

5本指でのタップ動作による仮名入力規則の評価

勝間 亮^{1,a)} 田中 純之介¹

受付日 2021年5月9日, 採録日 2021年11月2日

概要: PCなどの機器に入力を伝えるための既存の5本指装着型の入力デバイスは、アルファベット26文字すべてに対して、同時にタップしなければいけない指の組合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したい文字と指の組合せの対応（以降、入力表という）が直観的に分かりにくく、利便性が低い点があげられる。利便性の高い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を定めたものが存在しない。そこで本論文では、5本指装着型デバイスの未経験者が仮名を入力する場合を対象に、入力表の利便性に関する評価方法を提案し、その評価に基づいた利便性の高い入力表も提案する。実験により定量的評価と5本指装着型入力デバイスの初心者の主観評価を行った結果、入力表の利便性は提案評価関数に沿うことが確かめられた。

キーワード: タップ動作, 利便性の数値化, 評価手法, 仮名入力規則表

Evaluation of Kana Input Rules by Tapping with Five-fingers

RYO KATSUMA^{1,a)} JUNNOSUKE TANAKA¹

Received: May 9, 2021, Accepted: November 2, 2021

Abstract: There are five-finger mounted input devices for input to devices such as PCs. For all 26 alphabet letters, finger combinations that must be tapped at the same time have been respectively assigned. The problem is that the correspondence between the characters the user wants to input and the combination of fingers (hereafter, the input table) is difficult to understand intuitively and is not convenient for smooth input. An easy input table is required. However, there is no existing study that evaluates how easy it is to use when an input table is given. In this paper, we propose an evaluation method for the convenience of the input table, and also propose a high convenient input table based on the evaluation method. As a result of experiments for quantitative and subjective evaluation of beginners of the five-finger mounted input device, it was confirmed that the convenience of the input table is almost along with the proposed evaluation function.

Keywords: tapping, quantification of convenience, evaluation, Japanese-Kana input table

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。その中でも、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がある。この入力デバイスでは、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個別に判定し、同時にタップされた指の組合せに

より入力文字が決まる。5本指装着型入力デバイスは、物理ボタンのように押す場所を指定されることがなく、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、新たな入力デバイスとして注目されている。

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[10]。片手に装着し、ストラップでつな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

¹ 大阪府立大学
Osaka Prefecture University, Sakai, Osaka 599-8531, Japan
^{a)} katsuma@cs.osakafu-u.ac.jp

TAP ALPHABET™	
●タップする指	○タップしない指
A ●○○○○	H ○●●●●
B ○●○○●	I ○●○○○
C ●●●●●	J ●●●●●
D ●●●○○	K ○●○○○
E ○●○○○	L ○●○○○
F ●●●●○	M ○●○○○
G ●●○○○	N ●●○○○
親 人 中 薬 小	親 人 中 薬 小
TAP ALPHABET™	
O ○●○○○	U ○○○●●
P ●●○○○	V ●●●●●
Q ○●○○○	W ○●○○○
R ●●●●○	X ○●○○○
S ○○○●●	Y ○○○●●
T ○○○○○	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
Fig. 1 English alphabet input table of tap strap.

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 文字すべてに固有の指の組合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、1 文字ごとに使用する指をそれぞれ覚える必要がある。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、ローマ字を用いた日本語仮名入力では、1 文字を入力するのに必要なタップ動作は多くの場合で 2 回必要である。そのため、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。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あげられる。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何度も見返してユーザが記憶しなければいけない問題がある。さらに、現状の 5 本指装着型入力デバイスではスムーズな入力を行うために多くの修練が必要であり、本デバイス未経験者にとっては非常に扱いづらいといえる。そのため、5 本指装着型入力デバイスの初心者向けの仮名入力の利便性向上が求められている。

そこで本論文では、5 本指装着型入力デバイスの初心者向けに、仮名を入力するための指の組合せの対応付け（以降、入力表と呼ぶ）の利便性を数値化するための評価関数を提案し、それに基づいた利便性の高い入力表を提案する。提案する入力表は、仮名の重要な構成要素である 5 つの母音数と、使用する 5 本の指の数とが一致することを利用し、直観的に分かりやすい規則に沿うことで、利便性を向上さ

