

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350692

研究課題名(和文)聴覚障害・構音障害児童のためのオンライン型発音指導支援システムの構築

研究課題名(英文) Application system for pronunciation practice by children with disabilities in speech and language and to support cooperation of teachers in special education classes and external experts

研究代表者

勝瀬 郁代 (MASUDA-KATSUSE, Ikuyo)

近畿大学・工学部・講師

研究者番号：20373540

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：通級指導教室等で発音指導を受けている児童・生徒の反復練習を支援するシステムを開発した。発音指導者は、児童・生徒の状況に合わせて出題単語を設定できる。また、児童・生徒の練習記録や音声システムに記録され、外部専門家等がその音声評価を行う。はじめに、スタンドアロンシステムを開発し、実地試験を行った。その結果、システム導入により家庭での練習時間が増え、構音が改善される傾向が確認できた。次に、ウェブアプリケーション型のシステムを開発した。このシステムでは、発音指導者や外部専門家がインターネットを通じて随時児童・生徒の発音評価を行うことができ、関係機関のより効果的な連携を期待できると評価された。

研究成果の概要(英文)：We developed two types of system with those children who have difficulty correctly pronouncing words to practice their pronunciation. One was a stand-alone system and the other was a web application system. They allow exercises to be individually tailored to each child's pronunciation needs. Three speech evaluation methods were prepared for each type of presented words: automatic speech recognition, phonemic discrimination between the correct and the probable error pronunciation of a consonant period and articulation tests from speech-language-hearing therapists (STs). We performed practical field tests with students in special support education classes in elementary schools. As the result the systems encouraged students to practice their pronunciation at home and would promote the cooperation of teachers and STs for more effective instruction. These systems were supported by the technological assistance of the local volunteer.

研究分野：音声情報処理

キーワード：構音障害 発音指導 言語通級指導教室 教育支援 発音練習 ウェブアプリケーション

## 1. 研究開始当初の背景

日本の公立小・中学校には、障害の状態に応じて特別な指導を行うための通級指導教室が設置されており、障害の状態の改善や克服を目的とした自立活動が行われている。平成26年度における通級児童数は83,750名ののぼり、言語障害が全通級児童のうちの41.0%を占めている。特別支援教育への需要が急激に高まる一方で、教員の専門的な指導技術が追いついていない。そこで、特別支援教育の現場を支援するために、外部から専門家が教育現場に派遣されるか巡回を行う取り組みが始まっている。このような背景から、本研究では、正しい発音が困難なために、通級指導教室で発音指導を受けている児童と発音指導者を対象に、発音指導を支援するシステムの開発と運用を試みた。

## 2. 研究の目的

次の2つの目的を満たす発音指導支援システムを開発する。

- (1) 児童・生徒は言語通級指導教室等で正しい構音の方法を発音指導者から指導されるが、その習得には反復練習が必要となる。児童・生徒が学校や家庭で反復練習するための手段となるシステムを開発する
- (2) 言語通級指導教室に対して支援を行っている言語聴覚士などの外部専門家が、システムに記録された音声等を参照することで、児童・生徒の状況を把握できるシステムを実現し、発音指導者と外部専門家の連携を推進する

## 3. 研究の方法

### (1) スタンドアローンシステムの開発

次の3つの特徴を有するコンピュータアプリケーションを開発した。

- ①発音指導者が、指導状況を踏まえて練習単語を設定できること
- ②児童・生徒が、システムを用いて発音練習できること
- ③発音指導者や外部専門家が、システムに記録された音声等を参照して、児童・生徒の発音の状態を把握できること

### (2) ウェブアプリケーションシステムの開発

発音指導支援システムをウェブアプリケーション化し、スタンドアローンシステムの特徴に加えて、言語通級指導教室の発音指導者と外部専門家がインターネットを通じていつでもデータにアクセスできるようにすることで、教育機関と外部専門家の連携の推進を図った。

