

# 五本指装着型入力デバイスでのタップ動作における平仮名入力規則の評価手法

田中 純之介<sup>1</sup> 勝間 亮<sup>1</sup>

概要：PC などに入力を伝えるための五本指装着型の入力デバイスは、物理ボタンを使用せず、タッチパネルのように画面を注視する必要がないことから、新たな入力方法として注目されている。また、目の不自由な人が文字入力を行う際の手助けとなることが期待されている。既存の五本指装着型の入力デバイスはアルファベット 26 文字全てに対して、同時にタップしなければいけない指の組み合わせが個別に割り振られている。その課題として、スムーズな入力を行うためには入力と指の組合せの対応（以降、入力表と言う）をユーザが学習する必要があり、労力がかかる点が挙げられる。その労力をできるだけ減らすような入力表が求められるが、既存の研究では、入力表が与えられたときにどの程度使いやすいかを評価する指標が定まっていない。そこで本稿では、入力パターンが多くなる平仮名を五本指装着型デバイスの未経験者が入力する場合を対象に、新たに入力評価方法を提案し、その評価に基づいた良い入力表も提案する。

## Evaluation Method of Hiragana Input Rules by Tapping Actions for Five-Fingers Mounted Input Device

JUNNOSUKE TANAKA<sup>1</sup> RYO KATSUMA<sup>1</sup>

### 1. はじめに

現在、PC やスマートフォンなどへの入力手段にはキーボードやタッチパネルなど、さまざまなデバイスが用いられている。機器の入力方法が多様化している中、物理ボタンを使用せず、タッチパネルのように画面を注視する必要もなく、指の動きだけで信号を機器に与える入力デバイスが開発されてきた。秋田らは、スマートウォッチ向けの文字入力法を提案した [1]。これはごく小さなタッチパネルを指でスライドすることで文字入力を行う。タッチパネルの操作ではあるが、触覚によって指の位置を把握しやすいため、視覚情報がなくとも入力可能であるが、入力に両腕を要するため、片腕だけの動きで入力ができない。大下らは人指し指に装着した加速度センサとモバイル機器で一筆書きによる文字入力手法を提案した [2]。これは片腕で文字を表現可能ではあるが、一筆書き可能な文字しか対応できず、入力には指の動きとモバイル機器の両方の操作が必要となる。DigiTouch[3] はヘッドマウントディスプレイで指をト

ラッキングすることで指の動きを認識して入力信号とする。これは指以外に機器を装着するため、指がカメラの視界に入らない態勢などでは使えない場合がある。Ubi-Finger[4] は主に人差し指の動きを加速度センサ、タッチセンサ、歪曲センサを用いて詳細にセンシングし、それを入力信号とする。これは機器のスイッチのオンオフや音楽ボリューム等の簡単な操作に特化しており、例えば入力種類の多い文字入力などでは入力信号と文字の割り当てが難しい。また手話認識の分野において、澤田らは、3 次元加速度センサ、ポジションセンサおよびデータグローブを用いて 5 指の屈曲、空間的な手の配置、腕のダイナミカルな動きを検出することによって手話認識を実現した [5]。Starner らの研究では机に設置されたカメラと頭部に取り付けられたカメラを用いて手話認識を行う手法を提案した [6]。Wu らの研究ではジャイロセンサーによる 3 次元加速度の計測と筋肉の収縮伸展によって変化する表面筋電位の計測によって手話認識を行う手法を提案した [7]。高橋らの研究では被験者の正面に設置した Kinect から得られる動画を隠れマルコフモデル (HMM) を用いて処理することで連続指文字認識

<sup>1</sup> 大阪府立大学  
Osaka Prefecture University

を行う手法を提案した [8]。以上のことから、手話認識においては、指の動きだけでなく、腕の振りの読み取りも必要となる。そのため、指だけでなく腕や肩などにもセンサを装着しなければならず、ユーザの負担が非常に大きいことが分かる。また、カメラや Kinect などの動画像による連続認識を行う場合には場所が限定される。そこで、本稿では文字入力に特化した 5 本指に装着するタイプの入力デバイスに着目した。加速度センサにより、5 本の指のうちのどの指がタップされたかを判定し、同時にタップされた指の組合せにより入力を決める形式がこのような入力デバイスの一般的な特徴である。

指装着型の入力デバイスの例としては、指に装着してタイピングを行うことが目的のウェアラブルキーボードである tap strap が製品化されている [9]。片手に装着し、ストラップで繋がるリング状のデバイスを、5 本指にはめて使用する。片手のみでタイピングを行うことができることがこのデバイスの利点である。しかし、タイピングするために必要な指の動きは従来のキーボード入力とは異なる独自のものであり、図 1 の入力表のようにアルファベット 26 文字全てに固有の指の組み合わせが割り振られている。図 1 中の 5 つの丸は左から順に、右手に装着した場合の親指、人差し指、中指、薬指、小指に相当する。特に黒丸は同時にタップする指を示している。この中には実現困難な指の形も存在し、従来の tap strap の入力方法を習得するためにはこの入力表全てを覚える必要がある。また、英語入力において 1 文字を入力するのに必要なタップ動作は 1 回であるのに対し、ローマ字を用いた平仮名入力では、1 文字を入力するのに必要なタップ動作は最低でも 2 回である。そのため、平仮名の入力を行う際、実現困難な指の形を要求されることが続けば、スムーズな入力を行うことは英語入力以上に難しいと予想される。このようなデバイスの利点として、画面を見ながら入力する必要がないことから目の不自由な人が文字入力を行う際の手助けとなることが期待できる点が挙げられる。しかし一方で、画面を見ずに入力できる利点を活かす場合、タッチパネルのようなリアルタイムな入力の指示を見ることができないため、入力パターンとそれに割り当てられた効果をユーザが記憶しなければいけない問題がある。さらに、要求された指の形によっては入力の失敗が頻発するなど、入力の種類によって精度が大きく変わる問題がある。