せている。

2. 関連研究

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。その中でも場所を選ばず、視覚情報に頼らず、多くの入力種類に対応できる入力デバイスとして、5 本指装着型入力デバイスの重要性は高い。既存研究では、これらすべての使用環境を満たさないものの、多くの種類の入力デバイスに関する研究が行われてきている。

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。大下らは人差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などの簡単な操作に特化しており、たと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、指の動きを認識する手法が提案されている。特殊なグローブで 5 指だけでなく腕のダイナミカルな動きを検出する研究や [5], [6]、カメラや Kinect を利用して指の動きをトラッキングする研究がある [7], [8]。これ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ため、装着するセンサが大きく、コストやユーザの身体への負担が非常に大きい。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、カメラに映る位置でのみ認識可能となるため、場所が大きく限定される。

これらの研究の多くで文字入力の利便性に関する評価が行われており、定量的評価とユーザの主観評価に分けられる [9]。定量的評価に関しては、入力成功までにかかる時間を評価することが多い。具体的には、1 分間に入力できる単語数を表す WPM (word per minute) や、1 単語あたりの平均入力成功時間、1 文字あたりの平均誤字率がある。ユーザの主観評価に関しては、特に利便性の評価、アンケートにより入力時のストレス評価が重要視されている。

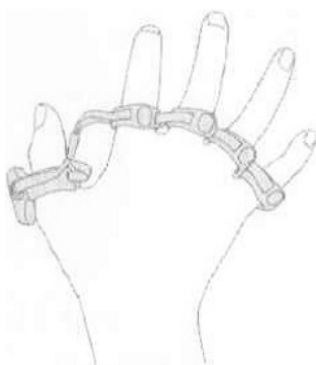


図 2 tap strap の指装着イメージ

Fig. 2 Finger wearing image of tap strap.

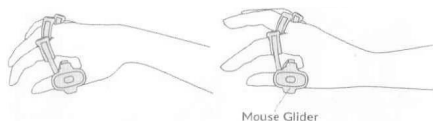


図 3 タップ動作のイメージ

Fig. 3 Image of tapping.

本研究の実験では、これらを含む評価項目を設定した。

しかし、5本指装着型入力デバイスの文字入力規則に対する利便性を数値化するにあたって、適用可能な既存研究は存在しない。そのため、本論文でその利便性の数値化手法を提案する。

2.1 tap strap

tap strap は5本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、ストラップでつな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)。タップする指の組合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)。

ある指が何かに衝突したときの比較的大きな衝撃をリング状のセンサが感知すると、その指がタップされたと認識される。衝撃が発生しない状態であれば指のゆるやかな動きは認識に影響しない。初心者には机などの安定した場所に手首を接着させて使用する場合が多い。ある文字に複数の指が割り当てられている場合は、それらの指を同時にタップしなければいけない。このとき、人間が感知可能なレベルの微細なずれが生じて同時にタップされたと判定されるため、初心者でも容易に扱うことができる。

2.2 先行研究

先行研究[11]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人が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

表 1 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)

Table 1 Average number of tap mistakes (ascending order) until one input is successful for each character.

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

10回ずつ入力し、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、ミス回数の少なさは指ごとの使いやすさを表す。その結果を表1に示す。表1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。初心者にとっては入力の成功率が高いリング装着位置やタップ方法を習得するまでに練習が必要であるが、この実験では5本指装着型の入力装置の使用経験がまったくない人を被験者にしたため、100回以上の極端な失敗数がカウントされている。また、中指を用いる入力が難しいことが示されている。中指のタップする力が比較的強くなり、他の指もタップされたと誤判定されるケースが多く見られた。

3. 提案する評価関数

3.1 入力表の評価関数

本章では、入力表の利便性を数値化するための評価関数を提案する。文字入力を行っている途中に入力表を確認する回数が増えると煩わしく、利便性は低下するため、初心者にとっての利便性の高さは入力表の記憶のしやすさに関連があると考えられる。そのため評価の方針としては、ある規則にのっとっている箇所がある場合、その規則を理解すれば文字と指のパターンを導出可能となり、1文字ずつ使用する指を覚えなくてよいため、評価を高くする。また、複数の指を用いる規則は、1本の指を用いるだけの規則よりも導出が困難になることが予想されるため、使用する指の本数が少ないほど評価を高くする。

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。あるタップパターン f_i はタップする指の集合で表される。たとえば、図1の入力表において‘k’を入力するための人差し指と薬指のみをタップするパターン f_{11} の場合、 $f_{11} = \{a_1, a_3\}$ となる。

表 2 階段の例

Table 2 Example of stairs.