### (3) 実地試験と運用スタイルの確立

小学校の教員がコンピュータや電子機器の取り扱いに慣れていないとは限らない。情報システムを活用した教育を推進するには、トラブル対応など日常的な技術支援を担う支

援者が必要である。本研究では、このようなシステムが継続して運用されていくために、このような支援体制の確立が重要であると考え、実地試験において、地域ボランティアによる支援体制の導入を試みた。

## 4. 研究成果

### (1) スタンドアローンシステム

#### ①システム構成

システム構成を図1に示す。システムは、個人別設定用ソフトウェアと発音評価ソフトウェアからなる。ソフトウェアはすべてJava言語で記述されている。

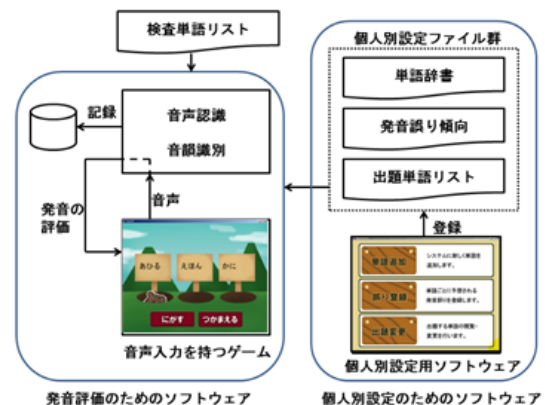


図1 スタンドアローンタイプシステム構成

個人別設定用ソフトウェアを用い、発音指導者は、練習対象とする単語、その児童の発音誤り傾向などをシステムに登録する。登録情報は、個人別設定ファイル群に記録される。

#### ②児童・生徒による発音練習

児童・生徒は、ソフトウェアを使って、ゲームをしながら発音練習をする。発音評価のためのソフトウェアは、個人別設定ファイル群と、検査単語リスト<sup>①</sup>を読み込む。ゲーム中に単語が出題され、発音することが促される。単語を読み上げた児童・生徒の音声はコンピュータにより評価され、その評価結果を反映してゲームが進行する。児童・生徒に出題される単語は、発音指導者により登録された出題単語5語と、構音検査単語リストから選出された1語の計6語であり、ランダムに出題される。



図2 児童・生徒の発音練習画面

発音指導者により登録された出題単語には、発音誤り傾向が登録されているものと、登録されていないものがあるので、検査単語、出題登録単語（発音誤り傾向の登録あり）、出題登録単語（発音誤り傾向の登録なし）の、計3種類が出題されることになる。それぞれの出題単語の音声に対する処理は、それぞれ異なる。構音検査単語については、コンピュータによる音声評価は行われず、画面には一律、正解の表示が出される。後日、外部専門家による構音検査を受けるために、wav ファイル形式でコンピュータ内に保存される。登録された出題単語は、コンピュータによる音声評価が行われる。コンピュータによる音声評価方法として、自動音声認識と音韻識別処理という2種類の音声評価方法を導入し、発音指導者による事前登録により切り替わる。体的には、出題単語登録時に発音誤り傾向も登録した場合には、音韻識別処理による厳密な音声評価を行い、登録しなかった場合には、自動音声認識による緩やかな音声評価を行った。

自動音声認識による音声評価は、「正解」または「不正解」のみであるが、音韻識別処理による音声評価では、正しい方の“音韻らしさ”と、誤る可能性のある方の“音韻らしさ”の両スコアを計算し、児童生徒に視覚的にフィードバックした。

### ③発音指導者による設定

個人別設定用ソフトウェアを用い、発音指導者は、単語辞書ファイルへ新規単語を登録、単語辞書から単語の選択し、出題単語リストファイルへ登録、発音誤り傾向ファイルへの登録を行える。登録された情報は、個人別設定ファイル群に記録される。

