

# 手軽な指文字学習支援のためのブラウザゲーム ：ゆびもじタイピング

宮崎 優子<sup>1,a)</sup> 馬場 哲晃<sup>1,b)</sup>

**概要**：聴覚障がい者のコミュニケーションツールには、単語を手の形や位置、動きで表現する手話と、日本語かなを手の形や動きに対応させた指文字がある。指文字は手話表現にない固有名詞や名前を表現するときに使われ、手話初心者にとって手話を覚えていなくても指文字を覚えれば単語を綴ることができる。したがって、指文字をスムーズに綴れることは、手話初心者にとって聴覚障がい者との円滑なコミュニケーションへの第一歩と言える。手話の学習方法としては対面で講師から学ぶ方法が主であるが、これは学習者にとって時間的・金銭的成本がかかる。一方で、学習者が単独で手話を学ぶには、本や DVD を使った方法があるが、これらは指文字を一字ずつ覚えることはできても、実際に指文字を使うときのような単語を綴りながらの指文字練習は紙面やコンテンツ数の制約により、限界があった。そこで本研究では学習者に単語を提示し、学習者がその単語を指文字で綴ることで指文字学習定着および技能向上を目的とするタイピングゲームを制作する。このゲームはブラウザゲームとして実装・公開することによって、インターネット環境と Web カメラの搭載された PC のみで学習者の手軽な指文字学習を可能にする。

## 1. はじめに

厚生労働省が平成 28 年に実施した調査 [1] によると、日本国内で障害者手帳が交付されている聴覚・言語障がい者数は約 34 万 1,000 人であり、そのうち聴覚障がい者数は約 29 万 7,000 人だと報告されている。また同調査によると、65 歳未満の聴覚障がい者のうち 25%が手話や手話通訳を日常のコミュニケーションツールとして利用している。手話とは手の形や動き、位置によって単語を表す言語であるが、日本語のかなを手の形や動きに対応させた指文字も聴覚障がい者のコミュニケーションに同様に使われる。

指文字の総数はかな清音 44 文字と濁音 20 文字、半濁音 5 文字、促拗音 9 文字、撥音 1 文字、長音 1 文字の計 80 文字であり、手話の表現にない固有名詞や人名などを表現する時に使われる。手話での表現がわからなくても指文字を習得していれば単語の表現は可能になることと、手話に比べて覚える数が限定されていることから、手話学習者はまず指文字から学習をはじめることが多い。つまり、指文字をスムーズに表現できるようになることは、手話初学者にとって聴覚障がい当事者との円滑なコミュニケーションへ

の第一歩といえる。

2019 年に聴力障害者情報文化センターが行なった調査 [2] によれば、センターに登録されていてこの調査に回答した手話通訳士 1884 人のうち、手話通訳士になるための手話・手話通訳学習方法は手話サークルが 83.8%、手話通訳者養成講座が 59.8%、手話奉仕員養成講座が 51.0%、手話通訳専門養成校が 7.0%になっており、対面で講師から学ぶ形のものが主であるため、これらに通うには手話学習者にとって時間・金銭的成本がかかる。また学習者が単独で指文字を学習するには、本や DVD 教材などを活用する方法があるが、これらは指文字の形を一つずつ覚えることができても、実際に指文字を使うときのような単語を綴りながらの指文字練習は紙面やコンテンツ数の制約により限界があった。さらに、学習を定着させるためには手話を日常的なコミュニケーションとして使用する聴覚障がい当事者が身近にいるなど、日常的に指文字を使用する必要がある。学習者が単独で指文字学習を定着させるのが困難であるという問題があった。つまり、講師や当事者が身近にいても、ユーザ単独で指文字の学習定着・技能向上が可能になるサービスの提供が必要である。

これまでユーザ単独での指文字学習方法は、指文字の一覧表や DVD を使う方法が主であった。これらは指文字動作者視点の手の形あるいは二人称視点の手の形を、画像あるいは動画で提示するものであり、指文字初学者が正確な

<sup>1</sup> 東京都立大学  
Tokyo Metropolitan University, 6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065, Japan

<sup>a)</sup> miyazaki-yuko@ed.tmu.ac.jp

<sup>b)</sup> baba@tmu.ac.jp

指文字の形を把握することが困難であった。学習者の自由な観察を実現するために、コンピュータを使った指文字学習支援及び指文字認識研究が行われてきた。しかし、スマートグラスを用いた AR 技術による指文字の 3D モデル提示 [3] や、指文字認識のためのデバイスの利用 [4][5][6] など、一定以上の空間が必要であったり、デバイスの入手が必要で学習における手軽さに欠け、学習者が日常的に使用することを想定されているものではなかった。また、どの研究も指文字初学者が正確に指文字を覚えることに主眼が置かれており、指文字初級及び中級者が指文字技能を向上させるための支援はこれまでなされていなかった。つまり、1 文字ごとに指文字の形を確認し学習するのではなく、実際に指文字を使用する時のように、単語を綴りながら指文字技能向上が実現するコンテンツの制作が必要であると考えた。

