平面の法線方向の 5 項目によって分類し, 収集ジェスチャとした. その結果, 「ペースト」に対しては有効なジェスチャを

実施した全参加者が「グリップアウト」のジェスチャ（図3左）を行ったため、1種のジェスチャのみが得られた。図3右表に「グリップアウト」のジェスチャの分類例を示す。一方、「昇順ソート」と「降順ソート」では参加者間で同じジェスチャとして分類されたものはなく、12種のジェスチャが得られた。それ以外の操作では、「カット」で7種類、「列の挿入」と「コピー」で8種類、その他で9種類のジェスチャが確認された。したがって、今回収集したジェスチャの総数は111種であった。



| 項目 | 分類 |
|-----------|------|
| 使用した手 | 片手 |
| 手の移動方向 | なし |
| 動かした指の数 | 5 |
| 動かした指の種類 | 5指全て |
| 手の平面の法線方向 | 画面方向 |

図3 グリップアウトジェスチャの概要と分類例。

図4に各操作のジェスチャ表現のしやすさと対応度の平均値と収集されたジェスチャの内の片手のみで実行されたジェスチャの割合を示す。収集されたジェスチャの84%が片手ジェスチャであり、アンケートにおけるジェスチャ表現のしやすさが低い操作ほど、両手を使用する複雑なジェスチャによって表現される傾向があった。

加えて、実験全体で収集されたジェスチャは全て何らかの手の動きや手形状の変化を伴う動的ジェスチャであった。つまり、ある手形状を一定時間保ち続けるような静的ジェスチャは収集されなかった。これは、対象とした表計算ソフトの操作が全て瞬間的に実行されることに起因すると思われる。参加者は操作実行前後の表の変化をジェスチャによって表現しようとした可能性がある。

また、「挿入」と「削除」のセルの移動を伴う操作に対するジェスチャ定義には2つの方法があることがわかった。1つはセルの移動方向ごとに異なるジェスチャを定義する方法である。例えば、セルの挿入が右にシフトした場合は水平方向のピンチアウト、下にシフトした場合は垂直方向のピンチアウトを行う。もう1つは、最初に操作ジェスチャを指定し、次に移動方向のジェスチャを指定する2段階のジェスチャを定義することである。例えば、セル挿入操作のジェスチャとして手を開くジェスチャを行い、その後、セルの移動方向に拳を移動させてセルを移動させる。加えて、4名の参加者が「挿入」と「削除」の操作において、ジェスチャによって対象とする行、列とセルを区別をすることが難しいと回答した。

3.2 実験2：ジェスチャ評価実験

3.2.1 実験設定

本実験では、実験1の収集ジェスチャに対して異なる参加者による投票を行うことで、各操作におけるジェスチャ

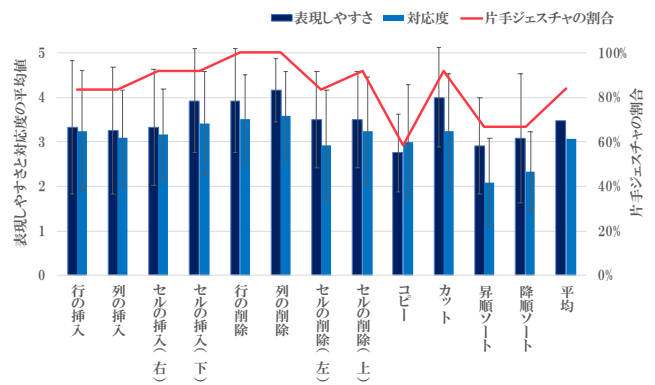


図4 各操作のジェスチャ表現のしやすさと対応度の平均値、および収集されたジェスチャの内片手ジェスチャの割合。

の評価を得る。実験1にて、「ペースト」に対する収集ジェスチャは1種類のみだったため、本実験ではそれ以外の12操作に対して調査する。実験1の参加者とは異なる10名の大学生および大学院生（女性1名、平均年齢22.8歳、SD=1.39）を募集した。こちらの参加者も全員が右利きであり、普段マウスを右手で操作すると回答された。実験前に表計算ソフトの熟練度と使用頻度について5段階のリッカート尺度によるアンケートの回答は両項目において全参加者が2-4の間（熟練度-平均：3.17、SD=0.72、使用頻度-平均：3.42、SD=0.90）であった。