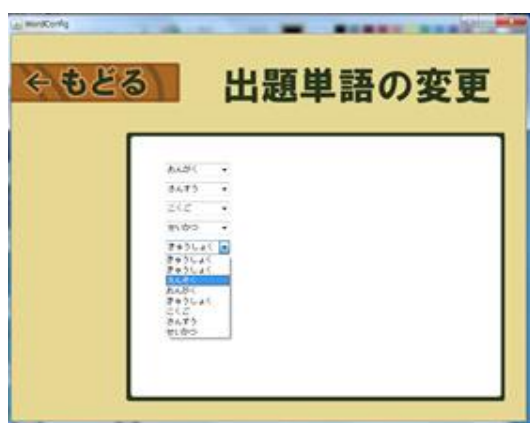


図3 発音指導者の出題単語設定画面

### ④実地試験

平成25年度に、福岡県下の小学校の言語通級指導教室に通う児童9名を対象とした実地試験を行った。実地試験開始時と終了時に、保護者に対して、家庭での発音練習時間を聞き取り調査した。また、システムのログにより、システムを使用していた時間を計測した。図4に、システム導入前後の家庭での練習時間の変化を被験者別に示す。被験者A、

Bについては、システム導入により、もともとは家庭練習ができていなかった児童が練習するようになったといえる。被験者C, D, F, H, Iについては、システム使用のある・なしに関わらず、家庭でのトータル練習時間には大差がない。これには家庭での生活リズムの影響もあると思われるが、システム導入前には、恐らく保護者と一緒に行われていたと思われる練習が、システムを使った練習に置き換わったと推察される。家庭での練習をシステムに任せることにより、保護者の負担は軽減されたといえる。

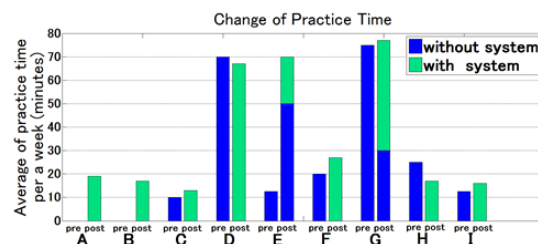


図4 システム導入前後の家庭での発音練習時間の変化

2名の児童(D, G)については、8セット程度、構音検査単語の音声収録されたため、言語聴覚士により、発音改善の経過を確認することができた。被験者Gについては、試験開始時には、/ts/音と/d<sub>3</sub>/音に発音誤りが見られていたが、試験期間終了時には、すべての発音について、発音誤りはみられてなくなっていた。被験者Dについては、/s/音の発音の改善がみられた。表1に、被験者Dについて、5つの検査単語に含まれる/s/音の変化の様子を示す。試験開始当初は/s/音が/te/音となっていたが、続いて/e/音となり、最終的には歪みがあるものの/s/音へと変化している様子がわかる。

表1 被験者Dの発音改善の様子

word	Oct-13	Dec-13	Jan-14	Feb-14
さかな	/tea/かな	/tea/かな	/ea/かな	/sa/かな (歪み)
そら	/teo/ら	/teo/ら	/eo/ら	/so/ら (歪み)
せみ	/te/み	/te/み	/tee/み	/se/み (歪み)
すいか	/	/tau/いか	/au/いか	/ou/いか
ちいさい	/	ちい/tea/い	ちい/tea/い	ちい/sa/い (歪み)

### (2) ウェブアプリケーションシステム

発音指導者側からの申し込みにより、ユーザアカウントが発行される。ユーザには、ID、パスワード、ユーザ権限が与えられる。ユーザ権限は、児童生徒、発音指導者、発音評価者、構音検査者の4種である。ユーザは児童生徒ごとにグループ分けされる。発音指導者、発音評価者、構音検査者の権限を持つ者は、彼らが属するグループと同じグループに属する児童生徒のデータにのみ、アクセスすることができる。図5に、本システムに記録される主なデータと、それらを介したユーザ間の典型的な連携のあり方を示す。この例では、