本稿では、入力パターンが多くなる平仮名に焦点を当て、平仮名と指の組合せの対応の良さを数値化するための評価関数を提案し、それに基づいた入力表と入力手法を提案する。対応の良さは入力のし易さを表し、その定義は 2 章で詳しく説明する。これにより、指装着型入力デバイスにおける平仮名の入力手順の簡易化および入力成功率の向上を図る。

# TAP ALPHABET™

|          |   |       |
|----------|---|-------|
| ●タップする指  | A | ●○○○○ |
| ○タップしない指 | B | ●○○●● |
|          | C | ●○○●● |
|          | D | ●○○○○ |
|          | E | ●○○○○ |
|          | F | ●○○○○ |
|          | G | ●○○●● |

親 人 中 薬 小

|   |       |
|---|-------|
| H | ○○●●● |
| I | ○○○○○ |
| J | ●●●○○ |
| K | ○○○○○ |
| L | ○○○○○ |
| M | ○○○○○ |
| N | ●●○○○ |

親 人 中 薬 小

# TAP ALPHABET™

|   |       |
|---|-------|
| O | ○○○○○ |
| P | ●●○○○ |
| Q | ○○○○○ |
| R | ●●●●○ |
| S | ○○○○○ |
| T | ○○○○○ |

|   |       |
|---|-------|
| U | ○○○○○ |
| V | ●●●●● |
| W | ○○○○○ |
| X | ○○○○○ |
| Y | ○○○○○ |
| Z | ○○○○○ |

左から順に親指, 人差し指, 中指, 薬指, 小指を示す。

図 1 tap strap のアルファベット入力対応表

## 2. 平仮名入力に対する要求

まず、提案手法の有用性を評価するための基準としてタイピング速度、誤字率、文字入力方法の習得の容易さの 3 つの基準を設けた。

### (1) タイピング速度

文章をより速く入力できる手法は入力手順が簡単な手法であるとする。

### (2) 誤字率

タイピングミスの少ない手法はより入力のし易い手法であるとする。

### (3) 文字入力方法の習得の容易さ

習得の容易な手法とは短時間で要点を絞った説明を受けただけで習得できる手法とする。

### 2.1 入力表の評価関数

文字入力方法の習得の容易さは他の基準に比べて評価基準が明確に定まっていない。そこで文字とタップする指の組合せの対応付け（以降、入力表という）に対して独自の評価関数を設定することにした。

$n$  個の指のタップパターンから構成される入力表は、指のタップパターン  $f_i (1 \leq i \leq n)$  の集合により表現される。タップ操作において、親指を  $a_0$ 、人差し指を  $a_1$ 、中指を  $a_2$ 、薬指を  $a_3$ 、小指を  $a_4$  とする。ある指のタップパターン  $f_i$  において、タップする指の集合を  $f_i.u$ 、タップしない指の集合を  $f_i.v$  とする。例えば、人差し指と薬指のみをタップするパターン  $f_k$  の場合、 $f_k.u = \{a_1, a_3\}$  で、 $f_k.v = \{a_0, a_2, a_4\}$  となる。

入力表は次の 3 つの基準によって評価される。

#### (1) タップする指の本数

一回のタップで使用する指の本数は少なければ少ないほど覚えやすいものとする。

#### (2) 規則性（階段と共通）

入力表のなかの連続する指のタップパターン  $\{f_i, f_{i+1}, \dots, f_j\}$  の並びは階段、共通、共通階段、規則性なしの4つのいずれかのグループに分類されるものとする。それぞれの定義を以下に示す。

- 階段  
このグループでは、あるタップパターン  $f_{i..u} = \{a_p, a_q, \dots\}$  に対して、その次のパターン  $f_{i+1..u} = \{a_{mod(p+1,5)}, a_{mod(q+1,5)}, \dots\}$  となる。  $f_{i..u}$  の要素数が  $m$  個のとき、  $m$  個階段と呼ぶ。表1に階段の例を示す。
- 共通  
このグループでは、すべてのタップパターンに1つの共通要素が存在する、つまり  $\{f_i \cap f_{i+1} \cap \dots \cap f_j \neq \emptyset\}$  となる。さらに、次で説明する共通階段に属さないものとする。表2に共通の例を示す。
- 共通階段  
このグループでは、階段と共通が同時に存在している。つまり、すべてのタップパターンに1つの共通要素が存在する、つまり  $\{f_i \cap f_{i+1} \cap \dots \cap f_j \neq \emptyset\}$  であり、その共通要素の集合を  $C$  とする。さらに、各タップパターンから  $C$  を除外した集合に対して、階段を満たす要素が存在する。表3に共通階段の例を示す。
- 規則性なし  
上記のどの規則性にも当てはまらないときその指のパターンは規則性なしと定義する。規則性なしのグループは、常に1つのタップパターンのみから構成される。  
階段が最も覚えやすい規則とし、次に共通階段、その次に共通が覚えやすいものとする。これは予備実験による経験則から定義したものであり、後述するポイント割り振りも経験則により決定した。

