

スマートフォンにおけるつまずき検出に基づく 音声入力支援システム

萩谷 俊幸^{1,2,a)} 帆足 啓一郎^{1,b)} 河原 達也^{2,c)}

概要：近年、スマートフォンが高齢者にも普及しつつあるが、機器操作に不慣れな高齢者にとって、スマートフォン操作は難しく、周囲のサポートがないと利用を諦めてしまう場合も少なくない。本研究では、音声入力での文字入力を対象に、人の代わりにスマートフォン自身がユーザの操作のつまずきを検出し、次の操作をアドバイスする音声入力支援システムを提案する。まず、音声入力において、高齢者がどのようにつまずくのかを抽出するためのユーザスタディを行い、次にその操作ログを用いてつまずき検出器を構築し、スマートフォンに実装する。最後に、その評価実験を行ったところ、提案システムを使う場合は使わない場合と比べて、つまずき回数と修正を含めた入力時間が有意に減少し、提案システムの有効性が確認できた。

キーワード：音声入力、つまずき検出、チュータリングシステム、高齢者、スマートフォン、

TOSHIYUKI HAGIYA^{1,2,a)} KEIICHIRO HOASHI^{1,b)} TATSUYA KAWAHARA^{2,c)}

1. はじめに

近年、スマートフォンに興味を持つ高齢者が増加しつつある。しかしながら、高齢者は、若者と比較すると新しい機器の習得は不得意な傾向があるため [1]、周囲のサポートが得られず、操作の習得が難しくなり、途中で利用を諦めてしまう場合も少なくない。それゆえ、継続した利用のためには、初期のサポートは重要である。また、スマートフォンを活用するためには、文字入力を習得することは必須であるが、ソフトウェアキーボードでの文字入力は、キーと文字の関係性や候補単語の適切な利用など、多くの知識が必要なため最も難しい操作の一つである。

一方、近年、音声認識精度の高まりによりスマートフォンでの文字入力の選択肢が広がり、タッチ操作が苦手なユーザであっても文字入力が以前より容易になった。しかしながら、意図通りに入力するためには慣れが必要であり、またメールや文書作成などでは、句読点や同音異義語などを含めて正確に入力することが求められる場合があるため、

現在のところソフトウェアキーボードとの連携は避けられず、習得にはまだ障壁がある。

それゆえ、本稿では、人の代わりにスマートフォンがユーザの習熟を助けるというコンセプトの下、音声入力における操作のつまずきを検出し、ユーザ自身で解決するためのアドバイスを提示する音声入力支援システムを提案する。つまずきは、複数のユーザから集めたログデータを基に機械学習により構築されたつまずき検出器により検出され、アドバイスは、文章での説明と、ソフトウェアキーボードに重畳されるキー位置を示す矩形により提示される。本稿の構成は、まず 2 章で関連研究を述べた後、3 章で本システムの概要を記し、4 章でユーザのつまずきを抽出するためのユーザスタディを記す。次に 5 章でユーザスタディからのデータを基にした本システム構築について記し、6 章で評価実験について述べ、最後に考察を記載する。

2. 関連研究

2.1 音声入力に関するインタフェース

音声認識の精度向上の研究が多くなされているものの、誤認識することなく入力することは難しい。そこで、音声入力には誤りが起こるという前提の下、効率的な入力や訂正手法に関する研究が行われている。例えば、後藤ら [2]

¹ KDDI Research, Inc.