参加者に2つのディスプレイを用いて、操作とそれに対応する収集ジェスチャの一覧を提示した（図2右）。操作の提示はジェスチャ収集実験と同じ2つのウィンドウを使用した（図2左）。収集ジェスチャの提示には、著者がその操作に対応する収集ジェスチャを改めて実行した様子を背後から撮影した動画をタイル状に並べて再生した（図2中）。したがって、提示するジェスチャの数は操作ごとに異なる。参加者は収集ジェスチャの動画を何度でも繰り返し見ることができた。参加者は収集ジェスチャの一覧から最も提示操作に好ましいと思うものを1つ選択した。操作はランダムに提示され、参加者は12の操作全てに対してジェスチャの選択を行った。選択数は10参加者×12操作=120であった。

3.2.2 結果

各操作の参加者によって選択されたジェスチャとその選択率を図5に示す。図5におけるジェスチャの赤矢印は手形状の変形を示し、黒矢印は位置の移動を示す。全体として、手の位置を動かすジェスチャよりも手形状を変形させるジェスチャが好まれた。投票率は手の形を変えるだけのジェスチャは56.3%、手の形を変えずに手を動かすジェスチャは33.3%、手の形を変えて手を動かすジェスチャは10.4%であった。3名の参加者は手の位置の移動を伴わないジェスチャの方が高速に実行できることを示唆した。