表1 階段の例

| 1 個階段 | 2 個階段 | 3 個階段 | 4 個階段 |
|-------|-------|-------|-------|
| ●○○○○ | ●●○○○ | ●●●○○ | ●●●●○ |
| ○●○○○ | ○●●○○ | ○●●●○ | ○●●●● |
| ○○●○○ | ○○●●○ | ○○●●● | ●○●●● |
| ○○○●○ | ○○○●● | ●○○●● | ●●○●● |
| ○○○○● | ●○○○● | ●●○○● | ●●●○● |

表2 共通の例

| 1 個共通 | 2 個共通 | 3 個共通 |
|-------|-------|-------|
| ●○●○○ | ○●●○● | ○●●●● |
| ●●○○○ | ○●●●○ | ●○●●● |
| ●○○○● | ●●●○○ |       |

### (3) 覚える規則性の少なさ

1つの規則性であらわすことのできる指のパターンの集合を1つのカテゴリとする。入力表の全ての指のパターンをカテゴリに分類したとき、カテゴリの数が少

表3 共通階段の例

| 1 個共通, 2 個階段 | 2 個共通, 1 個階段 | 3 個階段, 1 個共通 |
|--------------|--------------|--------------|
| ●●●○○        | ●●●○○        | ●●●○●        |
| ●○●○○        | ●●○●○        | ○●●●●        |
| ●○○●●        | ●●○○●        |              |

なければ少ないほど、覚える規則性(ルール)が少ない、つまり覚えやすい入力表であるとする。

今回設定した3つの基準とは異なる基準をデバイス使用者毎に個別に設けて個別評価を行う際、その基準を評価関数に組み込み、今回の実験と同様に評価を行うことは可能であるが、個人の適性を調査する適切な方法を別途研究する必要がある、個別設定が難しい。以上のことから、汎用的に初心者に対して使える入力表の作成を目的とし、このような評価基準を設けた。

この3つの基準をもとに並べられた指のパターンの中の規則性を見つけ、入力表の各部位をいずれかの4種のカテゴリ(階段、共通、共通階段、規則性なし)に分類する。また、あらかじめ各カテゴリと使用する指の本数に対応したポイント表を作成しておく。このポイントは入力しやすい場合に低く、入力が困難な場合に高くなるように設定する。分類されたすべてのカテゴリのポイントの合計値を入力表の評価値とする。評価値が最小となる入力表が最も習得の容易な入力表を意味する。以下に、評価値決定の手順と使用する指の本数に応じた各カテゴリのポイント(表4)を記す。

- (1) 入力表の中からポイントの低い順に階段または共通階段をすべてを見つけ、それらの合計ポイント  $x$  を算出。カテゴリに分類された指のパターンは入力表から除外していく。
- (2) 評価値の低い順に共通を見つけ、それらの合計ポイント  $y$  を算出。カテゴリに分類された指のパターンは入力表から除外。
- (3) 分類されなかった指のパターンは1つ1つが規則性なしとして別々のカテゴリに分類され、それらの合計ポイント  $z$  を算出。
- (4)  $x + y + z$  を入力表の評価値とする

表4 指の本数に応じた評価値表

| カテゴリ/指の本数 | 1   | 2    | 3    | 4    |
|-----------|-----|------|------|------|
| 階段        | 0.1 | 0.2  | 0.3  | 0.4  |
| 共通階段      |     | 0.25 | 0.35 | 0.45 |
| 共通        |     | 0.5  | 0.55 | 0.6  |
| 規則性なし     | 0.1 | 0.2  | 0.3  | 0.4  |

この評価関数を用いた入力表の分類の過程を表5を示す。この表では各手順で分類された指のパターンを縦の二重線で囲んでいる。分類の結果、例として用いた入力表の評価値は1.75となった。また従来の tap strap の入力表の評価値は5.95となった。本稿では以後、この評価関数が文字入力方法の習得の容易さの基準として用いられる。

表 5 評価関数を用いた入力表の分類過程

| 分類前   | 手順 1                    | 手順 2     | 手順 3        | ポイント        |
|-------|-------------------------|----------|-------------|-------------|
| ○○○●○ | ○○○●○                   | ○○○●○    | ○○○●○       | 0.1         |
| ○●○○○ | ○●○○○                   | ○●○○○    | ○●○○○       | 0.1         |
| ○○●○○ | ○○●○○                   | ○○●○○    | ○○●○○       |             |
| ●○○○○ | ●○○○○                   | ●○○○○    | ●○○○○       | 0.3         |
| ○●○○○ | ○●○○○                   | ○●○○○    | ○●○○○       | 0.2         |
| ●○○○○ | ●○○○○                   | ●○○○○    | ●○○○○       | 0.2         |
| ○○●○○ | ○○●○○                   | ○○●○○    | ○○●○○       |             |
| ○●○○○ | ○●○○○                   | ○●○○○    | ○●○○○       | 0.5         |
| ○○○○● | ○○○○●                   | ○○○○●    | ○○○○●       |             |
| ●○○○○ | ●○○○○                   | ●○○○○    | ●○○○○       | 0.1         |
| ○●○○○ | ○●○○○                   | ○●○○○    | ○●○○○       |             |
| ○●○○○ | ○●○○○                   | ○●○○○    | ○●○○○       | 0.25        |
| ○○●○○ | ○○●○○                   | ○○●○○    | ○○●○○       |             |
| ポイント  | 階段 (0.1)<br>共通階段 (0.25) | 共通 (0.5) | 規則性なし (0.9) | 評価値<br>1.75 |