² Kyoto University

a) to-hagiya@kddi-research.jp

b) hoashi@kddi-research.jp

c) kawahara@i.kyoto-u.ac.jp

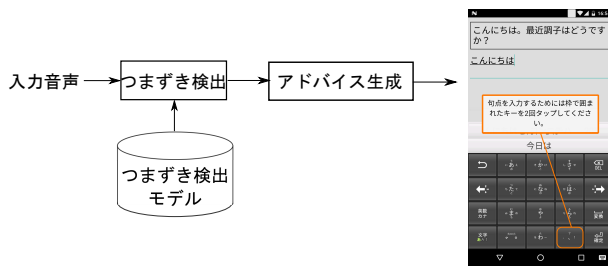


図1 システム概要図

は、ユーザが言いよどんだり、発話が途中で途切れてしまった時に、文を補完するシステムを提案している。また、緒方ら [3] は、音声認識誤りを選択操作だけで訂正することが可能なシステムを提案している。同システムでは音声入力が始まると、認識結果を単語ごとに区切った表示と、区切られた各区間に対する候補単語が多数画面に表示され、ユーザはそれを選択することで意図通りの文字列に訂正できる。同様に Liang ら [4] は、スマートフォンでの音声入力において、表示された認識結果をなぞることで、その箇所を訂正するシステムを提案している。また、Google 音声認識 API (Speech Recognizer)[5] では、音声認識結果のエラーの原因を返す機能を提供している。同機能では、ユーザ発話の音声検出時間超過や、マイクやネットワークのエラーなどをフィードバックすることが可能である。同機能は、ユーザ側というよりは機器側に起因するエラーが主な対象である。一方、モバイルの音声入力に対して操作のつまずきを検出し、アドバイスを提示するという研究はみられない。

2.2 高齢者のサポートに関するインタフェース

高齢者の機器利用をサポートする研究は多く行われており、例えば、Hickman ら [6] や Morrell ら [7] は、PC 利用において、高齢者の使用手順の学び方の観察を通して、高齢者に適切なガイダンスの方法やその量を調査した。Rogers ら [8] は、高齢者の PC 利用の学習プロセスを調査し、高齢者にとっては、ステップバイステップなガイダンスが最適であると結論付けた。

スマートフォンの習得に関しては、Leung ら [9] は、学習プロセスを調査し、試行錯誤を通して習得するより、ガイダンスやマニュアルを好む傾向があることを示した。Kelleher ら [10] は、画面上に半透明のレイヤーを重畳させることで、次の操作を視覚的に提示する方法を提案し、その有効性を検証した。また、文字入力に関しては、つまずきを検出して操作スキルに応じたアドバイスを提示するという方法が研究されている [11]。

3. 提案システム

前章で述べたように、高齢者の機器利用のサポートに関して多様な研究がなされているが、音声入力の習熟の

サポートを行う研究はみられない。そこで、本稿では、スマートフォンでの音声入力の習熟をサポートするため、音声入力における操作のつまずきを検出し、アドバイスを提示する音声入力支援システムを提案する。同システムは、図 1 の概要図に示されるように、二つの機能から構成される。つまずき検出部は、複数のユーザから集められたログデータを基に機械学習により構築され、入力音声に対してつまずきを検出する。アドバイス生成部は、検出したつまずきに対してアドバイスを生成し、トーストによる文字列表示と、次に操作すべきキーをハイライトすることで提示する。

4. 音声入力におけるつまずきを抽出するためのユーザスタディ

本章では、音声入力におけるつまずきを抽出するためのユーザスタディを述べる。入力操作として、各提示文の最初は必ず音声で入力し、修正にはキーボード操作を併用する方法を用いる。

4.1 実験参加者

本実験には、計 14 名が参加した。そのうち 10 名は人材派遣会社より雇われた 65-72 歳の男性 5 名と女性 5 名 (平均 69.8 歳) で、残り 4 名は 30 代の実験参加者である。30 代の実験参加者はつまずきの傾向を高齢者と比較するために参加した。対象者条件としては、スマートフォンを所有していないがフィーチャーフォンを所有し、ウェブ閲覧やメールなどで少なくとも 1 日 1 回以上は利用している高齢者を選定した。また、全員手の震えや視力の問題を含む、健康上の問題はなかった。

4.2 実験機器

音声認識器には Google Cloud Speech API [12] が用いられ、ソフトウェアキーボード上から音声認識を実行できるようにマイクボタンが実装された。マイクボタンを含むキーボードレイアウトを図 2 に記す。マイクボタンを押すと音声認識開始音が鳴り、開始音が鳴り終わると発話検出を開始する。音声認識は、発話がない状態で 5 秒経過するか、発話終了が Google Cloud Speech API で検出されると、終了する。Google Cloud Speech API からは N-best の認識結果と、最も高い認識結果に対する 0 から 1 の小数で表される信頼度が出力される。全ての音声とタッチイベントは、スマートフォンにより記録され、参加者の操作の動画は、机の上に置かれたカメラで記録された。スマートフォンは、Nexus 6 (android 7.0) を用いた。