また、ジェスチャ選択の81%が片手ジェスチャであった。

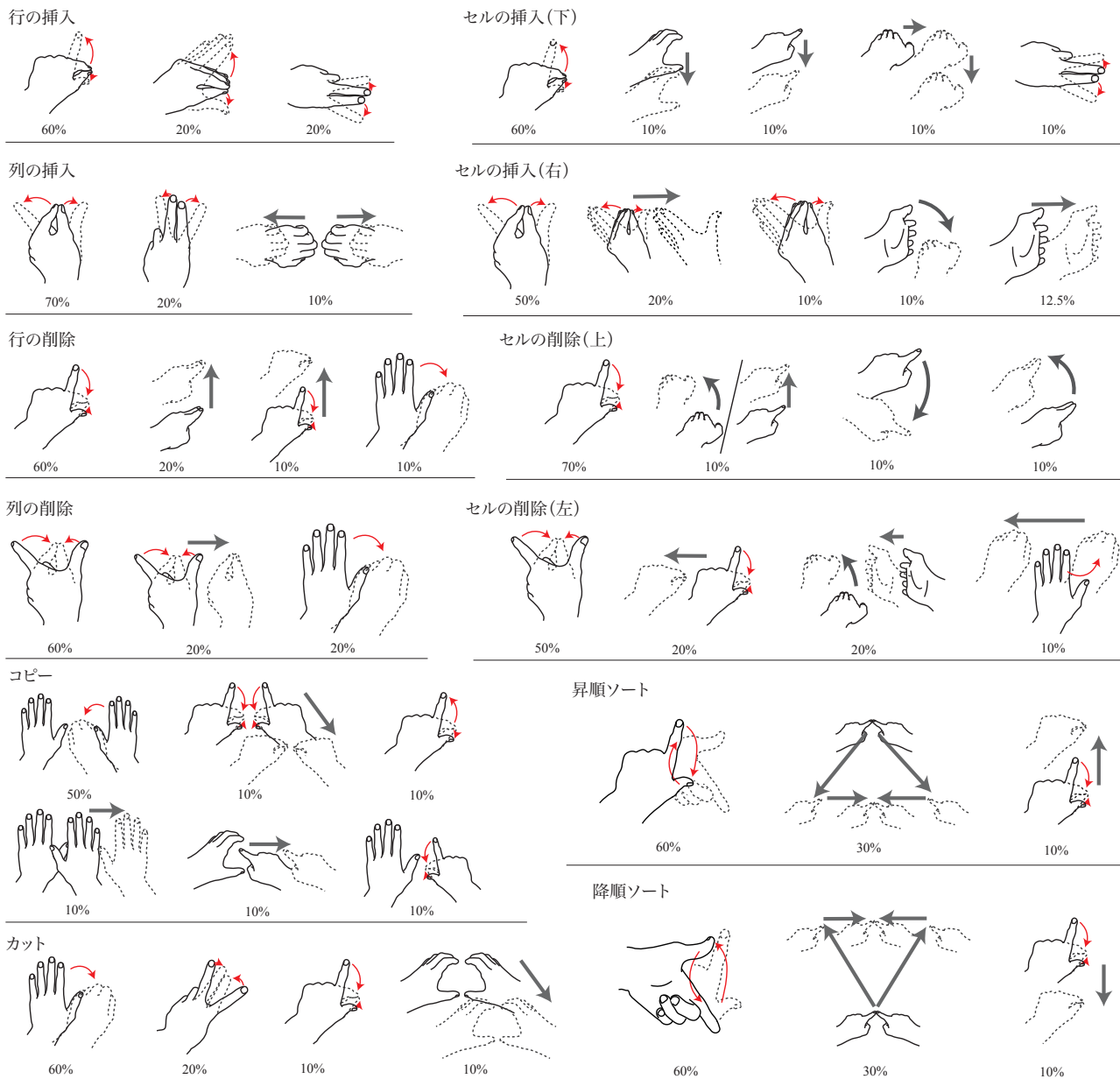


図 5 各操作の参加者によって選択されたジェスチャとその選択率。

参加者のほとんどは利き手でマウスマウスカーソルを操作し、非利き手にてジェスチャを実施することにより表計算ソフトを円滑に操作することできる利点について述べた。一方で、「コピー」の操作においては9名の参加者が両手ジェスチャを選択した。そのうちの1人は「コピー」を「値をその位置に固定する」と「クリップボードへの書き込み」の2つの機能に分解して解釈し、それぞれを各手にて表現したと述べた。

選択数の分析に Vatavu らによって示された *Agreement Rate* [23] を用いる。これは参加者によって選択されたジェスチャがどれだけ一致しているかを示す。操作 r に対する *Agreement Rate* ($AR(r)$) は式 (1) で与えられる。

$$AR(r) = \frac{|P|}{|P|-1} \sum_{P_i \subseteq P} \left(\frac{|P_i|}{|P|} \right)^2 - \frac{|P|}{|P|-1} \quad (1)$$

この時 $|P|$ は実験参加者数、 $|P_i|$ はジェスチャ i を選択した参加者数を示す。表 1 に各操作の AR を示す。Vatavu らの提案する分類法を用いて、各操作に対するジェスチャ選択の一致率を分類した。その結果、4つの操作において非常に高い一致率 ($AR > 0.500$)、7つの操作において高い一致率 ($0.500 \geq AR > 0.300$)、1つの操作において中程度の一致率 ($0.300 \geq AR > 0.100$) に分類された。すなわち、低い一致率を示した操作はなく、実験全体を通して高い一致率であったと言える。

「挿入」および「削除」に対しては大多数の参加者でピンチによるジェスチャが選択された。また、これらの操作に

表 1 各操作の収集ジェスチャの数と Agreement Rate (AR) .

| 操作 | 収集ジェスチャ数 | AR |
|-----------|----------|-------|
| 列の挿入 | 9 | 0.629 |
| セルの削除 (上) | 9 | 0.600 |
| 昇順ソート | 12 | 0.514 |
| 降順ソート | 12 | 0.514 |
| 行の挿入 | 9 | 0.486 |
| 列の削除 | 8 | 0.486 |
| 行の削除 | 9 | 0.457 |
| セルの挿入 (下) | 9 | 0.429 |
| セルの削除 (左) | 9 | 0.349 |
| セルの挿入 (右) | 9 | 0.314 |
| カット | 7 | 0.314 |
| コピー | 8 | 0.286 |