発音指導者が発音評価者としての役割も担っている。

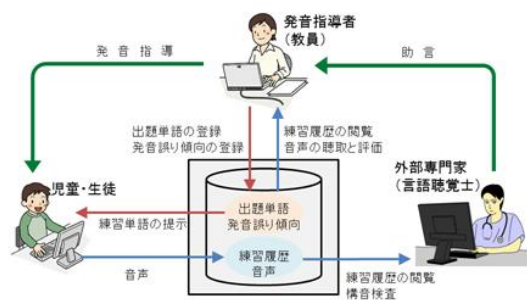


図5 システムを介した連携の例

### ①システム構成

システム構成を表2に示す。サーバーサイドに実装した主な音声処理は、自動音声認識、音韻識別処理、音声区間抽出処理である。

表2 システム構成

Web サーバーOS	CentOS 6.6
アプリケーションサーバー	GlassFish 4.1
開発言語	Java 7, JavaScript, HTML5
フレームワーク	Java EE 7
データベース	MySQL 5.1
Web ブラウザ	Chrome, Firefox

### ②通信

本システムの各機能を構成する複数のJavaアプリケーションをウェブ操作により相互通信させるためにREST(Representational State Transfer)に基づいたWeb APIを実装している。さらにWebブラウザから必要に応じてJavaScriptを利用した非同期通信(Ajax)によってデータを取得している。また、児童生徒の発音練習においては、Web Socketを利用することで、音声データを直接サーバーへバイナリー送信している。なお、クライアントサイドでは、WebRTCのgetUserMediaによりマイクロホンから音声を取得した後、Web Audio APIを用いてローパスフィルタをかけてから、標本化周波数16kHzにダウンサンプリングし、音声通信量の低減を図っている。

### ③児童・生徒による発音練習

練習画面は、音声再生ボタン、入力音量調整バー、入力音声レベルメーター、練習単語を表示するブロック、操作ボタン(「つぎのめんどい」、「もういちど」、「やめる」)、音声評価結果を示す画像、累積練習量を示すグラフアニメーションから構成される。

練習単語の表示ブロックには、練習単語と構音検査単語がランダムに表示され、児童生徒がそれを読み上げる。発音指導者が設定した出題単語に対して一定の割合で構音検査単語がランダムに挿入され、その割合は、システム管理者が設定できる仕組みになって

いる。

児童生徒の音声はサーバーに送られてコンピュータにより評価され、評価結果が画面に表示される。構音検査単語が出題された場合は、音声記録され、練習画面には「けんさ」の文字が提示される。

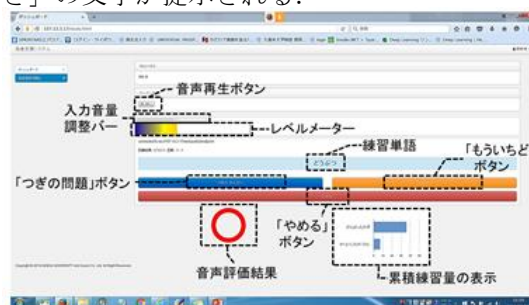


図6 発音練習画面の構成

### ④発音指導者による設定

発音指導者の権限は、言語通級指導教室において児童生徒の発音指導を行い、児童生徒に反復練習のための課題を用意する教員に与えられる。発音指導者は、辞書への新規単語登録、グループ内の児童生徒の練習記録の閲覧、出題単語の登録、発音誤り傾向の登録を行うことができる。



図7 出題単語登録画面

### ⑤発音評価者による発音評価と記録

発音誤り傾向が登録された単語の音声のみが提供され、発音評価者はこれらの音声を聴取して発音の状態を記録することができる。対象となる児童生徒特有の発音誤り傾向を集中して評価できる利点がある。