4.3 実験手順

最初に、実験参加者はスマートフォン操作に関する簡単な説明を受けた後、音声入力を含むソフトウェアキーボー



図2 キーレイアウトと入力アプリ

表1 音声入力におけるつまずき種別

	つまずき種別
(1)	入力音声が大きすぎる
(2)	入力音声が小さすぎる
(3)	発話開始音の前に発話開始
(4)	フィラーが入る
(5)	長すぎて文中で切れる
(6)	(短単語入力のため) 同音異義語候補が出ない
(7)	句点の挿入
(8)	はてなの挿入
(9)	N-best の選択
(10)	文字の削除
(11)	カーソルの戻し方

ドの操作方法の説明を受けた。その後、実験参加者は、図2に示される入力アプリケーションを用いて、提示文と一致するように文字入力するタスクを行った。同アプリケーションでは、上部に入力される提示文と入力文とが一致すると、自動的に次の文が提示される。実験参加者は、椅子に座った状態で片手でスマートフォンを保持し、もう一方の手でマイクボタンを含むキー操作を行った。入力操作として、各提示文の最初は必ず音声で入力し、修正にはキーボード操作を併用する方法が用いられた。実験は、60分以内に合計20文を作成するというタスクで、10文の入力後に10分の休憩が与えられた。提示文は、独自に収集したおよそ3万文(平均文字数23.6)のEメールコーパスからランダムに選ばれた。

全参加者の実験後に、3人のアノテーターが独立にログとビデオからつまずきを抽出し、議論を行いつまずきを定義した。次に、再度その3人で独立に文単位でのラベル付けを行った。少なくとも2人一致した場合のみつまずきのラベルとして採用した。

4.4 ユーザスタディの結果

全ての実験参加者は時間内にタスクを完了した。平均完了時間は、高齢者が37.3分、30代の参加者が11.8分だった。つまずきの種類は表1に示す11種であった。下記より、各々のつまずきを説明する。“(1) 入力音声が大きすぎる”は、声が大きすぎて音割れすることで、音声がかまく認識されないつまずきであり、一方、“(2) 入力音声が小さすぎる”は、反対に声が小さすぎて、音声がかまく認識されないつまずきである。“(3) 発話開始音の前に発話開始”は、発話検出が動作する前に発話を開始することで、発話区間がかまく検出されないつまずきである。“(4) フィラーが入る”は、発話中に「えっと」や「あー」などのフィラーが入ってしまうつまずきである。“(5) 長すぎて文中で切れる”は、一発話が長すぎるため、途中で終話検出してしまつまずきである。“(6) (短単語入力のため) 同音異義語候補が出ない”は、短単語のため、候補が多くて所望の同音異義語が出ないつまずきである。“(7) 句点の挿入”、“(8) はてなの挿入”は、文の途中もしくは文末に、各々の入力方法がわからないつまずきである。“(9) N-best の選択”は、音声認識結果が候補選択欄に出るが、その選択方法がわからないつまずきである。“(10) 文字の削除”は、文字通り文字の削除方法がわからないつまずきである。“(11) カーソルの戻し方”は、カーソルが文中に入った後、文末にカーソルを戻すことがわからないつまずきである。(1)-(6)のつまずきは音声入力時のつまずきであり、(7)-(11)のつまずきは入力後の選択や訂正に関するつまずきである。3人のアノテータによるラベルの一致率(Fleissの値)は0.79だった。

次に、図3に、各つまずき毎の一度以上つまずいた実験参加者の割合を示す。高齢者と30代を比べると、高齢者の方がつまずきが全体的に多い結果となっている。特徴的なつまずきとしては、高齢者は全体的に入力音声が大きく、(1)を多く経験したが、30代は、反対に入力音声が小さく、(2)の割合が多い傾向にある。