### 3. 先行研究

先行研究 [10] では tap strap におけるアルファベット 26 文字それぞれの入力難易度を測定する実験を行った。実験では、デバイス使用経験の皆無な被験者 3 人にランダムに表示されるアルファベット 26 文字を tap strap を用いて 10 回ずつ入力させ、各文字の 1 回入力成功するまでのタップミスの回数を計測した。タップミスの回数が少なければ少ないほどその文字の入力難易度は低いと定義し、ミス回数の少なさが指ごとの使いやすさを示す。その結果を表 6 に示す。表 6 では測定結果をもとに、入力難易度の低い順にアルファベットを並べて表示している。

表 6 各文字の 1 回入力成功するまでの平均タップミス回数 (昇順)

| 文字 | 指のパターン | ミス回数 | 文字 | 指のパターン | ミス回数  |
|----|--------|------|----|--------|-------|
| o  | ○○○●○  | 4.6  | n  | ●●○○○  | 38.5  |
| u  | ○○○○●  | 6.2  | w  | ●●○○●  | 59.0  |
| s  | ○○○●●  | 7.0  | l  | ○○●●○  | 100.5 |
| y  | ●○○○●  | 8.0  | i  | ○○●○○  | 101.7 |
| x  | ○●○○●  | 10.0 | c  | ●○○●●  | 108.4 |
| k  | ●○○●○  | 11.4 | z  | ○○●○○  | 109.4 |
| m  | ○●○○○  | 12.1 | t  | ○○○○○  | 111.4 |
| a  | ○●○○○  | 17.1 | h  | ○●●●●  | 113.9 |
| e  | ●○○○○  | 22.3 | q  | ○●○○●  | 114.1 |
| v  | ●●○○●  | 23.7 | g  | ●○○●○  | 119.3 |
| b  | ○●○○●  | 24.9 | r  | ●●●●○  | 122.4 |
| f  | ●●○○○  | 25.8 | j  | ●●○○●  | 131.0 |
| p  | ●●○○●  | 33.4 | d  | ●○○○○  | 157.5 |

### 4. 提案手法

本稿ではプロトタイプとして、日常的な使用頻度が多いと考えられる平仮名入力のタイピングを取り扱う。

#### 4.1 tap strap について

tap strap は指に装着してタイピングを行うウェアラブルキーボードである。片手に装着し、ストラップで繋がるリング状のデバイスを、5 本指にはめて使用する (図 2)。手のひらを平らな面に置き、指を上から下に動かすことでタップとして認識される (図 3)。タップする指の組み合わせに

よってアルファベット 26 文字などを表現できる (図 1)。

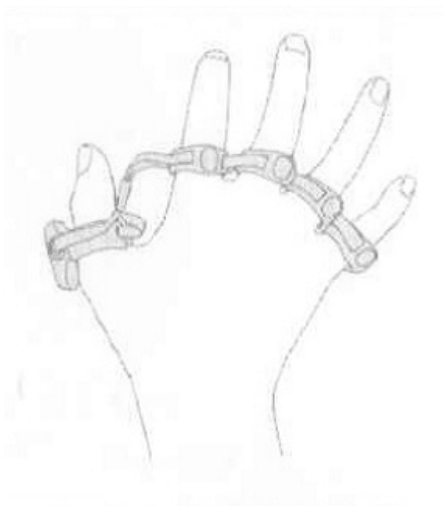


図 2 tap strap の指装着イメージ

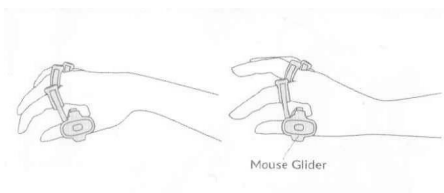


図 3 タップ動作のイメージ

#### 4.2 提案手法

図 1 の指の組み合わせには、実現困難な指の形も存在する。また 26 種類以上の指の組み合わせを覚えるのには時間がかかると考えられる。そこで比較的实现し易いと考えられる指の組み合わせを用いて平仮名の行を 1 回目のタップで指定し、2 回目のタップで列を指定、3 回目のタップで濁点、半濁点、小文字化、削除を指定できるタイピングプログラムを開発した。

比較的实现し易いと考えられる指の組み合わせの定義として本稿で定義された評価関数と先行研究から得られるそれぞれの指のパターンの入力難易度の測定結果の 2 つの基準を用いることにした。そして、このタイピングプログラムの入力表として、2 つの基準をもとにした 3 種類の入力表を用意した。まず、評価関数をもとにした覚えやすい入力表 A (表 7) を作成した。このタイピングプログラムでは母音と子音を同時にタップすることはないので、“あ行”から“な行”までと“a”から“o”までに同じ指のパターンを割り当てることが可能となる。この表では“あ行”から“な行”までと“a”から“o”までのそれぞれの区間に 1 個階段 (ポイント 0.1)、“は行”から“わをん”の区間までに 2 個階段 (ポイント 0.2)、濁点から半濁点までと小文字から削除までのそれぞれに共通階段 (ポイント 0.25) を割