そこで本研究では、指文字学習済みの指文字初心者と中級者をターゲットユーザに設定し、学習者単独で指文字学習定着および技能向上を目指すタイピングゲームを制作しブラウザゲームとして公開する。このタイピングゲームは、学習者に単語を提示し、学習者がその単語を指文字で綴ることで指文字学習定着および技能向上を目的とする。また、ブラウザゲームとして実装・公開することによって、インターネット環境と Web カメラの搭載された PC のみで学習者の手軽な指文字学習を可能にする。

ここで、本研究では指文字学習者の呼称について以下のように定義する。

**指文字初学者** これから指文字を学ぶ、指文字を全く知らない状態

**指文字初級者** 指文字を一通り学習したが、定着していない状態

**指文字中級者** 指文字学習が定着したが、日常的に指文字を使用しない状態

**指文字上級者** 手話通訳業務に従事していたり、日常会話に熟達した状態

## 2. 関連研究

これまでの指文字学習支援システムは、指文字提示型と指文字検出型に分けられる。

### 2.1 指文字提示型

指文字提示型は、学習者に対して指文字の正しい形をシステムから提示するものである。生田目ら [7] は児童を対象とした指文字学習アプリケーションを開発した。このアプリケーションでは、ひらがな・自分から見た指文字の形・相手から見た指文字の形・音声・口形を同時に提示するインタフェースとなっている。しかし、これらは 2 次元の動画や画像で提示されるため、学習者が見たい角度から指文字の形を確認することはできなかった。この問題を解

消するため、森下ら [8] は Web 上で指文字の 3D モデルを確認できる Web コンテンツを制作した。また、Kobayashi ら [3] は AR 技術を、Hirabayashi ら [9] は MR 技術を用いて指文字の 3D モデルを学習者に提示し、学習者が自由な視点から指文字の形を観察することを可能にした。他にも、吉満ら [10] による力覚提示グローブを用いた指文字提示が提案されている。一方で、これらの指文字提示型システムは一方向からの学習であり、学習者が誤った指文字を習得する可能性がある。そのため、学習者の指文字を認識し、誤りを指摘する指文字検出型指文字学習支援システムの研究が進められている。

### 2.2 指文字検出型

指文字検出型の指文字学習支援システムは、データグローブやカメラ、センサによって学習者の手形状を認識し、登録データと比較して学習者の指文字の誤りを指摘するものである。田畑ら [4] は学習者にデータグローブを装着させることで手形状を認識し、学習者の指文字の誤り箇所と、修正方法のアニメーションを提示する手話教育システムを提案した。しかし、デバイスを直接学習者の身体に装着させることは学習者にとって負担になる上、データグローブが高価なため学習への導入が困難である。デバイスを学習者に装着させない手法としては、カメラやセンサによって手形状を認識する手法が代表的である。島田 [11] は静止画と動画それぞれを利用した指文字解説ソフトウェアと、USB カメラによって取得した画像から学習者の指文字を認識し、学習者に認識結果を提示するソフトウェアを提案している。また近藤 [12] は、指文字をランダムに提示し、距離センサを使って学習者の指文字を認識、類似度を表すグラフと識別結果や手形状の正しさについてのメッセージによってフィードバックを行うシステムを提案した。しかし、これらの研究はいずれも指文字学習初学者が正しく指文字を学習することが目的であり、既に指文字を覚えた学習者を習熟させるための支援はなされていない。そこで、森本ら [13] は、Leap Motion によって学習者の手形状を認識し、その結果を 3D モデルとして学習者に提示する機能に加えて、習熟度を評価するテストモードと学習意欲向上のためのゲームモードを導入した学習支援アプリケーションを開発している。これによって指文字初学者が指文字を学習するほか、指文字を一通り学習した指文字初心者や中級者もより指文字を習熟できるようになっている。しかし、手形状取得に Leap Motion が必要であり、学習の手軽さに欠ける。

また、これまでの指文字認識手法として代表的なものは Kinect を利用して手領域画像を抽出し、HMM[5] や SVM[14] などのアルゴリズムによって学習させ指文字を識別する手法であった。しかし Kinect による手形状認識には広いスペースが必要であり、システムの利用場所が限ら

れてしまう。そのため、船坂ら [6] は骨格認識にスペースを必要としない Leap Motion によってユーザーの手形状を認識し、条件分岐による指文字認識システムを提案した。また Shimizu ら [15] は Leap Motion から取得した手指関節の角度を特徴量として kNN・SVM・NN で学習し、それぞれの認識率を比較した。しかしいずれの手法もデバイスの用意が必要であり、手軽さに欠けるという問題があった。そんな中、近年ブラウザ上でも動作する JavaScript ベースの深層学習による画像認識技術が向上し、PC に標準搭載されたカメラで手軽に手指骨格認識が可能となった。