インタビューでは、「音声入力は慣れてしまえば簡単だが、思い通りの結果が出ない時に次にどのように修正すればいいかわからなかった。なぜ間違ったか、どう修正すべきか教えてほしい。」との発言があり、音声入力についてもアドバイスの受容性が確認できた。

5. システム構築

前章で集めたデータを基につまずき検出器と、アドバイス提示機能を構築する。

5.1 つまずき検出器の構築

つまずき検出器は、前章で収集したつまずきラベル付き音声データを用いて、機械学習により構築された。つまずき検出の概要図を図4に示す。まず、入力された音声に対して、音声特徴量を抽出する。一方、Google Cloud APIに

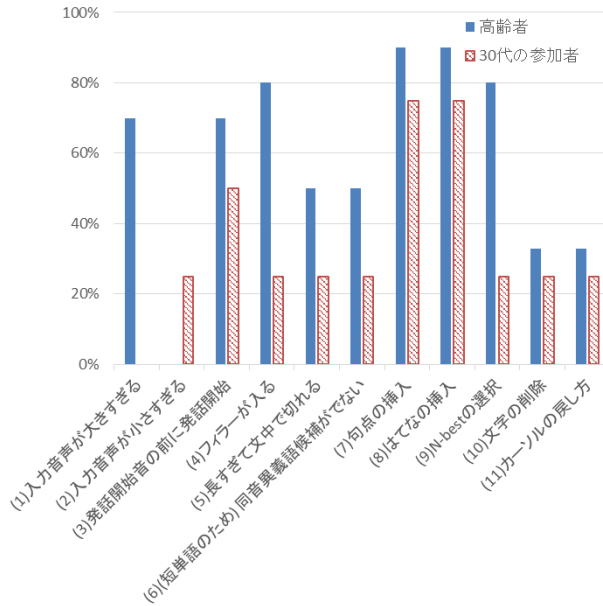


図3 各つまずき毎の一度以上つまずいた実験参加者の割合

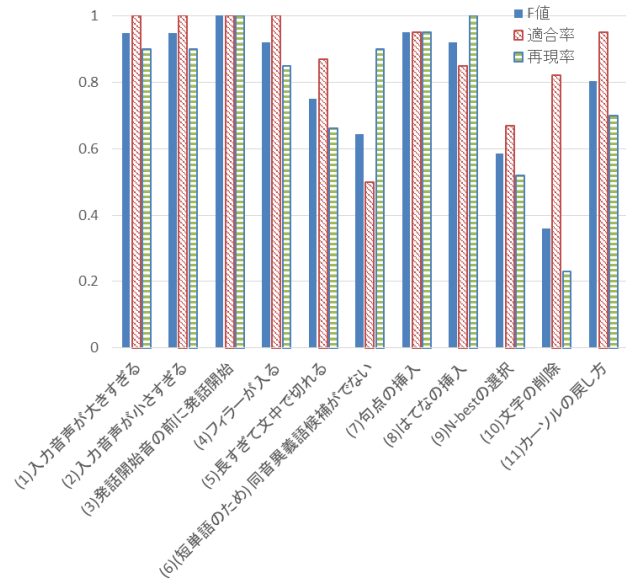


図5 決定木 C4.5 による各つまずきの検出精度

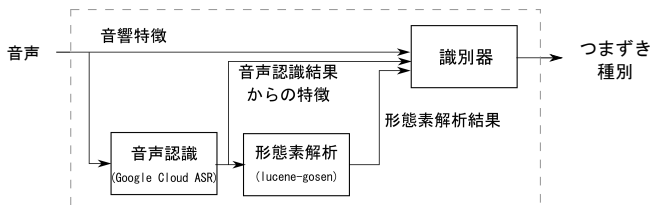


図4 概要図

より音声認識結果が出力され、信頼度を含む N-best の認識結果と、認識結果を形態素解析した結果から特徴量を抽出する。それらの特徴量とつまずきラベルから、識別器を学習する。

つまずき検出に最適な識別器を選択するため、線形回帰、決定木、SVM、DNN を比較した。SVM は RBF カーネルの One-Versus-Rest を用い、決定木は C4.5、DNN は中間層 3 層で誤差逆伝搬による予測誤差最小化と確率的勾配降下法を用いて学習された。