り当てた。カテゴリ数は5つとなり、評価値は0.9である。この入力表は提案手法を実現するにあたって、評価関数の基準をもとに最小の評価値を持つように作成した入力表である。次に、先行研究の結果をもとにした入力難易度の低い順に並べられた入力表B(表8)を作成した。この表では”あ行”から”か行”までと”a”から”i”までにそれぞれ1個階段(ポイント0.1), ”は行”から”ま行”までに共通階段(ポイント0.25), 半濁点から小文字までに共通階段(ポイント0.35)が割り当られ、それ以外は規則性なし(ポイント合計2.4)である。カテゴリ数は15で、評価値は3.2である。最後に、本稿で設定した評価関数と先行研究の入力難易度の2つの基準を満たすために入力表Bで使用された指のパターンを入力表の評価値が小さくなるように並べ替えた入力表C(表10)を作成した。この表では”あ行”から”か行”までと”a”から”i”までにそれぞれ1個階段(ポイント0.1), ”さ行”から”た行”までと”u”から”e”までにそれぞれ1個階段(ポイント0.1), ”な”から”は”までと”ま”から”や”までにそれぞれ共通階段(ポイント0.25), 半濁点から小文字までに共通階段(ポイント0.35)を割り当て、それ以外は規則性なし(ポイント合計1.3)である。カテゴリ数は12で、評価値は2.55である。

各入力表の母音の入力にあたる2段階にはそれぞれの基準において最優先で簡潔な入力構造を取り入れている。これは日本語の仮名を構成する要素で最も頻出するものが母音であると考えたためである。

表7 評価関数をもとにした入力表A

| 入力1段階目 |       | 入力2段階目 |       |
|--------|-------|--------|-------|
| あ行選択   | ●○○○○ | 母音a選択  | ●○○○○ |
| か行選択   | ○●○○○ | 母音i選択  | ○●○○○ |
| さ行選択   | ○○●○○ | 母音u選択  | ○○●○○ |
| た行選択   | ○○○●○ | 母音e選択  | ○○○●○ |
| な行選択   | ○○○○● | 母音o選択  | ○○○○● |
| は行選択   | ●●○○○ | 入力3段階目 |       |
| ま行選択   | ○●●○○ | 濁点     | ●●●○○ |
| や行選択   | ○○●●○ | 半濁点    | ●○○●○ |
| ら行選択   | ○○○●● | 小文字    | ○●○●○ |
| わをん選択  | ●○○○● | 削除     | ○●○○● |

表8 先行研究の結果をもとにした入力表B

| 入力1段階目 |       | 入力2段階目 |       |
|--------|-------|--------|-------|
| あ行選択   | ○○○●○ | 母音a選択  | ○○○●○ |
| か行選択   | ○○○○● | 母音i選択  | ○○○○● |
| さ行選択   | ○○○●● | 母音u選択  | ○○○●● |
| た行選択   | ●○○○● | 母音e選択  | ●○○○● |
| な行選択   | ○●○●● | 母音o選択  | ○●○●● |
| は行選択   | ●○○○○ | 入力3段階目 |       |
| ま行選択   | ○●○●○ | 濁点     | ○●○●○ |
| や行選択   | ○●○○○ | 半濁点    | ●●○●○ |
| ら行選択   | ●○○○○ | 小文字    | ●●○●○ |
| わをん選択  | ●●○●● | 削除     | ●●○○○ |

表9 評価関数と先行研究の結果をもとにした入力表C

| 入力1段階目 |       | 入力2段階目 |       |
|--------|-------|--------|-------|
| あ行選択   | ●○○○○ | 母音a選択  | ●○○○○ |
| か行選択   | ○●○○○ | 母音i選択  | ○●○○○ |
| さ行選択   | ○○○●○ | 母音u選択  | ○○○●○ |
| た行選択   | ○○○●● | 母音e選択  | ○○○●● |
| な行選択   | ●○○○● | 母音o選択  | ●○○○● |
| は行選択   | ●○○○● | 入力3段階目 |       |
| ま行選択   | ○●○●○ | 濁点     | ●●○○○ |
| や行選択   | ○●○○○ | 半濁点    | ●●○●○ |
| ら行選択   | ○○○●● | 小文字    | ●●○●○ |
| わをん選択  | ○●○●● | 削除     | ●●○●○ |

## 5. 3つの入力表に対する評価実験

評価関数や先行研究の結果だけでは、3つの入力表の中でどの表が最も実用性が高いのか判断することはできない。そこで、3つの入力表に対してタイピング速度と誤字率の測定を行うことで、各入力表の有用性を比較する実験を行う。以下に実験の内容と結果を示す。