### 2.3 既存の Web サービス

実際に現在公開されている Web サービスには、アメリカの HelloMonday 社が提供する「Fingerspelling」\*1と、日本財団が公開している「手話タウン」\*2がある。

「Fingerspelling」は American Sign Language(以下、ASL) を学ぶことができるブラウザゲームであり、英単語を ASL で入力するタイピングゲームとなっている。指文字認識には Google 社の提供する機械学習ソリューションフレームワークである Mediapipe 中のハンドトラッキングモジュールである Mediapipe Hands が使用されている。ASL とは、アルファベット 26 文字を手の形や動きに対応させたものである。そのためこのゲームでは、日本で使われている指文字を学習することはできない。

「手話タウン」は香港中文大学、関西学院大学と Google 社が共同で開発した Web アプリケーションであり、香港手話と日本手話のいくつかの単語を学ぶことができる。手話認識には、Google 社が提供する機械学習用オープンソースライブラリ TensorFlow を活用し、人のポーズやジェスチャを認識する PoseNet や顔の表情を認識する FaceMesh、手指骨格を検出する HandPose の 3 つの機械学習を組み合わせたシステムとなっている。しかしこのアプリケーションは、手話技能の向上というよりは、手話言語の認知度向上が主たる目的となっている。

## 3. 実装

### 3.1 認識システムのプロトタイプ

ゲームの実装にあたって、どのようなシステムで指文字を認識させるのか検討を行うため、ニューラルネット・kNN・DTW それぞれを利用した指文字認識システムのプロトタイプを制作した。

#### 3.1.1 ニューラルネットを用いた認識システムのプロトタイプ

Mediapipe Hands による手指骨格認識と ml5.js classification を利用した認識システムのプロトタイプを制作した。

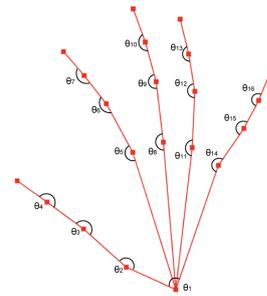


図 1 特徴量として使用した角度

ml5.js\*3とは、TensorFlow.js をベースに作られたオープンソースライブラリであり、NYU の Interactive Telecommunications/Interactive Media Arts プログラムによって開発、維持されている。機械学習や画像認識によるポーズ認識、表情認識、音の分類やテキスト生成などが提供されており、学生やアーティストなど幅広い層に向けて開発されているため取扱やすく、リファレンスも豊富であったためこれを利用した。

認識手法は Shimizu ら [15] の手法を参考にし、Mediapipe Hands から得られた手の関節座標から、図 1 に示す手のひらの付け根と手指関節の計 16 角度を算出し、特徴量として用いた。まず初めに「あ」から「こ」の指文字の識別率を実験によって導出した。実装したデータ収集アプリケーション(図 2 参照)を用いて、それぞれの指文字の角度を 300 データずつ収集した。これを学習させてモデルを作成し、指文字未経験者 3 人と指文字経験者 3 人の計 6 人を対象に識別テストを行った。認識率は図 3 のようになり、「あ」「い」「え」が低く、最後にデータを収集した「こ」は認識不能であった。原因は不明だが、データ収集の順番を入れ替えると「こ」を認識したため、最後に収集した 1 データが認識不能になることが判明した。現時点(2023 年 2 月 17 日)では ml5.js のバグである可能性が高い。

次に動きを伴う 5 種類の指文字を除いた 41 種類の識別テストを試みた。これまでの実験から最後の 1 データが認識不能であることがわかっていたため、ダミーを含めた 42 種類のデータを収集し識別テストを行った。結果として最後にデータ収集したダミーと「や」「ゆ」「よ」の 4 データが認識不能であることが判明したが、データ収集の順番を入れ替えれば「や」「ゆ」「よ」を認識したため、41 種類全て識別可能であった。「や」「ゆ」「よ」を認識していない場合の認識率は図 4 のようになり、文字によって認識しやすなものとしづらいものがあることがわかった。

指文字を初めて行ったユーザもいる中で 13 種類は 100% の認識率となり、33 種類が 50% を超える認識率となった。一方で、「え」や「そ」は人によって手首や指の角度、開き具合に差が出るため、認識率が低く、本システムで使用

\*1 <https://fingerspelling.xyz/>

\*2 <https://signtown.org/>

\*3 <https://ml5js.org/>



あ	い	う	え	お
か	き	く	け	こ
さ	し	す	せ	そ
た	ち	つ	て	と
な	に	ぬ	ね	
は	ひ	ふ	へ	ほ
ま	み	む	め	
や	ゆ	よ		
ら	る	れ	る	
わ	を	ん		