特徴量は全 28 次元が用いられた。音声特徴量として、振幅のオーバーフロー回数、発話検出区間の秒数、発話区間全体の平均振幅、音声検出開始と終了の前後 0.5 秒の平均振幅と、平均振幅各々の差分の計 17 次元を用いた。それ以外の特徴量として、音声認識の信頼度と認識結果の N-best 数、1-best の形態素数、文末の形態素 ID、文中の終止形の回数、文中の接続詞の回数、フィルターの回数、文長、助詞を除く形態素の中で最も短い語の同音異義語数、次の操作に要するまでの時間、カーソルの位置、の計 11 次元を用いた。

特徴選択として、SVM と線形回帰には L1 正則化、決定木には stepwise backward selection を用いた。検出性能を参加者毎の Leave-one-out 交差検定で評価したところ、F 値は、SVM で 0.72、線形回帰で 0.70、決定木で 0.73、DNN が

0.73 となり、決定木と DNN が高い値を示しものの、Anova では識別器による有意差はみられなかった。精度と実装を考慮して、以後、つまずき検出には、本章で学習した決定木 C4.5 を用いる。

図 5 に示される、決定木 C4.5 による各つまずきクラスの検出精度を見ると、音響特徴に依存しそうなつまずきの検出精度に比べると、“(6) 同音異義語が出ない” や、“(10) 文字の削除” といったつまずきの検出精度は低い値を示している。この原因として、これらのラベル付けにおいてはラベルの一致率が低いためと考えられる。

5.2 アドバイス生成

取得したつまずきに対して、トーストで示される文章と、ソフトウェアキーボードに重畳されるキー位置を示す矩形で記される。“(7) 句点の挿入” のつまずきに対するアドバイス画面例を図 6 に提示する。アドバイスは、つまずき検出後 5 秒間操作がない場合に表示され、表示後 7 秒間経過するか次の操作が行われると消える。上記の表示の秒数とアドバイスの文章については、60 代のシニア 3 名(男性 1 名、女性 2 名)とともに修正した。具体的には、単に操作のアドバイスをするだけでなく、音声入力に関する内容については誤りの理由や操作のコツを含むように修正し、修正方法に関する内容については理由を含めるように修正した。例えば、“(1) 入力音声が大きすぎる” に対しては、「声が大きすぎるので、もう少し小さな声で入力してください」といった文章が表示される。

6. 評価実験

本実験には前章で構築したシステムの評価のために、本システムを使った場合と使わない場合の比較を行う。

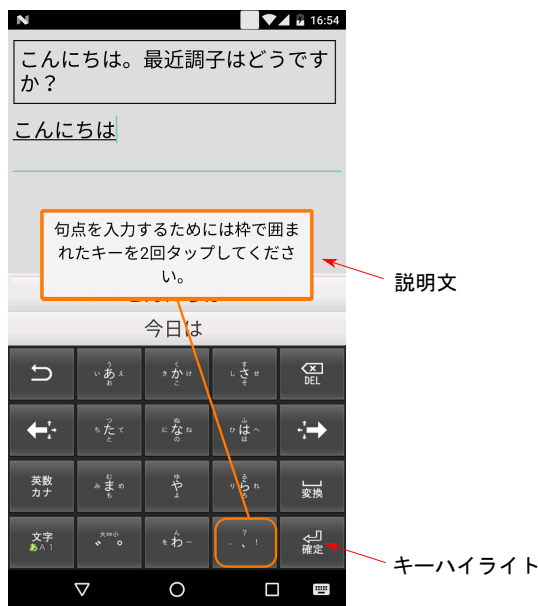


図6 キーレイアウトと入力アプリ

6.1 実験参加者

本実験には、65-71歳の男性10名と女性10名の計20名(平均68.6歳)の高齢者が参加した。20名全員、スマートフォンを所有していないがフィーチャーフォンを所有し、ウェブ閲覧やメールなどで少なくとも1日1回以上は利用していた。また、全員手の震えや視力の問題を含む、健康上の問題はなかった。