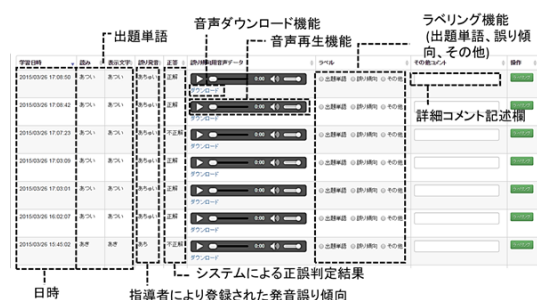


図8 発音評価者権限の画面の一例

### ⑥構音検査者による構音検査

外部専門家（言語聴覚士）は、インターネットを通じて構音検査用単語の読み上げ音声を聴取し、構音検査を行うことができる。

検査単語	日時	音声再生機能
20160203 18:50:00		
20160203 18:50:50		
20160203 12:58:55		
20160203 18:54:43		
20160203 18:51:30		
20160203 13:00:34		
20160203 12:59:49		
20160203 18:51:14		

図9 構音検査用画面の例

### ⑦ 実地試験

システムが、外部専門家と言語通級指導教室の教員との連携に役立つかどうかについて調査するために、平成27年度に、福岡県下の3校の小学校の言語通級指導教室を対象として実地試験を行った。外部専門家として2名の言語聴覚士と、これら外部専門家に関わりのある言語通級指導教室に属する教員3名と児童3名がこの試験に参加した。

発音指導者に対するアンケートでは、システムの出題単語登録および発音誤り傾向登録機能、外部専門家との連携推進能力とも、おおよそ高い評価を得た。外部専門家に対するアンケートでも、練習記録閲覧機能、発音誤り登録音声検査機能、構音検査音声再生機能とも、高い評価を受けた。

### (3) 音声処理

#### ① 音声区間抽出

周期成分と非周期成分の比率<sup>②</sup>に基づき音声終了時を検出して実装した。

#### ② 自動音声認識

Sphinx4<sup>③</sup>を使用した。日本語話し言葉コーパスを用いて、日本語の音響モデルの学習と構築を行った。言語モデル（文法モデル）には、発音指導者が個人設定用ソフトウェアを使って出題単語として登録した単語のみが、孤立単語として登録されるようにした。出題単語として音響的に近い単語を選択することを避ければ、発音が曖昧であっても認識されやすくなる。

#### ③ 音韻識別処理

本システムは、登録されている発音誤り傾向により、どの音韻がどの音韻に置き換わる可能性があるのかがわかっている。音声に含まれる識別すべき子音部の音声抽出のために、自動音声認識による自動ラベリング結果を用いた。抽出された子音部に対し、2群対判別法における識別<sup>④</sup>を行い、両側確率を求めることで、識別結果にスコアを付与した。音節は、25のカテゴリーに分類した。

さらに、児童生徒らによって置換誤りが置きやすい無声子音/k/, /h/, /f/, /t/を含む音節での識別性能を向上させるために、子音継続時間長、スペクトル重心、平均 kurtosis を特徴ベクトルとしてサポートベクタマシンによる識別を併用した。

### <引用文献>

① 構音臨床研究会編：“新版 構音検査”，千葉テストセンター，東京(2010)

② Ishizuka, K., Nakatani, T., Fujimoto, M. and Miyazaki, N., “Noise robust voice activity detection based on periodic to aperiodic component ratio”, Speech Communication, Vol.52, Issue 1, pp. 41-60 (2010)

③ Sphinx-4 A speech recognizer written entirely in the Java™ programming language :

<http://cmusphinx.sourceforge.net/sphinx4>

④ 河原達也，堂下修司，北澤茂良：“判別分析とHMMの統合による不特定話者子音認識”，電子情報通信学会誌 D-II, J73-D-II (9), pp. 1363-1372 (1990)

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

① 勝瀬 郁代，白土 浩，岡野 亜希子，堀内 幸造，“発音指導支援システム運用における教育・医療・大学・地域支援者の連携の実現”，近畿大学産業理工学部 研究報告，22, 7-13, 2015.