図 2 データ収集アプリケーション

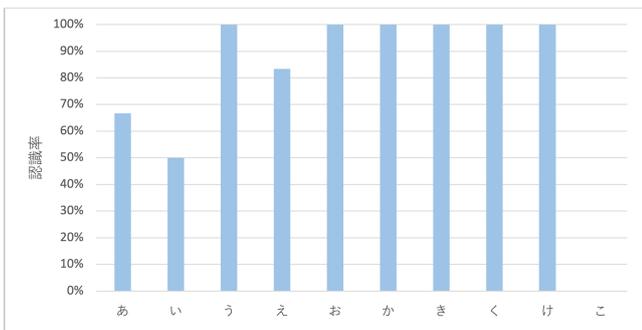


図 3 「あ」～「こ」の指文字の認識率

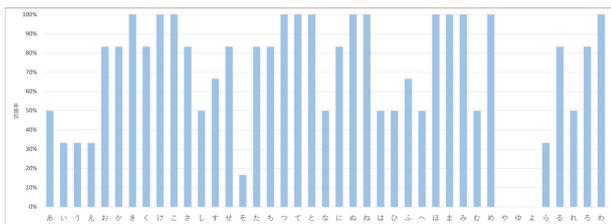


図 4 Mediapipe Hands を使った 41 種類の指文字の認識率

している筆者のみの学習データでは不十分であると考えられる。

### 3.1.2 kNN を用いた認識システムのプロトタイプ

ニューラルネットを利用した認識システムにおいて、認識精度は低くなかったもののブラウザゲームとして実装するにあたって計算・実装コストを抑えるために、kNN を使用した認識システムのプロトタイプを制作した。

kNN(k-Nearest Neighbor) とは、教師あり学習の一手法であり、サンプルデータセットと入力データのユークリッド距離を算出することによって分類や予測を行う手法である。指文字 1 つあたり 16 角度を特徴量として筆者の指文

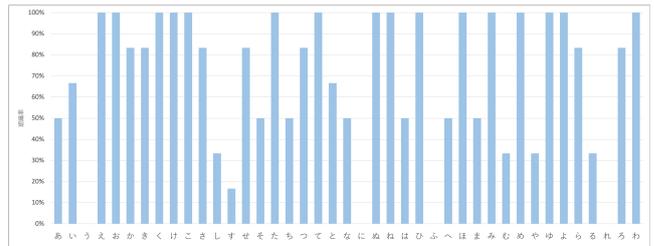


図 5 kNN を使用したシステムの認識率 (筆者のデータのみ)

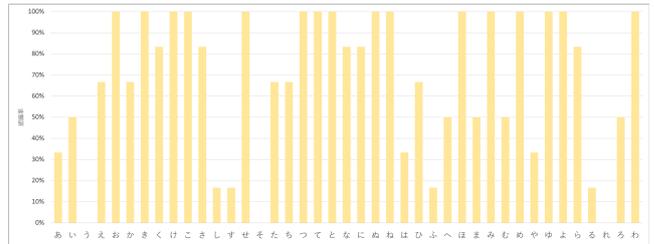


図 6 kNN を使用したシステムの認識率 (複数人のデータ)

字データを 41 種類分作成し、サンプルデータセットとして用いた。前節の実験と同様に指文字み経験者 3 人と指文字経験者 3 人の計 6 人を対象に認識実験を行ったところ、結果は図 5 のようになった。

認識率 100% に達した指文字は 16 種類、50% 以上の指文字は 32 種類と、機械学習と比べて遜色ない結果となった。認識率が低い「う」は形が似ている「ら」と誤認識しやすく、「ふ」「る」「れ」といった指文字は指の開き具合に個人差があることが認識率の低い原因だと考えられる。また、この実験に使用したサンプルデータセットは各指文字あたり 1 データしかないため、データ数を増やしたり筆者以外の指文字経験者から指文字データを集めることによって認識率が向上するのではないかと考えた。

そこで、指文字経験者 4 人から指文字データを収集し、筆者のものと合わせてサンプルデータセットを作成、識別テストを行った。結果は図 6 のようになり、認識率が向上した指文字と、低下した指文字があった。筆者のデータのみの認識率と、複数人のデータの認識率を重ねたグラフを図 7 に示す。筆者のデータのみを用いたシステムの平均認識率は 69% であり、複数人のデータを用いたシステムの平均認識率は 67% と、さほど変わらない結果となった。これは、データ収集を依頼した指文字経験者のデータ収集時の環境 (PC と体の位置や Web カメラの角度等) が統一されていないことや、指文字の向きや角度に個人差があるため、データのばらつきが大きくなってしまったことが原因と考えられる。

### 3.1.3 DTW を用いた認識システムのプロトタイプ

指文字には、動きを伴わない静的指文字と、動きを伴う動的指文字が存在する。これまでのプロトタイプは、動的指文字に対応できるシステムではなかったため、DTW による認識システムのプロトタイプを制作した。