6.2 実験機器と実験手順

実験機器と実験手順は、4章と同じであるため簡潔に記す。スマートフォンは、Nexus 6 (android 7.0) を用い、最初に、実験参加者はスマートフォン操作に関する簡単な説明を受けた後、音声入力を含むキーボードの操作方法の説明を受けた。その後、図2に示される入力アプリケーションを用いて、提示文と一致するように文字入力をしてもらうタスクを行った。実験参加者は、椅子に座った状態で片手でスマートフォンを保持し、もう一方の手でマイクを含むボタンを押す方法で操作した。実験は、60分以内に合計40文を作成するというタスクで、20文の入力後に10分の休憩が与えられた。タスク終了後に質問紙への回答とインタビューが実施された。

実験参加者は20名のうち半分は、提案システムを利用せずに入力し(グループA)、残りの10名は提案システムを利用して入力した(グループB)。

全実験参加者の実験後に、4章と同様に、3人のアノテータが文単位でつまずきのラベル付けを行った。少なくとも2人一致した場合のみつまずきのラベルとして採用した。

6.3 実験結果

両グループとも、全員タスクを完了した。タスク完了時

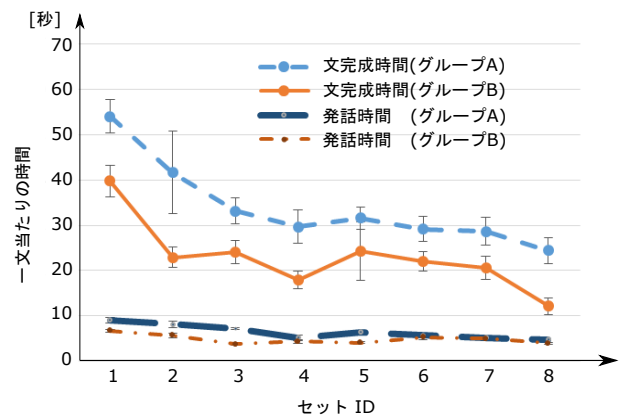


図7 セット毎の1文あたりの入力完成時間の変化

間は、グループAの平均は41.2分(標準偏差10.1)、グループBの平均は33.3分(標準偏差7.6)であった。つまずきのラベル付けの3人のアノテータによるラベルの一致率(Fleissの値)は0.85だった。また、グループBが利用したシステムをつまずき検出のF値は0.74を示した。

グループAとグループBの比較のため、文の完成時間、1文あたりのつまずき回数、音声認識精度、アンケート内容の4つの指標で評価した。習熟による影響を確認するため、全40文の入力を、時系列順に5文単位を1セットとして、8セットに分割して分析を行う。

6.3.1 1文あたりの完成時間

図7に、セット毎の1文あたりの完成時間と、発話時間を表したグラフを示す。1文あたりの完成時間は、両グループとも徐々に小さくなっており、また、提案システムを使ったグループBの完成時間が、全セットにおいて、グループAよりも小さいことがわかる。最初と最後の両セットの両グループ間に対してAnova検定($\alpha = 0.05$)を行ったところ最初と最後の両セットとも有意差があることが確認できた(最初のセット $F(1, 21) = 7.11$, 最終セット $F(1, 21) = 8.37$)。発話時間は、全体の時間に比べて割合が小さいことと、1文あたりの完成時間と同様に徐々に小さくなっているが、両グループ間では差がないことがわかる。

6.3.2 1文あたりのつまずき回数

図8に、セット毎の1文あたりのつまずき回数の変化を表したグラフを示す。これを見ると、文の完成時間と類似した軌跡となっており、両グループともに徐々につまずき回数が少なくなっている。また、提案システムを使ったグループBのつまずき回数は、全セットにおいて、グループAよりも少ないことがわかる。最初と最後の両セットの両グループ間に対してAnova検定($\alpha = 0.05$)を行ったところ最初と最後のセットとも有意差があることが確認できた(最初のセット $F(1, 21) = 9.31$, 最終セット $F(1, 21) = 32.5$)。