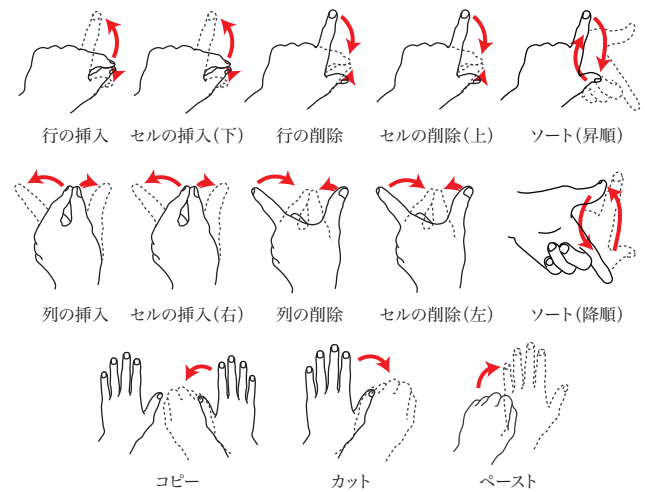


図 6 最終定義ジェスチャセット

対して実行後のセルの移動方向が同じ操作のペア (例: 行の挿入とセルの挿入 (下)) は同じジェスチャが最も好まれた。このことから、ユーザは行、列あるいはセルの「挿入」と「削除」に対してはジェスチャによる操作の区別は好まれないことが推測される。また、「コピー」では、両手の手の平を画面に向けて片手で握るジェスチャが最も好まれた。このジェスチャは、投票数が最も多かったジェスチャの中で唯一両手によるジェスチャであった。一方「カット」では、片手のみで手の平を画面に向けて握るグリッパが最も好まれた。

4. ジェスチャセット

以上の結果より、最終ジェスチャセットを図 6 に定義した。これらのジェスチャは操作間で重複がないことから矛盾がなく実装可能であり、対称的な操作に対して同じ手形状をベースとしていることからユーザにとって一貫したジェスチャセットであると言える。

「挿入」と「削除」に対してはピンチジェスチャをベースとしたジェスチャが定義され、ピンチアウトが「挿入」、ピンチインが「削除」に割り当てられた。操作後のセルの移動方向とピンチの指の動きの方向を対応させた。例えば、「行の挿入」においては操作後にもともと挿入箇所以下にあった行が全て下方方向に移動するため、縦方向のピンチアウトが定義された。また、行、列とセルの操作対象は操作前の選択領域によって区別される。

「ソート」に対しては上下方向に人差し指と親指を開いた手形状から手首を返す動きを定義した。「昇順ソート」では前回り、「降順ソート」では後ろ回りの回転が割り当てられた。これは、表計算ソフトの上から下に小さくなる順番を昇順、逆向きを降順とする表計算ソフトの特性が考慮されており、定義されたジェスチャではハンドジェスチャにおいて中心的な役割を担う人差し指がこの向きをなぞる向きに動かすため、ユーザにとって対応づけしやすと考えられる。

また、「コピー」、「カット」および「ペースト」に対して

は握り拳と掌を開いた手形状をベースとして、その切り替えによるジェスチャを定義した。「クリップボードへの保存」の機能と手で握る動作を対応させることにより、「コピー」と「カット」に共通する特性に同じジェスチャを割り当てた。一方、「ペースト」における「クリップボードからの読み出し」をこれと逆の機能と定義することで、「コピー」と「カット」のジェスチャと一貫性を保った。

5. 議論

本研究では、20代前半の大学生及び大学院生のみを対象に実験を行っており、これは表計算ソフトの多様なユーザの全体を反映したものではないことに注意する必要がある。本研究で募集した参加者は、表計算ソフトの使用経験が全くないユーザや、日常的に利用しているというユーザは含まれなかった。様々な習熟度の参加者による実験によって収集ジェスチャの多様性を高めることができると考えられる。したがって今後の追実験では、研究の対象としている表計算ソフトの初学者、あるいはより実務として精通している企業や大学事務の会計の担当者を含む参加者を募集する。