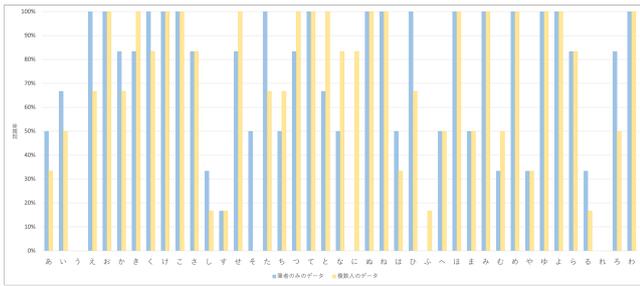


図 7 kNN 使用したシステムの認識率

DTW(Dynamic Time Warping) とは、2つの時系列データの各点の最短距離を計算し、類似度を測るアルゴリズムである。「の」「も」「り」「を」「ん」の5つの動的指文字それぞれの動きを筆者が行い、親指・人差し指・中指・薬指・小指それぞれの指先座標の時系列データを記録、入力データとの距離を算出することで、動的指文字を認識するプロトタイプを制作した。このシステムを使って、動的指文字5種類を識別可能か筆者自身がテストを行ったが、ゲームシステムに組み込める認識結果とはならなかった。

### 3.2 本ゲームの指文字認識システムとフィードバック

3.1 節で制作したプロトタイプのうち、実装・計算コストを鑑みて、kNN を用いた認識システムを本ゲームの認識システムとして採用した。筆者のみの角度データを指文字ごとに3つずつ登録し、ゲームが始まると、現在提示すべき文字の角度データを参照し、入力データとのユークリッド距離が閾値以下になると正解としている。本ゲームは制限時間制となっているため、文字が提示されてから3秒以上正解の判定が出なければ次の文字にスキップされる設計にした。

また、ユーザへのフィードバックとしては、入力データとのユークリッド距離が一番近いサンプルデータを参照し、手のひらの付け根と指関節それぞれの角度の差を算出、その差の絶対値が30以上であれば誤り箇所としてフィードバックを行なっている。図8の画面右側で赤く表示されているのが誤り箇所、グレーで表示されているのが正しい箇所である。

本ゲームは JavaScript, html, css で実装し、画像描画には p5.js を利用した。実装完了後、github page を使って web 上に公開した。

## 4. ユーザフィードバック

ブラウザゲームとして本ゲームを公開してから、Google フォームにてユーザからのフィードバックを簡易的に収集した。アンケート項目として、年代・指文字の習熟度・ゲームの感想・ゲームへのフィードバックの4つを設け、ゲームの感想・フィードバックの2つについては記述式で回答してもらった。



図 8 ゆびもじタイピングのゲーム画面

「指文字」を知っていましたか？  
 9件の回答

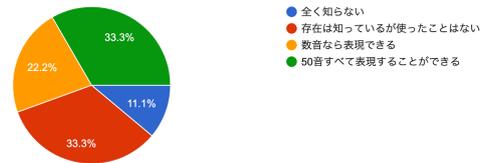


図 9 指文字習熟度のアンケート結果

指文字の習熟度は「全く知らない」・「存在は知っているが使ったことはない」・「数音なら表現できる」・「50音全て表現できる」の4レベルに分け、回答を収集した。結果は図9のようになり、指文字を「全く知らない」人から「50音全て表現できる」人までさまざまなレベルのユーザが本ゲームをプレイした。

ゲームの感想とフィードバックについて、ここでは一部抜粋して例示する。

ゲームの感想については「楽しい」という意見が多く、また、「勉強意識なく楽しく指文字をマスターすることができそう」「自分の手が認識されることで、自主学习でも第三者に自分の指文字が正しいと言われていたような安心や自信が感じられた」といった意見があり、本ゲームがゲームとしてだけでなく、指文字学習においても好意的な評価を受けた。

ゲームのフィードバックについては、「指文字を認識させるのが難しい」「認識する指文字としない指文字がある」といった意見が多く見られた。これに対して、3.1.2 節にて先述したデータ収集の方法を改善するほか、関節によって閾値を変更するといった工夫が考えられる。また、制作したゲームでは不正解音を出して文字をスキップしているが、ゲームにキャラクターを導入し、キャラクターがわからないという意味を示すアニメーション（例えば首を傾げるなど）をすることで、ユーザに不快感を与えないゲーム体験を設計できると考えられる。

そのほかには、「手のトラッキングで赤い線とグレーの線の2種類があるが、何を示しているのかわからなかった」「一定時間正解しないと次の文字に飛ばされるのが最初

からなかった」など、ゲーム内での説明不足による戸惑いが見られた。また、「左手モードを実装してほしい」「お手本を見ないでできた指文字・まだできない指文字が記録されて可視化されれば自分の習熟度がわかってモチベーションに繋がりそう」「間違えた文字だけを練習できるモードがあると良い」「自分の練習したい文字を選んで練習するモードがあると良い」など、ゲームコンテンツを提案する意見も見られた。