6.3.3 音声認識精度

図9に、セット毎の音声認識の単語正解率を表したグラ

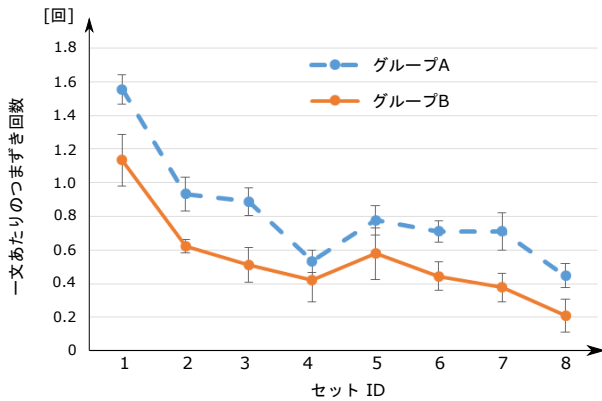


図8 セット毎の1文あたりのつまずき回数

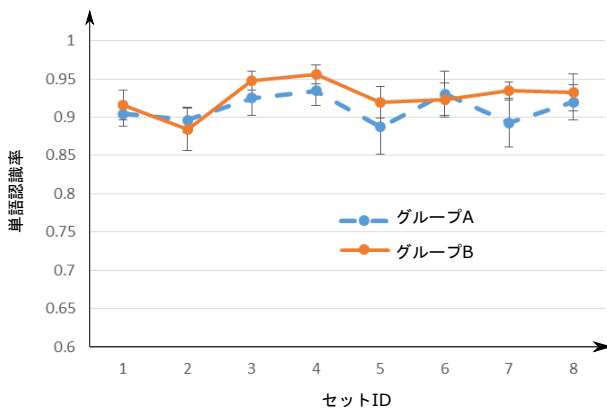


図9 セット毎の音声認識単語正解率

表2 5段階でのアンケートのグループ毎の平均(5が「非常に同意する」,括弧内は標準偏差)

質問項目	グループ A	グループ B
音声入力は便利だ	3.7 (0.64)	3.6 (0.66)
間違った時の修正方法は容易だ	2.6 (0.66)	3.1 (0.7)
音声入力は一人で学習できる	3.7 (0.45)	4.2 (0.40)

フを示す．これを見ると，両グループとも大きな差はなく，最初のセットから最後のセットまで多少の増減はあるものの横ばいであることがわかる．最初と最後の両セットの両グループ間に対して Anova 検定 ($\alpha = 0.05$) を行ったところ，両セットとも有意差がなかった．

6.3.4 アンケート内容

表2に実験後に実施したアンケート結果のグループ毎の平均を示す．このアンケートは，1が「非常に同意しない」，5が「非常に同意する」の5段階である．これを見ると，「音声入力は便利だ」の項目は両グループとも3.5強の値を示しており差はみられない一方，「間違った時の修正方法は容易だ」「音声は一人で学習できる」は両者とも0.5ポイントの差がある．Mann-Whitney の U 検定を行ったところ，「音声入力は一人で学習できる」のみ有意差を示した ($U = 31.5, p < 0.05$) ．

7. 考察

前章の結果は，提案システムを使ったグループ B は，使わないグループ A と比較して，1文あたりの完成時間と，1文あたりのつまずき回数は小さく，また，アンケートでの「音声入力は一人で学習できる」が有意に大きい結果であったことから，提案システムは，高齢者の初心者ユーザには有効であると考えられる．本章ではまず，グループ B の参加者にどのように有効であったのかを考察する．時間に注目すると，完成時間に対する発話時間の割合は小さいため，「修正箇所と修正方法を見つける時間」と，「実際に修正する時間」が，全体に対して大きな割合を占めており，それらが提案システムの影響で減少したと考えられる．前者の時間については，提案システムがつまずきを検出した際の次の操作に関するアドバイスが直接減少につながっている．後者の時間については，アドバイスにより利用者が効率的に入力できるようになったために，操作誤りを修正する量が減少したことによる影響が考えられる．実験後のインタビューでは，グループ B の数名は，「複数の文章や長い文章が提示された時に，文の途中や句読点までで文を句切ると修正に要する手間が減ることがわかったため，上手く入力できた．」と発言していた．