加えて、他の機能への拡張の制限が考えられる。定義したジェスチャセットは一貫性が保たれていたが、本研究にて調査した表計算ソフト上の 13 の操作は、使用頻度が高く、かつ単純な機能であった。しかし、表計算ソフトの機能の数は膨大であり、その全てにジェスチャを割り当てることは困難である。また、表計算ソフトにおける機能の多くは、オプションによって細かく分けられている。例えば、「ペースト」において参照を含めて貼り付ける機能の他に、値のみ貼り付ける機能なども存在する。これらの区別をジェスチャによって区別することは極めて困難であることが予想される。ジェスチャインタフェースが適している機能や表現可能な機能を評価する手法について調査が必要である。

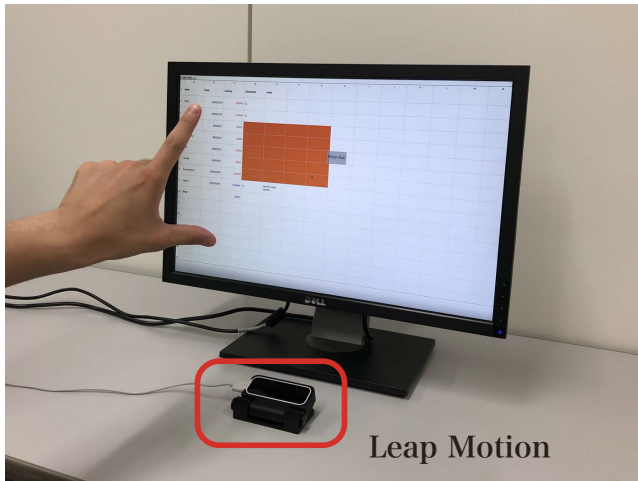


図 7 プロトタイプシステムの外観。ディスプレイ前に Leap Motion Controller を設置する。

6. プロトタイプシステム

定義したジェスチャによって表操作を実行するプロトタイプシステムを Python を使用して開発した。図 7 にシステムの外観を示す。本システムにおいて、手形状のセンシングに Leap Motion Controller^{*3}を使用した。Leap Motion Controller をディスプレイ前の机の上に設置し、その上部の手形状を取得する。ジェスチャ認識のために、五指の各 4 つの骨（中手骨、基節骨、中節骨、末節骨）の向き、手の平の法線方向、および腕の向きの正規化された 3 次元ベクトルデータを取得する。これらを scikit-learn の k 近傍法による学習器によって分類する。

プロトタイプを用いたパイロットテストを行ったところ、「コピー」、「カット」、「ペースト」においてはジェスチャの認識精度が高く、メニューベースの操作よりも高速に実行できることが確認された。しかし、一部の手形状の認識精度はユーザビリティ調査を実施できるレベルではなかった。特に、「挿入」、「削除」の操作に対するピンチの手形状の認識精度が著しく低かった。Leap Motion のドライバに付属している手形状の可視化アプリケーションを用いて分析した結果、これらのジェスチャは Leap Motion のセンシング範囲にジェスチャ開始時の手形状で手を出した際に誤った手形状が認識されていることが明らかになった。この問題は Leap Motion Controller が赤外線カメラによって下から手をセンシングしていることに起因していると考えられる。ピンチの手形状は指が垂直方向に重なるため、下からのセンシングによってでは五指全てを追跡することが困難である可能性がある。

また、実装した本ジェスチャセットには実装上の課題が想定される。まず、双方向のジェスチャによる誤操作の懸念がある。例えば、ピンチによるジェスチャは離す方向と

^{*3} <https://www.ultraleap.com/product/leap-motion-controller/>

摘む方向の両方にそれぞれ「挿入」と「削除」の操作が割り当てられているが、実行したいタイミングで操作が正確に実行されなかった場合にやり直す場合や、繰り返し実行する際に反復して実行されてしまう可能性がある。これはユーザのフラストレーションの原因となりうる。したがって、操作実行のトリガの設定やインターバルの最適化が必要となる。また、ユーザへのフィードバックとして表計算ソフトの画面に認識している手形状や実行された操作を視覚的にフィードバックする方法について検討する必要がある。