### 5.1 実験内容

デバイス使用経験の皆無な被験者6人に対して、平仮名で構成された最大で5文字の文字列を31個入力する作業を3つそれぞれの入力表を用いて実行してもらった。表9に実験で使用した文字列リストを示す。この例文リストは全ての平仮名が出現するような文字列で構成されている。1つの単語の入力制限時間を1分とし、制限時間内であれば、間違った文字列を入力したとしても、再度入力を行うことができる。その際の誤入力は誤字としてはカウントされるが、入力失敗とはカウントされないものとした。制限時間を超えた場合のみ入力失敗としたため、被験者1人につき失敗する回数は0か1である。このことから、対象の文字列を入力失敗した被験者の人数を $J$ 、総被験者数を $K$ として、(1)式をもとに各文字列の入力失敗率 $F$ を算出した。

$$F = \frac{J}{K} \quad (1)$$

その際、文字列の入力が成功するまでの時間を計測することでタイピング速度を調べた。また、入力された母音や子音、文字列の情報を集計し、タップしようとした文字と実際にタップされた文字を比較することで、入力表の各文字の成功回数 $N$ と失敗回数 $M$ を計測した。それをもとに入力表の各文字の誤字率 $G$ を算出した。誤字率 $G$ の算出には(2)式を使用した。

$$G = \frac{M}{M+N} \quad (2)$$

全ての入力作業終了後、被験者に対して入力表に関するアンケートを実施した。アンケート内容は、各入力表に対して覚えやすいと感じたかどうかを[1・当てはまる2・やや当てはまる3・やや当てはまらない4・当てはまらない]の4段階で回答する項目と、入力失敗時のストレスを1か

ら 10 の 10 段階で評価 (最もストレスを感じなかった場合 1, 最もストレスを感じた場合 10 を選択) する項目, 3 つの入力表に対して総合的な順位をつける項目の 3 つである。

表 10 実験で使った文字列リスト

|        |      |        |       |        |       |
|--------|------|--------|-------|--------|-------|
| 第 1 問  | あさひ  | 第 11 問 | おとうと  | 第 21 問 | そろばんが |
| 第 2 問  | みみ   | 第 12 問 | でんわ   | 第 22 問 | つぶれた  |
| 第 3 問  | よる   | 第 13 問 | おねがい  | 第 23 問 | もぐらを  |
| 第 4 問  | しつけ  | 第 14 問 | へいぼん  | 第 24 問 | あらって  |
| 第 5 問  | むれ   | 第 15 問 | ゆうじょう | 第 25 問 | りさいくる |
| 第 6 問  | さいのう | 第 16 問 | りすを   | 第 26 問 | ひつじに  |
| 第 7 問  | ぬめり  | 第 17 問 | あらう   | 第 27 問 | ろうそくを |
| 第 8 問  | たいりく | 第 18 問 | なんて   | 第 28 問 | つけました |
| 第 9 問  | えてして | 第 19 問 | おかしいぞ | 第 29 問 | かぜで   |
| 第 10 問 | おちゃ  | 第 20 問 | きあつで  | 第 30 問 | ばそこんが |
|        |      |        |       | 第 31 問 | つくれた  |

5.2 実験結果

実験結果およびアンケート結果として, 各文字の入力表ごとの誤字率 (%) を表 11 に示す。各文字列の入力表ごとの入力失敗率 (%) と入力成功時間 (秒) を表 12, 表 13 に示す。表 13 では 6 人の被験者がそれぞれ 1 回ずつ 3 つの入力表を用いて例文リストを入力するので試行回数は 6 回であり, 入力表毎の各例文の平均入力成功時間を記している。またそれらの結果をもとに, 各入力表の平均入力成功時間 (秒), 文字列の平均入力失敗率 (%), 平均誤字率 (%) を表 14 に示す。表 14 には各入力表の評価関数による評価値とアンケート結果から得られたストレス度 (10 段階) も併記している。また, 各入力表に対するアンケートの回答内容ごとの回答者の割合を表 15, 表 16 に示す。

以上の内容から入力表 A は平均入力成功時間, 平均入力失敗率, 平均誤字率, ストレス度の全ての項目において最小の値を出している。また, 覚えやすさと総合評価に関するアンケートにおいても最高評価を獲得している。次点で入力表 C が続く結果となっている。

表 11 各文字の入力表ごとの誤字率

| タップされた文字 | 表 A   | 表 B   | 表 C   |
|----------|-------|-------|-------|
| あ, a     | 43.1% | 53.1% | 30.2% |
| か, i     | 26.4% | 56.6% | 54.8% |
| さ, u     | 37.3% | 29.1% | 31.3% |
| た, e     | 45.2% | 49.4% | 44.7% |
| な, o     | 23.2% | 43.4% | 28.8% |
| は        | 36.6% | 75.1% | 74.6% |
| ま        | 22.8% | 79.2% | 61.0% |
| や        | 15.0% | 89.4% | 44.2% |
| ら        | 25.6% | 76.6% | 53.0% |
| わ        | 43.0% | 57.6% | 53.8% |
| 濁点       | 29.1% | 40.0% | 17.6% |
| 半濁点      | 0.0%  | 25.0% | 0.0%  |
| 小文字      | 18.2% | 53.6% | 68.8% |
| 削除       | 22.6% | 25.0% | 47.1% |