一方，実験参加者の数名は，一回の発話で複数のつまずき箇所が見られることがあった．例えば，フィラーが冒頭に入ってしまった後に，途中で音声認識の検出が途切れてしまうといった例が挙げられる．しかしながら，提案システムでは，最も可能性が高いつまずきを一検出してアドバイスを提示するのみである．それゆえ，複数のつまずきを検出し，次の操作をステップバイステップでアドバイスを提示するような枠組みを構築することが今後の課題の一つである．

8. おわりに

本研究では，音声入力における操作のつまずきを検出し，ユーザ自身で解決するためのアドバイスを提示する音声入力支援システムを構築し，評価を行った．まず，高齢者を対象としたユーザ実験を実施し，音声入力においてどのようにつまずくのかを抽出した．次に，複数のユーザから集めたログデータを基にした機械学習によりつまずき検出モデルを構築し，システム構築を行い，最後に，同システムの評価実験を行った．その結果，同システムを利用したグループは利用しないグループと比べて，文作成時間とつまずき回数が有意に少ない結果を示し，提案システムの有効性を示すことができた．今後の課題として，複数のつまずきにも対処できるように，複数のつまずきを検出し，ステップバイステップでのアドバイスを提示する枠組みを構築する．

参考文献

- [1] Rama, M. D., Ridder, H. and Bouma, H.: Technology generation and Age in using layered user interfaces, *Journals of Gerontechnology*, pp. 1(1):25–40 (2001).
- [2] Goto, M., Itou, K. and Hayamizu, S.: Speech Completion: On-demand Completion Assistance Using Filled Pauses for Speech Input Interfaces, *Proceedings of the 7th International Conference on Spoken Language Processing, ICSLP '02*, World Academy of Science, Engineering and Technology (WASET), pp. 1489–1492 (2002).
- [3] Ogata, J. and Goto, M.: Speech Repair: Quick Error Correction Just by Using Selection Operation for Speech Input Interfaces, *Proceedings of the 9th European Conference on Speech Communication and Technology, Eurospeech '05*, International Speech Communication Association (ISCA), pp. 133–136 (2005).
- [4] Liang, Y., Iwano, K. and Shinoda, K.: Simple Gesture-based Error Correction Interface for Smartphone Speech Recognition, *Proceedings of the 15th Annual Conference of the International Speech Communication Association International Conference on Science and Technology for Humanity, INTERSPEECH '14*, International Speech Communication Association (ISCA), pp. 1194–1198 (2014).
- [5] Google: Android Developers, Google (online), available from (<https://developer.android.com/index.html>) (accessed 2017-09-14).
- [6] Hickman, J. M., Rogers, W. A. and Fisk, A. D.: Training older adults to use new technology, *Journals of Gerontology: Series B*, Vol. 62 (2007).
- [7] Morrell, R. W., Park, D. C., Mayhorn, C. B. and Kelley, C. L.: Effects of age and instructions on teaching older adults to use eldercomm, an electronic bulletin board system, *Educational Gerontology*, Vol. 26, No. 3, pp. 221–235 (2000).
- [8] Rogers, W. A., Cabrera, E. F., Walker, N., Gilbert, D. K. and Fisk, A. D.: A survey of automatic teller machine usage across the adult lifespan, *Human Factors*, pp. 38,1; 156–166 (1996).
- [9] Leung, R., Tang, C., Haddad, S., Mcgrenerre, J., Graf, P. and Ingriany, V.: How older adults learn to use mobile devices: Survey and field investigations, *ACM Transactions on Accessible Computing*, Vol. 4, No. 3, pp. 11:1–11:33 (2012).
- [10] Kelleher, C. and Pausch, R.: Stencils-based tutorials: Design and evaluation, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '05*, ACM, pp. 541–550 (2005).
- [11] Hagiya, T., Horiuchi, T. and Yazaki, T.: Typing Tutor: Individualized Tutoring in Text Entry for Older Adults Based on Input Stumble Detection, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '16*, ACM, pp. 733–744 (2016).
- [12] Google: Cloud Speech API, Google (online), available from (<https://cloud.google.com/speech/>) (accessed 2017-09-14).