7. 結論と今後の展望

本研究では、表計算ソフトの初学者にとって記憶性および推測性に優れたインターフェースとしてハンドジェスチャを用いる手法を提案した。ジェスチャセットを定義するために、ユーザ中心のジェスチャ生成アプローチに基づいた 2 つの実験を行った。1 つ目の実験では、13 のテーブル操作に対して参加者によって考案されたジェスチャを収集した。2 つ目の実験にて、各操作における収集ジェスチャを別の参加者による投票によって評価した。収集されたジェスチャの特徴と参加者による投票の分布から計算される一致率を分析し、操作間におけるジェスチャの重複や一貫性を検証することで、最終的なユーザベースのジェスチャセットを定義した。最後に議論の中で、本手法の制限と実装上の課題を明らかにした。

今後の課題として、生成ジェスチャセットの記憶性、推測性を調査する実験を行うとともに、十分な認識精度を持つプロトタイプを開発し、本手法のユーザビリティを調査する。手形状のセンシングに Leap Motion Controller を使用した現在のプロトタイプでは、十分なジェスチャの認識精度を得ることが難しい。より堅牢なセンシング技術を用いたシステムを開発する必要がある。

また、さらなる発展として、本実験では対象としなかった操作への拡張を行う。空中ハンドジェスチャの多くの先行研究にて垂直なディスプレイや VR/MR 空間におけるポインティング手法 [24] が提案されており、これを我々の提案手法に応用し、表計算ソフト上のセルや範囲の選択までハンドジェスチャによって実行する手法がユーザにとって有効である可能性について調査する。タッチディスプレイ上では人差し指でカーソル位置をなぞる動きがユーザに好まれることが明らかになっている [25] ことから、空中ハンドジェスチャにおいても同じ手法が有効であると考えられる。

参考文献

- [1] Arganbright, D.: *Spreadsheet*, pp. 1670–1674, John Wiley and Sons Ltd. (2003).
- [2] Jones, S. P., Blackwell, A. and Burnett, M.: *A User-*