## 5. ユーザ実験

本ゲームをブラウザゲームとして公開し、インターネット環境さえあれば誰でも手軽に遊ぶことが可能になった。また、寄せられたフィードバックより指文字学習に好意的な評価を受けた、そこで、実際に指文字習熟にどれほど効果があるか検証するため、ユーザ実験を行った。

### 5.1 実験設計

本実験の対象者は、事前に手話講習会等で指文字学習済みであり、手話学習歴が1年未満の大学生5名である。

実験方法は、まず手話通訳業務を経験している指文字上級者の指文字反応速度を計測する。次に5名の学生の指文字反応速度を計測し、2週間本ゲームを利用してもらう。この時に、ゲームを遊んだ回数を記録してもらう。2週間後に再び指文字反応速度を計測し、指文字上級者の速度と比較を行う。また、2回目の指文字反応速度の計測後に、実験参加者の主観評価を調査するためのアンケートを Google フォームにて収集した。

指文字反応速度の計測方法としては、PC画面上に「の」「も」「り」「を」「ん」を除くかな41文字を、実験参加者の予測バイアスを除くためランダムに提示し、実験参加者にながに即した指文字を筆者に提示してもらった。これを50回繰り返す、実験参加者が、本人が確信を持って指文字を提示するまでの秒数を筆者が目測で計測した。なお、実験参加者が間違えた指文字を提示していても特に指摘・修正は行わなかった。2週間のゲームの遊び方については特に指定しなかったが、「通常モードを問題なく遊べることを目標にしてほしい」という指示を与えた。

各実験参加者の手話学習歴と練習回数を表1に示す。

実験参加者	手話学習歴	指文字練習回数
A	半年以上1年未満	15
B	半年未満	4
C	半年以上1年未満	41
D	半年未満	71
E	半年以上1年未満	36

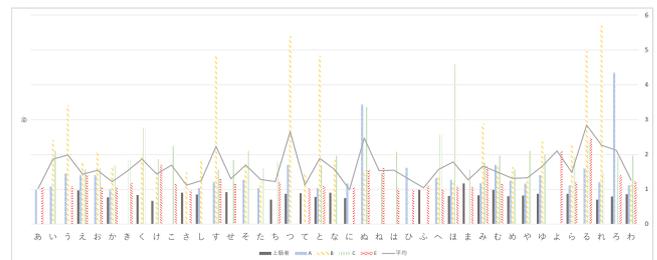


図 10 文字ごとの指文字反応速度とその平均

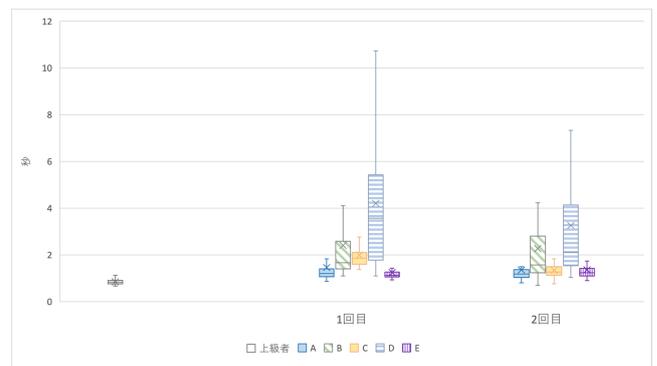


図 11 上級者の指文字反応速度と、実験参加者の1回目と2回目の指文字反応速度の箱ひげ図

### 5.2 文字による覚えやすさ・覚えにくさ

実験を行う中で、人によって覚えやすい指文字と覚えにくい指文字が存在することがわかった。1回目の指文字計測結果を文字ごとにまとめたものを図10に示す。ここで、他の実験参加者に比べてDの反応速度が特異であったため、議論にあたってDの数値は抜いてある。またこの実験はかなをランダムに提示したため、人によって動作していない指文字があるため正確な比較は難しいが、Aは形が似ている「ぬ」と「ろ」が平均より高く、Bは「す」「つ」「と」など、似た指文字が存在し混同しやすい指文字に時間がかかった。また、指文字学習では一覧表等を使用して50音順に覚えていくことが多いため、全体的には反応が早く、ら行は反応が遅い傾向が見られた。

### 5.3 指文字反応速度計測結果による本ゲームの学習効果

上級者の指文字反応速度と、実験参加者それぞれの指文字反応速度の箱ひげ図を図11に、実験参加者の1回目と2回目の平均指文字反応速度の差を図12に示す。CとDは1回目に比べて明らかに反応速度が向上し、Aは速度自体に大きな差はないが、文字による速度のばらつきが少なくなった。反対にBは速度のばらつきが大きくなり、Eは2回目の方が悪化する結果となった。平均指文字反応速度は、程度に差はあるがE以外の全員が向上した。それぞれの実験参加者の練習回数と指文字反応速度計測の結果より、練習回数の多かったCとDにおいて指文字反応速度が特に向上した。一方で、Eは練習回数が36回と比較的多かったが反応速度の悪化が見られた。しかし、図12の