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

表 3 共通の例

Table 3 Example of common parts.

1 個共通	2 個共通	3 個共通
●○●○○	○●●○●	○●●●●
●●○○○	○●●●○	●○●●●
●○○○●	●●●○○	

表 4 共通階段の例

Table 4 Example of both stairs and common parts.

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

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

1 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利便性が高いとする。

(2) 規則性 (階段と共通)

入力表の中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 2 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 3 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 4 に共通階段の例を示す。

表 5 指の本数に応じた評価値表

Table 5 Evaluation value table according to the number of fingers tapped.

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

● 規則性なし

上記のどの規則性にもあ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, つねに 1 つのタップパターンのみから構成される。

階段が最も理解しやすい規則とし, 次に共通階段, その次に共通が理解しやすいものとする。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。

(3) 出現する規則の少なさ

1 つの規則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。入力表のすべての指のパターンをカテゴリに分類したとき, カテゴリの数が少なければ少ないほど, 覚える規則が少ない, つまり利便性の高い入力表であるとする。

この 3 つの基準をもとに入力表の中の規則を見つけ, 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利便性の高い入力表を意味する。以下に, 評価値決定の手順を記す。

(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。

使用する指の本数に応じた各カテゴリのポイントを表 5 に示す。文字入力の途中に入力表の確認回数が増えると煩わしく, 利便性は低下すると考えられる。そのため, 初心者にとっての利便性の高さは複数のタップパターンをまとめて記憶する際の容易さととらえ, ポイントを決定した。

分類前	手順1	手順2	手順3	ポイント
○○●○	○○●○	○○●○	○○●○	0.1
○●○○	○●○○	○●○○	○●○○	0.1
○○●○	○○●○	○○●○	○○●○	0.1
●●○○	●●○○	●●○○	●●○○	0.3
○●○○	○●○○	○●○○	○●○○	0.2
●●○○	●●○○	●●○○	●●○○	0.2
○○●○	○○●○	○○●○	○○●○	0.5
○●○○	○●○○	○●○○	○●○○	0.5
○○●○	○○●○	○○●○	○○●○	0.5
●●○○	●●○○	●●○○	●●○○	0.1
○●○○	○●○○	○●○○	○●○○	0.25
●●○○	●●○○	●●○○	●●○○	0.25
○●○○	○●○○	○●○○	○●○○	0.25
●●○○	●●○○	●●○○	●●○○	0.25
検出された規則性 →	階段(0.1) 共通階段(0.25)	共通(0.5)	規則性なし (合計0.9)	評価値合計 1.75

図 4 評価関数を用いた入力表の分類過程

Fig. 4 Classification process of input table using proposed evaluation function.

指の本数に応じたポイント増加に関して 使用する指の本数が増えるに従って記憶しにくくなるため、それに伴ってポイントが増加するように設定した。

階段と共通階段のポイント差に関して 階段はすべてのタップ箇所がただ 1 つの階段規則に従って位置がずれていく。それに対し、共通階段はタップ箇所の一部が共通の規則、残りのタップ箇所が階段の規則という 2 つの規則に従う。そのため、共通階段は、同じ指の本数における階段よりも覚えにくいいため、ポイントが多くなるよう設定した。

階段と規則性なしのポイント差に関して 階段の記憶負荷は最初の 1 つのタップパターンのみであるが、規則性なしの場合はタップパターンの個数に比例した記憶負荷がかかる。そのため、階段と規則性なしで同等のポイントを設定し、いずれの規則性なしのカテゴリも 1 つのタップパターンのみ含まれるように設計している。

共通のポイント設定に関して 事前の予備実験により、共通してタップする箇所以外は比較的覚えにくい配置となるなどの原因により、記憶負荷が非常に高いことが推測されたため、ポイントを高く設定している。

ただし、これらのポイント設定は一例であり、改善の余地がある。

この評価関数を用いた入力表の分類の過程を図 4 に示す。手順 1 では階段と共通階段を検出する。手順 2 では、手順 1 で検出した部分を除外した状態で、共通を検出する。手順 3 では、手順 1 と手順 2 で検出した部分を除外した各タップパターンに対して、規則性なしのポイントをそれぞれ付与する。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。本論文では以後、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。

4. 提案入力表

図 1 の指の組合せには、実現困難な指の形も存在する。

表 6 評価関数をもとにした入力表 A

Table 6 Input table A based on the evaluation function.