- Centred Approach to Functions in Excel, *Proceedings of the ACM SIGPLAN International Conference on Functional Programming, ICFP*, Vol. 8, pp. 165–176 (2003).
- [3] Westerman, S. J.: Individual Differences in the Use of Command Line and Menu Computer Interfaces, *Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications*, Vol. 9, No. 2, pp. 183–198 (1997).
- [4] Wachs, J. P., Kölsch, M., Stern, H. and Edan, Y.: Vision-Based Hand-Gesture Applications, *Commun. ACM*, Vol. 54, No. 2, pp. 60–71 (2011).
- [5] Keates, S. and Robinson, P.: The Use of Gestures in Multimodal Input, *Proceedings of the Third International ACM Conference on Assistive Technologies*, Assets '98, New York, USA, ACM, pp. 35–42 (1998).
- [6] Park, D., Lee, Y. S., Song, S., Rhiu, I., Kwon, S., An, Y. and Yun, M. H.: User Centered Gesture Development for Smart Lighting, *Proceedings of HCI Korea, HCIK '16*, Seoul, KOR, Hanbit Media, Inc., pp. 146–150 (2016).
- [7] Perelman, G., Serrano, M., Picard, C., Derras, M. and Dubois, E.: Multi-Device Interaction for Spreadsheet on Tablets, *Proceedings of the 29th Conference on Interaction Homme-Machine, IHM '17*, New York, USA, ACM, pp. 105–115 (2017).
- [8] Zraggen, E., Zeleznik, R. and Eichmann, P.: Tableur: Handwritten Spreadsheets, *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems - CHI EA '16*, pp. 2362–2368 (2016).
- [9] Walter, R., Bailly, G., Valkanova, N. and Müller, J.: Cuenesics: Using mid-air gestures to select items on interactive public displays, *MobileHCI 2014 - Proceedings of the 16th ACM International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, New York, New York, USA, Association for Computing Machinery, Inc, pp. 299–308 (2014).
- [10] Chattopadhyay, D. and Bolchini, D.: Touchless Circular Menus: Toward an Intuitive UI for Touchless Interactions with Large Displays, *Proceedings of the 2014 International Working Conference on Advanced Visual Interfaces, AVI '14*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 33–40 (2014).
- [11] Lee, S. S., Chae, J., Kim, H., Lim, Y. K. and Lee, K. P.: Towards more natural digital content manipulation via user freehand gestural interaction in a living room, *UbiComp 2013 - Proceedings of the 2013 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, New York, New York, USA, ACM Press, pp. 617–626 (2013).
- [12] Xiao, W.-Y., Duan, J.-Z. and Xue, C.-Q.: Research on Visual Programming System of Gesture Interaction Interface in VR, *Proceedings of the 2020 the 4th International Conference on Big Data and Internet of Things, BDIOT 2020*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 38–42 (2020).
- [13] Chen, L.-C., Cheng, Y.-M., Chu, P.-Y. and Sandnes, F. E.: Identifying the Usability Factors of Mid-Air Hand Gestures for 3D Virtual Model Manipulation, *Universal Access in Human-Computer Interaction. Designing Novel Interactions* (Antona, M. and Stephanidis, C., eds.), Cham, Springer International Publishing, pp. 393–402 (2017).
- [14] Hincapié-Ramos, J. D., Guo, X., Moghadasian, P. and Irani, P.: Consumed Endurance: A Metric to Quantify Arm Fatigue of Mid-Air Interactions, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '14*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 1063–1072 (2014).
- [15] Grijincu, D., Nacenta, M. A. and Kristensson, P. O.: User-Defined Interface Gestures: Dataset and Analysis, *Proceedings of the Ninth ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, ITS '14*, New York, USA, ACM, pp. 25–34 (2014).
- [16] Nacenta, M. A., Kamber, Y., Qiang, Y. and Kristensson, P. O.: Memorability of Pre-Designed and User-Defined Gesture Sets, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '13*, New York, USA, ACM, pp. 1099–1108 (2013).
- [17] Nielsen, M., Störring, M., Moeslund, T. B. and Granum, E.: A procedure for developing intuitive and ergonomic gesture interfaces for HCI, *Lecture Notes in Artificial Intelligence (Subseries of Lecture Notes in Computer Science)*, Vol. 2915, Springer Verlag, pp. 409–420 (2004).
- [18] Fares, E., Cheung, V. and Girouard, A.: Effects of bend gesture training on learnability and memorability in a mobile game, *Proceedings of the 2017 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces, ISS 2017*, ACM, Inc, pp. 240–245 (2017).
- [19] Wobbrock, J. O., Aung, H. H., Rothrock, B. and Myers, B. A.: Maximizing the guessability of symbolic input, *CHI '05 extended abstracts on Human factors in computing systems - CHI '05*, New York, USA, ACM Press, pp. 1869–1872 (2005).
- [20] Wobbrock, J. O., Morris, M. R. and Wilson, A. D.: User-Defined Gestures for Surface Computing, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '09*, New York, USA, ACM, pp. 1083–1092 (2009).
- [21] Chan, E., Seyed, T., Stuerzlinger, W., Yang, X.-D. and Maurer, F.: User Elicitation on Single-Hand Microgestures, *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '16*, New York, USA, Association for Computing Machinery, pp. 3403–3414 (2016).
- [22] Vatavu, R.-D.: User-Defined Gestures for Free-Hand TV Control, *Proceedings of the 10th European conference on Interactive TV and video - EuroITV '12*, New York, USA, ACM Press, pp. 45–48 (2012).
- [23] Vatavu, R.-D. and Wobbrock, J. O.: Formalizing Agreement Analysis for Elicitation Studies: New Measures, Significance Test, and Toolkit, *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '15*, New York, USA, ACM, pp. 1325–1334 (2015).
- [24] Cabral, M. C., Morimoto, C. H. and Zuffo, M. K.: On the Usability of Gesture Interfaces in Virtual Reality Environments, *Proceedings of the 2005 Latin American Conference on Human-Computer Interaction, CLIHC '05*, New York, USA, ACM, pp. 100–108 (2005).
- [25] Epps, J., Lichman, S. and Wu, M.: A Study of Hand Shape Use in Tabletop Gesture Interaction, *CHI '06 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '06*, New York, USA, ACM, pp. 748–753 (2006).