[http://kurepo.clib.kindai.ac.jp/modules/xoonips/listitem.php?index\\_id=18320](http://kurepo.clib.kindai.ac.jp/modules/xoonips/listitem.php?index_id=18320)

[学会発表](計10件)

① 白石 君男，平島 ヨイ子，村上 健，塚原 恵，“聴覚障害・構音障害児童のための発音指導支援システムの開発とアンケートによる評価”，第60回日本音声言語医学会，愛知，産業労働センター，2015年10月15日。

② Ikuyo Masuda-Katsuse，“Pronunciation Practice Support System for Children who Have Difficulty Correctly Pronouncing Words,” Proc. INTERSPEECH2014, 2144-2155, Singapore, 2014年9月17日

③ 勝瀬 郁代，“障害児の発音指導を支援するためのWebアプリケーションシステムの開発”，日本音響学会2015年秋季研究発表会講演論文集，3-3-6，会津若松，会津大学2015年9月16日

④ 勝瀬 郁代，“障害児の発音指導支援のためのWebアプリケーションの開発”，電気・情報関係学会九州支部第68回連合大会，14-1A-01，福岡，福岡大学，2015年9月26日。

⑤ Ikuyo Masuda-Katsuse，“Web application system for pronunciation practice by children with disabilities and to support cooperation of teachers and medical workers,” Proc. INTERSPEECH2015, Show&Tell-2-3, Dresden, 2015年9月7日

⑥ 勝瀬 郁代，“障害児の発音指導支援のた

めのWebアプリケーションの開発：家庭での反復練習促進及び教育機関と外部専門家の連携推進へ向けて，”教育システム情報学会研究報告，30(2)，19-24，札幌，北星学園大学，2015年7月4日。

⑦勝瀬 郁代，白石 君男，小山 博幸，平島 ユイ子，飯田 阿希奈，松山 秋絵，藤平 晴奈，“聴覚・言語・構音などに障害がある児童のための発音指導支援システム～言語通級学級に通う児童を対象とした実地試験，”日本音響学会秋季研究発表会講演論文集，1481-1484，札幌，北海学園大学2014年9月5日。

⑧勝瀬 郁代，白石 君男，小山 博幸，平島 ユイ子，“聴覚・言語・構音などに障害がある児童のための発音指導支援システム－音声評価方法と実地試験の概要－，”日本音響学会春季研究発表会講演論文集，1-2-10，東京，日本大学，2014年3月10日。

⑨勝瀬 郁代，“構音などに障害のある児童のための発音練習支援システムにおける音韻識別処理と自動音声認識の併用，”電気関係学会九州支部第66回連合大会講演論文集 01-1A-13，18-19，熊本，熊本大学，2013年9月24日。

⑩勝瀬 郁代，“聴覚障害・構音障害児童のための発音指導支援システム，”電子情報通信学会技術研究報告，SP2013-38，WIT2013-8，43-48，新潟，新潟大学，2013年6月13日。

[その他]

①研究成果物動画デモ

<http://www.joho.fuk.kindai.ac.jp/~katsuse>

②ウェブアプリケーションシステム児童生徒用ログイン画面

<http://mm.joho.sv.fuk.kindai.ac.jp/login.html>

③ウェブアプリケーションシステム発音指導者及び外部専門家用ログイン画面

<http://mm.joho.sv.fuk.kindai.ac.jp/admin/login.html>

④研究成果物の一つである「児童音声データベース」は，国立情報学研究所音声資源コンソーシアム (<http://research.nii.ac.jp/src>) より無料配布予定

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

勝瀬 郁代 (KATSUSE, Ikuyo)  
近畿大学・産業理工学部・講師  
研究者番号：20373540

(2) 研究分担者

白石 君男 (SHIRAISHI, Kimio)  
九州大学・芸術工学研究科・教授  
研究者番号：90187518

(3) 研究協力者

平島 ユイ子 (HIRASHIMA, Yuiko)

小山 博幸 (OYAMA, Hiroyuki)