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 7 先行研究の結果をもとにした入力表 B

Table 7 Input table B based on the results of previous research.

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	●○○○

また 26 種類以上の指の組合せを習得するのはユーザにとって労力が大きい。そこで比較的実現しやすいと考えられる指の組合せを用いて平仮名の行を 1 回目のタップで指定し、2 回目のタップで母音を指定、3 回目のタップで濁点、半濁点、小文字化、削除を指定する形式の入力表を提案する。特に、5 つ存在する母音の指定を 5 本指で行うため、直観的に理解しやすくなっている。

入力表は 3 種類提案する。これらの入力表は、3 章で述べた提案評価関数と 2.2 節で述べた先行研究 [11] 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 つの基準から構成される。5 本指すべてを同時にタップするパターンに関しては、階段などの簡単なルール化によって複数の入力をまとめて記憶する際に使いづらいため、独立した特殊な機能を持つ入力に割り当てることを考え、使用していない。まず、評価関数の良い入力表 A (表 6) を作成した。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、最良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 [11] 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 7) 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

表 8 評価関数と先行研究の結果をもとにした入力表 C

Table 8 Input table C based on the evaluation function and the results of previous studies.

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	●●○●●

それぞれ 1 個階段（ポイント 0.1），“は行” から “ま行” まですべてに共通階段（ポイント 0.25）を割り当て、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 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、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 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），“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）を割り当て、半濁点から小文字もすべてに共通階段（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 段階目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のが母音であると考えたためである。

5. 3つの入力表に対する評価実験

本章では、提案した 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について述べる。また、定量的評価、ユーザの主観評価によって、提案評価関数の妥当性を調査する。

5.1 実験内容

デバイス使用経験の皆無な被験者 12 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。実験中に被験者の習熟度が変化することを考慮して、その影響をできるだけ軽減するため、3 つの表を用いる順番を全 6 通り想定し、被験者を 2 名ずつ割り当てた。表 9 に実験で使った文字列リストを示す。この文字列リストはすべての平仮名が出現するような文字列で構成されている。入力すべき文字列を一目で記憶できるように 1 問あたり 5 文字以下とした。さらに、濁点、半濁点、小文字が含まれて

表 9 実験で使った文字列リスト

Table 9 Character string list used in the experiments.

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	かげで
第 10 問	おちゃ	第 20 問	きあつで	第 30 問	ぼそこんが
				第 31 問	つくれた

いる。また、同じ文字が連続する「みみ」、同じタップパターンが連続する箇所が複数回出現する「きあつで」を含めている。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、式 (1) 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 の算出には式 (2) を使用した。

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

すべ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、各入力表に対して利便性が高いと感じたかどうかを [1・あてはまる 2・ややあてはまる 3・ややあてはまらない 4・あてはまらない] 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。

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 10 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 11、表 12 に示す。表 12 では 12 人の被験者がそれぞれ 1 回ずつ 3 つ

表 10 各文字の入力表ごとの誤字率

Table 10 Typographical error rate for each character.

タップされた文字	表 A	表 B	表 C
あ, a	36.1%	48.4%	29.3%
か, i	22.2%	51.6%	52.5%
さ, u	33.3%	29.8%	32.8%
た, e	43.1%	47.4%	42.9%
な, o	23.4%	44.2%	25.1%
は	34.4%	71.0%	73.2%
ま	27.1%	79.2%	61.0%
や	14.4%	85.2%	42.6%
ら	25.6%	76.6%	53.0%
わ	42.1%	54.0%	51.6%
濁点	26.2%	40.0%	18.6%
半濁点	0.0%	25.0%	0.0%
小文字	16.2%	52.8%	62.4%
削除	20.0%	25.0%	48.5%

表 11 各文字列の入力表ごとの入力失敗率 (%)

Table 11 Input failure rate for each character string (%).