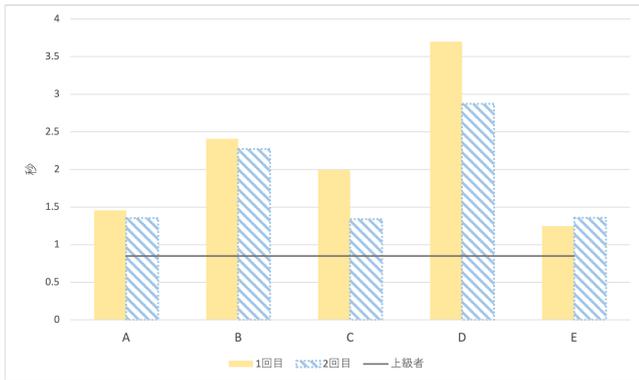


図 12 実験参加者の 1 回目と 2 回目の平均指文字反応速度の差

とおり、E は元より上級者に近い速度で指文字提示を行っており、また平均速度の差もさほど大きくない。前節で述べたとおり指文字には人によって覚えづらい文字、覚えやすい文字が存在し、またかなの提示順によっても反応速度に変化が生じるため、かなのランダム提示による誤差の範囲だと考えられる。

#### 5.4 アンケートを通じた主観評価による本ゲームの学習効果

次に、本ゲームの指文字学習においてユーザ主観による有用性を評価するため、実験参加者 5 人を対象にアンケート調査を行った。評価項目は、ゲーム自体の手軽さ・指文字学習効果（スムーズに指文字が綴れるようになったか）・反復性（何度も遊びたいと思ったか）に加えて、従来の指文字学習と比較した、練習における敷居の低さ・学習効果・継続性（今後の手話学習において本ゲームを継続して利用したいか）の 6 項目で、それぞれ 5 段階評価で回答を収集した。

ゲーム自体の評価項目を表 2 に、従来の指文字学習と比較する評価項目を表 3 に示す。

実験参加者	手軽さ	学習効果	継続性
A	3	2	4
B	5	4	4
C	5	3	4
D	4	5	5
E	4	3	3
中央値	4	3	4
平均値	4.2	3.4	4

どの項目も平均値が 3 を上回る良好な結果となったが、ゲーム自体の学習効果の平均値が 3.4 とやや低くなった。これは、本ゲームの認識システム上指文字の個人差に対応できていないため、なかなか正解判定にならず、スムーズに指文字を綴ることが難しかったためではないかと考えられる。一方で、従来の指文字学習方法と比較した学習効果の平均値は 4.4 と高く、さらに今後の手話学習において本

表 3 従来の指文字学習と比較した本ゲームの評価

実験参加者	練習の敷居の低さ	学習効果	継続性
A	3	3	4
B	4	5	5
C	4	5	5
D	5	5	4
E	5	4	5
中央値	4	5	5
平均値	4.2	4.4	4.6

ゲームを継続して利用したいと答えた実験参加者が多かった。これらのことから、指文字反応速度の計測結果と実験参加者の主観評価の両方から、本ゲームの指文字学習における有用性が示された。

#### 5.5 考察

これまで指文字の反応速度についての知見はなかった。しかし本実験において、指文字上級者の平均指文字反応速度が 0.85 秒であり、最長で 1.17 秒、最短で 0.67 秒であるとの結果が出た。また、どの実験参加者も 2 回目の指文字反応速度計測において、最長秒数は個人によって差があるものの、最短秒数は 0.7 秒～1.03 秒と、上級者と比べて遜色ないスピードで指文字を提示した。つまり、ユーザはかなが提示されてから指文字を提示するまでに、0.81(±0.12) 秒となることがわかった。

今回制作したゲームでは、かなを提示してから Web カメラから取得した画像を 1 フレームごとに認識をかけているため静的指文字にしか対応できなかった。しかしかなを提示してからコンピュータが認識を始めるまでに必要な時間が一部明らかになったため、今回実装に至らなかった DTW を使用した動的指文字の認識システムに活用できる。また、本ゲームの制限時間や提示した文字をスキップするための 3 秒という値は、既存のタイピングゲームからの引用や筆者の感覚で設定したものであるため、今回の実験結果を踏まえて再考する必要がある。

#### 6. まとめと今後の展望

本研究では、指文字初心者から中級者をターゲットユーザに、単語を綴りながら指文字の学習定着・技能向上を目指すタイピングゲームを制作し、ブラウザゲームとして公開した。そして、制作・公開したゲームがどれほど指文字学習に効果があるのかを検証するためのユーザ実験を行い、指文字反応速度の計測結果と、アンケートによる主観評価から、本ゲームの評価を行った。また、指文字反応速度という新しい知見の発展性について考察を行った。