表 12 各文字列の入力表ごとの入力失敗率 (%)

| 文字列   | 表 A  | 表 B  | 表 C  | 文字列   | 表 A  | 表 B  | 表 C  |
|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| あさひ   | 16.7 | 33.3 | 16.7 | りすを   | 0.0  | 16.7 | 16.7 |
| みみ    | 0.0  | 16.7 | 0.0  | あらう   | 16.7 | 0.0  | 16.7 |
| よる    | 16.7 | 16.7 | 0.0  | なんて   | 16.7 | 16.7 | 16.7 |
| しつけ   | 16.7 | 0.0  | 0.0  | おかしいぞ | 16.7 | 16.7 | 16.7 |
| むれ    | 0.0  | 0.0  | 0.0  | きあつで  | 33.3 | 16.7 | 33.3 |
| さいのう  | 0.0  | 33.3 | 0.0  | そろばんが | 33.3 | 33.3 | 16.7 |
| ぬめり   | 0.0  | 33.3 | 16.7 | つぶれた  | 0.0  | 16.7 | 33.3 |
| たいりく  | 16.7 | 16.7 | 0.0  | もぐらを  | 16.7 | 16.7 | 16.7 |
| えてして  | 16.7 | 33.3 | 0.0  | あらって  | 0.0  | 33.3 | 33.3 |
| おちゃ   | 0.0  | 50.0 | 16.7 | りさいくる | 33.3 | 0.0  | 16.7 |
| おとうと  | 0.0  | 16.7 | 16.7 | ひつじに  | 33.3 | 33.3 | 16.7 |
| でんわ   | 16.7 | 50.0 | 0.0  | ろうそくを | 33.3 | 16.7 | 16.7 |
| おねがい  | 0.0  | 33.3 | 0.0  | つけました | 33.3 | 16.7 | 33.3 |
| へいぼん  | 0.0  | 33.3 | 16.7 | かぜで   | 16.7 | 16.7 | 16.7 |
| ゆうじょう | 16.7 | 33.3 | 50.0 | ばそこんが | 16.7 | 16.7 | 16.7 |
|       |      |      |      | つくれた  | 16.7 | 16.7 | 16.7 |

表 13 各文字列の入力表ごとの入力成功時間 (秒)

| 文字列   | 表 A  | 表 B  | 表 C  | 文字列   | 表 A  | 表 B  | 表 C  |
|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| あさひ   | 33.1 | 25.6 | 20.5 | りすを   | 26.4 | 33.3 | 36.4 |
| みみ    | 13.4 | 20.0 | 16.4 | あらう   | 22.8 | 23.4 | 16.3 |
| よる    | 14.2 | 19.7 | 13.8 | なんて   | 16.6 | 19.3 | 23.5 |
| しつけ   | 17.3 | 22.7 | 14.8 | おかしいぞ | 20.3 | 28.6 | 32.7 |
| むれ    | 15.9 | 15.8 | 19.2 | きあつで  | 18.9 | 29.8 | 34.5 |
| さいのう  | 24.3 | 24.9 | 22.9 | そろばんが | 35.4 | 34.9 | 39.6 |
| ぬめり   | 29.7 | 21.0 | 17.8 | つぶれた  | 34.8 | 30.1 | 28.5 |
| たいりく  | 17.0 | 32.6 | 19.3 | もぐらを  | 21.3 | 37.5 | 39.2 |
| えてして  | 16.9 | 23.6 | 33.1 | あらって  | 22.1 | 24.3 | 30.5 |
| おちゃ   | 33.7 | 33.2 | 37.1 | りさいくる | 18.7 | 25.5 | 25.5 |
| おとうと  | 14.4 | 21.6 | 22.4 | ひつじに  | 24.0 | 24.3 | 25.6 |
| でんわ   | 33.6 | 37.2 | 31.9 | ろうそくを | 20.8 | 33.2 | 32.3 |
| おねがい  | 21.1 | 32.3 | 23.4 | つけました | 18.2 | 27.2 | 21.5 |
| へいぼん  | 27.7 | 32.2 | 40.9 | かぜで   | 36.6 | 27.9 | 26.1 |
| ゆうじょう | 29.3 | 42.6 | 54.0 | ばそこんが | 28.1 | 38.7 | 43.2 |
|       |      |      |      | つくれた  | 16.8 | 21.5 | 25.2 |

表 14 各入力表の入力成功時間, 入力失敗率, 誤字率, ストレス度および評価値

|                   | 表 A  | 表 B  | 表 C  |
|-------------------|------|------|------|
| 平均入力成功時間 [秒]      | 23.5 | 28.5 | 27.2 |
| 平均入力失敗率 [%]       | 14.0 | 22.0 | 15.1 |
| 平均誤字率 [%]         | 27.7 | 53.8 | 43.6 |
| 平均ストレス度 [10 段階評価] | 2.2  | 5.8  | 4.2  |
| 評価値               | 0.9  | 3.2  | 2.55 |

表 15 覚えやすいと感じた回答者の割合

| 回答内容      | 表 A  | 表 B | 表 C |
|-----------|------|-----|-----|
| 当てはまる     | 100% | 0%  | 0%  |
| やや当てはまる   | 0%   | 0%  | 83% |
| やや当てはまらない | 0%   | 17% | 17% |
| 当てはまらない   | 0%   | 83% | 0%  |

表 16 総合評価と回答者の割合

| 総合評価 | 表 A  | 表 B | 表 C |
|------|------|-----|-----|
| 1 位  | 100% | 0%  | 0%  |
| 2 位  | 0%   | 17% | 83% |
| 3 位  | 0%   | 83% | 17% |

6. 考察

実験結果から, 入力表における評価関数の評価値を小さくすればするほど, タイピング速度の値と誤字率は下がり, 実用的な入力手法が得られると考えられる。また, 本

稿で定義した評価関数は実際の使用者の覚えやすさに対する評価と概ね一致していることが見て取れる。以上のことから、今回の実験により評価関数に対する一定の信頼性を確認することができた。