文字列	表 A	表 B	表 C	文字列	表 A	表 B	表 C
あさひ	16.7	25	16.7	りすを	0.0	16.7	25.0
みみ	0.0	16.7	8.3	あらう	16.7	8.3	25.0
よる	8.3	16.7	8.3	なんて	25.0	16.7	25.0
しつけ	8.3	8.3	8.3	おかしいぞ	8.3	33.3	16.7
むれ	0.0	0.0	8.3	きあつで	16.7	25.0	16.7
さいのう	0.0	33.3	0.0	そろばんが	16.7	41.7	25.0
ぬめり	0.0	25	8.3	つぶれた	0.0	16.7	16.7
たいりく	8.3	25	8.3	もぐらを	16.7	16.7	16.7
えてして	16.7	25.0	8.3	あらって	0.0	33.3	25.0
おちゃ	8.3	50.0	8.3	りさいくる	16.7	8.3	25.0
おとうと	0.0	16.7	8.3	ひつじに	25.0	33.3	16.7
でんわ	16.7	58.3	25.0	ろうそくを	16.7	16.7	16.7
おねがい	0.0	33.3	0.0	つけました	16.7	25.0	25.0
へいぼん	8.3	41.7	16.7	かぜで	16.7	16.7	16.7
ゆうじょう	8.3	41.7	33.3	ぼそこんが	16.7	16.7	25.0
				つくれた	8.3	25.0	16.7

表 12 各文字列の入力表ごとの入力成功時間 (秒)

Table 12 Input success time for each character string (seconds).

文字列	表 A	表 B	表 C	文字列	表 A	表 B	表 C
あさひ	24.9	25.4	17.8	りすを	27.3	31.3	29.3
みみ	10.6	19.1	15.4	あらう	16.7	25.1	14.5
よる	12.0	21.1	15.5	なんて	13.5	28.3	25.7
しつけ	17.1	24.9	16.3	おかしいぞ	18.6	24.0	29.9
むれ	15.0	18.4	18.7	きあつで	16.1	35.8	32.8
さいのう	24.8	26.9	21.6	そろばんが	36.8	37.9	35.2
ぬめり	17.3	21.1	16.0	つぶれた	24.9	33.2	31.7
たいりく	16.6	35.5	21.7	もぐらを	19.3	37.1	43.9
えてして	16.1	20.1	34.2	あらって	20.7	31.2	26.3
おちゃ	26.5	35.8	36.6	りさいくる	15.5	25.3	26.5
おとうと	15.8	19.1	22.5	ひつじに	22.2	32.4	27.9
でんわ	33.8	32.2	32.3	ろうそくを	22.8	33.9	30.7
おねがい	15.0	27.5	22.8	つけました	18.9	22.5	18.3
へいぼん	22.3	33.3	45.8	かぜで	33.7	31.7	30.0
ゆうじょう	27.5	40.3	58.8	ぼそこんが	22.3	38.4	30.2
				つくれた	15.2	20.1	25.9

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 12 回であり, 入力表ごと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

表 13 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

Table 13 Input success time, input failure rate, typographical error rate, stress level, and evaluation value of each input table.

	表 A	表 B	表 C
平均入力成功時間 [秒]	20.6	28.7	27.6
平均入力失敗率 [%]	10.2	24.7	16.1
平均誤字率 [%]	26.2	52.6	41.6
平均ストレス度 [10 段階評価]	2.3	5.8	4.6
評価値	0.9	3.2	2.55

表 14 利便性が高いと感じた回答者の割合

Table 14 Percentage of subjects who answered that it was convenient.

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%	8.3%	75%
やや当てはまらない	0%	16.7%	16.7%
当てはまらない	0%	75%	8.3%

表 15 総合評価と回答者の割合

Table 15 Comprehensive evaluation and percentage of subjects.

総合評価	表 A	表 B	表 C
1 位	100%	0%	0%
2 位	0%	16.7%	83.3%
3 位	0%	83.3%	16.7%

成功時間 (秒), 文字列の平均入力失敗率 (%), 平均誤字率 (%) を表 13 に示す. 表 13 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 14, 表 15 に示す.