今後は手話講習会や手話サークル等で実際に本ゲームを使ってもらうことで、長期的かつ定量的な学習効果を調査することが可能になると考えている。また、今回制作したタイピングゲームは単語が提示されそれを指文字で入力す

るといったシンプルな構成になっており、ゲームの難易度も2つのみであった。4節でユーザが提案したゲームコンテンツのほか、既存のタイピングゲームのように連続正解によって制限時間が延長されたり、単語の文字数によって点数が変化するなどのより複雑なゲームシステムを導入することで、ゲームとしての完成度を上げ、ユーザが継続してゲームを遊ぶモチベーションとなり、指文字学習定着・技能向上に繋がると考える。

## 参考文献

- [1] 厚生労働省社会・援護局障害保健福祉部：平成28年生活のしづらさなどに関する調査（全国在宅障害児・者等実態調査）結果（2018）。
- [2] 社会福祉法人聴力障害者情報文化センター手話通訳士実態調査事業委員会：手話通訳士実態調査報告書（2019）。
- [3] Fujisawa, Y., Ito, S. and Kobayashi, K.: Development of Learning Support System for Fingerspelling by Augmented Reality, *Proceedings of The 5th International Conference on Intelligent Systems and Image Processing 2017*, pp. 492–495 (2017).
- [4] 慶人田畑, 知宏黒田, 佳嗣眞鍋: 手型認識を用いた指文字教育システム, 教育システム情報学会誌 = Transactions of Japanese Society for Information and Systems in Education, Vol. 18, No. 2, pp. 172–178 (オンライン), 入手先 (<https://cir.nii.ac.jp/crid/1520009408282681216>) (2001).
- [5] 靖雄堀内: Kinect を用いた HMM による連続指文字認識の検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2016-AAC-1, pp. 1–6 (オンライン), 入手先 (<https://cir.nii.ac.jp/crid/1010282256814809094>) (2016).
- [6] 真生子船阪, 由羽石川, 雅美?田, 和貴 城: Leap Motion Controller を用いた指文字認識, 情報処理学会研究報告. MPS, 数理解モデル化と問題解決研究報告, Vol. 2015, No. 8, pp. 1–6 (オンライン), 入手先 (<https://cir.nii.ac.jp/crid/1570291227939616384>) (2015).
- [7] 美紀生田目, 泰 原田, 房子 楠: 児童向け指文字学習ソフトの開発とその評価, ヒューマンインタフェース学会論文誌 = Human interface : the transaction of Human Interface Society, Vol. 8, No. 4, pp. 537–544 (オンライン), 入手先 (<https://cir.nii.ac.jp/crid/1520853834698425088>) (2006).
- [8] 森下 茂, 青木久恵, 佐山鮎美: 指文字学習用3次元 Web コンテンツの制作, 関東職業能力開発大学校紀要 / 関東職業能力開発大学校 編, No. 1, p. 22–27 (オンライン), 入手先 (<http://id.ndl.go.jp/bib/7449198>) (2003).
- [9] Hirabayashi, N., Fujikawa, N., Yoshimura, R. and Fujisawa, Y.: Development of Learning Support Equipment for Sign Language and Fingerspelling by Mixed Reality, *Proceedings of the 7th ACIS International Conference on Applied Computing and Information Technology*, ACIT 2019, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3325291.3325373 (2019).
- [10] 吉満俊拓, 多田章吾: 指文字学習支援用空気圧式力覚提示グローブの開発, ライフサポート, Vol. 30, No. 3, pp. 82–89 (オンライン), 入手先 (<http://id.ndl.go.jp/bib/029222369>) (2018).
- [11] 島田貢明: マルチメディアと画像認識を活用した初心者のための指文字学習ソフトの試作, 仁愛女子短期大学紀要, No. 44, pp. 1–4 (2012).
- [12] 真暉近藤, 伸子加藤, 和広福井: 動きを伴う指文字を含めた距離画像を用いた対話的指文字練習システムの開発と評価, 電子情報通信学会技術研究報告 = IEICE technical report : 信学技報, Vol. 114, No. 512, pp. 23–28 (オンライン), 入手先 (<https://cir.nii.ac.jp/crid/1520009408629541504>) (2015).
- [13] 正志森本, 慎吾川除, 雅弥加藤, 壹成田端, 秀康加藤, 敦永井, 健人竹内: モーションセンサを用いた指文字学習支援アプリケーション, 情報処理学会論文誌デジタルコンテンツ (DCON), Vol. 8, No. 2, pp. 28–40 (2020).
- [14] 勝文井上: 日本語の指文字を用いたタイピングシステムのプロトタイプ構築, 日本画像学会誌, Vol. 58, No. 3, pp. 340–344 (オンライン), DOI: 10.11370/isj.58.340 (2019).
- [15] Arata, S. and Tetsuaki, B.: Real-time Finger Spelling “Yubimoji” Recognition by Skeletal Hands Features Tracking, Tokyo, Japan (2014).