3つの入力表全てに使用されている指のパターンは表ごとに割り当てられている文字は違う。そこで3つの表に共通する指のパターンの各入力表ごとの誤字率を表17に示す。表17の結果から同一の指のパターンであっても入力表の中での順番や割り当てられる文字によって誤字率は異なることが分かる。先行研究ではランダムに表示されるアルファベット26文字を入力するときの各文字の入力難易度を測定した結果が示されていた。そのため文字が出現する際の順番や文字の割り当てなどは考慮した実験データの処理はされていなかった。これらの理由から、先行研究の結果をもとにした入力表Bや入力表Cは高評価を得られなかったと考えられる。また、入力成功率は文字の並びに依存するという仮説を立てるのに十分な結果を得ることができた。

表 17 共通する指のパターンの入力表毎の誤字率

|       | 表 A   | 表 B   | 表 C   |
|-------|-------|-------|-------|
| ●○○○○ | 43.1% | 76.6% | 30.2% |
| ○●○○○ | 26.4% | 89.4% | 54.8% |
| ○○○●○ | 45.2% | 53.1% | 31.3% |
| ○○○○● | 23.2% | 56.6% | 44.7% |
| ●●○○○ | 36.6% | 25.0% | 17.6% |
| ○○○●● | 25.6% | 29.1% | 53.0% |
| ●○○○● | 43.0% | 49.4% | 74.6% |
| ●○○●○ | 0.0%  | 75.1% | 28.8% |
| ○●○●○ | 18.2% | 79.2% | 61.0% |
| ○●○○● | 22.6% | 40.0% | 44.2% |

## 7. まとめ

本稿では、PC やスマートフォンなどへの入力手段に用いられているさまざまなデバイスの中から指装着型デバイス tap strap に着目した。指装着型デバイスの利点として、物理ボタンを使用せず、画面を注視する必要がないことから目の不自由な人が文字入力を行う際の手助けとなることが期待できる点が挙げられる。その一方で、課題点として、スムーズな入力を行うためには入力と指の組合せの対応を学習する必要があり、手間がかかる点が挙げられる。

そこで、入力パターンが多くなる平仮名に焦点を当て、平仮名の入力成功率の向上、入力手順の簡易化を目指して、独自の評価関数と先行研究をもとに3つの入力表を提案した。

入力表のタイピング速度と誤字率に関する比較実験を行った結果、入力表における評価関数の値を小さくすればするほどタイピング速度と誤字率に関して実用的な入力手法が得られることが分かった。また、評価関数は実際の使用者の覚えやすさに対する評価と概ね一致していることも

確認した。以上のことから、タイピング速度、誤字率および覚えやすさの観点から実用的な入力手法を評価関数をもとに選定できることが分かった。

今後の課題として、単語の出現頻度、連結性、指ごとの使いやすさの観点から、より多くのパターンを想定した例文を用意し、定量的解析を行うことによって、入力成功率は文字の並びに依存するという仮説を検証していきたい。また、本研究ではデバイスの使用経験が皆無の被験者を対象としており、ある入力表を使い続けることによる上達速度に関する内容も今後の研究課題としたい。

## 参考文献

- [1] 秋田光平, 田中敏光, 佐川雄二: “スライドインによるスマートウォッチ向けの文字入力手法,” 情報処理学会インタラクティブ 2018 論文集, pp. 276–281, (2018).
- [2] 大下純平, 村田和義, 渋谷雄: “モバイル機器における電子メモ作成のための人差し指の一筆書き動作による文字入力手法,” ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.12, No.4, pp.125–136, (2010).
- [3] Eric Whitmire, Mohit Jain, Divye Jain, Greg Nelson, Ravi Karkar, Shwetak N. Patel, and Mayank Goel: “DigiTouch: Reconfigurable Thumb-to-Finger Input and Text Entry on Head-mounted Displays,” *J. of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, Vol. 1, No. 3, Article No. 113, (2017).
- [4] Koji Tsukada and Michiaki Yasumura: “Ubi-Finger: Gesture Input Device for Mobile Use,” *Proc. of 5th Asia Pacific Conference on Computer Human Interaction (APCHI '20)*, pp. 388–400, (2002).
- [5] 澤田 秀之, 橋本 周司, 松島 俊明: “運動特徴と形状特徴に基づいたジェスチャー認識と手話認識への応用,” 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.5, pp. 1325–1333, (1998).
- [6] T. Starner, J. Weaver and A. Pentland: “Real-time American sign language recognition using desk and wearable computer based video,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 20, no. 12, pp. 1371–1375, (1998).
- [7] J. Wu, L. Sun and R. Jafari: “A Wearable System for Recognizing American Sign Language in Real-Time Using IMU and Surface EMG Sensors,” *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 20, no. 5, pp. 1281–1290, (2016).
- [8] 高橋 遼平, 堀内 靖雄, 川本 一彦, 下元 正義, 眞崎 浩一, 黒岩 眞吾, 鈴木 広一: “Kinect を用いた HMM による連続指文字認識の検討,” 研究報告アクセシビリティ (AAC), Vol.2016-AAC-1, No.9, pp. 1–6, (2016).
- [9] TAP SYSTEMS INC: Tap Strap — The Most Advanced Keyboard In The World(online), <https://www.tapwithus.com/>.
- [10] 田中純之介, 勝間亮: “指装着型デバイスにおける平仮名入力の効率化,” 2019 年度 情報処理学会関西支部 支部大会講演論文集, (2019).