以上の内容から入力表 A は入力表 B, 入力表 C と比較して平均入力成功時間, 平均入力失敗率, 平均誤字率, ストレス度のすべての項目において最小の値を出しており, T 検定の結果, いずれにおいても有意差 ($p < 0.05$) があることが分かった. また, 入力表 B と C の比較では, 平均入力成功時間と平均誤字率以外の項目で有意差 ($p < 0.05$) があることが分かった. 平均誤字率に関しては $p = 0.058$ であり, 5%水準の有意差はないものの, 高い信頼度で差が出ているであろうことが推測できる. また, 利便性の高さや総合評価に関するアンケートにおいても入力表 A が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. この結果は, いずれの表の比較においても有意差 ($p < 0.05$) が存在する.

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ることが確認できた. また, 提案評価関数は実際の使用者の利便性の高さに対する評価とおおむ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

表 16 共通する指のパターンの入力表ごとの誤字率

Table 16 Typographical error rate for each input table of common tap patterns.

	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%

に対する一定の信頼性を確認することができた。

誤字にはタップすべき指のパターンを間違えて入力する失敗と、タップ時に正しくセンサが反応しなかった失敗が含まれている。前者は起きる頻度はそれほど高くはないものの、失敗に気づくまでに何度も入力と消去が繰り返されることで誤字の回数が増加する。被験者が入力表から指のパターンを読み取る際に、1 段ずれて読み取るという失敗が見られた。後者は高頻度で発生する。難しい指の形での入力の失敗の多さは先行研究でも示されているとおりであった。それ以外では、誤って入力した文字を消去するためのタップでも後者の誤りが発生することがあり、消去できたと思いついた被験者が続けて文字入力を試みることで誤字の回数が増加する場面が見られた。これらより、入力表の読み取り間違いを防ぐようなレイアウトが利便性に関わる要素であることが新たに分かった。また、誤字の原因を分類し、入力表が主な原因となる誤字を抽出して詳細に評価する必要があることも分かった。

3 つの入力表すべ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 16 に示す。表 16 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 [11] 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。これは、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理由の 1 つとしてあげられる。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。

7. まとめ

本論文では、5 本指装着型入力デバイスでの日本語仮名入りに焦点を当て、ユーザの利便性の向上を目指して、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が小さくなるにしたがってタイピング速度と誤字率が改善することが分かった。また、評価関数は実際の使用者の利便性に対する評価とおおむね一致していることが確認でき、利便性をある程度数値化できることが分かった。

今後の課題として、より精度の高い評価関数の作成のため、詳細な入力表の規則の検討や、それらの規則に与えられるポイントの調整があげられる。また、日本語における単語の出現頻度、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。さらに、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] Whitmire, E., Jain, M., Jain, D., Nelson, G., Karkar, R., Patel, S.N. and Goel, M.: DigiTouch: Reconfigurable Thumb-to-Finger Input and Text Entry on Head-mounted Displays, *J. ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, Vol.1, No.3, Article No.113 (2017).
- [4] Tsukada, K. and Yasumura, M.: Ubi-Finger: Gesture Input Device for Mobile Use, *Proc. 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] Wu, J., Sun, L. and Jafari, R.: 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).
- [7] Starner, T., Weaver, J. and Pentland, A.: Real-time American sign language recognition using desk and wearable computer based video, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.20, No.12, pp.1371–1375 (1998).
- [8] 高橋遼平, 堀内靖雄, 川本一彦, 下元正義, 眞崎浩一, 黒岩真吾, 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] Speicher, M., Feit, A.M., Ziegler, P. and Kruger, A.: Selection-based text entry in virtual reality, *Proc. 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, paper 647, pp.1–13 (2018).
- [10] TAP SYSTEMS INC: Tap Strap – The Most Advanced Keyboard In The World (online), available from

<https://www.tapwithus.com/>).

- [11] 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).



勝間 亮 (正会員)

2006 年京都教育大学教育学部情報数学科卒業. 2011 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了. 同年大阪府立大学理学系研究科助教. 2016 年同大学工学研究科助教. 2019 年より同大学講師. モバイル

コンピューティング, センシング等の研究に従事.



田中 純之介

2018 年大阪府立大学工学域電気電子系学類卒業. 2020 年大阪府立大学大学院工学研究科電気・情報系専攻博士前期課程修了.